平成26年度　国土交通省国土技術研究会

論文集

平成26年10月

国土交通省

自由課題　一般部門＜安全・安心Ⅰ＞

NO	課題名	所属	発表者	頁
1	地震動・火災・津波のマルチハザード広域避難モデルの開発	(独)建築研究所防火研究グループ	西野　智研	1
2	電子防災情報システムによる迅速な情報の集約と共有	国土地理院企画部防災推進室	栗栖　悠貴	5
3	茨城港常陸那珂港区長周期波対策施設の効果検証	関東地方整備局鹿島港湾・空港整備事務所第一工務課	菅原　修一	9
4	人工衛星SAR画像による河道閉塞箇所の緊急判読調査手法の提案	国土技術政策総合研究所土砂災害研究部土砂災害研究室	神山　嬢子	13
5	測量用航空機からの斜め写真を用いた迅速な被災情報提供の取り組み	国土地理院基本図情報部画像調査課	久保　領一	19
6	地震被害を踏まえた建築非構造部材の被害低減のための検討	国土技術政策総合研究所建築研究部評価システム研究室	脇山　善夫	23
7	地震後の継続使用を意図したRC造建築物の構造方法	(独)建築研究所構造研究グループ	田尻　清太郎	27
8	新桂沢ﾀﾞﾑにおける基礎岩盤の評価手法　－同軸嵩上げﾀﾞﾑにおける既設ﾀﾞﾑ堤敷の岩盤評価－	北海道開発局旭川開発建設部サンルダム建設事務所えん堤班	尾関　敏久	33
9	緊急油圧装置の開発	(独)水資源機構関西支社	笠原　諭	39
10	防災拠点のネットワーク形成に向けた検討	中部地方整備局企画部防災課	野村　博	43
11	国道25号における兼用道路の通行規制基準について	近畿地方整備局豊岡河川国道事務所道路管理課	的羽　正樹	49
12	PDCAサイクルを活用した水位観測システムの強化について	中国地方整備局太田川河川事務所調査設計第一課	西川　直樹	55
13	地域消防と排水ポンプ車の連携について	北陸地方整備局高田河川国道事務所防災課	横田　浩昭	61
14	企業向け水害版事業継続計画(BCP)作成の支援について	九州地方整備局武雄河川事務所防災情報課	平石　貴義	65
15	樋門ゲートに対する河川津波波力低減手法に関する研究	(独)土木研究所寒地土木研究所寒地水圏研究グループ寒地河川チーム	阿部　孝章	71

自由課題　一般部門＜安全・安心Ⅱ＞

NO	課題名	所属	発表者	頁
1	発生メカニズムを考慮した港内長周期波に対する静穏度解析	(独)港湾空港技術研究所海洋研究領域波浪研究チーム	長沼　淳也	77
2	ジオグリッド補強土壁の壁面背面箇所の締固め不足が耐震性に及ぼす影響について	(独)土木研究所地質・地盤研究グループ施工技術チーム	藤田　智弘	83
3	セメントコンクリート舗装のアスファルト中間層の有効性	(独)土木研究所道路技術研究グループ舗装チーム	堀内　智司	89
4	河川特性を考慮した河道管理の効率的な手法	関東地方整備局江戸川河川事務所管理課	高玉　郁子	93
5	桟橋上部工の維持管理シナリオに関する検討	(独)港湾空港技術研究所ライフサイクルマネジメント支援センター	野上　周嗣	97
6	道路橋の伸縮装置における漏水対策の検討について	東北地方整備局東北技術事務所維持管理技術課	菊池　淳	103
7	PFI手法を用いた東京国際空港国際線地区エプロン等整備等事業における維持管理について～大規模補修工事の実施～	関東地方整備局東京空港整備事務所事業調整課	桐原　憲一郎	107
8	舞鶴港における将来計画を見据えた岸壁の老朽化対策に関する技術的検討について	近畿地方整備局神戸港湾空港技術調査事務所設計班	川端　稔教	113
9	融雪期に発生する舗装の損傷実態と損傷のメカニズム	(独)土木研究所寒地土木研究所寒地保全技術研究グループ寒地道路保全チーム	丸山　記美雄	119
10	河床洗掘事例から考察した施設点検について	九州地方整備局河川部河川環境課	添田　昌史	125
11	伏木富山港(新湊地区)臨港道路東西線(新湊大橋)のケーブル振動対策について	北陸地方整備局新潟港湾空港技術調査事務所技術開発課	清水　美代	131
12	海上部の高橋脚における近赤外線分光法を用いた塩化物イオン量の推定	本州四国連絡高速道路(株)鳴門管理センター　橋梁維持課	長尾　幸雄	135
13	備讃瀬戸北航路の維持浚渫工事について	四国地方整備局高松港湾・空港整備事務所航路管理課	範國　大介	139

自由課題　一般部門＜活力＞

NO	課題名	所属	発表者	頁
1	大型車両に対する走行経路表示システムの有効性検証	国土技術政策総合研究所道路交通研究部高度道路交通システム研究室	築地　貴裕	145
2	旧北上川河口かわまちづくり・景観検討	東北地方整備局北上川下流河川事務所工務第一課	木本　悠太	151
3	防雪林が成育するまでの防雪対策について―一般国道276号岩内共和道路―	北海道開発局札幌開発建設部深川道路事務所工務課	岩舘　豊和	157
4	河川環境調査への遺伝情報の活用	(独)土木研究所水環境研究グループ河川生態チーム	村岡　敬子	163
5	河川堤防の刈草を活用した下水汚泥の混合消化ガス発電の経済性と環境負荷軽減の検討	北陸地方整備局建政部都市・住宅整備課	山崎　憲人	169
6	凍結防止剤散布を考慮した路面すべり抵抗値の簡易推定手法	(独)土木研究所寒地土木研究所寒地道路研究グループ寒地交通チーム	藤本　明宏	175
7	時間的・空間的連続観測データによる水質環境変動の検証～活力ある伊勢湾の再生に向けた新たな知見～	中部地方整備局名古屋港湾空港技術調査事務所技術開発課	鷲見　直子	181
8	花木園の再生管理について	関東地方整備局京浜河川事務所多摩川上流出張所	澤村　絢子	187
9	アサリのすむ人口干潟を目指して～大島干潟整備におけるアサリの成育に配慮した施工と環境改善効果について～	中国地方整備局宇部港湾・空港整備事務所工務課	鍵本　慎太郎	191
10	北部国道事務所におけるヤンバルクイナロードキル対策について	内閣府沖縄総合事務局北部国道事務所調査課	金城　基樹	197
11	移植困難種であるムヨウラン属の移植成功事例について	四国地方整備局山鳥坂ダム工事事務所調査設計課	新谷　大吾	201

自由課題　イノベーション部門Ⅰ

NO	課題名	所属	発表者	頁
1	PCB除去を目的とした橋梁塗替塗装について	関東地方整備局横浜国道事務所調査課	渡邉　健太郎	205
2	粘り強く効果を発揮する「高潮防波堤」の改良工事～南海トラフ巨大地震に備える～	中部地方整備局名古屋港湾事務所沿岸防災対策室	森下　倫明	209
3	国道113号舗装修繕におけるリフレクションクラック対策の効果について	北陸地方整備局新潟国道事務所新発田維持出張所	長谷川　崇	213
4	段階施工を可能とする防波堤整備工法について　-連結セルラーブロック工法の開発ー	北海道開発局港湾空港部港湾建設課	水島　良	219
5	広島空港滑走路における赤外線調査について	中国地方整備局広島港湾・空港整備事務所広島空港出張所	堀江　利樹	225
6	急流河川における「巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工」の効果検証	北陸地方整備局富山河川国道事務所調査第一課	徳島　美幸	229
7	海岸堤防復旧工事での盛土材調達の取組み	東北地方整備局仙台河川国道事務所海岸課	小野　伊佐緒	235
8	全国初！宮崎海岸における埋設護岸（サンドパック工法）を用いた海岸浸食対策	九州地方整備局宮崎河川国道事務所宮崎海岸出張所	久木原　誠	241
9	那覇空港滑走路増設事業における貴重藻類の移植について	内閣府沖縄総合事務局開発建設部空港整備課	宇江城　菜乃	245

自由課題　イノベーション部門Ⅱ

NO	課題名	所属	発表者	頁
1	無人航空機(UAV)による西之島の空中写真撮影と高精度地形計測	国土地理院地理地殻活動研究センター地理情報解析研究室	中埜　貴元	249
2	衛星AISを活用した北極海航路航行実態分析	国土技術政策総合研究所港湾研究部港湾計画研究室	谷本　剛	255
3	博物館　展示証明の全面LED化について	近畿地方整備局営繕部整備課	石澤　佳也	259
4	リノベーション手法による米沢税務署の整備効果について	東北地方整備局営繕部整備課	山尾　司	265
5	効率的な河川の維持管理に向けた取り組みについて	四国地方整備局河川部地域河川課	宮田　晃	271
6	オープンソースGISを利用した位置情報の活用提案	長野県建設部河川課	島田　ゆり	275
7	高津川の多自然川づくりについて	中国地方整備局浜田河川国道事務所河川管理課	松尾　至哲	279
8	潤滑油診断結果に基づく保全手法の選定とコスト縮減の効果	(独)水資源機構長良川河口堰管理所	戸崎　浩輔	285
9	遠賀川河口堰多自然魚道における施工上の配慮と工夫について	九州地方整備局遠賀川河川事務所河口堰管理支所	田中　聡	291

自由課題　アカウンタビリティ部門

NO	課題名	所属	発表者	頁
1	ドクターヘリを支援する道路の工夫　－より迅速に、より安全にランデブーするための提案－	北海道開発局釧路開発建設部釧路道路事務所計画課	高山　博幸	297
2	現場からはじめる建設産業支援～出張所における工事広報～	東北地方整備局郡山国道事務所喜多方出張所	阿久津　奈々	301
3	横浜市における持続可能な地域公共交通の実現に向けた取組	横浜市道路局道路局計画調整部企画課	山形　珠実	305
4	『水害から地域を守るために働く人』を知ってもらうための広報	北陸地方整備局信濃川下流河川事務所総務課	渡邊　貴子	311
5	地域連携による「100mm/h安心プラン」の取り組み	中部地方整備局河川部地域河川課	加勢田　賢治	317
6	地域課題の解決に向けた合意形成について～武庫川河川改修における事業連携の取組み～	兵庫県県土整備部土木局道路企画課高速道路室	矢尾　哲雄	323
7	平成25年島根山口豪雨災害時における広報活動	中国地方整備局企画部企画課	栢　俊明	329
8	堤外地に働く人たち等を対象とした避難対策についての報告	四国地方整備局小松島港湾・空港整備事務所工務課	米原　秀将	333
9	有明海沿岸道路　筑後川・早津江川橋梁におけるCIMを活用した設計及び合意形成について	九州地方整備局福岡国道事務所工務課	田中　健二朗	339
10	「事業マネジメントの見える化」について	内閣府沖縄総合事務局開発建設部建設行政課	仲村　将成	343

自由課題

一般部門＜安全・安心Ⅰ＞

地震動・火災・津波の マルチハザード広域避難モデルの開発

西野　智研[1]

[1]独立行政法人建築研究所　（〒305-0802 茨城県つくば市立原1）

地震動，火災，津波の同時進行を考慮した複合災害時の広域避難モデルを開発した。このモデルは，筆者が開発してきた市街地火災専用の広域避難モデルに，地震動と津波に関係するいくつかのサブモデルを追加し，モデルの拡張を行ったものである。開発したモデルを南海トラフ地震被害想定に適用し，神戸市長田区沿岸部の木造密集市街地を対象に，モデルの活用例を示した。本報では，このモデル開発の内容を概説する。

キーワード　地震火災，モデリング，地震被害想定，地域防災計画，南海トラフ地震津波

1. はじめに

南海トラフを震源域とする地震時の津波のように，陸上への氾濫を引き起こす規模の津波に対しては，避難により身を守る重要性が指摘されている。ただし，海溝型の地震であっても，陸上に伝播する地震動が強ければ，家屋倒壊のみならず，津波の襲来前に火災が発生する可能性もある。特に，木造密集市街地が沿岸部に広がる地域では，家屋間の間隔が狭いために，燃え広がりが起こり易い。また強風時には，市街地を流れる火災気流が，高台への避難を阻害する重要な要因となる。

地域住民の避難を成功させるには，地震動，火災，津波といった複数の災害が市街地で同時に進行する事態に備えて，対策を講じておくことが重要になる。このためには，各災害に伴う避難性状を個別に把握するのではなく，同時進行する一体の避難性状として総合的に予測することで，避難危険の実態をより合理的に把握できる必要がある。

そこで本研究では，地震動，火災，津波の複合災害時における避難性状予測モデルの開発を目的とする。本稿では，既報[1]で発表したこの予測モデルの概要を解説することとし，数式等モデルの詳細については，既報[1]を参照されたい。また，開発したモデルを南海トラフ地震被害想定に適用し，神戸市長田区沿岸部の木造密集市街地を対象に，モデルの活用例を示した。

2. 地震動・火災・津波のマルチハザード避難モデル

2.1 関連する既往研究

わが国では，市街地火災や津波による被害を古くから常習的に経験してきたため，これらを対象にした避難性状予測モデルは数多く存在する[2~15]。しかし，これまでの予測モデルは，市街地火災と津波のどちらか一方を対象に，個々の避難者の行動を時系列に追跡可能なシミュレーションモデルの開発を試みたもので，両者が避難行動に与える影響を同時に考慮したモデルの検討例はない。

このうち，市街地火災を対象にした避難性状予測モデルは，(1) 避難行動に影響を与える危険要因を延焼火災からの輻射熱に限定し，それを避けるように避難者の移動経路を決定していくもの[2~6]と，(2) 市街地を流れる火災気流の経時的な温度上昇分布を，危険度の高低を模擬した地形として表現し，これを基に避難者の移動方向を決定していくもの[7~9]に大別できる。(1) では，燃焼領域の範囲さえ把握できれば，避難性状を比較的簡便に予測できるという利点があるが，火災気流の影響を考慮していないため，避難上最も深刻な条件である強風下には適用できない。一方，(2) では，火災気流による温度上昇を物理的に定式化し，任意の地点における危険度を温度を基に定量化することで，避難者の移動方向を危険度の降下方向としてモデル化している。このため，強風下の避難性状予測にも適用できる。過去には，(2) の予測モデルを利用することで，1923年の関東大震災における東京市住民140万人の避難行動を推定し，得られた火災死亡者の発生数と発生箇所が調査報告と概ね一致することから，モデルの全体的な予測精度が確認されている[9]。

一方，津波を対象にした避難性状予測モデルは，(1) 避難開始時間に代表される避難行動の不確定量を，事前の意識調査などを基に与条件として避難行動を予測するもの[10~12]と，(2) 災害情報の伝達過程や人間の意

識を明示的にモデル化することで，不確定量の予測を内生化しながら避難行動を予測するもの[13~15]に大別できる。(1) では，対象地域で予想される避難行動実態の一部を精度良く計算に反映できるという利点があるが，計算の実施前に一定の調査期間や労力を確保する必要がある。一方，(2) では，事前の調査を必要としないため，比較的早期に計算に着手できるが，予測モデルのパラメータ増加に伴い，入力データの整備が煩雑になる。

2.2 新しい避難モデルの概念

図1に，地震動，火災，津波の複合災害時における避難性状予測モデルの概念を示す。このモデルは，強風下の火災気流の影響を考慮でき，過去の検証から一定の予測精度が確認されている筆者らの火災専用の避難性状予測モデル[8,9]に，地震動と津波に関係するいくつかのサブモデルを追加し，マルチハザードに対応した避難モデルへと発展させたものである。ここでは，避難者の移動方向の予測にポテンシャルの概念を導入し，市街地を移動する一人一人の避難者の行動を時系列に追跡することで，市街地全体の避難性状の予測につなげる。このポテンシャルの概念とは，火災気流や避難場所といった避難者の移動方向を左右する複数の要因の影響を，市街地に分布する経時的なポテンシャルとして定量化することで，水が高い所から低い所に向かって流れるように，避難者もポテンシャルの高い所から低い所に向かって移動すると考えるものである。このとき，避難者は道路ネットワークに沿って，ポテンシャルの降下方向にある経路を選択しながら線的に移動するものとし，歩行者密度と歩行速度の関係式から任意の時刻における一人一人の移動速度を計算することで，時間刻みに対応する距離をネットワークに沿って進んでいく。

(1) ポテンシャルの定義

地震動，火災，津波が同時に進行する事態では，各災害に起因する複数の要因が合わさって，避難者の移動方向に影響を与える。ここでは，避難者の移動方向を左右する要因として，

(1) 地震動による倒壊建物からの流出瓦礫
(2) 延焼火災からの火災気流と輻射熱
(3) 津波の遡上による市街地の浸水
(4) 高台や津波避難ビル等の避難場所

の四つを定義し，任意の地点におけるそれぞれの影響を次の式で合成することで，移動方向を予測するためのポテンシャルΦ_Vを計算する。

$$\Phi_V = \Phi_{EQ} + \Phi_{UF} + \Phi_{TS} + \Phi_{EV} \quad (1)$$

ここに，Φ_{EQ}は流出瓦礫による影響，Φ_{UF}は火災気流と輻射熱による影響，Φ_{TS}は市街地の浸水による影響，Φ_{EV}は避難場所による影響である。瓦礫の流出箇所や津波の浸水箇所では，避難者がそこを通行することはできないと考え，Φ_{EQ}とΦ_{TS}には十分に大きな値を与える。火災危険を避ける行動を記述するためのΦ_{UF}は，市街地風に吹き倒された火災気流による温度上昇に，輻射熱流束を便宜的に温度換算した値を足し合わせることで与える。これに必要な温度上昇や輻射熱流束は市街地火災の物理的延焼性状予測モデルを用いて計算する。Φ_{EV}は避難者を避難場所に誘引するための量であり，避難場所からの道路ネットワークに沿った最短距離を与える。

(2) 避難開始モデル

町丁目の人口に応じて，避難者一人一人を建物内に配置する。このとき，避難者の一部は，揺れにより倒壊した家屋や転倒した家具の下敷きとなって，屋内に閉じ込められる。この閉じ込め確率を建物の倒壊率を用いてモデル化し，

(A) 閉じ込め者
(B) 非閉じ込め者

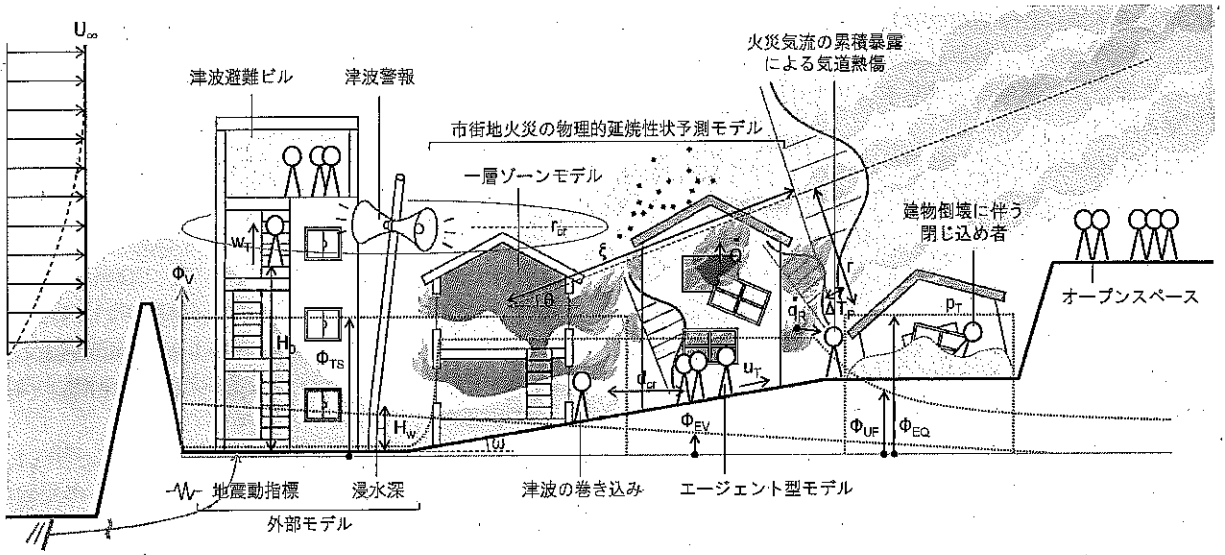
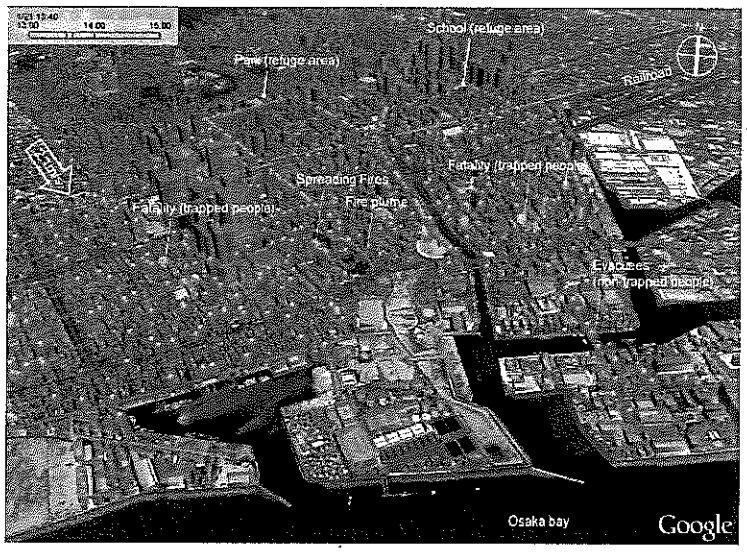
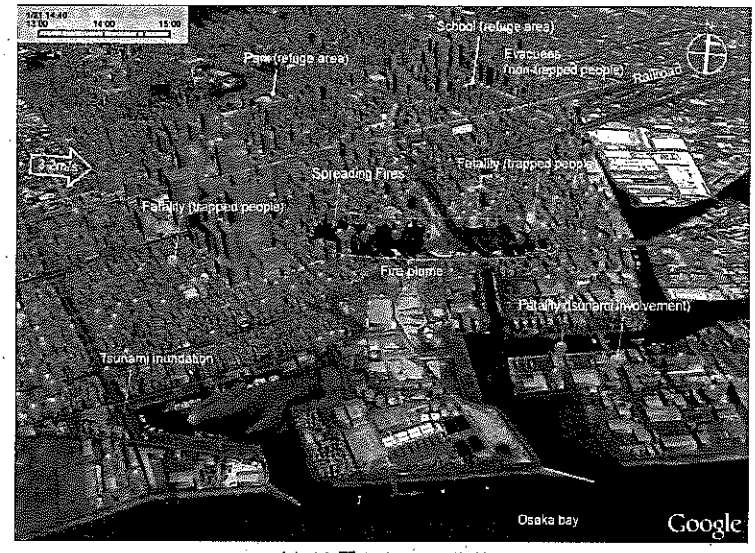


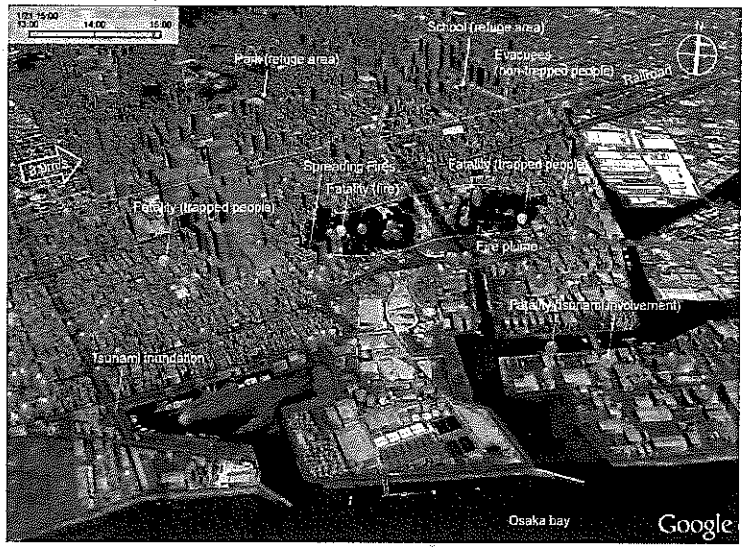
図1 地震動・火災・津波のマルチハザード広域避難モデルの概念図



(1) 地震から 40 分後



(2) 地震から 100 分後



(3) 地震から 120 分後

図 2　シミュレーション結果の一例(神戸市長田区)

の判定を確率論的に行う。「閉じ込め者」は避難を行うことができず，建物内から動くことはできない。逆に，閉じ込めを回避した「非閉じ込め者」は避難を行うことができる。

「非閉じ込め者」は，次の避難開始条件のうち，いずれか一つが満たされた時点で避難を開始する。

(B-ⅰ) 地震動に伴い自発的に避難を決意する
(B-ⅱ) 火災気流または輻射熱の影響が許容限界を超える
(B-ⅲ) 屋外拡声器から放送される津波警報を聴取する
(B-ⅳ) 市街地を遡上する津波の先端が一定の距離まで近づく

(3) 人的被害モデル

避難場所に到着した時点で避難を完了する。この避難場所については，(1) 高台等の屋外にあるオープンスペースと，(2) 津波避難ビルといった一定の高さを持った堅牢な建物を考え，これらに近接するノードを避難場所の入口とする。

市街地を避難する「非閉じ込め者」は，次の死亡条件のうち，いずれか一つが満たされた時点で死亡する。

(B-1) 火災気流の吸入量（曝露温度の時間積分）が限界値を超え，気道熱傷が生じる
(B-2) 一定の深さを持った津波に巻き込まれる

一方，建物内に残され避難が不可能な「閉じ込め者」は，次の死亡条件のうち，いずれか一つが満たされた時点で死亡する。

(A-1) 閉じ込め時の受傷度で定まる生存限界時間が経過する
(A-2) 生存中に建物が火災に巻き込まれる（生き埋め焼死）
(A-3) 生存中に建物が津波に巻き込まれる（生き埋め水死）

2.3 地震火災延焼モデル

本モデルでは，既往の地震被害想定で計算される地震動・津波の想定結果を入力条件として活用することとし，市街地を燃え広がる火災の延焼性状については，市街地火災の物理的延焼性状予測モデル[16,17]を用いて時系列に予測する。ここでは，市街地火災を複数の建物火災の集合

と捉え，他の建物火災の熱的な影響下における個々の建物の火災性状を予測することで，市街地全体の火災延焼性状の予測につなげる。このとき，内部空間が保持された非倒壊建物については，一層ゾーンモデルの概念に基づいた火災性状の計算を行う。このモデルでは，建物を構成する各部屋を検査体積とみなし，検査体積ごとに定式化される支配方程式を時系列に解くことで，火災性状を予測する。一方，地震動により倒壊した建物については，内部に収納されていた可燃物や構造材が屋外に露出し，これが外気に曝される中で燃焼すると考え，火災性状を木材クリブの燃焼性状で近似する。燃焼中の建物から周辺の建物への火災拡大は，1）火災建物からの輻射熱伝達，2）火災気流による対流熱伝達，3）火の粉の飛散の三要因により，もたらされるものと考える。

3. 南海トラフ地震被害想定への適用

兵庫県南部地震（1995）により甚大な被害を被った神戸市長田区では，倒壊と焼失を免れた木造密集市街地が，今も標高4m未満の沿岸部に広がっており，約49haが国の重点密集市街地に指定されている。内閣府（2012）により公表された南海トラフ地震の被害想定では，最大で震度6弱の揺れが市街地を襲った後，86分後に高さ3mの津波が襲来すると予想されている。兵庫県では，標高4mより低い地域を津波警戒区域とし，市民，事業者，防災関係機関，行政が津波への警戒意識を持ち，広く津波に備えることとしている。ここでは，内閣府（2012）により想定される最大クラスの地震動と津波がこの地域に襲来する事態を前提とし，これまでに整備した避難モデルを用いたシミュレーションを行った。ここでは，地震から2時間分のシミュレーションを一回の試行とし，

①人口条件（地震時の人口分布）
②出火条件（出火の数と場所）
③気象条件（風速と風向）

の組み合わせを考慮した2000回の試行を行った。

図2はシミュレーション結果の一例を示したものである。ただし，避難者については，計算人数から15人に1人を無作為に抽出して可視化してある。なお，当該地域の計測震度の平均は5.57であり，1m以上の浸水を伴う市街地の面積は4.95haであった。このシミュレーション結果では，13時に発生した地震に伴い，木造密集市街地を構成する約1万棟の建物の一つから火災が発生した。その後，平均風速2.7m/sの市街地風に煽られて，隣接する建物へ次々に延焼を起こし，計算終了の120分の時点で240棟が火災に包まれた。地震の発生時には，約3万8千人の人が市街地に滞在しており，延焼火災の拡大や津波警報の発表に伴い，北部にある公園と学校に向かって避難が行われている（40分後）。一方で，倒壊した建物に閉じ込められた人が約50名発生している。その後，延焼火災の風下側には，市街地風に吹き流された火災気流の影響が顕著な領域が生じており，86分後に襲来し市街地を遡上した津波と合わせて，円滑な避難が困難となっている（100分後）。津波の浸水地域では，ぎりぎりまで避難をしなかった人や生き埋めとなった人が津波に巻き込まれ，死亡者が発生している。また，道路閉塞により逃げ場を失った避難者が長時間火災気流に曝されたり，生き埋めとなった人が延焼火災に巻き込まれたことで，約90名の死亡者が発生する結果となった（120分後）。

4. まとめ

地震動，火災，津波のマルチハザード広域避難モデルの開発を行った。のモデルは，筆者が開発してきた市街地火災専用の広域避難モデルに，地震動と津波に関係するいくつかのサブモデルを追加し，モデルの拡張を行ったものである。開発したモデルを南海トラフ地震被害想定に適用し，神戸市長田区沿岸部の木造密集市街地を対象に，モデルの活用例を示した。今後は，モデルを活用することで，防災対策の実施効果に関する総合的な評価を進めていく。

参考文献

1) 西野智研：火災気流を考慮した市街地火災避難モデルの地震動，火災および津波の複合災害への拡張，日本建築学会計画系論文集，Vol. 79，No. 699，pp. 1079-1088，2014. 5
2) 岡田光正・吉田勝行・柏原士郎・辻正矩：大震火災による人的被害の推定と都市の安全化に関する研究―（1）延焼過程を組み込んだ避難シミュレーションシステムの設計―，日本建築学会論文報告集，No. 275，pp. 141-148，1979. 1
3) 森脇哲男・松本博文・江田敏男：大震火災時の避難シミュレーション，日本建築学会論文報告集，No. 341，pp. 142-149，1984. 7
4) 小坂俊吉・堀口孝男：広域避難シミュレーション手法による大震火災時の群集行動解析，土木学会論文集，No. 365，pp. 51-59，1986. 1
5) 青木義次・大佛俊泰・橋本健一：情報伝達と地理イメージ変形を考慮した地震時避難行動シミュレーションモデル，日本建築学会計画系論文集，No. 440，pp. 111-118，1992. 10
6) 馬渕ゆみ・瀬尾和大・元木健太郎・上田遼：木造密集市街地における地震時の広域火災に対する避難計画に関する研究，地域安全学会論文集，No. 10，pp. 409-415，2008. 11
7) 中尾美穂・田中哮義：都市火災時における火災気流による危険度を考慮した住民避難性状に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2，pp. 253-254，2004. 8
8) 西野智研・円谷信一・樋本圭佑・田中哮義：関東大震災における東京市住民避難性状の推定に関する研究―ポテンシャル法に基づく地震火災時の避難シミュレーションモデルの開発―，日本建築学会環境系論文集，No. 636，pp. 105-114，2009. 2
9) Nishino, T., Tanaka, T. and Tsuburya, S.: Development and Validation of a Potential-Based Model for City Evacuation in Post-Earthquake Fires, Earthquake Spectra, Vol.29, No.3, pp.1-26, 2013.8
10) 今村文彦・鈴木介・谷口将彦：津波避難数値シミュレーション法の開発と北海道奥尻島青苗地区への適用，自然災害科学 20（2），pp. 183-195，2001. 8
11) 齋藤崇・鏡味洋史：マルチエージェントシステムを用いた津波からの避難シミュレーション―奥尻島青苗地区を例として―，日本建築学会計画系論文集，No. 597，pp. 229-234，2005. 11
12) 渡辺公次郎・近藤光男：津波防災まちづくり計画支援のための津波避難シミュレーションモデルの開発，日本建築学会計画系論文集，No. 637，pp. 627-634，2009. 3
13) 藤岡正樹・石橋健一・梶秀樹・塚越功：津波避難対策のマルチエージェントモデルによる評価，日本建築学会計画系論文集，No. 562，pp. 231-236，2002. 12
14) 鈴木介・今村文彦：住民意識・行動を考慮した津波避難シミュレーションモデル，自然災害科学 23（4），pp. 521-538，2005. 2
15) 岡本睦・目黒公郎：避難行動シミュレーションに基づく津波避難困難度マッピングシステムの開発，生産研究，Vol. 59，No. 3，pp. 37-40，2007
16) 西野智研・円谷信一・樋本圭佑・田中哮義：準定常的な計算法を用いた都市火災延焼性状の簡易予測モデルの開発，日本建築学会環境系論文集，No. 647，pp. 9-18，2010. 1
17) 西野智研・樋本圭佑・田中哮義：住民による消火活動を考慮した飛び火現象の確率論的予測モデルの開発，日本火災学会論文集，Vol. 60，No. 2，pp. 11-20，2010. 10

電子防災情報システムによる迅速な情報の集約と共有

栗栖　悠貴[1]・石関　隆幸[2]

[1]国土地理院　企画部　防災推進室　（〒305-0811 茨城県つくば市北郷1番）

[2]国土地理院　企画部　（〒305-0811 茨城県つくば市北郷1番）

国土交通省では，南海トラフ巨大地震で想定されるような広域に発生する被害の膨大な情報を迅速に情報集約・共有することでよりスピード感のある応急活動に資するよう，電子防災情報システムを開発している．集約すべき情報は災害発生後の経過時間によって異なるため，システムの機能を情報空白時間帯の補完，省内・関係機関との情報共有支援，現地でのオペレーションの補完に分けて開発している．電子防災情報システムを導入することで，被害情報を迅速に地図上に見える化し現地の状況を視覚的に把握することでオペレーションの効率化が期待できる．

キーワード　電子防災情報システム，国土交通省南海トラフ巨大地震対策計画【第１版】，見える化

1. 背景と目的

2013年に内閣府より公表された南海トラフ巨大地震に伴う被害想定（図-1および表-1）は，甚大な被害が広域に生じるまさに国家的危機を引き起こす災害であることを指摘している．このような危機に備えるべく，国土交通省の総力を挙げて取り組むべきリアリティのある対策として国土交通省南海トラフ巨大地震対策計画【第１版】が策定された．その中で，重要テーマの１つとして，甚大かつ広範囲の被害に対しても被災地の情報を迅速・正確に収集・共有し，応急活動や避難につなげることが挙げられた．このような経緯を踏まえ，被害情報を迅速に集約共有し，応急活動を適切・円滑に実施できるよう電子防災情報システムを開発している．

本稿では，電子防災情報システムについて，概要と導入することによって得られる効果のほか，平成26年８月豪雨における活用事例を紹介する．

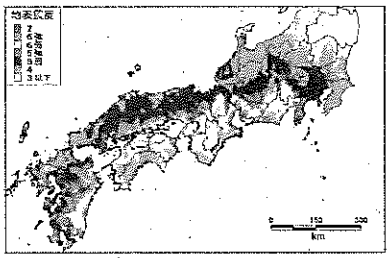


図-1　最も陸側で地震が発生した場合の震度分布（南海トラフ巨大地震の被害想定について（第二次報告））

表-1　最も陸側で地震が発生した場合の被害想定（南海トラフ巨大地震の被害想定（第二次報告））

	想定被害額
資産等への被害【被災地】	169.5兆円
経済活動への被害【全国】（生産・サービス低下に起因）	44.7兆円
経済活動への被害【全国】（道路寸断に起因）	6.1兆円

2. 被害情報集約に関する現状と課題

災害が発生した場合，現状では，集約される被害情報は膨大な文字を主体とした情報である（図-2）．そのため，南海トラフ巨大地震のような深刻な被害が広域に無数に発生する事態が生じた場合，通常の緊急調査では被災状況の把握や迅速な対応が困難となり，救命救急等の応急活動に遅れが生じる．

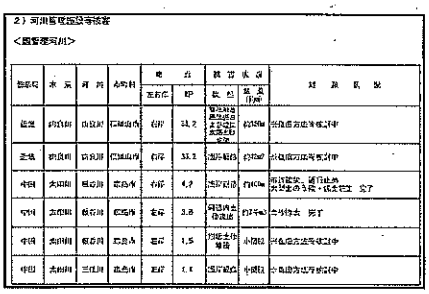


図-2　文字による被害情報（8月16日から続く大雨等による被害状況について（第32報）より一部抜粋）

また，災害発生後の経過時間により集約される情報量に違いがあるため，それぞれの段階で災害対応時の課題が異なる．災害発生直後の情報空白時間帯では被害規模を予測することが困難であり，被害情報が集約されだす時間帯では散逸する各種被害情報を一元的に共有することが課題である．一方，応急復旧活動の時間帯では，国土交通省各局のグループの活動状況を相互に共有できなければ効率的な活動を実施できない．

これらの課題を解決すべく，電子防災情報システムでは災害発生後の経過時間に対応した機能を開発している．

3. 電子防災情報システムの概要

電子防災情報システムは，国土地理院の基盤地図や精密標高データ，あらかじめ作成された被害想定，現場からの写真などの情報，所管施設の被害状況や応急復旧活動状況等を重ね合わせることで一元的に集約するシステムである（図-3）．

また，災害対策車両の位置や防災ヘリの画像等をリアルタイムに地図上に表示するなど，迅速な情報共有により円滑なオペレーションを支援するシステムとして利用される．

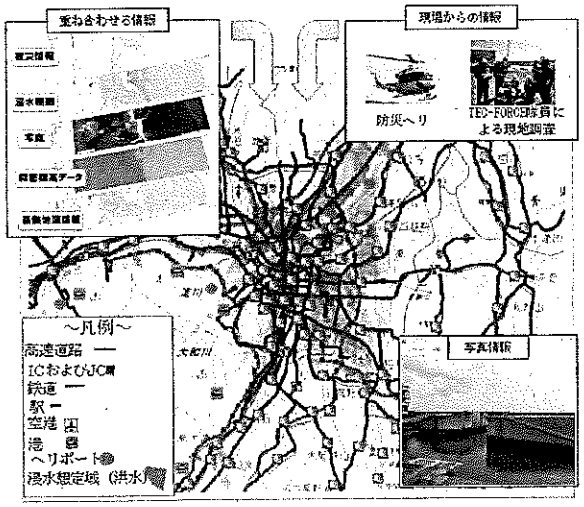


図-3 情報集約と表示イメージ図（大阪平野の例）

4. 電子防災情報システムの機能と効果

災害時に散逸する被害情報や現地の活動情報を地図上に迅速かつ一元的に集約することにより，総合的に被害規模を把握することが可能である．

(1) 災害発生直後の機能と効果

現地で緊急調査や点検を開始する時間帯は，情報空白の時間帯となる．この時間帯には，人口分布や各種インフラなどの事前登録情報と震度分布等を重ね合わせることで被害の規模を予測し，初動対応で優先する地域を検討することが可能である（図-4）．

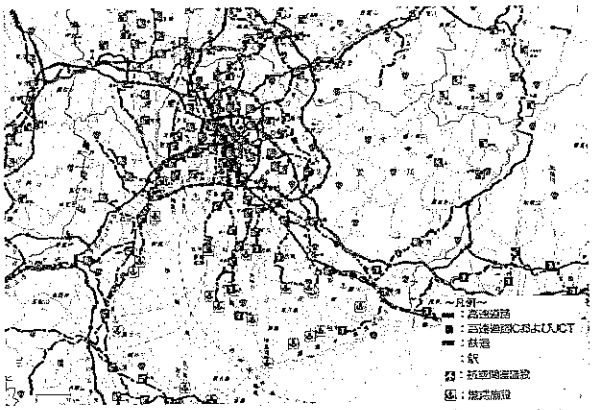


図-4 各種施設と震度分布の重ね合わせ図（震度分布は南海トラフ巨大地震の被害想定について（第二次報告））

(2) 被害が収集され出す時間帯の機能と効果

a) 防災ヘリ画像の表示

防災ヘリによる緊急調査には，①モニターで確認している者が表示している映像の位置を把握できない②リアルタイムで閲覧できなかった者に映像を提供するためにはファイル共有が必要であり時間を要するという課題があった．電子防災情報システムでは，ヘリサットシステムと連携し撮影している映像をリアルタイムで地図上に表示することで，場所を特定し現地の状況を迅速に共有できる（図-5）．

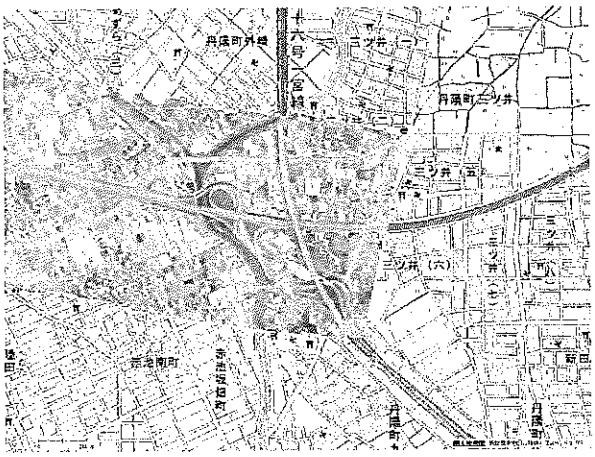


図-5 防災ヘリ映像と地形図の重ね合わせ

b) 現地写真の表示

従来，現地の被害状況を写真で報告する場合，撮影位置を表示した図も合わせて報告する必要があったため，情報共有に時間を要していた．電子防災情報システムでは，GPSによる情報取得が可能なカメラや携帯電話で撮影した画像をメールで送付することにより，被災現場の位置と写真を迅速に共有することが可能である（図-6）．

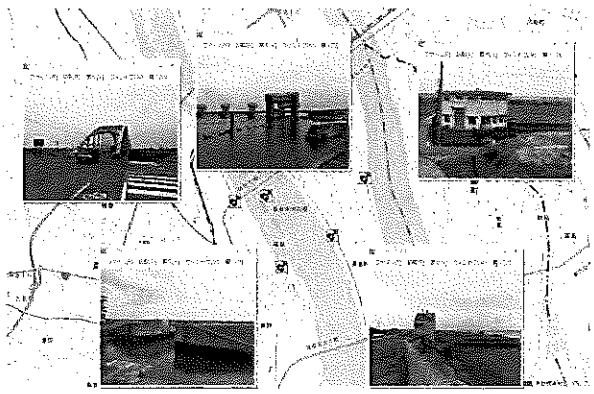


図-6　現地写真の表示

c) 被害状況の表示

道路管理用情報共有プラットフォームや災害対策車両の車両位置情報共有化システム等の既存システムとの連携と合わせて，膨大な文字情報を主体とする被害報告から位置情報を解析し事前登録情報と照合することで，被害状況を地図に表示できる．また，地図に作図する機能を搭載することにより，関係機関から収集した一般被害情報を重ね合わせることができる．被害情報を一元的に地図に表示することで，被害の全体像を把握できる（図-7）．

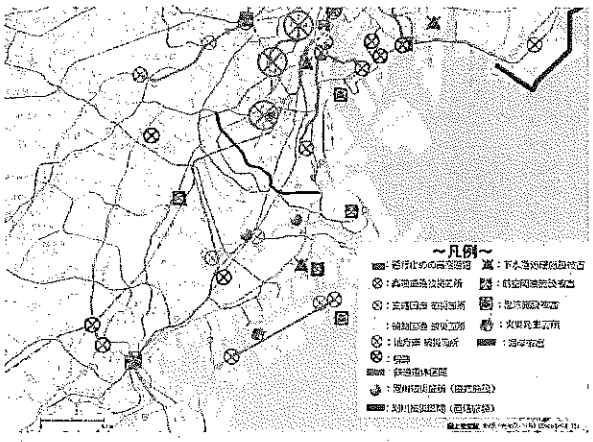


図-7　各種被害状況の表示

(3) 応急復旧活動の時間帯の機能と効果

災害発生箇所や進捗状況を一元的に地図に表示することで，各部隊の活動状況を相互で共有し効率的な活動ができる．また，避難勧告地域や避難所の開設情報なども表示することで，被災地域の支援活動への基礎情報を提供できる（図-8）．

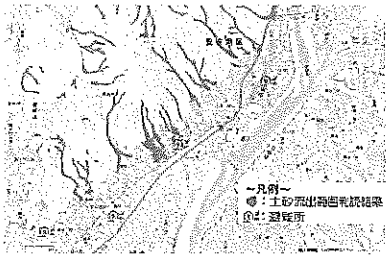


図-8　災害発生箇所と避難情報の表示

5. 平成26年（2014年）８月豪雨対応事例

2014年９月１日に開催された国土交通省非常災害対策会議において，電子防災情報システム（暫定版）を活用して現地の活動状況が報告された（図-9）．被害状況及び現地活動を見える化したことで，これまでより短い会議時間で現地の状況を共有し，今後の対応への迅速な意思決定を支援した．

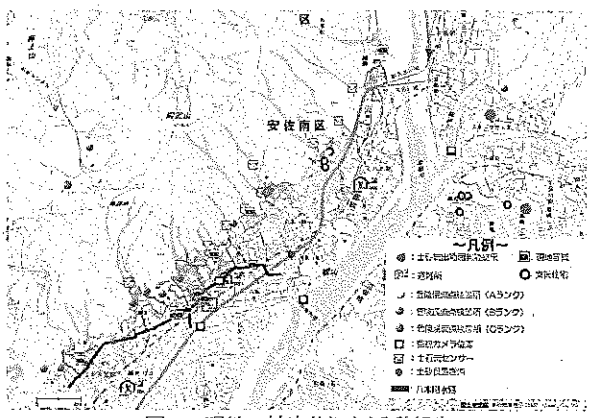


図-9　現地の被害状況と活動報告

なお，当会議が応急復旧活動の時間帯であったことから，表示した被害情報と現地活動情報は表-2のとおりであった．

表-2　応急復旧活動時の活動情報と被害情報

被害に関する情報	土砂流出範囲，生活用水路位置など
現地活動に関する情報	現地写真，点検箇所，大型土嚢設置場所，土砂仮置き場，監視カメラ，土石流センサーなど
被災者支援に関する情報	避難所，支援住宅など

6. 今後の課題と改善策

被災地の情報を迅速・正確に収集・共有し，適切・円滑なオペレーションを実現するためには，文字情報を主体とする報告から地図に表示するデータを主体とする報告に重きをおく必要がある．そのため地理院マップシートなどのツールを用いたデータ作成マニュアルを整備す

ることで，現場の担当者レベルで簡易に地図に表示するデータを作成し報告するといった積極的な取り組みにより，迅速な情報共有が期待される．

また，電子防災情報システムに事前登録する情報に誤りがあると現地の活動に混乱が生じる．そのため，各種の事前登録情報は常に最新の情報となるよう更新が必要である．各部局で責任を持って情報の更新を図れるよう簡易な様式によるデータ更新作業を運用することが必要である．

参考文献

1) 中央防災会議（2014）：南海トラフ巨大地震の被害想定（第二次報告）
2) 国土交通省（2014）：国土交通省南海トラフ巨大地震対策計画【第1版】
3) 国土交通省（2014）：8月16日から続く大雨等による被害状況について（第32報）

茨城港常陸那珂港区
長周期波対策施設の効果検証

菅原　修一[1]

[1]関東地方整備局　鹿島港湾空港整備事務所　第一工務課
（〒314-0021　茨城県鹿嶋市大字粟生 2254）

国際海上コンテナターミナルを有する茨城港常陸那珂港区は、コンテナ、ＲＯＲＯ船を中心に多くの船舶が荷役を行っているが、接岸しても船体動揺により荷役できないケースや動揺を抑えるためにタグボートで押したまま荷役を行うケースなど長周期波の影響による荷役障害が度々発生していた。対応策として、2009年～2010年に港内2箇所に長周期波対策施設として捨石傾斜堤を整備した。整備後の効果の実態を把握するため、「港湾利用者に対するヒアリング」を実施するとともに、「港内外で観測された波浪データの比較検証」を行い、長周期波対策施設の整備前後の効果検証を行った。

キーワード　長周期波、荷役限界波高、荷役稼働率、効果検証

1.　茨城港常陸那珂港区の概要

茨城港常陸那珂港区は太平洋に面し北米航路へのアクセスに優れた立地条件や、北関東自動車道に直結していることなどの地理的優位性を活かし、北関東地域の経済・交流活動を広域的に支援するための首都圏の「北側ゲートウェイ」として機能している。北米・アジア等への貿易の拠点港及び太平洋側各港への国内長距離輸送の拠点港として、外貿12航路、内貿3航路（2014年8月現在）が就航している。また、大手建設機械メーカーである日立建機(株)、(株)コマツが立地(図-1)し、建設機械を生産。インドネシアや北米等へ輸出される建設機械の一大輸出拠点として機能している。そして、常陸那珂港区の北ふ頭に隣接して、東京電力（株）常陸那珂火力発電所が立地(図－1)しており、北関東地域の生活を支えるエネルギー拠点として、重要な役割を担っている。

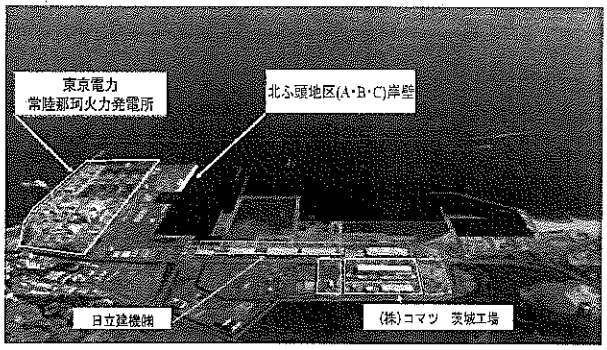
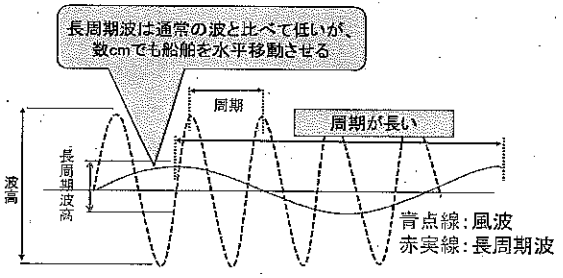


図-1　茨城港常陸那珂港区（2013年2月撮影）

2.　常陸那珂港区が抱える問題「長周期波」

(1)　長周期波とは

長周期波は、通常の波浪（風波）よりも周期が長い波で、風波の周期は数秒から20秒程度であるのに対して、30秒から300秒周期の波である(図-2)。また、長周期波は大型の係留船舶に作用すると、長周期波高が数cmであっても、その係留系のサージング固有周期と共振して数十cm以上の振幅を有する水平運動を引き起こし、荷役障害を起こす恐れがあり、目視では確認が困難とされている。図-3に示す港内長周期波影響評価マニュアルによると長周期に対する「荷役限界波高」はコンテナ船、鉱石船等(10,000~70,000DWT)であれば0.10mとあり、こうした低い波高でも船舶に荷役障害を起こす特徴がある[1]。また、後述するが、長周期波対策施設設置前の常陸那珂港区においては、港内に入った長周期波高は港外に比べて高く、港内で増幅する傾向があることが港内外の波浪観測データの波高比からわかっている。



図－2　長周期波とは

レベル	想定される条件	荷役限界波高 (m)
1	サージングについて荷役許容動揺量が比較的大きな船種またはサージングの固有周期が 1.5min 以下の船舶 (中型船：1,000～5,000 DWT)	0.2
2	サージングについて荷役許容動揺量が中程度の船種およびサージングの固有周期が 1.5min 以下の船舶 (一般貨物船：5,000～10,000 DWT)	0.15
3	サージングについて荷役許容動揺量が小さな船種およびサージングの固有周期が 2～3min の船舶 (コンテナ船，鉱石船等：10,000～70,000 DWT)	0.1

(「港内長周期波影響評価マニュアル[1]」P.19より)

図-3　長周期波に対する荷役限界波高

(2) 長周期波の問題点

長周期波による荷役時の影響は、図-4に示すサージング（前後揺れ）やスウェイング（左右揺れ）、ヨーイング（船首揺れ）などの船体動揺によって、係留索の破断や、揺れにより荷役機械を使用できないなどの障害が生じる。常陸那珂港区北ふ頭岸壁（ＡＢＣ）における荷役障害発生回数は過去に多い月で10回以上発生していた。こうした荷役障害の多発によって、事業促進を図る港湾利用者の生産活動が阻害され、火力発電所の担う電力需要への対応力の低下、さらには常陸那珂港区の信頼性の低下に繋がり、結果「地域の活性化に大きな障害」となる。従って荷役障害の一因である「長周期波」の対策は当事務所として急務であった。

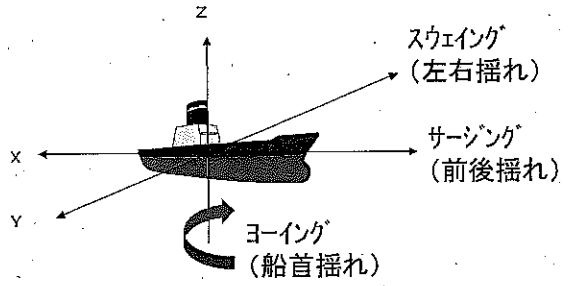


図-4　長周期波に対する荷役限界波高

3.　長周期波対策の取り組み

(1) 長周期波の対策例

他港においても長周期波によると考えられる係留索の破断や荷役障害が問題となっている。この問題のハード的な対策として、「1. 防波堤を整備し長周期波の侵入を防止すること」、「2. 港内に反射波を低減させる消波機能付き対策施設を設置すること」、「3. 係留索の改良によって船体動揺の固有周期を調整すること」などがある。また、ソフト的な対策として、「4. 長周期波の波高を予測し荷役可否判断を行うこと」がある。このうち、当事務所では1. 2. 4に取り組んできた。本報告では2の「反射波を低減する消波機能付き対策施設」の整備概要と整備後の効果検証について後述する。

(2) 長周期波対策施設の整備

2009 年～2010 年に常陸那珂港区では北防波堤の護岸前面および仮置堤前面において、傾斜堤タイプの長周期波対策施設の整備を行った。設置位置、構造諸元は図-5.6 に示す。

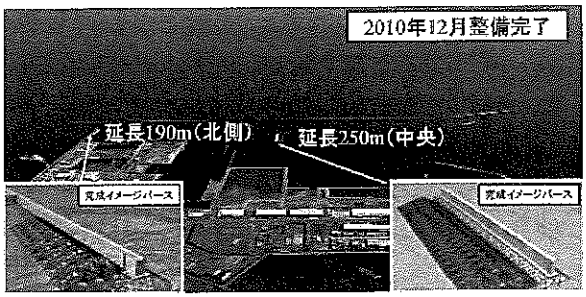


図-5　長周期波対策施設・設置位置

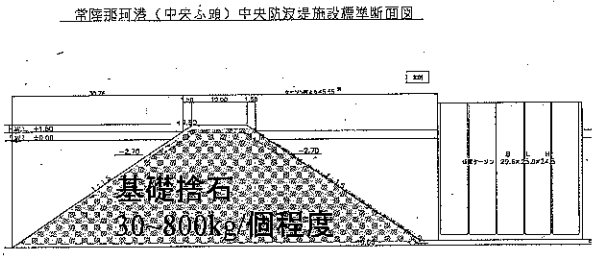


図-6　長周期波対策施設　構造諸元

対策施設の構造については、既往の調査報告を参照すると「(a)傾斜堤タイプの捨石堤構造、(b)スリット構造の背後に捨石層構造、(c)単一スリットによる渦消波構造」の３タイプが主として提案されているが、常陸那珂港区においては、適用実績、経済性、施工工程の観点から、早期効果発現のため「傾斜堤タイプの捨石堤構造」を最も適する構造タイプとして採用した。

配置検討にあたり、図-7 に示した Case. 01～Case. 06 までの配置案について、波浪変形計算を行い荷役稼働率の算定を行った。波浪変形計算には、海浜部による反射波の低減効果、および消波構造の施設検討の際に反射率を考慮可能な、ブシネスク方程式による「非線形波浪モデル」を用いた。Case. 01(L＝190m)および Case. 02(L＝250m)は Case. 03～Case. 06(各 L＝500m)に対し延長は短いもののこれらと同程度(荷役稼働率±0. 3%)の効果が見られた。従って、まず Case. 01, Case. 02 を整備するものとした。なお、Case. 01, Case. 02 を整備する場合、図-8 に示す諸条件のもと荷役稼働率の計算を行った結果、北ふ頭Ａ岸壁にて整備前 91. 2%、整備後 94. 1%となった[2]。

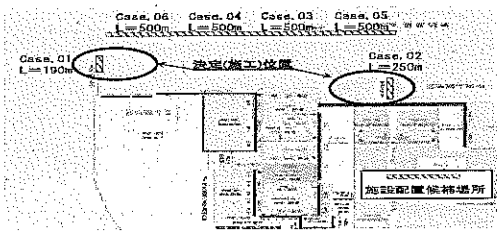


図-7　長周期波対策施設　配置案

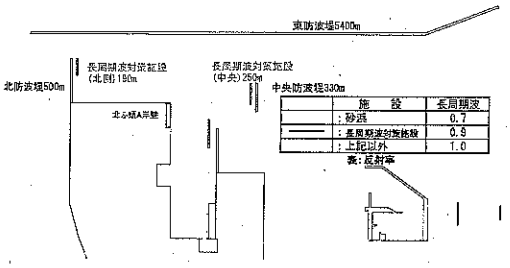


図-8 荷役稼働率算定の諸条件

4. 長周期波対策施設の効果検証

(1) 効果検証の方法

長周期波対策施設の整備効果を検証するために、図-9に示す港外・港内の波浪観測観測地点より長周期波施設の整備前後各1年分の波浪観測データを取得した。取得した波浪観測データをもとに、整備前後の「港内と港外の波高比」を比較した。さらに、算出した波高比を「2001年～2013年分」の港外算出データに乗じることにより、整備前後の荷役稼働率を算定した。加えて、港湾利用者に対するヒアリングにより、「北ふ頭岸壁（ABC）の荷役障害の実績」、「長周期波対策の効果」を確認した。

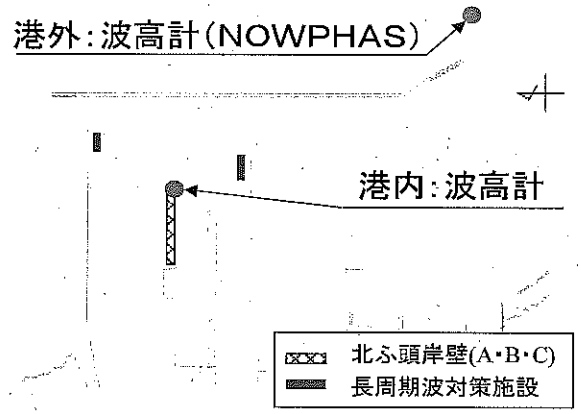


図-9 波浪観測データの取得位置と施設の位置関係

(2) 波浪データによる整備効果の検証

収集した港外と港内の波浪観測データを用いて、長周期波の波浪台帳を作成した。生データの収集期間は、長周期波対策施設の施工前1年分(2004年8月～2005年7月)施工後の1年分(2012年6月～2013年5月)とした。結果、整備前後の港外の有義波および周期帯別の長周期波に顕著な差は認められない。これに対し、港内の周期帯別の長周期波は、整備前の長周期波高が0.1～0.2mであるのに対し、整備後の長周期波高は荷役限界波高である0.1m以下が多く出現している。また、長周期波の波浪台帳をもとに港外と港内の長周期波高を周期帯別に相関解析を実施することにより、港外に対する港内の波高比の変化を整備前後で比較した。結果、図-10に示すとおり、長周期波(30s～300s)の整備前の波高比が1.57に増幅していたのに対し、整備後の波高比は、0.60に低減していた。但し、検討の諸条件として東防波堤の総延長が2004年8月時点(整備前の波浪観測データ採用時)で4,680m、2012年6月時点(整備後の波浪観測データ採用時)で5,400mとなるため、整備後の波高比が示す値は東防波堤の整備とあわせた総合的な整備効果である。

整備前後の波高比を収集したNOWPHASの長周期波に乗じることにより、整備前と整備後の港内長周期波高頻度表を推定することができる。そこで、NOWPHAS（2001～2013年）の長周期波に上記の波高比を乗じて、港内長周期波高頻度表（2001～2013年）を作成し荷役稼働率を算出した。なお、荷役限界波高は図-3に示す0.10mとした結果、荷役稼働率は長周期波対策施設整備前は68.6%に対して、整備後は97.2%となり、28.6%上昇している(図-11)。

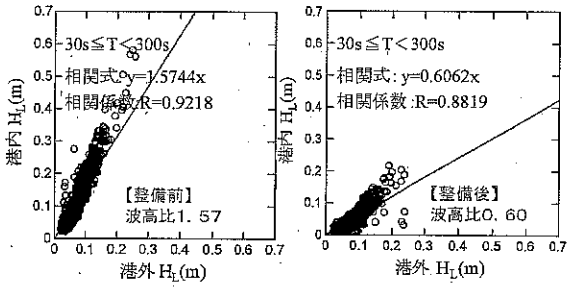


図-10 長周期波対策施設整備後の港外と港内における長周期波高の相関図

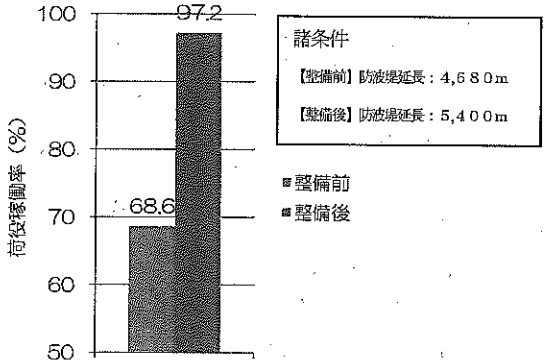
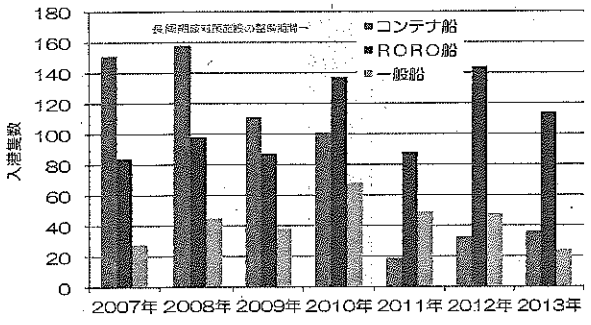


図-11 長周期波対策施設 整備前後の荷役稼働率

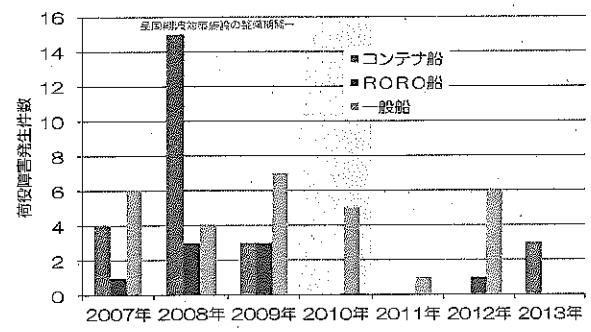
(3) ヒアリングによる整備効果の検証

常陸那珂港区を利用する日立ポートサービスより提供された、北埠頭（ABC岸壁）の荷役障害の実績（入港隻数・荷役障害発生件数）を図-12・13に示す。さらに、荷役障害発生件数を入港実績で除した荷役障害発生確率を図-14に示す。整備前の2009年10月以前は、コンテナ船の入港が10隻／月の頻度であったのに対し、整備後の2011年3月（東日本大震災）以降は、最初の1年間は入港が無く、2012年5月以降も4～5隻／月の頻度と入

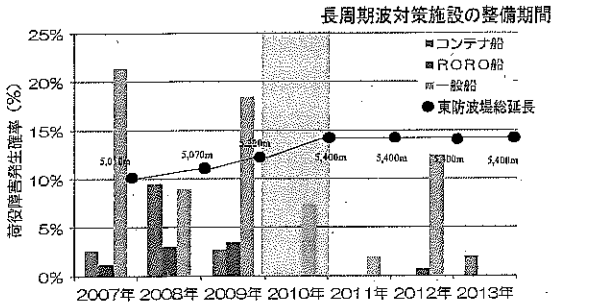
港隻数が減少している。一方、RORO船の入港は、整備前が6～10隻／月であるのに対し、整備後が10～14隻／月と頻度が高くなっている。一般船の入港実績は、整備前後で大きな変化は認められない。荷役障害の発生件数は、整備前にコンテナ船の荷役障害が多く、整備後に減少している。RORO船と一般船の荷役障害の発生件数に大きな変化は認められない。荷役障害発生確率について、コンテナ船、RORO船、一般船ともに整備前に比べて整備後は低下している。荷役障害発生確率(年間)は、RORO船は整備前１～3%に対し整備後0～1%と減少傾向にあり、コンテナ船で整備前3～9%に対し整備後は0～2%で減少傾向にあり、一般船で整備前9～21%に対し整備後は0～13%で減少傾向にある。また、港湾利用者（株式会社茨城ポートオーソリティ、日立ポートサービス株式会社）に長周期波対策の効果についてヒアリングした結果、「長周期波対策施設の整備前に比べて、整備後の荷役障害が減少した印象を持っている。」と回答が得られた。



図－12　年別の入港実績の経年変化図



図－13　年別の荷役障害発生件数の経年変化図



図－14　年別の荷役障害発生確率の経年変化図

5. まとめ

(1)整備効果(整備前の問題がどうなったか)

・長周期波(30s～300s)の整備前の波高比が1.57で増幅していたのに対し、整備後の波高比は、0.60に低減していた。

・荷役稼働率は長周期波対策施設整備前は68.6%に対して、整備後は97.2%となり、28.6%上昇した。

・荷役障害発生確率(年間)は、RORO船は整備前１～3%に対し整備後0～1%と減少傾向にあり、コンテナ船で整備前3～9%に対し整備後は0～2%で減少傾向にあり、一般船で整備前9～21%に対し整備後は0～13%で減少傾向にある。

・港湾利用者は「荷役障害が減少した印象を持っている」

(2)外部経済効果

長周期波対策施設整備前に問題であった荷役障害は、長周期波対策施設整備後に減少傾向にあり、岸壁利用者の事業促進に支障をきたしていない。結果、地域の活性化へ寄与していると思われる。

(長周期波施設整備後の港湾利用者の動向)

2011年1月　中国・東南アジア定期RORO　開設

2011年2月　南アメリカ定期RORO航路　開設

2011年6月　東南アジア定期RORO航路　開設

2012年3月　欧州定期RORO航路　開設

2012年10月　中国・フィリピン・ベトナム・タイ定期コンテナ航路　開設

2013年　常陸那珂火力発電所2号機運転開始(出力100万KW増)

(3)考察

・ヒアリングにおいて荷役障害の回数のみを確認したが、荷役障害は風や風波によっても発生するため「荷役障害の理由を細かく調査」することで、整備効果をさらに精度良く検証出来ると考える。

・今回の整備効果の検証によって、長周期波対策施設と東防波堤の総合的な整備によって荷役稼働率が改善していることを確認出来た。当事務所管轄の鹿島港の整備にあたっても、本整備効果の検証結果を活用していきたい。

参考文献

1)港内長周期波影響評価マニュアル：(財)沿岸技術研究センター2004年８月

2)茨城港常陸那珂港区長周期波対策施設整備構想検討業務報告書：横浜港湾空港技術調査事務所 2010年１月

人工衛星SAR画像による
河道閉塞箇所の緊急判読調査手法の提案

神山　嬢子・江川　真史・國友　優

国土技術政策総合研究所　土砂災害研究部　土砂災害研究室（〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地）.

豪雨等により、大規模崩壊等が広域的に発生している恐れがあると認められる場合、決壊等による二次災害を防止するためには、河道閉塞の有無や位置、規模を迅速に把握する必要がある。ここでは、ヘリコプターによる目視調査が困難な夜間や悪天候時でも迅速に調査を行い、河道閉塞を覚知することを目的とした、合成開口レーダ（SAR）画像の緊急判読調査手法を提案する。

キーワード　河道閉塞，判読調査，人工衛星，合成開口レーダ（SAR）

1. はじめに

近年、2004年新潟県中越地震や2008年岩手・宮城内陸地震、2011年9月の台風12号による豪雨など、地震や豪雨により大規模な河道閉塞が複数形成される事例が見られる。このような河道閉塞の形成につながる大規模崩壊等の異常現象が広域的に発生する恐れがある場合には、河道閉塞の有無や位置、規模を広範囲から迅速に把握し、決壊等による二次災害を防止する必要がある。

従来の被災状況把握には、ヘリコプターによる目視調査が用いられるが、夜間や悪天候時には迅速な調査が行えないことや、広範囲の調査に時間がかかるといった課題がある。

そこで、夜間や悪天候時でも広域的な調査を行い、より迅速に河道閉塞の有無・位置・規模を把握することを目的として、合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar：以下、「SAR」という。）画像を用いた河道閉塞箇所の緊急判読調査手法の検討を行った結果を報告する。

2. SAR観測・画像の特性

SARは、アンテナから地表面に対し斜めに照射したマイクロ波が対象物で散乱してアンテナ方向へ戻る後方散乱波を観測する能動型センサで、人工衛星や航空機に搭載されている。マイクロ波は雲を透過し、観測に太陽光を必要としないため、夜間や悪天候時でも観測できるという利点がある。

一方、SAR画像はマイクロ波の反射強度を表すモノクロ画像であり、光学画像と比較すると、直感的な地被状況の判別（裸地と植生の違い等）が困難である（図-1）。また、マイクロ波を斜め下方に照射するため、急斜面等の上部が下部よりアンテナに近くなることで画像の上下が反転して白くつぶれるレイオーバー（図-2のA、B）や、高い山等が実際の平面位置よりアンテナに近い位置に倒れ込んで表示されるフォアショートニング（図-2のE）、マイクロ波が高い山等に遮られ影ができるレーダーシャドウ（図-2のEより衛星アンテナから遠い箇所）など、SAR観測原理上の特徴が画像上に現れる。結果、画像上に判読不能領域が生じる（図-2）。

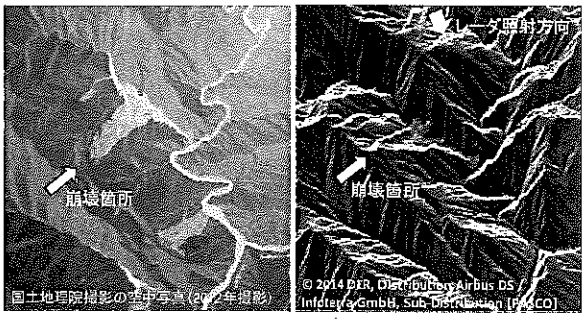


図-1　光学画像（左図）とSAR画像（右図）

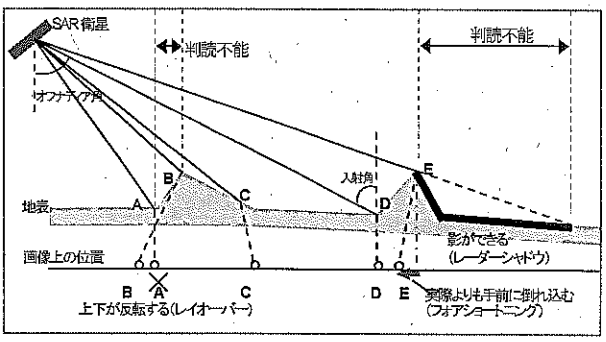


図-2　SAR画像の幾何特性（画像の反転、倒れ込み）

また、SARでは、偏波（電界の振動方向の向きを表す）の観測において、単偏波と多偏波がある。偏波は、水平偏波（H）と垂直偏波（V）に分類され（図-3）、単偏波は単一の偏波の送受信を行うものである。一方、多偏波は、センサがそれぞれの偏波を切り替えて送受信し、複数の偏波データを観測することができる。裸地ではHH及びVVが卓越し、森林ではHV及びVHが卓越するように、地表面の状況による後方散乱特性の違いを観測することが出来る。

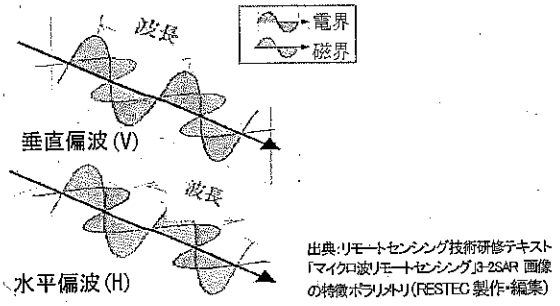


図-3　水平偏波、垂直偏波の概念図

3. 観測条件の検討

河道閉塞箇所の有無・位置・規模を迅速かつ的確に把握するためには、入手可能な人工衛星画像の中で、可能な限りSAR画像の判読可能範囲や判読可能な現象や規模、画像の視認性を向上する必要がある。SAR画像は、観測時の観測条件により、画像の視認性が大きく異なるため、山間地域における河道閉塞の判読に適した観測条件の検討を行った。

(1) 検討方法

2011年9月の台風12号による豪雨により形成された河道閉塞17箇所[1]のうち、災害後に取得したSAR画像の範囲に含まれる11箇所を対象に、観測条件の違いによる視認性の比較を行った。観測時に選択可能な観測条件である、バンド、照射方向、偏波観測、分解能、観測範囲、入射角の６項目を比較対象とした（表-１）。検討には、災害時に運用され、10mより高分解能で新規観測要求が可能なSAR衛星である、TerraSAR-X（ドイツ、Xバンド）、COSMO-SkyMed（イタリア、Cバンド）、RADARSAT-2（カナダ、Cバンド）の災害後１年以内の画像を用いた（表-２）

表-１　観測条件

規程条件	観測条件	SAR画像における主な影響
利用衛星	①バンド	土地被覆分類
	②照射方向	画像範囲、画像の歪み・倒れ込み方向
各衛星の観測モード	③偏波観測	土地被覆分類
	④分解能	判読対象規模
	⑤観測幅	画像範囲
ー	⑥入射角	画像の歪み、倒れ込み

表-２　検討に利用したSAR画像（10シーン）

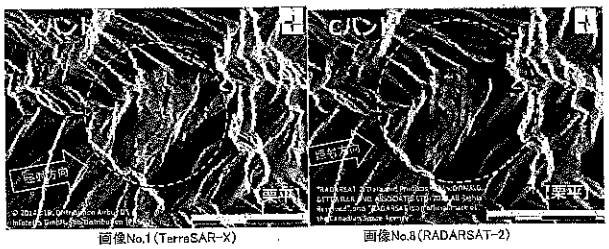
No	衛星	バンド	撮影日	軌道	照射方向	分解能	入射角	偏波	検討項目
1	TerraSAR-X	X	2011/09/05	北行	東向き	3m	39°	HH	標準画像（緊急観測）
2			2011/09/20	南行	西向き	1.7m	51°	HH	分解能
3			2011/10/06	南行	西向き	3m	37°	HH	照射方向
4			2011/10/06	南行	西向き	3m	37°	HH	照射方向
5			2011/11/19	南行	西向き	3m	39°	HH	照射方向
6			2012/01/21	北行	東向き	3m	21°	HH	入射角
7	COSMO-SkyMed	X	2011/09/10	南行	西向き	3m	34°	HH	バンド（センサの違い）
8	RADARSAT-2	C	2012/01/10	北行	東向き	3m	36°	HH	バンド
9			2012/01/10	北行	東向き	8m	36°	HH	分解能（No.1のリサンプリング画像）
10			2012/08/06	北行	東向き	8m	39°	HH,HV,VH,VV	偏波観測

(2) 検討結果

表-１の観測条件毎に、画像を比較検討した結果を以下に示す。

①バンド

SAR衛星で利用されているマイクロ波のバンドは、主に、Xバンド（波長3.1cm）、Cバンド（波長5.6cm）、Lバンド（波長23.6cm）がある。画像No.１（Xバンド）、No.８（Cバンド）を比較したところ、視認性に大きな違いは見られない（図-４）。

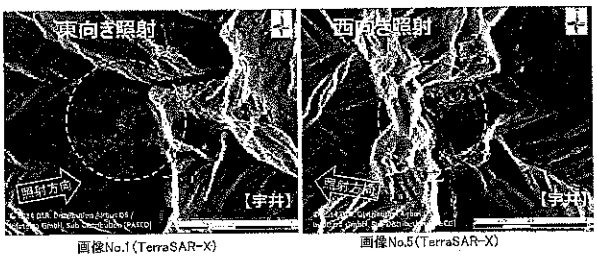


画像No.1（TerraSAR-X）　画像No.8（RADARSAT-2）

図-４　バンドの異なる単偏波SAR画像

②照射方向

画像No.１（東向き照射）とNo.５（西向き照射）を比較したところ、斜面の向きに対する照射方向の違いにより、SAR画像の視認性が大きく異なっている（図-５）。また、単偏波SAR画像の判読から、照射方向の違いによる河道閉塞11箇所の抽出率を求めたところ、片側照射の画像では概ね全体の50～70%、両側照射の画像では約90%であった[2]。北行・南行の両軌道の画像を判読に用いることで、判読不能領域が減り、判読の見逃しを低減することができる。



画像No.1（TerraSAR-X）　画像No.5（TerraSAR-X）

図-５　照射方向の異なる単偏波SAR画像

③偏波観測

単偏波はモノクロ画像であるが、多偏波は各偏波データを基に画像処理し、Red、Green、Blueの光の３原色に

処理値を割り当てることでカラー画像化できる。各偏波データの画像処理方法により、単純合成画像や3成分散乱電力分解画像[3]など複数の多偏波SAR画像を作成できるが、画像の視認性や画像処理にかかる作業時間を考慮すると、河道閉塞箇所の緊急判読調査の目的においては、HH+HVの単純合成画像が適している[4]。

比較検討には、このHH+HVの単純合成画像（以下、「2偏波画像」という。）を用いた。No.10は、森林で卓越するHV偏波をGreen、裸地で卓越するHH偏波をRedとBluで表現しているため、緑色で表現される森林の中で、崩壊により裸地化した斜面が赤紫色で表現される。そのため、モノクロの単偏波画像No.1と比較し、直感的に崩壊地の判読がし易い結果となった（図-6）。

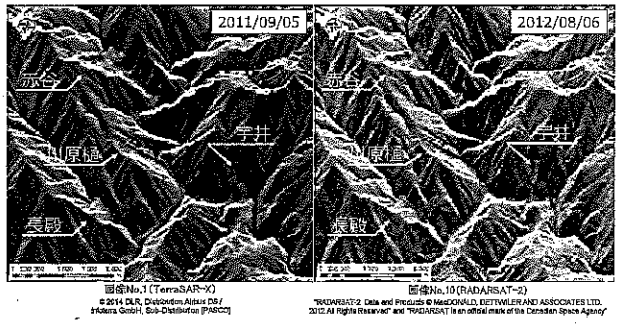


図-6　単偏波（左図）と2偏波（右図）のSAR画像

④分解能

画像No.8（分解能3m）とNo.9（分解能8m）を比較したところ、単偏波画像では、分解能8mでは画像が粗く、視認性が低下することが分かる（図-7）。判読上、単偏波SAR画像では3mより高分解能であることが望ましい。

一方、図-6に示す単偏波画像が分解能3mに対し、2偏波画像は分解能8mと、単偏波よりも分解能が低下するが、2偏波画像は地表面の状況をカラー化して表現できるため、視認性において分解能低下の影響は小さいと考える。

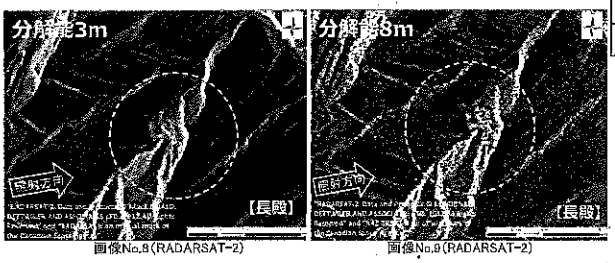


図-7　分解能の異なる単偏波SAR画像

⑤観測幅

各人工衛星の観測モードにより観測幅は異なるが、一般的に高分解能や、多偏波観測を行うモードである程、観測幅が小さくなる。そのため、河道閉塞箇所の判読が可能な分解能、かつ、ある程度の広域性を確保する上では、観測幅20km程度以上が望ましいと考える。

⑥入射角

画像No.1（入射角39°）とNo.6（入射角21°）を比較したところ、No.1では画像の歪みが少なく視認性が良好であるのに対し、入射角が小さいNo.6では画像の歪みが大きく、地形的な特徴を判別することが難しい（図-8）。一方で、入射角が大きいと画像の歪みは小さくなるが、レーダーシャドウが多くなり、判読不能領域が広くなる。検討に用いた画像の判読では、入射角35°～45°程度の画像の視認性が良いことが分かった。

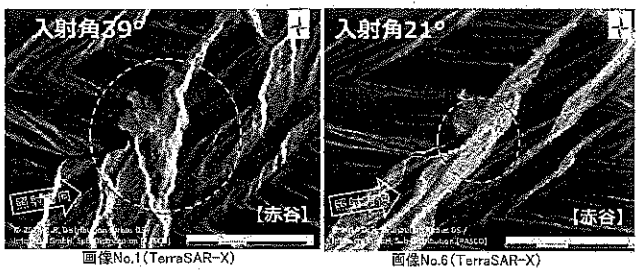


図-8　入射角の異なる単偏波SAR画像

以上の検討結果を元に、山間地域における河道閉塞の判読に適した観測条件を表-3に整理した。

また、今回判読の対象とした河道閉塞11箇所は、崩壊地の平面投影面積が0.6～33.7haと、様々な規模を対象としたが、表-2の画像のいずれも、面積1ha未満の河道閉塞箇所の判読は困難であった。SAR画像の判読により抽出可能な河道閉塞の規模としては、面積1ha程度以上の崩壊地を判読対象とすることが適当である。

表-3　推奨する観測条件

観測条件	単偏波SAR画像	2偏波SAR画像
①バンド	X、C	
②照射方向	東向き・西向きどちらの照射方向も可 ※両方向の画像を用いると判読の見逃しが軽減	
③偏波観測	単偏波観測（HH）	2偏波観測（HH/HV）
④分解能（Res）	Res≦3m	Res≦8m
⑤観測幅	他条件を満たす広域観測モード	
⑥入射角	35°≦θ≦45°程度	

4. 判読手法の検討

(1) 判読チェックリストの作成

SAR画像を用いた河道閉塞箇所の判読は、2．で述べたSAR画像の特徴による判読の難しさから、判読を行う技術者により、見落としや誤抽出等、判読結果の確度が大きくことなることが予想される。そのため、判読者により大きな差異が生じないよう、標準的な判読の基準として、判読の際の着眼点を検討した。

河道閉塞の形成による地形的特長として、湛水域、崩壊地、河道を閉塞させる崩壊土砂の堆積域がある（図-9）。これらの地形的特長と、2．で述べたSAR画像の特徴を踏まえ、判読チェックリストを作成した（表-4）。

単偏波のモノクロ画像では、主に水部で後方散乱強度が弱く画像が黒く表現される湛水池に着目して判読し、カラー合成が可能な２偏波画像では、裸地と植生の判別視認性が向上するため、湛水池に加えて崩壊地に着目した判読が可能となる。そのため、それぞれの画像に応じ判読チェックリストの細部は異なるが、ここでは、より画像の視認性が高い２偏波画像の判読チェックリストを例示する（表-４）。

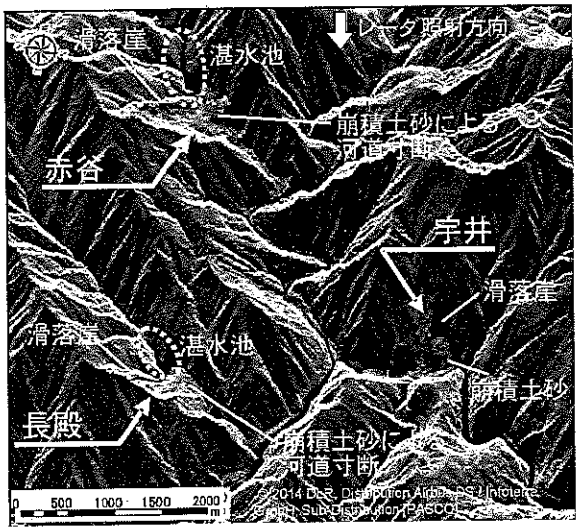


図-９　SAR画像における河道閉塞箇所の見え方
（単偏波SAR画像の例、2011年9月5日撮影）

表-４　２偏波SAR画像判読チェックリスト

確認範囲	チェック項目	判断基準			評価
崩壊地	裸地	・複偏波画像で赤紫色の様相を呈するか ・斜面に位置するか（平坦地や緩斜面の集落、河道ではないか）			
	滑落崖	・湛水域周辺に滑落崖が確認できるか ・滑落崖周辺に段差によるシャドウ・レイオーバは確認できるか ・滑落崖の形状は斜面方向に対し円弧状となっているか 等			
	崩壊地内	・滑落崖の下に崩壊形状は確認できるか ・崩壊形状は斜面方向と整合しているか 等			
	崩積土砂（河道閉塞部）	・崩壊地内から下部にかけて崩積土は確認できるか ・崩積土の形状は舌状になっているか ・崩積土の到達範囲は地形形状と整合しているか ・河道閉塞部は谷を堆積する形状となっているか ・河道閉塞部の上流に湛水域は形成されているか ・崩積土上に倒木等の形状は確認されるか 等			
	崩壊規模	・河道閉塞が発生する程度の崩壊規模か			
土石流痕跡	流下痕跡	・崩壊地下部から流送部が見られるか ・河道の拡幅、植生の流出等による土石流の流下痕跡が見られるか			
	土石流堆積物	・土石流の堆積地（土石流段丘、沖積錐）が見られるか			
周辺地形	斜面勾配	・湛水域近傍に斜面は存在するか ・周辺斜面は崩壊地が発生する程度の急勾配斜面か 等			
相対的位置関係	上下関係等	・滑落崖、崩積土、湛水域等の位置関係に不自然さはないか ・崩積土の到達範囲は地形と整合しているか 等			
河道	湛水域	・湛水域と想定される暗い領域が確認されるか ・上下流の落前幅と比べて自然な幅となっているか ・ダム、取水堰等の人工構造物による湛水ではないか			
判　定		崩壊跡地、露岩他			
		新規崩壊	表層崩壊		
			大規模崩壊	深層崩壊	
				河道閉塞	
		土石流痕跡			

評価指標
○：形状が読み取れる　△：不明瞭だが形状が確認できる箇所　×：形状が読み取れない箇所　－：分からない

(2) 判読の流れ

広域の画像を効率的に判読する場合には、判読の優先順位や画像表示縮尺に留意する必要がある。大規模崩壊等により重大な二次災害を引き起こす河道閉塞箇所の早期把握を最優先とし、予察、概査、精査の順に行う。

①予察

SAR画像の撮影範囲とその位置関係（主要地名、ダムや道路などの主要地物）、SAR画像の特徴（斜面の倒れ込み具合、谷の見え方、河川・道路の見え方）を確認。

②概査

河道閉塞の湛水域が短時間で満水となり、重大な二次災害を引き起こす可能性が高い主要河道の本川沿いや主要な集落の上流域について、優先的に判読する。

③精査

概査により抽出した箇所の細部（湛水の有無、澪筋や道路の寸断等）を詳細に判読する。次に、主要支川、支渓流レベルへと順次、細部まで判読し、画像内全域の状況を把握する。

(3) 判読調査の留意点

人工衛星SAR画像を有効に活用するためには、航空写真より早くSAR画像を入手する必要がある。各人工衛星の軌道位置により撮影頻度が異なることや、緊急観測の要求をしてからSAR画像を入手するまでに時間を要するため、各人工衛星の軌道位置をもとに、調査に必要な観測範囲に対し、表-３に整理した推奨される観測条件の画像を最も早く入手できる人工衛星を迅速に選定することが求められる。

5. まとめ

本報告では、人工衛星SAR画像による河道閉塞箇所の緊急的な判読調査手法の提案を行った。大規模な災害の恐れがある場合に、本手法による判読調査を実践できるよう、パソコン等の機材や地形図等のデータ類など日頃から準備しておくべきものや、人工衛星SARの緊急観測を依頼する際の手順等も含め、単偏波SAR画像、２偏波SAR画像それぞれについて、国土技術政策総合研究所資料に取りまとめている[5)6)]。

SAR画像を用いた目視判読において、判読の効率化や判読結果の一定の精度を確保するための標準的基準を取りまとめることができたが、目視による判読結果は、技術者の熟練度による影響が大きいと考えられるため、今後は、画像解析等で崩壊箇所を抽出する手法の検討や画像判読を支援するシステム開発を行い、判読調査のさらなる効率化、高精度化を図りたい。

なお、現在、LバンドSAR衛星の「だいち２号（ALOS-2）」が2014年5月に打ち上げられた事で、海外衛星も含め４つの高分解能人工SAR衛星が運用されている。LバンドSAR衛星は、本報告の検討対象に含まれていないが、高分解能かつ多偏波観測が可能であり、緊急判読調査に活用できるものと考えている。

また、災害の恐れがあるエリアを迅速に観測するためには、人工衛星の観測機会は限られるため、複数衛星の利用を想定するとともに、より迅速性や精度の向上が期待できる航空機搭載SARの活用も含め、判読調査におけるSAR観測の最適なオペレーションを検討していきたい。

参考文献

1) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部：平成23年9月13日記者発表　台風12号豪雨に伴う河道閉塞箇所数について
2) 林真一郎・水野正樹・佐藤匠・神山嬢子・岡本敦・吉川知弘・鵜殿俊昭・横田浩・野田敦夫・吉川和男：紀伊半島台風12号災害を事例とした人工衛星高分解能SAR画像の判読による河道閉塞箇所探索手法の確立、砂防学会誌、Vol.66、No.3、p..32-39、2013
3) 渡邊学・佐藤源之：フルポーラリメトリLバンドSARデータを用いた水害域、土砂災害域検出、ALOS-2/3ワークショップ、2010
4) 水野正樹・江川真史・神山嬢子・佐藤匠・蒲原潤一：衛星多偏波SAR画像による大規模崩壊の緊急判読調査手法、土木技術資料、Vol.55、No.11、p..35-38、2013
5) 水野正樹・神山嬢子・江川真史・佐藤匠・蒲原潤一・林真一郎：単偏波の高分解能SAR画像による河道閉塞箇所判読調査手法（案）、国土技術総合研究所資料No.760、2013
6) 水野正樹・神山嬢子・江川真史・佐藤匠・蒲原潤一：２偏波SAR画像による大規模崩壊及び河道閉塞箇所の判読調査手法（案）、国土技術総合研究所資料No.791、2014

測量用航空機からの斜め写真を用いた迅速な被災情報提供の取り組み

久保　領一[1]・畠山　真介[1]・中埜　貴元[2]

[1]国土地理院　基本図情報部　画像調査課　（〒305-0811 茨城県つくば市北郷１）

[2]国土地理院　地理地殻活動研究センター　地理情報解析研究室　（〒305-0811 茨城県つくば市北郷１）

国土地理院では，東日本大震災発災直後における空中写真の重要性が認識されたことに鑑み，被害の甚大な被災地域の空中写真撮影を行うとともに，迅速な空中写真の提供に取組んでいるところである．従来，垂直写真を撮影してきたが，提供までに時間がかかるという課題があった．本年度からは，提供までの時間が比較的短くてすむ斜め写真を優先的に撮影するようにした．また，斜め写真からの正射画像の作成にも取り組んでいる．2014年8月20日未明に発生した広島県広島市における土砂災害では，発災当日に写真を関係機関に提供することができた．

キーワード　航空機，斜め写真，正射画像，地理院地図

1. 現状と課題

国土地理院では，従前より災害時に被災地域の状況を調査する目的で測量用の垂直写真（上空からほぼ直下方向に撮影した写真）を撮影し，関係機関に提供してきた．この撮影方法では，航空機とデジタル航空カメラ（測量用の垂直写真を撮影するための専用カメラ）の設計仕様から，1,400m以上の飛行高度から撮影する必要があるため，撮影日の天候（飛行高度以下の雲の有無）に大きく左右されるという課題があった．また，デジタル航空カメラで撮影される生データは，高速記録と高解像度を確保するためにモノクロ画像とカラー３原色画像がそれぞれ独立したファイルで記憶装置に記録されているため，生データから提供・公開用のカラー画像を生成する処理に一定の時間がかかり，撮影翌日の提供になるということがあった．そのため，災害時においては航空機の機動性を活かしたタイムリーな写真情報の提供が課題であった．また，概略の状況把握手段として，斜め写真を撮影した場合，その写真から地図と重ね合わせることができる正射画像を迅速に作成することは，従来手法では困難であった．

(1)　測量用航空機「くにかぜⅢ」

国土地理院では，測量用航空機「くにかぜ」により，全国の災害情報の把握，離島を含む領土の把握，国土の現況把握などを目的として空中写真の撮影を実施し，写真を行政機関をはじめ広く国民へ提供してきている．

2014年9月26日現在，第3代目の「くにかぜⅢ」（写真-1）は，2010年6月から運用を開始し，調布飛行場（東京都調布市）を本拠飛行場として機体等の点検・整備期間を除いて常時運航できる体制を確保している．主な性能を以下に示す．

- 機名　セスナ208B
- 搭乗定員　6名
- 巡航速度　240km/h
- 飛行時間　5時間
- 積載量　2,124kg



写真-1　測量用航空機「くにかぜⅢ」

(2) 斜め写真の利用

斜め写真は，三次元空間にある建物・橋梁などを鳥瞰表現するものとして幅広く活用されている．しかしながら，手前にあるものの影となる部分は表現されず，その写真からは情報を読み取ることはできない．このため，現場では視点を変えた複数の写真を用いることで補っている．また，斜め写真から正射画像を作成するプロセスの中で，三次元モデルが必要となる．

最近では，従来の2枚の垂直写真重複部での立体モデルによる計測技術に加えて，同一地点が写された数枚の斜め写真を画像解析をすることにより，目標物の三次元モデルを再現できる技術が大きく進展してきている．これらの三次元処理技術は，3D動画や3Dプリンタの普及とともに，ソフトやハード面の進歩が進められて処理時間の高速化が大きく進んできている．そのため，一般的なデジタルカメラで撮影された写真（位置情報付き）20数枚程度があれば，数時間以内に三次元モデルが得られるようになってきた．

2. 課題に対する解決策と解決策に至るまでの経緯

(1) 斜め写真撮影

斜め写真は，航空機の横窓から手持ちのデジタル一眼レフカメラで撮影している（写真-2）．昨年度までの災害時における斜め写真は，被災箇所や周囲の状況を撮影し，その用途は課内の報告用であった．撮影位置は，GNSS受信機を使用し画像のExif情報に付与していた．しかし，そのExif情報は平面位置と高度の情報にとどまり，斜め写真を整理するうえで必要となる撮影方向は，別途地形図等から判読して読み取る必要があった．これは，写真１枚ごとの作業となり，多大な時間を要するため，数十枚を超える作業は時間的な限界があった．この課題を解決するため，デジタル一眼レフカメラに取付け可能で，電子コンパスによる撮影方向も同時に記録できるGNSS測位装置を導入して迅速化を図った．

また，測量用のデジタル航空カメラは，システム化されているため，手順通りに操作するだけで品質管理された垂直写真を撮影することが可能であるが，手持ちのデジタル一眼レフカメラによる斜め写真撮影は，若干の熟練が必要であるため，撮影士の訓練を重ねてきた．

実際の斜め写真は，時速約200km以上の高速で移動する航空機から，撮影士が斜め下方の対象物を狙い撮影している．対象物をカメラに収めるためには，対象物とカメラを適切な位置関係としなければならない．そのため，操縦士（機長），ナビゲータ（誘導員）の連携を深めるとともに，使用するデジタル一眼レフカメラは，オートフォーカスのスピードアップや多方向に対応した手振れ防止補正装置を備えたより高性能なものに変更した．さらに，撮影後着陸する全国各地の飛行場から，茨城県つくば市の国土地理院（以下，「本院」という）への画像の伝送についての訓練も実施してきた．その上，本院に伝送された斜め写真から地図と比較してわかりやすい正射画像（地形図と重ねあわせてもずれがない，歪みを補正した画像）を効率的に作成するためのソフトウェアを導入した．

これらの改善をした結果，平成26年8月豪雨において2014年8月20日未明に発生した広島県広島市における土砂災害では，発災当日に「くにかぜⅢ」で現地に飛行，垂直写真撮影には適さない天候状況であったため斜め写真撮影を行い，同日夜19時頃までに，撮影地点の位置情報を含む撮影画像の情報を本省や関係機関，関係地方公共団体に提供することができた．

以下に20日の「くにかぜⅢ」の運航及び斜め写真の処理状況を示す．

- 09：07　調布飛行場を離陸（→茨城空港）
- 10：10　茨城空港で撮影士が搭乗し離陸
- 12：10　八尾飛行場に着陸　給油
- 13：30　八尾飛行場を離陸（→広島市北部）
- 14：30　広島市北部の斜め写真撮影を実施
- 15：41　北九州空港に着陸
- 17：26　斜め写真の伝送完了
- 18：48　斜め写真を関係機関へ提供
- 23：25　正射画像作成作業終了

このほか，地形図との比較が容易な正射画像に変換したものを作成し，関係機関等に提供した．これらの情報は，撮影の翌日，国土地理院HPの電子地図サイト「地理院地図」（以下，「地理院地図」という）でも公開した．

翌21日も雲が多くあり垂直写真の撮影には適さない天候だったが，北九州空港から現地まで飛び，前日に撮影できていない場所について斜め写真のみ撮影し，写真を関係機関に提供するとともに地理院地図で公開した．



写真-2　斜め写真撮影の様子

(2) デジタル一眼レフカメラ

撮影に使用したデジタル一眼レフカメラ（写真-3）は，本体の上部にGNSS測位装置を装着することで撮影地点の平面位置と高度の情報に加えて撮影方向をシャッターに連動して画像のExifにリアルタイムで書き込むことができるものである．主な性能を以下に示す．

デジタル一眼レフカメラ

- 製品名　Canon EOS 5D MarkIII
- 画面サイズ　5,760×3,840ピクセル
- 撮像素子サイズ　約36×24mm
- 使用レンズ　24-70mmズームレンズ
手振れ防止補正機能付き
- Exifバージョン　Ver2.3

GNSS測位装置

- 製品名　Canon GP-E2
- 測位精度　水平位置±5m程度
- GNSS測位間隔　最短1秒

(3) 斜め写真の地理院地図公開

20日に撮影した斜め写真の総数173枚は，着陸した北九州空港からインターネット回線により，2回に分け本院へ伝送した．安佐南区八木付近の斜め写真の全景を写真-4に，被災箇所の拡大を写真-5に示す．

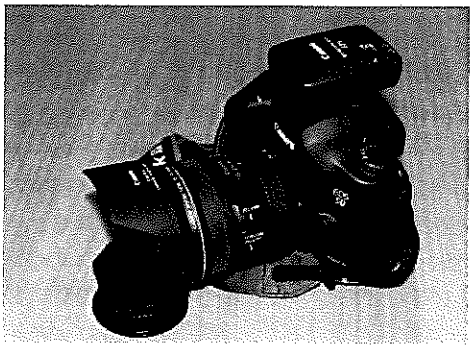


写真-3　一眼レフカメラ及びGNSS測位装置

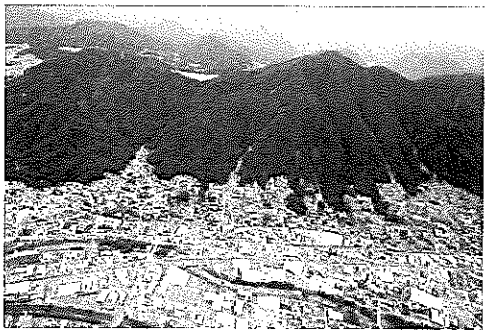


写真-4　斜め写真（安佐南区八木付近：全景）

地理院地図公開用のファイルを作成するため，地理院マップシート（国土地理院技術資料E1-No.428）を使用した．これは，撮影画像のExifの情報（緯度，経度，日時，高度，方向）をエクセルの帳票に自動的に展開し（図-1），撮影位置等がWebページで表示できるKMLファイルを作成することができるものである．

作成したKMLファイルを地理院地図で読み込み，斜め写真の撮影位置及び撮影方向を表示したWebページを図-2に示す．

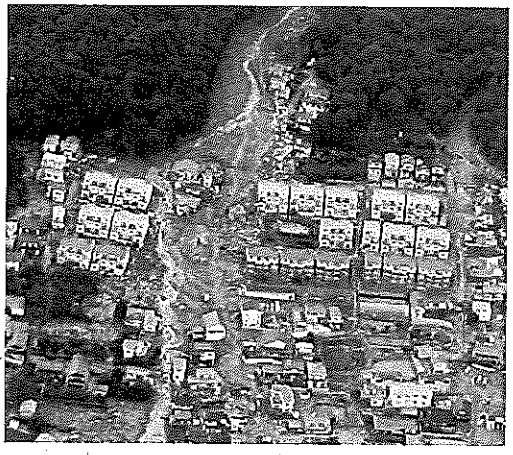


写真-5　斜め写真（安佐南区八木付近：部分拡大）

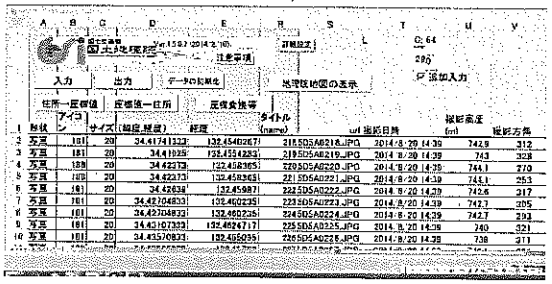


図-1　Exif情報を読み込んだエクセル帳票

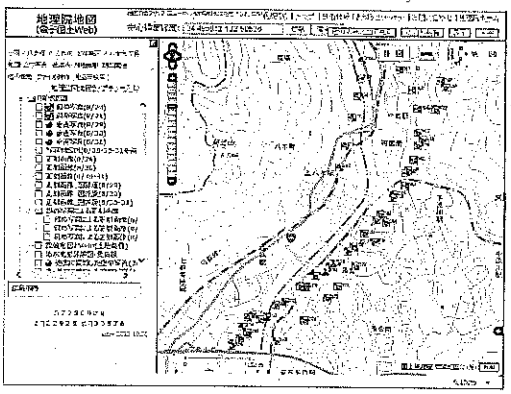


図-2　斜め写真の撮影位置及び撮影方向（一部抜粋）



図-3　正射画像を地理院地図で表示

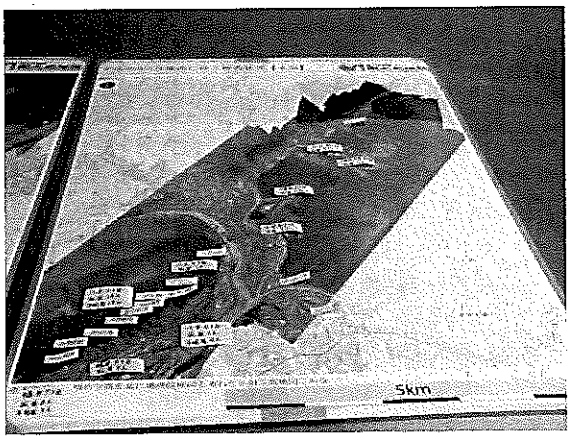


写真-6　現地対策本部での正射画像の活用事例

(4) 正射画像の作成

先述したように，動画や複数の静止画からカメラの撮影位置を推定し（Structure from Motion : SfM），三次元形状を復元する（Multi-View Stereo : MVS）技術の進歩が目覚ましく，比較的簡便に斜め写真を含む空中写真から正射画像とデジタル表層モデル（DSM）などの地形情報を得ることができるようになってきている[1)2)]．そこで，市販の自動オルソモザイク及び3D処理ソフトウェアであるAgisoft社製「PhotoScan」を用いて，斜め写真からの正射画像の作成を試みた．

今回の被災地は範囲が広かったため，3地区に分けて処理を行った．処理に際しては，適切な斜め写真を選択した．処理は，1）画像の取り込み，2）撮影時の位置情報の取り込み，3）座標系の指定，4）カメラキャリブレーション，5）ポイントクラウド（点群データ）の作成，6）地上基準点の追加，7）ポイントクラウドの最適化，8）ポイントクラウドの高密度化処理，9）3Dモデルの作成，10）テクスチャの貼り付け，11）正射画像の作成，という順序で行われる．基本的な処理はほぼ自動化されているが，良質な結果を得るためには，地上基準点の追加やノイズデータの除去，パラメータの設定を手動で行う必要がある．また，処理時間は写真の枚数，解像度，コンピュータのスペック等に依存し，試行錯誤も含めて1地区の処理時間は約3～4時間を要した．作成した正射画像の例を図-3に示す．

3. 技術活用後の評価

撮影の翌日には，広島市の平成26年8月豪雨現地対策本部壁面に地形図とともに斜め写真と正射画像が掲示された．また，正射画像を地図に重ね合わせたパネル（写真-6）は，被災者の情報を地図上で整理する際に活用された．一般向けに，地理院地図で斜め写真と合わせて正射画像（図-3）を公開したところ，公開後3日間，被災地域の地図へのアクセス数が平常時の50倍になった．現地災害対策本部を構成する関係機関から，今般撮影した国土地理院の斜め写真は，災害の全貌を把握するために有効であったとの高い評価をいただいた．

4. 今後の課題とその改善方策

災害当日に写真を提供したが，現地での認知に1～2日要したことから，関係機関への適切な周知が課題である．また，正射画像を時間をかけることなく高精度化することも課題として挙げられる．今回の斜め写真からの正射画像の作成では，写真の解像度は十分であったが，写真の撮影方向とオーバーラップ率に問題があり，良質な正射画像が得られなかった．今回のような広範囲を対象とした正射画像を作成するためには，垂直写真に近い角度（少なくとも垂直軸から30度以内）での斜め写真撮影と80%近いオーバーラップ率及び垂直写真撮影時並みの撮影コース数が必要であり，手持ちカメラによる下向き撮影と自動的なインターバル撮影を行う方法の検討が必要である．

参考文献

1) 内山庄一郎，井上公，鈴木比奈子：SfMを用いた三次元モデルの生成と災害調査への活用可能性に関する研究，防災科学技術研究所研究報告，Vol.81，pp.37-60，2014.
2) 内山庄一郎，中田高，井上公，熊原康博，杉田暁，井筒潤，後藤秀昭，福井弘道，鈴木比奈子，谷口薫：小型UAVとSfMソフトウェアを用いた断層変位地形把握の試み－根尾谷断層水鳥断層崖を例に－，活断層研究，Vol.40，pp.35-42，2014.

地震被害を踏まえた建築非構造部材の被害低減のための検討

脇山　善夫[1]

[1]国土技術政策総合研究所　建築研究部　評価システム研究室

（〒305-0802 茨城県つくば市立原1）

建築物について、過去の地震被害の経験を踏まえた耐震性能評価技術の開発によって地震動による構造体の被害の減少が見られる一方で、建築非構造部材など構造体以外についての被害報告が目立つようになってきている。建築非構造部材の耐震性の検討は、従来は主に、強制変形に対する追従であったが、近年の地震被害では、慣性力による影響が大きいと推定されるものも少なからず確認されている。本研究では、2011年東北地方太平洋沖地震で被害が確認されているガラススクリーン構法を対象に、模型実験、モデル解析、強震観測を実施しており、今後の振動台実験等を含めて、地震時の外力の適切な評価や構造性能の検証を行うための試験方法を検討し、被害低減に繋げることを目的とするものである。

キーワード　建築非構造部材，地震，被害，軽減

1. 研究の背景・目的

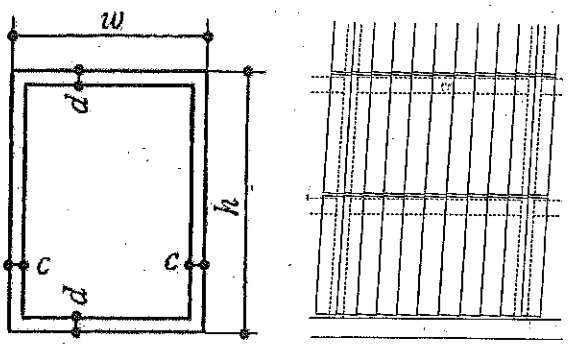
建築物においては、過去の地震被害の経験を踏まえた耐震性能評価技術の開発によって構造体を中心に耐震性能の向上が図られ、近年は地震動による被害報告が減少している。一方で近年の地震では、吊り天井、外壁、ガラスなど“建築非構造部材”と呼ばれる建築構成部材の被害報告が目立つようになってきており、建築物の更なる耐震性の向上の中での課題となっている。

本研究は、そのような背景の下、近年の地震による被害が顕在化した建築非構造部材を対象として、地震時に受ける外力の適切な評価や、構造性能の検証を行うための適切な試験方法について検討を行い、建築非構造部材の被害低減、ひいては建築物の地震被害の低減に繋げることを目的に実施するものである。

2. 建築非構造部材の過去の地震被害及び耐震計画

建築物の構造設計においては、設計対象の建築構造システムに影響を及ぼすと想定される外力に対して、当該システムのどのような挙動を目標とするか明確にした上で、適切な評価技術によって目標とする性能が確保されていることを検証することが求められる。

本研究で対象としている建築非構造部材については、これまでは主として、構造計算により求められる構造体の強制変形に対して当該建築非構造部材の変形追従性を確保することによる耐震性能の検証を行ってきた。例えば、窓枠にはめこまれている板ガラスについては、地震時に構造体について見込まれる面内方向の変形を考慮して、図１に示すように、板ガラスと周囲の窓枠との間に十分な隙間（図中のｃやｄが該当箇所）を設けることで、地震時に構造体に追従して変形する窓枠に板ガラスが接触・破損しないように計画されている。また、建築物の外側を覆っている外壁板で高さ方向の寸法が階高と同程度など比較的大きなものでは、当該部材を構造体等にとめ付けている上下の接合部を可動とすることにより、地震時の構造体の変形に追従することができるように計画されている（図１の右図）。過去の地震では、この隙間が十分でなかったり、部材同士の間が可動となっていなかったりして、周囲から板ガラスや外壁板に変形が伝わって破損につながっている。



(a)窓ガラスなどの場合　(b)外壁板などの場合

図１　建築非構造部材の面内方向への追従方法[1)]

近年の地震では被害の状況から、このように建築非構造部材に作用する強制変形（板状の部材でいうと特に面内方向）による影響だけではなく、建築非構造部材の面外方向に作用する慣性力による影響が大きいと推定される被害も確認されるようになってきている。

図２は、文献１に示されている図を基に、地震時の建築非構造部材への外力の入力特性について、立体的に描き起こしたものであり、５つの類型が示されている。図の最上段は影響因子の大小を示しており、右側にいくほど地震時に躯体の変形・変位による影響が大きく、左側にいくほど躯体からの加速度（慣性力）による影響が大きいものである。上から２段目は、該当する建築非構造部材の構成概要を示した図、上から３段目は該当する代表的な建築非構造部材の例、最下段は近年の地震による被害事例となる。

タイプⅠは、上部の部材と接合していれば振り子のようなものであり、下部の部材と接合していれば自立柱のようなものであり、地震時の慣性力により最も影響を受ける。吊り天井はこのタイプに分類されるものであるが、2011年東北地方太平洋沖地震の際にも東北地方を中心に広範囲で脱落被害および死傷者が報告されている。そのような被害を踏まえて特定天井に関する技術基準が検討され、建築基準法に基づく告示が2014年4月1日から施行されている。

タイプⅡは、当該部材が上下など距離のある箇所で点状に他の部材と接合するもので、地震時の慣性力による影響を相当程度受けると同時に、強制変形による影響も受けるものである。接合部を可動とすることで強制変形に追従するのは先述の通りであるが、被害事例の写真にあるように、慣性力による影響も想定される被害も確認されている。

タイプⅢはタイプⅡと同様であるが、他部材との接合が点状ではなく線状になっている。強制変形に対しては、線状の接合箇所が可動であったり、隙間を確保したりして対応するものである。図中の被害事例では、板ガラスの被害状況から、特に板ガラスの面外方向の慣性力による影響が想定されるものである。現在実施している研究では、このようなガラススクリーン構法の被害を対象としている。

タイプⅣは、枠などで囲まれた箇所にはめこまれるような種類の建築非構造部材が該当する。慣性力による影響は、タイプⅡやⅢと比較すると相対的に小さくなる一方で、部材を囲む部位に生じる強制変形（ひいては躯体の変形・変位）による影響が大きくなる。図中の被害例では、はめこまれた箇所で稼働できなかった窓ガラスにおいて被害を生じていた。

タイプⅤは、堅固な躯体などに部材を面的に接合する（貼る）種類の建築非構造部材が該当する。このタイプに該当するタイル貼り外壁は近年の地震でもタイルの剥落を少なからず生じており、躯体の変形に追従するような面的な接合の開発が行われている。

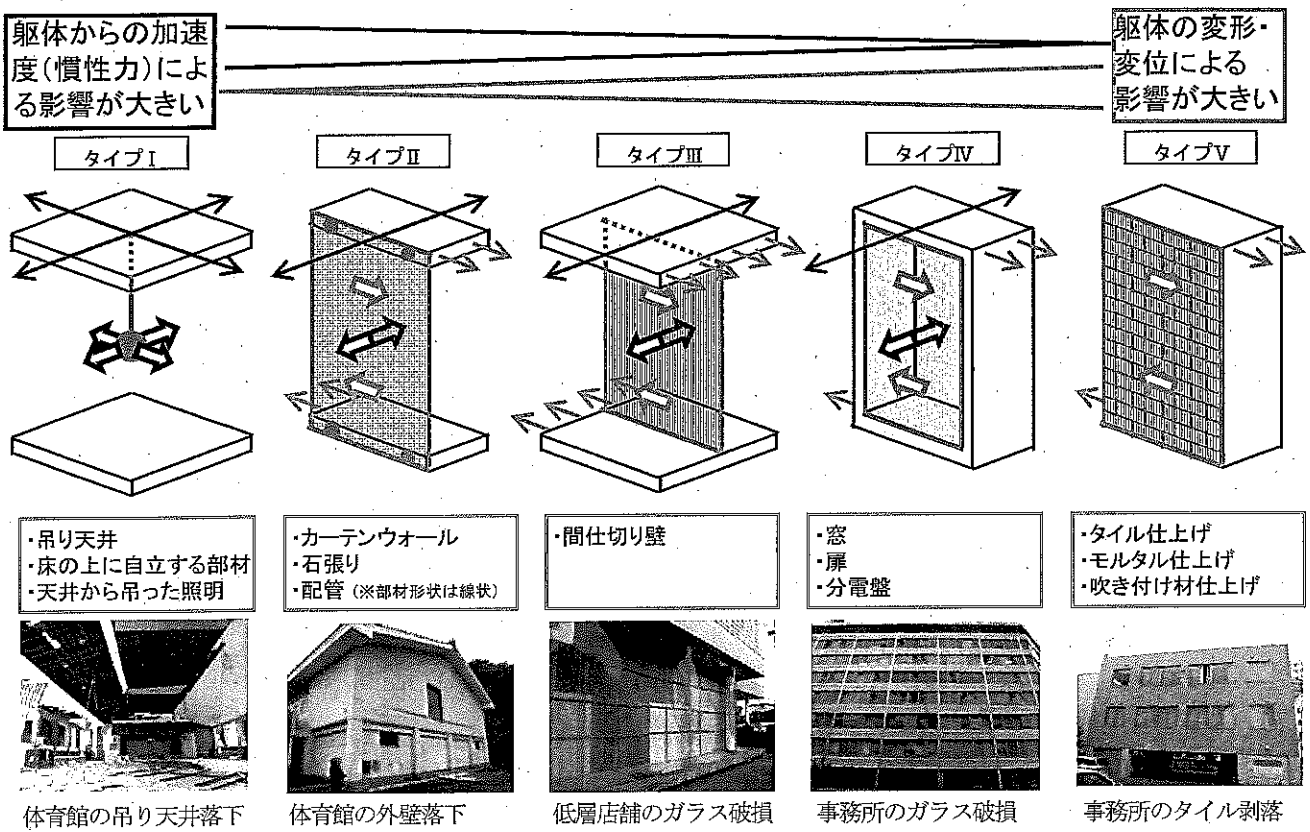


図２　地震時の建築非構造部材への外力の入力特性について

3. ガラススクリーン構法の地震被害の検討

現在実施している研究では、近年の地震を踏まえて、東日本大震災でも多くの被害事例が確認されているガラススクリーン構法を対象にしている。ガラススクリーン構法は図３に示すような構成である。建築物の外周壁などに設けられる上下の枠の間に大判のガラス（面ガラス）を連続的に設置するもので、建築物内外で視線が通るような設えとなる。面ガラス同士の接合部に、面ガラスに面外方向に作用する力（風圧力など）を受ける方立ガラスを配置し（両面の場合と片面の場合とがある）、接合部にはシリコーン系のシーリング材を充填している。

地震被害について検討する上では、ガラススクリーン構法自体の耐力等のみならず、ガラススクリーン構法に作用する外力について把握する必要がある。一連の研究では、前者については模型実験を実施しており、後者については、ガラススクリーン構法の被害が多く見られた建物種類である低層鉄骨造建築物を対象としたモデル解析と強震観測を実施している（対象建築物はガラススクリーン構法に被害を受けたものではない）。

(1) ガラススクリーン構法の模型実験

振動特性の把握および損傷発生について確認するために、面ガラスが1.8m正方となるような模型を作成して、起振器２台（ガラスを支持する上下の部材にそれぞれ設置）を用いた加振を行った（図４）。加振には正弦波を用い、周期を連続的に変化させて面ガラスが大きく揺れる（共振する）際の固有周期を把握するとともに、共振周期で起振器の最大能力まで加振して試験体の破壊を試みた。試験体は３体とした。

各試験体の固有周期および実験時損傷有無について表１に示す。面ガラスが共振した際の加振波の周期は３試験体とも概ね一致している。また、３試験体の内で１体については面ガラスの破損を確認した。

面ガラスの振動を板の振動と考えると、板の固有周期Ｔは、以下に示す(1)式[3]により求めることができる。境界条件を上下固定（$\lambda=22.2$）とすると、面ガラスの固有周期は0.072秒（13.8Hz）と算定され、実験値（0.075～0.078秒）と概ね一致する。

$$T=\frac{2\pi a^2}{\lambda}\sqrt{\frac{\rho t}{D}} \qquad (1)$$

λ：矩形板の辺長比と境界条件により定まる値。正方形板では、四周固定で36.0、上下固定で22.2、四周自由で14.1。

D：板の曲げ剛性

$$D=\frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}$$

E：ヤング率

t：板の厚さ

ν：ポアソン比

a：板の辺の長さ

ρ：板の密度

(2) 低層鉄骨造建築物のモデル解析

ガラススクリーン構法への外力（地震時入力）の検討を目的に、低層鉄骨造建築物（茨城県に実在する。ただし、地震によるガラススクリーン構法の被害はこれまで発生していない。）を対象にモデル解析を実施した（図５）。(3)で紹介する強震観測の結果と比較するとまだモデルについて改良の余地がある。

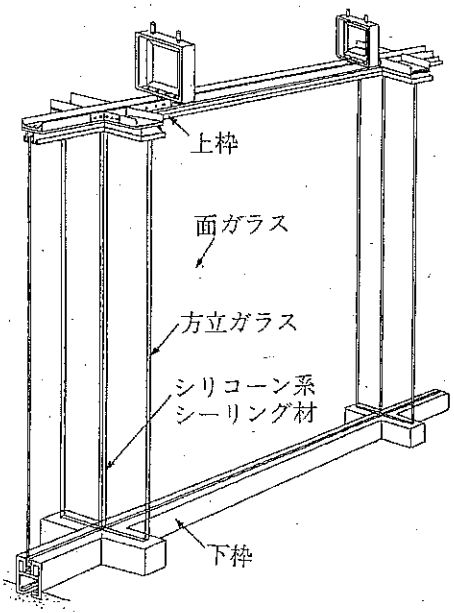


図３　ガラススクリーン構法の構成[2]

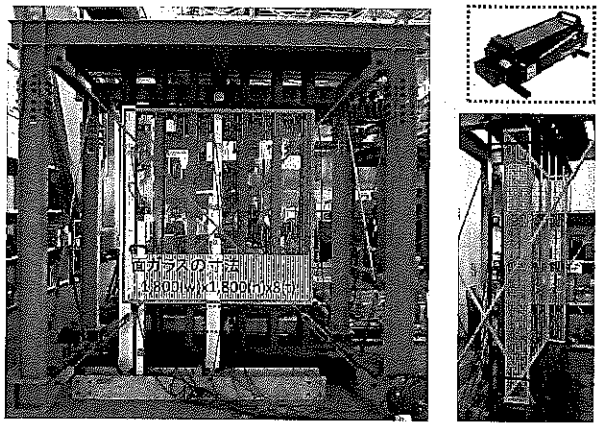


図４　ガラススクリーン構法の模型実験試験体の様子
（左：正面、右下：正面右側面、右上：起振器）

表１　各試験体の固有周期および実験時損傷有無

	試験体1	試験体2	試験体3
面ガラスの共振	0.075秒 (13.4Hz)	0.075秒 (13.4Hz)	0.078秒 (12.9Hz)
損傷の有無	損傷なし	損傷なし	損傷 (14.8Hz)

(3) 低層鉄骨造建築物の地震時応答の観測

ガラススクリーン構法の地震被害が少なからず確認されている低層鉄骨造建築物の振動特性等を把握することは、ガラススクリーン構法への外力（地震時入力）を検討する上で重要であり、(2)でモデル解析の対象とした建築物を対象に強震観測を実施している。センサーは、床に１台と、天井裏の梁部分に２台、計３台設置した。

図７は実際の強震記録を基に、建築物床面から梁までの増幅を見るためにスペクトル比のグラフを示したものである。図６に見えるガラススクリーン構法の面外方向はＹ方向に該当しており、図７を見ると、梁部分では0.3～0.4秒付近（図中の灰色箇所）でガラス面外方向（Ｙ方向）の応答が増幅していることが分かる。

4. まとめ

本稿では、ガラススクリーン構法による開口部を対象にした地震被害の低減を中心にこれまでの検討を報告した。解析モデルの改善、低層鉄骨造建築物の地震時応答の観測は引き続き実施しており、今年度は、実大実験（ガラス面高さ3.0m×幅2.5m）を実施して、固有周期算定式の適合・精度の確認、ガラス損傷発生状況の把握等を行う予定である。

謝辞：低層鉄骨造建築物の地震時応答の観測は、筑波建築研究機関協議会（BRIC）における勉強会の協力によるものである。同会勉強会及び当該建築物の関係者に書面ながら御礼申し上げます。

参考文献

1) 日本建築学会：非構造部材の耐震設計施工指針・同解説および耐震設計施工要領，2003年
2) 日本建築防災協会：安全・安心ガラス設計施工指針，2011年
3) 小松敬治：．機械構造振動学 - MATLABによる有限要素法と応答解析，2009年

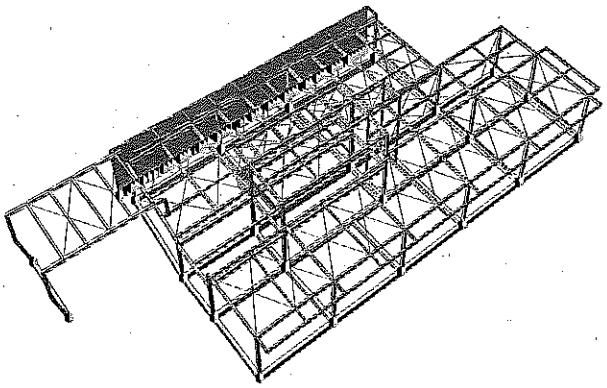


図５　低層鉄骨造建築物の解析モデル
（灰色の面部分がガラススクリーン構法）



図６　強震観測対象の低層鉄骨造建築物の内観
（センサーは、床に１台、天井裏に２台設置）

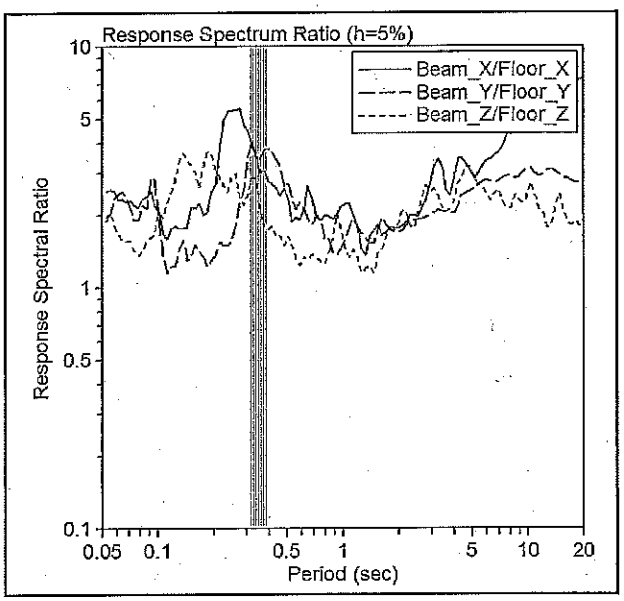


図７　当該低層鉄骨造建築物の応答スペクトル
（2014年3月12日午前5時4分頃に千葉県北西部を震源として発生した地震。観測地点市内は震度２。）

地震後の継続使用を意図したRC造建築物の構造方法

田尻　清太郎[1]・福山　洋[1]・向井　智久[1]

[1]建築研究所　構造研究グループ　（〒305-0802 茨城県つくば市立原1）

近年の地震災害では、居住や活動の場である建築物が損傷を受けてその機能が失われ、それが生活や事業の継続困難を引き起こす事態が生じており、大きな問題として認識されるようになってきており、「建築物の機能を如何に維持するか」、「低下した機能を如何に迅速に回復させるか」といった観点を持った設計の必要性が高まっている。そこで、これらの要求に応え得る鉄筋コンクリート（RC）造建築物の構造方法として、通常用いられる非構造壁を耐震要素として活用する構造方法を提案した。

キーワード　継続使用，RC造建築物，非構造壁，BCP

1. はじめに

建築物の構造設計において、災害時における人命の安全は最も重要な目標であり、最低基準である建築基準法にもそのために遵守すべき規定が設けられている。しかしながら、近年の地震災害では、居住や活動の場である建築物が損傷を受けてその機能が失われ、それが生活や事業の継続困難を引き起こす事態が生じており、大きな問題として認識されるようになってきた。そのため、設計においては、「建築物の機能を如何に維持するか」、もしくは、「低下した機能を如何に迅速に回復させるか」という観点が、安全性の観点に加えて必要となってきた。ここでは、これらの要求に応え得るRC造建築物の構造方法を提案し、その実現に向けた課題を整理する。

2. 背景

(1) 現行耐震基準の目標

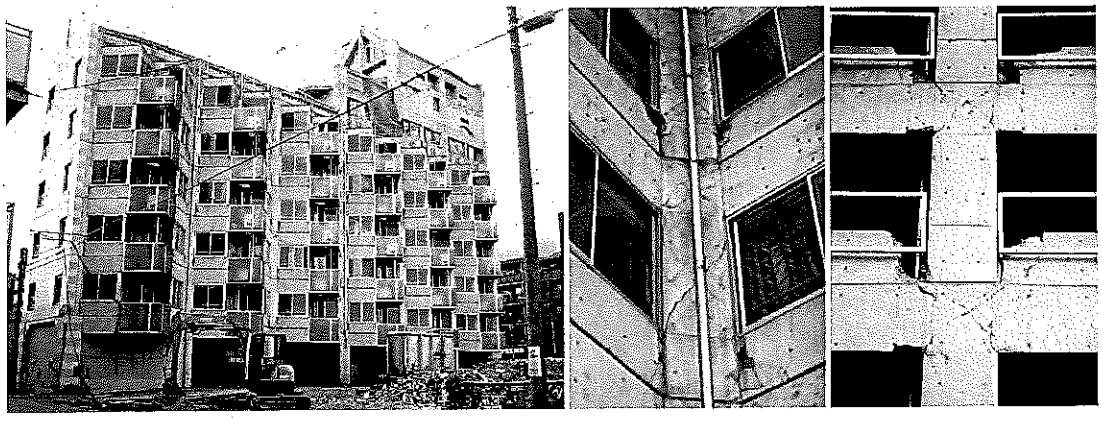
1981年に改正されたわが国の耐震基準（いわゆる「新耐震基準」）が求める耐震性能は、①中地震（建築物の供用期間中に数回遭遇する程度の希に発生する地震）に対して損傷せず、地震後も特に修復を要しないこと、②大地震（建築物の供用期間中に一度遭遇するかも知れない程度のごく希に発生する地震）に対して倒壊・崩壊せず、人命が守られること、の2点である。すなわち、大地震に対しては人命の安全のみが求められており、建築物が損傷し使用できなくなるような事態を防止することまでは求められていない。しかし、一般の方々にはこのことが十分に認識されていないため、今後さまざまな機会を活用し周知に努めていく必要がある。

(2) 地震後の継続使用に支障を来した事例

a) 阪神・淡路大震災（1995）の事例

1995年の阪神・淡路大震災では、多数の建築物が倒壊して多くの人命が失われただけでなく、さまざまな都市機能が麻痺するとともに避難所等自宅外での生活が長期間強いられる結果となった。これは、多くの住宅建築物が構造部材や非構造部材、設備機器等に大きな損傷を受け、また、電気・ガス・水道等のインフラが損傷を受けた結果として、倒壊を免れた建築物においても「すまい」としての機能が失われたからである。さらに、新耐震基準に基づいて設計された建築物において、法律の要求通りに倒壊を免れ人命は守ったが、構造躯体の損傷が激しくその修復費用が極めて高額であったことから、結局は取り壊され新しく建て直されたケースも見られた（例えば写真1）。この事例は、設計において損傷低減や早期の機能回復の観点を持つ重要性を示し、大きなインパクトを与えた。

なお、写真1の桁行き方向はほぼ純フレーム構造であった。最近の板状共同住宅の桁行き方向の設計では、非構造壁と柱や梁との間に構造スリットを設け架構を純フレーム化する場合が多く見られるが、これはスリットを設けない場合に比べて地震応答変位が大きくなりがちであり、写真1のような被害が生じる可能性は否定できない。



(a)地震後の建物の全景　(b)柱のせん断ひび割れ　(c)柱梁接合部の斜めひび割れ

写真１　阪神・淡路大震災で倒壊は免れたが大きな損傷を受けた新耐震設計の建築物

b) 新潟県中越地震（2004）、新潟県中越沖地震（2007）の事例

2004年新潟県中越地震では、半導体工場等の生産設備の多くが被害を受け、設備等の物理的損失だけでなくサプライチェーンにより製品を供給している他企業への影響が甚大となる事態も見られた。また、災害直後からの対応が求められる病院においても、設備・機器の損傷等により医療行為が継続できない事態が生じた。これらの経験から、2005年に内閣府中央防災会議が「事業継続ガイドライン第1版」[1]を公表し、大地震による事業停止等の影響を最小限に留めるために、被災した建築物の復旧見通し等を考慮した事業継続計画（BCP：Business Continuity Plan）の策定を各企業等に求めることとなった。このBCPと耐震化率の向上とにより、想定される南海トラフの地震や首都直下地震等による死者数と損害額を半減させることが期待されている。なお、この後の2007年に発生した新潟県中越沖地震においても、自動車エンジンの精密機械工場が被災し、その部品を供給されていた国内の自動車生産ラインが全てストップするという事態が見られたことから、BCPの必要性がさらに認識されることとなった。

c) 東日本大震災（2011）の事例

東日本大震災（2011）においても上記と同様な被害が見られたが、さらに，地震後の継続使用が求められる建築物において以下のような被害事例が見られた[2]。

・震災後の対策拠点となる庁舎のうち少なくとも10棟において構造部材や非構造部材が損傷し（写真2）、立ち入り禁止措置が採られたことから、地震後の活動に支障を来した。何れも旧基準により設計された建築物であるが、構造部材の損傷の程度は大破から小破まで様々であり、構造部材のみならず非構造部材等の損傷も使用禁止措置の判断に大きく影響した。
・地震後に避難施設として利用されることが想定されていた多数の体育館において、鉄骨造の屋根架構と下部RC構造との接合部の破壊（写真3）、天井の落下、非構造部材の損傷・落下のうち一つもしくは複数の被害が見られ、避難住民を受け入れることができなかった。
・新耐震基準で設計された学校において、杭が大破し（写真4）上部構造物が傾斜したため地震後は傾斜した校舎は使用できなくなった。その後、杭は修復されその学校校舎は復旧した。
・新耐震基準で設計された共同住宅において、RC造非構造壁の損傷が大きく、ドアの開閉にも支障をきたし、防水性、遮音性、気密性、防犯性などの観点からすまいとしての機能が損なわれたことから、住民が避難する事態となった。

この他にも、工場、ショッピングセンター、病院などさまざまな種類の建築物で継続使用ができなくなった。これらは、構造性能の低下、非構造部材や設備機器の落下危険性、設備機器の地震後の損傷等による動作不良、などが原因である。なお、多数の共同住宅が損傷を受け継続使用できなくなると、多くの住民が避難を要することから避難所が不足する可能性がある。そのため、事業継続計画（BCP）を立てるような事業に供する建築物のみならず、住居の継続使用性に関する検討も必要と考えられる。

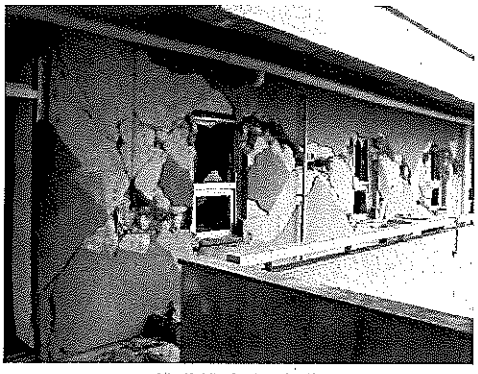
(3) 社会からの要求

世の中では、「日本の建物は大地震でも大丈夫」と考える方が多いようであるが、この「大丈夫」の理解が人によって異なるようである。設計者などの専門家は、法律の要求通り「倒壊しないこと」を指しているが、一般の方々は、「倒壊せず人命を守ることに加え、多少損傷は受けても地震直後から使い続けられる」と考えている方が多いと思われる。つまり、後者は世の中が期待する一般的な要求と考えられる。

一方で、災害対策拠点となる公共建築物のように地震後の継続使用が求められる建築物では、これまでも官庁施設の総合耐震計画基準[3]等により倒壊の防止だけでなく継続使用性を考慮した設計が行われてきた。しかし、

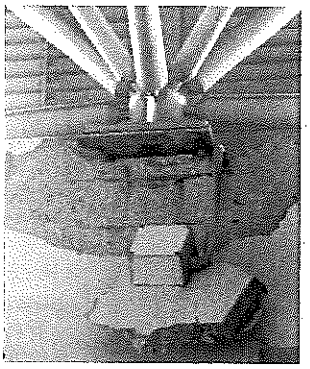


(a)柱のせん断破壊



(b)非構造壁の損傷

写真2　庁舎の被害



(RCと鉄骨造接合の損傷)

写真3　体育館の被害



写真4　杭の被害

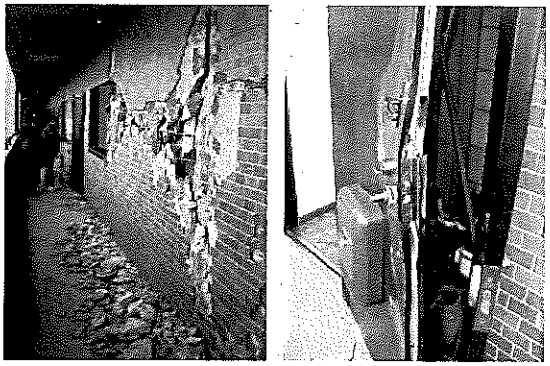


写真5　RC造非構造壁とドアの損傷

震災直後の混乱をできるだけ軽減するためには、民間による建築物のBCPに従った継続使用性の確保も不可欠であり、さらに避難所に人々が押し寄せるような事態を避けるためには、一般の住居においても震災後も住まい続けられるような性能を付与させる必要がある。しかも社会からは、これらのような地震後の継続使用性を、できるだけ安くかつ確実に実現することも求められる。

(4) 本報告の目的

以上を踏まえ、地震後も継続使用できるRC造建築物として、新たな形式の構造方法を提案する。ここでは、まず構造耐力上主要な部分の過大な損傷等により建築物が継続使用できなくなる事態を避けることに主眼を置く。なお、継続使用のためには、非構造部材や設備機器の損傷に起因する継続使用性の喪失も防ぐ必要があるが、これらについては現在実施中の検討の結果がまとまり次第報告していく予定であり、ここでは詳しくは触れない。

3. 提案する架構

RC造建築物の地震後の継続使用性を確保するために提案する構造方法は以下の通りである。

柱はりフレーム構造の柱を袖壁付き柱とし、袖壁のない柱はりフレーム構造よりも高い強度と剛性を各層に付与させ、地震応答変位を低減させる。それにより、構造耐力上主要な部分や非構造部材および設備機器の強制変形による損傷を減らす。また、必要に応じて袖壁以外の残りの非構造壁に3方スリットを設けそれらの損傷も低減する。これにより、架構の残存耐震性能の低下を軽減するとともに、非構造部材や設備機器の損傷等に起因する継続使用性への影響を防ぐ。なお、強度が高くなる分、想定する崩壊形を確保するための保証設計がより重要となる。

袖壁付き柱を活用する場合、はりの危険断面が柱フェイスではなく袖壁端に移動するため、柱はり接合部にひび割れ等の損傷が生じにくくなり、その修復作業を軽減することができる。また、袖壁付き柱は、たとえ想定以上の外力によって大きな層間変形角が生じ袖壁端部が圧壊しても、軸力を支持する柱は健全であるため、構造物としての崩壊に対する余裕度は十分に保たれるという利点も有している。

上記の考えの元、ここで提案するRC造袖壁付き架構は以下の2種類である（図1参照）。

1) 袖壁を有効活用してDs=0.4程度の強度を確保し、大地震（ごく希に発生する地震）に対する層間変形角を1/100以下に留める。袖壁の補強筋はできるだけ密に配筋してひび割れ幅を低減させ、袖壁端部は閉鎖型補強筋でコンクリートを十分に拘束し圧縮靭性を高める。

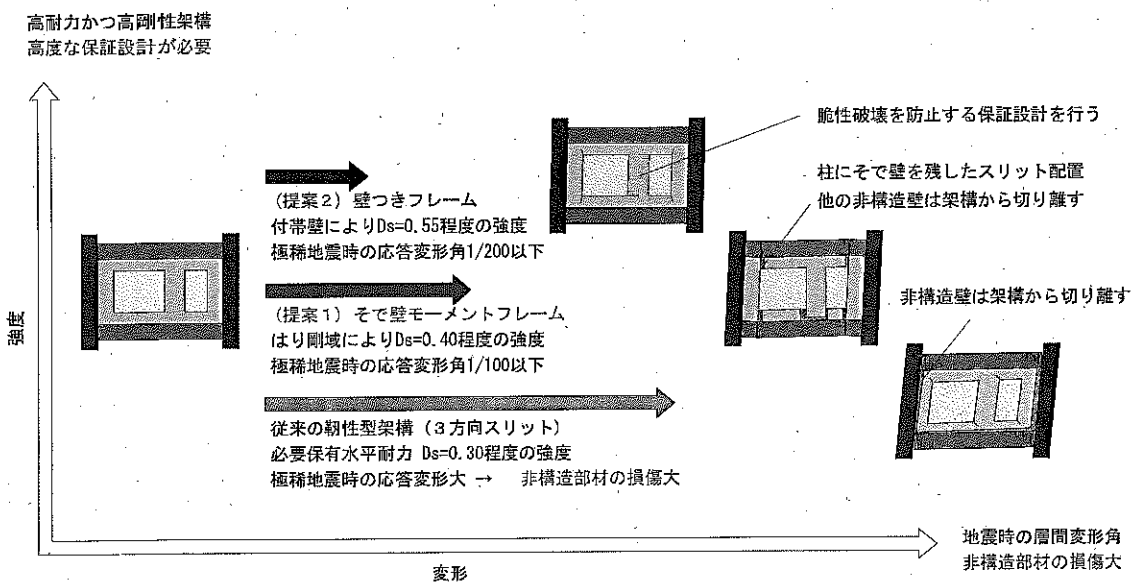


図１　提案する架構と想定する応答性状

また、袖壁以外の非構造壁には3方スリットを設けてそれ自身のひび割れ損傷を低減させる。これらにより、何れの損傷も、継続使用に支障が無い程度に抑える。

2) 従来、非構造壁として扱われてきた壁を全て構造抵抗要素として活用し、Ds=0.55を確保して大地震（ごく希に発生する地震）に対する層間変形角を1/200以下に留めるとともに、あらゆる脆性破壊を防ぐ。壁はできるだけ厚くし壁筋も多く配筋する。これらにより、建築物の応答を弾性範囲に留めるとともにひび割れ損傷も低減させて、継続使用に支障が無い程度に抑える。

4. 構造設計法と検討課題

従来の建築物では、非構造壁はスリットにより柱梁と分離されていたり、壁厚が小さく強度、剛性への寄与が小さい等といった理由から、構造設計においてその存在を無視する方法が慣用的に用いられることが多かった。一方、提案する構造方法では非構造壁の一部または全部が柱梁と一体化され、またそれらの非構造壁は耐力壁と同等以上の壁厚を確保することにより強度、剛性を増大させることとしているため、柱梁と一体化する非構造壁を考慮した構造設計を行う必要がある。ここでは、提案する構造方法による建築物の構造設計法の考え方とその検討課題について述べる。

構造設計法は従来のRC造建築物と同様に考えればよく、ここでは非構造壁を一体化することにより注意を要する点について以下に示す。

・柱梁単体の部材モデルを用いるのではなく、そで壁と一体化した柱、腰壁・垂れ壁と一体化した梁をそれぞれ一部材とみなした部材モデルを用いる必要がある。
・柱梁接合部のみを剛域とするのではなく、梁端の剛域はそで壁端部、柱端の剛域は腰壁・垂れ壁端部を基本として決定する必要がある。
・方立て壁が取り付く場合、その剛性、強度によっては上下の（腰壁・垂れ壁付き）梁の変形、応力に影響を与えることから、その影響を考慮する必要がある。
・保有水平耐力計算において、部材種別を判定する際には非構造壁と一体化した柱梁部材として取り扱う必要がある。

また、検討課題として以下が挙げられる。

・非構造壁と一体化した柱梁の強度、剛性、変形能、減衰の統一的評価法の確立が必要である。強度の評価については一定の知見が得られてきているが、剛性、変形能、減衰については未だ知見が少ない状況である。
・非構造壁付き柱梁からなる骨組における剛域の設定法の確立が必要である。壁厚、壁筋、応力分布等により剛域が変化することが想定されるが、それらの定量的評価が必要である。
・非構造壁付き柱梁の変形・応力と損傷の関係を明らかにし、損傷状況を踏まえた許容耐力の提案が必要である。

これらの課題の解決に向け、非構造壁の取り付く柱梁部材やそれらの部材から部分架構の加力実験を実施し（写真6、7）、構造設計法の整備を進めている。

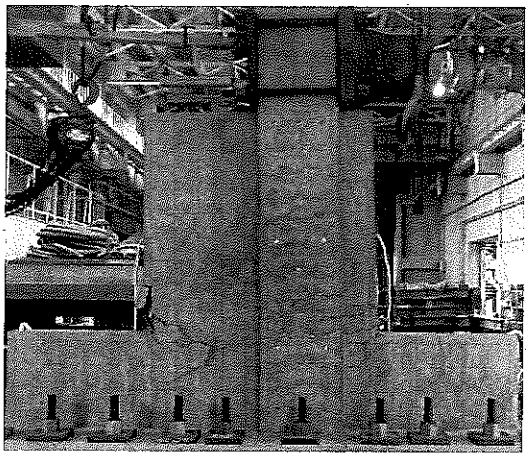


写真6　腰壁・垂れ壁付き梁の加力実験

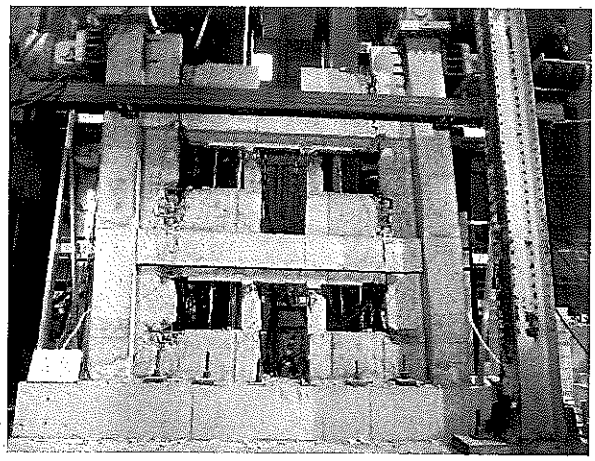


写真7　非構造壁付き部分架構の加力実験

5. まとめ

本論では、近年の地震被害事例の特徴を分析し，大地震後の建築物の継続使用性を満足できるRC造建築物の構造方法を提案し、その実現に向けた課題を整理した。その概要は下記の通り。

1) 既往の被災事例より，RC造非構造壁の破壊によって継続使用性が阻害される
2) 当該非構造壁を有効活用することで，大地震後の継続使用性を確保できる可能性がある。具体的な方法としては以下の通り。
   a) 袖壁付き柱架構でDs=0.4以上の耐力を確保し，袖壁部は肉厚の断面と密な配筋によって損傷を極力抑え，それ以外の非構造壁についてはスリットを設け損傷低減を図る
   b) 壁部材を全て構造抵抗要素として活用し、Ds=0.55以上を確保して大地震（ごく希に発生する地震）に対する層間変形角を1/200以下に留めるとともに、あらゆる脆性破壊を防ぐことで損傷低減を図る

ここで提案する壁付き架構の構造設計においては壁付き部材の負担応力が大きくなることから、継続使用性確保のために、①中小地震に対して壁を軽微以下の損傷状態にとどめること、および、②大地震に対して継続使用可能な損傷状態にとどめ，かつ現行基準が求める靭性能を確保すること、の確認が必要となる。

参考文献

1) 内閣府防災担当、企業評価・業務継続ワーキンググループ：事業継続ガイドライン第一版ーわが国企業の減災と災害対応の向上のためにー、2005.8
2) 国土交通省国土技術政策総合研究所、（独）建築研究所：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震被害調査報告、国総研資料第674号、建築研究資料第136号、2012.3、http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/20110311/0311report.html
3) 建設大臣官庁営繕部監修：官庁施設の総合耐震計画基準及び同解説、公共建築協会、1996.11

新桂沢ダムにおける基礎岩盤の評価手法
—同軸嵩上げダムにおける既設ダム堤敷の岩盤評価—

尾関　敏久[1]・長田　仁[2]・谷口　清[2]・菅野　裕也[2]

[1]北海道開発局 旭川開発建設部 サンルダム建設事業所　（〒098-1205 北海道上川郡下川町西町68）

[2]北海道開発局 札幌開発建設部 幾春別川ダム建設事業所　（〒068-2113 北海道三笠市幾春別山手町91-1）.

幾春別川総合開発事業では，桂沢ダムの再開発（同軸嵩上げ：新桂沢ダム）と新規流水型ダム（台形ＣＳＧ：三笠ぽんべつダム）の建設を進めている．新桂沢ダムは堤敷面の約7割を1957年完成の桂沢ダムが占めるが，桂沢ダム建設当時の詳細な岩盤情報が現在の解析に耐えうる形で残されていなかった．本報告では，ボーリング調査による直接的な状況確認が困難な既設ダム堤敷面を含めた新桂沢ダムの岩盤評価手法について述べる．

キーワード　基礎技術，ダム再開発，同軸嵩上げ，岩盤評価

1. はじめに

新桂沢ダムは，石狩川水系幾春別川上流（図-1）に位置する北海道開発局で最初に建設された多目的ダムである桂沢ダム（1957年完成，堤高63.6m，堤頂長334.25m）を，我が国の直轄ダムとしては初めてダム軸を同じくして11.9mの嵩上げ（表-1，図-2，3）を行う再開発ダムであり，洪水調節，水道用水，発電最大出力の強化，新規工業用水の確保を目的とする．

新桂沢ダムは，既設の桂沢ダムを運用しながら建設を実施する計画としており，転流方法，建設中のダム運用，新旧堤体コンクリートの一体化等，新規ダムとは違った技術的課題を多く有する．

桂沢ダムは56年以上が経過した現在でも健全にその役割を果たしているが，河川管理施設等構造令の制定前に建設されたダムであり，新桂沢ダムの建設にあたっては現行の設計基準に合致したものでなければならないことから，あらためて既設堤体堤敷を含めた岩盤評価が必要である．

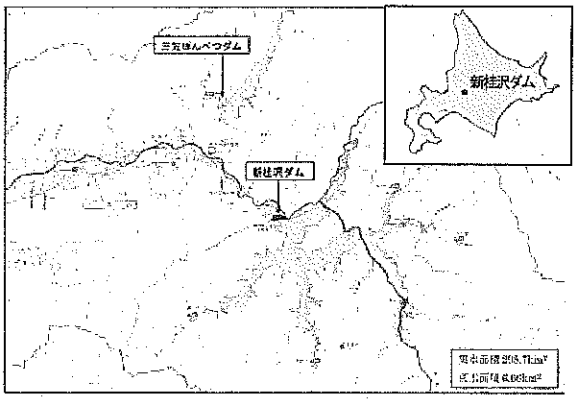


図-1 新桂沢ダムの位置図

既設堤体堤敷は施工時に基礎掘削等により直接確認することが不可能であるが，桂沢ダム建設当時の基礎掘削時の岩盤スケッチ等，基礎岩盤の詳細な情報についても残っていない状況であった．

本論では，上述のように直接的な状況確認が困難な同軸嵩上げダムにおける旧堤体側基礎において，限られた情報を基に実施した岩盤評価手法について述べる．

2. 基礎資料の収集

(1) 直接的情報

通常，ダムの地質調査を行う際，露頭，横坑，トレンチ，ボーリング等の調査により直接地質の性状を把握する．これらは通常，ダム軸に平行及び垂直な測線からな

表-1 新桂沢ダムの計画概要

項目		桂沢ダム（既設）	新桂沢ダム
堤体	位置	北海道三笠市桂沢地先	
	型式	重力式コンクリートダム	
	堤高	63.6m	75.5m(+11.9m)
	堤頂長	334.25m	397.0m(+62.7m)
	堤体積	350,000㎥	594,800m3(245千㎥)
	非越流部標高	EL.188.60m	EL.199.90m
貯水池	集水面積	298.7km²(うち、間接流域147.5km²)	
	湛水面積	4.99km²	6.66km2(+1.67km²)
	総貯水容量	92,700千㎥	147,300千㎥ (+54,600千㎥)
	有効貯水容量	81,800千㎥	136,400千㎥ (+54,600千㎥)
	洪水期制限水位	EL.184.750	EL.190.700
	常時満水位	EL.187.000	EL.193.100
	サーチャージ水位	EL.187.000	EL.196.800
	設計洪水位	—	EL.198.900
計画流量	最大取水量	23.5㎥/s	25.847㎥/s
	計画高水流量	550㎥/s	910㎥/s
	ダム設計洪水流量	660㎥/s	1,200㎥/s

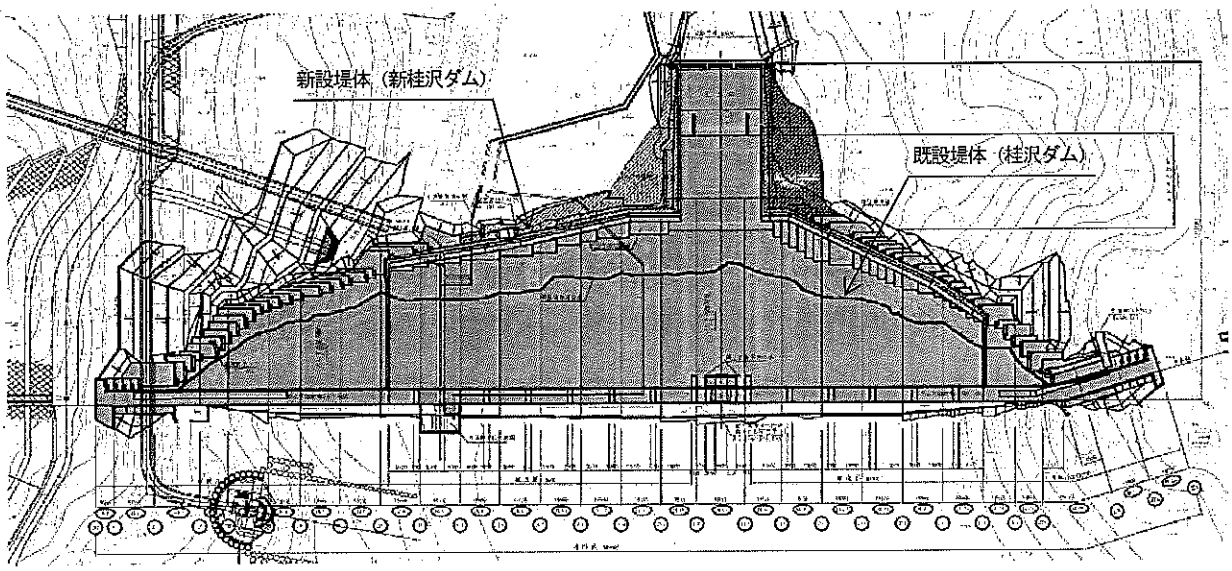


図-2　新桂沢ダム平面図

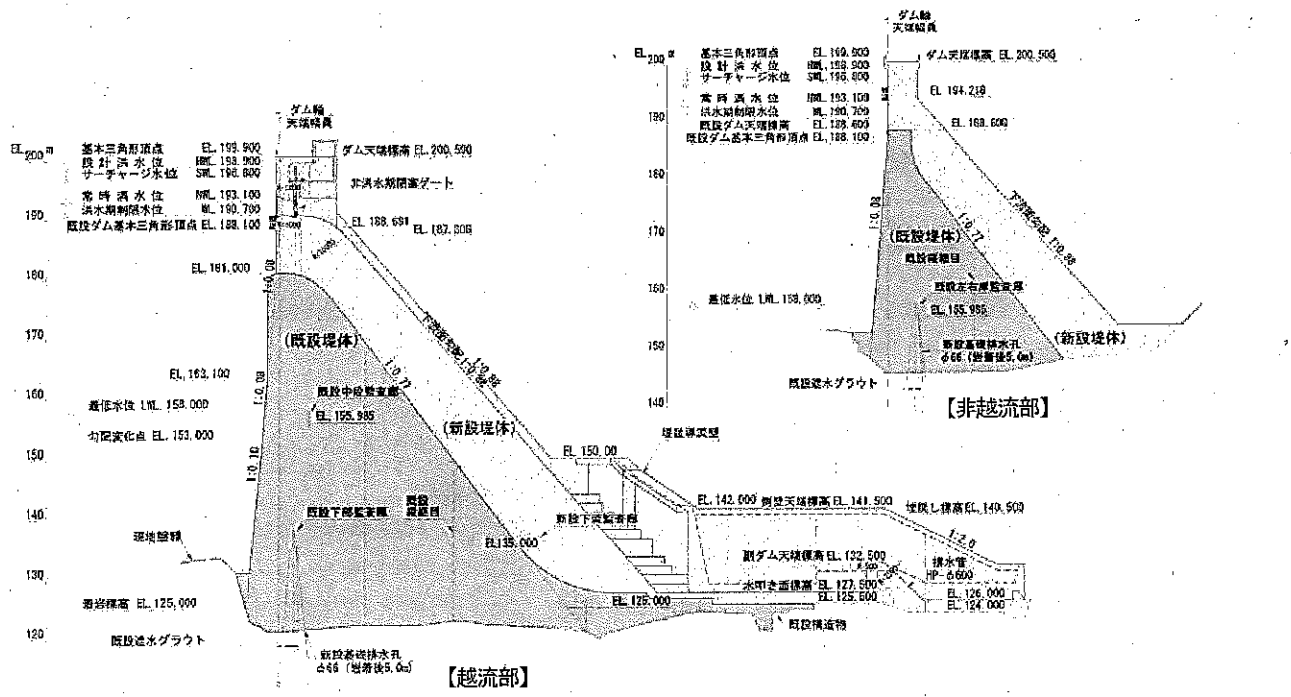


図-3　新桂沢ダム標準断面図

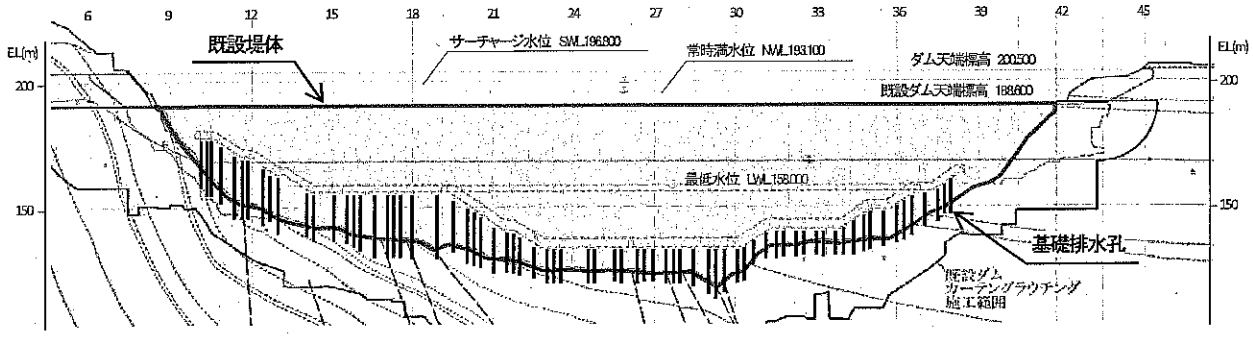


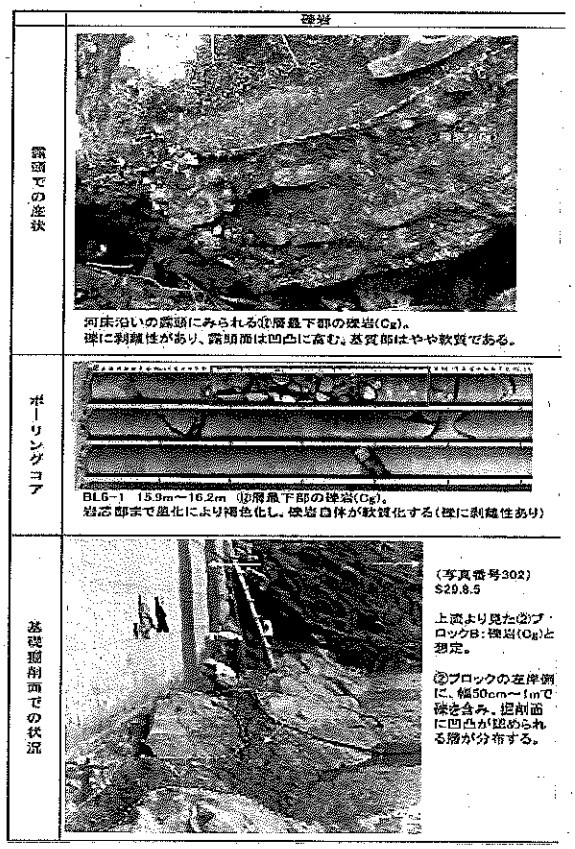
図-4　基礎排水孔ボーリング箇所図

るグリッドを設定して行う[1]．新桂沢ダムにおいても同様の調査を実施したが，既設堤体部においてはグリッド状にボーリング調査を行うことができなかったことから，既設ダム監査廊にて，既にその多くが閉塞していた基礎排水孔の再設置を兼ねてコアボーリングを実施した（図-4）．これにより，監査廊沿いに概ね5m間隔で着岩5m深度までの岩盤情報を得た．

(2) 間接的情報

ボーリング調査ができない既設堤体堤敷の情報を補完するため，ここでは既設ダムの建設当時の施工記録写真や床固め（現在のコンソリデーション）グラウチング記録等の情報を活用した．特に掘削面を撮影した記録写真が260枚程存在したことから，これらの写真の撮影範囲を確認，整理の上，岩相毎に，近傍のボーリングコア，露頭情報，写真での状況を表-2に示すように関連付けた．また，記録写真は，撮影範囲毎に岩相の見え方に着目して「判読可能」「不明瞭」「遠景」「写真なし」に分け情報の「確からしさ」を区分した．（表-3）

表-2 地質対比表



3. 地質図の作成

(1) 地質図作成フロー

岩級区分図の作成にあたり必要となる地質図の作成フローを図-5に示す．新規ダムの場合，基礎掘削時に岩盤

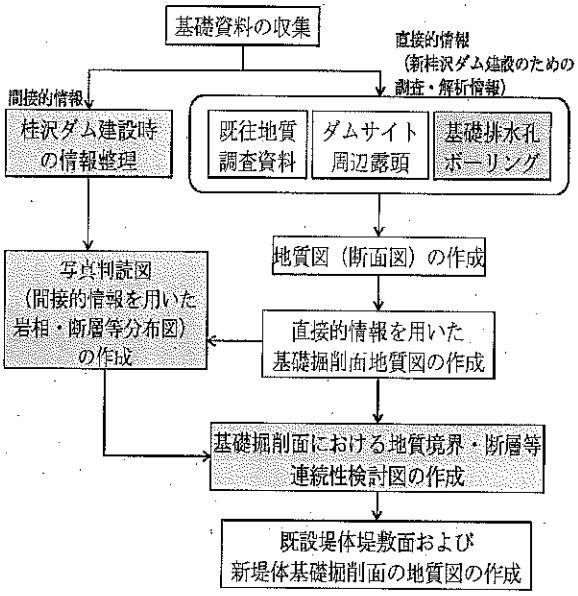
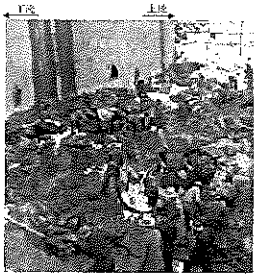


図-5 地質図作成フロー

表-3 確からしさの区分

	判読可能	不明瞭	遠景写真	写真なし
写真				
状況	施工記録写真があり、岩相の識別ができる。 地質弱部の位置を判読出来る。	施工記録写真はあり、概ねの岩相は判読できるが、作業者や水たまり、掘削ズリなどで地質境界や性状の識別ができない。また、地質弱部の位置などまで判読できない。	施工記録写真はあるが、遠景のため性状の判読までは不可能である。	施工記録写真が無く、掘削面の情報がない。

スケッチを行うが，当ダムの場合，既設堤体堤敷部では基礎掘削を実施しない為，堤体工事前の現段階での地質図の作成は特に重要である．

新規ダムの場合，作成フローは概ね黄色の箇所のみで作業を進めるが，ここでは，前述のとおり限られた情報である直接的な情報（図-5右側）の補完として間接情報（同左側）を用いて既設堤体堤敷部の写真判読図を作成の上，ボーリングデータから断層や地質境界の連続性を検討し，地質図（平面図及び縦横断図）を作成した．

(2) 写真判読図（間接的情報に基づき作成した岩相・断層等分布図）の作成

前章で示したボーリングコア，露頭と施工記録写真の関連付けにより，写真判読から作成した既設堤体堤敷面の地質図を図-6に示す．ここでは，岩相や断層が明瞭に判読できる箇所のみ着色して表現した．

(3) 地質境界・断層等連続性検討図

作成した写真判読図と近傍のボーリングコアの状況から，写真による情報が得られていない箇所について，地質境界や断層の連続性を検討した（図-7）．検討図では，露頭やボーリングコア，写真等複数の情報で確認されている線を赤，ボーリングコアのみで確認している線を橙，写真のみで確認している線を緑に分けて記載し，情報量の違いを表現している．

(4) 地質図の作成

ボーリングコアによる地質情報と前項で作成した地質境界及び断層の連続性に関する情報から地質平面図を作成するとともに，これを用いてボーリング情報のみから想定した地質縦断を見直し，地質縦断図を作成した．図-8に示す地質平面図では，監査廊周辺や既設ダムより下流の密に直接的な情報が得られ，地質図としてほぼ確実な箇所をⅠ，既設堤体堤敷面において直接的又は間接的情報から連続性の良い地質を反映して判断した箇所をⅡに確実度を区分して整理した．

新桂沢ダム堤敷面の地質は，左岸側の一部に砂質岩主体の中部エゾ層群三笠層が分布する他は，大部分を泥質岩主体の上部エゾ層群が占める．また，河床部には上下流方向に比較的大きな高角度断層（F3）とこれより左岸側に小規模な断層が存在している．

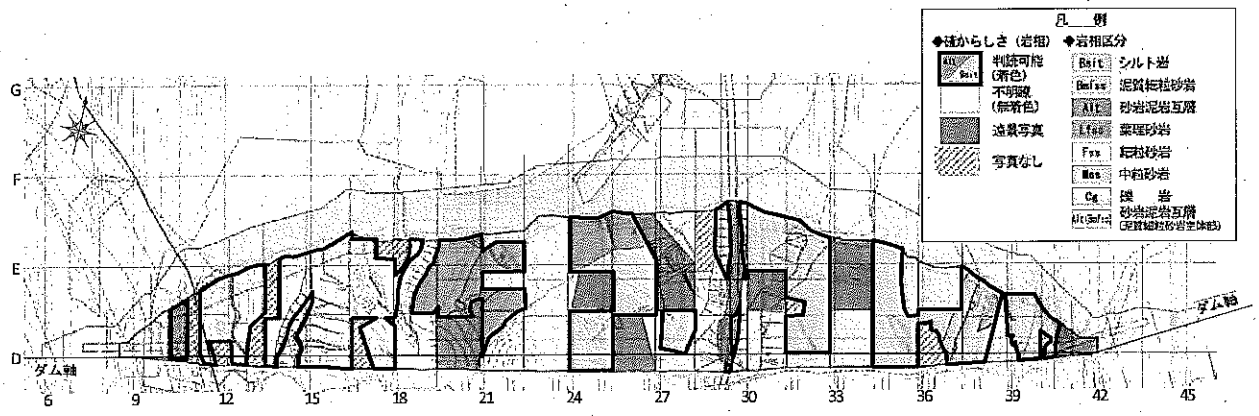


図-6 写真判読図（間接的情報に基づき作成した岩相・断層等分布図）

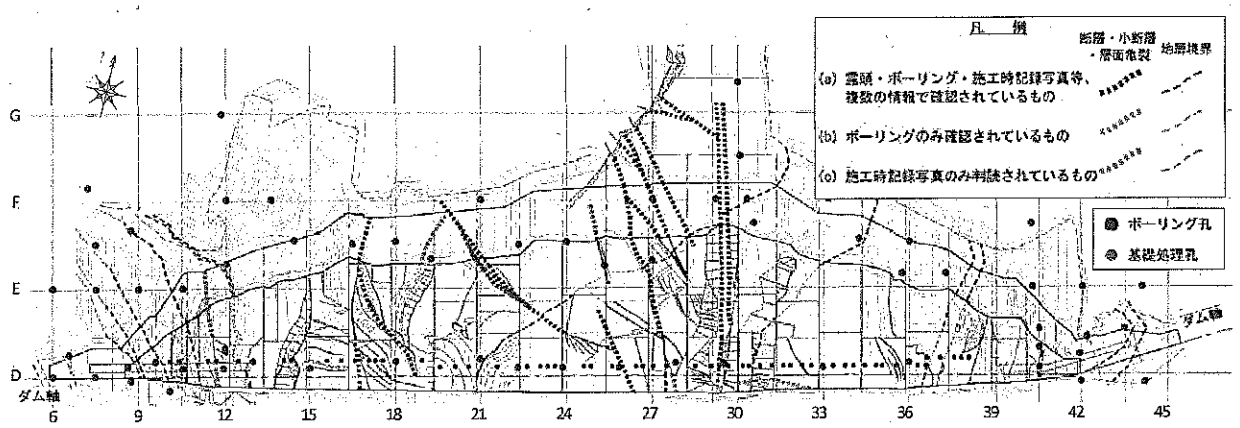


図-7 地質境界・断層等連続性検討図

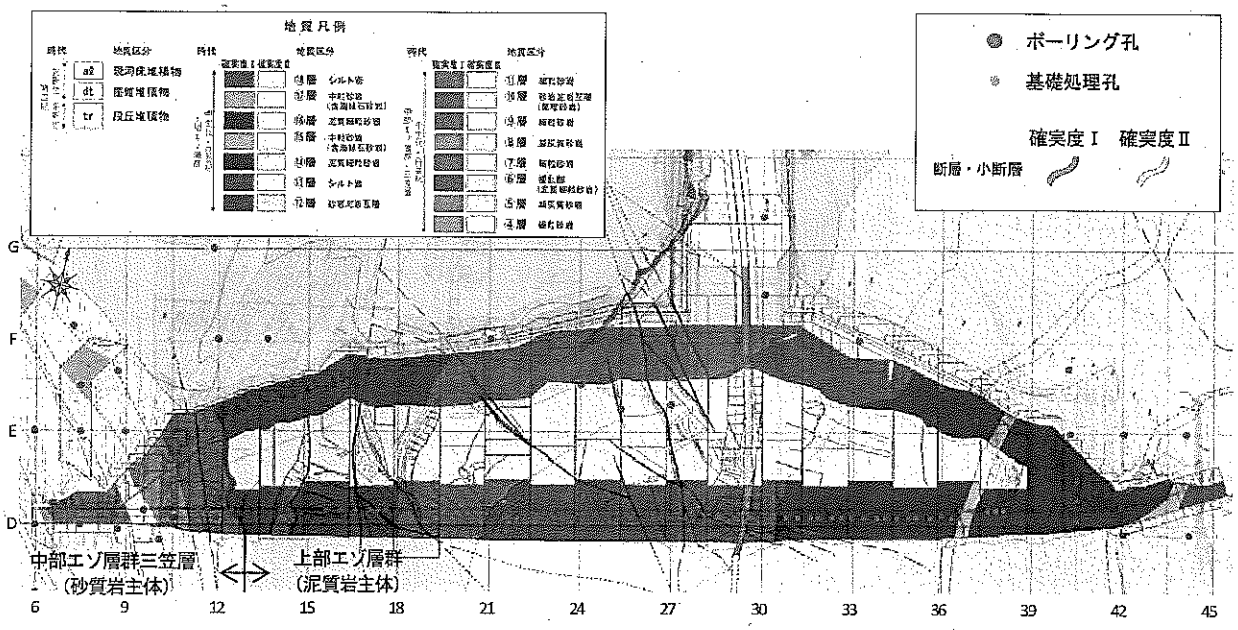


図-8　地質平面図

4. 岩級区分図の作成

(1) 岩級区分図作成フロー

岩級区分図の作成フローを図-9に示す．岩級設定にあたっては，「岩塊の硬さ」「割れ目の間隔」「割れ目の性状」の三要素の組合せによりCH級～D級まで区分している．ボーリング調査箇所においては，これら三要素の情報が直接得られるが，既設堤敷部において各岩級がどのように分布しているか推定するため，ここでも間接的情報である施工記録写真での判読（フロー左側）が必要となる．最終的には地質図を基に，直接的・間接的調査によって岩盤の三要素組合が得られた箇所毎に岩級を設定した．なお，新規ダムでは，概ね水色と黄色の箇所（フロー右側）のみで検討を進めることとなる．

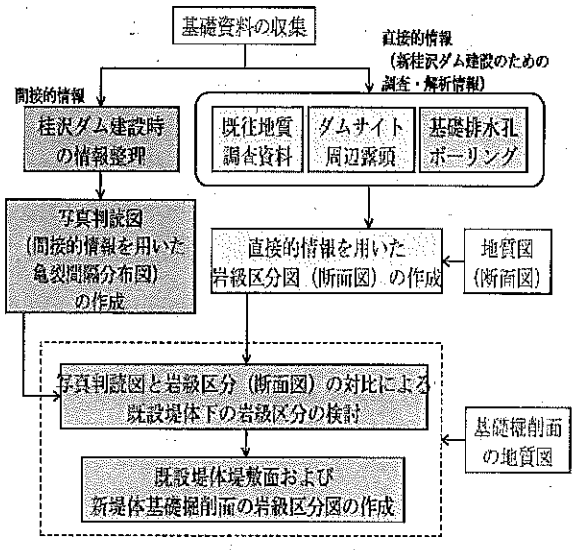


図-9　岩級区分図作成フロー

(2) 写真判読図（間接的情報に基づき作成した亀裂間隔分布図）の作成

写真において得られる情報は「割れ目の間隔」であり，岩相毎に撮影箇所の亀裂間隔の判読を行い，図-10に示すような写真判読図を作成した．この時，地質図作成時と同様に「確からしさ」による区分を行った．

(3) 岩級区分図の作成

ボーリングデータから作成した岩級区分図と写真判読の結果を関連づけ，地質図から得られる地質の連続性を加味して各岩級の分布を検討し，岩級区分図（平面図及び縦横断図）を作成した．

図-11に示す岩級区分平面図では，密な調査により直接情報が得られ岩盤状況の分布が確実なものをⅠ，既設堤敷部でブロック毎に評価した時に，上下流のボーリングで岩盤状況を確認し，地質の連続性が良い箇所をⅡ，直接的・間接的情報が無く，周辺の岩盤状況から想定した箇所をⅢに確実度を区分して整理した．

新桂沢ダムの堤敷面の岩級は，左右岸アバット部にCL～CM級が分布し，河床部では断層周辺等にCM級が分布する他は概ね良好なCH級が広がっている．なお，堤体設計において，作成した岩級区分平面図を用いて堤体の安定計算を行う際，確実度Ⅲの部分においてはD級岩盤の広がりが無いことを確認の上，安全側を考慮し，CL級を最低限度として，CH級が想定される場合はCM級へ，CM級が想定される場合はCL級へそれぞれ岩級を1ランク下げて安定計算を実施することにより，基礎掘削時に確認することができない岩盤状況の不確実性を設計に反映させた．

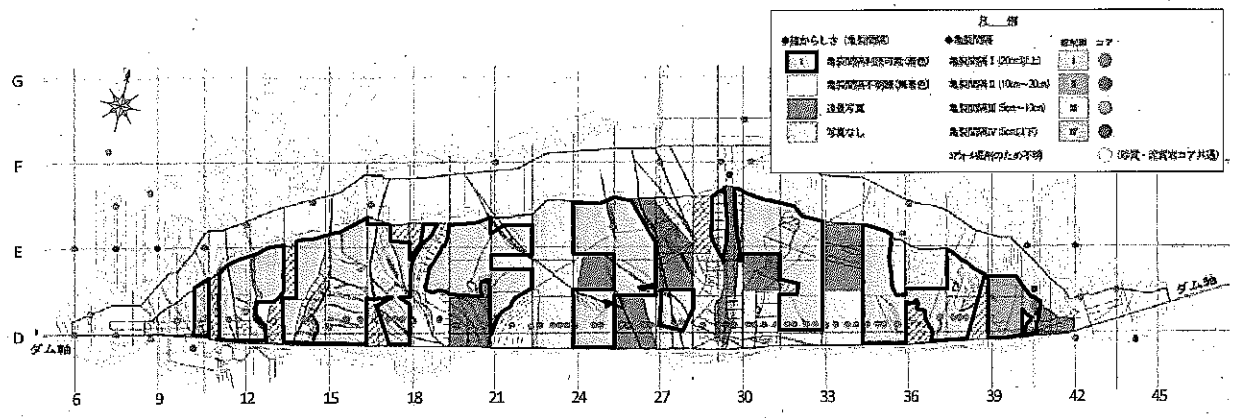


図-10 写真判読図（間接的情報に基づき作成した亀裂間隔分布図）

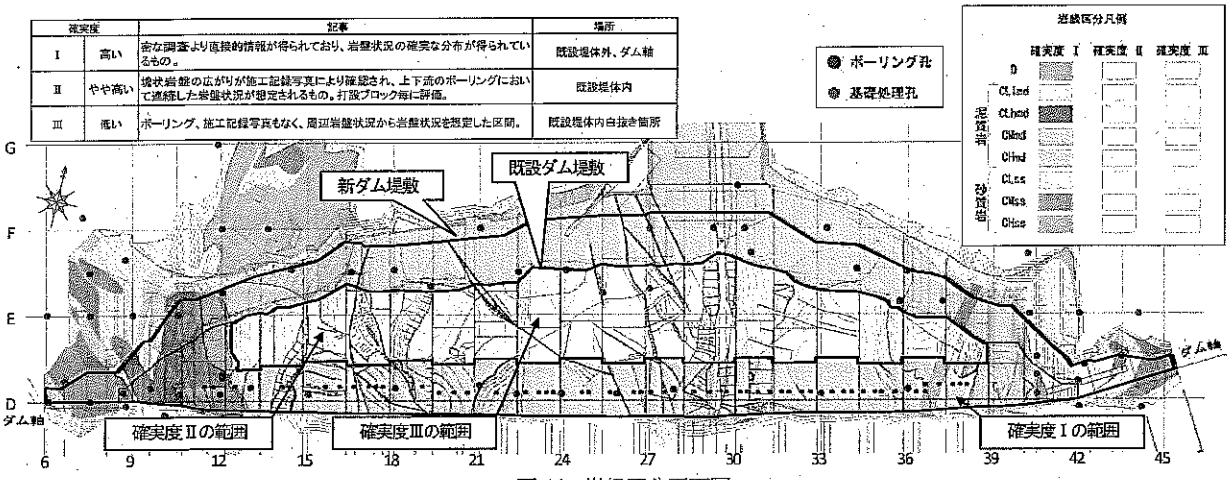


図-11 岩級区分平面図

5. まとめ

本論の内容をまとめると以下のとおりである．

① 再開発事業における同軸嵩上げダムでは，既設ダムが古く，堤体基礎の情報が適切に残されていないことがある．

② 同軸嵩上げダムの場合，既設堤敷面は，直接岩盤面を確認する機会が無いことから，密な地質調査を行うことが困難であり，当該箇所の岩盤状況をいかに把握するかが特に重要となる．

③ 既設ダム建設当時の情報を広く収集し，これを間接的情報として，調査ボーリング，露頭，調査横坑などの直接的情報の補完として活用し，総合的な解析及び推定を行う必要がある．

④ 作成した地質図や岩級区分図は，情報の確からしさや情報量により「確実度」を区分して整理，作成するとともに，確実度の劣る箇所は安全側を考慮して設計を行う．

今後，新規のダム開発が減少する一方で，既存ダムの有効利用として，当ダムのような同軸嵩上げによる既設ダムの再開発が増えることも考えられる．本論では，通常，新規ダムの地質解析では作成しないであろう図面を中心に掲載した．本事例が今後の同軸嵩上げダムの参考となれば幸いである．

同軸嵩上げダムの場合，既設ダムの設計・施工に関する詳細な情報が残っていることが望ましいことは明白であり，当ダムの岩級区分図ように確実度が低い箇所がある場合，安全側に設計せざるを得ないこととなり，コスト増につながる恐れもある．さらには，新規ダムも含めて，設計・施工の情報を適切に取りまとめ，保存しておくことは，長期的な観点から，将来，時代のニーズに応じた再開発を行う際，又は災害等により堤体に何らかの異変が認められた際に非常に重要になると考える．

謝辞：本検討を行う上で（独）土木研究所並びに寒地土木研究所，国土技術政策総合研究所の関係者から評価手法及び評価内容に関わる多数の助言を頂戴した．ここに感謝の意を表したい．

参考文献

1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 第3巻 調査II編 p77

緊急油圧装置の開発

笠原 諭[1]・清永 勇治[2]

1. 独立行政法人水資源機構 関西支社 設備課（〒540-0005 大阪市中央区上町A番12号）
2. 前：独立行政法人水資源機構 関西支社 事業部 参事役（〒540-0005 大阪市中央区上町A番12号）

概要

油圧を駆動源とするゲート設備等に於いて、通常時はもちろん大規模災害時に電源喪失や機器故障等により電気機器が使用不可となった場合、ゲート等の操作が不能となり施設管理に重大な支障を及ぼすことが想定される。現状は、装置の二重化等は図られているが、電源喪失や機器故障時等には使用不能となることや各種バルブ操作が必要となるなど「パニック状態」に於いて万全なものとは言い難い。

そこで大規模災害時を想定した、更なる危機管理強化を図るべく、「小型軽量で簡単かつ確実に操作ができる非常用の油圧装置」を現場に設置することを念頭に、「緊急油圧装置」を開発したものである。

本稿は、これまでの開発経緯・設計・検討における考え方および今後の展開について報告するものである。

キーワード：危機管理、予備動力装置、油圧駆動

1. はじめに

ダムにおける機械設備の中でも、洪水調節や常時の利水放流のために設置されている「放流設備」の開閉装置は油圧駆動式であることが多く、ダムによっては主放流設備が1門の場合もあり、万一異常洪水時等にゲート設備が使用不可能になるような危機に対し、事前に対策を講じておく必要があることから、現状では設備の二重化等を実施しているが万全の対策とは言い難い。

また、東日本大震災以降、更なる危機管理対策が求められており、今後大規模災害等を想定した危機管理対策の強化が急務である。

ゲート設備の開閉装置はワイヤロープ式と油圧駆動式が主に使用されているが、ワイヤロープ式については市販の予備動力装置があることから、今回油圧駆動式の開閉装置を対象として、新たに「緊急油圧装置」を開発したものである。本装置の特徴は、小型・軽量で電源を必要とせず、操作が極めて簡単であり、構造がシンプルでコスト的にも安価な装置である。

2. 既存の危機管理対策

油圧駆動式のダム用ゲート設備において、特に確実な操作が必要な「主放流設備」における危機管理対策として、予備発電装置や予備動力装置が設置されている。しかし、油圧駆動装置のバックアップとして今後設置するにはいくつかの課題があることから、必ずしもベストであるとは言い難い。各装置の課題について表-1に記載する。

表-1 既存の危機管理対策

危機管理対策	内　容	課　題
機側予備発電装置	設置できれば、通常どおりの電気的操作が可能	既存設備に設置するには、スペースの問題や高価なことからコスト的な制約があり、設置できないケースがほとんどである。また、機器故障時や水没時には操作不能
手動装置	手動ポンプによりゲート等を操作	技術基準において、操作力100N・30rpmで操作可能時間10分程度とされており、開閉時間および操作者の体力に限界がある
予備装置	予備モータ&ポンプ	電源喪失時や水没時は使用不可能
予備エンジン	別置きの予備エンジン&ポンプにより、既設油圧ユニットの油圧回路を使用してゲート等を操作	既設油圧ユニットを使用することから、ユニット内の各種バルブ操作が必要なため、熟練が必要であり、誰でも操作するのは困難。また、機器故障時には操作不能

3. 開発の経緯

本装置の開発にあたっては、阪神淡路および東日本大震災を目の当たりにし、大規模災害時に起こりえる電源喪失や機器故障、水没による操作不能がもたらす甚大な被害を再認識し、対策を事前に講じておく事の重要性を痛感した。こうした危機管理強化は急務な課題であり、既存設備と切り離した独立したシステムによる操作装置が必要であるため、油圧総合システムメーカと共同で緊急油圧装置を開発することとした。

開発は2012年7月に着手し、2013年3月には基本開発を完了し、2013年6月に装置を完成するに至った。

4. 設計・検討

(1) 設計思想

開発にあたり、既存の危機管理対策の課題を克服するため、独自のシステムを構築することを前提とし、以下の基本思想を元に検討を行った。

① 操作が簡単で確実であること
② 小型軽量で可搬が可能なこと
③ 既存設備の改造が容易で少ないこと
④ 電源が不要なこと
⑤ 安価で汎用性があること

(2) 設計条件

ダム・堰施設技術基準（案）では予備動力装置の開閉速度は常時（0.3m/min）の1/2～1/3程度とされており、機構内の全てのダム主放流設備について、開閉速度・作動圧・油圧ポンプ能力の調査・比較を行い、本装置における設計条件の目安を表-2のとおり設定しエンジンと油圧ポンプの仕様を検討した。

表-2 設計条件の目安

設計圧力	6.9MPa	13.7MPa
設計流量	26.9L/min	18.5L/min
開閉速度	0.12m/min	0.12m/min

(3) 主要機器

a) エンジン＆油圧ポンプ

エンジンは、長期保管後でも確実に始動可能なディーゼルエンジンを採用し、エンジン出力は、始動性・操作性を考慮に入れ5.5～7.5PS程度として検討した。また、エンジン以外は共通の機器とすることで、製作効率を向上させコスト低減を図った。

油圧ポンプは、構造がシンプルで信頼性・耐久性が高く、長期保管性に優れるギヤポンプを採用した。

エンジンおよび油圧ポンプの選定にあたっては、目安として定めた設計条件を基に各エンジンと共通のポンプでトルク・出力を比較し、可能な限り吐出流量が設計条件に見合うよう選定した。表-3に検討結果を示す。

表-3 エンジン＆油圧ポンプの検討結果

	6.9MPa用		13.7MPa用	
	エンジン	油圧ポンプ	エンジン	油圧ポンプ
回転数	3600rpm	－	3600rpm	－
理論吐出量	－	6.16cc/rev	－	6.16cc/rev
トルク	1.16kg･m	0.74kg･m	1.68kg･m	1.46kg･m
出力	5.9PS	3.6PS	8.4PS	7.1PS
吐出流量（設計流量）		21.7L/min		21.2L/min

b) 制御バルブ

油圧回路を構成するにあたり、各種制御バルブについては、軽量化・シンプル化を図るため必要最少限の機能のみとし、表-4に本装置に設ける基本機能を示す。

表-4 基本機能

機能	内容	使用機器名
圧力設定	設定値以上の圧力になると作動油をタンクへ戻し、回路内の圧力を一定にすると共に、異常圧に対する安全弁となる。なお、閉側はロッドの座屈を防止する。	リリーフ弁
開度保持	作動油の逆流を防止することで、中間開度で停止した場合に、開度を保持する。また、パイロット圧が設定値以上になると逆方向にも作動油を流し、シリンダの往復動作を可能にする。	パイロットチェック弁
自走防止	設定圧力以上になると作動油が流れ始め、作動圧力とつり合いながら作動油を流し、開操作時における扉体自重による自走を防止する。	カウンタバランス弁

なお、設計圧力（6.9MPa、13.7MPa）は、リリーフ弁で設定しているが、設計圧力内であれば、任意に設定可能である。また、開閉速度（＝吐出流量）については、エンジンの回転数を調整することによりポンプ能力の範囲において変動させることが可能である。

c) 配管

配管は、作業性を考慮し高圧ゴムホースを採用した。操作に必要な作動油は、必要油量のタンクを本装置に設けることは装置が大型化するため、既設油圧ユニットの作動油を使用することで小型・軽量化を図り、作業性を考慮し吸込・戻り側ホースを既設油圧ユニットの給油口に挿入し使用することとした。駆動側ホースは、既設油圧ユニット外部もしくは油圧シリンダ部の配管へ接続する必要があり、作業を安全かつ簡単にするため、「ワンタッチカプラ＆接続ポート」により接続することとした。なお、事前に接続ポート（多機能弁等）は、既存設備に取り付けておく必要がある。また、駆動側ホースのA（開）・B（閉）ラインは、誤接続防止のため、ワンタッチカプラのオス・メスを逆にし、かつ異なる色で塗装することで接続ミスを無くすよう工夫した。

(4) 装置内圧力損失

本装置における各制御バルブと接続ホースの仕様を決定するにあたり、全構成機器の圧力損失を算出する必要があるが、計算には流量の多い6.9MPa用の21.7L/minを用いた。装置内圧力損失の総和は、「ゲート用開閉装置（油圧式）設計要領（案）」では2.5～3.0MPa以下とされているが、対象設備の負荷が不明確であることから2.0MPaを目標値として設計した結果、1.8MPaとなった。

設計圧力から本装置の圧力損失を差し引いた分を「有効作動圧力」として明示することで、本装置導入時点の圧力確認ができるようにした。全圧力損失イメージ図と有効作動圧力の計算結果を表-5および表-6に示す。

表-5　全圧力損失イメージ図

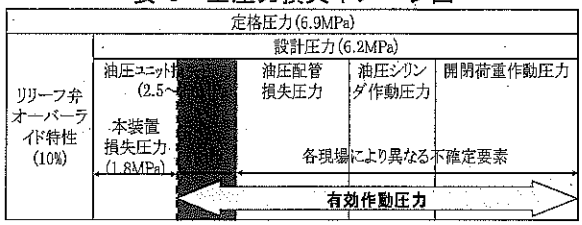


表-6 有効作動圧力

設計圧力	6.9MPa 用	13.7MPa 用
有効作動圧力	4.4MPa	10.5MPa

(5) その他の検討内容

a) 定置式＆可搬式

ゲートが複数門ある場合など本装置1台で供用することを考慮してタイヤ付の可搬式とし、定置式の場合はタイヤを外すことで兼用可能とした。また、架台をアルミ製にすることで 6.9MPa 用と 13.7MPa 用共に約 100kg の重量としたが、大人2人で運搬可能で、ライトバンに積載できることから、迅速な対応が可能である。

b) 開閉操作

一般的には、ソレノイドバルブ（電磁式方向切換弁）という特殊な切換弁を使用するが、操作が煩雑で分かりにくいため、簡単で確実な「手動切換レバー式」を採用した。操作は停止状態の中立から、「開」・「閉」側に倒すことで操作可能で、安全を考慮して手を離すと中立に戻るスプリングリターン方式を採用した。

c) 照明

実際の操作時が夜間かつ電源喪失時となった場合を考慮してライト付とした。ライトは取外し可能で、5m の延長ケーブルを付属し、広範囲に使用できるようにした。

d) 付属品

本装置を使用する際の各現場条件を考慮し、必要な付属品も準備し、表-7 に示す。

表-7　付属装置一覧

付　属　品	備　　考
給油口アタッチメント	給油口寸法がφ65 以下に使用
増設用燃料タンク（10L）	燃料増設用
排気管アタッチメント	排気ホース接続用

5. 検討結果

(1) 主要仕様

本装置の設計検討結果の主要仕様を表-8 に示す。

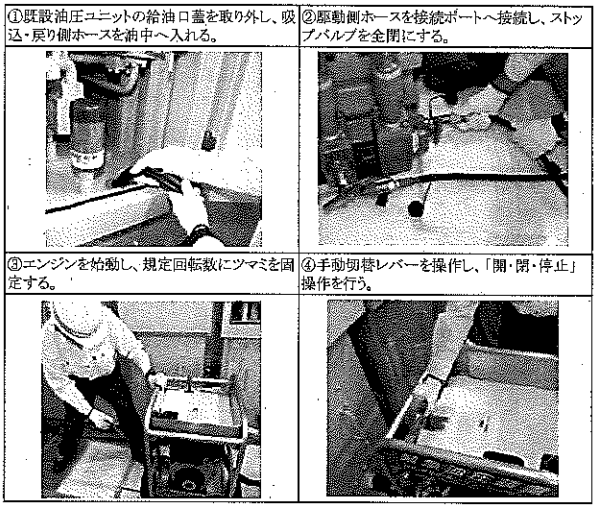
表-8　主要仕様

項　　目		6.9MPa用	13.7MPa用	備　考
緊急油圧装置	寸　法	550(W)×650(L)×830(H)	550(W)×650(L)×830(H)	
	重　量	90kg	105kg	
エンジン	タイプ	空冷ディーゼルエンジン	空冷ディーゼルエンジン	
	出　力	4.3kw(5.9ps)	6.2kw(8.4ps)	
	燃料消費量	270g/kwh	275kg/kwh	
	タンク容量	3.3L	5.4L	
ポンプ	タイプ	ギヤポンプ	ギヤポンプ	
	吐出量	21.7L/min	21.2L/min	
	有効作動圧力	4.4MPa	10.5MPa	※
ホース	吸込側	可搬型：2.5m、定置型：1.5m		
	戻り側	可搬型：2.5m、定置型：1.5m		
	駆動側(A)	可搬型：5.0m、定置型：1.5m		
	駆動側(B)	可搬型：5.0m、定置型：1.5m		

※一般的に使用されるゲート用油圧シリンダの面積比にて設計

(2)　操作方法

本装置の操作方法は以下のとおりシンプルなものとし、可能な限り現地での作業を軽減した。



ホース接続後、ストップ弁を全閉にした時点で、既設回路から独立し、独自の回路が構築される。本装置の使用イメージ図と回路構成図を図-1 および図-2 に示す。

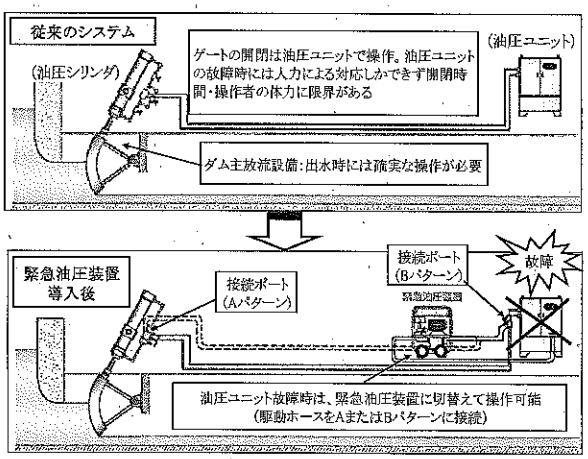


図-1　使用イメージ図

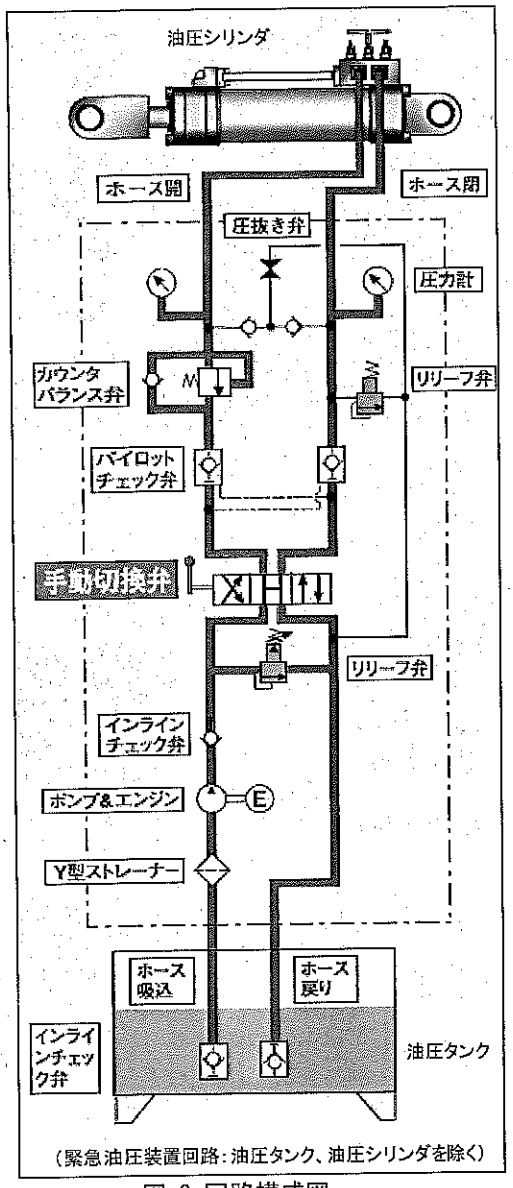


図-2 回路構成図

6. まとめ

本装置は、油圧装置に障害が生じた場合でも、既存の油圧回路から切り離すことで故障箇所等を回避し、最低限のシステムにより独自の油圧回路でゲート等を操作可能とする装置である。また、既設油圧ユニットのタンク内作動油を利用し、既設配管にホースを接続しエンジン駆動で油圧を送り、手動切換レバーにより簡単かつ確実にゲート等が操作可能で、様々な油圧駆動装置のバックアップとして、汎用性が高く幅広い範囲に使用可能である。

今回の開発は、油圧駆動装置のバックアップとして過去に例が無いものであるが、開発期間約1年という非常に短期間でスピード感を持って完了した。開発にあたっては、2013年3月に共同開発者と共に特許出願している。なお、開発後には実機による実証実験やデモンストレーションを行い性能・機能を確認すると共に、学識経験者等から「システムがシンプルで操作が簡単で良い」「プラス1で必要性の高いシステムである」と高い評価を得ている。

7. 今後の展開

本装置で開発したシステムは、機構内ではゲート設備が主な対象設備であるが、共同開発者工場にて保管していた試作機を他機関から購入の申し込みがあるなど極めてニーズが高く、広範囲にわたり危機管理上有効な装置であると考えられる。その他ゲート設備以外の例としては、災害対策機械として、構造物倒壊時等における可搬式油圧ジャッキや陸閘・防潮水門などへの応用、また本装置に遠隔操作機能を付加することで、操作者が近づけない場所等への応用も考えられ、より一層の危機管理対策が図れるものと期待できる。

最後に、地域住民の方々の生命・財産を守る為、既存・新規設備を問わず広く応用・設置され、危機管理上の必需品として配備されるよう祈念いたします。

防災拠点のネットワーク形成に向けた検討

野村　博[1]・山口　佑介[1]

[1]企画部　防災課（〒460-8514 名古屋市中区三の丸2-5-1）

南海トラフ地震が、最大規模で発生した場合には、死者約32万3千人、直接被害約170兆円、約45兆円の生産・サービス低下が想定されている。中部圏は、自動車関連産業を中心に、我が国の経済・産業を支える基幹企業やその関連企業が数多く立地しており、ものづくりの生産拠点として、我が国において重要な位置を占めている。中部圏における広域で甚大な被害は、我が国の経済社会全体に多大な影響を及ぼすと考えられることから、救命・救助のみならず、迅速かつ円滑な復旧・復興を可能とする圏域の防災体制の確立が急務となっている。

キーワード：広域防災拠点，南海トラフ地震，中部圏地震防災基本戦略

1．はじめに

我が国においては、21 世紀前半に南海トラフ沿いで大規模な地震が発生することが懸念されている。加えて、首都直下地震、火山噴火等の大規模災害が発生するおそれも指摘されている。これらの災害が、最大クラスの規模で発生した場合に、東日本大震災を超える甚大な人的・物的被害が発生することはほぼ確実とされている[1]。自動車関連産業をはじめ、日本のものづくりの中心である中部圏で甚大な被害が発生した場合には、我が国経済社会全体に多大な影響を及ぼすと考えられることから、応急復旧活動を効率的に展開し、速やかな復旧・復興を図るため、あらかじめ防災拠点ネットワークの整備を進める必要がある。

このような状況の下、中部圏の国、地方公共団体、学識経験者、地元経済界など129の構成員からなる「南海トラフ地震対策中部圏戦略会議」を平成23年10月に設立し、平成23年12月には南海トラフ地震等の大災害に対して総合的かつ広域的視点から重点的・戦略的に取り組むべき事項を「中部圏地震防災基本戦略（中間とりまとめ）」[2]としてとりまとめた。

基本戦略（中間取りまとめ）では、292項目に及ぶ「実施すべき個別検討項目」[3]の中から、各機関の緊密な連携なくしては解決が難しく、かつ緊急に対処すべき10の連携課題を抽出し、その中の一つとして「広域防災拠点のネットワーク形成に向けた検討」が選定された（図-1）。

中部圏の地震・津波被害に強い防災拠点ネットワーク形成を促進するため、学識経験者、地方公共団体、中部地方整備局等で構成する「防災拠点のネットワーク形成に向けた検討会」（以下、検討会とよぶ。）を設立し、5カ所の基幹的広域防災拠点を含む27カ所の広域防災拠点配置案を「中部圏地震防災基本戦略」[4]（最終とりまとめ）に位置づけた。

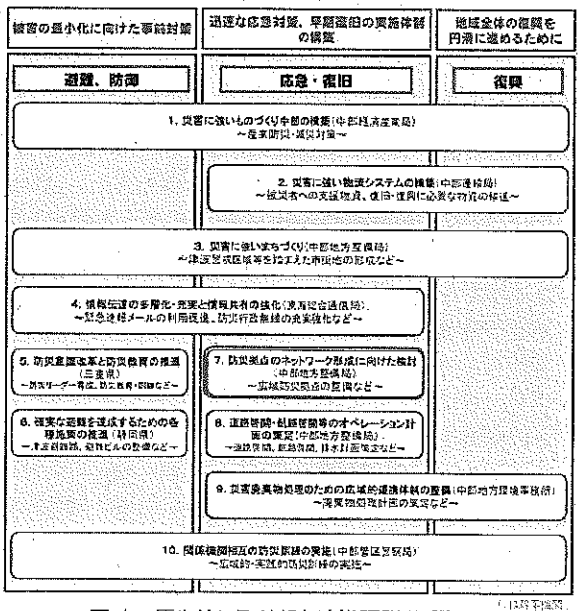


図-1　優先的に取り組む連携課題（10課題）

具体的な広域防災拠点の配置や拠点に必要な機能については、検討会の成果を引き継いだ「中部圏広域防災拠点ワーキンググループ」が関係機関と連携を図りつつ検討し、平成25年3月に第1次案[5]を公表し、平成26年3月には同第2次案[6]（以下、整備計画とよぶ。）を公表した。この整備計画を踏まえ、関係機関による防災拠点ネットワーク形成に向けた取り組みが進められている。

2．防災拠点のネットワーク形成に向けた取り組みの概要

平成24年5月以降、防災拠点のネットワーク形成に向

けて検討会及びワーキングを開催し、整備計画の策定等の取り組みを進めると同時に内閣府、財務省、厚労省等関係省庁との協議を重ねた結果，平成26年度には内閣府が名古屋合同庁舎第2号館の改修による基幹的広域防災拠点の司令塔である現地対策本部の通信基盤の整備等に着手することとなった。

以下に各検討会、ワーキングの開催概要等、これまでの検討の経過を示す。

(1) 検討会・ワーキングの開催

a) 防災拠点のネットワーク形成に向けた検討会

平成24年5月から同年10月にかけて、学識経験者、地方公共団体及び中部地方整備局等で構成する検討会を開催し、防災拠点のネットワークの形成に向け、広域防災拠点の配置を検討した。

広域防災拠点配置（案）の基本的な考え方を下記に示す。

- 大規模災害時に、緊急消防援助隊、警察、自衛隊、医療機関、建設会社等の関係機関・組織が連携して効果的な救助活動を展開するための拠点を検討するべきである。
- 多くの自治体の機能低下が懸念されるような広域災害時には、国がプッシュ型の物資輸送を円滑・確実に実施すべきである。その後、状況を考慮のうえ、被災地での物資滞留軽減等のため、速やかにプル型に切り替える必要がある。
- この期間は、地域の備蓄が底をつく発災後1、2日目から、道路啓開や情報通信網回復により地域ニーズが把握できるようになる時点までである（東北では発災後の3、4日目まで）。
- この期間は、災害対応上、最も重要な時期であり、他の主体による物資輸送も想定されるが、国によるプッシュ型輸送を主体に据え、全体として円滑・確実な物資輸送体制を構築する。

これらの広域防災拠点配置に係る基本的な考え方を踏まえ、中部圏の防災拠点を階層構造とし、以下のとおり階層ごとに拠点の役割を整理した（図-2）。

カテゴリⅠ：基幹的広域防災拠点

Ⅰ-A：基幹的広域防災拠点（司令塔機能）

- 司令塔本部機能を有する拠点

Ⅰ-B：基幹的広域防災拠点（高次支援機能）

- 広域防災拠点を支援する機能（高次支援機能）を有する拠点
- 空港などを活用し、発災直後から極めて広い範囲をカバー
- 海外からの支援物資・人員も受け入れ、広域を支援
- 高次支援基地と連携した物資の受け取り、国の広域支援部隊（自衛隊、海上保安庁、TEC-FORCE等）の一次参集拠点
- 県域を越えて、国と県が協力して活動する拠点

カテゴリⅡ：広域防災拠点

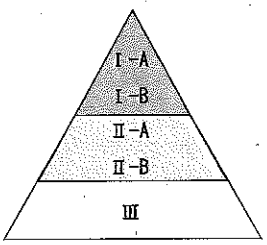
Ⅱ-A：広域防災拠点（広域・甚大災害に対する後方支援基地）

Ⅱ-B：広域防災拠点

- 市町村を越えた広域行政圏等における応急復旧活動の展開拠点

カテゴリⅢ：防災拠点

- 各市町村に設けられる地域のための防災拠点



カテゴリⅠ：基幹的広域防災拠点
Ⅰ-A：基幹的広域防災拠点（司令塔機能）
Ⅰ-B：基幹的広域防災拠点（高次支援機能）

カテゴリⅡ：広域防災拠点
Ⅱ-A：広域防災拠点（広域・甚大災害に対する後方支援基地）
Ⅱ-B：広域防災拠点

カテゴリⅢ：防災拠点
（市町村に設けられる地域防災拠点）

図-2 防災拠点のカテゴリ.[7]

ここで、高次支援機能とは、広域防災拠点を支援し、県境を越える広域的な災害対策活動を展開することを可能とするための機能のことをいう。また、検討会では県域を越えた活動拠点となるカテゴリⅠの拠点（Ⅰ-A、Ⅰ-B）及びⅡ-A広域防災拠点を検討対象とした。

防災拠点に求められる具体的な役割・機能を、県の防災計画等を参考に、表-1の8つに分類した。カテゴリごとに拠点に求められる役割・機能の重み付けが異なり、上位拠点ほど広域的な支援受入れのための(4)広域支援部隊の一次集結・ベースキャンプ機能、(5)支援物資の中継・分配機能、(6)災害医療支援機能が重要であり、下位拠点ほど被災者への直接対応のための(7)災害ボランティア活動支援機能、(8)物資等の備蓄機能が重要である。

表-1 防災拠点の役割・機能.[7]

	上位拠点 ← → 下位拠点				
拠点の役割・機能	Ⅰ-A	Ⅰ-B	Ⅱ-A	Ⅱ-B	Ⅲ
(1)司令塔機能					
(2)高次支援機能					
(3)海外からの支援物資・人員の受け入れ機能					
(4)広域支援部隊の一次集結・ベースキャンプ機能 【活動】					
(5)支援物資の中継・分配機能（燃料の備蓄・補給機能含む） 【物資】					
(6)災害医療支援機能 【医療】					
(7)災害ボランティア活動支援機能					
(8)物資等の備蓄機能（被災者用の水、食料、毛布）					

Ⅱ-A広域防災拠点の必要面積については、南海トラフ巨大地震の被害想定結果（死者数、全壊棟数、避難者数）に基づき、名古屋圏広域防災ネットワーク整備・連

携方策検討委員会の方法 により、重篤者の広域搬送に必要な面積、広域支援部隊の展開に必要な面積、及び広域支援物資の搬送に必要な面積の和として算出したとこ

表-2　中部圏全体に必要な拠点面積の計算.[7]

機能別の必要面積(ha)			必要防災拠点面積(ha)
重篤者搬送	部隊展開	物資輸送	
120	1,300	530	1,950

ろ、中部圏全域で約2,000haとなった（表-2）。

東日本大震災における物資、部隊、医療活動の拠点利用比率から、発災直後のII-A広域防災拠点の受け持ち比率を２割程度と想定し、中部圏全域で約400haの拠点面積を確保することとした。また、II-A広域防災拠点の標準規模については、遠野市の後方支援拠点および既設の基幹的広域防災拠点の規模（遠野市公園：29ha、東京湾臨海部基幹的広域防災拠点（東扇島）：15.8ha、堺泉北港堺2区基幹的広域防災拠点：27.9ha）を参考に、１箇所あたり20haと設定した。その結果、中部圏全体として、II-A広域防災拠点を20箇所程度選定することとした。

以上の検討結果を踏まえ、I-A基幹的広域防災拠点（司令塔機能）として、南海トラフ巨大地震による被災可能性の低さ、施設整備状況、交通利便性、及び関係機関からのアクセスのよさ等の条件を考慮し、名古屋三の丸地区及び静岡県庁の2箇所を選定した。I-B基幹的広域防災拠点（高次支援機能）としては、陸・海・空の各モードによる輸送路の確保等を考慮し、名古屋港、県営名古屋空港及び富士山静岡空港の3箇所を選定した。

また、既存施設や東日本大震災時の例をもとに、各拠点の施設規模(エリア)を設定した。エリアの大きさは、車両（時速30km/h）が10分間程度で移動できる距離として半径5kmを目安として設定した。

広域防災拠点候補エリアとしては、交通結節点との接続性、利用可能性のある県拠点の有無、南海トラフ巨大地震による被害分布等を考慮し、表-3に示す22エリアを選定した。選定された基幹的広域防災拠点及び広域防災拠点候補エリアを図-3に整理する。

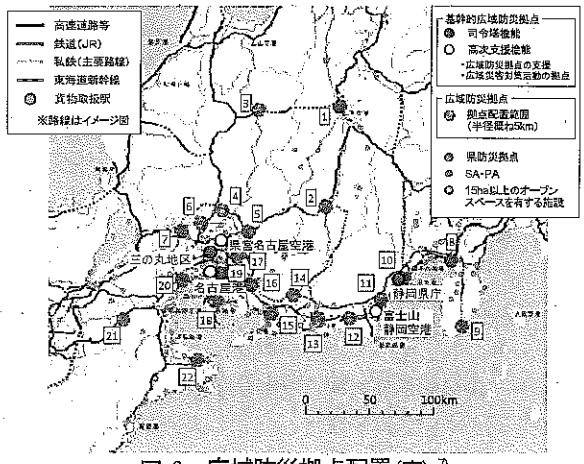


図-3　広域防災拠点配置(案)[7]

表-3　広域防災拠点の配置理由(参考文献[7]に加筆)

広域防災拠点候補エリア	地域	主要交通結節点付近	オープンスペース15ha以上の施設	県拠点の有無	津波浸水可能性なし	DID地区の外縁
1	長野	○	○	○	○	○
2		○	○	○	○	○
3	岐阜	○		○	○	○
4	岐阜	○		○	○	○
5		○		○	○	○
6	岐阜	○	○	○	○	○
7		○		○	○	○
8	静岡東部	○	○	○		○
9				○	○	
10	静岡中部	○	○	○		○
11		○	○	○	○	○
12	静岡西部	○	○	○	○	○
13		○	○		○	
14	東三河	○	○			○
15		○	○	○	○	○
16	西三河	○	○	○	○	○
17		○	○	○		○
18	尾張	○	○	○		○
19	名古屋	○	○	○		○
20	北勢	○	○	○		○
21	伊賀	○	○	○	○	○
22	伊勢志摩	○	○	○		○

b) 基幹的広域防災拠点ワーキング

内閣府・関係自治体・施設管理者などから構成される中部圏基幹的広域防災拠点ワーキングを、平成24年11月から平成26年2月までに6回にわたり開催し、検討会において策定した広域防災拠点の配置計画に基づき、基幹的広域防災拠点の具体的な整備方針等を検討した。

検討結果は後述の各県広域防災拠点ワーキングの成果とともに、次項(2)に示す「中部圏広域防災ネットワーク整備計画（第1次案）」（平成25年3月）、「同（第2次案）」（平成26年3月）としてとりまとめた。

c) 各県広域防災拠点ワーキング

整備計画策定にあたり、中部5県ごとのワーキング（長野県広域防災拠点ワーキング、岐阜県広域防災拠点ワーキング、静岡県広域防災拠点ワーキング、愛知県広域防災拠点ワーキング、三重県広域防災拠点のあり方ワーキング）を各1回（岐阜県は2回）開催し、広域防災拠点の既存施設を活用した具体的な整備方針、地域防災計画への広域防災拠点の位置づけ等について議論した。

(2) 中部圏広域防災ネットワーク整備計画の策定

前項(1)における議論を踏まえ、防災ネットワークの整備に関する基本的な考え方及び今後検討すべき課題について定めた「中部圏広域防災ネットワーク整備計画（第1次案、第2次案）」を策定し、中部圏戦略会議に報告した。整備計画の概要を以下に示す。

a) 基幹的広域防災拠点施設の整備

・三の丸地区

三の丸地区は、基幹的広域防災拠点（司令塔機能）として、南海トラフ巨大地震等の大規模な災害時に現地対策本部を設置することで、現地における被災情報

の収集・とりまとめや、地方公共団体の状況や要請を緊急災害対策本部に繋ぐなど、災害応急対策に係る連絡調整を迅速かつ的確に実施する施設である。

災害の規模に応じて静岡県庁に設置する現地対策本部とも連携し、管轄地域の分担等により効果的に即応体制を構築する。

三の丸地区は、施設へのアクセス性（周辺の関係機関やヘリポートからの近接性）が確保されており、津波、高潮、洪水、液状化被害等の危険性が少ないため、基幹的広域防災拠点を設置する場所として適している。

施設の選定の必須条件は以下のとおりである。

ア）耐震安全性・耐火性が確保されている

イ）現地対策本部の構成員150人程度の活動スペースが確保できる。

ウ）衛星通信設備の設置ができる。

エ）一般利用者の施設への入場制限が可能である。

これらを踏まえて、三の丸地区にある8つの施設について検討を行った。

① 名古屋市役所西庁舎
② 愛知県庁本庁舎
③ 愛知県庁西庁舎
④ 愛知県自治センター
⑤ 愛知県庁三の丸庁舎
⑥ 中部経済産業局総合庁舎
⑦ 名古屋合同庁舎第１号館
⑧ 名古屋合同庁舎第２号館

既存設備の整備状況や施設整備にかかるコスト、通信基盤の状況などを総合的に検討した結果、名古屋合同庁舎第２号館に現地対策本部を設置できることが確認できた。

・静岡県庁

静岡県庁は、東海地震等の大規模な広域災害時に現地対策本部を設置する司令塔の役割を担う施設である。また、災害の規模に応じて三の丸地区に置く現地対策本部とも連携し、管轄地域の分担等により効果的に即応体制を構築する。

既に東海地震応急対策活動要領の中で現地対策本部としての位置づけがなされ、現地対策本部を設置するためのオペレーションルーム、現地対策本部会議室、会議室については、既に整備されている。また、中央防災無線の回線を利用した訓練なども既に実施されており情報共有に関する設備も整備されている。

・名古屋港

名古屋港は、大規模地震発災時に道路や鉄道が被災し、陸上輸送による大量の緊急支援物資の輸送が不可能となった場合、耐震強化岸壁を活用した緊急支援物資の集積や荷捌きを行うとともに、建設重機や緊急車両等の集結拠点や、広域支援部隊のベースキャンプ地として利用される高次支援機能の役割を担うことが可能な施設である。

名古屋港内の基幹的広域防災拠点（高次支援機能）の具体的な整備地区の選定にあたり、オープンスペースの確保等から４つの地区（①内港地区、②金城地区、③西部地区、④南部地区）を整備候補地区とし、耐震強化岸壁との位置関係、津波で被災した場合の航路啓開等の応急復旧活動、広域市街地への物資輸送の利便性、道路・鉄道とのアクセス性、災害拠点病院との位置関係、発災時の関係機関の参集時間等について評価した結果、金城地区（空見ふ頭・金城ふ頭）を適地として選定した。

今後、想定される地震を考慮した土地の改良及び大量輸送された緊急支援物資等の中継・分配機能や燃料の備蓄・補給機能に係る施設整備について検討する。

・県営名古屋空港

県営名古屋空港は、名神高速道路の小牧インターチェンジ（以下、ICとする）、名古屋高速道路11号小牧線の豊山北出入口・豊山南出入口に近接しており、東名・名神高速道路、中央自動車道、名古屋高速道路など複数の高速道路の活用が期待できる。地震による被災の可能性が低く、津波による被災の恐れがないことから、現地対策本部を持つ三の丸地区と情報共有を行い、航空機を活用して他の広域防災拠点を支援するための、緊急支援物資の中継・仕分け、広域支援部隊の一次集結・ベースキャンプ、燃料・食糧等の備蓄の役割を担うことが可能な施設である。　また、空港東側に位置し、自衛隊による物資輸送の支援の拠点となる航空自衛隊小牧基地と連携して、災害対応を行うことができる。空港に隣接する民間企業に対しても、災害時の後方支援機能を担っていただくよう働きかけ、拠点としての機能強化を図っていく。

・富士山静岡空港

富士山静岡空港は、東名高速道路の相良牧之原IC、吉田IC、新東名高速道路の島田金谷IC、重要港湾の御前崎港に近接し、さらには、空港直下を新幹線が通過し長期的には高速鉄道との連結も期待できる。また、地震による被災の可能性が低く高台に位置するため津波による被災の恐れがないことから、高次支援機能を持つ臨空防災センターとして、航空機を活用した緊急支援物資の受入れ・集積・荷捌き・分配等の物流支援、広域支援部隊の一次集結・ベースキャンプ、災害医療支援、海外からの緊急支援物資・支援人員の受入れ等の役割を担うことが可能な施設である。

基幹的広域防災拠点整備予定敷地内にオフサイトセンターの移転を進めており、防災拠点として活用を検討するとともに、空港内での航空燃料の備蓄拡充（200キロリットルタンク1基増設）を進めることとしている。また、平成26年夏頃の事業開始を目途に民間企業が整備を進めている格納庫について、大規模災害時における使用についての調整を進めている。

基幹的広域防災拠点		施設・設備の整備状況（平成26年度末時点）								各拠点の整備状況
		(1)司令室・オペレーション室	(2)非常用通信手段・発電機	(3)執務室※1（机、椅子、電話回線など）	(4)ヘリポート	(5)物資集積・荷捌きスペース	(6)部隊宿営スペース	(7)駐車場（大型車両用）	(8)燃料の備蓄・補給施設※2	
		←司令塔機能に必須の施設・設備→								
		←高次支援機能に必須の施設・設備→								
司令塔機能	三の丸地区	既存施設（名古屋合同庁舎第2号館）活用予定			周辺施設利用可					H26年度設計予定
	静岡県庁	既設施設利用	既設施設利用	既設施設利用	整備済（代替施設利用可）					既設施設利用等
高次支援機能	名古屋港		検討中	検討中	検討中（代替施設利用可）	検討中	検討中	検討中	検討中	要整備
	県営名古屋空港		検討中	検討中（空港施設利用可）	既設施設利用	検討中（自衛隊との連携を検討）	検討中	代替施設利用可	検討中	一部要整備
	富士山静岡空港		検討中（追加整備予定有(H26)）	検討中（空港施設会議室利用可）	既設施設利用	検討中（既存スペース約20ha）		代替施設利用可	整備済増設整備中	一部要整備
中部圏全5拠点		利用可	利用可	利用可	利用可	利用可（約20ha）（必要面積：60ha）		利用可	利用可	司令塔機能：利用可 高次支援機能：利用可

中部圏全体で司令塔機能・高次支援機能を発揮可能

※1　執務室には指揮室・休憩室等の機能を含む。
※2　災害時の航空機燃料（空港）、船舶燃料（港湾）、自動車燃料等の給油機能の確保については、整備場所や管理方法などを引き続き検討。

図-4　中部圏における基幹的広域防災拠点の機能の確保状況及び当面の活用方針

b）拠点施設の当面の活用方針及び運用

早急に基幹的広域防災拠点を機能させるため、各拠点が現状で保有する施設・設備を相互に連携させることにより、当面は中部圏全体として、基幹的広域防災拠点に必要とされる全ての機能を確保しているか検討した。その結果、現状において中部圏全体で司令塔機能・高次支援機能を発揮可能であることが確認できた（図-4）。

中長期的には、三の丸地区、静岡県庁の２拠点で司令塔機能を、名古屋港、県営名古屋空港、富士山静岡空港の３拠点で高次支援機能を確保する。

c）発災直後における基幹的広域防災拠点の運用イメージ

基幹的広域防災拠点（司令塔機能）は、緊急災害対策本部との連絡調整のもと、中部圏の被害情報や広域支援に関する情報の集約・分析を行い、基幹的広域防災拠点（高次支援機能）へ物資輸送や支援人員の配分等に係る指示を伝達する（図-5）。

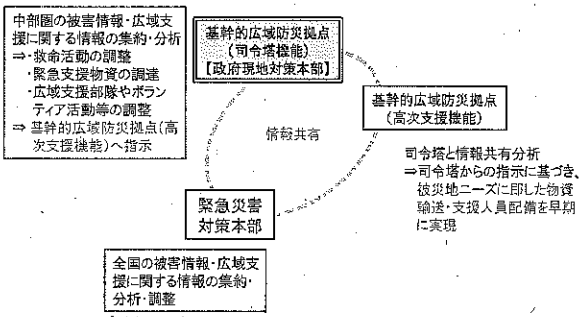


図-5　基幹的広域防災拠点（司令塔機能）の運用イメージ.[6]

基幹的広域防災拠点（高次支援機能）は、国内外からの緊急支援物資・支援人員の受入れ機能や、広域支援部隊の一次集結・ベースキャンプ機能、緊急支援物資の中継・分配機能を有するが（図-6）、空港と港湾では、拠点としての機能の特性や、機能を発揮する時期が異なるため、各拠点が相互に補完することにより、基幹的広域防災拠点（高次支援機能）の機能を発災直後から発揮する（図-7）。

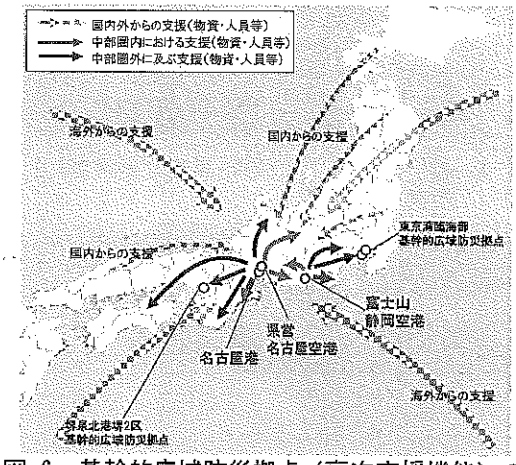


図-6　基幹的広域防災拠点（高次支援機能）の運用イメージ.[6]

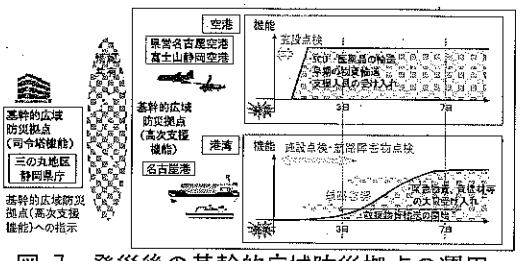


図-7　発災後の基幹的広域防災拠点の運用イメージ.[6]

(3) 防災拠点の機能検証

整備計画に位置付けた防災拠点は、国土交通省や自衛隊、海上保安庁、県、市など関係機関が連携した訓練をする。平成26年8月31日に実施した「南海トラフ巨大地震対策中部ブロック協議会広域連携防災訓練」では、基幹的防災拠点（高次支援機能）を利用した訓練を行った。TEC-FORCE隊員と車両、衛星携帯電話を携えた東海総合通信局職員が名古屋空港で航空自衛隊大型輸送機に乗り込んで離陸し、名古屋空港から富士山静岡空港に輸送し、TEC-FORCE隊員を孤立地域へ向けて、小型ヘリコプターで輸送する想定で訓練を行った（図-8、写真-9）。訓練に向けた準備の中で、県営名古屋空港、富士山静岡空港の利用手順が明らかになったほか、自衛隊輸送機で車両を輸送する際の留意事項が確認できた。

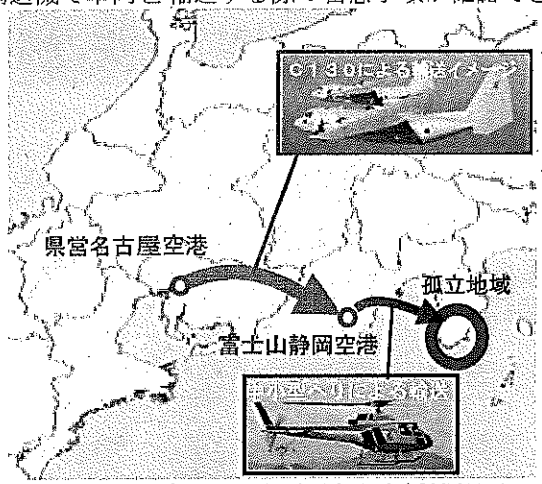


図-8　基幹的広域防災拠点（高次支援機能）を利用した訓練

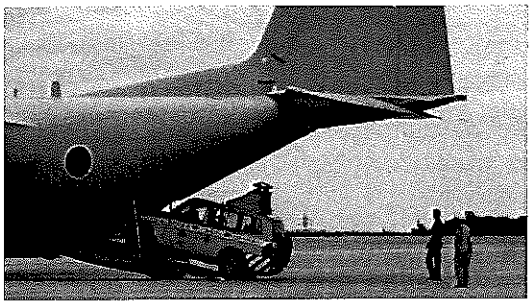


写真-9　富士山静岡空港に到着し、航空自衛隊輸送機から搬出される車両

(4) 中部圏初の基幹的広域防災拠点の整備

整備計画で基幹的広域防災拠点（司令塔機能）として位置づけた名古屋合同庁舎第2号館の改修について、関係機関と調整を重ねた結果、平成26年度に内閣府が設計検討に着手することとなった。東京湾臨海部基幹的広域防災拠点（有明の丘地区、東扇島地区）及び堺泉北港堺２区基幹的広域防災拠点に次ぐ、中部圏においては初めての基幹的広域防災拠点整備が進められている。

同様に、基幹的防災拠点（高次支援機能）に位置づけた名古屋港、県営名古屋空港、富士山静岡空港は、平成26年3月28日に中央防災会議が決定し公表した南海トラフ地震防災対策推進基本計画において大規模な広域防災拠点として位置づけられるなど、国や地域の取り組みが着々と進みつつある。

3．今後の検討課題及び整備方針

今後も、防災拠点のネットワーク形成に向けて、関係機関と連携し、検討会・ワーキングなどを開催し、解決すべき課題を継続的に検討する必要がある。また、地域で検討した防災拠点は、地域の様々な機関が過去の災害事例等を参考に、最大限の想像力で発災時をイメージしながら、繰り返し訓練を行って運用上の課題を抽出し、防災拠点の整備・適切な運用にむけた検討や調整を進めていく。

参考文献

1) 中央防災会議防災対策推進検討会議: 防災対策推進検討会議最終報告～ゆるぎない日本の再構築を目指して～, 平成24年7月31日.
2) 南海トラフ地震対策中部圏戦略会議: 中部圏地震防災基本戦略【中間取りまとめ】, 平成23年12月27日.
3) 南海トラフ地震対策中部圏戦略会議: 中部圏地震防災基本戦略【中間取りまとめ】別紙 実施すべき個別検討項目, 平成23年12月27日.
4) 南海トラフ地震対策中部圏戦略会議: 中部圏地震防災基本戦略, 平成24年11月5日.
5) 中部圏広域防災拠点ワーキンググループ: 中部圏広域防災ネットワーク整備計画（第1次案）, 平成25年3月25日.
6) 中部圏広域防災拠点ワーキンググループ: 中部圏広域防災ネットワーク整備計画（第2次案）, 平成26年3月31日.
7) 防災拠点のネットワーク形成に向けた検討会: 第3回資料-2　広域防災拠点配置(案)について, 平成24年10月2日.

国道２５号における兼用道路の通行規制基準について

松尾　亮衛[1]・的羽　正樹[2]

1　近畿地方整備局　奈良国道事務所　管理第二課　（〒630-8115 奈良県奈良市大宮町3-5-11）
2　近畿地方整備局　豊岡河川国道事務所　道路管理課　（〒668-0025兵庫県豊岡市幸町10-3）

国道25号は，奈良県王寺町から大阪府柏原市までの区間において一級河川大和川と並走しており，一部区間では大和川の管理用通路との兼用道路となっている．並走する大和川の流下能力不足や亀ノ瀬狭窄部の影響により，出水時には兼用道路が冠水することがあり，また王寺町亀ノ瀬地先の堤防道路部においては，過去5年間で4回の斜面崩壊等の被災が発生している．

このような状況の中，国道25号の安全・安心な道路交通機能を確保するためには，堤防兼用道路区間における適切な通行規制の設定が重要な課題である．本論では，当該区間で想定される被災メカニズムを整理し，河川水位に応じた通行規制基準の設定手法について紹介する．

キーワード　国道25号，道路防災，兼用道路，規制基準

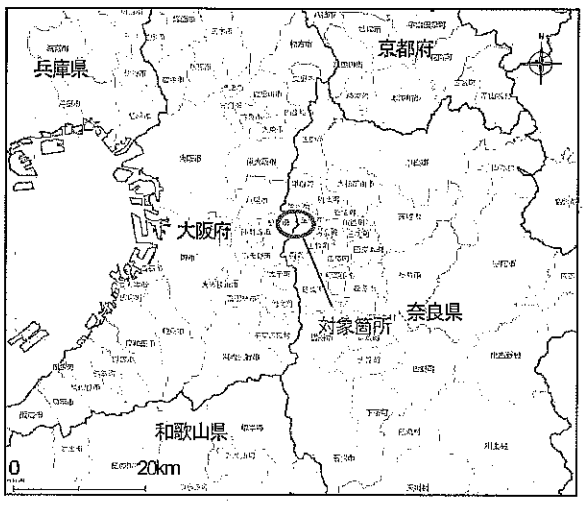
1. はじめに

国道25号は，起点である三重県四日市市から，奈良県を経由し，終点を大阪市北区とする総延長145kmの一般国道である．

同国道は，奈良県王寺町から大阪府柏原市までの区間において一級河川大和川と並走しており，一部区間では大和川の管理用通路との兼用道路となっている．当該区間は，古くから幾度となく地すべり災害に見舞われている亀ノ瀬地区をはじめとした急峻な山間部に位置しており，山間部の谷筋に国道25号と大和川，さらに一部区間でJR関西本線が並走している．

当該区間は，大和川の狭窄部であり，河積が小さく流下能力も低いため，出水時に冠水することもあり，過去数回通行止めを実施している．また，河道が蛇行し狭窄しているという複雑な形態を呈しているため，出水時の流況を把握することが困難な状況である．

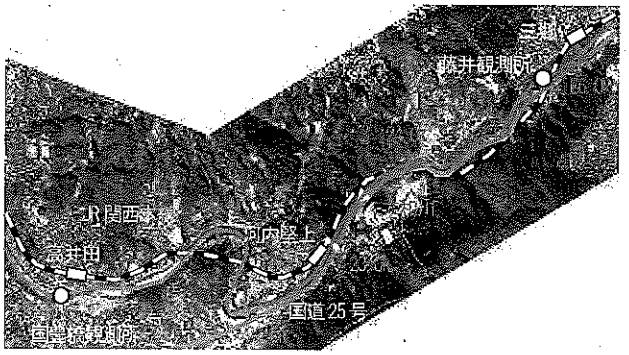
道路法面は堤防護岸を兼用しているため，出水による洗堀や水位変動による崩壊が道路の安全性の低下を招いている．平成23年7月，平成24年7月出水時には，堤防法尻や法面に設置されたじゃかごが流出し，平成25年の6月，9月には，通行規制を伴う路肩崩壊が発生している．そのため，出水によって崩壊に至った破壊メカニズムの解明と，適切な交通規制基準の設定が課題となっている．



図－１　位置図

2. 対象区間の特性

対象区間の下流部に位置する亀ノ瀬地区は，両岸が山付き部となり，左岸側の堤防天端に国道25号が並走している．当該区間の河道は，川幅が上下流部と比べて狭く，上流側の河床勾配が緩いことから，狭窄による堰上げにより，洪水時の水位が上昇し，洪水氾濫や浸水等の水害を受けやすい地形的特性を有している．



写真－１対象区間

(1) 検討対象区間の設定

(a) 兼用道路に該当する区間

兼用区間は堤防護岸と道路法面を兼用する区間であり，洪水時の流水による外力を直接受ける特殊な環境である．このため，一般的な外力による法面崩壊メカニズムの他，流水の作用による影響も考慮しなければならない．ここでは，法面（護岸）肩部から所定の堤防天端幅（W=5.0m，大和川河川整備計画における完成堤防の定規断面より設定）以内に車道部が重複する場合，「兼用道路」として扱う．

(b) 護岸対策が未実施の区間

護岸設置済み区間は，耐流速性を十分に有しており，流水による外力に対して安全と考えられる．一方，護岸が未整備である自然河岸の区間は，流水の作用に対して脆弱である可能性が高い．本検討では，ブロック積み等による護岸工実施済み区間を検討対象外とし，自然河岸部のみを対象とする．（図-2参照）

(2) 道路構造の整理

対象区間における侵食の傾向を把握するため，道路工事図面，占用資料，現地調査等の資料を基に，現況の道路構造の整理を行った．

(a) 道路法面構造の特徴

・区間下流側（河川距離標24.0k～25.0k付近）は自然河岸が点在しており，樹木が河岸法面を覆っている．また，一部は露岩している状況である．

・24.6k付近には，道路下に深礎杭が設置されている．（昭和57年完成（工事完成図書より））

・25.0k～25.7k付近は，国道25号と大和川の間は民地である．（堤防兼用道路ではない）

(b) 地質分布状況

・区間全体にわたり，道路面直下は盛土層が分布している．特に平成25年6月に崩壊した調査地点A,B付近では，4～5mの層厚があると推定され，崩壊しやすい状況であると考えられる．

・盛土層の直下は支持地盤（岩盤層）が広がっている．

3. 兼用道路に求められる機能と規制基準検討方策

(1) 兼用道路に求められる安全性

兼用道路という特性を有する区間においては，道路法面としての安全性確保の他に，河川堤防で想定される被災形態に対しても安全性を確保する必要がある．

「河川堤防設計指針」によると，堤防に求められる安全性に関わる機能は，①耐浸透機能，②耐侵食機能，③耐震機能である．堤防道路の通行規制基準を検討する上では，これらの機能を有していることを確認する必要がある．ここで耐震機能については，河川構造物に求められる機能ではあるが，掘り込み河道においては除外されると考え，本論では対象外とする．

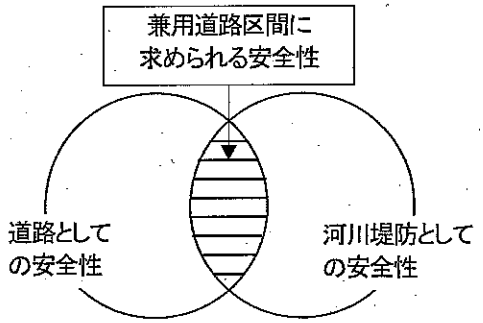


図 - 3　兼用道路に求められる安全性

(2) 想定される被災メカニズム

対象区間は流下能力が不足していることに加え，亀ノ瀬区間の狭窄部やその背水の影響を受けるため，流況が複雑である．したがって，他区間に比べ，以下に示す特性が道路の安全性に影響を及ぼすことが考えられる．

・流速が大きい
　⇒ 河岸（道路法面）の侵食への影響が大きい

・水位が急速に上昇する
　⇒ 迅速な通行止め（冠水）の判断が要求される

・法面に河川水が浸透し，出水後の水位が急低下する
　⇒ 出水後，河川水の急激な低下により，法面内に残留水圧が発生し法面が崩壊する．

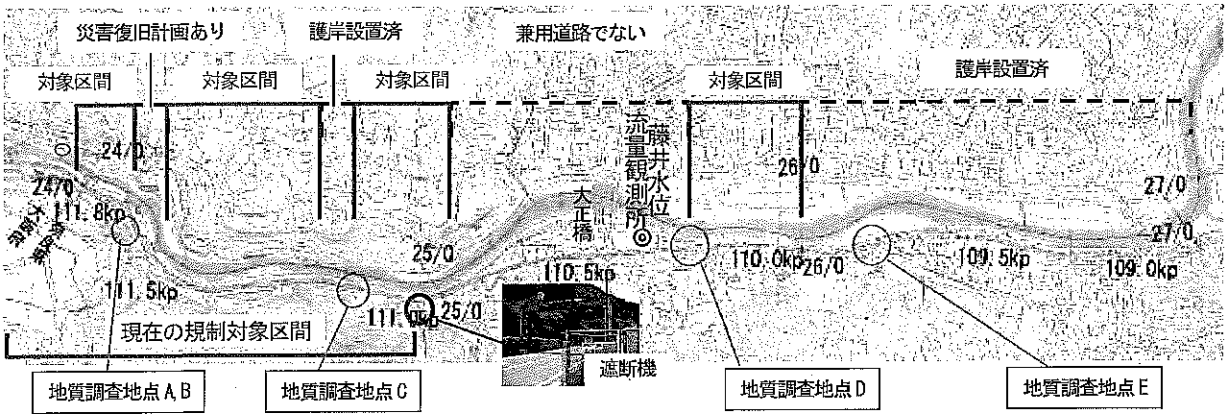


図 - 2　対象区間平面図

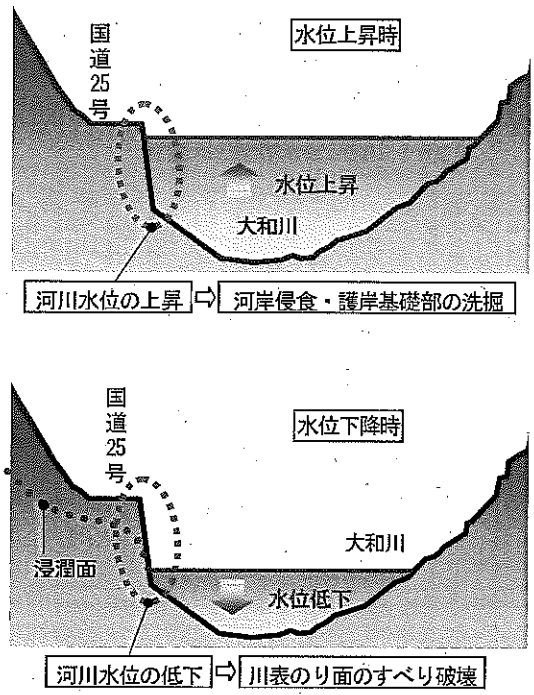


図 - 4　想定される被災メカニズム（侵食，浸透）

これらを踏まえると，堤防道路の安全性に関わる被災形態としては以下のものが挙げられる．（図-4）

(a)　道路冠水

河川水の道路への溢水により，道路冠水が発生し通行不能となる．

(b)　河岸（道路法面部）の侵食崩壊

河川水位上昇時，洪水時の流量・流速の増加により，河岸に対し侵食作用が働き，堤防道路が崩壊し通行不能となる．

(c)　水位低下後の河岸（道路法面部）浸透崩壊

増水時に堤防内に河川水が浸透し，河川水位低下時の残留水圧により斜面のすべり破壊が発生し通行不能となる．

(3) 通行規制基準設定に向けた課題と対応策

想定される各被災メカニズムに対し，対象区間の特性を踏まえた課題と対応策の整理を行った．（表-1）本論では，これらの対応策の検討方針を述べるとともに，通行規制基準の検討結果を述べるものとする．

3.　冠水の観点による規制水位の検討

(1) 冠水危険箇所の把握

道路台帳，および河川定期測量横断図をもとに，現況道路冠水高（道路の冠水が始まる水位：道路高または堤防高より設定）の整理を行った．整理の結果，河川距離標25.9k付近（道路距離標110.1k付近）は特に道路高と水位との比高差が小さく，区間内で最も冠水しやすい「冠水危険箇所」であり，この地点における 道路冠水高はTP+35.73mである．（図-5）

表 - 1　規制水位検討に向けた課題と対応策

課題	対応
冠水危険箇所の把握	・河川水位と堤防道路高の関係の整理
	・過去の冠水実績時の河川水位の整理
規制基準水位の検討	・冠水危険箇所と藤井観測所水位差の整理
	・規制の際に必要な余裕高の設定
規制基準地点の検討	・冠水危険箇所を踏まえた規制地点の見直し検討
洪水時の水位、流速の把握	・流況解析による水位、流速の算出
侵食に対し危険な水位の設定	・侵食に対する危険流速の設定
	・危険流速発生時の藤井観測所水位の整理
浸透崩壊に対し危険な箇所の把握	・地質調査結果と河岸法面勾配の整理
洪水時の水位変動傾向の把握	・流況解析による洪水時水位の算出
堤体内への河川水の浸透状況と、残留水圧の変動傾向の把握	・浸透流解析による浸潤面の推定
	・浸透を考慮した斜面安定解析
浸透崩壊に対して危険な水位の設定	・斜面崩壊に対する安全率と藤井観測所水位の関係の整理

(2) 冠水危険箇所と藤井観測所との水位差

規制基準水位の設定には，規制の基準地点である藤井観測所の水位に換算する必要があるため，冠水危険箇所と藤井観測所の水位変動傾向を比較した．水位上昇期における藤井観測所と冠水危険箇所近傍の111.0kp(河川距離標25.6k+180m)における水位は，ほぼ同様の変動傾向を示しており，冠水危険箇所と藤井観測所との水位差は40cm程度である．よって，本検討では冠水危険箇所での水位より0.4m差し引いた値8.93m（TP+35.33m）を，冠水危険水位（計算値）として設定する．

(3) 冠水実績をふまえた冠水危険水位

藤井観測所における水位データを基に，水位がHWLを超過した洪水を抽出し，冠水実績を踏まえて冠水危険水位（実績値）を設定する．（表-2）

過去20年間においてHWLを超過した5洪水のうち，以下の2洪水の最高水位を冠水危険水位として設定する．

・道路冠水が発生した，H7.7の出水における最大水位8.86m(TP+35.26m)

・道路高付近まで水位が上昇し，冠水は発生しなかった，H25.9の台風18号出水における最大水位9.10m(TP+35.50m)

表 - 2　対象区間における大規模出水の実績

洪水発生日	最大水位（藤井観測所）	冠水実績	備考
H5.7.5	8.57m（TP+34.97m）	×	
H7.7.4	8.86m（TP+35.26)m	○	冠水箇所、冠水深は不明
H11.8.11	8.54m（TP+34.94m）	×	
H19.7.17	8.41m（TP+34.81m）	×	
H25.9.16	9.10m（TP+35.50m）	×	過去20年最大水位を記録

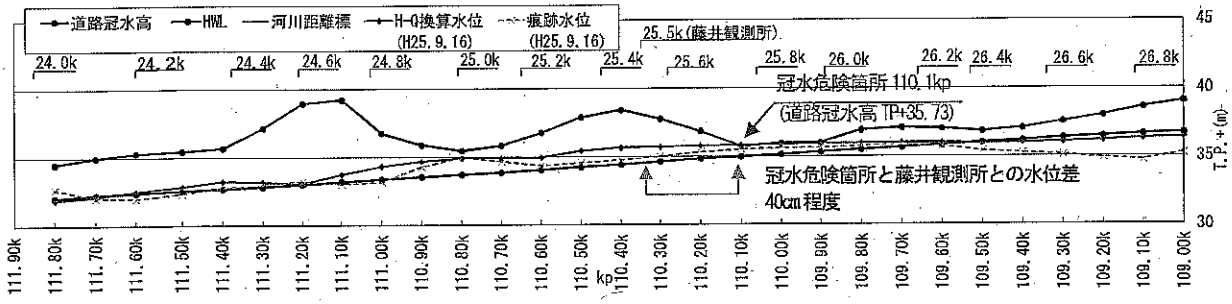


図 - 5　対象区間道路高と大和川計算水位，実績水位

(4) 危険水位に対する余裕高の設定

規制水位は，規制前後の巡視・点検活動の際の安全確保を考慮し，冠水危険水位からある程度の余裕高を確保して設定する．余裕高は「河川管理施設等構造令」より，対象区間が堀込河道であることを考慮し0.6m以上確保するものとする．

(5) 冠水の観点による通行規制基準水位

以上の整理を踏まえ，計算及び実績から設定した冠水危険水位3案に対し，余裕高0.6mを引いた値から規制基準水位を設定する．表-3より，最も安全側となる「藤井観測所における水位＝8.26m (TP+34.66m)」を，「通行規制開始の基準水位」として設定する．

表 - 3　通行規制開始基準水位の設定

検討対象水位	根拠	余裕高	規制開始基準水位
8.93 (TP+35.33)	道路冠水高より	0.6m	8.33 (TP+34.73)
8.86 (TP+35.26)	冠水実績より		8.26 (TP+34.66)
9.10 (TP+35.50)	既往最大水位		8.50 (TP+34.90)

4.　侵食の観点による規制水位の検討

(1) 侵食に崩壊に対する評価指標

侵食に対する安全性は水理条件や河岸，あるいは堤防の土質条件や地形等の特性に起因するため，各地点において様々である．そのため河川堤防では，概略的に流速が2m/s以上を超える場合には何らかの対策が必要とされている（「河川堤防の構造検討の手引き」）．本検討では，崩壊が発生した出水の流量や水位等の知見が得られていることから，それらと当該区間の地形情報をもとに，当該区間における河道の流況（水位，流速）にて侵食崩壊発生の危険性を評価する．

(2) 法面崩壊発生時の実績流速の推定

過去5年間のうち崩壊実績があった①H23年9月，②H24年7月，③H25年6月，④H25年9月の洪水を対象に，河岸近傍の流速を算出し，侵食に対する危険流速を推定する．流速の算出には，被災区間である内岸側の分布状況を明らかにする観点から，湾曲部で発生する水位上昇や急拡・急縮による死水域の発生を反映することができる平面二次元流解析を用いた．流況再現計算より，崩壊箇所付近での最大流速は①3.88m/s，②4.19m/s，③4.47m/s，④4.64m/sとなった．

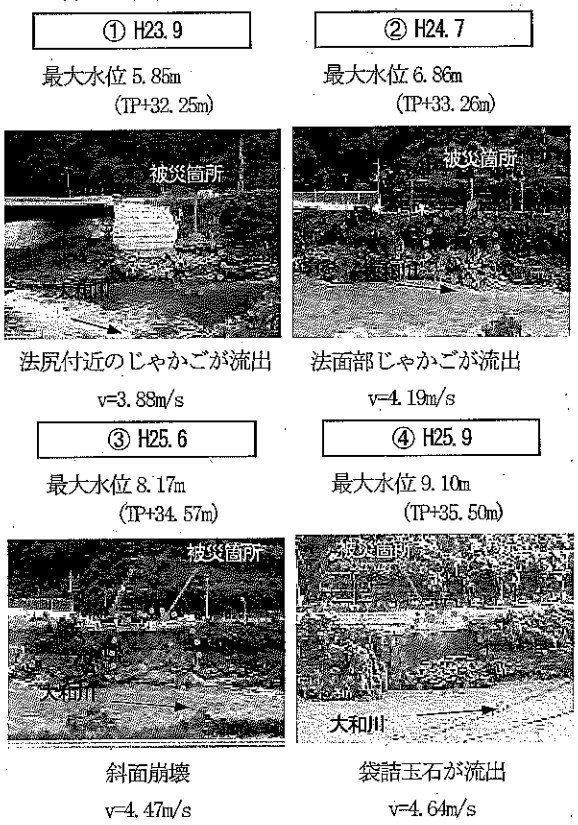


写真 - 2　過去５年の被災実績

(3) 危険流速の設定

出水①による被災は，法尻付近の一部のじゃかごが流出したのみで，道路の通行に影響がある崩壊は発生していない．一方で，出水②③では堤防法面の崩壊が発生し，道路の通行規制を伴うものであったため，これらの出水時の流量規模に達した時点の流速を，危険流速として設定することが適切である．

以上のことから，本検討では道路の通行に影響を及ぼす被災が発生した，出水②の実績流速に対して安全側を考慮し，侵食に対する危険流速をV=4.0m/sと設定する．

(4) 危険流速発生時の流量と藤井観測所水位

流況解析結果を基に，崩壊地点付近の流速と流量の関係をV-Q式として作成した．このV-Q式に侵食に対する危険流速V=4.0m/sを適用した結果，流量は876.5m3/sである．この流量に対し，藤井観測所でのH-Q式を適用し，藤井観測所での水位を推定した．ここで対象箇所での流

量は，藤井観測所と同等の流量が流下すると仮定した．

検討の結果，実績崩壊箇所（基準地点）において，侵食に対する危険流速V=4.0m/sが発生する際の藤井観測所における水位（＝危険水位）は，6.39m（TP+32.79m）となった．

なお，過去10年間における危険水位の発生頻度は10回であり，年間約1回程度の頻度であることがわかった．

表 - 4　危険流速発生時の流量，藤井観測所水位

v-Q式の係数		R^2	計算値		藤井観測所換算H (H-Q式適用)
a	b		V	Q	
0.5214	0.3007	0.9614	4.00	876.52	6.39

※v-Q式：v=aQ^bの形で作成
※藤井観測所H-Q式：Q=21.87(H-0.06)^2（平成23年度）

(5) 侵食の観点による通行規制基準水位

危険水位に達した時点で，何らかの警戒体制が必要であるが，危険水位に達する毎に通行規制を実施した場合，以下の理由により過度な規制となる可能性がある．

・基準水位に達した時点で必ず侵食崩壊が発生すると断定できない．

・侵食崩壊の規模により，その影響が交通に支障を及ぼさない場合もある．

よって本検討では，「藤井観測所における水位＝6.39m（TP+32.79m）」を通行規制開始の基準水位とせず，「注意体制開始（パトロール開始）の基準水位」とする．

5. 浸透の観点による規制水位の検討

(1) 検討方針

浸透崩壊に対する河岸の関係性を評価する上では，次の点を把握することが重要である．

・洪水時の河川水位の変動傾向
・河川水が浸透した場合の堤体内の浸潤面の形成状況
・降雨の浸透
・河岸の土質状況

そこで本検討では，以下の手順により，河川水位低下時の残留水圧の変動と，すべり破壊の危険性との関係を把握し，規制解除水位を検討する．

①河川水と降雨の法面内への浸透を考慮した安定解析
・代表断面において浸透流解析を行い，堤体内への河川水と降雨の浸透による浸潤面の形成を推定．
・浸潤面の変動と河川水位変動を考慮した残留水圧の推定を行い，斜面安定解析を行う．

②洪水ピーク後から，斜面の安全性が担保される（安定解析結果での安全率が1.0以上となる）水位を算定する．

(2) 対象区間地盤のモデル化

被災箇所近傍にて実施した地質調査結果を用いて，地盤のモデル化を行った．モデル化に際しては「河川堤防の構造検討の手引き」に準じ，表-5に示す土質定数を設定した．なお，粘着力Cについては，地質調査により得られなかったため，過去の出水時の崩壊の有無等の事象から，再現計算による逆算法を用いて粘着力を推定した．下記2ケースの実現象を両方満たす値とし，C=17.5kN/m2とした．

（ケース 1）過去 10 年間で比較的規模が大きく，崩壊実績のない 3 出水時の実績降雨，崩壊箇所付近の外水位を外力条件とし，すべり破壊の最小安全率が 1.0 に近似するように粘着力 C を設定

（ケース 2）H25.9 出水の通行規制解除時点で法面崩壊が発生していないことを条件として，すべり破壊の最小安全率が 1.0 に近似するように粘着力 C を設定

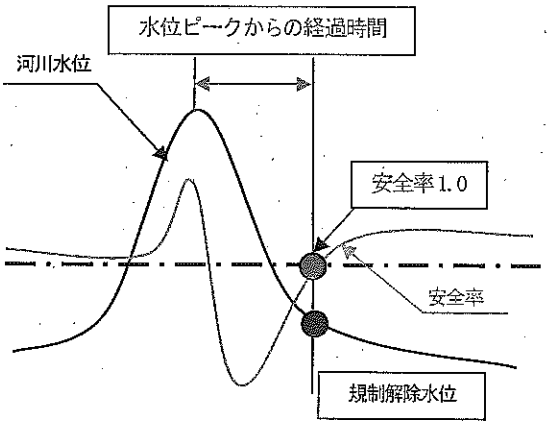
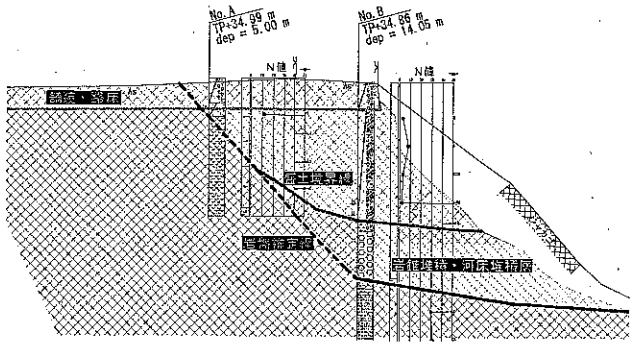


図 - 6　規制解除水位の算出イメージ

表 - 5　設定した土質定数

深度 GL-(m)	地層名	層厚 (m)	N値	平均N値 換算N値	設計 N値	単位体積重量 (kN/m^3)	内部摩擦角 φ 度	φ算定データ kN/m²	粘着力 C (kN/m^2)	透水係数 k (cm/sec)
	Ab	0.05				18	32		0	1.0×10^{-5}
	路床	1.00			(7)	18	32	$\sigma v'=50$	0	1.0×10^{-2}
1.15	盛土層	5.00以下	3	3.3	3	18	22		—	1.0×10^{-3}
2.15			(8)							
3.15			4							
4.15			3							
	在来堆積層	3.00以下			(10)	19	31	$\sigma v'=120$	0	1.0×10^{-2}
9.15	岩盤層	3.50以上	30	40.3	$40^{補3}$	20	36	$\sigma v'=190$	0	1.0×10^{-6}
10.15			31							
11.15			50							
12.15			50							



(3) モデルパターン解析による規制水位の算出

浸透崩壊の危険性は，外力条件(大和川水位，降雨量)により異なる．本検討では「河川堤防の構造検討の手引（改訂版）」に準拠し，対象区間のモデル降雨波形・水

位波形を作成した．また，出水規模による影響を把握するため，表-6に示すピーク水位，継続時間，水位低下勾配のパラメータを変動させて感度分析を行った．

解析の結果，「ピーク水位」が浸透崩壊に対する安全性に大きく影響する結果となった．このため，本検討ではピーク水位を変動させ，それ以外の要素は過去 20 年間の実績最大値を用いて解析を行った．

(3) 浸透の観点による規制水位

d 浸透流解析による検討結果と規制基準水位を表-7 及び図-8 に示す．解析により，安全率が 1.0 以上となる時点（水位ピーク時からの経過時間）の藤井観測所水位を算定し，規制基準水位検討を行った．

表 - 6　モデルパターン解析に用いたパラメータ

変動させた水理パラメータ		解析結果への影響	
ピーク水位	11.00m　10.00m　9.10m　8.00m　7.00m　6.00m	◎	浸潤面の上昇に大きく影響する
ピーク水位継続時間	1時間※　3時間　5時間	△	盛土の透水係数が低く、影響が小さい
水位低下勾配	-1.0m/hr　-0.9m/hr　-0.8m/hr※　-0.7m/hr　-0.6m/hr	△	浸潤面の変動に対する影響が小さい

□…規制水位検討の採用値　　※…過去20年間の実績最大値

図 - 8　規制基準水位検討結果

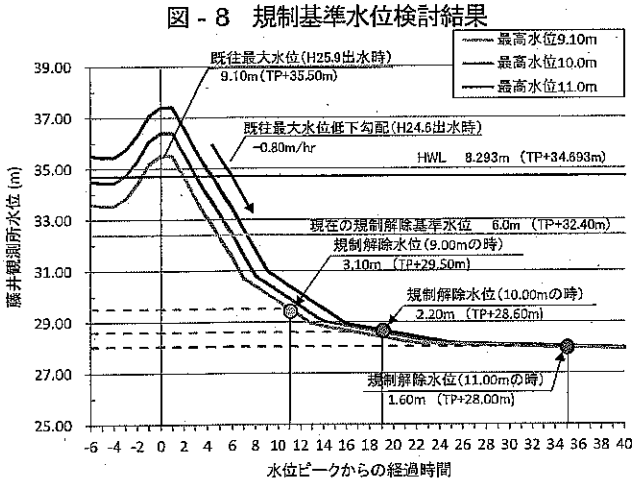


表 - 7　モデルパターン解析結果および規制水位検討結果

断面形状	条件：外力条件 ピーク水位(藤井)		ピーク水位継続時間	水位低下勾配	地盤定数(盛土層) 内部摩擦角φ(度) 値	根拠	粘着力C(kN/m2) 値	根拠	解析結果 安全率≧1.0となる藤井水位	規制水位検討結果 規制解除水位		経過時間(目安)※2
破堤前断面※1	11.00m	(TP+37.40m)	1時間	-0.8m/hr	22.0	N値換算式	17.5	逆算法による推定値	1.64m	1.60m	(TP+28.00m)	35時間
	10.00m	(TP+36.40m)							2.21m	2.20m	(TP+28.60m)	19時間
	9.10m	(TP+35.50m)							3.12m	3.10m	(TP+29.50m)	11時間
	8.293m	(TP+34.693m)							最小安全率が常に1.0を超えるため、設定なし	-	-	-
	8.00m	(TP+34.40m)								-	-	-
	7.00m	(TP+33.40m)								-	-	-
	6.00m	(TP+32.40m)								-	-	-

※1：破堤箇所より下流側の断面を選定
※2：ピーク水位から、規制解除水位に達するまでの経過時間

表 - 8　浸透の観点による通行規制解除水位の設定

藤井観測所最大水位	規制解除水位
10.0m以上11.0m未満	1.6m　(TP+28.0m)
9.0m以上10.0m未満	2.2m　(TP+28.6m)
8.293m(HWL)以上9.0m未満	3.1m　(TP+29.5m)
8.293m(HWL)以下	6.39m　(TP+32.79m)　注)

注) 藤井観測所のHWL以下の場合は浸透崩壊に対して安全であるため、侵食に対する危険水位を考慮して、規制解除水位を設定した。
※上記水位に達した時点でパトロールを行い、現地に異常が無いと判断される場合、規制を解除する。

安全率が 1.0 となる水位に達するまでは，浸透崩壊に対する危険があると判断される．言い換えると，この水位が確認された時点で国道 25 号の通行規制の解除を実施しても問題ない．

本検討では，解析結果を踏まえ，以下の方針により表-8 に示す規制解除基準水位を設定した．

・藤井観測所 HWL を超過した場合は，ピーク水位によって段階的に設定し、HWL 以下の場合は浸透崩壊に対して安全であるため，冠水や侵食の観点を優先して，規制解除水位を設定した．

6.　結論

各規制水位検討結果を整理し，表-9 に示す．

表 - 9　規制基準水位の検討結果

	現在の規制基準	道路冠水	侵食・洗掘	斜面崩壊（浸透、すべり）
規制水位	8.293m (TP+34.693, HWL) ※1	8.26m (TP+34.66)	6.39m (TP+32.79m)	藤井観測所最大水位 / 規制解除水位 10.0m以上11.0m未満 / 1.6m (TP+28.0m) 9.0m以上10.0m未満 / 2.2m (TP+28.6m) 8.293m(HWL)以上9.0m未満 / 3.1m (TP+29.5m) 8.293m(HWL)以下 / 6.4m (TP+32.8m) 注) 注)HWL以下の場合は、浸透崩壊に対して安全であるため、侵食に対する危険水位を考慮して設定した。
	規制開始水位	規制開始基準水位	パトロール開始基準水位 規制解除基準水位	規制解除基準水位
根拠	「国道２５号王寺町藤井の水位(亀ノ瀬地区)の運用(案)について」より	冠水危険水位（実績）に対し、余裕高0.6mを考慮した水位	実績データから、崩壊が発生する危険流速を4.0m/sとした時の水位	解析の結果、堤防斜面崩壊に対する安全率が1.0以上となる時の水位
対応	—	冠水危険箇所の解消（道路嵩上げ、または特殊堤の設置）が課題となる。	パトロール開始となる「注意体制」に対応する基準とする。	規制解除基準水位を下回り、パトロールの結果、現地に異常が無いと判断される場合、規制解除する。

PDCAサイクルを活用した水位観測システムの強化について

○西川　直樹[1]・小田　健二[1]

[1]中国地方整備局 太田川河川事務所 調査設計第一課 （〒730-0013 広島市中区八丁堀3-20）

水位情報の伝達は，水位計による水文観測，テレメータによるデータの送信，統一河川情報へのデータ取り込み，リアルタイムの河川情報の提供というシステムで構成されている．その中で欠測の要因となった落雷等の外的作用，機器の故障，人為作業による欠測や誤情報について，PDCAサイクルを活用した課題や問題点の抽出及びその対応と評価を実施し，データ欠測や異常値の発信防止に取り組んだ．

キーワード　水位観測，水位計，テレメータ，統一河川情報システム

1. はじめに

近年，集中豪雨等の増大により堤防を越えるような洪水が全国各地で発生しており，水位情報の提供は防災情報として重要性を増しているが，観測機器の故障や点検時の異常値配信などが多数発生している．この事は，各機器が技術革新における小型化や高速化が図られたものの，故障原因の特定や異常データの抽出が困難となっていることが背景にある．また，機器の故障や異常値が発生した場合，その都度原因を調べ原因解消の対応を行ってきた．しかし他の水位観測所で同じような原因で機器の故障や異常値配信が繰り返し発生していた．

そこで，太田川河川事務所では水位観測システムの故障原因及びその対応について，ＰＤＣＡサイクルを活用し，発生事例と対応策について体系的に検討し，水位観測システム全体の強化を図ってきたとことろであり，その対策事例について発表するものである．

水位観測システム整備する場合においては，計画（Plan），設置（Do）に労力及び予算配分が大きくなる傾向がある．しかし，既存の水位観測所の問題をチェック（Check）すると，いくつもの問題が発見され，改善（Act）を繰り返し取り組んでいる．特に，水位観測システムの問題点の把握チェック（C）においては，土木的知識と電気的知識の両方を必要とするが，一般的なメーカ，コンサル点検業者において，土木と電気の両知識を幅広に連携して発揮出来る会社は稀であり，河川管理者である国土交通省職員がチェック（C）することが有用な手段と考えている．

2．水位観測システムの概略について

本論文での水位観測システム（図１）は，現場の水位計センサと無線装置（テレメータ）を使用し，洪水時も含め常時一般の方への情報提供を行うシステムである．

現場の水位観測所で水位を観測して一般の方への水位データ提供までの流れを図-１に示す．

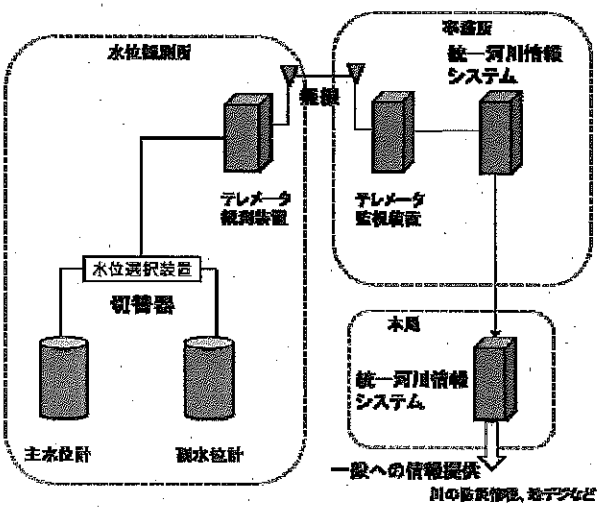


図-1 一般的な水位観測システムのデータの流れ

a)　水位計

近年水位計は，フロートによるアナログ的な計測から，より精度を高めるために半導体素子による水圧検出方式（水圧式又は水晶式），超音波の反射による水位計測（超音波式）など電子的な水位計測装置が多くなっている．

しかし，アナログ的な計測から電子的な計測に変わると，設計や維持管理に電気的な知識が必要になり，また河川の流速を受ける場所の近くにセンサを設置するため耐流速に対する土木的な知識も必要になってきており，必要とされる技術的知識が多岐にわたり複雑で高度にな

っている.

b)水位選択装置（切替器）

一般的な水位観測システムにおいては，水位計を２台設置した時に，どちらかの水位計の値をテレメータに送るか現場で選択（切替）する装置である.

水位の一定値や変動量を設定を現場の２台の水位計からの情報のみで選択する装置であり，故障すると欠測の原因にもなる.

c)テレメータ装置

テレメータ装置は，水位データを無線で遠方の事務所まで運ぶ装置である.

d)統一河川情報システム

主にサーバで構成されており，外部に数値を公開するために収集したデータを整理し，情報配信を行う装置である.

３．水位観測システムの課題

(1)ＰＤＣＡサイクルによる改善の必要性

・業者は，専門分野に細分化されており，水位計だけ，テレメータだけ，統一河川システムだけで各メーカが分かれており，一連の流れでシステムを理解していない.例えば，水位計の異常を統一河川情報システムで防ぐには，水位計と統一河川情報システムの両方の特性を理解する必要がある.

・土木的知識，電気的知識の両方の人材を持つ会社は稀である.

・河川管理者から施工に対する細かい指示が無い場合，施工は受注者が選択する方法となる.（例えば，水位計の固定方法，ケーブル線種，アース線接続，水位計設定など）

・現地堤防高及び流速などの情報は，河川管理者でしかわからない.

・水位計の設定などは，現場毎に異なるため河川管理者が決める必要がある.

(2)判明した課題

太田川河川事務所では，土木系職員と電気通信系職員が共同で水位計の問題を抽出したところ以下の問題が判明した.

(2-1)水位に対する課題（観測所の設置高）

(①不具合の事例)

堤防を越えるような水位となった場合，水位計測がされない.

(原因)

水位観測所の設置高が，堤防より低い.

中継ボックス（中継盤）が堤防高より低い位置に設置されている.

河床から堤防高まで10mを超えているが，水位計の測定能力が10mしかない

(対応)

堤防高より50cm高い位置へ観測所を移設する.

中継ボックス（中継盤）は，エア抜きの役割であり水没すると計測不能になるため堤防高より50cm以上高い位置に設置する.

堤防高が10mを超えている場所は，水位計は20m計測可能な製品を導入する.

(2-2)河川の流速に対する課題（センサー部）

(②不具合の事例)

洪水時に水位計計測が停止.

(原因)

水位計センサが水中内で強固に固定されてないため，洪水時に流出する.

水中内，堤防下にケーブルの保護管としてFEP管を使用してたが，洪水時に管路ごと断線した.

(対応)

耐流速計算及び構造検討を行い，コンクリート升を設置するなど水位センサを水中で強固に固定する.

水中内，堤防下の露出部のケーブル保護管にはFEP管は使用しない.

ケーブルの保護管は鋼管にするか又は埋設とする.

(2-3)管路に対する課題（水位計のケーブル）

(③不具合の事例)

水位計の更新時に，ケーブルを保護する管路が細いため水位計センサのケーブルが抜けない.

(原因)

出水の繰り返しにより管路に砂が入って隙間が詰まった.

(対応)

管路の大きさは維持管理可能なサイズを確保する．太田川河川事務所では光ケーブル配管の基準を準用してFEP80を採用している.

(④不具合の事例)

管路の数が足りないため，電気線・通信線などをタコ詰めし．ノイズにより欠測になっている場合がある.

(原因)

管路が不足したため，安易にタコ詰め配線を行った.

(対応)

管路の数を十分検討を行い，必要な管路数を確保する．原則として１本の配線は１本の管路とする.

(2-4) 観測所内の機器の課題（変換装置・電源）

(⑤不具合の事例)

水位計の故障が多い.

(原因)

水位計故障の主な原因は落雷である.

水位計の避雷器のアース線が接続されていない.

ケーブルの端子部がよく外れる又は接触不良が多い.

(対応)

電源は，太陽電池化を行い，避雷器に対してのアース線接続を行うなどの雷対策をきちんと行う.

避雷器の予備品を備えておく.

施工不良防止のために，電気通信設備工事共通仕様書を適用する.

古いケーブルを繰り返し使用している場合が多いが，水位計の更新時は電気ケーブルは全て更新する.

(⑥不具合の事例)

観測所内の水位計機器（変換装置，電池など）が，耐震固定されていない.

(原因)

発注時仕様書で耐震対策の記述が無かった.

(対応)

施工管理に，耐震対策の基準がある電気通信設備工事共通仕様書を適用する.

(⑦不具合の事例)

停電時に計測不能となる.

(原因)

観測所内の水位計用蓄電池の机上にる容量計算のため、現地において不足する場合がある.

水位計用に蓄電池を設置しても水位計と接続されていない.

水位計用の蓄電池は，納品時期，交換時期が不明，電池劣化管理値（内部抵抗値管理）がなされていない.

(対応)

現場水位計の設定確認を行わずに蓄電池容量計算を行っている場合があるため，必ず現場水位計の設定同条件で消費電流値を計測してから容量の算定を行う.

蓄電池の配線が正しくされた確認するため停電試験を行う.

水位計点検で内部抵抗値管理を実施する．納品時に，納品年月，交換時期を機器に明示する.

(2-5) 異常値配信の課題

(⑧不具合の事例)

水位計が故障したら異常値を配信してしまう.

(原因)

水位選択（切替）装置の切り替え条件設定が工場出荷時のままであるため，水位計が故障しても水位データを異常値のまま送り続けてしまう.

事務所統一河川情報システムで異常水位に対する閾値（ブロック）設定がされていない.

(対応)

水位計が故障したら水位計変換装置からの出力値を16進数の”FFFF”出力に設定を行うと外部へのデータ配信は止まる.

水位選択装置（切替器）を廃止して，テレメータによる水位２量伝送にし，故障時に手動で外部配信する水位計を選択する.

統一河川情報システムの更新時に水防担当，電通担当の両者で閾値を設定する.

(⑨不具合の事例)

洪水時に量水板と水位計で差が生じる.

(原因)

水位計の設定が工場出荷時のままになっている.

例：平滑化回数，時刻など

水位計センサが水中内に裸で設置されており，圧力センサが，流水を受けて，水流圧を水位として計測しており，水位計測の精度に問題がある.

(対応)

河川管理者が自ら水位計の設定内容を全て指示を行い立会して設定の確認を行う.

水位計センサーは，水流の圧力を受けて誤計測しない構造にし，センサ上流にコンクリート升などを設置する.

(2-6) 維持管理の課題

(⑩不具合の事例)

欠測した場合，水位計故障かテレメータ故障のどちらの故障か特定するのに時間がかかる.

(原因)

業者が現地で故障している装置を確認しないと特定出来ない.

(対応)

水位計故障時の変換装置からの出力値を16進数の”FFFF”出力にすることにより，事務所から水位計故障かテレメータ故障か判別して対応方法を敏速に決める事が可能となる.

(⑪不具合の事例)

水位計の正・副の計測値に差が大きい場合どちらが正値か分からない.

(原因)

原因究明には，計測に差が発生している時に現地において量水板，水位計測機器の確認が必要である.

(対応)

テレメータによる水位２量伝送を行い，正・副の差が大きい時は人により現地量水板の水位を確認する．水位選択装置は廃止する．４．において詳細の説明をする.

⑫不具合の事例)

更新時に既設の不可視部分である管路，水中部の把握に苦労を要する

(原因)

観測所台帳が整理されていない.

既設水位計の埋設配管ルート不明が多い．完成図書，台帳に記載無し.

観測所内のケーブルが多く複雑になっている.

(対応)

更新時に台帳整理を徹底する.

施工時（配線，設置時）の写真及び配管図を必ず完成図書に入れる.

施工管理に，電気通信設備工事共通仕様書を適用し，ケーブルには全て行き先表示札を付ける事を徹底する.

⑬不具合の事例)

水位計の点検報告書のデータに誤りがある.

(原因)

報告書をタイプにすると，入力間違いが起きる.

(対応)

点検報告様式は，全て現場における手書き記入に変更する.

４．異常値配信防止への取組

水位観測システムの改善にＰＤＣＡサイクルを活用することが有効な事例として機器の故障による異常値配信の防止対策がある．近年，水位情報へのアクセスが容易になってきたため，水位情報の異常値を発信すると地方自治体の防災情報などから，多くの方に警報が発信されるなど，社会的な影響が大きく河川管理者として注意が必要になってきている.

１）水位計の電源の太陽電池化の取組

(1) 異常値配信防止の原因分析

異常値配信の原因として大きく

・突発的な機器故障（物）

・操作ミス（人）

に分類される.

(2) 機器の故障原因の分析

太田川河川事務所で平成２０年～平成２４年に起きた水位計（水圧式・水晶式）の故障が原因で起きた欠測で水位計の故障の状況を分析した.

水位計機器の故障（落雷除く）・・・７件

落雷が原因の故障（ヒューズ断，ブレーカ断など含む）・・・８件

バッテリー不良・劣化　・・・６件

故障原因は，雷と電池劣化による事が多い．また，平成２６年８月広島豪雨災害でも接地（アース）接続が不完全であったため落雷により水位計が故障する事象が発生しており，現在水位計の接地（アース）の再見直しを行っている．これらの不具合は，同じ水位観測所内に設置しているテレメータ設備では，ほとんど起きていない．そのためテレメータと同じ故障対策を行う事により防げると考え改善を行っている.

(3) 水位計の故障対策への提案

水位計の故障により異常値発信の原因や水防時に水位取得が出来ないなどの問題になる可能性がある．そこで故障がしにくくなる装置構成について提案する.

・電源を太陽電池化する.

・避雷器にアース線を正確に接続する

・蓄電池をMSE長寿命型にし交換時期管理を行う

・メモリー電池搭載品は使用しない

（または管理を徹底する）

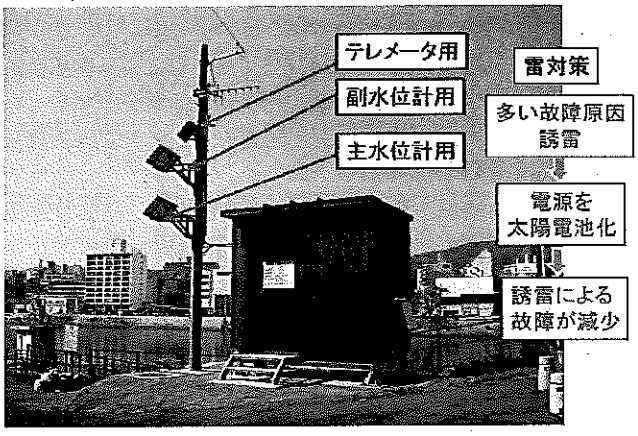


写真-１　水位計の太陽電池化の例（三篠観測所）

２）正確な水位提供するシステム構成の取組

(1) 水位計（正・副）選択の問題

現場水位観測所に水位計を２台設置すると故障リスクが低減される．しかし，どちらの水位計が正しい水位計

測を行っているか判断をし，どちらかの水位データを外部へ提供するか問題がある．従来は，太田川河川事務所では，水位選択装置の設置により水位計の選択を行っていたが，以下の問題があった．

【問題】水位選択装置は，現地観測所の正・副水位計の条件を事前に設定したプログラムにより切り替えを行う装置であるが，切り替え条件が現場水位計の正・副に一定の差が生じた時に切り替えるなどとなっている．しかし，どちらの水位計が正確か故障か否かどうかは現場装置のプログラムだけでは判定が困難なため，正・副水位計及び上下流の観測所の水位変動，雨量，現地確認による判断が必要となる．

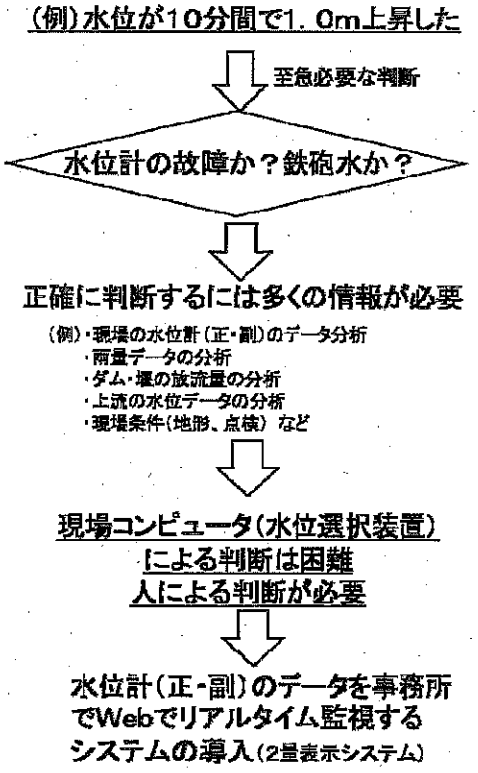


図-2 水位２量伝送及び表示システム導入経緯

(2)太田川河川事務所の水位計選択の改善取組

水位選択装置の問題を解決するために，太田川河川事務所ではテレメータによる水位データの２量伝送及び人による水位選択システム（水位２量表示システム）に全面変更をした．平成25年6月からテレメータによる水位２量伝送及び２量表示システムを導入した．

(3)取組後の評価

平成25年度の出水では事務所から正・副の水位計2台の誤差を速やかに把握が出来，正・副の水位計に5cm以上の誤差が生じたときは現場に人員を送り，現地量水板と水位計の誤差を確認し誤差が生じた原因究明まで行う事が出来た．また，水位２量伝送を行った場合では太田川河川事務所管内のシステム全体に係るコストは，観測所毎に水位選択装置を設置するよりコスト縮減になっている．

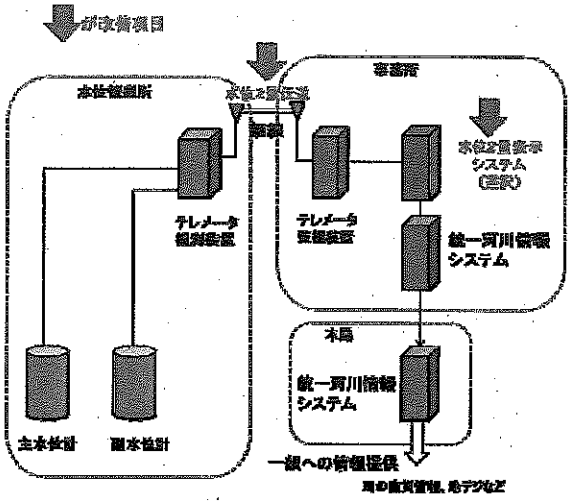


図-3 改善対策を行った水位観測システムのデータの流れ

月/日 時:分	小川津			両国橋		
	主水位(m)	副水位(m)	採用水位	主水位(m)	副水位(m)	採用水位
05/31 23:00	0.49	0.48	主	0.12	0.10	主
06/01 00:00	0.49	0.48	主	0.12	0.10	主
01:00	0.49	0.48	主	0.12	0.10	主
02:00	0.49	0.48	主	0.12	0.10	主
03:00	0.49	0.48	主	0.12	0.10	主
04:00	0.49	0.48	主	0.12	0.10	主
05:00	0.49	0.48	主	0.11	0.10	主
06:00	0.49	0.48	主	0.11	0.10	主
07:00	0.49	0.48	主	0.11	0.10	主
08:00	0.49	0.48	主	0.11	0.10	主
09:00	0.49	0.48	主	0.12	0.10	主
10:00	0.49	0.48	主	0.12	0.10	主

図-4 水位２量表示システム（イメージ）

3） 機器故障による異常値配信防止の取組

(1)水位計故障時の問題

一般的には水位計のセンサー部が故障した時などは，正しく計測が出来なくなる．故障したまま水位計が数値出力を行うと誤った水位情報が一般の方までに配信され続ける事になる．

(2)太田川河川事務所独自の防止策

太田川河川事務所では，独自の発案として水位計が自ら故障を検知した時は，水位計の出力を外部に配信できないようこれまでの故障時出力がゼロやフリーズ（同じ数値を保持）から，16進数法による数値（FFFF）で行うことにより統一河川情報システムで受けられないようにする水晶式水位計の改造を行った．

通常，我々が見る数値は10進数法である．また，水位観測システムにおいて多くの機器が10進数の伝送しか機能上出来ない．しかし水位計からテレメータ監視装置は16進数でデータの送信を行っている．

水位計が故障時の出力をした時の出力値，16進数にお

ける数値"FFFF"という通常の装置では使われない数字を送る.

統一河川情報システムでは，10進数でのデータ伝送機能が無いため，水位計からの出力はシステムの構造上において，外部への配信が不可能となり，制御が可能となる.

また事務所テレメータ監視装置も10進数での配信機能が無いため16進数での数値"FFFF"は伝送不可能である.

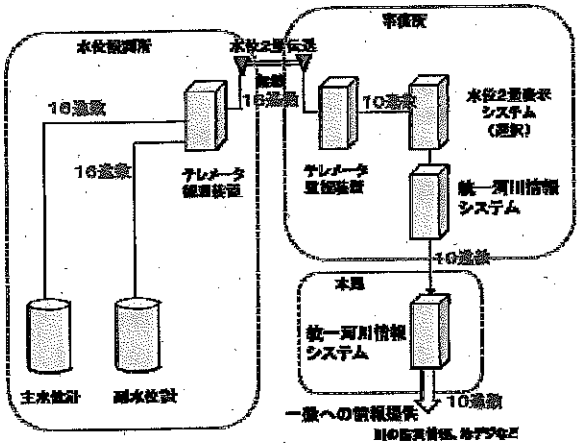
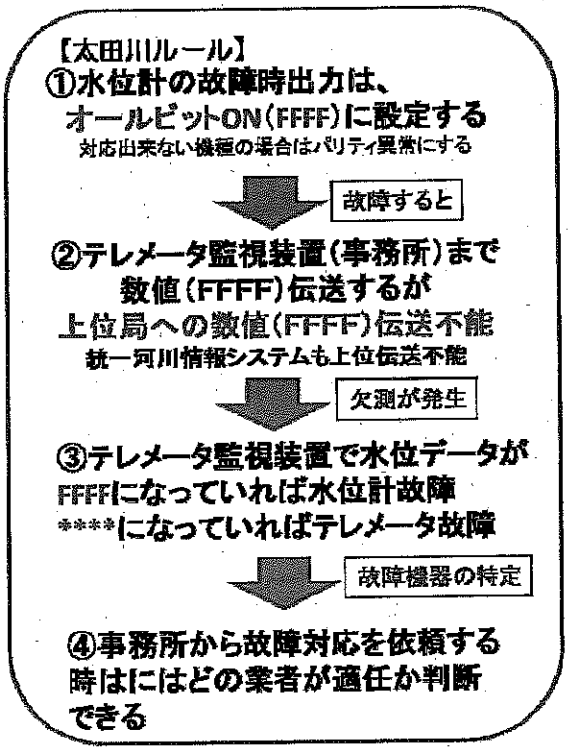


図-6 水位観測システムにおける１０進数と１６進数

(3)取組後の評価

太田川河川事務所では，故障時出力を16進数の数値"FFFF"にすることにより，水位計が故障した時は，外部への配信データが瞬時に欠測となった．平成24年度から水位計の故障時出力を" FFFF" に変更したことにより，平成26年5月末までに4回異常値配信を防ぐ事が出来た．さらに遠隔地である事務所にいながら水位計やテレメータのどちらが故障したか，遠方からも判断でき管理における効果は高かった.



(4)取組後の追加改善

統一河川情報システムにおける閾値設定を行うことにより，水位計が自ら故障検知出来ない故障による異常値の配信を防ぐことができる．また，観測所の断面に着目すると河床より低い水位や堤防高より大幅に高い水位は，明らかに機器故障による異常水位であるため，外部への誤情報を防止するため当水位データの配信をブロック（止める）する必要がある．そのため，事務所及び本局に設置されている統一河川情報システムに，堤防高プラス１ｍより高い水位及び最低河床より低い水位は，異常水位であるため，その数値を上位システムにデータを配信しないように閾値を設定した.

5. 今後の課題と対応

水位観測システムにおける外的要因による異常値について，ＰＤＣＡの観点で体系的に個々の課題や故障の発生原因を分析し，外的要因，機器特性，システム構成の問題点を抽出し，システム構成から整理し，システム全体の改善策を実施してきた．しかし，未発生の故障事例やその要因について依然想定できないことも発生している．このため，各段階のデータ監視対策についても充実を図るとともに，今後とも戦略的な防止対策を立案するため，ＰＤＣＡサイクルにて実施過程で得られる故障履歴や不具合を整理して，水位観測システムの安全性に向けた強化，効率的な機器の更新計画を策定し，更新費用の削減など，コスト縮減策にも寄与していきたい.

地域消防と排水ポンプ車の連携について

以倉　直隆[1]・横田　浩昭[2]

[1]北陸地方整備局高田河川国道事務所　防災課　（〒943-0847　新潟県上越市南新町３番５６号）

[2]北陸地方整備局高田河川国道事務所　防災課　（〒943-0847　新潟県上越市南新町３番５６号）.

阪神淡路大震災発生から２０年がたとうとしている。当時の消火活動は、消防用用水の断水により、困難な作業となった。

その後、北陸地方でも大規模な地震が頻発しており、次に起こる大震災では、阪神淡路大震災と同様の消火困難な事態が起こる可能性は高い。

上記を危惧して、上越地域消防本部から、河川水を消火活動に使用したいというニーズがでてきたため、高田河川国道事務所では、洪水対策用として保有している排水ポンプ車から消防ポンプ車への河川水給水方法を考案した。その、実用に向けた訓練、新たな改良等、消防本部との連携を実施しているので、内容を報告する。

キーワード　排水ポンプ車、消防ポンプ車、連携

1. 阪神大震災の教訓

阪神大震災は、平成７年午前５時４６分淡路島北部を震源として発生した地震で、マグニチュード７．２、最大の震度は神戸市内で７の大規模地震災害である。

地震発生直後から市街地で火災が同時多発したが、消火活動は、消防用水の断水、消防機材の不足、人員の不足等の原因により、困難なものとなった。

2. 上越地域消防本部のニーズと課題

このような背景から、上越地域消防本部では、大規模災害時において市街地の消防用水が断水することを危惧しており、その際は、河川水を利用したいというニーズを持っていた。

河川水利用の必要性を裏付ける一例として、上越市内のある町内での消火栓の位置を図－１に示す。

●は、消火栓の位置である。大規模な災害で断水した場合は、これらの消火栓が使えなくなり、大規模な火災に発展するおそれがある。その際は、図の左側を流れる関川の河川水が重要な役割を果たす。

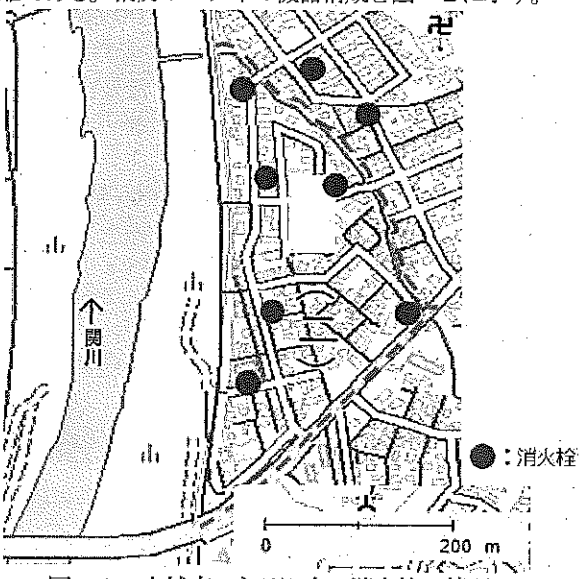
河川水の利用は消防活動に有効と考えられるが、下記の課題を残している。

(1) 河川水利用の問題点

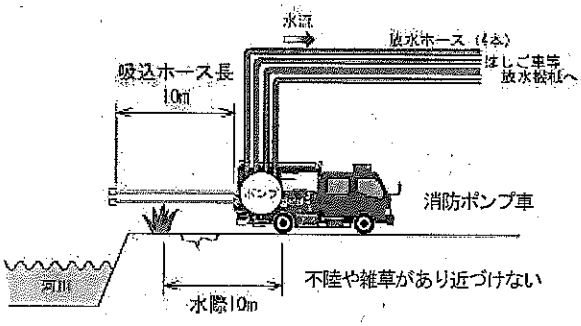
上越地域消防本部で保有するポンプ車が直接河川水を汲み上げようとする場合、下記の問題がある。

(a) 水際への車両設置

消防ポンプ車では車体に積載の真空ポンプへの給水は10mの吸い込みホースにより行われる。水際から10mの箇所には、地盤が不陸な箇所や、雑草が生い茂っている箇所があり、消防ポンプ車を駐車することは困難である。消防ポンプ車の機器構成を図－２に示す。



図－１　上越市のある町内の消火栓の箇所



図－２　消防ポンプ車の機器構成と水際の状況

(b) 人員の不足

大規模災害時は、消防隊員本人、家族の被災や、火災以外の人命救助等、他にもすべき活動があることから、消防隊員が不足する。これに、消火栓が使えないという問題が重なると、給水水源確保に人員が割かれることから、普段より深刻な人員不足が発生する。

給水の操作は極力簡便にし、できるだけ多くの消防隊員に消火放水活動に専念してもらうことが望ましい。

3. 排水ポンプ車の活用

高田河川国道事務所では、保有している地域用の排水ポンプ車による給水と、上越地域消防本部の消防車による放水の連携作業により、前述のような問題を解決することが出来ると考えた。

そして、連携作業のために、排水ポンプ車のホースと消防ポンプ車の給水ホースをつなぐ継ぎ手を試作した。

(1) 排水ポンプ車の特徴と性能

排水ポンプ車が、河川水を給水するために有利である点は次の２点である。

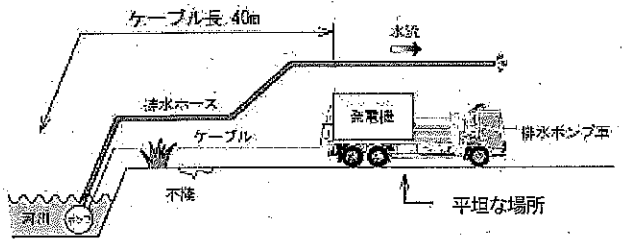
(a) 水中モーターポンプ

排水ポンプ車の機器構成を図－３に、水中ポンプの写真を写真－１に示す。

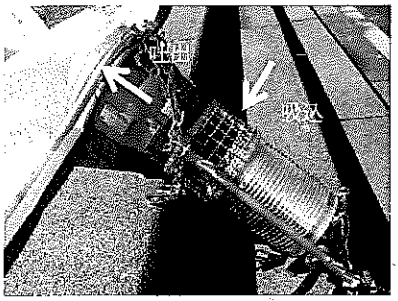
排水ポンプ車は、重量３５ｋｇの水中モーターポンプを、車載の発電機で駆動させる構造である。

水中モーターポンプと発電機は４０ｍのケーブルでつながれている。水中モーターポンプに排水ホースを接続し、浮き輪を着けて、河川に投入し、車両にある発電機を起動すると、φ200mmのホース開口端から排水される。

この構造であれば、水際から４０ｍ離れた箇所に平坦な箇所を探して、車両を設置することができる。また、堤防上に配置できる場合も多い。



図－３　排水ポンプ車の機器構成



写真－１　排水ポンプ車の水中ポンプ

(b) 高揚程、大排水量

排水ポンプ車は１０ｍの高揚程かつ大排水量のポンプを持ち、堤防天端を超えて、大量の排水が可能である。また、ホース口径がφ200mmと大きいため、排水ホースの曲がりや、つぶれ、水流の乱れに伴う配管抵抗に負けず、長距離の排水が可能である。

同時に、水中ポンプ１基あたり、７．５ｔ/分の大きな排水能力を持ち、それは消防ポンプ車の２倍以上となる。

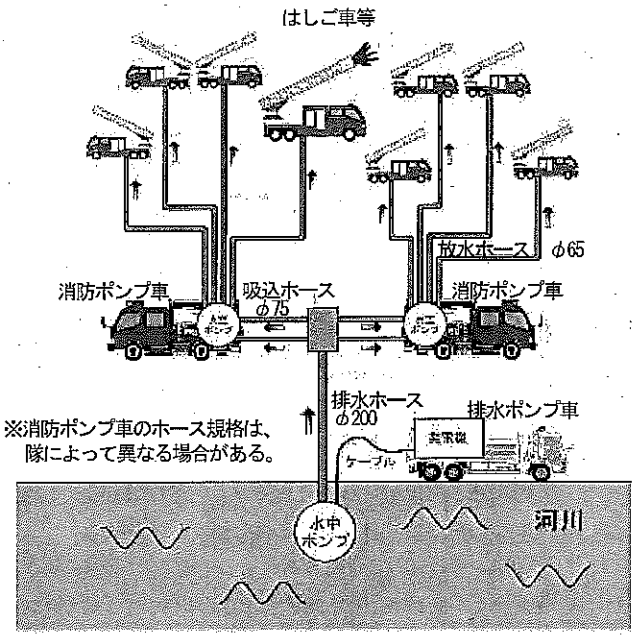
排水ポンプ車１台あたり４基の水中ポンプをもっているので、大規模火災時には、排水ポンプ車１台で、８台以上の消防ポンプ車へ給水する能力がある。

よって、大規模火災において、多数の消防ポンプ車の給水口を１箇所に集中させ、給水に係る消防隊員の作業を軽減できる。

(c) 排水ポンプ車と消防ポンプ車の連携

これらの利点を活かした、排水ポンプ車と消防ポンプ車の連携概要を図－４に示す。

取水された河川水の流れは、水中ポンプからφ２００排水ホース、連結継ぎ手、φ７５吸い込みホース、消防ポンプ車、φ６５mm送水ホース、はしご車や放水銃の順で圧送されてゆく。



図－４　排水ポンプ車と消防ポンプ車の連携

(2) 試作継ぎ手の概要

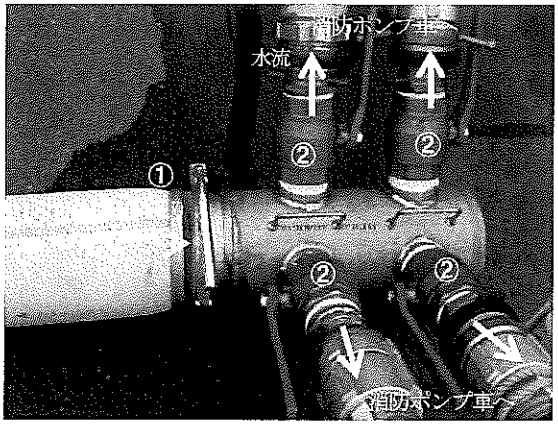
連携作業を行うために必要な部品として、排水ポンプ車のホースの吐き出し口と消防ポンプ車の吸い込みホースをつなぐ継ぎ手を試作した。

試作した継ぎ手を写真－２に示す。

写真－２の①の接続口は排水ポンプ車のホースに接続される。口径は200mmである。②の接続口は消防ポンプ車の吸い込み口に接続される。口径は75mmであ

る。消防ポンプ車は１台あたり２つの吸い込み口をもっているので、接続口は２台分の４口である。

排水ポンプ車の水中モータポンプは理論値では１基あたり、２.６台の消防ポンプ車に給水する能力があるため、送水ロス等を考慮し、消防ポンプ車２台を接続する構造とした。



写真－２　連結継ぎ手

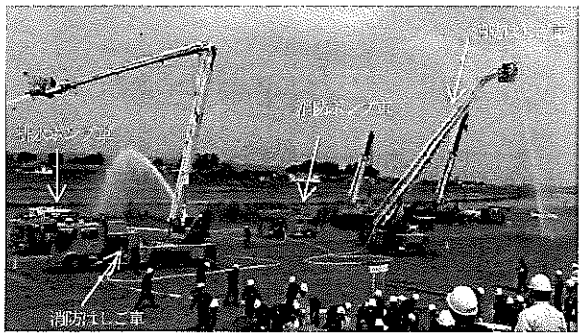
4. 地域消防との連携

(1) 地域消防との合同訓練

高田河川国道事務所と上越地域消防本部では、平成23年度より年に１回の合同訓練を実施している。

これまで４回の訓練を実施し、それぞれの機械に不具合は発生せず、良好に河川水の給水が実施されている。

写真－３に排水ポンプ車と消防ポンプ車を連携させて行う合同訓練の状況を示す。



写真－３　合同訓練の写真

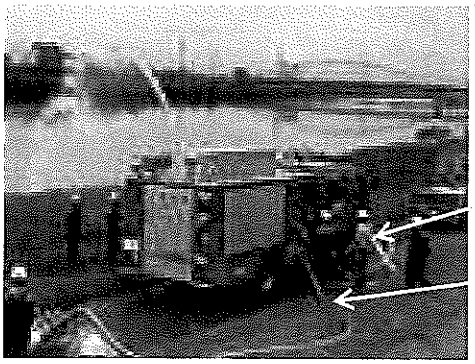
また、有事の際は上越地域消防本部単独で車庫から排水ポンプ車を搬出し、使用することを可能とするため、申し合わせにより車庫の合い鍵を預けている。

(2) 消防用車両の概要

消防ポンプ車を写真－４に、表－１に性能を示す。

上越地域消防本部には排水ポンプ車と連結できる消防ポンプ車を１０台保有しているため、５個の継ぎ手を保有しておけば全台数に河川水を供給可能である。

排水ポンプ車から送水された河川水は、消防ポンプ車を中継し、写真－３のに示す消防はしご車や、写真－５に示す放水銃に送水され、消火用水として放水される。

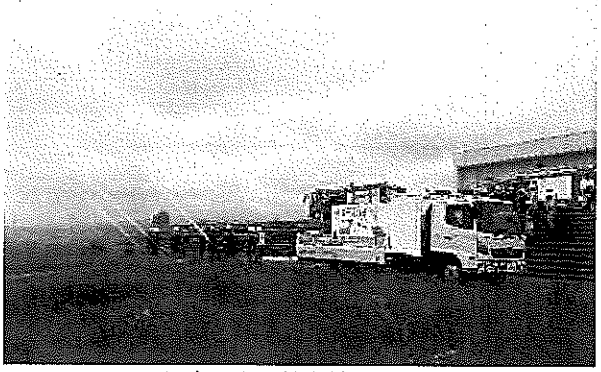


写真－４　消防ポンプ車

表－１　消防ポンプ車の性能

消防ポンプ車の標準性能

規格放水量	2.8t/分	吸水量	放水量に同じ
規格放水圧力	0.85MPa (水頭 87m)	吸込真空圧	0.085MPa (水頭 8.7m)
高圧放水量	2.0t/分	吸込口	2箇所／台
高圧放水圧力	1.4MPa (水頭 143m)	吸込ホース	10m×2本
放水口	4箇所／台	吸込ホース口径	75mm
放水ホース	20m×10本以上		
放水ホース口径	65mm		



写真－５　放水銃

5. 今後の課題への対応

前項までは、消防活動の課題に対する、排水ポンプ車の支援について述べた。今後の課題として、現在、排水ポンプ車の、内水排除活動の問題点を消防ポンプ車からの支援を受けて改善する方法を検討している。

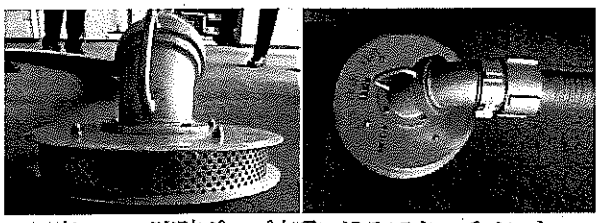
(1) 排水ポンプ車の問題点

排水ポンプ車の水中ポンプは、深さ１m程度の水深がなければ、空気の吸い込みによる機器故障の危険があり、使用できない。このような箇所では、雨がやめば自然に排水されると考えられるが、津波によるがれきや土砂で排水路が閉塞してしまうと、排水が必要となる。

(2) 消防ポンプ車の利点と問題点

これに対し、消防ポンプ車の真空ポンプは、アタッチメントの装着により、水深１０cmの浅さでも、排水が

可能である。給水ホースに取り付ける低水深箇所用のアタッチメントを写真－６に示す

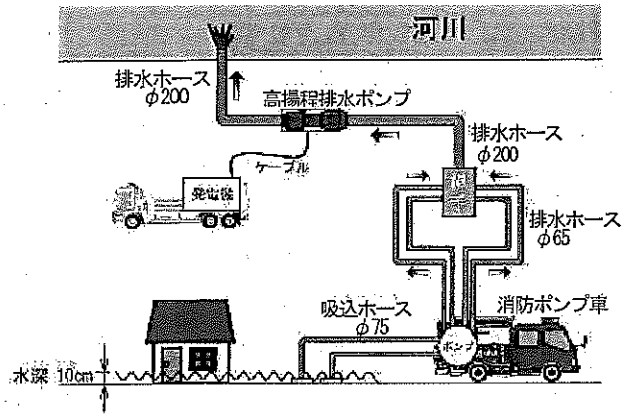


写真－６　消防ポンプ車吸い込みアタッチメント

消防ポンプ車は２本の吸い込みホースから内水を吸い込み、４本の放水口から放水できる。ただし、１本の放水口に対し、最低1名の消防隊員を配置する必要があるため、人員の確保が難しい際は対応が困難であった。

(3) 課題解決方法の検討

これらの課題を解決するために双方の連結について検討した。構想図を図－７に、構想の概要を①～③に示す。

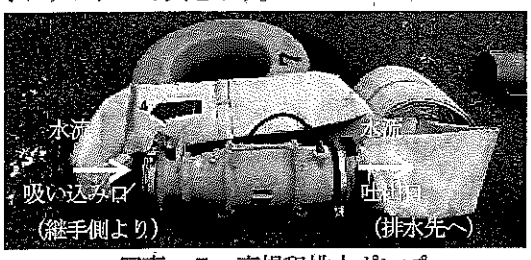


図－７　消防ポンプ車の支援による排水構想

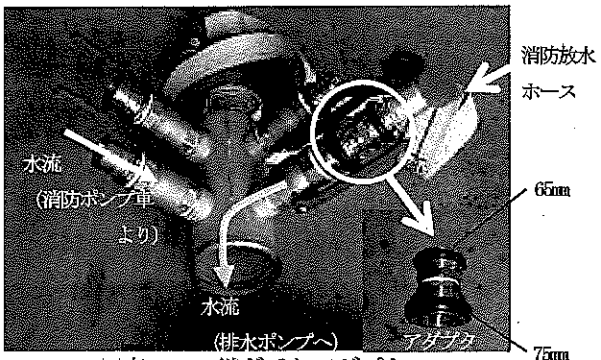
①３．で記した連結継ぎ手を流向を逆にして使用できるように新たに継ぎ手のアダプターを製作する。
②消防ポンプ車により、浅い水深の内水を吸い込む
③上越防災支援センター配備の高揚程型排水ポンプ車で中継し、消防ポンプ車が吸い上げた水を河川等へ排水する。

上越防災支援センター（北陸技術事務所）配備の広域用排水ポンプ車は、軸流式水中ポンプを装備しており、吸い込み口と吐出口の両側に排水ホースをつなぎ、地上にポンプをおいたまま排水が可能である。

写真－７に高揚程排水ポンプを写真－８に製作した継ぎ手アダプタの写真を示す。



写真－７　高揚程排水ポンプ



写真－８　継ぎ手とアダプタ

(4) 課題への対応結果

この構想については、今年６月に実施した上越地域消防本部と高田河川国道事務所の合同訓練で試験を行ったが、結果は芳しくなかった。

原因としては、比較的細い径の消防ポンプ車のホースの内部抵抗が大きく、想定した流量に満たなかったためと考えており、新たな課題として今後検討を継続していきたい。写真－９に試験の様子を示す。



写真－９　低水位排水試験の様子

また、軸流式水中ポンプの低水位用アタッチメントも市販されており（写真－１０）、これについても機会があれば試してみたいと考えている。



写真－１０　低水位用アタッチメント

6. まとめ

大規模災害の消火活動を、排水ポンプ車により、河川水を給水するという形で支援する試みについて報告した。

また、消防ポンプ車による、内水排除活動への支援についての検討結果を紹介した。

今回の取り組みによって、消防ポンプ車の構造を概略理解でき、運用の方法を確立することができた。これにより、細かな違いはあるかも知れないが、他の地域での消防本部と連携を検討する際の、参考にできるのではないかと考えている。

今後ホース延長と流量の関係について調査し、揚程と送水距離の把握をしておくことが、必要である。

企業向け水害版事業継続計画（BCP）作成の支援について

興梠　逸郎[1]・平石　貴義[2]

[1]九州地方整備局　武雄河川事務所　建設専門官　（〒843-0023 佐賀県武雄市武雄町大字昭和745）

[2]九州地方整備局　武雄河川事務所　防災情報課　（〒843-0023 佐賀県武雄市武雄町大字昭和745）.

本論文は，佐賀平野を対象に，企業や団体等の自主的な防災力向上を目的として，武雄河川事務所で取り組んだBCP作成の支援について報告するものである．支援内容は，①水害版BCP作成のためのワークショップ指導，②水害版BCP作成手引きの作成・提供，③水害版BCP作成に必要な浸水情報システムの構築・提供，であり，これらの取組みを業種の違う3企業での実践内容を含めて報告する．

キーワード　水害，事業継続計画（BCP），ワークショップ，浸水情報提供システム

1. はじめに

近年，各地で記録的豪雨が頻発し，いつどこでも災害発生の可能性がある中，水防団員の高齢化による減少等により地域の水防力の弱体化が進んでいる．このような状況を受け，多様な主体の参画により地域の水防力の強化を図るべく，平成 25 年 6 月に水防法で浸水想定区域内の地下街，高齢者・要援護者等利用施設，大規模工場等の自主的な避難確保・浸水防止の取り組みを促進する等の改正がされている．

本論文は，企業や団体等の自主的な防災力向上を目的として武雄河川事務所で取り組んだ BCP 作成の支援（ワークショップ指導，水害版 BCP 作成手引きの作成，浸水情報提供システムの構築）について報告する．



写真-1　武雄北方 IC 付近の浸水状況（H2. 7）

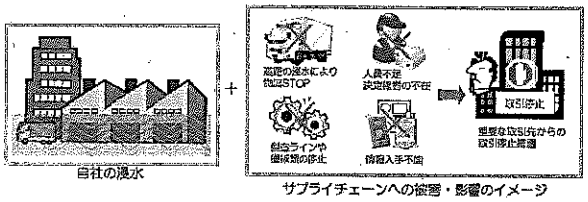


図-1　浸水によるサプライチェーンの被害・影響

2. 水害版BCPとは

企業が被災すると，直接的な人的・物的被害が生じるほか，事業の中断・停止による顧客の流出，企業価値の低下など間接的な被害も受ける[1),2)]．現代のように，綿密なサプライチェーンが構築されていると，一企業の事業中断・停止が，産業界・地域社会全体に影響を与えかねない．

BCPとは，Business Continuity Plan(事業継続計画)の略称で，自然災害等の大規模な災害が発生し企業が被災したときに，一日でも早く日常の業務を遂行するために，事業継続の方針や行動内容を文書化したものである[3),4)]．災害時の活動方針や行動内容の文書化であるという点では，防災計画と同じと言えるが，防災計画は，災害発生時の安全確保や二次災害の防止のための措置に着眼して策定されるのに対して，BCPは「事業の継続のために必要な措置は何か」に着眼し策定するところが異なる[4)]．

まずBCPを策定する際，企業の立地や被災特性の違いにより最も「現実的かつ甚大な災害」を対象に策定するのが一般的であり，主に地震・津波等を対象としたBCPを策定される一方で，『水害』に対しては検討していない企業が多い[5)]．

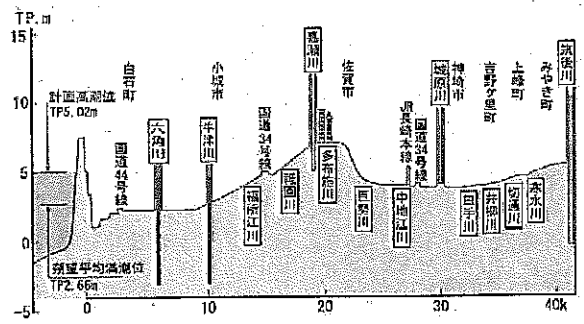


図-2 佐賀平野の地形

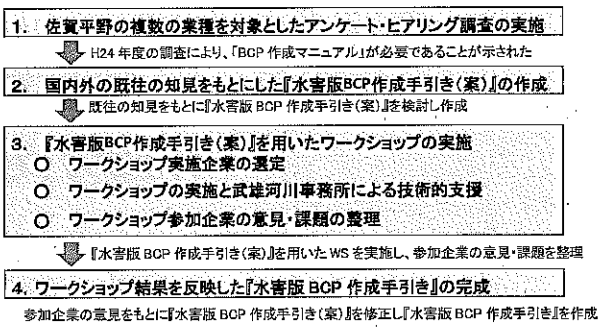


図-3 BCP作成手引きの作成フロー

佐賀平野は干潟の干拓によって創られた海成沖積平野で，低平地で海抜が低い上に，比較的高い位置に河川が流下しているため，洪水や高潮による氾濫が生じると，長時間かつ広範囲な浸水が続く可能性がある．すなわち，佐賀平野に位置する企業・団体にとっては，水害が「現実的かつ甚大な災害」であり，BCP を策定する災害の“第一候補”になり得る．

このような背景を踏まえ，当事務所は，佐賀平野に位置する企業への防災対策支援として，企業自らが容易に水害版BCPを作成できる『水害版BCP作成手引き』を作成した．

3. 『水害版BCP作成手引き』が出来るまでの流れ

『水害版BCP作成手引き』が出来るまでの流れを図-3に示す．

4. 『水害版BCP作成手引き（案）』の作成手順

(1) 佐賀県内の複数の業種を対象としたアンケート・ヒアリング調査の実施

武雄河川事務所は，企業の水害に対する自衛策や被災後の復旧・復興に関する検討の基礎資料とするため，BCP の策定・検討を視野に入れたアンケートおよびヒアリング調査を実施した（H25 年 1 月～3 月）．調査対象企業は，六角川流域最大浸水想定図より「企業が浸水により大規模な被害を受ける」「道路の浸水により物流等が停止し甚大な被害につながる企業」，の 2 点に着目して佐賀経済同友会の協力を得ながら 47 社を選定した．このうちアンケート調査の回答を得たのは 11 社で，業種は「製造」「製造・販売」「運輸」「清掃」の 4 業種であった．またアンケート回答企業以外を対象にヒアリング調査を申し込み，12 社から協力を得て，BCP 策定状況や企業の水害対策に関するヒアリング調査を実施した．

これらから得られた結果のうち，重要なポイントを以下にまとめる．

- 企業は，避難勧告や避難指示の発令をトリガーとして防災行動に移るとしており，これらの情報の提供が極めて重要であることを改めて認識した[6]
- BCP を策定していない企業が未策定の理由として挙げているのは，予算・ノウハウがない，人材がいない，ことであった
- 企業が挙げた「BCP を策定・検討するために必要な支援」は「作成マニュアルの整備」「被害想定結果の提供」「作成費用の助成」であった
- 浸水被害に対して，浸水深や浸水までの時間などのリアルタイム情報が必要とされていることが分かった

以上の結果を踏まえ，武雄河川事務所では「作成マニュアルの整備」と「被害想定結果の提供」を行うため，『水害版BCP作成手引き（案）』の作成と『浸水情報提供システム』の構築に着手した．

(2) 『水害版BCP作成手引き（案）』の作成

国内外の既往の知見[7),8),9)]より，BCPの全体構成を検討・整理し，表-1の項目・内容で『水害版BCP作成手引き（案）』（以降，手引き（案）とする）を作成した（全体構成を表-1に示す）．なお，手引き（案）の課題を抽出し，企業にとってより良い資料とするために，表-1内の③～⑦の実施項目を，佐賀平野の3企業を対象にワークショップにて実践した．

5. ワークショップの実施

(1) ワークショップ実施企業の選定

武雄河川事務所は，4．(1)で示したアンケート・ヒアリング調査実施企業を対象に，「水害版 BCP を策定したい」と答えた業種の違う企業 3 社に対して手引き（案）を用いたワークショップ(以降，WS という)への協力を要請し，理解を得た上で WS 実施企業として選定した．

(2) ワークショップの概要

WS は各企業 2 回ずつ実施した．WS の目的は，手引き（案）を実践し参加企業の重要業務の選定とボトルネックの特定および手引き（案）の修正意見の収集である．

a) WS参加企業・人数および各回の目的・タイムスケジュール

WS参加企業・人数および被災特性を表-2に，WS各回の目的・タイムスケジュールを表-3にまとめる．

(3) ワークショップの実施と武雄河川事務所の技術的支援内容

(2)の概要に沿って，WSを実施した（写真-2参照）．当WSでは，武雄河川事務所の技術的支援として，手引き（案）以外に，浸水情報とWSシートの提供を行った．以下，2つの支援内容についてまとめる．

表-1 『水害版 BCP 作成手引き（案）』の全体構成

No.	項目	内容
①	はじめに	水害版 BCP の概要や佐賀平野の浸水リスクの説明．リスクマネジメントや一般的な BCP との違いに関する説明や『水害版 BCP 作成手引き（案）』の流れと全体のフロー図を提示する．
②	自己診断チェックリスト	水害版 BCP の現状把握や運用に活用する自己診断チェックリストを説明する．
③	浸水ハザードの確認	浸水ハザードの選定．また河川管理者が提供する浸水ハザードから企業の施設，物流ルートの浸水状況の確認を行う．
④	被害の想定	③の浸水ハザードと，企業の防災の備えの現状を踏まえ，どこでどんな被害が発生するおそれがあるのかを整理する．
⑤	重要業務の選定	「緊急時対応業務」および「優先度の高い通常業務」のそれぞれを選定・整理する．選定は「何が」「いつ」「どのようになると」「困る」のかをワークショップにより抽出する．
⑥	ボトルネックの特定	⑤で選定した各重要業務について，現状の人・物・コト・情報を割り付ける．このとき現状のリソースではできないこと，すなわち将来的に対応すべきことをボトルネックとして特定する．
⑦	BCP 発動基準・収束基準の決定	災害発生により，会社の通常業務を停止させ，災害時対応に切り替える基準（BCP 発動基準）と，災害時対応を取りやめ通常営業に切り替える基準（BCP 収束基準）を決定する．
⑧	水害版 BCP の取りまとめ	上述の内容を水害版 BCP として取りまとめる．BCP で選定した重要業務の一覧を工程管理表のように取りまとめ，社内関係者で共有・周知徹底を図る．
⑨	水害版 BCP の PDCA サイクルの循環	水害版 BCP の PDCA サイクルの循環について，Plan-Do-Check-Act の各項目について説明する．
⑩	武雄河川事務所の技術的支援	武雄河川事務所が行う技術的支援の内容を説明する． 【ﾜｰｸｼｮｯﾌﾟの意見により手引きに追加】
⑪	用語解説	本書で用いる用語を解説する． 【ﾜｰｸｼｮｯﾌﾟの意見により手引きに追加】

表-2 WS 参加企業・人数および被災特性

参加企業	業種	参加人数		被災特性
		第1回	第2回	
介護老人保健施設 A社	福祉	13名	8名	・ 最大浸水深 0.6m(27 時間後) ・ 施設の浸水により，1階が使えなくなる ・ 道路の浸水が業務に影響を与える
整形外科 B社	医療	23名	12名	・ 最大浸水深 0.07m(7 時間後) ・ 浸水被害に伴う電源喪失が長引く場合は医療器具が使用できなくなる
製紙会社 C社	製造	5名	5名	・ 最大浸水深 2.15m(7 時間後) ・ 停電に伴う機械の停止や，機械の再稼動が企業に与える影響が大きい ・ 製造業であることから水害危険物があると想定でき，その流出防止措置が必要

表-3 WS 各回の目的・スケジュール

回（時期）	目的	タイムスケジュール	
第1回 (2013年9月中旬)	佐賀平野の浸水ハザードの理解を深め，事業継続計画（BCP）策定に必要な重要業務の選定を行うとともに，想定される浸水被害に対する組織としてのリスク戦略を決定する．	イントロ（15分）	・ 自己紹介 ・ ワークショップの目的と流れ ・ BCPとは
		浸水ハザードの解説（30分）	・ 浸水ハザードの種類と特徴 ・ 建物および周辺の浸水ハザードの詳細を確認
		グループワークの実施（45分）	・ 緊急時対応業務の選定 ・ リスク戦略の決定 ・ 優先度の高い通常業務の選定に向けた検討課題の抽出
9月下旬～11月上旬	各企業が優先度の高い通常業務を抽出し，武雄河川事務所が結果を整理		
第2回 (2013年11月中旬)	選定した重要業務の順位付けとボトルネックの特定および BCP 発動・収束基準の設定	グループワークの実施（90分）	・ 緊急時対応業務と優先度の高い通常業務の整理 ・ ボトルネックの特定

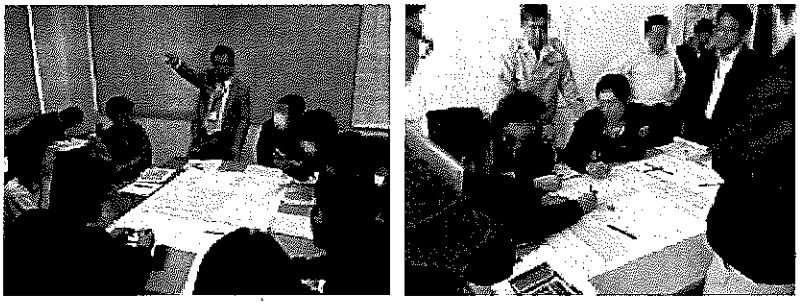


写真-2 WS の様子

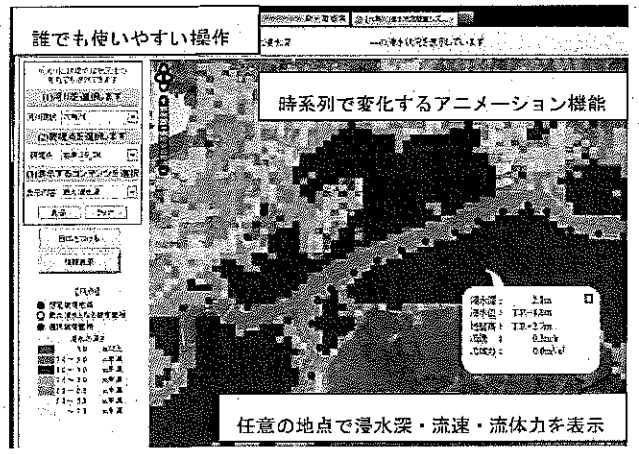


図-4 六角川浸水情報提供システム

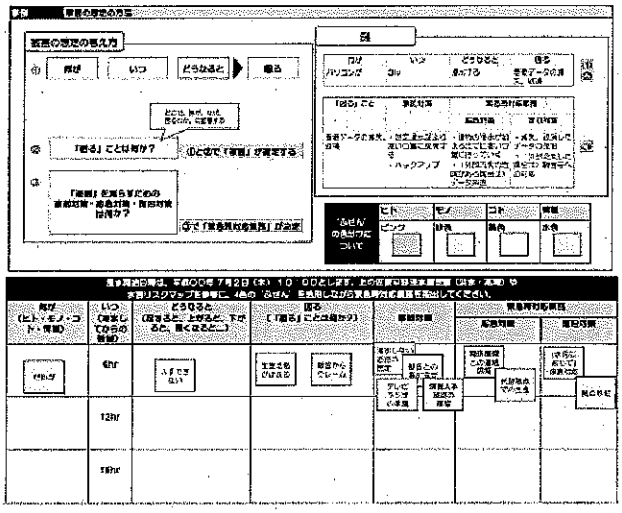


図-5 WS シート「重要業務の選定」

a) 浸水情報の提供

武雄河川事務所では，水害版 BCP 作成に必要な浸水情報データを提供した．画面は，初めてアクセスする一般ユーザーでも直感的に利用できるよう一般的な地図サイトと同様の操作性を確保し，掲載した氾濫解析結果は「気候変動適応型佐賀平野大規模浸水被害軽減策検討（平成 25 年 3 月）」で実施した氾濫解析結果を用いた．システム構築にあたっては，一般ユーザー目線で分かりやすさ，使いやすさを重視した．これは，事務所ホームページの六角川浸水情報提供システムにより，図-4 に示すように企業や周辺道路等の知りたい地点の浸水深，到達時間等を地図や写真と重ね合わせ，スクロール・ズーム機能等で自由に確認できるものである．WS では，各社の周辺の浸水状況等を紙資料で提供した他，実際にシステムを動かして情報の見方等を説明した．

b) WSシートの提供

WSは，例として図-5に示すようなWSシートに基づき実施した．当シートには，企業が手引き（案）を参考にしながら，独自で水害版BCPを策定するために必要な情報を記載している．たとえば，第1回目の緊急時対応業務の選定では，シナリオ法[9]の考え方を活用し，以下の内容・手順で実施した．

① 何が，いつ，どうなると，困る，のか？を抽出
② 「困る（すなわち被害）」を決定し，その被害を減らすための事前対策を抽出
③「事前対策」が立てられなかった場合に「いざ浸水したらまず何をしなければならないのか？（応急対策）」「復旧時には何をしなければならないのか？」を抽出

なお，当シートも事務所ホームページに掲載しており，ダウンロードして活用できる．

(4) ワークショップ参加企業の意見・課題整理

WS参加企業で上がった意見・課題を表-4に示す．業種により抱える悩みや，災害時の対応は異なるものの，共通して挙がった意見は，①停電によるトラブルの回避が必要，②重要業務の遂行は時間経過に伴った人員配置が必要，である．なお，各社の意見・課題のうちボトルネックの特定や特に重要と思われる意見には網掛けをした．

(5) WS結果を反映した『水害版BCP作成手引き』の作成

WSでは，(4)で示したBCP策定等に関する意見以外に，手引き（案）の使いやすさ・改善点についても意見を収集した．手引き（案）の修正に係る主な意見をまとめると，「水害で実際に企業が困った事例を入れて欲しい」「（BCPや水理学の）専門用語が出てくるため解説を入れて欲しい」「浸水情報提供システムやワークショップシートのようなコンテンツを入れて欲しい」であった．事例はNYハリケーンSandyによる地下電力施設の浸水被

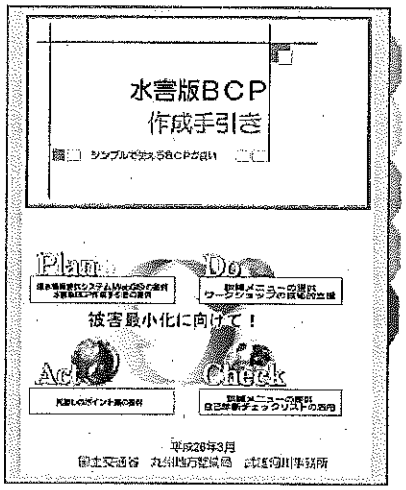


図-6 水害版BCP作成手引き

表-4 WS参加企業の意見・課題

企業名	意見・課題
介護老人保健施設 A社	• 重要業務に対する必要人員は，浸水が始まった直後から半日が59名と最も多く，次に多いのは浸水被害が落ち着いた1週間後で45名であった • 重要業務を遂行するための必要人数が多く，これがボトルネックとなっており，重要業務の順位付けを行った．結果5位までの順位付けにより必要人数23名となり，最低でも守るべき業務を確認した（許容レベルの決定）．なお，この作業により最大のボトルネックであった人数の確保について検討を行った（許容レベルの決定によるボトルネックの解消） • 許容レベルにおけるボトルネックとして上がった物品は「台車」であり，今後企業で確保する必要があることを確認した • 許容レベルを満たすための重要業務である「気温調整」に必要な人員は，今後検討する
整形外科 B社	• 重要業務に必要な人員を整理すると，68名＋α（70名程度）が必要である • ボトルネックとなる物品については，処置用具などの専門的な資機（器）材に加えて，電話やPCなどの事務機器も必要である • 主に電気，水が必要と考えられ，やむなく停電・断水となる場合を考慮して，現在よりも冗長な備蓄や準備が必要である（自家発電は2日程度であるが制限がある） • 「仮設トイレの設置・運営」を業者へ委託する．また，清掃等も業者委託の方向で検討する．この場合業者と詳細な災害時協定を結ぶ必要があり，現状の災害時協定を踏まえた上で再度検討が必要である．
製紙会社 C社	• 重要業務に対する必要人員が最大となるのは，1週間後以降の復旧時（111名）であり，次は3日目に人員を要する（71名） • 九電からの送電停止に伴い，受電停止を行う．また周辺への感電（漏電）を防ぐ目的でも送電停止を待たずに迅速な機械停止が必要である． • 水害危険物の流出等防止が重要業務に挙げられており，前述の2点を踏まえてもCSR（会社の社会的責任）の確保が極めて重要な業務（許容レベル）である • 機械類の再稼動，その他サーバ管理に必要な自家発電装置（現在は2日間程度）や燃料（軽油）の補強がボトルネック解消上重要である

害を，専門用語は最終ページに用語解説[10),11)]を入れるとともに浸水深・流速については本文中に挿絵を加えて簡易な言葉で説明した．また，手引き（案）の後半部分に浸水情報提供システムやワークショップシートを加えて説明し，その他細かな字句修正を行った上で『水害版BCP作成手引き』を完成させた[10),11),12),13)]．

6．おわりに

参加企業から，「日ごろあまり考えていなかった浸水被害について部署を超えて考えられた．今後は定期的に浸水対策について検討したい」と感想を頂き，防災意識の高揚が図れた．

武雄河川事務所は，今後も以下のような支援・課題に取り組んでいきたいと考えている．

- 行政と企業とのつながりを深め河川管理への協働を展開していきたい．
- 「避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドライン」や「浸水想定区域図作成マニュアル」の改訂に伴い，水害版 BCP 作成の手引きや浸水情報提供システムの見直し・反映をしていく．
- WS を行ったモデル企業に対し，PDCA サイクルによる水害版 BCP 作成支援のフォローアップを実施する．
- 佐賀平野の事業者を対象としたセミナーの開催支援を行う事で周知を図る．

最後に，本取り組みが佐賀平野から全国へ好事例として発信し，多くの企業・団体の自主的な防災力の向上につながることを期待している．

参考文献

1) 堂島法律事務所編著，Q&A 震災と債券回収・倒産対応，株式会社 商事法務，223p，2011 年 8 月 4 日
2) Forth Generation Risk Management, Jay T. Deragon, The quality Insurance Congress, 1995, Nashville
3) Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act of 1980
4) Risk Management Best Practices, Section: Cost Allocation, RIMS Pittsburgh Chapter, 1998, Pittsburgh
5) 株式会社 帝国データバンク，特別企画：「東日本大震災関連倒産」（発生から 2 年）の内訳と今後の見通し，5p，2013 年 3 月 7 日
6) Risk Financing - A Guide to Insurance Cash Flow, International Risk Management Institute, Inc., Dallas, IV, K.1
7) Risk Financing - A Guide to Insurance Cash Flow, International Risk Management Institute, Inc., Dallas, V, K.2
8) 先進企業から学ぶ事業リスクマネジメント実践テキスト－企業価値の向上を目指して－，経済産業省経済産業政策局産業資金課編 事業リスク評価・管理人材育成システム開発事業，2005 年 7 月，345p
9) Integrated Risk Management 統合リスクマネジメント，ニール・A・ドハーティ[著]，森平爽一郎，米山高生[監訳]，山本憲央[発行者]，㈱中央経済社，2012 年 1 月，660p
10) リスク管理・ERM の実務ガイド，吉野太郎，㈱中央経済社，2012 年 1 月，247p
11) 事例で学ぶリスクマネジメント入門 復元を生み出すリスクマネジメント思考 Introduction to Risk Management by Case Studies，上田和勇【著】，同文舘出版株式会社，2012 年 4 月，209p
12) Risk Management and Financial Institutions, Second Edition, John C Hull, PERSON International Edition, April, 2009, 576p
13) ファイナンシャルエンジニアリング －デリバティブ取引とリスク管理の総体系，ジョン ハル【著】，三菱 UFJ 証券市場商品本部【訳】，金融財政事情研究会 第 7 版，2009 年 12 月，1227p

樋門ゲートに対する河川津波波力低減手法に関する研究

阿部　孝章[1]・佐藤　好茂[2]・伊藤　丹[3]

[1]寒地土木研究所　寒地水圏研究グループ　寒地河川チーム（〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3-1-34）
[2]寒地土木研究所　技術開発調整監　道東支所（〒085-0014 釧路市末広町10-1-6）
[3]北海道開発局　留萌開発建設部（〒077-8501留萌市寿町1-68）

2011年の東北地方太平洋沖地震による河川域の甚大な津波災害を受け，津波から河川構造物の安全性を保つ手法の開発が望まれている．本稿ではまず，波源域から河道域，そして河川構造物周辺までの津波解析を実施可能な一連のモデル開発を行う．このモデルに基づき津波衝突時のゲート開度を変更する数値実験を実施し，想定津波規模の変化を考慮しつつ，河川構造物に対する波力を低減する一手法を提案する．

キーワード　河川津波，樋門ゲート，ゲート開度，数値解析

1. はじめに

2011年3月11日に宮城県沖を震源とする地震が発生し，我が国の太平洋岸を中心とした広い範囲に大きな被害を及ぼした．**写真-1**は，鵡川におけるA樋門の津波痕跡状況で，吐口水路の側岸に打ち上げられている漂流氷板と共に，樋門のごく近傍まで津波が到達したことが確認されている[1]．鵡川の河口はこの地震の震源から約500 kmも離れているが，太平洋を長距離にわたって伝播し，鵡川では河口から5 km地点まで遡上したことが明らかになっている．このように，津波の河川遡上は震源が遠方であったとしても広域かつ長距離にわたり発生し，そのため遡上区間の河川構造物は津波の影響を受けるという懸念がある．他にも石狩川で河口から約36 km，天塩川で約19 km[2]，十勝川で約14.6 km[3]など，北海道内では10の直轄河川に遡上したことが確認されている．更にこの地震津波を受け，東北地方においては水門や樋門など河川管理施設において顕著な被災が生じた．そのため2013年7月の国土交通省によるダム・堰施設技術基準(案)[9]の改訂においても水門扉の設計に「津波荷重」を考慮することが明記された．こうした背景を鑑みれば，このような堤内構造物近傍の河川津波と構造物への衝突の現象は非常に重要度の高い検討項目と言えるのであるが，その影響評価手法は必ずしも充分には確立されていないのが現状である．

こうした背景を踏まえ，著者らは前報[9]において，新釧路川下流部の樋門を対象に3次元の数値解析モデルを構築し，2011年東北地方太平洋沖地震津波の再現計算及び計算上推定される作用波圧を明らかにした．ところが，この試みではあくまで樋門ゲート前面の津波挙動のみを対象としていた．このような河川域の構造物への津波外力評価の際は，海域の津波，すなわち波源域からの津波伝播と，河道域の津波遡上，そして構造物周辺の津波挙動の各々の関係性が不明確となりやすい．著者ら[9]は近年注目されている粒子法という数値解析手法に着目し，実務への適用を念頭に置いた各種の試みを行ってきたが，上記のような点に問題があった．

また，2011年東北地方太平洋沖地震津波を受け，津波発生時の河川樋門運用方法に関する問題が浮上した．すなわち，津波遡上時，樋門を完全に閉め津波を遮断するのか，または樋門を意図的に開放しておき，津波を通過させることでゲートへの衝撃を弱めるべきかという問題

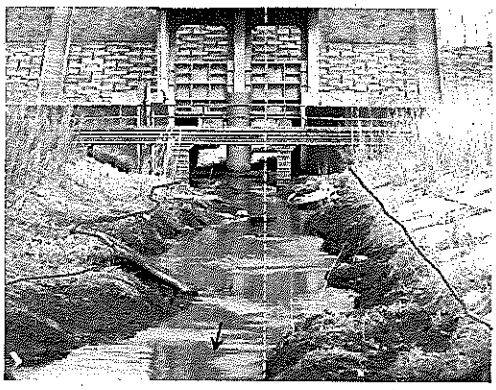
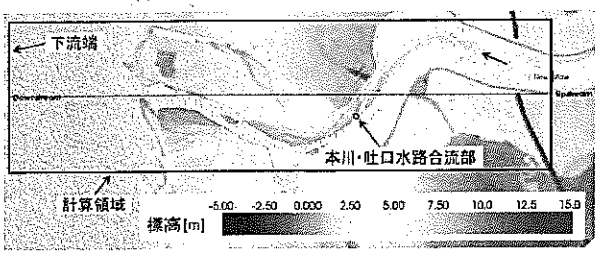


写真-1　鵡川において吐口水路を侵入した津波痕跡（2011年3月14日14時頃撮影，実線が痕跡水位の線，中央の破線は後述）



(a) 北海道周辺（ELIMOモデル）



(b) 鵡川周辺（Nays2D Floodモデル）

図-1　解析対象とする北海道周辺及び鵡川周辺地形

である．既往の河川域における数値モデルではこの種の検討は困難で，実験的アプローチ[例えば7]によることが多かったのであるが，粒子法という数値計算手法の導入によりこの種の検討も可能となってきた．本稿は上記2点の課題，すなわち河川構造物への波力評価に際する波源域との接続の問題，及びゲートに作用する波力を低減するための運用方法に関する問題に関して，いくつか検討を行ったものを報告するものである．

2. 研究手法

本稿で始めに目的とするのは，波源域からの津波伝播を踏まえた上で河川構造物等局所部分に作用する波力を評価するモデルの構築することである．ここでは，無償で公開されているiRICソフトウェア[8]に含まれる津波計算モデルELIMO，河川氾濫解析モデルNays2D Floodを用い，無償提供されている地形データ（国土地理院基盤地図情報[9]，J-EGG500[10]）を利用して無償のGISであるQGISを用いてデータの加工を行った．計算対象領域は図-1 (a)に示した範囲全体であり，次のような手順で検討を進めることとした．まず，ELIMOソルバーによって2003年十勝沖地震津波の実測データと計算結果を比較することによりモデルの妥当性を検証したのち，想定津波高の変化による河川遡上を検討するため，安田ら[11]の方法を用いて津波波源のすべり量S（すなわち地震モーメントM_o）を変化させることで地震規模を表すモーメントマグニチュードM_wを変化させた．M_o, M_wは次の2つの式で表される関係を持つ．

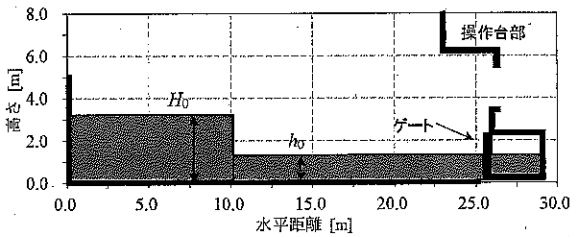


図-2　粒子法の計算領域

$$M_o = \mu DS \quad (1)$$

$$M_w = (\log M_o - 9.1)/1.5 \quad (2)$$

但し，μは剛性率，Dは震源断層面積である．M_wを変化させた上で河川への津波遡上解析を行い，樋門吐口水路と本川合流部での水位変動を把握した．河道の津波遡上解析には図-1 (b)のような地形データを用いた．この結果のうち，A樋門の吐口水路と本川合流部における波高を粒子法による計算の初期条件とした．

本稿の第2段階目の目的は，樋門ゲートの開度調整による波力低減手法を検討することである．河川管理者が操作規則を決めるにあたり，いつ津波が遡上するとも知れない状況下において，操作人の立場からすれば，樋門操作は「全閉」，「全開」，「水面に接する高さ」の3通りしか実質的な操作は困難であろう．写真-1の中央部破線で示した鉛直断面を抽出し粒子法によるモデル解析領域を図-2のように作成した．尚，樋門形状はあくまで参考にするにとどめ，厳密な再現は行っていない．本稿で対象とするのはL2クラス未満の津波である．河川津波は通常複数回にわたって侵入するものであるし，わずかな河道地形の違い，波の伝播条件の相異によって想定すべき波高は変化する可能性がある．そこで本稿では河道域の水位変動量から波高H_0を幅を持たせて設定し，また初期条件における吐口水路初期水深h_0も変化させる解析を行った．ゲート開度は，全閉，全開，h_0に応じた水面高さに設定することとした．

3. 結果及び考察

(1) 波源域から河道域までの津波

図-3に示したのは，2003年十勝沖地震の断層パラメータ[12]を入力し，図-1 (a)の領域で再現計算を実施した結果である．苫小牧東港の実測潮位とELIMOの計算結果の比較から，本モデルによる計算値は第1波到達時刻や押し波，引き波による水位変動をある程度再現することに成功している．但し波の形状が異なっていたり，t = 10,000～17,000 sで位相がずれるなどの事象が確認されたが，これらの解決のためにはより高精度な地形データの活用が有効であると考えられるが，本稿の主目的から外れるためここでは割愛する．そのため，本モデルの予測値はあくまで，水位標高のみを把握する目的のみにとど

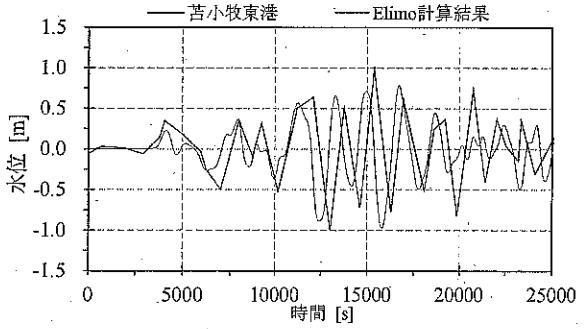


図-3　苫小牧東港における水位の再現計算結果と計測値の比較

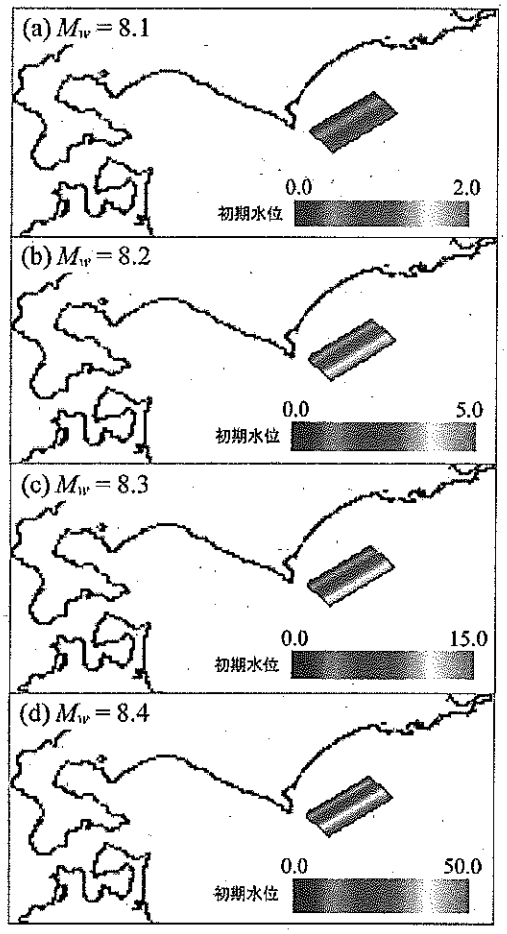


図-4　各M_wに対する十勝沖地震津波の初期水位分布

めておくべきと考えられる．このELIMOによる計算結果を，Nays2D Floodモデルの下流端水位境界条件として与え，津波を入射させた．この理由は他の再現計算においても，津波発生時の釧路市[13]・厚岸町[14]の浸水範囲や新釧路川における河道内の時系列水位[15]がある程度良好に再現されることが確認されているためである．

本モデルを用いた次なる検討として，同じ十勝沖地震津波の断層パラメータにおいて，すべり量Sのみを変更してM_wを変化させた．それにあたっては十勝沖地震で気象庁より報告されているM_w=8.0[16]から，M_wを0.1ずつ増やすこととした．図-4には，各M_wに対する初期水位分布を示した．尚，断層領域を固定したため，鵡川河口部付近への津波の到達時刻に大きな変化は無かった．

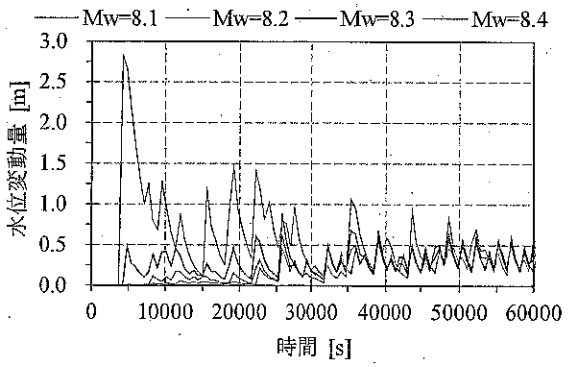


図-5　各M_wに対する吐口水路と本川合流部付近での水位変動

図-5に示したのはA樋門の吐口水路と本川との合流部付近における時系列水位である．2003年十勝沖地震発生時には，この合流点より約200～300 m上流の鵡川水位観測所では波高0.3 mの津波が観測された[17]．この地震よりやや規模の大きいM_w=8.1, 8.2のケースでは波高約0.5 mの波が到達する予測結果となった．M_w = 8.3のケースでは1.0 m弱の津波であるが，M_w = 8.4となると急激に波高は増大し，3.0 m近くまでなった．そのため，本樋門吐口水路に来襲する津波としては概ね0.5 m～3.0 mの波高と予測される結果となった．

(2) 粒子法による構造物周辺の津波衝突解析

河口域の津波は河口砂州や流量などの僅かな条件の違いで遡上特性が大きく変化することが考えられる[18]．(1)節で実施したような波源域からの伝播のみならず，複数の，幅を持たせた想定をしておくことが望ましい．そこで，本稿では，初期波高H_0 = 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 m，初期水深h_0 = 0.3, 0.5, 1.0, 2.0 mという想定とした．ゲートの開度は全開，全閉，水面位置と設定した．$H_0 < h_0$となるケースや，明らかに津波がゲートに接触しないと考えられたケースについては本稿には掲載していない．

図-6に示したのはH_0=4.0 mの時の特徴的な段波衝突のスナップショットであり，衝突の直前が最上段でそこから0.2 sおきに示した．図の左段がゲートを水面付近高さに固定した場合（この条件における半開の場合），右段がゲートを全開にした場合である．粒子の色分けは水平方向流速を示す．t=2.3 sにおいてゲートに接近する巻き波型砕波の形状は類似しているが，t=2.5 sの衝突時，半開の場合ではゲートに反射し水面に落下する粒子が存在するが全開の場合ではゲート内部に侵入した．

t=2.7 sで全開のケースでは津波がゲートに接触しているもののその領域はごく一部である．その一方で，半開の場合では波のフロント上部がゲートに遮られており，

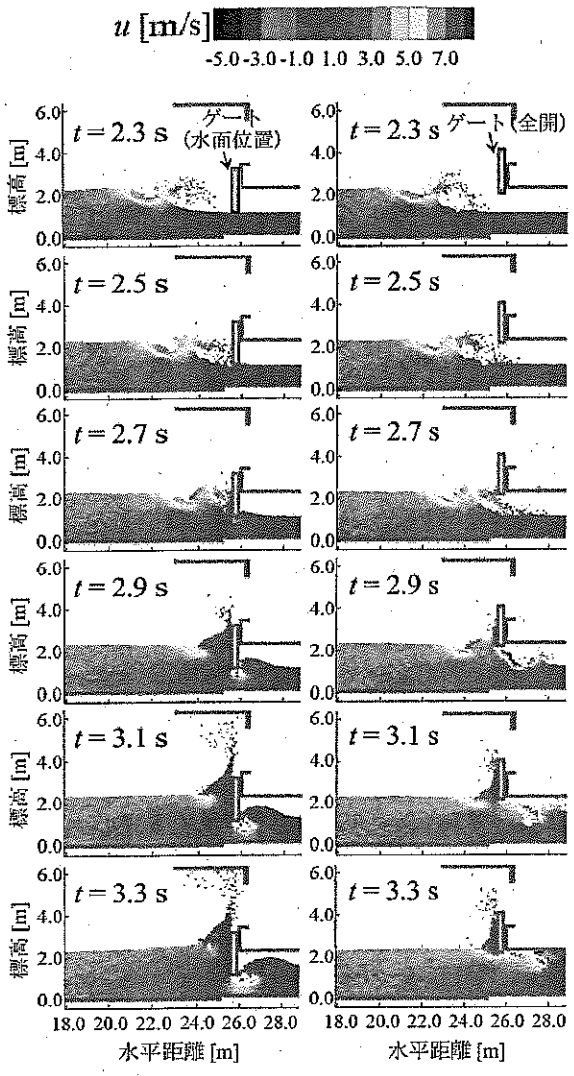


図-6　段波衝突のスナップショット（全開及び水面に接する場合）

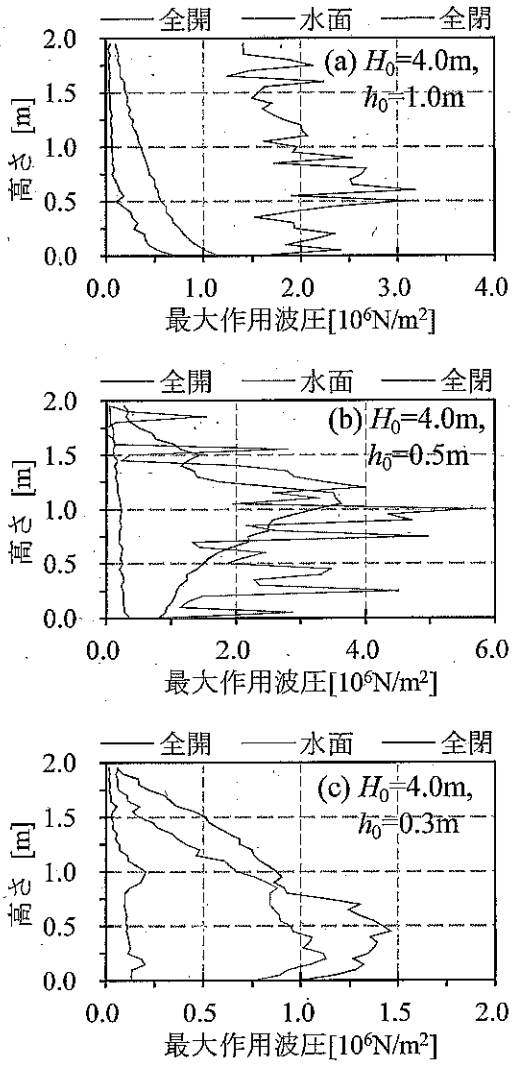


図-7　最大作用波圧の低減（H_0=4mの場合）

同時にゲートを透過した波がゲート内部に再び現れている．t=2.9 sでは半開の場合は上向きの波となっているのに対し全開の場合は津波の一部が上方に，残りの部分がゲート内部に侵入した．t=3.1～3.3 sでは半開のケースはゲート下部を潜り込む流れと上方へしぶきを上げながら飛散し操作台部分まで上昇する流れとに分かれた．一方全開のケースでは一部がゲートに衝突したものの，大部分はゲート内部へと侵入した．

以上より，ゲート操作により津波侵入を阻害する場合，ゲートが津波衝突を受けること，そしてゲートを開放した場合津波がゲート内部へと侵入しやすい状況となることが数値解析上示唆された．このような遡上現象によるゲートへの影響を定量的に把握するために，ゲート前面（堤外地側の面）に作用する最大波圧の鉛直方向分布を示したのが図-7である．但し，本節図-7～9ではゲート下端を高さの基準としている．すなわち，ゲートが全開であれば函体上部が0 m，全閉であれば河床部が0 m，水面位置であれば水面位置が0 mである．図-7はいずれもH_0 = 4.0 mの場合で，上段から初期水深の大きい順にh_0 = 1.0, 0.5, 0.3 mを示した．

上段h_0 = 1.0 mの図より全閉の場合には，ゲート部に2.0 ×10^6 N/m^{2}前後の波圧作用が推定されたが，水面高さに上げればそれが概ね半分未満に，全開とすれば更に半分程度まで最大作用波圧が抑制されることが，数値解析上示唆された．

図-7中段のケースでは初期水深が小さくなったために波圧の作用状況は大きく異なっている．開度を水面高さとすると，最大作用波圧は全閉の場合と同程度のオーダーであり，鉛直方向に振動を伴う結果となった．これは飛沫状になった水粒子がまばらにゲートに衝突したためであることを別途確認している．下段のh_0 = 0.3 mのケースでは同様に，水面高さに開けても全閉より若干波圧が抑制される程度であったが，全開とすると大きく波圧が低減されることが予測された．

図-8にはH_0 = 2.0 m，h_0 = 1.0, 0.5 mの場合を示した．こ

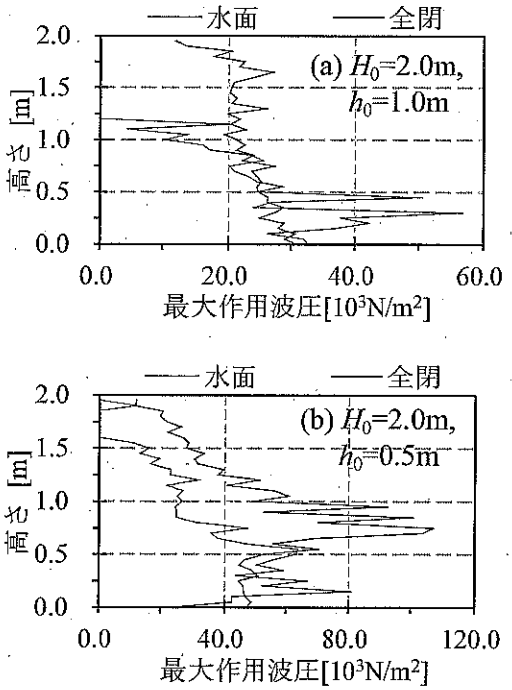


図-8 最大作用波圧（H_0=2mの場合）

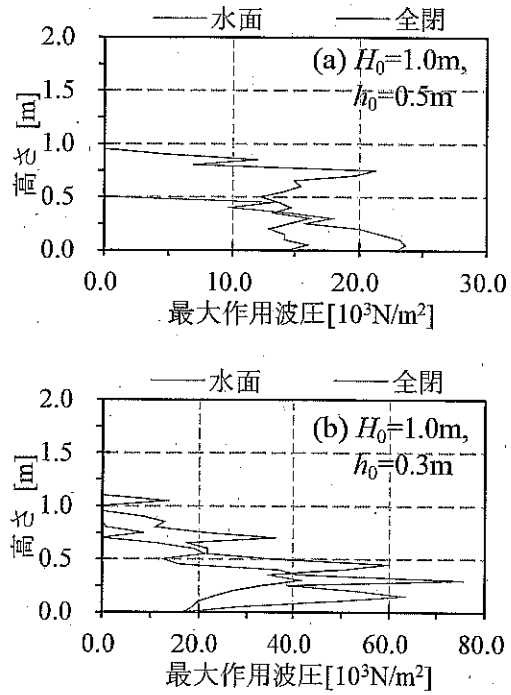


図-9 最大作用波圧（H_0=1mの場合）

の波高に対し，ゲートを全開とすると津波はほとんどゲートと接触せず波圧作用もこの図に比較し無視できる程度であったため除外し，「水面位置」,「全閉」のケースのみ示している．上段のh_0=1.0 mの場合では水面高さとした時に全閉時よりも局所的に大きな波圧作用が推定されたが，ゲート上部の高さ1.25 m以上の部分には波圧作用が見られなかった．下段のh_0=0.5 mの場合であるが，ゲートを全閉から水面高さに変更すると中央部の波圧作用が抑制された．見方を変えれば，最大作用波圧分布がゲート下部方向にシフトしたと見ることもできる．

図-9ではH_0=1.0 mの場合を示した．波高が小さいため相対的に小さな作用波圧の予測となったが，全閉から水面高さにゲート位置を変更したからと言って最大波圧を確実に低減できるとは必ずしも言えないようである．しかし，ゲート位置をわずかに上昇させた場合の波圧の変化は，圧力の時間積分値を示した図-10を見ると理解することができる．粒子法を用いて構造物の耐久性を評価する際に，時間的に蓄積する力積を比較することでその外力をある程度推定できることが報告されている[19]．

図-10は上段がH_0=2.0 m, h_0=0.3 m，下段はH_0=1.0 m, h_0=0.5 mの場合のゲート前面に作用する圧力時間積分値である．全閉の場合には初期水深による静水圧が蓄積するが，この影響を除外した動水圧のみによる累積値をグラフに示した．上段H_0=2.0 mの場合にはゲートを水面付近まで開放することで作用波圧の累積値を2割強程度，抑制できていることが分かる．下段H_0=1.0 mの場合には，作用波圧の絶対値が小さくはあるものの，全閉とした場合に比較してかなりの程度累積値を抑制できる可能性があることが読み取れる．

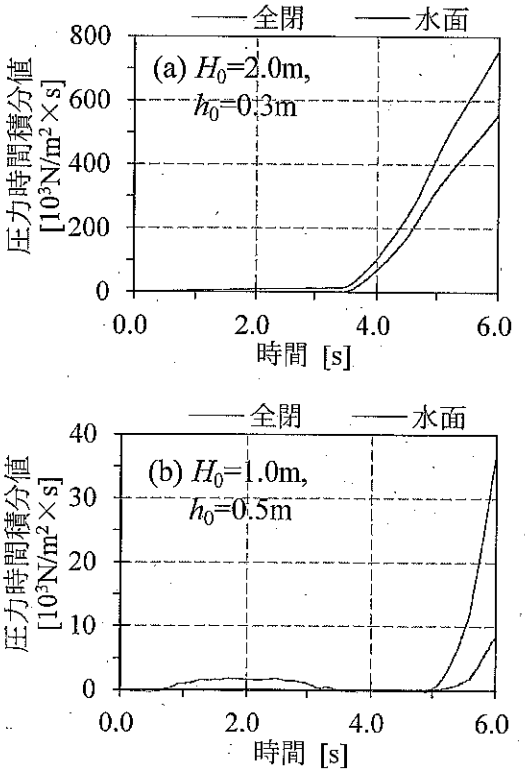


図-10 ゲート部に作用する累積波圧の開度の違いによる比較

以上をまとめると，ゲートそのものに着目した場合，波高が大きい条件では津波遡上に対してはゲート全開とすれば波圧がほとんど作用しない，あるいはかなりの程

度抑制可能であることが確認でき，波高が小さい条件においても，圧力の時間積分値を比較すると全閉よりも水面位置にまで開けた場合に波力を低減できる可能性が示唆された．但し，本稿の検討は数値解析上得られた結果を元に進めており，実際の運用にあたってはその他実験による検証や堤外・堤内地の水位や降雨による流量増加等の条件を加味した上で検討するのが望ましいと考えられる．留意すべき事項のもう1点として，津波衝突によってゲートに生じるモーメントの問題がある．例えば図-8上段より，ゲートが水面位置の場合，ゲート下部のみ波圧が掛かり，1.2 m位から上部は波圧0となっているため，津波衝突時には上部に反力が発生することが考えられる．これにより予期しない変位がゲートで生じ，樋門に影響を及ぼすことも懸念される．

4. まとめ及び今後の課題

本稿では，実際的な津波想定を用い，河川構造物の局所構造まで考慮した一連の津波解析モデルを構築し，構造物形状を変化させることで波力を低減する手法の可能性について検討を行った．その結果，津波条件によっては，ゲートに対する作用波圧または累積波圧は全開あるいは水面位置まで上昇させることで低減できる可能性が確認できた．但し，本稿で構築した一連のモデルの計算は個別に行っており，水位変動のみを考慮し解析の接続を行っている．今後水位の他に流速の情報を受け渡し可能なモデルの改良が望まれる．また，本稿で検討した波力抑制手法は堤内側に及ぼす影響を加味した上で，十分慎重に検討する必要があるのは言うまでもない．

また，北海道特有の問題として，直轄河川の樋門吐口水路は結氷するため氷の漂流物の考慮が必要である．氷板漂流物がゲートに挟まり動作を阻害する可能性も指摘されている[1]．本稿で用いた粒子法の枠組みを用いると，従来のメッシュを用いた数値解析モデルに比較して漂流物の扱いが大変容易となる．著者ら[20]は既に別報において，漂流物（河川津波により河川結氷が破壊された結果生じた氷板群）の影響を考慮した吐口水路のシミュレーションなどにも着手しているところであり，更なる発展の可能性が見込まれる．今後，こうした最新の数値解析技術を用いながら，河川構造物に対する津波外力評価のためのツールとして，モデル構築を継続していく予定である．

謝辞：北海道開発局室蘭開発建設部には鵡川の河道や構造物の諸元に関する資料を提供頂いた．また苫小牧河川事務所には本研究の遂行にあたり有益なご助言を頂いた．ここに記して謝意を表する．

参考文献

1) 阿部孝章, 吉川泰弘, 矢野雅昭, 永多朋紀, 稲垣達弘, 桃枝英幸, 村上泰啓, 平井康幸, 2011 年東北地方太平洋沖地震により発生した津波の結氷河川における遡上状況及び氷板痕跡調査, 寒地土木研究所月報, No.705, pp.20-30, 2012.
2) 阿部孝章, 吉川泰弘, 安田浩保, 平井康幸, 2011 年東北地方太平洋沖地震に伴い発生した津波の北海道内における河川遡上, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.68(4), pp.I_1525-I_1530, 2012.
3) 公平圭亮, 桑村貴志, 河合崇, 2011年東北地方太平洋沖地震における十勝川の河川津波について, 第 55 回北海道開発技術研究発表会, AA-10, 2012.
4) 国土交通省, ダム・堰施設技術基準(案), 平成 25 年 7 月, 2013.
5) 阿部孝章, 佐藤好茂, 伊藤丹, 樋門ゲートに対する河川津波波力評価技術の開発, 第 56 回北海道開発技術研究発表会, AA-43, 2013.
6) 阿部孝章, 佐藤好茂, 吉川泰弘, 伊藤丹, 大槻敏行, 加納浩生, 高精度粒子法に基づく河川構造物に対する津波波圧推定, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学) Vol.70(4), [特]地震工学論文集, Vol.33, pp.I_605-I_615, 2014.
7) 樗林基弘, 北海道における自動開閉樋門の取組について, 第 56 回北海道開発技術研究発表会, AA-42, 2013.
8) 河川シミュレーションソフト iRIC, URL: http://i-ric.org/ja/ (参照日 2014 年 9 月 26 日).
9) 国土地理院, 基盤地図情報サイト, URL: http://www.gsi.go.jp/kiban/ (参照日 2014 年 9 月 26 日).
10) J-EGG500 (JODC), URL: http://www.jodc.go.jp/data_set/jodc/jegg_intro_j.html (参照日 2014 年 9 月 29 日).
11) 安田誠宏, 溝端祐哉, 奥村与志弘, 間瀬肇, 森信人, 島田広昭, 和歌山県における想定を超えた津波に対する浸水危険度の変化に関する研究, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.68(2), pp.I_156-I_161, 2012.
12) 工藤健太郎, 玉田崇, 安田浩保, 急流河川を対象とした津波の河川遡上シミュレーション, 応用力学論文集, Vol.11, pp.577-586, 2008.
13) 内海誠治, 中津川誠, 阿部孝章, 吉川泰弘, 釧路市街地における津波氾濫解析と被害想定についての研究, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 69 号, B-32, 2013.
14) 阿部孝章, 吉川泰弘, 佐藤好茂, 伊藤丹, 寒冷地の半閉鎖性水域における津波振動と結氷破壊特性に関する研究, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.69(2), pp.I_455-I_460, 2013.
15) 佐藤好茂, 阿部孝章, 吉川泰弘, 柿沼孝治, 伊藤丹, 遊水地による河川津波の減災対策に関する一提案, 河川技術論文集, Vol.19, pp.369-374, 2013.
16) 気象庁, 「平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震」について(第 28 報), URL: http://www.jma.go.jp/jma/press/1103/25b/kaisetsu201103251730.pdf (参照日 2014 年 9 月 26 日).
17) 安田浩保, 渡辺康玄, 藤間功司, 2003 年 9 月の十勝沖地震に伴い発生した津波の河川遡上, 土木学会論文集, No.768/II-68, pp.209-218, 2004.
18) 田中仁, Nguyen Xuan Tinh, 盧敏, Nguyen Xuan Dao, 2010 年チリ地震津波の東北地方河川への遡上ー河口地形と遡上特性との関連ー, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.67(4), pp.I_1627-I_1632, 2011.
19) Kazuya Shibata, Seiichi Koshizuka, Numerical analysis of shipping water impact on a deck using a particle method, Ocean Engineering, Vol.34(3-4), pp.585-593, 2007.
20) 阿部孝章, 吉川泰弘, 佐藤好茂, 伊藤丹, 氷板群を伴う河川津波が治水施設に及ぼす影響に関する研究, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 70 号, B-32, 2014.

自由課題

一般部門＜安全・安心Ⅱ＞

発生メカニズムを考慮した港内長周期波に対する静穏度解析

平山　克也[1]・長沼　淳也[1]

[1]港湾空港技術研究所　海洋研究領域波浪研究チーム（〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1）

長周期波に対する港内静穏度解析は，一般に港外に存在する自由長周期波が港内に侵入したときの港内波高分布を算定することにより実施される．本研究では，港外から侵入する自由長周期波を新たな推定式を用いてより適切に定量化するとともに，これとは別に港口付近で発生する拘束波由来の港内長周期波を考慮する港内静穏度解析手法を提案して，このような港内長周期波の再現過程の違いが岸壁前面で算定される港内波高頻度及び荷役稼働率に及ぼす影響について考察した．この結果，拘束波由来の港内波を対象とした本解析手法は，荷役作業の安全性や効率性を確保・向上するためのより適切な資料を提供できることが確認された．

キーワード　長周期波，自由波，拘束波，港内静穏度，ブシネスクモデル

1. はじめに

船舶の大型化やそれに伴う外港地区の整備・岸壁の大水深化が進むにつれて，長周期波による荷役障害が全国各地で発生している．係留船舶の共振現象を引き起こす周期30s～300s程度の長周期波の振幅は高々10～20cm以上であるため，その存在を見た目に判別することはできない．しかし，長年にわたる多地点の波浪観測記録（NOWPHAS）等により，内湾域を除くわが国沿岸に頻繁に来襲していることが明らかとなっている．

港内や海岸でみられる長周期波は，海域に存在する自由波として他の海域から来襲する成分と，風波やうねりの波群とともに伝播する拘束波が波群の回折，砕波変形等により解放された成分から成ると考えられる．長周期波に対する従来の港内静穏度解析は，これらすべてが自由波として港外に存在すると仮定した長周期波が港内に侵入すると考え，この港内波高分布を算定することにより実施されてきた．しかし，本研究で対象とした日本海側のA港などでは，港口を構成する防波堤(西)(東)端部での回折に加え，浅瀬での砕波によって風波の波群（不規則波形）に拘束された波の解放が促進され，港内での長周期波の発生がとくに顕著となることが懸念される．すなわち，この場合には，港内で観測される長周期波の波高は従来（自由波が港外から伝播するとの仮定）と同等であるものの，港内を伝播する長周期波の波向分布に違いが生じ，従来の港内静穏度解析では岸壁での荷役稼働率を必ずしも正しく評価できていない恐れがある．

本研究では，港外から侵入する自由長周期波を新たな推定式を用いてより適切に定量化するとともに，これとは別に港口付近で発生する拘束波由来の港内長周期波を考慮する港内静穏度解析手法を提案して，このような港内長周期波の再現過程の違いが岸壁前面の港内波高頻度及び荷役稼働率の算定結果に及ぼす影響を考察した．

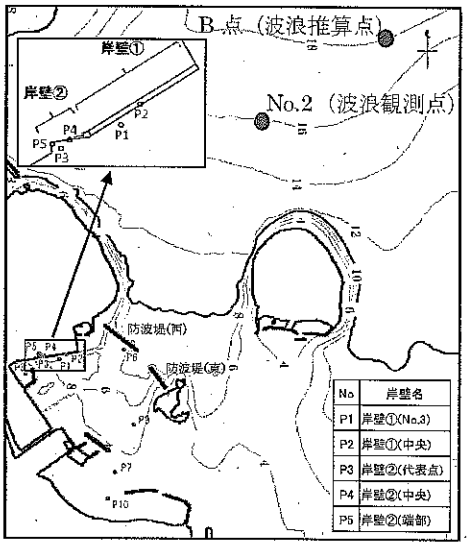


図-1　対象としたA港の概要及び波浪観測・推算点の位置

2. 港内静穏度解析の概要

(1) 対象としたA港及び港内静穏度解析手順の概要

図-1に示すA港は，島々が点在する湾奥に位置し，荷役稼働率を算定する岸壁②（P3-P5）及び現在整備中の岸壁①（P1-P2）も港内の島影を利用して整備されている．また，港奥部の東側から先には長い自然海浜が続いている．なお，現在の港口を構成する防波堤(西)(東)の端部(港口とは反対側)には島周辺の浅瀬が存在する．

ところで，このA港では，NOWPHASによる沖波波浪観測は実施されていない．しかし，最寄りのNOWPHAS地点で観測された波浪台帳を検証データとした波浪推算が実施され，B点において最近5年間(2007年～2011年)の風波の沖波波浪出現頻度が得られている．また，2013年2月1日～2013年2月28日の冬季1ヵ月間に実施された波浪観測のうち，隣接するNo.2点で得られた連続観測データに対する再現計算も合わせて実施され，周辺地形による極地風場の影響を受けながらも，波高，周期ともに相関係数で0.8～0.9程度の推算精度が確認されている．なお，このときの波浪観測はP1(No.3)点でも同様に実施された．

一方，港外長周期波の波高出現頻度は，これらの推算波浪に対し長周期波の標準スペクトル(平石ら[3])を適用して推定した．このとき用いる係数α_lはNo.2点における1ヵ月間の観測スペクトルから算定することとしたが，この観測期間にはα_lの算定に通常用いる有義波高3m以上の沖波が観測されず，また隣接するB点でもその出現頻度が1%にも満たないため，本研究では後述するα_lの新たな算定法を提案して用いた．なお，これらを港外から来襲する自由長周期波と仮定し，港内波浪変形計算を行って得られる岸壁前面の波高出現頻度から対象船舶の荷役稼働率を算定する方法は，従来と全く同様である．

また，拘束波由来の港内長周期波高は，風波を対象として実施した港内波浪変形計算において，岸壁前面で算定される水面波形の長周期波成分として算定した．これは，計算に用いたブシネスクモデルが有する波の非線形性・分散性の近似精度によって，風波の波群に拘束された長周期波が港口付近で解放されて港内で自由波が発生する過程が再現されることを利用したものである．

(2) 港外の自由長周期波に対する港内静穏度解析

a) 港外長周期波の波高出現頻度の推定

風波と長周期波の波高比を決定する係数α_lは，定義に従い，港外(No.2)における観測スペクトルの総エネルギーm_0に対する長周期波エネルギーm_{L0}の比の平方根$R_L=(m_{L0}/m_0)^{0.5}$と関係づけて図-2のように算定される．

すなわち，各日時の観測スペクトルに対するα_lは，後述する式(2)を代入した境界周波数$f_{l\alpha}=f_p/\alpha_l$（ここで，f_pは風波スペクトルのピーク周波数）を境に観測スペクトルを風波と長周期波に分離し，これらを周波数積分することによりそれぞれ算定される．さらに，これらを波浪統計量の観測値から得たアーセル数$U_r=H_{1/3}L_{1/3}^2/h^3$（ここで，$H_{1/3}$は有義波高，$L_{1/3}$は有義波周期$T_{1/3}$に対する波長，hは潮位を含めたNo.2点の水深）に対して整理した．なお，

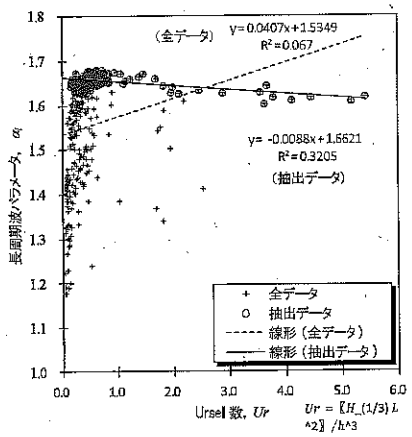


図-2　α_lとU_lの関係

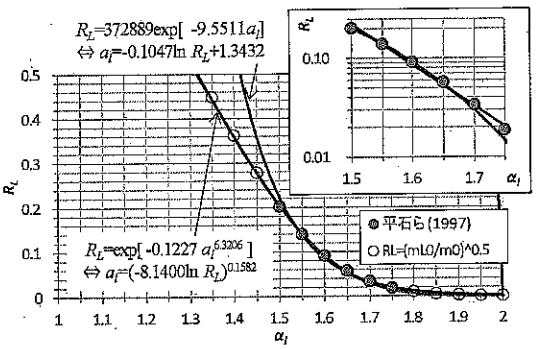


図-3　α_lとR_Lの関係(BS型)

これらの整理は$H_{1/3}$，$T_{1/3}$，$H_{1/3}$*$T_{1/3}$などに対しても実施したが，U_rに対する相関が最も高かった．また，○囲いの各プロットは，観測スペクトルがそれぞれ，風波に対しては1山型(BS：ブレットシュナイダー・光易型)，長周期波に対しては直線型で近似できるものを目視で抽出して示した．すると，これらの近似直線として次のようなα_lとU_rの関係式が得られる．

$$\alpha_l = -0.0088Ur + 1.6621 \qquad (1)$$

一方，$f_{l\alpha}$を境に風波及び長周期波の関数スペクトルとして設定したBS型及び直線型スペクトルを周波数積分し，α=2.0から0.05刻みで降順に算定したα_lに対するR_Lのプロットを図-3に示す．さらに，これらの近似式として係数A，Bが未知の式(2)を仮定し，R_Lが長周期波の波高比を表すことを考慮して，$0.0 \approx 10^{-4} \leq R_L \leq 0.5$の範囲で両者の差が十分小さくなるまで収束計算を行うことにより係数A，Bを決定した．式(2)は，R_Lが大きくなる少なくとも$\alpha_l \leq 1.75$の範囲でα_lとR_Lの関係をよく近似している．

$$R_L = \exp[-A\alpha_l^B] \qquad A=0.1227,\ B=6.3206 \qquad (2)$$

なお，平石ら[3]が示したプロットは$1.50 \leq \alpha_l \leq 1.75$の範囲のみであり，片対数グラフで例示したこれらの近似直線(黒線)は，この範囲外のα_lに対するR_Lを過大評価する．

したがって，B点における港外長周期波の波高出現頻度は，式(1)を代入した式(2)が風波と長周期波の波高比を表すことを利用して，波浪推算された5年間分の風波の沖波波浪出現頻度から推定できる．結果を図-4に示す．ただし，自由長周期波の波向きは風波と同様と仮定した．

b) 自由長周期波の港内波浪変形計算

港内に侵入する港外長周期波の波浪変形計算は図-1に示すB点から岸側を対象とした．すなわち，港外長周期波を代表する波高0.1m，周期30-300sの直線スペクトルを波向毎(3波向；N, NNE, NE)に設定し，B点を入射境界としたブシネスクモデル(NOWT-PARI Ver4.6d8a)を用いて，潮位M.W.L.=D.L.+1.18mに対する港内の対象岸壁(岸壁①及び岸壁②)前面での港内波高比及び港内波高頻度を算出した．ここで，計算格子幅は10m，計算時間間隔は0.05sとし，計算領域内の最小水深は2.0mとした．また，水陸境界は基本的に完全反射境界(反射率1.0)としたが，浅瀬に面する島周辺及び港奥東側の海浜ではスポンジ層による部分反射境界(反射率0.7)とした．さらに，透過境界を実現する計算領域の外周スポンジ層幅は，直線スペクトルの代表周期54.5sの2波長分(1130m)とした．

このようにして計算した港内外の自由長周期波の波高比分布を図-5に示す．各波向とも，島や海浜，防波堤や護岸の前面では反射波との重畳及び浅水変形による波高比の増大がみられるが，島及び防波堤による遮蔽域では比較的静穏であり，港奥の隅角部を除き，港内での長周期波高比の増幅もほとんどみられない．また，対象岸壁前面の各地点(P1-P5)におけるB点に対する波高比を波向毎に図-6に示す．いずれの波向とも各岸壁前面での波高比の空間分布に大きな違いは見られないが，港奥の隅角部による波高増大の影響が及んでいると考えられる岸壁②(P3-P5)では，岸壁①(P1-P2)に比べて波高比が大きい．

(3)拘束波由来の港内長周期波に対する静穏度解析

拘束波由来の港内長周期波は，別途実施した風波のみに対する港内静穏度解析において同時に算定されたものを用いた．風波の代表波浪は図-1のB点における2波高($H_{1/3}$=0.5m, 2.6m)×4周期($T_{1/3}$=6s, 8s, 10s, 12s)×3波向(N, NNE, NE)とし，潮位M.W.L.=D.L.+1.18mに対するこれらの港内波浪変形計算には，$H_{1/3}$=2.6mのとき防波堤上の越波とその背後への越波水塊の流入も計算されるブシネスクモデル(NOWT-PARI Ver5.3)を用いた(平山ら[4])．

ここで，計算格子幅は2.5m，計算時間間隔は$T_{1/3}$/1000とし，港内外の消波工は透水層境界，島周辺の浅瀬や海浜は遡上境界として，波浪諸元に応じそれぞれ部分反射する波が自動的に算定されるよう配慮した．さらに，透過境界を実現する計算領域の外周スポンジ層幅は，周期12sの波に対しても反射が生じないよう200mとした．ただし，計算効率を高めるために，B点から島背後にかけての浅海変形計算にはエネルギー平衡方程式法を用い，平山ら[5]の方法に従い，島背後に設けた接続境界上の複数地点で出力される各方向スペクトルをブシネスクモデルに入力することで，両モデルの片方向接続を実施した．

このようにして計算した風波の波高分布のうち，$H_{1/3}$=

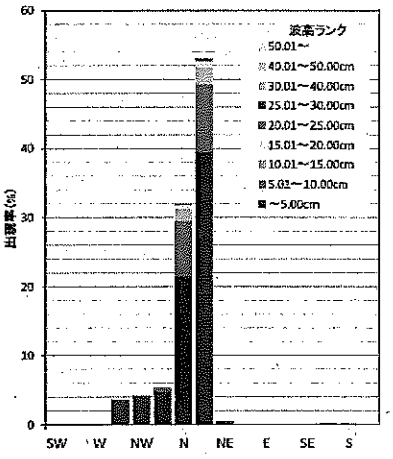


図-4 港外長周期波の波高出現頻度(B点)

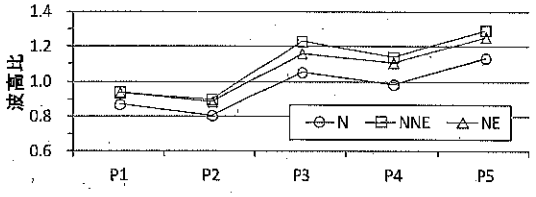
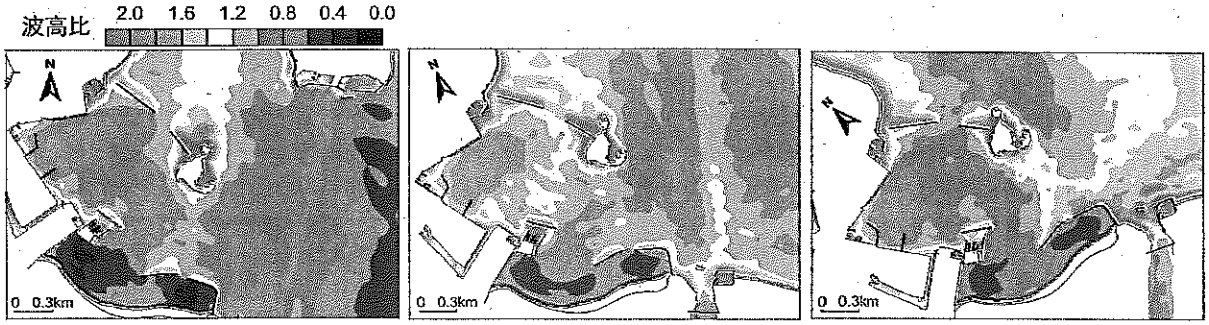
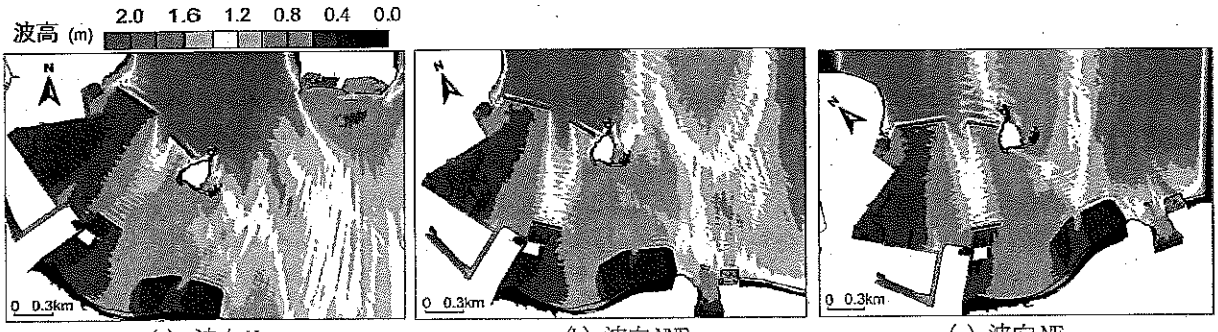


図-6 B点に対する港内各地点の波高比（自由長周期波）



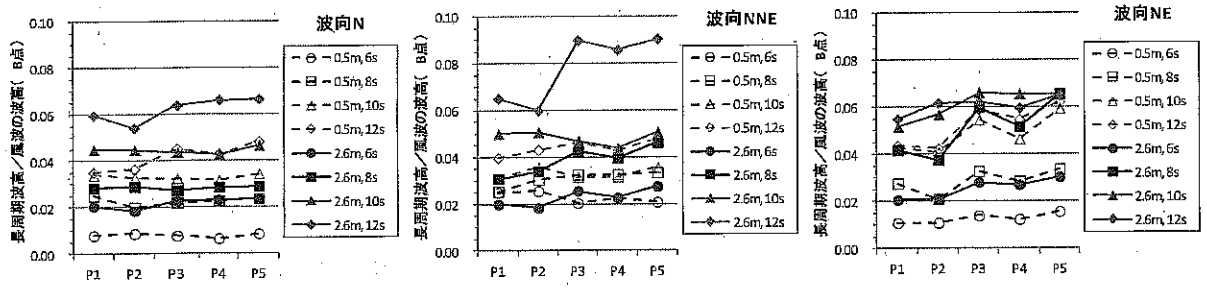
(a) 波向N　(b) 波向NNE　(c) 波向NE

図-5 自由長周期波の港内外波高比分布(直線型スペクトル($H_{1/3}$=0.10m, T=30～300s), S_{max}=999)



(a) 波向N　(b) 波向NNE　(c) 波向NE

図-7　風波の港内波高分布(BS型スペクトル($H_{1/3}$=2.6m, $T_{1/3}$=12.0s), S_{max}=75)



(a) 波向N　(b) 波向NNE　(c) 波向NE

図-8　風波の波高(B点)に対する拘束波由来の長周期波高(港内各地点)の比

2.6m, $T_{1/3}$=12s, 波向N, NNE, NEに対する結果を図-7に示す．各波向とも，防波堤(西)(東)からなる港口に加え，それぞれの端部からも風波が港内に侵入する様子が確認できる．また，対象岸壁前面の各地点(P1～P5)で出力した水面波形をスペクトル解析し，得られた周波数スペクトルから周期30s～300sの長周期波成分を抽出することにより，拘束波由来の港内長周期波高を算定した．B点における風波の波高に対する港内各地点の長周期波高(拘束波由来)の比を，波高，周期及び波向毎に図-8に示す．風波の周期が長く，また波高が大きいほど，拘束波由来の港内波が発生し易いことが確認できる．

3. 自由波及び拘束波に対する荷役稼働率の算定

(1) 対象岸壁前面の長周期波高出現頻度

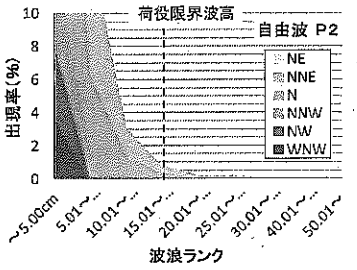
上述のように，A港で想定される拘束波由来の港内波高は，港外から伝播する自由波に対し有意となる結果が得られた．そこで，対象岸壁前面の長周期波高出現頻度は，この両者及び合成波に対して得ることを考える．

自由波の港内波高出現頻度は，図-4に示す港外長周期波の波高出現頻度(推定した長周期波台帳)に対し，図-6に示す港内波高比を周期及び波向に関して線形補間しながら乗じて得ることができる．また，拘束波由来の港内波の波高出現頻度は，B点で推算された風波の港外波浪出現頻度(波浪推算台帳)に対し，図-8に示す波高比を波高，周期及び波向に関して線形補間しながら乗じて得ることができる．ただし波向について，NよりもW側では波向N，NEよりもE側では波向NE，の波高比をそのまま準用した．さらに，これらの港内波高出現頻度に対応する各台帳時刻での長周期波高(自由波，港内波)をそれぞれエネルギー合成し，合成波に対する港内波高出現頻度を得た．P2点(岸壁①中央)，P4(岸壁②中央)における推定結果をそれぞれ，図-9～図-11に示す．

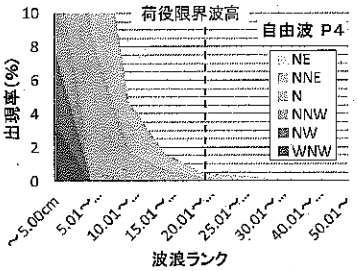
港外から侵入した自由波，拘束波に由来する港内波はともに風波諸元に依存し高波浪時に卓越することから，各地点における両者の港内波高出現頻度は同じ波向で卓越することになる．しかし，島や防波堤の遮蔽効果を受ける自由波に比べ，遮蔽や砕波による風波の減衰に伴って発生する港内波では，波高ランクの大きな波ほど，各地点での出現率は相対的に大きくなっている．

同じ港内長周期波においてこのような違いが生じた原因として，筆者らは次のように推測している．すなわち，港内各地点に伝播する自由波は回折時の波長(周期)に応じて選別され易いのに対し，回折・砕波時に波群から解放された港内波にはさまざまな周期が含まれるため，狭帯域となった自由波に比べ，港内各地点に伝播し易いと考えられる．また，岸壁法線の向きは異なるが隣接するP2点とP4点で得られる波高出現頻度の比較において，拘束波由来の港内波ではほとんどみられない違いが自由波では僅かにみられるのも，このためと考えられる．

ここで，No.2点とB点における風波及び自由長周期波の波高が同様と仮定し，図-6，図-8の波高比を用いてそれ

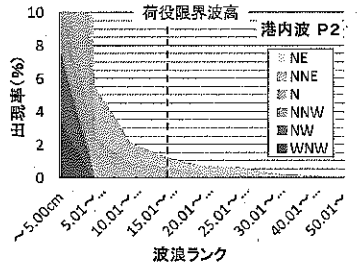


(a) P2 (岸壁①中央)

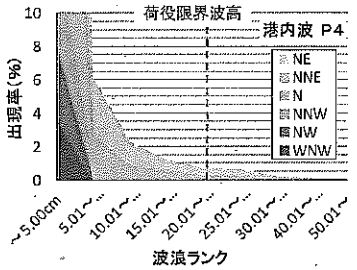


(b) P4 (岸壁②中央)

図-9 自由長周期波の港内波高出現頻度

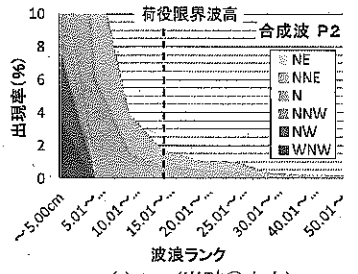


(a) P2 (岸壁①中央)

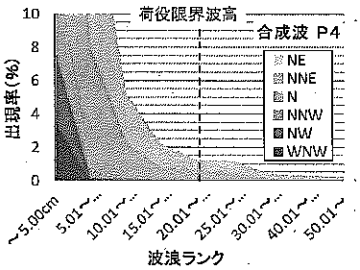


(b) P4 (岸壁②中央)

図-10 拘束波由来の港内波高出現頻度



(a) P2 (岸壁①中央)



(b) P4 (岸壁②中央)

図-11 合成長周期波の港内波高出現頻度

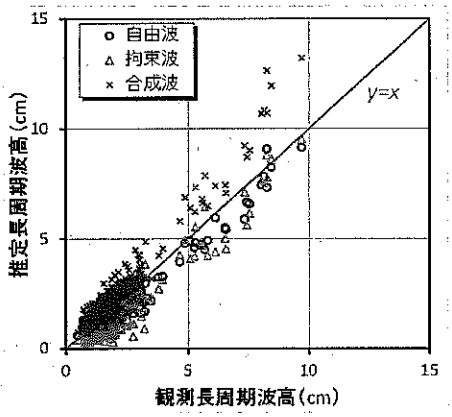


図-12 ブシネスクモデルによる港内長周期波の算定精度

ぞれ推定したP1(No.3)点での自由波，港内波及びこれらの合成波を，先述した1ヵ月間の波浪観測で得られたNo.3点での長周期波高の観測値と比較した結果を図-12に示す．図より，港外から伝播する自由波，及び拘束波由来の港内波の波高はそれぞれ，A港港内における観測長周期波高と良い相関が認められる．しかし，両者を考慮した合成波の波高は，観測波高に比べ過大である．

すなわち，これらの結果は，ブシネスクモデルが自由波及び拘束波の波浪変形を適切に算定できることを示すとともに，もし港内長周期波の成因として港口付近での拘束波の解放が支配的であるならば，ブシネスクモデルはこの過程をも適切に算定できることを示している．

また，この場合には，長周期波に対する港内静穏度解析において，式(2)を用いて推定される港外長周期波高を岸側へ向かう自由波と仮定することは，拘束波が港口付近で解放されることを想定したことにほぼ対応すると解釈できる．すると，港内長周期波としては，このどちらか一方を対象とすべきであり，少なくともこの両者を合成することは適切でないと思われる．

ただし，この両者はそれぞれ観測波高に対して若干過小であることから，より精緻には，例えば拘束波由来の港内波に対し，何らかの方法で見積もられた港外から伝播する真の自由波を加える必要があるのかもしれない．その場合，風波の港内波浪変形計算ではBS型等の関数スペクトル，港外から来襲する真の自由波の港内波浪変形計算では何らかの新たな長周期波スペクトルをそれぞれ造波することになるが，本研究で用いた港内長周期波のエネルギー合成によらずこれを実現するためには，風波諸元に対応した差分条件で長周期波に対応した計算範囲を確保するための演算の効率化(例えば，平山ら[6])や開境界処理の工夫(例えば，清川ら[7])などが不可欠であると思われる．

(2) 対象岸壁における長周期波に対する荷役稼働率

港内長周期波に対する荷役限界波高として岸壁①で0.15m，岸壁②で0.20mを設定した場合に，これらを示した図-9～図-11から算定される自由波，港内波，合成波に対する荷役稼働率を表-1及び図-13に示す．

自由波に対する荷役稼働率はこれまでの通常の港内静穏度解析で算定されるものと全く同じであり，いずれの岸壁とも目標稼働率97.5%を満足していることがわかる．しかし，港内波では岸壁①で目標稼働率を僅かに下回り，さらに合成波では両岸壁ともに目標稼働率を1～2%下回る結果が得られた．ただし，図-12で考察された港外長周期波高の成因によれば，合成波に対する稼働率を考えることは適切でないため，ここでは自由波，港内波のうちいずれの稼働率がより確からしいかについて考察する．

推定された5年間の荷役稼働率を比較すると，いずれ

表-1　各長周期波に対する荷役稼働率の算定結果

施設 / 長周期波	岸壁①		岸壁②		
	P1(No. 3)	P2(中央)	P3(代表点)	P4(中央)	P5(端部)
自由波	98. 430	98. 690	98. 649	98. 991	98. 364
港内波	97. 134	97. 059	98. 156	98. 282	97. 860
合成波	95. 525	95. 619	96. 461	96. 805	95. 927

(単位：%)

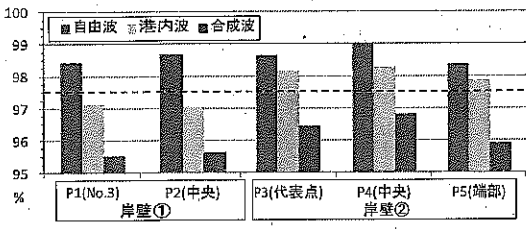


図-13　各長周期波に対する荷役稼働率の比較

の岸壁でも，自由波に比べ港内波に対する稼働率が低い．ここで，港外長周期波の成因に関する仮定に基づき，港口から港内に広がる長周期波のエネルギーが両者で等しいと考えると，これらの稼働率の違いは，前述した成分波の波向分布に起因する両者の伝播特性によるものと推測される．また，この波向分布としては，港口付近で拘束が解放される過程が実際に算定された港内波のほうが，岸に向かう自由波と仮定した長周期波が回折したものに比べ，より妥当と思われる．したがって，長周期波の波向分布に関する検討を今後さらに進める必要があるものの，間もなく供用される岸壁①の運用に当たっては，拘束波由来の港内波に対して推定された稼働率が目標値を下回っている，すなわち，より確からしいと思われる荷役障害が発生する確率が想定よりも大きいことに，十分留意する必要があると思われる．

4. おわりに

本研究では，港外から来襲する自由長周期波のほかに，港口付近で発生する拘束波由来の港内長周期波を考慮する港内静穏度解析手法を提案し，岸壁前面で算定される港内波高頻度及び荷役稼働率に及ぼす影響を考察した．その結果，拘束波由来の港内長周期波を対象として実施する静穏度解析では，自由長周期波が港外から侵入すると仮定する従来の手法に比べ，荷役稼働率をより適切に算定できることが推測された．

すなわちこれは，従来は別途実施していた長周期波のみを対象とした港内静穏度解析を省略して，風波に対する港内静穏度解析のなかで長周期波に対する荷役稼働率を同時に算定できることを意味する．ただし，この根拠となる港内長周期波の波向分布の再現性は，長周期波の波向解析が未だ確立されていないため，定性的または相対的な評価に留まっている．したがって，本研究と同様な検討（両手法による結果の比較）を今後いくつかの港湾で行い，事例を蓄積していくことが必要を思われる．

謝辞：結果の考察では，高山知司京都大学名誉教授より貴重なご助言を賜りました．ここに記し謝意を表します．

参考文献

1) 永井紀彦，橋本典明，白石　悟，川口浩二，清水勝義，上野成三，小林昭男，東江隆夫，柴田孝雄：現地連続観測による沖合長周期波の発達・減衰過程と港内係留船舶の動揺，海岸工学論文集，第 44 巻，pp. 226-230，1997.
2) 関本恒浩，森屋陽一，水口　優：自由長周期波の発生とその定量的評価に関する理論的考察，海岸工学論文集，第 47 巻，pp. 236-240，2000.
3) 平石哲也，河野信二，玉城重則，長谷川準三：港湾構造物の設計に用いる長周期波の標準スペクトルについて，第 44 巻，pp. 246-250，1997.
4) 平山克也，加島寛章，林健太郎，五十嵐雄介：越波伝達波を含む港内波浪観測データの再現計算，土木学会論文集 B3(海洋開発)特集号，Vol. 69，No. 4，2013.
5) 平山克也，岩瀬浩之，加島寛章：任意水深の造波境界上に分布する複数の方向スペクトルによる多方向不規則波の造波，土木学会論文集B2(海岸工学)，Vol. 66，No. 1，pp. 11-15，2010.
6) 平山克也，岩瀬浩之：ブシネスクモデルに導入したネスティング計算の適用性，土木学会論文集B3(海洋開発)特集号，Vol. 70，No. 4，2014(印刷中).
7) 清川哲志，灘岡和夫，Sendar Beji：非線形波動伝播シミュレーションにおける開境界処理の一方法，海岸工学論文集，第43巻，pp. 6-10，1996.

ジオグリッド補強土壁の壁面近傍の締固め不足が耐震性に及ぼす影響について

藤田　智弘[1]・宮武　裕昭[1]

[1]（独）土木研究所 地質・地盤研究グループ 施工技術チーム　（〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6）

本文は，分割壁を有するジオグリッド補強土壁について，壁面近傍の締固め不足が耐震性に及ぼす影響について分析した。締固め不足が耐震性に及ぼす影響について確認するために，1/20のサイズのジオグリッド補強土壁の模型を2個作製し，模型に20Gの遠心力を与えて動的載荷実験を行った。神戸波と正弦波を用いて計12ステップの動的載荷を行った。各ステップの載荷後には，変形による模型の固有振動数の変化の有無を把握するために，ランダム波を与えた。変位計と画像解析を用いて地震による補強土壁の変形計測を実施した。その結果，壁面近傍の締固め不足は補強土壁により大きな変形を引き起こすことを確認した。

キーワード　補強土壁，ジオグリッド，耐震性，締固め

1. はじめに

ジオグリッド補強土壁は他の従来型の擁壁と比べて高い耐震性を示すことが知られている[1)]。2011年東北地方太平洋沖地震でも，これまでと同様にジオグリッド補強土壁は高い耐震性を示した。宮田（2014）は，実在する補強土壁のほとんどが，設計水平震度よりも大きな地震に対しても高い性能を発揮することを報告した[2)]。しかしながら，いくつかのジオグリッド補強土壁には被害が発生しており，今後さらに耐震性を高める技術革新が必要である。

ジオグリッド補強土壁を垂直に構築する場合，施工性の観点から分割壁面パネルが用いられる。分割壁面パネルのジオグリッド補強土壁の場合，壁面近傍の盛土の締固めは重要な課題を抱えている。壁面背面箇所は，壁面の変形を抑制するために一般的に小型の重機を用いて締固める。壁面近傍の締固め不足は，ジオグリッド補強土壁の変形を増大させることが考えられる。Hatami et al.（2008）は，数値解析の結果に基づいて，巻き込み形式の壁面材を有する補強土壁の壁面近傍の締固め不足が施工時の壁面変形に及ぼす影響について分析した[3)]。分析の結果，壁面近傍の締固め不足は壁面変位と補強材のひずみ量を増加させることが明らかとなった。Bathurst et al.（2009）も，実大実験を4ケース行い，同様の影響について考察した[4)]。ただし，これらの既往の研究も，施工中または施工後の性能に関するものに限られている。

本研究では，壁面近傍の締固め不足がジオグリッド補強土壁の耐震性に及ぼす影響に着目し，動的遠心模型実験により検証した．本文は，ジオグリッド補強土壁が今まで以上に高い耐震性を発揮するためには，壁面近傍の盛土を良く締固める事が重要あることを示す実験結果を報告する。

2. 動的遠心模型実験

(1)実験の概要

壁面近傍箇所が締固め不足の条件と良く締固められた条件でジオグリッド補強土壁の模型を作製し，それぞれの耐震性を動的遠心模型実験で比較した。一連の遠心模型実験は，（独）土木研究所が有する遠心装置[5)]を使用した。本実験では，遠心加速度を20Gとした。ジオグリッド補強土壁の断面図を図-1に示す。壁面近傍が締固め不足の条件（case A）では，壁面近傍箇所の相対密度を60%とし，それ以外の箇所の相対密度を90%した。壁面近傍が良く締固められた条件（case B）では，壁面近傍およびそれ以外の箇所のどちらも相対密度を90%とした。ジオグリッド補強材の長さや敷設間隔は，ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル[6)]に基づいて決定した。設計で考慮した4種類の地震時安定検討項目とその許容値を図-2に示す。動的遠心模型実験では盛土の沈下量，壁面の水平変位，壁面および締固めた盛土の加速度を計測した。計測機器の設置は図-1に示す通りである。また，画像解析（Particle Image Velocimetry）により盛土の二次元変形を抽出し、ひずみを算出した。以下，物理量については相似則に基づき1Gの値に換算した。

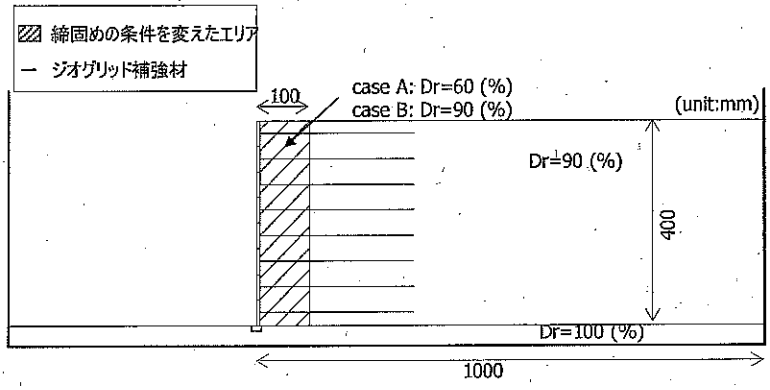


図-1 ジオグリッド補強土壁模型の断面図

崩壊モード	照査条件
滑動 (sliding)	$F_{sld}=R_{sld}/(k_h W+Q_{sld})>1.2$
転倒 (overturning)	$e \le L/3$ ($F_{ovr}=L/2e>1.5$)
支持 (fund.failure)	$F_{brg}=q_u/q_{se}>1.5$ (q_u: ultimate bearing capacity)
全体すべり (ovr.slippage)	$F_{slp}=M_r/M_d>1.0$

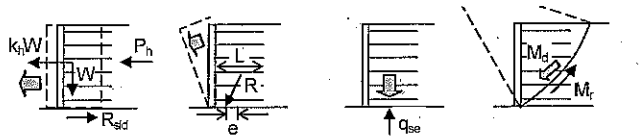


図-2 耐震設計照査項目

(2)盛土材，補強材，壁面材

盛土材は，乾燥した珪砂7号を使用した。盛土材の粒径加積曲線を図-3に示す。また，本盛土材の物性値の概要を表-1に示す。本盛土材は主にシリカで構成されている。本盛土材は，盛土内が均質な密度となるように空中落下法により締固めた。本材料の圧密排水（CD）三軸圧縮試験の結果から，乾燥密度Dr=60％では，粘着力c=9.5kPa，内部摩擦角ϕ=38°，乾燥密度Dr=90％では，粘着力c=8.7kPa，内部摩擦角ϕ=44°という強度定数となる結果を得た。

補強材は，高密度ポリエチレンジオグリッドを使用した。本補強材は，グリッド間隔が10mmの正方格子のもので，最大引張力T_{ult}とひずみ速度1.0%/minで引張試験をした際の伸びひずみが2%の引張剛性$J_{2\%}$は，T_{ult}=2.2kN/mおよび$J_{2\%}$=40kN/mであった。材料の選定には，引張特性を考慮して選定した[7]。さらに，グリッド間隔が盛土材料と比較して十分に大きくなることを考慮して選定した[8]。

本研究では，分割壁を有するジオグリッド補強土壁を対象としている。壁面は，壁面材として50mm×10mm×100mmのアルミニウムプレートを8段積み上げて構築した。土槽の側壁とジオグリッド補強土壁の模型との摩擦の影響を少なくするために，壁面材を3列で構築し，全ての計測機器は中央列のみで設置するようにした。壁面材と補強材の連結は，図-4に示すL型の取付治具を用いた。

(3)加振条件

ジオグリッド補強土壁の模型に2種類の地震波を載荷した。地震波は，平成7年兵庫県南部地震の観測波（神戸波）と周波数2Hzの正弦波を30波（正弦波）とした。加振ステップは表-2に示す通りとした。加振した地震波の加速度波形を図-5の(a)および(b)に示す。神戸波は平成７年1月17日の兵庫県南部地震で神戸海洋気象台地盤上で観測されたN-S成分とした。その最大加速度は800galであった。正弦波はステップ毎に最大加速度を200,400,600,800,1200galと増加させた。また，地震波を加振した後には，ジオグリッド補強土壁の模型の固有振動数の変化を把握するために，図-6に示す最大振幅が100gal程度のランダム波を加振した。ジオグリッド補強土壁と固有振動数と地震履歴の関係は，十分な分析が行えていないため，本文ではその関係性については考察しない。

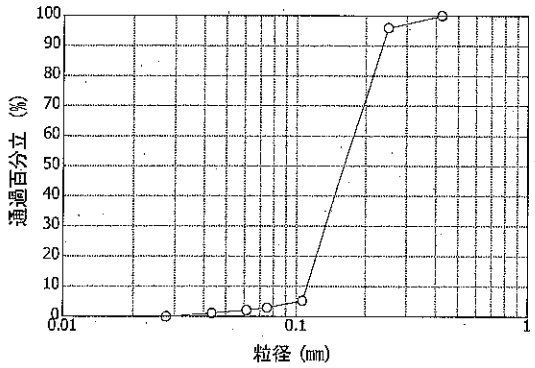
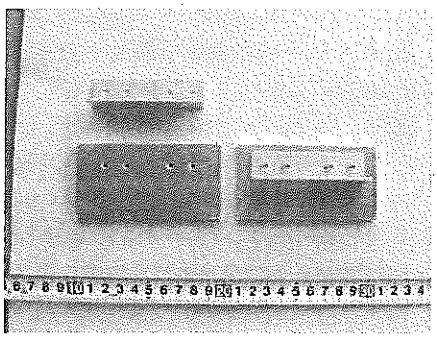


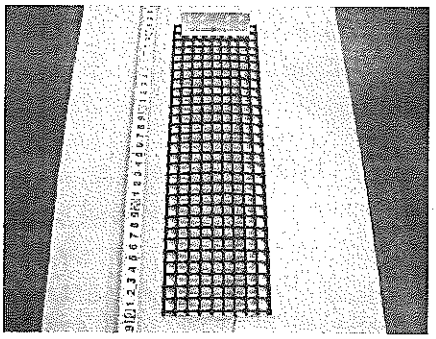
図-3 盛土材の粒径加積曲線

表-1 盛土材の物理特性

土粒子密度 (g/cm^3)	2.631
平均粒径(mm)	0.164
均等計数	1.48
最大乾燥密度 (g/cm^3)	1.612
最小乾燥密度 (g/cm^3)	1.262



(a) 壁面材として使用したアルミプレート



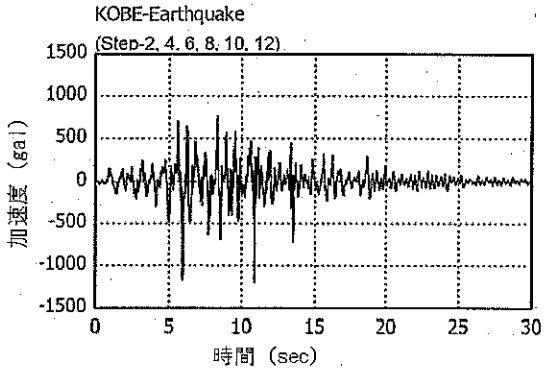
(b) 壁面材と補強材の連結方法

図-4 壁面材の模型

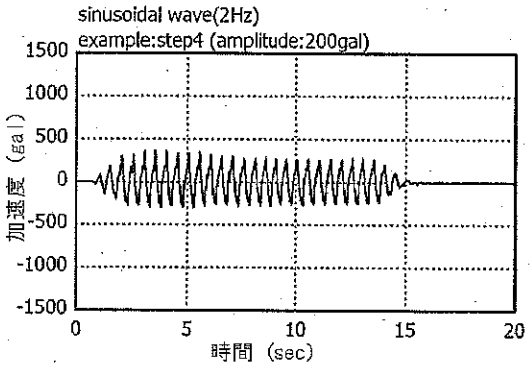
表-2 加振ステップ

step	加振条件	step	加振条件	step	加振条件
1	RW	5	SW-1(400gal)+RW	9	SW-1(800gal)+RW
2	KW-1+RW	6	KW-3+RW	10	KW-5+RW
3	SW-1(200gal)+RW	7	SW-1(600gal)+RW	11	SW-1(1200gal)+RW
4	KW-2+RW	8	KW-4+RW	12	KW-6+RW

注記：RW＝ランダム波，SW＝正弦波，KW＝神戸波



(a)神戸波



(b)正弦波

図-5 ジオグリッド補強土壁模型の耐震性を評価するために加振した2種類の地震波

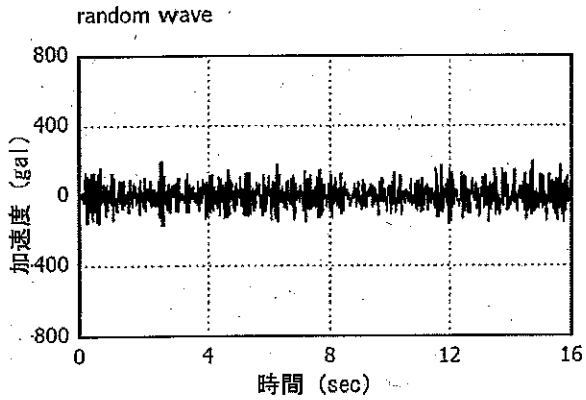
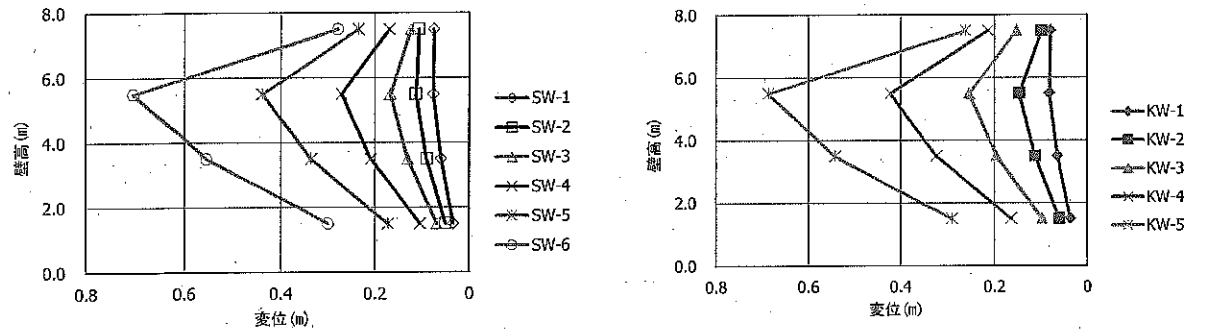


図-6 ジオグリッド補強土壁模型の固有振動数の変化を評価するために加振したランダム波

3. 実験結果

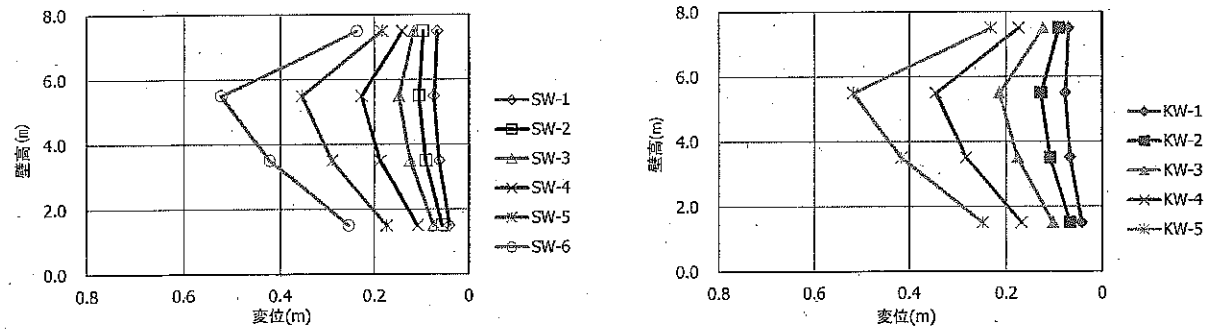
(1)壁面材の水平変位

表-2に示す12stepの地震波をCaseAとCaseBのジオグリッド補強土壁模型に加振したが，模型は崩壊にいたらなかった。そこで，本文では締固めの条件の違いが，ジオグリッド補強土壁の壁面変位とせん断ひずみの分布に及ぼす影響について分析する。図-7の(a)および(b)は壁面近傍が締固め不足の条件であるCaseAにおける，壁面の水平変位の鉛直分布を示す。図-7の(a)は，正弦波を加振した後の壁面形状を，図-7の(b)は，神戸波を加振した後の壁面形状を示している。CaseBについても同様に整理したものを図-8の(a)および(b)に示す。これらの図の全てにおいて，同じ変形モードが確認できる。最大変位は，図-1で示すDH2の変位計測箇所で発生していた。加振stepの終盤においても，CaseAおよびCaseBのいずれでも，滑動や転倒等のモードは観測されていない。これは，ジオグリッド補強土壁の模型が崩壊に至っていないことを示している。同じ加振stepにおけるCaseAとCaseBの壁面変位を比較すると，CaseAの変位量は，CaseBと比較して約20%ほど大きい。つまり，壁面近傍の締固め不足は，ジオグリッド補強土壁の耐震性能を低下させると言える。



(a)正弦波　　(b)神戸波

図-7 壁面の水平変位：CaseA（締固め不足の条件）



(a)正弦波　　(b)神戸波

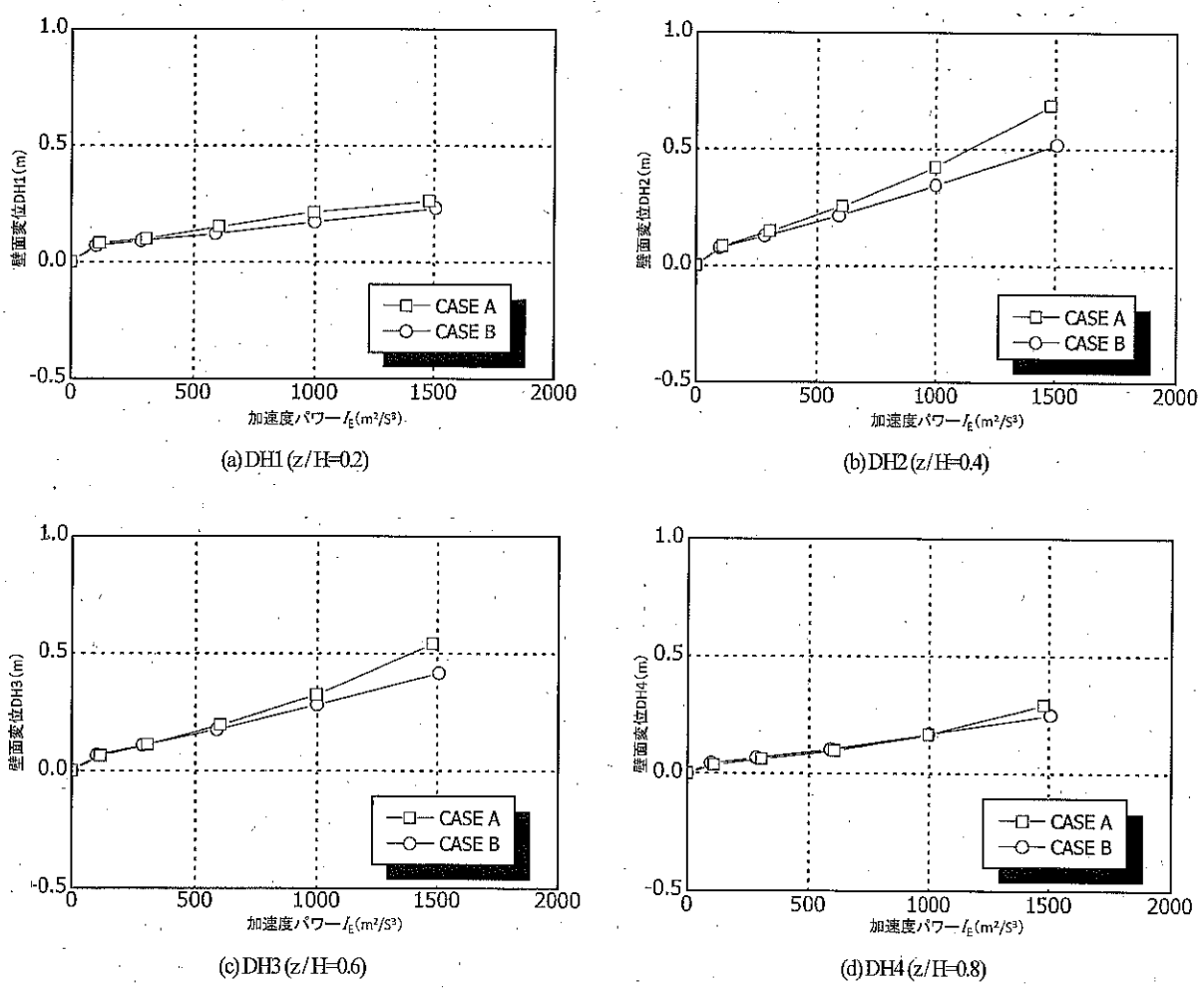
図-8 壁面の水平変位：CaseB（良く締固められた条件）

また，耐震性を考える上で，最大入力加速度や加振の継続時間の影響についても考慮すべきである。Izawa and Kuwano (2010) は，以下に示す加速度パワーI_Eにより，ジオグリッド補強土壁の耐震性について分析した[8]。

$$I_E = \int_0^T a^2(t)dt$$

ここで，aは入力地震波，Tは加振時間を示す。この指標は，Arias Intensityのような入力地震波の総パワーを示す。図-9に入力地震波の加速度パワーI_Eの変化に対する壁面水平変位の変化を示す。壁面の上方（DH1）や下方（DH4）に着目すると，締固め条件の違いによる壁面変位の違いは無視できる程度であった。しかし，壁面の中段（DH2やDH3）では，速度パワーI_Eが500m^2/s^{3}を超えると，CaseAとCaseBの違いが顕著となる。このことは，設計耐用年数の間を通して耐震性を評価するためには，補強土壁毎に地震履歴を記録することが重要であることを示している。

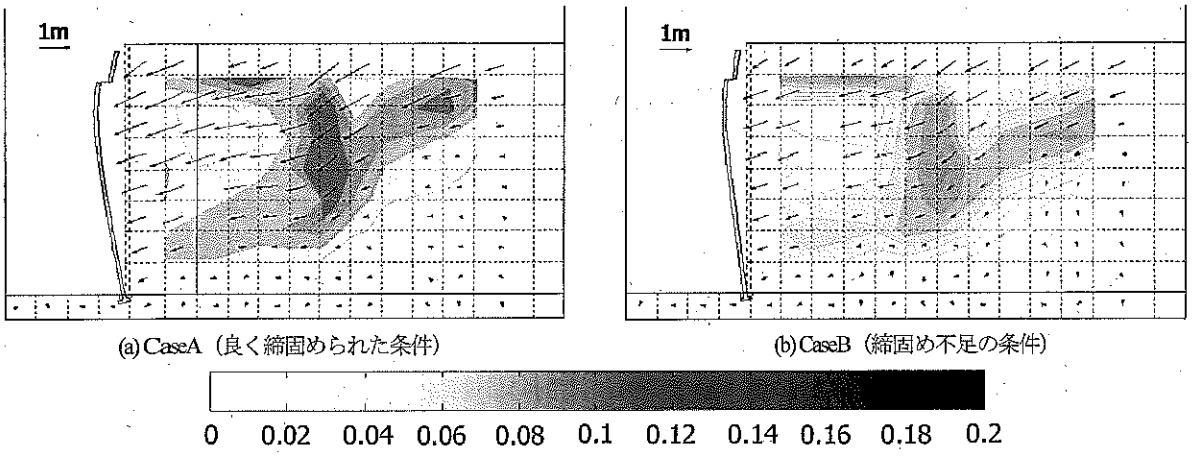
図-10の(a)および(b)は，最終加振ステップ後の最大せん断ひずみの分布を示している。ひずみ量は，ジオグリッド補強土壁の模型に設置した標点の変位から算出した。CaseAおよびCaseBのどちらのケースでも，せん断ひずみはtwo wedge形状で局所化している。図10の(a)より，締固めが十分でない壁面近傍でのひずみの局所化は確認できなかった。これは，局所的な締固め条件の違いは，ジオグリッド補強土壁の全体的な挙動に影響することを示している。



(a) DH1 (z/H=0.2)　(b) DH2 (z/H=0.4)

(c) DH3 (z/H=0.6)　(d) DH4 (z/H=0.8)

図-9 加速度パワーと壁面の水平変位の関係



(a) CaseA（良く締固められた条件）　(b) CaseB（締固め不足の条件）

図-10 CaseAとCaseBのせん断ひずみ分布の比較

4. まとめ

壁面近傍の締固め不足がジオグリッド補強土壁の耐震性に及ぼす影響について，動的遠心模型実験を行った結果，以下の知見が得られた。

（1）壁面近傍の締固め不足は，壁面の水平変位量を増大させる。入力地震動のパワーが大きくなるとその影響は顕著となる。

（2）締固めの影響は，ジオグリッド補強土壁の中段付近の壁面変位として現れる。

（3）締固めの影響は，局所的な挙動ではなく，ジオグリッド補強土壁の全体的な挙動に影響する。

謝辞：

本論文を執筆するにあたり，防衛大学の宮田嘉壽教授ほか，補強土壁の維持管理手法開発に関する共同研究のメンバーには多大なる協力をいただきました。ここに感謝の意を表する。

参考文献

1) Tatsuoka, F., Tateyama M., and Koseki, J. 1996. Performance of soil retaining walls for railway embankments, *Soils and Foundations*, Special Issue on Geotechnical Aspects of the January 17 1995 Hyogoken-Nambu Earthquake, 311–324.

2) Miyata, Y. 2014. Reinforced soil walls during recent earthquakes in Japan and geo-risk-based design, *Earthquake Geotechnical Engineering Design* (eds. Maugeri, M., and Soccodato, C.), Springer, p.20.

3) Hatami, K., Witthoeft, A.F., and Jenkins, L.M. 2008. Influence of inadequate compaction near the facing on the construction response of wrapped-face MSE walls, *Transportation Research Record*, 2045, 85–94.

4) Bathurst, R.J., Nernheim, A., Walters, D.L., Allen, T.M., Burgess, P., and Saunders, D. 2009. Influence of reinforcement stiffness and compaction on the performance of four geosynthetic reinforced soil walls, *Geosynthetics International*, 16(1), 43–59.

5) Hausler, E.A., and Sitar, N. 1999. *Experimental Facilities in Japan for Dynamic Geotechnical Research*, University of California, Berkeley, USA, p.15.

6) 土木研究センター.：*ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル　改訂版*, 2000.

7) Izawa, J., and Kuwano, J. 2010. Centrifuge modelling of geogrid reinforced soil walls subjected to pseudo-static loading, *International Journal of Physical Modelling in Geotechnics*, 10(1), 1–18.

8) Springman, S., Bolton, M., Sharma, J., and Balachandran, S. 1992. Modelling of instrumentation of a geotextile in the geotechnical centrifuge, *Proceedings of International Symposium on Earth Reinforcement Practice*, Fukuoka, 167–172.

セメントコンクリート舗装のアスファルト中間層の有効性

堀内　智司[1]・寺田　剛[1]・久保　和幸[1]

[1]独立行政法人土木研究所　（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）

我が国におけるセメントコンクリート舗装のシェアは，セメントコンクリート舗装はアスファルト舗装と比較して実道での供用性や耐久性に関するデータ蓄積が不十分となっている．そこで，実大規模の普通コンクリート舗装を土木研究所舗装走行実験場に敷設し，促進載荷試験により耐久性や供用性の推移を確認した．その結果，セメントコンクリート舗装においてアスファルト中間層を設置することで，コンクリート版に発生する温度応力を低減し，耐久性が向上する可能性があることがわかった．また，横ひび割れ発生した場合でも，段差量の増加を抑制し，路盤支持力を有る程度確保し，荷重伝達効果も低下しにくい傾向があることを確認した．

キーワード　セメントコンクリート舗装，アスファルト中間層

1. はじめに

道路舗装を大別すると，アスファルト舗装とセメントコンクリート舗装（以下，コンクリート舗装）に分かれる．わが国では，1960 年頃までコンクリート舗装のシェアは約 30%であったが，その後減少し，最近では 5%程度[1]となっている．このため，コンクリート舗装はアスファルト舗装と比較して実道でのデータの蓄積が不十分であり，供用性や耐久性の検証などが遅れている．

コンクリート舗装は一般に，コンクリート版と路盤から構成され，路床上に構築される．路盤の最上部にアスファルト中間層を設けることもあり，このアスファルト中間層を設置することで，コンクリート版の施工性を向上し，舗装の耐久性を向上し，路盤の耐水性を向上することができるとされている[2),3)]．しかし，アスファルト中間層を設置した場合に，コンクリート版に働く温度応力や（車両による）輪荷重応力へ与える影響はわかっていない．また，コンクリート版に横ひび割れが発生した場合，ひび割れ部から雨水が浸入し，走行車両による繰り返し荷重で路盤が浸食され，空洞が生じ，段差の発生や舗装体の支持力の低下が懸念される．アスファルト中間層を設置することでこのような支持力の低下を抑制できるかの検討はなされていない．

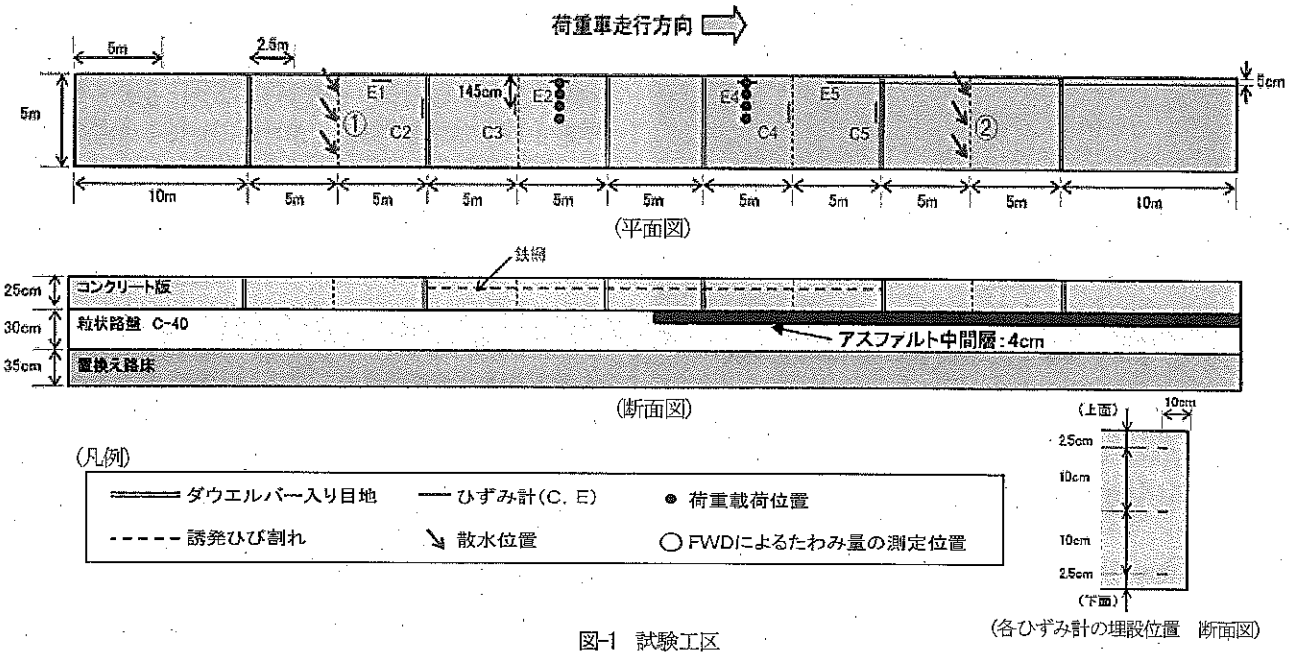


図-1　試験工区

そこで，本報告では，アスファルト中間層を設置することでコンクリート版に働く応力に影響があるかを検討した．また，コンクリート版に横ひび割れが発生した場合，アスファルト中間層を設けることで供用性や舗装体の健全性の低下を抑制できるか検討を行った．

なお，本研究は，東京農業大学，石川工業高等専門学校，（社）セメント協会との共同研究「コンクリート舗装の構造設計の高度化に関する研究」[4),5),6)]の一環として実施したものである．

2. 研究方法

(1) 試験工区の構築

コンクリート舗装の耐久性や供用性の推移を確認するため，図-1に示すような実大規模の舗装を土木研究所舗装走行実験場に敷設し，錘を載せた大型車（荷重車）を連続走行させる促進載荷試験（写真-1）を実施した．コンクリート舗装は一般的な普通コンクリート舗装とし，工区ごとに舗装構造等を変えている．コンクリート版には，温度を同時に計測できるひずみ計を埋設しており，各計器の番号は図-1に示すとおりである．点線部は，コンクリート版上方から目地カッターを入れ，さらに，コンクリート版下面には木材を置いて断面欠損させ，施工後早期に版に横ひび割れを誘発させた箇所を示している．この横ひび割れ部で強制的に路盤を浸食させるため，散水装置で誘発ひび割れ部の3カ所から水を路盤へと侵入させた．



写真-1 試験工区における促進載荷試験の状況

(2) コンクリート版の内部応力についての検討

アスファルト中間層の設置が，コンクリート版に働く温度応力や輪荷重応力といった応力に与える影響を検討する．

a) 温度応力について

温度応力はコンクリート版上面と下面の温度差から算出するため，図-1のC2とC5において，1時間ごとに連続して3年間，コンクリート版の上面から2.5cm，中央部，下面から2.5cmの位置の温度を測定し，上面と下面の温度を推定した．推定値からコンクリート版上下面の温度差とその発生頻度を求め，アスファルト中間層の有無で比較を行った．さらに，ある仮定の下で疲労度も算出して比較を行った．なお，疲労着目点として，ひび割れが発生しやすい縦自由縁部及び横目地部とし，疲労曲線は舗装設計便覧[2)]のa)式を使用した．

b) 輪荷重応力について

コンクリート版で疲労ひび割れが発生しやすい，図-1のE2，E4において，輪荷重応力の影響度合いを示す低減係数を求め，アスファルト中間層の有無で比較を行った．具体的には，図-2に示すように端から15cm，45cm，75cm，105cm，135cm離れた箇所に荷重車（車両重量40t）の右後輪を載せて，その時の版下面から2.5cmの位置にあるひずみ計の値を測定した．なお，温度応力の影響が小さくなるようにコンクリート版上下面の温度差が小さい時間帯に実施した．

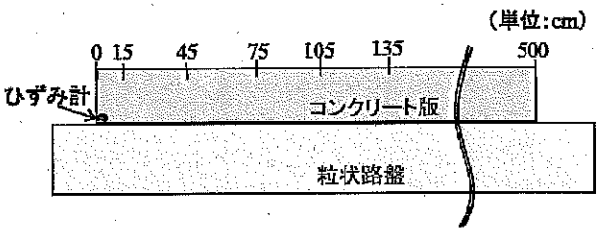


図-2 載荷位置（断面図）

(3) 段差量についての検討

アスファルト中間層の設置により，コンクリート版に横ひび割れ部が発生した場合に，供用性の低下を抑制できるかを確認する．

散水装置により路盤を強制的に浸食させながら，荷重車により繰り返し荷重を与える促進載荷試験を実施した．促進載荷試験では，1年間に49kNの輪数に換算して40万輪として3年間行い，散水量は2年目に日本の年間降雨量1,500mm相当を与え，3年目に3,000mm相当を与えた．段差の測定は，舗装調査試験法便覧[7)]に準拠して行い，散水をしている誘発ひび割れ部において横断方向に50cmピッチで9か所ずつ段差量をテーパーゲージで計測して平均値を求め，アスファルト中間層の有無で比較した（写真-2）．

(4) 支持力及び荷重伝達率についての検討

アスファルト中間層の設置により，コンクリート版に横ひび割れが発生した場合でも，舗装体の支持力や，ひび割れ箇所の荷重伝達が確保されるかを検討した．

図-1の①，②において，FWD（Falling Weight Deflectometer）により錘を落下させて路面に98kNの衝撃を与え，その時に発生する路面のたわみ量を計測して，

アスファルト中間層の有無で比較した（写真-3）．なお，計測方法は，舗装調査試験法便覧に準拠した．

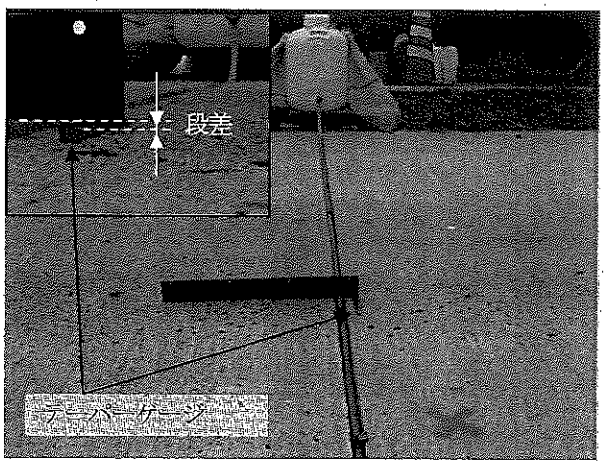


写真-2　段差量の計測状況



写真-3　FWDの計測状況

3. 研究結果

(1) コンクリート版の内部応力について

a) 温度応力

3 年間のコンクリート版上下面の温度差とその発生頻度を表-1 に示す．アスファルト中間層を有する方が温度差の大きな場合の頻度は低いことがわかる．

さらに，表-1 を用いて疲労度の算出を行った．算出する際の仮定条件を表-2 に，算出結果を表-3 に示す．横目地部及び縦自由縁部を仮定して，疲労度の算出を行った．疲労度の算出結果から，アスファルト中間層を有する方が温度差の大きな場合の頻度は小さいことから，疲労度が小さくなる傾向がある．以上より，アスファルト中間層を有することで温度応力を低減する傾向がみられ，耐久性の向上につながることを確認できた．

b) 輪荷重応力

コンクリート版の底面にあるひずみを計測し，求めた近似曲線から低減係数を算出した．結果を図-3 に示す．端から 75cm まではアスファルト中間層の有無で大きな違いはないことがわかった．

(2) 段差量

段差量の測定を行った結果を図-4 に示す．アスファルト中間層を有する方が中間層の無い箇所と比較してわずかではあるが段差量が小さい結果となっている．以上より，アスファルト中間層を有することで段差量の進行を抑制する傾向を確認できた．

表-1　温度差とその発生頻度の比較

温度差(℃)	アスファルト中間層無	アスファルト中間層有
21(20～21.9)	0.001	0.000
19(18～19.9)	0.007	0.001
17(16～17.9)	0.023	0.015
15(14～15.9)	0.048	0.037
13(12～13.9)	0.065	0.061
11(10～11.9)	0.084	0.083
9(8～9.9)	0.121	0.119
7(6～7.9)	0.128	0.131
5(4～5.9)	0.139	0.144
3(2～3.9)	0.160	0.161
1(0～1.9)	0.225	0.246
-1(0.1～2.0)	0.245	0.269
-3(2.1～4.0)	0.405	0.435
-5(4.1～6.0)	0.278	0.260
-7(6.1～8.0)	0.070	0.035
-9(8.1～10.0)	0.002	0.000

表-2　仮定条件

項目		条件
設定された舗装の目標	舗装の設計期間（年）	20
	信頼度（%）	考慮しない
走行頻度	路肩の有無	十分な路肩有り
	片側の車線数(車線)	2車線
コンクリート舗装の種類		普通コンクリート
応力算出位置		縦自由縁部，横目地部
Co版の条件	版厚（cm）	25
	曲げ強度（MPa）	4.4
	弾性係数（MPa）	30,000
	ポアソン比	0.2
	温度膨張係数（1/℃）	1.0E-05
	横収縮目地間隔（m）	10m
交通条件	輪荷重群と通過輪数	舗装設計便覧参照
	温度差が正または負のときの大型車の比率	郊外部
	タイヤ接地半径	舗装設計便覧参照
路盤支持力係数K_{75}（MPa/m）		100
疲労度算定		舗装設計便覧参照

表-3　疲労度の比較

疲労着目点	アスファルト中間層有	アスファルト中間層無
横目地部	4.3	6.2
縦自由縁部	21.3	37.4

(3) 支持力及び荷重伝達

FWD により測定された，たわみ量（D_0）を図-5 に示す．アスファルト中間層の有無を比較すると，中間層を有する方が誘発ひび割れ部のたわみ量が小さくなり，支持力をある程度確保することができることを確認した．また，誘発ひび割れ部の荷重伝達率[8]を図-6 に示す．アスファルト中間層を有することで荷重伝達効果を低下しにくくする傾向がみられた．

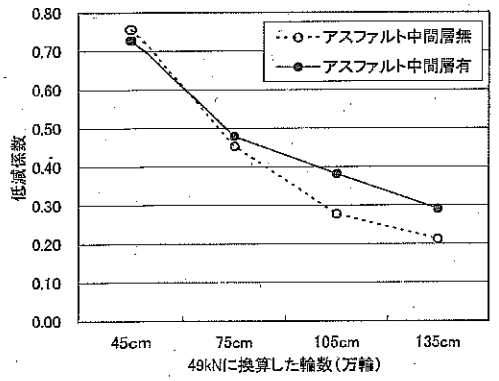


図-3 底面ひずみの比較

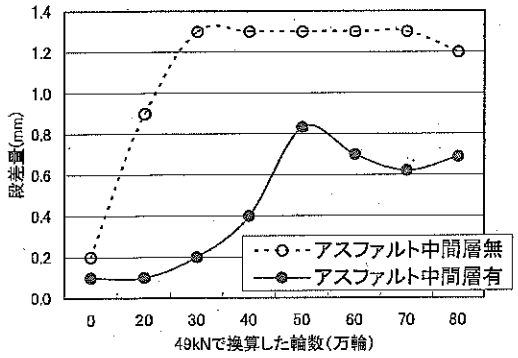


図-4 段差量の比較

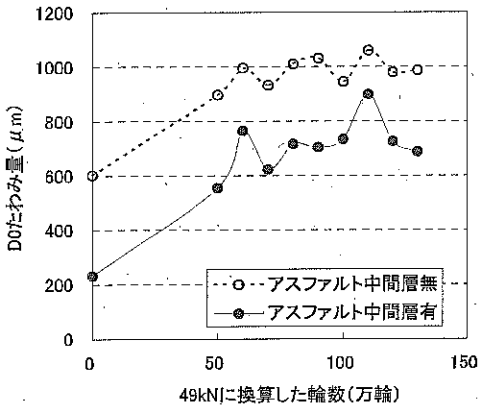


図-5 D_0たわみ量の比較

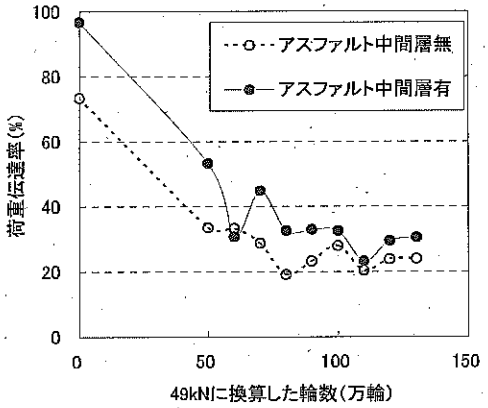


図-6 荷重伝達率の比較

4. まとめ

コンクリート舗装においてアスファルト中間層を設置することで，コンクリート版に発生する温度応力を低減し，耐久性が向上する可能性があることがわかった．また，横ひび割れが発生した場合でも，段差量の増加を抑制し，路盤支持力をある程度確保し，荷重伝達効果も低下しにくい傾向があることを確認した．

参考文献

1) (社)日本道路協会：コンクリート舗装に関する技術資料，2009.
2) (社)日本道路協会：舗装設計便覧，2006.
3) 中村俊行，久保和幸，小森谷一志：普通コンクリート舗装のひび割れ調査結果，雑誌舗装，Vol.30-9，pp.4-8，1995.
4) 竹内康，毛世華，岡澤宏，小梁川雅，西澤辰男，堀内智司：コンクリート舗装における路盤厚設計曲線の信頼性に関する検討，土木学会論文集E1，Vol.67，No.3，pp.111-119，2011.
5) 井上直，久保和幸：コンクリート舗装における輪荷重とタイヤ接地半径の関係に関する検討，土木学会第64回年次学術講演会，V-133，2009.
6) 西澤辰男，小梁川雅，竹内康，井上直，谷口博，吉本徹：コンクリート舗装の目地およびひび割れ部における動的挙動，土木学会第64回年次学術講演会，V-133，2009.
7) (社)日本道路協会：舗装調査・試験法便覧，2007.
8) (財)道路保全技術センター：活用しよう！FWD，2005.

謝辞

本データをとりまとめるにあたり，前田道路株式会社の谷口博氏，清水泰成氏，畠山慶吾氏にご協力をいただいた．ここに感謝の意を表する．

河川特性を考慮した河道管理の効率的な手法

高玉　郁子

関東地方整備局　江戸川河川事務所　管理課　（〒278-0005 千葉県野田市宮崎134）

河川維持管理の予防保全という観点から、江戸川の現状の河道における「流下能力」および「施設の機能保持」に注目して、要監視箇所の抽出を行い、日常の目視点検を主体としたモニタリング計画を策定を行った。また、要監視箇所の効率的・効果的なモニタリングを行うため、管理基準としてレッドゾーン、イエローゾーンを設定した。

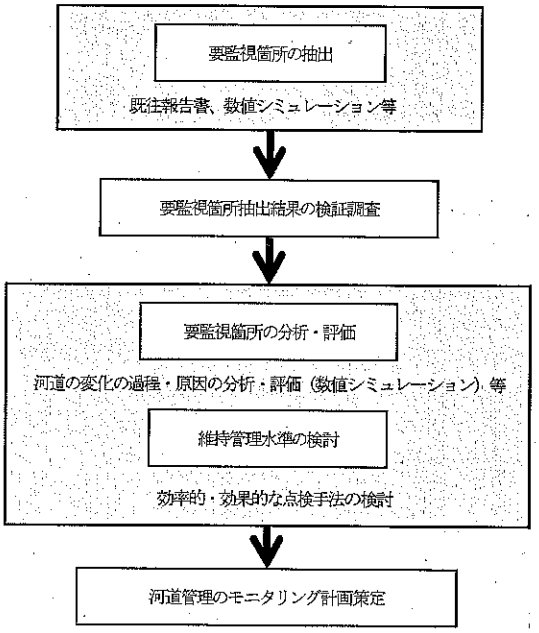
キーワード　河川維持管理、予防保全、モニタリング計画、管理基準

1. はじめに

国土交通省では被災してから補修を行う対症療法的な改修・更新よりも、少ないコストで災害に強い川づくりを進めるため、予防保全型の河川維持管理に取り組んでいる。しかし、河川の維持管理は洪水や地震といった自然現象が対象となるばかりか、その自然現象によって監視対象の状態が急激に変化する可能性が高い。さらに、管理対象においては何度かの改築、補強を繰り返しているという歴史的経緯を有していることから、被災箇所をあらかじめ予測することが非常に難しい状態である。このため、河川管理を行うにあっては、各河川の特性を十分に把握した上で、河川維持管理における経験を踏まえ、河川の状態変化を把握する必要がある。そして、河川の情報を蓄積し、分析・評価を行い、健全度の将来予測を行うことが重要となる。

以上のことから、予防保全型の維持管理を実施するにあたり、河川情報の蓄積が必要となるが、河川情報を蓄積するためには、現在実施している定期点検等を有効活用したい。定期点検等において、継続的・効率的に河川情報を蓄積するために、モニタリング計画の策定を試みた。なお、モニタリング計画の策定にあたり、下記の①～③について検討し、計画に反映している。

① 江戸川の河川特性の把握し、継続して状態変化を捉える必要がある箇所（要監視箇所）を抽出する。
② 抽出した要監視箇所について、モニタリング時点における健全度を判断する管理基準を設定する。
③ 情報の蓄積は、河川管理を担当する職員や河川巡視員等の日常点検等における目視や簡易な計測によるものを前提とし、モニタリング実施項目を設定する。

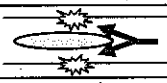
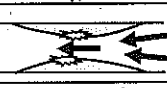
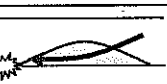
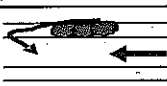
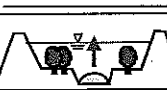
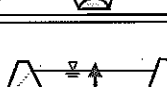


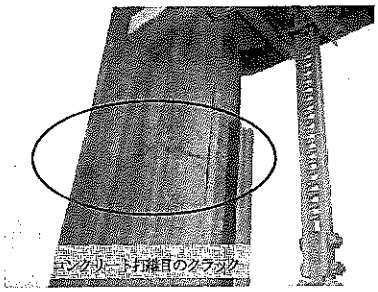
図－1 モニタリング計画検討フロー

2. モニタリング計画の検討

モニタリング計画は、河川維持管理の予防保全という観点から、現在の河道や施設状況より重点的に監視する箇所や構造物（要監視箇所）を抽出し、①それらの箇所に対してモニタリング時点における河川管理施設の健全度を判定すること、②継続的に実施することによる情報の蓄積を基にした健全度の将来予測を行うこと、を目的にモニタリングを行い、PDCAサイクルでモニタリング計画の更新及び見直しを目指すものである。

表－１　想定される被災タイプ（例）

被災タイプ	要因	被災イメージ図
浸食	湾曲部外側河岸	
	砂州の固定化	
	低水路狭小部	
	高水敷乗り上げ・落ち込み	
	樹木繁茂・偏流・倒木	
堤防越水	流下能力不足・低下（樹木繁茂・堆砂）	
堤防漏水・法崩れ	堤体の湿潤化 洪水継続時間の増加 樋管周辺空洞化　等	





図－２　構造物要監視箇所の抽出例
古ヶ崎排水機場樋管（江戸川左岸 21.7k）

(1) 江戸川の河道状況

江戸川は、利根川の分派点から江戸川放水路河口までの延長約55kmを有し、東京都、千葉県、埼玉県及び茨城県の１都３県をまたぐ河川である。河川勾配は、下流部で1/10000程度、中上流部で1/5000程度の比較的勾配の緩やかな河川である。下流部の沿川には左右岸ともに市街地が広がっており、高水敷には運動公園等が整備され多くの人々に利用されている。中上流部を主体に、河道内にはヤナギやヨシ、オギ等の植物が繁茂し、江戸川の自然環境や景観を特徴づけている。

(2) 要監視箇所の抽出

モニタリング計画を検討するにあたり、要監視箇所を「適切な河川管理の観点から、常日頃より注目して状態監視を行い、問題が生じた場合または生じる恐れがある場合には、問題による損失が大きくならないように防止するための措置を図るべき箇所。」と定義した。

要監視箇所の抽出に当たり、河道内要監視箇所として河道内の樹木（ヤナギ類）の成長が早いため、「流下能力」の観点から、構造物要監視箇所として水門、樋管等の河川管理施設及び長大な堤防が生命線であるため、「施設の機能維持」の観点から抽出を行った。

a) 河道内要監視箇所の抽出

「流下能力」の観点からみた要監視箇所とは、江戸川における既往最大程度の流量を安全に流下させることに支障を来す恐れのある箇所とした。

現況河道において治水上安全に流下させることに支障を来す恐れのある箇所、および江戸川で発生が想定される浸食、堤防漏水などの恐れのある箇所を要監視箇所として抽出した（表－１）。なお、河道管理の観点から、過去の被災履歴を踏まえて注意が必要な箇所や、定期縦横断結果および平面図、空中写真等からの経年変化も確認し、要監視箇所の抽出を行った。

b) 構造物要監視箇所の抽出

「施設の機能維持」の観点からみた要監視箇所とは、堤防、護岸、樋門・樋管等の施設が有する機能や健全性が損なわれる又は損なわれる恐れがある箇所とした。ここで、施設の健全性とは、施設に求められる所要の機能と性能のレベルが維持された状態とした。

堤防、護岸、樋門・樋管等の要監視箇所の抽出には、現時点における施設の危険性および河道特性や過去の被災状況による被災可能性を考慮し抽出を行った。具体的には、構造物の詳細点検結果、過去の被災履歴、河川カルテ、河川巡視結果等を基に要監視箇所を抽出している。

図－２に構造物の抽出箇所の例を示す。古ヶ崎排水機場樋管（江戸川左岸21.7k）については、門柱のコンクリートの打継ぎ目におけるクラックが発見されている。護岸部においても目地の開きが確認されており、裏込め材の吸い出しが懸念される。

(3) 現地調査による要監視箇所の確認

抽出した要監視箇所の現地調査を実施し、抽出結果と現地調査結果の整合を確認した。箇所によっては、すでに補修が済んでいる場合もあり、そのような箇所については、現地を確認した上で要監視箇所から除外を行っている。

表－２　管理基準の考え方

	基準	対応
イエローゾーン	・機能損失につながる性能低下を起こす変状について、経過観察（モニタリング）の実施が必要になる値や目安	・変状の定量評価のほか、今後想定される事象を踏まえた確認項目をモニタリングする
レッドゾーン	・機能損失につながる性能低下を起こす変状について、性能低下が発生する直前の状態の値 ・イエローゾーン到達時に併せてモニタリングが必要となった項目が確認された時点 ・変状量がイエローゾーン内であっても、変状が急激に進行したことが確認された時点	・危険度の詳細検討を実施し、必要に応じて対策工と概算費用の算出を行う

表－３　管理基準の設定例

＜樹木繁茂＞

状態	管理基準	予測される事象	確認方法
イエローゾーン	樹木が生えていない草地・裸地に幼木が根付く（縦断方向に筋状に分布）	新たな樹木群の繁茂	目視
レッドゾーン	堤防側に向けて樹木が繁茂（横断方向に広がる方向に分布）	樹木の繁茂による河積阻害	目視

＜ブロック積み護岸＞

状態	管理基準	予測される事象	確認方法
イエローゾーン	①②③のいずれかが確認されること ①：ブロック目地開き≧2㎜※1 ②：ブロック欠損（表面のみ） ③：護岸下面の空洞化	護岸下面への空洞化や吸出しの発生・進行	①：計測 ②：目視 ③：打音調査または鋼棒挿入
レッドゾーン	ＡＢＣのいずれかが確認されること Ａ：ブロック目地開き≧2㎝※2 Ｂ：ブロック欠損（背面土が見える） Ｃ：護岸下面の空洞化（目安 15㎝※3）	空洞化による低水護岸の破壊	Ａ：計測 Ｂ：目視 Ｃ：打音調査または鋼棒挿入

※1背面土（砂）の粒径上限値　※2裏込材平均粒径　※3裏込材敷設厚 15cm

(4) 要監視箇所の分析・評価

河道内要監視箇所及び構造物要監視箇所に係る管理基準について検討した。管理基準については、イエローゾーンおよびレッドゾーンの２段階設定した。各基準の考え方について**表－２**に示す。

管理基準のうち、いずれかの変状項目がイエローゾーンに該当した場合、その他項目のイエローゾーンへの該当状況に係らず、レッドゾーンの項に記載した事項についてモニタリングを行わなくてはならない。これは、ある変状がイエローゾーンに達したということは、その事象を引き起こす要因が発生していることを示しており、今後同一の要因により起きうる別の変状の発生や進行についても確認する必要があるためである。また、イエローゾーンを経ずにレッドゾーンに達した場合は、一層の注意が必要である。

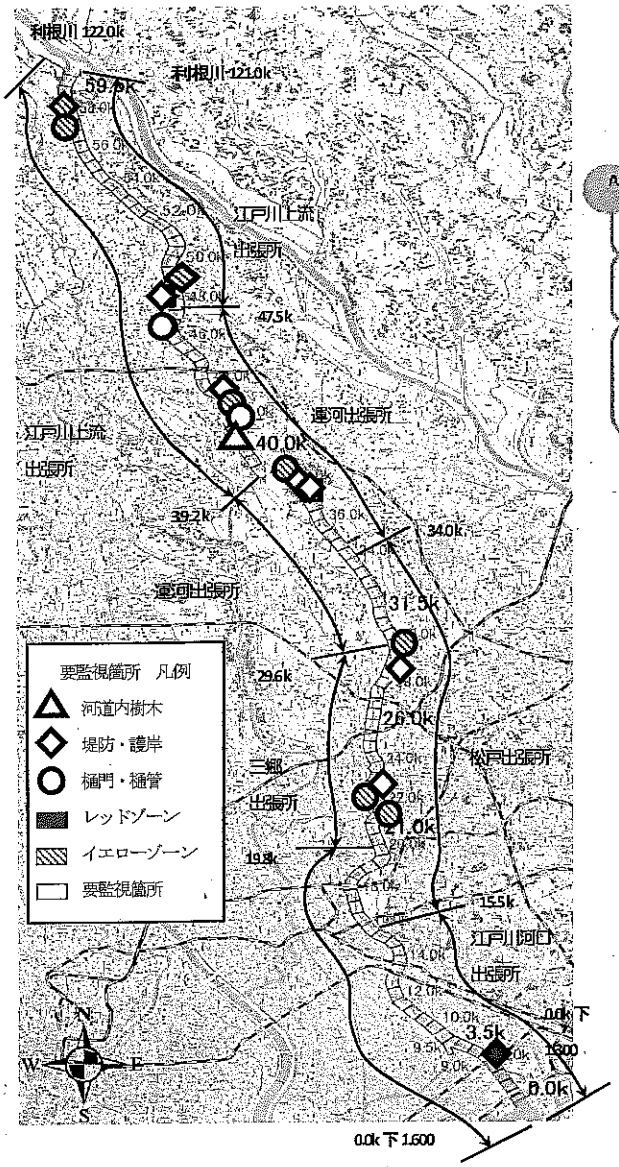
a) 河道内要監視箇所のモニタリング

樹木繁茂を例にとると、高水敷に繁茂している樹木は河積阻害の原因となる。現在の江戸川では、堤防整備のための築堤用土確保と流下能力の向上につながる河道掘削を行っており、これを機に多くの樹木を排除してきている。しかし、ヤナギ類を主体とした種目類の再繁茂はこれまでの調査結果からも明らかである。H16年とH20年樹木群調査結果から得られた繁茂速度1.3倍/4年間を踏まえると、樹木群調査が実施される4～5年のスパンの中でも大きな阻害要因、支障と成ることが想定される箇所を早めに把握することが重要となる。

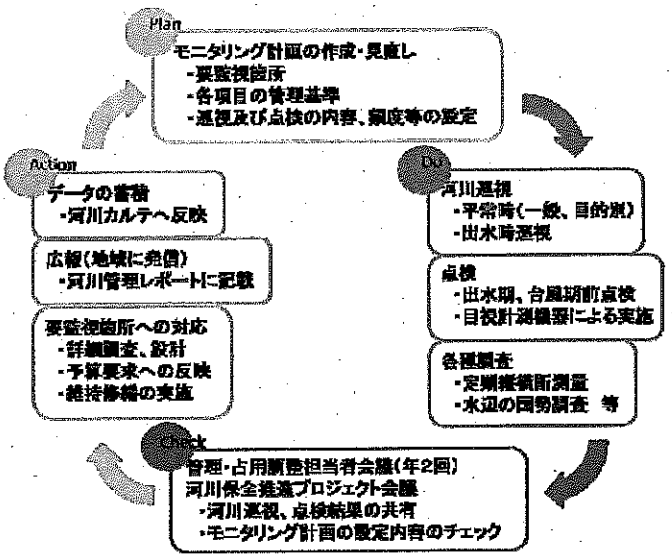
しかしながら、通常点検における目視では、正確な樹木幅を確認することが難しいことから、通常の目視点検による樹木の管理基準を**表－３**＜樹木繁茂＞のように定め、河積阻害となる樹木が横断方向に広がらないことを基準として行うこととした。なお、目視点検と併せて空中写真の確認を行い、樹木の繁茂状況により必要に応じて樹木伐採などの処置を行う。

b) 構造物要監視箇所に関するモニタリング

ブロック積み護岸構造物を例にとると、ブロックの目地の開きが確認された箇所では、細粒分の吸い出しによ



図－３　江戸川の要監視箇所の位置図



図－４　モニタリング計画策定後のPDCAサイクル

る護岸ブロックの空洞化が考えられる。ブロックの目地の開きについて管理基準値を細粒分の粒径等を元に設定を行い、要監視箇所のモニタリングを行うことで、護岸の空洞化の進行状況を確認しながら補修・補強計画を検討することが出来る（表－３<ブロック積み護岸>）。

このようにイエローゾーンおよびレッドゾーンを設定することで、要監視箇所におけるモニタリングを効率的に行うことが出来る。また、点検、巡視においても基準値を元に点検を行うことで、新たにモニタリングが必要であるか、継続的に監視すべき箇所かの判断基準として活用が出来る。

(5) 河川保全推進プロジェクト会議の開催

モニタリング計画策定に当たっては、河川保全推進プロジェクト会議（以下PT会議）を開催し、管理担当職員および現場で河川管理を担当している出張所職員のほか、計画・調査、工事発注を担当している職員とともに、要監視箇所の抽出方法の確認および作成したモニタリング計画（案）について議論を行った。PT会議は合計４回開催し、延べ50名が参加し検討を行った。また、PT会議で現地調査を開催し、要監視箇所の現地確認のほか、管理基準の項目等の確認を行った。PT会議の中で、管理基準の段階分けを行い、各段階をレッドゾーン、イエローゾーンと設定し、危険度を明確化するなどの意見があげられた。

図－３は、とりまとめた江戸川の要監視箇所の位置図である。要監視箇所は、江戸川において１８箇所となり、そのうち、レッドゾーン１箇所、イエローゾーン８箇所となった。

今回検討したモニタリング計画は、本年度より運用を始めたところである。今後は、図－４のようなPDCAサイクルを基に、点検・巡視の中でデータの蓄積を行い、所内の担当者会議等を活用して点検データの確認やモニタリング計画の見直しを実施していく。

3. 課題および今後の展開

今後の課題としては、モニタリングの結果を用いて変化速度の予測を数値化し、管理基準の設定を変更することや点検頻度等を合理的に設定することがあげられる。併せて、変化速度の予測値の検証についても実施し、予測値の精度をあげていく必要がある。

今後は、日常の点検や巡視の中でモニタリングを実際に行いデータの蓄積をはかり、モニタリング計画の見直しを行い、より効率的な河川の維持管理を行えるよう、取り組んでいきたい。

桟橋上部工の維持管理シナリオに関する検討

野上　周嗣[1]・加藤　絵万[1]・川端　雄一郎[1]・佐藤　徹[2]

[1](独)港湾空港技術研究所　ﾗｲﾌｻｲｸﾙﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄ支援ｾﾝﾀｰ　(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

[2]国土技術政策総合研究所港湾研究部　(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

材料劣化に伴う耐久性の低下など維持管理上の課題が多いとされている鉄筋コンクリート製の桟橋上部工を対象として，対策の要否，対策工法およびその時期，また点検診断の内容および実施頻度を対象とした計画(維持管理シナリオ)の策定について，LCCの観点からの比較検討を行った結果を報告する．

キーワード　桟橋上部工，塩害，維持管理シナリオ，ライフサイクルコスト

1. はじめに

国民生活や社会経済活動は産業，生活，国土保全等を形成するインフラで成り立っている．インフラの多くは1960年代中盤に整備されており，港湾施設も1960年代中盤から1970年代前半に集中的に整備された．多くの港湾施設が今後20年で建設後50年以上を経過する．港湾施設は一般的に厳しい自然環境下に置かれることが多く，材料の劣化，部材の損傷等により供用期間中に性能低下が生じやすいことから，必要な性能を維持するように適切に維持管理を行わなければならない．

今後，急速に設計供用期間を迎える港湾施設について，厳しい財政状況等の情勢を踏まえつつも施設機能を安定的に確保するためには，個々の構造物のライフサイクルコスト(LCC)の縮減や，施設群としてのLCCの縮減および平準化を図りながら，戦略的に維持管理・更新を進めなければならない．そのためには，個別の構造物に対して，要求される機能・性能を踏まえながら，最適な維持管理計画を設定し，港湾施設群に対して立案される予防保全計画[1]に反映すること，ならびに維持管理実施段階においては点検診断の結果を踏まえて，適宜，維持管理計画および予防保全計画を見直すことが重要である．

本検討では，港湾施設のなかでも特に材料劣化に伴う耐久性の低下に対する課題が多いとされている鉄筋コンクリート製の桟橋上部工を対象として，維持管理計画等に記載する項目のうち，対策の要否，対策工法およびその時期，また点検診断の内容および実施頻度に関する計画(以降，維持管理シナリオと称する)の策定について検討を行った．塩害劣化に対する事前対策を適用した場合や各種補修工法を適用した場合など，現状の技術で想定されうる維持管理シナリオについて，LCCを指標とした比較を行った．

2. 検討方針

厳しい自然環境下に建設される港湾施設については，施設の設計段階から，適切に維持管理が実施できるよう構造形式や構造細目に配慮することが有効である．これまでの経験から，桟橋上部工については設計当初から維持管理の省力化・合理化に配慮することが望ましいとされ，「維持管理に配慮した桟橋上部工の設計マニュアル」により配慮の方法，工夫等が提案されている[2]．これを参考として，本検討では，コンクリート構造部材の耐久性を向上させる方策，および桟橋上部工下面の点検の省力化を可能とする方策を反映した維持管理シナリオを設定することとした．

検討の対象とした桟橋上部工の諸元や対策等に要する費用，また設定する維持管理シナリオは，あくまで本検討を実施するために設定したものであり，検討実施にあたっての前提条件のすべてが，実際の桟橋上部工の維持管理シナリオに適用できるものではないことを付記する．なお，本検討の前提条件，費用設定等詳細については参考文献3)のとおりである．

3. 維持管理シナリオの設定

(1) 前提条件

本検討の対象は，図-1に示す桟橋の上部工である．維持管理シナリオは「港湾の施設の点検診断ガイドライン」に記載されている「維持管理計画等の策定範囲」[4]に準じて設定した．設定した条件等の詳細を以降に示す．

1) 設計供用期間の設定

桟橋の設計供用期間は，一般に，50年と設定されることが多い．しかし，今後は桟橋の延命化のための対策の実施等も含めた対応方針を検討する場合も想定されることから[5]，本検討では設計供用期間を75年間とした．

2) 維持管理レベルの設定

港湾構造物の維持管理計画を策定するにあたっては，個々の部材に対して，維持管理の方針となる「維持管理

レベル」[6]を設定する．本検討では，事後保全的な対策を実施する維持管理レベルⅢは対象とせず，予防保全的な対策を実施する維持管理レベルⅠおよびⅡを対象とした．

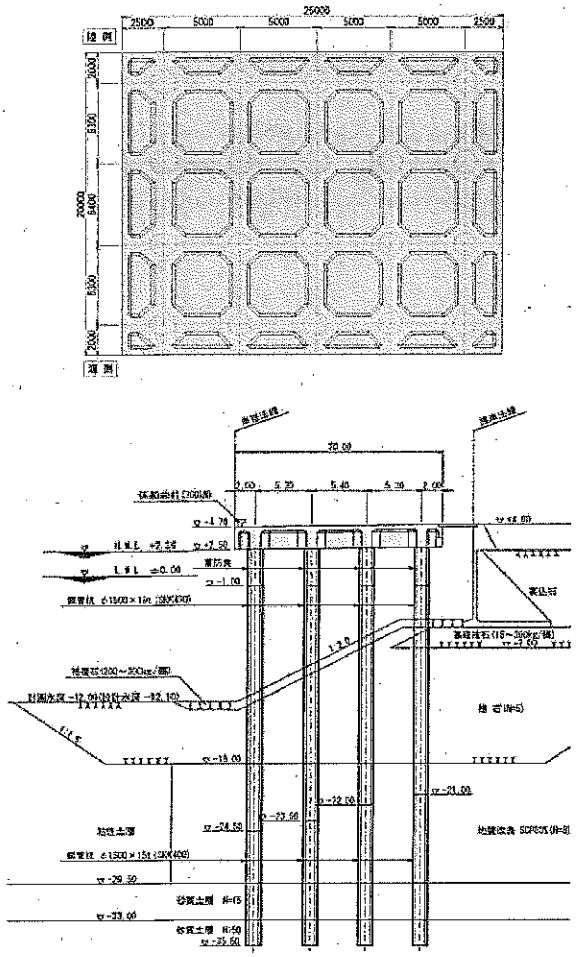


図-1　桟橋上部工の形状と桟橋の標準断面図

3)桟橋上部工下面側の点検の省力化のための方策およびコンクリート構造部材の耐久性を向上させる方策

(a)桟橋上部工下面側の点検の省力化のための方策

桟橋上部工下面側の点検診断は船外機船を利用したり潜水士による調査となるため，船舶が着岸している場合や荷役作業を実施している場合は調査の実施が困難となる．このため，予定供用期間中の点検診断が確実に実施できるよう，あらかじめ桟橋上部工下面に点検足場や歩廊などを設置している事例[2]がある．本検討では，点検施設として「点検歩廊」を設置した維持管理シナリオを設定した．

(b)コンクリート構造部材の耐久性を向上させる方策

桟橋上部工コンクリートの設計にあたっては，コンクリート中への塩化物イオンの侵入により設計供用期間中に鉄筋(鋼材)腐食が発生しないことを確認すれば，材料劣化による部材の性能の低下は生じないと判断してよい[3]．このため，本検討では，コンクリート構造部材の耐久性を向上させる方策として，コンクリート中の鋼材腐食を防止する工法や，鋼材自体が高い耐久性を有する補強材料について，特に港湾構造物に適するものを文献[2]およびアンケート等により確認し，以下の3つを用いた場合の維持管理シナリオを設定した．

- エポキシ樹脂塗装鉄筋
- 埋設型枠(超高強度繊維補強コンクリート製高耐久性薄肉埋設型枠)
- 電気防食(外部電源方式･チタンリボンメッシュ)

本検討で対象としたチタンリボンメッシュ工法[7]では，配線・装置等の更新が必要となる．本検討では，20年毎に電気配線類の更新が，40年に1回は設置したチタンリボンメッシュ自体の更新が発生するとしてシナリオを設定することとした．

アンケート結果では，鋼材に対して耐久性を向上させる方策としてエポキシ樹脂塗装鉄筋を導入している構造物が多く見受けられた．エポキシ樹脂塗装鉄筋は極めて高い防食性が期待されており，厳しい塩害環境下でコンクリート構造物の耐久性を大きく向上させる材料である．しかし，塗膜は鋭利な物等で傷がつきやすく，塗膜が損傷した場合，損傷箇所の鉄筋は無被覆の状態となることに留意する必要がある．

なお，本検討においては検討の対象外としたが，桟橋には数多くの部材・部位が存在する．例えば，渡版については，稼動しやすいように桟橋上部工に鋼製の受材が埋設される場合があるが，一般的に，メッキや塗装が施された鋼材を用いることが多い．しかし，通常は渡版で確認できない状態になっている上に，桟橋上部工下面からも点検がしづらく，劣化の発見が困難な部位である．また，一部が桟橋上部工コンクリートの中に埋め込まれているため，補修も容易に実施できない．そのため，例えばステンレスなど高耐久性材料を予め用いることで，維持管理の省力化を図ることが可能となる．このように，桟橋上部工以外の部材・部位，附帯設備等についても，高耐久材料等の導入によって維持管理の省力化を図ることができると考えられる．

4) 補修工法および実施時期の設定

維持管理レベルⅠと設定された桟橋上部工の部材は，設計供用期間中は対策を実施しないこと，そして維持管理レベルⅡでは損傷劣化が軽微な段階で対策を実施することが前提となる．本検討では，維持管理レベルⅡの部材の補修工法について，文献[8]を参考に断面修復および表面塗装工法，電気防食工法，打替えを維持管理シナリオの対象とした．断面修復工法および電気防食工法の実施時期については，後述する細部設計において確認される塩化物イオンの侵入によるコンクリート中の鉄筋腐食の発生時期から設定した．また，表面塗装工法は断面修

復工法と合わせて実施するものとし，適用後15年毎に再補修(塗装の撤去・塗直し)が必要となるとして設定した．さらに，打替えは，コンクリート中の鉄筋の体積減少率が5%となる時期[9]に実施するものと設定した．

(2) 維持管理シナリオの設定

以上の条件に基づいて，本検討では表-1の維持管理シナリオを設定した．

4. 維持管理シナリオに応じた桟橋上部工の細部設計

(1) 桟橋上部工の細部設計

表-1で設定した維持管理シナリオに対してLCCを算定するため，桟橋上部工の細部設計を行った．主な設計条件は表-2のとおりである．

(2) 塩化物イオンの侵入によるコンクリート中の鉄筋腐食の発生の確認

3. (1) 3)において示したように，桟橋上部工ではコンクリート中への塩化物イオンの侵入により設計供用期間中に鉄筋(鋼材)腐食が発生しないことを確認すれば，材料劣化による部材の性能の低下は生じないと判断してよい[2]．したがって，維持管理シナリオに応じて，塩化物イオンの侵入による鉄筋腐食の発生の有無および時期の確認を行った．具体的には，床版の下側鉄筋および梁の下側鉄筋の表面における塩化物イオン濃度が，設計供用期間の75年間に鉄筋腐食発生限界濃度に達するか否か，または到達する時期を確認した．なお，鉄筋腐食発生限界となる塩化物イオン濃度は2.0kg/m^{3}と設定した．

塩化物イオンの侵入による鉄筋腐食の発生の確認の結果を表-3に示す．Case1およびCase2の床版については，同一のかぶりを有する梁の下側鉄筋の確認結果が，設計供用期間の75年間経過しても鉄筋腐食発生限界濃度に達しなかったため省略した．また，Case3については，鉄筋位置における塩化物イオン量の多少に関わらず，鉄筋腐食は発生しないものとした．Case4～6については，梁は15年経過後，床版は44年経過後に鉄筋腐食発生限界濃度に達すると算定された．なお，Case5については，鉄筋腐食発生限界濃度に達して以降，梁下側鉄筋の体積減少率が5%となる時期は23年経過後と算定[9]された．

表-1 設定した維持管理シナリオ

Case	維持管理レベル	初期建設時の対策等	設計供用期間中の対策工法等
1	I	エポキシ樹脂塗装鉄筋	—
2		普通鉄筋＋埋設型枠	—
3		普通鉄筋＋電気防食	—
4	II	普通鉄筋	①断面修復＋表面塗装 ②断面修復＋電気防食
5		普通鉄筋	打換え
6		普通鉄筋＋点検歩廊	断面修復＋表面塗装

表-2 主な設計条件

項目	設計条件	備考
潮位	H.WL+2.36m L.WL ±0.00m	
設計水深	-12.0m	
桟橋平面形状	20.0^{B}m×25.0^{L}m	
照査用震度 K_{hk}	0.18	レベル1地震動
上載荷重	永続時，接岸時，牽引時：20.0kN/m^2 レベル1地震時：10.0kN/m^2	
設計耐用年数	75年	

表-3 鉄筋位置における鉄筋腐食発生の確認結果

Case	維持管理レベル	初期建設時の対策等	照査結果(75年後) 梁	照査結果(75年後) 床版	設計供用期間中の対策等
1	I	エポキシ樹脂塗装鉄筋	$\gamma_i C_d/C_{lim}$=0.44≤ 1.0	省略	対策は不要
2		普通鉄筋＋埋設型枠	$\gamma_i C_d/C_{lim}$=0.00≤ 1.0	省略	対策は不要
3		普通鉄筋＋電気防食	鉄筋腐食は発生しない	鉄筋腐食は発生しない	対策は不要
4	II	普通鉄筋	$\gamma_i C_d/C_{lim}$=4.44>1.0 (15年目に超過)	$\gamma_i C_d/C_{lim}$=1.29>1.0 (44年目に超過)	①断面修復＋表面塗装 ②断面修復＋電気防食
5		普通鉄筋			打替え
6		普通鉄筋＋点検歩廊			断面修復＋表面塗装

5. 桟橋上部工のLCC算定

(1) ライフサイクルコストの算定の方針

構造物のライフサイクルコスト(LCC)は，通常，次の式(1)で示される[10].

LCC=初期費用+運用･維持管理費用+解体･撤去費用 (1)

ここに，初期費用：施設の計画・設計・建設に要する費用，運用･維持管理費用：施設の運用および点検等の維持管理に関する費用，解体･撤去費用：施設の解体および撤去に要する費用

本検討では，桟橋上部工のLCCとして，以下の①～④を計上した.

①初期費用

4. (1)**桟橋上部工の細部設計**の結果を受け，維持管理シナリオ毎にコンクリートおよび鉄筋，型枠等の数量を算定し，費用を計上した.

②対策工法にかかる費用

設計供用期間中に実施する対策工法の費用. 4. (1)**桟橋上部工の細部設計**の結果を受け，維持管理シナリオ毎に設定した対策工法の材料等の数量を算定し，費用を計上した.

③点検診断にかかる費用

設計供用期間中に実施する点検診断費用. 点検間隔は，2014年3月の維持告示の改正と「港湾の施設の点検診断ガイドライン」[9]における詳細定期点検診断の実施時期の考え方を参考に，一般定期点検診断を3年間隔，詳細定期点検診断を15年間とした. なお，点検歩廊の設置を想定した維持管理シナリオについては，点検歩廊を活用して容易に点検診断を実施することが可能であるため，一般定期点検診断に要する費用は計上せず，詳細定期点検診断の費用のみ計上することとした.

④運用にかかる費用

電気防食を運用するための電気代を計上した.

LCC算定に用いた積算基準類は「港湾請負工事積算基準(国土交通省港湾局，2013年3月)」，「土木工事標準積算基準書(国土交通省，2013年4月)」等であり，積算基準類に記載の無い項目についてはヒアリング等で対応した.

各維持管理シナリオのLCCは，1バース250m(1スパン25m×10スパン)を対象として算定し，直接工事費および直接業務費のほか諸経費および消費税(8%)を含むこととした. また，各工法の将来的な価格変動については考慮していない.

本検討では，桟橋上部工を建設および維持していくために必要な費用のみを対象としており，事前調査費用や設計費用などは対象外としている. また，維持管理シナリオや初期費用，運用・維持管理費用などは，ある一定の条件の下に設定したものである. ここで設定したシナリオ，各費用が，実際の桟橋上部工のすべてに当てはまるものではなく，LCC算定結果は本検討の条件下においてのみの結果であることを付記する.

(2) 桟橋上部工のLCC算定結果

1) 各費目の算定結果

図-2は75年間に必要となる総費用を示したものである. また，表-4は75年間に必要となる各項目の費用と全体に占める割合および安価となる順位を示したものである. 各費目の特徴を以下に述べる.

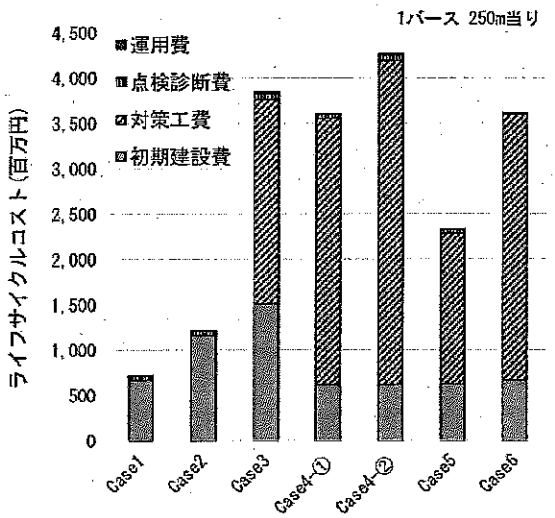


図-2 桟橋上部工の各ケースにおけるLCC

表-4 桟橋上部工のライフサイクルコスト算定結果一覧

	Case1		Case2		Case3		Case4-①		Case4-②		Case5		Case6	
初期建設費	671 92.4%	5	1,165 95.5%	6	1,512 39.3%	7	622 17.2%	1	622 14.6%	1	622 26.6%	1	668 18.5%	4
対策工費	0 0.0%	1	0 0.0%	1	2,252 58.5%	4	2,932 81.3%	5	3,569 83.5%	7	1,657 71.0%	3	2,932 81.1%	5
点検診断費	55 7.6%	2	55 4.5%	2	70 1.8%	7	55 1.5%	2	67 1.6%	6	55 2.4%	2	15 0.4%	1
運用費	0 0.0%	1	0 0.0%	1	15 0.4%	7	0 0.0%	1	12 0.3%	6	0 0.0%	1	0 0.0%	1
合計	726 100.0%	1	1,220 100.0%	2	3,849 100.0%	6	3,609 100.0%	4	4,270 100.0%	7	2,334 100.0%	3	3,615 100.0%	5

上段：1バース250mに要する金額(百万円)　下段：各費用が全体に占める割合　右段：各費用の順位

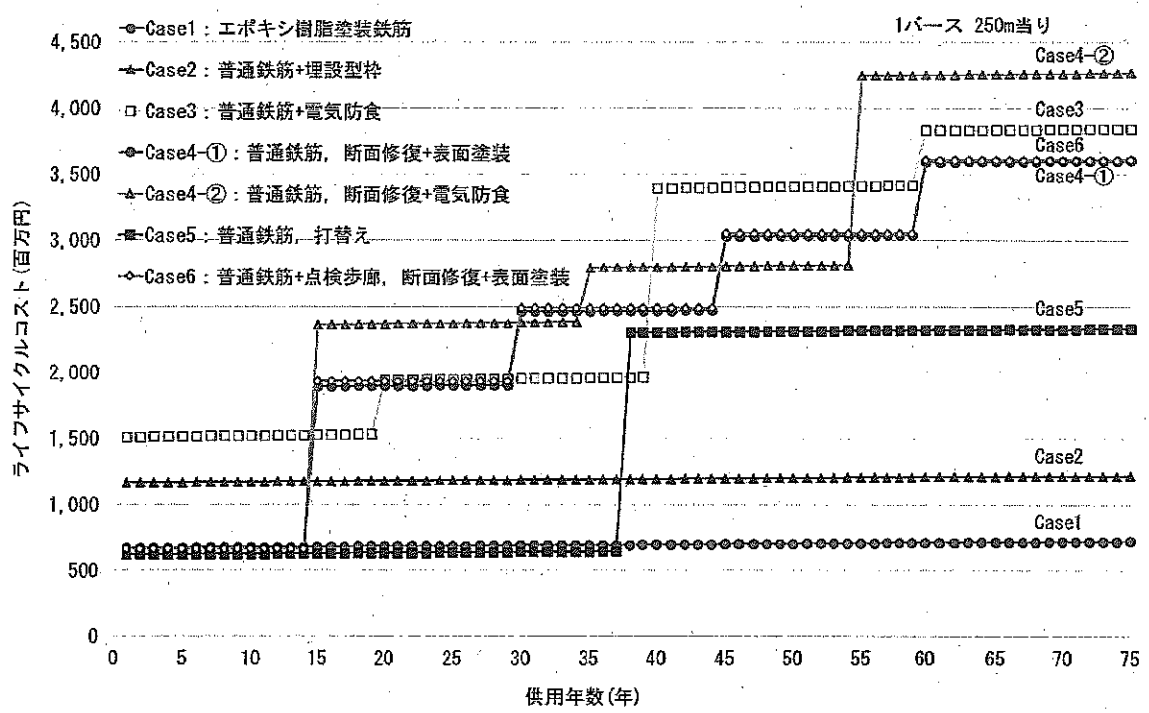


図-3　年数経過における桟橋上部工のLCC推移

①初期建設費

初期建設の段階で方策を行っているため，Case1～3および6が高額となっている．また，Case1および2は初期建設費が全体の90%を超えている．

②対策工費

Case1および2は対策工費が発生していない．対策工を必要とするケースについては，対策工費が全体の約60～80%を占めている．

③点検診断費

点検診断費が占める割合は全体の1~6%程度であった．電気防食を行うCase3およびCase4-②が，他のケースより金額が高くなっている．これは，桟橋上部工の点検診断とは別に電気防食の電源装置等の保守点検を毎年実施するためである．また，Case6が最も安価となっているのは，点検歩廊を活用して容易に点検診断を実施することが可能であるため，3年に1回実施する一般定期点検診断に要する費用を計上しなかったためである．

④運用費

電気防食を行うCase3およびCase4-②で必要となる電気代であり，全体に占める割合は0.5%程度であった．

⑤総費用

今回設定した維持管理シナリオの中では，Case1が最も安価となった．また，維持管理レベルⅡの中ではCase5が最も安価となった，Case4-①，6の費用差はわずかであった．

2)各ケースの特徴

図-3は75年間の年数経過におけるLCCの推移を示したものである．各ケースの特徴を以下に述べる．

①Case1(維持管理レベルI，エポキシ樹脂塗装鉄筋)

最もLCCが安価となったシナリオである．対策工費および運用費が不要であり，点検診断費(全体の約8%)のみ必要である．

②Case2(維持管理レベルI，普通鉄筋＋埋設型枠)

Case1と同様，対策工費および運用費が不要であり，点検診断費(全体の約5%)のみ必要である．

③Case3(維持管理レベルI，普通鉄筋＋電気防食)

建設後20，40，60年目に電気防食装置等の更新を実施するため，対策費によりLCCが増加することが分かる．1回あたりの対策工費用は高額ではあるが，20年に1回の対策工であることから，その頻度を考慮すれば，対策の実施による施設の利用への影響は，他のケースと比べて小さいと考えられる．

④ Case4-①(維持管理レベルII，普通鉄筋，断面修復＋表面塗装)

建設後15，30，45，60年目に対策工を実施するためLCCの増加が見られた．建設後15年目は，断面修復および表面塗装による対策であり，それ以降は表面塗装の再補修である．設計供用期間中4回に分けて対策を行うため，対策工費が分散されているといえる．

⑤ Case4-②(維持管理レベルII，普通鉄筋，断面修復＋電気防食)

今回のシナリオ中，LCCが最も高額となった．建設後15，35，55年目に対策工を実施するためLCCの増加が見受けられた．建設後15年目は電気防食の適用およびそれ

に伴う断面修復による対策であり，それ以降の対策はCase3と同様に電気防食装置等の更新である．Case4-①と比べてLCCの全体額は大きいが，対策の規模と頻度を考慮すれば，対策の実施による施設の利用への影響は他のケースと比べて小さいと考えられる．

⑥Case5(維持管理レベルII，普通鉄筋，打替え)

建設後38年目に対策工を実施するため，LCCの増加が見られた．対策工の実施回数が1回であるため費用が集中することとなった．しかし，対策工の回数が1回のみであるため，対策の実施による施設の利用への影響は小さいと考えられる．

⑦ Case6(維持管理レベルII，普通鉄筋＋点検歩廊，断面修復＋表面塗装)

Case4-①と対策工に関する特徴は同じである．しかし，点検歩廊を活用することで早期に劣化を確認できることから，点検診断結果に応じたシナリオ修正により，LCCを縮減できる可能性がある．

6. まとめ

本検討では，桟橋上部工を対象として6ケースの維持管理シナリオを設定し，LCCの観点からの各ケースの優位性を検討した．本検討で設定した維持管理シナリオの場合，維持管理レベルⅠであればCase1のエポキシ樹脂塗装鉄筋，維持管理レベルⅡであればCase5の打替えのLCCが最も低くなった．しかし，本検討は，決してエポキシ樹脂塗装鉄筋や打替え以外の工法を否定するものではない．本検討では，ある一定の条件の下に維持管理シナリオや各種費用を設定しており，ここで示したLCC算定結果は本検討で設定した条件下においてのみ成立する．例えば，施工中にエポキシ樹脂が損傷し期待される耐久性が得られなくなるリスクを避けるため，埋設型枠が採用された例もある[2]．また，電気防食は，鋼材腐食の発生を確実に防止できる工法であり，その効果を長期間維持させることも可能である[7]．以上のように，実際に桟橋上部工の維持管理シナリオを検討するにあたっては，各ケースで設定した工法の技術的難易度や実施に要する期間，部材の設計供用期間を越えての利用の検討が可能である等，各々の特徴を踏まえる必要がある．また，LCCの観点に加えて，想定される対策工法の特徴や施工性，施設の利用への影響，周辺環境に与える影響なども考慮しながら，下部工および附帯設備等の維持管理シナリオを踏まえつつ，構造物全体としてシナリオを設定することが重要である．

7. あとがき

平成26年6月27日に，技術基準の部分改訂がなされ，設計における維持への配慮に関する記述の充実，ならびにコンクリート構造部材の耐久性を向上させる方策が追記された．これらを技術的に補完するための資料とすべく，ライフサイクルマネジメント支援センターホームページでは，「設計における施工及び維持への配慮」に関する事例，ならびに「コンクリート構造部材の耐久性を向上させる方策(案)」について最新の情報を提供している[11, 12]．本検討ならびにホームページでの最新情報が，今後の港湾施設の戦略的な維持管理の実現の一助となれば幸いである．

参考文献

1) 国土交通省:予防保全計画について，第4回「港湾施設の維持管理等に関する検討会」，資料2-⑥，2013

2) 岩波光保，加藤絵万，川端雄一郎:維持管理を考慮した桟橋の設計手法の提案，港湾空港技術研究所資料，No.1268，2013

3) 野上周嗣，加藤絵万，川端雄一郎，佐藤徹:桟橋上部工の維持管理シナリオに関する検討，港湾空港技術研究所資料，2014，(印刷中)

4) 国土交通省:港湾の施設の点検診断ガイドライン，第1部総論，2014

5) 国土交通省港湾局:今後の港湾施設の維持管理等の課題に対する対応方針，2014

6) 国土交通省港湾局監修:港湾の施設の技術上の基準・同解説，日本港湾協会，2007

7) 社団法人土木学会：電気化学的防食工法設計施工指針(案)，コンクリートライブラリーNo.107，2001

8) 横田弘，山内浩，加藤絵万，岩波光保:既存桟橋のライフサイクルシナリオに関する検討，港湾空港技術研究所資料，No.1114，2005

9) 古玉悟，田辺俊郎，横田弘，浜田秀則，岩波光保，日比智也:桟橋の維持補修マネジメントシステムの開発，港湾技研資料，No.1001，2001

10) 国土交通省港湾局監修:港湾の施設の維持管理技術マニュアル，財団法人沿岸技術研究センター，2007

11) 独立行政法人港湾空港技術研究所(2014)：「設計における施工及び維持への配慮」に関する事例，http://www.pari.go.jp/unit/lcm/sekkeijirei.html

12) 独立行政法人港湾空港技術研究所(2014)：コンクリート構造部材の耐久性を向上させる方策(案)，http://www.pari.go.jp/unit/lcm/concrete.html

道路橋の伸縮装置における漏水対策の検討について

田村　正樹[1]・菊地　淳[2]・千葉　洋[3]

[1]東北地方整備局　東北技術事務所　維持管理技術課　（〒985-0842 宮城県多賀城市桜木3丁目6-1）

[2]東北地方整備局　東北技術事務所　維持管理技術課　（〒985-0842 宮城県多賀城市桜木3丁目6-1）

[3]東北地方整備局　東北技術事務所　維持管理技術課　（〒985-0842 宮城県多賀城市桜木3丁目6-1）

近年、鋼道路橋の桁端部では、伸縮装置の止水材が脱落し、塩分を含んだ漏水が主桁に流れ込み、著しい減肉を伴う腐食による主桁の孔食や座屈などの損傷が橋梁定期点検で確認されている。このため、鋼道路橋の長寿命化対策として、伸縮装置の止水対策が急務となっている。本報告では、伸縮装置に作用する「押し込み力」に着目し、現地確認による損傷実態調査や載荷試験などにより、積雪寒冷地域の伸縮装置（鋼製の櫛形フェースプレートで荷重を支持する製作ジョイント及び製品ジョイント）に求められる要求性能について取りまとめを行った。

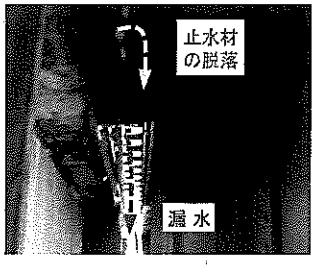
キーワード　鋼道路橋，桁端部，伸縮装置，押し込み力

1．はじめに

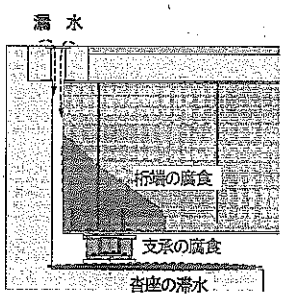
東北地方は大半が積雪寒冷地に指定され、また自動車依存度が高い地域である。一方、平成５年のスパイクタイヤ使用禁止に伴い、冬季には凍結抑制剤の散布が不可欠となっており、今後も道路橋などの構造物は厳しい腐食環境が継続すると推測される。

近年、鋼道路橋の桁端部では、伸縮装置の止水材が脱落（写真－１）し、塩分を含んだ漏水が主桁に流れ込み、著しい減肉を伴う腐食（図－１）による主桁の孔食や座屈などの損傷が見られている。

本稿では、積雪寒冷地域の伸縮装置（鋼製の櫛形フェースプレートで荷重を支持する製作ジョイント及び製品ジョイント）に求められる止水性能について、載荷試験などにより検討した内容について報告するものである。



写真－１　止水材の脱落

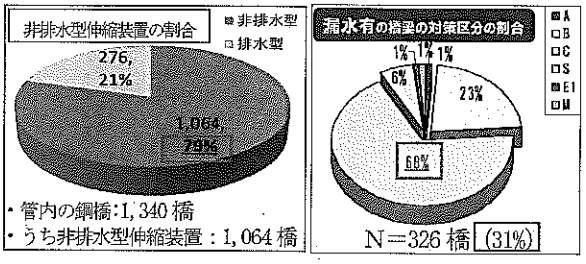


図－１　桁端損傷の概念図

2．伸縮装置からの漏水と損傷状況

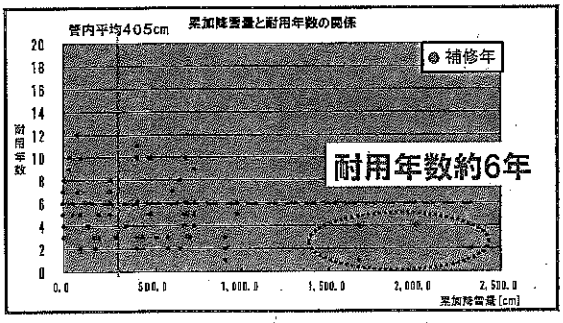
(1) 定期点検結果

東北地整管内の鋼道路橋では、非排水構造の伸縮装置を平成２年頃から採用しており、約８割の橋梁で非排水型伸縮装置が採用されている。定期点検結果によると、このうち約３割で既に漏水が確認されており、漏水を起因とする腐食損傷により「速やかに補修が必要（C判定）」と診断された橋梁が約７割を占めている。伸縮装置からの漏水が、橋梁に悪影響をもたらしていることが分かる。（図－２）



図－２　鋼橋における橋梁定期点検結果(H18～H22)

また、過年度に伸縮装置を交換した橋梁（補修履歴が確認できた104橋）について、交換後に漏水が発生するまでの期間を整理してみると、平均６年程度で非排水機能が失われていることが分かった。（図－３）



図－３　非排水型伸縮装置の耐用年数

(2)現地調査による実態調査

漏水原因の把握のため、速やかに補修が必要（C判定）と診断された橋梁から、伸縮装置（非排水構造）の漏水が確認された85橋を抽出し、状況を調査した。

その結果、漏水が発生する原因としては、止水材の脱落や後打ちコンクリートの不具合・止水材の接合不良などが確認できたが、発生原因の半数は止水材の脱落によるものであった。（図－４）

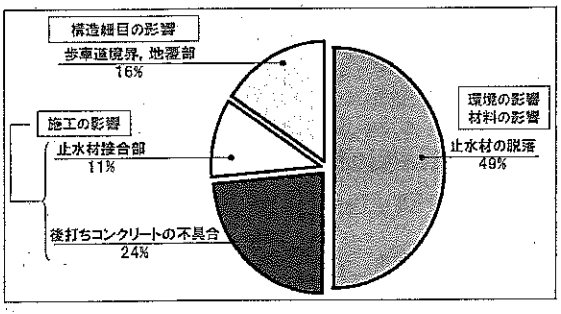
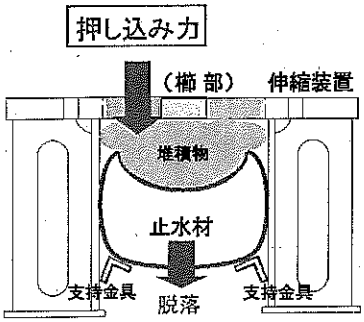


図-４　現地調査による漏水の原因分析

(3)止水材の脱落原因

現地調査結果より、止水材が脱落する原因は、フィンガー部に雪や土砂が堆積・凍結した所に、大型車両等が止水材を押し込み（以下：押し込み力）、脱落に至ってしまうものと推定した。

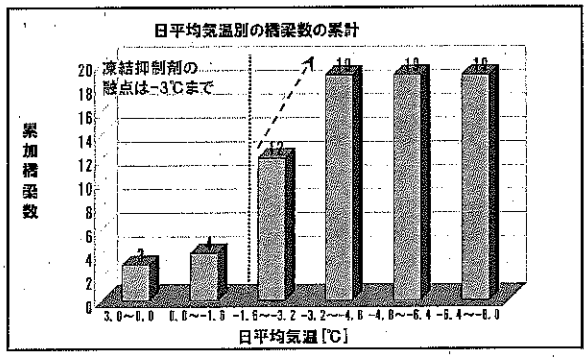
また、支持金具が設置されているものは、漏水により支持金具が腐食し、金具もろとも外れ落ちるという状況がほとんどであった。（図－５）



図－５ 止水材の脱落原因

止水材が脱落した要因を環境要因で分類すると、路面が凍結する温度帯に位置する橋梁で多い傾向となっていた（図－６）。また、累加降雪量が多い地区、構造特性としては桁遊間が100mmを超える橋梁においても、漏水の発生が顕著となっていることが分かった。

そこで、桁遊間量が比較的広く、低気温で降雪量の多い地域に位置する鋼橋６橋を抽出し、載荷試験により押し込み力を定量的に計測することとした。

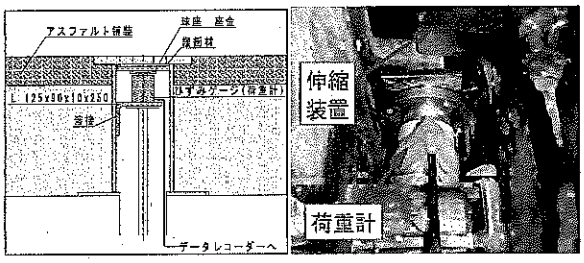


図－６ 日平均気温別の橋梁数

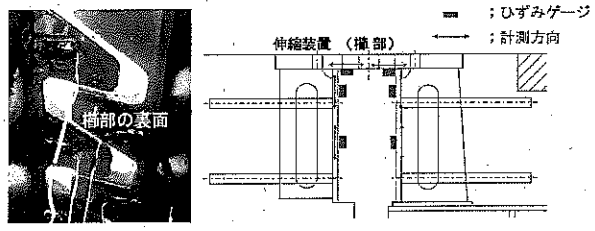
３．載荷試験による押し込み力の計測

伸縮装置止水材に作用する鉛直荷重は、遊間部に雪または土砂が堆積して、除雪作業時のブレード圧や車両通行時の輪荷重が止水材を押し込む力と、同じく車両通行時に伸縮装置の櫛部フェースプレートにひずみが生じて止水材を押し込む力の２つを想定した。

計測は、積雪期に車両の通行帯に位置する伸縮装置下面に圧縮型の荷重計（図－７）及びひずみゲージ（図－８）を設置して計測した。



図－７ 荷重計による押し込み力の計測



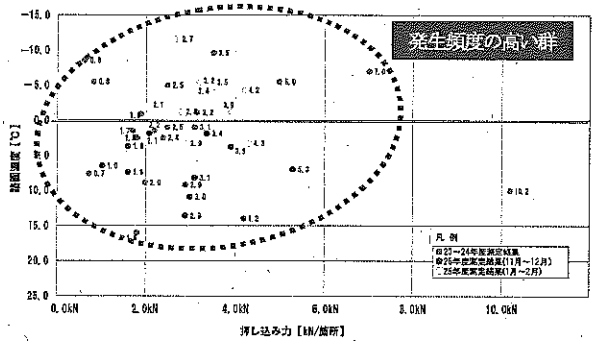
図－８ 伸縮装置に発生するひずみ計測

(1)押し込み力の計測

押し込み力の計測は、フィンガー部に雪や土砂が堆積・凍結する状態を再現し、路面が凍結する条件、凍結しない条件の各種パターンで載荷試験を実施した。

その結果、押し込み力の計測値（図－9）は、発生頻度の高い群としては大きくて7kN/箇所（0.5m×0.2m）であった。

路面温度が低下する条件下では、伸縮装置の遊間部の雪または土砂が凍結し、輪荷重の鉛直力が止水材に直接伝達され、大きな押し込み力を生じさせたものと推測される。また、路面温度が0℃以上の場合であっても、土砂堆積などにより、押し込み力が生じていると推測される。



図－9　押し込み力測定結果（kN/箇所）

(2)伸縮装置に発生するひずみ

伸縮装置の櫛部フェースプレート変位について、静的載荷試験（ダンプトラック20t）により発生するひずみを計測した。フェースプレートに発生するひずみは、最大28～29 μm（56～58＜140N/mm2）で許容応力度の4割程度となった。また、走行速度40km/h による動的載荷試験により衝撃の影響についても計測したが、33 μm（66＜140N/mm2）であった。このことから、伸縮装置櫛部の変形が止水材に及ぼす影響はほとんどないものと考えられる。

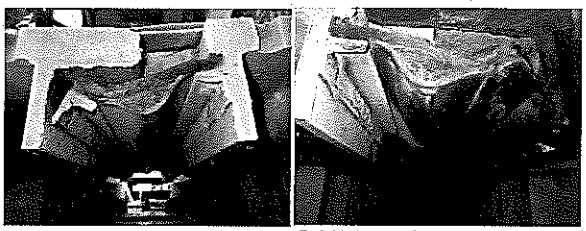
4．既設橋の切り出し部材及び供試体による載荷試験結果

伸縮装置の押し込み抵抗力や変形・破壊特性を把握するため、既設橋から切り出した供試体と、一般的な製作タイプ及び製品タイプを再現して製作した供試体を用いて、載荷試験（静的載荷）を実施した。

(1)既設橋切り出し部材による載荷試験結果

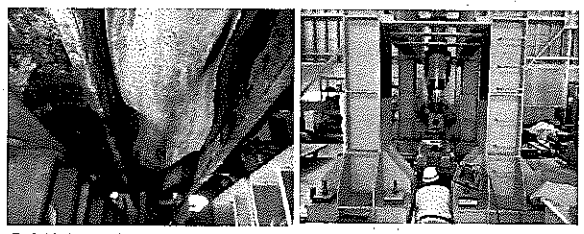
試験に用いた供試体は、既設のＰＣ橋から切り出した製品ジョイントで、鋼製フィンガープレートの下はシール材と支持金具で構成されている。試験は支持金具に着目し、冬季の最大遊間（55mm）を再現するとともに、支持金具の取り付け方法を①腐食のない溶接（現状のまま）、②点付け溶接を再現したもの（溶接ビード厚を1/2に切削）、③支持金具を撤去したものを用いて、静的載荷により押し込み抵抗力の確認を行った。

試験の結果、シール材の接着力のみ(③)では1.0kN/箇所であり、押し込み力に抵抗できないことが分かった。また支持金具がある場合（①、②）も、20～30kN/箇所であり、支持金具の取り付け方法や溶接の品質、腐食の進行により脱落する可能性があることが分かった。（写真－2）



①支持金具：加工なし
・載荷荷重0～27kN;アングル変形
・載荷荷重31kN;支持金具溶接割れ

②支持金具：溶接ビード1/2切削
・載荷荷重0～10kN;アングル変形
・載荷荷重24kN;アングルの変形が両端に到達



③支持金具：撤去
・載荷荷重1.0kN;シール材接着切れ

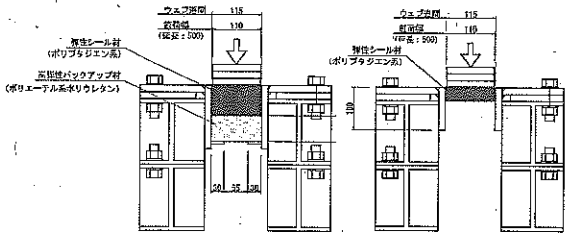
載荷試験の状況

写真－2 既設橋の切り出し部材による載荷試験

(2)製作した供試体による載荷試験結果

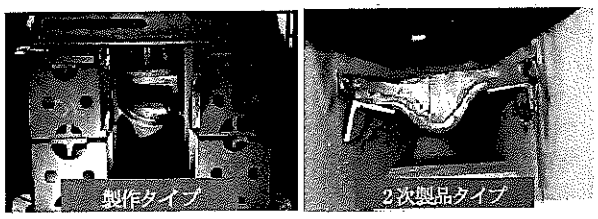
次に、シール材の充填厚に着目し、一般的な製作タイプの供試体（シール材厚さ70mm）と２次製品タイプの供試体（シール材厚さ15, 35, 50mm）を作成し、静的載荷により押し込み抵抗力の確認を行った。

試験の結果、製作タイプで18～34kN/箇所、２次製品タイプで5～14kN/箇所で、シール材が厚い方が押し込み抵抗力は大きい結果となった。（図－10、写真－3）



製作タイプ　　２次製品タイプ

図－10　供試体の概要



写真－３ 供試体による載荷試験状況

既設橋の切り出し部材及び供試体による静的載荷試験は、実橋状態とは幾分異なるが、伸縮装置の止水機能をシール材の接着のみに依存するタイプでは、積雪寒冷地域での採用は困難と考えられる。

また、変形・破壊特性については、全ての供試体で支持金具に変形が生じる時点でシール材が完全に切れる（止水機能の喪失）ことはなく、支持金具の破壊に伴いシール材が脱落する破壊パターンが確認された。押し込み力に対して、支持金具が有効に機能していると考えられる。

なお、シール材にも押し込み抵抗力があるが、シール材は施工品質のバラツキが大きく、疲労（温度変化・回転・振動）や耐久性（劣化速度）も明確でないことから、支持機能は支持金具に、止水機能はシール材にそれぞれ機能を分担させることで、要求性能の整理を行うこととした。

５．積雪寒冷地の伸縮装置に求められる要求性能（案）

(1) 支持金具の耐荷性能、耐久性能【支持機能】

・圧雪や土砂の堆積、及びこれらの凍結による止水材の押し込み力に対して確実に支持できる構造とする。

⇒最大押し込み力：7kN/箇所を支持できる構造。

・また、車両の通行や雨水の浸入に対して十分な耐久性を有する構造とする。

⇒支持金具の防食対策（腐食代など）、疲労対策（ボルト接合など）を考慮する。

(2) シール材の耐久性能【止水機能】

・車両の通行や雨水などの進入に対して十分な耐久性、防水性を有する構造とする。

⇒シール材は出来るだけ厚いもので、必要な品質規格[1),2)]を満足するものを採用する。

・シール材に漏水があっても、二次止水機能によって漏水を防止できる構造であること。

⇒二重止水構造を基本とする。

(3) その他止水機能

現地調査による漏水の原因分析を踏まえ、押し込み抵抗力以外に必要な性能は以下のとおりである。

・後打ちコンクリートからの漏水がないこと。

⇒後打ちコンクリートの充填性確認、バックアップ材を埋設型枠としての使用禁止、図面によるはつり範囲の明確化。

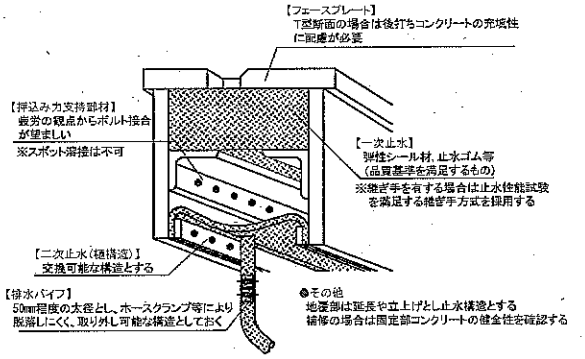
・歩車道境界、地覆部からの漏水がないこと。

⇒伸縮装置の延長、立ち上げ。

・止水材の接合部からの漏水がないこと。

⇒図面による継手部詳細構造の明確化、止水性能試験による確認[3)]。

・施工、維持管理及び補修の容易性に配慮した構造とすること。



図－11 非排水型伸縮装置の構造概要（イメージ図）

６．おわりに

積雪寒冷地の伸縮装置に求められる要求性能について、冬期における押し込み力に着目し、現地調査による損傷実態把握や載荷試験などにより取りまとめを行った。東北地整管内では、本稿の考え方に基づき、既に試行工事が始まっていることから、完成後は定期点検などで経過観察を行い、損傷の有無や耐久性について検証していく予定である。

今後も引き続き、定期点検で得られた知見を基に、既設橋における不具合を繰り返さない、また新設橋に持ち込まないような取り組みを推進し、橋梁の長寿命化を図っていきたいと考えている。

参考文献

1) NEXCO 東日本：構造物施工管理要領.
2) 北海道土木技術会：北海道における鋼道路橋の設計および施工指針.〔第１編〕設計・施工編.
3) NEXCO 東日本：NEXCO 試験方法　第４編　構造関係試験方法

ＰＦＩ手法を用いた東京国際空港国際線地区エプロン等整備等事業における維持管理について ～大規模補修工事の実施～

桐原　憲一郎[1]

[1]関東地方整備局　東京空港整備事務所　事業調整課　（〒144-0041 東京都太田区羽田空港3-3-1）.

ＰＦＩ手法を用いた公共事業が各所で実施されるようになってきたが，大規模な土木工事では東京国際空港国際線地区エプロン等整備等事業が全国初となる事業である．本事業では設計費，整備費，維持管理費，大規模補修費，金利，事業者の開業に伴う費用等を維持管理期間中（25.5年間）に国がＳＰＣ（本事業のためだけに設立された「特別目的会社」）に支払うこととした．

本事業ではＰＦＩ手法を導入したことにより，民間のノウハウを活用し，施設整備だけでは無く，効率的な維持管理および関連した大規模補修工事を実施している．

キーワード　PFI，エプロン，維持管理，大規模補修工事

1. はじめに

年間約６，０００万人が利用する東京国際空港では新成長戦略（平成２２年６月１８日閣議決定）等に基づき，２４時間国際拠点空港化を推進し，発着容量４４．７万回及び国際線９万回への増枠等を達成するため，空港機能・利便性等の更なる向上を進めている．空港の基本施設のうちエプロン（航空機駐機場）の一部（図-1）については効率的な整備・維持管理のために，民間の資金及びノウハウを活用するＰＦＩ手法を導入しており，平成26年10月までに順次３７スポット（箇所）が供用される予定であり，既にその大部分が維持管理段階に入っている．

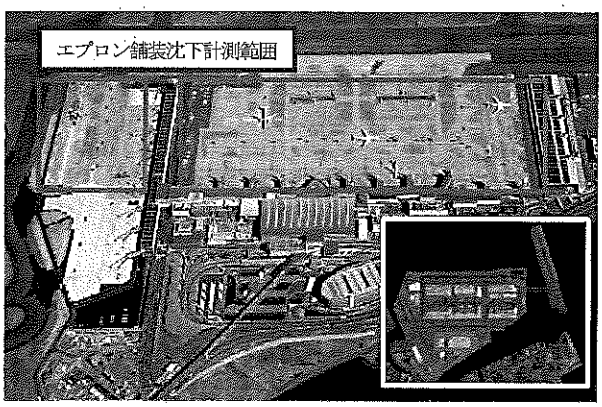


図-1　エプロンPFI事業エリアと沈下観測範囲

2. PFI手法による維持管理

維持管理業務の基本的な項目は入札時に要求水準書で示されており，ＳＰＣはその項目に沿って維持管理業務計画を策定し，H47.3.31まで維持管理を実施する．

今回ＰＦＩ手法を導入したことにより，この維持管理業務計画にも民間のノウハウを活用した．その一つとして予防保全の考え方を適切に取り入れ，最重要構造物であるエプロンについては，航空機の通行経路となる箇所を予防保全対象施設として，健全度評価によりエプロンの舗装勾配や耐久性に影響を及ぼす予兆が見られる段階から，大規模補修工事の必要性について検討をおこなっている．

維持管理業務開始以降，定期的にエプロン舗装の沈下状況をモニタリングし，実測値と解析値を比較し沈下傾向を把握している．また，定期的にモニタリングを行う中で，勾配が緩くなる傾向があり，降雨後に水溜りが数日間発生する箇所があるため，排水勾配修正を目的とした大規模補修工事を平成25年10月～平成26年3月にかけて実施することとした．

3. エプロン舗装沈下計測結果

(1)地盤の状態

エプロン舗装施工前の事業用地内には，高さ5～10mの仮置土（既設盛土）が存在しており，さらに直下の施設への影響抑制のために軽量盛土を採用した範囲もあ

り（図-2），エプロン舗装等の増加荷重に対して不同沈　下が発生し易い状況であった．

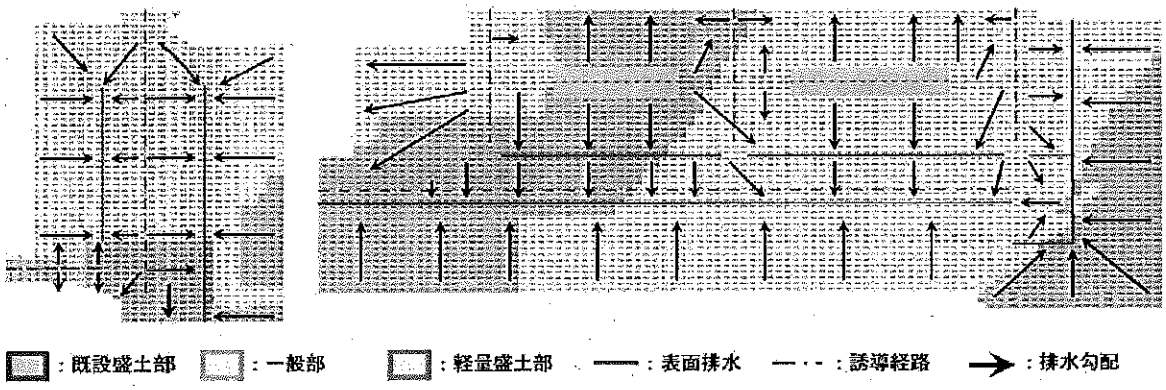


図-2　平面エリア分割及び排水勾配

(2)沈下予測値と実測値の比較

既設盛土部と一般部それぞれに対して地盤物性を整理した上で，地盤物性のばらつきを考慮できるモンテカルロシミュレーションを用いて複数回（20 回）の沈下予測結果を算出し，得られた結果をもとに維持管理期間中の大規模補修工事計画を策定した．現在，施設の引き渡し（平成 21 年 9 月）から 5 年程経過し，その間 1 年に 1 回程度の頻度でエプロン NC 舗装の沈下計測を実施してきている．図-3 に，引き渡しから 3.5 年間（平成 21 年 9 月～平成 25 年 4 月）の予測沈下量と実測値を示す．実施設計時に予測した通り，既設盛土部及び軽量盛土部と一般部の沈下量に明確な差が発生しており，全体的な沈下の傾向としては予測通りであると考えられる．しかしながら，沈下量の絶対値に着目すると場所によって差が出てきており，今後，沈下予測を見直す必要がある．

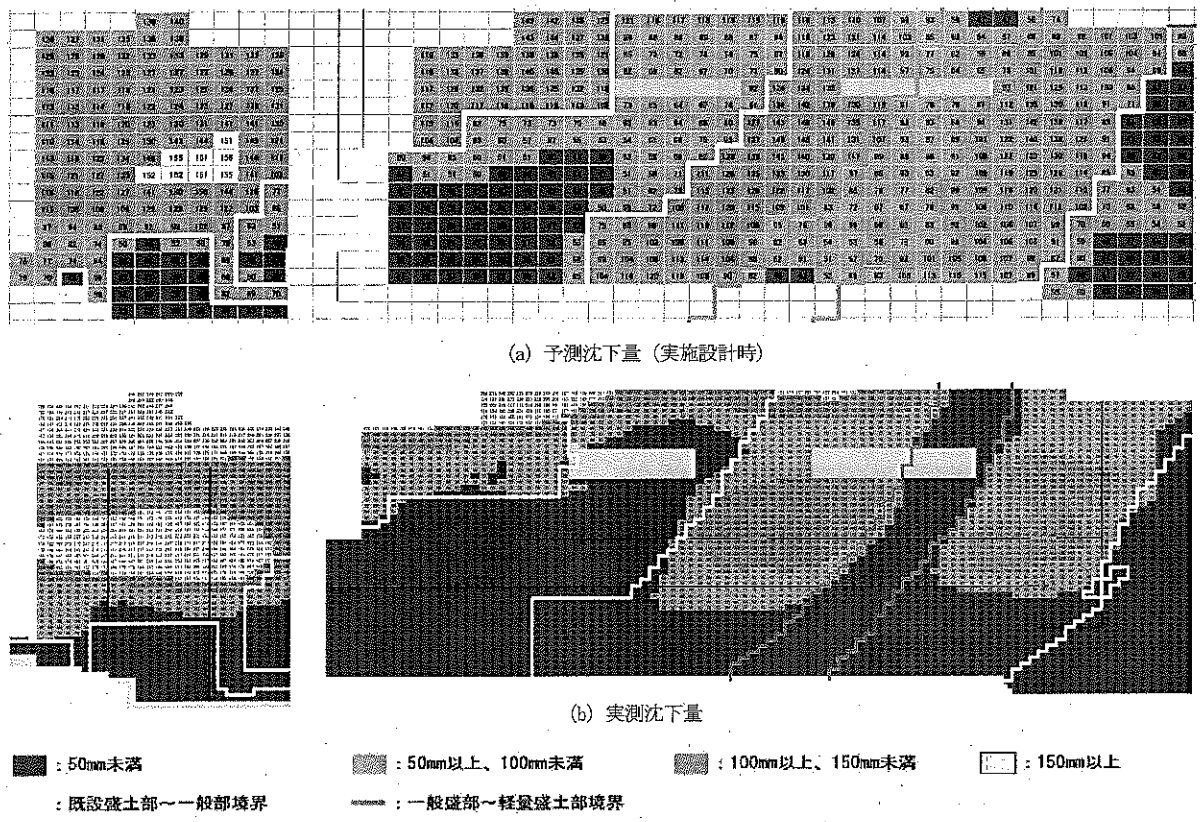


図-3　予測沈下量と実測値との比較（引渡しから 3.5 年間）

図-4，図-5に，地形図に本事業用地を重ねた図を示す．図-4は昭和20年の地形図であり，羽田空港の埋め立て前の海岸線が分かる図面である．図-3の予測沈下量と実測値を比べると，もともと陸地であったエリアについては，予測沈下量よりも実測値の方が小さいが，海側のエリアについては，実測値の方が大きい．

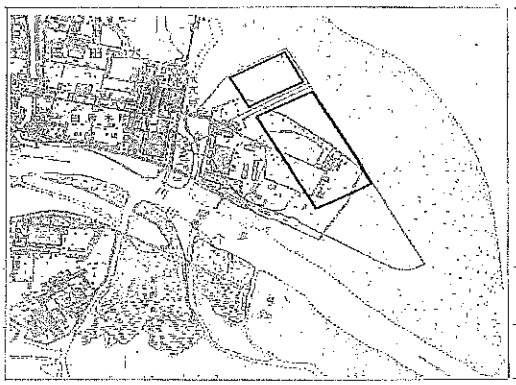


図-4　地形図（昭和20年）

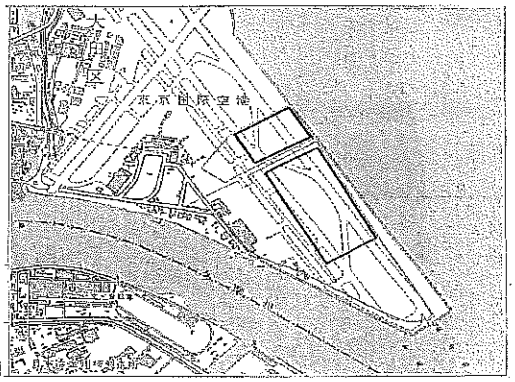


図-5 地形図（昭和41年）

特に北側エプロン東側（図-6 の左上部分）については，25cm 程度の沈下が発生しており，不同沈下シミュレーション 20 回試行の最大値よりも若干大きめの沈下となっている．また，沈下が大きいエリアのうち，旧 C 滑走路があった箇所（図-5 参照）については，周囲と比べて沈下量が小さい．実施設計時の地盤物性値の整理段階においては，特に旧 C 滑走路部の物性値は他との差が見られなかったため，予測値では前記の差が表現できていない．なお，既設盛土部に挟まれた幅 20m 程度の一般部については，不同沈下の発生が懸念されていたが，既設盛土部と同様沈下は小さくなっている．

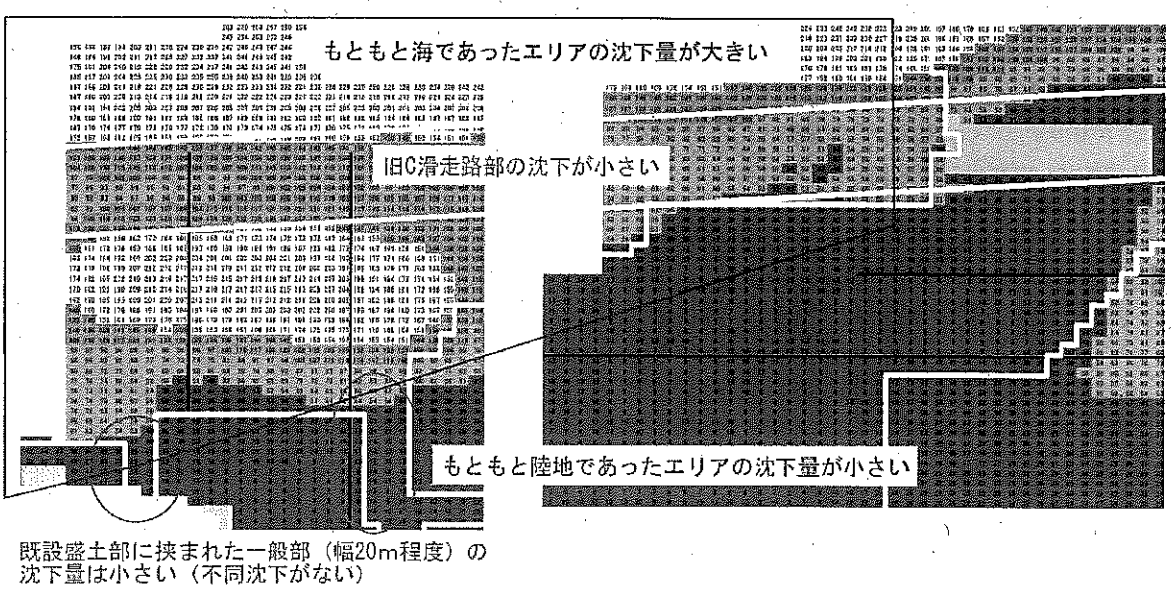


図-6　沈下量実測値拡大図（引渡しから3.5年間）

4. 大規模補修箇所の設定

図-7 は，平成 25 年 6 月に見直した大規模補修工事計画の平面図である．図中の青ハッチング箇所が勾配修正，緑ハッチング箇所が NC 舗装のひび割れに対する補修計画箇所である．前述の通り北側エプロン東側エリアの沈下量が大きく，かつ旧 C 滑走路部の沈下量が小さいため，不同沈下の影響により適切な排水勾配が確保できないエリアが発生した．そこで，平成 25 年度及び平成 26 年度にそれぞれ 1 スポットの勾配修正工事を追加している．勾配修正に対しては，沈下の実測値を踏まえて時期及び範囲の計画を見直すことは比較的容易であるが，NC 舗装のひび割れに対する補修範囲及び時期については，より詳細な検討が必要であり，蓄積されたデータをもとに見直しをかけていく必要がある．

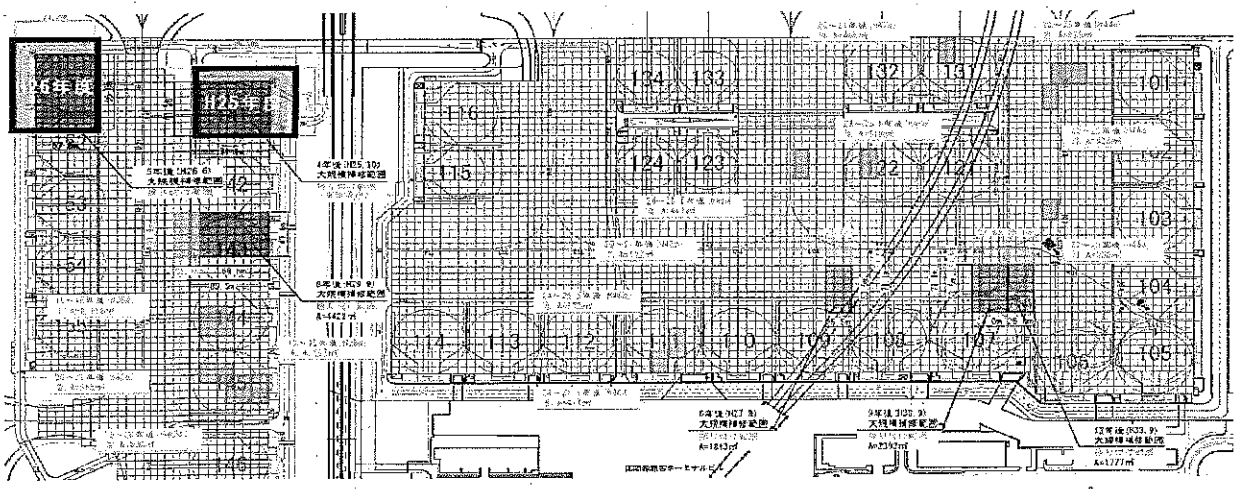


図-7　大規模補修工事計画（平成 25 年 6 月見直し）

5. 大規模補修工事の設計

(1)概要

施設の引渡しと同時に開始している維持管理業務において，維持管理業務計画に基づき，エプロン舗装の勾配管理（管理値 0.3～1.0%）のため年 1 回水準測量を行っているが，供用後 3 年経過した時点で図-3-1 の赤枠のエリア（以下，勾配修正エリア）において地盤の不同沈下により排水勾配が緩くなり，降雨後数日間水溜りが残る様になった．そのため，大規模補修工事計画を見直し，既設エプロン舗装の勾配修正工事を行うこととした．

本章では，将来に亘る勾配確保のための嵩上げ量の設計と実施工における嵩上げ量管理について述べる．

(2)嵩上げ量の設計

勾配修正エリアは，図-8 の青矢印方向に排水勾配が設定されていたが，地盤の不同沈下により，当該箇所の排水勾配が緩くなり，水溜りが生じ易くなっていた．そこで，将来に亘り排水勾配を確保するため，表面排水溝（下流側B点）から一番遠いエプロン端部（上流側A点）を結んだライン（図-8 の太い青矢印．以下，勾配検討ライン）を対象とし，嵩上げ量の検討を行った．

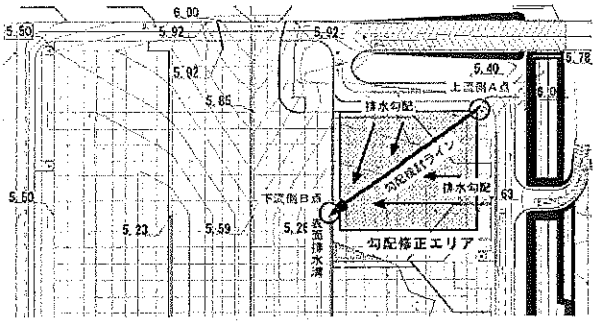


図-8　勾配修正エリア位置図

エプロン水準測量結果より，勾配検討ラインの沈下量を予測し，嵩上げ量を決定した．沈下予測手法としては，実測沈下量から将来沈下量を予測するのに一般的に利用される双曲線法を用いた．地盤の圧密沈下が収束すると思われる供用 10 年後を目安に，エプロンの規定勾配が確保できることを目標とし嵩上げ量を設定した．(図-9)

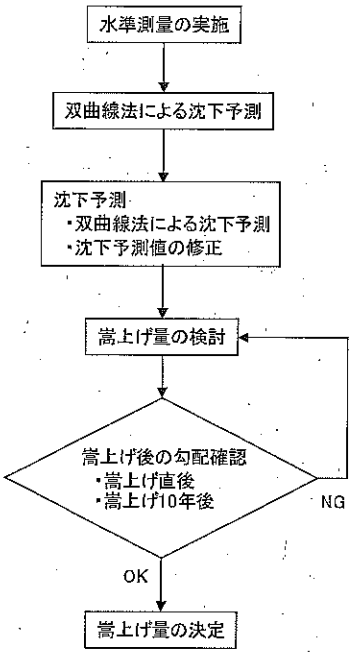


図-9　嵩上げ量検討フロー

(3)嵩上げ量の検証

修正予測沈下量を用いて，供用10年後においても0.4%程度の勾配を確保できるよう嵩上げ量を検証した結果を図-10に示す．その結果，嵩上げ直後の勾配を0.5%となるように嵩上げを行うこととした．

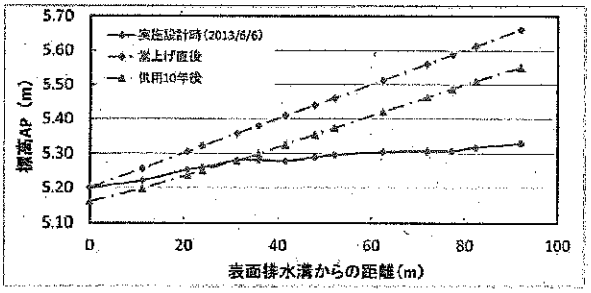


図-10　嵩上げ後の勾配検証（修正沈下予測値）

6. 大規模補修工事の施工

(1)概要

施工方法は，既設コンクリート面に接着剤を塗布し新旧コンクリートを一体化させる薄層付着オーバーレイ工法(平成 18 年実施設計時に試験施工を行い実証済)を採用した．工事概要は下記のとおりである．

施工位置：141番スポット　(図-11)
施工面積：4370m² (延長61.500m×幅員71.050m)
嵩上げ高さ：50 mm～333 mm (平均嵩上げ高さ105 mm)
工事期間：H25.10.3～H25.12.24 (ｺﾝｸﾘｰﾄ嵩上げ工)
コンクリート打設回数：17回
1施工当りの施工面積：260m² (延長61.5m，幅員4.25m～3.55m)
1施工当りの打設数量：(12m³～40m³　3m³/h～11m³/h)

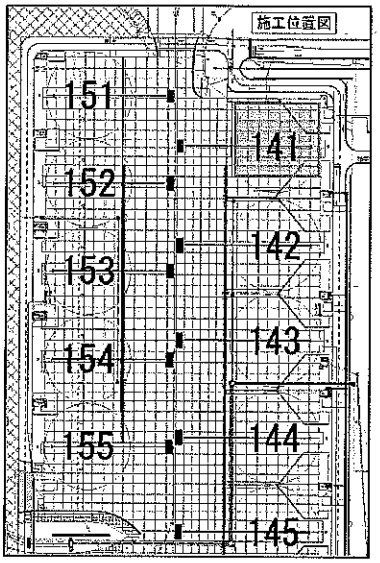


図-11　施工位置図

(2)施工方法

施工方法は下記のとおりである．

既設コンクリート版 切削

コンクリート嵩上げ最少厚さ50 mm (粗骨材の最大寸法 (20 mm) の2.5倍以上) を確保するよう0 mm～50 mm既設舗装版の切削を行う．

研掃

新旧コンクリートの付着性を高めるため，研掃 (150kg/m²) を行う．

型枠・レール設置

今回の施工は，コンクリート厚さが50 mm～333 mmと厚さが一定でないため，木製型枠 (50 mm～100 mm) とライナープレート (1 mm～10 mm) を組み合わせることにより不均一な嵩上げ高さに対応した (写真-1)．

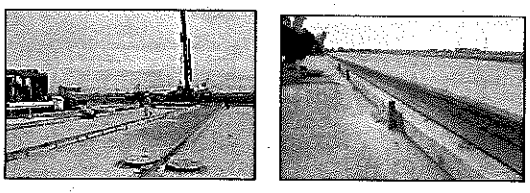


写真-1　型枠設置状況

接着剤塗布

本工事においては，塗布機械を使用し施工を行った．人力による施工では塗りむらや塗布量のロス率（約 40%）等の問題もあったが，塗布機械を使用することにより塗りむらもなく，ロス率は約 8%程度に抑えることができた（写真-2）．

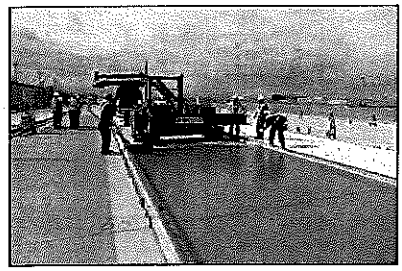


写真-2　接着剤塗布状況

コンクリート打設

接着剤が乾燥する前にコンクリート打設を終える必要があるため，打設完了時間に重点をおき現場管理を行った．（写真-3）

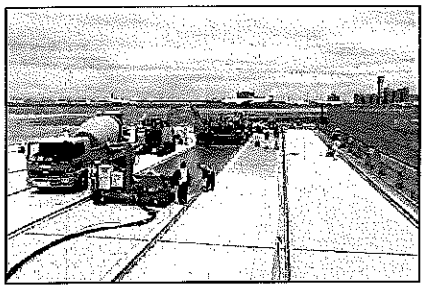


写真-3　コンクリート打設状況

施工完了

施工完了状況（写真-4）と運用状況（写真-5）

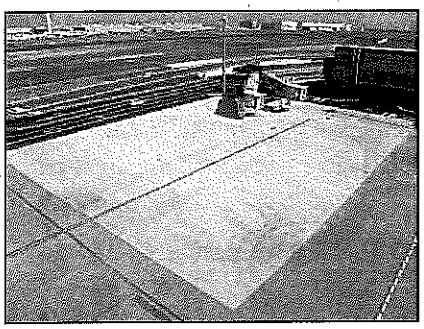


写真-4　施工完了



写真-5　運用状況

7. 結果

設計段階における大規模補修工事計画は，エプロンの規定勾配からの逸脱については不同沈下シミュレーションにより，大規模補修箇所の範囲と時期を推定し策定した．

その後の実際に大規模補修工事を行う際には，健全度の評価基準をもとに協議の上決定し，平成25年度には初めて，勾配修正のための大規模補修工事を実施することができた．

一方で大規模補修工事が不急の箇所については実施時期の見直しを行うことができ，適切な時期に適切な範囲で大規模補修工事が実施できた．

このことからＰＦＩ手法を導入したことにより，効率的な維持管理ができたと考える．

8. 課題

今後，維持管理期間中に数回の大規模補修工事が予定されている．今回は空港の運用面での制限はそれほど多くなかったため，大規模補修工事をスムースに実施できたが，全スポットが供用されてからの大規模補修工事は供用しながらの対応となるため実施に制限がかかることが想定される．

空港の運用面で制限を受けつつも，効率的な大規模補修工事を実施するために各関係者と調整を進めていくことが必要である．

また，予測沈下量と実測値にはズレが発生することから，合理的な大規模補修工事計画策定のために，モニタリング結果をどの様に大規模補修工事計画にフィードバックしていくかが今後の課題と考える．

舞鶴港における将来計画を見据えた岸壁の老朽化対策に関する技術的検討について

川端　稔教[1]

[1]近畿地方整備局　神戸港湾空港技術調査事務所　設計班（〒651-0082兵庫県神戸市中央区小野浜町7-30）.

舞鶴港第２ふ頭地区岸壁（水深-9m、施設延長330m）は，ケーソン式岸壁70mと桟橋式岸壁260mから構成されており，特に桟橋式岸壁はのうち176mは，1929年から1938年に築造された既設重力式岸壁の前面にコンクリートウェル(※1956年から1958年施工)を脚柱とした横桟橋を採用している．他方，当該岸壁は，市街地に近く利便性が良いことから近年はクルーズ等の旅客船バースとしての利用も多く，港湾計画では，水深-10mの位置付けがなされており，将来の増深計画への対応も見据えた形での老朽化対策に関する技術的検討が必要となった．

キーワード　設計，老朽化対策，予防保全

1.　はじめに

舞鶴港（図-1）は，本州日本海側のほぼ中央に位置する重要港湾で，京都府北部の地域開発拠点として，また近畿の日本海側の門戸港として重要な役割を担っており，その歴史は古く，1898年軍港の建設に着手して以来，海軍基地として整備され栄えている．

今回の対象施設となる「舞鶴港第２ふ頭地区岸壁（水深-9m）330m」は，西港地区に位置している．西港地区は，商港として発展し 1908 年から 1913 年にかけて第１ふ頭地区を埋立完成させて以来，昭和初期から太平洋戦争直前まで当時の朝鮮・満州との対外貿易で物資の交流が盛んに行われてきた．

対象施設は，第２ふ頭地区に 1929 年から 1938 年にかけ整備され，現在もその当時築造された重力式岸壁を土留め護岸として利用し 1956 年から 1958 年年台に延長 176m をコンクリートウェル杭（以下「コンクリートウェル部」という）による桟橋式構造により築造し，現在 56 年が経過している状況である．またこの他にも対象施設の 84mは鋼管杭（以下「桟橋部」という）による桟橋式構造で増深改良，70m を重力式構造（以下「ケーソン部」という）で延伸され，現在，水深-9m，延長 330m，岸壁 2 バースとして，完成自動車，紙・パルプ，セメント等を取り扱い利用されている．

他方，当該岸壁は，市街地に近く利便性が良いことから近年はクルーズ等の旅客船バースとしての利用も多く，外航・内航クルーズ需要に対応するため，港湾計画では，昨年（2014 年 12 月）旅客船埠頭として水深-10m，延長

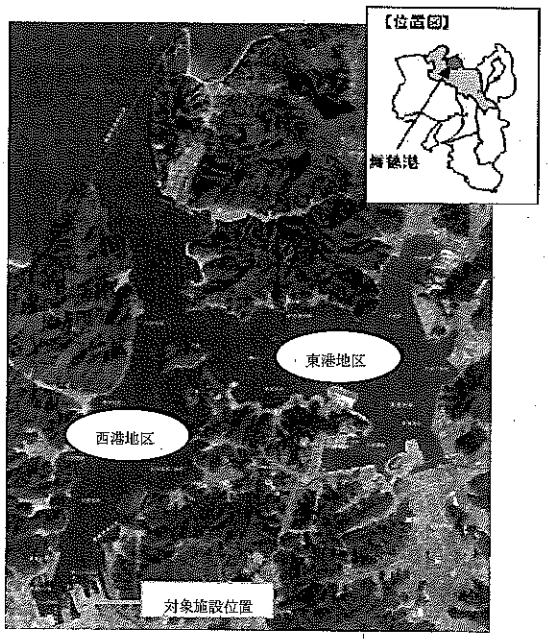


図-1　舞鶴港全景

330mの岸壁 1 バースとして計画決定されたところである．

このような状況から，これら老朽化した構造物を適切に評価した上で老朽化対策を実施し，更には，港湾計画の変更により，将来計画を見据えた形での検討を行うことが必要となった．

本稿では，施設の現況調査結果に基づく施設の変状及び劣化状態に関する評価の扱い，対策工の選定に至るまでの検討プロセス及び技術的課題とその対応等について報告する．

2. 基本設計の設計方針

(1) 設計する上での適用基準

港湾施設を維持していくには，港湾の施設の技術上の基準・同解説[1]（以下「港湾基準」という）や港湾の施設の維持管理技術マニュアル[2]に基づき，自然状況，利用状況や将来計画，重要度，施設の構造形式や構成する部材の構造特性などに基づき，適切に維持していく必要がある．

また維持管理は，施設を構成する構造物又は部材が保有する性能が要求されるレベルを下回ることのないように，維持管理計画に定める供用期間において継続して実施すべきものとなっている．

一方，老朽化対策を実施する場合，設計当時の基準を満たすように実施するが，杭の打ち替え等構造に影響が出る場合は現行基準を満たすよう設計する等，施設の置かれている状況に応じて実施する必要がある．

このため今回老朽化対策の実施にあたり以下の3点に注目して検討を行った．

① 施設は，これまで増深・延伸を行うため経過年数の異なる複数の構造物によって構成されている．
② 施設中央部に位置するコンクリートウェル杭は，築造後56年を経過する等，老朽化の懸念がある．
③ 現在貨物を取り扱っているが，将来旅客船ふ頭として，増深する計画がある．

対象施設は，ケーソン部（本体部：築造後30年）70m，コンクリートウェル部（本体部：築造後56年）176m，桟橋部（本体部：築造後23年及び44年）84mと3つの構造形式の区間から構成され，それぞれ設計年度が違うことから，同一施設内で複数の港湾基準に基づき設計されている状況にある．

このため，維持管理を行うにあたっても補修を実施する場合は，それぞれの整備年度の基準に基づいて行う等施設として同一の港湾基準を用いて維持管理を行えない状況となっている．

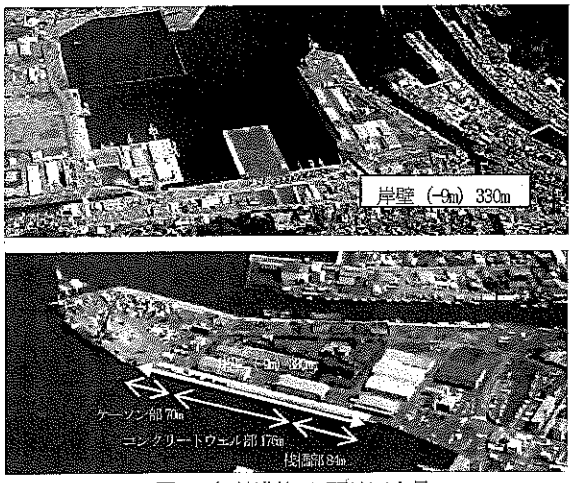


図-2 舞鶴港第2ふ頭地区全景

このため今回の老朽化対策を行う際に，岸壁の更新が施設の大部分を占めるようならば，施設を運用しやすくするため，岸壁全体に現行基準を適用することを含め検討することを提案した．

また対象施設は，事業採択後に将来増深する計画が策定され，本設計においても将来増深した場合に手戻りが発生しないようにする必要がある．

以上より，今後の維持管理を見据えて同一施設を同一の基準で管理し，かつ将来計画を見据えた場合でも手戻りがないよう老朽化対策を実施するとして，施設を現行基準の要求性能を満たすように設計することとした．

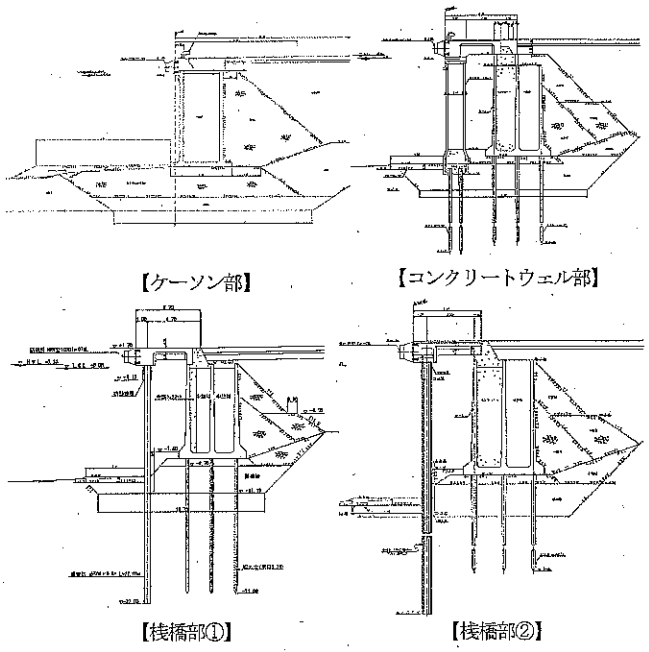


図-3 舞鶴港第2ふ頭地区断面

(2) 施設の現況評価

対象施設は，施設箇所や部材でも整備年度が違うため各施設毎に評価ができるように現況調査を実施し，施設の健全度評価を実施した．

なお今回の調査では，測量（水準測量，法線移動量測量），現地調査（空洞化調査，目視調査，潜水目視調査，鉄筋腐食調査，コンクリート劣化調査，肉厚測定，電位測定，陽極消耗量調査）を実施した．

a) 潜水目視調査結果

潜水目視調査を実施したが，当初，外観に大きな変状等は確認されなかった．しかし，施設の一部が50年以上を経過しているため詳細な調査が必要と判断し，付着物を部分的に除去し，表面の劣化・損傷状況等を更に詳細に点検することとした．その結果，コンクリートウェル杭において，貫通孔や錆汁並びに粗骨材の露出が多数見つかり，また粗骨材露出箇所付近のコンクリートは非常に脆くなっている状態で，コンクリートウェル杭が局所的に劣化していることが判明した．

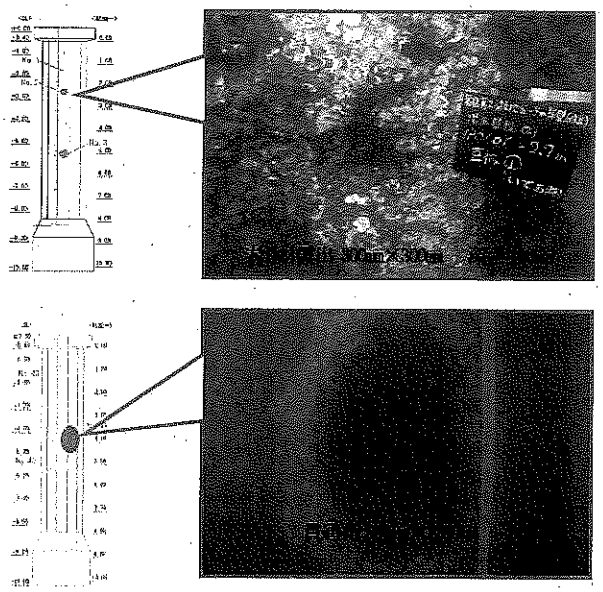
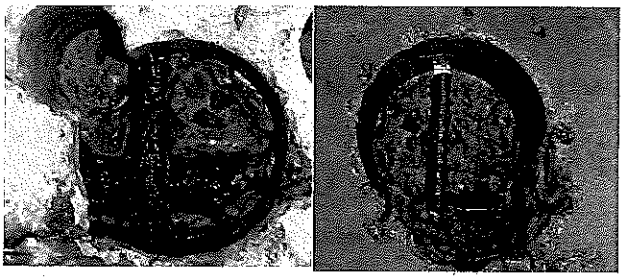


図-4 コンクリートウェル杭状況

b)鉄筋腐食調査結果

はつり試験による鉄筋腐食調査では，コンクリートウェル部で，梁に腐食が確認されたが，桟橋部では，ほぼ確認されなかった．一方，非破壊試験による自然電位測定では，今回の調査箇所全てで90%以上の確率で腐食ありの結果となった．

また桟橋下面の一部では鉄筋が露出している箇所が確認された．



【コンクリートウェル部】　【桟橋部】



桟橋下面部の鉄筋露出状況

図-5 鉄筋腐食調査状況

c)コンクリート劣化調査

圧縮強度試験の結果，全ての箇所で24N/mm2を下回る箇所はなく，コンクリートは健全な状態であることが判明した．

また中性化試験の結果も，当面の間は中性化による腐食が生じる恐れはないと判定された．

塩分含有量試験の結果，多くの箇所で腐食発生限界塩化物イオン濃度2.0kg/m3を上回っており，鉄筋の腐食が進行し易い環境にあることが判明したが，ケーソン部は酸素の供給が極めて少ないため，塩分濃度は高くても鉄筋が腐食する可能性は低いと判断した．

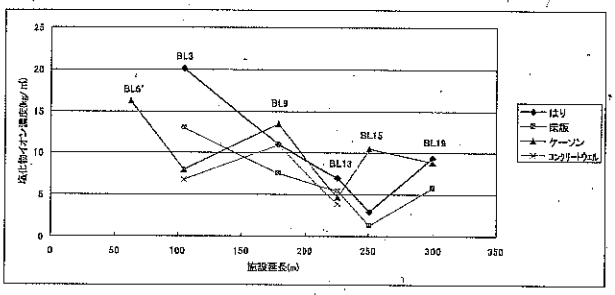


表-1 塩化物含有量分布

(3)　調査結果まとめ

ケーソン部，コンクリートウェル部，桟橋部において現況調査結果からそれぞれ現況評価を実施した．

a)ケーソン部

ケーソン本体は，築造後30年を経過しているが，大きな変状はなく，良好な状態であった．

一方，エプロン部における空洞化調査を実施したところ空洞化が確認される等施設の一部に老朽化対策を実施する必要があることが判明した．

b)コンクリートウェル部

コンクリートウェル杭に800mm×1200mmの貫通孔が見つかる等早急な対策が求められる状況にあることが判明した．

またコンクリートウェル杭の圧縮強度試験結果は十分な強度を示していたものの，陥没箇所や粗骨材露出箇所が多数見つかり，施設の健全度評価をどのように取り扱うかが重要なポイントとなった．

他方，築造後76年を経過している土留め護岸は，外観も大きな変状等は見つからず，塩化物は高い値を示しているものの圧縮試験の結果も十分な強度を有していたため，健全な状態であると判断した．

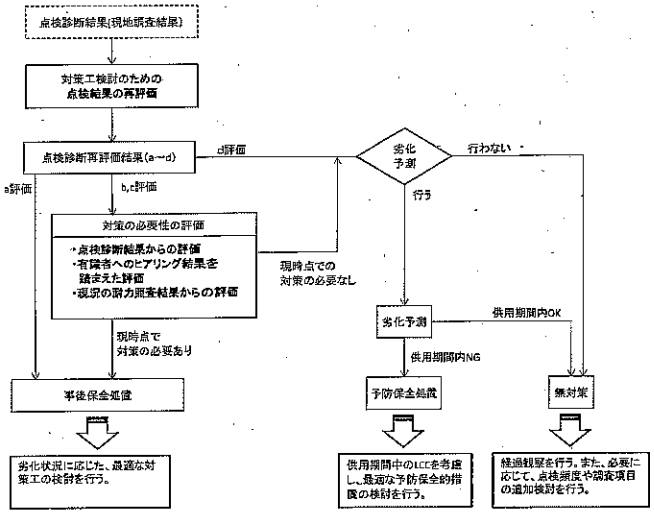
c)桟橋部

桟橋下面部の一部で鉄筋が露出し離れている状況が確認されたが，鋼管杭は健全な状態であり，施設全体としては比較的健全な状態であった．また，塩化物イオン濃度が高いことから老朽化対策として予防保全処置が必要があると判明した．また，土留め護岸はコンクリートウェル部と同様で問題なかった．

3. 対策工の選定

(1) 検討プロセス

対策工の選定に当たり，現地調査結果を元に対策工検討のための点検結果の再評価を実施し，その点検診断再評価結果に基づきそれぞれ部材ごとにa～ｄ評価をつけ，劣化状況に応じた最適な対策工の検討を実施した．



劣化度判定	部位・部材の状態
a	部材の性能が著しく低下している状態
b	部材の性能が低下している状態
c	部材の性能低下はないが、変状が発生している状態
d	変状が認められない状態

表-2 検討フロー

(2) 技術的課題と対応策

コンクリートウェル部におけるコンクリートウェル杭の取扱が非常に難しい状況であった．当初コンクリートウェル杭は，圧縮試験が問題ない結果であったため，健全であると評価することが妥当ではないかと考えた．

しかし，全杭にて潜水目視調査を追加し付着物を除去して杭の状態を確認したところ，コンクリートウェル部に大規模な貫通孔が確認され，現状で耐力を有してない状況が確認されたこと，かつ陥没箇所や粗骨材露出箇所が随所で確認され，その付近は特に脆くなっている状況が確認されていることから，コンクリートウェル杭は非常に劣化が進行している状況ではないかと考えた．

一方，コンクリートウェル杭は他に事例もなく，またコンクリートウェル杭を評価するマニュアル等はない．このため評価の妥当性をどうするかが問題となった．

このため，有識者へヒアリングを実施し，杭の評価の妥当性を確認した上で，適切な評価を行えるようにした．

その結果，コンクリートウェル杭は築造後50年以上経過したコンクリート構造物で，老朽化により脆くなっている箇所がある．また，現在変状がない箇所でも，貫通孔の箇所のように，外力が働いた際に大きな変状に進行する可能性も考えられること．また，粗骨材露出箇所では，錆汁の露出状況やかぶり不足により杭中の鉄筋が腐食し，既に残存耐力を有してない可能性が高いことが考えられたため，部材としての評価をa評価とし事後保全処置が必要であると判断した．

また岸壁の中央に位置し，施設全延長の5割近くを占める重要な構造区間であるため，これらの状況を勘案した結果，施設の性能が低下している状態であると判断し，コンクリートウェル部全体の評価をA評価（施設の性能が低下している状態）とした．

以上から，コンクリートウェル杭については，コンクリートウェル杭を利用した構造検討を検討したが，杭自体の残存耐力を有していない可能性が高いこと，また他に事例もなく今後の維持管理を行いにくいことも含め比較検討を行った結果，部分的な補修対策ではなく，抜本的な対策により補修を行う必要があると判断できたため，撤去・更新することとした．

なおケーソン部では空洞化箇所について事後保全処置を実施し，桟橋部では桟橋上部工において，供用期間中のLCCを考慮しスパン別に対策工法を検討し経済的な対策工法を検討することとした．

(3) 技術的検討結果

今回コンクリートウェル部についてコンクリートウェル杭を利用した構造検討を実施したが，コンクリートウェル杭自体の残存耐力を有していないこと，また他に事例もなく今後の維持管理を行いにくいことも含め比較検討を行った結果，部分的な補修対策ではなく，抜本的な対策により補修を行う必要があると判断できたため，撤去・更新することとし，コンクリートウェル部についても鋼管杭での桟橋式構造を採用することとした．

なおケーソン部は背後を軽量盛土での置換，桟橋部は桟橋上部工に対して変状対策（ひび割れに対する表面処理や剥離・剥落に対する断面修復）や塩化物イオン対策として電気防食工法を行う等の予防保全処置の他，前面深層混合処理及び背後の軽量盛土で要求性能を満たすよう対策を行うこととした．

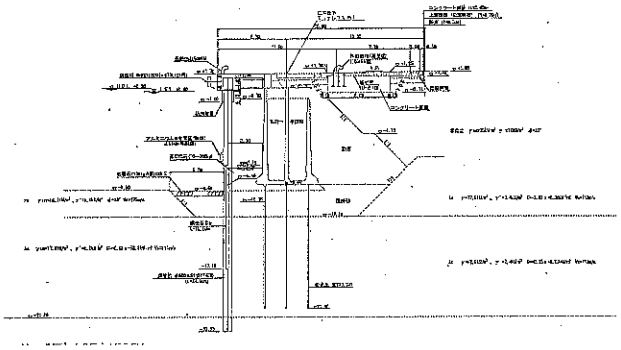


図-6 老朽化対策断面（コンクリートウェル部）

4. 将来計画の確認

通常，岸壁の設計において岸壁前面を増深する場合岸壁前面の土砂等が撤去されることから，岸壁の安定性が悪くなり対策を講じる必要がある．

しかし，本岸壁は現在貨物を取り扱っているが，将来計画では旅客船埠頭としての利用となるため，増深した場合，利用条件が変更され，上載荷重が30KNから10KNへと変わることとなる．

このため，各断面において岸壁の安定性を確認したところ増深した場合でも，特に対策を行わなくても問題ないことが判明した．

よって，今回の老朽化対策を実施することで，将来の安定性も問題ないことが確認できた．

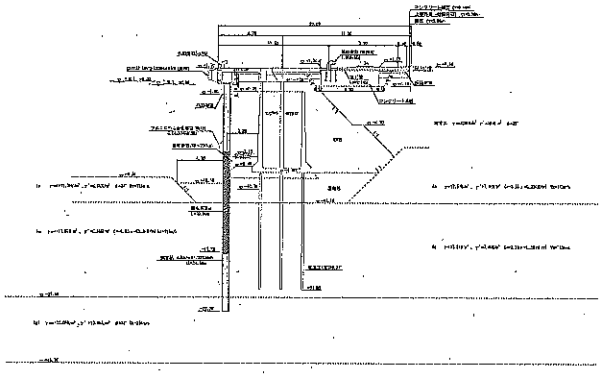


図-7 増深時断面（コンクリートウェル部）

5. おわりに

今回のような将来計画を踏まえた老朽化対策事業は稀であるが手戻り防止を踏まえた検討を行うことは非常に重要である．

また，コンクリートウェル杭を用いた桟橋式構造は他に事例もなく，その技術的評価を判断する手法はない．一方でこのように事例のない構造物を評価していくことは今後もあるため，類似の実績を増やしていき，かつ最新の知見を踏まえ，その知見を反映できるものは反映する等，評価やその対策を行う際に他の施設へもフィードバックしていけるようにしていくことが重要である．

特にこのような施設の評価の取扱は難しく重要で，今回コンクリートウェル杭おいて，適切な評価を行うため，追加調査の実施，施設の再評価，評価の妥当性の確認と何度も検討プロセスを整理しながら検討を行った．今後も老朽化対策を行う上で，今回の検討プロセスに当てはめ、更に更新しながらよりよい結論が導けるように，また，最新の知見を考慮しながら評価していけるようにすることが重要である．

6. 参考文献

1)（社）日本港湾協会；港湾の施設の技術上の基準・同解説　平成19年7月

2)（財）沿岸技術研究センター；港湾の施設の維持管理技術マニュアル　平成19年10月

融雪期に発生する舗装の損傷実態と損傷のメカニズム

丸山　記美雄[1]・安倍　隆二[1]・木村　孝司[1]

[1](独)土木研究所寒地土木研究所　寒地道路保全チーム（〒062-0053 札幌市豊平区平岸1-3）

本研究は，融雪期に発生する舗装損傷のうち特にポットホールに着目し，その発生実態と発生メカニズムを解明して，維持管理対策に役立てることを目的とする．供用中の道路における現地調査等の結果，融雪期にポットホールの発生が多い実態にあり，融雪水の存在，ゼロクロッシング等の気温変化，荷重の作用といった要因が，ひび割れ等の欠陥部に作用することでポットホールが発生するというメカニズムの一端が明らかになり，ポットホール補修対策および予防保全対策を提示した．

キーワード：ポットホール，融雪水，凍結融解，ゼロクロッシング

1. 本研究の背景と目的

積雪寒冷地においては，低温や融雪期の融雪水や凍結融解作用などによって道路舗装が影響を受けるため，積雪寒冷地の舗装を構築するに際しては，積雪寒冷地特有の過酷な条件に耐えるような対策が取られている[1)2)3)4)]．しかし，北海道内の舗装道路の多くが1960～1970年代に構築されており，多くの舗装にダメージが蓄積され老朽化が進んでいると考えられ，今後は損傷が顕在化することが懸念される．また他方では，IPCC第4次報告書[9)]などに示されるように，多くの地域で気温，降雨量などの変動幅が拡大する傾向にあるとの指摘があり，これらの要素が重なる場合，従前よりも融雪期の舗装の損傷が顕著になる可能性は否定できない．

実際に近年では融雪期に発生するポットホール等に関する道路利用者の通報等が増加しているとの指摘がある．道路としての機能を維持し，現在の道路資産を安全かつ安定的に守っていくためには，融雪期に発生する舗装の損傷実態を把握し，損傷の発生要因やメカニズムを明らかにして，融雪期の舗装損傷への対策を取る必要がある．

そこで，融雪期に発生する舗装損傷のうち特にポットホールを検討対象とし，その発生実態や損傷が発生しやすい条件を把握し，発生メカニズムも明らかにして，今後の補修対策や予防対策立案に役立てることを目的に研究を行った．手法として，供用中の道路においてポットホールの発生実態や発生条件を把握するための実態調査を行い，ポットホールを発生させる要因やポットホールの発生メカニズムを検証した．その結果，いくつかの知見を得ることができたので，以下に報告するものである．

2. 融雪期の舗装損傷実態調査

融雪期に発生する舗装損傷には様々なものがあるが，本報ではそれらのうち特にポットホールに着目した．着目した理由は，様々ある損傷形態のうちで，ポットホールが道路利用者にとって最も視認しやすく，その大きさは多くの場合直径数十cm程度で深さは数cm程度と形状的には小さいものの，ひとたび発生すると道路利用者の走行性に直接的かつ即時的に影響し，道路管理上も速やかな対応が求められるなど，緊急度の高い損傷形態であるためである．さらに，ポットホールの発生については，いつどのような場所でどれくらいの量のポットホールが発生するかをこれまでに蓄積された技術的知見のみで判断するのは困難であり，結果として対応も後手に回りがちで，その発生実態やメカニズムについて新たな知見を得る必要があると考えたためである．

そこで，供用中の国道においてポットホール発生状況を調査し，ポットホールの発生実態を分析することで，どのような条件下において舗装が破損する可能性が高いのかを検証した．

2.1ポットホール発生実態調査方法

調査は，遠軽地域と札幌地域の国道で実施した．

遠軽地域においては，国道234号，242号，333号の合計約160km区間における一年間のポットホール発生状況を調査した．調査は基本的に1日おきにいずれかの路線で実施しており，ポットホールの発生が確認された月日と個数を記録し，集計整理した．ポットホールが発生した部位の状況や，ポットホールの発生が確認された日とアメダスデータ等の気象条件の関係の調査も併せて行った．

札幌地域においては，国道337号の約25km区間におけるポットホール発生状況等を1月～3月の間，調査した．調査は1日おきにポットホールの発生を確認して発生月日と個数を集計整理するものと，調査対象区間を1月～3月の間に週1～2回，ポットホールの発生位置や発生状況を詳しく目視調査する形で実施した．

これらの調査結果を基に，ポットホールの発生時期，ポットホール発生部位や発生時の気象条件，さらに，秋の時点におけるひび割れ率を実測と予測に基づいて把握し，1月～3月の間のポットホールの発生状況との対応関係などを調べた．

2.2ポットホール発生実態調査結果

2.2.1ポットホールの発生時期

遠軽管内におけるポットホールの月別発生件数を図-1に示す．ポットホールは2月から徐々に増え始め，遠軽地域の融雪期にあたる3月と4月に発生量が多いことが確認された．また，寒さが厳しい1月に発生していない点も注目される．札幌地域における調査においても，融雪期の2月初旬ころから3月中旬にかけて多くのポットホールが発生し，融雪期にポットホールの発生が多いことが確認できた．

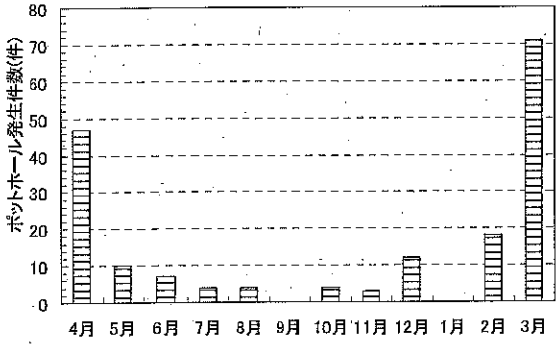


図-1 遠軽地域におけるポットホールの月別発生件数

積雪寒冷地では，一年の中でも特に融雪時期や春先に舗装の損傷が激しくなることが分かり，他の時期に比べて舗装が大きなダメージを受ける時期であることが推察される．参考として，本州など比較的温暖な地域では，ポットホールは6月の梅雨時期や9月10月の台風および秋雨の時期など，雨の多い時期に多く発生するといわれている．今回の調査においては，それらの時期にはあまりポットホールが発生しておらず，温暖な地域とは発生時期が異なる傾向を示している点が特筆される．

2.2.2ポットホールの発生部位

遠軽地域と札幌地域での調査において，ポットホールの発生している部位を整理した結果を図-2，図-3に示す．ポットホールの大半は，何らかのひび割れや施工時の継目等が存在した箇所に発生していることが確認できる．遠軽地域では，疲労ひび割れと横断ひび割れ部に発生したポットホールの割合が約8割を占めている．また，札幌地域では疲労ひび割れ部に発生したポットホールの割合が約9割を占めている．打継目などの施工継目部に発生したポットホールは約1～2割であった．疲労ひび割れ部にポットホールの大半が発生している結果となったが，これは調査対象路線区間が疲労ひび割れの発生量が多い路線区間であったためと考えられ，他のひび割れの発生量が多い区間では，そのひび割れに起因するポットホールの発生割合が多くなるものと推測される．

図-4には，路面のひび割れ率と，ポットホールの発生割合の対応関係を整理した結果を示す．ひび割れ率が高くなるにつれて，ポットホールが発生する割合が高くなることがわかる．つまり，ひび割れ率が高い区間ほど，ポットホールが発生する確率が高いといえる．

以上のようにポットホールはひび割れ部分をきっかけに発生することが多いことがわかった．

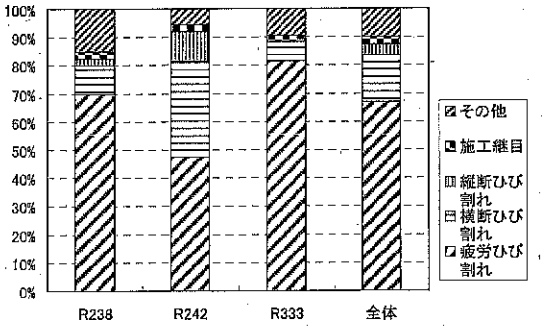


図-2 ポットホールの発生箇所別件数（遠軽地域）

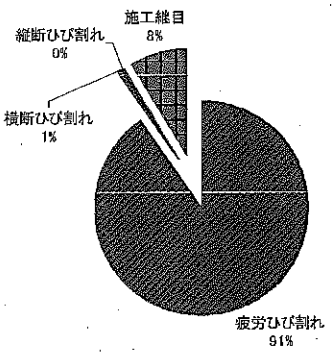


図-3 ポットホールの発生部の路面状況（札幌地域）

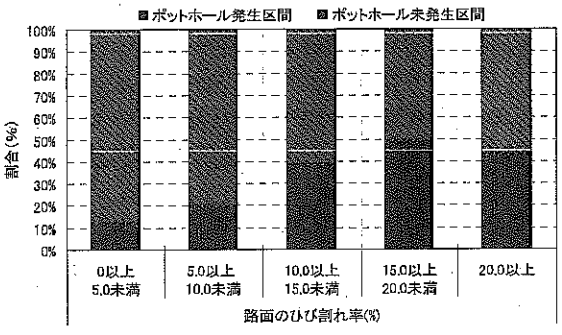


図-4 路面のひび割れ率とポットホール発生の対応関係（札幌近郊）

2.2.3ポットホールの発生時の気象条件

遠軽地域の調査データに対して，ポットホールが発見された日の最高気温と最低気温をプロットした結果を図-5に示す．図中の赤枠で網掛けした範囲は，1日の間に

気温がプラスからマイナスもしくは，マイナスからプラスに変化した(以下，このような気温の変化を「ゼロクロッシング」とよぶ)日であることを意味する．図-5において，大半のデータが赤枠で網掛けした範囲にプロットされていることから，ゼロクロッシングした日に大半のポットホールが発生していることが理解できる．なお，赤枠で網掛けした範囲にプロットされていないもの(調査当日にゼロクロッシングしていないもの)についても，前日もしくは前々日にゼロクロッシングしていることが確認できた．

次に，ゼロクロッシングの発生有無とポットホールの発見の関係を整理した遠軽地域の結果を表-1に示す．ゼロクロッシングが発生した日は，5割や6割程度の高い確率でポットホールの発生がみられるのに比べて，ゼロクロッシングが発生していない日は，ポットホールの発見率は約2割未満となっており，ゼロクロッシングがポットホールの発生に強く影響していることが認められる．気温が0℃をまたいで変化するような気象条件が，ポットホール発生リスクを高める条件の一つであるといえる．

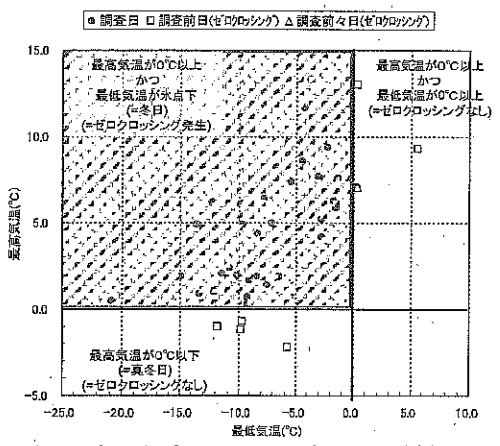


図-5 気温とポットホール発生の関係（遠軽地域）

表-1 ゼロクロッシング発生とポットホールの発生の対応関係（遠軽地域）

		巡回日数	ポットホールの発生日数		ポットホールの発生率(%)
			発生	無	
巡回当日	気温のゼロクロッシング発生	40	24	16	60.0%
	気温のゼロクロッシングなし	38	6	32	15.8%
巡回前日	気温のゼロクロッシング発生	40	23	17	57.5%
	気温のゼロクロッシングなし	38	7	31	18.4%
巡回前々日	気温のゼロクロッシング発生	39	20	19	51.3%
	気温のゼロクロッシングなし	39	10	20	25.6%

2.2.4 ポットホールの発生リスクが高い条件

実態調査で明らかとなったポットホール発生リスクが高い条件を改めて整理すると，図-6に示すとおりである．

これらの条件を満たす場所および時期はポットホールの発生リスクが高いので，道路管理者ならびに道路利用者が留意をすることで，補修体制を確保することやポットホールの発生による道路利用者の不便を減らすことなどに役立てることができると考えられる．

(1) ポットホールが多く発生する時期
→ 融雪期に多い

(2) ポットホール発生時の気象条件
→ ゼロクロッシング発生日およびその1~2日後

(3) ポットホールが発生しやすい部位
→ ひび割れや打継ぎ目等の弱点がある部位
→ 融雪水が流入・滞留しやすい部位
→ ひび割れ率が高い区間や路線

図-6 ポットホール発生リスクが高い条件

3. 融雪水等が舗装体に及ぼす影響の検証

前述の実態調査の結果から，融雪期のゼロクロッシングや融雪水の存在が舗装体に大きな影響を及ぼしている状況がうかがえたため，これらの条件が舗装体にどのような具体の影響を及ぼすのかを検証した．

3.1 凍結融解作用による混合物の強度低下の検証

凍結融解による混合物の強度低下に関しては，これまでにも実験を行っており[2)3)]，その概要を以下に示す．

同じ材料（ストアス80-100，骨材，フィラー）を使用し，配合比率を変化させた細粒度ギャップアスファルト混合物F付き系(SG13F)2種，密粒度アスファルト混合物F付き系(M13F)2種，密粒度アスファルト混合物Fなし系(M13)2種，密粒度ギャップアスファルト混合物F付き系(MG13F)1種の計7種類の混合物を対象として，凍結行程が+4.5℃→−18℃で2時間，融解行程が−18℃→+4.5℃で1時間の計3時間を1サイクルとして凍結融解を所定の回数繰り返し，その後に空隙率の測定を行った．

凍結融解作用に伴う空隙率の変化を図-7に示す．細粒度ギャップアスファルト混合物F付き系(SG13F)2種と密粒度アスファルト混合物F付き系(M13F)2種は空隙率3%～4%の範囲内で推移しており，凍結融解作用による影響をあまり受けていない．一方，密粒度アスファルト混合部物Fなし系(M13)2種と密粒度ギャップアスファルト混合物F付き系(MG13F)は4%以下の空隙率が5%以上程度に増加しており，凍結融解作用の影響を受けていることがわかる．

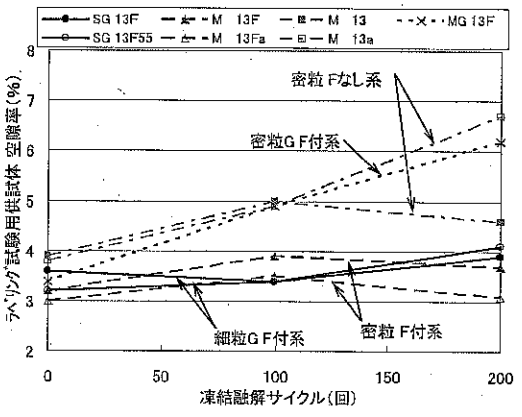


図-7 凍結融解試験後の空隙率の変化

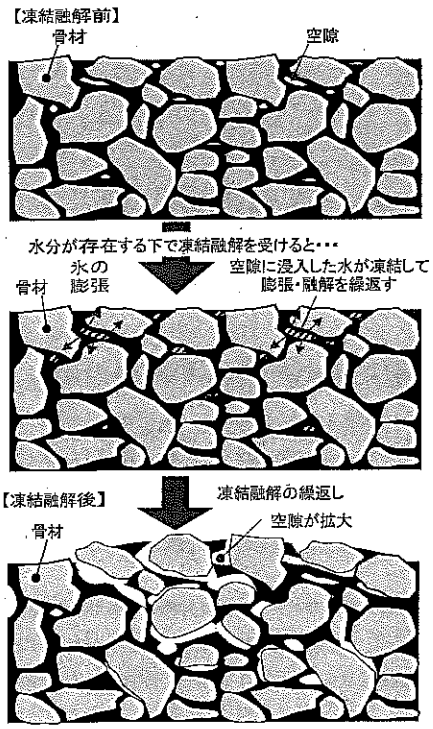


図-8 凍結融解をうけた混合物の変化模式図

この試験において，凍結融解作用によって混合物内部に発生した変化を模式図で表現したものを図-8に示す．水分が存在する条件の下でアスファルト混合物が凍結融解を受けると，空隙に浸入した水が凍る際に体積膨張すると考えられ，凍結と融解を繰返すうちに空隙が拡大し，それに伴って安定度や摩耗抵抗性や骨材飛散抵抗性などが低下するものと推測される．

3.2 ひび割れ部からの水の浸入に関する検証

路面の融雪水がひび割れ部からどの程度の量浸入するのかを把握するため，幅の異なるひび割れを室内で曲げ破断によって作成し，ひび割れ部を跨いで現場透水量試験機を設置して，透水量を測定した．試験を行ったひび割れは，曲げ破断させたひび割れ面を向かい合わせて万力で締め付けて0.5～1mm，3mm程度，5mm程度の幅のひび割れとした．

曲げ破断により発生させたひび割れに対する透水量試験結果を図-9に示す．ひび割れ幅が3mm以上の場合，測定の上限である1400 ml/15秒以上の透水性を示し，ほとんど抵抗なく水が浸透していく状態となっている．ひび割れ幅が0.5～1mm程度の時には，透水量は約600 ml/15秒となり，ひび割れ幅が3mm以上の場合に比べると若干浸透しにくくなる．しかし，いずれのひび割れ幅においても，単位時間当たりの透水量に程度の差はあるものの，供給された水は速やかに浸透していくレベルであると評価できる．

融雪期には，路肩部等に堆積された雪が解け，その融雪水が路面から流入し，さらにひび割れや打ち継ぎ目部分から容易に浸入してしている状況にあると推察される．

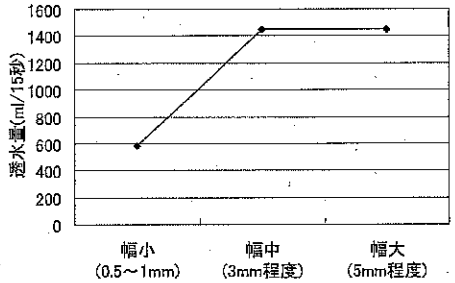


図-9 曲げ破断ひび割れに対する透水量試験結果

3.3 融解期における路盤材料および路床材料の支持力低下の検証

既往の調査によって得られている，路盤材料の凍結融解後の修正CBR試験の結果[4]を図－10に示す．凍結融解前の修正CBR値と凍結融解後の修正CBR値の比（CBR保存率）は複数の路盤材料でいずれも70%程度であり，路盤材料は凍結融解を受けると支持力が低下することが確認できる．このような凍結融解作用に伴う支持力低下に加えて，ひび割れ等から融雪水が路盤や路床に浸入すると，路盤材や路床材の含水比を高めることになるため，更に支持力は低下すると考えられる．

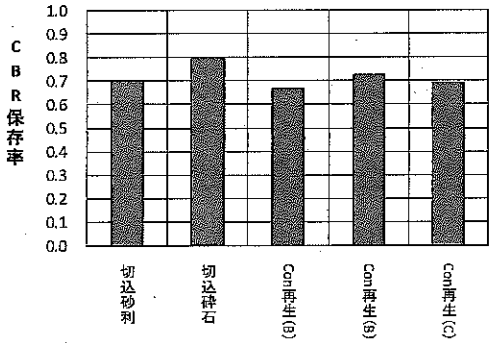


図-10 路盤材料の凍結融解後のCBR保存率

4. 融雪期の舗装体への影響要因の整理および損傷メカニズム検討

前述した調査の結果を踏まえ，融雪期に舗装体にマイナスの影響を及ぼす要因を整理し，融雪期に発生する損傷の発生メカニズムを検討した．

4.1 融雪期の舗装体への影響要因の整理

融雪期における舗装体への影響要因を図解したものを図-11に示す．融雪期の舗装体への影響要因としては，複数の要因がありそれらが複合的に関与していると考えられるが，敢えて単純化すれば主要な要素は①水の存在，②温度変化(凍結融解，ゼロクロッシング)，③荷重の作用，3つである．これらの要素がひび割れや打継目等の舗装の弱点に作用すると損傷はより早く進展するものと考えられる．つまり，雪が解けた水が，ひび割れや打継

目などの舗装構造の一部から浸入もしくは浸透し，それが気温の変動や日射に伴い凍結や融解を繰り返すことで様々な形で舗装体に影響を及ぼすものと整理できる．

4.2 融雪期の舗装体の損傷メカニズム

融雪水の浸入および浸入した水の凍結融解が，舗装体に及ぼす具体的な変化について要約すると以下の項目のとおりとなる．

1) 混合物層を脆弱化させる（ひび割れの進展，ひび割れ周辺の混合物の脆弱化，空隙やすきまの増加，アスファルトと骨材の付着の悪化）
2) 表層と基層の間など，混合物層の間の接着力を弱め，層間ではがれやすくする
3) 路盤や路床を高含水比の状態にし，路盤材や路床材が部分的に泥濘化するなどして，支持力が低下する
4) 浸入した水が凍結する際に，体積が増加して舗装体内部や層間に隙間を生じさせる
5) 路床に氷晶を生じ，凍上や不等沈下を生じさせる

舗装体に上述したような変化が進行したところに，車両の走行荷重や衝撃荷重が加わることで，ポットホールが発生・進展することとなる．

融雪期に発生するポットホールには，発生位置や発生原因などが様々なタイプのものがあるが，融雪期に発生する代表的なポットホールの発生タイプを表層混合物層中心のもの，混合物層全層のものの2タイプに大別し，各々の発生メカニズムを図-12，図-13のとおり整理した．

5. 補修対策および予防対策

ポットホールは，速やかな対応が求められる損傷形態であり，通行に支障が生じないよう緊急的に補修が行われる．積雪寒冷地では融雪期にはアスファルトプラントが不稼働であることが多いため，常温混合物による補修が有効な工法である．常温アスファルト混合物は標準型と全天候型（特殊常温合材，高耐久性常温合材）に分けられるがその性能は多様であるため，路面の乾湿の状態，気温等に応じて材料を選定する必要がある．可能であれば，加熱アスファルト混合物を使用することも有効であ

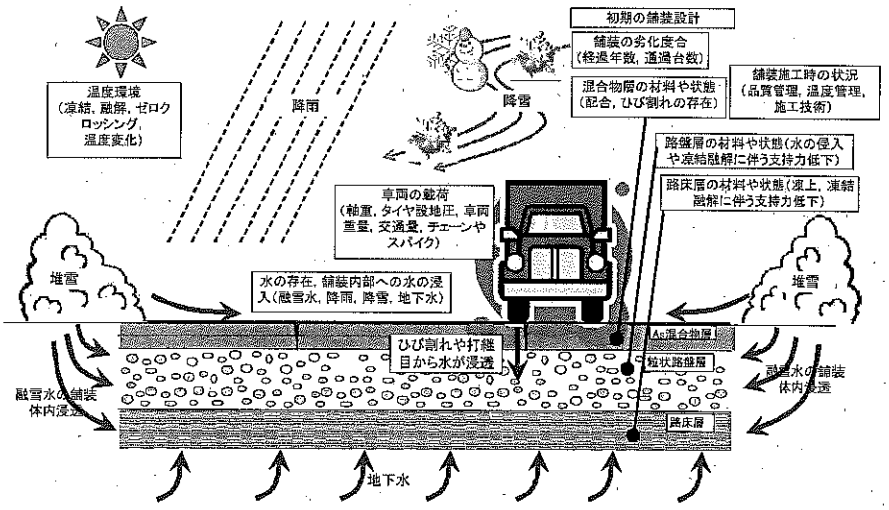


図-11 融雪期における舗装体への影響要因

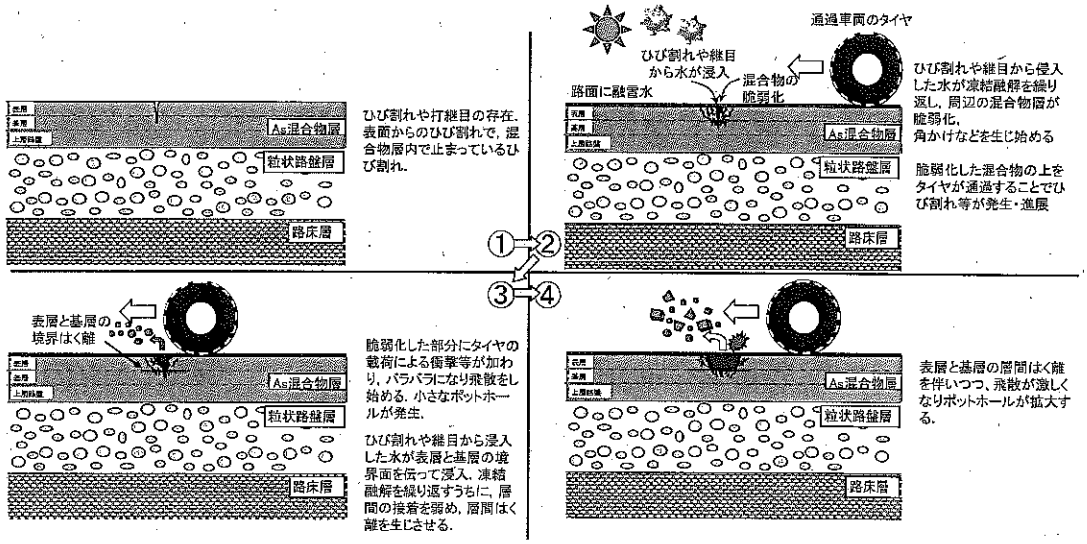


図-12 ポットホールの発生メカニズム事例：表層中心のポットホールの場合（打継目や表面のひび割れ部）

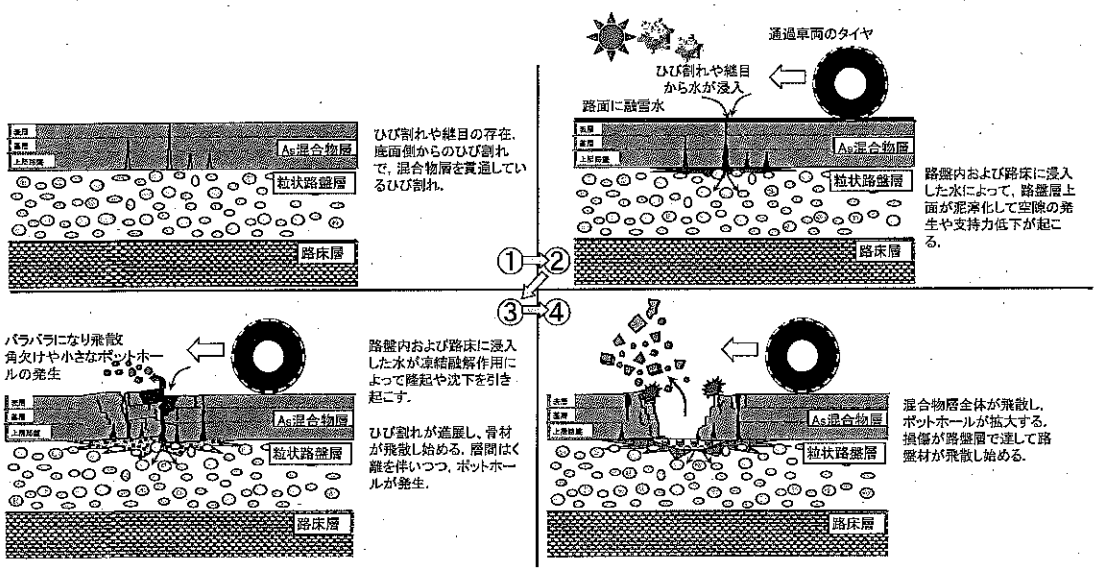


図-13　ポットホールの発生メカニズム事例：混合物層全層のポットホールの場合

る．混合物投入前の水分や脆弱部の除去等が有効であるが，交通状況等の現地条件に合わせ，適切な材料や施工方法を選定することが求められる．

また，ポットホール発生条件の一つがひび割れ部からの水分の浸入であることから，ひび割れ部や打ち継ぎ目部に充填剤を注入することで雨水等の浸入を防ぎ，損傷の進行を抑制するひび割れ注入工法は有効な予防的対策と考えられる．

さらに，アスファルト混合物の品質を良好に保ち耐久性を高めることが長期的視点では重要であり，施工時において以下の点に留意することも有効である．つまり，可能な限り適切な施工時期を選び，必要なアスファルト混合物温度を維持するとともに混合物の温度の均一化に努め，かつ十分な密度を確保すること．また，端部や構造物まわり等の転圧しにくい場所は入念に締固めを行ったり，既設舗装の温度が低い場所は路面ヒータ等で加熱してから舗設を行うなど現場条件に応じた施工を行うことなどである．

6. 結論

本研究から得られた成果は以下の様にまとめられる．

(1)　融雪期において，一日の間に気温が0℃をはさんで変化する時に，ひび割れ部や打継目などの周辺や，融雪水が流入・滞留しやすい箇所で，ポットホールの発生が多い実態にあることが確認された．

(2)　融雪水などの水分の存在と凍結融解作用が複合し，それが繰返し作用した場合，アスファルト混合物は一般的には空隙が増加し強度が低下する方向の影響を受けることが確認された．

また，舗装のひび割れからは舗装体内部に容易に水分が浸入することが確認された．融解期には融雪水が浸入し，凍結融解作用を受けてアスファルト混合物の強度を低下させたり，路盤材や路床材の含水比を高めて支持力低下を招くなどの影響を及ぼすと考えられた．

(3)　融雪期の舗装体への影響要因としては，数多くの要因がありそれらが複合的に関与していると考えられるが，主要な要因は①水の存在，②温度変化(凍結融解，ゼロクロッシング)，③荷重の作用，の3つに整理できる．これらの要因がひび割れ等の舗装の弱点に作用すると損傷はより早く進展すると考えられ，ポットホールなどに代表される融雪期の舗装損傷の発生に至るというメカニズムを提示した．

(4)　本研究で明らかとなったポットホールの発生実態，融雪水が舗装体に及ぼす影響やポットホールの発生メカニズムを踏まえ，ポットホール補修対策や予防保全対策および耐久性向上策を提示した．

謝辞：ご協力いただいた北海道開発局ならびに網走開発建設部遠軽道路事務所，札幌開発建設部の皆様方に謝意を表します．

参考文献

1) 土木学会舗装工学委員会寒冷地舗装小委員会：積雪寒冷地の舗装，舗装工学ライブラリ 6，2011.
2) 久保宏，岩崎信行：アスファルト混合物の凍結融解試験について，土木試験所月報 No.287，1977
3) 丸山記美雄，高橋守人，早坂保則：表層用アスファルト混合物の凍結融解作用に対する抵抗性，平成 12 年度土木学会年次学術講演会，2000.
4) 安倍隆二，丸山記美雄，熊谷政行：積雪寒冷地におけるアスファルト舗装の理論的設計方法に用いる材料特性および環境条件に関する検討，寒地土木研究所月報 No.708，2012.
5) 気象庁訳：IPCC 第 4 次評価報告書第一作業部会報告書技術要約，2007

河床洗掘事例から考察した施設点検について

添田 昌史[1]・山下 和浩[2]・八坂 徳孝[2]

[1]九州地方整備局　河川部　河川環境課　（〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-10-7）

[2]九州地方整備局　筑後川河川事務所　管理第一課　（〒830-8567 福岡県久留米市高野1丁目2番1号）

通常、目視点検では確認できない河床洗掘に伴い発生する低水護岸変状の早期発見と予防保全に関して、既に活用している「河道管理基本シート」（河川基本縦断図）などの既存資料を用いた状態把握から対策工に至る一連の事例と留意点を紹介する。

キーワード　インシデント，河床洗掘，施設変状，施設点検，予防保全

1. はじめに

福岡県南部に位置する矢部川水系矢部川の瀬高地区（右岸 10k800 付近／以下「対象地区」という。）（図-1）の低水護岸際において経年的な河床洗掘の傾向が確認されていたため、要注意箇所として経過監視していた。

その後、平成 24 年 7 月に発生した洪水（九州北部豪雨）（写真-1）を受けたことを踏まえ、詳細調査を実施した結果、低水護岸基礎部に空洞が発生し、松杭により保持された状態で護岸の損傷を免れていることが確認された。

以前から河床洗掘が進行していた可能性もあり、幸い平成 24 年 7 月洪水による被災は発生しなかったものの、最悪の場合、護岸崩壊等の災害に至るおそれもあった。

今回は、この事例を教訓に、河床洗掘の分析と今後の施設点検について考察した内容を報告する。

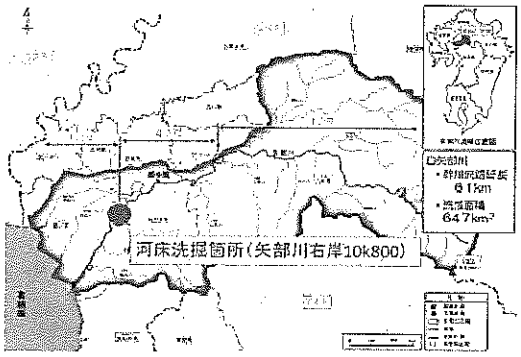


図-1 位置図



写真-1 H24.7九州北部豪雨時の増水状況

2. 問題把握の起点

筑後川河川事務所では、河道の状態を監視し適切に管理するため、九州河道管理研究会による「河道管理基本シート」（河川基本縦断図）（図-2）を活用している。これは広大な面積を有する河道の流下能力、土砂堆積、樹木繁茂、河床洗掘の状態を効率的に絞り込み、点検と対策につなげていくためのツールである。

このシートによる河床洗掘の分析によると、対象地区では、経年的に洗掘傾向が確認されたため「要注意箇所（A）」（最深河床高が管理基準高を下回り、その発生位置が河岸に接近している箇所）として経過監視していた。

しかしながら、河床洗掘の状態は目視では直接確認できないため、周辺施設の低水護岸にクラック等の変状が現れていないかを目視点検するにとどまり、水中部の詳細点検を実施するまでには至っていなかった。

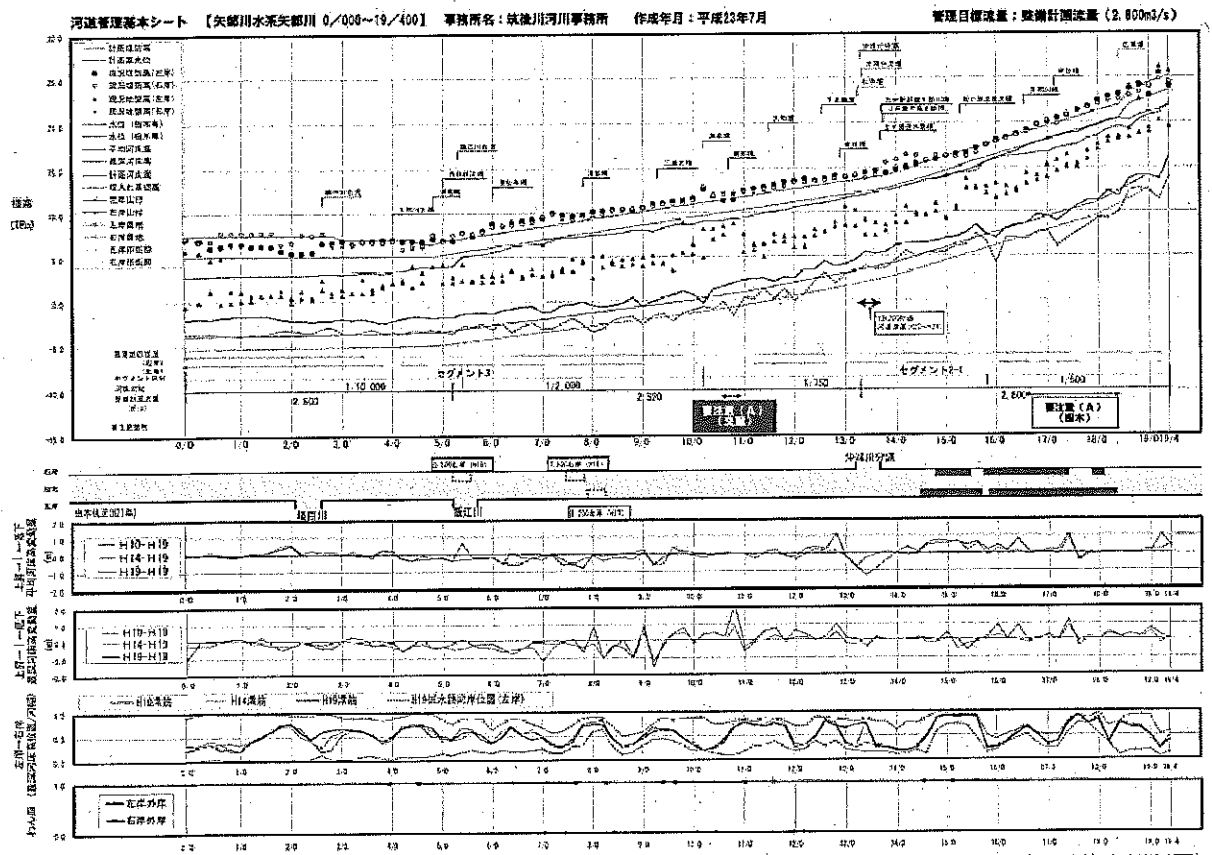


図-2 河道管理基本シート（河川基本縦断図）

3. 対象地区の特徴

(1) 平面的特徴

対象地区付近は下流瀬高堰の湛水区間にある。河道は上流で大きく蛇行しており、その外岸側の澪筋にあたる箇所である。また、旧地形図をみると、対象地区付近を境に、上流側に「旧川微高地」、下流側に「台地（自然堤防）」が広がっていたと考えられる。（写真-2、図-3）

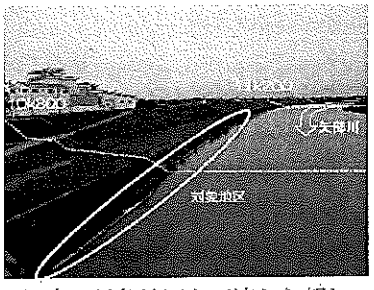


写真-2 対象地区を下流から望む

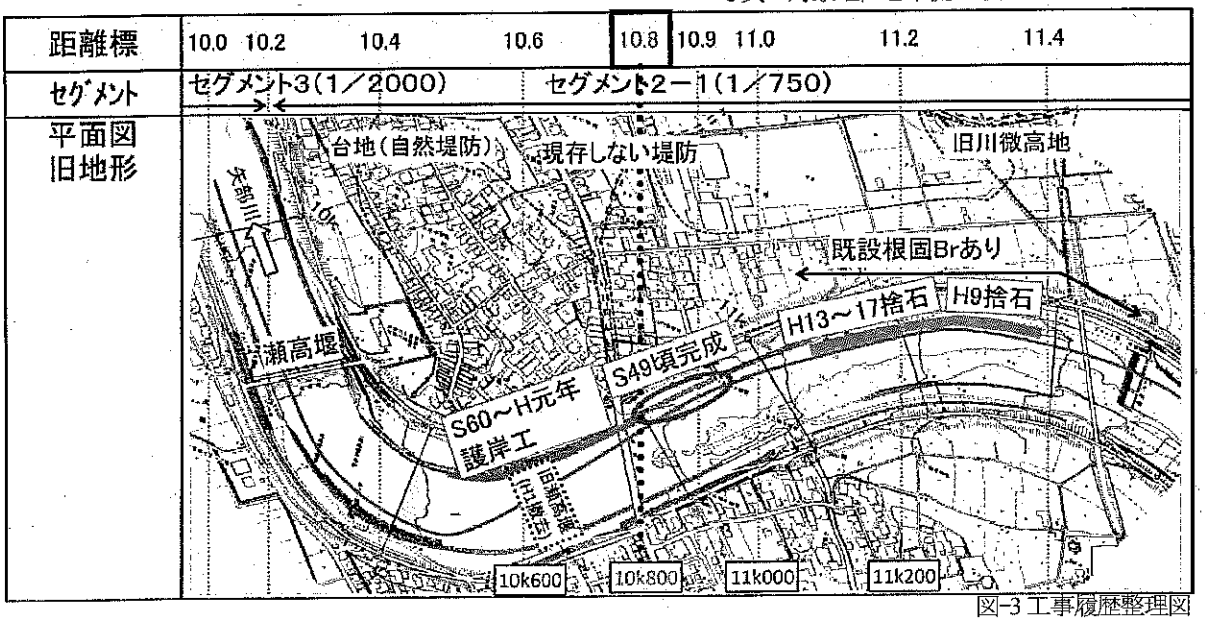


図-3 工事履歴整理図

(2) 横断的変化の把握

対象地区の横断重ね合わせ図（図-4）をみると、昭和４６年から平成７年にかけては比較的安定している。河床の変化は、平成１０年頃から右岸側で洗掘、左岸側で堆積傾向という河道の二極化という形で確認できる。また、平成１４年以降は洗掘の進行が加速していることが分かる。

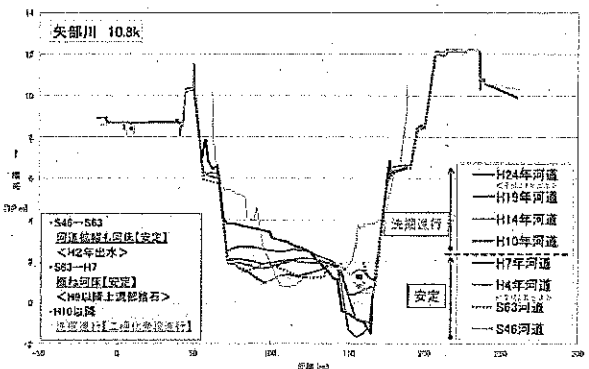


図-4 横断重ね合わせ図（対象地区）

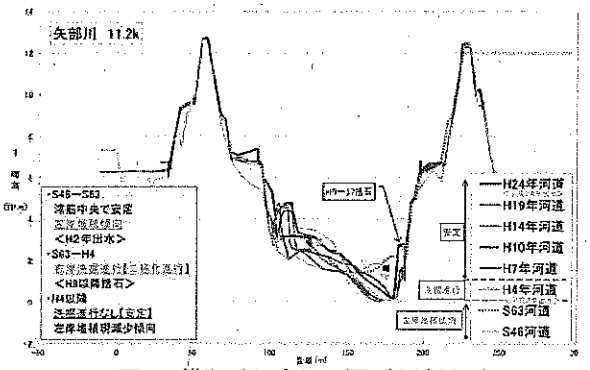


図-5 横断重ね合わせ図（上流地区）

(3) 工事履歴の整理

工事履歴を整理すると、対象地区の護岸は、昭和４９年頃完成しており、その後、昭和６０年から平成元年に下流右岸の護岸及び旧瀬高堰（固定堰）の撤去が行われている。また、近年では、対象地区上流の水衝部において、平成９年から平成１７年にかけて、捨石工事が行われている。（図-3）

4. 詳細調査の実施

(1)詳細調査にあたっては、対象地区周辺の河床を詳細に把握するため、広範囲かつ面的に測量できるマルチビーム測量を採用した。（図-6）その結果、護岸基礎が浮いていることが確認されたことから、さらに確定診断のために、潜水士による直接目視を実施した。（写真-3～6）

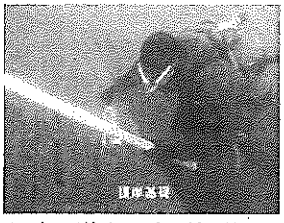


写真-3 潜水調査 計測状況

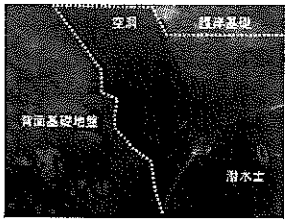


写真-4 空洞内部確認状況

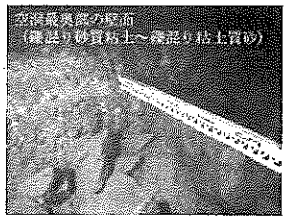


写真-5 洗掘最奥部状況

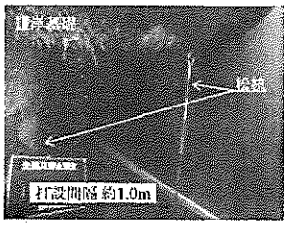


写真-6 松杭の状況

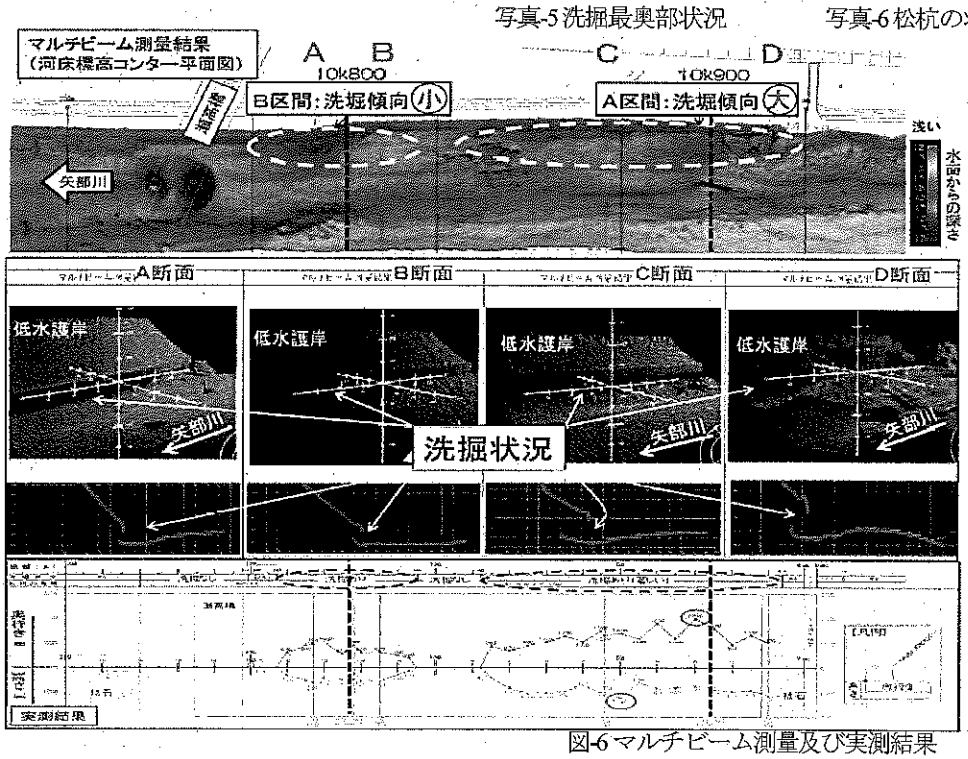


図-6 マルチビーム測量及び実測結果

直接目視調査の結果、空洞の最奥部は、基礎地盤がほぼ垂直に洗掘され、壁状に切り立った状態で確認され、空洞天井部分には護岸の裏込め砕石（φ50～80mm）が確認された。なお、洗掘状態をイメージ図に表すと、図-7のとおりである。また、基礎形状および松杭の配置状況から、当該護岸は昭和４９年頃完成のものと推定され、当時の図面によると、松杭はL=４mのものが打設されている。なお、基礎地盤の土質は、礫混り砂質粘土～礫混り粘土質砂を主体としており、Br結果と比較すると、洪積砂礫層１付近にあたると考えられる。また、基礎背面の洗掘は、基礎高さまで進行しているものの、それ以上護岸背面に至る裏込材の吸い出しはないことが確認できた。（図-7）

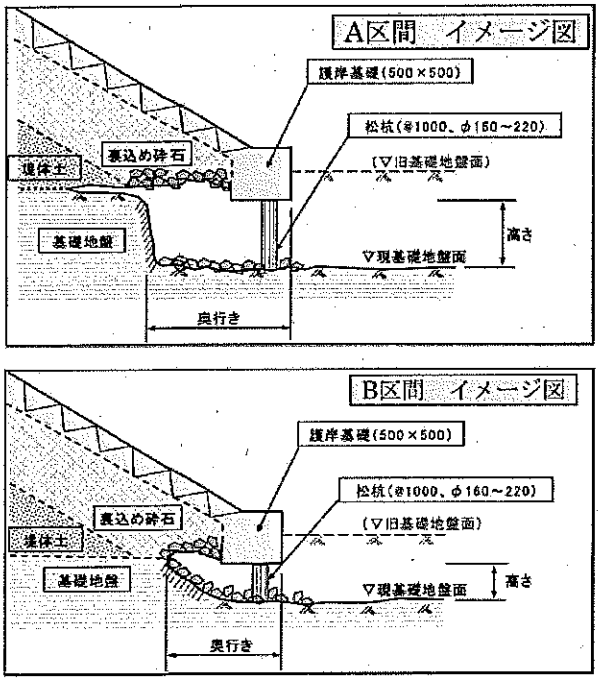


図-7 洗掘状況イメージ図

(2) 洗掘要因の推定

対象地区の特性及び調査結果を整理すると、以下のとおりである。

1．上流水衝部(11.2k)では、昭和６３年頃にかけて左岸側に若干の堆積傾向があり、平成２年の大規模出水を経た平成４年には右岸側の洗掘が大きく進行するものの、その後は安定傾向。なお、平成９年から平成１７年にかけて水衝部へ捨石を実施。（図-5）
→【大規模出水による二極化の進行】

2．対象地区では、平成元年の旧瀬高堰撤去後も平成７年頃まで河床は比較的安定。その後、平成１０年頃から洗掘傾向が発現、平成１４年以降は急激に進行。（図-4）
→【水衝部下流の無対策部における洗掘の進行】

以上のことから、対象地区の洗掘現象は、上流側の捨石施工に伴い、水衝部が強固に固定されたことにより、澪筋がその下端部に位置する対象地区へ集中し、更に根固め等が無かったことにより、急激な洗掘が進行したものと推定される。

(3) 河道管理基本シートによる現象の確認

現在の河道管理基本シートは、平成１０年以降の横断図をもとに作成しているため、今回の洗掘現象確認のため、昭和６３年からの横断図を追加してみると、図-8となる。まず、上流１１ｋ２００付近において、昭和６３年（黒色）から平成４年（ピンク色）にかけて最深河床が低下、その後、平成９年以降に捨石実施。

一方、その下流の１０ｋ８００では、平成１０年（緑色）以降、平成１４年（赤色）、平成１９年（黒色）にかけて急激に河床の低下傾向が読み取れる。

つまり、下流対象地区(10k800)は、上流(11k200)の現象に連動して発現いることが推定される。

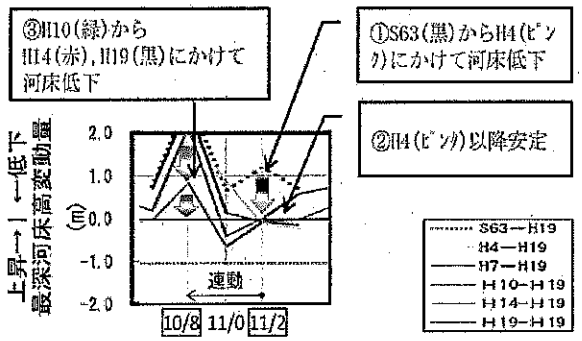


図-8 河道管理基本シートにおける現象の過程
（最深河床高の変化）

5. 対策工

詳細調査結果を踏まえ、Ｈ２４年度に応急対策を実施し、翌年恒久対策を完了している。なお、工法は護岸の安定、河川環境への配慮から、仮締め切り兼用として護岸前面への矢板打設、基礎部の空洞箇所への水中コンクリート充填、根固を設置した。（図-9、写真-7）

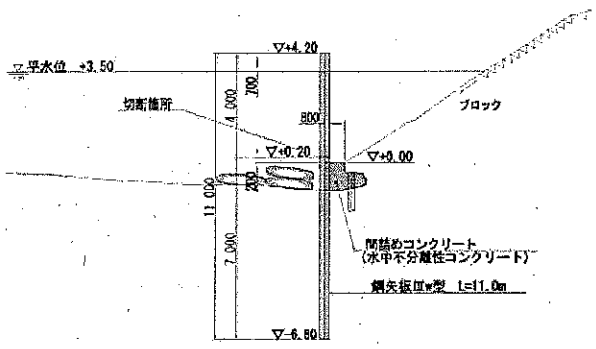


図-9 恒久対策工 標準断面図



写真-7施工状況

6. 今回の事例を教訓とした施設点検について

河床の“洗掘”に起因する要注意箇所（A）は、目視で直接確認できないため、予防保全の観点から、洗掘の「要注意箇所（A）」（最深河床高が管理基準高を下回り、その発生位置が河岸に接近している箇所）と判断された時点で、すぐに詳細調査を実施し、対策工の必要性の有無を検討すべきであった。

また、要注意箇所を判定するフロー図（河道、堤防、施設の点検及びデータ管理の手引き（九州地方整備局 H24.11）における「要注意箇所（A）」の表現が経過観察するような誤解を与えるおそれがあるので、図-10のようにフロー図の改善を提案したい。

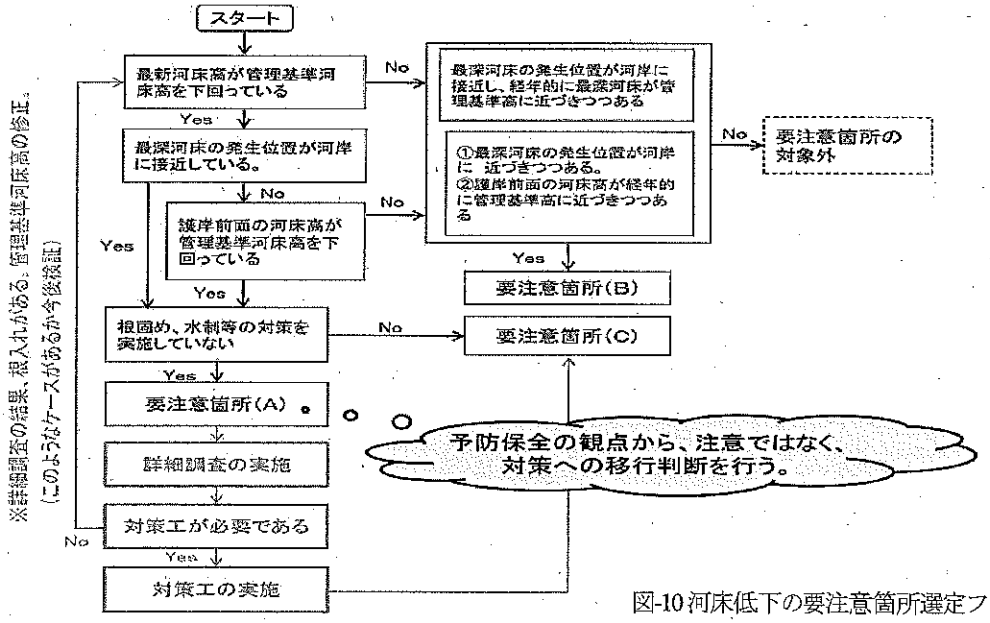


図-10河床低下の要注意箇所選定フロー

7. まとめと今後の課題

今回の報告では、通常、目視点検では確認できない河床洗掘について、既に活用している「河道管理基本シート」など既存資料を活用した、状態把握から対策工に至る一連の事例を紹介するとともに、留意点を提案した。これにより河床洗掘に伴う低水護岸変状の早期発見と予防保全につながることを期待したい。

また、河床洗掘に伴う施設の変状は他河川でも十分に懸念されるため、広大な管理区間の中から河床洗掘箇所を効率的に抽出する「河道管理基本シート」の有用性は非常に高いと考える。今後とも定期縦横断測量実施後には確実にリバイスを行い、新たな問題箇所が発生していないか確認していくことが重要である。

最後に、河床洗掘という、一見、難しいと思われる事象が、一定の要因推定であれば、既存資料から分析出来ることを示したことで、職員の取り組み意識向上に寄与できれば幸いである。

参考文献

1) 国土交通省 九州地方整備局 ：河道、堤防、施設の点検及びデータ管理の手引きの改訂について（通知），2012.11

2) 国土技術政策総合研究所（環境研究部、河川研究部），九州地方整備局（九州河道管理研究会）：河道管理の実践のための読本～河川技術者が使いながら作り込む発展型知恵袋～，2010.6初版，2010.8部分修正

伏木富山港（新湊地区）臨港道路東西線（新湊大橋）のケーブル振動対策について

寺田　篤史[1]・清水　美代[1]

[1]北陸地方整備局 新潟港湾空港技術調査事務所 技術開発課（〒951－8011 新潟市中央区入船町4-3778）

伏木富山港（新湊地区）臨港道路東西線における主橋梁である新湊大橋は，中央径間360mの鋼・コンクリート複合斜張橋である．中央径間閉合後，橋梁を支えるケーブルにおいて，振動の発生が確認された．本論文は，ケーブル振動の原因を究明し，ケーブル振動抑制対策として，桁位置ダンパー2種類の試験施工による効果を検証し，本橋における効果的な制振対策について報告する．

キーワード　斜張橋，レインバイブレーション，高減衰ゴムダンパー

1. はじめに

臨港道路東西線（新湊大橋）は，富山県射水市に位置し，富山市内からコンテナターミナルへのアクセス向上，国道415号の渋滞緩和，航路によって分断された地域住民の利便性向上のため，伏木富山港（新湊地区）に計画整備した日本海側最大級の斜張橋（中央径間360m，橋長600m）（写真-1）である．車道は２車線あり，その下には全天候型自転車歩行者道を配置した２層構造となっている．

本事業は1997年度に事業化となり，2002年度より工事着手している．全体事業費は498億円である．

2. 橋梁概要

本橋は，中央径間部が鋼桁，側径間部がPC桁の5径間連続鋼・コンクリート複合斜張橋である．鋼桁部は，2箱桁であり，上面に車道，箱桁間下部に自歩道を配置している．桁側面のフェアリングおよび自歩道側面の外装パネルにより六角形の断面形状となっている．一般図を図-1，断面図を図-2に示す．

車道部は2012年9月23日，自歩道部は2013年6月16日に供用済みである．

3. ケーブル振動の経緯について

ケーブルには風による制振対策として，高減衰ゴムダンパーによる制振装置を架設時に設置済みであったが，2011年9月20～21日にかけて台風15号が接近し，橋面上では10m/s以上の平均風速が観測され，ケーブル本体と制振装置の振動が確認された．

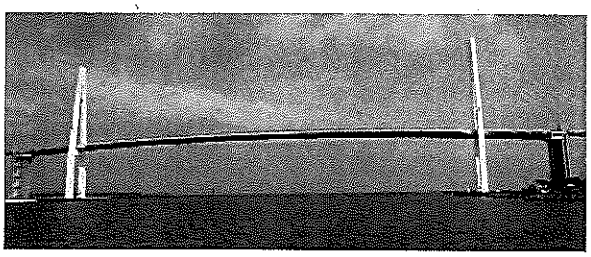


写真-1　新湊大橋の全景

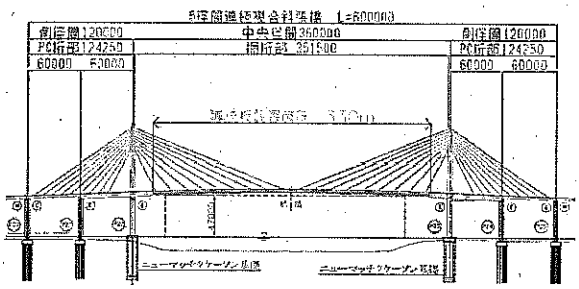


図-1　新湊大橋橋梁一般図

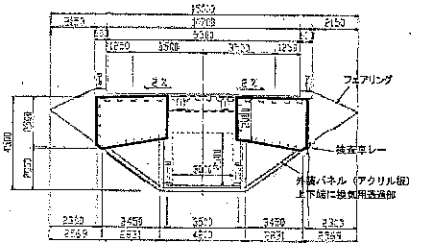


図-2　桁断面図（中央径間部）

2011年9月26日～10月5日にかけて72本の全ケーブル及び制振装置の点検を実施したところ，高減衰ゴムダンパー21箇所に損傷を確認した．（なお，現在は補修済みである．）（図-3）

2011年9月から2013年4月までの20ヶ月間に，目視で視認可能な振幅のケーブル振動として，５回確認されている．

4. 臨港道路東西線技術検討委員会における検討結果

新湊大橋の鋼桁部及び斜張橋ケーブルに発生した振動現象について，実態を把握し，橋梁への影響について検討するとともに，耐風安定性を確保するための対策を検討するため，2012年に，長岡技術科学大学長井教授（現：名誉教授）を委員長とする技術検討委員会を立ち上げた．（なお，鋼桁部の振動については対策済みであり，報告[1]済み．）

2013年までに３回の技術検討委員会を開催し，ケーブル振動に関して，下記の検討を行った．

(1) ケーブル振動の種類

降雨時に10m/s以上の風がケーブルに対して水平偏角約30～80度の範囲で吹いた際に，概ね3Hz程度以下の振動が確認されていることから，レインバイブレーション[2]の可能性が極めて高いと考えられる．（図-4）

レインバイブレーションの特徴としては，降雨を伴う限定された風速域で生じること，塔の風下側に位置するポリエチレン管被覆のケーブルに発現が見られること，振動発生時の風向は橋軸に対してある水平偏角（30～80°）を持つこと，観測データのほとんどが3Hz以下の固有振動数であること等があげられ，本橋におけるケーブル振動はこれらに適合している．

(2) ケーブルの振動原因

主要因として，高減衰ゴムの対数減衰率の歪み依存性があることで，設計で期待した通りの制振装置の減衰性能が発揮されなかったことが要因と考えられる．また，外的要因として，高減衰ゴムは対数減衰率のモード依存性があり高次ほど小さくなることから，高次モードの発現による影響も考えられる．

(3) 制振装置の損傷原因

ケーブル振動時に制振装置の設計で想定する以上の変位が生じ，高減衰ゴムダンパーと取付ボルトが接触したことによりゴム体に傷が入り，制振装置の損傷に至ったと考えられる．（図-5）

(4) ケーブル制振対策

当面の対策として，高減衰ゴムダンパーの取替・調整及びフェールセーフとして桁側定着鋼管に緩衝材を設置する．（図-6）

経過観測として，ケーブルのモニタリング（全15箇所）を実施し，当面の対策による制振効果を確認するとともに，追加対策を試験施工し，その効果を確認する．

試験施工として，高減衰ゴムダンパーの容量増（図-7）及び粘性せん断ダンパーの設置（図-8）を行う．

これらの結果を第４回の技術検討委員会にて検討した．

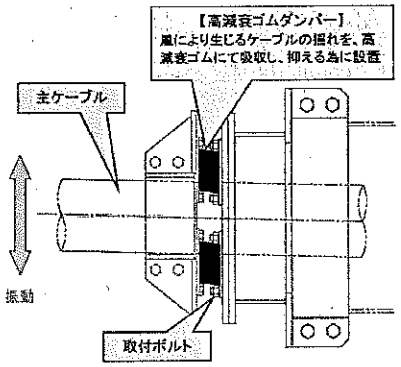


図-3 高減衰ゴムダンパー イメージ図

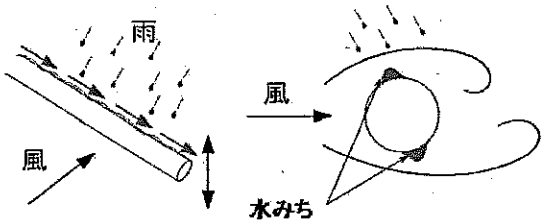


図-4 レインバイブレーション イメージ図

※レインバイブレーションとは
雨と風の相互作用によりある限定された風速域で生じるケーブルの振動現象である。

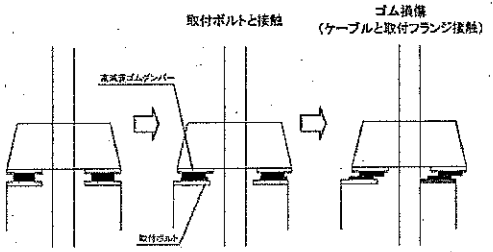


図-5 制振装置の損傷原因 イメージ図

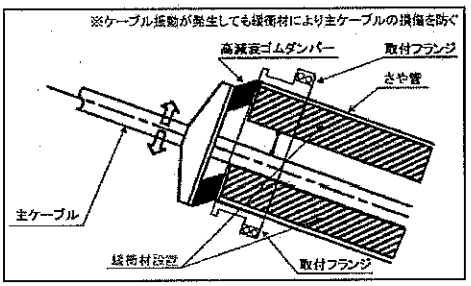


図-6 ケーブルの安全性を高める対策

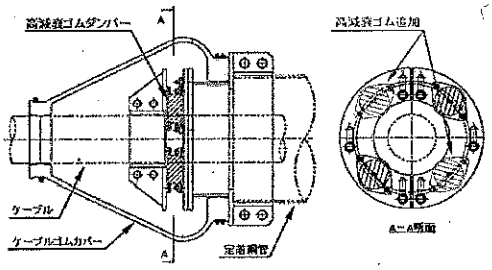


図-7 対策案①：高減衰ゴムダンパーの容量増

5. ケーブル振動対策について

第３回までの技術検討委員会の検討結果を受け，フェールセーフとしての緩衝材を設置後，ケーブル制振対策としての試験施工を実施し，モニタリングを行った．

(1) モニタリング計画

試験対策の施工後，2014年1月20日から4月30日の約３ヶ月間，図-9に示す15箇所において，レーザー変位計を用い，高減衰ゴムダンパーの変形量を計測した．レーザー変位計は，ケーブルの桁側定着部において写真-2のように設置した．（写真中○がレーザー変位計）

(2) 試験対策工

試験施工として，下記を実施した．

①高減衰ゴムダンパーの容量増（２箇所）

既設の高減衰ゴムダンパーにおいて，ゴム２個付きを４個付きにゴム設置個数を増加する．

②粘性せん断ダンパーの設置（１箇所）

既設の高減衰ゴムダンパーを撤去し，粘性せん断ダンパーを新規設置する．

(3) モニタリング結果

モニタリング期間において，降雨時（気象庁伏木観測所の降雨量0mm以上で路面湿潤状態）で10分間平均風速10m/s以上あるいは変位2mm以上の条件に合致したデータとして265個得られている．

降雨時の計測データに対し風速と変位の関係を整理すると図-10のようになる．これより，高減衰ゴムダンパー容量増及び粘性せん断タンパーの対策工を実施した地点において，既設の制振装置より変位が小さく制振効果が発揮されていることがわかる．

(4) 当面の対策の効果確認

降雨時の全計測データのうち，変位計の読みで2mm以上の変位が計測されたイベントに対し，振動の特徴から種類を確認したところ，いずれのイベントもレインバイブレーションの可能性が極めて高いと判断された．そのうち，フェールセーフとして設置している緩衝材に接触するほど大きな変位が生じているイベントが３回観測された．これらは，緩衝材が設置されていなければより大

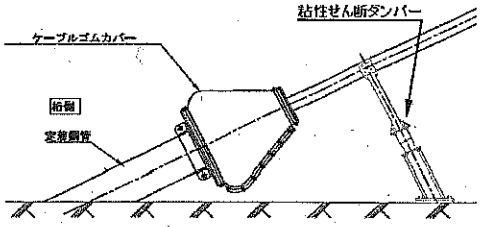


図-8　対策案②：粘性せん断ダンパーの設置

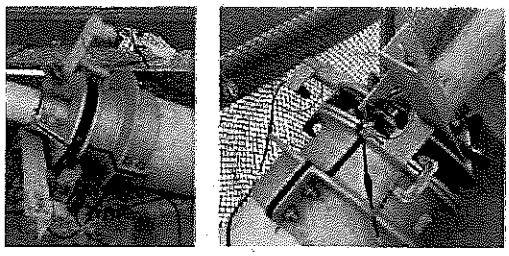


写真-2　レーザー変位計の設置位置

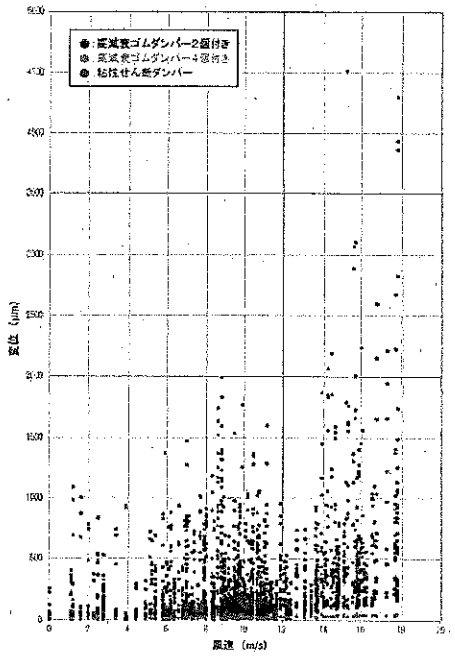


図-10　風速と変位の分布（降雨時全データ）

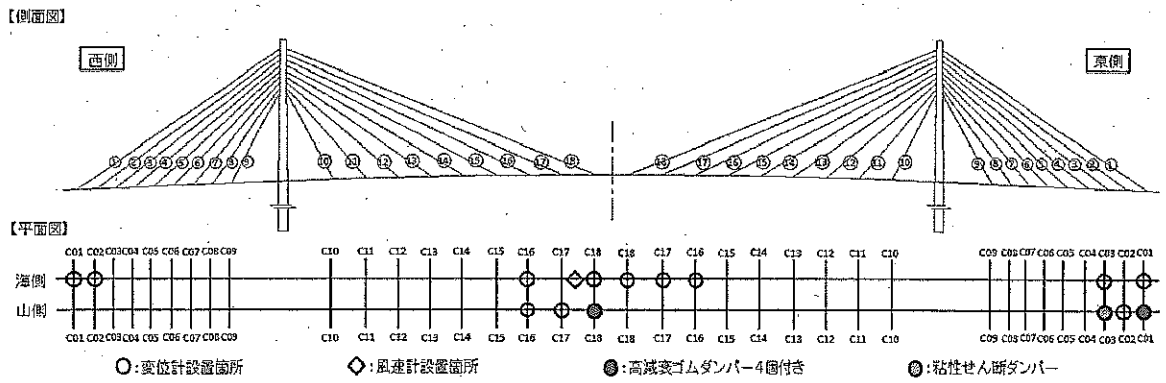


図-9　モニタリング箇所

きなケーブル振幅が観測されていた可能性が極めて高く，ケーブル損傷を防ぐための緩衝材設置の効果が確認された．（表-1）

(5) 試験施工の効果確認

レインバイブレーションの発現条件である，降雨時塔の風下となる風向における変位比較により，試験施工の効果確認を行った．

①高減衰ゴムダンパーの容量増（２箇所）

山側東側C01において，降雨時風下である条件下で同一諸元ケーブルとの比較を行ったところ，既設の制振装置（高減衰ゴムダンパー２個付き）より平均変位は小さくなっており，最大変位も海西C01に対して小さくなっている．（表-2）

近接ケーブル（ケーブル諸元は異なる）との比較においても，平均変位は小さくなる傾向を示している．（表-3）

②粘性せん断ダンパーの設置（１箇所）

山側東側C03において，降雨時風下である条件下で同一諸元ケーブルとの比較を行ったところ，既設の制振装置より鉛直方向の最大・平均変位は小さく，水平方向の最大・平均変位は大きくなる傾向を示している．（表-4）

(6) 制振対策方法の比較検討

下記の比較検討より，振動低減効果に大きな差はないが，施工性や経済性の面で，本橋においては，高減衰ゴムダンパー容量増の対策案が優位であると判断した．

①振動低減効果

高減衰ゴムダンパー２個付けに比べて，スクルートン数（振動のしにくさを表す指標）が，粘性せん断ダンパーは平均1.3倍，高減衰ゴムダンパー容量増（４個付き）は平均1.4倍となった．なお，試験施工結果より，水平方向の制振効果は，高減衰ゴムダンパー４個付きの方が優れているが，両対策案とも既設に比べ振動低減効果は得られている．

②施工性

両対策案とも橋面上からの施工が可能であり，工期も同程度である．しかし，高減衰ゴムダンパー容量増に比べて，粘性せん断ダンパーの設置には，フラップとの干渉を避けた取付等，現場調整作業が多く必要となる．

③維持管理性

高減衰ゴムダンパーの場合，ボルト取付状況などの定期的な点検が必要であるが，ゴム自体の耐久性に問題は無い．また，取付ボルト位置の改良をすることで，万が一大きな変位が生じたとしても，ボルト接触によるゴムの損傷を防止できる．

粘性せん断ダンパーの場合，ボルト取付状況や粘性体の漏れなどの定期的な点検が必要であるが，万が一大きな変位が生じたとしても，ボルトと接触するような構造ではないため問題は無い．

表-1 レインバイブレーションの可能性が高いイベントのケーブル変位量

イベント番号	観測日時	降雨量 (mm)	風速 (m/s)	風向	変位(mm) 海東C18	海東C17	海東C16
①	2014/2/15 8:36	0～0.5	12.5～17.8	北北東	23.1	19.0	4.5
②	2014/3/13 12:17	0.5～1	15.7～17.3	北北東	5.8	22.0	21.3
③	2014/3/13 13:37	0.5～1	14.6～17.7	北北東	1.4	20.2	29.8

表-2 山側東側C01：同一諸元ケーブルとの比較（降雨時風下）

		計測変位(mm) 山東C01 ゴム4個付	山東C01 ゴム2個付	海西C01 ゴム2個付	比率(2個付き/4個付き) 山東C01 ゴム4個付	海東C01 ゴム2個付	海西C01 ゴム2個付
鉛直	最大変位	1.049	0.839	3.937	1.00	0.80	3.75
	平均変位	0.026	0.084	0.423	1.00	3.28	16.46
水平	最大変位	0.885	0.762	1.310	1.00	0.86	1.48
	平均変位	0.023	0.093	0.218	1.00	4.04	9.44

表-3 山側東側C01：近接ケーブルとの比較（降雨時風下）

		計測変位(mm) 山東C01 ゴム4個付	山東C02 ゴム2個付	山東C03 粘性	比率 山東C01 ゴム4個付	山東C02 ゴム2個付	山東C03 粘性
鉛直	最大変位	1.049	1.173	0.450	1.00	1.12	0.43
	平均変位	0.026	0.088	0.063	1.00	3.44	2.45
水平	最大変位	0.885	0.854	0.824	1.00	0.96	0.93
	平均変位	0.023	0.081	0.184	1.00	3.50	7.96

表-4 山側東側C03：同一諸元ケーブルとの比較（降雨時風下）

		計測変位(mm) 山東C03 粘性	海東C03 ゴム2個付	－	比率(2個付き/粘性) 山東C03 粘性	海東C03 ゴム2個付	－
鉛直	最大変位	0.450	0.835	－	1.00	1.86	－
	平均変位	0.063	0.101	－	1.00	1.60	－
水平	最大変位	0.824	0.439	－	1.00	0.53	－
	平均変位	0.184	0.070	－	1.00	0.38	－

④経済性

経済比較の結果，高減衰ゴムダンパー容量増に比べ，粘性せん断ダンパーの設置は，現場調整作業が多く必要となる本橋では1.2倍高価となった．

6. まとめ

本橋では，制振装置において設計で想定する以上の変位が生じ，振幅の大きなケーブル振動が観測されたことから，その制振対策として，試験施工を行いモニタリングを実施した．その結果より，高減衰ゴムダンパー容量増による対策を実施していく方針が，技術検討委員会において示された．今後は，細部設計にて詳細検討を実施し，必要な箇所に必要な対策を順次進め，効果の検証を行う予定としている．

参考文献

1) 田邉ら：伏木富山港（新湊地区）臨港道路東西線（新湊大橋）の耐風対策について，平成 25 年度北陸地方整備局事業研究発表会

2) 社団法人日本道路協会：道路橋耐風設計便覧（平成 19 年度改訂版）

海上部の高橋脚における近赤外線分光法を用いた塩化物イオン量の推定

長尾　幸雄[1]・金澤　高宏[2]

[1]本四高速(株)　鳴門管理センター　橋梁維持課（〒772-0053 徳島県鳴門市鳴門町土佐泊浦字大毛 18）

[2]本四高速(株)　鳴門管理センター　橋梁維持課（〒772-0053 徳島県鳴門市鳴門町土佐泊浦字大毛 18）

塩害環境が厳しい海上部に位置する高橋脚において、劣化しているコンクリートを断面修復工法で補修するにあたり、従来の電位差滴定法による塩化物イオン量測定に比べ、比較的簡単に短時間で測定可能な近赤外線分光法により、塩化物イオン量の分布を推定した結果、断面修復範囲の選定に有効であることを確認したので報告する。

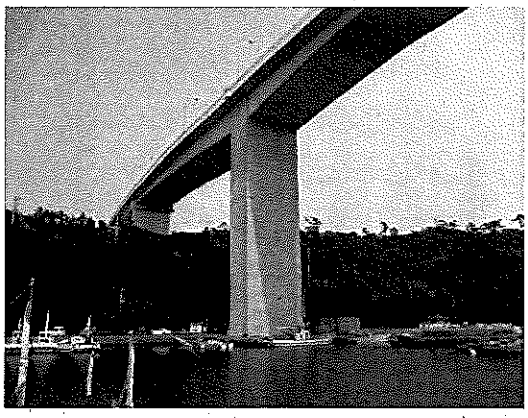
キーワード　近赤外線分光法，塩化物イオン量，塩害

1. 概要

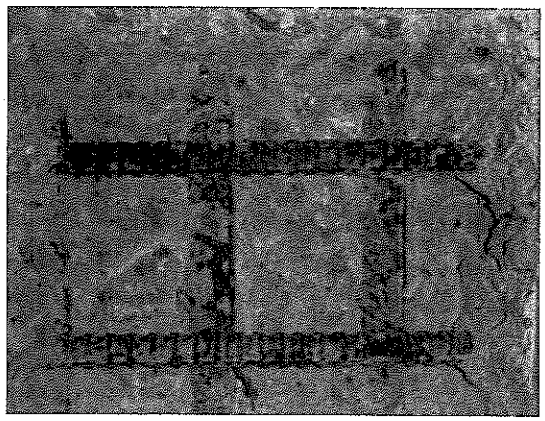
飛来塩分による塩害環境が厳しい海上部に位置する高橋脚（**写真－1**）において、鉄筋の腐食に伴うコンクリートの浮き等の変状が発生しており、第三者被害が懸念されることから、劣化したコンクリートを断面修復工法で補修し、表面処理を併用した剥落対策を実施している。ここで断面修復範囲を選定するにあたり、広範囲に内在塩分量を確認する必要があるため、比較的簡単に短時間で測定可能な近赤外線分光法により塩化物イオン量の分布を推定した結果、断面修復範囲の選定に有効であることを確認したので報告する。

2. 補修方針

剥落対策を行うにあたり、事前に実施した電位差滴定法（以下、従来法という）による調査でコンクリート中の塩化物イオン量が 2.5kg/m³[1)] を超える箇所が確認された。また、鉄筋の目視調査で鉄筋の腐食も確認されたため（**写真－2**）、内在塩分量の多い範囲のコンクリートをはつり取り、断面修復工法で



写真－1　対象橋脚



写真－2　鉄筋の腐食状況

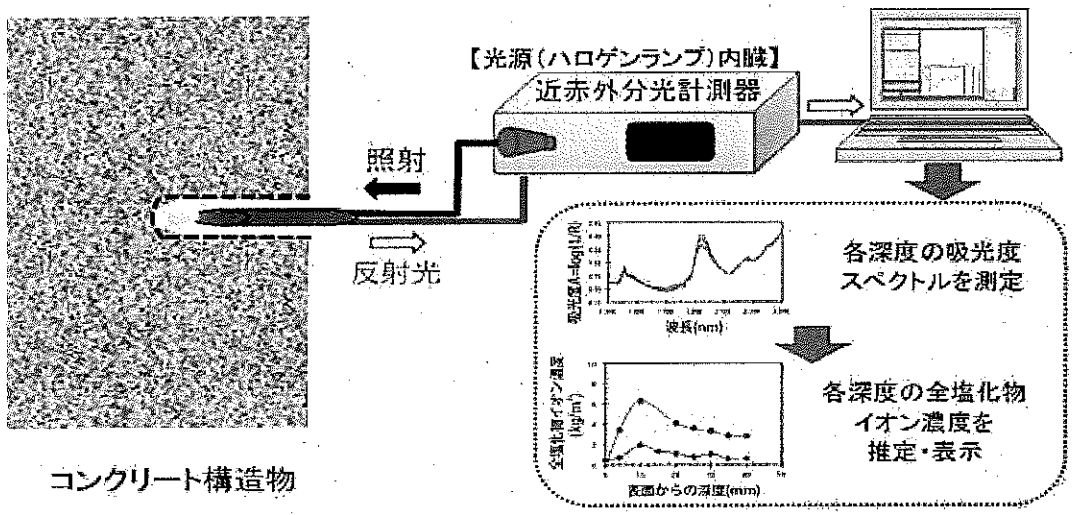
補修する方法を選定した。その断面修復範囲を選定するために、広範囲に内在塩分量を確認する必要があるため、比較的簡単に短時間で測定可能な近赤外線分光法により、塩化物イオン量の分布を推定することとした。

3. 調査概要

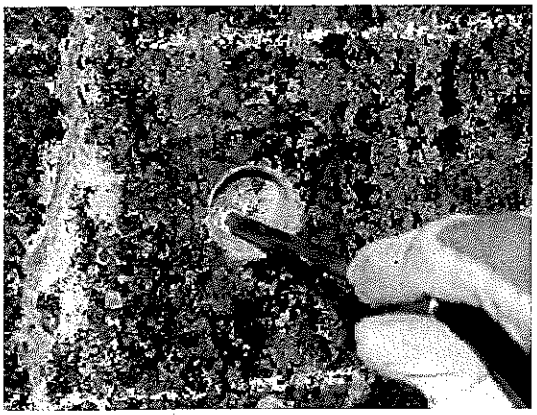
近赤外線分光法とは、測定対象に近赤外線（波長が0.7～2.5μmの電磁波）を照射し、吸光度（光の吸収度合い）の変化によって成分を算出する検査方法であり、宇宙、食品産業、農業、畜産、医薬品等幅広い分野で用いられている。また、コンクリートの塩化物イオン量の測定にも応用され、新技術としてNETISにも登録[2]されている。近赤外新分光法の調査イメージを図－1に、調査状況を写真－3に示す。

調査の実施にあたり、従来法で調査した箇所近傍で再度ドリル削孔を行い、段階的に深さ2cm、4cm、6cm、8cm、10cmの5断面で吸光度を測定し、従来法の結果を基に重回帰分析によるキャリブレーションを行った。キャリブレーションの結果、図－2の検量線を作成したグラフから推定誤差(残差)の平均値は0.3kg/m³程度で決定係数R²は0.93であり、ほどよい相関を示している。

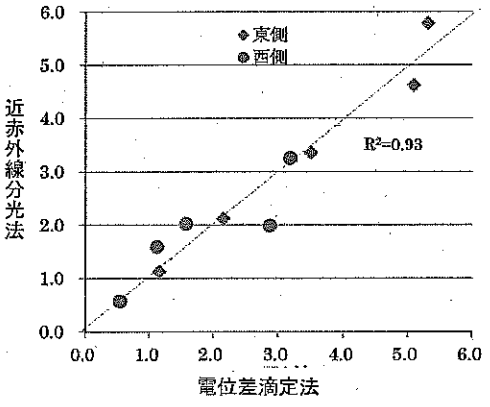
実橋での測定は、従来法による調査で塩化物イオン量が多かった橋脚下段（高さ22m程度）の3面について約2m間隔で66箇所実施した。測定深さは、事前調査で中性化深さが1.9～2.2cmであったことから、正確に塩化物イオン量を評価するため、コンクリート表面から3cmとした。なお、1孔あたり測定回数は9点とし、骨材測定データを排除した平均値を採用した。



図－1　近赤外線分光法の調査イメージ



写真－3　調査状況

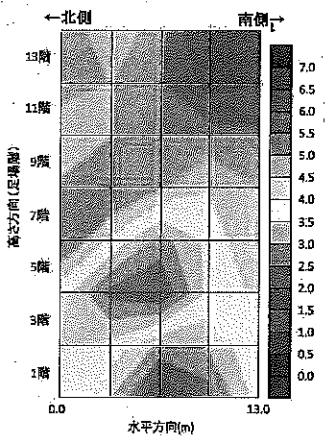


図－2　塩化物イオン量の検量線

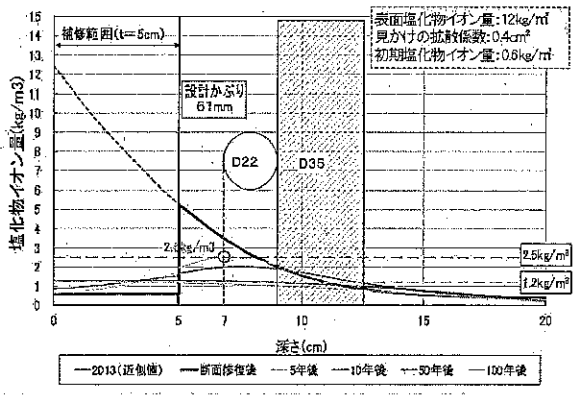
4. 調査結果と塩化物イオン量の拡散予測

事前に実施した従来法の結果と近赤外線分光法の測定結果より表面から3cmの位置における塩化物イオン量の分布状況を図化した。図－3にその一例を示す。

これらの結果を基にフィックの第2法則を用いて塩化物イオン量の拡散予測を行った。その結果、表面から3cmの位置における塩化物イオン量が3.2kg/m³未満であれば、表面被覆を施せば、徐々にコンクリート中の塩分は内部拡散し、将来的（100年後）には、鉄筋位置で2.5kg/m³程度まで減少する結果となった。また、表面から3cmの位置における塩化物イオン量が6.0kg/m³程度の箇所では、5 cmの断面修復を施せば、将来的（100年後）には、鉄筋位置で腐食発生限界濃度である1.2kg/m³を超えないことが分かった（図－4）。



図－3　塩化物イオン量分布図



図－4　断面修復後の拡散予測結果

5. 断面修復範囲の選定

調査結果を基に、表面から3cmの位置で塩化物イオン量が3.2kg/m³を超える範囲を目安に深さ5cmの断面修復を実施することとした。

また、それ以外の塩化物イオン量が少ない箇所では鉄筋のはつり調査で鉄筋の状況を確認しながら断面修復範囲を決定した。

鉄筋の腐食状況を目視により調査した結果、設計かぶり6.1cmを確保している箇所では、塩化物イオン量が鉄筋位置で腐食発生限界濃度1.2kg/m³を超えていても供用から30年近く経過した現在においても鉄筋腐食の進行は見られず、損傷は見られなかった。

なお、鉄筋のかぶりが小さくコンクリートの浮き等の変状があり、かつはつり調査で鉄筋の腐食が確認された箇所では、マクロセル腐食対策として犠牲陽極材を写真－4に示すように設置した。図－5に断面修復範囲の一例を示す。

6. おわりに

従来までの塩化物イオン濃度の分布は、ドリルにより採取した粉末試料を試験機関に送付し、試験機関では、試料をさらに微粉砕や薬品の添加等による測定までの前処理を行って、塩化物イオンを抽出した後に電位差滴定法による分析等で対応するため、



写真－4　犠牲陽極材設置状況

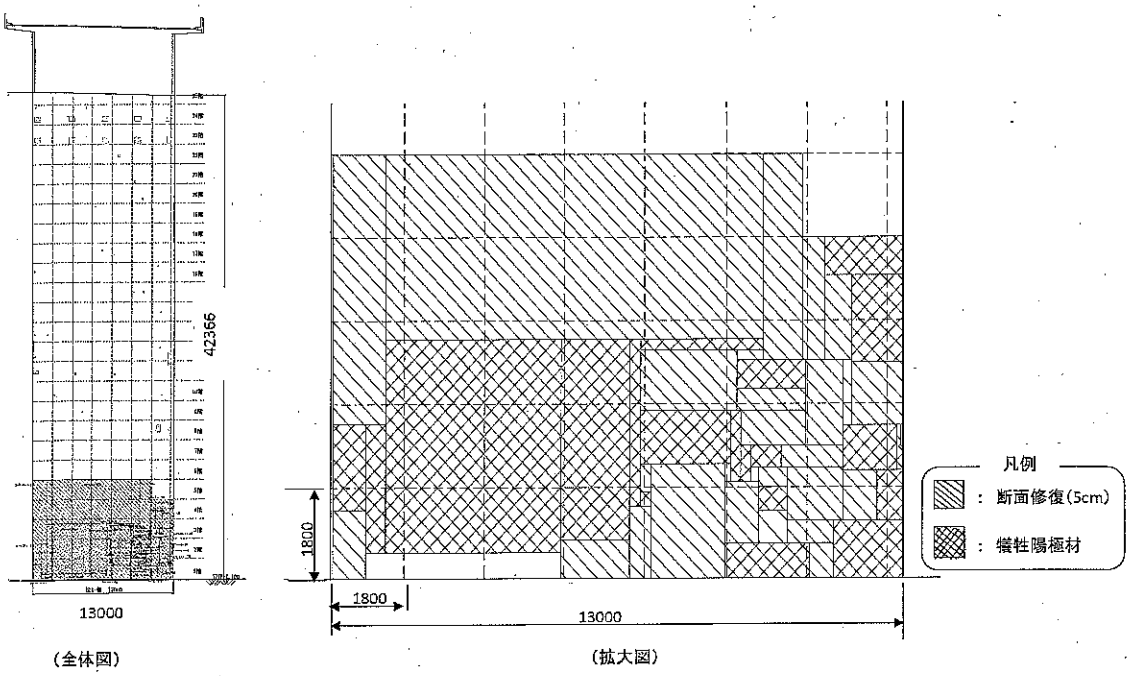
分析結果を得るには、2～3週間の期間が必要であった。また、調査点数も少なく、この分析結果を参考に、はつり調査等で鉄筋の腐食状況を確認しながら実施してきた。しかし、今回の近赤外線分光法では、事前にキャリブレーションを実施しておけば、調査位置で一定深さのドリル削孔した面にプローブをあてることにより、広範囲の塩化物イオン量の分布を比較的短時間で把握することができ、断面修復範囲の目安を立てる参考資料として有効であることが確認できた。

今後、塩化物イオン量が高い環境に存在する橋梁の高橋脚等における塩害対策としてコンクリートはつりを行う場合、短時間で安価に断面修復範囲を決定できる本手法を活用することも視野に入れるべきであろう。

参考文献

1) 建設省：建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」報告書（1989年5月）

2) 塩化物イオン濃度の現地測定システム：NETIS登録、SK-090005-V、2009



図－5　断面修復範囲図

備讃瀬戸北航路の維持浚渫工事について

範國（のりくに）　大介

四国地方整備局　高松港湾・空港整備事務所　航路管理課　（〒762-0002　香川県坂出市入船町1-5-26）

備讃瀬戸航路は、瀬戸内海を東西に結ぶ国際幹線航路で、多くの船舶が航行している。海域特有の自然環境のもと、サンドウェーブの発達等により、埋没現象が発生しやすい条件であり、平成25年度から備讃瀬戸北航路において、水深確保のための維持浚渫工事に着手している。本稿では、一般船舶の航行を確保しながらの浚渫工事における安全対策について報告を行う。

キーワード　開発保全航路、維持浚渫、安全管理、PDCAサイクル、リスク・ホメオスタシス

1. はじめに

備讃瀬戸航路は、図-1.に示す香川県と岡山県の海峡部に位置し、瀬戸内海を東西に結ぶ国際幹線航路である。瀬戸内海周辺には、数多くの工場・企業が立地し、安定した材料供給を行うために、備讃瀬戸航路は、必要不可欠である。また、近年では、資源・エネルギー・食料等の世界的な獲得競争がすすむ中、海上輸送の世界においても一括大量輸送のスケールメリットを追及する観点から輸送船舶の大型化が進展している。国土交通省では、選択と集中の政策により、国際コンテナ戦略港湾、国際バルク戦略港湾を選定し、大水深に対応した港湾施設の整備を進めている。備讃瀬戸航路に接続する港としては、阪神港が、国際コンテナ戦略港湾、水島港、福山港等が、国際バルク戦略港湾に選定されている。それら政策の成否も、備讃瀬戸航路が保全されていることが前提となっており、備讃瀬戸航路は、我が国の物流を支える極めて重要な役割を担っている。

一方で、瀬戸内海には、大小多数の島しょ・暗礁や起伏の激しい海底地形に伴う複雑な潮流が存在し、濃霧の発生する気象条件もあいまって、古来より、航行の難所として知られている。また、それら海域特有の自然条件は、土砂流入やサンドウェーブの発達による埋没現象の要因になっており、航路水深が減少していく傾向にある。

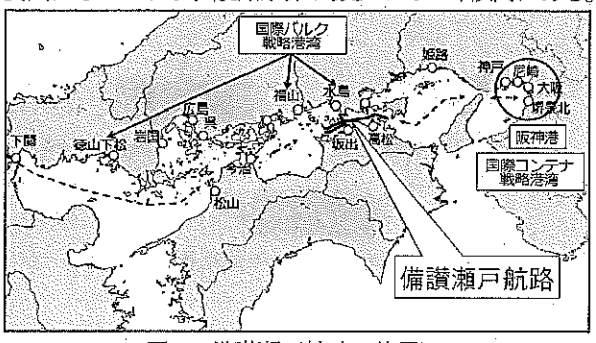


図-1　備讃瀬戸航路の位置図

このため、国土交通省では、備讃瀬戸航路を開発保全航路（国自らが開発・保全を行う航路）に指定し、これまでにも航路保全や航路水深維持のための浚渫工事等に取組んできた。本稿では、平成25年度から着手している備讃瀬戸北航路の維持浚渫工事における安全対策について報告する。

2. 北航路維持浚渫の事業経緯

備讃瀬戸航路は、東航路、北航路、南航路で構成されている。北航路は、高度経済成長期に瀬戸内海周辺の工業立地加速に伴う航行船舶の増加や大型化に対応すべく、昭和45～47年にかけて、水深19mへ増深する浚渫工事を実施している。また、平成21年12月には、物流競争激化に伴う船舶のさらなる大型化を背景に、海難等による航路閉塞が発生した際の経済活動への多大な影響を勘案し、備讃瀬戸航路全域を開発保全航路に政令指定した。これに伴い北航路についても、本格的に維持管理に着手することとなった。

平成22年4月に維持管理の一環として、北航路の水深測量を実施したところ、丸亀市沖広島南方にある波節岩周辺において、サンドウェーブ発達による浅所（計画水深19m以浅の箇所）を確認し、維持浚渫の実施により、航路水深を確保する必要が生じた。

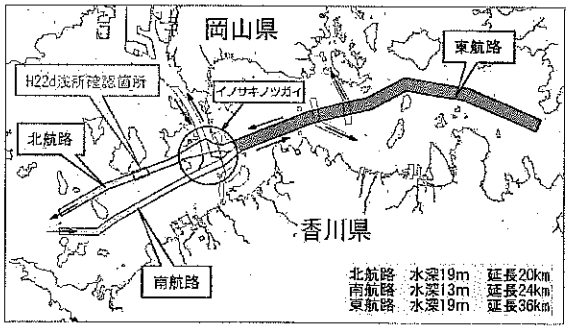


図-2　備讃瀬戸航路の開発保全航路指定区域

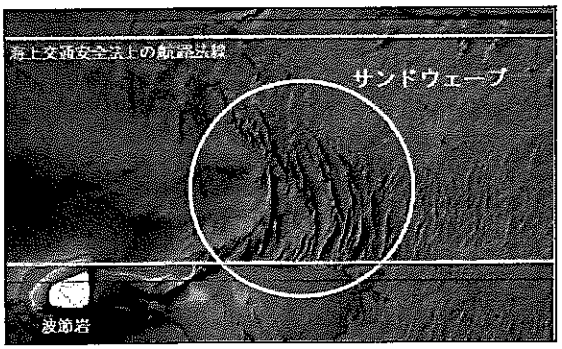


図-3　波節岩東側のサンドウェーブ

しかし、浚渫工事を実施するには、多くの航路利用者や漁業関係者との調整等が必要となり、長期間を要する。そこで、平成23年2月までに、学識者、関係機関及び海事関係者を交え、「備讃瀬戸航路における航行安全対策検討委員会」を開催し、当面の浅瀬障害に対する航行安全対策について検討を行った。備讃瀬戸北航路の対象船舶の最大航行喫水は16mであり、波浪やうねり、船舶航行時の動揺・沈込み等の影響を考慮し、余裕水深（UKC：under keel clearance）15%を設け、必要水深は16m×1.15=18.4mとなり、これを切上げ計画水深が19mとなっている。しかし、浅所の存在により計画水深を確保できていない状態にあり、委員会では、対策として、水深17mの区域を潮汐利用（潮位差+1.40m）により、必要水深18.4mを確保し航行する案（図-4参照）を採用した。

この対策により、暫定的に浅所箇所の航行安全は確保できるものの、潮汐利用による航行時間制限、さらに水深17m以浅の箇所は航行できないため、通行幅においても制限が生じている。抜本的な解決策である維持浚渫への早期着手が海事関係者等から強く要望されていた。

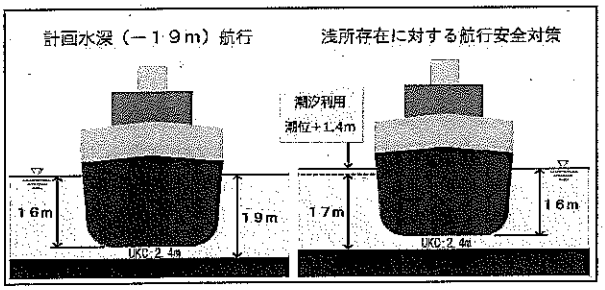


図-4　北航路浅所箇所における航行対策

その後、各種調査、施工方法や施工時における一般航行船舶への安全対策の検討を実施し、航路利用者や漁業関係者との調整が整い、平成25年度から北航路の維持浚渫に着手できる運びとなった。

3.　北航路維持浚渫の概要

北航路維持浚渫は、漁業関係者との調整により、浚渫可能期間が、7~9月の3ヶ月間となっている。図-5に示す波節岩北東エリアを対象とし、平成25~30年度までの6年間で実施する計画となっている。

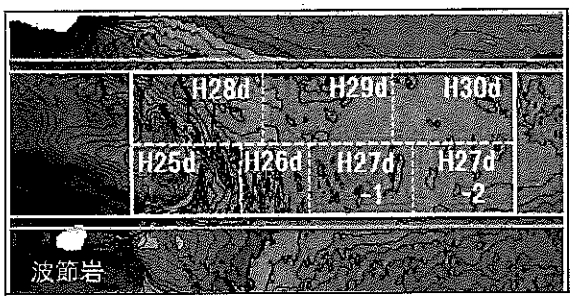


図-5　北航路浚渫工事位置図

浚渫は、循環式ポンプ浚渫にて行う。ポンプ浚渫では、ラダー先端のカッターで土砂を撹拌し、泥水をポンプで吸上げることにより浚渫を行う。通常方式で土運船に積込みを行うと、泥水が土運船から越流し、濁り拡散により、環境や漁業への影響が懸念される。一般的な対策としては、汚濁防止膜を設置し、拡散防止を行うが、当該区域は、潮流が速く、汚濁防止膜が設置できない。本工事で採用している循環式ポンプ浚渫は、図-6に示す経路で浚渫した泥水を海底に還流することで濁りの拡散を抑える工法である。①ポンプで泥水を吸い上げ②土運船に積込み③越流した水を土運船に設けた余水層に貯め④還流ポンプで吸入し⑤ポンプ船のカッター先（海底）へ還流する。また、カッター先には汚濁防止カバーを取り付け、底面の汚濁防止にも努めている。

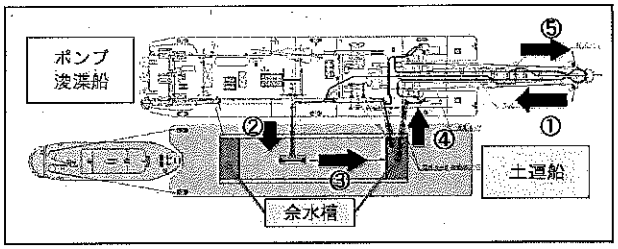


図-6　循環ポンプ浚渫方式（平面図）

4.　北航路維持浚渫における安全対策

備讃瀬戸航路は、瀬戸内海における巨大船航行の唯一の生命線であり、浚渫工事においても、一般船舶の航行安全を確保しながらの施工が必須となる。北航路浚渫時における安全対策のPDCAサイクルについて報告する。

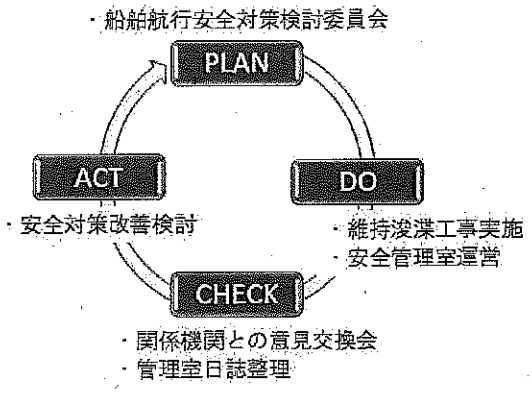


図-7　北航路浚渫における安全対策PDCAサイクル

(1) PLAN　計画（船舶航行安全対策検討委員会）

平成24年6～12月に「備讃瀬戸北航路浚渫工事に伴う船舶航行安全対策検討委員会（以下、委員会）」を開催し、安全対策の策定を行った。委員会には、学識者、関係機関、海事関係者等にも出席いただき、工事発注者からの視点のみでは無く、日頃から備讃瀬戸航路を運航している方々の貴重な意見を踏まえ、航行船舶の安全対策案の検討を行った。安全対策検討を行うに当り、特に留意が必要な条件として、a)～c)が挙げられる。

a) 漁業操業

瀬戸内海の多様な環境のもと、底引き網類、まき網類、敷網類等、多岐にわたって漁業活動が行われている。瀬戸内海特有の漁法である「こませ網漁」では、幅150～200mに渡って網が設置されるため、航行安全対策上、十分留意が必要となる。

b) 巨大船の挙動

海上交通安全法では、船体長200mを超える船舶を巨大船と定義している。巨大船が安全に進路変更を行うには、船体長の5倍程度の距離が必要となる。また、車のように急停止はできず、300m級の巨大船では、急に止ろうとしても4～5km程度は惰性で動いてしまう。

c) 船舶の並走・追い越し

浚渫エリアは、図-8に示す速力制限の区域を通過後、間の無い区域にあり、巨大船やフェリー、クルーズ船、作業船、漁船、レジャーボートなど多種多様な速力の異なる船舶の航行により並走・追い越しがある。

委員会では、上記a)～c)の条件等を十分に踏まえ、浚渫工事に伴う航行安全対策の策定を行った。委員会で策定した主な安全対策について、下記d)～f)に記す。

d) 安全管理室の設置

巨大船航行時の一般船舶と工事作業船などの安全を確保するため、安全管理室を設置し、工事作業船等の運航管理や一般船舶の動静把握、一般船舶への情報提供を一元的に行う。

e) 灯標の設置と移設

工事期間中、工事区域には、灯標を設置し、一般船舶の航泊禁止措置をとり、航行船舶の安全を確保した。また、浚渫工事は、工事エリアを東西方向に４レーンに分けて、航路中心側から航路外側に向かって進捗していく。航路中心側の浚渫が完了した後に、可航幅を少しでも広く確保するため、灯浮標を移設し、可航幅を拡幅する安全対策を策定した。

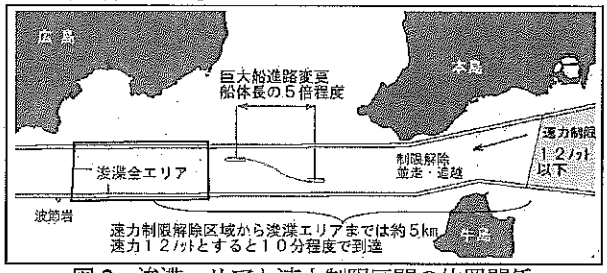


図-8　浚渫エリアと速力制限区間の位置関係

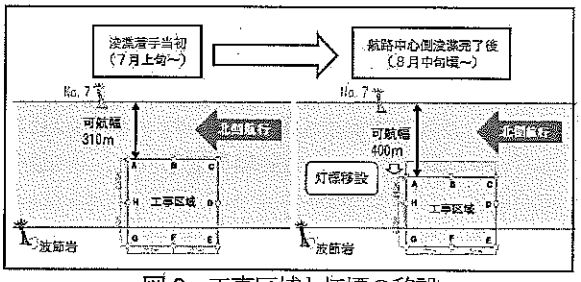


図-9　工事区域と灯標の移設

f) 警戒船の配備と可航水域の標示

北航路の通航方向は、西行きの一方通航であり、北航路を航行してくる船舶に対応するための警戒船（指揮船）を工事区域の東側に1隻、操業漁船等に対応するための警戒船（従警戒船）を工事区域西側に1隻24時間配備する。また、水先人が乗船していない多数の外航船も通行しており、中には迷走し航路を外れる船舶等も見受けられるため、工事区域の東側に電光表示板（矢印）を設置し、可航水域を標示する安全対策を策定した。

(2) DO　実行（維持浚渫実施、安全管理室運営）

工事着手にあたっては、着手1ヶ月前に、関係機関等に浚渫工事の周知を行った。国際幹線航路である備讃瀬戸航路は、外国船を含め多数の船舶が航行しているため、日本語版に加え、英語版・中国語版・韓国語版を作成し、約400箇所の送付先に対し、合計で１万部以上のリーフレットを配布した。

浚渫工事では、委員会で策定された安全対策を基本とし、図-10に示す安全管理体制にて安全対策を実行した。

安全管理室は、工事海域及び作業船や一般船舶の通行状況などを広範囲に把握できる位置として、丸亀市広島江之浦に設置した。また、可航域水域を標示するための電光標表示板（矢印）は、安全監視船Bに艤装した。

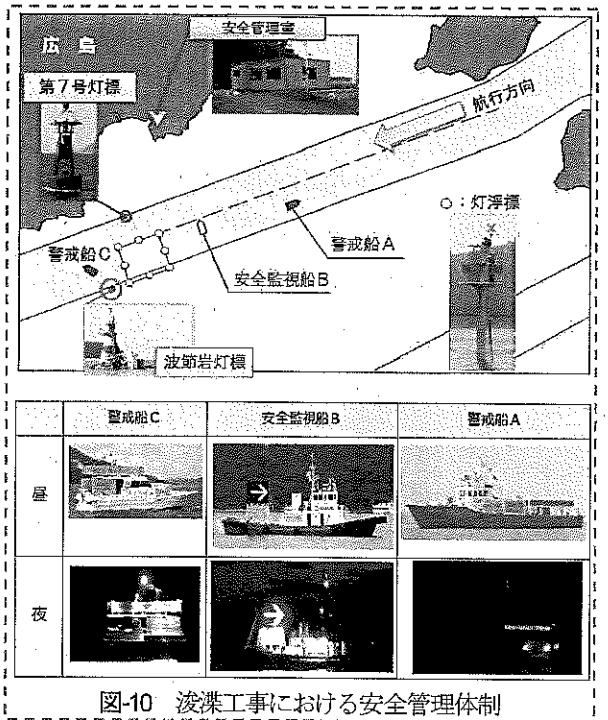


図-10　浚渫工事における安全管理体制

(3) CHECK　評価（関係機関との意見交換会など）

安全管理室から日々報告があがってくる安全管理日誌には、工事作業船状況、船舶航行状況、漁船操業状況、警戒船による注意喚起状況など様々な有益な情報が含まれている。**図-11**は、安全管理日誌を元に、平成25年度浚渫工事における警戒船による主な注意喚起件数を整理したものである。浚渫着手当初に注意喚起が多く、航行船舶に工事区域の存在が認知されるにつれ、注意喚起件数が減少している。最も多かった注意喚起は、工事区域南側を航行しようとする船舶に対するものである。ヒアリングを行ったところ、工事区域の北側には、広島があり、その圧迫感から可航幅を狭く感じ南側を航行したとの回答があった。灯標を移設し、可航幅を拡幅した後は、工事区域南側を航行する船舶も減少している（南側航行への注意喚起件数：移設前15件→移設後2件）。

また、浚渫工事完了後に海上保安庁、施工会社、発注者が出席し、浚渫工事の安全対策における意見交換会を行い、今後の安全対策改善に有用な貴重な意見をいただいた。主な意見をa)～c)に記す。

a) 外国船への対応

注意喚起が必要な船舶の多くは外国船籍であり、英語での注意喚起が通じていないケースがみられた。テープでの呼びかけは一方通行になり良くない。受け答えが必要。ラジャーの返答だけ連発する船は、何を理解したか不明であり、注意が必要。また、VHFを聞いていると船名を間違えて呼びかけているケースがあった。

b) 警戒船のポジショニング

航路南側を航行している船舶が航路北側に復帰しようとした際に、警戒船が邪魔になる位置取りになっているケースがあった。

c) 夜間の灯火状況

警戒船Aのネオン管標示「備讃瀬戸北航路浚渫工事警戒船」の文字数が多く、一文字当りが小さく認識しづらい。漁船のあかりと間違えて避航行動をとる船舶があった。（**図-12**左 参照）

(4) ACT　改善（安全対策の改善）

CHECKフェーズで把握した課題に対し実施した主な安全対策の改善をa)～c)に記す。

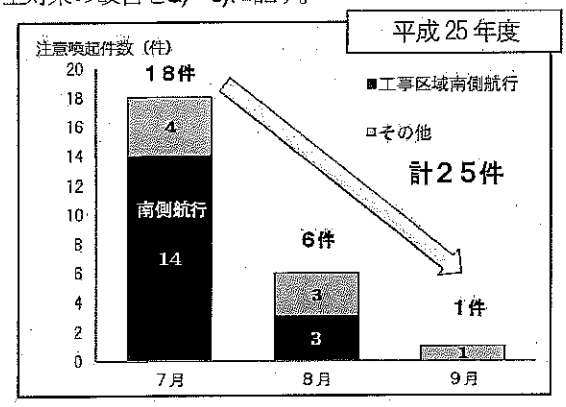


図-11　平成25年度工事における警戒船注意喚起件数

a) 事前習熟の徹底

図-11で示したとおり、現場着手当初が最も注意が必要な状態となる。そこで、着手前の周知リーフレットに可航箇所の明示や目印となる7号灯標を表示し、分かりやすい周知となるように改善を行った。また、契約当初から施工会社に対し、本現場における安全管理上の留意点について説明を行い、警戒船と安全管理室の連携確認や警戒船のポジショニングについてのミーティングやケーススタディーの作成など事前習熟の実施を徹底した。

b) 外国船への対応

英語での注意喚起については、警戒業務の担当者に英語が堪能な方がいて、その方を講師役とし、安全教育を実施した。また、船名呼び間違えへの対応としては、コールサインが確認できるAISを導入し、確実に対象船舶への呼びかけができるように改善を行った。

c) 夜間灯火の改善

警戒船Aの夜間標示は、「WARNING」とし、一文字当りを大きくし、外国船にも認識できるものに改善を行った。（**図-12**右 参照）

5. 評価と今後の対策

安全対策の改善を実施した結果、平成 25 年度工事における警戒船からの注意喚起件数が 25 件であったのに対し、平成 26 年度工事では、**図-13** に示すとおり 13 件となり、概ね半減している。

本工事は、継続事業であり、引き続き PDCA サイクルでの安全管理を実施していく。安全管理の PDCA サイクルを循環させるためには、各フェーズの中、日々の作業等においても、pdca サイクルを循環させることが重要となる。

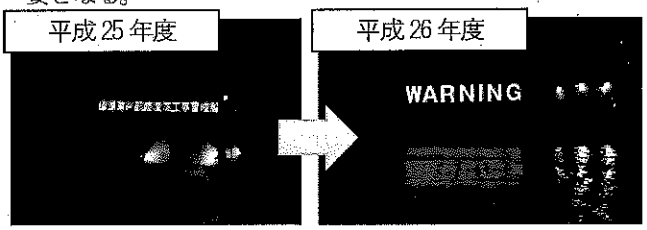


図-12　警戒船Aの標示板の改善（夜間状況）

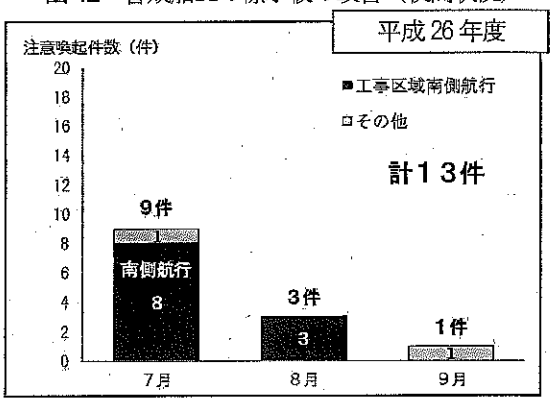


図-13　平成26年度工事における警戒船注意喚起件数

例えば(DO フェーズ) 施工であれば、(plan) KY ミーティング、作業手順書の周知 (do) 実作業 (check) 振返りミーティング、ヒヤリハットの収集、安全パトロール実施 (act) 日々の作業での安全対策の改善といった pdca サイクルとなる。

日々の安全管理での小さな pdca サイクルを回して、工事中における航行安全対策での大きな PDCA サイクルが回るような状態を維持するためには、施工者からの課題などを申送り事項として整理し、次年度の工事に引き継ぐようにし、今後も、安全対策の改善につなげていくことが重要となる。

6. おわりに

本稿では、一般船舶の航行を確保しながらの施工における安全対策 PDCA サイクルについて報告を行った。工事開始で、PLAN・DO フェーズまでは到達するが、その先の CHECK・ACT フェーズについては、意識して実施する必要がある。リスクマネージメントの考え方の一つにリスク・ホメオスタシス[1]というものがある。これは、1982 年にカナダの心理学者 Gerald JS Wilde により提唱された理論である。

リスク（危険）ホメオスタシス（恒常性）の意味で、「人間は個々にリスクの目標水準を持っており、道具や環境が安全になっても、そのリスク水準を維持するように行動する」という理論である。

一般的な事例としては、直線道路での交通事故が挙げられる。曲がりくねった道では、道路線形の構造的な要因が事故につながるリスクとなる。一方、直線で幅広の道路では、構造的な要因は減少するが、運転者が速度を上げるなどリスクを補填する行動をとり、事故につながる可能性がある。後者のリスクは人が意識していれば改善できる質のリスクである。

本工事では、警戒船による注意喚起が必要な状況は、工事進捗に伴い、減少していく傾向にある。その状況を安全な環境であると誤認し、油断しているとリスクを補填することになり、いざという時に対応できないことが考えられる。今後の工事においても、リスク・ホメオスタシスの意識を持ち、安全対策に努めていきたい。

参考文献

1) ジェラルド・J・S・ワイルド 著／芳賀 繁 訳.
『交通事故はなぜなくならないか』

自由課題

一般部門＜活力＞

大型車両に対する走行経路表示システムの有効性検証

築地　貴裕[1]・鈴木　彰一[1]・牧野　浩志[1]

[1]国土技術政策総合研究所　高度道路交通システム研究室　（〒305-0804 茨城県つくば市旭1）

日本では、高度経済成長期に集中的に建設された道路インフラの長寿命化への対策が急務となっている。重量の大きな特殊車両は道路構造物への影響が大きく、道路インフラの長寿命化のためには、特殊車両が許可された経路を適切に走行することが不可欠である。本研究では、特殊車両の適切な経路の走行を支援することを目的として開発した、走行中のドライバーに対し通行すべき経路及び自車位置を表示するシステムについて、実験により有効性検証を行った。

キーワード　特殊車両，許可経路，走行経路表示システム，有効性検証

1. はじめに

日本では、高度経済成長期に集中的に建設された道路インフラの長寿命化への対策が急務となっている。道路構造物の劣化に影響を及ぼす要因の1つに、重量の大きな大型車両による走行が挙げられる[1]。道路法第47条の2では、構造が特殊である車両、あるいは輸送する貨物が特殊な車両で、幅、長さ、高さ及び総重量のいずれかの一般的制限値を超えるか、橋、高架の道路、トンネル等で総重量、高さのいずれかの制限値を超える車両を「特殊な車両」としている[2]。特殊な車両が道路を通行するためには「特殊車両通行許可」が必要である。道路インフラの長寿命化のためには、特殊車両が許可された経路を適切に走行することが不可欠である。

特殊車両の通行許可証には、特殊車両を走行させる場合の許可経路及び通行条件（走行車線や徐行指示など）が記載されており、走行にあたっては、許可証に記載されている許可経路及び通行条件を遵守する必要がある。また、通行条件には車両緒元や積載物などの条件も含まれ、同一の出発地・目的地に対して通行条件の異なる複数の許可経路が存在する場合がある。現状、これらの許可経路・通行条件が記載されている許可証は印刷物であり、許可証の数やページ数が膨大であることから、ドライバーが走行中に許可経路・通行条件を容易に確認することは困難である。ドライバーが適切な経路を走行するためには、許可経路・通行条件を容易に確認できることが有効と考えられる。

これらの課題に対し、筆者らは、走行中の特殊車両のドライバーに通行すべき許可経路を知らせる方策について検討を行い、汎用製品のタブレット端末を用いてドライバーに対し通行すべき許可経路と自車位置を表示する「走行経路表示システム」を作成した。その上で、「走行経路表示システムはドライバーの許可経路遵守を支援することができる」との仮説のもと、運送事業者の通常業務における試用を通じて実験を行った。さらに、汎用的な機器を用いることによる運送事業者の作業負担の軽減についても検証を行った。

2. 走行経路表示システム

「走行経路表示システム」は、既設の特殊車両通行許可システムから抽出した許可経路情報を用いる。図-1に走行経路表示システムの概要を示す。図-1に示すように、許可情報はDB（データベース）サーバに保存され、WEBサーバを介してタブレット端末で取得される。DBサーバには特殊車両100台分の許可経路（10経路／台）の保存を可能とした。表-1にDBサーバ及びWEBサーバの仕様を示す。

タブレット端末は、携帯電話回線を通じてインターネットへの接続が可能であること、多様な測位衛星に対応できること、走行履歴を取得できること、車載するため小型であること、解像度が高いこと、といった観点から、表-2に示す端末を採用した。

走行経路表示システムの利用に際し、運送事業者の配車担当者は、タブレット端末を用いて出発前に出発地、目的地、走行経路等を選択する。ドライバーは、タブレット端末に表示された許可経路に従って走行する。

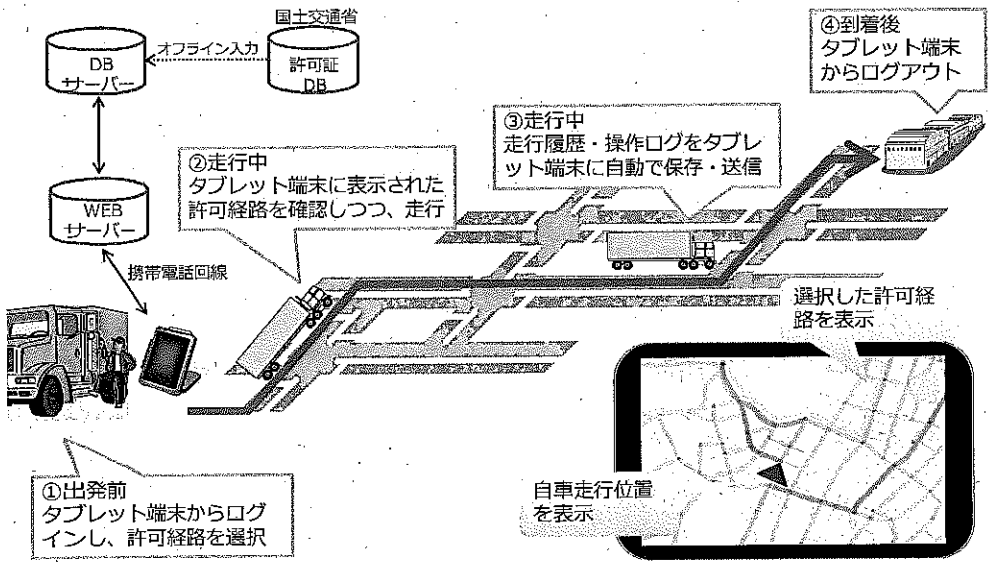


図-1　走行経路表示システムの概要

表-1　DBサーバ及びWEBサーバの仕様

	DBサーバ	WEBサーバ
CPU	Xeon E3-1220 v2 4 core / 4 thread	Xeon E3-1220 v2 4 core / 4thread
メモリ	16 GB	4 GB
HDD容量	4 TB	6 TB

表-2　タブレット端末の仕様

OS	Android 4.3
CPU	Snapdragon S4 Pro 4core 1.5GHz
メモリ	2 GB
寸法	200 × 114 × 8.6 mm
重量	290 g
ディスプレイサイズ	7インチ
バッテリー駆動時間	9時間
センサー	加速度センサ、ジャイロセンサ
測位機能	GPS, GLONASS
通信方式	3G, LTE

表-3　被験者及び車両

被験者No.	社名	車両	車種
1	A社	1号車	トラクター
2		2号車	トラクター
3	B社	3号車	トラクター
4		4号車	トラクター

表-4　各被験者の実験期間及び走行回数・距離

被験者No.	実験期間	走行回数	総走行距離
1	2014年1月20日 ～2014年2月27日	8回	2,015km
2		3回	281km
3	2014年1月28日 ～2014年2月28日	5回	1,973km
4		9回	1,857km



図-2　実験車両及びタブレット端末の取り付けの状況

3.　走行経路表示システムの有効性検証

(1) 実験概要

作成した走行経路表示システムについて、ドライバーの許可経路遵守を支援することができるかを検証するため、実験を行った。実験では、表-3に示す運送事業者A社、B社のドライバーを被験者とし、通常業務における走行で走行経路表示システムを使用することとした。各被験者の実験期間、走行回数、走行距離を表-4に示す。また、実験車両及びタブレット端末の取り付けの状況を図-2に示す。なお、実験においては、安全のため、運転中のタブレット端末の操作は禁止とした。

(2) 表示経路と走行経路の一致度の検証

ドライバーが許可経路を遵守したかどうかを検証するため、走行経路表示システムによる表示経路と実際に走行した経路の一致度を検証した。実際に走行した経路は、タブレット端末のGNSS (Global Navigation Satellite System) 測位記録により特定した。経路の一致度は、「折進誤り」の回数により評価を行った。「折進誤り」は、走行中、走行経路表示システムにより表示された許可経路から外れ、再び表示経路に戻る動作と定

義した。折進誤り回数が0であれば被験者は許可経路どおりに走行しており、折進誤り回数が少ない場合は、走行経路表示システムの有効性は高いといえる。一方、折進誤り回数が多い場合は、許可経路から外れた回数が多く、システムの有効性は低いといえる。

表-5に実験結果を示す。表-5に示すとおり、被験者No.3は、折進誤り回数が少なく、概ね表示された経路のとおりに走行していた。一方、被験者No.1、No.2、No.4は折進誤り回数が多い結果であった。これらの結果について被験者にヒアリングを行ったところ、「走行経路表示システムには表示されていない他の許可経路を走行した」との回答が得られた。被験者No.1の走行実験結果の一例を図-3に示し、同一箇所において走行経路表示システムにより表示されていない他の許可経路を重畳した結果を図-4に示す。図-3及び図-4より、被験者No.1は、走行経路表示システムに表示されていない他の許可経路を走行したことがわかる。被験者No.2、No.4についても同様の結果が得られた。

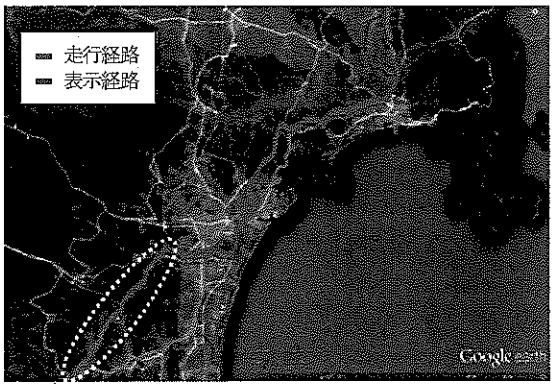


図-3　被験者No.1の走行実験結果の一例
(Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO - Image © 2014 DigitalGlobe - © 2013 ZENRIN)

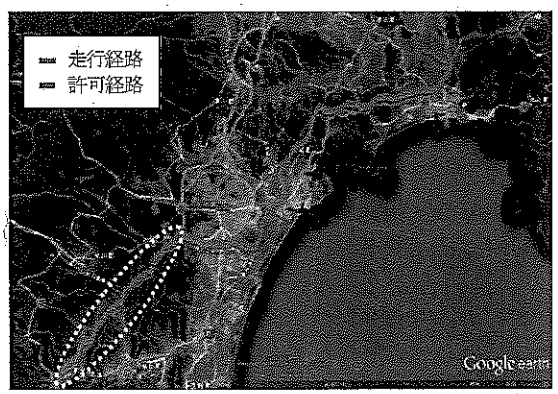


図-4　同一箇所に他の許可経路を重畳した結果
(Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO - Image © 2014 DigitalGlobe - © 2013 ZENRIN)

表-5　実験結果

被験者No.	折進誤り回数	100kmあたりの折進誤り回数	総走行距離
1	22回	1.09回	2,015km
2	4回	1.42回	281km
3	1回	0.05回	1,973km
4	9回	0.48回	1,857km

特殊車両通行許可制度においては、許可経路とともに通行条件（車両緒元や積載物など）が定められており、同一の出発地・目的地に対して通行条件の異なる複数の許可経路が存在する場合がある。被験者No.1、No.2、No.4が表示経路を外れ走行した経路は、実験における車両緒元・積載物に合致した許可経路ではない可能性がある。したがって、ドライバーが許可経路を遵守するためには、走行経路表示システムのみでは十分ではなく、ドライバーを含む運送事業者の特殊車両通行許可制度に対する正しい理解が必要であることが明らかになった。

(3) 走行経路表示システムの操作時間の検証

運送事業者の作業負担の軽減について検証するため、配車担当者が走行経路表示システムにおける走行経路の選択等の操作を行う際の操作時間を検証した。操作時間の検証にあたっては、システムの設計者（Expert）と初心者（Novice）の操作時間を比較するNEM（Novice Expert ratio Method）[3]を用いた。NEMでは、システム設計者と初心者が同一の操作を行い、システム設計者の操作時間に対する初心者の操作時間の比をNE比と定義し、操作時間を比較する。本実験では、走行経路表示システムの開発関係者1名と初心者1名を被験者とした。走行経路表示システムにおいて配車担当者がタブレット端末上で行う表-6の操作について、タブレット端末の操作ログから操作時間を算出し、NEMを用いて検証を行った。ここで、初心者は、スマートフォンの操作には慣れているが、走行経路表示システムの操作は初めてという人を選定した。

表-6　検証した操作時間

操作の種類	検証する操作時間	計測する時間
走行車両番号選択	トラクター車両番号選択時間	トラクターの車両番号のリストを表示させ、選択して「OK」ボタンを押すまでの時間
	トレーラー車両番号選択時間	トレーラーの車両番号のリストを表示させ、選択して「OK」ボタンを押すまでの時間
経路新規追加	出発地選択時間	出発地のリストを表示させ、選択して「OK」ボタンを押すまでの時間
	目的地選択時間	目的地のリストを表示させ、選択して「OK」ボタンを押すまでの時間
	ルートリスト選択時間	設定した出発地、目的地に対するルートリストを表示させ、選択して「走行経路保存」ボタンを押した後「OK」ボタンを押すまでの時間
経路選択	経路選択時間	走行する経路のリストを表示させ、選択して「確定」ボタンを押した後「OK」ボタンを押すまでの時間

開発関係者、初心者の操作時間及びNE比をグラフで表したものを図-5に示す。図-5に示すように、「トレーラー車両番号選択」、「ルートリスト選択」、「経路選択」のNE比が他の操作のNE比に比べ高い結果であった。これらの結果について被験者にヒアリングを行ったところ、「ルートリスト選択」、「経路選択」については、「経路を選択して確定し、OKボタンを押すという二段階操作に戸惑った」との回答が得られた。また、「トレーラー車両番号選択」については、「トラクターとトレーラーの登録数の違いにより戸惑った」との回答が得られた。一般にNE比の高い操作は、システムに初心者の操作性を考慮した改良を加えることで、システム設計者と初心者の操作時間のギャップを改善しやすい操作であるとされている[3]。二段階操作による操作時間の遅れは、タブレット端末の操作特性に起因するものであり、同様の操作を繰り返すことで、習熟により操作時間を短縮できると考えられる。トラクターとトレーラーの登録数の違いは、特殊車両通行許可制度及び事業者が取得している許可条件に起因するものであり、操作時間短縮のためには、特殊車両通行許可制度に対する理解が必要になると考えられる。

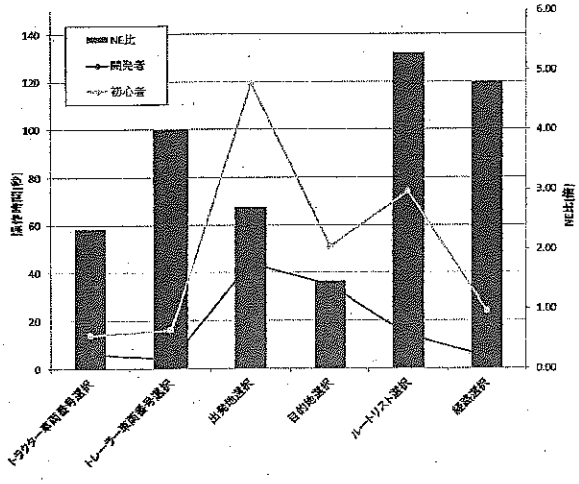


図-5 操作時間の検証結果

(4) 操作性に関するヒアリング調査

運送事業者の作業負担の軽減に関する検証の参考とするため、走行経路表示システムの操作性について、被験者へヒアリング調査を行った。ヒアリング調査は、A社、B社の配車担当者1名ずつ、表-3に示すドライバー2名ずつに対し行った。ヒアリング方法は、「電子政府ユーザビリティガイドライン（平成21年）」[4]の「利用者アンケート調査ガイド」で紹介されているSUS (System Usability Scale) を用いた。SUSは簡易なユーザビリティ評価指標であり、10問程度の質問に「まったくそう思う」～「まったくそう思わない」の5件法で回答する構成である。回答結果から簡単な計算で対象システムのユーザビリティレベルを点数化でき、全体的なユーザビリティのレベルを把握するのに適している。

本調査では、SUSで定められている標準の設問内容10項目をもとに、配車担当者向けの設問10問、ドライバー向けの設問11問を作成した。ヒアリング調査では、被験者に各設問に対し「そう思う」、「どちらかといえばそう思う」、「どちらとも言えない」、「どちらかといえばそうは思わない」、「そうは思わない」の5段階で回答してもらい、最もよい評価を5、最も悪い評価を1として評価値を整理した。表-7にA社、B社の配車担当者に対するヒアリング結果を示し、表-8にA社、B社のドライバーに対するヒアリング結果を示す。なお、ドライバーに対するヒアリングでは、各社2名ずつを被験者としたが、各設問に対し2名分の意見を統合した回答を得た。

表-7及び表-8に示すように、A社、B社いずれの配車担当者、ドライバーも評価値の平均は3.7以上であった。各項目の評価値を見ると、配車担当者に対するヒアリング項目10項目のうち、評価値4以上の回答はA社、B社ともに6項目、ドライバーに対するヒアリング項目11項目のうち、評価値4以上の回答はA社で7項目、B社で10項目である。個別の設問を見ると、表-7における設問2、4、6に対する回答から、配車担当者は概ね走行経路表示システムを問題なく操作できていることがわかる。一方、設問3、10に対する回答から、一部の操作においては事前学習や習熟が必要であることがわかる。

表-8における設問6～9に対する回答から、ドライバーも概ね走行経路表示システムを問題なく操作できていることがわかる。一方、設問5、11に対する回答から、配車担当者と同様、一部の操作においては事前学習や習熟が必要であることがわかる。

表-7、表-8の設問1に対する回答からわかるように、走行経路表示システムの利用意向については概ね高い評価が得られている。B社の配車担当者は利用意向に対し低い評価となっているが、これに関しヒアリングを行ったところ、「出発地設定、目的地設定のユーザインタフェースに課題がある」との回答が得られた。操作時間の検証においても出発地設定に時間を要することが明らかになっており、出発地設定及び目的地設定においては、操作性を向上させるための改良が必要であることがわかる。

以上より、操作内容によっては利用者による事前学習や習熟、またシステムの改良が必要であるものの、走行経路表示システムの操作性に関して概ね利用者の満足が得られていることが明らかになった。

表-7　配車担当者へのヒアリング結果

No	設問	A社		B社	
		回答	評価値	回答	評価値
1	特殊車両の運行経路を指示する際に本システムを使いたい（使える）か	そう思う	5	どちらかといえば、そうは思わない	2
2	車両の選択をスムーズに操作することができたか	そう思う	5	そう思う	5
3	許可経路の選択をスムーズに操作することができたか	そうは思わない	1	そうは思わない	1
4	操作上の不明点や、操作に迷うことがあったか	そうは思わない	5	そうは思わない	5
5	走行する車両の許可経路が漏れなく用意されているか	そう思う	5	そう思う	5
6	同一情報の繰り返し入力・選択など、煩わしい操作があったか	そうは思わない	5	そうは思わない	5
7	特車の配車担当者なら、操作方法を容易に習得できると思うか	どちらとも言えない	3	そう思う	5
8	本システムを利用して使いにくいと感じたか	どちらかといえば、そうは思わない	4	どちらとも言えない	3
9	このシステムを使いこなせる自信があるか	どちらとも言えない	3	そう思う	5
10	操作を行う上での前提や業務の知識について、事前学習が必要か	そう思う	1	どちらかといえば、そう思う	2
平均			3.7		3.8

表-8　ドライバーへのヒアリング結果

No	設問	A社		B社	
		回答	評価値	回答	評価値
1	特車の運行経路を確認する際に本システムを使いたい（使える）と思うか	そう思う	5	そう思う	5
2	走行中、自車位置を正しく確認することができたか	どちらとも言えない	3	どちらかといえばそう思う	4
3	走行中、画面の縮尺や移動を一度も操作することなく走行経路を確認することができたか	どちらかといえばそう思う	4	どちらかといえばそう思う	4
4	地図の表示が切れたり、自車位置が消えたりしないで利用できたか	どちらかといえばそう思う	4	そう思う	5
5	本システムは、容易に使うことができたか	どちらかといえばそう思わない	2	どちらかといえばそう思う	4
6	操作上の不明点や、操作に迷うことがあったか	そうは思わない	5	そうは思わない	5
7	煩わしい操作があったか	そうは思わない	5	そうは思わない	5
8	特車の運転者なら、操作方法を容易に習得できると思うか	どちらかといえば、そう思う	4	そう思う	5
9	本システムを利用して使いにくいと感じたか	そうは思わない	5	そうは思わない	5
10	このシステムを使いこなせる自信があるか	どちらとも言えない	3	そう思う	5
11	操作を行う上での前提や業務の知識について、事前学習が必要か	そう思う	1	そう思う	1
平均			3.7		4.4

4. おわりに

本研究では、大型車両の通行適正化に向けた取組みの1つとして、タブレット端末に特殊車両が通行すべき許可経路と自車位置を表示する「走行経路表示システム」を作成した。その上で、「走行経路表示システムはドライバーの許可経路遵守を支援することができる」との仮説のもと、検証実験を行った。

実験の結果、「走行経路表示システム」は一部のドライバーに対して有効であるものの、ドライバーが許可経路を遵守するためには、ドライバーを含む運送事業者の特殊車両通行許可制度に対する適切な理解が必要であることが明らかになった。一方、「走行経路表示システム」の操作性に関しては概ねよい評価が得られ、運送事業者の作業負担を軽減できる可能性を示唆することができた。

本研究における走行経路及び操作時間の検証、操作性に関するヒアリング調査では、用いたサンプル数がきわめて少ないことが課題である。今後は、本研究の成果を踏まえ、「走行経路表示システム」の実用化に向けた許可情報の公開・提供方法について検討を行う必要がある。

参考文献

1) 例えば、貝戸清之，熊田一彦ほか：階層型指数劣化ハザードモデルによる舗装ひび割れ過程のモデル化，土木学会論文集 F, Vol.63, No.3, pp.386-402, 2007
2) 国土交通省関東地方整備局：特殊車両通行許可制度について，http://www.ktr.mlit.go.jp/road/sinsei/index00000004.html
（アクセス：2014.9.26）
3) 鱗原晴彦, 龍淵信, 佐藤大輔, 古田一義：定量的ユーザビリティ評価手法: NEMによる操作性の評価事例およびツール開発の報告，ヒューマンインタフェースシンポジウム 2001 論文集, pp. 305-308, 2001.
4) 首相官邸：電子政府ユーザビリティガイドライン(2009.7.1)
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/guide/index_before090916.html
（アクセス：2014.9.26）

旧北上川河口かわまちづくり・景観検討

斎藤　巧[1]・木本　悠太[1]

[1]東北地方整備局　北上川下流河川事務所　工務第一課　（〒986-0861 宮城県石巻市蛇田字新下沼80）

本報は，東日本大震災により被災した旧北上川河口部において，新たな河川堤防の整備を進めるにあたっては，石巻市策定の「震災復興基本計画」，「水辺の緑のプロムナード計画」と連携し，また，地域の歴史，文化，社会的特性などを踏まえた施設計画や景観への配慮をする必要がある．これらの課題に対応するため，指導，助言を頂くことを目的として設立した「旧北上川河口かわまちづくり検討会」での検討過程及び設計への反映について報告するものである．

キーワード　東日本大震災、復旧・復興事業、かわまちづくり事業、住民ワークショップ、パブリックコメント

1. 検討の背景と目的

本検討の目的は，東日本大震災により被災した旧北上川河口部において新たな河川堤防の整備を進めるにあたり，地域の歴史，文化，社会的特性などを踏まえた施設計画や景観への配慮を行い，設計への反映を図るものである．

石巻は北上川における舟運によって栄えた歴史を持つ川湊の町であり，従前より川との繋がりが強い町であった．その反面石巻市中心部の北上川は無堤区間が多くあり，東日本大震災においては河川遡上津波による被害も発生した．震災後，地域住民へのアンケート等を経て，石巻市内の旧北上川河口部においても堤防整備を行うこととなったが，前述の石巻の歴史や文化，社会的特性を踏まえ，堤防が整備されようとも川と町の関係性に継続性を持たせ，より親しみのある空間とすることが強く求められていた．

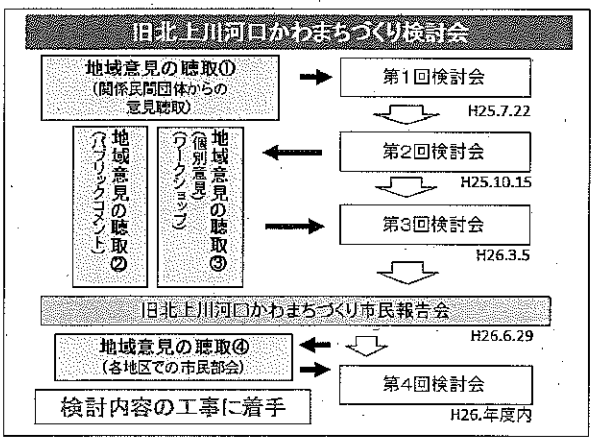


図-1　かわまちづくり検討会の実施経緯

2. 検討の手法

(1) 旧北上川河口かわまちづくり検討会

これらの課題に対応するため，指導，助言を頂くことを目的として「旧北上川河口かわまちづくり検討会」をを設置し，景観の基本方針や堤防・護岸等のデザイン，拠点地区の整備の方向性等について検討を始めた．

委員には，地元，学識者，行政から幅広く参加頂き，様々な視点から検討が行えるよう配慮した．また委員会と並行してワーキングを行い，模型作成等により堤防施設のデザインを検討した。

平成２５年度においては３度の検討会を開催した．本年の６月に検討の成果を市民の皆様に報告する「旧北上川河口まちづくり市民報告会」を開催しており，平成２６年度中には検討会第４回検討会の開催を予定している．

(2) 地域意見の聴取

検討会・ワーキングと並行して，地域住民の皆様からご意見を伺う場を多く設けた．

平成２５年１１月１５日には石巻市立住吉小学校において小学４年生から６年生を対象としたワークショップを開催した．１１月２１日から１２月２０日にかけてはパブリックコメントを募り，１２月２２日と平成２６年１月１８日には地域とのワークショップを開催した．

また本年度は６月２９日の市民報告会の後，対象区域を６地区に分け，それぞれの地区について新たな水辺空間の利活用や施設の具体的な配置を地域および河川を利用する方々から意見を頂くことを目的に市民部会を開催しているところである．

3. 検討の内容

(1) 検討の基本方針の策定

a) かわまちづくり全体の基本方針

検討会を運営するにあたり，まずは検討の基本方針を策定した．まずかわまちづくり全体の基本方針として石巻らしさを意識し，

古くから川湊として発展してきた経緯、
優れた石の生産地であること等の地域の歴史や
文化等を踏まえた景観を形成する。

との文言を設定した。

b) 全体設計の方針

上記のかわまちづくりの基本方針の上で実際に設計を行う上で，

川湊の風景づくりの精神を受け継ぎ、
まちの基盤となるアースデザイン（地形のデザイン）
として取り組む

ことをの全体設計の方針とした．

また設計にあたっては全体の設計に加え，全体のアクセントとなるような箇所に，まちとのつながり・利用形態を重視し，場所に即した丁寧な質の高い空間づくりを行う場所として拠点地区を設定している．

そこで全体と拠点地区のそれぞれについて３つの原則を設定した．

【全体について】

原則１：堤防を地形の一部として捉える

原則２：構造物のサイズは常にできるだけ小さくなるように努力する

原則３：水辺環境：水辺利用に対する配慮を行う

【拠点地区について】

原則１：まちの成り立ち、今後のまちづくりを踏まえる

原則２：利用形態を踏まえる

原則３：拠点にふさわしい質の高いデザイン

c) デザインの方針

またデザインを行うにあたっての方針も定めた．

方針１：過去の地形や河道等に配慮しながら、雄大でおおらかな河岸を形成する

方針２：旧北上川河口部における歴史や文化を尊重し、それらが想起できる空間を形成する

方針３：日常の散策や憩いの場として、ヒューマンスケールにあった居心地の良い空間づくりを行う

方針４：拠点部は、全体のアクセントとして、また、まちとのつながり・利用形態を重視して、場所に即した丁寧な質の高い設えを行う

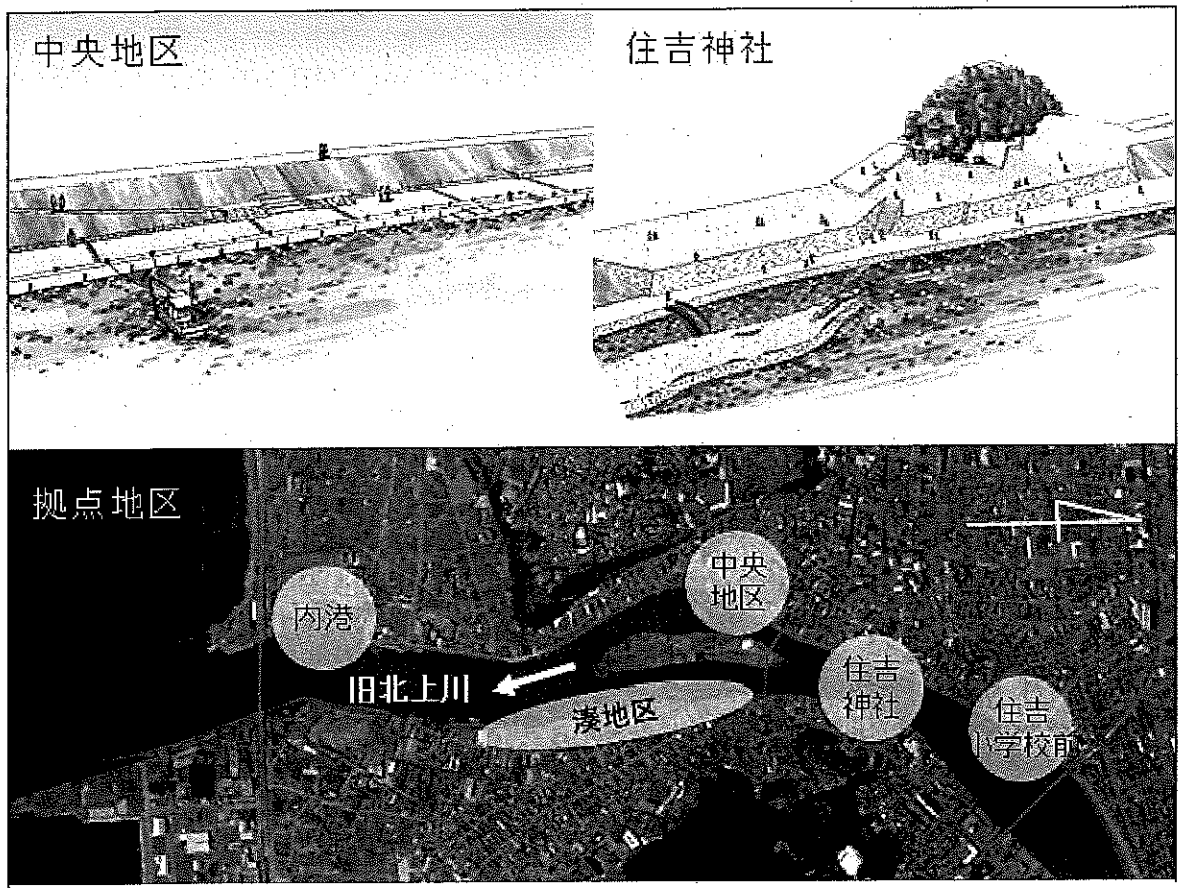


図-2　拠点地区

これら基本方針を定めたことは，以後の検討を円滑にするとともに，長期間にわたって検討が行われ実際に施工する際に，思想のぶれを防ぐ意味でも大きな効果があると考えている.

(2) 堤防・護岸の基本形状

上記方針のもとで検討を行い，全体の堤防・護岸の基本形状について定め設計を変更した.

a)堤防法線の見直し

当初設計は直線的な堤防法線であり、石巻市の代表的な景勝地で，北上川を一望できる日和山等からの眺望における違和感、現在の河岸や過去の地形等との差異が生じていた.

このため日和山等からの眺望に配慮し，現況の河岸や過去の地形等を尊重した堤防法線へと見直しを行った. 例として以下に示す住吉地区では，旧堤防の名残や過去の地形を踏まえ堤防線形を修正した.

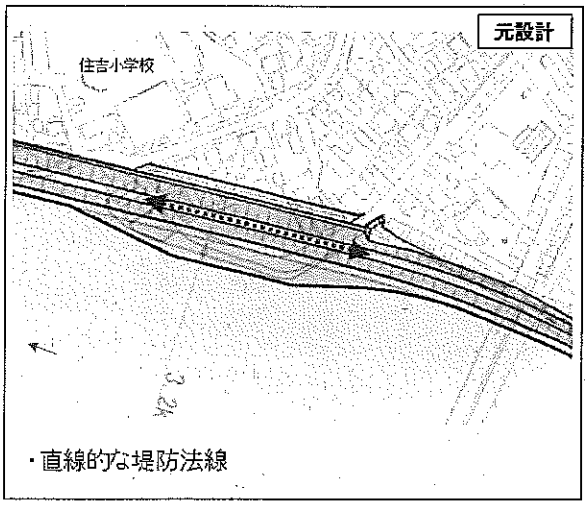


図-3　住吉地区(堤防法線見直し前)

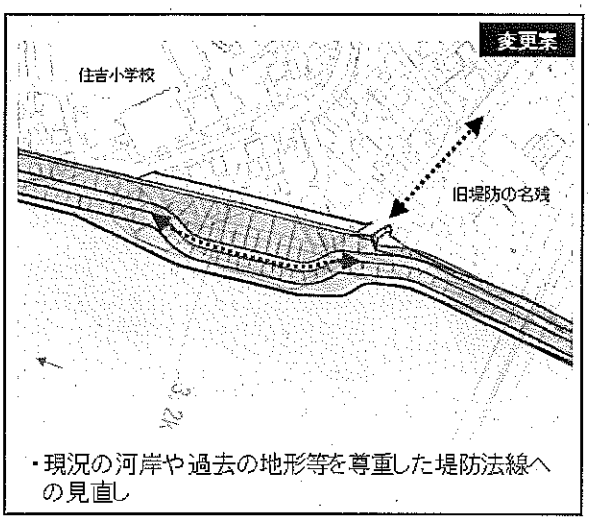


図-4　住吉地区(堤防法線見直し後)

b)護岸法線の見直し

護岸法線は水際の線を描き出すものであるが，当初設計においては矢板打設時の合理性から直線的な法線となっていた. しかし現状の水際ラインはけして全て直線状ではなく，現在の川の姿とは異なるものとなっていた.

そこで現況の水際ラインの出入りを尊重した矢板の線形を設定し，設計の変更を行った. 下記の川口・湊地区では，現在の水際ラインを踏襲する形で，護岸法線の見直しを行った.

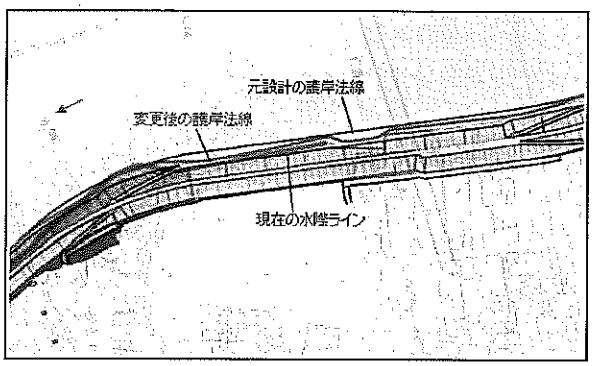


図-5　川口・湊地区での護岸法線の見直し

c)ステップ部の見直し

当初設計では堤防の川側に設置するステップ部の高さはT.P.+1．7ｍであった. しかし平均水位はT.P.+0．0８ｍであり，ステップ部との高さに差があった。そのため、親水性や水面利用の際の利便性に難があるとともに、景観的にもコンクリート部等が大きく露出し目立つことになるため，ステップ部の高さの見直しを行った.

またコンクリート部の露出を避けるため，笠コンクリートに捨石をかぶせる設計とした.

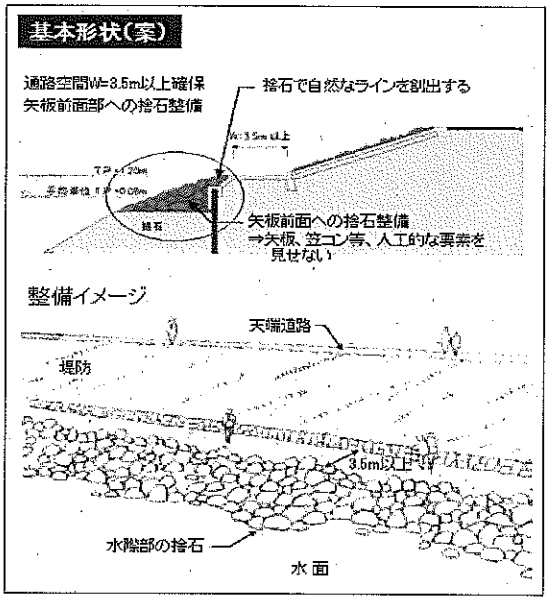


図-6　ステップ部の見直し

またステップ部に広いテラス空間が生じる箇所には，場所に応じて自然環境再生、親水階段（かわど）等の要素を配置することとした.

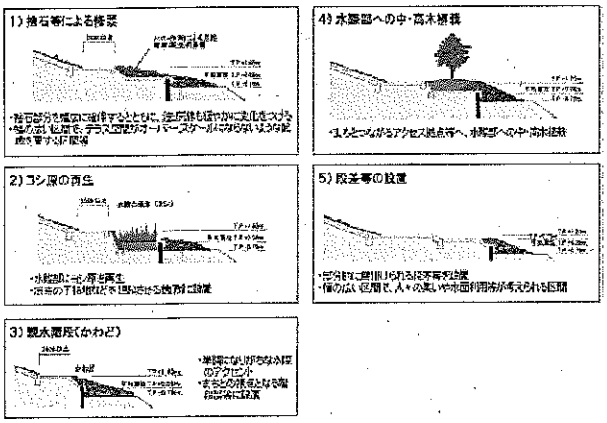


図-7　ステップ部に配置する要素

また，川側の法尻を前に出し，空間にゆるやかな変化を持たせることや，管理用道路にも変化を持たせること，水辺空間の利用を配慮し，坂路や階段等のアクセスも，地域の意見をお聴きしながら配置すること等も基本的な考え方として定めた.

(3)拠点地区の検討

拠点地区については，ワークショップやパブリックコメントで頂いた意見を基に，整備の考え方について整理し，対応案をデザインとして提示した.ここでは５地区のうち住吉小学校前地区を例示する.

住吉小学校前地区では，住吉小学校の４年生から６年生までの計７９名に参加頂き，『堤防でやってみたいこと，欲しいもの』をテーマにワークショップを行い，グループワークとし最後にそれぞれの提案を発表する形式とした.

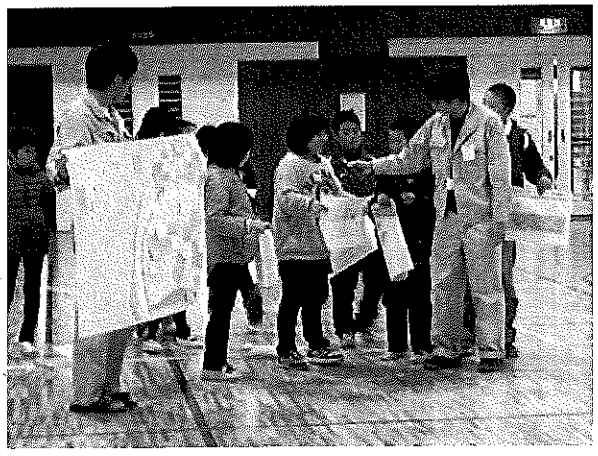


写真-1　住吉小学校ワークショップでの発表会の様子

ここで寄せられた子供たちからのアイデアや意見を踏まえ，住吉小学校地区を，河道の変遷の姿を留める場として位置づけるとともに子供たちが自然環境に触れ合え，学び・遊べる場として位置づけ対応案の策定，デザイン案の作成を行った.

【対応案（デザイン案）】

対応１：一部の区間に新たに干潟をつくり、水辺の原っぱ遊びなど多様な活動が行えるようにします。

対応２：堤防の斜面を緩くすることで、斜面でのソリ遊びや原っぱでの虫取りなど、自由な遊びが出来る空間づくりを行います。

対応３：テラス部分には、小学生が集まって学習等ができるよう、まとまった広場スペースを確保します。

対応４：かつての堤防の形状に合わせて堤防が折れ曲がる部分を設け、河道の変遷を想い起こさせるような形状にします。

対応５：安全対策として、支川との合流部付近に水制工を設けます。また、干潟空間の水際に石を積むなどして、川の深みに入らないようにします。

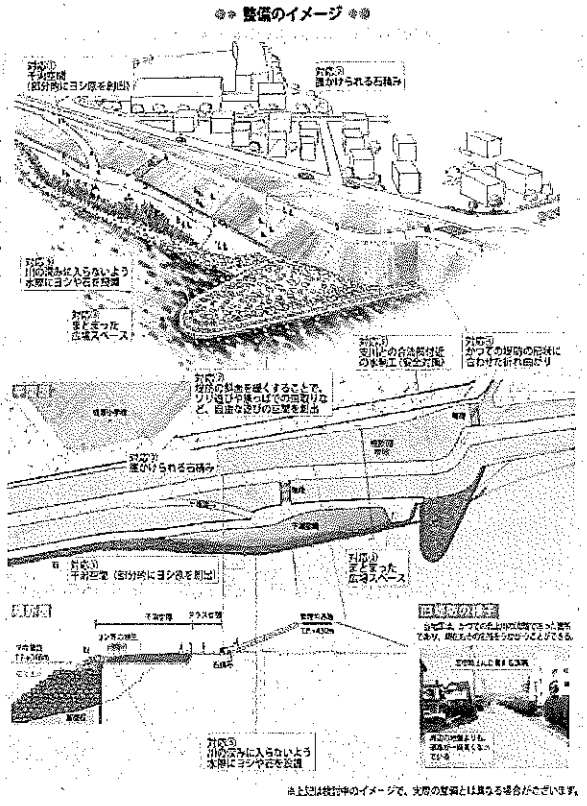


図-8　住吉小学校前地区の整備のイメージ

このように各地区において，意見の聴取から整備方針の策定，デザイン案の作成までを行った.

4. 今後の展開とまとめ

本年度は６月２９日に市民報告会を開催し，現在は各地区において市民部会を順次開催している．市民部会は継続的に地域からの意見を聴取し整備に反映することを目的にしており，ワークショップ形式で水辺デザインの検討を行う．

市民部会は検討会・ワーキングとの連携を意識した位置づけとなっている．市民部会においてはワーキングにより抽出された詳細な課題を検討し，各地区で抱える問題課題を洗い出す．そして検討会・ワーキングでは市民部会での議論を踏まえ整備計画に反映し．市民部会に返すという関係となっている．

これはこれから検討の内容が実際の施工に入っていくことからも，継続して地元意見を聴取できる体制を構築したことに大きな意義があると考えている．

今後は検討内容を形に移す工事が始まってゆく．本検討と施工現場との連携を密にして，石巻の歴史にふさわしい堤防整備が出来るように努めていきたい．

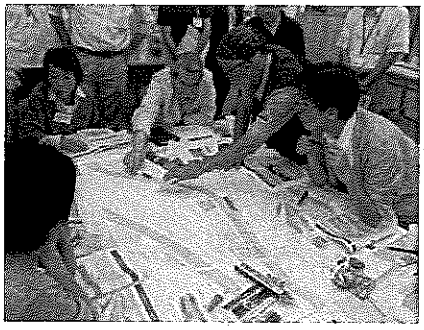


写真-2　市民部会の様子

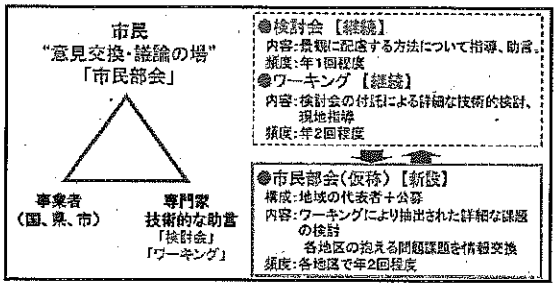


図-9　市民部会の位置付け

防雪林が成育するまでの防雪対策について
―一般国道２７６号　岩内共和道路―

岩舘　豊和[1]・安廣　竹春[2]・増川　直実[3]

[1]北海道開発局　札幌開発建設部　深川道路事務所　（〒074-1271 北海道深川市音江町字広里306）
[2]北海道開発局　小樽開発建設部　岩内道路事務所　（〒045-0002 北海道岩内郡岩内町字東山104）
[3]北海道開発局　函館開発建設部　函館道路事務所　（〒049-0101 北海道北斗市追分4丁目11番-2）

一般国道276号岩内共和道路は、冬期視程障害対策として、防雪林の造成を行うが、防雪林に幼木を植樹しているため、成木となり、機能を発揮するまでの間、視程障害対策と防雪林の成育のための防風対策が必要となる。主風向の風は日本海から吹き、道路とほぼ平行の風のため、標準設計にない独自の防雪対策が必要となる。本稿では、冬期間における視程障害対策機能と幼木の生育環境への影響について、調査結果を踏まえ報告する。

キーワード：防雪林、防雪柵、標準林、育成

1. はじめに

国道276号岩内共和道路は、現道の縦断線形不良、冬期視程障害による事故の減少、定時性の向上、緊急時の避難路を目的とし、起点の共和町梨野舞納から同町国富までの延長7.6kmのバイパス道路である。（図1）地形上、冬期間の主風向が概ね道路と平行となり、構造物による対策が難しい路線で、さらに、シーニックバイウェイ北海道の支笏洞爺ニセコルートの一端を担い、北海道らしい景観（田畑の近景、ニセコ連山・羊蹄山を見渡せる遠景）の中を走る路線でもあることから、防雪対策施設は防雪林を計画している。しかし、防雪林の生育には10～15年の期間を要するため、樹木が生育するまでは防雪柵を併用し、防雪機能を確保する計画である。

防雪柵については、冬期間の主風向が道路とほぼ平行であり、標準設計にない独自の防雪対策が必要となる。本路線では、道路と平行に配置せず、防雪林内に傾斜を付け配置したため、防雪柵の防雪効果について検証を行った。また、防雪林幼木の防風効果も兼ね備えているため、防風効果の検証、さらに防雪柵に使用するネットの比較検証も行った。

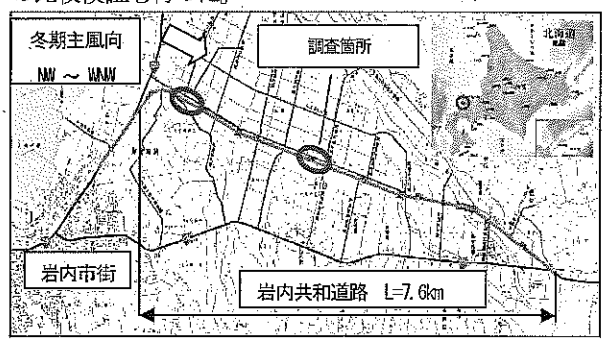


図-1　事業位置図

2. 気象状況と対策工の選定について

(1) 気象状況

現地の気象状況を把握するため、岩内共和道路に定点気象観測機器を設置し、風向風速、気温、積雪深の観測を行った。観測期間は平成24年12月4日～平成25年3月15日である。平成23年度も観測を行っているが、傾向は同様である。

風向については、西～北西で卓越しており、地吹雪の発生しやすい風速5m/s以上の風でみると西北西～北西の風は約60%の割合を占めている。なお、出現回数は10分毎の観測回数である。（図2）また、観測期間中の最大積雪深は98cmであった。（図3）

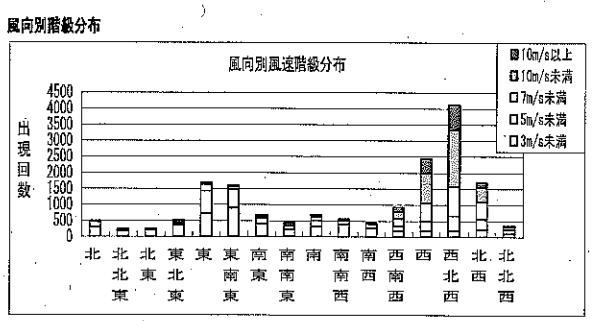


図-2　風向別風速階級分布

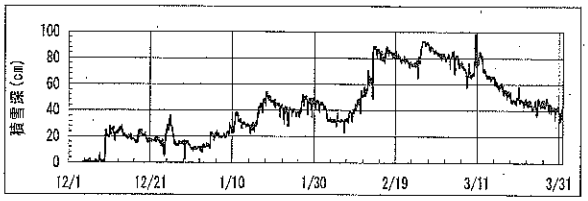


図-3　定点積雪深変化

(1) 防雪林の配置と樹種

防雪林は幅10mの標準林である。過年度、有識者による防雪林検討委員会で選定された樹種を採用しており、基本林がアカエゾマツ、トドマツの針葉樹2列、広葉樹1列（シナノキ、イタヤカエデ、ミズナラを交互に配置）である。前生林としてコゴメバナを採用している。樹木は幼木（高さ50cm程度）の状態で植樹をしている。（図4）

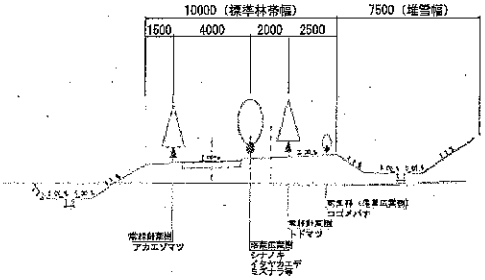


図-4 防雪林標準断面図

(2) 防雪柵の配置と種類

本路線では防雪林が成育するまでの間の防雪対策として防雪柵を採用した。防雪林と併用する防雪柵は、防雪林の外側に道路と平行に配置されるのが一般的である。しかしながら、冬期間の主風向が道路と平行となる当該路線（図5）においては、通常の配置では効果が期待できない状況にある。

当該事業の中で、防雪柵に求めた機能面での条件として以下のことが挙げられる。

◆防雪林の併用柵として、防雪効果が期待できること。
◆植樹後間もない幼木の保護・育成施設であること。
◆メンテナンス及び撤去が容易な構造であること。

そこで、日本における実績は確認されていないものの、海外の高速道路・鉄道等で実績のある、主風向の角度に応じた防雪柵の設置方法に倣い、風雪が路外に誘導されるよう図6、7で示すように道路本線に対し60°の傾斜を付けて配置する方法を採用した。

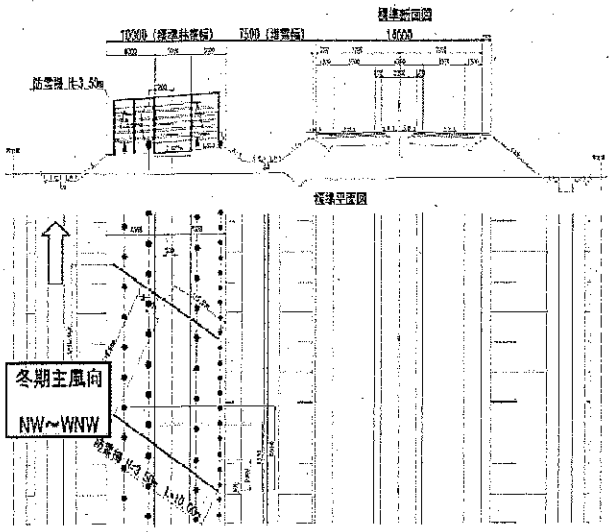


図-5 防雪柵配置図

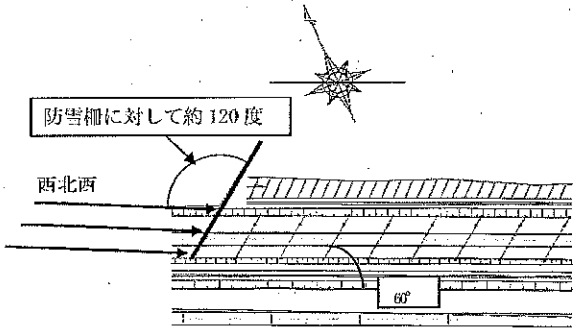


図-6 西北西の風向時における道路本体・防雪柵との関係

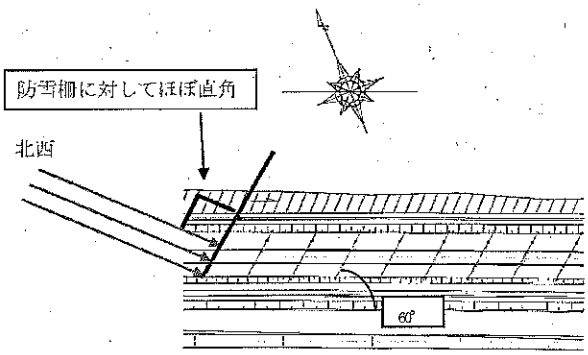


図-7 北西の風向時における道路本体・防雪柵との関係

防雪柵の種類であるが、施工条件ならびにメンテナンス・撤去が容易であることを考慮し、支柱については間伐材とするものを選定した。

防雪板については、鋼製・木製・ネット製が考えられたが、支柱との関係性・経済性を考慮し、ネット製のタイプを選定した。使用するネットの比較を行っており、その結果はこの後述べることとする。

3. 防雪柵の防雪効果の検証

(1) 目的

防雪柵設置区間と未設置区間でそれぞれ雪況調査を行い、防雪柵の道路本線に対する防雪効果の検証を行った。

(2) 調査内容

調査区間は下記の区間とした。工事中であり、道路本線、防雪柵の施工の進捗状況により、調査可能な箇所を抽出して行った。よって、防雪柵の設置区間、未設置区間は近接していない。沿道状況は設置区間は周辺が田畑であり、風上に建物はない。未設置区間は風上に住居が点在している。

◆防雪柵設置区間　SP1,470～SP1,930
（なお、SP1470より起点側（主風向の風上側）は調査時は防雪柵は設置されていない状況であった。）
◆防雪柵未設置区間　SP3,750～SP4,230

調査項目は下記のとおりである。

a) 吹きだまり調査

道路上への吹きだまりを確認するため、積雪横断観測（道路に対して直角方向）を行った。

b)　視程障害調査

視程状況の把握を目的とし、道路本線部を除雪し、移動観測車を走行させ、調査を実施した。観測項目は、風向風速、気温、路温、視程、ビデオ撮影とした。調査は天気予報より吹雪が発生する可能性がある日にあわせ実施し、3日間行った。（H25/2/5、H25/2/19、H25/2/20）

(3) 調査結果

吹きだまりについて、防雪柵設置区間と未設置区間を比較した結果が図8～10である。積雪横断観測調査の結果、防雪柵設置区間では西北西・北西何れの風向の場合においても、防雪林帯内堆雪スペース部に吹きだまり・雪丘が発生することが確認された。しかし、道路上においては、防雪柵の効果により吹きだまりの発生は確認されなかった。供用時の道路状態にするため、車道部を同水準で除雪したが、道路部下り車線部において比較すると3月3日の横断の積雪深では設置区間は5cm程度に対し、未設置区間は20cm程度の積雪があった。吹きさらしにより道路部にも吹きだまりができたためと考えられる。

視程障害について、卓越風向である西北西の風で視程障害の発生頻度を比較した図11、12、表1の結果から、防雪柵設置区間で視程障害の回数が大幅に減少したことがわかる。また、防雪柵設置区間において、起点側の視程障害の回数が終点側より多いのは、調査区間の起点側に防護柵が未設置であることも影響していると思われ、この結果からも防雪柵の効果が確認できる。また、写真2、3は防雪柵設置区間と未設置区間でH24.3.2の同時刻に道路部で撮影したもので、共に風は北西6.7m/sの風が吹いていたが、写真からも視程障害の緩和が確認できる。

上記の結果からは、①調査頻度が少ない。②調査地点の沿道条件が若干異なる。という調査条件があるものの、防雪柵の設置により、道路本線部での吹きだまり（写真1）、視程障害が緩和されている傾向は確認ができる。

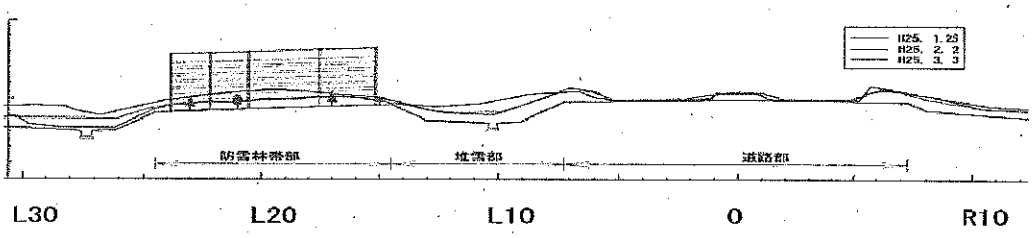


図-8 積雪横断図（防雪柵設置区間　SP1780）

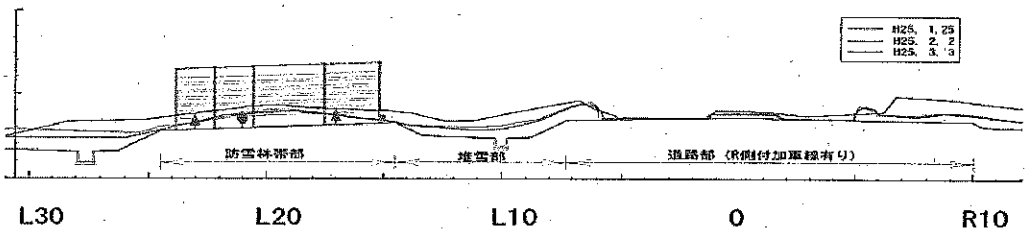


図-9　積雪横断図（防雪柵設置区間　SP3330）

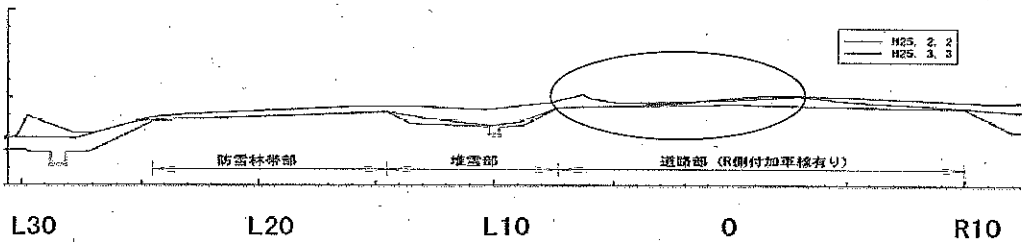


図-10　積雪横断図（防雪柵未設置区間　SP3760）

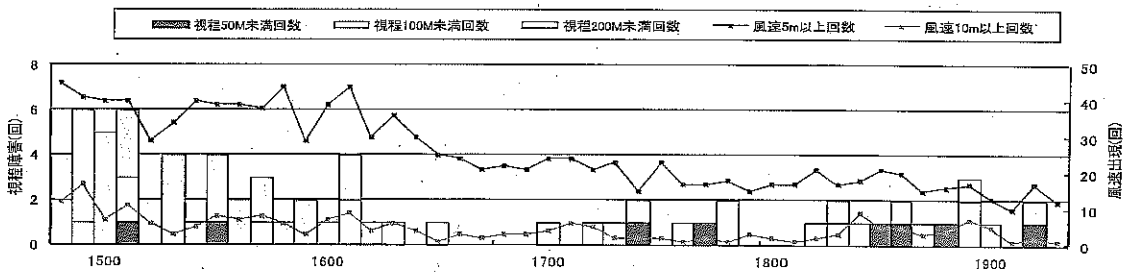


図-11　視程障害状況　（防雪柵設置区間）

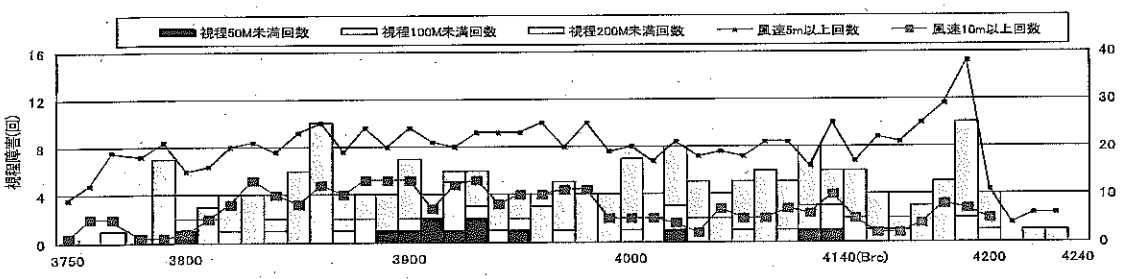


図-12　視程障害状況

表-1　視程障害の発生割合の比較

防雪柵	測点		区間全体		視程50m未満			視程50～100m			視程100～200m		
	開始	終了	風速 平均	風速 最大	回数	風速 平均	風速 最大	回数	風速 平均	風速 最大	回数	風速 平均	風速 最大
あり	1470	1930	7.5	17.3	8	6.7	12.5	21	5.6	14.2	38	7.9	12.8
なし	3750	4240	9.1	18.0	12	11.0	14.6	46	10.1	13.4	128	9.5	18.0

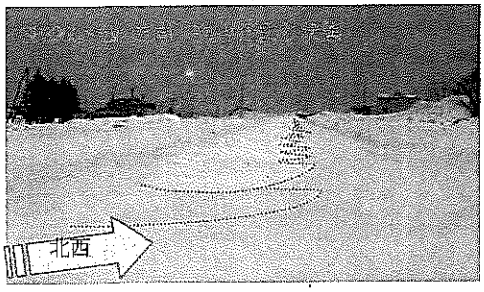


写真-1　防雪柵未設置区間の吹きだまり状況

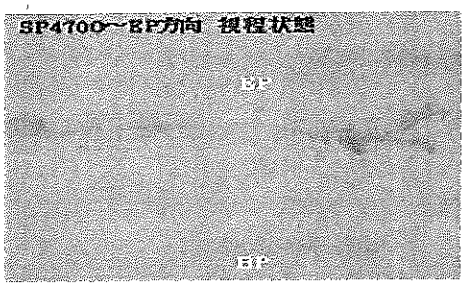


写真-2　防雪柵未設置区間視程状況

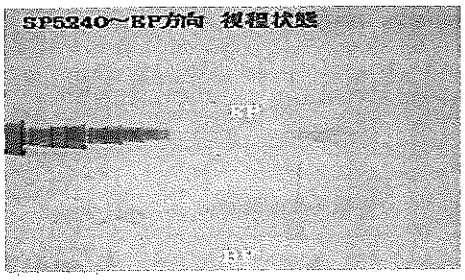


写真-3　防雪柵設置区間視程状況

4. 防雪ネットの比較と幼木に対する防風効果検証

(1) 目的

雪況調査を行い、設置(試験施工)した3種類の防雪柵ネットについて、タイプ別の違いと防雪林幼木に対する防風効果の検証を行った。

(2) 調査内容

ネット製の製品も多岐に渡り、開口率・材質等(沈降に対する強度・雪の付着率)が異なるため、市場性のある3種類のタイプを用い、試験施工を行った。

(防雪柵未設置区間)

ネット3種類の設置区間は以下の通りである。

◆タイプ1　SP1,470～SP1,680　L=170m　開口率45%
(内、SP1,560～SP1,600は交差点につき、未設置区間)

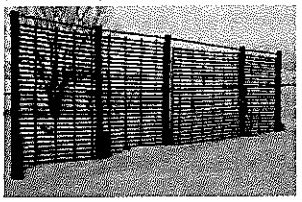


写真-4　ネットタイプ1

◆タイプ2　SP1,690～SP1,870　L=180m　開口率40%
(荒目)

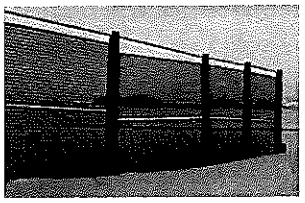


写真-5　ネットタイプ2

◆タイプ3　SP1,880～SP1,930　L=50m　開口率40%
(細目)

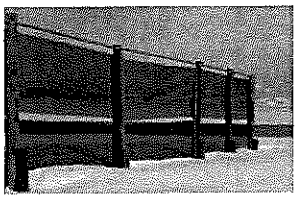


写真-6　ネットタイプ3

調査は平成23年度に実施した。秋期からタイプ1の施工に着手し、翌1月中旬までタイプ3の施工を行っていた状況である。(写真4～6)

雪況調査にて実施した項目は以下のとおりである。

a)積雪横断観測調査

防雪柵のタイプ毎に測線を設け、道路上への吹きだまりを確認するため、積雪横断観測(道路に対して直角方向、ならびに防雪柵に対して直角方向)を行った。測線の選定にあたり、防雪柵端部からの吹き込みによる影響がない箇所を選定した。

また、当該路線は供用開始前であったが、供用時の状況に近づけるため、道路上の除雪を行ったうえで調査を

実施した。なお、調査日の前日と当日については除雪を実施していない。

b)林帯内積雪縦断観測調査

積雪横断観測と同様の調査であるが、測線の方向については道路と平行とし、針葉樹の位置を基線とした。

c)移動気象観測調査

防雪柵のタイプにより、視程状況に変化が生じる可能性が高いため、その状況を把握することを目的とし、移動観測調査を実施した。

観測項目は、風向風速、気温、路温、視程、ビデオ撮影とした。

d)風向風速比調査

防雪柵のタイプ毎に測線を設け、防雪柵の影響を受けない箇所に基準となる風向風速計を設置し、基準点と防雪林帯内、道路上の風速比を計測した。

e)雪密度調査

幼木への影響を判断する基礎資料とするため、防雪柵のタイプ毎に基準点を設け、雪密度を観測した。

雪密度は、スノーサンプラー(100cc)にて雪を採取し、100cc当たり重量を算出して求めた。

(3) 調査結果

林帯内積雪縦断観測調査については、施工が同一時期でないこともあり一概に評価はできないものの、吹き溜まりや雪丘が発生しており、道路上への吹き込みを抑制していることが確認された。吹きだまりの形状としては、防雪柵近辺ならびに道路側は堆雪が少なく、柵間中央部ならびに外側に堆雪が集中していた。(図13)

移動気象観測調査の結果、各タイプの視程障害の発生状況を比べても性能に大きな違いは見られず、同等の効果があるものと思われる。(図14)

風向風速比調査では、防雪柵設置範囲内(防雪林帯幅)については概ね基準点との風速比が1.00以下となり、それ以降は概ね1.00以上となることが確認された。防雪林帯中央部では風速比がタイプ1で0.17、タイプ2で0.25、タイプ3で0.36となり減風効果も確認できる。(図15～17)

雪密度調査については、施工時期の関係もあり横並びの比較はできない状況であるが、最も堆雪量の多いタイプ1の箇所では、地上から91cmまでの高さの範囲、ならびに95cm～105cmの範囲の密度が高いことが確認された。(表2) しかし、融雪後、樹木の状況を確認した結果、雪圧による損傷は確認されなかった。(写真7)

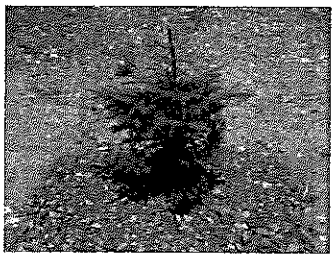


写真-7 融雪後植樹状況

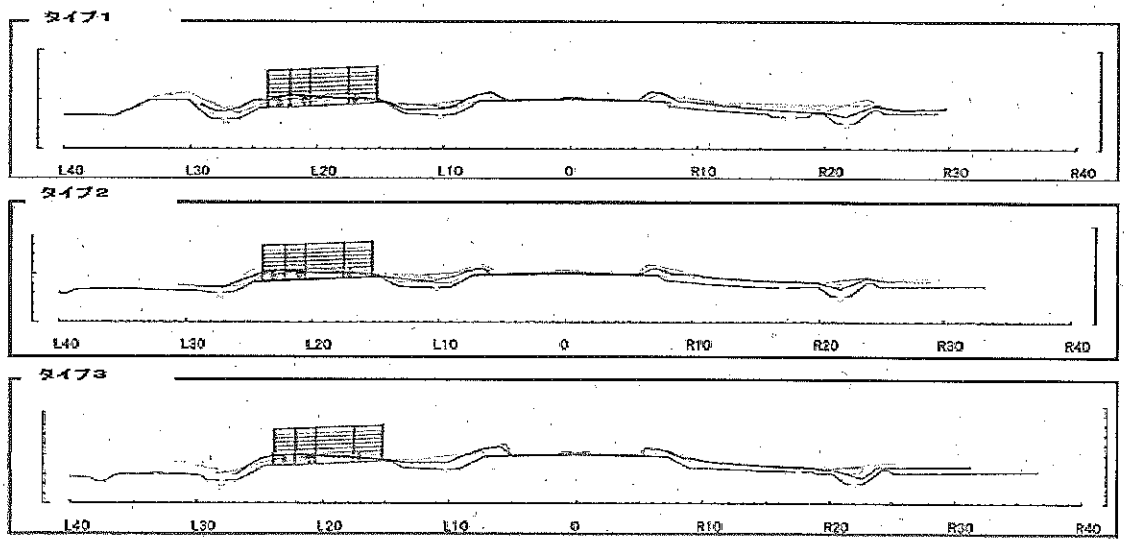


図-13 積雪横断図(ネットタイプ別)

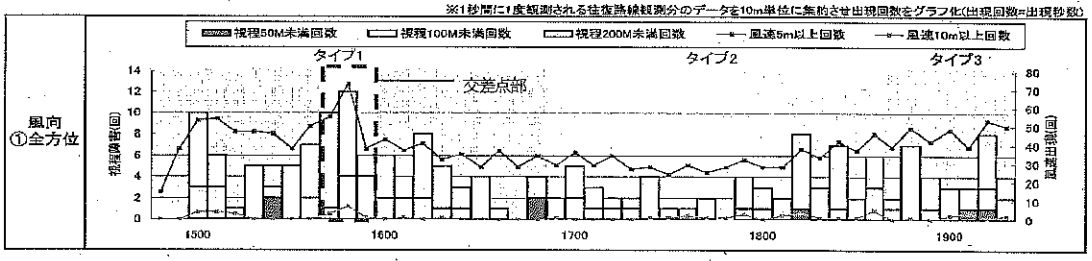


図-14 視程障害状況(ネットタイプ別)

表-2　タイプ1における積雪密度

地盤からの高さ	100cc あたりの重量	重量から判定した雪質
108～126cm	29.5g	しまり雪
105～108cm	34.3g	ざらめ雪
95～105cm	38.0g	しまり雪
91～ 95cm	27.7g	こしもざらめ雪
66～ 91cm	39.4g	しまり雪
63～ 66cm	38.2g	ざらめ雪
39～ 63cm	40.3g	しまり雪
0～ 39cm	43.2g	しまり雪

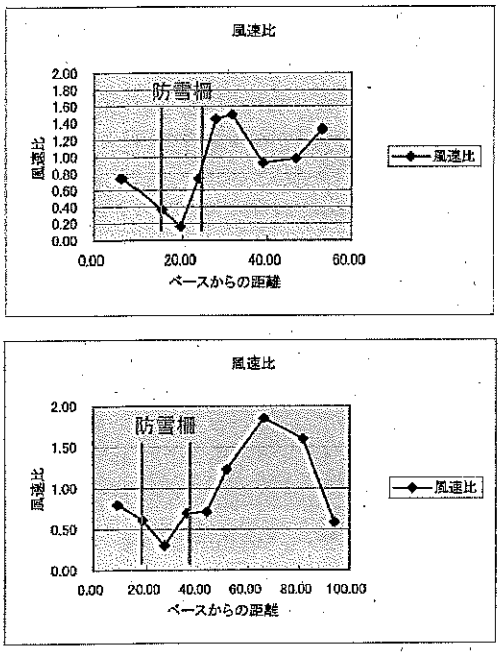


図-15　タイプ1直方向(上段)・斜方向(下段)における風速比

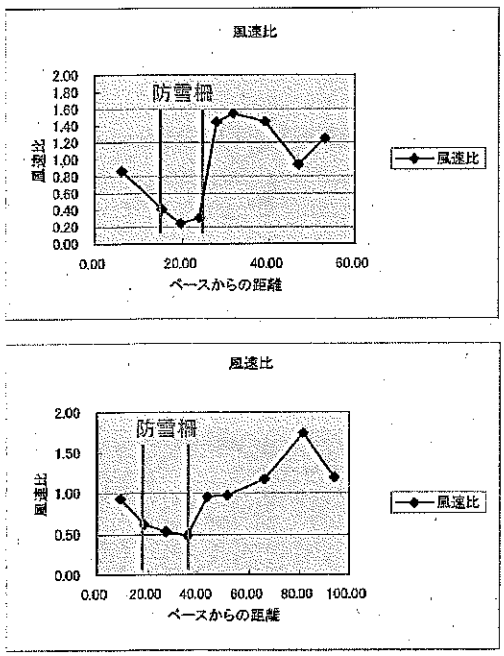


図-16　タイプ2直方向(上段)・斜方向(下段)における風速比

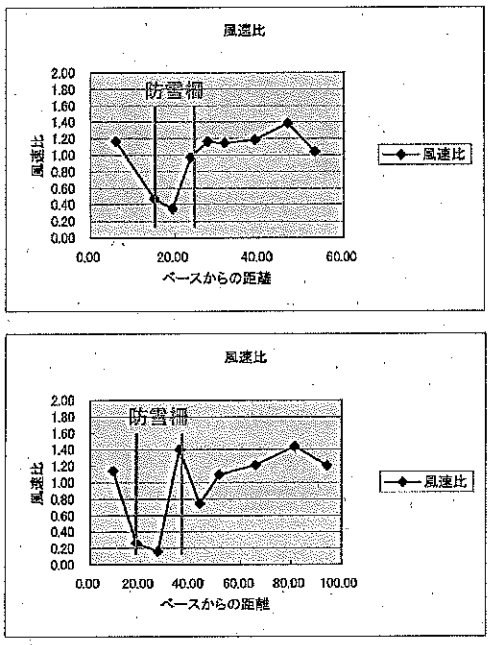


図-17　タイプ3直方向(上段)・斜方向(下段)における風速比

以上の結果より、ネットタイプ毎の比較については、明確な差はなかったもののすべてのタイプで防雪、防風効果は確認できた。開口率が40～45%であれば、同等の効果は期待できるものと思われる。よって、経済性、耐用年数、維持管理性でネットを選定した。

また、防雪林幼木への防風効果としては、防雪林帯内に吹きだまりが形成され、幼木が雪に覆われることと、防雪林帯部の減風効果も確認できたため、幼木に対する寒風害の対策としても効果が確認できた。

5. さいごに

今回の調査結果より、防雪柵の道路への防雪効果、防雪林幼木への防風効果について、ある一定の効果は確認できた。しかし、工事施工中の調査ということで、調査箇所の抽出等、条件の制約があり、調査精度はやや劣ることは否めない。他の箇所で同様の防雪柵を採用をする場合、より詳細の調査を行い、検証を行う必要がある。供用後、防雪柵が防雪機能を発揮し、円滑な冬期交通に寄与することを願いたい。

河川環境調査への遺伝情報の活用

村岡　敬子[1]・萱場　祐一[1]

[1]独立行政法人　土木研究所　水環境研究グループ　　(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

魚類を始めとする生物の体内には、親世代から子世代へと綿々と伝えられてきた遺伝情報が記録されている。近年、遺伝情報分析・解析技術は急速に発展しており、河川環境調査の分野においても移入種の侵入や外来種との交雑状況査などへの応用事例が多くみられるようになってきた。このような種レベルの比較だけでなく、遺伝情報の中には親子間のような微細な差異を表現する部位もあり、その情報の活用により、魚類を始めとするさまざまな生物の移動・繁殖環境などへの応用が期待される。河川環境調査への遺伝情報の活用を視野に入れた土木研究所における取り組みを紹介する。

キーワード　遺伝的距離、魚類移動環境、魚道、外来種、ハリエンジュ

1. はじめに

地球に生きるほとんどの生き物の細胞内に存在するDNA(*deoxyribo nucleic acid*, デオキシリボ核酸)はわずか4種類の塩基の並びで表現され、ヒトの核DNAを例にとると、200Mb(メガ塩基対、1メガ=10^6)にのぼる[1]。この情報は親世代から子世代へと驚くべき正確さで複写されるが、稀に偶発的な変異が生じ、その変異もまた親世代から子世代へと継承される。長い時間をかけてこのような変異はDNA中に蓄積されており、塩基配列の違いを統計的に解析することによって、個体同士あるいはその集団同士の遺伝的な違いや類似性を求めることができる。

近年、遺伝子解析技術の高度化と共に、生物調査の分野でも遺伝情報が積極的に用いられるようになっている。例えば、その魚類集団がもともとその水系に生息していた在来集団か、他水系から人為的に持ち込まれた移入種かの判定や、外見では判断がつかない外来・移入種との交雑状況の判定などにも利用されている。この場合、同じ「種」や「地域集団」であれば概ね共通である遺伝情報、すなわち同じ集団内では世代が変わっても変化が生じにくい部位が利用される。一方、遺伝情報には親子や兄弟間など血縁見解にある個体間においても差異を検出できる部位があり、既に、犯罪捜査における犯人の特定や競走馬の系統管理などで実用化されている[2]。また、生物学の分野においても、人類・哺乳類・鳥類・魚類・植物等幅広い生物を対象とした多くの研究事例がある[3,4]。

河川に生息する生物等においても、同一集団内の遺伝的な差異を比較することにより、その集団の移動・拡散状況や再生産に関わった個体数規模などの情報を得ることができる。このような遺伝情報から得られる情報と既往の河川環境調査手法を組み合わせることにより、効果的な保全対策や対応策の計画が可能となる可能性がある[5]。一方、今後の河川環境調査での具体的な活用のためには、河川のように調査範囲が広い場合のサンプリング計画・分析手法の選択・解析方法など、様々な課題を整理していく必要がある。本報では、遺伝情報の河川環境調査への活用を目指し、土木研究所が行ってきた取り組みについて紹介する。

2. 魚類移動環境の評価

(1) 概要

河川に生息する魚類の多くは，その生活史あるいは成長段階に応じて必要な環境を求め，河川の上下流や周辺の水域を移動する．治水あるいは利水を目的に設置された堰堤による魚類の移動環境への影響を緩和するため，国土交通省や農林水産省等では各種事業により，魚道の整備を行い、魚類の移動環境の確保に努めている．これらの事業の対象は，サケやアユなど水産的価値の高い魚種だけでなく，底生魚を含むさまざまな魚種が含まれている．一方，こうして設置されてきた魚道が十分に機能しているか評価するための様々な調査や研究もなされているものの，非回遊魚を中心として「当該魚道において

どれだけの尾数が遡上・降下するべきか」が明らかではないため，魚道が十分な機能を維持しているか否かを判断することが困難であった．

ここに，魚道を設置する目的を，「当該河川に生息する魚類地域個体群の維持」と定義すれば，魚道に求められる機能；「どれだけの尾数が魚道を行き来するべきか」を「魚道上下流に分布する同魚種の集団が，ひとつの地域個体群として維持されるために必要なレベルの個体数が行き来できること」と考えることができる．これまでの土木研究所の基礎研究においては、閉ざされた水路内において、遺伝情報の活用により移動環境の評価が可能であることが示されてきた[6,7]。しかしながら、実際の河川においては、複数の支川や利水のための水路網が周辺に存在しすること、そもそも河道全域を広域にわたり移動しない魚種も存在する可能性があること、異なる分析者がこれを行った時も同等の結果が得られるのか、などの課題が想定された。

そこで、土木研究所と公募によって選ばれた民間コンサルタント3社との共同研究により、実際の河川において遺伝情報を用いた魚類の移動環境評価を試みた。本共同研究では、国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所の協力を得ながら、①単独堰堤の魚類移動環境のモニタリング（高瀬堰を対象）、②水系全体における魚類移動環境調査（太田川直轄区間全域）２課題について検討を行った。太田川は、国土交通省が1992年より実施した「魚ののぼりやすい川づくり」の一次指定モデル河川に選定され、2006年には本川の直轄管理区間にある14基の河道横断工作物のうち落差が0.3mを超える全堰堤（10基）に魚道が整備されており、良好な魚類移動環境が形成されていると考えられる。

(2) 調査方法

検討の対象とする魚種は、課題①の「単独堰堤の移動環境のモニタリング」では高瀬堰の周辺に広く分布する魚種としてカワムツを選定し、高瀬堰近傍上下流の5地点において各地点30個体のカワムツを複数の世代が含まれるよう採取した。課題②の「水系全体における魚類移動環境調査」では複数の河川横断工作物が魚類の移動を阻害する可能性を検証するために、河川横断工作物が連続する太田川中流域（8地点）と、太田川本川間との魚類の移動が明らかに阻害されている支川の滝山川の１地点を調査範囲とした。調査対象魚種は、この範囲内に広く生息するカワムツ及びカワヨシノボリ（底生魚）とし、各地点それぞれ15個体を目標に採捕した。採捕された個体は、体長を測定した後、分析サンプルとしてヒレの一部を採取し、実験室内に持ち帰り分析を行った。

本調査地点のように上下流に連続した集団間では、堰堤による移動阻害があった場合でも上流から下流への流下による交流は想定される。そのため、個体間の遺伝的な違いを検出可能な手法を用いる必要があった。しかしながら、分析対象として選定したいずれの魚種においても集団解析が可能となるマーカー等は存在しない。そこで、遺伝情報が未知の種に対しても適用可能で、微細な差異も検出できるとともに、再現性も高いとされるAFLP法[9]を適用することとした。得られた情報は遺伝子統計解析ソフト（AFLP SURV[9]）・帰属性解析ソフト（Structure[10] 2.3.4）等を用いて遺伝間の距離等の基本的な解析を行い、個体間・集団間の違いや集団構造の推定を行った。

(3) 結果

本調査を通じ、同一水系内に生息する同一魚種においても、移動環境が著しく乏しい地点においては、遺伝的にも明瞭な差異を得ることができた。一方で、移動環境がある程度確保されている区間においては、遺伝的差異が極めて微細であり、調査地点の選定・再現性を高めるための分析時の配慮・現象を適格に捉えるための解析法の選定等が必要であることが示された。尚、本調査で用いたAFLP法では、異なる分析者によっても同じ結果を得ることが示された[11, 12, 13]。

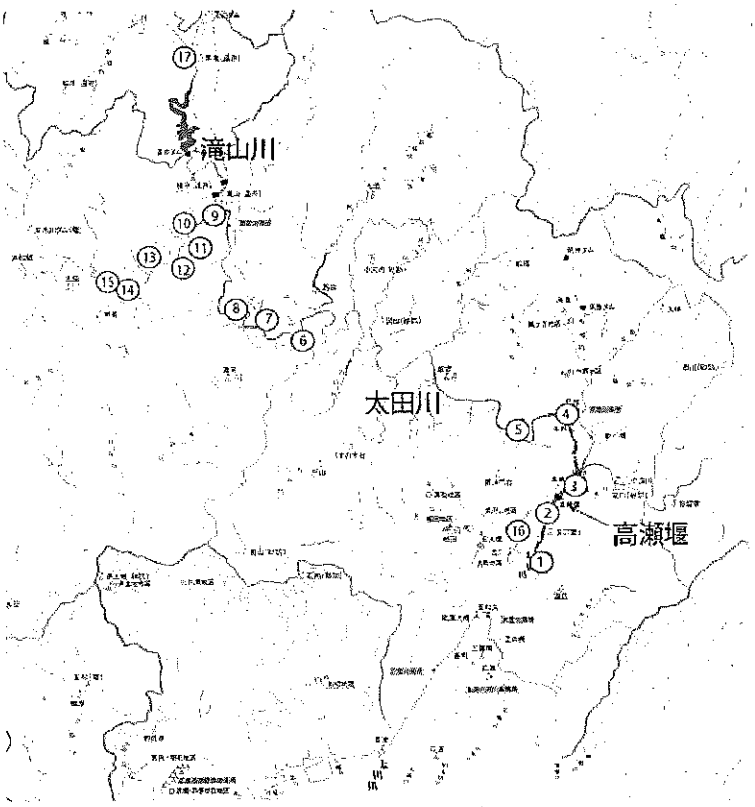


図-1 太田川における調査地点
○は課題①、○は課題②のサンプリング地点を示す

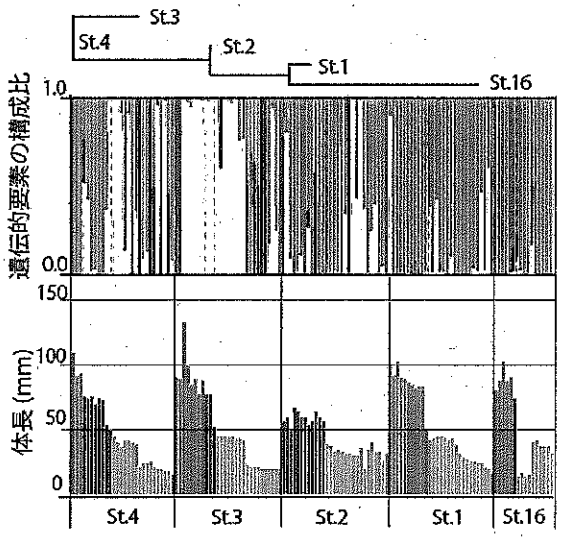


図-2 高瀬堰上下流におけるカワムツの遺伝子構造および遺伝的距離（2013年サンプル）

課題① 単独堰堤の移動環境のモニタリング

初年度となる2012年の調査では、高瀬堰上下流にまたがる特異的な遺伝子構造が観察され、その原因としてサンプルの年級群の偏りが結果に影響を与えている可能性が考えられた。そこで、2013年は体長に偏りが生じないよう、再度同一地点にてサンプリングを実施するとともに、同水系のカワムツの体長組成をもとに年級群の区分を求めた。AFLP法により得られた遺伝情報に対し、Structureを用いた帰属性解析を行った結果、高瀬堰の上下流に遺伝子構造の構成比が変化する明瞭な境界が観察された（図-2）。一方で、各要素は全地点に分布しており、高瀬堰の上下流間をカワムツは移動していると考えられる。堰上流地点付近において遺伝子構造に偏りがみられるのは、合流する支川の影響も想定され、サンプリングには年級群に地点間の偏りがないよう配慮する必要があるとともに、魚の移動分散に配慮したサンプリング地点の選定が必要と考えられた。

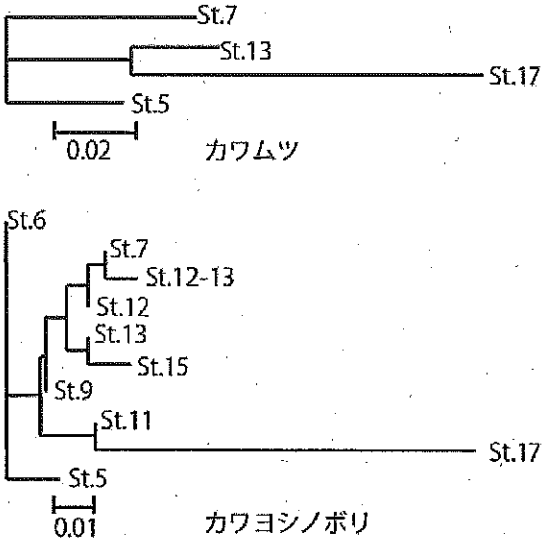
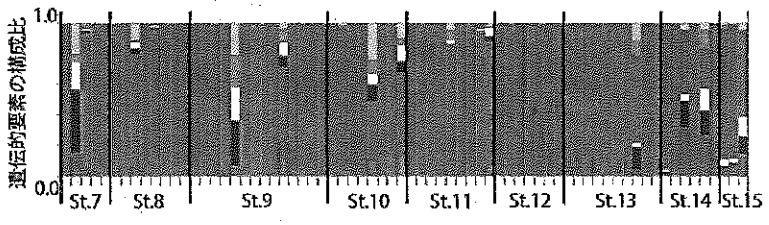


図-4 各地点の遺伝的距離（2013年サンプル）

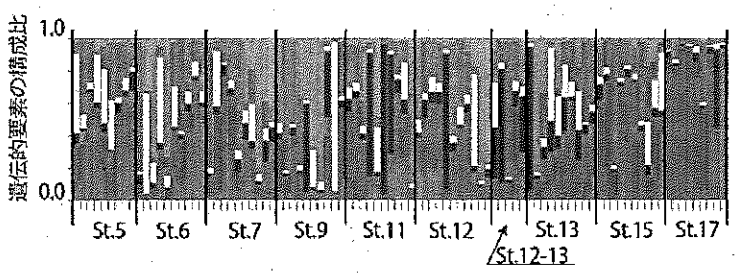
課題②水系全体における魚類移動環境調査

2012年に堰堤連続区間において採取したサンプルのAFLP法により得られた遺伝情報に対し、Structureを用いた帰属性解析を行った結果、カワムツは堰堤連続区間全域において差異が見られないのに対し、カワヨシノボリでは1堰堤を挟む上下流において遺伝子構造の違いがみられる結果となった（図-3a）。堰堤の無い区間との比較および50年以上前に設置された魚道の無い堰堤上流の集団と比較するため、2013年は当該区間だけでなく高瀬堰より上流の直轄管理区間全域を対象にサンプリングを行った。2012年と同様の分析を行った結果、カワムツ・カワヨシノボリ双方とも帰属性解析の結果に明瞭な差異は見られず、2012年に観察された差異は一過性のものである可能性が考えられた(図-3b)。一方、2013年の採取サンプルについてAFLP法により得られた遺伝情報から、AFLP SURVを用いて地点間の遺伝的な関係を求めた(図-4)。カワムツ・カワヨシノボリ共、滝山川のSt.17以外の地点では、地点間の遺伝的距離は極めて小さい結果を示し、本川区間では堰堤の有無に関わらず良好な移動環境が保たれている結果を示した。一方、差異は小さいものの、双方の魚種



a. 2012年サンプルの結果

St. 12 と St. 13 の間で遺伝子構造に明瞭な差異が観察された



b. 2013年サンプルの結果

St. 12-13 は、St. 12 と 13 の中間地点を示す。移動環境の無い St. 17 は他地点と明瞭に分かれるが、それより下流では大きな差異は見られなかった。

図-3 カワヨシノボリの遺伝子構造

ともにSt.7と下流地点が異なるクレードを示していることから、本区間の移動環境にに何らかの課題があることも考えられる。一方で取り扱っている遺伝的差異は微細であることから、今後分析手法・サンプル数も含め、精査が必要と考えられた。

3. 外来植物ハリエンジュの分布拡大履歴の推定

(1) 概要

近年，日本の多くの河川において河道内に樹木が繁茂し樹林が形成される樹林化が進行している．河道内の樹林は出水時に洪水を安全に流下させる妨げや流木発生の一因でもあり，また出水かく乱に適応した河川固有の生物種の減少につながるなど，治水安全上・生態系保全上双方において問題となっている．河川管理者らは，河道内樹木を伐採・除根するなどの管理を行っているが，再び樹林化することも少なくない．本研究で対象としたハリエンジュ（ニセアカシア Robinia pseudoacacia）は，北アメリカ原産の落葉高木で，外来種でもある．外来種である本種は種子からの繁殖だけでなく，株や根，枝などから萌芽する特性をもつ．そのため，出水時などに上流から種子や枝・根などの形で流下してきたものが定着し，拡大していると考えられるものもあり，樹林化が問題となっているエリアだけでなく，上流域における主たる供給源の当該樹種に対しても適切な措置をおこなうことにより，下流域の樹林化の速度を低減できる可能性がある．そこで，本研究では遺伝情報を用いて流域内におけるハリエンジュの動向を推定することを試みた[14]．ここに，ハリエンジュが外来種であること，株や枝などから萌芽するクローンが存在すること，対象地域が同一水系内という限られた範囲であることから，対象とする集団内の遺伝的差異が小さいことが想定されるため、微細な差異を検出できる分析方法を適用することが必要と考えられた．

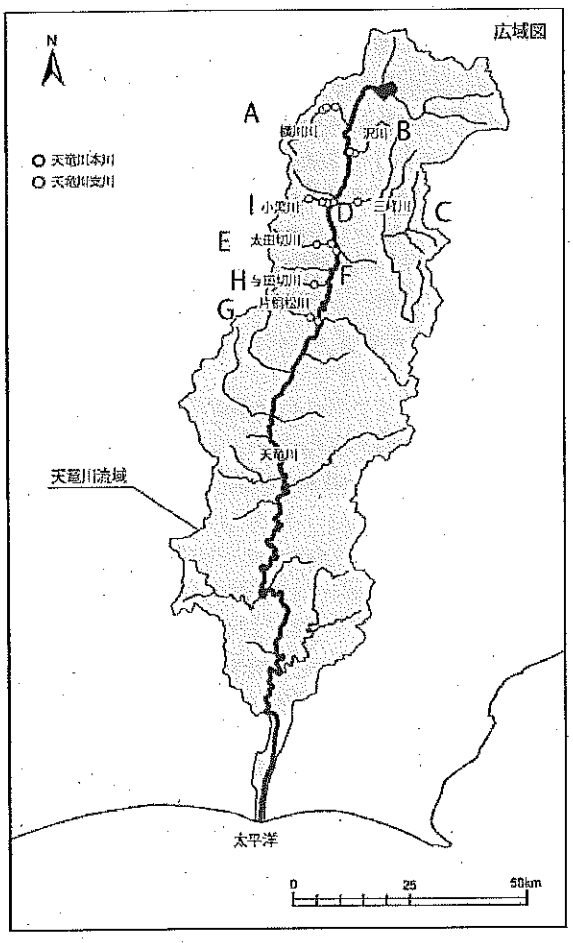


図-5 天竜川水系におけるサンプリング地点
D, Fは本川を、それ以外は支川を示す

(2) 調査方法

本調査では，長野県を流れる一級河川天竜川本川約50Kmの区間の2地点およびそこにつながる7支川，計9地点において，2011年11月にサンプリングを行った（図-5）．なるべく隣接しない個体を選定し，各地点30サンプルについて葉のついた枝を採取し，冷蔵状態で実験室に持ち帰り-80℃にて冷凍保存した．DNA抽出にはQiagen 社製DNeasy Plant Mini Kitを用いた．また，アウトグループとして，岐阜県内の木曽川において7サンプル，土木研究所敷地内（茨城県つくば市）において8サンプルを採取した．遺伝情報の分析には、本流域の由来の推定にはAFLP法を、水系内の動態の解析にはLian[15]らの方法に従ったマイクロサテライト法を適用した。マイクロサテライト法は、マイクロサテライト領域と呼ばれる、変化の生じやすい部位を対象とした手法で、再現性も高く、マーカーが既知（分析方法が確立済）の

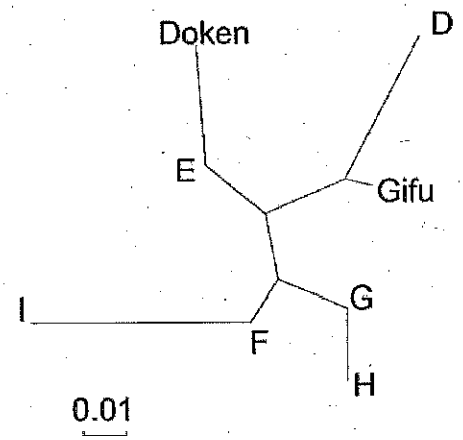


図-6 AFLP分析法に基づく比較

天竜川水系内のハリエンジュとアウトグループとなるGifu(各務原市)・Doken（つくば市）が入り乱れており、天竜川水系内には複数の起源をもつ集団が存在していることが推定される。

種を対象に分析する場合、集団解析を行ううえで有効な手法である。

(3) 結果

AFLP法により得られた遺伝情報をもとに、AFLP SURVにより遺伝的距離を求め、Phylip3.67により地点間の関係を無根系統樹として示した(図-6)。天竜川以外のアウトグループサンプル2地点と各地点の関係は入り組んでおり、複数の起源をもつハリエンジュ集団が水系内に存在していることがわかる。

マイクロサテライト分析の結果からは、分析対象となる地点A~Fの144サンプルのうち，43サンプルの遺伝情報が各々の地点内において完全一致する遺伝情報を有する個体が存在し、これらは地点内における同一個体あるいはクローンである可能性が高いと判断された．地点内で同じ遺伝情報を有する比率（クローン率）は地点によってばらつきが大きく(図-6)，本川Dは0.12、支川Eは0.03と低い値を示すのに対し、支川Bでは半数が同じ遺伝情報を有すしていた。地点内のクローン率が高い地点は、他地域からの移入が小さく当該地点でクローン樹林帯をを形成しやすく、早期にクローン個体が優先的な樹林を形成した可能性が考えられる。本川では上流域からの侵入頻度が高いと考えられるF地点においてもクローン率が高いことは、ハリエンジュが新規に侵入しにくい、もしくは短期間に樹林を形成できる何らかの要因がある可能性が考えられ得た。これらの情報と物理環境を組み合わせて検討することにより，ハリエンジュの繁殖・拡大適地の条件の絞りこみなど、より効果的な対策につながるもとの考えられる．

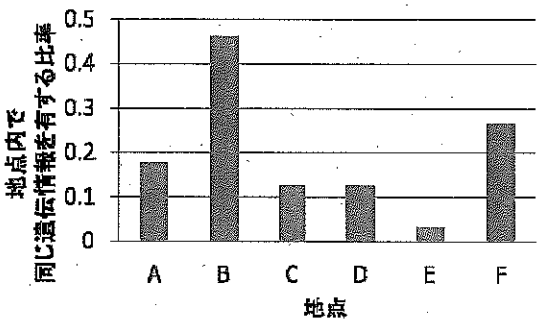


図-7 各地点内におけるハリエンジュのクローン比率

4. 今後の課題

本報では、土木研究所が検討を行っている事例のうち２件を取り上げ、その概要を紹介した。魚類の移動環境調査への適用では、長期にわたり移動が困難な地点は明らかに分離できるたものの、何らかの交流が想定される地点間については、地点間の遺伝的な違いが微細であるため、調査地点の選定を含む調査計画の立案や再現性に配慮した分析が重要であると考えられた。一方、ハリエンジュのような植物は、同一個体がその地点に留まるため、侵入の履歴等を遺伝情報が反映する結果を得ることができた。いずれの場合においても、生物学の分野で行われている研究レベルの成果を求めるとなると、サンプル数の増加などにより費用がかさみ、非現実的なものとなる場合もある。既往の調査と組み合わせ、どの程度の情報を目標とするのかあらかじめ想定し、調査計画を立てる必要がある。

遺伝情報を用いるメリットとして、以下のような事項が考えられるる。

・分析に用いるサンプルが微量ですむため、魚体へのダメージが小さく、希少魚種への適用も可能である。

・サンプル（DNA)を保存しておけば、年月を経た後にも異なる分析手法の適用も可能であり、過去と現在を比較することができる。

・広範囲にわたる移動環境を調査する場合、全ての地点を網羅的に調査する必要が無い。最初にいくつかの区間に分けて、各区間1地点の調査を行う事により、課題のある区間を一次検討し、課題がある可能性が示された箇所を重点的に調査することにより、調査の簡素化が図れる。

一方、調査計画等、まだ精査すべき事項があり、これらの課題は、引き続き土木研究所においても検討を行っていく予定である。現在土木研究所らが行っている共同研究については、「魚類移動環境編（仮題）」として、共同研究報告書をとりまとめつつあり、今年度をめどに、配布を行う事を予定している。

参考文献

1)村松正實監訳, T.A.Brown, Genoms Second Edition, (株)メディカル・サイエンス・インターナチョナル、2003

2) J. M. Butler著，福島弘文・五条堀孝監訳，DNA鑑定とタイピング-遺伝学-データベース・計測技術・データ検証・品質管理-，共立出版，2009

3)例えば　Bryan Sykes著，大野晶子訳，　イブと7人の娘たち，ヴィレッジブックス，2001

4)例えば　池田清彦，新しい生物学の教科書，新潮社，2001

5) DNA多型分析応用技術研究会ら(2010)，河川におけるDNA多型分析技術の活用事例集

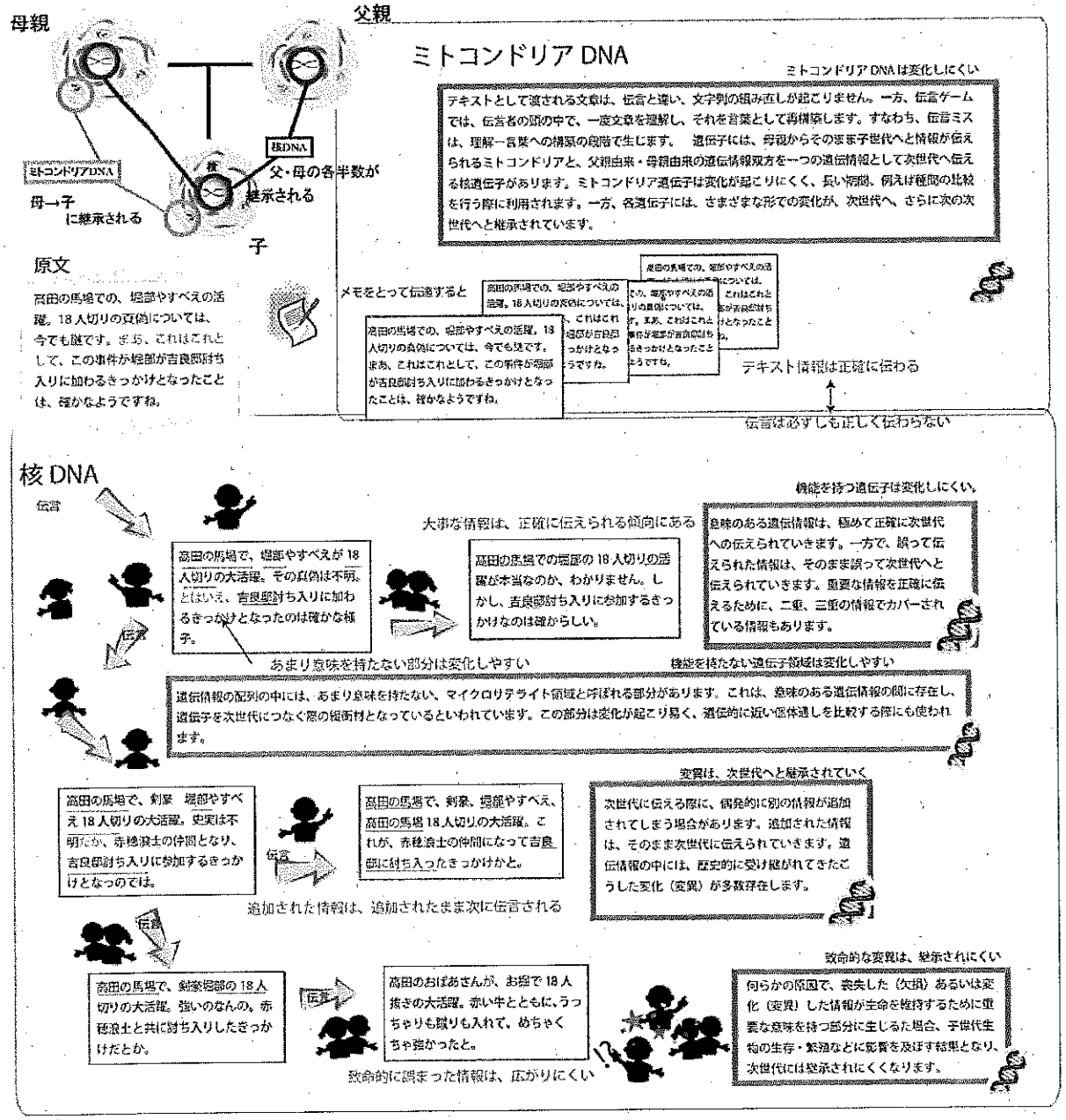
6) 村岡敬子,篠塚由美 et.al. AFLPを用いた魚類の移動環境評価の試み,DNA多型Vol.20, 132-137, 2012.6

7)村岡敬子，須藤勇二　他，遺伝情報を用いた魚道機能の検証，応用生態工学会第14回研究発表会講演集，pp75-76, 2010,9

8) S. Karudapuram et al.(2005), Identification of Hedysarum

Varieties Using Amplified Fragment Length Polymorphism on a Capillary Electrophoresis System, Journal of Biomolecular Techniques 16:316–324
9)Version 3.68,August, 2008by Joseph Felsenstein Department of Genome Sciences and Department of Biology University of Washington
10) Laboratoire d'Ecologie végétale et Biogéochimie, ULB-Campus de la plaine CP244 C5 oulevard du Triomphe, B-1050 Bruxelles
11)安形ら(2012), 事業に伴う河川環境調査における生物の遺伝情報活用に関する方向性～生物の遺伝情報を河川事業の影響評価へ活用する計画について～, ELR2012発表講演要旨集
12)増本ら(2013), 河川事業の影響評価等における遺伝情報の活用化に向けた研究,応用生態工学会第17回大会発表講演要旨集
13)太田ら(2014), 河川事業の影響評価等における遺伝情報の活用化に向けた研究,応用生態工学会第18回大会発表講演要旨集
14)村岡敬子,池田茂 et.al 河川事業への遺伝情報活用の試み,DNA多型Vol.22,77-79
15)Lian, C., Hogetsu, T., Development of microsatellite markers in black locust (Robinia pseudoacacia) using a dual-supression-PCR technique C. LIAN and T. HOGETSU, Molecular Ecology Notes (2002), 2, 211–213

参考： 遺伝情報の伝達と遺伝的差異の出現



河川堤防の刈草を活用した下水汚泥の混合消化ガス発電の経済性と環境負荷軽減の検討

山崎　憲人[1]・杉　浩行[2]

[1]北陸地方整備局 建政部 都市・住宅整備課（〒950-8801 新潟県新潟市中央区美咲町１丁目１番１号）

[2]北陸地方整備局 道路部 道路計画課（〒950-8801 新潟県新潟市中央区美咲町１丁目１番１号）

本稿では，堤防除草で発生する刈草と下水汚泥の共同処理による消化ガス発電を実施した場合の河川管理者及び下水道事業者における経済性及び環境負荷軽減効果の評価を試みた．信濃川下流河川事務所管内で発生する刈草のうち，従来，焼却場で処理していた刈草を近傍の新潟市中部下水処理場で受け入れた場合をモデルとして，ケーススタディを行った．その結果，両者とも経済的なメリットを享受することが可能であること，焼却場で処理する場合と比較してCO_2の削減効果が得られることがわかった．

キーワード　堤防除草，バイオマス資源，刈草処理，下水処理施設，メタン発酵，再生可能エネルギー

1. はじめに

近年，再生可能エネルギーが注目され，普及・拡大してきている．下水道事業者において，下水汚泥の消化ガス発電の取り組みが始まり，さらに下水汚泥に各種バイオマスを混合しガス発生量の増加を図る研究も進められているが，北陸地方では事業活動等で発生するバイオマス材料の一定量の確保や経済性が課題となっている．一方，河川においては管理を行う上で除草が必要であり，その処理費の削減が課題となっている．

2. 刈草の有効性及び利用状況

(1) 河川管理由来バイオマスの有効性

賦存量が多い草本類バイオマスは資源として期待されているが，それらバイオマスは「広く，薄く」存在している上，収集，運搬の費用等が発生するため，一般的にバイオマス資源として有効活用が難しい資源とされている．一方，河川では，堤防の状況監視等の管理の必要性から，広大な面積を年に数回，刈り取り，集草，処理を行っており，この河川管理由来の草本類を活用できれば，別途費用をかけなくても草本類バイオマスを一定量を安定して確保できる可能性がある．

これら河川管理由来の草本類バイオマスは，既に収集・運搬のシステムが構築されている上，また下水処理施設は処理水放流の関係から河川に隣接している箇所が多いという立地利点がある．これらの利点を活かせば，河川管理由来の草本類バイオマス資源は，有効利用できる可能性が高い環境にあるといえる．



図-1　信濃川と新潟市中部下水処理場

(2) 河川管理由来バイオマスの有効利用方法

河川管理由来のバイオマスの刈草は，堆肥や飼料（干し草）として無償提供や焼却処理が行われることが一般的である．

一般に，バイオマスは含水率60-70%以上では自燃することができないとされており，河川管理由来のバイオマスは含水率が高いため，燃料としてのエネルギー利用は進んでいない．燃料として利用する場合は，乾燥の工程を加えるか，メタン発酵等により，エネルギー回収させることが望ましいと考えられる．特にメタン発酵は，ある程度含水率の高い方が消化が促進されるため，集草後，含水率が高いまま運搬されることが多い河川管理由

来のバイオマスの有効利用方法としては適していると考えられる．

一方，下水処理施設では下水汚泥の減量化を目的に，消化槽に下水汚泥を投入し嫌気性微生物の働きにより消化させる．その際にメタンガスを主成分とする消化ガスが発生するが，近年下水処理施設の消化槽において，生ごみや木材，刈草等のバイオマスを下水汚泥と混合を行い消化ガス発生量の増加を目的とする研究・調査も進められており，これらバイオマス混合によるエネルギー回収の高効率化に期待が高まっている．

(3) 公共工事由来バイオマスの供給ポテンシャル

a) 全国における刈草等の利用状況

国土交通省総合政策局事業総括調整官室および独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループリサイクルチームの調査[1]によると，国土交通省直轄事業で除草・剪定により発生する草木系バイオマスの発生量は，2008年調査で刈草：25万トン-wet（道路：4.5万トン-wet，河川：18万トン-wet），剪定枝葉：1.6万トン-wetとなっている．それらの処理方法の内訳は，刈草は，37%が放置，12%が焼却，30%が再資源化であり，剪定枝葉は約50%が民間再資源化（堆肥，チップなど）となっている．

b) 北陸地方整備局管内における刈草の利用状況

北陸地方整備局の直轄河川事務所（10事務所）に対して，刈草の搬出量と処理方法を調査した結果，北陸地方整備局の直轄河川において平成24年度に実施した刈取面積は44,795(千m^2)であった．刈草の発生量は5,536トン-wetであり，このうち約5割にあたる2,681トン-wetが焼却処理施設へ搬出されていた．

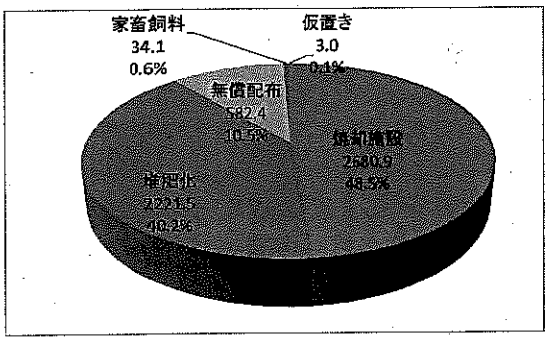


図-2　直轄河川における刈草の処理方法

c) 北陸地方整備局管内における刈草の発生時期

北陸地方整備局の直轄河川における除草回数は，図-2に示すとおり概ね年間2回となっており，除草時期については，1回目の除草が5～7月，2回目の除草が8～10月ごろに行われている．一般に下水処理施設における消化ガス発生量は，夏場に減少する傾向がみられるが，河川における刈草の発生時期と重なることから，この刈草を活用した場合，消化ガス発生量の平準化が図られると想定され，このような点からも河川で発生する刈草を下水処理施設にてメタン発酵し，エネルギー回収する方法は有効であるといえる．

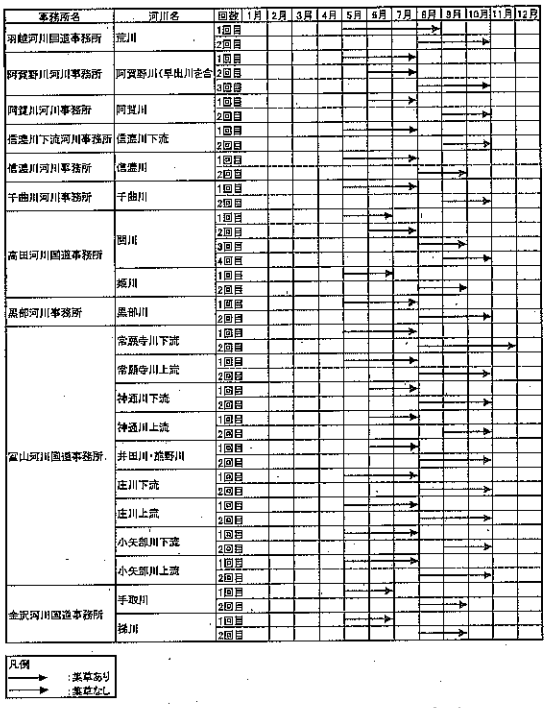


図-3　直轄河川における刈草の処理方法

3. 刈草の有効利用のプロセス

一般に，刈草の処理は除草，集草，運搬，処理というプロセスとなるが，メタン発酵等のエネルギー回収を考えた場合，これに破砕と保管が必要となる．

(1) 破砕処理

木材の嫌気性消化（メタン発酵）にあたっては，木質類器官の細胞を構成するセルロースやヘミセルロースがリグニンにより堅固に被覆・接着されており，そのまま木質の原型が残っている状態では嫌気性消化には利用されにくい．土木研究所ではこの課題に対して蒸煮爆砕処理により改質する方法が開発されているが，対象が刈草の場合は，破砕するだけで活用することが可能である．また，刈草を破砕することにより，メタン発酵で消化槽に刈草を投入するための管の閉塞を防ぐ効果も期待される．

(2) 保管スペースの必要性

土木研究所の研究[2]によると，刈草を雨ざらしの状態で保管すると，腐敗により固形物量ベースで28%の有機分の減少が確認された．これを防ぐため，室内による保管が望ましいと考えられるが，保管スペースの確保が課題となっている．

4. ケーススタディの実施

信濃川下流の直轄河川堤防において，焼却処理施設へ搬出して焼却処理している刈草を，近傍の新潟市の中部下水処理場に搬出し，下水汚泥と混合し嫌気性消化により発生するメタンガスを活用して発電を行った場合のコスト及び環境負荷軽減効果について３つのパターンで比較の試算を行った．

(1) 中部下水処理場における刈草有効利用の実験内容

中部下水処理場は，新潟県内初の消化ガス発電本格稼働施設として平成25年1月より運転を開始している．

また，刈草やコーヒー粕のバイオマスとの混合消化の実証実験も実施しており，今後，事業化を目指している．実証実験における刈草を用いた混合消化による発生ガス量は，刈草10.0%投入で1.8倍，5.0%投入で1.5倍であった．また，0.5%投入では1.07倍と少量の刈草であっても確実に増加することが確認されている．

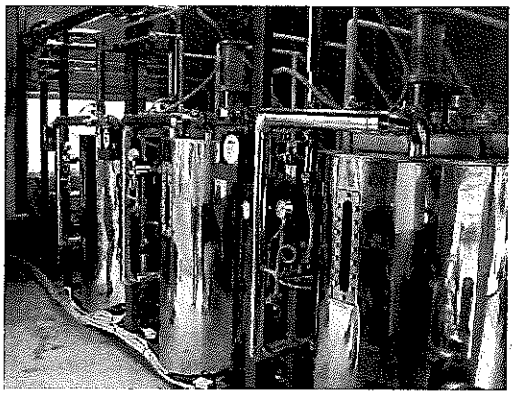


図-4　混合消化実証実験用設備（新潟市中部下水処理場）

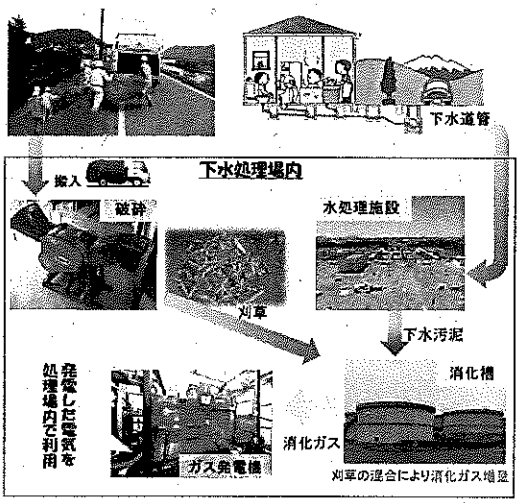


図-5　事業化を目指す下水汚泥と刈草との混合消化

(2) ケーススタディの前提条件

河川から発生する刈草のうち，既に有効利用されているものは対象外とし，焼却処理されるなどの有効利用されていない刈草を供給可能量とした．

中部下水処理場のヒアリング結果から，刈草を受け入れることになった場合，使用する消化槽は4槽のうち１槽を予定しており，刈草の投入量は消化槽へ投入される濃縮汚泥の1%を想定している．これを受入可能量とした．

中部下水処理場における処理費については，刈草を投入することによる維持・管理費，電力費の増加は，下水処理施設に関する公開データよりこれらの項目ごとに下水汚泥の単位重量あたりのコスト単価を算出した，また，これと同等のコストが刈草の処理においてもかかるものと仮定して算出している． 中部下水処理場への刈草運搬については，河川管理者が実施するものと仮定し，消化槽，ガス発電機等の設備は全て既設利用とした．

(3)調査方法

a) 有効利用のケース設定

刈草の投入により回収したメタンガスを，「電力の自家消費」，「都市ガス代替」，「売電」の３つのパターンで利用する場合のコスト及び環境負荷の軽減効果について算出した．「電力の自家消費」については，図-4に示すとおり8～9月にかけて消化ガス発生量が減少するため，8～9月を対象として刈草を受け入れ，消化ガス発生量を平準化させて，ガス発電の高稼働化を図る設定とした．

夏季に消化ガス発生量が減少するのは，微生物反応が活発になるため消化槽に投入される前の管渠等で有機物が多く分解されるため消化槽でのガス発生量が少なくなるためである．

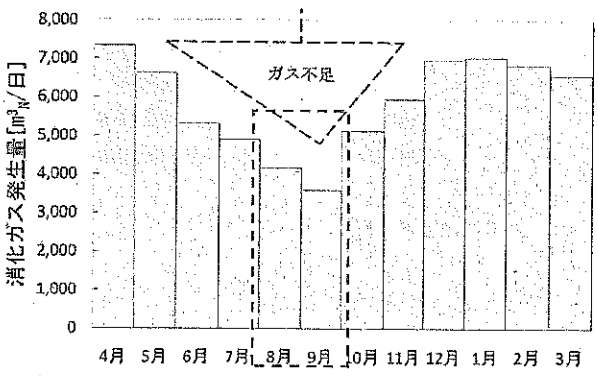


図-6　中部下水処理場における消化ガス発生量の季節変動

b) 試算対象のプロセスと比較項目

対象とするプロセスは，運搬，破砕，処理とした．コスト及び環境負荷の軽減効果については，表-1，表-2に示す比較項目ごとに原単位を作成して，供給可能量もし

くは受入可能量を乗じることにより算出した.

コストについては，河川管理者と下水道事業者との両者の視点から算出し，収益も加味した．イニシャルコストについては破砕機の購入費を計上することとし，国土交通省の調査結果[3]より100万円とした.

表-1　コストの比較項目

プロセス	主体	比較項目
運搬	河川管理者	・運搬費
破砕	下水道事業者	・人件費 ・燃料費
処理	河川管理者	・処理費
	下水道事業者	・維持・管理費 ・電力費
収益	下水道事業者	・有効利用による収益 ・処理費

表-2　環境負荷軽減効果の比較項目

プロセス	比較項目
運搬	・運搬によるCO_2排出量
破砕	・電力消費によるCO_2排出量
処理	・電力消費によるCO_2排出量
	・維持・管理費によるCO_2排出量 ・化石燃料代替によるCO_2削減量

c) コスト試算の考え方

河川管理者にとって，コスト縮減効果を得るには，式(1)の条件を満たすことが必要である．(図-5)

(焼却処理)　(下水処理場処理)

$$運搬費A+処理費A>運搬費B+処理費B \quad (1)$$

ここに，*運搬費A：刈草発生場所から焼却施設までの運搬費，*

運搬費B：刈草発生場所から中部下水処理場までの運搬費，

処理費A：現在の焼却処理の処理費，

処理費B：中部下水処理場の処理費，

ここで，*処理費B*については，式(1)より

$$処理費B<処理費A+運搬費A-運搬費B \quad (2)$$

を満たす*処理費B*の上限額を河川管理者が支払える最高額となる.

本稿の試算では，下水道事業者と河川管理者の金銭的メリットを同等とするため，中部下水処理場が最低限必要な処理費を算出し，前述の河川管理者が支払える最高額との中間値を*処理費B*として設定する.

ここで，下水道事業者が最低限必要な処理費は，刈草を受け入れることにより増加するコスト（破砕費，人件費，電力費を想定）と，刈草を受け入れることによる収益（電力の自家消費，都市ガス代替，売電）の差から求めることとした.

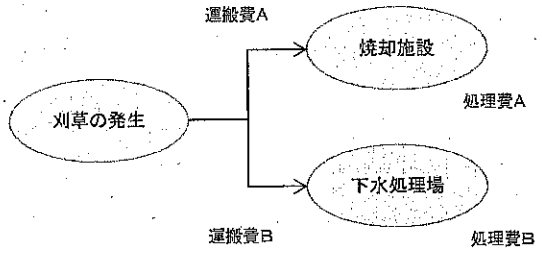


図-7　運搬費と処理費の考え方

(4)調査結果

前述の「電力の自家消費」，「都市ガス代替」，「売電」の3つの収益全てにおいて，コスト，環境負荷軽減効果ともに従来の焼却処理と比較して，中部下水処理場へ搬出し，メタン発酵によりエネルギー回収をする方が優位であるという結果となった．特に「電力の自家消費」については，既に中部下水処理場において実施されており，刈草を投入した場合においても設備の変更等が不要であるため，実現可能性が高いと考えられる．以下に「電力の自家消費」に関する調査結果を示す.

a) 対象となる刈草の量

上述の前提条件より，中部下水処理場における受け入れ可能量は，消化槽4台のうち1台を使用し，混合比は1%であることから，消化槽に投入される濃縮汚泥量の4分の1の1%となる．中部下水処理場における8～9月の消化槽に投入される濃縮汚泥量は62,154m^3であるため，消化槽へ投入できる刈草の量の171トンとなる．ここで，有機性汚泥の換算係数は1.1[t/m3]とした.

一方，信濃川下流から発生する刈草のうち，焼却処理されている刈草の量は，5～7月で127トン，9～10月で101トンであり，受入可能量である171トンを上回っている．ゆえに試算の対象となる刈草の量は171トンとした.

b) 処理費Bの試算

運搬費については，今回のモデルケースでは，従来の焼却処理施設までの距離が13.4km（*運搬費A*），中部下水処理場までの距離が18.5km（*運搬費B*）であるため，運搬費は増加することになる．運搬費の試算においては，土木工事標準積算基準書等により刈草1トンあたりの費用を算出し，試算の対象となる刈草の重量を乗じて算出した.

焼却施設の処理費（*処理費A*）は，アンケート結果により設定し，式(2)で示した河川管理者が支払える処理費の最高額は9,508[円/t]と算出された.

下水道事業者が最低限必要な処理費を検討するにあたっては，刈草を受け入れることにより追加的に発生する

費用として，破砕費，処理費を試算した．

破砕費については，土木研究所の報告[4]によると，刈草1kg破砕するのにかかる時間は8.26秒，電力は12.63Whであるため，これから人件費，燃料費の原単位を計算し，試算の対象となる刈草の重量を乗じて算出した．処理費については，前述の前提条件に記載の方法で維持・管理費，電力費の原単位を作成し，試算の対象となる刈草の重量を乗じて算出した．これらのコストにイニシャルコスト及び収益を含めた中部下水処理場が最低限必要な処理費は1,455[円/t]と算出された．

以上から，*処理費B*は5,482[円/t]と算出した．

c) コスト削減効果

これらの条件により試算した結果，河川管理者において図-6のとおりとなり，約70万円のコスト削減効果が見込まれる結果となった．

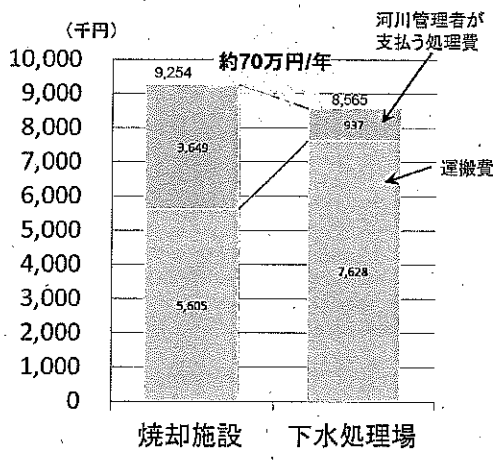


図-8　河川管理者のコスト削減効果

次に中部下水処理場におけるコスト縮減効果を試算する．まず，刈草を受け入れることによる便益として自家発電による電力削減，処理費を試算した．

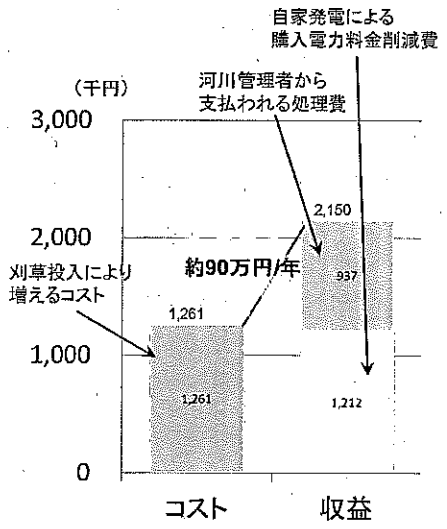


図-9　中部下水処理場のコスト縮減効果

自家発電による電力削減は，土木研究所の研究結果[5]を参考に刈草から発生するメタンガス発生量の原単位を作成し，東北電力の夏季における高圧電力料金を用いて試算を行った．発電効率は中部下水処理場における発電効率（33%）を使用した．

これらの条件により試算した結果，図-7のとおりとなり，約90万円の収益増加が見込まれる結果となった．

d) 環境負荷軽減効果

環境負荷軽減効果を検討するにあたっては，従来の焼却処理施設と中部下水処理場それぞれについて表-2に示した項目の刈草1トンあたりのCO_2排出量及び発電にあたり化石燃料を代替することによるCO_2削減量の原単位を作成し，試算の対象となる刈草の重量を乗じて算出した．

焼却処理施設で排出されるCO_2は，電力使用，重油使用量，薬品（消石灰）使用量，水使用量，および維持管理を対象とした．下水汚泥処理施設におけるCO_2の排出は電力使用，および維持管理を対象とした．

これらの条件により試算した結果は以下のとおりとなり，CO_2排出量は従来の焼却処理と比較して若干増加するものの，化石燃料を代替することによるCO_2削減量を考慮すると全体として24.3トン- CO_2の削減効果が見込まれる結果となった．

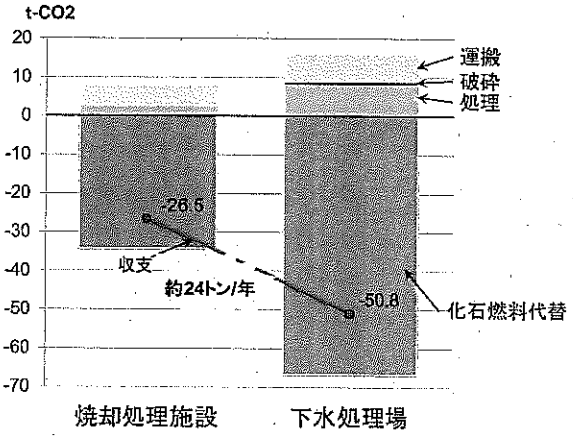


図-10　CO_2削減効果

(5)今後の課題

公共工事由来の刈草は，廃棄物処理法上一般廃棄物に分類される．このため，刈草の1日の処理能力が5トン以上となった場合，廃棄物処理法と建築基準法の規定により，都道府県知事から廃棄物処理施設の許可を得る必要があり，環境部局等との調整を行う必要がある．

また，他の下水処理施設に本方法を適用する場合には，下水処理施設の立地場所や規模，刈草の供給可能量などの諸条件によって，経済性や環境負荷軽減効果が変化するので留意が必要である．

5. まとめ

本稿では，新潟市中部下水処理場をケーススタディとして，堤防除草で発生する刈草と下水汚泥との混合による消化から発生するメタンガスの有効利用による経済性及び環境負荷軽減効果の検討を試みた．以下に得られた成果を記す．

1) 直轄河川事務所へのアンケート結果によると，刈草の約50%，約12,700トンの刈草が有効利用されてない．
2) 本ケーススタディでは，河川管理者，下水道事業者ともに経済的なメリットがあるという試算結果となった．
3) 環境負荷軽減効果の試算においても，従来の焼却処理と比較して，CO_2の削減効果が得られるとの結果となった．

最後に，本検討結果は新潟市の中部下水処理場を対象としたケーススタディによるものであるが，算出内容を表計算等でフォーマット化することにより，他のケースでの試算にも活用できると考えられる．

今後，下水道事業者と河川管理者及び環境部局等との一層の連携が図られ，両者の維持管理費のコスト縮減，環境負荷の軽減等に寄与することに期待する．

謝辞：本稿の検討にあたり，協力いただきました新潟市中部下水処理場の関係者の方々に謝意を表します．

参考文献

1)国土交通省総合政策局事業総括調整官室，独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループリサイクルチーム：河川・道路・公園管理由来バイオマス賦存量把握に向けた全国調査
2) 岡本誠一郎，桜井健介，宮本豊尚：下水道施設におけるバイオガスの完全利用に関する調査,2009
3) 国土交通省総合政策局事業総括調整官室：河川・道路等の管理由来一般廃棄物有効利用方策とりまとめ業務,2010
4) 岡本誠一郎，桜井健介，新井小百合：下水処理場の再生可能エネルギー供給拠点化方策検討調査,2010
5) 落修一・鈴木穣・南山瑞彦・越智崇：木質に蒸煮・爆砕を施すことによる木質と下水汚泥との混合・嫌気性消化法に関する研究,2004

(著者2は,2014年4月に建政部 都市･住宅整備課から道路部道路計画課に異動)

凍結防止剤散布を考慮した路面すべり抵抗値の簡易推定手法

藤本　明宏[1]・切石　亮[1]・川端　優一[2]・徳永　ロベルト[1]・高橋　尚人[1]・石田　樹[1]

[1]（独）土木研究所　寒地土木研究所　寒地交通チーム　（〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3-1-34）

[2]北海道開発局 釧路開発建設部 中標津道路事務所 工務課　（〒086-1063 標津郡中標津町東23条北1-1）

本研究では，凍結防止剤散布の適正化を目的に，凍結防止剤散布後の路面すべり抵抗値を推定する手法（簡易平衡法）を構築している．簡易平衡法では，凝固点曲線を基に凍結防止剤散布に伴う融氷量と散布後の路面氷膜厚を算出し，路面氷膜厚と路面すべり抵抗値の関係式を用いて路面すべり抵抗値を推定する．

本論文では，野外試験より路面氷膜厚と路面すべり抵抗値の関係を明らかにし，簡易平衡法による路面すべり抵抗値の推定の方法と例を示すとともに，本手法の実用化への課題や可能性について述べる．

キーワード　路面すべり抵抗値，凍結防止剤，氷膜路面，交通安全

1. はじめに

凍結防止剤散布は道路雪害対策の有効な一手段であり，年々縮減する予算や沿道環境の負荷軽減を背景に，その適正化は冬期道路管理における課題となっている．

道路に散布された凍結防止剤は凝固点降下によって路面表面水の氷化の遅延または路面雪氷の融解に作用する．この遅延・融解能力は凝固点曲線に示されるように路面温度に依存し，有意な散布効果が得られるか否かは温度に加えて路面上の雪氷量にも関係する．例えば，極低温下において厚い雪氷路面に凍結防止剤を散布する場合，完全に融かそうとすると莫大な散布量が要求される．また，散布量が少ないと雪氷の表面のみ融解し，その後の再凍結によって却って滑りやすい路面の形成を助長させる恐れがある．このように，凍結防止剤散布は気象条件と路面雪氷状態を十分に配慮して実施する必要がある．周知のとおり，凍結防止剤散布が不適切な場合には機械除雪や防滑材散布などの代替策を検討しなければならない．

凍結防止剤散布に関する参考書として，除雪・防雪ハンドブック[1]や冬期路面管理マニュアル（案）[2]などがある．前者は凍結防止剤散布に限らず道路雪寒対策を広く網羅しており，後者は北海道における冬期路面管理の運用を詳しく記載している．これらの参考書は凍結防止剤の性質や散布に関する基本的な考えを理解する上で役立つ．しかしながら，気象条件や路面雪氷状態を十分に考慮して凍結防止剤散布を体系化するまでは至っていない．北海道では，氷膜路面に対して凍結防止剤や防滑材を撒くことが多いが，何時，何処に，どの位，何を，散布することが適切かを判断することは依然として容易でない．

さて，当研究所では2006年に連続路面すべり抵抗値測定装置を導入して以来，様々な雪氷路面で路面すべり抵抗値（以下，*HFN*（詳細は3.(2) a)を参照））を測定してきた[3]．*HFN*は，路面すべり摩擦係数（以下，μ）と同様にスリップ事故や登坂・発進不能車両の発生と密接に関わる客観的な物理量であり，凍結防止剤の散布効果を判断するための有効な指標に成り得ると考えられる．このような背景から，今まで以上に凍結防止剤散布の適正化を図るためには，散布に伴うμや*HFN*の変化を推定する手法の確立が望まれる．

そこで本研究では，凍結防止剤散布後の*HFN*の推定手法を新たに構築している．本論文では，走行試験より路面氷膜厚と*HFN*の関係を明らかにした上で，*HFN*の推定の方法と例を示すとともに，本手法の実用化への課題や可能性について述べる．

2. 凍結防止剤散布後の路面すべり抵抗値の推定法（簡易平衡法）

(1) 概要

これまで筆者らは，凍結防止剤散布を考慮した路面の熱，水分および凍結防止剤移動の連成解析からμを予測

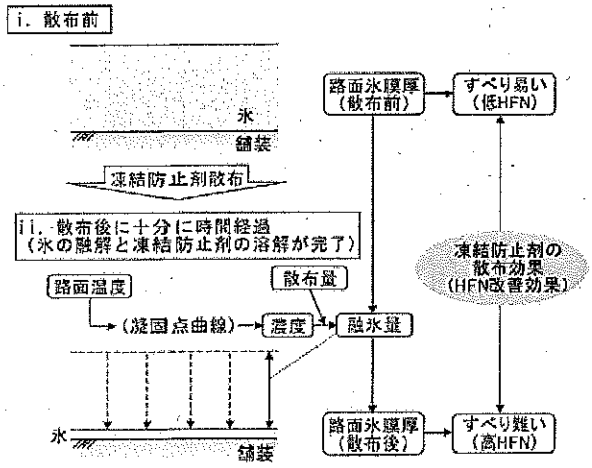


図-1 簡易平衡法の概念図



図-2 走行試験の様子

する手法を開発してきた[4), 5)]．この手法は，物理的根拠に基づくため，気象や交通条件に拘らずどこでも適用できる優位性があるものの，熱・物質（水，氷，凍結防止剤）移動に関連する様々なパラメータを同定しなければならないといった課題があり，実用化までには更なる研究を要する．本研究では，上述の熱・物質移動を基本とした手法の構築を継続させつつも，比較的簡単に凍結防止剤散布後の*HFN*を予測する新たな手法（以下，簡易平衡法）を構築・検討する．

(2) 仮定

本研究の範囲において，簡易平衡法は次の仮定の下で成り立つ．

i) 散布した凍結防止剤の全てが路面雪氷の融解に作用する（散布時や車両による飛散などによる道路外への流出はない）．

ii) 固形の凍結防止剤散布に伴う路面氷膜の融解・低下は面的に一様とする（凍結防止剤と接触した氷が局所的に融解し，路面上に舗装面と氷面が混在するような現象は考慮されない）．

本論文では，真の路面上の氷膜厚と本研究で空間平均的に扱う路面上の氷膜厚を区別するために，以下では後者を平均氷膜厚と呼ぶ．

(3) 推定方法

図-1に示す概要図に沿って，簡易平衡法を説明する．同図のi. 凍結防止剤散布前の氷膜路面とii. 散布後に氷の融解と凍結防止剤の溶解が完了（十分に時間が経過）した状態を考える．氷膜路面に塩化ナトリウムを散布すると，氷と塩化ナトリウムが接触し，飽和塩化ナトリウム溶液が発生する．塩化ナトリウム溶液は，凝固点曲線に準じた温度に対応する濃度になるまで周囲の氷を融かすことで希釈する．すなわち，融氷量（凍結防止剤の散布によって融ける氷の量）は散布量と濃度（あるいは路面温度，温度が分かれば濃度は凝固点曲線から推定可能）によって決定される．ここで，散布前の平均氷膜厚が既知であれば，散布後の平均氷膜厚（＝散布前の平均氷膜厚－融氷量）は算出できる．次に，平均氷膜厚と*HFN*に相関式が既知であれば，平均氷膜厚から*HFN*を求めることができる．

以上を整理する．簡易平衡法では散布前の平均氷膜厚，路面温度および散布量から散布後の平均氷膜厚を求め，平均氷膜厚と*HFN*の関係式から散布後の*HFN*を推定する．本論文では，4章で平均氷膜厚と*HFN*の関係式を示し，5章で*HFN*の推定例を示す．

3. 走行試験の概要

(1) 試験の内容および手順

図-2は走行試験の様子を示す．本試験は，2013年1月21日，28日および31日の3日間の夕方から深夜にかけて，苫小牧寒地試験道路で実施された．試験道路は，全長2700mの水平な周回道路であり，1900mの密粒度アスファルト舗装区間と600mの粗面系舗装区間で構成される．

本試験の手順は次の(i)～(vii)のとおりである．(i)路面温度＜0℃を確認した後，散水車を用いて密粒度アスファルト舗装区間（400m）の路面に散水する，(ii)気温の低下によって道路表面水を完全に凍結させ，氷膜路面を形成させる，(iii)氷膜路面に凍結防止剤を湿式散布する，(iv)放射温度計と図-3に示す連続路面すべり抵抗値測定装置（Continuos Friction Tester: CFT）を装着した車両を用いて路面温度と*HFN*を測定する，(v)5台の走行車両を周回させる，(vi)10周回毎（50台通過毎）に路面水膜厚，平均氷膜厚，路面温度および*HFN*を測定する，(vii)60周回（300台通過，計測回数7回）に達するまで(v)および(vi)を繰り返す．

試験条件について記載する．使用した凍結防止剤は塩化ナトリウムと濃度30%の塩化カルシウム水溶液を重量比9：1で混合したものであり，散布量は20 g/m^{2}に設定した．CFT装着車両および周回車両の走行速度はともに40 km/h一定とした．

(2) 測定項目

a) 路面すべり抵抗値

*HFN*の測定には，CFTを用いた（図-3）．CFTは車体後部に第5輪（測定輪）を装着させることで，走行しながら*HFN*を計測できる．測定輪は，車両進行方向に対して微小な角度（1～2°程度）を保ったまま牽引され，転がった時に発生する横力を検出することで*HFN*は算出される．*HFN*はタイヤ空転時（抵抗最小）を0，良好な露出路面走行時を通常80から100（路面温度に依存）となるように較正される．すなわち，*HFN*は，凍結路面のように滑りやすい（抵抗が小さい）時に小さく，湿潤や乾燥路面のように滑り難い（抵抗が大きい）時に大きくなる．*HFN*のサンプリング間隔は0.01秒である．得られた*HFN*は，外部記録装置に自動記録されると同時に，車内のディスプレイにもリアルタイムで表示される．

なお，当研究所ではフルロック式路面すべり測定車（バス）とCFTを用いた合同走行試験を行っており，すべり摩擦係数μと*HFN*の関係は以下のように定式化されている[6]．

$$\mu = 0.94 \times 10^{-2} HFN - 0.16 \qquad (1)$$

b) 路面上の水膜厚および氷膜厚

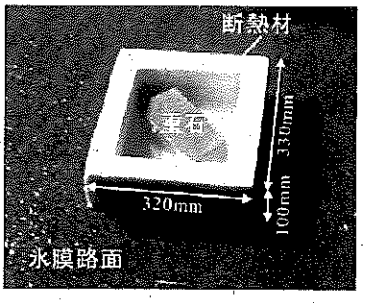
路面氷膜厚の測定には超音波法，電磁誘導法，破壊法などが考えられるが，冬期道路管理に適用可能な防水防寒・低価格の装置を探すことは容易でない．何よりも既製計測器の多くは測定範囲（～50 mm程度）が狭いために，面的に非一様な路面氷膜厚を評価するには複数点の測定が必要となり，時間と労力を要する．そこで本研究では，Taisto Haavasoja et al.[7]を参考に融解重量法による路面氷膜計を新たに作製した．

融雪重量法による路面氷膜計は，図-4上に示すような箱とその下（箱と氷膜路面の間）に設置する吸水紙で構成される．今回の装置は成形が容易な断熱材で内寸（220×230×100 mm）の枠を作製し，底面には伝熱性が高いアルミ板（厚1mm）を取り付けた．

以下に凍結防止剤散布後の氷膜路面における路面水膜厚および平均氷膜厚の評価手順を述べる．(i)吸水紙を用いて規定面積の路面上の水分を回収し，重量測定から空間平均的な路面水膜厚（以下，平均水膜厚）を算出する．(ii)路面氷膜計を路面に設置し，箱の中に約90℃の熱湯を1リットル程度（水深15 mm程度）注ぐ．(iii)路面の氷膜が完全に融解した後に融解水を含んだ吸水紙を回収し，重量測定から平均氷膜厚を算出する．なお，平均水膜厚と平均氷膜厚の測定箇所が異なる場合は，平均氷膜厚の測定前に路面上の水分を拭き取る必要がある．



図-3 連続路面すべり抵抗測定値装置（CFT）



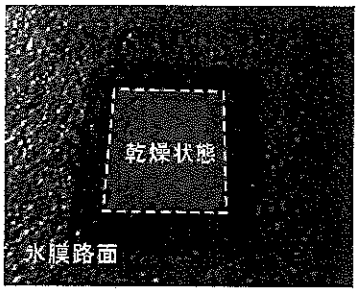


図-4 路面氷膜計（上）と測定後の路面状態（下）

図-4下は平均氷膜厚測定後の路面状態（白点線枠内）であり，測定後は殆ど水分が存在していない．このように，本装置は路面上の氷膜を良好に回収することができた．本装置の測定時間（氷膜の完全融解時間）は，気温・路面温度や路面氷膜厚によって異なる．参考までに今回の気温-5～-8℃では，平均氷膜厚の測定に4分程度要した．

c) 路面温度

路面温度は，非接触タイプの放射温度計を用いて測定した．放射温度計はレンズの汚れを防ぐように円錐型のボックスで保護されており，路面温度 0℃における測定精度は±2.0℃である．また装置は，エンジン等から放出される熱の影響および直射日光を受けないようにラジエーターグリルの裏に取り付けられている．データの出力間隔は 10 Hz である．

なお，本試験では気象観測も併せて実施した．

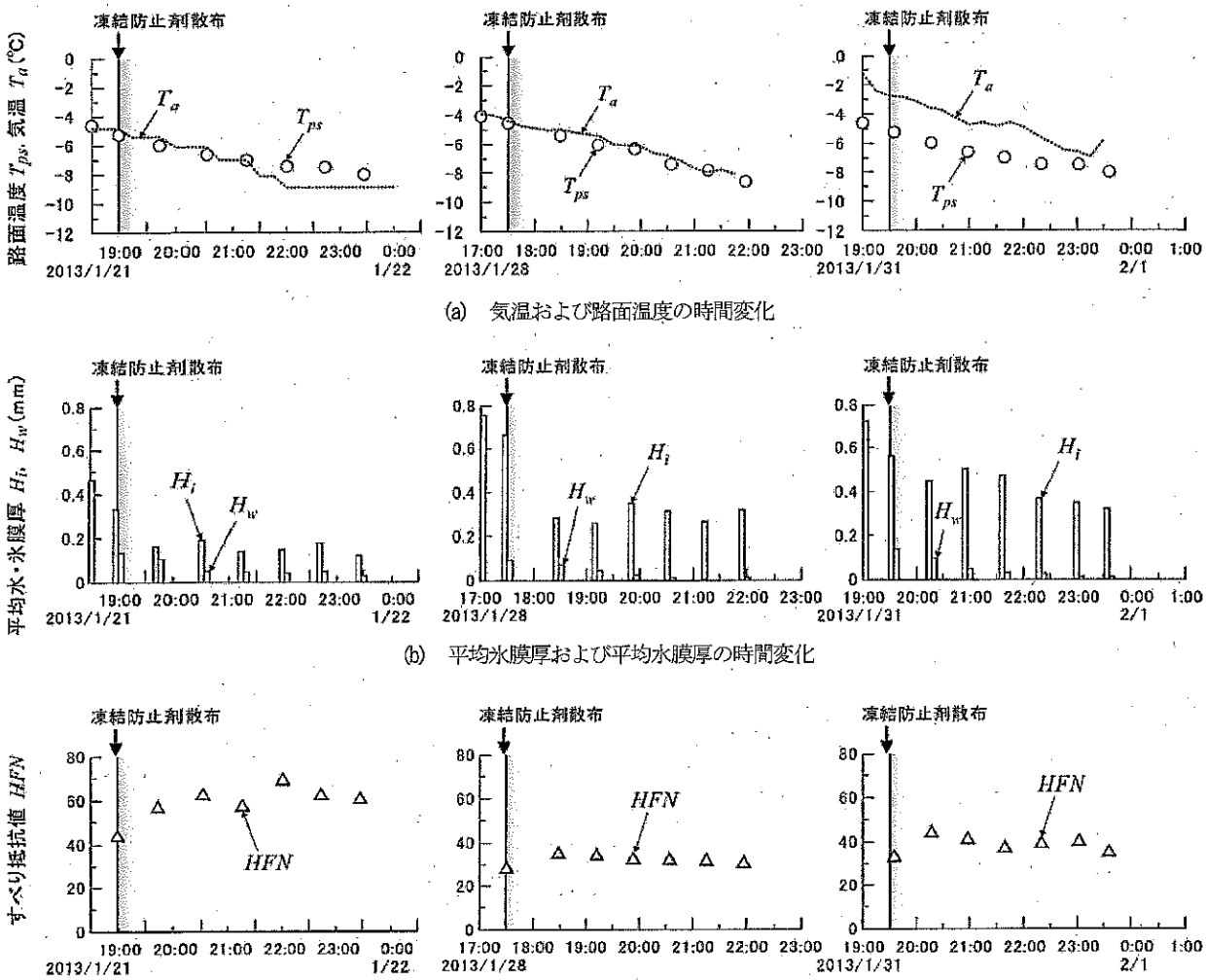


図-5 走行試験の結果

4. 走行試験の結果

(1) 時間変化

図-5は走行試験の結果であり，(a)は気温T_a（℃）および路面温度T_{ps}（℃）の時間変化を，(b)は平均氷膜厚H_i（mm）および平均水膜厚H_w（mm）の時間変化を，(c)はHFNの時間変化を，それぞれ示す．

T_a（点線）およびT_{ps}（○）は常に氷点下にあり，時間とともに低下した．試験終了時にはともに-8℃前後となった．

H_i（塗り潰し棒グラフ）は，凍結防止剤散布によって0.1～0.3 mm程度の低下が生じた．その後は，ばらつきがあるものの大きな変化は観られない．凍結防止剤散布直後に0.1 mm程度のH_w（白抜き棒グラフ）が発生し，その後，H_wは時間とともに低下した．凍結防止剤散布と車両走行を伴う路面上の水分移動についてはここでは詳述しないが，大気と路面との間の水分移動を理論的に計算した結果，このH_wの低下は蒸発よりもむしろ車両による飛散の影響が強いと推察する．

HFN（△）について述べる．1月21日の試験に着目すると，凍結防止剤散布前のHFNは43.6であったが，散布後には60前後を推移しており，散布によって20程度増大した．これに対して1月28日および1月31日の試験では，凍結防止剤散布によるHFNの増大は10程度に留まり，1月21日と比較して小さい．上述のH_iを踏まえて考察すると，1月21日のH_iは散布後に0.16 mmまで低下しているが，1月28日および1月31日における散布後のH_iは0.3～0.5 mm程度であり，1月21日と比較して厚い．この事から，H_iとHFNにはH_iが薄くなるほどHFNが大きくなるような関係があることが確認された．

(2) 路面すべり抵抗値と平均氷膜厚の関係

図-6はHFNとH_iの関係である．図中の灰色丸（○）が実測値である．HFNはH_iの増大につれて，H_i = 0の92.0か

ら指数関数的に低下し，33.2に漸近した．この両者の関係は次式で表される．

$$HFN = 58.8\exp(-6.9H_i)+33.2 \qquad (2)$$

なお，式(2)によるHFNの計算値と実測値は，相関係数=0.80の強い相関関係にある．

2. (2) ii)の仮定に記述したように，本研究では凍結防止剤散布後の斑状に存在する氷と舗装の面積割合（路面露出率）や真の氷膜厚を評価していないものの，HFNとH_iの間には有意な相関性が存在することを明らかにした．参考までに，Taisto Haavasoja et al.の研究[7]では$H_i < 0.4$ mmにおいてμとH_iの関係が示されており，その分布形は本結果と類似する．

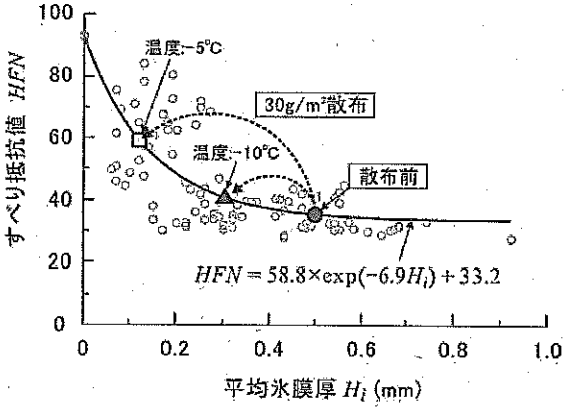


図-6　すべり抵抗値と平均氷膜厚の関係

5. 凍結防止剤散布後のすべり抵抗値の推定

以下に，凍結防止剤散布後のHFN推定の方法と例を示す．

図-7に示す塩化ナトリウムの状態図において，凝固点曲線の温度T（℃）と濃度C（-）の関係は次式で与えることができる．

$$C = -0.01T(0.02T + 1.63) \qquad (3)$$

路面温度T_{ps}を式(3)のTに代入すると，Cが得られる．次に，融氷量M_{melt}（kg/m²）は散布量M_{salt}（kg/m²）とCとの関係式，

$$C = \frac{M_{salt}}{M_{melt} + M_{salt}} \qquad (4)$$

を変形して求められる．すなわち，

$$M_{melt} = \frac{1-C}{C} M_{salt} \qquad (5)$$

M_{melt}を換算した融氷厚H_{melt}（$= M_{melt}/\rho_{ice}$，ρ_{ice}：氷の密度（kg/m³））と散布前の平均氷膜厚H_{ib}（mm）を式(2)に当てはめると，散布後のHFN，HFN'は

$$HFN' = 58.8\exp\{-6.9(H_{ib} - H_{melt})\}+33.2 \qquad (6)$$

で求められる．上記の式(3)～(6)より，任意のTおよびH_{ib}におけるM_{salt}散布後のHFNの推定が可能になった．

具体例として図-6に示すように，散布前のH_i = 0.5 mmの氷膜路面に塩化ナトリウム30 g/m²を散布したケースを考える．式(3)よりT=-5℃に対してC=0.08であり，M_{melt}=0.35 kg/m²，H_{melt}=0.38 mmとなる．従って，散布後はH_i=0.12 mm，HFN'=58.9となる．次にT=-10℃の場合，C=0.14，M_{melt}=0.30 kg/m²，H_{melt}=0.20 mmとなり，散布後はH_i=0.30 mm，HFN'=40.6となる．両例を比べると，T=-5℃のHFN'=58.9に対してT=-10℃のHFN'=40.6と，T=-10℃

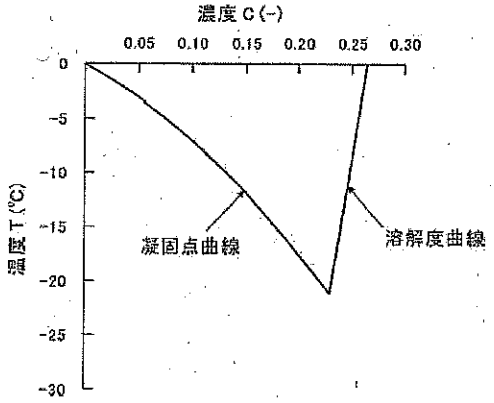


図-7　塩化ナトリウムの状態図

のHFN改善効果は小さい．以上，本手法により路面温度や路面雪氷量に依存する凍結防止剤の散布効果をHFNを指標に数値化して表現することが可能になった．

本論文で提案した簡易平衡法による凍結防止剤散布後のHFN（HFN'）の推定方法を以下にまとめておく．

$$HFN' = 58.8\exp\{-6.9(H_{ib} - H_{melt})\}+33.2$$
$$H_{melt} = M_{melt}/\rho_{ice}$$
$$M_{melt} = (1-C/C)M_{salt}$$
$$C = -0.01T_{ps}(0.02T_{ps} + 1.63)$$

H_{ib}　：凍結防止剤散布前の路面氷膜厚（mm）
H_{melt}　：凍結防止剤散布による融氷量（M_{melt}）を換算した融氷厚（mm）
M_{melt}　：凍結防止剤散布による融氷量（kg/m²）
ρ_{ice}　：氷の密度（kg/m³）
C　：凍結防止剤を含む水溶液の塩濃度（-）
M_{salt}　：凍結防止剤の散布量（kg/m²）
T_{ps}　：路面温度（℃）

6. おわりに

本論文では，氷膜路面における凍結防止剤散布の適正化を目的に，凍結防止剤散布後の路面すべり抵抗値（*HFN*）を推定する手法として，簡易平衡法を提案した．また，走行試験を通して本手法の課題や実用化の可能性について考察した．

本研究の成果を以下に列挙する．

(1) 走行試験から平均氷膜厚の増大に伴い*HFN*が指数関数的に低下する傾向にあることを明らかにし，両者の関係を定式化した．

(2) 簡易平衡法を用いて，凍結防止剤散布量と散布前の平均氷膜厚および路面温度から，散布後の平均氷膜厚および*HFN*の推定が可能であることを示した．

従来まで，路面温度が高いほど凍結防止剤散布効果は高いことを定性的に理解していたが，その効果の程度は不明瞭であった．本研究により，凍結防止剤散布効果を*HFN*を指標にして定量的に示すことが可能になった．しかしながら，簡易平衡法には以下の課題が残されている．

現道では車両による飛散や道路外への流出を伴うため，散布量の全てが融氷に作用するとは限らない．また，排水性舗装やSMA舗装では，鉛直方向への凍結防止剤の損失を伴うため，同じ散布量であっても密粒度舗装に比べて融解に作用する凍結防止剤の量は少なくなると考えられる．さらに，本手法は比較的簡単に構築できるが，道路上で起こる複雑な相変化を伴う水分や凍結防止剤の移動を簡略化しているため，推定精度の検証には十分に注意を払う必要がある．加えて，凍結防止剤や防滑材散布によって*HFN*をどれ位まで改善させるべきか，あるいはどれ位までの*HFN*を安全な路面として許容するか等，冬期道路管理におけるμや*HFN*の閾値の設定については，本研究に限らず要検討課題として認識しておく必要があると考える．

今後は，試験道路での野外試験を継続しつつ新たに室内実験を実施し，上記の課題を克服するとともに現道での本手法の適用性について検討を行う．

最後に，本研究により事前に凍結防止剤の散布効果を*HFN*で把握することができれば，今まで以上に合理的かつ客観的な冬期道路管理方法を提案できる可能性は高まる．しかしながら，その一方で，現状の道路維持作業は様々な制約下にあり，いくら正確で豊富であっても道路維持作業への反映が困難な情報は好まれない．従って，冬期道路管理の効率化を推進させるためには，“研究・開発側が提供できる情報”と“管理側が実施できる作業”を照合する機会を増やし，*HFN*推定手法の改善と並行して，これらの手法の有効な活用方法を検討することが益々重要になると考える．

参考文献

1) 社団法人日本建設機械化協会：2005 除雪・防雪ハンドブック（除雪編），2004.
2) 北海道開発局：冬期路面管理マニュアル（案），1997.
3) 徳永ロベルト，高田哲哉，高橋尚人，浅野基樹：路面のすべり抵抗値を用いた冬期道路マネジメント手法の高度化に関する研究，土木計画学研究発表会講演集，41，2010.
4) 藤本明宏，齊田光，福原輝幸：凍結に伴うNaCl湿潤アスファルト舗装のすべり抵抗低下，日本雪工学会誌，24，122-130，2008.
5) 藤本明宏，渡邊洋，福原輝幸：固形塩化ナトリウムの溶解を伴う路面霜凍結解析，日本雪工学会誌，27，275-285，2011.
6) 徳永ロベルト，舟橋誠，高橋尚人：すべり抵抗値活用による冬期路面管理技術の高度化に関する研究，第52回北海道開発局技術研究発表会，2009.
7) Haavasoja, T., Nylander, J. and Nylander, P.: Relation of road surface Friction and salt concentration, SIRWEC 2012, Vol. 16, 2012.

時間的・空間的連続観測データによる水質環境変動の検証 ～活力ある伊勢湾の再生に向けた新たな知見～

宇野健司[1]・鷲見直子[2]

[1][2]中部地方整備局　名古屋港湾空港技術調査事務所　技術開発課（〒457-0833 名古屋市南区東又兵エ町1丁目57-3）

伊勢湾では，赤潮，貧酸素水塊が毎年発生しており，アサリなどの海生生物が斃死する問題が起きている．その改善と抑制につなげるため，名古屋港湾空港技術調査事務所では伊勢湾内に３基設置したモニタリングポストを用いて，水温，塩分，溶存酸素量等を連続観測している．その観測データを解析したところ，赤潮と貧酸素水塊との関係，台風等の擾乱による一時的な貧酸素水塊の解消など，これまでイメージとして捉えられてきた伊勢湾の赤潮や貧酸素水塊の挙動がデータに基づいた確かな結果として時系列で確認できるようになった．また，伊勢湾再生につながる連続観測データの活用方策について検討した．

キーワード：伊勢湾の水質連続観測，貧酸素水塊，観測情報の活用，伊勢湾再生

1．はじめに

伊勢湾を中心とした中部圏は，国土の中央に位置する地理的条件や交通条件，豊富な土地・水資源に恵まれ，製造業をはじめとする産業技術の中枢圏域として発展してきた．一方，伊勢湾は典型的な閉鎖性水域であり，汚濁負荷に極端に弱い沿岸部は，伊勢湾台風に代表される高潮被害等への保全対策等による自然海岸の減少，臨海部開発に伴う海面埋め立てによる干潟・浅場などの浅海域の喪失，藻場の縮小・消失が進んでおり，赤潮・貧酸素水塊の発生によりアサリなどの海生生物斃死を代表とする海域の生態系への影響が課題となっている．伊勢湾再生行動計画（2007年3月策定　伊勢湾再生推進会議）においても，海域における課題として植物プランクトンの過増加による赤潮の発生は，浅海域に生息・生育する生物に大きな影響を及ぼしていると指摘されている．

伊勢湾では，概ね全域において月1回程度，国や地方公共団体の各機関が環境面・水産面等さまざまな視点で水質調査を実施しているものの，連続観測されていないため，赤潮や貧酸素水塊の発生等伊勢湾の水質環境メカニズムを解明するためには不十分であった．

2009年に伊勢湾再生推進会議の下部組織である伊勢湾再生海域検討会において，伊勢湾再生のための海域に必要なモニタリングとして，「修復」と「監視」という視点が必要と提唱された[1]．ここで言う「修復」とは，忠実に伊勢湾環境をモニタリングすることで，伊勢湾再生を効率的・効果的に行うための適切な施策（干潟・浅場・藻場の造成，深掘跡の埋戻しなど）の選定や実施規模，実施時期の検討が可能になることを言い，「監視」とは，伊勢湾で起こる赤潮や貧酸素水塊等の水質環境メカニズムを把握することを言う．

名古屋港湾空港技術調査事務所では，伊勢湾における海域環境の「修復」と「監視」に向けた基礎資料収集のため，水質・気象及び海象を自動的に24時間連続観測するモニタリングポストを2010年4月に3基新たに設置し連続観測を開始した．

本論では，伊勢湾環境モニタリングポストで取得した連続観測データの検証を行い、検証結果から抽出した課題を踏まえて，伊勢湾再生につながる連続観測データの活用方策について検討した結果を報告する．

2．伊勢湾環境モニタリングシステムの概要

(1) 伊勢湾環境モニタリングポストについて

伊勢湾環境モニタリングポストは，海域における貧酸素水塊の発生状況とその要因を連続的に捉えることが可能な候補地の中から，貧酸素水塊が出現しやすい「湾

奥」，貧酸素水塊が発生し，また，伊勢湾内で設置可能場所として水深が最深部となる「湾央」，外海水の影響を把握するための「湾口」の3地点を選定し設置している（図-1）．

各地点での観測項目は，気温，風向，風速，波高，流向，流速，水温，塩分，溶存酸素，クロロフィル-a，濁度等とし，観測方法は，1時間毎の連続観測を基本に湾奥部・湾央部は自動昇降式による水深1m間隔の鉛直観測，湾口部は上層・中層・下層の3層固定式とした．湾央部は，海上保安庁所管の航路標識ブイから多目的灯標（航路標識機能と観測機能を兼ね備えた灯標）に入れ替え，国内初の観測機能付き航路標識（許可標識）となった．湾央部の観測機器設置状況及び写真を図-2に示す．

(2) 伊勢湾環境モニタリングシステムについて

伊勢湾環境モニタリングシステムとは，伊勢湾環境モニタリングポストで取得した観測結果をリアルタイムに収集・公開するシステムを言い，2010年4月より伊勢湾環境データベース（http://www.isewan-db.go.jp/）において全ての観測地点，観測項目を公開している．携帯モバイル版（http://www.isewan-db.go.jp/mobile/index.asp）では，水温，塩分，溶存酸素，有義波高を公開している．なお，三河湾は愛知県及び中部地方整備局三河港湾事務所による連続観測が4基稼働中であり，こちらも伊勢湾環境データベースにおいて公開している．

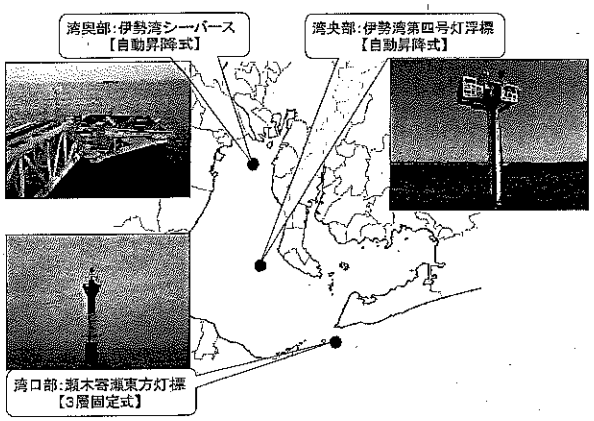


図-1　モニタリングポスト設置位置

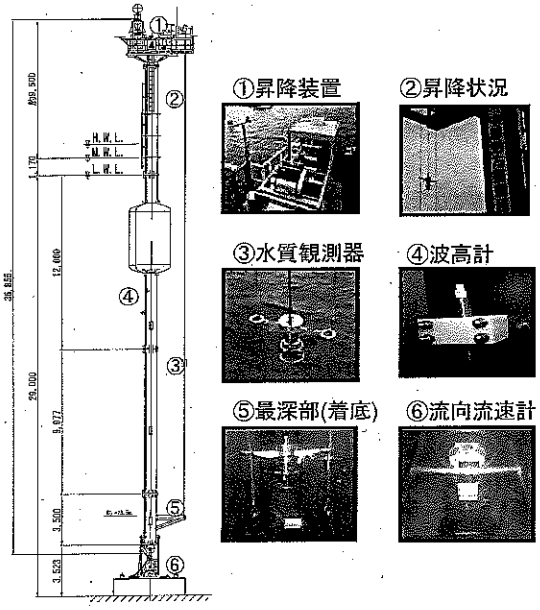


図-2　観測機器設置状況（湾央部）

3．連続観測結果の検証

伊勢湾環境モニタリングポストで取得した連続観測結果の検証を行うに当たり，対象期間は，観測を開始した2010年2月～2013年7月までの3年6ヶ月間とし，対象場所は，湾奥，湾央，湾口の3地点，対象観測項目は，気温，風向，風速，波高，流向，流速，水温，塩分，溶存酸素，クロロフィル-a，濁度とした．ただし，湾奥の波高，流向，流速は別機器で観測のため除くこととした．

(1) 観測データの異常値除去

連続観測データは速報値の蓄積であるため，伊勢湾の水質環境メカニズムを検討する前段階として，観測項目の異常値を除去する必要がある．

異常値となる原因としては，センサー直近を浮遊物が通過する，センサーに海生生物が付着し成長又は増加する，観測機器バッテリーの劣化等が考えられた．

一例として，水質データ（水温，塩分，溶存酸素，クロロフィル-a，濁度）の異常値除去手順を図-3に示す．

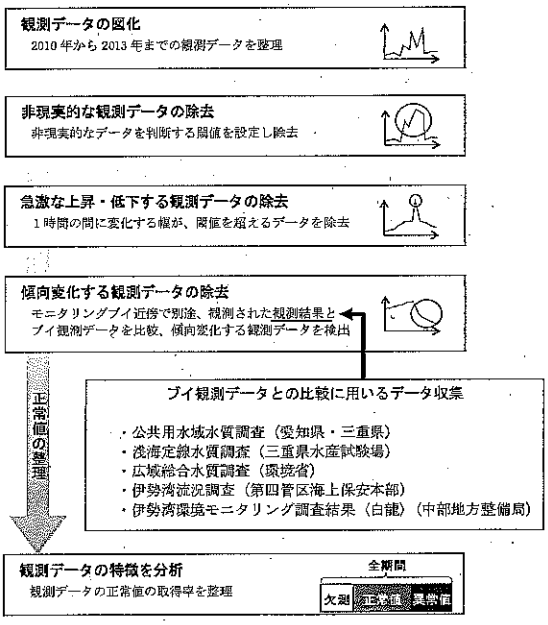


図-3　連続観測データの異常値除去手順(水質)

観測データを図化し、非現実的なデータや急激な上昇・低下するデータ及び近傍で別途観測された他機関での観測結果と比較し傾向が変化するデータについて除去を行った．ここで言う非現実的なデータの閾値（境目となる値）は，自然海域では存在しえない値を採用し，水温は0℃以下と40℃以上，塩分は，0‰（パーミル：千分率）以下と40‰以上などと設定した．急激な上昇・低下するデータの閾値は，全国港湾海洋波浪情報網（ナウファス）の波形処理で用いられる手法を採用し，全期間の時間変化値（対象とする時間前後の変化量の絶対値を求め，その小さい方を採用する）の平均値と標準偏差の6倍の和より（「時間変化値の平均値＋標準偏差×6」），水温は，前後の観測値より±8.53℃，塩分は±7.17‰などと設定した．傾向が変化するデータの選別は，図化した連続観測データ上に近傍で別途観測された他機関での観測結果をプロットし比較した結果，連続観測データにおいて一方的な増加または減少の変化を確認した場合，異常値として除去した．

異常値除去後，対象期間における観測データ正常値取得率の算出を行った．欠測とは，観測機器・付属設備等の不良により計測できなかった期間をいうが，水質は表-1に示す通り概ね80%以上となり、十分観測出来ていることが確認できた．ただし，2011年に観測機器付属設備の不具合による長期的な欠測が生じた湾央部の正常値取得率は70～80%，観測機器不具合による欠測及び傾向が変化する値が多かった湾口部（上層）の正常値取得率は70%～90%であった．また，気象（気温，風向・風速），海象（波高，流向・流速）の観測データ正常値取得率を表-2に示す．概ね90%程度の正常値取得率を確認できたが，湾口部の気温は非現実的な値が，風向・風速は非現実的な値と傾向が変化する値が多かったため正常値取得率は低下した．

表-1　観測データ正常値取得率(水質)

	水温	塩分	クロロフィル-a	溶存酸素	濁度
湾奥部	93%	93%	88%	82%	90%
湾央部	81%	80%	72%	77%	74%
湾口部(上層)	86%	75%	85%	90%	80%
湾口部(中層)	97%	86%	88%	86%	85%
湾口部(下層)	94%	85%	87%	94%	86%

表-2　観測データ正常値取得率(気象・海象)

	気温	風向・風速	波高	流向・流速
湾奥部	96%	96%	—	—
湾央部	93%	94%	96%	95%
湾口部	75%	53%	95%	88%

(2) 観測データの時系列整理

観測データの時系列整理に当たり，赤潮や貧酸素水塊が発生しやすい夏季～秋季（6月～11月）を対象に湾奥部データをイソプレット化（縦横に空間軸と時間軸を設け，その面にある項目の等量値を線で結んだ図面）するとともに，他機関が実施した海域調査結果，気象データとも関連づけて整理した．2010年の時系列整理結果を図-4に示す．

整理結果より，傾向として一般的にいわれている①夏場の水温躍層の発達（7～9月），②降雨後の表層塩分の低下（例えば6～7月）とそれに続く③クロロフィル量の増加，さらにその後数日において④底層貧酸素化などが確認されている．

次に，2010年から2012年の時系列整理結果より，赤潮や貧酸素水塊の発生から解消について確認できた特徴を示す．

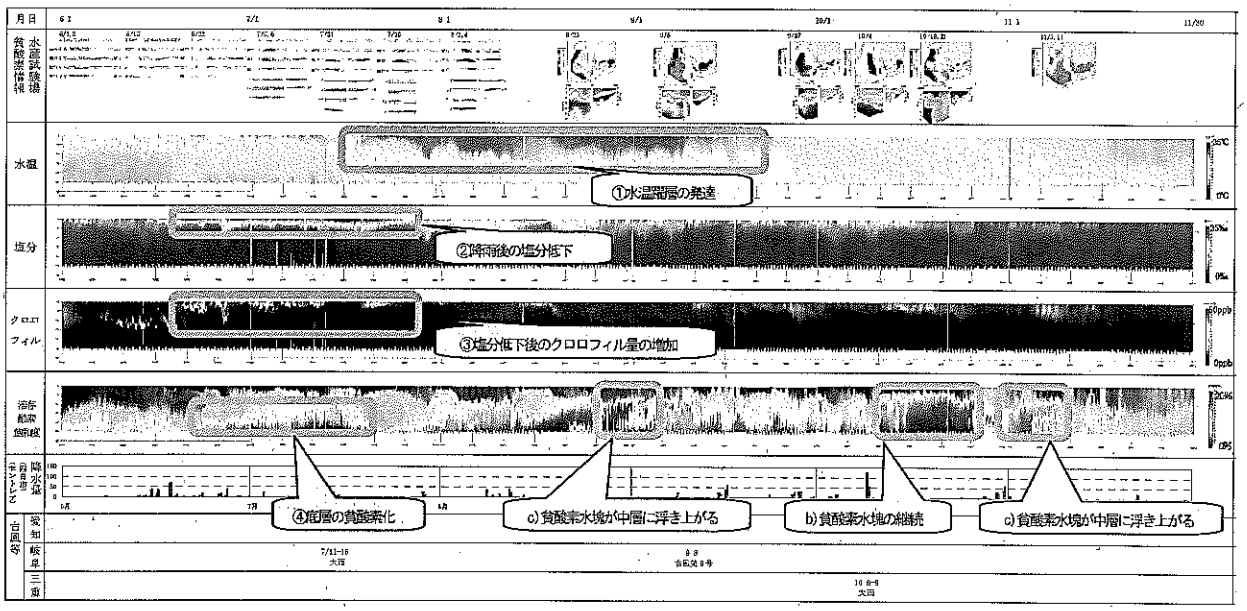


図-4　湾奥部時系列整理結果（2010年6月～11月）

a) 赤潮と貧酸素水塊の関係

既往研究等において一般的に赤潮と貧酸素水塊の発生過程は，降雨に伴う出水による河川からの栄養塩類の供給により，植物プランクトンが増殖し赤潮が発生．その後，植物プランクトンが沈降し分解されていく過程で海底の溶存酸素が消費されることで溶存酸素飽和度が低下し，貧酸素水塊が発生するといわれており，今回の解析によってその過程が確認された（図-5）．クロロフィル増加時期は，愛知県水産試験場が公表している2010年伊勢湾・三河湾赤潮発生状況による赤潮確認時期と合致する．

b) 貧酸素水塊の継続

表層-5m以深から底層にかけて約2週間貧酸素水塊が継続する現象（図-4，b））が確認された．この現象は，2011，2012年は確認できなかったものであるが，その要因としては，大雨の後，降雨量がほとんどなく，水温・塩分・クロロフィル・溶存酸素飽和度・気温・風速の変化が小さかったためと思われる．貧酸素水塊が鉛直的に広い範囲で継続する現象のメカニズム解明については，今後のデータ蓄積が必要である．

c) 貧酸素水塊が中層に浮き上がることによる解消

湾奥の貧酸素水塊が中層に浮き上がり貧酸素水塊が解消する現象（図-4，c））が確認された．今回の観測期間中は毎年2回程度確認された現象であり，他機関が観測した調査結果においては，同時期に外海水が底層に沿って侵入していることを示唆するデータも得られていることから，一因として外海水の影響も考えられるものの，貧酸素水塊が中層に浮き上がるメカニズムについては，更なる関係データの集約・関係性の究明等，今後の検討が必要である．

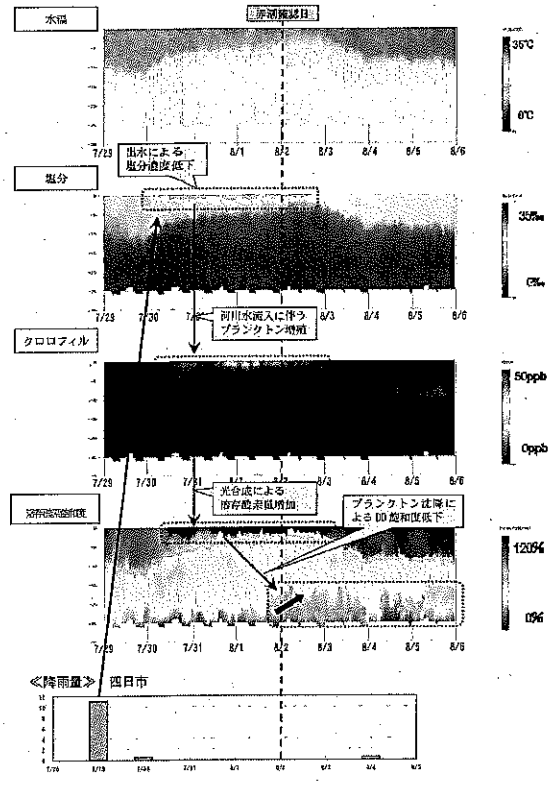


図-5　赤潮と貧酸素水塊の関係

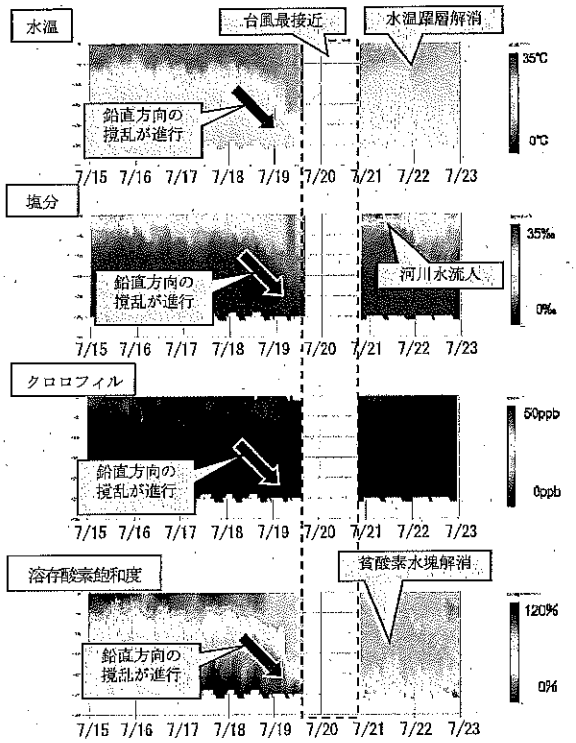


図-6　2011年6号台風による擾乱

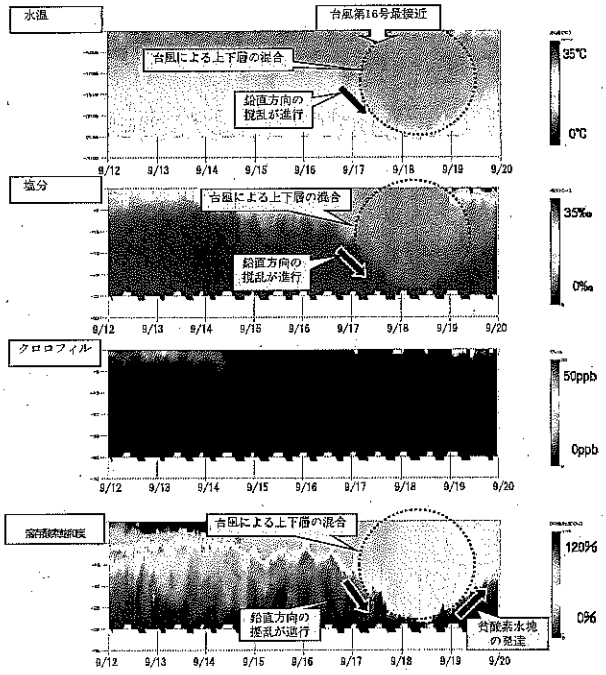


図-7　2012年16号台風による擾乱

d) 台風等による擾乱に伴い貧酸素水塊の一時的解消

台風等で海水が攪乱され、鉛直的に一様な水塊分布となり，貧酸素水塊が一時的に解消される現象が確認された．また，台風の規模及び伊勢湾への接近程度により海水の擾乱が小さい場合には，貧酸素水塊が解消に至らないことも確認された．台風等による海水の擾乱で貧酸素水塊が一時的に解消される現象を図-6に，貧酸素水塊が解消されない現象を図-7に示す．なお，空白箇所は欠測を表し，台風最接近時は観測機器保護のため，観測を停止している．

(3) 観測データの評価

観測データの時系列整理結果を基に，引き続き観測を行うに当たり，赤潮や貧酸素水塊の発生等伊勢湾の水質環境メカニズムを解明する観点から，連続観測データの評価を行った．

a) 伊勢湾を平面的にみた場合

貧酸素水塊の発生から消長までの動きが異なる3点でデータが取得されていることから，南北方向の平面的な広がりを捉える面では一定の評価ができる．ただし，三重県側に広がる貧酸素水塊の状況が把握できないため，東西方向の広がりを捉える面では調査地点が不足している．

b) 水深方向に鉛直的にみた場合

「湾奥」と「湾央」のデータは鉛直的に徐々に変化していく様子が確認できることから，十分なデータが取得できていると評価できる．「湾口」については，一部では水温の鉛直方向の変化を捉えたデータが得られているものの，それ以外の観測項目においては鉛直的変化を捉えることができていない．伊勢湾口を対象とした他の調査・研究成果等において伊勢湾口部の水質環境は海水侵入・流出の影響を受け，様々に変化することが報告されていることと併せて考えると，これら既往の観測データ等との検証をさらに詳細に進める必要がある．

c) 経時変化をみた場合

降水の影響から表層の塩分が一時的に低下し，それが徐々に通常の海域塩分に戻っていく様子や台風接近後に貧酸素水塊が一時的に解消し徐々にまた発達していく様子などが捉えられており，十分なデータが取得できていると評価できる．

d) 測定項目をみた場合

他機関の観測結果や気象観測結果を加えて解析することにより，赤潮や貧酸素水塊の発生メカニズムの傾向を捉えることができたため，十分な観測項目であると評価できる．ただし，「湾口」については，外海水の進入・流出を把握した上で，改めて観測項目の妥当性を評価する必要がある．

(4) 連続観測の課題

連続観測結果を整理することにより見えてきた課題と解決策（案）を表-3に整理した．

表-3 連続観測の課題と解決策（案）

課題	原因	解決策（案）
伊勢湾西部（三重県側）の水質変化が把握できていない	観測地点がない	調査地点の追加を検討する
伊勢湾に流入する外海水の進入状況を捉えきれていない	湾口部の測定間隔が3層しかない	他の観測結果と突合せ解析を行い，湾口部現状の観測水深の妥当性・鉛直方向の代表性について評価する
観測機器・付属設備等の不調によるデータの欠測・異常が発生	海中という劣悪な環境下での365日観測	定期的な保守・点検を実施しているものの全てのトラブル未然防止は不可能 予備器の確保，毎日データ取得状況を確認することによる迅速な対応を心がける

特に観測機器・付属設備等は，2010年に設置してから湾奥部・湾央部は年4回、湾口部は年7回観測機器取り替えによるメンテナンスを実施しているものの，不具合により欠測が生じている．観測機器・付属設備等の不具合件数は年々増えており，主な内容としては，観測機器センサーの異常や腐食による欠落，観測機器昇降装置のワイヤー切断，通信設備の制御基盤不良が起きている．現在は，予備品を確保し不調後すぐ取り替えることで対応しているが，欠測期間の短縮も課題の一つとなっている．

4．伊勢湾再生につながる活用方策

連続観測結果より，赤潮や貧酸素水塊との関係，台風等の海水擾乱による貧酸素水塊の一時的な解消等，伊勢湾の水質環境メカニズムの傾向が概ね把握できた．本成果を伊勢湾再生の施策につながる貴重なデータとして有効に活用するための方策を検討した．

(1) 連続観測データ活用方策の検討

連続観測データは，別途検討が進められている伊勢湾の水質環境を予測・再現するための伊勢湾シミュレーターを用いるなどして，伊勢湾における水質環境変動メカニズムを把握することが本来の目的であり，データの信頼性向上は第一の責務であるものの，観測データをより広範な利用者に有効に利用頂くことで，伊勢湾の現状認識の向上、環境改善取組促進への理解向上に寄与すると考えられることから，ニーズを適切に把握し，それに

応えられる伊勢湾環境モニタリングシステムを構築する必要がある.

(2) 伊勢湾再生につながる活用方策の検討

伊勢湾シミュレーターにおいて計算条件の基礎データとして，伊勢湾再生につながる伊勢湾の効果的な環境改善対策の検討に活かしていくためには，データの確実な取得が重要であり，そのためにも機器の信頼性を向上させるための機器改造、観測地点・観測項目の追加と他機関観測データとの連携強化を図ることとしている.

なお，今年度より連続観測データを用いた伊勢湾シミュレーターの検討を行うこととしている.

5．結論

本成果は，今後の伊勢湾の環境管理にあたり，あらためて連続観測の重要性を再認識させるものであるとともに，確かなデータに基づき，目に見える形で貧酸素水塊の発生過程を示す貴重な成果であるといえる．また，伊勢湾西部（三重県側）の水質変化が把握できていないこと，伊勢湾に流入・流出する外海水の挙動について他の観測結果とのデータの突合せ解析が必要などこれから取り組まなければならない課題も把握できた.

引き続き，連続観測結果の検証を行い，伊勢湾の水質環境メカニズムを把握することにより，伊勢湾が豊かな海を取り戻すための効率的・効果的な環境改善施策の検討につなげていきたいと考えている.

参考文献

1) 伊勢湾再生海域検討会：海域での効果的なモニタリング2009.3

花木園の再生管理について

澤村　絢子

関東地方整備局　京浜河川事務所　多摩川上流出張所（〒197－0004東京都福生市南田園3－64－2）

国営昭和記念公園の花木園は、四季折々の代表的な花々を鑑賞する施設であり、園内でも重要な施設の一つである。大規模な剪定を実施してから約12年が経過し、樹木同士が生長とともに被圧しあうことで健全な生育が望めない場所が増え、公園利用者にとって望ましくない景観が多く見受けられるようになっていた。このため、健全性・立地環境・景観影響の3つの観点から支障木の伐採・剪定等の対策を検討し、樹木診断カルテとして取りまとめるとともに、技術水準・作業意図・作業内容が確実に伝わるような工事仕様書作成のため、剪定手法のイメージ化等を行った。この再生管理計画に基づき２年間にかけて工事を実施した結果、生育環境の改善や良好な景観の回復等がみられ、再生管理としての一定の成果を得ることができた。

キーワード　樹林地の再生管理，庭園的空間，修景植栽，剪定手法のイメージ化

1. はじめに

国営昭和記念公園は、昭和天皇御在位五十周年記念事業の一環として、国が整備・運営管理を行っている都市公園である。計画面積は180ｈａに及び、2014年4月に開園した無料区域の北側4.1ｈａを加え、169.4ｈａを一般に公開している。

花木園は、本公園の中央部付近に位置する、花木を鑑賞するためのエリアである（図1参照）。8.5ｈａのエリア内には残堀川が流れ、起伏のある地形条件をもつ。設計は本公園内の日本庭園を手がけた造園家の小形研三氏によるものであり、エリアを９つのゾーンに区分けし（図2参照）、小規模な庭園的空間の集合体とすることで、いつ来てもエリアのどこかで花木を愛でることができる、魅力ある施設となるよう設計されている。開園当時に、花木が約２００種、草花が約２００種が植栽され、ウメ、ツバキ、サクラ、ツツジ等を中心に、ほぼ年間を通して様々な花を観賞することができる（表1参照）。

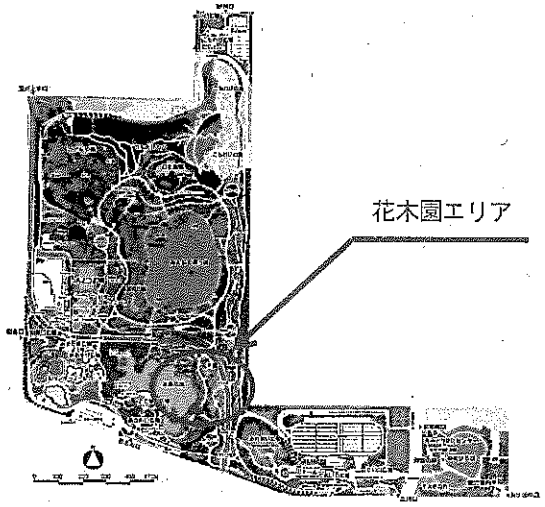


図1　国営昭和記念公園　全体図

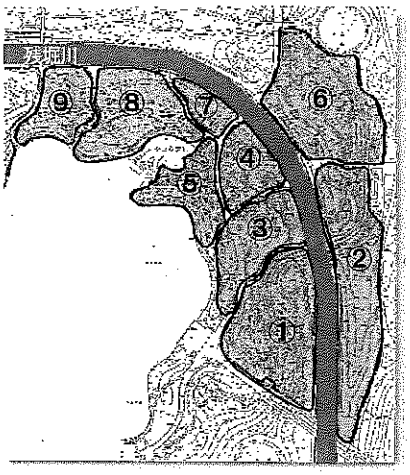


図２花木園の全体図

表１　各ゾーンの主な花木及び開花時期

	ゾーン名称	主な花木	開花時期
①	ウメ園	ウメの各種園芸品種・ハナモモ	1月～3月
②	サクラ園	ソメイヨシノ・ヤマザクラ・サトザクラ	3月～4月
③	早春花木園	フクジュソウ・スイセン・クロッカス等	1月～2月
④	ボタン・シャクヤク園	ボタン・シャクヤク・マグノリア類	5月
⑤	ツバキ・サザンカ園	ツバキ・サザンカ	10月～3月
⑥	ツツジ園	ツツジ	4月～6月
⑦	ロックガーデン	西洋シャクナゲ	4月～6月
⑧	初夏の花木園	ハナミズキ・ハーブ	3月～9月
⑨	サルスベリ園	サルスベリ・カリン	7月～9月

2. ゾーンの景観構成

各ゾーンは、大きく分けて、主景観木、境界植栽、緑陰木および視点場の４つの要素から構成されている。

⑴主景観木

各ゾーンの主役となる、季節毎に美しい花を咲かせる花木を指す。経年とともに形姿や大きさを変えないことが重要である。

⑵境界植栽

ゾーンを囲むように配置され、一般の庭園でいう「囲繞植栽」の役割を担っている。ゾーンを区切るとともに、景観を調整する役割をもつ植栽である。四季を通して、遮蔽や見え隠れ機能を有するよう、主に常緑樹が植栽されている。開園当初は枝張りや枝葉密度が小さいため、遮蔽機能を充実させるために比較的高い密度で植栽されている。

⑶緑陰木

各所に適度なみどりの木陰を作り出すための樹木で、大経木化する常緑・落葉樹が用いられている。自然樹形が美しいケヤキやソメイヨシノ、クスノキ等が多く植栽されている。

⑷視点場

本施設が庭園的空間特性を持つ修景施設であるがゆえの重要な要素である。植栽配置の起点となる場所で、園路や四阿等が多い。管理の際には、設計時の見通しや眺望景観を確認する際の基準地点となる。

3. 管理の基本構成

４つの構成要素のうち、主景観木、境界植栽、緑陰木の管理は、図3のとおり行っている。

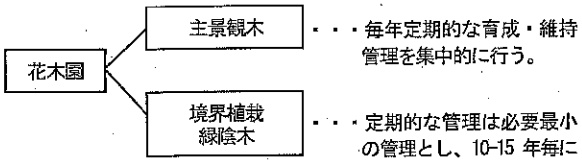


図3　管理の基本構成

これは、主景観木が、花付きへの配慮を要し、また形姿や大きさを経年とともに変えないようにするため、毎年継続的な管理が必要なためである（図4参照）。

一方、境界植栽及び緑陰木は、機能が単純な為、日常的に費用のかかる剪定整枝による管理を行う必要性は少なく、一般の大規模庭園同様、自然な生育に任せて、一定期間毎に再生管理を行うことが望ましいとされている（図5参照）。

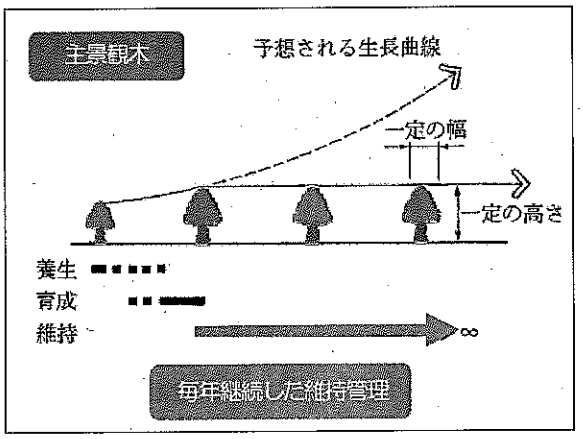


図4　主景観木の管理の考え方

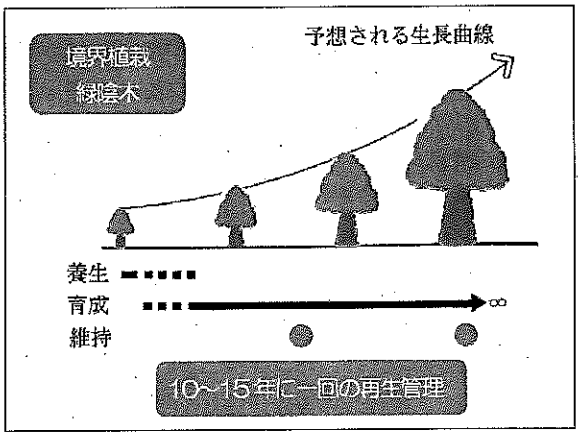


図5　境界植栽及び緑陰木の管理の考え方

再生管理とは、伐採のほか、切詰剪定及び枝抜き剪定等の強い剪定（大きくなりすぎた樹木を切ったり、張り出しが大きすぎる枝を落とすこと）により樹木類をより力強く再生させる管理方法のことである。庭園の管理では昔から一般的に用いられている造園手法のひとつである（図6参照）。

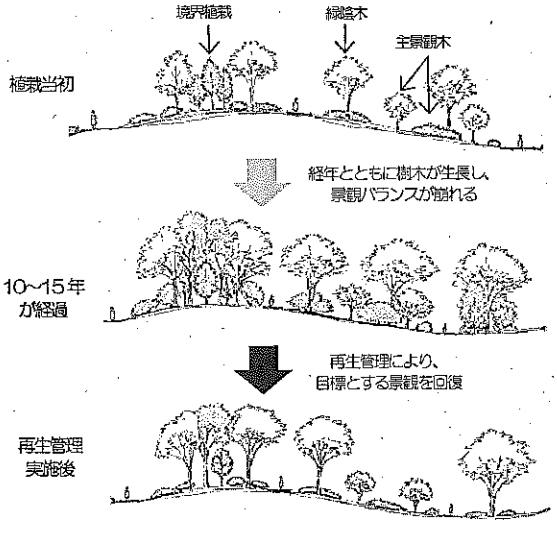


図6　再生管理イメージ

花木園では、1999年（開園から16年後）に１回目の再生管理を行っている。

4. 現況と課題

１回目の再生管理から約１２年が経過した 2011 年の時点では、花木園内の樹木は大きくなり過ぎたものが目立ち、視点場となる園路や四阿から、花木を十分に鑑賞することができない状況であった。緑量が最大になる夏季にあっては、見上げた視線は厚い緑に覆われ、全体的に薄暗い様子であった。

花木園内の樹木の生育状況を詳しく調査したところ、全般的に構成樹木が高木化し、境界植栽の密度が高くなることで、変化に乏しい空間構成となっていることが分かった。また、大きくなった樹冠に覆われ、十分な日照が確保できていない空間等も見られた。さらに、枯損木の存置や実生木の生長・繁茂も、植栽環境に悪影響を与えていることがわかった。

このような状況をふまえ、伐採・剪定による花木園の再生管理計画を検討した。

5. 再生管理計画の検討

（1）伐採・剪定等の対策検討

まず、現地踏査により、目視で調査対象木（以下、「支障木」という。）を抽出し、それを「①健全性」「②立地環境」「③景観影響」の3つの観点から評価し、伐採・剪定等の対策について検討した（図7参照）。

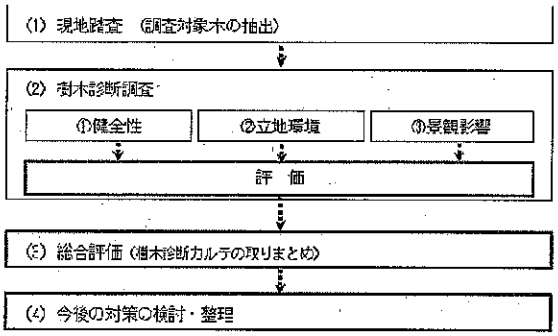


図7 再生管理計画の検討フロー

①②については、樹木医の有資格者の監修の下で、調査や伐採・剪定等の対策の検討を行った。

③については、再生管理に関する類似調査実績を有する技術者の協力の下で、特に視点場からの眺望や見通し、全体の景観バランスについて、当初設計意図を確認しながら、現地にて管理方針に関する意見交換を重ねた。さらに、新たな試みとして、景観・生育面で支障となっている各ゾーンの主要な伐採木及び剪定木について、現況と伐採・剪定後を比較したフォトモンタージュを作成し、施工前後の景観比較シミュレーションを行うなど、景観の変化について十分な検討を実施した。

これらの調査・評価を行った支障木については、今後の管理に活かせるよう、図面に位置をおとすとともに、樹木特性（高木or中低木、植栽or実生等）、要因（上記①～③）、管理方針（伐採・剪定等）等を樹木診断カルテとして取りまとめた。

（2）工事発注段階における配慮

抽出した支障木を実際に伐採・剪定する工事発注段階においては、工事が分割発注されることが想定されたため、施工業者の技量に左右されず、また発注者側からの細かな技術指導がなくとも、国が求める技術水準、作業意図及び作業内容が確実に施工業者伝わるような仕様書の作成が求められた。このため、作業を細分化し（高木剪定：4 種類、低木の再生刈り込み：2 種類）、それぞれについて基本的な手法の具体的イメージ、目標とする最終形をイラストで整理する対策を講じた（表 2、図 8・9 参照）。また、低木の刈り込み作業については、目指すべき刈り込み形状をイメージしやすいよう、参考として群落別に現況高／刈込高を示した（図 10 参照）。

表2 細分化した高木剪定及び低木の再生刈り込み作業

区分	用いる手法	目的
剪定工①	枝抜き剪定工＋軽度の切詰め剪定工＋切り返し剪定工	樹冠を小さくするための剪定。
剪定工②	枝おろし剪定工	樹冠を大きいまま維持するための大径木の下枝おろし。
剪定工③	枝抜き剪定（野透かし剪定）工	樹冠枝葉が混みすぎた樹木の並行枝、逆枝及び交差枝などを処理するための軽度な整姿剪定。
剪定工④	骨格剪定（整姿剪定）	乱れた樹形を再生させるための強度な切詰め剪定
再生刈込み工①	手刈剪定工＋太枝剪定	３年後の充実した開花を目指す強度の刈込み剪定。経年的に大きくなる刈込み高を低性化する。
再生刈込み工②	機械刈剪定工＋古枝・枯れ枝元から切り取り	主に細枝が対象。古枝、枯れ枝及び無秩序に広がった枝の撤去により株の更新を図る。

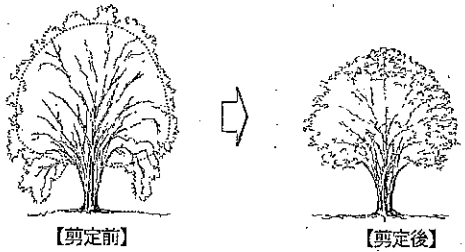


図8 剪定工①の作業イメージイラスト

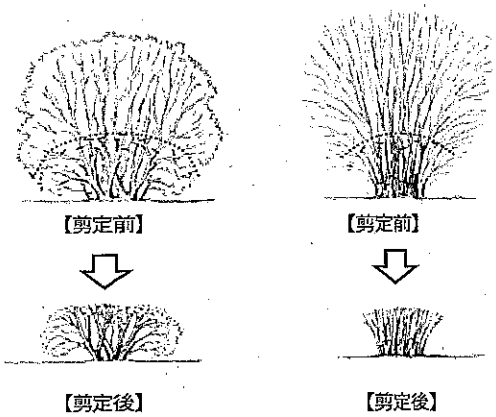


図9　再生刈込み①の作業イメージイラスト

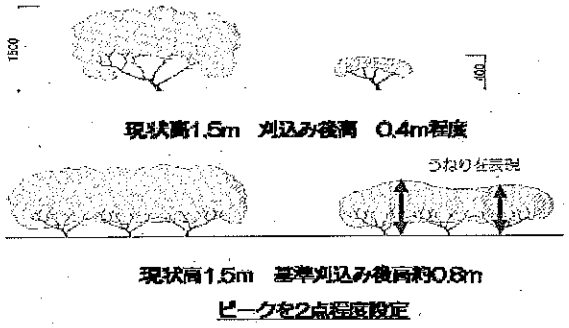


図10　低木刈り込みのイメージイラスト

また、今回の再生管理においては、幹周2mを超える高木の伐採が生じるため、造園技術や庭園管理の普及啓発の手助けになるよう、来園者等を対象に、再生管理の考え方や工事の概要を分かり易く示した資料も作成した。

6. 再生管理計画に基づく工事の実施

年間を通して様々な花を観賞することができるという花木園の特徴を考慮し、花期や再生に必要な期間等を踏まえて、花木園全体を3工区に分割し、複数年で施工することとした。

図1の①ウメ園、②サクラ園、⑥ツツジ園では、同時期に開花するため、まず②⑥を第一工区とした。そして、第一工区と施工年度を分ける必要がある①及び隣接する③④⑤をまとめて第2工区として設定した。⑦⑧⑨のロックガーデン以西は、剪定による開花への影響が少なく、特段の施工要件がないことからこれらをまとめて第三工区に設定した。

検討した再生管理計画に基づき、2012年に第一・第三工区、2013年に第二工区での工事を実施した。前述のとおり、強剪定を実施した場所の再生には、３年ほどの時間を要することや、日々の維持管理で実施すべき部分が多少残っている状況ではあるが、随所に目標としていた生育環境の改善や良好な景観の回復等がみられ、再生管理としての一定の成果を得ることが出来た。

今回の再生管理における一部の高木剪定作業では、施工業者の提案により、ツリークライミング[1]の技術を応用した工法を採用した。ツリークライミングとは、ロープや道具を使って木に登るレクリエーションのことで、道具を工夫することにより、高木に登ることや枝から枝へ移ったり、地上に降りず隣の木に移ったりと、樹上で様々な活動を行うことができ、高木剪定作業にも応用されている。海外ではアーボリストと呼ばれる専門職により安全な剪定技術が確立されており、高木剪定の工法の一つとして認知されている技術である。樹木が密集している、又は希少な地被類が繁茂しているなどの理由により、高所作業車が利用できない箇所の伐採・剪定作業においては、今後活用の期待できる工法である。

わが国を代表する国営公園として、伝統的な造園手法の継承の場だけでなく、ツリークライミングのような新しい技術を研鑽し、継承していく場としても活用することができた。

7. 本成果の他分野への応用

道路や河川においても、管理が必要な樹木は多い。集客の多い場所の街路樹伐採あるいは新たな植栽を検討する際に、本検討で活用したフォトモンタージュを使った景観変化の確認は大変有効であると考える。

また、河川においては、治水上の問題がなく、良好な河川環境として適正な維持管理が求められる場所の管理において、再生管理の考え方が活用できると考える。多摩川の上流域には、河川環境管理計画で定められた生態系保持空間が多く存在するが、樹林化により良好な河川環境が失われつつある。良好な河川環境の再生検討に向け、本成果を役立てていきたい。

8. まとめ

今回の再生管理は、花木園のみを対象としたものであったが、樹木の生長にともなう被圧による生育不良の状況は公園外周樹林でも見られるため、園内全体で共有すべき課題としてとらえる必要がある。来園者の利便性（眺望・景観維持や安全確保）と、国営昭和記念公園らしい自然度の高い空間の両立にあたっては、設計趣旨に合う場に応じた管理手法の選定が重要である。

また、日常の維持管理があってこそ、再生管理が生きるため、今後、園内全体の樹木管理の方針検討の際には、当たり前と思うような維持管理の内容についても、あるべき基準として示すことが効果的であると考える。

参考文献

1) ツリークライミングジャパン事務局パンフレット

アサリのすむ人工干潟をめざして ～大島干潟整備におけるアサリの成育に配慮した施工と環境改善効果～

鍵本　慎太郎・潮見　幸司

中国地方整備局　宇部港湾・空港整備事務所　工務課　（〒759-0204 山口県宇部市大字妻崎開作32-1）.

徳山下松港大島地区において，浚渫土を有効活用するとともにアサリ成育場として継続的な活用を目標とした人工干潟（以下，大島干潟）を整備することとした．同整備完了後にアサリ成育場として活用するためには，アサリ成育場の形成・維持するために備えなければならない条件に対応する必要がある．このため干潟造成においては，材料の選定や地形の安定のための覆砂投入時の浚渫土の撒き上がり等に留意して施工を行なった．施工後のモニタリング調査で，アサリ等生物の生息機能の創出が確認された．本報告は，アサリ成育に配慮した干潟造成のための施工状況と干潟整備による実海域での海域環境の改善効果について検証したものである．

キーワード　人工干潟，アサリ成育場，覆砂，地盤の安定性，環境改善効果

1. はじめに

瀬戸内海の干潟やアマモ場は，高度経済成長を背景に造成事業等により，概ね昭和50年代以降約1,000haが消失した．このため，中国地方整備局においては，環境修復を目指す取り組みとして，平成17年2月に「瀬戸内海環境修復計画」（中国地方整備局・水産庁漁港漁場整備部2005）[1]を策定し，平成17年以後20年間において，概ね昭和50年代以降に失われた干潟・アマモ場の約6割の面積（約600ha）を修復することを目標として定めている．

一方，宇部港湾・空港整備事務所でも，徳山下松港新南陽地区の航路・泊地整備事業で大量に発生した浚渫土の活用策について，地元からのアサリ成育場として継続的な活用に対して強い要望があった大島地区において，人工干潟（以下，「大島干潟」という）の整備を行っていた．この大島干潟は，設計から施工，維持管理の考え方等について，有識者や関係者で構成する委員会等による検討を重ね，「徳山下松港大島地区干潟整備マニュアル」（徳山下松港干潟整備検討委員会，2005）[2]（以下，整備マニュアル）を策定したところであり，同マニュアルに基づき現地施工を行う必要があった．

本報告は，干潟造成に必要な条件を考慮し材料の選定や施工上の工夫や干潟整備による環境改善効果について検証を行ったものである．

なお，浚渫土を活用した大規模な干潟造成を行った全国事例として，干潟整備後に偶発的にアサリが生息した事例や従来アサリが成育した干潟の修復事例はあるが，アサリがほとんど生息していない実海域において環境改善を行った大島干潟のような事例は全国初である．

2. 大島干潟整備の概要

(1) 干潟整備事業の位置

徳山下松港新南陽地区の浚渫事業で発生する土砂については有効活用の観点から，図-1に示す周南市大島地区

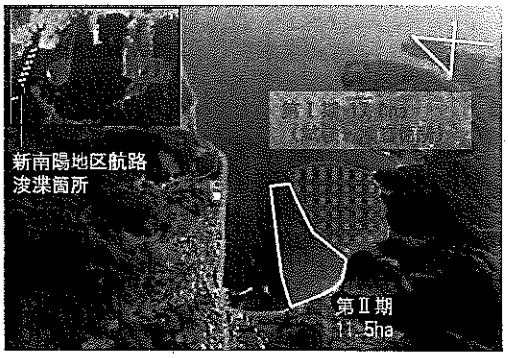


図-1　大島干潟の位置および整備海域

の粭・大島（大島）漁港区域内にアサリの成育場として干潟整備に用いることで検討を行っていた．

なお，当海域は笠戸湾の南西側に位置し，湾外からの影響をほとんど受けない静穏な海域であり，アサリの成育場の観点からは，大昔に，粭・大島（大島）漁港内の南側の小浜にアサリの生息していたことはあったが，近年はほとんど生息していない状況であった．

(2) アサリの成育場に適する干潟の整備計画

a) アサリ干潟の基本条件について

図-2はアサリ成育場として形成・維持するために備えなければならない条件を示している[2]．この図より，①アサリ生息基盤の形成（アサリが生息できる水深帯や粒径などの物理的な条件（住み場所）を用意すること），②アサリ成育環境の形成（水質や水温，餌の供給等の成育環境，産卵や稚貝着底等の発生環境，競合や共生，食害の観点での生態系との関連）の2つが重要な柱である．

本報告においては，特に，図-2に示すアサリ生息基盤の形成（ハードウェア）において，地形の安定（安定汀線，干潟勾配，地盤高）や底質（覆砂厚，粒度粒径，地盤高度）ならびにアサリの生息水深を踏まえた施工が必須条件となる．

b) 大島干潟の計画断面

アサリの成育場に適する干潟形状については，平成16年より行われた委員会や整備マニュアル[2]をもとに，大島干潟をケーススタディとして検討を進めたところであり，詳しくは研究報告[3]を参照されたい．

大島干潟は，アサリの生息水深，潮干狩りなど利用面を考え，干潟面積を可能な限り広く取ることが望まれる．図-3のとおり，計画断面はアサリの主生息範囲（D.L－0.5m以浅）を1/100の緩勾配とすることで，アサリ生息に適した水深帯や干出面積を広く確保できるような配慮をしている．また，造成斜面の安定性および施工性を考慮して干潟の下部斜面は3/100勾配とし，干潟斜面の下端部には浚渫土投入時の流出防止用に潜堤を設置する．

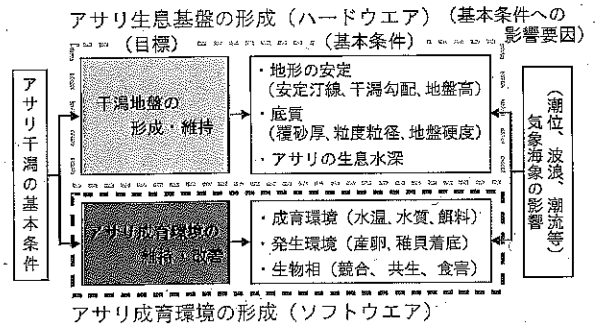


図-2 基本条件の分類[3]

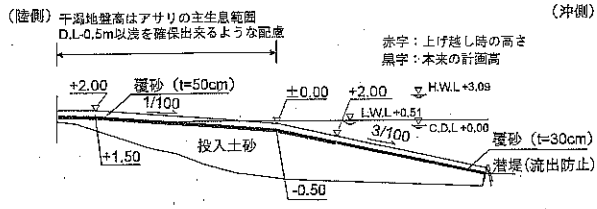


図-3 干潟の計画断面図

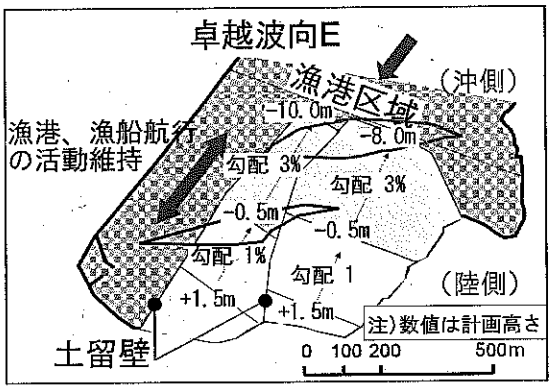


図-4 干潟の配置計画

しかしながら造成直後の干潟面地盤は，圧密沈下の進行に伴い徐々に沈下ことが想定されるため，層厚置換法に加えFEM解析により，想定沈下量を見込むとともに，精度の高い施工が必要となる（当初の計画地盤高に対しを0.5m上げ越し施工）．

c) 覆砂材料の組成ならびに覆砂厚さ

アサリの成育に必要な粒度粒径の選定については，過去にアサリの生息場となっていた粭・大島（大島）漁港内の南側の小浜に着目し，その周辺の粒径も参考に出来る．検討の結果，覆砂で使用する砂は，粒径0.1mm～1.0mmのものが適切と判断し，使用することとした．なお，干潟造成工事で使用する覆砂材料は，比較的入手が容易な玄界灘の海砂を選定した．

また，覆砂の厚さについては，アサリ生息深度，干潟利用の快適性等を考慮して0.5mとして計画した．なお，この厚さは，将来干潟管理をする上で，トラクターによる耕耘深さ（0.4m程度）とも考慮している．

d) その他（配置計画の工夫）

干潟の配置計画は，図-4に示すように漁港・漁船航行上の活動が維持でき，漁港区域内に極力大きな干潟面積を確保するとともに，将来的にも干潟が地形的に安定するために，地形変化が極力少なくなるよう干潟勾配を波の主方向にむける工夫を行っている．また、海浜への波の影響を緩やかにするため，第Ⅰ期（約17.8ha），第Ⅱ期（約11.5ha）に分けて整備を行っている．

3. 覆砂工事の施工

(1) 整備工程

工事の整備工程を表-1に示す．干潟造成工事は，「築

表-1 整備工程表

年度	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28～
Ⅰ期		築堤		浚渫土投入		浚渫土投入		覆砂		・被覆網メンテナンス ・アサリ成育調査 ・地盤調査			
					現地試験・維持管理方策の検討					モニタリング調査			本格的なアサリ漁業
Ⅱ期					築堤		浚渫土投入		覆砂	モニタリング調査			本格的なアサリ漁業

堤→浚渫土投入→覆砂」の順で進められ，平成17年度に第Ⅰ期工事に着手，平成24年度の第Ⅱ期工事完了にて，全ての干潟造成工事が完了した．

更に工事完了後，3年間程度モニタリング調査を行った．今後は，漁業者によるアサリ漁業を開始することを計画している．

(2) 施工状況

覆砂工事の施工は，バージアンローダ船で土運船内の砂を排砂管を通して覆砂地点まで排送し，散布台船にて施工を行った（図-5参照）．散布台船の両側にはアンカーを設置し，台船自体を移動させ，所定の覆砂厚になるよう管理しながら砂を散布した．

(3) 施工上の要求性能【施工精度向上，撹拌防止，投入管理】

a) 浚渫土の撒き上がりおよび混合の抑制

覆砂厚50cmの施工においては，その施工の精度とプロセスが重要である．大きな視点としては，浚渫土砂との撹拌による影響である．アサリの成育環境の一つである底質環境については，細粒分含有率が10%程度とする必要があるため，砂を一度に投入した場合，浚渫土の撒き上がりによる施工精度の低下や浚渫土と砂の混合による成育環境の悪化が懸念される．

ついては，覆砂厚50cmの現地施工においては，図-6に示すように如何に薄層で，複数に分けて施工できるかが重要となる．第一期工事では，2層（第Ⅰ期工区）に分けて行い，更に第Ⅱ期工区では，Ⅰ期施工を踏まえ，浚渫土の撒き上がり等の抑制に工夫を加えたことで1層多い，3層に分けて施工が可能と判断し，砂の投入管理を

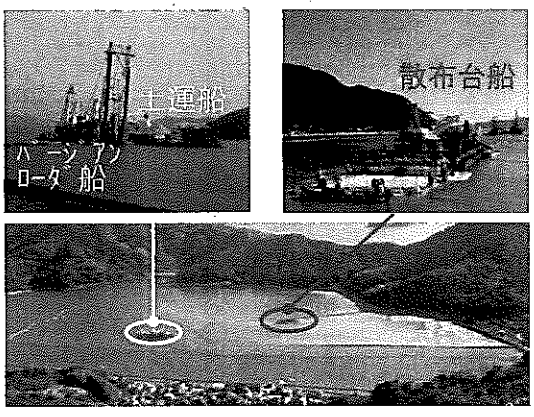


図-5 覆砂工事の施工状況（第Ⅱ期工区）



図-6 散布台船からの砂の撒き出し状況図（第Ⅱ期工区）

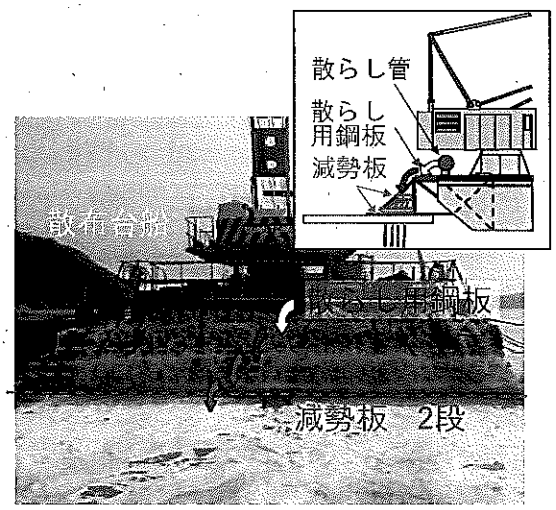


図-7 覆砂施工の模式図（第Ⅱ期工区）

行った．

具体的には，通常，バージアンローダ船から排送されてくる砂を撒き出すための散らし管を散布台船上に直接設置するところを，砂が排出する勢いを出来るだけ抑制することが，浚渫土の撒き上がり等の抑制に繋がると考え，図-7に示す散布方法で，3層施工が可能となった．

b) γ密度計および流量計による砂量管理

実際に適切な砂層厚の施工が形成されているか確認をする手段として，投入砂の管理を行なった．具体的には覆砂の施工区域をブロックに分割し，ブロックごとに排砂管に設置した流量計およびγ密度計にて砂量管理を行った．

なお，覆砂出来形および干潟地盤の安定性に関する試験結果は，次項で述べる．

4. 施工成果の検証

(1) 施工直後の覆砂厚の出来形

表-2に覆砂厚（第Ⅰ，Ⅱ期工区）の測定結果を示す．覆砂厚の許容範囲の基準は，設計値50cmに対して+50cm，-0cmである．特に第Ⅱ期工区においては，最大値70cm，平均値で55.4cmであり，基準+50cmの規定に対し，ばらつきは許容範囲の50%以内に収まっている．精度の高い施工となっていることがわかる．つまり，複数層に分けての投入管理および覆砂撒き出しに関する施工上の工夫を行うことで，ばらつきを抑制することができたことが言える．

表-2 覆砂厚の測定結果

厚さ（mm）	第Ⅰ期工区 測定点数	第Ⅱ期工区 測定点数	
500～540	22	114	← 設計値
550～590	18	54	
600～640	21	24	
650～690	17	14	
700～740	13	1	
745～790	11	0	← 設計値＋許容範囲50%
800～840	3	0	
850～890	0	0	
900～940	4	0	
950～1000	3	0	← 設計値＋許容範囲100%
合　計	112	207	
設計値（mm）	500	500	
最大値（mm）	980	700	
最小値（mm）	510	500	
平均値（mm）	652	554	

(2) 地盤の安定性

a) 圧密沈下の挙動

圧密沈下の挙動を確認することにより，干潟地盤の安定性を検証した．第Ⅰ期工区の浚渫土および覆砂の施工途中段階において，干潟地盤の深浅測量を実施した位置を図-8，その結果を図-9にそれぞれ示す．

D.L.+0.75m以浅では，造成直後の沈下量が大きく，初年の1年間で約0.5m沈下し，干潟の中央部は初年の1年間はなかったが，その後の1年間で約0.2m沈下した．これは，予測値50cm程度であり，前述の覆砂厚がほぼ予定通り施工されたことも好結果が得られたと推察される．

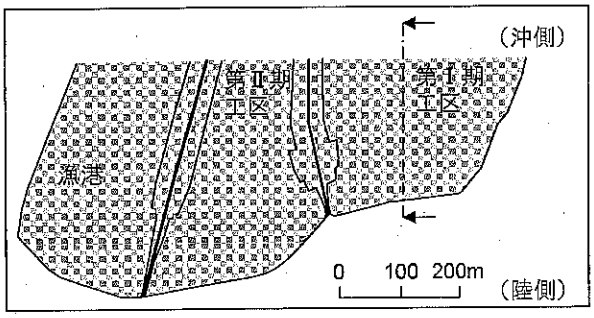


図-8 地盤高さ測量位置図（第Ⅰ期工区　矢印箇所）

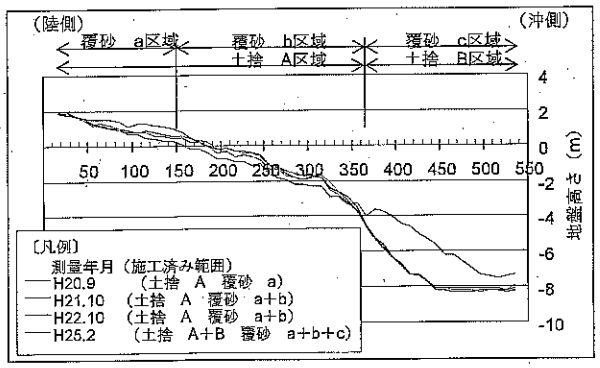


図-9 地盤高さの変化（第Ⅰ期工区　矢印箇所）

なお，現在は当該範囲において干潟地盤の沈下は収束している．

また，アサリの主生息域は，計画段階ではD.L.-0.5m以浅としていたが，クロダイ等の食害対策およびアサリ稚貝の集積効果として被覆網が必要であることが判明したため，干潟管理方策の検討（被覆網のメンテナンス性）結果によりD.L.+1.5～+0.75mとすることとした．

b) 干潟地盤の硬度

第Ⅰ，Ⅱ期工区のアサリ主生息域（D.L.+1.5～+0.75m）を安定的に確保するためには，施工直後においてもある程度の覆砂の安定が必要となる．ついては，各9箇所（図-10）において，軟弱地盤の有無と浚渫土の流出の懸念がないことを確認する指標として，干潟地盤の硬度および覆砂厚の測定を行った．

干潟地盤の硬度の測定は土壌硬度測定器（コーンペネトロメーター：型式SS-S-324）の先端コーンを1cm/sの速度で干潟表面から80cmまで差し込み，静的コーン貫入試験を行った．

調査地点9箇所の中央であるNo.5地点の測定結果を表-3に示す．地盤表面から硬度が上がっていき，覆砂下の浚渫土まで達すると急激に下がり，その変化点は第Ⅰ，Ⅱ期工区とも後述の覆砂厚測定結果と概ね一致している．両工区の硬度の最高値は，第Ⅰ期工区659.7kN/m^2，第Ⅱ期工区1063.6kN/m^{2}であり，覆砂後の経過年月が少ないにも関わらず第Ⅱ期工区が上回っている．

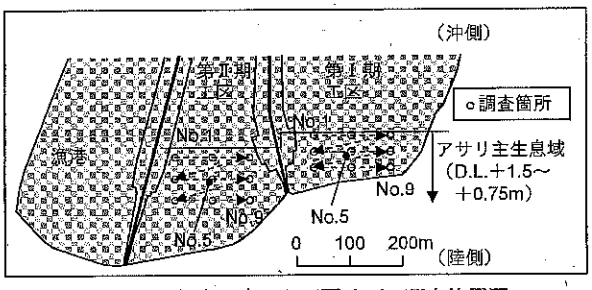


図-10 地盤高硬度および覆砂厚の調査位置図

表-3 地盤硬度の測定結果

測定年月：平成25年7月

貫入深さ（mm） ＼ 調査地点	第Ⅰ期工区 No.5 約5年経過（H20.9覆砂完了）	第Ⅱ期工区 No.5 約8ヶ月経過（H24.12覆砂完了）
0.00	63.7	147.7
0.05	73.1	313.0
0.10	254.4	503.7
0.20	441.0	747.6
0.30	659.7	1050.3
0.40	503.7	1063.6
0.50	77.1	916.9
0.60	81.1	99.7
0.70	94.4	86.4
0.80	77.1	77.1

注1）単位：kN/m^2
注2）計測は3回実施した平均値を示す。
注3）平均値の算出にあたっては、100以上は100として算出した。

前節の3. (3)で述べた施工方法の工夫を行っている第Ⅱ期工区では，早期に高い硬度が発現したことで干潟地盤の安定性向上に対して同施工方法が有効であると推察される．

c) 干潟の覆砂厚

図-11に示すように，サンドサンプラー（アクリルパイプ：長さ1m，φ3cm）を干潟地盤に50cm以上差し込み，引き抜くことで試料（砂層，浚渫土層）を採取した．サンドサンプラー内の砂層の厚さを測定することにより覆砂厚を求めた．この際，第Ⅰ，Ⅱ期工区とも砂と浚渫土の境界は明瞭であり，砂と浚渫土の混合は認められなかった．

覆砂厚（平均値）は，表-4に示すとおり両工区において設計値以上確保されており，当面は浚渫土の流出の懸念がないこと考えられる．

(3) アサリ生息基盤の変化

干潟造成後アサリの生息に適した底質が維持されているかどうかを確認するため，サンドサンプラーにより採取した試料（砂層のみ）の粒度試験を行った．

第Ⅰ期工区の覆砂完了時と約5年経過後の試験結果を比較すると，表-5に示すとおり50%粒径，粒度組成ともに大きな変化はなかったことから浚渫土の混入はなく，良好な状態が維持されていることが確認された．

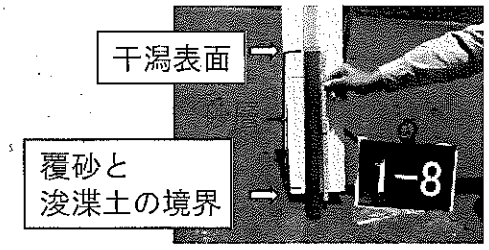


図-11 覆砂厚の測定（アクリルパイプを引き抜いた状態）

表-4 覆砂厚の測定結果

測定年月：平成25年7月

	第Ⅰ期工区 No.1～9の平均値	第Ⅱ期工区 No.1～9の平均値
	約5年経過 (H20.9覆砂完了)	約8ヶ月経過 (H24.12覆砂完了)
設計値(mm)	500	500
最大値(mm)	600	680
最小値(mm)	300	420
平均値(mm)	470	550

表-5 覆砂の粒度試験結果

調査項目＼調査地点		設計値	第Ⅰ期工区 No.5		第Ⅱ期工区 No.5	
			覆砂完了時 (H20.9時点)	覆砂後 約5年経過 (H25.7時点)	覆砂完了時 (H24.12時点)	覆砂後 約8ヶ月経過 (H25.7時点)
50%粒径(mm)		0.1～1.0	0.347	0.299	0.343	0.182
粒度組成(%)	礫 (2mm以上)	—	1.0	0.4	5.0	0.1
	砂 (0.075～2mm)	—	98.3	96.0	94.0	94.0
	シルト、粘土 (0.075mm以下)	10以下	0.7	3.6	1.0	5.9

5. 干潟生物生息場機能の創出と生物多様性の向上

(1) アサリの成育状況

アサリは前述で説明したとおり被覆網の設置箇所でのみ成育する．平成22年4月に第Ⅰ期工区へ被覆網を設置した箇所を図-12に，アサリの成育状況を図-13に示す．

アサリは前年の秋産卵群が翌年春から急激に成長するため，1mm以下の個体が春先から増加し，夏場にピークになる．その後，秋に向けて産卵や水温低下等により個体数，肥満度が減少することが知られている．同干潟のアサリについても成育状況の季節変動はあるものの年間を通じて，山口県のアサリ漁獲サイズ（山口県漁協の自主規制値）32mm程度の漁獲量は，実績から漁獲目標を2kg/m^{2}とした場合，この程度の漁獲量が継続的に見込めることが確認できた．

(2) 底生生物の生息状況

大島干潟ではアサリ以外にも，マテガイ，タイラギ，トリガイ等の二枚貝類，ハクセンシオマネキ，コメツキガニ等のカニ類の他，魚介類の餌料となるゴカイ類やヨコエビ類等の生息が確認されている．

干潟整備前（平成15年度）と第Ⅰ期工区干潟整備後（平成24年度）において，夏季・冬季の底生生物生息状況の比較を図-14に示す．干潟整備前後で種類数の増減

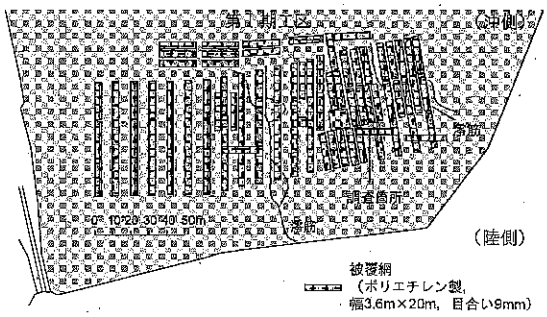


図-12 被覆網設置状況図

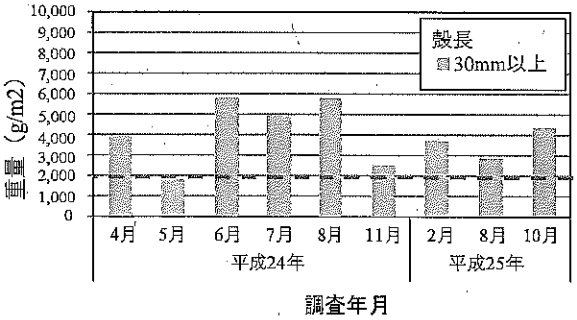


図-13 アサリの殻長別重量

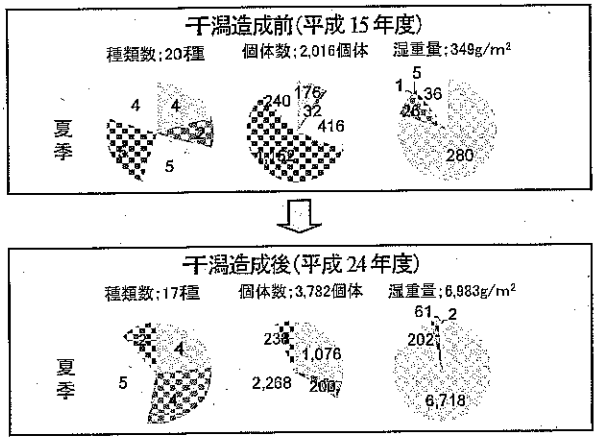


図-14 底生生物の生息状況

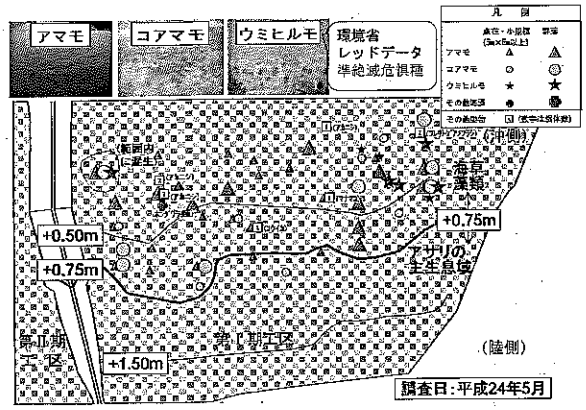


図-15 海草藻類の分布状況

はないが，夏季で比較すると個体数は約2倍，質重量は約20倍と大幅に増えている．これは，主にアサリ等の二枚貝やゴカイ等の環形動物の増加によるものと考えられる．

(3) 海草藻類の分布状況

第Ⅰ期工区おいて平成24年に確認された海草藻類の分布状況を図-15に示す．大島干潟では，造成後2年目（平成22年）よりアマモ，コアマモが出現しており，アマモに産みつけられたコウイカ類の卵塊も多く確認されるようになり，平成24年度調査結果では，分布が拡大している．また，環境省のレッドデータブックでは，準絶滅危惧種に指定されているウミヒルモも確認され，豊かな藻場が形成されていることが判明した．

6. まとめ

以下に示すとおり，アサリの成育に配慮した施工を行ない，環境改善効果が確認できた．

(1) 施工上の要求性能【施工精度向上，攪拌防止，投入管理】

覆砂投入において浚渫土の撒き上がり等に留意して以下に示す施工上の工夫を行うことは，安定した干潟地盤の形成に有効であることが確認された．

①複数層に分割した砂の投入
②散布台船から撒き出す砂の勢いの抑制
③投入する砂量の管理

(2) 干潟整備による環境改善効果

環境モニタリング調査の結果から，以下に示す成果が得られた．

①アサリの成育環境に適した覆砂材料，水深帯の確保によりアサリの成長が確認されたこと
②底生生物，海草藻類等の生物生息，生産機能が創出され生物の多様性が向上したこと
③アマモ場の形成により海域の水質浄化機能の向上が図られること

(3) 今後の取り組み

今後の取り組みとして，以下の点があげられる．

①干潟造成完了後，これまで地盤は安定しているものの，幸いにも，台風等の接近がないため異常波浪による干潟地盤への影響の有無を確認できていないことから，今後の経過観察も必要である．
②第Ⅱ期工区も干潟造成後1年半を経過し，干潟生物の新規加入が徐々に進んでいるが，第Ⅰ期工区同様，アサリを初めとする生物生息機能が創出されるか，今後も引き続きモニタリング調査による確認が必要と考える．

大島干潟では干潟地盤が安定し，生物生息機能の創出が確認された．今後は，同干潟が漁業者による本格的なアサリ漁業が運営されるとともに，地元関係者による干潟の利活用が促進されることを期待する．

謝辞：「3. (3) 施工方法の工夫」は，平成24年度第Ⅱ期工区覆砂工事の施工業者であるあおみ建設株式会社より提案された施工方法をご好意により掲載させていただいた．ここに記して謝意を表します．

参考文献

1) 中国地方整備局・水産庁漁港漁場整備部，瀬戸内海環境修復計画，2005年2月
2) 中国地方整備局宇部港湾・空港整備事務所，徳山下松港干潟整備検討委員会編「徳山下松港大島干潟整備マニュアル」，2005年3月ほか
3) 浅井正ほか，アサリ干潟の成立要件とその順応的管理の構築について，海洋開発論文集　第22巻，2006年7月

北部国道事務所におけるヤンバルクイナロードキル対策について

仲松　徳修[1]・金城　基樹[2]

[1]沖縄総合事務局　北部国道事務所　調査課長（〒905-0019 沖縄県名護市大北4 -28-34）

[2]沖縄総合事務局　北部国道事務所　調査課　調査係長（〒905-0019 沖縄県名護市大北4 -28-34）

沖縄本島北部に位置する、「やんばる」の中でも、特に国頭村、大宜味村、東村には亜熱帯の森が広がっており、やんばるでしか野生の姿を見ることの出来ない多くの固有種が生息している。1981年に新種として確認され、環境省レッドリストで絶滅危惧ＩA類に分類されている国指定天然記念物のヤンバルクイナもその一つであるが、野猫やマングースなどの外来種による、捕食や生息域の圧迫の他、道路横断時に交通事故《ロードキル》に遭う被害も確認されている。

ここでは、北部国道事務所で実施しているヤンバルクイナのロードキル対策について紹介するものである。

キーワード　ヤンバルクイナ、ロードキル、クイナフェンス、野生動物保全対策

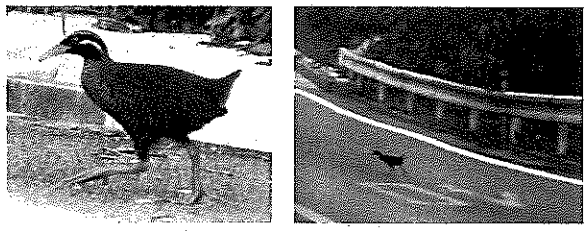
1. はじめに

ヤンバルクイナは、やんばる（沖縄本島北部地域を指す俗称）の自然を象徴する飛べない鳥であり、国指定天然記念物や国内希少野生動植物種に指定されている。ヤンバルクイナは、フイリマングースやノネコの影響等により、その生息域や生息個体数が大きく減少し、近い将来の絶滅が危惧されている種である。

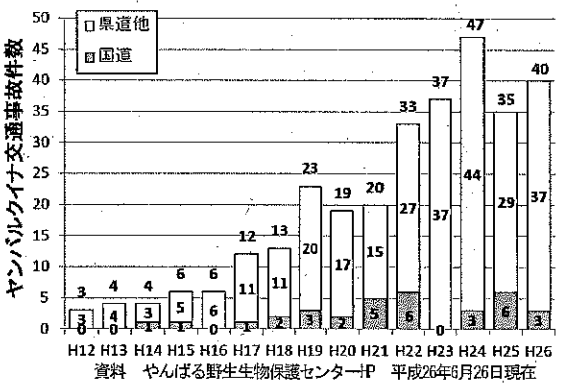
2004年(H16年)に国が策定したヤンバルクイナ保護増殖事業計画では、ヤンバルクイナの生息状況等の把握を行い、本種の生息に必要な環境の維持及び改善並びに生息を圧迫する要因の軽減及び除去等を図るとともに、人工繁殖技術を確立し、本種が自然状態で安定的に存続できる状態とすることを目標としている。

1985年(S60年)には約1,800羽生息していると推定されたヤンバルクイナだが、2004～2006年(H16年～H18年)に（財）山階鳥類研究所が行った調査によると、その数は1,000羽以下と推定された。近年では、フイリマングースの駆除を進めたこともあり、2012年(H24年)には1,500羽程度まで生息数が回復していると環境省が評価している。

生息数が増加している一方で、ヤンバルクイナが道路で交通事故にあうロードキルは、2005年(H17年)頃から増加傾向にあり、ヤンバルクイナ保全上の課題となっている。

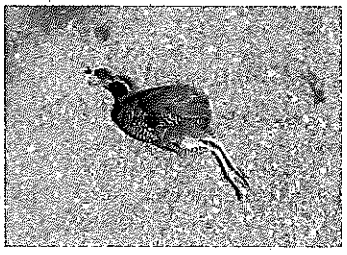


写-1　ヤンバルクイナの道路出現状況



資料　やんばる野生生物保護センターHP　平成26年8月26日現在

図-1　ヤンバルクイナロードキル発生件数



写-2　ロードキルに遭ったヤンバルクイナ

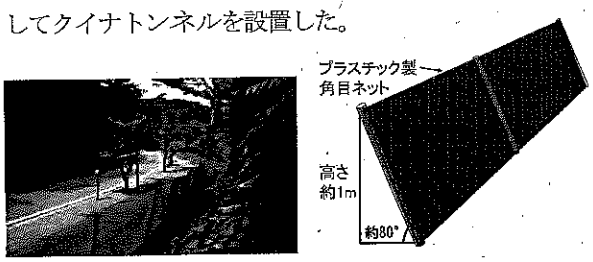
2. 北部国道事務所におけるヤンバルクイナのロードキル対策

北部国道事務所では、ロードキル対策として、「ヤンバルクイナと自動車が出会わない道路構造」を検討し、ヤンバルクイナの道路出現やロードキルの多発地点に、クイナフェンス及びクイナトンネルを設置している。

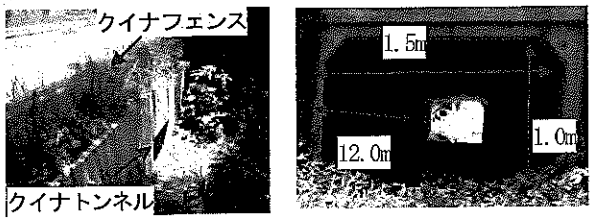
また雛などが側溝に落下した場合に這い出せるようスロープの付いた小動物保護型側溝や、ドライバーへ、野生動物の飛び出し注意を促す標識も設置している。

クイナフェンスは、高さ約1mで、緑色のプラスチック製角目ネットを使用しており、平成19年から国道58号国頭村奥～辺戸間の５区間において各区間250～400m程度の範囲で設置している。

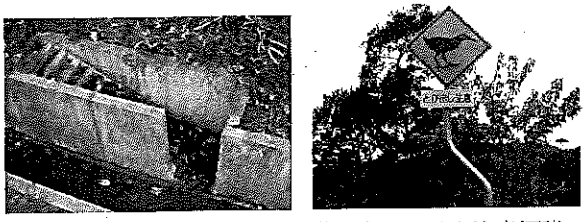
クイナフェンスは、ヤンバルクイナのロードキル防止効果が期待される一方、自由な移動を阻害する可能性があるため、2010年1月に3.8kPにおいて、移動分断対策としてクイナトンネルを設置した。



写-3　クイナフェンスの設置状況



写-4　クイナトンネルの設置状況



写-5　左：小動物保護型側溝　右：クイナ注意標識

3. ロードキル対策の効果

(1)クイナフェンスの対策効果

クイナフェンス設置区間において対策効果を把握するために、ビデオカメラによるモニタリングを実施した。ヤンバルクイナは跳躍力が高く、フェンスを飛越する事例も見られたが、クイナフェンス設置後の道路侵入率（侵入個体数/調査日数）は、設置前と比較し、いずれの箇所でも5%以下と大幅に減少した。特に12.50個体/日と過剰な道路侵入状況が確認されていた3.8kP付近においても、クイナフェンスの侵入防止効果が高いことが確認された。

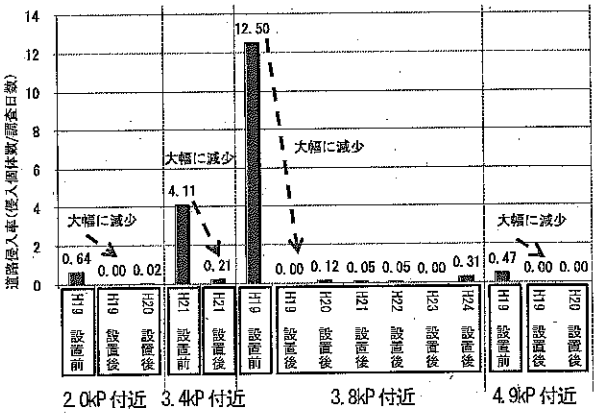


図-2　クイナフェンス設置前後の道路侵入率

(2)クイナトンネルの対策効果

これまでの定点観測カメラによるモニタリング調査では、0.63個体/日（平成22年度）、0.60個体/日（平成23年度）、0.75個体/日（平成24年度）のクイナトンネル通過が確認された。トンネル設置後、すぐにヤンバルクイナの移動経路の一部として認識され、道路下を横断させることでロードキルの危険を回避しつつ移動分断の影響改善を図ることができた。

また平成24年度の調査では親子でのクイナトンネル付近の出現、幼鳥のクイナトンネルの利用も確認され、繁殖期の個体に対しても有効な対策であることが確認された。

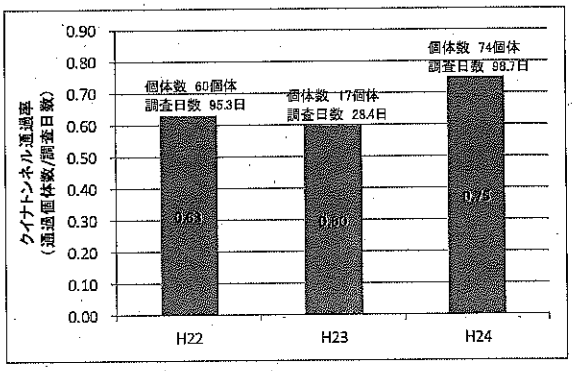
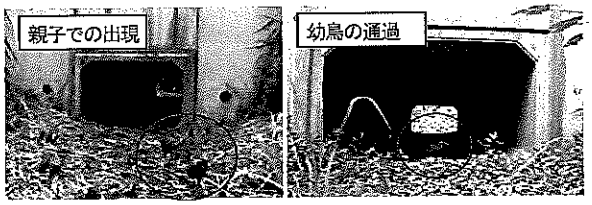


図-3　クイナトンネル通過率



写-6　クイナトンネルでのヤンバルクイナ出現状況

4. ロードキル対策の課題と対応策

(1) クイナフェンス開口部の課題

これまでクイナフェンスの高い道路侵入防止効果について確認されているが、現時点での課題として地形条件や道路構造における以下の課題が挙げられる。

交差点などクイナフェンスの開口部となる箇所では、ヤンバルクイナの道路侵入防止対策の弱点となっており、3.2kPの開口部では、2012年5～8月の約3カ月の調査で、98個体のヤンバルクイナ道路侵入・横断が確認された。

ヤンバルクイナは飛越能力は高いが、道路内に侵入した個体は、車が近づいた際にパニックとなりクイナフェンスに衝突して車道外に退避できなくなる状況が確認されており、ロードキルにつながる危険性があると考えられる。

また、クイナフェンス設置区間に侵入したヤンバルクイナが、カラスに襲撃された際に退避できない状況も確認されている。



写-7　クイナフェンス開口部

(2) 課題への対応におけるクイナフェンス改良対策

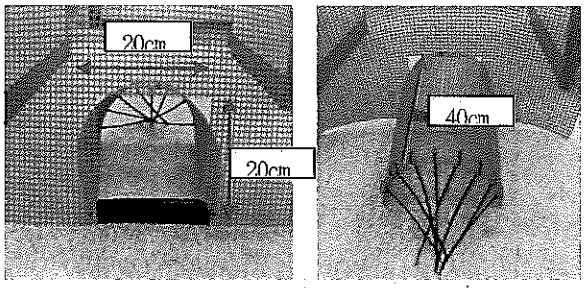
道路開口部やクイナトンネル設置が困難な箇所については、クイナフェンス設置区間の車道内にヤンバルクイナが侵入してしまう可能性がある。

そのため、クイナフェンスの高い道路侵入防止効果を維持しながら、スムーズな車道外への退避が可能となるよう、クイナフェンスにワンウェイゲート構造を追加することとした。

ワンウェイゲート設置対策は3.2kPの開口部において実施し、構造は以下に示す4つの構造を採用した。

a) フェンス下部退避場＋ワンウェイゲート

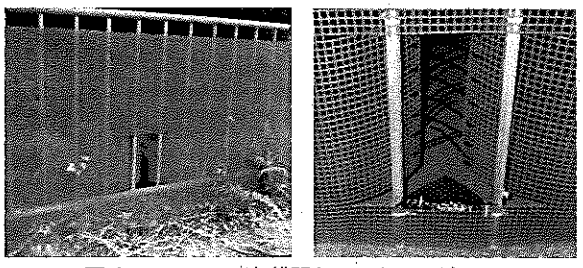
ヤンバルクイナが一時的に退避できる空間を確保し、退避場の出口に結束バンドによるソフトゲートを設置し、車道外へのみ移動できる構造とした。退避場の構造は高さ20cm×幅20cm×奥行40cmとした。



写-8　フェンス下部退避場+ワンウェイゲート

b) フェンス下部横開きワンウェイゲート

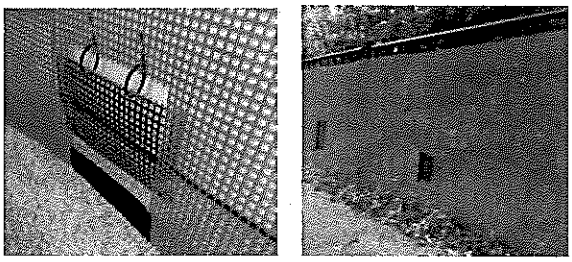
山側に横開きゲートをはりだし、更に結束バンドによるソフトゲートを設置し、車道外へのみ移動できる構造とした。フェンスの構造は高さ30cm×幅30cmとした。



写-9　フェンス下部横開きワンウェイゲート

c) フェンス下部縦開きワンウェイゲート

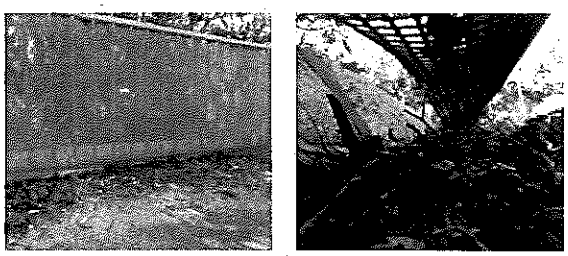
フェンスの開口ゲート（高さ20cm×20cm）に、やや幅広のゲートを山側に吊り下げることによって、車道側へのみ移動可能な構造とした。



写-10　フェンス下部縦開きワンウェイゲート

d) フェンス下部開口型ワンウェイゲート

フェンス裏側に小動物保護パネルがある箇所では、フェンス下部を高さ10cm程度山側に折り曲げることにより、車道外へ移動できる構造とした。フェンス裏側の開口高を若干低くすることにより、車道内に侵入しにくい構造とした。



写-11　フェンス下部開口部対策

(3) ワンウェイゲートモニタリング結果

2014年4月29日から国道3.2kPにおいてビデオカメラによるモニタリングで、ワンウェイゲートの利用状況を確認している。

6月11日現在の調査期間（約44日間）において、延べ87個体のヤンバルクイナが確認された。道路侵入した個体は7個体で、道路を横断した個体は12個体であった。

6月9日には、ワンウェイゲートを利用する個体が初めて確認された。利用したヤンバルクイナはフェンスの裏側に出現後、転落防護柵を飛越して車道内へ侵入したが、走行車両が接近したためワンウェイゲートを利用して、車道外へ退避した。利用したワンウェイゲートは横開きワンウェイゲートであった。その後、6月25日に下部開口型ワンウェイゲート、7月12日に再び横開きワンウェイゲートの通過を確認している。

このことからワンウェイゲート設置により、クイナフェンスの道路侵入防止効果を維持するとともに、車道外への退避対策として、ワンウェイゲートが機能することが確認された。

5. まとめ

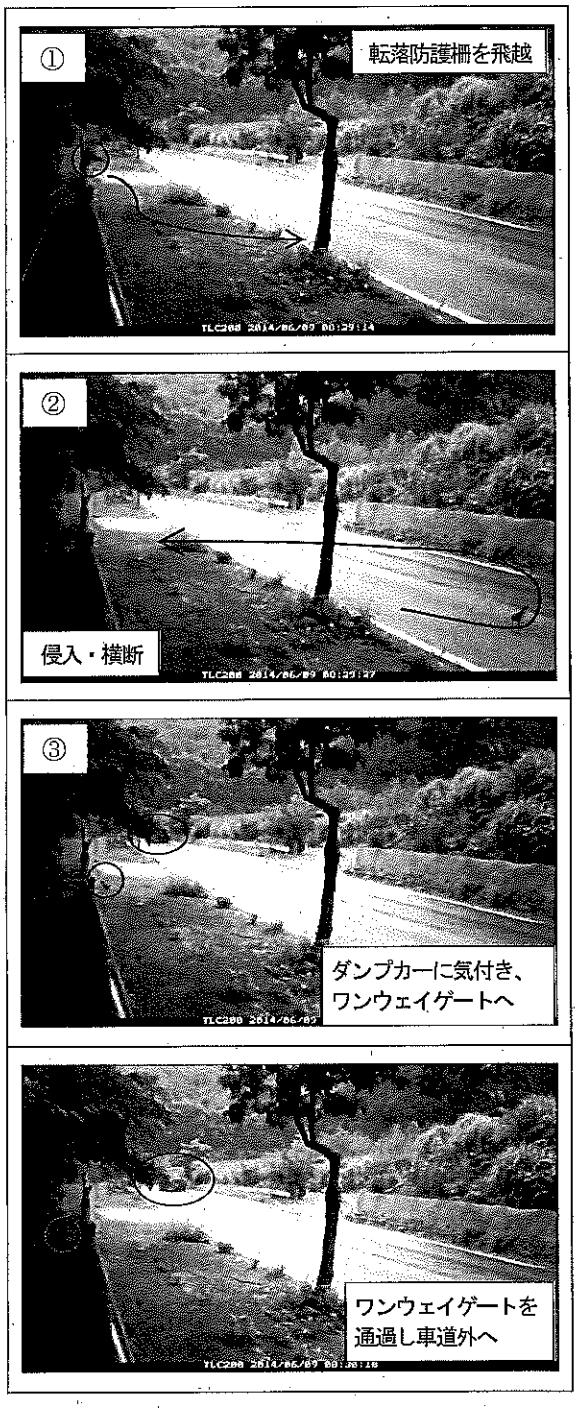
北部国道事務所におけるヤンバルクイナロードキル対策として、クイナフェンスや移動分断対策としてのクイナトンネル設置対策については、2007年からのモニタリングにより十分な対策効果が確認されている。

クイナフェンスとクイナトンネルをセットで実施することによって、道路侵入抑制と安全な道路横断の両立が確保できることも確認されている。

しかし、道路開口部となる箇所やクイナトンネルが設置できない箇所においては、ヤンバルクイナが車道内に侵入し、車が近づいた際などに退避できなくなる状況が確認された。そのため2012年から緊急時に車道外へ退避できるようクイナフェンスにワンウェイゲートを設置し、モニタリングを実施した結果、ワンウェイゲートを利用する個体が確認され、ワンウェイゲートはクイナフェンスの道路侵入防止効果を維持するとともに、車道外への退避対策とし機能することが確認された。

ワンウェイゲートについては、今後もモニタリングを継続し、効果の程度や利用頻度の多い構造を把握していく予定である。

国が策定したヤンバルクイナ保護増殖事業計画に基づく各関係機関及び地元の連携した取組により、ヤンバルクイナは少しずつ個体数が回復し、一時縮小した生息域も広がりを見せ始めたなかで、ロードキル対策実施区間での事故は減ったものの、未対策区間での事故範囲が広がりつつあるため、今後も事故の危険性が高い箇所を把握し、引き続きクイナフェンスワンウェイゲートなどの検証を行い、より効果的なロードキル対策を実施していくことが重要である。



写-12 ヤンバルクイナのワンウェイゲート利用状況

移植困難種であるムヨウラン属の移植成功事例について

新谷　大吾

四国地方整備局 山鳥坂ダム工事事務所　調査設計課　（〒797-1505　愛媛県大洲市肱川町予子林6-4）

山鳥坂ダムでは、環境保全措置の一環としてムヨウラン属（ムヨウラン及びウスギムヨウラン）の移植実験及び移植手法の効果を把握するモニタリングを実施した。移植実験は、移植個体の周辺土壌ごと掘り出して移設する根鉢方式と移植個体の根系を掘り出して移植する根系方式の2手法で実施した。移植実験後のモニタリングでは、ムヨウラン及びウスギムヨウランともに根鉢方式で移植した個体より開花、結実が確認され、根鉢方式による移植の成功が確認された。また、根系方式については地上部の伸長は見られなかったが、新たな根が伸長する等、根の生存が確認され、移植手法として一定の効果を確認できた。

キーワード　ダム，環境影響評価，環境保全措置，事後調査，希少種，移植，モニタリング

1. はじめに

(1) 山鳥坂ダムにおける環境影響評価の経緯

山鳥坂ダムでは、環境影響評価法に基づき、建設事業の実施に先立ち、環境への影響に関する調査、予測・評価を行う環境影響評価の手続きを実施しており、平成20年度に肱川水系山鳥坂ダム建設事業環境影響評価書を公告、縦覧している。

この環境影響評価は「山鳥坂ダム環境検討委員会」において、学識者らから技術的な助言を受けながら実施した。

環境影響評価後の平成20年度に、保全措置・事後調査等に関しての助言及び鹿野川ダム改造事業の周辺環境に与える影響に関しての助言を頂き、自然環境への影響の低減を図ることを目的として「山鳥坂ダム・鹿野川ダム環境検討委員会」が設置されている。

(2) 環境保全措置の実施状況

a) 環境保全措置の概要

山鳥坂ダムにおける環境保全措置及び配慮事項等の一覧を表-1に示す。

環境影響評価後の現地調査において新たに生息・生育が確認され、環境検討委員会の審議を経て保全措置の対象種に追加された種を含め、現在、動物の保全措置対象種は3種、植物の保全措置対象種は28種となっている（平成25年度末時点）。

表-1　環境保全措置及び配慮事項等一覧

項目		保全措置	配慮事項	事後調査
大気質（粉じん等）		○		
騒音		○		
振動		○		
水質	土砂による水の濁り	○	○	
	水温	○		
	富栄養化			
	溶存酸素量			
	水素イオン濃度			
地形及び地質		○		
動物（3種）		○		○
クマタカ、サシバ、ヤイロチョウ				○
植物（28種）		○		○
生態系			○	
景観		○		
人と自然との触れ合いの活動の場		○		
廃棄物等		○		

b) 植物保全措置の実施状況

植物に係る保全措置は平成19年度より実験的に一部着手し、平成25年度末時点で18種に対しての移植や増殖等といった保全措置（表-2）を実施している。

山鳥坂ダムでは、移植に関する知見が少ない種や生育地点数（個体数）が少ない種については、移植の不確実性や不測の事態に対応するため、あらかじめ移植実験や増殖を行うこととしている。

本研究は、生態や移植に関する知見が少なく、保全が難しいとされているムヨウラン属（ムヨウラン及びウスギムヨウラン）の保全措置の不確実性を低減するため、移植実験及び実験後の経過モニタリングを行い、

本移植手法を検討することを目的とした。

表-2　これまでに実施した植物保全措置

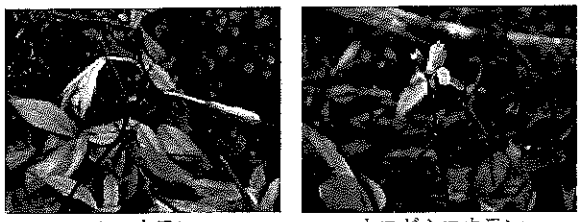
保全措置内容	対象種
移植	コバノチョウセンエノキ、キンラン
実験	ムヨウラン、ウスギムヨウラン、ミヤマミズ、ゴマギ、カビゴケ、ミズスギモドキ、ミズキカシグサ、オカオグルマ、イガホオズキ、ムヨウラン属の一種
仮移植	コシロネ、ホシクサ、イヌアワ、セトヤナギスブタ、ミズオオバコ
個体監視	マヤラン

3. ムヨウラン属（Lecanorchis.B）について

ムヨウラン属（Lecanorchis.B）は、地生の無葉緑腐生植物[1]である。国内では宮崎県以南に分布[2]し、日本産のムヨウラン属としては7種6変種（Hashimoto, 1990）[3]が知られている。山鳥坂ダムでは、ムヨウラン（*Lecanorichis.japonica*.B）及びウスギムヨウラン（*Lecanorichis.kiusiana*.B）の2種が環境保全措置の対象となっている。

腐生植物は、生物の遺体またはその分解物から、根に共生する菌根菌を通して、有機物を吸収し、有機栄養を営む植物[4]である。腐生植物の生態は不明である点が多く、移植や増殖は困難であるとされていることから、保全等に係る知見が乏しい状況である。

一般財団法人水源地環境センターが保有する全国の直轄及び（独）水資源機構のダム（計48ダム）の環境保全措置の事例に関するデータベースより、他ダム事業でのムヨウラン属の移植事例の抽出を行ったところ、ムヨウラン属（オキナワムヨウラン）の移植実績を有しているのは大保ダム（沖縄総合事務局北部ダム事務所）[5]のみという状況であった。



ムヨウラン　　ウスギムヨウラン

図-1　保全措置対象種であるムヨウラン属

3. 移植実験及びモニタリング

(1) 対象地

本実験の対象地は、愛媛県大洲市肱川町奥の山付近にある大洲市有林（図-2）とした。

既往調査結果より、当該地域においてムヨウラン及びウスギムヨウランはツブラジイを主な構成種とした常緑広葉樹林の林床に多く生育していたことから、移植実験先は、自生地と同様の植生である常緑広葉樹林内とした。



図-2　移植実験地（常緑広葉樹林）

(2) 対象個体

移植実験の対象とした個体は、事業により改変を受ける地点に生育する個体とした。ムヨウラン及びウスギムヨウランともに、6個体を採取した。

表-3　移植実験数量

対象種	移植手法	数量
ムヨウラン	根鉢方式	3個体
	根系方式	3個体
ウスギムヨウラン	根鉢方式	3個体
	根系方式	3個体

(3) 実施時期

ムヨウラン及びウスギムヨウランの開花・結実が終わり、個体の活力が低下し、休眠に入ると考えられる秋季（平成20年10月）に実施した。

(4) 移植実験手法

移植実験は、根鉢方式（個体の周辺土壌ごと移植）及び根系方式（根を掘り取り、ネットに挟んで移植）の2手法にて行った。各手法の詳細については次頁に示す。

なお、移植実験前に各種の自生地において地下部の掘り起しを行い、移植に際して重要な条件である根張りの大きさや深さ、根茎の太さ等について確認し、移植手法に反映させた。

a) 根鉢方式

ムヨウラン及びウスギムヨウランの株を中心にφ50cm、高さ50cmの移植器を設置し、周辺土壌を乱さずに根鉢を掘り取った。移植先の木柵内に根鉢のまま固定し、移植元周辺より掘取り運搬した土壌を用いて木柵を埋め戻した。

また、ランと共生する菌根菌が形成されることを想定し、周辺に生育するツブラジイの実生苗を移植個体の近傍に定植した。根鉢方式の移植手順を図-3に示す。

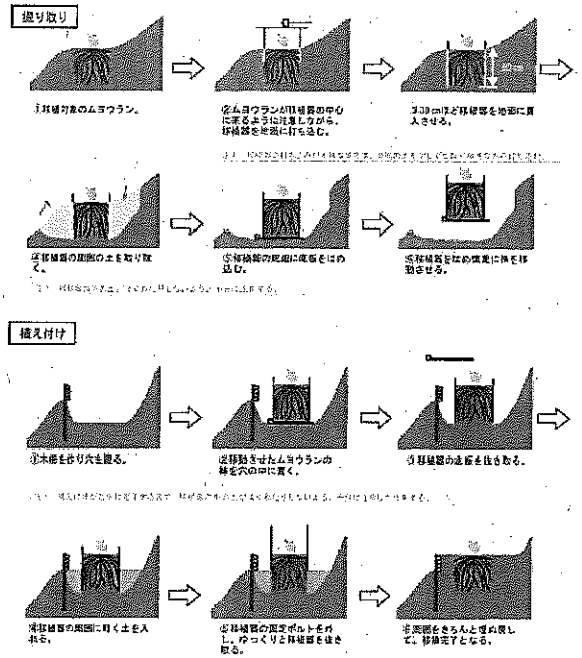


図-3　根鉢方式　移植手順

b) 根系方式

ムヨウラン及びウスギムヨウランの根系のみを手作業で掘り出し、周辺土壌と根系を分離した。掘り取った根系は樹脂ネットに固定した。移植先木柵内に樹脂ネットに固定したまま根系を設置し、移植元の周辺より掘取り運搬した土壌を用いて木柵内に埋め戻した。

また、ランと共生する菌根菌が形成されることを想定し、周辺に生育するツブラジイの実生苗を移植個体の近傍に定植した。根系方式の移植手順を図-4に示す。

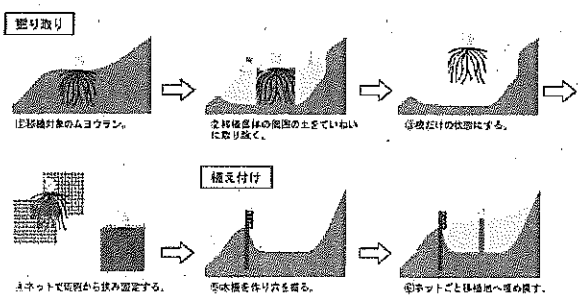


図-4　根系方式　移植手順

(5) モニタリング及び根系調査（掘り起し）

移植実験後は、各移植手法の効果を把握するために月1回程度の頻度でモニタリングを実施し、移植個体の生育状況を確認した。モニタリングは5年間継続した。

また、根系方式による移植を行ったムヨウラン及びウスギムヨウランの地下部を掘り起こし、その根系の残存や伸長状況等を確認し、根系方式の移植手法としての有効性を確認した。調査はムヨウラン属が地上部を伸長させる前の春季とし、平成23年4月に実施した。

4．結果と考察

(1) モニタリング

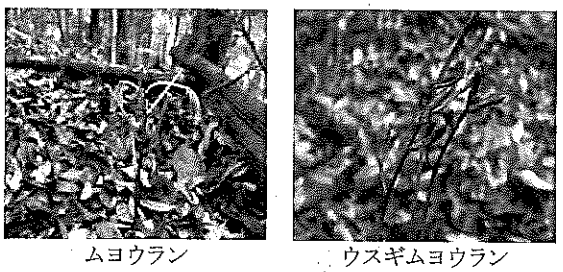
モニタリング結果を表-4に示す。根鉢方式では、ムヨウランが平成23年度及び24年度の2回に亘り地上部（1個体）が確認され、ウスギムヨウランは平成21年度及び25年度の2回に亘り全ての移植個体で地上部が確認された。なお、ウスギムヨウランは平成25年度のモニタリング結果では、個体数が移植当初の3個体から9個体に増加していた。根系方式では、両種とも地上部の確認をすることはできなかった。

保全措置の成否を判断するための考え方として、多年草においては「移植対象種が活着し、一定期間（5年を目安）の生育が維持され、個体数が維持あるいは増加するか、開花、結実、実生等により世代交代が行われたと確認されること」を目標に設定している。

本モニタリング結果より、ウスギムヨウランは個体数の増加が見られ、根鉢方式による移植は成功したと判断された。ムヨウランは1個体のみであるが、2年連続して地上部が見られたことから、根鉢方式による移植の有効性は確認された。

表-4　モニタリング結果

種名	移植手法	個体番号	調査年度					生育状況
			H21	H22	H23	H24	H25	
ムヨウラン	根鉢方式	①	×	×	○	○	×	開花、結実確認
		②	×	×	×	×	×	地上部確認なし
		③	×	×	×	×	×	地上部確認なし
	根系方式	①～③	×	×	×	×	×	地上部確認なし
ウスギムヨウラン	根鉢方式	①	○	×	×	×	○	開花、結実確認
		②	○	×	×	×	○	開花、結実確認
		③	○	×	×	×	○	開花、結実確認
	根系方式	①～③	×	×	×	×	×	地上部確認なし



ムヨウラン　　ウスギムヨウラン

図-5　モニタリングで生育が確認された個体

(2) 根系調査（掘り起し）

平成24年4月に実施した根系調査結果を表-5に示す。根系方式は、個体の根そのものを人の手によって掘り出すことから、根鉢方式に比べて、掘り出す際の根の損傷により個体の活力に影響を生じさせている可能性が考えられる。そのため、根系方式による移植個体の生育状況の評価は、地下部（根）の状態から判断するものとし、根の腐敗がなく（若しくは少なく）根の伸長が確認されたものを「良」、根の腐敗があり根の伸長もないものを「不良」と定義した。

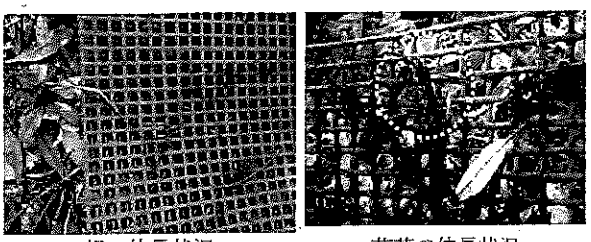
ムヨウラン及びウスギムヨウランともに樹脂ネット内での根の生育及び一部新たな根の伸長が確認され、また、ウスギムヨウランでは地上までは達していなかったが、1個体から花茎の伸長が確認された。

本調査結果より、今回実施した根系方式による移植手法は一定の効果があるものと評価された。

表-5 根系調査（掘り起し）結果

種名	個体番号	根の有無	根の腐敗	根の伸長	花茎の状況	生育状況の評価
ムヨウラン	①	○	×	―	―	不良
	②	○	×	―	―	不良
	③	○	△	○	―	良
ウスギムヨウラン	①	○	―	○	―	良
	②	○	―	○	○	良
	③	○	―	○	―	良

凡例 ○：あり ―：なし ×：根の腐敗あり
△：一部に根の腐敗あり



根の伸長状況　　花茎の伸長状況

図-6 根系調査結果

5．まとめ

ムヨウラン及びウスギムヨウランともに、根鉢方式による移植実験を行った個体の生育（開花、結実）が確認され、これらの種の保全措置として根鉢方式による移植が有効であるとの結果を得ることができた。また、モニタリング結果より、ムヨウラン属は毎年地上部を伸長させ、開花、結実するのでなく、数年（2、3年）に一度開花、結実するというライフサイクルを持つ可能性が高いという生態的知見も得ることできた。

本移植実験結果より、根系方式では地上部の伸長は確認できなかったものの、根系調査（掘り起し）において、ネット内での新たな根の伸長が確認される等、移植した根系の生存が示唆される結果であったことから、一定の効果はあるものと評価された。

前述した多年草の保全措置の成否を判断するための考え方を以て本移植実験の結果を評価すると、根鉢方式では5年間のモニタリングの中で、個体の継続的な生育及び開花、結実という世代交代が確認されたと判断できる。

以上のことから、ムヨウラン属の本移植は基本として根鉢方式による移植の実施を検討する。

しかしながら、根鉢方式は保全措置の効果が高いものの、掘り取りや根鉢の移設等の作業に大きな労力がかかるという問題点がある。工事の進捗に伴い、今後は多くの個体を移植する必要が生じるため、移植作業の効率化、軽減化することは重要である。その点から見ると、根系方式は移植作業に係る労力が少なく、多くの個体の移植が可能である。今後も移植実験を継続し、根系方式の改良を図ることが望ましい。

また、最新の知見では、ムヨウラン属は樹木、ベニタケ科の菌根菌（特にチチタケ属）との三者間共生を形成しており、ムヨウラン属の保全には周辺のシイ・カシ林やコナラ林の保全が重要[6) 7)]とされている。

ムヨウラン属の保全措置は、改変される個体の移植と併せて、工事による伐採を最小限に留める等の生育環境である樹林（特にシイ・カシ林等の常緑広葉樹林）の保全を同時に実施することで、保全措置の不確実性をより低減させることが可能になると考えられる。

謝辞：本研究に際して、様々なご指導を頂きました松山東雲短期大学の松井宏光名誉教授に深謝いたします。

参考文献

1) 佐竹義輔，大井次三郎，北村四郎，亘理俊次，冨成忠雄：日本の野生植物　草本Ⅰ　単子葉類，平凡社，pp.205-206，2002
2) 橋本保，神田淳：原色野生ラン，社団法人家の光協会，pp.89-90，1982
3) Tamotsu HASHIMOTO：A Taxonomic Review of the Japanese Lecanorchis (Orchidaceae)，筑波実験植物園研究報告，No.9, pp.1-40，1990
4) 清水建美：図説　植物用語辞典，八坂書房，pp.14-15，2001
5) 沖縄総合事務局北部ダム事務所：大保ダム湛水域内貴重植物保全対策調査報告書抜粋（2011.2.16　閲覧）
6) 岡山将也，谷亀高広，岩瀬剛二：ラン科ムヨウラン属に見られる3者間共生，日本菌学会大会講演要旨集，Vol.53，35，2009
7) 岡山将也，谷亀高広，岩瀬剛二：ラン科ムヨウラン属は特定のチチタケ属菌と特異的に共生する，日本菌学会大会講演要旨集，Vol.54，59，2010

自由課題

イノベーション部門 I

ＰＣＢ除去を目的とした橋梁塗替塗装について

渡邉　健太郎

関東地方整備局　大宮国道事務所　春日部国道出張所　（〒344-0062 埼玉県春日部市粕壁東6-13-5）

（現：関東地方整備局 横浜国道事務所 調査課　（〒221-0855 神奈川県横浜市神奈川区三ツ沢西町13-2））

ＰＣＢ廃棄物については，ＰＣＢ廃棄物特別措置法及び同施行令により、2027年３月31日までに、その処理を事業者の責任において確実かつ適正に行うことが義務づけられている．

国道４号綾瀬川橋は，橋梁塗装にＰＣＢが含有されていることが判明していたため，ＰＣＢの適切な処理を目的とした橋梁塗替塗装を施工しており，その施工事例を紹介する．

キーワード　ＰＣＢ，綾瀬川橋，インバイロワン工法，最終処理

1. はじめに

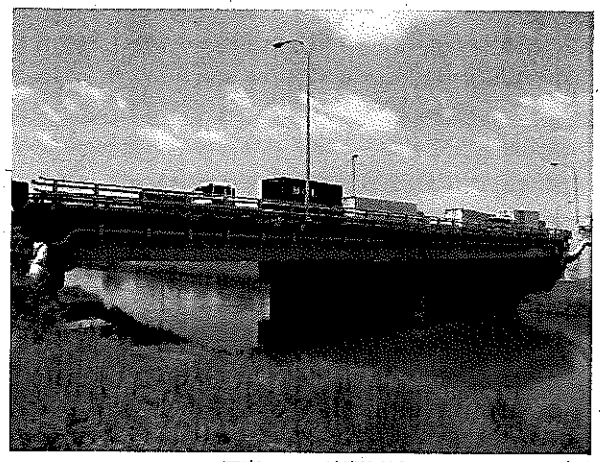
ＰＣＢ（ポリ塩化ビフェニル）は，1954年の日本国内における製造開始以来，水に溶けにくい，絶縁性，不燃性等の特性を利用して，塗料、電気機器等幅広い用途に使用されてきたが，1968年に発生したカネミ油症事件によりＰＣＢの持つ発癌性や皮膚障害等の毒性が明らかになり、1972年に生産中止となった．

一方で，ＰＣＢを含んだ廃棄物（以下，「ＰＣＢ廃棄物」）については，処理がされないまま長期間保管された状態が続いたため，紛失や漏洩による環境汚染の進行が懸念されたことから，2001年に「ＰＣＢ措置法」が施工され，ＰＣＢ廃棄物の確実かつ適正な処理が推進されるようになった．この法律により，ＰＣＢ廃棄物は2016年７月まで（法律改正により2027年３月31日まで延長．）に処理することが義務づけられた．更に，2004年５月に発効したストックホルム条約でも，ＰＣＢに関し，2025年までの使用全廃と2028年までの適正な処理を求めており，国際的な規制の取り組みが始まっている．

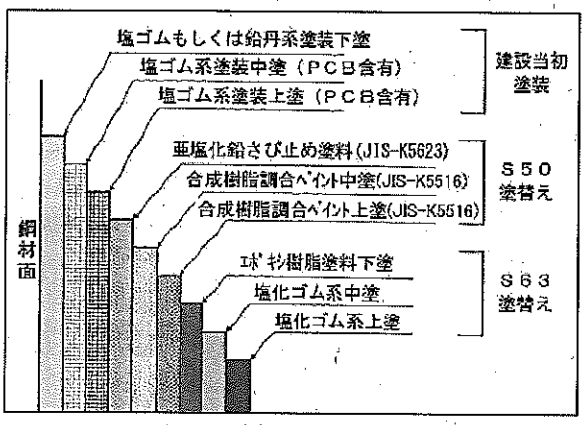
道路事業においては，過去にＰＣＢ含有塗料を橋梁塗装に使用していた．その後，これらの橋梁は塗替等により減少しているが，国道４号の綾瀬川橋は，建設当時に使用されたＰＣＢ含有塗料の塗膜が残存していたため，ＰＣＢ除去を目的として塗替塗装を行った．

2. 国道４号綾瀬川橋の概要

場所：一般国道４号
　　自）埼玉県草加市長栄町地先
　　至）埼玉県越谷市大間野町５丁目
橋長：Ｌ＝５０．６ｍ
橋梁形式：２径間連続鋼溶接非合成鈑桁橋
竣工年度：1966年度



写真－１　綾瀬川橋



図－１　綾瀬川橋　現況の塗膜

塗替履歴：1975年度・1988年度

図－１のとおり，綾瀬川橋は過去に２回塗替塗装を行っているが，塗替時の素地調整が劣化していない塗膜は残存させる３種ケレンであるため，建設当時のＰＣＢ含有塗膜が残存している状況となっている．

3. 現況塗膜除去方法の検討

今回の塗替塗装の目的は，現況の塗膜に含まれるＰＣＢを除去することである．

従来工法（ブラスト工法）による塗膜除去では，粉塵が発生する問題点がある．すると，粉塵となったＰＣＢ含有塗膜が飛散するため，周辺環境への影響が懸念される．また，作業関係者が誤って吸引し，ＰＣＢが体内に取り込まれた場合，ＰＣＢは体内で分解されず，蓄積されて前述のような健康被害を起こすため，非常に危険である．

そこで，ＰＣＢ含有塗膜を飛散させずに現況の塗膜を除去するため，「インバイロワン工法」により，施工することとした．

インバイロワン工法は，アルコール系溶剤を使用した塗膜剥離剤「インバイロワン」を使用した塗膜除去・回収技術で，従来工法のような粉塵が発生しない利点がある．塩化ゴム系塗料を使用した塗膜，特にＰＣＢを含む塗膜の除去に対して効果が高いとされている工法である．

また、塗膜剥離剤としては、ジクロロメタン系の塗膜剥離剤も存在するが、ジクロロメタンは皮膚の炎症や麻酔作用などの健康被害を起こす危険性がある。インバイロワン工法はそのような危険性がないことも利点であるため、本工法を使用した。

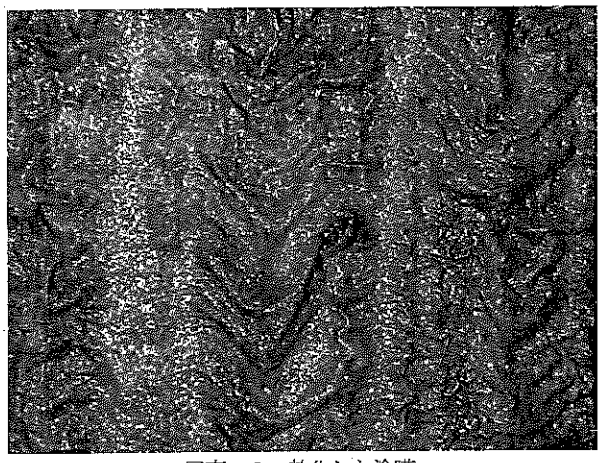
4. 施工方法

施工フローを図－２に示す．

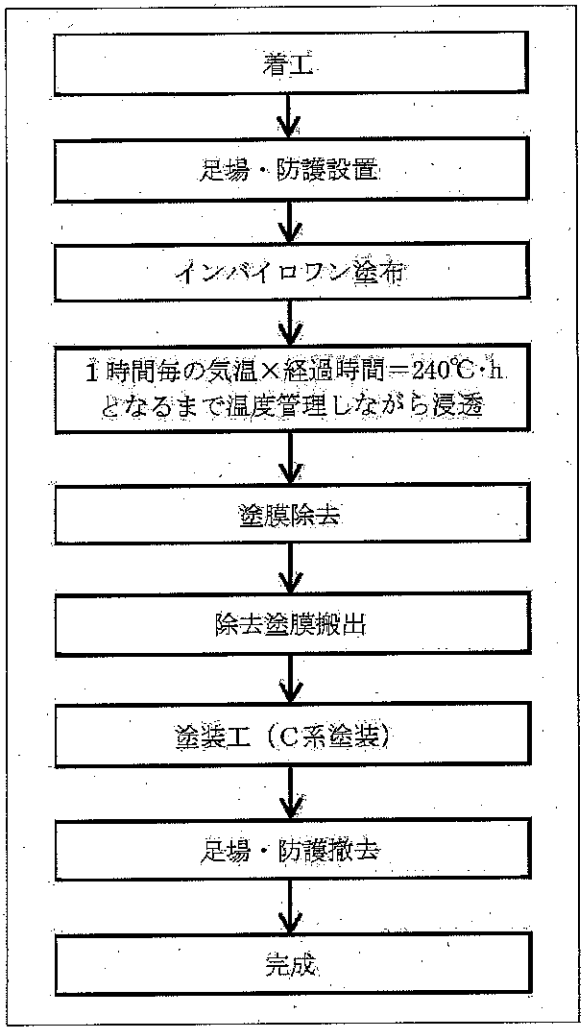
足場及び防護設置後，まずインバイロワンを剥離面に塗布する．

塗布後，インバイロワンはゆっくり塗膜に浸透し，１時間毎の気温×経過時間＝240℃・ｈとなった時点で塗膜除去可能となるため，１時間毎に気温を測定し，その合計が240℃・ｈとなるまで温度管理しながら浸透させる．

すると，次第に塗膜が軟化し（写真－２），シート状に自然に剥がれてくるため，これをヘラ等で剥がし取り回収する．



写真－２　軟化した塗膜



図－２　施工フロー

回収した塗膜にはＰＣＢが含有されているため，廃棄物処理法に基づき，揮発及び腐食を防止するため，ドラム缶に投入・密封し，搬出する．

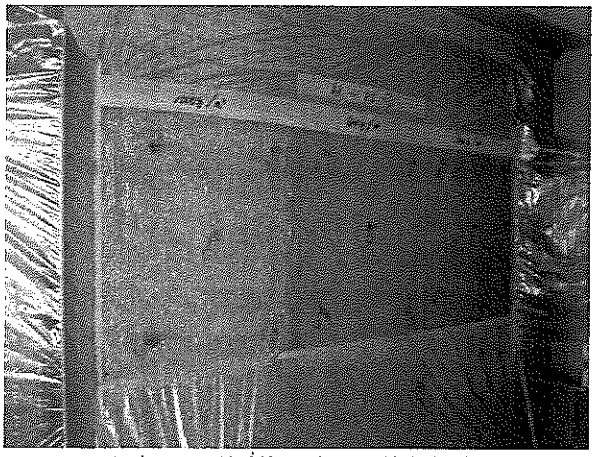
塗膜除去後は，通常のＣ系塗装を施工することとし，塗装完了後、足場及び防護を撤去する．

5. 試験施工

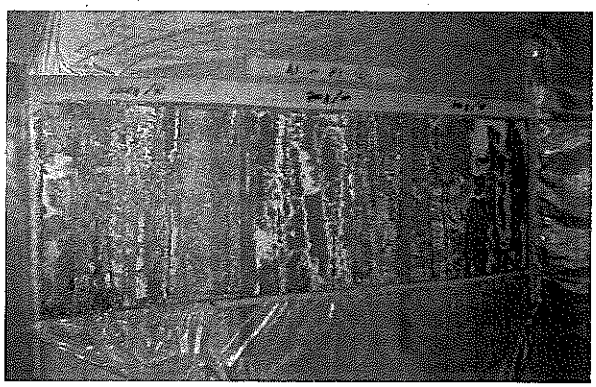
インバイロワン工法は，現況の塗膜厚によってインバイロワンの塗布量及び塗布回数が決まる工法であるが，施工事例が少なく，塗膜厚測定のみで塗布量及び塗布回数を決めてＰＣＢ含有塗膜の確実な除去が出来るかが課題であった．そこで，本施工に先立ち，インバイロワンの塗布量及び塗布回数を決定するため試験施工を行った．

まず，現況の塗膜厚を測定した結果，313μｍであった．

インバイロワンの材料性能によれば，500μｍ以下の場合，標準使用量は1000g/㎡となっている。そこで，塗



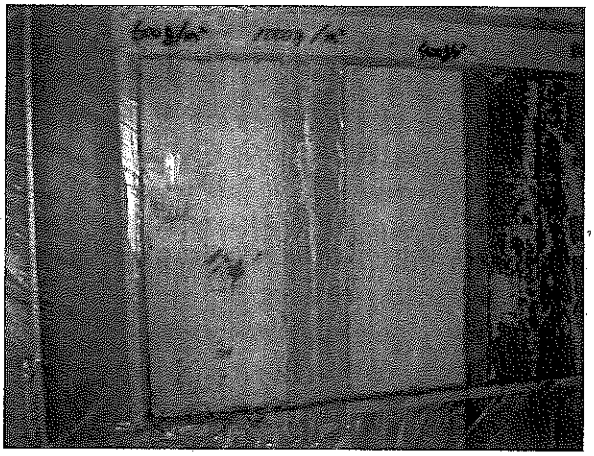
写真－３　試験施工（１回目塗布完了）



写真－４　試験施工（１回目塗膜除去）

布量を３種類（1000g/㎡、800g/㎡、600g/㎡）設定し，試験施工を行った．

１回目のインバイロワン塗布では，標準使用量である1000g/㎡でもＰＣＢ含有塗膜層を完全に除去できなかった（写真－４）．これは，現況の塗膜に劣化による剥がれや腐食がなく，インバイロワンが下層の塗膜層まで十分浸透しなかったためと考えられる．そこで，１回目の塗膜除去で最も塗膜を除去出来た塗布量1000g/㎡の塗膜除去箇所で残存した塗膜厚を測定したところ，126μｍであった。材料性能によれば，残存塗膜に対する２回目の塗布量は塗膜厚200μｍ以下の場合は400g/㎡が目安となっているため，２回目のインバイロワン塗布では400g/㎡と600g/㎡の２種類で実施した．

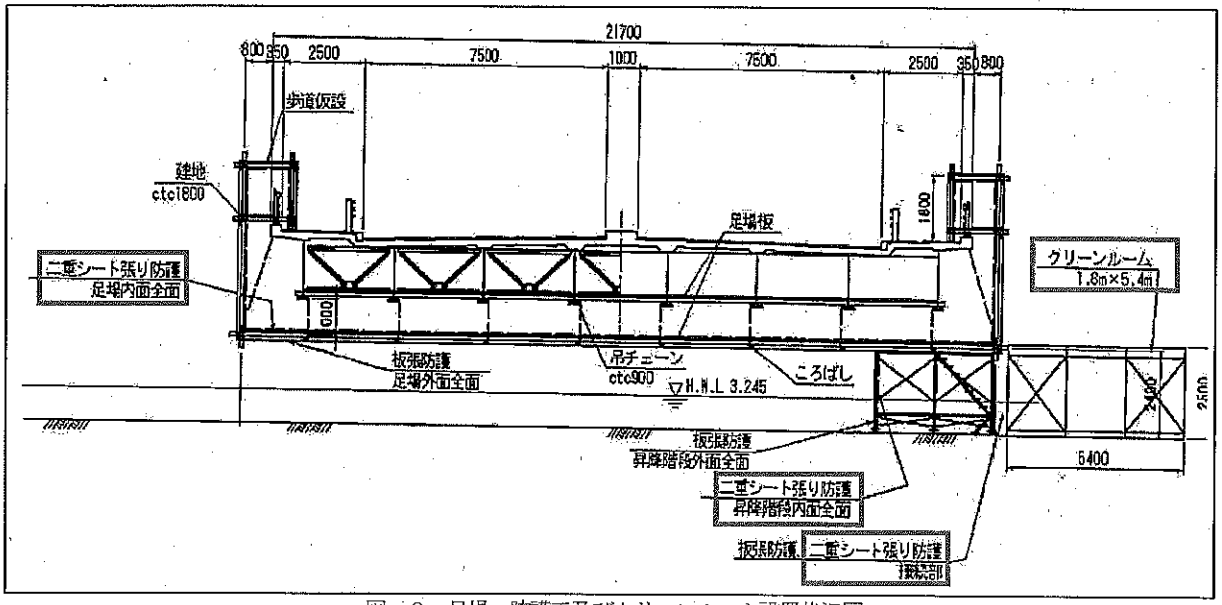


写真－５　試験施工（２回目塗膜除去）

その結果，塩化ゴム系の塗膜ではない，塗膜層の最下層の存在する鉛丹系塗料は残存したが，双方ともＰＣＢ含有塗膜を除去出来た（写真－５）ため，インバイロワンの塗布量は１回目が1000g/㎡，２回目が400g/㎡と決定した．

6. 周辺環境及び作業者への配慮

本工事で発生する除去塗膜は，ＰＣＢ含有塗膜であるため，周辺への飛散防止を目的として，足場と板張防護の他に，今回の施工では特別に二重のシート張り防護を

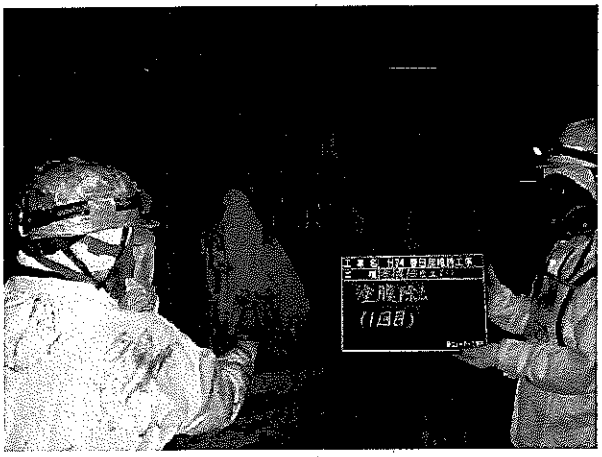


図－２　足場・防護工及びクリーンルーム設置状況図

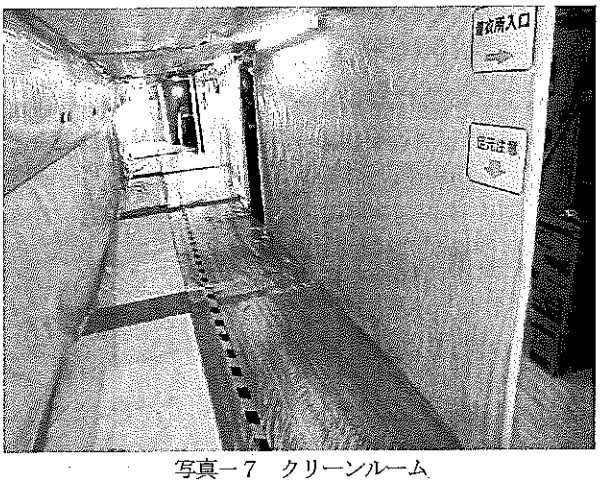
設置し，密閉した．

この密閉された空間となる足場内での塗膜除去作業（写真－６）となるので，除去したＰＣＢ含有塗膜が衣服等に付着したり，吸引する可能性もある。「ＰＣＢ廃棄物の処理作業等における安全衛生対策要綱」では，このような作業場においては，保護具を着用することとされている．また，有害物質ではないが，インバイロワンが充満した状態ともなるため，作業関係者には防護服と防護マスクを着用することとした．

更に，ＰＣＢ含有塗膜の仮置きや作業関係者の防護服及び防護マスクの着脱のためクリーンルームを設置した（写真－７）．足場・防護工及びクリーンルーム設置状況は図－２のとおりである．



写真－６　塗膜除去作業の状況



写真－７　クリーンルーム

7. インバイロワン工法を適用した施工の成果

ブラスト工法のような粉塵が発生しない，塗膜剥離剤による塗膜除去だったこと，そして足場への二重のシート張り防護により，周辺へＰＣＢ含有塗膜を飛散させず，周辺環境への影響を抑えることができた．

また，前述の試験施工の結果を踏まえて施工した他，塗膜除去状況について立会確認を行い，さらに除去塗膜からサンプルを取り出し成分分析を行った結果，ＰＣＢが検出されたことから、確実なＰＣＢ含有塗膜の除去及び回収に成功したと言える．

8. 特別管理産業廃棄物管理責任者の配置

本工事によって除去したＰＣＢ含有塗膜は「ＰＣＢ廃棄物」となる。

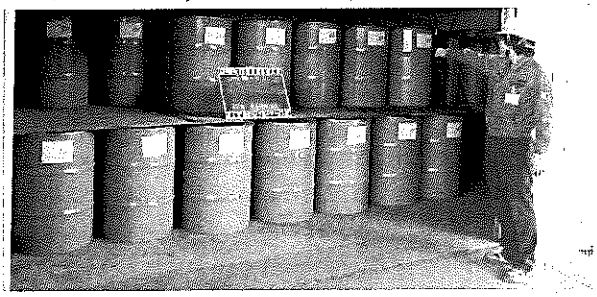
ＰＣＢ廃棄物は，廃棄物処理法により「特別管理産業廃棄物」に区分され，特に注意して取り扱わなければならない．また，事業活動に伴い特別管理産業廃棄物を生ずる事業場を設置している事業者は，特別管理産業廃棄物管理責任者を置かなければならず，さらに廃棄物処理法により，資格が定められている．

このため，春日部国道出張所では，資格要件取得のため，監督職員が特別管理産業廃棄物管理責任者講習を受講し，主任監督員を綾瀬川橋の塗替工事における特別管理産業廃棄物管理責任者としている．

9. ＰＣＢ含有塗膜の処理

ドラム缶に密封したＰＣＢ含有塗膜は，漏洩することが無いように厳重に保管している（写真－８）．

なお，塗替作業において使用した防護服についても，ＰＣＢ含有塗膜が付着している可能性があるため、同様の措置を行った．



写真－８　ＰＣＢ廃棄物保管状況

10. 今後の課題

ＰＣＢ廃棄物の最終処理については，100％国出資の法人で，唯一のＰＣＢ最終処理施設である「日本環境安全事業株式会社」の東京事業所に運搬・処理することとなるが，現在は事業所側が受け入れを停止している状況である．そのため，今回の工事で除去したＰＣＢ含有塗膜は，廃棄物処理法に基づき，引き続き厳重に保管している状況である．

今後は，最終処理が可能な状況になるまでの間，漏洩のないよう，引き続き厳重に管理していくことが重要となる．また，最終処分場が受け入れ可能な状況になり次第，速やかに最終処分場で処理することが重要であるため，ＰＣＢ廃棄物処理の動向を注視していく必要がある．

粘り強く効果を発揮する「高潮防波堤」の改良工事 ～南海トラフ巨大地震に備える～

太田一之[1]・森下倫明[2]

[1]中部地方整備局　名古屋港湾事務所　保全課（〒455-0045 名古屋市港区築地町2番地）
[2]中部地方整備局　名古屋港湾事務所　沿岸防災対策室（〒455-0045 名古屋市港区築地町2番地）

名古屋港高潮防波堤では、今後発生すると想定されている南海トラフ地震等の大規模地震及びその後に来襲する高潮・津波に備えるため、平成25年度よりケーソン補強（セメント混合による中詰砂改質）を開始した。事前調査の結果、中詰砂の粒度が様々であったため、室内配合試験で決定する一定のセメント混合量では中詰改質材の材料分離が発生する等の問題が判明したが、幾多の試験を実施した結果、中詰砂の粒度とセメント混合量に相関性があることが分かったことから、この相関性を用いて、中詰砂の粒度状況から必要セメント混合量を求める簡易方法を検討し、現地工事で採用した。

キーワード：防波堤改良、粘り強い防波堤、中詰砂のセメント改質

1．はじめに

名古屋港高潮防波堤は、昭和34年の伊勢湾台風直を契機に昭和39年に築堤された（写真-1）。築堤から約50年が経過しており、施設の老朽化が非常に著しい状況である（図-1）。

また、現状のままでは、南海トラフ地震等の大規模地震発生時に地盤の液状化による沈下が発生し、その沈下した状況下で、伊勢湾台風クラスの高潮や南海トラフ地震等の大規模地震後の津波が来襲した場合、防波堤を越流し、被害は甚大になると考えられている（図-1）。

そうした背景から、当事務所では、老朽化した高潮防波堤の再生・機能強化に関する取り組みを開始している。具体的には、①大規模地震による防波堤沈下後でも高潮・津波に対して必要高を確保するための上部コンクリートの嵩上げ、②防波堤本体が嵩上げに伴う荷重の増加に耐えるようにするためのケーソン補強、③経年劣化の著しい箇所の老朽化対策（断面補修）、④捨石の洗掘防止対策を実施している（図-2）。

現地では、平成25年度から大規模なケーソン補強（セメント混合による中詰砂改質）を着手している。本報告では、全国初となる大規模な既設防波堤ケーソンの中詰砂改質施工及び工事内で検討した中詰砂改質の新たな品質管理方法について紹介するものである。

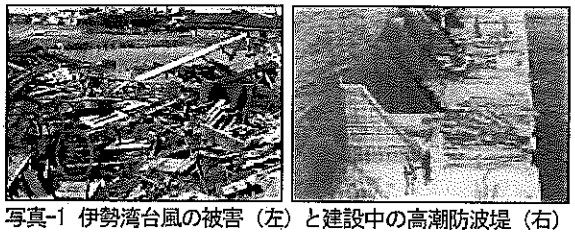


写真-1 伊勢湾台風の被害（左）と建設中の高潮防波堤（右）

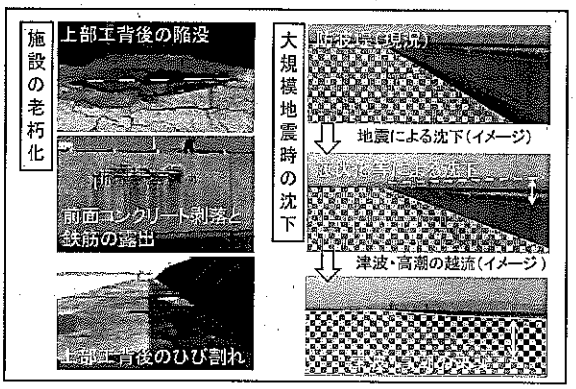


図-1 現状の高潮防波堤の課題（老朽化と地震後の沈下）

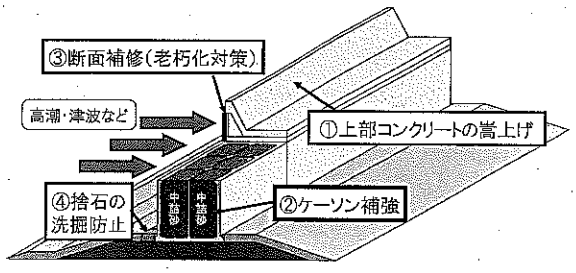


図-2 高潮防波堤改良のイメージ（標準部）

2．中詰砂改質の施工方法

ケーソン補強は、施工の確実性や経済性等の要因により、一旦、中詰砂を全て撤去し、船上にて中詰砂をセメント改質する方法を採用し、補強に求める性能は、上部コンクリートの嵩上げに伴う荷重等の増加により、ケーソン側壁や底版が損傷し、中詰砂が流出しないことを目的とする強度（5N/mm2）とした。

中詰砂改質を行うためには、まず中詰砂をすべて撤去する必要があるが、その前段として、上部コンクリートに開口部を設ける必要があり、コアボーリング削孔やワイヤーソーイング切断により1.5m四方の開口部を設けた（写真-2 ①）。

次に開口部から大型水中サンドポンプにより中詰砂を土運船内に吸い上げ、一旦仮置し、中詰砂に含まれる含水比を一定の割合にするための調整を行う（写真-2 ②）。なお、ケーソン内に中詰砂が無くなるとケーソンが軽くなり安定しないため、撤去する砂と同量の水（バラスト水という）を同時にケーソン内に注入する必要がある。

その後、中詰砂を土運船からバックホウですくい、プラント船でセメントと水と混合し、言わばモルタルのような中詰改質材を造成し、再びケーソン内にコンクリートポンプで打設するといった方法で実施する（写真-2 ③）。

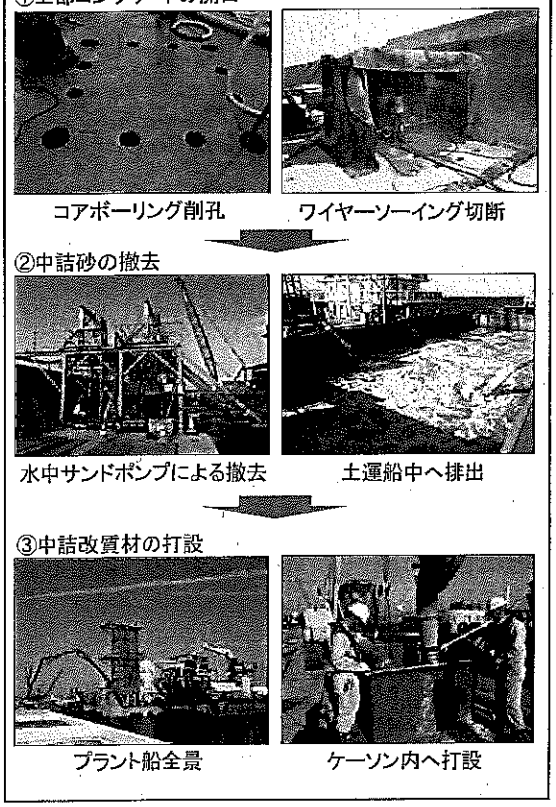


写真-2　中詰砂改質の施工方法

3．中詰砂改質の新たな品質管理方法

(1) 中詰砂の材質

中詰改質材の品質を決めるうえで、中詰砂の材質（粒度）は非常に重要な要素である。元々ケーソン内に入っていた中詰砂は、防波堤建設当時の資料によると、SCP砂相当の材料が使用されていた。SCPに使用する砂は細粒分（シルト～粘土）の含有量が僅かであると言われているが、各防波堤（鍋田堤、中央堤西側・東側、知多堤）で採取した中詰砂を調査した結果、それぞれの粒度が異なっており、更に、一般的なコンクリート用砂（標準粒度）に比べて、細粒分含有量が僅かであったため、セメント粒子が砂の間隙から抜けやすく、材料分離が発生しやすい材質であった（図-3）。

また、水中サンドポンプによる施工は、粒径が小さく沈降速度の遅い細粒分は土運船内に堆積しにくく、バラスト水内を浮遊することが想定される。そのため、水中サンドポンプ施工により、微少な細粒分が更に減少することを想定しておく必要があった。

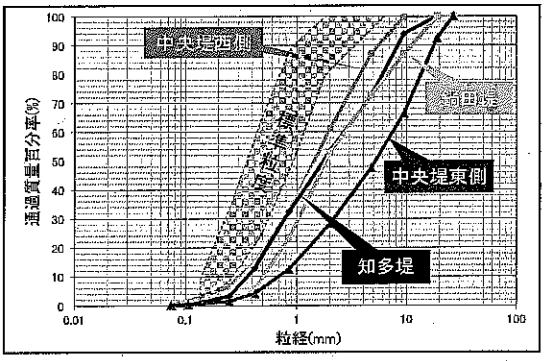


図-3 各防波堤で採取された中詰砂の粒度分布（抜粋）

(2) 施工上の前提条件

所定強度を発現させるためには、施工中にセメントと砂の分離を起こさせないことが重要である。そのため、打設ポンプの管内圧送を可能とする品質が必要であり、文献をもとにフロー値 150～210mmの場合、管内で材料分離が発生せずに施工できると考え、フロー値による管理値を設けた。

また、中詰改質材に含まれる水分量が多いほど材料分離を促進させるため、施工において砂の含水比を一定に保つことが可能な砂の飽和状態の最低水分量（W/S（海水/中詰砂）=0.27）にて配合設計を行った（図-4、写真-3）。

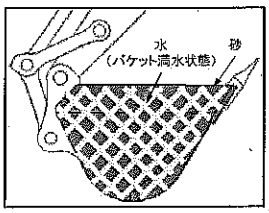


図-4 砂採取イメージ

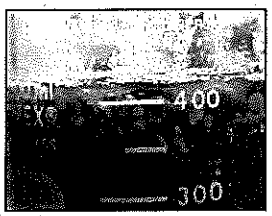


写真-3 W/S =0.27

(3) 室内配合試験

最適なセメント混合量を決定するため、防波堤毎に現地中詰砂を用いた室内配合試験を実施した（写真-4）。室内配合試験は、施工を鑑みて限りなく細粒分が無い状態（細粒分を意図的に洗い流す）の中詰砂を用い、W/Sを一定として配合設計を行い、ポンプ圧送が可能なフロー値を確認する必要があった。

その条件のもと、図-5のように最適セメント混合量が確認出来るまで、トライアル試験を実施した。結果は、最小500kg/m3（中央堤西側）、最大650kg/m3（中央堤東側）であった。



写真-4 練混（左）とテーブルフロー試験（右）の状況

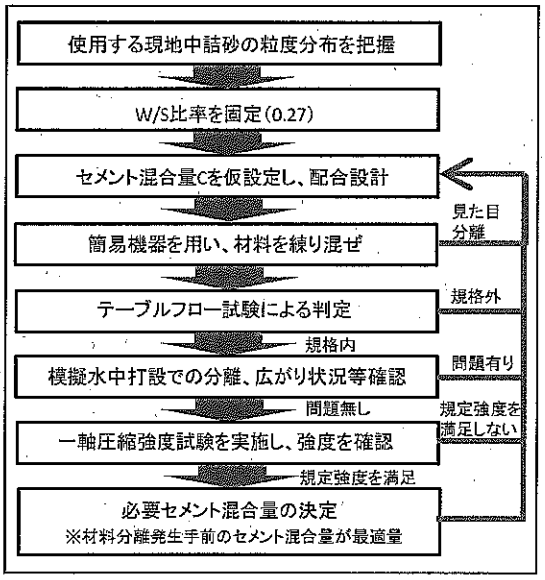


図-5 室内配合試験の実施フロー

(4) セメント混合量の簡易設定方法の検討

a) 現地中詰砂の問題点

各防波堤で採取された中詰砂の粒度は異なり、混合する最適なセメント量もバラツキが大きい状況であった。実際の施工では、試験した粒度以外の砂が発生する可能性もあり、一定のセメント混合量で設計した場合、材料分離が発生し中詰改質材の品質が安定しないことや必要以上にセメントを混合し不経済になる等の問題が生じる可能性がある。

この問題を解決するためには、粒度が異なる砂に対し、その都度、室内配合試験を実施し、最適なセメント混合量を決定すれば良いが、最適な配合割合を見つけるためには、試験をトライアルで実施するため、非常に手間が掛かり、現実的ではない。そのため、粒度が異なる砂に対し、最適なセメント混合量を簡易的に設定する方法について、室内配合試験で得られた知見をもとに検討する必要があった。

b) 簡易設定方法の検討（その１）

繰返し実施した室内配合試験から得られた最適セメント混合量と、各防波堤より採取された中詰砂の粒度分布の関係を図-6に示す。傾向として、セメント添加量は、粒度分布がグラフ中の左寄りであれば少なく、右寄りであれば多くなる。また、大きな粒径が含有されている割合が多い場合、必要となるセメント量が多くなる。以上から、異なる粒度分布と、必要となるセメント混合量の相関性を評価するために、図-7のようなパラメータ「粒度分布面積A」を定義した。

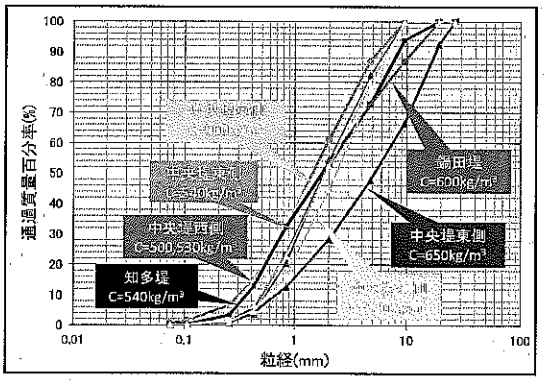


図-6 最適セメント混合量と中詰砂粒度分布

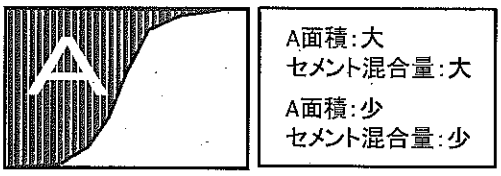


図-7 粒度分布面積Aの概念

最適セメント量と粒度分布面積Aの相関関係を図-8に示す。各試験結果との相関性は良好であり、粒度分布面積Aがパラメーターとして妥当であると言える。

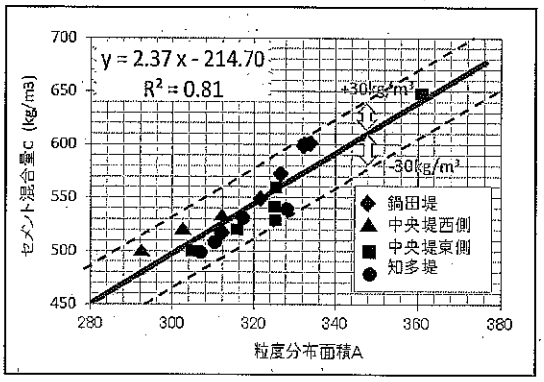


図-8 最適セメント混合量と粒度分布面積Aの相関性

c) 簡易設定方法の検討（その２）

中詰改質材が分離を起こす理由は、砂自体の粒度が粗く、セメント粒子が砂骨材の間隙から抜け出やすいためである。また、水分は粒子表面に付着する性質のため、単位質量あたりの表面積が大きいほど（粒径の小さな粒子が多いほど）抜け出にくい。以上より、砂に含有される微粒子（細砂～粘土）の量が多ければ、間詰及び保水力効果により分離が抑制されやすくなると考えられる。

この考え方をもとに、水中サンドポンプ施工後の中詰砂の微粒子量を現場で即座に評価してやれれば、限りなく細粒分が無い状態で算出された最適セメント混合量（図-8の相関式）から、セメント量を低減することが可能となり、経済的になる。

そのため、フライアッシュや細砂で意図的に微粒子量を調整した試料で最適セメント量と砂の表面積の相関性を検討した（パラメータ「表面積量P」として定義）。その結果、最適セメント量は微粒子の含有量により、反比例の関係で近似式として表せることが確認できた。

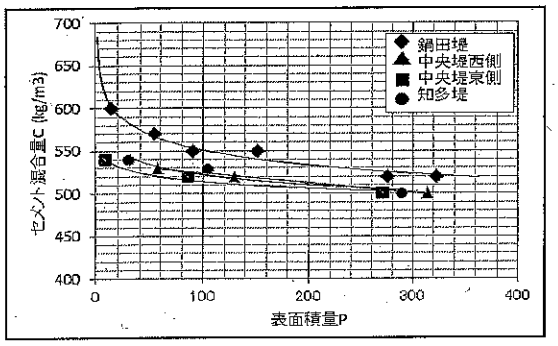


図-9　最適セメント混合量と砂の表面積量Pの相関性

(5) 現場での対応と結果

a) 最適セメント混合量の決定方法

これまでの検討から、最適セメント混合量は、「粒度分布面積A」「表面積量P」と関係が深いことが分かったが、水中サンドポンプ施工後の中詰砂の全粒度を現場で即座に測定することは不可能であるため、2段階の手順（図-10、写真-5）により、ケーソン毎に最適セメント量を決定することとした。

手順①
1. 上部コン開口後、各ケーソンの中詰砂を事前採取する。
2. 洗浄により細粒分を意図的に洗い流した後、全粒度の粒度分布を室内試験室にて測定する。
3. 粒度分布より粒度分布面積Aを算定し、図-8の相関式より、基準となる暫定セメント混合量を算出する。

手順②
1. 暫定セメント量と砂の表面積量の関係により、図-9のような近似曲線を決定する。
2. プラント船で混合する直前の中詰砂を採取し、細粒分含有量のみ現場にて簡易測定する。
3. 細粒分含有量より、表面積量Pを算出し、1. で求めた近似曲線から、最適セメント混合量を決定する。

図-10　最適セメント混合量の決定手順

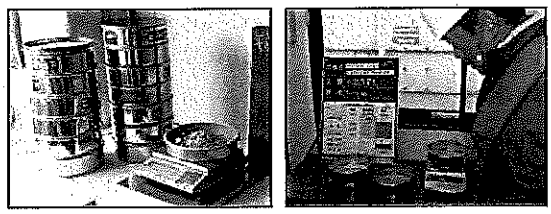


写真-5　室内粒度試験（左）と現場簡易測定（右）

b) 各防波堤の最適セメント混合量の結果

各防波堤にて実際にケーソン毎に算出された最適セメント混合量の結果を表-1に示す。今回採用した手法を用いることで、室内配合試験の結果のみで判断されていたものより、より中詰改質材の品質が安定し、経済性が追求出来た。

表-1　各防波堤での最適セメント混合量の結果

防波堤名	最適セメント混合量（単位：kg/m3）			～参考～ 室内試験
	平均値	最小値	最大値	
鍋田堤	578	560	600	600
中央堤西側	571	530	600	500,530
中央堤東側	577	560	590	520～650
知多堤	565	530	590	540

※H25d末迄のデータ。
※現地での最適セメント混合量は30kg/m3の安全代を見込む。

(5) まとめ

本検討の内容をまとめると、以下の通りである。

・セメント混合量は、中詰砂の粒度分布の面積と関係性が深く、パラメーター「粒度分布面積A」でその相関性を評価できる。
・セメント混合量は、中詰砂の微粒子（細砂～粘土）の量と関係性が深く、パラメーター「表面積量P」でその相関性を評価できる。

4．おわりに

今回紹介した名古屋港高潮防波堤の中詰改良工事は全国的にも類を見ない大規模な工事であったが、全国的にも同様な構造の防波堤が多く、今後、各地でセメント混合による既設ケーソンの中詰改良が行われる可能性は非常に高い。そのため、先進的な事例として、施工方法及び今回検討した中詰砂改質の新たな品質管理方法について、広く普及させて行きたいと考えている。

謝辞：本報告の作成にあたり、ご指導・ご協力を頂いた関係者の方々に深く感謝し、御礼申し上げます。

国道１１３号舗装修繕におけるリフレクションクラック対策の効果について

長谷川　崇[1]・高崎　洋一[1]

[1]北陸地方整備局　新潟国道事務所　新発田維持出張所　（〒957－0011　新潟県新発田市大字島潟665）

既設コンクリート舗装の補修工法として，アスファルトオーバーレイを施工した場合，既設コンクリート舗装の目地部などの直上に早期にひび割れ（以下，リフレクションクラック）が発生するケースが散見される．この対策として，アスファルト舗装自体に応力緩和性や変形性に富む「特殊改質砕石マスチックアスファルト（以下，特殊改質ＳＭＡ）」を使用した試験施工を平成15年に実施し，その追跡調査を10年間実施してきた．

本報告は，供用10年における追跡調査結果及び今後の舗装修繕工法の方針を報告するものである．

キーワード　コンクリート舗装，リフレクションクラック，補修

1. はじめに

国道113号は，新潟県新潟市を起点として終点の福島県相馬市に至る広域的な交通需要に寄与する重要な幹線道路である．新潟国道事務所では，新潟県村上市十文字～山形県境までの25.9㎞の区間を管理している．そのうち，新潟県岩船郡関川村下川口～山形県境の12.0㎞においては，急勾配や急カーブなど道路線形が悪く，舗装の耐久性向上が期待されるコンクリート舗装が昭和47～50年に施工された．

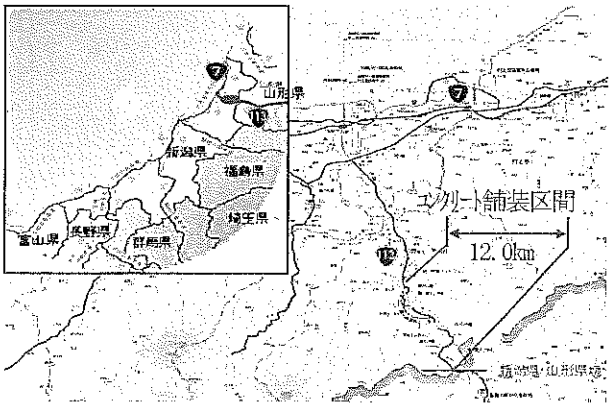


図-1　コンクリート舗装区間位置図

当該区間は，その後の交通量の増加及び経年劣化等に伴うわだち掘れやひび割れが発生し，アスファルトオーバーレイ工法による補修が主に行われてきた．

しかし，この場合，既設コンクリート舗装版の目地部などの直上に，早期にリフレクションクラックが発生するケースが散見されることがある．その対策として，アスファルトオーバーレイ層自体に応力緩和性や変形性に富む混合物「特殊改質ＳＭＡ混合物」を適用し，平成15年に試験施工を行った．

本報告は，補修10年後の効果及び今後のコンクリート舗装区間における舗装修繕工法の方針について報告する．

2. 特殊改質ＳＭＡの性状

試験施工で用いた特殊改質ＳＭＡの性状について，下記の性状試験結果から，リフレクションクラックの発生遅延効果に期待できると考えた．

(1) バインダ性状

特殊改質ＳＭＡに用いる特殊改質アスファルトのバインダ性状を表-1に示す．ポリマー改質アスファルトⅡ型（以下，「改質Ⅱ型アス」の性状例と比較して，針入度が大きいにもかかわらず，軟化点が高い．低温性状に優れる特長を有していた．

表-1　バインダ性状例

試験項目		特殊改質アスファルト	改質Ⅱ型アス
針入度(25℃)	(1/10mm)	174	55
軟化点	(℃)	71.5	61.5
PI		5.96	1.57
フラース脆化点	(℃)	-28	-11
60℃粘度	(Pa・s)	8,620	1,480
伸度試験(15℃)	(cm)	86	86
伸度試験(4℃)	(cm)	69	54

(2) 混合物性状

特殊改質SMAの混合物性状例として，基本性状及びリフレクションクラック促進試験（以下，「クラック貫通試験」），曲げ疲労試験及び静的曲げ試験の結果を，改質Ⅱ型アスを用いたSMA（以下，「改質Ⅱ型SMA」）と比較して示す．なお，試験を実施したSMAの配合は最大粒径13mmの表層用SMAである．

① 基本性状

基本性状例を表-2に示す．

特殊改質SMAは，動的安定度3,000回/mm以上の耐流動性（塑性変形抵抗性）を有することを確認した．

表-2 基本性状例

試験項目		試験値
マーシャル安定度	(KN)	11.2
空隙率	(%)	2.2
動的安定度	(回/mm)	3,300

② クラック貫通試験

クラック貫通試験について，試験条件を表-3，試験結果を図-1に示す．

特殊改質SMAはクラックが表層を貫通するまでの時間（クラック貫通時間）が改質Ⅱ型SMAと比較して1.5倍程度長いこと確認した．

表-3 クラック貫通試験条件

オーバーレイ混合物	幅80×長さ300×厚さ20(mm)
試験温度	25℃
トラッキング速度	42回/min
荷重	110kg
ゴム板	30(JIS硬度) 厚さ50mm

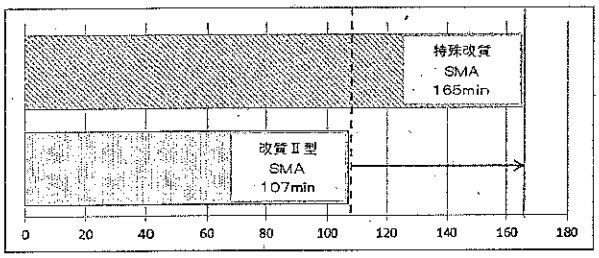


図-2 クラック貫通時間(min)

③ 曲げ疲労試験

曲げ疲労試験について，試験条件を表-4，試験結果を図-2に示す．

特殊改質SMAの破壊回数は改質Ⅱ型SMAと比較して10倍以上大きくなり，疲労抵抗性が高い混合物であることを確認した．

表-4 曲げ疲労試験条件

載荷方法	両端固定2点載荷
供試体寸法	40×40×400mm(スパン長300mm)
試験温度	5℃
載荷条件	ひずみ制御 周波数5Hz
ひずみ	700μ

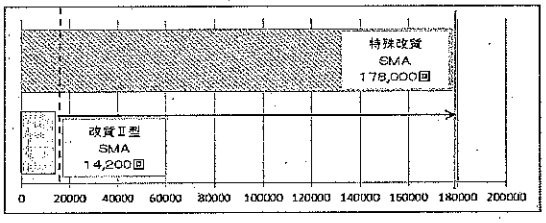


図-3 曲げ疲労試験結果【破壊回数】(回)

④ 静的曲げ試験

静的曲げ試験について，試験条件を表-5，試験結果の曲げ強度を図-3，曲げひずみを図-4に示す．

曲げ強度については特殊改質SMAの脆化温度は-10℃程度であり，改質Ⅱ型SMAの脆化温度より15℃程度マイナス側にシフトしていた．

曲げひずみについては特殊改質SMAは改質Ⅱ型SMAと比較して2～5倍程度大きく，低温脆性やたわみ性に優れている混合物であることを確認した．

表-5 静的曲げ試験条件

載荷方法	2点支持中央載荷
供試体寸法	50×50×300mm(スパン長200mm)
ひずみ速度	6.25×10^{-3}(1/s)

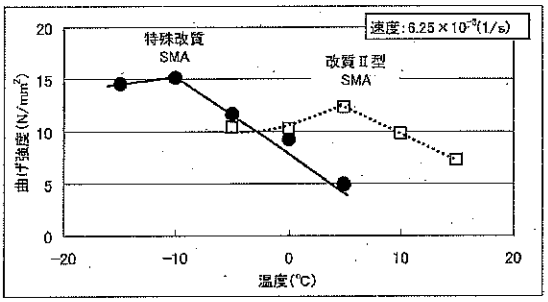


図-3 静的曲げ試験結果(曲げ強度)

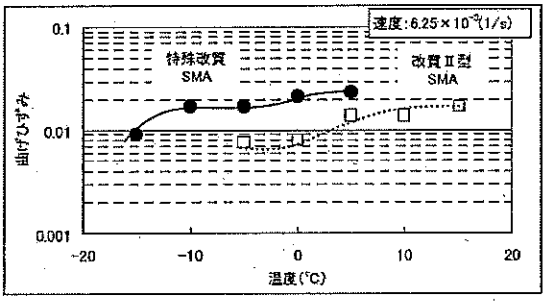


図-4 静的曲げ試験結果(曲げひずみ)

4. 試験施工

(1) 概要

平成15年に新潟県岩船郡関川村において，特殊改質SMAの試験施工を実施した．新潟県と山形県を結ぶ物流の重要路線となる国道113号において，褥層工法を適用

したコンクリート舗装上のアスファルトオーバーレイ修繕工事「関川舗装修繕工事」の一部区間で行った．表-6に工事概要を，図-5に舗装構造を示す．

表-6　工事概要

工事名	関川舗装修繕工事
路線名	国道113号
工事場所	新潟県岩船郡関川村
施工年月	平成15年8月
計画交通量	N_6
工事内容	既設アスファルト舗装の撤去およびオーバーレイ工事 （一部区間で3種断面の試験施工を実施）

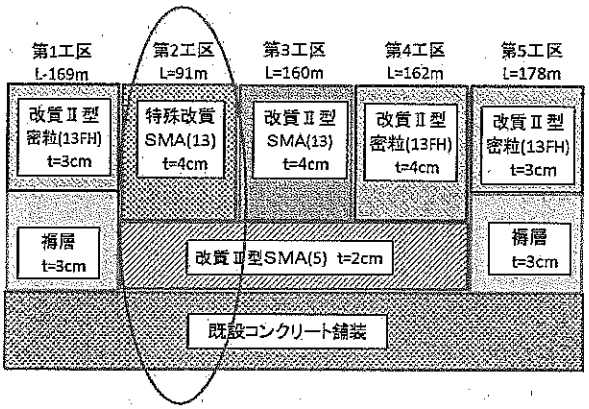


図-5　舗装構造

図-5に示すように，第1工区と第5工区は，設計断面（一般部）として，褥層（加熱型高ゴム化アスファルト＋砕石の３層構造）を厚さ3cmで施工し，表層に改質Ⅱ型密粒（13FH）（以下，「密粒（13FH）」）を施工したものである．その間の第2工区～第4工区においてが試験施工区間となる．

第2工区～第4工区の試験施工区間では，表層下部に改質Ⅱ型ＳＭＡ（最大粒径5mm，厚さ2cm）を設け，表層上部の厚さを4cmとして，第2工区は特殊改質ＳＭＡ（13），第3工区は改質Ⅱ型ＳＭＡ（13），第4工区は一般部の表層と同じ密粒（13FH）を施工し，特殊改質ＳＭＡ（13）と一般部との比較のほか，表層の違いによる効果の検証を行った．

(2) 施工

試験施工で用いたＳＭＡ混合物のアスファルト量及び骨材粒度は表-7に示す．

第2工区～第4工区の試験施工区間は，敷ならしにはＭＡＰによる表層上下部の同時施工を行い，転圧は水平振動ローラおよび振動タイヤローラを用いた．

施工状況を写真-1に示す．

表-7　アスファルト量および骨材粒度

混合物の種類	アス量 (%)	骨材合成粒度(重量%)					
		19mm	13.2mm	4.75mm	2.36mm	0.3mm	0.075mm
特殊改質 SMA(13)	6.0	100.0	97.6	39.6	27.2	13.3	8.7
改質Ⅱ型 SMA(13)	6.2	100	97.8	40.6	28.9	14.6	9.6
改質Ⅱ型 SMA(5)	7.9	100	100	94.2	41.7	15.5	10.3



写真-1　施工状況

5. 追跡調査

(1) 目視観察の結果

目視により，リフレクションクラックの発生状況を確認した．変化状況を表-8に示す．

褥層を適用した第1工区と第5工区は，供用後早々に多数のリフレクションクラックが発生したのに対し，その他の工区は，リフレクションクラックの発生およびその後の増加・成長が遅いことが確認できた．

特に、特殊改質ＳＭＡを表層に適用した第2工区は，リフレクションクラックの発生が一番遅く，その後の増加・成長の速度は他工区と比較すると一番遅いことが確認できた．

写真-2に示すように，供用10年目においても特殊改質ＳＭＡの第2工区は，舗装補修を施す必要が今のところ感じられない．他の工区では写真-3～6に示すように，損傷が激しく亀甲状へ成長している箇所や剥離している箇所も多く見受けられ，リフレクションクラック部を再補修している．特に褥層で施工されている第1工区・第5工区の損傷が激しい．特殊改質ＳＭＡがリフレクションクラックに対して有効であることが見てとれる．

表-8　目視観察結果

舗装構造		目視観察結果				
上部	下部	供用6ヶ月	供用2年	供用4年	供用6年	供用10年
特殊改質SMA(13)	改質Ⅱ型SMA(5)	変状なし	変状なし	一部に微少なクラックが発生	クラックが若干数増加	クラックが若干数増加
改質Ⅱ型SMA(13)			一部に微少なクラックが発生	クラックが若干数増加	クラックが増加・成長	クラック箇所の部分補修
改質Ⅱ型密粒(13FH)		一部に微少なクラックが発生		クラックが増加・成長	クラックが増加・亀甲状への成長	
改質Ⅱ型密粒(13FH)	禍　層	多数のクラック発生	クラックが増加	クラックが増加・亀甲状への成長		



写真-2　特殊改質ＳＭＡ区間　供用10年目の状況(第2工区)

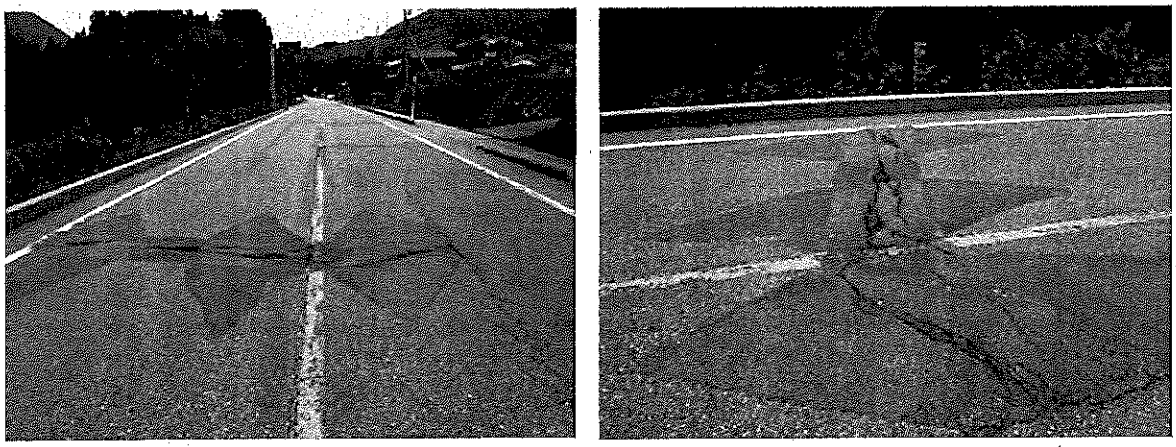


写真-3　改質Ⅱ型密粒（13FH）【禍層】区間　供用10年目の状況(第1工区)



写真-4　改質Ⅱ型ＳＭＡ（13）区間　供用10年目の状況(第3工区)

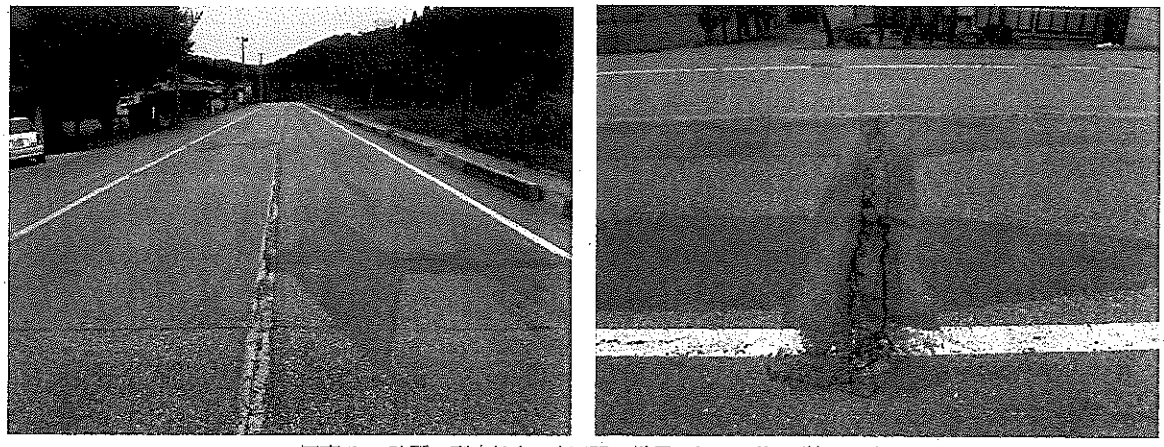


写真-5　改質Ⅱ型密粒(13FH)区間　供用10年目の状況(第4工区)



写真-6　改質Ⅱ型密粒(13FH)【褥層】区間　供用10年目の状況(第5工区)

(2) 路面性状の測定結果

路面性状の測定結果を表-9 に示す.

断　面		クラック率(%)			わだち掘れ量(mm)			平たん性(mm)		
上部	下部	供用2年	供用6年	供用10年	供用2年	供用6年	供用10年	供用2年	供用6年	供用10年
特殊改質 SMA(13)	改質Ⅱ型 SMA(5)	0.1	0.2	0.9	5.8	5.9	9.4	1.14	1.35	2.08
改質Ⅱ型 SMA(13)		0.3	7.8	11.0	3.7	4.6	6.1	1.18	1.42	1.49
改質Ⅱ型 密粒(13FH)		0.6	11.9	18.3	4.3	5.1	5.9	1.10	1.34	1.54
改質Ⅱ型 密粒(13FH)	褥　層	2.8	12.4	18.1	5.0	9.5	12.9	1.14	1.77	2.65

特殊改質ＳＭＡの工区は，供用10 年目でクラック率は0.9%と極めて低く，また供用10 年におけるわだち掘れ量と平坦性は9.4mmと2.08mmであり，褥層を適用した一般工区の12.9mmと2.65mmと比較して小さい等の特長があり，リフレクションクラック発生頻度が低く，舗装の長寿命化に期待できる.

6.その他の区間の補修状況

平成15年の試験施工以外の区間において，「密粒度アスファルト混合物(新20FH)5cm」及び「ＳＭＡ(20)改質Ⅱ型5cm+ＳＭＡ(5)改質Ⅱ型3cm」の2種類アスファルトオーバーレイ工法による舗装修繕を実施しているが，その後の状況について，目視観察結果を写真-7～8に示す.

写真-7の密粒Ａｓ新20FH(5cm)の施工箇所は，目地注入及びクラック防止シートを施工しても供用2年後にはクラックが発生している.

写真-8のSMA(20)改質Ⅱ型5cm+SMA(5)改質Ⅱ型3cmは施工後5年経過しているが，クラックの発生状況が少なく，損傷具合が軽度である.

ＳＭＡの舗装が長寿命化に寄与している一例である.

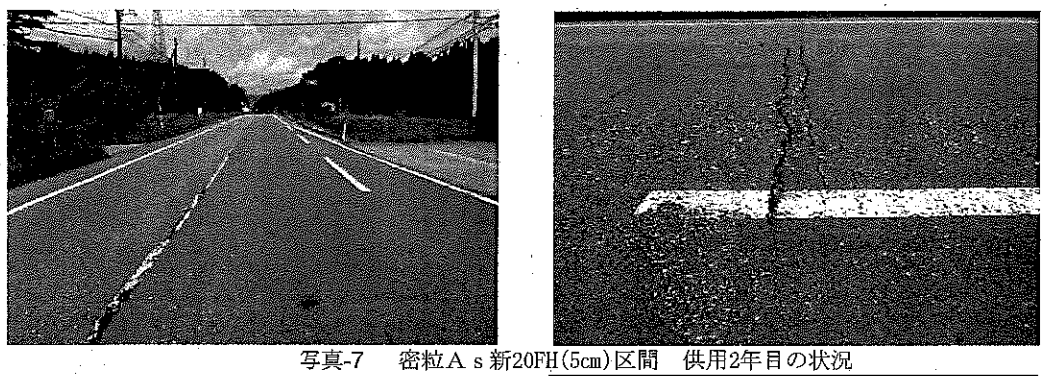


写真-7　密粒Ａｓ新20FH(5cm)区間　供用2年目の状況

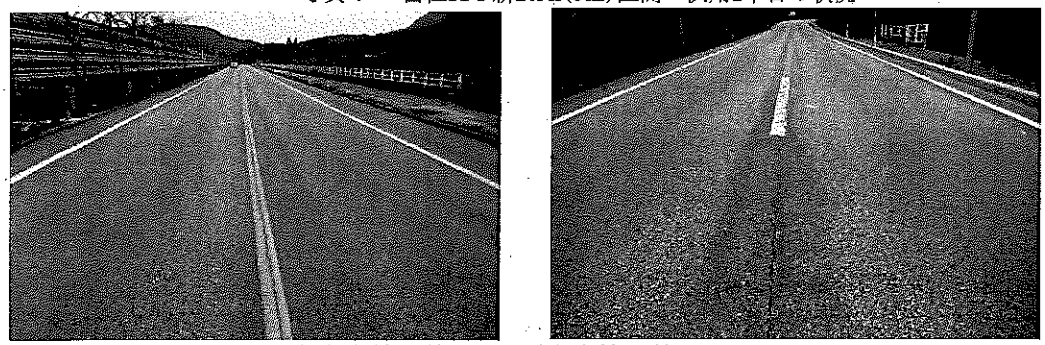


写真-8　SMA(20)改質Ⅱ型5cm+SMA(5)改質Ⅱ型3cm区間　供用5年目の状況

7. まとめ

(1) 追跡調査結果

特殊改質ＳＭＡの供用10年間の追跡調査結果より得られた，リフレクションクラックの発生遅延効果に関するまとめを以下に示す．

① 視観察結果では，リフレクションクラックの発生及びその後の増加・成長が非常に遅いことが確認でき，今のところ補修の必要性がない．他工区は供用2年目からリフレクションクラックが発生し，その後亀甲状に成長するなど再補修されている状況である．

② 面性状の測定結果では，供用10年目でも非常に低いクラック率となっており、わだち掘れ量と平坦性でも良好な値であり、高い供用性を示している．他工区は，供用6年目以降に高いクラック率を示しており，特に表層に改質Ⅱ型密粒(13FH)を用いた区間が顕著である．

(2)今後の舗装修繕工法の方針

コンクリート舗装は，耐久性に優れた面はあるが，更新時に再度コンクリート舗装による打換え工法を採用する場合は，経済性や長期にわたる終日片側交互通行規制の社会的影響が大きい等の課題がある．

国道113号のコンクリート舗装は，舗設から39～42年が経過し，コンクリート舗装版の表面の劣化は激しいが，構造的な破壊に至っている箇所は限定的である．このことから，経済性も考慮し，これまではアスファルトオーバーレイによる補修が行われてきた．

ただ，近年の損傷をみると，リフレクションクラックからの雨水の浸透により，舗装版のばたつきが助長され，舗装版自体の損傷に繋がっている事象も見受けられる．舗装版自体にばたつきが発生している箇所では，部分打換え，モルタル裏込注入（ばたつき防止），目地補修，クラック（目地）注入，クラック防止シート等の対策工が別途必要である．

今後の舗装修繕工法としては，コンクリート舗装版のばたつき防止対策を実施したうえで，塑性変形抵抗性，たわみ追従性，防水・水密性，摩耗抵抗性に優れ，リフレクションクラックの発生遅延効果の高い砕石マスチックアスファルト舗装によるオーバーレイ工法が妥当と考える．

8. おわりに

今回の追跡調査結果により，殊改質ＳＭＡのリフレクションクラックの発生遅延効果と供用性が確認できた．これは既設コンクリート舗装の長寿命化やライフサイクル改善に寄与するものであり，今後も持続性を検証し，的確な維持管理手法を検討して行く次第である．

謝辞：本報告のとりまとめに際し，ご協力いただいた関係各位に感謝申し上げます．

参考文献

1) 建設図書：舗装　平成２６年５月号

段階施工を可能とする防波堤整備工法について —連結セルラーブロック工法の開発—

水島　良[1]・掛水則秀[2]・林　誉命[1]・早川哲也[1]

[1]北海道開発局　港湾空港部　港湾建設課　（〒060-8511北海道札幌市北区北8条西2丁目）

[2]北海道開発局　網走開発建設部　網走港湾事務所　（〒093-0032北海道網走市港町3番）

ケーソン式防波堤は，大規模施工による効率化が図れることから，最も多く用いられている防波堤の構造形式である．しかしながら，施工規模が小さい場合，フローティングドック（FD）の回航費等により１函当りの製作費用が割高となる．施工規模が小さい場合の効率的な防波堤整備を実現するため，小型ブロックの連結によるFDを使用しない防波堤整備工法を新たに開発し，波力特性や設計法を整理するとともに，瀬棚港において現地施工を行った．これにより，施工規模が小さい場合のコスト縮減と工期短縮を実現するとともに，予算規模に応じた防波堤の段階施工を可能にした．

キーワード　段階施工、セルラーブロック

1. はじめに

ケーソン式防波堤は，ケーソンと呼ばれる鉄筋コンクリートの函塊を製作し，進水，据付した後にケーソン内に中詰材を投入する構造物であるため，海上・海中の作業量が少なく急速施工が可能で，施工時の耐波安定性に優れている．また，複数のケーソンを同時に製作することが可能で，大規模施工による効率化が図れる利点がある．このため，ケーソン式防波堤は防波堤整備に最も多く用いられている構造形式である．

ケーソンの製作は，進水が容易に行えるケーソン製作用台船(フローティングドック：FD)を用いるのが一般的であるが，ケーソン１函のみの製作等，施工規模が小さい条件では，FDの回航費や損料等により，ケーソン1函あたりの費用が割高となる場合がある．さらに，ケーソン１函の製作のために，まとまった予算が必要となることから，予算に応じた柔軟な防波堤延伸が行えない場合もある．

施工規模が小さい場合のコスト縮減と予算に応じた段階施工を可能にするため，図-1に示すプレキャスト型枠の一種であるセルラーブロックの連結による防波堤整備を行う連結セルラーブロック工法を開発した．本工法は，陸上製作したセルラーブロックを起重機船等により据付け，型枠内に中詰コンクリートを打設するものである．

本報告では，連結セルラーブロック工法の現地施工を実現するため，耐波安定性を確保するための設計方法およびブロック間の連結方法を検討した．特に，セルラーブロックを段積みする過程で潜堤と同様な没水状態が発生する場合があるので，その波力特性について数値波動水路（CADMAS－SURF）により詳細な検討を行った．さらに，現地施工結果から，施工上の課題とその対応策について報告する．

2. 前提条件

(1) 現地検討箇所

連結セルラーブロック工法の検討は，北海道の日本海側に位置する瀬棚港の東外防波堤を対象にした(図-2)．東外防波堤は，岸壁の稼働率向上のほか，港外からの漂砂流入および港内での海底砂移動の抑止，水産利用のための静穏水域の創出を目的とした施設である．汀線と平行な既設の東外防波堤から直角に波除的な防波堤90mを整備する計画があり，連結セルラーブロック工法の適用を検討した．

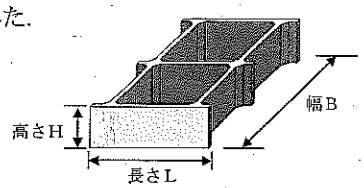


図-1　セルラーブロック

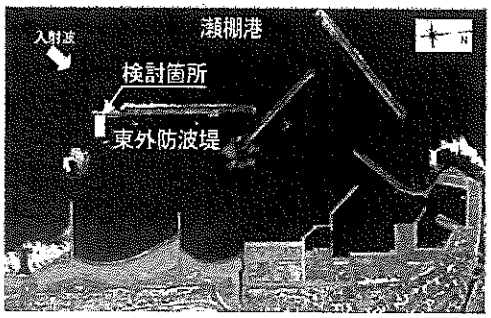


図-2　瀬棚港における検討箇所

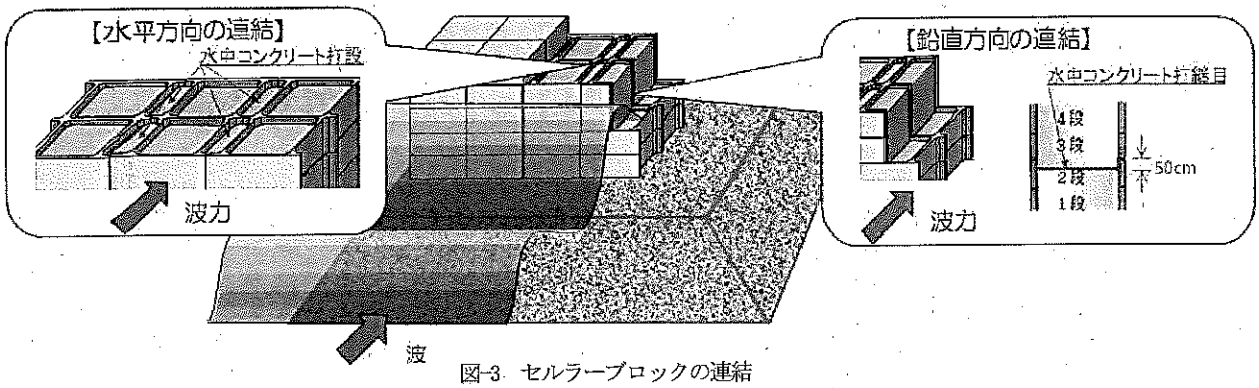


図-3 セルラーブロックの連結

表-1 設計条件

設計供用期間	50年
海底勾配	i=1/100
設計潮位	L.W.L=±0.0m、H.W.L=+0.5m
現地盤水深	-12.9m～-10.7m
設計波	10年確率波 $T_{1/3}$=11.7s、H_{max}=4.5m、$H_{1/3}$=2.9m、β=0° 50年確率波 $T_{1/3}$=14.2s、H_{max}=5.6m、$H_{1/3}$=3.2m、β=0°

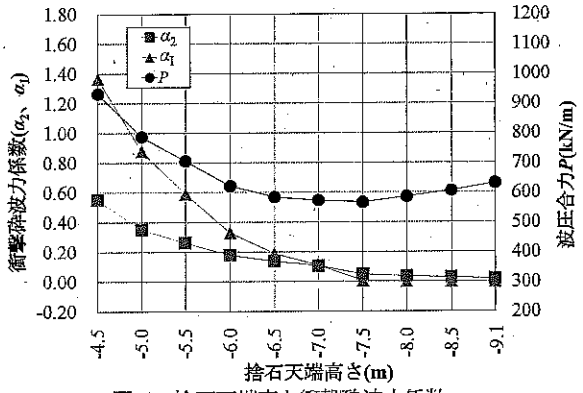


図-4 捨石天端高と衝撃砕波力係数

(2)設計条件およびセルラーブロックの質量

本検討における設計条件を表-1に示す．最大水深は-12.9mであるが，波除的な施設であることから，設計波は50年確率波で$H_{1/3}$=3.2mと比較的小さい．

セルラーブロック1個の質量は，これを吊るクレーンの規格によって制約を受ける．北海道内で在場船数が多い200t吊の起重機船又はクレーン付台船の利用を前提とし，これらの作業船の吊能力を考慮して，セルラーブロックの質量は70t以下とした．

(3)セルラーブロックの連結方法

来襲する波浪に対して長期にわたって防波堤機能を確保するためには，個々のセルラーブロックの一体化が重要となる．廣井勇博士が初代小樽築港事務所長(1897～1908)として設計，施工を指揮した小樽港北防波堤は，斜塊と呼ばれるコンクリートブロックを積み重ねた構造であり，個々のブロックの連結のため，凹凸接合や楔接合が施されている(中村ら[1])．このため，個々のコンクリートブロックが一体となり，強固な構造となっている．100年以上経過した現在においても大きな変位が見られないのは，このようなブロックの連結の工夫の効果も発揮されているためと考えられる．

小樽港北防波堤における斜塊ブロックの連結方法を参考にし，図-3に示すように，セルラーブロックの連結のため，中詰材として水中コンクリートを打設し，上下・左右の一体化を図ることとした．水平方向の連結については，セルラーブロックの袖部に突出壁を設け，隣り合うブロックとの間に水中コンクリートを打設することとした．鉛直方向の連結については，積み重ねたセルラーブロックを水中コンクリートの中詰めにより一体化を図るが，施工量の関係で最上段まで一体化できない場合は，図-3の2段目および3段目に示すとおり，セルラーブロックの天端高と水中コンクリートの打ち継ぎ部に50cm程度の差を設けることで連結する方法を採用した．

3. 防波堤の基本設計

(1) 基礎捨石の天端高

ケーソン式防波堤の基礎捨石の天端高は基礎捨石の最低必要厚により決定するのが一般的である．しかしながら，セルラーブロック工法では，基礎捨石の天端を高くするとセルラーブロックの積み上げ段数が減り，施工性の向上が期待できる一方で，衝撃砕波による波圧合力の増大が問題となる．このため，セルラーブロック工法では，衝撃砕波が発生しない範囲で基礎捨石の天端をできるだけ高くすることが望ましい．

図-4は，捨石天端高を横軸とし，合田式における係数α_2，衝撃波力係数α_1および波圧合力Pの変化を示したものである．天端高が-7.0mより高くなると，α_2よりα_1が大きくなり，衝撃砕波の発生により波圧合力Pが急激に大きくなる．このため，本条件での天端高は-7.0mが限界となる．

なお，今回のケースでは，ハドソン式により被覆材の安定質量を算定したところ，天端高を-7.5mより低くす

ると，被覆ブロックが不要という結果となった．天端高を-7.0mから-7.5mに変化させても，セルラーブロックの高さは変わるものの，後述するブロックの積み上げ段数は変わらないことから，被覆材を不用にできる経済性を考慮して，捨石の天端高を-7.5mとした．

(2)完成時の安定性とセルラーブロックの諸元

表-2 は，図-5 に示す完成時の断面における耐力作用比を示したものである．設計波(50 年確率波)に対する堤体全体の安定性に関しては，各破壊モードの中で支持力が最も厳しいものとなっている．支持力に関する耐力作用比 1.0 を確保するためには，堤体幅を 10.2m とする必要がある．

堤体を構成するセルラーブロックの積み方については，断面方向の一体化が条件で表-2の安定性が確保されていることから，延長方向と鉛直方向に連結することとし，支持力の安定性を確保するため，前述のとおりセルラーブロック幅Bを10.2mとした．

セルラーブロックの高さH，長さLについては，本体工の高さが8.5m(マウンド天端高-7.5m，本体工天端高+1.0m)となることから，クレーンの吊り能力70tとL/Bが1/2程度以上の条件から，鉛直方向に4個連結することとし，H=2.1mおよび2.15m，L=6.5mとした．

(3) 暫定時の安定性

予算の状況に柔軟に対応するため，暫定断面として図-5のセルラーブロックの2段目で打ち止めて，没水状態のまま単年度の施工を終えることを想定する．

a) 波圧分布

暫定時については，今回のケースでは，セルラーブロック２段（-3.25m）まで施工した潜堤状態での安定性の検討が必要となる．中田[2]らによると，水理模型実験の結果，防波堤の天端が低くなると，波圧合力が合田式の値を下回ることが報告されている．このことから，暫定時の安定性の検討を適切に行うため数値波動水路（CADMAS - SURF）を用いた数値計算を実施した．なお、CADMAS - SURFは，自由水面の処理にVOF法を用いたNavier-Stokes式を直接計算するモデルであり，潜堤状態での越波を含めた堤体周辺の流体運動の詳細な再現が可能である．（図-6）

図-7は，数値計算結果と合田式の算定結果を示したものである．完成断面である天端高+3.1mの条件における合田式の波圧分布が黒の実線，数値計算結果を青の実線で示している．静水面以下で数値計算結果が若干小さくなっているものの，波圧の最大値や波圧分布の形状は良く再現されている．また，赤の実線は，潜堤状態となる天端高-3.25mの数値計算結果である．完成断面の青の実線と比較すると，潜堤天端付近の波圧が減少している．これは，完成断面では，波浪がほぼ反射する条件であるが，潜堤状態では越波により波のエネルギーの一部が堤

表-2　完成時の耐波安定性

		耐力作用比	
		H.W.L時	L.W.L時
滑　動		1.286 ≧ 1.0	1.302 ≧ 1.0
転　倒		1.881 ≧ 1.0	1.933 ≧ 1.0
支持力		1.010 ≧ 1.0	1.010 ≧ 1.0
円弧すべり	港外側	—	1.468 ≧ 1.0
	港内側	—	1.388 ≧ 1.0

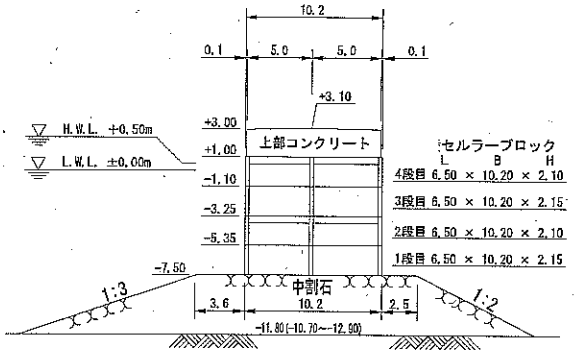


図-5　完成時断面

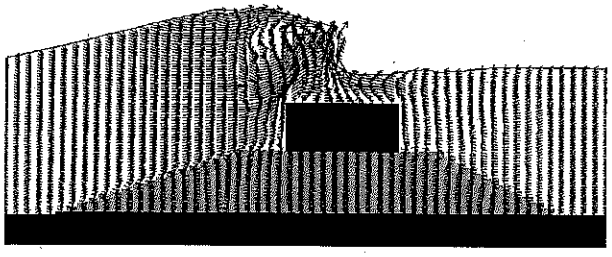


図-6　CADMAS-SURFによる再現結果

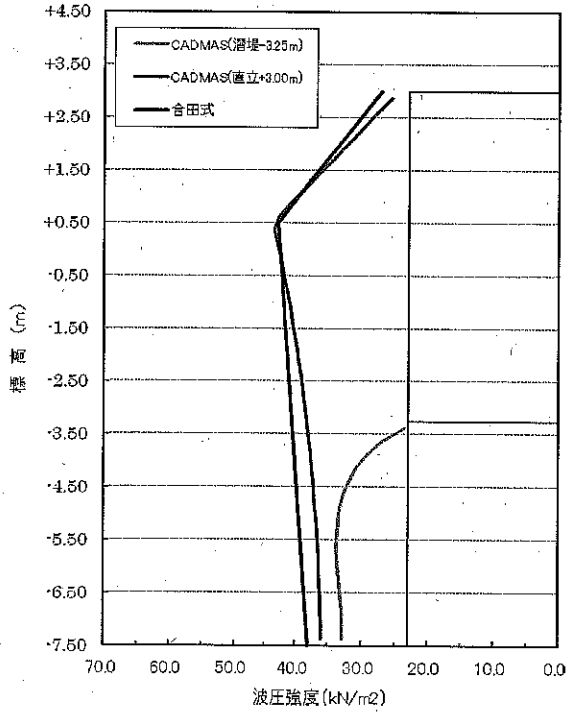


図-7　波圧分布図

体に作用しないためと考えられる．ここで，完成断面の数値計算結果の潜堤天端高-3.25m以深の波圧合力は156kN/m，潜堤状態の波圧合力は135kN/mであり，その比は0.86（波圧低減率）となり，数値計算結果では越波により14%の波圧が減少したことを表している．また，同様に堤体に作用する揚圧力については，波圧低減率が0.77となった．

(b) 耐波安定性

暫定時の堤体の安定性を検討する波圧については，数値計算結果を直接使用するのではなく，安全側を考慮して，完成断面の合田式による波圧に前述した波圧低減率を乗じることにより算定した．

表-3は，上記の波圧を用いた暫定時の耐力作用比を示したものである．L.W.L.時の滑動に関する耐力作用比が一番厳しいものとなっているが，1.0を上回っており暫定時の耐波安定性は確保されている．なお，暫定時で安定性が確保されない場合は，堤体幅を広くするためクレーンの吊り能力70tを越えない範囲で，セルラーブロックの幅Bを長くし，長さLを短くする必要がある．

表-3 暫定時の耐波安定性

		耐力作用比	
		H.W.L時	L.W.L時
暫定時の安定性	滑動	1.330 ≧ 1.0	1.291 ≧ 1.0
	転倒	4.168 ≧ 1.0	4.024 ≧ 1.0
	端部圧 (kN/m²)	66.907 ＜ 500	67.313 ＜ 500
	支持力	2.090 ≧ 1.0	2.062 ≧ 1.0

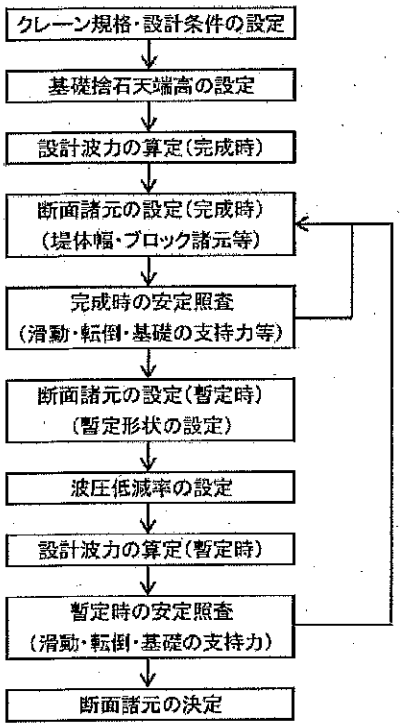


図-8 設計フロー

(4) 設計フロー

前述の検討の結果，基本設計のフロー図を整理すると，図-8のようになる．クレーン規格や完成断面の安定照査から堤体幅やセルラーブロックの諸元等を設定し，数値計算等から潜堤状態の波圧低減率を算出した上で，暫定断面の安定照査により安定を確認して最終的な諸元を決定する．

4. 瀬棚港における現地施工

(1) 従来工法との比較検討

東外防波堤延長90mを対象として，連結セルラーブロック工法とケーソン工法の比較検討を行った．なお，ケーソン式防波堤で1年目にケーソン製作（1函），2年目にケーソン据付（1函）を繰り返す予算規模とした．

検討した結果，1m当たりの概算工費は，ケーソン式防波堤で910万円，連結セルラーブロック工法で770万円となり，15%のコスト削減が図られる．また，工期については，13年が10年と3年短くなった．

経済性や効果の早期発現が確認されたことから，瀬棚港における連結セルラーブロック工法の採用を決定した．

(2) 据付精度の向上

本工法の特徴は，セルラーブロックの連結による防波堤の構築にあるが，個々のブロックの据付誤差が蓄積され，防波堤全体の誤差が大きくなる可能性があることから，海中における据付精度の向上が大きな課題となった。

現地施工では，写真-1のように法線管理用ガイドとしてH形鋼（100H,L=10.0m）をセルラーブロックの隅角部3箇所に設置した．H形鋼先端部にはシールプリズムを貼付け，図-9に示すとおりトータルステーションにより，海中に没水しているセルラーブロックの法線管理を実施した．

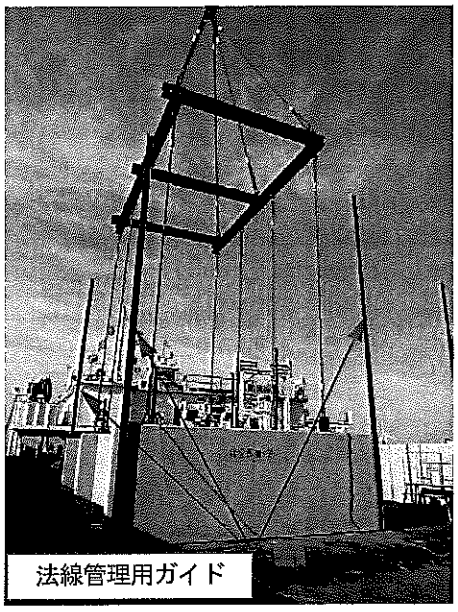


写真-1 法線管理用ガイドの設置状況

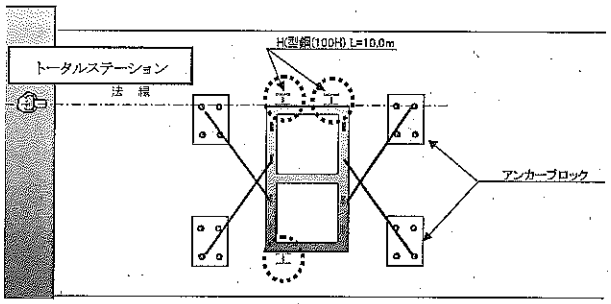


図-9 施工管理概念図

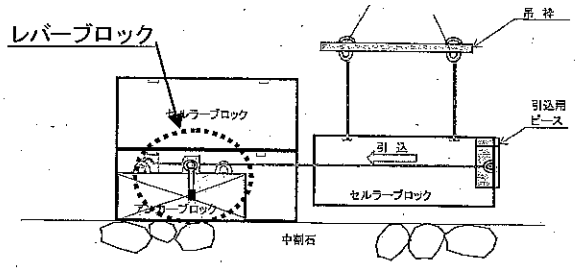


図-10 レバーブロックによる位置調整実施図

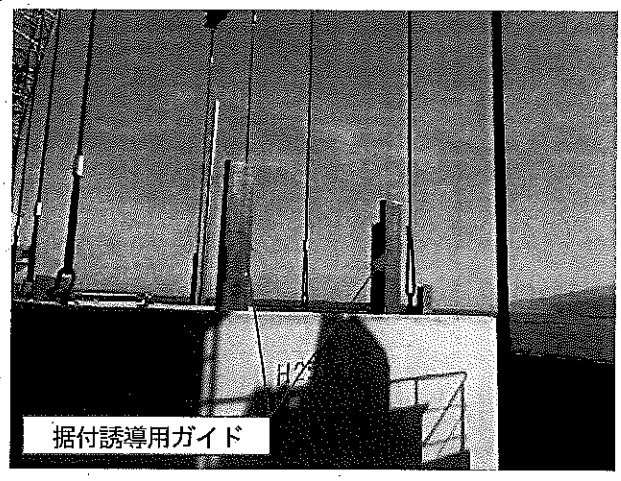


写真-2 ブロック据付誘導用ガイドの設置状況

仮置後，図-9, 10に示すとおり，セルラーブロックの周囲4箇所においてアンカーブロックに取り付けたレバーブロックによる位置の調整を行った．これにより，法線の出入りの規格値±50mmに対して，0～+30mmで管理できた．

さらに，2段目以降の据付け時においては，ブロック据付誘導用ガイド（写真-2）としてW=300mmの溝形鋼をセルラーブロックの側壁部に取付けることにより，ブロックを速やかに据付位置へ誘導することができ，効率的な作業が可能となった．

5. 結論

本研究では，施工規模が小さい場合の防波堤整備を効率的に進めるため，連結セルラーブロック工法を提案した．主要な結論は以下の通りである．

1) セルラーブロックの連結方法として，水平方向にはブロックの袖部に突出壁を設けて隣り合うブロックとの間に水中コンクリートを打設して連結する．また，鉛直方向には，積み重ねたブロックを水中コンクリートの中詰めにより一体化を図ることとした．
2) 潜堤状態においては，越波により波のエネルギーの一部が堤体に作用しないため，潜堤天端付近の波圧や揚圧力が減少することが明らかとなった．
3) 一連の検討から，セルラーブロック工法の設計フローを整理した．基礎捨石の天端高の設定と数値計算の波力低減率を用いた暫定時(没水状態)の安定照査が通常の防波堤の設計とは異なる．
4) 瀬棚港東外防波堤延長90mを対象として，連結セルラーブロック工法とケーソン工法の比較を行った結果，コストは15%縮減され，工期は3年短くなることが明らかとなり，現地施工を開始した．
5) セルラーブロックへの各種ガイドの設置等により，法線の出入りの規格値±50mmに対して，0～+30mmで管理できたことから，海中の作業であっても，高い精度でセルラーブロックの据付や一体化を図ることが可能である．

連結セルラーブロック工法に関しては、検討開始から約1年間という短い期間で，ブロックの連結方法や設計方法の検討を行い，瀬棚港における波除堤の現地施工に繋げた．今後は，瀬棚港での整備を通じて施工方法や課題を整理するとともに，長期的な耐久性について観察していく．さらに，第一線防波堤への適用性の検討を行い，本工法の更なる普及を図っていく．

謝辞：本検討にあたり「北海道の港湾における防波堤整備技術検討委員会」（委員長：北海道大学大学院 横田 弘教授）の委員の方々から貴重なご意見を賜りました．ここに記して，深謝の意を表します．

参考文献

1). 中村弘之，栗田 悟，関口信一郎(2005)：小樽港北防波堤の構造について，海洋開発論文集，第21巻，pp. 13-18.
2). 中田邦夫，寺内 潔，西田仁志，梅木 功(1984)：低天端混成堤の諸特性について，海岸工学論文集，第 31 巻，pp. 532-536

広島空港滑走路における赤外線調査について

堀江　利樹[1]

[1]中国地方整備局　広島港湾・空港整備事務所　保全課　（〒729-0416 三原市本郷町善入寺平岩64-32）

供用中である広島空港の滑走路全域において、アスファルト舗装における層間剥離が発生している範囲を把握するため、空港では採用事例の少ない赤外線調査を実施した。また、その結果について、打音調査及びコア採取調査により赤外線調査の精度を検証した。

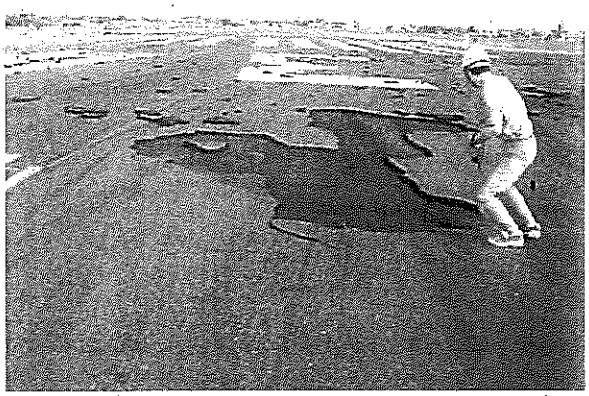
キーワード　広島空港，滑走路，層間剥離，赤外線調査

1. はじめに

広島空港は、1993年10月に滑走路延長2,500mとして開港し、2001年1月には滑走路長を3,000mに延長、開港以来の延べ利用客が6,000万人を突破するなど、中国・四国地方の拠点空港として重要な役割を担っている。一方、本空港の基本施設である滑走路の舗装は、2004～2006年度の補修から約10年が経過し、老朽化が進んでいる。

このことより、2009年度に滑走路のコア採取調査を実施したところ、5カ所全てに層間剥離が確認され、ブリスタリングが起きる可能性が大きいことが分かった。

よって、2011年度に滑走路全域における老朽化調査を実施することとなった。



図−1　ブリスタリングによる損傷事例
（名古屋空港 2000年7月）

2. 現状と課題

滑走路調査を実施するにあたり、供用中の空港であることから限られた時間内での調査、及び広範囲であることより調査データが不足し、適切な補修検討ができないおそれがあった。そのため、短期間に調査することが可能となる調査方法の検討が課題であった。

3. 課題に対する解決策と解決策に至るまでの経緯

層間剥離範囲を把握する調査として、以下の3案を比較検討した。

(1) コア採取調査

実際に層間剥離を目で確認することができ、また、室内試験を実施することで、空隙率、透水係数、引張接着強度、含有水分量の詳細なデータを得ることが可能である。ただし、費用及び工期を考慮すると調査地点数が限られるという欠点がある。

(2) 打音調査

路面をハンマーで叩いた際の反射音から、広範囲の層間剥離を推定することが可能である。ただし、多くの時間と人員を要し、技術者の主観に依存するという欠点がある。

(3) 赤外線調査

舗装表面温度測定装置（熱赤外線カメラ）にて撮影した結果から、短期間に広範囲の層間剥離箇所を推定することが可能である。ただし、空港では採用事例が少ない。

上記3案を比較した結果、層間剥離探査を効率的かつ客観的に実施することが可能である車載式赤外線カメラを使用した「赤外線調査」を採用することとした。



図－2　赤外線計測車両

4. 赤外線調査の内容

広島空港にて実施した赤外線調査の内容について、以下に記載する。

(1) 赤外線の走行観測

赤外線サーモグラフィカメラを車両上部に搭載し、制限速度内（0～40km/h）での走行観測を実施した。

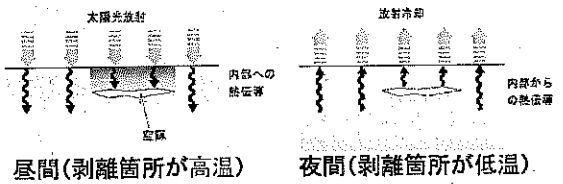
また、車両に搭載したGPSにて、画像撮影の位置座標を同時に取得し、撮影位置を特定した。

(2) 赤外線の分類

調査時では、「中間赤外　波長3.0～8.0μm　周波数38～100THz」に分類される赤外線を使用した。

(3) 赤外線熱計測の原理

舗装内部で損傷が発生して空隙ができた場合に、晴天日の昼間の太陽光による路面の加熱課程時であれば、その空隙中の空気層は周囲のアスファルトよりも早く熱せられる結果、空隙は蓄熱されて周囲よりも高温となる。逆に気温降下に連動する冷却過程時であれば、空隙中の温度低下が早く、周囲よりも低温となる。また、空隙が滞水している場合には、乾燥状態の場合とは逆に、加熱課程時であれば周囲よりも低温となり、一旦加熱された後の冷却過程時であれば周囲よりも高温となる。すなわち、損傷が発生している箇所（空隙、滞水）では、温度平衡状態の場合を除き、温度の相対的な表出状態が反対になる。



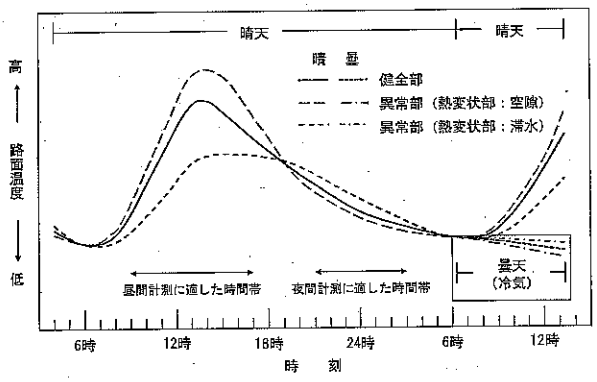
図－3　赤外線熱計測の原理

(4) 赤外線観測の時間帯及び天候

調査は、2011年8月9～11日の３日間で実施した。

供用中の空港施設内での調査であるため、調査は夜間計測（広島空港の場合は22:00～7:00であった。）に限られる。夜間計測は昼間計測と比較し、路面温度変化が小さいため、調査は少しでも路面温度変化が現れる晴天日に実施した。

なお、一般的に赤外線観測は、路面温度の日変化特性を利用して損傷箇所を推定する方法であるため、日の出・日没前後の温度平衡状態を避けて計測を実施するのが望ましい。

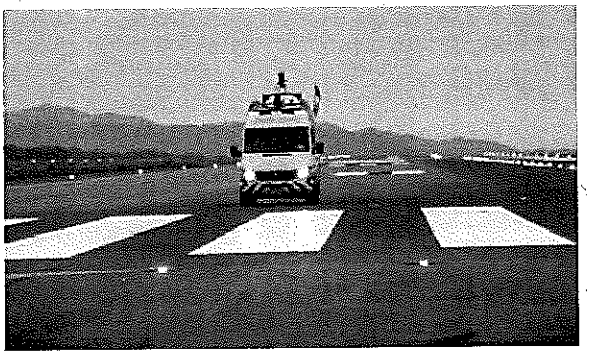


図－4　路面の健全部と異常部（熱変状部）における放射温度の模式的日変化

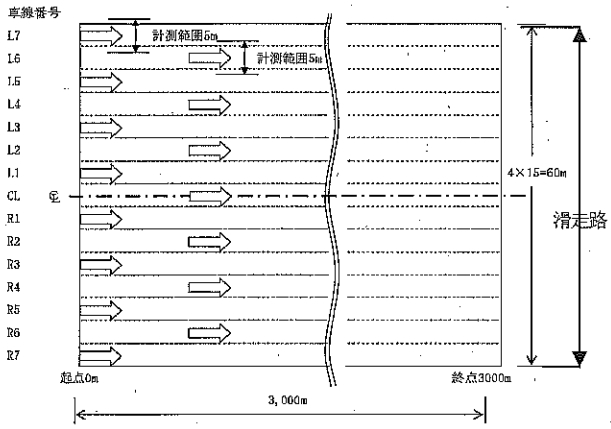
(5) 計測方法

滑走路中心線に沿って、幅員4mの仮想車線を15レーン設け、車線単位に起点から終点に向かって車両を走行させ、現地距離4mで赤外線計測を実施した。1回の走行で計測された画像の計測範囲を幅員5mとし、左右50cmずつラップ区間を設け計測漏れのないように走行した。

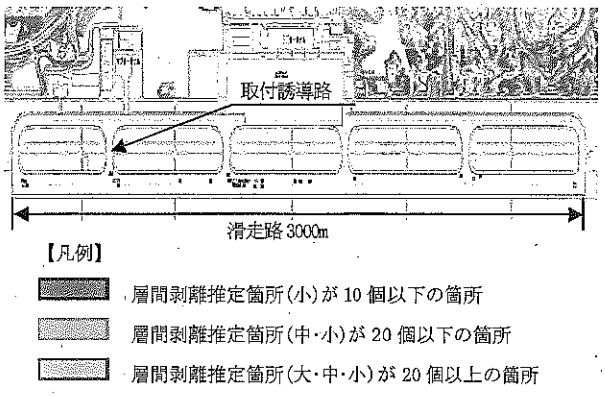
なお、作業開始時間から終了時間までの間で健全部と異常部の温度差に変化が生じることが想定されるため、時間帯を変えて2回実施した。



図－5　走行観測の現地作業状況



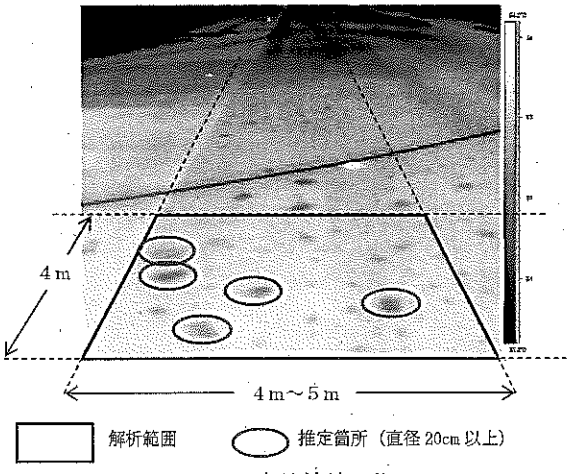
図－6　走行観測の走行レーンイメージ



図－8　層間剥離推定箇所平面図

(6) 赤外線熱画像の解析

赤外線熱画像1枚ごとに奥行き4mの範囲を解析エリアとし、舗装表面温度が周囲よりも低い箇所を大きさ、発生量で分類し層間剥離箇所推定した。なお、大きさは直径20cm（大）、10～20cm（中）、10cm未満（小）の3区分に分類した。



図－7　赤外線熱画像

(7) 赤外線調査結果

本調査結果により、層間剥離推定箇所は滑走路中心線付近と取付誘導路付近に多く発生していることが確認できた。これは、減速・カーブ等により航空機のタイヤに制動がかかることで、層間剥離を誘発しているものと思われる。明瞭な面的損傷推定箇所（層間剥離推定箇所が無数に面的に発生している箇所）が確認できた箇所もあり、大規模な層間剥離に繋がるおそれがあることが分かった。

5. 技術の活用後の評価

赤外線調査における層間剥離推定箇所について、比較検討した調査にて、層間剥離箇所の確認を実施した。

(1) 打音調査

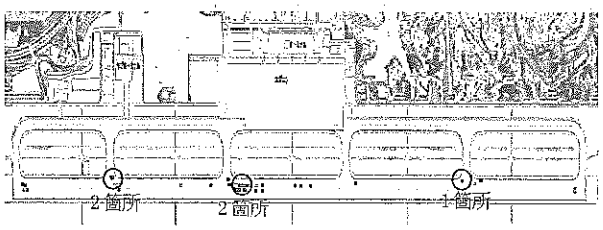
赤外線調査における層間剥離推定箇所について、打音調査での確認を実施した。その結果、層間剥離推定箇所の大きさが10cm以上であれば、約93%の的中率で異音が確認できた。異音が確認できなかった箇所は、層間剥離推定箇所が深いのか、大きさが小さかったためと思われる。



図－9　打音調査作業

(2) コア採取調査

層間剥離推定箇所のうち、5箇所を選定し、1箇所あたり3本（合計15本）のコア採取を実施した。この結果、15中12本の供試体で層間剥離を確認することができた。

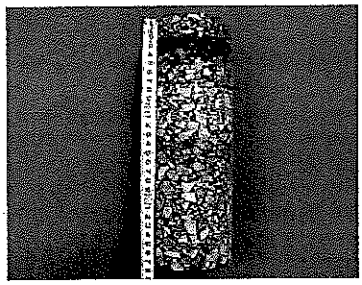


【凡例】　○　コア採取箇所

図－10　層間剥離箇所とコア採取箇所の平面図



図－11　コアボーリング作業



図－12　層間剥離が確認できた供試体

本結果により、赤外線調査は作業所要時間を大幅に短縮するだけでなく、層間剥離箇所を高い精度で推定できるため、打音調査及びコア採取に係わる回数が必要最小限に抑えられるため、コスト縮減が図れる。

6. 今後の課題とその改善方策（案）、調査結果の活用

赤外線調査は、層間剥離の有無を熱容量の相違でもたらせる温度変化として赤外線カメラにて感知することにより、外観では見えない内部損傷を検出する手法である。しかし、温度変化を感知するシステムであるため、季節や天候の影響を受けやすい。よって、今後、季節や天候にも影響されず、微少な温度変化を感知することが可能となるような赤外線カメラの機能向上が期待される。

なお、今年度より層間剥離に伴う老朽化対策として、滑走路及び誘導路の切削、オーバーレイを実施する計画である。

謝辞：本論文を作成するにあたり、ご協力頂いた皆様に感謝致します。

参考文献

1) 報告書：2011年度　広島空港滑走路路面調査.
2) 前川亮太、蘇凱、水上純一、坪川将丈（2009）：空港アスファルト舗装剥離の非破壊探査方法の提案、港湾空港技術研究所報告、Vol.48、No.4.

急流河川における「巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工」の効果検証

徳島美幸[1]・丸山和基[2]・今井克治[3]

[1]国土交通省北陸地方整備局　富山河川国道事務所　調査第一課（〒930-8537 富山県奥田新町2-1）
[2]国土交通省北陸地方整備局　富山河川国道事務所　調査第一課長（〒930-8537 富山県奥田新町2-1）
[3]国土交通省北陸地方整備局　富山河川国道事務所　調査第一課　河川調査係長
（〒930-8537 富山県奥田新町2-1）

常願寺川では，既設護岸沿いに流れが集中するために下流砂州が侵食され，流路が河岸際に固定されたまま下流へ延伸することが確認されている．その対策として，巨礫により砂州上流部分を保護する“巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工”を設置したところ，洪水の主流を河岸際から離し滑らかに河道中央へと導くことが確認された．また，環境モニタリング調査結果から，自然環境にも配慮された工法であることが確認された．

キーワード　急流石礫河川，河床洗掘，砂州，河岸防護工

1．はじめに

常願寺川は，我が国有数の急流石礫河川であり，洪水時は，その大きなエネルギーにより，河床変動や河岸洗掘量が大きく，また，不規則な河道線形や河床状態の影響を受けて偏流しやすいため，河岸侵食，河床洗掘による破堤氾濫の危険性の高い河川である．これまでは，被災河岸に対し，根継護岸などコンクリート護岸を主体とした対策を実施してきており，護岸により河岸侵食に対する安全性を向上させてきた．しかしながら，護岸を主体とした対策工は，流路が護岸際に固定化し，結果として，護岸前面で流速増大による河床洗掘をもたらした．さらには，護岸下流の砂州が侵食・縮小化し，洪水の主流が堤防から離れず，流路が河岸際に固定されたまま，下流側河岸沿いに進行することになるため，護岸の下流への延伸が必要となる場合が多い[1]（図-1）．このような状況から，これまで急流河川対策として実施してきた護岸対策は，側方侵食には強いという利点はあるが，この対策のみでは十分な対策であるとは言い難いことが分かってきた．そこで，富山河川国道事務所は中央大学研究開発機構と共同で平成16年度より常願寺川現地実験を実施し[2),3)]，「巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工」を開発した．平成23年度には，現地に常願寺川の実際の澪筋と見立てた実験水路を造成し，「巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工」の効果を検証した[3)]．

本論文では，「巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工」の河道計画における位置付けを紹介し，平成24年度に常願寺川で施工した巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の施工状況について報告を行うとともに，河岸防護工設置後発生した出水におけるモニタリング結果及び平成25年度に実施した環境モニタリング結果から，本工法の治水・環境双方の観点からみた効果検証を行った．

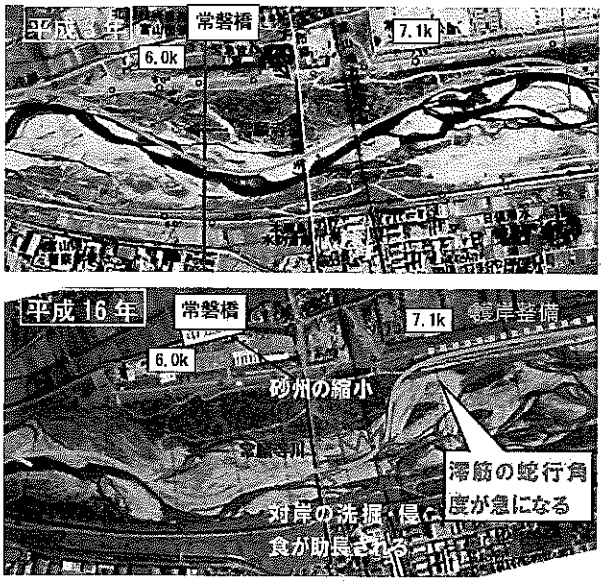


図-1　航空写真による澪筋の変遷（常願寺川 6.0k～7.1k）

2．巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の河道計画における位置付けと施工箇所の選定

(1) 河道計画における位置づけ

急流河川の望ましい河道づくりとは，河岸沿いに縦断的，連続的に形成された自然砂州によって洪水の主流が堤防から離れ，河岸の洗掘・侵食が軽減するように洪水流が流下する河道構造を維持できることである．

巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の考え方は，次のとおりである．図-2のように護岸のみの場合には，護岸際に流れが集中する結果，護岸沿いに流路が下流に延伸し，下流部の砂州を広い範囲で消失させることになり，河岸を守るためには，下流に延々と護岸を延長しなければならない．しかし，図-3のように，河岸沿いに存在する砂州を保全または回復させ，砂州上流端の水衝部となる部分に河道内の巨石を配置した場合には，砂州が連続した水制のように作用し，洪水流を滑らかに河道中央に寄せることによって，堤防は洗掘・侵食から守られると考えられる．

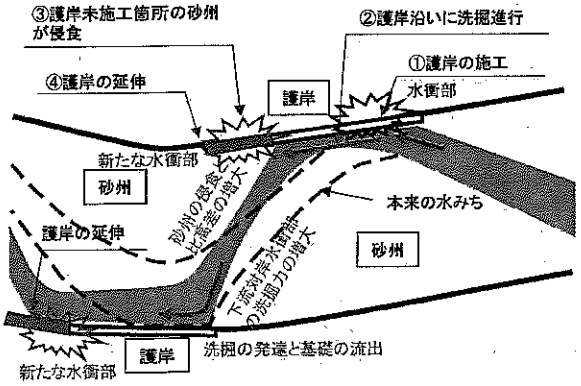


図-2　護岸施工による砂州の侵食による流路の延伸

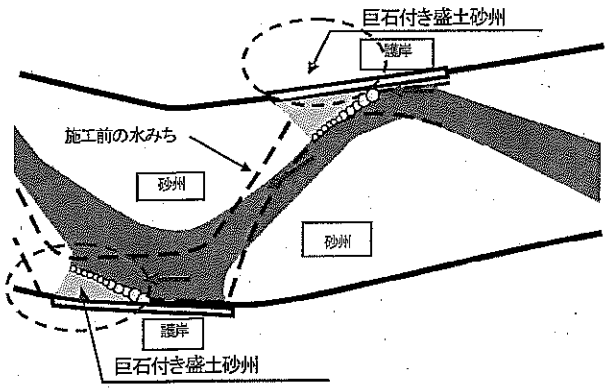


図-3　巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工による水衝部対策

常願寺川では巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工を河道計画に位置づけるにあたって，流量規模によって河岸防護の考え方を変えている．中小洪水（高水敷が冠水する程度の流量規模）では，流れは川底の形状に支配され，蛇行を伴うため，河岸際には洗掘・侵食の力が最も強く作用する．この場合には，巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工により流路を河岸から離すことで，河岸を防護する．それ以上の規模の洪水については，洪水流は堤防の法線で決定されるため，常願寺川では直進性をもった流れとなることから，堤防と護岸により河岸を防護することで考えている．

(2) 全体計画の策定と施工箇所の選定

巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の計画は，航空写真や横断データから経年的な河道の変化を把握し，澪筋の滑らかさや適切な川幅が確保されている年代を目指すべき河道形状として設定する．常願寺川では，過去の航空写真などから，平成3年頃の河道を目指すべき河道として設定した．

対策必要箇所は，現況の澪筋や砂州の分析，平面二次元河床変動計算等を用いた予測結果から抽出し，河川全体の流れに着目して適正な位置を決定する．図-4に常願寺川での必要箇所を抽出した全体計画を示す[4]．これらは，次に示す着目点から選定している．

■必要箇所抽出の着目点
- 河岸沿いに砂州の侵食が進行している箇所
- 澪筋が急激に湾曲しており，是正が必要な箇所
- 平面二次元河床変動解析結果から，河岸際で高速流の発生，洗掘が予測される箇所

上記の着目点により，平成24年度には，右岸9.2k，右岸11.7k及び右岸13.5kの3箇所で本施工を実施した．

(3) 施工目的別の分類

巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工は，実施の目的により大きく次の3つのタイプに分類される．

a)　澪筋の改善

現状で，澪筋が河岸際に固定されており，砂州が大きく侵食されている箇所については，砂州の造成を行い，澪筋を改善する．なお，常願寺川では右岸9.2k，右岸11.7kにおいて本タイプの考え方で施工しており，盛土砂州の高さは，平均年最大流量規模相当としている．

b)　現況砂州の保全

砂州が存在しているが，流路が河岸際を走り始めている箇所については，現況の砂州を活かす形での施工を行う．

なお，常願寺川で本タイプの考え方で施工された右岸13.5kの盛土砂州の高さは平均年最大流量相当より少し低い現況砂州と同等の高さとしており，砂州の天端が適度に冠水することによって，より自然に近い景観が創出されることも期待している．

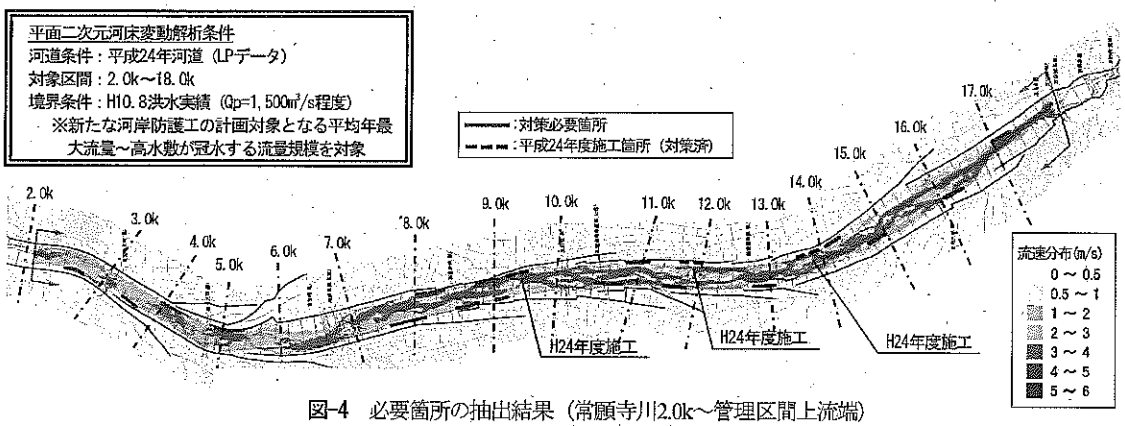


図-4　必要箇所の抽出結果（常願寺川2.0k～管理区間上流端）

c) 護岸沿いの流路発達の未然防止

護岸がない箇所については，新たな護岸を施工する際，併せて本工法を施工することにより，護岸沿いに流路が発達することを未然に防ぐ．

3．巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の設計

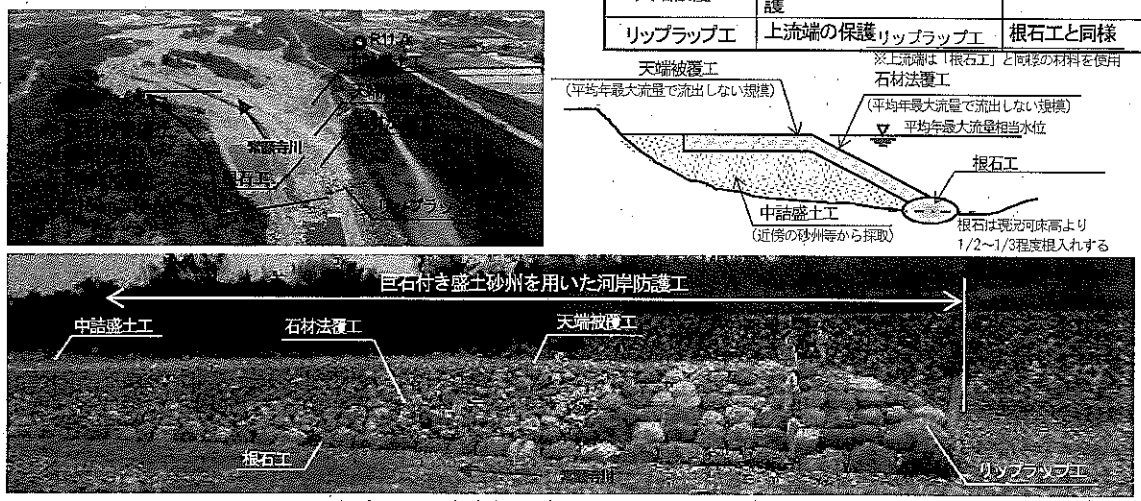
(1) 基本構造

以下に新たな河岸防護工の設計時の考え方を示す．また，図-5に新たな河岸防護工の概要を示した．

a) 平面形

水はね効果が機能し主流を滑らかに河道中央に導くことができる法線となるよう設計する．法線は，目指すべき河道の姿を参考に曲率をできるだけ大きく確保する．

常願寺川では，河岸際の砂州により滑らかな澪筋線形が形成されている平成3年の河道を目指すべき姿と定めている．この時の澪筋の曲率がR500～800mであることから，R800mを法線の曲率とした．



名称	目的	部材の大きさ
根石工	河岸防護工を安定させる	計画高水流量で安定する粒径
中詰盛土工	直接流水にさらされないが，背後からの供給土砂となる	近傍の砂州や発生土とする
石材法覆工	水際部の法面保護	平均年最大流量で流出しない粒径
天端被覆工	洪水流の乗り上げに対する防護	
リップラップエ	上流端の保護	根石工と同様

※上流端は「リップラップエ」と同様の材料を使用

表-1　各部材の役割と推奨材料

図-5　新たな河岸防護工の概要（常願寺川右岸11.7k付近）

b) 縦断形

縦断形状は滑らかに水を流下できるように凹凸を少なくして，水衝部とならないようにする．常願寺川では，新たな河岸防護工を設置する区間の計画高水勾配と同じ縦断勾配としており，1/70～1/100の勾配で設計した．

c) 横断形

横断形は，図-5に示した通りである．天端幅は，10m確保することで，自然河岸のように変形に追随できるようにしている．また，法面勾配は3割以上で極力緩く設定するものとした．なお，天端高は，対象流量である平均年最大流量相当水位程度としている．

d) 使用材料

使用材料は，工種に応じて適切な粒径の材料を選択し，盛土砂州全体の安定化を図らなければならない．表-1に各部材の役割と推奨材料を示す．

e) 設置延長

設置延長は，水理解析により効果を検証して設定することが望ましい．常願寺川では，石礫河川の二次元河床変動解析により河床状況の変化を予測した上で，安全率

1.5を見込んだ延長150mで施工した.

4．治水上の観点から見た巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の効果検証

(1) 平成24年～平成25年の出水概要

本施工が実施された平成24年6月以降発生した出水は，表-2に示す7出水である．このうち，天端が冠水した出水は平成24年7月7日，平成25年6月19日，8月23日，9月16日となっている．また，平成25年は繰り返し出水が発生したことが特徴的である.

表-2　河岸防護工設置以降の出水（H25年出水の流量は速報値）

NO	発生日	粗岩 ピーク流量	天端冠水 の有無
1	H24.7.7	440.0m³/s	有り
2	H25.6.19	438.9m³/s	有り
3	H25.7.27	316.6m³/s	無し
4	H25.7.29	413.2m³/s	無し
5	H25.8.1	344.0m³/s	無し
6	H25.8.23	444.3m³/s	有り
7	H25.9.16	432.9m³/s	有り

(2) 治水上の観点から見た巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の効果検証（右岸11.7kを例として）

a) 出水時モニタリング調査結果による効果検証

図-6に平成24年7月出水と平成25年6月出水の状況を示す．いずれの出水も，平均年最大流量よりも小さい流量であったが，巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の天端を洪水が流下した.

平成24年7月出水時の状況をみると，主流は根石ラインに沿って滑らかに河岸を離れ，河道中央に寄せられている．このことから，巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の機能である主流の制御効果が発揮されていることが確認できる.

また，平成24年7月出水と平成25年6月出水の写真を比較すると，平成25年6月出水の写真の方が、水面の乱れが小さいことが確認出来る．これは、川底の形状に支配された蛇行を伴った流れから直進性の高い流れに移行した状況と考えられ，最も水衝作用の強い，低水路満杯流量からそれをやや超える規模であったことが想定される.

この条件下においても，主流を滑らかに河道中央部に導き，出水後にも群体としての安定が確認できたことから，巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の効果は，最も水衝作用が強い段階でも発揮されることが，本施工でも検証されたと考えられる.

b) 澪筋の是正効果

図-7に，施工前、施工直後、平成25年6月出水後の垂直写真を示す．施工直後の写真では、澪筋はまだ急な角度で蛇行していることが確認できるが，平成25年6月出水後の写真では，澪筋は滑らかに是正され，河道中央に導かれているのが分かる．巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工は、中小洪水の侵食作用を受けて澪筋を滑らかなものに是正するという特徴も持っているが，これらの写真からも，その効果については確認出来たと考えられる.



図-6　平成24年7月出水(写真上)と平成25年6月出水(写真下)の状況(常願寺川右岸11.7k付近)



図-7　施工前～施工直後～出水後の河道の変遷
(常願寺川右岸11.7k付近)

5．環境上の観点から見た巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の効果検証

(1)常願寺川の自然環境の特徴

常願寺川の礫河原では，洪水による撹乱と再生が繰り返されており，そのような河原を生息地とするアキグミが数多く分布している．魚類では礫底を好むカジカやアジメドジョウ，アユ，ウグイなどが生息している．外来種の植物としては，ハリエンジュが上流域に広く分布しているが，魚類は特定外来生物に指定されているブラックバス・ブルーギルが確認されない貴重な河川となっている．

上記の常願寺川の特徴を踏まえ，本工法の環境上の観点から見た目標としては，植物に関しては河原指標種であるアキグミの植生状況が工事を実施していない他地点（比較対象区）と同様であること，外来種に関しては過去の河川水辺の国勢調査（植物調査）で確認された種以外の新たな外来種の侵入が見られないこと，魚類に関しては常願寺川の礫河床に生息する魚種が多く確認できることとする．

(2)環境モニタリング調査の概要

a)植物調査

巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工における植生の生育状況を把握することを目的として平成25年7月30日～31日に植生調査を行った．また，植生調査を補完し，植生の生育するプロセスを映像記録として残すことを目的として定点写真撮影も併せて行っている．

b)魚類調査

巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工によって形成される河床状況の環境効果を把握することを目的として平成25年10月2日～4日に魚類調査を行った．調査においては，調査環境と既往調査結果の確認種を踏まえ，「投網」「タモ網」「サデ網」「はえなわ」を採用した．また，比較対象区として，コンクリート護岸前面を設定した．

(3)環境上の観点から見た巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の効果検証（右岸13.5kを例として）

a)植物調査

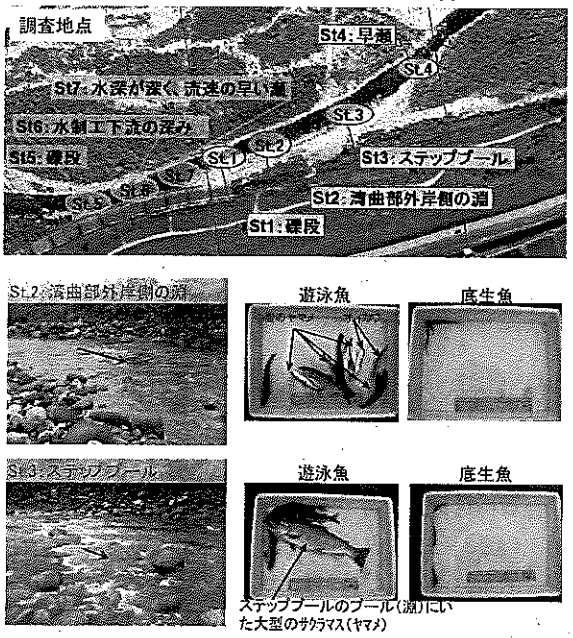
現地調査の結果，アキグミをはじめとする河原指標種 3 種を確認した．同様の植物が比較対象区でも確認されていることから，現地材を用いて形成されている巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工では，その河川の特徴を反映した植生の繁茂が期待できると考えられる．その傾向は外来種に関しても同様であるが，今回の調査では，常願寺川で新たに確認された外来種はなかった．

また，河床材料調査の結果として，巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の天端が冠水した出水により，天端には細かい粒径の土砂が貯まることが確認された．今後はこれらの土砂から植物が生えることにより，細かい粒径の土砂が捕捉され，植生が繁茂することが考えられる．

b)魚類調査

図-8 に右岸 13.5k の魚類調査結果と横断重ね合わせを示す．この図より巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工は，傾向として，リップラップ側面には淵が形成されやすく，下流側には瀬が形成されやすいことが分かる．湾曲部外岸側の淵（St.2）では小型魚が多く見られ，ステッププール（St.3）のプール部では大型魚，その他には，礫底を好むアミメドジョウも確認された．

巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工においては，対象区（St.5,6,7）と比較して確認種数が多く，河川の流れとの関係から瀬・淵・ステッププール・礫段といった多様性のある環境が創出されていたことが分かった．



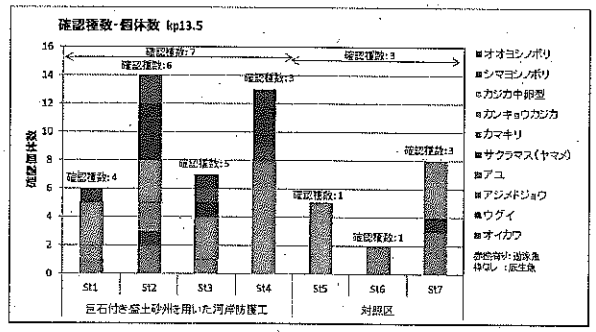


図-8　右岸13.5k河岸防護工地点での魚類調査結果と横断重ね合わせ

6．石礫河川の二次元河床変動解析による考察

(1)　石礫河川の二次元河床変動解析

常願寺川では，新たな施工箇所や河床変動等を反映した全体計画の見直しや，巨石付き盛土砂州周辺での土砂の挙動を把握するために，河床変動解析のモデルを構築して検討を行っている．検討にあたっては，礫径が大きい常願寺川の土砂移動・河床変動を精度良く再現できる長田・福岡[5]の石礫河川の二次元河床変動解析法を用いたモデルとしている．

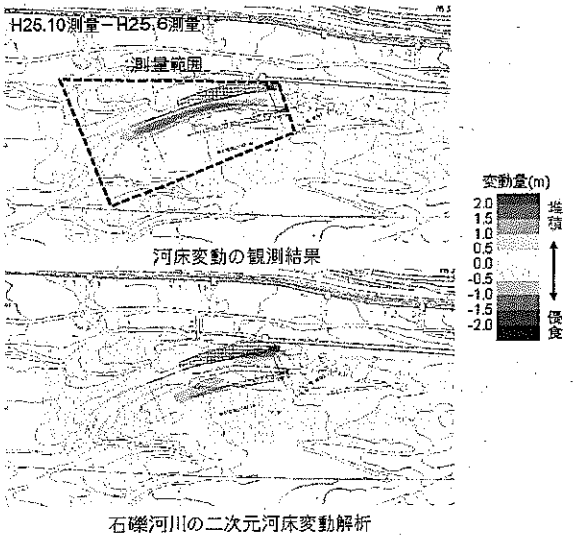


図-9　河床変動の観測結果と
石礫河川の二次元河床変動解析結果

図-9に河床変動の観測結果と石礫河川の二次元河床変動解析結果の比較を示す．対象出水は，繰り返し出水があり，かつ出水前後の横断測量成果が得られている平成25年7月～9月の出水(表-2参照)とした．また対象区間は，右岸11.7kの河岸防護工を含めた11.3k～12.2kとしている．解析による河床変動量は，観測結果と比較すると，水路全体の変動傾向は捉えられている．特に，リップラップ工前面の洗掘深とその周辺の堆積は，観測結果を良く表現していると考えられる．

(2)　瀬・淵の形成要因の推定

図-9に示されたように，巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工では，リップラップ側面には淵が形成されやすく，下流側には瀬が形成されやすい．コンクリート護岸では，流れも直線的で，河岸からの土砂供給も無いことから淵のみが形成されやすい傾向があるのに対し，巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工では，出水期間中の澪筋の湾曲に伴う二次流の影響を受けていると想定されること及び巨石付き盛土砂州からの適度な土砂供給が行われることによって土砂の堆積が促され，淵のみではなく瀬も形成されやすくなる傾向がある．魚類調査においては，こうして生み出される，変化に富んだそれぞれの環境に適した魚が生息していたために，対象区よりも多くの魚種が確認できたと考えられる．

7．おわりに

治水の観点から見た効果として，平成25年度には，巨石付き盛土砂州を用いた天端が冠水する出水を3度経験し，これらは複断面蛇行流れにおいて，河岸際に洗掘，侵食の力が最も強く作用する厳しい水理条件であるにも係わらず[6]，いずれの出水においても洪水の主流は滑らかに河道中央部に導かれており，期待した機能が発揮されていることが確認された．また，本工法前面の澪筋だけでなく，本工法下流の澪筋も滑らかに改善されたことも垂直写真等で確認された．

一方，環境の観点から見た効果として，本工法が現地材を使用して施工していることにより，天端に常願寺川らしい植生が繁茂しつつあることが植生調査によって確認された．また，出水を繰り返し経験することで，本工法の前面の低水路区間では，連続した瀬・淵が形成され，小型魚から大型魚まで様々な種類の魚類の生息が可能となる多様性のある環境が創出されていることが確認された．これらのことから本工法は，治水機能だけでなく，自然環境にも配慮された工法であることが確認された．

参考文献

1)長田健吾，安部友則，福岡捷二：急流礫床河川における低水路護岸沿いの深掘れ流路形成とその特性，河川技術論文集，第13巻，pp.321-326，2007.

2)澤原和哉，須賀正志，安部友則，福岡捷二：急流河川における巨石を用いた新たな河岸侵食対策の立案と検証，河川技術論文集第15巻，pp109-114，2008.

3)小池田真介，石井陽，岩井久，石川俊之，福岡捷二：水衝部対策を施工した砂州による自然性の高い河岸防護工の創出，河川技術論文集，第18巻，pp.233-238，2012.

4)長田健吾，福岡捷二，氏家清彦：急流河川における砂州を活かした治水と環境の調和した河道計画，河川技術論文集，第18巻，pp.227-232，2012.

5)長田健吾，福岡捷二：石礫河川の河床高移動機構と表層石礫の凸凹分布に着目した二次元河床変動解析法，土木学会論文集B1（水工学），vol.68，No.1，pp.1-20，2012.

6)福岡捷二：洪水の水理と河道の設計法，森北出版，2005.

海岸堤防復旧工事での盛土材調達の取組み

小野　伊佐緒[1]・宍戸　博文[2]・金子　俊秋[2]

[1]東北地方整備局　仙台河川国道事務所　海岸課　（〒982-8566 宮城県仙台市太白区あすと長町4-1-60）

[2]東北地方整備局　仙台河川国道事務所　仙台海岸出張所　（〒989-2435 宮城県岩沼市阿武隈1-2-16）.

宮城県仙台市から福島県境にわたる仙台湾南部海岸では、東北地方太平洋沖地震による大津波によって甚大な被害に見舞われ、海岸堤防の機能は失われた。このため、現在東北地方整備局では延長約30kmにわたる海岸堤防復旧工事を進めている。他方、堤防背後の沿岸域での被害も甚大であって、沿岸自治体では大量のがれき・津波がもたらした堆積物などの災害廃棄物（以下「震災がれき」という。）が生じ、これら処理を迅速に進める必要があった。こうした背景の下、本海岸堤防復旧工事では震災がれきを盛土材として積極的に活用を図る盛土材調達の取組を行っており、全国に先駆けた取組であることから、本稿にて報告を行うものである。

キーワード　震災復旧、震災がれき、盛土材料

1. はじめに

仙台湾南部海岸は、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による大津波によって、第一線堤である海岸堤防が決壊・流失するなどの甚大な被害に見舞われ、その機能を失った。このため、東北地方整備局仙台河川国道事務所では、発災直後に宮城県知事から仙台湾南部海岸復旧の緊急要請（2011年3月30日）を受け、延長17.8kmを権限代行区間（2011年5月9日告示）とし、直轄区間と合わせて約30kmにわたる海岸堤防復旧事業（以下「本事業」という。）を進めている。これら堤防の復旧工事を行うのにあたっては、盛土材約130万m^3をはじめ多くの資材を調達し進める必要がある。

他方、仙台湾南部海岸沿岸市町（３市２町）における大津波による浸水面積は約170km^2におよび、沿岸域は壊滅的な被害を受けた。このため沿岸市町では大量のがれき、津波がもたらした堆積物（以下「津波堆積土」という。）といった災害廃棄物が発生し、その処理を迅速に進めることが被災地の復旧・復興の上で極めて重要であった。これら処理は仙台市にあっては仙台市が、その他市町にあっては被災市町から受託した宮城県が処理を進め、2014年3月に処理を完了させている。

以上の背景の下、本事業では震災がれきを盛土材として積極的に活用をはかるものとした。このことにより、盛土材を安定的に調達し運搬車両縮減による交通混雑抑制を図るとともに、被災自治体の震災がれき処理推進と処分量縮減に貢献することを期待したものである。本稿では、こうした盛土材の活用方法を主体に、本事業における盛土材の調達の取組みについて報告するものである。

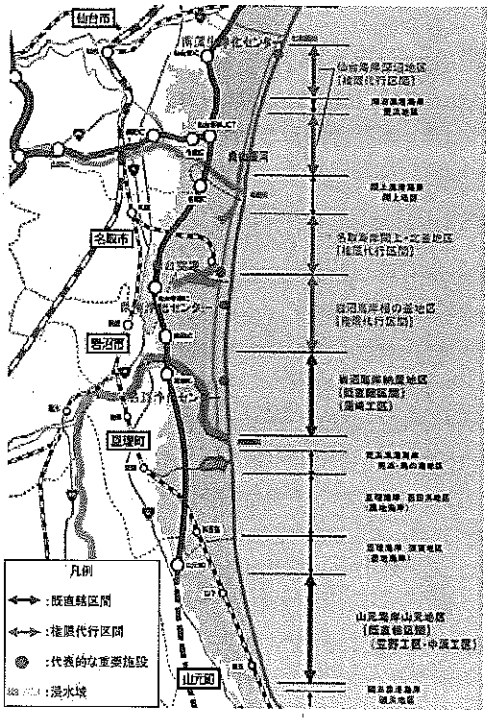


図-1　仙台湾南部海岸の概要

表-1　関係沿岸市町被害状況（2014年9月10日現在）[1]

市町名	住家被害				非住家被害
	全壊（床上浸水含）	半壊（床上浸水含）	一部損壊	床下浸水	
	棟	棟	棟	棟	棟
仙台市	30,034	109,609	116,046	調査中	調査中
名取市	2,801	1,129	10,061	1,179	2,805
岩沼市	736	1,606	3,086	114	3,126
亘理町	2,389	1,150	2,048	274	3,020
山元町	2,217	1,085	1,138	31	339
3市2町計	38,177	114,579	132,379	調査中	調査中

2. 震災がれき活用要件

関係自治体では、環境省の助言[2]に基づき、次の要件を満たす場合に災害廃棄物を再生資材として活用できるとしている。ここで、②は土壌汚染対策施行規則別表第三及び第四に掲げる特定有害物質の種類に応じた要件を満たすことを、③は飛散流出・水質汚濁・ガスの発生などを生じるおそれがないことを意味し、①から⑤にある処置・処理・確認については関係自治体が、⑥の記録は仙台河川国道事務所で記録し、関係自治体と記録を共有・保存している。

① 災害廃棄物を分別し、又は中間処理したものであること。
② 他の再生資材と同様に、有害物質を含まないものであること。
③ 他の再生資材と同様に、生活環境保全上の支障を生じるおそれがないこと。
④ 復旧復興のための公共工事において再生資材として確実に活用されること。
⑤ ④の公共工事を行うものが定める構造・耐力上の安全性等の構造物が求める品質を満たしていること。
⑥ ④の公共工事を行う者によって、災害廃棄物由来の再生資材の種類・用途・活用場所等が記録・保存されること。

3. 震災がれきの活用方法

本事業では、震災がれきの内、コンクリート殻を骨材化し堤体を覆う被覆ブロックの裏込材等に、津波堆積土を堤体盛土材に、それぞれ再生資材として活用を図るものとした。しかしながら、津波堆積土は細かい土粒子を多く含むため、品質や施工性の観点からそのままでの活用には問題がある場合がある。そこで、出来上がり品質とともに、施工上の要求品質を以下のとおりとし、図-3に示すフローにて検討を行い、これら要求品質を満足するようコンクリート殻を混合することで材料の調整をはかり、施工ヤードや混合比率などの条件から効率的な混合方法を決定し、活用することとした。なお、混合する際のコンクリート殻は、骨材化して用いている。

① 出来上がり品質
締固め度90%以上ですべり安定の計画安全率（地震時 $F_{sa} \geq 1.00$ ）を満足する土質（ c, ϕ ）であること。
② 施工上の要求品質
タイヤローラによるトラフィカビリティ（ $q_c = 800\ kN/m^2$ ）を確保できること。

以降、再生利用の要請を受けた3市町について、仙台市を中心に検討過程を含めた活用事例を記す。

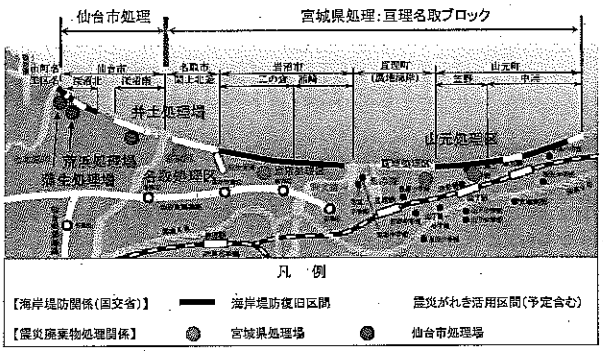


図-2 活用箇所位置図

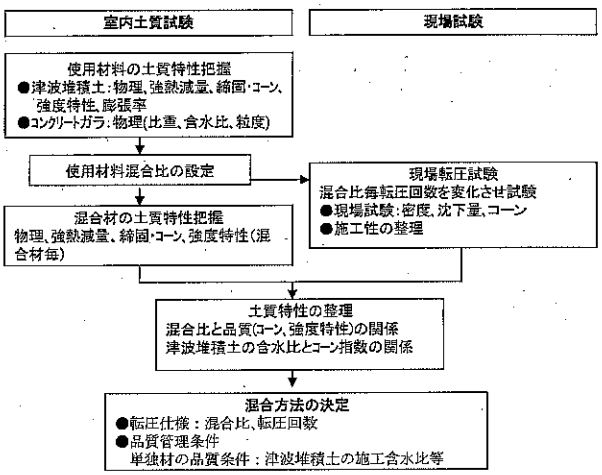


図-3 活用方法検討フロー

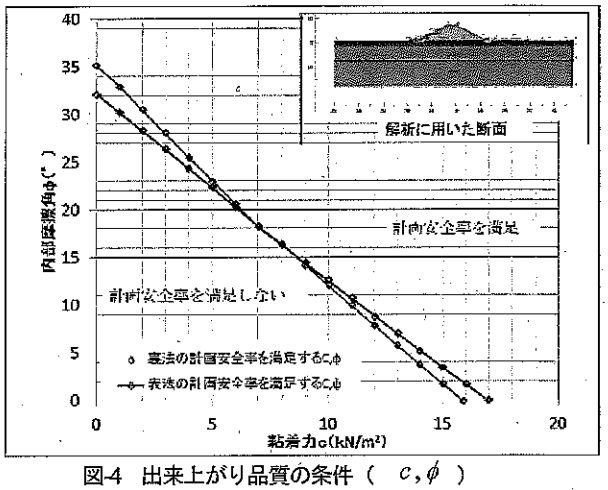


図-4 出来上がり品質の条件（ c, ϕ ）

表-2 建設機械の走行に必要なコーン指数[3]

建設機械の種類	コーン指数q_c kN/m² (kgf/cm²)	建設機械の接地圧 kN/m² (kgf/cm²)
超湿地ブルドーザ	200 (2)以上	15(0.15)～23(0.23)
湿地ブルドーザ	300 (3) 〃	22(0.22)～43(0.43)
普通ブルドーザ(15t級程度)	500 (5) 〃	50(0.50)～60(0.60)
普通ブルドーザ(21t級程度)	700 (7) 〃	60(0.60)～100(1.00)
スクレープドーザ	600 (6) 〃 (超湿地型は400(4)以上)	41(0.41)～56(0.56) 27(0.27)
被けん引式スクレーパ(小型)	700 (7) 〃	130(1.3)～140(1.4)
自走式スクレーパ(小型)	1,000 (10) 〃	400(4.0)～450(4.5)
ダンプトラック	1,200 (12) 〃	350(3.5)～550(5.5)
タイヤローラ	800 (8)～1,000 (10) 〃	280(2.8)～460(4.6)

(1) 仙台市（深沼工区）

a) 使用材料の土質特性把握

津波堆積土の試料は仙台市にて仮置きされた場所より採取し、単体材料の土質特性を把握した。試料はいずれも出来上がり品質を満足する強度定数にあり、粒度分布も概ね堤体材料として望ましい範囲にあった。しかしながら締固めエネルギーの増加に伴いコーン指数が低下する傾向にあり、過転圧や過走行による強度低下、タイヤローラのトラフィカビリティ確保のためには、粗粒材の混合等の対応が必要と判断し、コンクリート殻（以下「殻」という。）を混合し盛土材に使用するものとした。なお、自然含水比は最適含水比より総じて湿潤側にあり細粒分含有率が19%以上ではその差は3%以上であった。

b) 混合比率の選択と試験過程

混合材料に用いる津波堆積土は、仮置きされた材料のうち細粒分含有率と含水比が最も高い材料を用いるものとし、殻との混合比率を、仙台市では震災がれき処理を重量管理にて行っていたことから重量比によるものとした上で、活用趣旨から出来るだけ震災がれきを用いるべきものであるから殻比率の下限を3割とし、7:3、6:4、5:5とした。この比率に基づき室内混合試料を作成し室内土質試験にて所要の品質を確保できることの確認を行った上で、現地転圧試験及び現地混合試料を用いた室内試験結果の検証を行い、最終的な混合比率を決定した。

c) 混合比率の決定

現地転圧試験では各混合比とも現場密度は6回転圧で締固め度90%以上確保できたが、殻混入量が増加するほどダマが生じやすく材料の不均一が生じ、現場密度のばらつきが大きくなった。目標とするコーン指数は最適含水比+4.1%～2.8%で確保でき、混合比7:3で最も最適含水比から幅がある。さらに、自然含水比は混合比7:3で概ね最適含水比にあるが、殻混入量が増加するほど自然含水比は乾燥側となる。以上の結果から混合比率を、施工時における材料の均質性の確保が良好であり含水量の調整・管理が最も優位である津波堆積土（70%）：コンクリート殻（30%）に決定したものである。

d) 混合方法の決定

施工ヤードが十分確保できること、生産量が多いこと及び重量管理が行えることから、写真-1にある混合機にて盛土材料の混合・生産を行うものとした。

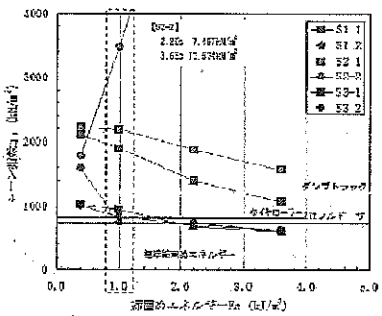


図-5 単体材料のコーン指数と締固めエネルギーの関係

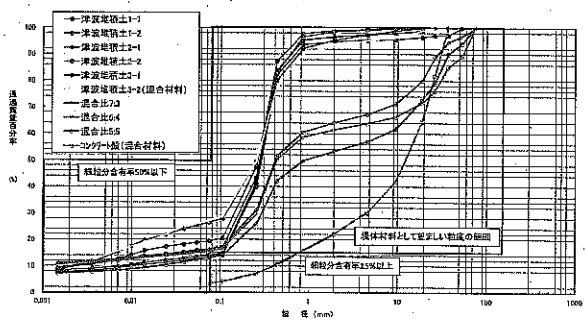


図-6 津波堆積土・混合材料の粒度分布

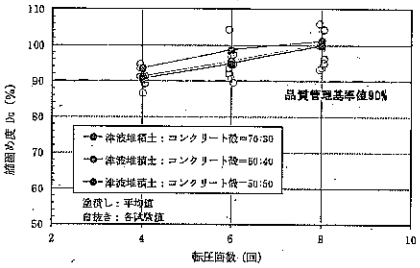


図-7 現地転圧試験結果（締固め度）

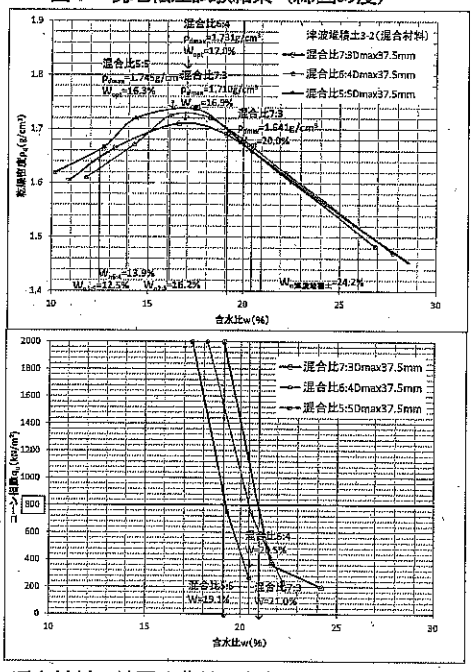


図-8 混合材料の締固め曲線・含水比とコーン指数の関係



写真-1 盛土材混合状況（深沼工区）

(2) 名取市（閖上北釜工区）

仙台市の津波堆積土の強熱減量は最大6%と関東ロームの値に近いが、名取市のそれは最大11%と高く、有機物分を多く含むものと考えられた。そこで、単位体積当たりの強熱減量を抑えるため購入土を混合するものとした。混合比の決定にあたっては、仙台市での津波堆積土とコンクリート殻の混合比を前提とし、当該工区での活用想定量より購入土の混合比を決定し、さらに３種混合となることから施工管理が容易になるよう、重量混合比を体積混合比に換算し、津波堆積土（30%）：コンクリート殻（10%）：購入土（60%）に決定したものである。

施工にあたっては、各材料を混合比に相当する厚みで層状に巻きだし、スタビライザー混合として盛土材の調整を行うものとした。

表-3　仙台市・名取市の津波堆積土各試料の強熱減量

試料番号	sendai						natori		
	1-1	1-2	2-1	2-2	3-1	3-2	1	2	3
強熱減量（%）	3.7	4.4	4.5	3.3	5.4	5.6	8.9	7.8	8.3
	3.3	4.0	4.4	2.9	5.3	5.6	11.2		

表-4　代表的な土の強熱減量試験結果[4]

試料土	採取場所	強熱減量（%）
泥炭	北海道札幌市	93.25
	埼玉県大宮市	72.38
	千葉県我孫子市	84.73
	静岡県袋井市	92.49
黒ぼく	埼玉県大宮市	23.86
	茨城県勝田市	16.11
関東ローム（褐色）	東京都青梅市	6.22
関東ローム（黒色）	茨城県	7.10
しらす	宮崎県えびの市	3.53
まさ土	広島県福山市	1.56
土丹（砂層性泥岩）	神奈川県横須賀市	11.85
土丹（砂質泥岩）	神奈川県横浜市	4.03
へどろ	広島県福山市	7.97

表-5　閖上北釜工区での活用想定量と混合比の決定

		津波堆積土	コンクリート殻	備考
単位体積重量(t/m3)		1.6	1.9	仮定値
発生量	重量(t)	39,000	45,980	H26.3末時点予測量の約8割を使用可等と仮定
	体積(m3)	24,600	24,200	
盛土活用量	重量(t)	39,000	15,600	津波堆積土は全量活用
	体積(m3)	24,600	8,200	
残量	重量(t)	0	30,400	基盤対策に活用
	体積(m3)	0	16,000	

	重量比			体積比
津波堆積土	7（単量1.6t/m³）	袖	4.4	0.73 → 2.7=3
コンクリート殻	3（単量1.9t/m³）	比	1.6	0.27 ： 1

津波堆積土の活用可能量を固定とし、活用区間での全盛土量(86000m³:(コンクリート殻量の約10倍)より
津波堆積土:コンクリート殻:購入土 ＝ 3:1:6　　と決定。

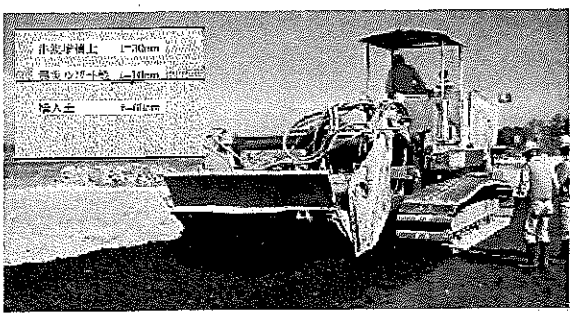


写真-2　盛土材混合状況（閖上北釜工区）

(3) 山元町（中浜工区）

山元町の津波堆積土は、震災がれきの処理の過程で石灰を混入し仮置きされていたものであり、津波堆積土単体で所要の品質を確保可能であったことから、単体材料で築堤材とし活用を行うものとして、一般的な盛土作業により施工を行うものとした。

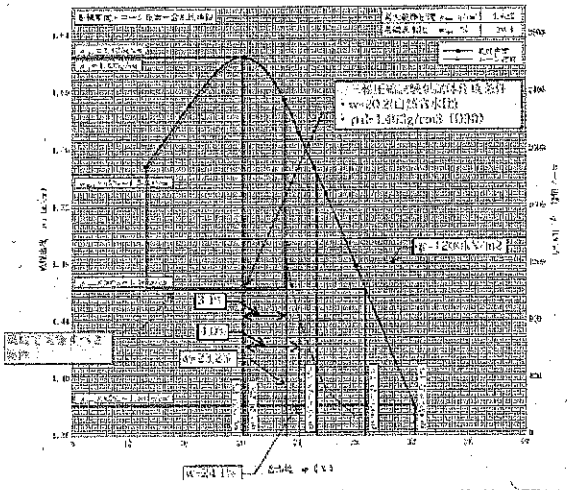


図-9　津波堆積土の締固め曲線・含水比とコーン指数の関係

(4) 施工管理

深沼工区における津波堆積土の土質特性にあるとおり、津波堆積土そのものの不均質さや、中浜工区の津波堆積土のように石灰混合量の不均質などが懸念され、扱う津波堆積土の土質特性が検討段階での範囲にない場合には、施工性の悪化により出来上がり品質を満足できないことが考えられた。そこで、日々の含水比管理に加え、毎月１回及び土質状態が明らかに変わった場合に材料特性把握試験を実施し、所定のトラフィカビリティを確保出来る範囲内での含水比による品質管理値を設定し管理することとした。また、混合作業を伴う工区にあっては、混合前の津波堆積土にも管理値を設け日々管理を行い、所要の品質を確保した混合材料（盛土材）の製造を行った。

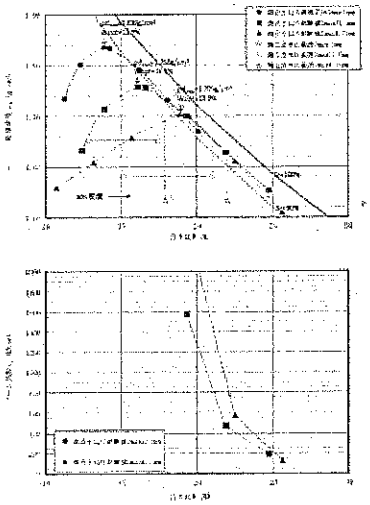


図-6　各月品質管理値の設定例（2012年12月深沼工区）

4. 活用量（予定含む）

本事業では、名取市（閖上北釜工区）で約2.7万m³、山元町（中浜工区）で約6.4万m³の震災がれきを盛土材として活用し、仙台市（深沼工区）では約16.4万m³を活用する予定である。これは本事業における全盛土必要量の約２割に相当する。

他方、本事業で活用したあるいは活用を予定する震災がれき量は、関係自治体の全処理量（県外処理分を除く）の約１割に相当する。

5. 震災がれき以外の盛土材調達

本事業の施工区域は地盤が砂地であるため、岩ずりを用いて工事用車両の走路を確保している。工事用道路はその設置の趣旨から工事後残材となり、その処理が課題となる。そこで、可能な工区については盛土材への流用を検討している。岩ずりは供給場所の違いにより盛土材として適さない土質のものもあるが、粒度未分級の盛土材が多く使用されており、粒度調整を行うことで盛土材へ活用することが十分可能であるものと考えている。

6. まとめ(課題)

盛土材などを震災がれきにより調達したことで、大型ダンプトラックに換算して約６万台の資材運搬、調達の軽減に繋がった。海岸事業の性質上、市街地を経て山から海へ資材調達を行わねばならず、資材の安定的な調達・資材運搬時のトラブルが課題となるため、現場周辺から流用可能な再生資材を用いることは事業進捗上の有利性が極めて高いものであった。ただし、津波堆積土は分別しきれない有機物を含むため、水和反応による堤体の減量化など懸念される面もある。このため、完成後にあって変状などを継続的に監視していくことが必要である。本事業では、震災がれきを盛土材として活用した区間に沈下量を計測するための計測孔を設置し、モニタリングを実施している。なお、堤防完成後１年以上が経過した仙台市（深沼工区）の計測結果によれば、現時点で変状は確認されていない。

本事業では、震災がれきの活用を震災後初期の段階から積極的に取組んできたものであり、本事業による震災がれき処理推進に加え他事業での活用促進にも繋がったものと考える。活用にあたっては、発生自治体内でのみ活用することを方針とした。自治体毎に津波堆積土の性状が異なり、自治体による震災がれきの分別等処理と本事業とで進捗の違いや工区毎に現場条件が異なる中、津波堆積土を扱った経験がなかったことから、施工を行いながら検討し、考えながら施工しつつ進め、結果自治体毎にほぼ最適な方策で活用を行えたものと考えている。

表-6　盛土必要量に対する震災がれき活用量

	活用量（締万m3）	仙台湾南部海岸 全体必要量（締万m3）	活用比率（%）
深沼工区	16.4※	130※	19.6
閖上北釜工区	2.7		
中浜工区	6.4		

※2014年9月現在の推定値

表-7　関係自治体処理量に対する活用量（県外処理は除く）[5][6]

	全発生量に占める比率		
	発生量（万t）	本事業での活用量（万t）	活用比率（%）
仙台市	272	33.3	12.2
名取処理区	77.1	8.8	11.4
山元処理区	168.9	12.4	7.3
小計	518	54.5	10.5

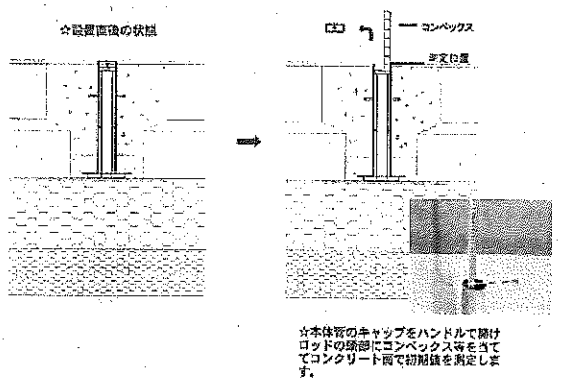


図-11　沈下量計測の為の計測孔横断図

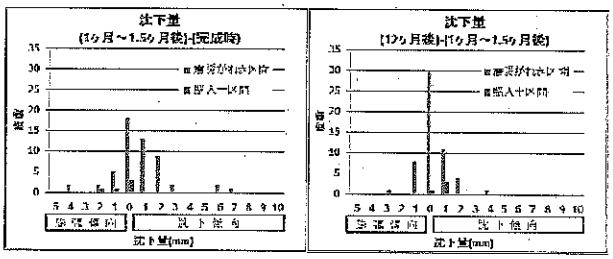


図-12　沈下状況

参考文献

1) 宮城県：東日本大震災の地震被害等状況及び避難状況について　9月10日被害状況一覧表
2) 環境省：「東日本大震災からの復旧復興のための公共工事における災害廃棄物由来の再生資材の活用について」（H24.5.26 付環廃対発第 120525001 号・環廃産発第 120525001 号廃棄物行政主管部（局）長あて産業廃棄物課長通知）
3) (財)国土技術研究センター：河川土工マニュアル
4) (社)地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説
5) 仙台市：仙台市の震災廃棄物の処理状況について
6) 宮城県震災廃棄物対策課：各ブロック・処理区での災害廃棄物処理の概要について

全国初！宮崎海岸における埋設護岸（サンドパック工法）を用いた海岸侵食対策

久木原　誠

[1]九州地方整備局　宮崎河川国道事務所　宮崎海岸出張所　（〒880-0211宮崎県宮崎市下田島9515-6）

宮崎海岸では昭和50年代後半より侵食問題が顕在化し、平成20年度より国土交通省直轄事業として採択された。今回の報告では環境・景観・利用に配慮した結果の下、地元住民と合意形成を図りながら施工を行った全国初となる埋設護岸（サンドパック工法）を用いた海岸侵食対策について紹介する。

キーワード　海岸侵食、侵食対策、埋設護岸、合意形成

1. 始めに

宮崎海岸は、宮崎県日向灘沿岸にあり、一級河川大淀川と二級河川一ツ瀬川の間に位置し、背後に宮崎市を抱える約10ｋｍの直線状の砂浜海岸である。昭和50年代後半に侵食問題が顕在化してきたため、宮崎県において護岸及び離岸堤の整備が進められてきた。しかし、侵食のスピードに対策が追いつかず抜本的な対策が必要であるとして平成20年度より国土交通省直轄事業として採択された。本報告では、環境・景観・利用に配慮した検討の下、施工を行った全国初となる埋設護岸（サンドパック工法）を用いた海岸の侵食対策について紹介する。

2. 宮崎海岸の概要

(1) 地勢

宮崎海岸は、海浜部の背後に砂丘が形成され、その砂丘上に潮害防備保安林等が広がっている（写真-1）。海浜部では、アカウミガメの産卵、夏鳥のコアジサシの砂浜での営巣など、多くの野生動植物の生息地としての役割も担っている。また、機船船曳網によるチリメン漁、小型底曳網等の漁場となっているほか、国内でも有数のサーフスポットとして多くのサーファーが訪れるなどサーフィンが盛んである。一方、地元住民を始めとした散歩等の一般的な利用もあり、社会・環境・経済など多様な活動の場として機能している。



写真-1　宮崎海岸全景

(2)海岸侵食の進行

昔は砂浜で運動会やソフトボール大会等が開催できるほど広大な自然の砂浜が広がっていた（写真-2 上）。しかし、徐々に海岸侵食が顕在化し始め、昭和 57 年の災害復旧で緩傾斜護岸が設置されて以降、侵食防止のために次々に護岸、離岸堤等の構造物を設置したことにより、今日では宮崎海岸約 10km のうち、自然浜区間は 3km 弱にまで縮小した。構造物設置後も砂浜の侵食は続き、護岸前面にまったく砂浜がない区間も発生している。一方で自然浜区間においては、高波浪の度に砂丘が削られる侵食が進んでおり、ほぼ全区間において大規模な浜崖が生じている状況にある（写真-2 下）。

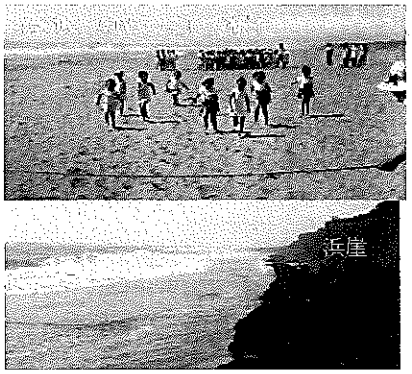


写真-2　海岸の状況
（上：昭和 41 年、下：平成 24 年）

(3)侵食のメカニズム

侵食のメカニズムについては、宮崎海岸では南北両方向への土砂の移動があるものの、長期的、広域的には北から南に向かう漂砂が卓越していると推定された。年間 20～30 万 m^3/年のオーダーで海浜土砂量が減少している

一方で、宮崎港では年間 20 万 m^3/年程度の土砂量が増加していること、また、地形変化は主として T.P.-10～-12m（沖合概ね 1km）より浅い範囲で発生していることなどが具体的に分かってきた（図-1）。なお、侵食の原因としては、北からの流入土砂量の減少（関係河川のダムへの堆積、河川砂利採取、一ツ瀬川導流堤による遮断）、南への流出土砂の増加（宮崎港への土砂移動）が指摘されたが、それぞれの施設は社会・経済活動のため必要であるという認識を関係者の間で共有した上で、それぞれの管理者とも連携しながら侵食対策の検討を始めた。

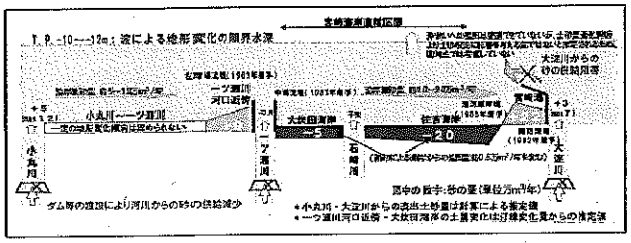


図-1 推定土砂収支

3. 「宮崎海岸保全の基本方針」及び「宮崎海岸の侵食対策」

「宮崎海岸保全の基本方針」として、既往最高潮位（T.P.+2.42m）及び 30 年確率波高（Ho：13.92m）の計画外力に対し、背後地（人家、有料道路等）への越波被害が生じないよう、浜幅 50m を確保するという目標を立てた。その目標を具体化する「宮崎海岸の侵食対策」として前述の侵食メカニズムをもとに、北からの流入土砂を増やす「養浜」、南への流出土砂を減らす「突堤」、高波浪の度に砂丘が削られる区間において「養浜」と「突堤」の対策を補完する取り組みであり、今回のテーマでもある自然堤防たる砂丘の侵食を防止する（浜崖頂部高の低下を防ぐ）「埋設護岸（サンドパック工法）」を施工することとした。

4. サンドパック工法の諸元

(1) 埋設護岸(サンドパック工法)とは

埋設護岸（サンドパック工法）とは、浜崖後退抑止工の1つで、自然の堤防である砂丘が侵食されないよう、浜崖の根元を波から守る「砂の中に埋まった護岸」である（図-2）。環境・景観・利用へ配慮が求められる現場でそのニーズに応えられる工法であり、砂浜の色調に合わせた施工も可能である（写真-3）。一般的なコンクリート護岸と比べ初期費用を2～3割削減することができ、施工で準備するものも、袋材、砂（現地での調達が困難な場合）、水槽、ポンプと簡易な資材ですむ。なお、レキ等の摩耗に対する耐久性がコンクリートと比較して小さいことから前面に砂浜が存在する場所に設置することが原則である。

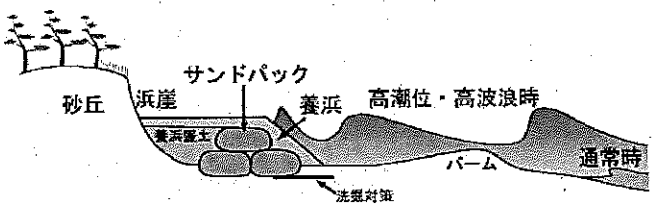


図-2 サンドパック工法の基本断面

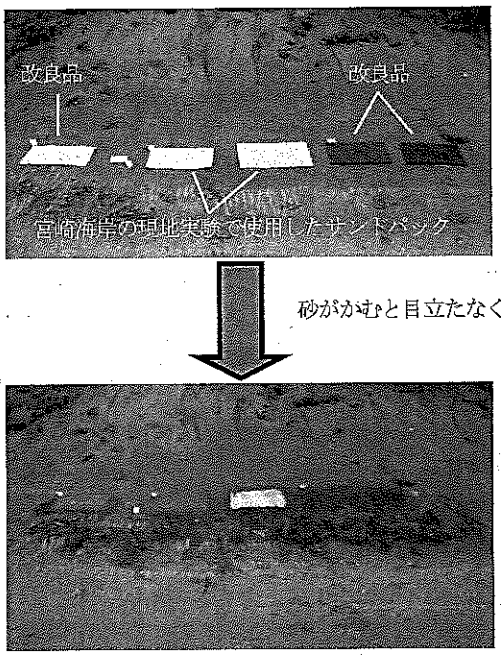


写真-3 サンドパック袋材の色調検討(H25.6)

(2) 埋設護岸の諸元の検討

埋設護岸工法の検討にあたり、前述のサンドパック工法以外の3つの従来工法も目的達成性、耐久性、安定性及び安全性の観点から比較したが、いずれの工法も埋設護岸に適用することは可能であると評価された。次に、設置環境に応じた「宮崎海岸保全の基本方針における配慮事項との適合性」について比較を行うとともに、初期費用及び施工性についても併せて評価を行った結果、配慮事項に最も合致し、初期費用及び施工性の問題も特にないことからサンドパック工法を選定した（表-1）。

表-1 宮崎海岸保全の基本方針と適用性等の評価

工法	宮崎海岸保全の基本方針における配慮事項との適合性								初期費用	施工性	評価
コンクリート工	△	△	○	△	○	△	△	△	□	△	△
袋詰玉石工	○	△	△	○	△	○	○	○	■	○	■
連化かごマット工	○	△	△	○	△	○	○	○	△	○	○
浜崖後退抑止工（サンドパック）	○	○	○	○	△	○	○	◎	◎	○	◎

(3) サンドパック工法の基本諸元

サンドパックの諸元は長さ約 20m、幅約 4.5m、高さ約

1.5m、土砂充填後質量 150～200t である。施工の際の天端高は平成 16 年台風 16 号と同程度の潮位及び波高に対して、波が浜崖に到達しない T.P.+5.5m（3 段積）を当初計画していたが、T.P.+5.5m では、高波等でサンドパック積層体が露出した際に圧迫感を強く感じ、また、背後の保安林が見えなくなる可能性が高いことから宮崎海岸らしさを維持するためには景観に配慮した天端高にすることが望ましいと考えられた（写真-4）。

一方で単純に天端高を下げると安全性が低下することから、背後の浜崖とサンドパック法線との距離を 18m 保つこととし（計画外力作用時の波浪により形成される埋設護岸上の推定地形は 1:6 勾配であることを前提に、砂丘の計画高 T.P.+7.0m とサンドパック天端高 T.P.+4.0m の差分から算出している）その結果、T.P.+4.0m（2 段積み）に抑えることが可能となった（図-3）。

なお、サンドパック積層体は維持管理の観点より露出をさける必要がある。T.P.+4mは高波時にサンドパック積層体が露出しても砂浜回復時に埋設状態に戻ることが期待できる高さ（植生帯の境界位置であり年数回の打ち上げ高とほぼ同等の高さ）であるため、この点からも妥当と結論付けた。

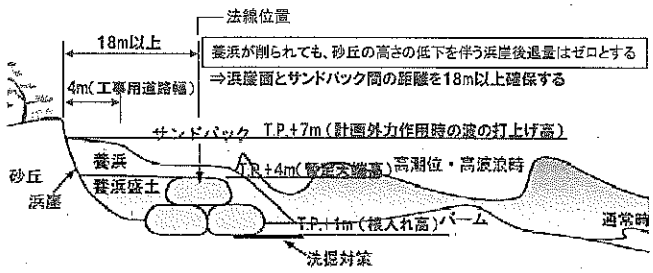


図-3 サンドパック工法の基本諸元

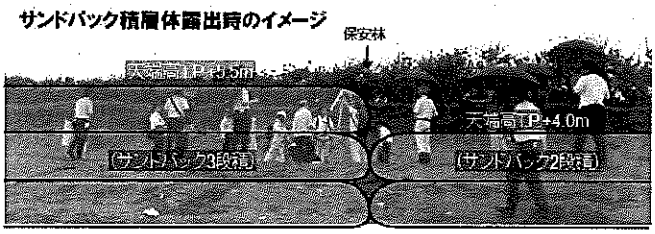


図-4 サンドパック露出時に砂浜から松林をみたイメージ

5. サンドパック工法による埋設護岸整備

(1) 施工方法

①サンドパックの敷高（T.P.+1m）まで掘削し、洗掘対策としてアスファルトマットを敷設する（写真-5）。

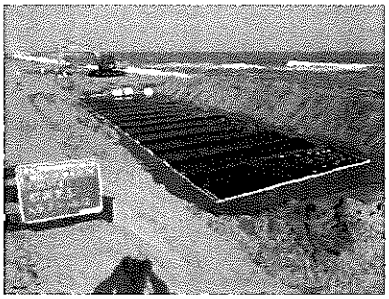


写真-5 アスファルトマット敷設状況

②アスファルトマットの上にサンドパック袋材を設置。サンドパック周辺に設置した水槽に砂と海水を投入しスラリー状に混合した状態で水槽よりポンプにてサンドパック袋材へ送り込み充填する（写真-6）。

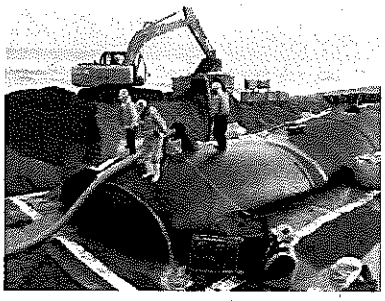


写真-6 サンドパックへの充填状況

③最後に養浜盛土（サンドパック背後の敷高からサンドパック天端まで）及び養浜（サンドパック天端の上面及びサンドパック前面への養浜）を行い完了した。

(2) 施工上の課題

a) 波浪による影響

サンドパック工法は敷設後、充填前に隣り合う袋材の突き合わせ等細かい位置調整が人力での作業となるなか、（材料の性質上、建設機械では袋材を傷つけてしまう）充填前の袋材が波浪による影響で砂に埋もれたり、敷設位置がずれることがあった。そのため、敷設箇所前面に大型土嚢等を設置し波を防ごうとしたが、高波浪時の越波を止めることは困難であったため、波浪の影響が少ない日については昼夜間作業を行い集中して施工を行った。

b) 充填

砂充填用のポンプは、専用のポンプがなく現場では浚渫用のポンプを使用したが用途外使用であったため砂利などを噛むことによりペラの摩耗が激しく複数回の交換を余儀なくされた。そのため、九州にないダム用の浚渫ポンプを使用するとともに、水槽上部に鉄筋を組んだスクリーンを敷く等してふるい分けを行うなど、効率を図った施工とした。

(3) 維持管理

サンドパックは、適正な点検や維持管理が行われることにより安全性が確保されるため定期的に点検することが基本である。点検のポイントは袋材の露出であり、袋材の露出が続くと紫外線や砂による摩耗等により袋材が劣化し、最悪の場合、袋材が損傷し中詰め材が流出し機能が失われ、サンドパック背後の養浜盛土が崩壊する恐れがある。

一方でサンドパックは短い周期で埋設・露出を繰り返すため定期的な巡視を行い現場の挙動を把握した上で維持管理を行っていくことが重要である（写真-7）。

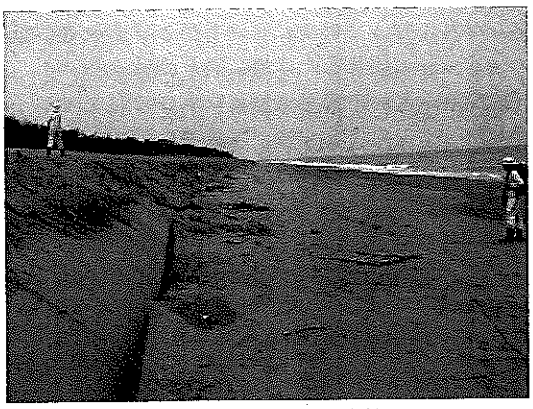


写真-7　巡視による点検

6. サンドパックの効果と現状

平成 26 年 3 月に大炊田海岸の約 1,600m 区間において埋設護岸の整備が完了した。その後、波の影響でサンドパックの露出や養浜が急勾配な箇所が部分的に確認され、養浜が急勾配である区間においては、埋設護岸上へのアカウミガメの産卵に支障をきたすと心配する声もあった。しかし、整備完了から約 2 ヶ月経過した平成 26 年 5 月 21 日に埋設護岸上においてアカウミガメの産卵が確認され、その後も上陸産卵が続いており、自然の砂浜と引けをとらない環境であることが証明された。

また、平成 26 年 7 月上旬には台風 8 号の接近に伴い、埋設護岸整備後初めての高波浪となった。波はサンドパックを乗り越えることがほとんどなかったが、サンドパック前面に対しては波が繰り返し押し寄せたため養浜材が流出しサンドパックが露出した。一方で、サンドパック自体は損傷はなく健全な状態であったこと、サンドパック背面の砂丘高や養浜幅は台風前と変わっていなかったことからサンドパックの効果を確認したところである。7月末より来襲した台風 12 号及び台風 11 号に伴う高波浪でも多くの箇所でサンドパックが露出したものの、全区間の浜崖の後退は防ぐことができた。

しかし、施工箇所南部の約 300m 区間において一部変状（サンドパックの損傷及び中詰砂の流出、洗掘防止工（アスファルトマット）のめくれ）を職員の巡視より確認した（写真-8）。



写真-8　中詰材の流出が確認されたサンドパック

その後、早急に立入禁止規制を行うとともに、サンドパック変状の原因究明のために必要な詳細調査や発生メカニズム及び恒久対策について専門家と検討（宮崎海岸侵食対策検討委員会　技術分科会の開催）、一般の方を対象としたサンドパック変状箇所の現地での説明や室内での意見交換会（宮崎海岸市民談義所の開催）を行った結果、サンドパック変状に伴う事故や住民の方の混乱はなかった（写真-9）。



写真-9　サンドパック変状箇所の現地説明会
（宮崎海岸市民談義所）

今後も従来と同様に地元住民と合意形成を図りながらサンドパック変状の原因を究明し、修正・改善を加えて対策工法の検討、対策工事を着実に進めていく。

7. おわりに

宮崎海岸の砂浜は以前より地域が運動会やソフトボール大会等を行った思い出の地でもあることからサンドパック工法をはじめとする海岸侵食対策には関心が高く、施工に対する地域及び関係機関の理解と協力を得て今回の工事を完成することが出来た（写真-10）。今後も、地域のため環境・景観・利用に配慮した海岸侵食対策を実施し、計画目標である浜幅 50mの確保に向けて事業に取り組んでいく所存である。



写真-10　現場見学会の様子

那覇空港滑走路増設事業における貴重藻類の移植について

照屋　雅彦[1]・鈴木　真也[1]・宇江城　菜乃[1]

[1]沖縄総合事務局　開発建設部　空港整備課（〒900-0006 沖縄県那覇市おもろまち2-1-1）

那覇空港滑走路増設事業は，平成25年度に環境影響評価や公有水面埋立等の諸手続を終えて既に現地に着工している．しかし，埋立工事の予定地には沖縄県RDB等に記載されているクビレミドロの生育が確認されており，本種については移植を行うことを環境保全措置として位置付けている．本種については，これまでの移植実験や室内試験等から様々な知見が得られているが，今回，移植の確実性・効率性の観点から新たな移植方法を開発し移植を実施した．その結果，1～2カ月経過した時点では生育が良好であることが確認された．今後，モニタリングを継続し，移植先での再生産の状況を確認し移植技術について検証していく必要がある．

キーワード：滑走路増設事業，クビレミドロ，絶滅危惧種，移植，環境保全措置

1. はじめに

那覇空港滑走路増設事業では，将来の需要に適切に対応するとともに沖縄県の持続的振興発展に寄与すること，また，国内外航空ネットワークにおける拠点性を発揮することを目的として，那覇空港の沖合に2本目の滑走路を新設する．

新設する滑走路は空港の沖合に約160haの埋立地を造成し，既存の滑走路から1310m離して整備される．埋立地の造成により，護岸の勾配を勘案した海域を改変する面積は約180haである．これが本事業により，海域に直接影響を与える面積となり，この中に様々な海域植物・動物が生息し，その中には沖縄県のレッドデータブック(以下，RDB)に記載の絶滅危惧種であるクビレミドロも含まれている．本種は沖縄本島のみで生育が確認されている黄緑藻であり，その形態から「海のマリモ」等と称される海藻である．また，黄緑藻と緑藻の2つの形態を併せ持つ1属1種の藻類であるため，藻類の進化をたどる上で学術的に希少な種とされている．

本事業を実施するにあたり，環境影響評価法に基づき実施した「那覇空港滑走路増設事業に係る環境影響評価」の中で，クビレミドロは移植により保全を図ることと位置づけており，本事業により改変される区域内のクビレミドロの一部を実行可能な範囲で移植するとともに，移植後は環境監視委員会等で専門家の意見を踏まえた上で適切な措置を講じることとなっている．

今回，新たに移植方法を開発し，移植を実施したので結果を報告する．

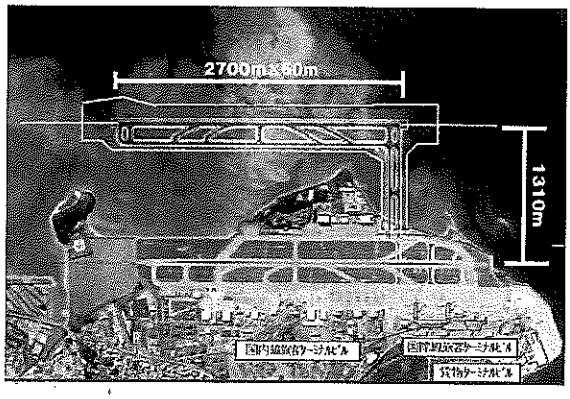


図-1　那覇空港滑走路増設事業概要

2. クビレミドロの特徴

(1) 生活史と形態

クビレミドロは，毎年冬季に出芽し夏季には藻体が消失する生活史を繰り返す1年藻である．図-2に示すように，水温が低くなる10～12月頃に底砂泥中で休眠していた卵が出芽し始め，11～1月頃には糸状体が伸長する．生長した藻体が12～2月にかけて群生域を形成し，2～4月にかけて成熟した藻体は枯死・流失すると同時に卵は再び底砂泥中に纏絡し休眠する．肉眼で確認することは難しいが，糸状体の1本1本にくびれがある．その糸状体

の藻がいくつも集まり，3～5cmほどのドーム状の藻体を形成する．

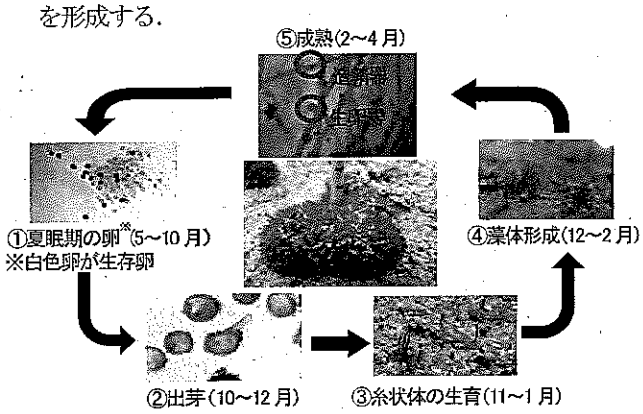


図-2　クビレミドロの生活環

(2)　生育条件

これまでの知見から，本種は表-1のような生育条件で生育することが知られている．那覇空港沖での生育環境を本種の主な生育地である泡瀬・屋慶名地区の生育環境と比べてみると，水深が深く，底質も細粒分が多い箇所に生育しており，図-2で示したようなドーム状の藻体を形成せず糸状体のままで生育している．

また，クビレミドロは卵として夏期に底砂泥中に概ね5cm以浅で休眠することから，高波浪や潮流により卵が流出しない外力条件が重要と考えられる．

表-1　クビレミドロの生育条件

項目	環境条件（泡瀬，屋慶名）
水温	・泡瀬地区の生育域で平成21年度の測定結果は，周年で13.6～33℃，生育期は13.6～25.4℃の範囲にあった． ・屋外大型水槽の平成20年度の測定結果は，周年で13.0～33.5℃，生育期には14.3～24.4℃の範囲であった．
底質	・細砂（0.075～0.25mm）～中砂（0.25～0.85mm）が主体． ・礫分は10%前後，砂分80%前後，シルト・粘土分は7%前後，中央粒径0.2～0.7mm程度．
水質	・光合成を妨げない程度として，平常時においてSS 2mg/L 程度．（水産用水基準） ・全窒素 0.2mg/L 前後，全リン 0.02mg/L 程度． ・恒常的に淡水の影響を受けない環境．
外力条件	・砂漣が形成されない程度（砂漣が形成されるような場では卵が流出する恐れがある）． ・通常波浪時の底面せん断応力 $\tau < 0.8 N/m^2$． ・高波浪時の海浜流速 U<0.1m/s．（※泡瀬地区の生育域での調査結果から夏眠期，生育期を通じて，流速は10cm/s以下．）
地盤高	・C.D.L. 0～1.0mの範囲． ・泡瀬海域ではC.D.L. 0.3～0.5mに濃生域が形成される． ・地盤高の変動が小さい場所．
その他	・マツバウミジグサ，ウミジグサ，コアマモ等と同所に生育． ・これら小型海草の被度5%未満～50%の分布範囲と重なる． ・卵は，5cm程度まで埋まっても出芽が確認されている．

出典：平成21年度中城湾港海藻類保全検討調査業務報告書
(平成22年3月，那覇港湾・空港整備事務所)

3.　移植計画と移植の実施

(1)　移植計画

クビレミドロの移植については，先ず移植先の適地の候補として，現況と増設事業が完成した後の波浪・潮流シミュレーションから，表-1に示す流速が10cm/s以下の場所を抽出した．その結果，事業により沖合に空港島が形成されれば，現空港との間の護岸近くや新設される護岸近傍の箇所にクビレミドロの生育条件が整う場所が出現する．また現状でも，北側海域に外力条件を満たす箇所を確認している．なお，平成24年度から試験的にプラスチック容器を用いて北側海域や干潟域に移植したところ，北側海域への移植結果が良好であった．よって，北側海域と空港島の護岸概成後に出現する静穏な海域2箇所の合計3箇所を移植先として選定した．ただし，現時点では護岸が概成していないことから，北側海域以外の2箇所における移植は当面，陸上水槽に移植した本種の生産を行い，種苗を安定的に確保し再移植を行う計画とした．

また，移植を行うクビレミドロは本事業で改変される海域に生息している箇所から，移植の効率性を考慮し，生育箇所の中でも比較的被度の高い場所を対象とした．

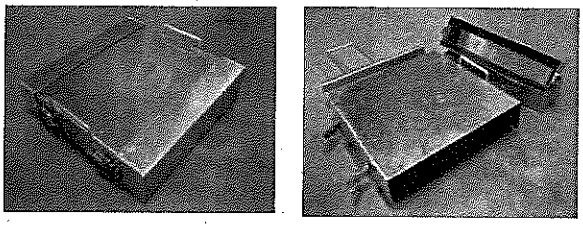
(2)　移植方法の開発

本格的なクビレミドロの移植にあたり，移植実験の中で効率的な移植方法を開発した．

平成24年12月に行った移植実験では，プラスチック容器を使用してクビレミドロの移植を行った．本移植実験では，藻体と卵を含んだ底泥をスコップですくい，プラスチック容器に入れて移植先まで運び移植を行った．この方法では，スコップで底泥をすくうために表層が撹乱し，卵が埋没・逸散することが懸念される．また，容器も小さく，作業の効率性が良いとは言えない状況であった．

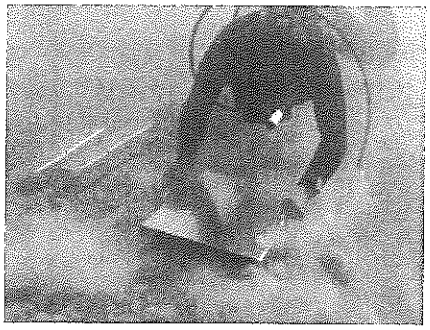
そのため，平成25年度以降の移植に際しては，図-3に示す採取器具を開発して移植を行った．この採取器具は縦が44cm，横が36cmであり，この器具を用いると1個あたり約0.16m²の移植が可能となる．また，採取器具の両側には蓋が取り付けられており，採取した底泥を簡単に密閉することができる．底泥を採取している様子を図-4に示す．さらに，採取した底泥を取り出す際には採取器具の片側から押し棒によって底泥を押し出すことができ，

撹乱を抑え，効率的に移植作業を行うことが可能となった．この採取器具を使用した際には1日当たり採取器具64個分の移植が可能であり，約10㎡を移植することができる．



(a)蓋を装着した状況　(b)蓋を外し，押し棒を挿入した状況

図-3　クビレミドロの採取器具



(a)　底泥を採取する様子



(b)　底泥を押し出す様子

図-4　移植作業の様子

(3). 移植の実施

クビレミドロの移植時期は平成26年2月24日～3月19日及び平成26年5月8日～6月8日に実施した．

移植元では，専用の採取器具の両側にある取っ手をダイバーが持ち，クビレミドロを底泥ごと採取し，蓋で容器内を密閉した後に船上に引き上げた．船上では水温低下を防ぐために採取器具を海水で満たしたケースの中に保管し，移植先まで運搬した．移植先では，3(2)で述べたように採取器具を海底に下ろし，押し棒で採取器具から底泥を押し出すことにより底泥を配置し，移植を行った．底泥の採取から運搬，移植先に底泥を配置するまでの一連の作業は1日で実施した．

移植先は空港の北側海域及び種苗を確保するための陸上水槽とした．なお，陸上水槽では常に水交換が行われており，実海域の環境をある程度再現している．

移植後のクビレミドロに関しては，実海域と陸上水槽共にモニタリングを行った．モニタリングは移植先内に詳細観察枠を設定して，表-2に示す項目と方法にて行った．

表-2　モニタリング項目

項目	方法
移植先の概略分布図	潜水目視観察を行い，クビレミドロの生育範囲のスケッチと写真撮影を行う．
詳細枠による被度別分布図	詳細枠（2m×2m）において，潜水目視観察により本種藻体の被度分布状況のスケッチを行う．
詳細枠の代表箇所における群体数	・詳細枠の中から，代表的な箇所（0.5m×0.5m）（5 箇所程度）内の群体数を計数する． ・生育期（5 月）に一部の藻体を採取し，その外部形態（造精器・生卵器）について，顕微鏡観察を行う． ・衰退期（6 月）に代表的な箇所（1～2箇所程度）の泥中の卵数を計数する．
生育環境の把握	水深及び底質の概観を記録する．

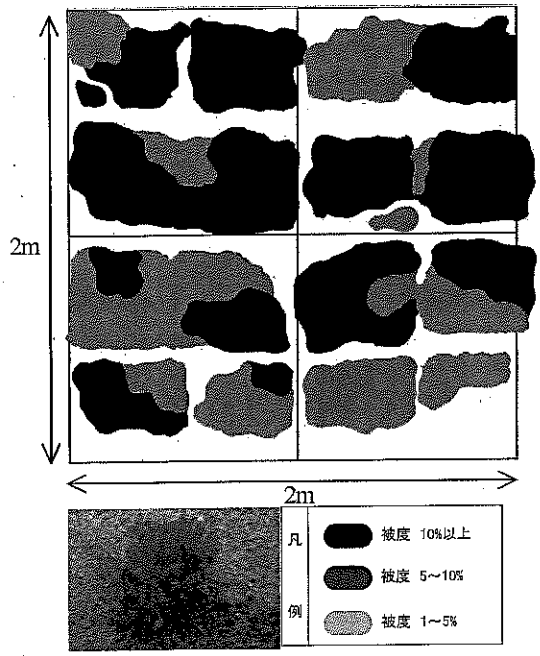
4. 移植の結果

本事業の環境保全措置において，平成25年度と平成26年度で移植目標の318㎡を達成した．平成25年度においては北側海域に80.9㎡，陸上水槽に40.4㎡の移植を行い，合計で121.3㎡の移植が完了している．また，平成26年度においては，北側海域に202㎡の移植が完了している．

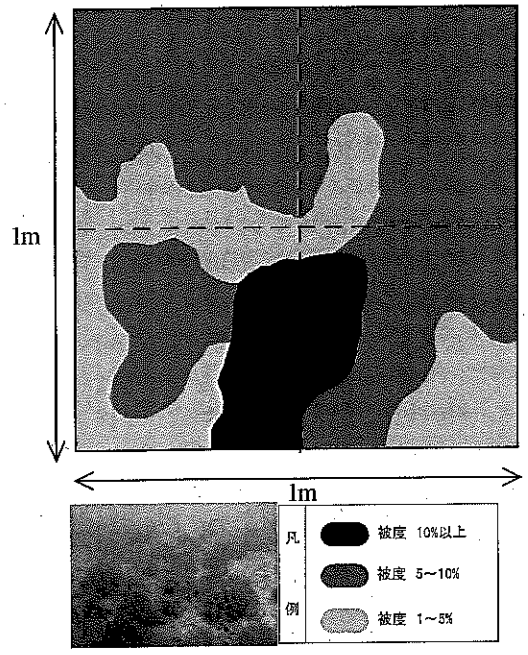
移植後の北側海域と陸上水槽のクビレミドロについて，代表するモニタリング詳細観察枠の結果を図-5に示す．北側海域への移植においては，海域が深場であるため移植後1ヵ月経過しても移植元と同様にクビレミドロはドーム状にはならず，糸状体のまま衰退した．それに対し陸上水槽への移植においては，移植直後は糸状体であったクビレミドロは移植後1カ月経過するとドーム状の藻体を形成した．

本事業の環境保全措置を行うにあたり，新たな移植方法を開発することにより1日で10㎡の移植が可能となり，移植作業の効率を上げることができた．また，平成24年度の移植実験時の移植方法と比較しても，クビレミドロの卵をより確実に採取することが可能となった．北側海域の移植直後と移植から1～2カ月後のモニタリングにお

いては，クビレミドロが急激に減少することなく生育していた．また，陸上水槽におけるモニタリングでもクビレミドロの生育が確認された．陸上水槽はクビレミドロの種苗を安定確保し，護岸が概成し実海域に再移植を行うまでの期間，また，増設滑走路を供用するまでの間に実海域のクビレミドロに問題が生じてしまった時のために保管しておくことができる．



(a)実海域に移植したクビレミドロ



(b)陸上水槽に移植したクビレミドロ

図-5　移植後の状況

5. 今後の課題

現時点では，本移植を行ってから1年が経過しておらず，今後もモニタリングを継続し，夏眠するクビレミドロの卵が移植先で冬季に再び発芽し，翌年以降も継続して安定的に再生産を行うことの確認をする．

また，護岸概成後に陸上水槽から閉鎖性海域に再移植を行う際にも，流況を確認しながら作業を行う必要がある．

なお，現在種苗を確保している陸上水槽は1つのみであるため，陸上水槽に不具合があった場合や種苗の大量確保を行う場合には，別の水槽を確保する必要が生じる．

6. おわりに

本事業を行うにあたり，環境保全措置の一環としてクビレミドロの移植を行った．その移植方法を新たに開発することにより，確実性や効率性の良い方法で実施することができた．今後は，モニタリングを継続するとともに，陸上水槽からの再移植により干潟域での本種の生育を確認していくこととする．

参考文献

1) 沖縄総合事務局那覇港湾・空港整備事務所：平成 21 年度中城湾港海藻類保全検討調査業務報告書，2010.

自由課題

イノベーション部門Ⅱ

無人航空機（UAV）による西之島の空中写真撮影と高精度地形計測

中埜　貴元[1]・飛田　幹男[1]・神谷　泉[1]

[1]国土地理院　地理地殻活動研究センター　（〒305-0031 茨城県つくば市北郷1番）

新たな噴火活動を開始した小笠原諸島西之島において，無人航空機（Unmanned Aerial Vehicle：UAV）を用いた空中写真の自動撮影を2014年3月22日と7月4日に実施し，その空中写真から写真測量ソフトウェアを用いてオルソモザイク画像，数値標高モデル（DEM）データを作成するとともに，面積，体積，最高標高やその変化を求めた．これらのデータは，火山活動評価の基礎データ，地形判読図，立体図の作成などに活用された．1回目の撮影は，UAVを用いた西之島の自動撮影としては初の試みであり，2回目と合わせて得られた知見を整理した．

キーワード　無人航空機（UAV），西之島，空中写真，オルソモザイク画像，数値標高モデル（DEM）

1. はじめに

小笠原諸島の西之島（東京都小笠原村）では，2013年11月20日に新島の出現が確認されて以来，噴火と溶岩の流出が継続している．上陸には危険が伴うため，現時点（2014年9月時点）では西之島には地上の観測機器が皆無であり，その地形変化等を把握するには上空など島外からの観測に頼るしかない状況である．また，火山活動の評価と推移予測を行う上で，溶岩の流出率は重要な指標である．従来，斜め写真から求めた面積に平均標高を仮定して体積を求めるアプローチも見られたが，誤差が大きかった．それに対し，写真測量を行えば，数値標高モデル（DEM）を作成することができ，新たな噴火によって噴出した溶岩等の海面上の体積が計算できる．国土地理院は，2013年12月4日，12月17日，2014年2月16日に測量用航空機「くにかぜⅢ」により空中写真撮影を行い，従来の写真測量の手法により正射画像（オルソモザイク画像）とDEMデータを作成している[1)2)3)]．

一方で近年，人の立入りが困難な地域の調査や災害調査，狭い範囲の地理空間情報の取得，橋梁・ダム等の施設調査，環境・農業関連調査，文化財調査などの幅広い分野において，無人航空機（Unmanned Aerial Vehicle：UAV）の活用が急速に進んでいる[4)5)6)7)8)]．また，UAVを用いた公共測量も実施され始めている．これと並行して，動画や静止画からカメラの撮影位置を推定し，三次元形状を復元する技術の汎用化も目覚ましく，UAVと併用することで，比較的簡便に空中写真からオルソモザイク画像とデジタル表層モデル（DSM）などの地形情報を得ることができるようになってきている[9)]．

そこで，西之島の火山活動の評価に寄与するための基礎データを取得することを目的に，2014年3月22日と7月4日に西之島から約130km離れた東京都小笠原村父島を発着地として，UAVにより西之島の空中写真撮影を行い，写真測量ソフトウェアを用いて高精度なオルソモザイク画像とDEMデータを作成し，その課題等を整理したので，以下報告する．2014年3月22日の撮影は，遠隔地から自動自律飛行と自動撮影により西之島を撮影した点で初の試みである．なお本稿は，2014年3月22日の撮影についてまとめた飛田ほか（2014）[10)]に，7月4日の撮影に関する新たな知見を加えたものである．

2. UAVの特徴

UAVは，様々な分野・目的で利用されているが，ここでは，地理空間情報や防災情報の取得の観点から，UAVによる調査の特徴とUAVの主なタイプ別の特徴を整理する．

(1) UAVによる調査の特徴

UAVを用いた調査の特徴は，以下のとおりである．

1）現地調査や有人機と比較して，調査者の安全を確保しやすい．

2）有人機と比較して，低高度での撮影が容易であり，また乗員の安全を確保する必要がないため，曇天時に雲の下から撮影する，噴火中の火山に近づいて撮影する等

の機動的な運用が可能である.

3) 有人機と比較して，離着陸に利用できる場所が多く，調査面積にかかわりなく発生する固定経費が少ないため，狭い範囲の調査では，経費が少ない.

4) 有人機と比較して，一度に撮影可能な面積が狭いうえ，目視による危険回避が困難であることから，事故率が高いと想定される.

以上を考慮すると，UAVの運用に関して，以下の点が重要である.

1) 危険で人間が立ち入れない場所の調査が可能であるが，人や重要施設等が存在する場所の調査には不適，又は相応の安全対策が必要.

2) 狭い範囲の機動的な空中写真の撮影に有利．特に，災害時の被災状況の把握等，危険個所の状況把握に適している．ただし，東日本大震災レベルの大規模災害においては，災害の規模に比べ，ピンポイント的な運用しかできない.

(2) UAVの主なタイプ別の特徴

現在，様々なUAV機器が市場に出回っているが，ここでは，固定翼型のUAVと回転翼型のUAV，電動UAVとガソリンエンジン搭載のUAVについて，その特徴を整理した（表-1，2）．なお，「機体の大きさ」と「価格」以外の項目は，同程度の規模の機体を前提としたものである.

表-1において，回転翼型は船舶上などからも離着陸が可能と考えられ，離着陸に関しては固定翼型よりも有利である．ただし，離陸に関しては固定翼型でも，人間が投げ上げたり，車の荷台等から小規模な発射台を利用して離陸したりできるものもある．UAVの運用にあたって最も技術的に高度な操縦に関して，固定翼型は基本的にGNSS（Global Navigation Satellite System）と慣性計測装置（IMU）を用いた自動航行であるが，回転翼型は主に離着陸時にマニュアル操縦を要する．マニュアル操縦においては，回転翼が複数組のマルチローターターイプの場合は比較的容易であるが，回転翼が1組シングルローターターイプの場合は高度な技術を要する．また，マニュアル操縦の場合は無線通信が必須であるが，遠距離の無線通信には高出力を要するために，免許が必要となり，無免許で運用できる範囲は限られている．表-2において，ガソリンエンジン搭載機はメンテナンスに高度な技術を要するため，それを用いた作業を行いたい場合は，運用を専門業者に外注することが現実的である.

表-1 回転翼型UAVと固定翼型UAVの比較

項目	回転翼型	固定翼型
離着陸に必要な敷地	狭い	広い
速度	遅い	速い
燃費	悪い	良い
航続距離	短い	長い
ペイロード	小さい	大きい
操縦	マニュアル，自動	自動
広範囲の面的撮影	不利	有利
多方向からの機動的な撮影	有利	有利
風の影響	大	小

表-2 電動UAVとガソリンエンジン搭載UAVの比較

項目	電動	ガソリンエンジン
機体の大きさ	小さいものが多い	大きいものが多い
価格	比較的安価	比較的高価
航続時間	短い	長い
航続距離	短い	長い
ペイロード	小さい	大きい
メンテナンス	容易	困難
風の影響	大	小
騒音	小	大

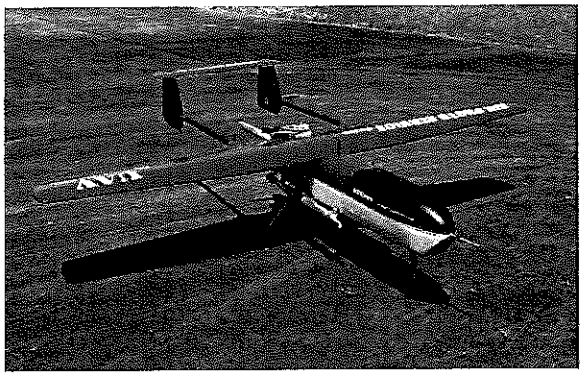


図-1 西之島空中写真撮影に使用した固定翼型UAVの機体

3. 西之島の空中写真撮影

(1) 撮影機材

撮影に使用したUAVは，全長2,200mm，全幅2,800mm，質量15kg，最大離陸重量35kg，2サイクル86ccガソリンエンジン，巡航速度120km/h，飛行時間4.5時間，飛行距離約500kmの諸元をもつ無人自動自律型飛行機である（図-1）．この機体は，㈱エアフォートサービスの所有で，UAVの運行も同社が実施した.

撮影に使用したカメラはCanon EOS 5D Mark II（35mmフルサイズ一眼レフ），レンズはCanon EF28mm F1.8 USM（焦点距離28mm単焦点＝ズームできない）であっ

た．焦点は無限遠に固定し，2014年3月22日はシャッター速度を1/800秒に固定，絞りはオート，7月4日は前回の経験を踏まえて，絞りを8に固定，シャッター速度をオートとした．機体に搭載したGPSの観測と同期し，1秒ごとにシャッターを切った．撮影後，公益社団法人日本測量協会において，カメラ検定を行った．

(2) 飛行経路・飛行状況

父島から西之島への飛行経路を図-2に示す．2014年3月22日は11:05に離陸，12:35に西之島上空で撮影開始，12:47に撮影終了し，13:56に予想した時刻より若干遅れて帰還，7月4日は10:04離陸，11:35撮影開始，11:51撮影終了，12:50にほぼ予定どおり帰還した．総飛行時間はそれぞれ2時間51分，2時間45分であった．3月22日は比較的風が強く，飛行データから推測すると，平均的には北北西からの風速約29km/hの風が吹いていたと推測される．UAVの設定対気速度は120km/hであったが，平均的な対地速度は，往路約97km/h，復路約116km/hと推定された．7月4日は晴天で風も弱かったが，対地速度は3月22日と同程度であった．西之島上空において，3月22日は南北3コース（高度約800m），東西1コース（高度約1,400m）の撮影を，7月4日は南北6コース，東西5コース（いずれも高度約700m）の撮影を行った．なお，対地高度250m以上の高度を飛行する場合は，航空機との衝突を避ける必要があるため，離陸前日に国土交通省東京航空局，同東京空港事務所（羽田空港）及び海上保安庁に連絡し，国土交通省航空局航空情報センターからノータム（NOTAM: Notice To Airmen）が発行された．

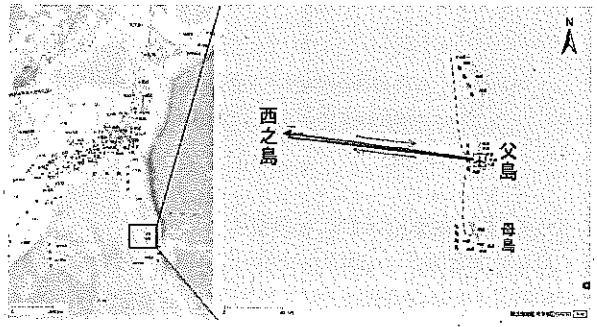


図-2　父島から西之島までのUAV飛行経路図

4. UAV撮影空中写真の解析結果

西之島上空において，2014年3月22日は463枚，7月4日は1,107枚の空中写真を撮影した．これらの空中写真とスイス国Pix4D社製自動オルソモザイク及び3D処理ソフトウェア「Pix4Dmapper」[11]を用い，DEMデータ及びオルソモザイク画像を作成した．その工程は，1）空中三角測量，2）点群データの生成，3）DEMデータとオルソモザイク画像の生成，の3ステップからなる．

Pix4Dmapperによる空中三角測量には，Multi ray matching（図-3）により自動生成された多量のパスポイント（重複する隣接写真をつなぐために必要な、両方の写真で同一点として識別できる点）が使用されている．地上基準点は，国土地理院の「くにかぜIII」が2013年12月4日に撮影した空中写真から別途作成されたDEMデータ及びオルソモザイク画像を使用し，旧島のうち変化がないと考えられる場所で取得した．こうして得られた基準点は，島の北西部に偏っていたため，島の南東部にある波の静かな入り江の高さを，同時刻の父島の潮位[12]とする基準点を追加した．

1秒間隔で撮影した写真をすべて使用すると，海面上で，波浪などの海象が類似した部分で多数のパスポイントが生成されてしまった．そこで，陸地が概ね1/3以上写っている写真から，機械的に4枚おきに写真を抜き出して処理したところ，海面上でのパスポイントの生成が大幅に少なくなったため，原則として4枚おきの写真からDEMデータとオルソモザイク画像を作成した．一方，噴煙の位置は時間とともに変化し，その下は見えないが，異なる方向から撮影した空中写真を用いるとそれが回避できる場合があることから，上記の4秒ごとの写真に加え，噴煙下の状況を把握するのに役立つ写真を，2秒おきの写真から手作業で選定し，DEMデータとオルソモザイク画像を作成した．

以上に基づき，4枚おきの写真から得られた点群データ（DEMデータ及びオルソモザイク画像を作成する直前のデータ）に対して，噴煙の影響がある部分のみ，写真を追加した点群データと差し替え，DEMデータとオルソモザイク画像を再作成した．

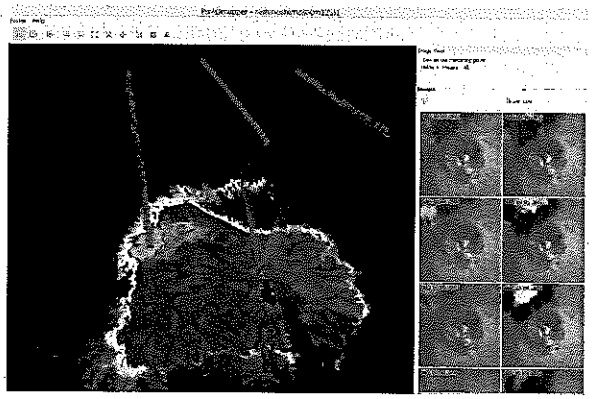


図-3　Pix4DmapperのMulti ray matching．上空の直線状に並んだ多数の点が写真撮影位置を示す．複数の写真から地上のパスポイントを推定する．図は，1点のパスポイントを選択した状態．

(1) オルソモザイク画像

先述の処理により得られたオルソモザイク画像を図-4に示す.

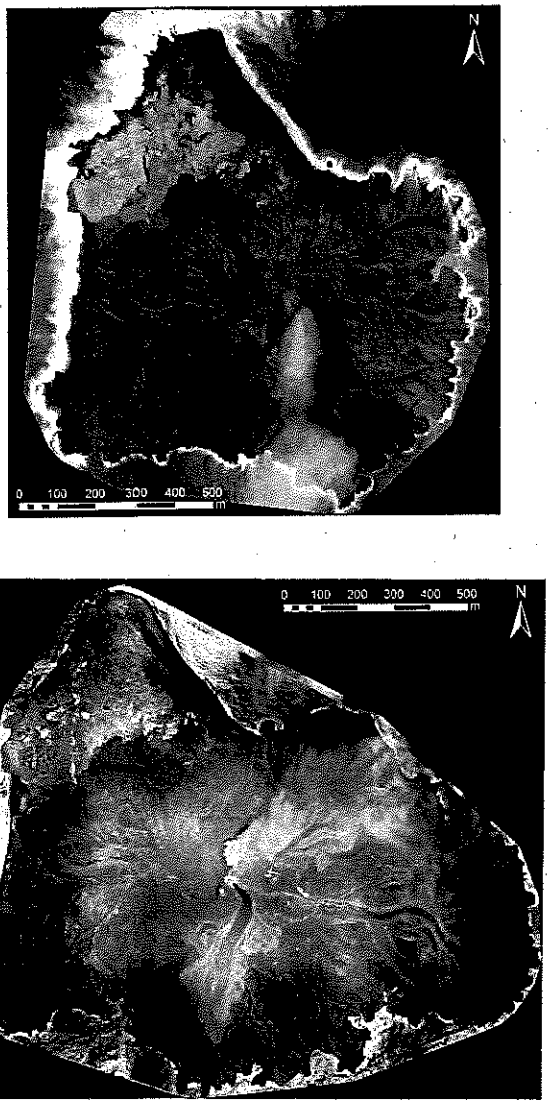


図-4　西之島のオルソモザイク画像
（上：2014年3月22日，下：2014年7月4日）

(2) DEMデータ

得られたDEMデータは，2.5mグリッドサイズであり，標高値はメートル単位で格納されている．また，海上の標高値には"-9999"が格納されている．なお，オリジナルのDEMデータは0.2mグリッドサイズである．このDEMデータによる陰影図を図-5に示す．最高標高は，2014年3月22日は約71m，7月4日は約74mと計測された．なお，それぞれの位置は100mほど離れている．

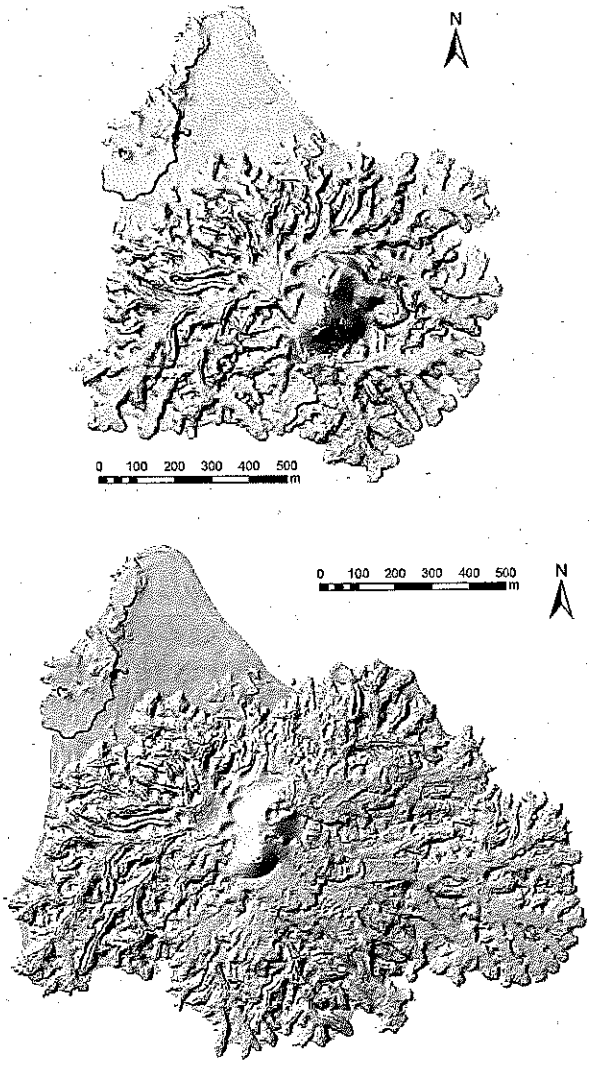


図-5　西之島のDEMデータによる陰影起伏図
（上：2014年3月22日，下：2014年7月4日）

(3) 面積と体積及びそれらの変化

国土地理院が，2013年12月4日，12月17日，2014年2月16日に「くにかぜⅢ」で行った空中写真撮影は，外部標定要素の算出に使用したGNSS基準局までの距離を除けば，測量用の撮影の条件を満たしたものである．一方，今回のUAVによる空中写真は，測量用のカメラ，測量用のGNSS受信機等は使用していないが，検定を受けたカメラを用いて，鉛直写真を面的に撮影するという点においては，測量に準じた撮影方法を採用している．これら5時期のうち，2013年12月4日を除く4時期の撮影に基づく最高標高，今回新たに噴出した溶岩等により増加した海面上の面積（以下，「新陸地の面積」という．），新たに噴出した溶岩等の海面上の体積（以下，「新陸地の体積」という．）及び新陸地の体積増加率を表-3にまとめた．ここで，新陸地の体積は，まず，旧島も含めた

海面上の体積を計測し，これから旧島部分の体積を差し引いて求めた．

2014年3月22日時点の新陸地の面積は0.67km^2，新陸地の体積は1,130万m^{3}であった．また，7月4日の新陸地の面積は1.08km^2，体積は2,220万m^{3}であった．両者の体積変化量から求められる体積増加率は約10万m^3/日であり，それまでの体積増加率と比べても大きな変化はなく，依然溶岩の噴出が衰えていないことを示した．

このような数値の変化を議論する場合には，空中写真の処理に用いたソフトウェアの違いに起因する誤差の検証が必要である．そこで，今回用いたPix4Dmapperを用いて，2014年2月16日に「くにかぜIII」が撮影した空中写真を処理し，従来の写真測量の結果と比較検証した．その結果，最高標高は66mで差は0m，面積は0.50km^{2}で差は0.01 km^2，体積は780万m^{3}で差は10万m^{3}となり，ソフトウェアの違いに起因する誤差は十分小さいと判断した．

表-3　西之島の最高標高，面積，体積，平均標高の変化と体積増加率．体積増加率は前の時期からの体積変化を経過日数で除した数値．

撮影日	新陸地の面積	最高標高	新陸地の体積	新陸地の体積増加率
2013年12月17日（くにかぜIII）	0.097 km^2	39 m	約80万 m^3	
				1日あたり約12万 m^3
2014年2月16日（くにかぜIII）	0.51 km^2	66 m	約790万 m^3	
				1日あたり約10万 m^3
2014年3月22日（UAV）	0.67 km^2	71 m	約1,130万 m^3	
				1日あたり約10万 m^3
2014年7月4日（UAV）	1.08 km^2	74 m	約2,220万 m^3	

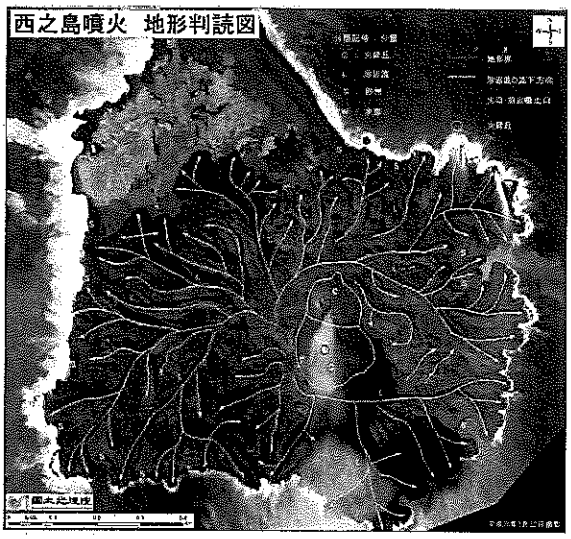


図-6　西之島の地形判読図（2014年3月22日）

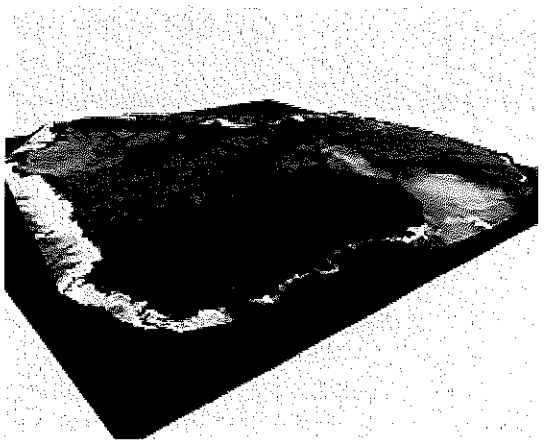


図-7　西之島の立体図（2014年3月22日）

5. 解析データの活用

(1) 地形判読図

本解析で得られたオルソモザイク画像の判読により，地形判読図が作成されている[13)14)]．2014年3月22日のオルソモザイク画像の判読結果を図-6に示す．

(2) 立体図

オルソモザイク画像とDEMデータを用いて，Web上で閲覧できる立体図[15)]も国土地理院によって作成されている（図-7）．また，3Dプリンタを用いれば，このデータから立体模型を作成することもできる．

6. 技術的な知見と課題

(1) UAVを用いた空中写真撮影

1) 130 km先の目標に対して，自動制御のみで想定したコースと高度における写真撮影が可能なことが実証された．

2) UAVは，有人機と比較して，風による速度の変化が大きいため，主点間隔の変化や総飛行時間の増大による帰還可能性に注意が必要である．一方，強風下においても，GNSSを使用した自動航法であるため，撮影コースへの影響は小さいことが分かった．

3) 噴煙下の計測においては，なるべく多くの時刻に，なるべく多くの方向から撮影することが望ましい．

4) 非測量用カメラを用いて高精度の計測を行う場合は，公益社団法人日本測量協会が実施しているカメラ検定を

行う必要がある．2014年3月22日の撮影では，厚さ2 mmのアクリル板を通しての撮影であったが，アクリル板をつけている場合でも，カメラ検定を行うことにより，正常にキャリブレーションができることが実証された．
5) 3月22日は，シャッタースピードを1/800秒に固定し，露出絞りを自動として撮影を行った．カメラ検定の観点からは，露出絞りを固定して，シャッタースピードを自動とした方が好ましいが，今回は，特別の問題は生じていない．一方，7月4日は露出絞りを8に固定し，シャッタースピードを自動としたが，露出絞りの設定を適切に行わないと，シャッタースピードが遅くなり，画像がぶれる原因となるため，注意が必要である．
6) 7月4日の撮影では，UAVの位置精度を確保するため，発着地点を固定して，その地点の位置座標をGNSSスタティック観測により取得した．これにより，単独では精度の低いUAVの位置を，高精度で求めることができた．

(2) Pix4Dmapperを用いた解析処理

1) Pix4Dmapperに限らず，空中三角測量全般において，地上基準点がなく，カメラの位置だけで調整する場合は，撮影が単コースであると，飛行コースを軸としたブロック全体の回転が不定となり，空中三角測量が不安定となるため，地上基準点が必須である．Pix4Dmapperの場合は，信頼できるカメラの傾きのデータがある「くにかぜⅢ」の空中写真を用いても，ブロック全体の回転が不定となる現象が発生したため，地上基準点がない場合は，GNSSデータがあることと，複数コース（あるいは直交コース）の撮影が必要であると考えられる．
2) Pix4Dmapperは，自動的なDEM及びオルソモザイク画像作成ツールとして有効である．重複度の高い撮影，特に直交コースを用いた撮影が有効と考えられる．この場合，地上基準点なしでも調整は可能であるが，UAVに搭載できるGNSSの精度を考えれば，絶対位置の計測には，四隅への地上基準点の配置が望ましい．
3) 離島の空中写真撮影ではGCPが得られないことが多い．UAVのGNSSの測位精度は低い場合が多いため，位置精度の高い成果を得たい場合は，位置の基準として「くにかぜⅢ」等の高いGNSS測位精度を持つ航空機による事前撮影が必要である．

7. まとめ

小笠原村西之島をUAVにより自動撮影し，多数の空中写真の解析から，高精度なオルソモザイク画像，DEMデータを作成するとともに，撮影と解析を通して得られた知見や課題を整理した．複数時期の計測から得られた画像・データを分析することで，面積，体積，平均標高やその変化を求めることができた．これらは，火山活動評価や地形判読図，立体図，立体模型の作成にも活用され，火山監視や国土管理への有効性が示された．ただし，データの位置精度を維持するためには，対象範囲全体に地上基準点が必要であるが、離島などではそれが得られないことが多く，効果的な地上基準点の取得方法やUAVの位置情報精度の向上方法についてさらに検討する必要がある．

謝辞：UAVの離発着場は，防衛省と東京都小笠原村の協力により選定・確保することができた．基準点の測量・取得には，国土地理院測地部及び基本図情報部の協力を得た．活用事例の多くは，国土地理院応用地理部及び地理空間情報部が作成した．ここに記して感謝する．

参考文献

1) 国土地理院：西之島周辺の空中写真撮影を実施しました，http://www.gsi.go.jp/gazochosa/gazochosa60010.html（2014年9月19日参照）
2) 国土地理院：西之島周辺の空中写真撮影を実施しました，http://www.gsi.go.jp/gazochosa/gazochosa60011.html（2014年9月19日参照）
3) 国土地理院：西之島周辺の空中写真撮影を実施しました，http://www.gsi.go.jp/gazochosa/gazochosa60012.html（2014年9月19日参照）
4) Yan Jin, Minai, A.A. and Polycarpou, M.M.: Cooperative real-time search and task allocation in UAV teams. Decision and Control, Proceedings. 42nd IEEE Conference on (Volume:1), DOI:10.1109/CDC.2003.1272527, 2003.
5) 内田恭司，森大：簡便な低高度プラットフォームを用いた文化財調査，写真測量とリモートセンシング，Vol48, No5, pp285-288, 2009.
6) 渡部要一，佐々真志：UAV と MASW を活用した効率的な干潟堆積土砂調査，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.B2-65, No.1, pp.1441-1445, 2009.
7) 谷口弘樹，吉松祐香，森田学，鈴木真二，廣川類，実松洋平，鈴木太郎，橘詰匠，久保大輔：防災用飛行ロボットシステムの開発と適用，計測自動制御学会論文集，Vol.46, No.1, pp.49-51, 2010.
8) 井上公，内山庄一郎，鈴木比奈子：自然災害調査研究のためのマルチコプター空撮技術，防災科学技術研究所研究報告，Vol.81, pp.61-98, 2014.
9) 内山庄一郎，井上公，鈴木比奈子：SfM を用いた三次元モデルの生成と災害調査への活用可能性に関する研究，防災科学技術研究所研究報告，Vol.81, pp.37-60, 2014.
10) 飛田幹男，神谷泉，岩橋純子，中埜貴元：無人航空機による西之島空中写真の撮影とその分析，国土地理院時報，No.125, pp.115-124, 2014.
11) Vallet, J., F. Panissod, C. Strecha, M. Tracol : International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS ICWG I/V UAV-g conference, Zurich, Switzerland, 2011.
12) 気象庁：潮位表 父島（CHICHIJIMA），http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/db/tide/suisan/suisan.php?stn=CC（2014年9月19日参照）
13) 国土地理院：西之島の空中写真を無人航空機で初めて自動撮影，http://www.gsi.go.jp/kenkyukanri/kenkyukanri60006.html（2014年9月19日参照）
14) 国土地理院：西之島の面積 1 平方キロメートル以上増加，http://www.gsi.go.jp/kenkyukanri/kenkyukanri60007.html（2014年9月19日参照）
15) 国土地理院：「地理院地図」に西之島付近の噴火活動関連情報を掲載しています，http://www.gsi.go.jp/gyoumu/gyoumu41000.html（2014年9月19日参照）

衛星AISを活用した北極海航路航行実態分析

谷本　剛[1]・安部　智久[1]

[1]国土技術政策総合研究所　港湾研究部　港湾計画研究室　（〒239-0826　横須賀市長瀬3-1-1）

近年，地球温暖化等の影響に伴う北極海地域の海氷面積の減少とともに，アジアと欧州間の航行距離を短縮する北極海航路の利用可能性に脚光が高まっている．しかしながら北極海は氷の存在する厳しい条件下であることから，航行の定時性や速度等，航行コストに影響する航行の実態が明らかになっていない．こうした状況を踏まえ，今後の北極海航路の利用可能性評価に寄与するため，衛星より取得したAISデータを用いて，北極海航路の航行実態を分析した．

キーワード　北極海航路，AIS，海氷，航行実態

1. はじめに

北極へのアクセスはその過酷な気象環境によって長らく阻まれてきたが，地球温暖化の影響に伴う北極海の海氷面積の減少に伴い，北極海航路の本格的な商業利用に向けた動きが加速している．

しかし，北極海航路の航行においては航行安全の確保や速度低下が懸念される海氷中の航行が依然として不可避であるなど課題も多く，今後の商業的利用のためには，まず航行可能速度や航行ルート，砕氷船エスコート状況等の航行実態を把握することが不可欠であると考えられる．船舶の航行実態を把握する手段としては，一定規模以上の船舶への搭載が義務化されたAIS（Automatic Identificatoin System）信号を受信し分析するという手法が有効である．

そこで，本研究においては，今後の北極海航路の利用可能性評価に寄与するため，衛星AISから取得された船舶動静データならびに海氷データを用いて，当該航路の航行実態を分析した．

2. 北極海航路の概要

(1) 北極海航路のルート

北極海を通過する航路は，**図-1** で示すようにロシア沿岸を通り欧州とアジアを結ぶルートとして期待されている．ロシアは以前から，カラ海の出入り口となるカラゲイト海峡からベーリング海峡の間，全長およそ4,800kmを北極海航路（Northern Sea Route：　以下「NSR」）と称し，独自の航行管理を行ってきた．

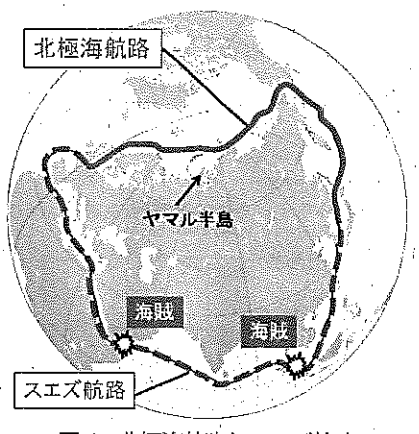


図-1　北極海航路とスエズ航路

(2) 北極海航路利用に向けた気運の高まり

近年NSR利用に向けた気運が高まっているが，それは主に以下の理由による．

第一は，北極海における海氷面積が減少傾向にあり，最近では夏季においてNSR上で海氷が観測されない（ただし，この場合でも氷塊は存在する場合がある）時期があることである．北極海での海氷面積は2012年9月にその時点での観測史上最小を記録している．

第二は，NSRを通過することで欧州とアジアとの輸送距離が約3～4割短縮され，輸送時間・燃料等で有利となりえる．

第三は，NSRを通過することで現在海賊の発生が大きな輸送上のリスクとなっているソマリア沖やマラッカ海峡の航行を避けることが可能となる（**図-1**）．

第四は，北極海沿岸域における資源開発への期待である．ノルウェー沖からカラ海にかけて豊富な石油・ガス資源があり，これらがアジア地域へ輸出されることとなれば，NSR は効率的な輸送ルートとなりえる．特に，生産開始が近づいている北極海沿岸のヤマル半島（図-1）LNG 基地からは，第 1 期で年間 500 万トン，フル稼働では年間 1,500 万トンの出荷が予定されている[1]．そして，欧州地域の景気後退の影響を受けて，従来から行われていたパイプラインによる欧州地域への輸出に陰りが見られる中で，北極海航路を利用した LNG 船によるアジア地域への輸出が注目されている．

(3) 北極海航路の運航実績

近年のNSRを利用した欧州とアジア間の商業運航は2010年に始まり，年々増加している．2010年以降にNSRにて輸送された貨物，航海数を図-2 に示す．貨物はバルク貨物が主体で，ガス・コンデンセート，ジェット燃料，ナフサなどの液体バルクが約7割，次いでドライバルクの鉄鉱石で2割強を占めている．

2012年はNSR輸送史上初めてLNGが輸送され，ノルウェーから日本の北九州港戸畑地区へ運ばれた．2013年は日本ではナフサが水島港に，石油系原料が千葉港，LNGが富津（東京電力）に輸送された[1]．

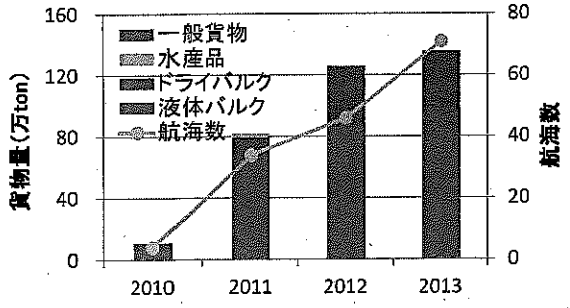


図-2　北極海航路の輸送貨物，航海数の推移

(4) 北極海航路利用による課題

一方で，NSRの利用には海氷の存在や厳しい気象条件による課題も伴うことが指摘されている[2]．以下にその内容を示す．

- 北極海で航行可能な船舶とする必要があり，耐氷性のあるアイスクラスという船級の取得が必要となる．一般的に，アイスクラス船の建造コストは通常の20～30%程度増となる．
- 特殊な船舶構造となるため，積載量が減少し，また海氷が無い通常の海域での燃費が悪くなる．
- NSRは全般に水深が浅いため，大きな喫水の船の導入が難しい．
- 氷塊への衝突を防ぎまた衝突の際の衝撃を小さくするため船速を抑える必要がある．
- 特に海氷による船速，定時性の低下は商業利用の大きな課題であると考えられる．

3. AISを用いた航行実態分析

前章(4)で示された課題に関する実態を把握するため，衛星AISデータを用いて航行実態の分析を行った．データは共同研究者である宇宙航空研究開発機構（JAXA）の衛星により観測されたものと，民間衛星データ（exactEarth）を使用した。

(1) 北極海航路における航行船舶の諸元

2013年のNSR航行船舶延べ71隻の船舶諸元からその傾向を考察した．海氷中の航行では砕氷船のエスコートを受ける必要があり、船幅は重要な要素となる．載貨重量トン数（DWT）と船幅（B）の関係を図-3 に示す．船幅の最大値は46mのタンカーであった．船幅が砕氷船の船幅28m以上の船舶は航行水域が確保出来ないため，エスコートが不可能であると言われている[3]が，実際は船幅28m以上の船舶も航行していることが確認できた．

次にDWTと満載喫水（d）の関係を図-4に示す．満載喫水の最大は15.4mのタンカーであった．NSRは全般に大陸棚の浅海部で水深20mを切る海域が多く，また，水深の浅い幾つかの海峡を通航しなければならない．主要海峡の一つであるサニコフ海峡は航路水深が13mしかなく，喫水11mの船舶に航行制限されている[4]とみられていた．しかし，実際には満載喫水11m以上の船舶が確認された．これらの船舶はサニコフ海峡を避けて別ルートを航行した（図-6）か，喫水調整したものと推察される．

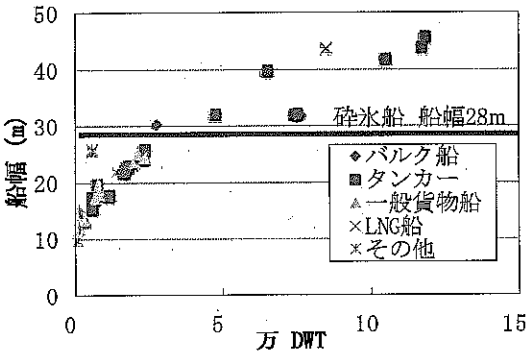


図-3　DWTと船幅（B）の関係

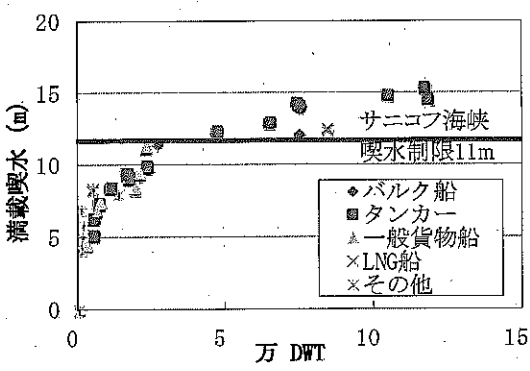


図-4　DWTと満載喫水（d）の関係

※DWT：船舶が積載できる貨物の重量を示すトン数

(2) 航行ルートの分析

NSR航行ルートを分析するため，NSR航行船舶の航跡図に海氷範囲を着色した図を，図-5，図-6に示す．ここでは，海氷条件の厳しい7月とNSR航行上に殆ど海氷が存在しない9月について比較した．

7月（図-5）はビルキツキー海峡，東シベリア海，サニコフ海峡に海氷がまだ残っている状況である．航行ルートは，カラゲイト海峡からビルキツキー海峡を通過後，サニコフ海峡ではなくノボシビルスク諸島の北側を航行してベーリング海峡へ向かっている．サニコフ海峡は航路水深が13mしかなく，喫水11mの船舶のみに航行制限されている．一方で同諸島北側ルートは十分な水深があることに加え，近年は海氷勢力が減退しているため積極的に北側ルートが利用されている[4]と言われているが，その状況が確認できる．

9月（図-6）はNSR航行上に海氷は見られない．航行ルートは，カラゲイト海峡とノバヤゼムリヤ島北側を航行するルートがあり，ビルキツキー海峡を通過後，サニコフ海峡とノボシビルスク諸島を航行するルートがある．

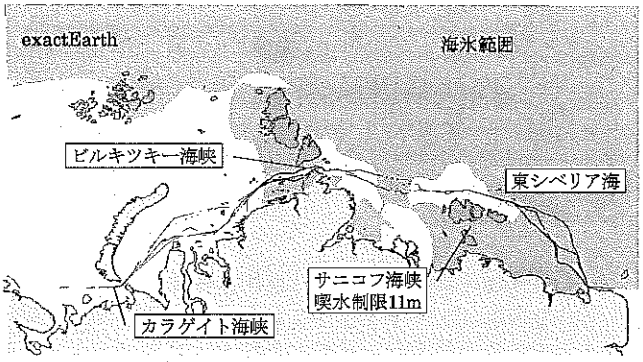


図-5 NSR航行船舶の航跡図（2012年7月）

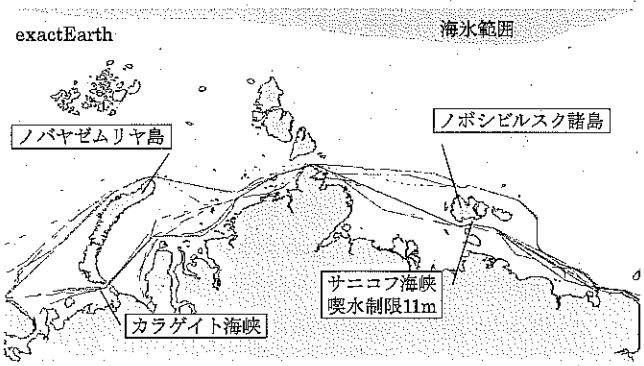


図-6 NSR航行船舶の航跡図（2012年9月）

(3) 砕氷船によるエスコート状況

NSRの航行においては，海氷の状態と航行船舶の氷海船級に応じてロシア原子力砕氷船によるエスコートを受ける必要がある（図-7）．砕氷船が商船をエスコートしている状況について確認することができるため，その実態を詳細に分析した．

7月における砕氷船と航行船舶との合流場所は，カラゲイト海峡東の東経70度付近，エスコート区間は合流場所からペベクまでの区間，日数は約12日間であった．それに対して9月の合流場所は，西側がペベク港沖合の東シベリア海域，東側がチュクチ海域，エスコート区間はペベク港沖合からロング海峡を抜けてチュクチ海域までの区間，日数は約2日間であった．砕氷船2隻が同区間を東西に行き来しながらエスコートを繰り返していた．これより，エスコート区間は航行時期，海氷状態により異なることが確認できた．

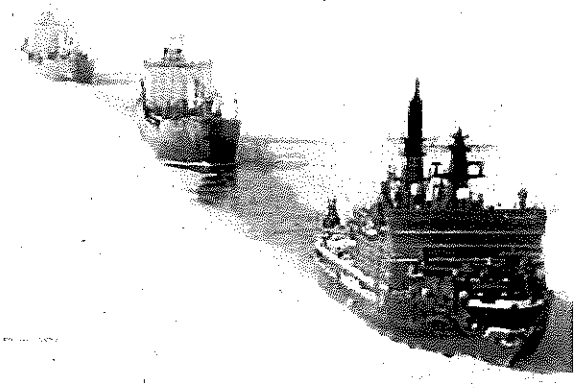


図-7 砕氷船によるエスコート状況[1]

(4) 航行速度の分析

NSRにおける航行速度の変動状況を把握するため，1時間毎の航行速度と位置情報（経度座標）をプロットした図を，図-8，図-9に示す．

7月（図-8）はビルキツキー海峡周辺，ラプテフ海の一部，東シベリア海の海氷域で速度が落ちている．東経70度付近で0～1kt程度になっているのは砕氷船との合流場所で待機している影響，ビルキツキー海峡，東シベリア海で速度が0kt近くに落ちているのは1隻ずつのエスコートにしている区間において待機しているためである．

9月（図-9）はNSR航行上に海氷がないカラゲイト海峡～ペベク沖合の区間は全域で10～14ktと安定した速度で航行している．ペベク沖合～チュクチ海域は，砕氷船のエスコートがあるため一部船舶の速度が落ちていることが確認できる．

衛星AISを活用することで，こうした詳細な実態も分析が可能である．

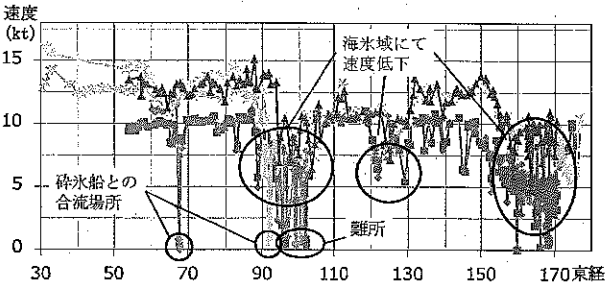


図-8 航行速度の変動状況（2012年7月）

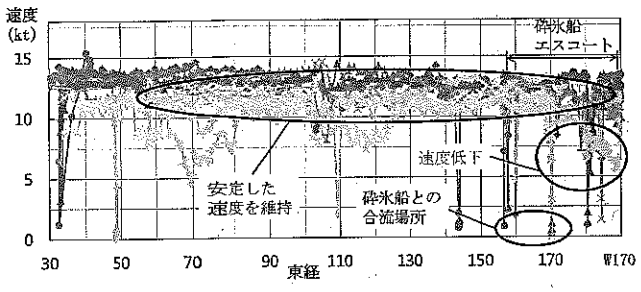


図-9 航行速度の変動状況（2012年9月）

(5) 航行速度と海氷密接度との関係

速度と海氷の関係を考慮し分析するため，JAXAの海氷に関する衛星「しずく」によるマイクロ波観測データ（AMSR2）を使用した．図-10 は本年7月の海氷密接度（海氷域内のある領域を対象として、氷に覆われている海面の割合）と航行速度を重ねた図である．海氷中は黄色（5-10kt）が多く見られ，速度が落ちていることが確認できる．海氷密接度と航行速度との定量的な関係については更に今後分析を進める予定である．

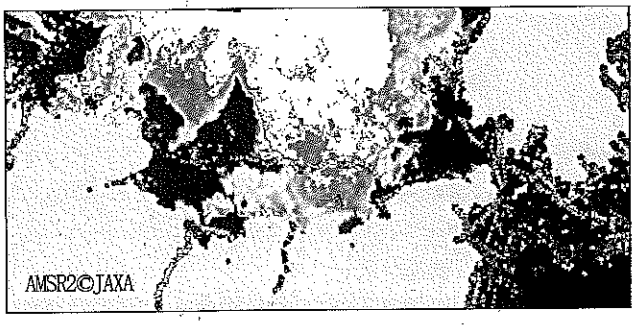


図-10 航行速度と海氷密接度の関係（2014年7月）
船速：（△）赤5ノット以下、黄色5-10ノット、緑10ノット以上
海氷：白が最も海氷密接度が高く橙→緑となるにつれ低くなる

(6) 航行船舶の定時性

NSR 航行を利用した輸送については，厳しい海氷条件等もあり，定時性が確保できるか不明である．このため航行船舶の定時性について考察した．図-11，図-12 は，横軸に時間軸，縦軸に経度座標をとり NSR 航行船舶の１時間毎の位置座標をプロットしたものである．カラゲイト海峡（東経 60 度）からペベク港（東経 170 度）までの各船舶の所要日数から，どの程度の定時性があるか確認した．

7月（図-11）の所要日数は，約 8～14 日となっており，ばらつきがある．しかし，図右側の船舶２隻を除いたグラフ左側の３隻分については，所要日数が全て 8 日前後で，なおかつ速度（グラフの傾き）も概ね一定となっており，定時性があることが確認できる．

9月（図-12）の所要日数は，全９隻とも約 6～8 日で，速度もほぼ一定となっており，７月よりも定時性があることが確認できる．

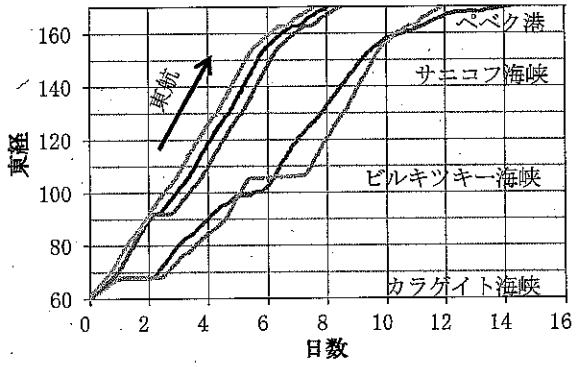


図-11 航行船舶の定時性（2012年7月）

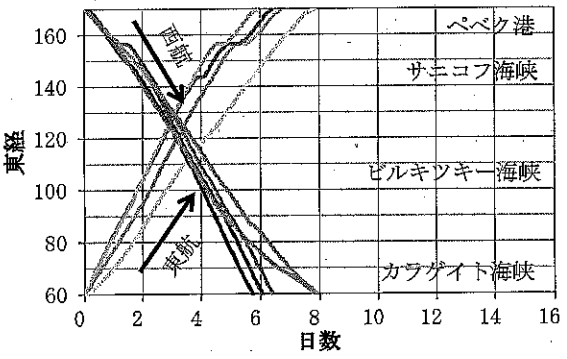


図-12 航行船舶の定時性（2012年9月）

4. おわりに

本研究結果から衛星AISがNSRの航行実態を把握するための有用なツールとなることが分かった．なお，本結果は限定的な取得データから分析されたものであり，海氷状態が異なる場合や，今後さらにデータの蓄積がなされた場合には分析結果が異なりうるため，今後も継続的なモニタリングが必要である．

また，今後中期的にはNSRを経由した資源輸送の実現可能性がある．これは資源の確保という国益にもかかわる問題である．NSRの航行実態把握についてはロシア当局の公表する情報に頼るのが現状である．しかし国益上の重要性に鑑み，ロシア当局との交渉（例：砕氷船の運用についての改善など）もあり得る．我が国独自で客観的な情報を取得・分析できる体制が必要と考えられる．

今後も引き続き北極海航路の航行実態の把握に関し衛星AISの活用などに関する研究を行っていきたい．

参考文献

1) 大塚夏彦：北極海航路が拓くあたらしい海の道，情報誌 OCDI，2014 WINTER Vol.4，2014.
2) Norvald Kjerstad：Ice Navigation，Tapir academic press，2011.
3) 海洋政策研究財団(OPRF)：日本北極海会議報告書，2012.
4) 北海道建設部空港港湾局物流港湾課：北極海航路可能性調査事業委託業務報告書，2013.

博物館 展示照明の全面LED化について

石澤　佳也

近畿地方整備局 営繕部 整備課 （〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44）

国宝や重要文化財などを収蔵、展示する博物館の展示照明には展示物保護に対する性能、展示物鑑賞のための性能、展示物の入替に対するフレキシビリティなど様々な性能が要求される.

京都国立博物館の新平常展示館である『平成知新館』（2014年9月開館予定）の建設にあたり、展示照明について、国立施設で初めて全面的にLED光源を採用した.

建設計画以前は、汎用的なLED光源では、出力や、演色性（色の再現性）などの性能が低く、博物館の展示照明という特殊な用途で全面的にLED光源を採用をした事例はなかった.

近年の技術革新により、これらの性能を満たすものが普及してきた中で、このLED光源を採用し、従来の光源（蛍光灯・白熱灯）にはない特性により、最適な博物館の展示照明を構築することができた.

キーワード　博物館, 展示照明, LED, 文化財保護

1. はじめに

博物館の展示照明では、一般事務室とは異なり、様々な性能が要求される. 展示物の保護（劣化原因となる紫外線の抑制等）、展示物を鑑賞するための環境を演出する性能（明るさ、まぶしさ、演色（色の再現性）、均一さ）、頻繁に展示物を入れ替えることに伴うフレキシビリティなどの機能がそれにあたる.

展示照明にLED光源を採用する事で、発光体が半導体素子であるため、紫外線が発生しない事や、従来のランプに比べ長寿命であることによる保守性の向上、器具が小型化できるため従来よりも照明器具を意識させない展示空間の演出が可能な事や、省エネルギー性の向上などのメリットがある.

しかし、従来の光源（蛍光灯、白熱灯）とは、発光原理そのものが異なる光源であり、その特性も異なり、採用にあたっては、技術的検討、試作品による実験などを行い、性能に問題が無いか確認する必要があった.

本研究では、それら検討を行った内容について報告すると共に、得られた結果を整理する事により、今後類似施設の展示照明に活用する事を目的とする.

2. 展示照明の概要

平成知新館の展示室は、各展示室の壁一面に壁面展示ケースがあり、室の中央部は、独立展示ケースで展示を行うスタイルとなっているが、展示品の中には巨大な彫刻、仏像など展示ケースに収容しきれない大きさの展示品もあり、それらを展示するための大空間もある.

展示室としては、全部で１３室あり、大きく分類すると、次の３種類の構造となっている.

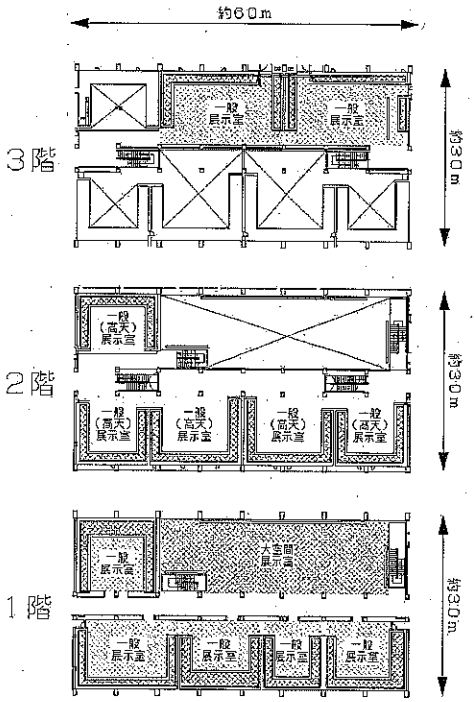


図-2　展示室エリア平面図

(1) 大空間展示室（１室）

壁面展示ケースは無く、天井高さが7.5m程度あり、展示ケースに収まらない巨大な彫刻、仏像などを露出で展示が行え、面積も広い事から、多目的な使用が可能な、メインの展示室である.



図-2-1-1　大空間展示室

大空間展示室は、リモコン操作により、任意に照射角度、出力（調光）調整が可能なムービングスポットを天井部に複数配置している.

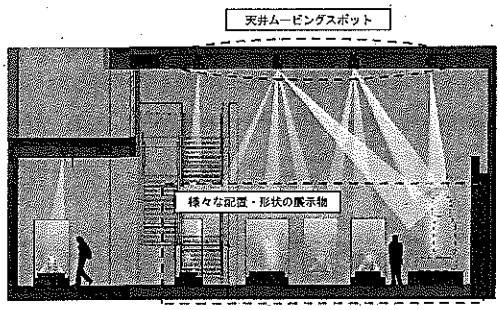


図-2-1-2　大空間展示室の展示照明概念

ムービングスポットは、レンズ等の交換により、配光（照射範囲）を変える事ができ、配光の違うスポットを２台セットの配置とする事により、様々な配置、形状の展示物に対応することができる.

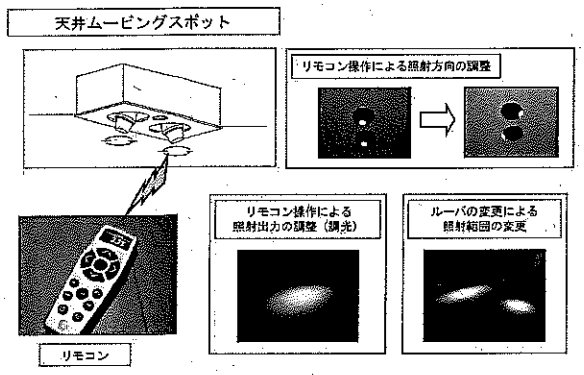


図-2-1-3　ムービングスポット

(2) 一般展示室（７室）

壁面には、壁面展示ケースがあり、中央部のスペースに独立展示ケースを配置し展示を行う、天井の高さは3.5m程度であり、通常の大きさの展示物であれば、十分展示できる最も基本的な展示室である.

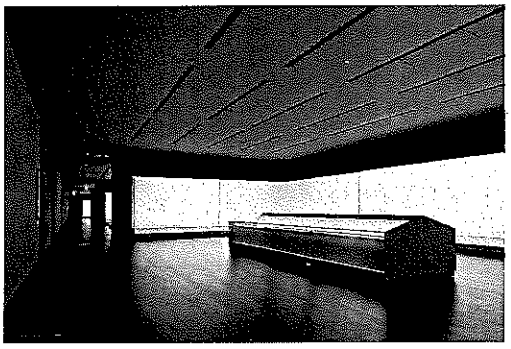


図-2-2-1　一般展示室

一般展示室の照明は、一定間隔でライディングダクト（照明スポットを任意の位置に取り付けできる電源用レール）を天井部に設けている.

意匠性を高めるため、ボックス内に収納し、スリットより任意の方向、角度にスポットの照射が行える仕様となっており、器具個別又は、ダクト毎の照射出力の調整（調光）も行えまた、レンズ等の交換により、配光（照射範囲）を変える事ができ、様々なケースの配置に対応が可能となっている.

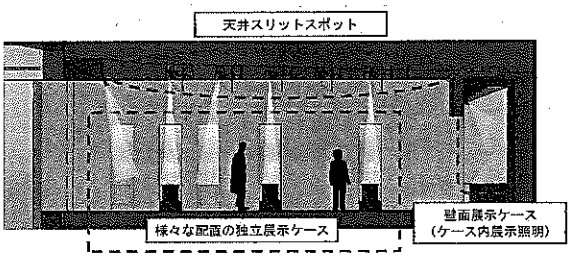


図-2-2-2　一般展示室の展示照明概念

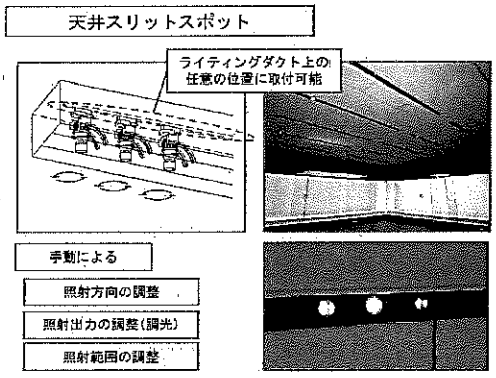


図-2-2-3　スリットスポット

(3) 一般（高天井）展示室（５室）

一般展示室と同様に壁面に壁面展示ケースがあり、中央部に、独立展示ケースを配置し展示を行う形となっているが、天井の高さは大空間展示室と同程度あり、圧迫感無く、展示が可能な展示室である.

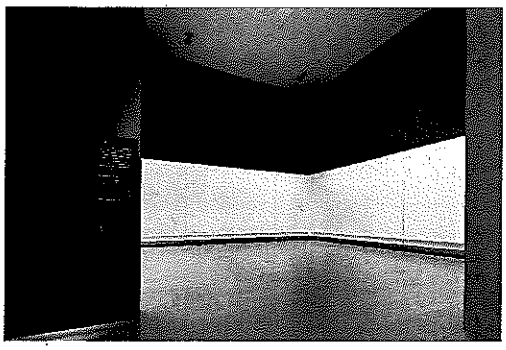


図-2-3-1　一般（高天井）展示室

一般（高天井）展示室は、天井高さが高いため、大空間展示室と同様のムービングスポットを設置しているが、常時は壁面展示ケース及び、展示照明が内蔵された展示ケースでの展示が主体となるため、最低限の設置台数としており、通路部分等の明るさを確保する事を目的としている.

将来的な展示内容の変更にも対応可能なよう、ムービングスポット等の増設が可能な仕様としている.

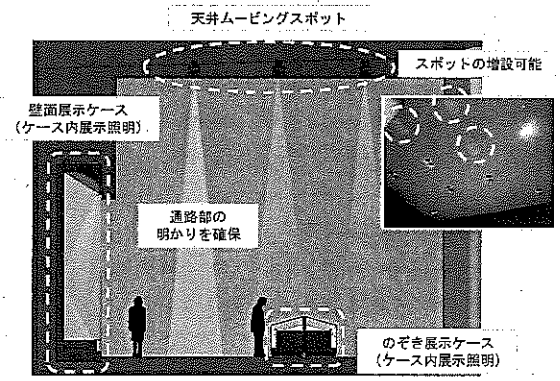


図-2-3-2 一般（高天）展示室の展示照明概念

(4) 展示ケース内照明

各展示室のベース照明に加え、壁面展示ケース内及び、独立展示ケースにも展示照明を設置しており、ベース照明と合わせ、展示照明の機能を満たしている.

＜壁面展示ケース＞

壁面展示ケースは、ケース内全体の照明であるLEDベースライン照明と、前述のスリット部と同じスポットを上部に取付可能な仕様としている. 下部のLEDベースライン照明は、筒状の鏡面ダクトを介して、展示物の正面に照射する構造で、位置の可変、ダクトの変更で高さを変えるなどができ、さまざまな形状の展示物に対応できる.

又、壁面展示ケースの下部には、展示照明用操作器が収納されており、室内、ケース内照明の調光、点滅などの設定、記憶を行うことができる.

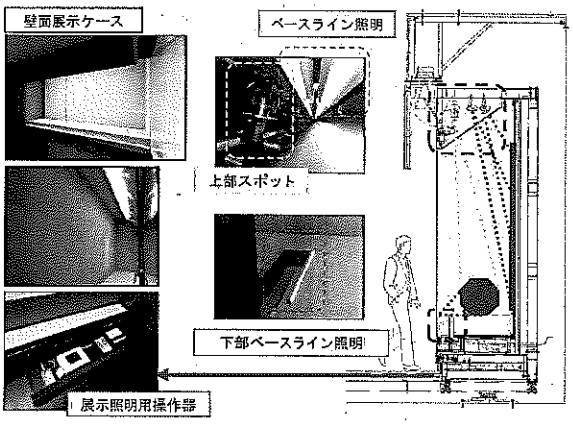


図-2-4-1　壁面展示ケース照明

＜のぞき展示ケース＞

のぞき展示ケースでは、ラインLEDによる間接照明でケース内全体に均一な明るさを確保し、ケース単体で展示物の照明をまかなう事ができる.

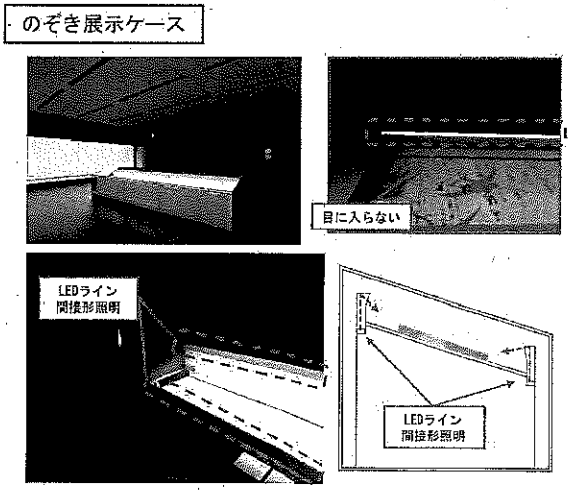


図-2-4-2　のぞきケース照明

＜独立展示ケース＞

独立展示ケース及び、壁面展示ケースには、下部からの局所的な照明が必要な場合の為に、超小型のLEDピンスポットを展示に合わせて取付け可能な仕様としており、手動により、照射方向、範囲、出力（調光）の調整が可能なものとなっている.

又、独立展示ケース上部には、必要に応じて、天井の

スポットライトよりの直接光を拡散させる事のできるフロストシートを取付できる仕様となっている.

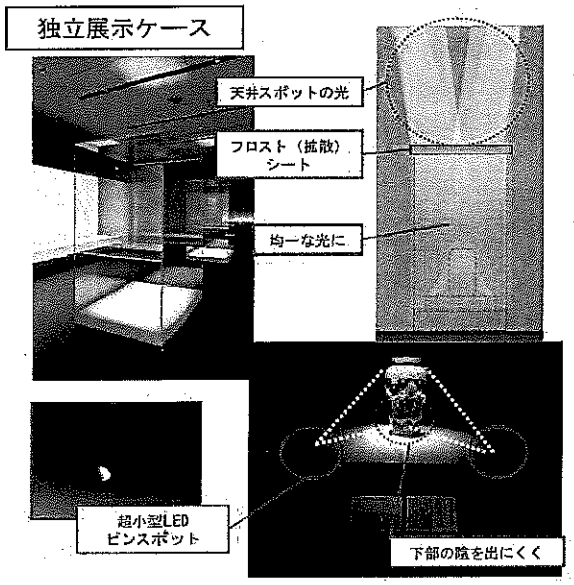


図-2-4-3 独立展示ケース

3. 展示照明のLED化について

展示照明にLED光源を採用するにあたり、従来の蛍光灯、白熱灯（ハロゲンランプ）と、発光原理そのものが違うことによる特性の差があるため、各性能について検討を行った.

理論値での机上検討だけでなく、実際に模擬展示物を使い、試作品での実験を博物館学芸員の立会いのもとで何度も行い、博物館の展示照明としての性能確保のための照明仕様を検討した.

検討を行う項目としては、博物館等の展示照明において必要な性能として、大きく分けると次の3つが考えられる.

- 展示物の保護に対する性能
- 展示物を鑑賞するための性能
- 展示物入替に対するフレキシビリティの性能

(1) 展示物の保護に対する性能について

a)紫外線の検討

照明光が展示物に与える影響としては、光化学反応（色紙などが、光を吸収することにより変退色する作用）によるものがある. 照明光の波長300～380nmの紫外線で95%程度、380～780nmの可視光線で5%程度の変退色作用があると言われており、それらの光が照射された量に比例（照度×照射時間）し、展示物に対して影響を与えると言われている.

今回実際に採用するLED光源の素子の分光特性曲線（照明光の各波長毎の量をグラフ化したもの）を確認し、特に有害な影響を与える380nm以下の紫外線波長については、ほぼ発生しない事を確認した.

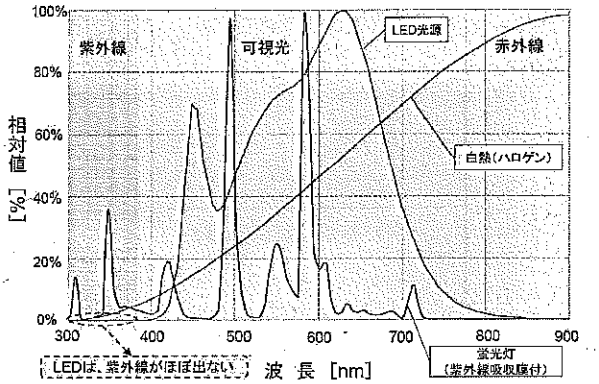


図-3-1 LED光源の実際の分光特性及び、従来光源の分光特性の一例

従来の蛍光灯（一般的に博物館・美術館に用いられる紫外線吸収膜付のもの）や、白熱灯（ﾊﾛｹﾞﾝ電球）と比較しても、紫外線の発生量は少なく、展示物に対する影響は、低くできると言える.

又、紫外線域の波長が出ないため、害虫などが寄ってきにくい光とも言え、展示物の保護の面で、最適の光源である事が確認できた.

b)発熱に対する検討

展示物に与えるもうひとつの影響として、発熱による温度上昇がある. 一般にLED光源は、入力電力（エネルギー）の内、約70%が熱に変換されると言われている. 発熱に対する性能としては、従来の蛍光灯などと大きな差はないが、白熱灯に比べると消費電力が低いため、発熱量は、大幅に少なくできる事を確認した.

また、試作展示ケース内での温度上昇実験も行い、問題のないことも確認できた.

又、LED光源は赤外線がほとんど含まれないため、照射光による熱の影響も少ないと考えられる.

c)保守メンテナンス性に対する検討

従来は、照明のランプが切れた場合、展示物を出して、ランプ交換を行う必要があり、展示物破損のリスクがあった. LED光源はランプ交換が不要であり、通常メンテナンスは清掃のみのため、リスク軽減ができる.

表-3-1 ランプ寿命

光源	ランプ寿命
蛍光灯	約6,000~12,000時間
白熱灯（ハロゲン）	約1,000~2,000時間
LED光源	約40,000時間以上

(2) 展示物を鑑賞するための性能について

a)明るさの検討

展示照明での照度（明るさ）は、来館者が快適に疲れが少なく観賞、観察できるよう設定する必要があり、必要以上に照度を高くすることは、まぶしさの原因となるばかりでなく、光・熱により展示物に損傷を与えることになるため、適切な照度に設定することが重要である.

照度の設定は、実際に模擬展示品により従来の蛍光灯、白熱灯とLEDでの見え方の比較も行い、鑑賞実験にて必要な照度の検討を行った. その結果、従来の照明に比べ、LED光源では低い照度でも鑑賞しやすいとの意見が多く、従来の照明に比べ低照度での設定とすることができた.

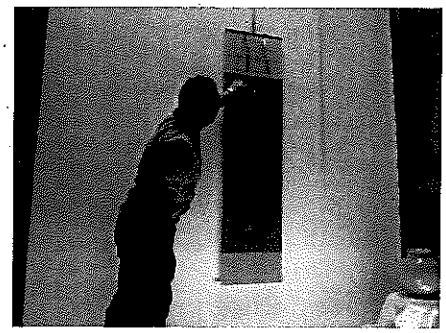


図-3-2-1 鑑賞照度実験

LED光源が、従来の光源に比べ低い照度で鑑賞可能であったのは、散乱光しか出さない蛍光灯や白熱灯と違い、LED光源の光は太陽光に近い平行光のため、少ない光量でも対象物の形を認識しやすい事、発光波長領域に可視光領域（380nm～780nm）が連続し安定して含まれているためであると考えられる.

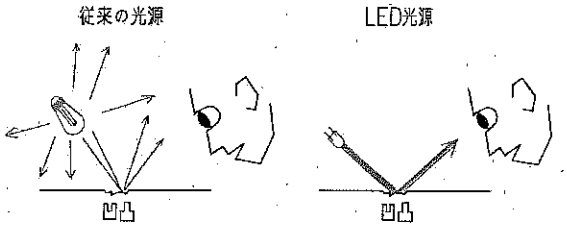


図-3-2-2 散乱光と平行光の目視認識のイメージ

b) 色温度と演色性の検討

展示物を鑑賞するための光環境として、検討が必要なものに、色温度と演色性がある.

色温度とは、光源の光色を数値化したものであり、K（ケルビン）という単位で表し、約3,000K以下の光源はやや赤みがかった光色、約7,000K以上の光源はやや青みがかった光色となる.

LED光源は、制作時に色温度の選択が可能であり、今回は、試作照明により、複数の色温度を比較し、最終的に汎用性の高い温白色である3,500Kの仕様とした.



図-3-2-3 色温度・演色性実験

演色性は、光源の分光分布（波長）が変わると物の色の見え方が変化する. このような照明光による物の色の見え方に及ぼす光源の特性を言い、それを数値化したものが平均演色評価数（Ra）であり、100に近づくほど対象物の実際の色を再現していると言える.

従来の蛍光灯（博物館・美術館用の高演色のもの）で最大99程度、白熱灯のRaは100と高い数値になるが、LED光源は、80～95程度となる.

今回LED光源を採用するにあたっては、汎用素子で最大のものであったRa92の素子を用いて実験を行い、従来照明との比較した結果、Ra92でも十分に鑑賞に堪えうる事がわかったため、Ra92以上での設定とした.

LED光源の場合は、従来器具のようにランプでそれらの性能が決定するのでは無く、器具（素子）自体でその性能を確保する必要があるため、器具製造メーカでの製作上の品質（色温度・演色性）管理について確認をおこない、それらの性能が確保できる事を確認した.

c)まぶしさ・陰影に対する検討

LED光源の特徴として、前述の明るさと相反する部分で、平行光であることにより陰ができやすい事や、まぶしさが問題となる.

陰については、試作品での実験を行い、陰に対して超小型ピンスポットなどで、下部からの照明を行う事により解決できた.

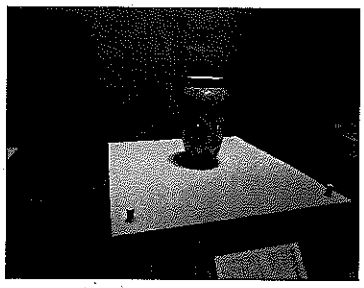


図-3-2-4 超小型ピンスポットの試作品

また、まぶしさについては、鑑賞者の目に入らないような照明配置等を検討し、照明自体が目に入らない形の配置とでき、まぶしさについても解決できた.

d)照度均斉度の検討

展示照明では、展示面照度の均一さも必要である．LED光源は、面光源では無く、点光源の集合体であることから、照度の均斉度（対象範囲内の照度（明るさ）の最大値と最小値の比率）の確保については難しく、試作品で照度測定を行い、何度も調整を行う必要があった．

壁面展示ケースは、調整の結果、上部のLEDベースライン照明を２列とし、形状、角度を試作品で実験し、均斉度の確保を行えた．

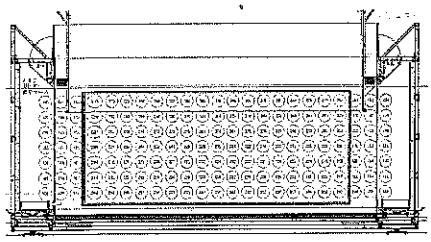


図-3-2-5　壁面展示ケースの照度測定の一例

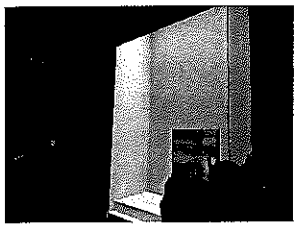


図-3-2-6　壁面展示ケースの試作品実験の様子

のぞき展示ケースは、上下のLEDベースライン照明が、直接照射する形では、均斉度が確保できなかったため、最終的に、間接照明の形状にする事により、均斉度が得られた．

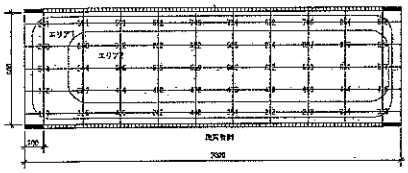


図-3-2-7　のぞき展示ケースの照度測定の一例

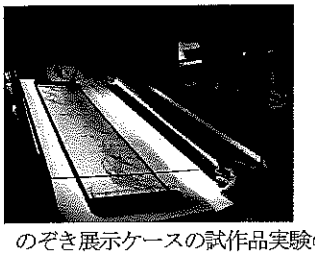


図-3-2-8　のぞき展示ケースの試作品実験の様子

(3) フレキシビリティについて

フレキシビリティについては、ベース照明、ケース照明含め、LED光源にした事によりコンパクトとなり、多くの照明を配置でき、さまざまな形状、配置の展示物に対応できる形とできた．

(4) その他の性能について

スポット照明については、従来は白熱灯（ハロゲンランプ）であったが、LED光源での照明としたことにより、消費電力としては、約１／３程度となり、大幅な省エネとなる．

又、従来照明に比べ、照度を低めに設定できることで、その効果は、それ以上と考えられる．

4. まとめ

LED光源を用いた展示照明については、性能的に従来の蛍光灯、白熱灯などと比較しても、良い結果が得られ、特に重要な、展示物の保護の面で、従来照明以上の性能が確保できることからも、博物館の展示照明の光源としては、最適な光源であると言える．

表-4-1　LED化に関するまとめ

性能	検討項目	従来の光源に比べ、・・・	評価	
展示物保護に対する性能	紫外線	紫外線は、ほぼ発生しない。	◎	◎
	発熱	白熱灯に比べ、大幅に発熱量低。	○	
	保守性	ランプ交換不要なため、リスク軽減。	◎	
展示物鑑賞のための性能	明るさ	低い照度で鑑賞可能。	◎	○
	色温度	色温度の選択が可能。	○	
	演色性	数値的に若干劣るが、鑑賞上問題無し。	○	
	まぶしさ	まぶしさ、陰影がでやすいため、配慮は必要。	△	
	均斉度	散乱光では無いため、均斉度の確保は難しい。	△	
フレキシビリティの性能	フレキシビリティ	コンパクトで、フレキシビリティの確保がしやすい。	○	○
	意匠性	照明を意識させない展示空間を演出できる。	○	
その他	省エネ	スポットは、消費電力が約１／３程度となる。	◎	◎

また、LED光源を採用した事により、器具がコンパクトになり、施設全体において、照明器具を意識させず、鑑賞の雰囲気を損なわない展示空間を演出することができたことも大きな成果であった．

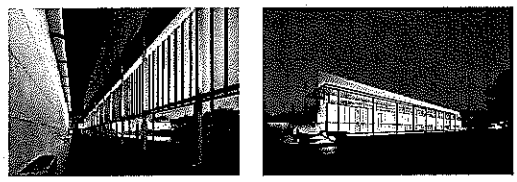


図-4-1　グランドロビー・外観

当該照明の設計、協力、施工（図版提供共）

設計：（株）谷口建築設計研究所
岩井達弥光景デザイン
環境エンジニアリング（株）

協力：（株）YAMAGIWA

施工：戸田建設（株）、栗原工業（株）

リノベーション手法による
米沢税務署の整備効果について

山尾　司

東北地方整備局　営繕部　整備課　（〒980-8602 宮城県仙台市青葉区二日町9-15）

老朽化した官庁施設が増大する中、官庁施設の各事業では、これまでも施設の現状を随時把握し、各種老朽化対策や耐震安全性の確保、バリアフリー化などの効果的な整備に取り組んできた。一方、取り組みの重要性が指摘されている既存ストックの有効活用のためには、施設が抱える個々の課題に対し、総合的な機能回復を目指す一体的な整備手法が必要である。

本論文では、山形県米沢市に位置する米沢税務署庁舎で実施した一体的な整備手法である、リノベーションによる整備効果について、庁舎機能の確保、コスト縮減や適切な整備の時期などの観点から検証し、今後のストックの有効活用に反映させることを目的としている。

キーワード　ストックの有効活用，老朽化対策，コスト縮減，効果的な実施時期，景観形成

1. はじめに

国家機関の建築物は、約4,900万㎡（約15,000施設）あり、このうち築後30年以上が約4割を占める状況にある（図-1）。今後これらの老朽化した施設が大幅に増加することが見込まれている中、トータルコストの縮減を図り、来訪者などの安全確保と行政サービスの円滑な提供を維持するため、既存施設の有効利活用を図りつつ、適正かつ確実な維持管理・更新を図っていく必要がある。特に施設整備においては、建替え、使用調整、長寿命化改修などを組み合わせ、個々の課題に対する総合的な機能回復を目指す対策が必要である。

リノベーションは、狭あい解消のための小規模な増築、構造躯体の健全化、施設機能の回復・向上のための改修及び模様替えなどの組み合わせにより、新築と同等の効果を得る施設の全面改修を行う整備手法である。

本論文では、東北地方整備局営繕部としてリノベーション手法により一体的な整備を実施した米沢税務署庁舎の事例を通し、その役割・効果、事業実施における留意事項について検証を行った結果を報告する。

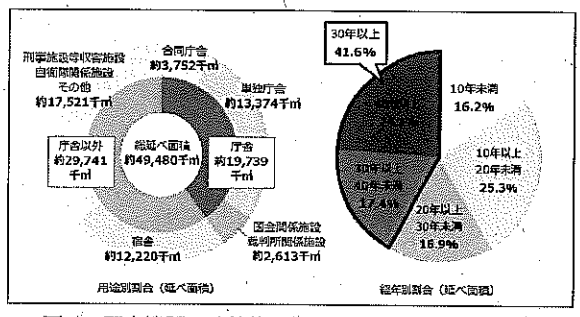


図-1　国家機関の建築物の総延べ面積・経年別状況[1]
（2014年7月現在）

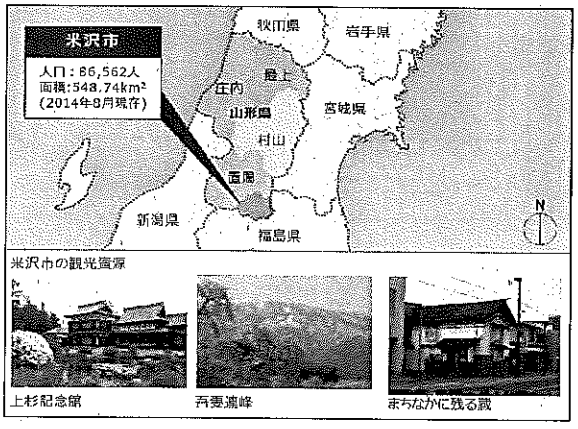


図-2 米沢市の概要[2]

2. リノベーションの計画及び実施

(1) 米沢市と米沢税務署の概要

米沢市は人口約9万人、福島県と県境を接する山形県最南端に位置し、吾妻連峰の裾野に広がる米沢盆地にある県内四地域の一つである置賜（おきたま）地方の中心的な都市である。古くから上杉の城下町としてのまちなみが形成され、歴史や豊かな自然環境を活かした観光資源を持つ東北地方の地方都市である。（図-2）

この米沢市に位置する米沢税務署庁舎（表-1・写真-1）は、1966年に建設された庁舎で、築後44年を経過し、現行基準の耐震性能不足、業務量の増加による庁舎の狭あい化、現行バリアフリー基準の不適合、老朽化による外壁劣化・空調設備の不具合などの問題が生じていた。

(2) 事業の目的と計画内容

このような施設が抱える不具合の解消のためには、従来は庁舎の建替により対応してきたが、老朽化した官庁施設のストックが増大する中、官庁施設を効率的に機能維持し、総合的なコストの縮減を図りながら、周辺の景観形成に寄与する手法として、本施設ではリノベーションを採用することとした。

計画にあたっては、本事業の目的を「不具合の解消」と「施設価値の向上」の２つに掲げ、それぞれに各種改修メニューを抽出し、設計条件を整理した。（図-3）

既存施設の不具合を解消するため、既存部に対し耐震壁の設置やコンクリート構造躯体部分の補修、増築による床面積の増、EV（エレベーター）・多目的トイレの設置などを行った。また、リノベーションによる施設価値の向上を図るため、既存部では執務空間や交通部分を再構築し、施設全体では高効率設備機器を設置すると共に、地域の景観形成への配慮を行った。（図-4）

表-1　米沢税務署の施設概要

所在地	山形県米沢市門東町1-1-9			
敷地面積	2,649㎡			
工期	2011年12月～2012年11月			
構造・規模	リノベーション前		リノベーション後	
	RC造2階建て		RC造2階建て＋S造2階建て	
	建築面積	397㎡	建築面積	741㎡
	延床面積	803㎡	延床面積	1,199㎡

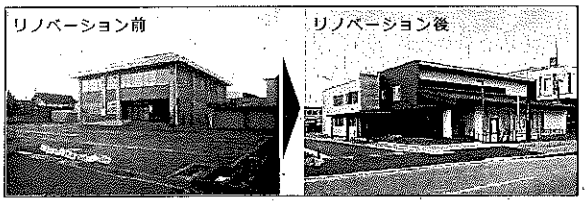


写真-1　米沢税務署庁舎

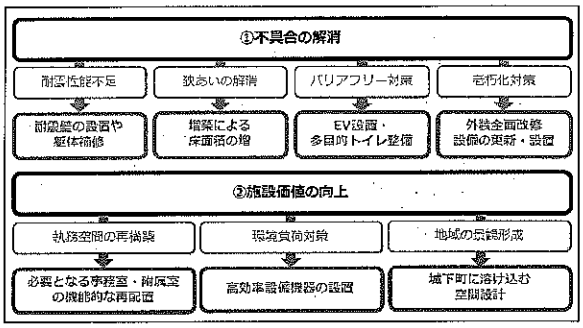


図-3　事業目的と計画内容との対応関係

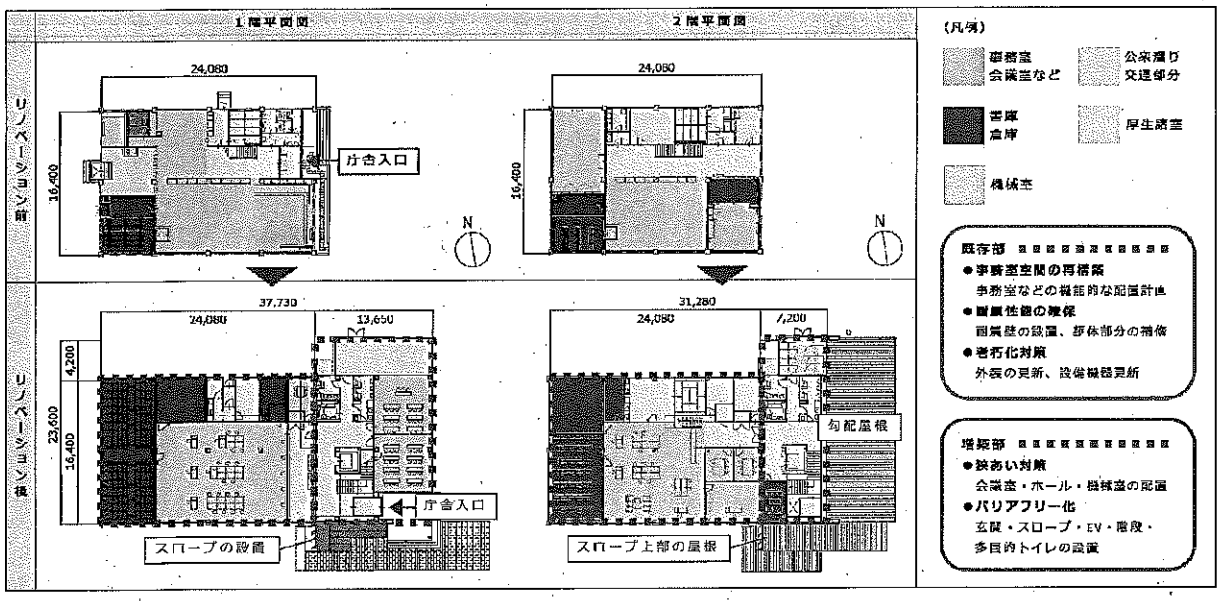


図-4　リノベーション前後の平面図

3) 施工段階の課題への対応

リノベーションを行う場合は、内装材を全面撤去し、コンクリート構造躯体の健全性の確認が必要となる。建設年次や施工の時期・建設当時の施工技術などによりコンクリートに問題が見受けられる場合もある。本事業では、施工時にコンクリート構造躯体の確認を行った結果、ジャンカ（豆板）や欠損などが見受けられたため（図-5）、補修を行い、適正な状態（適切な施工がされている状態）へ改善した。

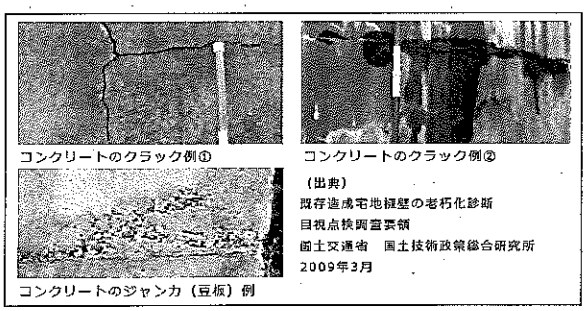


図-5　目視確認できるコンクリート老朽化の例

(4) 実施結果

これらを経て、個々の修繕では対応が難しい狭あいの解消、バリアフリー化や耐震性能の確保を進めると共に（図-6）、勾配屋根を採用し、入口の軒を低くすることで風雪による来庁者への影響に配慮したほか、壁面に白壁、外構にウコギ垣などを取り入れ、通りの風景を継承した。（図-7）



図-6 リノベーションの整備効果

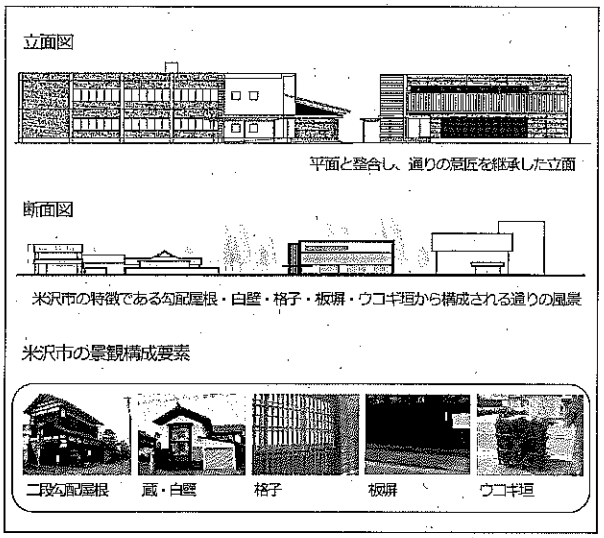


図-7 リノベーションによる通りの風景の継承

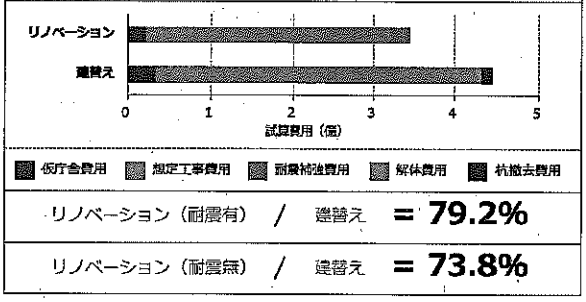
この結果、既存の敷地でのリノベーションにより、機能的な不具合の解消と共に、米沢市の特徴である要素を取り入れ、環境への対策や周辺環境との調和といった施設価値の向上を図ることができた。

3. リノベーション手法による整備効果

(1) コスト縮減効果

リノベーションは、既存の基礎・躯体等の構造体を再利用できることから、建替えの場合より工期を短縮でき、一般的には低コストで事業を実施することが可能である。本事業では、建替えの場合より工期を3ヶ月程度短縮でき、当初想定した本事業の建替えコストに対するリノベーションコストの割合は79.2%となっており（表-2）、建替えの想定費用から約20%コスト縮減が図られた。また、一般的な別敷地での建替えの場合では既存建物の杭撤去、解体工事が必要となるため、その分の工期としても4ヶ月程度の工期縮減も図られていることになる。

	リノベーション（耐震有）（想定工期：11ヶ月）	建替え（想定工期：15ヶ月）
想定工事費用	309,044,835円	376,123,463円
仮庁舎費用 1,900,000円／月	20,900,000円	34,200,000円
耐震補強費用	24,000,000円	—
杭撤去費用	—	12,093,000円
解体費用	—	24,386,000円
総額	353,944,835円	446,802,463円



リノベーション（耐震有） / 建替え = **79.2%**

リノベーション（耐震無） / 建替え = **73.8%**

表-2 リノベーションと建替えのコスト試算比較

本事業では、耐震改修が必要であったため比較的大規模なリノベーションとなったが、新耐震基準を満たす施設のリノベーションでは耐震改修が不要となり、さらなるコスト縮減効果を発揮できる。仮に本事業で耐震改修を実施しない場合の試算を行った結果、建替えと比較したリノベーションのコストの割合の想定値が79.2%から73.8%となっており、耐震改修事業が促進されている現状を鑑みると、将来的な有効性がより期待できる。

(2) 一体的整備による相乗効果

本事業でのリノベーションでは多くの制約がある中でも、既存部の耐震改修、増築による床面積の増、EV・多目的トイレの設置、外壁劣化による外装全面改修などの一体的な整備によって、耐震性能の確保、狭あいの解消、バリアフリー化への対応、環境負荷対策、地域の良好な景観形成といった整備が可能となったことから、不具合の解消と施設価値の向上という一体的整備による相乗効果が得られたと考えている。

4. 効果的なリノベーションを実施するために

(1) 計画的なリノベーションの実施時期

リノベーションを進める上で留意する点として、実施する時期が挙げられる。

図-8に示されるように、一般的に施設が完成してから取り壊されるまでの間、施設の性能や機能を良好な状態に保つほか、社会・経済的に必要とされる性能・機能を確保し保持し続ける必要があるため、定期的に補修や修繕を行わなければならない。

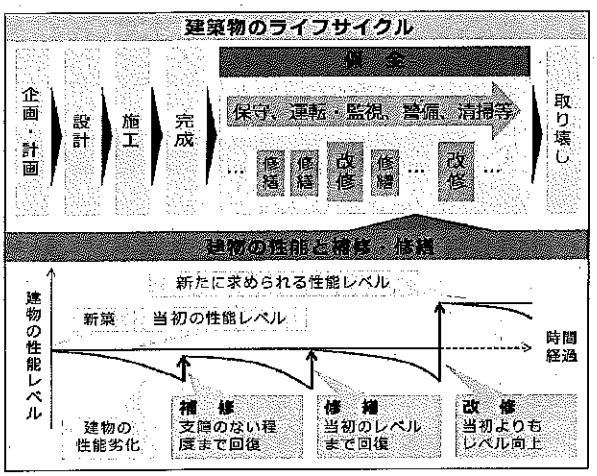


図-8 建築物のライフサイクル[8)]

施設の完成から取り壊しまでのライフサイクルでは、約10年毎に部分修繕と設備機器の更新を繰り返すことが一般的であり、建替えの計画時期は60～70年が最適とされる中、リノベーションの計画時期は、施設の経年劣化が著しくなり、重ねて設備機器の更新も求められる35～45年の間が諸費用などを考慮して最適と考えられる。

本事業では、築37年目の暖房ボイラーの更新から7年後の44年目にリノベーションを実施したため、空調システムの整備方針の検討に時間を要するなど、各種計画に影響を及ぼした。(図-9)

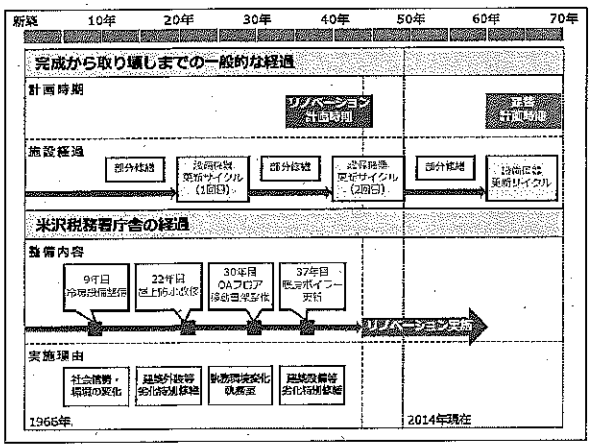


図-9 施設の完成から取り壊しの一般的な経過と米沢税務署庁舎の経過

以上のことから、計画的なリノベーションの実施には、施設の経過年数を念頭に入れて適正な維持管理を行いつつ、リノベーション、または建替えの計画時期におけるコストや工期の検討を十分に行う必要がある。

(2) 敷地の制約に起因する課題への対応

リノベーションの実施においては、多くの条件を整理する必要がある。

具体的には、既存建物のリノベーション実施期間における庁舎機能の仮移転場所や、増築による駐車場スペースなどの減少に対する措置、既存建物の現状の把握、組織改革における新しい庁舎利用の計画、周辺まちづくり計画との整合性の検討などが挙げられる。(表-3)

表-3 敷地の制約に起因する問題

庁舎の仮移転	既存庁舎→仮庁舎→改修後の庁舎への移転
敷地利用	増築による敷地利用計画の支障（駐車場スペースなど）
既存建物の詳細な現状	詳細調査の発生による設計変更・コスト増
組織改革等	将来的な組織改編に対応可能な計画
関連計画	周辺まちづくり計画への整合性

本事業においては、敷地北側に立地していた米織会館（劇場・ホール）に庁舎機能を移転できたため、仮設庁舎を建設せずに行政サービスを継続できたことで、コストや工期の縮減に繋がった。また、米沢市の特徴を活かした意匠を取り入れ、道路側に庁舎の入口を配置し、周辺の建造物に軒を連ねることで、城下町のまちなみの連続性を保つことができた。また、リノベーション前は機械室などが庁舎とは別に敷地内に配置されていたが、それらを増築部に集約させて効率化を図ると共に、駐車場スペースを確保した。(図-10)

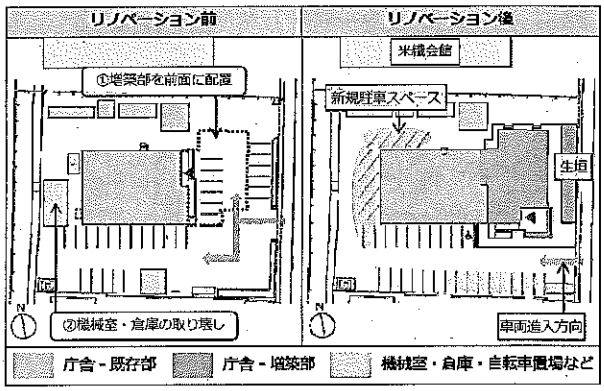


図-10 リノベーション前後の配置計画

これらの諸条件を企画・計画段階で、入居官署・周辺自治体などと調整を図りながら事業計画を立案し、リノベーションの事業化後は十分に設計者へ周知することが重要である。また、実施設計段階では、企画・計画段階で調整した内容を反映し、確実に実施していくことが求められる。

(3) 地域の景観に配慮した設計検討

国土交通省では「官庁営繕事業における景観検討の基本方針（案）」（2007年3月）を策定すると共に、周辺のまちなみや自然の景観に配慮した美しい景観の創造に資するためガイドラインを作成し、図-11に示す1～8の項目について、景観への配慮の視点とそれぞれの項目に該当する官庁営繕事業の具体事例を取りまとめている。そのため、官庁施設については、地域のまちづくりに貢献すると共に、これらの事例を活用し、良好な景観形成に資する整備に重点的に取り組む必要がある。また、官庁施設は、都市を構成する主要な要素の一つであり、地方公共団体をはじめとする様々な関係者と連携し、地域の特性を考慮しつつ、良好な市街地環境の形成に寄与することが求められる。本事業においては、米沢市の特徴を活かし、通りの風景を継承するなど、周辺環境との調和を図ることができ、良好な景観形成に寄与するための手法としてもリノベーションは効果的であることがわかった。



図-11　官庁営繕事業における景観形成ガイドライン[4)]

5. まとめ

本事業では、個々の修繕では対応が難しい狭あいやバリアフリー対応並びに耐震性能確保のほか、構造躯体であるコンクリートのジャンカや欠損などの不具合を解消できた。また、建替えに比べコスト縮減、工期短縮の効果もあり、新たな事業用地の確保や既存建物の取り壊しによる産業廃棄物の増大への対応の観点からもリノベーション手法は有効であることがわかった。（図-12）

リノベーションを実施する際には、計画的な予算措置や敷地に起因する課題など、事前に整理する必要がある事項が多く存在する。これらは入居する官署の特性や将来の組織計画などに左右され、当初から解決・調整がしにくい事項が多いのも実情ではある。しかし、米沢市のような地方都市においては、官公庁施設はまちの核となり、周辺環境に与える影響は大きい。そのため、施設のリノベーションによる整備は、地域の特徴を活かす点でも効果的であり、合同庁舎計画のない単独庁舎の事業計画として有効性があることから、今後、企画・計画の時期を見据えながら、他施設の事業採択の一つとして検討を進めていきたい。

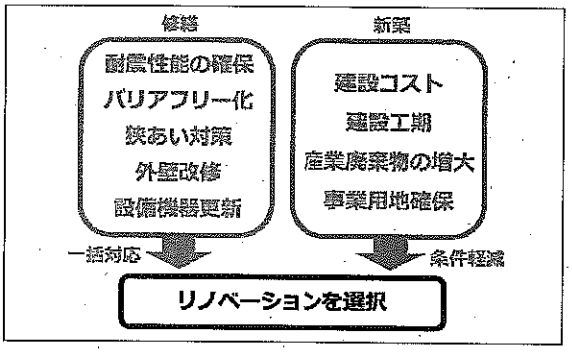


図-12　リノベーション事業の有効性

参考文献

1) 国土交通省：平成27年度各省各庁営繕計画書に関する意見書（2014年8月）
2) 米沢市：米沢市景観計画（2010年6月）
3) 国土交通省　大臣官房官庁営繕部：国家機関の建築物等の保全の現況（2014年3月）
4) 国土交通省　大臣官房官庁営繕部：官庁営繕事業における景観形成ガイドライン（2004年5月）

効率的な河川の維持管理に向けた取り組みについて

宮田　晃

四国地方整備局　河川部　地域河川課　（〒760-8554　香川県高松市サンポート3-33）

中小河川を主とした効率的な維持管理手法について、平成21年度より大学、高等専門学校、四国四県、整備局により実施している「河川の維持管理（土砂問題）に関する勉強会」における協働研究の取り組み事例を紹介するとともに、その取り組み成果をとりまとめた「河川維持管理の考え方」を紹介する。

キーワード　中小河川、河川維持管理、効率化、学官協働

1. はじめに

近年、集中豪雨の頻発や巨大台風の上陸等により洪水が発生し、浸水被害が多くみられる状況であり、四国地方においても、特に平成16年の台風では大きな被害をもたらしている。このような中、堤防の決壊や河川のはん濫等による水害を防止又は軽減していくためには、河道改修や洪水調節施設の整備に加え、適切な河川（河道や河川管理施設）の維持管理を継続的に行っていく必要がある。

しかし、県管理河川（中小河川）においては、河川数が多い上に管理延長が長く（図-1、図-2）、ヒアリングやアンケートの結果[1]（表-1）からも、適切な維持管理を実施していくための職員や予算を確保することが困難な状況などの課題があり、十分な維持管理を適切に実施するに至っていない河川もある。

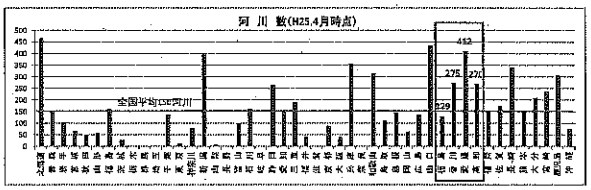


図-1　各県の河川数

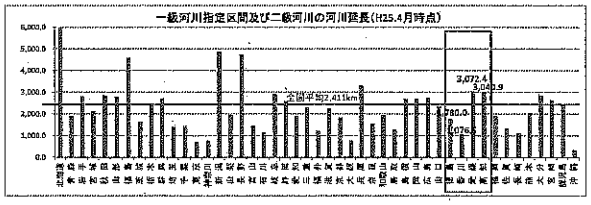


図-2　一級河川指定区間及び二級河川の延長

表-1　河道管理の現状と課題

項目	代表的な意見
樹木伐採に関する課題	・　樹木繁茂に関する判断基準がなく、巡視結果や担当者の判断ならびに住民からの通報・要望によるところが大きい。河積阻害率などの定量的評価が難しいと考えている。 ・　人員不足、予算不足の状況にあり、対策箇所の絞込みなどの効率的な管理手法の確立が求められている。 ・　運搬や処分にかかる費用が高く、限られた予算での処置に苦慮している。
河床掘削に関する課題	・　土砂堆積に関する判断基準がなく、巡視結果や担当者の判断ならびに住民からの通報・要望によるところが大きい。河積阻害率などの定量的評価が難しいと考えている。 ・　現況の流下能力を把握するための測量に経費がかかりすぎる ・　浚渫計画等を立案しても、予算面から全てを実行できない。
河道管理における最重要課題	・　十分な予算がなく、測量断面や流下能力等の情報が不足している。 ・　住民からの要望箇所が多く、状況確認・判断・除去が十分に対応できない。 ・　全ての管理河川に対して定期的な状態把握が難しく、土砂堆積や樹木繁茂を反映した簡易手法を求めている。

このような背景を踏まえ、中小河川の効率的な維持管理を継続して実施出来る手法の検討が必要となった。

また、近年の動向として、河川管理施設の経年劣化や老朽化の進行（図-3）により、一部の施設では老朽化が原因と見られる被災等も生じ始めていることから、平成25年6月には、河川法が改正され、河川管理施設等を良好

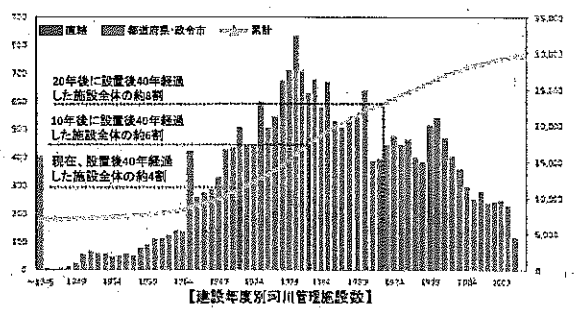


図-3　建設年度別河川管理施設数

な状態に保つよう維持・修繕することが河川管理者の責務として明確化された。

こうした中、平成21年度より、中央大学研究開発機構の福岡教授指導のもと、四国管内の高等専門学校、四県及び整備局により「河川の維持管理（土砂問題）に関する勉強会」（以下、「勉強会」という）を立ち上げ、共同研究を進めてきたところである（図-4）。

本取り組みについては、平成21年度よりモデル河川として愛媛県の中山川、香川県の香東川により検討を開始し、平成24年度には、高知県の安芸川、徳島県の桑野川を追加して、さらなる研究を実施してきたとともに、平成25年度には、これまでの成果のとりまとめを実施したことから、今回改めて、その取り組みについて、報告を行うものである。

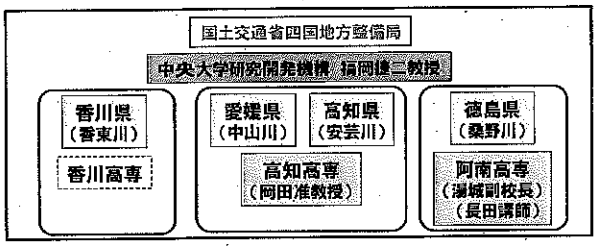


図-4　勉強会の構成【H25年度】

2.　勉強会の取り組み内容

勉強会における実施内容としては、効率的な河川維持管理手法の構築として、河川管理者自らが効率的に実施出来ることを目標とした、簡易圧力式水位計のデータにより河道内変化を把握する簡易水理解析と河川カルテを併用した維持管理手法について、各組織が役割分担を行い構築を進めた

また、効率的な維持管理を実施する上で、これまでの成果をとりまとめるとともに、維持管理の基本的な考え方を示した「河川維持管理の考え方」を、勉強会により作成した。これらの取り組みの詳細については、次項で示す。

3.　効率的な河川維持管理手法の構築

(1) 取り組みの概要

本検討では、中央大学研究開発機構の福岡教授による「樹木繁茂や土砂堆積による影響は洪水流の水面形の時間変化に明確に現れる[2]」との考えから提案された縦断的に配置された簡易圧力式水位計の洪水時の時系列データから河道内変化を把握する手法を採用することとし、河川管理者自らが計算できるよう、この手法を用いた「簡易水理解析」の構築を行うこととした。また、この手法において、より具体的に計算結果を補完し、河道内変化の把握を行うための「河川カルテ」の作成を行うこととした。

この「簡易水理解析」と「河川カルテ」とを組み合わせ、河道内変化を縦断的に把握し、必要な対策を講じ、更にデータを更新していくという、作業のルーチン化を目指した維持管理手法の検討を実施するものとした。この手法の基本方針について、高知工業高等専門学校にて提案されているフロー[3]を下記に示す（図-5）。

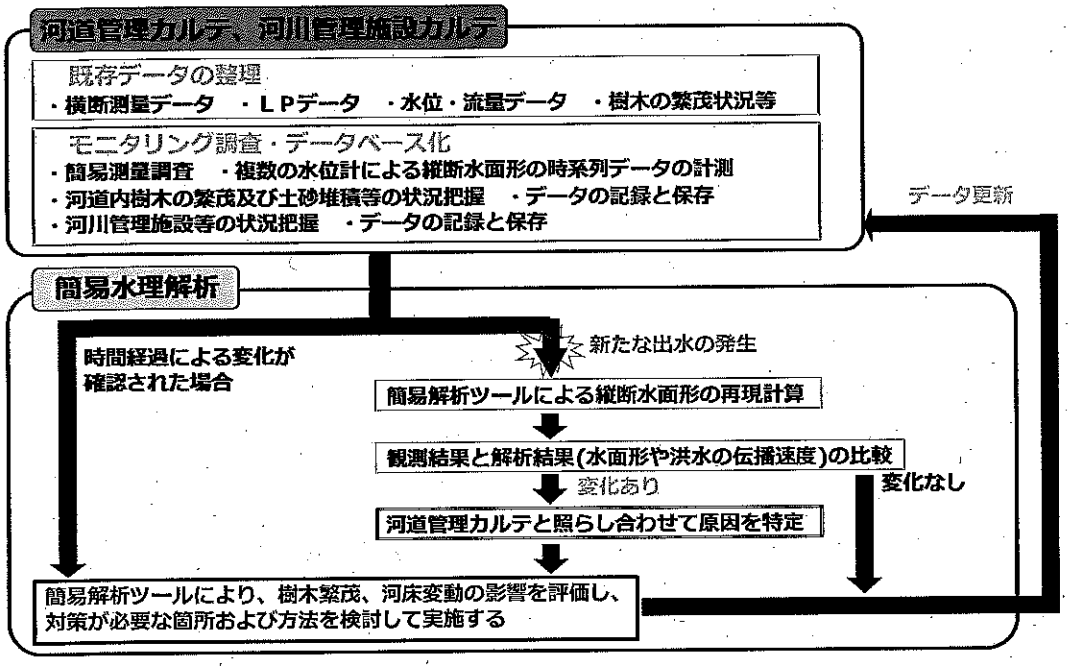


図-5　中小河川における河道管理手法の考え方（高知高専方式）

(2) 水面形の把握による河道内の変化把握手法の検討

今回検討を行った簡易水理解析と河川カルテを用いた河道管理のイメージを図-6に示す。

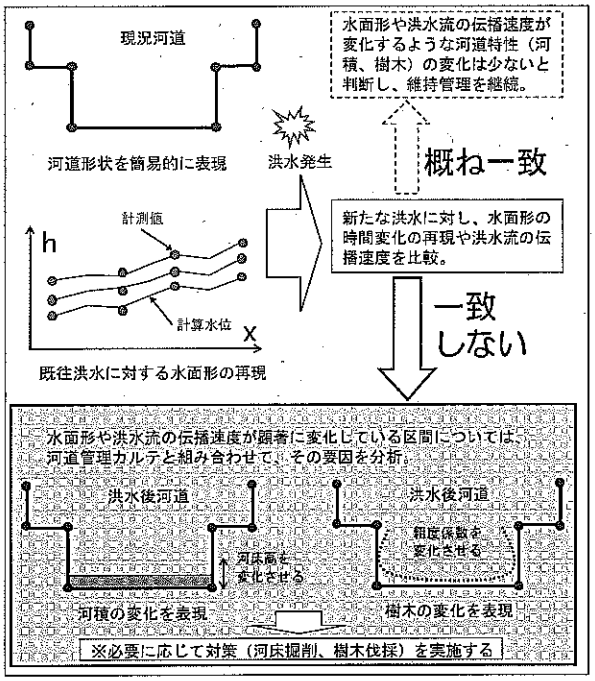


図-6　簡易水理解析と河川カルテを用いた河道管理のイメージ

この手法を具体化するため、以下のモデル河川と機関構成及び項目により検討を進めてきた。

【モデル河川と関係機関】

■中山川（愛媛県）：高知高専、愛媛県
■香東川（香川県）：香川高専、香川県
■安芸川（高知県）：高知高専、高知県(安芸土木)
■桑野川（徳島県）：阿南高専、徳島県

【検討内容】

●水位計を用いたモニタリング手法の検討
●河川管理者自らが水理計算を実施出来るよう、河川の横断面データ（既存の測量データ又は8点近似断面データ）及び簡易圧力式水位計の時系列データ、河道内樹木群粗度係数を入力値とした一次元不定流計算による「簡易解析ツール」の開発
●「簡易解析ツール」の実用性の検証
●水理計算結果を補完するとともに、河道内変状を把握するための河川カルテの作成（図-7）

この検討にあたって、高知工業高等専門学校では、河川カルテ作成支援ツールの開発も行われ、また、河川カルテの作成・簡易水理解析に関する現地での勉強会も実施していただくなどの取り組みもなされた[9]。

また、阿南工業高等専門学校では、一次元解析の活用策と課題について検討がなされ、その課題に対しても研究が実施され、報告をいただいているところである。

これらの各取り組みの結果、簡易圧力式水位計のデータによる簡易解析ツールの活用及び河川カルテにより、課題はあるものの、簡易的な河道内変化は把握が可能であると確認された。

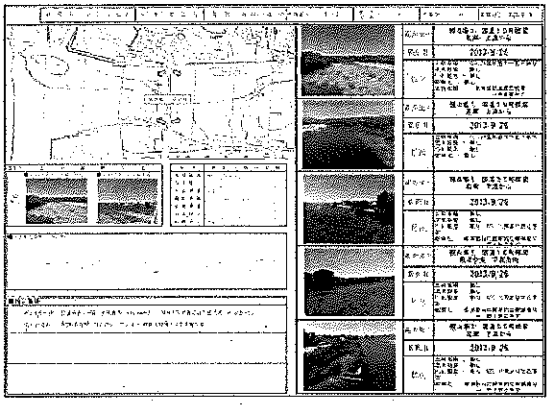


図-7　河川カルテの作成例（高知県安芸川）

なお、この結果を活用した作業のルーチン化を図る手法の構築までは、現時点では出来ていないため、今後、この作業のルーチン化を図るべく、更なる取り組みが必要である。

4.　「河川維持管理の考え方」の作成

これまでの検討においては、維持管理手法を構築する検討を中心に実施してきたところであるが、維持管理の実施に当たっては、各河川管理者に共通して以下の課題が見られる。

・国、県等の職員は定期的に転属するため河川の管理技術を育成することが困難
・現場に慣れた技術者から若手技術者への河川管理技術の共有や伝承が困難
・管理区域が増大するなかで、適切な維持管理を実施していくための職員や予算を確保することが困難

そのため、河川管理に従事する者の参考とするため「河川維持管理の考え方（初版）」を、平成25年3月に勉強会で作成した。この「河川維持管理の考え方（初版）」（図-8）は、基本編と応用編に分かれており、基本編では、河川管理の基本事項を初心者でも把握できるよう作成した。また、応用編では、これまで勉強会で検討してきた簡易解析ツールや河川カルテ等の使用例や事例集なども掲載し、効率的な河川維持管理を目指すための資料として、勉強会構成メンバーに配布したところである。

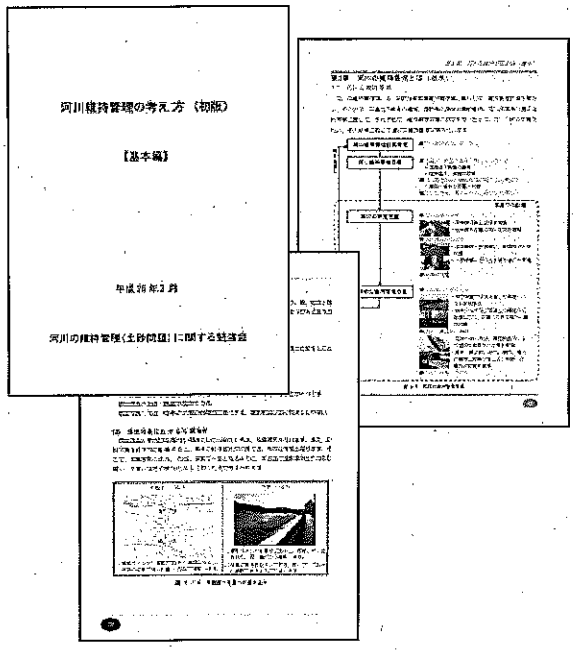


図-8　「河川維持管理の考え方（初版）」の内容

5.　今後の取り組み

平成26年度以降の取り組みとしては、以下の通り進めることとして、勉強会の中でも共有しており、今後、更なる維持管理技術の向上に向け取り組んで行くこととしている。

(1)勉強会の継続

平成26年度以降についても、これまでの取り組みや、河川法改正などの情勢の変化も踏まえ、今後も効率的な維持管理の実施について検討を重ねるとともに、維持管理に係る諸問題を議論する場として、現在の構成により、勉強会を継続していくものとした。

なお、平成26年度からは、河川の維持管理全般の課題に対する検討を実施することから、勉強会の名称を「河川の維持管理に関する勉強会」に改称し、実施する。

(2)今後の検討テーマ

平成25年度までの検討については、一定の成果を得て、とりまとめを行ったことから、今後、新たに以下の検討テーマを設定し、検討を行う。

①「河川維持管理の考え方」に基づく河川管理の実践
- 今回作成した「河川維持管理の考え方（初版）」を活用し、各県担当者による河川管理の実践（河川カルテの作成・更新は必須で実施）
- 実践結果により、更なる効率化を図るための課題の確認、その解消方法の検討
- 今後、活用を踏まえた意見を収集し、修正・追加を加え、更に内容を充実させる

②河川における維持管理しやすい河道形成の検討
- 現在までの河道管理手法の検討からの発展形として、河道の形成に着目した「維持管理しやすい河道形成の検討」を実施
- 検討では、無次元流量―無次元川幅・水深の関係式（福岡の式）を活用し、県管理河川でも検討が可能となるよう、今回構築した簡易水理解析の活用も視野に入れた検討手法を構築

なお、各検討テーマについては、すでに取り組みを行うべく準備を進めている状況である。

6.　まとめ

河川を取り巻く状況として、集中豪雨の発生頻度の上昇など自然条件の変化による洪水発生の増加、また、施設の老朽化などにより、被害発生リスクが増大してきている。また、今般の河川法の改正により、河川管理者の責務が明確化されたところであり、今後も、予算の制約、人員不足などの維持管理の実施に対する課題を抱えた中で、更に適正な維持管理が求められる。

そのような中、河川管理者自らが実施出来る効率的な維持管理手法の検討として実施した勉強会については、この5年間で13回を開催し、基調講演などの実施も含め、学官連携により、有意義な取り組みになっているものと考えている。

今後も、維持管理を取り巻く課題に対し、この取り組みを継続していくことにより、更なる維持管理技術の向上を図り、河川管理者による適正な維持管理の実施が可能となるよう、取り組んで行きたい。

謝辞：本報告にあたり、中央大学研究開発機構　福岡捷二教授、高知工業高等専門学校　岡田将治准教授、阿南工業高等専門学校　湯城豊勝教授、長田健吾准教授、四国四県の皆様には、度重なる勉強会において、貴重なご意見をいただきました。ここに、感謝の意を表します。

参考文献

1) 四国技術事務所：H24中小河川洪水流に関する対策検討業務

2) 福岡　捷二：洪水流の水面観測の意義と水面形に基づく河川の維持管理技術，土木学会河川技術論文集，第12巻，pp. 1-6，2006

3) 岡田将治，和泉征良，勝瑞祐太：四国地方における中小河川の効率的な河道管理手法の検討，河川技術論文集，第18巻，pp. 547-552，2012年6月

オープンソースGISを利用した位置情報の活用提案

島田　ゆり

長野県　建設部　河川課　（〒380-8570　長野市大字南長野字幅下692-2　）

GISは、業務の効率化に有効なツールの１つと言われているが、ソフトが高価であることなどから導入は進んでいない。そこで、無償のオープンソースGISを利用した業務の効率化を提案する。

2013年の台風18号による災害対応では、オープンソースGISを活用することにより、図面作成の大幅な省力化を図ることができた。さらに、このデータを長野県の既存システムである「統合型GIS」へ掲載することにより、情報共有を試みた。

キーワード　オープンソースGIS，災害対応，情報共有

1. はじめに

GIS（Geographic Information System：地理情報システム）は、位置に関する情報を持った空間データを総合的に管理・加工し、視覚的に表示することで、高度な分析や迅速な判断を可能にする技術のことである。

行政機関では、大量で多岐にわたる情報の一元管理や、効率的な分析・解析による行政課題の抽出に、GISは有効なツールであると考えられる。

長野県では、2004年より長野県統合型地理情報システム（以下「統合型GIS」という）が導入され、ほぼ全ての機関で利用できる。この統合型GISは、住宅地図、国土地理院の公共測量図（1/20万、1/2万5千）、航空写真を基盤地図とし、県の各機関の地理空間情報を掲載している。職員は、必要な情報を抽出し、複数のデータを重ねて表示することができる。

この統合型GISに加え、GIS解析ソフトを使うと、情報を「見る」ことに加え、自由に解析・分析することができるため活用範囲が広がる（図-1）。

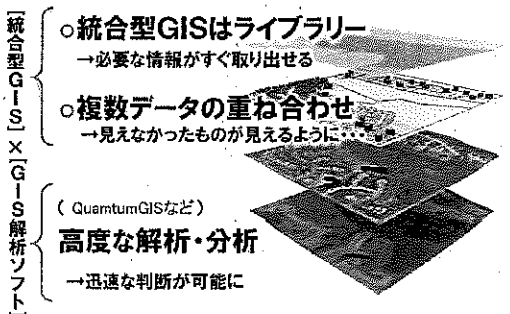


図-1　GISイメージ

しかし、長野県職員にとって、GISと言えば「統合型GIS」のみであり、その用途の多くが「住宅地図の閲覧」であった。GISは、データの作成・更新に高額な費用が必要なうえ専門的で難しいというイメージになってしまっていた。

そこで、近年普及してきた無償のオープンソースGISと既存のシステムを活用し、ゼロ予算で従来業務の効率化に取り組んだ事例を紹介する。

2. オープンソースGISについて

オープンソースソフト（Open Source Software）は、ソフトの設計図にあたるソースコードが公開され、誰でもそのソフトウェアの改良、再配布を行えるようにした無償ソフトのことである。

これまでGIS解析ソフトを利用するには、高性能なPC及びソフトウェアの導入に100万円を超える経費が必要であった。しかし近年、PCの性能が向上したこと、高機能なオープンソースGISソフトが増加してきたこと、国土地理院の基盤地図情報等の無償で利用できるデジタル地図が増加したことから、誰でもどこでもGISを使える環境が整いつつある。

オープンソースGISは、FOSS4G（Free Open Source Software for Geospatial）の呼称で知られ、多くのソフトが公開されている。今回そのオープンソースGISの中で、日本語に対応し、通常業務で使用しているデスクトップパソコンで使用可能なQuantumGIS[1]（以下「QGIS」という）を利用した。

3. 災害対応への活用

災害発生後は、早急な被害の状況確認や災害復旧に向け、特に迅速な対応が求められる。これまで、被害状況の把握に必要な図面の作成に、多くの時間を費やしていたため、改善が求められていた。

そこで、災害対応の効率化を目的として、従来手作業で行っていた雨量分布図および被災箇所図の作成にGISの活用を検討した。

従来の図面作成の問題点は、①手作業で時間がかかり、ミスが発生しやすく、作成者により出来栄えに差ができること②市町村、建設事務所、県庁河川課それぞれで図面の作成が必要で、労力が多大になることであった。

4. 雨量分布図の作成

災害原因の資料となる雨量分布図は、これまで観測値の記載、観測値の補間、作図作業を全て手作業で行っていたため、それぞれの作業に労力を要していた。

GISは、位置に数値の属性を加えた解析（空間解析）が可能である。雨量分布図作成のため、まず県が管理する雨量局の位置座標を調査した。次に、雨量局の属性として、観測した雨量の値を入力し、QGISで計算することで、雨量分布図の作成を行った（図-2）。

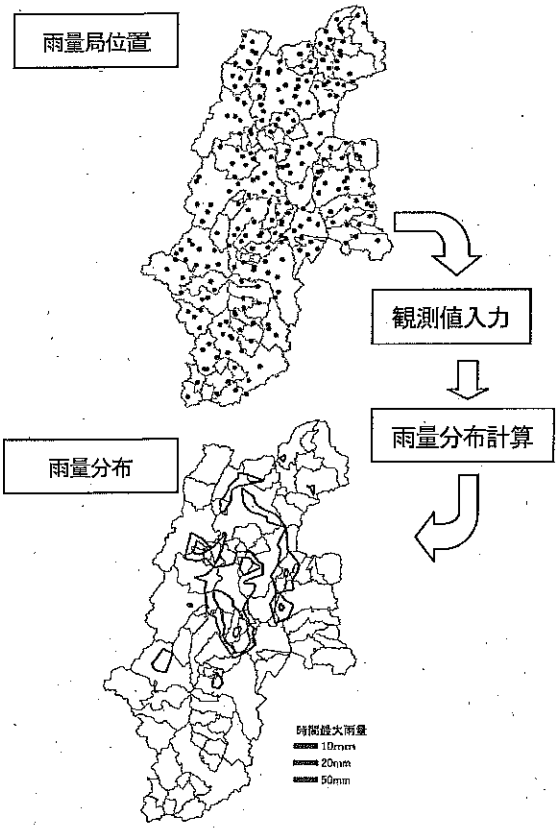


図-2　雨量分布図作成の流れ

位置と数値を組み合わせた計算や作図は、手作業では時間がかかるが、GISでは簡単な操作で即座に作成できた。県が管理する214箇所の雨量局は、水防情報システムにより、雨量観測値の収集がスムーズにできるため、この雨量分布図は20分程度で作成可能になった。

短時間で正確な雨量状況が把握できるようになったため、雨量分布図は災害原因資料としての利用だけでなく、雨量の速報情報として発信できるようになり、活用範囲が広がった。

今回作成した図面は、使用した雨量局が限られていること、県境が表現できないこと、データ補間の計算方法が現行と異なることから、災害査定用の雨量分布図には採用できなかった。今後これらの課題を整理し、災害査定資料として活用できるよう取り組んでいきたい。

5. 被災箇所図の作成

災害査定には、被災箇所を示した平面図が必要で、建設事務所毎の箇所図、全県の箇所図の2種類を作成する。これまで河川課では、13の建設事務所から提出される被災箇所図（縮尺:1/5万）から、全県河川図（縮尺:1/20万）へ、被災箇所を正確に転記する作業が懸案であった。

このような状況のなか、2013年9月15日から16日にかけての台風18号は、長野県内に大きな被害をもたらした。公共土木施設の被災は、全県で441件に上り、この転記作業を含む被災箇所図の作成労力が多大となることが想定された。

そこで、建設事務所の管内図、河川図、被災箇所の位置情報を河川課で集約し、GISで整理することにより、全ての図面をまとめて作成することとした。

従来の紙図面での作成と、GISを利用した場合の箇所図作成フローの違いを図-3に示し、具体的に実施した作業と分担を次に示す。

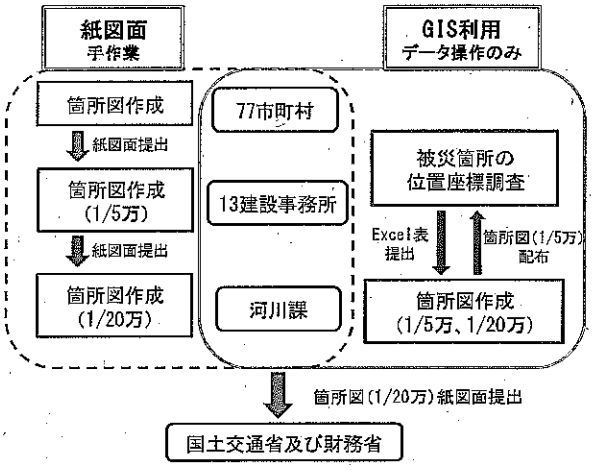


図-3　箇所図作成フロー

【実施した作業と分担】

(1)被災箇所座標調査（市町村、建設事務所）

国土地理院の測量計算サイト[3]より、1/2万5千地形図で被災箇所を確認し、位置座標の調査を行う。（図-4）。箇所名、路線名などに加え、位置座標を追加したデータベース（Excel表）を作成する（表-1）。

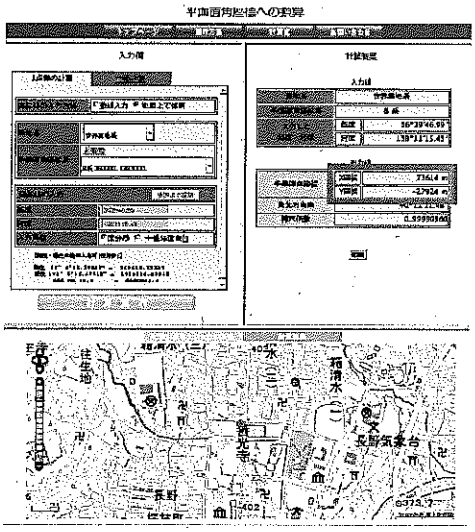


図-4 位置座標調査

表-1 データベースの例

工事番号	事業者	事務所	路河川名	市町村	箇所	被害工種	査定	X座標	Y座標	凡例番号
185	県	飯田	(一)河内川	阿智村	伍和	河川	本省	-68993	-64389	10
186	県	飯田	(一)河内川	阿智村	洞	河川	本省	-68832	-64058	10

(2)管内図へ位置情報追加（河川課）

QGISを使い、Jpeg形式の全県河川図（1/20万）及び13建設事務所管内図（1/5万）に位置座標を追加する。

(3)被災箇所情報の取り込み（河川課）

建設事務所毎の調査結果（1）をまとめ、QGISへ取り込み、位置座標から被災箇所を表示する（図-5）。

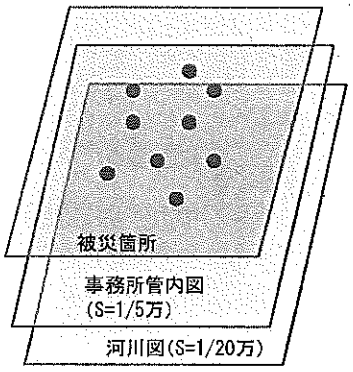


図-5 GIS レイヤ

(4)様式設定（河川課）

災害査定の報告形式に合わせ、QGISで表示シンボル、ラベル、印刷様式を設定する。表示シンボルは、数値により分類できるため、分類のための値を入力しておくことで、簡単に設定できる（図-6）。

管内図もしくは河川図と被災箇所のレイヤを表示し、表示様式と印刷様式を適用することで箇所図を作成する（図-7）。

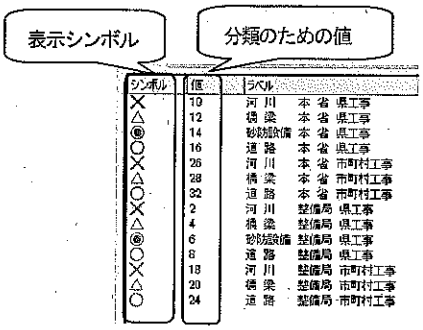


図-6 表示シンボル設定

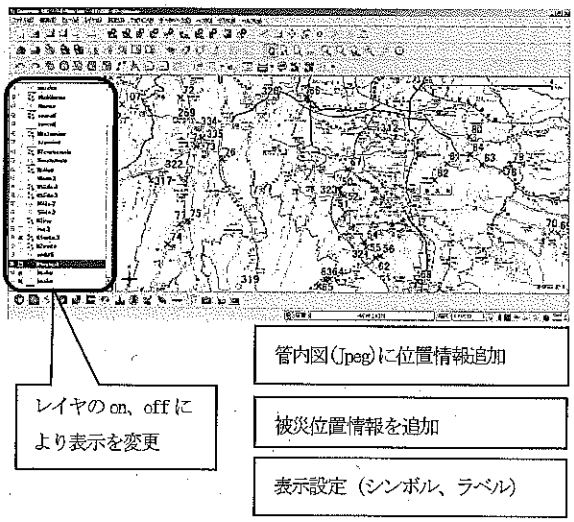


図-7 QGIS 画面

(5)被災箇所図の作成、配布（河川課→建設事務所）

被災箇所図をPDFデータ及びJpeg形式で作成し、各建設事務所へ箇所図（1/5万）データを配布する。

GISを利用することにより、全ての図面をデータ操作のみで作成することができた。従来の手書きでの図面作成に比べ、建設事務所、河川課ともに労力を大幅に削減できた。また、位置を「数値」で管理したことにより、ミスや情報の劣化を防止した。

今回の座標調査では、市町村・県機関の両方が利用可能で、座標系が明確に調査できることから、国土地理院のサイトを利用した。今後、より簡易な方法を検討していきたい。

6. 長野県統合型地理情報システム（統合型GIS）掲載による情報共有

業務で作成する多数の図面は、一つの目的にしか使われないことが多い。しかし、位置情報として整理し、共有することで、他機関、他業務でそれぞれの目的に応じた活用が可能になる。

被災箇所の情報は、災害査定に利用するだけでなく、今後の災害復旧事業や維持管理での利用が想定されるため、統合型GISへ掲載し、情報共有を図った。

統合型GISへ掲載するには、GISデータを緯度経度座標系のShape形式にする必要がある。5章の箇所図作成に用いた被災箇所レイヤに対し、QGISを用いて座標系の変換作業（平面直角座標を緯度経度座標へ変換）を行い、Shape形式で出力した。このデータを統合型GISに掲載し、県機関へ公開する設定を行った。

図-8に統合型GISに被災箇所を表示した画面、図-9に属性項目として登録した台帳を示す。

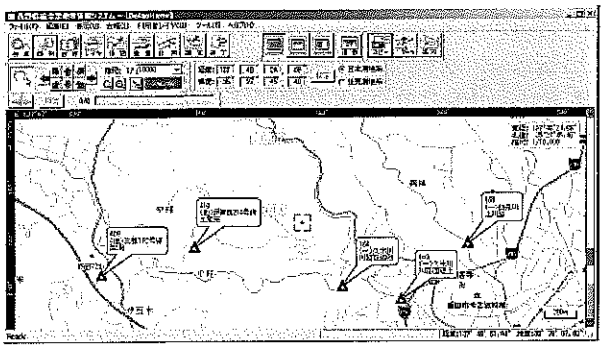


図-8　統合型GISに被災箇所を表示



図-9　統合型GIS属性項目

統合型GISへ位置情報を掲載することにより、県機関では同じ情報をいつでも利用することが可能になった。

統合型GISの機能を活用することにより、路河川名や被害工種等の属性項目から位置を検索したり、航空写真等の基盤地図や、その他の掲載情報と重ね合わせた表示が可能になった。紙の図面に比べ、利便性が向上し、活用範囲が広がった。

7.まとめ

迅速さが求められる災害対応において、GISを利用し、雨量分布図及び被災箇所図作成の効率化に取り組んだ。

位置を「図面」ではなく、「座標」という数値で管理したことにより、ミスを防止し、図面作成時間を大幅に短縮することができた。さらに、被災箇所の情報を、長野県の既存システムである「統合型GIS」へ掲載することにより、他部署との情報共有を図った。これにより、被災箇所の情報は他部署、他業務へ活用することが可能になった。

オープンソースGISと既存システムを活用することにより、費用をかけずに、効率的な図面作成と情報共有を行うことができた。引き続き、以下の課題に取組み、迅速な災害対応や業務の効率化を進めていきたい。

【今後の課題】

- 他機関の雨量観測値の収集体制
- 位置座標の調査方法の簡易化
- GIS知識及び操作技術の向上

8. おわりに

今回の取組みにより、労力の大幅な削減効果が認められたため、今後長野県の被災箇所図は、GISを利用して作成する方法に変更した。

2014年初めから、職員への研修を行うとともに、オープンソースGISソフト、河川課で作成した様式やマニュアルの配布を進めてきた。これにより今年度からは、各建設事務所でも、オープンソースGISを利用した被災箇所図を作成できる体制が整ってきた。

この他にも、長野県で管理する河川の情報（水位局、河川調書など）をGISデータとして整理し、統合型GISで共有する取組みを始めた。

行政情報は、業務の効率化や情報公開に向け、他業務や他機関での2次利用、3次利用を見据えたデータの作成と蓄積を行っていく必要がある。これからは、扱う情報に応じ、従来使用している紙図面、表計算やワープロソフト、CADに加え、GISの利用を提案する。

本稿がGISを「試しに使う」きっかけとなれば幸いである。

参考URL

1)QuantumGIS（ver.1.7.4）
http://www.qgis.org/ja/site/
2)国土地理院　測量計算サイト
http://surveycalc.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/bl2xyf.html

高津川の多自然川づくりについて

中井　喜美男[1]・○松尾　至哲[1]

[1]中国地方整備局　浜田河川国道事務所　河川管理課　（〒697-0034　島根県浜田市相生町3973）

2008年７月に策定された「高津川水系河川整備計画」において，流下能力を確保するための河床掘削を予定している．高津川は全国的にも有数の天然アユの産地であり，掘削区間内に位置するアユの産卵床への影響が懸念されるため，産卵床に配慮した河床掘削形状について，各分野の専門的知識や経験を有する方々から意見を聴き，高津川における試験施工やモニタリングを行いながら河床掘削形状の検討を行ったものである．

キーワード　整備計画，河床掘削，アユ産卵床

1. はじめに

アユは古くから清流を代表する魚として日本人に親しまれてきており，我が国の内水面漁業において最大の漁獲量を占めている．しかし，近年では，漁獲量は減少傾向にあり，アユの産卵床の環境悪化が一因となっている．

高津川は，瀬・淵が連続して形成される交互砂州形態で，平瀬がアユの産卵床となっているが，他地域と同様に漁獲量が減少傾向にある．また，河川整備計画において大規模な河床掘削を予定しており，アユの産卵床への影響に配慮した河道掘削形状の設定や段階施工計画の策定が課題となっている．

本文では，高津川におけるアユ産卵床の状況を把握し、河床掘削による河床変化および物理環境の変化について産卵床の影響把握について試験施工で検証した掘削形状選定及び物理環境評価手法について報告するものである．

2. 高津川流域の概要

高津川は，島根県西部の日本海側に位置し，その源を島根県鹿足郡吉賀町田野原に発し，津和野町をとおり，益田市の益田平野を北流し日本海に注ぐ，幹川流路延長81km，流域面積1,090km2の一級河川である．

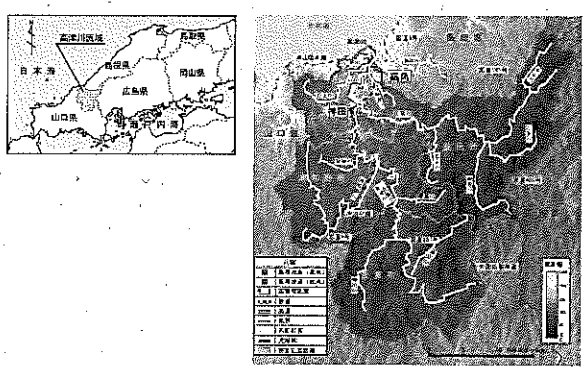
高津川下流部には島根県の石西地域の中心都市である益田市があり，この地域における社会・経済・文化の基盤を成している．流域の地形は平地に乏しく，急峻な山地となっており，河道は穿入蛇行しながら典型的な先行谷を形成している．

過去の主な水害としては，高津川の昭和初期の改修工事の施設を破壊した1943年（S18）9月の洪水，戦後最大流量を観測し，堤防決壊等の災害が続出した1972年（S47）7月の洪水等が知られている．

高津川はＢＯＤ値による河川平均水質が2010年の調査結果から連続全国1位にランキングされている．

また，古くから天然遡上のアユが有名であり，全国からアユ釣りを目的に多数の人が来訪している．

このため，流域住民は高津川を中心とした地域資源を最大限に活用し，アユをはじめとする水産資源を活用した交流人口の拡大を進めるなど，地域再生モデルの構築を目指している．

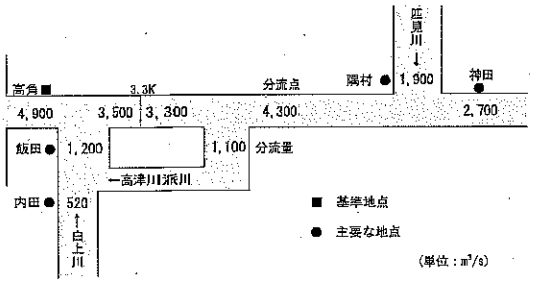


図－１　高津川流域図

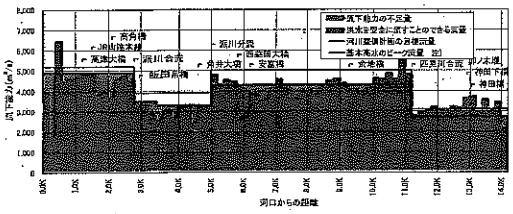
3. 高津川河川整備計画

高津川について，高津川河川整備基本方針を2006年2月14日，高津川河川整備計画を2008年7月3日に策定している．整備計画の目標は，河口から3.3kmまでは1972年（S47）7月の洪水（既往第1位）を，それから上流は1943（S18）年9月の洪水（既往第2位）を安全に流下させることとしている．

高津川の堤防整備率は約90%，中上流部や河口部において，堤防の高さ等が確保されていない区間が残るのみで，現在は，河口部益田市街地における大塚地区の無堤部の築堤を実施している．堤防整備がほぼ完成するので2015年度から流下能力が不足する箇所の河床掘削を段階的に実施していく予定である．



図－２　高津川流量配分図



図－３　高津川流下能力図

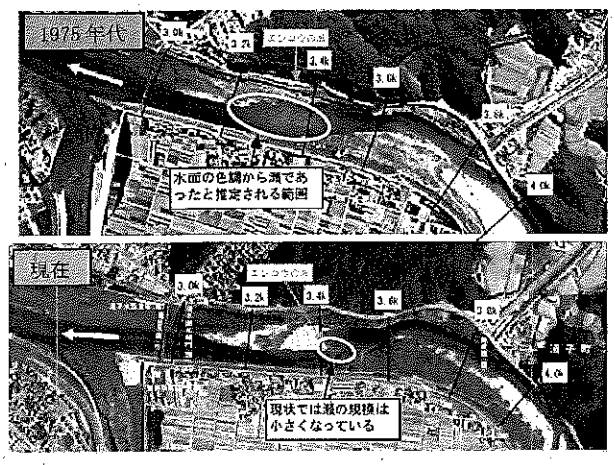
4. アユ産卵床の現状

(1) アユの産卵床

高津川には，3.0k～6.0kの間に主要なアユの産卵床が3箇所（エンコウの瀬，ナガタの瀬，虫追の瀬）存在する．

アユおよびアユの産卵に関する既往の論文や図書によると，一般的にアユは浮き石状態の瀬で産卵するといわれている．浮き石状態とは石礫の間に細砂が詰まっておらず，僅かな外力が加わるだけで石礫が掃流しはじめる状態のことを指す．

エンコウの瀬では，1975年代より瀬が縮小し，アユの産卵床の面積が減少していると考えられている．



図－４　1975年代と現在のエンコウの瀬の状況

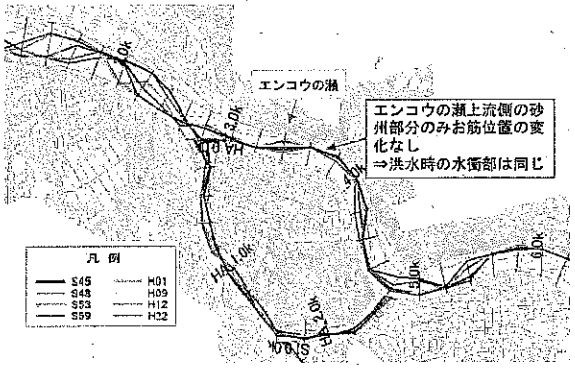
(2) 河道特性の変化

a) 平面形状の変化

図５にみお筋位置の経年変化を示す．

エンコウの瀬を含む区間である3.0k付近より上流では，みお筋位置は概ね安定している．

アユ漁獲量が豊富であった1965～1975年代から，現在に至るまで，平面的な交互砂州形状に変化はなく，3つの瀬の位置も経年的に安定している．



図－５　みお筋位置の経年変化

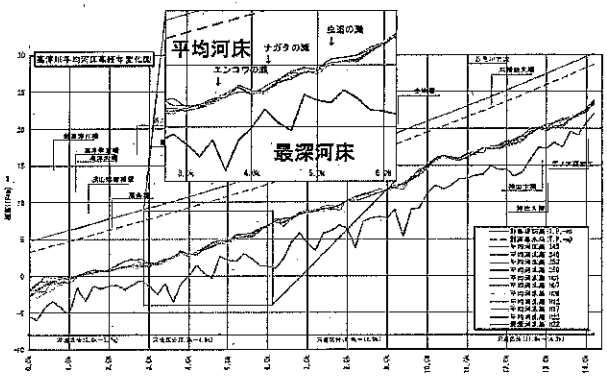
b) 縦断形状の変化

河床の縦断形状について，平均河床高（図６）と最深河床高（図７）の経年的な変化を整理する．

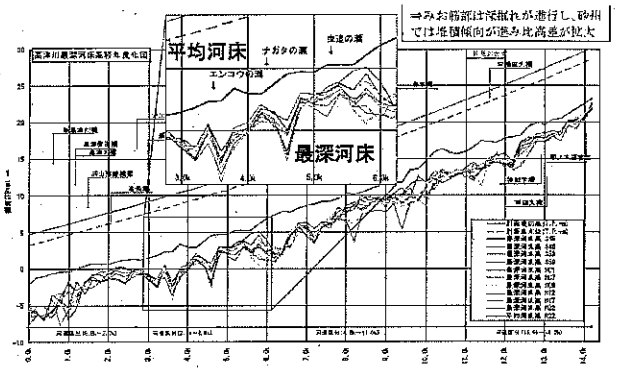
3つの瀬が位置する3.0k～6.0kに着目しながら平均河床高の変化をみると，1975年ごろ以降は大きな変化はなく，概ね安定している．

最深河床高は，3.0k～4.0k，5.0k～6.0kで1m程度の河床低下が確認できる．

この2つの現象を対比すると，みお筋部は深掘れが進行し，寄州上では堆積傾向が進み比高差が拡大していることが分かる．



図－６　平均河床高の経年変化



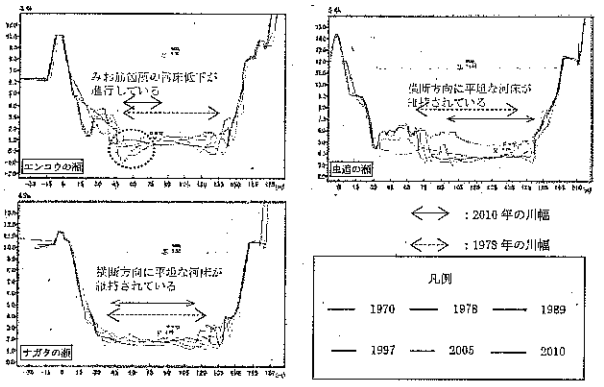
図－７　最深河床高の経年変化

c) 横断形状の変化

図８に，3つの瀬の定期測量断面を示す．

それぞれの瀬において，1965～1975年代の河床形状は横断方向に平坦な河床であった．

ナガタの瀬，虫追の瀬では河床の幅は狭くなりつつあるが，最新の測量断面でも平坦な河床形状が維持されているエンコウの瀬はみお筋箇所の経年的な河床低下が顕著に現れており，瀬としての河床形状が変化しつつあると推察される．



図－８　横断図の経年変化

d) 代表粒径の変化

最新（2010年）の河床材料調査，前回の調査（1989年），前々回の調査（1973年）との比較から，河床材料の変化傾向を整理すると表１に示すとおり，河床材料の粒径が大きくなる方向へ変化しており，アユが産卵床として好むとされる浮き石が多い河床になっていないと推察される．

表－１　代表粒径の変化

河道区分	0.0 ～ 2.7k	2.7 ～ 4.8k	4.8 ～ 11k	11 ～ 14.2k	備考 (年)
代表粒径 (mm)	24	23	27	24	1973
	20	26	26	30	1989
	29	53	44	66	2010

e) 河床変化の要因

1975年代以降，全川で河道内の樹林化が進んでおり，特に中流部の産卵床付近で顕著となった．このため川の流れる箇所が固定され河床が深掘れしみお筋と砂州の高低差が拡大した．

また，年間の洪水頻度が低下したことで陸域に水が流れず堆積した土砂が移動しないため，さらに砂州で土砂が溜まりみお筋で深掘れが進行し，洪水時に砂州からの土砂供給のなくなったことで瀬が縮小したと考えられる．

高津川のアユの漁獲量は1965～1975年代で100tを超えていたが平成初期より減少傾向が続いており，その一因に産卵床のこのような悪化が指摘されいる．

このことから今後の河床掘削に伴う環境への影響を最小限にするため，瀬淵構造やアユ産卵床への影響把握する試験施工をエンコウの瀬で行う事とした．

5.　試験施工の実施

(1)　試験施工のねらい

2015年度から大規模掘削を実施していく上では，掘削が河道の安定性やアユ産卵へ与える影響を把握することが必要となる．

このため健全な瀬淵構造の回復・維持やアユ産卵床環境の影響把握を目的に，樹木繁茂等で瀬の環境が悪化しているエンコウの瀬および周辺で試験施工（樹木伐採・河床掘削・土砂投入）を実施し，アユ産卵床としての最適な形状の検討と瀬の維持の観点から，洪水時に瀬への土砂供給が期待できる陸域部の砂州掘削形状について，有識者の意見を参考に検討を行った．

(2)　試験施工の形状の設定

試験施工の形状検討では，まず瀬の形状を検討し，その後瀬に投入する土砂の粒径や樹木伐採及び河床掘削範囲について検討を行った．また，アユ産卵床適性度を評価するため，既存文献よりアユの好む流速と水深から適性度を判定する物理環境評価モデル（PHABSIM法）を作成した．

a) 瀬の形状検討

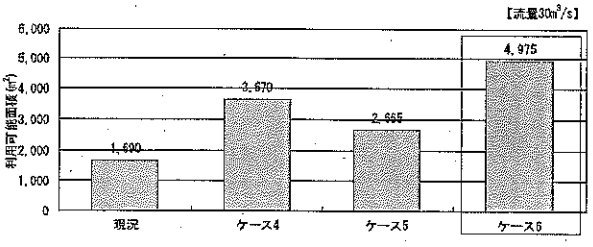
瀬の形状については漁獲量が多かった1965～1975年代の瀬の形状や，漁協から現況に比べ産卵床として適していたとの指摘があった2004年前後の瀬の形状及びその２つを組み合わせた形状（以降，複合案）を設定し，それぞれ物理環境評価を行った．ただ2004年については，測量成果が存在しないため，航空写真等からその形状を推定・設定した．

表－２　物理環境評価ケース

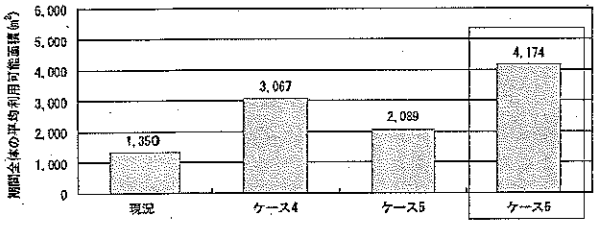
ケース	河道条件	流量	評価区間
4	瀬の高さ：TP+0.8m 瀬の幅　：30m	10m³/s（アユ産卵期の最小日流量） 30m³/s（アユ産卵期の平均日流量） 50m³/s（アユ産卵期の豊水日流量）	3.2k～3.6k（エンコウの瀬周辺）
5	平成16年前後の瀬の形状		
6	ケース4，5の複合案		

評価結果として図-９～１１のアユ産卵に対する適性度の流量規模毎の比較を示す．

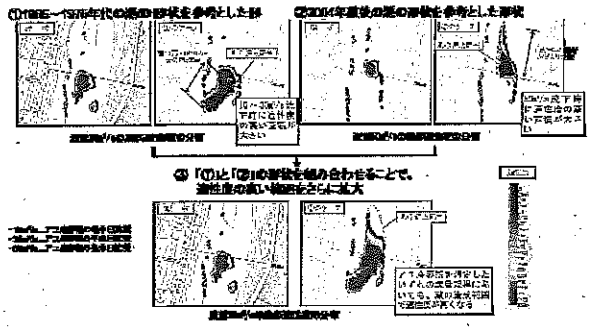
1965～1975年代の場合はアユ産卵期の平均日流量（30m³/s）の時に適性度が高く，2004年の場合はアユ産卵期の豊水日流量（50m³/s）で適性度が高かった．複合案はどちらの流量でも適性度が一番高かったため，試験施工の瀬の形状として採用した．



図－９　アユ産卵利用可能面積（30m³/s）



図－１０　アユ産卵利用可能面積（平均値）



図－１１　アユ産卵に対する適性度分布

b) 投入土砂の粒径設定

有識者から瀬を維持する上で重要なのは，粒度分布であり，瀬から大きい粒径を取り除いてしまうと河床低下が起こるため，土砂を採取する際は，大きい粒径は瀬に戻す必要があることや，瀬に投入する礫分は，最大で10cmくらいの粒径も欲しい等の意見があったため投入土砂の粒径を変化させたケースで予測計算を実施した．

アユ産卵に対する適性度が最大となった瀬に河床材料を投入した河道について，平面二次元河床変動解析モデルを用いて河床の安定性を確認する．ここでは，試験施工実施後に一洪水による河床攪乱を受けた場合の河床形状の変化，河床材料の変化の把握を行った．

表-３のとおり河床低下や粒径2～30mm（粒径の産卵適地条件）の河床材料の構成比率でも42%～50%であり，粒径の産卵適地条件では大差がなかったので，施工時の手間や有識者の意見を考慮し粒径10～50mm以上を含むふるい分け1回の6-Cケースでの施工とした．

表－３　洪水後の河床材料の構成比率

ケース	投入土砂のふるい分け	洪水後の河床材料の構成比率 （粒径1～30mmを対象）
6-a	河床材料のふるい分けなし	47% 粒径1～30mmの河床材料はケース6-bよりも少なくなる。
6-b	河床材料のふるい分けあり （粒径10～50mm）	50% 粒径1～30mmの河床材料は最も多く残る。
6-c	河床材料のふるい分けあり （粒径10～50mm以上を含む）	47% 粒径1～30mmの河床材料はケース6-bよりも少なくなる。
6-d	河床材料のふるい分けあり （粒径50mm以上）	42% 粒径1～30mmの河床材料はケース6-bよりも少なくなる。

c) 掘削の形状検討

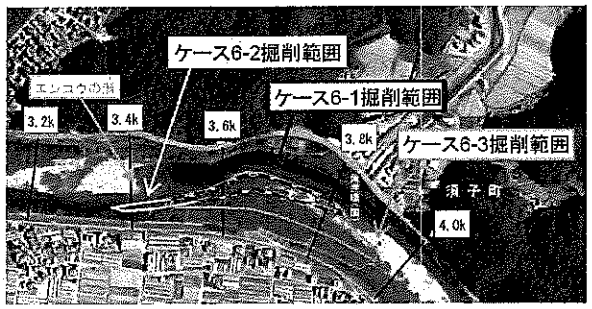
掘削の形状についてはエンコウの瀬で砂州上の樹林化の解消のため上流の左岸砂州上の樹木伐開を行う．

なお，アユの産卵床環境が良かった1965～1975年代の河床形状を参考に，エンコウの瀬上流の砂州部分の掘削も行う．また，砂州掘削により陸域と水域の比高差を解消し，洪水時における土砂移動の活発化およびエンコウの瀬への砂礫の供給を期待できる形状を選定した．

上記で整理した掘削方針をもとに表４に示す3ケースの試験施工断面を設定した．

表－４　掘削検討ケース

陸域部の掘削形状ケース		内　容
ケース6-1	瀬上流の砂州水際部を3.5k付近まで掘削	・砂州の水際部を掘削（水際の掘削高は砂州上流まで瀬の頂点の高さで掘削） ・エンコウの瀬の左岸側頂点（3.5k付近）まで掘削 ・掘削範囲の樹木を伐開
ケース6-2	瀬上流の砂州水際部を3.4k付近まで掘削	・砂州の水際部を掘削（水際の掘削高は砂州上流まで瀬の頂点の高さで掘削） ・エンコウの瀬の右岸側頂点（3.4k付近）まで掘削 ・掘削範囲＋左岸3.4k下流までの樹木を伐開
ケース6-3	瀬上流の砂州を全体的に掘削	・砂州を全体的に小さい掘削深で掘削 ・エンコウの瀬の右岸側頂点（3.5k付近）まで掘削 ・掘削範囲＋左岸3.4k下流までの樹木を伐開

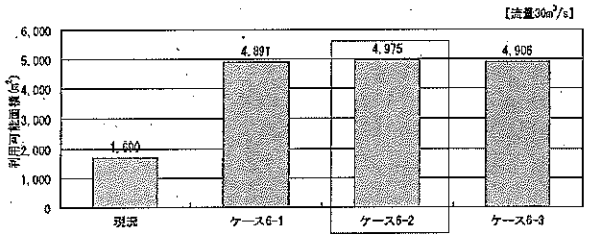


図－１２　検討ケース実施箇所

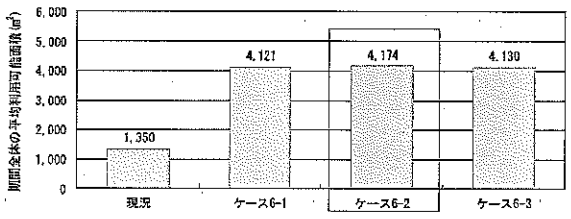
平面二次元河床変動解析モデルを用いて河床の安定性を確認した結果から，瀬の断面における土砂堆積が確認できたものを洪水時の上流砂州からの土砂移動が活発になっていると考え，堆積高が最も高くなるケース6-2が最適と判断した．

また，物理環境評価を上記3ケースと現況を含めて実施した．発生頻度が高い30m³/s流下時の利用可能面積は，図１３に示すとおり，ケース6-2が最大となっており，現況に比べて増加している．

産卵期間全体を通した平均利用可能面積についても，図１４に示すとおり，ケース6-2が最大となっている．よって，砂州掘削の形状として，物理環境の評価でもケース6-2が最適と判断した．



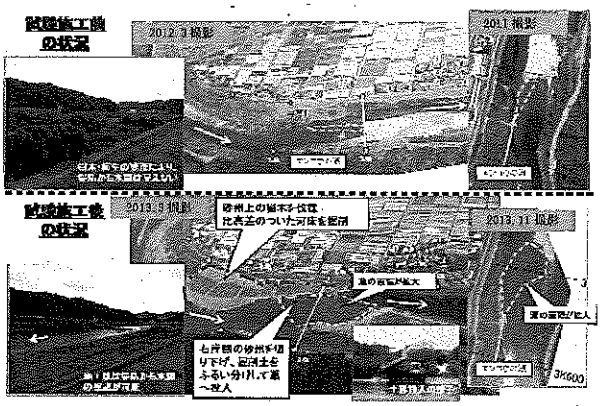
図－１３　アユ産卵利用可能面積（30m³/s）



図－１４　アユ産卵利用可能面積（平均値）

(3) 試験施工の実施

以上のような検討結果に基づき，図-１５のとおり2013年2月にアユ産卵床となる瀬を人工的に形成し，施工箇所が今後どのように形状が変化するのか把握するためのモニタリングを行った．



図－１５　試験施工の実施状況

6. 試験施工箇所の事後検証

(1) 出水後の状況

昨年度は平均年最大流量 1,800m³/s を超える規模の出水が複数回発生したが，出水後も深掘れすることなく，図-１６のとおり瀬の形状を維持することができた．

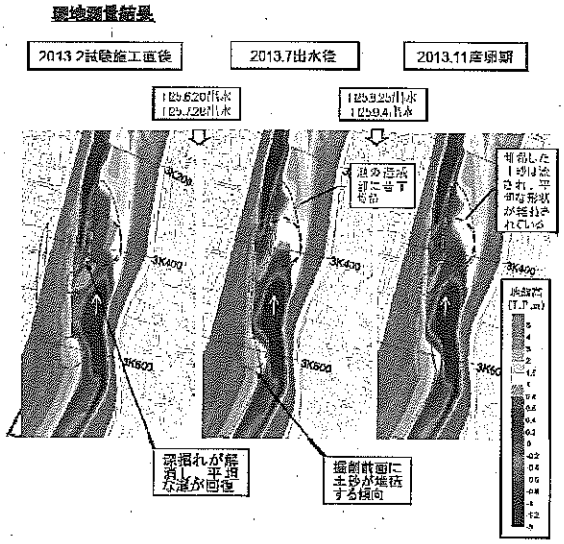
これは昨年度発生した出水は，概ね50mmよりも小さい粒径は流される規模であったことから，試験施工時に洪水時に流されにくい50mm以上の粒径を含む土砂を投入したことが瀬の維持につながったものと推察している．

試験施工後は，図-１７のとおり左岸砂州の樹木伐採及び掘削により，砂州から淵にかけて広い範囲で流れが発生し，砂州からエンコウの瀬へ土砂供給されていると推察され，砂州等の切下げが土砂移動環境の改善に有効であることを確認できた．

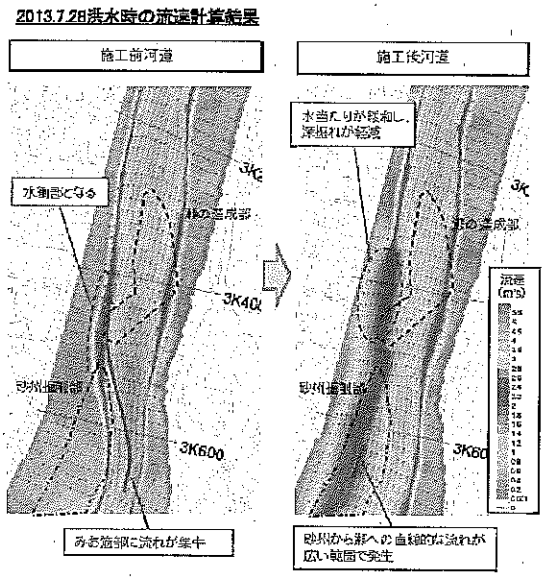
(2) アユ産卵床の状況

2013年は，2014年に比べて産着卵が確認された範囲が図-１８のとおり拡大していた．

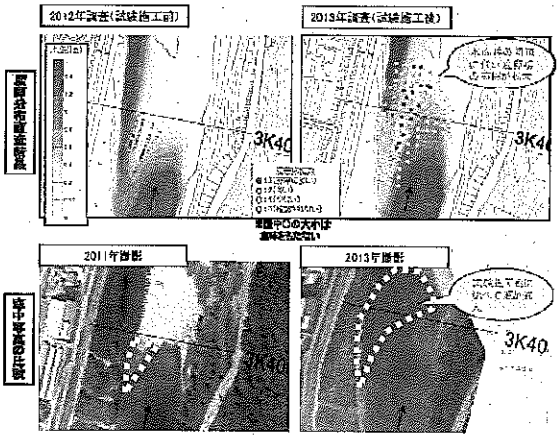
エンコウの瀬では試験施工及び洪水による河床変化により，ナガタの瀬では瀬の範囲が拡大しており，出水時の水面積を拡大することが産卵環境の保全に有効であることを確認している．



図－１６　現地測量結果比較



図－１７　洪水時計算結果比較



図－１８　産卵分布調査結果比較

(3) アユ産卵適性度評価モデル

モデル精度向上のため，産卵状況と河床状況の比較を行った．図−１９に示す現地調査結果を見ると，アユの産卵は様々な粒径構成比の地点で確認されており，粒径構成比と産卵状況の間に明確な傾向はみられなかった．これはアユの産卵にとって粒径の違いよりは河床材料が浮石状態であるかが重要になると推察し，モデルに浮き石状態の評価も追加した．

図−２０に示すとおり，粒径・浮石状態について適性度の評価項目として用いた場合，産着卵数の分布と適性度の分布傾向が概ね一致する結果となった．

7. まとめ

これまで高津川においては，アユの産卵に適した環境について十分な知見がなかったが，試験施工やモニタリングを実施することで，水深・流速・粒径・浮き石状態に関するアユの産卵適性条件を把握することができた．

また，モニタリングを実施することで，数値解析モデルによる評価結果の妥当性の確認や精度向上を図ることが出来，今後実施する大規模掘削に伴う河床変化やアユの産卵床への影響を定量的に評価可能なモデルを構築することができたと考えている．

今回の試験施工により産卵床の機能を回復したことで、今後アユの増加も見込まれる．このため，アユの増加により県内外の河川利用者を集め交流人口が拡大し地域活性化に寄与するものと考える．

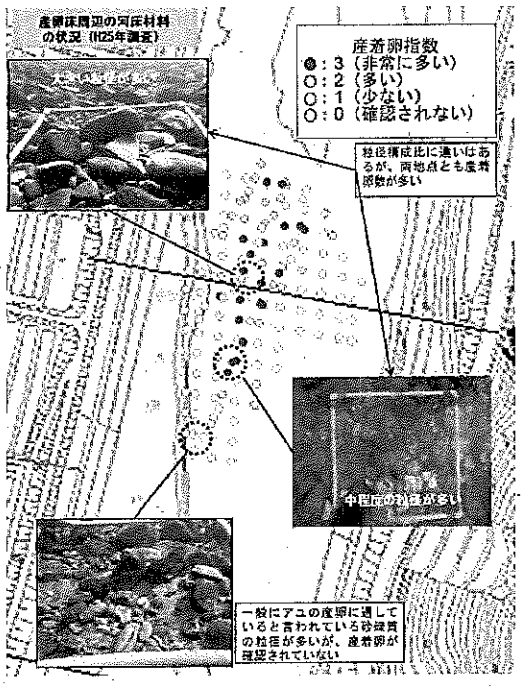
8. 今後の課題

エンコウの瀬上流の左岸砂州は，小規模洪水時においても，砂州からエンコウの瀬への土砂移動が発生することを期待し，その形状を設定（豊水流量程度で冠水する高さまで掘削）しているが，その効果は，比較的大きな規模の洪水が発生した2013年度の観測では確認できていない．

非出水期など，大きな洪水の発生しない時間を長時間経験しても，エンコウの瀬が安定して形状を保持できることを継続的なモニタリングにより確認していく必要がある．

参考文献

1) 山本亮介・本田晴朗：河川流況変動に起因するアユ産卵環境の変動予測手法の提案（研究報告：V04009），電力中央研究所報告，財団法人電力中央研究所，2005.5.
2) 白石芳一・鈴木規夫：アユの産卵生態に関する研究，淡水区水産研究所報告12(1)，水産庁淡水区水産研究所，1962.8



図－１９　現地調査結果



図－２０　産卵箇所と適性度評価比較

潤滑油診断結果に基づく保全手法の選定とコスト縮減の効果

瀧内　泰博[1]・○戸崎　浩輔[2]
[1]利根川下流総合管理所　機械課　[2]長良川河口堰管理所　機械課

論文要旨
長良川河口堰は管理開始から 19 年が経過し、ゲート設備構成機器の大規模な更新時期を迎えている。長良川河口堰では、設備の信頼性を確保しつつ、更なる管理コストの縮減を図るための一つの手法として、潤滑油診断を用いた設備保全に取り組んでいる。診断の結果から、油自体の劣化はわずかであり、油中の汚染物質（金属摩耗片、砂など）を取り除くことで、再使用が可能なことが確認された。これにより、油ろ過による交換期間の延伸が可能となり、潤滑油交換のコスト縮減につながった。
本論文では、潤滑油診断を保全手法として選定する利点と、潤滑油ろ過によるコスト縮減の効果を報告する。

キーワード：トライボロジー、潤滑油診断、傾向管理、コスト縮減

1.　はじめに

長良川河口堰は、堰総延長 661m、可動部 555m と施設規模が大きく、設備数も多い施設である。施設の外観を写真-1 に示す。

平成 7 年の管理開始から 19 年が経過し、ゲート設備構成器機の大規模な更新時期を迎えており、ゲート 1 門に数千万円にもおよぶ更新費用が必要となっている。

一方で、管理コストの縮減は必要不可欠であり、設備の信頼性を確保しつつ、延命化を図ることが課題となっている。

ゲート設備の更新では、水密ゴムやワイヤロープは既に 2 回目の更新を進めている。これらは外観上の劣化状態が把握し易く、更新計画にも反映し易いため、適切な時期に更新がなされているといえる。一方で、開閉装置構成機器の減速機や動力切替装置などは、密閉構造であるため、外観上から内部の劣化状態を把握することが難しく、経験的な時間経過によって更新計画を立てなければならないため、必ずしも最適な時期に更新がなされているとは限らない。

このような理由から、「機械設備管理指針」では傾向管理による状態監視保全を推奨しているが、長良川河口堰のような大規模施設では、従前の状態監視保全では多額の更新費用がかかるため、新たな傾向管理の手法として潤滑油診断による状態監視保全に取り組んでいる。

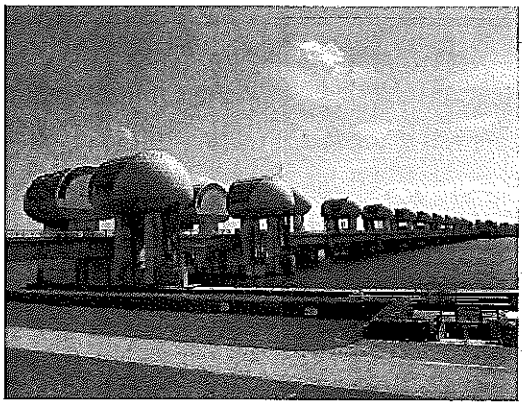


写真-1　長良川河口堰

2.　潤滑油診断

2.1　トライボロジー[1)]

潤滑油の診断は、トライボロジーの技術を活用したもの
である。トライボロジーとは、潤滑、摩耗、摩擦などを「相対運動しながら互いに影響を及ぼしあう二つの表面の間におこるすべての現象を対象とする科学と技術」と英国で定義された用語である。近年では、省資源、省エネルギーの観点から、部品交換、

1. 論文執筆時　長良川河口堰管理所　機械課所属
2. 長良川河口堰管理所　機械課所属

潤滑油交換費用の縮減など、トライボロジーに関連する技術が期待されている。

2.2 潤滑油の役割

減速機や動力切替装置などの歯車装置には、一般的にギヤ油と呼ばれる潤滑油が使用されている。このギヤ油は、ギヤ歯面の摩耗防止や、摩擦の低減、高い衝撃荷重から歯面を保護するなどの役割がある。同じギヤ油でも、ギヤの種類や、材質、負荷などの使用条件によって、それぞれの機器に合った規格の油が選定されている。

2.3 潤滑油診断の有用性[1)]

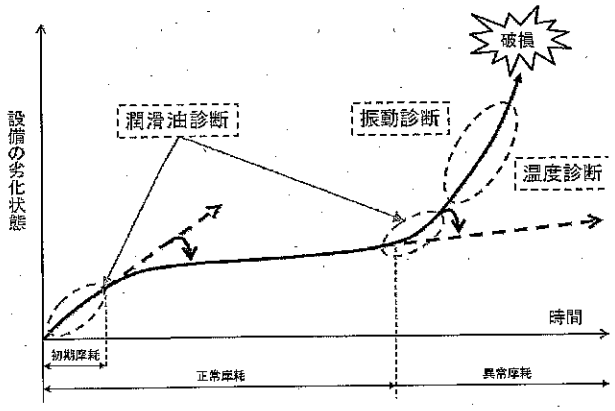


図-1 設備診断と設備劣化の関係

機械設備の診断には、潤滑油診断のほかに振動診断、温度診断などの様々な方法がある。特に、機械設備の振動診断は有効な診断手法として知られているが計測の条件として運転状態でなければ診断できないことや、低速回転機器の計測には不向きであることなど、すべての設備に適しているとは限らない。図-1に、代表的な設備診断と、設備の劣化の関係を示す。

潤滑油診断は振動診断や温度診断では発見できない機器の軽微な摩耗状態を把握できることから、早期に異常摩耗を発見できるなどの特徴があり、長良川河口堰においても、潤滑油診断の有用性を既に確認している。

2.4 潤滑油の診断項目

表-1 に潤滑油の分析法を目的別に整理している。潤滑油の診断は、油の劣化状況、油の汚染状況、機器の摩耗状況の3項目に分類され、各項目から数種類の分析を行い、得られた結果から総合的に設備の劣化度を判定する。

表-1 潤滑油の分析項目

油の劣化状況の診断	・粘度、水分、全酸価 ・赤外線吸収スペクトル法（IR法）
油の汚染状況の診断	・計数汚染度（NAS等級）
機器の摩耗状況の診断	・フェログラフィー（定量・分析） ・発光分光分析（SOAP・T-SOAP）

3. 潤滑油診断の対象ゲートと対象機器

3.1 診断対象ゲート

潤滑油診断を実施しているゲートは、長良川河口堰の右岸側に設置されている閘門兼ロック式魚道ゲート（上流・中間・下流）と左岸側に設置されているロック式魚道ゲート（上流・下流）である。各ゲートの諸元を表-2～3、外観を写真-2～3 に示す。長良川河口堰の閘門ゲートは年間約 8,000 隻の船舶が利用し、夜間は自動運転で魚道操作を行っている。そのため、設備の稼働回数は非常に多く、管理開始からの累計稼働回数は平成 26 年 3 月時点で、約 13 万回に及ぶ。また、左岸側のロック式魚道ゲートも 24 時間 365 日、自動運転で魚道操作を行っているため、累計稼働回数は平成 26 年 3 月時点で、約 15 万回に及び、長良川河口堰のゲート施設の中でも特に稼働回数の多いゲート設備であり、潤滑油診断の対象設備とした。

表-2 閘門ゲート設備諸元

ゲートの名称	閘門ゲート（魚道兼用）		
	上流	中間	下流
ゲート形式	シェル構造2段式ローラーゲート		
純径間×有効高	上段 15m×2.8m		上段 15m×3.6m
	下段 15m×2.7m		下段 15m×3.5m
扉体重量	上段/47t, 下段/51t		上段/40t, 下段/52t
開閉方式	1M2D ワイヤロープウインチ式		

表-3 ロック式魚道ゲート設備諸元

ゲートの名称	ロック式魚道ゲート	
	上流	下流
ゲート形式	シェル構造2段式ローラーゲート	
純径間×有効高	上段 30m×3.2m	上段 30m×2.7m
	下段 30m×3.1m	下段 30m×2.6m
扉体重量	上段/112t, 下段/132t	上段/109t, 下段/133t
開閉方式	2M2D×2 ワイヤロープウインチ式	

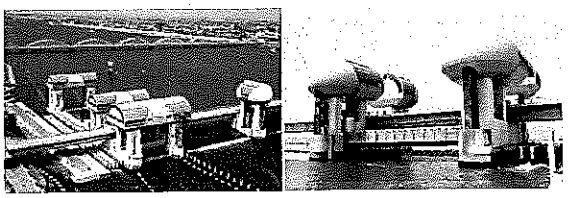


写真-2 閘門ゲート 写真-3 ロック式魚道ゲート

3.2 診断対象機器

潤滑油診断が有効な機器としては、分解点検が困難、または分解点検費用が高額であることを条件として、ゲート設備構成器機の中から、減速機、動力切替装置を選定した。

表-4 に各機器の油種と油量、外観を**写真-4～5** に示す。

表-4 対象機器の油種と総油量

設備名	台数	油種	総油量[L]
減速機	54	ギヤ油 VG68	22,400
動力切替装置	54	油圧作動油 VG22	4,420

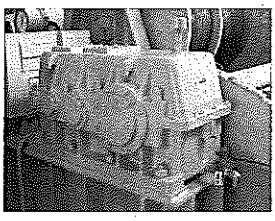


写真-4 減速機

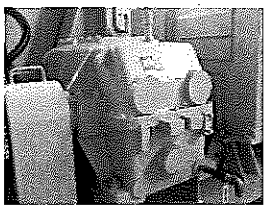


写真-5 動力切替装置

4. 診断結果

開門下流ゲート上段扉の減速機に使用されている潤滑油の分析結果を代表例として報告する。この減速機は、平成19年度の点検整備時に潤滑油交換を実施し、1回目の診断を平成21年12月、2回目の診断を平成24年6月に実施したものである。

4.1 油の劣化状況の分析結果

4.1.1 潤滑油性状分析の分析結果

潤滑油の性状分析とは、一般的に油の劣化状況を診断するものである。各分析結果を表-5に示す。限界値とは各分析項目における管理限界値(許容値)であり、一般的に、潤滑油交換の目安となる値である。動粘度の低下は歯面における油膜切れを発生させ、水分と全酸価の増加は機器の腐食を促進させる原因となる。

診断の結果を見ると、動粘度の分析結果は67.42mm²/sであり、新油値67.67mm²/sと比較してわずかに低下している。また、水分の分析結果は58.90ppmであり、これも新油値の53.90ppmと比較してわずかに増加している程度である。両分析項目ともに限界値に対して大幅に余裕があり、良好であると判断できる。酸化についての項目となる全酸価は0.48mgKOH/gであり、新油値0.41mgKOH/gと比較してわずかに増加しているが、図-2に示すIR法の分析結果チャートの波数1700cm⁻¹の透過率低下（カルボン酸による赤外線の吸収)が認められないため、基油の酸化は確認できず、良好と判断できる。

表-5 潤滑油性状分析の結果

	単位	限界値	新油値	平成21年	平成24年
動粘度	[mm²/s]	57.52	67.67	67.60	67.42
水分	[ppm]	500.00	53.90	47.10	58.90
全酸価	[mgKOH/g]	--	0.41	0.43	0.48
IR			カルボン酸吸収無し	カルボン酸吸収無し	カルボン酸吸収無し

4.1.2 赤外線吸収スペクトル法（IR法）の分析結果

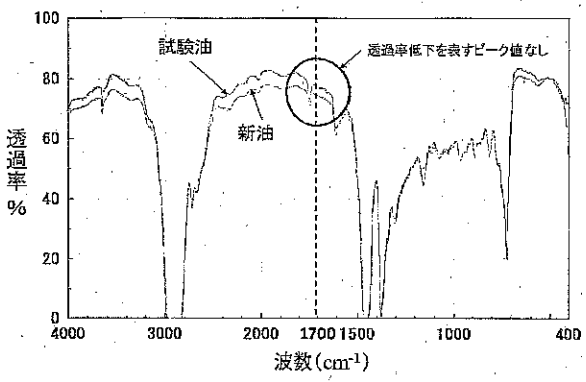


図-2 赤外線吸収スペクトル法（IR法）の分析結果

赤外線吸収スペクトル法（IR法）とは、基油の酸化に伴って発生するカルボン酸から劣化状況を判断するものである[1)]。ここで基油とは、さび止めや酸化防止剤などの添加物を含まない、潤滑油のベースとなる油のことである。潤滑油に含まれる酸化防止剤は、基油の酸化によりカルボン酸へと置き換わる。一般的に、分子は特定の波数（カルボン酸の場合は1700cm⁻¹）の赤外線を吸収する特性を持っている。そのため、潤滑油中に含まれるカルボン酸が増加すると、分析結果チャート中の波数1700cm⁻¹の透過率が著しく低下する。

よって、チャート中の波数1700cm⁻¹付近に透過率の低下を示すピーク値を確認すれば、基油が酸化していると診断することができる。

4.2 油の汚染状況の分析結果

4.2.1 計数汚染度（NAS級）の分析結果

表-6 計数汚染度基準

粒径	NAS等級					新油	H21	H24
[μm]	8	9	10	11	12	10	12	12
5～15	64,000	128,000	256,000	512,000	1,024,000	195,150	2,619,103	3,576,076
15～25	11,400	22,800	45,600	91,200	182,400	266	29,873	29,110
25～50	2,025	4,050	8,100	16,200	32,400	114	5,454	4,404
50～100	360	720	1,440	2,880	5,760	16	800	370
100以上	64	128	256	512	1,024	0	163	43

計数汚染度（NAS 等級）とは、表-6 の計数汚染度基準より粒径サイズを 5 段階に分け、100mL 中の各サイズの粒子数を測定して NAS 等級を決定し、潤滑油の汚染状態を判定する手法である [1]。

計測に使用したフィルター写真（200 倍）を写真-6 に示す。診断結果は NAS 等級 12 であり、平成 21 年度から等級に変化はないが、フィルター表面の異物観察では、表面が茶褐色で、金属片や鉄錆、砂などが観察された。このことから、汚染度が高い原因は、摩擦とスラッジ、外部混入異物の影響が考えられる。

新油が NAS 等級 10 であることからも汚染が進んでいることが確認できる。

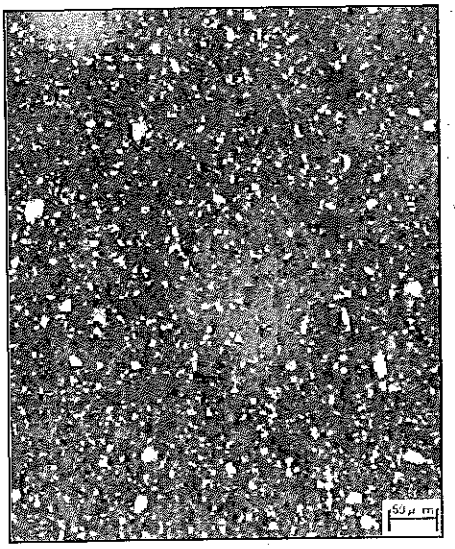


写真-6　フィルター写真（200 倍）

4.3　機器の摩耗状況の分析結果

4.3.1　分析フェログラフィーの分析結果

分析フェログラフィーとは、強力な磁石によって潤滑油中の摩耗粒子を分離、配列して観察する手法である [1]。磁気により捕獲された摩耗粒子を光学式顕微鏡で分析し、粒子の「大きさ」、「形状」、「材質」などから潤滑部分の摩耗状態を診断するものである。

分析結果を表-7、フェログラフィー写真を写真-7 に示す。摩耗粒子の形態で最も多く観察された粒子は、正常な摩耗時に発生する摩耗粒子であった。その他、少量であったが片当たりやすべりなどシビア摩耗により発生する粒子や、水分の混入や酸化など腐食摩耗により発生する赤褐色の粒子、潤滑不足や焼き付きにより発生する灰褐色の粒子が確認されている。

表-7　分析フェログラフィーの分析結果

摩耗の形態		形状	量	備考
正常摩耗	表面薄層の剥離、境界潤滑	15μ以下の薄片	中	写真-7①
シビア摩耗	片当たり、すべり、高加重	15μ<表面に条痕	少	
腐食摩耗	水分の混入、酸化	赤褐色の多結晶	少	
腐食摩耗	潤滑不足、焼付き	灰褐色の多結晶	少	
汚　染	天然砂、鋳物砂の混入	砂	少	

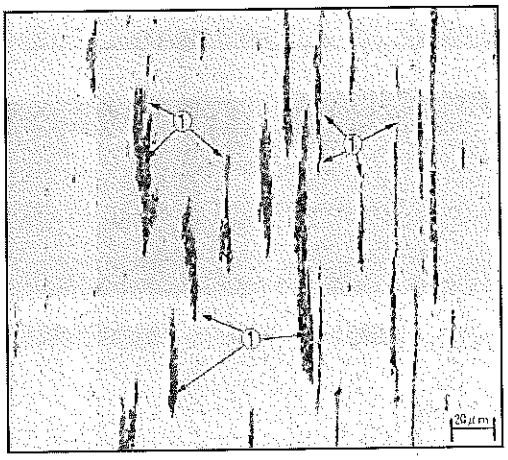


写真-7　フェログラフィー写真

4.3.2　発光分光分析（SOAP 法）の分析結果

発光分光分析（SOAP 法）は、油中の金属分子を発光させ、この光を波長毎に分光することで金属元素を分析する方法である [1]。摩耗粒子の金属元素の構成などから金属材料を知ることができるため、摩耗粒子の発生箇所を特定できる。

表-8　発光分光分析（SOAP 法）の分析結果

SOAP-T 重量 ppm							
採油日		H21.12.24			H24.6.26		
金属イオン+固形分		金属イオン	固形分	合計	金属イオン	固形分	合計
主軸・ギヤ等	鉄 (Fe)	1.0	2.0	3.0	1.0	4.2	5.2
軸受	鉛 (Pb)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	銅 (Cu)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	クロム (Cr)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	アンチモン (Sb)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	ニッケル (Ni)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	錫 (Sn)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
添加剤	リン (P)	69.0	0.0	69.0	50.0	0.0	50.0
	亜鉛 (Zn)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	カルシウム (Ca)	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2	0.2
	バリウム (Ba)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
砂等	アルミニウム (Al)	4.0	0.2	4.2	4.0	0.3	4.3
	ケイ素 (Si)	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
	ナトリウム (Na)	1.0	0.2	1.2	1.0	0.2	1.2
	マグネシウム (Mg)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	ホウ素 (B)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	モリブデン (Mo)	152.0	0.3	152.3	140.0	0.4	140.4

分析した結果の一覧を表-8 に示す。検出された元素から発生箇所を推定すると、鉄はギヤ歯面や主軸

の摩耗によって発生し、リン及びモリブデンはオイル添加剤の成分であると推定できる。また、カルシウム、アルミニウム及びナトリウムは、外部から混入した砂などの異物であると思われる。ギヤの材質である鉄の元素が、平成21年度の分析結果3.0ppmから平成24年度の分析結果5.2ppmまで増加していることからも、ギヤ歯面の摩耗の進行を示す結果となっている。

4.4 分析結果のまとめ

油の劣化状況の分析結果は、潤滑油性状分析及びIR法により、劣化状況は良好であり、管理限界値の範囲に収まることを示していた。ゲート設備構成機器には荷重に伴う熱が発生し、開門ゲートのように使用頻度の高い設備では、潤滑油の温度変化が頻繁に生じるため、機器のみならず潤滑油の劣化の進行が早まると考えられていたが、過度な劣化は観察されなかった。

油の汚染状況の分析結果は、潤滑油交換などの対策を考慮すべきとの結果を示していた。計数汚染度の分析結果では、平成21年度の時点で管理限界値を超えていた。主な原因は、正常摩耗によって生じる粒径5～15μmの粒子が増加である。

機器の摩耗状況の分析結果は、ギヤ歯面の摩耗が進行していることを示していた。しかし、摩耗によって発生した粒子は大半が正常摩耗による粒子であり、軸受の損傷を示す粒子や、異常摩耗によって発生する粒子はほとんど検出されなかった。

これら結果から、機器の摩耗状況は正常であるため、今後も継続して機器を使用することは可能であるが、潤滑油の場合は、劣化状況が良好であっても、汚染状況が芳しくないため、潤滑油の交換などの対策を必要としていることがわかった。

以上のように、潤滑油診断の活用によって、分解点検を行うことなく設備の状態を診断することができた。この技術を活用すれば、減速機や動力切替装置など、通常時は密閉構造であるため設備の状態を把握し難い機器であっても、機器の摩耗状況を調べることができ、更新計画へと反映する際の判断材料を得られる。

5. コスト縮減の取り組み

5.1 潤滑油ろ過装置の導入の検討

潤滑油は長期間使用すると劣化や汚染が進行するため、潤滑性能が劣化して機器の寿命低下や破損など、設備機能に支障をきたすことが懸念される。そのため、設備メーカーや潤滑油メーカーは定期的な潤滑油の交換を推奨している。これは、自動車のエンジンオイルを定期的に交換することと同様であると考えられる。

潤滑油の交換には、油の購入費や交換の労務費、廃油としての処分費などの交換コストが必要となる。長良川河口堰のように設備数が多い施設では、潤滑油の交換だけでも多額の費用が必要であるため、コスト縮減の方策として、潤滑油の交換回数の見直しを実施した。

今回の診断結果では、油中の摩擦粒子や異物などの汚染物質の増加により、油の汚染状況が悪化していることがわかった。しかし、水分、動粘度、全酸価などの劣化度の進行はわずかであり、管理限界値の範囲内に余裕をもって収まっていた。

これらのことから、潤滑油中の汚染物質を除去すれば、新油に交換する必要が無くなり、潤滑油を再使用することが可能であると判断した。

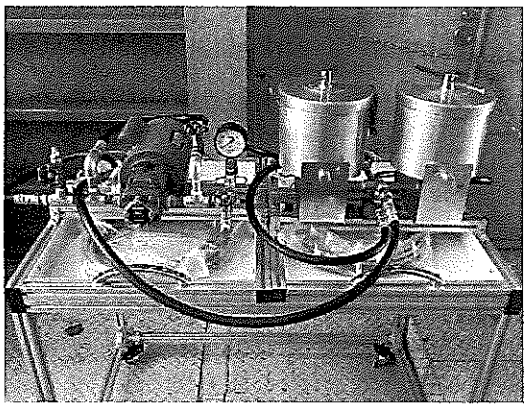


写真-8 潤滑油ろ過装置

そこで、汚染物質を取り除くために潤滑油ろ過装置を導入し、潤滑油を再使用することで交換期間を延伸して交換コストの縮減を試みた。

長良川河口堰に存在する全15門のゲート設備で共用できるように可搬式とし、ろ過器本体、送油装置、配電盤を分割可能な構造、各開閉装置室に人力で搬入搬出できるように軽量化などの設計を図っている。潤滑油ろ過装置の外観を**写真-8**に示す。

5.2 潤滑油ろ過装置の導入によるコスト縮減の効果

潤滑油ろ過装置の導入によるコスト縮減の効果を検討する。例として、長良川河口堰のゲート設備

開閉装置の構成器機である減速機 54 台において使用している潤滑油 22,400L を全て新油へ交換した場合と、潤滑油ろ過を行って交換期間を延伸した場合についてコストを試算・比較した。

積算基準をもとに概算金額を試算した結果、潤滑油 22,400L の交換に必要な費用は、交換の労務費、潤滑油の購入費、廃油としての処分費などを合わせて約 27,500 千円となった。一方で、潤滑油ろ過に必要な費用は、潤滑油ろ過の労務費、潤滑油ろ過装置の機器単体費(1,200 千円／台)、フィルターなどの消耗品費などを合わせて約 12,500 千円となった。

次に、試算を行う条件として、以下の状況を想定する。過去の潤滑油交換の実績から、5 年毎に潤滑油を交換して 10 年間で 2 度の交換を行った場合と、潤滑油ろ過によって交換期間を延伸し、10 年間で 1 度だけ交換した場合を比較する。

5 年毎に潤滑油を交換した場合、10 年間の交換回数は計 2 回、交換に必要な費用は、55,000 千円となる (27,500 千円×2=55,000 千円)。これに対して、5 年目に潤滑油ろ過を実施し、10 年間潤滑油を交換せずに再使用し続けた場合、交換回数を 1 回に抑えることができ、必要な費用は 40,000 千円となる (12,500 千円+27,500 千円=40,000 千円)。

両者の差は約 15,000 千円であり 10 年間で約 27%のコスト縮減となる。図-3 にコスト縮減の効果を図示する。

また、潤滑油ろ過装置の導入によって潤滑油が再使用され、廃油となる潤滑油の量も縮減できることから、コストの縮減のみならず、廃棄物の縮減という形で、環境に対する負荷の軽減にも貢献できる。特に、長良川河口堰のように施設規模が大きく、使用している潤滑油の油量が多いほど、コスト縮減の効果も高くなると考えられる。

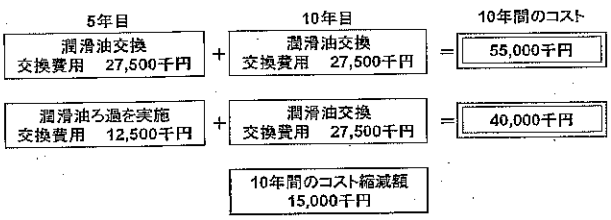


図-3 コスト縮減の効果

6. おわりに

従前の潤滑油などの交換は、基本的には、経験的な経過時間や、メーカーが推奨する期間を目安に定期的な交換を実施してきた。しかし、潤滑油診断の結果から、潤滑油中の汚染物質を除去することによって、潤滑油の再使用が可能であることが確認された。

潤滑油ろ過を実施して潤滑油中の汚染物質を取り除き、交換期間を見直した結果、長良川河口堰では、10 年間で約 15,000 千円分のコスト縮減が期待できる。

長良川河口堰では、平成 25 年度から可搬式潤滑油ろ過装置を導入し、潤滑油ろ過を点検整備の中で実施しており、引き続きコスト縮減の効果を検証する予定である。

また、汚染物質である金属摩耗片や砂などは歯車の摩耗や異常摩耗の要因となり得るため、それらを除去することで摩耗量の減少や異常摩耗の抑制などによる設備本体の延命も期待できる。

本論文で紹介した潤滑油診断による設備管理手法は、製造や発電などの現場でも実施されており[1)2)]、今後も診断技術の発展が期待できる。今後は、ゲート設備開閉機器のみならず、扉体のローラ軸やシーブ軸などの他の設備へと潤滑油診断を活用するとともに、点検整備において潤滑油診断及び潤滑油ろ過を実施して、最適な潤滑油の交換期間を検討し、コスト縮減に努めていく。

参考文献

1) 古川修司：トライボロジーを活用した設備診断技術，東京都下水道局 下水道技術年報 2004 年 事業の効率化維持管理技術，2004.

2) 川畑雅彦：発電設備におけるメンテナンストライボロジービジネス，トライボロジスト 第 49 巻 第 3 号，2004.

遠賀川河口堰多自然魚道における施工上の配慮と工夫について

吉永勝彦[1]・石坪昭二[2]・深浦貴之[3]・田中聡[1]

[1]九州地方整備局　遠賀川河川事務所　河口堰管理支所（〒807-0001 福岡県遠賀郡水巻町猪熊10-7-1）

[2]九州地方整備局　遠賀川河川事務所　河川環境課　（〒822-0013 福岡県直方市溝掘１丁目 1-1）

[3]九州地方整備局　国営海の中道海浜公園事務所　工務課（〒811-0321 福岡市東区大字西戸崎 18-25）

本論文では、遠賀川河口堰の魚道改良事業を進めるにあたり、環境や景観等に配慮した計画を地元住民の方々や学識経験者等と共に検討し、工夫しながら施工した内容と完成後の魚道改良事業効果について報告する。

キーワード　多自然魚道，景観，合意形成，自然再生，魚がのぼりやすい川づくり

1. はじめに

遠賀川上流には、全国的にも珍しい「鮭神社」がある。かつて石炭産業が盛んな時代、遠賀川の水は黒く濁り、サケの遡上を見ることができなくなっていたが、流域内の炭坑が全て閉山し、河川環境が徐々に改善してきたこともあり、近年ではサケの遡上が時折確認されるようになってきた。

このように、遠賀川流域全体の水質改善と共に流域住民の方々の意識が川へ向くようになり、長年の夢であった遠賀川河口堰魚道の改良が自然再生事業という形で実現した。

本論文では、平成20年度より実施した魚道改良事業において、地元住民の方々、漁業関係者、学識経験者、小学校教諭、行政等の関係者と合意形成を行い、環境や景観に配慮し、工夫しながら施工した内容と施工後の多自然魚道の効果及び利活用状況について報告する。

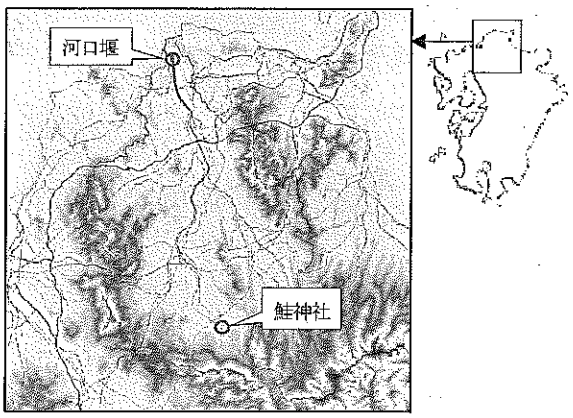


図１　遠賀川流域図

2. 既設魚道の課題

遠賀川河口堰に併設された既設魚道は1980年に完成した階段式魚道で、川と海を繋ぐ唯一の出入り口であるが、①勾配が急で流速が速いため、遊泳力の弱い小型魚や川底を這うように移動する底生魚にとっては遡上することが困難であること②海水域から淡水域へと塩分濃度が急激に変化するため、塩分濃度の緩衝域が無いこと③河口堰周辺は単調な垂直護岸で干潟もなく、遡上魚の産卵場所や待機場所が無い、という３つの課題があった。

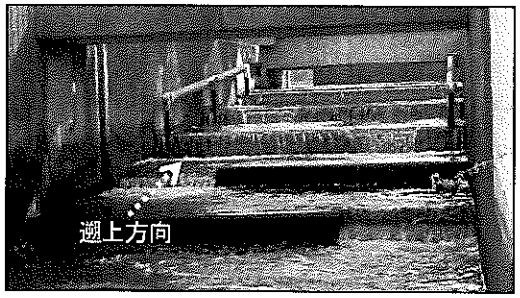


写真１　既設の階段式魚道

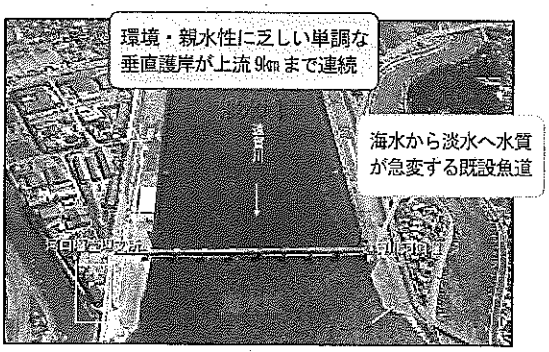


写真２　河口堰周辺環境

3. 整備方針・計画

(1) 懇談会の設立

先述の課題を改善するため、流域の住民団体の方々、学識経験者、小学校教諭、漁業関係者、行政を中心とした「河口堰魚道を考え、望ましい遠賀川を次世代へ繋ぐ懇談会」を設立し、魚道整備のあり方について意見交換を行った。初年度の３回に渡る議論の結果、川と海をつなぎ、魚たちがのぼりやすく、生き物も人も集う魚道を目標に、「事業における基本方針」と「工事における基本的な考え方」及び「望ましい遠賀川を次世代につなぐための提言」を懇談会において策定頂いた。

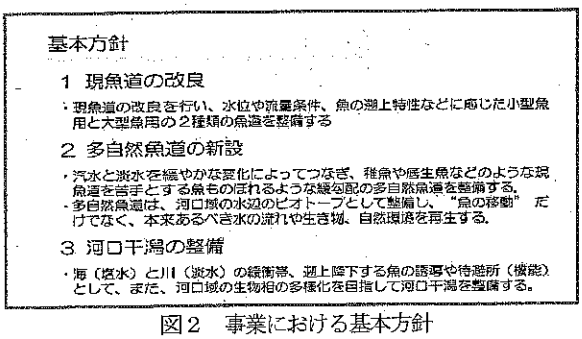


図２　事業における基本方針

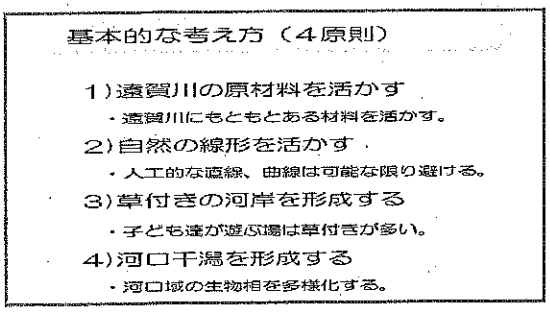


図３ 工事における基本的な考え方

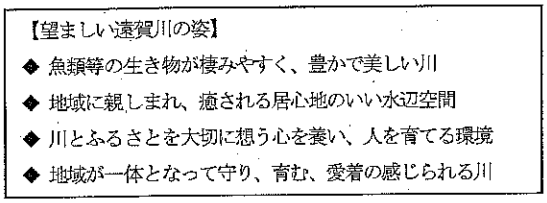


図４　望ましい遠賀川を次世代につなぐための提言

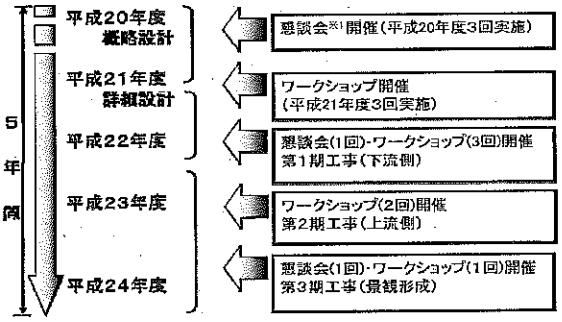


図５　事業スケジュール

(2) 整備計画

懇談会の議論を踏まえて、詳細な魚道周辺整備計画は地元住民の方々の意見も反映できるように住民参加型ワークショップ（WS）を開催し決定した。WSでは地元住民の方々のほか、小学校教諭、大学、行政に参加頂き、植栽の種類や配置、動線や階段形状、安全対策等について具体の検討を行った。

また、望ましい遠賀川を次世代につなぐため、小学生と一緒に既設魚道の魚類調査を実施し、小学生に多自然魚道整備への提案をして頂いた。「人にも、魚などの生きものにも気持ちのよい場所にするために」と題した最終的な整備計画は、図６のとおりである。

多自然魚道は、縦断勾配 1/200 程度、延長約 300mとし、塩分濃度の緩衝域を可能な限り確保した。また、潮汐を活かすため緩やかな線形とし、自然石の配置により瀬・淵を形成し、多種多様な生物環境の創出を目指した。河口堰建設前は、海と川が連続し干潟があったことで、貴重な生物の生息環境が数多く存在していたと思われる。そこで、河口堰下流の生物相多様化を目指して、また遡上魚の待機場所として入江干潟を計画した。

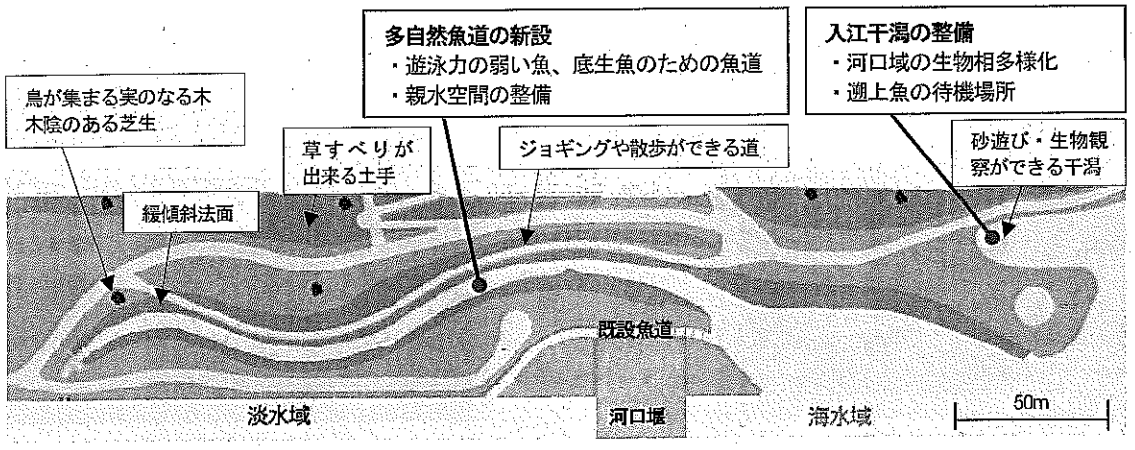


図６　整備計画

4. 関係者との合意形成

懇談会やWSにあたっては、関係者にわかりやすく説明し、関係者と施工イメージを共有するため、懇談会メンバーでもある九州工業大学伊東准教授（専門分野：景観）と連携して模型を作成した。また、本事業の着手段階より「気持ちの良い空間を作る」ことを目指して130回以上の打合せを行い、模型を活用しながら、関係者からの意見を集約した。その結果、計画・設計・施工の一連の過程で、各々のニュアンスも細部まで関係者と合意することができたと思われる。

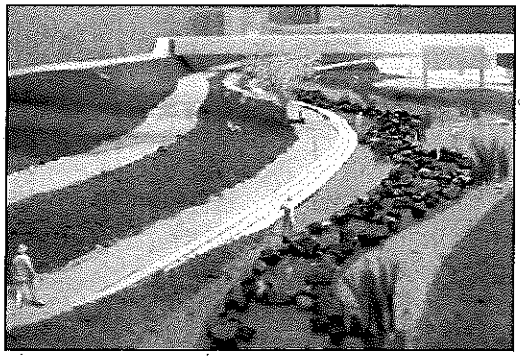


写真3　多自然魚道模型

5. 施工上の配慮と工夫

多自然魚道工事では、関係者と議論を重ね、より良い環境となるよう様々な配慮と工夫を行い施工した。本項ではその内容について紹介する。

(1) 材料再利用

多自然魚道掘削時の既設コンクリート撤去にあたり、取り壊しで発生する建設副産物を隠し護岸として、魚道の基礎に流用した。基礎の上には魚道掘削時に発生した河口堰建設以前の砂浜と思われる貝殻混じりの土を覆土に流用した（写真4）。

また、遠賀川らしい河岸の形成と日陰になる植栽が欲しいという意見がWSであり、流域内の他工事で伐採する予定だった樹高5m程度の樹木（タチヤナギ）を選定し多自然魚道周辺へ移植した。移植にあたっては地元の方と一緒に行った。

(2) 景観における工夫

WSでは人のアクセスについても提案があり、階段やスロープを追加した。堰下流側に新たに設置した階段については、アイストップとなる景観上重要な施設であったため、法面に合わせた勾配とし、曲線を採用して独創的な階段とした。また、階段の端については、学識経験者のアドバイスを反映し、法面に隠れるよう、階段形状を変更し、自然に馴染む形とした。



写真5　階段工完成写真

遊歩道の境界ブロックについて、通常のアスファルト舗装であれば、管理用通路の表面に境界ブロックが表に見えて白いラインが両側に現れるが、今回の施工では白いラインが表面に見えない見切材を使用し、舗装と芝生の境界が美しくなるよう景観に配慮した。

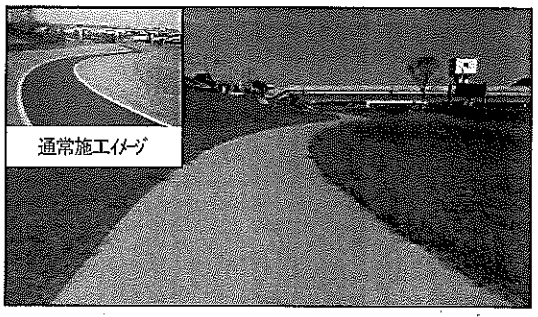


写真6　見切材を使用した舗装

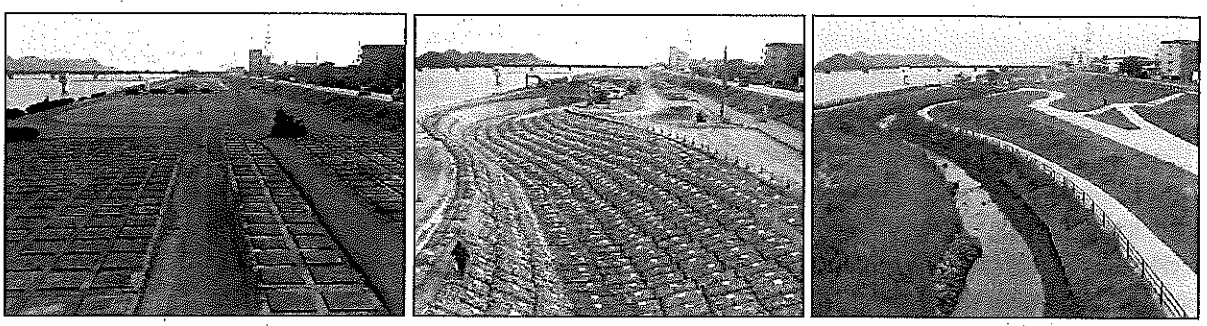


写真4　コンクリート撤去材再利用の施工前（左）、施工中（中）と施工後（右）

(3) 施工時の工夫

多自然魚道の巨石配置について、水の流れが単調になり多様な生物の生息環境が形成されない恐れがあるため、実際に水を流して巨石の配置や落差工の設置位置を調整した。澪筋が魚道中央になるように巨石でコントロールし、落差工においては、剥離流や流水の過度な集中、白泡が発生しないように石の面に留意し、何度も水を流したり止めたりしながら巨石を配置した。なお、本事業で使用したすべての巨石は、流域内の他工事で発生した巨石を流用した。

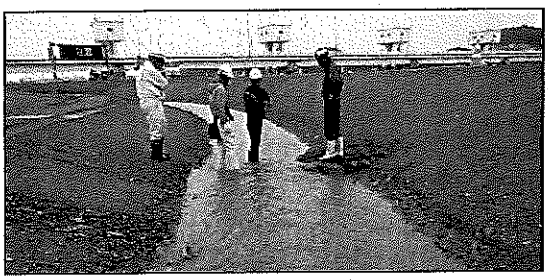


写真７　施工者との現地打合せ状況

また、ＷＳにて地元住民の方から「河口堰周辺は、潮位の変化が１日で1.5m程度あるため、子供達が、潮汐による水位変化を体感できるようにしてほしい」と提案があり、[T.P.=0.0m]、[T.P.=0.5m]、[T.P.=1.0m]と高さが異なる３種類の杭を設置した。満潮時は全ての杭が水中に隠れ、干潮時には全ての杭が水面上に現れる仕組みで、土砂の流出防止も考慮して杭を二列に配置した。

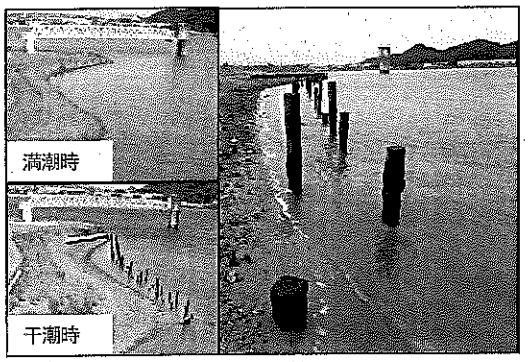


写真８　干潟杭の設置

(4) 仕上げは、地元小学生

多くの方々の想いを次世代につなげていくという願いを込めて、多自然魚道の最終仕上げである石並べを地元の小学生と一緒に行った。事前にどのようにしたら魚等の生物に優しい環境になるのかを小学生が学習し、その成果を基に施工要領図を作成した。当日はその施工要領図を確認しながら石並べを行った（写真９）。



写真９　小学生による石の配置

(5) 完成シンポジウム、魚道報告会

平成25年6月8日、遠賀川多自然魚道は完成したことを記念して、完成シンポジウムを開催した。この事業に携わって頂いた沢山の方々に来て頂き、完成した喜びを分かち合った。

また、平成26年3月19日、完成後約１年が経過したことを記念して、魚道報告会を開催した。当日は地元の小学生によるサケの放流会や魚道研究の発表、この１年間に行われた活動内容報告や魚類のモニタリング調査報告を行い、今後の多自然魚道について話し合った。



写真 10　サケの稚魚放流

6. 多自然魚道の効果

(1) 魚類調査

H24に実施した魚類調査において既設魚道と多自然魚道での発見魚種を比較したところ、既設魚道の24種に対し多自然魚道が39種と多く確認された。これは既設魚道で確認されていない純淡水魚や通し回遊魚が多く採集され、出水で流下した遊泳力の弱い魚が復帰遡上したことが主な要因であり、ハゼ類など汽水域に生息する魚が多自然魚道でのみ確認されたことも増加した要因である。

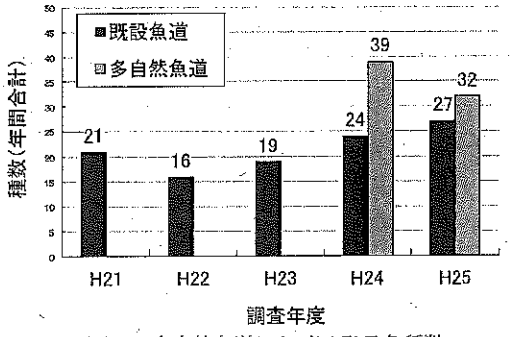


図７　多自然魚道における発見魚種数

また、大学の研究により多自然魚道内で６種のハゼ類の産卵が確認されており、多自然魚道は遡上経路としての機能だけでなく、汽水魚の産卵・繁殖の場になっていることも新たに判明した。これらの結果から、多自然魚道は出水で流された淡水魚や回遊魚の遡上等への寄与、汽水魚の生息場・産卵場としての寄与の２つの面で効果を上げたと判断できる。

なお、2014年6月、国際自然保護連合（IUCN）により「絶滅する危険性が高い絶滅危惧種」に指定されたニホンウナギの多自然魚道での遡上も確認されている。

(2) 利活用状況

河口堰周辺は遠賀川をまたいで散策を楽しむ人が多く、話を聞くと「新しい魚道が出来てから周りの景色も気持ちいい。コンクリートの時はここまで来ていなかった」と言う。また、環境省のレッドリストで準絶滅危惧種に指定されているミサゴが周辺に生息し、海面にダイビングする姿を見ることができるが、撮影箇所へのアクセスが向上し環境が良くなったことでミサゴを撮影する野鳥愛好家も増加した。

さらに、多自然魚道やその周辺は大学の研究フィールドとして活用され、生物の生息環境に配慮した研究が進められおり、近隣小学校においては、多自然魚道での生物調査が授業のカリキュラムに盛り込まれ、環境学習の場として現在利用されている。



写真 11　ミサゴの撮影状況

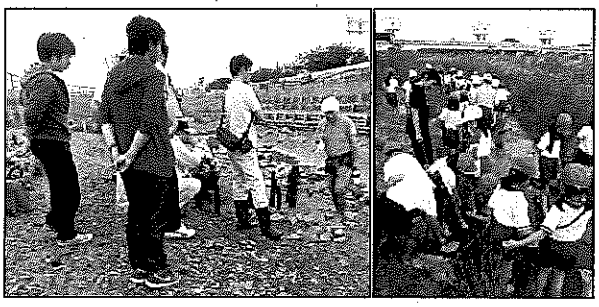


写真 12　学識経験者による現地調査（左）
写真 13　児童による生物調査（右）

7. まとめ

この多自然魚道事業では、地元住民の方々、流域の住民団体の方々、漁業関係者、学識経験者、小学校教諭、行政等、様々な関係者と十分な合意形成を行い、施工途中においても地元の方から要望があった場合には設計を変更するなど柔軟に対応し、生物環境や景観に配慮し工夫しながら施工したことで「生き物も人も集う」魅力的な空間を創造できたと考える。

多自然魚道は、魚道としての機能はもちろん、人々の心が穏やかになる空間、また来たくなる場所として利用され、小学生の環境学習の場としても活用されることが期待されている。そのため、この魚道を多くの方に利用して頂けるような支援活動、広報活動が必要であり、現在取り組んでいる。

また、多自然魚道では引き続き魚類のモニタリング調査を実施し、さらに多様性を高め地域とともに育つ空間としての活用を目指して、望ましい遠賀川を次世代に繋ぐための魚道となるよう努めて参りたい。

謝辞

遠賀川多自然魚道の計画着手時から施工完了までの間、多大なご協力を頂いた地元住民の皆様、流域の住民団体の皆様、学識経験者の皆様、漁業関係者の皆様、小学校教諭の皆様、九州工業大学環境デザイン研究室の皆様、魚類調査にご協力頂いた九州大学アクアフィールド科学研究室の皆様、そして事業に携われた全ての関係者の皆様に謝意を記す。

参考文献

1) 河口堰魚道を考え、望ましい遠賀川を次世代へ繋ぐ懇談会：河口堰魚道改良基本構想&遠賀川への提言(2009.2)
2) 伊東啓太郎：都市における緑地・水辺のデザインをとおした生物多様性指標の開発に向けて：日本緑化工学会誌 36巻3号 387-389 (2011)
3) 遠賀川下流域河川環境教育研究会：わたしたちの遠賀川 (2013.3)

自由課題

アカウンタビリティ部門

ドクターヘリを支援する道路の工夫
ーより迅速に、より安全にランデブーするための提案ー

高山　博幸

北海道開発局 釧路開発建設部 釧路道路事務所 計画課（〒085-0816北海道釧路市 貝塚３丁目3-15）

北海道のドクターヘリは、片道１００ｋｍ以上の広いエリアで運航され、広大な面積をカバーすることで地方部の急性期医療を支えている。しかし、積雪により冬期に利用できるランデブーポイントが激減することが運用上の大きな課題となっている。北海道開発局では、2010年度より公共空間を活用したランデブーポイントの増設支援を行っているが、公共空間の数には限りがあり、今後の大幅な増加支援は難しい。しかし、昨今ニーズが高まりつつある「ダイレクト方式」については、道路として支援する余地は十分にあると考える。本発表では北海道横断自動車道本別釧路間の開通に向けた取り組み事例について報告する。

キーワード　ドクターヘリ、ランデブー、高規格幹線道路、ダイレクト方式、ヘリサイン

1. はじめに

北海道のドクターヘリは、2005年に札幌市（手稲渓仁会病院）で初めて導入された。その後、2009年に旭川市（旭川赤十字病院）と釧路市（市立釧路総合病院）の２地区が追加され、現在は３機のドクターヘリが運用されている。

北海道のドクターヘリの特徴は、広い運航エリアである。一般的なドクターヘリの運航エリアは片道３０ｋｍ～５０ｋｍといわれているが、北海道では、片道１００ｋｍ～１５０ｋｍもの広い運航エリアをカバー(図-1)し救命救急センターが少ない北海道の急性期医療に大きく貢献している。

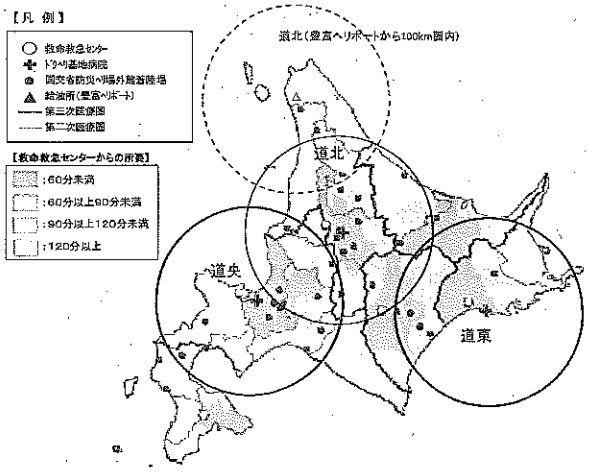


図-1　北海道におけるドクターヘリ運航エリア

３機による2012年度の年間出動要請回数は約２０００件、そのうち出動した回数は約１３００回(表-1)であった。これは単純計算で各機が毎日１.２回出動する頻度であるが、北海道においては、冬期は降雪や吹雪などで有視界飛行ができない日も多く、出動率(表-2)が大幅に低下することを考慮すれば、非常に高い頻度で運用されているといえる。

表-1　北海道におけるドクターヘリ運航回数

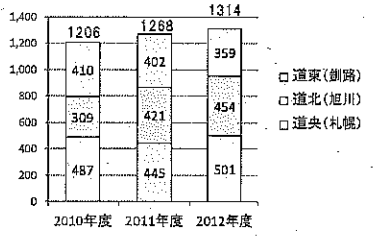
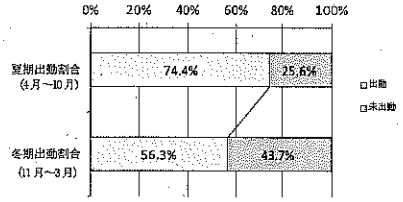


表-2　出動率の変化



2.医療支援の取り組み

北海道開発局では、2010年度より「地域医療を支える社会資本整備のあり方」をテーマに医療関係者との意見交換会を各地で開催している。その意見の中で地域が喫緊の課題として大きく取り上げたのがドクターヘリのランデブーポイントに関することであった。具体的には、夏期に約２０００箇所あるランデブーポイントが、積雪によって冬期には約５００箇所と４分の１まで激減するという雪国特有の課題である。

北海道開発局では、これらの課題に対し、自治体とも連携しながら常時除雪がされている道路事務所や除雪ステーションなどの公共空間をランデブーポイントとして活用する取り組みを2011年から行っている。

3.冬期に利用可能なランデブーポイントの増設

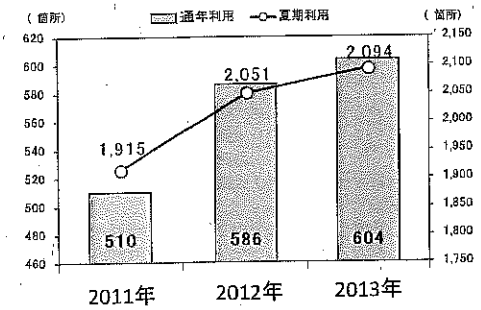
公共空間を活用したランデブーポイントの増設は、以下の条件で抽出し、基地病院と協議して選定した。

① 離着陸可能な広さが概ね３５m四方程度あること。
② 常時除雪を行っていること（道路事務所や除雪ステーションなど）
③ 離着陸箇所周辺に障害物がないこと

2011年度は試行として道北ドクターヘリ（旭川市）の運航エリアで１８箇所を増設した。翌年の2012年度から全道に取り組みを広げ、2013年までに４４箇所を追加。合計で６２箇所の新規ランデブーポイントを増設した。

全道で冬期に利用可能なランデブーポイントの増設は、2011年からの３年間で94箇所増え、冬期の利便性は向上している。(表-3) (図-2)

表-3 登録ランデブーポイント数の推移



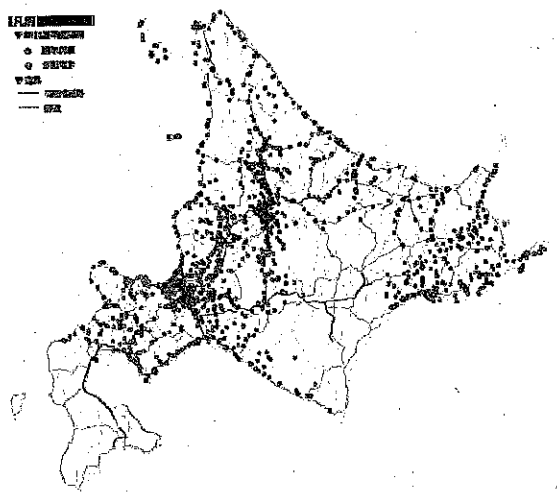


図-2 通年・夏期限定別RP（全道）

ランデブーポイントの増設に対し、関係者からは以下のような意見があった。

- 道路事務所や除雪ステーションは、道路沿いにあり迅速にアクセスできる。夏でも使いやすいため利用している。(図-3)
- 常時除雪がされているため、確実に利用できる。
- 安全が確保され、障害物がない場所では２０m四方の狭い箇所でも着陸できる。(図-4)

幹線道路の沿線にありながら、舗装されたある程度の広さの土地があることや、構内を通行している一般車両や人が少なく規制しやすい道路事務所や除雪ステーションは、ダウンウォッシュによる周辺への影響も少なく利用しやすい環境であると考えられる。



図-3 年５回利用された名寄北管理ステーション

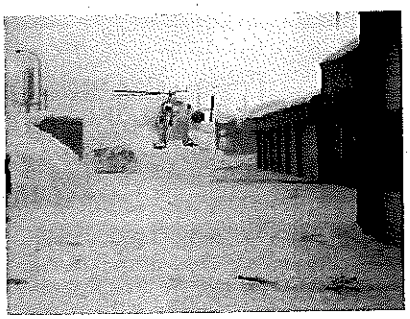
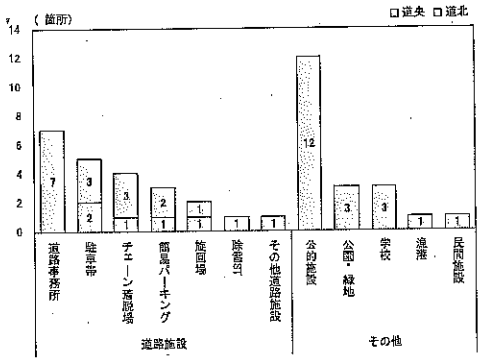


図-4 狭い箇所に着陸するドクターヘリ

2013年に追加された４３箇所のランデブーポイントのうち道路施設が半数以上の２３箇所(表-4)となっており、利便性が高い道路近傍での追加ニーズは高い。

表-4 2013年度 新規追加ランデブーポイントの内訳



4.運航困難箇所への対応

冬期に利用可能なランデブーポイントの増設は重要な課題であるが、それと同時に北海道特有の気象条件によって発生する運航困難箇所(図-5)への対応も重要な課題である。

関係機関へのヒアリング調査からドクターヘリの運航が困難となる地理的条件として、①峠、②海霧（日高地域の沿岸部、釧路～根室地域）、③地吹雪、④視程障害などの気象の変わり目が挙げられており、これらの地理的に運航困難な地点の手前にランデブーポイントを設定することは有効である。

2013年度の新規追加ランデブーポイント４３箇所のうち運航困難箇所近傍の必要箇所に新たに１５箇所が設定された。

これらのポイントは、運航困難箇所のランデブーポイントが気象条件で利用できない場合において、距離は離れるが確実に利用できるランデブーポイントとなる。これは、関係者が「二次ランデブー」と呼ぶ運航困難箇所を回避した位置でのランデブーを行う上で必要となるランデブーポイントである。

これら「二次ランデブー」に有効なランデブーポイントは、今後も増やす必要があるが、峠付近などの山岳部では適地が少ないなど課題も多い。

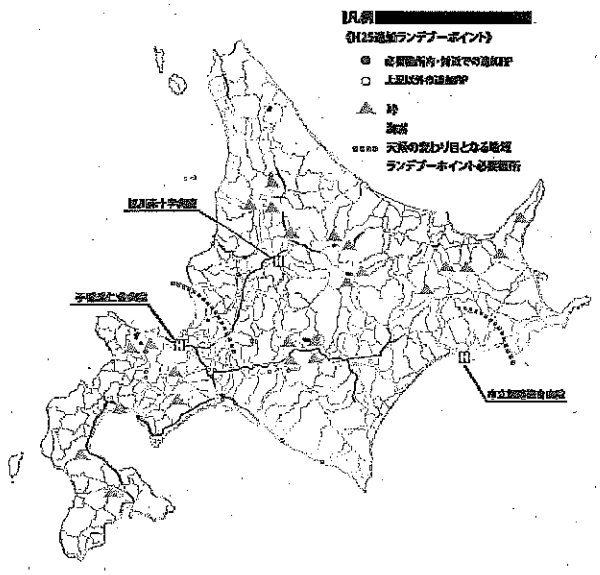


図-5　運航困難箇所と追加ランデブーポイント

5.ダイレクト方式のニーズと課題

ドクターヘリは、あらかじめ設定したランデブーポイントで救急車と合流し医師接触を行う「ランデブー方式」が主流だが、より迅速に医師接触を行うために現場の近い場所に着陸する「ダイレクト方式」の事例も近年多く見られるようになってきた。

ダイレクト方式は、現場付近に直接着陸するため、医師接触の時間を短縮できるメリットがあるものの、警察による交通規制が必須であることや、障害物がないなどの条件が必要であり、着陸はその場の機長の判断に委ねられている。

ランデブーポイントを密に設定することで迅速な医師接触はある程度可能と考えるが、増設にも限界があることから、今後はダイレクト方式へのニーズがより高まると考える。

図－６は、国道の簡易パーキングに着陸した事例である。一見、道路照明などが支障となり、スペースが無いように見えるが、架空線などの「見えない支障物」がなければこのような狭い箇所でも着陸する場合がある。

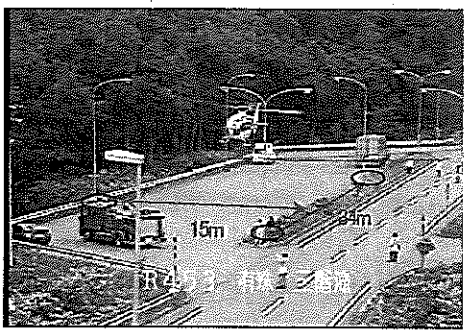


図-6　簡易パーキングでのダイレクト方式

高規格幹線道路は、インターチェンジやＰＡなど本線以外の限られた場所でしかランデブーポイントを設定できないため、本線でのダイレクト方式は非常に有効であると考える。図－７は道北ドクターヘリが深川留萌自動車道に着陸した時の状況である。



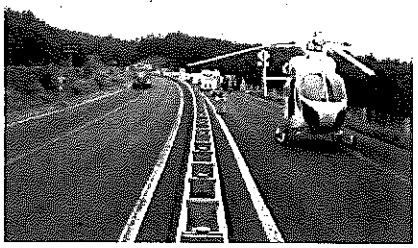


図-7　高規格幹線道路でのダイレクト方式

従来、ダイレクト方式は、片側３車線程度の幅員が

ある場所で行われてきたが、近年このような片側１車線の道路でも着陸している例が増えている。

機長に直接ヒアリングを行う機会があり、ダイレクト方式における着陸条件や課題を確認した。

(1)ヒアリング結果

① 障害物

ダイレクト方式はどこに着陸するか事前に障害物を確認できないため、目視と地上からの情報に頼らざるを得ない。電線などは上空から全く見えないため、注意が必要。

ガードレールなどは一見障害物に見えるが、高さが１．５m以下のものは障害とならない。

② 着陸場所の特定

地上班が着陸場所を確保するが、目印が無く、位置を正確に伝えることが難しい。地上はキロポストがあるが、上空からは目印が無いため着陸場所が伝わらないことがある。また、パトカーや救急車の赤色灯もLED化されてからは上空から確認しづらくなった。

6.ダイレクト方式を支援する道路の工夫

高規格幹線道路は、アクセスコントロールされていることから、ダイレクト方式に必要な交通規制は一般道よりは容易である。ランデブーポイントの確保が困難な高規格幹線道路においては、ダイレクト方式を支援することが必要である。前述の課題に対応するため、現在事業中の北海道横断自動車道本別釧路間において検討している以下の支援策を紹介する。

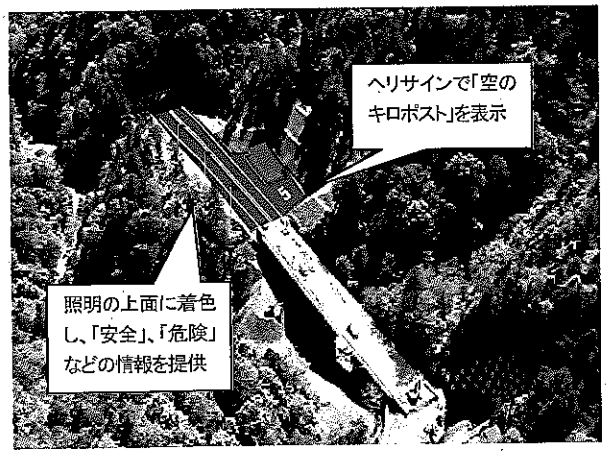


図-8 ヘリサインの活用

(1) ヘリサインとヘリのＧＰＳを活用

山岳部の高規格幹線道路はトンネルが多く、上空からだと道路の位置特定も難しい。それを迅速に行うためには、空から位置を特定できるよう着陸想定区間に「空のキロポスト」といえるようなヘリサインによるナンバリング(図-8)が有効であり、本線以外のスペースへの実施を提案する。さらにナンバリング箇所を事前にヘリのＧＰＳに登録することで、積雪等によりヘリサインが目視できない場合や、路面標示の経年劣化があった場合でも対応可能である。なお、ヘリサインの近傍には緊急車両用にヘリサインと同じナンバーの標識(図-9)の設置や、携行用の図面の準備も必要である。これらの施設とヘリの機能によって、上空と地上で着陸箇所の共有が迅速且つ正確に行うことが可能となり、ダイレクト方式の課題も解消できる。



図-9 緊急車両用の位置表示看板（案）

(2) 道路付属物の上面を活用したヘリサイン

道路としては普段利用しない道路照明灯具の上面などに色を塗ることで、上空のヘリに様々な情報を与えられる可能がある。例えば、色の付いている照明で挟んだ区間を「着陸可能な区間」または「架空線などの障害物がある危険区間」など、ルールを決めることで、見えない障害物に対する上空への情報提供の可能性もある。これらの有効性は、現地で試行をしながら進める予定である。

7.おわりに

今年度、道南（函館市）に北海道で４機目のドクターヘリが運航予定である。これにより、北海道全域がドクターヘリでカバーされれる。救急搬送やランデブーの主要ルートとなる高規格幹線道路や国道でのドクターヘリ支援は益々重要となってくると考える。

釧路地区で初めての高速道路である北海道横断自動車道本別釧路間は、今年度、浦幌ICから白糠ICの２６ｋｍが開通予定である。山岳地区を通るこの区間は、市街地からは遠く、交通事故発生時の救急搬送ではかなりの時間を要することから、ドクターヘリに対する期待は高い。

本提案内容は、道東ドクターヘリと連携しながら実施し、効果については継続的に検証していく予定である。

同様の検討している箇所で本提案が参考になれば幸いである。

謝辞：本提案をまとめるにあたり、データや写真の提供、ヒアリング調査への協力をいただきました北海道３エリアのドクターヘリ関係者の方々に、この場をお借りして御礼申し上げます。

現場からはじめる建設産業支援
～出張所における工事広報～

阿久津　奈々[1]・河原　正儀[1]

[1]東北地方整備局　郡山国道事務所　喜多方出張所　（〒966-0802 福島県喜多方市桜ヶ丘1-150-1）

建設投資額の減少に伴う賃金や採用の抑制、就業者数の減少、高齢化と建設産業をとりまく環境は厳しい。そこで、喜多方出張所では工事広報を通して、地域住民に建設産業の重要性や必要性をPRするとともに、将来を担う若い世代が少しでも建設業界に興味を持ち、さらにその担い手へ向かうよう広報活動を展開している。

本稿は、その広報作戦と効果について紹介する。

キーワード　広報、建設業、職人、地域住民

1. はじめに

喜多方出張所では、国道121号会津縦貫北道路の整備を進めている。会津縦貫北道路は、会津北部地域における縦軸を強化し、地域間交流の促進、都市や産業、観光資源などを有機的に結び、圏内全体として集積規模の拡大を図るため、さらには移動時間などの交流条件の格差を是正する地域高規格道路である（図-1）。計画延長約13.1kmのうち、2013年9月までに約10.1kmが開通している（図-2）。

現在は2015年度の全線開通に向け、最終工区である4工区（延長約3.0km）の工事が最盛期を迎えている。

当出張所で行っている広報活動は、会津縦貫北道路の事業PRを行うとともに、工事現場で働く職人やオペレーターの技術を紹介することで、建設産業の重要性や必要性を地域住民にPRし、さらに建設産業における将来の担い手の育成を支援することを目的としている。

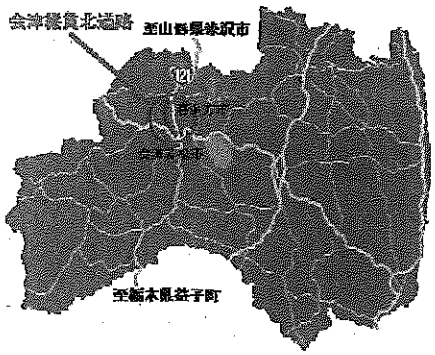


図-1　会津縦貫北道路（国道121号）位置図

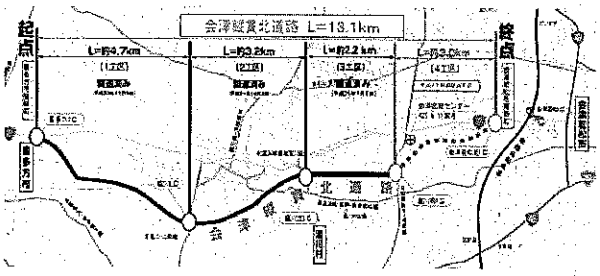


図-2　会津縦貫北道路（国道121号）路線図

2. 建設業界の現状

東日本大震災以降、復興需要により若干の増加は見られるが、建設投資額・建設就業者数・建設業許可業者数とも減少傾向にある[1]。特に建設投資額については、ピーク時の84兆円から50兆円へ41%の減少となっている（図-3）。

建設業就業者の年齢構成[2]は、2012年で55歳以上が33.5%、29歳以下が11.1%と高齢化が進んでいる（図-4）。10年後の2022年には55歳以上が40.7%まで上昇すると想定されている（図-5）。10年後には、当時60歳以上の方々は引退し、その引退した人数は新規入職で補填しなければならず人手不足の問題は深刻である。

加えて、東日本大震災発生直後に即座に災害対応等にあたっていたにもかかわらず、マスコミ報道では主に自衛隊の活動がピックアップされ、建設業者に対する評価は高くない。土砂崩れや大雪など日常の災害発生時においても即座に対応し、地域住民の安全を守っているのは

地元建設業者であり、私達の生活に必要不可欠である。

建設投資額の減少に伴う賃金や採用の抑制、就業者数の減少や高齢化、東日本大震災の対応に対する低評価と建設産業をとりまく環境は厳しい。この現状が続くと建設産業は衰退してしまう。そのような事態を避けるため、当出張所では3つの広報作戦を実施した。

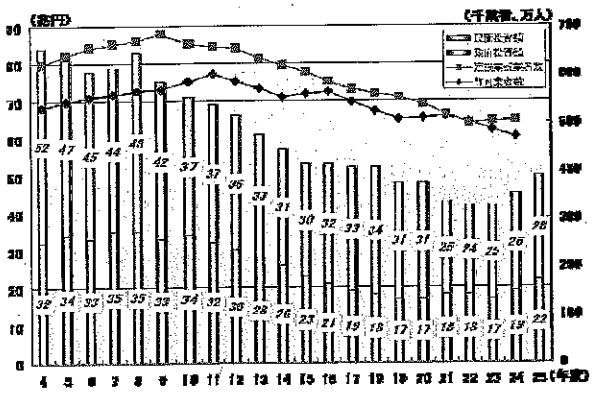


図-3　建設投資額・建設就業者数・建設業許可業者数

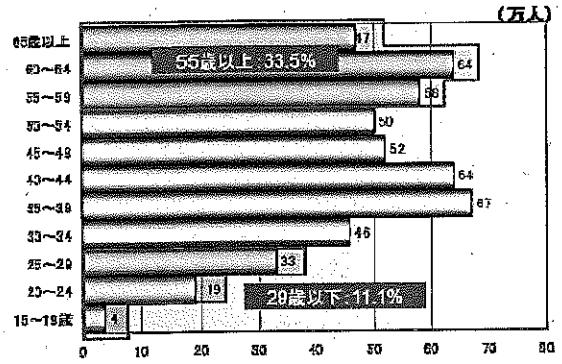


図-4　2012年　建設業就業者（年齢別）

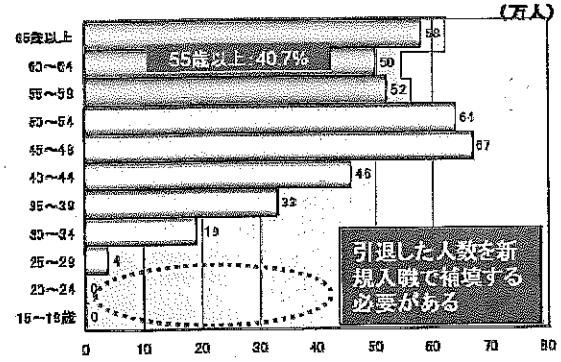


図-5　2022年想定　建設業就業者（年齢別）

3.　3つの広報作戦

(1) 会津縦貫北道路工事ニュース「AIZU道しるべ」

2012年3月から毎月1回、広報紙「AIZU道しるべ」を発行している（図-6）。そのコンセプトは、

『A：あまり目立たないけれど

I：いないと困る

Z：ずっと役立つ道路を目指し頑張っている

U：腕利きの職人やその技を紹介します！！！』

である。「AIZU道しるべ」は、建設産業支援のため主題は「モノ」ではなく、なかなか表に出ない現場で働く「職人やオペレーター」である（図-7）。

誌面では職人のエピソードが中心となり、普段紹介されることが少ない工種、例えば型枠工や床版工、橋面防水工などについて、職人の作業を通し紹介している（図-8）。日頃の工事で培われた職人の技術が、復興工事にも役立っており建設産業の重要性をPRしている。

また、職人の中でも女性職人を特集した誌面では、他の業種と比べ女性が少ない建設業の現場にも活き活きと働く女性職人達がいることを紹介し、今後もっと女性職人が増えるようPRしている。

そして、一般の方々に分かりやすい用語や誌面にするために「期間業務職員」が現場へ出向き、直接取材し編集を担当している。

さらに、より多くの人に確実に見てもらうため、配布は「直接手渡し」を基本としている。自治体や学校関係、その他関係機関はもとより、工事現場周辺の行政区長宅へ直接訪問し、地区内への回覧等により地域住民の方々へ周知してもらっている。現在では毎月の発行部数は400部に上る。さらに知名度をあげるため、アクセス数が多いと思われる「道の駅喜多の郷」や「喜多方観光協会」にHPへの掲載依頼を行っている。



図-6　「AIZU道しるべ」

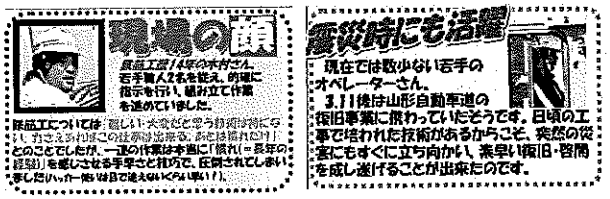


図-7　職人やオペレーターを紹介

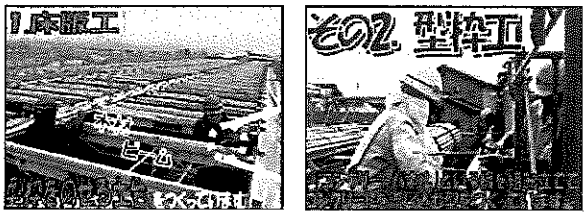


図-8　床版工（左）と型枠工（右）の紹介

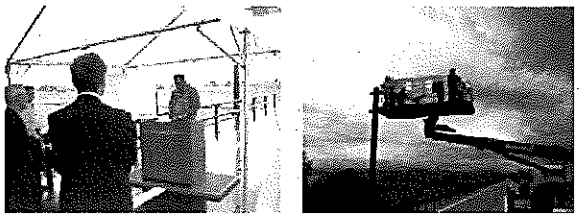
(2) 現地作業完了式の実施

通常、工事完成後に発注者等が主催する開通式が開催される。しかし、開通式に現場で働く職人が参加する機会はほとんどない。

そこで当出張所では、現場の職人が参加し、『誰が道路を造り上げたのか？』をPRする場があった方がいいのではないかと考え、開通前に現地作業が無事に完了したことを祝うイベントを計画した。

2013年9月2日、会津縦貫北道路3工区において、現地作業完了式を実施した。各工事の現場代理人等で構成する会津縦貫北道路安全連絡協議会が主催者となり、地域住民、国土交通省、その他関係機関が参加した。

当日は突然の暴風雨により、一部の式典が中止となったが、標識目隠し撤去作業や橋名板取付作業を行い、工事に携わった建設業者が地域住民へ直接PRできる場となった。（図-9）


図-9　主催者の挨拶（左）と
標識目隠し撤去作業（右）

(3)「職人写真集」の作成

広報において、工事現場のPR資料として使用するのは大型構造物や建設機械等に偏りがちだが、土工や鉄筋工、型枠工、オペレーター等、工事に係わってきた全ての人の力があって工事が完成する。

そこで考案したのが工事に係わってきた職人達の作業を「工事の軌跡」として紹介することだ。「AIZU道しるべ」等の取材を通し、現場で働く職人の様子を撮影し、現場毎のエピソードを添えてパネル・写真集を作成した。

「職人写真集」では、過酷な気象条件下での作業や機械にはできない職人の技、道路利用者を守るための工夫、地域との交流など、一般の方々にはあまり知られることがない作業風景や現場の苦労などを紹介している（図-10）。

また、イメージ戦略として『現場で働く職人は格好良い』ということを演出し、就職希望者を増やすことにも繋がればと考え、作成を行っている。

作成したパネルと写真集は、「現地作業完了式」や会津縦貫北道路3工区の開通式にて展示し、地域住民の方々へ配布した。

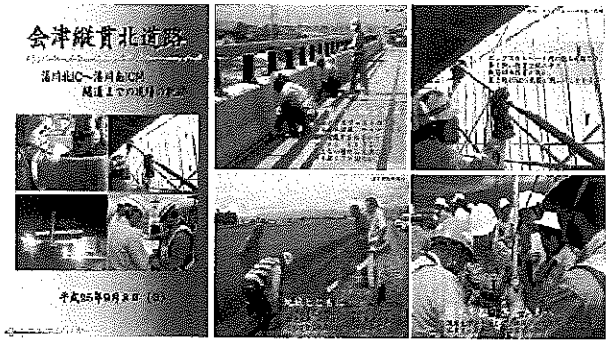


図-10　職人写真集

4.　広報作戦の効果

(1) 職人やオペレーターの自信や意欲向上

「AIZU道しるべ」に登場したオペレーターの家族が本誌を見て、『お父さん、格好良い！！』と大絶賛されたというエピソードや、「職人写真集」に掲載された作業員から『いい思い出になった』と喜ばれ、同様に地域住民からも好評だった。

現地作業完了式では、地域に対する御礼の挨拶など建設業者自らが、その存在感を地域住民にPRすることができた。

このような機会があると職人達のやる気と自信に繋がり、作業効率もUPする。

(2) 地域とのコミュニケーションツールの一つに

地元行政区長宅等へ直接訪問するため、世間話だけではなく要望や苦情を受けることがある。そこで受けた要望や苦情は出張所に持ち帰り即座に対応することで、苦情件数を減らし、さらに当出張所の事業への理解も増す。

また、「AIZU道しるべ」を見た地元行政区長が、『（会津縦貫北道路3工区の一部に）4車線の区間があるなんて初めて知った。』との感想をいただき、地元で確実に読まれていることを実感した。

「直接手渡し」を基本とすることで、地域住民とのコミュニケーションが生まれ、工事を円滑に進めることに繋がっている。

(3) 直接訪問が現場見学会の契機に

広報活動のため喜多方市内の高校へ直接訪問したときに、工事の話や何気ない日常会話をする中で建設科の先生から現場見学会を行いたい旨打診され、開催に至った

（図-11）。これは直接訪問を契機とし、現場見学会開催に繋がったのである。

この高校は会津地区で唯一、土木科（建設科土木コース）をもつ県立高校である。見学会実施後のアンケート結果では、参加した生徒の約7割が土木・建築関係への就職を希望していた。この見学会をきっかけに更に建設業界へ興味をもち、建設業への関心を高めてもらうことができたと実感した。そして将来の担い手として建設業界への入職を後押しするいい機会になった。

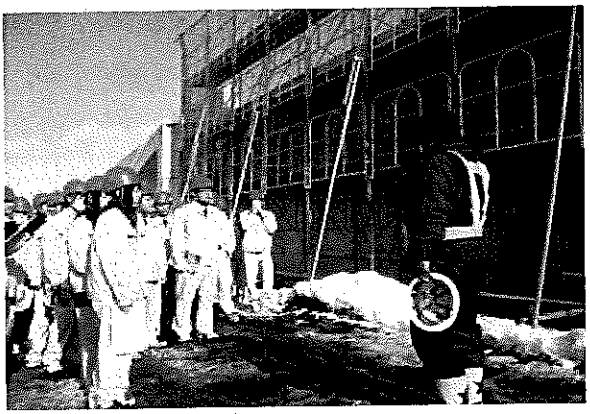


図-11　現場見学会の様子

(4) 外部HPサイトでアクセスが好調

当出張所からHPへの掲載依頼を行っている「道の駅喜多の郷」のご協力により、「うつくしま観光プロモーション推進機構」のHPにも「AIZU道しるべ」を掲載していただいた。

その結果、会津縦貫北道路3工区開通後の2013年9月には、「AIZU道しるべ」の記事に対するアクセス数がHP内で1位を獲得した。外部HPサイトでの事業PRが広く一般の方々に認知され、関心を集めた結果が反映されたと言える。

5.　今後の課題

広報作戦の結果、建設産業の社会的評価が向上し、若年層が入職を志したとしても、入職後の職場環境や処遇が整っていなければ、再び人手不足を招く恐れがある。

そのような事態に陥らないためにも、建設産業の現状を社会へ発信する新たな取り組みの検討、及び処遇改善に向けた官民を挙げての取り組みの実施が必要だ。

これまでの広報活動を継続して行うことに加えて、例えば、「AIZU道しるべ」に登場した職人やオペレーター、発注者、マスコミ等を交えて「（仮称）現場の集い」を開催し、処遇や担い手不足等、これからの建設業について語り合う場を設け意見交換を行う。現場で働く人の声を社会へ発信し、社会に対する影響力を現場から強くし、職場環境の改善等を促さなければならない。

また、広報活動だけを行っていても、実際、建設業に従事する職人等の職場環境等は改善されない。社会保険の加入促進や労務単価に基づく適切な賃金の支払い等、あらゆる改善策が確実に実施されることが重要である。職人等の職場環境改善に向け更なる広報作戦を実施していかなければならない。

6.　まとめ

当出張所の広報作戦に対する地域住民の反応、外部HPへのアクセス状況より、建設産業の重要性や必要性が浸透しつつある。また、地域住民等とのコミュニケーションが当出張所の事業への理解を高め、さらに現場見学会により若年層が建設業界に興味をもってもらうことができた。しかし、この広報作戦はまだ最初の段階に過ぎない。

2014年6月4日、「公共工事の品質確保の促進に関する法律（品確法）」、「公共工事の入札及び契約の適正化の促進に関する法律（入契法）」及び「建設業法」の一部改正について、公布・施行された。

今回の改正は、インフラ等の品質確保とその担い手確保を実現するため、公共工事の基本となる「品確法」を中心に、密接に関連する「入契法」、「建設業法」が一体的に改正されている。

この法改正の目的が現場で確実に実施されるよう、現場に近い出張所だからこそできる建設産業支援を、今後の課題も視野に次の段階に向け、引き続き広報活動を行っていきたい。

参考文献

1) 国土交通省：「建設投資見通し」「建設業許可業者数調査」
2) 総務省：「労働力調査」

横浜市における持続可能な地域公共交通の実現に向けた取組

山形　珠実[1]

[1] 横浜市道路局計画調整部企画課　（〒231-0017　神奈川県横浜市中区港町1-1）

市内の路線バスの利用者は減少傾向にあり、バス事業者は運行効率の改善やコスト縮減を行い、路線を何とか維持している状況にあります。一方、高齢化の進展とともに、地域で安心して住み続けられるまちづくりが求められ、地域公共交通の重要性はますます高まっています。以下本文では、本市において持続可能な地域公共交通の実現を図るべく、地域・運行事業者・行政の協働のもと進めている「地域交通サポート事業」について報告します。

キーワード　地域公共交通，持続可能，地域活動，協働，合意形成，実証運行

1. はじめに

マイカー依存、少子化の進展などにより市内の路線バスの利用者は減少傾向にあり、バス事業者は苦しい経営環境の中、減便などの運行効率の改善や人件費削減等のコスト縮減を行い、地域公共交通を担う立場の責務として路線を何とか維持している状況にあります。一方、高齢化の進展とともに、地域で安心して住み続けられ、暮らしやすいまちづくりが求められ、地域に密着した公共交通の重要性はますます高まっています。

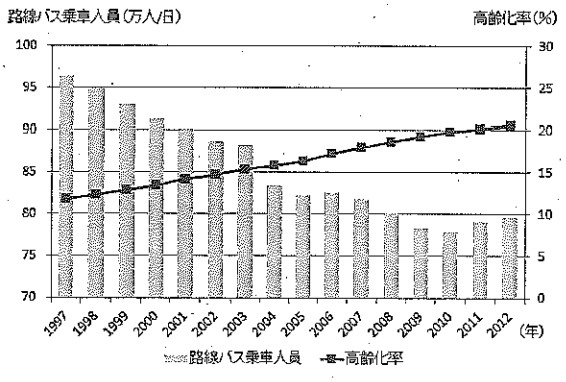


図-1　横浜市内の路線バス乗車人員と高齢化率

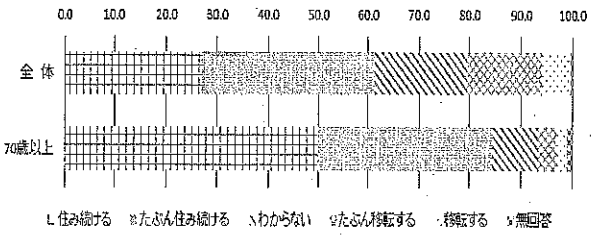


図-2　原住地定住意向[1)]

2. 他都市の状況と本市におけるこれまでの取組

「コミュニティバス」は従来の路線バスによるサービスを補う公共交通として、多く都市で運行されています。これらは路線バスが運行しない、または撤退した地域を運行し、しかも運賃が低廉であることが多く、採算の確保は非常に厳しいため、純然たる営利事業として行われるのではなく、京都の醍醐バスなどの一部を除き、公的な観点から市町村からの運行費用補助金（赤字補填）を前提として運行しているものが大多数となっています。

本市では誰にも優しい交通体系を確立するため、横浜型コミュニティバスの運行支援等を行う「お出かけサポートバスモデル事業」を「横浜市中期政策プラン（2002年策定）」に位置づけ、施策の検討を開始しました。

西区西戸部地区にて行った第1弾実験運行（2003年12月～2006年3月）は、目標人数は大幅に超えたものの7割が敬老パスでの利用者であり、収支は赤字となり、本格運行移行は困難と判断しました。第2弾実験運行（2006年4月～2007年3月）は高齢者にも負担を求めたところ、利用者数は目標より大幅に下回り、運行経費削減、広告収入確保などに努めたものの、赤字解消は困難でした。

本実験から、運行経費の赤字に対する補助金支出は必須であると判明した一方、限られた財源の中でこのモデルを全市展開し、補助金を増額しながら導入し続けることは困難であると判断し、「お出かけサポートバスモデル事業」は終了しました。ここで、運行補助金を導入する仕組みでは、利用啓発が進まず収支改善は難しいこと、地域の足を住民が積極的に利用し皆で守っていく意識を持ち、自主的に行動する地域組織を発掘し、育成する支援体制が課題であるという知見が得られました。

3. 「地域交通サポート事業」の導入

「横浜の新しい交通政策検討委員会」を設置し、新しい交通政策に必要なこと、展開等を検討した結果、2007年3月、地域に相応しい交通サービスを地域の力を活かして実現すべき等の「横浜の新しい交通政策への提言」がまとまり、地域交通サポート事業が開始されました。

(1) 本事業のコンセプト

地域・運行事業者・行政の連携・協働のもと以下のコンセプトにより、本事業を進めています。

a) 安全・安心な運行

国から乗合・乗用業務の許可を得ている緑ナンバーを有するバス・タクシーによる運行を基本とします。

b) 地域の盛り上がり

地域の交通手段を地域の力で実現していくという意識を持っていただくことによって、多くの方が利用し、将来にわたって安定した経営を目指します。

c) 財政支援に頼らない運行

本格運行に対しては、行政から財政支援は行いません。車両は、基本的に運行事業者にて確保していただき、運行経費は運賃のほか、必要に応じ地域の資金(協賛金、自治会の負担金等)で賄うことを前提とします。

(2) 事業の仕組、流れと関係者の役割分担

交通問題に関する自発的な地域主体の活動を契機として、本事業での取組はスタートします。交通に対する地域ニーズに関する調査を行い、運行事業者を交えて一緒に地域にふさわしい交通のあり方を考えながら、需要予測を元にした具体検討や公共交通利用促進・啓発の取組を進め、地域に密着した公共交通の実現を図ります。

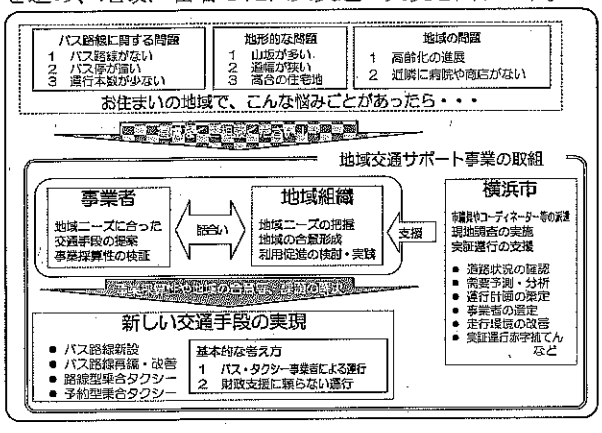


図-3 地域交通サポート事業の仕組

事業は「利用者（ニーズ）」「道路（物理的な通行可能性）」「地域合意（走行、バス停位置）」等のポイントを確認しつつ採算確保可能な運行計画を策定し、本格運行に繋げるべく、次の5つのステップで進めます。

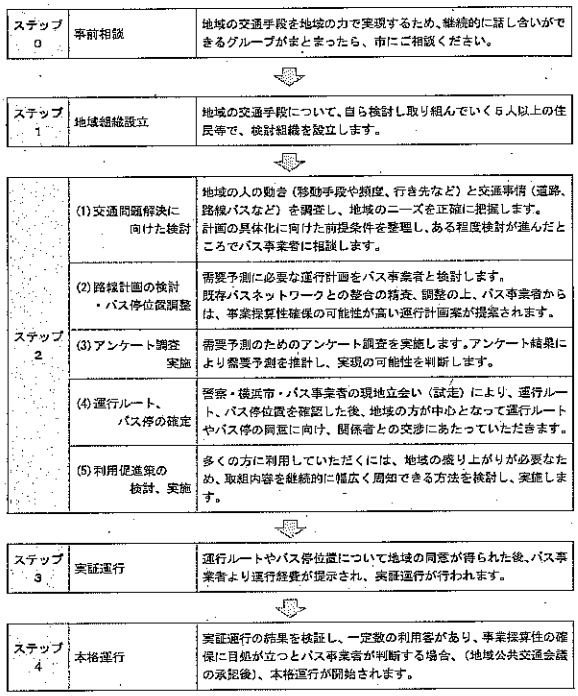


図-4 地域交通サポート事業の流れ

地域は、地域内のバスの通行やバス停の設置に関する沿道の理解、合意形成活動や、採算確保に向けた継続利用に関する周知・啓発活動の中心を担います。

運行事業者は地域ニーズに沿った交通手段を提案し、採算性を検証しつつ実際の運行を担います。

本市は、地域の活動状況に応じた市の職員等の派遣、現地調査、需要分析、実証運行補助等の支援を担います。

表-1 本市の支援内容

検討・企画段階	話合いの場の運営支援 広報啓発活動の支援 等
運行計画策定段階	運行計画案作成に向けた合意形成支援 運行事業者調整 需要調査支援・分析 等
実証運行段階 ～本格運行まで	実証運行赤字補填 実証運行の結果分析 本格運行の法手続き支援 等

なお、本事業は、路線の新設・再編それのみを目的とせず、各地区の特性をふまえ既存交通手段との競合を意識し、単なる交通手段の転換ではなくバス利用者全体の増加に取組むような利用促進・啓発活動も併せて進め、全ての関係者にとってwin—winの関係を目指します。

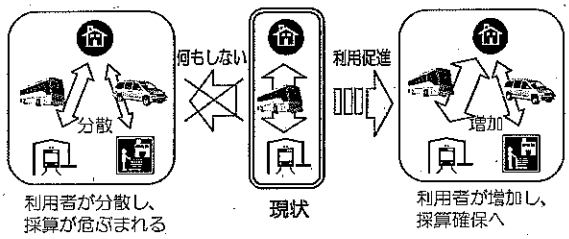


図-5 事業の考え方（win-winを目指して）

4. 地域交通サポート事業のこれまでの取組

これまでに23地区で取り組みを開始し、9地区で本格運行が実現しています(2014年9月現在)。

表-2　地域交通サポート事業における取組地区

種別	内容・特性	取組地区
バス路線の新設	バスの通行に十分な道路幅員と需要が見込める地域を対象として、バス事業者がバス路線を新設するもの ・定時定路線運行	(本格運行済み) ・金沢区六浦地区 ・港南区日野ケ丘地区 (検討中) ・青葉区奈良北地区 ・金沢区片吹地区 ・金沢区釜利谷地区 ・金沢区東朝比奈地区 ・緑区武蔵中山台地区
既存バス路線の再編・改善	現在運行している路線バスを利用者のニーズに合ったサービスに変更するもの ・バスの増便 ・路線の延伸 ・路線の経路変更、再編 ・ダイヤの見直し等	(本格運行済み) ・戸塚区上矢部地区 ・緑区青砥・北八朔地区 ・磯子区磯子台団地地区 ・泉区下和泉地区 ・青葉区玉川学園台地区 (検討中) ・南区永田山王台地区 ・戸塚区深谷町・泉区下和泉地区 ・泉区緑園地区 ・磯子区洋光台地区
路線型乗合タクシー導入	道路幅員等、路線バスの運行できない地域や需要の少ない地域を対象として、ワゴン型車両で路線バスと同じように乗合運行するもの ・定時定路線運行 ・定員15人以下の車両	(本格運行済み) ・戸塚区小雀地区 ・旭区四季美台・今川町地区 (検討中) ・南区別所・中里地区 ・瀬谷区南瀬谷地区 ・港北区菊名・篠原地区
予約型乗合タクシー導入	新たな路線型乗合タクシーの交通需要に満たない地域において、予約が発生した時のみ、セダン型車両を利用して乗合運行するもの ・不定期運行	(検討中) ・南区清水ケ丘地区
未定	相応しい交通手段について、需要、道路環境などから検討中のもの	(検討中) ・南区清水ケ丘地区

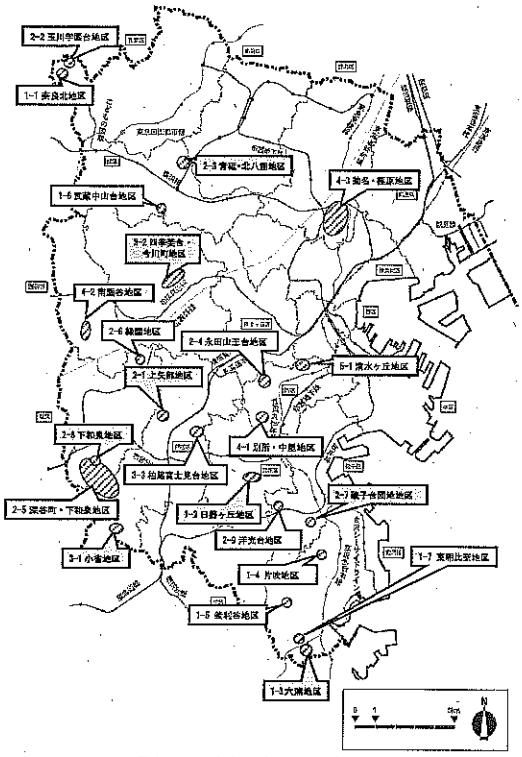


図-6　取組地区一覧

(1)　事例紹介１－港南区日野ヶ丘地区
【バス路線の新設】

a)　地区概要

本地区（約1,000世帯、約2,500人）は最寄り駅から約1km離れており、かつバス路線までも約500mと遠い交通不便地域であり、さらに急な坂道も多く、高齢化が進む中で（高齢化率は市内平均よりも高い27.3%）、高齢者等の交通弱者の移動には非常に厳しい環境でした。そのため、交通手段の確保は地域の長年、かつ喫緊の課題となっており、新規バスルートの導入に取り組みました。

b)　活動の概要

立ち上げは町内会の取組として進めつつも、横浜市への団体登録を機に町内会の下部組織としての研究会を別途立ち上げ、原則として月１回、行政（道路局及び区役所）と定例の打合せを持ちました。

アンケートを実施し、目的地、ルート、バス停の位置などを検討し、地元の合意形成を図り、話が具体化していく中でバス会社も交え、５年以上にわたり定期的、かつ精力的検討を重ねていき、路線新設に結び付けました。

表-3　日野ケ丘地区における取組経緯

2007.10	日野ケ丘町内会が交通問題研究会を立ち上げ、地域交通サポート事業に登録
2008.2	第１回アンケート実施（目的地の意向確認）
2008.10	事業予定者を神奈川中央交通（株）に決定 目的地を上大岡駅に設定
2009.8	第２回アンケート実施 （需要及び利用時間帯の確認）
2011.6	神奈川中央交通（株）から運行計画概要の提示
2011.7	バス運行に必要な道路改良工事 （港南土木事務所による施工）
2011.8	バス停位置調整
2011.10.11	実証運行開始（～2011.12.9、60日間）
2011.10	第３回アンケート実施 （利用状況、実証運行に関する意見の確認）
2012.4.2	本格運行開始

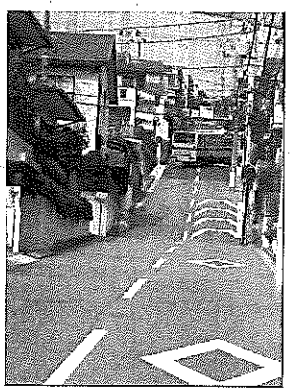


写真-1
急な坂道が多い日野ヶ丘地区に路線バスの誘致が実る



写真-2
土木事務所によるカーブミラーの上方への付け替え及び地元による「迷惑駐車禁止」の立て看板設置

c) 取組の成果

実証運行は中型バス（約60人乗り）にて13便/日の運行を行いました。1日当たりの運賃収入目標額は65,000円と設定したところ、平均約73,000円の運賃収入となったことから、運行事業者である神奈川中央交通(株)が意思決定をし、2012年4月より本格運行が開始されました。

本格運行では、平日・土曜は26便/日、日祝日は18便/日、目標運賃収入を115,000円/日と実証運行よりも大幅に増便して運行を開始したところ、平日は概ね目標を上回る運賃収入となり、本格運行開始して1年後の2013年9月には平日の増便となるダイヤ改正が行われました。

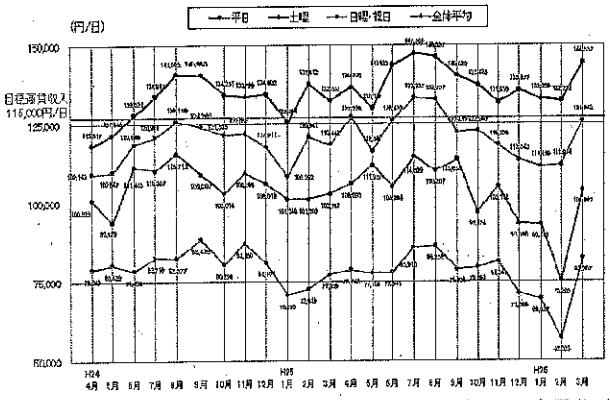


図-7 上31系統『上大岡駅～日野ヶ丘中央・公務員住宅中央～上大岡駅線』利用者数推移（本格運行後）

d) 成功要因

本地区は過去にもバスの誘致、陳情を行ってきた経緯があり、一方的なお願いでは上手くいかないという認識が地域で理解されていました。そこで、単一町内会の活動から周辺町内会・マンションや小学校等へ広め、「町内皆がまちづくりのサポーター」「私たちのバス」として、合意形成（説明会）、地元交渉、周知・利用啓発等の活動へ住民自ら参加し、事業採算路線を作り上げることを心掛けたことで、本格運行が実現しました。本格運行後も、樹木剪定等の走行環境改善、広報誌発行等の啓発活動等を進め、増便というダイヤ改正に繋がりました。

地域主体の取組に、行政は技術的支援を行い、運行事業者は公共交通を担う中で、信頼関係を築き、連携・協働して進める体制が整えられました。各主体が過度な負担をすることは一時的な運行には繋がっても直ぐに破綻してしまいがちであり、このように各々が適切に役割分担をすることが、持続可能な本格運行に寄与しています。



写真-3
ボランティア活動隊による子供の登下校時の安全確保

(2) 事例紹介２－磯子区磯子台団地地区
【バス路線の改善（延伸）】

a) 地区概要

本地区（約850世帯、約2,400人）は、最寄り駅の能見台駅（地区から約3km）からの路線バスは地区から約800m離れたバス停（氷取沢高校）が終点となっており、一方地区内から路線バスでアクセスできる上大岡駅等へは運行距離が長く、20分～30分かかる状況にありました。

また、当地区内の団地は昭和50年代に一斉に入居開始されたことから、急速に高齢化が進んでおり（高齢化率は市内平均よりも高い28.1%）、気軽に外出する手段の確保が重要となり、能見台駅へのバス路線の開設（既存路線の延伸）に対するニーズが高まっていました。

b) 活動の概要

路線延伸については単にバス会社に要望をするのではなく、協議会自らが直接、道路局に本事業の活用の相談を持ちかけたことから始まりました。延伸に伴う影響を定量的に推測するためのアンケートを実施してそれをバス会社に報告し、各バス事業者はそれを元に社内調整、事業者間調整を行った結果、路線延伸が実現しました。

表-4 磯子台団地地区における取組経緯

2012.4	地域交通サポート事業に登録（磯子台団地地域交通協議会）
2012.11	アンケート実施（延伸に伴う影響の把握）
2013.1	アンケート結果をバス会社に報告
2013.5～	バス会社による社内調整、事業者間調整等
2013.7	京浜急行バス(株)が延伸を決定
2013.12.16	実証運行開始（～2014.2.15、２か月間）
2014.2.16	本格運行開始

c) 取組の成果

京浜急行バス(株)は、能1系統の、日中10時～16時台の3便/時のうちの1便を磯子台団地地区内への延伸し、能3系統能見台駅～磯子台団地循環線として7便運行することを決めました。2か月間の実証運行においては乗降数等の計測、延伸に伴う既存路線への影響も確認し、引き続き本格運行へ移行することとなりました。

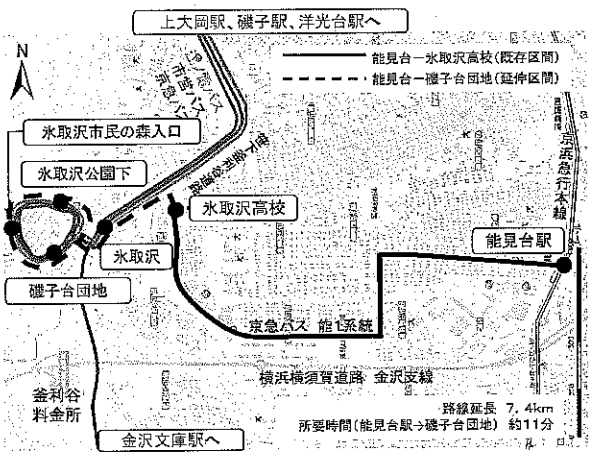


図-8 磯子台団地地区の取組成果

d) 成功要因

複数路線が運行されている本地区においては、延伸をすることで、他社の既存路線における減便など、現在のバス利用者に多大な影響が及ぶ可能性も考えられることから、バス会社は延伸の判断を行うことが難しく、地元要望に応えられない状況になっていました。

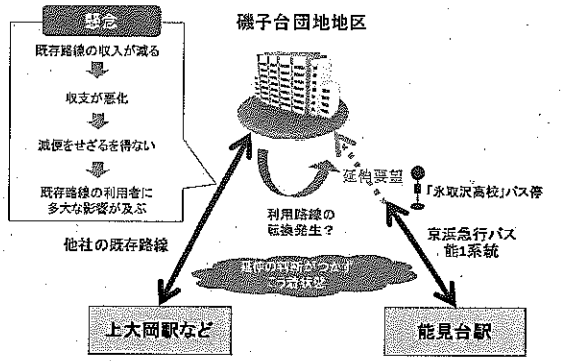


図-9　地域要望に応えられないバス会社のジレンマ

そこで、協議会はバス会社側が抱える事情を踏まえつつ、延伸に伴う新たな需要や、延伸路線への転換需要などを把握するアンケートを実施した結果、60%を上回る高い回収率となりました。このような地域の熱い思いやアンケートにより把握・推計された定量的なデータが各バス会社を動かし、総合的な判断がなされた結果、他社の既存路線が減便されることなく、京浜急行バスによる磯子台団地への乗り入れ（路線延伸）が実現しました。

(3) 事例紹介３－旭区四季美台・今川町地区【路線型乗合タクシー導入】

a) 地区概要

本地区（約2,000世帯、約6,000人）は最寄り駅の二俣川駅、鶴ヶ峰駅から1-2㎞離れた、戸建て住宅が立ち並ぶ地区です。最寄駅までのバス路線は大通りに出てもなく、地区内は急な坂道が多く、道路も狭いため、かつては駅まで徒歩や自家用車による送迎によりアクセスしていた地域の方々も、高齢化が進む中で外出に困難が生じるようになっていました。

b) 活動の概要

地域に適した交通手段を検討するための組織が連合町内会を母体として設立され、アンケートによりニーズ把握を行い、ルートを検討し、地元のタクシー会社の参画を得て、５年にわたり定期的、かつ精力的に検討を重ね、路線型乗合タクシーによる路線新設が実現しました。



写真-4　「四季めぐり号」実証運行中

表-5　四季美台・今川町地区における取組経緯

2008.6	地域組織（旭中央地区コミュニティバス等検討委員会）設立、地域交通サポート事業に登録
2009.1	アンケート（利用者の意向確認）結果に基づき、ルートを決定
2010.1	事業予定者を二重交通（株）に決定
2011.3	東日本大震災、タイ大洪水で自動車産業も甚大な被害を受け、車両確保の目途立たず
2011.5	二重交通（株）が運行ダイヤ提示（1日18便）
2012.2	車両の愛称を「四季めぐり」に決定
2012.4.2	実証運行開始（～2013.3.31） 本市の補助による運行：4か月 二重交通（株）による自主運行：8か月
2012.6	アンケート結果等を踏まえた検討を経て、運行内容改善（フリー降車区間設置、増便、新規バス停設置、地区内ルートを往復運行他）
2013.4.1	本格運行開始 （一部ルート延伸、新規バス停設置）

c) 取組の成果

実証運行はワンボックス型車両（乗客定員9名）を用いて、当初1日9往復（午前8時台～午後6時台まで、平日のみ、土日祝運休）の運行で開始しました。1日当たりの運賃収入目標額は39,000円（130人／日）と設定したところ、当初は周知も進まず、目標を大きく下回る利用状況でした。そこで地域における利用啓発の強化とともに、アンケートを実施し、それを踏まえてダイヤや運行方法を見直したところ、利用者は徐々に増えていきました。

本市の実証運行補助対象期間終了時点（2012年7月）では採算目標ラインには達していないものの、運行継続ライン（100人／日）には達している状況であったため、運行事業者による自主運行がその後8か月続けられ、概ね運行継続ライン以上の需要が確認できたことから、運行事業者である二重交通(株)が意思決定を行い、2014年4月より本格運行が開始されました。

本格運行においては乗客定員を13名と増員し、実証運行の結果を踏まえ、運行ルートの見直しやバス停の増設をして運行開始したところ、概ね運行継続ラインを上回り、夏場は採算ラインも上回る利用状況となっています。

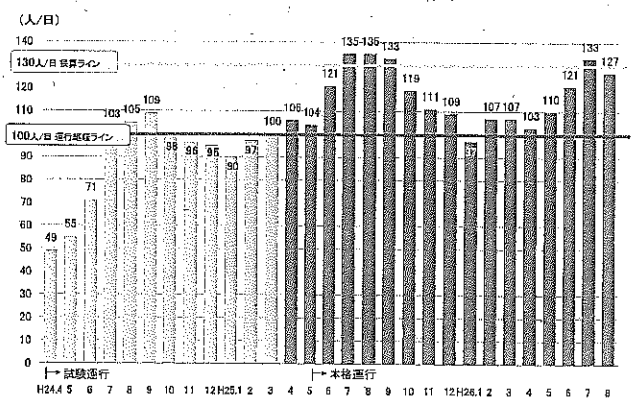


図-10　「四季めぐり号」利用者数の推移

d) 成功要因

ワンボックス型車両を用いた路線型乗合タクシーは、乗客数が少ないことから採算を確保することが非常に難しく、地域ニーズを踏まえたきめ細やかなルート設定等が重要となります。

そこでアンケートを実施し、一定のエリアについて降車は乗客の望む場所で行えること（フリー降車）、運行間隔の短縮及び一部の便を往復便から循環便に変更することによる増便（3便の増加）、利用状況の多い時間帯への変更（始発、最終便の時刻の繰り下げ）、バス停の増設などの変更を、警察や土木事務所など関係機関と迅速に調整の上、実証運行開始後、随時実施しました。

本格運行後も、地元組織による活動を継続しており、定期的なニュースの発行、車内展覧会実施等の利用啓発を進めています。また、運行事業者も回数券の発行やドアのステップ改良、ＡＥＤの設置など、サービス・安全性の向上に積極的に取り組んでいます。

このように、地域、地域に根付いた運行事業者、行政が信頼関係を築き、互いに知恵を出し合い、きめ細やかな対応を図ることが、持続可能な地域の足の確保に繋がっています。



図-11 地域発行ニュース
「四季めぐり号」だより

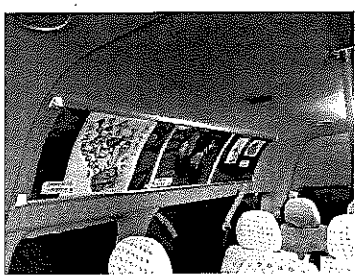


写真-5 車内展覧会
（作品公募から車内展示まで地域で実施）



図-12 回数券発行
（販売は地域もお手伝い）

5. 考察・今後の方針

(1) 本事業にて取組を行うことの各関係者のメリット

地域にとっては、高齢化社会を迎え公共交通が必要になる方が増えている中、地域課題を自ら、地域の状況やお互いの立場に配慮して検討し、合意形成を図ることで、ニーズと採算性に配慮したサービス水準の交通手段が納得感をもって導入される効果があります。また、活動を通じてコミュニティが活性化したとの声も伺っています。

バス会社にとっては、利用者が減少し新たな戦略が必要な一方で経営状況は厳しく、また一旦導入した路線の撤退は容易ではないため、新路線導入の決断は困難な状況の中、行政からの財政支援に頼らず、地域と協働し、大きなリスクは取らずに新規路線導入が図られる有効なツールになっていると考えられます。

本市にとっては、運行赤字補填前提の公共交通導入は財源に限りがあるためにハードルが非常に高い中、過大かつ永続的な財政負担を行わず、住み慣れた地域で暮らし続けられる地域づくりが可能となっています。

(2) 関係者の連携・協働の推進

2013年12月に交通政策基本法が施行され、自治体、運行事業者、国民等、関係者間の適切な役割分担、合意による有機的、効率的な連携の下で望ましい地域公共交通ネットワークを形成するという、従来とは異なる新たな枠組みが示され、各自の役割・責務も明確化されました。

本事業は関係者が連携し、行政からの財政支援に頼らず自立し持続可能な地域公共交通を実現するのが特色ですが、その仕組み、役割分担は交通政策基本法の理念・関係者の責務とまさに合致していると自負しており、引き続き地域公共交通の充実を協働のもと力強く進めます。

(3)今後の課題

本事業はそれまでの取組を随時検証し、本市の財政負担増にも配慮しつつ制度改善を継続的に行っていますが、活動休止地区の発生や、地域住民が事業を始める際のハードルの高さ、本格運行地区におけるサービス改善等の意見も頂くなどの状況でもあります。今後も取組地区のみならず相談地区、本格運行地区も含めて状況・課題を丁寧に把握し、対応していくことが必要と考えています。

また、本事業は地元発意が基本でありこちらから積極的に働きかけるものではないため、本稿をはじめとし、様々な機会をとらえて事業PRをすることが重要だと考えています。PRにより新たな取組開始に繋げつつ、成功事例を検討中地区にフィードバックする等、これまで築いてきたノウハウの活用による本事業の更なる展開を図り、「住み続けたいまち・横浜」を目指してまいります

6. 参考文献

1) 平成25年度横浜市民意識調査

『水害から地域を守るために働く人』を知ってもらうための広報

瀬﨑　智之[1]・渡邊　貴子[2]

[1]北陸地方整備局　信濃川下流河川事務所　（〒951-8153 新潟県中央区文京町14-13）

[2]北陸地方整備局　信濃川下流河川事務所　総務課　（951-8153 新潟県中央区文京町14-13）.

水害から地域を守るために働く人の人材確保が困難になっている背景には社会構造の変化やその業界へのマイナスイメージがあり特効薬がない状況だが、この担い手不足という課題は地域防災力を低下させ、有事に機能しなくなる事態を招く要因となる。そこで、活動について理解し、積極的に関わろうとする意識を醸成するために親子で学ぶ体験イベントを企画した。

キーワード

広報、防災、担い手確保、水防

1. 「水害から地域を守るために働く人」の現状と課題

(1)水害から地域を守るために働く人

近年は、いわゆるゲリラ豪雨と呼ばれる局所的な集中豪雨が頻発し、これまでの記録を超える降雨が観測されるなど、大きな水害の発生をまねく気象傾向にある。

河川管理者としての地方整備局は、洪水等による災害の発生防止又は被害軽減のため、堤防の整備・河道掘削等の流下対策をはじめ、排水機場や水門を整備し、その耐震対策による大規模地震への対応などのハード整備を行っている。

一方で、整備した河川管理施設が適切に機能を発揮するための施設管理を日常的にも災害時にも適切に行うこと、また市町村が災害時の損傷等の発見や応急対応を行う水防活動等も、水害の防止、軽減に重要であり、これらがハード整備と併せて「車の両輪」として機能しなくてはならない。その「車の両輪」のもとで重要な役割を担っているのが、現実に被害が生じ、また生じようとしている時に、人命と財産を災害から守り、被害を最小限に留める「水害から地域を守るために働く人」である。

まず、水防団員であるが、平時は他の職業に就くなどしているが、水防管理者である市町村のもと設置される水防団に所属し、いざ洪水が発生した時には、地域を巡視し、堤防の決壊を防ぐために水防工法を実施し、最前線で水防活動を行っている。

次に、建設業従事者である。平時から河川の維持管理を行い、治水のための河川改修工事を請け負っているが、有事の際には、河川巡視による被災状況の把握や資材の手配などの初動対応から、被災箇所や堤防等の復旧作業に至るまで、災害の大小を問わず現場の最前線において重要な役割を果たしている。

施設操作員については、水位が高くなったときに、ポンプや水門等を稼動させ、地域への溢水を防ぐために設置された排水機場や水門で、ポンプの操作や堰・門の開閉操作を行うという重要な責務を担っている。

(2)「水害から地域を守るために働く人」の現状

背景や原因は様々であるが「水害から地域を守るために働く人」に共通している課題は、人材の確保・担い手不足の解消である。

水防団は、水防管理者である市町村により水害に対応するため設置されており、災害に対する意識が高く、訓練と実践を通じて水防活動に通暁した集団である。しかしながら、自営業よりサラリーマンの世帯が増加し、地元以外への就業や長距離通勤者の増加という就業形態の変化により、地域コミュニティへの帰属意識が希薄化してきており、新入団員の確保が非常に困難な状況となっている。その結果、水防団は慢性的な人員不足に陥るケースが多く、同時に現役団員の高齢化も問題となっている[1]。

建設業においても、道路・河川などの社会資本を建設・維持管理していく、社会にとっては不可欠の産業であり、災害時には最前線で地域社会の安全・安心の確保を支える「国土や地域の守り手」として重要な役割を果たしている。近年の豪雨災害の活動でも厳しい状況の中で危険を顧みず応急・復旧作業を行っている。だが、依

然として従来からの建設産業自体や労働環境へのマイナスイメージが強く、地域への貢献は高く評価されていない。景気の低迷や公共投資の縮小などにより建設産業を取り巻く環境が厳しい中、就業希望者が減少し、仮に希望しても保護者や周囲の理解が得られず他産業へ就業する者も多い。人材確保が喫緊の課題となっており、就業者の高齢化も進行し続けている[2]。

施設操作員についても、地域に対する責任が重いにも関わらず、存在や責務があまり知られておらず、また水防団同様に就業形態の変化による新規操作員の確保が困難となっている。

これらの問題は、災害現場の最前線において、災害対応の空白地帯が発生するなど地域防災力の低下を招き、ひいては甚大な被害に繋がりかねない。

(3) 対策

担い手不足による地域防災力の低下という最悪のシナリオを回避するためには、「水害から地域を守るために働く人」の活動について、地域住民から広く知ってもらうことにより、その活動に対する理解や感謝の気持ちを抱かせ、自らも積極的に関わっていこうとする意識を醸成することが必要である。

その対策として、各組織がそれぞれに広報を行ってきているところではあるが、個々の取組だけではなく、共通の目標を持ったものとして、立場を越えた取組を、「協同」して行うことも有意義となる。

2. 親子で学ぶ防災見学会の企画

今年は、新潟地震50周年、平成16年新潟・福島豪雨(7.13水害)10周年、中越地震10周年の節目の年であり、新潟県内では、北陸地方整備局が事務局となり「防災・減災新潟プロジェクト2014」を推進している。信濃川下流河川事務所では、このプロジェクトの一環として、「7.13水害10周年　親子で学ぶ防災見学会」を開催することを企画し、「水害から地域を守るために働く人」の活動について広く知ってもらうための広報イベントを行うこととした。

(1) イベントの企画

a) イベントの対象

将来を担う子どもとその保護者を対象とする親子参加型イベントとして設定した。

子どもの中でも、工事現場やショベルカーなどの大きな重機、そういうものに目を輝かせて惹き込まれ憧れを感じる世代であり、かつ水防や治水工事の説明に興味を持って聞ける世代でもある小学生をターゲットとした。

また保護者の中でも、建設産業に対するマイナスイメージが大きく、子どもの建設産業への就業に難色を示しやすい女性保護者[3]にも興味をもって貰えるような内容を企画することとした。

b)イベントのコンセプト

情報発信側が伝えたいものを一方的に押し付けると、こちらの自己満足で終わってしまい、受け手との間に壁のある広報になってしまう。「地域を守るために働く人の活動」という目に見えにくい価値や役割に気づいてもらえるようなコミュニケーションを図り、情報の受け手の理解や信頼を得ることから始める必要がある。

そのため、一方的に説明し、活動について理解してもらえるよう説得するのではなく、活動を見て、一緒に体験し、直接話を聞くことにより、「水害から地域を守るために働く人」の役割や重要性を共感し納得してもらえるような内容を考えた。

また、参加した保護者は、子どもを守るための「防災」については非常に興味があるが、「そのために活動する人」や「活動の内容」にはあまり興味がなかったり、難しそうだと敬遠する傾向にある。逆に、もし保護者が興味を持ったとしても、子どもが飽きてしまうと、イベントに集中できなくなり、結果として悪いイメージが残る体験となってしまう。それでは参加した保護者には理解や信頼は得られない結果となってしまうため、子どもが喜んで最後まで参加できるように、驚いたり楽しんだりできる体験型とし、それがひいては子どもの心にも「興味」という記憶に残る情報となり、併せて保護者も敬遠せず取組やすい内容となることを狙った。

c) イベントの主体

このイベントの企画は、事務系女性職員が中心となり、各専門担当課と調整を図りながら進めることとなった。

「事務系」とした理由については、上記のイベントの対象・コンセプトを踏まえると、子どもでも分かりやすい難しくない説明が求められるため、専門的な知識を持つ技術系職員とは違った視点により全体を調整する必要があったためである。

「女性職員」とした理由については、子どもと触れ合う機会の多い女性の一人として、子どもが飽きにくい要素を随所に盛り込んだり、同じ女性である保護者の関心をいかに引き寄せ、細かい配慮を行えるかを考える必要があったためである。

(2) イベントの広報手段

このイベントを通して「地域のために働く人の活動」をより多くの人に知ってもらうため、広報手段は３つの段階を踏むこととした。

まず、イベントが開催されることを知ってもらうための参加者募集のリーフレットを作成し、配布することにより、広く「地域を守るために働いている人がいる」ことをＰＲすることとした。次に、「親子で学ぶ防災見学会」の参加者に体験を通して共感してもらうことにより、水害から地域を守る人の存在と活動を知ってもらい、そ

の経験を周囲の人に広めてもらうこと、そして、３つ目として、このイベントの趣旨や内容をマスコミに報道してもらい、更には参加者からの「水防の大切さを学んだ。水防のために重要な活動をしている人がいる」というコメントと共に報道されることにより、広く地域住民に広報するという段階である。

3. 企画の具体化と開催状況

(1) リーフレットの作成

リーフレットは、身近なイベント感を出すために、職員による手作りとした。

川をイメージした水色を基調とし、水の中から湧き出る泡のような丸を繋げたレイアウトとした。

日付・集合場所・イベントの時間・応募方法という最低限知りたい情報のみを文字で案内し、体験内容については、大きな重機や体験している様子など見る側がイメージしやすく興味をひくような写真で表した。

このリーフレットは、子どもや保護者が集まり目に触れる機会が多い児童館や図書館へ持込み、置いてもらった。また、教育委員会を通して小学校へ配布の依頼を行った。

結果として、家族単位でバスの座席を満席とする12家族28名の参加となった。リーフレットに載せなかった詳細については、後日お便りとして送付し、「参加をお待ちしています」の言葉とともにお知らせした。



図-1 参加者募集のリーフレット

(2) 子どもに楽しく参加しつづけてもらう工夫

イベントの開催時間は９時から15時30分までとした。早めの集合を考慮しても平日学校で過ごす時間程度の長さであり、それ以上の長い時間に詰め込んでも飽きてしまう可能性が高いと考えたものである。

当日の行程は、大型観光バス1台を貸切とし、遠足のようなわくわくした気分を味わってもらうこととした。

また、子どもの参加者には、受付時に名前入りのスタンプカードを受け取ってもらい、体験や見学が終わる毎にシールをスタッフから貼ってもらうようにした。シールは何種類かのキラキラ光るシールを用意し、違う種類のシールを揃えさせることで最後まで体験に参加する意欲を持続させ、またシールを選ぶやり取りを、スタッフと参加者とのコミュニケーションを図る場ともした。

イベントの体験内容に、水防体験として土のう作りを組み入れ、大人と同じ大きなシャベルで土のう袋に砂を入れ土のうを作っている様子を一人づつ写真撮影した。その写真を貼りつけた、一人一人の参加者だけの「しなのがわかりゅうこども水防団認定証」を作成し、上記のスタンプカードにキラキラシールが全て揃うことで、水防について体験し学んだ証として交付した。

結果として、いずれの子どもも最後まで積極的に体験や見学を行っていた。土のう作りの場では、保護者は子どもと一緒に体験していたため子どもの写真を撮る余裕がなかったので、一生懸命作業している写真を渡したことは保護者からも好評であり、また子どもも「自分だけ」の認定証を喜んで受け取っていた。認定証に写真を貼ることによって、イベント終了後も破棄されることなく手もとに残り、この体験を時折思い出すきっかけとなることを期待している。

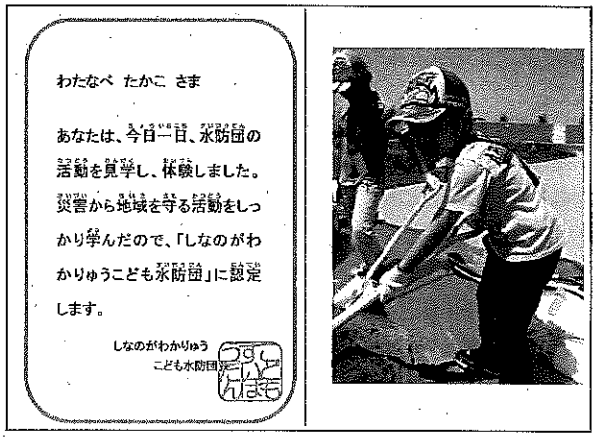


図-2 しなのがわかりゅうこども水防団認定証

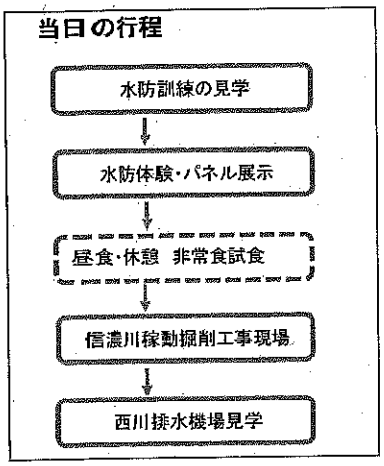


図-3 当日の行程

(3) 体験・見学

体験・見学は、水防について知ってもらうため、水防訓練の見学・水防体験・工事現場見学・排水機場見学とした。

a) 水防訓練の見学

水防の活動について知ってもらうためには、毎年6月上旬に行われる「信濃川下流水防訓練」の様子を見学してもらうことが一番と考えた。これは、信濃川下流河川事務所を事務局とする信濃川下流水防連絡会が主催する関係市町村・警察・水防団・建設業者とともに本番の災害さながらの訓練を行う場である。

見学会の参加者は、水防訓練の現場に向かうバスの中で「水防団という組織や活動」について学んだ後、会場で土のう積み工の訓練を間近で見学し、真剣に取り組む姿に熱意を感じとっていた。

水防訓練のとしても、毎年近隣住民に見学を呼びかけても参加者が限定的であったということで、子ども達の見学は、団員の水防活動への意識の高揚効果もあったようだ。

b) 水防体験・パネル展示

水防訓練で見学した土のう作り・土のう積み工を自ら体験することにより、水防団の活動に興味を持ってもらうことを目的とした。

訓練と同じシャベル・土のう袋を使っての作業に、参加者は水防活動の大変さを実感していた。10kgに一番近い土のうを作るコンテストも同時に開催したことにより、「重い！」「大変だ！」の声があがる中でも、諦めずに作業を続けていた。

その後、水防訓練において水防団が完成させた土のう積み工を再度見学する行程を組み入れたことにより、体験で作ったものよりももっと大きな土のうが、整然と崩れる余地もないほどしっかり積まれている様子に、水防団の熟練の技に感嘆し、団員の活動に尊敬と感謝の念を抱かせることができた。



写真-1 水防体験

ほかに、ロープ結び体験・水圧ドア体験・地震体験等のブースを設けたが、中でも「堤防の耐震工事」現場の資料館で使用している「液状化実験装置」のデモンストレーションを見た後、ペットボトルと土と丸ピンを用いて簡易液状化実験装置を手作りする体験では、真剣な表情で作業を行い、不思議そうに何度も装置をいじっていた。水防体験とともに、堤防の耐震工事についても理解してもらえる企画となった。

なお、この体験については、防災エキスパートも講師を務めたことにより、防災エキスパートという組織や存在についてもＰＲできる機会となった。

体験ブースと昼食会場には水害時のパネルを展示し、水害の恐ろしさと、その中で最前線で活動している水防団の姿を見てもらった。

c) 信濃川河道掘削工事・維持管理工事見学・体験

たっぷり水防について体験し学んだ後は、昼食を食べて休憩し、バスに乗り建設業の広報のため工事現場見学に向かった。

ここでの見学や体験は、建設業で働く人と直接触れ合うことにより、仕事への熱意や思い、使命感を感じてもらえるよう、現場で働く業者にも表に立って説明や体験のサポートをしてもらうよう企画した。

この現場では、工事の施工業者が設置した工事情報館があり、模型や写真により河道掘削工事について分かり易く説明されている。中でも、人工衛星による位置情報をバックホウ内のパネルに表示し、掘削箇所をモニターで確認しながら掘削するという最新の施工方法を、施工業者自らが模型を用いて分かりやすく説明したことにより、建設業が労働集約型産業というイメージが大きかった女性保護者に、建設業のＩＴ化をＰＲできた。

体験としても、維持管理工事で実際に使用している堤防のラジコン草刈機の操作体験やマシンガイダンスバックホウの大きな重機への乗車体験を組み込んだ。

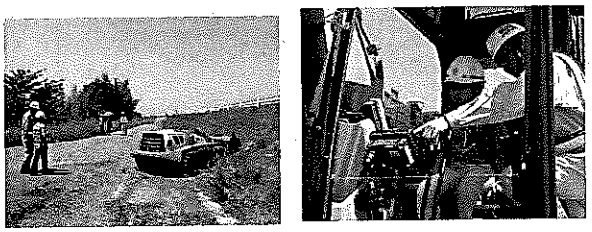


写真-2 信濃川河道掘削工事現場見学

堤防の草刈りは、点検のために行っていること、広範囲で斜面になっている堤防の草刈が、人力ではなく、無人のラジコン草刈機を遠方から操縦するという安全で効率的な作業であることに子どもも保護者も驚き関心を持っていた。重機への乗車体験は、建設機械に乗って触れてみて興味をいだいでもらうことを目的としたが、子どもを中心に何度も乗り降りして楽しんでいた。

施工業者に積極的に質問をしている姿も多く見ることができ、治水工事や草刈などの維持作業の必要性を理解してもらうだけではなく、工事に携わる人の思いや熱意が伝わった体験となった。

d)　排水機場見学

排水機場では月に１回点検運転をしているが、その点検運転をイベントの日にあわせ、見学会の参加者の到着を待ってポンプを稼動させた。大きな音をたててポンプが動いている様子、排水機場が稼動することによって変わる川の流れの様子を見ながら、排水機場の役割について学んでもらった。

普段は立ち入ることのない操作室を見学し、たくさんのモニター画面と機械が並ぶ中、ＩＴ化された情報収集や稼動操作を行っていることを理解してもらう機会となった。

排水機場の存在を認識していなかった参加者も多く、その機能と働く人の様子を理解してもらえた。




写真-3　西川排水機場見学

4.　広報効果に関する考察

この「親子で学ぶ防災見学会」を開催した2014年６月１日は「全国植樹祭」が新潟県で開催される日でもあった。イベントは水防訓練の日と同日にすることに意味があり、水防訓練は他の機関との調整もあって日を変えられないことから、この日の開催はやむを得ないものとなった。「全国植樹祭」は、天皇皇后両陛下がご臨席する行事であったため、地元報道機関による取材はこちらに集中することが予想された。また、日曜日であったため、テレビでの地方ニュース枠が少なく、親子見学会が報道される可能性は極めて低かった。

そのため、信濃川下流河川事務所で今年度開所した防災ステーション関係の取材、堤防の耐震工事の取材等、別件のマスコミ取材の度に「地域を守るために働く人について知ってもらう　親子で学ぶ防災見学会」のイベントの開催、趣旨、内容等を売り込んだ。

さらに、水防訓練とタイアップした企画であったこと、見学箇所に工事施工者が工事情報館を設置したこととの相乗効果もあり、テレビ・新聞ともにも取り上げられる結果となった。

また、広報結果の効果を測定・検証して次の広報に生かすため、参加者にアンケート調査を行い、子ども、保護者ともそれぞれ全員から回答に協力してもらった。

アンケート内容は、水防団・排水機場の存在・活動について知っていたか、この見学会に参加したことによって理解することができたか、建設産業のＩＴ化について知ることができたかを調査した。いずれもイベント前は「知らなかった」がこの体験に参加したことによって「知ることができた」という回答を得ることができた。

また、水防団・建設業者・施設操作員に対し、「いざという時のために訓練をしている姿を見てありがたいと思った」「草の根の地域の方々の力はとても大切だと思う」「永年の仕事を若い人に伝えてください」「土木工事のＩＴ化、デジタル化が進んでいることが分かった」「災害復旧には建設業の役割は大きいものがある」というメッセージをいただいた。

これらのアンケート結果やコメントについては、当日の協力を得た水防団・施工業者・施設操作員に対し、事務所長からのお礼と併せて送付しており、いずれからも「励みになった」という返事をもらった。

参加者に「水害から地域を守るために働く人の活動」について知ってもらっただけではなく、働く人の励みとなる双方に効果のある広報になった。

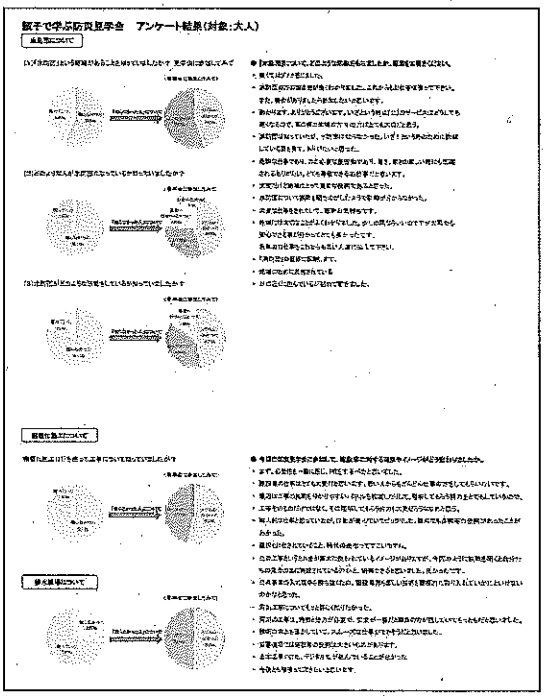


図-4　アンケート結果

5. 今後の課題

人というものは、自分が知っていることであり、かつ興味を持っていることについては情報を受け入れ、知らないことや興味がないこと、関心がないことについては、情報があってもスルーするという傾向がある。

今年の新潟は、「防災・減災新潟プロジェクト2014」として様々なイベントが開催されている。その防災への機運が高まっている中で開催したイベントであったため、参加者のみならずマスコミ・報道を見る地域住民とも「防災」という言葉に興味が強く、このような結果を得た広報になったと思われる。

しかし単発的な情報発信では、受け手にすぐに飽きられ忘れられてしまうことになりかねない。情報は繰り返し目に触れ、耳に入ることで人の意識に留まるようになる。

今回の広報は、受け手の興味を惹きつけてお互いに理解・信頼してもらえるようなコミュニケーションづくりに力を入れて企画をしたが、体験や見学内容として目新しいものがあった訳ではない。

受け手に飽きられることがないよう、日頃の業務においても新しい手法を模索しながら、一過性のものではない、持続的な取組を継続していくことにより、今後も「水害から地域を守るために働く人」の理解を広め人員確保対策の一助になれるよう努めたい。

また、これらの広報の企画・実行を通じて、自分を含めた事務系職員の業務内容に関する理解も深まったと考えており、今後とも積極的に関わっていきたい。

謝辞：今回の「親子で学ぶ防災見学会」の開催にあたりご指導、ご協力いただいた関係者の皆様、イベントに参加していただいた皆様に感謝申し上げます。

参考文献

1) 社会資本整備審議会河川分科会：河川の管理の現状と課題
2) 第2回建設産業活性化会議：建設業就業者数の将来推計
3) 第1回建設業の魅力を発信するための戦略的広報検討会：「建設産業の現状及び建設産業の広報について」

地域連携による「100㎜/h安心プラン」の取り組み

加勢田賢治[1]

[1]中部地方整備局　河川部　地域河川課（〒460-8514 名古屋市中区三の丸2-5-1 名古屋合同庁舎第2号館）

中部地方整備局では、近年の計画降雨を超える「ゲリラ豪雨」に対する浸水対策として、自治体による「100㎜/h安心プラン」の登録制度を活用し、国、自治体、民間企業、地域住民が一体となってハード・ソフト対策に取り組み、浸水被害の軽減と地域住民の防災意識の向上に繋げている。「ゲリラ豪雨」に対しては、行政によるハード対策のみでは限界があるため、行政機関に加え民間企業、地域住民等が協働し、“みんなで水害から地域を守る”という意識を広め、地域の特性を活かしたきめ細やかな流域治水対策の推進を図る。

キーワード：ゲリラ豪雨，100㎜/h安心プラン，地域連携，協働

1．はじめに

近年、都市部及び都市周辺地域では、開発の進行に伴い、洪水時に河川への流出量が増大する等、治水安全度が低下しており、計画降雨を超える局地的豪雨、いわゆる「ゲリラ豪雨」の頻発により、都市部を中心に浸水被害が多発し、「ゲリラ豪雨」に対する浸水対策が急務な課題となっている。

浸水被害が多発している地域では、国土交通省、自治体、民間企業、地域住民が連携し、河川・下水道等を集中的に整備するハード対策と地域住民による手作りハザードマップの作成や水防訓練の実施等、住民参加型のソフト対策を定めた「100㎜/h安心プラン」を策定（登録）し、流域一体となった総合的な流域治水対策を推進している。

2．「100㎜/h安心プラン」の概要

(1)「100㎜/h安心プラン」の概要

「100㎜/h安心プラン」は、従来の目標とする計画降雨を超える「ゲリラ豪雨」を対象とし、河川や下水道分野等の関係行政機関、民間企業や住民（団体）等の参画のもと、住宅地や市街地の浸水被害の軽減を図るため、集中的な対策を実施する取り組みを定めた計画であり、市町村長等の計画策定主体が水管理・国土保全局長に申請し、登録を行うものである。

計画策定主体は、「100㎜/h安心プラン」の策定にあたり、基本方針、対象とする降雨（必ずしも100㎜/h以上の降雨に対して実施する計画ではない）、計画策定のための体制、目的を達成するために実施する内容及び計画期間等を定めて申請する。その際、関連する法定計画やまちづくり計画等との整合を図ることを条件としている。

「100㎜/h安心プラン」に登録された地域は、流域貯留浸透事業の交付要件が緩和され、社会資本整備総合交付金による重点的な整備が推進されるなど、計画的且つ集中的な流域治水対策の実施が可能となる。また、毎年１回以上協議会等を開催し、ＰＤＣＡサイクルによる計画の進捗管理を行い、実施効果について評価等を行っている。

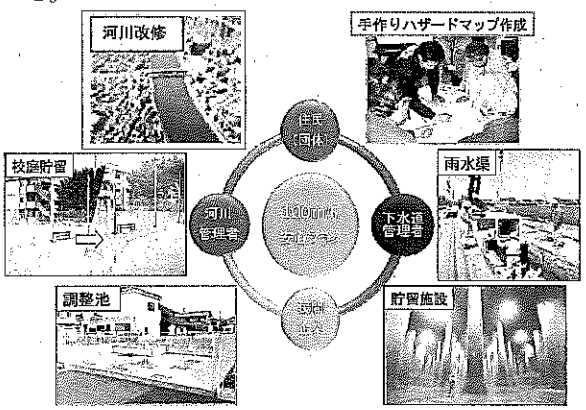


図-1　「100㎜/h安心プラン」のイメージ

(2) 期待される効果

① 登録した地域は、社会資本整備総合交付金による重点的な整備によって、河川や下水道等が連携して一体的な整備をすることにより、早期により大きな事業効果の発現が可能となる。

② 登録により、流域貯留浸透事業の交付要件が緩和され、貯留施設整備の推進が期待できる。

③ 民間企業等による流出抑制対策が推進される。

④ 住民等の参画により、地域住民の防災意識が向上される。

(3) 全国の登録状況

「100㎜/h安心プラン」の登録状況は、第１回登録が平成25年９月に５自治体の５計画（表-1）、第２回登録が平成26年２月に４自治体の５計画（表-2）、第３回登録が平成26年９月に１自治体の１計画（表-3）の計11計画が登録されている。

表-1 「100㎜/h安心プラン」第１回登録

計画策定主体	水系／河川	整備局
富山県、高岡市（高岡市浸水対策連絡協議会）	荘内川水系／地久子川 小矢部川水系／谷内川 守山川、四屋川	北陸
石川県、金沢市（金沢市総合治水対策推進協議会）	犀川水系／犀川高橋川 安原川、木曳川 大野川水系／大野川、浅野川 森下川、弓取川 大宮川、源太郎川 柳瀬川、場渡川	北陸
静岡県、沼津市（沼津川・高橋川流域総合的雨水排水対策協議会）	富士川水系／沼川、高橋川	中部
静岡県、焼津市（石脇川・高草川流域総合的治水対策推進協議会）	瀬戸川水系／石脇川	中部
静岡県、浜松市	天竜川水系／安間川	中部

表-2 「100㎜/h安心プラン」第2回登録

計画策定主体	水系／河川	整備局
栃木県、鹿沼市	利根川水系／小藪川	関東
国土交通省、岐阜県、多治見市（多治見市平和町、池田町、前畑町、田代町等雨水排水対策協議会）	庄内川水系／土岐川、脇之島川	中部
静岡県富士市（和田川・小潤川・伝法沢川流域総合的雨水排水対策協議会）	富士川水系／小潤川、伝法沢川	中部
名古屋市 緑生土木局 上下水道局	庄内川水系／堀川	中部
名古屋市 緑政土木局 上下水道局	山崎川水系／山崎川	中部

表-3 「100㎜/h安心プラン」第3回登録

計画策定主体	水系／河川	整備局
福島県、郡山市	阿武隈川水系／阿武隈川 逢瀬川、南川、谷田川	東北

3．中部地方整備局の支援

(1) 計画策定の支援

中部地方整備局では、自治体による「100㎜/h安心プラン」の計画策定に向けていち早く取り組み、県及び市の河川部局、下水道部局に対して積極的な働きかけを行い、計画策定における節目ごとに関係部署を集めた調整会議を開催するなどの支援を実施した結果、全国11計画の登録のうち、全国初登録を含む７計画（沼津市、焼津市、浜松市、多治見市、富士市、名古屋市）が中部地方整備局管内の登録となった。（平成26年９月末現在）

(2) 幅広いＰＲ活動の実施

中部地方整備局では、「100㎜/h安心プラン」を幅広く周知し、地域住民の防災意識の向上に繋げるため、国、県及び市が合同で記者発表を行い、登録された自治体に対して伝達式を開催するなど、積極的なＰＲ活動に努めた。その結果、伝達式の様子は、複数のテレビ局、新聞社及び登録した自治体の広報誌等に幅広く取り上げられた。さらには、国土交通省や登録した自治体のホームページに伝達式の様子を掲載し、「100㎜/h安心プラン」をＰＲした。

図－２は、全国初登録した際の新聞記事であるが、「100㎜/h安心プラン」の制度概要や取り組み内容等が記載されており、流域住民だけではなく、より多くの国民に対してＰＲすることができた。



図-2　平成25年９月13日静岡新聞

図－３は、焼津市の伝達式の様子が、焼津市の広報誌「広報やいづ」に掲載された記事である。市の広報誌は、市内の全世帯に直接配布され、生活に関する情報掲載が多いことから、市民の関心度が高く、周知する広告媒体としては、有効な手段である。伝達式の状況を掲載することで、「100㎜/h安心プラン」に関する国、県及び市の取り組みを地域住民に対してＰＲできた。



図-3　広報やいづ平成25年10月１日号

図－４は、「100㎜/h安心プラン」の登録と伝達式の様子を国土交通省ホームページ及び沼津市ホームページでの掲載状況であり、全国のインターネットユーザーに対してＰＲを行っている。



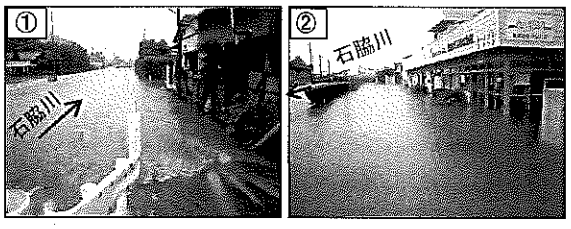
図-4　HPへの掲載状況
（左図：国土交通省HP、右図：沼津市HP）

４．事例紹介（焼津市石脇川流域における「100㎜/h安心プラン」）

(1) 浸水被害の発生

静岡県焼津市の石脇川流域では、過去から多くの浸水被害に見舞われ、近年では、平成16年６月30日の豪雨（88mm/h）により、石脇川が氾濫し、当該地域では約100haが浸水し、床上浸水57戸、床下浸水58戸の甚大な被害が発生するなど、頻発する「ゲリラ豪雨」に対する流域治水対策が急務な状況であった。

写真－１，図－５は、平成16年６月30日の豪雨による石脇川の氾濫状況及び浸水状況であり、広範囲に渡り家屋が浸水し、幹線道路が通行止めになる等、社会・経済的に甚大な被害が発生した。



写真－1　石脇川氾濫状況（H16.6.30）

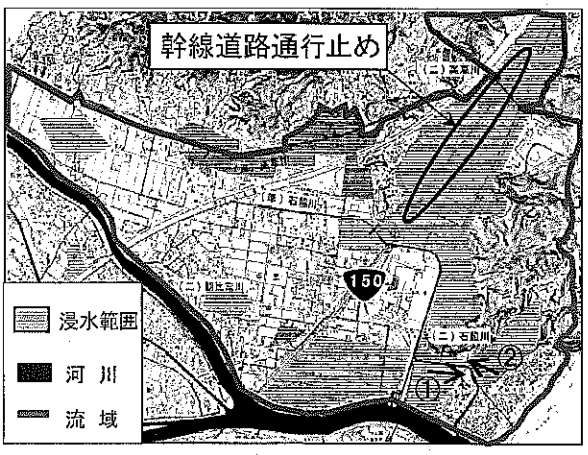
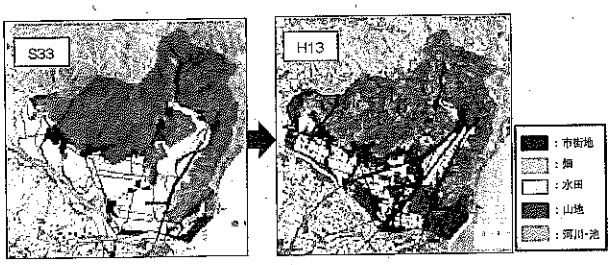


図-5　石脇川流域における浸水状況（H16.6.30）

(2) 浸水被害の主な原因

a)　都市化の進展等の土地利用の変化により、流域の保水力が低下し、流出量が増大したため、浸水に対する危険度が増大した。

流域内の土地利用状況
（市街化率）昭和33年：12.1%→平成13年：34.5%
（水田率）　昭和33年：30.4%→平成13年：11.5%



図－6　土地利用変遷図

b)　流域内の安全度を向上させるためには、河川事業及び下水道事業の一体的な整備が必要であるが、橋梁の架け替え、水道管・ガス管等のライフラインの整備・更新、これらの整備に伴う交通規制の発生等、多大な費用と時間を要する。

(3) 協議会の設置

頻発する浸水被害を受け、静岡県及び焼津市では、河川・危機管理・農林・環境部局等の機関からなる「石脇川・高草川流域総合的治水対策協議会」を設置し、石脇川流域の総合的な流域治水対策について検討を行った。

(4) 「100㎜/h安心プラン」の策定及び取り組み状況

石脇川・高草川流域総合的治水対策協議会は、平成16年６月30日の豪雨（88㎜/h）に対して、河川及び下水道事業が連携して当該流域を集中的に整備することにより、床上浸水を解消するハード対策と県、市、住民とが協働したソフト対策を計画し、PDCAサイクルによる進捗管理を行う「100㎜/h安心プラン」を策定した。この計画について、国土交通省水管理・国土保全局長に申請し、平成25年９月４日付けで全国初登録された。

図－７及び表－４は、同協議会が策定した「100㎜/h安心プラン」であり、各行政機関がそれぞれの役割分担を定めている。



図-7　石脇川流域における100㎜安心プラン

表-4　石脇川流域における「100㎜/h安心プラン」

事業	事業主体	内容
河川	静岡県	石脇川の河道拡幅（図－8）
	焼津市	当該地区内の水路整備を実施
下水道	焼津市	雨水渠の整備を実施
	焼津市	既設ポンプの増設
貯留・調節	焼津市	公共施設整備に伴う調整池の設置（規定の調整池容量の２倍を確保）
	焼津市	雨水貯留浸透施設の設置を計画
ソフト対策	静岡県	浸水想定区域図の作成
	静岡県 焼津市	HPで雨量・水位情報を提供
	焼津市	ハザードマップを全戸に配布
	静岡県 焼津市	水防団と連携した河川パトロールの実施
	静岡県 焼津市	水防訓練を年一回実施（写真－2，3）
	静岡県 焼津市	水防訓練への河川管理者の参加
	静岡県 焼津市	事業者による自衛水防への支援を検討
	焼津市	住宅等の建て替えの際に雨水浸透ますの設置を指導（写真－4）
	焼津市	土地利用・開発行為に規制（調整池の容量を規定の２倍にするよう指導）（写真－4）
	静岡県 焼津市 地域住民	水害図上訓練を実施し、手作りハザードマップの作成（写真－5，図－9）

図－８は、石脇川の河川改修済み区間の様子である。石脇川は、河道が狭小であるため、引き堤による整備を基本としているが、沿線に家屋が連担している区間は、河道掘削により河積を確保している。「100㎜/h安心プラン」の登録により、社会資本整備総合交付金による重点的な整備が可能となった。

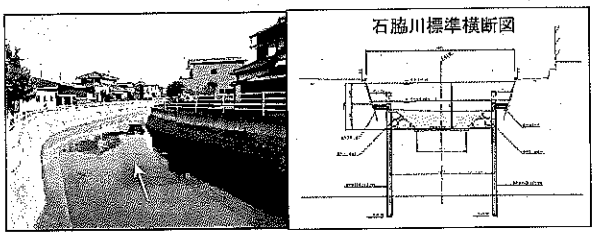


図-8　石脇川の河川改修

写真－２、３は、平成26年６月15日に実施された水防演習の様子である。昨年の「100㎜/h安心プラン」の登録やテレビ、新聞報道による災害報道を受け、水害に対

する住民の防災意識が高まり、昨年度は、280名だった自治会参加者が今年度は100名増加するなど、約1,100名が演習に参加した。

また、近年の大規模出水に鑑み、自衛隊との連携は必須であるとの考えから、今年度新たに航空自衛隊 静浜基地も演習に加わり、市役所隊と連携した工法を実演するなど、訓練内容の充実を図り、市全体で水害に対する防災意識の向上を図っている。

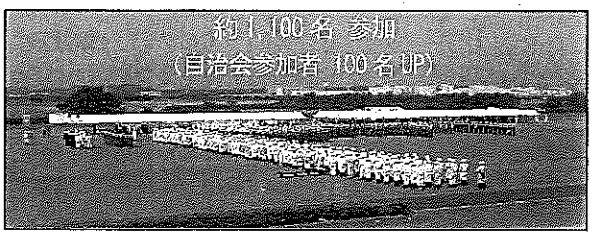


写真-2　焼津市水防演習の様子（H26.6.15）



写真-3　訓練の様子

写真－４は、焼津市による新たな行政指導の取り組みである。これまでは、自治体の中であれば、地域に係わらず、統一の基準で行政指導を行っていたが、「100㎜/h安心プラン」の登録に伴い、浸水の危険度が高い地域である石脇川流域については、住宅等の建て替えの際に浸透ますの設置を指導する取り組みを始めた。また、民間企業による土地利用や開発行為に伴う調整池の整備についても、容量を既定の２倍にするよう指導を始め、流出抑制対策を推進している。

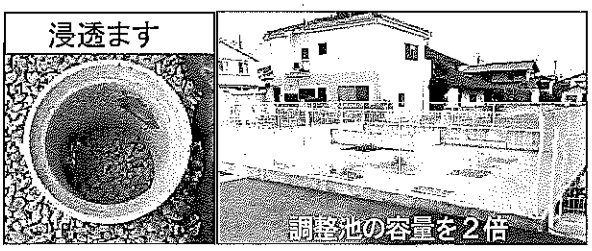


写真-4　新たな行政指導の取り組み
（写真左：雨水浸透ます設置、写真右：調整池設置イメージ）

写真－５，図－９は、水害図上訓練の様子と地域住民の手で作成された手作りハザードマップである。当該地域では、平成16年６月30日の豪雨による浸水実績を基に水害図上訓練を実施し、地域住民が把握している浸水情報や避難に関する情報を手作りハザードマップにまとめ、地域の全戸に配布し情報共有した。手作りハザードマップには、地域のきめ細かい浸水危険箇所及び避難経路等が記載されているため、地域住民は、過去の水害について学ぶことができ、水害時における地域防災力の向上に繋がっている。

また、当該地域は、幹線道路の地下道が小学生の通学路となっているが、水害図上訓練を繰り返し実施することにより、計画規模以上の豪雨によって地下道が冠水した際にも、小学生が誤って侵入することがないよう、地域や学校が連携し、防災教育を通じて地域防災力の向上に努めている。（図－10）



写真-5　水害図上訓練の様子
（写真左：検討状況、写真右：発表状況）

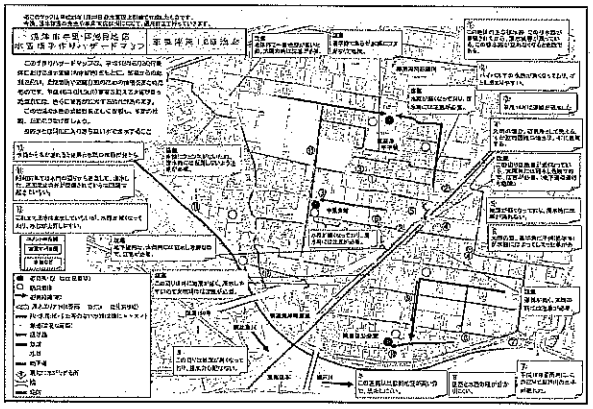


図-9　手作りハザードマップ

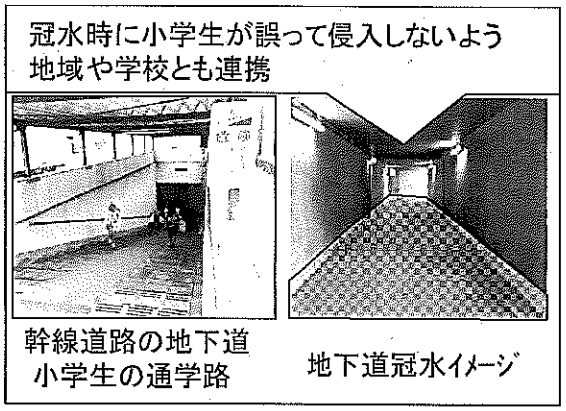


図-10　幹線道路の地下道の様子

5．まとめ

これまでは、流域治水対策として河川・下水道事業等が各々の目標に向かって事業を展開してきたが、「100㎜/h安心プラン」が起因となり、河川・下水道事業、民間企業、地域住民等が連携し、集中的に対策を実施することによって、短期間（概ね5年～10年間）で一定の被害軽減効果が期待できる。併せて、行政機関及び地域住民等が一体となってソフト対策に取り組むことで、地域における防災意識の向上が期待できる。

「ゲリラ豪雨」に対する浸水対策は、行政機関のみのハード対策では限界があるため、行政機関に加えて民間企業、地域住民等が協働し、“みんなで水害から地域を守る”という意識をいかに広めていくかが重要である。そのため、「100㎜/h安心プラン」に未登録の自治体に対しては、必要に応じて中部地方整備局が説明会を実施するなど、計画策定に向けて積極的に支援していくとともに、計画段階から地域住民等と協働し、地域住民が参画し易い計画（仕組み）を策定し、地域の特性を活かしたきめ細やかな流域治水対策を推進していく必要があると考える。

さらには、昨今の災害報道を受けて、地域住民の防災意識が高まりつつある中、「100 ㎜/h 安心プラン」のような効果的な取り組みを行政のみで PR するのではなく、記者発表により、テレビや新聞報道、自治体の広報誌や HP 等、様々な手段を活用し、幅広く PR することによって、より一層地域住民の防災意識の向上に繋げる所存である。

参考文献

1) 国土交通省編，国土交通白書2014 平成25年次報告，日経印刷株式会社，2014
2) 石脇川・高草川流域総合的治水対策アクションプラン，石脇川・高草川流域総合的治水対策推進協議会，静岡県・焼津市・岡部町，平成19年6月

地域課題の解決に向けた合意形成について
～武庫川（むこがわ）河川改修における事業連携の取り組み～

矢尾　哲雄

兵庫県 県土整備部 土木局 道路企画課 高速道路室（〒650-8567兵庫県神戸市中央区下山手通5-10-1）

本論は，「円滑な合意形成」や「地方の創生に資する整備」に対する要請の高まりを踏まえ，二級河川武庫川における合意形成の事例をもとに，「地元ニーズの的確な把握」及び「戦略的な事業連携」によってこれらの課題解決を図るというアプローチについて提案するものである．

キーワード　合意形成，地方の創生，地域課題，事業連携，施策パッケージ

1. はじめに

100年後の降水量が最大で現在の1.5倍程度になると予測される[1]など，浸水被害の激化が懸念される我が国においては，早急にこれらの被害に備える上で，あるいは被災後の速やかな復旧・復興を果たしていく上で，地元関係者との「円滑な合意形成」が求められている．

他方で，少子・高齢化により2050年には6割以上の地域で人口が半分以下に減少する[2]など，地域の活力の低下が懸念される中，長期的な展望のもと，コミュニティーの再構築や地域資源の利活用といった地域課題の解決――地方の創生――に資する整備が求められている．

本論は，このように，今後益々高まっていく「円滑な合意形成」や「地方の創生に資する整備」に対する社会からの要請に，より的確に応えていく必要がある――との課題認識のもと，二級河川武庫川における合意形成の事例検証を通して，「地元ニーズの的確な把握」及び「戦略的な事業連携」によってこれらの課題解決を図るというアプローチについて提案するものである．

2. 武田尾地区の概要及び取組経緯

(1) 地区の概要

本地区は，二級河川武庫川の中流部となる兵庫県宝塚市の北部，JR福知山線武田尾駅の北東約0.5kmに位置し，急峻な山地と河川に挟まれたわずかな平地に建てられた22戸からなる地区である(図-1,2)．本地区から下流側には，観光名所である「櫻の園」や福知山線の廃線敷などがあり，本地区はJR武田尾駅を出発して武庫川峡谷を散策するハイカーの動線の一部となっている．

(2) 河川事業の取組経緯

1970年代から検討された後に事業休止となった武庫川ダムの湛水域内に位置する本地区では，2004年の台風23号で全22戸が床上浸水したほか，1983年，1999年にも被災するなど，深刻な浸水被害が頻発してきた．このため，県では，2004年災害の再度災害防止対策として，関係する地区住民・土地所有者・宝塚市(以下，関係者という)に対し，全戸地区外へ移転して築堤する案，暫定対策として既設パラペットの嵩上げを行い全戸地区内にとどまる案を提示してきた(図-3)．しかし，多様な立場の関係者が混在していたため，いずれの案でも意見がまとまらず，合意形成は困難を極めていた．

このような状況を踏まえ，2010年度からは，当時策定中の河川整備計画に基づいた新たな改修案によって合意形成を図っていくこととした．以降，合意に向けて取組んだ3つのステップ――①地域課題の共有，②課題解決に向けた改修方針の提示，③最終的な事業同意(以下，最終同意という)に向けたコミュニケーション――に沿って報告する．



図-1 位置図（武庫川流域図）

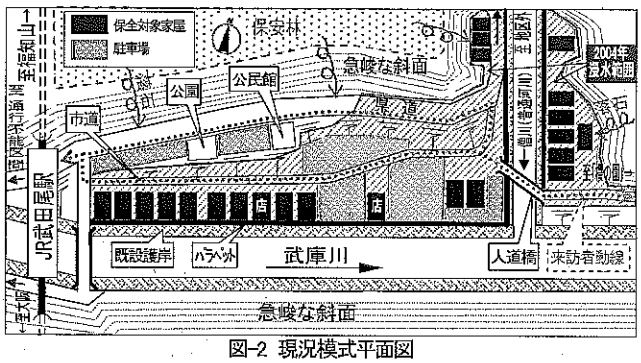


図-2 現況模式平面図

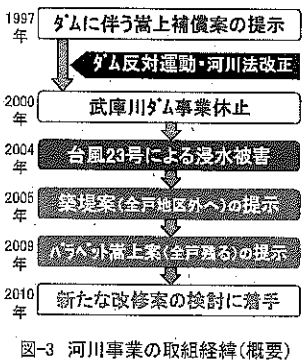


図-3 河川事業の取組経緯（概要）

3. 地域課題の共有

戸別面談や説明会等での聴取り事項をもとに，本地区の実態を把握した上で，本地区の地域課題を3点（以下(1)～(3)）に，それを実現するための具体的な要件を7点（以下a)～g)，[ ]内に主な要求者を示す）に整理し，関係者と共有した．

(1) 所定の治水安全度の確保

a) 治水安全度の早期向上が可能 *[地区住民・県・市]*

本地区では，河川整備計画における計画流量2,600m³/sに対し，ネック部の現況流下能力は約900m³/s（計画流量の約4割）しかなく，再度災害リスクは極めて高い．また，2009～2014年だけでも避難指示2回，避難勧告5回，避難準備情報7回が発令されており，住民の心理的・身体的負担は極めて大きい．さらに，地区外へ通じる唯一の道路である県道の一部区間では，路面高が低いため，浸水によって地区が孤立化するリスクも高い．よって，早期に治水安全度を向上できる改修方式が求められる．

b) 地区外地権者への配慮 *[財産管理会]*

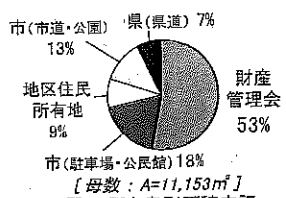
借地世帯の宅地や駐車場用地など，本地区内の土地の半分以上は，地区外に在住のため被災していない約50名で構成された財産管理会が所有している(図-4)．よって，堤防用地の買収等，その事業協力を得るには，事業によって財産管理会の支出が生じず，継続的な収入源である宅地や駐車場が確保できる改修方式が求められる．

(2) 安全で快適な住環境の実現

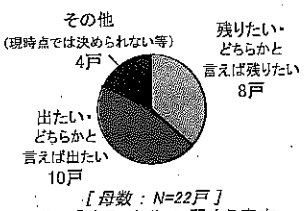
c) 戸別事情に応じ「残る・出る」が選択可能 *[地区住民]*

2008年に実施した戸別面談での聴取り事項をはじめとした情報を再整理した結果，本地区では，地区内での生活再建(以下，「残る」という)をしたい・どちらかと言えば残りたい世帯が8戸あり(図-5)，地区外への移転（以下，「出る」という）が困難な事情は主に以下の3点である．

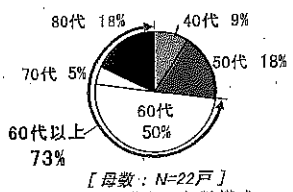
①本地区の大半を占める高齢世帯や借地世帯にとって，出ることは身体面・経済面での負担が大きい(図-6,7)．
②高齢世帯は，本地区への愛着があり，新たなコミュニティーへの適応が困難である．
③商店経営者は，本地区以外では生業が継続できない．



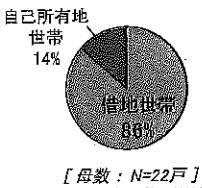
［母数：A=11,153m²］
図-4 所有者別面積内訳



［母数：N=22戸］
図-5「残る・出る」に関する意向



［母数：N=22戸］
図-6 世帯主の年齢構成



［母数：N=22戸］
図-7 土地の権利形態

他方，出たい・どちらかと言えば出たい世帯も10戸あり，移転条件等によるので現時点では決められない等の世帯も4戸ある(図-5)．以上のことから，残る住民の再建スペースを地区内に確保でき，多様な戸別事情に応じて「残る・出る」が選択できる改修方式が求められる．

d) 住環境や景観の維持・向上 *[地区住民]*

本地区では，「家屋に近接したパラペット(H=約1m)が，日照，風通し，景観を阻害しており，改修によりこれらが悪化すると生活が継続できず，景勝地としての魅力も低下する」という意見が強いため，住環境や景観の維持・向上が求められる．

e) 土砂災害に対する安全性の確保 *[地区住民・県・市]*

県道北側に位置する斜面は，傾斜角30°以上かつ崖高10m以上となっており，崩壊の危険性が高いため，地区住民が残る上で所定の安全性の確保が求められる．

また，当該斜面から県道への落石が頻発しているため，道路防災の観点からも土砂災害対策は急務である．

f) 将来の再移転が生じない *[地区住民・県]*

河川整備計画では武庫川ダムの整備は盛り込まれていないが，河川整備基本方針では洪水調節施設の調節流量910m³/sを見込んでいる．このため，次期河川整備計画以降の段階で，本地区より上流に位置する既存ダムの治水転用ができない場合，武庫川ダムの整備が必要となり，本地区はその湛水域となる．よって，この場合でも，残る住民の再移転が生じない計画とすることが求められる．

(3) 交通拠点としての機能の維持・向上

g) 現況駐車場台数の確保 *[市・財産管理会]*

本地区内には，JR武田尾駅利用者の駐車場(市43台・財産管理会102台）があり，宝塚市北部の13地区をはじめとした住民が通勤・通学等に利用していることから，宝塚市北部の交通拠点として位置づけられている．

よって，現況駐車場台数を維持し，パーク＆ライド機能を確保することが求められる．

4. 地域課題の解決に向けた改修方針の提示

本章では，前章で述べた地域課題を解決するための4つの方策，及びこれらを適用した新たな改修方針について述べる．地域課題と解決方策の関係は図-8に示す．

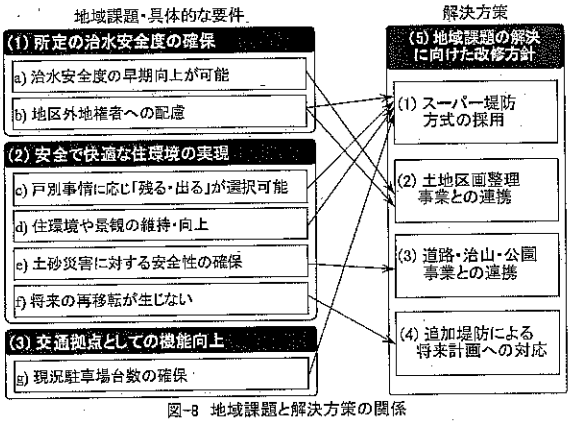


図-8 地域課題と解決方策の関係

(1) スーパー堤防方式の採用

一般的な堤防方式では，①堤防の背後地が狭小となり，残る住民の宅地面積・現況駐車場台数ともに確保できず，②住環境・景観ともに著しく悪化する(図-9)．

よって，①堤防が占有する面積の縮小及び県道法面の活用により堤防から県道までの活用可能スペースを最大限確保でき，②住環境や景観についても現況より改善できる「スーパー堤防方式」を採用する．

(2) 土地区画整理事業との連携

残る住民の現在の土地と移転先の土地を交換する手法について，通常は，分筆・合筆の繰り返しによる権利変換手続後に移転することとなり(表-1)，早期に治水安全度を高められない．また，財産管理会等の土地所有者に費用負担が生じることについても理解が得られない．

そこで，仮換地指定により早期に移転・工事着手でき，堤防用地取得費を県から「公共施設管理者負担金」として受け取ることで，土地所有者の費用負担を解消できる土地区画整理事業を導入し，関係者で構成する土地区画整理組合(以下，組合という)が事業主体となり実施する．

(3) 道路・治山・公園事業との連携

武庫川の背水により県道及び堤内地が浸水し，地区が孤立化することを防ぐため，道路事業で堤防と同水準まで県道の高さを上げるとともに，山切部の落石対策を行う．また，治山事業とも連携して県道北側斜面の下部を保安林に追加指定し，山切部を除く斜面全体を対象とした総合的な土砂災害対策を実施する．なお，公園については，完成後の土地利用等により再配置を検討する．

(4) 追加堤防による将来計画への対応

最新の航空測量データを活用した貯水容量の精査等，武庫川ダムの影響水位を下げる検討を行い，将来パラペット等を追加すれば再移転が回避できることを確認した．

(5) 4つの解決方策を適用した改修方針の提示

上述した4つの解決方策を適用した改修方針として，5つの事業が連携したプロジェクト(以下，ＰＪという)による整備を提案し，これに基づき計画を具体化していくことで合意した．本ＰＪの計画模式平面図，各事業の役割分担，実施手順はそれぞれ図-10，表-2，図-11に示す．

5. 最終同意に向けた現状分析

前章で述べた改修方針の提示により，事業に伴う関係者の負担――言わば「事業による負の効用」――が浮き彫りとなってきた．よって，最終同意を得るには，関係者との更なるコミュニケーションを通して，負担を最小化し得るＰＪ計画に磨き上げた上で，避けられない負担については十分な理解のもとに受容して頂く必要があった．

本章では，このようなコミュニケーションを効果的に行うために実施した，ＰＪ特性・地域特性に係る現状分析について述べる．

(1) ＰＪ特性の整理

a) 関係者全員の最終同意が必要

本ＰＪでは，財産管理会が地区住民全員の同意を求めているほか，約5mの高盛土を行うため，「同意できず存置を希望する地区住民」が1人でもいた場合，次の2点が問題となる．よって，関係者全員の同意が必要である．

①存置した土地は高盛土に囲まれて外水氾濫が集中するため，所定の治水安全度が確保ができない．
②取付スロープの設置等により土地利用が非効率となり，宅地や駐車場の面積が十分確保できない．

b) 2段階の意志決定が必要

本ＰＪでは，「残る・出る」が選べるため，残る戸数・出る戸数が確定しないと具体的な土地利用方針などが定まらない．よって，関係者には①「残る・出る」の判断，②最終同意という2段階の意志決定を求める必要がある．

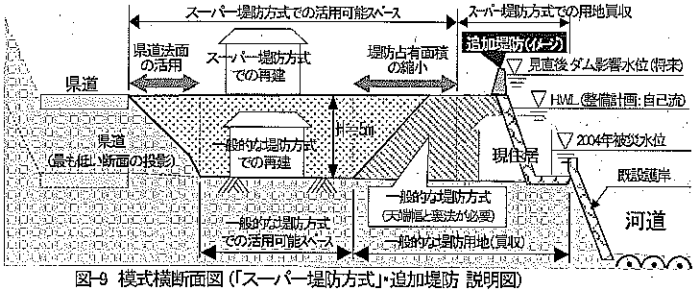


図-9 模式横断面図(「スーパー堤防方式」・追加堤防 説明図)

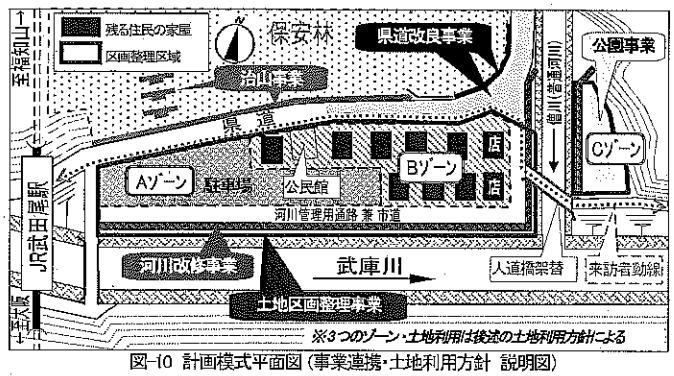


図-10 計画模式平面図(事業連携・土地利用方針 説明図)

表-1 土地の交換手法の比較

手法	治水安全度の早期向上	土地所有者の負担解消	堤防用地の取得方法
通常の交換・分合	×	×	土地所有者から買収
土地所有者が分筆・合筆を繰り返して土地を交換	権利変換後の移転となる	費用は土地所有者が負担	
土地区画整理事業	○	○	一部を組合から取得(残りは同上)
組合が換地手法により権利変換	権利変換前に移転できる	費用は組合が負担	

表-2 各事業の役割分担

事業名	役割分担	事業主体
河川改修事業	築堤,背後地盛土,橋架替	県(土木事務所)
県道改良事業	縦断・法線改良,落石対策	
土地区画整理事業	換地・ソフト対策等	組合
治山事業	土砂災害対策	県(治山事務所)
公園事業	公園の再整備	宝塚市

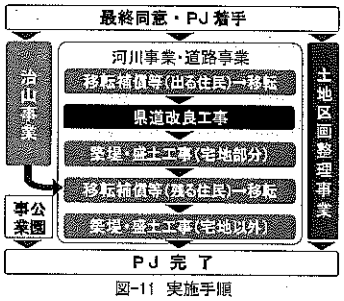


図-11 実施手順

c) 多数の事業で構成

本ＰＪは，5つもの事業で構成されることから，関係者との認識の相違や，情報の錯綜等による混乱が生じやすいため，そのような事態を避ける必要がある．

d) 限られた合意形成期限

本ＰＪでは，以下の2点の理由から，2011年度末迄という短期間で最終同意を得る必要がある．

①堤防等に必要な良質の盛土材(約4万m³)を予算内で確保するため，新名神高速道路等の残土搬出時期に間に合うよう工事着手する必要がある．
②方針提示で高まった関係者の機運が持続するのは1年程度であり，以後の合意形成は困難と考えられる．

(2) 地域特性の整理

a) 多様な立場の地元関係者が混在

地区住民は借地世帯と自己所有地世帯で構成されるほか，借地世帯の土地所有者として財産管理会も関係しており，多様な立場の地元関係者が混在している．

b) 地区住民の県に対する強い不信・不満

以下のような考えから説明会が県の糾弾会となるなど，地区住民の県に対する不信・不満は非常に強い．

①県は，武庫川ダムの整備方針や2004年災害の復旧方針を何度も変更し，自分達の生活設計を狂わせてきた．
②県は，上流部でのニュータウン開発を許可し，本地区での急激な水位上昇を招いた．

6. 最終同意に向けたコミュニケーション

本章では，前章での現状分析結果を踏まえ，最終同意に向けて取組んだコミュニケーションの内容について述べる．現状分析結果と取組内容の関係は図-12に示す．

(1) 意志決定に必要な情報の把握・整理

(3)節で述べるプロセス設計を的確に行うため，戸別面談や意見交換会を通して各関係者の利害・関心事項を聴取り，意志決定に必要な情報を把握した．把握した情報は，必要となる時期，及び情報の性質を踏まえた役割分担という観点から分類し，表-3のとおり整理した．

(2) 合意形成プロセスの早期共有

a) コミュニケーション手法の検討

前章で述べたＰＪ特性・地域特性を踏まえ，本ＰＪにおける最適なコミュニケーション手法の検討を行い，場面に応じて表-4(次項)のとおり使い分けることとした．

b) 合意形成プロセスの設計・共有

多様な立場の関係者全員から，期限内に多数の事業に関して同意を得るためには，手戻りや混乱を生じない効果的な合意形成プロセスが不可欠だと考え，これまでに整理・検討した事項をもとに，図-13(次項)のとおりプロセスを設計し，早い段階で関係者と共有した．

(3) 主体的な地元間協議の支援・促進

意志決定に必要な情報のうち，組合や借地契約に関する事項は，地区住民と財産管理会の協議により決定して頂く必要があった．このため，両地区から選出した代表者(各3名程度)にて協議した後，各地区に持ち帰って意見集約を行うというプロセス(図-14：次項)を提案し，地元での主体的な協議を促した．なお，県・市は代表者会議にオブザーバーとして出席し，要請に応じて事例収集や法令確認などの支援を行い，協議の促進を図った．

(4) 地域課題の解決に向けた土地利用方針案の提示

a) 地域課題の再整理

地区住民により「10戸が残り，12戸が出る」という意志決定が行われ，将来の地域活性化についても議論され始めたことを踏まえ，「観光地(ハイカーの玄関口)としての機能向上」を地域課題に追加した(表-5：次項)．

b) 効用の最大・最小化を図った土地利用方針案の提示

土地利用方針の検討では，まず地区内を3つのゾーンに区分し，地区住民から聴取った情報も踏まえて各ゾーンの特性を整理した(表-5：次項)．次に，各ゾーンの土地利用は，地域課題を最大限解決できるよう工夫することで，事業に伴う「正の効用」の最大化と「負の効用」の最小化を図り，関係者の事業に対する受容(ＰＡ)を向上させた．また，換地に関する試算等を行い，最終同意に必要となる駐車場台数や減歩の見込みも提示した．

(5) 認識の共有に向けた効果的な情報提供

a) ワンストップ窓口による総合調整

本ＰＪでは，関係者や事業が多岐に渡り，情報の錯綜が懸念されるため，県(河川管理者)が総合調整を行い，問合せや事業間調整の窓口をワンストップ化した．

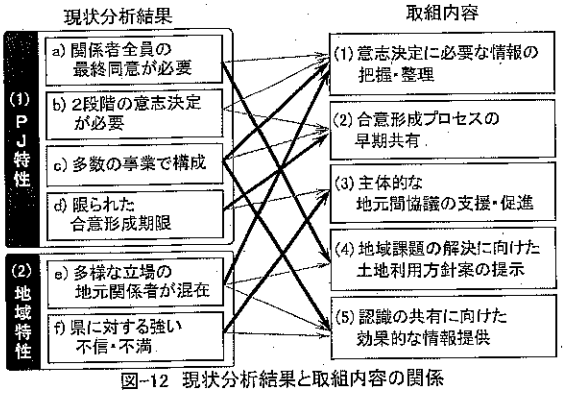


図-12 現状分析結果と取組内容の関係

表-3 意志決定に必要な情報

必要時期		最終同意	「残る・出る」の判断
地区住民	残る場合	◆ 土砂災害対策の内容 ◇ 減歩・換地面積 ● 移転後の借地料の考え方 ● 組合役員のメンバー構成	◆ 移転補償の考え方・補償額 ◆ 組合員の役割 ◆ 仮住まいの要否 ◆ 家屋移転時期
	出る場合	● 借地権消滅補償費※の額	
財産管理会		■ 残る戸数・出る戸数 ■ 地区住民全員の最終同意 ● 組合役員のメンバー構成 ● 借地権消滅補償費※の額 ◇ 土地利用の方針 ◇ 完成後の駐車場台数 ◇ 減歩・換地面積	凡 例 (各情報の性質) ◆：県が検討・整理する情報 ◇：最終同意の判断材料として，県が方針案や見込み(試算結果)を提示し，組合で協議・決定する情報 ●：地区住民と財産管理会との協議(地元間協議)で決定する情報 ■：地区住民の意志決定で確定する情報

※転出に伴い借地権が消滅する借地人に対し財産管理会が支払う補償費

表-4 採用したコミュニケーション手法

手法・内容	採用する場面(使い分け)
意見交換会 事業に関する説明・意見交換 (県・市が主催)	・全ての関係者と情報・認識の共有が必要な場合(基本手法と位置付け)
キーパーソンインタビュー 代表者への事前説明・意見交換	・意見交換会における説明事項の過不足や解りづらい箇所の事前把握 ・進め方、プロセスに関する意見聴取り
戸別面談(ヒアリング) 戸別面談による説明・意見交換	・個人情報(家庭事情等)に関係する利害・関心事項の聴取り ・個人情報(補償費等)に関する説明
調査票の配布・回収 署名・押印文書の提出による意思表示	・合意形成プロセス上、後戻りできない重要な意志決定を求める場合
住民集会・総会 各地区内での協議・意見集約 (県・市は出席せず)	・地区住民・財産管理会による主体的な組合運営等を見据え、県・市が出席しない方が望ましい場合
代表者会議(タスクフォース) 各地区の代表者数名による協議 (県・市も出席)	・地元間協議を円滑かつ効率的に進めるため、各地区で集約した意見の摺合せが必要な場合

表-5 地域課題の解決に向けた土地利用方針と効用

地域課題	土地利用方針	正の効用	負の効用(負担)
所定の治水安全度の確保	河川沿いに堤防用地を確保	・浸水リスクの大幅軽減	・住宅再建に自己(追加)負担を伴う場合あり ・減歩による土地面積の減少 ・借地権消滅補償費の支出 ・残るには仮住まい(2回移転)を要する場合あり(仮住まい戸数の最小化)↓ ・Cゾーンが活用困難となる ※公園の配置により解消↓
宝塚市北部の交通拠点(パーク&ライド拠点)としての機能向上	【Aゾーンの特性】 ・駅に最も近接 →ABゾーン内に散在していた駐車場をAゾーンへ集約	・駐車場の集約↑ ・駅へのアクセス改善↑ ・接道条件の改善(市道W=3m→6m)	
安全で快適な住環境の実現	【Bゾーンの特性】 ・日照条件最良 ・現家屋数最小(仮住まい戸数最小) →ABCゾーンに散在していた宅地をBゾーンへ集約	・土砂災害リスクの軽減 ・接道条件の改善 ・区画形状の改善 ・景観・風通しの改善 ・日照条件の改善↑	
観光地(ハイカーの玄関口)としての機能向上 追加項目	【Cゾーンの特性】 ・車道アクセス不可 ・土砂災害懸念 ・峡谷散策の拠点 →Bゾーンにあった公園をCゾーンへ配置	・散策拠点部での公園再整備によるハイカーの利便性・快適性向上↑ ・歩行者動線の改善	

※下線部は、土地利用方針により効用の最大化・最小化を図った項目

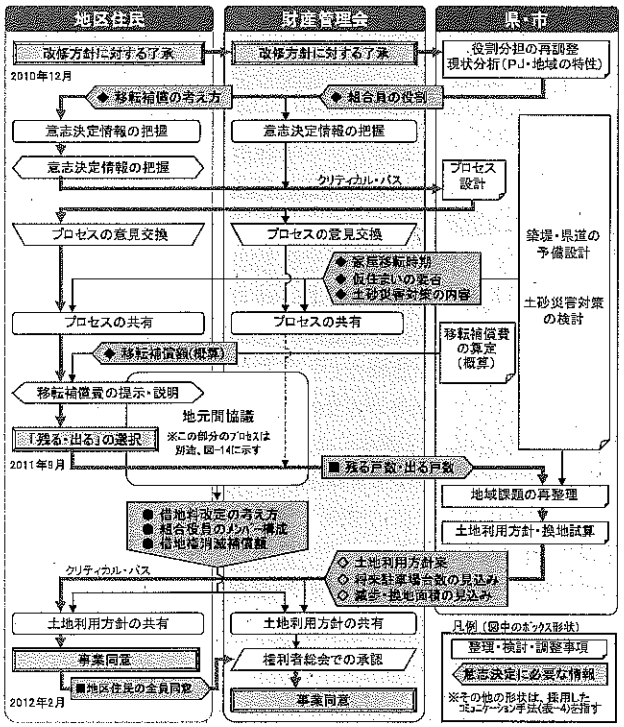


図-13 設計した合意形成プロセス(概要)

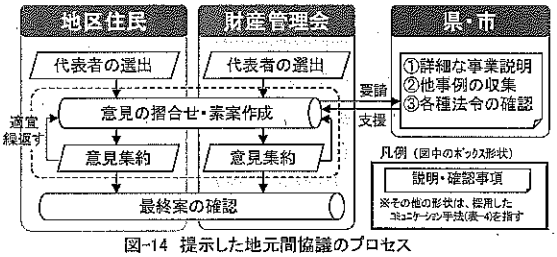


図-14 提示した地元間協議のプロセス

b) 情報の可視化・定量化と説明ツールの選別

意見交換会では，正確な情報の定着を図るため，①情報を可視化(イメージパースの作成等)・定量化(具体的な換地面積の試算等)し，②紙資料の配布(再確認や各戸内での説明が可能)とスクリーン表示(工事手順等をアニメーションを用いて説明可能)を併用して説明した．

表-6 各取組みが合意形成に与えた効果

効果 / 取組内容	関係者との信頼の構築	PJに対する不安の払拭	プロセスの手戻り・混乱の回避	関係者との認識の共有	PJに対する受容の向上	地域づくりへの機運の高まり
地元ニーズの把握→地域課題の共有	★		★	★	★	
地域課題の解決に向けた事業連携	◎		★	○	★	★
意志決定情報の把握→プロセス共有	◎	◎	★	○	◎	
地元間協議の支援	◎	○				★
効用(正・負)の具体的な提示	○	○		○	★	◎
ワンストップ窓口による総合調整	○	★	◎	◎		
ツールの選別と可視化・定量化				★	◎	○

凡例 ・・・ ★: 極めて寄与した ◎: 大変寄与した ○: 寄与した

7. 取組みの効果検証

本章では，以上で述べた取組みに係る現時点(2014年10月)での効果検証について述べる．

(1) 事業効果の早期発現

以上で述べた取組みの結果，2012年2月に関係者全員から同意書が提出され，2010年の検討着手から約2年弱で合意形成が実現した．従前，2004年の被災以降，約6年間協議を重ねても合意が得られていなかったことを考慮すると，「円滑な合意形成」が実現できたと言える．

これにより，早期に事業着手(家屋移転や県道改良工事等)ができたため，本年8月の台風11号では，15戸の浸水被害並びに県道の冠水による地区の孤立化が回避でき，早期に事業効果を発現させることができた．

(2) 各取組みの効果

本地区での各取組みが，合意形成に与えた効果を表-6に整理した．いずれの取組みも「円滑な合意形成」の実現に寄与したが，中でも「地元ニーズの把握」と「事業連携」(表-6の太枠部分)が特に重要な役割を果たしたと考えられるため，以降，詳細に検証する．

(3) 「地元ニーズの把握」が及ぼした効果

a) 地域課題の共有・信頼関係の構築

取組みの初期段階で，関係者の声に耳を傾けて「地元ニーズ」を的確に把握できたからこそ，「治水上の課題」から視野を拡げ，コミュニティーのあり方や地域資源(景勝地・交通拠点等)の維持･活用も含めた「地域課題」として捉えた上で，関係者と共有できた．課題の共有以降，意見交換会が糾弾会から前向きな議論の場へと変化したことから，ニーズの把握や地域課題の共有は，関係者との信頼関係の基盤を構築したと言える．

b) 合意形成プロセスの共有・受容の向上

最終同意に向けたコミュニケーションの段階でも，提示した改修方針に対する「地元ニーズ」を積極的に聴取ったことで，次のような効果があった．

①各関係者が意志決定に要する情報を的確に把握でき，効果的な合意形成プロセスの設計・共有が可能となり，プロセスの手戻りや混乱の回避につながった．
②各関係者にとっての「正・負の効用」を的確に把握でき，効果的な土地利用方針の作成，ひいてはＰＪに対する受容の向上につながった．

c) 関係者との認識の共有

「地元ニーズ」を把握するために実施した戸別面談は，回を重ねる毎に「県も解ってくれていると思うが」「県の言いたいことも解るが」等の声が増えていったことを考慮すると，認識の共有，さらには双方の真意を理解することにも大きく寄与したと言える．よって，本地区のように事業の影響範囲が限定されたケースにおいて，戸別面談は非常に重要かつ有効な手法であると考える．

(4) 事業連携が及ぼした効果

本地区で関係者の納得を得るには，浸水被害の解消方法だけでなく，整備後のコミュニティーの将来像や，地域資源の利活用の可能性についても提示する必要があった．一方で，河川事業だけではこのように踏み込んだ提示はできなかったため，最終同意を得る上で，事業連携は不可欠であったと言える．

また，表-5(前項)に示した正の効用に加え，現時点では表-7に示すような幅広い効果が見込まれる．いずれの効果についても，各事業単独では実現不可能・困難なものであるため，事業連携により「コスト縮減」と「地方の創生に資する整備」を両立できたと言える．

表-7 事業連携により見込まれる効果

項目		内容
コスト縮減		・スーパー堤防方式による用地買収費の縮減
		・新名神事業との連携による残土の活用
		・治山事業・道路事業の連携による効果的な土砂災害対策の実現
地方創生に資する整備	「防災・減災」の充実	・早期移転の実現(15戸は浸水リスク解消済、残る7戸も2016年度迄に解消見込み)
		・ソフト対策の協議の場となる組合が設立(2014年3月)
	豊かな生活環境の創出	・従前と同等以上の駐車台数を確保見込み
		・仮換地指定により以下を実現(2014年3月) ① 100㎡以下の狭小宅地を200㎡以上とし、住環境面・防火面ともに大幅に改善 ② 店舗と住宅の適正配置により「住みやすさ」と「ハイカーの利便性」を両立(図-10)

8. おわりに

前章で述べた検証を踏まえ，「円滑な合意形成」や「地方の創生に資する整備」を効果的に進めるためには，私は，以下のようなスタンス及びアプローチで課題解決に臨むことが肝要であると考える．

①防災対策に加えて，地域課題の解決も求められる地区においては，単に困難な複合課題としてではなく，「地方の創生を実現し，より質の高い社会基盤を次世代へ継承していく好機」と捉える．その上で，
②「地元ニーズを的確に把握」することにより，地域課題を関係者と共有するとともに，ソフト対策も含めた「戦略的な事業連携」を図り，施策パッケージとして解決策を提案していく．

近年，本地区以外の中山間地や湾奥部においても，洪水・津波などの治水対策に加え，限られたスペースを有効に活用したコミュニティーの再構築，交通機能の確保，地域資源の活用による交流人口の増大など，本地区と類似した地域課題の解決が求められる事例が見受けられる．よって，上述したアプローチは，特に中山間地や湾奥部での合意形成において活用が期待できるものと考える．

本地区では，組合の設立準備を進めるうちに，地区内に桜を植えて魅力を高めたい，移転後は息子夫婦を呼び戻したい等，活気ある声が出はじめた．2016年度には，新名神高速道路と同時に，本地区から約1kmの位置にスマートインターチェンジが供用される予定である．このような動きも踏まえ，今後も表-8に示すように，工事の着実な推進はもとより，ワークショップ手法を活用して議論の活性化を図るなど，将来を見据えた活力ある地域づくりを進めていく必要があると考えている．

なお，本論は著者の従前の所属である兵庫県 阪神北県民局 宝塚土木事務所 武庫川対策室における所掌内容(2010～2013年度)をもとに取りまとめたものである．

参考文献

1) 社会資本整備審議会河川分科会：気候変動に適応した治水対策検討小委員会(第1回)配布資料
2) 国土交通省：国土のグランドデザイン2050

表-8 今後の課題

項目	県の役割	内容
工事に伴う技術的課題	河川事業の事業主体として主体的に調整	・宅地盛土の締固め品質の確保、所有者への引渡し方法の具体化
		・限られたスペース内での駐車場の切り回し･ライフラインの移設
ソフト対策の充実(まちづくりの具体化)	必要に応じて市や組合を支援	・地域資源の利活用策の具体化
		・秩序ある土地利用を具体化する地区計画の策定
		・高齢化を踏まえた残る住民による共助体制の再構築(災害時要援護者対策など)

平成２５年島根山口豪雨災害時における広報活動

栢　俊明[1]

[1]中国地方整備局　企画部　企画課　（〒730-8530 広島県広島市中区上八丁堀6-30）

平成25年7月28日及び8月24日に島根県と山口県で記録的な豪雨となった。この大雨は、河川の氾濫など、地域の人々の生活に大きな打撃を与えた。これに対して「災害対策本部」を設置し、各地の被災情報を収集し、自治体への支援、被災した河川や道路の調査や復旧などの対応を行った。

これらの活動を広く国民に理解していただくため、従来行っていた広報の方法を見直し、課題・問題点を抽出し、解決策を検討しながら災害時における積極的な広報活動に取り組んだ結果を紹介するものである。

キーワード　災害、広報、情報発信、TEC-FORCE、広報体制

1. 災害における広報の現状

平成25年7･8月島根山口豪雨災害発生までの災害時における広報体制の現状は、災害対策本部に広報班を設置し、各部より収集した情報を集約していた。情報発信は、記者発表を基本とし（夜間はマスコミにFAX）、その他の情報発信の方法としてホームページを活用していた。また、TEC-FORCEの活動については、派遣した場合のみ記者発表を行っていた。

2. 問題点と解決策

災害対応を通じて、3つの課題に対する10項目の問題点を抽出し、これらに対する解決策を以下の通り実施した。

課題	問題点	解決策
広報体制	①現地でのマスコミ対応者の不在	①スポークスマンの配置
	②現地での災害支援の情報収集ができていない	②災害記録班の体制確保、活動マニュアルの作成
情報伝達	③本部と現場での情報共有ができていない	③HP等での情報集積
	④災害情報がHPのどこにあるか分かりにくい	④HPバナー作成
	⑤情報発信の遅れ	⑤本部会議資料の公開
	⑥災害復旧の状況が分からない	⑥復旧の履歴を公開
	⑦道路のどの箇所が通れるか分からない	⑦通行可能map作成
TEC活動	⑧TEC-FORCE活動が分からない	⑧TEC-FORCE活動の公開(HP)
	⑨TEC-FORCE隊長の士気の低下	⑨TEC-FORCS出発式など積極的なプレス
	⑩TEC-FORCE活動が理解されていない	⑩TEC-FORCEポスター、活動ビデオの作成

表-1　問題点と解決策

(1) 広報体制

a) スポークスマンの配置

災害発生時、従来は専属のマスコミ対応者が明確に決まっていなかった。そのため、記者からの問い合わせに対して現地の災害対策支部の班長が対応したり、TEC-FORCEの班長が対応したりと対応者が異なっていた。その結果、対応者は、マスコミへの対応のため、その都度情報収集を行うなど対応者それぞれで準備の必要があったことで、本来の担当業務への対応が疎かになり、支障が出る恐れがあった。またマスコミへ提供する情報もニュアンスの違いにより統一された情報が提供されにくい状況であった。しかし、平成25年7月･8月山口島根豪雨災害よりスポークスマンを配置した。スポークスマンとは、専属のマスコミ対応者である。スポークスマンの配置により業務分担が明確化し、業務への支障が解消されると共にマスコミへ提供する情報も統一された。スポークスマンを配置後の連絡系統は以下のとおりである。

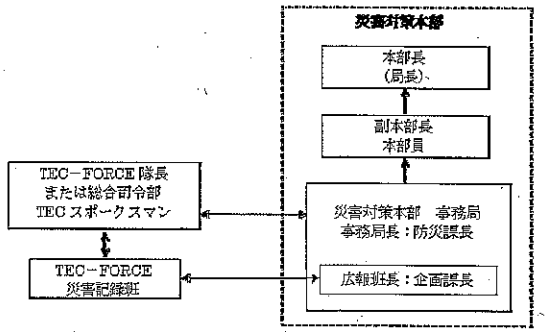


図-1　連絡体制

b) 災害記録班の体制確保と活動マニュアルの作成

従来、災害時の情報は、各地の直轄管理の被災状況や対応状況等の公開が主となり、各地の地方自治体の災害支援状況がわかりにくい状況だった。

そのため、国土交通省が行っている災害支援状況を専属で記録を行う班を配置したのが、災害記録班である。災害記録班は、当初班員3名で構成され、TEC-FORCEや災害対策用機械が活動している現場まで赴き、被災状況の記録、地元住民等との対応記録や大臣や政府調査団等の記録を行うこととした。

また災害記録班の業務の明確化のため、活動マニュアルを作成した。

ここで、活動マニュアルのポイントを紹介するとポイントは、調整、写真撮影の方法、報告が挙げられる。

まず、調整について説明する。災害箇所は、TEC-FORCE隊員、災害記録班のほとんどが土地勘のない場所での活動を強いられることが多く、TEC-FORCE隊員、災害記録班は、常に移動している。

また、災害は携帯電話不感地帯となる場合もあることから事前に待ち合わせ場所を調整することが重要であることなどを明記している。

次に広報で一番重要なポイントとなる写真撮影である。災害記録の撮影のポイントは、「広範囲撮影による被災箇所の全体を把握するものと、局所的な撮影による被災箇所の甚大さを把握するものを対象とする。」「TEC-FORCE又は国土交通省中国地方整備局の文字と被災箇所等がカメラアングルに入るようにすること。」「写真撮影は、横型に拘わらず縦型のアングルで撮影することによりインパクトがあれば、縦形で撮影すること。」などをマニュアルに明記している。



図-2 撮影方法のポイント

続いて報告である。写真データは、膨大な量になり特に現地状況の写真は、いつ、どこで、何を撮影したかわからなくなることが多々ある。そのため、日付、撮影班、撮影場所、河川名等をフォルダに分け整理し、また、各班のTEC-FORCEの活動状況をまとめた資料を報告するなどを明記している。

以上のような現地入りから報告までについてマニュアル化している。



図-3 TEC-FORCE 活動状況

(2) 情報発信

a)HP等での情報発信及びHPでのバナー作成

従来の情報共有の流れは、災害対策支部などから災害対策本部へ情報が集約されていき、災害対策本部で集約された情報は、FAX等で災害対策支部などに送信していた。その結果、災害対策本部と災害対策支部での情報共有に時差が生じ、災害対応に支障が生じる恐れがあった。その解決策として本部会議資料をHPで公開することで、情報共有に時差が生じないよう工夫した。

また従来は、防災情報をHP上で確認するためには、ページ内に入り込む必要があるもしくは表示がわかりにくいものであった。このことから災害発生時には、防災情報のバナーをHPのTOPに表示するとともに重要な情報を項目毎にバナーを作成することで、閲覧が容易にできるように工夫した。専用バナーを表示した項目を紹介すると災害対応の概要、道路、河川・砂防の被災状況などである。

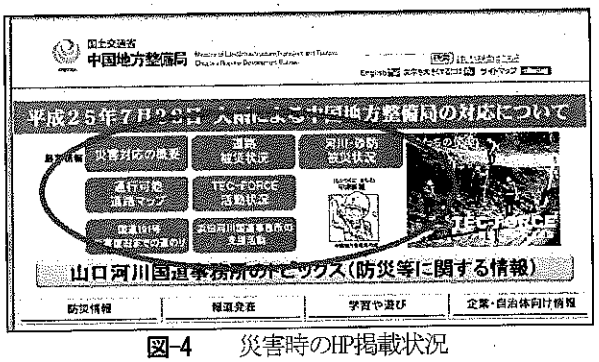


図-4 災害時のHP掲載状況

また、今までの情報発信の手段としては、記者発表(記者クラブへの投込)とHP掲載であったが、近年SNSの普及もあり国土交通省中国地方整備局のFacebookを活用した情報発信にも取り組んだ。

HPは、閲覧状況が不明、閲覧者の反応が分からないという点より受動的な広報ツールといえる。

Facebookは、閲覧者の反応がコメントなどにより分かり、またパソコンから閲覧者数が確認できることから能動的

な広報ツールといえる。平成25年度島根山口豪雨災害では、FacebookでTEC―FORCE出発式、活動報告、被災状況など12回情報発信を行っている。

その結果、総閲覧者数は約20000人、いいね！（共感）約800名、閲覧者からのコメントがあるなどの反応があった。Facebookによる情報発信状況を以下に示す。



図-5 Facebook 掲載状況

以上のようにHPとFacebookを活用し、迅速な災害対応やTEC-FORCE活動を広く伝わるよう工夫した。

b)本部会議資料の公開

従来、記者発表資料と本部会議資料を各班がそれぞれ作成を行い、本部会議資料を総括班へ、記者発表資料を広報班へ挙げていた。

その結果、資料作成が煩雑になり情報発信までに時間を要していた。そこで、情報共有ルート及び資料作成について見直しを図った。従来、2種類の資料作成を行っていたが、会議資料と記者発表資料を同一のものとすることで、資料作成を一元化し、情報発信までの時間短縮を行った。情報発信までの流れを以下に示す。

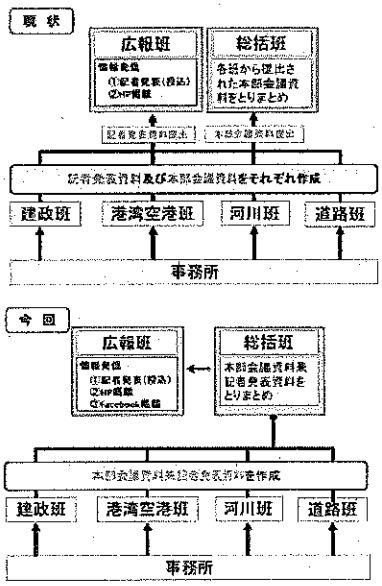


図-6 情報発信までの流れ（現状と今回）

c)復旧の履歴を公開

平成25年7月・8月島根山口豪雨災害より災害が発生してから災害復旧するまでの一連の活動を公開した。被災箇所が早期復旧がされていることを広く伝えることで、国民の不安の軽減に繋がることを期待すると同時に副次的ではあるが、国土交通省中国地方整備局のプレゼンス向上へも繋がることを期待した。



図-7 復旧履歴の公表状況

d)通行可能mapの作成

災害時は、多くの関係機関が災害対応をとることになり、迅速な災害支援を行うためには、被災地までのルートを把握する必要があるが、これまで通行可能mapとして情報発信を行っていなかったというのが現状であった。

しかし、平成25年度7月・8月島根山口豪雨災害より地方自治体と連携して、主要地方道以上を対象とした通行可能mapを公開した。その結果、関係機関の迅速な災害支援に繋がったと推察され、災害発生時の新着情報の閲覧者の半数は、通行可能mapにアクセスが集中していた。通行可能mapを以下に示す。

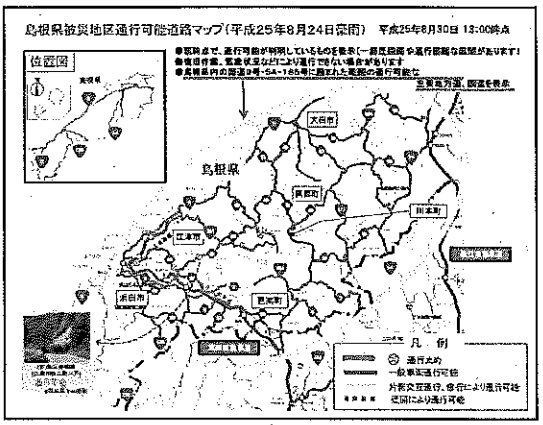


図-8 通行可能map

e)TEC-FORCE活動の公開(HP)

災害状況の情報発信をするとともに被災地への災害支援状況を情報発信することは、国民の不安を取り除き、国民の安心のために必要なものであると考える。また、

災害支援状況を広報することで、国土交通省中国地方整備局の役割を広く知ってもらう機会となりえることから積極的にTEC-FORCEの活動状況を公開した。活動状況は、前文でも説明したように災害記録班が災害支援状況を記録し、日々各班の活動状況を取りまとめた資料をHPへ掲載した。掲載資料を以下に示す。



図-9　TEC-FORCE活動位置図(左)と活動状況(右)

f)TEC-FORCE活動など積極的なプレス

TEC-FORCE隊員は、過酷な環境の中で昼夜被災状況の調査や内業を1～2週間強いられることになる。時間が経つに連れ、限られた情報の中での作業は、隊員の士気が低下する恐れがある。TEC-FORCE隊員の活動を積極的にプレスすることで、マスメディアに取り上げられる回数を増やし、各班の活動状況をTV放映等されることで、隊員の士気の向上に繋げられることを期待した。

TEC-FORCEに関する記者発表を21回行った結果、新聞への掲載やTV放映もされた。



図-10　取材状況

g)TEC-FORCEポスター及び活動ビデオの作成

TEC-FORCEの認知度が低いことから広く国民に認知してもらうためにポスターと活動ビデオを作成した。

ポスターは、人に着目しインパクトのある写真とキャッチフレーズで構成したシンプルなデザインとし、防災イベント時に展示するなど、災害後も広報活動を行った。



図-11　TEC-FORCEポスター

また、災害発生から成果の引き渡しまでを8分間で収録したTEC-FORCE活動ビデオをを作成した。

このビデオは、災害記録班が撮影した写真を用いて、災害発生から災害対策本部の設置、TEC-FORCEの出発、災害対策機械の派遣、TEC-FORCEの被災調査、地方自治体への成果引き渡しといった一連の流れを収録し、ナレーションを職員で行うなど、制作期間約3ヵ月をかけて職員が手作りで制作している。また、TEC-FORCEの活動を知って頂くため、一般の方でも気軽に閲覧できるように、国土交通省中国地方整備局のHPに掲載した。その他にも自治体へ配布を行っており、支援を受ける側のより深い理解に繋がることを期待している。

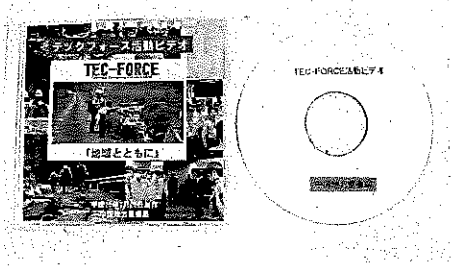


図-12　TEC-FORCE活動ビデオ

3. 広報活動における結果

(1)報道実績

平成25年7月・8月島根山口豪雨災害におけるTEC-FORCEの活動の報道が多数された。テレビ報道は、地方放送16回、全国放送1回確認でき、新聞報道は、地方紙10回、全国紙21回であった。以上の結果から積極的なプレスによって一定の効果が確認できたといえる。

4. 災害時における広報の重要性と今後の課題

災害時は、早期復旧、迅速な災害支援及び災害時における広報は、我々の責務である。なぜなら、災害時こそ国民の不安を少しでも取り除くことが重要となり、そのためには、早期復旧、災害支援はもちろんのこと、災害状況及び災害支援状況なども早く広く伝えることが求められている。従来の広報からより広く伝える工夫について冒頭より説明してきたが、災害時の広報活動としては、引き続き改善に努める必要があり、今後の課題として、通行可能mapなどの地元住民の生活に直結したり、また災害支援で重要となるような情報は、Facebookなどを活用した情報発信の仕組みを検討する必要がある。

平成25年7月・8月島根山口豪雨災害において工夫してきた広報活動が各行政機関でも活用されることを期待する。

堤外地に働く人たち等を対象とした避難対策についての報告

米原　秀将

四国地方整備局　小松島港湾・空港整備事務所　工務課　（〒773-0001　徳島県小松島市小松島町字新港 9-14）

徳島小松島港東沖洲地区は、沖州地区地先の防潮堤外に埋立造成された人工島であり、堤内とは３本の連絡路で繋がっている。また当地区の背後地である堤内は「避難困難地区」になっている。当地区は比較的津波の影響を受けやすく、港湾関係の労働者や利用者も多い。そうした人たちを大規模な地震、津波から守るために、当地区をモデルケースとし、国、県、市、利用者により構成された避難対策ワーキンググループを設置し、様々な取り組みを実施することで津波避難計画書（案）の策定を行った。

キーワード　堤外地，津波避難対策，津波避難計画書，津波避難ビル，避難行動シミュレーション

1. はじめに

徳島県に位置する徳島小松島港の位置図を図１に、徳島小松島港東沖洲地区の航空写真を図２にそれぞれ示す。

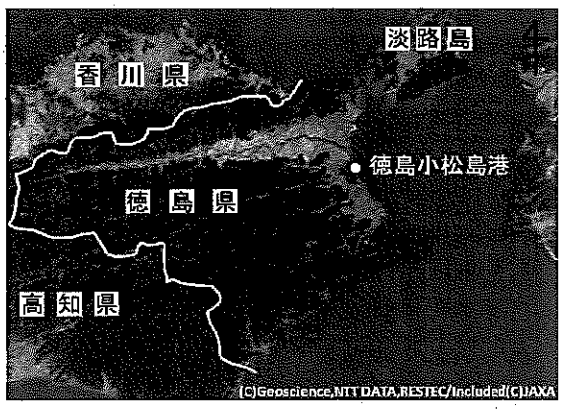


図１徳島小松島港の位置図

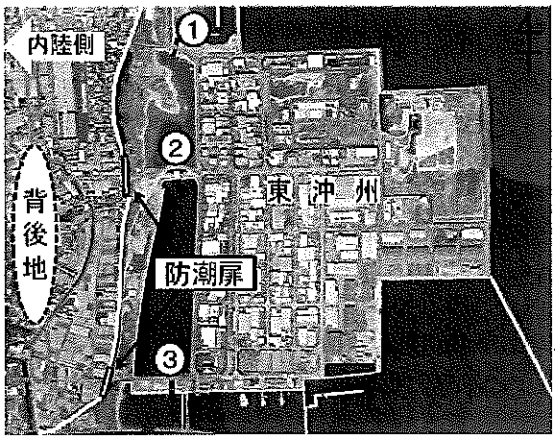


図２　徳島小松島港東沖洲地区

徳島小松島港東沖洲地区は、昭和 61 年に防潮堤外に埋立造成された人工島であり、現在は図２のように①,②,③の３本の連絡路で堤内と結ばれている。当地区では約 180 社の企業が立地し、約 3,700 人が従業している。また約 5,500 m²の休息緑地や約 400 mの岸壁などもあり、労働者とともにレクリエーションとしての利用者も多い地区となっている。

平成 24 年１月 20 日、「徳島県暫定津波浸水予測図」が公表されたが、当地区は津波による浸水範囲は部分的でありかつその浸水深は 0.5 ～ 2.0 mと浅かったため、対策はあまりとられなかった。

しかし、平成 24 年 8 月 29 日の「南海トラフ巨大地震モデル検討会（内閣府）」及び平成 24 年 10 月 31 日に徳島県により新たに公表された津波浸水予測では、浸水深、浸水範囲が拡大し、当地区のほぼ全域が津波により 1.0 ～ 3.0 m程度浸水することが想定されるため、高所への避難対策を検討する必要性が生じた。

下の図３に当地区の上の２つの予測を示す。

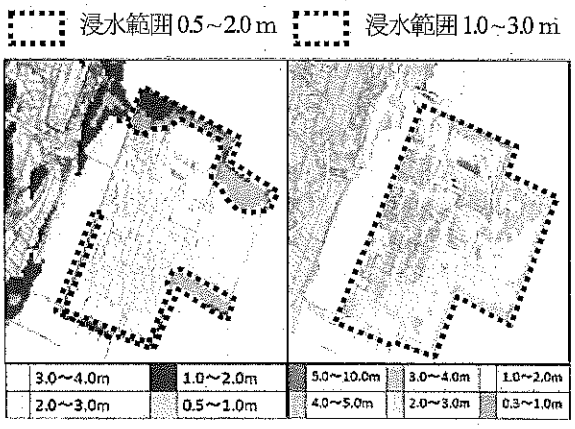


図３　東沖洲地区における津波浸水深の変化

地域全体が津波からの避難の対象となった当地区だが、実際に避難する際には以下のような問題点が考えられる。

（Ⅰ）避難時における防潮扉２本の閉鎖

連絡路３本のうち２本（連絡路②,③）には、可動式の防潮扉が設置されており、津波警報発令時に手動で閉鎖される。東日本大震災の際に当地区で津波警報が発令されたとき、実際に防潮扉によって連絡路２本が閉鎖され、残り１本の連絡路①付近で車の大渋滞が発生し、混乱が生じた。

（Ⅱ）避難するのに適さない背後地

図２において、当地区の背後地はすべて避難困難地区（津波が到達するまでに安全な場所に避難することが困難な地区）となっており、さらに当地区は内陸側に近づくほど地盤高が低くなっているため、陸側に避難しようとするのはかえって危険である。

（Ⅲ）液状化の危険度が極めて高い

当地区を含む臨海部は「徳島県南海トラフ巨大地震被害想定（第１次）」（平成25年7月）より、液状化の危険度が極めて高い地域とされているため、歩行が困難であったり避難路に障害物が生じる可能性がある。

小松島港湾・空港整備事務所では、こういった問題がある中で堤外地に働く人たち等が安全に避難できるよう、徳島県、徳島市の協力を得て「堤外地に働く人たち等を対象とした避難対策ワーキンググループ」を開催し、実行性のある津波避難計画書（案）を策定することとした。

2. 避難対策ワーキンググループ

平成 23 年に発生した東日本大震災では、港湾及び市街地は甚大な被害を受けた。これを踏まえ、交通政策審議会港湾分科会防災部会において「港湾における総合的な津波対策のあり方（中間とりまとめ）」が公表された。

これを受け四国地方整備局は、港湾における地震・津波防災対策のあり方について再検討するため、産学官の関係者で構成する「四国の港湾における地震・津波対策検討会議」を設置した。その中での中間とりまとめとして、被害を最小限に食い止めるためにはハード対策と一体となったソフト対策の推進が重要であるとされた。

上記の経緯や「南海トラフの巨大地震モデル検討会」（内閣府）による被害想定等から、避難対策を推進するために堤外地等の避難計画の必要性が生じた。

そこで、当地区は、① 堤外地 で、② 堤内との連絡路に限りがある、③ 労働人口が多い 等といった、避難対策を優先して検討しておくべき地区であったため、モデルケースとして検討対象地区に設定し「堤外地に働く人たち等を対象とした避難対策ワーキンググループ」（以下：本WG）を設置した。

本WGの位置づけと設置経緯に関する全体フローを下の図４に、本WGを開催している様子を図５に示す。

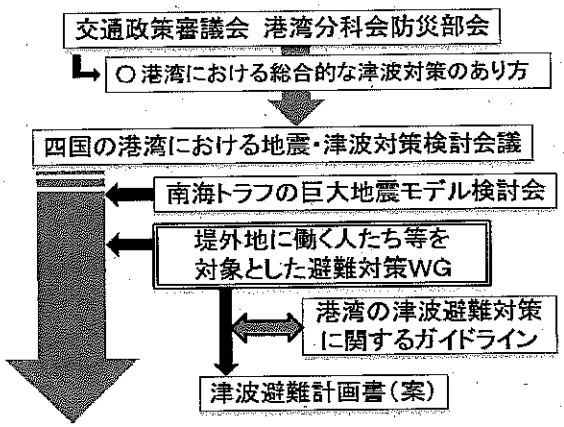


図４　避難対策WGの位置づけと全体フロー

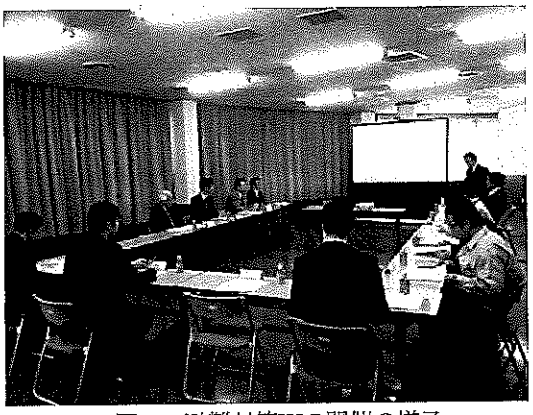


図５　避難対策WG開催の様子

小松島港湾・空港整備事務所としては、本WGのフローや方針の検討、避難計画（案）の構成、見直しやガイドラインの反映に取り組んだ。また本WGの内容や結果は、「港湾の津波避難対策に関するガイドライン」（平成25年9月 国土交通省港湾局）を策定するにあたって１つの参考資料とされた。それに伴い、津波避難計画書の項目や策定手順は当ガイドラインに基づいて決定された。

3. 津波避難計画策定に向けての取り組み

津波避難計画策定に向けて本WGの取り組んだ事項を紹介する。

(1) 避難場所の選定

東沖洲地区では、以下の４箇所の建物が津波避難ビル(※)に指定されている。

（A）徳島新聞印刷センター（３，４階、収容: 4,069 人）
（B）徳島市北部浄化センター（３階、収容: 231 人）
（C）ニチレイ四国　倉庫（３階、収容: 464 人）
（D）サテライト徳島（３階、収容: 2,590 人）

(※)津波避難ビルとは、地震発生から津波到達までの時間的猶予、地形的条件等の理由により、避難が困難と想定される地域における、緊急的・一時的な施設である。

上記の津波避難ビルは、① 3階建て以上であること、② 耐震化された建物であること、③ 24 時間避難可能であること、を条件に徳島市により指定されている。

(2) 避難ルート検証

図6に、本検証で決めた4ヶ所の避難場所への避難の暫定的な割り振りを太枠線で示す。

本検証では東沖洲地区全域を対象に、避難場所まで最短時間でかつ安全に到達できることを条件に最短の避難ルートを設定した。その際、ルート上の障害物の確認を行った。本検証において避難先の割り振りを図4のように示したが、割り振りの変更が後で生じることを前提として、暫定的に決めたものとなっている。

また東沖洲地区では、ガス工場や石油タンクが存在する。そのため、避難時には危険物所在地の把握や火災等に留意する必要がある。

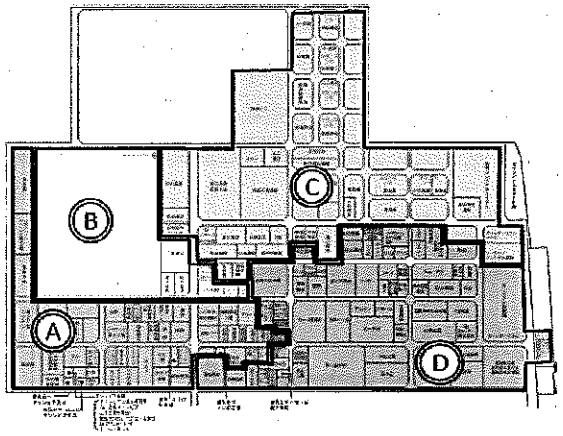


図6　避難場所の位置と避難先の割り振り

(3) 現地踏査

発災時の避難を想定し、移動における課題を見つけて改善し避難計画に反映させるために現地踏査を実施した。対象津波避難ビルを（C）ニチレイ倉庫、対象を（C）ニチレイ倉庫 に避難予定である企業とし、その企業の従業員やWG構成員など約70名が踏査を行った。

踏査の結果、徳島県津波シミュレーション第1波の到来時間が 42 分であったのに対し、踏査での避難時間は最大 17 分であった。また踏査後、参加者から以下のような意見が上がった。

① 立ち入り制限フェンスの存在が障害になる
② 路上駐車が多い
③ 交差点が多い
④ 電柱、街灯、看板の倒壊が懸念
⑤ マンホール、下水管の隆起が懸念
⑥ ドラム缶など資材が積まれている
⑦ 入口の扉が歪まないか
⑧ 避難場所の入口・階段が狭い、分かりづらい
⑨ 類似建物が多く迷う、ルート等の明示が必要

こういった問題点は、必ず徒歩で避難、第2避難施設を検討、避難方法を周知、といった対応策で対処した。

(4) アンケート

正確な従業員数、企業に問題などがあるかを調査するため、現地踏査参加企業にアンケートを実施した。アンケート内容は、最新の従業員数、避難計画策定状況、企業BCP策定状況、問題点等とした。

その結果、（C）ニチレイ倉庫 において、最新の避難者数で計算すると避難者全員を収容できない、また各企業での避難計画等の策定状況が5割程度である、という問題点を発見した。

こういった問題には、アンケート結果を反映した上で、収容人数や避難対象数、対象エリアの再調整や、避難計画書（案）の各立地企業への周知、自主防災組織等による作成支援、といった対処をした。

東沖洲地区では、事業者が自主防災組織をつくっており、 10 の分会に分けられている。また港湾荷役及び港運関連事業者の計 11 社の従業者は、常時そこで従業しておらず一時的に所在するため、分会には属していない。

特に本WG内での自主防災組織の意見として、自主防災組織の分会ごとに避難先を割り振りたいという要望があった。そのため、避難先の割り振りの再調整においては、その要望を考慮し避難先を割り振った。ただし第2分会においては、収容人数上、分会単位で避難することが困難となったため、事業所単位で避難先を割り振った。

図7に、自主防災組織の分会所在地を示す。①,⑦,⑧,⑨の分会は（A）へ、③,④,⑤,⑥,⑩の分会は（D）へ、分会に属していない地域はまとめて（C）へ割り振り、第2分会(②)は、（A），（B），（C）へ事業所ごとに割り振った。

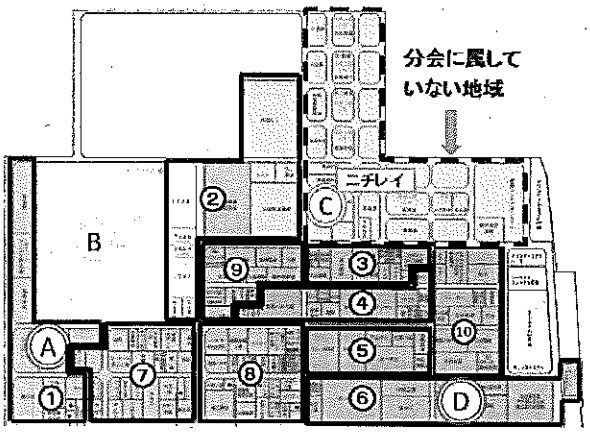


図7　津波避難ビルの位置と自主防災組織の分会所在地

4. 避難行動シミュレーション

今後東沖州地区では、実際に津波から避難することを想定して避難訓練が行われる。しかし、訓練では参加できない人がいたり、実際の避難路の障害物の有無や混雑状況など、実際には状況が異なる。このため、移動速度や地形条件等を設定できたり、実際の津波からの避難状況を想定できる、避難行動シミュレーションを実施した。本シミュレーションには以下のようなメリットがある。

① 当地区の全員が避難した場合を想定できる
② 視覚により問題点を発見できる

これにより、避難時間について定量的に分析・評価することや、実際に避難する際に起こりうるであろう問題点を発見することを目的とした。そのためにはいくつかの情報が必要となるため、まず必要となる情報を現地調査にて把握した。その情報に基づき、モデルを作成し、シミュレーションを実施した。

(1) 現地調査

シミュレーションを実施するにあたり必要となる各事業所の門扉の位置及び幅員、道路幅員、歩道の有無及び幅員等を調査した。

(2) モデルの作成

a) 避難者数と避難先

各避難ビルの避難者数の想定を以下の表１に示す。

避難者の所在地と避難先の配分は避難計画書に従い、さらに当地区の一般利用者（レクリエーションとしての当地区利用者）を加えた。

表１　各避難ビルの避難者数一覧(人)

津波避難ビル	事業所避難人数	一般利用者避難人数	計
A 新聞印刷センター	2,030	140	2,170
B 北部浄化センター	151	—	151
C ニチレイ倉庫	301	—	301
D サテライト徳島	1,787	40	1,827

b) 避難開始時間

気象庁では、地震発生３分以内に避難警報を発令するとされている。また「市町村における津波避難計画策定方針」（総務省消防庁、津波避難対策推進マニュアル検討会）においては避難開始時間は２～５分とされている。

事業所では避難の前に機械の稼働停止や火災防止等の対策を施した後に避難しなければならない。そのため、直ちに避難を開始するのは困難と想定されることから、避難開始時間を地震発生後５分に設定した。

c) 避難者の分散化

避難者は、事業所敷地内に散在するため、各事業所出入り口に分散して到達することが想定される。そのため、各事業所門扉から１秒に１名、道路上に出てくるというプログラムに設定した。これは、事業所敷地の広さ等も考慮し、300 人が従業する事業所で全員が道路上に出るまでに５分（300秒）必要であると想定した。

d) 階段・上り坂昇降速度の設定

津波から逃れるためには安全な高さである３階以上まで避難する必要がある。そのため、昇降速度を「津波避難ビル等に係るガイドライン」（平成17年6月10日、内閣府）より"0.21(m/s)"とした。

(3) シミュレーションの検討ケース

以下の表２に、本シミュレーションの検討ケースを３つ示す。ケース１、ケース２は避難計画書で検討されているケースであり、ケース３は、ケース２の避難場所に建設予定の津波避難タワーを追加した条件とした。その津波避難タワーの位置を下の図８に示す。

表２　避難行動シミュレーションの検討ケース

検討ケース	歩行速度 (m/s)	備考
1	1.0	障害物無しの場合
2	0.5	障害物による速度低下を考慮
3	0.5	避難場所に建設予定の津波避難タワーを追加した場合

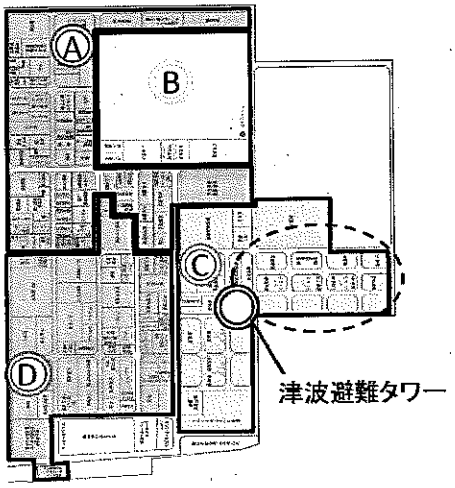


図８　新規津波避難タワーの位置

津波避難タワーの建設は、図８の点線で囲った地域の避難における安全性を向上させるためである。この地域の従業者等は（C）ニチレイ倉庫に避難予定であるが、万が一（C）ニチレイ倉庫に避難が不可能であるとき、この地域の人たちは約 700 m以上離れた（D）のニチレイ倉庫まで避難しなければならない。通常避難距離は 500 m程度までが目安とされていることから、津波避難タワーを図８の位置に設けることとなった。

津波避難タワーへの避難対象地域は、図８の点線で囲った地域だけではなく、（C）ニチレイ倉庫へ避難予定であった、分会に属していない地域全体を対象としている。これにより、もともと（C）ニチレイ倉庫に避難予定だった人たちの避難先が、（C）ニチレイ倉庫と津波避難タワーに分散されることとなる。

また立地場所の予測浸水深は 2 m以内であり、タワーの高さは 5 mに設計されている。一時的な避難施設であるため、非常食の設置などはされていない。

(4) シミュレーションの実施

各検討ケースについてシミュレーションを実施した。表３に全ケース実施後の避難所要時間のまとめを示す。

徳島県津波シミュレーション第１波の到来時間は 42 分であるため、全ケースで全避難者の避難は完了するという結果になっている。またケース２とケース３の結果を比較すると、津波避難タワーへの避難は 18 分で完了し、（C）ニチレイ倉庫 への避難が 29 分から 18 分に短縮された。

表３　各避難先の避難完了までの所要時間(分)

避難先	ケース１ (1.0m/s)	ケース２ (0.5m/s)	ケース３ (0.5m/s)
A 新聞印刷センター	24	35	35
B 北部浄化センター	15	23	23
C ニチレイ倉庫	18	29	18
D サテライト徳島	21	35	35
津波避難タワー	—	—	18

（5）シミュレーション結果考察

避難行動シミュレーションの実施により発見した問題点や改善事項を以下に挙げる。

a) 避難時における避難ビルの混雑状況と対面交錯

避難ビル到着後安全な高さまで避難する人で混雑している状況や、分会ごとの避難者が道路上で対面交錯する箇所がいくつか見られた。これにより避難者が混乱する可能性がある。その様子を以下の図９に示す。

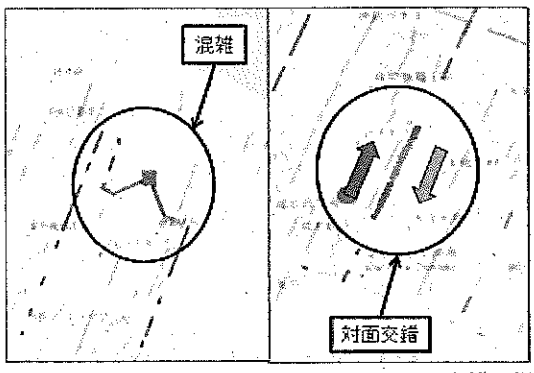


図９　シミュレーションでの混雑状況と対面交錯の様子

b) 避難時における注意点の周知

避難時の混雑や対面交錯といった状況を体験、学習できるよう避難訓練や徳島市等による勉強会に参加するよう津波避難計画書（案）に記載した。

5. 終わりに

本WGにおいて行った避難場所の選定、避難ルート検証、現地踏査、アンケート、避難行動シミュレーションによる結果を津波避難計画書（案）に反映した。そして策定された当計画書（案）は、以下の役割が期待される。

① 東沖洲地区における避難計画の基盤

当津波避難計画書（案）は、徳島小松島港東沖洲地区を対象に作成したものであり、当地区における避難計画は当計画書に基づいて作成されるため、当地区の各自主防災組織や立地企業の避難計画の策定や向上の支援となる。

② 他の地域のモデルケース

策定された当計画書（案）が、徳島県及び徳島市より各地域にモデルケースとして当計画書（案）が水平展開され、また全国に展開することも期待される。

③ 避難訓練の促進

今後、当計画書（案）をもとに地区全体の避難訓練が実施される。訓練の結果をＰＤＣＡサイクルに基づき当計画書（案）に反映することができる。

また今後の課題とその対応策としては、以下に挙げるものが考えられる。

（Ⅰ）避難時に想定される障害物等

対応策：

① 路上駐車禁止の周知

② 敷地内仮置き資材等固定の周知

（Ⅱ）新規当地区従業者、利用者への避難方法、ルート、施設の周知

対応策：

① 津波避難ビル等の看板・誘導標識等の設置

② 市や自主防災組織による定期的な勉強会や訓練

(Ⅲ)追加津波避難施設の選定

(Ⅳ)新フェリーターミナル開設に伴う避難人数の増加

対応策：

① 津波避難ビルの追加指定

② 津波避難タワーの設置

今後、津波避難計画書（案）の管理や更新は市や自主防災組織によって行われるが、国としても必要に応じて支援（情報提供）を行っていく。当地区ならびに当計画書（案）が他の地域の津波避難計画に役立つことを期待する。

有明海沿岸道路　筑後川・早津江川橋梁における ＣＩＭを活用した設計及び合意形成について

伊藤 浩和・松坂 千寛・田中 健二朗[1]

[1]九州地方整備局　福岡国道事務所　工務課　（〒813-0043 福岡県福岡市東区名島3-24-10）

本橋は，福岡県と佐賀県の筑後川下流域に架かる長大橋であり，架橋地周辺には土木遺産や産業遺産が多数存在する．それらに十分配慮するため，橋梁の圧迫感を軽減することができる単弦式の連続中路式鋼アーチ橋を採用することとした．一方で，採用した単弦式の中路鋼アーチ橋は特殊橋梁であり，構造的課題の解決が必要になること，さらには施工計画を策定する上で，河川利用者との合意形成が必要不可欠であることなど，それらの課題解決に向け，本橋にＣＩＭを導入し検討を行った．

キーワード　ＣＩＭ，三次元モデル，鋼アーチ橋，合意形成

1. ＣＩＭの概要

ＣＩＭ（Construction Information Modeling）とは，調査・設計段階から三次元モデルを導入し，施工，維持管理の各段階での三次元モデルに連携・発展させることにより，設計段階での様々な検討を可能とするとともに，一連の建設生産システムの効率化を図るものである．三次元モデルは，各段階で追加，充実化され，維持管理での効果的な活用を図ることが期待される（図-1）．

ＣＩＭには，３ＤＣＡＤ，ＶＲ（バーチャルリアリティー），模型，パース図など三次元モデルで構成される様々なツールへ展開することが可能である．

九州地方整備局においてもＣＩＭ導入に向けた制度，基準及び課題の整理を目的に「九州地方ＣＩＭ導入検討会（委員長：熊本大学 小林教授）」が平成２５年７月に設立され，ＣＩＭ普及への検討を進めている．

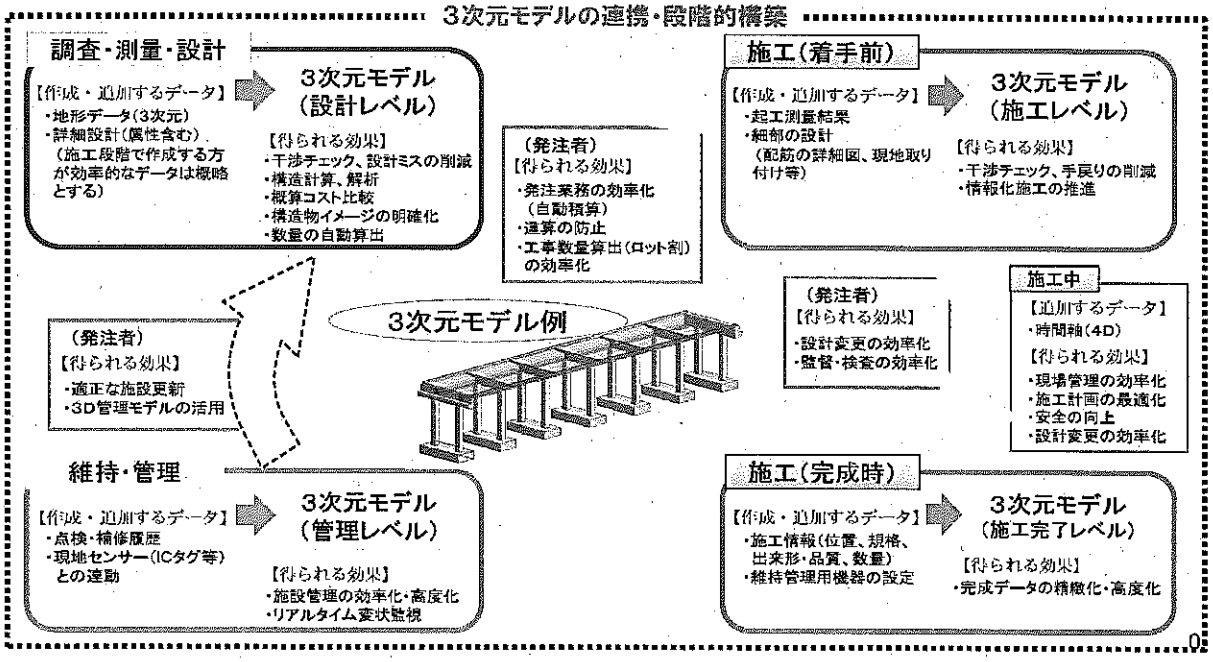


図-1　ＣＩＭの概念図

2. ＣＩＭ導入の背景

筑後川橋梁及び早津江川橋梁が計画される筑後川下流域は広大な筑後平野に位置し，筑後川には土木学会選奨土木遺産であるデ・レイケ導流堤や，国指定重要文化財である昇開橋があり，早津江川には世界遺産暫定リストに登録されている三重津海軍所跡が存在する．

このため両橋の設計に際しては，これらの周辺風景や歴史遺産に十分配慮する必要があった．

両橋梁で検討することになった中路鋼アーチ橋のアーチリブ（主構）は，中央分離帯に配置する単弦構造と，車道の両外側に配置する複弦構造がある．このアーチリブは橋梁全体の印象に影響を与えるため，その形状について検討を行った．検討の結果，外部景観や内部景観においてすっきりとした印象があり，橋脚幅を小さくすることで歴史遺産への圧迫感を軽減できる単弦式のアーチリブを採用するに至った（図-2，図-3）．

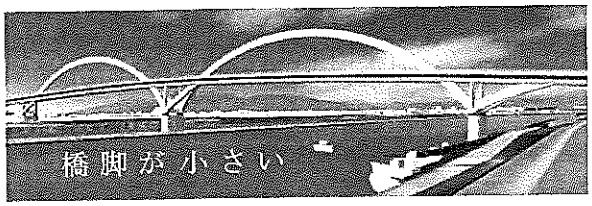


図-2　単弦式（外部景観）

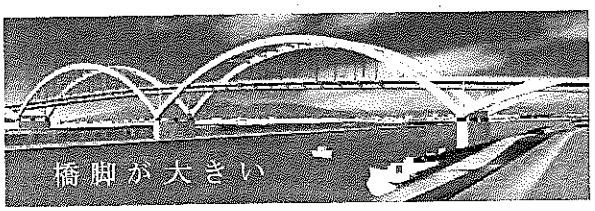


図-3　複弦式（外部景観）

一方，構造面において，単弦式の中路鋼アーチ橋は，桁内でアーチリブが断面変化することに加え，アーチスプリング（桁より下部のアーチリブ）が二股になることから奥行き（Z軸）の曲線形状も加味して構造検討する必要があった（図-4）．

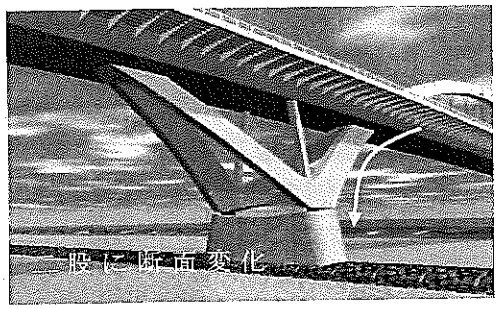


図-4 アーチリブ形状

従来の二次元における図面（図-5）では「①煩雑な板組の製作性」，「②維持管理の確実性」を把握することが不可能であるため，３ＤＣＡＤにより作成した三次元モデルを主幹として多岐にわたり検討を可能とするＣＩＭを本橋に導入し，課題解決を行った．

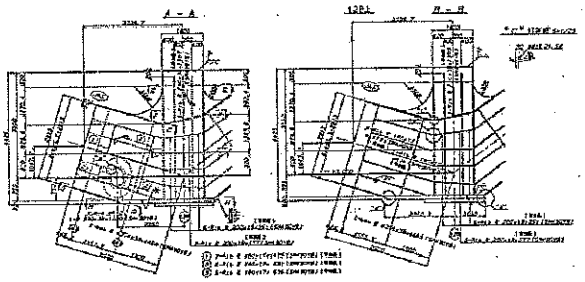


図-5　従来図（二次元）

3. ＣＩＭを活用した課題の解決

(1) 煩雑な板組の製作性

主要接合部であるアーチリブと補剛桁の隅角部において，板組構造を明確に把握するため，３ＤＣＡＤにより板組形状の素案を作成した（図-6）．

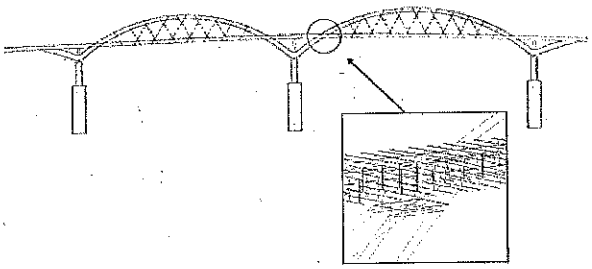


図-6　板組形状の素案

その素案を基に現場での組み立てや溶接手順の実現性が可能か，板組の製作手順を３ＤＣＡＤにてステップ毎に再現し，検証を行った（図-7）．並行して３ＤＣＡＤから模型を作成し，板組製作性の可否や板組干渉の有無について物理的に確認し検証した（写真-1）．

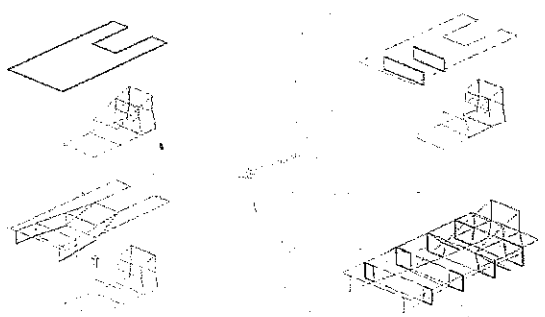


図-7 板組モデルの製作手順検証

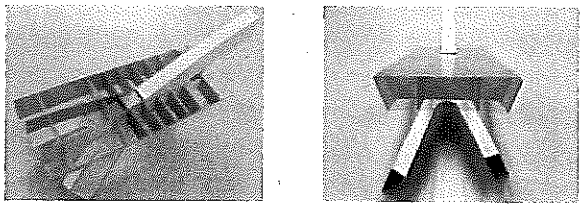


写真-1 板組模型

板組の製作手順による検証の結果，図-8 に示すように補剛桁の中ウェブ（青）とアーチリブのウェブ（赤線）及び補剛桁の下フランジ（黄色）が一つの溶接線上に重なることが確認でき，溶接部の品質確保に問題があることが明らかとなった．それに対して図-9 の改善案は，補剛桁中ウェブ（青）とアーチリブのウェブ（赤線）の一部を一枚板にすることで，溶接箇所を少なくし，品質向上や製作性の簡略化を図る構造とした．

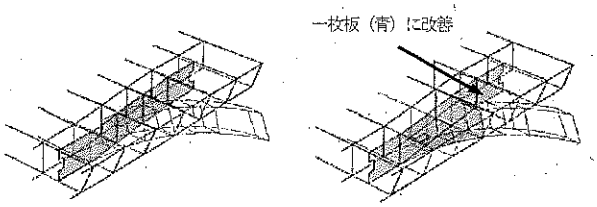


図-8 当初案　　図-9 改善案

(2) 維持管理の確実性

昨今，叫び続けられているインフラの老朽化対策に備え，また本橋が長大橋でもあることから，確実な維持管理が必要である．そのためには物理的に点検経路を確保した維持管理計画とする必要がある．

そこで３ＤＣＡＤから本橋を全体模型化し，検査路の配置計画を行い検証した（写真-2）．さらには板組が煩雑となる主要接合部においては，アクリル板等の透明板を用いて，部分模型を作製し，それに点検員（ミニチュア）を配置することで維持管理スペースを立体的に確認した（写真-3）．

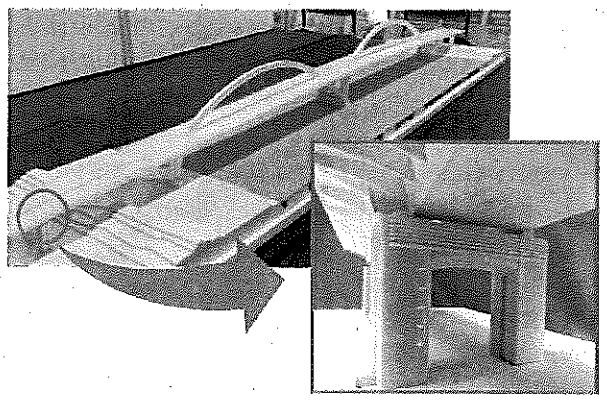


写真-2 模型化

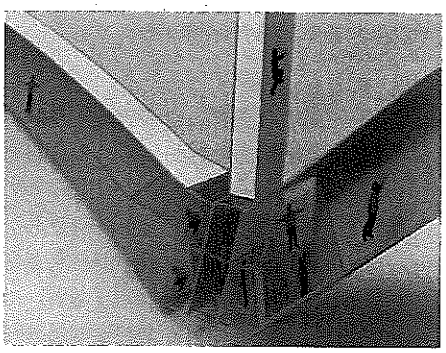


写真-3　点検員配置

標準的な箱桁橋や鈑桁橋など板が並行に組み立てられる場合，従来の二次元における図面で，板の離隔は寸法によって把握することができる．本橋の主要接合部のような煩雑な板組形状の場合，板が傾斜し各部材の位置関係やマンホールの有無などを考慮した点検スペースをリアルに検証するのは不可能である．

そこで３ＤＣＡＤだからこそ作り出すことが出来る模型により，実際に手に持って，立体構造を把握し，維持管理のスペースを明確に検証することが可能となった．

部分模型による検証の結果，煩雑な板組形状の中で補強部材が点検経路の妨げとなっていることが把握でき，その補強部材の配列を千鳥配置にすることで，点検空間を確保する構造とした（写真-4，写真-5）．

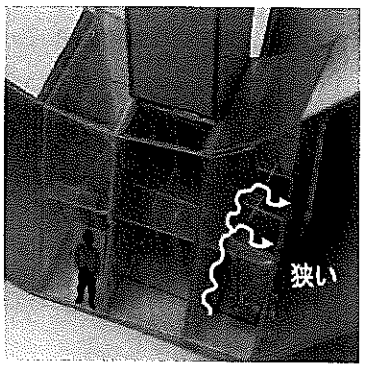


写真-4　当初案

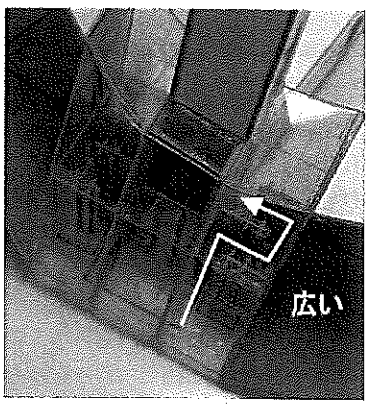


写真-5　改善案

4. 多方面におけるＣＩＭの活用例

本橋は河川を跨ぐ長大橋であるため，河川内の施工に関しては，河川利用者と円滑に合意形成を図っていく必要があった．このため漁業や船舶航行への支障を避けるため，必要な航路幅は確保した上で，河川内に工作物（ベント）の設置を行う架設方法「クローラクレーン・ベント架設＋送り出し架設」への理解が必要であった．

その案の説明にあたっては，二次元（従来）の架設要領図のみの提示では，河川利用者に対して正確な情報を与えることができず，河川内のベント設置に対して，理解が得られない可能性があった．

そこで施工段階のパース図を用いて説明することで，正確な説明を果たすことができ，架設工法の理解を促すことに繋がり，結果として漁協関係者をはじめとする河川利用者に了解を得ることができた．

このように３ＤＣＡＤの主幹データを更新することによって，構造検討で作製した模型やパース図を協議資料で活用するなどＣＩＭには幅広い効果があるといえる（図-10）．

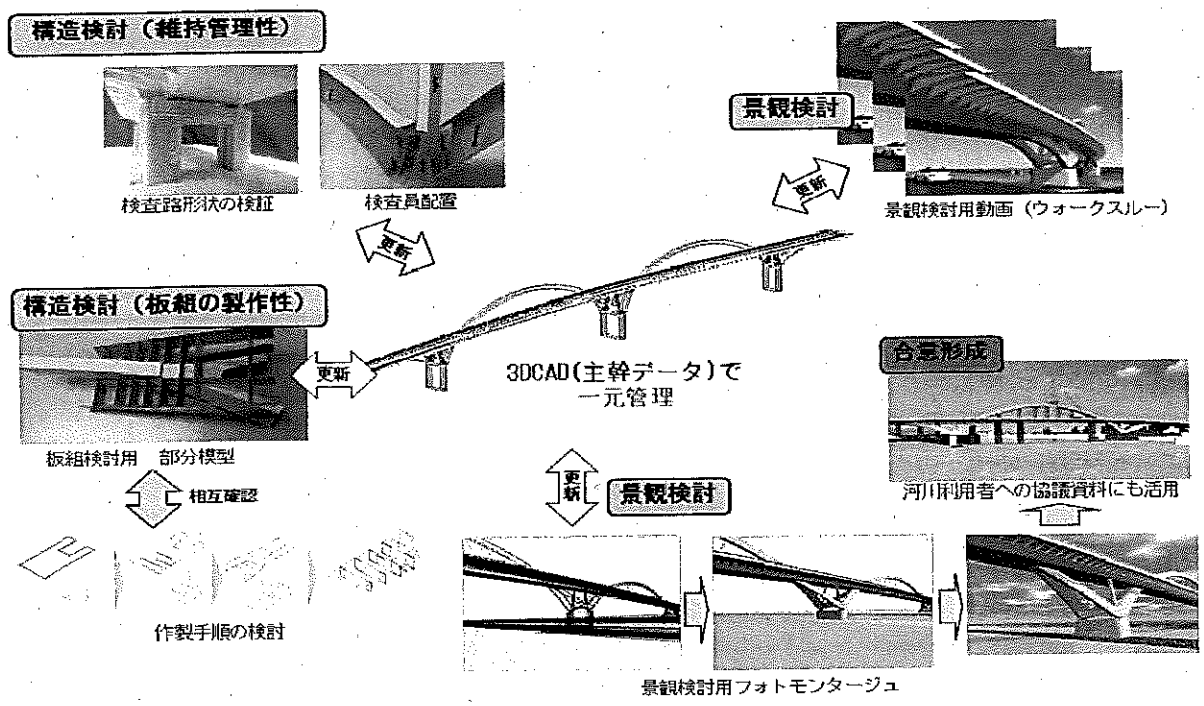


図-10　本橋におけるＣＩＭの活用イメージ

5. おわりに

当該地区は周辺環境や点在する歴史遺産へ配慮する必要がある中，採用することになった単弦式の中路鋼アーチ橋は特殊な構造形状であったため，隅角部の板組製作性や維持管理性の検討は従来の二次元である図面では不可能であった．

そこで３ＤＣＡＤ用いたＣＩＭを活用した結果，煩雑な板組構造を分析でき，施工時に手戻りがない設計とし，また今後の維持管理の確実性も立証することが可能となった．

さらに可視化により景観検討はもちろん，構造検討で作製した３ＤＣＡＤを基に施工ステップなど説明資料の作成が可能となり，円滑に協議を整うことができた．

このようにＣＩＭは様々な場面で効果を発現することが可能であることから，今後の施工段階や維持管理段階において，データの更新及び追加を行い，効果的な活用を図るとともに，視覚化された資料により，円滑な協議遂行や広報ツールなど多岐にわたり活用できるものと期待する．

今回の特殊橋梁におけるＣＩＭを活用した事例が，今後，同種設計検討の参考や技術向上に向けて有用となれば幸いである．

参考文献

1)　有明海沿岸道路　筑後川・早津江川橋梁設計検討委員会：中間報告（2012.1），推奨橋種の選定（2012.6）

「事業マネジメントの見える化」について

尾澤卓思[1]、神長恒範、宮城一正、仲村将成[2]

[1] 沖縄総合事務局　(〒900-0006 沖縄県那覇市おもろまち2-1-1)

[2] 沖縄総合事務局 開発建設部　建設行政課　(〒900-0006 沖縄県那覇市おもろまち2-1-1)

「社会資本整備事業の見える化」として、進捗状況を分かりやすく示す、見通しを示す、情報を共有することができるよう道路、ダム、港湾、空港、公園、営繕、防災、その他の８つの分野で事業計画・工程表を作成しホームページで公表した。さらに「事業マネジメントの見える化」として、事業評価内容や現場の状況写真（時系列）を加え、ワンストップで見ることができるホームページ「うちな～インフラ情報館」を開設した。

キーワード　事業計画，工程表、事業評価、ワンストップ

１．はじめに

沖縄の振興のためには、沖縄21世紀ビジョン基本計画に基づき、沖縄の優位性を生かした自立型経済の発展及び豊かな住民生活の実現が重要であり、これを支える社会資本整備を着実に進めていく必要がある。

今年度は、那覇空港滑走路増設事業を本格的に進め、那覇北道路・若狭港町線を新規事業として着手するなど、これまでの様々な事業に加え、プロジェクトマネジメントを一層強化する必要がある。

ところで、沖縄の振興・発展の戦略や道筋等を立てるには、下部構造の社会資本整備と合わせて上部構造の社会・経済活動等が上手く連携していく必要があり、情報の共有は必須である。

例えば、沖縄県が目標に掲げている入域観光客１千万人の時代を迎えるにあたり観光施設などの誘致において空港、港湾、道路、公園などの社会資本整備と連携することが必要不可欠となることから、事業展開等の情報の共有を十分に図らなければならない。

また、社会資本整備は、社会生活の基盤づくりとして、常に県民に広く知っていただくように努めなければならない。

こうしたことから、社会資本整備事業の「見える化」として、社会資本整備の進捗状況を「わかりやすく示す」、「見通しを示す」、「情報を共有する」こととした。基本的にすべての事業について、事業内容を示した事業計画と目標、進捗状況、見通し等を記載した工程表を作成し、平成26年5月22日にホームページで公表した。

今後、各事業は年度毎に達成状況を確認し目標を設定するとともに、進捗管理を徹底し、工期の短縮に努めることとしている。

また、「事業マネジメントの見える化」として、事業評価内容や現場の状況写真（時系列）を加え、ワンストップで見ることができるホームページ「うちな～インフラ情報館」を平成26年9月18日に開設した。

２．事業計画・工程表

(1)基本的な考え方

対象事業を道路、ダム、港湾、空港、公園、営繕、防災、その他の8つの分野でとりまとめ、事業計画・工程表を公表した。ハード事業のみならず、ソフト施策も対象としている。

事業計画・工程表は、事業内容、進捗状況及びそれに基づく見通しを示すマネジメントツールである。今回計画として定めたものではなく、既存の計画のもと見通しを含む現状を示し、情報共有共通ツールとして、また、事業者の進捗管理のツールとして利用するものである。

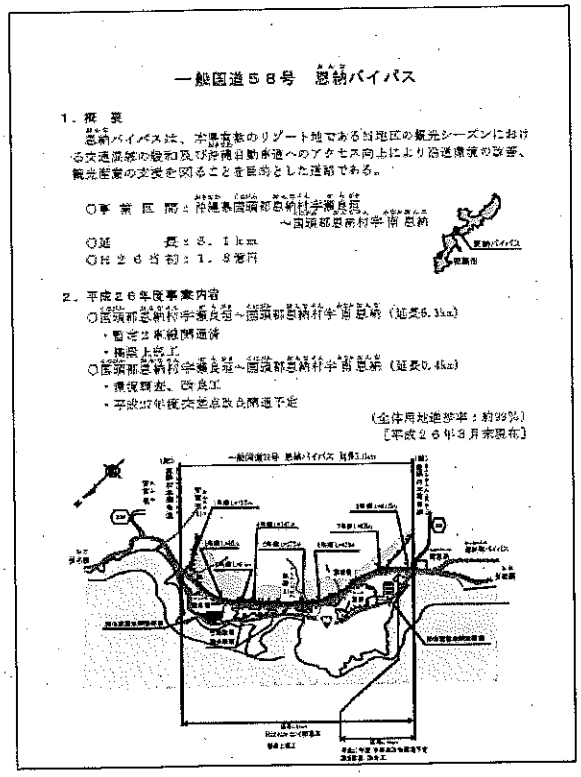
このため、誤解無きよう留意事項を明記している。「事業等の見通しは、標準的な工程を想定した場合の目安。今後の予算状況や施工上の条件変化等により変更の可能性がある。（例）用地取得時における土地所有者調査・関係者調整の長期化、地元調整や環境配慮等のための工程調整、関係機関・隣接事業との調整、など」

ソフト施策については、防災とその他の分野があり、防災については、沖縄防災連絡会や南海トラフ巨大地震の推進、開発建設部の防災訓練、災害協定の推進の取り組み状況を記載している。また、その他については、不発弾等対策や地域支援、開発建設部のコンプラ

イアンス推進の取り組み状況を記載している。

⑵事業計画

事業計画は、事業の概要、平成 26 年度の事業内容、位置図、ポンチ図や写真等を記載した。従来から道路事業で使用していた様式を活用して、全事業作成した。工程表の事業内容を詳細に説明している。（図－1）

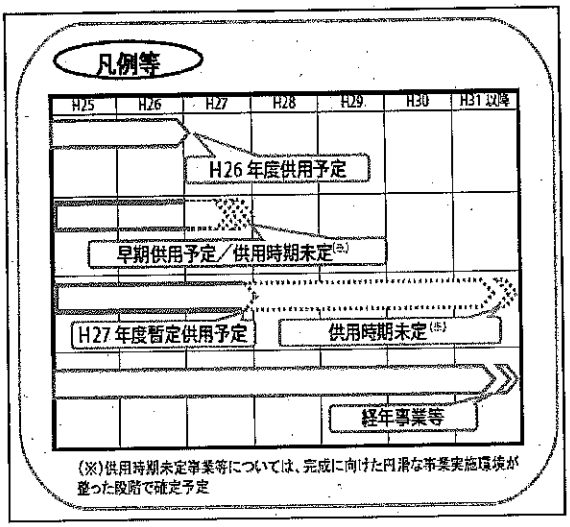


図－1　事業計画（恩納バイパス）

⑶工程表

原則１行に１事業、さらに事業によっては、工区や施設毎に詳細に工程を表示した。内容は、平成 25 年度の成果等（前年度の成果）、平成 26 年度の成果目標等（当該年度の成果目標）、工程図（バーチャート）、備考（これまでの経緯や留意事項など参考情報）とした。

工程図（バーチャート）は、平成 26 年度から 5 年を中心に凡例のように供用時期を明確にしたもの、早期供用予定だが供用時期未定のもの、暫定供用を示せるもの、供用時期未定のもの、経年的に行うものなどわかりやすく示した。（図－2）



図－2　凡例

具体的に例示をあげて説明する。

①標準型（１行に１事業）

豊見城東道路は、平成26年度に完成予定であるためH26年度まで実線矢印を記載。（図－3）

②プロジェクト型（工区（エリア）毎）

那覇空港滑走路増設事業（図－4）においては、６つの区間に分けて工事を行うことから、工区毎に仮桟橋や護岸、埋立て工事など具体的な工種の工程を記載している。

また、公園事業も同様で、例えば首里城地区（図－5）においては御内原地区や北城郭地区等エリア毎に黄金御殿等施設毎に工程を記載している。

プロジェクト型の事業は、構成される要素毎に工程を記載。

③複数事業型（施設毎）

那覇港（図－6）においては、那覇港泊ふ頭地区旅客船ターミナル整備事業及びそれに関連する那覇港浦添ふ頭地区臨港道路（浦添線）整備事業等複数事業があり、事業毎に工程を記載し、那覇港の全体がわかるようにしている。

④経年型

道路維持修繕事業や開発建設部コンプライアンス等については、経年的におこなわれるもので、H31以降まで実線の矢印で示し、年度毎に実施する事項を記載。（図－7）

①道路

区分	事業名	H25年度の成果等	H26年度の成果目標等	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31以降	備考
那覇空港自動車道	一般国道506号 豊見城東道路 L=5.2km (豊見城IC～豊見城・名嘉地IC)	・豊見城IC～南風原南IC L=3.5km(4/4) 平成26年3月31日 開通済 ・(京原平地区)舗装工、設備工、付帯工 ・豊見城高架橋上部工	・豊見城・名嘉地IC～豊見城IC L=2.7km(4/4) 平成26年度 開通予定 ・(上田地区)舗装工、付帯工	(事業中) 工事推進							・豊見城IC～南風原南IC L=3.5km(2/4) H15.4.26開通済 ・豊見城・名嘉地IC～豊見城IC L=2.7km(2/4) H20.2.22開通済 ・豊見城IC～南風原南IC L=3.5km(4/4) H26.3.31開通済

図－3　豊見城東道路工程表

④空港

区分	事業名	H25年度の成果等	H26年度の成果目標等	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31以降	備考
那覇空港	那覇空港滑走路増設事業	・環境影響評価・公有水面埋立手続き等終了 ・現地着手済み	・護岸工事の促進	護岸工事 (Ⅰ工区) 埋立工事 仮設桟橋 護岸工事 (Ⅱ工区) 埋立工事							H31/12工事完了予定 H31年度末供用開始予定 事業進捗のため、全体を5工区に分割して工事を実施 (護岸が概成した工区から順次埋立を開始) また、環境影響評価(環境アセス)に基づく環境保全措置として、サンゴ類の移植等を実施。

図－4　那覇空港工程表（一部抜粋（Ⅰ、Ⅱ工区のみ））

⑤公園

区分	事業名	H25年度の成果等	H26年度の成果目標等	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31以降	備考
沖縄記念公園	首里城地区 計画面積4.7ha 供用面積2.9ha	○平成25年度の首里城地区入園者数は295万人。 ○黄金御殿・寄満・近習詰所、奥書院の復元供用(1月)、奥書院庭園完成(3月)	・公園の適切な運営維持管理の実施 ・御内原地区復元整備の実施 ・北殿御地区復元整備の実施 ・廃藩門跡塗装塗り替え工事の実施	(御内原地区復元整備) 黄金御殿 寄満・近習詰所 奥書院復元整備 女官居室・世誇殿復元整備 金蔵周辺 復元整備							H4.11首里城公園開園 正殿の復元 H15.10京の内復元 H19.4寄満・鎖之間復元 H20.8番所・鎖之間庭園復元 H26.3黄金御殿・寄満・近習詰所、奥書院復元 H26.3奥書院庭園復元

図－5　首里城地区工程表（一部抜粋（御内原地区のみ））

③港湾

区分	事業名	H25年度の成果等	H26年度の成果目標等	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31以降	備考
那覇港	那覇地区旅客船ターミナル整備事業 臨港道路浦添線 (那覇港浦添ふ頭地区)	・橋架下部工 ・橋架上部工	・橋架上部工 ・埋立部舗装工	(事業中) 工事推進							平成20年代後半完成予定 ※完成に向け大幅な事業実施環境が整った段階で確定予定
	那覇港泊ふ頭地区旅客船ターミナル整備事業 臨港道路若狭2号線 岸壁(-9m) L=340m (那覇港泊ふ頭地区)	・道路上部工、擁壁工促進	・道路上部工、橋架付属物工促進	道路(事業中)工事推進							平成21年9月より暫定供用開始 平成26年度内 臨港道路若狭2号線供用開始 平成28年度完成予定
		・岸壁地盤改良工促進	・岸壁ジャケ外製作・据付	岸壁(事業中) 工事推進							

図－6 那覇港事業（一部抜粋（旅客船ターミナル、臨港道路（浦添線）のみ））

①道路

区分	事業名	H25年度の成果等	H26年度の成果目標等	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31以降	備考
維持修繕事業	維持作業	巡回、清掃、除草、剪定等作業	巡回、清掃、除草、剪定等作業	巡回、清掃、除草、剪定等作業							

⑫その他

区分	事業名	H25年度の成果等	H26年度の成果目標等	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31以降	備考
その他	沖縄総合事務局開発建設部コンプライアンス	平成25年度沖縄総合事務局開発建設部コンプライアンス推進計画を策定。 ・第1回コンプライアンスアドバイザリー委員会開催 ・コンプライアンス情報の提供(随時) ・コンプライアンスミーティングの実施 ・第2回コンプライアンスアドバイザリー委員会開催	平成26年度沖縄総合事務局開発建設部コンプライアンス推進計画を策定。 ・コンプライアンスアドバイザリー委員会開催 ・コンプライアンス情報の提供(随時) ・コンプライアンスミーティングの実施	年度版コンプライアンス推進計画策定							毎年度、コンプライアンス推進計画を策定し、着実に取組を実施。

図－7　道路・その他工程表（一部抜粋（維持作業、コンプライアンスのみ））

(4) 今後の進め方

平成 27 年度以降は、前年度の成果目標達成状況等を検証し、目標以上達成、概ね達成・・等で評価を行う。

①年度の成果目標が達成している場合については、次年度の目標を設定すると共に事業全体工期の短縮についても検討を行う。

②前年度の成果目標が達成出来なかった場合については、要因を検証した上で、次年度以降の目標を見直しするなどして、当初想定工期内に収まるための検討等を行う。

なお、工程等に変更が生じた場合は、随時見直しを行い公表する。

3．活用

以下の（1）～（3）により、社会資本整備事業のみならず、様々な事業との調整や事業効果の把握に活用でき、さらには、沖縄 21 世紀ビジョン基本計画の PDCA にも活用することができる。

(1)俯瞰的事業把握

基本的にすべての事業の工程表を作成することにより、個々にバラバラであった情報がまとまり、全体の見通しが俯瞰的に見える（ビジョン化する）ようになった。

地方自治体などの社会資本整備事業も同様に工程表を作成すれば、一層ビジョンの達成状況が明確になる。

(2)具体的な事業調整

地方自治体など他の機関における社会資本整備事業との進度調整を図る上で役に立つのみならず、社会・経済活動との事業調整で役立つ。社会資本整備事業は、社会・経済活動の前提条件となっていることが多いため、進捗状況及び見通しを具体的に示さなければ社会・経済活動との調整が困難になり、今後の展開において不確実性が高まることになる。

(3)効果説明

事業効果と事業計画・工程表をセットで示すことが、最も重要である。工程が進み、暫定供用など節目で事業効果の発現があれば、公表していく。事業の進捗状況（アウトプット）だけでなく、効果の発現（アウトカム）を工程と結びつける。事業評価時の効果などは、事業評価のみならず事業計画・工程表と併せて活用を図ることができる。（図－8）



図－8　事業効果イメージ

4．事業マネージメントの見える化

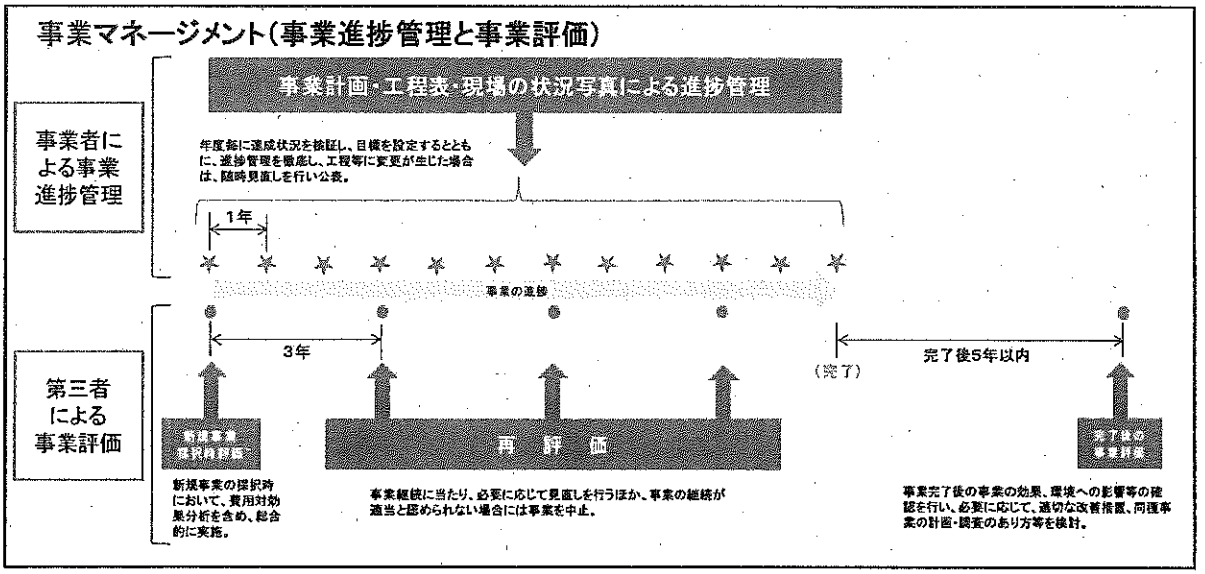
長期間にわたる公共事業では、中長期的観点から社会経済情勢等の変化を踏まえ、事業の必要性、効率性、効果等に関して、第三者（事業評価監視委員会）に妥当性の評価をしてもらいながら、事業を実施している。また事業者は常々現場における状況等の変化に応じた事業の推進に努めており、進捗管理の徹底を図っている。

沖縄総合事務局開発建設部では、このように事業を取り巻く状況の変化に適切に対応しながら事業を実施しており、その姿を見える化した。

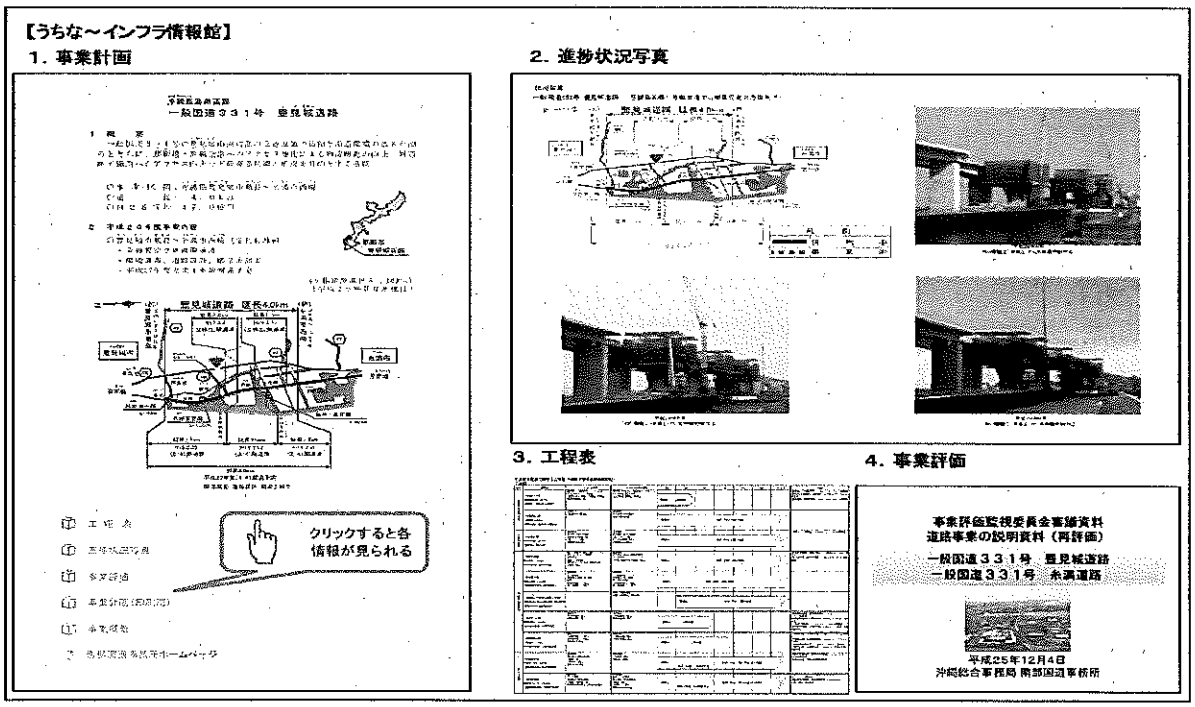
つまり、事業者が常々事業計画・工程表等により行っている進捗管理と、第三者により新規事業着手、事業中の社会状況等の変化、事業終了後に対して事業の妥当性を検証してもらう事業評価とを組み合わせて示し、事業マネジメントの見える化を図った。（図－9）

具体的には、「うちな～インフラ情報館」をホームページにおいて開設し、事業計画・工程表に、事業評価内容や進捗管理の充実につながる現場の状況写真（時系列）等を加え、ワンストップで事業のプロセスを見ることができるようにした。

（図－10）



図－９　事業マネージメント



図－１０　うちな～インフラ情報館

(1)　進捗状況写真

進捗状況写真は事業が進んでいる様子を基本的に定点カメラ撮影の形で示し、コマ送りにより視覚的に事業の進み具合を表現している。

(2)　事業評価

公共事業の効率性及びその実施過程の透明性の一層の向上を図るため、事業評価（新規事業採択評価、事業の再評価、事業完了後の事後評価）を第三者からなる「事業評価監視委員会」において、事業を巡る社会経済情勢等の変化や費用対効果分析等の事業の必要性等を審議している。

①事業の必要性等

・事業を巡る社会経済情勢等の変化

事業採択の際の前提となっている需要の見込みや地元情勢の変化等事業を巡る社会経済情勢等の変化状況等。
・事業の投資効果
事業の投資効果やその変化。（費用対効果分析）
・事業の進捗状況
再評価を実施する事業の進捗率、残事業の内容等。
②事業の進捗の見込み
事業の実施のめど、進捗の見通し等。
③コスト縮減や代替案立案等の可能性
技術の進展に伴う新工法の採用等による新たなコスト縮減の可能性や事業手法、施設規模等の見直しの可能性。
その事業評価資料も一体的に見えるようにした。

(3) その他

事業毎に作成している事業概要など、事業の効果に関することや管理の状況などの情報を基本的にここから全てワンストップで見えるようにしている。
例えばダム管理では、ダムの貯水状況や洪水調節効果、ダムフォローアップなどダムを管理する上で重要な項目についてはここで見えるようにしている。

5．今後の展開

今後は、テーマ毎、プロジェクト毎、地域毎など目的に応じてとりまとめ、進捗状況（アウトプット）のみならず効果の発現（アウトカム）も含めて公表していくことが望まれる。
その際には、関係する他事業や事業調整の必要な事業については、できるだけ同趣旨の事業計画・工程表を作成し、併せて公表してもらうことが望ましい。こうしたマネジメントツールを関係者が共有することで、具体的かつ不確実性の少ない事業展開が可能となり、複数の関係者による協議会などで有効なツールになる。

また、「うちな～インフラ情報館」は、事業計画・工程表や現場の状況写真など事業に関する幅広い情報を将来的に蓄積することにより、アーカイブにも資することも目的としている。
なお、沖縄県において、那覇空港滑走路増設の完成及び、東京オリンピックが開催される 2020 年は、インフラ整備の一つの節目であり、これを目標に事業計画・工程表等により俯瞰的に、その姿を県民をはじめ関係者に示していきたい。

6．おわりに

事業計画・工程表を作成し、公表したことにより、開発建設部の今後の事業展開が格段にわかりやすくなったと言える。なお、これまで各事業バラバラであったものを各事業担当者が共同で作業を行うことにより、部内の情報共有が図られた。
また、このマネジメントツールは関係機関等と情報の共有化や連携を可能にするものであることから、これを作ったことは大変有意義であった。
沖縄の振興において観光振興は最も重要な事項であり、増加する観光客を受け入れ可能な社会の構築が必要である。このため、観光力の向上にインフラ能力の向上は不可欠であり、このマネジメントツールは重要なツールとなる。
さらに、沖縄県では平成 33 年度入域観光客数 1000 万人の達成に向けて、受け入れ態勢の構築等のロードマップを作成する予定があり、このためにも必要である。
なお、これらの活用により、観光施策や活動等に資する、また、連携・協同を可能にするインフラ情報を提供している。
見える化は行政マネジメントの基本となるであろう。

※参考文献　しまたてぃ　N069　P30～P32　社会資本整備事業の見える化～事業計画・工程表～　尾澤卓思