平成27年度　国土交通省国土技術研究会

論 文 集

平成27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	サンゴ礫混じり土のせん断特性の評価手法に関する検討	国立研究開発法人　港湾空港技術研究所　地盤研究領域	金子　崇	1
2	観測データに基づいた維持管理の効率化・的確化へ向けて－清掃作業への適用を始める－	関東地方整備局　大宮国道事務所　浦和出張所	上島　雅志	5
3	耐候性鋼橋の適用環境および外観性状によるさび状態の評価に関する研究	国土技術政策総合研究所　道路構造物研究部　橋梁研究室	岡田　紗也加	11
4	道路維持管理における工夫事例	東北地方整備局　湯沢河川国道事務所湯沢国道維持出張所	石塚　未来	17
5	国道19号鳥居トンネル大規模修繕	中部地方整備局　飯田国道事務所　木曽維持出張所	松井　俊和	21
6	河川管理施設における遠隔監視制御システムの有効性について	北陸地方整備局　信濃川河川事務所施設管理課	畑山　啓	27
7	堤防等点検技術の向上について（研修用堤防の整備）	近畿地方整備局　近畿技術事務所　品質調査課	塩谷　晋三	33
8	橋梁の太径ねじ部材における疲労損傷原因の推定と対策	本州四国連絡高速道路株式会社　しまなみ今治管理センター　橋梁維持課	小河　正次	38
9	CCTVカメラと遠赤外線カメラを用いた画像処理型流速測定法の実用化	九州地方整備局　河川部　河川環境課	梅田　真吾	43
10	無人飛行体（UAV）を用いた護岸の健全度評価	中国地方整備局　太田川河川事務所管理第一課	坂本　和雄	47
11	北海道型SMAの施工技術について	国立研究開発法人　土木研究所　寒地土木研究所　寒地道路保全チーム	田中　俊輔	53
12	一般国道11号吉野川大橋鋼床版亀裂補修の経過報告(四国の直轄として初めての取り組み)	四国地方整備局　徳島河川国道事務所徳島国道出張所	長楽　英晴	59
13	完成後30年経過したダムの放流管内の塗装について	沖縄総合事務局　北部ダム統合管理事務所　安波ダム管理支所	川田　文彦	63

自由課題　一般部門＜安全・安心Ⅱ＞

NO	課題名	所属	発表者	頁
1	コンテナクレーンの耐震化技術及び維持管理技術の向上による国際競争力強化の研究開発	一般社団法人　港湾荷役機械システム協会	増田　勝人	69
2	地震に強い港湾を低コストで実現するための港湾計画上の工夫に関する提案	国立研究開発法人　港湾空港技術研究所　地震防災研究領域	野津　厚	75
3	ヘリ画像処理システムの開発	国土地理院　基本図情報部　地図情報技術開発室	宮地　邦英	81
4	樋門函体下の空洞が周辺堤防の浸透安全性へ与える影響の検討	国立研究開発法人　土木研究所　地質・地盤研究グループ　土質・振動チーム	吉田　直人	87
5	災害に強い組織づくり －災害派遣制度「県土整備部災害派遣チーム」の構築	群馬県　県土整備部　建設企画課	久保田　恒太	92
6	大規模災害時における港湾物流機能の確保に向けた取り組み～東北における各港湾の広域連携について～	東北地方整備局　港湾空港部　港湾空港防災・危機管理課	山谷　早苗	96
7	吹雪時の冬期道路環境が利用者の走行ルート選定に与える影響について	国立研究開発法人　土木研究所　寒地土木研究所　寒地道路研究グループ　雪氷チーム	原田　裕介	100
8	北陸の急流河川における破堤事例の整理（その2）	北陸地方整備局　千曲川河川事務所　工務課	小林　崇	106
9	館の橋におけるコンクリート床版の損傷から復旧まで	大仙市　建設部　道路河川課	村木　圭太	112
10	道東道におけるドクターヘリのダイレクト着陸支援について	北海道開発局　建設部　道路計画課	岩舘　慶多	117
11	地域・民間・自治体・教育現場への防災支援に関する取り組みについて	九州地方整備局　武雄河川事務所　調査課	興梠　逸郎	121

自由課題　一般部門＜活力＞

NO	課題名	所属	発表者	頁
1	道路景観に配慮したLED 道路照明施設の整備	関東地方整備局　東京国道事務所　防災情報課	杉田　政尚	127
2	建築物の省エネルギー設計を誘導するエネルギー消費性能予測ツールの開発	国土技術政策総合研究所　住宅研究部　建築環境研究室	宮田　征門	133
3	下水再生水利用時じにおけるノロウイルスを対象とした定量的微生物リスク評価	国立研究開発法人　土木研究所　先端材料資源研究センター 材料資源研究グループ	安井　宣仁	137
4	海上コンテナ物流におけるインランドデポの活用について	関東地方整備局　港湾空港部　港湾物流企画室	小林　尚樹	142
5	海洋プラスチックの滞留時間を考慮した海岸清掃効果の定量的評価	国土技術政策総合研究所　沿岸海洋・防災研究部　沿岸域システム研究室	片岡　智哉	147
6	第二阪和国道建設に伴う重要種保全対策の取り組み～ゲンジボタルの保全対策について～	近畿地方整備局　浪速国道事務所　工務課	三浦　雅史	153
7	高梁川潮止堰の魚道改良について	中国地方整備局　岡山河川事務所　管理第一課	千熊　敏照	159
8	効果的かつ持続的な事故対策の検討	中部地方整備局　北勢国道事務所　管理課	林　尚樹	163
9	富山の道路を賢く使う～ハード・ソフトによる富山IC周辺の冬期渋滞対策～	北陸地方整備局　富山河川国道事務所　調査第二課	川面　顕彦	169
10	街路樹の景観機能と管理状態に関する評価についての考察	国立研究開発法人　土木研究所　寒地土木研究所　地域景観ユニット	蒲澤　英範	175
11	地域と連携した道路開通PRと効率的なストック効果把握	北陸地方整備局　富山河川国道事務所　調査第二課	田中　義太郎	181
12	札内川における礫河原再生の取り組みについて	北海道開発局　帯広開発建設部　治水課	高橋　輝好	186
13	高知南国道路の事業損失抑制に向けた工事の取り組み	四国地方整備局　土佐国道事務所　工務課	西原　優太	192
14	東九州道・九州中央道の開通効果について	九州地方整備局　延岡河川国道事務所　調査第二課	赤塚　真吾	196

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	道路施設のエネルギー有効活用に向けた検討	国土技術政策総合研究所　道路交通研究部　道路環境研究室	大河内　恵子	200
2	建築確認検査における電子申請へのBIM応用技術の開発	国立研究開発法人　建築研究所　建築生産研究グループ	武藤　正樹	205
3	GPS計測を用いたロックフィルダムの計測精度向上の取り組み	独立行政法人　水資源機構　総合技術センター	曽田　英揮	209
4	美和ダム再開発湖内堆砂対策施設の水理模型実験による国内初の施設検討	中部地方整備局　三峰川総合開発工事事務所　工務課	大谷　賢治	215
5	遠隔操縦式バックホウ用大型土のう設置装置の開発	東北地方整備局　東北技術事務所　施工調査・技術活用課	伊藤　秀樹	221
6	道路構造物における長期品質確保の取り組みについて	四国地方整備局　道路部　道路工事課	小原　和彦	225
7	新型除雪トラックの開発	北陸地方整備局　北陸技術事務所　施工調査･技術活用課	前田　光昭	229
8	天塩川における塩水遡上形態とヤマトシジミ生息環境の関係	国立研究開発法人　土木研究所　寒地土木研究所　寒地水圏研究グループ　水環境保全チーム	杉原　幸樹	234
9	景観に配慮した天神川水門の施工について	中国地方整備局　出雲河川事務所　大橋川出張所	平松　健一	240

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	多時期の航空レーザ測量データを用いた斜面変動調査法の検討	国立研究開発法人　土木研究所　土砂管理研究グループ　地すべりチーム	西井　稜子	244
2	「だいち2号」を利用した宇宙からの火山活動の監視	国土地理院　測地部　宇宙測地課	山田　晋也	248
3	滑走路下の曲がり浸透固化処理工法の施工	関東地方整備局　東京空港整備事務所　第二建設管理官室	片野　直樹	253
4	神戸港における中央航路に近接する既設防波堤撤去について	近畿地方整備局　神戸港湾事務所　建設管理官室	前田　大輔	258
5	海底地形探査装置を活用した港湾構造物調査の成果と装置の運用について	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	柿崎　慶治	264
6	防波堤整備コストの更なる縮減について	北海道開発局　港湾空港部　港湾建設課	水島　良	268
7	大水深防波堤における潜水災害リスクを低減する機械化施工について	九州地方整備局　宮崎港湾・空港整備事務所　工務課	進藤　琢磨	273
8	鳥取港における水中バックホウを用いた機械均し施工について	中国地方整備局　境港湾・空港整備事務所　保全課	吉持　香織	277
9	那覇空港滑走路増設事業における環境保全～サンゴ移植～	沖縄総合事務局　那覇港湾・空港整備事務所　那覇空港新滑走路整備推進室　調査課	椎原　康友	282

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	釧路外環状道路における住民参加型緑化活動について−4年間にわたる小学校との協働の成果−	北海道開発局　釧路開発建設部　釧路道路事務所　第3工務課	小澤　悠	288
2	東北で初の地域と連携した「まるごと里ごと土砂防災」の取り組みについて	東北地方整備局　新庄河川事務所　寒河江川砂防出張所	亘　糸美	294
3	河川管理レポートの作成について	関東地方整備局　江戸川河川事務所　管理課	人見　寿	298
4	より効果的な防災意識の啓発について	長野県　犀川砂防事務所　砂防課	山口　有理	304
5	熊野大花火大会交通円滑化対策について	中部地方整備局　紀勢国道事務所　調査設計課	出口　大治	310
6	瀬田川の水辺に新しい賑わいを生み出す取り組みについて	近畿地方整備局　河川部　河川管理課	田尻　一朗	316
7	交通安全事業における合意形成の取り組み	中国地方整備局　山口河川国道事務所　交通対策課	土居　修人	322
8	波介川河口導流路の整備効果について	四国地方整備局　高知河川国道事務所　調査課	新谷　大吾	328
9	バーチャル映像を活用した効率的な技術力継承	九州地方整備局　北九州国道事務所　交通対策課	松尾　健二	332
10	首里城公園における現場見学会の取組について	沖縄総合事務局　国営沖縄記念公園事務所　首里出張所	池田　豊	336

サンゴ礫混じり土のせん断特性の評価手法に関する検討

金子　崇[1]・渡部　要一[1]

[1]国立研究開発法人　港湾空港技術研究所　地盤研究領域　（〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1）

性能設計が本格的に導入された今日，合理的・経済的な設計を実現するために，従来の方法ではサンプリングな困難であったサンゴ礫混じり土についてもより正確な物性値の把握が必要となっている．本研究では，サンゴ礫とシルトとの配合を変えて作製した再構成試料と高品質サンプリングによって採取された高品質試料に対して三軸圧縮試験を実施し，サンゴ礫混じり土のせん断特性は，砂・礫・サンゴ礫の骨格構造が支配しており，骨格間隙比の概念を用いることでその力学特性を評価することができることを明らかとした．

キーワード　サンゴ礫混じり土，高品質サンプリング，せん断強度，三軸圧縮試験

1. はじめに

性能設計が本格的に導入された今日，合理的・経済的な設計を実現するために，従来の方法ではサンプリングな困難であったサンゴ礫混じり土についてもより正確な物性値の把握が必要となっている．サンゴ礫混じり土は，形状が複雑で破砕しやすいサンゴ礫を含むことや，サンプリングが困難なことから，試験方法の選定や試験結果に基づいた力学特性の評価に苦慮しているのが現状である．しかしながら，近年では，良質な試料を採取できる方法が開発されたことから，サンゴ礫混じり土本来の力学特性を評価することが可能になったと考えられる．そこで，本研究では，サンゴ礫とシルトとの配合を変えて作製した再構成試料と高品質サンプリングによって採取された高品質試料に対して三軸圧縮試験を実施し，サンゴ礫混じり土のせん断特性について検討した．

2. 試験試料及び試験条件

再構成試料は，沖縄県の海岸で採取したサンゴ礫（ρ_s=2.2g/cm^3）と，シルト（ρ_s=2.76g/cm^3）を用いて作製した．配合率は，供試体の全体積に対してサンゴ礫の体積が0，5，10，20，30，44%の6通りとなるように調整した．作製方法は，まず，所定の配合率となるようサンゴ礫とシルトをそれぞれ5等分に分けて用意した．そして，含水比が約30%となるようにシルトに水を加えてスラリー状とした後に，サンゴ礫を投入して十分に混ぜ，内側にテフロンシートをセットした高さ15cm，直径7.5cmの円筒容器に投入し1層毎に締め固めた．全ての試料を投入した後，円筒容器の上下を拘束し，冷凍庫で24時間保管し凍結させた．

一方，高品質試料は2地点で採取した試料を用いた．図-1に今回の試験に用いた試料の一例を示す．白く写っているサンゴ礫等がサンプリングによって動いた形跡は見られず，乱れの少ない状態で採取できていることがわかる．

試験は，まず，凍結供試体の寸法・重量を計測した後，ペーパードレーンとゴムスリーブを装着し，試験機に設置した．三軸セル内を脱気水で満たした後，16kPaのセル圧を負荷し，脱気水を通水しながら十分な時間をかけ



図-1　高品質試料

て解凍させた．その後，背圧200kPaを負荷して飽和させ，有効拘束圧σ'_c=50kPaで等方圧密した後，三軸圧縮試験を行った．

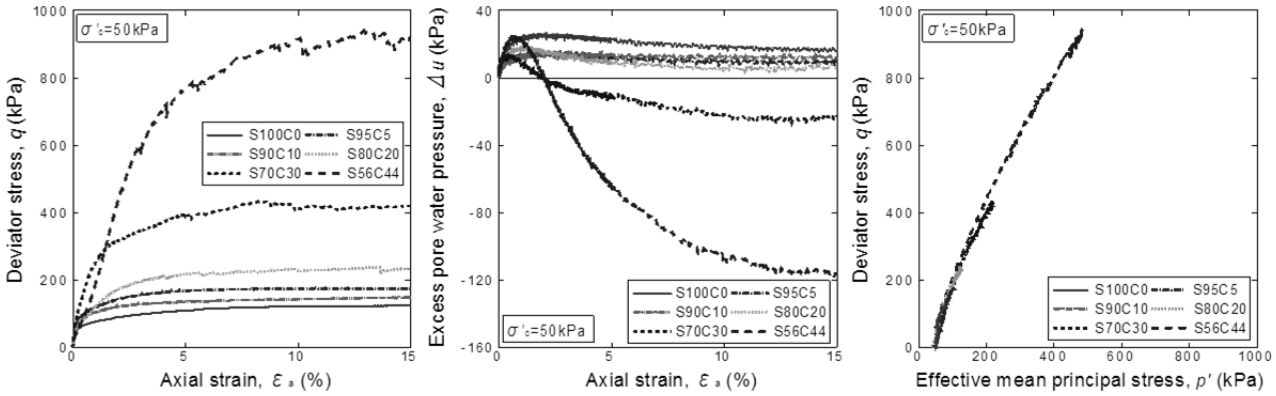
3. 試験結果

(1) 再構成試料

再構成試料に対しては，CU試験とCD試験を行った．まず，図-2に三軸CU試験の結果を示す．凡例においてSはシルト，Cはサンゴ礫，数字はそれぞれの割合を示す．図-2(a)をみると，サンゴ礫配合率が20%を超えると最大軸差応力が顕著に増加している．これは，図-2(b)で示すように，サンゴ礫配合率が20%を超えると，せん断とともにダイレーションによって負の過剰間隙水圧が生じ，有効応力が増加するためと考えられる．図-2(c)において，原点とグラフ上の点を結ぶ直線の傾きを考えると，サンゴ礫配合率が20%以上の場合，グラフが上に凸な緩やかな曲線を描くため，せん断とともにその傾きは一旦増加して最大値となった後に減少する．この傾きはせん断抵抗角に対応するので，サンゴ礫混じり土のせん断抵抗角は最大値を示した後に低下することを意味する．これはサンゴ礫配合率が20%程度を境界にサンゴ礫同士が接触するようになり，せん断とともにサンゴ礫が破砕したり，サンゴ礫同士のかみ合いが外れたりするためと考えられる．軸差応力と軸ひずみ関係のグラフに著しい凹凸が生じているのもこれが原因と考えられる．

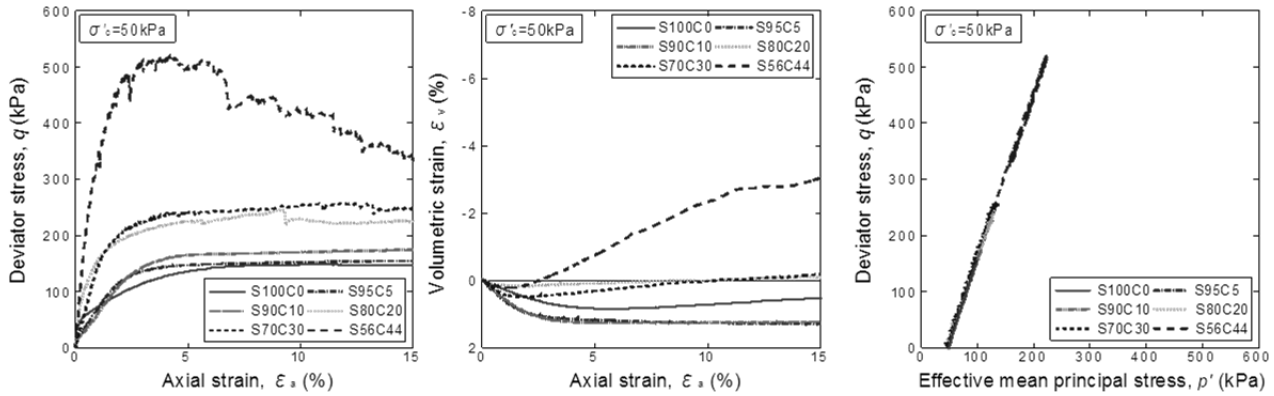
図-3に三軸CD試験の結果を示す．図-3(a)より，サンゴ礫配合率が20%を超えると最大軸差応力が顕著に増加すること，グラフに凹凸が生じることはCU試験と同様の傾向を示しているが，最大軸差応力はCU試験の場合の半分程度となっている．図-3(b)に示す体積ひずみと軸ひずみの関係をみると，一度圧縮した後に膨張する傾向を示しており，CU試験の結果（負の過剰間隙水圧が生じること）と対応している．図-3(c)において，グラフは1：3の傾きを持つ軌跡を示すが，サンゴ礫配合率が20%以上の場合，軸差応力は最大値となった後に減少するため，原点とグラフ上の点を結ぶ直線の傾きを考えると，CU試験と同様に最大値を示した後に低下する．

図-4にサンゴ礫配合率とせん断抵抗角の関係を示す．せん断抵抗角は次式により求め，主応力比q/p'が最大となった時の最大値をϕ_{max}，その後，軸ひずみε_a=15%となった時の残留値をϕ_{res}としている．



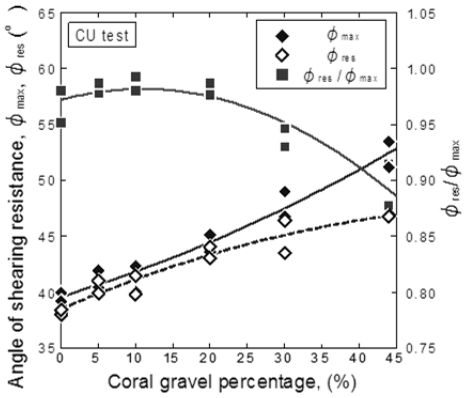
(a) 軸差応力と軸ひずみの関係　(b) 間隙水圧と軸ひずみの関係　(c) 有効応力経路

図-2 CU試験結果

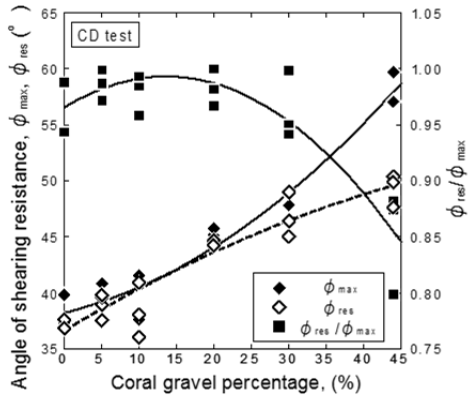


(a) 軸差応力と軸ひずみの関係　(b) 体積ひずみと軸ひずみの関係　(c) 有効応力経路

図-3 CD試験結果

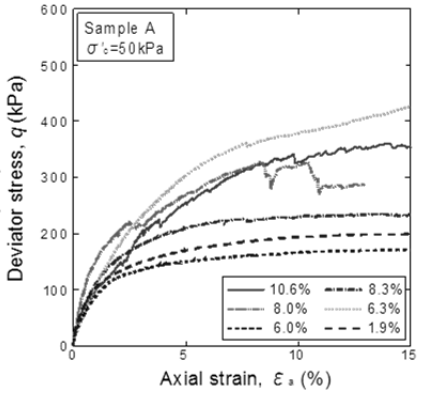


(a) CU 試験結果

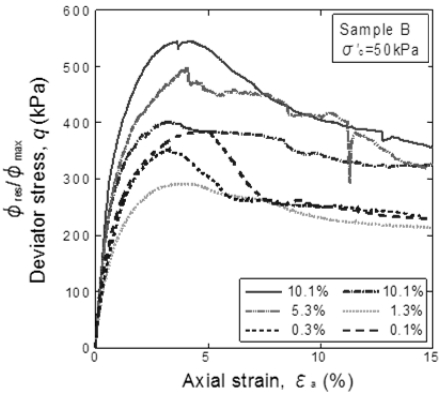


(b) CD 試験結果

図-4　せん断抵抗角とサンゴ礫含有率の関係

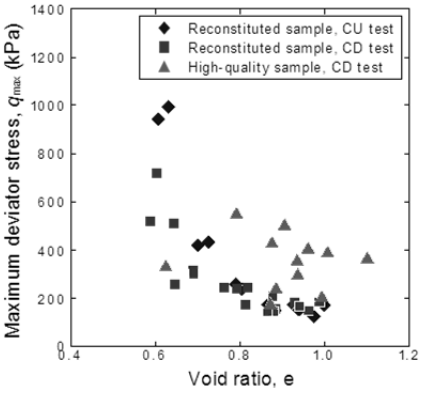


(a)　試料 A

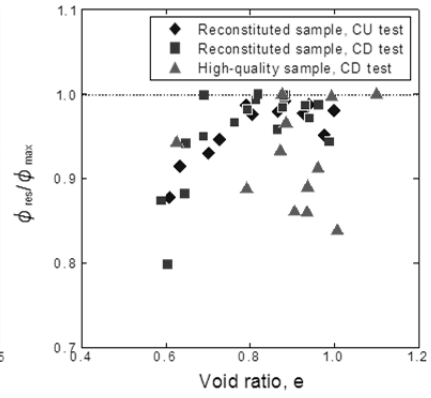


(b)　試料 B

図-5　軸差応力と軸ひずみの関係（高品質試料）



(a)　最大軸差応力



(b)　ϕ_{res}/ϕ_{max}

図-6　強度定数と間隙比の関係

$$\phi = \sin^{-1}\left(\frac{3q/p'}{6+q/p'}\right) \qquad (1)$$

サンゴ礫配合率が20%以上の場合，サンゴ礫配合率の増加によるせん断抵抗角の増加は顕著となるが，サンゴ礫の破砕や，サンゴ礫同士のかみ合いが外れることにより，ϕは最大値を示した後に減少する．最大値と残留値の比ϕ_{res}/ϕ_{max}をみると，CD試験の方がϕが低下しやすく，サンゴ礫配合率44%において，CU試験で0.89，CD試験で0.85であった．

(2) 高品質試料

高品質試料に対しては，CD試験を行った．図-5に三軸CD試験から得られた軸差応力と軸ひずみの関係，体積ひずみと軸ひずみの関係を示す．凡例の数値は，サンゴ礫の含有率である．図より，同程度のサンゴ礫の含有率であるにも関わらず，試料Aは緩い砂のようなひずみ硬化型の挙動，試料Bは密な砂のようなひずみ軟化型の挙動を示し，せん断特性の傾向が異なる結果となった．これは，再構成試料と異なり，サンゴ礫含有率とせん断特性に明確な相関性を確認できないことを意味する．

図-6に，各強度定数と間隙比の関係を示す．間隙比は土の強度定数を評価する際の指標の一つとして用いられる．しかし，どちらの強度定数においても，再構成試料の結果については間隙比と良い相関が得られているが，高品質試料についてはばらついている．サンゴ礫含有率や間隙比ではサンゴ礫混じり土のせん断特性を統一的に評価できないことが確認できる．

サンゴ礫混じり土は試料が飽和状態である場合，図-7に示すように，間隙と細粒分，粗粒分の三つに分けて考えることができる．ここで，サンゴ礫混じり土の骨格構造は 砂・礫・サンゴ礫などの粗粒分と考え，細粒分を間隙とみなす骨格間隙比の概念[1)~3)]を適用する．

$$e_g = \frac{V_W + V_{SF}}{V_{SS}} \qquad (2)$$

ここで，V_Wは間隙水の体積，V_{SF}は細粒分の体積，V_{SS}は粗粒分の体積である．また粗粒分は砂・礫・サンゴ礫か

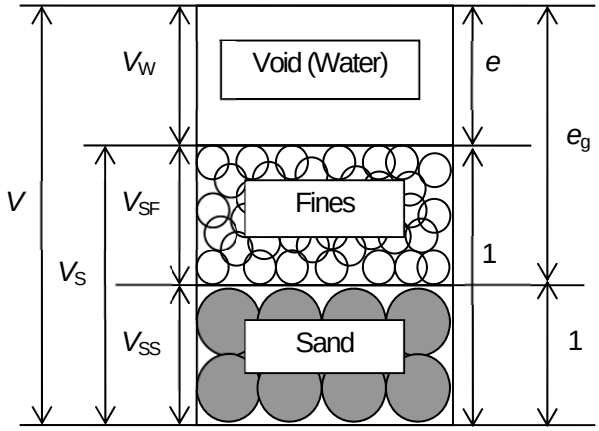


図-7　混合土のモデル

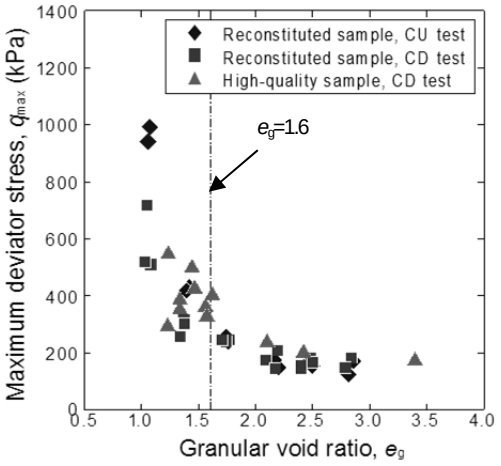
らなる．

図-8に各強度定数と骨格間隙比の関係を示す．図より，骨格間隙比が1.6以上の時，最大軸差応力q_{max}とϕ_{res}/ϕ_{max}はほぼ一定となっている．一方で，骨格間隙比が1.6より小さくなると，最大軸差応力q_{max}は増加し，ϕ_{res}/ϕ_{max}は減少する．これらの結果より，サンゴ礫混じり土の再構成試料・高品質試料ともに各強度定数と骨格間隙比に良い相関が得られることが確認できることから，骨格間隙比の概念を用いることでサンゴ礫混じり土のせん断特性を評価することができると考える．

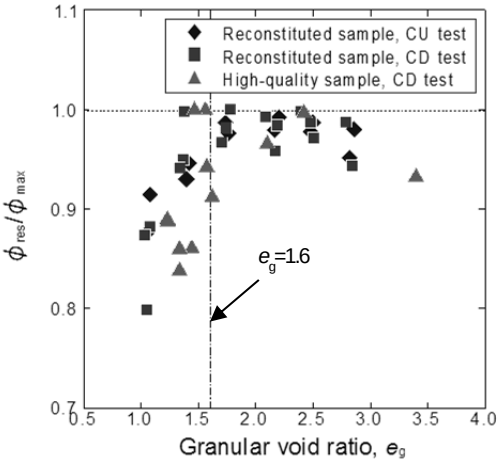
4. まとめ

サンゴ礫混じり土のせん断特性は，砂・礫・サンゴ礫の骨格構造が支配していると考えられる．そのため，骨格間隙比の概念を用いることでそのせん断特性を評価することができる．高品質試料と再構成試料の三軸試験結果について比較すると，骨格間隙比e_gを用いることで，ほぼ同じせん断特性の傾向を示した．

e_gが1.6よりも大きい範囲では，排水条件による最大軸差応力の変化は小さく，通常の土と同等に原位置の排水条件に応じた試験方法を採用すれば良い．一方，e_gが1.6より小さくなるとCU試験の最大軸差応力は，負の間隙水圧の発生によって極端に大きくなる．これは，実際の挙動としては非現実的であることから，特にe_gが小さいサンゴ礫混じり土試料の場合は，CD試験で評価するとともに，せん断抵抗角の低下も考慮する必要があると言える．



(a)　最大軸差応力



(b)　ϕ_{res}/ϕ_{max}

図-8　強度定数と骨格間隙比の関係

参考文献

1) Kenny, T. C. (1977), "Residual strengths of mineral mixture", Proc. 9th Int. Conf. Soil Mech., Tokyo 1, pp. 155~160.
2) Mitchell, J. K. (1976), Fundamentals of Soil Behaviour, 2nd ed., John Wiley Interscience New York, pp.172-189.
3) Thevanayagam, S., Shenthan, T., Mohan, S. and Liang, J. (2002), "Undrained fragility of clean sands, silty sands, and sandy silty", Undrained fragility of clean sands, silty sands, and sandy silty, Vol.128, No.10, pp.849-859.

観測データに基づいた維持管理の効率化・的確化へ向けて ―清掃作業への適用を始める―

上島　雅志

大宮国道事務所　浦和出張所　（〒336-0021 埼玉県さいたま市南区別所6-12-1）.

これまでの道路管理において蓄積してこなかった「排水施設や路肩の塵埃堆積状況」を定点観測することにより、定量的なデータに基づいた維持管理の効率化・的確化を図る取り組みを開始した。

本報告では、定点観測を実施した背景、定点観測の方法、目標とする維持管理のサービス水準を明確化する管理目標値（案）の設定や検討、管理目標値（案）の2014年度、2015年度の清掃作業への適用、2014年度に実施した定点観測の課題や今後の取り組み方針について報告する。

キーワード　清掃、定点観測、管理目標値（案）、維持管理の効率化・的確化

1. 定点観測実施の目的と背景

道路の清掃作業は、規定された年間清掃回数を現地の確認状況に応じて実施する事となっているが、現在、客観的な確認結果に基づいた清掃範囲の選定は行われていない。

仮に、当出張所の管理延長約34kmを2014年度の排水施設（街渠・桝）の発注清掃数量の1.1km/年のペースで清掃した場合、全ての区間の清掃を1回完了するまでに概ね62年を要することになる。このことから、客観的な確認結果に基づいた清掃範囲の選定により、効率的な清掃を実施していく必要があるといえる。

また、近年のゲリラ豪雨により都心部でも道路冠水被害が多く見られる状況や、路面の塵埃に関する管理瑕疵が発生している状況において、より的確な道路の清掃作業が求められている。

これらより、限られた現在の予算の状況を踏まえて、効率的で的確な維持管理の実施が重要となると考え、「排水施設（街渠・桝）の塵埃堆積状況」、「路肩の塵埃堆積状況」データを蓄積し、観測データに基づいて維持管理の効率化・的確化を行うことにより、道路冠水の低減や路面の塵埃に関する事故防止（管理瑕疵件数を低減）を図ることを目的として定点観測を開始した。



写真-1　浦和出張所管内の冠水状況（2014年6月25日）

2. 定点観測の実施について

浦和出張所管内の過年度清掃作業による「排水施設（街渠・桝）」、「路肩」の塵埃堆積における課題及び定点観測の目的・手法についてそれぞれ紹介する。

(1) 排水施設（街渠・桝）の塵埃堆積状況

浦和出張所管内におけるこれまでの排水施設（街渠・桝）の清掃は、予算に合わせ例年冠水の危険がある区間を中心に現地確認を行い、必要に応じて清掃を実施していた。そのため、例年清掃を実施していない区間の塵埃堆積状況については把握せず、また清掃を実施していない状況であった。

それにより、排水施設（街渠・桝）の排水機能が低下したことで路面に水溜まりが発生する状況が確認される様になった（写真-2）。



写真-2　水溜まり発生状況（2014年6月10日）

この様な状況の中、2014年度は排水施設（街渠・桝）の塵埃堆積状況について通水断面の阻害率が2割程度を超える区間を管内全線（自動車専用道路区間除く）で調査したところ、2,414mの区間で通水断面の阻害率が2割を超えていることがわかった。また、調査対象外であった通水断面の阻害率が2割程度までには満たないが相当に阻害されている区間についても、このときの調査で多く確認された（図-1、写真-3、写真-4）。

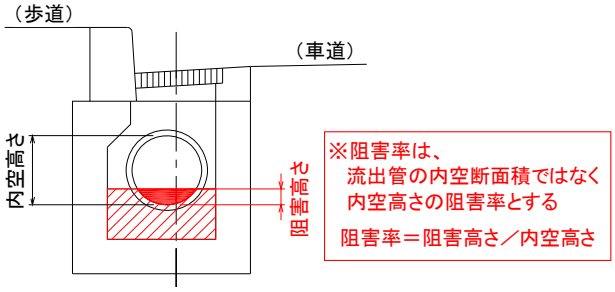


図-1　阻害率説明図



写真-3　排水施設（桝）の塵埃堆積状況



写真-4　排水施設（街渠）の塵埃堆積状況

これらのことより、排水施設（街渠・桝）の清掃について予算内で効率的かつ的確な清掃を計画することを目的として、塵埃堆積状況を分析（塵埃堆積しやすい区間及び適切な清掃タイミングの把握）するための塵埃堆積データを蓄積するため、排水施設（街渠・桝）の塵埃堆積状況の定点観測をすることとした。

今回実施の定点観測は、まずは管内の傾向把握を行い、目的を達成するために不足するものは何かを分析するため、排水施設（街渠・桝）に堆積する塵埃厚さを路面清掃前に約500m間隔でコンベックス、スタッフ、ピンポール、カメラを用いて観測することとした。

(2) 路肩の塵埃堆積状況

浦和出張所管内の2014年度の路面清掃回数は、平成26年度道路維持管理計画書（国土交通省関東地方整備局大宮国道事務所）にて、国道17号においては3回／年、国道17号新大宮バイパスにおいては6回／年と規定され、第一走行車線の左路肩について真空式清掃車（受注者へ貸与：大宮国道所有）により清掃を実施する計画となっている。

しかし、近年の舗装の経年劣化による影響で飛散骨材が路肩に堆積する状況となったため、真空式清掃車では「飛散骨材が堆積した状態」の清掃については効果を十分に発揮できずに、規定の清掃回数では外側線まで骨材が堆積するような状態になってしまった（写真-5）。



写真-5　飛散骨材の路肩堆積状況

「路肩に飛散骨材が堆積した状態」においては、真空式清掃車では飛散骨材を吸引しきれず清掃後も飛散骨材が路肩に残ってしまうため、これを完全に除去するには繰り返しの清掃が必要となり、走行距離・作業時間の増加（積算は清掃延長）や渋滞を誘発するなどの問題がある。なお、都市型ブラシ式清掃車においても飛散骨材を除去できない状況は真空式清掃車と同様であった（写真-6）。



写真-6　都市型ブラシ式清掃車による清掃状況

その様な「路肩に飛散骨材が堆積した状態」の清掃においては、ブラシの角度・回転数の調整により強力に飛散骨材を掻き集めることが可能なブラシ式清掃車が効果を発揮する。しかしながら、ブラシ式清掃車は真空式清掃車と比較して、清掃費用が概ね1.5倍と割高である（この試算においては、大宮国道事務所の貸与可能車両状況から真空式清掃車は官貸与車両とし、ブラシ式清掃車は受注者持ち込み車両とした）。

これらのことより、路面の清掃について予算内で効率的かつ的確な清掃作業を計画することを目的として、塵埃堆積状況を分析（適切な清掃時期、清掃区間、清掃車両の選定）するための塵埃堆積データを蓄積するため、路肩の塵埃堆積状況の定点観測をすることとした。

今回実施の定点観測は、まずは管内の傾向把握を行い、目的を達成するために不足するものは何かを分析するため、路肩に堆積する塵埃の幅を路面清掃前に約500m間隔でコンベックス、スタッフ、ピンポール、カメラを用いて観測することとした。

3. 管理目標値（案）を用いた管理について

塵埃堆積状況の観測データを「排水施設（街渠・桝）」、「路肩」の清掃の効率化・的確化に利用するため、「排水施設（街渠・桝）」については管理目標値（案）を設定し2014年度、2015年度の清掃作業に利用し、「路肩」の塵埃堆積状況については管理目標値（案）を検討し清掃作業必要量を分析したため、それぞれ紹介する。

(1)　排水施設（街渠・桝）の塵埃堆積

a)　管理目標値（案）の設定

2014年度の定点観測前に実施した全線調査（自動車専用部を除く区間で、塵埃堆積により通水断面の阻害率が2割程度を超える区間の調査）結果の利用及び、その後の定点観測結果を踏まえて効率的かつ的確な清掃を行っていくために、排水施設（街渠・桝）の目標とする維持管理のサービス水準を明確化する管理目標値（案）の設定を次の通り行った。

道路土工要綱（平成21年度版）の側溝断面の決定方法「一般に土砂の堆積による通水断面の縮小を考慮して設計上は、水深に対して少なくとも20%の余裕をみておくのがよい。」[1)]を参考に、8割水深の通水断面を確保することをサービス水準の目標と仮定し管理目標値（案）として設定した。

b)　管理目標値（案）を利用した清掃作業の効率化・的確化に向けた取り組み

管理目標値（案）及び全線調査結果を踏まえ、清掃の優先順位を「通水断面を5割以上阻害している」ものを1位、「通水断面を2割以上5割未満阻害している」ものを2位、「通水断面を2割以上阻害していないが雑草の繁茂により排水能力が低下している・概ね通水断面の2割を阻害している」ものを3位とした「排水施設工清掃基準浦和出張所ルール（案）」を作成し、2014年度、2015年

度の清掃作業において観測データと優先順位付けに基づき予算内における清掃範囲の選定を行い、清掃作業計画の立案を行うことで清掃作業の効率化・的確化に取り組んだ。

(2) 路肩の塵埃堆積

a) 管理目標値（案）の検討

路面清掃作業の実施判断において明確な判断基準がないため、清掃作業実施の指示に当たり判断に迷うことが有ったこと、定点観測結果を踏まえて効率的かつ的確な清掃を行っていくための判断基準が必要であったことより、路肩の目標とする維持管理のサービス水準を明確化する管理目標値（案）の設定を次の通り検討した。

2013年12月1日改正の道路交通法において自転車の路側帯走行が原則となったことより、自転車が路側帯を走行する際に縁石とペダルとの関係で物理的に縁石側にタイヤが寄せられる範囲（図-2）を検討し、自転車の路側帯走行の支障とならない路肩の塵埃堆積幅200mm以下とすることをサービス水準の目標と仮定し管理目標値（案）として検討した。

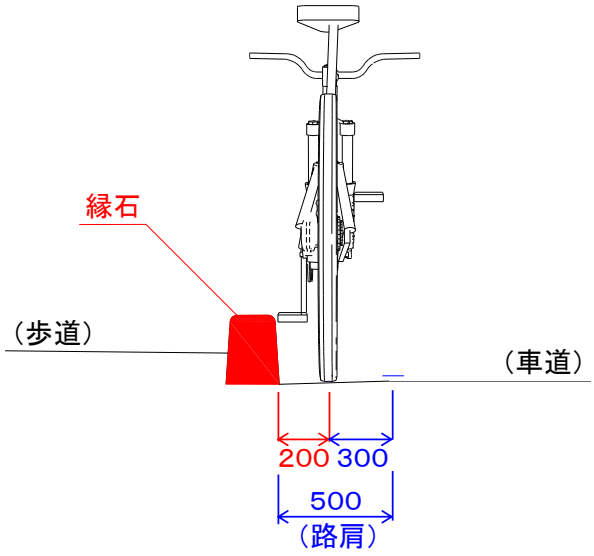


図-2 自転車の路側帯走行検討の概念図

b) 管理目標値（案）を利用した清掃作業必要量の分析

2014年度実施の定点観測及び、2012年以降の路面清掃作業より、以下の①から③が確認された。

① 定点観測より、2014年度は1年を通して路肩に堆積する塵埃は骨材混じりの土砂であった。

② 路面清掃作業による塵埃回収実績（表-1）より、降雪期から降雪期明けに比較的多く骨材が発生し、それ以降は緩やかな骨材発生状況となる。

③ 定点観測より、2014年度の降雪期を除く期間における1ヶ月当たりの路肩の最大塵埃堆積量（表-2）は、国道17号において上下線平均で33mm、国道17号新大宮バイパスにおいては上下線平均で73mmであることが確認された。

①から③より、検討した管理目標値（案）を満たすための1年間の路面清掃作業必要量は、国道17号においてはブラシ式清掃車にて降雪期間後に清掃を1回、それ以外の期間において2回、国道17号新大宮バイパスにおいてはブラシ式清掃車にて降雪期間後に清掃を1回、それ以外の期間において4回であることが確認された（表-3）。なお、降雪期間中は当該降雪期の降雪状況により塵埃堆積の進行に差異があるため、状況に応じて追加の清掃が必要となる。

表-1 路面清掃作業における塵埃回収実績

	2012.7	2012.8	2012.10	2012.12	2013.2	2013.3
国道17号	6.3m3	1.0m3	1.5m3	1.2m3	－	－
	ブラシ式	真空式	真空式	真空式	－	－
国道17号新大宮バイパス	16.0m3	2.0m3	2.3m3	2.9m3	2.6m3	1.9m3
	ブラシ式	真空式	真空式	真空式	真空式	真空式

	2013.6	2013.8	2013.10	2013.12	2014.1	2014.3
国道17号	1.6m3	－	－	－	1.5m3	6.3m3
	真空式	－	－	－	真空式	ブラシ式
国道17号新大宮バイパス	3.3m3	11.4m3	5.2m3	3.2m3	2.0m3	5.7m3
	真空式	ブラシ式	真空式	真空式	真空式	真空式

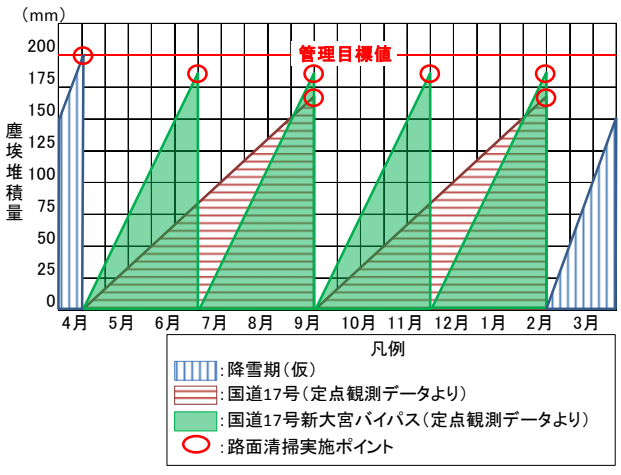
	2014.5	2014.10	2014.12	2015.2	2015.3
国道17号	2.6m3	－	3.2m3	－	2.7m3
	ブラシ式	－	ブラシ式	－	ブラシ式
国道17号新大宮バイパス	63.7m3	6.4m3	－	6.4m3	－
	ブラシ式	ブラシ式	－	ブラシ式	－

※「ブラシ式」はブラシ式清掃車による清掃を意味する。
※「真空式」は真空式清掃車による清掃を意味する。
※「－」は清掃未実施を意味する。

表-2 路肩の最大塵埃堆積量

	上り	下り	平均
国道17号 （観測期間：2014.6.1～2014.12.12）	31mm	35mm	33mm
国道17号新大宮バイパス （観測期間：2014.5.10～2015.1.19）	62mm	84mm	73mm

表-3 管理目標値（案）を満たす清掃回数イメージ



この結果は平成26年度道路維持管理計画書（国土交通省関東地方整備局大宮国道事務所）に規定されている2014年度の清掃回数とほぼ同程度の回数であるが、計画されている清掃車両は真空式清掃車であるため、ブラシ式清掃車が必要となる点に大きな相違がある。管理目標値（案）を満たすためには清掃車両の選定における予算に課題がある事がわかった。また、分析に用いた定点観測結果は2014年度のみのため、引き続きデータの蓄積を行い評価する必要がある。

4.今後の課題について

道路維持管理の効率化・的確化を行っていくための今後の課題及び、現在実施の定点観測において塵埃堆積状況データの充実として必要ではないかと感じている事項について紹介する。

(1) 今後の課題

a) 塵埃堆積状況に影響する要因の確認

塵埃堆積状況に影響する要因として交通特性、道路構造特性（舗装の経過年数、縦断勾配など）、沿道利用との関係性、天候等が想定されるため、それらと塵埃堆積状況との関係性に関する確認が必要である。

b) 排水施設（街渠・桝）における管理目標値（案）

排水施設（街渠・桝）の管理目標値（案）においては、地域特性（流末施設の状況）や、排水施設の設計に用いる降雨強度が変更となった（道路土工排水工指針にて「関東の標準降雨強度（10分値）90mm」[2]であったものが、道路土工要綱（平成21年度版）にて「関東の標準降雨強度（3年確率10分降雨強度）110mm」[1]となった。）こと等を踏まえた評価検討が必要である。

c) 塵埃堆積状況データの充実・蓄積

上記a)、b)の課題解決のためには塵埃堆積状況データの充実・蓄積が重要となるが、定点観測の手段・頻度等の見直しをかけるべき項目の抽出のほか、観測範囲の拡大、継続観測の実施に伴う定点観測を担当する職員の負担増加への対応が課題となる。

(2) 塵埃堆積データの充実として必要な事項

a) 定点観測の観測間隔、観測ポイントの充実

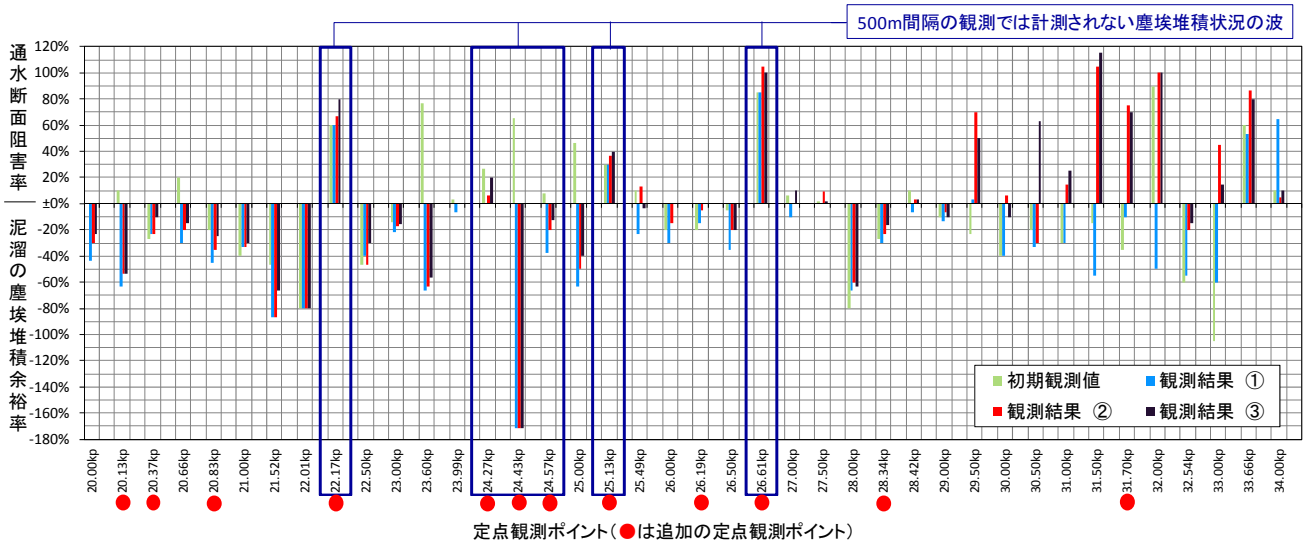
現在実施の定点観測は約500m間隔で実施し観測データを取りまとめているが、例えば排水施設（街渠・桝）の塵埃堆積においては通水断面の阻害率が2割程度を超える区間を管内全線で調査した調査結果が、定点観測データのデータテーブルに乗っていない状況であり、排水施設（街渠・桝）を管理していく上で必要なデータが十分ではない。

このことについては、排水施設（街渠・桝）の定点観測結果を取りまとめた表-4（通常の500m間隔の定点観測ポイントに追加して、全線調査にて確認された通水断面の阻害が大きい箇所等から数カ所を追加の定点観測ポイントとして観測した結果を併せて取りまとめたもの。）にて、500m間隔の観測では計測されない塵埃堆積状況の波が、追加の定点観測ポイントにて詳細に確認することで改めて確認することが出来ることから説明できる。

また、排水施設（街渠・桝）と路肩の塵埃堆積について共通的に言えることとして、500m間隔で定点から定点に移動している間に塵埃堆積状況を目視にて確認していると、塵埃堆積が顕著な区間や全くない区間などが繰り返し確認される。このことについて一つ例を挙げると、取り付け道路交差点を境に沿道状況が一方は開発済み区間、もう一方は未開発区間であれば、未開発区間のみ顕著に塵埃堆積が確認される場合がある。

これらのことより、定点観測の観測間隔を一律に狭め

表-4　排水施設（街渠・桝）の定点観測結果　国道17号新大宮バイパス（上り）



ることや、塵埃堆積状況（顕著な箇所、顕著でない箇所）や沿道利用状況等を踏まえて選定した追加の定点観測ポイントを設けることが必要である。

b)　排水施設（街渠・桝）の流末状況の観測

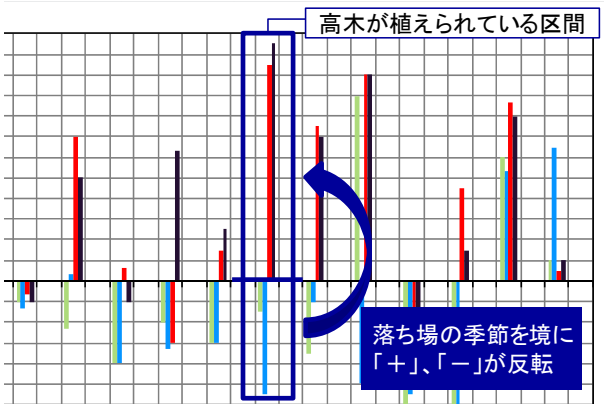
排水施設（街渠・桝）の流末状況において、例えば管理区間外の流末の通水機能が不十分な場合、管理区間内において雨天時の土砂運搬能力の低下が発生し、塵埃堆積が起こりやすくなることが考えられる。また、道路排水のオーバーフローの発生や道路冠水の発生等も考えられる。道路維持管理の的確化を行う上ではこれらの状況を把握するための観測が必要となる。

c)　気象状況・季節を踏まえた観測

現在実施の定点観測は、路面清掃前に実施しているもので有り、気象状況・季節による塵埃堆積への影響を的確に計ることは出来ない。

例えば落葉の季節においては落ち葉による塵埃堆積の進行（表-5）が考えられる。降雪時であればチェーン

表-5　排水施設（街渠・桝）の定点観測結果
国道17号新大宮バイパス（上り）（拡大）



を巻いた車両の走行により路面から骨材の飛散が発生し、塵埃堆積が進行する事が考えられる。豪雨時においては沿道から土砂やゴミ等が供給され、塵埃堆積が進行することが考えられる。

これら塵埃堆積の進行に影響を与える要因を分析することで、清掃作業実施時期の的確化や清掃作業実施の効率化に繋げることが期待出来る。そのためには気象状況・季節を踏まえた観測の充実が必要となる。

5.今後の方針について

データの信頼性を確保するために引き続き定点観測によるデータ蓄積を行う。また、「清掃の管理目標値（案）」の妥当性の検証（事後評価）を行い、管理目標値（案）を満足する適切な「清掃計画（頻度設定など）」により道路清掃作業を実施し、道路冠水の低減や路面の塵埃に関する事故防止に努めていきたい。

さらに、利用者等へ道路清掃の理解や支援を頂くためにも、排水施設の状況や課題等についての周知（情報の見える化）を進めるとともに、蓄積したデータに基づいて、道路清掃作業に必要な予算を適切に要求していきたいと考えている。

参考文献

1)　公益社団法人　日本道路協会：道路土工要綱 平成 21 年度版，2009 年
2)　公益社団法人　日本道路協会：道路土工排水工指針，1987 年

耐候性鋼橋の適用環境および外観性状による さび状態の評価に関する研究

岡田　紗也加[1]・玉越　隆史[1]

[1]国土技術政策総合研究所　道路構造物研究部　橋梁研究室　（〒305-0804 茨城県つくば市旭1）

道路橋への耐候性鋼材の適用環境評価指標には，環境因子による影響を加味しながら精緻に総合的に判断できることが求められている．また，供用後は，条件によって千差万別な外観性状を呈するため，保護性さびや，異常なさび等の区別がつきにくいことも多い．

本研究では，架橋位置固有の環境条件と鋼材の腐食特性の関連付け手法の確立を目的として鋼球暴露試験を行い，適用環境評価の検討を行った．また，耐候性鋼橋の診断がより的確なものとなるよう，耐候性鋼橋に関する既往の様々な表面性状の事例や実橋のデータを収集・分析し，一般的に見られることの多いさび状態の外観性状について体系的にとりまとめた．

キーワード　耐候性鋼橋，腐食減耗量，適用環境，さび状態の外観性状，写真集

1. はじめに

鋼道路橋の主な損傷は，鋼材の腐食である．一般国道や主要地方道，都道府県道の橋長15m以上の橋を対象とした架替実態調査では，腐食が鋼橋上部工の損傷による架替理由の約半分を占めている[1)]（**図-1**）．鋼橋の防食工法の１つに，耐候性鋼材を使用する方法がある．耐候性鋼材とは，鋼材に適量の合金元素（Cu，P，Cr，Niなど）を添加することで，鋼材表面に連続的に生成された緻密なさび層[2)]（以下，「保護性さび」という（**図-2**））を生成させ，腐食の原因となる酸素や水から鋼材表面を保護し，さびの進展を制御するものである．しかし耐候性鋼橋は，適度に乾湿が繰り返され，かつ大気中の塩分量が少ないなど，適切な環境条件の下でなければ保護性さびの生成・維持ができないため，道路橋示方書では，大気中に含まれる飛来塩分量に応じて耐候性鋼材が無塗装で使用できる地域が示されている．

耐候性鋼材では，保護性さびが形成されても完全に腐食の進行が止まるわけではない．また，一旦保護性さびが形成された後も，水分や塩分の環境が変化して適当なものでなくなると保護性さびが失われて異常に腐食が進行する．そのため，供用後も適切な頻度で点検を行い，架設後の環境条件の変化にも留意する必要がある．そして，保護性さびの生成や維持が困難と見込まれた場合には，塗装を行うなどの適切な防食対策が行われる必要がある[2)]．以上のように，防食方法を選定する段階のみならず，保護性さびが形成された後も，架橋環境が耐候性鋼材に適当であるか否か見極める必要がある．

しかし，現地における架橋環境について耐候性鋼材に適当な環境であるのかどうかを見極めるための塩分等の環境条件を計測する手法は限られている．特に架橋後に，短期間で耐候性鋼材の適用環境の適正を計測できる統一的な手法は確立していない．また架橋後に所定の保護性さびが形成しているのか，あるいは異常腐食が生じつつあり耐候性が期待出来ない状態なのかどうかは表面のさびの外観性状から判断することとなるが，さびの性状には極めて多くの色調や凹凸などのパターンがあり，これを的確に判断することが点検の際の課題となっている．

本研究は，これらの課題に着目して架橋現場において簡便かつ正確に環境条件を把握できる手法と，多様な性状を呈する耐候性鋼材の外観情報から実務者が的確にさびの状態を判断できるための支援ツールの開発を行ったものである．

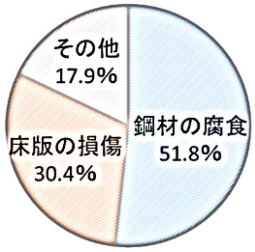


図-1 鋼橋上部工の損傷による架替理由

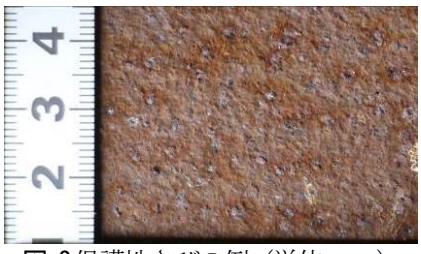


図-2 保護性さびの例（単位：cm）

2. 新たな適用環境評価手法の開発

現在，道路橋に耐候性鋼材を用いる場合，道路橋示方書に示された海岸線からの距離を基本とした適用条件を参考に適用可否の判断が行われることが一般的である．

しかし，実際の架橋地点の環境は，周辺地形の影響や隣接構造物の影響によっても大きく左右される．また複雑に部材が組み合わされる橋では架橋後に橋そのものの存在や形状などによって部材や位置毎にも濡れ時間，風向風速，湿度，日射等の腐食に関わる要因は複雑に異なってくる．そのため，例えば，架設後に想定外の著しい腐食の進行により，耐候性鋼材の橋梁が落橋に至った事例[3]もある．これらは，架橋地点や橋の位置毎の局地的な環境が，架橋前に充分に把握しきれなかったことも一因であると考えられる．

そこで本研究では，実際の架橋地点の環境や架橋後の橋梁の様々な部位の詳細な環境条件の違いを含めてできるだけ正確にかつ短期間で計測できることを意図して，球状の鋼製暴露供試体を設置して，そのさびデータを分析する手法について検討を行った．

(1) 鋼球式暴露試験法

鋼球式暴露試験法は，耐候性鋼材（JIS G 3114 SMA）を直径45～50mmの球状に加工した鋼球供試体（**図-3**）を，ナイロン製またはアクリル樹脂製の棒と，簡易な金具等を用いて現地に設置して，一定期間暴露し，供試体表面のさびの生成状況から設置位置の局地的な腐食環境を評価しようというものである．既往の代表的な環境評価法である，ポリタンクを現地に年単位で設置して飛来塩分を捕集する方法（土研式）[4]では，捕集口が一方向にしかなく塩分の飛来方向との関係が単独では評価出来ないこと，装置が大がかりでかつ長期に設置する必要があるなどの課題があった．またガーゼ式や鋼製の薄板を部材等に貼付するワッペン式[4][5]は比較的簡便に設置できるものの評価面の設置方向の影響があることや被貼付部材の存在そのものの，影響を大きく受けるという課題があった．提案する方法は鋼球供試体を被設置部材から離隔をとって評価面を設けることで被設置部材の影響が小さくできること，および全方向からの飛来塩分の影響を同時かつ相対比較できるよう球体を用いたことに特徴がある．



(a) 鋼球供試体　　(b) さび厚計測の様子

図-3 鋼球供試体およびさび厚計測の詳細

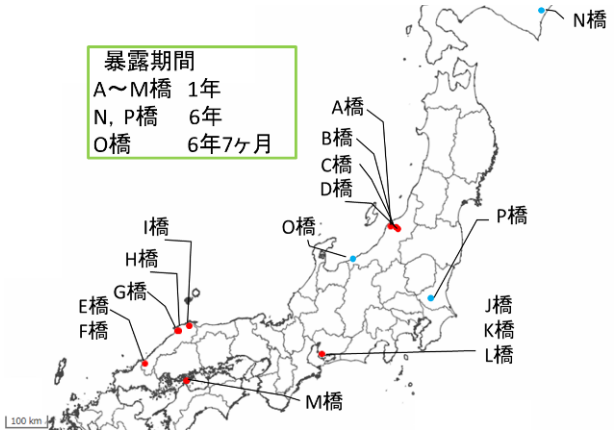


図-4 鋼球供試体設置箇所

（地図は国土地理院HP
（http://maps.gsi.go.jp/#5/35.362222/138.731389）より）

鋼球は，表面を上下方向に3段の領域と4方位の分割の組み合わせによる12領域に区分し，各領域のさび性状の観察とさび厚の計測（電磁膜厚計）を一定期間行い，最終的に鋼球を回収して実験室レベルで定量分析を行ったさび量とともに考察する．腐食量の推定は，スクレーパ，又はカッターナイフ等を用いて鋼球表面の生成さびを極力除去し，塩酸等を含有した除錆溶液への浸漬と水道水での洗浄を2，3回繰り返した後，除錆溶液への浸漬とナイロンブラシを用いた水洗ブラッシング洗浄を繰り返し実施してさび除去前後の鋼球の重量変化から腐食減耗量として，次式により求める．

$$\Delta t = \frac{W_1 - W_2}{0.00786 A_s} \quad (1)$$

ここに，Δt ：腐食減耗量(mm)

W_1 ：試験片初期重量(g)

W_2 ：除錆終了後の試験片重量(g)

A_s ：試験片の表面積(ねじ穴開口部を控除)(mm^2)

(2)鋼球の特性の検討

さび厚計測結果の特徴および，実橋における腐食傾向，鋼球供試体設置箇所の周辺環境とを対比することで，腐食因子の検討を行った．

測定場所は，既設の耐候性鋼橋があり，かつ比較的飛来塩分量が多いと考えられる，海岸線からの距離が比較的近い箇所を基本とし，ワッペン式暴露試験等の既往の調査[5]が行われている箇所を優先して，地域区分ごとの暴露試験場所を選定し，暴露試験を行った．暴露試験の場所および，暴露期間を**図-4**に示す．鋼球暴露試験法による耐候性鋼材の適用評価が，１年間の短期の暴露期間で評価ができるかを検討するため，全国各地に鋼球を設置し，長期暴露試験を行った．

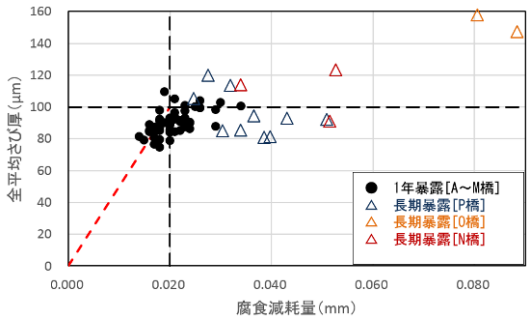


図-5 腐食減耗量と試験体12箇所のさび厚平均の関係

結果と1年間の暴露試験結果を対比し，分析を行った．鋼球暴露試験における腐食減耗量と，試験体12箇所のさび厚を平均したものをプロットしたグラフを，**図-5**に示す．

ワッペン試験片による1年間の暴露試験結果[5]では，さび厚100μmに対し腐食減耗量0.02mmで相関していることが示されている．鋼球暴露試験においても，ワッペン式暴露試験と同様に，全平均さび厚100μmに対して腐食減耗量0.02mmが得られることが分かる．なお，全平均さび厚は100μm程度以上には増えない傾向にあり，これは供試体に直接受ける雨水によりさびが洗い流されていることが原因であると考えられる． 1年以上の長期暴露試験結果は，全平均さび厚が81.0～158μmと広い範囲で分布し，腐食減耗量は0.025～0.088mmとさらに広い範囲で分布している．また， 1年以上の暴露試験では，平均さび厚が100μmを大きく超過することがある．

これらのことから，さびの進行が大きく全平均さび厚が100μmを超過する場合，平均さび厚よりも腐食減耗量で環境評価を行うのが良いと考えられる．反対に，全平均さび厚が100μmを超過しない場合は，さび厚で環境評価を行うことができる可能性がある．これらのことから，1年間の短期暴露期間であっても，鋼球暴露試験法による耐候性鋼材の適用環境の評価が可能であると考えられる．

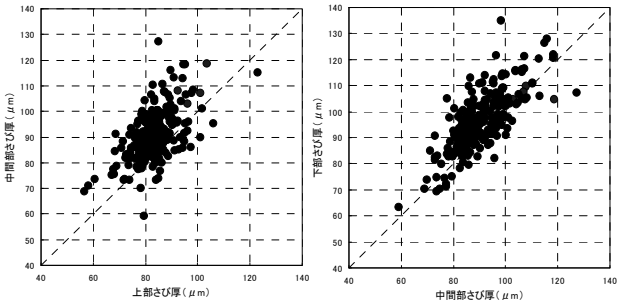
(3)腐食因子の検討

1年間の暴露試験結果において，腐食減耗量とさび厚の関係には線形の相関がみられることから，方向別のさび厚から腐食減耗量を推定することが可能と考えられる．鋼球供試体の上下方向のさび厚分布を**図-6**に示す．上部より中部の方がさび厚が大きく，中部より下部の方がさび厚が大きい傾向がみられた．

方向別によるさび厚の差が，鋼球暴露試験体の固有の特性に起因するものであるか，方向別による耐候性鋼材の局地的な腐食環境特性が反映されているのであるかを検証するため，実橋の腐食状況と暴露試験結果を比較し，試験結果のさび厚の差の原因推定および，実橋における腐食因子の推定を行う．

図-7に示すように，B橋のウエブ外側においては保護性さびが生成されていたが，下フランジの下側において，うろこ状の粒子の粗いさびが生成されていた． B橋周辺には，**図-8**に示すように，鋼球暴露供試体を設置した．暴露期間は1年間である．

図-9に，試験結果を示す．No.1，No.2の下段のさび厚は，上段・中段に比べ大きく出ており，B橋の腐食の傾



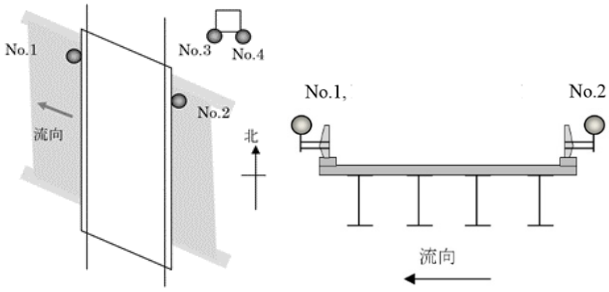
(a) 上段－中段　(b) 中段－下段

図-6 上下方向におけるさび厚の分布（暴露期間1年）



(a) ウエブ（外側）　(b) 下フランジ(下側)

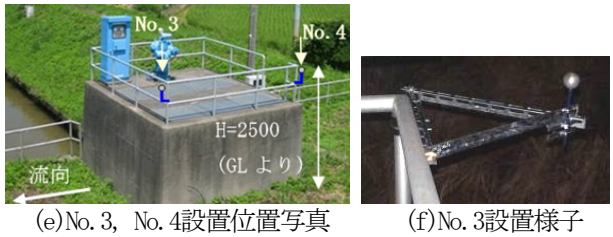
図-7 構造形式とさびの発生状況（B橋）



(a)側面図　(b)平面図



(c)No. 1, No. 2設置位置写真　(d)No. 1設置様子



(e)No. 3，No. 4設置位置写真　(f)No. 3設置様子

図-8 鋼球供試体設置位置（B橋）

向と相関が見られる．一方で，B橋より離れ，鋼球No.3，No.4の下段のさび厚は，上段・中段のさび厚に比べ，方角によっては小さいところもある．

この原因として，No.1，No.2の供試体は，供試体下を流れる河川から湿気が発生しやすく，更に河川の土手に囲まれ，凹んだ土地であるため，下側に湿気がこもりやすいことが考えられる．一方で，No.3，No.4供試体設置位置は，河川から離れており，周辺は田畑が広がる平坦な土地であるため，通風性が良いと考えられる．濡れた鋼球が乾く過程においては，**図-10**に示すように，風向きによる影響を受けるものの，一般的には重力による水膜の厚さの違いによる影響や日射の影響が支配的となるため，上部から下部に向かって乾くと考えられる．このため，上部ほど濡れ時間が短くなり，結果として腐食は少ないと推定される．また，鋼球の上部は雨粒が直接当たるため，下部に比べるとさびが除去され易いと言える．このため，鋼球の下部に比べて上部のさび厚が薄くなることが想定される．これらの事柄が原因で，上下方向のさび厚の結果に差が出たと推定できる．

以上のことから，方向別による局地的な腐食環境の差を鋼球暴露試験法などで把握できると考えられ，簡易に耐候性鋼橋の腐食環境特性の推定ができると考えられる．

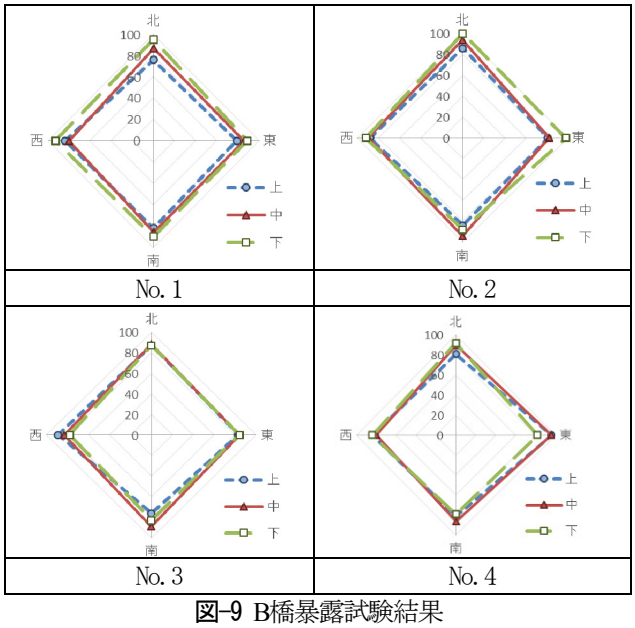
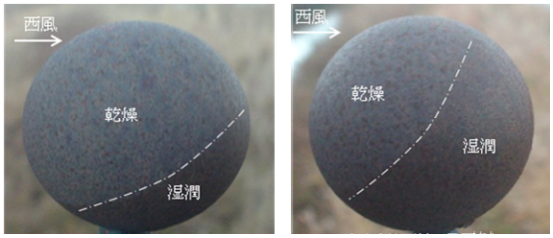


図-9 B橋暴露試験結果



(a) No. 1　(b) No. 2

図-10 鋼球の乾燥・湿潤の部位および風向き

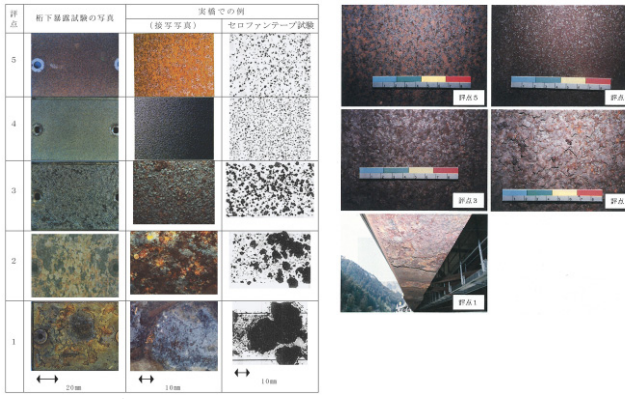
3. 外観性状によるさび状態評価支援ツールの開発

耐候性鋼橋の診断に関する，既往の文献の例を**図-11**に示す．鋼道路橋防食便覧には，さびの分類について，実橋におけるさびの写真による例と5段階に分類したさび外観評点の見本[4]が示されている．一方，（一社）日本鋼構造協会では，耐候性鋼材の板厚減少量の進行速度を予測しながらさびの状態を評価するのが良いとしている．板厚減少量の予測には，環境や腐食状況によってさびの外観が大きく変化することを考慮するのが良いとされ[6][7]，JSSCテクニカルレポートNo.86[6]には，各外観評点における代表的なさび外観（架設後10年以上経過した橋梁での事例）が示されている．

ここで，既往の耐候性鋼橋の代表的な表面性状の例[8]（**図-12**）を，**図-11**から，同じ写真見本を見つけてさびの評価が可能であるかどうかを検討する．

(a)は，支承に著しい層状に剥離したさびが生じた例，(b)は，主桁にうろこ状のさびが生じた事例であり，舗装の排水設備からの排水跡が見られる．**また**，(a)は，橙，茶色，褐色系，黒色の多様な色調で層状に剥離しており，(b)は，白みがかった茶色の排水跡に，うろこ状のさびが生成している．

いずれの事例も，**図-11**(a)あるいは(b)に示されるさびの写真見本以外の，様々な外観性状のさびが見受けられた．さびの外観性状として，さびの大きさのほか，凹凸を含めた立体的形状や色調の違いがあり，これらの組合せによって，多くの種類のさびが見られた．また，さ



(a)鋼道路橋防食便覧　(b)JSSCテクニカルレポートNo.86

図-11 耐候性鋼橋の診断に関する既往の文献



(a)支承周辺　(b)主桁の下フランジ

図-12 耐候性鋼橋の代表的な表面性状の事例[8]

びは橋ごと，あるいは部材ごとに一様ではなく，各種類のさびが生成している範囲は異なった．さびの種類のほかに，生成している部位，範囲などもさびの原因の推定には有効な情報となる可能性がある．

以上より，耐候性鋼橋の診断のためにさびの状態を的確に評価するには，**図-11** (a) あるいは (b) に示される5種類の写真見本だけでは不十分な場合も多いと推測され，さびの平面形状のほか凹凸も考慮した立体形状と大きさ，および色調も組み合わせて正確に分類・評価した判定基準の確立の必要があると考えられる．また，耐候性鋼材の診断は，板厚減少量の進行速度を予測しながらさびの状態を評価するのが良いとされている．一方で，既往のさびの外観性状に関する参考図書には，様々なさびの状態を網羅し，今後のさびの進展状況に関する情報が掲載されたものがない．

そこで本研究では，耐候性鋼橋の診断を行う技術者とそれらの助言を受けて措置等の意思決定を行う道路管理者の双方に対して，診断や意思決定がより的確なものとなるように，耐候性鋼橋のさびに関する既往の様々な表面性状の事例を収集・分析した．一般的に見られることの多いさび状態の外観性状について確立した方法によって画像化，および整理を行い，さびの外観性状の事例集として体系的にとりまとめた（以下，「さび事例集」という）．また，耐候性鋼橋の現状に関する正確な評価のために重要となる，鋼材表面に生成されるさびの大きさ，および凹凸を表現するため，カラーアナグリフ写真を作成した．また，さび本来の色調の再現性を高めるため，写真の色調の補正を行った．

(1) 評価の分類の検討

本研究では，診断する技術者がよりさびの進展の予測がしやすいものとなるよう，さびの評価の分類を，「保護性さび」，「保護性さび以外のさび」，「その他」に分類し，さらに，「保護性さび以外のさび」については，さびの進展の制御が期待できる可能性があるか否かで分類した．また，さびの進展の制御が期待できないものについては，腐食のの主な原因・さびの形状で分類した．「その他」評価においては，耐候性鋼材を適切に診断する上で妨げとなり得る，鋼材表面に堆積した塵あいや鳥のフンの付着等の例を示した．

(2) 立体視できるさびの写真の作成

鋼材表面に生成されるさびの大きさ，および凹凸を表現するため，カラーアナグリフ写真を作成した．

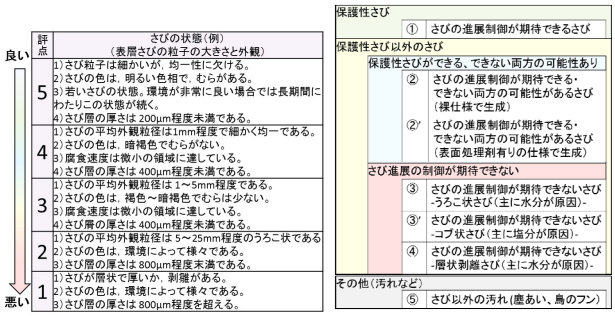
アナグリフとは，立体的な映像を得るための方式の一つである．アナグリフ加工した写真や図形を，カラーフィルタのついた専用メガネを使って閲覧することで，立体視が可能となる（**図-14**）．本研究では，カラーアナグリフ写真に関する閲覧条件は，**図-15**の通り設定した．

図-15に，さびのカラーアナグリフ写真を示す．カラーフィルタのついた専用メガネで見ると，さびの凹凸が再現されていることが確認できる．また，異なる種類のさびのアナグリフ写真を比較することで，相互のさびの凹凸のちがいを確認することができる．以上より，耐候性鋼橋のさびの凹凸や大きさについて，カラーアナグリフ写真で体感できる可能性があることが示された．ただし，カラーアナグリフ写真は左右の色ちがいのカラーフィルタで閲覧することで凹凸を視覚的に把握する仕組みであることから，さび本来の色調を再現することが難しいことに留意する必要がある．

(3) さびの色調の再現性向上への取り組み

図-16に，実際の耐候性鋼橋の同じ位置における同じ状態のさびについて，日照条件が異なる写真を示す．日照条件を考慮せず，**図-11** (a) あるいは**図-11** (b) による外観評点を適用した場合，(a) を外観評点5，(b) を外観評点4と判断する可能性がある．**図-13** (a) によると，外観評点5も4も板厚減少量は小さいものの，進行性の推定などを見誤る可能性がある．そのため，現場での点検時および写真等によるさびの記録時には，さび本来の色調を正確に把握すること，および記録の再現性が重要となる．

そこで本研究では，さびの色調の再現性を高めるため，



(a) 鋼道路橋防食便覧　　(b) 本研究

図-13 評価の分類の対比

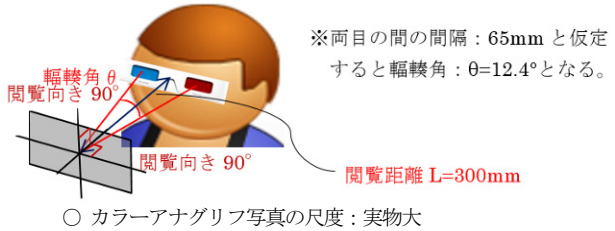


(a) カラーアナグリフ写真



(b) カラーアナグリフ写真専用メガネ

図-14 カラーアナグリフ写真と専用メガネの例



○ カラーアナグリフ写真の尺度：実物大

図-15 設定したカラーアナグリフ写真の閲覧条件

色調の補正を行った．図-17 (a)に示す「Color Checker Passport（x-rite社製）®」（以下，「カラーチャート」という）を(b)のように，撮影したい対象のさびと同時に撮影し，カラーチャートの色調を元に画像処理ソフトを用いて，色調の補正を行った．なお，本研究では画像処理ソフトとして「Adobe photoshop CS6（Adobe社製）®」および「ColorChecker Passport付属ソフト」を使用した．

図-16 (c)が，実際に色調を補正した例である．

(4) さび事例集のとりまとめ

実務者による耐候性鋼橋の診断が，より的確なものとなるよう，さび事例集には，さび一事例に対して，様々な情報を掲載した．図-18に，さびの外観性状の事例集としてとりまとめた一例を示す．

3. (2)で検討したカラーアナグリフ写真に加え，さびの色調をより正確に把握できるよう，近景写真を掲載した．また，さびの発生の仕方は橋や部材ごとに一様ではなく，さび生成している部位，範囲などもさびの原因の推定には有効な情報となる可能性があるため，中景写真を掲載したり，近景写真の撮影部位や橋梁形式についても，さび事例集にまとめた．さらに，さびを診断する際，併用して参考にすることが望ましいとされている[7]，電磁膜厚計によるさび厚の測定，およびセロファンテープ試験による浮きさび等の採取に関する情報も掲載した．また，凍結防止剤の散布の頻度や離岸距離など，診断する上で重要な情報となり得る事柄もとりまとめた．

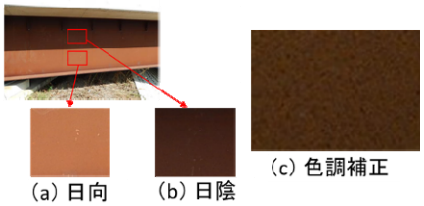


図-16 日照条件の違いによるさびの色調･色調補正の例



(a)カラーチャート　(b)写真撮影の例

図-17 色調補正に使用した用具および撮影例



図-18 さびの外観性状の事例集の一例

4．まとめ

従来の耐候性鋼材の適用評価手法は，装置が大がかりでかつ長期に設置する必要があったり，評価面の設置方向の影響があることや被貼付部材の存在そのものの影響を大きく受けるという課題があった．これに対し，本研究で行った鋼球暴露試験法は，大がかりな装置を必要とせず，被設置部材から離隔をとって評価面を設けることで被設置部材の影響が小さくできること，および全方向からの環境因子による影響を同時かつ相対比較できる特徴がある．鋼球暴露試験を実施した結果，1年間暴露した供試体のさび厚と実橋の腐食状態に相関があったことから，方向別による腐食原因の特定が可能であると考えられる．なお，鋼球暴露試験法の特性を検討した結果，暴露した鋼球の全平均さび厚が100μmを超過しない場合は，さび厚で環境評価を行うのが，さびの厚さが100μmを超過する場合は腐食減耗量で環境評価を行うのが良いと考えられる．本検討結果から，データを蓄積することにより，簡易に架設候補地における耐候性鋼橋の腐食環境特性の推定が，高い精度で可能になると考えられる．

また，外観性状によるさび状態の評価に関するとりまとめについては，カラーアナグリフ写真を適用することで，耐候性鋼橋のさびの凹凸や大きさを体感できる可能性が示された．また，撮影環境による写真の色調の差が生じるという課題に対しては，撮影対象のさびとカラーチャートを同時に撮影し，画像処理ソフトで補正することで，さび本来の色調の再現性が高まり，耐候性鋼材の多様な外観性状をより的確に表現できるものとなった．

今後の研究課題として，鋼球暴露試験による耐候性鋼橋の適用環境評価手法とさびの見本集とを組み合わせて，さびの評価と環境の評価両面からのより適切な維持管理手法の構築を進めていきたいと考えている．

参考文献

1) 国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料第693号 平成23年度道路構造物に関する基本データ集，2012.9
2) （公社）日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編，2012.3
3) 下里哲弘：辺野喜橋崩落に関する緊急報告会，2009.7
4) （公社）日本道路協会：鋼道路橋防食便覧，2014.3
5) 国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料第777号 耐候性鋼橋の適用環境評価手法の高度化に関する研究(Ⅰ)-耐候性鋼材の適用環境評価手法に関する検討-，2012.9
6) （社）日本鋼構造協会：JSSC テクニカルレポート No.86，耐候性鋼橋梁の適用性評価と防食予防保全，2009.9
7) （社）日本鋼構造協会：JSSC テクニカルレポート No.73，耐候性鋼橋梁の可能性と新しい技術，2006.10
8) 国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料第748号 道路橋の定期点検に関する参考資料(2013年版) -橋梁損傷事例写真集-，2013.9
9) 国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料第828号 耐候性鋼橋の外観性状によるさび状態の評価法に関する研究，2015.2

道路維持管理における工夫事例

大久保　広[1]・石塚　未来[2]・米塚　善昭[3]

[1]東北地方整備局　湯沢河川国道事務所　湯沢国道維持出張所（〒012-0855 秋田県湯沢市愛宕町5-1-3）

[2]東北地方整備局　湯沢河川国道事務所　湯沢国道維持出張所（〒012-0855 秋田県湯沢市愛宕町5-1-3）

[3]東北地方整備局　能代河川国道事務所　保全対策官（〒016-0121 秋田県能代市鰄渕字一本柳97-1）

道路の維持管理では，一般交通の安全を確保するため，数十kmに及ぶ管理区間において，多岐にわたる作業を行っている．限られた予算・人員のなかでこれらを行うには，従来の方法に留まらない工夫が必要になってきている．また，現道工事では道路利用者の安全確保がより重要であり，交通規制等の周知方法についても工夫が必要となっている．本報告は，従来使用していた道具について，実際に使用する作業員の意見を取り入れて加工や改良を行ったほか，新たな技術を積極的に採用した事例について報告するものである．

キーワード　維持管理，安全，工夫，効率向上

1. はじめに

道路の維持管理作業においては，限られた予算・人員でいかにして一般交通の安全を確保し，道路利用者のニーズに応えられるかが重要である．

計画や工法の見直しなどでのコスト削減も必要なことではあるが，本報告では，業務の効率性，現場における効率性，あるいは施設の機能保持・安全についてちょっとした工夫に取り組んだ事例を報告するものである．

2. 工夫事例紹介

(1) 構造物への合いマークの表示

合いマークとは，ボルトに縦線を入れることにより，線のずれで緩みを確認できるものである．(写真-1)

従来はトルクレンチを使った点検により，5分/箇所程度かかっていたが，この方法により特殊な知識や機材が無くてもひと目で確認できるようになり，効率が大幅に向上した．



写真-1　合いマーク

(2) 区画線　管内全線のビデオ撮影

従来，区画線の施工箇所は写真撮影により選定していたが，管内全線をビデオにて撮影し，映像での確認を行った．(写真-2)

これにより，車で走行した視点での区画線の見えづらさがわかりやすくなり，施工後でも施工の妥当性が検証可能となった．

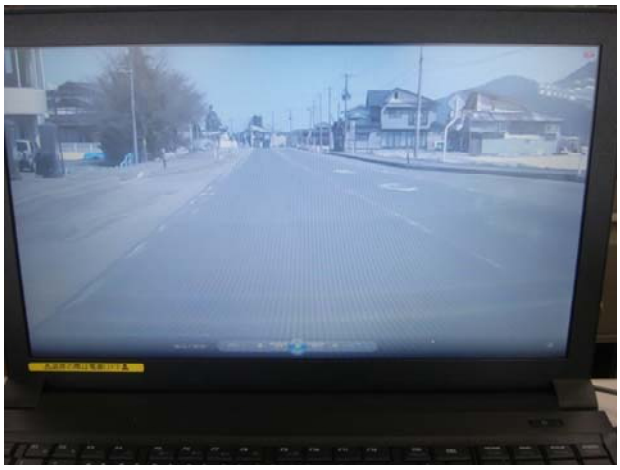


写真-2　ビデオ撮影画面

(3) 側溝清掃用具の改良

湯沢横手道路（自専道）の中央部には排水のため，幅5cm深さ5cmの溝が設置されている．

清掃の際，従来は除草用の鍬や，スコップを横にするなどして行っていたが，100mあたり2時間程度を要し効率が悪かった．そこで，維持業者のDIYにより，スコップの先端を溝に合わせて改良したところ，100mあたり50分程度と，作業効率が従来の約2倍に向上した．（**写真-3**）



写真-3　側溝清掃用具

(4) デリニエータ清掃用具の開発

デリニエータ（視線誘導標）の汚れはその効果を減少させ，事故に繋がる恐れがある．

そのため年1回清掃を行っているが，従来は人力によるスポンジ洗浄で，中腰や屈む姿勢のため，作業員の負担が大きい作業であった．

そこで，取っ手がついたリングにスポンジをつけた清掃用具を開発した．（**写真-4**）これにより3時間/100箇所であったものが20分/100箇所に短縮され，作業効率が約9倍に向上した．



写真-4　デリニエータ清掃用具

(5) 耐久性の高い材料の使用

橋梁ジョイント部の前後などは，可動により繰り返し舗装が破壊される．従来はその都度パッチングにより対応してきたが，高耐久弾性舗装材を使用することにより補修回数を削減することができた．（7～8回/年→0回）（**写真-5**）

また，交通規制が減ることで，道路利用者及び施工者の安全確保にも効果が期待される．



写真-5　高耐久弾性舗装材の施工

(6) 標識の防護

路側に設置された標識柱は，除草時に草刈り機の刃により根元が傷つけられることが多い．この傷がさびを助長し，劣化の原因となっている．

そこで，更新時に塩ビ管を巻き，基礎部分の防護を行った．（**写真-6**）これにより標識の損傷を防ぎ，耐用年数の向上が見込まれる．

(7) ボックス部の立入防止柵の補強

通常，ボックス部の立入防止柵はアンカーにて固定するが，積雪により鋼管の基礎に比べて激しく損傷を受けてしまう．

そこで，ボックス部のみワイヤーで支柱を引っ張り，補強する試みを行ったところ，雪解け後も損傷はみられなかった．（**写真-7**）

(8) 舗装前の段差解消対策

民家の乗り入れ部など，歩道舗装の際に段差となる箇所では，従来ゴムマットを敷いたりアスファルト合材等による摺り付けを行っていた．

しかし，マットはズレやバタつきが発生し，こまめな点検が必要であった．また合材は設置・撤去の手間がかかり，人家連坦部では箇所数も多くなってしまう．

スロープマットはくさびや連結金具によって固定でき，設置・撤去も容易であるため，効率向上に繋がった．（**写真-8**）

(9) 吊荷警報器の活用

従来，クレーンを使って資材を運搬する際は，声がけや拡声器のサイレンによる注意喚起を行っていたが，工夫として吊荷警報器を使用した．(写真-9)音量を選択できるので，通過車両の騒音で聞こえづらいこともなくなり，本体スイッチを操作しないと音が停止しないため，より確実な注意喚起ができるようになった．

(10) 注意喚起のための表示

切削オーバーレイ後の段差箇所では，従来は看板のみでの注意喚起を行っていたが，視認性や注意喚起の効果は高くなかった．

今回使用した保安標識は，車両から立体的に見え，路面に接着するタイプであるので設置が容易であることから，効果が期待されるものである．(写真-10)

(11) 交通規制日数のカウントダウン看板

工事による規制箇所に設置する看板は全工期を記したものが多いと思われる．

この事例では，通行車両への情報提供の充実を目的として，規制解除までの日数をカウントダウン型式で表示した．(写真-11)

通行車両や近隣住民からは，「日数を参考に期間中は経路を変更した」「思ったより渋滞しなかった」など好評で，苦情などもなかった．

(12) 大型メッシュ看板

工事による規制区間の前後に設置する看板は，通常はトタン製のものを使用している．

しかし，強風時に倒れやすく，積雪により埋もれてしまう等の問題があった．

そこで，メッシュ素材でより大型の看板を設置した．(写真-12)メッシュなので風の抵抗が少なく，冬期の強風でも倒れるおそれが少ない．また軽量で設置しやすいことなどもメリットである．

3. まとめ

以上，12例について述べた．

いずれも小さな工夫ではあるが，効果を得られたものばかりである．このようなまとめを行うことで，受注者の日々の努力や，新しい技術にアンテナを張り巡らせることの重要性を強く感じることができた．

長期において効果が現れてくるものや，道路利用者の声を聞くことができなかったものもあるため，今後も工夫に取り組みつつ，検証を続けたいと思う．



写真-6　標識の防護



写真-7　立入防止柵の補強



写真-8　スロープマット



写真-9　吊荷警報器



写真-10　注意喚起表示



写真-11　カウントダウン看板



写真-12　大型メッシュ看板

国道１９号鳥居トンネル大規模修繕

松井俊和[1]

[1] 中部地方整備局　飯田国道事務所　木曽維持出張所（〒399-6101 長野県木曽郡木曽町日義4774）

国道１９号鳥居トンネルは、１９７８年に完成し、現在まで３７年間利用されている。換気方式は天井板を有する「半横流換気方式」が採用されていたが、自動車排出ガス規制の強化によりジェットファンによる「縦流換気方式」への変更が可能となった。

本論文は、トンネル換気方式の見直しにより不要となる天井板撤去及び覆工部の補修について報告するものである。

キーワード：天井板撤去、ジェットファン、昼夜片側交互通行、作業構台、空洞・漏水・剥落対策

１．はじめに

我が国の道路は高度成長期より急速に建設され、これらの道路構造物が近年急速に老朽化し、トンネル、橋梁などの重大な損傷が顕著となっている。平成24年12月に発生した中央自動車道笹子トンネルの事故では、天井板の落下により甚大な被害が発生した。

当事務所で管理する国道１９号鳥居トンネルについても天井板を有する同型式であることから、このような重大な事故を防ぐため、まずは鳥居トンネルの換気方式の見直し及び経年劣化に伴うトンネルの補修に着手した。

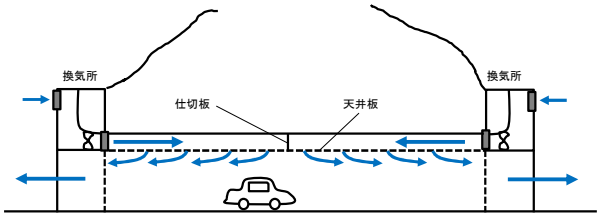


図-1　半横流換気方式（事業着手前）

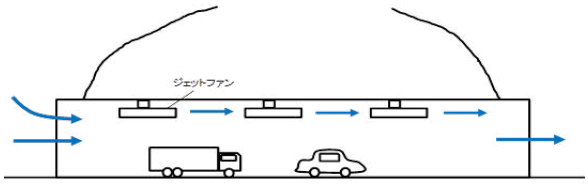


図-2　縦流換気方式（事業着手後）

２．鳥居トンネルの概要

鳥居トンネルの概要を以下に示す。

・延　　長：１，７３８m
・幅員構成：車道（３．２５×２）
　　＋路肩（０．５０×２）
　　＋歩道１．００　＝　８．５０m
・有効高さ：４．７m（高さ制限４．４m）
・換気方式：半横流換気方式
・完成年次：１９７８年
・交 通 量：１８，０３３台／日（H２２センサス）

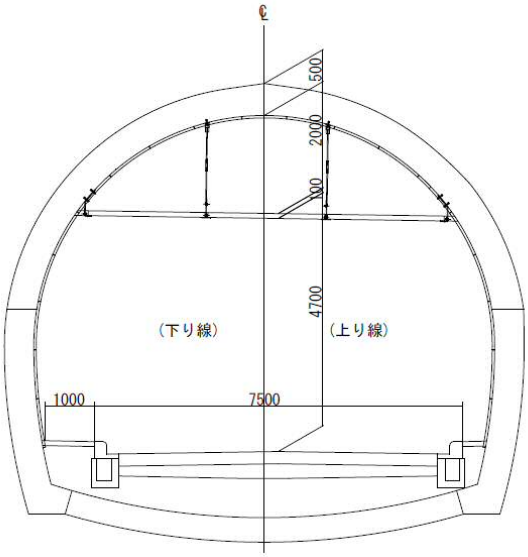


図-3　鳥居トンネル断面図

３．事業の計画

天井板落下事故防止のため、まずはトンネル換気方式を見直し撤去することが可能か検討した。鳥居トンネルが建設された昭和５０年頃には、天井板を有する構造が標準的であったが、近年の自動車排出ガス規制の強化やジェットファンの性能向上により、天井板を有する「半横流換気方式」から、ジェットファンによる「縦流換気方式」へ変更可能となった。

またトンネル本体についても調査を実施したところ経年劣化により覆工部からの剥落、漏水が多数箇所から発生し、消火設備等の防災設備も老朽化が進んでおり、対策が必要だと判明した。

このため天井板を撤去し、新たにジェットファンを取り付けるとともに、覆工部の補修、設備の更新も合わせて実施するという大規模修繕の計画を決定した。

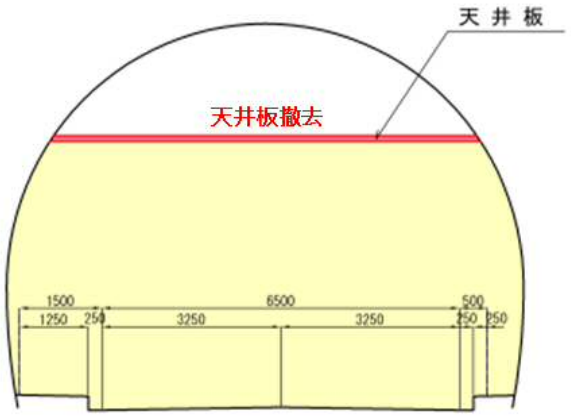


図-4　大規模修繕前の断面

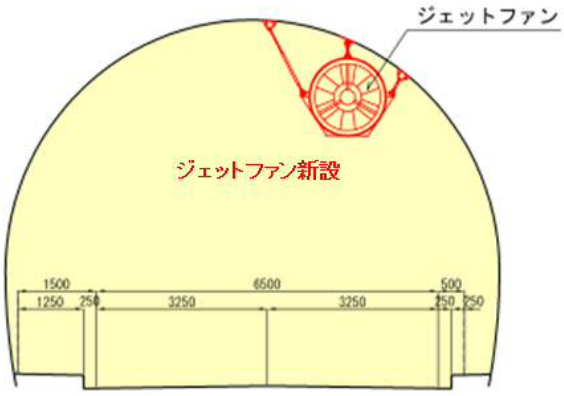


図-5　大規模修繕後の断面

４．天井板撤去工法の検討

(1) 迂回路の検討

当該路線は１日当たりの交通量が約１８，０００台（大型車混入率４１．５％）と非常に多く、特に夜間は大型車の交通量が多くなる。

天井板は車道直上に設置されているため、撤去工事に当たっては一般車両への影響は免れなく、これを考慮した規制方法、規制時間帯を設定する必要があった。

規制方法については、

① 迂回路を確保し、トンネルを全面通行止めとして工事をおこなう

② 一般車両の防護を兼ねた作業構台により、片側交互規制により工事を行う

が考えられた。

トンネルを全面通行止めとした場合、その代替道路として考えられるのは以下の３路線である。

① 国道３６１号～県道４９３号

② 国道１５３号

③ 中央自動車道～長野自動車道

上記各路線に対し、迂回路として利用した場合の走行距離、走行時間、問題点を下表にまとめた。

路線	19号利用に対する増分		問題点
	走行距離（km）	走行時間（分）	
国道361号～県道493号	4	15	・地元住民への悪影響 ・重量制限のある橋梁の補強が必要 ・舗装の打替え、道路の拡幅等が必要
国道153号	23	45	・地元住民への悪影響 ・渋滞の懸念
中央自動車道～長野自動車道	25	22	・事故等で通行止めとなった場合、代替ルートの確保が困難

表-1　各路線の迂回路としての特性

以上のように、何れの場合も走行距離・時間の増加や地元住民への悪影響などが考えられ、特に消防車、救急車等の緊急車両の通行を考えた場合、上記路線を迂回路として指定するのは避けるべきと判断し、迂回路は設定せずトンネルの終日片側交互通行を基本とした規制方法を採用した。

（２）天井板撤去工法の検討

天井板撤去の工法は表－２に示すように、汎用機（解体用アタッチメント装備のバックホウ等）による方法と、撤去作業構台により通行車両を防護し人力により撤去する方法が考えられる。

トンネルの全面通行止めが可能な場合は、汎用機による撤去が施工性、経済性とも最も優れるが、本トンネルでは（１）の検討より迂回路を設定せずに一般車両の通行を確保しながら工事を進めることとしたため、作業構

台を設置して通行車両を防護しながら撤去を行う工法を採用した。

	汎用機による撤去	撤去作業構台による撤去
工事状況例		
施工概要	・建築物等の解体に用いられる解体用アタッチメントを取付けたバックホウにより撤去 ・撤去ガラは大型トラック等で搬出	・プロテクターを坑内に設置し、その上部で天井板を撤去する ・天井板の取り壊し作業は主に人力 ・撤去した天井板はトラック等に積替え搬出
通行規制	・終日全面通行止め（夜間全面通行止め）	・終日片側交互規制
	・通行車両に対する配慮が不要なため、大型重機の投入が可能で施工性に優れる ・汎用機械で施工でき、経済性に優れる	・15～20分程度の待ち時間が必要となる ・緊急車両の通行が可能
概算工期	約1ヶ月（約2ヶ月）	約3ヶ月
概算工事費	12百万円	520百万円
評価	・施工性、経済性が優れる ・迂回路が確保が出来ないこと、緊急車両の通行も不可であることから、沿線の理解が得られず非現実的	・渋滞が生じる可能性は高いが、全面通行止めは不要のため、社会的影響は軽微 ・規制時間中でも緊急車両の通行が可能である

表-2　撤去工法の比較検討

撤去に使用する作業構台の大きさは、天井板の取壊しを人力にて行い、構台上に設置した小型クレーンを用いてトラックに積込み搬出する工法を採用したため、天井板の設置高や運搬トラックの作業スペースを考慮し内空断面でH＝４．２m、W＝３．５m、L＝１２．０mとし、トンネル中央部から坑口側へ向かって２箇所で撤去することを考え２基とした（図－６、図－７）。

また、構台設置により２４時間片側交互通行規制となるため、撤去作業も昼夜の２パーティー制にて行う計画とした。

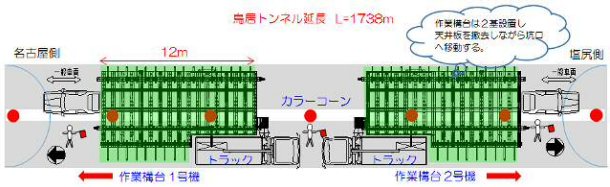


図-6　作業構台の配置イメージ



写真-1　人力作業による天井板撤去作業状況

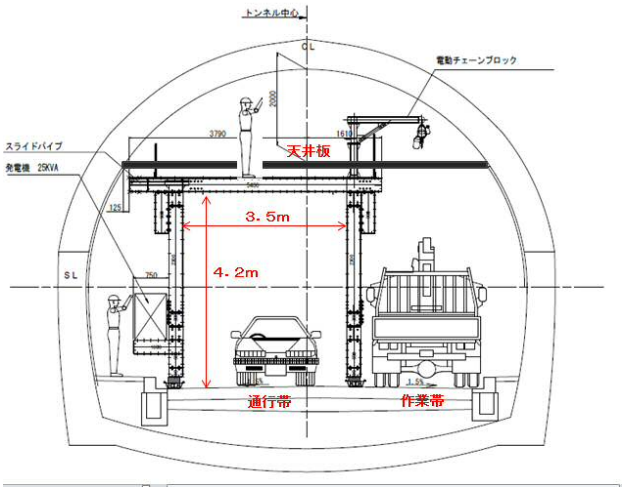


図-7　作業構台の設置イメージ図

５．天井板撤去の課題と対策

(1) 長期規制、車両制限への対策

天井板撤去作業では約３ヶ月間の終日片側交互通行が必要とされ、また作業構台を設置するため高さH＝３．８m、W＝３．０mの通行制限が発生する。このため「長期規制」及び「車両制限」について下記の対策を実施した。

a) 道路利用者への広域広報

鳥居トンネルの延長は約１．７kmであり、片側交互通行規制としても最大約 20 分の待ち時間発生や、作業構台の設置による大型車の通行規制が余儀なくされ、本路線を利用する地区及び広域の通行車両に対し、多大な影響を及ぼすと想定された。

これらについて事前に広域に周知するよう、１ヶ月前より新聞掲載を行った他、事前２週間に渡るラジオ放送によるCMを行った。

また、図－８に示すチラシを、長野県南部を中心とした市町村、警察署、消防署等だけでなく、県外のトラック協会、バス協会、日本道路交通情報センターなど広範囲に周知されるよう、約１万枚を配布した。

さらに路線上の主要な交差点４２箇所においても、図－８に示す案内看板を設置し周知の徹底を図った。



図-8　チラシ及び案内看板

b）作業構台への安全対策

天井板の撤去作業は作業構台を設置し一般車両の通行を確保しての撤去作業となるため、トンネル内には高さ３．８m、幅３．０mという、車両制限が発生する。万が一、高さ制限を超える大型車両がトンネル内に進入し作業構台と接触すれば、重大事故が発生してしまう。広域広報により事前に周知しているとはいえ、これだけでは万全な対策とは考えられなかった。完全に接触事故を防ぐには、周知だけではなく物理的に事故を防ぐ必要があった。とはいえ単純にトンネル坑外に高さ制限装置を設置しても、高さ制限装置との接触による重大事故発生の可能性もある。

そこで、図－９に示すようにトンネルの手前３箇所で段階的に確認するという方法を採用した。

まず進行方向に対して１箇所目には、車両用高さセンサーのみを設置し、赤色の回転灯が回ることでドライバーに高さ制限を超えていることを周知する。

２箇所目は車両用高さセンサー及び交通誘導員２名を配置しセンサーが反応した車両を転回所へ誘導する。そこで再度車両高さを確認し、制限を超えているようであればUターンさせる。

３箇所目では最終手段としてH鋼による高さ制限柵により、物理的に進入を防ぐものとした。

結果、広域広報をしても制限を超える車両が来てしまうことが数回あったが、２箇所目の回転場でUターンして頂くことですべて対応することが出来、接触事故を未然に防ぐことが出来た。

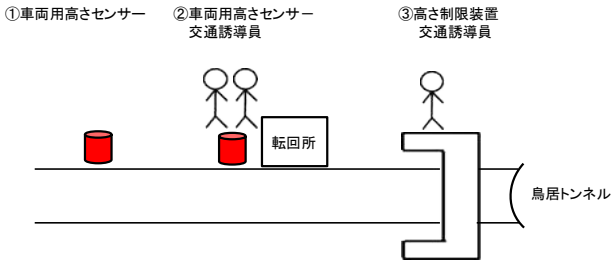


図-9　車両用センサー、高さ制限装置配置図



写真-2　高さ制限装置設置状況

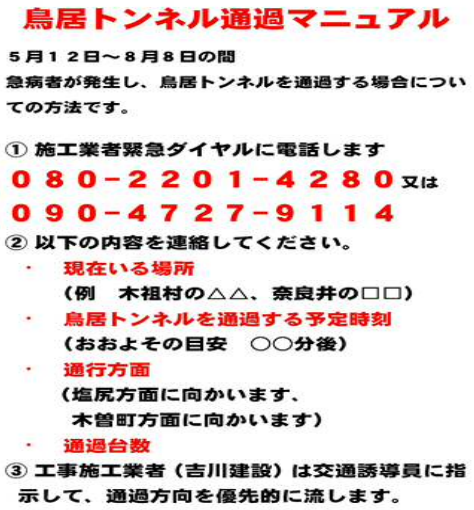
C）緊急車両への対応

終日片側交互通行を実施するにあたり、最大 20 分程度の待ち時間が予想されたが、救急車、消防車、警察車両等の緊急車両については渋滞に巻き込まれないように、優先的に通す対策が必要であった。

そこで鳥居トンネルを緊急車両が通過する際は、事前に連絡を頂き、緊急車両の通過方向を優先的に流すという方法を採用した。

図－10 に示すように鳥居トンネルの通過方法をマニュアル化し警察署、消防署などの関係機関に周知を行った。施工中は緊急車両対応専用の携帯電話を２基現場に用意し、必ず連絡がとれる体制を確保するものとした。

結果、事前に緊急車両から連絡を頂くことが出来たので、優先的に緊急車両を通過させることが出来た。


鳥居トンネル通過マニュアル

５月１２日～８月８日の間
急病者が発生し、鳥居トンネルを通過する場合についての方法です。

① 施工業者緊急ダイヤルに電話します
０８０－２２０１－４２８０ 又は
０９０－４７２７－９１１４
② 以下の内容を連絡してください。
・ 現在いる場所
（例　木祖村の△△、奈良井の□□）
・ 鳥居トンネルを通過する予定時刻
（おおよその目安　○○分後）
・ 通行方面
（塩尻方面に向かいます、
木曽町方面に向かいます）
・ 通過台数
③ 工事施工業者（吉川建設）は交通誘導員に指示して、通過方向を優先的に流します。

図-10　鳥居トンネル通過マニュアル

d）工程管理

規制期間については広域に周知しているため、必ず予定期間内に作業を終える必要があり、また終日片側交互通行による一般車両への影響を少しでも少なくするため工程管理では１日も早い完了が求められた。

事前の調査、計画は可能な限り行っているが、トンネル施工時の詳細な資料が不足していること等もあり、どうしても作業着手しないと解らないこともあった。

このため作業着手日からは日々、関係業者間による打ち合わせ（工程会議）を行いながら、作業進捗の遅れや計画との不一致箇所に対する対策について話し合い、修正を行った。

また作業現場には現在の進捗状況や目標を示したパネルを設置し、朝礼時に作業員に周知するなどして、作業員の目標意識を高め一丸となって工事に取り組んだ。

（2）覆工天頂部の劣化対策

鳥居トンネルは供用後、経年劣化に伴う覆工部からの漏水、ひびわれ、剥落が多数箇所で発生していた。

また矢板工法により施工されたトンネルのため、天頂部の覆工背面の空洞も懸念された。よって、調査・補修については、空洞対策、漏水対策、ひび割れ・浮き対策に重点を置き、下記の調査及び対策を実施した。

天井板撤去後の第３者被害を防ぐため、コンクリート劣化箇所については、コンクリート片（写真－３）の落下、漏水については冬期のつらら（写真－４）落下を考慮し、これらについては天井板を撤去する前に確実に補修するものとした。



写真-3　覆工コンクリートの劣化状況



写真-4　漏水発生箇所の冬期つらら状況

a)　空洞対策

トンネル覆工コンクリートの巻厚および背面の空洞の調査において地中レーダー探査を実施した結果（図－１１）、鳥居トンネルの覆工巻厚不足及び背面の空洞が確認された。そこで削孔とファイバースコープによる詳細な調査を実施（写真－５）したところ、巻厚不足箇所は自立性の良いチャートであることが確認された。

この結果を受け、空洞対策は裏込注入を実施するものとした。注入方法として、空洞部への発砲ウレタン注入を採用し、覆工と地山を密着させて均等な荷重を作用させることにより、覆工及び周辺地山を安定させるものとした。

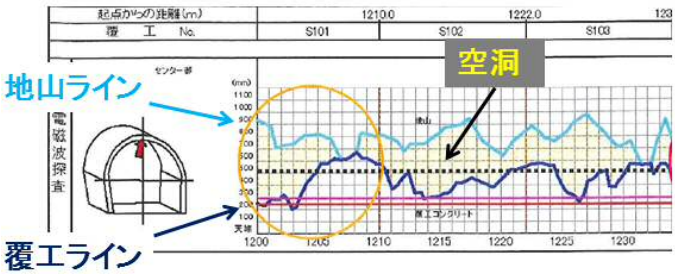


図-11　地中レーダー探査の結果

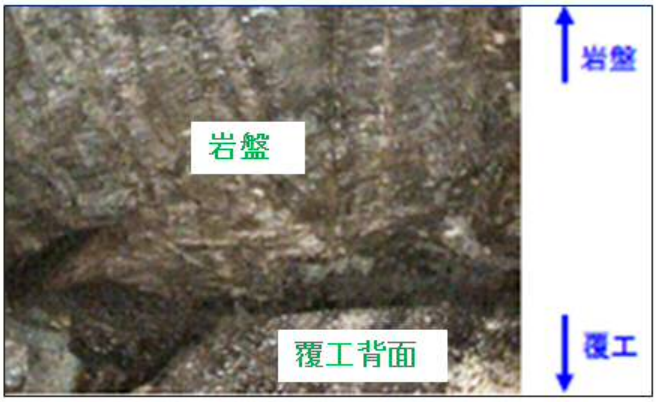


写真-5　ファイバースコープによる空洞調査

b）漏水対策

近接目視点検により、覆工コンクリートからの漏水箇所を確認した。導水樋等を設置し導水する方法では将来的に樋が落下する可能性があること、樋で覆われた箇所の劣化が確認出来なくなることから、疎水性ポリウレタン樹脂により止水する、高圧止水工法を選定した。

止水工の施工に際し、漏水していた水が付近の弱点箇所にまわり新たな箇所からの漏水となる事象が発生したため、「止水工」→「漏水箇所の点検」→「止水工」を繰り返し行うことにより、確実な止水に留意した。



写真-4 高圧止水工の施工状況

ｃ）ひびわれ・はく落対策

近接目視点検の実施により、トンネル目地部には、コンクリートの浮き、はく離、補修モルタル等の浮き箇所を多数確認した。

これらの目地部、アーチ覆工部等の表面劣化箇所については、浮いたコンクリートをたたき落とし、ポリマーセメントモルタルによる断面補修を行ったうえで、補修材料の再劣化・剥落を防止するため、写真－６に示すようなコンクリートに炭素繊維を接着する、シート接着工を併せて実施した。

また、天井板、面導水板を固定するために覆工コンクリートに設置されていたアンカー周辺部や、緊急性はないが将来的に劣化が心配されるマイクロクラックが入った箇所については、予防保全的な対策として、ひび割れ含浸性のある繊維入り有機系接着剤の塗布を行った。（写真－７）



写真-6　炭素繊維シート接着工の施工状況



写真-7　繊維入り有機系接着剤の塗布状況

６．本取り組みの評価と今後の課題

本トンネルの天井板撤去では終日片側交互規制を行った結果、予想通り20分程度の待ち時間を伴う渋滞が発生することがあったが、新聞・ラジオや看板設置等による事前の広域広報を積極的に行うことで、トラブルなく、また作業構台への安全対策や日々の綿密な打ち合わせにより、期日の７日前に無事故で工事を終えることが出来た。

トンネル天頂部の損傷箇所の補修を確実に実施し、換気方式をジェットファンに変更したことで、より安全なトンネルとすることが出来た。

しかし、これからの老朽化によるコンクリート片の落下など、完全に落下災害の不安が払拭された訳ではなく、これらについては、定期点検などにより確実な点検・管理を実施していく予定である。



写真-8　天井板撤去後の鳥居トンネルの状況

７．おわりに

我が国の道路施設は老朽化が進んでおり、これらの施設を今後どのように維持・管理していくかが、重要な課題である。本事例で紹介した鳥居トンネルも老朽化が進み、天井板撤去と合わせて大規模な補修が必要となった。

維持管理のコストを軽減するには、老朽化が進行する前に、小規模な補修を計画的に施す必要があり、このことは限られた予算の中で道路を維持管理していくのに重要なことであるが、道路の規制回数が多くなる等、道路利用者のご理解・ご協力も必要不可欠である。

今後も続く維持管理においても、重大な事故を未然に防ぐために、本事例で紹介した広報等も積極的に活用し、道路利用者のご理解・ご協力を得ながら、道路の維持管理に努めて行きたい。

謝辞：本事業の計画・実施にあたり、ご指導頂いた岐阜大学八嶋厚教授をはじめ関係者の皆様にこの場をお借りして感謝の意を表します。

河川管理施設における遠隔監視制御システムの有効性について

阿部　英明[1]・笠原　邦昭[2]・畑山　啓[1]

[1]信濃川河川事務所　施設管理課　（〒９４０－００９８新潟県長岡市信濃１丁目5番地３０）

[2]信濃川河川事務所　（〒９４０－００９８新潟県長岡市信濃１丁目5番地３０）.

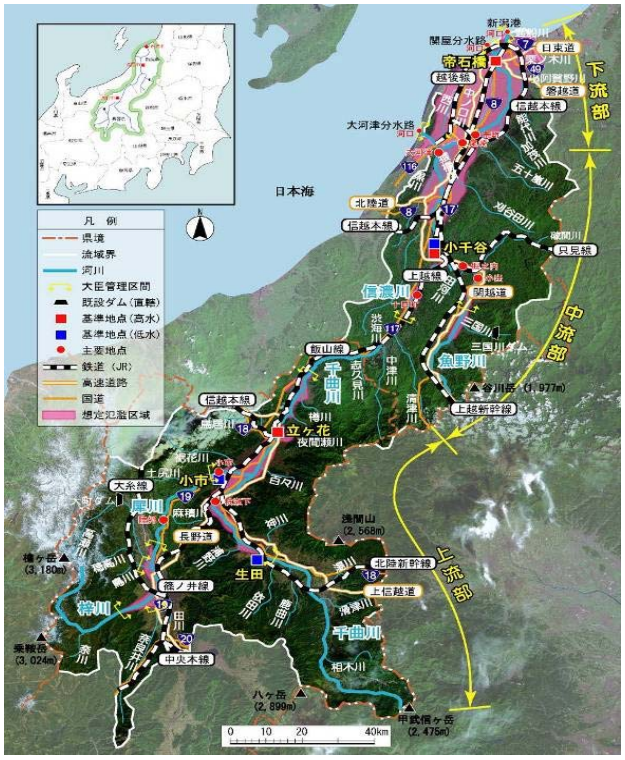
河川管理施設である水門や樋門，排水機場などは，流域に暮らす人々を洪水の危機から守るために不可欠な施設である．河川管理施設は，適切に維持管理して初めてその機能が発揮できるため，日頃より監視し常に万全の状態に保つ必要がある．

しかしながら，施設の老朽化によるトラブルの多発とともに，操作員の高齢化による体力低下など，対応に苦慮しているところである．そのため，操作の負担軽減や河川管理施設の効率的な状態監視などを目的に，遠隔監視・制御（操作）システム（以下「遠隔監視制御システム」という。）を構築し有効性の確認を行い，今後の活用を検討したので報告する．

キーワード　河川管理施設，遠隔監視制御，遠隔操作，水門，樋門，排水機場

1. はじめに

信濃川は，長野県・新潟県の両県を貫流する幹線流路延長及び年間総流出量が日本一の大河川である．信濃川河川事務所は，その中流域と支川である魚野川の一部を管理している．



図－1　信濃川　流域図

信濃川下流域には日本海側最大の政令指定都市である新潟市をはじめ，長岡市・三条市等の地方中心都市がある．この越後平野は，内湾であったところが河川の土砂堆積等により形成された海抜0メートル地帯が広範囲にあり，流域に暮らす人々の歴史は洪水との闘いの歴史であった．

安全・安心に生活するためには，堰や水門・樋門，排水機場などの河川管理施設が適切に管理・運用されている必要があり，日頃より監視し常に万全の状態に保ち，災害発生時には迅速・確実に操作できる体制の確保は，絶対的な命題である．



写真－1　大河津洗堰

しかし，河川管理施設の老朽化は進展し，操作員の高齢化や職員数の削減などの課題もある中，河川管理施設の常時監視や操作員の安全確保，非常時の確実な操作などを目的に遠隔監視制御システムを構築し，その有効性を確認するとともに，今後の活用について報告する．

2. 現状と課題

信濃川河川事務所では，大規模施設である大河津洗堰や大河津可動堰，妙見堰をはじめ，表－1のとおり水門や樋門・樋管，揚排水機場等の68箇所，164施設を維持管理している．

表－1　河川管理施設一覧

区分	大規模施設	水門設備	樋門設備	樋管設備	その他	揚・排水機場	計
箇所数	3箇所	9箇所	10箇所	26箇所	7箇所	13箇所	68箇所
施設数	43門	21門	18門	37門	17門	28台	164施設



写真－2　水門



写真－3　排水機場

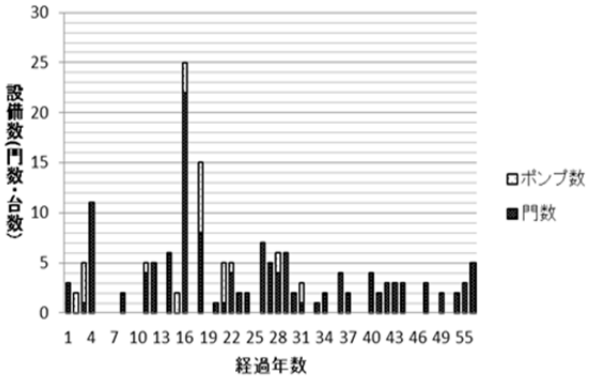
(1) 施設の老朽化

施設の維持管理（点検・整備）については，操作員等の日常点検の他，専門の業者による定期点検，不具合発生時には臨時の点検整備を行い復旧させている．

信濃川河川事務所が管理する河川管理施設は，図－2に示すとおり，一番古い施設で設置後62年が経過しており，既に40年以上を経過した設備数が30を超えている．

特に電気設備である機側操作盤関係は，経過年数に比例して不具合が顕著となる傾向にあり，水門等ゲート設備は、機側操作盤が故障した場合は，手動ハンドルにより扉体の開閉操作を行う必要があり時間も労力もかかる．

更に，機側操作盤は突発的に故障する場合が多く，早期復旧には故障箇所の速やかな特定が必要不可欠であり，常に状態が監視できれば速やかな対応につながる．

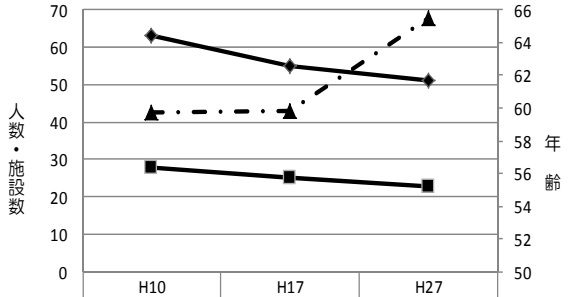


図－2　経過年数と設備数（門数・ポンプ台数）

(2) 操作員の高齢化

河川管理施設のうち，流量調節を伴う大規模施設については，堰等管理員が配置され24時間監視・運用しているが，通常の水門や樋門・樋管，揚・排水機場などについては，操作要領に基づき予め決められた水位に達した場合，操作員が非常参集し，運転操作を行い地域の安全確保を図っている．

水門等操作委託は，国土交通省から直接個人へ委託する委嘱と地方自治体等への委託があり，図－3に信濃川河川事務所が委嘱している操作員数と施設数，操作員の平均年齢を示す．



	H10	H17	H27
全体人数	63	55	51
施設数	28	25	23
・平均年齢	59.7	59.8	65.5

図－3 委嘱している操作員数と施設数と平均年齢

操作員の委嘱については，近年の社会的状況から核家族化や共働きが多く，なかなか委嘱を承諾してくれる人が少なくなってきており，要員確保に苦慮している．

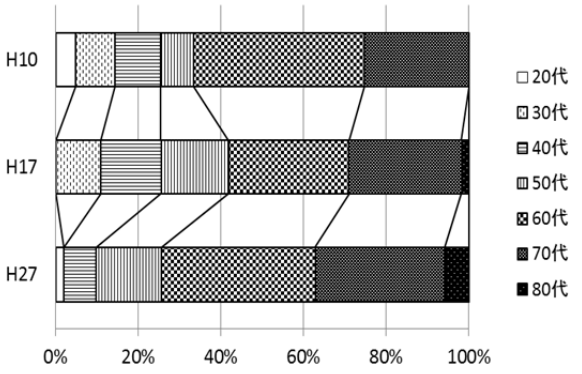
このため，地域に密接する河川管理施設については，地方自治体への委託が増加し，信濃川河川事務所が直接委嘱している施設数・全体人数は減少している．

委嘱に承諾していただける方は，日中在宅している高齢者が多くなっており，平均年齢が上昇している．

委嘱している水門等操作員の年齢構成を図－4に示す．20代・30代の若い人が平成10年度には約15%であったが，平成27年度には約2%と大幅に減り，50代・60代が増え

50代以上が全体の約90%となっている状況である．

そのため平均年齢も非常に高く，操作員の高齢化が急速に進んでいる．



図－4　委嘱している操作員　年齢構成状況

一般的には，高齢化に伴い体力低下や体調不良等となるリスクが高まること．また，正・副の2名体制を確保しているものの2名とも70才を超えている施設もあり，操作員の高齢化は大きな課題である．

さらに，事務所・出張所の職員も少なく，水門等操作員のバックアップをできる状況ではない．

(3) 水門等操作員の安全確保

平成25年4月5日付で「水門・閘門等の整備・管理のあり方に関する提言」(水管理・国土保全局)がまとめられ，提言においては，現場操作員の安全最優先とする危険時における待避ルールの明確化，水門・閘門等の自動化・遠隔操縦化の促進，管理委託のあり方等について，現状・課題と今後の取組の方向性が示されている．

特に東日本大震災の教訓を踏まえ，現場操作員の安全確保を最優先とした水門等の操作を確実にできる管理体制の構築と運用が重要であり，樋門等の操作規則・操作要領には「操作員が現場の状況から危険を察知した場合には所長に退避の指示を求めることができる。また、緊急を要する場合には、退避後に報告することができる。」と明記された．

また，提言にはソフト対策として「退避ルールを明確化し周知徹底すべき」と示され，ハード対策の一つとして，「自動化・遠隔操作等を積極的に検討すべき」と方向性が示されいる．

3.　遠隔監視制御システム

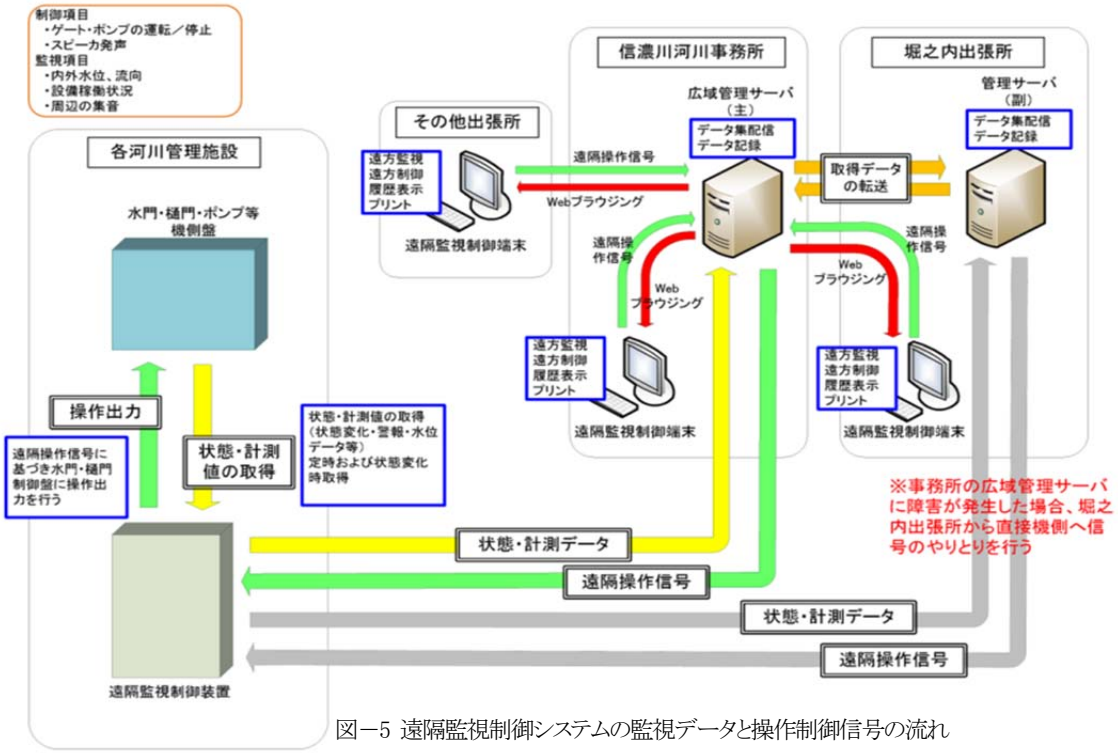
提言のハード対策の一つとして掲げられている「遠隔操作化」として，信濃川河川事務所では河川水位や各設備の運転状況・故障発生を常時監視し，遠隔で樋門や排水機場を操作することを目的に「遠隔監視制御システム」を構築し，施設数が多い堀之内出張所管内に導入した．

(1) システムの概要

図－5に示すとおり，各河川管理施設の機側操作盤に装備する遠隔監視制御装置は，運転維持管理情報を事務所・出張所に送信する機能を有する．また，事務所・出張所に設置した遠隔監視制御端末は，各河川管理施設からの受信データに基づき，各施設の状態等の表示と遠隔操作を行う機能を有する．

(2) システムの機能と特徴

今回のシステム構築あたっては，施設の状態監視・操



図－5 遠隔監視制御システムの監視データと操作制御信号の流れ

作に特化したシンプルで最低限な機能と操作に必要な現地情報の表示ができるものとし，事務所も含めたネットワーク化をするものとした．以下にシステムの主な機能と特徴を示す．

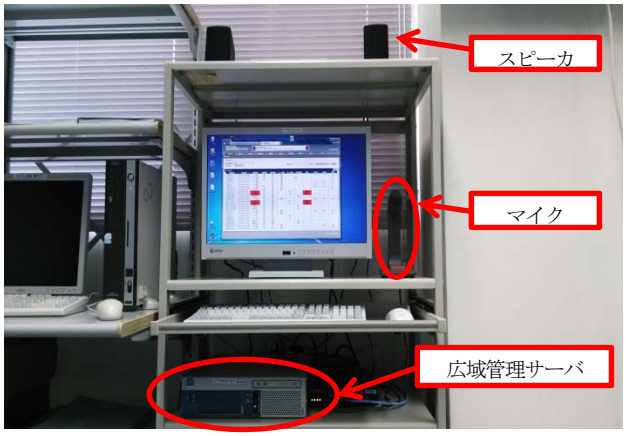
a)　各設備の運転・故障状況の監視

現地施設の運転状況，又は故障等の発生状況を監視画面に表示する．

執務室や事務所長室のモニターに表示可能である．



写真－4　監視モニター



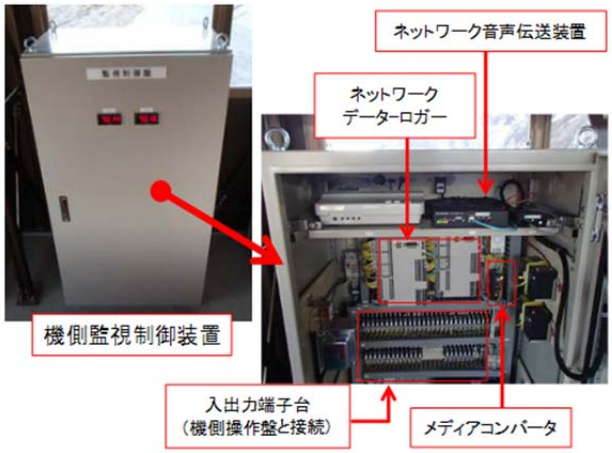
写真－5　遠隔監視制御端末（事務所・出張所）



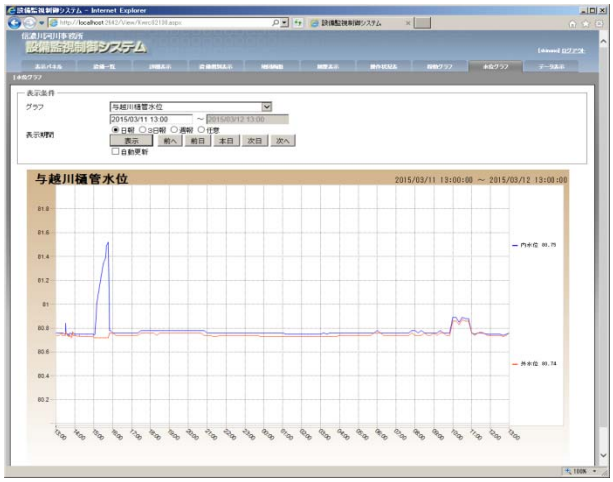
写真－6　遠隔監視制御装置を配備した河川管理施設

b)　水位の変化表示（トレンドグラフ）

施設（設備）毎に水位のデータを定期的に取得・蓄積し，トレンドデータとしてグラフ化する．



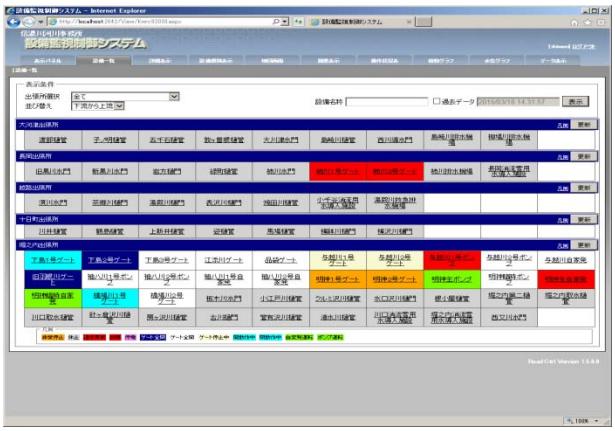
写真－7　機側監視制御装置（構成機器）



図－6　水位グラフ画面

c)　故障発生時の表示

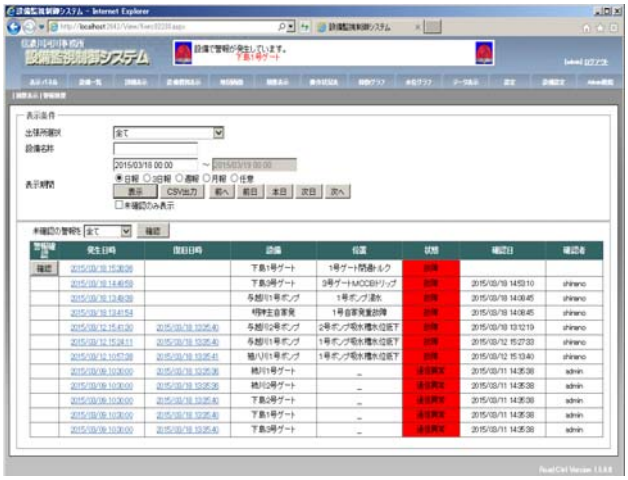
施設（設備）毎に故障発生時は，重故障の場合は発生項目まで，軽故障の場合は一括で異常を表示する．



図－7　設備一覧表示画面

d)　運転・故障履歴

施設（設備）毎に運転時間及び故障時は故障内容（重故障・軽故障等）を時間毎で記録し，履歴として一覧表示する．



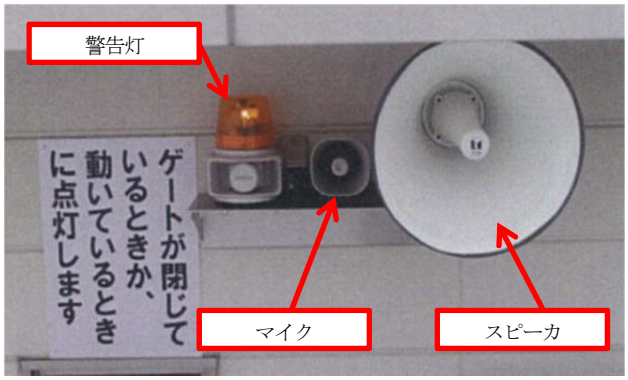
図－8　運転・故障履歴画面

e)　帳票自動作成（運転記録等）

運転記録等の所定様式で帳票をプリンター出力する．

f)　音声通話

マイクとスピーカにより，事務所及び出張所と現地の間で音声の送受信が可能である．マイクにより施設周辺の状況を確認するとともに，施設の作業者へ音声による指示ができる．（写真－8）



写真－8　警告灯・マイク・スピーカ

g)　河川管理施設の遠隔操作

事務所・出張所から遠隔操作により，水門等は開閉操作を，揚・排水ポンプは運転・停止操作を行うことができる．



図－9　各施設毎の操作画面

h)　Ｗｅｂカメラ

操作室の室内の開閉装置や機側操作盤，操作員の状況を確認する．



写真－9　Ｗｅｂカメラ

i)　監視カメラ

河川管理施設の周辺状況（水位等）を監視するため施設の上流側・下流側に遠隔操作可能なカメラ2種類が設置されている．



写真－10　監視カメラ（固定タイプ）



写真－11　監視カメラ（旋回タイプ）

4. 遠隔監視制御システムによる緊急対応

平成27年4月信濃川の支川において，油流出事故が発生した際，水門等操作員が現地到着するまでに油が水門を通過し本川に流れ出る恐れがあった．

緊急対応として，水門のゲートを事務所にて遠隔操作で半分だけ閉めるようにし，表面に浮いている流出油を滞留させ，油回収作業班の現地到着まで本川への流出を遅らせ，流出油を吸着マットで回収し対処した．

突発的に発生した油流出事故に対して，油処理を行うまでの時間確保と，流出油の拡散防止に対しゲートの遠隔監視制御システムが有効であることが立証された．



写真－12　油回収作業状況

5. 遠隔監視制御システムの有効性と活用

(1)　河川管理施設の常時監視

通常の操作員点検時等では確認が難しかった河川管理施設の故障や異常について，遠隔監視・制御システムにより河川管理施設の状態が事務所・出張所でも常に監視することが可能になった．

事務所・出張所で施設の状態情報を共有化することで、より多くの職員が監視を行えることになり，河川管理施設の異常の早期発見が容易となるとともに，故障や異常内容も把握できるようになった．

また，事務所・出張所で故障・異常等の状況が共有化できることで，対応方法が早期に決定できるようになり，復旧の迅速化を図ることができる．

(2) 水門等操作員の負担軽減

局地的豪雨等により操作員の出動が間に合わない短時間での操作対応や突発的な水質事故対応等の場合には，本システムの遠隔操作により迅速な対応が可能となる．

また，急激な水位上昇等水門操作員の命の危険が予測されるような場合は，水門操作員に代わり本システムで施設を操作することが可能となる．

6. 今後の課題と対応

(1)　施設の操作条件に則した遠隔操作

河川管理施設の操作は，各施設毎の操作要領及び地域あるいは施設の条件（状況）を熟知しないと適切な操作はできない．

遠隔操作する場合であっても，操作要領に基づく手順を一つ一つ確認して，操作する必要があることから，今後システムに手順の確認行為を組み込むことの検討も必要と考える．

(2)　現地の安全確認

遠隔操作時は，施設周囲の安全確認が重要である．

監視カメラの映像や音声案内のガイド，警告灯はあるが，固定タイプの監視カメラでは死角ができてしまい，確実な安全確認は困難である．

監視カメラを死角が少ない旋回タイプへ更新することや施設周辺の住民等に対して，遠隔操作で施設を動かす場合があることを予め周知しておく必要がある．

(3) 水門操作時の開度計と水位計

遠隔操作時に特に注意が必要なことは，開度計と水位計であるが，古い固定カメラの映像では解像度が粗く水位計や開度計の値を目視できない．今後は計画的に高感度カメラに更新していく必要がある．

7. まとめ

本システムが，河川管理施設の老朽化等を含む維持管理における様々な課題に対して，有効な手段の一つであることが確認できた．今後も本システムの適用性を十分考慮しながら河川管理施設に設置し，システムが有する課題に対応することにより，安全・安心の確保，人命第一を念頭に，一層適切な維持管理が迅速に行われるよう努めていく．

堤防等点検技術の向上について
（研修用堤防の整備）

塩谷　晋三[1]・足立　哲也[1]

[1]近畿地方整備局　近畿技術事務所　品質調査課　（〒573-0166大阪府枚方市山田池北町11-1）

河川維持管理の現場では、最近、管理施設の老朽化等が原因と思われる不具合の発生の増加がみられ、昨今の戦略的な維持管理・更新の推進に鑑み、河川構造物の不具合発見のため管理を担当する職員への堤防等点検技術向上のニーズが高まっている。
そのため、経験の浅い職員でも堤防や護岸にできる危険な変状を実際に体験し理解を深めることを目的に、堤防等点検研修施設（研修用堤防）の整備を行った。

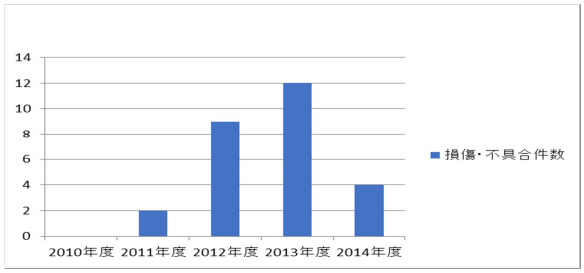
キーワード　河川管理，技術力向上，人材育成

1. はじめに

近畿技術事務所（以下、「当事務所」という。）では、近畿地方整備局（以下、「近畿地整」という。）管内にある各事務所より工事や管理時に発生した土質・コンクリート・アスファルト等の土木材料に関する技術的諸問題に対し、現地調査や事務所内に設置した各試験室にて各種試験を実施し、問題解決に向け原因の究明や対応案の検討を行い各事務所に報告を行っており、また、職員の技術力向上のための土木材料に関する各種試験の講習会を実施するとともに、土木管理施設の維持管理のための点検の手引きや技術資料をとりまとめているところである。

2. 河川管理の現状と課題

この数年、近畿地整管内管理河川において、施設の老朽化等によると思われる堤防護岸や高水敷の陥没や空洞化等の発生が毎年報告されており、当事務所にその原因究明のための調査の依頼が寄せられている（**図－１**）。



図－１　損傷・不具合件数

陥没や空洞の発生は、洪水による被災の原因になりうるものであり、また河川利用者の安全な利用を阻害する一要因になるものである（**写真－１、２**）。



写真－１　高水敷における陥没



写真－２　護岸裏の空洞化

しかしながら、昨今の行政事務の多様化を受け、技術系職員のみならず事務系職員も河川管理施設の点検等を担当する必要が求められる中、河川管理を担当する職員全てが上記の様な陥没や空洞化をはじめとする損傷や不具合の程度を判断し、適切にその対応を行うことが非常に困難な状況となってきている。

そのため、２０１４年度から近畿地整での研修プログラムの一つとして当事務所内にある研修棟において、河川管理施設等の実務的な点検、維持管理を主体においた「河川管理研修」が実施され、座学は研修棟で行われ、点検に関する実務は近隣にある淀川水系木津川を点検実習フィールドとして行われた（**写真－３**）。

但し、現地での点検実習においては、危険とされる損傷や不具合等はすでに修繕が施されていることが多く、研修生が理解を深めるためには、損傷や不具合を目の当たりにして実習できるための工夫が要求された。

そこで今般、当事務所では、「河川管理研修」において河川管理施設の点検の実習を行うための堤防護岸等において想定される不具合を再現した実物大の研修用堤防の整備を行った。



写真－３ 点検実習の状況

3. 研修用堤防の整備

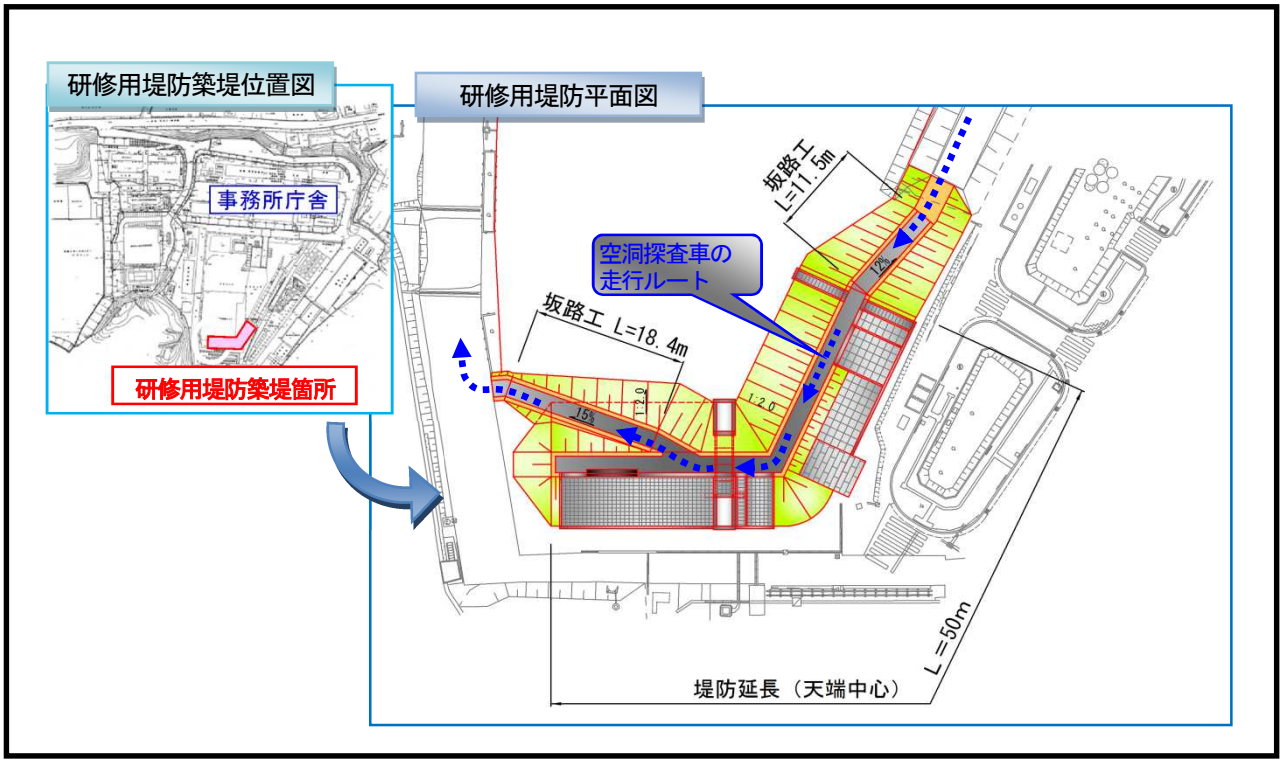
(1) 整備方針

研修用堤防の整備に当たっては、①堤防点検を実施する職員の研修等に利活用すること②再現する不具合は、実際に現場において発生しているものとする③再現した不具合現象を長時間維持できることとする。

以上を整備方針として、土堤に護岸工（張りブロック・連節ブロック等）、樋門函体、特殊堤及び階段工を配置し、不具合を再現することとした。

(2) 施設配置

研修用堤防の設置場所は、当事務所敷地の南側外周道路に沿って築堤することとした。また、上記の構造物を配置するため延長５０ｍを確保して折り曲げて配置するとともに、堤防天端の空洞探査車の通行を考慮して、坂路工を設けて周辺道路からの連続性を確保した（**図－２**）。



図－２ 研修用堤防築堤位置図及び平面図

⑶ 再現する不具合について

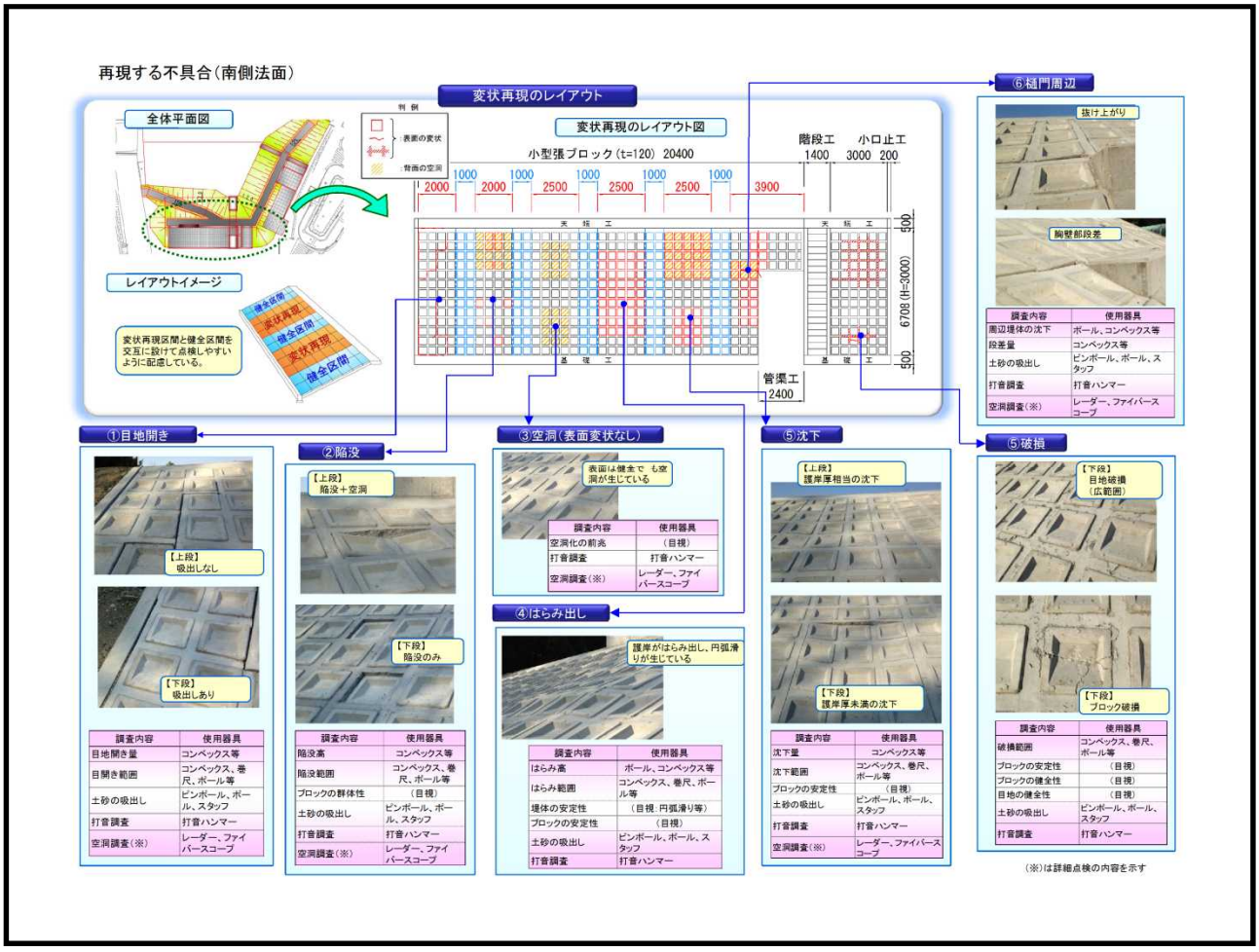
研修用堤防に再現する不具合は、河川管理研修における河川管理施設の点検の実習フィールドとして活用されること、また、その研修内容は、河川管理施設の点検・シート作成・変状程度の判定及び評価が対象となることから、変状程度が大きく、速やかな対策が必要であるような誰でも判定できる不具合については、再現対象から外すこととした。

以下、再現した不具合の一覧を**表－１**に示すとともに、**図－３、４、５**には堤防南側法面、堤防東側法面及び樋門函体において再現した不具合の箇所と内容を示す。

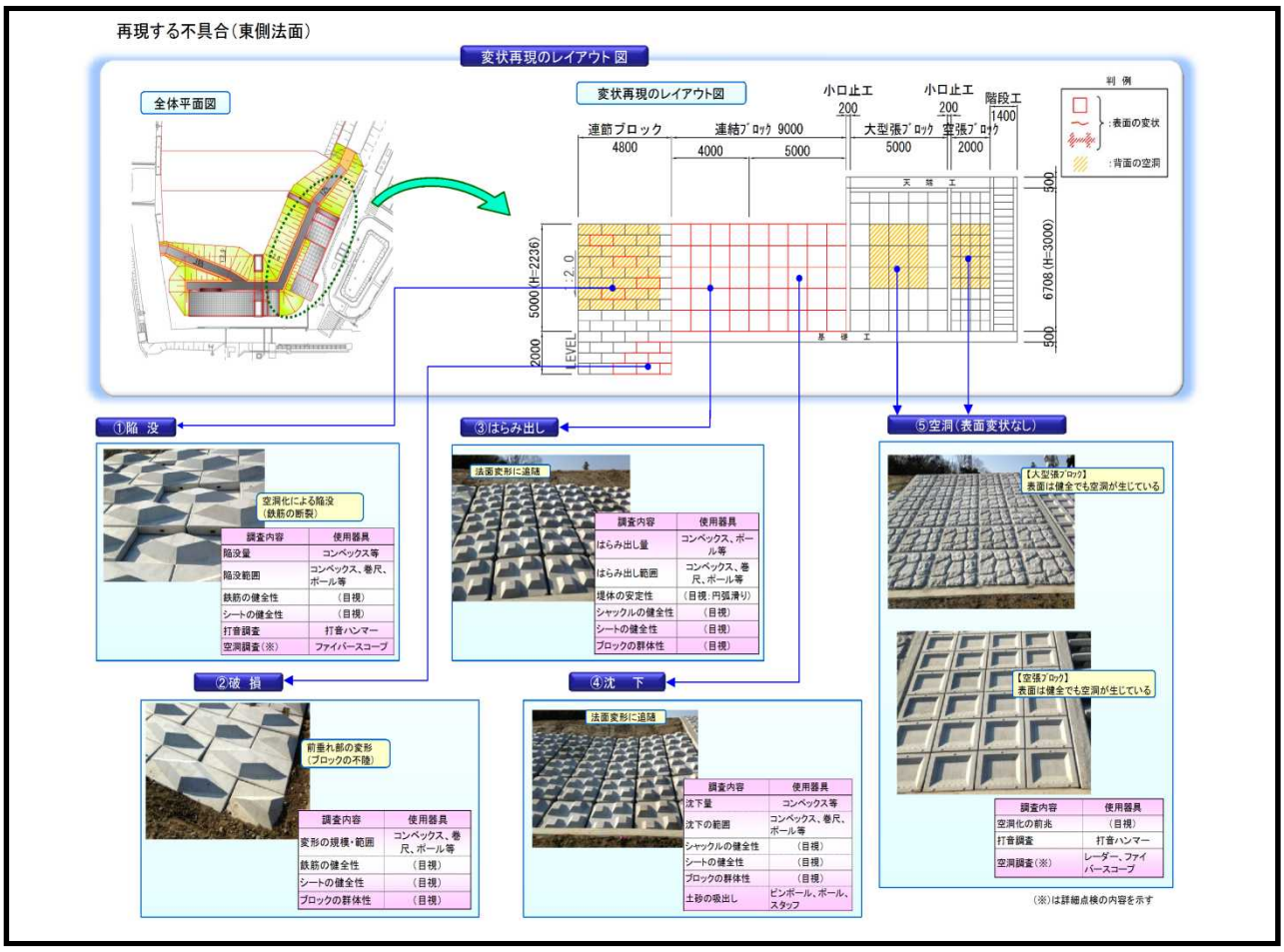
また、堤体内には、空洞探査車（**写真―４**）による空洞調査を想定した空洞を配置している（**図－６**）。

施設		不具合再現内容
堤防		堤体内の空洞
		堤体法尻部の湿潤
護岸	張りブロック	目地開き
		陥没（ブロック単体の沈下）
		護岸背面の空洞
		はらみだし
		沈下（護岸が広範囲で沈下）
		樋門周辺部の抜上り・段差
		破損・損傷
	連節ブロック	陥没（ブロック単体の沈下）
		連結鉄筋破損
樋門函渠		クラック
		コンクリートの浮き・剥離
		鉄筋露出
		すり減り
		漏水
		函渠背面の空洞

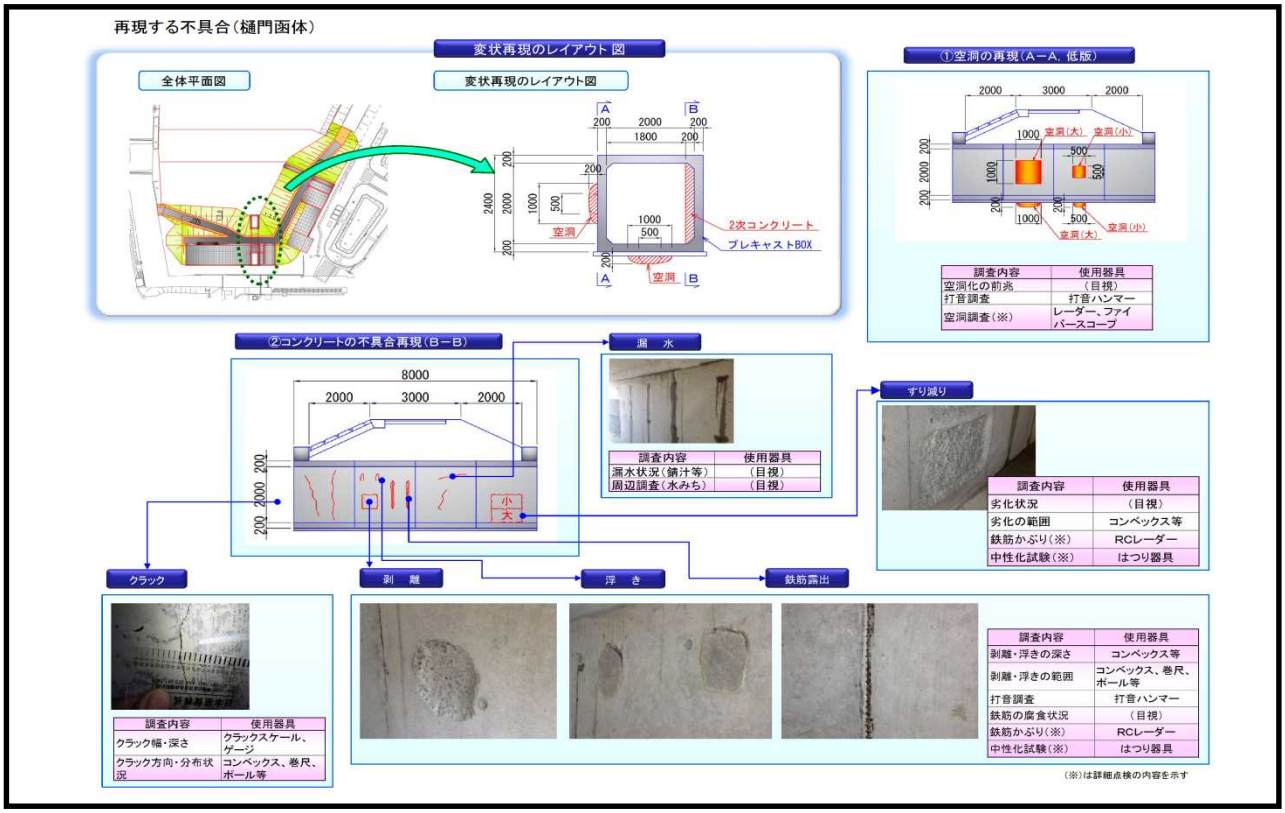
表－１ 再現した不具合一覧



図－３ 再現した不具合（南側法面）



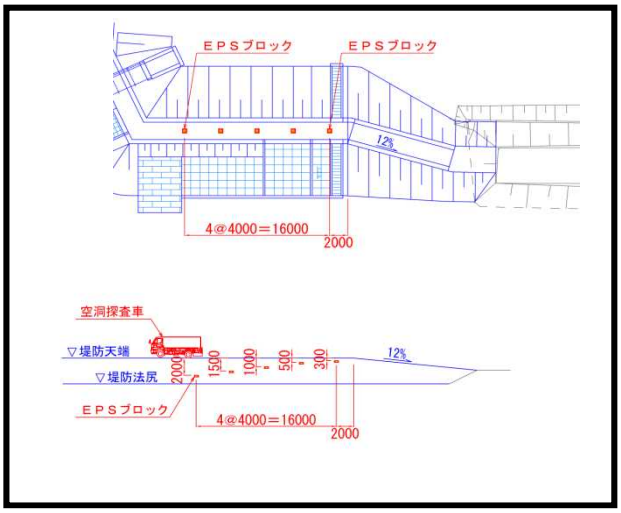
図－４ 再現した不具合（東側法面）



図－５ 再現した不具合（樋門函体）



写真－４ 空洞探査車



図－６ 空洞配置図

4. 研修用堤防の活用について

今回作成した研修用堤防は、河川管理研修における河川管理施設の点検の実習フィールドとして整備を行ったものであるが、事例を踏まえた代表的な不具合を再現しており、実際に点検が行える施設となっていることから、本堤防の活用についていくつか提案してみたい。

⑴ 河川管理研修での活用

河川管理研修での活用については、本堤防整備の本来の目的であり、河川管理研修のテキストに基づき実施する。なお、現在整備・運用が進められている河川維持管理データベース（ＲＭＤＩＳ）への点検結果の登録の実習も併せて行えるように、本堤防データをＲＭＤＩＳに登録済みである。

⑵ 堤防点検講習会の実施

河川管理研修とは別に、地方公共団体等の河川管理者を対象に本堤防を活用して「点検できる人材」を育成する講習会を実施する。なお、そのために、本堤防を活用した点検研修マニュアルを作成済みである。

⑶ 不具合探査技術等の実験フィールドとして活用

現存する不具合探査技術等の堤防点検での有効性を検証するための実験フィールドとして活用することで「点検する技術」の向上・開発にも寄与できると思われる。

5. まとめ

今回は、河川堤防を維持管理する上で求められる「的確に点検が出来る技術力」及び「点検で得られたデータを的確に分析出来る技術力」を培うための実習フィールドとして不具合を再現した実物大の研修用堤防の整備を行ったが、現実の堤防では、すべての不具合が変状として表面に現れているわけではない。

たとえば、護岸や堤防が陥没もしくは沈下等の変状が現れる前には、まずその周辺ではその変状を起こす兆候が現れている場合が少なくないが、今回はまだそういった兆候の再現までは至っていない。

そこで今後は、本堤防を積極的に活用していただき、その中で得られた改善要望や意見を基により良い施設に改善していきたい。

橋梁の太径ねじ部材における疲労損傷原因の推定と対策

小河　正次[1]・　梶尾　光邦[2]

[1]本四高速（株）　しまなみ今治管理センター　橋梁維持課　（〒794-0072愛媛県今治市山路751-2）

[2]本四高速（株）　しまなみ今治管理センター　橋梁維持課　（〒794-0072愛媛県今治市山路751-2）.

本稿における太径ねじ部材は，吊橋のセンターステイに設置されたステイロッドである．センターステイは常時及び暴風時の桁とケーブルの相対変位を抑さえ，支間中央付近の短ハンガーの傾斜角を抑制し，ハンガーの曲げ疲労防止を行う等の目的で設置されており，地震時には発生張力の60%（再現期間25年の地震相当）でロッド部が破断するよう設計されている．しかし設計張力を受けていないロッド2本が，想定した破壊形態であるロッドの最小断面部では無く，取り付けねじ部で破断した．本稿では，損傷要因を確認するために実施した破面観察等の詳細調査，実橋での応力頻度計測による疲労損傷度の推定及び今後の対応策について報告するものである．

キーワード　吊橋，ねじ部材，疲労損傷

1. 構造

(1) 対象橋梁の構造的な特徴

対象となる橋梁（以下「本橋」という．）は，中央径間600mの3径間2ヒンジ吊橋で，主塔高さが異なる非対称構造となっている．（図-1）

また，桁断面は全区間で完成形であるが，供用形態は，橋梁上で完成4車線から暫定2車線（下り側車線）へと車線数が変化しており，下り線側に偏載される構造となっている．

本稿の対象となる太径ねじ部材は、センターステイに設置されているロッド部材である。

(2) センターステイの構造

本橋のセンターステイは，暴風時や小規模な地震時に橋軸方向の桁と主ケーブルとの相対変位を抑制することにより，ハンガーロープに曲げ等の付加的な応力が発生することを防ぎ，ハンガーロープ等の設計を合理的なものとする目的で設置されている．

センターステイは，図-1に示すように，中央径間中央部にあり，ロープ，ステイロッド（以下「ロッド」という．），定着部から構成され，上下線各2本，計4本設置されている．

このうちロッドは，大規模地震時に中央部の最小断面で破断するように設計されており，実際に2001年3月24日に発生した芸予地震（M6.7）において概ね設計どおりに破断した[1)]．

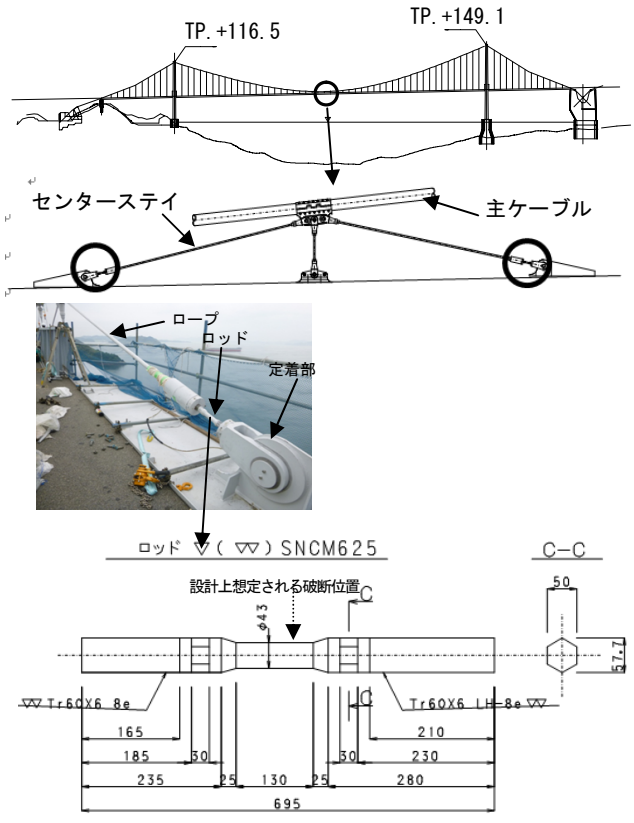


図-1　センターステイ概要

このように，ロッドは破断することが許容されているため，交換が容易になるように，取り外しが可能なねじ構造でロープ側ソケット及び定着ピンに接合される構造になっている．

ロッドのサイズはM56×695，材質はSNCM625（ニッケルクロムモリブデン鋼）で，機械切削にてTr60×6の台形ねじ加工を施している．

2. 破断の状況

破断したロッドは，4本中下り線側の2本で，破断位置はロッドがロープ側ソケットカプラーとかみ合う1山目のねじ底部であった．（図-2）

今回の破断ロッドは，前述のとおり2001年3月の芸予地震で破断し交換されたもので，経過年数13年程度と比較的新しいうえ，破断位置も想定しているロッド中央の最小断面部での破断では無いことから，破断の要因を確認するため詳細調査を実施することとした．

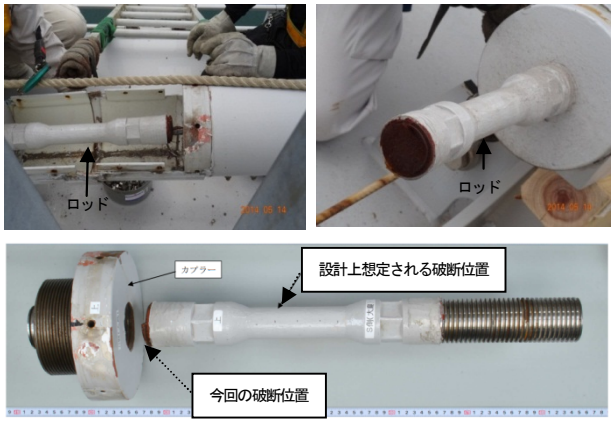


図-2　センターステイロッド破断状況

3.　破断ロッドの詳細調査

破断原因を確認することを目的に，破断面のマクロ観察及びSEMによるミクロ観察を行うとともに，材質的な欠陥の有無を把握するため，破断をしていない上り線側ロッドも含め，化学成分分析による材料特性の確認を行った．

(1) 材料特性の確認

化学成分分析結果について，JIS G 4053　機械構造用合金鋼鋼材に示されるSNCM625の規格値と比較したところ，全ての成分において満足する結果であった．また，製作時の試験結果とも整合していることから，著しい変質は無く，材質に問題は無いと判断した．

(2) 破断面の観察

a) マクロ破面観察結果

脱スケール後の破面マクロ観察結果を図-3に示す．

破断した2本とも疲労破面に特徴的なビーチマークが見られ，繰り返し応力により割れが進展したものと推定した．

いずれの断面も上側に最終破断部が確認され，ビーチマークの模様から伝播方向を推測すると，起点は下側であると考えられる．

b) SEMによるミクロ破面観察結果

起点部近傍の破面状況より，欠陥や腐食に起因した割れの発生の痕跡は認められなかった．図-3の左下の写真では，疲労破面に特徴的なストライエーション（縞状模様）を確認した．

また，最終破断部と推定される上側では，延性破面に特徴的なディンプル（窪み状の模様）を確認した．

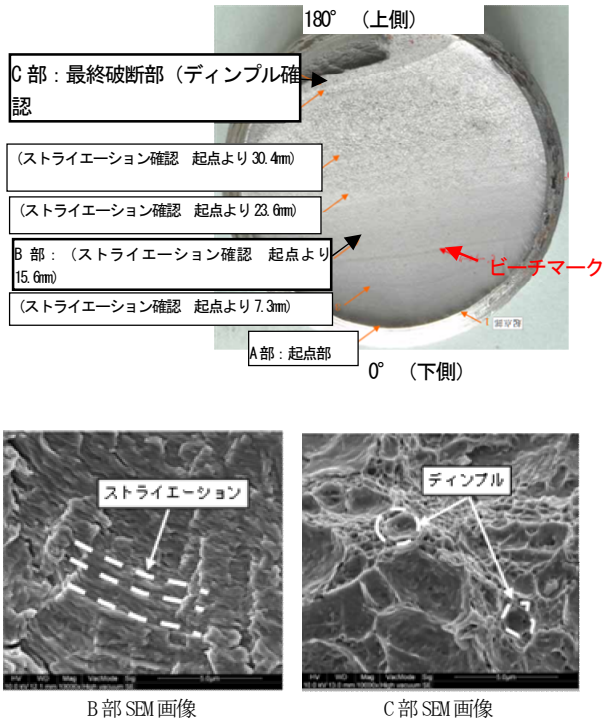


図-3　破断面の外観とSEM観察結果

(3) 詳細調査の結果

マクロ観察及びSEMによるミクロ観察による断面観察の結果，腐食や微細な割れ等の欠陥は確認されなかった．また，エッチング後の組織観察においては，一般的な焼入焼戻しの組織であり異常は認められなかった．

この他，ビッカース硬さ，ロッドねじ部の浸透探傷試験，磁粉探傷試験を実施したが，いずれも異常は確認されなかった．

これらの結果より，推定される破壊に至る経緯は，ねじ底のコーナー部を起点として繰返し応力による亀裂が徐々に進展し，減少した断面が引張力に耐えられなくなり，最終的に破断したと考えられる．

4. 破断原因と疲労損傷度の検討

(1) 応力頻度計測

活荷重によるロッドの応力発生状況を確認するため，復旧後のロッドにおいて，72時間連続の応力計測を実施した．

計測は上下線全てのロッド（4本）を対象とし、ゲージ張り付け位置は，破断箇所であるねじ部に直接ゲージを貼り付けることはできないため，復旧後のロッド中央部の3箇所（0°（下面），120°，240°）に橋軸方向にひずみゲージを設置した．荷重計測ひずみゲージ貼付位置を図-4に示す．

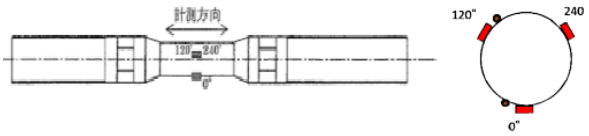


図-4　ひずみゲージ貼付位置

表-1に各ロッドにおける最大，最小ひずみを示す．最大，最小ひずみの発生は破断が確認された下り線側（終点側）ロッドの0°（ロッド下端部）において発生しており，他の計測部位との差が大きいことから，曲げ成分による影響が考えられる．

各ロッドにおいて円周上で最も疲労損傷を受ける位置を把握するため，3点の計測結果から円周上における最大応力を計算した．

その結果，破断した下り線側ロッドにおいては下面（0°）に近い箇所が最大応力の発生頻度が最も高かった．

後述する疲労寿命計算においては，この角度の応力履歴を用いるものとした．

表-1　72時間計測結果

位置		角度	番号	引張（MPa）	圧縮（MPa）	最大応力の発生頻度が高い角度(deg)
上り線	起点側	0°	A-1	135	-107	＋40°
		120°	A-2	121	-93	
		240°	A-3	92	-69	
	終点側	0°	B-1	89	-136	－40°
		120°	B-2	79	-121	
		240°	B-3	78	-122	
下り線	起点側	0°	C-1	123	-133	＋5°
		120°	C-2	95	-87	
		240°	C-3	93	-76	
	終点側	0°	D-1	113	-218	－10°
		120°	D-2	65	-61	
		240°	D-3	83	-99	

(2) FEM解析による応力換算係数の検討

ひずみゲージの貼付位置は，ロッドの中央部であり，破断したねじ底部で計測したものでは無いため，別途FEM解析による破断位置の応力とゲージ貼付部の応力比率から応力換算係数を算出し，計測結果に乗じることで破断位置の応力を推定した．

a) モデル化

ロッド及びカプラーを2次元軸対象でモデル化し，汎用解析コードABAQUSを用いてFEM解析を実施した．モデル図を図-5に示す．

モデル化にあたって，破断ロッドの状況を再現するため，実構造と同様にカプラーからの残りねじ山数を3山とし，亀裂発生部位であるねじ底R部の半径は，破断したロッドの断面マクロ写真から計測した0.3mmとした．

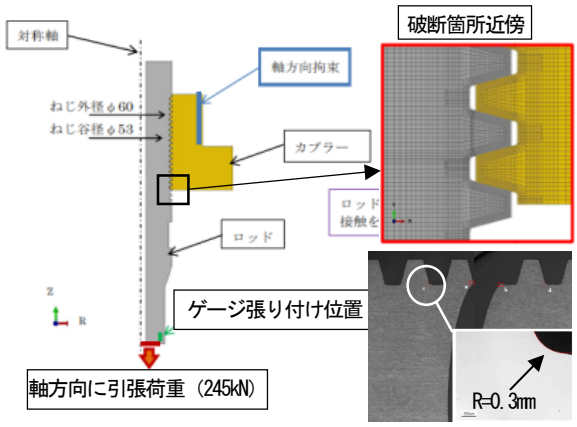


図-5　FEM解析モデル図

b) 解析結果

上記モデルに軸方向引張荷重（導入張力245kN）を載荷した場合の最大主応力コンターを図-6に示す．疲労亀裂の起点部と推測される，カプラー1列目のねじ底R部で応力が集中している事を確認した．

このねじ底応力とゲージ貼付部応力との比を計算した結果，616.8Mpa/168.8MPaより応力換算係数は3.65とした．

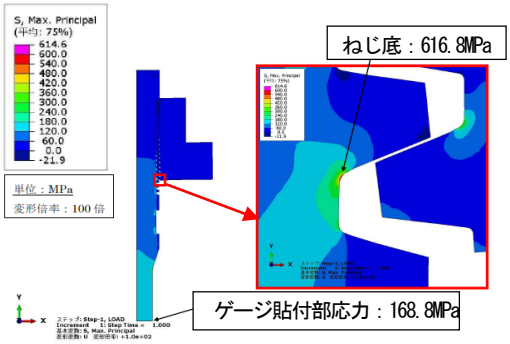


図-6　解析結果(最大主応力コンター図)

(3) 疲労寿命の推定

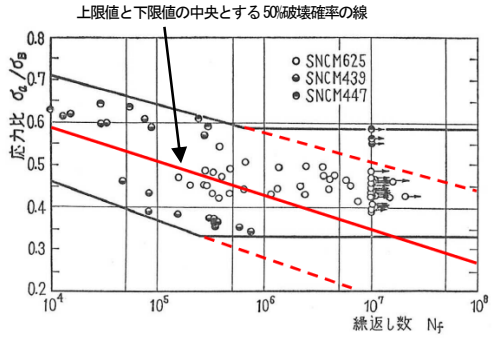
疲労寿命の推定は，72時間計測したロッド断面応力のうち表-1に示す各ロッドの最大応力の発生頻度が最も高い角度に発生する応力履歴に，前記の応力換算係数を乗じたものを破断したねじ底部の応力履歴とし，累積線形被害則により累積損傷度を求め，疲労寿命を予測した．

なお，頻度解析はレインフロー法を用い，SN線図は文献[2]に示されるSNCM625のSN線図（図-7）を用い，修正マイナー則に従うものとした．

また，今回用いたSN線図の縦軸は，応力比となっているため，破断したロッドのミルシートの引張強さ（σb）＝1000MPaを用いて応力に換算した．

破断した下り線（終点側）ロッドと損傷の無かった上り線（終点側）ロッドのねじ底R部における応力範囲ごとの頻度解析結果を図-8に示す．

破断したロッドでは，破断していないロッドと比較して高応力側に分布しており，累積損傷度が高い結果となった．



第 11 図　構造用合金鋼の両振引張圧縮（σ_a/σ_B）-N_f 曲線（2）

図-7　SN線図（SNCM625）

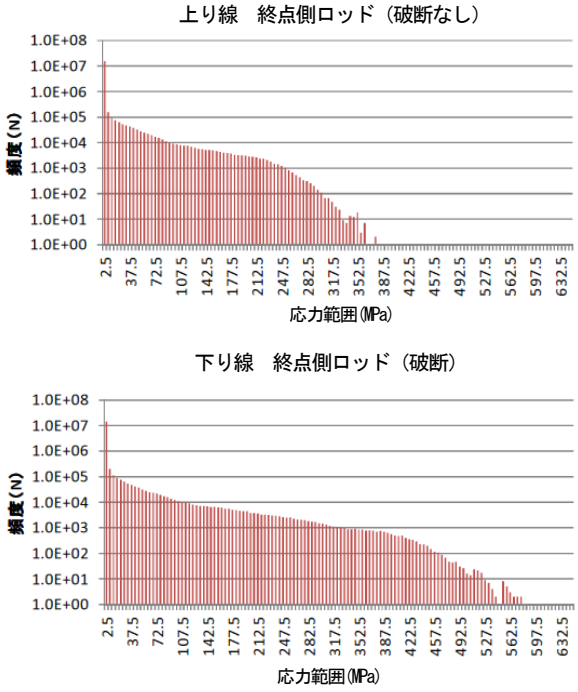


図-8　頻度分析結果

これは，車線数の変化により下り線側に活荷重が偏載されるため、応力の発生ピークである吊橋の1/4径間付近で自動車荷重が全て下り線側を走行するためと考えられる。

各ロッドにおける50%破壊確率における寿命計算結果を表-2示す．

計算では寿命が0.8年から34.5年となり，疲労損傷を受ける可能性が高いことが示唆された．

表-2　50%破壊確率を使った寿命計算結果

ロッド	累積損傷度	寿命計算（年）
上り線（起点側）	5.33×10^{-4}	18.7
上り線（終点側）	2.88×10^{-4}	34.5
下り線(起点側)	1.66×10^{-3}	5.99
下り線(終点側)	1.25×10^{-2}	0.8

なお，実際のロッド破断までの年数は，2001年3月に芸予地震によりロッド交換を実施している事から，破断が確認された2014年6月までの約13年程度で破断したものと考えられる．

そこで，最も寿命の短い下り線（終点側）ロッドの寿命が10年となるようなSN線を設定し，疲労寿命予測を再度実施した結果を表-3に示す．上り線側のロッドでは400年以上の寿命となり，下り線（終点側）の寿命が極端に短い結果であった．

表-3　下り線（終点側）ロッドの寿命を10年とした場合の寿命計算結果

ロッド	累積損傷度	寿命計算（年）
上り線（起点側）	2.32×10^{-5}	428
上り線（終点側）	1.04×10^{-5}	952
下り線(起点側)	8.81×10^{-5}	113
下り線(終点側)	9.91×10^{-4}	10

5. 疲労対策構造の検討

(1) 対策方法の検討

疲労強度を高める構造的な対策として，以下の方法が考えられる．

①ねじ部の径を大きくし応力を低減させる方法

②亀裂の起点となったねじ底R部の応力集中を低減させる方法

①の方法としては，ねじ部の径を大きくするほか，ロッド本数を増加させることが考えられるが，断面積を増加させる場合，ソケット及び定着ピンのカプラーの改良が必要など大幅な構造変更が必要となる．

一方，②の方法では，ねじ底Rの変更などが考えられ，ロッドのみの対応により，大幅な構造変更が不要で対応が比較的容易であると考えられる．

文献[3]によると，破断した部材（台形ねじ）と形状が異なる三角ねじでは，ねじ底Rの半径が大きくなると応力集中係数が減少するとの記載があり，台形ねじにおいても同様に低減効果があれば，破断寿命が改善される可能性がある．

台形ねじにおけるねじ底Rを大きくした場合の応力集

中軽減効果を確認するためにFEM解析を行った.

(2) FEM解析によるねじ底R変更による疲労寿命の予測

FEM解析は，前述の応力換算係数算出に用いたFEM解析のモデルのねじ底Rを0.5mm，0.7mmとした2ケースについて行った.

ねじ底R部とロッド中央部の発生応力の比である応力換算係数は，3.65（R=0.3）から3.09（R=0.5），2.75（R=0.7）に低減されており，この結果を用いて，破断寿命予測において最も寿命の短い下り線（終点側）ロッドについて破断寿命の予測を行った.

結果を表-4に示す．R=0.3を1とした場合，R=0.5で約9倍，R=0.7で約30倍の疲労寿命となり，ねじ底Rの拡大による疲労対策は有効であることを確認した.

表-4　ねじ底R径による破断寿命

ねじ底R (mm)	ゲージ部応力 (MPa)	ねじ底応力 (MPa)	応力換算係数	破断寿命比率
0.3	168.8	616.8	3.65	1
0.5		521.3	3.09	8.8
0.7		464.7	2.75	29.6

6. まとめ

本橋におけるセンターステイロッド破断について，以下の知見を得た.

①破断したロッドは，材質の問題や亀裂起点部の欠陥は無い.

②破壊メカニズムは，ロッドねじ部のカプラー側１山目のねじ底部における，自動車荷重による疲労破壊である.

③本橋は，完成4車線から暫定2車線へのすり付け部のため，下り線側への偏載状態となり，ロッドが破断した下り線側の応力範囲が大きくなる.

④ロッドには曲げ応力が作用し，下面側の応力範囲が高く疲労破断の起点である.

⑤ねじ底R部の応力換算係数と72時間の応力頻度計測から短期間での疲労破壊の可能性がある.

⑥ねじ底Rを大きくすること疲労寿命の改善され疲労対策として有効である.

なお，対策にあたっては，細目ねじの採用，熱処理後転造したねじの使用など，ねじ部の疲労強度向上策の検討も実施する.

参考文献

1）古家和彦，磯江浩，帆足博明，平野茂：芸予地震における動態観測と来島海峡第一大橋センタースティロッド破断に対する検証，鋼構造論文集 Vol.10.No.39，2003年9月

2）金属材料疲労強度の設計資料（Ⅰ）（改定第2版）日本機械学会p60

3）西田正孝：応力集中増補版，森北出版(株)，セクション129.ねじpp670

CCTV カメラと遠赤外線カメラを用いた画像処理型流速測定法の実用化

川口　芳人[1]・夏目　浩和[1]・梅田　真吾[1]

[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）

九州地方整備局では，計画規模を超過する大規模洪水時も流量が測れるよう観測技術の高度化検討に取り組んでおり，「CCTV カメラと遠赤外線カメラを用いた画像処理型流速測定法の実用化」について検討した．具体的には，①九州地方整備局管内における河川系の空間監視用 CCTV カメラを対象に STIV に適した画角設定を行い，②実用的に使用可能な標定点とその設置方法，③画像処理型流速測定法の幾何補正の精度評価法，④STIV の計測精度について，それぞれ検討した．また，⑤夜間でも水表面の波紋を視認可能な遠赤外線カメラによる計測システムを現地に設置し，計測性能の評価および流速算出を行い，⑥それらの検討をとりまとめ「CCTV カメラを活用した水文観測ガイドライン（案）観測編，解析編」の作成を行った．

キーワード　流量，CCTVカメラ，遠赤外線カメラ，画像解析，画像処理型流速測定法，STIV

1. はじめに

九州地方整備局管内の直轄 20 水系では，河道計画の基礎となる高水流量観測の観測手法として浮子測法を採用している．浮子測法はトレーサ（浮子）を流し，ある区間の通過時間を計測して流速を計測する，という“古典的”な手法であるがゆえ，流量規模や流速機器の故障等の影響を受けず最も確実かつ簡便に観測できるという特徴を有している．しかしながら，九州地方整備局管内の多くの河川で計画規模を超過した平成 24 年 7 月の九州北部豪雨では，①観測所周辺の道路や橋梁の冠水により観測所に到着できない，②浮子投下橋梁が冠水し，浮子を投下できない，③観測員の安全が確保できない，といった理由により，一部の観測所では高水流量観測の実施そのものが困難となった．このように浮子測法の課題が顕在化する一方で，近年，ADCP[1)-3)]・電波流速計[1),4)]・画像処理型流速測定法[1),5)-7)]といった種々の流速観測手法が実用化されつつある．ADCP は 6.0m/s 程度の流速規模までしか計測できず[3)]，電波流速計は固定式・可搬式ともに観測時に橋梁が必要なため，計画規模やそれを超過する大規模洪水時に用いることは困難であると考えられる．一方，画像処理型流速測定法は解析に適した流況を撮影した動画があれば室内で解析できる．

このような状況を踏まえて，九州地方整備局では，計画規模を超過する大規模洪水時も流量が測れるよう観測技術の高度化検討[8)]に取り組んでおり，今回，「CCTV カメラと遠赤外線カメラを用いた画像処理型流速測定法の実用化」について検討した内容を述べる．

2. CCTVカメラを用いた高水流量観測の準備

(1) 高水流量観測に適したCCTVカメラの選定

九州地方整備局管内には，河川の空間・施設監視を目的とした 513 基の CCTV カメラが設置されている．CCTV カメラの多くはその使用目的から高い位置に設置されているため，①観測所周辺が冠水し観測不能となった場合でも，比較的確実に河川流況の撮影が可能，②洪水時に観測員が現場にいる必要がないことから，計画規模相当の流量規模の洪水時においても，安全に河川流況の撮影が可能，という特長がある．このため，CCTV カメラの画像を解析して流量を測定できれば，新たな機器を導入せずに，「既存ストックを活用した低廉な流量観測システム」を構築することが可能である．そこで，CCTV カメラを流量観測へ活用することに着目し，活用可能な CCTV カメラとして，①流量観測所近傍にある，②旋回・ズーム機能を具備する，の両条件を満足する 75 基の CCTV カメラを抽出した．

(2) 画像解析に適したCCTVカメラの選定

CCTV カメラは，その目的に適した向き・角度・ズーム（以下，「画角」と称する．）で予め設定（以下，「プリセット」と称する．）されている．そのため，CCTV カメラを用いて高水流量観測を行うためには，高水流量観測に適した画角へのプリセットが必要であり，具体的には，図-1 の通り本検討で採用する画像処理型流速測定法（以下，「STIV」と称する．）が適用可能となるように，①流速観測精度の向上のため河道の横断方向を望む，②対岸の計測精度の向上のため俯角を極力大

きくとる，③画像解析に必要な水面状況を出来うる限り撮影でき，かつ，太陽光の直射等による白飛び・黒つぶれを防止するために空を画角に含まない，④計画規模を越える大出水でも計測できるように左右岸水面際までを画角に含む，⑤流量算出に必要な水位計測地点の基準断面あるいは第一見通断面・第二見通断面のいずれかを画角内に含む，という点に留意したプリセットが必要である．

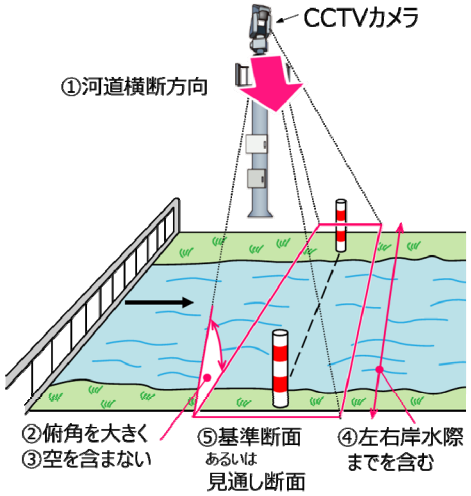


図-1　画像解析プリセットの模式図

上記 75 基を対象に検討した結果，図-2 の通り STIV が適用可能となる条件を満足する 59 基を画像解析に適した CCTV カメラとして選定した．

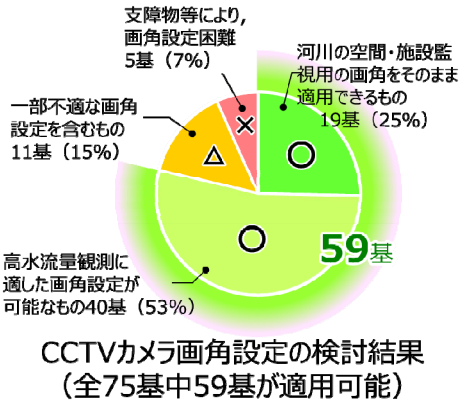


図-2　CCTV カメラ画角設定の検討結果

(3) 3次元空間座標を把握するための標定点の設置

CCTV カメラの撮影画像から流速（m/s）を解析するためには，同画像中に 3 次元空間座標を把握するための標定点の設置が必要である．標定点は既往の研究事例など[5)-7)]から，図-3 の通り，①少なくとも 6 点以上，②流速計測範囲の周辺に水平・鉛直方向ともに満遍なく必要で，③既設構造物の活用，④確実に視認可能な色や大きさで設置した．図-4 に標定点（赤白のベニヤ板）の設置事例を示す．

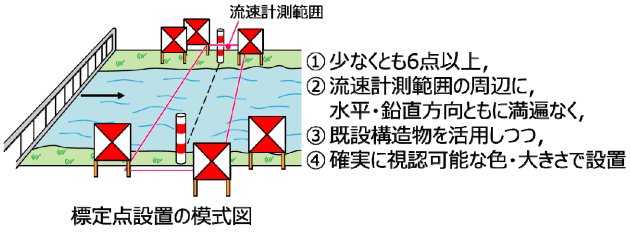


図-3　標定点設置の模式図



図-4　標定点の設置事例

3.　遠赤外線カメラ流量観測システムの整備

CCTVカメラは，既存ストックの活用により低廉なシステム構築が可能な点で優れている一方で，光量が不足する夜間の撮影画像による解析は困難である．そこで，夜間でも明瞭な撮影が可能な遠赤外線カメラによる流量観測システムを山国川柿坂観測所に設置し，平成26年4月より連続モニタリングを行っている．

同観測システムは，図-5 に示す様に現地に施工されており，STIV の解析対象である表面流速に作用する風の影響を考慮するため風向風速計を設置し，連続モニタリングを実施している．流量観測のために必要な準備内容は，CCTV カメラと同様である．



図-5　山国川柿坂観測所（遠赤外線カメラ）

4. 流速解析結果

(1) STIV解析による流速解析結果

平成 26 年度に出水記録のあった 15 観測所映像を対象に STIV 解析を行った事例として，肝属川王子橋観測所（平成 26 年 6 月 27 日），大淀川岳下観測所（平成 26 年 6 月 27 日），山国川柿坂観測所（平成 26 年 7 月 3 日）の結果を図-7,8,9 に例示する．STIV の流速解析精度の検証においては，参照データとして浮子観測値を用いており，双方とも表面流速を対象としているため，更正係数を乗じることにより水深平均化処理を施している．解析に使用したソフトウェアは KU-STIV（（株）ビィーシステム製）であり，流速検出を自動的に行う FFT-STIV 及び流速検出を手動で行う Manual-STIV の両手法の適用が可能である [9]．特別な記述がない限り，本解析では FFT-STIV を用いている．

①肝属川王子橋観測所（CCTV，日中）

はん濫注意水位程度の出水における解析対象画像と STIV による流速解析結果を示す．同図には，浮子測法の結果を合わせて示した．これより，本地点において，浮子と STIV の流速は概ね良好に一致している．

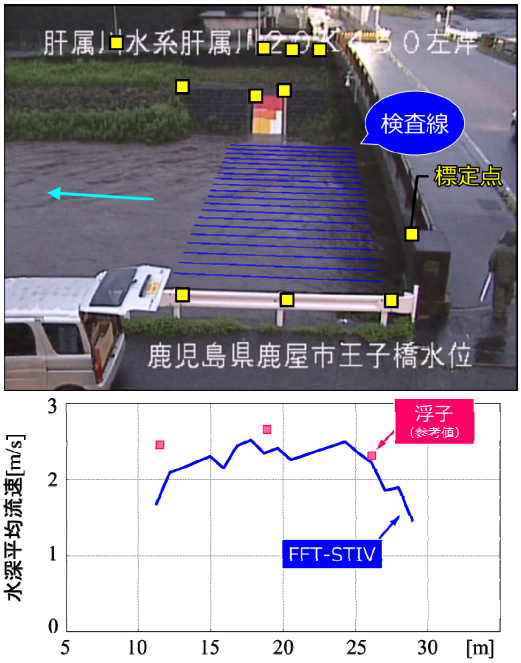


図-7　流速解析結果（王子橋観測所）

②大淀川岳下観測所（CCTV，夜間）

はん濫注意水位程度の出水における解析対象画像と STIV による流速解析結果を示す．ここでも，浮子観測結果を合わせて図示した．なお，出水のピークが夜間であったため，橋梁の街路灯を光源として解析を行った．流速横断分布は，CCTV カメラの近傍で視認性のよい右岸側では STIV 流速値と浮子測法は概ね一致するが，CCTV カメラの遠方で視認性の悪い左岸側では過大評価となり，異常値が認められる．

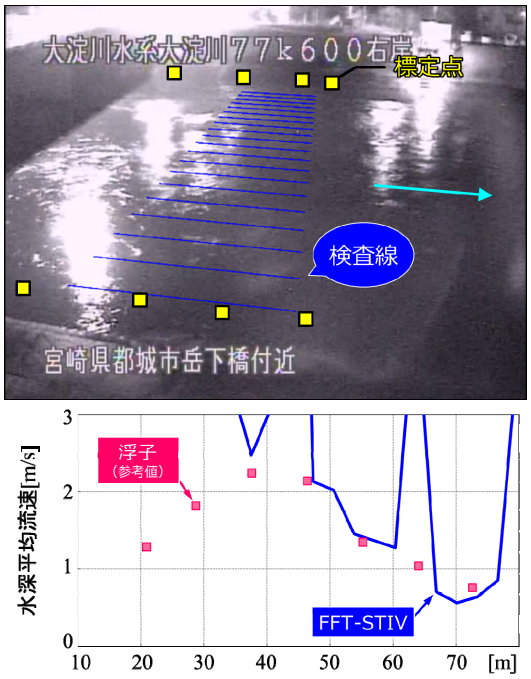


図-8　流速解析結果（岳下観測所）

③山国川柿坂観測所（遠赤外線カメラ）

水防団待機水位を超過し平成 26 年度最高水位を記録した 7 月 3 日洪水ピーク時における解析対象画像と STIV による流速解析結果を示す．出水規模が小さかったため浮子観測は実施されておらず流速値の検証はできていないが，FFT-STIV による解析結果と Manual-STIV による解析結果が良好に一致していることを確認した．

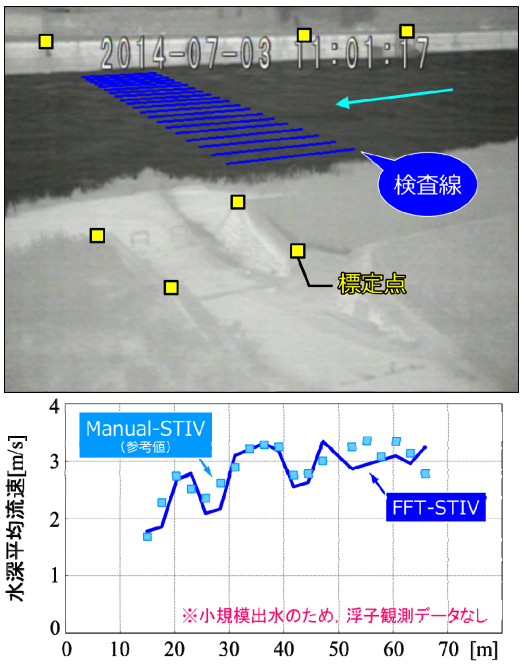


図-9　流速解析結果（柿坂観測所）

(2) 浮子測法との流量比較

CCTV カメラと浮子による同時観測に成功した 4 観測所を対象に，STIV による流速計測値から流量を区分求積で算出した結果を図-9 に示す．浮子測法と STIV による流量算出値は概ね一致した．流量規模が 100m³/s 程度では，数 m³/s の流量誤差が比較的大きな相対誤差として現れている．

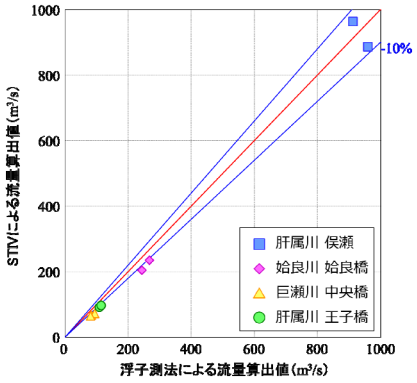


図-9　浮子測法との流量比較

5. 今後の展望と課題

上記の検討結果の通り，CCTV カメラを用いた画像処理型流速測定法の有効性を確認できたことから，九州地方整備局では河川関係事務所及び流量観測業者が CCTV カメラの画角設定から STIV を用いた流速・流量算出に至る一連の解析が実施できるような技術指針として，「CCTV カメラを活用した水文観測ガイドライン(案) 観測編・解析編」を作成した．

なお，本ガイドライン（案）の記載内容は，今後，「流量観測の高度化マニュアル（高水流量観測編）」（土木研究所 ICHARM）[3]に加筆され，九州地方整備局の取り組みが全国展開される方向で検討が進められている．

一方，①CCTV カメラの夜間・遠方の視認性低下に伴う異常値対策，②遠赤外線カメラの流速値と浮子測法の流速値の比較検証，といった引き続き検討すべき課題も残っている．CCTV カメラの夜間・遠方の視認性低下に伴う異常値対策については，DIEX 法[10] 及び Manual-STIV の適用により改善される可能性が示唆されており，今後も引き続き検討を行う予定である．また，別途検討成果によると，CCTV カメラの高画質化・照明タイプの変更により，視認性の向上を図れることが明らかになったため，今後は，これらの検討成果を反映したガイドライン（案）に改訂する予定である．

さらに，CCTV カメラを用いた観測システムは，観測中カメラを固定する必要があり，水防活動等への支障が懸念される面もあるため，今後は，独立した専用カメラを試験的に設置することで継続的な観測システムを構築し，比較検討を行うことで CCTV カメラの運用面の課題整理・検討も行う予定である．

6. おわりに

画像処理型流速測定法の実用化にあたっては，「CCTV カメラを活用した水文観測ガイドライン(案) 観測編・解析編」に基づく，観測・解析体制を確立させる必要がある．九州地方整備局管内の河川関係事務所では，STIV が適用可能な観測所における観測体制を確立している一方，解析体制については，専用ソフトの購入が必要かつ操作に熟練を要する部分も必要であるため，事務所レベルでの体制は確立できていない．将来的には，流量観測受注者が解析できる体制を構築していくことが望ましいと考えるが，筆者は，かつて職員が直営で浮子観測を行い，流量観測受注者へ委託していったように，まずは，職員が直営で解析を行い，流量観測受注者へ指導するという位の心構えが高度化を実現させる上で肝要と考える．

謝辞：本研究を進めるにあたり，神戸大学藤田一郎教授には，STIV の精度検討やガイドライン（案）作成に多くの有益な助言を頂いた．ここに深甚なる謝意を表する．

参考文献

1) 国土交通省水管理・国土保全局：河川砂防技術基準 調査編，pp.第2章第4節－16-第2章第4節－20，2014.
2) 二瓶泰雄，色川有，井出恭平，高村智之：超音波ドップラー流速分布計を用いた河川流量計測法に関する検討，土木学会論文集B，Vol.64，No.2，pp.99-114，2008.
3) 独立行政法人土木研究所　水災害・リスクマネジメント国際センター：流量観測の高度化マニュアル（高水流量観測編）Ver1.0，pp.1-23，2013.
4) 山口高志，新里邦生：電波流速計による洪水流量観測，土木学会論文集，497／II-28，pp.41-50，1994.
5) 藤田一郎，河村三郎：ビデオ画像解析による河川表面流計測の試み，水工学論文集，第38巻，pp. 733-738,1994.
6) Fujita, I., Watanabe, H. and Tsubaki, R.： Development of a nonintrusive and efficient flow monitoring technique: The space time image velocimetry (STIV)，International Journal of River Basin Management，Vol.5，No.2，pp.105-114，2007.
7) 藤田一郎，安藤敬済，堤志帆，岡部健士：STIVによる劣悪な撮影条件での河川洪水流計測，水工学論文集，Vol.53，pp.1003～1008，2009.
8) 島本重寿，藤田一郎，萬矢敦啓，柏田仁，浜口憲一郎，山崎裕介：画像処理型流速測定法を用いた流量観測技術の実用化に向けた検討，河川技術論文集，Vol.20，pp.37-42，2014.
9) 秋田紘征，藤田一郎：河川流画像計測に傾斜計を導入した実用的な幾何補正とSTIVの計測精度の評価，土木学会論文集B1（水工学）Vol.71，No.4，pp.I_847-I_852，2015.
10) 柏田仁，藤田一郎，本永良樹，萬矢敦啓，二瓶泰雄，中島洋一，山崎裕介：統一された流速内外挿法に基づく様々な流速計測技術の流量推定精度，土木学会論文集B1（水工学），Vol.69，No.4，I_739-I-744，2013.

無人飛行体（UAV）を用いた護岸の健全度評価

坂本　和雄[1]

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

太田川護岸は，延長が長く，変状箇所も多いため，調査に膨大な費用・時間を要しており，中でも外観調査における効率的・簡易的な調査手法の適用が急務となっている．そこで，簡易な調査手法として，UAVによる多視点3D画像構築技術を用いた調査を提案し，その計測範囲，撮影方法，計測精度，調査時間と費用を把握し，昨年度まで外観調査により実施した健全度評価結果と比較を行い，今後の運用に向けた適用性と課題を整理する．

キーワード　ＵＡＶ，多視点画像，健全度評価

1. 概要

太田川高潮区間の護岸整備は1970年代より進められている．しかし，直轄管理以前に整備された設置時期が不明な護岸も多く，これらを合わせた直轄管理区間の護岸延長は約80kmある．これらの護岸は目地の欠落や継手部の開口等の変状が多く見られ，老朽化が進んでいる．護岸背後地の多くが満潮時の海面（T.P.+2.0m）より低く，高潮被害を受けやすい土地である．そのため，2000年度から護岸の外観調査，物理探査等により健全度評価を行い，計画的な補修対策や継続的な監視を行っているが，護岸延長が長く，変状箇所も多いため，調査に膨大な費用・時間を要しており，中でも外観調査における効率的・簡易的な調査手法の適用が急務となっている．
そこで，多様な情報記録・加工処理が可能な調査手法として，UAV（Unmanned Aerial Vehicle）による多視点画像3D構築技術を用いた調査を一部区間にて試行し，調査可能範囲・撮影方法・計測精度・調査時間と費用を把握し，今後の運用に向けた適用性と課題を整理した．

2. 現状と課題

(1) 護岸の状況

太田川高潮区間の護岸工種としては，平張りコンクリート護岸，ブロック積み護岸，練石積み護岸及び法枠護岸が主に整備されているが，老朽化により目地の欠落などの変状が生じている．太田川は，日々の干満による潮位差が，月平均で約3m，大潮時になると4m程度あり，護岸法面は急激な水位変動により大きな外力を受けている．それに伴う，裏込め侵食・圧力増大・強度低下により背面土砂が吸い出され，護岸背面の空洞化，緩み等の変状が進行し，護岸天端のひび割れや陥没が発生している．[1)]

(2) 従来手法による調査状況

従来手法の調査員による外観目視調査では，4人1組作業を基本とした場合，護岸1kmあたり5日間を要し，全長約65.4kmの感潮区間（市内派川+小瀬川の両岸）全域を対象とすると，作業可能日ベースで約2年7ヶ月の日数を要してしまう．加えて，評価・取りまとめ作業も約2年程度が必要なため，調査が完了するまで，5年近くかかってしまう．

また，護岸構造物に調査員が近づくことが難しい場所も存在するため，危険作業となる可能性もある．その上，複数の調査員が目視作業を行うため，調査員の技量・解釈に委ねられる部分が多く，定量的な把握・判断が困難である．



図-1　調査員による外観目視調査状況

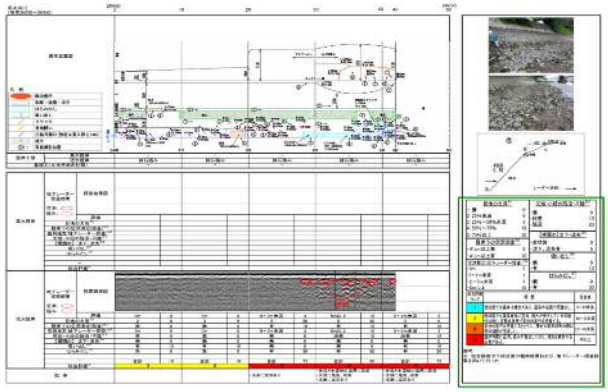


図-2　従来手法による調査結果記録表

3. UAVを用いた調査

(1) UAVを用いた調査の背景

近年，GPS などにより安定した飛行の可能な UAV が普及し，これまでは困難であった視点から対象物を把握することが可能となった．当検証では，デジタル一眼レフカメラが搭載可能な UAV を用いて上空より護岸を撮影し，SfM－多視点画像 3D 構築技術を応用することで，高所・立入困難箇所からの画像取得～3D モデル化が容易となり，調査の大幅な省力化が期待できる．SfM 技術は，多視点で撮影した画像内の特徴点から共通点を逐次判別し，カメラの 3 次元位置を特定することで少ない基準点からでも対象構造物の表面形状をリアルな高密度データとして取得できる技術である．

例えば UAV を用い護岸全体を 3D モデル（DEM）化することで，法面のはらみ出し，法面，法尻付近からの吸い出しの有無，根固め工の沈下または流出の状況を時系列にかつ面的に捉えることで，変状の進行部位の特定と進行速度を定量的に把握でき，健全度の評価を行うことが可能となる．このように長期間－複数回にわたり蓄積された 3D モデル（DEM）は，地理空間情報という－同一条件での再確認・検証を行うことで，損傷の予兆となる変状箇所を事前に把握でき，予防保全型の河川管理に寄与する．これらを応用することで，高所・立入困難箇所からの画像取得～3D 化が容易となり，調査の大幅な省力化が期待できる．

(2) 調査の概要

a) 実施範囲

太田川河川事務所管内の表 1 に示す 5 箇所で UAV を用いた調査を行った．

b) 使用機材

使用した UAV は複数の羽を有しており，従来のラジコンヘリに比べ，飛行時の安定性に優れており，より安全な撮影が可能である．バッテリー電池による飛行のため騒音に関しても比較的静かである．また，GPS・ジャイロ等の機材を搭載しており，予め，飛行経路を設定することで，GPS による自動飛行が可能である．

また，上下左右回転の 3 軸が自由に動かせるジンバルを装備し，そこに一眼レフカメラを搭載できる．撮影範囲を地上でモニターにより確認が可能である．

撮影は対象から約 14m の位置を平行移動し，詳細写真の撮影を基本に実施した．（2～3mm/pix 解像度，それぞれの画像が 60%以上ラップさせ撮影）

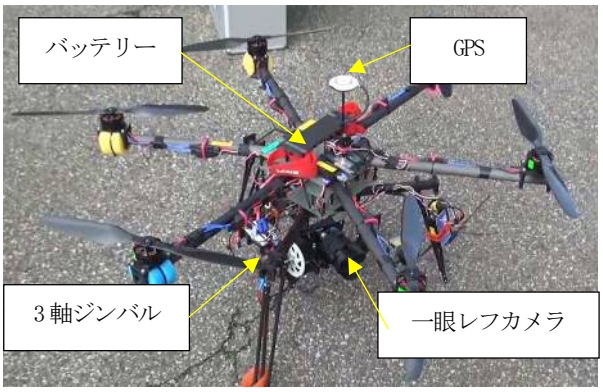


図-3　UAV

表-2　UAV の仕様

機体重量	3.0kgf
搭載重量	3.5kgf
台風安定性	10m/s
飛行時間	～10 分
プロポ周波数	2.4GHz
プロポ空中電力	10mW



図-4　使用した一眼レフカメラ
Nikon D7100

c) 作業の流れ

計測対象を UAV に搭載したカメラで連続的に撮影し，多視点画像解析により現地状況を 3 次元化する．生成された 3 次元の TIN（不整三角網モデル）から正射画像（オルソ画像）への変換，概略の寸法算出，断面図（形状寸法調査）作成が可能である．このとき，生成する TIN に座標系を与えるため，予め対象範囲に標定点（GCP：Ground Control Point）を数点配置する必要がある．

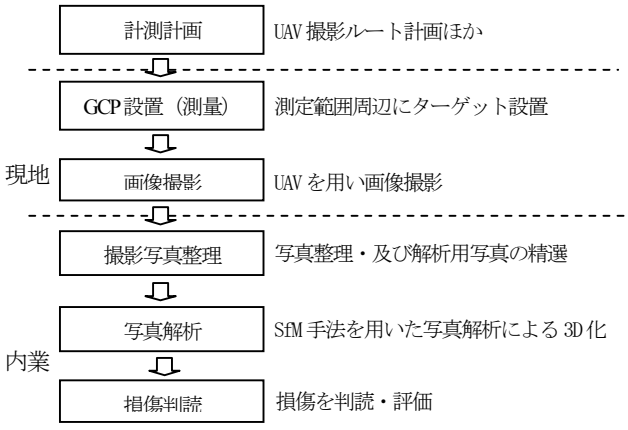


図-5　作業の流れ

表-1　調査実施範囲

番号	対象河川	岸	距離程	護岸工種	実施距離（m）
①	太田川放水路	右	4k562～4k607	コンクリートブロック張り護岸	45
②	太田川放水路	左	3k600-3k706	法枠コンクリート護岸	106
③	旧太田川	右	4k000-4k240	石積み護岸	240
④	小瀬川	右	C0k190-C0k310	重力式コンクリート護岸	120
⑤	小瀬川	右	2k296-2k399	コンクリートブロック積み護岸	103

(3) 現地調査

実施箇所①を例に実施した内容を下記に示す.

a) GCP設置

UAV を用い撮影した画像のみで現地の状況を 3D モデルにより忠実に再現し，損傷を抽出することが可能であるが，画像のみの場合，生成されるモデルは，縮尺を持たない相似形のものとなる．そこで，生成するモデルに縮尺を与え，地形図等と同じ位置座標で管理するためには，対象範囲に対空標識（ターゲット）を配置・測量し，SfM 解析時にそれらの座標値を GCP として入力する必要がある．河川の場合，200m 毎に距離標が設置されており，これらを基準にターゲット測量を行うことで，同一箇所を経年的に調査する場合，有効である.



図-6　河川距離標とターゲットの測量状況

b) 画像撮影

UAV にカメラを搭載し，計測対象範囲上空を飛行しながら，連続的に撮影を実施した．インターバル撮影により 1 秒間に 1 枚の画像を撮影し，①においては，約 7 分間のフライトを 2 度実施し，合計 800 枚程度の画像を取得した．撮影画像の解像度は 3mm/pix である.

同時に損傷検出の検証のため，テストボードも同時に撮影した.

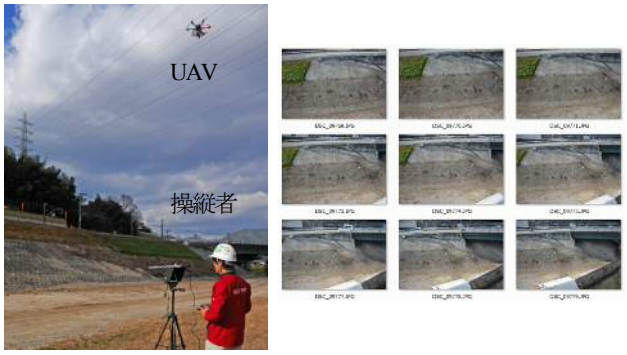


図-7　UAVの操作状況と撮影画像

c) 撮影画像整理・写真解析

約 800 枚の撮影画像からブレやピンボケの画像を排除し，オーバーラップの観点などから解析に適した 450 枚程度の画像を精選し，多視点画像解析を行った.

解析した結果を以下に示す．はじめに，画像より特徴点を自動抽出し，画像同士の共通点から逆解析することで，カメラ位置を算出し，対象構造物の表面形状をリアルな高密度データとして生成する.

生成されたモデルは，撮影画像がマッピングされており，ビューワにより一般的な PC でも軽快にモデルを閲覧することができる．また，モデル上で距離の算出も可能で，拡大すると撮影解像度のまま表面の状況を把握できる.

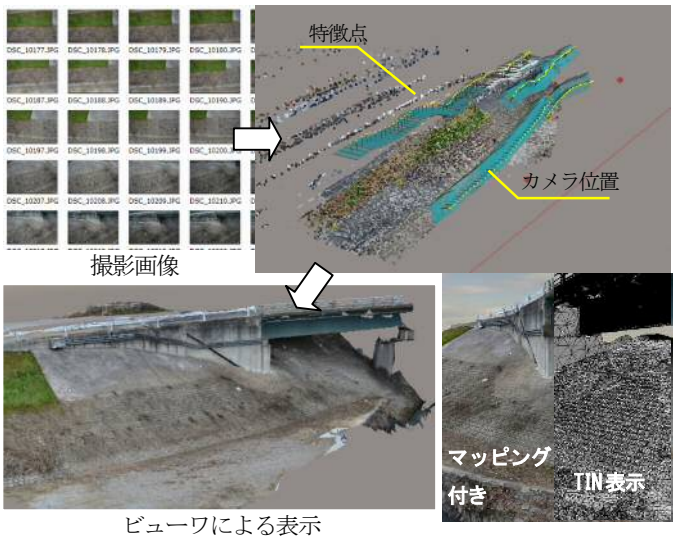


図-8　多視点画像解析処理

d) 損傷判読

基本的にマルチ画面で PC 作業を行い，左画面では「ひび割れ位置・幅判読図化システム [2)3)]」を用い，3D モデルから生成したオルソ画像を下図として損傷を抽出し，画像上に記載していく．その際，画像解像度が 2mm/pix の場合，約 3.5m×1.5m 範囲を 1 画面に表示し，損傷を探査する．右画面には，3D モデルを表示し，様々な視点より 3 次元で対象範囲を確認することに利用している．3D モデルを見ながら，損傷を探査することで，2 次元では分からない段差や孕みなどの変状も確認することが可能であり，室内の落ち着いた状況で作業が可能な点でも非常に有効な手法である．記載した損傷は，CAD データへの変換し，管理図面などへの転記も可能である.



図-9　損傷抽出作業状況

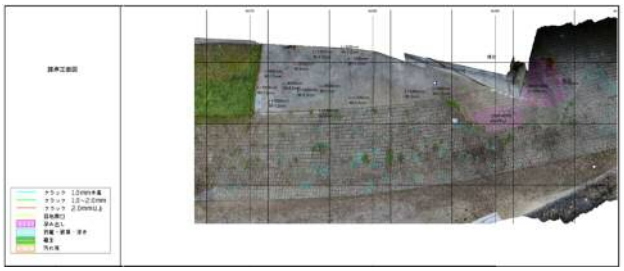
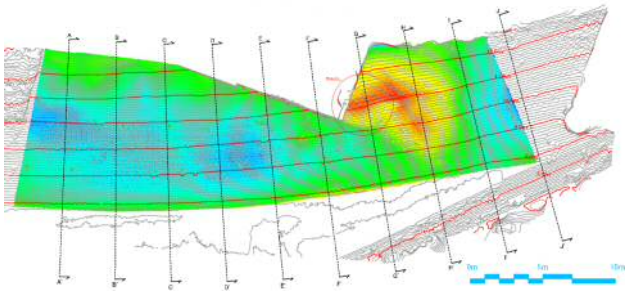
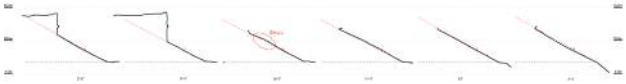


図-10 UAV調査結果より作成した護岸損傷

上記以外にも，多視点画像解析により生成した 3D モデルは，現地の形状を再現しているため，図-11 に示すようなコンターの抽出，任意断面の抽出，段彩図の作成などが可能である．



コンター図と段彩図（変状箇所を色彩により表示）の重畳



任意断面図

図-11 3Dモデルから判読可能な変状

(4) 再現性の確認

今回，実施箇所①で，対象護岸に精度検証のため，寸法の明らかなコンクリートブロックを配置し，生成した 3D モデル上のブロックの寸法を比較することで，再現性の検証を行った．

撮影高度（飛行高度）約 15m において撮影した画像のため撮影解像度は 2～3mm/pix である．

実値とモデル上の寸法値を比較したところ，図-12 に示すように各辺が数 mm の誤差で再現されていた．

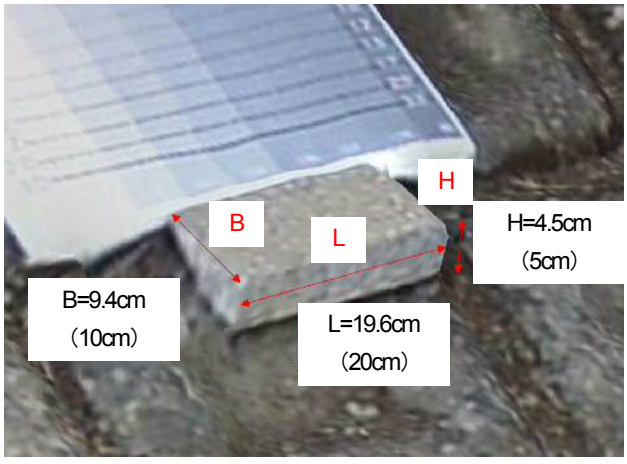


図-12 ブロックによる再現性確認（括弧内：実値）

4. 外観調査と UAV の比較検討

(1) ターゲット配置検証

理論上，最低3点のターゲットを一連の画像の中に写し込んで解析することで，方位・高度を地図情報と合わせることは可能だが，対象物の形状や色，撮影方法により生成モデルにバラつきが生じる．今回実施した太田川放水路4k500～4k600(100m)のブロック張りコンクリート地点において，設置した11点のターゲットのうち，対象範囲を囲む4点をGCPとして解析を行い，検証点（GCP以外の点）の座標値（生成した3Dモデルから抽出した座標と測量座標）を比較したところ，最大40mm程度での誤差が確認された．GCPより離れた位置にある検証点ほど誤差が大きくなる傾向があるため，ターゲットの偏った配置などは避けるべきであり，内挿した解析が可能なよう対象範囲を囲むだけでなく，一定距離ごとにターゲットを配置することが有効であると言える．

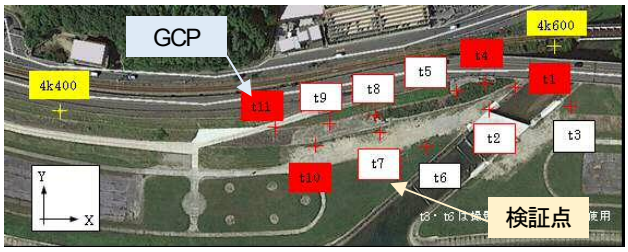


図-13 対象範囲を囲むようGCP配置

表-3 GCP・検証点の測量座標との比較表

GCP	誤差(m)			検証点	誤差(m)		
点名	X	Y	Z	点名	X	Y	Z
t1	-0.003	0.004	-0.004	t2	-0.002	0.005	-0.016
t4	0.005	-0.004	0.005	t5	-0.008	-0.003	0.013
t10	-0.003	-0.007	0.001	t7	-0.015	-0.020	0.017
t11	0.002	0.006	-0.002	t8	-0.012	-0.018	0.045
				t9	-0.003	-0.013	0.040

(2) 精度検証

今回，UAV 調査から得られた損傷図と外観調査による損傷図との比較行った結果を図-14 に示す．

外観調査結果に記載されていた損傷（クラックの幅や寸法，その他損傷等）も充分に確認可能な上，直線的に記載されていたひび割れや浮きの状況も画像を元にすることで，より詳細な形状を把握できる（図-14 上）．

特に，はらみだしや陥没等の目視観察や従来の写真では確認しにくい箇所についても 3D モデルを併用することで充分確認が可能である（図-14 下）．また，図-11 に示すカラーコンター図や横断図などの表現も可能となる．一方，湧水の染み出しや打音での確認が必要となるような浮きについては，UAV による調査では困難であることが今回の調査で明らかとなった．

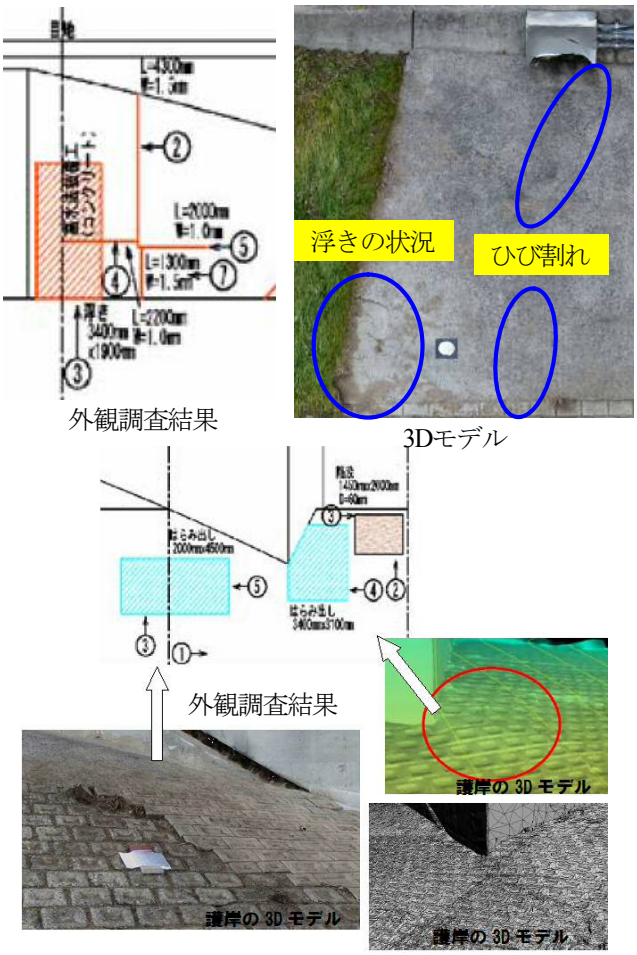


図-14 損傷状況の精度検証結果

(2) 外観調査とUAV調査の比較検討

今回，実施箇所①の実施数量を元に UAV による調査から解析，損傷図の作成等，外業から内業の中で各作業に使用する機材やソフト，作業内容，作業に必要なデータや情報とアウトプットのイメージ図，作業にかかる人工数と所要時間を整理した（表-4）．

UAV を用いた調査の場合，安全飛行のためには事前踏査が不可欠で，踏査も含め 1km あたりの現地作業は 2 人で約 1 日要する．取得した画像から 3D モデルを生成するまでに，1 週間程度要し，そこからオルソ画像や任意断面図・コンター図などを作成し，処理・評価作業で更に 1 週間程度要する．つまり 1km あたりであれば，2.5 週間程度で調査結果のとりまとめが完了する計算となる．

また，外観観察調査と UAV による多視点画像解析について，作業時間や経済性，両者の利点・欠点とともに比較検討した（表-5）．

UAV の利点としては，以下の点が挙げられる．

- 一度に広範囲のデータが取得可能である．
- 太田川の高潮区間等、感潮区間で作業時間に制約がある場合に有用性が高い．
- 長期的な視点でみた場合、外観調査よりもコストカットが期待できる．
- 河口域や法高が高く人が近づけない範囲での調査が可能である．
- 調査者の主観ではなく、定量的な評価が可能となる．
- 継続的にデータが取得可能で、災害時においては概略の対策設計を立案することが可能である．

表-4 各作業段階における作業内容及び作業量一覧

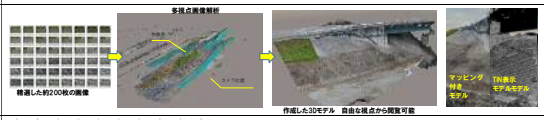
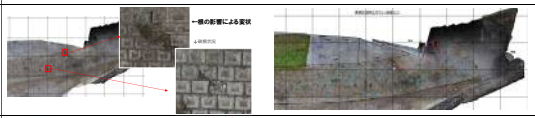
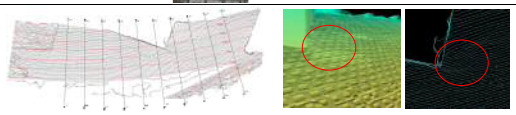
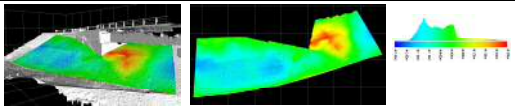
作業内容			使用機材 使用ソフト	説明	必要なデータ 情報等		所要時間(h) 100mあたり	人工数 kmあたり
現地作業	事前踏査		なし	現地作業を円滑に進めるため、UAVの撮影計画を作成	対象範囲図	基準点新位置などを把握。また、離着陸場所、飛行ルートが予め分かると操縦者の負担軽減にも繋がる。	1.0	0.5
	画像撮影		UAV関連一式 一眼レフカメラ(D7100)	目標解像度2～3mm/pix　撮影高度約15m 飛行延長約100m 約7分間のフライトを2度→800枚の画像取得 1フライトに約30分程度要する→1フライトでマニュアル飛行であれば、200m程度が限界 オートノマス飛行であれば、500m～1kmは可能	対象周囲の状況 →道路・鉄道・橋梁・電波塔・高圧電線・民家 電波調査		1.0	2人*0.5
	測量		トータルステーション 基準点情報	13点（うち2点は既設基準点）	基準点位置・座標値		1.0	2人*0.5
内業	解析作業	多視点 画像解析	多視点画像 解析ソフト	精選した約200枚の画像からモデル化（初めは500枚程度の画像を解析にかけ、結果的に200枚に厳選）	基準点座標 ターゲット座標		30.0	4.0
		オルソ画像	Autodesk社製 3dsMAX Adobe社製 photoshop	作成したモデルを3dsMAXに移行し、任意箇所のオルソ画像を作成	平面線形		4.0	2.0
	処理・評価作業	損傷図	Autodesk社製 AutoCAD	作成したオルソ画像から損傷の抽出 既存の平面図と重ねあわせることで、位置を把握しながら損傷の抽出が可能 広い面積を室内作業で変状を抽出できる 把握可能な変状・損傷 ひび割れ、護岸亀裂、破損	既存図面（あれば作業効率が良い）		4.0	2.0
		横断図 平面コンター図	i-site(CG・点群処理ソフト) Autodesk社製 AutoCAD	多視点画像解析による作成した3Dモデルを処理し、横断図・コンター図等の作成可能 把握可能な変状・損傷 護岸変形、孕み出し、地形の不陸	既存図面（あれば作業効率が良い）		2.0	1.0
		段彩図	i-site(CG・点群処理ソフト)	護岸等の変状を視覚的に表示可能 （任意基準面に対しての差分図 →変形量を色で表現） 把握可能な変状・損傷 護岸変形、孕み出し、地形の不陸	設計断面図		1.0	1.0
						合計	44.0	11.5

表-5　外観調査とUAVによる調査の比較

対象構造物		護岸（感潮区間）			
①調査方法		外観観察調査（+横断測量）		UAVによる多視点画像解析	
②現場作業所要時間	1kmあたり（1日あたり※1）	5日間 （200m/日）		1日間 （手動操作時：1000m/日）	
	感潮区間全域※2 （作業可能日ベース※3）	10.9ヶ月 （2年6.6ヶ月）		2.2ヶ月 （6.2ヶ月）	
③解析・評価とりまとめ作業所要時間	1kmあたり※4	12日間		12.5日間	
	感潮区間全域※2	2年1.8ヶ月		2年2.7ヶ月	
④総合計所要時間（②+③） （年間作業可能日ベース※3）		3年0.8ヵ月 （4年8.5ヶ月）	割合 (1)	2年4.5ヵ月 （2年8.8ヶ月）	割合 (0.6)
⑤経済性※5		外観調査費用（1kmあたり） ＝ 55 万円 解析・評価とりまとめ費用（1kmあたり） ＝ 30 万円 合　計 85 万円	1	UAV調査費用（1kmあたり） ＝ 30 万円 解析・評価とりまとめ費用（1kmあたり） ＝ 84 万円 合　計 114 万円	1.3
⑥総合評価		【メリット】 ・護岸下の空洞測定（深さ）の概略を打音や踏査により把握できる。 【デメリット】 ・横断図を作成には、別途測量を要する。 ・調査者の解釈に委ねられる部分が多く、損傷状況の定量的把握が困難。 ・調査終了まで長期間要する。		【メリット】 ・一度に広範囲のデータを取得可能。 ・感潮区間等、作業時間に制約がある場合に有用性が高い。 ・長期的な視点で見た場合には外観観察調査よりコストカットが期待できる。 ・河口域や法高が高く人が行けない範囲の調査が可能。 ・調査者の主観でなく、定量的な評価が可能。 ・定量的データを取得可能。災害時には概略の対策設計を立案可能。 【デメリット】 ・浮きはとりにくい。 ・撮影時に制約条件（気象状況や電波状況、プライバシー等）が生じる。 ・安全面での課題（道路・鉄道・橋梁・電波塔・高圧電線等との接触）が生じる。 ・電波の影響を受けやすい（別途電波調査が必要）。 【※性能上のメリット】 ・計測精度を調整可能。 ・3D多視点画像での表現が可能。 ・撮影範囲内のどの位置においても横断図を表現可能。 ・過去データとの比較・フィードバックが可能。 ・地上型3Dレーザ計測とほぼ同程度の測量精度	
		○		◎	

備考 ※1　1日当りの作業量は、干潮時間とその前後1時間を含む計3時間に実施可能な距離を算出。また、外観観察調査の作業量は、4人1組、UAV調査は2人1組作業を基本とした場合の作業量を算出した。
※2　全長約65.4kmの感潮区間（市内派川＋小瀬川の両岸）を対象とする。
※3　年間作業可能日数128日（1ヶ月当り10.6日）は、干潮時間とその前後1時間を含む計3時間、かつ水位100cm未満の制約条件下で算出した。
※4　解析・評価とりまとめ作業は、外観調査、UAV調査ともに、1人で実施した延べ日数とする。また、UAVの解析作業は、写真の精査から3D化、損傷の確認から損傷図作成までを含む。
※5　金額は税抜き金額とし、諸経費等は含まないものとする。

5. まとめと今後の課題

今回，UAV 調査にて，護岸の損傷図作成や評価を行い，精度及び有用性があることを確認した．UAV の活用は護岸調査の他，足場架設・ロープアクセス等の手間を省力化が可能なため，多方面（橋梁調査・ダム調査等）で期待でき，災害時の概略の対策設計などにも十分活用が可能である．

しかし昨今，UAV の安全性が問われ，社会問題となっている．本件でも，UAV の安全には充分配慮し，検証を行ったが，気象や電波などの影響を受けやすく，安全に飛行するためには，制約が多々ある．その他，道路・鉄道・橋梁・電波塔・高圧電線の近傍での飛行は，特に注意する必要があり，操縦者の熟練度も不可欠である．今後，特に留意すべき点を以下に纏めた．

○強力な電波や電磁波（電波塔等）に注意が必要

電波塔や発電所及び変電所等が存在する場合には，事前に使用周波数や出力及び通信状況を確認する必要がある．

○撮影時の周辺環境への配慮・周知が必要

市内等の建物が密集しているような場所にて UAV 調査を行う場合は，プライバシーの保護や安全面の観点から周辺への周知徹底を行う必要がある．

○調査時の天候等に注意が必要

調査時に天候等の気象条件に制約を受ける．

1）風速

調査地の地形やその周囲の構造物等の条件に因って異なるが，安全に作業を行う為には，基本的に風速は毎秒5mが限界と考える．よって，作業開始時，作業中等において，風速を計測しておく必要がある．また，風速が5m以上となる場合には，作業を中断する．

2）天候

雨・雪・雹などが降っている場合や降り出しそうな気象条件時には，基本的に作業は中止とする．また，雷は遠くで鳴りだしたら，即，作業を中止する．

○UAV の性能上の注意事項

機体により異なるが，おおよそバッテリーの持続時間が最大 10 分程度である．そのため，バッテリー切れによる墜落の危険性を加味し，離陸～着陸までを 7 分程度で作業を実施する必要がある．

今後は，UAV の安全性の確保と共に，本件で抽出した課題を解決するとともに，様々な護岸工種等での事例数を増やしていく必要がある．特に，現在 3D 構築画像の作成から損傷図の作成までに解析時間と費用が掛かっていることから，これらの縮減に向けた取り組みを行う必要がある．ただし，3D モデル・画像等の付加価値のあるデータを蓄積するため，今後の維持管理の上では，充分メリットのある調査手法であるといえる．

また，今後の運用方法（健全度評価のうち，補修及び更新程度が把握できれば良しとする程度の精度とする等）を検討して，課題解決を行っていくことが望ましい．

参考文献

1) 日高雅彦，太田川高潮護岸の健全度調査，H26中国地方技術研究会発表論文（2014.7）

2) 西村正三,原健司,木本啓介,松田浩，3Dレーザ・デジタル画像を用いた軍艦島計測と損傷図作成，日本写真測量学会　写真測量とリモートセンシング　Vol.51,No.1，pp.46-53（2012.3）

3) 西村正三,木本啓介,松岡のどか,大谷仁志,緒方宇大,松田浩，橋梁維持管理調査における遠隔計測手法の有効性検証，日本測量協会　応用測量論文集,Vol.24,　（2013.1）

北海道型SMAの施工技術について

田中　俊輔[1]・磯田　卓也[1]・木村　孝司[1]

[1]（国研）土木研究所寒地土木研究所 寒地道路保全チーム （〒064-8918 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34）

北海道開発局が管理する高規格幹線道路では，走行安全性を考慮して排水性舗装が施工されてきた．しかし，長く供用された排水性舗装区間で，ポットホール等の破損が発生し，走行性が低下する状況が散見される．このような背景から，平成22年に「積雪寒冷地における舗装技術検討委員会」が設立され，北海道の高規格幹線道路に必要な性能を満足する表層用アスファルト混合物の検討が行われた．そこに当研究所も参画し，試験・調査を行っている．その成果として，北海道型SMAと名付けられた混合物の適用が提案された．本論文では，北海道型SMAの材料，施工，品質管理・出来形管理，耐久性について，これまでに得られた知見を報告する．

キーワード　北海道型SMA，高規格幹線道路，品質管理，耐久性向上

1. はじめに

北海道開発局が管理する高規格幹線道路では，高速走行時の安全性を考慮して，排水性舗装が用いられてきた．

排水性舗装は，**図-1**に示すように，表面のきめが深く，排水機能を有しており，ハイドロプレーニング現象の発生の抑制，視認性の向上，氷膜路面時等の路面のすべり抵抗の向上といった効果が確認されている[1),2)]．

しかし，長く供用された排水性舗装区間で，**写真-1**のようなタイヤ走行部や橋梁ジョイント接続部等にポットホールやひび割れ，骨材飛散等の破損が発生し，走行性の機能が低下している状況が散見される．積雪寒冷地では，低温，融雪期の融雪水や凍結融解作用およびタイヤチェーンや除雪車の鋼製ブレードによる摩耗等の影響を受けるため，舗装にとって過酷な条件となることが破損の原因の一つと考えられる[3)]．さらに，補修作業にかかる費用等により，路面管理費用にも負担が生じている．

そのような現状から，積雪寒冷地における舗装の品質と技術的な発展および促進に向けて，産学官の構成により，評価や技術的検討を行うため，平成22年に「積雪寒冷地における舗装技術検討委員会」（北海道開発局主催）が設立された．その中で，現状で積雪寒冷地の高規格幹線道路に必要とされる，1) 雨天時の安全な高速走行性能を有し，空隙詰まり等の経年による性能低下が少ない，2) 冬期の除雪をはじめ，路面管理による影響を受けにくい，3) 維持管理コストの縮減が可能となる十分な耐久性能を有する，という性能を満足する表層用混合物の検討が行われた．その成果として北海道型SMAと名付けられた混合物の適用が提案され，平成26年7月に「北海道型SMAの施工の手引き（案）」（以下，手引き（案））がとりまとめられ公表された．当研究所も委員会に参画し，表層用混合物の材料，施工，機能等について調査・研究を行っている．本報告では，北海道型SMAの材料，施工，品質管理・出来形管理，耐久性について，これまでに得られた知見を述べるものである．

2. 北海道型SMAの施工の手引き（案）について

「積雪寒冷地における舗装技術検討委員会」では，北海道の高規格幹線道路の表層混合物に関する品質向上，コスト縮減等について検討が行われた結果，北海道型SMAの適用が提案された．北海道型SMAとは，**図-2**に

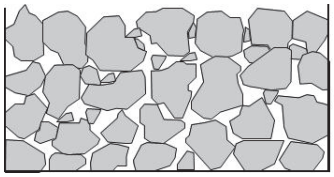


図-1　排水性舗装の断面



写真-1　排水性舗装の破損事例（タイヤ走行部（左）と橋梁ジョイント部（右）のポットホール）

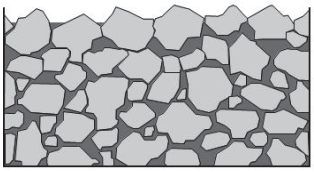


図-2　北海道型SMAの断面

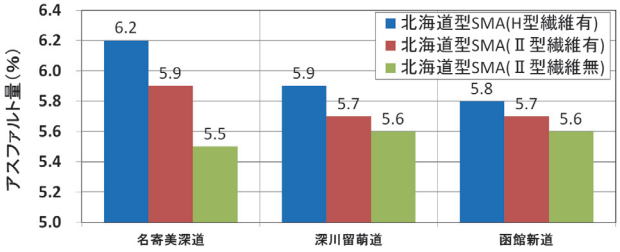


図-3　北海道型SMAの最適アスファルト量

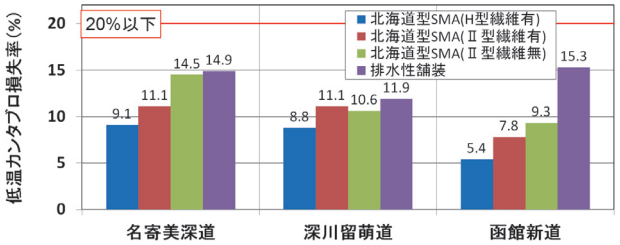


図-4　北海道型SMAの低温カンタブロ損失率

示すように，表面は排水性舗装に似たテクスチャを有しつつ，内部は骨材間隙にフィラーとアスファルトを多く含むアスファルトモルタルが満たされた密実な構造を有しており，表面機能と耐久性を併せ持った混合物である．その設計・施工に際して，所定の品質が確保されるよう，手引き（案）が作成されたものである．

3. 北海道型SMAの施工

北海道型SMAを施工するには，材料の選定，配合設計，施工の段階において様々な留意点がある．特に，混合物の製造から舗設までの温度・施工管理が重要であり，所定のきめ深さを満足し，かつ適切な締固めを行うことで高い耐久性が得られるよう，留意する必要がある．

ここでは，材料（植物性繊維の効果），施工，品質・出来形管理について，これまで得られた知見を報告する．

(1) 材料（植物性繊維の効果）

手引き（案）では，北海道型SMAは植物性繊維を使用することを標準としており，植物性繊維の添加量は重量比で，全体重量に対して0.3%（外割）を標準としている．これは，室内試験や試験施工の結果から，植物性繊維を混合することで，耐久性向上，施工性向上等の効果が期待できることが確認されたためであり，以下に，植物性繊維を混合することによる効果の詳細を述べる．

a) 最適アスファルト量

北海道型 SMA の材料や配合設計は，アウトバーン等で SMA の施工実績を多く有するドイツの推奨配合率を参考としており，ドイツにおいても植物性繊維を混合とすることが標準となっている[4]．

図-3 に，平成 24 年度に行われた試験施工箇所（名寄美深道，深川留萌道，函館新道）の最適アスファルト量を示す．なお，この試験施工では，耐久性やきめ深さを確保しやすいポリマー改質アスファルトⅡ型（以下，Ⅱ型）に植物性繊維を混合したもの（以下，繊維有り）と，コスト縮減を目的として混合していないもの（以下，繊維無し），ポリマー改質アスファルト H 型（以下，H 型）で植物性繊維を混合したものについて検討を行った．

Ⅱ型繊維有りとⅡ型繊維無しを比較すると，植物性繊維を混合した影響により，アスファルト量はⅡ型繊維有りが 0.1～0.4%高い値となった．したがって，植物性繊維を混合することにより，耐久性の向上に必要なアスファルト量を確保することが可能になると考えられる．

また，H型繊維有りとⅡ型繊維有りを比較すると，H型繊維有りが 0.1～0.3%高い値となった．これは，H 型がⅡ型より粘度が高い影響と考えられ，耐久性の向上に寄与すると思われる．

b) 低温カンタブロ試験

本試験は，アスファルト混合物の骨材飛散抵抗性を評価するために行われるもので，低温カンタブロ損失率が低いほど耐久性が高いと考えられる．試験方法は，「舗装調査・試験法便覧 B010 カンタブロ試験方法」[5]による．試験条件は，試験温度，供試体温度ともに-20℃とした．

平成 24 年度に行った試験施工による，低温カンタブロ試験の結果を図-4 に示す．

北海道型 SMA のⅡ型および H 型繊維有りは，Ⅱ型繊維無しと比較して，低温カンタブロ損失率が低い傾向が確認された．したがって，植物性繊維を混合することにより，耐久性の向上が期待される．また，H 型繊維有りは，Ⅱ型繊維有りとⅡ型繊維無しよりも低温カンタブロ損失率が低くなった．これは H 型繊維有りの最適アスファルト量がⅡ型よりも多いことや，高粘度であることにより，骨材飛散抵抗性が向上したものと考えられる．

排水性舗装では，低温カンタブロ損失率の規格値として20%以下と定められている．試験結果より，北海道型SMAは，排水性舗装と比較して骨材飛散抵抗に優れており，特に，植物性繊維を混合すると，骨材飛散抵抗性が向上することが確認された．

c) ダレ試験

ダレとは，本来は粗骨材の周りに厚く被膜しているべきアスファルトモルタルが，温度が高く粘性が低くなることや運搬時の振動により，骨材の周りに厚く被膜する



写真-2 ダレが発生し荷台にアスファルトモルタルや混合物が付着した状況



写真-3 ダレによってアスファルトモルタル分が浮き出し，舗装表面がフラッシュしている状況

ことができずに分離し，下部に溜まる現象である．ダレが発生すると，その混合物は不均一な状態になり，十分な性能や耐久性を発揮することができない．

北海道型 SMA は粗骨材主体の粒度構成であるため，密粒度アスファルト混合物に比べて，アスファルトモルタル分のダレが発生しやすい傾向がある．また，高い混合物温度での施工が要求されるが，そのために混合温度を高くしすぎると，**写真-2** のようにダレが発生し，**写真-3** に示すように混合物が不均一になった例もある．そのため，ダレ試験を行い，室内配合で作製した各アスファルト混合物のダレ量を確認した．

表-1 に試験条件を示す．なお，試験方法は「舗装調査・試験法便覧 B009 ダレ試験方法」[5]による．

図-5 に試験施工で用いた混合物のダレ試験の結果を示す．なお，この結果は，北海道開発局の河川・道路工事仕様書におけるアスファルト混合物の混合温度上限値である 185℃を試験温度に設定して行ったものである．

Ⅱ型繊維無しのダレ量が多くなり，一方で植物性繊維を混合した混合物は，ほぼダレが見られなかった．このことから，植物性繊維を混合することで，北海道型 SMA はダレが発生しにくくなり，耐久性等の品質が安定し，施工性の確保が容易になると考えられる．しかし，

表-1 ダレ試験の条件

	試験方法	備考
ダレ量	ダレ試験方法 舗装調査・試験法便覧 B009	・設定したアスファルト量で実施 ・試験温度は最適混合温度と 185℃の 2 条件

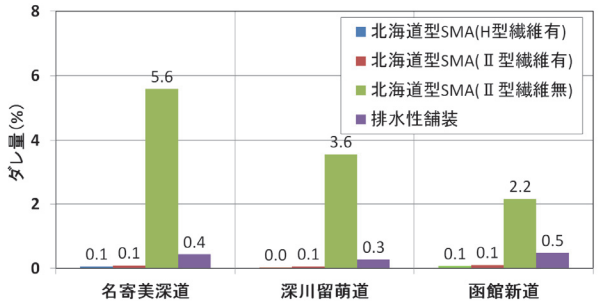


図-5 試験施工によるダレ試験の結果（試験温度185℃）

表-2 転圧時の施工機械，転圧回数および転圧温度の例

A	転圧機械	マカダムローラ (10t)	タンデムローラ (6t)	タイヤローラ (8～12t)
		6回	6回	6回
	目標温度	155±5℃	130±10℃	70±10℃
B	転圧機械	マカダムローラ (10t)	タンデムローラ (6t)	タイヤローラ (8～12t)
		6回	6回	2回
	目標温度	155±10℃	130±10℃	80±10℃
C	転圧機械	マカダムローラ (10t)	タンデムローラ (6t)	タイヤローラ (8～12t)
		6回	6回	4回
	目標温度	155±5℃	130±10℃	70±10℃

寒冷期施工等，混合温度を高めて出荷する場合は，極力温度低下を生じないような保温対策を講じて運搬する等，ダレの発生に対して，十分に留意する必要がある．

(2) 施工

手引き（案）では，北海道型 SMA は準備作業，施工時の温度管理，転圧方法等により品質に大きな影響を受ける混合物であることから，施工にあたっては，乳剤散布，敷均し，転圧等において，検討する必要があるとしている．以下に，敷均しや転圧が混合物に影響を及ぼす状況を例示する．

試験施工における転圧機械の転圧回数と目標温度の例を**表-2** に示す．使用した施工機械について，初転圧には十分な密度を得るために線圧の大きいマカダムローラを用い，高い温度で締固めた．2 次転圧には線圧が低いタンデムローラを使用することできめ深さを確保し，締固め度を高めた．また，タンデムローラにはローラマー

表-3　苫小牧寒地試験道路における試験施工の転圧条件

条件	初転圧	2次転圧	仕上げ転圧
①	敷均しのみ（転圧なし）		
②	マカダムローラ 3回	—	—
③	マカダムローラ 11回	—	—
④	マカダムローラ 7回	タンデムローラ 7回	タイヤローラ 3回



写真-4　CTメータ



写真-5　電磁波式アスファルト密度測定器（PQI）

クを消すことで平坦性を向上させる効果もある．仕上げ転圧にはタイヤローラを使用した例もある．

次に，平成 26 年 9 月に苫小牧寒地試験道路において，北海道型 SMA（Ⅱ型繊維有り）を用い，転圧方法（施工機械や転圧回数）のみ変化させて施工したときの舗装の性状を確認した．**表-3** に転圧条件を示す．この試験では，**写真-4** に示す CT メータ（回転式きめ深さ測定装置）を用いてきめ深さと，**写真-5** に示す非破壊式（電磁波式）アスファルト舗装密度測定器（PQI）を用いて密度を測定した．なお，CT メータで測定されたきめ深さは，平均プロファイル深さ（以下，MPD）[6]である．

図-6 に北海道型 SMA のきめ深さと密度の関係を示す．本試験で施工された北海道型 SMA は，MPD と密度には相関が見られ，きめ深さが大きくなるほど，密度は低下

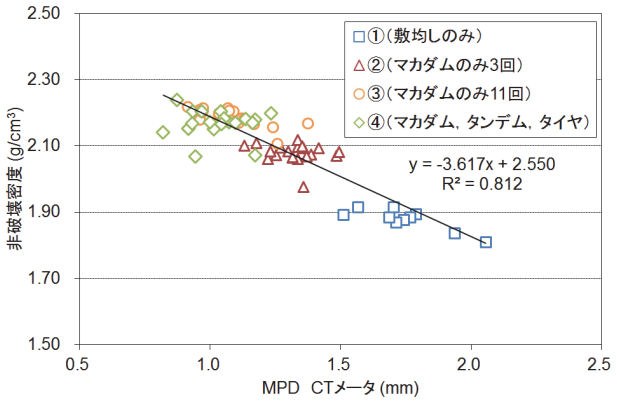


図-6　きめ深さ（MPD）と非破壊密度の関係

表-4　出来形管理の項目と規格値

測定項目	規格値	測定方法
きめ深さ	測定箇所における測定値の平均が0.9mm以上 ※サンドパッチング方法とCTメータの場合は20箇所以上の平均値、MRPの場合は10m毎のデータを平均する	（サンドパッチング方法） 砂を用いた測定方法「舗装調査・試験法便覧S022-1」 （CTメータ） 回転式きめ深さ測定装置を用いた測定方法「舗装調査・試験法便覧S022-2T」 （MRP） レーザ式連続きめ深さ測定装置を用いた測定方法

する傾向が顕著に現れた．そのため，転圧回数を少なくすると，きめ深さは大きくなるが，密度は低下し，耐久性も低下する可能性があることから，きめ深さを満足させるために，転圧回数を少なくする等の対応は行わないこととした．

また，条件④は，マカダムローラによる初期転圧回数は 7 回であるものの，タンデムローラによる 2 次転圧やタイヤローラによる仕上げ転圧を行うことにより，マカダムローラによる初期転圧を 11 回行ったものとほぼ同等の密度を得られていることが確認された．前述したように，タンデムローラには平坦性を向上させる効果もあるため，**表-2** に示したような転圧方法が望ましいと思われるが，今後，さらに検討を行う予定である．

(3) 品質管理・出来形管理

手引き（案）では，品質管理について，現場密度の測定は，かさ密度によることとした．また，前述したように，締固め度（密度）が低下すると，きめ深さは大きくなるが，耐久性は低下する．そのため，締固め度は規格値（96%）以上とするが，目標値は 100%としている．また，出来形管理の項目のうち，きめ深さの規格値，測定方法，測定頻度は，**表-4** に示すとおりとしている．測定方法は，CT メータ，**写真-6** に示す MRP（マルチロード・プロファイラ），サンドパッチング方法のいずれかで測定することとしている．



写真-6　MRP（マルチロード・プロファイラ）

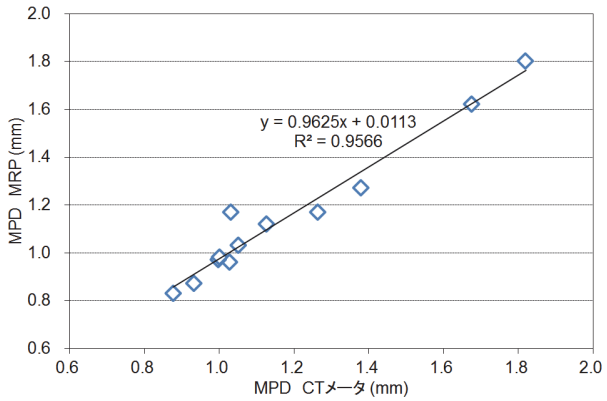


図-7　CTメータとMRPによるきめ深さの関係

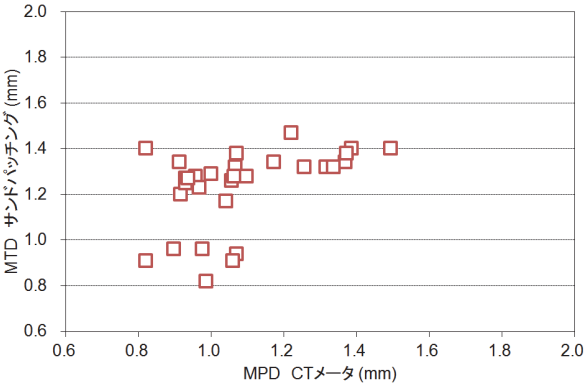


図-8　CTメータとサンドパッチング方法による
きめ深さの関係

図-7 に CT メータで測定した MPD と MRP で測定した MPD との関係を，図-8 にサンドパッチング方法で測定した平均テクスチャ深さ（以下，MTD）[6]と CT メータで測定した MPD を示す．なお，この結果は，前述の苫小牧寒地試験道路において行った北海道型 SMA の施工試験時に測定したものである．CT メータと MRP の関係は，MRP での 1 測線（約 10m）あたり，CT メータで 10 測点（1m 毎に測定）の平均値を用いた．また，CT メータとサンドパッチング方法は同じ測定点である．

CT メータと MRP により測定されたきめ深さは，R^2値も高く，良好な相関関係が見られている．一方，CT メータとサンドパッチング方法により測定されたきめ深さの関係を見ると，ばらつきが大きく見られた．

サンドパッチング方法によるきめ深さの測定値は，人的誤差に影響される性質がある．本試験の結果においても，サンドパッチング方法による測定値が CT メータの測定値と比較して大きくなっており，人的誤差に影響されたものと考えられる．一方，CT メータや MRP はサンドパッチング方法と比べて人的誤差が入らないため，これらを用いることで客観性が保たれると考えられる．

しかし，これらの測定機器は比較的高価で，市場で保有されている台数も多くないため，手配が容易でない面がある．そのため，きめ深さを測定する計測機器については，表-4 に示す 3 種類の測定方法のうち，どの方法で測定してもよいとされている．

また，表-4 に示した北海道型 SMA の出来形の規格値は，これまでの施工箇所で測定した実測データに基づいて設定したものであるが，今後さらにデータが蓄積された段階で適宜検討を行うことが必要と考えられる．

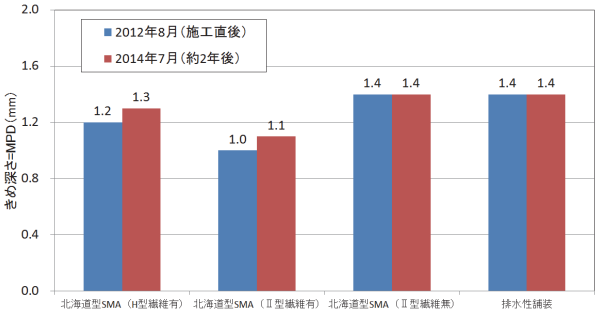


図-9　きめ深さの経年変化

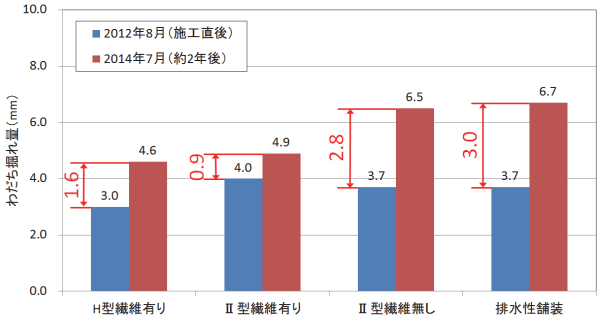


図-10　わだち掘れ量の経年変化

4.　北海道型SMAの耐久性評価

平成24年度に試験施工が行われた名寄美深道において，北海道型SMAの経年変化状況を確認した．

図-9 に試験施工箇所のきめ深さの経年変化状況，図-10 に試験施工箇所のわだち掘れ量の経年変化状況を示す．なお，試験施工区間の平成 22 年度道路交通センサス一般交通量調査 [7]によると，24 時間交通量は 5751 台/日であり，うち大型車は 1053 台/日であった．

供用約 2 年後のきめ深さは，いずれの混合物も大きな変化がなく，初期のきめの状態を維持していることが確認された．

わだち掘れ量は，施工直後の初期わだちから，追跡調査で測定したわだち掘れ量を差し引き評価した．北海道型 SMA のうち，H 型繊維有りおよびⅡ型繊維有りは，Ⅱ型繊維無しや排水性舗装と比較してわだち掘れ量が少なくなり，植物性繊維を混合したり高粘度アスファルトを使用することによって，耐久性に優れた混合物になることが確認された．

北海道型 SMA は，平成 26 年度，北海道開発局が管理する高規格幹線道路および一般国道において 51 工事が行われた．また，平成 27 年度も 40 工事以上が予定されている．今後，これらの施工状況の調査や供用後の追跡調査を継続し，技術の有用性を確認していく予定である．

5. まとめ

本研究から得られた知見を以下に示す．

(1) 北海道型SMAは，植物性繊維を混合することにより，耐久性の確保に必要なアスファルト量を確保することができる．また，ダレの発生を抑えることから施工の耐久性の確保が容易になり，耐久性等の品質を安定させる効果が期待される．

(2) きめ深さと密度には相関が見られ，きめ深さが大きくなるほど，密度は低下する傾向が明らかになった．そのため，転圧回数を少なくすると，きめ深さは確保できるが，密度が低下し，耐久性も低下する可能性があることから，十分な転圧が必要である．

(3) 出来形管理の項目のうち，きめ深さの測定方法について， サンドパッチング方法によるきめ深さの測定は，人的誤差が入る傾向があった．一方，CT メータやMRPは人的誤差が入らないため，これらを用いることで客観性が保たれると考えられる．

(4) 平成24年度に試験施工が行われた名寄美深道において，舗装のきめ深さとわだち掘れ量の経年変化を調査した結果，北海道型SMAは，植物性繊維を混合したり高粘度アスファルトを使用することにより，耐久性に優れた混合物になることが確認された．

6. おわりに

今回の報告では，「積雪寒冷地における舗装技術検討委員会」で検討された内容と，それらの成果をとりまとめ公表された「北海道型SMAの施工の手引き（案）」の一部について紹介した．なお，「北海道型SMAの施工の手引き（案）」は，寒地土木研究所ホームページ内のダウンロードページ（http://www2.ceri.go.jp/jpn/iji/hokkaidogatasma_tebiki/）からダウンロード可能である．

今後，新規および継続する試験施工箇所の長期耐久性を検証するため，破損状況，きめ深さ，わだち掘れ等の追跡調査を行うとともに，配合や転圧方法等の施工，品質管理や出来形管理の方法について，試験施工をさらに進めながら，技術の向上を図っていく予定である．

謝辞：本研究を進めるにあたり，産学官により構成された「積雪寒冷地における舗装技術検討委員会」の委員各位ならびに事務局の皆様には多大なるご協力を頂いた．また，試験施工を進めるにあたり，国土交通省北海道開発局の関係者の皆様にも多大なるご協力を頂いた．ここに記して感謝の意を表す．

参考文献

1) 安倍隆二，丸山記美雄，岳本秀人：積雪寒冷地におけるアスファルト舗装の性能評価指標値の検討，北海道開発土木研究所 1997.
2) 千葉学，田高淳，安倍隆二：開粒度舗装の雪氷路面におけるすべり抵抗に関する一検討，寒地技術論文・報告集，Vol.22，pp.209-213，2006.
3) 丸山記美雄，安倍隆二，熊谷政行：融雪期に発生する舗装の損傷実態と損傷のメカニズム，第 57 回北海道開発技術研究発表会，2014.
4) Lothar Druscher, Volker Schafer : Stone Mastic Asphalt, German Asphalt Pavement Association, 2000.
5) 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧（第 3 分冊），丸善出版，2007.
6) 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧（第 1 分冊），丸善出版，2007.
7) 交通工学研究会：平成 22 年度道路交通センサス 一般交通量調査，丸善出版，2012.

一般国道11号吉野川大橋　鋼床版亀裂補修の経過報告(四国の直轄として初めての取り組み)

長楽　英晴

四国地方整備局 徳島河川国道事務所 徳島国道出張所（〒771-0220　徳島県板野郡松茂町広島字南川向35-7）

吉野川大橋（下り線；箱桁内）の垂直補剛材とデッキ溶接部の疲労亀裂を対象に、亀裂調査に基づく補修優先付け、損傷状況に応じた箇所毎の補修方法選定方針、FEM解析を用いた補修方法の検討を行い、これに基づき四国の直轄として初めて実施した橋梁補修工事について報告する。

キーワード　鋼床版，FEM解析，疲労亀裂補修，スリット切欠き，上端切断

1. はじめに

国道 11 号吉野川大橋は徳島県徳島市東吉野町を起点とし、吉野川を南北に横断する橋長 1,137m の 16 径間鋼床版箱桁橋である。本橋は 3 車線の橋梁が 2 橋並行しており、供用年が 1972 年の下り線と 1986 年の上り線からなる。いずれの橋梁も鋼床版の縦リブには U リブが採用されている。この U リブを用いた鋼床版形式は国内で 1970 年頃から採用されており、下り線は全国的に早い時代に採用された橋梁である。（図-1、図-2）

交通量は 84,488 台／日（大型車 9,193 台／日）[1)] と多く、一次緊急輸送道路も担う重要な幹線道路となっている。

本橋では平成 23 年度の定期点検で鋼床版の U リブ突合せ溶接部、垂直補剛材とデッキ溶接部、U リブと横リブ溶接部に疲労亀裂が発見された。（図-3[2)]）

点検結果を受け、平成 24 年度までに下り線箱桁内の U リブ突合せ溶接部の補修がほぼ完了している。本文では、平成 25～26 年度に行った亀裂調査や補修の優先順位、FEM 解析を用いた補修方法の検討やそれに基づく、四国の直轄として初めて取り組んだ橋梁補修工事の結果について報告する。

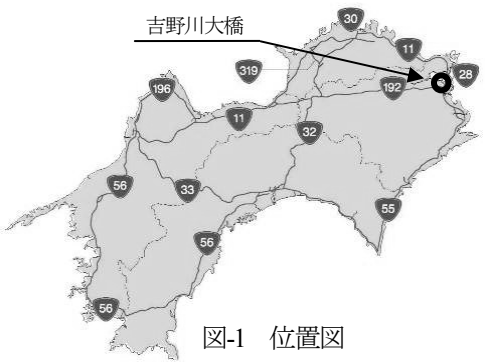


図-1　位置図

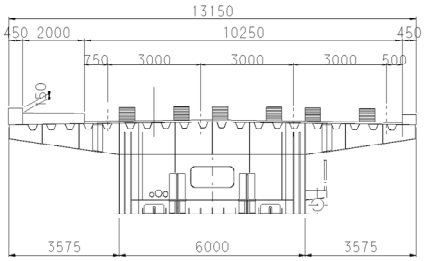


図-2　吉野川大橋（下り）断面図

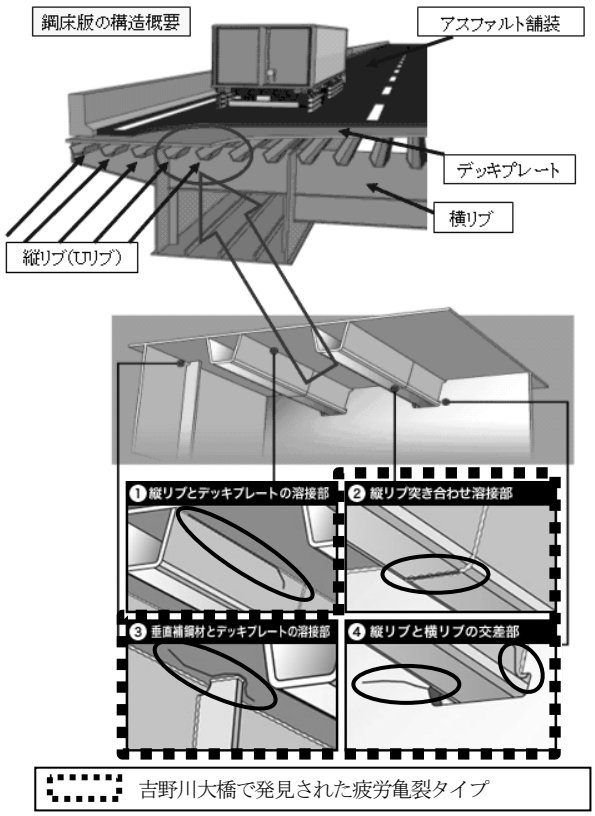


図-3　吉野川大橋の疲労亀裂のタイプ

2. 補修にあたっての課題

まず、補修工事に先立ち、下り線箱桁内の亀裂目視調査を実施した。その結果、定期点検で報告済みの箇所を含め1463箇所という非常に多くの疲労亀裂の疑いがある塗膜割れを発見した。

本工事にて、全ての塗膜割れについて、補修するには工事工期や契約金額的に、ともに２倍以上必要となることが想定されたため、本工事にて全てを補修していくことが困難であると判断した。そこで、限られた工期内で、発見された多数の損傷から優先度の高いものを、いかに効果的に補修していくのか、ということが課題となった。

ちなみに、上記の調査が終わったのが平成２６年５月であり、工期は平成２７年３月までであった。

上記の課題を解決するための問題点を以下に整理する。

① 全体施工量の峻別について
非常に多くの損傷から、橋梁の安全性に関わる損傷を、いかに選定していくべきか、という問題点

② 亀裂１箇所あたりの施工時間の短縮について
亀裂の進展に応じて、最も効果的な対策工法を選定し、いかに円滑に施工していくべきか、という問題点

3. 施工対象の選定

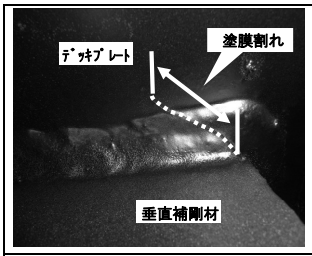
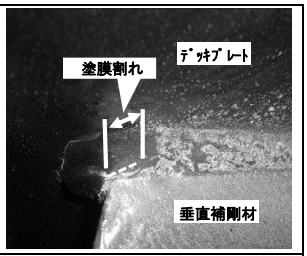
はじめに、発見された塗膜割れに対しては、「橋梁定期点検要領（案）平成16年3月」を参考に損傷程度を判定し、数量について整理した。損傷部位別に分類すると、以下の３つの分類となる。

a）垂直補剛材とデッキプレート溶接部（表-1）
e判定603箇所・c判定232箇所

b）Uリブ突合せ溶接部
e判定12箇所・c判定14箇所

c）Uリブと横リブ溶接部
e判定50箇所・c判定546箇所

表-1　垂直補剛材とデッキプレート溶接部の塗膜割れ

	
・亀裂先端がデッキへ進展 ・亀裂進展長が長い	・亀裂先端が溶接ビード内 ・亀裂進展長が短い
e 判定　：　603　箇所	c 判定　：　232　箇所

ここで、a）垂直補剛材とデッキプレート溶接部で発見された疲労亀裂の位置は、吉野川大橋下り線の橋梁形式である１箱桁形式では左右両方のウェブ位置にあたる。これは既往の研究で報告されているとおり、当該溶接部の直上に車両荷重が作用することで生じる鋼床版デッキプレートのたわみ変形を、垂直補剛材が拘束することによる応力集中が損傷要因であることを意味している。（図-4）[3)]

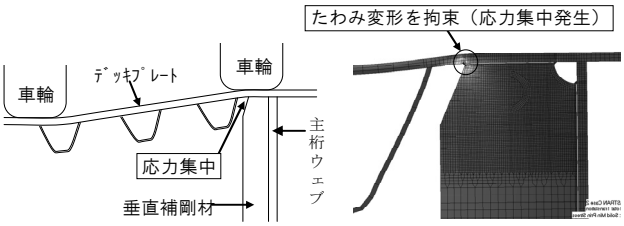


図-4　垂直補剛材とデッキ溶接部の損傷要因

今回の吉野川大橋下り線の左右ウェブの損傷箇所においても、路面を走行する車両のタイヤ位置に近接している状態である。このため、左ウェブでの損傷は走行車線第１レーンの車両荷重を、右ウェブでの損傷は走行車線第２レーンと第３レーンの車両荷重の影響をそれぞれ大きく受けたことで損傷が発生したと考えられる。

今回の吉野川大橋下り線の左右ウェブの損傷箇所においても、路面を走行する車両のタイヤ位置に近接している状態である。

このような疲労損傷はこれまでにも多く報告されていることより、現在の新設橋設計では損傷発生を事前に予防する目的から現在の設計基準である鋼道路橋の疲労設計指針にて「大型車の輪荷重が常時載荷される位置直下には、原則として縦けた（＝主桁ウェブ）を配置しないものとする」と記載され、対策が講じられている状況である。[4)]

以上の損傷要因等を踏まえ、供用されている橋梁として走行車両への影響が大きいデッキプレートに最も近接している損傷であるa）垂直補剛材とデッキプレート溶接部を補修対象箇所と選定し、さらに、優先される損傷であるe判定の603箇所を第1優先とし、これを本工事の施工範囲とした。

4. 補修方法の選定

補修方法は、既往の施工事例に倣うものとし、損傷要因に対して効果的となるように、箇所毎の損傷状況を見ながら補修方法選定フローに基づき決定した。（次頁図-5参照）

① 磁粉探傷試験（事前）により位置特定した疲労亀裂を、まず、溶接ビート内の亀裂を除去することを基本とした。

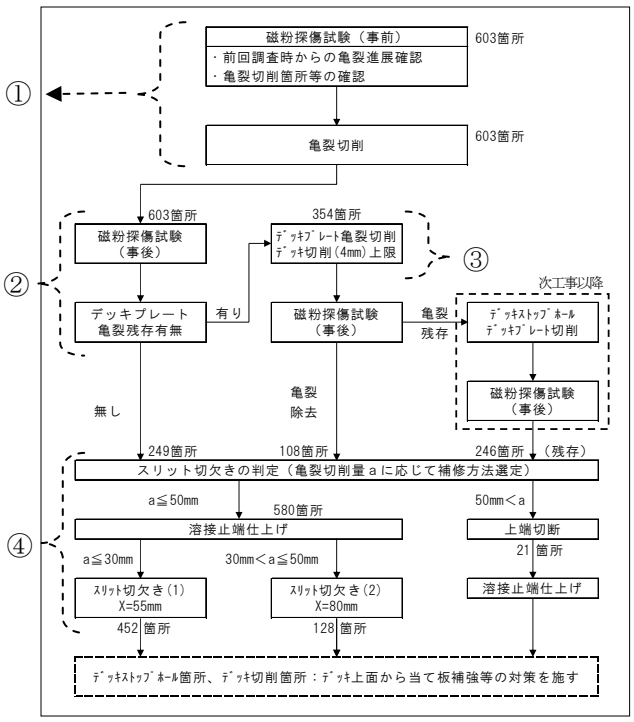


図-5　補修方法選定フロー

② 磁粉探傷試験（事後）によりデッキプレートへの亀裂進展度及び新たな亀裂の有無を確認した。

③ デッキプレート切削はデッキプレートの厚さ12mmに対して1/3である4mmを上限とし、切削後に亀裂が残存する場合には、デッキプレートにストップホール施工（もしくは再度深く切削する）するものである。

しかし、本工事の施工範囲では、デッキプレート4mm切削までにとどめることとした。これは、切削量が4mmより深い場合やストップホール施工を行った場合、デッキの断面欠損を補うための当て板補強を要すると考えられるが、当て板設置に伴うボルト締めには比較的長期にわたる交通規制を伴う大規模な施工となるためであり、デッキプレートへの当て板補強と併せて次工事以降に施工する方針とした。

このような亀裂処置は、亀裂の進展を抑制する効果があるものの、補修後の垂直補剛材先端部からの亀裂再発を予防する方策を併用する必要がある。このため、既往の施工事例では、垂直補剛材先端部の応力集中を緩和するためのスリット切欠き（図-6）および垂直補剛材上端部100mmを切断撤去する上端切断（図-7）が採用されている。

さらに、スリット切欠き施工または上端切断に伴いデッキプレートとウェブ交差部のスカラップ周辺等の応力増加する箇所に溶接部止端仕上げが行われている。スリット切欠きは、亀裂切削部先端からの距離（スリット位置の深さ）が大きいほど補修効果が向上する（応力集中の緩和）という点がメリットであるが、施工量が増大し補修費用が増大する点がデメリットとなってしまう。

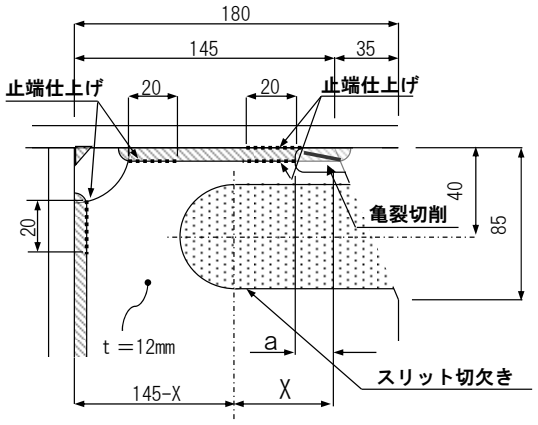


図-6　スリット切欠き補修

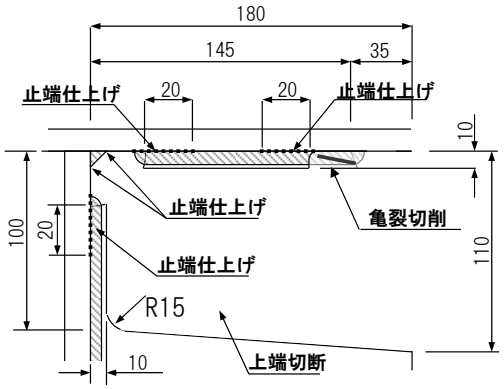


図-7　上端切断補修

④ 本工事では既往の施工事例と同様の補修方法を基本とし、次項で報告するFEM解析による検討結果から、スリット切欠き形状とスリット位置の深さを決定するとともに、亀裂切削量ａに応じて補修方法を分類した。

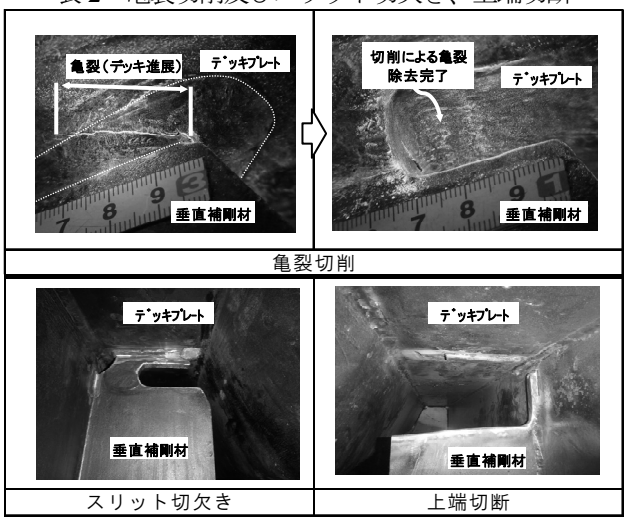
1）亀裂切削量ａ≦30mmの場合
スリット切り欠きサイズX=55mm
2）30mm＜亀裂切削量ａ≦50mmの場合
スリット切り欠きサイズX=80mm
3）50mm＜亀裂切削量ａ
上端切断(デッキプレートからの100mmを切断)

なおデッキプレート4mm切削後に亀裂が残存した箇所についても、次工事以降の補修施工まで間、亀裂進展を抑制することを目的にスリット切欠き等の補修施工を実施した。

実施工において、亀裂切削についてはグラインダーによる施工、スリット切り欠きについてはアトラ孔明機器

による施工、上端切断についてはガス切断による施工とした。(表-2)

表-2　亀裂切削及びスリット切欠き、上端切断



下り線箱桁内の補修施工の結果として、603箇所の内、亀裂切削が完了した箇所が357箇所、デッキ4mm上限に切削し残存した箇所が246箇所となった。

またスリット切欠き箇所は、X=55mmが452箇所、X=80mmが128箇所、上端切断が21箇所となった。

以上のように、亀裂切削量に応じたスリット切り欠き形状を決定したことで、現場における補修工法の決定が容易となり、非常に円滑に施工することができた。つまりは、工期の短縮を図ることができた。

本補修施工後の下り線箱桁内の垂直補剛材とデッキプレート溶接部の疲労亀裂は、補修後も亀裂が残存した246箇所と、亀裂先端が溶接ビード内にあり、今回の施工範囲外としたc判定の232箇所の計478箇所については、次工事以降で補修を実施していく必要がある。

5. FEM解析による補修方法の検証

本工事の下り線箱桁内に適用するスリット切欠き形状およびスリット位置の深さ（X=55 or 80）と上端切断の分類は、前述した通りFEM解析を行い決定した。これは、下り線のUリブ（320×200×6：底面幅150）が標準的なUリブ（320×240×6：底面幅213）より断面が小さく鋼床版の車両荷重によるたわみ変形が大きいため、既往の施工事例と同様に設定した場合、補修効果が十分に得られないことを懸念したためである。

FEM解析は補修前と補修後について行い、補修効果を確認するものとした。補修後は6ケースについて、スリット位置の深さと亀裂切削量をパラメータとして解析した。（表-3）

FEM解析の結果（図-8）より、補修前後の着目部応力は３割程に低減され、スカラップ部応力が補修後に増加するものの補修前の応力に比べて小さい結果となった。

表-3　FEM解析ケース

解析ｹｰｽ	ｽﾘｯﾄ深さ X	亀裂切削量 a	備　考
1	―	―	補修前
2	55	0	
3	55	20	
4	55	30	
5	80	30	
6	80	40	
7	80	50	

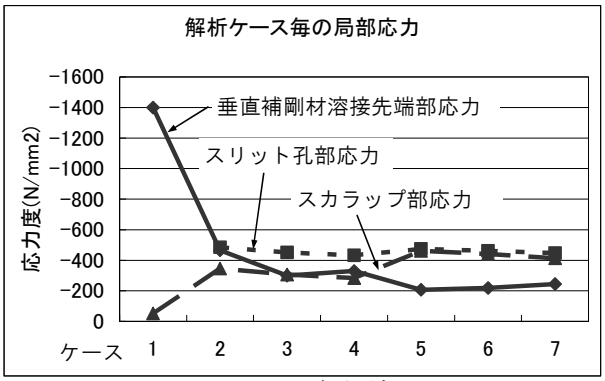


図-8　FEM解析結果

また上端切断についても、補修前後の着目部応力は２割程に低減される結果となった。

このことより、本工事において、亀裂切削量に応じたスリット切欠きや上端切断が有効であることの検証ができた。

6. おわりに

本工事は平成26年1月から着手し、亀裂調査と損傷程度に基づく補修優先付け、補修方法選定方針やFEM解析による補修方法の検証を行った後、同年7月から補修施工に着手した。下り線箱内603箇所を対象とした四国の直轄として初めて取り組んだ補修施工は、約5ヶ月間という短期間で施工完了し、工期内で終了することができた。

吉野川大橋で発見された疲労亀裂の補修は、平成23年度から計画的に着手し、本工事にて下り線箱桁内の損傷程度が高い箇所の補修がほぼ完了した。しかし、吉野川大橋には多くの疲労亀裂が残っているため、今後も橋梁全体の補修計画に基づき、補修工事を継続していく予定である。

参考文献

1) 平成22年度　道路交通センサス

2) 阪神高速道路株式会社HPより

3) 石川誠ら：鋼床版ﾃﾞｯｷﾌﾟﾚｰﾄと主桁ｳｪﾌﾞ垂直補剛材溶接部の疲労損傷補修・補強構造検討、土木学会第61回年次学術講演会(平成18年9月)、P1079-P1080

4) (社団法人)日本道路協会：鋼道路橋疲労設計指針,平成14年3月

完成後 30 年経過したダムの放流管内の塗装について

仲村　喜広[1]・川田　文彦[2]

[1] 沖縄総合事務局 北部ダム統合管理事務所 電気通信課 （〒905-0019 沖縄県名護市大北 3-19-8）
[2] 沖縄総合事務局 北部ダム統合管理事務所 安波ダム管理支所 （〒905-1504 沖縄県国頭郡国頭村字安波川瀬原 1301-22）

ダムの放流管は、水道用水・工業用水・農業用水の利用、ダム下流河川環境の維持に必要な水の供給のほか、ダム堤体に異常が発生した場合などに緊急的にダムの水位を低下させる非常用放流としての機能を持ち、ダム管理施設の中でも非常に重要な施設の一つである．本報告は、安波ダム管理支所で管理する安波ダム・普久川ダム・辺野喜ダムの３つのダムの放流管について腐食状況確認・補修塗装を行った事例について報告する．

キーワード　ダム，放流管，水中リフター，補修塗装

1. はじめに

安波ダム管理支所で管理する安波ダム、普久川ダム、辺野喜ダム（以下、安波系３ダム）に設置された放流管は、運用開始から約３０年が経過している．安波系３ダムの放流管の点検・補修は、これまで副ゲートの下流部を中心に実施されてきたが、副ゲート上流部（以下、上流放流管）については、点検・補修時に仮設止水用ゲートの設置による大規模な仮設が必須となることから、ダム竣工以来実施されておらず、上流放流管の状態は、副ゲート下流区間の放流管点検結果から推測するしかなかった．本報告は、安波系３ダムにおいて竣工以来初めてとなる仮設止水用ゲート設置を国内初となる水中リフターを使用して実施した事例及び上流放流管の事前の腐食推測と実際に目視確認した状況を比較・検証した結果について報告する．

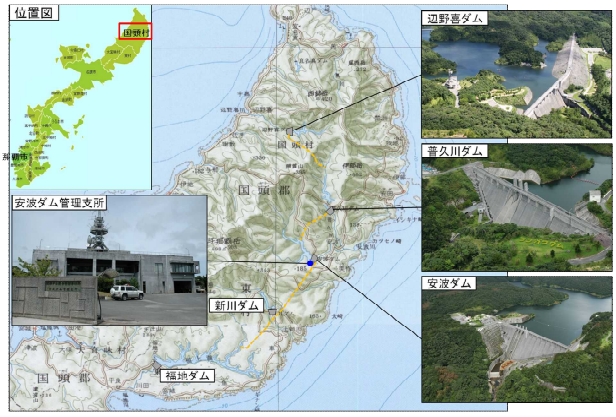


図-1　安波ダム管理支所及びダム所在地

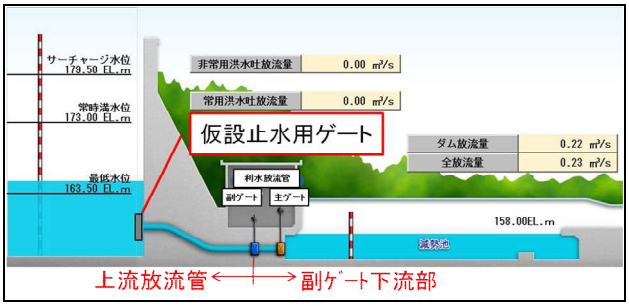


図-2　仮設止水用ゲートと放流管の区間模式図

2. 上流放流管の腐食劣化状況の推測

安波系３ダム放流管の諸元及び運用状況の確認を整理した結果、放流管の材質・塗装仕様及び通水状況が放流管上流から下流まで一様であることを確認した．このことから上流放流管については、副ゲート下流部と同じような腐食状況と推測し、実際の状況を工事施工の際に比較・検証することとした．

表-1　放流管諸元とゲートの使用状況（安波ダム）

	安波ダム非常用放流管		安波ダム利水放流管
施工年	1981年3月（33年経過）		1981年3月（33年経過）
口径	Φ1900mm		Φ1200mm
使用材料	SS400,SM400		SS400
塗装仕様	一次ﾌﾟﾗｲﾏｰ ｼﾞﾝｸﾘｯﾁｴﾎﾟｷｼ樹脂ﾍﾟｲﾝﾄ 20μ 3層塗（中塗り×2、上塗り） ﾀｰﾙｴﾎﾟｷｼ樹脂系塗料 各135μ 全層425μ		一次ﾌﾟﾗｲﾏｰ ｼﾞﾝｸﾘｯﾁｴﾎﾟｷｼ樹脂ﾍﾟｲﾝﾄ 20μ 上塗り ﾀｰﾙｴﾎﾟｷｼ樹脂系塗料 400μ 全層420μ
ｹﾞｰﾄ使用状況（H26実績）	主ゲート	常時全開	開度5cm～100cm
	副ゲート	常時全開	常時全開

3. 仮設止水用ゲートの設置と安全管理

(1) 仮設止水用ゲートの設置における課題と対応

仮設止水用ゲートは、後方４方ゴム水密の鋼製スライドゲートで湖面堤体側にあるガイドレールに上方から吊り込み・スライド挿入し、放流管上流面に設置、その後放流管内の抜水を行うことで水圧により水密ゴムが密着し止水を行う構造となっている.

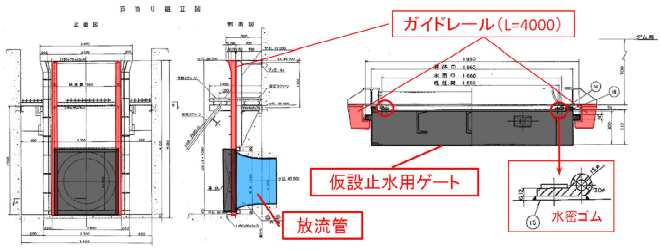


図-3　仮設止水用ゲート設置詳細図

安波ダム利水放流管及び辺野喜ダム利水放流管での仮設止水用ゲートの設置方法としては、堤体天端道路からラフタークレーンを使った直接吊り込みによる方法を採用した．一方、安波ダムの非常用放流管及び普久川ダムの利水放流管については、堤体天端橋梁（重量制限10t）区間下に放流管及びガイドレールが設置されており、橋梁部へのクレーン車両（車重20t）載荷による直接吊り込みができないため、湖面側からゲートを設置せざるを得ず、水中リフターを用いた設置方法を検討した.

(2) 水中リフターについて

水中リフターは、高強度ナイロン素材のリフトバッグへ水中で空気を注入することで得る浮力を利用し、水中において重量物の移動や引揚げを可能とするものである.海外での使用実績は多く、アメリカ海軍での機雷回収作業や2014年に転覆した韓国大型旅客船セウォル号沈没の際にも韓国軍で使用された実績がある．国内においても海洋での使用実績はあるものの、ダム仮設止水用ゲート設置では使用実績がなく、今回初めての事例として採用した.



図-4　水中リフター

(3)仮設止水用ゲートの設置と安全管理

水中リフターにより仮設止水用ゲートを浮上させ、放流管位置に移動させるためには、仮設止水用ゲートの重量と同程度の浮力（以下、中性浮力）を発生させる必要がある．当初の想定では、水中リフターで仮設止水用ゲートを中性浮力でバランスさせ、水中で排気バルブからエアーを抜くことで仮設止水用ゲートを所定の水深まで降下させていくことを想定した．しかし、仮設止水用ゲート降下時の水深変化による水圧の上昇でリフトバッグ内のエアーが圧縮されることにより体積収縮を起こし、浮力の低下が発生することや水中でリフトバッグ内のエアーを抜くことによる浮力低下により、仮設止水用ゲートの降下速度の不安定化（高速化）が予測された．また、リフトバッグが堤体接触等により破損した場合に最悪仮設止水用ゲートが湖底に落下する危険性が想定された.そのため安全性を考慮し、水中リフターとウインチを併用した設置方法に変更することとした.

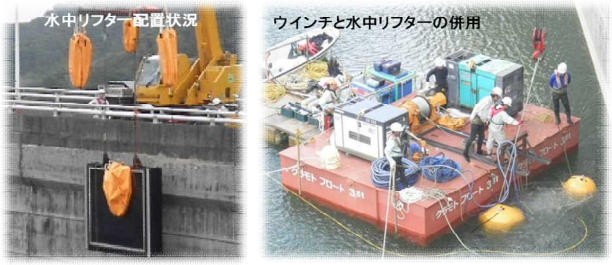


写真-1　水中リフター・ウインチ配置状況

(4) 仮設止水用ゲートの曳航と設置

仮設止水用ゲートを設置する場合仮設止水用ゲートを放流管呑み口真上に配置する必要があるが、安波ダム非常用放流管及び普久川ダム利水放流管は、堤体天端道路橋を使用した配置ができないため、湖面に作業台船を搬入し、仮設止水用ゲートを曳航する方法を採用した．曳航に先立ち堤体道路右岸側に設置したラフタークレーンにて作業台船及び資機材等を湖面に搬入したあと、ラフタークレーンにて仮設止水用ゲートを湖面へ吊り下ろし、水中リフター及びウインチを使って台船に固定、所定の放流管呑み口位置まで曳航した.



写真-2　仮設止水用ゲートの曳航状況

水中リフターによる仮設止水用ゲートの設置にあたっては、堤体への接触によるリフトバッグの破損防止やガイドレールへの仮設止水用ゲートの確実な誘導を行うため、潜水士３名１グループとなり、作業台船のウインチ操作者と有線ケーブル通話により連絡を取りながら作業を実施した．また潜水作業の安全管理として、安波ダム非常用放流管での仮設止水用ゲート設置作業では、最大水深４６ｍ下での潜水作業となることから潜水人員の確保及び潜水時間と浮上減圧時間を管理し、作業員の安全性を確保した．

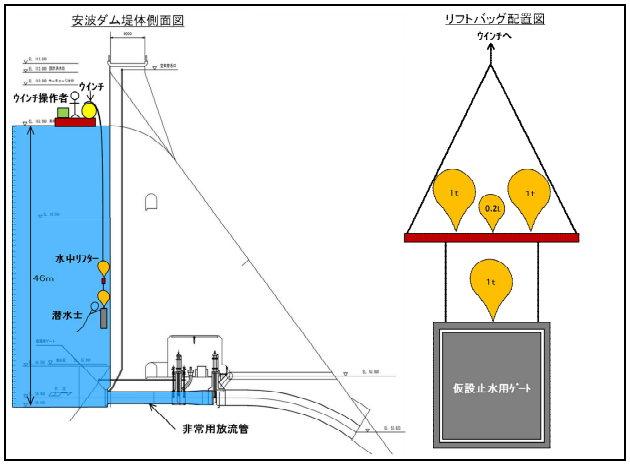


図-5　水中リフター模式図（安波ダム非常用放流管）

表-2　潜水時間管理表

潜水時間管理表									
潜水深度(m)	潜水時間(分)	浮上減圧時間(分)				体内ガス係数	業務間ガス圧減少時間(分)	業務終了後ガス圧減少時間(分)	1日についての潜水時間(分)
		12m	9m	6m	3m				
45を超え50m以下	8分以下				2	1.3	60	30	85
	8～12分				8	1.4	60	30	
	12～16分				16	1.5	60	30	
	16～20分				28	1.6	60	30	
	20～26分			16		1.8	1.7	90	45
	26～33分			27	28	1.7	90	45	
	33～43分		18	27	31	2.0	120	45	
	43～60分	13	23	27	68	2.0	150	60	
	60～80分	19	22	45	85	2.0	150	60	

4. 施工中の放流確保

放流管が２系統ある安波ダムについては、工事期間中非常用放流管を使用し、河川維持放流等を供給可能であるが、他の２ダムについては、貯水池からの放流管が１系統しかないため、河川維持流量や取水流量を確保する代替放流措置が必要であった．普久川ダムの河川維持放流量については、湖面側から利水放流管に繋がる充水管を活用し、堤体監査廊内に仮設配管を行い、堤体漏水排水路を経由して減勢池に水を供給することで河川維持流量を確保することとした．辺野喜ダムにおいては、国頭村簡易水道の約６割が辺野喜ダムから取水されており、村内の重要な水源となっているが、辺野喜ダムでの簡易水道取水停止は、貯水タンクの余裕がないことから、１時間程度しか許容されない状況であった．そのため取水を止めないよう、取水箇所付近に堰板を設置することで仮設的に水槽を作り、そこへ貯水池からポンプアップした水を供給することで対応することとした．

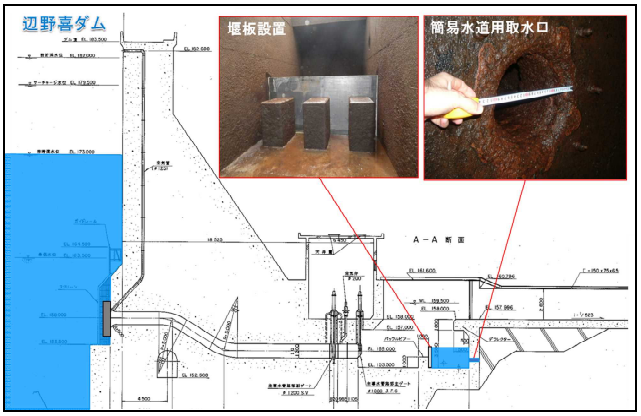


図-6　辺野喜ダム取水位置及び仮設方法

5. 放流管の腐食状況及び補修塗装

(1) 安波ダム非常用放流管の腐食状況

安波ダム非常用放流管の腐食状況として、放流管呑み口部から主ゲートまでの18.5m区間において104箇所（上流放流管33個、副ゲート下流部71個）平均5.6個/mの腐食が確認された．腐食が顕著な箇所として、副ゲート直下・主ゲートの直上流及び主ゲートシールリング部で目立つ腐食が確認された．特に腐食の大きい主ゲートシールリング部は、扉体との水密部になり、材質がステンレス製（SUS304）であるが、シールリングと隣接するコニカルノズルは、炭素鋼鍛鋼品（SF45）であり、異種金属接触となっていることから、腐食が進行したものと考えられる．また、異種金属接触による腐食を除いた上流放流管と副ゲート下流での腐食比較では、平均的な腐食深さ・面積において概ね同様の傾向、単位腐食個数については、上流放流管に比べ副ゲート下流部の数が多い．

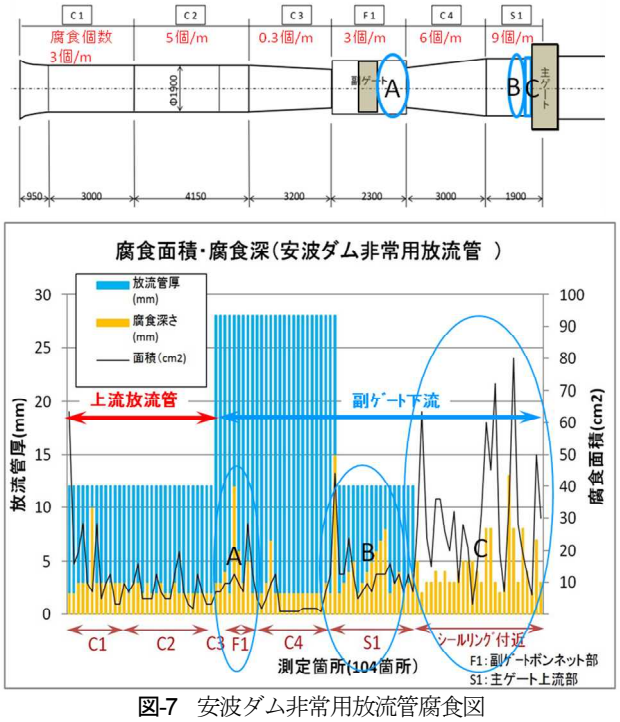


図-7　安波ダム非常用放流管腐食図

表-3　安波ダム非常用放流管上下流腐食比較

	項　目	上流放流管	副ｹﾞｰﾄ下流部
安波ダム 非常用放流管	腐食個数(個)	33	43
	平均腐食深さ(mm)	2.7	4.0
	平均腐食面積(cm2)	11.2	9.0
	単位腐食個数(個/m)	2.7	7.1

※異種金属接触部の腐食は含まない

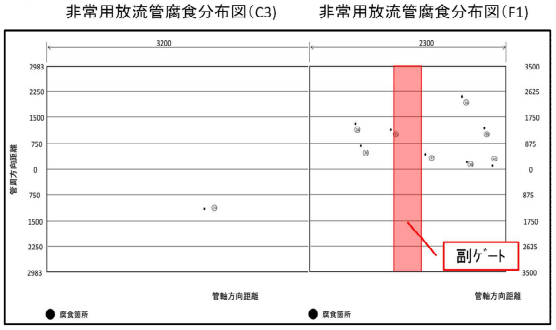


図-8　安波ダム非常用放流管腐食分布図（C3～F1）

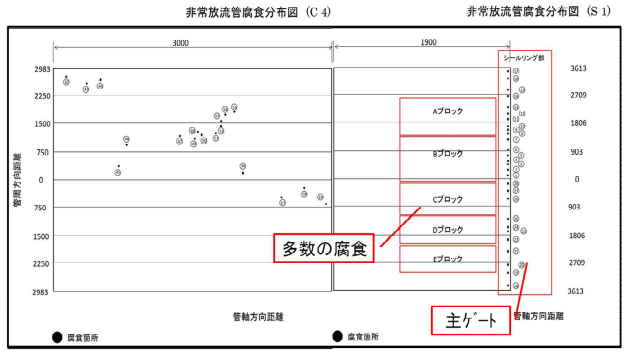


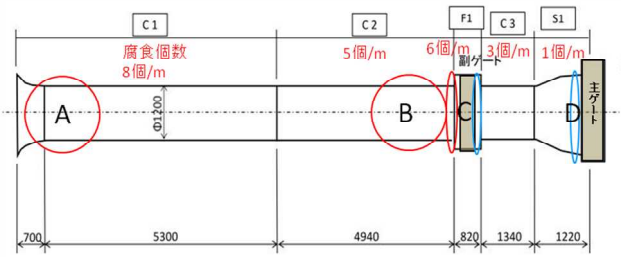
図-9　安波ダム非常用放流管腐食分布図（C4～S1）



写真-3　主ゲート付近の腐食状況写真(安波ダム非常用放流管)

(2) 安波ダム利水放流管の腐食状況

安波ダム利水放流管の腐食状況として、最上流部から主ゲート付近までの14.3m区間において98箇所（上流放流管79個、副ゲート下流部19個）平均6.9個/mの腐食が確認された．特に腐食が顕著な箇所として、ベルマウス下流部・副ゲート上流部・副ゲートシート部及び主ゲートシールリング部で目立つ腐食が確認された．利水放流管の副ゲートシート部の構造として水密部に青銅鋳鉄製（BC材）、隣接する部材に一般構造用鋼材（SS40）が使用され、非常用放流管と同様に異種金属接触による腐食の進行が発生したと考えられる．また、異種金属接触による腐食を除いた上流放流管と副ゲート下流での腐食比較では、平均的な腐食深さ・面積において概ね同様の傾向であるが、単位腐食個数については、上流放流管での数が多い．



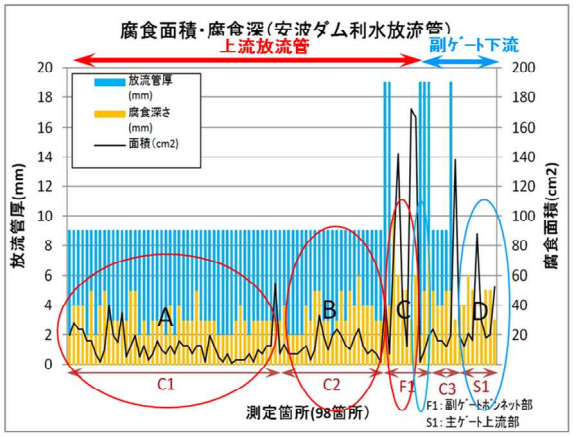


図-10　安波ダム利水放流管腐食図

表-4　安波ダム利水放流管上下流腐食比較

	項　目	上流放流管	副ｹﾞｰﾄ下流部
安波ダム 利水放流管	腐食個数(個)	74	8
	平均腐食深さ(mm)	3.2	4.8
	平均腐食面積(cm2)	13.0	14.8
	単位腐食個数(個/m)	6.7	2.9

※異種金属接触部の腐食は含まない

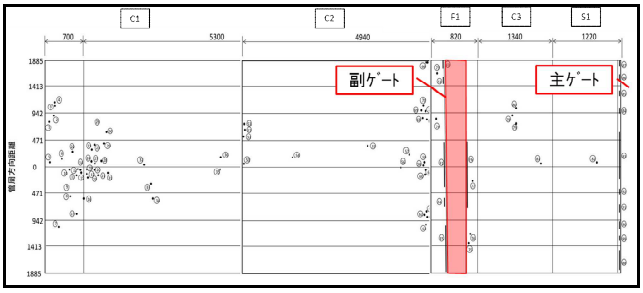
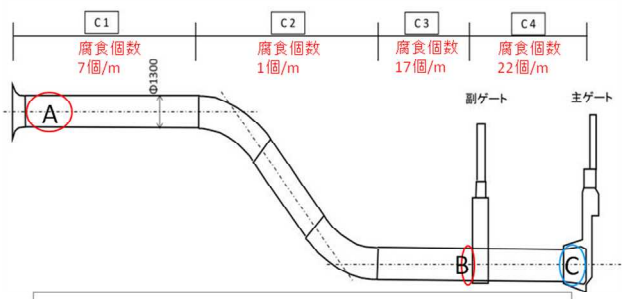


図-11　安波ダム利水放流管腐食分布図(C1～S1)

(3) 普久川ダム利水放流管の腐食状況

普久川ダム利水放流管の腐食として、最上流部から主ゲート付近までの32.8m区間において333箇所（上流放流管191個、副ゲート下流部142個）平均10.2個/mの腐食が確認された．特に腐食が顕著な箇所としてベルマウス下流部、副ゲートシート部、主ゲート直上流部及び主ゲートシールリング部で目立つ腐食が確認された．副ゲートシート部では、安波ダム利水放流管同様に異種金属接触による腐食進行が見られるほか、副ゲート上流の5.25m区間（C3）及び主ゲート上流の6.05m区間（C4）において17～22個/mという多数の腐食が確認された．また、異種金属接触による腐食を除いた上流放流管と副ゲート下流での腐食比較では、平均的な腐食深さ・面積において概ね同様の傾向であるが、単位腐食個数については、副ゲート下流部での数が多い．



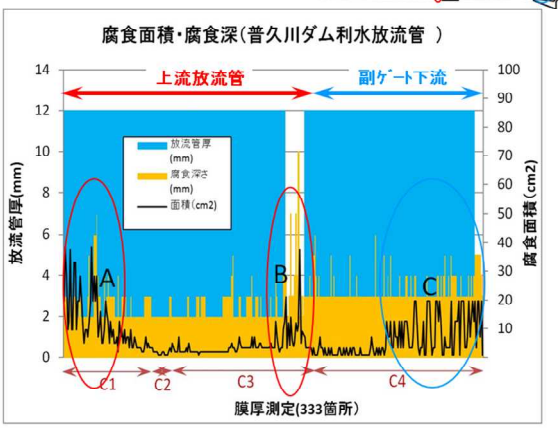


図-12　普久川ダム利水放流管腐食図

表-5　普久川ダム利水放流管上下流腐食比較

	項　目	上流放流管	副ｹﾞｰﾄ下流部
普久川ダム利水放流管	腐食個数(個)	176	135
	平均腐食深さ(mm)	2.6	3.3
	平均腐食面積(cm2)	6.4	5.8
	単位腐食個数(個/m)	6.6	22.3

※異種金属接触部の腐食は含まない

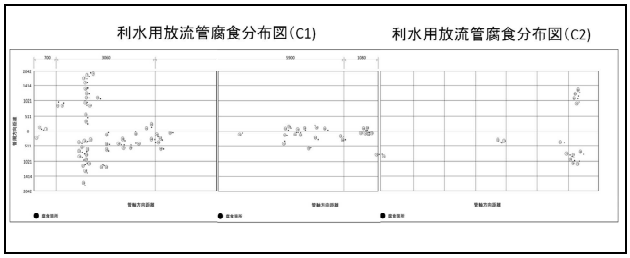


図-13　普久川ダム利水放流管腐食分布図（C1～C2）

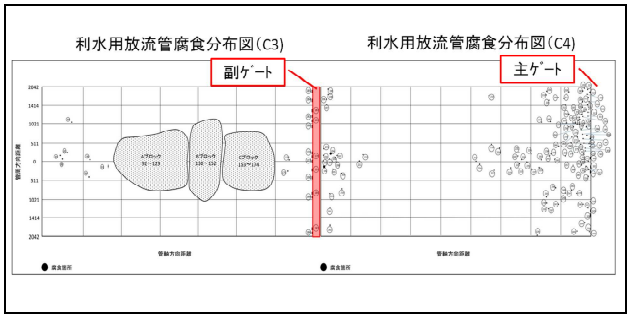
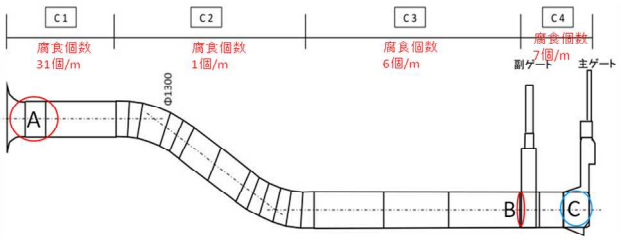


図-14　普久川ダム利水放流管腐食分布図（C3～C4）

(4) 辺野喜ダム利水放流管の腐食状況

辺野喜ダム利水放流管の腐食として、最上流部から主ゲート付近までの24.5m区間において272箇所（上流放流管221個、副ゲート下流部51個）平均11.1個/mの腐食が確認された．特に腐食が顕著な箇所としてベルマウス下流部、副ゲートシート部、主ゲート直上流部及び主ゲートシールリング部で目立つ腐食が確認された．副ゲートシート部では、安波・普久川利水放流管同様に異種金属接触による腐食進行が見られるほか、ベルマウス下流の4.62m区間（C1）においては、31個/mという多数の腐食が確認され、中には管厚12mmに近い深い腐食が数個確認された．また、異種金属接触による腐食を除いた上流放流管と副ゲート下流での腐食比較では、平均的な腐食深さ・単位腐食個数において概ね同様の傾向であるが、平均的な腐食面積については、副ゲート下流部での面積が大きい．



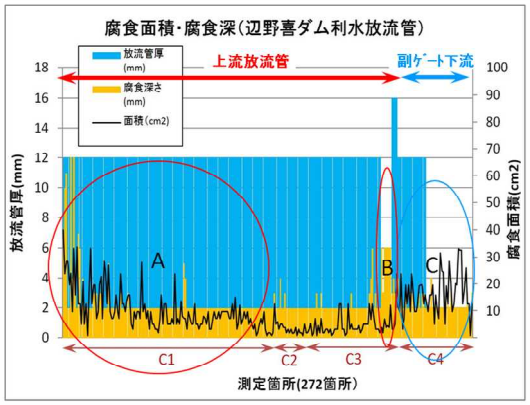


図-15　辺野喜ダム利水放流管腐食図

表-6　辺野喜利水放流管上下流腐食比較

	項　目	上流放流管	副ｹﾞｰﾄ下流部
辺野喜ダム利水放流管	腐食個数(個)	214	20
	平均腐食深さ(mm)	2.4	2.4
	平均腐食面積(cm2)	8.0	14.9
	単位腐食個数(個/m)	9.4	6.9

※異種金属接触部の腐食は含まない

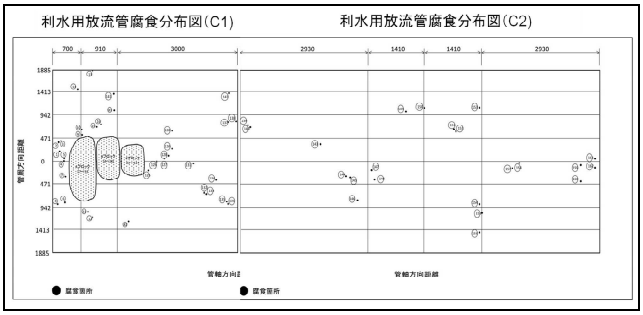


図-16　辺野喜ダム利水放流管腐食分布図（C1～C2）

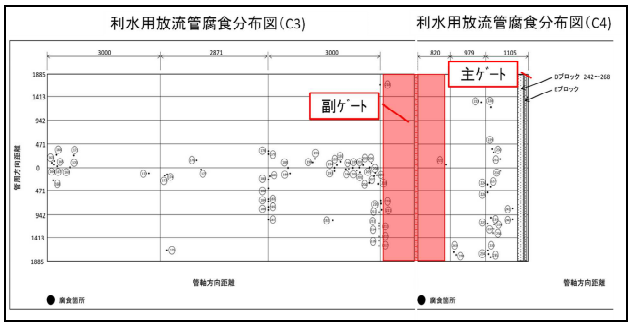


図-17　辺野喜ダム利水放流管腐食分布図（C3～C4）

(5) 上流放流管と副ゲート下流部の腐食比較まとめ

安波系3ダムでの腐食の特徴として、主・副ゲート付近において異種金属接触箇所が腐食進行の一番の原因となっており、注意が必要である．また、異種金属接触部を除いた管路部分の上下流部腐食比較については、ベルマウス下流部やゲート上流部に腐食が集中し、一部で深い腐食が進行している部分があったものの、全体的な比較として概ね同様な傾向があることから、補修時期については、上下流部で同様と考えて良いと判断される．

(6) 補修塗装

腐食箇所の補修施工としては、管胴部分への溶接による肉盛溶接補修と水密部を有するゲート扉体付近への金属パテ補修を使い分けて施工を行った．塗装にあたっては、機械工事塗装要領（案）に基づき、温度・湿度管理を行うと共に、閉所部での塗装に際し、安全管理として換気対策・防爆対策を実施し、所定の塗装仕様での塗装及び膜厚管理を行った．

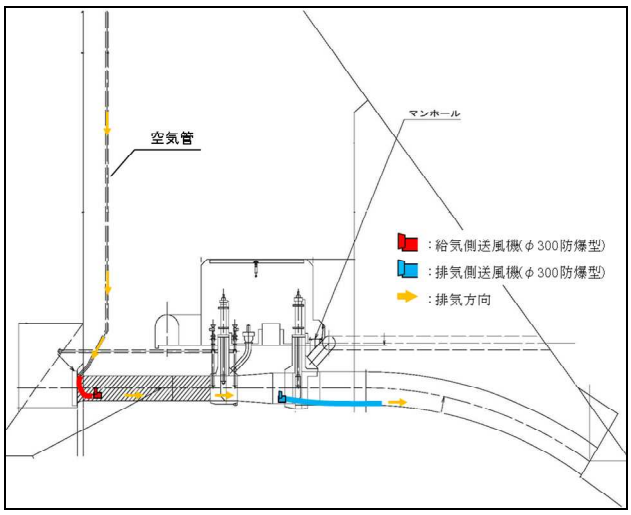


図-18　放流管内の換気系統図(安波ダム非常用放流管)



写真-4　放流管内の換気状況（防爆仕様機器）

表-7　放流管塗装仕様一覧

塗装箇所	素地調整	工程	塗料名	標準膜厚（μm）
安波ダム 非常用放流管 利水放流管 普久川ダム 利水放流管 辺野喜ダム 利水放流管	3種ケレン	第1層目	有機ジンクリッチペイント	75
		第2層目	タールフリー変成エポキシ樹脂塗料	150
		第3層目	タールフリー変成エポキシ樹脂塗料	150



写真-5　放流管内の塗装状況(安波ダム非常用放流管)

6. まとめ

今回、全国初となる水中リフターを使用した水深50m下での仮設止水用ゲート設置を含む施工を無事に完了できたことから、今後、同条件にあるダムにおいて本施工事例が活用できると考えられる．水中リフターの活用課題としては、クレーンによる直接吊り下ろしに比べて高価であることから今後のコスト低減に期待したい．放流管の腐食については、異種金属接触部の腐食進行が問題であるため、今後点検にて注視していく必要がある．また、上流放流管と副ゲート下流部の腐食比較では、概ね同様な腐食状況であることから、上下流部を通して同時期での補修計画を検討していく．これについては、北部ダム統合管理事務所で管理する他のダムについても適用可能か検証していきたい．その他の課題として、今回の事例で放流管腐食に関する一つのデータ取得ができたが、経年的な腐食に関するデータ蓄積が少ないため、今後は点検結果からのデータ蓄積を図っていくこと、上下流部での検証結果のモニタリングを行う上で場合によっては、長期周期での上流放流管点検の必要性についても検討していく必要があると考える．

コンテナクレーンの耐震化技術及び維持管理の向上による国際競争力強化の研究開発

増田勝人[1]、吉田由治[1]、藤原 潔[1]

1（一社）港湾荷役機械システム協会

既存コンテナクレーンの効率的な耐震化を推進するため、幅広車輪を利用した新たな免震機構を考案し、模型実験及びシミュレーション解析を行い、本免震機構の有効性を検証した。また、コンテナクレーンの効率的な維持管理に資する簡易に計測できる非破壊検査装置として、磁気及び中性子を利用した装置を研究開発した。前者では、自動検査装置を製作し室内実験及び現地調査を行うとともにFEMによるシミュレーション解析によって、鋼板内面傷の検出方法の有効性を確認した。後者では室内実験及び現地試験により本装置の有効性を確認した。さらに両者の利用ガイドライン(案)を作成した。なお、本研究開発は、国土交通省の公募型の競争的資金制度である「交通運輸技術開発推進制度」を活用して、平成25年度から平成26年度の2年間実施した。

キーワード　コンテナクレーン、免震化技術、維持管理、非破壊検査技術、内部腐食、磁気･中性子

１．免震機構の研究開発

1.1 背景

近年、コンテナターミナルの担う役割は大きく、大規模地震時の事業継続性の観点から耐震強化岸壁の整備が進められる一方で、コンテナクレーンの耐震性も求められ、クレーンの固有周期を長周期化させる積層ゴム式免震装置等が実用化されている。しかし、地震時におけるクレーンの脚の変形に対し既設免震装置の変形の限界は30～40cmとされ、長周期地震動では免震装置が大きく変形して損傷する可能性があり、そのままでは適用できない事例も見られる。そのため新たな免震機構を開発することが求められている。

このような背景から、供用中のコンテナクレーンにも短期間で増設でき、かつ費用削減可能な“摩擦免震機構”を考案し、その免震機構の成立性等について研究開発を実施した。

1.2 摩擦免震機構の原理

本免震機構は、通常の走行車輪を図-1.1に示す幅広車輪に替えることにより、地震時に車輪がクレーンレール上を滑ることによりコンテナクレーンに伝達する地震動エネルギーを減少させ、また滑る際に発生する摩擦エネルギーの消散により免震を図るものである。なお、幅広車輪を用いるためレールスパンが地震動により若干拡大しても走行には支障ない特長を有する。



図-1.1 幅広車輪

摩擦免震機構の有効性を確認するため、免震機構のモデルの検討、動的シミュレーションによる評価、振動台を用いた模型試験の実施、シミュレーションの境界条件を得るためクレーンレールと走行車輪等との摩擦係数計測実験を行った。

1.3 摩擦免震機構の特性

摩擦免震モデルにおいて正弦波を入力したシミュレ

ーション解析を図-1.2 に示す。摩擦免震モデルは従来型(非免震)に比べて 52.5%に低減され、従来型（免震）とほぼ同等の性能であることが分かった。また脚部の浮上り量も従来型(非免震)の 1.4%に低減され、従来型（免震）と同程度の性能であった。

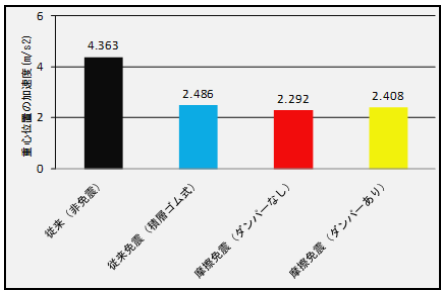


図-1.2　クレーン重心位置の最大加速度

1.4 コンテナクレーンの振動模型実験

幅広車輪の免震効果を確認するため、水中振動台による振動実験を行った。通常車輪及び幅広車輪(実機相当で 15cm)を装着した 15 分の 1 の模型クレーンに正弦波と現地地震動波を作用させて免震機構の免震効果について調査した。実験装置を図-1.3 に、計測機器の配置を図-1.4 に示す。

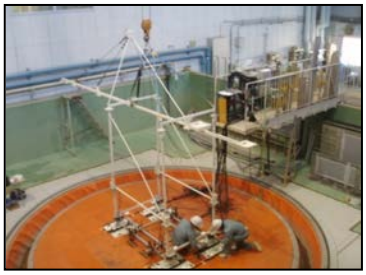


図-1.3 振動模型実験装置

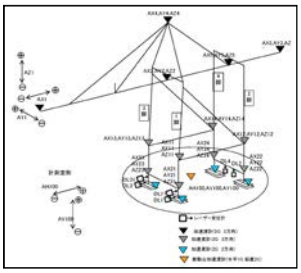


図-1.4 計測機器の設置位置

(1) 加振実験

走行レール直角方向の地震動成分が作用した場合の免震効果を調べるため、通常車輪及び幅広車輪を装着した模型に正弦波と地震動を作用させて模型クレーンの揺れを比較検討した。

1) 正弦波加振実験

模型クレーンの固有周期に近い周期 0.68 秒（1.48 Hz)の正弦波を、加速度を 5 gal、10 gal、20 gal、50 gal として 10 波作用させた。

2) 現地波加振実験

既存の免震装置では対応が難しい A 港の地震動、長周期で強い地震動として東北地方太平洋沖地震での B 港の地震動、短周期で強い地震動を示した兵庫県南部地震での C 港の地震動を作用させた。

(2) 実験結果

車輪幅広による通常車輪に対する振動の減衰率を表-1.1 に示す。幅広車輪の有効性は通常車輪の揺れがある程度大きく、しかもクレーンの揺れがゆっくりしている（周期が長い）場合である。

表-1.1 加振波最大加速度と応答加速度及び減衰率

加　振　波	通常車輪 (A) gal	幅広端部 (B) gal	幅広中央	減衰率 ((A-B)/A)
正弦波 20gal 設定	430	230(250)	310	0.47
正弦波 50gal 設定	830	500(580)	800	0.40
A 港波 640 gal(50%)	720	660	750	0.08
B 港波　170 gal(25%)	250	200	180	0.20
B 港波　300 gal(50%)	530	420	280	0.21
B 港波　460 gal(75%)	720	470(580)	600	0.35
C 港波 460 gal(100%)	630	560	1300	0.11

(3) まとめ

1) 車輪の滑動と脱輪

①車輪が滑動すると応答加速度に跳躍値が発生する。一定以上の加振力によって車輪が滑動している。通常車輪でもわずかであるが滑動が発生する。

②脱輪は全て陸側車輪で発生している。模型クレーンに一定以上の加速度が作用すると、海側車輪を支点として転倒モーメントが作用し陸側車輪が浮き上がり、レールの内側に脱輪する。これはクレーンの重心が海側レールに近いことによる。

③脱輪は通常車輪の場合が多く、本免震機構の方が脱輪に対して優れている。

④車輪の滑動し易さは免震効果とも関係する。

通常車輪では滑動量が小さいので免震効果が小さいが、幅広車輪では幅広端部で滑動し易く、免震効果が高い。

2) 免震性能

①本免震機構は、クレーンの揺れをある一定の割合で減衰させるもので、既存の免震装置が共振点をずらして免震効果を発現するのとは異なる。

②免震機構の特性から、特別強い地震動よりもそれを下回るような地震動に対して適していると考えられる。その際、クレーン重心の加速度については、免震機構を使用した場合でも 0.25G 程度以下に抑え

ることを目標とすることが望ましい。

③跳躍値も含めた本免震機構の減衰率は概ね 20～40%程度である。

④実験では、正弦波 20gal の加速度で初めて車輪の滑動と免震効果が認められ、通常車輪での模型クレーンの重心加速度が 312gal に対し幅広車輪では 167gal と、免震効果が認められた。

⑤車輪の滑動開始には加振波の加速度、クレーンの減衰率及びレールと車輪との摩擦係数も大きく関係する。

1.5 車輪とレール間の摩擦係数計測実験

(1) 概要

図-1.5 に示す実験装置を用いて車輪及び摺動部材とレール間の摩擦特性を把握した。

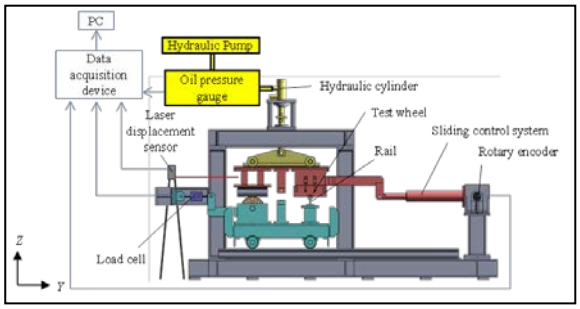


図-1.5 実験装置(ﾚｰﾙ直交方向摺動時実験)

(2) 実験結果

図-1.6 に動摩擦係数の一例を示す。

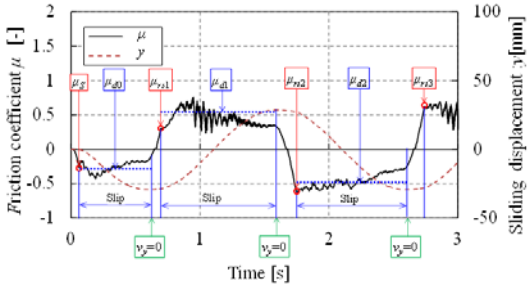


図-1.6 摺動変位と摩擦係数の時間変化

①レール長手直交方向における車輪・レール間の動摩擦係数は 0.175 と推定できる。

②本実験では酸化膜(黒皮)レールを使用し、摩擦特性の変化傾向を酸化膜のすべり損傷と関連付けて検討した。しかし、実際のレールの表面粗さや化学的組成等が異なる可能性がある。

③今後、実際のレールの表面状態を模擬した実験解析を実施すれば、実クレーンの使用環境に近い条件での摩擦特性が得られると考えられる。

1.6 シミュレーションによる解析と免震性能の評価

クレーン用シミュレーション解析モデルを検討し、シミュレーション結果と振動模型実験結果との比較により解析モデルの妥当性の検証を行った。

(1) 解析ソフト

解析ソフトは AVAQUS Version 6.10-2 を解析ソフトとして使用した。なお、車輪とレールとの接触モデルとしてギャップ要素を適用した。

(2) シミュレーションによる検証

①脚の動きを表すことについては、再現性があるとは言えないが、時刻歴応答加速度については、再現性を確認できた。従って、この解析モデルによって実機クレーンへの検討等を行うことができる。

B港波 75%を用いて模型実験とシミュレーション結果の比較をしたものを図-1.7 に例として示す。シミュレーション結果は模型実験の応答を良く表していることが分かる。

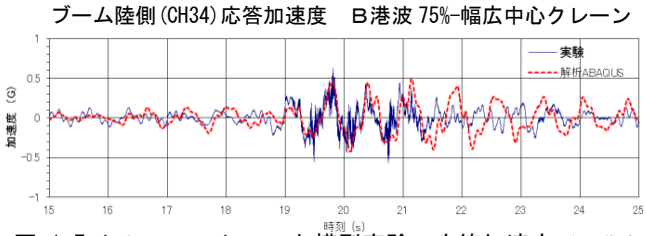


図-1.7 シミュレーションと模型実験の応答加速度（B港波 75%）

②一般的に実機クレーンに免震装置を設備する場合、主たる検討課題は地震を受けることによるクレーンの時刻歴応答加速度、即ち加速度と振動の振れ幅である。これについては解析モデルが有効である。

③但し、浮き上がりについては、応答加速度と振動の周期、振れ幅等をもとに別途検討を行い補完する必要がある。

1.7 課題

本研究開発では、特定の地震動に対して本免震機構が有効であることが分かったが、この評価は模型実験で得られた加速度値によって行われている。例えば、変位データで整理すると定性的な免震性能が得られると考えられる。図-1.8 にB港波 50%の場合の通常車

輪と幅広車輪クレーンの応答変位を示す。
これから算出できる減衰率は 0.28 となり、加速度で評価した場合(0.21)よりも改善された値である。

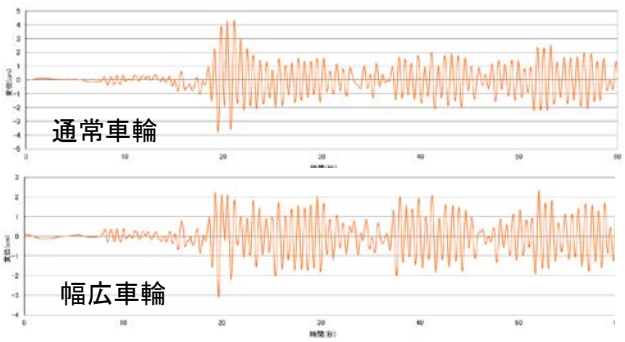


図-1.8 クレーン応答変位（B 港波 50%）

2. 非破壊検査装置の研究開発

2.1 序論

コンテナ埠頭に設置される設備の維持管理費の低減も国際競争力強化のためには不可欠である。

コンテナクレーンについても、延命化が求められ、供用後 15 年ほど経過した時点で寿命に係る健全度調査を行う場合がある。クレーン構造部分の健全度調査では、特にパイプ並びにボックスの密閉区画内の裏面腐食・減肉の検出が重要であり、これらの検査を広域、迅速かつ効率的に行う手段の開発が待たれている。このため、①検出器接触子と探傷面の間が非接触であること、②検出器接触子を走査できること、③裏面の腐食・減肉状態のマッピング表示ができること、④水分検出が可能である、等の機能が要求される。

上記①②③を満足するためには漏洩磁束を利用し探傷法が有効であり、④は中性子水分計が入手可能な検査手段である。

2.2 磁場を利用した非破壊検査装置の研究開発

本研究開発は非破壊でかつ安全にコンテナクレーン鋼構造部の密閉区画内における“内面腐食”の検出をする装置の開発・実用化を目指すものである。

強磁性体に磁場を印加すると磁性体内部に磁束が発生する。磁束の流れの途中に割れ目や傷が存在した場合、磁束が流れにくくなり欠陥付近では空間に磁束が漏洩する。この漏洩磁束を測定することで欠陥の位置、深さ、大きさを検出する方式が本検査装置である。

(1) 自動検査装置システムの実験及び評価

本研究開発では、図-2.1 の自動検査装置を製作し、供試体による性能実験を行うと共に、実機コンテナクレーンのタイビームの計測実験を行った。図-2.2 に非貫通穴の深さが異なる供試体(d=5~8 mm)に対して周波数を変化させた場合の磁場分布マッピングを示す。y 方向に印加し、y 方向の磁場を検出した。印加磁場の周波数は 10、50、100 Hz の 3 種類である。印加周波数が小さいほど欠陥深さが小さくなっても欠陥の状況が確認できた。

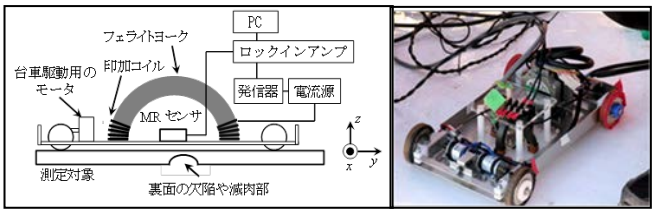


図-2.1 自動検査装置の構成と外観

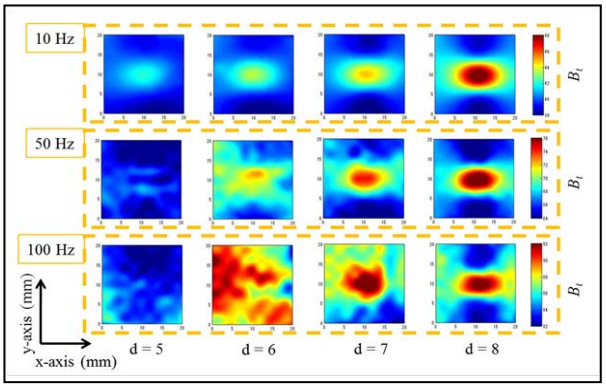


図-2.2 欠陥深さと印加磁場周波数の関係

図-2.3 に減肉割合(2.5~80%)が異なる供試体の漏洩磁場の 3 方向の分布を示す。磁場の印加方向は y 方向である。y 方向の減肉厚 50%の分布がよくわかる。x 方向の 80%減肉の磁場分布は試料四隅に相当する部分で強度が極大もしくは極小となっている。z 方向の分布を見ると、欠陥のエッジ部分で磁場が最大値もしくは最小値を取っており、欠陥のエッジで漏洩する磁場を示していることが分かる。

(2) シミュレーション解析と実験結果との比較

有限要素法を用いたシミュレーション結果を図-2.4 に示す。図-2.3 の実験結果を良く再現している。

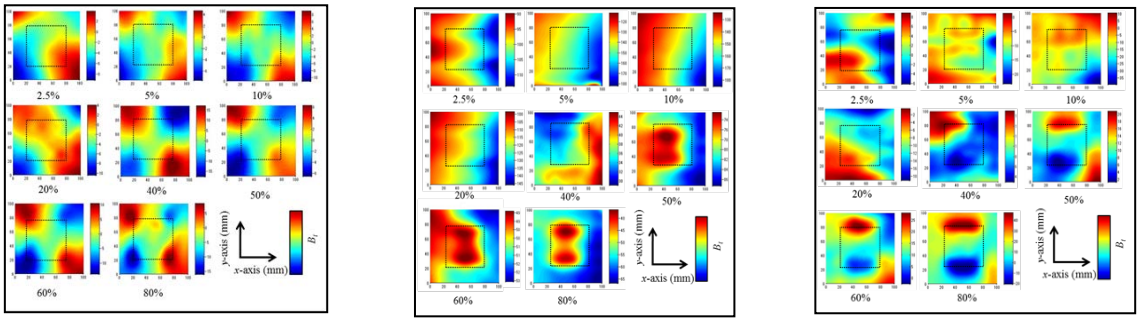
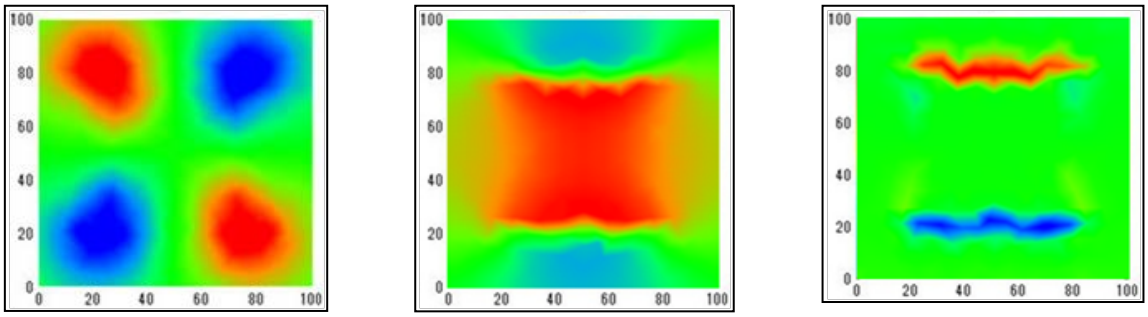


図-2.3 減肉割合が異なる 8 つの試験体の磁場分布



(a) x 方向　(b) y 方向　(c) z 方向

図-2.4　腐食減肉体の磁場分布シミュレーション

(3) まとめ

①コンテナクレーン等の内面腐食を非破壊検査する自動検査システムの構築を行い、内面欠陥検出能力の評価と実機クレーンのタイビームでの現地検査を行った。

②印加磁場周波数と検出できる内面欠陥の深さとの関係では、印加磁場の周波数が低くなると内面の欠陥に起因する磁場分布が取得でき、本装置では 10Hz の磁場を印加が効果的であった。

③印加磁場と平行な成分の磁場を検出すると、欠陥の形状と相関性の高い磁場分布が取得できる。

④シミュレーション結果と測定した磁場分布と定性的に一致し、開発した検査装置が鋼板内面の欠陥(板厚変化)を検出できることがわかった。

⑤周波数 10Hz で 1A の電流を流した条件下では、鋼板厚さの 50%程度の減肉が検出可能である。

⑥磁気検査プローブと自動走行台車を組み合わせた自動検査システムを構築した。基礎特性評価として,外板上を自動走行しながら欠陥部で磁場の変化が確認でき,自動走行による鋼板内面の検査ができる。

2.4 中性子水分計を利用した非破壊検査の研究開発

密閉部内部の溜水を検知する方法として、要素技術が確立している中性子水分計を適用した。前年度基礎調査を踏まえて、検知限界の測定試験を行い、現地に適用する実用化について検討し、コンテナクレーン鋼構造物の溜水の有無を確認するためのガイドラインを作成し、溜水検知の測定方法の計測システムを構築した。中性子水分計の中性子線源としてカリフォルニウム 252（^{252}Cf、半減期 2.65 年）を使用しており、図-2.5 に計測原理の模式図を示す。放射された高速中性子は水分中の水素原子に反応し熱中性子に代わり、これを計量することにより検知する方式である。図-2.6 に本研究で使用した水分計を示す。

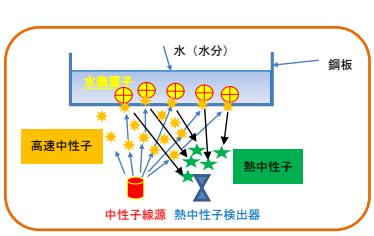




図-2.5　中性子水分計の計測原　図-2.6　中性子水分計

(MCM-2 型 Hydrotecto)

(1) 仕様構想の検討

平成 25 年度に実施した基礎性能確認試験の結果より，実機に適用する場合の必要条件，課題および対策（案）について検討した。

まず、①測定値の安定性については、基礎試験では測定時間を 10 秒間に設定していたが，これを 20~120 秒間等に延長することで、ばらつき範囲の改善具合を測定比較試験より確認した。

続いて②走査要領および測定条件を確定するため、被測定面を走査する方法および一定の測定時間その位置に静止する方法について、検出器に車輪を取付ける工夫を行った。また鋼板に中性子水分計を簡単に押し当てることにより，裏面に溜水が存在する場合と健全な場合で測定値に有意な差異が得られる手法について検討を行った。

(2) 適用検証・確認試験

図-2.7 の模擬試験体に水量を変化させた溜水を設け，溜水量の変化と測定値の相関を求める実験を行い，中性子水分計の検知特性の確認およびその評価を行った。また，実機に適用する上で必要な注意事項を明らかにした。図-2.8 に計測例を示す。



図-2.7　試験体の外観

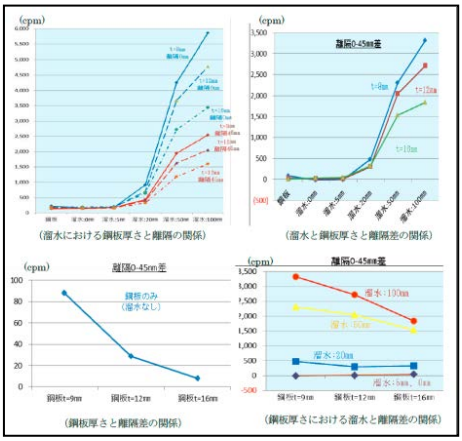


図-2.8 鋼板厚さと溜水と検知離隔の相関

(3) 橋梁での現地測定

岡山県の国道 30 号に架かる伊達橋（ゲルバー鋼ランガーアーチ橋）において溜水調査を行った。その結果、一部の RC 床版及びパイプトラス部で溜水を確認した。検知器は磁石車輪治具付であり、検査装置の有効性を確認した。計測状況を図-2.9 に示す。



図-2.9 パイプ形状の測定状況

(4) まとめ

① 実用化に必要な走査機構の条件である「一定時間(10 秒)以上を容易に保持できる、次の測定位置まで簡単に動かすことのできる」機能を確保するため、磁石車輪治具を考案製作した。

② 現地実験の結果、走査機構としては良好な結果を得た。

③ 測定時間による測定値への影響は、測定時間が短いほど測定値のバラツキは大きい。
しかし、10 秒間計測でも溜水確認については、十分信頼できる計測である。

④ 検知器を対象物から離して計測する場合は、50mm 程度まで直線的に減少し、50 ㎜を超えると指数関数的に減少する。また、溜水の影響を感知しない距離は 500 ㎜程度である。従って、磁石車輪（隔離距離 45mm）での測定は有効である。

⑤ 対象物がパイプ形状の場合、パイプ径が小さいほど感度が良い。

⑥ 対象物が腐食鋼板の場合と腐食のない鋼板の場合測定値に有意な差異はなかった。

⑦ 橋梁の現地測定により、RC 床版及びパイプトラスの溜水を確認し、装置の有効性を確認した。

3. 謝辞

本研究は国立大学法人長岡技術科学大学、独立法人港湾空港技術研究所、国立大学法人岡山大学及び株式会社三造試験センターとの共同研究により進めたものです。ここに、関係各位に感謝の意を表します。

地震に強い港湾を低コストで実現するための港湾計画上の工夫に関する提案

野津　厚[1]

[1]国立研究開発法人 港湾空港技術研究所 地震防災研究領域（〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1）

今後数十年間には，南海トラフ等の巨大地震の発生が懸念されており，港湾の地震対策は喫緊の課題であるが，一方で，わが国の厳しい財政事情を考えれば，地震に強い港湾をいかに小さいコストで実現するかが重要な課題である．これまで，港湾における地震対策は，計画－設計－施工－維持管理という一連のプロセスのうち，主に設計段階の工夫によって行われてきているが，これに加えて，計画段階において種々の工夫を行うことで，地震に強い港湾をより小さいコストで実現することに寄与できるものと考えられる．ここではこのような観点からのいくつかの提案を行い議論したい．

キーワード　地震，港湾計画，常時微動，桟橋，活断層

1. はじめに

阪神淡路大震災による神戸港の甚大な被害はいまだに記憶に新しいところである．神戸港ではすべてのコンテナバースが利用できなくなり（**写真-1**），わが国の経済活動にも大きな影響を及ぼすことになってしまった．近い将来の発生が懸念される巨大地震においても，地震後の早い段階から，必要最小限の幹線貨物輸送機能の確保を図ることが必要である．また，神戸港が地震後において大きな損傷を受けながらも緊急物資や避難民の輸送に活用されたように（**写真-2**），周囲を海に囲まれる日本において港湾は大地震後の復旧復興のための被災地への人・物資の輸送拠点としての重要な機能も求められる．今後数十年間には，南海トラフ等の巨大地震の発生が懸念されており，港湾の地震対策は喫緊の課題であるが，一方で，わが国の厳しい財政事情を考えれば，地震に強い港湾をいかに小さいコストで実現するかが重要な課題である．

これまで，港湾における地震対策は，計画－設計－施工－維持管理という一連のプロセスのうち，主に設計段階の工夫によって行われてきている．例えば地盤改良を行うことにより係留施設の地震時の変形を適切な範囲に押さえるといった対策である．これらの対策は有効ではあるものの，コスト縮減という観点からは，設計段階でとりうる対策に限界があることも事実である．

今後は，設計段階の工夫に加えて，計画段階において種々の工夫を行うことで，地震に強い港湾をより小さいコストで実現することに寄与できるものと考えられる．本稿ではこのような観点からのいくつかの提案を行う．具体的には次の3点について提案を行う．

①港湾計画における常時微動観測の活用

②土留めとの距離を十分にとった桟橋構造の活用



写真-1　阪神淡路大震災による神戸港の被害



写真-2　地震直後の神戸港における緊急物資の荷揚げ

③活断層地震の走向への配慮

以下の各章では，①～③について順次説明を行う．なお，これらのうち，最も重要性が高いと著者が考えているのは①である．また①は港湾施設のみならず他の社会基盤施設に対しても応用できる考え方である．

2. 港湾計画における常時微動観測の活用

(1) サイト特性とは何か

一般に，地震による地盤の揺れ（地震動）は震源断層の破壊過程の影響（震源特性）と震源から地震基盤に至る伝播経路の影響（伝播経路特性），それに地震基盤から地表に至る堆積層の影響（サイト特性）の三者によって決まる（**図-1**）．ここに地震基盤とはS波速度が3000m/sを越えるような非常に堅い岩盤のことである．地震基盤上面から地表にかけてはS波速度コントラストが大きく，それにより地震波は大きく増幅される．サイト特性の基本パターンを**図-2**に示す．まず，①地震基盤あるいはそれに近い岩盤が露出している場所では，揺れは小さい．②岩盤上に薄い堆積層がある場所では，堆積層の固有周期が短いので，周期の短い地震動が卓越しやすい．③岩盤上に厚い堆積層がある場所では，堆積層の固有周期が長いので，周期の長い地震動が卓越しやすい．

堆積層が地震の揺れに大きな影響を与えた事例は数多く知られている．その一例として2000年鳥取県西部地震の例を**図-3**～**図-4**に示す．鳥取県境港市の気象庁観測点と港湾の観測点（境港-G）は弓ヶ浜半島の堆積層の上に位置しており，一方，防災科学技術研究所の観測点（SMN001とSMNH10）は島根半島の山麓に位置している（**図-3**）．2000年鳥取県西部地震の最大速度は前者が後者の４倍程度となっており（**図-4**），堆積層の影響が大きいことを示している．被害も境港市内に集中している．

文献1)では防災科学技術研究所および港湾地域強震観測による全国の強震記録を利用し，観測点におけるサイト増幅特性（地震基盤～地表までの地震動の増幅特性を

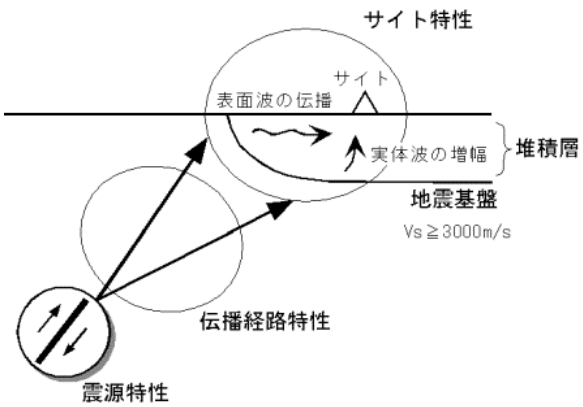


図-1　震源特性・伝播経路特性・サイト特性

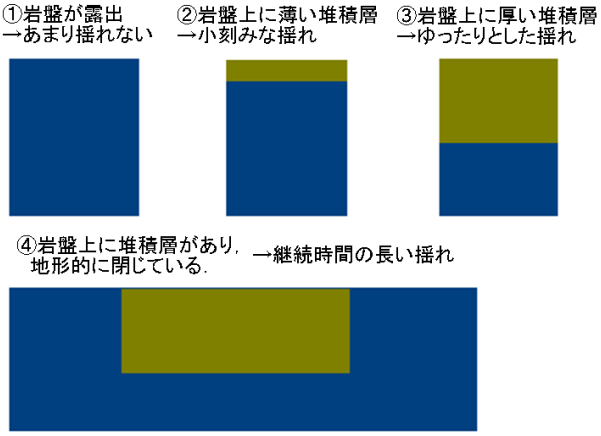


図-2　サイト特性の基本パターン



図-3　境港周辺の地形（第八管区海上保安本部提供）

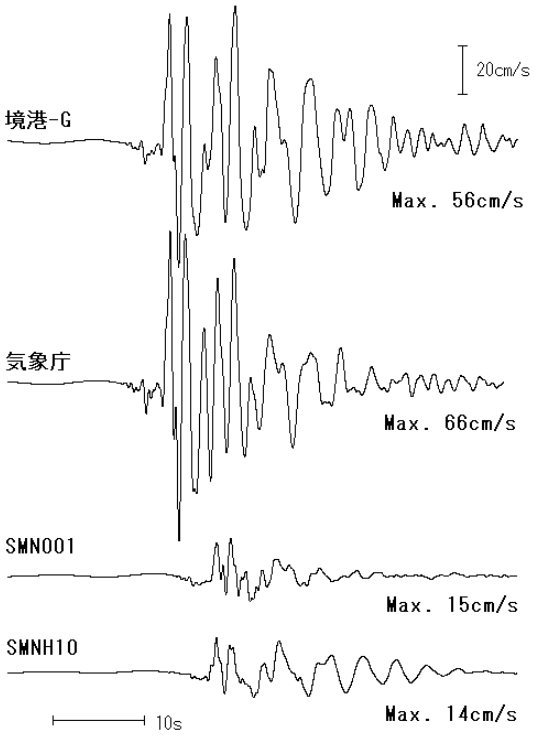


図-4　鳥取県西部地震の際に境港周辺で観測された速度波形

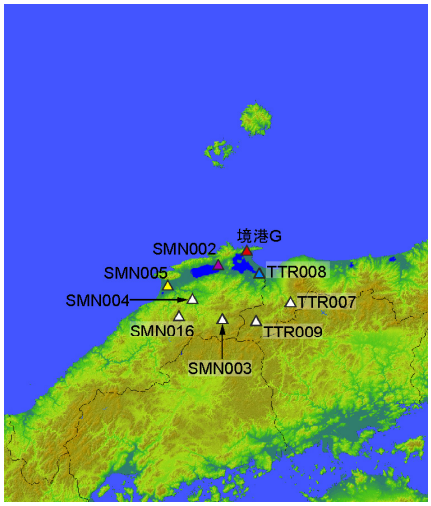


図-5　中海・宍道湖周辺の観測点

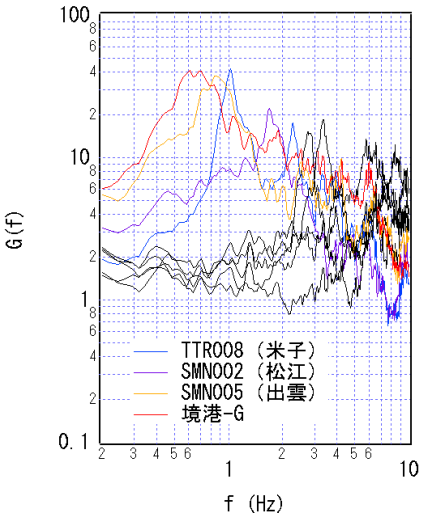


図-6　**図-5**に示す観測点でのサイト増幅特性

フーリエスペクトルの倍率で示したもの）を求めている．その一例として，中海と宍道湖を取り囲む沖積平野とその南の中国山地の観測点（**図-5**）に対して算定されたサイト増幅特性を**図-6**に示す．沖積平野に位置する境港-G，TTR008，SMN002，SMN005では，いずれも0.5-2Hzの範囲に10を越えるピークを有する．一方，山地に位置するTTR007，TTR009，SMN003，SMN004，SMN016ではいずれも1Hz以下の範囲ではサイト増幅特性は1～2の範囲にある．このように，平野と山地ではサイト増幅特性に著しい相違がある．

(2) 東日本大震災の地震動とサイト増幅特性

このようなサイト増幅特性の違いは同一港湾内でも見られる．東日本大震災においては，同一港湾内におけるサイト増幅特性と地震動の違いが港湾施設の被害程度を左右していると見られる事例があった．

福島県の小名浜港においては，港湾内におけるサイト特性の面的な分布を把握する目的で，本震の約2ヶ月後の5月2日から5月5日にかけて，**図-7**に示す4地点（小名浜港湾事務所，5号埠頭，藤原埠頭，大剣埠頭）において余震観測が行われた[2]．また，H.20年度には小名浜港湾事務所により3号埠頭において臨時の地震観測が実施されている（観測点位置を同じく**図-7**に示す）．文献2)ではこれらのデータを総合することにより各地点における経験的なサイト増幅特性が求められている．その結果を**図-8**に示す．港湾構造物に被害をもたらしやすい0.3-1Hz程度の周波数帯域では，3号埠頭のサイト増幅特性が群を抜いて大きいことがわかる．



図-7　小名浜港平面図と余震観測位置

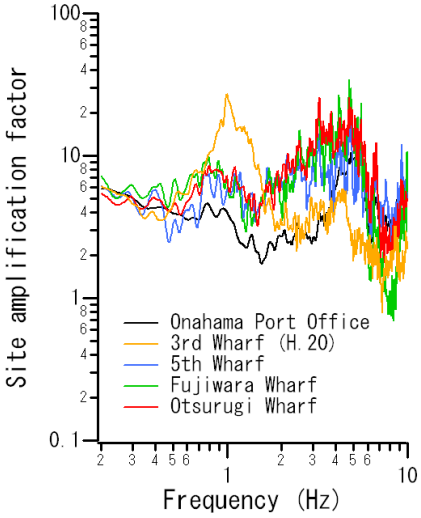


図-8　小名浜港湾事務所，3号埠頭，5号埠頭，藤原埠頭，大剣埠頭におけるサイト増幅特性

これらと被害との対応について見るため，各観測点の最寄りの係留施設の被害について見ていく．まず，3号埠頭の岸壁（-10m）（矢板式，設計震度0.15）においては顕著な被害が生じており，最大せり出し量は1.6mであった．また岸壁背後には1mを越える段差も生じた（**写真-3～写真-4**）．次に，5号埠頭の岸壁（-12m）（ケーソン式，設計震度0.20）の被災状況を**写真-5**に示す．被害は生じているものの，3号埠頭ほどの顕著な被害ではないことがわかる．この岸壁の最大せり出し量は0.8mであった．つづいて，藤原埠頭の岸壁（-12m）（ケーソン式，設計震度0.12）の被災状況を**写真-6**に示す．既設ケーソンの前面に段差の生じる被害が生じてはいるものの，やはり3号埠頭ほどの顕著な被害ではないことがわかる．



写真-3　小名浜港3号埠頭3-2岸壁における被災状況



写真-4　小名浜港3号埠頭3-2岸壁の背後における段差
（段差の下端に置かれている紙はA4サイズ）



写真-5　小名浜港5号埠頭岸壁（-12m）被災状況

この岸壁の最大せり出し量は0.3mであった．最後に，大剣埠頭の岸壁（-7.5m）（ケーソン式，設計震度0.10）の被災状況を**写真-7**に示す．被害は生じているものの，やはり3号埠頭ほどの顕著な被害ではないことがわかる．この岸壁の最大せり出し量は0.5mであった．



写真-6　小名浜港藤原埠頭岸壁（-12m）被災状況



写真-7　小名浜港大剣埠頭岸壁（-7.5m）被災状況

表-1　小名浜港地震観測点付近の4施設の比較

施設名称	構造形式	設計震度	最大せり出し量
3 号埠頭岸壁（-10m）	矢板式	0.15	1.6m
5 号埠頭岸壁（-12m）	ケーソン式	0.20	0.8m
藤原埠頭岸壁壁（-12m）	ケーソン式	0.12	0.3m
大剣埠頭岸壁（-7.5m）	ケーソン式	0.10	0.5m

これら4施設の比較を**表-1**に示す．構造形式や設計震度が異なるため単純な比較はできないが，1mを越える水平変位が生じたのは3号埠頭岸壁（-10m）のみである．また，岸壁背後に1mを越える段差が生じたのも，**写真-3～写真-7**に示すように，3号埠頭岸壁（-10m）のみである（ただし5号埠頭岸壁（-12m）南端の護岸との接続部

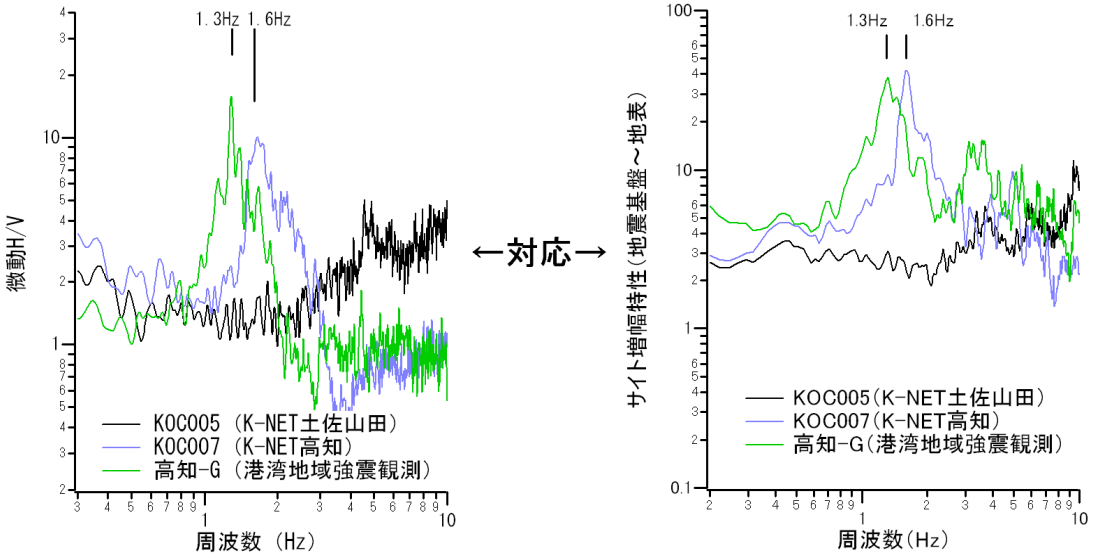


図-9　高知港とその周辺の強震観測地点における常時微動H/Vスペクトルとサイト増幅特性[1)]の関係

を除く）．以上の比較から，場所毎の地震動の大小が係留施設の被害程度の違いをもたらしていると考えられる．

このように，東日本大震災においては，同一港湾内においても地震動が場所毎に大きく異なる場合があり，そのことが港湾施設の被害程度の大小を左右している実態が明らかになってきた．従って，今後の地震対策においては，港湾内におけるサイト増幅特性の分布を詳細に調べ，サイト増幅特性の大きい場所に立地する施設に対して特に入念に対策を行うことが必要であるが，これをもう一歩進めて考えると，港湾計画の段階であらかじめサイト増幅特性が小さいと考えられる場所に優先的に施設を立地させるようにすれば，地震に強い港湾をより小さいコストで実現することにおおいに寄与すると考えられる．一例として，既存施設を改良して耐震バースに格上げするといった場合に，サイト増幅特性が小さい，揺れにくい場所にある施設を選択して改良すれば，より小さいコストで改良できるものと考えられる．

(3) 常時微動観測

対象地点におけるサイト特性を評価する上で最も信頼性の高い方法は中小地震観測を行う方法であるが，港湾内のあらゆる地点において中小地震観測を実施することはかなり困難である．そこで，より簡便な手法として常時微動観測の活用を考える．

地盤は地震でない時も人には感じられないような微小な振幅で常に揺れており，これを感度の良い計器で計測するのが常時微動観測である．常時微動観測はコストパフォーマンスが良く，一人でも一日あれば港湾内の十数点で観測することは十分に可能である．常時微動観測のデータは，水平動と上下動のスペクトル比をとって整理することが一般的であり[3)]，こうして得られたH/Vスペクトルは，地震観測から得られたサイト増幅特性と良く対応することがわかっている．

例えば**図-9**は高知港とその周辺の強震観測地点において常時微動観測を実施し，その結果得られた常時微動H/Vスペクトルを，強震観測記録から評価されたサイト増幅特性[1)]と比較したものである．ここでH/Vスペクトルは文献4)の方法で算定を行っている．この方法では3区間のデータからH/Vスペクトルが算定されるが，**図-9**ではそれらの平均を示している．高知-Gでは常時微動H/Vスペクトルが1.3Hz付近に明瞭なピークを有しているが，サイト増幅特性もほぼ同じ周波数にピークを有している．K-NET高知では常時微動H/Vスペクトルが1.6Hz付近に明瞭なピークを有しているが，サイト増幅特性もほぼ同じ周波数にピークを有している．K-NET土佐山田では，常時微動H/Vスペクトルが明瞭なピークを有していないが，サイト増幅特性も同様に明瞭なピークを有していない．このように常時微動H/Vスペクトルとサイト増幅特性との間には良好な対応関係が認められる．

このように，常時微動観測を利用することで，「対象地点は地震波が増幅されやすい場所か，されにくい場所か」「増幅されやすいとすれば，どのような周波数の地震波が増幅されやすいか」といった情報を得ることができる．例えば，港湾構造物に被害をもたらしやすい0.3-1Hz程度の周波数帯域にH/Vスペクトルのピークがあれば，耐震性の観点から不利なゾーンであると判断することができる．

(4) 港湾計画における常時微動観測の活用

港湾計画における常時微動観測の活用の手順は次のようになると考えられる．

STEP1　常時微動観測の実施

※常時微動観測は極めて低コストである．

※新たに観測を実施しなくても，設計地震動の策定のために既にデータの得られている港湾もある．

STEP2　常時微動観測データをもとに，港湾内を揺れやすい場所と揺れにくい場所にゾーニング（すでに設計地震動の策定に関連してゾーニング実施済の港湾も多い）．

STEP3　係留施設等の立地においてこの情報を活用（他の要因と併せた総合的判断）

3. 土留めとの距離を十分にとった桟橋の活用

過去の地震において，桟橋の被害は，土留めの海側への移動に伴い，渡版を介して上部工が土留めに押されるか，または，土留めの移動に伴い捨石が海側に変位し杭を押すか，そのいずれかで生じている．例えば阪神淡路大震災における神戸港高浜桟橋の被害[5]や2005年福岡県西方沖の地震における博多港須崎埠頭桟橋の被害[6]はこのようなメカニズムで生じている．桟橋単独の振動による被害は少ない．

よって，土留めとの距離を十分にとった桟橋は地震に対して著しく有利な構造形式であると考えられる．このような構造形式が可能となるように計画しておけば，所要の耐震性能を有する施設をかなり小さなコストで実現できるものと考えられる．このような桟橋の一例として那覇港の大型旅客船ターミナルがある．

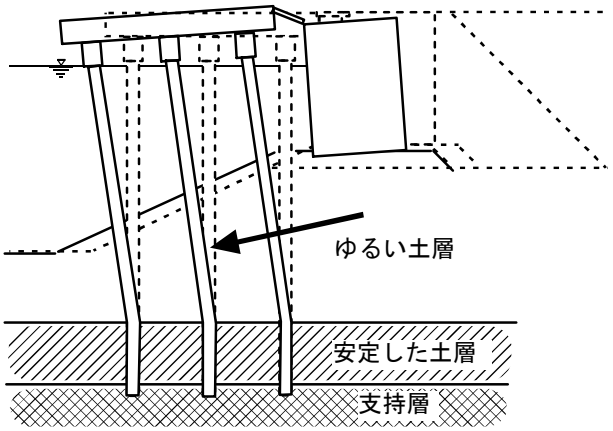


図-10　桟橋の典型的な被害形態

4. 活断層地震の走向への配慮

阪神淡路大震災の際，神戸港工事事務所で観測された揺れは，震源である六甲－淡路断層系に対して直交する向きに卓越していた．このことは，GPSが捉えたポートアイランド及び六甲アイランドの岸壁の残留変位の分布[7]にも明瞭に表れている．東西方向の法線を有する岸壁の方が，それと直交する岸壁よりも，より大きな被害を受けていることがわかる．岸壁は法線直交方向の揺れに弱いため，このような現象が生じたと考えられる．

内陸活断層で発生する大地震の震源近傍では，横ずれ断層や逆断層といった断層の種類に関わらず，断層直交方向に特に強い揺れの生じる傾向がある[8]．この性質を利用して，想定される強い揺れの向きに対して最も有利となるように岸壁を配置すれば， 岸壁の地震時の被害を軽減することができる[9]．

5. まとめ

本稿では地震に強い港湾をより小さいコストで実現するための港湾計画上の工夫として以下の 3 つの提案を行った．

①港湾計画における常時微動観測の活用
②土留めとの距離を十分にとった桟橋構造の活用
③活断層地震の走向への配慮

このうち汎用性の観点から最も重要と考えられるのは①である．

参考文献

1) 野津厚・長尾毅：スペクトルインバージョンに基づく全国の港湾等の強震観測地点におけるサイト増幅特性，港湾空港技術研究所資料，No.1112，2005 年.
2) 野津厚・若井淳：東日本大震災で被災した港湾における地震動特性，港湾空港技術研究所資料，No.1244，2011 年.
3) 中村豊：常時微動計測に基づく表層地盤の地震動特性の推定，鉄道総研報告，Vol.2，No.4，pp.18-27，1998 年.
4) 長尾毅・山田雅行・野津厚：常時微動 H/V スペクトルを用いたサイト増幅特性の経験的補正方法に関する研究，構造工学論文集，Vol.56A，pp.324-333，2010 年.
5) 及川研・菅野高弘・三藤正明・中原知洋：兵庫県南部地震により被災した杭式桟橋に関する実験的研究，第 10 回日本地震工学シンポジウム，1998 年.
6) 菅野高弘・野末康博・田中智宏・野津厚・小濱英司・ハザリカ=ヘマンタ・元野一生：2005 年福岡県西方沖の地震による港湾施設被害報告，港湾空港技術研究所資料，No.1165，2007 年.
7) Inagaki, H., S. Iai, T. Sugano, H. Yamazaki and T. Inatomi: Performance of caisson type quay walls at Kobe Port, Special Issue of Soils and Foundations, pp.119-136, 1996.
8) 野津厚，井合進，W.D. Iwan：震源近傍の地震動の方向性に関する研究とその応用，港湾技術研究所報告，第 40 巻，第 1 号，pp.107-167，2001 年.
9) 野津厚，池田薫：直下型地震の揺れの向きを考慮した耐震強化岸壁の配置計画，港湾，第 78 巻，第 9 号，pp.48-51，2001 年.

ヘリ画像処理システムの開発

宮地　邦英[1]

[1]国土地理院　基本図情報部　地図情報技術開発室　（〒305-0811 茨城県つくば市北郷1番）

国土地理院基本図情報部地図情報技術開発室は，地方整備局の防災ヘリコプターが撮影した映像を「統合災害情報システム」（以下，「DiMAPS」という）で地図と重ねて表示させるため，国土交通本省で導入を進めている「ヘリコプター直接衛星通信システム」（以下，「ヘリサットシステム」という）で伝送された映像から静止画を切り出し，地図と重なるオルソ画像にリアルタイムに変換することができる「ヘリ画像処理システム」を平成26年度に開発した．

その結果，一定の条件下において防災ヘリの撮影映像をDiMAPS上でリアルタイムに地図と重ねて表示できるようになった．

キーワード　ヘリサットシステム，災害状況把握，統合災害情報システム（DiMAPS）

1. はじめに

大規模な災害が発生した場合，地方整備局等の防災ヘリが発災直後の時間帯にいち早く被災現場を撮影し，その映像は本省防災センター等に伝送されて被害状況把握に用いられている．しかし，その映像はヘリから被災地点を斜めに撮影したものが多く，ヘリが位置している場所の地名が画面に表示されるものの，画面に映っている場所とは異なるため，被害の発生場所を特定するのは土地鑑が無い限り容易ではない．

一方，国土地理院は，固定翼の航空機「くにかぜⅢ」によって被災地を面的に写真撮影し，地図と重なるように加工した画像（オルソ画像）を作成して関係機関に提供している．オルソ画像を用いれば，広範囲であっても被害の発生状況を地図と対比させて的確に把握することができる．しかし，オルソ画像の作成には時間を要することから，発災直後の時間帯の状況把握に用いることは困難である．

自然災害が年々頻発化，大規模化する中にあって，発災直後の時間帯に広範囲の被害状況を的確に把握する手段の開発は喫緊の課題となっていた．

そのような状況の下，平成26年度から数年かけて防災ヘリのカメラシステムが，従来の地上中継局を介して映像を伝送するヘリテレシステムから，通信衛星を介して伝送するヘリサットシステムに更新されることになった．ヘリサットシステムは，衛星通信を利用する点以外に，カメラの方向角等をセンサで読み取り，映像と同時に伝送することができるという特徴を有している．この情報を利用すれば，ヘリの映像をオルソ化処理することが可能であると考えられた．そのため，国土地理院では平成26年度にDiMAPSの開発に併せ，防災ヘリが撮影した映像をリアルタイムにオルソ画像に変換し，DiMAPS上で地図と重ねて表示させることができるヘリ画像処理システムを開発した．

2. ヘリサットシステム

ヘリサットシステムとは，国土交通省の各地方整備局が運用する防災ヘリコプターの撮影映像を，地上の中継局を介して伝送する現行のヘリテレシステムに代えて，静止衛星を介して伝送し配信するシステムである．ヘリテレシステムでは，ヘリからの映像信号を中継する地上局が30～100km毎に必要であり，近隣に中継局がない山間部や海上沖合などでは映像伝送が行えないほか，谷筋やビル街などでヘリと中継局間に障害物がある場合も映像伝送が行えないという問題があった．一方，ヘリサットシステムでは防災ヘリからの映像信号の中継に静止衛星を利用するため，日本全国どこからでも映像伝送が可能であり，地上中継局の維持管理も不要となり運用コストの面でもメリットがある（図-1，写真-1）．

さらにヘリサットシステムの優れた点として，ヘリ機上局に①GNSSによるヘリの位置情報，②IMU（慣性計測装置）によるヘリの姿勢情報，③カメラ架台（ジンバル）によるカメラ角度情報等（以下，①～③をあわせて「カメラ情報」という）を計測し，映像信号に重畳させて地上局に伝送する機能を有する．カメラ情報を利用す

ることで，撮影範囲の地上座標を算出することができるため，映像の配信時に映っている地物名称等をリアルタイムに表示させる機能などが実現されている．一方，算出された映像の四隅の地上座標を利用して，後処理で簡易的に地図と重なるように処理する機能が用意されているものの，リアルタイムに画像処理することができないため，災害状況把握に用いる際の課題となっていた．

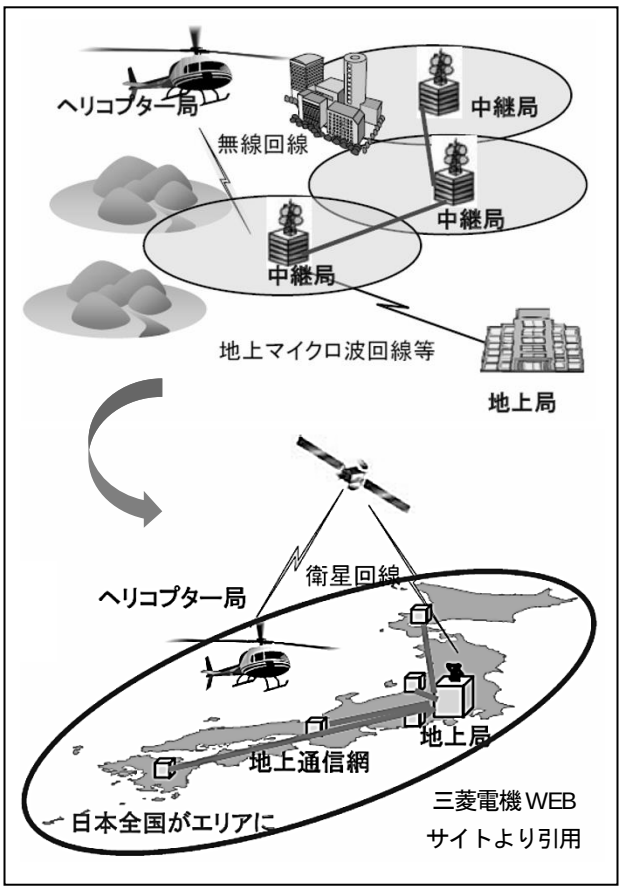


図-1 ヘリテレシステム（上）とヘリサットシステム（下）の映像伝送イメージ



写真-1 ヘリ（九州地整はるかぜ号）に搭載されているカメラ架台（左）とヘリサットアンテナ（右）

3. ヘリ画像処理システムの開発

(1) ヘリ画像処理システムの開発内容

ヘリ画像処理システムは，ヘリサットシステムで伝送された映像をDiMAPS上でリアルタイムに地図と重ねて表示可能とするシステムとして開発に着手した．しかし，ある程度開発が進んだ段階で，ヘリサットシステムで計測されるカメラ情報のみでは地図との重ね合わせの精度が十分でないことが判明したため，その対策として国土地理院が整備している発災前のオルソ画像（以下，「地理院オルソ」という）を用いた重ね合わせ位置の補正機能を追加することによって，ヘリの撮影映像の地図との重ね合わせ精度の向上を図った．ヘリ画像処理システムの一連の処理の流れを図-2に示す．

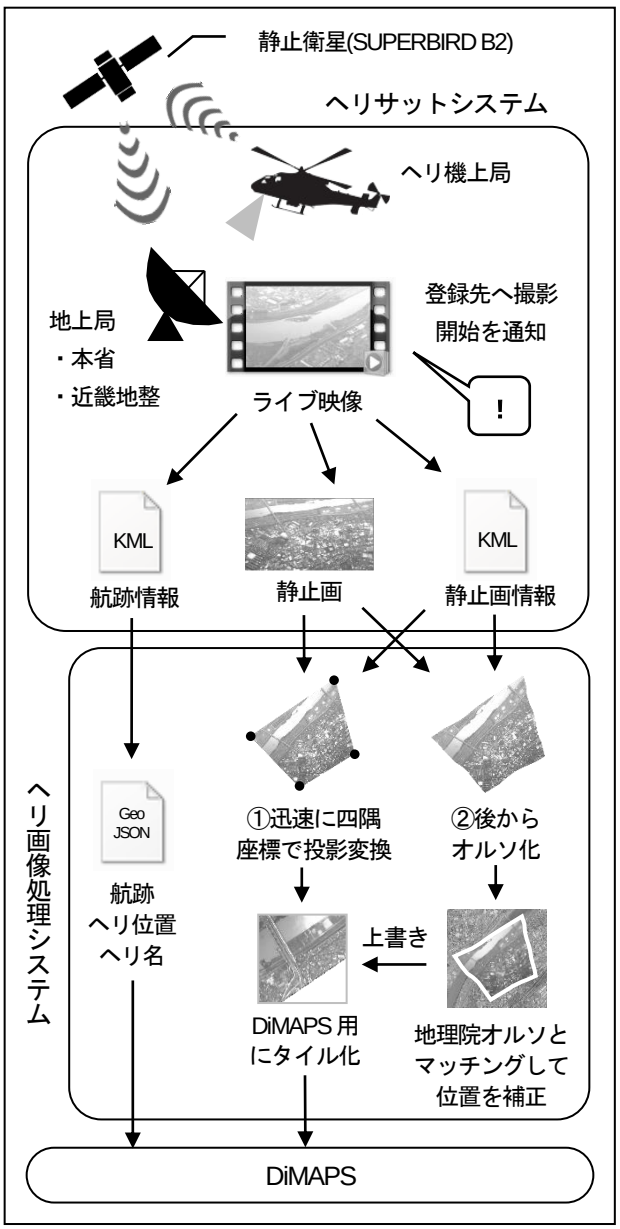


図-2 一連の処理の流れ

(2) ヘリサットシステムからのデータ取得

ヘリ画像処理システムの開発にあたって，まず，ヘリサットシステムに，防災ヘリから伝送されて来る映像やカメラ情報を利用して，いくつかの情報をリアルタイムに抽出する機能を追加した．ここで抽出される情報は，ヘリの最新の位置と飛行経路を示す航跡情報，映像から1秒ごとに切り出した静止画及びその静止画を撮影した時点のカメラ情報（以下，「静止画情報」という）である．航跡情報には，撮影したヘリの名称や撮影開始時刻等が記録されており，映像のインデックス情報としての役割も果たす．静止画は，映像から1秒ごとに切り出した画像であるが，映像はHDのインターレース画像（1080i）であるため，1本おきとなっている走査線情報を内挿する処理を加えている．静止画情報は，切り出した静止画を撮影した時点のカメラの位置と向き，さらにそこから算出した画像四隅の地理座標を含んでいる．一方，カメラの視線方向に対する回転角（ロール角）の情報が伝送されていないことが分かった．

航跡情報は，そのままヘリ位置情報としてDiMAPSのサーバに転送され，DiMAPS上でヘリの現在位置を示すアイコンとして表示されるとともに，それまでの飛行経路が赤い線（図内では黒色）で表示される（図-3）．

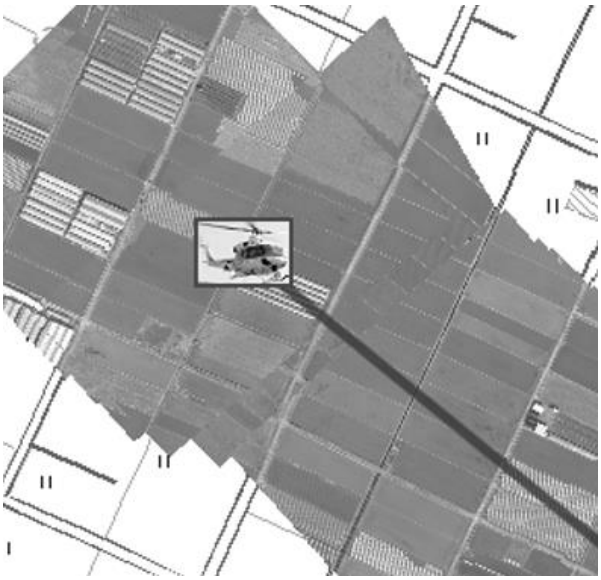


図-3 DiMAPS 上での航跡とヘリ位置の表示例

(3) 映像の位置合わせ

ヘリ画像処理システムは，静止画と静止画情報を取得したら，すみやかに静止画情報に含まれる画像の四隅座標をもとに静止画を投影変換してDiMAPS上に表示する．この時点では，ヘリサットシステムのカメラ情報のみを用いて変換した画像であるため，位置ズレが大きい．

続いて，システム内にあらかじめ用意してある標高データを用いてオルソ化処理を実施するとともに，地理院オルソとSobelフィルタを利用した画像マッチングを行うことにより位置の補正を行う．Sobelフィルタを用いた理由は，太陽位置の違いによる画像の輝度の変化や，季節毎の植生の変化によるマッチング精度の悪化を避けるためである．ヘリ画像処理システムはリアルタイムに画像の位置合わせを行うことを目的として開発するシステムであるため，SIFTなどによる特徴点抽出より演算量が少ないという点も重視した．図-4にSobelフィルタによるマッチング処理に用いる画像の例を示す．

マッチングは，ヘリ画像のある範囲を決め，地理院オルソの同じサイズの範囲（相関窓と呼ぶ）について相関係数を計算する．次に地理院オルソ上で相関窓を1画素ずらし相関係数を計算する．このようにして，決められた探索範囲で相関窓を動かし，相関係数が最も大きい位置を探す方法とした（図-5）．

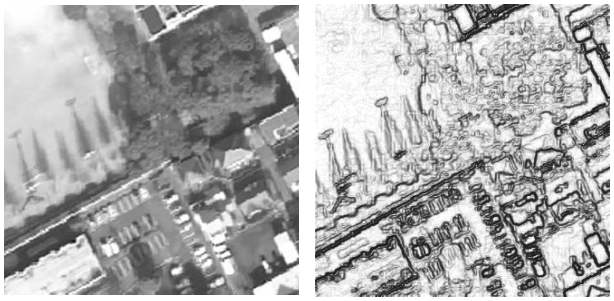


図-4 元画像(左)と Sobel フィルタをかけたエッジ画像(右)

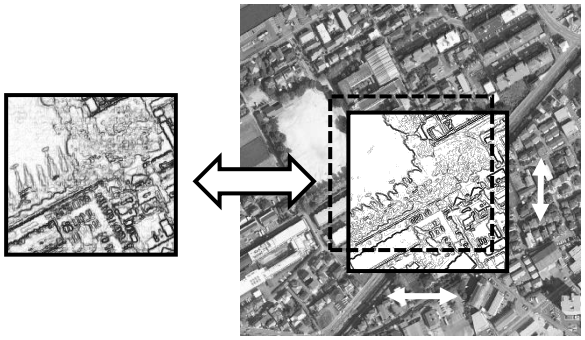


図-5 相関窓を動かしながらヘリ画像(左)と地理院オルソ(右)のエッジ画像を比較

これら相関窓の大きさ，間隔，探索範囲，ミスマッチング防止のための相関係数の閾値，疑似アフィン変換時の最小対応点数や残差の閾値などのパラメータはいずれも設定可能である．正確かつ十分な数の対応点で疑似アフィン変換を行うことで，ヘリ画像を地図情報レベル2500 または 5000 相当の精度をもつ地理院オルソとおおむね合致させることができた（図-6）．

一方，高層建物や橋梁・高架等の高さを持った地物については高さ情報が取得できないことから，オルソ化と位置補正によってもズレを補正することはできないため，災害時の地物の被害有無の判断には注意を要する（図-7）．

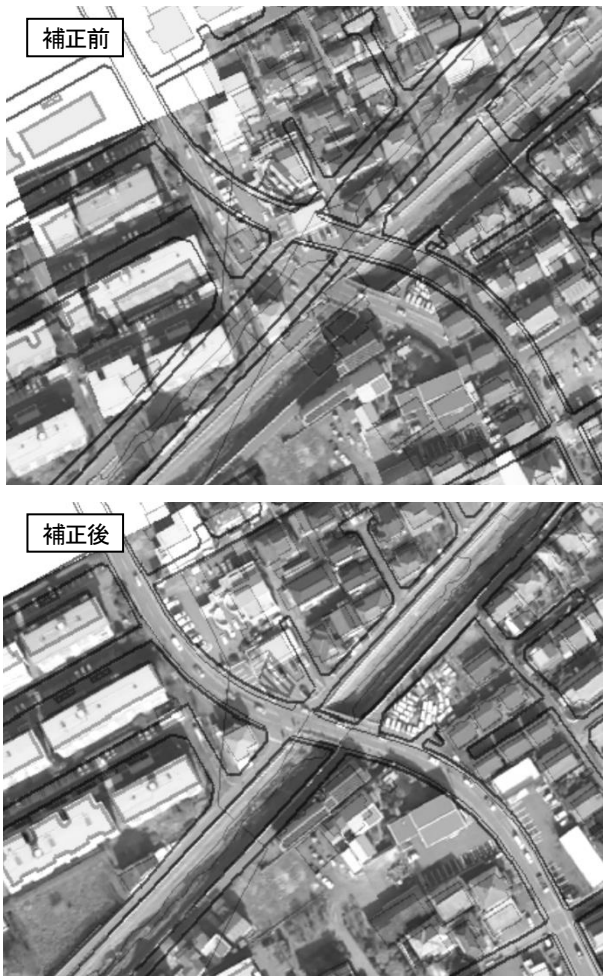


図-6　地理院オルソによる位置補正の結果



図-7　位置補正後の高さを持った地物のズレ

これら一連の処理に要する時間は，撮影範囲の大きさ，カメラの角度，マッチング状況の良し悪しなどにもよるが，およそ6～12秒で完了するようパラメータを調整した．これらの処理はマルチスレッド化しており，ヘリ1機の撮影につき12スレッド分の並行処理を行うようにシステムを構築していることから，1枚の画像あたり12秒以内に処理を完了させるようにパラメータを調整することでリアルタイム性を確保している．

4.　ヘリ画像処理システムの運用と機能評価

(1) 試験運用と機能評価

ヘリサットシステムにおけるハードウェアの仕様上，角度情報の分解能の低さ（1度単位）や，艤装時に生じるヘリ毎に固有の角度ズレ，カメラのロール角の情報が取得できないこと等によりカメラ情報の誤差が無視できず，地図との重ね合わせ精度には限界がある．そのため，ヘリ画像処理システムによる位置合わせの補正を加えたとしても，撮影角度が斜めになりすぎると，画像を地図と位置合わせすることは不可能となることが予想された（図-8）．また，カメラのロール角の情報が取得できないことに伴って，画像がどれだけ回転しているかを把握することができないことから，深刻な位置ズレが生じる可能性があった（図-9）．

そのため，ヘリ画像処理システムの運用にあたっては，次のような撮影条件を付すこととした．

・原則としてカメラをヘリの真下に向けること
・ジンバルの揺れ補正機能をOFFにしてカメラのロール角を0度に固定すること

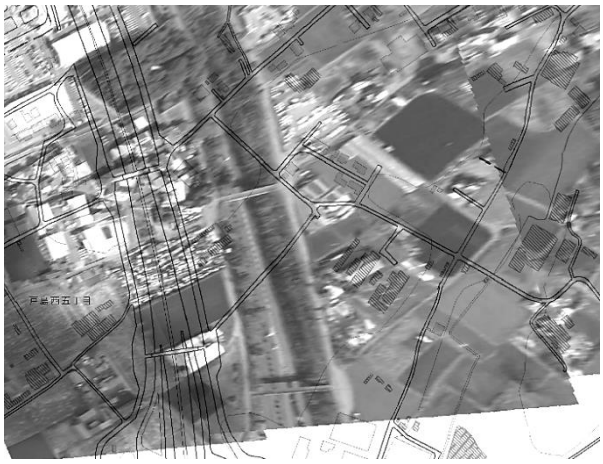


図-8　斜め撮影時の角度誤差に起因する位置ズレ

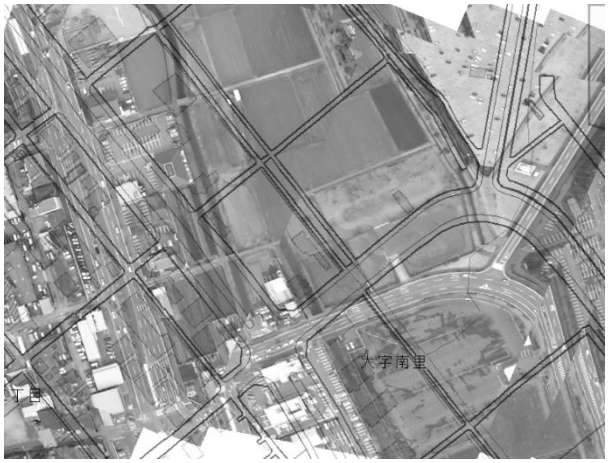


図-9　ロール角が取得できないことに起因する位置ズレ

これらの撮影条件の下で，最初にヘリサットシステムを装備した九州地方整備局「はるかぜ号」により実施した試験運用の結果，95%以上の割合で地理院オルソとのマッチングに成功し，ほぼリアルタイムに地図情報レベル2500の地図と十分に整合する画像をDiMAPS上に表示させることができた（図-6）．

(2) ブロッキングの回避

ヘリサットシステムは，日本全国で映像伝送が可能であるが，一方でアンテナと静止衛星の間にヘリのローター基部が入ることにより伝送が遮断されるブロッキング現象が発生するという弱点がある．ブロッキングが発生する範囲はヘリの機種ごとに異なるとされているが，平成 26 年度にヘリサットシステムを導入した近畿地方整備局と九州地方整備局の防災ヘリにおいては，アンテナがローターの左前方に艤装されており，静止衛星がヘリから見て方位角 130 度～150 度，仰角 34 度～40 度にあることから，おおむね北～北西方向に飛行するか，左旋回のためにヘリを左にバンクさせアンテナ位置が下がった場合にブロッキングが発生する（図-10）．

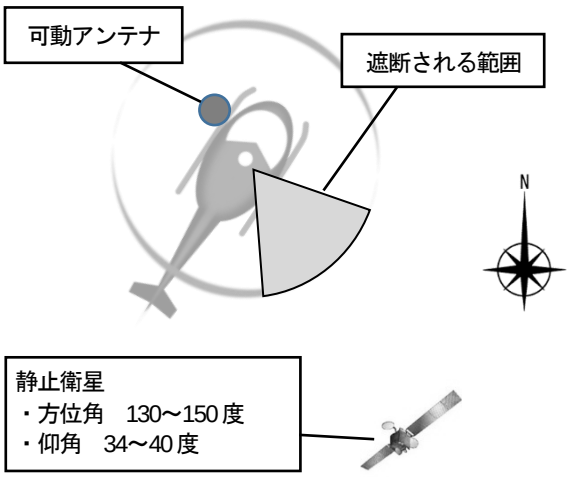


図-10　ブロッキングの発生範囲

ブロッキングが発生すると，ローター基部による可動アンテナの遮蔽具合によりヘリと静止衛星間の通信帯域が徐々に狭まっていき，映像の解像度が低下する．さらに遮蔽されると，映像，カメラ情報，音声の順にデータの伝送が不可能になる．ブロッキングが生じると，入力される画像が更新されなくなったり，乱れたりするため，同じ静止画が連続してDiMAPS上に表示される現象が発生することが確認された（図-11）．

ブロッキングはアンテナを増設する以外に根本的な解決方法が存在しないが，面的撮影時においては南北方向ではなく東西方向へ飛行することで影響を小さくすることができる．

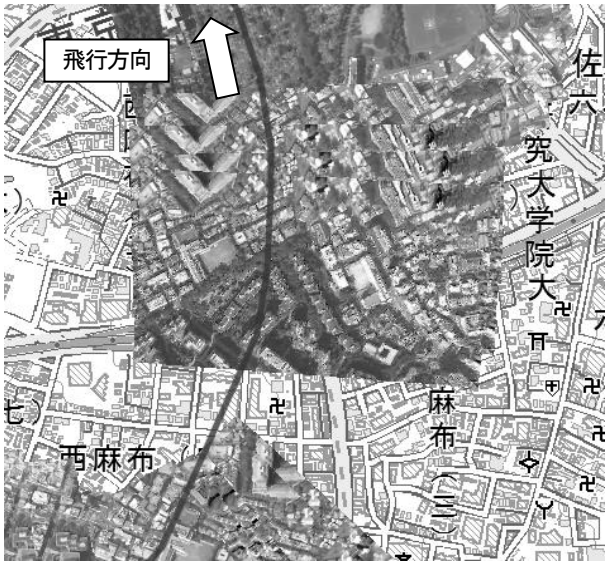


図-11　ブロッキングによる貼り付け画像の乱れ

(3) 位置補正が困難な箇所

試験運用の結果から，位置合わせの補正に用いる発災前の地理院オルソが整備されていない範囲や，整備済みの範囲であってもマッチングのための輪郭の抽出が困難な箇所では，十分な対応点の抽出ができずに位置補正が困難であることがわかった．具体的には，山林や水部(河川，湖沼，海岸，洪水時の湛水箇所等)が支配的な地域は明瞭な輪郭をもつ地物が乏しく，位置補正が困難となる（図-12）．

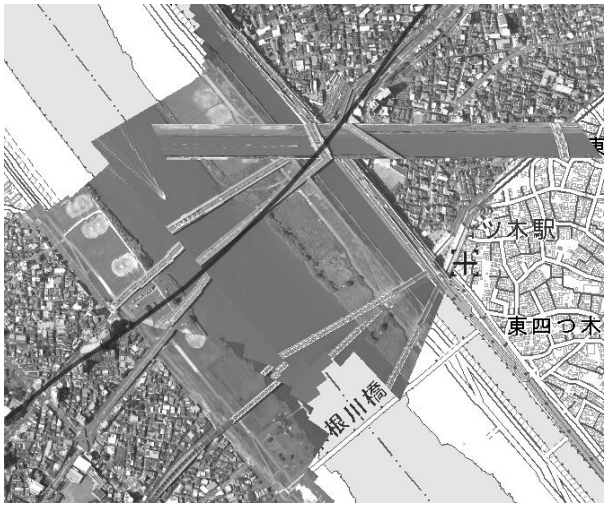


図-12　水部や山林が支配的な場所は位置合わせが困難

これらの運用上の制限と機能上の限界を試験運用により確認したうえで，ヘリサット撮影マニュアルを作成し，本省災害対策室を通じて近畿地方整備局と九州地方整備局に配布した．また，DiMAPSの運用開始に伴い，ヘリ画像処理システムは平成27年9月1日から正式運用を開始した．

5. 平成27年9月関東・東北豪雨における活用

平成27年9月関東・東北豪雨において，ヘリサットシステムを装備した近畿地方整備局の「きんき号」による状況把握に本システムが用いられた．撮影は9月11日から9月20日までの期間において，ヘリの飛行ができなかった9月17日を除き毎日実施され，浸水の状況が把握できる画像としてDiMAPS上に表示された．また，9月11日，13日，14日，20日の画像は，一般公開用のDiMAPS上でも公開され，地図上での浸水状況の把握に効果を発揮した．平成27年9月関東・東北豪雨における撮影コース及び表示例を図-13及び図-14に示す．

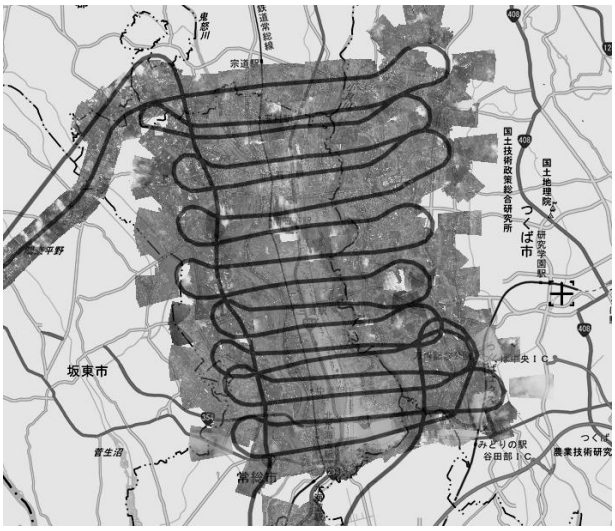


図-13　平成27年9月関東・東北豪雨における茨城県常総市の浸水範囲の撮影コースと撮影状況（9月13日）



図-14　平成27年9月関東・東北豪雨における茨城県常総市の浸水範囲の撮影事例（9月13日）

運用開始後初めての大規模災害での使用となったため，ヘリの飛行高度の設定や面的に隙間なく撮影するためのヘリのコース設定等は，国土地理院防災企画調整室及び本省災害対策室を含めて試行錯誤や処理パラメータの設定変更が生じたが，概ね順調にリアルタイムに現地画像がDiMAPS上に表示することができたと考えている．

6. まとめ

本システムは，リアルタイムで地図上に現地画像を重畳させることを目的としているが，位置合わせの精度向上と処理時間の短縮によるリアルタイム性の確保はトレードオフの関係にある．例えば，カメラのロール角の情報がヘリから伝送されない点などは，マッチングの際に画像の回転も考慮して評価をすることで補正をすることは可能と考えられるが，多大な処理時間を要するためリアルタイム性の保持は困難となる．現時点の位置合わせ能力は，ヘリ画像処理システムが稼働する現在のハードウェアの能力を最大限に活用してリアルタイム性を確保した結果であり，今後のハードウェアの処理能力が向上すれば，位置合わせ機能をより高度に改良する余地はあると考えている．

また，今後，九州と近畿以外の地方整備局の防災ヘリに順次ヘリサットシステムが艤装されていくと思われるが，その際の艤装時の角度のズレを最小限にとどめたり，可能であればセンサ能力の向上を図る等の措置による位置合わせ効率の向上も期待したい．

謝辞：本システムの運用試験等の際，大臣官房技術調査課電気通信室，近畿地方整備局防災課，九州地方整備局防災課の方々及びヘリ運行を担当されている中日本航空，西日本空輸の方々に多大なるご協力をいただいた点について，感謝の意を表します．

樋門函体下の空洞が
周辺堤防の浸透安全性へ与える影響の検討

吉田　直人[1]

[1]国立研究開発法人土木研究所　地質・地盤研究グループ　土質・振動チーム

（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）

樋門等の構造物周辺堤防において，地震，河川水の変動による土砂流出，圧密沈下等の影響で，構造物の亀裂や構造物周りの堤防のゆるみ，空洞等が存在する場合がある．洪水時には，ゆるみや空洞等を原因とする漏水や陥没等の変状が生じることがあるが，これらの変状メカニズムには不明な点が多く，堤防の浸透安全性へ与える影響について定量的評価がされていない．

そこで，出水時に漏水・陥没の変状が生じた実樋門をモデルに，実験により樋門等の構造物周辺堤防の洪水時における変状発生メカニズムを明らかにするとともに，浸透流解析を行い，函体下の空洞の有無やその大きさが周辺堤防の浸透安全性に及ぼす影響について検討した．

キーワード　樋門，空洞，河川堤防，浸透安全性，模型実験，浸透流解析

1.　はじめに

盛土構造物である堤防内に材料の異なる構造物が含まれると，その境界面は浸透水の水みちとなりやすく，漏水の原因となり堤防の弱点になりやすい．特に，水門，樋門等においては，門柱，函体と盛土との境界面に沿って水みちが形成され，出水時に漏水等が発生する事例が多い．なお，現存する多くの樋門は，杭基礎形式であり，軟弱地盤上に設置された施設においては，周辺堤防の荷重による圧密沈下等に伴い，函体下に空洞が生じやすい状況にある[1)]．

しかしながら，このような空洞による漏水，陥没等の変状発生メカニズムには不明な点が多く，堤防の浸透安全性に与える影響については，定量的に評価がなされていない．そこで，本研究では，出水時に漏水・陥没の変状が生じた実樋門をモデルに，実験により樋門等の構造物周辺堤防の洪水時における変状発生のメカニズムを明らかにするとともに，浸透流解析により空洞の有無やその大きさが堤防の浸透安全性に及ぼす影響について検討した．

2.　検討の対象とした樋門の概要

吉田川右岸13.7㎞ に位置する不来内排水樋管において，2011年東北地方太平洋沖地震後の平成23年9月の台風15号の出水により，吐出水槽脇及びのり尻部から大量の漏水が発生し，吐出水槽周辺及び裏のり肩付近に陥没が確認された．その後11月には裏小段においても陥没が発見され，翌24年5月の洪水でものり尻付近から漏水が生じた[2)3)]．不来内排水樋管は1970年に完成しており，函体は岩盤上面に達する鋼管杭で支持されている．出水後の開削調査等により，函体の継手の開きや止水板の破損，函体下の空洞が生じていたことが確認されている．漏水，陥没の位置を示した樋門の横断模式図を図-2.1に示す．

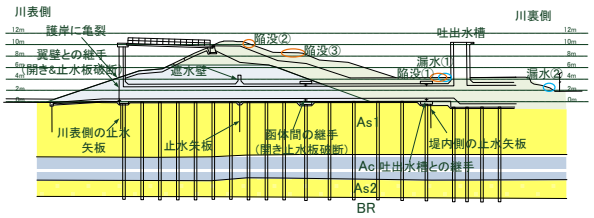


図-2.1　樋管横断模式図

3.　小型浸透模型実験

2章に示した不来内排水樋管の変状発生メカニズムの検討のため，現地で確認された空洞の大きさ，函体の亀裂を考慮し，樋門の一部分を小型の模型としてモデル化して，浸透模型実験で検討を行った．

(1) 実験模型の概要

樋門および周辺堤防を摸擬した実験模型の模式図と計測器の配置位置を図-3.1 に示す.

実験模型は，高さ 1,200mm，幅 1,000mm，長さ 4,000mm の土槽の中に作製し，基礎地盤の高さを 350mm，堤体の高さを 500mm とした．樋門の模型は，堤体中央から川裏側の部分を再現したもので，川表側に函体脇の遮水壁を含む止水矢板と，カラー付きの継手部，川裏側に函体底面のみの止水矢板を含むものである．模型の大きさは，実物の 1/20 の縮尺模型として作製した．樋門の函体の大きさは 150×150mm とし，樋門の函体及び止水矢板は，厚さ 15mm の木材およびアクリルを用いて作製した.

また，外水位を与えるための給水槽と川裏側を想定した排水槽を設置した．給水槽および排水槽の地盤との境界面は，有孔板と不織布を設置しており，給排水が可能となっている．函体の出入り口の構造は，給排水槽と接続しており，函体内には外水位と同じ水圧が作用するようになっている．なお，空洞を設置したケースでは，空洞から土砂が排出される構造とした.

模型の堤体及び基礎地盤は，いずれも締固め度 90%を目標として，層厚 200mm ごとで密度管理しながら作製した．基礎地盤，堤防に使用した土質材料の物理特性，透水性を表-3.1 に示す.

(2) 実験方法

実験は，函体下の空洞の有無，函体継手部の亀裂の有無，川裏側の矢板の有無を組み合わせた 4 ケースについて行った．実験ケースを表-3.2 に示す.

給水槽側には，ポンプで水を供給することで，外水位を想定した水位を与え，排水層側は堤防の裏のり尻等を想定し，函体上部で一定となるように水位を設定した．外水位は，実際の洪水時に水位観測所で観測された波形を摸擬して，模型の縮尺に合わせて設定した．時間は模型実験の相似側[4] に基づき，$1/20^{0.5}$に設定した．.

実験開始は，地下水位を再現するため 2 日間以上かけて基礎地盤を飽和させ，全てのマノメータの圧力水頭が，基礎地盤の高さまで到達していることを確認してから行った.

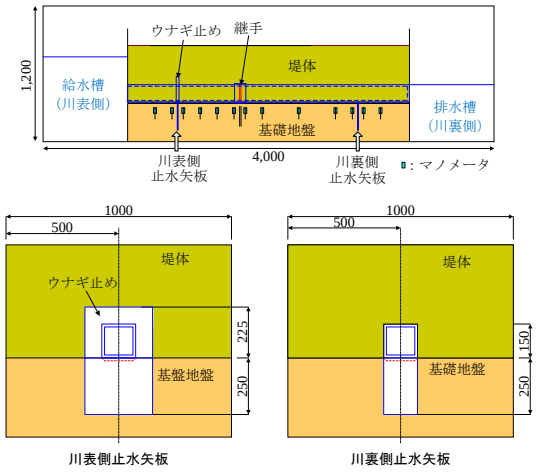
実験では，函体下の中央部と，止水矢板の影響を受けない函体脇の基礎地盤に設置したマノメータで圧力水頭の計測を行った.

(3) 実験結果と考察

図-3.2 に，外水位が最大時の各実験ケースの函体下の圧力水頭の分布を示す.

a) 函体下空洞の影響

函体下の空洞の有無の影響を比較するため，ケース 1, 2 の結果より，函体下に空洞が有る場合には，止水矢板



(単位：mm)

図-3.1 実験模型の模式図

表-3.1 模型の地盤材料

		堤体	基礎地盤
粒度構成	礫(%)	2.3	2.3
	砂(%)	64.4	84.2
	シルト(%)	23.1	11.2
	粘土(%)	10.2	2.3
土粒子の密度 (g/cm^3)		2.690	2.702
透水係数 (m/s)		3.89×10^{-6}	2.34×10^{-5}

表-3.2 実験ケース

ケース	継手の亀裂幅	函体底面の空洞	川裏側止水矢板
1	無し	無し	有
2	無し	10mm	有
3	10mm	10mm	有
4	10mm	10mm	無

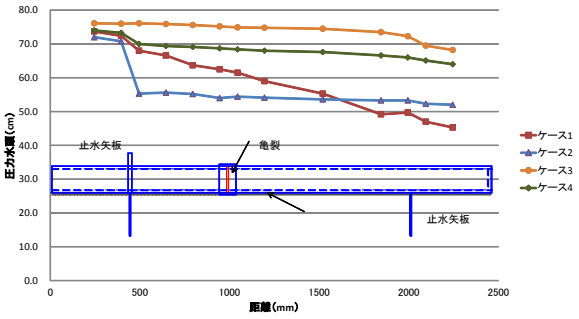


図-3.2 函体下の圧力水頭の分布（外水位最大時）

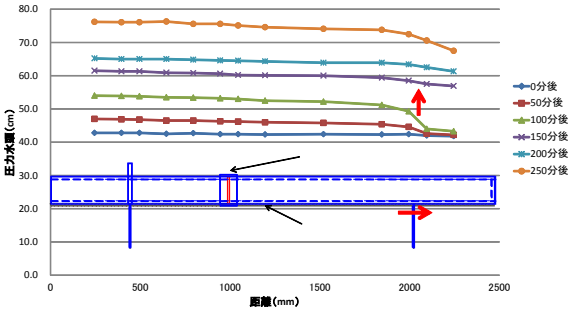


図-3.3 函体下の圧力水頭の経時変化（ケース 3）

前後において，空洞が無い場合と比較して大きな圧力水頭差が生じた．特に，川表側止水矢板の前後において，大きな圧力水頭差が生じた．函体底面の空洞が連続して存在する場合，止水矢板の前後に過度な圧力差が生じ，矢板を回り込む局所的な浸透流による土砂流出を及ぼす可能性がある．

b) 函体継手部の亀裂の影響

函体継手部に亀裂が生じている場合を想定したケース 3，4 では，**図-3.2** より，健全な場合のケース 1 と比較して，函体の川裏側の圧力水頭が大きく上昇した．これは，函体の亀裂から，函体内の圧力が地盤へ伝播するためである．このような場合，川裏側の函体周りの地盤に局所的に大きな動水勾配を与える結果となるが，これは，実験後の矢板周りの地盤が洗掘されていた状況とも一致する．

図-3.3 に，ケース 3 における函体下の圧力水頭の経時変化を示す．川裏側止水矢板前後の圧力水頭差に着目すると，外水位の上昇に伴い 100 分後までは圧力水頭差が増加し，その後 150 分後までに川裏側止水矢板前後の圧力水頭差が急激に低下した．外水位の上昇に伴い，亀裂を通じて川裏側止水矢板前後の圧力水頭差が過度に大きくなったため，浸透流が矢板裏の空洞へまわり込む速い浸透流によって土砂流出が生じ，止水矢板の止水機能損なわれたことが考えられる．

c) 実樋門の変状発生の要因の検討

実験ケース 3 の結果（**図-3.3**）より，函体下の空洞，継ぎ手部の亀裂が存在する場合，まず，継ぎ手部の亀裂から外水位による圧力が伝播することにより川裏側止水矢板に大きな圧力差が生じ，その後，川裏側止水矢板周辺の土砂流出により川裏側止水矢板の機能が損なわれ，川裏側へ川表の高い圧力が伝わることが確認できる．実事例における川裏側の陥没・漏水が生じた位置（**図 2-1** 陥没①，漏水①）と模型実験における圧力水頭差の大きな箇所が一致している．また，川裏側止水矢板を無とした実験ケース 4 の結果において，，川表側止水矢板前後に大きな圧力水頭差が生じ，実際の陥没が起きた箇所付近（**図 2-1** 陥没②）と一致した．以上の結果から，変状発生の要因は，函体下の空洞，継ぎ手部の亀裂により，外水位が川表側，川裏側の止水矢板前後に大きな圧力水頭差が生じたため，矢板を回り込む局所的な速い浸透流により土砂流出が生じたことが原因であることが推測される．

(4) 模型実験のまとめ

模型実験の結果より，樋門の函体下に空洞が連続して存在している場合の洪水時の変状発生メカニズムの 1 つとして，外水位が高くなると，止水矢板前後に大きな圧力水頭差が生じ，矢板を回り込む局所的な速い浸透流により土砂流出が生じることにより，矢板の止水機能が損失われることが考えられる．また，函体に亀裂が生じていると，亀裂が無い場合と比較して，外水位の上昇に伴い，大きい圧力水頭を函体内から川裏側の地盤へ伝え，局所的に動水勾配が高くなり，土砂流出，漏水発生の可能性が高くなることが分かった．

4. 浸透流解析

模型実験の結果の検証とともに，函体下の空洞の有無やその大きさが周辺堤防の浸透安全性へ及ぼす影響を検討するため，模型実験と同じく**２章**に示す樋門を対象に，飽和・不飽和三次元浸透流解析を行った．解析は，Dtransu-3D・EL[6] により実施した．

(1) 浸透流解析の条件等

三次元浸透流解析用のメッシュデータは，堤防横断面二次元メッシュデータを作成し，樋門と地盤の部分のそれぞれの同じメッシュデータを堤防縦断方向に重ねて，結合することで，三次元メッシュデータとした．

樋門函体，函体下の空洞，矢板，継手等は，1cm のメッシュサイズでモデル化し，総節点数約 100 万，要素数約 130 万となった．

なお，周辺地盤は，堤防縦断方向で一様として，樋門函体中央の鏡面モデルを作成した（**図-4.1**）．

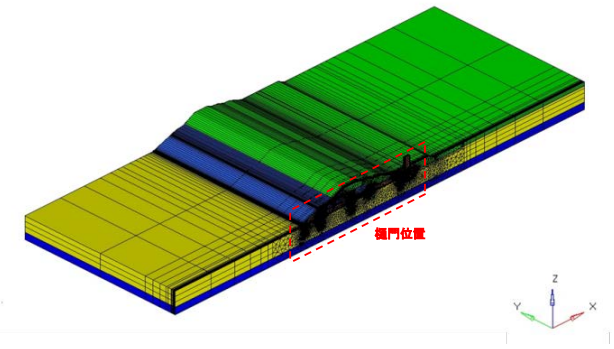


図-4.1　三次元浸透流解析モデルの鳥瞰図

樋門周辺堤防については，地盤調査結果に基づき透水係数を設定し，有効間隙率，比貯留係数，不飽和特性曲線等は，「河川堤防の構造検討の手引き」[5] に基づき，設定した．また，函体下の空洞と函体内については，砂礫の透水係数および不飽和特性を与えた．空洞内の流れは本来ダルシー則には従わないが，周辺地盤との透水係数の比を 1000 倍以上とすることで，空洞の影響を検討することとした．

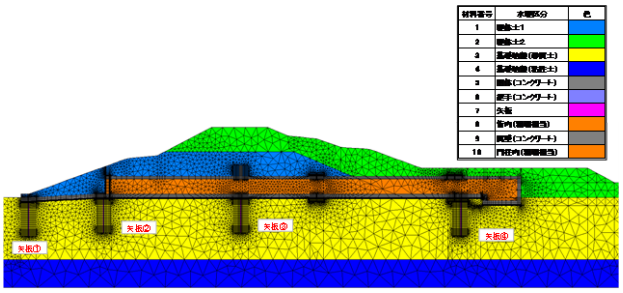


図-4.2　函体中央部の堤防横断図の材料区分

表-4.1　設定定数

材料番号	水理区分	透水係数 (m/s)	間隙率 (-)	比貯留係数 (1/m)	不飽和特性曲線
1	堤体土1	1.00E-08	0.10	1.00E-03	粘性土:[M]、[C]
2	堤体土2	4.80E-07	0.20	1.00E-04	砂質土:[SF]
3	基礎地盤(砂質土)	1.50E-05	0.20	1.00E-04	砂質土:[S]、[S-F]
4	基礎地盤(粘性土)	1.00E-07	0.10	1.00E-03	粘性土:[M]、[C]
5	函体(コンクリート)	1.00E-09	0.01	1.00E-06	粘性土:[M]、[C]
6	継手(コンクリート)	1.00E-09	0.01	1.00E-06	粘性土:[M]、[C]
7	矢板	2.00E-08	0.01	1.00E-06	粘性土:[M]、[C]
8	管内(粗礫相当)	1.00E-02	1.00	1.00E-06	礫質土:[G]、[G-F]、[GF]
9	翼壁(コンクリート)	1.00E-09	0.01	1.00E-06	粘性土:[M]、[C]
10	門柱内(粗礫相当)	1.00E-02	1.00	1.00E-06	礫質土:[G]、[G-F]、[GF]
11	空洞	1.00E-02	1.00	1.00E-06	礫質土:[G]、[G-F]、[GF]

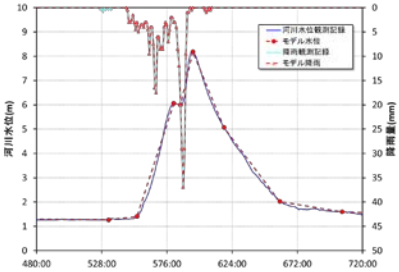


図-4.3　設定水位，雨量

表-4.2　解析ケース

検討ケース	函体下の空洞の大きさ
Case1	0cm（空洞無し）
Case2	1cm
Case3	3cm
Case4	5cm
Case5	10cm
Case6	20cm

図-4.2 に材料区分を示す．例として，函体中央部の堤防横断面を用いた．また，**表-4.1** に解析に用いた定数を示す．

樋門の構造は，函体が断面 2.9×2.9m で長さ約 60m であり，函体には護岸の位置に加え，3 箇所の矢板が設置されている．なお，函体中央部で鏡面のモデルとしているため，函体幅は 1.45m としている．ここでは，矢板を川表から①～④とした．矢板の幅は，矢板①が 16.7m，矢板②が 1.75m，矢板③が 2.95m，矢板④が 1.45m となっている．基礎地盤は，透水性の低い粘性土層の上部にやや透水性の高い砂質土層約 9m からなっている．堤体は，粘性土とその上部に砂質土で，約 7m の高さとなっている．

樋門周辺堤防の近傍の観測記録より変状が生じた際の河川水位，降雨量を参考に，モデル水位とモデル降雨（**図-4.3**）を作成し，外力条件として与えた．

函体下の空洞量の大きさの影響を検討するため，函体下の要素を空洞に置き換え，その大きさを変えたケースを設定し解析を行った．解析ケースを**表-4.2** に示す．なお，函体周りに設置されている矢板は健全なものとして，矢板前後で空洞を分割し，空洞は連続しないものとした．

(2) 浸透流解析結果

a) 函体下の圧力水頭分布

浸透流解析結果より，函体下に作用する圧力水頭の分布について整理した．函体下に作用する圧力は，概ね河川水位が最高となる 595hr において，最大値を示すため，その時間の圧力水頭分布を**図-4.4** に示す．ここでは，矢板前後や矢板間の圧力を捉えるため，矢板②から矢板③の周辺を拡大した結果を示した．また，矢板前後の圧力水頭差と空洞量の関係を**図-4.5** に示す．

矢板②，③ともに矢板の川面側で高い圧力となり，函体下の空洞が大きいほど，矢板前後の圧力差が大きくなることが分かった．圧力差が大きく，十分な範囲に矢板が設置されていない場合には，矢板周りに局所的に高い動水勾配が作用することになり，矢板周りの土の抜け出しや流出が懸念される．延いては，川裏側の漏水などの危険性が高まることになる．

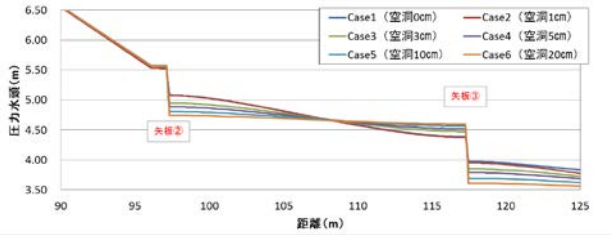


図-4.4　函体下の圧力水頭分布（函体中央部）

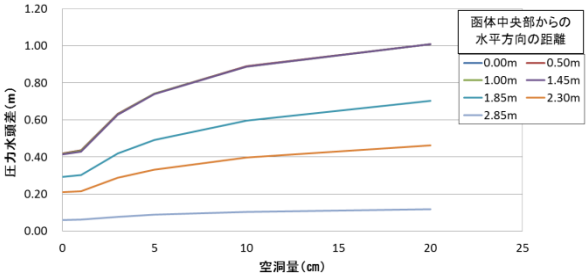


図-4.5　樋門函体下の矢板③前後の圧力水頭差

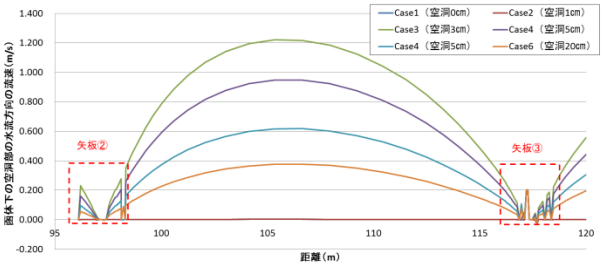


図-4.6　函体下の流速分布（函体中央部）

b)函体下の空洞内の流速

空洞の大きさによる空洞拡大への影響について検討するため，図-4.6に函体下の空洞の流速分布を整理した．

ここでは，函体下の空洞量が 3cm の時に空洞部の流速が最大となった．空洞内の流れもダルシー則を適用したことも影響している可能性があるが，空洞量が大きくなるほど流速が小さくなる傾向は実際にも起こり得ると推定される．

また，矢板間の中央部付近で流速が最大となっている．大きな流速によって中央部底面の土砂が侵食された場合には，土砂は川裏側に流され，矢板までの間で堆積することになる．このため，空洞内で侵食が生じる場合には，矢板間の空洞の厚さは一様ではなく，矢板間の中央付近で厚く，川裏側で薄くなる可能性があること推察される．

⑶ 浸透流解析のまとめ

三次元浸透流解析により樋門函体下の空洞が有ることで，止水や矢板前後の圧力水頭差は大きくなるという模型実験の結果が，浸透流解析においても確認された．

また，函体下の空洞の大きさに応じて，矢板前後に生じる圧力水頭差が大きくなることが確認できた．この結果より，矢板の止水機能損失や，矢板間の空洞の拡大，川裏への圧力水頭の伝搬による漏水などの危険性が高まることが推察される．

さらに，空洞の大きさによる空洞拡大へ影響の検討の結果，空洞が小さい場合でも，空洞内の流速が高くなり，空洞拡大の可能性が示唆された．

5. まとめ

本検討の結果，函体下の空洞が周辺堤防へ与える影響として，空洞が生じている事により，止水矢板へ負荷を増し，矢板周りの土の抜け出しの危険性が高まることが分かった．また，その影響は空洞の大きさに応じて大きくなる．延いては，空洞が大きいほど周辺堤防の安全性として，川裏側の漏水などの発生の可能性が高まることになる．さらに，空洞の大きさの影響については，空洞が小さい場合でも，空洞内の流速が高くなり，空洞拡大の可能性があることが分かった．それから，函体に亀裂が生じている場合は，函体から亀裂を通じて圧力水頭が川裏側へ伝わるため，止水矢板への負荷や，川裏側の漏水などの発生の可能性を高めることが分かった．

古い樋管では函体の下には矢板は入っていても，函体の脇には矢板が設置されていないことや十分な範囲に矢板が設置されていない場合もある．このような場合には，空洞が大きいほど周辺堤防の安全性へ影響を与えると言え，特に留意が必要と考えられる．

今後，安全性の基準の検討のため，地盤条件や水理条件による空洞拡大の進行性に関して検討し，進行性を含めた評価手法の検討を進めていく．

参考文献

1) 国土交通省水管理・国土保全局治水課：樋門等構造物周辺堤防詳細点検要領，平成24年5月
2)東北地方整備局北上下流河川事務所：樋管の災害復旧に伴う堤防断面の調査について，平成24年12月6日
3)国土交通省東北地方整備局 北上川下流河川事務所：平成23年9月出水（台風15号）出水概要【速報版】，2011.9.29
4)林健太郎ほか：重力場と遠心力場における動的模型実験の相似則の比較，土木学会論文集No.582/III-41，207-216，1997.12
5)（財）国土技術研究センター:「河川堤防の構造検討の手引き（改訂版）」，平成24年2月
6)西垣誠ほか：Dtransu-3D・EL，http://www.diaconsult.co.jp

災害に強い組織づくり
-災害派遣制度「県土整備部災害派遣チーム」の構築-

久保田　恒太

群馬県　県土整備部　建設企画課　（〒371-8570 群馬県前橋市大手町 1-1-1）

大規模自然災害発生時には，多数の被災箇所の発生が予想され，災害査定などの復旧業務に対応するための人員確保が不可欠である．本県ではこれまでの大規模災害に対し，その都度体制を整えて対応してきたが，より迅速に対応するためには事前の体制整備が必要である．そこで，公共土木施設の災害復旧を所管する県土整備部の技術職員による災害派遣チームを編成し，県内外の被災地に適時適切に派遣する災害派遣制度を構築した．同制度では，災害発生地域別に派遣職員を設定し，機動的な体制構築に努めている．また，国土交通省災害査定官等を講師とした研修により専門技術を習得する人材育成の取り組みなどを盛り込み，災害に強い組織づくりに繋がる仕組みとしている．

キーワード　大規模災害，災害復旧，災害派遣体制，災害特別研修，技術力向上

１．はじめに

近年，全国各地で洪水や土砂災害等の大規模災害が頻発している．また，首都直下地震や南海トラフ巨大地震の発生も予想されており，公共土木施設の管理者としては常に災害対応を念頭に置いた組織体制が求められている．

ひとたび災害が発生した場合には，パトロールによる被害状況の把握や住民対応，関係機関との連絡調整など多忙な状況が想定される一方，災害復旧事業の手続きとして，**図-1** のとおり被災後（災害終息後）10 日以内に災害報告，１ヶ月以内に災害報告の訂正報告，２ヶ月以内に災害査定の実施などの作業を進めなければならない．大規模災害が発生した場合，これらの作業を通常の職員体制で対応することは極めて困難なため，災害発生後速やかに応援職員を派遣できる体制の構築が必要であると考える．比較的自然災害が少ない本県では，東日本大震災などこれまでの大規模自然災害時には、その都度，職員を指定・召集し，県外派遣などを実施してきたところである．

国や近県の災害対応の状況に目を向けてみると，国土交通省では，被災地方公共団体等が行う被災状況の迅速な把握，被害の発生及び拡大防止，被災地の早期復旧その他災害応急対策に対する技術的な支援を円滑かつ迅速に実施するため，平成 20 年度に緊急災害対策派遣隊（TEC-FORCE）を設置し，人員・資機材の派遣体制，受入れ体制を整備している [1]．

また新潟県では，災害により被災を受けた県内外の地方公共団体における災害査定対応等の応援のため，平成 20 年から災害応援派遣体制として「県境なき技師団」を創設し，運用している [2]．

本県では，国土交通省や他の地方公共団体の取り組みを参考としつつ，本県のこれまでの災害対応経験や地域特性等を踏まえた災害派遣制度を構築し，大規模災害時の初動期の迅速な復旧支援を図ることとした．

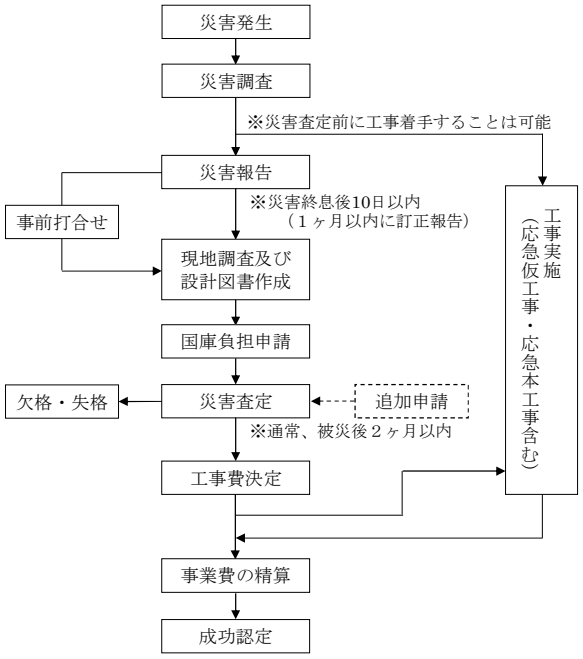


図-1　災害復旧事業手続きの流れ

2．災害に強い組織づくり

大規模災害時に迅速かつ的確に対応するためには，派遣職員の事前選定や資機材の準備など，派遣体制の構築に加え，派遣職員が派遣先で的確な業務を行うための技術力を身に付けておく必要もある．本県では，以下の基本方針により，災害に強い組織づくりの検討を行った．

・過去の災害派遣の経験を活かす
・地域性を考慮した相互応援体制を構築する
・市町村に対する支援体制を構築する
・技術職員の災害対応力の維持、強化を図る

図-2 に災害に強い組織づくりに向けた取り組みの概要を示す．まず，県内外への派遣を想定した派遣職員の事前選定と派遣体制の構築を行う．また，派遣職員が派遣先で的確な業務を行うための技術力を身に付けることを目的とした研修を実施する．なお，派遣職員は毎年更新し，新たな職員がこの制度を経験することにより，組織全体の災害対応力の向上へと繋げる．さらに，派遣された職員の経験や知見を制度や研修へ反映させる仕組みとする．

3．災害派遣制度の構築

災害に強い組織づくり基本方針を踏まえ，災害派遣制度を構築する．派遣体制の検討にあたり，災害派遣経験者の経験や知見を反映するため，新潟県中越地震，東日本大震災における災害派遣者を対象としたアンケート調査及びワークショップを実施した．

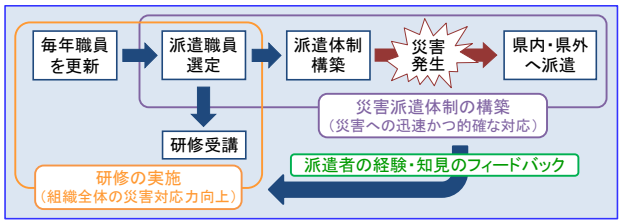


図-2　災害に強い組織づくりの概要

(1) 災害派遣制度「県土整備部災害派遣チーム」概要

図-3 に災害派遣制度の概要を示す．災害時に派遣される職員は「県土整備部災害派遣チーム」と命名する．災害派遣チームの対象となる職員は，若手から中堅の技術職員である．また，災害派遣チーム登録職員数は過去の派遣実績から適切な規模を検討し，36 名とした．派遣先は県内及び県外を想定している．

(2) 派遣体制

表-1 のとおり，本県の地域特性等を考慮した派遣体制を構築した．

a) 県内派遣（土木事務所）

被害が全県下に及ぶ場合，各土木事務所において人員不足が想定されることから，県庁各課に所属する派遣職員を優先的に派遣する．特定の土木事務所管内など被害地域が限定される場合，迅速かつ地域性を踏まえた的確な対応を可能とするため，近隣の土木事務所

（1）災害派遣チーム対象職員

対象職員は、県土整備部の職員のうち、以下に該当する者を除く技術職員とする。

〔対象除外職員〕
・ポスト係長以上の役職の職員
・市町村等他機関への派遣職員
・事務職員
・主査等現業職員
・建築、電気、機械、化学の各職員及び薬剤師

（2）災害派遣チーム登録職員の選定

各所属の災害派遣チーム割当人数は、対象職員数に基づき1～2名とし、36名を選定する。

（3）派遣体制

大規模災害発生時に土木事務所長等からの派遣要請や県土整備部として派遣が必要と判断した場合、災害派遣チームを派遣する。

【県内派遣体制】
・被害が全県下に及ぶ場合、県庁各課の派遣職員を優先して土木事務所等へ派遣する。
・被害地域が限定される場合、地域性を考慮し予め応援所属の優先順位を設定し、職員を派遣する。

【県外派遣体制】
・1班4人構成とした9班体制を構築し、班体制による派遣を基本とする。

〔班構成〕 リーダー 1名／サブリーダー 1名／メンバー 2名／計 4名

図-3　災害派遣制度概要

表-1　派遣体制

派遣先		派遣期間	派遣体制
県内派遣	土木事務所	【短期】1ヶ月交代 【長期】適宜対応	【被害が全県下に及ぶ場合】 県庁各課に所属する派遣職員を優先的に派遣。派遣先所属及び人数は、派遣職員の居住性や派遣先所属の被災状況等を考慮し決定
			【特定の土木管内など被害地域が限定される場合】 地域性を考慮し、応援所属の優先順位をあらかじめ設定
	市町村	【短期】1ヶ月交代 【長期】適宜対応	被災市町村が属する管内の土木事務所からの派遣を優先するが、当該土木事務所が被災し派遣が困難な場合は、地域性等を考慮し派遣方法を決定
県外派遣		【短期】1ヶ月交代※ 【長期】適宜対応（最大1年間） ※　交代時は1週間の重複期間を設定	1班4人構成とした9班体制を構築し、班体制による派遣を基本（ただし、派遣先所属の受け入れ状況等により、必ずしも1班4人体制による派遣とは限らない）

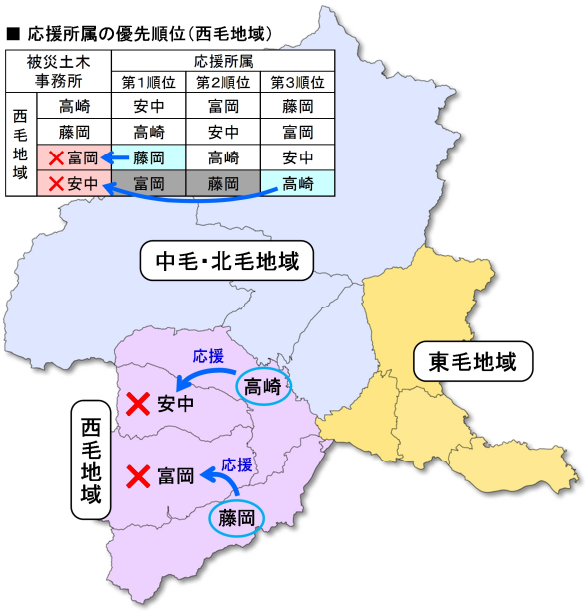


図-4　応援所属の優先順位と派遣イメージ（西毛地域）

から応援派遣する仕組みを構築し，あらかじめ応援所属の優先順位を設定した．**図-4** に応援所属の優先順位と派遣イメージを示す．

b) 県内派遣（市町村）

県内 35 市町村のうち約 5 割の市町村で土木部門における技術職員がおらず，技術者不足が深刻であり，災害時に職員不足による的確な対応が困難な状況が予想される．そこで市町村への派遣も派遣体制に位置付け，被災市町村が属する管内の土木事務所からの派遣を優先とすることで，地域性や常時の連絡体制を活かした派遣が可能となる体制を構築した．

c) 県外派遣

東日本大震災等の過去の災害派遣経験から，班体制による派遣を想定し，１班４人，計９班体制を基本とし，被災地の要請に応じて対応することとした．派遣期間については，過去の派遣で効率的に機能したことから，短期派遣交代時は業務引継期間として１週間の重複期間を設定した．

４．災害特別研修の実施

(1) 実施目的・課題

災害派遣チームが派遣先で迅速かつ的確に災害復旧支援業務を行える技術を習得し，また効率的な対応を可能とする協力体制を身に付けるため，災害派遣チームを対象とした研修を実施し，災害対応力の向上を図る．組織全体の技術力の底上げに繋がる仕組みづくりが課題であり，以下のポイントを踏まえ，災害特別研修を創設し，災害派遣チームの義務研修として災害派遣制度に位置付ける．

表-2　平成 26 年度災害特別研修内容

5月13日（1日目）
災害査定における留意点及び事例紹介 （講師：国土交通省水管理・国土保全局防災課　災害査定官）
復旧工法の提案　～グループワーク～
5月14日（2日目）
模擬査定 （講師：国土交通省水管理・国土保全局防災課　災害査定官 関東地方整備局職員）
【実地査定（河川災）】 利根川（左岸） 渋川市分郷八崎　 
【実地査定（道路災）】 （主）大胡赤城線 前橋市富士見町　 
【机上査定（河川災）】 桂川（右岸） 前橋市東大室町　 

【災害特別研修のポイント】

- 災害調査～査定までの一連の業務の確認と実践を想定した研修
- 大規模災害経験者による派遣先での初期対応のノウハウの伝承
- 災害派遣経験者や実務経験豊富な職員と若手職員を組み合わせた技術の伝承，協力体制の醸成

(2) 研修実施状況

上記のポイントを踏まえた研修を創設し，平成 26 年度から実施している．平成 26 年度の研修内容は次のとおりである．

a) 平成 26 年度災害特別研修概要

日　時：平成 26 年 5 月 13 日（火），14 日（水）
講　師：国土交通省水管理・国土保全局防災課災害査定官，関東地方整備局職員３名他
受講生：災害派遣チーム登録職員　36 名
研修内容：近年の被災箇所を題材とした模擬査定等の実践的研修（詳細は**表-2** 参照）

b) 模擬査定

近年の道路災害，河川災害による被災箇所を題材とし，模擬査定を実施した．模擬査定は実地査定，机上査定を行い，講師には査定官，立会官役として国土交通省水管理・国土保全局防災課災害査定官，関東地方整備局職員を招聘し，実践を想定した査定を取り入れた研修とした．

c) グループワーク形式による復旧工法の検討

災害派遣チームの協力体制を醸成するため，実際の派遣チームごとにグループワーク形式による復旧



写真-1　模擬査定（実地査定）実施状況

工法提案から模擬査定までを一連の講義で受講するプログラムとした.

d) 実施結果

研修実施後のアンケートでは，災害時の業務に役立つといった意見が多く，効果的な研修となった.

【受講者の主な意見】

- 災害査定官による模擬査定であったため，緊張感があり，今後の業務に役立つと感じた
- 実践研修であるため，災害査定時において査定官，立会官が着目するポイントが学習できた
- 実際の査定時にはできない査定官との意見交換は，非常に有意義である

５．これまでの運用と成果

(1) これまでの運用

平成 25 年度から災害派遣制度構築の検討を始め，同年 10 月に暫定運用，平成 26 年４月に本格運用を開始した．暫定運用開始以降，平成 26 年２月の豪雪や同年６月の地すべり災害に対応するため，災害派遣制度に基づき災害派遣チームを派遣している．また毎年災害特別研修を実施し，災害派遣チーム登録職員の災害対応力向上に努めている.

(2) 災害派遣チーム派遣実績

災害派遣制度の暫定運用開始以降，県外への派遣実績はないが，平成 26 年２月 14 日～15 日の豪雪対応，平成 26 年６月に発生した地すべり災害対応として，災害派遣チームからのべ 14 名を県内土木事務所へ派遣している．**表-3** にこれまでの派遣実績を示す.

a) 平成 26 年２月豪雪対応

平成 26 年２月 14 日から 15 日にかけて本県を襲った記録的な大雪により，県西部，北部地域などの山間部では孤立地区が発生した．そこで，管内に孤立地区が発生した市町村のある土木事務所に，県庁所属の災害派遣チーム 12 名をのべ 54 人･日派遣した．派遣先では，市町村が必要とする支援の情報収集や，

表-3　これまでの派遣実績

対応災害	派遣期間	派遣先	派遣者数	派遣のべ総数
豪雪	平成26年2月18日～25日	西毛･北毛地域等6土木事務所	12名	54人･日
地すべり	平成26年8月1日～平成27年3月31日	富岡土木事務所下仁田事業所	2名	243人･日



写真-2　TEC-FORCE 及び県による除雪計画打合せ状況

緊急災害対策派遣隊（TEC-FORCE）との除雪計画の調整等を行い，孤立地区の早期解消等に努めた.

b) 平成 26 年６月地すべり災害対応

平成 26 年６月に世界遺産「富岡製糸場と絹産業遺産群」の荒船風穴へのアクセス道路である国道２５４号(旧道)ほか１路線で地すべり災害が発生した．突発的な災害発生による技術者不足に対応するため，富岡土木事務所下仁田事業所に災害派遣チーム２名（４ヶ月毎の途中交代）を派遣した．災害復旧及びその他危険箇所の調査・安全対策を担当し，早期の道路開通に努めた.

６．おわりに

本制度の構築により大規模災害への事前準備体制を整え，迅速な対応が可能となったが，資機材の準備体制や派遣職員の受入れ体制など，検討すべき課題も多い．これらの課題について引き続き検討を進めるとともに，これまでの派遣実績や研修成果を検証し，制度内容の改善に取り組んでいきたい.

今後も本制度を継続し，組織全体に効果を波及させることで，全技術職員の技術力向上による災害に強い組織づくりを進めていきたい.

参考文献・資料

1)　国土交通省：国土交通省 HP（TEC-FORCE（緊急災害対策派遣隊））
http://www.mlit.go.jp/river/bousai/pch-tec/index.html

2)　全国知事会：全国知事会 HP（先進政策バンク）
http://www.nga.gr.jp/app/seisaku/details/2898/

大規模災害時における港湾物流機能の確保に向けた取り組み
～東北における各港湾の広域連携について～

山谷　早苗・佐藤　久和・川井　茂

[1]東北地方整備局　港湾空港部　港湾空港防災・危機管理課　（〒980-0013 仙台市青葉区花京院1-1-20）

東北地方の港湾は、太平洋沿岸と日本海沿岸の広範囲にわたって点在しており、災害時には各港の港湾ＢＣＰに基づく取り組みが基本となる。しかし、大規模災害時には、各港湾単独で輸送能力を確保することは困難であり、港湾機能の復旧に必要な資機材の広域調達や代替輸送による相互連携といった広域連携が必要である。

また、港湾の広域連携を自律的に機能させるためには、各港協議会を構成する各関係機関が広域連携の考え方と自らの役割を理解し、準備しておくことが必要である。

これらのことから、大規模災害時の被災港湾における資機材の調達と貨物の代替輸送による輸送能力の広域的な補完等を目的とし、東北港湾における広域連携の考え方と、各関係機関の役割、連携体制等の方向性を示す広域港湾ＢＣＰを策定した。

キーワード　港湾ＢＣＰ，広域港湾ＢＣＰ、広域連携，大規模災害，東日本大震災

1. はじめに

東北地方の主要な港湾では、災害が発生した場合にも関係機関が連携して港湾機能を継続できる体制の構築と、「港湾機能継続計画」（港湾ＢＣＰ）の策定に取り組んでいる。しかし、東日本大震災の様な大規模災害時には、各港湾において単独で対応することは困難であり、港湾機能の復旧に必要な資機材の広域調達や代替輸送による相互連携といった広域連携が必要不可欠となる。

そのため、早期復旧に必要な資機材の調達、被災地以外の港湾を利用した貨物の代替輸送等輸送能力の確保に関する東北と全国を対象とする広域的な対応について、関係機関の役割と事前の対策を整理した「東北広域港湾ＢＣＰ」を策定した。

2. 東北地方における港湾ＢＣＰの取り組み

2011 年の東日本大震災では東北地方太平洋側の港湾が深刻な被害を受け、懸命の復旧作業にもかかわらず、被災した港湾は操業再開した荷主企業の貨物輸送の需要に対応することができず（港湾サービスと輸送需要の「需給ギャップ」）、企業は輸送コストが高い遠方の港を利用したり、通常よりも小さな船で輸送したりするなど非効率な輸送を強いられた。そのため、港湾物流の長期停滞は企業や地域経済活動に大きな影響を与えることが再認識された。

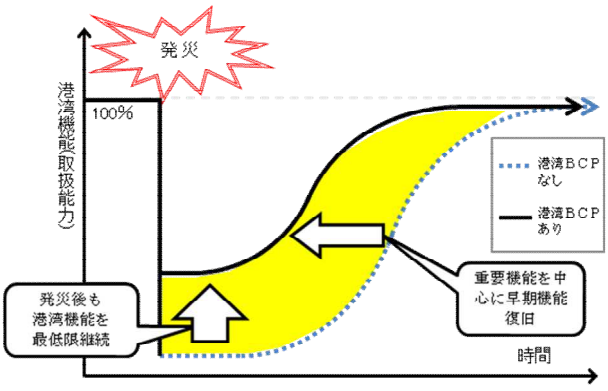


図-1　港湾ＢＣＰ策定による効果

東北の各港湾では、大規模災害時の貨物輸送の需給ギ

ャップを早期に解消するために、港湾機能継続協議会（港湾関係行政機関や民間事業者で構成。以下、「各港協議会」という）を設置し、大規模災害時に確保すべき輸送能力の目標、港湾の復旧や緊急輸送等の発災後の行動基準と役割分担、減災や早期復旧のための事前対策を定めた港湾ＢＣＰを策定し、これらに基づき毎年訓練を実施して、自らの港湾ＢＣＰを検証し、継続的に改善している。



図-2　港湾ＢＣＰのイメージ

3.　大規模災害時における広域連携の必要性

(1) 港湾ＢＣＰと広域連携の必要性

東北地方の港湾は太平洋沿岸と日本海沿岸の広範囲に点在しており、災害時における同一地域での連携は難しく、各港湾の港湾ＢＣＰ毎の対応が基本となる。

しかし、東日本大震災では、被災した港湾単独で輸送能力を確保することはできず、資機材の広域調達や代替輸送が行われた。

したがって、港湾機能の復旧に必要な資機材の広域調達や被災地以外の港湾を利用した貨物の代替輸送など輸送能力を確保するためには、広域連携が必要となる。

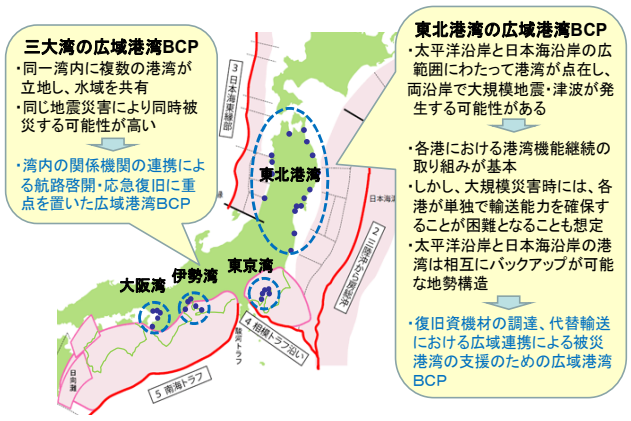


図-3　東北の港湾の特徴

(2) 広域港湾ＢＣＰの必要性

大規模災害時に効率的に広域連携を行うには特定の機関が中心となりコントロールすることが考えられるが、東北地方整備局をはじめとした各機関は自らの役割に従い災害対応に従事することになり対応は不可能である。このことから各港湾の港湾ＢＣＰを自律的に機能させるには、各港協議会を構成する関係機関が広域連携の考え方と自らの役割を理解し、事前に準備しておくことが必要である。

そのため、「東北広域港湾防災対策協議会」（各港協議会、学識経験者、東北地方を所管する行政機関・団体等で構成。以下「東北広域協議会」という）を設置し、東北地方の港湾における広域連携の考え方と、各関係機関の役割、連携体制、事前対策等の方向性を示す「東北広域港湾ＢＣＰ」を策定した。東北広域港湾ＢＣＰは東日本大震災を教訓に①港湾機能の早期復旧にむけた資機材の調達、②被害のない港湾を利用した貨物の代替輸送の２点を大きな柱としている。

4.　東北広域港湾ＢＣＰ

東北広域港湾ＢＣＰに基づく広域連携の柱である「資機材の調達」と「貨物の代替輸送」について主な例を以下に示す。

(1) 資機材の調達

a) 航路啓開

①発災後の対応

大規模・広域的な災害により各港単独での対応が困難な場合、東北地方整備局及び港湾管理者は広域的な連携の下、災害協定団体に支援を要請し、作業船団等資機材の調達を行う。

また、広域的、総合的な見知から優先的に航路啓開する港を決定し、作業船団等を効果的に投入する。

②事前対策

関係機関は、事前に必要な災害協定を締結、啓開活動優先順位の決定の考え方を整理、必要な資機材の把握と情報共有、情報伝達訓練等に取り組む。

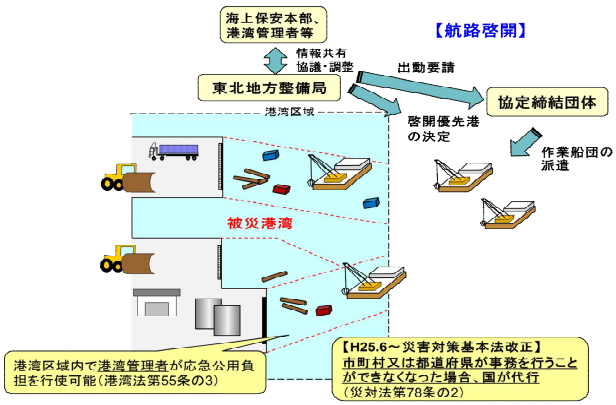


図-4　航路啓開における広域調達のイメージ

※航路啓開：津波等により海上に流出した浮遊（漂流）物や沈没物等、船舶の航行に支障を及ぼす物件を除去し、船舶の入出港の安全を確保すること

b) 荷役機械等の調達

①発災後の対応

関連業界団体や港湾間の連携により、全国から荷役機械等を調達する。

②事前対策

関係機関は、業界団体を通じた荷役機械等の調達手順の確認、大型荷役機械の代替となる機械の所在や調達先の把握、荷役機械の広域調達や被害回避・軽減等に関する情報整理・共有等に取り組む。



博多港から提供されたコンテナ荷役用機械

図-5　荷役機械の広域調達の事例

(2) 輸送能力の確保

a) コンテナ貨物の代替輸送

①発災後の対応

被災したコンテナ港湾が復旧するまでの間、被害が軽微な港湾が輸送を代替し、コンテナ物流を維持する。

②事前対策

各港湾は自港の貨物に加え、被災港湾のコンテナ貨物を受け入れられるよう、臨時のコンテナヤードの確保、荷役体制の強化などの対策により代替輸送港湾としての輸送能力を確保する。また、災害時の代替輸送に関する情報発信体制を整備する。

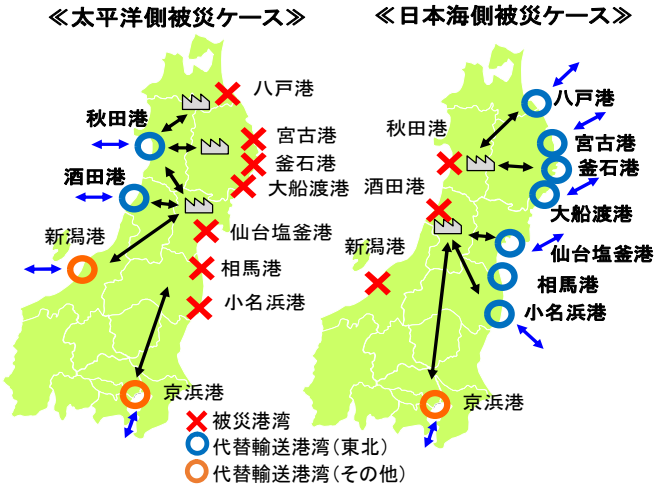


図-6　代替輸送港湾のイメージ

※代替輸送港湾：被災港湾が必要な輸送能力を確保できない場合に被災港湾に代わり貨物を輸送する港湾のこと



図-7　震災後の秋田港コンテナターミナル

※秋田港では、被災港湾のコンテナ貨物の流入に対応するため、臨時ヤードの確保や荷役時間の延長等の対策をとった。

5. まとめ・今後の展開

東北広域港湾ＢＣＰの策定により、大規模災害発生時には関係者が連携して迅速に対応することで港湾機能を維持し、企業や地域経済への影響を軽減させることができると考えている。

東北地方の大規模災害時における港湾物流機能確保に向けた取り組みは、平成 26 年度に東北広域港湾ＢＣＰを策定し、各港湾の港湾ＢＣＰと併せて運用していく段階を迎えた。平成 27 年度以降、各港協議会は毎年訓練を実施して自らの港湾ＢＣＰを検証し改善する。東北広域協議会では各港協議会の取り組みから抽出された課題等を踏まえ、東北広域港湾ＢＣＰを見直すとともにその内容を各港湾ＢＣＰに反映させる。



図-7　港湾ＢＣＰに基づく施設点検実地訓練（八戸港）

今後は、広域協議会と各港協議会の更なる連携強化を図り、継続的に改善していくことが港湾ＢＣＰの実効性を向上につながるものと考える。

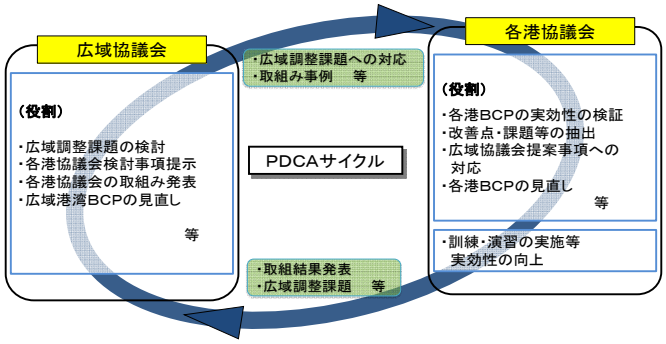


図-8 東北地方の港湾ＢＣＰの継続的な展開（ＰＤＣＡサイクル）のイメージ

吹雪時の冬期道路環境が利用者の走行ルート選定に与える影響について

原田　裕介[1]・國分　徹哉[1]・武知　洋太[1]・松澤　勝[1]

[1]国立研究開発法人土木研究所　寒地土木研究所（〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34）

冬期の吹雪視界情報の提供，および道路環境が道路利用者のルート選定に与えている影響について，コンジョイント分析を用いて属性別に評価した．その結果，冬期道路走行のルート選定に際し，基準距離120km以内では，時間制約の有無によらず視界の状況を最も重視することが確認された．また，吹雪視程障害遭遇経験が有る利用者は吹雪に対して慎重な姿勢が，100km以上の長距離運転が月数回以上の利用者は視界の状況が不良でも迂回を避ける傾向が認められた．

キーワード　冬期道路環境，ルート選定，コンジョイント分析

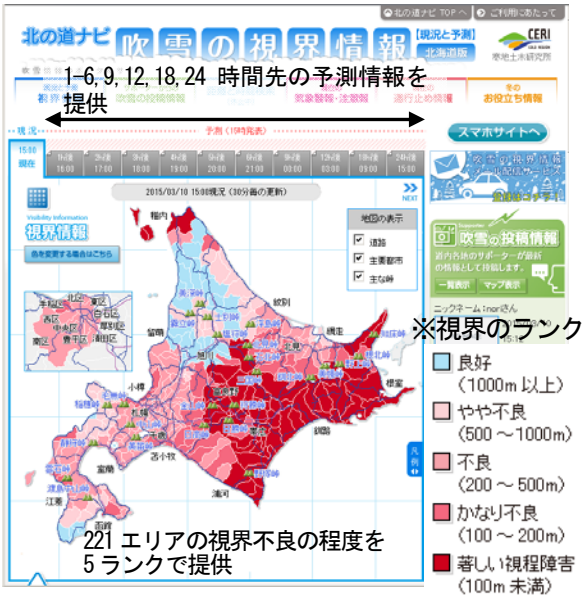
1. はじめに

積雪寒冷地の冬期道路は，吹雪や大雪時に視界不良や雪氷路面による交通障害がしばしば発生するなど，厳しい走行環境にある．北海道では，1998年から2007年の国道通行規制理由のうち，吹雪が約4割，積雪が約1割となっている[1]．そのため，道路利用者は，冬期において出発地から目的地に向かう最適なルートの選定に際し，天候の他，走行距離や走りやすさなどの要因を考慮する必要がある．

寒地土木研究所では，道路利用者の適切な行動判断を支援するために，北海道を対象にインターネット上で吹雪の視界に関する情報提供実験を実施している．この情報は，パソコン・スマートフォン・携帯電話からの閲覧が可能で，気象庁より予報業務の許可を受けている（許可第183号）．パソコン版“吹雪の視界情報” は，吹雪の視界情報，吹雪の投稿情報，気象警報・注意報，道路通行止め情報，お役立ち情報を集約したもので，2013年2月より配信している（**図-1** 左）．そのうち，吹雪の視界情報では，現況および1，2，3，4，5，6，9，12，18，24時間先の予測情報を提供している．現況値の更新は30分ごと，予測値は3時間ごとである．北海道を221に細分化したエリアごとに，① 著しい視程障害（視程100m未満），② かなり不良（視程100～200m），③ 不良（視程100～500m），④ やや不良（視程500～1000m），⑤ 良好（視程1000m以上）の5ランクに区分し，赤色から青色に分類して表示している．また，移動中や吹雪遭遇時の閲覧の利便性向上を図るため，スマートフォン版のサイトを構築し，2013年12月より提供を開始している（**図-1** 右）．移動中に使われることを配慮し，吹雪の視界情報をメイン画面とし，フリック操作により現況および任意時間の予測情報の閲覧が可能である．パソコン版で提供している気象注警報や通行止め情報などは，画面上方にボタンを配置し，それぞれジャンプが可能である．加えて，視界不良について，事前に注意喚起を促すためのメール配信サービスを，2013年12月より開始している．利用者が事前にメールアドレスと**表-1**に示す配信条件を登録すると，条件に合致した際に視界不良の予測結果を自動で通知するプッシュ型のサービスである（**図-2**）．なお，視程値の作成方法の詳細は既報を参照されたい[2),3)]．

情報提供実験後のWEBアンケートの結果，吹雪の視界情報を参考にして，行動や予定を変更した利用者は79％であった[4)]．しかし，走行時の視界や路面状況，道路構造（道路幅員・曲線半径・縦断勾配）などの冬期道路環境が，ドライバーの行動変更に与えている影響の度合いについては，定量的に把握されていない．武知ら[5)]によれば，視界状況の悪化に伴い走行速度が低下する傾向が，積雪路面で顕著にみられることを示している．視界情報の利用が増加する吹雪や大雪時[4)]は，積雪路面となることが想定されるため，本研究では走行時の視界状況に着目して分析を行う．

環境評価の手法は、顕示選好法と表明選好法に分けられる．顕示選好法では，人々の経済活動から間接的に環境価値を推定する．一方，表明選好法は，人々に環境価値を直接尋ねることでその価値を推定する．仮想的な環





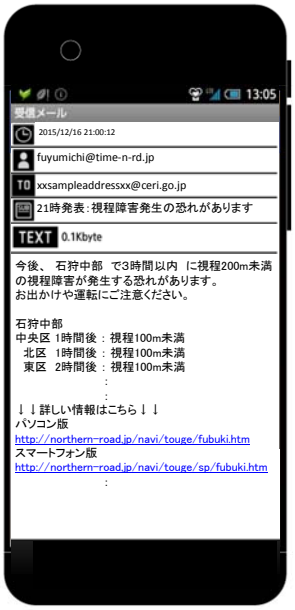


図-1 吹雪の視界情報（北海道版）の提供画面　左：パソコン版　右：スマートフォン版
http://northern-road.jp/navi/touge/fubuki.htm

図-2 メール配信サービスの提供画面

境政策を提示して支払意志額や受入補償額を尋ねて評価するCVM（仮想評価法）や，多様な要因（以下，属性という）の評価対象を繰り返し提示して，それに対する選好を尋ねることで評価するコンジョイント分析などがある[6]．本研究では，冬期道路の複数の要因を把握するため，対象の評価を属性単位で把握をすることができるコンジョイント分析が適していると考えられる．この分析は，Luce and Tukey [7]により理論構築が行われ，Green and Wind [8]により多属性モデルが開発された後，主にマーケティング分野で研究が進んだ．冬期道路を対象としたコンジョイント分析として，サービス水準の経済的評価[9]，歩行者空間確保対策のモビリティ評価[10]がある．ただし，吹雪の視界状況がルート選定に与える影響について調べた既往研究はない．

本研究では，冬期の吹雪視界の状況，走行距離，走りやすさが道路利用者のルート選定に与えている影響について，コンジョイント分析を用いて属性別に評価した．

2. 調査方法

コンジョイント分析は，プロファイルと呼ばれるカードを被験者に示して，その効用をアンケートなどで尋ねる．プロファイルとは，一連の属性によって構成される属性の束のことであり，ここでは多属性によって構成される冬期の道路環境条件となる．そして，各プロファイルの属性と回答結果との関係から，統計的に属性別の効用を評価する．効用について，コンジョイント分析では，効用値と重要度を出力する．効用値は，水準ごとの影響の度合いを数値化した指標である．属性別では部分効用値，プロファイルごとでは全体効用値と呼ばれる．また，

表-1 メール配信サービスの配信条件

項目	概　　要
エリア	北海道内一次細分区域46エリア（複数選択可）
配信時間	6, 9, 12, 15, 18, 21時の1日6回, 9, 12, 15, 18時の1日4回の2種類
予測視程	500m未満，200m未満，100m未満の3段階
予測時間	3時間先まで，6時間先までの2種類

重要度は全属性のうちある属性が占める割合を表す．本分析では，評定型コンジョイントにより以下の手順で実施した．

(1) 属性，水準の設定

本論文では，冬期の吹雪視界情報の提供，および道路環境が道路利用者のルート選定に与えている影響を評価するため，以下a)～c)に示す属性を選び，それぞれ水準（レベル）を設定した（図-3）．

a) 視界の状況

「視界の状況」は，吹雪視界情報の提供が道路利用者の安全なルート選定に寄与するか，あるいは走行条件ごとにどのような視界不良のランクで安全な行動に変化するかを把握するために選出した．回答の2極化を避け，かつ適切な程度を把握するために3水準とした．

b) 走行距離

「走行距離」は，出発地から目的地までのルート距離の差異と，他の属性と結合させた際の関係性を明らかにするために選出した．迂回をする程度を判断するため，2極化を避けて3水準とし，基準距離とその1.5倍および2.0倍で比較をすることとした．

c) 走りやすさ

主要都市間を移動する際，山間部を越える場合と，平野部を通過する場合を想定し，「走りやすさ」の差異に

よる視界の状況の重要性を把握するために選出した．道路の走りやすさマップ[11]によれば，冬期の場合は道路幅員（車線数），カーブの大きさや多さ，縦断勾配，歩道の分類状況などにより，走りやすさを6段階に分類している．2車線以上の場合，カーブや縦断勾配が緩やかな場合は走りやすい，急な場合は走りにくいと分類される．ここでは，数値による程度の把握が困難なため，平野部（直線的で走りやすい）と山間部（カーブが多く走りにくい）の2水準とした．

(2) プロファイルの作成

図-3に示す水準を組み合わせると，合計18通りのプロファイルが作成される．本研究では，後述する前提条件を設けるため，全組み合わせを一対比較評価すると918回のカード提示が必要となり，被験者が疲労し評価結果に悪影響を及ぼす可能性がある．そこで，実験計画法[12]に基づき，プロファイル作成を行った．ここでは，直交表L6(2&3^3)型により得られた6通りに，精度向上のため別途1通り（ホールドアウトカード）を追加した計7通りのプロファイルをアンケートで使用した（**表-2**）．

(3) 前提条件の設定

本論文では，2.(1) 節に示す属性と水準のほか，ルート選定時に考慮される時間制約の有無，および走行時の基準距離3種類を，**表-3**に示すように前提条件として設けた．基準距離の分類は，周辺市町村から主要都市，および主要都市間への移動を考慮した．これらの条件は，水準としてプロファイルに包括することが可能だが，後述するアンケートの内容が複雑になり回答がばらつくことが懸念されるため，本分析では前提条件として扱った．

(4) アンケートの実施

2.(2) 節で設定したプロファイルと2.(3) 節 前提条件をもとに，会場面接型によるアンケートを実施した．被験者は20～60歳代の60名（男女比1:1）である．アンケート形式は，2つの対立するプロファイルを提示してどちらを選定するかを尋ねる一対比較評価法を用いた．この評価手法によるプロファイルの比較回数は${}_7C_2$=21回で，これらを6セット（前提条件の組み合わせ分）実施した．アンケートはタブレット端末を用いて，**図-4**のような画面で2本のルートのうちいずれを選ぶかを被験者に回答頂いた．回答に際し，事前に「視界の状況」について各水準の映像を見せ，被験者の認識の統一を図った．また，前提条件について，時間制約が有る場合は「遅れることのできない仕事，入学・入社試験，飛行機の出発時間」，時間制約がない場合は「旅行，レジャー，ちょっとした買い物」など具体的な状況を示した．以上により，可能な限り回答のバイアスの排除に努めた（**写真-1**）．

(5) アンケートの分析

一対比較評価により得られた被験者ごとの回答結果は，前提条件の組み合わせとなる6セットに分類のうえ，プロファイルの選定回数に応じて**表-4**に示すように点数化した．被験者の回答結果，および7通りのプロファイル

属性	水準（レベル）		
視界の状況	視界良好 （視程 1,000m 以上）	視界不良 （視程 200～500m）	著しい視程障害 （視程 100m 未満）
走行距離（基準距離に対する比率）	×1.0 （基準距離）	×1.5 （走行距離が基準の 1.5 倍）	×2.0 （走行距離が基準の 2.0 倍）
走りやすさ	直線的で走りやすい 平野部	カーブが多く走りにくい 山間部	

図-3 冬期道路走行ルート選定に関わる属性と水準

表-2 アンケートで用いたプロファイル

	視界の状況	走行距離	走りやすさ
No.1	良好	×2.0	平地部
No.2	不良	×1.5	平地部
No.3	著しい視程障害	×1.0	平地部
No.4	著しい視程障害	×2.0	山間部
No.5	不良	×1.5	山間部
No.6	良好	×1.0	山間部
No.7	著しい視程障害	×1.5	平地部

表-3 アンケートで用いた前提条件

前提条件	分　類		
時間制約	有り		無し
走行時の基準距離	20km	60km	120km

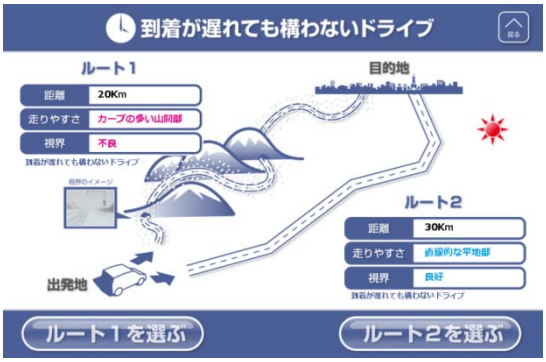


図-4 ルート選定アンケート画面例



写真-1 アンケートの様子

ごとに与えられる点数の一例を**表-5**に示す．

アンケートの分析に際し，**表-2**に示す No.1～No.7のプロファイルを，対象の有無により「1,0」のダミー変数を与えた（**表-6**）．つぎに，前提条件の組み合わせごとに，各水準を説明変数，得点を目的変数とする重回帰式を作成した．重回帰式によって求められる各偏回帰係数から，該当する属性の加重平均を差分し部分効用値（影響する度合い）を求めた．また，重要度は，属性ごとのレンジ（部分効用値の最大値と最小値の差）合計に占める割合を求めた．なお，部分効用値が高いということは，その水準（レベル）が選好されやすいことを意味する．

3. 結果および考察

(1) 全体の分析結果

前提条件（時間制約の有無，基準距離の差異）の組み合わせによる，各水準の部分効用値を**図-5**に示す．いずれの前提条件においても，「視界の状況」の“良好”の効用値が最も高く，“著しい視程障害”が最も低かった．「視界の状況」が “不良”の効用値は全て0以上で，“著しい視程障害” に比べると “不良” のルートが選定されやすいことがいえる．また，「走行距離」の効用値は，基準距離の増加に伴って短い水準（×1.0）では高く，長い水準（×2.0）では低くなった．全ての前提条件で負値である中間の水準（×1.5）は，基準距離が長くなるにしたがい効用値が高くなった．上記2つの程度は，時間制約が有る場合の方が顕著であった．加えて，「走りやすさ」の効用値は，基準距離の増加に伴って効用値のレンジが小さくなった．

前提条件（時間制約の有無，基準距離の差異）の組み合わせによる重要値を**図-6**に示す．どの基準距離においても，「視界の状況」の重要度が最も高い．このことは，冬期道路のルート選定に際し，基準距離120km以内では，時間制約の有無によらず今回提示した条件においては「視界の状況」を重視することがいえる．ただし，基準距離が長くなると，「走行距離」の重要度が高くなる一方，「視界の状況」と「走りやすさ」の重要度は低くなった．その程度は，時間制約が有る場合の方が顕著であった．つまり，より早く目的地に到着することを考慮にいれて，走行距離の短いルートを選定することが考えられる．

表-4 選定回数に対する点数

選定回数	0	1	2	3	4	5	6
点数	1	2	3	4	5	6	7

表-5 ある被験者の回答結果および与えられる点数例

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	選定回数	点数
No.1		○	○	○	×	×	○	4	5
No.2	×		○	○	×	×	○	3	4
No.3	×	×		○	×	×	○	2	3
No.4	×	×	×		×	×	○	1	2
No.5	○	○	○	○		○	○	6	7
No.6	○	○	○	○	×		○	5	6
No.7	×	×	×	×	×	×		0	1

表-6 ダミー変換の結果

	視界の状況			走行距離			走りやすさ	
	良好	不良	著しい視程障害	×1.0	×1.5	×2.0	平野部	山間部
No.1	1	0	0	0	0	1	1	0
No.2	0	1	0	0	1	0	1	0
No.3	0	0	1	1	0	0	1	0
No.4	0	0	1	0	0	1	0	1
No.5	0	1	0	0	1	0	0	1
No.6	1	0	0	1	0	0	0	1
No.7	0	0	1	0	1	0	1	0

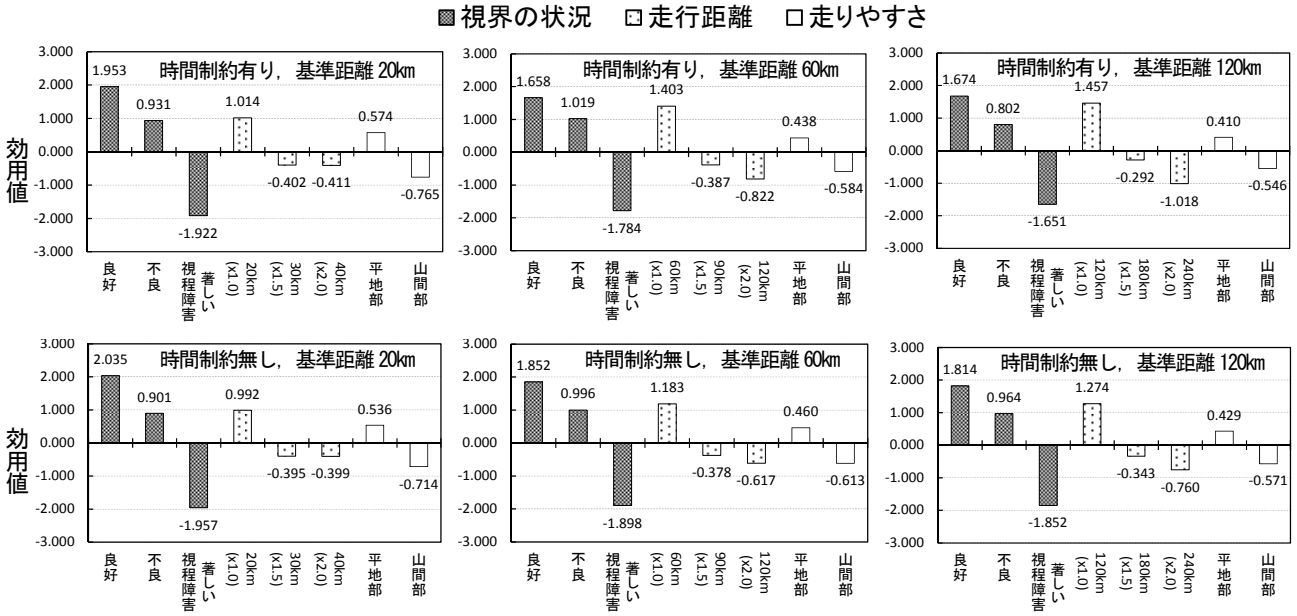


図-5 前提条件ごとの部分効用値

(2) 道路利用者の運転経験による差異

ここでは，時間制約有りを対象に**表-7**に示す項目に分類のうえ部分効用値と重要度を求め，「視界の状況」と「走行距離」に着目し，道路利用者の運転経験による差異を考察した．

吹雪視程障害遭遇経験の有無による，基準距離ごとの部分効用値および重要度を**図-7**に示す．経験有りの方が無しと比較し，部分効用値は「視界の状況」の“良好”が高く“著しい視程障害”が低い傾向にある．また，「視界の状況」の重要度は，どの基準距離においても経験有りの方が3.9～7.7%高い割合を示した．このことは，視程障害の遭遇経験により，吹雪に対して慎重な姿勢をとっていることが考えられる．

長距離運転(100km以上)の頻度による，基準距離ごとの部分効用値および重要度を**図-8**に示す．長距離運転ほぼ無しでは，基準距離20kmよりも60kmの方が「視界の状況」の重要度が大きい．このことは，全体の分析結果および吹雪視程障害遭遇経験別結果と異なっており，走行距離が増加しても視界の状況を重視する傾向となった．ただし，基準距離120kmでは，60kmと比較し「視界の状況」が4.7%減少かつ「走行距離」が6.3%増加し，距離の影響を考慮する結果となった．一方，月数回以上の結果では，基準距離20kmから60kmでは「走行距離」の重要度が15.2%増加しているのに対し，60kmから120kmでは1.3%の増加にとどまった．長距離運転への慣れにより，距離に対する抵抗は60kmから120kmではあまり変わらないことが伺える．また，基準距離60kmおよび120kmの部分効用値は，「走行距離」の×1.0が最も高い値を示している．加えて，基準距離の増加に伴い「視界の状況」の“不良”の部分効用値が高くなった．このことは，視界の状況が“不良”または“良好”であれば，長距離運転にかかる労力を考慮し，長距離の迂回を避ける傾向を読み取ることができる．

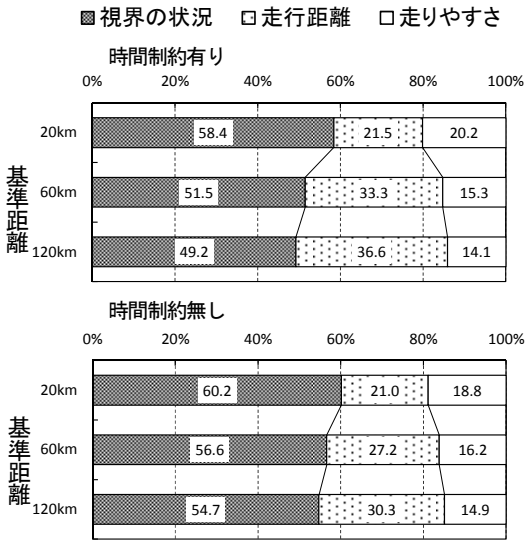


図-6 前提条件ごとの重要値

4. まとめ

本研究では，冬期の吹雪視界の状況，走行距離，走りやすさが道路利用者のルート選定に与えている影響につい

表-7 アンケート時の運転経験の差異による分類結果．Nはサンプル数を示す．

運転経験	分類結果		
a) 吹雪による視程障害遭遇経験	有り		無し
	N=33		N=27
b) 長距離運転(100km 以上)の頻度	月数回以上	年数回	ほぼ無し
	N=13	N=35	N=12

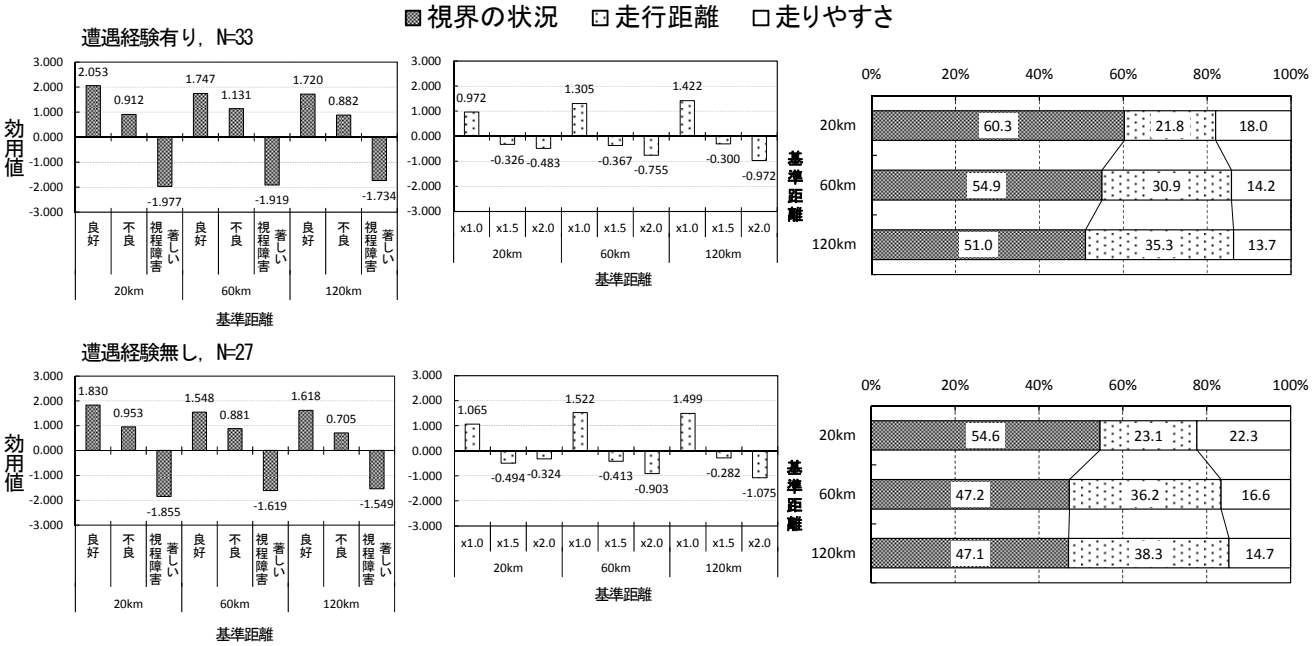


図-7 吹雪視程障害遭遇経験の有無による，基準距離ごとの部分効用値および重要度（時間制約有）．Nはサンプル数を示す

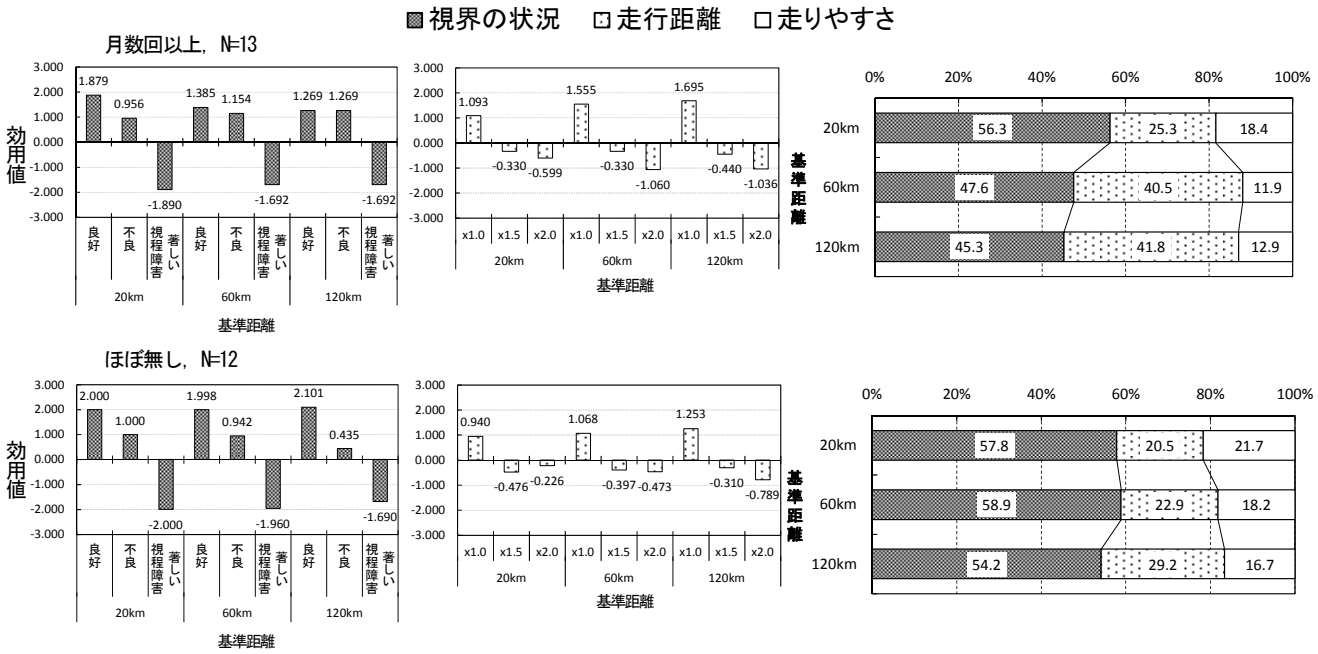


図-8　長距離運転(100km以上)の頻度による，基準距離ごとの部分効用値および重要度（時間制約有）．Nはサンプル数を示す

て，コンジョイント分析を用いて属性別に評価した．その結果を以下に要約する．

(1) 冬期道路走行のルート選定に際し，基準距離120km以内では，時間制約の有無によらず「視界の状況」を最も重視することが確認された．また，基準距離が長くなると「走行距離」を重視する傾向にある，その程度は，時間制約が有る場合の方が顕著であった．また，「走りやすさ」は，基準距離の増加に伴って重視しない傾向となった．

(2) 道路利用者の運転経験や頻度に着目し傾向を把握した結果，吹雪視程障害遭遇経験が有る場合は，吹雪に対して慎重な姿勢をとっている傾向が見られた．また，長距離運転 (100km以上) が月数回以上の場合は，視界の状況が“不良”または“良好”であれば，長距離運転にかかる労力を考慮し，長距離の迂回を避ける傾向が認められた．

今後，本研究で得た結果をもとに，吹雪の視界情報の“不良”と“著しい視程障害”の精度を向上することで，吹雪時における道路利用者のより安全な行動を促し，吹雪災害のさらなるリスク軽減につなげていきたい．また，吹雪視程値の出力に際し物理モデルを用いているため，パラメータの調整によって他地域でも適用可能であると考えられる．今後，これらのパラメータについて検討を行い，全国の積雪寒冷地域で適用可能な吹雪視程障害予測技術の開発に取り組む予定である．

参考文献

1) 国土交通省北海道開発局：北海道地方の課題と道路における取組について，pp.9，2010. www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z_doro/shingikai/pdf/1_shiryo_2.pdf；2015年9月29日閲覧.
2) 原田裕介：インターネットによる吹雪視界予測情報の提供について，ゆき，（社）雪センター，Vol.94, 2014.
3) 國分徹哉，武知洋太，大宮哲，原田裕介，松澤勝：吹雪視界予測に関する吹雪発生判別フロー，雪氷研究大会（2015・松本）講演要旨集，pp. 173，2015.
4) 原田裕介，國分徹哉，武知洋太，松澤勝：吹雪の視界情報提供による行動判断支援（第 2 報），第 52 回土木計画学研究発表会・講演集（印刷中）．
5) 武知洋太，松澤勝，中村浩，金子学，川中敏朗：冬期道路の視界と路面状況による走行速度への影響について，寒地土木研究所月報，Vol. 691，pp. 2-12，2010.
6) 栗山浩一：環境の価値と評価方法－CVM による経済評価，北海道大学図書刊行会，pp.15-22，pp.207-209, 1998.
7) Luce,R.D. and Tukey,J.W. : Simultaneous Conjoint Measurement: A New Type of Fundamental Measurement, *Journal of Mathematical Psychology*, Vol.1, pp.1-27, 1964.
8) Green,P.E. and Wind,Y. : Multiattribute Decisions in Marketing: *A Measurement Approach*, Hinsdale, IL: The Dryden Press, 1973.
9) Tanabe, S., et al. : Monetary Evaluation of Various Snow Removal Attributes by Conjoint Analysis, *New Challenges for Winter Road Service. XIth International Winter Road Congress*, 2002.
10) Tokunaga, R., et al. : Conjoint Approach as Customer-Based Measurement for Winter Walkway Maintenance in the Snowiest City of Japan, *Sixth International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology*, pp.237-247, 2004.
11) 国土交通省北海道開発局：道路の走りやすさマップ北海道版， www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z_doro/hashiriyasusa-map/ ；2015年9月29日閲覧.
12) 田口玄一：第3版実験計画法，pp.972-979，丸善株式会社, 1977.

北陸の急流河川における破堤事例の整理（その２）

内堀　伸吾・小林　崇・斎藤　充・杉崎　亮太・徳島　美幸
利根川　哲朗・長谷川　賢市・堀内　崇志・南　健二

専門技術研究会（急流河川）

専門技術研究会（急流河川）では，北陸3河川における過去の破堤事例について，平成24年度より既往文献等から情報を収集・整理し，その特徴をとりまとめ，平成25年度事業研究発表会で報告している．

本報告は，氾濫シミュレーション，平面2次元流況解析等の水理解析を用いて，破堤氾濫について，その特性を検証し，破堤する危険性が高い箇所を抽出する．さらに，破堤リスクの高い箇所における氾濫シミュレーションを実施し，破堤の特徴をより明らかにすることで，急流河川対策における課題を整理する．

キーワード　急流河川，破堤，氾濫解析，流況解析，危険箇所

1.　はじめに

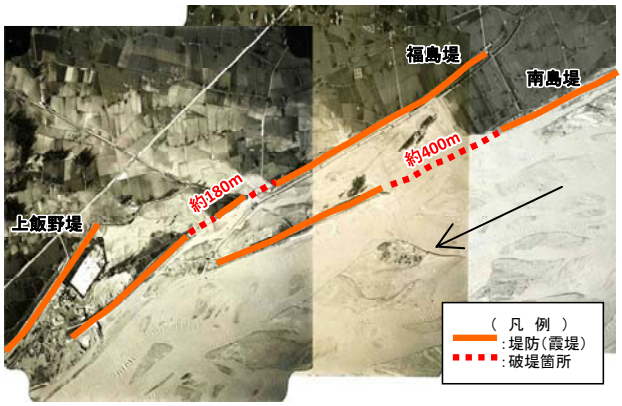
近年，規模が大きく広域に影響が及ぶ自然災害が頻発し，災害対策の必要性，緊急性が従前にもまして大きくなっている．一般的に災害対策はハード整備とソフト対策に分類され，想定を超える災害の発生や財政事情等を踏まえると，両者をバランス良く整えていくことが求められているが，我が国ではハード整備は依然十分とは言い難く，まだまだ必要であることは論を待たない．

また，災害対策を時間軸でみると，事前，最中，事後の三つのフェーズに分けられる．事前では，ハード整備のほか，ソフト面ではハザードマップなどの警戒避難態勢の確立や訓練など，災害が発生する前から準備対応することにより災害を防ぐ，あるいは減災に資する対策がある．最中では，災害の種類により限定的ではあるが，例えば，水害では洪水が増加し堤防が決壊しつつある最中における被害の拡大を防ぐ水防活動や避難救助があり，さらに，事後対策として二次災害の防止のためのハード，ソフトがあり，各々のフェーズに応じて的確な対応，措置が図られることが重要となる．

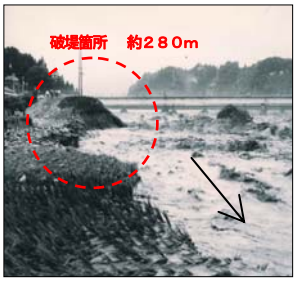
これらを実現化するためには，災害事象の時空間的変化の把握が必要不可欠で，過去の災害事例の分析が最も効果的かつ確実な方法であることは言うまでもない．

北陸地方を代表する急流河川の破堤氾濫は，地域に甚大な影響を与えることが過去の事例から見ても明らかで，急流河川が被災・破堤に至る場合の対応は，その時間的早さも相まって，より迅速かつ的確な対応が求められる．北陸の急流河川の破堤実績は，河川整備や水防活動の効果もあってか，過去 50 年の範囲では，写真 1-1 に示すとおり，昭和 44 年洪水の黒部川，常願寺川，平成 7 年姫川の 3 例である．時間の経過とともに，携わった先人が少なくなっていること，関係資料が散逸すること等を踏まえ，専門技術研究会（急流河川）では，平成 24 年度より急流河川の破堤の特徴の分析に取り組み始め，平成 25 年度に中間報告 [1]を報じている．

本報告では，前報告において得られた知見を踏まえ，氾濫シミュレーションや平面 2 次元流況解析などにより，破堤の特徴を明らかにするものである．



S44 年 黒部川 R6.4k（福島）



S44 年 常願寺川 R17.8k（岩峅野）



H7 年 姫川 R2.6k（上刈）

写真 1-1　急流河川の破堤状況

2．急流河川における破堤実績[1) 2)]

1）黒部川（昭和 44 年洪水）

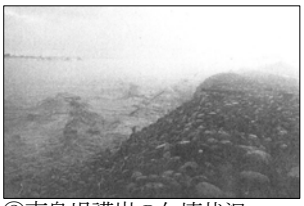
黒部川では，昭和 44 年 8 月 11 日洪水により，右岸 8.1K の南島で 400m，二番堤の福島で 2 箇所 180m 破堤した．愛本基準点で 14 時 45 分にピーク流量 5,661m^3/s を記録したもので，観測史上最大である．破堤は，記録より 16 時 50 分といわれており，愛本基準点のハイドロから推定すると，ピーク流量発生から約 2 時間後となる．

破堤地点は常にみお筋があたる水衝部であった．堤防の前面に 100m 程度の高水敷があり，天端幅は 14m と定規断面を満足していたが，木工沈床，空石張護岸が被災して破堤に至っている．また，堤防裏法尻で一部漏水が生じ，30 分程で一気に破堤に至ったと記録されている．

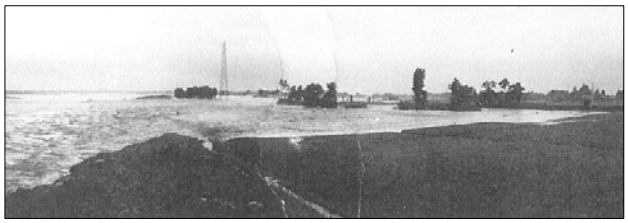
写真 2-1 に破堤状況を示すが，氾濫流が右岸扇状地を流下し，浸水面積約 1,050ha，家屋全半壊 7 戸，家屋浸水 846 戸の被害に及んだ．



①南島堤護岸の洪水状況



②南島堤護岸の欠壊状況



③南島堤護岸の破堤状況

写真 2-1　南島堤護岸の破堤状況（S44. 8. 11）

2）常願寺川（昭和 44 年洪水）

常願寺川では，昭和 44 年 8 月洪水により，右岸 17.8K の岩峅野で約 280m 破堤している．幸いにも堤防が破堤した区間には二番堤があり，氾濫流が堤内地に被害を及ぼすことはなかった．

破堤は，記録より 11 日 14 時 50 分といわれており，ピーク流量発生から約 3 時間後となる．また，破堤地点の最高水位は，HWL を超過していたが，左岸側は流速も緩やかで，水深も 1.0m 程度で，かなりの偏流が生じていたとのことである．

破堤地点の天端幅 9.0m，余裕高 2.0m で HWL 以下が練石張，HWL 以上が空石張であり，十字ブロック（4ｔ）が根固工として幅 10.2m で敷設してあった．河床勾配は 1/49 と急峻で，洪水前に基礎高（HWL－4.5m）まで河床洗掘が進んでいたことが確認されている．写真 2-2 及び図 2-1 に示すとおり，聞き取りによれば，主流が右岸側の上滝床固の元付工に激突，オーバーフローして元付工の下流部の護岸が破壊，侵食され，約 10 分程で約 280m の堤防が破堤に至ったとの話である．

これらの現象から堤防破堤のメカニズムとしては，洪水の主流が土石を伴い，元付工を溢流して，河床洗掘により根固工を流失し，あわせて堤防法面を破壊して，いっきに元付工下流堤防が決壊・流失したと考えられる．

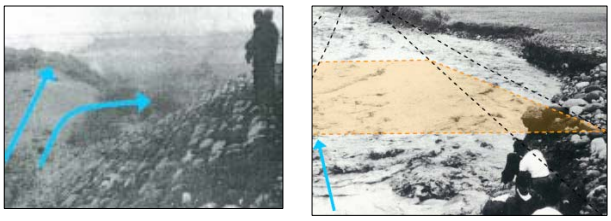


写真 2-2　岩峅野堤護岸の破堤状況（S44. 8. 11）

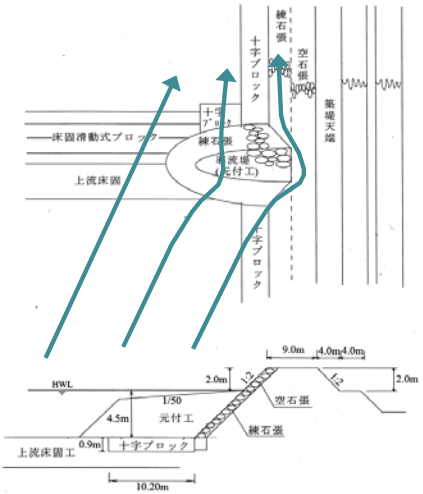


図 2-1　上滝床固右岸側の平面図・横断図

3）姫川（平成 7 年洪水）

姫川では，平成 7 年 7 月洪水により，右岸 2.6k の上刈で 67m 破堤している．その被害は，浸水面積 24ha，家屋損壊 1 戸，家屋浸水 2 戸であった．

11 日 15 時から 17 時までの水位上昇は破堤地点上流の観測地点山本で 1.6m となっており，18 時にはピーク流量規模の流量を観測した．破堤は，その 2 時間半後に確認されている．

破堤直後の調査結果によると，護岸は計画河床より 1m 下がりの根入れがあったが，平成 7 年洪水では水衝部となり計画河床高より約 1.7m 洗掘されている．ピーク時には，11m/s 程度の流速が発生したと予想され，図 2-2 に示すとおり，①6t の根固めブロックは重量不足で流失した．その後，②根固め工の保護を失った護岸基礎が流失し，

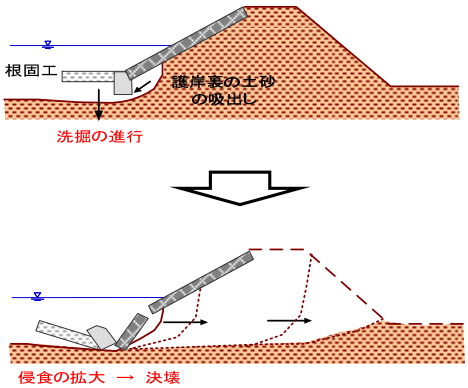


図 2-2　姫川の破堤メカニズム

③法覆工の背面土砂が吸い出され，法覆工の幅方向に4m 以上の空洞が生じた．④法覆工の自重により曲げ応力が護岸の耐力を上回った結果，法覆工が倒壊して，⑤破堤へと至ったものと推察されている．

３．破堤リスク要因と課題

３－１　破堤要因

１）破堤地点の特性

洪水特性や河道特性，護岸耐力の観点から，表 3-1 に示すとおり，3河川の破堤地点の特性を比較する．

洪水特性については，既往最大洪水やピーク流量 2～3 時間後の侵食破堤などの共通要素が挙げられる．特に，流量規模は，その増大により，流体力や掃流力，高水位継続時間も増大することから，河床洗掘等に影響を及ぼす重要な要素である．過去 50 年においては，既往最大洪水である S44 洪水の黒部川及び常願寺川，H7 洪水の姫川で破堤し，それ以外の洪水では破堤しておらず，全川を通してみれば，これらの洪水規模が破堤の条件と考えられる．

河道特性については，破堤地点の河床勾配は約 1/50～1/100 と極めて急流である．また，湾曲外岸及び砂州の固定化による水衝部や洪水時の砂州の発達，水みち形成による水衝作用の増大なども挙げられ，破堤の原因の一つと考えられるが，必ずしも破堤に至るものではない．

護岸耐力については，根固工の木工沈床や重量不足，基礎工の根入れ不足，法覆工の空石張などの問題点が挙げられる．

表 3-1　破堤地点の特性

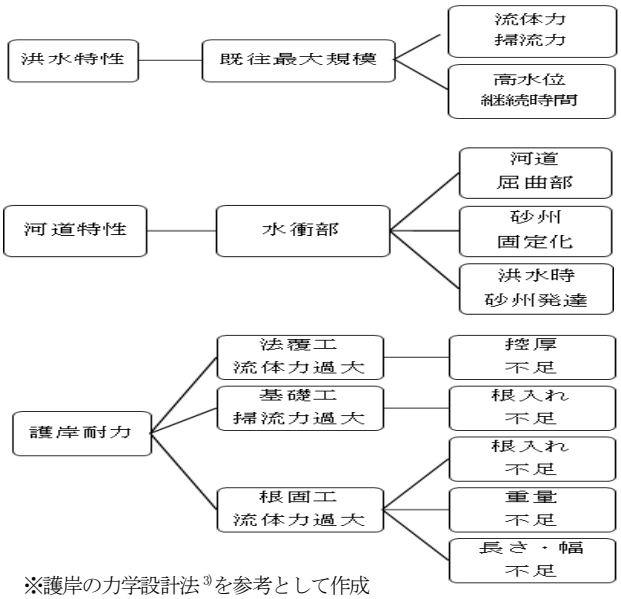
破堤地点の特性		黒部川 S44	常願寺川 S44	姫川 H7	特徴等
洪水特性	ﾋﾟｰｸ流量	5,661m³/s 既往最大	3,975m³/s 既往最大	4,400m³/s 既往最大	・ピーク流量は既往最大（掃流力大，高水位継続） ・比流量は 6m³/s/km²以上 ・ピーク水位（破堤点）は堤防高以下 ただし，常願寺川は偏流により再現困難 ・水位上昇量は最大で約 1m/h 以上 ・破堤時刻は洪水ピーク 2～3 時間後 ・高水位継続時間（警戒水位～破堤）は 5 時間以上
	比流量	8.3m³/s･km²	11.6m³/s･km²	6.3m³/s･km²	
	ﾋﾟｰｸ水位	HWL-0.8m	堤防高以下	HWL-0.6m	
	水位上昇	1.0m/h	1.7m/h	0.8m/h	
	破堤時刻	洪水ﾋﾟｰｸ 2 時間後	洪水ﾋﾟｰｸ 3 時間後	洪水ﾋﾟｰｸ 2.5 時間後	
	継続時間	13 時間	7 時間	5 時間	
河道特性	河床勾配	1/76	1/49	1/117	・河床勾配（破堤点）は 1/50～1/100 ・ピーク時の想定水深は 4～6m ・摩擦速度は 0.7～0.99m/s ・代表粒径（d_{60}）は 70～130mm ・黒部川及び姫川は湾曲外岸で常時水衝部，常願寺川は洪水時の砂州発達による水衝部 ・常時の砂州固定化や洪水時の砂州発達で水衝作用増大
	ﾋﾟｰｸ水深	約 4m	約 5m	約 5.7m	
	摩擦速度	0.72m/s	0.99m/s	0.69m/s	
	代表粒径	80mm	69mm	125mm	
	水衝部	常時	洪水時	常時	
	河道線形	湾曲外岸	直線	湾曲外岸	
	砂州	－	洪水時発達	常時固定化	
護岸耐力	法覆工	空石	練石 控厚 0.4m	練石 控厚 0.4m	・法覆工：空石張，控厚不足 ・基礎工：根入れ不足 ・根固工：木工沈床，重量不足
	基礎工 根固工	木工沈床 河床洗掘	十字４t 河床洗掘	十字６t 河床洗掘	

２）破堤要因の分析

破堤に影響を及ぼす要因について，洪水特性，河道特性，護岸耐力 [3]の観点より整理して，図 3-1 に示すとおり，侵食破堤の Fault Tree Analysis を作成した．

洪水特性については，既往最大洪水規模の流体力（揚力，抗力）や掃流力，高水位継続により，激しい河床洗掘や侵食を引き起こし，破堤に至ったものと考えられる．河道特性については，湾曲外岸や砂州の固定化，川幅の変化による水衝部，洪水時の砂州の発達による水衝作用の増大などが挙げられる．護岸耐力については，洪水外力との相対関係にあり，設計上の平均的な外力に対する耐力が確保されていても，砂州の発達による偏流や構造物回りの激しい局所洗掘などにより，瞬間的に大きな外力が働く恐れも有り得る．

こうした複合的要因が作用する場合には，特に激しい河床洗掘とともに，護岸耐力を上回る外力が働くリスクを考慮しなければならない．



※護岸の力学設計法 [3]を参考として作成

図 3-1　侵食破堤の Fault Tree Analysis

３－２　破堤リスクが高いと思われる箇所

１）大きな外力継続による影響

護岸が受ける流体力は，流速の 2 乗や投影面積に比例する．流速は外力の主たるパラメータである．一方，河床の石礫が受ける掃流力（$\rho u_*^2 = gHI$）は，河床洗掘等の指標であり，水深と河床勾配（≒エネルギー勾配）に比例する．このことは，これまで現場で注視されていた河床勾配のみならず，水深と河床勾配が同じウェートで重要であることを意味する．

3-1 で述べたように，破堤要因は大きな外力継続による洗掘や侵食等によるものであり，ピーク流量 2～3 時間後に破堤している．特に洗掘深等は掃流力や時間に比例することが考えられるため，掃流力式を構成するＨＩ

と高水位継続時間の関係性を整理して図 3-2 に示した．

侵食破堤した 3 洪水は，ＨＩ≧1/21（摩擦速度 u_*≧0.69m/s），高水位継続時間≧5 時間の領域となる．なお，常願寺川では，ＨＩ≧1/50 で短時間の洪水でも河岸侵食が発生し，ＨＩ≦1/150 では長時間の洪水で河岸侵食が発生している．

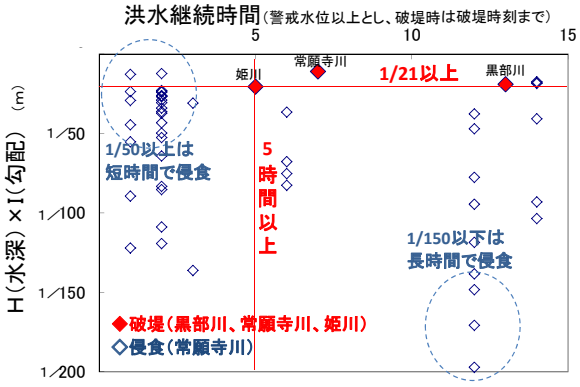


図 3-2　破堤・侵食とＨＩ・高水位継続時間の関係

２）河道法線形に支配される流水

姫川の破堤地点の解析結果による流速分布と破堤後の状況については，図 3-3 に示し，黒部川の河道法線形と S44 洪水氾濫流の状況については，図 3-4 に示すが，姫川，黒部川の破堤地点において共通する点は，堤防法線の屈曲部において，破堤が生じていることである．

急流河川は網状流路を形成し，幾重ものミオに沿って流水が偏流・乱流するが，流量規模が大きくなると堤防法線に沿って直進する流れに変化する．

河道断面一杯に流れ，直進する流水は，屈曲部の堤防を直撃して堤防を破壊するのである．護岸の根入れを深くし，根固め工を敷設していると言えども，流量上昇期に水衝部が深く掘られ乱され，その後，流量がピークに近くなった時に一斉に流されると考えられ，洪水時の深掘れはこれ以上となる恐れは潜在する．出水時において注視すべき箇所である．

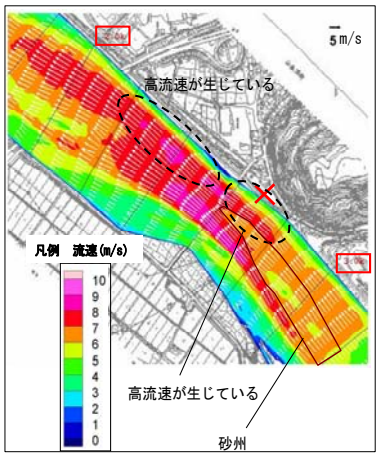


図 3-3　姫川流況解析の流速分布

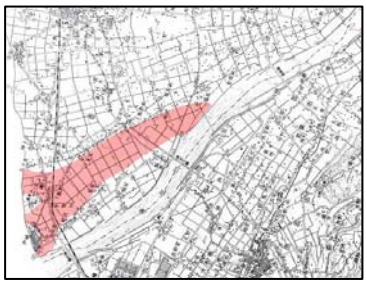


図 3-4　黒部川法線形と S44 氾濫流

３）砂州の発達による水衝部への影響

常願寺川の昭和 44 年 8 月出水では，図 3-5 に示す昭和 43 年の横断測量結果から，出水前に既に護岸の基礎付近まで河床の洗掘が進行していたと推定される．このように河床洗掘が進行している状況で，土石を伴ったエネルギーの大きな流水が護岸に衝突することで，護岸崩落が生じたと考えられる．

また当時の聞き取り調査によれば，右岸側の水位は上滝床固横堤（HWL 高）を越えていたのに対し，左岸側は流速も緩やかで水深も 1.0m 程度で，偏流が生じていたものとされる．偏流の要因は，写真 3-1 に示すように，上滝床固の上流 18.7k 付近の狭窄部より下流において，左岸側が急激に拡幅していることで，流速が低減し，それに伴い左岸側へ土砂堆積が促進され，洪水流が右岸側へと寄せられたことが関係していると考えられる．

常願寺川の昭和 44 年 8 月出水では，出水前に既に護岸前面の洗掘が進行していたと推定されるが，出水前に洗掘が進行していなくても，比高差の大きな砂州が発達している場合，偏流が生じやすく，河岸や堤防に洗掘・侵食の力が大きく作用することで被災が生じる可能性が高くなると考えられる．

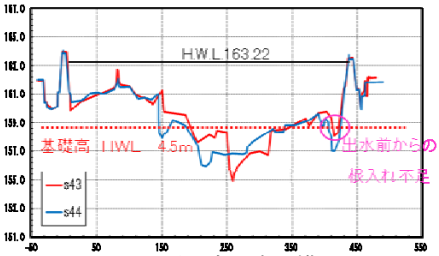


図 3-5　S43 年 常願寺川横断図（岩峅野 17.7k）



写真 3-1　S43 年 常願寺川河道平面形状（岩峅野）

４）護岸耐力による影響

護岸の基礎が浅く，①根固工の屈撓性を考慮しても根入れの浅い区間，②根固水制が河床から露出している区間，③現況河床勾配より護岸勾配の急な区間などは，洪水外力に対して護岸耐力が相対的に不足する．

また，根固ブロックの重量不足や法覆工の控厚不足なども留意すべき点である．

1)～3）の複合的な要因により，破堤リスクが顕在化しないよう，維持・監視が求められる．

３－３　破堤時の被害ポテンシャル

１）黒部川における氾濫シミュレーション[4)]

昭和 44 年洪水の黒部川破堤地点で破堤した場合の影

響について，現況河道で氾濫シミュレーションを用いて評価する．河道及び流域形状は，浸水想定区域図策定時(平成 14 年)の地形データを使用し，1/100 確率規模の洪水ハイドロ（宇奈月ダムでの洪水調節有）で試算している．試算結果を図 3-6 に示す．黒部川の同地点で破堤した場合，その被害規模は，浸水面積約 1,294ha，家屋浸水 1,367 戸に及ぶ．

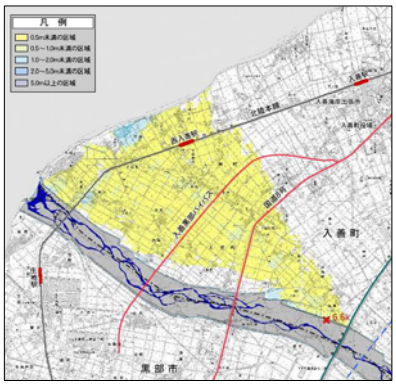


図 3-6　黒部川氾濫シミュレーション結果

比較のため，昭和 44 年破堤時の氾濫流の再現計算を行った．既往文献やヒアリング結果から当時の浸水範囲，氾濫流速等を整理し，再現を実施している．なお，30cm 以上の湛水は，実績の氾濫範囲と概ね一致，最大湛水深は破堤付近直下流を除き，実績の湛水深とも概ね一致していることを確認している．

図 3-7 は，破堤 1 時間後の氾濫流の拡散状況を両者比較したものである．計算条件等が異なり一概に言えないが，氾濫流の拡散速度が鈍る傾向が見られた．

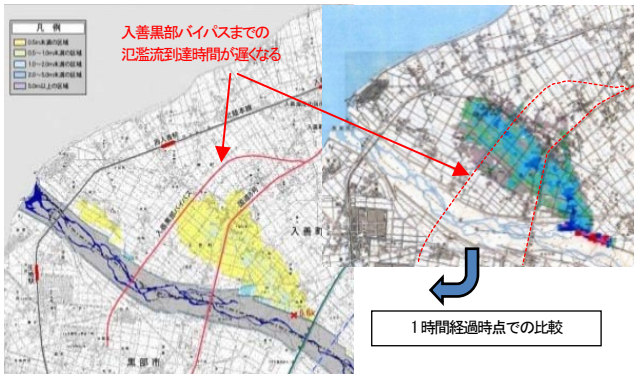


図 3-7　同一経過時刻における黒部川の S44 再現計算（右）と氾濫シミュレーション結果（左）

2）姫川におけるシミュレーション[6)]

（ⅰ）氾濫シミュレーション

平成 7 年洪水の姫川破堤地点で破堤した場合の影響について，現況河道で氾濫シミュレーションを用いて評価する．

図 3-8 に示すとおり，河道及び流域形状は，浸水想定区域図策定時(H20)の地形データを使用し，推定ピーク流量 4,400m^3/s のハイドロで試算している．姫川の同地点で破堤した場合，その被害規模は，浸水面積約 186ha，家屋浸水 950 戸に及ぶ．これは，2. 3)で述べた被害実績よりも，格段に大きくなっている．

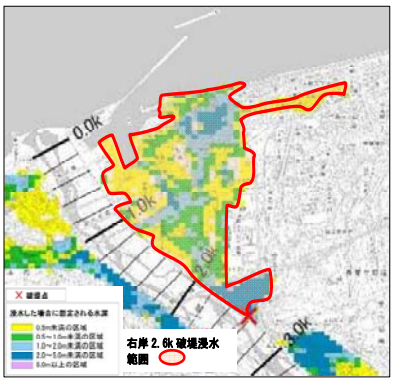


図 3-8　姫川氾濫シミュレーション結果

この理由としては，①実績と試算の破堤タイミングが異なり，試算のほうが破堤時の流量が大きいこと（実績はピーク流量 2 時間半後の減水時の破堤で，試算はピーク破堤），②実績に比べて試算の破堤幅が 5 倍以上であること，③実績では，破堤後の水防活動等で約 380 個ものブロック投入により，流向を制御して被害の軽減を図ったこと等が挙げられる．

（ⅱ）高水敷部切り下げのシミュレーション[6)]

姫川の破堤事例では，砂州の固定化等に伴う対岸への流速増大が課題と考えられることから，その影響を把握するため，図 3-9 に示すとおり，平面 2 次元流況解析を実施した．4,400m^3/s 流下時で，左岸高水敷は水没せず，右岸側に流水が集中し，護岸前面の流速の増加を確認している．その対策として，左岸高水敷部の河道整正を実施し，流下能力不足解消と水衝部緩和の効果を図ることを河川整備計画で位置付けている．

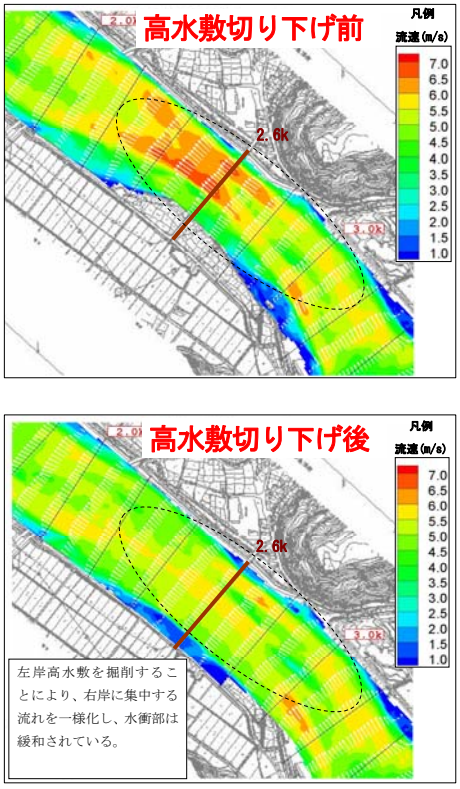


図 3-9　姫川高水敷切り下げ前（上）と切り下げ後（下）の流速分布

3）常願寺川における氾濫シミュレーション[5)]

昭和 44 年洪水での常願寺川破堤地点の堤防は，護岸は HWL まであったが，基礎付近まで河床洗掘が進んでおり，砂州発達に伴う偏流による根固工の流失や堤防法面の破壊に起因する破堤であった．

このような被災は，常願寺川にあってどこでも起きる恐れがある．特に，縦断勾配が急から緩へと変化する 9K 前後は，砂州の移動・発達とともに，掃流力による侵食（ＨＩ＞1/50）も懸念される区間であり，3-2 で述べた破堤のリスクが高い場所である．そこで，富山市の都市機能の中枢が集中する左岸側，10.0K 地点で破堤した場合の影響を氾濫シミュレーションにより試算した．

河道及び流域形状は，それぞれ平成 20 年，19 年の地形データを使用し，1/150 確率規模の洪水ハイドロで試算している．図 3-10 に試算結果を示すが，その被害規模は浸水面積 768ha，家屋浸水 5,675 戸，想定被害額は約 660 億円に及ぶ激甚災害である．

出水時に転石が多く，過去より土石を伴う流水による護岸崩壊が懸念されてきた常願寺川では，今後も同様な事象に備えた永続的な注視が必要である．

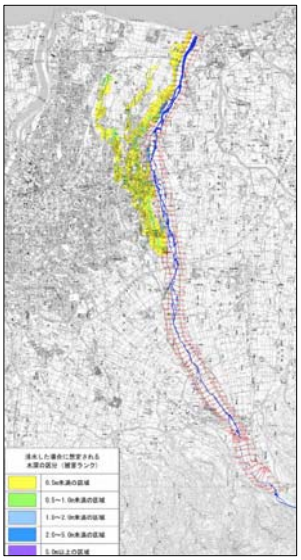


図 3-10 常願寺川氾濫シミュレーション結果

３－４　急流河川対策の課題

１）ハード整備・ソフト対策

真に最大の課題は，破堤の回避である．急流河川は洪水外力が大きく一旦破堤するとその被害は甚大であるため，管理水準及び社会通念に照らして是認し得る安全性を備える必要がある．また破堤に至る時間が極めて短い．このため，施設耐力の向上，被災を一部受けても機能を保持する堤防，破堤時のバックアップとなる二線堤機能，外力低減に資する平面・縦断計画及び河道管理，被災の早期発見，減災機能，機械化水防などが論点となる．

急流河川対策にあたっては，安全性や経済性，整備工期・手順，環境面を総合的に勘案し，ハード整備・ソフト対策の両者をバランス良く組み合わせて，治水システム全体の信頼性を確保する必要がある．

２）被害最小化の視点

破堤の回避には，破堤の要因を分析して，災害対策の時間軸（事前・最中・事後）の各フェーズにおける的確な対応が求められる．

破堤の要因は，3-1 で述べた大きな掃流力と高水位継続，湾曲外岸や砂州の固定化による水衝部，洪水時の砂州の発達による水衝作用の増大，構造物回りの激しい局所洗掘・侵食，護岸耐力不足などで占められている．

各フェーズにおける対応としては，破堤しにくく，破堤を少しでも遅らせるという視点が求められる．例えば，既往事例では，ピーク流量 2～3 時間後で破堤している．超過洪水リスクが高まっている現状において，仮に破堤は避けられないものとすれば，この破堤時間を少しでも延ばす視点が大切である．3-3 2)に示したように，破堤を遅らせることで洪水流量や氾濫流が低減し，氾濫被害も激減することや，水防活動体制や避難時間を確保することなども考えられる．

３）今後の課題

越水破堤に比べて侵食破堤は，理論的に未解明な点が多い．特に，急流河川は，降雨，水位，流量という要素に加え，さらにエネルギー，土砂移動，時間軸が加わり，その現象は複雑である．しかも，急流河川の破堤事例は乏しいことから，現場での実現象の把握とデータの蓄積及び継承が大切となる．

今後は，他の急流河川の破堤事例を含め，データを蓄積し，破堤特性を検証して，破堤の特徴をより明らかにしていくことが考えられる．

４．おわりに

「災害は忘れた頃にやってくる」という名言がある．姫川の破堤実績から，もう 20 年になろうとしている今，ゲリラ豪雨など異常な気象が頻発するなか，いつどこで予期せぬ事態が襲ってくるかわからない．想定外ではすまされないことを肝に銘じて，迎えたくない非常時に備えたい．そのためには，過去の事実や先人の経験を少しでも理解するとともに，記録として保存し，記憶として継承していくことが重要である．技術は進歩している．過去の記録に新たな技術を付加することにより，新たな発見が期待される．

最後に，本報告をとりまとめるにあたって，指導助言いただいた先人に対して感謝する．

参考文献

1) 専門技術研究会（急流河川）：北陸の急流河川における破堤事例の整理，H26.7
2) 専門技術研究会（急流河川）：北陸の急流河川の歩み（平成編），H23.3
3) (財)国土技術研究センター：護岸の力学設計法，H11.2
4) 黒部河川事務所：黒部川整備基本方針・整備計画検討業務報告書，H15.3
5) 富山河川国道事務所：常願寺川急流河川対策検討業務報告書，H24.3
6) 高田河川国道事務所：姫川水系河川整備計画検討業務報告書，H26.3

館の橋におけるコンクリート床版の損傷から復旧まで

村木　圭太

大仙市　建設部　道路河川課　（〒014-0063 秋田県大仙市大曲日の出町2丁目8-4）

館の橋は、毎年全国花火競技大会が開催されている秋田県大仙市大曲黒瀬町に架設している。本橋梁において、平成２６年２月にコンクリート床版の一部が抜け落ちる事象が発生した。本論文は、損傷発生時から橋梁全体の健全性を確認するため詳細調査を実施、この結果を基に緊急補修工事に着手し、しゅん工に至った一連の対処経過を紹介するものである。

キーワード　コンクリート床版、損傷、詳細調査、復旧

1. はじめに

平成２６年２月１６日に、本市の道路橋においてコンクリート床版の一部抜け落ちが発生した。（写真－１）直後より車道の交通を規制するとともに詳細調査を行い、その結果を基に修繕工事を実施、平成２６年６月３０日に規制を解除し車両の通行を再開した。本論文は、この事象への対処経過を記載したものである。

館の橋は秋田県大仙市大曲黒瀬町に位置し、ＪＲ大曲駅と大曲西道路ＩＣを結ぶ幹線道路（１級市道飯田線）に架設されており、上部工形式３径間単純活荷重合成鋼鈑桁橋、橋長Ｌ＝７１．６m、幅員W＝１６．８m、設計荷重Ｔ＝２０、日交通量９，４１２台であり、交差物件は一級河川丸子川である。



写真-2

舗装面の状況



写真-1

コンクリート床版抜け落ち直後



写真-3

床版下面の状況



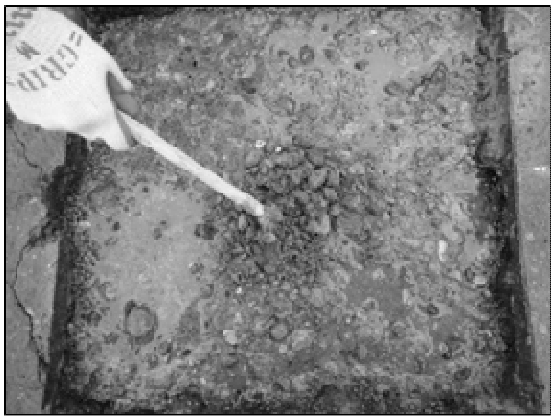


2. 損傷の概要

損傷発生翌日より車両の交通を規制し損傷内容の把握及び復旧工法検討のために橋梁全体の緊急点検及び詳細調査を実施した。

損傷個所は、下り線外側線付近の車両輪荷重が掛かる位置であり、橋軸方向約１．２m、橋軸直角方向約１m の抜け落ちであった（写真－２）。舗装剥ぎ取りの結果、床版上面はコンクリートが土砂化しており、床版下面は０．２mm以上のひび割れが格子状に発生し、漏水及び遊離石灰が生じていた（写真－３）。

本橋梁は、平成２３年度に近接目視による橋梁点検を実施しており、当時より格子状のひび割れ及び遊離石灰が確認されていた。当時との写真比較を行ったところ、予測していた以上の速度で劣化が進んでいると考えられた。



床版上面の土砂化

3. 詳細調査の実施

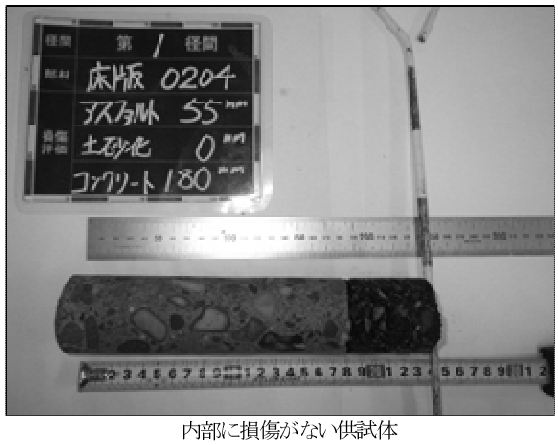
補修工事の計画に際し、近接目視及び打音検査を行うとともに、損傷原因の推定及び他径間の状況把握のために各種試験等を行い床版全体の詳細調査を実施した。

近接目視及び打音検査の結果を基に複数の供試体（コンクリートコア）を採取し、中性化・含有塩分量・圧縮強度・静弾性係数について試験を行った。併せて、舗装版をはつり、コンクリート床版上面の目視調査を行った。

結果的に、２０供試体中１６供試体でコンクリートの土砂化と水平方向のクラックが確認された。

各種試験の結果及び推定等は次のとおりである。

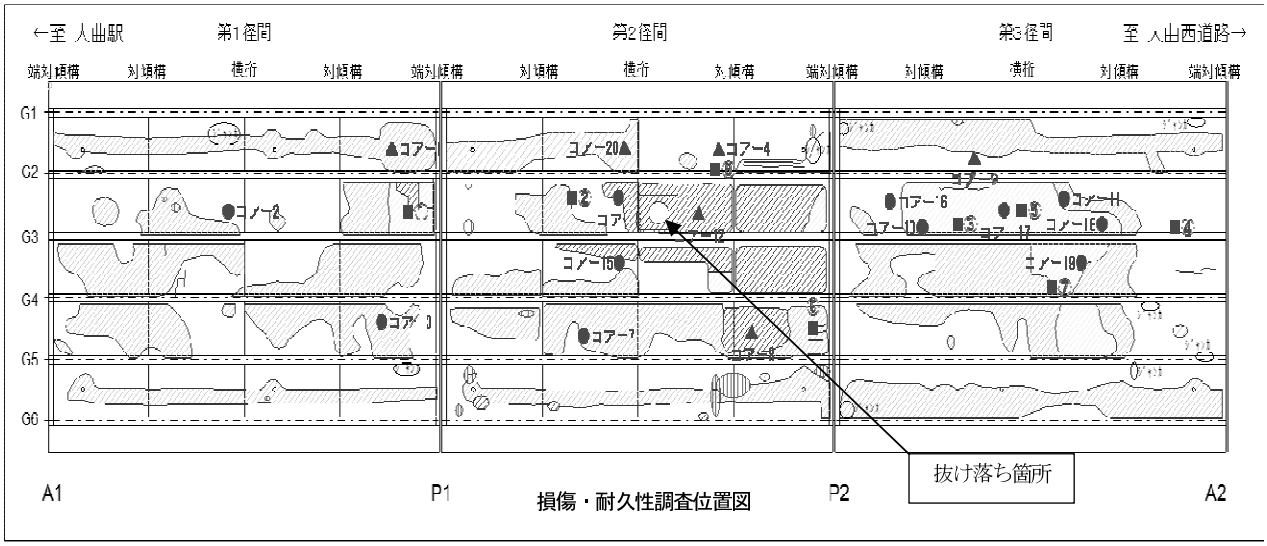
はじめに、中性化試験についてである。本試験は、供試体として採取したコンクリートコアを使用している。１１試料中１試料で、鉄筋腐食開始位置まで中性化が進行していた。当該箇所付近のはつり調査を行った結果、鉄筋に「表面的な腐食がある」状況であった。床版下面より行った近接目視の結果、「遊離石灰は生じているが錆汁は生じていない」及び「亀甲状のひび割れはあるが鉄筋に沿ったものではない」状態であった。これらを考



内部に損傷がない供試体



内部が損傷している供試体



損傷・耐久性調査位置図

損傷の凡例（床版）

損傷の種類	表　示	損傷の種類	表　示
漏水・遊離石灰 ひび割れ（微細）		ひび割れ	
遊離石灰 ひび割れ（格子状）		鉄筋露出	
ひび割れ（格子状） 打音検査で異常音			

慮すると、この段階では「鉄筋の腐食が生じ始めた段階」と考えられる。このことより、この試験結果に「コンクリート標準示方書（維持管理編）」の定義を用い、本橋梁の床版コンクリートを「潜伏期（後期）～進展期（初期）」と判断した。

次に含有塩分量試験についてである。本試験は供試体として採取したコンクリートコアをスライスしたものを使用している。４９試料中、約６０％に相当する２８試料で０．３ｋｇ／ｍ３を上回っているとともに、試料によっては将来的に鉄筋腐食の可能性が高い１．２ｋｇ／ｍ３をも超えていた。はつり試験による鉄筋の状況は、前述の中性化試験に記載のとおりである。以上より、この試験結果に「コンクリート標準示方書（維持管理編）」の定義を用い、本橋梁の床版コンクリートを中性化試験と同様に「潜伏期（後期）～進展期（初期）」と判断した。

次にコンクリート圧縮強度試験についてである。本試験は、供試体として採取したコンクリートコアを試料として使用している。全１１試料で建設時の設計基準強度であるσｃｋ＝２４Ｎ／ｍｍ２を上回っており、平均値はσｃｋ＝３１．１Ｎ／ｍｍ２であった。これより、コンクリート圧縮強度としては、当時の設計基準強度を満たしていると判断した。

最後に静弾性係数試験についてである。本試験についても、供試体として採取したコンクリートコアを試料としている。全１１試料で推定される標準値以上であり、コンクリートの静弾性係数としては健全であると判断した。

4. 損傷原因の推定

詳細調査より、今回の損傷原因及び過程を次のとおり推定した。

本橋梁は防水層が設置されていない。そのため、水が舗装の損傷部等から床版に生じているひび割れ部へ侵入しやすい状況であったと考えられる。この状況下での凍結融解作用が床版の劣化を更に進展させ、水が供給され続けることによりひび割れ面の擦り磨きを助長したと考えられる。併せて、車両走行による疲労も重なりコンクリートのひび割れ幅を進展させ、徐々に土砂化が進行するとともに床版の剛性が低下し、最終的に床版抜け落ちに至った。

また、抜け落ちが発生した第２径間は他の径間と比較し、橋軸方向の勾配が最も緩やかな径間である。このため、床版上に滞水しやすい状態であり、他径間よりも劣化の進行が速かったと考えられる。

さらに、損傷部周辺の床版下面の状況を確認した結果、骨材に沿ったコンクリートの剥がれが多く見られた。これは、建設当時に骨材として使用した川砂利の洗浄不足により付着力が低下したためと考えられる。加えて、損傷個所は主鉄筋及び配力筋の継手付近であり位置的に不利な状態であったことも判明した。

今回の損傷は、これらの要因が相互に悪影響を与えたことが原因と考えられる。

5. 床版補修の方針

点検及び各種試験の結果、交通に支障を及ぼす床版剛性低下が懸念される損傷は全６０パネル中１７パネルであった。また、３６パネルは５～３０mm程度の床版上面の土砂化が想定されるが、床版下面の状況等から顕著な剛性低下は無いと判断した。

剛性低下が懸念される１７パネルの床版は、土砂化進行による床版厚の減少、遊離石灰を伴う格子状のひび割れや床版内部に水平クラックが生じている。このように内部に構造的な弱点が存在するため、既設床板を活用しての剛性回復は困難であると考えられることからコンクリート全厚を打ち換える床版部分打ち換え工（写真－４）を行うこととした。

３６パネルの床版は、内部に構造的な弱点が存在しないと考えられるため、床版上面に生じている土砂化した脆弱部を除去した後、床版断面の復旧による剛性回復が可能であると考えられる。これより床版上面打ち換え工（写真－５）を実施した。

なお、既設鉄筋は全数結束となっていないため、今回の損傷のように弱点となりやすい。また、床版撤去時の損傷や塩化物の浸透による腐食が生じやすい箇所でもあるため、今回の補修時に全数結束を施すとともに補強添筋を配置することとした（写真－６）。このほか、床版上面に対する予防措置として防水層を設置し、床版下面は劣化したコンクリートを除去し、ポリマーセメントモルタルによる断面修復を行うこととした。



写真-4　床版部分打換え工

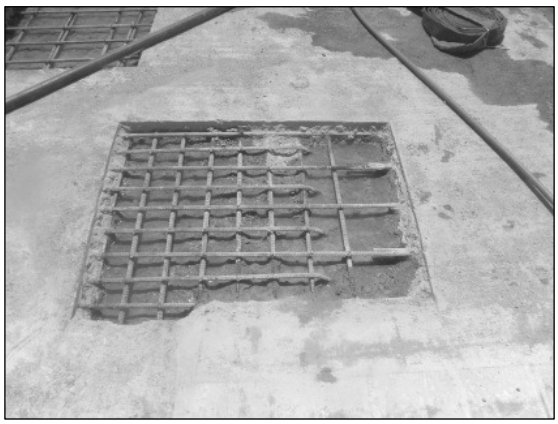


写真-5　床版上面打換え工

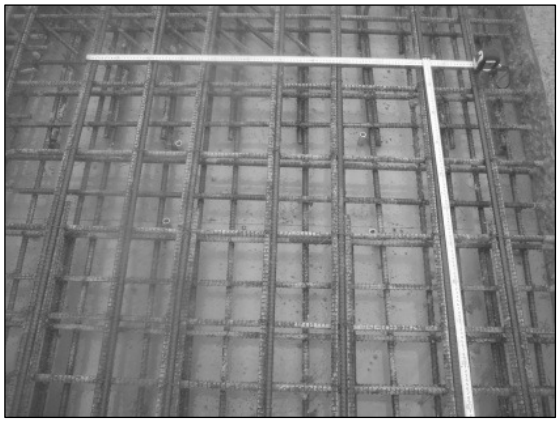
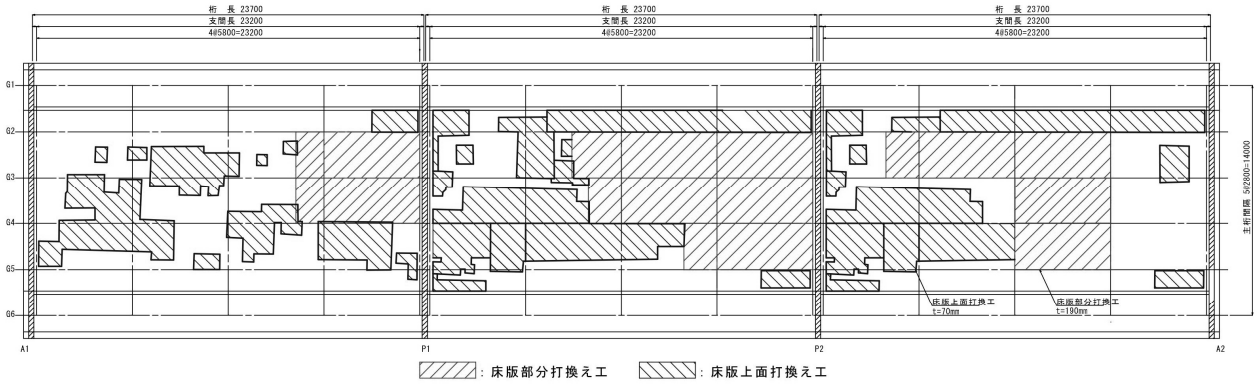


写真-6　鉄筋全数結束、補強添筋

6. 緊急補修工事における課題

施工計画の立案に際し、工期短縮が大きな課題であった。本橋梁は合成桁であり、床版をはつり落とした状況下での剛性低下及びコンクリート打設時並びに養生時に通過交通の振動による悪影響を考慮し全面通行止めによる施工が必要であった。また、施工期間が河川の出水期にかかるため仮設吊足場の設置期間に制約があること。更には８月に開催される全国花火競技大会時における重要路線であるために、車両通行を早期に回復させなければならない。以上のことから、可能な限り工期短縮を図るため本工事では超速硬コンクリートを採用した。

床版部分打換え工・床版上面打換え工範囲



なお、既設床板の撤去は床版全厚を打ち換えるパネルでは電動ピックによる人力施工を行い、床版上面を打ち換えるパネルでは、下部へのマイクロクラックの影響を排除するため一部ウォータージェット工法を採用した。

7. 緊急補修工事に着手

補修工事の実施に際し、沿線住民を対象として工事説明会を開催するとともに、関係機関の理解と協力により平成２６年５月２日より全面通行止め規制による工事に着手した。施工中、コンクリート床版の取り壊しに期間を要したが、コンクリート打設時に大型バッチャジェットミキサ車を日最大２台使用し、コンクリート打設期間の更なる短縮を図った。

床版コンクリート打設完了の後、防水層設置及び舗装工事を行い、平成２６年６月３０日に供用開始することができた。

8. さいごに

本橋梁にはアスファルト合材による舗装補修の痕跡が多数あり、これまでに何度も補修を繰り返している状況が伺えた。

詳細調査の結果より、見えないところで損傷は急激に進行することがあり、最終的に今回のような状態に至ることが判明した。このような損傷が発生する前に、剥がれた舗装の床版上面や床版下面の状況を観察することにより、損傷がどこまで進行しているのかを把握又は予測する知識と技術が必要だと改めて痛感した。

この度は本市にとって初めての事象であり、損傷発生時から国土交通省東北地方整備局、秋田県建設部の多大なる支援および協力をいただくとともに、関係各方面からは技術的なアドバイスをいただき無事にしゅん工することができた。今回の補修を経て、各道路管理者の相互連携の重要さを改めて実感した。この場を借りて協力いただいた関係各機関の方々へ改めて感謝を申し上げます。

参考文献

1) 土木学会：2012年制定コンクリート標準示方書
設計編

2) 土木学会：2012年制定コンクリート標準示方書
維持管理編



ウォータージェットによる取壊し



大型バッチャジェットミキサ車



コンクリート床版打設状況



供用開始後

道東道におけるドクターヘリの ダイレクト着陸支援について
—北海道横断自動車道白糠IC開通に伴う取り組み—

岩舘　慶多[1]・小野田　義一[2]・高山　博幸[3]

[1]北海道開発局　建設部　道路計画課　（〒060-8511 北海道札幌市北区北8条西2丁目）

[2]北海道開発局　釧路開発建設部　道路計画課　（〒085-8551 北海道釧路市幸町10丁目3番地）

[3]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）

2015年3月，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浦幌IC～白糠ICが開通した．山岳地区を通り市街地からも遠いこの区間では，ドクターヘリのランデブーポイントが少なく，出動時には円滑な医師接触が難しいため，緊急措置として本線を活用したダイレクト着陸適用も想定される．本報告では本線上のダイレクト想定箇所の抽出について基地病院及び運航会社と連携した事例について紹介する．

キーワード　ドクターヘリ，高規格幹線道路，ダイレクト着陸

1. ドクターヘリとは

(1) 「空飛ぶ救急車」ではなく「空飛ぶER」

時速200km以上で飛行することができるドクターヘリは従来の救急車搬送の5倍の速さで現場から病院まで搬送することができる．しかし，ドクターヘリの本当の価値は「ドクターヘリ」という名が示す通り，医師と看護師が集中治療室並みの医療機器を装備したヘリに搭乗し，直接救急現場に向かいその場で初期治療を開始できることである．

ドクターヘリとは単に搬送時間を短縮する「空飛ぶ救急車」ではなく，むしろ治療開始をより早めるために医師と看護師の医療スタッフを救急現場へ送り込む「空飛ぶER」と言える．

(2) ドクターヘリの運用状況

2014年1月時点，全国36ヵ所に43機のドクターヘリが配備されている．北海道においては，札幌の道央ドクターヘリ（手稲渓仁会病院），旭川の道北ドクターヘリ（旭川赤十字病院），釧路の道東ドクターヘリ（市立釧路総合病院，釧路考仁会記念病院）の3エリアで運用されている．また，2015年2月から函館において道南ドクターヘリ（市立函館病院）が新たに運用を開始した．

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30～50kmと言われているが，北海道では片道100～150kmもの広い運航エリアをカバーし，救命救急センターの少ない北海道の急性期医療に大きく貢献している（図-1）．

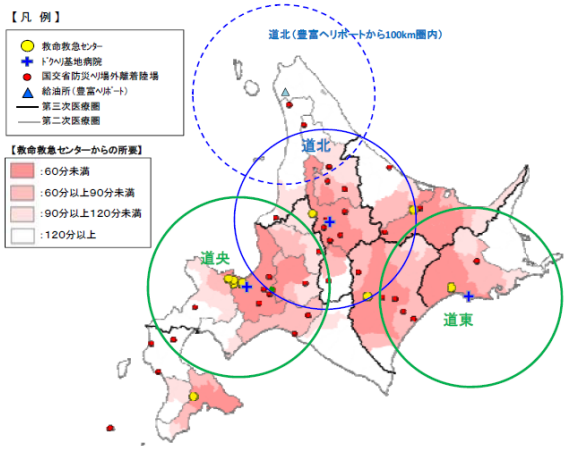


図-1　北海道のドクターヘリ運航エリア

2. ダイレクト着陸想定の必要性

(1) ランデブー方式とダイレクト着陸

ドクターヘリの離着陸には，以下の2方式がある．

①ランデブー方式

：あらかじめ設定したランデブーポイント（学校，公園・スポーツ施設，公共施設・駐車場，道路施設，消防施設，公共ヘリポート等）で救急車と合流する．

②ダイレクト着陸
：救急現場直近である道路本線上等にドクターヘリを着陸させる．

北海道開発局では，公共空間を活用したランデブーポイントの設定を行っており，迅速な医師接触の実現を支援している．しかし，ランデブーポイントの設定が困難である山岳地区などの道路ではダイレクト着陸を想定する必要がある[1]．実際，ドクターヘリを先進的に導入しているドイツやアメリカなどでは道路上への着陸が日常的に行われている[2),3)]．

(2) 4省庁合意による高速道路本線上への離着陸に関する整理

警察庁，消防庁，厚生労働省，国土交通省および道路公団による「高速道路におけるヘリコプターの活用に関する検討会（以下，「検討会」）」では，2005年に「高速道路におけるヘリコプターの離着陸に関する検討について（以下，「4省庁合意」）」[4)]を発表し，ヘリコプターの高速道路本線上への離着陸について整理を行っている．

図-2に示す「高速道路からのヘリコプターによる搬送フロー（4省庁合意の別紙2）」において，2車線の区間でのダイレクト着陸は「交通規制等の着陸条件をクリアーし，機長により安全着陸が可能と判断された場合」に適用されるものとされている．そのため，「高速道路本線上におけるドクターヘリコプター離着陸場所候補地のクラス分けの目安（4省庁合意の別紙4）」において，道路条件（スペース，障害物，路面勾配）と車線数からA～Dのクラス分けを行う際にも，本事業のような2車線区間は想定されていない．

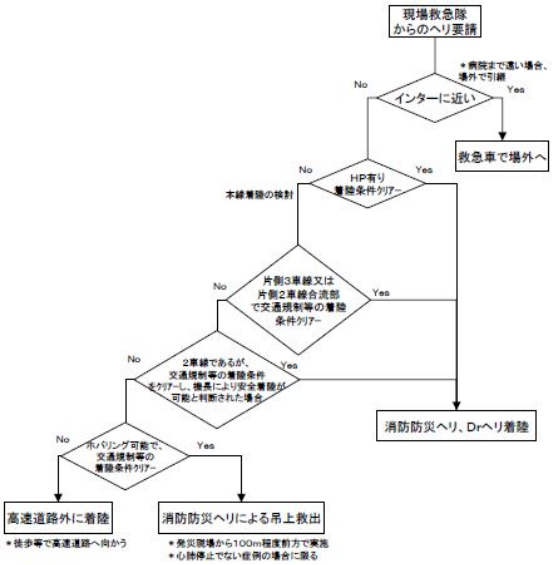


図-2　高速道路からのヘリコプターによる搬送フロー

しかしながら，検討会は4省庁合意について「試験的に運用していくことを前提とした暫定案」としており，今後，実際に運用していく中で「さらに検討を加えてより良いものに見直す」としている．また，各ドクターヘリ運用地域において「ドクターヘリの運航調整委員会などが中心となり，その推進が図られるよう調整する必要がある」としている．これらを踏まえて，道東ドクターヘリでは暫定2車線である道東道におけるダイレクト着陸の円滑な運用のために，あらかじめダイレクト着陸想定箇所の検討を行った．

3. 道東ドクターヘリと北海道横断自動車道

(1) 道東ドクターヘリ概要

道東ドクターヘリ[5)]は，2009年10月に市立釧路総合病院を基地病院，孝仁会記念病院を基幹連携病院とする2病院体制で運航を開始した．運航エリアは釧路市から概ね100km圏内の釧路・根室管内を中心として十勝管内，オホーツク管内の一部もカバーしている．年間の運航実績は約400件となっており，毎日1回以上出動する頻度となっている（**図-3**）．使用機体はユーロコプターEC135（ドイツ）で，巡航速度225km/h，航続距離560kmとなっている（**図-4**）．

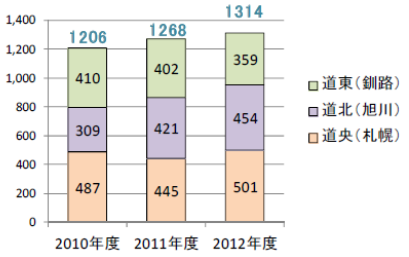


図-3　道内ドクターヘリの年間運航回数

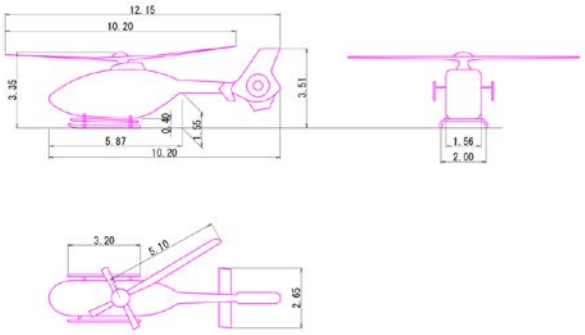


図-4　道東ドクターヘリの諸元

(2) 北海道横断自動車道（本別IC～白糠IC間）概要

2015年3月，釧路地区で初めての高速道路となる北海道横断自動車道（以下，道東道）の浦幌IC～白糠ICが開通した．延長26kmのうち56%をトンネルが占めるこの区間は，市街地から遠い上，山岳地区を通るため地形上の問題から本線周辺へのランデブーポイントの設定は難しく，緊急時には円滑な医師接触が難しい．

図-5は，ドクターヘリおよび救急車（帯広へ搬送，釧路へ搬送）の医師接触時間を算定したグラフである．ド

クターヘリは医師が直接現場に向かうため，白糠ICで24.4分，本別ICで33.4分といずれも救急車より早く医師接触を果たすことができる．

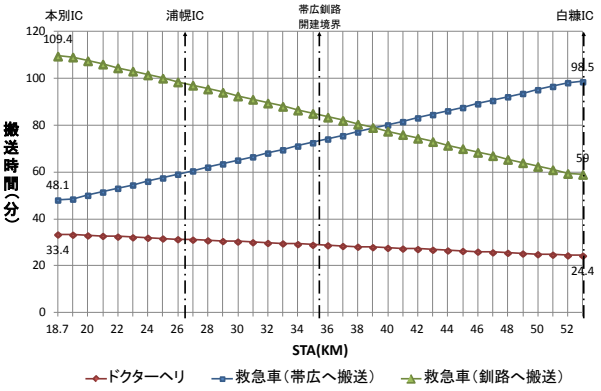


図-5　搬送手段別の医師接触時間

図-6は，死亡率の時間経過を表すカーラーの救命曲線に医師接触時間をプロットしたものである．このように，道東道での救命救急においてドクターヘリのダイレクト着陸が有効であることが分かる．

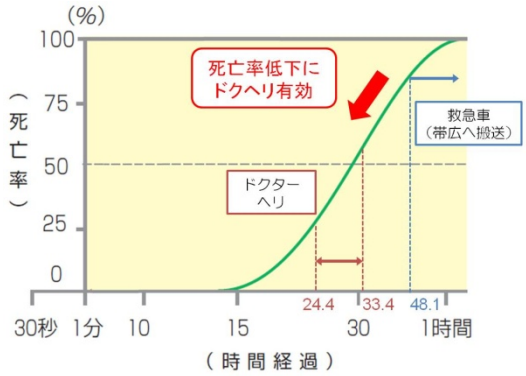


図-6　カーラーの救命曲線と医師接触時間

4. 道東道におけるダイレクト着陸支援

本事業では，道東ドクターヘリの道東道本線上へのダイレクト着陸適用に備えて，あらかじめダイレクト想定箇所を選定しておくことで，円滑な運用を図る．なお，本事業において選定した基準は，基地病院やヘリ運航会社との現地立会等を経て形成されたものであり，道東道においてのみ適用されるものであるとともに，機長判断とされる領域での運用であることに留意されたい．

(1) ダイレクト想定箇所の選定フロー

釧路開発建設部では，道東ドクターヘリの基地病院である市立釧路総合病院およびドクターヘリの運航会社である中日本航空(株)と共同して，道東道におけるダイレクト想定箇所の選定を以下のフローで行っている．

① 机上抽出
：図面から概ね高さ1.5m以上の道路付属物（標識や情報板，照明等）の抽出を行い，その半径10m以内を着陸支障物件として図面に記入する．

② 現地立会
：現地にて，道路付属物以外で着陸の支障となる要因（地形，切土，盛土，立ち木，架空線等）からダイレクトの可否を検討する．

③ ダイレクト想定箇所の決定
：机上抽出および現地立会の結果をもとに，ダイレクト想定箇所を決定する．

④ ダイレクト想定区間のナンバリング
：隣接するダイレクト想定箇所を区間としてまとめ，ナンバリングを行う．

⑤ 図面共有
：完成した図面を基地病院，ヘリ運航会社，消防，道路管理者で共有する．図面としては，ダイレクト想定区間図（区間ナンバーを記載，図-7）とダイレクト想定箇所図（着陸支障物件や着陸可能な延長，L・Rを記載，図-8）をセットにすることを検討している．

⑥ GPS登録
：ドクターヘリ運航会社では図面に基づいてダイレクト想定区間のGPS登録を行う（机上で可能）．

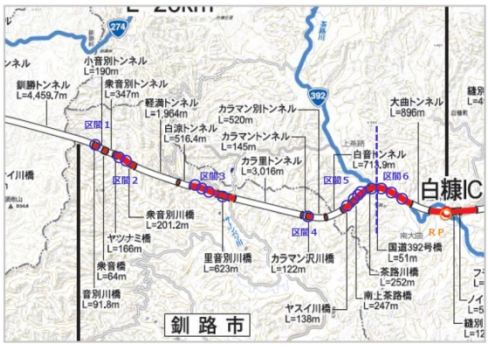


図-7　ダイレクト想定区間図のイメージ

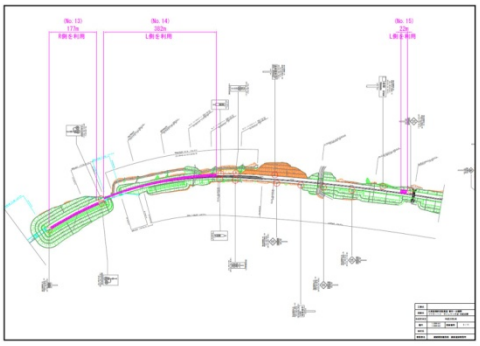


図-8　ダイレクト想定箇所図のイメージ

(2) 現地立会におけるヒアリング結果

本区間のように片側1車線の幅員であっても，次の条件を満たす場合には機長判断によって着陸を行う可能性が出てくるとの見解を得た．

条件①：ヘリローターが接触する高さに障害物がない．
条件②：進入進出の2方向の飛行経路が確保できる（図-9）．

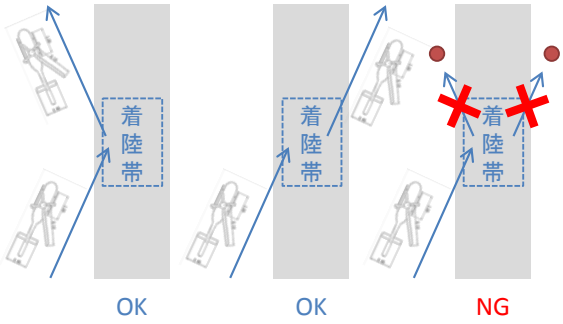


図-9　2方向確保（進入進出）のイメージ

以下に，その他のヒアリング結果をまとめる．

- ヘリの着陸で重要なのは法面の高さではなく，立ち木の高さであり，現地の立会が必要である（図-10）．
- 条件①に照らすと，一見障害物に見えるガードレールは支障とならないが，防護盛土は支障となる（図-11）．
- 吹流しはローカルな風向風量を把握するのに有効である．設置間隔は基準書の通りでよいが，吹流しそのものは着陸支障物件となるため，あらかじめ着陸支障物件が固まる箇所に設置することが望ましい．
- 道路上へのダイレクトで1番問題となるのが架空線であるが，高速道路にはないので好ましい．



図-10　法面の高さではなく立ち木の高さが問題



図-11　思わぬ支障となった防護盛土

(3) ダイレクト着陸を支援する道路の工夫

①　道路付属物配置の工夫

図-12の事例では，警戒標識を34m移動することで連続する空間が生まれ，新たにダイレクト想定箇所を確保することができた．

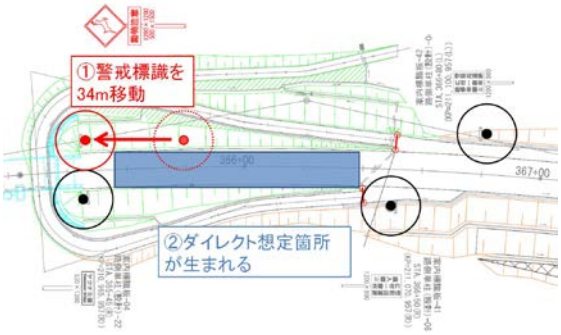


図-12　標識移動によるダイレクト想定箇所の確保

②　緊急車両用の表示設置

地上の緊急車両がダイレクト想定区間を確認できるように，ナンバリングに対応した表示（図-13）を設置した．

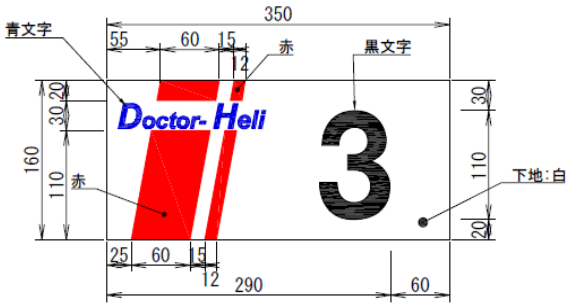


図-13　緊急車両用の表示

5. おわりに

本事業では，ドクターヘリの本線上へのダイレクト着陸を建設段階から見据えて取り組んできた．道路技術者がドクターヘリの着陸について，知識を持っておくことで設計段階から工夫することも期待される．今後も引き続き，ドクターヘリの円滑な運用のために道路が支援できることを検証していきたい．

謝辞：本報告データの提供や現地立会への協力を頂きました市立釧路総合病院ならびに中日本航空(株)の関係各位に，この場をお借りして御礼申し上げます．

参考文献

1) 高山博幸：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―．
2) HEM-Net：欧州ヘリコプター救急の現状と日本のあり方．
3) HEM-Net：米国ヘリコプター救急の現状と日本のあり方．
4) 警察庁，消防庁，厚生労働省，国土交通省：高速道路におけるヘリコプターの離着陸に関する検討について．
5) 道東ドクターヘリ運航調整委員会：平成 23 年度道東ドクターヘリ運航実績報告書．

地域・民間・自治体・教育現場への防災支援に関する取り組みについて

菊永　和久[1]・興梠　逸郎[2]

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

自然災害への関心が高まっている現在、防災減災への取り組みについて、地域住民は勿論のこと、民間企業・自治体・教育現場からも技術的支援のニーズが高まっている．本論文は、このようなニーズを受け、地域住民への「マイ防災マップ」作成・「防災サイン」設置、民間企業を対象とした「水害版事業継続計画」・「避難確保計画」・「浸水防止計画」作成、自治体向け「タイムライン」作成、教育現場への防災教育教材の提供等、武雄河川事務所で実施している防災支援に関する取り組みについての事例紹介を行う．

キーワード　マイ防災マップ，防災減災計画，タイムライン，防災教育，出前講座

1. はじめに

２０１４年度、武雄河川事務所では「出前講座」を５６回３，４００名に対して実施した．

内容は河川に関わるもの様々だが、うち「防災」に関わるものが約２／３(図－１)を占めており、この傾向は東日本大震災以降顕著(図－２)になっている．また「防災」に関しての講座対象者は学校の児童・生徒が多いが、地域の行政区単位、民間企業の聴講や相談も増え、地域や教育現場、そして民間企業や自治体の間にも防災に関しての関心が高まってきていることがうかがえる．

以上のことから、武雄河川事務所では様々な階層や組織に対しての防災支援を取り組んでおり、その事例について今回紹介するものである．

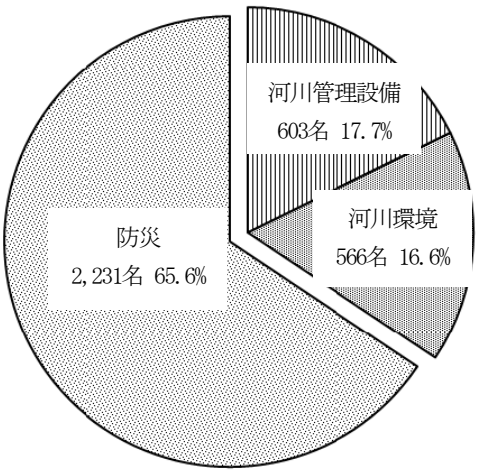


図-1　出前講座内容

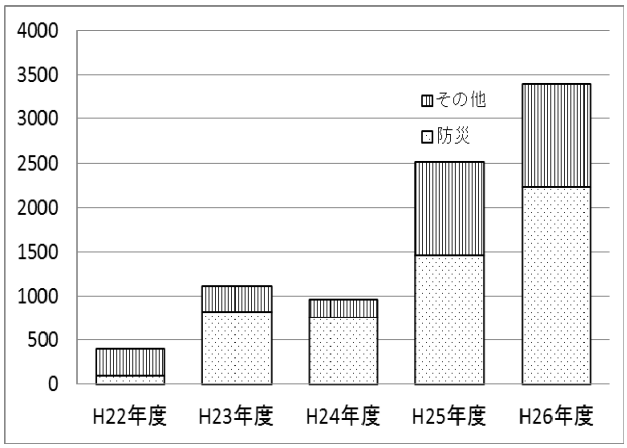


図-2　出前講座の推移

2. 地域に対して

(1) 「マイ防災マップ」作成支援

２００５年度から支援を開始して昨年度迄で１０年を経過しており、この間２４５の行政区に対して作成支援を行ってきた．伊万里市では２０１２～２０１４年度の３年間で１８２の行政区総てで「マイ防災マップ」を完成することができ、その後地域の防災訓練でも避難訓練等で活用し検証も行われている．また、２０１４年度には佐賀市「アバンセ(佐賀県立生涯学習センター)」の

「公民館課題解決事業」で、武雄市橘公民館、武雄市教育委員会と協同で１３の行政区に「マップ」作成支援を実施、新たな広がりも見られている.

支援の内容は、作成説明会・まち歩き・マップ作成・活用説明会等々、各地区に４回～５回は訪れ、「防災マップ作成手引き」も活用しながら、地域住民の皆さんと一緒に作成する手法を続けている（写真－１）. 長年の継続した活動により、参加者からのアンケートでも、「防災について新たな発見が有った」「今後地域で防災活動のスタートとなるように頑張る」等の意見とともに「河川事務所の職員は親切で身近に感じられた」等の職員に対してのありがたい評価もいただいている.

(2) 「防災サイン」設置支援

マイ防災マップを「まるごとまちごと」仕上げる取り組み「防災サイン」の設置(写真－２・図－３)を、地元と自治体と事務所で役割分担を行い進めている. 防災サインの製作費用が必要で一気には設置できないが、設置した地域では「幅広い住民に目に見えて良い」「再度現地を確認して再認識できた」「他の地域から来られた方にも親切」と好評. 屋外広告条例の把握等、学習や他機関との調整も必要であった.

(3) 「防災訓練」への参加

各自治体が行う防災訓練は勿論のこと、小さな行政区単位で実施される訓練にも積極的に参加し、過去の災害写真等のパネル展示等を掲示し防災意識の高揚や情報収集の仕方の説明ブースを開設、防災に関する講演等(写真－３)も実施している. 直接地域住民の人々と会話ができる絶好のチャンスと捉えている.

3. 民間企業に対して

(1) 「水害版ＢＣＰ(事業継続計画)」作成支援

大規模な災害が一度発生すると、民間企業の事業継続の可否が地域住民の生活に大きな影響を与える. そのため２０１３年度より、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等、ＢＣＰ作成支援を開始した. ２０１４年度には製造業、医療・福祉施設に加え、新たに流通業・金融業の企業に対する支援も実施し「水害版ＢＣＰ作成の手引き(図－４)」も第二版を作成し、さらにＢＣＰ作成促進を図るため、国内外の事例を多く集めた作成促進説明資料も作成した.



写真-1 橘町マップ作成支援状況



写真-3 防災訓練での講演



写真-2 防災サイン設置状況

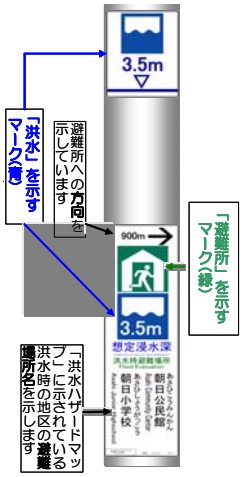


図-3 防災サイン



図-4 BCP 作成の手引き

(2) 「避難確保計画」・「浸水防止計画」作成支援

２０１３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なされた．しかし民間企業では「洪水に対する知識が無い」「情報もどこから収集してよいか判らない」「計画をどのように作成すれば良いか判らない」「人材がいない」「作成する目的が判らない」等の声も多く聞かれ、作成が進まない状況にあった．いきなり「作りませんか」では企業も乗ってこない、企業にも作成するうえで「メリット」がなければなかなか進まないのではと考え、前述したＢＣＰ作成を先行させた．企業が「大災害の時に生き残れるのか」を課題として理解してもらえば企業としての「メリット」となり、その後、議論の中で自然と事前準備の話題となり「避難行動計画」「浸水防止計画」作成を感じてもらうことができた．民間企業２社の協力を得ながらワークショップ方式により実際に計画を作成、その経過を踏まえながら両計画の作成手引き(図－５・図－６)を作成した．また、協力をしていただいた介護施設(写真－４)・製紙会社(写真－５)では計画に基づく訓練も行われている．

4. 自治体に対して「タイムライン」作成支援

２０１４年度に全国１０９の直轄河川においてタイムラインが策定された．タイムラインは、①「いつ（タイミング）・・防災行動を実施する時間帯」②「何を（防災行動）・・事前に行う防災行動内容（あらかじめ調整し決める）」③「誰が（機関または組織）・・防災機関や組織または個人」の３つの要素で構成され、「大規模災害が起こることを前提」に「事前の意志決定」を「見える化」したものである．このタイムラインを実効性のあるものとするためには、関係機関の総意・連携が不可欠であり、特に水防管理団体である自治体の役割は大きい．そこで、自治体向けのタイムラインの作成のため、小城市をモデル地区として協力を頂き、「事務局会」、「小城市研修会(ワークショップ方式)」(写真－６)、「六角川流域事前防災行動計画検討会」の３つの組織により検討を進めた．

小城市でのタイムラインは２７６の行動項目２６機関との連携を明示したタイムライン(洪水版)が概成した．参加した自治体職員からは、「洪水の経験者が少なくなってきている現状で非常に役に立つ」「自分の果たす役割が明確になった」「同じ職員間だが今まで会話がなかった、今回真剣に議論できて良かった」等々、タイムラインそのものの成果は勿論のことコミュニケーションツールともなっている．

この間の経過を踏まえて「自治体向けタイムライン作成の手引き」(図－７)を作成、今後は作成自治体の拡大、対象事象の充実、地域版のタイムライン作成を進めていく．



図-6　浸水防止計画作成手引き

図-5　避難確保計画作成手引き



写真-4　避難確保訓練



写真-5　浸水防止訓練



写真-6　小城市ＷＳの模様



図-7　タイムライン作成手引き

5. 教育現場に対して

(1) 「学習教材」の作成・提供

２０１３年度の学習指導要領の改訂により、総合学習での出前講座ではなく、担任教諭自らが防災についての授業を実施する「単元授業」として、小学校５年生「理科：流れる水のはたらき」、「社会科：自然災害の防止」が新たに組み込まれ、教育現場では教材収集が課題となり写真やデータ等、学習教材のニーズが高まってきていた．しかし教育現場では好き勝手な授業はできないため、武雄河川事務所では、２０１２年度に「学習プログラムを作成」、学習指導要領に沿った指導計画案(図－８)と、教師用解説書(図－９)を作成した．また、全国版の教科書では地震・津波が中心となっていたため、流域でもっとも身近な自然災害である洪水を中心に計画案を作成、地元を流れる身近な「六角川・松浦川流域」を題材にして、写真・出水時の記録データ・図面等の資料を収集整理し提供した．２０１４年度末現在、武雄市・唐津市２市１１クラスへ支援(写真－７)している．

教職員からは「授業を計画するうえで資料の収集が一番大変、これだけ提供してもらうと助かる」「河川事務所の人が版書計画(図-１０)まで作るとは思っていなかった．」等の声が寄せられている．

２０１５年度には教育現場での電子化(電子黒板等)への対応として「学習プログラム」も電子化しホームページからも「電子版」の提供を開始する．

(2) 「実践的防災教育総合支援事業」への協力

文部科学省は、東日本大震災を受け、生徒達が自然災害の際に「主体的に行動する態度」を育成していくための防災教育として２０１２年度から「実践的防災教育総合支援事業」を開始している．武雄河川事務所では防災講話(写真－８)や、避難訓練などに対するチェック・助言、教職員への研修(写真－９)、学校と地域の防災関係機関との連携体制の構築のための指導・助言者として事業当初より「推進委員」「学校アドバイザー」の委嘱を受け、この事業に協力している．

支援事業では、毎年モデル校を指定し、東日本大震災被災地の訪問・ボランティア活動、九州北部豪雨被災地の訪問などの取り組みの他、地域での防災マップ作り、地域での避難訓練への参加、着衣泳訓練、避難所宿泊体験等、さまざまな取り組みを行っている．教育現場の方々からは、「防災のプロが参加してもらうと心強く助かる．」等の声も寄せられている．

２０１５年度は、武雄河川事務所で作成した、「学習プログラム」を佐賀県教育委員会で取り組む「総合防災支援事業」の中で活用、佐賀県内の全小学校に配布、モデル校も選定し授業も実施予定であり、武雄河川事務所と佐賀県教育委員会との取り組みが結合することとなる．

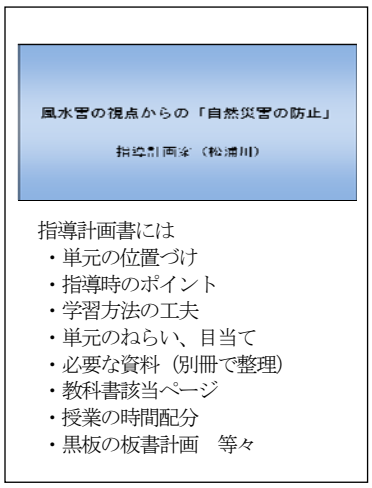


図-8　指導計画案

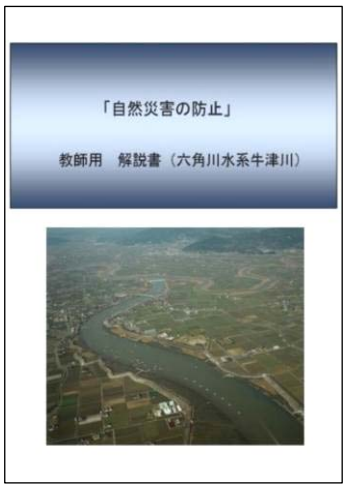


図-9　教師用解説書

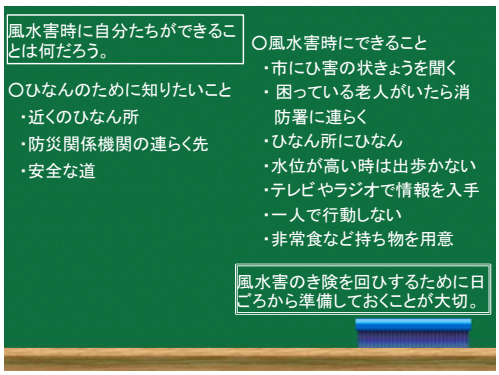


図-10　板書計画



写真-7　授業の模様



写真-8　高等学校での防災講話



写真-9　公立幼稚園・小中高教諭講義

6. 防災に関する出前講座

地域、学校、職場、自治体等様々な組織から防災に関する出前講座の依頼があり、対象者の年齢、職業、地域性、講座に対して求める内容等々が異なるため、画一的な対応は出来ない．形態は座学を始め、防災キャンプ（写真－１０）、防災カルタ（写真－１１）等対象者に併せて工夫し、資料等については可能な限りそれぞれの講座の対象者の身近な話題提供となるように以下のとおり心がけて資料等作成し臨んでいる．

・一般論ではなく気候変動資料[1]（図－１１）、災害年表など用いて、災害は必ず訪れることを前提にする．
・佐賀平野の大規模災害時のリスク評価や破堤浸水シミュレーションを用いて、災害によるリスクを正しく伝え認識してもらう
・洪水による事象だけではなく、高潮災害、土砂災害、地震災害等々、対象者の身近な災害、興味のある自然災害を取り上げる．
・地域の昼夜人口形態[2]（図－１２）、年齢構成や就業形態等の情報を知らせながら地域の特徴を確認してもらう．
・その時々の自然災害等、最近の話題を盛り込む．
・対象地域近傍の過去の災害等身近な事例を取り入れる．（例えば最近であれば火山活動、昨年度であれば土砂災害など．）
・出前講座対象地域での過去の災害事例にも触れ、特に高齢者の方の経験談等を引き出す．
・地域の文化や歴史も学習しておく、特に高齢者の方とは話のきっかけになる．
・学校や企業であれば校訓（図－１３）、社訓等調べておくと意外と防災のキーワードとなる．
・資料等には必ず問い合わせ連絡先を記入することで、その後の展開に繋がり信頼感も得やすくなる．

身近な話題を取り入れることで、参加者からは「地域のことをよく調べて来てくれている」「子供や孫に災害の話をしてみる」「いい話が聞けた」等の声も寄せられている．

また、出前講座の中で小学生の発想で作成した五角形の段ボールシェルター（写真－１２）が発案されるなど、教えられることも多々あるのが面白い．



写真-10　防災キャンプの模様



写真-11　防災カルタでの講座



写真-12　小学生発案の
五角形段ボールシェルター

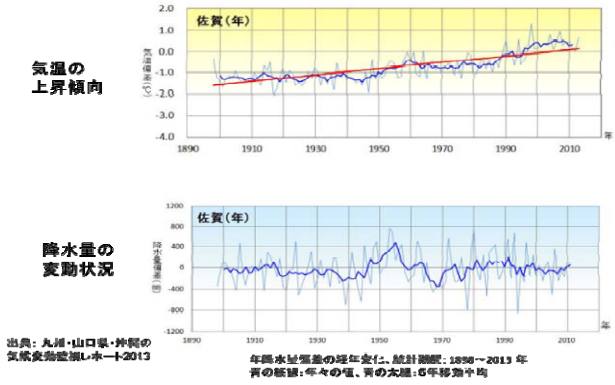


図-11　気候変動説明資料

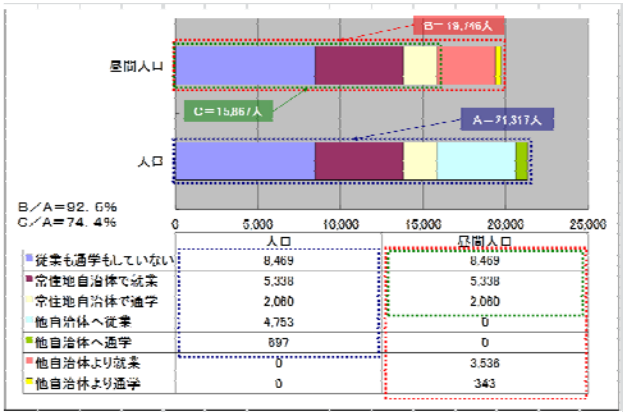


図-12　人口と昼間人口資料

かしこく、やさしく、たくましく

元気に　がんばる　塩田っ子
し　しっかり勉強
お　おおきな心
た　たくましい体

図-13　鹿島市立塩田小学校校訓

7. まとめ

２０１５年５月１７日に牛津川河川敷で行われた「２０１５年度六角川・嘉瀬川・松浦川総合水防演習」においては、九州で初めて、前述したタイムラインに添ったシナリオで実施、また、演習の中では「水害版ＢＣＰ（事業継続計画）」・「避難確保計画」・「浸水防止計画」作成支援に関わっていただいた企業も「避難訓練」「浸水防止対策訓練」をメニューとして参加してもらった．また、高等学校の２校（写真－１３・写真－１４）も前段で防災学習を行い、演習当日は「土のう作り・積み」演習に参加してもらうことができた．様々な課題を別物で進めるのではなく、一体の物として進めてきた集大成として紹介ができた．

今回さまざまな取り組み事例を紹介したが、その取り組みの中で得た教訓は、

①一つ一つの取り組みが人と人、組織と組織等のコミュニケーションツールとなっている．

②時代の変化には敏感に、新たな取り組みも大胆に行う必要がある．

③継続して取り組んでいるものも、例年やっているからではなく、毎回目的や意義を十分に議論することを心がける、そのことで継続していくことが可能になり、継続したからこそ大きな成果を産むこととなる．

④しかけは大胆に行う、伊万里市のマイ防災マップのように３年で全地域、量は質を産み、新たな取り組みに移行して来つつある．

⑤地域との関わりでは、窓口を常設（地域防災支援・交流窓口）し対応、行動は全職員参加型で実施する．

⑥「手引き」等取り組んだ成果を物として残すことで継続性が生まれる．

等があげられるが、参加した職員と地域の人々や教育現場の人、自治体の人、企業の人との繋がりができてきているのが大きな成果ではないかと感じる．

出前講座の最後には必ず、防災減災のためには「想像力を豊かに」（図－１３）と締め括っている．今後も、全職員参加型での、地域に信頼される防災支援の取り組みを基軸に、防災に関して、「地域での想像力を高め、防災力を高める」取り組みを継続していく．



写真-13　水防演習の模様
高志館高等学校



写真-14　水防演習の模様
佐賀農業高等学校

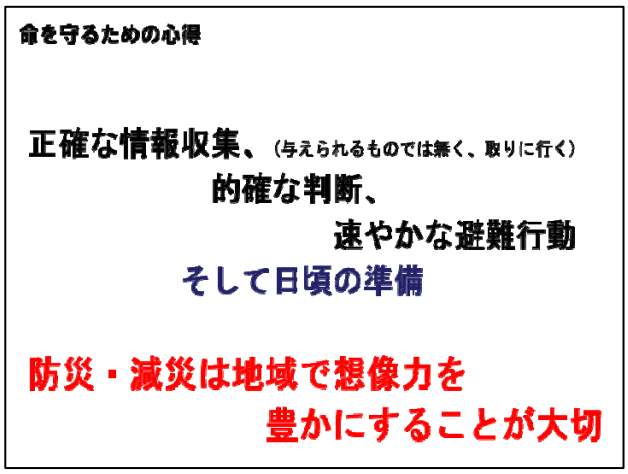


図-13　出前講座パワーポイント

参考文献

1) 出展：九州・山口県・沖縄の気候変動監視レポート２０１３．
2)２０１０年国勢調査より武雄河川事務所で作成

道路景観に配慮したLED道路照明施設の整備

杉田　政尚

関東地方整備局　東京国道事務所　防災情報課　（〒102-8340 東京都千代田区九段南1-2-1）

国土交通省では，2011年9月に「LED道路・トンネル照明導入ガイドライン（案）」を策定し，道路照明施設へのLED照明導入を本格化させた．道路ストックの老朽化による維持修繕費増大が見込まれる中，コスト削減は重要課題であり，LED照明による省電力化や維持管理コスト削減が期待されている．一方で，従来道路に求められてきた安全性や快適性に加え，道路のデザインや景観形成に対する関心も高まっている．

これらの背景を踏まえ，コストを抑制した手法で，道路景観に配慮したLED道路照明施設を整備した．

キーワード　LED，道路照明，道路景観，コスト削減

1. はじめに

道路照明施設の光源は，これまで高圧ナトリウムランプやセラミックメタルハライドランプを中心に用いられてきた．近年ではLED照明の技術革新により，省電力化，低価格化，長寿命化等が進み，各分野でLED照明が活用されている．道路照明施設へのLED照明導入は，一般家庭や建築物など小規模な照明と比べると，コスト面や性能面での課題もあったため普及が遅れていたが，国土交通省では，LED道路照明施設の実証実験や技術基準への適合性の確認等を経て，2011年9月より本格的にLED照明の導入を開始した．

東京国道事務所では東京都区内の国道10路線162.3kmを管理しており，管理区間の大半に道路照明施設が設置されている．道路照明施設の更新時や新設時にはLED照明を採用し，省電力化や維持管理コスト削減に取り組んでいる．

一方で近年，道路のデザインや景観形成に対する関心も高まっており，無電柱化の推進や地域特性を考慮した道路緑化など，道路景観の整備にも力を入れている．

これらの背景を踏まえ，交通安全確保を主目的とされてきた道路照明の役割に加え，地域にふさわしい，道路景観に配慮したLED道路照明施設を検討することとした．従来のデザイン照明による景観形成とは視点を変え，最新LED技術を活用し，周辺環境への配慮や設計上の工夫などに重点をおいた．広く一般的な現場でも活用できるような，コストを抑制した手法による景観設計を目指した．

2. 施工区間の概要

(1) 地域特性

施工区間は，一般国道17号のＪＲ巣鴨駅前からとげぬき地蔵入口までの約200mで，沿道には昔ながらの商店街が立ち並んでいる．また，周辺には寺社や史跡等も見られ，高齢者を中心に多くの人が訪れるにぎわいのある地域である．

(2) 車道部

片側3車線の主要幹線道路で，中央分離帯や路肩も十分確保され，車道幅員28mの広い道路である（**写真-1**）．施工区間内には，横断歩道と信号機のある交差点が2箇所あり，駅前で歩行者も多く，道路照明に求められる役割が特に重要な区間である．照明灯は路側への設置を基本としているが，交差点中心付近の明るさを補完するために，中央分離帯にも2灯の照明灯が設置されている．



写真-1　巣鴨駅前地区の車道部

(3) 歩道部

上下線共に幅員10m～12mの広い歩道が整備され，商店街には，ソーラーパネル付きのアーケードが連続して設置されている（**写真-2,3**）．歩道照明とアーケードが近接し，照明の光が遮られているケースも見られる（**写真-4**）．

3. 道路景観に配慮した照明の設計

(1) 基本方針

従来の交通安全確保を主目的とした道路照明の役割に加え，地域にふさわしい良好な道路景観を演出させると共に，経済性にも十分配慮する方針とした．

景観設計には専門性が必要であり，より優れた道路景観を実現させるため，当時，景観設計の支援活動をしていた「（仮称）道のバージョンアップ研究会」（現在の道デザイン研究会※）に支援を依頼し，様々な課題に対応していくこととした（**図-1**）．

※　道デザイン研究会
　各分野の有識者と道路局職員が現場に出向き，現場と連携の上，地域にふさわしい道路空間のデザイン（植栽，照明，側溝等のデザインの改善など）の実現を支援することを目的として，2015年1月20日に正式に設置された．

大規模な景観整備事業では，有識者に意見を求めることが通例だが，一般的な道路照明施設改修の現場で，道路景観に配慮した照明設計の支援を依頼することは，新たな試みであった．

(2) 設計条件等

「道路照明施設設置基準・同解説」による設計条件及び基準値を**表-1**に示す．

表-1　設計条件等

設計条件	道路分類		主要幹線道路
	外部条件		A
	路面		アスファルト舗装
規定値	連続照明	平均路面輝度	1.0cd/m^2
		輝度均斉度	総合均斉度0.4以上
		視機能低下グレア	相対閾値増加15%以下
推奨値	交差点	平均路面照度	20lx
		照度均斉度	0.4
	歩道	平均路面照度	10lx
		照度均斉度	0.2



写真-2　巣鴨駅前地区の歩道部

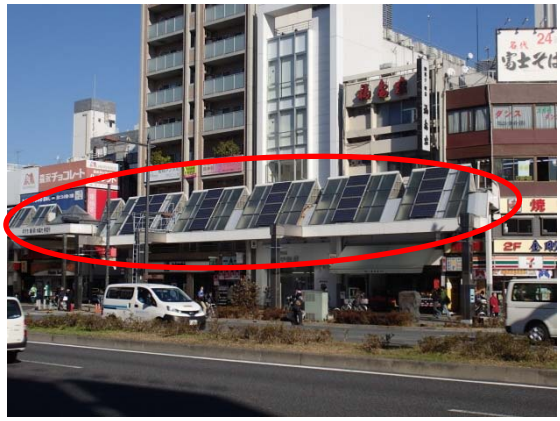


写真-3　商店街に設置されたアーケード



写真-4　アーケードに近接した歩道照明

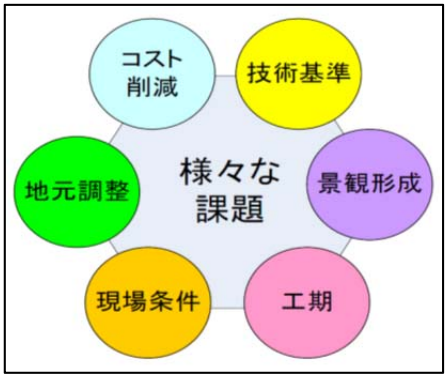


図-1　様々な課題への対応

(3) 形状・デザイン

景観整備事業で道路照明施設の設計をする際は，光を発する側である照明柱や照明器具のデザイン，光源（光り方）の美しさなどが重視されてきた．しかし，デザイン照明は特殊仕様となるため，コスト削減との両立が困難で，採用できる地域が限定されていた．本設計ではコストを抑制させる観点から，標準仕様品を活用することとした．また，景観演出手法の視点を変え，光を照らされる側である道路利用者や道路構造物など周辺環境への配慮，LED技術を活用した光の色や質による夜間空間演出に着目した．

既設の道路照明施設にはデザイン照明が採用されていたが，標準仕様品を活用することについて，地元住民にも理解を求めた．

(4) 配列（照明柱設置位置）

照明柱の配列については，**図-2**に示す3案を比較し，検討した．

【案①】中央分離帯に車道用（2灯用）の照明柱を設置
【案②】路側に車道・歩道別々の照明柱を設置
【案③】路側に車歩道兼用の照明柱を設置

現場の道路幅員の広さ，アーケードと照明施設の位置関係，整備コスト等を総合的に判断し，既設と同様に車歩道兼用の照明柱を路側に設置する案③を採用した．

(5) 道路照明の配光（光の広がり方）

a) 現場条件

車歩道共に広い幅員を有し，歩道にアーケードが設置されている特殊な現場条件に対し，最新のLED技術で如何に効率的に配光するかを検討した．

b) 3Dシミュレーションによる課題把握

配光の課題を視覚的に把握するために，照明イメージを3D空間上でシミュレーションした．**図-3**に示すとおり，3点の課題が確認された．

・アーケードへの漏れ光
・歩道の照度不足
・交差点中心付近の照度不足

c) 車道部の配光

広い車道を均一に明るくするためには，照明灯数を増やせば設計は容易であるが，灯数の増加はコスト上昇を招き，適切な設計とはいえない．このため，最低限の灯数で，効率的な配置，配光となるよう検討した．

施工前は，交差点中心付近の照度を補完するために中央分離帯に照明が設置されていたが，本設計ではこの位置には照明を設置せず，効率的な配光による灯数削減を目指した．この場合，広い車道に対して適切な照度を確保するためには，路側に設置された照明器具から中央分離帯付近まで十分に光を届かせる必要があるため，照明器具前方（中央分離帯側）に強く照射する方法を検討した．

d) 歩道部の配光

歩道がある道路では，道路照明の後方（歩道側）にも光を照射し，歩道の照度も確保する必要がある．しかし，巣鴨駅前地区では照明柱に近接してアーケードが設置されているため，道路照明から後方に光を照射してもアーケードに遮光され，歩道には光が届かない．さらに，アーケードに対する光は，漏れ光による景観悪化を招くため，道路照明から後方への照射は最小限に抑えることとした．

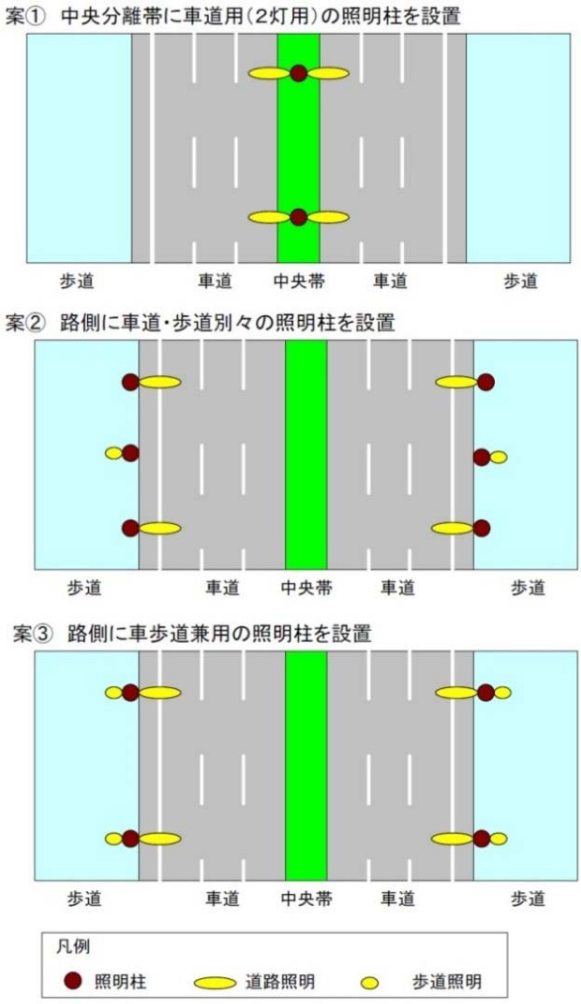


図-2 照明施設の配列

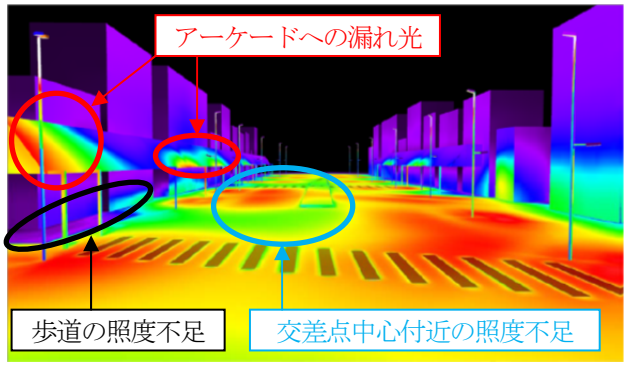


図-3 3Dシミュレーションによる課題把握

e) 対策

前項までの課題に対し，既設道路構造物への影響にも配慮し，適切に配光させる方法を検討した（**図-4**）．

【標準】一般国道（片側３車線）用照明器具の採用

広幅員の道路の中央分離帯付近の照度を確保できないため，不採用とした．

【案①】照明柱にアームを取り付け

照明器具の取付位置を物理的に前出しする方法であるが，アームを設けることで資材価格のコストアップに繋がるため，本検討では不採用とした．

【案②】照明器具を上向きに傾斜

光の向きを物理的に前方に傾ける方法であるが，**図-5**に示すとおり光源のグレア（眩しさ）が増加するため，運転者や歩行者の快適性に配慮し，本検討では不採用とした．

【案③】自専道用照明器具の採用

その後，様々な照明器具による設計を試行錯誤したが，一般国道用のLED照明器具で諸課題（灯数削減，コスト抑制，照度確保，グレア抑制）の包括的解決はできなかった．このため，広幅員な高速道路や自専道で用いられている照明器具にも選定対象を広げ，現場条件に合った前方への照明率（被照面に届く光の割合）が高い照明器具により課題を解決できたため，採用することとした．

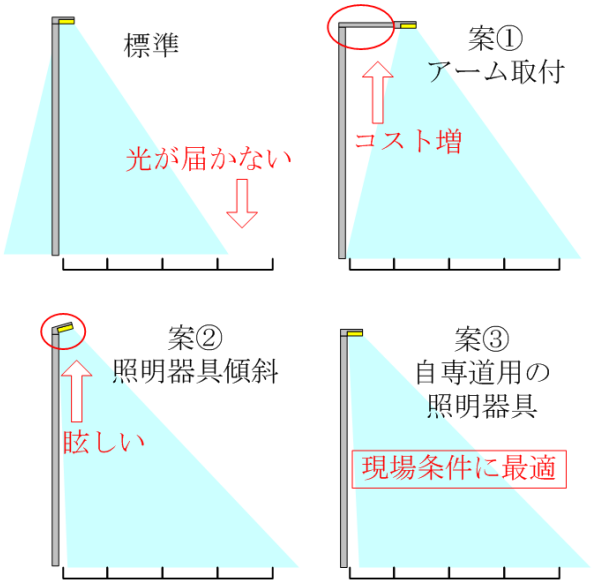


図-4　車道の照明率向上と漏れ光削減の対策

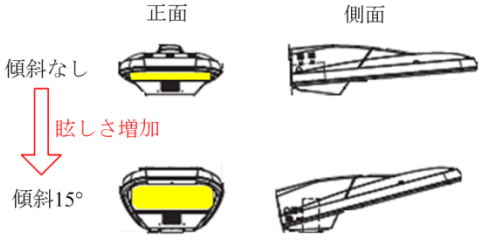


図-5　照明器具の傾きによるグレアの比較

(6) 歩道照明の取付位置

アーケードには，近接する歩道照明からの漏れ光も発生していた．アーケードによる遮光を改善し，広い歩道の照度を確保する必要があるため，歩道照明器具の適切な取付位置を検討した．

図-6に示すとおり，アーケードとの位置関係を精査し，歩道照明器具の取付高さを低くすると共に，アームの長さを短くして離隔をとることで，漏れ光と遮光を大幅に削減した．取付高さを低くすることは照明設計上不利な方法であるが，採用する照明器具を「歩道用」の仕様にこだわらず，広幅員な歩道の照明に適した「生活道路用」とすることで，歩道の照度を確保した．

(7) 光の色

車道部には，濃いオレンジ色（約2100K）の高圧ナトリウムランプが用いられていた．本設計では，都市部の幹線道路の雰囲気に調和させ，自然光に近く視認性の高い昼白色LED（約5000K）を採用した．

歩道部には，白色（約4100K）のセラミックメタルハライドランプが用いられていた．高齢者の歩行が多く，小規模な商店が建ち並ぶ昔ながらの風景を残した地域であることに配慮し，本設計では，暖かみのある落ち着いた雰囲気を醸し出せる電球色LED（約3000K）を採用した．

各光源の色を**図-7**に示す．

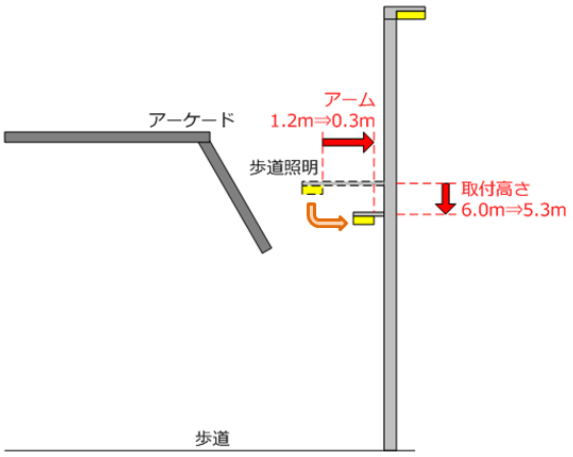


図-6　歩道照明とアーケードの位置関係

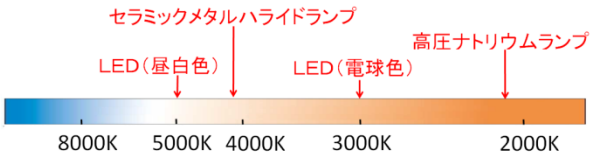


図-7　各光源の色温度

4. 整備効果

(1) コスト削減

a) 電気料金

LED照明による省電力化に加え，現地条件に最適な配光の照明器具の採用により，照明灯数も削減した．省電力化の効果を最大限に得られ，通常よりも大きな電気料金削減を実現できた（**表-2**）．

b) ランプ交換コスト

高圧ナトリウムランプの定格寿命は約24,000時間であるため，今まで5～6年に1回ランプ交換作業が発生していたが，定格寿命が60,000時間以上のLED照明器具の採用により，約15年間に渡りランプ交換作業が不要となった．

c) 整備コスト

標準仕様の照明柱や照明器具を採用したため（**写真-5**），従来のデザイン照明による更新と比較し，資材コストを70%以上抑制できた．

(2) 漏れ光抑制による景観改善

周辺の道路構造物に配慮し，光を不要としているアーケードに対する漏れ光を抑えたことにより，道路景観が改善され，良好な夜間景観を演出した（**写真-6**）．

沿道の農作物への光害や住居への配慮で漏れ光を抑制させることは一般的であるが，本設計では，良好な夜間景観の演出を目的として，アーケードへの漏れ光を抑制させた．

(3) グレアを抑えた快適な道路空間

灯数削減や照明器具の取付角度にも配慮したことで，運転者や歩行者に対し，グレアを抑えた快適な道路空間を演出した．

(4) 効率的な配光による照明灯数削減

高速道路に用いられる照明器具にも視野を広げ，当該現場条件に最適な自専道用照明器具を採用したことで，効率的な配光による照明灯数削減と照度確保を両立させた．

(5) 周辺環境と調和した夜間景観

巣鴨駅前地区の地域特性に配慮し，歩道照明器具に電球色を採用したことで，従来よりもやさしく暖かみがあり，居心地の良い空間を演出できた．電球色LEDは，当時ガイドラインにも規定されておらず，東京都区内162.3kmの管理区間を有する当事務所でも2例目の事例であった．

また，道路照明では，光源の色を従来の濃いオレンジ色から自然光に近い昼白色に変えたため，夜間景観が一

表-2 電気料金の削減

時期	場所	光源仕様	電気料金月額（1基あたり）	
施工前	車道	高圧ナトリウムランプ 360W	30千円	42千円
	歩道	セラミックメタルハライドランプ 110W	12千円	約64%削減
施工後	車道	LED照明 155W	12千円	15千円
	歩道	LED照明 36W	3千円	

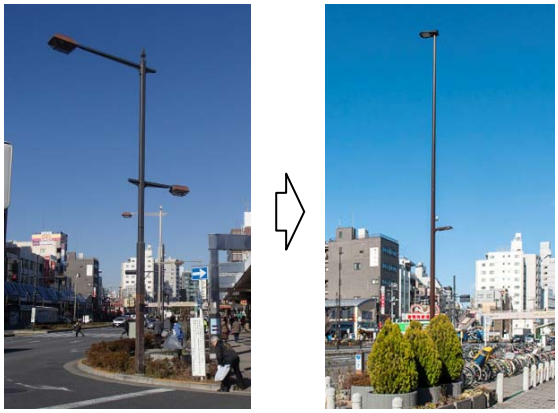


写真-5 施工前後の照明デザイン比較



写真-6 アーケードへの漏れ光の改善



写真-7　夜間景観が一変した巣鴨駅前地区



写真-8　上空の開放感が得られた巣鴨駅前地区

変し，自然で快適な生き生きとした雰囲気になった（**写真-7**）．

(6) 開放的な道路空間

中央分離帯に設置されていた照明柱を削減させたことや照明柱にアームを用いなかったことにより，空がよく見える広い開放感を実現し，すっきりとした美しい道路空間を演出できた（**写真-8**）．

5.　まとめ

今回の取組では，周辺環境へのきめ細やかな配慮や設計上の工夫により，巣鴨駅前地区の良好な道路景観を演出できた．照明器具の仕様書上の用途にこだわらず，一般国道以外の照明器具にも目を向け，現場条件に最適なLED照明を活用することで，様々な課題にも対応できた．従来の景観設計とは視点を変え，コストを抑えた手法で道路景観を演出できたことは，LED照明の持つ可能性を引き出し，今後の景観照明の促進に寄与する一番の成果であった．

2015年1月には正式に「道デザイン研究会」が設置され，景観を検討するための仕組みと体制が整った．また，2015年4月にはLED照明技術の向上を反映させ，「LED道路・トンネル照明導入ガイドライン（案）」が改訂された．今後もLED照明技術の向上により，様々なニーズや新たな課題への対応が可能になっていくことが想定される．LEDの最新技術動向を常に把握し，コストを抑えた手法で各現場のニーズに応えていくことが重要である．

さらに，道デザイン研究会を活用した景観への取組を促進させ，事例を共有していくことで，景観設計の視点を確立し，高度な専門知識がなくても多くの現場で景観設計に取り組める環境を整備する必要があると考える．

謝辞：今回の検討にあたり，照明設計に関わる多数の助言をいただいた「道のバージョンアップ研究会」の皆様，ご協力いただいた関係者の皆様に感謝申し上げます．

建築物の省エネルギー設計を誘導するエネルギー消費性能予測ツールの開発

宮田　征門[1]

[1]国土技術政策総合研究所　住宅研究部　建築環境研究室（〒305-0802 茨城県つくば市立原1）

建築物のエネルギー消費量は年々増加しており、省エネルギー化が喫緊の課題となっている。実効ある省エネルギーを達成するためには、設計時にエネルギー消費性能を予測・評価し、最適な設計を誘導することが重要であるが、このような評価は現状では殆ど実施されていない。そこで、国土技術政策総合研究所では、特に使われ方の予測が難しいオフィスビル等の非住宅建築物を対象として、設計時の評価に活用可能な透明性・信頼性の高いエネルギー消費性能予測ツールを開発した。本報では、開発した性能予測ツールの狙いと概要、ツールを利用した設計評価の具体例を紹介する。

キーワード　建築物、省エネルギー、設計支援ツール、性能評価、シミュレーション

1. はじめに

我が国の民生部門の最終エネルギー消費は、図1に示すとおり家庭部門（住宅）、業務部門（非住宅建築物）とも年々増加しており、これらの省エネルギー化が喫緊の課題となっている。住宅及び非住宅建築物（以下「建築物」という。）の省エネルギー化の第一歩は、まずは、建築物がどの程度のエネルギーを消費するかを「知る」ことである。特に、設計段階から、建築主が要求する冷暖房や換気、照明、給湯などの機能を建築物に付与した結果として、その建築物のエネルギー消費量がどの程度になるかを適宜確認（予測、評価）しながら設計を行うことが重要である。しかし、情報が限定された設計段階において、煩雑な作業をせずにエネルギー消費性能を的確に予測することは現状では困難であるため、設計時の評価は殆ど実施されていない。

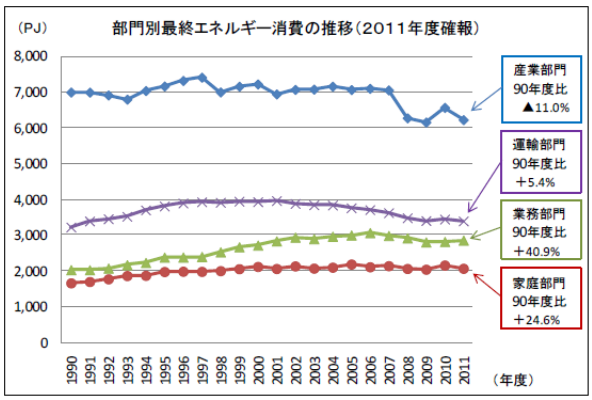


図１　我が国の最終エネルギー消費の推移[1)]

そこで、国土技術政策総合研究所では、国立研究開発法人建築研究所と連携して、設計時の評価に活用可能な透明性・信頼性の高いエネルギー消費性能予測ツールを開発した。本報では、特に使われ方の想定が難しくエネルギー消費性能の予測が難しい非住宅建築物を対象に、現状の設計プロセスにおける課題を整理し、これを解消して省エネルギー設計を実現するために開発したエネルギー消費性能予測ツールの概要及びその適用事例を示す。

2. 現状の設計プロセスの課題

建築物のエネルギー消費性能の評価を支援するためのツールはこれまでにも幾つか開発されており、ツールを活用した設計プロセスが提案されている。しかし、既往のツールを設計プロセスで利用するには、次のようなバリアが存在し、充分に活用されているとは言い難い（図2）。

- バリア①：ツールを利用するためには、ツールに建物の情報をインプットする必要があるが、これは多くの場合、手作業で設計図書等から情報を抽出することになり、繁雑で時間のかかる作業となる。
- バリア②：全設備を一括して解けるツールは少なく、設備毎に独立して評価を行う必要がある場合が多く、手間と時間がかかる。
- バリア③：評価と法規制が連動しておらず、例え評価を行っても、例えば省エネ法（エネルギーの使用の合理化等に関する法律）に基づく建築物の

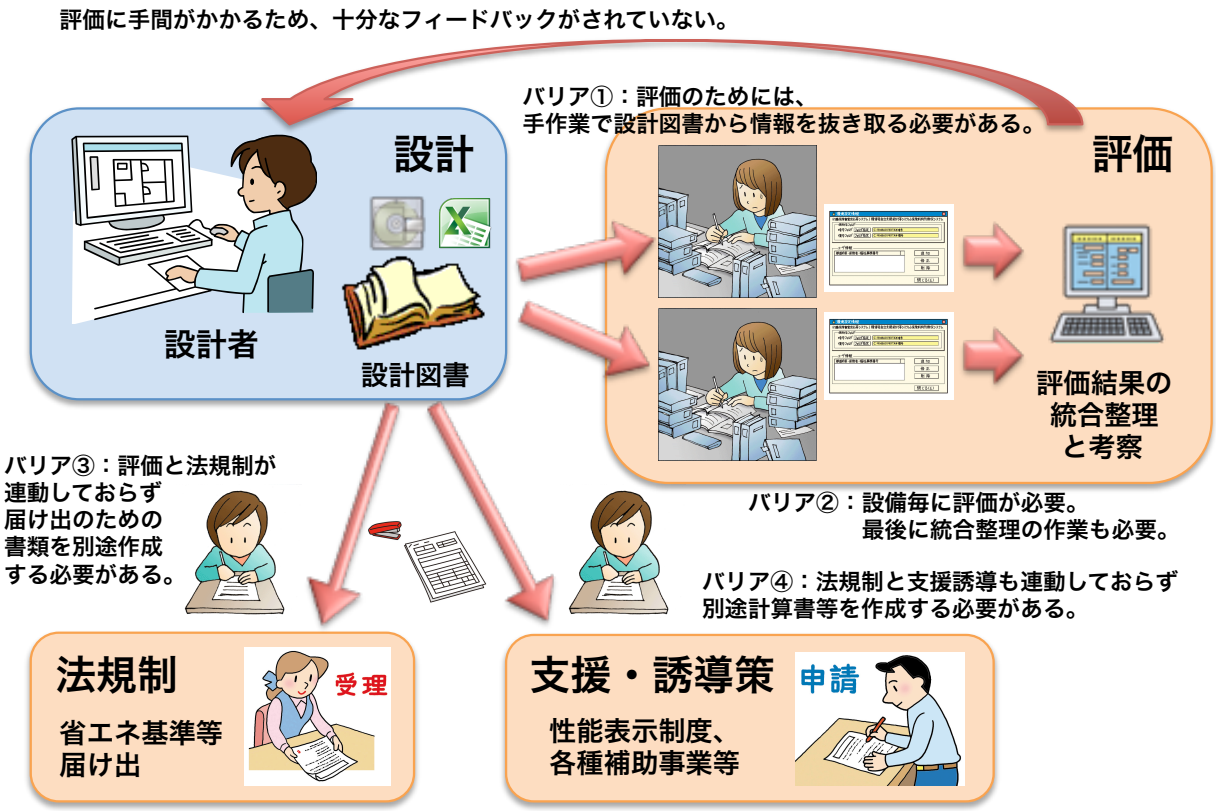


図２　現状の設計プロセスの課題

省エネルギー基準の届出のための書類は別途作成する必要がある。

- バリア④：法規制と支援誘導策も連動しておらず、各々の施策について、それぞれ独自の計算書等を作成する必要がある。

このようなバリアがあるため、適宜評価を実施しながら設計を行うというプロセスは、ハードルが高く、一部の先進的な建築物を設計する方々のみが行う特別な行為となってしまっている。

3.　開発した性能予測ツールの概要

国土技術政策総合研究所では、国立研究開発法人建築研究所と連携して、特に様々な使用形態があり評価が難しい非住宅建築物を対象として、上記のバリアを解消したエネルギー消費性能予測ツールを開発した。本ツールは、1) 簡易に建物全体の性能を一括で評価可能、2) 設計過程で必ず作成する資料類のみで評価が可能、3) 建物の使われ方や機器性能に関する実態調査から得られた知見に基づき、確からしいエネルギー消費性能を予測可能、という特徴を持つ。

開発したツールのインターフェイスを図3に示す。このプログラムはWebブラウザを介して動くWebプログラムとして提供されており、Microsoft® Excel®などの表計算ソフトで編集することができる「外皮・設備仕様入力シート」に、評価対象建築物の室の構成や外皮・設備の



図３　開発した性能予測ツールのインターフェイス

仕様を入力し、これをCSVに変換してツールにアップロードすることにより、一次エネルギー消費量を算出することができる。

本性能予測ツールを設計時に活用することにより、高度な専門的知識を持たない建築主であっても、様々な設計上の選択が出来上がる建築物のエネルギー消費性能にどのような影響を与えるかを理解し、そのうえで決断をすることができる。建築物は大量生産される工業品ではなく、試作品を作って試行錯誤するわけにはいかないため、このようなツールの活用はとても合理的である。

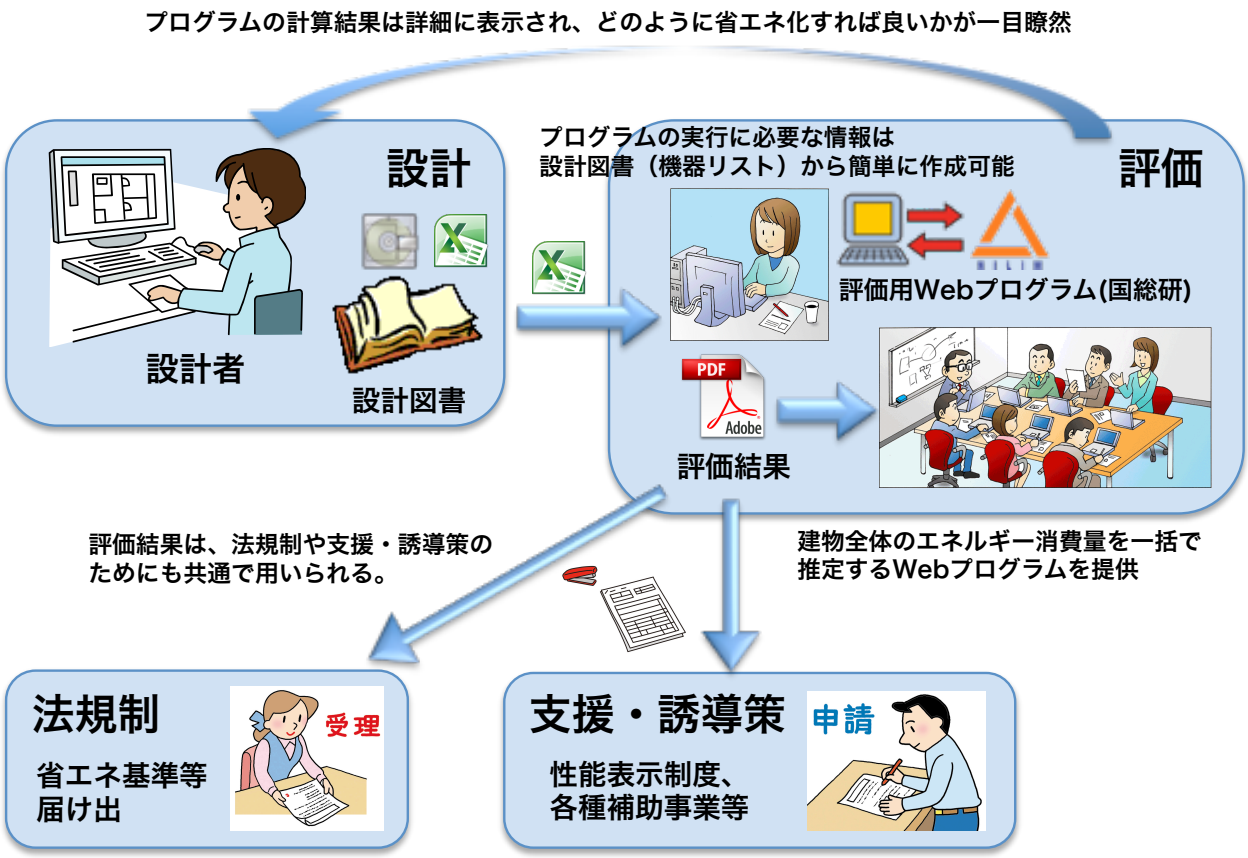


図４　ツールを活用した設計プロセス

4.　法規制との連動

本ツールは、2013年に改正された「エネルギーの使用の合理化に関する建築主等及び特定建築物の所有者の判断の基準（平成25年経済産業省・国土交通省告示第十号）」や「建築物に係るエネルギーの使用の合理化の一層の促進その他の建築物の低炭素化のために誘導すべき基準（平成26年経済産業省・国土交通省・環境省告示第十四号）」における評価ツールとして採用されている。我が国の省エネルギー基準は2020年までに適合義務化される予定であり、このような適合義務がある法規制や性能認証制度にエネルギーシミュレーションプログラムをどのように利活用するかは、近年国際的に注目されている新しい研究分野であり、特に欧米を中心に活発に議論がされている。本ツールについては、基準適合義務化やラベリング制度への活用を踏まえ、次の点を意識して開発・運用を行った。

・　計算ロジックは極力判りやすくする（簡素化、合理化）
　計算結果だけではなく計算過程を丁寧に表示するようにし、どうすれば基準をクリアできるのかを使用者（申請者、設計者）が考えられるようにする（図5）。
・　公平性、信頼性、透明性の確保
　実態調査の結果（図6、7）を元に評価ロジックや境界条件を構築し、実態に即した一次エネルギー

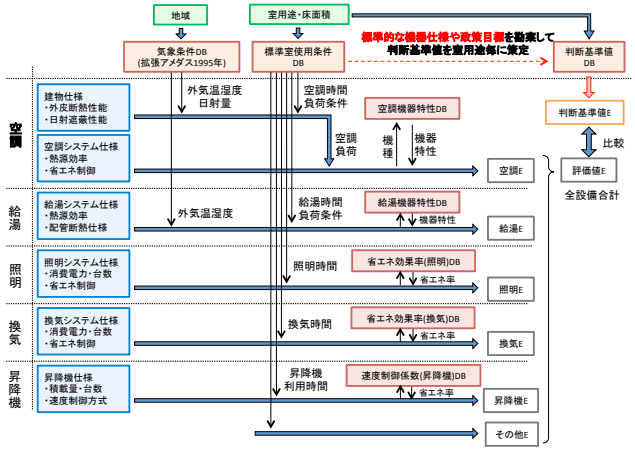


図５　性能予測ツールの評価プロセスの概要

消費量が算定されるようにする。様々な技術を横並びで比較することになるので、公平な評価となるように細心の注意を払う。
・　計算を実行しなくても、ある程度結果を推測できるようにする。
　省エネルギー基準の基準値自体も同じツールを利用して算出し、基準値算出時に想定した設備仕様（基準設定仕様）を公開する。基準設定仕様よりも性能の良い仕様であれば、必ず基準値を下回る結果となる。
・　入力ルールの明確化、透明化

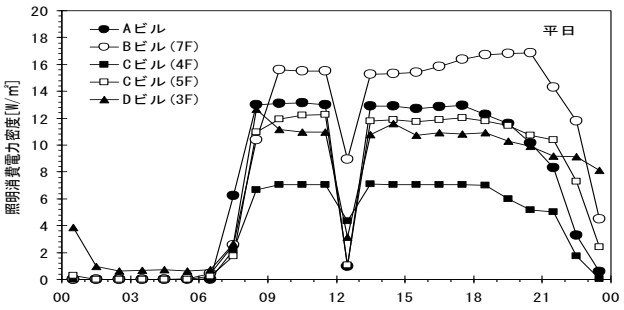


図６　建築物の使われ方に関する実態調査

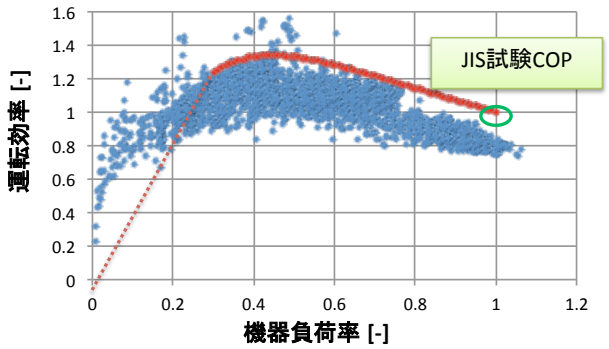


図７　空調機の実動効率に関する実態調査

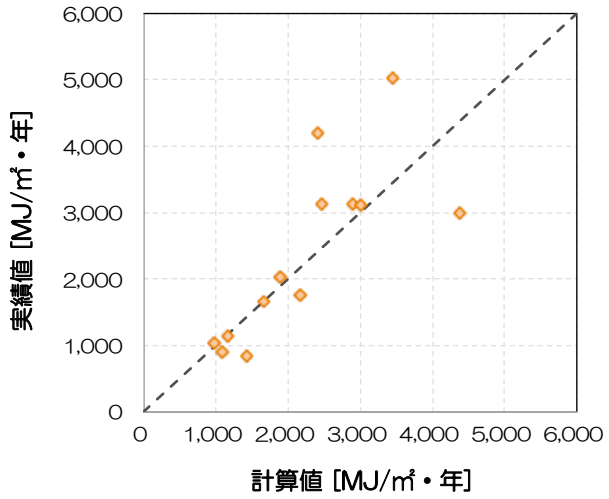


図８　ツールによる計算値と実績値の比較

誰が入力しても同じ結果に、誰が審査しても同じ結果になるように、ツールの入力方法のルールを明確にする。特に、入力する性能値と規格との紐付けを明確に行う。例えば、熱源機器の成績係数（COP）は、カタログには様々な条件の値が記載されているが、JIS等の規格で規定された計測条件下における性能値を入力しなければいけないことを明示する。

- 評価・審査の合理化、省力化
  ツールの入力はエクセルファイルで行う。これは、設計時に作成する資料（機器リストなど）を活用（コピー&ペースト）することを念頭においている。申請する人は入力ファイルを作りやすく、審査する人は図面との対応が取りやすい。
- ツールのバージョン管理の厳格化
  配布型のツールの場合は、ユーザーが使用するツールのバージョンが様々になり審査やサポートは大変になる。この問題を解消するために、配布型ではなくオンライン型のツールとして開発する。
- ユーザー環境への非依存性
  配布型のソフトウエアの場合はインストールできない、計算が終了しない等のユーザーの環境（パソコンの性能や設定等）に起因するトラブルが予想される。オンライン型の場合は、ユーザー環境に大きくは依存しないため、大きなトラブルなく複雑な計算を実行することができる。

4.　実在する建築物への適用事例

本ツールを介して様々な省エネルギー技術を横並びで評価をすることになるため、本ツールには高い公平性・信頼性が求められる。そこで、本ツールの推定精度の検証として、複数の実建物に対して本プログラムによる評価を適用し、実際のエネルギー消費量との比較を行った。

関東地方のビル8件、北海道・東北地方のビル8件について、エネルギー消費量の計算値と実測値を比較した結果を図8に示す。空調の使われ方等の違いによって多少差が生じる建築物もあるが、両者の差は概ね10%程度であることが判った。

5.　まとめと今後の課題

国土技術政策総合研究所が開発した、設計時の評価に活用可能な透明性・信頼性の高いエネルギー消費性能予測ツールの概要を示した。現在、本ツールは一日あたり約1500人が活用しており、我が国の喫緊の課題である建築物の省エネルギー化を達成するための重要なツールとなっている。今後も機能の拡張や精度向上のための研究開発を行う予定である。また、評価を実施しながら設計を行うことは省エネルギー設計を行う上では重要であるが、とはいえ、事あるたびにツールを動かして評価するのは過度な負担となる。今後は、単にツールを提供するだけではなく、予めツールを使って具体的な課題について検討を行い、その結果の要点を簡潔に整理して分かりやすく示す必要性があると考えている。

参考文献

1) 平成 23 年度エネルギー需給実績（資源エネルギー庁）、http://www.enecho.meti.go.jp/info/statistics/jukyu/result-1.htm.
2) 国土技術政策総合研究資料 No.762：平成 25 年省エネルギー基準(平成 25 年 1 月公布)等 関係技術資料 ―一次エネルギー消費量算定プログラム解説(非住宅建築物編)―
3) 宮田征門他：実績値に基づく一次エネルギー消費量算定用 Web プログラムの妥当性に関する検討、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、第 9 巻、p105-108、2014.9

下水再生水利用時におけるノロウイルスを対象とした定量的微生物リスク評価

安井宣仁[1]・諏訪守[1]・南山瑞彦[1]

[1]国立研究開発法人土木研究所　先端材料資源研究センター

材料資源研究グループ　（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）

下水再生水を利用する際には、再生処理が適切に行われ、再生水利用者の衛生学的安全性が確保されている必要がある。本研究では、ノロウイルスを対象に再生水利用時におけるヒトに対する感染リスク削減に重要な再生処理プロセスを明らかにすることを目的とし、稼働中の下水再生処理実施設において、処理プロセス毎のウイルス濃度の実態調査を行い、取得したデータを用い、定量的微生物リスク評価を実施した。その結果、消毒プロセスの機能が不十分な場合では、ノロウイルスの感染リスクが約1000倍上昇することが明らかとなり、消毒プロセスが重要管理点であると結論付けられた。

キーワード　下水再生水，ノロウイルス，定量的微生物リスク評価，障害調整生存年数(DALY)

1. はじめに

下水再生水を利用する際には、利用用途別に再生水施設ならびに水質要件が、「下水処理水の再利用水質基準等マニュアル」により示されている[1)]。同マニュアルでは、衛生学的な指標として大腸菌または大腸菌群の指標値が定められているが、近年、検出技術の向上により新たな病原微生物の存在やその動態等についての知見が集積されてきており、大腸菌、大腸菌群を含む細菌以外の病原微生物が関与した水系感染症への対応の必要性が生じている。例えば、ウイルス等の病原微生物は細菌と比較して、感染力が強く、塩素等の消毒への耐性が強い傾向があることが知られている[2)]。そのため、下水再生水利用時における衛生学的リスク管理において、大腸菌または大腸菌群以外の病原微生物、特にウイルスに関するリスク管理も考慮されるべきである。

下水再生水の利用時における衛生学的安全性を担保するためには、再生水原水となる下水処理水、またはその大本となる下水中に存在する可能性のあるウイルスの挙動把握と除去性を評価することが必要である。様々なウイルスが下水、下水処理水中に混入している可能性がある中で、特に評価すべきウイルスとして、例年多くの感染者が出る腸管系ウイルスのノロウイルス（以下「NoV」という。）が挙げられる。

そこで本研究では、下水再生水のリスク管理のため、A下水再生処理施設においてNoV濃度の実態調査を行い、再生処理プロセス毎のNoV濃度を取得した。得られた実測値を用い、定量的微生物リスク評価(QMRA；Quantitative Microbial Risk Assessment)の1手法である障害調整生存年数(DALY；Disability Adjusted Life Years (1人1年あたりの疾病負荷(DALY/(人・年))）を指標に、リスク削減に重要な再生処理プロセス（重要管理点）を明らかにした。

2. NoVについて

NoVは、腸管系ウイルスの一種で非細菌性急性胃腸炎を引き起こすウイルスの一属であり、プラス鎖の一本鎖RNAウイルスに分類される。大きさは直径30～38nmの正二十面体であり（写真-1参照）、感染すると嘔吐・下痢・発熱を引き起こすウイルスであり、ヒトへの感染発症率が約80%と高い[3)]。NoVはGI～GVの遺伝子型に分類され[4)]、GI、GIIおよびGIVが主にヒトへ感染することが知られている[4),5)]。世界的にもNoVを起因とする感染性胃腸炎患者の報告例がある[6),7),8),9)]。また我々の調査結果によれば、図-1に示すように、一年を通して、下水および下水処理水から検出され、特に冬場の感染性胃腸炎患者数の増加に伴い、濃度が増加する傾向がある[10)]。

NoVは他の腸管系ウイルスとは異なり、培養する手法が確立されておらず、その感染価を直接測定することもできていない[11)]。定性、定量は、PCR (polymerase chain reaction)によりNoVの遺伝子を測定することにより行っている。PCRではNoVの生死を判定することは出来ないが、試料中にNoVが存在している（していた）ことが裏付けられるとともに、遺伝子のコピー数として濃度を決

定している。

3. 調査・研究方法

(1) A下水再生処理施設でのNoV濃度の実態調査

A下水再生処理施設の再生水は、主にトイレ水洗利用に用いられている。再生処理施設の処理フローとプロセス毎の滞留時間および採水箇所を図-2に示す。処理方式は二次処理水を原水として生物膜ろ過処理+オゾン処理+塩素処理である。NoV濃度の実態調査は、2012年2月の処理区域で胃腸炎感染症の流行期に実施した。本施設の再生水計画供給量は2130m³/日であり、調査日における供給量は約790m³/日であった。また施設内の平均滞留時間は概ね20時間であった。試料の採水方法は、原水を24時間で4時間毎に計6回とし、各処理プロセスの処理水は原水の採水時間を基に、各プロセスでの滞留時間を考慮して複数回行った。

(2) NoVの測定法

NoVの濃縮、抽出、定量方法は文献[12),13)] に準拠した。NoVの濃縮はPEG沈殿法を用い、濃縮液を回収し、QIAamp Viral RNA Mini Kit (QIAGEN社)の抽出カラムを用いてRNAを抽出した。抽出したRNAに微量に含まれているDNAを除去するために、DNase I処理し、RNeasy MinElute Clean up Kit (QIAGEN社)でRNAを精製した。精製試料0.5μgをランダムプライマー、Ominiscript RT Kit (QIAGEN社)を用い、全量20μLの系で逆転写反応を行い、cDNAを作成し、Real-time PCR法にてNoVGIおよびNoVGIIの定量を行った。Real-time PCR装置はLight Cycler 2.0 (ロッシュ・ダイアグノスティックス社)を使用し、1試料あたりn=2とし、1 tubeあたり20μLまたは100μLにて定量を行った。本法による定量下限値は10 copies/tube、検出限界は1 copy/tubeである。なお、濃縮液を抽出カラムに通水しRNAを捕捉させる際、抽出カラム1本あたりの濃縮試料の通水量は、SS負荷量を基準とし、全ての測定試料で抽出カラム1本あたり0.05mg-SS未満となるように統一した。本法は，著者らの先行研究[14)]において、下水二次処理水および高度処理水を対象とした際の回収率が67%、84%と高く、Real-time PCR法におけるNoVの定量で最も検出感度の高い手法であることを確認した。

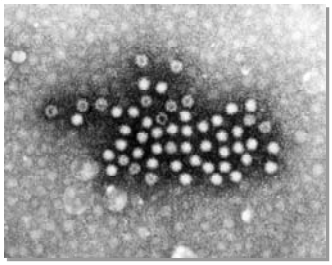


写真-1 NoV の電子顕微鏡写真
出展: 東京都感染症情報センター
(http://idsc.tokyo-eiken.go.jp/emi/noro/)

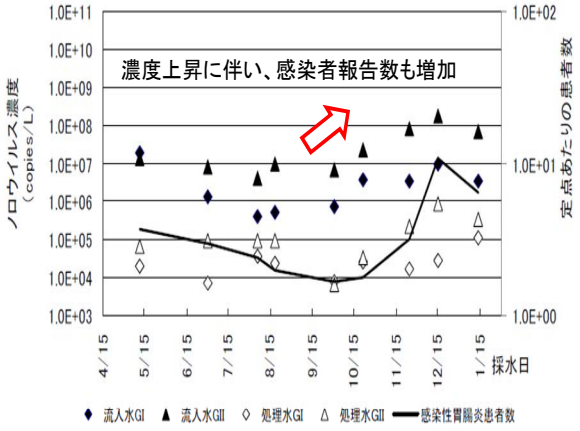


図-1 流入下水・処理水中の NoV 濃度と感染性胃腸炎患者数の関係
*下水道におけるウイルス対策に関する調査委員会報告書 参考資料より抜粋（土研調査結果）

(3) 定量的微生物リスク評価（QMRA）による試算方法

定量的微生物リスク評価（QMRA）とは、ウイルスへの曝露によって発生するヒトへの健康影響の度合いを定量的に評価するプロセスであり、その度合いを表す指標の1つとして障害調整生存年数(DALY)が用いられる。

DALYとは、疾患により障害を余儀なくされた期間と早死により失われた期間を表した、ヒトの健康影響度合いを示す指標である。衛生学的評価における微生物リスクを評価する際の指標値として、年間感染確率による指標値以外に、しばしば用いられ、式(1a)で表せられる。

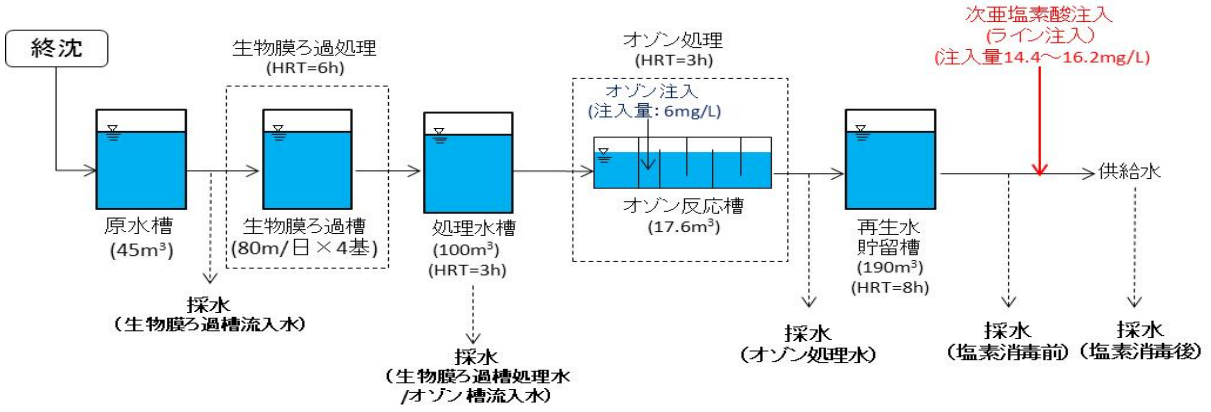


図-2 再生処理施設の処理フローと採水箇所

$$DALY = \left\{1 - \left(1 - P_{\inf}(D)\right)^{n}\right\} \times R_{\inf} \times DB \quad (1a)$$

ここで、

*DALY*は1人1年あたりの疾病負荷(DALY/人・年)、

$P_{inf}(D)$は1回の曝露イベントにおける感染確率(-)

R_{inf}は発症確率=0.8、*D*はNoV摂取量(Copy)、*n*は年間の曝露回数、*DB*は疾病負荷＝9.0×10^{-4}(年/人)である。

調査対象施設の再生水の利用用途が水洗トイレ利用に用いられているため、本研究では、水洗トイレ利用時における利用者に対するNoV感染リスクをDALY（1人1年あたりの疾病負荷(DALY/(人・年)）を指標値とし、下記の手順に従い評価した。

① 調査結果より、再生水中の NoV 濃度分布の推定を行った。検出限界以下の値は、1copy/tube 検出されたと仮定した際の濃度を用いた。

② 水洗トイレ利用時における、1 回あたりの曝露量を 0.02mL/回、年間曝露回数を 3 回/年と設定。

③ ①より推定した再生水中の NoV 濃度分布から、水洗トイレ 1 回利用あたりの NoV 摂取量を求め、感染確率を算出。

④ 感染確率から、モンテカルロシミュレーションにより試行回数を 10,000 回として DALY（1 人 1 年あたりの疾病負荷(DALY/(年・人)）の分布を算出。

⑤ 再生処理施設運転時の重要管理点を特定するために、処理施設の各処理プロセスの処理が不十分であった場合を想定し、Case 1～Case 4 が生じた際の DALY を算出し、各 Case による DALY の低減効果の試算を行った。

Case1: 生物膜ろ過処理のみが不十分な場合；生物膜ろ過による処理が不適切で、原水がそのままオゾン処理、塩素処理されると想定。

Case2: オゾン処理のみが不十分な場合；生物膜ろ過処理水がそのまま塩素処理されることを想定。塩素処理による除去（不活化）率は、実測データに基づき除去率分布を考慮した。

Case3: 塩素処理のみが不十分な場合；生物膜処理を経たオゾン処理水がそのまま再生水として利用されることを想定。オゾン処理による除去（不活化）率は、実測データに基づき除去率分布を考慮した。

Case4: オゾン、塩素処理の双方が不十分な場合；生物膜処理水が直接、再生水として利用さることを想定。

本研究では、NoVの遺伝子定量値を用いリスク評価を行っているが、NoVは感染性を測定する手法が確立されていないため、実際の感染性を考慮した際、本試算で得られたDALYの値よりも低くなると考えられる。そのため、本試算結果はより安全側の点に留意が必要である。

4. 調査・研究結果および考察

(1) 平均滞留時間を考慮した再生処理施設のNoV濃度の推移

調査対象施設の平均滞留時間は、生物膜ろ過処理槽(6時間)、処理槽（3時間）、オゾン流入槽+反応槽+流出槽(3時間)、再生水貯留槽（8時間）、塩素接触時間(4～10分)であり、再生水施設の平均滞留時間は20時間であった。図-3に再生処理施設のNoV濃度推移を示す。図中の縦軸はNoVの検出濃度（Copies/L）を対数軸で表し、横軸は各処理プロセスを示す。図-3より、GIおよびGIIは同様の濃度推移であった。塩素処理後のNoV濃度はGIは100μL系の定量で検出限界以下（48copies/L未満）であり、GIIは59copies/Lであり、再生処理施設において4Log(99.99%)以上のNoVの除去が見込まれた。

(2) 再生水中のNoV濃度変動

図-4に再生水中のNoV濃度変動を示す。図中の横軸は採水時刻とし、縦軸はNoV検出濃度(Copies/L)を対数軸で表した。図-4より採水時刻が同時刻で濃度が異なるのは、塩素との反応時間が異なるためであった。また、GI,GIIが検出された試料は、若干GII濃度がＧＩよりも高い傾向が確認され、検出限界以下のデータを除き、検出された濃度での変動係数(CV)はGIで56%、GIIで36%であった。

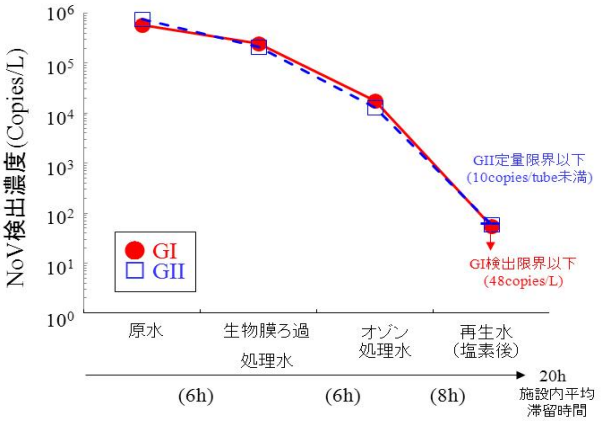


図-3 再生処理施設の NoV 濃度推移

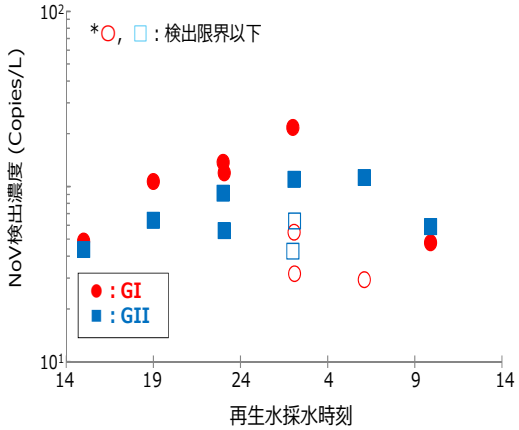


図-4 再生水中の NoV 濃度変動

(3)　定量的微生物リスク評価の結果

再生水中のNoV濃度分布を考慮し、モンテカルロシミュレーション（n=10,000回）により水洗トイレ利用におけるDALYを用いたリスク評価の結果を図-5に示す。安全側を考慮してDALYの頻度分布値の95%上限値を採用すると、GIで6.4×10^{-8}（DALY/人・年）、GIIで3.7×10^{-8}（DALY/人・年）となった。

再生水利用時における明確なDALYの基準値は定められていないが、世界保健機構（WHO）では、飲料水のリスクを基準に10^{-6}（DALY/人・年）以下に設定することを提唱している[12]。本再生処理施設の場合、95%上限値で評価するとWHO提唱値を達成していることから、水洗トイレに利用しても衛生学的に問題のないレベルであると考えられた。

(4)　再生処理プロセスの重要管理点の特定

(3)の項にて設定した、処理施設における各処理プロセスが不十分であった場合を想定した、水洗トイレ利用時における各CaseにおけるDALYの試算結果を図-6に示す。図中の縦軸は1人1年あたりの疾病負荷(DALY/人・年)の値を対数軸で示した。

各Caseにおいて、正常運転時の1人1年あたりの疾病負荷（95%上限値での評価）と比較すると、Case4の消毒プロセスの機能が不十分な場合では、GIで約1100倍、GIIで約1500倍感染リスクが上昇すると試算され、消毒プロセスが本再生処理施設運転時の重要管理点であることが明らかとなった。特に、本再生処理施設の場合には、オゾン処理よりも塩素処理によるNoVに関する1人1年あたりの疾病負荷の低減効果の寄与率が大きかった。このため、本再生処理施設では水洗トイレ利用時における衛生学的安全性を担保する上で、塩素注入率や残留塩素および接触時間等の消毒効果に影響を及ぼす因子のモニタリングが重要であると考えられた。

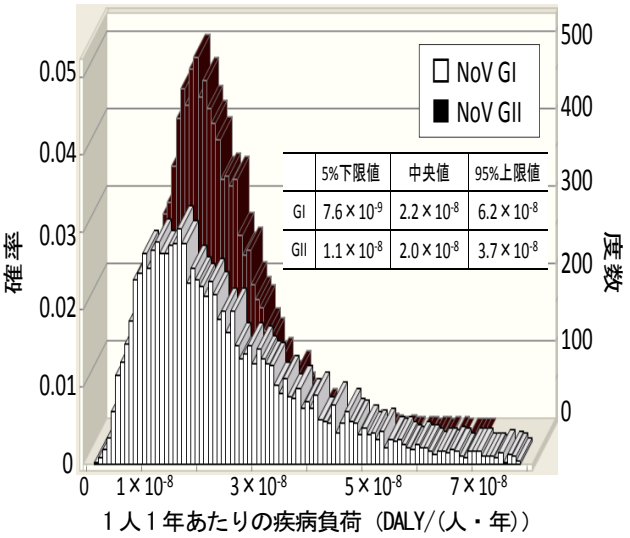


図-5 水洗トイレ利用時における DALY の頻度分布

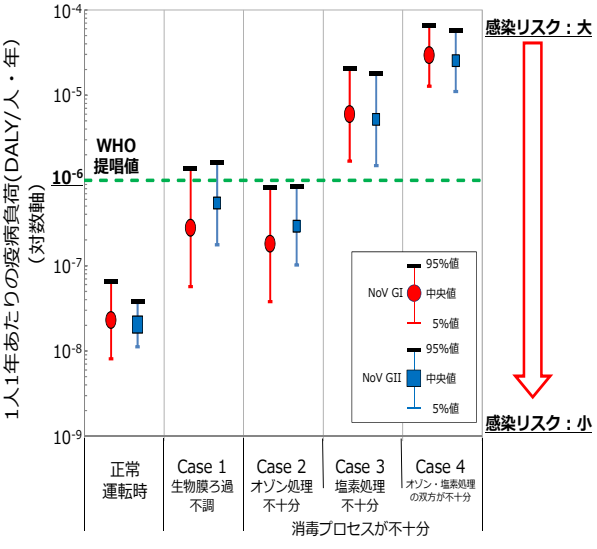


図-6 再生処理の各処理プロセスの不具合を想定した各 Case における 1 人 1 年あたりの疾病負荷

5.　まとめ

本研究では下水再生水のリスク管理のため、リスク削減に重要な再生処理プロセス（重要管理点）を明らかにすることを目的に、稼働中の下水再生処理施設を対象にNoV濃度の実態調査を行った。リスク評価には定量的微生物リスク評価(QMRA)の1手法である障害調整生存年数(DALY）を指標とした。以下に得られた結果を示す。

① NoVを対象にDALY値を指標としたリスク評価から、生物膜ろ過、オゾン処理及び塩素消毒を用いた下水再生処理施設の場合、95%上限値でWHO提唱値(10^{-6} DALY)を達成していた。

② 消毒プロセスの機能が不十分な場合では、GIで約1100倍、GIIは約1500倍感染リスクが上昇すると試算され、消毒プロセスが重要管理点であることが明らかとなった。

③ 再生水の水洗トイレ利用時における衛生学的安全性を担保する上で、塩素注入率や残留塩素および接触時間等の消毒効果に影響を及ぼす因子のモニタリングが重要であると考えられた。

6.　今後の課題

再生水利用時におけるNoVを対象としたリスク評価結果は、NoVの遺伝子の定量値を用いているため、実際のNoVの感染価を直接表していない。従って、NoVの実際の感染価を考慮した場合、1人1年あたりの疾病負荷の値が試算結果よりも小さくなると考えられるが、NoVの感染価の推定方法が現状では明らかとなっていないことから、より安全側を考慮した試算結果である点に留意が必要である。今後、下水処理水の再生水利用における目標値についての議論とともに、実際のウイルス感染価を考慮した精度の高いリスク評価手法の構築が必要であると考えられる。

謝辞：本実態調査を実施するにあたり、A下水再生処理施設の管理者には多大な協力を得た。ここに記して謝意を表す。

参考文献

1） 国土交通省都市・地域整備局下水道部、国土交通省国土技術政策総合研究所、下水処理水の再利用水質基準等マニュアル、平成17年4月

2） 金子光美（1997）、水の消毒、財団法人に本環境整備教育センター

3） Moe C.L.: Preventing Norovirus Transmission: How Should We Handle Food Handlers?, Clin Infect Dis, (48), pp.38-40, 2009.

4） Zheng DP., Ando T., Fankhauser RL., Beard RS., Glass RI., Monroe SS., 2006, Norovirus classification and proposed strain nomenclature, Virology, 346 (2), 312–323

5） Hansman GS., Natori K., Horikoshi HS., Ogawa S., Oka T., Katayama K., et al., 2006, Genetic and antigenic diversity among Noroviruses, J. Gene Virol., 87, 909–919

6） Marshall, J.A. and Bruggink, J. L. : The dynamics of norovirus outbreak epidemics: Recent insights, Int. J. Environ. Res Public Health, No.8, pp. 1141-1149, 2011.

7） Lopman B., Vennema H., Kohli E., Pothier P., Sanchez A., Negredo A., Buesa J., Schreier E., Reacher M., Brown D., Gray J., Iturriza M., Gallimore C., Bottiger B., Hedlund K., Torvn M., Bonsdorff C., Maunula L., Poljsak-Prijatelj M., Zimsek J., Reuter G., Sz?cs G., Melegh B., Svennson L., Duijnhoven Y. and Koopmans M. : Increase in viral gastroenteritis outbreaks in Europe and epidemic spread of new norovirus variant, The Lancet, No.363, pp.682-688, 2004.

8） Mead, PS., Slutsker, L., Dietz, V., McCaig, LF., Bresee, JS., Shapiro C, Griffin PM. and Tauxe RV: Food-related illness and death in the United States, Emerg Infect Dis, Vol.5, pp. 607-625, 1999.

9） Kageyama T., Shinohara M., Uchida K., Fukshi S., Hoshino FB., Kojima S., Takai R., Oka T., Takeda N. and Katayama K. :Coexistence of multiple genotypes, including newly identified genotypes, in outbreaks of gastroenteritis due to Norovirus in Japan, J Clin Microbiol, 42(7), pp. 2988-95., 2004

10） 下水道におけるウイルス対策に関する調査委員会報告書, 平成22年3月

11） Duizer E., Schwab J.k., Neill H.F, Atmar L.R.,Koopmans P.G.M. and Estes K.M.: Laboratory efforts to cultivate noroviruses, Journal of General Virology,85,pp.79-87,2004.

12） 諏訪守，岡本誠一郎，尾崎正明，陶山明子：下水処理のノロウイルス除去効果とその検出濃度に及ぼす濃縮法の影響，下水道協会誌論文集，46 (512)， pp.91-101，2009.

13） 厚生労働省医薬食品局食品安全部監視安全課： ノロウイルスの検出法について、p.24、2007

14） 陶山明子，諏訪守，鈴木穣，尾崎正明：下水試料からのノロウイルス定量法の検討，環境工学研究論文集，第43巻，pp.225-261，2006.

海上コンテナ物流における
インランドデポの活用について

小林　尚樹

関東地方整備局　港湾空港部　港湾物流企画室　（〒231-8436 横浜市中区北仲通5丁目57番地）

海上コンテナ物流において行われている空コンテナの輸送は，物流効率を低下させるだけでなく，港の渋滞やCO2排出量の増加などの弊害をもたらし，大きな社会問題となっている．そこで，無駄な空コンテナの輸送を削減して効率的な輸送を実現することが急務となっており，その方策として有効と考えられるのがコンテナマッチングである．

本稿では，コンテナマッチングを行ううえで重要な役割を担うインランドデポに着目し，インランドデポの活用に基づくマッチング推進施策の実践事例を紹介し，今後の取り組み課題について報告するものである．

キーワード　コンテナマッチング，インランドデポ，CO2削減

1. はじめに

我が国発着の国際貨物貿易量の約97%は海上輸送されており，定期航路の大部分で海上コンテナが利用されている．専用船で海上輸送された海上コンテナは，コンテナターミナルと呼ばれる港湾施設で輸送車両に積み替えられ，中の貨物を取り出すことなくそのまま内陸まで陸上輸送されている．海上コンテナはサイズ等をISO規格化されており，規格に対応した輸送手段間（船・自動車・鉄道など）の積み替えが可能であることから，このようなドアツードアの効率的な海陸一貫輸送が実現している．

2014年11月に行われた「全国輸出入コンテナ貨物流動調査」の結果によれば，我が国の海上コンテナの輸出入貨物量は，2009年の前回調査との比較で約134%と大幅に増加している．特に京浜港（東京港・川崎港・横浜港）は，大消費地である関東地方を中心に，東日本全体を背後圏として多くの輸出入貨物を取り扱っており，広域物流インフラとして重要な役割を担っていることが読み取れる．

年々増加する貨物に対応し，京浜港の機能を今後も引き続き維持・拡大していくためには，海上コンテナ物流の効率化を実現することが必要である．図1に示すように，内陸部を発着地とする海上コンテナの陸上輸送では，貨物を詰めた実入りコンテナと貨物を取り出した後の空コンテナの輸送料金がセットになったラウンドと呼ばれる往復輸送が行われている．このことは

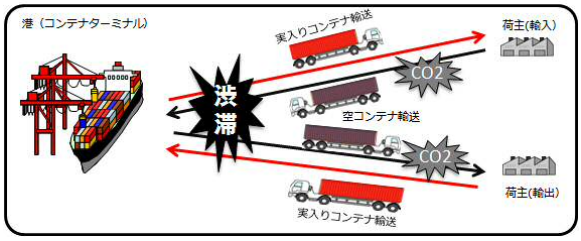


図1　一般的なコンテナ輸送

輸送コスト低減及び輸送時間の縮減において解決すべき課題となっているだけでなく，非効率的な輸送が京浜港のコンテナターミナル周辺の交通混雑の一因となり，CO2排出量の増加などの様々な問題を引き起こしている．

これに対して，空コンテナ輸送の削減に向けた取り組みが各方面で進められてきたが，現状では大きな成果が出ているとは言いがたい．それらのうち，輸出入を行う企業（荷主）が，輸入で生じた空コンテナを輸出に転用するコンテナラウンドユースと呼ばれる輸送形態は，有効性は大きいものの対応可能な企業が限定されるため，取扱量が増加しない点が課題となっている．より多くの荷主がこの取り組みに参加できるようにするには，輸入と輸出の異なる荷主間で空コンテナを転用するコンテナマッチングと呼ばれる輸送形態を広めていくことが必要となるが，そのためには内陸部で空コンテナを一時保管することができるインランドデポが有効と考えられるため，その活用に向けた取組

みを進めることとした.

2. インランドデポの現状

(1) 海上コンテナ輸送の課題

海上コンテナ輸送は，海外から材料や製品を輸入する企業（荷主）と，国内製品を海外に輸出する企業が各々港を利用して貿易を行う過程において行われている．輸出の場合は，コンテナターミナルもしくはバンプール（VAN POOL：空コンテナ保管場）から空コンテナを内陸の工場まで陸上輸送し，荷詰め（バンニング）を行った後，船会社から指定された港まで陸上輸送する．輸入の場合は，荷卸した港から内陸部の物流センターあるいは配送センターに陸上輸送し，荷卸（デバンニング）後に空コンテナを同じ港に返却する．こうした輸送の流れを簡単に示したのが図1であるが，輸出・輸入のいずれにおいても片道で非効率的な空コンテナ輸送が行われていることが課題となっている．

(2) 内陸コンテナ貨物ターミナルとは

無駄な空コンテナ輸送の削減につながるコンテナマッチングを円滑に行うためには，内陸に様々な種類の空コンテナをストックしておくことが有効である．こうした臨海部のコンテナターミナルと同様の機能を有する施設として，京浜港の背後圏の各地には，図2に示すように内陸コンテナ貨物ターミナル（以降；内陸CT）が整備されている．

表1に内陸CTの業態による分類を示す．現状の内陸CTは業態別に分けると4タイプに分類され，それぞれ特徴や特性が異なっており，最も多いのは運送事業者型である．これらのうち，輸出入貨物の通関機能と保税機能を併せ持つものがインランドデポ（内陸保税蔵置場）であり，輸出と輸入が外貨扱いとなるため，よりマッチングが行いやすくなる．

(3) 新たな内陸CT整備に向けた取組み

図2に示すように，関東地方の内陸CTは北関東地域を中心に立地しているが，圏央道や北関東自動車道などの高速道路網の整備により，これらの沿線地域などで新たな内陸CTの整備に向けた動きが見られる．

民間事業者が内陸CTを設置する場合，建設や施設の維持管理のコストが大きな負担となるため，結果的に特定の大型荷主に依存した経営とならざるを得ないケースが多い．このため，提供するサービスや機能も特定荷主向けとなってしまい，様々な荷主の多様なニーズに応えていくのが難しい部分がある．コンテナマッチングを初めとした物流効率化を推進していくためには，物流インフラとして幅広い荷主が利用できる公共型インランドデポも必要とされており，栃木県佐野市

表1 内陸CTの業態別の特徴

業態	主な特徴
荷主型	・特定荷主の要請により内陸CT契約を交わしたタイプ ・マッチングは限定的になり易い
倉庫事業者型	・輸送業務より貨物取扱を重視 ・輸送手段を持たないため，協力業者への委託が必要となる
運送事業者型	・輸送業務を重視 ・内陸CTとして最も多いタイプ ・マッチングで活用可能
公共型	・行政の指導のもとで民間（3セク，指定管理者等）が運営するタイプ ・行政の立ち位置で周辺を巻き込んで成長できる可能性がある ・京浜港の内陸部サテライト荷受け場として，渋滞緩和に寄与できる可能性がある



図2 関東管内の主な内陸CTの位置

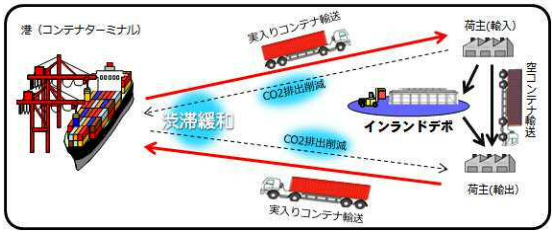


図3 コンテナマッチング

では，2015年度より公設民営方式でインランドデポの整備を進めている．

3. インランドデポを活用したコンテナマッチングによる物流効率化推進

(1) コンテナマッチングの概要

コンテナマッチングの基本的な仕組みは，図3に示すように，輸入で発生した空コンテナを港に返却せずに輸出の貨物を詰めるコンテナに転用するというものであり，無駄な長距離の空コンテナ輸送が削減されるため，CO2排出量削減や輸送コスト削減などの効果がある．さらに，空コンテナ輸送車両の港への出入りが減れば，近年問題となっている京浜港の渋滞が緩和され，物流

効率の大幅な低下に起因する海上コンテナ輸送事業者の撤退やドライバー不足などの問題の解決にもつながるものと期待されている.

そこで，関東地方整備局では，コンテナマッチングの普及に向けた様々な検討・実験を6年前から行ってきたが，コンテナマッチングを成立させるためには，表2で示す通り輸出と輸入の荷主の間でコンテナサイズや船会社などの様々な条件を一致させる調整が必要となることから，マッチング可能な相手荷主を探すことが難しいという点が大きな課題となっていた.

⑵　インランドデポを活用したマッチングの推進

インランドデポでは，港のコンテナターミナルと同様に海上コンテナをストックしておくことができるため，輸入荷主が空コンテナをインランドデポに返却し，輸出荷主がストックされている空コンテナの中から条件に合うものを探すようにすれば，インランドデポが荷主間のバッファーとなりコンテナマッチングの成立の可能性が高まる．また，汚れ，臭い，破損等が原因でそのままではマッチングに使用できない空コンテナであっても，インランドデポで洗浄や修理を行うことで利用できるようになるため，コンテナマッチングを拡大していくためにはインランドデポの活用が重要な鍵となる.

そこで，こうした利用のメリットについて情報発信していくとともに，荷主や物流関係者のインランドデポ利用状況や利用上の課題などを探る機会を作るため以下の取組みを企画した．表3にそれぞれの参加者を掲載するが，物流には様々な業態が関わっており，これらの方々が一堂に会して意見交換をする機会は珍しいものであるため，プログラム終了後に引き続き交流会を開催することとし，参加者同士の情報交換やマッチング相手を探す機会についても提供することとした.

a)　コンテナマッチングセミナー2014

2014年10月29日に，海上コンテナを扱っている荷主，海貨業者等を対象としたセミナーを開催した．マッチング実施への具体的取組の紹介，マッチング実施2社からの事例紹介，マッチングに関する新たな取組の紹介を行う内容で企画し，講師にインランドデポを利用したコンテナマッチングの実務手続きや，インランドデポを利用したコンテナマッチングの実例について紹介していただいた．また，参加者へのアンケートを実施し，コンテナマッチングへの取組状況やインランドデポの利用状況についての情報収集を行った.

b)　第2回京浜港物流高度化シンポジウム

2015年2月6日に，マッチング実例を交えた海上コンテナを扱う各業種毎の視点からの基調講演と，コンテナマッチングの最新状況をレビューするパネルディスカッションを行う内容のシンポジウムを開催した．当シンポジウムでは，これまでコンテナマッチングに消極的と言われてきた陸運事業者にも登壇をお願いしたところ，京浜港の渋滞によって運転手・車両の生産性が損なわれている現状において，コンテナマッチングによる物流効率化が必要であるという意見を出していただけたため，コンテナマッチングをとりまく社会情勢が変化していることを印象付ける内容とすることができたと評価している.

また，パネルディスカッションを企画するうえでの工夫として，参加者の事前質問を基に討論を行う方式を採用した．これにより，実際にインランドデポの利用を考えている参加者の疑問に回答する形で，具体的な情報提供を行うことができた.

表2　コンテナマッチングの成立条件

成立条件	内　容
拠点の位置関係	マッチングを行う拠点間同士が近く，輸送距離削減の効果が大きい位置関係であること
コンテナサイズ	輸出入の荷主が使用するコンテナサイズ(20ft/40ft)が同じであること
船会社	輸出入の荷主が利用する船会社が同じであること
コンテナの状態	空コンテナの状態（汚れ・臭い・破損など）が，輸出貨物の積み込みが可能なレベルであること
需給タイミング	輸出荷主が必要とするタイミングで，輸入荷主から空コンテナが供給されること

表3　セミナー・シンポジウム参加者数

	マッチングセミナー	物流高度化シンポジウム
荷主	14	22
船会社	10	21
港運	18	34
陸運	11	25
フォワーダー	26	9
インラドデポ事業者	2	8
官公庁	24	34
埠頭㈱	5	4
報道	5	14
その他	8	18
合計	123	189

写真1　コンテナマッチングセミナーの開催



c) 荷主等意見交換会

表4に示すとおり，北関東3県において，インランドデポをテーマの一つとして物流効率化に関する意見交換を開催した．インランドデポに関して出された主な意見は次のとおりであった．

A社：内陸で京浜港から距離があり，1台のシャーシでラウンドすることが現状では難しいため，太田国際貨物ターミナル（OICT）の利用などを検討している．

B社：コンテナラウンドユースに取り組んでいるが，各インランドデポは契約船社が似通っていて，船社数も限られているためなかなか進まない．国からも船社に働きかけてもらいたい．

C社：内陸部のコンテナ輸送の効率化を実現するためには，個別にバラバラに動くのではなく，国の責任で総合的かつ戦略的・合理的な物流拠点・インフラ整備を進める必要があるのではないか．

表4　県別荷主意見交換会の開催結果

県名	開催日	会場	参加者
茨城県	2015年1月23日	水戸市	7社
栃木県	2015年2月3日	宇都宮市	6社
群馬県	2015年2月12日	高崎市	5社

4. インランドデポの活用に関する課題と対策

上記での取組みを通じて見えてきた課題と対策について考察を行った．

(1) 立地に関する課題

関東管内の主なインランドデポの立地状況は，特定の地域への偏りがあるため，利用可能な範囲内にデポが存在しないのでマッチングに取り組めないという声が聞かれた．デポの立地は需要（貨物量）に基づいていると考えられるためやむを得ない面はあるが，物流インフラとしての重要性が高まっていることをふまえれば，計画的な配置が今後の課題となる．

(2) 船会社の課題

コンテナは船会社の財産であるため，近隣にインランドデポがあったとしても，船会社が認めなければ空コンテナをマッチングに使用することはできない．現状ではコンテナマッチングに協力的な船会社が少ないため，インランドデポを利用する場合でも選択肢が広がらないことが課題となっている．

船会社が協力的ではない理由としては，限られたコンテナをできるだけ効率的に利用するため，空コンテナを速やかに回収して次の輸出の荷主に渡すことを重視していることなどがあると考えられる．コンテナマッチングをいっそう推進し，荷主がマッチングによる様々なメリット分を含めて船会社を選択する流れが生まれてくれば，こうした船会社の考え方にも変化が生じるのではないかと期待している．また，リース方式のコンテナや，複数の船会社によるコンテナ共有（シェアリング）を普及させるなど，コンテナを弾力的に使用できる環境を整えることも有効な対策になると考えている．

(3) 輸送事業者の課題

輸送事業者の立場からすれば，空コンテナ輸送であっても一定の運賃収入になるため，近隣のインランドデポに空コンテナを返却してそこで仕事が終わってしまうと，収入が減ってメリットが相殺されてしまう．

そこで，インランドデポを利用してマッチングを行う場合は，コンテナだけではなく車両（配車）についてもマッチングを行い，通常のコンテナ輸送と同等の１ラウンド分の仕事が確保されるようにする仕組みを作ることが課題となる．この課題の解決には，デポ間の情報共有が必要になると思われる．

5. 今後の国としての取組み方針について

以上の課題をふまえた上で，今後の取組みについて検討を行った結果を示す．

(1) 情報発信の継続

これまで続けてきた情報発信を継続し，物流関係者のインランドデポ活用を後押ししていくことが必要である．具体的には，セミナー及びシンポジウムのアンケートでも要望が多かったインランドデポの説明会・見学会を開催し，実際に現場を見てもらうことで利用促進につなげていきたいと考えている．

また，インターネットを活用することで，より幅広い層への情報発信も行っていきたいと考えている．現在はセミナー，シンポジウムの講演資料などをホームページで公開しており，今後もコンテンツの充実に努めていきたい．

(2) インランドデポ間のネットワーク強化

これまで関東地方整備局では，東日本地域のインランドデポ事業者に呼びかけ，年1回のペースで「内陸コンテナ貨物ターミナル事業者意見交換会」を開催してきた．この取組みを今年度も継続し，国と事業者，事業者と事業者の間の人的ネットワークの維持・強化に寄与していくことが重要である．また，未参加の事業者に対しても参加の呼び掛けを続け，ネットワークの拡大にも取り組んでいきたいと考えている．

こうした人的ネットワークの強化によりデポ間の協力・連携関係が広がっていくことで，複数のデポでコ

ンテナの需給などの情報が共有できるようになれば，コンテナマッチングや配車マッチングの推進にも寄与するものと思われる．情報共有でデポの業務が効率化され収益性が向上することも期待でき，一部のデポで独自の取組みを進めている事例もあるため，そちらも参考にしながら各事業者と協力し，情報共有システムの開発も視野に入れた取組みを進めていきたい．

⑶　既存インランドデポの社会貢献に対する評価

上記の内陸コンテナ貨物ターミナル事業者意見交換会において，コンテナマッチング推進策の一環として，インランドデポ利用への補助や経営支援などを希望する意見が出されている．そこで，たとえばCO2削減という社会的価値創造を手掛かりとして，インランドデポの社会貢献を評価し，コンテナマッチングの実績に応じた経済的な支援が受けられるような仕組みについて検討が必要ではないかと考えている．

⑷　新たなインランドデポ整備への支援

コンテナマッチングが広まれば，物流効率化が図られて国内の物流コストが低減し，国内立地企業の国際競争力の強化につながる．これは，国際コンテナ戦略港湾政策の「競争力強化」の施策にも寄与するものであるため，重要な物流インフラとして新たな整備の動きに対して支援を行っていくことが必要である．こうした動きに計画段階から積極的に参画していくことで，デポの立地の最適化や，幅広いニーズに対応できる公共性の高いデポの整備にもつなげていくことができるものと考える．

6.　おわりに

インランドデポを活用したコンテナマッチングの推進が必要とされる背景には，ドライバー不足などの社会構造的な要因があるが，これまで当たり前に行われてきた非効率的な物流を改善する機会であると前向きに捉え，CO2排出削減などの物流の分野にとどまらないメリットがあることもふまえて，国全体で重点的に推進の取組みを進めていくことが必要と考える．

海洋プラスチックの滞留時間を考慮した海岸清掃効果の定量的評価

片岡　智哉[1]

[1]国土技術政策総合研究所　沿岸海洋・防災研究部　沿岸域システム研究室

（〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1）

海洋中に存在するプラスチックは，海洋生態系への脅威となっている．その脅威は海洋プラスチックが海洋中において紫外線や熱によって劣化して微細化することで，より一層高まる．本研究では，海洋プラスチックの微細化が海岸で急速に進行することに着目し，プラスチック微細片の発生抑制量を指標とした海岸清掃効果（BCE）の定量的評価手法を開発した． BCEは海岸に漂着した海洋プラスチックの滞留時間に依存し，滞留時間に対するBCEの依存性を考慮することで，効果的な海岸清掃計画の立案・策定が可能になる．

キーワード　海洋プラスチック，滞留時間，線形システム，海岸清掃効果

1. はじめに

海洋中に存在するプラスチック（以下，海洋プラスチック）は，海洋生態系への脅威となっている [1]．海洋プラスチックは，太陽光に含まれる紫外線や周囲の熱によって劣化が進行し，微細化が進行する．海洋プラスチックの微細化は，海域を漂流するよりも海岸に漂着している方が，著しく進行することが指摘されている [2]．そのため，海岸は海洋プラスチック微細片の主要な発生源であると考えられる．海洋プラスチックが微細化することで，低次の海洋生物に取り込まれてしまい，将来的に海洋生態系の食物連鎖にも悪影響を及ぼす可能性がある [1)-4)]．

海岸がプラスチック微細片の主要な発生源であることを踏まえると，海岸清掃は海洋プラスチックによる海洋環境リスクを軽減するための必要不可欠な活動である．また，プラスチック微細片を海岸清掃で除去することは不可能であるため，その海岸で微細化する前に海岸からプラスチックを除去することが重要となる．従来より環境省や海岸管理者が地域住民のヒアリングに基づいて清掃海岸を選定し，適当な時期に海岸清掃を実施している（例えば，https://www.env.go.jp/water/marine_litter/clean-up.html）．しかし，現時点で海岸清掃でどの程度プラスチック微細片の発生を抑制でき，効果的にプラスチック微細片の発生を抑制するためにいつ・どこで・どれくらいの頻度で海岸清掃を実施すればよいかということを検討する術がない．

そこで，本研究では，海岸におけるプラスチック微細片の発生抑制に係る海岸清掃効果（Beach Cleanup Effect, 以下，BCE）の評価手法を開発する．プラスチック微細片の発生量を評価する上で，海洋プラスチックが海岸に漂着してから再漂流するまでの滞留時間が必要不可欠である．筆者は，東京都新島村和田浜海岸においてプラスチック製の漁業フロートの滞留時間を計測することに成功し，それに加えて海洋プラスチックの残余数の時間変化（残余関数）が指数関数で近似できることを明らかにした [5)]．残余数が指数関数的に減少することで，海岸を線形システムと見なすことができ，海岸のシステム特性（すなわち，増幅特性及び位相特性）を理解することが可能となる．ここでは，海岸を線形システムとみなしてプラスチック微細片の発生抑制に関する BCE の評価手法を示し，滞留時間に対する BCE の依存性を考慮した効果的な海岸清掃手法について提言する．

2. 海岸清掃効果(BCE)の評価方法

(1) 海洋プラスチックに関する海岸のシステム特性

和田浜海岸と同様に，海洋プラスチックの残余数が指数関数的に減少すると仮定して，海岸を線形システムと考えると，単位インパルス応答 $h(t)$ を次式で定義できる．

$$h(t)=\begin{cases}\exp\left(-t/\tau_r\right), & t\geq 0\\ 0 & t<0\end{cases} \tag{2a}$$

ここで，t 及び τ_r は，それぞれ経過時間と平均滞留時間である．単位インパルス応答をフーリエ変換すると，システム関数 $H(\xi)$ が得られる．

$$H(\xi)=\frac{\tau_r}{1+\left(2\pi\xi\right)^2}\left(1-i2\pi\xi\right) \tag{2b}$$

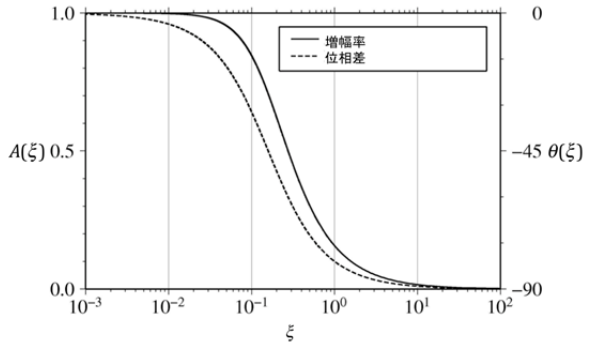


図-1 海岸のシステム特性

ここで，$\xi(=\tau_r/T)$はτ_rを海岸へのプラスチック漂着量の変動周期T（以下，新規漂着周期）で無次元化したものである（以降，無次元滞留時間と称す）．式(2b)からシステム特性（すなわち，増幅特性及び位相特性）が得られる．

$$A(\xi)=\frac{\left|H(\xi)\right|}{\tau_r}=\frac{1}{\sqrt{1+\left(2\pi\xi\right)^2}} \tag{2c}$$

$$\theta(\xi)=\frac{\mathrm{Im}(H(\xi))}{\mathrm{Re}(H(\xi))}=\tan^{-1}\left(-2\pi\xi\right) \tag{2d}$$

ここで，$A(\xi)$及び$\theta(\xi)$は，それぞれ新規漂着量に対する存在量の増幅率及び位相差である．なお，$A(\xi)$はτ_rで規格化している．$\theta(\xi)$は必ず負の値（$\theta(\xi)<0$）をとり，新規漂着量に対して海岸にあるプラスチック残存量の位相が遅れることを意味する．

指数関数型のシステム特性は，基本的にξに依存する．ξが10^{-1}，10^{0}及び10^{1}である場合（Tを365日仮定すると，τ_rが1ヶ月，1年及び10年である場合）の$A(\xi)$と$\theta(\xi)$を**図-1**に示す．$A(\xi)$はξが大きいほど，小さくなり，逆に$\left|\theta(\xi)\right|$（位相差の絶対値）は大きくなる（**図-1**）．

(2) BCEの評価方法

図-2は，海洋プラスチックの微細化に関するBCEの概念図である．海岸に漂着した海洋プラスチックは，太陽光に含まれる紫外線や海岸地盤からの熱に暴露されることで，劣化していく[2]．海洋プラスチックの劣化過程において，表面の剥離及び部分的に損傷を受けることで，少しずつプラスチック微細片が発生し，やがて粉々に砕けると考えられる（**図-2**）．

海岸を線形システムとして仮定すると，海岸に漂着した海洋プラスチックの残存量$y_r(t)$は，次式の畳み込み積分で評価できる．

$$y_r(t)=\int_0^t x(\tau)h(t-\tau)d\tau \tag{2e}$$

ここで，$x(t)$は新規漂着量，$h(t)$は式(2a)に示す単位インパルス応答である．式(2e)の被積分関数内に，単位時間における個々の海洋プラスチックからの微細片の発生

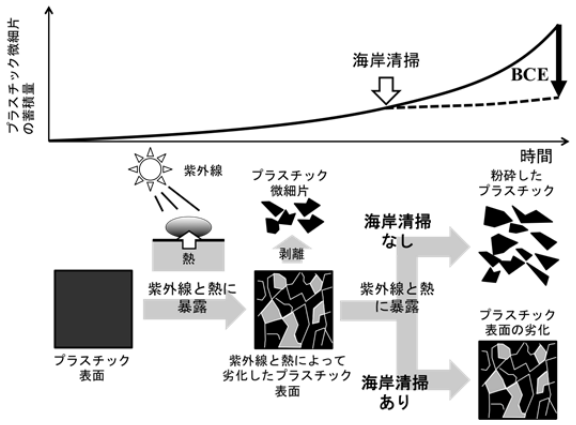


図-2 BCEの評価方法に関する概念図

確率$p(t)$を導入すれば，海岸にある全てのプラスチックからの微細片の発生速度$y_f(t)$になる．

$$y_f(t)=\int_0^t p(t-\tau)x(\tau)h(t-\tau)d\tau \tag{2f}$$

さらに，式(2f)を時間に関して積分すれば，その海岸におけるプラスチック微細片の蓄積量$Y_f(t)$となる．

$$Y_f(t)=\int_0^t y_f(t')dt'=\int_0^t\int_0^{t'} p(t-\tau)x(\tau)h(t-\tau)d\tau dt' \tag{2g}$$

もし海岸清掃を実施すれば，海岸清掃後のプラスチック微細片の蓄積量は次式で評価できる．

$$Y_f(t)=Y_f(t_c)+\int_{t_c}^t y_f(t')dt' \tag{2h}$$

ここで，t_cは海岸清掃日を意味し，第一項は清掃日までの蓄積量，第二項は清掃日以降の蓄積量を意味する．本研究では，海岸清掃しない場合の$Y_f(t)$に対する海岸清掃の有無による$Y_f(t)$の偏差の比としてBCEを評価する．

(3) BCEを評価するための簡易モデル

BCEを評価するためには，式(2g)中の$x(t)$と$p(t)$を定式化する必要がある．幾つかの既往研究において新規漂着量が周期的な季節変動をもつ[例えば，5)-6)]ことから，本研究では，新規漂着量を定常成分と周期変動成分からなる次式で定義した．

$$x(t)=x_0+a\sin(2\pi t/T) \tag{2i}$$

ここで，x_0及びaは，それぞれ定常成分に相当する新規漂着量の平均値，周期変動成分の振幅を意味する．基本的に，$x(t)$はx_0及びaの大小に応じて3つのパターンが考えられる（すなわち，$x_0>a; x_0=a; x_0<a$）が，ここでは滞留時間に対するBCEの依存性を簡便に調べるため，$x_0=a$とした．また，個々の海洋プラスチックからのプラスチック微細片の発生確率は漂着してからの経過時間に比例すると考え，次式で定義する．

$$p(t)=p_0\left(t-\tau\right) \tag{2j}$$

$h(t)$（式(2a)），$x(t)$（式(2i)）及び$p(t)$（式(2j)）を式(2e)–式(2g)に代入すると，$y_r(t)$，$y_f(t)$及び$Y_f(t)$は次式となる．

$$y_r'(\zeta)=\frac{y_r}{x_0\tau_r}=y_{rc}'+y_{rs}' \tag{2k}$$

$$\begin{cases} y_{rc}'=1-\exp\left(-\zeta/\xi\right) \\ y_{rs}'=\dfrac{a}{x_0}A\left[\sin\left(2\pi\zeta+\theta\right)-\sin\theta\exp\left(-\zeta/\xi\right)\right] \end{cases}$$

$$y_f'(\zeta)=\frac{y_f}{p_0x_0\tau_r^2}=y_{fc}'+y_{fs}' \tag{2l}$$

$$\begin{cases} y_{fc}'=1-\left(1+\zeta/\xi\right)\exp\left(-\zeta/\xi\right) \\ y_{fs}'=\dfrac{a}{x_0}A^2\left[\sin\left(2\pi\zeta+2\theta\right)-\sin2\theta\exp\left(-\zeta/\xi\right)\right] \\ \qquad -\dfrac{a}{x_0}A\left(\zeta/\xi\right)\sin\theta\exp\left(-\zeta/\xi\right) \end{cases}$$

$$Y_f'(\zeta)=\frac{Y_f}{p_0x_0\tau_r^3}=Y_{fc}'+Y_{fs}' \tag{2m}$$

$$\begin{cases} Y_{fc}'=\zeta/\xi-2+\left(\zeta/\xi+2\right)\exp\left(-\zeta/\xi\right) \\ Y_{fs}'=\dfrac{a}{x_0}\dfrac{A^2}{2\pi\xi}\left[-\cos\left(2\pi\zeta+2\theta\right)+\cos2\theta\right] \\ \qquad +\dfrac{a}{x_0}A\sin\theta\left[\left(\zeta/\xi+1\right)\exp\left(-\zeta/\xi\right)-1\right] \\ \qquad +\dfrac{a}{x_0}A^2\sin2\theta\left[\exp\left(-\zeta/\xi\right)-1\right] \end{cases}$$

ここで，$y_r'(\zeta)$，$y_f'(\zeta)$及び$Y_f'(\zeta)$は，それぞれ$y_r(t)$，$y_f(t)$及び$Y_f(t)$を無次元化したプラスチック残存量，微細片の発生速度及び蓄積量を意味する（式(2k)–式(2m)参照）．ζは経過時間を新規漂着周期で無次元化した時間である（すなわち，$\zeta=t/T$）．式(2k)–式(2m)の添字cとsは，それぞれ定常成分と周期変動成分を意味し，例えばy_{rc}'及びy_{rs}'はそれぞれ$y_r'(\zeta)$の定常成分と周期変動成分である．A及びθはそれぞれ式(2c)及び式(2d)で定義した増幅率と位相差である．また，$x_0=a$を仮定しているため，$a/x_0=1$である．

3. 滞留時間に対するBCEの依存性

(1) 滞留時間に対する残存量と微細片発生速度の依存性

図-3a 及び**図-3b** は，それぞれ滞留時間に対する無次元化したプラスチック残存量$y_r'(\zeta)$及び微細片発生速度$y_f'(\zeta)$の依存性を示す．$y_r'(\zeta)$及び$y_f'(\zeta)$はいずれもξに依存する．滞留時間τ_rが新規漂着周期Tよりも短い場合（$\xi=10^{-1}$），$y_r'(\zeta)$及び$y_f'(\zeta)$の定常成分（すなわち，y_{rc}'及びy_{fc}'）は，急速に増加する（**図-3a** 及び**図-3b** 中の灰色の実線）．逆に，τ_rがTよりも長い場合（$\xi=10^{1}$），y_{rc}'及びy_{fc}'は，緩やかに増加する（**図-3a** 及び**図-3b** 中の灰色の一点鎖線）．$\zeta\to\infty$とすると，$y_r'(\zeta)$及び$y_f'(\zeta)$は最終的に次式に収束する．

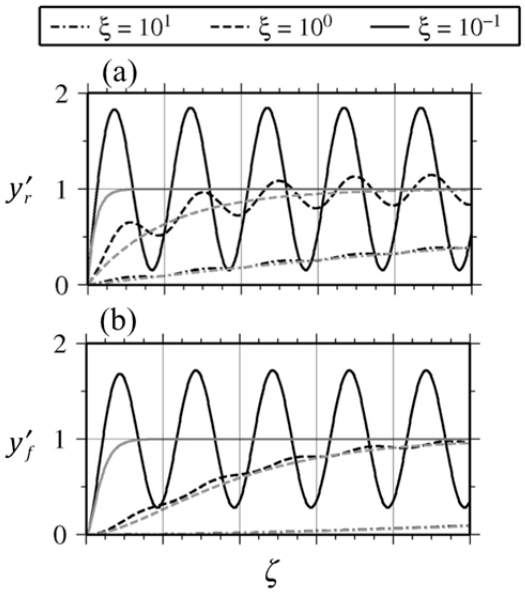


図-3 残存量と微細片の発生速度の時系列

$$y_r'\to1+\frac{a}{x_0}A\sin\left(2\pi\zeta+\theta\right) \tag{3a}$$

$$y_f'\to1+\frac{a}{x_0}A^2\sin\left(2\pi\zeta+2\theta\right) \tag{3b}$$

$y_r'(\zeta)$及び$y_f'(\zeta)$は，それぞれ新規漂着量に対してθ及び2θだけ位相が遅れ，A及びA^2の振幅で変動する．y_{rc}'及びy_{fc}'が，0.9 に到達するまでの時間は，それぞれ2.3ξ及び3.9ξであり，ξに比例する．基本的に，$y_r'(\zeta)$及び$y_f'(\zeta)$の時間変動は，y_{rc}'及びy_{fc}'が支配的であり，周期変動成分の寄与率は，増幅率Aで決まる．すなわち，ξが大きいほど，周期変動成分の振幅Aが小さくなる（**図-1**）ため，周期変動成分の寄与が小さくなる．

(2) 和田浜海岸を対象としたBCEの評価事例

筆者らが東京都新島村和田浜海岸で行った現地調査の結果，同海岸における海洋プラスチックの平均滞留時間は，224 日であり，新規漂着量が季節的に変動していることが確認された．新規漂着周期Tを 365 日であると仮定すると，$\xi=224/365=0.61$となる．海岸清掃は，Ocean Conservancy が総括する International Coastal Cleanups[7]のように年 1 回行われることが多い．そこで，ここでは 2(2)及び 2(3)に準じて和田浜海岸で年 1 回もしくは隔年 1 回の海岸清掃を行った場合の海岸清掃効果（BCE）を評価する．

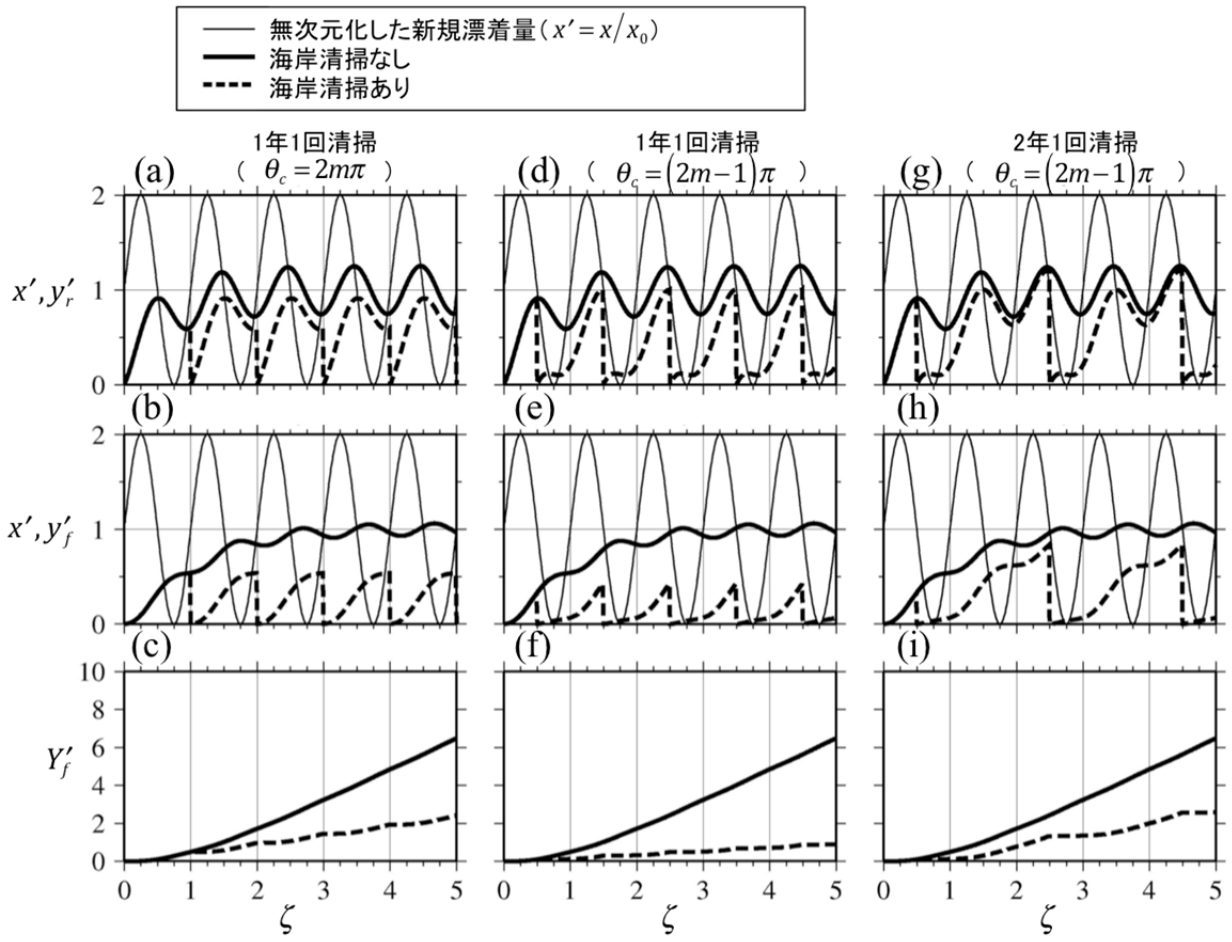


図-4 和田浜海岸（$\xi=0.61$ ）の場合の BCE の評価事例

新規漂着量の位相が $2m\pi$ (m = 1, 2, ..., 5)である時期に海岸清掃を実施した場合（$\theta_c=2m\pi$）の $y_r'(\zeta)$，$y_f'(\zeta)$ 及び $Y_f'(\zeta)$ の時間変化をそれぞれ**図-4a**，**図-4b** 及び**図-4c** に示す（太実線: 海岸清掃無し; 太破線: 海岸清掃有り）．この場合， 5 年後の BCE は 63%となる（**表-1**）．一方，$(2m-1)\pi$ (m = 1, 2, ..., 5)となる時期に海岸清掃を実施した（$\theta_c=(2m-1)\pi$）場合の $y_r'(\zeta)$， $y_f'(\zeta)$ 及び $Y_f'(\zeta)$ の時間変化を，それぞれ**図-4d**，**図-4e** 及び**図-4f** に示す．この場合，BCE は 86%であり，$\theta_c=2m\pi$ に海岸清掃を実施した場合に比べて大きくなる（**表-1**）．このように同じ頻度であっても清掃時期の違いによって BCE は大きく異なり，$\theta_c=2m\pi$ に海岸清掃を実施するよりも $\theta_c=(2m-1)\pi$ に実施したほうが効果的であるといえる．これは，和田浜海岸（もしくは，$\xi=0.61$ となる海岸）の場合，新規漂着量に対して存在量の位相は −81° （ $\theta(\xi)\approx-\pi/2$ ） だ け 遅 れ （ 式 (2d) ） ，$\theta_c=(2m-1)\pi$ であるときにプラスチック残存量が極大となるためである（すなわち，式(2k)において $\sin\left(2\pi\zeta+\theta(\xi)\right)\approx1$; $2\pi\zeta+\theta(\xi)\approx\left(4m-3\right)\pi/2$, m = 1, 2, ..., 5）したがって，プラスチック残存量の極大時期に実施する海岸清掃が効果的であるといえる．

表-1 和田浜海岸（$\xi=0.61$ ）の場合の BCE

清掃回数：	1年1回	1年1回	2年1回
清掃時期：	$\theta_c=2m\pi$	$\theta_c=(2m-1)\pi$	$\theta_c=(2m-1)\pi$
Y_f'(海岸清掃なし)	6.47	6.47	6.47
Y_f'(海岸清掃あり)	2.41	0.90	2.58
BCE （%）	63	86	60

一般に，海岸清掃には多くの労力及び費用が必要とされる．もし隔年でしか海岸清掃を行えないのであれば，プラスチック残存量の極大時期に海岸清掃を実施すべきであろう．$\theta_c=(2m-1)\pi$ となる時期に隔年で清掃した場合(すなわち，m = 1, 3, 5)， $y_r'(\zeta)$，$y_f'(\zeta)$ 及び $Y_f'(\zeta)$ の時間変化は，それぞれ**図-4g**，**図-4h**及び**図-4i**になる．この場合のBCEは，60%であり，$\theta_c=2m\pi$ に毎年海岸清掃を実施した場合と同等の効果が得られる（**表-1**）．したがって，清掃時期はBCEを決める重要な要素の一つであり，効果的な清掃時期を的確に見極めることが必要である．

(3) 滞留時間及び清掃時期に対するBCEの依存性

滞留時間が異なる海岸を仮定して，平均滞留時間及び清掃時期に対する BCE の依存性について検討する．前節同様，$T=365$ として，平均滞留時間及び清掃時期を変化させて 1 年 1 回の海岸清掃を実施し

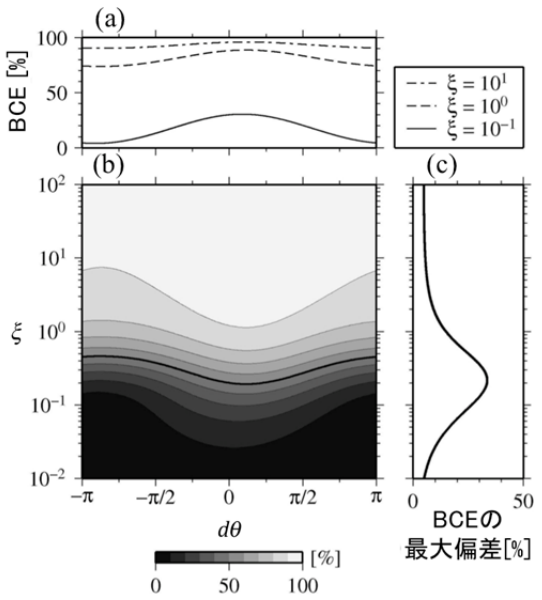


図-5 滞留時間と清掃時期に対するBCEの依存性

た場合の$\zeta=5$における BCE を計算した（**図-5a**）．**図-5a** の横軸は，プラスチック残存量が極大となる時の新規漂着量の位相（すなわち，$2\pi\zeta=(4m-3)\pi/2-\theta(\xi)$, m=1, 2, ..., 5）と清掃時期の位相θ_cとの偏差$d\theta$（以下，位相偏差）である（すなわち，$d\theta=(4m-3)\pi/2-\theta(\xi)-\theta_c$）．例えば，$d\theta=0$はプラスチック残存量の極大時期に清掃を実施したことを意味する．**図-5a** の縦軸はξであり，図中の濃淡は BCE を意味する．

BCE は概してξが長い海岸で海岸清掃を実施した方が大きい（**図-5a**）．BCE が最大となる清掃時期は，ξによって異なる（**図-5b**）．例えば，ξが短い場合，BCE が最大となる清掃時期は，プラスチック残存量の極大時期と一致するのに対し，ξが長い場合，プラスチック残存量が極大となる少し前に清掃を実施することで BCE が最も大きくなる（**図-5a**）．

また，清掃時期に対する BCE の依存性も，ξによって異なる．各々のξにおける BCE の最大偏差（すなわち，BCE の最大値と最小値の差）を**図-5c** に示す．$\xi<10^{-1}$である海岸で清掃を実施した場合，そもそも BCE が小さいため，BCE の最大偏差も小さく，清掃時期に対する BCE の依存性が低い．これに対して，$10^{-1}<\xi<10^{0}$である海岸で清掃を実施する場合，BCE の最大偏差が大きくなり，清掃時期に対する BCE の依存性が高くなる．さらにξが長くなると，BCE の最大偏差は再び小さくなり，清掃時期に対する BCE の依存性が低くなる．このような清掃時期に対する BCE の依存性は，周期変動成分の振幅に相当する$A(\xi)$がξによって変化すること（**図-1**）に起因する．すなわち，ξが長くなるほど，Y_f'の周期変動成分の振幅Aが小さくなるため，清掃時期に対する BCE の依存性が低くなる．

したがって，$\xi<10^{-1}$である海岸では，清掃時期によらず BCE が低い．$10^{-1}<\xi<10^{0}$である海岸で清掃を実施する場合には，清掃時期に対する BCE の依存性が高いため，清掃時期の選定が効果的な海岸清掃を実施する上で極めて重要となる．$\xi>10^{0}$である海岸で清掃を実施する場合，清掃時期によらず，BCE が高い．

4. 効果的な海岸清掃手法の提言

海岸を指数関数型の単位インパルス応答をもつ線形システムとみなすと，BCE を比較的容易に評価することができる．BCE は無次元滞留時間ξに依存し，$\xi>10^{0}$である海岸で清掃を実施すれば，清掃時期によらず，高い効果が得られる（**図-5**）．ここでは，ξに対する BCE の依存性を考慮した効果的な海岸清掃手法について提言する．

効果的な海岸清掃手法に関する提案の一つは滞留時間τ_rが 1 年以上である海岸を選定し，重点的に海岸清掃を実施することである．多くの海岸において，漂着物の存在量が季節的に変動することが確認されており [5)-6), 8)-10)]，新規漂着周期Tは 1 年未満であると推察される．したがって，τ_rが 1 年以上の海岸を選定すれば，$\xi>10^{0}$であるため，高い BCE を期待することができる．

さらに，$\xi>10^{0}$である海岸で清掃を実施することで，清掃時期を軽視することができる．一般に，海岸の清掃時期は，気象条件や清掃実施者の招集などの様々な要因によって支配され，必ずしも残存量が極大時期に海岸清掃を実施できない可能性がある．例えば，プラスチック残存量が極大時期であっても高波浪時に海岸清掃を実施するのは，安全上困難であろう．残存量の極大時期に海岸清掃が実施できなかったとしても，$\xi>10^{0}$である海岸を選定していれば，高い BCE を得ることができる（**図-5**）．

したがって，効果的な海岸清掃を実施する上で，滞留時間の把握が極めて重要になる．現時点では，滞留時間は長期的な現地調査を実施することで計測可能であるが，現地調査に基づいて多地点の滞留時間を把握することは難しい．そこで，今後は波浪統計量などを用いた滞留時間の推定手法を構築していきたいと考えている．

平成 21 年 7 月に海岸漂着物処理推進法が施行され，現在では，都道府県が漂着物処理に係る地域計画の策定が義務づけられている．本研究で構築した BCE の評価手法を活用することで，平均滞留時間を考慮して海岸清掃の場所・時期・頻度を決定することができ，より効果的な海岸清掃計画の立案・策定が可能となる．

5. 結論

海岸を指数関数型の単位インパルス応答をもつ線形システムと見なして，海洋プラスチックの微細片の発生抑制に関する海岸清掃効果（BCE）の評価手法を開発した．BCE は，海岸の平均滞留時間とプラスチックの新規漂着量の変動周期の比（無次元滞留時間 ξ）と清掃時期に依存し，$\xi<10^{-1}$ である海岸では，清掃時期によらず BCE が低い．$10^{-1}<\xi<10^{0}$ である海岸で清掃を実施する場合には，清掃時期に対する BCE の依存性が高いため，清掃時期の選定が効果的な海岸清掃を実施する上で重要となる．これに対して，$\xi>10^{0}$ である海岸で清掃を実施する場合，清掃時期によらず，BCE が高い．

したがって，効果的な海岸清掃を実施する上で，各海岸における滞留時間の計測・推定が極めて重要になる．滞留時間を計測・推定し，本研究で構築した BCE の評価手法を活用することで，海岸清掃の場所・時期・頻度を適切に決定することができ，より効果的な海岸清掃計画の立案・策定が可能となる．

謝辞：本研究は，平成 22–24 年度環境省環境研究総合推進費（B-1007），および JSPS 科研費 25820234 の助成を受けて実施しました．

参考文献

1) Wilcox, C., Van Sebille, E. and Hardesty, B. D. (2015): Threat of plastic pollution to seabirds is global, pervasive, and increasing, *Proc Natl Acad Sci USA*, doi: 10.1073/pnas.1502108112 (in press).
2) Andrady, A.L. (2011): Microplastics in the marine environment, *Mar. Pollut. Bull.*, **62**(8), 1596–1605.
3) Mato, Y., Isobe, T., Takada, H., Kanehiro, H., Ohtake, C. and Kaminuma, T. (2001): Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment, *Environ. Sci. Technol.*, **35**(2), 318–324.
4) Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W., McGonigle, D. and Russell, A. E. (2004): Lost at sea: where is all the plastic?, *Science*, **304**(5672), 838–838.
5) Kataoka, T., Hinata, H. and Kato, S. (2013): Analysis of a beach as a time-invariant linear input/output system of marine litter, *Mar. Pollut. Bull.*, **77**(1-2), 266–273.
6) Bowman, D., Manor-Samsonov, N. and Golik, A. (1998): Dynamics of litter pollution on Israeli Mediterranean beaches: a budgetary, litter flux approach, *J. Coast. Res.*, **14**(2), 418–432.
7) Ocean Conservancy (2013): International Coastal Cleanup 2013 report: Working for clean beaches and clean water. Available at: http://www.oceanconservancy.org/our-work/international-coastal-cleanup/2013-trash-free-seas-report.pdf.
8) Ribic, C.A. (1998): Use of indicator items to monitor marine debris on a New Jersey beach from 1991 to 1996, *Mar. Pollut. Bull.*, **36**(11), 887–891.
9) Kako, S., Isobe, A. and Magome, S. (2010): Sequential monitoring of beach litter using webcams, *Mar. Pollut. Bull.*, **60**(5), 775–779.
10) Kataoka, T., Hinata, H. and Kako, S. (2012): A new technique for detecting colored macro plastic debris on beaches using webcam images and CIELUV, *Mar. Pollut. Bull.*, **64**(9), 1829–1836.

第二阪和国道建設に伴う
重要種保全対策の取り組み
～ゲンジボタルの保全対策について～

三浦　雅史

近畿地方整備局　浪速国道事務所　工務課　（〒573-0094大阪府枚方市南中振3-2-3）

一般国道26号第二阪和国道（淡輪ランプ～大谷ランプ）は、平成28年度の暫定2車線供用を目指して事業を進めており、現場での施工が急ピッチで進められている。一方、平成23年度に策定した希少動植物保全計画に基づき、自然環境保全対策に着実に取り組んでいる。

平成26年度には、保全対策種として選定された７種（植物4種、動物3種）のうち、本事業によって生息環境が改変されるゲンジボタルについて、地元の理解・協力を得、工事関係者との連携を図りながら、幼虫及び餌となるカワニナの移植、付替河川における生息環境の再生に向けた保全対策に取り組んだ。

キーワード　環境保全対策，ゲンジボタル，自然再生，移植

1.　はじめに

道路建設事業の実施にあたっては、動植物等の生息環境に配慮し、周辺の自然環境との共生を図る必要がある。

第二阪和国道の整備が進められている大阪府泉南西部地域は、海浜部まで連なる豊かな自然環境が残った地域であり、事業の推進にあたっては、平成23年度に策定した希少動植物保全計画に基づき、自然環境保全対策を実施することとなっている。

保全対策種７種（植物4種、動物3種）のうち、ゲンジボタルは里山における河川の代表的な動物である。地域の豊かな自然環境を象徴し、環境に配慮した道路事業推進のシンボル的な種として、保全対策が求められている。



図-1　対象地区内の河川環境とゲンジボタル

2.　地域の概況

第二阪和国道（淡輪ランプ～大谷ランプ）は、大阪府泉南郡岬町淡輪地内の淡輪ランプを起点とし、和歌山県和歌山市大谷地内の大谷ランプを終点とする延長9.4kmの区間において、自動車専用道路を整備するものである。平成28年度の暫定2車線供用を目指して、工事が急ピッチで進められており、平成26年度には大阪府と和歌山県域の境に位置する孝子地区において、本事業により改変される大川の一部で付替河川工事に着手した。



図-2　第二阪和国道位置図

3.　これまでの経緯

第二阪和国道（淡輪～孝子地区）の環境調査は、平成21年2月から実施されており、平成23年度には確認され

た種ごとに影響を予測・評価して保全対策の対象種が選定され、希少動植物保全計画が策定されている。

ゲンジボタルについては、周辺住民における「人と自然の触れ合い活動」という視点から、保全対策の対象種として選定されている。生息している大川において一部河川付替工事が発生し、工事時の濁水土砂の流入や供用時の路面排水の流れ込みによる環境悪化、さらに、道路・鉄道の照明による繁殖活動の阻害の可能性等、生息環境が改変されることから、幼虫や餌動物であるカワニナへの影響が考えられた。このため、移植等の対策を実施することとしていた。



図-3　地元の自然保護活動

4. ゲンジボタル等保全対策の検討

平成26年度には、ゲンジボタルが生息する河川での付替工事に着手するため、ゲンジボタル幼虫及びカワニナの移植実施が必要となった。

移植時期は幼虫が蛹化する前で、かつ体長が大きい方が見つけ易くなるため、およそ11月～2月が適期となる。期間が短く限られるため、工事工程との調整を行ったうえで、効率的な移植手法が求められた。さらに、付替工事による改変によって消失された生息環境は容易に回復できないことが想定されたことから、付替工事に合わせ、現河川の河床材料を活用して、付替河川における多様な河床構造形成の骨組となるよう敷設・配置を行い、瀬淵や砂州の形成を促進する対策についても併せて検討した。



図-4　保全対策前の付替河川

(1)　対象箇所

対象箇所は、孝子地区内の付替河川４区間である。各区間は、さらに数箇所の施工区に分かれており、各施工区の工程調整を行い順次実施した。また、新たに付替河川を新設する箇所と現河道の改修を行う箇所があり、これらの施工内容も把握しながら対策を進めた。

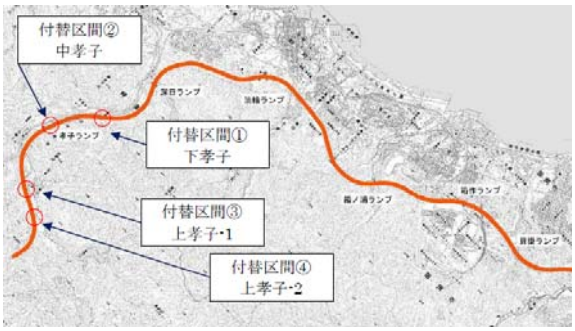


図-5　保全対策実施箇所

(2)　保全対策の実施手順

ゲンジボタル幼虫及びカワニナの保全対策として、「移植」及び「生息環境の復元」について実施することとした。各対策における課題として、①「移植」時期についてゲンジボタルの生活史を考慮する必要がある、②「生息環境の復元」について現況河川からの河床材料採取・仮置き、工事完了後の速やかな石礫配置を行う必要がある、の２点が挙げられる。

上記の課題と工事工程を調整しつつ、図-6に示すフローに基づき保全対策を実施した。

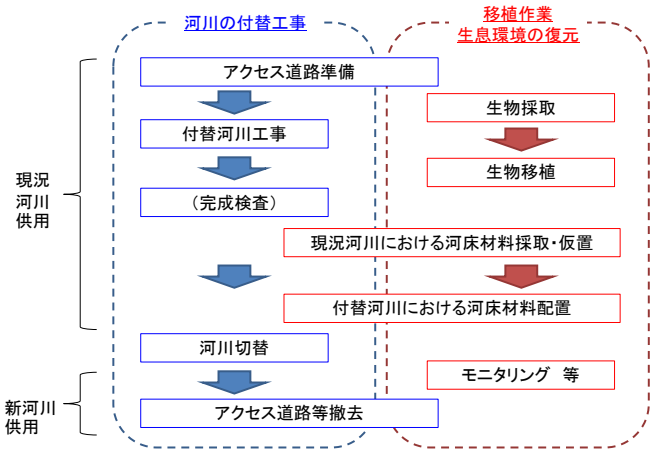


図-6　保全対策全体フロー

(3)　ゲンジボタル幼虫及びカワニナの採取・移植

ゲンジボタル幼虫及びカワニナ等の移植は、従来、石礫等を人力で動かしながらタモ網等による採取を行っていたため、労力がかかるうえに実際の採取数が限られており、施工中の限られた工程の中での対策としては、実効的と言えず、改善の必要があった。

これに対し、①可能な限り多くの生息種の保全を図る、②限られた工程の中で効率的に採取・移植するこ

とを目的とし、従来の手法に対し、表-1のような改善手法により試験施工を行ったうえで、本施工に適用した。



図-7　従来の採取法

表-1　採取・移植方法の改善

作業手順	作業状況
①事前準備 ・現河川の水位・水量を極力下げる。 ・河床の石礫等が見える程度が採取作業に適する。 ・必要に応じて仮設流路を設置する。	
②耕運機を用いた撹拌 ・小型耕運機により河床の石礫を掘り起こすように撹拌する。 ・岩盤の場合は行わない。	
③高水圧洗浄機による採取 ・石礫や岩盤に付着している幼虫等を高水圧で洗流す。 ・高水圧で流した生物を小礫等と一緒に網で回収する。	
④採取生物選別・同定 ・回収物より石礫や落葉等の夾雑物を取り除く。 ・採取された生物を確認し、移植先に応じて区分する。	
⑤上流側への移植 ・ゲンジボタル幼虫及びカワニナについてはあらかじめ選定した大川上流の工事影響のない箇所に移植する。	

(4)　河床材料(石礫)の配置による生息環境再生

付替河川工事によって、ほぼ直線的なコンクリート張りの護岸になってしまうことに加え、治水安全上川幅をより広くとっているため、流れがより緩やかになる。

このため、砂州形成の骨格となる比較的大きい石礫(直径30～50cm)を交互に配置し、砂州や瀬、あるいは淵等の多様な河床構造が形成されるようにした。

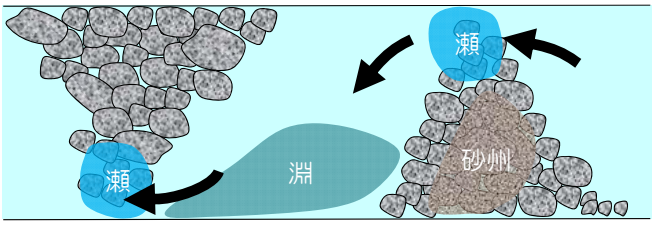


図-8　生息環境（瀬淵のある河床構造）のイメージ

使用する河床材料は、可能な限り、現河川の河床材料を採取・仮置きして活用した。不足分については、護岸掘削箇所等より発生する石礫を代替として活用した。



図-9　現河川からの河床材料採取

河床材料の敷設手順は以下の通りであり、当初区間で実施したモデル施工において、施工手順や歩掛等の確認を行ったうえで作業仕様を確定し、本施工に適用した。

①現河川の河床材料選別・仮置・保管：
0.8～1.4㎥級バックホウ（スケルトンバケット）
↓
②付替河川河床への材料搬入：
ダンプ、0.8～1.4㎥級バックホウ（護岸養生必須）
↓
③河川内小運搬：1.0t級不整地運搬車
↓
④大礫配置（石礫配置の骨格となる配置）：
0.13㎥級バックホウ及び人力施工
↓
⑤中～小礫の配置、微調整等：人力施工

図-10　河床材料配置手順

5. 保全対策実施

(1) ゲンジボタル幼虫及びカワニナ採取・移植

1) 実施状況

採取・移植作業は、各区の施工進捗と調整を行いながら、11月～1月に順次実施した。なお、6月には事前の成虫確認調査を行い、11月には、先行区間（中孝子）でモデル施工を行い、施工手順や手法等の確認を行った。

表-2 保全対策（採取・移植）実施箇所及び実施時期

付替区間	延長（m）	実施時期
①上孝子-1	150	2015/01/27～29
②上孝子-2	250	2015/01/08～10
③中孝子	400	2014/11/10～12 ※ 2014/11/19～20
④下孝子	600	2014/12/01～06 2014/12/24～27 2015/01/06～07 2015/01/16～29

※モデル施工として実施

2) 事前の成虫確認調査（2014年6月）

上孝子～下孝子地区の18地点において、成虫確認調査を行い、138匹/日の飛翔を確認した。



図-11 成虫調査

3) 移植箇所の選定

採取したゲンジボタル幼虫及びカワニナは、大川の付替区間より上流部又は工事によって影響を受けない支川に移植することとし、現地確認調査を行ったうえで、上孝子、中孝子の2箇所を選定した。



図-12 移植箇所の状況

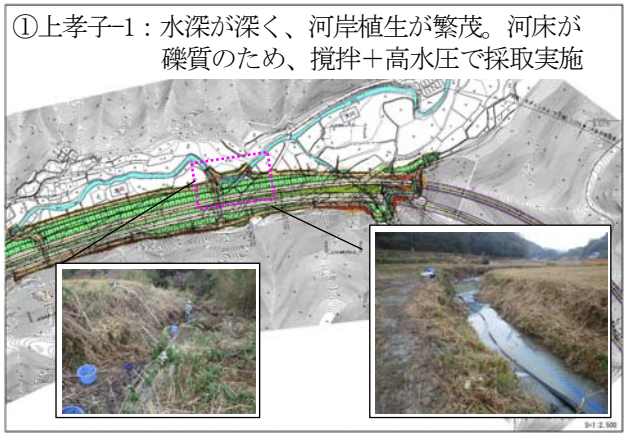
4) モデル施工（2014年11月）

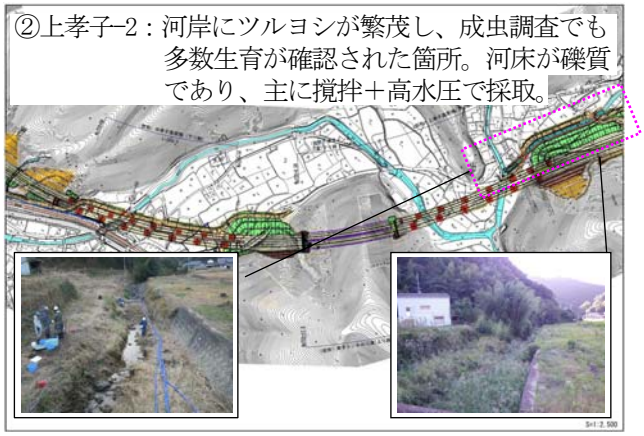
アドバイザーによる現地指導、施工業者等による見学会を行い、本施工での実施に向けた情報共有を図った。

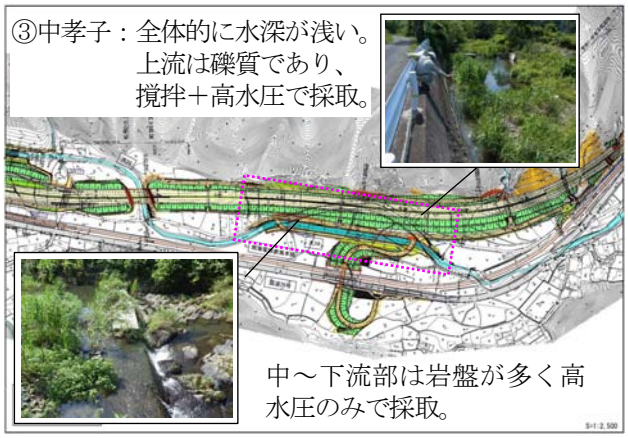


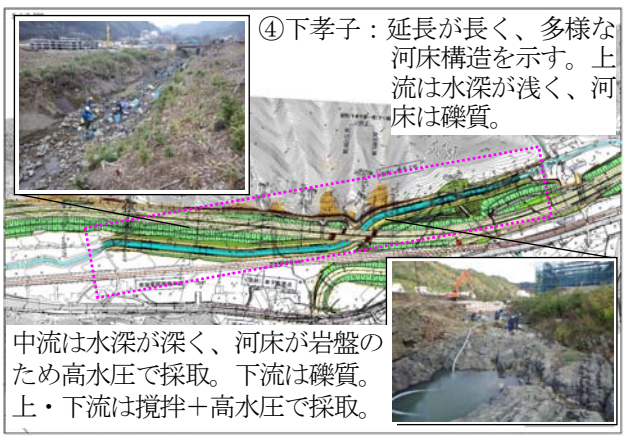
図-13 モデル施工実施状況

5) 各施工箇所の実施状況（2014年11月～2015年1月）









6) 実施状況のまとめ

アドバイザー（和歌山大学教授 養父先生）による現地指導、施工業者等による見学会を行い、本施工での実施に向けた情報共有を図った。

①ゲンジボタル幼虫及びカワニナの採取数

採取方法の改善によって、これまでの採取実績に比べてゲンジボタル幼虫の採取数が大幅に増加した。

表-3　改善手法による採取個体増加

ゲンジボタル	従来手法		改善手法
	平成24年度	平成25年度	平成26年度
採取数	44個体	3個体※	925個体
調査距離	約1,500m	約500m	約1,100m
単位距離あたり採取数	約3個体/100m	約0.6個体/100m	約84個体/100m

※平成25年度は出水後であったため採取数がやや少ない



図-14　ゲンジボタル幼虫

カワニナは、全区間を通じ約8万個体が採取できた。



図-15　カワニナ

②採取・移植作業効率

採取及び移植に関する作業効率は、5～7名体制で約150㎡（延長約100m）/日の施工を行い、各施工区につき2～3日程度の作業で対応ができた。

③その他生物の保全への寄与

改善手法によって、他の水生昆虫や魚類等も多数採取できた。採取した生物については、施工の影響が少ない上・下流部に移植し、保全に寄与できた。



図-16　改善手法により採取された水生昆虫

④移植後の状況

移植先の河川上流部では、ゲンジボタルの飛翔やカワニナの定着が確認されている。今後、下流部改変区間においても生息環境の再生に伴い、生息数の回復が期待される。

(2) 河床材料配置

採取・移植作業を実施した箇所のうち、河川付替工事が完了した下孝子地区において河床材料の配置を行った。

1) モデル施工

先行区間での施工（2015年2月2～4日）をモデル施工として位置付け、施工手順等の確認を行った。



図-17　モデル施工実施状況

2) 石礫配置作業の実施

直線部は、石礫を交互に、かつ水衝部を形成させて流れに強弱ができるよう配置した。落差工部にも石積とたまりを形成し、魚類遡上が可能となるように配慮した。



図-18　石礫配置状況

3) 実施状況まとめ

①河床構造形成への対応

下孝子地区（延長600m、施工面積5,000㎡）において河床材料配置を行い、砂州や瀬淵形成に必要な多様な流れを創出することができた。施工後、除々に砂州形成等の様子が確認されている。



図-19　多様な河床構造の形成状況

②河床材料配置作業効率

石礫配置作業に関する作業効率は、8～10名体制で約250㎡（延長約20～30m）/日の施工を行い、各施工区3～5日程度の作業で対応ができた。

③抽水植物（ツルヨシ）の移植

石礫配置を行った下孝子地区において、改変のない現河川から採取したツルヨシの移植を行った。



図-20 ツルヨシの移植

6. 今後の課題と対応

(1) 河岸部植栽

石礫配置による多様な流水の効果によって形成された砂州や淵には、ツルヨシ等の抽水植物が定着・生育し、多様な生物生息環境が形成されていくことが期待される。これら植生については、河床構造が形成されていくとともに、少しずつ自然に侵入してくると考えられるが、前述のとおり、流れが緩やかになり比較的自然撹乱の少ない条件下では、その回復も緩やかな時間経過を要することが考えられ、成長の早い外来種の侵入等のリスクも懸念される。

したがって、河床構造の再生とあわせ、望ましい植生種の定着を促進することは、早期の適正な環境復元に有効であると考えられる。今後、移植後のツルヨシの定着及び生物生息環境の形成状況を確認し、必要となる環境管理を検討していく。



図-21 移植したツルヨシの定着状況（施工後2ヶ月）

また、道路照明や、近接する南海電鉄からの照明をさえぎるための河岸部分への植栽等、蛹化等を含めたゲンジボタルの生息環境整備も検討していく必要がある。



図-22 付替河川河岸部分（左側が南海電鉄）

(2) 地元との協力・連携

ゲンジボタルの保全は、「人と自然の触れ合い活動」という視点を目的としており、今後の再生状況のモニタリングや将来的に必要となる河川環境の維持管理についても、地元との協力・連携が必要不可欠である。事業実施に伴う一過性のイベントではなく、地元住民への負担とならないような持続的な仕組みづくりについて検討し、少しずつ実践していくことが必要である。

地域関係者との連携については、以下のようなものが考えられる。

・既存の地域環境活動団体との協力・連携
・地元小学校等の環境学習への導入
・近隣大学(和歌山大学)と連携したモニタリング　等

7. まとめ

道路建設に伴う現況河川環境の消失に対し、生息するゲンジボタル幼虫及びカワニナ等の移植保全について、効率的な採取・移植手法を導入したことにより、限られた期間で多くの生息個体の保全が可能となったのみならず、その他の水生生物の保全にも寄与できた。

また、河川付替工事によって消失された生息環境復元を図るため、現河川の河床材料を活用した石礫配置及びツルヨシの移植を行うことができた。

今後は、生息環境の早期復元のため、河岸部への植栽等の対策についても検討していくこととしている。

さらに、これらの取り組みにあたっては、地元関係者と一体となった協力・連携体制を構築し、「地域と一体となった環境にやさしい道づくり」を推進するとともに、将来の持続的な環境管理の体制づくりについても、ゲンジボタルをシンボルとした活動として構築できればと考えている。

謝辞：本検討を遂行するにあたり、本事業のアドバイザーとして、貴重な御意見・御示唆を頂きました和歌山大学システム工学科教授　養父先生に深く感謝いたします。

また、限られた期間での保全対策の遂行にあたっては、地元の方々をはじめ、施工関係者の皆様のご理解とご協力があった賜物です。深く感謝いたします。

参考文献

1)養父志乃夫：ビオトープ再生技術入門

高梁川潮止堰の魚道改良について

千熊 敏照[1]・武内 慎太郎[1]・安達 淳[1]

[1]中国地方整備局　岡山河川事務所　管理第一課　（〒700-0914岡山市北区鹿田町2-4-36）

一級河川高梁川の下流域，2.6 k 付近には，塩害防止と取水機能を有する潮止堰が設置されている．しかし，アユをはじめとする魚介類の遡上を阻害しているとして，その改善の必要性が関係機関等から指摘されてきた．そこで，潮止堰に設置された4基の魚道における遡上調査ならびに堰下流域における魚介類の分布調査を行い，アユ等の遡上状況及び堰本体直下への迷入状況を把握した．次に，調査結果を踏まえて，4基の魚道のうち，1基を対象とした試験改良とモニタリングを行い，改良効果を検証した．さらにモニタリング結果を踏まえて，残る3基のうち2基の魚道の改良を実施した．改良した魚道のモニタリング結果は良好である．

キーワード　潮止堰，魚道改良，モニタリング，アユ

1. はじめに

(1) 改良の経緯

潮止堰の魚道は昭和42年に建設され，老朽化が進んでいた．また，既設魚道が突出型の設置形式を採用しており，堰本体の直下へ魚介類が迷入しやすい構造であった．このため，専門家等の意見を聞きながら，平成21 年度から順次，その改良を行ってきた．潮止堰には，左岸から順に1号～4号の合計4基の魚道が設置されている．

潮止堰の位置を図-1に，各魚道の位置を図-2に示す．



図-1　高梁川潮止堰の位置

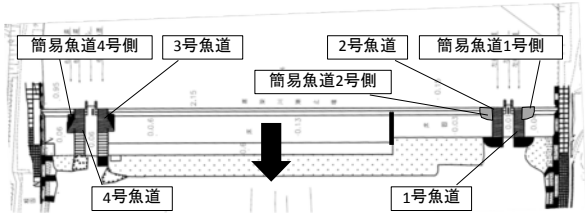


図-2　魚道の設置位置

(2) 魚道改良のフロー

改良工事は，右岸側の4号魚道から着手した．主に魚道流量の見直し，隔壁高と隔壁天端の形状の変更，側壁形状の改良等を行った．また，迷入対策として，各魚道と堰固定部の接する場所に扇型の簡易魚道を増設した．4号魚道の改良は平成21年度に，1号魚道の改良は平成25年度，2号魚道の改良は平成26年度にそれぞれ実施した．なお，既設魚道の改良については，基礎部分は残した上での改良とし，事業の低コスト化にも配慮した．また，魚道の改良工事は，魚介類の事前調査，改良後のモニタリング結果を踏まえて，順応的に実施している．

魚道改良のフローを図-3に示す．

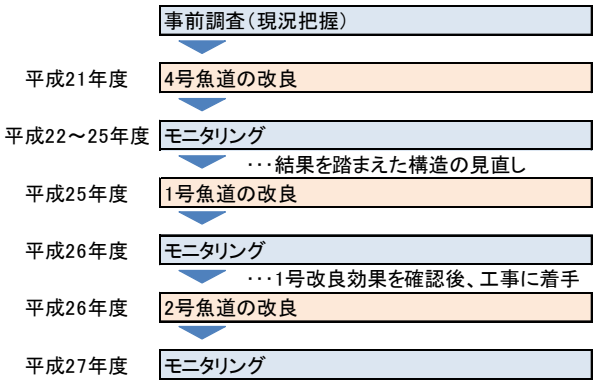


図-3　魚道改良のフロー

(3) 魚介類の遡上環境からみた潮止堰の課題

課題としては，大きく分けて3点が考えられた．

①堰本体の高さが高く，魚介類が堰本体を直接遡上することが困難

②魚道は突出型の設置形式を採用しているため，遡上する魚介類が堰直下に迷入しやすい

③魚介類が魚道に進入できても，魚道内の速い流速と泡だらけの乱れた流況により，遡上が困難

特に，③については，魚道への取水量が過剰なこと，隔壁が直角型であり，薄剥流が起きやすいこと，さらに頻繁に側壁から溢流するなど複数の問題が確認された．

なお，堰の下流域には捕食者となるスズキ，サギ類，カワウが集まっており，遡上魚が滞留する時間が長いほど，捕食されやすいと考えられた．

2. 魚道調査の方法

(1) 遡上調査

魚道の上流端において陸上から偏光サングラスを用いて観察し，遡上する魚類・甲殻類の種，個体数を計数した．

遡上した魚類・甲殻類は遊泳魚（中層を遊泳して泳ぐ魚）と底生魚（底面を這うように泳ぐ魚），甲殻類に区分し，各個体について表-1 に示す体長区分を記録した．

調査時間は，7:00～19：00 までの毎正時及び毎 30 分から 15 分間とした．また，補足的に夜間調査を実施し，夜行性種を記録した．

表-1　魚類・甲殻類の体長区分

体長区分	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
体長	～3cm	3～5cm	5～10cm	10～20cm	20cm～

注）甲殻類は甲長を記録．

各魚道における一日あたりの推定遡上数は，以下の方法で算出した．

15 分間の目視調査による個体数の計測及び補正※

※目視範囲が魚道幅員の 1/3 であれば，観察個体数を 3 倍した．

↓

30 分間値の算出（＝15 分間値×2）

↓

1 時間値の算出（30 分間値の合計）

↓

1 日の推定遡上数＝1 時間値の累積値
（7 時～19 時の 12 時間累積値）

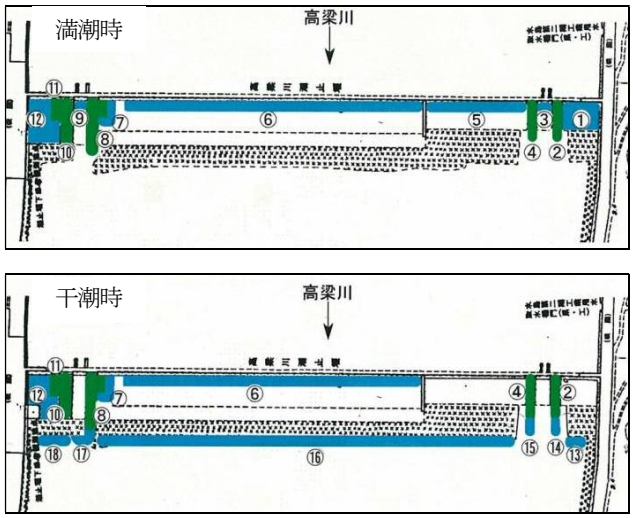
図-4　推定遡上数の算出方法

なお，目視による調査は定置網や箱型トラップ等を設置した採捕調査と比較して，種や体サイズの確認精度が劣る場合があるが，採捕調査で見られる忌避行動が少ないため，遡上数の把握には適している．また，調査人員を最小化することが可能であり，漁具の設置や撤去の費用が生じないため，低コストで実施可能であるという特長を有している．

(2) 潜水目視調査

堰の下流側及び魚道内を流速・水深等の観点から区分し，潜水目視観察を実施した．現地では，確認位置毎に，種とサイズの確認を行い，体長区分に応じた個体数を記録した．

なお，調査は，干潮時，満潮時の2回実施した．潜水目視調査の範囲と区分調査範囲を図-5に示す．



①左岸固定部，②1 号魚道，③左岸可動部，④2 号魚道，⑤中央固定部左岸側，⑥中央固定部右岸側，⑦3 号魚道側面部入口，⑧3 号魚道，⑨右岸可動部，⑩4 号魚道，⑪簡易魚道，⑫右岸固定部，⑬左岸捨て石部，⑭1 号魚道入口，⑮2 号魚道入口，⑯中央捨て石部，⑰3 号魚道入口，⑱右岸捨て石部　注：青色は目視調査の範囲，緑色は魚道を示す．

図-5　潜水目視調査の範囲と区分

(3) 周辺環境調査

水温，堰上下流の水位，魚道内の流速を測定した．特に，流速は魚道構造に応じて，各魚道内の複数個所で計測した．

3. 調査結果と考察

以下では，改良工事を行った順に各魚道の構造，特徴および調査結果と改良効果を示す．

(1) 4号魚道（平成21年度整備）

a) 魚道構造

既設の4号魚道は，切欠付き全面越流階段式魚道であったが，改良では以下が特徴である．

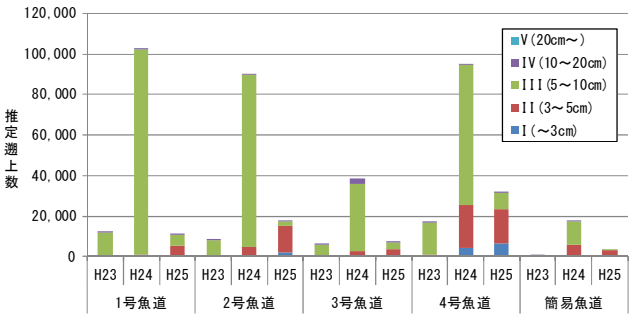
- 隔壁の高さを3段階に設定し，越流水深と流速に変化をつけた．
- 隔壁の天端を円形にして，越流水の剥離を防止した．
- 側壁の内側を傾斜させた台形断面魚道[1)]を採用し，水位変動への対応幅を広げ，かつ緩流域を確保した．
- 迷入対策として粗石付き斜路を付設した．



写真-1　改良された4号魚道の流況

b) 4号魚道の調査結果と改良効果

改良後のアユの推定遡上数を魚道別，体長別で整理した結果，平成24年，25年ともに，4号魚道において，小型のアユの遡上割合が多いことが示された（図-6）．これは，魚道の隔壁高を変化させたことにより，緩流域が形成され，その結果，小型アユの遡上が可能になったことを示すものと考えられた．



注：調査時には4号魚道と簡易魚道4号側のみ整備済

図-6　魚道別のアユの体長組成

(2) 1号魚道（平成25年度整備）

a) 魚道構造

4号魚道のモニタリングにより，隔壁高に変化をつけた効果が示された．ただし，魚道内の緩流域が片方だけになるため，急流域の側壁はモクズガニなどの甲殻種にとって，遡上が困難になることが懸念された．そこで，魚道隔壁の中央部を低くし，魚道の両側に緩流域を形成させる形状を1号魚道で採用することとした（図-7）．

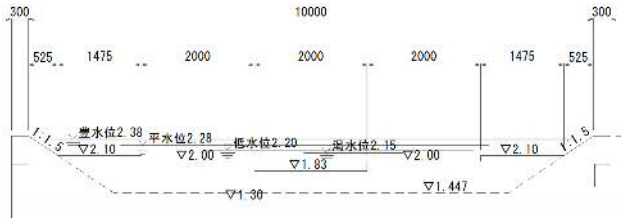


図-7　1号魚道の隔壁形状

また，迷入対策として4号魚道に設置された粗石付き斜路は，河川流量の変動に対応しにくいこと，施工業者の工夫の程度により，魚道機能にばらつきが生じ易いことから，1号魚道では魚道ブロックによる棚田式魚道を採用した．



（左：1号魚道，右：簡易魚道1号側）

写真-2　改良後の1号魚道の形状

b) 1号魚道の調査結果と改良効果

平成25年度の魚道改良工事の後に，アユの迷入状況を把握した．堰直下に迷入したアユは，何度も遡上を試みるが1m以上の落差を上りきる個体は非常に稀である．迷入したアユの状況を写真-3に示す．



写真-3　堰直下でジャンプを繰り返すアユ

そこで，1号魚道が接する左岸固定部（図-5,①）に対して，簡易魚道[2]を設置したところ，アユの迷入割合が大きく減少した（図-8）．

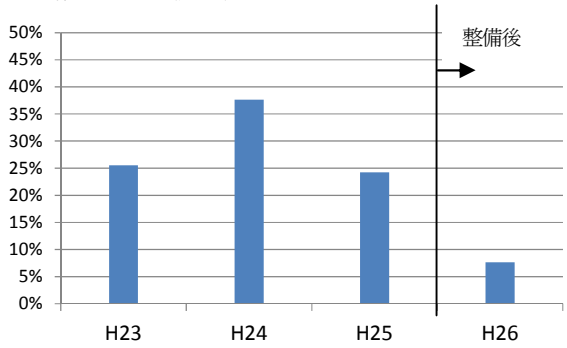


図-8　左岸固定部へのアユの迷入割合（満潮時）

(3) 2号魚道（平成26年度整備）

a) 魚道構造

1号魚道のモニタリングにより，その改良効果が認められたため，2号魚道には1号魚道の形式を採用した．

b) 2号魚道の調査結果と改良効果

2号魚道の改良効果は，未改良の3号魚道との比較により行った．2号魚道の近傍に迷入したアユは，遡上期の前半では留まることなく簡易魚道等を利用して遡上していると考えられた．また，遡上の盛期には，2号魚道と隣接する簡易魚道を速やかに遡上した（図-9）．

一方，未改良の3号魚道について見ると，遡上の初期より迷入したアユが魚道の近傍に留まり，その後も長期にわたり，遡上できないことが示された（図-10）．

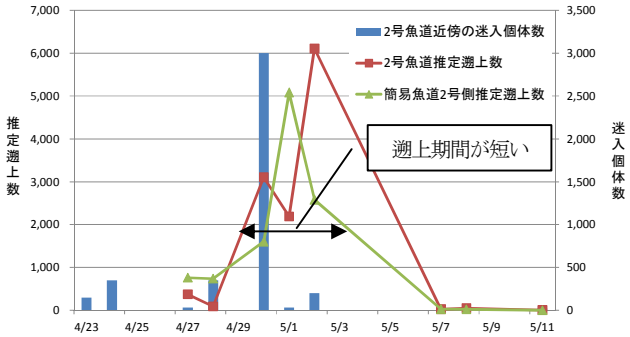


図-9　2号魚道近傍のアユの迷入と遡上状況

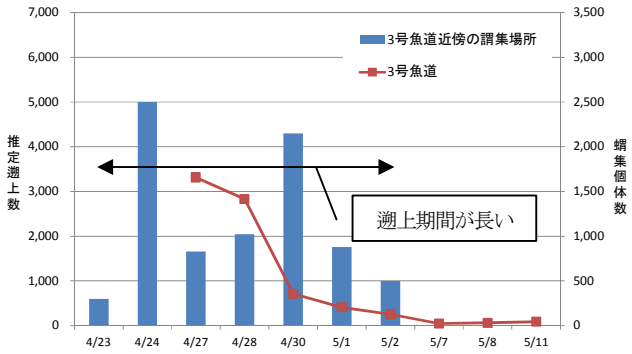


図-10　3号魚道近傍のアユの迷入と遡上状況

(4) 夜間補足調査

夜行性種を対象とした補足調査を実施した．その結果，ニホンウナギ，カジカ中卵型，モクズガニ，テナガエビなどが，側壁の傾斜部を利用していることが明らかになった（写真-4）．

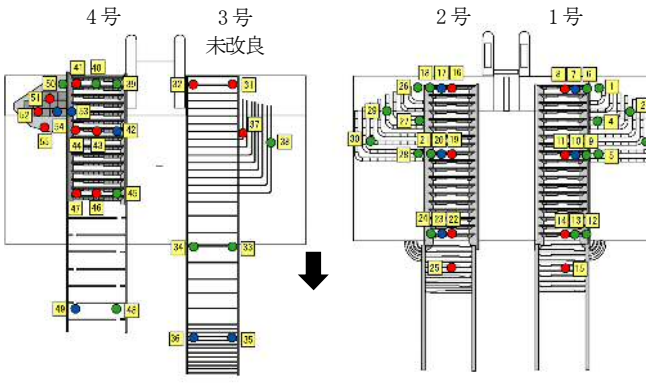


（左：ニホンウナギ，右：モクズガニ）
写真-4　夜行性種の遡上状況

(4) 流速分布

設計意図を反映して，4号魚道では右岸側に，1号と2号魚道では，魚道中央部に比較的速い流れが形成されており，呼び水効果を期待できる流速となっている．また，簡易魚道1号側および2号側についても，魚道内に穏やかな流況が形成されていることが示された．

平成27年5月現在の各魚道における流速分布を図-11に示す．



●→ 調査回数の半数以上で、流速が 1.2m/s 以上の地点
●→ 調査回数の半数未満で、流速が 1.2m/s 以上が確認された地点
●→ 1.2m/s 以上の流速が観測されなかった地点

図-11　各魚道の流速分布（平成27年5月現在）

4. 今後の予定

現状では，3号魚道の改良が残されており，今後，改良に向けた調整を図っているところである．平成27年度のモニタリング結果では，未改良の3号魚道において，小型のアユの遡上数が，改良済の魚道と比較して少なく遡上が困難なことが示された（図-12）．

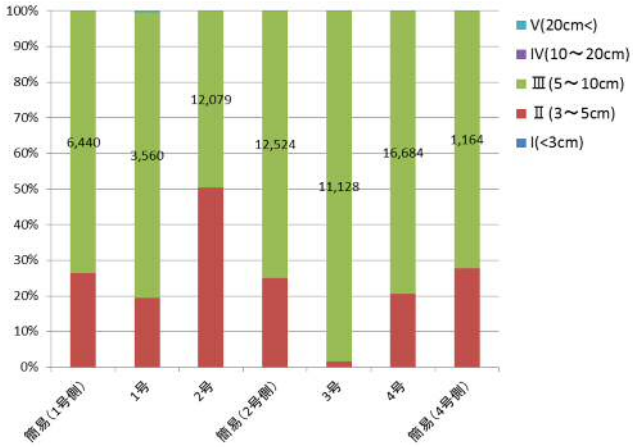


図-12　魚道別の遡上アユの体長区分（平成27年度）

なお，アユの遡上数には，前年の産卵期の水量が影響することが知られており，自然的要因による年変動がある．産卵期の降雨は，親魚の降下，新たな産卵床の形成，孵化後の仔魚の流下に好影響を及ぼすと考えられる．そのため，遡上数だけによる魚道の機能評価は困難である．体長組成や堰下への迷入状況，あるいは迷入している期間の短縮（図-9参照）に着目し，モニタリングを継続する予定である．

謝辞：日本大学の安田教授には，潮止堰の改良工事で採用した台形断面魚道の設計について，ご指導を頂いた．ここに謝意を表する．

参考文献

1) 安田陽一著(2011)：技術者のための魚道ガイドライン．
2)「水辺の小わざ」プロジェクトチーム(2007)：水辺の小わざ．

効果的かつ持続的な事故対策の検討

作田　豊彦[1]・林　尚樹[2]

[1]北勢国道事務所　管理課（〒519-0165　亀山市野村4丁目3番25号）
[2]北勢国道事務所　管理課（〒519-0165　亀山市野村4丁目3番25号）

一般国道25号名阪国道は交通事故が多発しており，事故削減に向けた安全対策を推進しているところである．本論文では，事故が多発している上り12.9kpについて，既往論文で提案した対策メニューの設置位置の検討及び対策効果を，ETC2.0プローブデータを活用して分析し確認した．また，事故と危険挙動の関連性を分析し，事故は少ないものの，危険な挙動が多発している下り0.1kpについて，危険挙動の発生要因を，CCTV映像を用いて分析し，重大事故に繋がる恐れのある危険な挙動をなくすため，予防保全的な対策方針を検討し，効果的かつ持続的な事故対策の検討を行ったものである．

キーワード：交通安全対策，事故予防保全，危険挙動，ビッグデータ，ETC2.0プローブデータ，管理用CCTV動画

1．はじめに

(1) 名阪国道の概要と交通事故発生状況

一般国道25号名阪国道（以下「名阪国道」という．）は，三重県亀山市から奈良県天理市を結ぶ延長73.2km，4車線の自動車専用道路である．路線の両端は東名阪自動車道並びに西名阪自動車道，伊勢自動車道の高速自動車道と直結し，国土軸である名神高速道路及び新名神高速道路の代替機能を有する中部圏と近畿圏を結ぶ大動脈として，一日約52,500台，大型車混入率42.6％（平成22年道路交通センサス 観測地点：伊賀）の交通を担う重要な路線である．

重要路線として機能する一方，北勢国道管内（三重県内）の名阪国道では平成25年に674件の交通事故が発生しており，平成26年で減少するものの，平成21年と比較して137件，20%増加している**(図-1)**．また平成25年には4件の死亡事故が発生し，7名の方が命を失っている．名阪国道全線では，高速道路10kmあたりの死亡事故件数が全国ワースト１位（平成24年）であり，事故削減に向けた安全対策を推進していくことが急務となっている．

(2) ETC2.0プローブデータの活用

国土交通省では，道路に設置されたITSスポット等と，車側のETC2.0対応カーナビ等との間で，高速・大容量通信を行うことにより，広域的な道路交通情報や画像の提供など，様々なサービスを行っている．ETC2.0プローブデータとは，このデータを通じて得られる情報（緯度経度・時刻など）のことをいい，これらのデータから車両の走行速度や危険挙動（前後加速度から急ブレーキ，左右加速度から急ハンドルを抽出）の発生状況が把握できることから，交通安全対策へ活用する取り組みが始まっている．

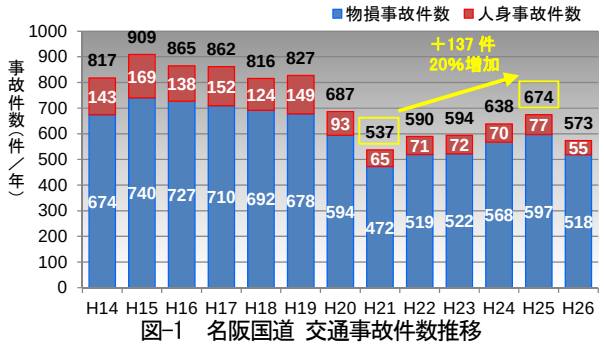


図-1　名阪国道 交通事故件数推移



図-2　ETC2.0サービスの概要

本論文では，名阪国道における交通安全対策にあたって，ETC2.0プローブデータを活用して効果的かつ持続的な交通事故対策の検討を行った．

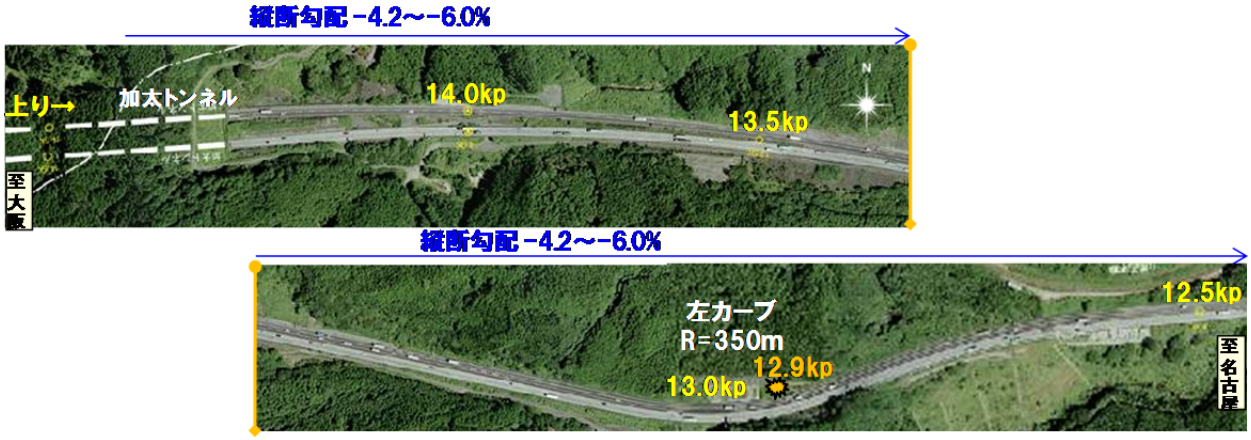


図-3　分析箇所位置図（名阪国道 上り12.9kp付近）

2．ETC2.0プローブデータを活用した事故対策の効果検証

(1) 検討箇所の概要

三重県内の名阪国道の中で，交通事故多発箇所の一つであり，平成25年には死亡事故が発生した，上り（名古屋方面）12.9kp付近について検討を行った（**図-3**）．当該箇所では，既往論文において，CCTV映像の解析により走行特性を把握し，対策案を選定している（**図-4**）．

当該箇所は，加太トンネルから名古屋方面に向かって約2kmに渡り続く急勾配区間の途中に位置し，曲線半径350mの左カーブ付近である．大半の事故が雨天時で，単独事故，カーブ進入時の慢性的な速度超過などから，速度抑制や注意喚起の対策としてカラー舗装が選定され，またスリップ防止の対策として，滑り止めカラー舗装が選定され，平成26年8月に施工した．

本論文では，ETC2.0プローブデータを用いた対策位置の検討及び対策前後の効果検証について紹介する．

(2) ETC2.0プローブデータを用いた対策設置位置の検討

対策の設置位置について，以下の通り検討を行った．

a) 使用するデータ

走行速度及び危険挙動データは，名阪国道に設置されているITSスポットから収集される，ETC2.0プローブデータを使用した．挙動履歴データは，時刻，緯度・経度，方位，道路種別，前後加速度，左右加速度，ヨー角速度等のデータで構成され，急減速・急回避などの危険事象により，閾値を超えたデータのみが記録されるデータである．危険挙動は，減速度（前後加速度）と横加速度（左右加速度）に対して，0.3G以上の加速度が発生したケースを危険挙動として分析を行った．なお，0.3Gは運転免許技能試験実施基準において，急ハンドルに該当する．

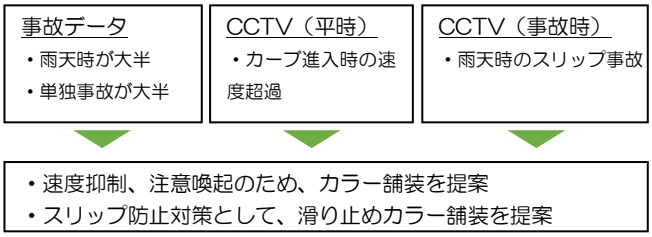
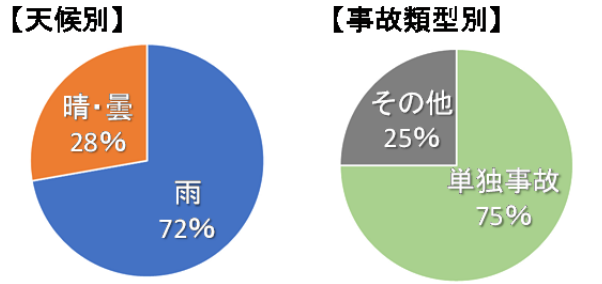


図-4　対策案の選定経緯



※事故データ　道路情報センター集計結果：H25（1年間）

図-5　事故発生状況

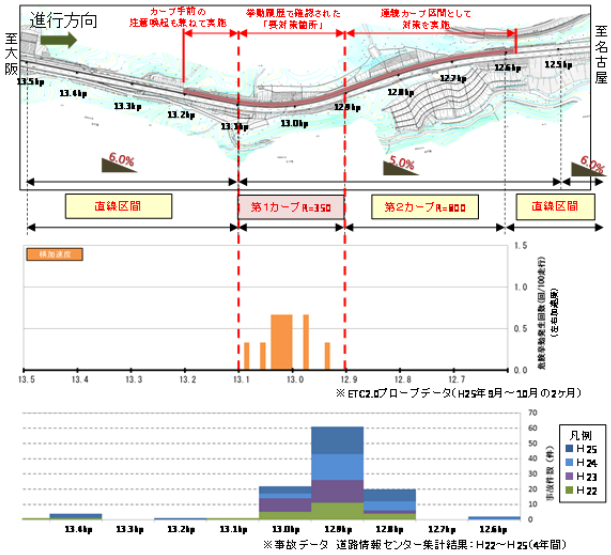


図-6　危険挙動の発生状況

b) 危険挙動の発生状況

危険挙動の発生位置を確認したところ，当該箇所で発生する事故は第１カーブの頂点を超えた付近に集中しているのに対し，横加速度の危険挙動は事故多発位置より手前に集中していることが確認された．

事故発生の予兆であるこの危険挙動に対して対策を設置する方針とした．

c) 危険挙動の発生要因

カーブ区間走行時には少なからず横加速度は発生するものであるため，当該箇所で発生する危険挙動が，道路構造と車両速度から自然に生じるものか，または急なハンドル操作から生じるものか，危険挙動の発生要因について分析した．

道路構造と車両速度から自然に生じる横加速度は，カーブ区間走行時の力学的な安定性を評価する指標である遠心加速度として，次の式 (1a) で表される．

$$\text{遠心加速度} = V^2/R \qquad (1a)$$

V:車両速度(m/s), R:曲率半径(m)

当該箇所におけるカーブの曲率半径は350mであることから，車両速度と横加速度の関係を計算値で示すとともに，車両速度と横加速度の実測値を示す（図-7）．

実測値と計算値を比較すると，同じ車両速度の場合，実測値の方が計算値よりも横加速度が高い傾向にある．道路線形に合わせてスムーズにハンドル操作をすれば，計算値に近い横加速度になることから，当該箇所においては，急なハンドル操作が生じていると考えられる．

急なハンドル操作の原因としては以下が考えられる．

①前方の道路線形に対して運転者の注意が不足する，または走行速度が高いことで，カーブ区間に入ったことに気づくのが遅れる．

②走行速度が高いため横滑りが生じ，車線逸脱を回避しようと急なハンドル操作を行う．

d) 対策設置位置

危険挙動の発生要因を踏まえ，以下の通り設置位置を決定した．

①カーブ区間に進入することを認識させるために，カーブ区間の手前から注意喚起及び速度抑制を図る．

②横滑りが生じにくいようにするために，連続するカーブ区間全体に滑り止め対策を設置する．

なお，カーブ手前の設置区間は，実勢速度から規制速度への減速に必要な距離として次の式(2a)[1]より算定した．

$$D = \frac{V}{3.6}t + \frac{\Delta V^2}{2gf(3.6)^2} \qquad (2a)$$

D:減速に必要となる距離(m)

V:実勢速度(m/s)

ΔV:実勢速度と規制速度との速度差(m/s)

g:重力加速度$(=9.8m/s^2)$

f:タイヤと路面との縦すべり摩擦係数

t:反応時間$(=2.5s)$

実勢速度は危険挙動の平均値より110km/h，縦すべり摩擦係数は雨天時を考慮し0.3，規制速度は60km/hとして，減速に必要な距離は110mと算定した．

したがって，カーブ手前約100mを対策設置の開始位置とした．

(3) ETC2.0プローブデータを用いた効果検証

12.5kp～13.5kpを分析対象区間として，カーブ区間での危険挙動及び走行速度，事故の発生状況について，対策前後の比較を行った．

危険挙動（横加速度0.3G以上）の発生位置は，対策前後で大きな変化は見られないが，発生回数は約７割減少した（図-8　4.35回/100走行→1.27回/100走行）．また，カーブ進入時の平均走行速度は，対策により約10km/h程度の低減が図られた（図-9　95.1km/h→83.2km/h）．

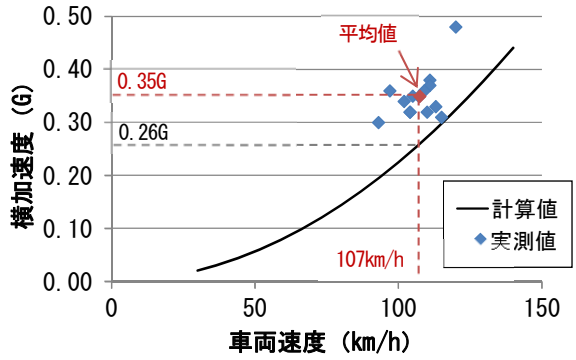


図-7　車両速度と横加速度

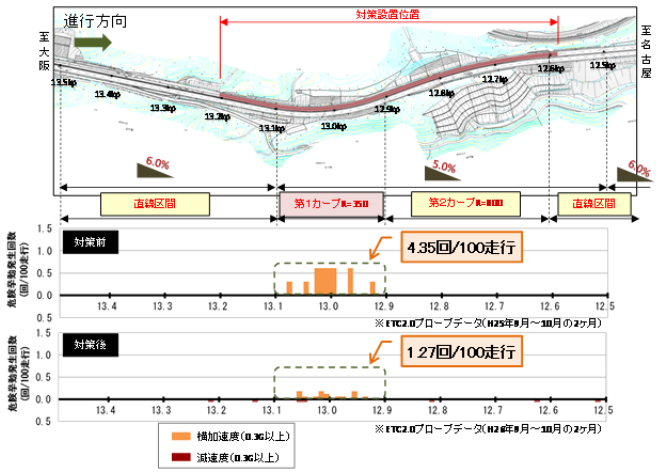


図-8　対策効果（危険挙動）

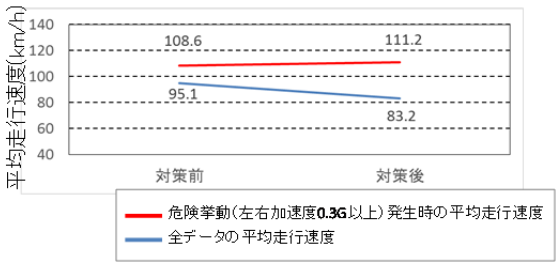


図-9　対策効果（カーブ進入時の平均走行速度）

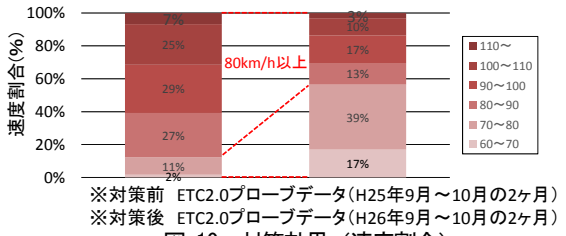


図-10 対策効果（速度割合）

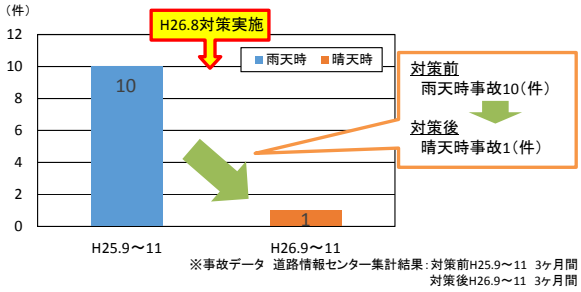


図-11 対策効果（事故件数）

速度割合を見てみると，80km/h以上で走行する車両の割合が大幅に減少した（図-10）．

事故は対策前（H25.9～11）で３ヶ月当たり10件（全て雨天時事故）発生していたが，対策後（H26.9～11）では３ヶ月当たり1件（晴天時1件のみ）となっている．11月末時点で，雨天時の横滑りに起因した単独事故は発生しなかった（図-11）．

以上の効果検証により，当該箇所では大きな対策効果が発揮されていることを確認した．

(4) ETC2.0プローブデータ活用の優位性

対策効果の検証において，事故件数による比較は，あくまでも事後評価となるとともに，ITARDAの事故データの場合は概ね2年遅れで入手となるため評価の即時性に欠ける．一方，ETC2.0プローブデータはデータ整理後，すぐに入手可能であるため，対策後早期に効果が確認でき，事故が発生する前に危険挙動の変化が評価可能である．また，時系列に走行履歴の変化を確認することで，対策効果が薄れていく様子もわかり，対策の更新・追加の必要性を把握できることから，効果的かつ持続的な事故対策が実施可能な有効な手段となる．

３．事故の予防保全に向けた対策検討

従来の事故対策は，上り12.9kpのように，事故が多発する箇所や重大事故が発生した箇所を中心に実施されてきた．しかしながら，重大な事故にはつながっていないものの，危険な挙動が多発している箇所も存在し，一歩誤れば重大な事故につながる恐れがあると考えられ，予防保全的に対策が望まれる．

そこで，上り12.9kpと同様に，ETC2.0プローブデータを用いて名阪国道の全線における危険挙動の発生状況と事故の発生状況を整理し，予防保全的な対策が望まれる箇所を抽出した．

(1) 予防保全的対策の概要

全線を整理した結果，事故が多発している箇所は危険な挙動も多い傾向にある一方，危険な挙動が多い箇所が必ずしも事故が多発しているわけではないことが読み取れた．

前者のように，事故と危険挙動が関連している箇所については，上り12.9kpで実施した手法で，効果的かつ持続的な対策を実施及び検証していくことが有効である．

しかし，後者のように，危険な挙動が必ずしも事故に関連していない箇所については，CCTV映像による解析を組み合わせて，危険な挙動を排除する対策を検証し，重大事故を未然に防ぐ予防保全的な対応が必要であると考えられる．

(2) 分析箇所の概要

分析箇所は，事故が非常に少ないにも係らず，危険挙動の発生回数が多い，下り0.1kp付近（ランプ合流部）を対象とした（図-12 青破線部）．

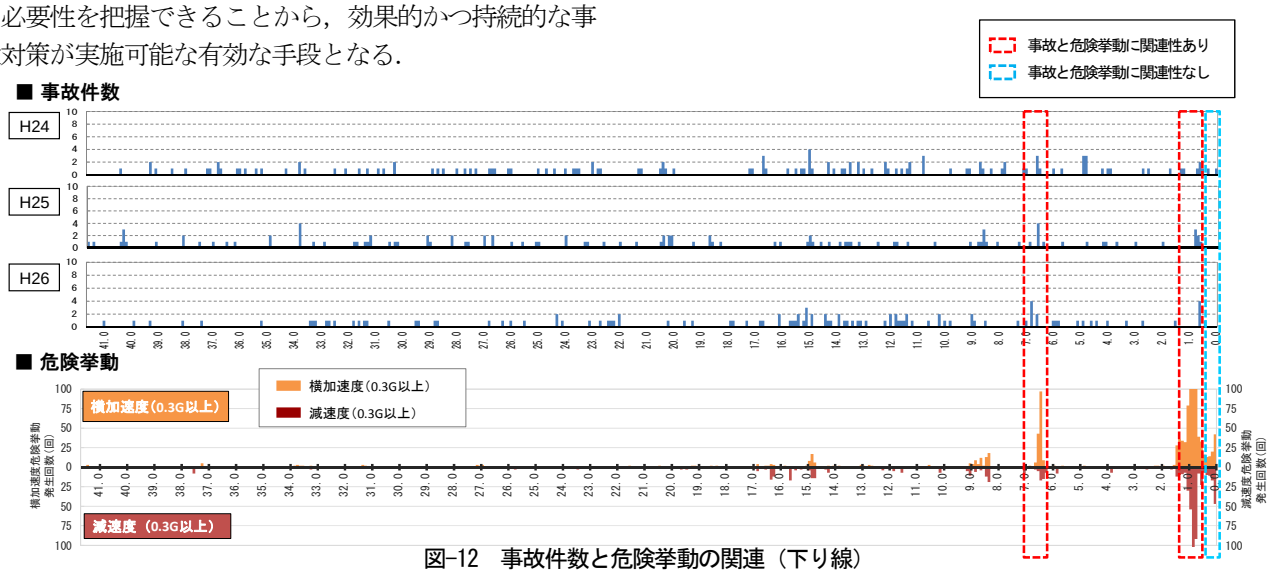


図-12 事故件数と危険挙動の関連（下り線）

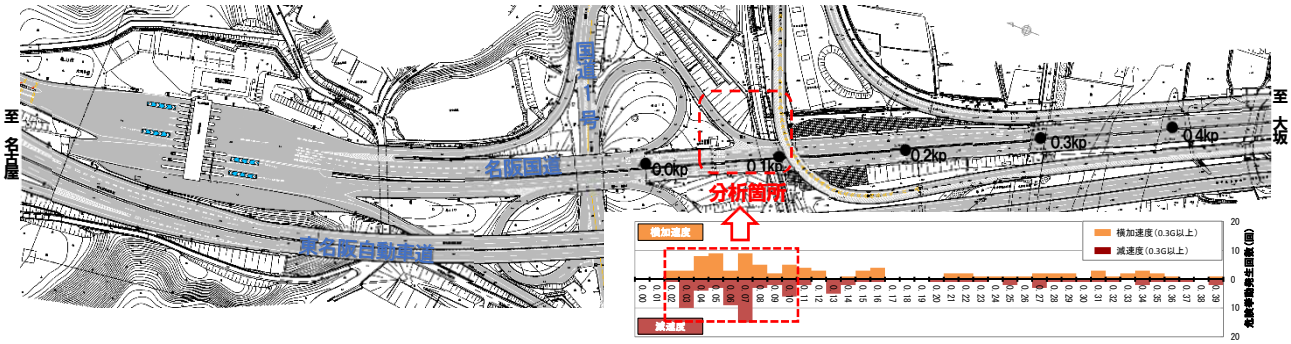


図-13　分析位置及び危険挙動発生位置図

当該箇所は，分合流が連続する中間部に位置し，ランプと本線の交差角がやや大きい状況にある（図-13）．

(3) 事故状況

当該箇所の事故状況として，過去３年（平成24年～平成26年）で１件しか発生していない．なお，平成27年では1件のみ事故が発生しており，詳細は(5)で示す．

(4) 危険挙動の特性

危険挙動について，ETC2.0プローブデータによって確認される事象が，どのように発現しているのか，CCTV映像を用いて分析を行った．

a) ETC2.0プローブデータによる危険挙動の発生状況

ETC2.0プローブデータによる危険挙動（0.3G以上）は，特に合流部手前付近で横加速度及び減速度ともに多発している．

一般的に，横加速度による危険挙動は，急カーブを走行する際の急ハンドルで発現する傾向があるが，当該箇所は本線直線区間にも係らず多い．また，減速度による危険挙動は，急ブレーキや急発進で発現する傾向にあり，当該箇所においては，ランプ部の合流車の影響によるものと考えられる（図-13）．

b) CCTV映像による危険挙動の確認

CCTV映像を用いて，ETC2.0プローブデータで確認された，横加速度及び減速度による危険な挙動が，どのような事象で発現しているのか分析を行った．

ETC2.0プローブデータによる危険挙動は，平日休日で大きな差が見られなかったため，休日の午前中を対象に，合流車の合流位置について分析を行った（図-14）．

・撮影箇所：25北00.0　亀山IC　CCTV
・撮影日時：平成27年1月25日（日）9：00～11：00

CCTV映像をもとに，ETC2.0プローブデータによる危険挙動がどのように発現したかを照らし合わせると，急な合流や十分に加速しないまま合流する車両を避けることが原因であった．

合流車は209台/2hあり，合流車の影響を直接受ける走行車線の走行車は854台/2hであった．合流車のうち13台/2hが，実際に本線走行車両へ影響（ブレーキ）を与えている（図-15）．

この事象をなくすことで，重大事故に繋がる可能性のある事故を予防保全することが可能と考える．



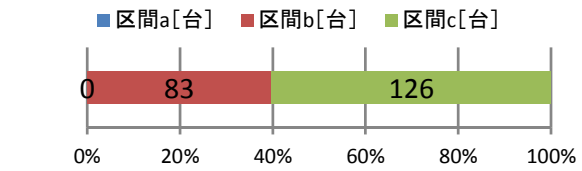


図-14　合流位置の分析結果

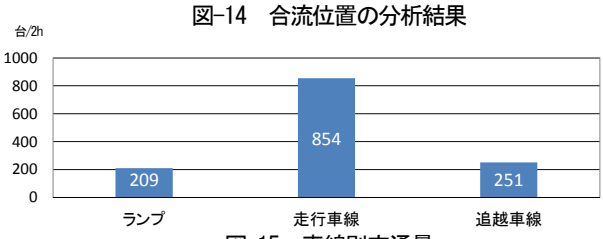


図-15　車線別交通量

(5) 事故の発生状況

最近発生した事故について，事故の発生状況を以下に記す．（事故発生日時：平成27年4月）

当該事故は，ランプからの合流車が本線走行車両を認識しないまま本線に進入し，本線走行車両と衝突したものである（図-16）．

加速車線を適切に利用して，本線走行車両を確認していれば防げた事故であると考えられる．



図-16　事故発生時のCCTV映像データ

事故の発生した原因は，CCTV映像や現地確認の結果，以下の２点が考えられる．

①合流角度が大きく，ランプの曲線半径が小さいことから加速車線を十分使わず，適切な位置で合流していない．

②ノーズ付近の視認性が悪いため（図-17，18），ランプ走行時において本線走行車両の存在を見落としやすい状況にある．



図-17　ランプ側から本線の視認性

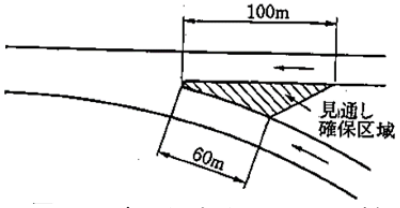


図-18　ノーズ付近の望ましい見通し確保区域 [1)]

(6) 対策方針

事故状況や危険挙動の状況を踏まえて，重大事故に繋がる前に予防保全として対策方針を検討した．

事故を誘発する原因と考えられる前述の２点について，対策方針を設定した．なお，本線側の対策は，「合流注意」の路面標示と注意喚起看板が設置済みであることから，ランプ側の対策のみ検討した．

①加速車線の適切な利用を促す（例：ゼブラ部にポストコーンを設置し，本線とランプを物理的に分離）

②ノーズ付近の視認性の改善（例：低木の撤去）

(7) 効果検証

ゼブラ部のポストコーン設置（平成27年7月対策実施）について，対策実施直後の短期的な効果検証を行った．効果検証にあたっては，ランプ合流部付近における危険挙動の増減について，対策前後の比較を行った．危険挙動はETC2.0プローブデータにより，前後加速度0.3G以上及び横加速度0.3G以上の発生回数を抽出した．データ取得期間は対策前で平成25年10月～平成26年9月（1年間），対策後は平成27年7月11日～平成27年8月10日（1ヶ月間）とし，対策前のデータを1ヶ月平均に換算するとともに，対策前後の三重県内のETC2.0普及台数を考慮した．

検証の結果，横加速度の危険挙動の減少が見られる．一方、減速度の危険挙動は増加している．これは，ポストコーンの設置により，急な車線変更を行う車両が減少しているが、急ブレーキにより事故を回避していると推測できる．したがって合流部手前での本線車輌の減速対策が必要と考える。現段階では対策実施直後でありデータ量が不十分であるため，今後，データを蓄積し，継続的な効果検証を実施していく．

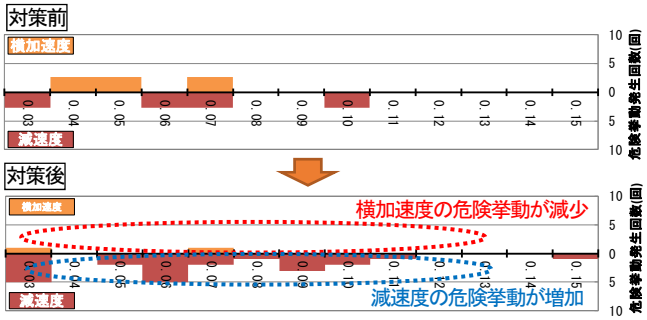


図-19　対策前後の危険挙動発生回数

4．まとめ

(1) 分析結果のまとめ

a) ETC2.0プローブデータを活用した事故対策の効果検証

検討対象とした上り12.9kpでは，既往論文ではCCTV映像を解析し対策を選定しており，その対策について，対策位置の決定及び対策後の効果分析を行った．その結果，平成26年11月時点で，雨天時以外の事故が1件発生しているものの，事故削減のターゲットとしていた雨天時のスリップ事故は発生しておらず，危険な挙動についても約7割減少したため，一定の対策効果があったものと考えられる．また，ETC2.0プローブデータを定期的に確認することで，効果的かつ持続的な効果検証が可能である．

b) 事故の予防保全に向けた対策検討

ETC2.0プローブデータを用いて，事故発生状況と危険挙動の関連性を分析した．その結果，事故が多発する箇所は危険挙動も多発する傾向にある一方，事故が少ないにも係らず，危険挙動が多発している箇所が浮かび上がってきた．これらを重大事故に繋がる恐れがあると想定し，下り0.1kp（亀山IC）に対して，危険な挙動がどのようにして発生しているのか，CCTV映像を用いて原因を検証し，予防保全として対策方針を設定した．

(2) 今後の取り組み

上り12.9kpにおいては，対策効果が持続するように，事故や危険挙動の推移を検証していく必要がある．また，持続性のあるものとするために，対策の更新計画を策定していく必要がある．

下り0.1kpにおいては，対策後にCCTV映像を用いた効果分析（速度変化，合流位置など）を行い，類似箇所（事故が少ないにも係らず，危険な挙動が多発している箇所）へ展開していき，予防保全的な対策の有効性を，引き続きETC2.0プローブデータを活用し検証していく必要がある．また、今後ITSスポットの整備とETC2.0の普及により、さらなる活用がなされることを期待する．

参考文献

1) 日本道路協会編：道路構造令の解説と運用（改訂版），日本道路協会，2004

富山の道路を賢く使う
～ハード・ソフトによる富山IC周辺の冬期渋滞対策～

飴谷　卓也[1]・田中　義太郎[1]・川面　顕彦[1]

[1]北陸地方整備局　富山河川国道事務所　調査第二課　（〒930-8537富山県富山市奥田新町2-1）．

北陸自動車道では特に冬期，富山ICを起点に渋滞が続き，それに起因した重大事故の可能性が高くなっている．ICの混雑は接続する国道41号の渋滞に起因するものであり，関係機関が連携して取り組むべき課題である．国道の交通円滑化，交通の集中緩和といった観点に着目し，小コストの整備を組み合わせる事で既存の道路機能を最大限に活かす，道路を「賢く」使うことで渋滞緩和を推進している取組を報告する．

キーワード　雪害，消雪，渋滞解消

1. はじめに

道路事業は大きな転換期に来ている．まず財政に着目すると，国の財政が逼迫する中，道路事業全体の費用も減少傾向にある．一方，高度成長期の構造物は老朽化対策を必要としており，今後も維持修繕費は増加すると予測される．このため新設費は制限され，大規模な事業が行いにくくなっている．では新設の必要が無いほど，既存の道路ネットワークは十分に機能しているだろうか．残念ながら渋滞問題や交通事故といった問題を抱えており，未だ改善の必要がある．特に渋滞問題は深刻であり，欧米の渋滞損失時間が移動時間の2割であるのに対し，日本では4割にも上る．移動の約半数もの時間が渋滞に奪われている事になる．財政的制約がある一方，多くの箇所が課題を抱えており，従来にも増して費用を抑え，かつ効果を最大限発揮する対策が必要とされている．

このような背景を踏まえ，社会資本整備審議会 第15回道路分科会において道路を「賢く」使う事が提言された．道路が抱える問題に対し巨額を投資するのではなく，既存設備の改善や小規模改良を組み合わせることで，効率的に解決する事を目指すものだ．審議会では高速道路に対して主に言及されていたが，一般道にも必要な施策と考えられる．

富山河川国道事務所管内においても，道路を「賢く」使う事が求められている．国が抱える事情と同様に，財政的制約がある一方，主要渋滞箇所など，多くの整備必要箇所が点在する為だ．本文ではその１つ，北陸自動車道から国道41号へのIC出口渋滞に関して，道路を「賢く」使い冬期渋滞緩和を推進している事例を報告する．

2. 北陸自動車道における冬期渋滞

北陸自動車道ではしばしば（**図－ 1**）のように，富山ICを起点とした渋滞が発生している．この渋滞は最長で5.2kmに及んだこともあり，重大事故の可能性が高い危険な箇所である．また（**図－2**）より渋滞は毎年，冬季に集中して発生している事が読み取れる．（なお、この渋滞は目視によるものであり、1km未満及び15分未満は含んでいない）この渋滞は，富山ICが接続する国道41号の渋滞に起因している．富山ICは料金所を出て約200mで国道41号と接続するが，国道の渋滞が北陸道からの車両の流入を阻害し，北陸道本線に渋滞が発生するためである．なお，国道は主に富山駅方面が渋滞しているため，そちらに接続する北陸道上り線の渋滞が顕著だ．道路ユーザー及びNEXCO中日本から渋滞解消を求める要望が多い箇所でもある．

危険箇所は北陸道本線だが，国道の渋滞に起因した問題である．また，国道41号は富山市中心部を通るため，中心部の交通集中を是正する必要もある．このように諸要因が絡んで発生する問題のため，関係機関が協力した対策が求められる．

問題解決のため，国道渋滞の原因を特定する必要がある．まず，渋滞はなぜ冬期に集中するのか．交通量は冬期のみ増加するわけではない．また，交差点容量が1.0を大きく超える箇所もない．一方で旅行速度は冬期に低下しており，降雪による道路の機能低下が原因と推測できる．この問題を解決するため，２つの目標を定めた．

① 冬季においても円滑な交通を可能とする
② 交通を面的・時間的に分散させる

①では，冬季においても円滑な交通を維持し，旅行速度を低下させない事を目標とする．②に関しては，速度低下をある程度仕方のないものと捉え，代わりに合流部に交通を集中させない，つまり分散させることでの問題解決を図る．言うまでもなく，この２つを並行して進める事がより効果的である．この目標を達成するため，（表－1）の対策を行った．車線拡幅等の大規模施工も検討したが，小規模事業を組み合わせる事により低コストでの解決を目指した．（表－1）の対策はどれも，未活用の物に着目することや，最低限の改良により，既存道路のポテンシャルを最大限発揮させる「賢い」取組と言える．また，上記の通り関係機関の協力が必要であったため，富山県，富山市，富山県警，NEXCO中日本と連携した対策を行った．以下において，ソフト対策，ハード対策の順に詳細を示す．

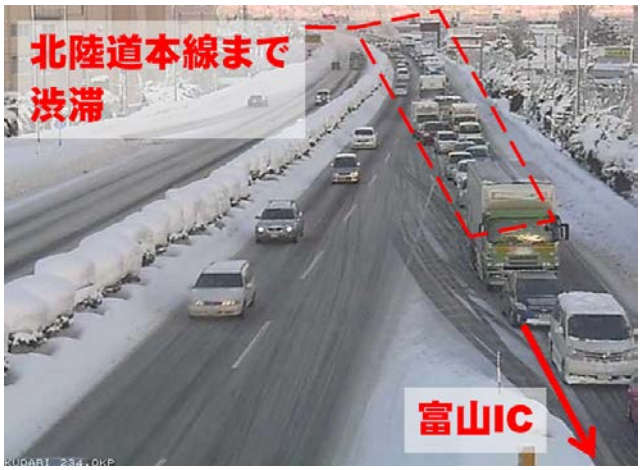


図-1　富山ICオフランプの渋滞状況

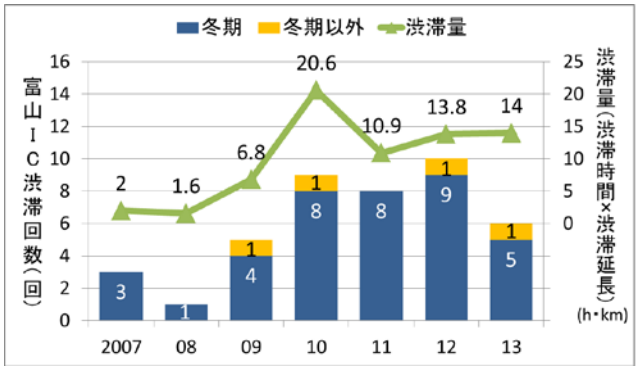


図-2　北陸道渋滞回数

表－1　渋滞緩和対策の一覧

	対策		施工年度	目標
ソフト	信号現示パターンの変更		2012	交通量の分散
	簡易ＬＥＤ標識の設置		2012	
	路面状況メール配信		～2014	
ハード	並行・交差道路への消雪施設の整備		2013	
	国道の機能強化	排水性舗装の目つぶし	2012	円滑な交通
		消雪施設の整備	～2014	

3. ソフト的対策

ソフト的対策として，以下の３種を実行した．どれも国道と北陸道の合流部に交通を集中させない，分散による解決を目的としている．

(1) 信号現示パターンの変更

a)目的

本節では，国道上の交通を面的に分散させ，合流部の交通量減少を目的とする．

（図-3）のように，国道 41 号富山駅方向の渋滞により北陸道からの合流が阻害されている．合流部直近の赤田交差点における駅方面の交通を他の交差点に分散すれば，北陸道本線からの合流が容易になると考えた．

b)対策

赤田交差点から滞留した車両を他交差点に分散するためには，２つの手段が考えられる．赤田交差点でより多くの車両を通過させるか，その前の交差点でより止めるか，である．このどちらも，信号現示時間の変更で達成することができる．しかしながら，赤田交差点の青現示時間は十分に長く，現状以上とする事は難しい．よってその前の黒崎北交差点で車両を止める，つまり赤現示時間を長くする．赤田交差点で滞留していた車両の一部を，黒崎北交差点に分散する形となる．

黒崎北交差点において，信号の赤現示を 21 秒延長した．変更前においては（図-4）の通り，赤田交差点と黒崎北交差点の現示パターンはほぼ同一であった．黒崎北の赤現示時間を延長することにより，そのうちに赤田交差点の滞留車両が処理される事を狙った．

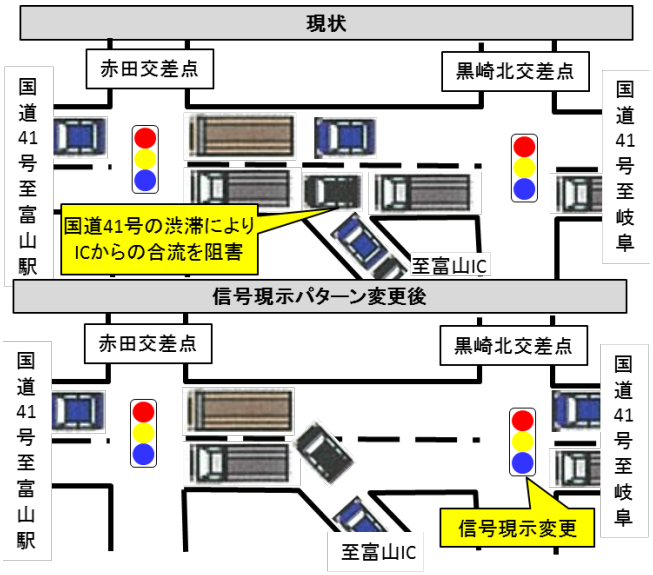
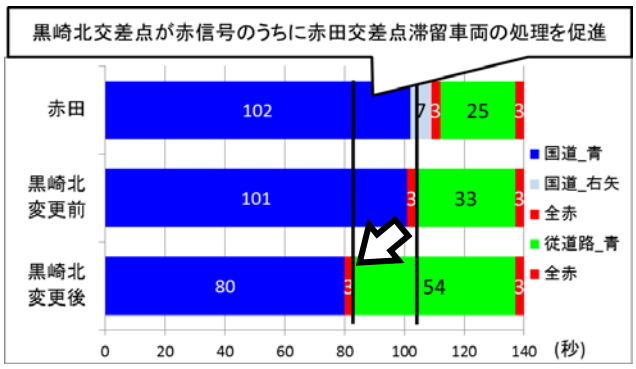


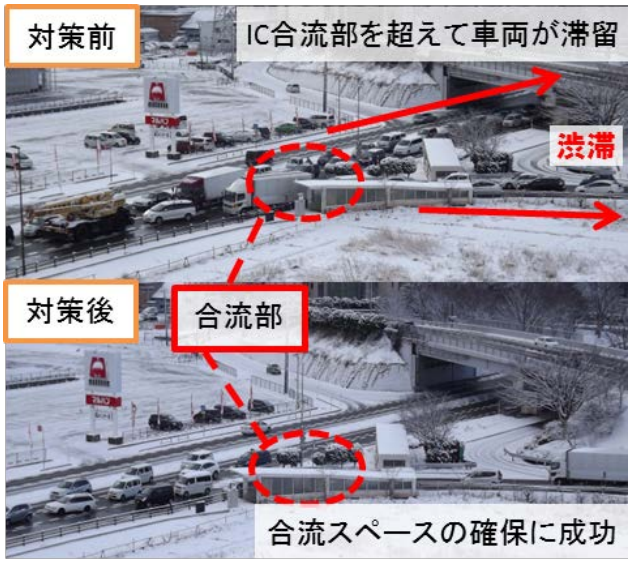
図-3　富山 IC 周辺位置図



図－4　信号現示パターン

c)結果

黒崎北交差点の信号現示変更により，赤田交差点を先頭に滞留していた車両が減少し，合流部のスペース捻出に成功した．障害となっていた車両が消え，北陸道からの合流がしやすくなったと確認できる（図－4）．また，黒崎北交差点での赤現示時間延長による渋滞も確認されていない．信号現示パターンの変更により一定の効果は得られたが，旅行速度の向上など，他対策も併せて行う必要がある．



図－ 5　合流部渋滞状況

(2) 簡易ＬＥＤ標識の設置

a)目的

本節においても，合流部に集中する交通を分散させることで問題を解決する．しかし(1)とは異なり，国道ではなく北陸道上の交通を分散させる．具体的には，富山ICを利用する車両に他ICを利用してもらい，富山ICへの交通集中を緩和することが狙いである．富山ICの利用交通が減少すれば，短い時間でも全車両が国道に合流でき，北陸道本線まで渋滞は続かないと考えた．

b)対策

他ＩＣを利用してもらうため，富山ＩＣの隣接ＩＣ（富山西）手前700mにおいて簡易ＬＥＤ標識を設置した（図－6）．富山ＩＣの混雑時，この標識は「渋滞中」と示し富山西ＩＣの利用を促す．あくまで渋滞情報を提供するものであり，実際にどのICを利用するかは道路ユーザーに任せることとした．

c)結果

LED標識の効果を確認するため，富山西ＩＣから一般道へ流出する交通量，富山西～富山ＩＣ間の北陸道交通量を調査した．（図－6）が示すのは、2013年12月～2014年2月、通常時と富山ＩＣ混雑時それぞれにおける交通量の平均値である。

（図－6）から理解できるように，富山ＩＣ混雑時において富山西ＩＣから流出する交通量は約10%増加した．一方，ＩＣ間の交通量は10%減少した．通常時ならば富山ＩＣを利用する道路ユーザーが，直前の富山西ＩＣを選択した結果と推測される．電光掲示板によって降車ＩＣを変更させ，ひいては富山ＩＣの混雑を緩和出来た事が示唆される．

本件においては，適切な掲示板が無かった為標識を１つ新設した．しかし既存の標識を使用する事も十分に可能な対策である．既存設備を最大限に活用することで，低コストの対策でも十分に効果を上げる事が示唆された．

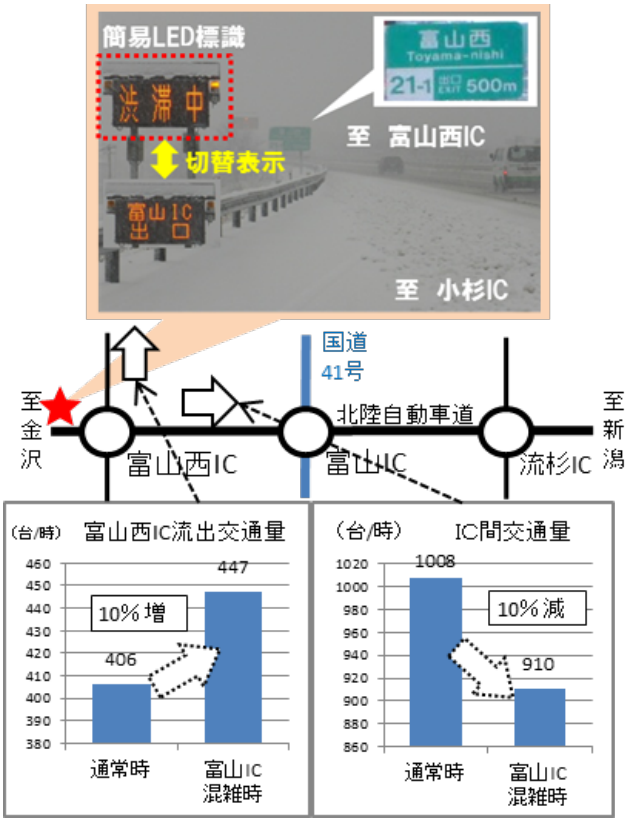


図-6　設置LED　設置後交通量

(3) 路面状況メール配信

a)目的

(1) (2)では交通量の面的分散，合流部の交通を緩和させる事による渋滞緩和を狙った．本節では時間的分散，つまりピーク時の交通量を削減する事での渋滞緩和を目的とする．混雑が予測される際，国道の利用予定者に道

路情報を事前に提示することで出発時間の前倒し等を促し，ピーク時の交通量削減を狙った．

b)対策

富山河川国道事務所では，CCTVの道路画像から路面状況を把握するシステムを構築している．道路画像を複数のブロックに分け（**図－7**），輝度濃度，エントロピー値を解析する事で路面状態を判別するものだ．また，記録データとの照合により精度を高めている．従来の光学式，超音波式による点的な検知とは異なり，面的な検知が可能である．

この技術を活用し，道路ユーザーに路面状況を伝える手段としてメール配信システムを設けた．2013，14年度に配信を行ったが，結果に大きな差異は無い為，以下は14年度の結果について述べる．国道41号赤田交差点付近のCCTVから路面状況を把握し条件を満たした場合，道路利用者にメールを配信した．（**図－7**）における赤丸の部分に対し，「乾燥」「湿潤」「凍結」「積雪」「シャーベット」「判別不能」の6種に判別を行った．メール配信は「積雪」「シャーベット」の際行われるものとし，配信のタイミングはユーザーによって以下から選択できる．

① 時間指定（例・早朝5時の場合）
5時時点で路面状況が積雪の場合のみ，メールを配信する．

② 積雪開始・終了時
路面状況が積雪となった場合及び積雪でなくなった場合，メールを配信する．

③ 積雪開始・中間時・終了時
②及び積雪状態が続いている際，1時間毎にメールを配信する．

メールの内容としては，積雪状態になった時刻，気温，路温，30分前の道路写真（車両が見えないよう修正した平均化画像）を記載した．また，インターネット上でメール配信のモニターを募集した．募集期間，配信期間は共に2014年12月26日から2015年1月7日の13日間である．



図-7 CCTV画像

c)結果

モニターの募集を行った結果，計30件の登録がされた．配信タイミングとしては，①時間指定4名，②積雪開始・終了時17名，③積雪開始・中間時・終了時9名と，大半のモニターが特定の時間に限らず，積雪状態の情報を求めていた．配信期間中に積雪状態となった回数は10回であり，積雪状態の累計時間は71時間であった．例えば上記②の配信タイミングを選択したモニターには，計20回メールが配信された事となる．

情報提供終了後アンケート調査を実施し，18名（47%）の回答が得られた．メール配信サービスの有効性に関しては，「役に立った・どちらかと言えば役に立った」のとの回答が15名(約8割)であり有効性が確認された．評価された情報としては，「積雪開始情報」「気温・路温」「平均化画像」「積雪終了情報」の順であった．今後の利用に関しても，1名を除いたモニターが「利用する」との回答であった．以上の事よりモニターには概ね高評価であることから，彼等が配信情報に応じた道路利用をした，つまり出発時間の前倒し等，何らかの措置を講じたと考えられる．

d)課題

有効な情報提供を行えたが，モニターを十分な数集める事が出来なかった．原因として，募集期間が短く，十分に周知されなかったことが考えられる．今後実施するならば，SNSの活用等，広報活動の充実化が求められる．

4. ハード的対策

消雪機能の強化により，円滑な交通を維持することを目的とする．比較的小規模な施工でコストを抑え，かつ最大限の効果を発揮する「賢い」対策を3種施行した．

(1) 並行・交差道路の消雪施設の整備

a)目的

国道には複数の県道・市道が並行している．並行する市道の１つ，牛島蜷川線を例にあげると，国道19,367台/12時，市道5,201台/12時(2012)と，国道は市道の4倍もの交通量であった．本節では，道路ユーザーの一部に県道・市道を選択してもらい，交通量を国道に集中させないことを目的とする．市道に消雪施設を整備し快適な交通を可能とすれば，市道を選択する道路ユーザーが増加し，ひいては国道への交通集中が緩和されると考えた．

b)手段

対策区間は，41号線と並行して走る市道今泉安養寺線，紙袋東交差点～大町(西)交差点の約1100mとする（**図－8**）．富山市により消雪パイプが道路中央に設置された．

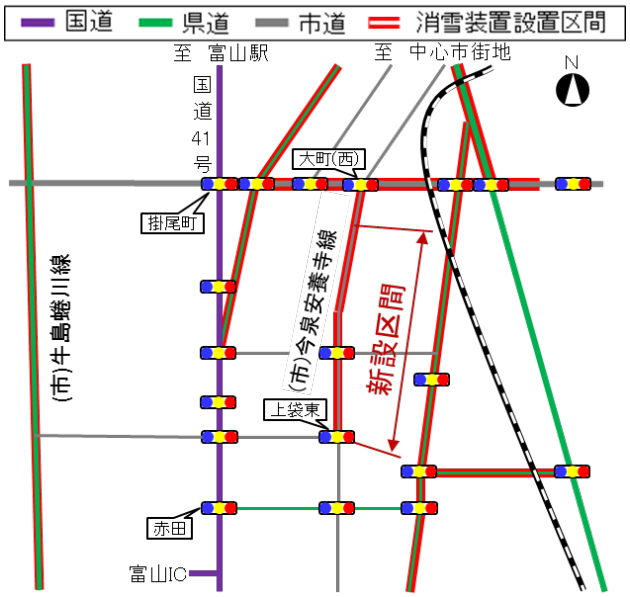


図-8　消雪施設整備箇所（市道）

c)結果

2012年度及び13年度12月～2月の富山IC混雑時において，国道及び市道の旅行速度を民間プローブデータから算出した．（図－9）より，市道の旅行速度は約7㎞/h向上し，消雪設備の整備効果が確認できる．一方，国道の旅行速度は7時台では向上しているが，8時台には逆に遅くなっている．7時台のように市道の整備効果が国道まで波及した可能性はあるが，明確な影響は実証されなかった．

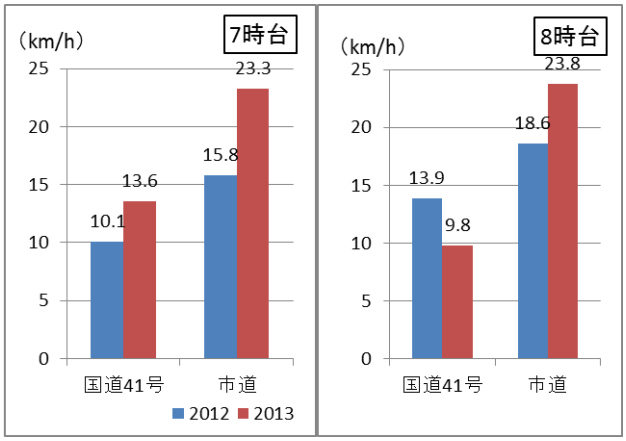


図-9　平均旅行速度の変化　市道消雪施設整備後

(2)国道の機能強化

a)目的

前節までは交通の分散による解決を目標としていたが，本節では国道の交通円滑化による解決を目指す．冬季においても旅行速度を低下させず，スムーズな交通，合流を可能とするものだ．この目標達成のため，本節では２つの事業を行う．1つは問題を抱える箇所の改善，もう1つは小規模改良による機能強化である．

b)対策　排水性舗装の目つぶし

まず，問題点の改善について述べる．国道41号の一部は排水性舗装にて施工されているが，この舗装が融雪を妨げている可能性がある．

ほとんどの道路において，除雪に融解効果を持つ塩の散布を採用している．通常であれば塩水が路面上に残り融解効果を発揮するが，排水性舗装の場合塩水が流失するため，効果を最大限得ることが出来ない．また排水性舗装が劣化しているため，わだちやクラックが発生している．そのため，路面が凍結した際氷の凹凸ができ，スリップする恐れもある．よって，排水性舗装の効果を消失させる事により塩を路面に定着させ，融解効果を最大限発揮させるよう試みた．

排水性舗装の表面に対し，砂と乳剤によって目つぶし（コーティング）を行った．また，排水ドレーンの栓を閉鎖し，塩水の定着を試みた．対象区間は国道41号下り方向，黒崎～西上袋交差点間，北陸道との合流部をはさんで約1200mである（図－11）．

c)対策　消雪施設整備

赤田～掛尾町交差点間の下り車線，約900m（図－11）において，消雪施設を整備した．（周辺の車線に関しても，順次施工予定である．）

d)結果

路面の写真及び旅行速度より整備効果を確認した．(図－10)より消雪施設整備区間，目つぶしを行った区間は非整備区間に比べ消雪し，通行しやすくなった事が確認できる．以上より，ピーク時の混雑解消には至らなかったものの，対策区間及びそれに続く上流側では速度の向上が見られた．

また，民間プローブデータの集計を行い，各区間での速度を可視化した（図－11）．なお，2012年度の図は目つぶし対策後のものである．7-8時台は交通量の多さにより，渋滞を解消し切れていない．しかし9時台に着目すると，消雪施設整備区間は整備前に比べ，旅行速度の改善が確認できる．また，富山IC南（上り方面）でも速度が改善されており，合流を阻害する渋滞が解消されている．消雪施設整備の効果が下流に波及し，渋滞が緩和されたものと考えられる．

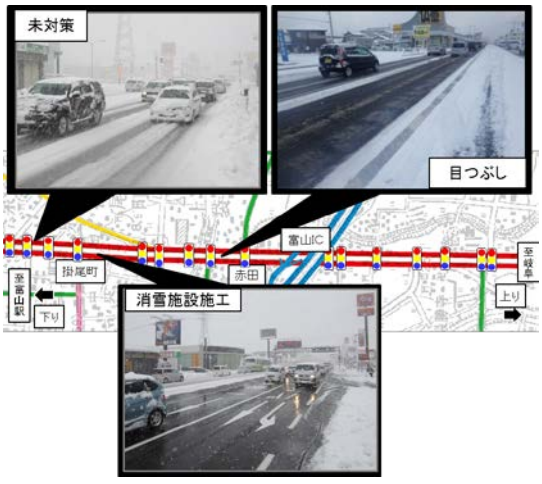


図-10　消雪施設整備後　路面状況

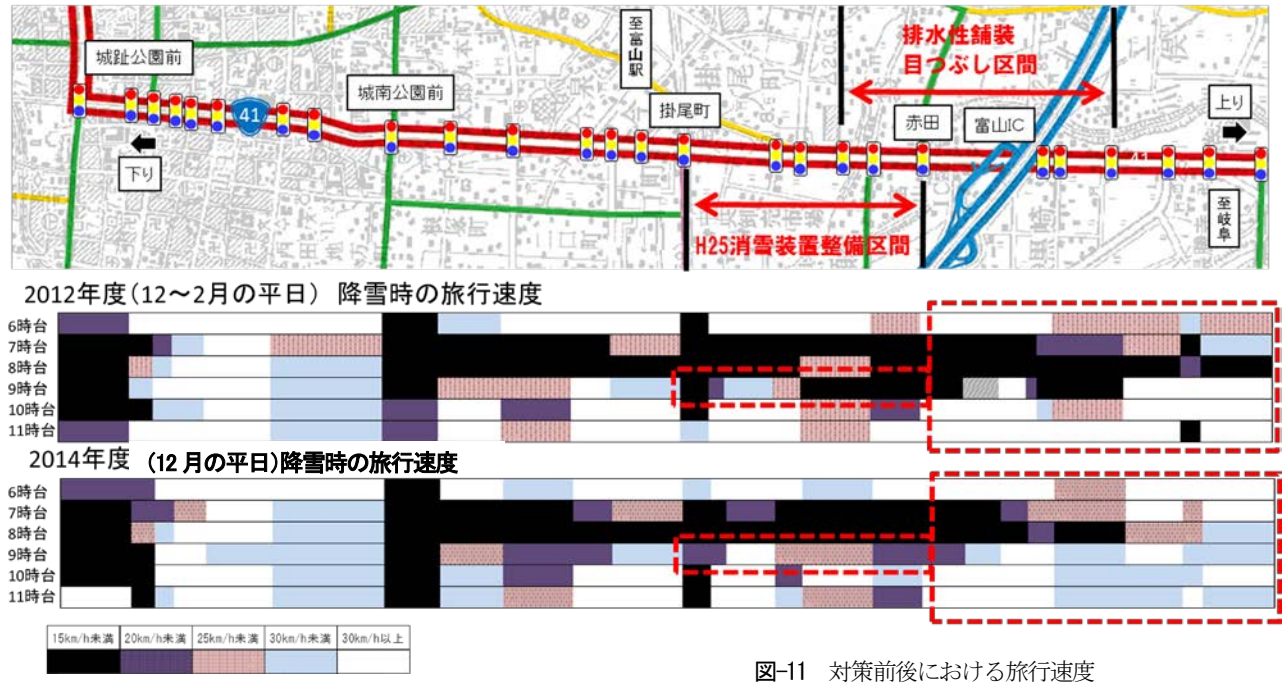


図-11　対策前後における旅行速度

e)課題

（図—11）より，未整備区間の城南公園前～掛尾町間の速度低下が顕著であり，ピーク時には掛尾町以南まで影響が見られることから，より広範囲での消雪装置整備が必要と考えられる．

4. 検証結果とりまとめ

対策前後に関して，北陸道富山ICの渋滞発生状況を確認する．（図—12）より，富山ICから北陸道への渋滞発生回数は減少し，渋滞時間も改善したことが理解できる．（表—2）によれば2014年度は早朝まとまった降雪が多く悪条件であったが，それにも関わらず効果が発現したと理解できる．2012年度においては，朝5cm以上の降雪があった日は必ず富山ICが渋滞していたが，2014年度は半分の日数とすることが出来た．また，5cm未満の降雪日及び非降雪日に関しては，渋滞は発生していない．施工した対策により，国道の交通円滑化，交通量の面的・時間的分散に成功し，北陸道の渋滞を緩和した事が示唆される．

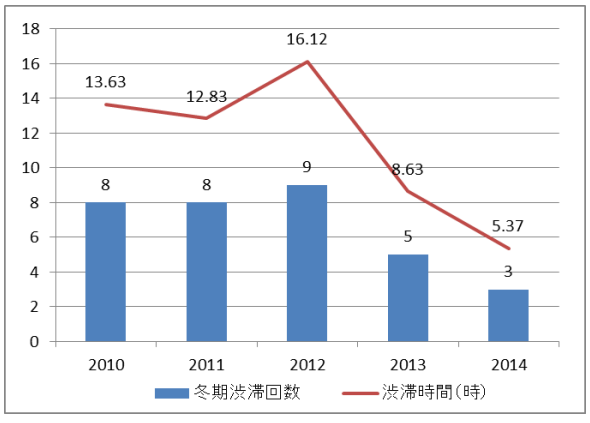


図-12　北陸道富山IC渋滞発生状況

表-2　朝の降雪と富山ICの渋滞発生状況

年度	2012	2013	2014
朝降雪累計5cm以上	2／2回	0／0回	3／6回
朝降雪累計5cm未満	2／10回	1／5回	0／4回
朝降雪なし	5／45回	3／52回	0／47回
合計	9／57回	4／57回	3／57回

5. まとめ

以上より，大規模事業をしなくとも小コストの整備を組み合わせることで「賢く」十分な成果を挙げる事を実証した．実績を挙げた要因として，関連機関が一体となり対策した事が大きい．信号現示パターンの変更，LEDの設置，市道整備がそれに当たる．直接的原因にのみ対策を行うのではなく，間接的原因は何か思索し，その対策も併せて行う事の有効性が示唆された．積極的に周囲に働きかけ，課題を共有する事が重要と考えられる．

このように一定の効果が得られたが，富山ICの混雑を根絶したわけではなく，更なる対策が求められる．例えば，本文で提示した消雪設備は国道上の一部であり，残る部分の整備を急ぐ必要がある．（2015年度も施工予定である．）

今回はハード面の施策も用いて渋滞緩和に成功したが，今後ビックデータ等新技術を用いることでより低コストに，より「賢く」問題解決することが期待される．

謝辞：最後に，ご指導いただいた富山県，富山県警，富山市，NEXCO中日本に謝意を表します．

街路樹の景観機能と管理状態に関する評価についての考察

蒲澤　英範[1]・上田　真代[2]・小栗　ひとみ[3]・松田　泰明[4]

[1]（国研）土木研究所寒地土木研究所　地域景観ユニット（〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34）

[2]北海道開発局旭川開発建設部　士別道路事務所（〒095-0029 士別市大通西15丁目3142-31）

[3]（国研）土木研究所寒地土木研究所　地域景観ユニット（〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34）

[4]（国研）土木研究所寒地土木研究所　地域景観ユニット（〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34）

街路樹は都市の景観形成や環境保全に寄与している。しかし近年、維持管理費の大幅な縮減による剪定期間の長期化などから、過剰な剪定が行われ、樹勢の衰えや景観形成をはじめとする機能の低下がみられる。そこで、街路樹の主な機能の一つである景観形成機能と管理状態の関係について評価するため、スクリーンに投影した写真を用いて被験者実験を行った。

その結果、快適な道路空間を生み出すためには、街路樹の機能を維持した効率的な管理が重要であることが明らかとなった。

キーワード：緑化・植生、街路樹、道路景観、剪定

1. はじめに

街路樹に代表される道路の緑は、沿道環境や景観の向上をはじめ、歩車分離等による交通安全機能、緑陰の創出、季節感の演出、心理的やすらぎなど多くの役割を担っている[1)-5)]。しかし近年、街路樹の管理においては、維持管理コストの縮減が求められ、剪定回数を減らすために過度な剪定が実施される状況にある。また本来、電線管理者等が鞘管を設置することで、剪定の必要がない街路樹が架空線を避けて剪定されている事例（図-1）や、剪定を要しない樹種であるナナカマドなどが、通行の障害や標識等の視認性の阻害となっていないにもかかわらず剪定されている事例もみられる。

このような不適切な剪定は、景観機能をはじめとする街路樹の機能の喪失だけでなく、樹勢の衰退や枯死を招く原因ともなる。街路樹は限られた空間に植栽されるため、大半の樹木が何らかの剪定を必要とする。



図-1 街路樹管理の現状
左／過度な剪定をされた街路樹、中央／架空線を避けて剪定された街路樹、右／鞘管の設置状況

そのため、街路樹の機能を保持し、発揮させるためには、管理目標となる樹形を設定し、剪定により適切な樹形を維持していくことが有効となる。

そこで本報告では、道路景観の主要な構成要素となる街路樹の機能を維持、保全しつつ、効率的で適切な剪定による管理方法を検討するための基礎資料を得ることを目的に実施した、街路樹の管理状態と景観機能の評価に関する印象評価実験の結果および、その考察について述べる。

2. 街路樹の現状と課題

(1) 街路樹の現状と課題

近年、良好な景観形成や地球温暖化対策、ヒートアイランド現象の抑制等の目的から緑化が求められている[6)-9)]。道路空間においては街路樹がその役割を担っているが、枝葉を伸ばす十分な空間があるにもかかわらず極端に切り詰められている状態もみられる。これは、沿道住民からの日照阻害や落葉等に対する苦情や、道路管理者の樹木に対する認識不足、剪定業者の技術力不足、予算縮減などが原因と考えられる[5) 10)]。このような不適切に剪定された街路樹では、十分な機能の発揮が望めない。そのため、美しい街路樹がいかに道路景観を向上させ、街の賑わいを生み出し、環境を保全するかについて住民の理解を得る必要がある。

Kabasawa Hidenori, Masayo Ueda, Hitomi Oguri,Yasuaki Matsuda

また、樹木の管理費用や樹勢を考えるのであれば、枝葉を自然のまま伸ばす無剪定での管理が望ましいが、限られた空間に植栽される街路樹では、少なからず剪定による管理が必要であり、街路樹の機能を保持し、発揮させるためには、適切な樹形に剪定を行うことが重要である。

しかし、多くの道路管理者は樹木に対する専門的な知識を有しないため、街路樹を「剪定の有無」で判断し、「剪定の適切さ」での評価はあまり行っていない。そのため、剪定業者は剪定の度合いが少ない場合は手直しを求められる可能性があることから、手直しを避けて切り過ぎが多くなる状況が推察されている[5]。このような状況から、道路管理者が簡易に評価できる管理目標樹形を設定することが望まれる。

(2) 街路樹の景観形成機能

道路緑化には大きく分類して図-2に示すような機能があり、これらの機能が総合的に発揮されることが必要とされている。このうち主要な機能の一つである景観向上機能においては、多くの道路施設の中で街路樹の担う役割が大きく、その街の印象となる道路景観を創出する（図-3左）。しかし、美しい道路景観が存在する一方で、住民からの苦情や道路管理者の知識不足、管理費縮減等の厳しい現状から、過度な剪定によりその機能を損なっている場合も多く（図-3右）、その状況を指摘するマスコミ報道もある。また、中には街路樹は不要との声も一部聞かれる。

美しい街路樹や住民に親しまれる街路樹のある街は、街路樹を含めた周囲の景観も美しい場合が多いといわれる[5) 11]。美しい景観を創出するために、街路樹の適切な管理がいかに重要であるかを理解し、実行することが求められている。

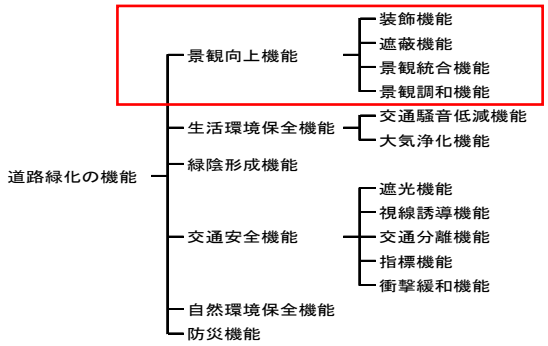


図-2 道路緑化の機能[1)]



図-3 街路樹が生み出す景観

3. 被験者実験の概要

現状の道路において、街路樹の量や管理状態が景観にどのような影響を与えるか調査するため、街路空間の写真を用いてSD法（Semantic differential technique）による印象評価実験を行った。実験の実施にあたっては、自動車に乗車、または歩道を歩行している状況を設定した80枚の写真を大型スクリーンに投影し、配布した調査票に回答を求めた[14)]。

(1) 被験者実験の条件および被験者の属性

本実験は、平成25年12月20日に寒地土木研究所（札幌市）内で実施した。実験状況を図-4に、実験条件を表-1に示す。被験者の属性は女性17名、男性が13名と女性が多く、年代別では60代の回答者が3名とやや少ない構成であった（図-5）。

実験にあたっては、事前に街路樹が道路景観に与える影響について調査するものである主旨を伝えた。ただし、評価の際には、街路樹だけに注目するのではなく、街路全体の印象評価をお願いした。



図-4 スクリーンを使った被験者実験の様子

表-1 被験者実験の条件

項　目	概　要
実施日時	平成25年12月20日（金） 9:00～17:30
実施場所	寒地土木研究所（札幌市）
被験者数	30名（1グループ15名）
内容	・スクリーンに投影した実験用写真80枚をSD法により印象評価 ・スクリーンと被験者の距離：2.5m ・写真1枚あたり、回答時間を含め1分程度提示 ・全写真を構図ごと3グループに分け投影し、各グループの投影終了後5分間の休憩 ・写真10枚投影ごとに1分間の休憩

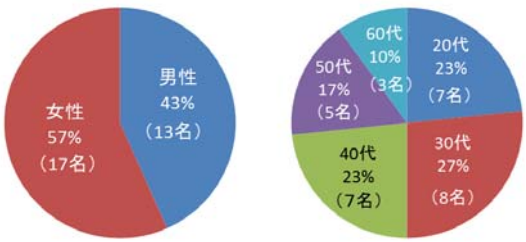


図-5 被験者実験の属性（左／性別、右／年代別）

また、最初に見た印象を直感的に被験者の主観で判断し、空の評価（青空であるから良い、空の割合が多いから良い等）は行わないよう求めた。

⑵ 投影写真の構図と提示方法

可能な限り自動車の運転者および歩行者視点を再現するため、スクリーンと中央の被験者の距離を2.5mとし、スクリーンを中心に僅かに弧を描くように被験者を配置した。

投影写真の提示時間は１枚あたり、回答時間を合わせ１分程度とし、調査票に掲載された写真ではなく、スクリーンに投影された写真を見て直感的に回答するように促した。なお、実験に使用した写真は、黄金比とされる縦横1:1.618 とし、構図は、表-2に示すように、

- 自動車の運転者の視点として道路進行方向を眺める構図（構図A）
- 歩行者視点として進行方向を眺める構図（構図B）
- 歩行者視点として斜め方向を眺める構図（構図C）
- 歩行者視点として横断方向を眺める構図（構図D）

とした。写真の提示順は、運転時および歩行時の場面別にランダムとした。

⑶ 形容詞対の設定

本実験では過去の類似の研究[12]を参照して１枚の写真につき、表-3に示す13個の形容詞対を設定し、どちらの印象がより強いか評価してもらった。用いた形容詞対は「美しい－美しくない」といった一方を否定するもの、「緑の少ない－緑の多い」のような程度の差を示すもの、また「にぎやかな－静かな」のような異なる形容表現とし、快適性、空間、個性、デザイン性について質問した。

表-2 被験者実験に用いた投影写真の構図

構図	写真（例）	枚数
A：道路中央部（車道）から道路軸方向を眺める構図		24
B：道路端部（歩道）から道路軸方向を眺める構図		24
C：道路端部（歩道）から斜め方向を眺める構図		14
D：道路端部（歩道）から横断方向を眺める構図		18

なお「手が入っている－入っていない」の形容対については、街路空間全体として、人の手が掛けられ管理が行き届いている印象があるか否かを直感的に回答してもらった。

調査票の作成にあたっては、中央値への集中を避けるため６段階評価とし、片方に形容詞対の好印象、または悪印象が偏らぬようランダムに配置した。さらに、形容詞対の意味が理解できない、或いは写真の印象として適切でない場合を想定し、「わからない」を選択肢として設けた。ここでの「わからない」は、提示した形容詞の重みを付けることのできない「どちらでもない」ではなく、あくまでその写真を評価できない形容表現である場合に選択するものとした。

実験に用いた調査票の例を　図-6に示す。

4.　印象評価実験の結果

実験結果は、各写真についてSD評価結果の平均値や標準偏差等により整理した。図-7に整理例を示す。なお、この図は、自動車からの視点（構図A）において、「緑

表-3 形容詞対の設定

因子			形容詞対	
総合評価			好き	嫌い
快適性	アメニティ因子		美しい	美しくない
	活気感		にぎやかな	静かな
	親しみ感		そばに住みたい	そばに住みたくない
			安心	不安
		（構図A）※	通ってみたい	通りたくない
		（構図B）※	歩きたい	歩きたくない
		（構図C）※		
		（構図D）※	向こう側を歩きたい	向こう側を歩きたくない
空間	開放性（スケール感）		開放的	囲まれている
	調和性		調和のとれた	不調和な
	構成		すっきりした	複雑な
	緑因子		緑の多い	緑の少ない
個性	個性		雰囲気のある	雰囲気のない
	近代性		手が入っている	手が入っていない
デザイン性	デザイン性因子		洗練された	野暮な

※ 構図により形容詞対を変更


写真番号　A-1

左の写真がスクリーンに投影されます。スクリーンの写真を見た印象についてお答えください。各段1つお選びください。

	左が当てはまる			同じくらい		右が当てはまる		わからない
緑の多い	1	2	3	4	5	6	緑の少ない	9
美しい	1	2	3	4	5	6	美しくない	9
不調和な	1	2	3	4	5	6	調和のとれた	9
囲まれている	1	2	3	4	5	6	開放的	9
そばに住みたい	1	2	3	4	5	6	そばに住みたくない	9
雰囲気のない	1	2	3	4	5	6	雰囲気のある	9
好き	1	2	3	4	5	6	嫌い	9
静かな	1	2	3	4	5	6	にぎやかな	9
手が入っていない	1	2	3	4	5	6	手が入っている	9
通ってみたい	1	2	3	4	5	6	通りたくない	9
すっきりした	1	2	3	4	5	6	複雑な	9
野暮な	1	2	3	4	5	6	洗練された	9
安心	1	2	3	4	5	6	不安	9

図-6 調査票の例（構図A）

が多い」「美しい」「調和のれた」「雰囲気のある」「好き」「通ってみたい」「安心」の項目で最も評価が高かった写真である。

“好き嫌い”という概念は、日常生活をはじめとして、対人関係、経済活動、政策決定にさえ大きな影響を与えるものであり、ある種の総合的評価の指標とも考えられ、直感的で素直な評価ともいえる。こうした“好き嫌い”を測定することは大きな意味を持つと考えられており[13]、既往のSD法による調査での使用事例も少なくない。そこで、印象評価に用いた形容詞対のうち「好きー嫌い」および「美しいー美しくない」「緑の多いー緑の少ない」の３つに着目し、関係を調べた。その結果、緑量が多い方が「好き」「美しい」と評価される傾向がみられた。図-8に構図Aの「好きー嫌い」および「美しいー美しくない」と評価された上位および下位の写真を示す。

図-9は各構図における「緑量」と「好きー嫌い」および「美しいー美しくない」の関係を示したものである。いずれの構図においても相関が確認されるが、歩行者視点（構図B,C,D：図-9中、下）においては、自動車からの視点（構図A：図-9上）に比べ、ばらつきが大きく表れており、歩行者視点の場合、緑量以外の因子（沿

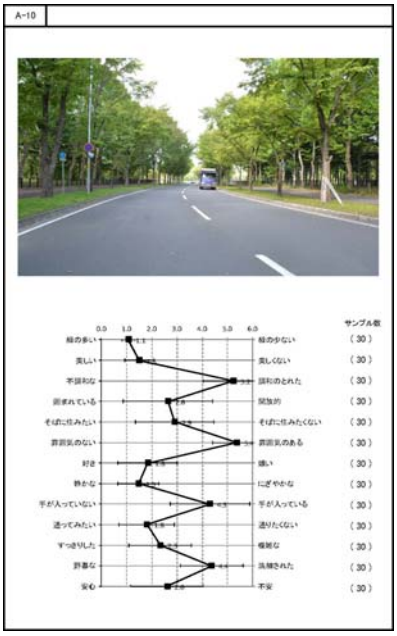


図-7 実験結果の整理例（構図A）

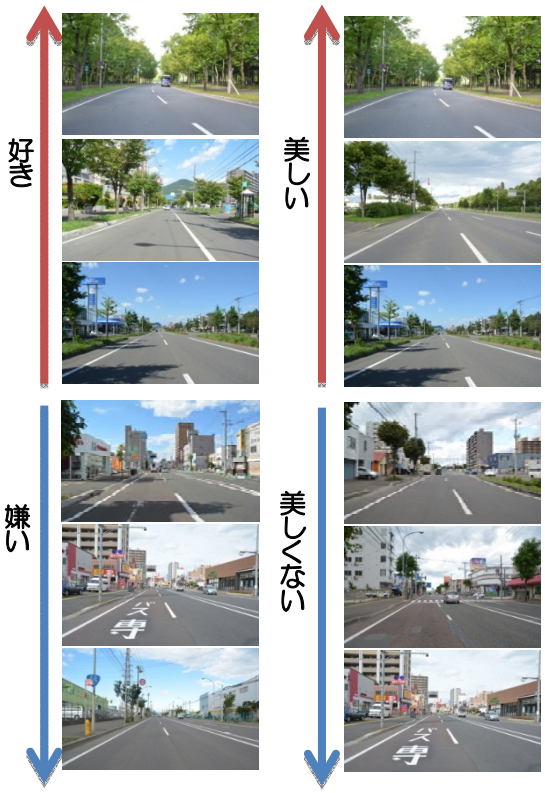


図-8 「好きー嫌い」「美しいー美しくない」と評価された上位および下位の３枚の写真（構図A）

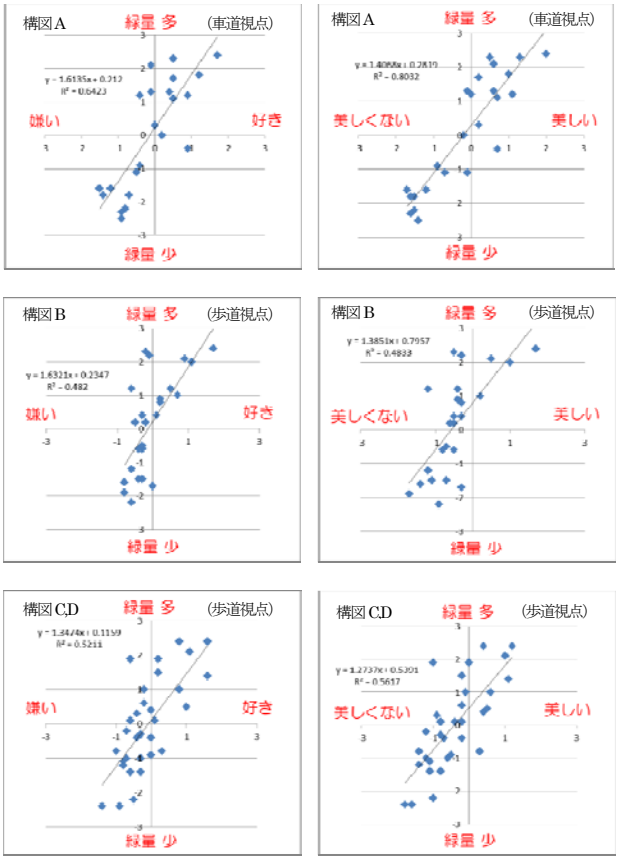


図-9 緑量と「好きー嫌い」および「美しいー美しくない」の関係



図-10 沿道の建物や看板、電柱などが評価に影響していると考えられる例

道の建物や看板など）に強く影響されるためと推察される（図-10）。

次に街路樹の管理状態に着目する。図-11は、構図Dにおける樹木の管理状態が異なる２枚の写真である。図-11左も評価は決して高いわけではないが、図-11右はほぼ全ての項目においてより評価が低い。また、図-12左は最も「手が入っている」、図-12右は最も「手が入っていない」と評価された写真（構図A）である。図-12左は全体的に高評価であり、図-12右は低評価である。これらの結果から樹木の管理状態が印象評価に影響しているものと考えられる。

5. 街路樹の樹形に着目した分析

印象実験の結果から、街路樹の管理状態が道路景観の評価に影響すると推察された。そこで、街路樹の管理状態の異なる道路景観について、自動車から進行方向を眺める視点（A構図）のフォトモンタージュを用いて比較を行った。

比較対象は、街路樹の無い道路（図-13の写真①）、強剪定された街路樹のある道路（図-13の写真②）、街路樹が自然樹形に近い状態に管理された道路（図-13の写真③）の３種類である。印象評価の結果を図-14に示す。街路樹の無い道路（写真①）と強剪定された街路樹のある道路（写真②）では、殆ど同一印象であり、「美しくない」「そばに住みたくない」「嫌い」と否定的な評価の傾向が強い。

一方で、自然樹形に近い状態に管理された街路樹のある道路（写真③）では、街路樹が無い、或いは強剪定された街路樹のある道路に比べ、「美しい」「そばに住みたい」「好き」との快適性に肯定的な評価の傾向が強く表れ、その他、空間、個性、デザイン性、安心・安全のすべてにおいても好意的な印象へと変化が確認された。

これらの結果から街路空間においては、美しい街路樹が存在することで、より評価の高い空間へと変化させることが可能である。一方で、過度に剪定された街路樹が存在しても街路樹がない状態と同じであり、景観向上等の機能の発揮は望めないと考えられる。



図-11 街路樹の管理状態が異なる写真（構図D）
右は左に比べ全体的に評価が低く、樹木の管理状態が影響していると考えられる



図-12 「手が入っている－手が入っていない」の評価例
左／最も「手が入っている」と評価された写真（構図A、フォトモンタージュ）、右／最も「手が入っていない」と評価された写真（構図A）

6. まとめ

街路樹の機能を維持、保全しつつ、効率的で適切な剪定による管理を検討するための基礎資料として、街路樹の量や管理状態と評価の関係を明らかにするため、印象評価実験を行った。

その結果、緑量が多く、樹形の良い街路樹がある街路空間では好印象となる傾向がみられた。また、街路樹の管理状態に着目すると、街路樹のない街路空間は評価の低い傾向にあるが、美しく管理された街路樹が存在することで好ましい印象へと変化した。それに対して、過度な剪定を行った街路樹が存在する場合は街路樹がない場合と同じ印象評価となることが分かった。



①現況：街路樹なし　②強剪定された街路樹（フォトモンタージュ）　③自然樹形に近い状態に管理された街路樹（フォトモンタージュ）

図-13 街路樹の樹形の比較写真

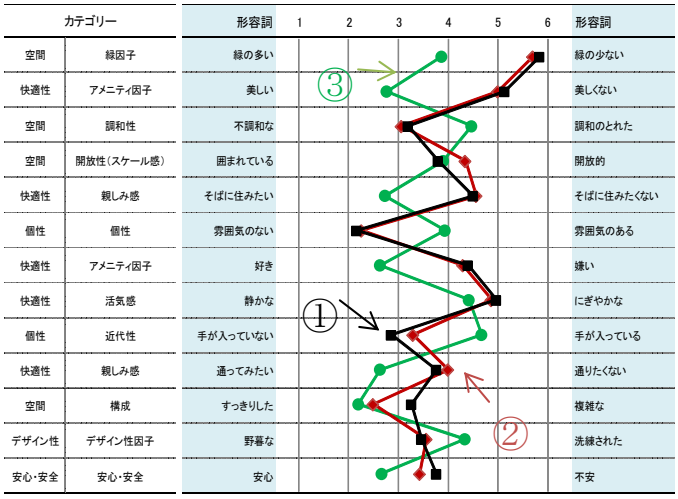


図-14 街路樹の樹形の違いによる評価の比較
※　①～③は、図-13に対応

このように街路樹は、景観機能を保持した管理が望まれている。そのためには、一部の自治体で導入されている樹形による管理が有効である。

今後はさらに街路樹の管理状態に着目し、剪定状態が景観に与える影響について、フォトモンタージュ写真等を用いて被験者実験を行い、街路樹の適切な剪定方法や管理目標樹形について検討を行う予定である。そして、これらの結果が今後の道路の景観向上と維持管理の両立に繋がることを期待したい。

参考文献

1) （社）日本道路協会：道路緑化技術基準・同解説, p.9-18, 1988.
2) 中島宏：道路緑化ハンドブック, 山海堂, 1999.
3) （社）道路緑化保全協会：道と緑のキーワード事典, 技報堂出版, 2002.
4) （社）日本造園建設業協会：街路樹剪定ハンドブック, （社）日本造園建設業協会, 2011.
5) （社）日本造園建設業協会編：都市緑化ハンドブック（街路樹編）美しい街路樹をつくるー樹形のつくり直しー, 環境緑化新聞／（株）インタラクション, 2008.
6) 建設省道路局, 道路審議会：地球温暖化防止のための今後の道路政策についてー未来へ引き継ぐ環境のための政策転換ー（答申）, 1999.
7) 国土交通省：美しい国づくり政策大綱, 2003.
8) 国土交通省：道路デザイン指針（案）, 2005.
9) 京都議定書目標達成計画, 2008.
10) 上田真代, 松田泰明, 三好達夫：沿道の緑の維持管理に関する意識についてー地域住民および道路管理者を対象とした意識調査ー, 平成 21 年度北海道開発技術研究発表会, 2010.
11) 平塚伸治, 西田佳弘, 高鳥克己：これからの住まい方・暮らし方・魅力的な都市のあり方を探るーITCS 研究会 2002 アンケート調査結果からー, （財）関西情報・産業活性化センター.
12) 草間祥吾, 松田泰明, 三好達夫：北海道における道路景観の印象評価に影響を与える要因について, 寒地土木研究所月報, No.691, pp.13-20, 2010.
13) 林幹也：社会心理学における現在の態度研究とその展望, 明治大学心理学年報 2011, No.29, pp.65-72, 2011.
14) 上田真代、松田泰明、小栗ひとみ：街路樹の管理状態が道路景観に与える影響について、寒地土木研究所月報、No. 743、pp. 35-41、2015. 4

地域と連携した道路開通ＰＲと効率的なストック効果把握

田中　義太郎[1]・飴谷　卓也[1]・谷内上　哲生[2]・北出　一雅[3]

[1]北陸地方整備局富山河川国道事務所　調査第二課　（〒930－8537　富山市奥田新町2番1号　）

[2]北陸地方整備局（前）金沢河川国道事務所　調査第二課　（〒920－8648　金沢市西念4丁目23番5号　）.

[3]北陸地方整備局金沢河川国道事務所　調査第二課　（〒920－8648　金沢市西念4丁目23番5号　）.

社会資本整備の最も重要な役割のひとつは，経済の活動を活発化させ民間の投資を誘発するストック効果を最大限に発揮することである．今回，能越道七尾氷見道路が北陸新幹線と同一時期に開通するにあたり，終着点延伸の影響や認知度不足など，地域の課題と問題点を抽出するため，観光・物流・医療等の事業者にヒアリングを実施し，この結果をもと相乗効果を見出し，的確な開通ＰＲを行った．これにより，インフラを利用する住民や事業者と連携し効率的にストック効果を把握した取り組みについて報告する．

キーワード　能越自動車道，北陸新幹線，道路開通PR，ストック効果

1. はじめに

一般国道470号能越自動車道（以下，能越道）は，石川県輪島市を起点とし，七尾市，富山県氷見市，高岡市を経由して砺波市に至る延長約100km，第1種3級の高規格幹線道路である．1996年3月に北陸自動車道や東海北陸自動車道と交わる小矢部砺波JCT～福岡IC間が開通して以降，順次延伸し，2012年3月に灘浦ICまで接続した．そして，2014年度末に北陸新幹線が開業する約2週間前の2015年2月28日に県境区間の能越道七尾氷見道路が全線開通することで，能登地域が全国の高速道路ネットワークと直結した．

我が国の社会資本整備は，戦後の高度経済成長期に急速に進められ，一定のストックを形成することで生活圏・物流圏を拡大し，今日の豊かで安全，快適な暮らしが成り立っている．一方で，今日の道路整備を取り巻く環境は，本格的な人口減少，少子高齢化を迎える中，社会保障費等の増大により厳しい財政事情にあり，今後も公共事業の大幅な増加は見込めない．

このような背景のもと，国の社会資本整備審議会の道路分科会・国土幹線道路部会では，高速道路を中心とした「道路をより賢く使う取組」として，道路ネットワークによる地域拠点の連携を推進し，道路資産のストック効果を最大限活用する試みとして，「コンパクト＋ネットワーク」を推進し，地域の産業競争力強化を図ることとしている．

2. 課　題

(1) 公共事業のイメージと整備効果

近年の公共事業は，財政出動によって有効需要や雇用を創出し，景気回復を目指す【フロー効果】に焦点が当てられることが多い．そのため，景気対策としての公共事業というイメージが先行してしまい，国民にとってどのように役立つのか，真に必要な事業なのか，その必要性と整備効果について十分な認知が広がっていないのが現状である．

本来，社会資本整備は，このフロー効果のみならず，整備・蓄積されたインフラが開通後に，民間の産業活動を活性化させ民間投資を誘発することで，継続的・長期的に経済活動や国民生活の向上に貢献する【ストック効果】をあわせ持っている．このような直接的かつ波及する効果には，アクセス向上や物流コストの低減，生産性向上やそれに伴う税収・所得・雇用の増加，地域間交流・連携の強化，防災機能等があげられる．

しかし，今日の道路事業では，このストック効果を十分に国民へ伝えることができていないため，開通直後は「新しい未来を切り開くイメージ」があり地域に喜ばれ

るものの，その後まもなくして，道路はあって当たり前の存在になっていく．

(2) 開業・開通に対する地域の期待

2015年3月14日に北陸地方待望の北陸新幹線が金沢まで開業した．首都圏へのアクセス時間が大幅に短縮され，交流人口の拡大など大きな期待が寄せられている．その一方で，東京との移動時間が極端に短くなることで，企業の営業所が廃止され事業所が都心へ吸い取られるストロー効果が起こり，地方が衰退するのではと危惧する意見がある．さらに，岐阜・富山・能登地方にまたがる飛越能地域，約86万人の玄関口として整備された新高岡駅に速達タイプのかがやきが一日１本しか停車しないなど，富山県西部を中心とした地域には期待と不安の声が聞かれていた．

一方，北陸新幹線開業に合わせて全線開通する能越道七尾氷見道路は，富山県，石川県境を新たに結ぶ高規格幹線道路で，地元から早期完成の要望が強かった．しかし，北陸地域全体を見ると北陸新幹線開業にばかり焦点が当てられ，その注目度は低くかった．

3. 問 題 点

(1) これまでの開通ＰＲの視点

これまでの道路整備による発現効果は，所要時間の短縮や渋滞の緩和，交通安全などを中心に説明されてきた．なぜなら，事業の妥当性を判断する費用対効果分析では，いわゆる3便益（時間短縮・走行経費削減・交通事故減少）が重視されているためと考えられる．しかし，先に説明したとおり，本来，社会資本整備はストック効果として，継続的かつ幅広い分野に恩恵をもたらすものであり，様々な視点から長期的な効果を広くＰＲすべきである．

(2) 終着点延伸による影響

高速道路整備は，それ自体が即座に地域の発展に結びつくものではない．主要都市間の移動利便性が向上することで，経由地への立ち寄りが減少する可能性も危惧される．

小矢部砺波JCTから続く能越道は，2012年度までの終点が富山県氷見市であったが，2015年度の七尾氷見道路全線開通により石川県七尾市へ延伸する．一部の方からは滞在時間の減少や日帰り客の増加・宿泊者の減少などを心配する声も聞かれており，新幹線開業とあわせた戦略的な道路の開通ＰＲが求められる．

(3)全線開通の認知度

北陸新幹線の開業は構想から半世紀が経過し実現した地域にとって悲願となる事業である．開業の一年以上前から，列車名や駅名の募集・決定をはじめ，試乗会やお得な切符，旅行商品の発売など多種多様なキャンペーンが行われている．これと比較すると，同時期に全線開通する能越道七尾氷見道路の認知度は低い可能性がある．そこで，開通前の2015年1月18，19日に富山と石川の1,000人を対象としたWEBアンケートを実施した．その結果，約65%の方が能越道を利用したことがあるものの，開通日を知っているのはわずか約12%にとどまっており，その認知を至急広める必要があることがわかった（図-1）．

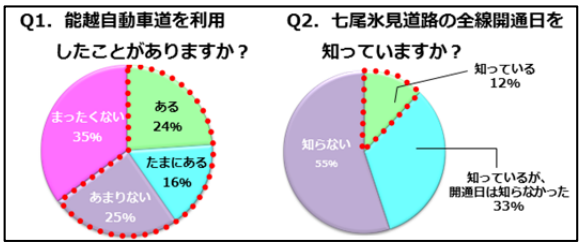


図-1　能越道利用状況・認知度アンケート結果

4. 対 応 方 策

(1) 効率的なストック効果把握手法

能越道七尾氷見道路の全線開通は富山-石川県境を結ぶだけでなく，能登地域が全国の高速道路と接続することとなる．そこで，まず全線開通により予想される整備効果を整理し，関係機関に説明・ヒアリングすることとした．この中で，これまでの東海北陸道の全線開通や能越道の部分開通による整備効果を効率的に把握することとした．

a) 整備効果の事前整理

開通の1年前から観光，物流，地域間交流，災害に強い，救命救急支援等の整備効果を想定し整理した．これをもとに，今回の開通が果たす役割を“３つのＹＯＵ”と題し（図-2），開通気運を盛り上げるパンフレットを作成した．

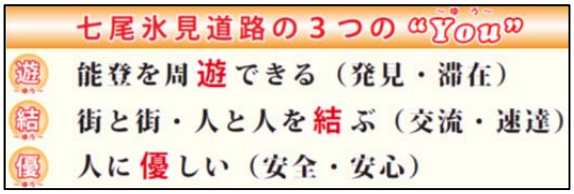


図-2　開通効果“３つのＹＯＵ”

b)幅広い分野を対象とした事前ヒアリング

能越道沿線にある商工会議所や観光協会，運送・製造業や道の駅など全５１機関を対象に開通前のヒアリングを行った（表-1）．上記パンフレットを活用し，道路の役割や開通により期待される効果を説明した．その際，各民間事業者には，次年度の事業計画に新たなルートとして活用したり，自社ＨＰのアクセス欄に開通情報を記載して頂いた．これにより，搬送業者や観光客などへ新しい道路ネットワークが開通することや整備効果を拡散

させ，能越道の活用を促した．

表-1　事前ヒアリング実施対象者（全５１社）

（富山県側）

	関係機関	部署		関係機関
1	氷見市役所	建設農林水産部 建設課	16	氷見市観光協会
2		商工定住都市デザイン課	17	氷見商工会議所
3		能越道対策室	18	高岡市観光協会
4		漁業交流施設整備推進室	19	富山県観光連盟
5	高岡市役所	道路建設課	20	富山県商工会連合会
6		地域安全課	21	滑川商工会議所
7		駅周辺・新幹線対策課	22	高岡商工会議所
8		観光交流課	23	高岡商工会青年部
9		産業企画課	24	魚津商工会議所
10		都市計画課	25	砺波商工会議所
11	富山県	土木部道路課	26	氷見市消防本部
12		総合交通施策室	27	富山県トラック協会
13		立地通商課	28	加越能バス(株)
14		観光・地域振興局	29	北陸経済研究所
15	NEXCO中日本富山保全サービスセンター		30	道の駅高岡

（石川県側）

	関係機関	関係機関
1	能登食祭市場	16 北陸経済連合会
2	七尾市観光協会	17 セブンイレブンジャパン
3	和倉温泉観光協会	18 日本赤十字 金沢支部
4	株式会社 スギヨ	19 石川県観光連盟
5	七尾海陸運送	20 石川県商工会連合会
6	七尾商工会議所	21 トヨタレンタリース石川
7	公立能登総合病院	
8	山成商事	
9	(株)丸一観光	
10	石川県漁業協同組合矢田新支所	
11	輪島市観光協会	
12	千枚田ポケットパーク	
13	トパテック(株)	
14	輪島市商工会議所	
15	サンテック(株) 能登工場	

c) 的を絞った効果把握

事前ヒアリングの際，これまで整備してきた能越道の部分開通がどのように役立ってきたか，今回県境区間が全線開通することでどのようなインパクトが予想されるかに的を絞りヒアリングを実施した．これにより，例えば，能越道の部分開通に合わせて道の駅の入場者数が増加しているなど，これまでの能越道によるストック効果を効率的に把握することができた（図-3）．

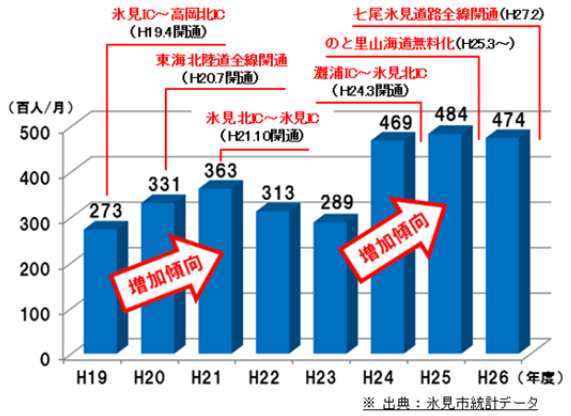


図-3　能越道のストック効果の事例
（道の駅氷見の休日利用者数の推移）

(2) 新幹線と能越道の相乗効果

a) キーワードは「ぐるっと周遊」

事前ヒアリングにおける主な意見を集計したところ，観光交流の促進を期待する意見が最も多くなった．しかし，開通により沿道の観光地を素通りし和倉温泉や奥能登方面へ行ってしまうのではないか，日帰り客ばかり増加し，宿泊客が減少するのではないか，と心配する声も少なくなかった（図-4）．つまり，従来のように時間短縮効果のみを前面に出し「能登が近くなる」とＰＲを行うと，地域が望む整備効果にそわない表現となってしまう可能性がある．

そこで，能登・富山・金沢を【ぐるっと周遊】を開通ＰＲのキーワードとし広報活動を進めることとした．例えば，北陸新幹線を活用する場合は，【金沢駅→能登方面→新高岡駅】，車を活用する場合は【北陸道→のと里山海道→能越道】と利用することで，周遊観光が可能となる（図-5）．

観光協会やバス事業者にヒアリングしたところ，一般的に観光客は行きと帰り違う道を好むと伺った．そこで，新たな開業・開通による集客効果だけでなく，これまで金沢を発着としていた石川県内の観光の流れを富山や岐阜地域を含めることでさらに魅力を向上させる開通ＰＲを実施し，広域観光を支援することとした．

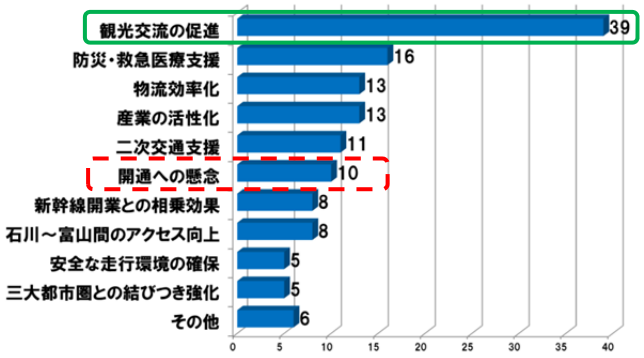


図-4　事前ヒアリングの主な意見



図-5　【ぐるっと周遊】広域観光イメージ

b)北陸新幹線の二次交通としての役割

全国的に有名な和倉温泉がある石川県七尾市に最も近い北陸新幹線駅は新高岡駅となる．そのため，2015年より，新高岡駅から道の駅氷見を経由して和倉温泉へと繋がる新たなバス定期便が運行されることとなった．そのルートは能越道七尾氷見道路を活用することで約30%の時間短縮効果がある．新幹線駅からわずか１時間で到着することができるため，能越道は新幹線の2次交通を支

えるインフラとして活躍している（図-6）．また，首都圏からのアクセス時間も，北陸新幹線と能越道の効果を合わせると約１時間２０分の短縮となり，相乗効果により来訪者の滞在時間増加に貢献している（図-7）．

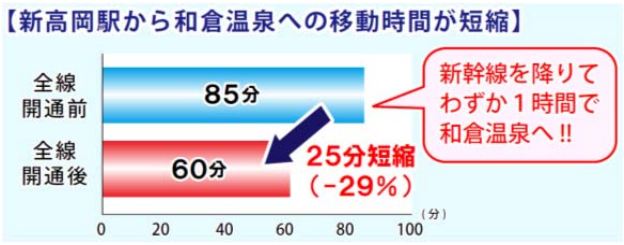


図-6　能越道開通による時間短縮効果

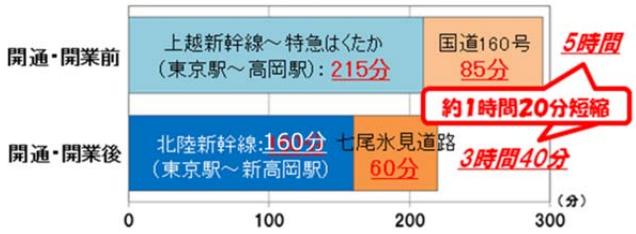


図-7　東京から和倉温泉の時間短縮効果

c)新幹線と協働した開通ＰＲ

能越道と北陸新幹線が同時期に開通し，相乗効果で利便性の向上が図られることを効率的に広報するため，能越道の開通ＰＲを各地で行われている北陸新幹線ＰＲコーナーに併設して実施した．例えば，イオンモール高岡の北陸新幹線ＰＲブースにある鉄道模型コーナーの横に能越道のポスター展示した．これにより，親子連れがのとじま水族館やおいしい魚を食べに出かけたいなど，能越道を使った観光を話題にし，全線開通について知って頂くことができた（図-8）．



図-8　北陸新幹線と協働した開業・開通ＰＲ（ｲｵﾝﾓｰﾙ高岡）

(3) 地域と連携した広報

三大都市圏や全国の遠方の方々に利便性や魅力を知ってもらうためには，まず，地域の住民や民間事業者の方々にその役割と開通効果を知ってもらうことが重要である．そこで，地域の方々を巻き込み，直接体験してもらう広報活動を展開した．

a)県境を越えた連携

能越自動車道建設促進期成同盟会の協力により，民間事業者の方々と一緒に開通日にゴールを目指す【たすきリレー】を実施した．これまでの能越道部分開通による整備効果を日頃から享受し全線開通を待ち望んでいる沿道事業者の方々が，富山・石川両方から順次たすきを受け渡していくものであり，その過程をビデオ撮影しメッセージを頂くこととした．地域の方々が開通による整備効果を考え，自らの言葉で地域の発展を誓う良い機会となった（図-9）．

また，富山，石川両県に広く開通効果を広めるため，記者発表は常に２事務所合同で実施することとした．作成するにあたり，地域毎に着目点が異なったり，双方のデータを掲載する必要があるなど多くの工夫を凝らす必要があった．開通前・後にこれまで合計７回発表し，すべてにおいて翌日に両県で新聞記事として掲載されることとなり，地域の皆様に広く周知することができた．



図-9　たすきリレー中継地点の様子

b)地域を巻き込む広域広報

地域住民が行き交う場所として，能越道沿線の道の駅や市役所など１９箇所に開通カウントダウン看板を設置した．日めくりパネルは，各公共施設の管理者の方にご協力頂くことで，開通に向けた機運向上に役立てることができ，地域の方々が主体的に来訪者へ説明する道具として活用することができた．また，能越道開通済み区間のＩＣやのと里山海道の跨道橋１３箇所には開通を知らせる横断幕や懸垂幕を設置したり，能越道並行路線の国道路側１０箇所には，【ぐるっと周遊】をイメージできる路上看板を設置したりすることで，地域のドライバーに直接，視覚的に広報した（図-10）．さらに，北陸・関東・中部・近畿地方の道の駅１３３箇所でポスター掲示，ネクスコ中日本・東日本・西日本のＳＡ・ＰＡのデジタル掲示板５４箇所で表示し，高規格幹線道路ユーザーである広域移動ドライバーへの周知を広めた．



図-10 道の駅ひみとカウントダウンパネル（左），
国道路側の路上看板（右）

4. まとめ

今回，能越道七尾氷見道路の全線開通前から事前に地域の課題と問題点を抽出し，観光・物流・医療等の事業者に広くヒアリングを実施した．その中で，ストック効果に的を絞った整備効果把握に努め，地域に求められている能越道の機能を抽出することができた．道路の開通は新幹線開業と比較すると，ＰＲの方法も規模も及ばないが，同時期に開通するという強みを生かして，相乗効果を狙い，地域と連携した的確な開通ＰＲを行うことができた．

2015年3月は，全国で高規格幹線道路の開通が相次ぎ，その開通延長は11,000kmを越えている．各開通区間においても，開通を見越した企業立地や物流施設の立地等，地域経済への効果が既に現れている[1)]．社会資本整備の最も重要な役割のひとつは，経済の活動を活発化させ民間の投資を誘発するストック効果を最大限に発揮することである．能越道開通を機会に開設したＨＰには，「有料区間がわかりにくい」，「休憩施設の設置と充実」などを求める意見が寄せられている．今後も，社会資本のその地域での役割を把握しつつ，整備効果を継続的に広く国民や事業者に周知し，民間活動を促進させることにつなげることが重要である．

また，能越道の他区間では構想段階から，PI手法を用いて地域住民を巻き込み意見を反映することで，将来の地域に望ましい社会資本整備に結びつけている[2)]．開通段階においても，本事例のようなインフラを利用する住民や事業者を巻き込んでコミュニケーションを図り，ストック効果を把握していくことで，地域にとってふさわしい使われ方を追求することが可能となると考える．

高速道路や新幹線などの広域ネットワークを結束する社会資本整備は，地域の社会・経済・産業に大きな影響を与えるものであるが，あくまで地域が発展するためのツールでしかない．開通・開業効果を継続させ，将来も持続可能な地域社会を推進するためには，地域の方々が自らがインフラ整備による効果を意識しつつ，地域の特性に応じてその効果と機能を活用した活性化策を講じることが，今後の地域創生に重要な役割を果たす．当該地域においても【ぐるっと周遊】することで，コンパクト＋ネットワークによる地域拠点の連携を促進し，能越道等の社会資本を活かした地域づくりを継続的に支援していきたい．

5. 今後の展開

高速道路は，地域活性化や安全・安心な暮らしを確保する重要な社会資本の一つであり，着実な整備とその有効活用が求められている．新東名高速道路の開通では，国，県，市と中日本高速道路株式会社が「新東名（静岡県）インパクト調整会議」という協議会を設置し，開通後1年間のデータ分析や各種効果検証，対外的広報を連携して実施ている[3)]．能越道においては，ストック効果を日々実感している地域の方々とのコミニュケーションを継続することで，開通後もストック効果を分析・公表していきたい．そのため，全線開通後の整備効果把握を目的とし，事前ヒアリングを実施した関係機関を対象に事後ヒアリングを進め，期待していた効果が発現されているか，想定していなかった効果があるか，心配していたストロー現象などの懸念が残っているかを確認し，事業の妥当性やストック効果の継続発信に役立てることができる．

また，これまでの開通効果は道路整備前後の交通量の増減を示すことが一般的であった．今後は，現在展開中のETC2.0プローブ情報を活用したり，携帯電話ＧＰＳ機能による旅客動向データを利用することで，能越道の【ぐるっと周遊】効果が発揮されているかを分析・把握し，地域の方々にその効果を知っていただくよう広報に努めていきたい．

さらに，近年の我が国の事業評価では，現行の三便益だけではなく，多様な効果を的確に評価することが重視されている．海外の事例として，英国等では，環境や健康，景観や時間信頼性及び広域的な経済効果に基づき事業の優先順位付けを行い，事業の多様な効果が事業評価に反映されている[4)]．ストック効果の分析が進むことは，今後の事業評価手法の検討にも役立つと考える．

謝辞：本論文に記載した調査の計画・実施にあたり，各経済団体や観光協会，自治体等数多くの関係機関の皆様方にご協力いただいた．ここに深く感謝申し上げます．

参考文献

1)国土交通省道路局：道路(2015)5月号
2)田中義太郎・澤山雅則・清水将之(2004)：PIによる住民参加の道づくり,H14北陸地方整備局管内技術研究発表会論文集
3) 中日本高速道路㈱東京支社総務企画部企画調整チーム：道路(2013)8月号,17.
4)関谷浩孝・上坂克巳・橋本浩良(2010)：交通工学 VOL.45, No.3, 72-79

札内川における礫河原再生の取り組みについて

高橋　輝好[1]・法村　賢一[2]・横濱　秀明[3]

[1]北海道開発局　帯広開発建設部　治水課（〒080-8585北海道帯広市西４-８）

[2]北海道開発局　帯広開発建設部　治水課（〒080-8585北海道帯広市西４-８）

[3]北海道開発局　帯広開発建設部　治水課（〒080-8585北海道帯広市西４-８）

急流河川である札内川では近年、複合的な要因により河道内の樹林化が著しく、礫河原が急速に減少し、札内川特有の河川環境の衰退が懸念されている。そのため礫河原の更新環境を回復させるため、札内川ダムの放流を活用した自然の攪乱リズムを復活させる取り組みを行っている。

本稿は、ダム放流と出水により河道内で生じた樹木流亡や礫河原再生の効果検証を行った結果を報告する。

キーワード：再生・回復、自然環境、礫河原再生、樹林化

１．はじめに

札内川は一級水系十勝川の一次支川であり、中札内村、帯広市、幕別町を流れている。空撮写真（**写真-1**上段）を見てもわかるように礫河原が白く、広く、また清流日本一[1)]にもなったその流水は、河床の礫を覗き見ることができるほど透明度が高く美しい川である。

2005年以降、特に支川戸蔦別川との合流点から上流の区間（**図-1**参照。以下、上流区間という。）で河道内の樹林化が著しい札内川では、礫河原が急速に減少している[2)]（**写真-1**）。これは、年最大流量や融雪期最大流量が減少傾向[2)]により河道内の攪乱が発生しにくくなったためと考えられる。礫河原面積の減少により、ケショウヤナギやチドリ類など、礫河原がなければ世代交代が困難な動植物（以下、礫河原依存種という。）の衰退が懸念されているため、ケショウヤナギ生育環境の保全に加え、札内川特有の河川環境・景観の保全を目的とした礫河原の再生を図る必要がある。

2012年から札内川ダムからの放流を利用した各種試験やモニタリングを実施している。2013年度からは、ダム放流による効果を最大限引き出すため、河道内の旧川（派川）を活用した礫河原再生の取り組みを行っている。本稿では、3年間のダム放流と2014年に発生した台風11号出水により生じた河道内の変化や各種調査結果を基に礫河原再生の技術的な手法や取り組み効果の検証結果を報告する。

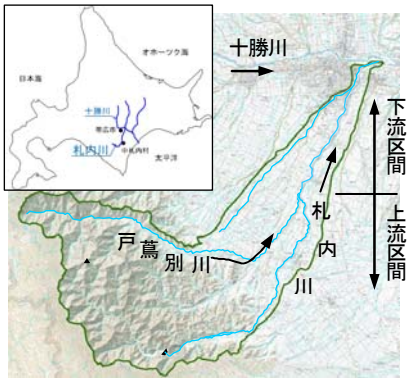


図-1　上流区間と下流区間



写真-1　上段：広い礫河原がみられる札内川
下段：礫河原がわずかとなった札内川

2．札内川ダムからの放流

札内川ダムでは、夏の洪水期に向けて、非洪水期の平常時最高水位EL474.0mから洪水貯留準備水位EL466.0mまでダムの貯水位を低下させる操作を毎年7月1日までに行っている（図-2）。

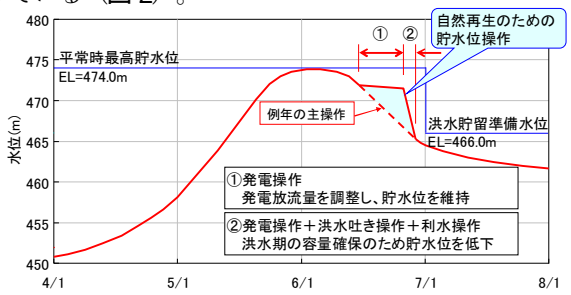


図-2　自然再生ダム放流の操作イメージ

ちょうどこの時期が、樹林化の原因となっているオノエヤナギ等の種子の散布時期（6月上旬～下旬 [3]）であることに着目し、自然再生のためのダム放流は、種子流亡効果をねらって、種子散布後期に合わせ6月下旬に約120m³/sの放流を実施している。これほどの放流は、通常は洪水調節に伴い行われるものであり、利水者や地域の方々のご理解の下、礫河原再生のために実施している操作である。

2012年～2014年までの放流実績は図-3のとおりである。2014年のダム放流量は最大約115m³/sとなり、2012年の約113m³/sより多く、2013年の約119m³/sより少なかった。上札内橋地点における最大水位上昇量は約0.56m、最大流速は3.2m/sを観測した（表-1）。

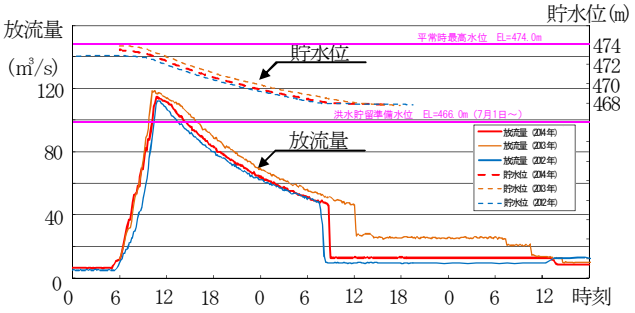


図-3　2012～2014自然再生ダム放流グラフ

表-1　水位上昇量・最大流速（上札内橋地点）

年	水位上昇量	最大流速
2012 年	0.81 m	2.5 m/s
2013 年	0.66 m	3.3 m/s
2014 年	0.56 m	3.2 m/s

3．礫河原再生の手法

(1) 放流効果の最大化

札内川の樹林化は特に上流区間で顕著であるが、2011年には礫河原面積が若干回復している（図-4）。これは2011年9月に発生した出水により変化したものである。

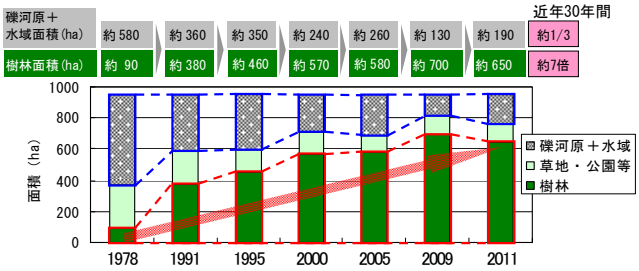


図-4　河道内の樹林面積の変化（札内川上流区間）[2]

この2011年出水では、河道内の旧川（派川）沿いの湾曲外岸側や旧川流入部で比較的大規模な樹木流亡が発生している場合が多かった（写真-2）。この点に着目し、ダム放流の効果を最大限に引き出すための手法として平成25年から「旧川引き込み」を実施している。

これは2011年出水でも変化が小さかった旧川が存在し、その旧川は土砂が流入部に堆積し閉塞していることが分かったことから、これを除去した後、ダム放流を行うことで川の営力を利用した比較的大規模な樹木流亡が期待できるのではないかと推察したものである。

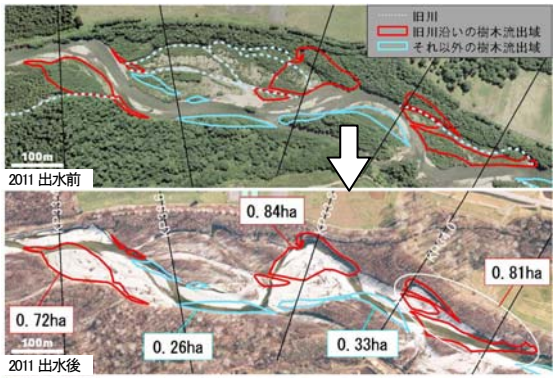


写真-2　1箇所あたりの樹木流亡面積（2011出水）

(2) 旧川引き込みの実施

旧川引き込み試験工区は、2013年には上札内橋下流で2箇所、上流で1箇所を選定した。2014年には、その位置選定技術の確立を念頭に上札内橋上流において、将来の砂州発達による蛇行化を想定して、その直下流で旧川引き込みを行うKP43.2（図-5）、過去の複列流路形状を考慮した上で旧川引き込みを行うKP45.8（図-6）の2箇所を選定した。旧川引き込み試験工区では、ダム放流前後における①旧川引き込みの状況、②河床材料（粒径分布）の変化、③横断形状の変化（主流路と旧川の比高差）に着目してモニタリングを実施した。



図-5　2014年　直線砂州工区（KP43.2）



図-6　2014年　複列流路工区（KP45.8）

2014年の試験施工区2箇所について、ダム放流により、狙いどおり流水を引き込むことができており、また平成25年と同様に旧川内に堆積していた細粒土砂が掃流される現象や樹木及び草本流亡、河床材料の粗粒化や流路内の比高差縮小が認められた。

なお2013年に旧川引き込みを行った工区では、旧川流入部が再び閉塞することなく、維持されていることを確認した。

これらは、主流路に集中していた流水が旧川引き込みにより分散され、主流路の無次元掃流力が低下し、引き込んだ旧川のそれが上昇した結果である。

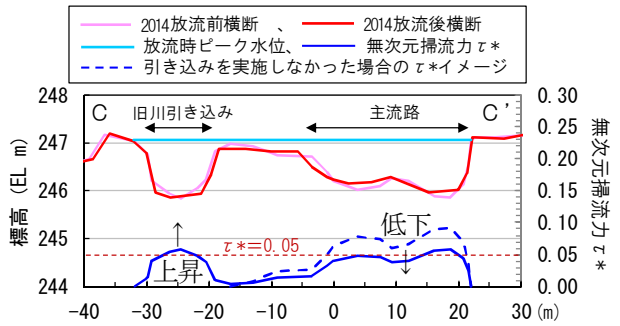


図-7　横断形状と無次元掃流力の変化
（2013設置_湾曲砂州工区（KP41.4））

4．礫河原再生の効果

(1) 樹木流亡

2014年試験工区において、旧川内で樹木流亡及び草本流亡が見られた。このことから自然再生のためのダム放流及び旧川引き込みなどの最大化手法を継続することにより、増加傾向であったオノエヤナギ等の侵入抑制効果、つまり樹林化抑制の効果が期待されると考えられる。またわずかではあるが、樹木流亡は礫河原面積の増加に寄与している。



写真-3　放流前の旧川状況（2014.6.10）



写真-4　放流後の旧川状況（2014.7.7）

また2014年放流では、上札内橋上流左岸（主流路沿い）で樹木流亡が見られたが、これについては、放流中に撮影したビデオ映像から、水位がピークを記録した後の下降中に流亡していることが分かった（図-8）。



写真-5　樹木流亡箇所の例（2014.6.26）

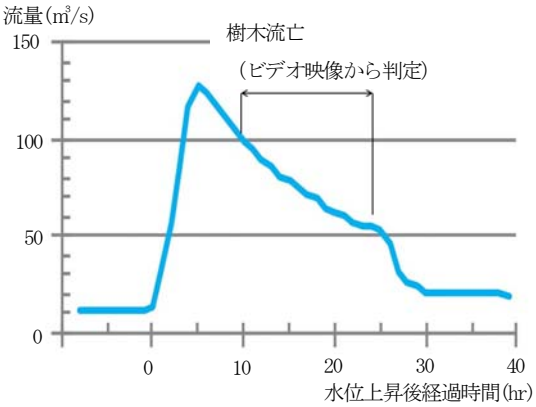


図-8　2014放流中ハイドロ（上札内橋地点）

その樹木流亡箇所の横断形と水位に着目すると、樹木が冠水したことによる流亡ではないことが分かる。急勾配であった左岸河岸が水衝部となり、側岸侵食により河岸が最大で約5.8m後退し、その際に樹木が倒伏したものと考えられる（図-9）。

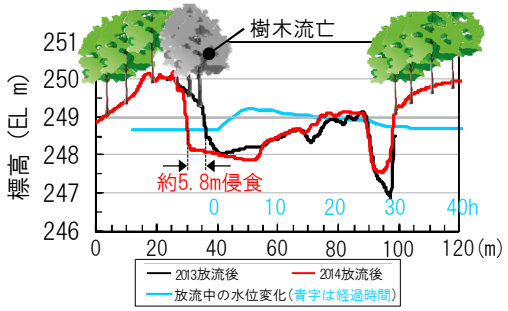


図-9　樹木流亡箇所の地形と水位の関係（上札内橋上流地点）

3年間の放流による樹木流亡面積に着目すると、旧川引き込みを実施していない2012年よりも実施した2013年以降の面積が多いことから旧川引き込みの効果が伺える（図-10）。

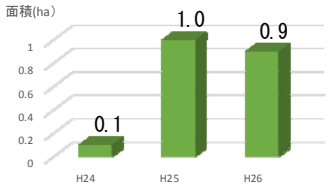


図-10　放流による樹木流亡面積（上流区間集計）

(2) 河床材料（粒径分布）の変化

2014年の試験工区2箇所についてもこれまでと同様に放流による河床材料の粗粒化が確認された。

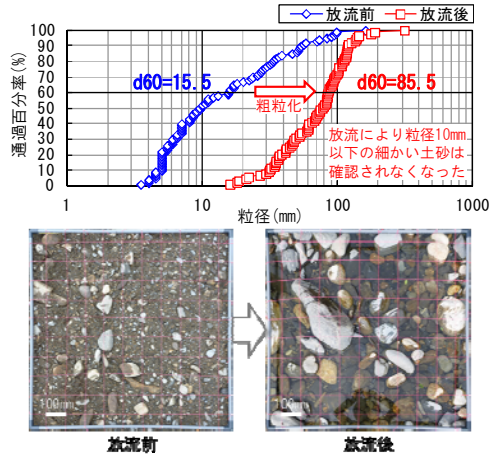


図-11　河床材料粗粒化状況（2014複列砂州工区KP45.8）

2013年の試験工区については、粗粒化した状態が概ね維持されていることを確認した。

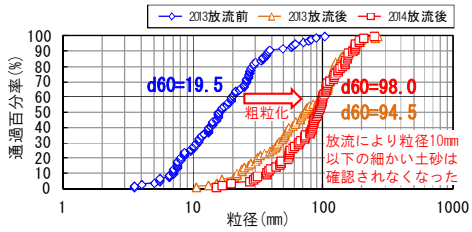


図-12　河床材料粗粒化状況（2013湾曲砂州工区KP41.4）

細粒土砂が少ないと、オノエヤナギ等の定着が困難になる。

なお、ケショウヤナギは、玉石の多い河原に河畔林を形成する樹木[4]であり、粗粒化した礫河原において定着・成長することが可能である。

(3) 横断形状の変化

ダム放流前・後に主流路（本川）と旧川の横断測量を行い比高差の変化についてモニタリングを行った。

それまで流れが集中していた主流路の河床には堆積、旧川は洗掘や拡幅が見られ、主流路と旧川の比高差が小さくなった。2014年の試験工区でもおおむね同様の傾向が見られた。

2013年の試験施工区でも今年のダム放流後においても旧川流入部が閉塞することなく維持されており、ダム放流により比高差が縮小することで、主流路固定の傾向から「流路変動しうる河道形状」に変化・維持していると考えている（図-13）。

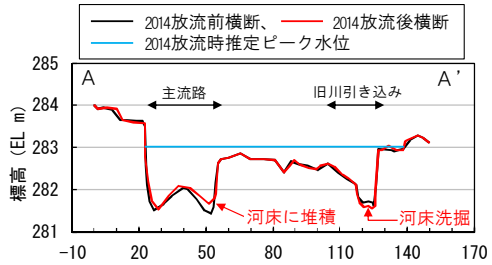


図-13　横断形状の変化（2014複列砂州工区）

(4) ヤナギ類の実生流亡

2012 年のダム放流により冠水した礫河原では、オノエヤナギやエゾノキヌヤナギの実生が掃流され減少した（図-14）[5]。そして 2014 年のダム放流後の調査により礫河原面積は、微増となっていることから、ダム放流によって新たなヤナギ類侵入が抑制される効果があると考えられる。

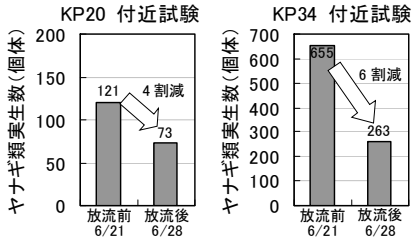


図-14　ダム放流前後のヤナギ類実生数の変化（2012調査結果）

(5) 礫河原面積の変化

これまで減少を続けていた上流区間の礫河原面積は、ダム放流を始めた2012年からの3年間で維持・微増している。2011年9月出水以降、出水が発生していないことから、これはダム放流及び旧川引き込みによる効果と考えられる。

仮に札内川の自然再生事業を実施せず、礫河原面積減少が継続していたと考えた場合と比較すると約74haの効果ということになる（図-15）。

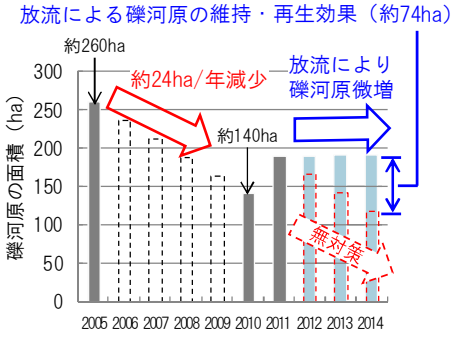


図-15　礫河原面積の推移（上流区間集計）

５．出水（台風11号）による礫河原再生の効果

2014年6月に実施した自然再生ダム放流後の8月上旬、台風11号による出水が発生した。この時の札内川ダムからのピーク放流量は約120㎥/sと6月の放流量と大きく異なりはしないが、その放流時間（無次元掃流力が0.05を超えると考えられる80㎥/sを超える時間）は6月放流の約9時間に対し、約43時間と長時間であった。

しかし2011年9月出水と比較すると放流量、放流時間ともに小規模で、その流量確率規模は2011年の約1/20に対し、約1/3の出水であった（**図-16**）。

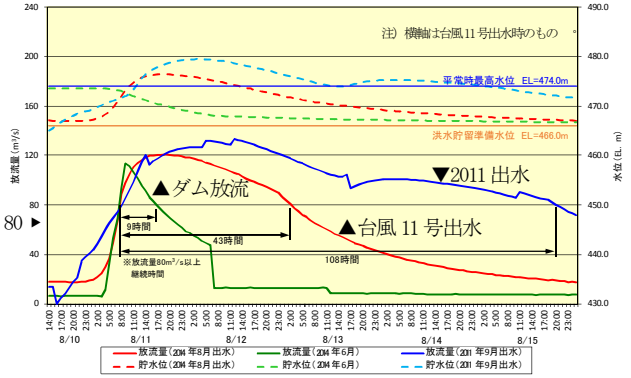


図-16　放流量比較グラフ

しかしながら出水前後の航空写真判読及び現地踏査によると比較的大きな変化が確認されている。特に旧川沿いで樹木流亡など大きな変化が見られ、また旧川引き込みを行った箇所だけでなく、旧川引き込み工区の下流側でも流路の切り替わりや側岸侵食によると思われる樹木流亡など比較的大きな変化が発生していることから、旧川引き込みによる変化が下流へ伝播し、影響を与えたものと推察される。



写真-6　台風11号出水による樹木流亡箇所
（2013湾曲砂州工区KP42.8）

旧川引き込み試験工区は、2011年出水時に樹木流亡などの変化が小さかった箇所において選定したものであり、2011年出水より小さい規模の今回の出水でも樹木流亡および礫河原面積増加が比較的大きく発生しているということは、自然再生ダム放流及び旧川引き込みによる効果であると推察される。

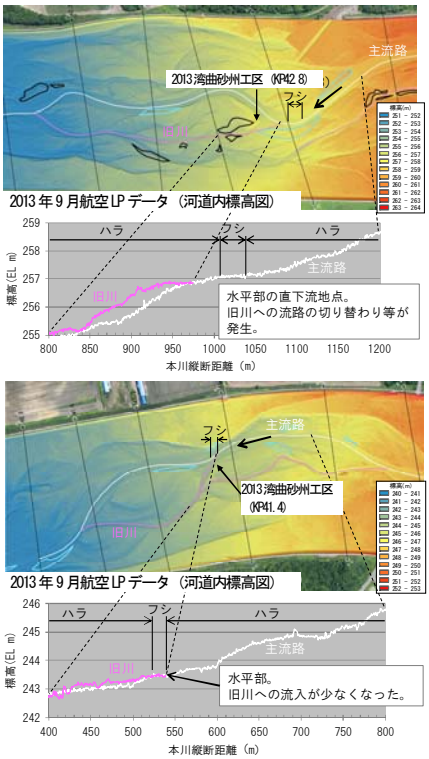


写真-7　台風11号出水前の旧川状況（2014.7.7）



写真-8　台風11号出水後の旧川状況（2014.9.9）

旧川への流路切り替わり等の大きな変化が発生した2013湾曲砂州工区（KP42.8）、旧川への流入が少なく変化が小さかった2013湾曲砂州工区（KP41.4）の縦断的な地形に着目すると、水面勾配が水平に近くなり、不安定さが増す地点「フシ」の直下流で旧川引き込みを実施することが有効と考えられる（**図-17**）。今後、有識者の指導を仰ぎながらことのことに関する検証を行う予定である。



フシ：河床縦断勾配が水平に近く、平面的な河道変遷から横断方向への流路変動が小さい箇所をフシと呼ぶ。[6)]

ハラ：フシの上下流部において、横断方向に大きく変動し得る区間をハラと呼ぶ。[6)]

図-17　旧川引き込み位置と縦断形の関係

さらに今回の出水では、流路が固定化した直線流路区間で砂州が発達し、その影響で側岸侵食が発生、流路が蛇行化している。

恐らくこれまでの取り組みが何らかの影響を与えていると思われるが、これを参考に固定化した直線区間における新たな最大化の方策として、今後、置砂を実施予定である。これは、旧川引き込みのための導水部掘削により発生する土砂の有効活用も兼ねており、直線区間の上流側水衝部に置砂を実施することで砂州の発達を促し、河道の蛇行化を期待するものである。

ただし、砂州の発達には通常、時間を要するとされていることから、今回の台風11号出水のように無次元掃流力τ_*が0.05を超えて長時間継続する状態が発生した際に効果が発揮される。なお、置いた礫の移動範囲を把握するためのモニタリング調査手法は検討中である。

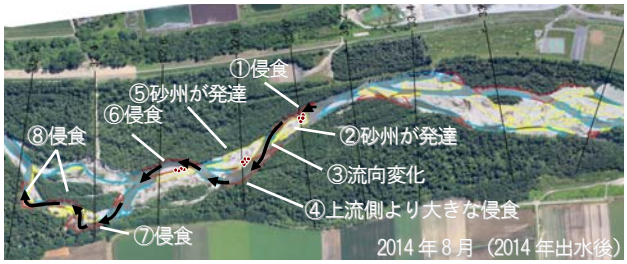


写真-9　台風11号出水による砂州の発達と蛇行化
（KP33.0付近）

6．まとめ

2012年から実施している自然再生のための札内川ダム放流及び2013年度から実施している最大化の取り組みにより、「川の営力を利用した」礫河原面積の維持・微増が成されている。

また2011年に発生した約1/20規模程度の出水を参考にしてきたが、ダム放流及び旧川引き込みを行い、旧川を維持することで、流路変動し得る複列流路が維持され、そのことにより、1/3規模程度の小規模出水であってもさらなる礫河原再生の効果が得られることが分かった。

7．今後に向けて

札内川の取り組みについては、今後、旧川引き込み位置選定手法の確立、引き込み形状や、土砂の利用法などを含め、礫河原再生技術として確立することを目指す。また流路が固定化や直線化し、周辺に適当な旧川が無い区間では置砂の有効性検証などを行い、引き続きダム放流効果を最大化させるための手法の検討や技術開発、各種調査、モニタリングを行い、検討と改善を繰り返すことで、目標とする河川環境の質に到達させたい。

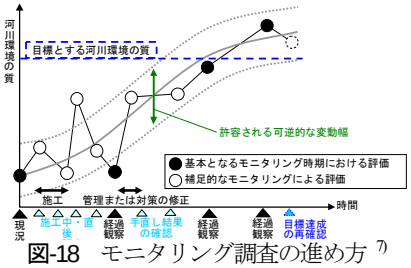


図-18　モニタリング調査の進め方 [7)]

特に樹林化の進行が顕著な区間や流路変動等による再生の効果が大きく期待できる区間を対象に地域の意見等も反映させながら優先区間を設定して事業を進めたい。なお、地元の観光業界により河原で外国人観光客をおもてなしした事例も大きく報道され、国土交通省としてもミズベリングによる地域活性化を推進しているため、河原を活用した観光プランを模索し始めた民間とも協力し、地域活性化に向けた連携を図っていきたい。

謝辞：札内川の礫河原再生の取り組みにあたっては、北海道大学農学研究院中村太士教授をはじめとする札内川技術検討会の各委員から多大なる御指導と御助言をいただき、また地域の方々からなる札内川懇談会を設置し、意見交換などを行い、取り組みを進めている。

なお自然再生のためのダム放流に関しては、電源開発株式会社をはじめ利水者の皆様からの御理解と御協力のもと実施している。

この場を借りて、すべての方に深く感謝し、ここにお礼申し上げます。

参考文献

1)国土交通省が 2012 年まで毎年公表していた一級河川の平均水質ランキング（清流日本一は、平成 3 年、5、7～9、11、14、17 の計 8 回）
2)帯広開発建設部（2012）：札内川自然再生（礫河原再生）計画書
3)第 2 回札内川技術検討会（2012）：検討会資料 3 より、帯広開発建設部 HP 参照
4)斎藤　新一郎著　社団法人北海道治山協会発行（2001）：ヤナギ類　その見分け方と使い方
5)武田淳史（2012）：札内川における礫河原再生の取り組み、公益財団法人 日本河川協会、河川 11 月号　通巻 796 号
6)島絵梨子・渡邊康玄・吉川泰弘（2013）：節復連続河道形成に関する実験的研究、土木学会 北海道支部 論文報告集 第 70 号
7)『川の環境目標を考える-川の健康診断』河川環境目標検討委員会（編集），中村太士，辻本哲郎，天野邦彦（監修），技報堂出版，2008.7 に加筆・一部改変して引用
8)田中甫幸・川岸秀敏・川邊和人（2013）：札内川における礫河原再生の取り組み、北海道開発局技術研究発表会
9)第 6 回札内川技術検討会（2013）：議事概要より、帯広開発建設部 HP 参照
10)川岸秀敏・川邊和人・武田淳史（2014）：札内川における礫河原再生の取り組み―旧川（派川）を活用した放流効果の最大化に向けて―、北海道開発局技術研究発表会
11)高橋輝好・法村賢一・武田淳史（2015）：札内川における礫河原再生の取り組みについて、北海道開発局技術研究発表会

高知南国道路の事業損失抑制に向けた工事の取り組み

西原　優太

四国地方整備局　土佐国道事務所　工務課　（〒780-0055　高知県高知市江陽町2-2）

一般国道55号高知南国道路の連続高架橋下部工の施工に伴い，近接する地下トンネルのほか，周辺の田畑で課題となっている地下水の塩水化への影響の抑制が求められた．本稿の対象箇所では，施工において対策を講じるだけでなく，地域住民とのコミュニケーションを図ることで事業損失抑制に取り組んだ．

キーワード　事業損失抑制，地元対応，塩水化，オープンケーソン

1. 概要

高知県の道路は，毎年の豪雨・台風等や今後発生が予想される南海トラフの巨大地震といった自然災害への対応や都市部に集中する交通混雑等の課題を抱えている．平成２年度に事業化された一般国道55号高知南国道路は，延長15.0kmの自動車専用道路である（図-1）．「四国８の字ネットワーク」の一部として，風水害や地震による津波被害等における避難や緊急輸送の強化，都市部の交通混雑の緩和のほか，高知県の陸・海・空の玄関である高知自動車道高知ICと高知新港，高知龍馬空港を結ぶことで，物流の効率化など社会経済活動の支援も期待されている．平成27年3月には高知南ICからなんこく南ICが開通し，平成27年度になんこく南ICから高知龍馬空港IC，平成32年度に高知JCTから高知南ICの供用を目指している．

本稿では，高知JCT～高知中央IC間で施工中の下部工事において実施している事業損失の抑制対策について報告する．高知JCT～高知中央IC間は，連続高架橋区間となっており，平成25年度から一宮高架橋下部工事ではオープンケーソン工法，布師田高架橋下部工事では場所打杭工法で基礎工を施工している．施工箇所は軟弱な地層であることから，掘削長は最大で43mに達する．そのうえ海岸に近いため，周辺地域では地下水の塩水化による農業への影響が問題となっている．また，地中約10m程度の深さには，本工事に並行し，民間企業が所有する地下トンネルが存在する（図-2）．そのため，本工事では塩水化の進展や地下トンネルの変位・ひび割れを引き起こす恐れがあることから，地下水利用者や地下トンネル管理者とのコミュニケーションを図り，対策を実施することで事業損失の抑制に取り組んだ．

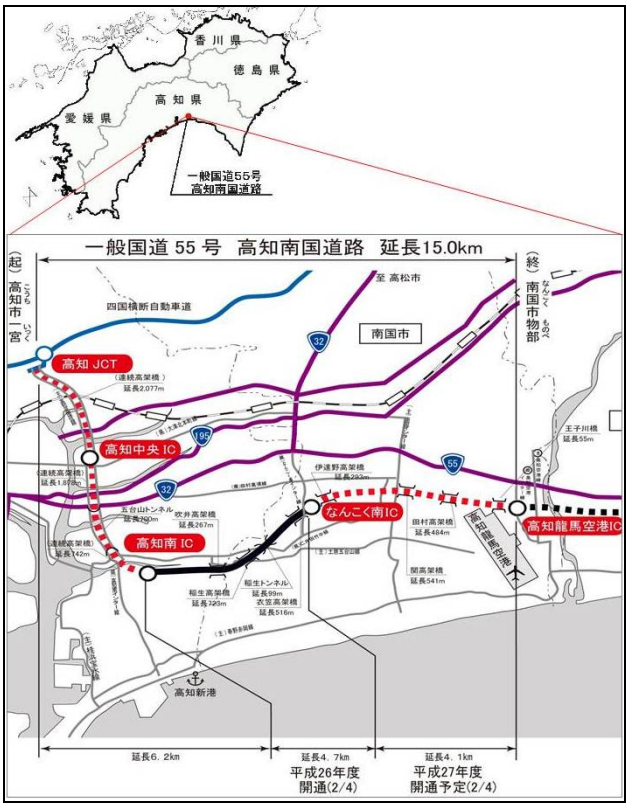


図-1　位置図

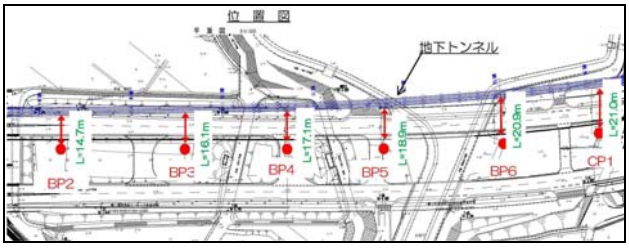


図-2　地下トンネル平面図

2. 工事の概要

本工事箇所は，主要地方道高知北環状線の中央分離帯部分に建設する連続高架橋である（図-3）．液状化の影響が懸念される地層であり，より強靭な地震対策が必要なことから，平成24年度の道路橋示方書改定に則り，耐震性を確保する構造として，一宮高架橋では外径5,500mmのケーソン基礎，布師田高架橋では，径2,500mmの場所打杭の基礎となっている．両橋梁ともに，掘削長さは最大で43mに達する．



図-3　一宮高架橋完成予想図

3. 地下水の塩水化と対応方針

(1) 事前調査

一宮高架橋下部工事の周辺には田畑が広がっており（図-4），農業用水については地下水に依存しているが，近年塩水化が進み，地下水利用者は限られた層から地下水を汲み上げて使用している．取水している地下水層の上下にある不透水層（Dc2層）により，農業用水に使用できる地下水を保っているが，ケーソンの施工により不透水層（Dc2層）を貫くため，ケーソン施工時のフリクションカット部の隙間から，塩水（Dg2層）が地下水（Dg1層）に流れ込む可能性が懸念される（図-5）．

下部工施工前には，周辺地域の農業用水取水井戸について，地下水の水質調査を実施した．なお，地下水の塩水化傾向の判定には電気伝導度を用い，農業用水基準に基づき電気伝導度EC=30mS/m以上であれば塩水化傾向があると判断した．事前調査の結果，掘削予定箇所から半径100m以内の取水井戸においては塩水化傾向は見られなかった．しかし，およそ200m離れた箇所ではEC=170mS/mとなっており，掘削予定箇所周辺まで塩水化が進展していることが判明した．また，調査結果より塩水化傾向のある領域を推定したところ（図-6），BP2では塩水化傾向が見られ，BP2とBP3の間に塩水化傾向の境界があることが推定された．



図-4　施工箇所周辺状況

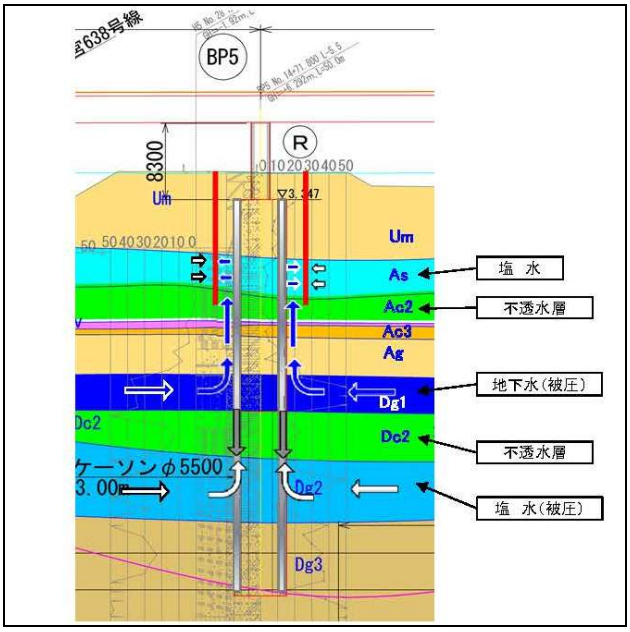


図-5　施工中に想定される塩水化（BP5）



図-6　電気伝導度分布図

(2) 対策方法の検討

本工事ではケーソンを圧入時には，滑材としてベントナイト注入を行い，沈下完了後のフリクションカット部にはセメントミルク注入により地盤と基礎工を密着させ，地下水の上昇を防止することで塩水化を抑制することとしている．また，ケーソン周辺に遮水矢板を圧入することで，施工中の塩水の拡散防止を行っている（図-7）．

(3) 地下水利用者との調整

本工事箇所周辺の地下水利用者は2つの土地改良区として農業用水を取水している．いずれの土地改良区ともに長年，地下水の塩水化に苦しんできた経緯があり，塩水化が進行する工法は絶対避けるよう主張を続けてきた．特に目視できない地下で生じる影響であることから，対策を実施するとともに深くコミュニケーションを図ることで，地下水利用者の不安や懸念を払拭し，信頼関係を構築しつつ工事を進める必要があった．

まず工事内容の理解を得るため，本工事着工前にケーソンの施工方法と塩水化対策について説明会を複数回実施し工事内容の理解を求めた．説明会では，地下水利用者から水質観測の強い要望があったため，地下水利用者と協議し，毎週1回の頻度で周辺農業用井戸の水質観測を行うこととした．さらに，掘削による影響をいち早く把握するために，現場内にも3箇所の観測孔を設け，水質観測結果を工事着工から定期的に土地改良区代表者へ報告した．なお，農業用水基準では，EC=30mS/m以下が水稲の正常な生育に望ましいとされていることから，電気伝導度の目標値はEC=30mS/m以下に決定した．そのうえ，地下水利用者を対象とした現場見学会を開催し，説明と実際の施工状況の確認を行うことで，理解や信頼を得るように努めた．

(4) 結果

本工事では，3工事がそれぞれ2つの下部工を施工しており，工事ごとに1箇所ずつ観測孔を設置した．3工事とも平成26年8月下旬から水質観測を続けている．観測孔の水質観測結果を図-8に示す．3工事とも平成27年8月に掘削を終えたが，電気伝導度の目標値であるEC=30mS/m

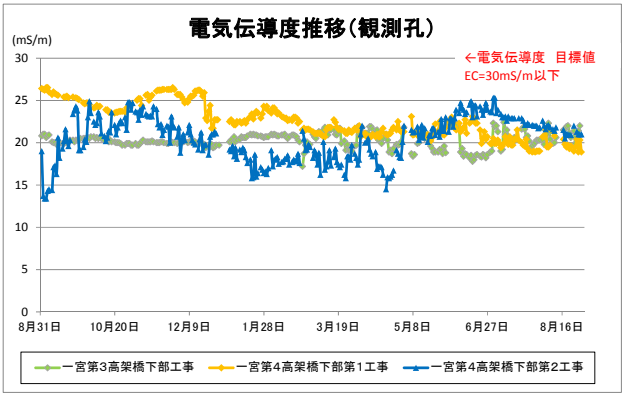


図-8　電気伝導度推移（観測孔）

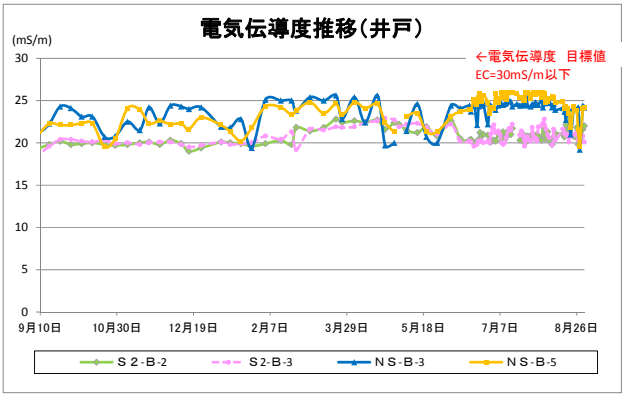


図-9　電気伝導度推移（農業用井戸）

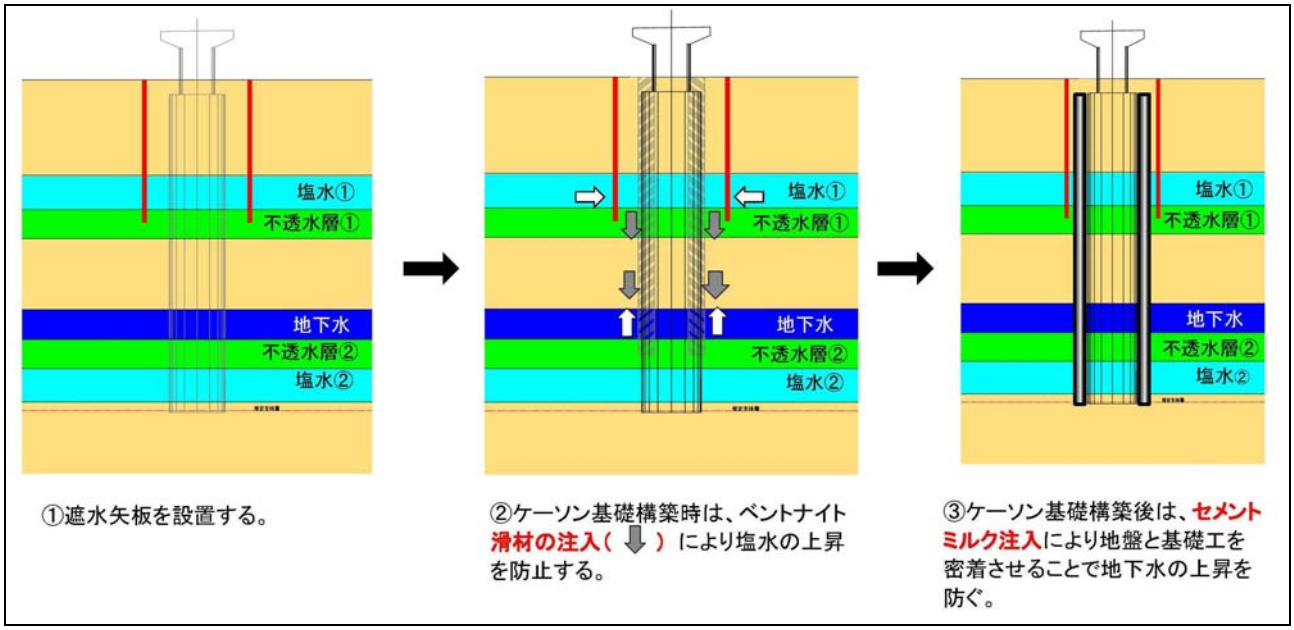


図-7 オープンケーソン掘削に伴う塩水化対策

を越えることはなかった．また，周辺の農業用井戸での水質観測結果を図-9に示す．いずれの井戸もEC=20～25mS/mを維持しており，電気伝導度の変化は確認されなかった．以上より，いずれの観測点においても掘削による影響は無いと考えられる．また，地下水利用者についても着手前の工法説明と観測結果の報告，現場見学会による自らの目で確認することで，信頼関係を構築できたと考えられる．

4. 地下トンネルへの対応方針

(1) 事前検討

地下トンネルに最も近接する布師田高架橋下部工事では，地下トンネルとの水平距離が3.3mまで近接する．この地下トンネルは民間企業がセメント製造用の石灰石を工場まで運ぶ延長約6kmに渡る大規模なベルトコンベアであり，工事振動に伴う変位等により停止した場合，大規模な損害が生じることとなる．

本工事では，設計段階において，掘削時の地下トンネルの変位をFEM解析にて推定しており，推定されるひび割れ幅は許容値以内となっている．しかし，地下トンネルは建設から約20年が経過しており，施工中のひび割れ対策および観測が必要であった．そのため，本工事では低振動工法（BKF）を採用するとともに，掘削前に矢板を圧入することで振動の伝達を軽減することとした．

(2)地下トンネル管理者との調整

地下トンネルの管理者と協議し，地下トンネルへの影響を調査するために，地下トンネル内での振動調査とクラックの観測を行うことに決定した（図-10）．

振動調査では，最も地下トンネルに近接するCP7，CP8，CP9の3橋脚を対象とした．観測頻度は基本的に常時観測，観測期間は掘削が地下トンネル以深に達するまでの期間とし，振動の影響があると判断される場合には掘削を停止することを条件として合意を得た．振動の影響の有無を判断する閾値は，地下トンネル管理者と協議し，65dbに決定し，最も地下トンネルに近い橋脚の振動観測中は地下トンネル管理者に立会を依頼した．

地下トンネル内のクラックの観測では，事前に地下トンネル管理者立ち会いの下，観測対象とするクラックを選定し，クラックの進行を観測することで合意を得た．クラック観測機および振動計の観測データーについては，無線で観測小屋のパソコンに集積・管理する方法を行った．また，施工業者は独自の管理値を設け，クラックの拡がりが発生した場合には回転灯を点灯させることで施工速度の調整を行うなどの取り組みを行った．

(3) 結果

振動調査およびクラックの観測の結果を表-2に示す．

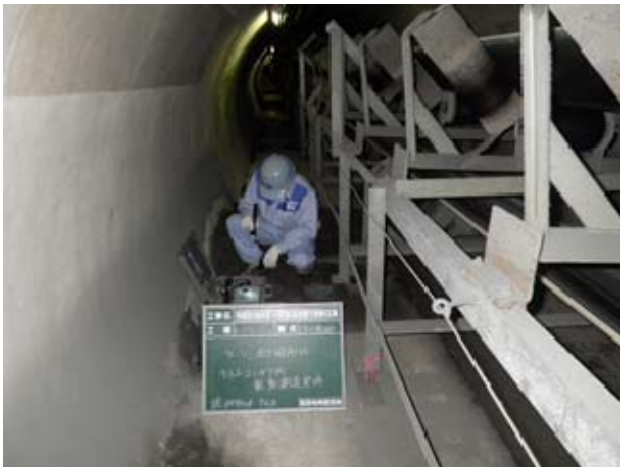


図-10　地下トンネル内振動観測状況

表-2　調査結果

		H26.12	H27.1	H27.2	H27.3	H27.4
振動最大値(db)		54.1	55.9	58.8	64.8	63.9
クラック最大変動値(mm)	CP7	0.007	0.045	0.027	0.018	0.009
	CP8	0.013	0.018	0.016	-0.010	-0.021
	CP9	0.026	0.042	0.048	0.028	-0.062

※閾値65db

振動最大値は64.8dbとなったが，振動が閾値を超えることはなかった．また，クラックの拡がりは，微細な変動しか確認されなかったため，下部工施工による地下トンネルへの影響は無かったと判断し，地下トンネル管理者へ報告を行った．

5. 結論

本工事の施工箇所は，農業が盛んであるが，地下水の塩水化の進展により苦しんできた地域であり，なおかつ民間企業の地下トンネルの近接箇所であった．そのため地元関係者とのコミュニケーションが重視された．本工事では，地元に対してきめ細かな説明と，地元の意見を取り入れた観測態勢とすることで，地元関係者の不安や懸念を払拭し信頼関係を構築することができた．

高知南国道路高知JCT～高知南IC間は平成32年度の供用を目指しており，さらに，住宅密集地での施工も予定されており，今後も地元関係者とのコミュニケーションを図り，不安や懸念を払拭することで地元関係者との信頼関係を構築し，円滑な施工に取り組んでいきたい．

東九州道・九州中央道の開通効果について

濱田達哉・赤塚真吾・矢野健・中島智

[1]九州地方整備局　延岡河川国道事務所　調査第二課　（〒882-0803宮崎県延岡市大貫町1丁目2889）

宮崎県北地域は、北九州市と鹿児島市を結ぶ国道10号と、熊本方面を結ぶ国道218号が結節するとともに海上交易拠点として重要な役割を担う重要港湾細島港を要するなど、交通の要衝としての地理的特性を有し、高規格幹線道路網の整備が遅れていたが、平成２７年３月に東九州自動車道（佐伯～蒲江）、平成２７年４月に九州中央道の一部である北方延岡道路（蔵田～北方））が供用され、大分・宮崎県間での高速道路のネットワークが完成されたため、県北地域に与えたストック効果について紹介する。

キーワード　整備効果、ストック効果

1. 始めに

宮崎県北地域は、北九州市と鹿児島市を結ぶ国道 10 号と、熊本方面を結ぶ国道 218 号が結節するとともに、海上交易拠点として重要な役割を担う重要港湾細島港を要するなど、交通の要衝としての地理的特性を有している。

また、沿岸部では旭化成を中心とした工業や水産業が発達しており、内陸部の高千穂周辺では高千穂峡などの観光資源を活かした産業が盛んである。しかし、高規格幹線道路網の整備が遅れていたため、西九州地域との競争力格差などの課題を抱えていた。

このような地域特性のなか、延岡河川国道事務所管内では、平成２７年３月に東九州自動車道（佐伯～蒲江）、平成２７年４月に九州中央道の一部である北方延岡道路（蔵田～北方））が供用され、大分・宮崎県間での高速道路のネットワークが完成されたため、県北地域に与えたストック効果について述べる。

2. 宮崎県北地域の道路概要

(1) 東九州自動車道（佐伯IC～延岡南IC）

東九州自動車道は、北九州市を起点に大分県、宮崎県、鹿児島県を結ぶ約 436km の高速自動車国道である。

平成２６年３月８日に北浦 IC～須美江ＩＣ間が開通し、宮崎県側が全て供用となり、残る佐伯 IC～蒲江 IC 間１４．２ｋｍが平成２７年３月２１日に完成し、佐伯 IC～延岡南 JCT 間６６ｋｍが全線供用となった。

(2)国道218号北方延岡道路

北方延岡道路は、延岡市北方町蔵田～延岡市天下を結ぶ約延岡市伊形町を結ぶ 13.1km の道路である。このうち３工区(舞野 IC～延岡 JCT)2.1km が平成 18 年 2 月 18 日に供用、２工区（北方 IC～舞野 IC）6.4km が平成 20 年 4 月 26 日に供用し、残りの１工区(蔵田 IC～北方 IC)4.6km が平成 27 年 4 月 29 日に供用し、全線 13.1km が供用となった。



図-1　宮崎県北高速道路図

これらの路線は、国道 10 号、国道 218 号に並行して整備されるため延岡市街地の交通混雑緩和や被災時の代替ルート機能、延岡南道路などの既存高速道との接続されることで、高速交通ネットワークが形成された。

3. 整備効果の項目について

整備効果についての開通後の調査項目は様々な物が考えられるが、開通後２ヶ月段階での効果で把握できるものについては、データ不足の項目もあるため、今回は整備効果として即時かつ長期的な効果が確認できたストック効果について調査紹介する。

・GW中の観光客数の増加について
・道の駅への効果について
・医者不足の解消について

４.東九州道及び北方延岡道路の整備効果について

(1)GW中の観光客数の増加

東九州道及び北方延岡道路開通直後に初のGWを迎えることとなり、宮崎県北の観光地のうち、特に年々観光客が増加している「高千穂挟」について入込み客数を調査した。

併せて、高千穂峡へのアクセスは移動手段に公共交通機関も含めて自動車が必須となるため、車籍調査も行った。

高千穂町観光課調べによると、昨年度の同時期（４月３０日～５月６日）の入り込み客数を比較するとGW期間中の来客数が初めて１０万人を突破し、約１．５倍の伸びが確認された。

また、車籍調査の結果より、四国・中国方面からの来客数と宮崎県内からの来客割合が同数となった。

これらは、大分・宮崎間の高速道路ネットワークが完成したことを機会に高千穂町長をはじめとした観光協会の方々がＰＲを展開したことで、四国・中国地方からのツアー企画等も増えて来客数が伸びたと考えられる。

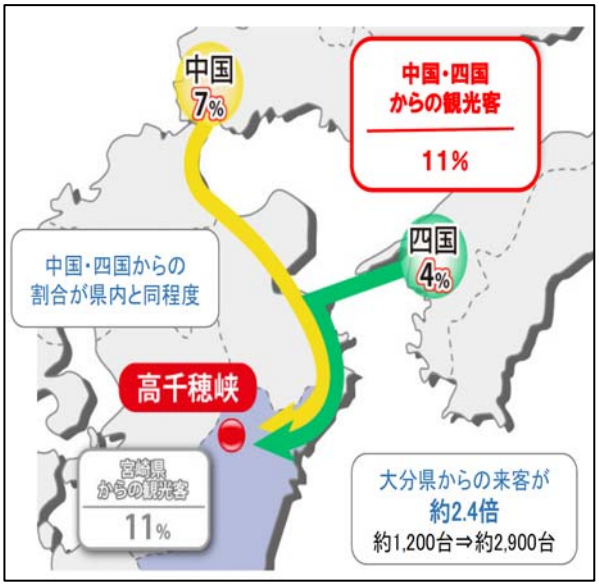


図-2　車籍調査による動向

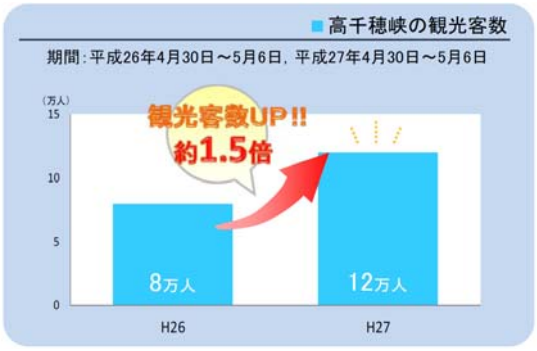


図-3　開通前後の高千穂来客数比較

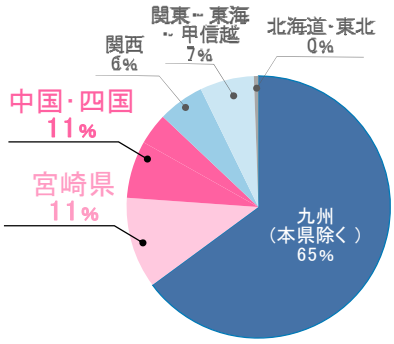


図-4　高千穂来客県別割合

(2)道の駅への整備効果について

延岡管内の道の駅のうち、効果や影響が大きいと思われた直轄一体型の「道の駅」北川はゆま、日向、北方延岡道路（蔵田～北方間）の開通同日に開店した「道の駅」北方よっちみろ屋についての調査結果を述べる。



図-5　「道の駅」位置図

a)「道の駅」北川はゆま

GW中（５月３日～６日）の入込み客数及びレジ通過客数は図-6,７のとおりとなり、売り上げ・来客ともに大きな伸びとなった。

要因としては、「道の駅」北川はゆまは、東九州道の無料区間にある北川ＩＣに近接しており、また、東九州自動車道で別府湾ＳＡ～川南ＰＡまで休憩施設がないこともあり、休憩地点として大きな役割を果たすこととなった。

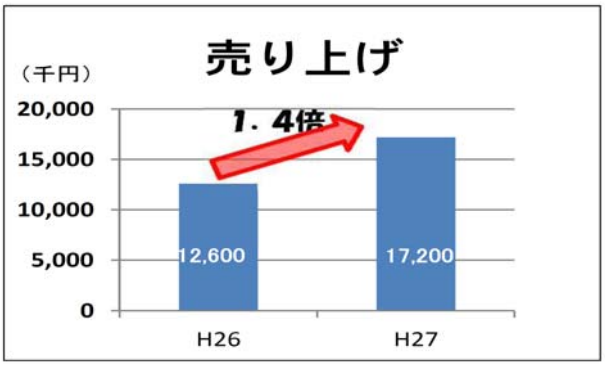


図-6　「道の駅」北川はゆまGW売り上げ

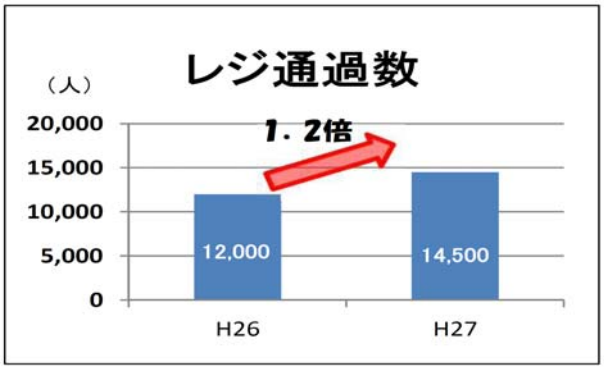


図-7　「道の駅」北川はゆまGWレジ通過数

地域への貢献については、上述のとおり北川ＩＣに近接している道の駅ということもあり、東九州自動車道の開通で大きな集客数を伸ばし、地域への経済効果も現れている。

「道の駅」北川はゆまの売り上げのうち、地元生産者の商品等が約７０％を占めている。それに伴い、年々雇用者の人数も増えてきており、「ひと・まち・しごと」地方創生を担う「道の駅」となったと言える。

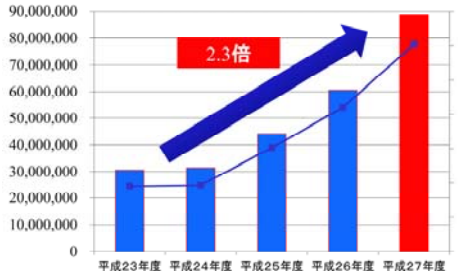


図-8　「道の駅」北川はゆま年度別売り上げ



図-9　「道の駅」北川はゆま年度別雇用者数

b）「道の駅」北方よっちみろ屋

GW中（５月３日～６日）の入込み客数及びレジ通過数は図-10, 11 のとおりとなった。

北方延岡道路（蔵田～北方間）の供用同日に開店されたこともありマスコミに大きく取りあげられ話題性が広り、入り込み客数・売り上げともに大きく伸びた。

要因としては、東九州自動車道・北方延岡道路併せて全線開通となり、高千穂方面への客数が伸びた波及効果によるものである。

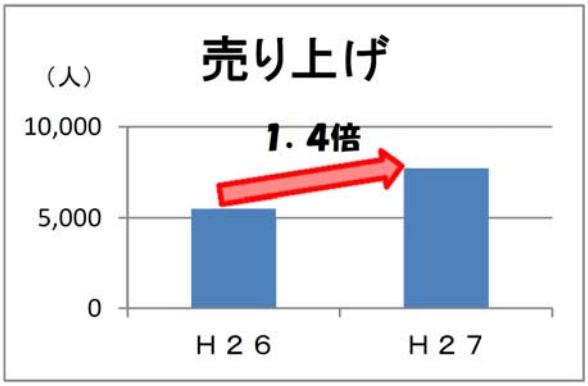


図-10　「道の駅」北方よっちみろ屋GW売り上げ

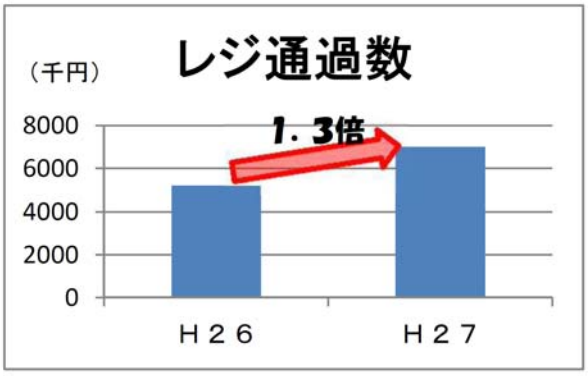


図-11　「道の駅」北方よっちみろ屋GWレジ通過数

c）「道の駅」日向

GW中（５月３日～６日）の売り上げ及び入込み客数は下記のとおりとなった。

東九州道の全線開通に伴い、図-12 のとおり来客数が減ったものの、売り上げは図-13 のとおり昨年度より１．３倍伸びる結果となった。

昨年度は日向～都農の開通に伴い売り上げも落ち込んでいたが、今年度の伸びの要因としては、来客のほとんどが県外であったこともあり、海産物やマンゴー等の地元特産品の単価の高い商品が売れたことによる。

県外からの来客数が増えた要因としては、延岡南ＩＣより南側が有料区間であるため、国道１０号へ交通が約１１％程度転換したこと、並びに馬ヶ瀬をはじめとした日向市周辺の観光地への来客数が伸びたことが考えられる。

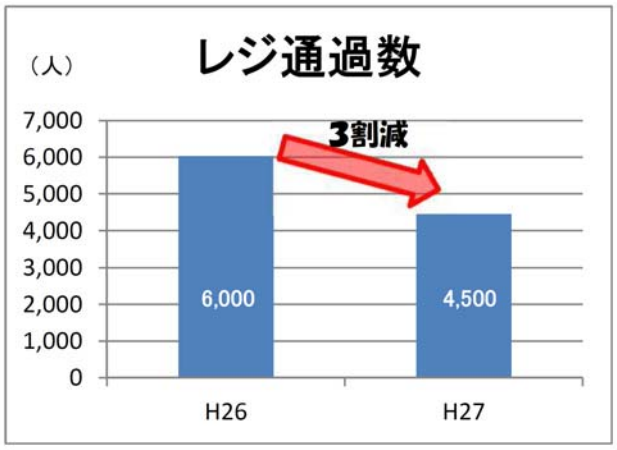


図-12　「道の駅」日向GWレジ通過数



図-13　「道の駅」日向GW売り上げ



図-14　「道の駅」日向位置図

(3)医師不足の解消について

延岡市を含む県北地域においては、医師不足の問題が深刻化している。

県北地域を代表する「県立延岡病院」においては、平成１８年～２１年の間に眼科、精神科、消化器内科、神経内科の医師が続けて退職し、休診状態となっていた。

また、医師の高齢化による退職等が相次ぎ、小児科についても医師が不足していた。

しかし、県立延岡病院については平成２６年３月に日向～都農間の供用で宮崎～延岡が全線開通したことをきっかけに、平成２６年度より精神科、消化器内科の医師を確保し、診療を再開することとなった。

さらに、平成２７年３月に佐伯～蒲江の供用により大分～延岡が全線開通したことで、延岡医師会病院に大分大学から医師の派遣が可能となり、新たに神経内科が開設されるとともに、宮崎大学からの小児科医の増員にも繋がった。

医師不足の解消については、新聞にも「東九州道の効果」と取り上げられ、「高速道路が医師の通勤形態を変えつつある」との記事も掲載された。

また、北方延岡道路の開通に伴い、高千穂町へも休日の担当医が延岡市内の病院より派遣されることとなった。

この延岡市内から高千穂町への医師派遣は、「北方延岡道路の開通により時間短縮が医療支援を決意した」と担当医師がコメントしている。

表-1 宮崎県立延岡病院　医師数の推移

診療科	H17	H18	H19	H20	～	H26	H27
消化器内科	3名	2名	2名	1名	5年間休診	2名	2名
精神科	1名	1名	7年間休診			1名	2名
眼科	1名	9年間休診					1名

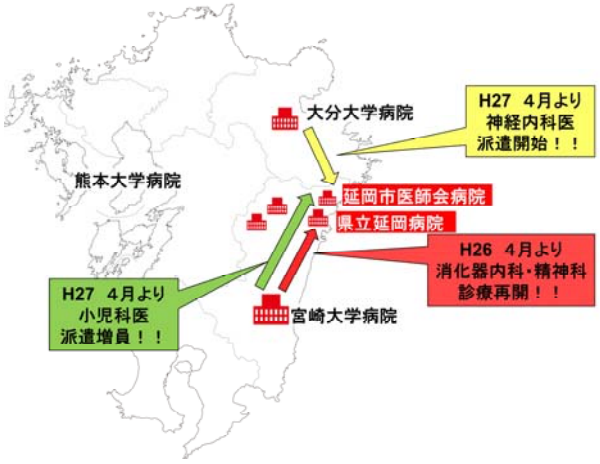


図-15 東九州道開通後の医師の派遣

５．おわりに

東九州自動車道及び北方延岡道路は開通してまだ間もないため、今回は即時に効果が出ているものを関係自治体から情報収集した①観光、②道の駅、③医療の面から説明したものである。

しかしながら、時間が経過するとともにまだまだ効果が出てくる事があると思われるため、詳細な項目等を追跡調査するとともに、「長期的な効果を発現」する新たな項目探しをすることで、半年後、１年後と継続的にストック効果を発信し続けることが必要である。

今後は、地元自治体とも密に情報交換を行い、数値的なデータの裏付けをとりながら、道路が地域にどのような効果をもたらしているかを検証していくようにしたい。

道路施設のエネルギー有効活用に向けた検討

大河内　恵子[1]・吉永　弘志[1]・井上　隆司[1]

[1]国土技術政策総合研究所　道路交通研究部　道路環境研究室　（〒305-0804 茨城県つくば市旭１番地）

近年，エネルギーの分野において制度改革・技術革新が進展している中，エネルギー技術の進展に対応し，道路分野においても，エネルギーの有効活用を検討する必要性が高まってきた．本稿では，道路施設のエネルギーに関する現状を把握し，道路施設と周辺地域とのエネルギー面での連携可能性について検討することを目的とした．

調査の結果，道路施設においては，道路照明，トンネル設備，融雪設備が多くの電力を必要としており，これらで約8割の需要を占めていた．道路施設と周辺地域との連携可能性について，道の駅を例にあげて試算した結果，エネルギー削減できる結果が得られた．

キーワード　省エネルギー，スマートコミュニティ，エネルギーマネジメント，再生可能エネルギー，道路施設

1. はじめに

近年，エネルギーの分野において，電力システム改革が進められており，2016年には電力小売り自由化が実施される．また，地域のエネルギーの供給側と需要家が連携し，賢く電気を使うスマートコミュニティの仕組みが実施され，各地で展開されている．

平成25年7月には道路施行令の改正に伴い，道路占用料が約9割減額され，道路空間への再生可能エネルギーの積極的導入が期待されている．そこで，道路分野においてもエネルギーに関する技術動向を収集し，エネルギーの有効利用方策を調査研究する必要性が高まってきている．

本稿では，道路施設のエネルギーに関する現状を把握し，道路施設と周辺地域とのエネルギー面での連携可能性について検討することを目的とした．

2. 道路施設での電気の使われ方

道路において電力を消費する施設には，道路照明，道路情報板，融雪設備，トンネル換気設備，排水ポンプ，道の駅等，様々な施設がある．これら道路施設における電力消費の実態を把握するため，直轄国道における電力使用量を調査した．

(1) 電力使用量調査

直轄国道での電力使用量を把握するため，電力会社から送付される電気料金請求書を調査した．電気料金請求書は，各道路を管轄している国道事務所が管理しているため，全国に約100ある事務所から10事務所を調査対象として抽出し，平成24年度の電気料金請求書（10事務所分）に基づき，電力使用量を集計した．

調査対象事務所の抽出にあたっては，管理延長，交通量，管轄する道路施設の種類，各地方整備局等の都合を考慮した．

(2) 電力需要量推計

調査対象の10事務所の電力使用量集計結果から，全国の直轄国道における電力需要量を推計する方法を検討した．

道路施設の設置には各種基準[1),2)]が定められているため，施設規模に対する用途別電力需要量は一定であると仮定した．そこで，電力の用途別に電力需要の原単位を設定し，原単位に道路延長を乗じて電力需要量を推計するため，国道事務所における電力使用量の実績値を道路照明，トンネル設備，融雪設備，排水設備，中継所，情報板等の用途別に分類し，原単位を求めた．

なお，国道事務所・出張所等の庁舎については，本検討の対象外とした．

a) 道路照明

道路照明の基準[1)]や設置実態を鑑みて，電力需要量は

車線数別の道路延長に比例すると言える．そこで，車線数別の電力消費原単位（kWh/km）を求め，原単位に車線数別道路延長を乗じて，電力需要量を推計することとした．

2車線，4車線，6車線，8車線のモデル道路を想定し，それぞれに必要とされる道路照明の消費電力および設置間隔等を設定した上で，車線数別の負荷割合を算定した．次に，車線数別の負荷割合を考慮して，電力使用量および道路延長から原単位を算出した．

なお，トンネルに設置している照明は，トンネルごとに一括して受電していることから，トンネル設備に含めることとした．

b)　トンネル設備

トンネルの電気設備には，照明，換気設備，排水ポンプ，融雪設備等の様々な設備が設置されている．トンネル設備の電力使用量は，道路照明施設設置基準[1]，道路トンネル技術基準[2]および設置実態を踏まえると，トンネルの規模（500 m以下，500～1000 m，1000 m以上）により電力使用傾向が異なるため，トンネル規模別に電力消費原単位（kWh/m）を設定した．電力需要量は，電力消費原単位にトンネル延長を乗じて推計することとした．トンネル規模別の電力消費原単位は，直轄国道のトンネルの電力使用量およびトンネル延長から算出した．

c)　融雪設備

国道事務所における融雪設備の電力使用量および管理延長から，電力消費原単位（kWh/km）を算出した．算定対象とする国道事務所は，融雪の電力需要があり，事務所からの提供資料により融雪設備の電力消費量が明確に把握可能な3事務所とした．

d)　排水設備，中継所，表示板等

排水設備，中継所，情報板等は，他の道路施設と比較して電力使用量が少ないことから，これらをまとめて扱い，電力使用量を管理延長で除することで，電力消費原単位（kWh/km）を算出した．

e)　道の駅

道路管理者は，道の駅の駐車場，トイレ，情報提供施設等を管理しており，主な電力使用用途は，駐車場照明とトイレ照明である．駐車台数と電力需要量が比例することが考えられることから，電力使用量および駐車台数から，電力消費原単位（kWh/台）を算出した．対象とする道の駅は，事務所からの提供資料により道の駅の電力消費量（道路管理者が管理している施設のみ．商業施設は除く．）が明確に把握可能な6施設とした．

f)　原単位の検証・補正

算出した原単位を用いて，10事務所における用途別の電力需要量を求め，その結果と電力使用量（集計値）を比較し，補正率（乖離率）を求め，原単位の検証を行った．さらに，先に求めた原単位に補正率を乗ずることにより，原単位を補正した．

(3)　電力需要量推計結果

補正した原単位を用いて全国の直轄国道における電力需要量を推計した結果，約581 GWhとなった．用途の内訳は図-1に示すとおり，道路照明，トンネル設備，融雪設備での需要が多く，これらだけで約8割を占めていた．

(4)　まとめ

道路における電気の使われ方の特徴は主に2つある．1つ目は電力需要は，道路照明，トンネル設備，融雪設備で約8割を占めており，道路照明は夜間に稼働，融雪は冬期に稼働，排水設備は雨天時に稼働というように，季節変動・時間変動が大きいことが言える．2つ目は，融雪の熱需要があり，地中熱などの再生可能エネルギーを活用した融雪システムも提案・採用されているが，融雪設備の電力需要が地域によっては年間需要量の過半数を占めること等が大きな特徴である．

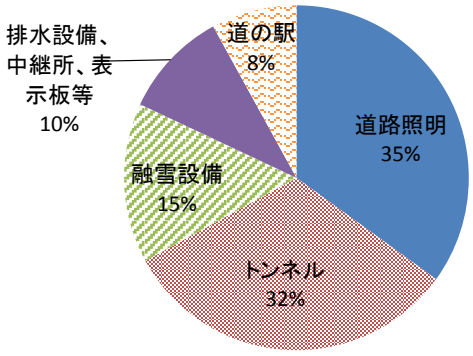


図-1　直轄国道の電力需要量推計結果

3.　周辺地域と道路施設の連携方策検討

(1)　周辺地域との連携可能性の検討

一般に，需要家が各々使いたい時に電気を使用すると，電力需要ピーク時の供給を賄うために，発電所の増強等が必要になることが問題である．そこで，近年では，需要家が工夫して蓄電池を活用したり，電気を融通し合ったり，電力需要変動に合わせて地域のエネルギー需給バランスを最適化したりするような，電気を賢く使うスマートコミュニティへの取組みが各地域で盛んに進められている．そこで，道路施設にもこの仕組みを応用できるのではないかと考え，スマートコミュニティ実証4地域の横浜市，豊田市，けいはんな学研都市，北九州市に，道路施設と周辺地域とのエネルギー面での連携についてヒアリング調査を実施した．

調査の結果，エネルギー面での連携に関連する内容で

は，4地域とも道路施設とは連携していないこと，エネルギーマネジメントにおいて要である蓄電池は非常に高価であること，夜はエネルギー需要が少ないためコージェネレーションを停止しているところもあること等がわかった．

(2) 連携方針

道路施設の電力需要の特徴およびスマートコミュニティ実証地域へのヒアリング調査結果を踏まえ，道路施設が周辺地域との連携するための方策について，次のa)～c)の3つの方針から検討することとした．

a) 周辺地域に存在するエネルギー設備を有効活用

夜間に停止していることがあるコージェネレーションやボイラーの稼働状況を把握し，夜も安定的にエネルギー需要がある道路施設との連携を検討する．

b) 周辺地域・道路の双方の課題に協同で解決模索

例えば，法面等に設置した太陽光パネルで発電した電力（PV電力とする）は，発電時間帯と電力需要時間帯が異なり，発電した電力を道路照明に直接供給できない．一方，周辺地域では，デマンドレスポンスなどを活用して電力のピークカットやピークシフトに取り組んでいるが，ピークカットの目標達成は容易ではない．そこで，PV電力を周辺地域のピークカットに活用し，夜間の道路照明には周辺地域側の設備から供給し，道路側と地域側の双方にメリットがあるような検討をする．

c) 電気だけでなく熱も含めた連携方策の検討

道路施設は，融雪等の熱需要も多く存在する．ヒアリング調査結果より，スマートコミュニティでは，熱のマネジメントにも注力している．道路施設側でも熱需要を把握し，周辺地域側と協力した熱の有効利用方策を検討する．

上記の方針を絵に表したものを図-2に示す．

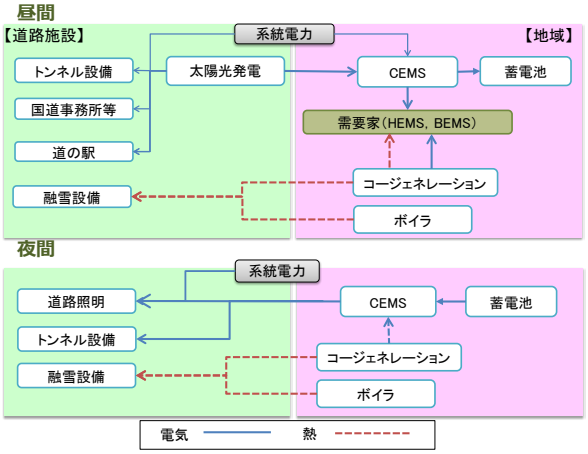


図-2 道路施設と周辺地域の連携方針（冬期）

(3) 道の駅での連携案

道路施設と周辺地域がエネルギー面で連携する場合の連携案，導入効果，費用等について積雪寒冷地の道の駅Aを対象に検討した．

道路管理者は，道の駅の駐車場，トイレ，情報提供施設等を管理するが，本導入案の検討では，市町村等が管理する地域振興施設（レストラン・売店等）も含めて検討する．

a) 検討対象道の駅Aの概要

道の駅Aの概要は次のとおり．駐車場は，46台（大型32台，小型12台，バリアフリー2台），館内施設はレストラン，直売所（以下，レストランおよび直売所を「店舗」という．），情報コーナー等がある．店舗営業時間は，4月～10月は9:00～18:00，11月～3月は9:00～17:30（水曜日と1/4～1/6は休み）であり，情報コーナーのみ24時間稼働している．

また，地域防災計画にて避難・救援活動拠点として位置付けられ，災害時でも活動できることが求められており，道路管理者と地方自治体が連携し，必要な施設整備を進めている．道路管理者は，防災用トイレ・情報提供装置・防災資材倉庫の整備，資材備蓄を進めている．非常時に備えて，非常用発電施設を有しているが，通常時は稼働していない．

構内の道路照明の電力消費量推移は，道の駅Aの実績を用いた（図-3）．電力消費量は日の短い1月が一番多く，7月が最も少ない．

道の駅A周辺には，高圧の電線は整備されていないため，売電は困難であるが，隣接地域まで都市ガスの主要導管が引かれており，都市ガスの供給を受けることが可能である．

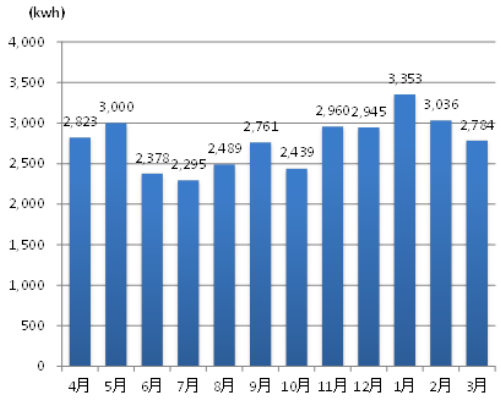


図-3 月ごとの道路照明電力使用量

b)　連携方法

道の駅Aの立地条件，自治体の関連計画での位置づけ，保有設備の状況を踏まえ，当該施設の非常用発電をマイクロコージェネレーションシステムに切り替え，道の駅A構内の歩道約75 mに融雪設備を新たに設置し，マイクロコージェネレーションシステムおよびガスから融雪設備へ熱を供給し，エネルギーを有効に活用するシステムを検討する．

図-4に示すとおり，冬期夜間はマイクロコージェネレーションシステムから駐車場照明，トイレ照明，融雪設備に電気と熱（融雪）を供給し，熱が足りない時は，ガスから供給する．マイクロコージェネレーションシステムを夜間も稼働し，得られる熱を融雪設備に活用することで，マイクロコージェネレーションシステムの稼働時間を長くし，投資回収期間の短縮を図る．

冬期夜間以外の時期は，昼間はマイクロコージェネレーションシステムから店舗に熱と電気を供給する．夜間は熱需要がないため，マイクロコージェネレーションシステムを停止し，系統電力を利用する．

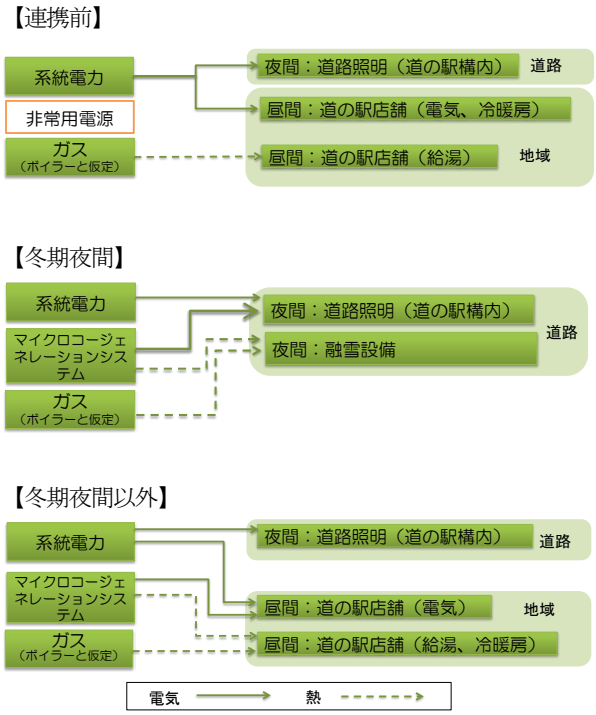


図-4　道の駅Aの連携案

(4)　連携効果の試算

本連携案（5kWのマイクロコージェネレーションシステムを導入し，店舗，道路管理施設照明および融雪設備へ電気および熱を供給した場合）と，現在の設備に電熱式の融雪設備を導入した場合とを比較すると，一次エネルギーが283.3 MWh（約23.7 %）削減される結果が得られた（**表-1**）．建物形状より，建物は1階建てと仮定して床面積を計算し，燃料消費原単位，月別時刻別燃料消費割合[3]より，営業時間を考慮して電力消費量および熱消費量を試算した．

表-1　導入効果試算結果

		供給方法	消費量 (MWh)	一次ｴﾈﾙｷﾞｰ (MWh)
連携前	館内照明	系統電力	276.4	690.9
	給湯	ガス	28.2	28.2
	冷房	系統電力	40.8	306.3
	暖房	系統電力	11.4	85.8
	道路照明	系統電力	33.3	83.2
連携後	館内照明 道路照明	系統電力	288.2	720.4
		ガス（コージェネレーション）	21.5	25.3
	熱需要	都市ガス	132.2	165.3

(5)　概算費用と投資回収期間

表-2に示すとおり，概算費用を試算し，燃料消費量の変化と合わせて計算すると，投資回収期間は23.4年となった．

一方で，経済産業省では，分散型電源導入促進事業費補助金を制定しており，発電出力5 kW以上かつ省エネルギー率10 %以上の施設を地方自治体等が導入する場合には，半額相当の補助を受けられる．この制度を活用することを前提とすると，投資回収期間は11.7年と短縮され，法定耐用年数の15年と比較し，導入可能だと考えられる．

表-2　概算費用試算結果

		現況	対策後	差
燃料消費量	系統電力（MW/年）	361.9	288.2	-73.7
	ガス（千 Nm^3/年）	2.2	12.0	+9.8
運用費用	電気代（万円/年）	828	659	-169
	ガス代（万円/年）	35	193	+158
	合計（万円/年）	863	852	-11
初期費用	マイクロコージェネレーション（万円）	0	264	+264

(6)　導入への課題

本連携案では，都市ガスからマイクロコージェネレーションシステムへガスを供給する仕組みになっている．当該地域は都市ガスの供給区域ではあるが，主要導管は繋がっていないため，インフラ整備が必要となる．また，

施設管理上，国道事務所側が非常用電源の代替としてマイクロコージェネレーションシステムを設置することになるが，主な利用者は店舗（地方自治体）となるため，供給方法，費用負担等を定めることが課題となる．

本稿の検討は，道の駅構内に限ったエネルギー面の連携であるが，周辺に地域の施設がある場合は，同様の仕組みで連携していくことで，広範囲のエネルギー需給バランスを調整することができ，よりエネルギー削減効果が得られると考えられる．

また，沿道に設置されている公衆街路灯契約の道路照明や，今後導入促進が期待される法面や高架下で発電した電力も合わせてエネルギーをマネジメントすることで，さらなるエネルギーの有効活用につながると考えている．

4. おわりに

本稿では，道路での電力需要を把握した．周辺地域と道路が連携する仕組みは，エネルギーの需給バランスを調整し，エネルギーを削減する結果が得られたが，経済性の面で課題があることもわかった．

引き続きエネルギーに関する情報収集を進め，今後も道路施設におけるエネルギーの有効利用について検討していきたい．

謝辞：本稿に示したデータは，国土交通省各地方整備局等の多大なるご協力のもとに収集したものです．関係各位に心から謝意を表します．

参考文献

1) 日本道路協会：道路照明施設設置基準・同解説，2007.
2) 日本道路協会：道路トンネル技術基準（換気編）・同解説　平成 20 年改訂版，2008.
3) 日本エネルギー学会：天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル 2008，2008.

建築確認検査における電子申請への BIM応用技術の開発

武藤　正樹[1]

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

建築確認手続きにおいて，指定確認検査機関では，図書保存と申請図書の整合性確認に相当の資源と労力を払っており，電子申請等による図書の授受ともに，電子図書の内容を情報として抽出し，審査に活用する期待が高まっている．我が国では，H27.1には指定確認検査機関において，電子申請による建築確認が行われているが，BIMを用いた建築確認に係る情報のやりとりについては，まだ行われていない．本研究は，電子図書の内容について，建築物の形状と属性情報を一元的に取り扱う事の出来るBIMの技術を用いた情報の収蔵法を開発するとともに，その開発過程や電子申請による取扱いについて検討を行ったものである．

キーワード　建築確認検査，電子申請，整合性，BIM，IFC，ビューア，ASPシステム

1. 研究目的及び経緯

建築設計の分野では，「ビルディングインフォメーションモデリング（BIM）」の活用事例も増え，今後一層普及する状況にある．このような背景の下，BIMで設計した建物について，設計情報が一元化されたデータを申請図書として申請者が提出し，審査側でその内容を閲覧，審査しその後の図書保存を電子的に行うことで，審査者側の申請図書の記載内容の整合性確認に係る労力の削減，情報化に伴う図書保存の合理化が，また，申請者側も，紙図書作成手間や審査期間短縮のメリットが期待される．本課題は，所内に「建築物の技術基準への適合確認に供する電子申請等の技術検討WG」（主査：寺井達夫千葉工業大学准教授）を設置し，技術基準の適合確認に必要なBIMによる設計情報の記述表現方法，適合確認業務における情報の管理に係る電子申請等の技術的仕様について，3つのサブテーマを設定し検討した．

1. 建築物の技術基準への適合確認における電子申請等の技術の開発ステップの検討
2. 電子申請等の技術に求められる情報とその表現，管理手法の検討
3. BIM利用を想定した電子申請等の技術のプロトタイプの作成と利用性検証

2. 海外における確認審査業務へのBIM応用の状況

BIMは，建築物（Building）に関わる情報（Information）を建築の立体的な形状とともに設計，施工，維持管理の段階で共通して利用できるように構造化（Modeling）して取り扱う技術のことである．

建築物の設計は図面として表現され，図面をコンピュータ上で表現する場合，従前はCADソフトウェアを用いて作図することになる．この場合，コンピュータ上では，図面を線分，円，円弧といった描画要素として取り扱う事で図面の表現をおこない，CADソフトウェア上で描画する形状の建築物の意味を，ソフトウェア固有の方法で情報を蓄える．これに対し，BIMソフトウェアでは，立体形状と属性情報を併せ持つことのできるIFC（Industrial Foundation Class）により，コンピュータ内に仮想の建物を造るように建物をモデルとして作成し，図面として表現するとともに，その部位に関する属性情報も収蔵できる（図1）．

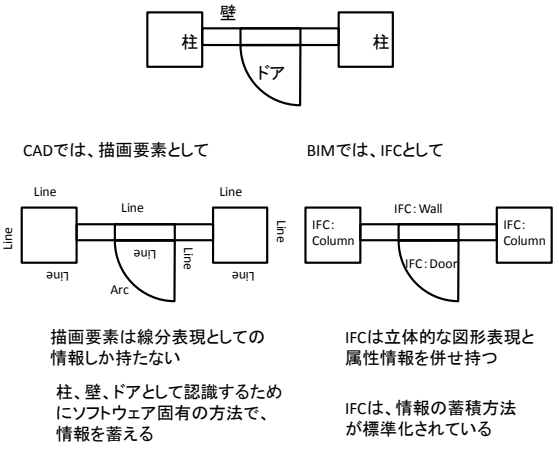


図1　CADとBIMの図形表現の相違

BIMの効用は，当初，設計段階において建物を1つのモデルとして取り扱い，そのモデルを用いて，設計物自体，あるいは，設計部位間の干渉の状況や，各種のシミュレーション結果を3次元表示させる「ビジュアライゼ

ーション」に力点が置かれた．BIMのビジュアライゼーションは，設計段階における施主，設計者，施工者等の合意形成を円滑にし，設計業務のフロントローディングによる生産性の向上をもたらした．現在ではビジュアライゼーションに加え，設計段階のみならず，施工段階，あるいは維持保全段階において，従前は個別に行われてきた情報伝達を，各段階間の異業種他社間において１つのBIM建物モデルデータを共有参照して行う取組みも現れてきている

この取組みは，建築設計，施工あるいは共用に至る建築主側の取組みを示しているが，設計情報を審査側となる行政との情報共有に活用する動きが出始めている．

表１　海外における確認審査へのBIM応用事例

調査国（調査年月）	シンガポール（H25.9）	韓国（H26.2）	フィンランド（H26.5）
電子申請基盤名	CORENET	SEUMTER	TEKLA-GIS Lupapiste.fi
提出ファイル	2D，BIMモデル（提出先による）	2D+BIMモデル（BIMは任意）	2D
BIMモデルを用いた審査	実施中	試行段階（地域限定，任意）	試行段階（数例）
BIMモデルによる審査内容※1	・提出前自己チェック， ・容積率（GFA）算定	設計内容に係る審査協議	（詳細不明）
BIMモデル提出様式	ネイティブファイルを求める Revit，ArchiCAD	IFCを求める	IFCを求める（COBIM-Part14で定義）
提出後のアーカイブ※2	2D図面ファイルをプリントアウトし，マイクロフイルムで永年保存	電子ファイルでの保存	現時点で紙図書 将来は，電子ファイル（PDF/A）による保存を予定． 永年保存
開発実施体制	国内外企業の開発（政府主導）	国内企業の開発（政府主導）	国内企業の開発（民間/政府主導）

※１　BIMモデルを提出させる場合においても，BIMモデルで審査する内容は，確認審査の一部分に留まり，2次元図面（PDF）による審査を行っている．

※２　モデルデータについては参照用として，審査側にて，必ずしも電子的に保存されてはいない

3. 電子申請等の技術の開発ステップの検討

建築物の技術基準への適合確認においては，建築設計上の情報が申請図書に漏れなく記載されると共に，その記載内容について十分な整合を図る必要がある．改正建築基準法の施行による確認審査等の厳格化に伴い，申請図書の不備に対する補正の手続きも厳格化され，確認検査機関では申請図書の記載内容について，整合性の確認に相当の労力を払っている．建築確認審査の迅速化を進めるためには，申請に係る記載内容の整合性確保につながる対策が必要となっている．

また，確認審査等の厳格化と合わせて確認審査機関等における図書保存期間が15年に延長となったことから，確認審査機関では，整合性確認の負担に加え図書保存の負担が一層大きくなる結果となった．この2点を確認審査上の隘路として，これらの隘路を提出する申請図書の電子化による情報化の度合いを大まかに3段階に設定した上で，各段階に必要な措置について下記のように整理し，これを「電子申請等の開発ステップ」と定義をした．図2はその模式図で，表2は，BIMの利用の有無等による提出図書間の整合性担保の度合に注目した概要を表したものである．海外調査の結果，我が国において中期的に対応する開発ステップは，書面とIFCモデルデータを併用する「ステップ２＋」の段階が妥当であると判断した．

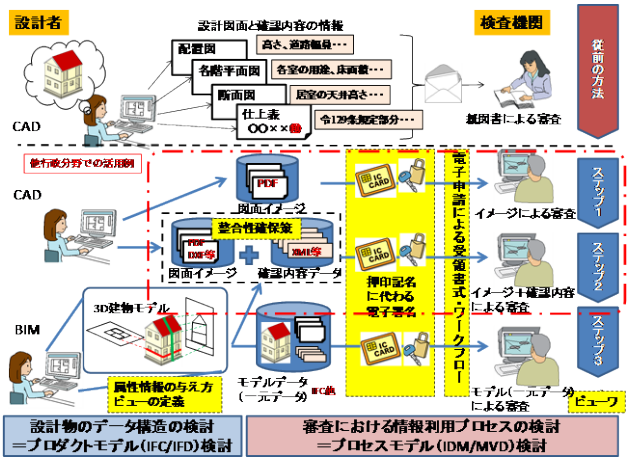


図２　開発ステップの定義

表２　開発ステップの概要

Step		開発段階	提出されるデータ内容	提出図書間の整合
0	CAD BIM	従前の方法	－	－
0+	CAD BIM	従前の方法＋様式データ（FD申請）	様式データ（XML，XLS，CVS等）	－
1	CAD BIM	スキャンされた申請図書の電子提出	－	－
1+	BIM	Step1のBIMモデルによる図面作成	BIMソフトウェアで編集された印字	○
2	CAD BIM	Step1+様式データ	様式データ（XML，XLS，CVS等）	－
2+	BIM	Step1+IFCモデルデータ	審査対象の識別が可能なIFCモデルデータ	○○
3-	BIM	IFCモデルによる部分的な自動審査	部分的な審査要素を含むIFCモデルデータ	○○
3	BIM	IFCモデルによる完全な自動審査	完全な審査要素を含むIFCモデルデータ	○○○

この開発ステップは，諸外国における電子申請による確認審査の技術的な発展過程と対応しており，この開発ステップ用いて，電子申請等の技術開発段階を評価する尺度として利用できることを明らかとした．

4. 電子申請等の技術に求められる情報とその表現，管理手法の検討

設計情報が一元化されたBIM建築モデルデータから，申請者が，各種技術基準の適合確認のために整合性の高

い申請図書を出力するためには，BIMモデルデータ上に建築確認審査で明記すべき事項を明示的に収蔵させる必要がある．設計実務に供されるBIMソフトウェアでは，ソフトウェア固有の方法でこれらの情報を収蔵することが可能であるが，行政手続としてこれらの情報を取り扱うことを考慮すると，規格化された方法で情報を取り扱うことが求められることから，BIMデータモデルの規格であるIFCを用いた方法を開発した．また，「ステップ２＋」では，BIMモデルから生成される，審査用図書を別途生成する必要があるため，建築確認審査IFCモデルと申請図書との整合性確保策についても検討を行った．

表2に示すように，「ステップ２＋」では，審査対象の識別，すなわち，申請図書の記載事項の有無が分かればよい．そこで建築確認審査IFCモデルに収蔵させる情報について，下記の申請書，法的に申請図面上で明示することを求める項目について，情報の構造化を行い，個々の項目について，建築確認申請書，明記事項それぞれのIfcPropertySetと定義し，その内容をIfcPropertyとして，単一値（SingleValue）あるいは複合プロパティー(ComplexProperty)として定義した（図3）．

- 建築確認申請書の第二号，第三号様式に記載の事項
- 建築基準法施行令第十条第四号に基づく，適合確認の行う申請図書と対応する法令に記載の事項

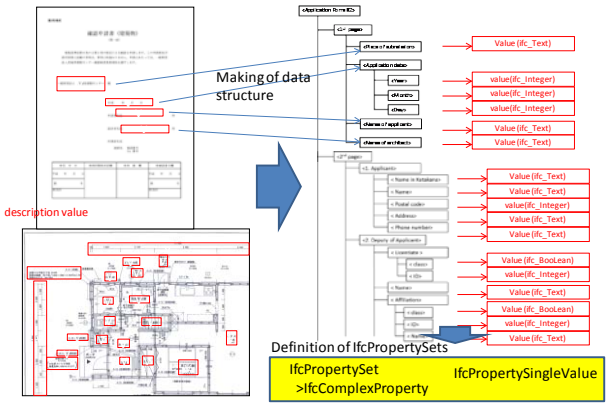
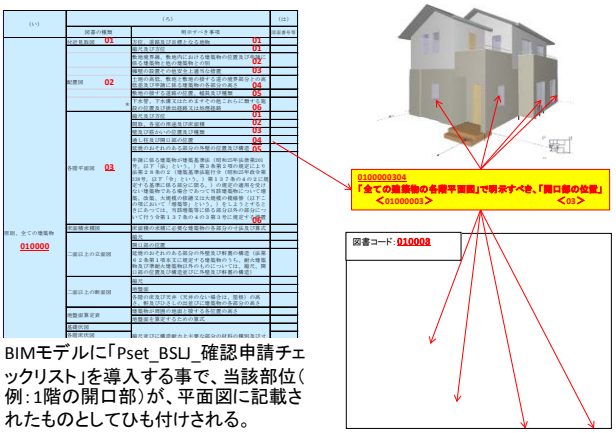


図３　確認申請図書の構造化とプロパティ定義

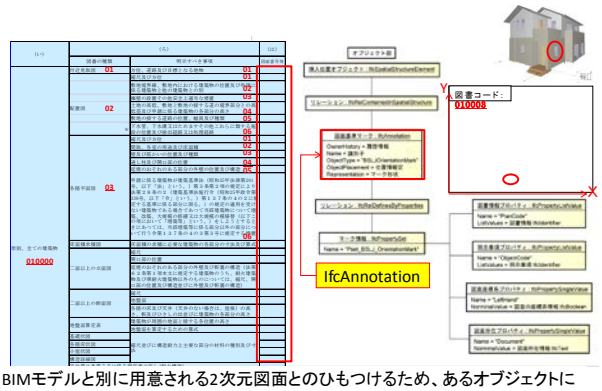
このうち，明記事項の情報の構造化については，設計された建築物の部位について，平面図，立面図等のどのような種類の図面に，どのような内容を明示しなければならないかが指定されているため，当該部位の持つ明示すべき内容と表現されるべき申請図面の番号をコード化して収蔵させることとした（図4）．

次に，建築確認審査IFCモデルと，出力される明記事項に記載される内容が，別途出力される申請図面上のどの位置に表現されるかを，IfcAnnotationにより情報を保持することにより，審査IFCモデルと申請図面間の関係性を担保し，整合性確保につなげる方法を考案した（図5）．



BIMモデルに「Pset_BSIJ_確認申請チェックリスト」を導入する事で、当該部位（例：1階の開口部）が、平面図に記載されたものとしてひも付けされる。

図４　明記事項と審査対象表現とのひも付け



BIMモデルと別に用意される2次元図面とのひもつけるため、あるオブジェクトについて、「どの図面」の、「どの位置」に、「どの明示項目」が表示されているかをIfcAnnotationとして定義　→IFC確認申請モデルで、添付図面を整合化

図５　IFC表現による表現位置の同定と整合性確保

5. BIM利用を想定した電子申請等の技術のプロトタイプの作成と利用性検証

(1) 審査ツールの開発

確認審査ツールの要求仕様を表3に示す．申請データの閲覧機能は，建築物の確認審査において，申請図書を代替する建築物の電子データを，紙図書による審査と同等となるように閲覧出来る機能で，業務支援の機能である．申請データの確認，記録機能は，紙図書による審査で行われている，提出された紙図面に印や付箋を付ける等して，審査過程における一時的な記録や審査者間の連携を図る事を，確認図書の電子ファイルと整合する建物モデルの双方について，紙面審査と同様な審査過程を記録できる機能を指している．

「ステップ２＋」では，2次元図面のファイルと3次元モデルの双方を取り扱うため，相互に継ぎ目なく閲覧出来る事が求められる．また，審査過程で審査者が一時的に記録する印や付箋等の情報は，提出される申請ファイルの原本性を損なうことが無いよう，当該情報が別途記録される必要がある．

審査ツールは，申請者側において，提出する申請データの確認や，審査記録の確認の用途にも用いることが可能である．このため，ソフトウェア機能の動作権限を切換えることにより，申請者，審査者双方で利用できるプ

ログラムとして開発を行った.

表３　確認審査ツールの要求仕様

主な機能	機能の内容
申請データの閲覧機能	・帳票ビューの表示 ・2次元図面ビューの表示 ・添付書類ビューの表示 ・3次元形状ビューの表示
申請データの確認，審査過程の記録機能	・審査者間の連携記録 ・対申請者の連携記録

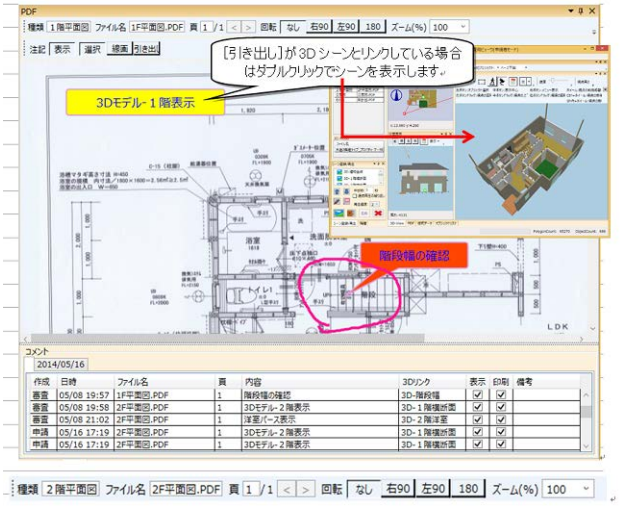


図５　確認審査用ツールのスクリーンショット

⑵ 検査ツールの開発

検査ツールの要求仕様を表4に示す．建築確認を経て着工した建築物の中間・完了検査で，確認申請図書を現地で閲覧する事を想定し，タブレット端末において指操作で動作するプログラムとして開発した.

表４　検査ツールの要求仕様

主な機能	機能の内容
確認図書データの閲覧機能	・帳票ビューの表示 ・2次元図面ビューの表示 ・添付書類ビューの表示 ・3次元形状ビューの表示
検査業務の遂行を支援する機能	・モデルビュー切換え ・プロパティ内容確認

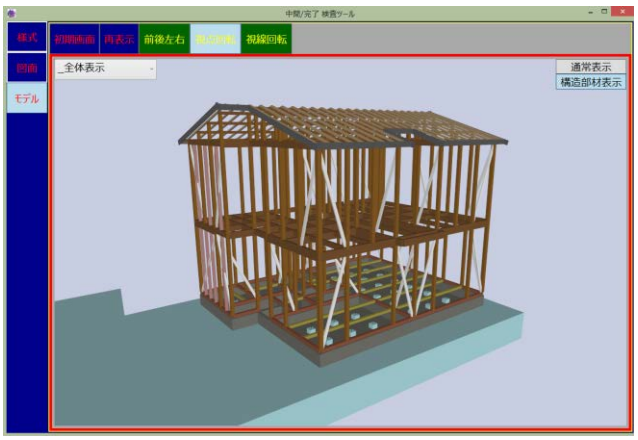


図６　中間・完了用ツールのスクリーンショット

⑶ 確認検査業務ASPの開発

確認検査業務ASPの要求仕様を表1に示す．今回開発した確認検査業務ASPは申請者が作成する建築確認用の電子データが，審査者側で，確認検査業務のワークフローに基づき，審査者側に確実に情報を伝達，管理するための仕組みであり，閲覧審査のためのビューワ，エディタの機能を求めるものではない.

電子申請において，紙申請における署名押印の代替となる電子署名については，電子認証サービスとの連携が必要となり今回開発した確認検査業務ASPでは，その操作について模擬的に再現するにとどめている.

表５　確認検査業務 ASP の要求機能

申請者・審査者間ワークフロー	申請書データの受理・発行機能 事務連絡機能 （申請費用等の決済）
審査者内ワークフロー	図書管理機能 発行決済手続き機能 審査過程記録機能 図書保存機能
電子署名・認証	提出図書への電子署名機能 保存図書への電子署名機能

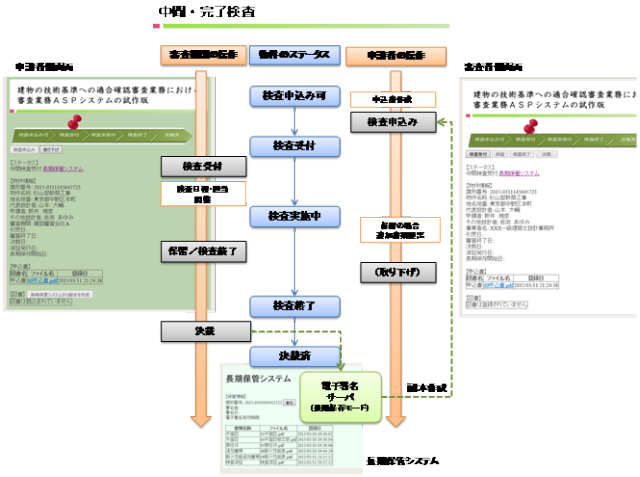


図７　確認検査業務ASPのワークフローと画面遷移の例

6. まとめ

本課題は，重点的研究課題「建築物の技術基準への適合確認における電子申請等の技術に関する研究」として，H24～26年度の3カ年実施されたものである．研究に当たり，(一財）建築行政情報センター，（一社）IAI日本他との連携を図り，概ね当初計画通りの研究成果を得た．上記の検討結果は,適時的に講演会[1]等による発表を行うとともに，「開発ステップ（案）」，「情報表現・管理手法ガイドライン（案）」，「審査・検査ツール」，「ASPシステム」等の技術的仕様について，報告書の他，プロトタイププログラムとして公表予定である.

参考文献

1)武藤正樹：「建築物の確認審査における電子申請対応と BIM 応用の可能性」、H25 年度（独）建築研究所講演会テキスト

GPS計測を用いたロックフィルダムの計測精度向上の取り組み

曽田　英揮[1]・太田垣　晃一郎[2]・佐藤　信光[3]

[1]（独）水資源機構　総合技術センター　ダムグループ（〒338-0812 埼玉県さいたま市桜区大字神田936）

[2]（独）水資源機構　利根導水総合事業所　工事課　（〒361-0004 埼玉県行田市大字須加字船川4369）

[3]（独）水資源機構　総合技術センター　（〒338-0812 埼玉県さいたま市桜区大字神田936）

ダムの堤体変形計測は，河川砂防基準に定められた必須項目であり，施設の適切な安全管理には正確かつ継続的なデータ蓄積が重要である．しかし，堤体変形測量は，その頻度が低いことからその精度が観測者や計測手法のわずかな違いにより影響を受ける可能性がある．そこで，徳山ダム，阿木川ダム，香川用水調整池では，連続かつ高精度の観測が可能なGPSによる堤体変形計測を試験的に導入している．本論文では，これまでに蓄積した機構ダムのデータを基に，GPSによるロックフィルダムの鉛直方向計測値の精度向上を行い，併せて高精度，連続観測という特徴を生かした，GPS計測結果に基づく水平変形の予測手法の提案を行うものである．

キーワード　堤体変形，GPS計測，ロックフィルダム

1. はじめに

近年，高度成長期に建設された構造物の老朽化が話題になり，社会的インフラ設備の補強，改築の実施や検討が行われている．これら施設を適切に維持管理し，適切な補強や，改築を実施するには，構造物の現況を把握しておくことが重要である．水資源機構においても牧尾ダムのように竣工から50年以上が経過しているダムもあり，総合技術センターでは，これまで機構が所管する8基のロックフィルダムの堤体計測データの蓄積を実施することにより，横断的な安全性の確認や堤体挙動の評価を行ってきた．

これら堤体計測のうち堤体変形測量は，河川砂防基準に定められている必須項目である．しかしながら，堤体変形測量は，その頻度が低いこと，その精度が観測者や計測手法のわずかな違いにより影響を受ける可能性があり，計測により数値が変化したときに，誤差の範囲なのか，または計測上の問題が発生したのかの判断が常に求められるものとなっている．

一方，堤体計測の高度化の一環として，斜面計測に用いられるGPS計測を用いられる事例が増加している[1)]．GPS計測は連続，高精度，3次元での計測を可能としており，堤体計測に用いた場合には従前の手法より正確な計測，地震時等の変位の早期発見などの効果が見込まれるとされている[2)]．

水資源機構においてもGPS計測についてはいち早く取り組んでおり，阿木川ダムをはじめとしていくつかのダムにおける計測結果がある[3)]．これら計測結果に基づき詳細に分析することで，ダムの健全性評価手法を高度化する必要がある．これら手法の高度化に当たっては過去の実測記録に基づく傾向の分析[4)]に基づき，定量的な将来予測を行う必要がある．

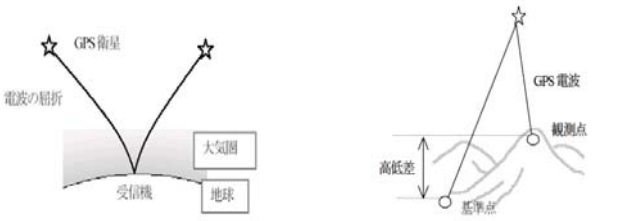
本検討ではこれらを踏まえ，2.において徳山ダムにより得られたデータに基づきGPS計測において発生するとされる鉛直方向変位[5)]の補正方法について検討した．加えて3.ではダムの上下流変位について，詳細に検討することにより中・長期的な堤体挙動の安定性確認手法について検討を行った．以上により計測精度の向上と，適用性向上についてとりまとめたものである．

2. 鉛直計測結果の補正

(1) 鉛直方向誤差の原因と補正方法

GPS計測に用いる衛星からの電波は**図-1**に示すように，大気圏で屈折し，遅延することが知られている．数kmの距離までの計測においては水平方向での遅延による差は無視できるほど小さいものの，高低差をもつ観測では，これら屈折による遅延の影響が無視できないものとなってくるとされている．

これら大気圏内での遅延について，増成ら[6)]は修正Hopfield 法等により補正する方法を提案している．一方で水資源機構では，現地で得られた固定点間に発生するゆらぎに基づき補正する手法[7)]を検討している．今回，



GPSの電波は大気圏中で屈折する。
基線長が数 km 以下では同じ気象条件の大気の中を伝播するとして良いので大気圏内での屈折は相殺される

ところが高低差があると高さ方向には気象条件は相殺されない

図-1　高低差による電波経路長の相違

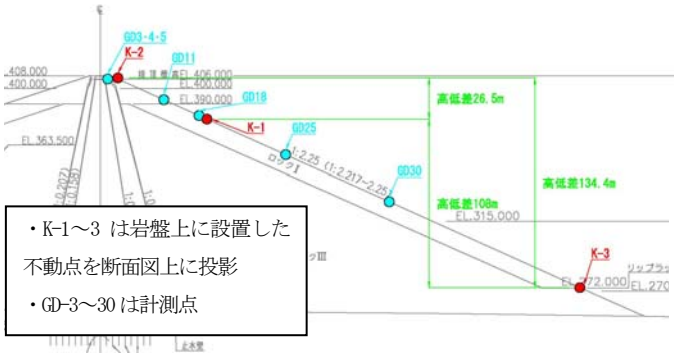


図-2　観測点および基準点の配置

図-2に示す徳山ダムの3固定点（K-1,K-2,K-3）により計測されたデータを用いてその適用性について検討し，現地気象との比較も含めてどの手法が有効かを確認したものである．

(2) 補正式

補正のための式として，修正Hopfield法による補正式を**式-1**に示す．**式-1**によれば，これら誤差は，乾燥大気による屈折と，水蒸気による屈折により発生するとされている．気圧については直接計測が可能であるが，水蒸気については直接計測が困難であることから気温に基づく飽和水蒸気量に当該地点における湿度を乗ずることにより計算することが一般的に行われている．

一方で**式-2**は，実測に現れる振れ幅の発生量が**図-3**に示すように比高差に概ね比例することに着目し，**式-1**に示されるような乾燥大気・水蒸気のように原因を分別せず，固定点間の計測値を補正に用いようとするものである．

$$\Delta R_{m.hop} = 10^{-6}\int N_{dry}\,ds + 10^{-6}\int N_{wet}\,ds$$

$$N_{dry} = N_{d,0}\left(1-\frac{h}{h_d}\right)^4 \qquad N_{wet} = N_{w,0}\left(1-\frac{h}{h_w}\right)^4 \quad \text{(式-1)}$$

$$N_{d,0} = \frac{77.64P}{T} \qquad N_{w,0} = \frac{0.373\times10^6 e}{T^2}$$

ここに，$\Delta R_{m.hop}$：対流圏遅延量(mm)
N_{dry}：乾燥大気の屈折性,N_{wet}：水蒸気の屈折性,
$N_{d,0}$：乾燥大気の標高0mの天頂方向の屈折性,
$N_{w,0}$：水蒸気の標高0mの天頂方向の屈折性,
h_d, h_w：乾燥大気，水蒸気の最大高
h：標高，T：絶対温度(K)，p：大気圧，e：蒸気圧

$$K = M - T_k \times \frac{h}{h_k} \qquad \text{(式-2)}$$

ここに，K：補正後の変位
M：補正前の変位
T_k：ゆらぎ量＝基準点間の計測値
h：計測点と基準点の高低差
h_k：基準点間の高低差

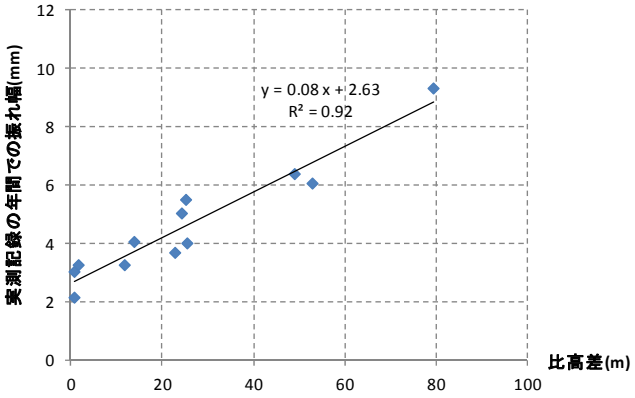


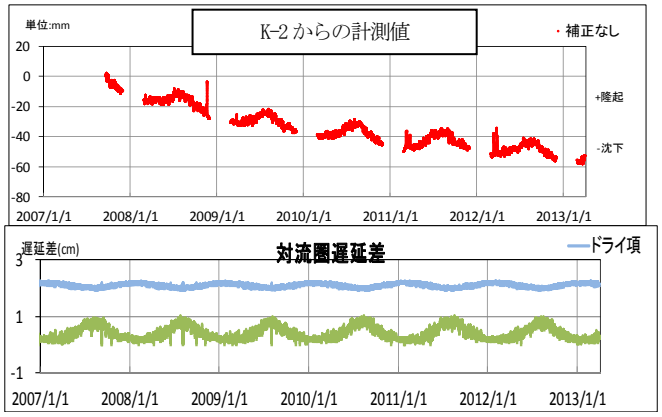
図-3　点間の比高差と年間の振れ幅の関係

(3) 補正結果

図-4にGD-30をK-2から計測した場合の計測値，および気象条件により求めた修正Hopfield式による補正値を示す．補正値グラフの上は**式-1**右辺左項に示すDry項（乾燥大気による屈折分の補正）で，下は**式-1**右辺右項に示すWet項（水蒸気による屈折分の補正）である．観測点であるGD-30は概ねダムの中間標高にあたり，K-2との比高差は概ね80mである．徳山ダムは豪雪地帯であり，概ね12月～2月までの計測は，GPS計測機器が積雪に埋没して計測できない．そのため当該期間のデータは削除されている．一方，対流圏補正値によれば乾燥大気による補正は年間の最大と最小との差で5mm未満である一方，水蒸気に関わる補正量は年間の最大と最小の差が1cm以上あることがわかる．また，GD-30の計測値では夏場に隆起し，冬場に沈下する傾向にあるが，気圧により決定されるドライ項の補正量は夏場小さくなり，水蒸気により決定されるウェット項の補正量は夏場大きくなる傾向にある．実測における変動の状況は，ウェット項の補正量と同様な挙動を示している．

GD-30の補正を行わない計測値および**式-1**および**式-2**

式による補正結果を図-5に，式-2における補正条件を表-1に示す．補正なしの場合には，年間で1cm以上の幅の変動があり，mm単位での変形を計測することが困難な状況である．一方で式-1，式-2の補正結果はいずれの方法も若干の変動がある程度となっている．これらについてより詳細に見るために各補正法による補正結果を並べてみたものが図-6である．図-6によれば，現地気象を用いて式-1による補正を行った際にも若干の年間の変動が残っていることがわかる．式-2による方法はいずれも大きな差を生じていないことから，この程度の外挿・内挿の範囲であれば同等の補正が可能であると考えられるが，外挿の倍率が大きくなると，基準点間で発生するノイズが大きくなる可能性があることから，可能であれば内挿の範囲で基準点を設置することがより良い結果になるものと考えられる．



（補正値　上Dry項，下Wet項）

図-4　K-2からのGD-30計測結果（比高差80m）および修正Hopfield法による補正量

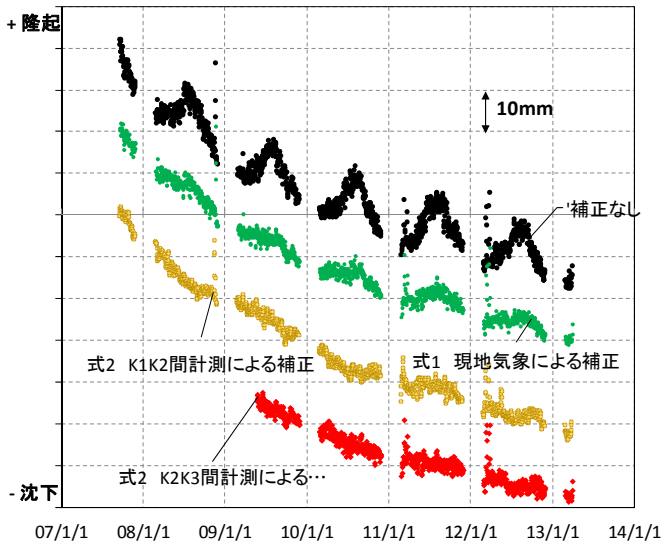


図-5　各補正法による補正結果

表-1　式-2による場合の補正条件

	K1K2による補正	K2K3による補正
基準点～GD-30間の比高差	約80m	約80m
基準点間の比高差	26.5m	134m
補正の方法	外挿	内挿

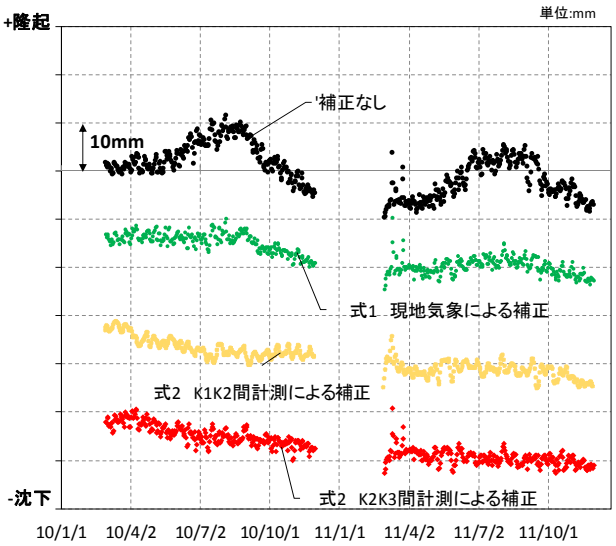


図-6　各補正法による補正結果（拡大）

3.　水平変位の将来予測に関する検討

(1) ロックフィルダムの水平変位

ロックフィルダムの変形および沈下について，総合技術センターではこれまで，変形・沈下の要因分析[4]を行い，さらに，多くのダムの沈下事例が図-7に示すように対数軸で直線性を有することに着目して既往の光波測量による沈下実績に基づく将来予測手法を提案[8]している．

一方で，水平変位については図-8に示すように一定以上の水圧が継続して掛かることによる粘性的な挙動と，水圧の変化に対する弾性的な挙動，加えて上流側ロックゾーンの浸水沈下が混在している．しかしながら光波測量による計測頻度は試験湛水時においても1回／週であり，ダムの水位変化がこれに対して大きいことから，これまで将来予測・評価が困難であるため，これまでの挙動評価は主として定性的な評価が主であった．

これら粘性的な挙動と弾性的な挙動を分離することができれば，今後のダムの挙動評価に定量的な指標を加えることが可能と考えられる．筆者らはGPS計測による精密な連続計測結果を用いることで，ダムの水平変位挙動を詳細に観察し，粘性的な挙動と弾性的な挙動を分解することを試みたものである．

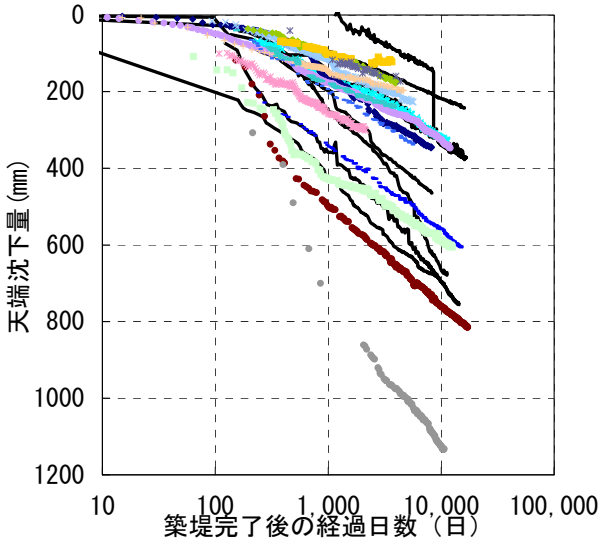


図-7　ロックフィルダムの沈下量

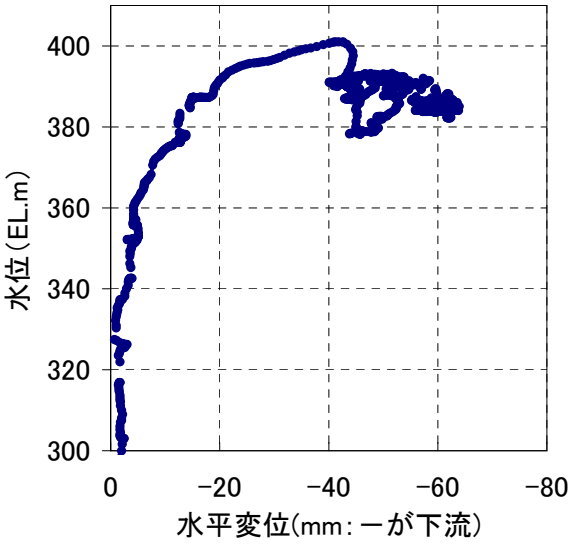


図-10　徳山ダム水位と水平変形量との相関

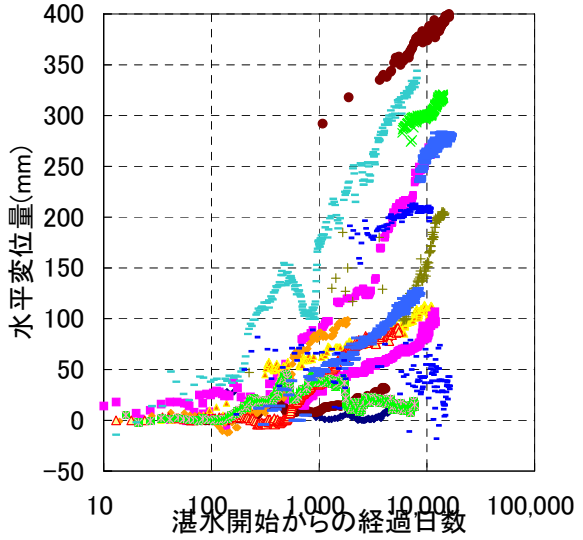


図-8　ロックフィルダムの水平変形量

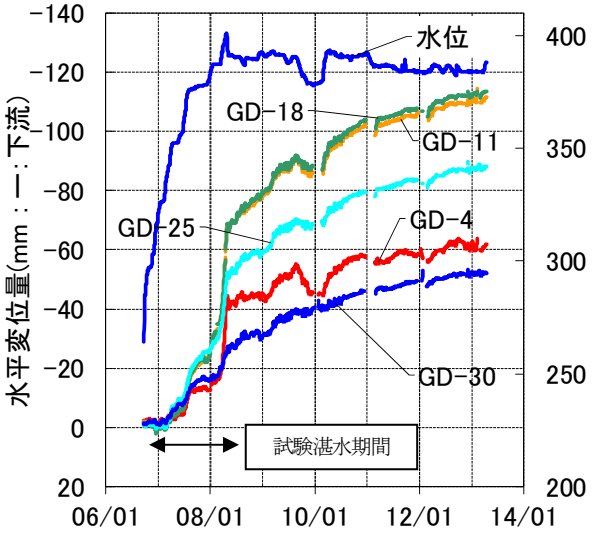


図-9　徳山ダム水平変形量の経時変化

(2) 評価対象のダム

評価の対象としたのは徳山ダムである．徳山ダムでは試験湛水開始より連続計測を実施しており初期の塑性変形，その後の弾性変形への変化をGPSでとらえられている．徳山ダムの水平変形量の経時変化および水位との相関図を図-9,10に示す．

(3) 評価の方法

水平変位は水圧による水平方向の圧密変形と水位変化による弾性変形の重ね合わせで示されるのではないかと考えた．仮にこの考えが妥当であれば，現在は傾向管理的な安定性評価をしている水平変位データも数値基準を持った安定性評価に替えられるのではと考えた．

評価の手順を以下に示す．

① 水平変位の全体像をとらえるために，図-11のとおり沈下と同様に日付を対数として，直線性を有すると考えられる期間を設定した．対象期間は検討の目的である，長期的な挙動を評価可能な範囲を考慮した．

② ①で選定した期間において図-12のとおり，同一水位時の水平変位量を選定し，時間軸に対して対数近似した．

③ ②で求めた対数近似式を実際の変形量から差し引き，図-13のとおり水位との関係を求めた．

a) 水平変位を想定する為の期間の設定

長期的な変形量を求めるために，試験湛水完了後からの経過日数と変形量の関係をプロットしたものが図-11である．図-11によると，水平変形量は200日を超えたあたりから時間の対数と線形関係にあるように見える．

図-7に示すとおり，沈下量においては100日経過以降，直線関係となっていることから，水平変形量においても沈下量同様，応力の最大値を経験してからある程度時間

経過して時間の対数に直線的な傾向を示すものと考えられる．

この結果に基づき，試験湛水完了後，200日以降のデータを用いて整理することとした．

b) 同一水位時の水平変位量の選定と対数近似

a)において選定した期間におけるGD-11の変形量を水位別に色分けしたものが**図-12**である．**図-12**の各水位のうち，最も長い期間のデータがある水位EL.382m～EL.384mについて対数近似を行った．その場合の決定係数はR^2＝0.945と概ね良好な相関を示している．

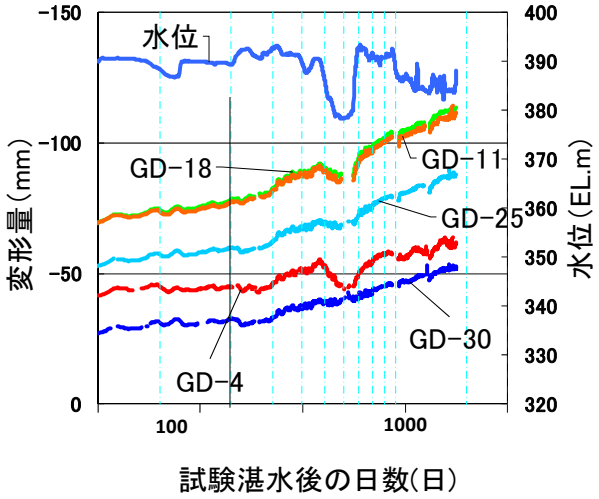


図-11 経過時間と水平変形の関係

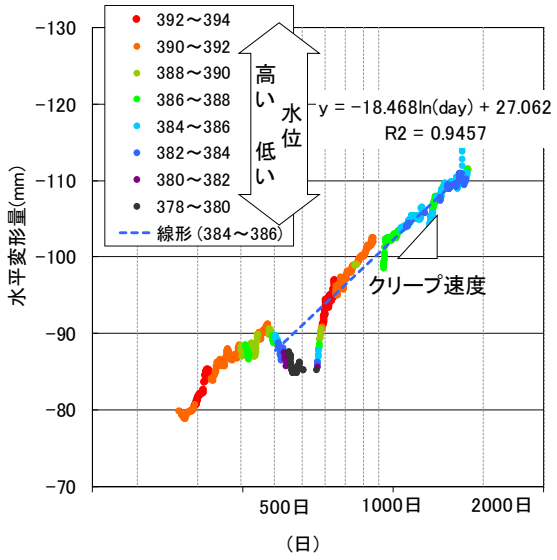


図-12 同一水位条件下における水平変形量の経時変化（GD-11）

c) 対数近似による変形速度の除去

b)に求めた対数近似による変形速度を実測の変形から控除して，水位との関係としたものが**図-13**である．ここで基準水位はEL.383.0mとしている．**図-13**によれば，変形速度を除外した結果，水位と変形は常に一定勾配の軌跡を描いているように見える．この関係に基づき，水位差18mに対して12mmの変位を想定し，0.67×10^{-3}の関係を得た．

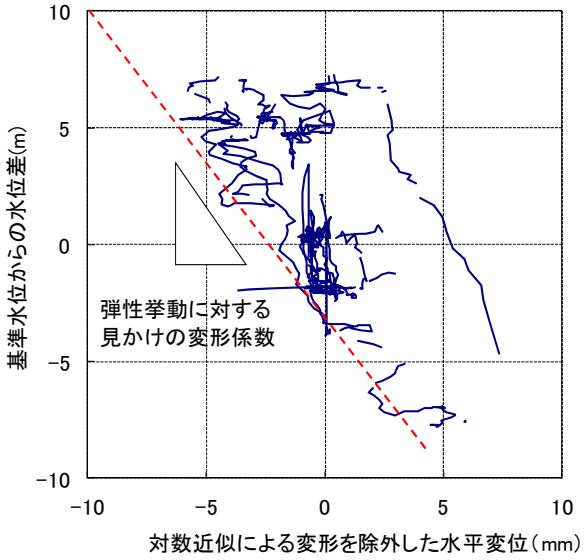


図-13 経時変化分を控除した水平変形量の水位との関係（GD-11）

以上の関係に基づき，徳山ダムのGD-11における実測挙動を経験的に定式化したのが**式-3**である．

$$\delta_h = -18.468\ln(t) + 27.062 + 0.67(h_w - 385) \quad (式\text{-}3)$$

ここに，δ_h：水平変位（mm，下流側を-）

t ：試験湛水完了後の日数（日）

h_w：予測対象日における水位（EL.m）

これら経験的な定式化は，徳山ダムに設置した他のGPS計測点においても実施され，定式化そのものが不可能となる点は存在していないように見えた．

GD-11における堤体の水平変位の実測値と**式-3**による予測値を重ね合わせたものが**図-14**である．**図-14**によれば，実測値と予測値は概ね整合しており，本手法により数年間の記録に基づき整理することで，堤体の水平変位を経験的に予想できる可能性があることが示唆された．

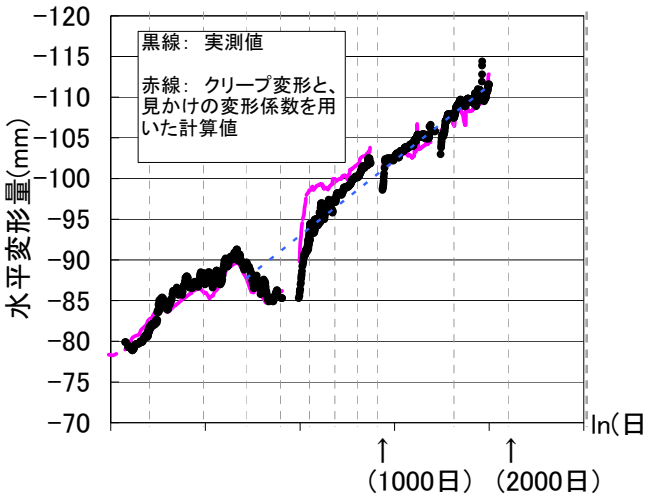


図-14　水平変形量の実測値と予測値（GD-11）

4. まとめ

本論文は，これまで経験的に行われてきたロックフィルダムの挙動評価を既存データに基づき定量化する一環[4),8)]として，GPS計測を用いた変形挙動の計測並びに評価手法について提案するものである．ここでは鉛直並びに上下流変形に着目し，これまでに蓄積した機構ダムのデータを基に，GPSによるロックフィルダムの堤体変形計測精度の向上やGPS計測を採用する際の適用性向上について検討を行った．

2.においては，GPS計測を用いたフィルダムの計測における，鉛直方向の計測値の精度向上を行う事を検討した．

3.においてはGPS計測により得られたデータに基づきダム堤体の水平変形量を予測するための予備的検討として，水位変動に伴う弾性挙動と時間経過に対する粘性挙動に分解することを試みた．

検討の結果，GPS計測において複数の基準点を用いて得られた誤差を内挿または外挿する方法は，鉛直方向の測量誤差を効率的に除去することが可能である事がわかった．本手法は気象データを取り扱うこと無く補正ができることから有効な手法と考えられる．

また，GPS計測により得られる連続かつ高精度な測量結果に基づき，水平変形量を適切に表現することが可能と考えられる．その上でロックフィルダムの定量的な安全管理手法を提案出来ればと考えている．

これらの手法を行うことで，堤体変形の適切な管理と将来予測が可能になると考えられる．今後は今回検討した手法の適用性について他のダムにおける計測結果を踏まえて実用性の確認を行って行きたいと考えている．

謝辞：中部電力株式会社様には，内挿のための基準点データとしてGPS基準点での計測データをご提供頂きました．ここに記し謝意を表します．

参考文献

1)例えば,山口嘉一, 小堀俊秀, 横森源治, 大野誠, 岩崎智治：GPSを用いたフィルダム外部変形計測に関する一考察, ダム工学, 15(2),120-136, 2005.
2)ダム工学会計測管理研究部会：フィルダムの変位計測に関するGPS利用マニュアル, ダム工学
3)曽田英揮, 田口孝男, 福井正泰, 佐藤信光：GPSを用いたフィルダム堤体変形の測定と地震時速報, 水資源機構技術研究発表会, 2005.
4)曽田英揮, 太田垣晃一郎, 佐藤信光：ロックフィルダム計測結果による安全性評価手法, 水資源機構技術研究発表会, 2012.
5)Shimizu, N., Nakashima, S., Masunari, T., ：ISRM suggested method for monitoring rock displacements using the Global Positioning System (GPS), Rock Mechanics and Rock Engineering, 47(1), 313-328,2014.
6)増成友宏, 清水則一：GPSによる地盤変位計測における気象の影響の補正方法の検討, 土木学会論文集 F, 63(4), 437-447, 2007.
7)曽田英揮, 佐藤信光, 自閑茂治, 岩崎智治：GPS計測を用いたフィルダムの堤体計測の高度化の検討, ダム技術, 4-17, 2010.3.
8)太田垣晃一郎, 曽田英揮, 佐藤信光：ロックフィルダムにおける堤体挙動の安定性評価手法に関する検討, 水資源機構技術研究発表会, 2013.

美和ダム再開発湖内堆砂対策施設の水理模型実験による国内初の施設検討

加藤博[1]・大谷賢治[1]

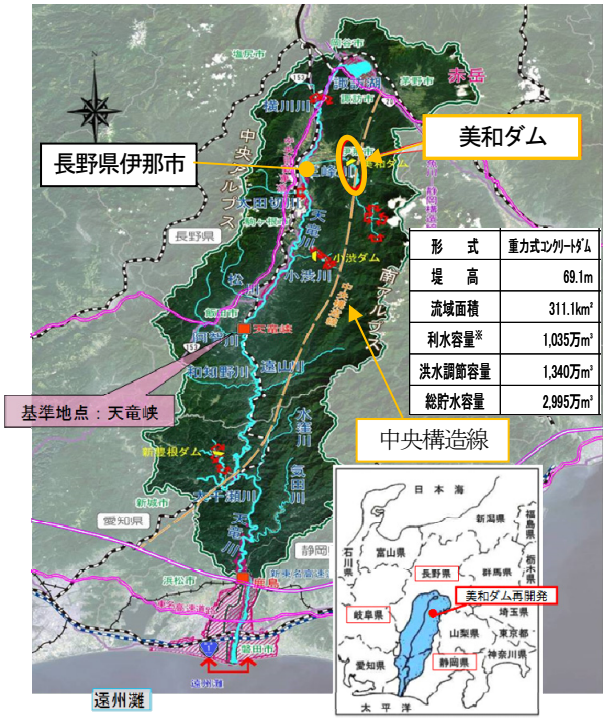
[1]中部地方整備局　三峰川総合開発工事事務所　工務課（〒396-0402 伊那市長谷溝口1527）

三峰川総合開発事業では、既設美和ダムの洪水調節機能の増強を図るとともに、貯水池への堆砂を抑制し、洪水調節機能を保全するための湖内堆砂対策施設の建設に向けた事業を現在進めている。この湖内堆砂対策施設は、ダム湖内に堆積した粒度の細かい土砂を上流に一時ストックしておき、既設の土砂バイパス運用に合わせて洪水の掃流力を利用してバイパストンネルへ排砂する施設である。この方法は、国内では前例の無い排砂方法であり、確実な排砂を可能とするため数値シミュレーションや模型実験を行い、施設検討を行った。本稿はこの施設の検討過程及び結果について報告するものである。

キーワード：ダムの洪水調節機能維持、湖内堆砂対策施設、水理模型実験

1．はじめに

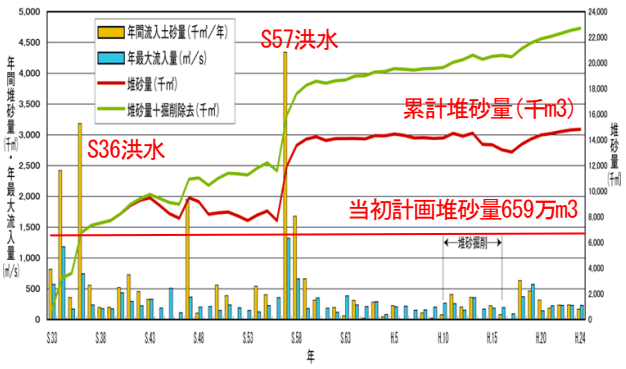
美和ダムは、天竜川上流域の最大支川の三峰川に、洪水調節、発電及びかんがいを目的として1959(S34)年に建設された多目的ダムである。美和ダムの位置と現在の諸元を図－1.1に示す。



図－1.1　美和ダム位置図

三峰川は、南アルプス仙丈ヶ岳（標高3,033m）を源に、中央構造線に代表される多様な断層、脆弱な地質、急峻な地形を流域に有しており土砂生産量が多く、洪水時には大量の土砂が流出する。美和ダムでは、建設当時の堆砂計画として当時予測された年堆砂量40年分の659万m3の堆砂容量を確保していたが、図－1.2に示すように、完成後3年間で約680万m3の土砂が流入し、当初計画堆砂量を超えている。更に、1982(S57)年、1983(S58)年の洪水で約600万m3の土砂が流入するなど、その後の洪水でも大量の土砂が堆積してきた。また、美和ダムに堆積する土砂は、粘土及びシルトの占める割合が多いという特徴がある。

1966(S41)年度より、砂利採取により貯水池内の掘削が行われ、応急的な対応が行われてきたが、大量の流入土砂には対応ができず、抜本的な堆砂対策が求められていた。



図－1.2　美和ダム堆砂量等の推移

そこで、1990(H2)年度より堆砂の進んだ貯水池の洪水調節容量を回復するための堆砂掘削と、貯水池の堆砂を抑制するための恒久堆砂対策を目的とした再開発事業を実施している。2012(H24)年度に特定多目的ダム建設事業から河川総合開発事業へと転換した、現在の再開発事業のメニューを図－1.3に示す。

堆砂掘削は、2005(H17)年度までに洪水調節容量分の約200万m3の掘削を完了している。恒久堆砂対策のうち、土砂バイパス施設は2005(H17)年度に完成し、貯砂ダムで捕捉できない流入土砂のうち47%を下流へバイパスする計画であり現在試験運用中である。また、バイパスされずに貯水池へ流入する土砂のうち、貯水池に堆積し治水機能に影響を及ぼすものについては、湖内堆砂対策施設により貯水池内の治水容量を保全する。本稿は、この湖内堆砂対策施設の検討について報告するものである。

なお、美和ダムの排砂計画は河川総合開発事業化にともない見直しが行われており、年間の土砂収支は、図－1.4に示すように美和ダム湖内の計画対策量は年3万m3としている。

2．湖内堆砂対策施設の概要

ダム湖内に堆積した土砂の対策案として、水中掘削して土質改良し土捨て場へ運搬する案や、出水時に吸引ポンプでダム下流へ排出する案など５案の比較検討を行った。その結果、コスト面、施設操作の容易性及び出水時の機械的なトラブルリスクの面から、土砂バイパストンネル流入部の上流に土砂のストックヤードを設置する案が有利と判断され、その方法についての検討を実施した。

具体的には、分派堰上流に土砂を貯めておくためのストックヤードを建設し、非洪水期に貯水池内の堆積土砂を浚渫し、ストックヤード内に送泥・集積する。その後、出水によりバイパス放流を行う際に、出水の掃流力でストックヤード内の土砂をバイパストンネルへ排砂させるものである。このような排砂方法は、国内では前例のない初めての方法である。湖内堆砂対策システムの概略イメージを図－2.1に示す。

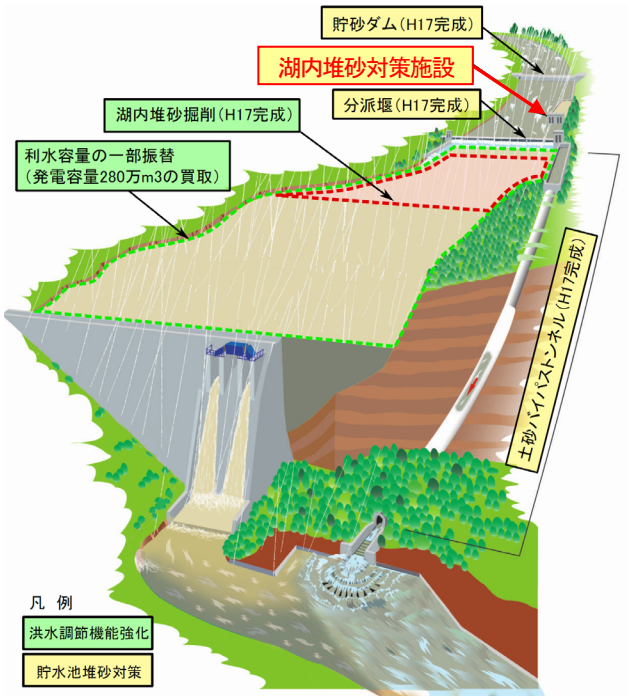
3．ストックヤードの機能と課題の検証方法

湖内堆砂対策施設の構築にあたり、土砂のストックヤードに必要とされる機能を以下に示す。

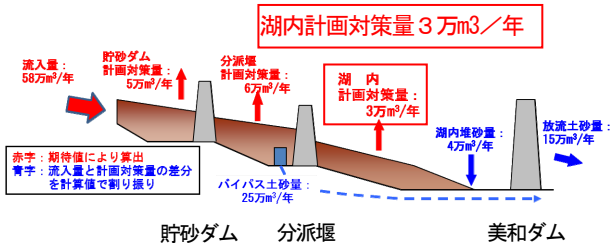
・既設土砂バイパス施設の機能を阻害しないこと
・ストックヤード内に集積された土砂が上流部からの導水により確実に排出され、排出された土砂が確実にバイパストンネルに排砂されること
・計画対策量である最大3万m3の土砂を集積可能な容積を有すること

また、これらの機能を確保するためには以下の課題があげられた。

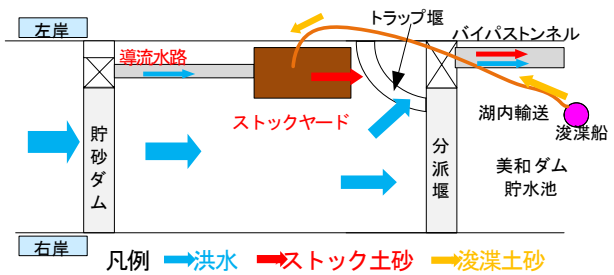
①分派堰上流の流況への影響のないストックヤードの配置。
②バイパストンネル内の維持や下流影響を考慮し、粒径の大きな土砂(φ5mm以上)をトンネルへ流下させないこと。



図－1.3　美和ダム再開発の事業メニュー



図－1.4　土砂収支図



図－2.1　湖内堆砂対策システムの概略イメージ

③ストックヤードに集積する土砂は粘性を有する細粒成分が主体であり、確実な排砂と濁度をコントロールするためにその侵食メカニズムを把握すること。

これらの課題を解決するために、①については分派堰上流域の数値シミュレーション及び全体模型実験、②については全体模型実験、③についてはストックヤード部分を抽出した模型実験を実施し確認を行った。

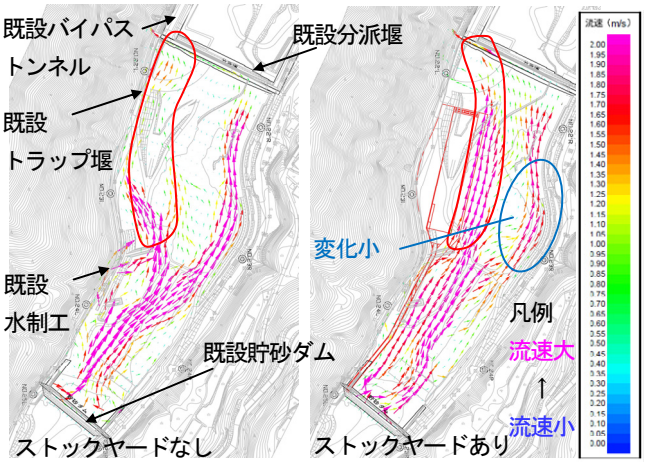
また、前述の必要とされる機能のうち、ストックヤード内に集積された土砂が確実に侵食・排出されることについては、既往の研究[1]結果より、美和ダムの堆積土において局所的な激しい侵食が始まる侵食限界摩擦速度は0.044m/sという結果を参考とした。そこで、ストックヤードの形状を検討するにあたっては、ストックヤード内で最も摩擦速度が低下するヤード底部下流端で摩擦速度0.044m/s以上を確保するものとした。

4．数値シミュレーション

(1) 平面2次元河床変動解析

計画する施設が、既存の河川流況に及ぼす影響を平面2次元河床変動解析により確認し、施設の配置・基本形状を検討した。ストックヤード幅は60m、80m、100mで行い、必要容量（3万m3）を確保できるよう延長を変化させ設定した。

また、ストックヤード下流からバイパス流入部にかけては形状が複雑であり、3次元的な流れが想定されるが、ここでは平面的な流向流速を把握することにより、排出された土砂がバイパス側に流れるかどうかについて検証するものとした。シミュレーションモデルは、分派堰、トラップ堰、水制工などの既設構造物、検討対象であるストックヤードを表現できるよう、メッシュを分割（メッシュサイズ約3～6m）した。



図－4.1　ストックヤードの有無による流況の変化

(2) 解析結果

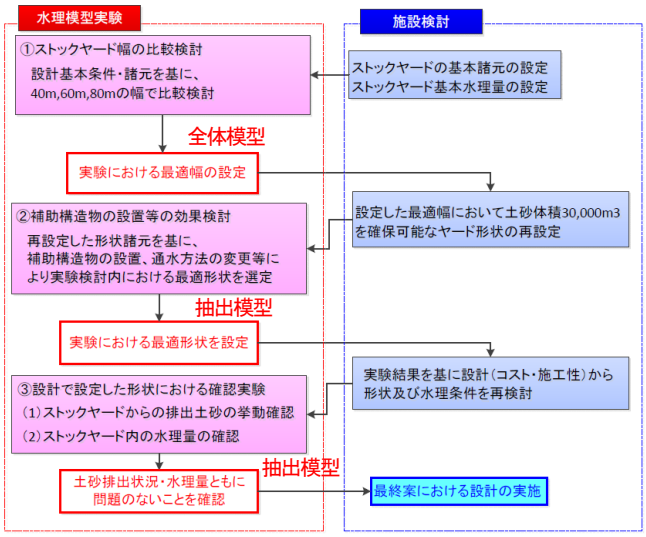
過去の中小洪水の波形でシミュレーションを行い、図－4.1に示すのは、比較的多量の湖内堆砂が生じた洪水の波形で、幅60mで計算したときの流入ピーク時の流速ベクトル図である。ストックヤードを設置したことにより、バイパスへ向かう流れがストックヤードに沿った流れに変化するものの、ストックヤード端部からはバイパスへ向かう流れとなっている。また、幅60m以下ではストックヤードの範囲の流況は変化するが、右岸側の流れなど河道部の流況は大きく変化しないということが確認できた。

5．水理模型実験

既存施設の機能への影響は、平面2次元河床変動解析を実施して確認を行ったが、局所的な流れの変化など、数値解析では確認できない事項を確認することを目的として、分派堰上流域全体を対象とした1/50縮尺の水理模型実験を併せて実施した。

また、ストックヤード本体の機能のうち、ストックヤード内に集積された土砂が上流部からの導水により確実に侵食・排出され、排出された土砂が確実に土砂バイパストンネルに排砂されることを確認する必要があるが、これらについては、対象土砂が粘着力を有する微細粒土砂であることから、解析での検討が困難である。このため、ストックヤード部分を抽出した1/25縮尺の水理模型実験により確認を行うこととした。これらの実験の検討フローを図－5.1に示す。

なお、本施設の検討に際し、有識者等による美和ダム再開発湖内堆砂対策施設検討委員会を設立し、2013(H25)年7月から2014(H26)年6月まで5回にわたり開



図－5.1　実験の検討フロー

催し、湖内堆砂対策施設の排砂方法に関する技術的な課題を明らかにするとともに、施工性、操作性及び維持管理を含めたトータルコスト縮減の観点から、助言をいただいている。委員会のメンバーを表－5.1に示す。

(1) 全体模型実験（1/50縮尺3次元模型実験）

(a) 既設施設への影響確認

既設土砂バイパス施設の機能を阻害しない施設配置・形状を、1/50縮尺の3次元模型実験により確認を行った。

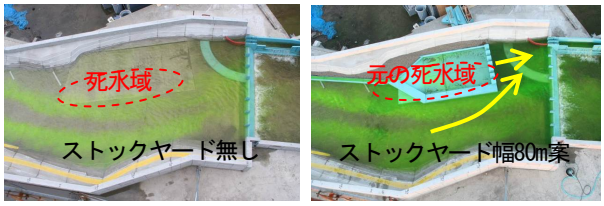
ストックヤードが河道流況に与える影響を把握するため、ストックヤード形状を変化（幅80m・60m・40m）させ、流量4ケースの分派堰～貯砂ダムまでの河道区間における流況、水理量（流速分布、水位縦断）及びバイパス水路への分派流量を計測した。なお、浮遊砂については色素により流れの観察を行っている。

この結果、ストックヤード設置箇所近傍の河道内の流況は異なるものの、分派堰近傍においては流況の差異が小さく、各幅ともに分派堰上流水位とバイパス流量の関係に明確な差異は生じなかった。また、ストックヤードより排砂された土砂は全量がバイパストンネルに流れていくことを確認できた。ただし、幅60m案では死水域内に収まるため分派機能への影響はないが、幅80m案では死水域から流心側に張り出す影響で、右岸沿いの水面形では他のケースと比較して水位変動が0.2m程度大きくなるということが確認された。図－5.2に流量1200m3/s時の比較状況を示す。

表－5.1　湖内堆砂対策施設検討委員会メンバー

美和ダム再開発湖内堆砂対策施設検討委員会		
◎鈴木	徳行	名城大学 名誉教授
○角	哲也	京都大学 教授
○檜谷	治	鳥取大学 教授
○溝口	敦子	名城大学 准教授
○箱石	憲昭	（独）土木研究所 上席研究員
○櫻井	寿之	国土技術政策総合研究所　主任研究官
○中部地方整備局河川部 広域水管理官		
○天竜川ダム統合管理事務所 事務所長		
○三峰川総合開発工事事務所 事務所長		

※1　◎は委員長、○は委員
※2　所属及び役職は当時のもの



図－5.2　ストックヤードの有無による分派流況

(b) ストックヤードから排出される土砂の挙動確認

ストックヤード堆積土砂に含まれる砂礫成分をバイパスに流下させない方策として、図－5.3に示すようにストックヤードと既設トラップ堰の間に離隔を確保し、砂礫成分をトラップ堰で捕捉することとしている。離隔はバイパストンネルの摩耗・損傷に大きく影響する5mm以上の礫成分を捕捉する規模として25mで設定し、確認を行った。

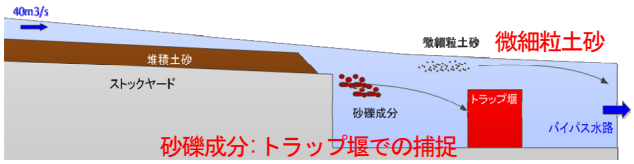
実験は、後述する抽出模型実験で得られた結果により、ストックヤード幅40m・隔壁ありの形状で行い、下流端の流速が最も大きくなる状況を想定し、ストックヤード内は満砂状態を固定床で再現した。また、土砂条件は、対象粒径を5mm、10mm、20mmの3粒径とした。

この結果、砂礫分は、全ての流量条件において概ねトラップ堰の上流側に堆積し（約97%）、懸念されていたバイパスへの砂礫分の流入は殆どなく、トラップ堰上流面で砂礫分を捕捉する効果を確認できた。図－5.4に分派堰地点流量600m3/s、片側通水時の砂礫の排出状況を示す。

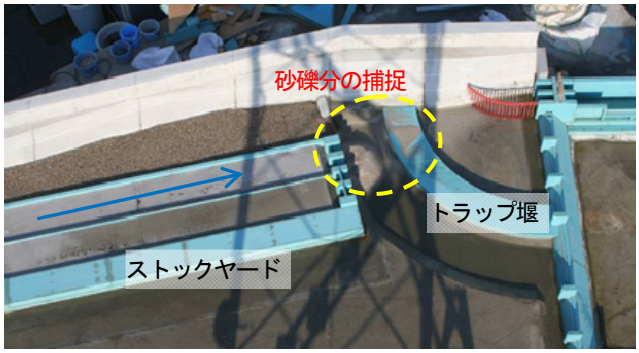
(2) 抽出模型実験

(a) みお筋の発生と対策（1/25縮尺3次元模型実験）

ストックヤード内に集積された土砂の確実な排砂を実現するには、侵食メカニズムを把握する必要があり、ストックヤード部分を抽出した1/25縮尺の3次元模型で実験を行った。ストックヤード幅をパラメータ（60m、40m）として、ストックヤード内に堆積させた疑似河床（0.1mmの均一砂）の排出状況及び排出過程において、土砂の排出時にみお筋の形成による侵食部と非侵食部の発生が確認された。



図－5.3　期待する土砂性状ごとの分級状態



図－5.4　ストックヤードからの砂礫の排出状況

これは、図－5.5に示すように、落下流による法肩侵食が上流端に達したのち、再堆積した土砂を部分的に排出し、図－5.6に示すようなみお筋が形成され、ストックヤード内に土砂が残るものであった。このように、非侵食部が発生し陸地化すると、一回の運用で排砂されなかった場合に次回以降のストックヤード運用時にも排出されにくい状況になる可能性がある。そのため、みお筋が発生しないこと、発生したみお筋が固定化されないような対応が必要となる。

形成されたみお筋は蛇行しており、ストックヤード幅が広くなるほどその振幅が大きくなる傾向がある。これは、ストックヤード幅が広い場合、みお筋の河床勾配が緩くなることにより、流水のエネルギー損失が大きくなり、流水力による土砂排出能力が低下すると考えられる。したがって、ヤード幅を極力小さくすることが望ましい。

そこで、ヤード幅を小さくするために隔壁を設置し、隔壁の有無、及び隔壁設置時の通水条件（全幅・片幅）をパラメータとして隔壁の設置効果を確認した。この結果、図－5.7に示すように隔壁の設置により、みお筋の蛇行幅を抑えることで、流下距離の増加に起因する摩擦速度の低下を軽減させることができた。

また、この実験の中で、空虚時の摩擦速度を0.044m/s以上に設定するためには各ケースのうち、ストックヤード幅は40m程度が望ましいということが確認できた。

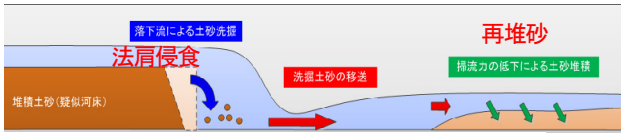
故に、これまでの実験の結果を踏まえ、幅40m、長さ220m、土砂の堆砂高4mとし、土砂が効率的に排砂できるよう中央に隔壁を設置したストックヤードの形状と配置にすることを決定した。

(b) 模型縮尺効果の確認（縮尺1/25と1/15との比較）

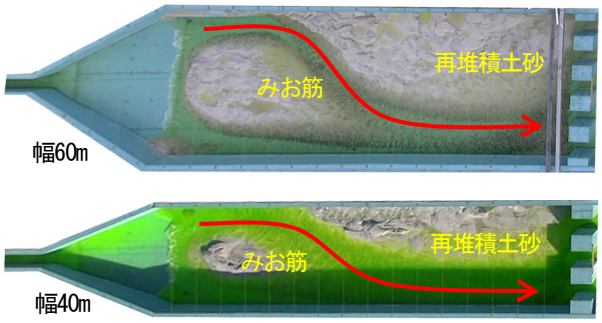
ストックヤード土砂の排砂時における下流濁度は、環境影響への観点より至近数ヶ年の最高値以下とすることとしたが、土砂を下流濁度に応じた濃度で排出するためには、ゲート操作等でコントロールし、濁水濃度を考慮して施設検討を行う必要がある。

そこで、縮尺の異なる2実験の結果から、法肩侵食の進行速度を算出し、縮尺による排砂速度の違いを比較することとした。図－5.8は縮尺1/15（幅7.5m　2次元模型）と1/25（幅40m）の実験開始から1時間後の法肩侵食位置の比較である。この各実験データをまとめて比較した、模型縮尺と法肩侵食速度の関係を図－5.9に示す。

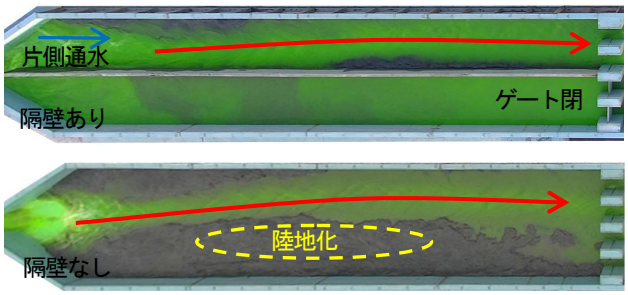
この結果より、模型規模が大きくなるほど、すなわち実機に近づくに従い、より法肩侵食速度が速くなると想定できる。また、この実験で、土砂の粒度分布や圧密の状態により図－5.10に示すように侵食の形態が異なる（法肩からの侵食、表面の侵食）ことなどが確認され、土砂の侵食状況の予測に必要な情報が得られた。



図－5.5　疑似河床における土砂排出状況のイメージ



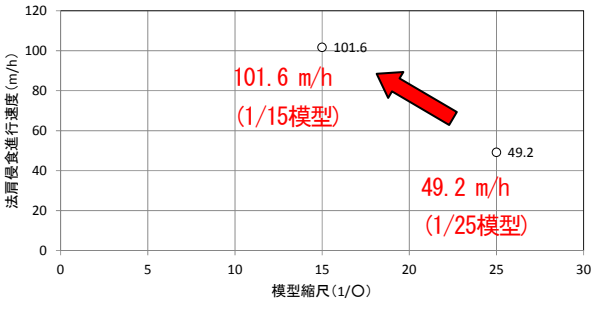
図－5.6　みお筋の形成状況



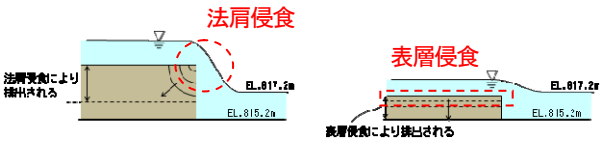
図－5.7　隔壁の有無によるみお筋の形成状況の比較



図－5.8　異なる縮尺模型での排砂速度の比較



図－5.9　模型縮尺と法肩侵食進行速度の関係



図－5.10　ストックヤード内土砂排出イメージ

(3) 現地土砂模型実験（1/5縮尺2次元模型実験）

粘着性土砂の場合には流れの条件と粘着性の相似条件を同時に満足することができないため、模型実験において流砂運動の相似性を確保することができない。即ち、実機での運動を再現するためには実物の試料と実スケールの水理量が必要となる。模型縮尺効果の確認により実機規模では、ここまでの縮尺模型実験の結果よりもさらに排砂の進行速度が大きくなることが予想され、濃度の急上昇や侵食土砂が塊状で排出されることが懸念された。

その対応策として1/15より実機に近い縮尺の模型実験を行い、既に実施したスケールの結果と合わせて外挿により実機スケールの排砂速度を想定し、施設設計に反映することとした。本実験では、それを1/5縮尺2次元模型で行い、美和ダムに堆積した土砂を試料とし、土砂の圧密（大・小）、土砂の堆積厚、流量を変える等の全7ケースの実験を行った。

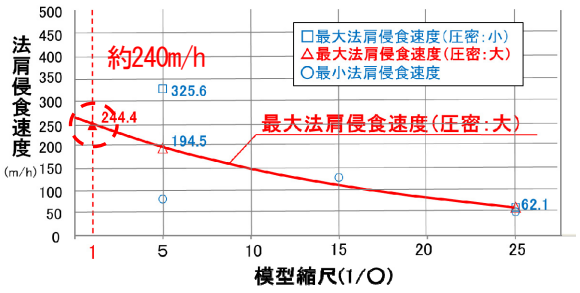
(a) 縮尺効果の確認及び堆砂土砂の圧密による影響

法肩侵食の形態は模型縮尺によって異なるが、侵食速度に関しては、模型が大きくなるに従って速くなっていることが、この実験でも確認された。また、ストックされる土砂は集積から排砂まで数ヶ月以上経過した状態での運用となることから、実運用での法肩侵食速度は、図－5.11に示す、圧密された試料のケースの約240m/hと推測された。

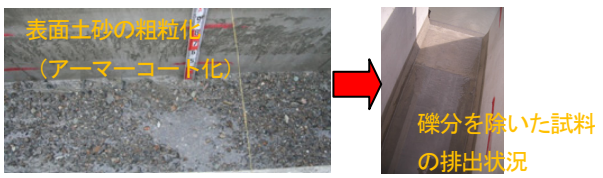
侵食形態は、図－5.10のイメージで示した、法肩侵食で大部分の土砂が排出されたのち、表層侵食により残った土砂が排出される現象が再確認された。実機では、法肩侵食は約1時間程度で終了し、表層侵食により残土を全て流出させるためには、約40時間程度の時間が必要と想定される。

(b) 浚渫土砂に礫が混入した場合の影響

本実験において、投入土砂に礫が混入した場合、図－5.12に示すように表面土砂の粗粒化が確認されたため、礫分を除去した試料で実験を行った。その結果、設計条件摩擦速度（u*=0.053m/sとしている）では、圧密された土砂でも完全に排出することが可能であることを確認できた。また、これに留意し、実運用ではストックヤード投入前に砂礫分の除去を行うこととした。



図－5.11　圧密と法肩侵食速度の関係



図－5.12　土砂の排出状況

6．検討結果を踏まえた設計方針

ここまでの検討結果を踏まえ、空虚時の摩擦速度を0.044m/s以上に設定するためストックヤード幅は40mとし、みお筋の蛇行を抑えるため隔壁を設けることとした。ストックヤードの下流端は、土砂バイパストンネル内への粗粒分の流下を抑えるためトラップ堰からの離隔25mを確保することとした。また、取水施設は、土砂バイパス運用を行う100m3/s流入時に40m3/s以上を取水することとした。施設の完成予想図を図－6.1に示す。

7．おわりに

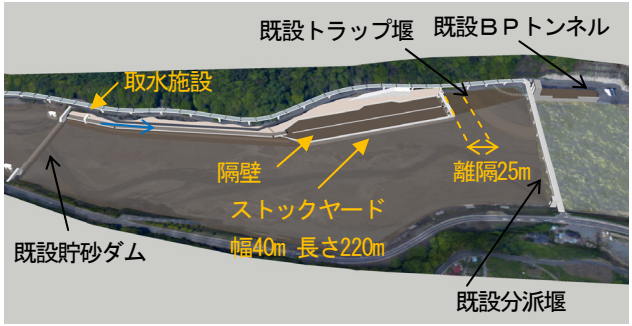
各模型実験により、計画する湖内堆砂対策施設は必要とされる機能を確保していることを確認したほか、計画時には想定していなかった土砂の侵食メカニズム、みお筋の現象等が新たに確認でき、施設設計で対策をおこなうことができた。

現在は、維持管理・コスト縮減等に留意しながら施設設計を行い、運用等の検討を進めており、今年度より施設本体の工事に着手したところである。施設完成後は、実運用の中で試験運転により排砂濃度をモニタリングしながら、運用方法を確立していく所存である。

謝辞：本施設の検討にあたり、助言を賜りました委員会の皆様に御礼申し上げる。

参考文献

1）独立行政法人土木研究所「貯水池および貯水池下流の流れと土砂移動モデルに関する研究」（H18～H22）



図－6.1　完成予想図

遠隔操縦式バックホウ用
大型土のう設置装置の開発

伊藤　秀樹[1]・布宮　明道[1]・加藤　信行[2]

[1]東北地方整備局　東北技術事務所　施工調査･技術活用課（〒985-0842 宮城県多賀城市桜木3丁目6-1）

[2]東北地方整備局　東北技術事務所長

大型土のう工は，災害の応急復旧対策などに多く用いられているが，玉掛け・玉外しの作業が必要となるため，二次災害の恐れがある危険な現場においても作業員が立入らなければならない状況である．一方で，実用化されている遠隔操作技術では，大型土のう工の必須工程である玉掛けの遠隔化が確立されていない．この玉掛けを遠隔で実施可能とすることで，大型土のう設置作業の安全性向上を図れると考え，当事務所で保有する遠隔操縦式分解対応型バックホウ用アタッチメントとして大型土のう設置装置の開発を行い，大型土のう工に必要な作業工程の遠隔化が可能となったものである．

キーワード　安全性向上，無人化施工，災害対応，新技術

1. はじめに

大型土のう工は，押さえ盛土や仮護岸，締切りなど工種，規模を問わずあらゆる現場で使用されている．

大型土のうの設置作業は，移動式クレーンによる施工が一般的であり，玉掛け・玉外し及び誘導という人力作業が必要なため，特に応急復旧の足場不安定箇所などでの作業は，転落，挟まれ，巻き込まれなどの二次災害の危険性が高いものとなっている．

当事務所では，二次災害の恐れのある災害などの対策現場への支援機能として，遠隔操縦式分解対応型バックホウを保有しているが，遠隔操作可能な作業は，掘削（積込），アタッチメントによる破砕，掴みのみであり，遠隔による玉掛け技術が確立されておらず，大型土のう設置作業には対応できない状況であった(写真－1).

本稿では，応急復旧などの施工現場における，大型土のう設置作業の安全性向上を図るとともに，遠隔操縦式分解対応型バックホウの災害対策支援機能の向上を目的として実施した，大型土のう設置装置の開発について報告するものである．



写真－1　土砂災害現場での玉掛け・玉外しの様子

2.　大型土のう施工現場の現状と解決策

(1) 東北管内での現状

東北管内において実施されている，応急復旧作業の状況は，洪水時の河岸洗掘や破堤箇所においての水際作業，道路や法面崩落場所での立入り作業など，二次災害の危険を伴う施工をやむを得ず行っているのが現状である(写真－2).

立入り作業を要する理由は，遠隔操縦による玉掛け技術が確立されていないため、危険を伴う現場であっても人力作業が必要不可欠なためである．



写真－2　大型土のう投入現場の状況

(2) 遠隔操作による大型土のう工の現状

現在実績のある，遠隔操作(無人化施工)による大型土のう設置方法は，次のとおり．

①吊ベルトを加工し，フックを引っ掛けやすくした土のうを無人の不整地運搬車で運搬し，フックを装着した無人バックホウで設置（フレキシブル管と番線を使用）

②自動玉外し機構を使用し，安全な場所で人力玉掛け後，吊荷走行にて運搬し設置

遠隔操作での設置方法での問題は，①では外れ止め装置のないフックにより，バックホウのアーム操作のみで引っ掛け上げるため，玉掛けの確実性は低下する．②では設置場所までの距離が遠くなると，吊荷走行距離が増え，効率性，迅速性の点で問題がある．

(3) 現状の解決策

二次災害の恐れがある施工現場への立入り作業を解消するためには，現在使われている遠隔操作技術（無人化施工）の課題を解決し，大型土のう工の施工性向上を図る必要がある．

当事務所保有の遠隔操縦式分解対応型バックホウを用いて，大型土のう工に対応したアタッチメントを開発することで，二次災害の危険を伴う施工を行っている現状を解消できると考えた．

3. 装置の開発検討

(1) 使用現場，操作条件の想定

装置の開発にあたり，想定する現場条件は『災害時などの緊急，応急復旧工事の現場』とした．

復旧工事は，見通しの可否，施工基面など想定される状況は多種多様である．

また，同じ遠隔操作であっても，目視操作での施工とモニタ操作での施工では操作性が大きく違い，距離感，機械(装置)の動作状況の把握など，圧倒的にモニタ操作での施工が困難である．

本開発検討にあたっては，多くの現場での使用が可能となるように，モニタのみで施工を強いられる現場を想定した．

(2) 大型土のう保持動作の検討

装置は，復旧現場での使用を想定していることから，通常使用されている一般的な土のう袋，中詰め材をそのまま使用する方法でなくてはならないと想定した．

大型土のうの一般的な設置方法は持上げて設置する方法であることから，遠隔操作においても持上げる動作で開発検討を行なった．

大型土のう袋を持上る方法は次のとおりと考える．

①袋付属の吊ひもで吊上げる（フック形状）

②本体を掴み上げる（グラップル形状）

③本体をすくい上げる（ホーク形状）

検討した結果は次のとおりであった．

・バックホウの動作は，自分側に引き寄せる（抱え込む）方向であるため，③の『すくい上げ』は構造上無理がある（ﾛｰﾃﾞｨﾝｸﾞｼｮﾍﾞﾙの動きである）．

・②の『掴み』は，現存するアタッチメントをそのまま使用できるが，アームを開く構造上の理由から設置場所周辺にクリアランスを要し，土のう同士を密着させたり構造体等に沿って設置することには不向きである(写真－3).

よって装置の保持動作は①の『吊上げ』とした．



写真－3　グラップルでの大型土のう掴みの様子(左)
一般的な大型土のう使用状況(右)

(3) アタッチメント機構の検討

玉掛け機構は，大型土のう付属の吊ひもを捉え（フック掛け）ようとする時，装置に付けられたフックを任意で動かす機構が既存のグラップル機構に酷似していることから，グラップルの掴み部分の改造で実現可能と考えた．(写真－4)

既存装置（機構）を流用することにより，バックホウへの装着方法，装置の旋回・開閉機構など，既存の性能部品を利用する設計が可能となり，開発費用，期間の低減を図ることができる．

更には，操縦者の意思によりフック操作ができることで，バックホウ動作中の意図しない玉外しを防ぐことができる．



写真－4　フック形状、開き角度などの模型試験の状況

(4) 吊ひもの確実な保持の方法

製作が完了した大型土のうは，寝ている状態の吊ひもを作業員が持上げてフックに掛けることが通常である．

遠隔操作（無人）で吊ひもを捉え（フック掛け）ようとすると，フックを掛ける部分（大型土のう本体と吊ひもの間）に十分な空間を設けなければならない．

空間の確保方法として，吊ひもが自立するように加工する手段があるが，現在実施されているフレキ管と番線による加工などでは，吊り上げ時や段積み施工時に加工が破損してしまい現場内仮置きや撤去に対応できない．

本検討では，吊ひもが常に自立している必要は無く必要なときに吊ひもをアタッチメント側に引き付けるこ

とができれば良いと考え，磁力を利用し吊ひもを引き付け、持上げる構造とした.

加工に関しては吊ひもに鉄片を着けるだけの簡単な構造とし，仕立て作業の時間内で対応できると考える (写真－5).

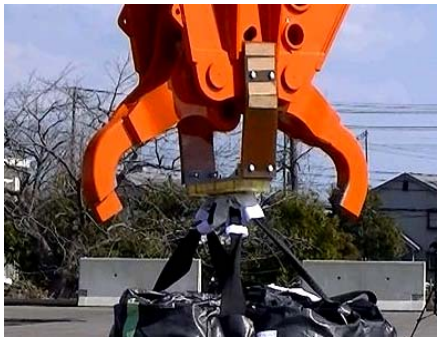


写真－5　永久ネオジウム磁石(装置側)と磁性体（吊紐側）

(5) フックの形状

吊上げフックは，クレーン吊り具のような片フックが一般的であるが，より確実に玉掛けするため，片フックではなく吊ひもを掴むような両フック構造として検討した(写真－6).

今回の試作では，既製グラップルの爪をフック形状に変更し，さらにフック先端を段付きにして互いに噛合う形状とすることで，確実な玉掛けと吊り作業中の大型土のう落下防止が達成できた.



写真－6　玉掛け時の吊ひも持上げ状況

4.　試作アタッチメントの性能と実機試験結果

試作アタッチメントは，既存のグラップルをベースとすることで，バックホウへの装着方法，装置の旋回・開閉機構など既存の性能，部品を利用する設計で製作した.

作業性能は，当事務所保有のバックホウへ装着時において吊上最大重量 ：2,000kg，作業半径 ：6.0m以下で運用となっている．なお，本試作アタッチメントは，グラップルを装着できる同型のバックホウであれば適用可能である.

クレーン仕様バックホウに通常搭載されているフックは１ピン式のため，大型土のう吊上げ時は移動式クレーン扱いとなるが，本アタッチメントは２ピン式であることから車両系建設機械の扱いとなることが確認されている（宮城労働局確認）.

(1) 性能試験の内容

開発したアタッチメントの性能試験として，実際の大型土のうを用いて以下の確認を行った.

試験エリア：30m×30m平面，全面舗装

土のう状況：エリア内に仮置き

確認内容：

・搭乗操作にて玉掛け，外し人員のみを無人化

・遠方目視による遠隔操作にて現場内を無人化

・遠方操作室からのモニタ操作にて現場内を無人化

(2) 搭乗操作

試験内容は大型土のう三段積みとし，バックホウ標準搭載のクレーンフックによる通常施工（玉掛・外し，誘導の作業員有り）と比較した（写真－7）.

結果は玉掛け，移動，玉外しまで一連作業のサイクルタイムに違いはなく，土のう間隔も同程度の仕上がりだった．また，一度設置した大型土のうを再度吊上げることも可能であったことから，撤去作業時の作業員も無人化で行えることが判った.



写真－7　搭乗操作による試験状況

(3) 遠方操作

遠方操作は，作業員，オペレータともに二次災害が想定される現場での運用を想定している.

本検討での試験(写真－8)条件は以下のとおりである.

操作方法：遠方目視はエリア外の高台

モニタ操作は事務所構内の車庫内

各種機器：機側カメラ3台（ｷｬﾋﾞﾝ，ﾎﾞﾃﾞｨ，装置）

定点カメラ2台（ﾊﾟﾝ･ﾁﾙﾄ･ｽﾞｰﾑ付1台，固定点1台）

マシンガイダンスシステム（MG）

作業人員：2名（バックホウ操作1名，補助1名）



写真－8　遠方操作による試験状況

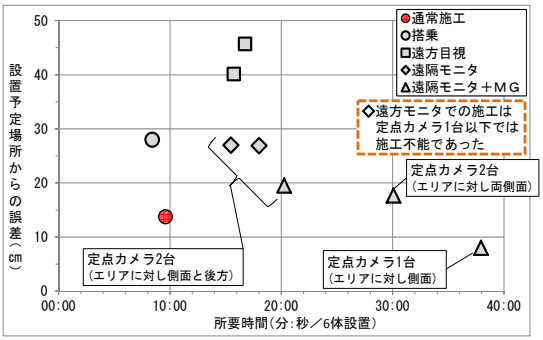
試験内容は大型土のう2列1段の据付とし，通常施工と

比較し以下のような結果となった.

施工時間：遠方目視では1.5倍程度
モニタ操作では1.5～2.5倍程度(最適条件時)

土のう間隔：遠方目視では，設置誤差が大きいものの間隔は通常施工と同程度
モニタ操作では，全体の設置誤差は減るが1列目と2列目の前後間隔が30cm程離れて設置される場合あり.

ただし，モニタ操作時のサイクルタイム，仕上がりは定点カメラの台数や設置位置，マシンガイダンスなど補助機器による違いが大きく出た結果となっている(図-1).



図－1　各操作による試験結果の分布図

5.　誘導，操作支援方法の検討

(1) モニタ操作時の課題

大型土のう工をモニタ操作で行なう場合のソフト的な課題は，当事務所保有のバックホウとグラップルを用いて事前に実施した試験(写真－9)で，以下の点が判った.

- 目標物や設置場所までの距離感（遠近感）が把握しにくい.
- 吊ひもの状態や土のう設置状況が判断しにくい.
- 設置を進めた際に，大型土のうの設置方向が正しい方向なのか判断しにくい.

即ち，視覚情報の補完が重要であることが明確である.アタッチメント製作に併せて，視覚情報を中心にした補助機器，機能の検討を行い，実機試験を行った.



写真－9　事前に実施した補助機器検討試験

(2) モニタ操作で必要となる情報

遠隔操作を実施する際に重要となるのは，作業フィールドの状況，機械の状態（バックホウの姿勢），対象物（土のう）の状態である.

遠方操作の試験結果からも，以下のことが判った.

- バックホウと対象物，施工箇所の位置関係の把握と，施工にて最も多くなる旋回，走行方向といったバックホウ自体の諸動作を認識するためにフィールド全景映像を得ることが重要である.　（遠方目視と同じ状況を作り出す.）
- 玉掛けポイントに設置装置を持っていくためにも，奥行き把握が重要である.主カメラとは別に側面からの映像を写す，補助カメラがあるとより施工性が上がる.
- 施工性に影響しないが，転倒，危険姿勢防止など安全性の観点から，バックホウの姿勢を把握する機器が必須である.

(3) マシンガイダンス機能

当事務所保有バックホウにはマシンガイダンスシステムが搭載されていることから，無人化施工技術としてマシンガイダンス適用時の違いも確認した.

マシンガイダンスを適用しない場合では，1列目と2列目の前後間隔が広がる結果であるのに対し，マシンガイダンスを適用した場合は　前後間隔などの仕上がりが通常施工と変わらないものとなった.ただし，仕上がりが向上する代わりにサイクルタイムが長く，施工能力が低下する結果となっている.

6.　現状と今後の方針

当事務所構内での試験では，当初の目標であった遠隔操作による玉掛けから移動，玉外しまでの能力を十分に満足したものとなった.

今後は，本アタッチメント実用化のために，操作訓練や通常工事などを通して施工データの集積，課題の抽出が必要と考えている.さらには，無線の混信や定点カメラの配置など，遠隔操作時のマシンインターフェイスに関わる課題の解消も検討していく必要がある.

また，本検討の成果は，他の吊り荷作業（ブロック積みなど）への応用など技術活用度も大いに期待できるのではないかと考えている.

7.　おわりに

近年多発する集中豪雨など，各地で発生している緊急対応や応急復旧現場などの無人化を求められる現場は多い.

復旧工事における，安全施工の技術として無人化施工技術の適用工種拡大の意味でも，今回検討した大型土のう設置装置は有効な手段の一つになると考える.

今後，応急復旧工事を始めとする各種現場に投入されるよう，装置の有効性検証を進めていきたい.

道路構造物における長期品質確保の取り組みについて

小原　和彦

四国地方整備局　道路部　道路工事課　（〒760-8554　香川県高松市サンポート3-33）

道路構造物の新設後、初期に生じた軽微な変状が起点となり、やがて重大な損傷に進展していくことから、新設直後のみならず一定期間経過後の品質を確認、評価し、施工品質に起因する初期の変状や損傷要因を排除することで、長寿命化を図る事が可能となる。

本稿では、道路構造物の長期品質確保による維持管理の効率化とライフサイクルコストの縮減を目的に試行している、鋼橋上部工、アスファルト舗装及びトンネル覆工コンクリートを対象とした、長期保証制度への取り組みについて報告する。

キーワード　長期保証制度、長寿命化、インセンティブ、鋼橋、アスファルト舗装

1. はじめに

道路構造物の施工品質の確認は、施工時における段階確認や完成検査によって実施されてきた。しかしながら、供用後の点検時において、早期の変状が確認されるケースも少なくない。長期間の使用が前提となる道路構造物においては、初期品質を確保し、重大損傷の起点となる軽微な変状を可能な限り抑制することは、長寿命化の観点からも有効な予防保全対策となり得る。

また、平成26年6月に改正された「公共工事の品質確保の促進に関する法律」において、発注者の責務として「必要に応じて完成後の一定期間を経過した後において施工状況の確認及び評価を実施するよう努めること。」と定められた。

これらを踏まえ、各種道路構造物を対象に、一定期間経過後における変状等の程度を保証基準とした、新たな調達方式の試行を進めているところである。

本稿では、試行に際し検討した、長期保証基準の設定やインセンティブの付与といった、技術基準や制度面での取り組みについて報告する。

2. 長期保証と瑕疵との違い

長期保証制度は、通常の瑕疵とは異なり、あらかじめ仕様書等で定める性能指標に対して、長期の保証を求めるものである。保証を付すことにより、従来と同じ材料でより丁寧な施工や品質管理を促し、完成検査時点では確認できない一定期間経過後における変状や損傷要因を排除し、構造物の長寿命化を図ることを目指している。

一方、瑕疵における欠陥とは、「正常な状態が欠けていること、本来有すべき機能を有さないこと」で、材料、施工に過失がある場合であり、損害賠償や指名停止、工事成績の減点等の措置が講じられるのに対し、長期保証は、「本来有すべき機能は確保されている状態であること」を前提に、その上で長期品質確保の観点から「一定基準（保証内容）以下の状態であること」（＝性能不良）を避けるものと定義していることから、過失がない場合でも免責事項に該当しなければ、保証金（違約金）や回復措置等の対象とはなるが、指名停止や減点等の措置は講じられない（**表-1**）。

表-1　長期保証（アスファルト舗装）と瑕疵との違い

	期間	通常使用	過失有無	措置
長期保証	5年	可能	材料・施工に過失無し	保証金または回復措置
瑕　疵	2年または10年(故意，重大過失)	耐えられない	材料・施工に過失有り	損害賠償、指名停止、減点

3. 鋼橋上部工の長期保証について

長期保証で求める性能指標については、その指標が施工品質に起因する変状であり、かつ客観的に評価でき、さらに、その変状を抑制する事が長期の健全性を担保するという技術的根拠を有さなければならない。

そこで、新設の鋼橋上部工事を対象とした長期保証制度の導入にあたり、初期変状の実態を踏まえたうえで、品質確保に取り組む部位やその内容、指標値といった具体的な性能指標や契約制度設計について意見を伺うため、

学識経験者や専門家等で構成する「鋼橋の長期品質確保に関する検討委員会」（以下、「委員会」と称する。）を平成26年度に開催し、事務局案について助言を頂いた。

(1) 初回定期点検結果の分析

初期変状の実態を把握するために、供用後2年以内に実施する初回点検結果を用いて、四国及び近隣他地整の鋼橋232橋を対象に分析を行った。

最も多い鋼部材の損傷は、橋梁形式、床版形式に関わらず、「防食機能の劣化」及び「腐食」であり、約54%の橋梁は主構造に「防食機能の劣化」が発生し、約27%の橋梁で「腐食」が発生しており、初回点検時において既に損傷が生じている状況である（**図-1**）。

「防食機能の劣化」が進行して「腐食」に至ることから、主桁の「防食機能の劣化」に着目して、どのような場所で発生しているか分析したところ、耐候性仕様、塗装仕様に関わらず桁端部に多く発生しており、桁端部の発生率は中間部の2.2倍である。また、耐候性仕様、塗装仕様に関わらず、発生率は同レベルであった（**図-2**）。なお、同様に構造別床版別に発生率を整理したが、各形式に関わらず、中間部に比べ桁端部の発生率が高いという結果であった。

(2) 損傷の要因分析

桁端部の主桁に発生した「防食機能の劣化」損傷に着目して、損傷状況や点検調書の所見等の記載内容から、損傷に至った要因について推定した（**図-3**）。

損傷の発生要因としては、①「部分的な漏水・滞水」や　②「伸縮装置の防水不良」といった水に起因するものや、③「当て傷」、④「エッジ部の塗膜厚不足」といった施工に起因するものが多い。また、耐候性鋼橋の桁端部は通常塗装仕様とすることから、この結果より、耐候性鋼材の損傷を除き塗装部のみを対象とした場合、③「当て傷」、④「エッジ部の塗膜厚不足」が多い結果となった。

つまり、損傷の多い桁端部においては、施工品質に大きく左右される、「当て傷」や「エッジ部の塗膜厚不足」による損傷が多いことがわかる。

これらの分析より、Ⅰ．桁端部における塗装箇所の初期変状は、塗膜厚不足や当て傷が主な要因であり、何らかの変状が伴わない限りは健全な状況である　Ⅱ．エッジ部やボルト部における塗膜厚確保に留意が必要　Ⅲ．当て傷については、検査時に受発注者間で確実に確認する必要がある　Ⅳ．鋼橋上部工事以外の床版や伸縮装置に起因する損傷も見受けられる　Ⅴ．添接板やマンホール等からの漏水が起点となることから、構造面での検討も必要との知見が得られた。

(3) 長期保証指標の設定

これらの分析を踏まえ、長期保証工事のモデル案を委員会に示した。

長期保証の対象範囲は、初期損傷の発生確率が高い桁端部とし、桁端部の定義は、支承を含み、桁端部より下部工幅前面ラインもしくは桁高の大きい方の範囲とした。これは、耐候性鋼橋の重防食塗装仕様の範囲と同様であり、箱桁の場合は内面部も含むこととしている（**図-4**）。

長期保証の期間は、全国の橋梁点検の分析結果から初期損傷の多くが供用後2年程度で現れていること、また、

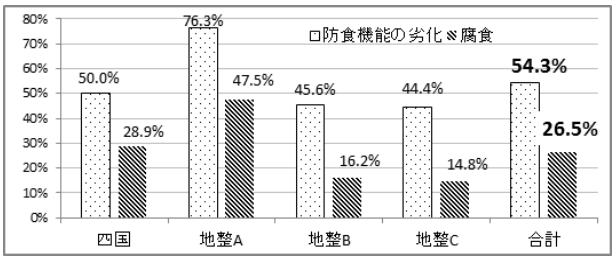


図-1　主構造に各損傷が発生している橋梁の割合

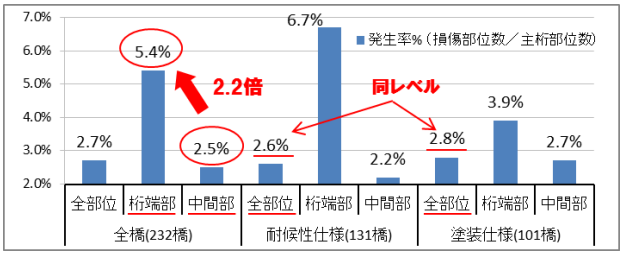


図-2　主桁に「防食機能の劣化」が生じた部位の発生率

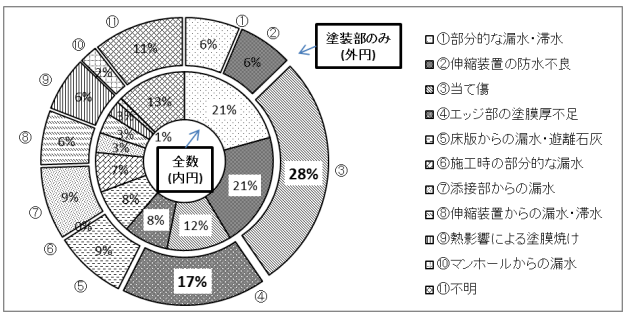


図-3　桁端部の主桁に生じた「防食機能の劣化」の発生要因

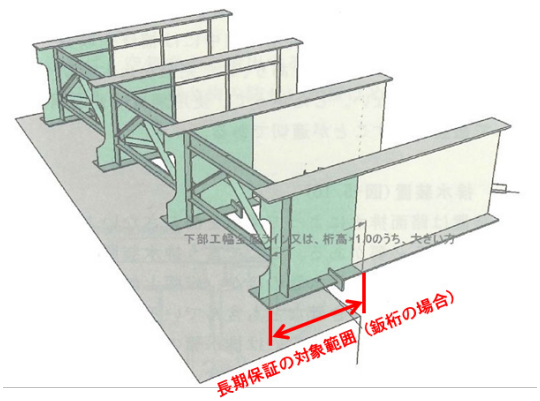


図-4　長期保証の対象範囲（耐候性鋼橋梁の手引き[1)]）

鋼橋上部工事と同時に施工される合成床版等のコンクリートの乾燥収縮が概ね3年程度で収束することから完成後3年とした。

次に、長期保証の内容については、「腐食（さび）が無いこと」かつ「塗装のはがれが1dm2の範囲において、1cm2未満であること」とした。鋼道路橋防食便覧[2)]では、重防食塗装系の塗膜を維持するために重要なことは、下地のジンク層の健全性と上塗り塗膜の状態を把握することが重要とされており、さびの発生が無ければ下地は健全であると推定できることから「腐食（さび）がないこと」と定義している。

また、外観上のみならず、塗膜の防食性能の低下に直結することとなる「はがれ」の評価については、鋼道路橋防食便覧より、等級3から評価できることからはがれの面積1%を採用している。

欠陥の量を表示する等級3の根拠として、JIS K 5600-8-1において、1%の分母は「1～2dm2の試験表面に関して」とあることから、はがれの大きさは、1dm2（10cm×10cm）の範囲において1cm2未満（1%未満）とした。

また、初期変状の分析結果より、添接板やマンホール部等からの漏水による損傷が要因となっているケースが多く確認されたことから、長期保証を付すのとあわせて、発注者の費用負担により、桁端部の腐食防止に関する細部の設計変更を認めることとし、受注者の高い技術力を活かし、受発注者間で対策案を検討していくことが可能となるよう配慮している。

なお、長期保証に際しては、天災や事故等といった、受注者の責に帰すことができない事象により変状が生じた場合の免責事項も設けており、完成から3年後に完成後技術検査等によって保証値の確認を行い、その判定にあたっては、今後設置する長期保証判定委員会（案）により評価を行うことを想定している。

(4) 新たな調達方式について

長期保証を補完するものとして、一括発注方式の検討についても委員会においてご意見を頂いた。

これは、鋼橋上部工事以降に施工される、床版施工時等の当て傷や舗装工事とあわせて施工される、伸縮装置からの漏水に伴う初期不良等も確認されることから、鋼橋上部工事から舗装工事までを一括して発注する方式や、施工時から維持管理を意識することにより品質向上を狙う、維持管理付き工事等を提案した。

このような長期品質確保に資する発注形態のあり方についても、今後さらなる議論が必要と考えている。

4. 新設アスファルト舗装長期保証工事におけるインセンティブについて

(1) アスファルト舗装の長期保証制度の概要

表-2　アスファルト長期保証工事の保証基準値等

指　標	保証基準値	試験方法	試験頻度
引渡し後5年後における路面のわだち掘れ量	各測点の最大値が20㎜以下	横断プロフィルメーター試験方法又は路面性状測定車による測定	各車線毎に20m間隔で測定
引渡し後5年後における路面のひび割れ率	各測点の最大値が20%以下	スケッチによる方法又は路面性状測定車による測定	各車線毎に20m間隔で測定

平成24年度以降に発注する新設アスファルト舗装工事については、原則、長期保証工事の対象として試行している。

長期保証の指標項目としては、現在、維持修繕の判断の目安としている、わだち掘れ量及びひび割れ率とし、これまでの舗装の実態を踏まえ、5年後におけるわだち掘れ量20㎜以下、また、5年後におけるひび割れ率は20%以下を保証基準値としている（表-2）。

これは、各指標の平均値とこれに対する標準偏差値から平均値＋2σの値を用いて近似式を求め、5年後の数値を算出した結果である。

保証基準値を満足しない場合は、回復措置や保証金の請求を行うこととしているが、ペナルティを与えることが主目的ではなく、十分達成可能な数値として運用しているところである。なお、保証基準値の確認は発注者が行うこととしているが、その結果に不服がある場合は、受注者による再測定や第3者を含む評価委員会において再評価することが可能である。

(2) インセンティブを付与する技術基準の設定

このように、回復措置や保証金といったペナルティは定められているものの、長期保証基準値を満足することによる受注者のメリットはなく、長期保証の対価として、良い仕事をした受注者へインセンティブを付与する取り組みが求められた。インセンティブを付与することで、受注者のモチベーションの向上やさらなる技術力を引き出すことも期待できる。

そこで、長期保証基準値達成者の中でも優良な施工業者に対して、インセンティブを付与する基準について検討を行った。まず、管内における舗装実態を分析し、インセンティブを与える範囲について整理した（図-5）。

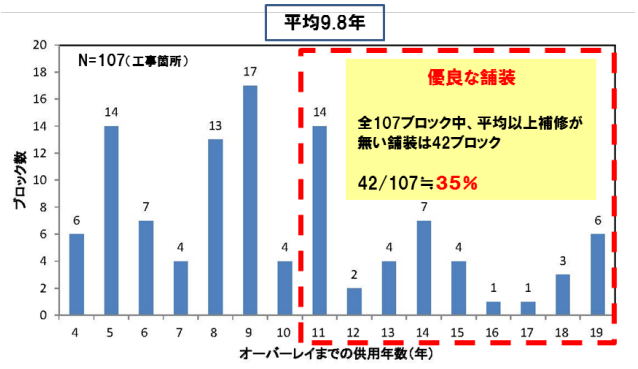


図-5　管内における舗装実態（H元～H24全舗装工事）

アスファルト舗装の舗設完了後から、修繕（オーバーレイ）に至るまでの供用年数を確認したところ、平均約10年であり、平均以上補修を行っていない場合を優良な舗装と考え、その割合は35%となることから、上位35%を付与する範囲とした。

次に、基準値を設定するにあたり、新設5年後の路面性状調査データより、補修が無い箇所を抽出し、わだち掘れ量及びひび割れ率をプロットした(**図-6**)。

補修に着手する理由は、わだち掘れによるものが多いことから、わだち掘れ量の数値実績より、保証基準値を満足している上位35%の範囲として、わだち掘れ量を10mm以下と決定した。また、ひび割れ率についても補完項目としていることから、わだち掘れ量と同様に保証基準値の半分の値である10%以下とした。

なお、わだち掘れ量のみを指標とすることも考えられたが、わだち掘れ対策のみを意識して、過度に硬い合材を使用する等により、ひび割れが生じやすくなる可能性があるため、両指標値を設定している。

(3) 優良施工者の認定とその取扱いについて

インセンティブは、工事成績に加点するものとした。

長期保証基準値が優良（わだち掘れ量10mm以下かつひび割れ率10%以下）であったものに対し、長期保証優良施工工事認定書（仮称）を発行（有効期間2年）し、認定書有効期間内に、四国地整発注のアスファルト舗装工事に参加する際に、認定書を提出すれば、企業及び技術者の完了時の工事成績評定点に加算（2点を予定）し、入札時に評価することとした。

なお、当該工事成績によっては、一律に適用すると企業にとって不利益となる場合も想定されることから、企業からの申請により適用することとしている。また、優良施工者の認定に際しては、公平を期すため、別途組織する認定委員会等において承認を得ることを考えている。

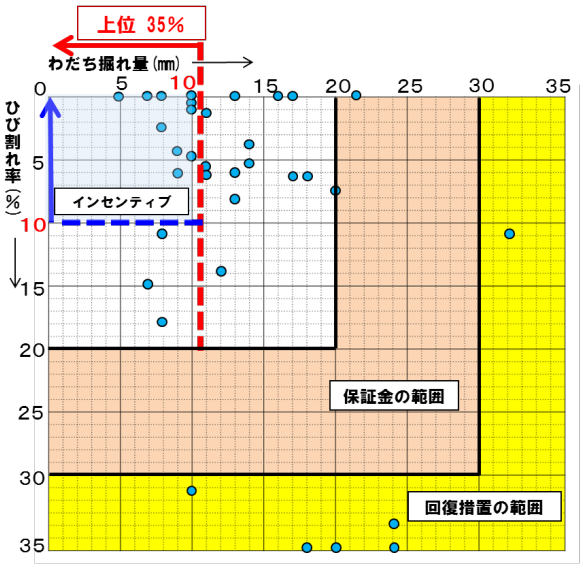


図-6 インセンティブを与える基準値の範囲設定

5. トンネル覆工コンクリートの長期保証

コンクリート片落下による第3者被害が相次いでおり、トンネルもその例外ではない。過去に建設されたトンネルにおいては、覆工コンクリートのうきやはく離等の変状が進行し、遂には落下して被害に至るケースが多いが、このような損傷は、通行車両の安全性が確保されていないといった本来あるべき機能を有していない状態であると考えられ、瑕疵として取り扱うべき事象である。

そこで、指標の設定に際しては、耐久性に直結し、丁寧な施工により避けることが可能である、ひび割れの幅や長さに着目して指標を設定し、平成26年度より試行工事を実施している(**表-3**)。

表-3 ＴＮ覆工コンクリート長期保証工事の保証基準値等

指　標	保証基準値	確認方法
引渡し後**3年後**における**覆工コンクリートのひび割れ**（目地内を除く）	①ひび割れ幅の最大が3㎜未満 ②ひび割れ長さが5ｍを超える場合はひび割れの最大幅は1㎜未満 ③半月状のひび割れがない ④幅0.3㎜以上のひび割れによるブロック化がない	道路トンネル定期点検要領（平成26年6月　国土交通省道路局国道・防災課）による方法

6. おわりに

完成検査時点では、その性能を評価することができない長期品質の確保といった観点、また、コストをかけずに良いものを作ることにより、適切に評価がなされ、受注者の品質に対する意識向上や更なる技術力向上も期待できる長期保証制度は、今後も拡大していくことが予想される。

一方、保証基準値をクリアするためやインセンティブを得るために、受注者が過度な負担を行うといった、技術ダンピングやオーバースペックに繋がることは避けなければならない。

道路構造物を対象とした本制度の取り組みは始まったばかりであり、保証期間満了後の性能は未だ確認されていないことから、保証基準の妥当性や長期品質との関係性について、適宜分析、フィードバックをしながら長寿命化に資するよう万全の対策で望みたい。

謝辞：鋼橋の長期保証の検討に際しては、「鋼橋の長期品質確保に関する検討委員会」の委員長並びに各委員の皆様をはじめ、鋼橋上部工の損傷実態を把握するため、近畿、中国、九州の各地方整備局に橋梁点検データの提供等のご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

1)（一社）日本橋梁建設協会：耐候性鋼橋梁の手引き，2013
2)（公社）日本道路協会：鋼道路橋防食便覧，2014

新型除雪トラックの開発

前田　光昭[1]・橋本　隆志[2]・小林　弘朗[1]

[1]北陸技術事務所　施工調査・技術活用課　（〒950-1101　新潟市西区山田2310番地5）

[2]羽越河川国道事務所　横川ダム管理支所　（〒999-1321　西置賜郡小国町大字綱木箱口736）

除雪作業における圧雪処理の主力機械である大型除雪グレーダ（4.3m320ps 級）は，大型特殊自動車の排ガス規制の強化を期に平成 25 年 3 月をもって国内メーカーによる新車の製造・販売が中止となったことから，圧雪処理の代替機械の開発が緊急的課題となった．

今回，除雪グレーダの代替機械として期待される除雪トラック（10ｔ級6×6路面整正装置付）において，除雪能力の確認，必要機能の検討，路面整正装置の改良を行い，評価を行ったので報告するものである．

キーワード　除雪，除雪トラック，圧雪処理，開発

1. はじめに

除雪作業における圧雪処理の主力機械である大型除雪グレーダ（4.3m320ps 級）（以下「除雪グレーダ」という．）は，大型特殊自動車の排ガス規制の強化などにより国内メーカーによる製造・販売が中止となったことから，圧雪処理の代替機械の開発が急務となっている．

代替機械として期待される除雪トラック（10ｔ級 6×6 路面整正装置付）（以下「除雪トラック」という（写真-1）．）は，平成 2 年度に開発され，圧雪処理を行う路面整正装置を備えているが，除雪グレーダと異なり運転席後方の作業装置であり，作業状態が直接目視できないため，路面状況の変化に応じた適切な操作が困難である．また，路面整正装置のブレード切削角及び推進角が可変できないなど構造的な課題により，除雪グレーダと比較して圧雪処理能力が劣る実態がある．

本検討は，除雪トラックと除雪グレーダの性能比較による除雪トラックの課題を整理し，路面整正装置の改良等により，除雪トラックの施工性を向上させ，多雪地域・山間部における除雪グレーダの圧雪処理作業を補完することを目的に開発検討を行ったものである．



写真-1　除雪トラック（10t級6×6路面整正装置付）

2. 除雪トラックの課題と対策の検討

除雪グレーダと除雪トラックが有する機能及び付加装置の比較，除雪オペレータへのヒヤリング結果から，除雪トラックの「課題」，それに対応する「検討項目」，「検討内容」の整理を行い，現地試験等により対策の検証を行った（表-1）．

表-1　除雪トラックの課題と対策

課　題	検討項目	検討内容
圧雪処理能力不足（※圧雪処理時にブレードが雪面に浮き上がるなど）	牽引力	牽引力の比較 圧雪処理能力の比較
	サスペンションの影響	ブレード・車体の振動の比較 除雪後の路面平坦性の比較
	切削角可変	路面整正装置の改良
WGの動作速度が遅い	油圧系統	油圧系統の改良
WGが視認できない	路面整正装置の視認性	既存技術応用による視認性の改良
ウインドロー処理が困難	サイドシャッタ動作	油圧系統の改良

注）「WG」＝除雪幅可変型路面整正装置

3. 既存除雪トラックの現場試験等による課題検証

(1) 牽引力の比較

除雪グレーダ4.3m，除雪グレーダ3.7m及び除雪トラックの3機種で牽引試験により能力比較した．

山間部での使用を考慮して，各車両にタイヤチェーンを装着させ雪上で試験を実施（写真-2）．

試験年月：2014年1月22日

試験場所：新潟県妙高市（国道18号江口道路ステーション）



写真-2　除雪トラックによる牽引力試験状況

能力評価は，除雪機械メーカの性能曲線による計算値と試験の実測値との比較により行い，比較する牽引力は，牽引速度 5km/h，7.5km/h，10km/h 時の平均値を採用した．

結果は，除雪グレーダ 4.3mを基準に，除雪グレーダ 3.7mは計算値・実測値とも約 20%低く，除雪トラックは計算値・実測値とも約 15%高い牽引力を示し，除雪トラックは除雪グレーダと同等以上の牽引力を有することが確認できた（図-1）．

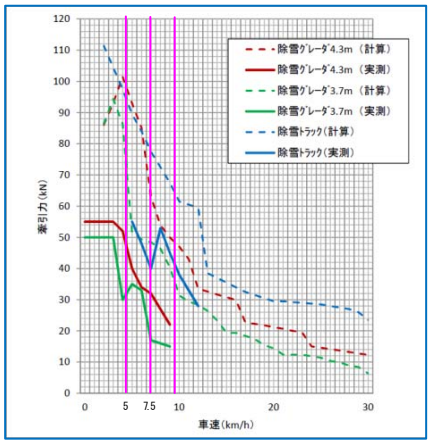


図-1　実測値と計算値の比較

(2) 圧雪処理能力の比較

圧雪能力試験は，新潟県の協力により県道 399 号杉野沢二俣線県道に試験コースを設け実施した．

試験年月：2014年1月22日～23日
試験距離：50m/ﾃﾞｰﾀ
平均勾配：7%
圧雪硬度：40～60kg/cm2

結果は，除雪グレーダ 4.3mに対し，除雪グレーダ 3.7mは若干劣る処理能力，除雪トラックは倍以上の処理能力を有する結果となり，オペレータの意見にあった「圧雪処理時にブレードが雪面上に浮き上がる」現象は確認できなかった（図-2）．

なお試験結果は，縦断勾配 7%が大きく影響し，押付力より牽引力が大きな効果をもたらす結果となり，駆動輪荷重が大きく路面に牽引力を伝えられる除雪トラックが有利となったと考えられる．

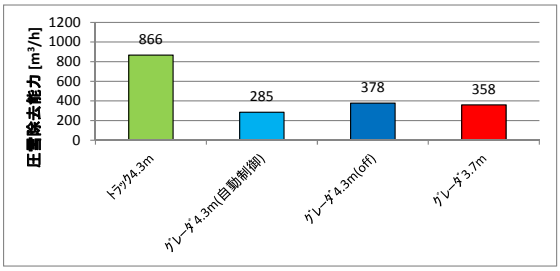


図-2　車種別の圧雪処理能力

(3) ブレード・車体の振動の比較

除雪トラックは，乗り心地対策としてサスペンションを装備しており，これにより圧雪除去時に路面整正装置ブレードが振動して，路面凹凸を発生させる可能性が考えられることから影響を調査した．

調査は，除雪グレーダ及び除雪トラックの路面整正装置ブレードと後輪側車体に加速度計を設置（車体進行方向（X 軸），車体横方向（Y 軸），上下方向（Z 軸））し，圧雪処理能力試験時におけるブレードの振動（加速度）の発生状況と，サスペンションの伝搬状況を確認するため振動を計測した（写真-3）．

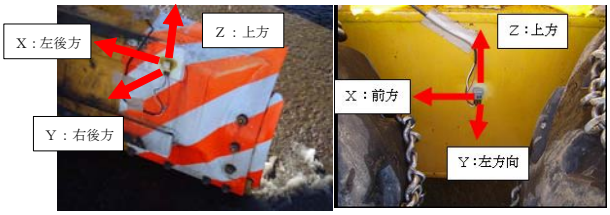


写真-3　3軸加速度計（左:ブレード，右：車体）

1) ブレード振動

ブレードの上下振動（Z 軸）で比較した場合，除雪グレーダ 4.3m，除雪グレーダ 3.7mに比べて，除雪トラックの振動は小さい結果となった(図-3)．

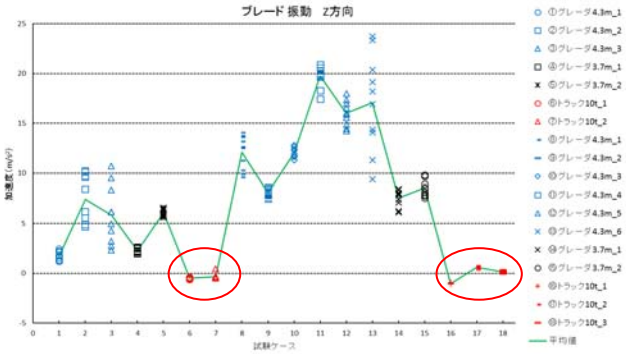


図-3　ブレード加速度－Z軸

2) 車体振動

車体の上下振動（Z 軸）で比較した場合，除雪グレーダ 4.3m，除雪グレーダ 3.7m及び除雪トラックともに顕著な差は見られず，相対的に振動は小さい結果となった(図-4)．

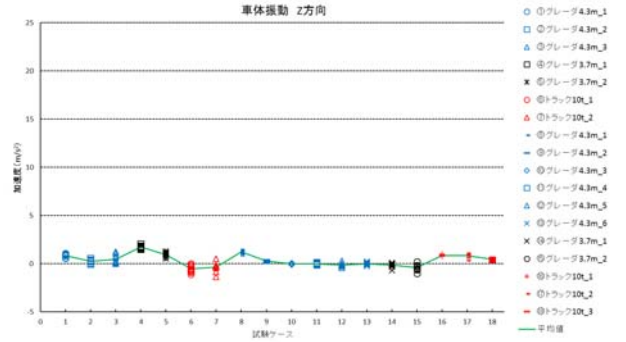


図-4　車体加速度－Z軸

(4)除雪後の路面平坦性の比較

除雪後の路面凹凸の発生は，平坦性評価として測定用の一般車両に座席ピックアップを設置し，全身振動を測定する方法を採用した(JIS B7760-2:2004 に基づき測定)

結果は，上下方向（Z 軸）の加速度実効値で，除雪トラック，除雪グレーダ 4.3m，除雪グレーダ 3.7m の順に大きくなる傾向となり，特に除雪トラックは相対的に小さく不快でないレベル以下に収った（図-5）．

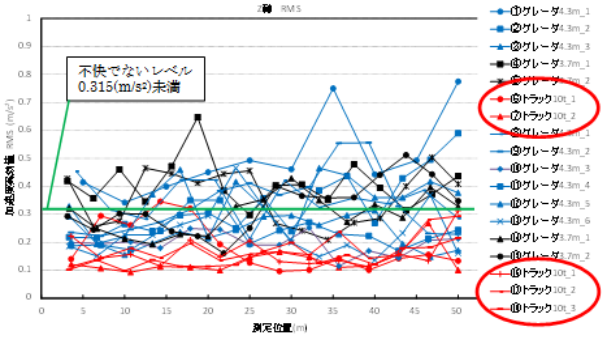


図-5　路面凹凸試験結果

結果から，平坦な舗装路面では，除雪トラックのサスペンションが除雪後の平坦性に影響（圧雪除去時の凹凸の発生）しないことが確認された．

4. 既存除雪トラックの施工性向上のための改良及び評価

(1)路面整正装置の改良

1)改良内容

路面整正装置の可変切削角は，圧雪処理能力の向上となると考え，切削角を 70° 固定から，82.5° ～90° に可変できる機構に改造した．

また，カッティングエッジを平型に変更し，広幅員型 2 枚ブレードの前後のカッティングエッジ段差を最大（90° 時）9.2mm から 2.3mm に低減した（図-6）．

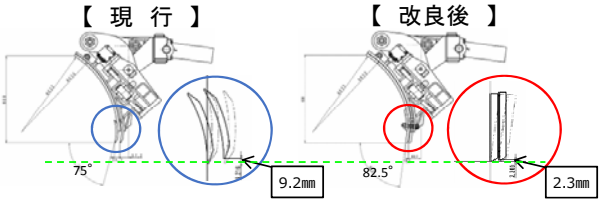


図-6　切削角可変機構

2)改良機構の現場試験（圧雪処理能力試験）

圧雪処理能力試験は，上記 1)の改良を施した除雪トラック，改良前の除雪トラック（切削角 70° 固定）及び除雪グレーダ 4.3m で，1 回目の試験と同じ県道 399 号杉野沢二俣線にて実施した．

能力評価は，「圧雪処理深さ（圧雪の取れ具合）」，圧雪処理後の「路面露出率（二値化処理）」，「路面の平坦性」の比較により評価を行った．

試験年月：2015年1月17日～18日

試験距離：50m/ﾃﾞｰﾀ

平均勾配：7%

圧雪硬度：30～45kg/cm2

①圧雪処理深さ

圧雪処理前後で計測を行い，取れた圧雪深さ（2 回平均値）で評価を行った．

結果は，除雪トラック（切削角固定 70° ）および除雪トラック（切削角可変 82.5° ）と比べ，除雪トラック（切削角可変 90° ）および除雪グレーダ 4.3mの方がより厚く取れる傾向となった（図-7）．

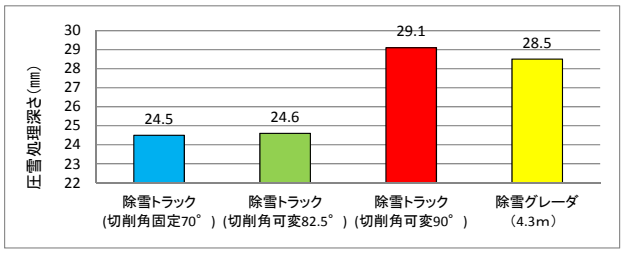


図-7　圧雪処理深さ（mm）

②路面露出率（二値化処理）

二値化処理は，除雪後路面を動画撮影，残雪路面と露出路面を白と黒の 2 階調に変換し，路面が露出している割合で評価するもの．

結果は，圧雪処理深さと同様の傾向となった（図-8）．

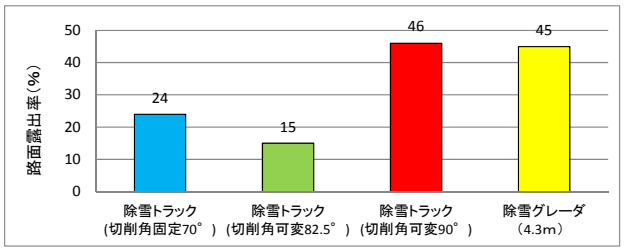


図-8　路面露出率

③ 路面の平坦性

路面凹凸（加速度実効値）で比較した場合，いずれも不快でないレベルとされる 0.315m/s²以下に収まっている（図-9）

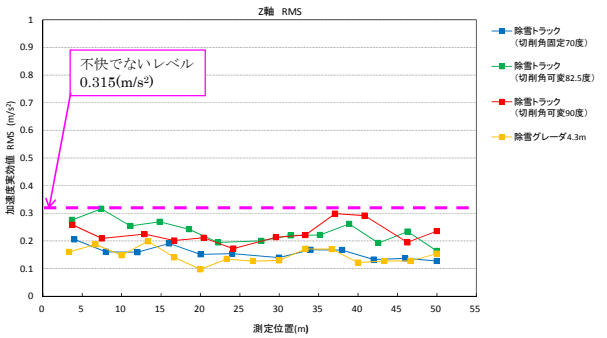


図-9　路面凹凸試験結果

3)改良機構の評価

圧雪処理能力試験の結果，切削角 82.5° と切削角 90° の試験結果で極端な差が見られたため，エッジの刃先状況を確認した．

切削角 90° では写真-4 に示すように，刃先前面から約 10° のテーパーが付いており，路面に対して刃先前方の尖った部分が接触したため，圧雪処理能力が向上したものと考えられる．

これに対して切削角 82.5° では，試験前の除雪作業において同じ切削角 82.5° で使用していたことから，刃先は既に磨り減っていた事が推測され，路面に対して刃先全面で接触したため，圧力が分散し，圧雪がはげ難かったのではかと思慮される．

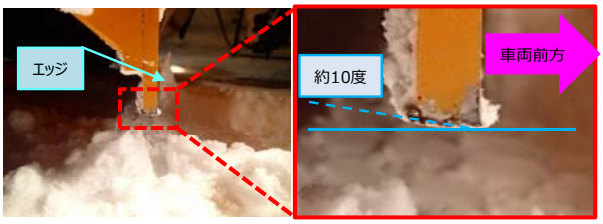


写真-4　切削角 90° 時の刃先

よって，切削角を変えられることで，エッジの刃研ぎを行えることが圧雪処理において有効であることが確認された．

(2)油圧系統の改良

路面整正装置ブレードの伸縮・上下・反転，サイドシャッター動作の速度向上を目的とし，現行のシリンダー及び油圧配管をそのまま使用して許容できる油圧ポンプ容量を 36.9 cc／rev から 56.2 cc／rev に大きく改良し，動作速度を現状から約 1.5 倍向上することができた（表-2）．

表-2　各装置動作速度の変化（単位：秒）

装置	動作		ポンプ（現状）	ポンプ（改良型）
路面整正装置	ブレード上下	上げ動作	3.2	2.1
		下げ動作	4.7	3.1
	ブレード反転	展開動作	2	1.3
		格納動作	2.9	1.9
	右ブレードスライド	伸び動作	4.3	2.8
		縮み動作	2.9	1.9
	左ブレードスライド	伸び動作	4.3	2.8
		縮み動作	2.9	1.9
	左右ブレード同時スライド	伸び動作	8.6	5.6
		縮み動作	5.8	3.8
	サイドシャッター開閉	開操作	0.6	0.4
		閉操作	0.8	0.5
プラウ	フロントプラウ上下	上げ動作	2.2	1.5
		下げ動作	自重	自重
	フロントプラウ左右アングル	左アングル動作	5.6	3.7
		右アングル動作	5.6	3.7
他	幅灯伸縮	伸び動作	0.5	0.3
		縮み動作	0.3	0.2

(3)既存技術応用による視認性の改良

路面整正装置の視認性向上のため，以下の既存技術を応用した改良を行い，操作性・安全性の検証を行った．

1)カメラによる状態監視

ブレード状態及び仕上がり路面を確認するため，車両後部の左右２箇所にカメラを設置し，映像は室内モニターに表示した（写真-5）．



写真-5　モニターの設置及び画面状況

2)角度センサーによる状態監視

ブレードの反転機構部に角度センサーを取り付け，検知した角度を室内の表示パネルに切削角として数値で表示した（写真-6）．



写真-6　センサー設置位置及び表示パネル状況

3)アラウンドビューモニターによる状態監視

広角カメラを車両の前後左右４箇所に設置，上空から車両を見たような画像に処理し，画像は室内モニターに表示した（写真-7）．



写真-7　モニターの設置及び画面状況

4)スライドセンサーによる状態監視

ブレードのスライド機構部に位置センサーを取り付け，除雪幅および車体からの張出幅を室内の LED ランプ式表示パネルで表示した（写真-8）．



写真-8　センサー設置位置及び表示パネル状況

5) ＬＥＤ式小型ブレードマーカー(左側)の追加

サイドシャッター装着車両は，スペースが無くブレード左側に通常の大きさのマーカーは装着できないため，装着可能な小型ＬＥＤマーカーを設置した（写真-9）．



写真-9　小型ＬＥＤマーカの設置状況

5. 改良項目の適応性評価

改良した除雪トラックを北陸地方整備局管内５箇所の除雪工区（妙高，藤沢，長岡，湯沢，二居）実作業に導入し，使い勝手等についてオペレータ 14 人にヒヤリングを行い，改良の評価を行った．

(1) 圧雪処理の仕上がり状況

除雪グレーダと比較した結果は以下のとおり．

a) 直線区間

・仕上がり状況に変化はなかった．

b) 交差点区間

・仕上がり状況に変化はなかったが，進行方向右側からウインドローの発生が確認された．

c) 急カーブ区間（ヘアピンカーブなど）

・仕上がり状況に変化はなかったが，進行方向右側からウインドローの発生が確認された．

(2) 改良項目評価

オペレータへのヒヤリング結果は，以下のとおり．

a) 切削角可変機構

・60%が，圧雪処理作業に効果があると評価した（図-10）．

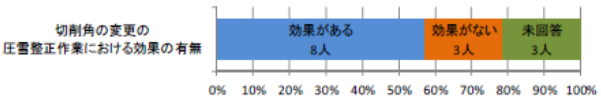


図-10　切削角可変機構の評価

b) 路面整正装置の各動作速度アップ

・50～70%が，丁度良い速度であると評価した．

c) カメラによる状態監視

・ブレード状態監視案の中では最も必要性が高いと評価された．

d) 角度センサーによる状態監視

・約半数が使い勝手が良いと評価された．

e) アラウンドビューモニターによる状態監視

・見難いとの意見が多く，必要性は低いと評価された．

f) スライドセンサーによる状態監視

・ミラーで確認するため必要性は低いとの評価された．

g) ＬＥＤ式小型ブレードマーカー(左側)の追加

・小さくて見難いが，必要性は高いとの評価された．

(3) 改良項目評価のまとめ

・切削角可変機構，各動作速度アップ以外は，評価が低い結果となった（表-3）．

表-3　改良の効果及び評価

改良項目	効果	状態監視精度	必要性	総合　評価
路面整正装置の切削角可変機構の追加	◎	－	◎	○
路面整正装置の各動作速度アップ	○	－	◎	○
カメラによるブレード状態監視	△	△	○	△
角度センサーによるブレード状態監視	○	△	△	△
LED式小型ブレードマーカー(左側)装着	△	×	○	△
スライドセンサーによるブレード状態監視	△	△	×	×
アラウンドビューモニターによる状態監視	×	×	×	×

6. 新型除雪トラックの仕様とりまとめ

各試験結果から，圧雪処理作業を補完するために除雪トラックへ採用すべき仕様を設定した（表-4）．

また，標準装備品を新車から装着した費用も設定した．

表-4　仕様（改良項目）及び取り扱い

課題	改良項目	取り扱い方法
圧雪除去能力不足	切削角可変機構の追加	標準装備
WGの動作速度不足	路面整正装置の各動作速度アップ	
WGの視認性不足	カメラによるブレード状態監視	オプション
	角度センサーによるブレード状態監視	
	LED式小型ブレードマーカー（左側）装着	

7. 新型除雪トラックの効果

新型除雪トラックで作業性の向上が確認された作業内容は下表のとおり（表-5）．

表-5　作業内容の比較

作業内容	除雪グレーダ (4.3m級)	除雪トラック 現行	除雪トラック 新型	注記
高速除雪（30km/h以上）	×	○	○	
圧雪除去（硬度40～60kg/cm^2）	○	△	○	
橋、トンネル等除雪幅への対応	○	△	○	
縁石、ジョイント等構造物回避	○	△	○	
降雪が多い場合の除雪	○	△	△	*2)
交差点除雪*1)	○	△	△	*3)
待避所の除雪	○	△	△	

*1)：後退動作、雪の横持ち、直角部の除雪作業等含む
*2)：ブレードの高さが低いため、雪の抱え込みが少ない
*3)：ブレードの高さが低い、進行角が固定、サイドシャッターの位置が内側のため、雪の抱え込みが少ない

8. まとめ

今回開発された切削角可変機構，各油圧装置の動作速度アップ，視認性の改良により，除雪トラックの圧雪処理能力及び作業性能は向上することが確認された．

また，多雪地域・山間部における除雪グレーダの圧雪処理作業を除雪トラックで代替可能なことも確認された．

9. あとがき

今後は，新型除雪トラックを除雪工区に試験導入し，今回の現地試験では再現できなかった厳しい状況下での能力及び操作性を確認するための追跡調査を実施する予定である．また，出力の小さい除雪グレーダ（3.7m220ps 級）が再販となるため，それらとの使い分けも考慮し，大型除雪グレーダ（4.3m320ps 級）更新時の機種検討及び除雪機械配備計画見直しの検討を行いたい．

天塩川における塩水遡上形態と ヤマトシジミ生息環境の関係

杉原　幸樹[1]・小林　充邦[2]・平井　康幸[1]

[1](国研)土木研究所　寒地土木研究所　寒地水圏研究グループ　水環境保全チーム

(〒062-8602　北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

[2]北海道開発局　留萌開発建設部　治水課(〒077-8501　北海道留萌市寿町1丁目68).

天塩川におけるヤマトシジミ生息環境保全を目的として，塩水遡上形態とシジミ現存量との関係を調べた．天塩本川の鉛直流速分布を超音波流速計で連続観測した結果，明瞭な塩水遡上が確認された．流速結果から塩水楔の標高位置を算出し，楔位置の時間変化を推定した．さらに標高毎に塩水の接触頻度を算出し，シジミ現存量と比較すると，シジミはほぼ淡水域に多く生存していることがわかった．

キーワード　超音波流速計，塩水遡上，ヤマトシジミ，生息環境

1. はじめに

ヤマトシジミ（以下シジミと略す）は，我が国における重要な水産資源であるが，その生産量は1970年の5.6万トンをピークに減少を続け，2012年では0.7万トンにまで減少している[1)]．国内のシジミ漁場の北限でもある天塩川においては，天塩川本川および接続するサロベツ川，パンケ沼でシジミ漁業が行われている．図-1に天塩川水系でのシジミ漁獲量の推移を示す．パンケ沼の漁獲量は1985年をピークに減少し，2011年では漁獲がほとんどない．河川域では1993年をピークに，その後減少して，直近10年では70t前後で推移している．漁場はパンケ沼から河川域に移り，天塩川水系としてのシジミ漁獲も減少している現状である．

シジミの生息や再生産のためには，塩分濃度，水温，溶存酸素，底質粒度組成が重要であることが知られている[2)]．しかし，天塩川においては河口における塩水混合形態[3)]，塩水遡上距離[4),5)]，塩水遡上形態[6)]については報告例があるが，シジミや底質性状などの関係については報告例がない．一方で，底質改善を目的とした覆砂等が実施されているが，その効果等は明らかにはなっていない．これら事業効果を評価するためには河川管理と生息環境保全を両立できる適切な指標が求められる．しかしながら，天塩川においては生息環境として不明な点が多く，明確な指標がない現状である．

そこで，本研究は天塩川におけるシジミ現存量，および流速と塩分濃度の現地観測を行った結果をまとめ，ADCPの流速データより塩分の時系列変動を推定した．

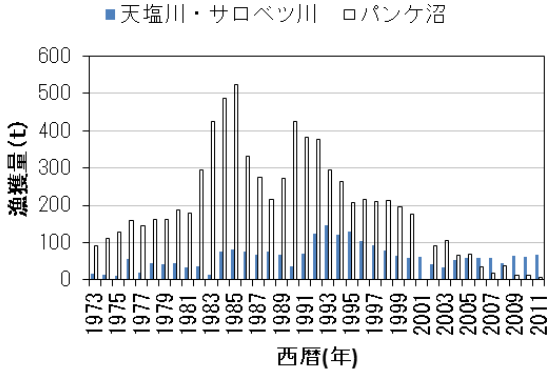


図-1　天塩川水系におけるシジミ漁獲量推移

(さけます・内水面水産試験場事業報告書
北海道の内水面漁業統計より作成)



図-2　天塩川位置図

(国土地理院地図を引用して作成)

また塩分推定結果から河川流速を指標としたシジミ生息環境の検討を行った．

2. 現地観測

本研究は北海道北部に位置する天塩川(流路延長256km, 流域面積5590km^2，図-2参照)を対象とした．天塩川では河口から19.4kmまで塩水が遡上することが知られており[3]，河口から30km上流に設置されている円山(まるやま)水位・流量観測所においては，水文水質データベースの水位データで確認する限りでは潮位の影響による水位変動はみられない．なお，図-1中KPは河口からの距離を表し，KP7.8は河口から7.8km上流であることを示す．

(1)シジミ現存量調査

現存量調査は2005年11月1日～11月13日の間に留萌開発建設部により1回実施された．天塩川KP1.2～KP16.4までの0.4～1km間隔毎の横断測線上(全23測線)において，左右岸の河床標高が-0.5m，-1.0m，-1.5m，-2.0m，-3.0mの位置でスミスマッキンタイヤー採泥器(採泥面積：0.0483m^2)を用いて3回ずつ底泥を採取した．採取した底泥より殻長2mm 以上の個体を抽出し，その生息密度及び殻長組成を計測している．

底質調査は各測線上の標高-1.0mよりエクマンバージ採泥器を用いて底泥を採取し，粒度組成と強熱減量の分析を行っている．本研究では，これら調査結果を提供いただき，解析を行った．

(2)流況観測・鉛直機器観測

KP7.8において超音波流速計(TELEDYNE RD Instruments Workhorse sentinel 1200kHz，以下ADCPと略す)を河床から鉛直上向きに設置した．設置箇所の横断図を図-3に示す．設置箇所の平水時水深は概ね6mであり，10分おきに鉛直方向に0.28m間隔で流速を計測した．観測期間は2011年7月22日～11月15日，および2012年6月28日～10月31日である．また，上記観測期間中に約2週間毎で多項目水質計(JFEアレックCompact-CTD，以下CTDと略す)を用い，水温・濁度・塩分の鉛直分布を計測(鉛直方向0.1m間隔)した．

3. シジミ現存量・底質調査結果

(1) シジミ現存量の分布

図-4に標高毎に左右岸の現存量を平均した値を縦断距離に対してプロットした結果を示す．この結果から天塩川では標高が-1.5mより高い位置では縦断的にある程度の現存量が分布し，標高-2.0m以下では全域で現存量が減少していた．また，縦断的にみるとKP8.0付近の現存

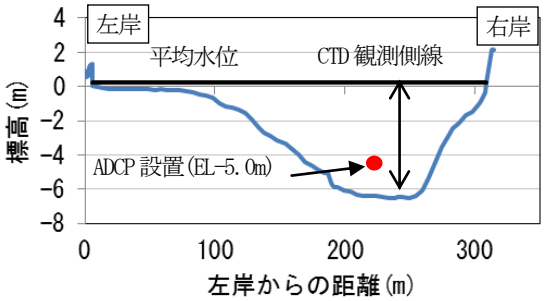


図-3 天塩川 KP7.8 横断図

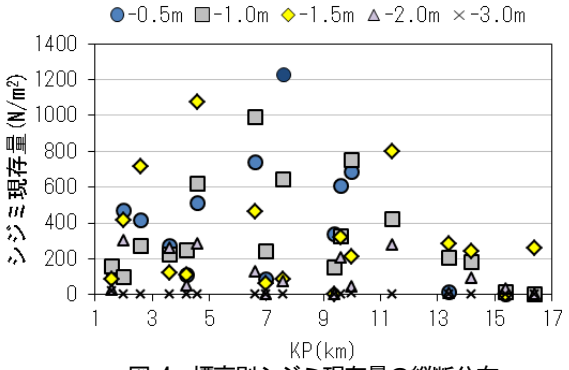


図-4 標高別シジミ現存量の縦断分布

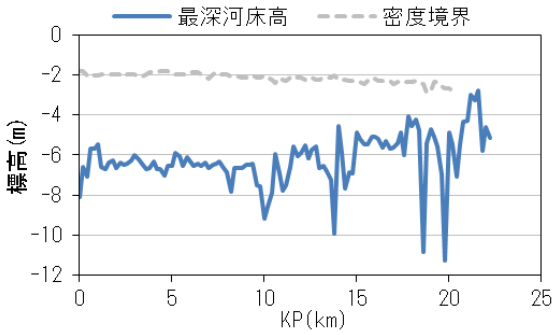


図-5 最深河床高と密度境界の縦断変化

量が大きくなっており，特に標高-0.5mと-1.0mの位置では顕著であった．ここで2005年9月20日に留萌開発建設部によって行われた音響測深機による密度境界の縦断観測結果と最深河床高を図-5に示す．塩水とみられる明瞭な密度境界がKP20.0までほぼ同一標高に確認できる．この結果は縦断的に標高毎の汽水条件がほぼ同様であることを示唆している．そのため図-4の結果において標高-2.0mでシジミ現存量に鉛直方向の差が生じ，その傾向は縦断的に同様であることが推察される．しかし，音響測深機による縦断観測で時系列変化を捉えるには，多大な労力を必要とし，非現実的である．一方，中村ら[2]は底質性状によりシジミ生息数が異なることを示しており，本研究でも同様に底質との比較を行った．

(2) シジミ現存量と底質性状の関係

次にシジミ現存量と底質性状の関係を検討する．ここで，対象とするシジミ現存量は底質分析結果と同一標高の-1.0mのみとする．

図-6に底質の強熱減量に対するシジミ現存量の関係を示す．この結果から，強熱減量とシジミ現存量には明瞭な関係は見られなかった．宍道湖[2]においては強熱減量が増加するほど，シジミ生息数が減少し，15%以上ではほぼ生存していないことが報告されている．本調査における底質は強熱減量が15%以下であり，天塩川の標高-1.0mはシジミが生息可能な環境となっていると思われる．

次に図-7に底質中のシルト－粘土組成率とシジミ現存量の関係を示す．底質のシルト－粘土組成率と現存量にも明瞭な関係は見られなかった．しかし，天塩川におけるシルト－粘土組成率は非常に高い特徴がみられ，シジミの生息限界[2]とされる50%を超えるような底質環境でもシジミが生息していることが確認された．これらは，天塩川におけるシジミの生息にとっては底質性状よりは他の要因が支配的であることを示唆している．そこで，他の要因として流速と塩分の観測結果をまとめる．

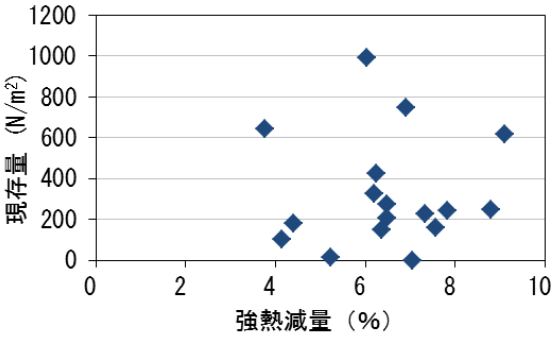


図-6　シジミ現存量と底質強熱減量の関係

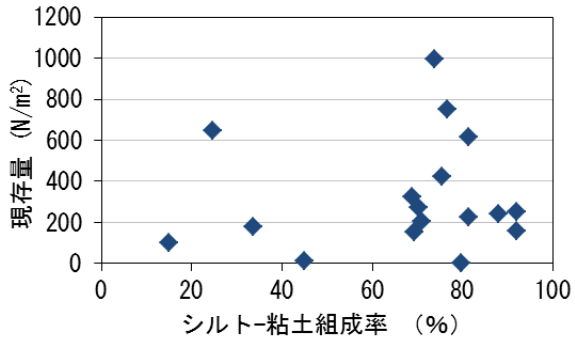


図-7　シジミ現存量と底質組成の関係

4.　流速観測・塩分観測結果

図-8 に ADCP による 2012 年の流速観測結果をコンター図として示す．図は流速ベクトルを回転補正し，上流向き成分を正値で赤色，下流向き成分を負値で青色としてまとめた．また参考として中川気象観測所における時刻雨量を加える．この結果より天塩川においては表層では下流向きの流速，下層では上流向きの流速が明瞭にみられ，降雨時には全層で下流向きの流速が卓越することが分かった．この挙動は 2011 年も同様であった．

次に図-9に2012年のCTDによる塩分観測結果を示す．天塩川においては明瞭な塩分躍層が見られ，表層はほぼ淡水であり，下層がほぼ海水となっている特徴がある．この傾向は2011年の観測でも同様で，鉛直的にみると急激に塩分濃度が変化することが確認された．これらの結果から天塩川においては明瞭な躍層を形成して海水が遡上し，河川流量増加時に下層の海水が押し出されることが明らかとなった．

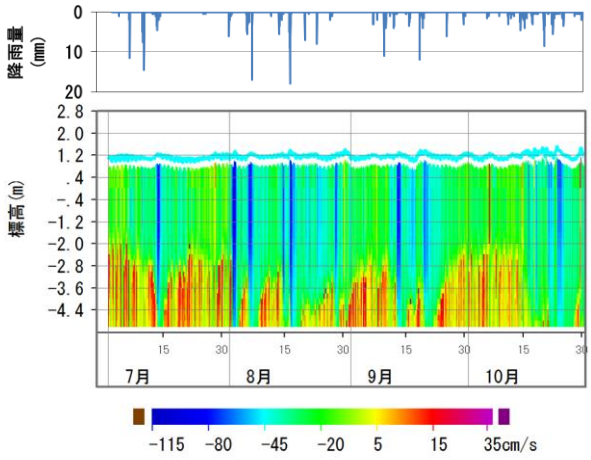


図-8　2012 年における ADCP 観測結果

次にシジミ現存量との関係を考慮すると，シジミの生息塩分帯は5~20PSUが適している[2]といわれる．しかし，天塩川では，その塩分に合致する期間が非常に限定されることが推察される．それらを明らかにするためには時系列の鉛直的な塩分変化が重要となるが，鉛直方向の塩分変化を時系列として把握するには，多大な労力を必要とする．天塩川が極端な弱混合で塩水遡上する特徴があることから，ADCP観測結果を用いて塩分境界の推定を試みた．

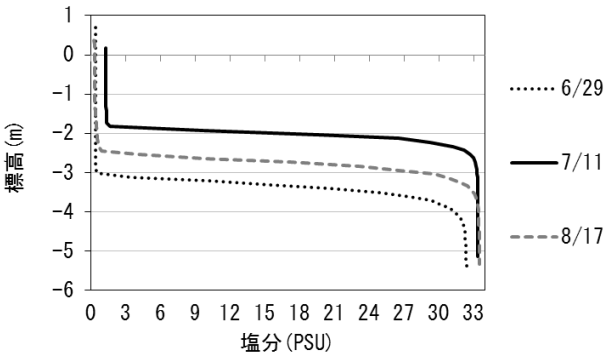


図-9　2012 年における CTD 観測結果

5.　塩分境界面標高の推定

図-10に2012年7月11日におけるADCPの流速鉛直分布とCTDの塩分鉛直分布を示す．ここで，流速の負値は下流向きの流れを表している．塩分の急変部は流速の急変部とほぼ同調しているが，急変部の標高位置は0.5～1.0mほど異なっている．そこで流速の急変部が存在すること

から，観測層間の下層の流速から上層の流速を減じた値を流速差(ADCPは約0.3m間隔で鉛直多層の流速を観測しているため，例えば標高-4.8mの流速差は-4.8mの流速から-4.5mの流速を減じた値)として算出した．この流速差のピークは海水の上端位置に良い一致を示していた．流速差ピークと海水上端の位置は2011年及び2012年のすべての観測時でよく一致していた．なお，降雨時など河川流量が増加する場合には全層で下流向きの流速となるため，流速差はピークを有する分布にはならず，不明瞭な分布となる挙動を示した．

これらの挙動から，流速差を見積もることで海水面の上端位置(以下，境界位置と称する)を時間変化として，推定できると考えられる．西田ら[7]は，石狩川における塩淡境界層はADCPの反射強度を利用して推定可能であると報告している．しかし，天塩川においては濁りと思われる反射強度の増大によって，塩分鉛直分布と反射強度鉛直分布はほぼ一致しなかった．そのため，本研究では流速差を用いた境界位置を算出する手法を試みている．観測したADCPデータより境界位置を時系列変化として見積もった結果を図-11に示す．なお，流速差のピークが不明瞭な場合は境界位置をADCPの設置位置である-4.8mとしてまとめている．図-11の結果は図-8のコンター図の色の境界よりも0.56mほど高標高側に海水境界位置が算出されていたが，CTDの観測結果とはよく一致した．また，降雨により境界位置が低下し，ほぼ流速挙動と同調することから，天塩川における境界位置を妥当に表していると考えられる．

6. 塩水遡上とシジミ現存量の関係

図-11 の結果から，各標高において塩分と接触する時間が推定可能となり，標高毎に塩分が接する時間を見積もった．図-12 に KP7.8 における標高毎の海水の接触頻度およびシジミ現存量を示す．海水接触頻度は冬季の観測を実施していないため，年毎に観測期間中の割合とした．この結果から天塩川の 2011 年および 2012 年では標高-1.5m 以上では，ほとんど海水に接触していないことがわかる．しかし，シジミ現存量は標高-1.0m で最も多くなっている．標高-1.0m における海水接触頻度は 1%以下であり，天塩川のシジミはほとんどが淡水域に生息していることがわかる．また，海水の接触頻度が 50%をこえる標高-2.5m 以下ではほとんどシジミが生息していないことが明らかとなった．さらに左右岸のシジミ現存量をみると左岸側の現存量が多くなっていた．図-3 の横断図をみると法面勾配に差があり，傾斜が急になると生存もしくは着底できないこと，漁獲による減耗が示唆されるが，詳細は不明である．なお，汽水接触頻度(図-9 中境界位置＋0.84m で集計，塩分 5PSU 以上の塩水)は標高-1.0m で 2%(1 ヵ月に半日ほどの頻度)，標高-

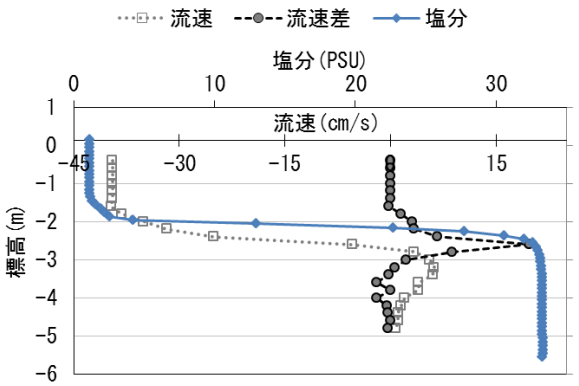


図-10 流速と塩分の鉛直分布の比較

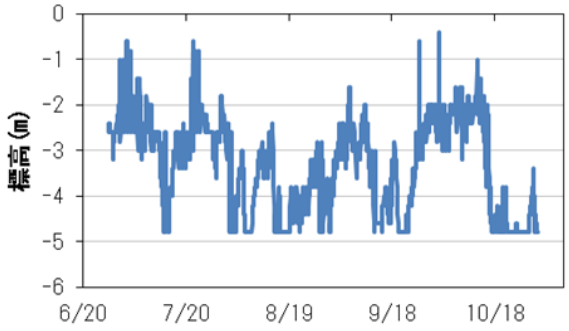


図-11 2012 年の境界位置推定結果

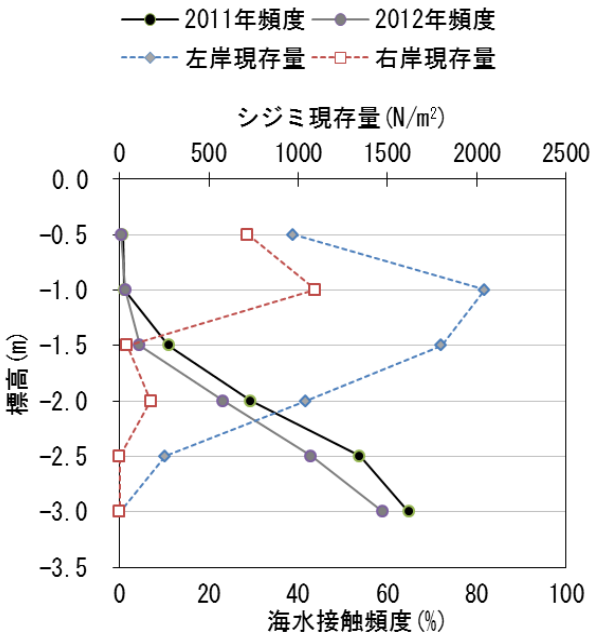


図-12 海水接触頻度とシジミ現存量の関係

1.5m で 20%(1 ヶ月に 1 週間ほどの頻度)であった．

この結果から標高が高い位置にシジミが多く生息するが，ほとんど塩分が接触しないことが明らかとなった．天塩川におけるシジミの産卵には塩分 5PSU 以上，水温 25℃以上が必要と報告[8]されている．本研究結果は天塩川 KP7.8 付近ではシジミは生息しているが再生産が起こらないことを示唆し，現状の資源量は天塩川の上流域で産卵が起こり，流された個体が着底・成長しているもの

と推察される．

しかし，資源量を維持するためには上流域への塩水供給に加え，本川域においても産卵を誘発する環境が重要であると考えられ，河川管理上は指標が必要となる．

7. 境界位置と水文量の関係

(1) データ分散と統計

本研究では実務において適用しやすく，簡便な指標を目指す．天塩川においては明瞭な塩水楔を有する特徴から，境界位置の時間変動が重要となるが，常に塩分の鉛直分布を計測するには多大な費用を必要とする．そこで，既設観測所のデータから直接的に境界位置を算出することを試みた．

まず流速について検証する．対象とする流速は2割水深に相当する標高とした．これは定期流量観測時の測定水深に一致するためである．一般的に境界位置は淡水層の平均流速により算出されるが，塩水が静止することなど条件が多く，かつ現地において淡水層の平均流速を測定することは労力を要することからも，定期観測データの援用を考慮した．

まず各標高の境界位置の出現時間を図-13 に示す．観測最低標高である-4.8m で出現時間が長くなっており，観測期間中の 20%が全層で淡水になることを示している．標高-4.8m 以上では，2011 年と 2012 年の両年ともに標高-2.4m をピークとする山形の分布となっていた．

次に 2012 年の各境界位置標高とそのときの 2 割水深流速(ADCP による観測値)の分散を図-14 に示す．ここで流速の負値は下流向きの流速を表し，標高毎の平均値を青丸で示している．2 割水深流速の分散はかなり大きいが，平均値をみると流速の絶対値が増加するほど，境界位置が低下する傾向を示した．しかし，標高-1.0m 以上では流速の増加で境界位置が上昇する挙動がみられ，集計母数の少ないこと，水面付近のため観測値の精度が低いことなど，誤差の影響が大きいと考えられる．このとき標高毎の流速の標準偏差は 3cm/s～20cm/s であり，標高が低いほど偏差が大きくなっていた．これらは潮汐などの影響により，流速の分散が大きくなっていることが推察される．しかし，図-14 における平均値の分布は，全体として流速平均値±20%の精度で境界位置を表現可能と考えられる．

(2)河川流速と河川流量による境界位置の算出

図-15に2011年と2012年の境界位置とADCP観測時の2割水深流速の平均値の関係を示す．ここで，流速は負値が下流に向かう流れの速さを表している．2011年の結果が2012年に比べて，境界位置に対して流速の変化がやや小さくなっている．しかし流速の精度が±20%ほどであることを考慮すると，ほぼ同様の分布であると言える．

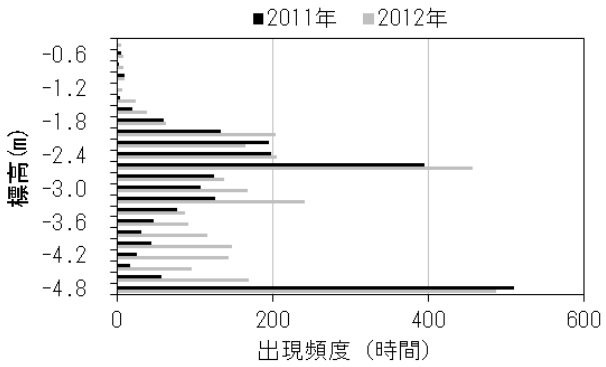


図-13　境界位置の出現時間

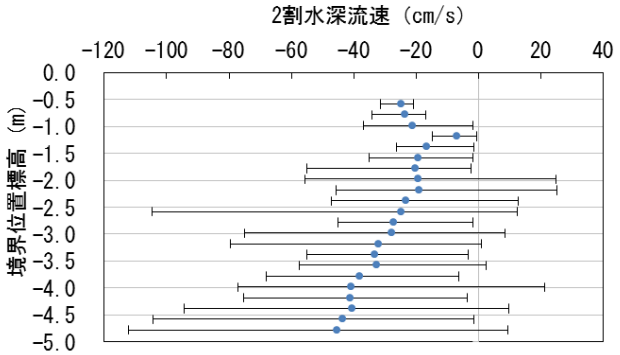


図-14　2012 年の境界位置標高と流速分散の関係

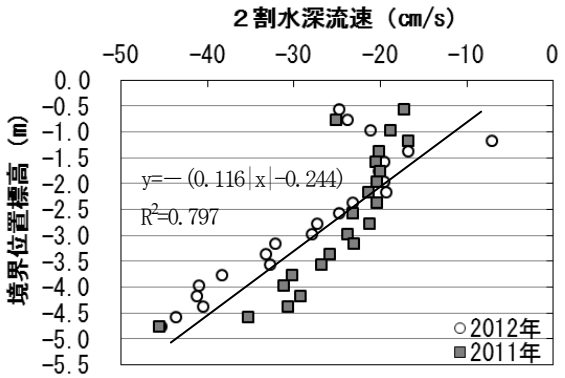


図-15　2 割水深流速と境界位置の関係

この結果から境界位置は断面形状が同じ限り，点流速によって概算することが可能であることが示された．このとき2年分の分布全体から最小二乗法による相関係数が最も高い，線型近似式を図中に加える．点流速からの境界位置の概算においては，境界位置が-1.0m以上では誤差が大きく，これらの精度向上が今後の課題となる．

また，他の経年的なデータが蓄積されている指標と比較するため，同様の解析を円山観測所(図-1参照)流量に対して行い，図-16に示す．ここで，円山観測所は潮位影響を受けない地点のため，観測データの精度が高く，淡水のみの影響を検討できることからも比較地点に選択した．円山観測所の平水流量は約110m^3/s，低水流量は約75m^3/s（1980年～2012年の平均値）である．図-16の結果をみると，流量が110m^3/sまでは境界標高の変動が大きく

なっており，流量が110m³/sを超えると境界標高が-3.0mよりも低下する傾向が見られる．このとき最小二乗法による相関係数が最も高い，対数近似式を図中に示す．以上から，上流流量からも境界位置の概算が可能と判断し，既存の観測所データを用いることにより過去の状況推定にも適用できることが示唆された．ADCPによって推定した境界位置は流速や流量との回帰分析から決定係数が0.797，0.856となり，相関係数は0.89，0.92と高い相関関係にあることが示された．これらの挙動は境界位置を河川管理によって制御できる可能性を示している．同時に既往の観測データから過去の塩水状況の復元，および将来の想定が可能となったことを示している．

一方で，天塩川直近の潮位観測所である稚内の潮位と境界位置の関係を**図-17**に示すが，潮位とは明瞭な関係性が見られず，今後はこれらを組合わせることで，より精度の高い境界位置推定が期待される．

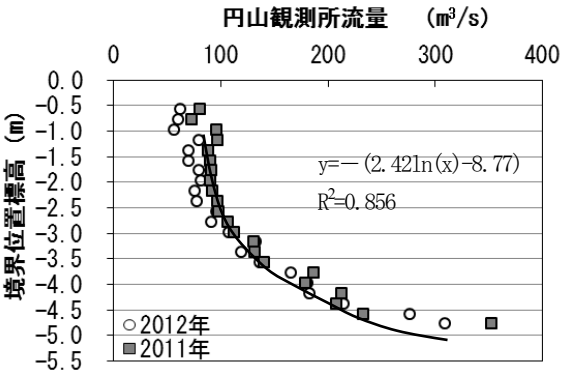


図-16　上流流量と境界位置の関係

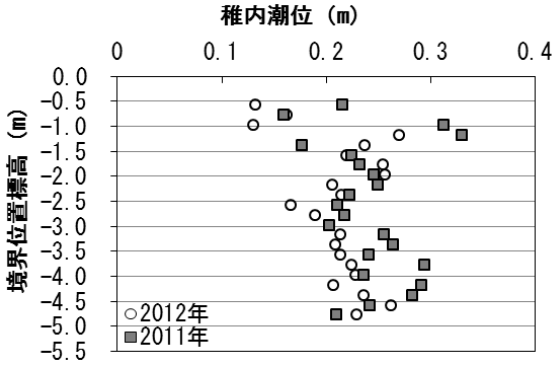


図-17　潮位と境界位置の関係

8. まとめ

本研究で得られた結果を以下にまとめる．

- 天塩川のシジミは標高によって生息域が区別され，縦断的には広く分布している．
- 天塩川の KP7.8 において塩水遡上は，明瞭な二層流を形成し，希釈されずに海水が遡上する．
- ADCP による観測層間の流速差から海水境界位置を推定した．
- 点流速によって境界位置が算出可能となった．
- 淡水流量によって境界位置が算出可能となった．

本研究により天塩川の塩水遡上の特徴とシジミ生息環境の関係性が明らかになり，計測の困難な水中塩分分布の連続的な挙動を淡水流量などで推定可能となった．これにより，過去のデータ復元も可能となる．さらに，流速や流量を制御することでシジミ生息環境を制御できる可能性が示唆された．しかし，天塩川の塩水遡上形態は弱混合型で海水がほとんど希釈されず，汽水層は薄い層状となる．そのため，シジミ生息環境保全のためには汽水接触期間等を慎重に検討する必要がある．今後は塩水遡上の上流端距離や上流域への影響を精査し，シジミ資源の再生産手法の確立を目指す．

参考文献

1) 農林水産省：内水面漁業生産統計，http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/naisui_gyosei/index.html

2) 中村幹雄：宍道湖におけるヤマトシジミ*Corbicula japonica PRIME*と環境との相互関係に関する生理生態学研究，島根県水産試験場研究報告　第9号，1998.

3) 八鍬功，高橋将，大谷守正：天塩川河口における塩水の侵入，　海岸工学研究発表会論文集，第21巻，pp.377-380，1974.

4) 山本晃一，高橋晃，深谷渉：感潮河川の塩水遡上実態と混合特性，土木研究所資料，第3171 号，1993.

5) 安間恵，徳岡隆夫，吹田歩，西村清和：天塩川およびサロベツ川の塩水遡上，LAGUNA，No.12，pp.15-22，2005.

6) 西田修三，吉田静男：天塩川河口二層流の水理特性，海岸工学研究発表会論文集，　第33巻，　pp.601-605，1986.

7) 西田修三，吉田静男：ADCPを用いた河口二層流の観測，水工学論文集，第41巻，pp.1029-1034，1997.

8)佐々木義隆：ヤマトシジミの人工種苗生産に関する研究，北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場研究報告，1号，pp.1-47，2011.

環境に配慮した天神川水門の施工について

平松　健一[1]・國時　正博[2]

[1]中国地方整備局　出雲河川事務所　大橋川出張所　（〒690-0011 島根県松江市東津田2338）

[2]中国地方整備局　出雲河川事務所　大橋川出張所　所長　（〒690-0011 島根県松江市東津田2338）.

出雲河川事務所は、大橋川改修の一環として、大雨により宍道湖の水位が上昇した際に天神川への洪水の流入による松江市街地の浸水を防ぐため、天神川水門の建設に平成24年度から着手し平成27年1月に完成させた。

天神川水門は島根県立美術館の前に立地しており、岸公園から白潟公園にかけて宍道湖の美しい風景が見渡せることから景観に最大限配慮した「ライジングセクタゲート」と呼ばれる構造を山陰地方で初めて採用した。

本論文は景観や周辺環境に最大限配慮した施工の事例を取りまとめたものである。

キーワード　天神川水門、景観配慮、ライジングセクタゲート

1. 天神川水門の必要性

松江市の中心部を流れる天神川は、江戸時代に開削された流路延長4.3kmの人工河川であり、昭和47年7月や平成18年7月の豪雨では、宍道湖の水位が上昇し、天神川への洪水の流入により、沿川市街地の広範囲に渡り、長時間の浸水被害が発生した。（図-1）

天神川水門は、大橋川改修事業の一環として、こうした浸水被害を防ぐことを目的として、天神川の最上流部（宍道湖側）に整備したものである。（図-2）



図-1　天神川氾濫状況



図-2　天神川水門の位置

2. 水門建設における景観への配慮

水門の両岸には市を代表する公園や、島根県立美術館などが隣接し、「宍道湖の夕日」を眺める通行者も多く、観光客や市民が多く来訪する場所に位置している。

本箇所は、平成19年3月に松江市景観計画の宍道湖景観形成区域に指定されており、水門としての機能を確保した上で「宍道湖への眺望やアプローチを阻害するものは避ける」「主要道路等から視認される良好な宍道湖景観の保全を図る」「建築物相互の形態、色彩等に配慮する」など景観に対する配慮が求められた。（図-3）



図-3　水門計画地周辺の景観及び利用状況

3.景観に調和した設計

(1) ライジングセクタゲートの採用

ゲート形式によって水門の構造は大きく変わり、周辺環境に与える影響は大きい。宍道湖の夕日鑑賞スポットの保全及び両岸に位置している公園との調和を図るためには、「地上への構造物の突出」と「ゲートや堰柱の存在感」を抑えることが重要である。このため門柱レスタイプのゲート形式として、ゲート開閉機を堰柱内に格納することで堰柱の大きさ（存在感）を抑えることができるライジングセクタゲートが採用された。（図-4）

本ゲートの特調は、平常時は空中に格納しているゲート扉体を、洪水時の水位上昇に合わせて回転させ、川を締め切る工法であり、背の高い門柱が不要となると同時に、操作機器類を門柱内に格納できることから操作台も不要となり、ローラーゲートと比べて景観面で優れるものとなっている。（図-5）

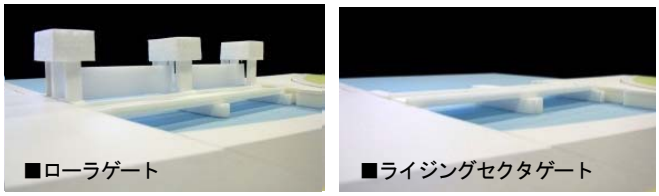


図-4　水門形式の比較イメージ

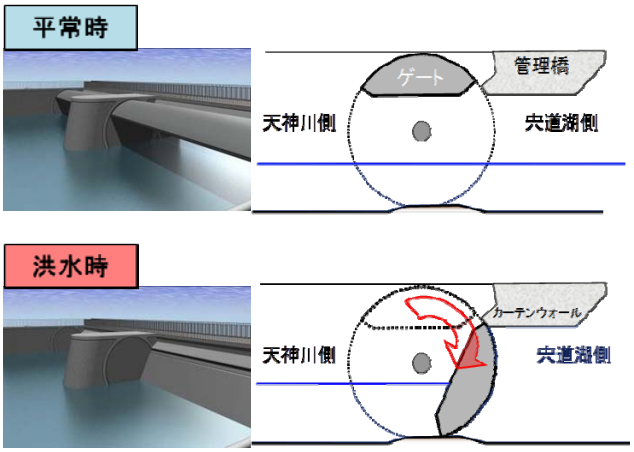


図-5　水門操作のイメージ

●天神川水門の概要
- 総 工 費　　：　99 千万円
- ゲート形式　：　ライジングセクタゲート
- 門　　数　　：　2 門
- ゲート幅　　：　16.4m
- ゲート高さ　：　3.5m

●ライジングセクタゲートの特徴
- 山陰地方では初
- 全国では 14 例目
- 水門のゲート幅（16.4m）は全国で 5 番目、ゲート高さ（3.5m）は全国で 7 番目

(2) 水門操作室のデザイン

当水門で採用したライジングセクタゲートは門柱レス構造であるため、水門近傍に操作室が必要となる。

操作室の設置は夕日観賞や公園利用者の通行の妨げにならないよう、園路を避けた公園内に設置することとし、外観は既存の建物等と違和感のないようにするため、四阿風とし高さを抑え、建物の形状や色調に配慮してある。

また、宍道湖側へ縁側を設けるなど休憩施設としての機能も持たせてある。（図-6）



図-6　水門操作室の完成予想図と完成後の写真

(3) 管理橋のデザイン

ゲートだけでは無骨な外観が露出してしまうため、カーテンウォールを兼ねた管理橋をゲートよりも宍道湖側に設置することで、水辺利用者にとっての宍道湖の新たな視点場を創り、宍道湖側から水門を見た際にも管理橋によって巨大なゲートが目に触れない構造となっている。（図-7）



図-7　管理橋の完成予想図と完成後の写真

4.施工における取り組み

(1) 景観設計の再現

①設計者・施工者を交えた連絡会議の開催

天神川水門の設計は、外部からスマートに見えるライジングセクタゲートの構造採用を筆頭に、堰柱部のコンクリート表面の処理を「はつり仕上げ」、管理橋の舗装は水門本体との調和を重視した豆砂利洗出し舗装を採用、その転落防止柵には視認性の向上のため薄い縦格子とし、ゲートと同じステンレス製にするなど、各所において様々な景観配慮が行われている。（図-8, 9）



図-8　堰柱部のはつり仕上げ状況



図-9　管理橋の仕上げ状況

しかし、設計でいくら周辺景観と調和した優れたデザインが計画されていても、現場でそれが再現・実施できなければ意味をなさない。

そこで、本現場では設計者と施工者を交えた連絡会議を要所で行い、設計者（デザイナー）の意見が正確に現場に伝わり、それが再現できるよう調整に努めた。（図-10）



図-10　連絡会議の実施状況

②現場確認と細部調整

「はつり仕上げ」における「はつり厚」の設定や管理橋の舗装色調や材質などデザイン細部の設計上では判断が出来ない箇所において施工段階時に現地でサンプル等を用いて確認を行い必要に応じて設計の修正を実施した。（図-11）

また、デザインをまもるために施工上難しさを抱えることも有り、防護柵の固定方法の変更や利用者の安全性確保のため防護柵の角取りや隙間の処理など施工者や利用者側の立場での調整を実施した。



図-11　景観アドバイザーにおける現場確認状況

③護岸復旧における色調等の調整

水門本体だけでなく、工事で取り壊した護岸復旧の際も既設石積みと復旧箇所の境界を極力目立たなくするため、同じ色調の石材を使用することや石の使用割合を調査し配置させた。さらに石積み表面の仕上げも既設のものに合わせることで違和感のない護岸の復旧を実施した。

また、既設護岸に設置されている転落防止柵は生産が中止されていることもあり、再利用が出来るよう取り壊しは慎重に行い復旧した。（図-12）



図-12　取付護岸復旧

(2) ふれあいを大切にした現場（「見える化」の促進等）

①工事情報の発信

工事現場は、宍道湖夕日スポットに繋がる散策・観光ルートにあることから、通行・利用者をはじめ地域住民の方に対して、工事に関する情報提供を行うため、定期的に「工事現場便り」を作成し配布を行った。さらに、展示場を現場近くに設置し、水門の模型や水門設計の考え方などの情報展示を行うなど積極的な情報発信に努めた。（図-13）



図-13　工事現場便り

②現場見学会の開催

工事期間中、水門工事の必要性や役割を多くの方に知ってもらうため、学生や地域住民の方々を対象とした現場見学会を定期的に開催した。県や市職員の方からの見学会要望も多く、本工事がいかに地域から関心が高いものであるかが伺えた。（図-14）

また、現地では工事現場全体が見渡せるよう見学用の展望台を設置し、施工状況のＰＲに努めた。（図-15）



図-14　現場見学会の様子



図-15　現場が眺望できる展望台

③防音パネルの工夫

工事現場からの騒音や粉塵対策として防音パネルの設置を行う必要が生じたが、嫁島橋の歩道を通行する方に対し、眺望を遮ることとなることより、防音パネルの工夫として、工事がどの様に進められているかに関心を持って頂くための覗き窓を設けることや隣接する県立美術館の催しものの写真等をパネルに張り付けることで歩行者の目を楽しませる取り組みを行った。

本取り組みにより周辺施設との調和が図られ、工事現場内を知ることが出来ることで工事現場のイメージアップが図られた。（図-16）



図-16　工事の見える化（覗き窓）

あとがき

ライジングセクタゲートの採用や周辺景観との調和を図った詳細デザインにより「ここに水門があるとは思えない」「近接する施設のデザインに合っている」などの声が聞かれる景観に馴染む水門が完成した。

景観への配慮が必要な施設の施工においては、周辺環境や周辺施設との馴染みなど設計のデザインコンセプトが施工者にしっかり伝わることや、設計を忠実に再現させるための技術が求められる。

また、高い注目度の中で施工を実施することより、工事内容の説明や現場を何時でも見ることが出来る環境を整えることが求められる。

今回の水門施工における現場での取り組みが今後整備される施設の参考になることを期待したい。



多時期の航空レーザ測量データを用いた斜面変動調査法の検討

西井　稜子[1]・石井　靖雄[1]・守谷　武史[2]・光永　健男[2]・安齋　徳夫[2]

[1]国立研究開発法人土木研究所 土砂管理研究グループ（〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6）

[2]元関東地方整備局 富士川砂防事務所（〒400-0027山梨県甲府市富士見2-12-16）

不安定斜面の範囲やその移動速度を把握することは防災対策を講じる上で極めて重要である．しかし，現地測量が困難な現場では，不安定斜面の面的かつ経時的な変動状況を把握する手法は十分に確立されていない．本研究では，多時期のLPデータを用いて，不安定斜面の変位ベクトルを算出し，変動範囲の推定を試みた．その結果，変位ベクトルは，現地測量の計測データと調和的な値を示した．また，これまで現地測量データが欠如していた急斜面においても，LPデータから変位ベクトルを算出することで，変動範囲が推定された．今回検討した手法は，現地測量が困難な斜面の変動把握，不安定斜面の面的把握に広く活用可能であることが示された．

キーワード　航空レーザ測量，DEM，GIS，地すべり，PIV解析

1. はじめに

不安定斜面の範囲やその移動速度を把握することは，防災対策を講じる上で極めて重要である．しかし，現地測量が困難な現場では，不安定斜面の面的かつ経時的な変動状況を把握する手法は十分に確立されていない．近年，普及しつつある航空レーザ測量（LP）データは，場所によっては多時期のデータが蓄積されつつある．したがって，それらのLPデータを活用することで，不安定斜面の変動を把握できる可能性がある．

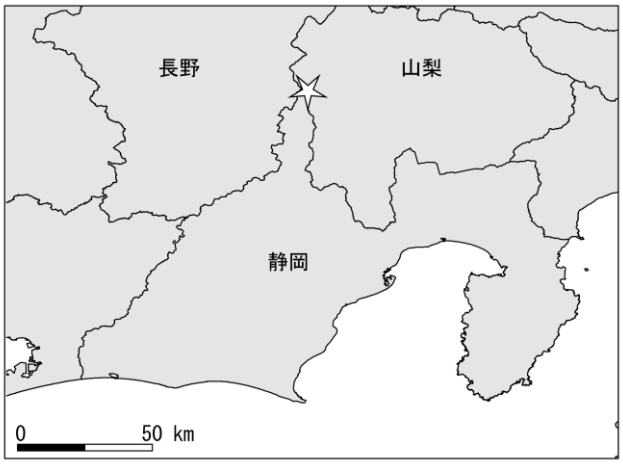
多時期のLPデータを用いた斜面変動の主な調査法として，次の２つを挙げることができる．１つ目は，2時期のLPデータの標高差分値を算出し，斜面変動を把握する方法（標高差分解析）である．この方法は，多くのGISソフトウェアについている演算機能を利用することで簡単に計算できる利点がある．ただし，標高差分値データのみからは，斜面の移動方向（変位ベクトル）を把握することはできない．一方，２つ目のParticle Imaging Velocimetry（PIV）法は，LPデータから算出した地表面形状の追跡をおこない，撮影期間毎の3次元地表変位を計測するため[1]，斜面の移動方向と移動量（変位ベクトル）を算出することができる．これまで，地震に伴う地盤の動きを把握するためにPIV解析が適用された事例がある[2, 3]．

そこで，今回，PIV解析を地すべりの斜面変動調査に援用し，斜面の変動範囲の特定を試みた．また，PIV解析と標高差分解析の結果を比較検討した．

2. 調査地の概要

(1) 調査地の地形・地質・気象

調査地は，富士川水系早川流域に位置するアレ沢崩壊地である（図１，２）．アレ沢崩壊地は，早川流域に分布する崩壊地の中でも最大級の面積を有し，比高400 m，幅600 m，平均傾斜45°の特徴を示す．アレ沢崩壊地の形成時期は明らかになっていないが，明治43年測図の5



図−１　調査地の位置図

万分の１地形図には既に崩壊地として記載されている．地質は，白亜紀四万十累帯白根層群の砂岩泥岩互層からなる[4]．アレ崩壊地周辺の斜面には，重力性変形地形（線状凹地）が数多く分布する．線状凹地の走向は，南・北方向と北東・南西方向の２系統が存在しており，それぞれ主稜線と地層の走向に対応している[5]．現地の年降水量（降雪量を除く）は約1400 mmを示し，積雪期間は約半年に及ぶ[6]．

(2) これまでの現地測量結果の概要

アレ沢崩壊地の一部では，2004年5月11日に50～100万 m^3の岩盤崩壊が発生している[7]．崩壊発生の直後に，周辺斜面の不安定化を示すと思われる亀裂の形成が確認された[8]．そのため，崩壊イベントから約２年後の2006年10月から，トータルステーション測量が実施されており，年間70 cm程で動いていることが明らかになっている[6]．また，トータルステーション測量とRTK-GPS測量データを基に，崩壊地周縁部（滑落崖）より上方斜面についての変動領域（少なくとも2.3×10^4 m^2）は推定されているが[6]，崩壊地周縁部より下方斜面（崩壊地内部）の動きについては，現地測量データがないため不明である．



図-2　アレ沢崩壊地の全景

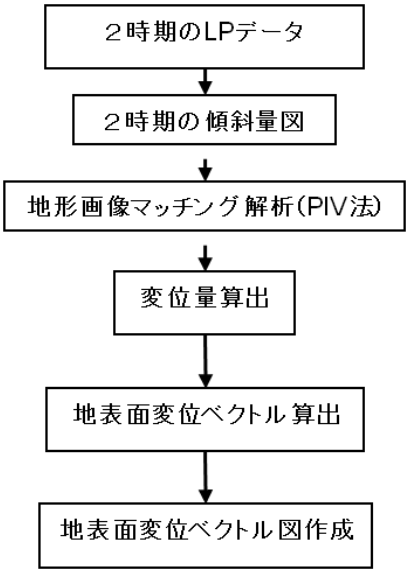


図-3　解析手順

3. 解析方法

富士川砂防事務所が撮影した2006年，2009年，2012年の３時期の航空レーザ測量データを用いて，PIV解析による画像マッチングから撮影期間毎の水平・鉛直成分の変位量を算出した．PIV解析は，国際航業株式会社の「地形画像を用いた地形変化の抽出手法及びそのプログ

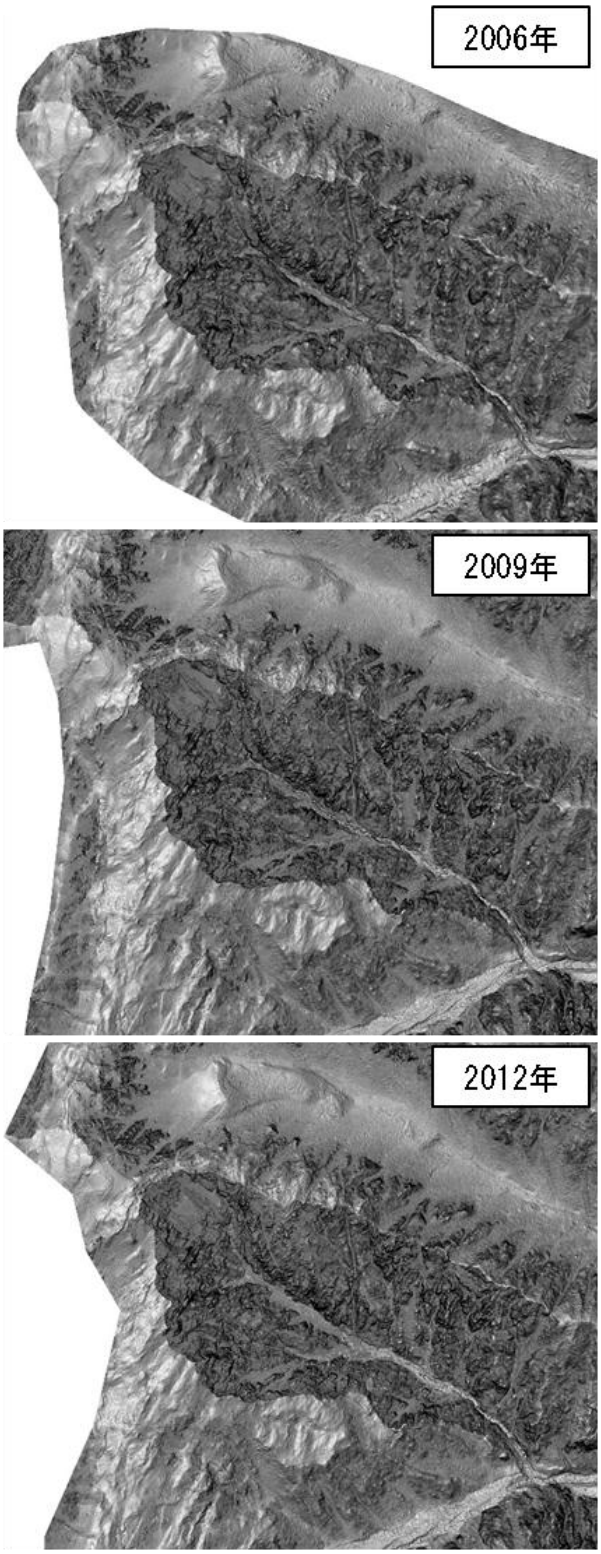


図-4　各時期の傾斜量図

ラム（特許第4545219号）」を用いて，実施した．図３に示す解析手順にしたがい，まず最初に，LPデータから1画素1m×1mのグレースケールで示した傾斜量図を作成した（図４）．そして，64 pixel×64 pixelの検索領域内において，直交座標軸方向に50%ずつ重ねて移動しながら，傾斜の濃淡に現れる地形特徴の相関性が最も高くなる位置を検出し，この位置ずれを領域内の平均的な移動量とした．傾斜量図の画像マッチングで把握できる移動量は水平成分のベクトルである．しかし，DEMから作成した傾斜量図は各グリッドごとに標高値をもつため，水平移動ベクトルの始点と終点の標高差分値から鉛直成分を算出することで，最終的に3次元変位ベクトルを得ることができる．計測可能な変位量は，画素サイズの1/10（本研究では0.1 m）程度である．

4. 不安定斜面の変動範囲

図５に，PIV解析から算出した2006年～2009年および2009年～2012年の水平変位量結果を示す．ベクトルの空白域が部分的に存在するが，それらは地表面形状の追跡エラーと対応している．いずれの時期も，崩壊地周縁部で変位量が大きく，崩壊地から離れるほど変位量は小さくなる傾向が認められる．また，変位量が0.5 m以上の値を示す場所の多くは，現地測量データから推定されている変動・不動領域の境界（図１の太破線：以後，推定境界とよぶ）より崩壊地側の斜面に分布する．推定境界より崩壊地側の水平変位ベクトルに着目すると，斜面の動きは，大局的には東北東～東（崩壊地）方向を示す．

不安定斜面の変動範囲は，PIV解析から算出された2時期（A，B）の水平変位量が0.5 m以上を示す斜面では，現地測量データと概ね対応した解析結果が得られた．また，これまで急傾斜のため現地測量が実施されていなかった崩壊地内の変動範囲が，PIV解析を基に，推定境界から標高2930 m付近までの斜面と推定された．ただし，推定境界より外側の0.5 m未満を示す値は誤差の可能性が考えられる．

図６に，2006年～2009年および2009年～2012年の標高差分値を示す．いずれの時期においても，崩壊地内の谷沿いや崖錐斜面上では標高差分値が大きい傾向が認められる．また，推定境界より崩壊地側では，頂部斜面付近（図-6 d_1，d_2）では負の標高差分値（数mの標高低下），一方，その直下の斜面（図-6 u_1，u_2）では正の標高差分値（主に数10 cmの標高上昇）を示す．

PIV解析と標高差分解析の結果を比較すると，標高差

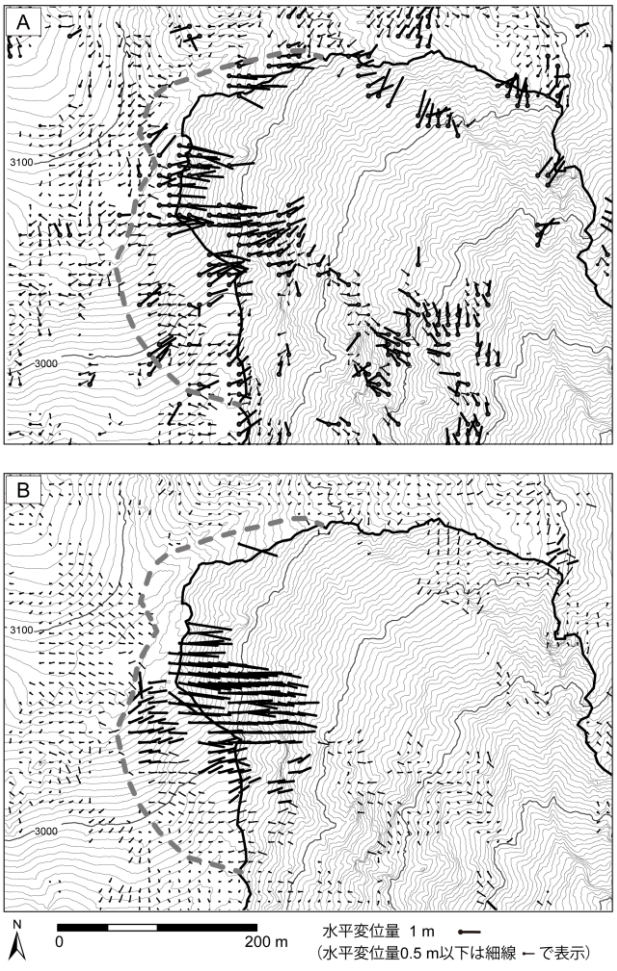


図-5　PIV 解析による水平変位量
A：2006～2009 年．B：2009～2012 年
破線：推定境界

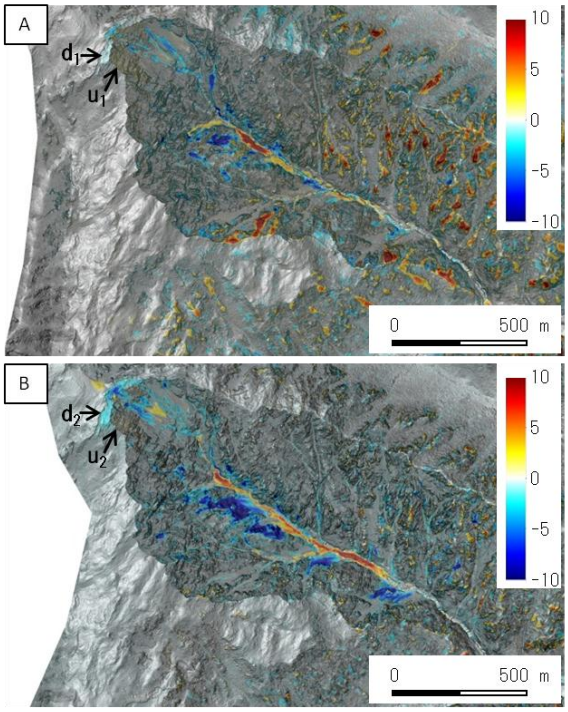


図-6　標高差分値
A：2006～2009 年．B：2009～2012 年
d_1，d_2：推定境界付近の標高低下部
u_1，u_2：推定境界付近の標高上昇部（微小）

分値で示された崩壊地頂部付近（図-6 d_1，d_2）の標高低下とその直下の斜面の標高上昇（図-6 u_1，u_2）は，斜面変動に伴う地盤の沈下と隆起（斜面のせり出し）を反映していると考えられる．一方，大きな標高差分値を示す谷沿いや崖錐斜面上は，PIV解析では計測エラーとなっている場所と対応する傾向が認められた．

5. 今後の課題

今後，PIV解析で抽出可能な変動斜面の条件（移動量や規模など）を明らかにすることで，他の現場への活用を提案できると考えられる．したがって，まず，PIV解析で抽出可能な斜面の移動量や移動形態などの特徴を整理し，抽出可能な条件の提示を目指すことが重要と考えられる．

謝辞：PIV解析では，国際航業株式会社の佐藤匠氏，加藤容子氏，本間信一氏にお世話になりました．また，現地調査では，筑波大学の松岡憲知教授，池田敦准教授にご協力いただきました．

参考文献

1) Mukoyama, S. (2010): Estimation of ground deformation caused by the Earthquake (M7.2) in Japan., 2008, from the Geomorphic Image Analysis of high resolution LiDAR DEMs. Journal of Mountain Science, 8, 239-245.
2) 村上　亘・大丸裕武・向山　栄・川浪亜紀子（2013）2008年岩手・宮城内陸地震にともなう線状凹地の拡大と斜面の重力変形．地形，34，55-67.
3) 品川俊介・阿南修司・佐々木靖人・向山　栄・本間信一・小林容子（2013）2時期の航空レーザー測量による地表地震断層周辺の変位量分布の推定－2011年4月11日福島県浜通りの地震に伴う事例－．応用地質，53，271-281.
4) 尾崎正紀・牧本　博・杉山雄一・三村弘二・酒井　彰・久保和也・加藤碵一・駒澤正夫・広島俊男・須藤定久（2002）：20万分の1地質図幅「甲府」．産業技術総合研究所地質調査総合センター.
5) 松岡憲知（1985）赤石山脈主稜線部における線状凹地の分布と岩石物性．地理学評論，58A，411-427.
6) Nishii, R. and Matsuoka, N. (2012) Kinematics of an alpine retrogressive rockslide in the Japanese Alps. Earth Surface Processes and Landforms, 37, 1641–1650.
7) Nishii, R., Matsuoka, N., Daimaru, H. and Yasuda, M. (2013) Precursors and triggers of an alpine rockslide in Japan: The 2004 partial collapse during a snow-melting period. Landslides, 10, 75–82.
8) Nishii, R. and Matsuoka, N. (2010) Monitoring rapid head scarp movement in an alpine rockslide. Engineering Geology, 115, 49-57.

別紙－１

「だいち２号」を利用した宇宙からの火山活動の監視

山田　晋也[1]・三浦　優司[1]・山中　雅之[1]・仲井　博之[1]・和田　弘人[1]

[1]国土地理院　測地部　宇宙測地課　（〒305-0811 茨城県つくば市北郷1番）

国土地理院は，（国研）宇宙航空研究開発機構（JAXA）が2014年5月に打ち上げた「だいち2号」のレーダーのデータを解析し，火山活動に伴う地殻変動に関する情報を随時提供している．「だいち2号」は，地上観測施設のない場所においても高い空間分解能で面的に地表の変化を捉えられるという強みがあり，解析で得られた変動量とその範囲の情報は防災上の判断に役立てられている．

キーワード　だいち2号，干渉SAR，地殻変動，火山

1. はじめに

SAR（Synthetic Aperture Radar）は「合成開口レーダー」と呼ばれるレーダーであり，航空機や人工衛星などに搭載されたアンテナから電波を斜め下方に向けて照射し，地表からの反射波を受信する．干渉SARは，同じ地域を同じ条件で観測した複数回のデータを用い，反射波に含まれる衛星－地表間の距離に関する情報を用いることによって地表面の変動を計測するという技術である．1回の観測で地表の南北を縦断する数十kmから数百kmの幅を観測することができ，解析によって得られた画像の1つのピクセルの一辺の長さは数mから数十mとなる．複数回のデータを用いて解析すると，各ピクセルごとに変動を計算することができ，その精度は数cmである．この「SAR干渉解析」を行うことによって，その期間に起きた変動を面的に捉えることができる（図-1）．SARによる観測は空中写真の撮影や光学衛星による観測とは異なり，電波を照射することから，天気や昼夜を問わず観測することができる．

2014年9月に発生した御嶽山の噴火，2015年5月以降の箱根山の火山活動の活発化，同じく5月の口永良部島の噴火，8月の桜島の活発化などに際して，陸域観測技術衛星「だいち2号」による緊急観測が実施された．国土地理院では，災害前の基準となるデータと災害発生時の緊急観測データを用いてSAR干渉解析を行い，解析結果に解説文を付けて関係機関へ提供するとともに，ホームページによる公表と地理院地図への掲載を行った．

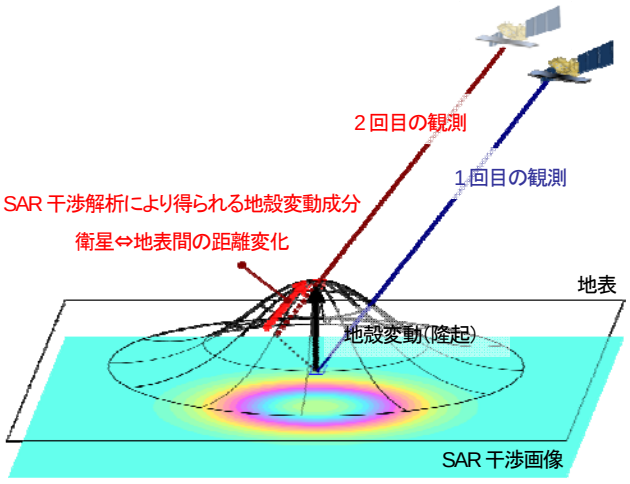


図-1　干渉SARの原理の概略図

干渉SARには，GNSS連続観測や傾斜計など他の地上観測の空白域での地表の変化を面的に捉えられるという強みがあり，干渉SARは噴火警戒レベルの上げ下げの判断材料の一つとして利用されつつある．本稿では，「だいち2号」を利用した干渉SARによる活火山での地殻変動の検出結果について報告する．

2. 「だいち2号」を利用した干渉SAR

国土地理院では，研究・開発を目的に1994年から「ふよう1号」のデータを用い，SAR干渉解析を行ってきた．また，2006年から2011年に運用された「だいち」の時代から干渉SARによる地殻変動の監視を行い，その結果を火山噴火予知連絡会等に提出してきた．しかし，「だい

ち」は回帰日数（衛星が地球上の同じ場所に再び戻ってくるまでの日数．2回の観測の間隔に影響する）が46日と長く，得られる情報は即時性に欠けており，噴火発生直後の変動を迅速に提供することは困難であった．

「だいち2号」は，「だいち」の後継機として2014年5月24日にJAXAより打ち上げられた．「だいち2号」は「だいち」に比べ，次の点において性能が向上した（表-1）．

①回帰日数が大幅に短くなり観測頻度が増加
②空間分解能が向上
③電波を照射する方向を衛星の進行方向に対して左右両方に切り替え可能
④2回の観測の軌道の位置のずれを表す垂直基線長が短くなることで衛星の軌道が安定し，干渉解析が可能なデータの組み合わせが増加

表-1 だいち2号とだいちの主な性能

		だいち2号	だいち
回帰日数		14日	46日
高分解能観測モード	分解能	3m	10m
	観測幅	50km, 70km	70km
広域観測モード	分解能	100m	100m
	観測幅	350km, 490km	250km～300km
電波照射方向		左右可能	右のみ
垂直基線長		1km以内	最長10km超

これらの性能の向上により，災害対応の迅速性が大きく向上し，最長でも発災後74時間以内にSAR干渉解析可能な観測が実施できる[1]．

3. 干渉SARによる火山活動の監視

(1) 2014年９月に発生した御嶽山の噴火

岐阜・長野県境の御嶽山で2014年9月27日に発生した噴火を受けて，国土地理院はデータの入手・解析を行い，10月3日に解析結果を公表した（図-2）．解析結果からは，噴火に伴う噴火口南西側の1km四方のごく狭い領域において10cm程度の膨張性の地殻変動が観測された．また，山頂である剣ヶ峰とその周囲には，火山灰や噴石などの噴出物が堆積し，地表面の状態が大きく変わったことによるものと考えられる非干渉の領域が見られた．これらの情報は，山頂付近の現象であるため干渉SARでしか得られない貴重な情報であった．なお，干渉SARによる御嶽山噴火に伴う地殻変動の検出については山田ほか（2015）[2]により詳細に報告している．

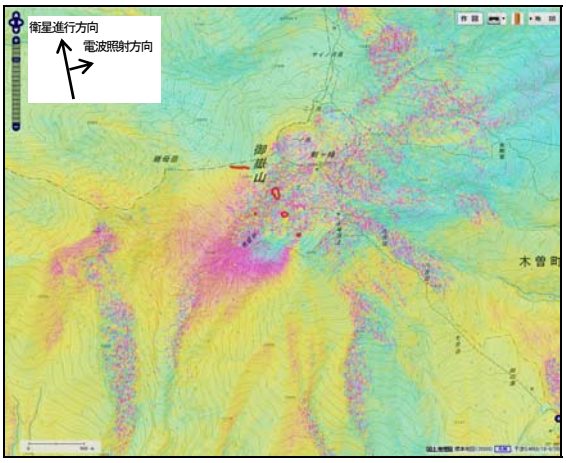


図-2 2014年9月27日の噴火を挟む期間（2014年8月18日～2014年9月29日）の解析結果

(2) 2015年５月以降の箱根山・大涌谷における火山活動

箱根山・大涌谷では，火山活動の活発化に伴い2015年5月6日に噴火警戒レベルが1から2に，6月30日にレベル2から3に引き上げられ，活動の低下により，9月11日にレベル3から2に引き下げられた．

箱根山・大涌谷では，4つの異なる観測条件（（1）南行軌道/入射角43度，（2）北行軌道/入射角33度，（3）北行軌道/入射角43度，（4）南行軌道/入射角46度）で，干渉解析が可能なデータが緊急観測によって取得された．国土地理院は，火山活動が活発化する前の観測データを含めてこれらすべての条件における観測データを用いて解析処理を行った．

火山活動が活発化する前の最後のデータとなる4月17日の観測データを解析したところ，大涌谷においてノイズレベルを超える有意な変動は見られないことから，大涌谷の地殻変動が開始した時期は早くても4月17日以降と考えられる．

火山活動が活発化した以降では，SAR干渉画像において，大涌谷で膨張性の変動が捉えられた（図-3）．活動活発化直後の5月7日の干渉画像（図-3 ①）では，大涌谷内の直径200m程度の狭い範囲で，最大6cm程度の変動が見られた．（2）の条件で観測した5月10日の干渉画像では，変動の広がりに大きな変化はないものの，その分布に変化が見られ，前回の変動の中心より南西側に約8cm程度の大きな変動のピークが現れた．その後は変動の範囲や分布に大きな変化は見られず，変動量が小さくなりつつも膨張性の地殻変動は継続した．ごく小規模な噴火発生前最後の6月18日の観測データによる干渉画像（図-3 ①～④）では，活動活発化前からの累積の変動量は最大33cm程度に達した．

6月末に発生したごく小規模な噴火の時期を挟む干渉画像（図-3 ⑤）では，変動の範囲に大きな変化は見られないものの，噴気孔周辺で直径100m程度の非干渉の領域が見られた．非干渉の領域では火山灰や噴石などの

噴出物が堆積し，1回目と2回目の観測の間に地表面の状態が大きく変化したと考えられ，気象庁による調査結果と整合している．なお，ごく小規模な噴火後には，収縮性の変動が捉えられている（図-3 ⑥）．

以上の結果を箱根山火山防災協議会に提出した．これらの情報は，火山の局所的な地殻変動を時間の経過の中で面的に捉えられた唯一の情報であり，火山防災協議会において，火山防災対策の判断材料として活用された．

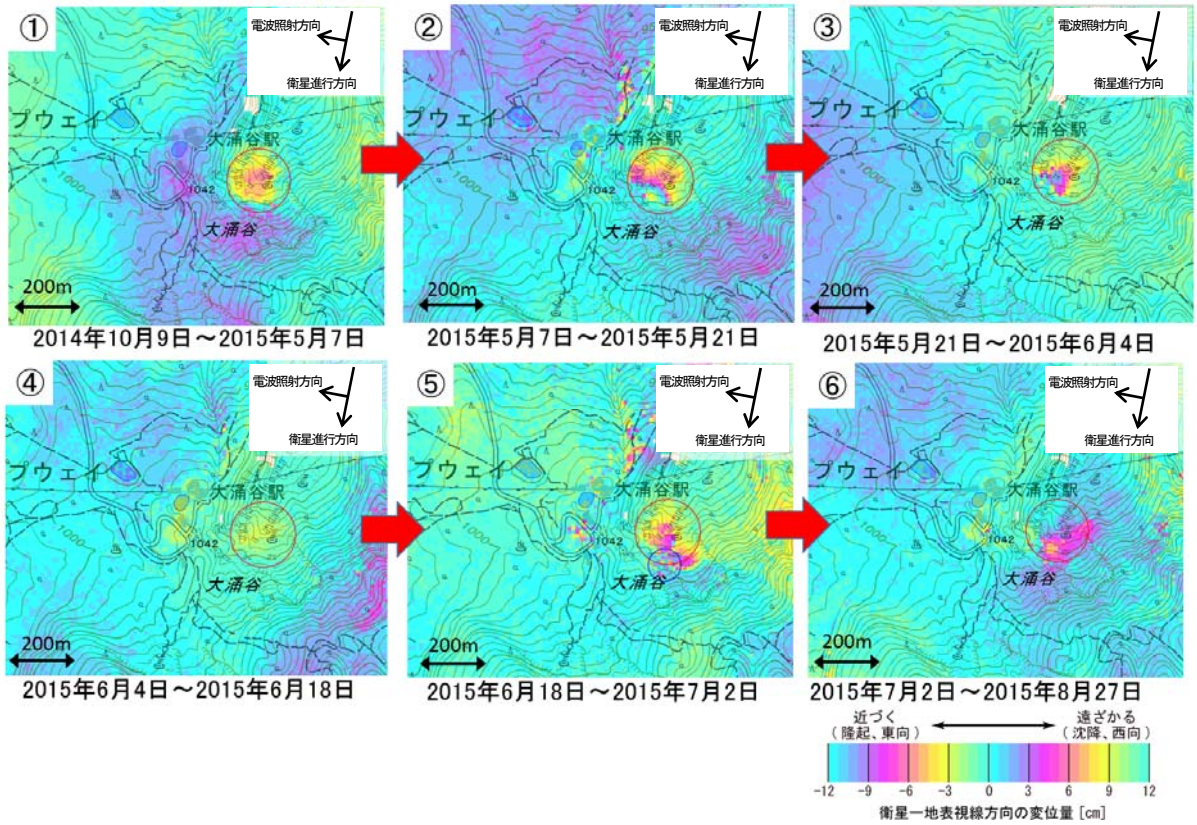


図-3 観測条件1の観測データにより検出された箱根山・大涌谷における地殻変動．
赤丸は変動が見られる範囲を，青丸は非干渉の領域を示す．

(3) 2015年５月に発生した口永良部島の噴火

口永良部島では2015年5月29日09時59分に爆発的噴火が発生した．この噴火に伴い火砕流が発生し，新岳の北西側（向江浜地区）では海岸にまで達し，噴火警戒レベルが3から5に引上げられた．

噴火が発生した3時間後の13時頃には，「だいち2号」による緊急観測が実施され，翌日にはSAR干渉解析結果を国土地理院ホームページから公開した．

解析結果からは，新岳火口を中心に向江浜まで，火砕流の発生や火山灰や噴石などの噴出物の堆積により，地表面の状態が大きく変化したと考えられる非干渉の領域を確認することができる．この領域は，遠方から撮影したやや精度の落ちる航空写真から判読した噴火による堆積物の領域とおおむね一致している（図-4）．

これは「だいち2号」が迅速に観測できるということ，そして航空機やヘリでは近づけない状況においても観測出来るということが有効であった事例である．

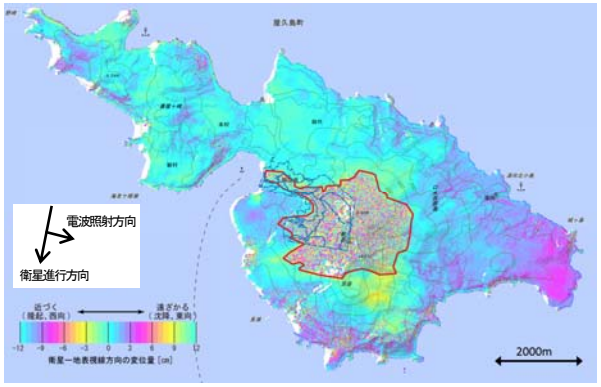


図-4 2015年5月29日の噴火を挟む期間（2014年11月14日～2015年5月29日）の解析結果．
赤線は非干渉の領域を，青破線は航空写真から判読した噴火による堆積物の領域を示す．

(4) 2015年桜島における火山活動

桜島では，2015年8月15日に南岳直下付近を震源とする火山性地震が多発し，また，桜島島内に設置している傾斜計などにより山体膨張を示す急激な地殻変動が観測され，同日噴火警戒レベルが3から4に引上げられた．9月1日には活動の低下によりレベル4から3に引下げられた．

8月15日を挟む期間の解析結果には，桜島の火山活動の活発化に伴う明瞭な地殻変動が見られ（図-5），得られた地殻変動をもとに推定される変動源を算出した．

一方，8月10日以前，及び8月17日以降はノイズレベルを超えるような変動は検出されなかった．この変動が8月15日前後の非常に短い時間の間に起き，それ以降は変動は起きていないと考えられる．

以上のような結果は，桜島火山防災連絡会や火山噴火予知連絡会において噴火活動の評価に活用され，噴火警戒レベルを変更する根拠の一つとして利用された．

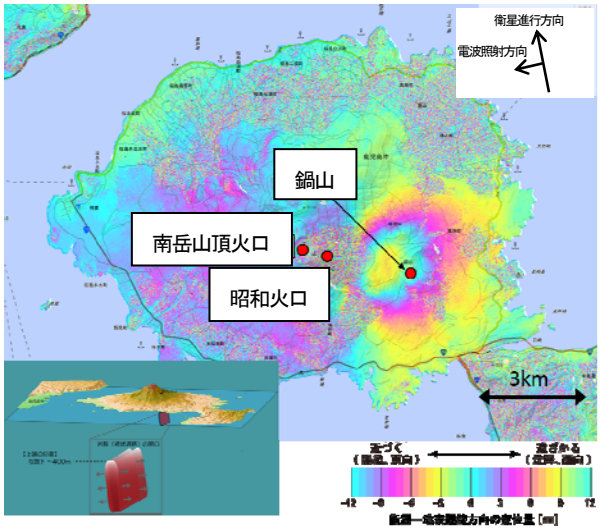


図-5　2015年1月4日～2015年8月16日の解析結果及び推定される変動源モデルの概念図

(5) その他の火山活動

国土地理院では，全ての活火山について，定常的にSAR干渉解析を実施し，火山活動による地殻変動を監視している．2回の観測の期間に起こった変動を検出するのみであることから，変動が起きた時間をピンポイントで特定することは難しいものの，他の地上の観測網では大きな変化が捉えられない場合でも，地下で進行している火山活動を見積もることが可能である．

例えば，十勝岳においては，2014 年 8 月 30 日と 2015 年 8 月 15 日（約 1 年間）の解析結果から62-Ⅱ火口西側の直径 1km 程度の範囲で最大 12cm 程度膨張性の変動が検出された（図-6）．また，吾妻山では2014年9月9日と2015年6月2日（約9か月）の解析結果からは，吾妻山の深部での膨張を捉えていると考えられる，吾妻山山体の広い範囲での膨張性の地殻変動が見られ，大穴火口付近の狭い範囲においては，大穴火口周辺の浅部での膨張を捉えていると考えられる膨張性の変動が捉えらた（図-7）．

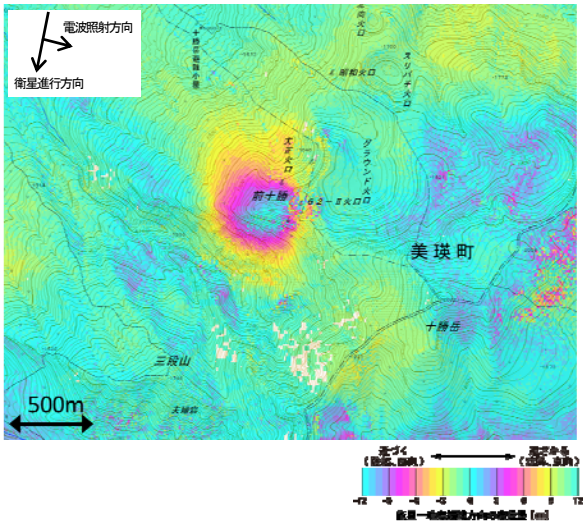


図-6　2014年8月30日～2015年8月15日の解析結果

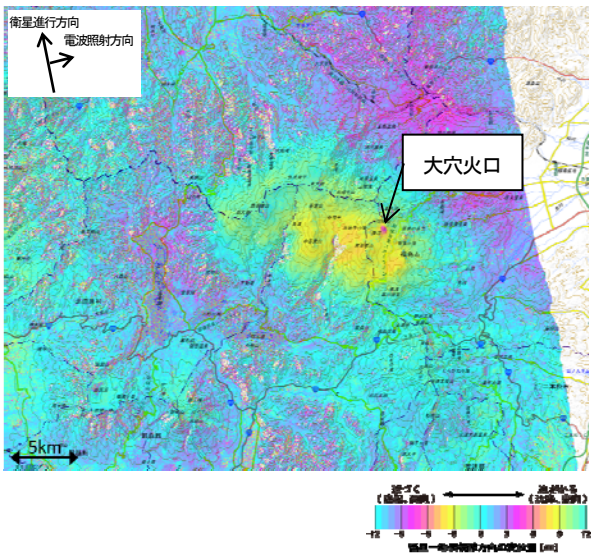


図-7　2014年9月9日～2015年6月2日の解析結果

4. 干渉SARによる火山監視の利点と課題

従来の火山活動の監視手法に対し「だいち2号」の観測データを用いた干渉SARによる火山活動の監視の利点は，次の3つがあげられる．

①地上観測施設が不要で，地上観測の空白域であっても，山体全域の地殻変動や地表面の状態変化を面的に観測できる．

②規制によって人や航空機等が近づくことが困難な状況においても，天候や昼夜に関係なく観測データを取得できる．

③空間分解能の向上によって，局所的な変動の大きさと分布を把握することができる．

国土地理院はJAXAによる基本観測シナリオ[1]において日本で定常的に行われている観測についてSAR干渉解析を実施している．解析結果から活火山の中で変動が見られる火山を見つけ出し，変動量とその範囲について判読を行っている．また，火山の活動度に応じてJAXAに対して更なる観測を要望することも可能であり，これにより重点的に観測が必要な火山に対しては頻度を高くするといった，効率的な火山の監視ができる．

なお，SAR干渉画像は，地図や空中写真，他の地理空間情報と重ね合わせすることができるよう，国土地理院が運用しているweb地図「地理院地図」（http://maps.gsi.go.jp/）で公表している．これにより，防災機関だけで無く地方自治体や一般国民が，干渉SARの画像を利用する機会が増大していくと考えられる．

一方，SAR干渉画像の表現は慣れないと理解が難しく，大気中に含まれる水蒸気の影響などによる誤差も含まれるため，地方自治体や一般国民がSAR干渉画像を目にした場合には，誤解を生じる可能性がある．また，噴火の危険度を評価するには，地殻変動の情報だけではなく，変動から推定される地下のマグマ等の状態についての情報も併せて提供する必要があり，SAR干渉画像だけでは評価するのは難しい場合がある． SAR干渉画像の効果的な利用を促進するために，これらのことを踏まえて情報を提供していくことが今後の課題である．

5. おわりに

干渉SARは，噴火による立ち入り禁止や火口付近がガスで覆われた場合など，人が近寄れずに地上での観測が困難な状況でも，火山活動に伴う地殻変動を捉えることができる．また「だいち2号」は「だいち」よりも回帰日数が短くなり，左右両方の電波を照射できるようになるなど，性能が向上したことで観測頻度が増加し，火山活動が急激に高まった時に非常に迅速に対応することができる．

また，高い空間分解能で変動を捉えられることから， GNSS等，地上の地殻変動観測網だけでは捉えることが困難な局所的な変動現象の範囲も明らかにすることが可能となる．

このような局所的な変動の範囲の特定は，立入り規制等に直接的に関係する情報となり得ることから，これらの変動情報をわかりやすく関係機関に提供し，防災・減災に役立てる方法を検討していきたい．

謝辞：本研究で使用した「だいち2号」データの所有権は，宇宙航空研究開発機構（JAXA）にあります．これらのデータは，「陸域観測技術衛星２号に関する国土地理院と宇宙航空研究開発機構の間の協定」に基づいて提供されたものです．

参考文献

1) JAXA/ALOS-2プロジェクト（2015）：ALOS-2基本観測シナリオ（第1版） -B改訂-，http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/obs/scenario/ALOS-2_Basic_Observation_Scenario_First-Ed_J_v00_B.pdf (accessed 28 Sep. 2015)

2) 山田晋也・森下 遊・和田弘人・吉川忠男・山中雅之・藤原 智・飛田幹男・矢来博司・小林知勝（2015）：だいち 2 号 SAR 干渉解析による御嶽山噴火に伴う地表変位の検出，国土地理院時報，127，http://www.gsi.go.jp/common/00010168

滑走路下の曲がり浸透固化処理工法の施工

片野　直樹

関東地方整備局　東京空港整備事務所　第二建設管理官室　（〒144-0041　東京都大田区羽田空港3-5-10）.

全国の主要空港で滑走路の液状化対策が施工されているが，滑走路工事のリスクとして滑走路削孔箇所が離着陸時に破損することによる事故，または，それに伴う空港運用停止が想定される．さらに施工時間帯は，滑走路閉鎖中の限られた時間帯の施工となり時間的制約を受けることから，滑走路上から施工をしない施工方法が求められていた．

今回，東京国際空港において，曲がり浸透固化処理工法を採用し，緑地帯位置から滑走路直下の改良を行った．直轄事業としては，滑走路供用時間帯に滑走路直下の改良を行う前例のない工事であるため，高精度の施工管理，安全管理が求められた．

キーワード　東京国際空港，地盤改良，曲がり削孔，浸透固化処理工法，液状化対策

1. 背景　工法を採用した経緯

東京国際空港は，首都圏にて大震災による被害が発生した際に広域医療搬送拠点，緊急輸送物資等輸送活動拠点としての役割に位置付けられているため，航空機の通行経路を確保すべく「基本施設耐震整備計画」に基づいて地盤改良の整備を進めている．

東京国際空港に 4 本ある滑走路のうち，C 滑走路の耐震化は優先順位が最も高く位置づけられているため，早急に対策を行う必要がある．

また，24時間国際拠点空港化に向けた輸送能力強化を図るため，2014年12月11日からはC滑走路を閉鎖しての作業時間が週5日23:30～6:00から週3日2:00～6:00へと大幅に短縮され，作業時間が極めて短く滑走路上からの施工が困難であることから，航空機の運用を止めずに作業が可能な緑地帯からの曲がり削孔機を用いた地盤改良を採用した．



図-1 施工位置図

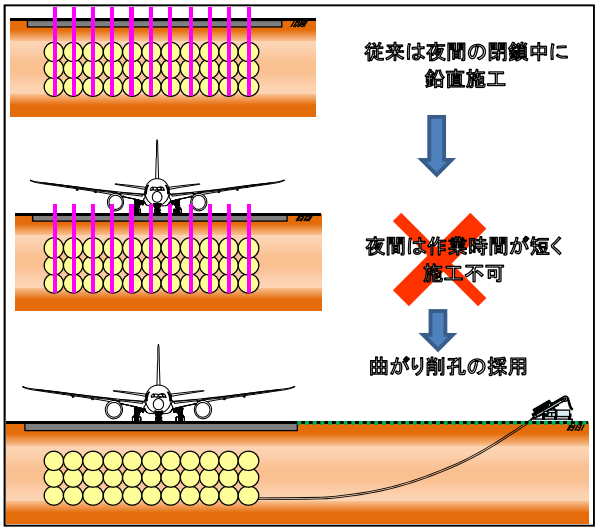


図-2 曲がり削孔採用イメージ

2. 曲がり浸透固化処理工法とは

本工法は，長距離型曲がり削孔機により，削孔ロッドに搭載した固定式位置検出装置と挿入式位置検出装置を併用し，削孔位置をリアルタイムに計測しながら高精度で地盤内の削孔を行った後，薬液を低圧力で浸透注入し地盤内の間隙水と薬液を置換しゲル化することで，液状化対策を行うものである．

削孔ロッドの先端（ビット）は斜めにカットしたテーパー構造であり，この面に土圧を受けることで土圧面と反対方向の推進力を得ることができる．直線削孔時はビットを回転させ推進させるが，曲線削孔時はビットの土圧面を回転させずに押し込むことで，削孔方向の制御を行う（**図-3**）．

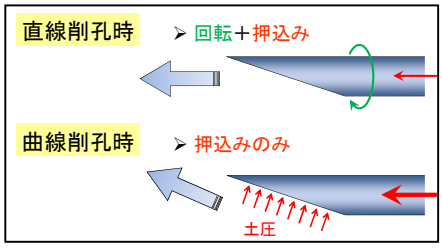


図-3 削孔メカニズム

3. 工事概要

航空機が運用している中で施工する場合，航空機の運用に支障を与えないよう，立ち入りが可能な範囲や施工高さに制約がある．本工事では滑走路センターから75m以遠の位置より，施工高さを7.1m以下に設定する必要があるが，空港運用への安全を最優先とするため，滑走路センターから80m以遠の位置より施工高さを6.1m以下と管理値を設けて施工した．

本工事の施工数量を以下に示す．

工事工期：2014年7月7日～2015年3月31日
曲がり削孔：最大削孔延長140m，最大削孔深度GL-20m，
削孔本数276本，削孔速度8分/m
薬液注入：10,429球，12,446,000L（12,446m3）

4. 施工管理・安全管理

地盤内に薬液注入を行う場合，対象地盤内を正確に削孔すること，また，注入圧力・速度を遵守し注入することが重要であり，削孔軌跡のズレや過度な注入圧力・速度を与えた場合，薬液が地下水を押し出し割裂・水みちが発生して地下水が上昇し，舗装面の隆起の原因となる場合がある（**図-4**）．滑走路舗装面が隆起した場合は滑走路緊急閉鎖に繋がる恐れがあり，社会的・経済的損失が大きいことから，正確かつ確実な削孔・注入が求められる．

本工事では滑走路供用中に滑走路直下の改良を行うことから，空港運用に確実に支障を与えないよう，曲がり削孔精度管理及び薬液注入時の舗装面隆起管理方法が課題であった．

(1) 長距離曲がり削孔の精度

曲がり削孔工法は，従来の鉛直削孔工法等と比較し削孔距離が長距離となる．削孔精度は削孔距離に比例し出来形管理が困難となることから，精度確保の工夫が求められる．

(2) 薬液注入時の施工管理

薬液注入は，通常，舗装面の隆起観測を行いながら注入圧力・速度を遵守して注入を行う．今回，滑走路供用中に薬液注入を行うことから，薬液注入時に滑走路舗装面の隆起観測を行えないため，舗装面隆起管理方法が課題であった．

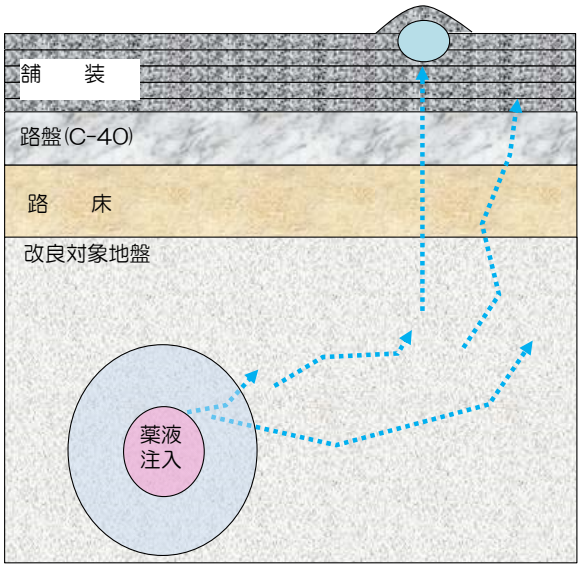
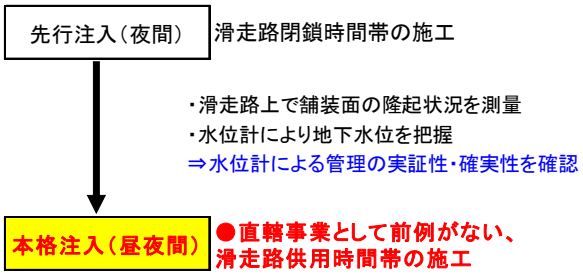


図-4 割裂注入イメージ

課題を解決するために，滑走路供用中の舗装面隆起管理方法として，滑走路直下に水位計を設置し，隆起の原因である地下水の動向を常時把握することとした．

また，**表-1**注入ステップのとおり，まずは滑走路閉鎖時間帯のみ先行的に薬液注入を行い，水位計による管理の確実性，安全性及び舗装隆起の状況が確認できた後，滑走路供用中も含めた昼夜間の注入に移行することとした．

表-1 注入ステップ



5. 施工方法

(1) 削孔精度の向上方法

曲がり削孔機の削孔ロッドに固定式位置検出装置を搭載し，計画座標に対して現削孔位置をモニターにリアルタイムに表示する．オペレーターはモニターを注視しながら土層中の削孔位置を把握することができ，削孔位置の時点修正が可能となる．

また，削孔距離18m毎に固定式位置検出装置と比較し高精度の挿入式位置検出装置を挿入し削孔位置の把握を行うことで，より高精度の削孔を行うことができる．

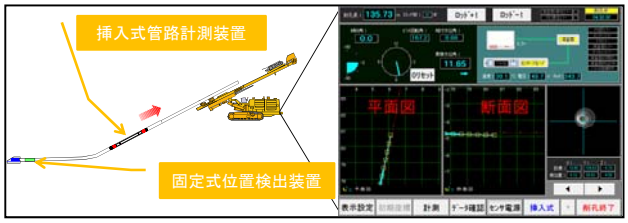


図-5 曲がり削孔機イメージ

(2) 薬液注入時の水位・舗装面隆起管理方法

水位計を滑走路直下（改良位置上部）に合計6箇所設置し，常時、地下水位の動向を把握することとする．水位計設置断面図を図-6に示す．

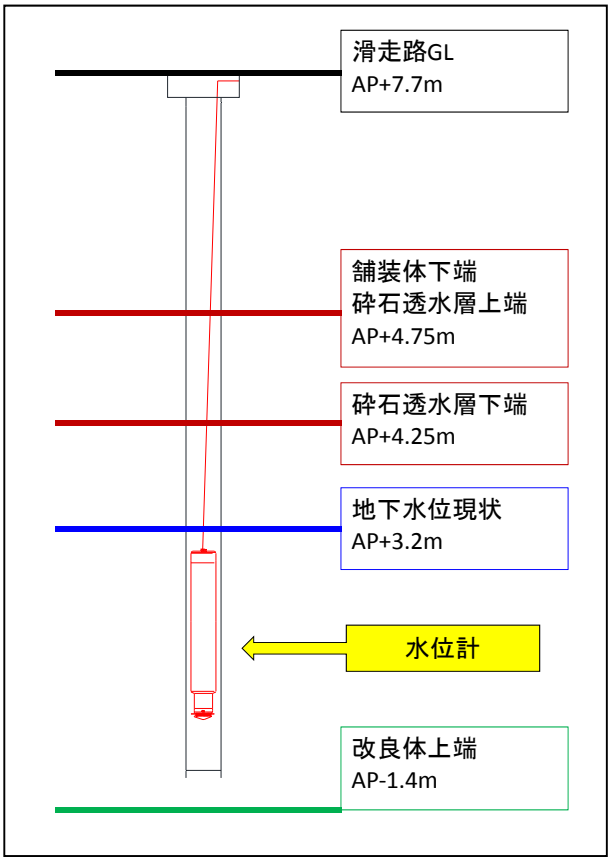


図-6 水位計設置断面図

危機管理体制として，常時，地下水位の動向を把握し，薬液注入時に地下水位が上昇した場合は，上昇値に応じて薬液注入を即座に中断する体制とした．具体的には，上昇した地下水は滑走路舗装体の下端の砕石透水層を通じ，緑地帯に設置したウェルポイントにより排水する計画としているが，地下水が砕石透水層の中段まで上昇した場合は薬液注入速度を80%に低減し，地下水が砕石透水層の上端まで上昇した際は，薬液注入を即座に中断することとした（図-7，表-3）．

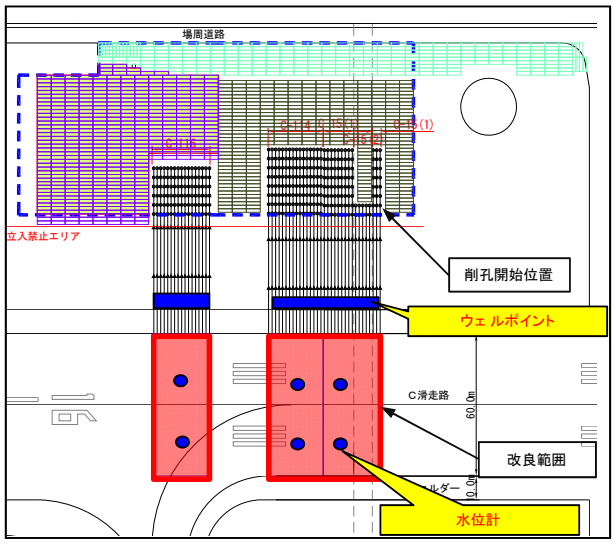


図-7 水位計及びウェルポイント設置位置平面図

表-3 水位管理毎の薬液注入対応表

管理水位	対応方法
二次管理値（AP+4.75m）以上	直ちに注入を中断
一次管理値（AP+4.50m）以上	注入速度を80%に低減
一次管理値以下	通常管理

また，注入順序として，舗装面隆起を最小限にするために局所的な注入ではなく離隔を設けた注入，さらに，ウェルポイントの排水機能を有効にするために，誘導路側からショルダー側に向けて注入することとした（図-8）．

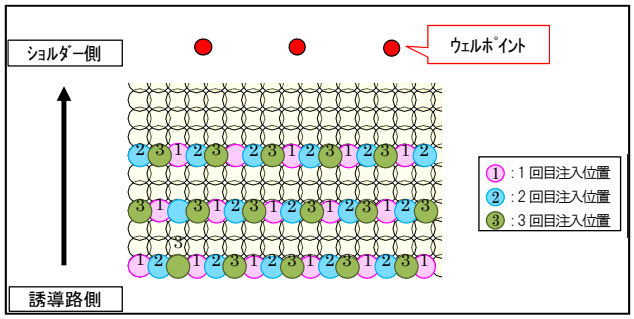


図-8 注入順序

6. 施工結果

(1) 削孔精度

削孔の位置管理は，注入中心位置からのズレとし，出来形許容値は465㎜以下となる（**表-4**，**図-9**）．

表-4　削孔中心位置変位量計算式

変位量 ＝ $\sqrt{\text{（平面変位量A}^2\text{+断面変位量B}^2\text{）}}$

上限値：＝D/4 （D＝改良径1860mm）＝465mm

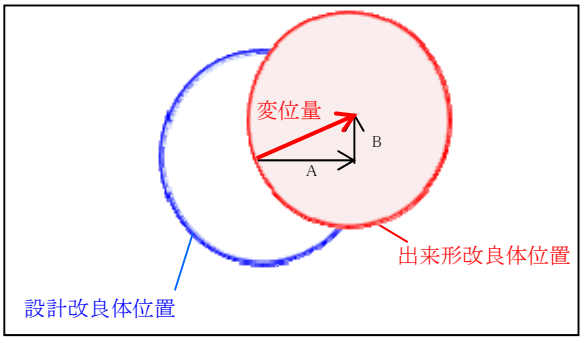
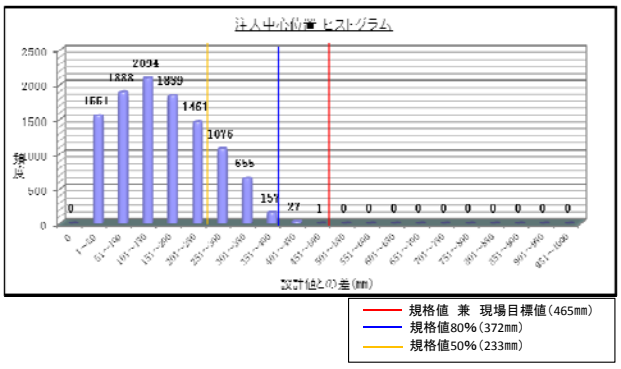


図-9　削孔中心位置変位量説明図

削孔時は固定式位置検出装置と挿入式位置検出装置の併用を行い，全ての注入中心位置に対して削孔中心位置を出来形許容値以内とすることが出来た．出来形実測値は**表-5**に示すとおり，許容値の概ね50%以内で施工できており，固定式位置検出装置及び挿入式位置検出装置による削孔位置の管理は有用であったといえる．

表-5　削孔中心位置出来形実測



(2) 水位・舗装面隆起観測

a) 先行注入時の水位観測結果

工事期間中の水位観測結果（代表値）を**表-6**に示す．先行注入は2014年11月5日～2014年12月4日の間に実施した．水位の傾向としては，降雨の際に一時的に水位上昇が見受けられたが，全体的には水位に大きな変動はなく，一次管理値を大きく下回る結果であり，ウェルポイントによる排水機会は一度も無かった．また、水位計は常時正常に作動していたことを確認した．

表-6　水位観測結果

A.P+m

日付 / 水位計	11月5日	12月4日	1月20日	2月3日	2月11日	2月22日
No.114-1	3.09	3.15	2.94		3.03	
No.114-2	2.86	3.02	3.16		2.91	
No.15-1	3.21	3.17	3.19		3.19	
No.15-2	3.22	3.21	6.58		3.74	
No.116-1				3.13		3.08
No.116-2				3.04		3.15
一次管理値	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
二次管理値	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75
記事	先行注入開始	先行注入完了 本格注入開始	No.15-2 水位急上昇	116ﾌﾞﾛｯｸ 注入開始	114・15ﾌﾞﾛｯｸ 注入完了	116ﾌﾞﾛｯｸ 注入完了

滑走路閉鎖時間帯に実施した舗装面の隆起観測結果は最大4.6㎜程度であり，勾配も施工前とほぼ変わらなかったことから，薬液注入による舗装面への影響は殆ど無かったと言える（**表-7**）．

表-7　先行注入時　隆起観測結果

項目	規格値	施工前	実測値（最大）
隆起量	GL+30㎜以内	GL±0㎜	GL+4.6㎜
縦断勾配	1.0%以内	0.26%	0.27%
横断勾配	1.5%以内	1.12%	1.13%

以上のとおり，先行注入の結果として水位・舗装面隆起ともに施工管理，安全管理上において空港運用に支障が無いことを確認し，昼夜間の本格注入に移行した．

b) 本格注入時の水位観測結果

2014年12月4日より本格注入に移行した．本格注入の全期間において，基本的には一次管理値を上回ることはなくウェルポイントを稼働する事態も発生しなかった．しかしながら，2015年1月20日の注入作業中に水位が二次管理値を大きく超過する値を観測し，薬液注入を緊急中断したため，その際の原因及び対応について報告する．

地下水位の急上昇前までは，削孔中心位置及び注入速度は施工管理基準を満足しており，地下水位上昇時は上昇値に応じて薬液注入を中断したため，施工上の原因は見当たらなかった．　原因としては，水位計設置直下を注入している際，水位計観測孔から薬液あるいは薬液に押し出された地下水が流入し，水位の上昇を観測したと思われる（**図-10**，**表-8**）．

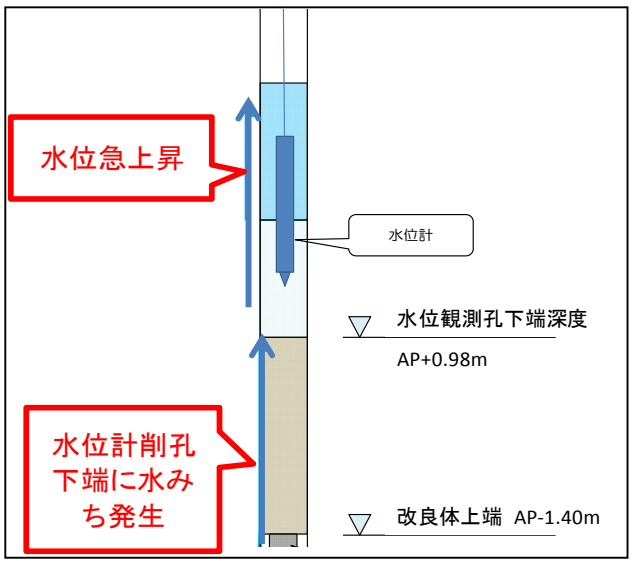


図-10　水位急上昇概念図

表-8　薬液注入中断時系列

注入時刻	水位観測値 A.P+m	注入速度 L/min
2:10	3.63	10
2:20	3.63	10
2:30	3.66	10
2:40	3.96	10
2:50	4.21	10
3:00	4.63	8
3:10	4.92	0
3:20	6.00	0
3:30	6.23	0
3:40	6.58	0
3:50	6.47	0

A.P+4.75mを超過
注入中断

注入中断した後，滑走路舗装面を点検した結果，隆起や薬液噴出等の異常は確認できなかった．

本結果は，水位計を設置し地下水位を常時観測していたため水位上昇の緊急事態を迅速に感知することができ，さらに緊急事態において，施工管理方針通り薬液注入を中断した成果と言える．

原因と想定される観測孔については，観測孔内の水みちが発生したと思われる部分にセメントベントナイトを充填し閉塞させ，同孔に水位計を再設置し，その後，水位が平常に下がったことを確認し注入を再開した．発生した水みちを完全に閉塞したため，注入再開後の同水位計において，地下水位の急上昇を観測することはなかった．

また，注入全期間を通じての隆起観測値は**表-9**のとおりとなり，許容値を充分に満足する結果となった．

表-9　注入全期間における隆起観測結果

項目	規格値	施工前	実測値（最大）
隆起量	GL+30㎜以内	GL±0㎜	GL+5.0㎜
縦断勾配	1.0%以内	0.26%	0.27%
横断勾配	1.5%以内	1.12%	1.13%

7. おわりに

滑走路の供用に支障となるような事象に至らぬよう，重要構造物の直下の改良として，適切な施工管理・安全管理を行うことが出来た．

本工事により，長距離削孔時における固定式位置検出装置及び挿入式位置検出装置による精度管理，舗装面隆起管理として水位計設置による常時の地下水位の把握の有効性が確認できた．

特に水位計により地下水位を常時観測したことは非常に有効であり，常時の観測により，管理基準値を超える水位の上昇というイレギュラーな事象が発生しても即座に対応することができ，空港運用に影響を与えることもなかった．

今後の課題としては，改良対象層がさらに浅くなる場合など，土層に応じた地下水位の上昇に対する更に厳密な検討が挙げられる．

東京国際空港C滑走路の耐震整備は，滑走路閉鎖時間が大幅に短縮されたことにより今後は曲がり浸透固化処理工法による施工となるため，本工事の成果が基礎資料・参考資料として活用されるよう整理していく必要がある．

神戸港における中央航路に近接する既設防波堤撤去について

前田　大輔[1]

[1]近畿地方整備局　神戸港湾事務所　建設管理官室　（〒651-0082兵庫県神戸市中央区小野浜町7-30）

近年，海上コンテナを用いた国際物流ではスケールメリットの追求による輸送船舶の大型化が進んでいる．このため国土交通省では，神戸港(阪神港)を国際コンテナ戦略港湾に位置づけて，基幹航路の維持・拡大を図っている．大水深高規格コンテナターミナル整備事業による大型船の円滑な入出港のために，航路等の拡幅・増深を行っている．この航路拡幅・増深事業の一環として，航路拡幅に支障となる既設防波堤(第六南防波堤)を撤去するものである．撤去作業にあたっては「安全確保」を前提とした上で，工期短縮・コスト縮減での検討が必要であった．

本稿では，既設防波堤撤去の実施に際しての課題と対応策を報告するものである．

キーワード　既設構造物撤去，コスト縮減，現地破砕，砕岩棒

1. はじめに

我が国の港湾は，海上コンテナを用いた国際物流スケールメリットの追求による輸送船舶の大型化への対応から，基幹航路の維持・拡大を求められている．この中で，神戸港は，大水深高規格コンテナターミナル整備事業による大型船舶の円滑な入出港のために，航路の拡幅・増深事業を行っている．

第六南防波堤は港内静穏維持のために1960年代～1970年代にかけて建設されたが，完成から約40年が経過し，神戸港ポートアイランド(第2期)及び神戸空港島などの埋立造成が進んだ事により，第六南防波堤がなくても港内静穏を確保出来る状況下にある．(写真-1)

このため，今般，航路拡幅・増深に際して支障となる既設防波堤(第六南防波堤)の撤去を行う事となり，2012年度から実施しているところである．(写真-2,図-1)

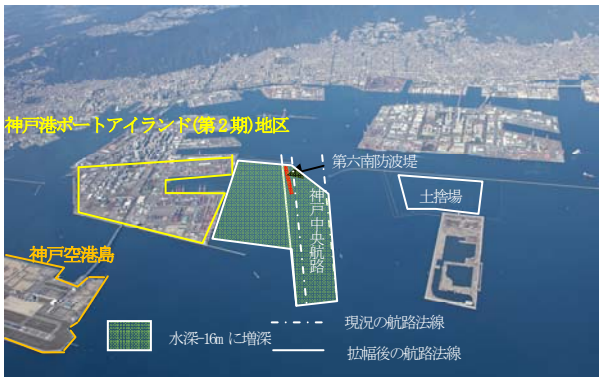


写真-1　神戸港全体図

本稿では，2012年度に引き続き実施した2014年度工事(砕岩棒による現地破砕)について，供用中の航路に隣接する区域における施工という条件の下「安全確保」を前提とした上で「コスト縮減」「工期短縮」の実現という課題とその対応策を報告するものである．

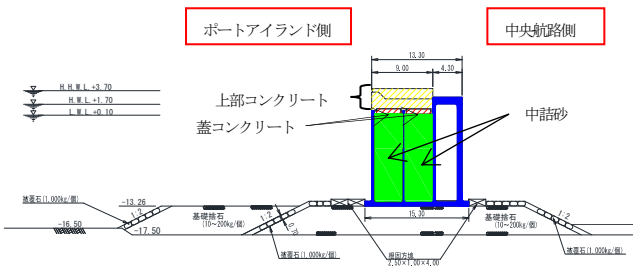


図-1　防波堤(スリットケーソン)断面図

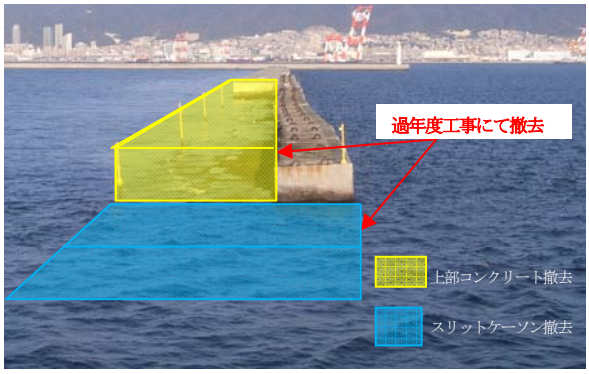


写真-2　第六南防波堤(現地破砕実施前)

2. 工事内容と施工条件

(1) 工事内容

本工事は，神戸中央航路の拡幅・増深事業の一環として，航路拡幅の支障となる既設防波堤(第六南防波堤)を撤去するものである．

- スリットケーソン撤去　6函　(3,156m3)
- 上部コンクリート撤去　6函　(1,774m3)
- 蓋コンクリート撤去　6函　(365m3)
- 中詰砂撤去・流用　6函　(5,777m3)
- 被覆石撤去・流用　1式　(861m3)
- 基礎捨石撤去・流用　1式　(4,732m3)

なお，ケーソン内部の中詰砂及びケーソンマウンドの被覆石・基礎捨石は，撤去後，別件工事で施工している浚渫工事の土捨場の土砂流出防止対策として流用する．(図-2,図-3)

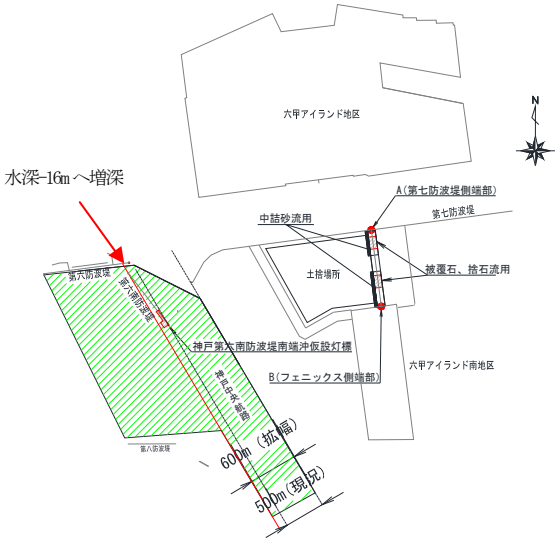


図-2　中詰砂、被覆石・基礎捨石の流用先

(2) 施工条件

第六南防波堤は神戸港の玄関とも言える神戸中央航路に隣接しているため，工事の実施に際しては，一般船舶の航行に影響を与えてはならないという制約があった．

このため，第六南防波堤の撤去作業に際しては，第六南防波堤西側から施工することを原則としているほか，撤去作業を行う作業船の本体およびアンカー等を航路内にはみ出して施工することが出来ない．

また，一般航行船舶への配慮から，大型起重機船による作業を実施する場合は，作業日を大型船の航行が比較的少ない土曜日及び日曜日に限定する必要があった他，施工実施に際しては日々，船舶の入出港情報を把握し作業船の航行を調整する必要があった．(写真-3)



写真-3　ポートアイランド2期地区入港中の大型船舶
(船長316m)

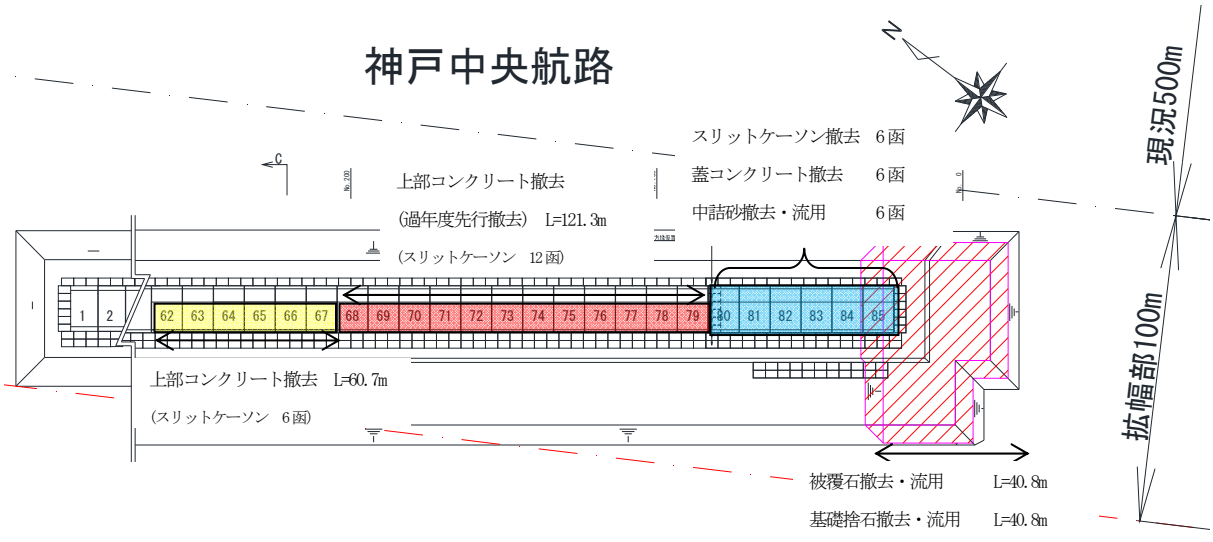


図-3　既設防波堤撤去平面図

3.2012年度工事実績

2012年度に実施した第六南防波堤撤去工事においては堤頭部ケーソン1函，スリットケーソン1函の撤去を実施しており，起重機船による「吊り上げ方式」により撤去を実施した．(写真-4)

「吊り上げ方式」により撤去を行う場合，撤去したケーソンを仮置きするための陸上ヤードが必要となるが，神戸港を含む大阪湾内の港湾において使用可能な陸上ヤードで，且つ，撤去するケーソン(1,288t/函)に相当する耐荷力を有する陸上ヤードの確保が困難であった．2012年度工事の際には，期限付きで民有ヤードを有償借用することが出来たが，長期にわたる専属的な確保は出来ない状況にある．

また，撤去後のケーソンを現地調査したところ，ケーソンに甚大なクラックが確認された．今般，確認されたクラックの原因としては，埋立造成が進む前は，第1線防波堤として，厳しい条件下で，供用されていること，経年による劣化が進行したためだと考えられる．

このため，今回撤去したケーソン以外にも同様な損傷が見込まれる事から，後続工事の実施にあたっては，「吊り上げ方式」に替わる撤去方法の検討のほか，安全面について再度検討を行う必要があった．(写真-5)



写真-4　ケーソン吊り上げ及び台船積込



写真-5　ケーソン底版部のクラック状況

4. 既設防波堤撤去における課題

⑴ 撤去ケーソン現地調査結果

撤去されたケーソンを調査したところ，側壁下部からフーチングにかけて，ひび割れが，多数認められ，その幅も最大9.0mmであった．このことから，このクラックは，フーチング部を貫通するクラックであると想定された．また，スリットケーソンから試験体を取り出し，圧縮強度試験を実施したところ，19個の試験体の内，4個が強度不足であった．

前述のとおり，第六南防波堤撤去にあたっては，神戸港中央航路を航行する一般船舶に影響を与えない安全な施工方法とする必要があり，過年度工事と同様に，起重機船による「吊り上げ方式」により事業を継続した場合，クラック等の影響によりケーソン底版が崩落し，大規模な海上工事事故につながる可能性がある．

⑵ コスト面、工期面での課題

第六南防波堤は堤頭部ケーソン1函，スリットケーソン39函，標準部ケーソン47函の計87函から成り，2012年度に撤去した堤頭部ケーソン1函，スリットケーソン1函を除くと，残り85函のケーソンを撤去する必要がある．一方で2012年度工事においては堤頭部ケーソン1函，スリットケーソン1函計2函の撤去に工費6.3億円，工期11ヶ月を要している(上部工先行撤去20函分等含む)．

起重機船による「吊り上げ方式」により，事業を継続した場合，陸上ヤードの長期にわたる専属的な確保が不可能である．また，前述した施工条件により，「吊り上げ方式」による撤去作業には，制約があるため事業遅延が懸念されるところであり，航路の供用が遅れる可能性がある．

このため，残り85函のケーソン撤去に際しては，より効率的な施工方法による「コスト縮減」と航路早期供用のための「工期短縮」について検討を行う必要があった．

5.既設防波堤撤去における課題への対応策

⑴ 砕岩棒及び硬土盤グラブによる現地破砕

スリットケーソン撤去作業に際しては，起重機船による「吊り上げ方式」に替えて，グラブ浚渫船による「現地破砕方式」を採用することとした．

通常浚渫工事において使用されるグラブ浚渫船を用い，同船が装備する「砕岩棒」をスリットケーソン上で自由落下させることにより，これを破砕し，「硬土盤グラブ」を使用して海中からコンクリートガラを撤去する施工方法とした．

グラブ浚渫船を浚渫工事以外で使用することは極めて少なく．また，供用中の航路に隣接する場所において，

正立する構造物の破砕等を行った事例は国内において他にない．(図-4,写真-6,7,8,9)

「現地破砕方式」を採用することにより，起重機船によるケーソン「吊り上げ方式」に比べ，クラックによるケーソン崩落の危険性を回避し，グラブ浚渫船を用いるため，作業船が小型化し，かつ作業船船足が速くなるため，一般船舶による制約を受けずに施工を行うことができた．

また，現地破砕によりケーソンを仮置きする陸上ヤードを確保する必要がなく，長期にわたり専属的に作業ヤードを確保するという問題を解決した．

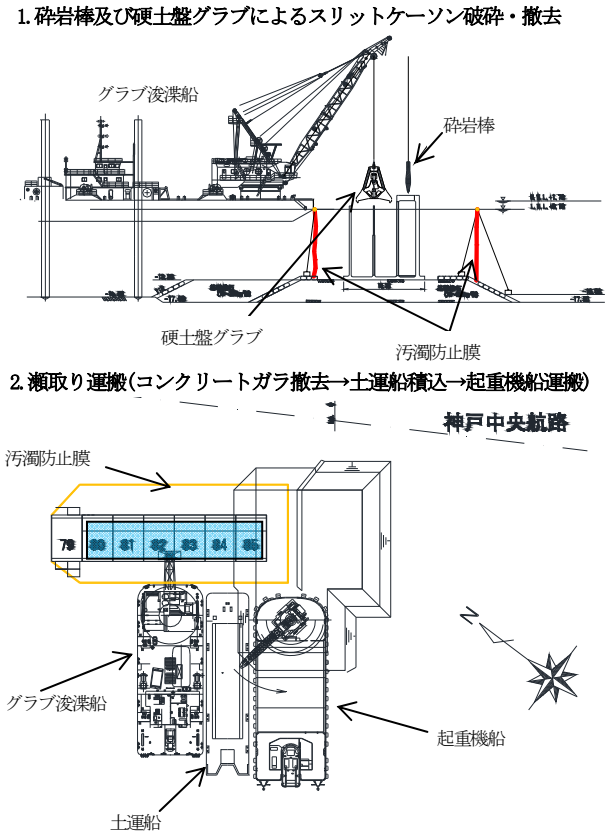


図-4 ケーソン現地破砕施工手順イメージ図

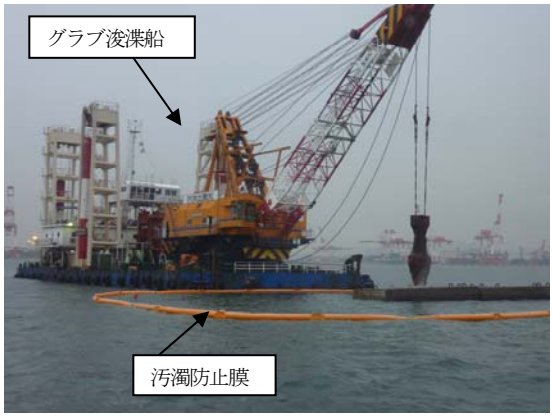


写真-6 グラブ浚渫船によるケーソン現地破砕の様子



写真-7 砕岩棒による破砕状況



写真-8 硬土盤グラブによる撤去状況

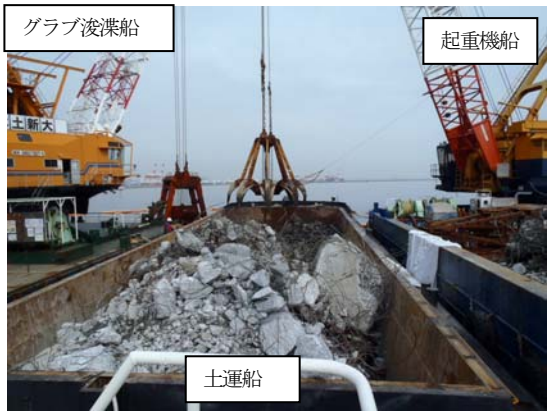


写真-9 コンクリートガラ積込状況

⑵ 現地破砕による周辺環境への影響対策

(a)撤去ケーソン周辺に汚濁防止膜設置

現地破砕による周辺環境の影響として，周辺水域の濁りが懸念されたため，撤去するケーソン周辺に，汚濁防止膜の設置を義務付けた．これにより水域の濁り拡散を押さえるとともに，ケーソン撤去により発生するコンクリートガラが，供用中の航路へ飛散することの防止につとめた．(図-5)

(b)施工箇所周辺での水質調査及び騒音調査

別件業務にて，ケーソン撤去作業時には施工場所周辺での水質調査および騒音調査を実施した．

水質調査及び騒音調査は，(図-6)に示す地点にて実施した．水質調査は，工事箇所を含め計４地点で，１地点毎に上層と下層での調査とし，ケーソン撤去作業日毎に実施する日調査と週１回に実施する週調査を実施した．日調査は，簡易濁度計を用いて現地測定し，事前調査にて定めたSS-濁度換算式により求めた換算SSにより現地においての濁り監視を行った．週調査は，バンドーン採水器により上層および下層の海水を採水し，室内試験によりSS等の分析を行った．調査に当たっては，C地点をバックグラウンド(以下B.G)として設定し，施工水域周辺の濁りを監視するため，B.G地点の測定値に対し，各監視地点(A,B,D)の測定値が，基準値(B.G地点測定値+10mg/L)を超えないか，監視を行った．

また，撤去作業に伴うコンクリート粒子のアルカリ成分の拡散がないかを確認するため，pH値の測定を実施し，各監視地点とB.G地点の比較を行った．

また，陸上騒音調査と水中部騒音調査を実施した．陸上騒音調査は砕岩棒でのスリットケーソン撤去作業時に8～18時まで毎正時10分間測定し，工事騒音による影響が，懸念される住宅地が多い六甲アイランド地区の工事現場近傍の岸壁際(敷地境界)で実施した．周辺海域の魚類等への影響が懸念されたため，海中での砕岩棒作業時に水中部の騒音調査を実施した．水中部騒音調査地点は，工事区域から離れた3地点で実施し，①は工事区域から200m，②は500m，③は800m離れた地点で測定を行った．

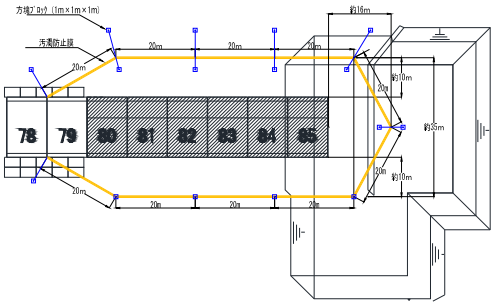


図-5　汚濁防止膜設置のイメージ図

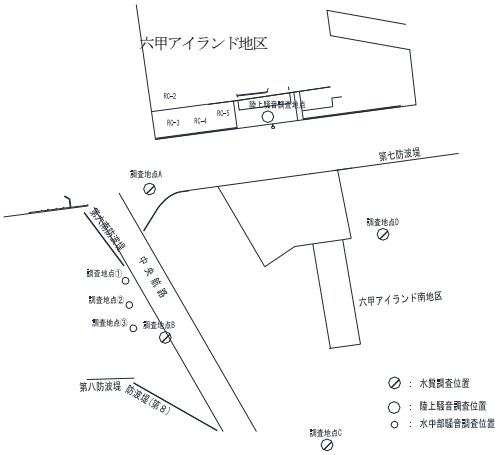


図-6　水質調査及び騒音調査位置図

6.現地破砕による成果

(1)コスト縮減、工期短縮の実現

現地破砕方式による施工方法を採用することにより，起重機船による吊り上げ方式に比べ，前述した大型一般船舶の入出港による制約を受けずに施工することができたため，工期を大幅に短縮することができた．

また，過年度工事における撤去費用と比較すると，大型起重機船及びケーソン運搬に必要な台船等の必要がないため，大幅なコスト縮減を達成することができた．

以上により，既設防波堤撤去において，砕岩棒と硬土盤グラブによる現地破砕は，優良な施工方法だと言える．(表-1)

表-1　工事費及び工期比較
(工期は2012,2014年度工事実績)

撤去工法	工事費／函	工期／函
①現地破砕方式	約35百万円	約5日
②吊り上げ方式	約83百万円	約39日
①-②	▲約48百万円	▲約34日

・工事費については，上部工撤去，中詰砂撤去等を除いた純粋なケーソン撤去・破砕の費用．
・工期については，吊り上げ方式は，3週連続の台風による延伸を含む．

(2)水質調査、騒音調査による結果

ケーソン撤去に当たり，周辺水域の濁り及び撤去コンクリートガラに含まれるアルカリ成分の影響によるpHの上昇が懸念されたが，調査の結果，濁りに関しては，換算SSの監視基準B.G値+10mg/Lを超えることはなく．また，pH値においても，B.G地点での測定値との差はなかった．これは，撤去作業時において，ケーソン周辺を汚濁防止膜で囲むことにより，濁りの拡散を押さえることができたため，また，今回のコンクリート破砕では，アルカリ成分の流出がなかったためだと考えられる．(図-7,8)

砕岩棒使用時における騒音が懸念されたが，基準を上回る騒音は検出されなかった．陸上騒音調査の結果，主な騒音源は，近傍のコンテナバースの作業音，航行する船舶の音であり，騒音の評価値は，55～68dBであった．この値は，規制基準値85dBを大きく下回っており，住宅地等に工事による騒音被害はなかった．これは，砕岩棒による作業において，気中部の破砕時は，落下高さを調整したことにより，騒音発生を抑えることができたためと考えられる．(表-2)

また，水中部騒音調査を実施したが，調査結果により工事音平均で，上述した①地点で，139dB，②地点で132dB，③地点で128dBとなっており，魚類が驚いて深みに潜るか，音源から遠ざかる反応を示す威嚇レベルであ

る[1]140dB～160dBを下回っている．また，施工場所周辺を航行する船舶航行音125dB～144dBと同程度の音圧であるため，工事による魚類等への影響はないと言える．(図-9)

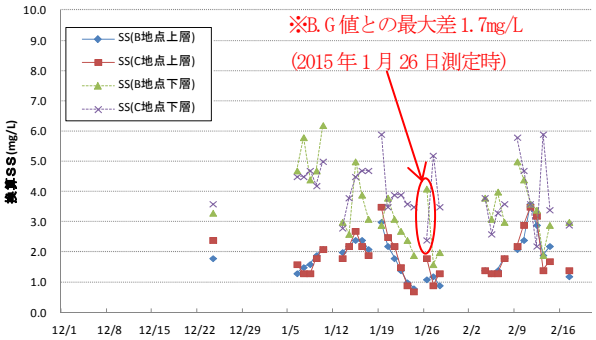


図-7　水質調査(日調査)におけるB地点とC地点の水質経時変化(換算ＳＳ)

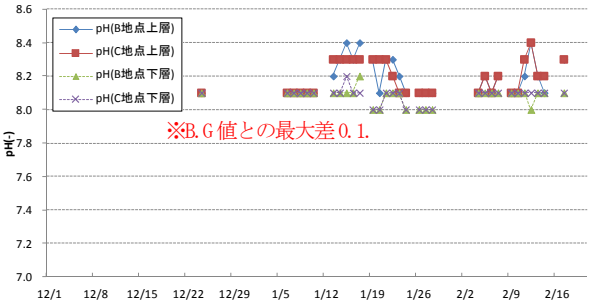


図-8　水質調査(日調査)におけるB地点とC地点の水質経時変化(pH)

表-2　六甲アイランド地区における陸上騒音調査結果
(2015年1月6日　砕岩棒による撤去作業時観測結果)

単位：dB(A)

騒音実測時間	等価騒音レベル	時間率騒音レベル			評価値	評価値決定方法	確認された主な音源（工事騒音以外の音）
		上端値	中央値	下端値			
	L_{Aeq}	L_5	L_{50}	L_{95}			
8:00～8:10	51.3	55	50	49	55	L_5	コンテナバース作業、航空機、風雨
9:00～9:10	60.6	68	55	53	68	L_5	コンテナバース作業、汽笛（放送）、風雨
10:00～10:10	55.2	58	55	53	58	L_5	コンテナバース作業、風雨
11:00～11:10	55.1	58	55	53	58	L_5	コンテナバース作業、風雨
12:00～12:10	60.2	68	49	48	68	L_5	コンテナバース作業、汽笛（放送）、航空機、風雨
13:00～13:10	54.3	56	54	52	56	L_5	コンテナバース作業、風雨
14:00～14:10	53.2	55	53	51	55	L_5	コンテナバース作業
15:00～15:10	53.3	57	52	50	57	L_5	コンテナバース作業、船舶
16:00～16:10	51.0	54	50	48	54	L_5	コンテナバース作業
17:00～17:10	49.2	53	48	44	53	L_5	コンテナバース作業、航空機、船舶
18:00～18:10	60.0	68	45	42	68	L_5	コンテナバース作業、汽笛（放送）

※等価騒音レベル及び時間率騒音レベルについては、除外音を除かず全ての音を含めている。

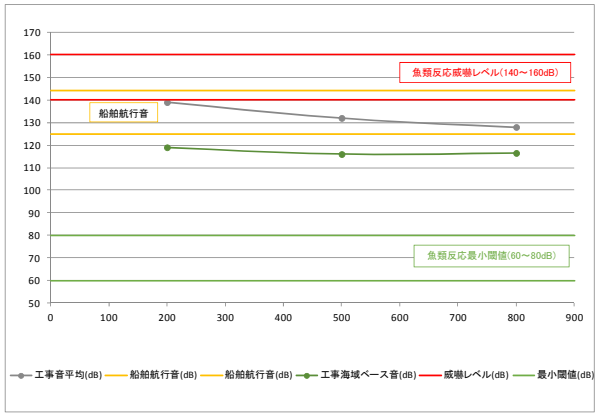


図-9　施工場所周辺の水中部騒音調査結果

7.まとめ

本稿では，供用中の航路近傍での既設防波堤の撤去にあたり，安全確保を前提として，「コスト縮減」、「工期短縮」の実現という課題と検討に基づく対応策及び成果について報告した．

既設防波堤撤去にあたっては「砕岩棒」「硬土盤グラブ」による現地破砕方式を採用することにより，供用中の航路近傍という現場条件に対して安全性を確保して施工し，作業ヤードの確保，撤去作業日による制約を解決することができたといえる．過年度工事で施工した起重機船による吊り上げ方式に比べて，大幅なコスト縮減，工期短縮を実現した．

また，現地破砕による周辺環境への影響が懸念されたが，汚濁防止膜設置による対策により，水質への影響を及ぼすことなく，施工することができた．騒音調査の結果からも，工事による騒音の影響は無いと言える．

上記により，本事例は，今後，継続して行う防波堤撤去作業において，優良な施工法であることが確認された．本事例は他の港においても既設構造物の老朽化，陳腐化が懸念され，撤去の必要があると考えられる場合において採用可能な施工方法であり，モデルケースになると考えられる．

早期航路供用に向けて，本事例を今後の防波堤撤去計画に活かしていきたいと思う．

参考文献

1) 社団法人日本水産資源保護協会：水中音の魚類に及ぼす影響　水産研究叢書 47

海底地形探査装置を活用した港湾構造物調査の成果と装置の運用について

柿崎　慶治[1]・寺田　篤史[1]

[1]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丁目3778番地）

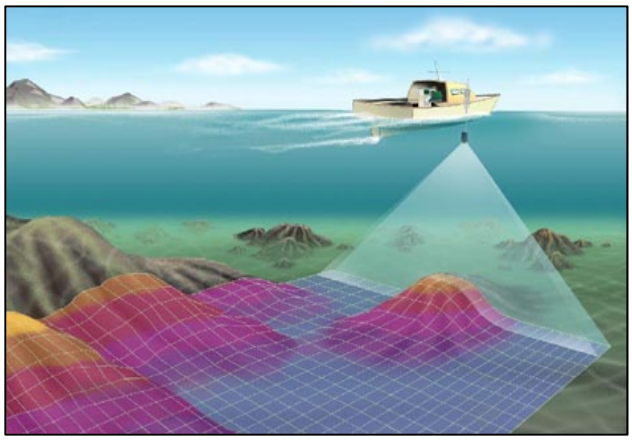
海上で行われる港湾構造物の建設や災害対応の現場では，水中の状況を正確に把握することが水中作業の精度や効率を確保する上で重要な要素となっている．近年，水中測量機器は機能や性能の向上が図られており，海底地形を面的に把握することができるマルチビーム測深機もその一つである．

本論文では，当事務所が所有する海底地形探査装置（マルチビーム測深機）を用いた職員直営による港湾構造物等水中状況調査の成果と，災害時の使用に備えた対応を含む装置の運用に関する取り組みについて報告する．

キーワード　海底地形探査，港湾構造物調査，マルチビーム測深機

1.　海底地形探査装置導入の目的

海底地形探査装置（マルチビーム測深機）は，図－１に示すとおり，扇状に広がる多素子の音響ビームにより細密且つ面的に水中の状況を把握することができる測量機器である．通常時には港湾構造物の水中状況把握による保全対策検討等への活用，災害時には被災現場の水中状況調査等において緊急災害対策派遣隊（TEC-FORCE）の装備として使用することを目的としており，港湾業務艇による直営での使用を前提として，2012年から運用を開始している．



図－１　マルチビーム測量イメージ図

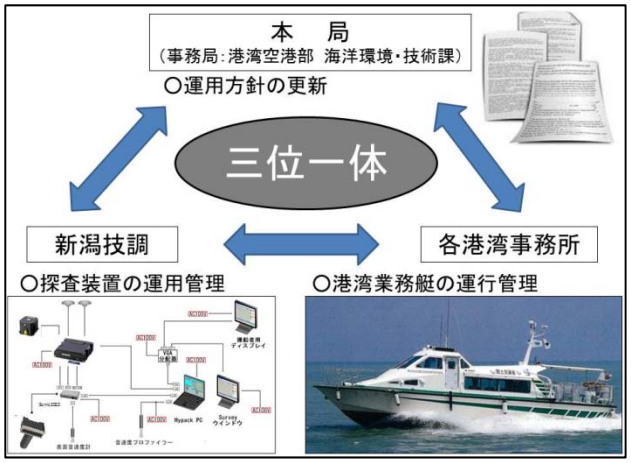
2.　運用体制の確立

本装置の直営による運用は，前例の無い新たな業務であったことから，まずは組織内の役割分担を定め，体制を構築する必要があった．本装置の導入時点では装置取扱の技能を持った職員はおらず，装置の取付に関しても不安定な船上で重量物を扱う作業を伴うなど，職員への教育・訓練が課題であった．また，装置が１台であることに対し，測量に使用する港湾業務艇は管内４事務所に計５隻が配備されており，各船毎の装置取付や船舶運航に関する各港湾事務所との連携も課題となった．

(1)　運用方針の策定

まず，運用に関する全体の責任者を港湾空港部長と定め，目的，業務分担及び年間工程計画等を定めた「海底地形探査装置による測量運用方針（案）」（以下，「運用方針」という．）を作成の上，管内各事務所が本局に参集して開催される会議等の場で繰り返し説明し，目的の周知と意識の向上に努めた．

運用方針の作成にあたっては，当初から詳細な事項を全てまとめ上げるのではなく，最低限必要な事項のみ記載し，運用開始からの習熟段階に応じたＰＤＣＡサイクルにより運用方針自体を毎年更新する制度設計とした．初年度の運用方針のポイントは，装置を所管し測量を主導する新潟港湾空港技術調査事務所（以下，「新潟技調」という．）に役割を集中させず、組織全体で取扱の技能を高めることができるように配慮した点である．具体的には図－２に示すように，装置の運用を統括し，局内関係課と調整して運用方針の更新を行う本局海洋環境・技術課，装置の管理と操作を主体的に行う新潟技調，測量箇所立案，港湾業務艇の運航管理及び港長との調整・手続を行う各港湾事務所が三位一体となり業務を遂行する体制を構築した．

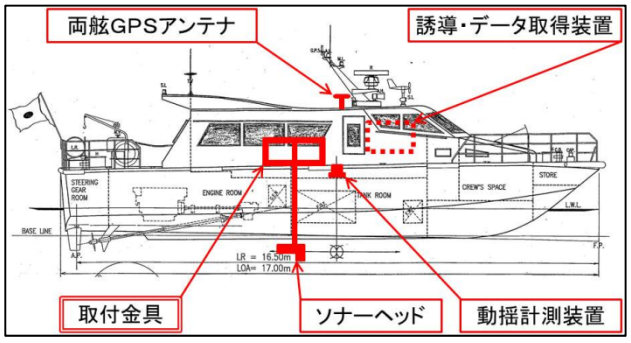


図－２　各組織の業務分担

⑵　取付金具の製作

装置を船舶に取付ける際には，固定用の金具が必要であり，特に，水中で音響ビームを発信するソナーヘッドは，測量精度を確保するため堅固に取付ける必要がある．管内の港湾業務艇の材質はＦＲＰ（強化プラスチック）製とアルミ製の２種類であるが，鉄製と異なり強度面で取付位置に制約がある．また，スクリューやウォータージェットが発する気泡が音響ビームに影響を及ぼすなどの課題もあったことから，測量機器メーカー及び造船所の意見を踏まえて各船毎に最適な取付位置の検討を行い，各船専用の取付金具を製作した．

代表的な例として，港湾業務艇「まつかぜ」の取付金具設置位置と各機器の配置を図－３に示す．



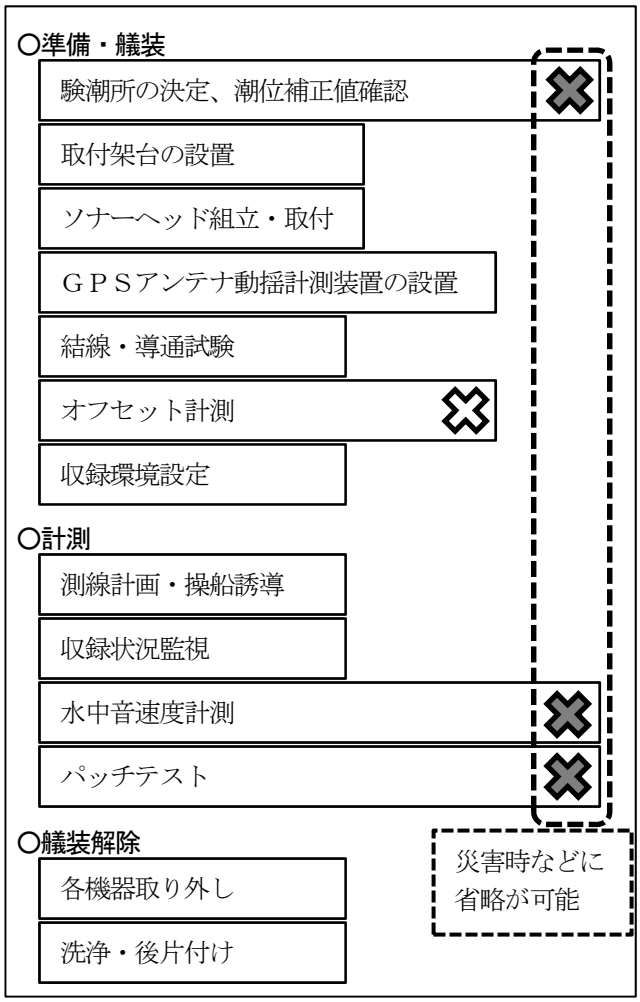
図－３　港湾業務艇への各機器設置位置図

⑶　測量・解析・図化要領の作成

各機器付属の取扱説明書のみでは，職員だけで船舶への取付や機器の操作を行うことは困難であり，また，測線誘導・データ取得装置と解析図化ソフトの操作画面が英語表示であることが困難度を高めていた．このことから，測量の補助，取扱講習会の開催及び詳細マニュアル（測量・解析・図化要領）の作成を行う業務を外注し，職員の技能向上と装置の操作性向上を図った．なお，取扱講習会では，特にTEC- FORCE隊員を優先して参加させることで，災害時の対応に必要な技能を早期に習得出来るよう配慮した．

3.　測量の実施

図－４に測量要領に基づく大まかな測量作業のフローを示す．これは測量を行う際の基本的な作業フローであり，取扱講習会を含め，通常使用の際にはこれらの項目について順を追って実施している．なお，災害の初動段階において速報性を優先させる場合には，×印のついた項目を省略することができる．この方法を取った場合，潮位の補正省略による水深値の精度，水中音速度（水温や塩分濃度により変化）の補正省略によるソナーと測量対象物との相対距離の精度，パッチテスト（船舶とソナーの傾きを補正）省略による測量の位置精度がそれぞれ低下するが，沈底物の有無など水中の状況を把握するには十分な成果が得られる．また，各機器間の相対距離を計測するオフセット計測についても，専用の取付金具等を製作し，各機器の設置場所を限定したことにより，その都度の計測を省略することが可能となっている．



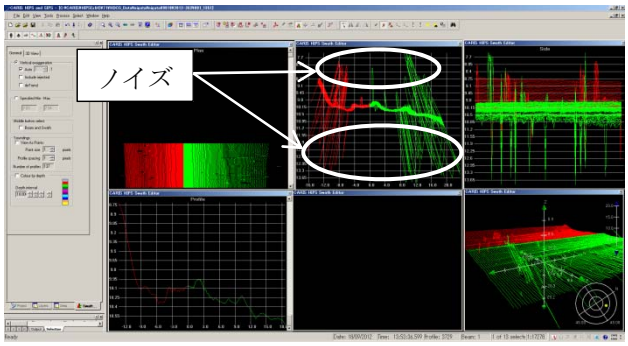
図－４　測量作業のフロー図

4.　解析・図化の実施

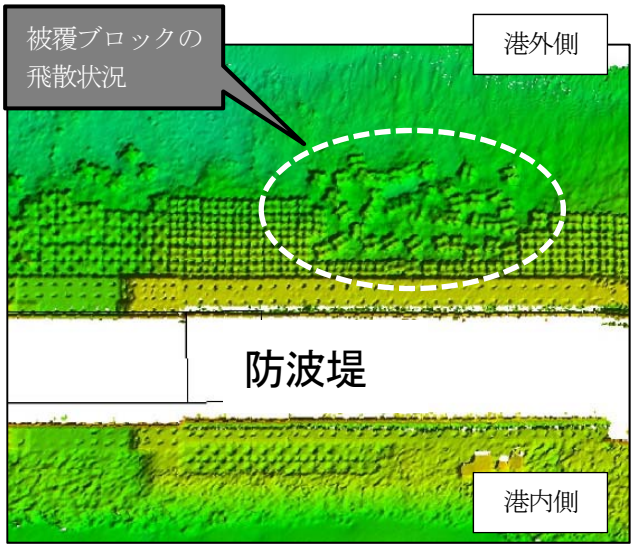
収録した測量データと各種計測結果を統合し，図化作業を行う．主な作業の流れは，解析・図化ソフトがインストールされたパソコンに測量データを取り込み，塩分

濃度及び水温により変化する水中音速度の補正と，時間経過により変化する潮位の補正を行い図化し，水中に浮遊しているゴミや音波の乱反射などのノイズを除去する手順となる．図－５に解析作業時のパソコン画面を示す．上段中央の表示は測線横断方向の断面図であり，左右に伸びる太い線が海底面で，その上下に走る細い縦の線がノイズである．複雑な構造物等である場合はノイズの判断が難しく，習熟には一定程度の経験が必要となる．また，ノイズの除去は，大まかな箇所は自動の設定で除去するが，細かな箇所は手動で行う必要があり，この作業には現地測量時間の３倍程度の時間を要する根気の必要な工程である．

解析作業を完了したデータを図化すると図－６のような図面となる．これは平面図の一例であるが，この他にも３Ｄ段採図や等深浅図など多様な図面が作成可能で，アングルの変更など自由度も高い．



図－５　解析作業の画面



図－６　解析作業完了後の図化画面

5.　測量成果の活用

(1)　通常時に行う測量

通常時に行われる測量の対象箇所は，運用方針の様式「海底地形測量実施計画書」により管理しており，目的，目標，実施期間等を明確にし測量成果が計画的且つ効果的に活用されるように考慮している．

活用の一例として，図－６では防波堤の港外側被覆ブロックの飛散状態が確認できるが，このように，海上からの目視では確認することができない港湾構造物の保全対策を平面的に把握して検討することが可能となり，設計へのフィードバックや，早期の対策によるライフサイクルコストの縮減が期待できる．

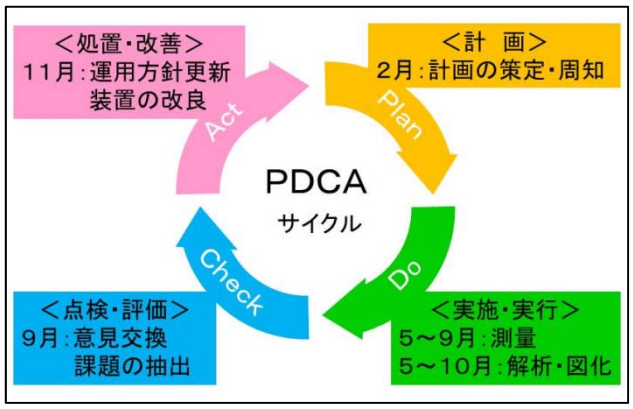
(2)　災害時に行う測量

本装置の運用開始後，幸いにも災害時の使用事例は生じていない．東北地方太平洋沖地震の際における事例では，津波による防波堤被災状況の確認にマルチビーム測深機が使用され，被災メカニズムの解明や復旧作業に寄与したところであり，本装置についても同様の活用を考えている．

なお，災害時には，短期間で確実に測量データを取得することが求められるため，通常時とは別に，測量技能者による支援を前提とした測量体制を構築することとした．これにあたり，当局と災害協定を締結している団体と意見交換を行い，東北地方太平洋沖地震の実績を踏まえて課題を整理し，当局所有の海底地形探査装置と港湾業務艇を使用して当局職員と災害協定締結団体の測量技能者がチームを組んで測量を行う方針を定めた．また，迅速な出動が可能となるよう，協定書に基づく「災害応急対策業務動員名簿」に，マルチビーム測深機の取扱技能を有する者の所属・氏名を記載することとした．

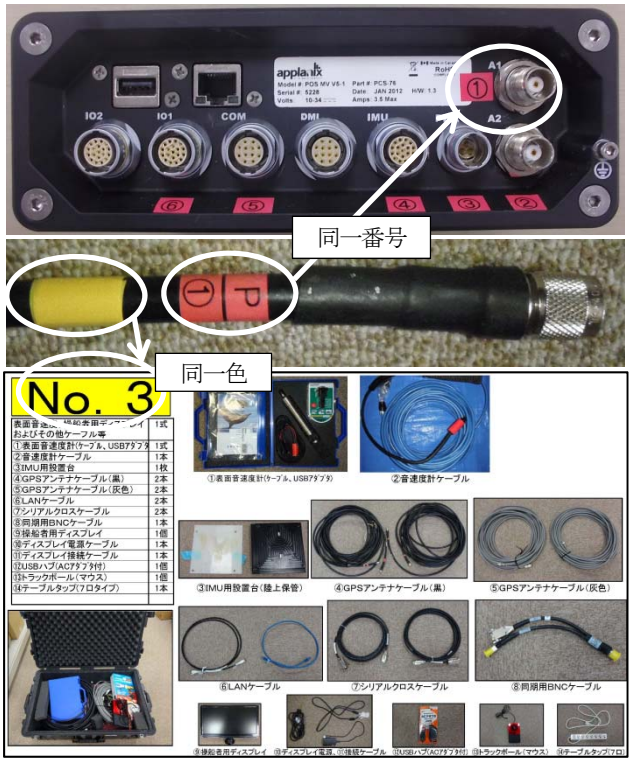
6.　運用で抽出された課題と対応

2. 運用体制の確立でも触れたとおり，本装置の運用にあたってはＰＤＣＡサイクルを活用し，１年間を図－７に示す１サイクルとして改善に努めている．具体には，毎年２月に年間測量計画を策定して各港湾事務所への周知を行い，この計画に沿って海象が穏やかな時期に測量を実施し，９月の点検・評価の段階において，測量や訓練の実施で得られた知見と職員へのアンケート結果から課題を抽出して，運用方針の更新や，装置取扱の容易性向上を図っている．以下に，その一例について紹介する．



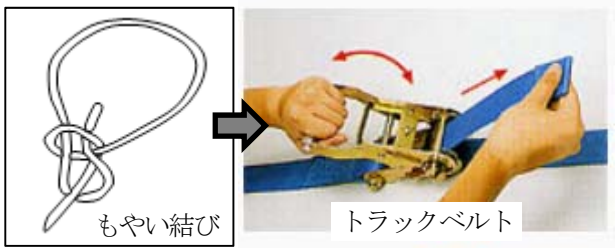
図－７　ＰＤＣＡサイクルを活用した年間運用計画

初年度に行われた取扱講習会のアンケートでは，「配線や機器の接続すら分からなかった」，「工具の充実や固定用ロープワーク技術の習熟が必要」など，測量の準備段階においても困難を生じていることが判明した．そこで，機器の接続が容易になるよう，図－８に示すように各機器と接続ケーブルそれぞれに着色テープで同一の番号を付け，視覚により作業できるよう改善した．また，後片付けについても，装置一式で１０個に及ぶ収納箱に６０点以上ある機器等を元通り収納する大変手間の掛かる作業であったため，保管箱の蓋に内容物が分かるような写真入りの一覧表（図－８下段参照）を貼り付け，作業の容易性と確実性を向上させた．さらに，各収納箱には個別の色を割り振り，機器に対応した着色テープを貼ることで，類似のものが多く混同しがちなケーブル類についても判別が容易となるよう工夫している．



図－８　取付・取り外しの工夫

このほか，ソナーヘッドの動揺防止としてソナーヘッドを船体にロープで固定する際には，図－９の「もやい結び」や「まき結び」などが有効であったが，ロープワークに習熟していない職員では緊張力を調整することが困難であったため，トラックベルトに変更し，作業の簡素化と確実性を向上させた．



図－９　ソナーヘッド固定方法の工夫

以上の対応を含め，各種の改善を重ねたことにより，2014年度以降は新潟技調の職員のみで装置一式の取付・取外しを行うことが可能な体制を確立しており，この体制を維持するための自主訓練（写真－１参照）を年２回程度開催している．



写真－１　自主訓練の様子

7. あとがき

本装置の運用による訓練や現地測量では，作業前ミーティング，ラジオ体操，ＫＹ活動から始まり，作業後は当日中に反省会を開いて意見交換を行っており，課題について職員各自が自ら考え，対応の検討にあたった．
また，取付作業中に付近を航行する船舶から生じる航跡波に対する警戒や，落下防止等に対する安全意識の保持のための職員相互の声掛けなど，チームワークが求められる場面が多く生じた．これら，直営による一連の作業を通じては，本装置の取扱に関する技能向上のみならず，若手技術職員の育成にも大いに寄与するところがあったと感じている．

本装置の運用については，機器類そのものの改善の余地や，使用する職員の習熟度向上など，幾つかの課題が残されている．測量の補助に力添えを頂いた測量業者の方からは，「とにかく実際に使用して慣れることが大事である」とのアドバイスを頂いており，実感として同様に感じているところである．今後も運用方針に基づき，効果的・効率的な港湾施設の整備及び保全と，災害に備えた早期対応体制の確保に寄与することができるよう，本装置の運用に関する改善に努め，本装置を継続して定期的に使用し続けることにより職員の取扱技能の維持・向上に取り組んで行きたいと考えている．

防波堤整備コストの更なる縮減について

水島　良[1]・林　誉命[2]・早川哲也[3]

[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　留萌開発建設部　築港課　（〒077-8501北海道留萌市寿町1丁目68番地）

[3]北海道開発局　港湾空港部　港湾計画課　（〒060-8511北海道札幌市北区北8条西2丁目）

防波堤のコスト縮減のため，これまで様々な新構造の防波堤を開発してきたが，施工性等の観点から，防波堤構造形式の主流は混成堤となっている．本報告では，混成堤の設計における更なるコスト縮減図るため，①港内側マウンド被覆材の必要性，②低天端波力算定式による暫定断面縮小の可能性，③越波水の利用による堤体質量増加の可能性の３項目について分析を行い，コスト削減の可能性がある波浪条件や今後の課題について整理するものである．

キーワード　防波堤、コスト縮減、マウンド被覆材、暫定断面、越波

1. はじめに

防波堤は比較的水深の深い水域に整備され，構造が大断面となることから，港湾施設の中でも整備費用が高いものとなっている．このため，従来から，防波堤のコスト縮減を目的とした研究開発が積極的に行われ，例えば、谷本[1)]ら（1987）による半円形ケーソンや関口[2)]ら（2000）による斜面スリットケーソン等，様々な新構造の防波堤の開発が行われてきたが，ある条件においては波浪制御効果やコスト縮減効果に優れているものの，施工性等の観点から，防波堤構造形式の主流はケーソンによる混成堤となっている．

そこで本報告では，混成堤における更なるコスト縮減に主眼を置き，①港内側マウンド被覆材の必要性，②低天端波力算定式による暫定断面縮小の可能性，③越波水の利用による堤体質量増加の可能性の３項目について分析を行い，コスト削減の可能性がある波浪条件や今後の課題について整理するものである．

2. 港内側マウンド被覆材の必要性

(1) 研究内容

混成堤は基礎捨石の上にコンクリートケーソンを据え付ける構造であり，波浪の作用により，基礎捨石の洗堀による被災が発生しないよう，所要の質量を有したコンクリートブロック等のマウンド被覆材により被覆される．港外側のマウンド被覆材については、高橋[3)]ら（1990）の方法により，波浪や構造条件から安定数 N_S を算出し，N_S を考慮したハドソン式から適切な所要質量の算定が可能である．しかしながら，港内側のマウンド被覆材については，港外側の質量の 1/2 や 1/4 といった値を経験的に用いているのが現状である．

防波堤港内側のマウンド被覆材の安定性に影響を及ぼす外力としては，①越波水の打ち込み，②回折波を主体とした港内波，③マウンド透過波が考えられる．②については高橋[3)]ら（1990）の方法，③については例えばCADMAS-SURFに代表されるような波浪による基礎マウンドの圧力伝播を再現できる数値シミュレーションにより検討が可能である．ここでは，①の防波堤の越波に対するマウンド被覆材の安定性を検討し，マウンド被覆材を必要としない，即ち30kg～300kgの中割石でも安定する条件について整理するものである．

(2) 研究方法

早川[4)]ら（2000）は，環境共生を目的とした背後小段付防波堤の設計法の確立のため，数値計算や水理模型実験により，**式(1)**に示すとおり，波浪条件や構造条件から背後マウンド上の流速 U_b を算定し，その流速から安定数 N_S を算定する方法を提案している．

$$N_S = C / (U_b / \sqrt{gH})^2 \qquad (1)$$

ここに，gは重力加速度，Hは波高，Cは係数で0.06である．安定数N_Sは，流速の２乗に反比例する式となっており，流速の増加により急激にN_Sが小さくなり，港内側マウンド被覆材の所要質量が大きくなるものである．

本検討では，この方法を用いて，図-1 に示す防波堤

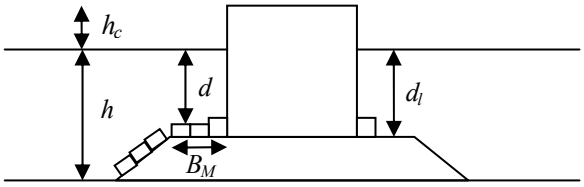


図-1　防波堤モデル（各パラメータ）

モデルにおいて，港内側マウンド被覆材の所要質量が30kg 未満となる条件を検討する．防波堤モデルは，水深 h，天端高 h_cの全断面構造であり，また，港内側基礎捨石上の水深を d_lとしている．

水深 hは10mと15mの２種類とし，作用させる波浪の最大波高 H_{max}については実際の設計で用いる値を考慮して，h=10mではH_{max}=5～10m，h=15mではH_{max}=10～15mに変化させた．天端高hcは，相対天端高$h_c/H_{1/3}$を0.60, 0.80，1.00，1.25とし，作用させる波高H_{max}に応じて変化させた．ここで，有義波高$H_{1/3}$と最大波高H_{max}の関係は，一般的に用いられている$H_{max}/H_{1/3}$=1.8の関係を使用している．また、基礎捨石の厚さは最低厚の1.5mとし，港内側基礎マウンド上の水深d_lについては，h=10mでd_l＝8.5m，h=15mでd_l＝13.5mとなる．なお，早川[4]ら（2000）の方法における波浪の周期については，港外側マウンド肩幅B_Mと波長Lの比B_M/Lに応じて，水深をhまたはマウンド上水深dとするかに影響するパラメータとなっている．本検討では，港外マウンドの影響を受けない領域B_M/L≦0.11とし，B_M=9.0mと考えると，h=10mではT≧約9s，h=15mではT≧約8sの条件を対象としていることとなる．

(3) 港内マウンド被覆材が不必要となる条件

図-2 は，水深 h=10m における各波高 H_{max}における港内側マウンド被覆材の所要質量 M の算定結果について相対天端ごとに示したものである．$h_c/H_{1/3}$＝1.25、1.00 の条件では，防波堤天端が高く，越波がほとんど発生しないことから，全ての波高において 30kg を下回っており，港内側マウンド被覆材が必要ない結果となった．また，$h_c/H_{1/3}$＝0.80 の条件では，波高 H_{max}が 8.4m より小さい条件で被覆材が必要ない結果となった．一方、$h_c/H_{1/3}$＝0.60 の条件では，越波量が大きく，港内側の基礎マウンド付近で大きな流速が発生することから，全ての波高条件でマウンド被覆材が必要となる結果となった．

図-3は，h=15mの条件において，**図-2**と同様に，港内側マウンド被覆材の所要質量を示したものである．水深が深く波高が高い条件としたことから，全体的に必要質量Mは増加するが，$h_c/H_{1/3}$＝1.25の条件では被覆材が不必要という結果となり，$h_c/H_{1/3}$＝1.00，0.8の条件でも波高が小さい領域では，被覆材を設置しなくても良い結果となった．ただし，$h_c/H_{1/3}$＝0.60の条件では水深h=10mと同様に全ての波高条件でマウンド被覆材が必要という結果となった．

(4) 今後の課題

本検討では，波浪条件によっては，マウンド被覆材を設置しなくても良い結果となり，コスト縮減の可能性があることを示した．早川[4]ら（2000）の方法は，実験ケースが限られた条件での検討であり，また，パラペット構造での検討を行っていないことから，更なる水理模型実験による検討が必要である．

さらに，港内側被覆材の安定性には，越波水の打ち込み，港内波，マウンド透過波が複合的に作用することから，この場合の安定性についての検討が必要となる．

3. 低天端波力算定式による暫定断面縮小の可能性

(1) 研究内容

混成堤は，ケーソン据付け後の上部工の打設により所要の天端高や質量を確保する構造であり，効果の早期発現等の観点から，上部工を打たない暫定断面での延伸や越年を行う場合がある．通常，防波堤の断面は 50 年確率波により完成断面での設計を行うが，暫定断面での延伸・越年が想定される条件では，10 年確率波等でも安定照査を行い，危険側で堤体幅を決定することとなる．よって，防波堤断面が 10 年確率波で決定される場合は、50 年確率波に対しては過大な断面となっている．

酒井[5]ら（2014）は，没水状態を含む防波堤天端の低い条件での堤体に作用する波力特性を水理模型実験及び数値波動水路の CADMAS-SURF により検討しており，防波堤直立部に作用する波力は合田の波圧算定式より小さくなることを明らかにし，天端が低い条件での波圧低減係数を提案している．

そこで，本検討では，酒井[5]ら（2014）の方法により，

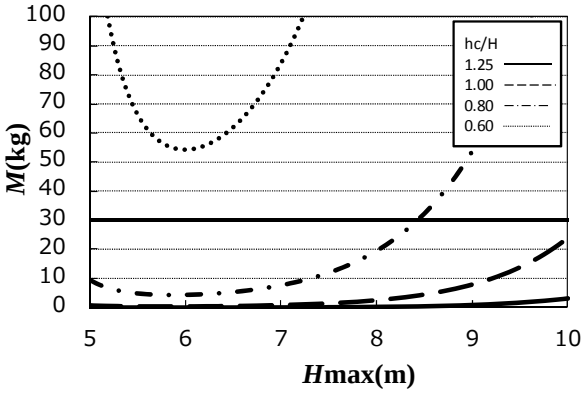


図-2 港内側被覆材必要質量（h=10m）

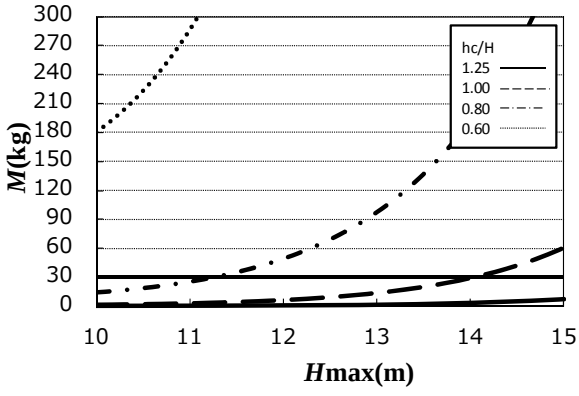


図-3 港内側被覆材必要質量（h=15m）

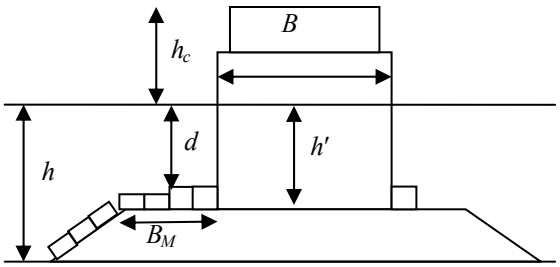


図-4　防波堤モデル(各パラメータ)

暫定時で決定する断面の解消や暫定時の堤体幅の縮小可能な波浪条件について整理するものである．

(2) 研究方法

酒井[5]ら（2014）は、没水状態や低天端状態での波力算定式について、合田の波圧算定式に波圧低減係数 κ を乗じる下記の**式(2)**を提案している。

$$
\begin{aligned}
p'_1 &= \kappa p_1 \\
p'_u &= \kappa p_u \\
\kappa &= 0.8 && (-1.5 \leqq h_c/H_{1/3} < 0.0) \\
&= 0.4\, h_c/H_{1/3} + 0.8 && (0.0 \leqq h_c/H_{1/3} < 0.5) \\
&= 1.0 && (0.5 \leqq h_c/H_{1/3})
\end{aligned}
\qquad (2)
$$

ここに，p'_1 及び p'_u は低天端状態の水平力と揚圧力の波圧強度であり，p_1 及び p_u は合田の波圧算定式の波圧強度，$h_c/H_{1/3}$ は相対天端高である．つまり，相対天端高 $h_c/H_{1/3}$ が 0.5 以上の場合は従来の合田の波圧算定式を用いて問題ないが，それより小さくなると $h_c/H_{1/3}$ とともに合田式より波圧が小さくなり，没水状態になると合田算定式の８割程度となることを表現している．

図-4は，検討に用いる防波堤の断面を模式的に示したものである．水深hは10mと15mの２種類とし，50年確率波に対応した堤体に作用する最大波高H_{50}については，概ね設計水深で最大の値を示すH_{50}/h=0.9を想定し，それぞれH_{50}=9.0m及びH_{50}=13.5mとした．なお，来襲周期については、道内各港の設計波高を参考に、それぞれT_{50}=9.0s及びT_{50}=12.0sとした．また，天端高h_cは，$H_{50}/H_{1/3}$=1.8，$h_c/H_{1/3}$=0.6の関係と太平洋側の潮位H.W.L.=1.6mから，h=10mではh_c=5.0m、h=15mではh_c=6.6mとした．なお，基礎捨石の厚さは最低厚の1.5mとし，港外側基礎マウンド上の水深h'についてはh=10mでh'=8.5m，h=15mでh'=13.5m，マウンド被覆水深は簡便のためh'と同値とした．

一方，暫定時の10年確率波に対応した設計波高H_{10}については，各港の現地観測結果に基づく極値統計分析により，最適な極値統計関数から沖波としての10年確率波を求め，屈折・回折・浅水変形から算出するのが本来の方法であるが，本検討では暫定断面に作用するH_{10}を変化させ，縮減幅の変化についての分析を行う．ここでは，h=10.0mではH_{10}=4.0～8.5m，h=15mではH_{10}=8.5～13.0mに変化させた．また，暫定時のケーソン天端高は，H.W.L.+0.5mより太平洋側の潮位を考慮して2.1mに設定した．なお，10年確率波の周期については，**図-5**に示す道内各港の10年確率波に関する有義波の波高と周期の関係から，H_{10}に応じて**式(3)**から算出している．

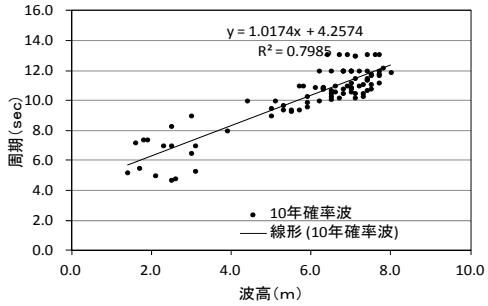


図-5　10年確率波の波高と周期の関係

$$T_{10}(\mathrm{s}) = 1.02(\mathrm{s/m}) \cdot H_{10}(\mathrm{m}) / 1.8 + 4.23(\mathrm{s}) \qquad (3)$$

(3) 暫定断面縮小を可能とする条件の検討

図-6は，h=10.0m及びH_{50}=9.0mの条件における堤体幅であり，横軸が暫定時の波高 H_{10}、△の点線で H_{10} に応じて算出した堤体幅を示している．また，実線が完成時の H_{50} で決定される堤体幅であり，本条件では 12.8m と算定される．H_{10} が約 7.5m より大きくなると，完成時ではなく暫定時で必要堤体幅が決定され，H_{10}=8.5m では完成時よりも幅が約 3.2m 大きい断面となる．一方，酒井[5]ら（2014）の**式(2)**を用いた堤体幅を○の破線で示しており，全体的に暫定時の必要堤体幅を削減することが可能となり，H_{10} が大きいほど削減幅が増加し，また，暫定時で決まる断面も H_{10} が約 8.5m より大きい範囲に限定されるようになり，本条件では全て完成断面で決まることとなる．本方法による堤体幅の削減量を棒グラフで合わせて示しているが，H_{10}=8.5m では 3.2m の堤体幅の削減が可能となり，工事費ベースでは約 20%のコスト削減が可能となる．

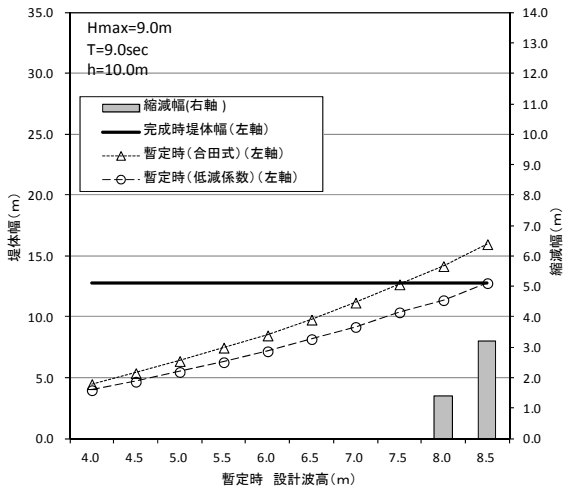


図-6　完成及び暫定時の堤体幅（h=10.0m）

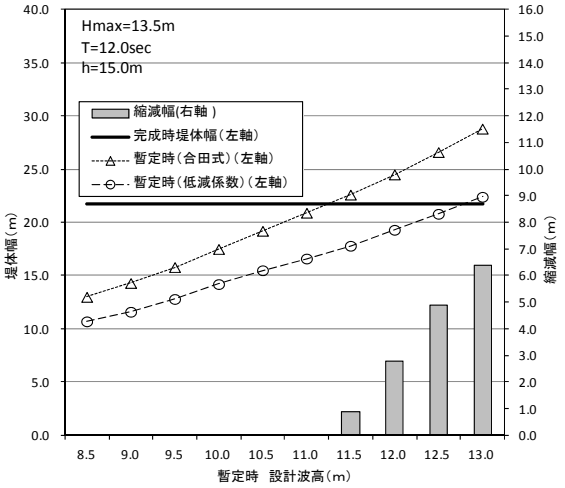


図-7　完成及び暫定時の堤体幅（h=15.0m）

図-7 は，h=15.0m 及び H_{50}=13.5m の条件について**図-6** と同様に示したものである．傾向は H_{50}=9.0m の条件と同様であり，H_{10} が約 11m を越えると暫定断面で決まっていたが，**式(2)**の適用によりほぼ完成時で決まることとなった．また，H_{10}=13m では 6.4m の堤体幅の削減が可能となり，工事費ベースでは約 20%のコスト削減が可能となる．

以上の検討結果より，**式(2)**を用いることにより，10年確率波による設計波が50年確率波によるものの８割以上であれば，本研究の方法によりコスト縮減が可能になると考えられる．

(4) 今後の課題

本研究においては，酒井[4]ら（2014）の方法によりコスト縮減の可能性があることを示した．今後，ケーススタディー等により，実用化に向けた検討を進める必要がある．

4. 越波水の利用による堤体質量増加の可能性

(1) 研究内容

防波堤の安定照査においては滑動抵抗が最も危険となる断面が多いことから，これまでもケーソン中詰材としての高比重材料や摩擦増大マットが使用されてきた．本検討では，コストのかからない越波水を堤体質量として活用し，コストを低減する方策を検討するものである．

通常の防波堤は港外側に胸壁コンクリートを設置することで，経済的に越波を抑制させるが，**図-8**に示すとおり，港内側にも胸壁コンクリートを設置し，高波浪の来襲時に越波水を天端上に貯水させ，滑動抵抗を増大させる新たな構造（貯水タイプ）を提案し，標準タイプと比較してどの程度堤体幅の縮小が期待できるか検討するものである．

(2) 研究方法

本研究では，構造決定要因が滑動の耐力作用比で決定

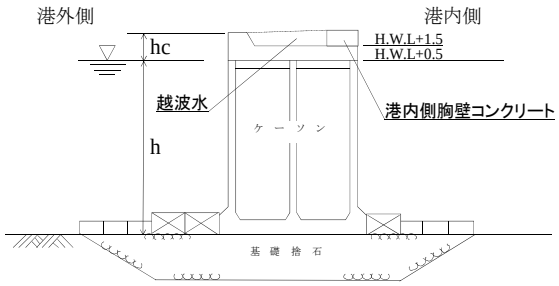


図-8　越波貯水型防波堤

している構造断面であることを前提に，水深hを10mと15mの条件とし，ケーソンの天端高は0.5m＋H.W.L.，上部工厚を1.0mとすると上部工の天端高は1.5m＋H.W.L.となる．

作用させる波浪の最大波高H_{max}については実際の設計で用いる値を考慮して，h=10mではH_{max}=5～10m、h=15mではH_{max}=10～15mに変化させた．天端高は，相対天端高$h_c/H_{1/3}$=0.60を用いることにより，来襲波高H_{max}に応じて変化させた．なお，有義波高$H_{1/3}$と最大波高H_{max}の関係は，一般的に用いられている$H_{max}/H_{1/3}$=1.8の関係を使用している．例えば，最大波高H_{max}＝9mの場合は，$H_{1/3}$＝5.0mでh_c＝3.0m＋H.W.L.となることから，胸壁の高さは1.5mとなり，貯水可能水深は1.5mとなる．また，港外側の胸壁幅は有義波高に応じて1.8m～2.6mに変化させ，港内側の胸壁幅は1.0mと一定とし，貯水可能な海水量を考慮しながら合田波圧式から堤体幅を算定した．

(3) 貯水による堤体幅の縮減

図-9は，水深h＝10mの条件における最大波高H_{max}と標準タイプ及び貯水タイプの堤体幅，貯水タイプの適用による堤体幅の縮減幅を示したものであり，最大波高H_{max}の増加とともに縮減幅が大きくなる．これは，波高の増大により必要天端高h_cが高くなることから，貯水可能な海水量が増加するためである．H_{max}＝10mの条件では，標準タイプの約14%に相当する3.0mの天端幅を縮減することが可能となり，工事費ベースでは約11%のコスト削減となる．なお，H_{max}＝5mの条件では，必要天端高

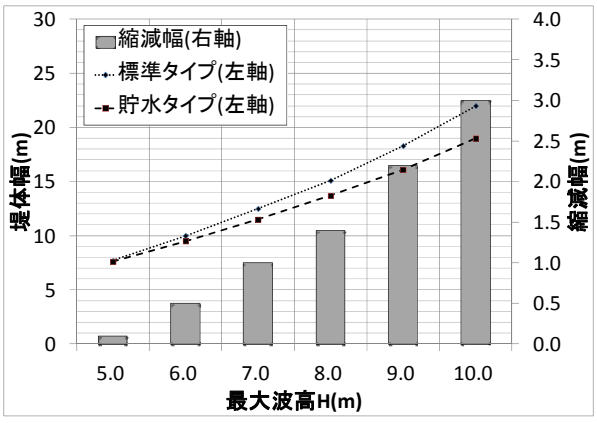


図-9　最大波高と縮減幅の関係(h=10m)

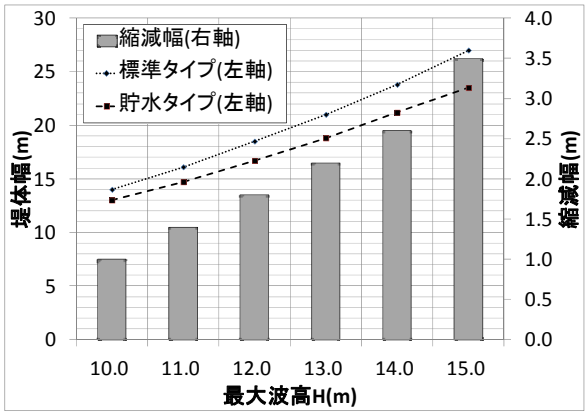


図-10　最大波高と縮減幅の関係(h=15m)

が低く，胸壁が不要となる条件であることから，標準タイプと貯水タイプの堤体幅が同じ条件となっている．

図-10は，水深h＝15mの条件での縮減幅を**図-9**と同様に示したものである．h＝10mと比較して削減幅は大きくなり，H_{max}＝15mの条件では，標準タイプの約13%に相当する3.5mの天端幅を縮減することが可能となるが，工事費ベースでは約9%のコスト削減に留まる結果となった．

(4) 今後の課題

本検討では，最大波高Hの値が大きいほど堤体幅が縮減可能となる結果となり，コスト縮減の可能性を示した．森[6]ら（1999）は，後部パラペット堤の胸壁に作用する波力についての水理模型実験を実施しており，胸壁を港内側に移動させるほど，衝撃的な波形を示すようになり、波力が増大することを指摘している．今後，港内側胸壁コンクリートに作用する波圧特性を検討し，設計法を確立する必要がある．

5. まとめ

本検討では，限られた港湾整備予算により防波堤整備の推進を図るため，新構造形式の検討ではなく，最も用いられているケーソン式混成堤に着目し，新たな視点から、様々な方法で更なるコスト縮減方策の検討を行った．主要な結論は下記のとおりである．

① 相対天端高 $h_c/H_{1/3}$ が 0.8 より大きな断面では，防波堤の越波に対しても港内側の基礎捨石が安定する条件があり，港内側マウンド被覆材の設置が不要となる可能性がある．

② 10 年確率波により堤体幅が決定される断面においても，上部工が未整備である低天端の波圧を適切に評価すれば，ほぼ完成時で決まる断面となる可能性がある．

③ 越波水を防波堤天端上に貯水する構造にすることにより，設計波が大きい程，コストを縮減できる可能性がある．

本報告では，今後の課題についても整理したところであり，各研究機関とも連携しながら，防波堤の更なるコスト縮減の実現に向け検討して行きたい．

参考文献

1)谷本勝利・奥村樹郎・滑川伸孝・橋詰文伯・石丸敬純：半円形防波堤の開発について、海洋開発本文集、Vol.3、1987、pp.7-17

2)関口信一郎・渥美洋一・中内勲・宮部秀一・福士昌也・三輪俊彦：斜面スリットケーソンの開発、海洋開発本文集、2007

3)高橋重雄・木村克俊・谷本勝利：斜め入射波による混成堤マウンド被覆材の安定性に関する実験的研究、港湾技術研究所報告、第29巻、第2号、1990、pp.3-36

4)早川哲也・木村克俊・林忠志：混成堤における越波水の打ち込み特性と被覆材の安定性、北海道開発局技術研究発表会、2000

5)酒井和彦・上久保勝美・山本泰司・早川哲也・林誉命・掛水則秀・時沢武史・木村克俊：新たな防波堤整備工法の開発－連結セルラーブロック工法について－、寒地土木研究所月報、2014

6)森昌也・木村克俊・早川哲也：後部パラペット堤の水理特性、北海道開発局技術研究発表会、1999

大水深防波堤における潜水災害リスクを低減する機械化施工について

進藤　琢磨1・中村　伸夫2・松屋　百合男2

1九州地方整備局　宮崎港湾・空港整備事務所　工務課　（〒880-0858 宮崎県宮崎市港1-16）
2九州地方整備局　宮崎港湾・空港整備事務所　沿岸防災対策室
（〒883-0062 宮崎県日向市大字日知屋字新開17371-1）

細島港南沖防波堤は、太平洋に直接面しており、周期の長いうねり性の波が港内に進入し、貨物船の荷役に支障をきたしていることから、港内静穏度確保のため、計画されたものである。施工場所は、大水深で高波浪域の非常に厳しい自然条件の中で工事を行っており、特に水中部における潜水士の作業は、陸上とは異なる特殊環境の中で、常に重大事故が発生する可能性が高い状況で行っている。このため、潜水士の作業負担が最も大きい基礎捨石の均し作業について、船舶に搭載した施工管理システムを併用し、重錘を用いた機械化施工を行っている。これにより、潜水作業を軽減し災害発生リスクの低下、均しの作業効率と精度が向上し、防波堤全体の品質向上につながる効果について発表する。

キーワード　潜水作業、基礎捨石均し、機械化施工、災害リスク低減、品質向上

1.　はじめに

宮崎県の北部に位置する細島港は、古くから東九州の海上交通の要衝として栄え、四国、阪神方面との定期航路が開設されて以来、港湾の利用は増加し、昭和２６年重要港湾の指定を受け、以後臨海工業地帯の土地造成及び港湾整備が進められてきた。さらに、日向市は日向延岡地区新産業都市の指定を受け、東九州地域を支える流通の拠点として発展し、その後、関東関西との国内定期フェリー航路や韓国との国際定期コンテナ航路が開設された。現在、東九州自動車道等の陸上交通網の整備も進展し、新たな国際港を目指して、４万トン級国際物流ターミナルが本年６月２８日に供用を開始した。本発表は、港内の静穏度を確保するため、平成１０年度より事業着手している南沖防波堤６００ｍの施工において、課題となっている大水深潜水作業の災害回避について、機械化施工によりそのリスクを低減した取り組みと施工品質についても向上したことを報告するものである。



写真-1　細島港全景

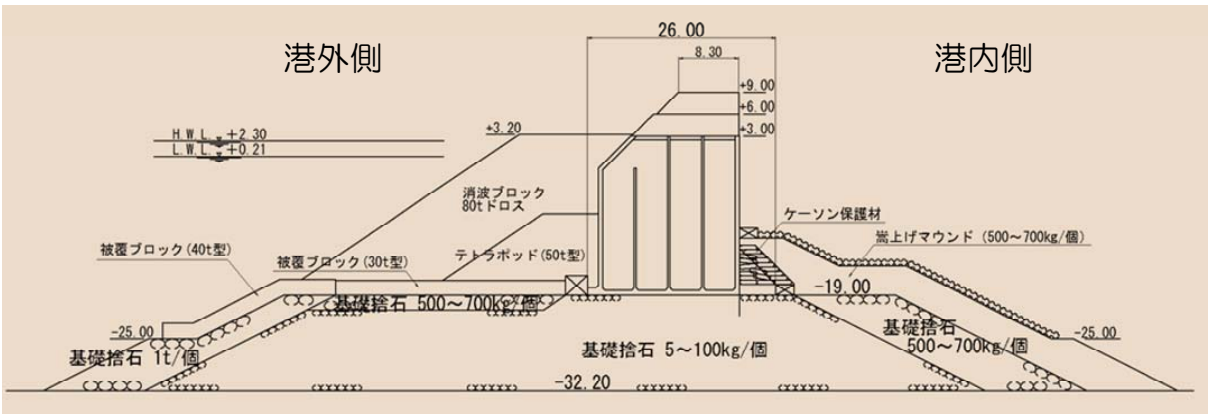


図-1　南沖防波堤標準断面図

2. 施工上の課題と問題点

(1) 大水深で高波浪域の施工条件

細島港南沖防波堤は、太平洋に直接面しており、周期の長いうねり性の波が港内に進入することにより、貨物船が動揺し荷役に支障をきたしていることから、港内静穏度確保のため、計画されたものである。施工場所は、大水深で高波浪域の非常に厳しい自然条件であることから、大断面となりコストの増大が懸念されたため、防波堤の構造形式は、経済性に配慮した新形式の半没水型上部斜面堤が採用された。図－１に示すように海底の現地盤高は標準部で－３２m、ケーソン据付マウンドの高さは－１９mとなっている。

(2) 大水深における潜水作業の災害リスク

防波堤の基礎となる捨石マウンドは、異なる３種類の石材を使用しており、港外側の先端部には１ｔ／個程度の石材を設置し、中央部に５～１００ｋｇ／個程度、その両サイドは５００～７００ｋｇ／個程度の石材で覆う形で形成している。石材の設置方法は、底開式投入船及びガット船により水面下から投入を行うため、捨石マウンド上はかなりの不陸が生じてしまう。そのため、捨石マウンド上に構造物を設置するには、センチ単位の精度で石材の均しを行う必要があり、この作業は一般的に潜水士が行っている。このことから、本作業場所のような大水深の現場では、潜水士の身体に作用する圧力も大きくなり、陸上工事とは異なる特殊環境の中で、減圧症等の労働災害の発生リスクが高い状況で作業が行われている。



写真-2 ガット船による石材の投入状況

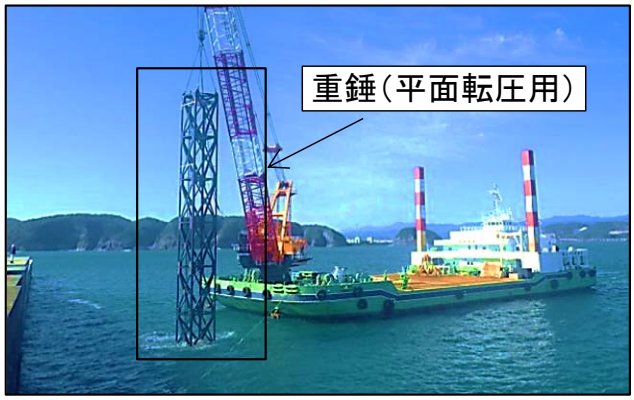
(3) 高圧則改正に伴う事業者の今後の課題

今年度より高圧室内業務や潜水業務に係わる減圧症、酸素中毒症等に対応するため、厚生労働省が所管する「高気圧作業安全衛生規則」（以降「高圧則」という）が改正された。高圧則は、昭和４７年の施行以来、根本的な改正が行われておらず、世界各国で運用される各種減圧表の中でも最も減圧時間が短く、日本潜水協会が過去に会員に行ったアンケートでは、潜水工事に係わる潜水士の３人に１人が減圧症を経験しており、減圧症のリスクが高いものとなっていた。また、今回の改正により潜水作業計画は、事業者が作業状況に応じて作成することになり、労働者の負担がより少ない作業方法の確立や作業環境の整備に努めることを、事業者の責務として規定した。このことから事業者は、より安全な潜水作業を計画するため、これまで以上に減圧時間を長く設定する必要があり、これにより潜水作業時間が減少し、作業工程を検討する上で、潜水作業に対する新たな課題が発生することになった。

3. 施工上の工夫

(1) 潜水作業に対する機械化施工の取り組み

潜水士による捨石均し作業は、水深が深いほど減圧時間を長くとる必要があることから潜水作業時間が短くなり、施工能力も大幅に低下するため、多くの潜水士を配置し作業しなければならない。しかし、同一場所で集中して複数の潜水士を配置することは、その分災害リスクも高くなり、更に本事業で取り扱う石材は重量も大きく、潜水士の作業にかかる負担はかなり大きい。この様な現場条件から本事業の着工時の受注業者から現在の受注業者まで均しの機械化に対する取り組みが引き継がれており、その結果、特に潜水作業に対する安全性の向上に大きく貢献している。なお、捨石均し作業の機械化施工にも水中バックホウ方式や着座型タンパ式等、多種多様に存在するが、本作業現場で主に活用されている重錘を使用した施工方法は、一見単純作業ではあるが、水中部の均し面を水面上の起重機船に搭載したクレーンを操作し、重錘を落下させて均しを行う画期的な手法である。



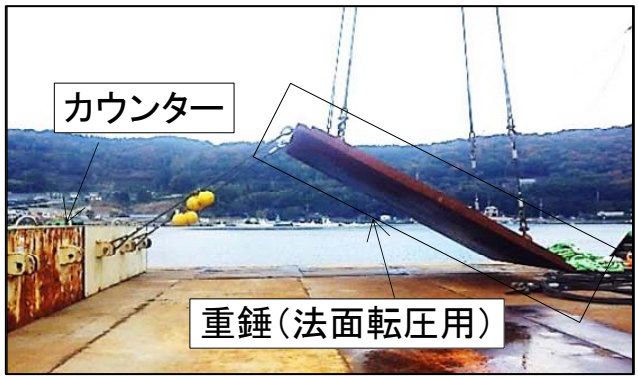


写真-3 重錘（平面転圧用・法面転圧用）

(2) 光波式自動追尾による施工管理システムの併用

重錘を使用した施工については、着工当初は潜水士による目視とレベルによる高さ管理を行っていたことから、起重機船のクレーンオペレーターの習熟度が求められる作業であり、安定した作業能力の確保が難しかった。しかし、近年の技術開発により光波式自動追尾機能を持った光波測距儀をパソコンに連動させてシステム化し、施工途中のリアルタイムな測定管理を行うことが可能となった。これにより海底面の施工状況を陸上部で確認できるため、視覚的管理が可能となり、確実な作業が容易に行えるようになった。

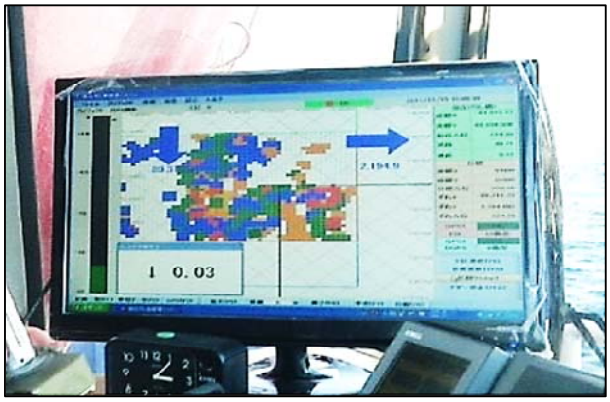


写真-4 測定管理状況(青色：完了)

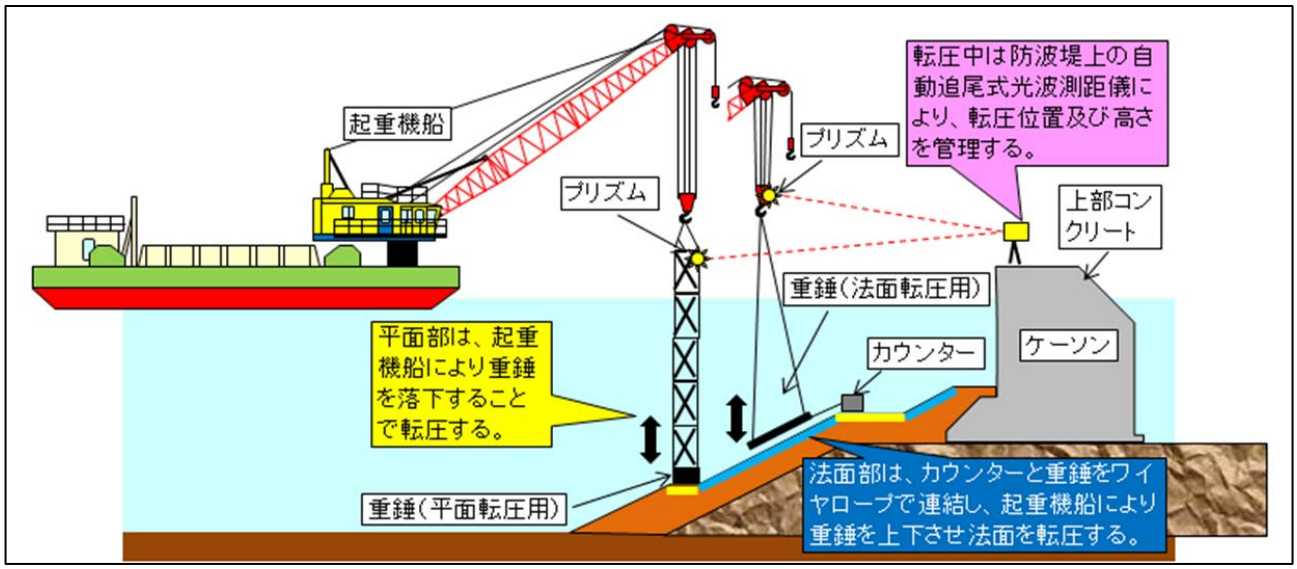


図-2 重錘均しの機械化施工概念図

4. 機械化施工の検証

(1) 重錘均しによる機械化施工の安全性

一般的な捨石均し方法は、潜水士により作業を行っているが、水深の深い本作業現場で捨石本均し作業を潜水士１名で行った場合、１日当たり作業できる面積は約１２㎡である。防波堤全体の整備スケジュールや細島港特有の波浪条件等を考慮すると、捨石均し作業が可能な日には、１日当たり約１００㎡の均しを仕上げる必要があった。これを潜水士により実施すると８名を配置することになるが、３０m四方の狭い捨石本均しエリアで同時に作業を行うため、潜水士の配置間隔の問題や潜水ホースのからみ等が発生する懸念も想定された。このような災害のリスクを低減するため、重錘均しによる機械化施工を検討し採用した。

(2) 重錘均しによる機械化施工の品質の検証

細島港南沖防波堤の計画延長は６００mであり、昨年度までにケーソン１４函の設置が完了し、現在の施工延長は３９０mとなっている。ケーソン据付マウンドの施工は、過去の経験値から想定沈下量を６０㎝と設定し、石材の余盛りを実施しているが、重錘均しによる機械化施工が行われてきた結果、マウンド沈下量は最も高い数値で４０㎝程度に収まっていた。また、捨石マウンド厚が１３mあるにも係わらず、著しい不等沈下も発生していない。これは潜水士による人力では捨石マウンド表面の不陸整正しか行えないが、重錘を使用して表面を均すことで必然的に捨石層の内部まで締固めが施されていると考えられる。



写真-5 捨石本均し状況

これにより防波堤の基礎部が堅固に構築され、その上に設置される構造物が安定することで、防波堤全体の品質向上につながっている。なお、施工管理システムを導入後の重錘均し工法は、平成２３年度からと実績が少ないため、今後も本工法がもたらす高い安全性と水中作業時間の制限を受けない効率的な施工性、捨石沈下量を軽減し安定した構造物が設置できる品質の高さについて、引き続き検証し、今後の工法検討等に役立てたいと考えている。

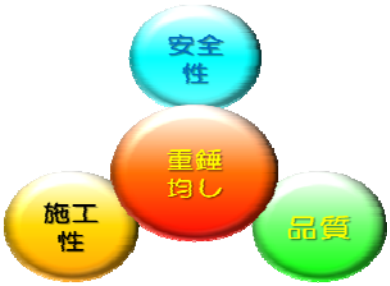


図-3　検証結果による重錘均しの特性



写真-6　南沖防波堤の現況

5.　おわりに

今回報告した重錘と施工管理システムを活用した機械化施工については、安全性や施工品質は高く評価できるものであるが、細島港のような水深が深い作業条件の現場は少なく、水深の浅い海域ではコスト面の問題もあり、施工実績がほとんどない。しかし、今年度改正された高圧則では、潜水作業時間の制限が厳しくなるなど、事業者への安全に対する責務が強化されており、本工法を採用する施工現場は増えてくると思われる。また、本工法以外にも安全性を考慮した施工システムの導入や機械化施工も数多く普及しており、大規模な土木工事でも安全に精度良く施工できる環境が構築されることで、より土木の魅力が向上し、若手技術者の人材確保につながることを期待する。

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。

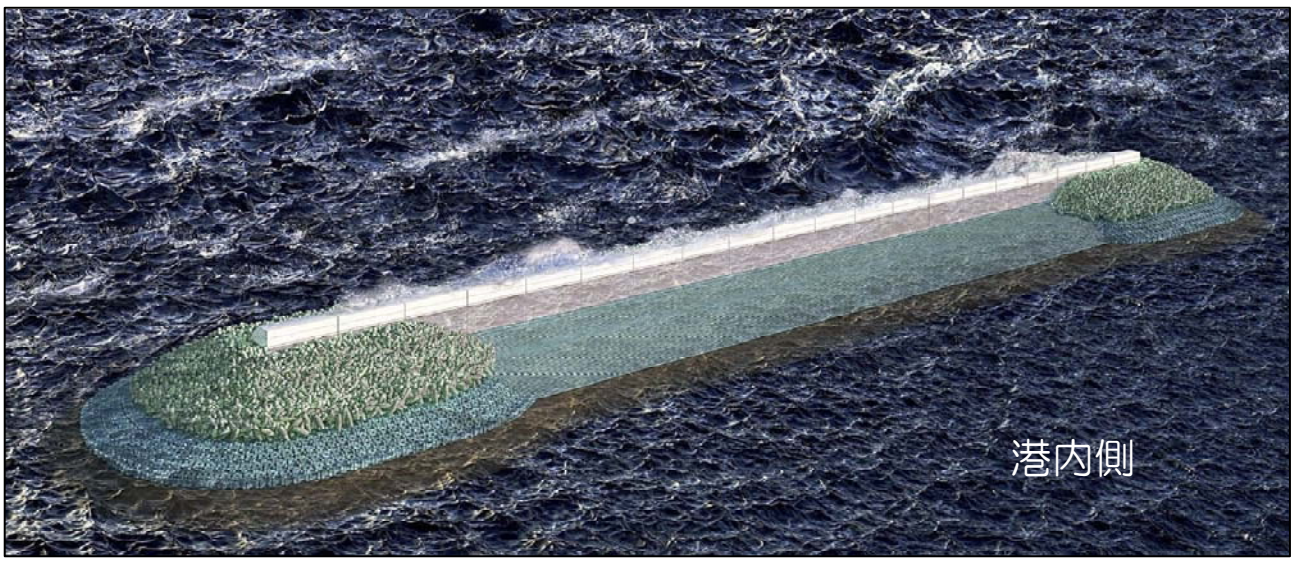


図-4　南沖防波堤完成イメージ図

鳥取港における水中バックホウを用いた機械均し施工について

吉持　香織[1]

[1]中国地方整備局　境港湾・空港整備事務所　保全課　（〒684-0034 鳥取県境港市昭和町9）

海象条件により施工期間に制限のある鳥取港における機械均し施工について，昨年度，鳥取港において実施した水中バックホウによる防波堤の機械均しの施工状況について報告する．

キーワード　水中バックホウ均し，機械施工，短期海上施工

1. はじめに

(1) 鳥取港の概要



図-1-1　鳥取港位置図



図-1-2　防波堤施工場所

鳥取港は，鳥取県東部に位置し，日本海特有の冬季風浪や台風の厳しい気象条件のなかでの荷役作業の安全性及び安定性の向上のため，また，荒天時の避難泊地としての利用要請に応えるため，港内の静穏度を確保する目的で防波堤の整備を行っている．

(2) 防波堤整備概要

防波堤の構造は，捨石による基礎部分と鉄筋コンクリート製のケーソンによる本体部分に加え，堤体への波力を抑えるための消波ブロックを堤体の前面に配置した「消波ブロック被覆堤」を採用している．

2014年度については，防波堤の西側先端の基礎部分の施工を行った．(図-1-3，図-1-4参照)

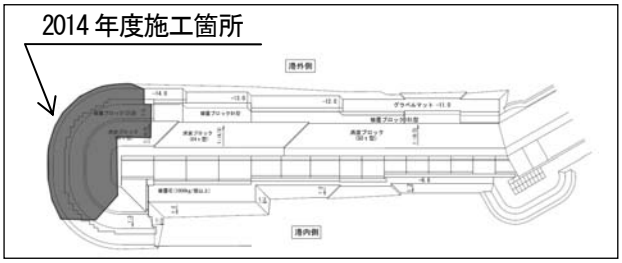


図-1-3　防波堤平面図

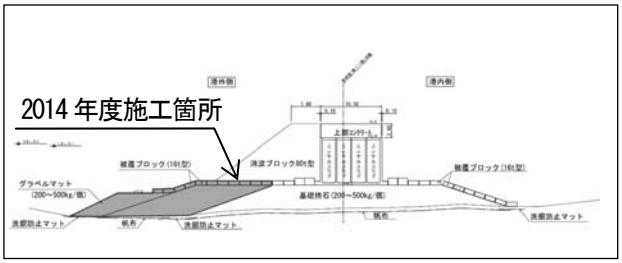


図-1-4　防波堤断面図

鳥取港の防波堤建設現場においては，冬季風浪のため施工期間が夏季に限られている状況にあるとともに，年々大水深かつ高波浪域での厳しい条件下での施工となっている．また，防波堤整備への早期完成の要請や，建設業全体における工事の作業安全性向上への要請も高まってきている．

(3) 鳥取港における施工条件等

a)海上作業期間の制約

港湾の積算基準において，日本海沿岸は5月～10月を適用期間として船舶供用係数が設定されている．これは，冬季風浪（荒天）により11月～4月の作業船稼働率が大幅に低下し，適切な工程管理が行えないため，作業船による施工が適当ではないことを示している．鳥取港においては，図-1-5のとおり10月より4月の方が波浪条件が良いため，4月から10月までを海上作業可能期間として工期を設定している．

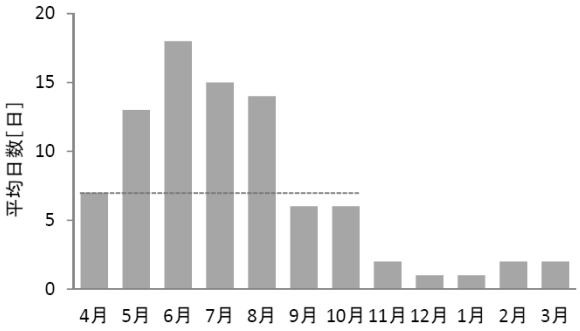


図-1-5 鳥取港月別海上作業可能平均日数
（NOWPHAS観測データより集計）

また，鳥取港の5月～10月の期間の船舶供用係数2.25については，日本海沿岸の中では比較的高く，荒天による休止日が多いことを示しており，施工可能な夏季においても厳しい海象条件となっている．

b) 冬季風浪に備えた暫定断面

一方，このような厳しい海象条件の下，限られた海上作業期間内に冬季風浪に備えた断面までの確実な施工が求められている．このため，工期短縮が課題となっている．

c) 作業中止基準（波浪）

作業船の作業中止基準は，有義波高1.0m以上とすることが多いが，潜水作業となる潜水士船による捨石均しの作業限界波高は，有義波高0.5mとすることが一般的である．

このため，従来の潜水士による捨石均しの施工可能な稼働日数は，その他海上作業の7割程度となる．

d) 潜水士船の配備条件

複数隻の潜水士船で捨石均し作業を行う場合，石材落下による事故防止のため潜水士の上下同時作業を防いだり，潜水士同士のホースが絡まないよう，水深を作業半径とした範囲内には1隻までの配置とする必要がある．

鳥取港の防波堤においては，水深10mの基礎工の捨石均しを行う場合，潜水士船の同時施工が可能な保安距離は20mとなる．これにより2014年度の施工範囲における最大配備可能隻数は4隻となる．

e) 現場海域の透明度

鳥取港は千代川の河口港であった賀露港をベースに千代川を付替え拡張した港湾であり，千代川から流出した砂が堆積している．このため，施工時の巻き上がりによる濁りも比較的少なく，現場海域は防波堤の上から海底が見えるほど透明度は高い．

(4) 基礎捨石均しの工法選定

2014年度については，防波堤整備が施設端部となる堤頭部の施工となり，単年度の施工数量が増加するため，工期の大半を占める捨石均しの作業能力向上が課題となり，機械均しの導入について検討を行った．

機械均し工法の選定の結果，適用可能な機械均し機のうち機械均し（重錘式）は，本工事の施工規模では潜水士船による均し施工単価の1.9倍となり，経済性で劣っていた．一方，水中バックホウ均しは沖縄以外の地域での施工実績が少ないことが問題点としてあるが，比較的安価であることから採用することとした．

2014年度の施工では，所要の能力から水中バックホウ2台を使用することとした．

なお，重錘式等その他の機械均し機について，水中バックホウと比較して経済性で劣るが，施工能力及び施工性において問題はないため，受注者が自由に選択できるよう特記仕様書において「バックホウ均しを想定しているが，監督職員の承諾で別の工法を用いることも可能」である旨記載した．

2. 水中バックホウによる施工の概要

(1) 水中バックホウの概要

海上工事における水中作業は，未だに潜水士による人力施工が主体となっているが，近年，海上工事の沖合展開に伴い，大水深で気象・海象の厳しい条件下での施工や潜水士の高齢化・人員不足などの多くの問題を抱えている．このような状況のもと，工事の安全性の確保と水中作業の効率化による工期短縮を図るため，基礎マウンド築造における均し機として，各種の大型水中作業機械が開発されてきた．しかし，これらの機械は，ブレード方式や重錘方式によってマウンドの水平面の均しを行うものであり，大規模・大水深の工事を対象とした高価なものであった．

これに対し，小型・軽量・安価な水中作業機械で，基礎マウンドの水平面の均しに限らず，法面均しやその他の水中作業も適用可能な機械として，陸上で最も汎用性のある油圧ショベル（バックホウ）を水中使用に改造した「水中バックホウ」が開発された．

(2) 水中バックホウの仕様

現在，開発されている水中バックホウは，基本的に陸上用バックホウを水中仕様に改造したもので，機械の駆動方式としては「エンジン油圧方式」と「電動油圧方式」がある．エンジン油圧方式は，陸上用バックホウか

らエンジンと油圧ポンプを取り外し，これらを支援台船上に動力ユニットとして装備したもので，油圧ホースを介して作業機械本体を駆動するものである．一方，「電動油圧方式」は，陸上用のバックホウからエンジン部分を取り外し，新たに水中電動機を搭載したもので，電動ケーブルを介して作業機械の油圧ポンプを駆動させるものである．本工事においては，両方式を使用した．

両方式とも，油圧シリンダー部に生分解性作動油を使用しているため，漏油による環境汚染の危険は少ない．水中バックホウには，オペレータとして潜水士が直接乗り込み，陸上のバックホウと同様の操作をするため，オペレータには潜水士と車両系建設機械技能講習の免状資格が必要である．

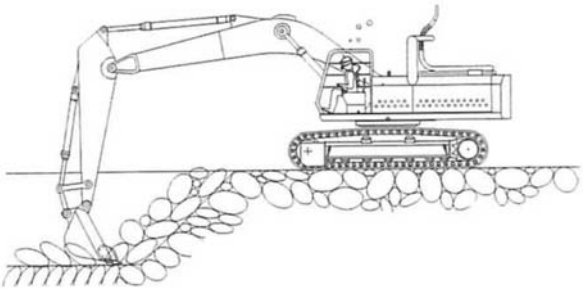


図-2-1　水中バックホウによる施工状況図

(3) 施工内容

基礎捨石の天端面，法面及び基礎捨石の法先に配置するグラベルマットの天端面の一部に被覆ブロックを敷設するため，被覆ブロックを敷設する範囲について水中バックホウによる荒均し±30㎝を行う．（図-2-2，図-2-3参照）

施工水深は，捨石天端荒均し面－10.0m，捨石法面均し法面－10.0m～－12.0m，グラベルマット天端荒均し面－12.0mである．

機械均しの対象数量は以下のとおりである．

石材規格及び数量

基礎捨石（200～500kg／個）	10,690m3
グラベルマット（200～500kg／個）	6,270m3

均し面積

捨石荒均し±30㎝	2,482m2
グラベルマット荒均し±30㎝	520m2

(4) 施工管理等

防波堤堤頭部の施工であり，基礎捨石の法面が円弧状であることから，通常の10mピッチの施工管理では，高さの管理が困難であるため，より細かいピッチでの管理や管理を放射線上に行うなどの必要があった．

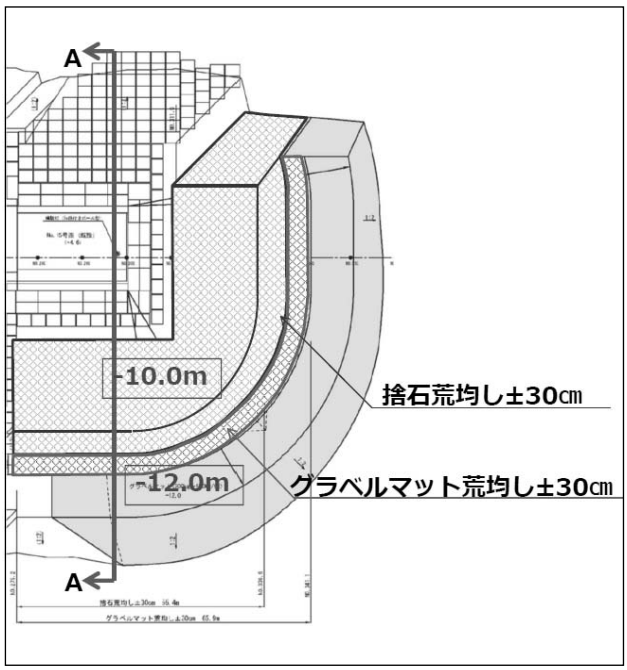


図-2-2　平面図

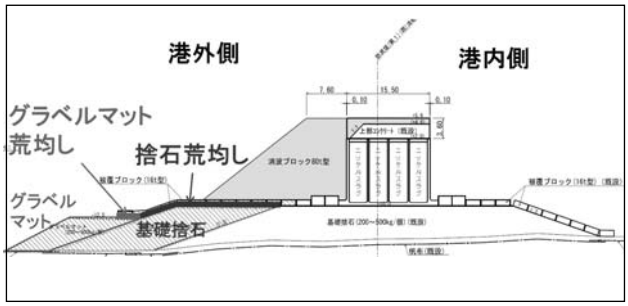


図-2-3　A－A断面図

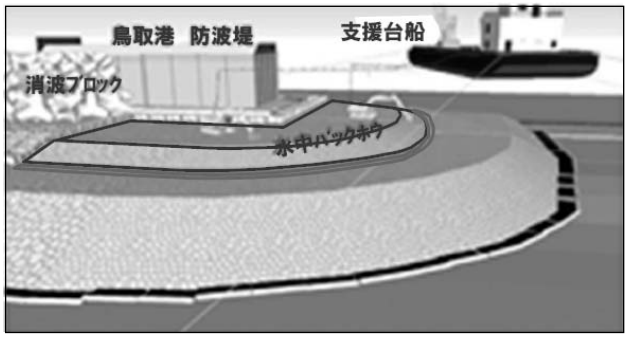


図-2-4　施工概要図

(5) 施工方法

水中バックホウによる荒均しに先立ち，基礎捨石及びグラベルマット(200～500kg/個)を潜水士の指示によりガット船で投入した．所定の高さに投入が完了した箇所から水中バックホウと潜水士により丁張の設置を行った．この投入指示により，通常±70cm程度の仕上がりが確保される．

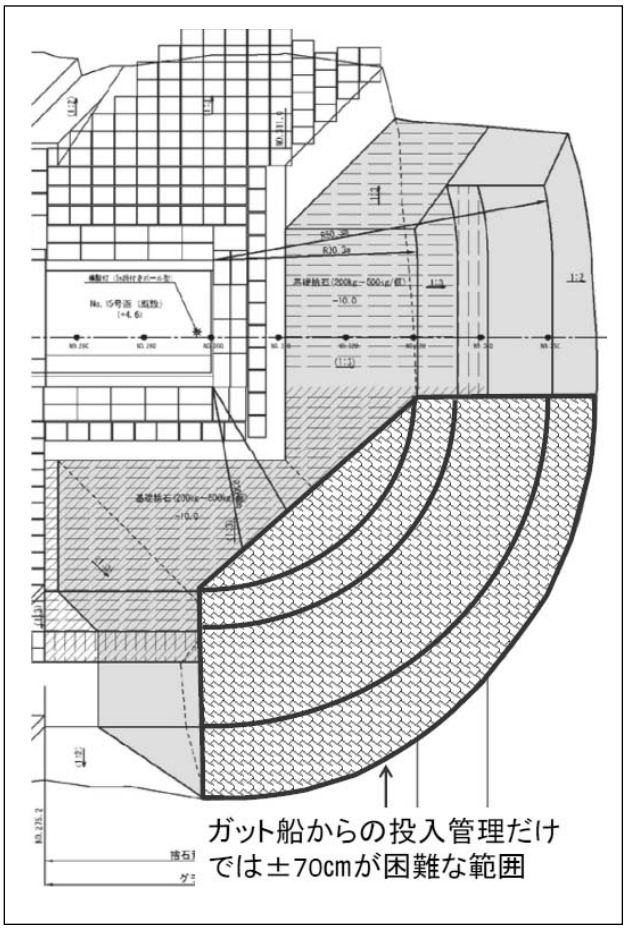


図-2-5　±70㎝の投入管理が困難となった範囲

しかし，本工事においては投入箇所が円弧状であったため，この投入指示により±70cmの仕上がりが困難となった．そのため，投入後の状態ではマウンドの不陸が大きく，バケットでの転圧による均し作業ができないことから，均し作業の前に，水中バックホウのバケットで石材をすくい取り，移動させる作業が追加で発生した．

本工事の施工では，水中バックホウは0.45m3級と0.8m3級の2台を使用し，作業海域が狭いため，水中バックホウや動力ユニットを搭載する支援台船は1隻を兼用した．また，バックホウオペレーター（潜水士）はそれぞれ2交代制で作業を行った．

(6) 現場における工夫

a) 水中バックホウオペレーターの安全対策

1隻の支援船から，2台のバックホウ及びそれぞれのオペレーター(潜水士)が水中に入っているため，潜水士のホースが絡み合わないように，0.8m3級水中バックホウで捨石基礎マウンドの大まかな形成を行い，0.45m3級水中バックホウで均しの仕上げを行うよう分担して施工を行うことにより交差することを防いだ．

b) 円弧状の法面

基礎捨石及びグラベルマットの先端部は円弧状の法面となっており，通常の10mピッチ及び変化点毎の格子状での高さ管理が困難である．また，直線部分の法面均しとは異なり，円弧状になった法面は均し面を見通すことができないため通常の丁張による高さ管理では所定の均し精度を確保することが難しい．

このため，本工事では，図-2-7のとおり施工範囲を放射線状に9°毎に区分し，ＧＮＳＳ(衛星を用いた測位システム)による位置出しにより丁張りを行い施工した．

また，0.45m3級水中バックホウは，均し面と水中バックホウのバケットの位置関係をモニターに表示する２Ｄガイダンスシステム装置を搭載しており，困難な施工条件においても所定の均し精度の確保が可能となった．

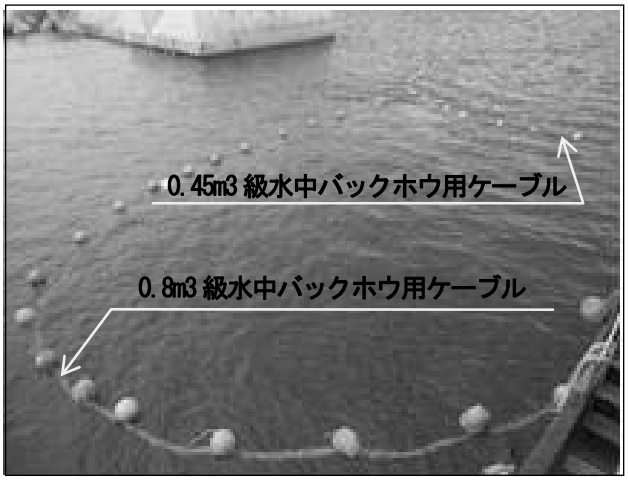


図-2-6　水中バックホウ荒均し状況(船上より)

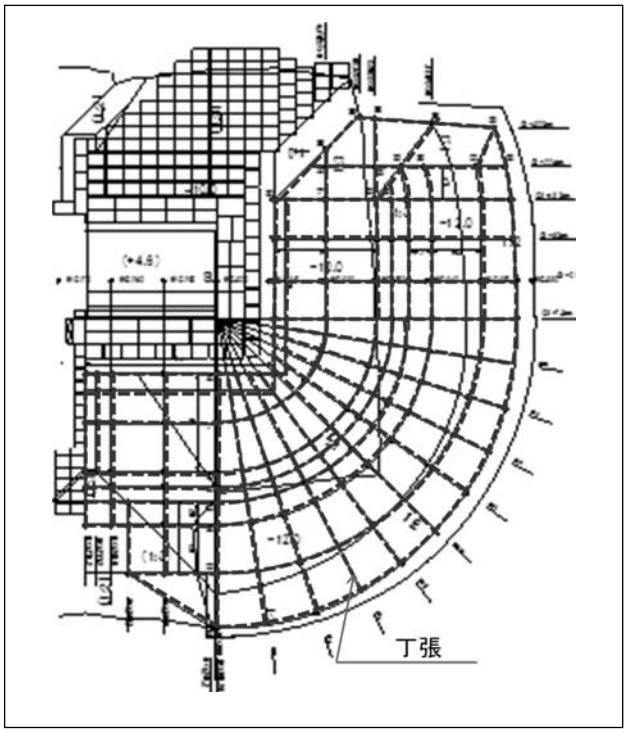


図-2-7　丁張り設置平面図

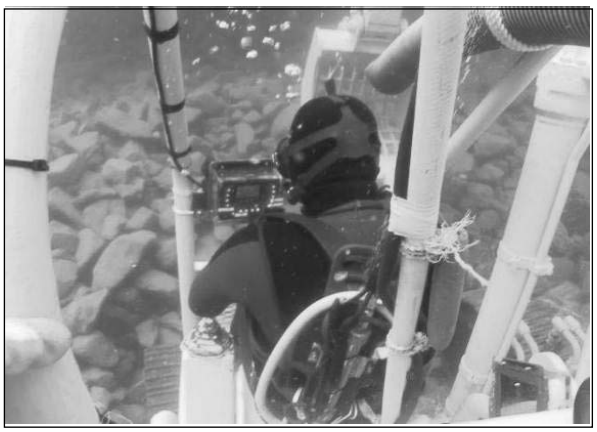


図-2-8　２Ｄガイダンス使用による施工状況



図-2-9　２Ｄガイダンスモニタ画像

２Ｄガイダンスシステムは，水中バックホウの各部(車体，ブーム，アーム，バケット)に角度センサーを取付けたことにより，正確にバケットの位置を管理することができ，モニター画面に，均し断面とバケット刃先の差をオペレータにガイダンスするシステム装置である．

この２Ｄガイダンスシステムを使用した場合の水中バックホウの刃先の位置精度は，±2㎝程度となっている．円弧形状の法面など見通しが出来ず均し面の高さの確認が難しい場所でも，２Ｄガイダンスにより均し面の高さを確認することが可能となるため，当工事の施工管理においては大変有効であった．

(7) 作業評価

a) 施工能力

水中バックホウ2台による荒均し実稼働日数は19日間で，施工期間としては1ヶ月半であった．１日当たりの施工面積は平均158m2で，積算基準で求められる2台で290m2／日の施工能力のおよそ2分の1であった．

なお，本工事においては，円弧状の施工箇所について，捨石投入時に通常可能とされる±70㎝の投入管理ができなかったため，荒均し±30㎝の施工の前に±70㎝程度に不陸を整正する作業が生じた．よって，この追加作業を考慮すれば，当海域での水中バックホウの施工能力はもう少し高かったものと考えている．

潜水士による荒均しと比較した場合，潜水士船の最大投入可能隻数となる4隻での施工能力は76m2／日であり，供用係数2.25を考慮すると作業期間は水中バックホウ2台の場合に比べて2倍の3ヶ月を要することとなる．また，円弧状の箇所における追加作業も考慮すると，5月～10月の6ヶ月の施工期間内では，基礎工のみの施工が限界となり，冬季風浪に耐えることができる暫定断面までの施工が不可能となる．

b) 安全性

水中バックホウで施工することにより，潜水士が直接基礎捨石に触れる機会がほとんど無くなるため，指詰め等の事故を抑制することができる．

c) 適用性

水中バックホウは，透明度4m以上必要とされるが，本海域の視界は7m程度と良好であった．

本海域においては，千代川の支流で氾濫した河川水の影響で，2013年度に１週間程度透明度が悪い期間があったが，2014年度は，特に氾濫も無く，比較的悪いときにおいても透明度4m以上あり，施工に支障が生じることはなかった．

d) 経済性

鳥取港の施工条件においては，施工単価は人力の場合と同程度であるが，工期短縮によるコスト削減，及び整備期間短縮によるコスト削減効果があった．

3. おわりに

以上のことから，鳥取港のように透明度の高い海域では，水中バックホウが有効に活用できることが確認された．

2015年4月1日から，高気圧作業規則が変更され，水深が10mを超える場合，１回浮上後に再度潜水すると浮上時間が大幅に長くなり，実質的な水中での作業時間が短くなることから，今後は機械均しが使われる機会が増えることが予想される．また，更に濁りのひどい海域やより深い海域での利用要請に応えるため，水中バックホウの適用海域の拡大やさらなる安全性の向上が求められている．

今後の課題としては，これらの要請に応えるため，水中バックホウの船上操作への改良による水中オペレーターの無人化技術の実用化レベルへの確立が望まれる．

また，水中バックホウや各種機械均しについてはまだ実績が少なく，現場への適用性が工法選定時の問題点になっていると考えられる．そのため，様々な海域での実績を積み，知見を増やしていくことが現場適用機会の拡大に繋がり，なお一層の作業効率の向上や安全性の向上に繋がっていくものと考える．

そして，水中バックホウや各種機械均しの普及により，港湾工事の安全性の向上，作業効率化によるコストの縮減に繋がっていくことを期待する．

那覇空港滑走路増設事業における環境保全～サンゴ移植～

前里　尚[1]・椎原　康友[1]

[1]那覇港湾・空港整備事務所　那覇空港新滑走路整備推進室（〒901-0142　沖縄県那覇市鏡水 344）

那覇空港滑走路増設事業実施区域では，リーフエッジを中心に多種で多様なサイズのサンゴが分布した．事業実施にあたっては，環境保全措置の一環として，無性生殖によるサンゴ移植を適切に実施することが求められた．

サンゴ移植では，サンゴ類の特性に合わせた移植方法を採用し，最新の移植技術も導入するなど，サンゴ移植を効率的に実現する工夫を行った．また，移植作業期間中，移植サンゴが台風の波浪による被害を受けたため，移植の配置方法を見直すなど，創意工夫により順応的に移植を進めることで，多くのサンゴを保全することができた．本報では，サンゴ移植の概要とその後のモニタリング状況を報告する．

キーワード　サンゴ移植，モニタリング，環境保全措置，新滑走路増設事業

1. はじめに

那覇空港滑走路増設事業実施区域では，リーフエッジを中心にサンゴ類が分布しており，事業実施に係わる環境保全措置として，サンゴの移植が求められた．

これまで沖縄県内における環境保全措置を目的とするサンゴ移植は，主に港湾区域内で実施されてきた．そのため，これまでのサンゴ移植では，比較的閉鎖的な環境でみられるサンゴ類を対象にした事例が多く，移植先も港湾区域内の静穏な海域を中心に実施されてきた[1,2,3,4]．

しかしながら，本サンゴ移植の対象海域は，外洋からの波浪の影響を直接受けるリーフエッジであり，多種多様のサンゴ類が分布した．また，移植先も波浪条件が厳しいリーフエッジで行う必要があった．

このような条件のもと，移植にあたっては，各サンゴに適した移植手法を検討し，台風対策についても創意工夫することで，多種多様のサンゴ類に適した大規模な移植が実現できた．このような事例は初めてであるため，本報では本サンゴ移植の内容について報告する．

2. 移植対象

事業実施のサンゴ分布状況を図 1 に示す．

原則的に被度 10%以上のエリアに生息するサンゴ類や直径 1m 以上の大型群体を移植対象とし，できるだけ効率的な環境保全措置を実行することとした．

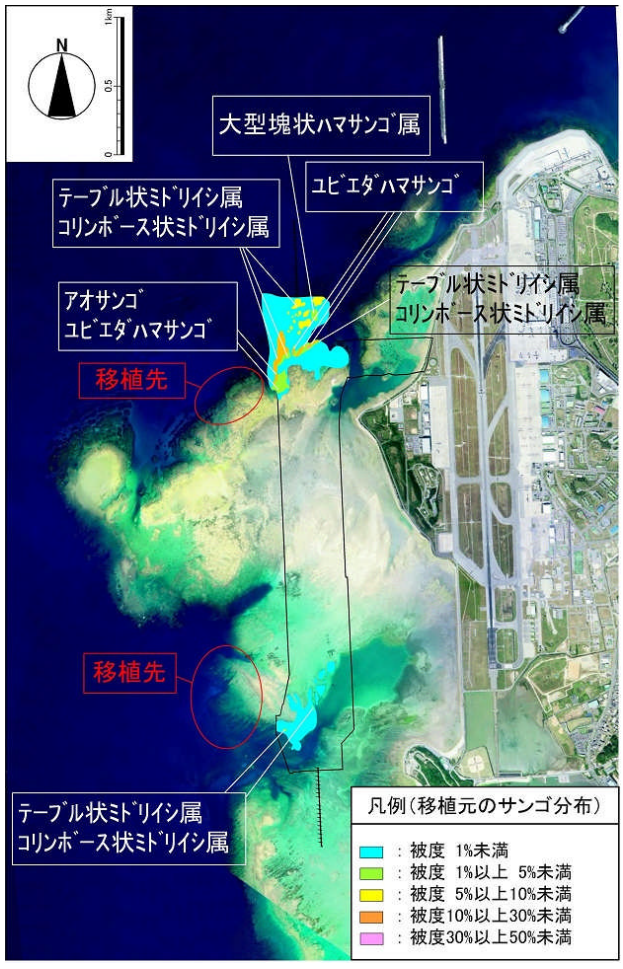


図 1　事業実施区域内のサンゴ分布状況

3. 移植先の評価

移植先の検討にあたっては、以下を基準にして選定した。①波浪の影響を受け難く、移植に適した底質（岩礁）が存在する。②オニヒトデ等の食害生物の食痕が目立たず、食害生物が少ない。③移植元のサンゴ類が生息できる環境条件が整っている（水深、移植元の優占種の有無、サンゴ類の病気発生状況等）。

さらに、移植の効率化も考慮し、埋立海域周辺を基本とした。

検討結果は、図２および表１のとおりの３地点とした。

表１　移植先の検討結果

移植地点	St.A	St.B	St.C
外力（波浪）	沖合に離礁が存在 →波浪の影響小	湾入した地形 →波浪の影響小	海底面に起伏多数 →波浪の影響小 の場所あり
底質【岩、礫】	岩礁域	砂礫域	岩礁域
食害生物	なし	なし	なし
水深（D.L.）【移植元と同程度】	−10.6m	−3.8m	−3.1m
水温【18℃以上】	最低：20.8℃	最低：18.4℃	最低：18.7℃
病気	なし	なし	なし
移植先の主な出現種	ｱｵｻﾝｺﾞ 塊状ﾊﾏｻﾝｺﾞ属 被覆状ｺﾓﾝｻﾝｺﾞ属	ﾕﾋﾞｴﾀﾞﾊﾏｻﾝｺﾞ	塊状ﾊﾏｻﾝｺﾞ属 ﾐﾄﾞﾘｲｼ属 ﾕﾋﾞｴﾀﾞﾊﾏｻﾝｺﾞ
主な移植対象	小型サンゴ （ｱｵｻﾝｺﾞ）	枝サンゴ群集 （ﾕﾋﾞｴﾀﾞﾊﾏｻﾝｺﾞ） 大型サンゴ （塊状ﾊﾏｻﾝｺﾞ属）	小型サンゴ （ﾐﾄﾞﾘｲｼ属）

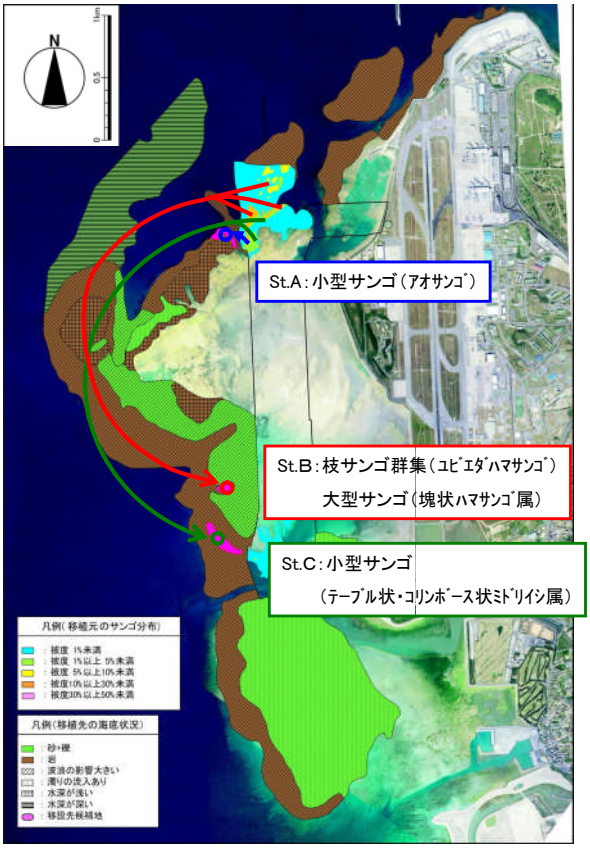


図２　サンゴ移植手法の検討

4. 移植手法を計画する上での課題

当該区域のサンゴ類は，ミドリイシ類を始めとするテーブル状や塊状等の比較的小型のサンゴ群体や，被覆状のアオサンゴ類，枝状のユビエダハマサンゴ群集，1m を越える大型の塊状ハマサンゴ類と，多種で多様なサイズのサンゴが分布した．

したがって，サンゴ移植を実施するにあたっては，これらすべてのサンゴ類に適した移植手法を採用し，効率的に実施することが求められた．

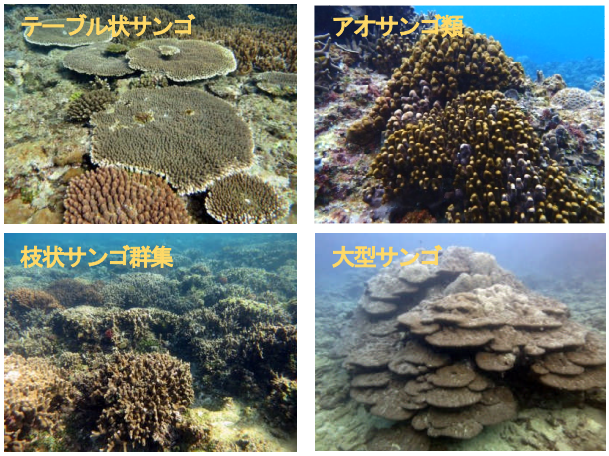


図３　当該海域でみられたサンゴ類

5. サンゴに適した移植手法の検討

移植手法の検討にあたっては，サンゴ類を 3 タイプに大別し，その特性ごとに合わせた移植手法を採用した．また，最新の移植技術も導入するなど，サンゴ移植を効率的に実現する工夫も行った．

表２　サンゴ移植手法の検討

種類	対象	手法
小型サンゴ	ミドリイシ類等	ボンド法
	アオサンゴ	
大型サンゴ	大型塊状ハマサンゴ	移築工事による移植
枝状サンゴ群集	ユビエダハマサンゴ	サンゴ群集移植法

(1) 小型サンゴ

小型サンゴは，ミドリイシ類やアオサンゴ等の多種に及んでいることから，群体形やサイズも多様である．そ



図４　ボンド法による小型サンゴ群体の移植

のため，群体ごとに形状の特徴を把握し，付着基部の判別や群体形状にあった移植場所の選定を行いながら，基盤となる岩盤に一つ一つ丁寧に固着させる必要があった．このようなサンゴには，これまで那覇港や石垣港，平良港等の他の港湾区域で最も実績のあるボンド法で固定する移植が最も効率的で適していると考えられ，移植手法として採用した．

(2) 大型サンゴ

大型のサンゴとしては，塊状ハマサンゴが挙げられた．これらについては，大型で重量もあるため，人力で運搬することは難しい．そこで，サイズごとに削岩機（群体サイズ1m未満）や水中バックホウ（群体サイズ1～1.5m），水中ワイヤーソー（群体サイズ1.5m以上）を用いて採取し，台船のクレーンを用いて運搬し，あらかじめ設置した台座の上に移植する移築工事による手法を採用した．

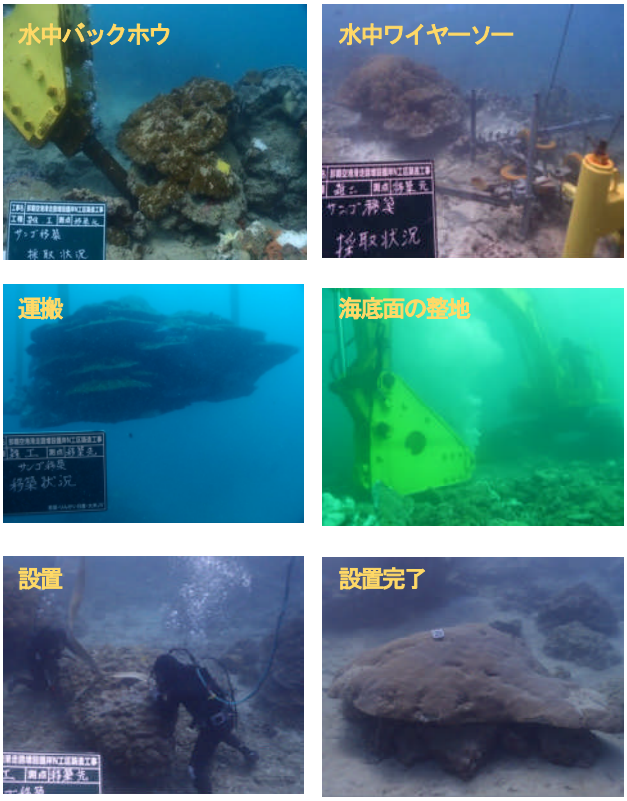


図5　重機によるサンゴの移築

表3　大型サンゴのサイズと採取法

サイズ	採取法
1m未満	削岩機
1～1.5m	水中バックホウ
1.5m以上	水中ワイヤーソー

(3) 枝状サンゴ群集

枝状サンゴ群集のユビエダハマサンゴについては，効率的にサンゴ移植を実施するため，最新のサンゴ群集移植法を採用した．

本手法は，接着剤等を使わずに，サンゴ自体がもつサンゴ同士の結合作用（図15参照）を利用して，サンゴを面的に繋げ，群集の安定化を図る．そのため，サンゴを群体ごとに接着剤等を用いて基盤に固定する手間が省け，効率的に大規模な移植を図ることができ，新技術として採用した．

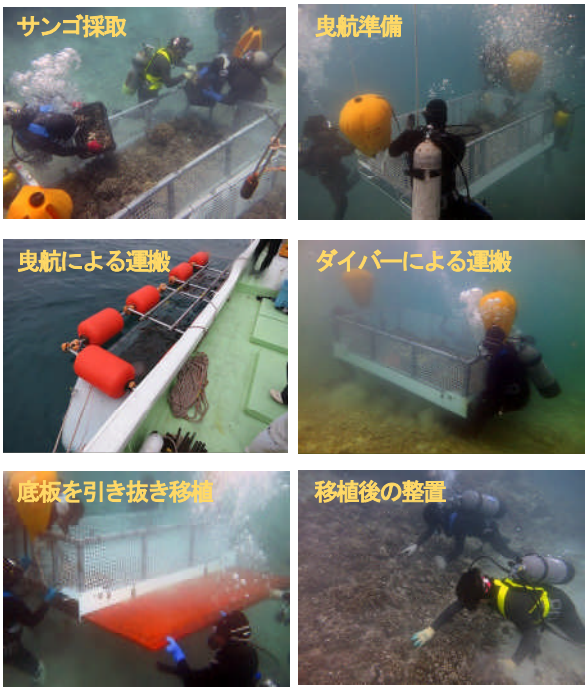


図6　新技術のサンゴ群集移植法による移植

6. 台風対策の検討

移植サンゴは，移植作業期間中，平成26年の台風8号の高波浪（有義波高4.3m）の影響を受け，流出や破損などの被害が生じた．移植計画段階における事前調査では，当該海域の中でも比較的波浪の影響が少ない場所を移植先として選定したものの，移植場所によっては，波浪の影響を完全に遮断することはできなかった．

そこで台風被害後の移植では，被害状況を解析し，その後の移植方法を見直すことで，台風対策を講じることが求められた．

(1) 小型サンゴの被害と台風対策

海底の地形に起伏がほとんどない場所や，高台状の地形で谷部に移植したサンゴは，波浪による礫や転石の衝突を受け易く，移植サンゴの破損が多くなったと考えられた．

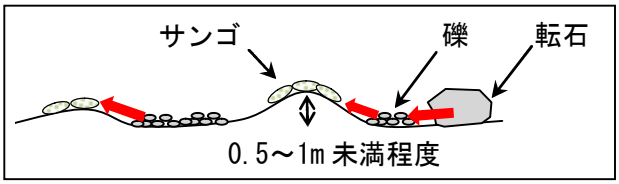


図 7　台風の被害が大きかった地形的特徴

一方，高台状の地形の上部に移植したサンゴについては，礫や転石の衝突を受け難く，波浪による影響が小さかったと考えられた．

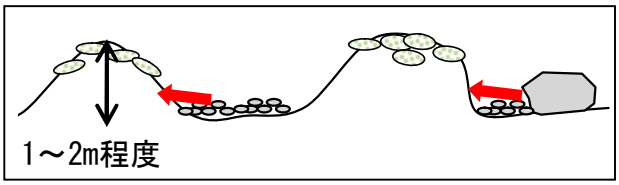


図 8　台風の被害が小さかった地形的特徴

したがって，その後の移植では，台風による高波浪時の礫や転石の移植サンゴへの影響を軽減するため，高台状の地形の上部を移植先として選定し，移植サンゴの設置場所を見直した．

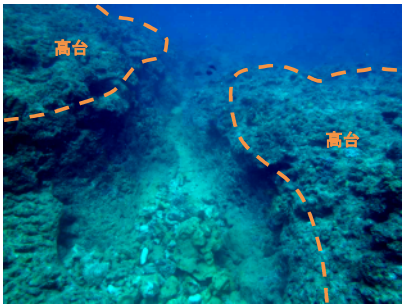


図 9　台風対策のため移植先とした高台状の地形

(2) 枝状サンゴ群集の被害と台風対策

移植した枝状サンゴ群集（ユビエダハマサンゴ）内では，平成 26 年の台風 8 号の高波浪の影響を受け，移植サンゴの流出や底質の移動に伴う埋没の被害が生じた．

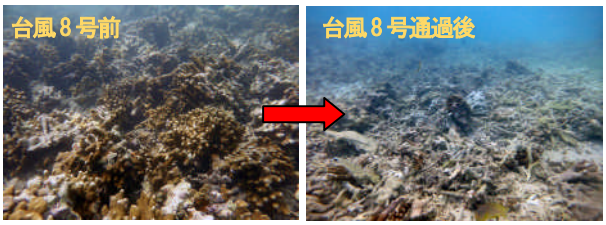


図 10　台風 8 号通過後における移植サンゴの流出状況



図 11　埋没群体の死亡(左)と既存サンゴの流出箇所(右)

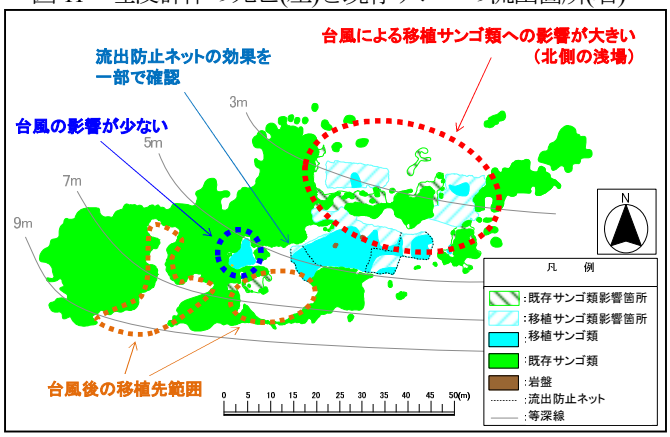


図 12　台風 8 号の影響を受けた箇所と今後の移植先範囲

この評価結果を踏まえて，その後の移植場所としては，波浪の影響が少ない深所，特に既存サンゴ群集の隙間を中心に移植するよう見直した．また，流出防止効果がみられた流出防止ネットについては，継続して設置した．

(3) 台風対策の効果

以上のような移植先の変更ならびに流出防止ネットの設置といった台風対策を行ったところ，その後に襲来した平成 26 年の台風 19 号の高波浪（有義波高 6m 以上）では，移植サンゴへの影響は軽減され，被害を最小限に抑える効果的な台風対策を実行できたと評価された．特に，移植した枝状サンゴ群集では，台風 19 号の影響はほとんどみられなかった．

この台風による被害は，移植サンゴだけでなく，既存サンゴにおいても同様にみられた．被害は群集内で均一でなく，水深 4m 以浅で大きく，以深で小さい傾向にあった．また，深所でも既存サンゴ群集の隙間に移植したものは，周囲を取り巻く既存サンゴ群集が壁となって波浪の影響を防いだと考えられる場所もみられた．波浪対策として設置した流出防止ネットにより，移植サンゴの流出が抑えられ，対策効果が現れた場所も確認された．

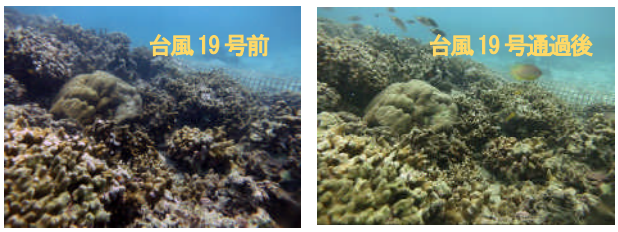


図 13　台風 19 号前後の移植サンゴ

7. 移植実績

移植対象海域に分布する多種多様なサンゴに対応するため，移植手法を検討し，それぞれのサンゴに適した手法を用いたことで，効率的で適切な移植を実施できた．移植期間が長期に及び，その間，台風の被害も受けたものの，その被害状況を解析し，台風対策を実施した結果，対象としたサンゴ移植は適正に実施でき，最終的に移植目標を上回る数量のサンゴ移植を実現できた．

表 4　移植目標と移植実績

種類	対象	移植目標	移植実績
小型サンゴ	ミドリイシ類等	17,000群体	19,748群体
	アオサンゴ	16,000群体	17,176群体
大型サンゴ	大型塊状サンゴ	37群体	37群体
枝状サンゴ群集	ユビエダハマサンゴ	700㎡	1042.1㎡

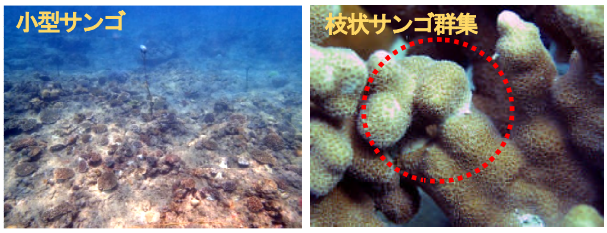


図 14　小型サンゴ，枝状サンゴの移植状況



図 15　大型サンゴの移植状況

8. 台風後のモニタリング

移植サンゴは，平成 26 年の台風 8 号による被害で，大きな被害がみられたものの，その後の台風 19 号では被害は軽微であり，移植後に近傍のサンゴと活着する等，順調な成長がみられた．

未対策箇所と対策済の箇所を比較すると、対策済の方が被度および群体数の被災率が小さいことが確認でき、対策の効果があったと考えられる．

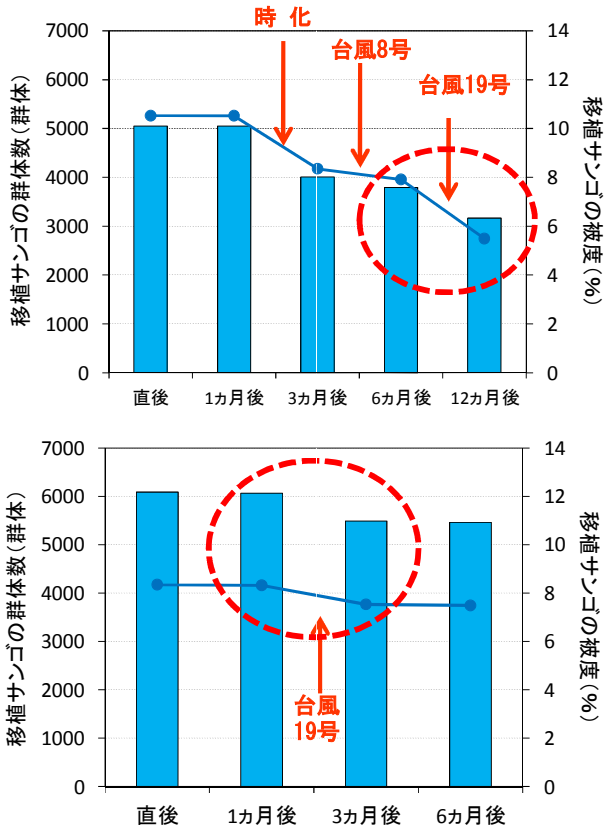


図 16　小型サンゴ移植エリア台風対策未実施（上）対策済（下）

9. まとめと今後の課題

- 本事業実施海域に分布するサンゴを，「小型サンゴ」，「大型サンゴ」，「枝状サンゴ群集」の3タイプに区分けし，移植先を適切に選定した．さらに，それぞれに適した移植手法として，多種の小型サンゴ片に適した「ボンド法」，重機を使用する「移築工事」，枝サンゴに適した「サンゴ群集移植法」を採用することで，効率的な移植が実行できた．
- 移植初期に台風被害が生じたため，被害状況を解析し，それまでの移植場所や流出対策の見直しを行い，順応的に移植を進めたことで，その後の台風では影響を受けず，台風対策の効果が確認できた．
- これまでの移植実績を結集し，順応的に移植を行った初めての事例であり，今後の空港や港湾等の整備においても十分活用される結果となった．
- 今後は，移植サンゴが既存サンゴと同様に推移し，サンゴ礁の一部として十分機能するか，既存サンゴと比較しながら評価していくことが課題である．

参考文献

1) 沖縄総合事務局開発建設部港湾計画課：サンゴ群体の移植・移築技術を利用した港湾整備におけるサンゴ礁との共生指針,.

2) 国土交通省港湾局　海の自然再生ワーキングループ：海の自然再生ハンドブックーその計画・技術・実践ー　第 4 巻　サンゴ礁編, 株式会社ぎょうせい, 2003.
3) 沖縄開発庁沖縄総合事務局開発建設部：サンゴ礁と共生する港湾整備マニュアル案, 財団法人　港湾空港高度化センター港湾・海域環境研究所, 1999.
4) 沖縄総合事務局開発建設部：沖縄の港湾におけるサンゴ礁調査の手引き, 財団法人　港湾空間高度化環境研究センター港湾・海域環境研究所, 2007.

釧路外環状道路における住民参加型緑化活動について
－４年間にわたる小学校との協働の成果－

小澤　悠[1]・高山　博幸[2]

[1]北海道開発局　釧路開発建設部　釧路道路事務所　第3工務課　（〒085-0816 北海道釧路市貝塚3-3-15）

[2]北海道開発局　釧路開発建設部　釧路道路事務所　計画課長　（〒085-0816 北海道釧路市貝塚3-3-15）.

平成27年度開通に向け鋭意工事中の釧路外環状道路は，日本最大の湿原である釧路湿原国立公園に隣接し，環境に配慮した道路づくりが強く求められていることから，平成13年に緑化計画を策定し，自生種を用いた道路緑化を進めている．その中で，積極的に住民参加に取り組んでいるが，本論文では，小学校と協働し，授業の一環として，同一児童を対象に複数年度にわたり実施してきた緑化活動について報告する．

キーワード　多様な交流・連携，住民参加，緑化・植生，小学校

1.　釧路外環状道路における緑化の背景

釧路外環状道路は，釧路市街の外縁部を通り，市内の交通混雑の緩和や物流の利便性向上に資するとともに，将来的には北海道横断自動車道と連結し高規格ネットワークの一部となる一般国道の自動車専用道路であり，平成27年度の釧路西IC～釧路東IC（延長10キロ）開通を目指し鋭意工事中である．本道路の建設にあたっては北海道開発局が進める「北海道環境イニシアティブ」の取組の一つである「環境に配慮した道路づくり」が大きなテーマとなっている．



写真１　植樹会実施状況（平成 21 年 11 月 18 日，釧路市美原地区にて実施．地元幼稚園児がミズナラ 20 本，ヤマダモ 20 本を植樹した．）

本区間は，日本最大の湿原である釧路湿原をはじめ，地域固有の自然環境が広がっており，天然記念物を含む多くの希少生物が生息しているため，自然環境への配慮がきわめて重要である．また，釧路地域の入り口に位置し，観光客をはじめ多くの来訪者にとって地域のイメージを決定づける道路であることから，走行環境や景観面の配慮も必要とされる．さらに，住宅地付近を通過することから，これらの取組にあたっては，地域住民との密な協働が求められる．

本道路の整備と緑化にあたっては，これらの課題に対応するため，道内の有識者や市民，関係機関のメンバーで構成する「釧路外環状道路緑化計画検討委員会」を平成13年度に設置した．委員会では，「北海道開発局道路緑化基本計画」（地域の植生に配慮した樹林形成を中心に，道路緑化の積極的な推進を図る計画）の考え方を基本としながら，道路緑化の課題，計画の理念とそれに基づく基本方針，方策，「釧路市みどりの基本計画」など地域のまちづくり計画との整合性等について具体的な内容が検討・協議され，「釧路外環状道路緑化計画」がまとめられた．

その後，平成18年度に植栽詳細設計をまとめ，これを基に植樹会を複数回実施した（写真1）．

2. 本事業における従前の住民参加の状況と課題

近年，環境問題への関心は高まっており，道路事業を推進する上でも環境への配慮はきわめて重要となっている．環境に配慮した道路づくりの実施にあたっては，継続的な取組のためにも地域との合意形成が不可欠であり，地域住民に事業者の環境配慮への取組を理解してもらい，道路に親しみを持ってもらう必要がある．

この課題に対応するため，本事業においては，「釧路外環状道路緑化計画」に基づき，植樹会などのイベントを通じて，緑化活動への住民参加の取組を行ってきた．植樹会は隣接する釧路新道と合わせて，平成21年までに計10回実施している．しかし，その内容は，事業者が準備した苗木を地域住民が植樹するという1日限りのものであり，上記の課題への対応として必ずしも十分とは言えない状況にあった．

このような状況下において，住民参加・パートナーシップのあり方をより積極的に見直すべく，平成23年度に新たな住民参加型の緑化活動の企画を行なうこととなった．

3. 住民参加型の新たな緑化企画

(1) 新たな緑化企画の構想

「釧路外環状道路緑化計画」では，緑化の基本的な考え方，エリア区分，緑化方針及び緑化計画とともに住民参加活動のメニューについてまとめている（表1，図1）．

新たな緑化企画を実施するにあたり，これらのテーマの実現状況について検討した結果，「学ぶ」「植える」については，これまでの植樹会等のイベントで一定程度実現されていたのに対して，「育てる」「親しむ」が不十分なのではないか，と考えられた．そこで，新たな企画ではこの2点に重点的に取り組むこととなった．

このような観点から検討を重ねた結果，これからの地域を担う存在である地域の小学生を対象に，授業の一環として緑化活動に参加してもらう，という企画を提案することとなった．その際，「育てる」「親しむ」を実現し，また環境に配慮した道路づくりについて深く理解し，道路への親しみを持ってもらうためには継続的な取組が強く求められることから，複数年度にわたる企画とした．さらに，毎年同じ内容を行うのではなく，同一の児童を対象に，複数年（4年間）にわたって1つのプログラムとして行うこととした．（図1）

また，授業の一環として行うことから，単に道路事業への理解にとどまらず，植物の生育や地域の多様な植生について児童自らが考え，学ぶきっかけとしての教育的効果も得られることを目指した．

本企画について釧路市教育委員会に提案したところ，幸いなことに，従前より環境教育に熱心であった釧路市立美原小学校から賛同が得られた．このため，小学1年生の2クラス(約60名）を対象として具体的な緑化イベン

表1 テーマごとの住民参加活動のメニュー

テーマ	検討内容
学ぶ	【学習の機会提供・情報提供】 ① 釧路外環状道路の役割、緑化の考え方、地域の緑や自然の現状と将来像などについて、事前に学習の機会を持ち、理解を深めてもらいます。 ② 学校における総合学習の時間や課外活動、あるいは生涯学習プログラムとして取り入れることが考えられます。 ③ パンフレットの配布やインターネットにより、広く住民一般に情報提供することが考えられます。
育てる	【苗木の里親手法】 ① 釧路外環状道路に植栽する苗木の一部を住民自らの手で育ててもらう「苗木の里親手法」を検討します。 ② 苗木の育成は、ハンノキ等の一般に流通していない樹種を中心に行う事とし、種子の採取から一定の大きさに育つまでの管理をお願いすることが考えられます。
植える	【緑化イベントの実施】 ① 小中学生を中心とした市民全体のイベントとして苗木の植栽を行います。 ② 苗木の植栽を行うだけではなく、参加する、学ぶ等の意味合いを持った青空イベントとすることが考えられます。
親しむ	【定期観察・維持管理体験】 ① 小中学生の有志や子供エコクラブなどが主体となって定期的に植栽後の経年変化の観察や維持管理の体験を行う事が考えられます。 ② 大人は観察活動のサポーターとして子供たちを支援します。

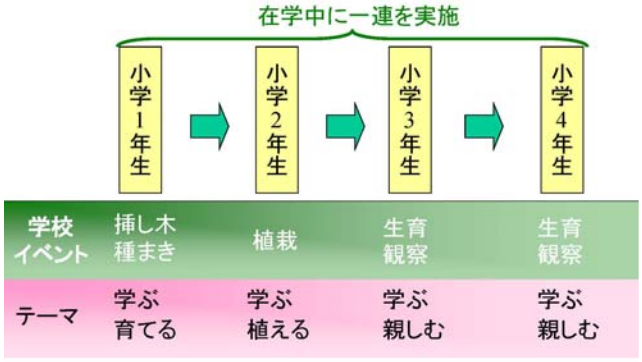


図1 4年間にわたるプログラムの内容とテーマ

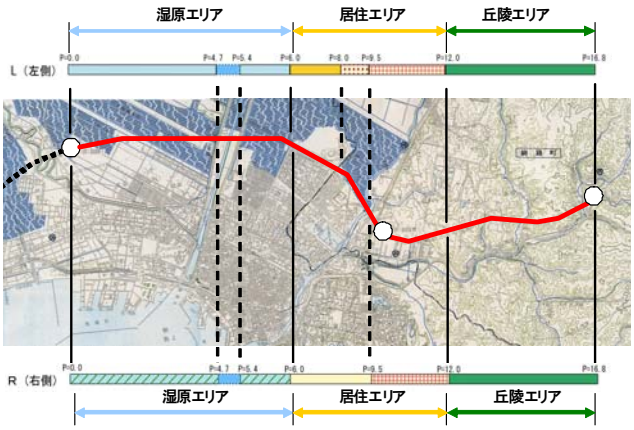


図 2　「釧路外環状道路緑化計画」のエリア分け



写真 2　ハンノキ



写真 3　1年目の実施状況（ホザキシモツケの挿し木及びハンノキの播種：平成 23 年 6 月 3 日）



写真 4　1年目の実施状況（ハンノキのポットあげ：平成 23 年 10 月 28 日）

トの企画を進めることとなった.

(2)　新たな緑化企画の具体的な検討

緑化企画の年ごとの内容の概要は以下の通りである. まず1年目は「育てる」をメインテーマとして，苗木の里親手法（植栽する苗木を住民自らの手で育てもらう手法）を用いて育苗体験を実施する．2年目には「植える」をメインテーマに，各自が1年間育てた苗木を植栽する．3・4年には「親しむ」をメインテーマに，植栽した樹木の観察と維持管理体験を行う．このようにして，児童たちは，植物を育て，植え，管理するという一連の流れに触れることとなる.

「釧路外環状道路緑化計画」では，本線を3つのエリアに分けている（図2）．植栽箇所の選定にあたっては，地域に現存している植生をモデルとし，周辺との景観的な調和や自然環境への影響の緩和などを考慮して樹種を選定，植栽を行うとする「釧路外環状道路緑化計画」の内容と適合することが求められた．また，自生種を用いた苗木の里親手法を導入する場合，育苗期間を考慮すると植栽までの期間が2年以上確保できることが必要となった．以上の事項を勘案し，釧路湿原と隣接する地区である「湿原エリア」を対象地とした．このエリアでは，周辺の湿原と連続性や一体感を持たせた緑化を目標としていることから，対象種は，この地域に代表的に自生する種であるハンノキとホザキシモツケとした(写真2，出典：佐藤孝夫(2006)　新版　北海道樹木図鑑［増強版］亜璃西社).

4.　新たな住民参加型緑化企画の実施

(1)　計画初年次（平成23年度）：1年生

計画初年の平成23年度は，「春季の播種・挿し木」，「秋期のポット植替え」を実施した．企画に際しては，当時小学校の授業で育てていたアサガオとハンノキの種を比べることや，ハンノキの実から種を採取するなど，児童に興味を持ってもらえるような工夫と配慮を行った. また，作業の目的と手順について，簡単な絵を中心としたわかりやすい説明資料を作成し，スムーズな進行と児童の理解を図った.



図3　1年目の配付資料

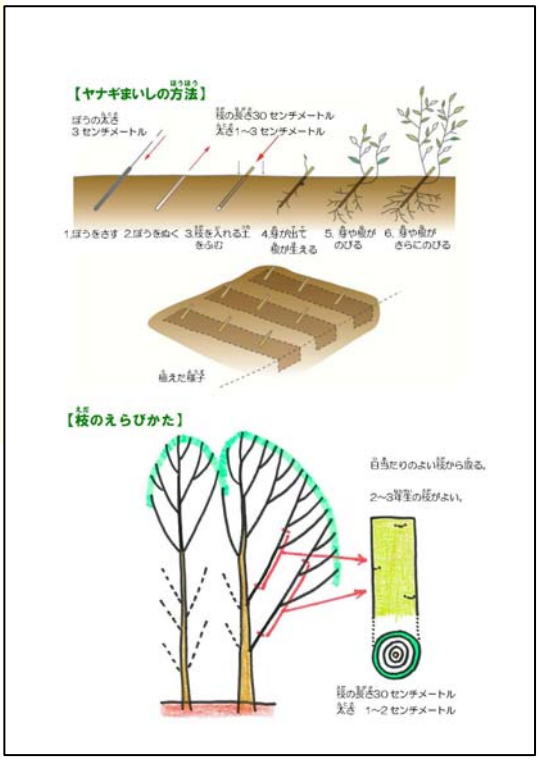


図4　3年目の説明資料（ヤナギ埋枝）



写真5　3年目の実施状況（ヤナギ埋枝：平成25年9月20日）

また，児童たちにより興味を持って参加してもらうため，企画の名称についても，授業の中で児童たちに考案してもらうこととし，結果「自然いっぱいグリーングリーン大作戦」という名称となった（図3）．

なお，対象種であるハンノキ，ホザキシモツケの育苗にあたっては，学校での育苗に加え，釧路道路事務所での育苗と札幌の圃場での育苗を平行して実施することで，数量の確保を図った．育苗にあたっては，植物専門家である斎藤新一郎博士（環境林づくり研究所所長）にアドバイスをいただいた．

(2)　計画2年目（平成24年度）：2年生

計画の2年目にあたる平成24年度は，児童たちが里親として育ててきた苗木の道路敷地内への植樹を行った．

今年度は，斉藤博士に植樹の際にもお越しいただき，児童に対してわかりやすく植樹法をレクチャーしていただいた．斉藤博士には，3年目，4年目もお越しいただいた．

(3)　計画3年目（平成25年度）：3年生

計画の3年目にあたる平成25年度は，平成24年度に道路敷地内に植樹した苗木の生育観察，草取りなどの維持管理体験を行った．

本年は新たに，湿原など水辺に生育する種であるヤナギについても新たな対象とすることとした(写真5)．ヤナギは，刺し木(埋枝）などによる簡易な植栽が可能であり，大変旺盛な初期成長をする．児童にとってはこれまでの2種とは異なる植樹について学ぶことができる(図4)．また，このヤナギの植樹を実施したのは，草取りなどの維持管理作業だけで児童が飽きることのないように，との工夫でもある．

斎藤博士には，苗木の植え方について小学生にわかりやすく講義をしていただいた．

(4)　計画4年目（平成26年度）：4年生

計画の4年目にあたる平成26年度は，平成24年度に道路敷地内に植樹した苗木および平成25年度に埋枝したヤナギの生育観察を行い，児童たちはスケッチと感想文を作成した．

また，斎藤博士に，スケッチの仕方について講義をいただいた．斎藤博士の原画集を展示するなど，児童たちにとって大きな刺激となったと考えられる(写真6)．



写真 6　4年目の実施状況（スケッチと斎藤新一郎博博士の講義：平成 26 年 9 月 26 日）



写真 7　学校から感謝状の授与



図 5　4 年間の活動を経験した児童の感想文の一部

4.　4年間の住民参加型の緑化活動の効果

4年間にわたる企画で，児童たちは自生種の育苗・管理，育苗した苗の植栽およびヤナギの埋枝，その後の苗木の生育観察，草取りなどの維持体験などの多様な体験をした．4年目のイベントを終えた児童たちからは，「高速道路ができたらすごく通ってみたくなった」「大人になったら育てて植えた木を見にきたい」「自然を大事にすることが学べた」「またグリーングリーン大作戦をしたい」などの感想が得られた（児童が作成した感想文より）(図5)．これらの感想から，児童たちがこの企画を通して道路事業や道路事業における環境配慮について関心を持ち，理解したこと，さらに地域の自然環境に対する関心を持ったことが推察できる．また，今回の取組については，各年のイベントごとにテレビニュースや

新聞などで報道されたため，事業主体の開発局にとっては，本道路事業における環境配慮への取組について世の中に広く発信することができたという効果もあった．また，学校側から感謝状をいただくなど，道路事業における地域住民とのコミュニケーション手法や住民参加の一つのあり方として，一定の評価を得たと考える(写真7).

5. まとめ

本論文では，釧路道路事務所において行った住民参加の取組について報告した．本取組では，単なる一過性のイベントで終わらせずに，小学校において，同一児童を対象に，授業の一環として，4年間の間継続的に取り組んだことに大きな特徴がある．

結果，事業者の開発局としては，地域の将来を担う地域の小学生に対して，道路事業や道路事業における環境配慮について深く理解してもらうとともに，自分たちの育てた苗木を植え，維持管理も体験することで，児童たちに道路に対する親しみが育まれるという効果があったと考えられる．さらに，報道されたことにより，小学生とその保護者以外にも広く開発局の取組を伝えることができ，アカウンタビリティの面からも大きな成果があったと考えられる．

一方で小学校や児童にとっても，地域の豊かな自然に目を向けるきっかけとなったり，自分たちが育てた苗木の継続的な観察を行ったりと，教育的効果があったと考えられる．

以上のように，本取組は，公共事業と地域との協働について，新たな姿の一端を見せることが出来たのではないかと考える．

最後に今後の課題について述べると，このような長期間にわたる地域との協働は，これまで述べたように大きな成果が期待できる反面，工期や現場条件等を考慮すると，一つの工事で実施することは困難な場合も少なくないと考えられる．

この課題に対処するためには，工事間，分野間，事業主体間の垣根を越えた，公共事業全体としての連携が必要になってくるのではないかと考えられる．一つの工事，事務所，組織では複数年にわたる協働が難しくても，地域全体の公共事業としてみれば，継続的協働が可能になるケースも考えられる．

謝辞：今回の取組にあたり，ご協力いただいた釧路市立美原小学校の児童並び先生の方々，また貴重なご指導，ご教授を賜った斎藤新一郎博士（環境林づくり研究所所長）に対し，ここに記して心より感謝の意を表します．

参考文献

1) 北海道開発局釧路開発建設部（2002）「釧路外環状道路緑化計画（案）」

2) 釧路開発建設部釧路道路事務所（2007）「一般国道44号釧路町 釧路外環状道路外 植栽検討設計業務」

3) 小池直幸（釧路開発建設部釧路道路事務所）ほか（2013年）「釧路外環状道路における自生種を用いた住民参加型の緑化活動について－学ぶ，育てる，植える，親しむをテーマとした４年計画小学校授業に取り入れた事例紹介 －」第56回 北海道開発技術研究発表会

4) 田中大輔（釧路開発建設部釧路道路事務所）ほか（2015年）「釧路外環状道路における住民参加型緑化活動について－４年間にわたる小学校教育との協働結果について－」第57回北海道開発技術研究発表会

東北で初の地域と連携した「まるごと里ごと土砂防災」の取り組みについて

亘　糸美[1]・大津　輝男[1]

[1]東北地方整備局 新庄河川事務所 寒河江川砂防出張所（〒990-0702 山形県西村山郡西川町大字海味下モ山916-2）.

2014年8月の広島豪雨では、土砂災害によって甚大な被害をもたらした。また2015年9月の関東東北豪雨では幹川での堤防が決壊し、多くの住民の命と財産を奪う災害となった。これらに共通する課題として避難体制の不備が浮き彫りとなっている。このような中で砂防事業を行っている寒河江川砂防出張所では、砂防事業のハード整備をすすめつつ、地域住民の危機管理体制を支援した取り組みを行った。本報告は、砂防事業のハード対策と、住民自らの危機管理意識向上というソフト対策の両輪で地域の「安全安心」に寄与した取り組みを紹介するものである。

キーワード　砂防事業、危機管理、自主防災、安全安心、ハザードマップ、両輪

1. はじめに

2014年8月の広島市の土砂災害では、土石流による家屋倒壊などの甚大な被害をもたらし、また2015年9月の関東東北豪雨では幹川での堤防が決壊し、多くの住民の命と財産を奪う大災害となったことは記憶に新しいところである。これらの災害では、自然災害に対する危険性の認識、避難体制の確立が不十分であるという課題が改めて浮き彫りになった。

このような背景の中、砂防施設の整備を行っている寒河江川砂防出張所（以下、当出張所）と、砂防施設整備の関係自治体である山形県西川町（以下、西川町）と連携を図り、ハード対策とソフト対策の両輪で、東北初の試みとして「まるごと里ごと土砂防災」の取り組みを行った。本報告は、この取り組みにより、住民自ら自然災害の危険性を自覚し、「いざ」という時の危機管理意識向上に寄与したことを紹介するものである。

2. 寒河江川砂防出張所の砂防事業概要

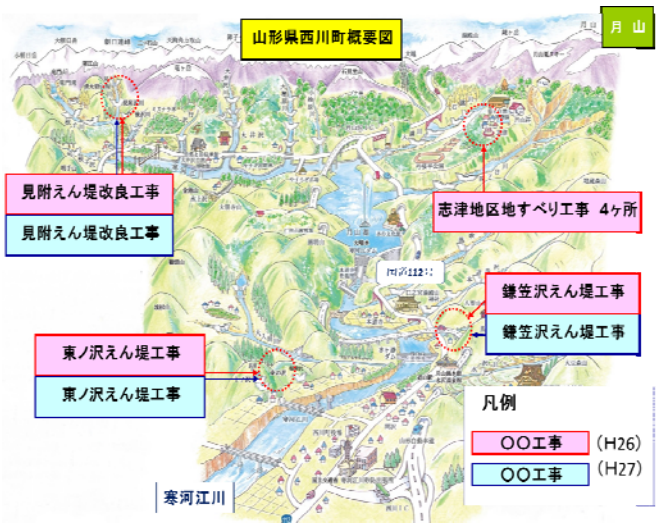
山形県の母なる川「最上川」の支川である寒河江川の上流域の月山や朝日連峰は東北有数の多雨多雪地帯で、上流の荒廃がひどく、上流から流出した土砂が寒河江川本川の河道を挟めるため、たびたび洪水氾濫が発生してきた。

このため当出張所（図－1）では1951年度より国直轄事業として砂防事業に着手し、2014年度まで４６カ所の砂防施設を完成させている。また、2009年度より月山地区地すべり事業にも着手している。

2015年度は２カ所で砂防堰堤工事を、４カ所で地すべり対策工事を実施している。（図－2）



図－1寒河江川砂防出張所の位置図



図－2当出張所の事業箇所概要図

3. 西川町の位置と最近の自然災害

西川町（図－3）は山形県のほぼ中央に位置し、霊峰「月山」の南西部に広がる、人口約5900人の町である。地質状況については、月山の火山噴火物が広範囲に堆積し、非常にもろく、中程度の大雨でも土砂災害が起こりやすい。

2013年7月豪雨の際には、法面崩落により国道112号において全面通行止を余儀なくされたのをはじめ、町内至る所で斜面崩壊、橋の流出などが発生し、住民生活に多大な支障を来し、住民としても災害の危険性をまざまざと認識させられたところである。



図－3西川町の位置図

4. まるごと里ごと土砂防災の取り組み

上記のような背景から、砂防事業と、地域の危機管理向上というハードとソフト対策の両輪をもって、土砂災害を未然に防ごうという取り組みを行った。（図－4）



図－4取り組みのイメージ

5. 取り組みの流れ

(1) 対象地区の選定

取り組みの対象地区は、西川町と調整した結果、既設の砂防堰堤が3基あり、2015年度も砂防堰堤工事を実施中で、かつ土砂災害警戒区域にも指定されている西川町沼山地区（以下、沼山地区）を試行的に選定した。（図－5）



図－5沼山地区の概要図

(2)地元との調整の流れ（図－6）

調整の流れは以下のとおりである。



図－6地元調整の流れ

6. 具体的な地元との調整内容

(1) 趣旨説明

沼山地区住民に、自主避難体制づくりを一緒に考えていくことを説明し理解を得た。（写真－1）

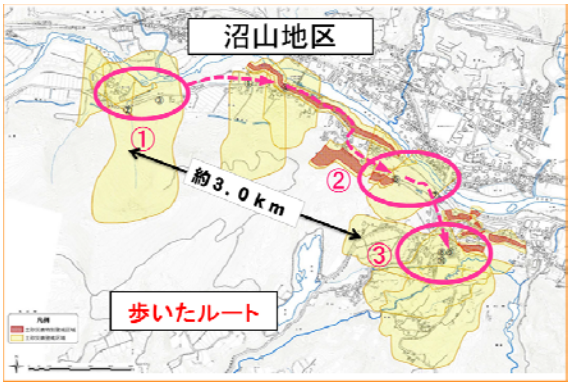




写真－1趣旨説明

(2)まちあるき

住民の方々と一緒に歩きながら、過去の災害を誘発した危険箇所や、一時避難の候補箇所などを確認し、行政との共有を図った。（図－7）（写真－2）



図－7歩いたルート

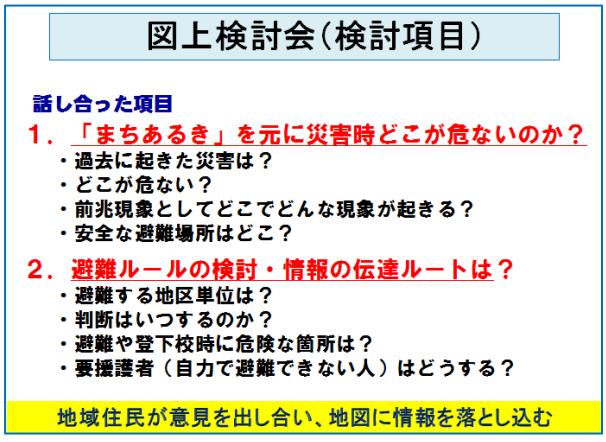




写真－2まちあるきの様子

(3)図上検討会（2回実施）

地域の地図を使って、土砂災害時どこが危険か、避難のルールをどうするかなど、住民の方々と検討した。（図－8）（写真－3）



図－8検討項目

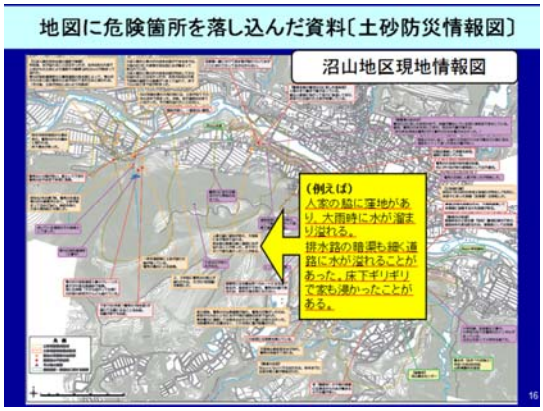




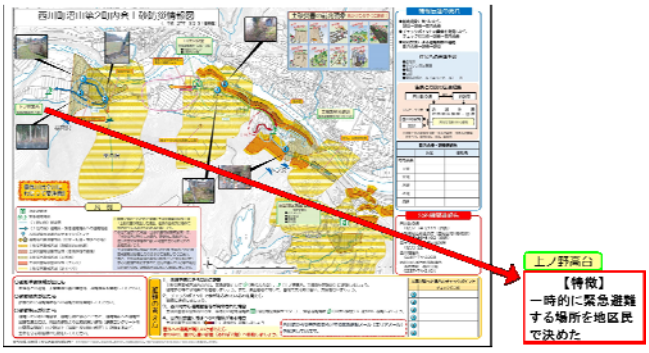
写真－3検討会の様子

(4)ハザードマップの作成

図上検討会の検討結果を踏まえ、土砂防災情報図（図－9）の資料から避難経路の情報も網羅したハザードマップを作成し、各戸に配布した。（図－10）



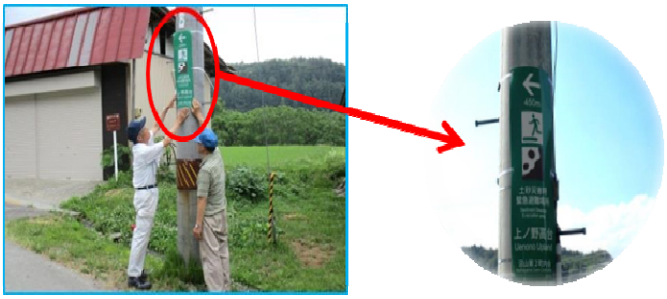
図－9土砂防災情報図



図－10ハザードマップ

(5) 避難誘導標識の設置

地区内の電柱に災害時の誘導方向が表示されている標識を設置した。（写真－4）この標識も地元住民が主体的となり、見やすくわかりやすいレイアウトにした。また、避難場所についても標識を作成した。（図－11）



写真－4標識設置の様子



図－11避難誘導標識と緊急避難場所の標識

(6)避難訓練の実施

今回作成したハザードマップと避難誘導標識、緊急避難場所の標識を活用した避難訓練を実施した。参加率は約５割と高率で、住民の危機管理の意識の高さが際立った。（写真－5）





写真－5避難訓練の様子

7.検証

訓練直後に住民代表と西川町の担当者を交えた反省会で、この取り組みの検証を行った。検証結果は以下のとおりである。

・取り組みは大変よい。
・避難訓練は毎年定期的に実施したい。
・寝たきりの方がいるが、誰がどのようにして、避難場所に連れて行くか今後検討する。（写真－6）





写真－6反省会の様子

8.今後の展開と応用

今後は、西川町が主体となり沼山地区以外にも展開、活用していただき、修正を重ね定期的に訓練を実施していただくことを考えている。

また、この取り組みは、沼山地区が土砂災害の危険箇所であることから実施したが、他の自治体では、例えば「まるごとまちごと地震＋津波防災」や「まるごとまちごと火山防災」といった、その地域の災害特性に見合った取り組みに応用できると考える。

いずれにしても、国等が実施する防災関連のハード対策と、地域住民の危機管理体制のソフト対策との両輪が整備されてはじめて最近の進化しかつ、極端な異常気象変動に対応できる重要な「ツール」の一つになると確信する。

9.おわりに

この取り組みは試行というまだ緒に就いたばかりであるが、今回の一連の取り組みで、砂防施設の整備というハード対策と、地域住民の自主防災意識の向上、避難体制の確立といったソフト対策の両輪をもってはじめて「安全安心」が確立するということがわかった。

今後この取り組みを一つの好事例として、他の地域にも活用されることを望むものである。

河川管理レポートの作成について

加藤　信一・人見　寿

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）

近年、河川構造物が老朽化する中で、維持・管理の重要性が増してきている。河川の維持管理業務を円滑に行っていくためには、一般市民に業務内容を知ってもらう必要がある。

江戸川河川事務所では、①読みやすく②細やかに③続けていくという３つのコンセプトのもと、河川管理レポートをパンプレット(E-naだより)や広報パネルの形で発行した。この河川管理レポートをよりよいものにしていくために、資料配付後読者に向けてアンケートを実施した。このアンケート結果を整理することにより様々な傾向がわかり、より読みやすい内容のものにするための改善案を検討した。

キーワード　河川維持管理、河川管理レポート、アンケート

1.　背景と目的

高度経済成長期以後、多くの河川管理施設が建設されてきた。これらの施設は今後急速に老朽化することが予想され、図１の全国の河川管理施設の推移を示したグラフで示されるように、１０年後には、設置後４０年経過する施設が全体の約６割になり、２０年後には、約８割になる。そのため今後は、これらの造られてきた構造物の維持・管理がさらに重要になってくると考えられる。

河川構造物は災害時などに能力を発揮するものが多いため、国民の安全を守っていくために構造物の機能を維持していくことは極めて重要であるが、実際のメンテナンスなど維持管理業務についての認知度や関心は低い。

そこで、一般的には見えにくい日々の維持管理の実績を、地域住民等に「見える化」することで、河川維持管理に対する理解を得ることを目的に河川管理レポートを作成した。

また、平成２４年度から河川管理レポートの作成は、全国的に取り組まれているが、既存のレポートは、項目が多岐にわたるため資料の量が概ね３０頁以上となり、一般市民に簡易に配布したり手に取ってもらうには、資料の量が多く、なかなか気軽に読めるようなものではなかった。このため、当事務所としては、地域住民の方にまずはレポートを手にとって頂くことを大前提として作成することとした。

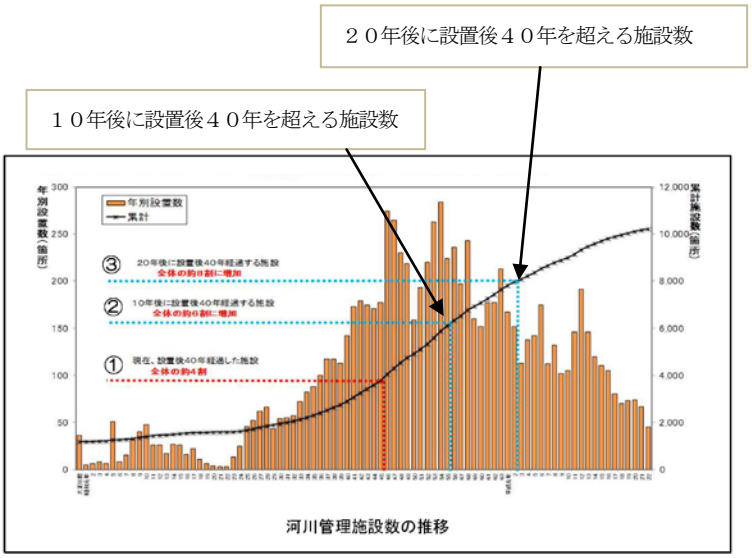


図１　全国の河川管理施設の推移

2.　河川管理レポートの作成

（１）作成の流れ

図２のフローチャートで示すように、河川管理レポートを作成するにあたり、作成方針決定時やレポート案作成時、次年度作成に向けた検討などの節目で所内の各部署が参加し、いろいろな意見が聞けるような場として河川保全推進ＰＴ会議を開催した。会議では、広く意見を聴取することができ、極めて有効であった。

また、河川管理レポートを次年度以降よりよいものに改善していくために、レポート公表後に事務所ＨＰとＷｅｂでレポートの内容についてのアンケートを実施した。アンケートの集計結果から読者が知りたい情報や説明が読者に伝わりやすい効果的な方法を検討し、次年度以降のレポート作成方針を決定した。

河川管理レポートの作成方針について
（第１回河川保全推進ＰＴ会議）
↓ ← レポート案の所内回覧
河川管理レポート公表案について
（第２回河川保全推進ＰＴ会議）
↓
河川管理レポートの公表（E-naだより）
↓
管理レポートに対するアンケート実施
↓
アンケート結果整理について
次年度の河川管理レポート作成方針について
（第３回河川保全推進ＰＴ会議）

図２　河川管理レポート作成の流れ



図３　パネル形式（一般向け）Ａ－１サイズ



図４パネル形式（子供向け）Ａ－１サイズ

（２）　作成方針

以下に示す①、②、③の３点を作成方針とし、レポートを作成した。

①　読みやすく

河川管理レポートを公表するにあたっては、事務所、出張所、イベント、河川愛護モニターの活用、自治体の回覧版、事務所ホームページ等、様々な広報の場が考えられる。そのため、これら複数の広報の場に応じて、事務所全体のものとして公表するパンフレット形式と資料館やイベントで活用可能なパネル形式（Ａ－１サイズ）を作成した。パネル形式では、子供が多く来場するイベントなどに対応するため、図３、図４のような一般向けと子供向けの２種類に分け作成し公表した。子供向けのパネルは、一般向けに比べ文章量を少なく、絵を多くし、うさちゃんとかーくんというキャラクターが会話をしながら、説明していく内容になっている。

また、パンフレットの名称は、親しみを持ってもらいやすいものとして、以前、江戸川河川事務所の広報誌として使用されていた『E-naだより』とし、継続的に発行されていく予定の『E-naだより』の一部として位置付け、副題として～河川管理レポート～を付けるものとなった。

パンフレット形式の河川管理レポートでは、簡潔で読みやすいものにするため、Ａ－４冊子１２ページ程度での作成を予定した。そこで、ページ数を減らすために、重点的に示すテーマを定め、なぜその河川維持管理行為が必要なのかをイラスト等を用いて説明した。また、グラフや地図、写真により視覚的に分かりやすく示し、項目に応じたトピックを盛り込むことで、閲覧者の関心を引くような作成の工夫をした。

②　細やかに

年に一度とりまとめを作成するだけではなく、日頃の維持管理を小まめに広報する細やかさを重視した。

③　続けていく

継続して作成するため、将来的には職員による更新ができるようなシンプルなシステムを検討。

また、出張所の出張所だより発行の労力を減らせるよう出張所だより作成に使うデータを整理し、提供した。

（３）　作成のポイント

取り扱うテーマとして、実施にかかる労力が比較的大きく、維持管理の実績が数値として示しやすい以下に示す４つを選定した。

(a)洪水に備えた堤防の安全性確保のための取り組み
（堤防点検）
(b)水門、樋門、排水機場などの施設の維持管理の取り組み（施設点検）
(c)河川を安全に利用するための取り組み
(d)河川の状態を把握するための日々の取り組み



図５　導入の項目



河川名	管理区間延長	河川名	管理区間延長
江戸川	54.6km	旧江戸川	0.4km
利根運河	6.9km	大場川	0.2km
中川	20.6km	第二大場川	0.5km
綾瀬川	8.9km	大場川放水路	0.2km
荒川	4.7km	三郷放水路	1.6km
荒川放水路	1.3km	綾瀬川放水路	4.0km
北千葉導水路	2.0km	首都圏外郭放水路	6.0km
合計		111.8km	

図６　堤防点検の項目

また、パンフレットの１～２頁目には、「みんなの安全・安心を守るために、河川を維持するため、様々な取組みを行っています。」と題した図５のような項目を用意し、導入部分を取り入れた。

また、４つのテーマの構成は同じものとし、読者が興味を持ちやすく、説明内容をイメージしやすいように工夫した点を図６「堤防点検」を例に説明する。

図６の該当箇所に各工夫点の数字①～④を書き入れる。

① 堤防点検の必要性について、「なぜ？」と問いかける形で説明し、読者に興味を持ってもらう。
② 堤防点検の実施結果について、変状箇所等を写真を用いてわかりやすく説明する。
③ 堤防点検の実施箇所について、点検区間をイラストを用い分かりやすく説明する。
④ トピックを掲載し、上記以外の詳しい説明や新しい情報を盛り込む。

また作成後、技術系だけではなく業務内容に詳しくない事務系の職員にも読んでもらい意見を反映した。

３．アンケートの実施と集計結果

公表した『E-naだより　～2013年度 河川管理レポート～』に対する住民の意見を収集し、次年度以降のレポート作成に役立てるため、アンケートを実施した。アンケートはＷｅｂ方式を基本とし、主に事務所ＨＰにおける回答収集と、Ｗｅｂアンケートモニターを活用した回答収集の２種類で実施するものとした。

表１　Ｗｅｂでアンケートの実施内容

設問の目的	設問内容	回答方法
掲載した各テーマの分かりやすさに対する意見収集	『洪水に備えた堤防の安全性確保のための取り組み』について、分かりやすさはいかがでしょうか?また、その理由についても教えて下さい	選択回答 ①非常に分かりやすい ②分かりやすい ③わかりにくい ④非常にわかりにくい 理由についても自由記入
	『水門、樋門、排水機などの施設の維持管理の取り組み』について、分かりやすさはいかがでしょうか。また、その理由についても教えて下さい。	
	『河川を安全に利用するための取り組み』について、分かりやすさはいかがでしょうか。また、その理由についても教えて下さい。	
	『河川の状態を把握するための日々の取り組み』について、分かりやすさはいかがでしょうか。また、その理由についても教えて下さい。	
各項目のうち、関心の高い項目の把握	掲載内容で、特に関心のあった項目があれば教えて下さい。	選択回答 各項目の中から、チェック方式で選択
次年度以降に取り上げるテーマについての要望の把握	今後、江戸川、中川、綾瀬川に関する情報として、取り上げてほしいものがあれば教えて下さい。	自由記入
その他、意見・要望等の把握	その他、お気づきの点等ありましたら教えて下さい。	自由記入

なお、Ｗｅｂアンケートモニターを活用したアンケートでは、対象を沿川の１６市区町の在住者とした。また、沿川住民の年齢階層は幅広く分布しているが、Ｗｅｂアンケートモニターは２０代～４０代までが多いことに留意し、各年代で最低４０サンプル（全体の１０％）程度以上を確保できるように、年齢別回答者数に制限を設けて実施するものとした。

河川管理レポートの掲載内容へのアンケート実施項目を表１に示す。

(1)　アンケート回答者の属性

アンケート結果として、事務所ＨＰ、Ｗｅｂアンケートモニター、手書き回答により４９７人から回答を得た。回答者の属性としては、幅広い年齢層から回答を得ているが、４０歳～６０歳の回答がやや多く、男女比では男性の比率が高かった。日頃の河川の利用頻度としては、利用しない人がＷｅｂ回答で６１％、事務所ＨＰ・手書き回答では２４％となっており、事務所ＨＰ・手書き回答の方が利用者の比率が高かった。

(2)　分かりやすさについて

アンケート結果を整理すると、テーマ別の分かりやすさでは、項目による大きな違いはなかった。図７に示す堤防点検を例に、河川の利用頻度別に各項目の分かりやすさを比べると、日頃河川を利用する人からは、今回の河川管理レポートは約８割に対して分かりやすいとの回答を得られた。

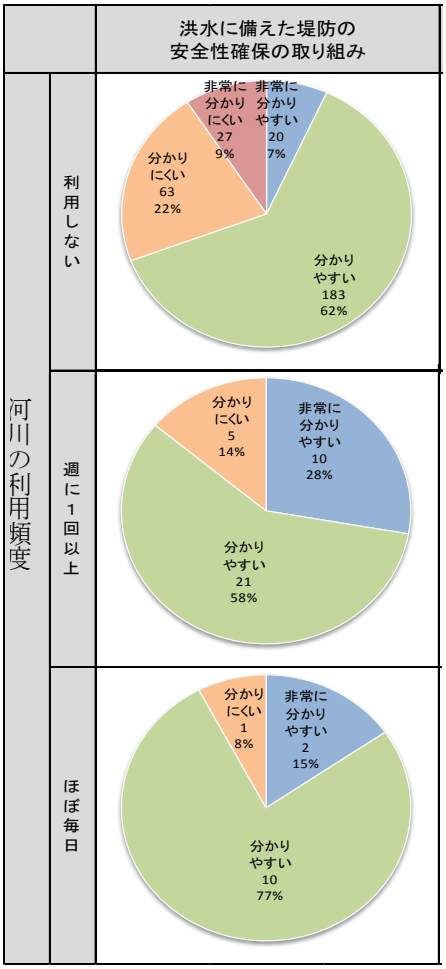


図７　利用頻度別の各項目の分かりやすさ(堤防点検)

一方、河川を利用しない人についても、約７割に対して分かりやすいとの回答を得られた。

全体を通して、「非常に分かりやすい」が１割、「分かりやすい」が６割以上で、概ね７５％の回答者から分かりやすいという回答が得られ、今回のレポートは利用する人にとっても、利用しない人にとっても分かりやすい内容であったと考えられる。

なお、全体を通して「非常にわかりにくい」と回答している人のほとんどは河川を「利用しない」人であり、河川の利用者で「非常にわかりにくい」と回答しているのは１～２人であった。

⑶　関心の高い項目の把握

図８より、全体の中で最初の導入部(図５)の関心が一番高いことがわかった。この結果より閲覧者は、最初の頁には関心を持ちやすい傾向があると考えられる。

また、４つのテーマでの関心の高さの差はあまりなく、各テーマとも「なぜ・何を実施するのか？」という項目の関心が高かった。この結果より、結果を示す内容よりも、疑問形で示す内容の方が、閲覧者の関心を得やすいという傾向があると考えられる。

また、図９で示すとおり、関心の高い項目を選んだ理由としては、それまでに知ることのなかった情報であったこと、また、それを理解できたことが理由として多く挙げられた。この結果より、新しい情報を求めている人が多いと考えられる。

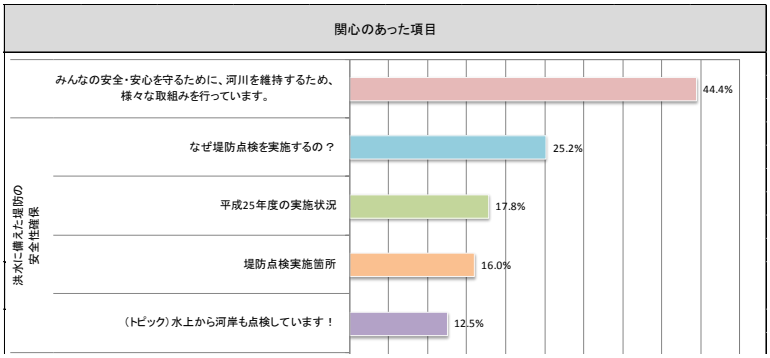


図８　関心のあった項目(堤防点検)

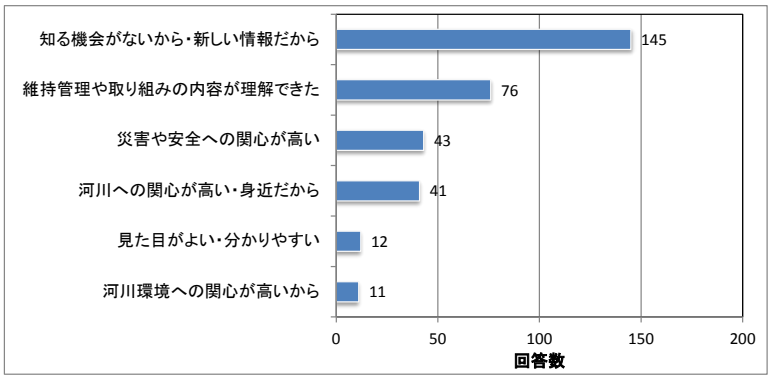


図９　関心の高い項目を選んだ理由

理由	洪水に備えた堤防の安全性確保			水門、排水機場などの施設の維持管理			河川の安全利用			河川の状態の把握		
	河川利用あり	河川利用なし	合計	河川利用あり	河川利用なし	合計	河川利用あり	河川利用なし	合計	河川利用あり	河川利用なし	合計
説明不足、具体性に乏しい	6	3	9	5	3	8	7	4	11	6	6	12
文章表現、用語が分かりづらい	1	2	3	4	7	11	2	2	4	0	3	3
文章量が多い	1	3	4	0	2	2	0	2	2	0	2	2
地図・写真が分かりにくい	0	1	1	0	2	2	0	2	2	0	0	0
見づらい、分かりづらい	1	7	8	1	9	10	1	6	7	1	7	8
興味がない、関わりがない	0	7	7	3	7	10	0	6	6	1	7	8
理由なし	16	58	74	23	60	83	24	57	81	21	62	83
その他	8	9	17	4	9	13	6	9	15	8	11	19
合計	33	90	123	40	99	139	40	88	128	37	98	135

図１０　「分かりにくい」・「非常に分かりにくい」と回答した理由

⑷『わかりにくい』と回答した理由

河川管理レポートの内容が分かりにくいと回答した理由としては、説明や具体性の不足、文章や用語の表現、文章量の多さ、地図・写真の見づらさがあげられている。

図１０は「分かりにくい」・「非常に分かりにくい」と回答した理由のアンケート結果だが、このアンケート結果より、河川利用がある人は、赤枠のように説明や具体性の不足を感じている人が多い傾向にあり、河川を利用しない人にとっては青枠のように文章量が多いと感じる人が多い傾向が示された。この結果より、今回のレポートの情報量としては、河川を利用する人、しない人が求める情報量の中間くらいであったと考えられる。

⑸今後取り上げてほしい情報

今後取り上げてほしい主なものとしては、図１１に示すように防災、イベント等、水質、自然環境、不法投棄等があげられた。

また、工事・施設整備に関しては、従来から事業概要や出張所だよりで取り扱っている内容である。防災、イベント、水質、自然環境・生態系、文化・歴史は維持管理に関するメインテーマとはなりにくいが、住民の関心が高い項目として留意すべき項目である。

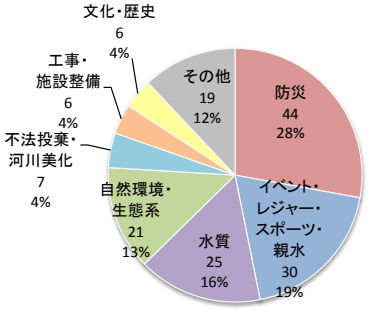


図１１　今後追加して欲しい情報の内訳

４．まとめと今後の方針

アンケート結果より、公表した『河川管理レポート2013』は、河川を利用する人、しない人両者にとって、概ね「分かりやすい」という回答を得ており、文章や写真・イラスト・図等による工夫により住民の理解を得やすい内容になっていると判断できる。そのため、次年度のレポートの資料構成自体は基本的に変更しないものとして良いと考えられる。

ただし、「分かりにくい」という回答については、内容の具体性や、文章や用語の分かりやすさの不足が問題としてあげられていることから、より分かりやすい表現の工夫や、用語解説の方法について改善する必要がある。また、河川を利用しない人の中には、文章量が多いと感じる人がおり、一方で、河川を利用する人の中には説明の詳しさを求める人もいる。今回は概ね７５％の回答者から分かりやすいとの回答を得たため、両者にとって分かりやすいレポートになったと判断したが、よりニーズに応えるためには、対象者によって、河川管理レポートの内容を分けることも考える必要がある。

以上より、次年度以降表現の訂正やデータの更新などを行っていくが、今後の河川管理レポート作成の大きな方針として、以下の３点を挙げる。

①読む人は最初の頁に関心を持ちやすいと考えられるため、イメージしやすい内容や、疑問形で問いかけるような見出しにする等により、１～２頁目の導入部分の作り方を工夫する。

②関心の高い項目を選んだ理由としては、それまでに知ることのなかった情報であったこと、またそれを理解できたことが挙げられた。そのため次年度以降、維持管理業務に係わる新しい情報を盛り込んで行く。

③アンケート結果によって、河川を利用する人、しない人両方にとって今回のレポートはわかりやすいものになったと考えられるため、資料構成自体は基本的に変更しないものとする。

２０１３年河川管理レポートでアンケートを行った結果をもとに、今年３月末に発行した「平成２６年度河川管理レポート」は一部改良してすでに発行済みである。前年度からの修正例を図１２に示す。

最後に、以下のURLに作成された河川管理レポートが掲載されているため、興味のある方は、ご覧になって頂きたい。
http://www.ktr.mlit.go.jp/edogawa/edogawa00691.html

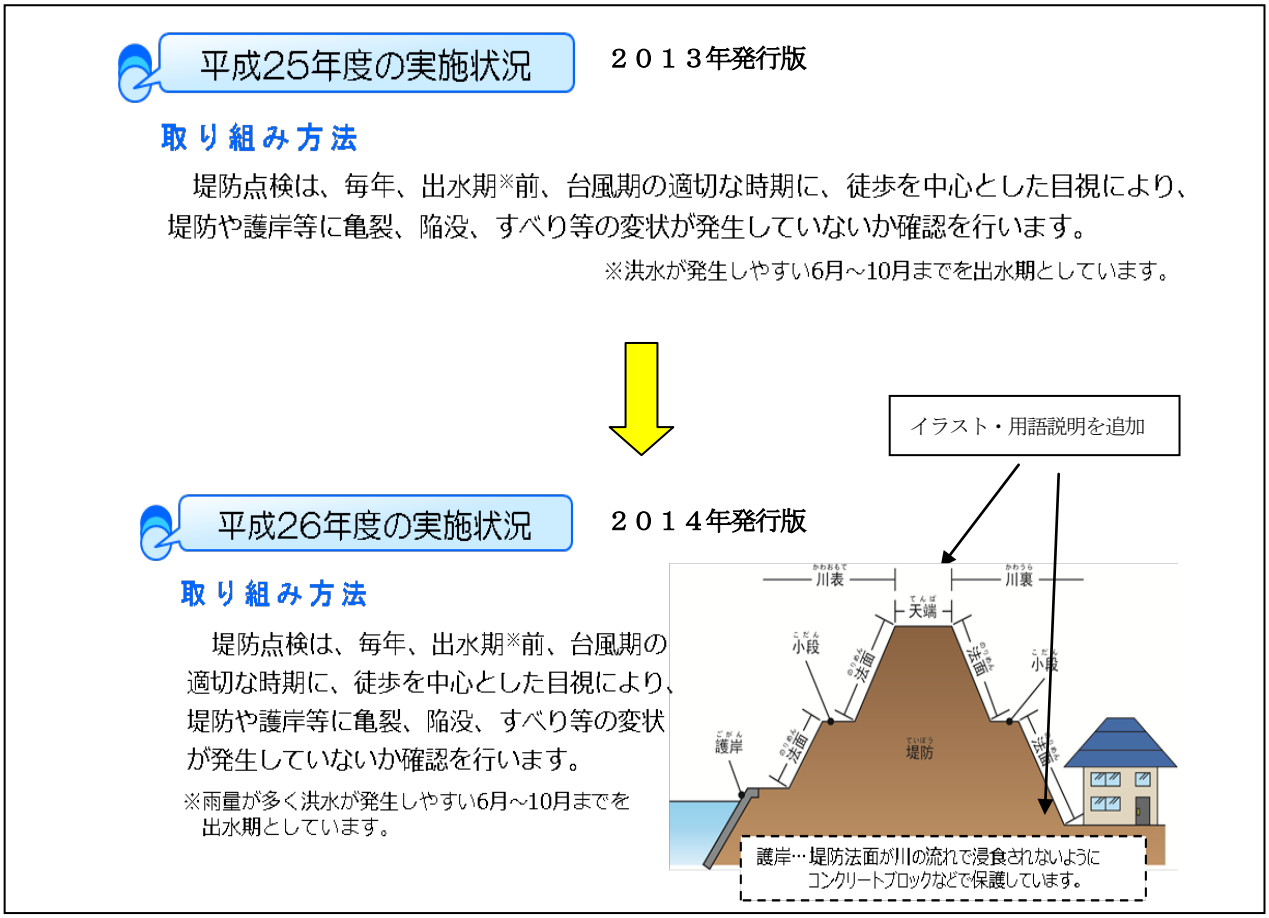


図１２　河川管理レポートの改善例

より効果的な防災意識の啓発について

山口　有理[1]・宮阪　司瑞夫[2]

[1]長野県犀川砂防事務所　砂防課　（〒399-7102　長野県安曇野市明科中川手 4235）

[2]長野県犀川砂防事務所長　（〒399-7102　長野県安曇野市明科中川手 4235）

毎年，全国各地で土砂災害が発生し，その都度「避難」の重要性が強調されている．しかしながら，実際に土砂災害が発生しても避難行動につながらず，被災する事例も多い．長野県犀川砂防事務所では「地域防災力の向上」を最終目標に，これまでの啓発活動の問題点を掘り下げ，どうすればその問題点を克服して効果的な啓発活動に繋げられるかを模索している．問題克服の実践的な取り組みとして，平成２４年度から「防災学習支援」に事務所一丸で取り組んでいる．この取り組みは，未来への「種まき」として管内の小中学生を対象に実施している．本稿では４年目を迎えた学習支援の取り組みと，大人に向けた今後の展開について報告する．

キーワード　避難行動，正常性バイアス，防災学習，地域防災力

１．はじめに

毎年，全国各地で１０００件程の土砂災害が発生し，長野県においても過去１０年間の平均で年間６０件の土砂災害が発生している（**図-1.1**）．自然災害の犠牲者のうち約４３％が土砂災害[1)]であり，急峻な地形を有する長野県においては，被災の可能性は他人事ではない．近年では「ゲリラ豪雨」「観測史上最大」といったキーワードが頻繁に登場し，土砂災害の多発や大規模化が懸念されている．

土砂災害への備えとして法律，砂防施設，情報網等が順次整備されている．しかしながら全国的な砂防施設の整備率は２３％[1)]にとどまり，整備促進は限られた財源の中では時間を要する状況にある．

現状では施設整備のみで防災・減災を成し遂げる事は困難であり，将来的にも現実的ではない．つまり，最終的に被災を免れるためには「避難」の果たす役割が大きく，関係各方面から発信される情報をいかにして「避難行動」へ繋げてもらうかが重要である．

ところが，現実は災害発生前に自主的な避難行動が起こることは少ない．平成１８年７月豪雨及び台風１３号災害での調査では，災害発生前に自主避難をした例は５％[1)]であった．

本稿では，防災行政に携わる者としての自己反省も含め，より効果的な防災意識の啓発について考えたい．

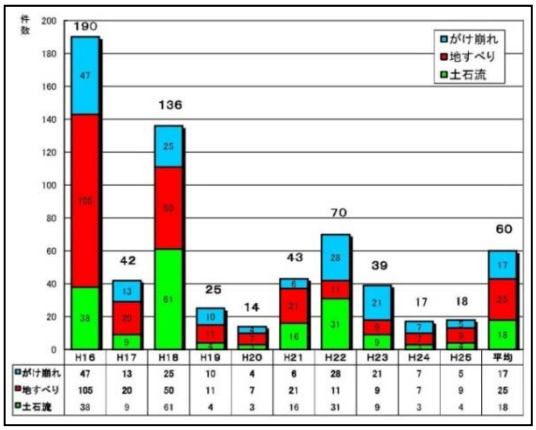


図-1.1　長野県における過去 10 年間の土砂災害発生件数[2)]

２．避難プロセスを考える

防災行政に携わる者として避難の重要性は重々承知している．防災意識の啓発を行い，避難のための情報を公開，発信しているにもかかわらず避難行動に繋がらない…という実感はないだろうか．日々悶々と考えていても答えは出ないため，視点を変えてみることにする．

(1)　避難行動が起こる場合を考える

実際に避難行動が開始される場合について考える．これは被害の大きさと避難の可否との費用便益で決まるとされる．[3)] 避難者自身の判断により助かる見込みがあり，避難経路と避難先が確保できる場合に避難行動は起こる．この時の判断は避難者自身の知識と経験により行われる．裏を返せば，知識と経験に基づいた正しい判断が行われなければ避難行動は起こらない．更には，そもそも被害があると思っていない領域では避難行動は起こり得ない．（図-2.1.1）

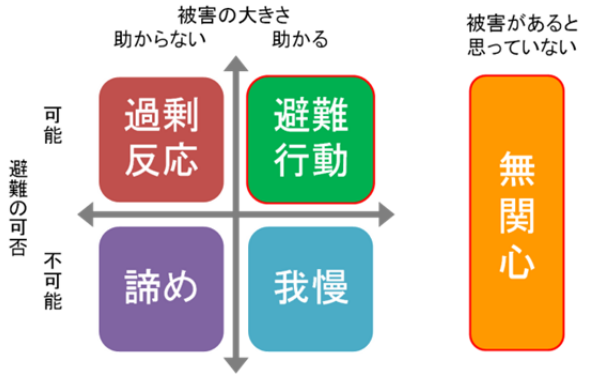


図-2.1.1　避難行動が起こる場合の概念図 [3)]

(2)　避難者の「その日」を考える

避難者の「その日」を，避難者の立場で考える．ただし，避難所がハザードマップ等で事前に公開周知されていたとしても差し迫った危機がない限りは無関心という，かなり危険な前提で考えてみたい．

『行政は「避難してください」と言うが，いつ，どんなときに，どこへ逃げたらいいか分からない』『大雨はわかるが次に何をしたらよいか分からない』『情報が欲しいのにどこにどんな情報があるのか分からない』恐らく避難者の言い分はこうだ．多くの災害関連情報は危険の度合いを示すものであり，個別の具体的行動指示は含まれていない．

次に「その日」の行動を考える．理想的なモデルケースとして，大雨という体感が情報収集を促し，収集した情報の中から危険を認知して災害発生前に避難するという流れを考える．（図-2.2.1）

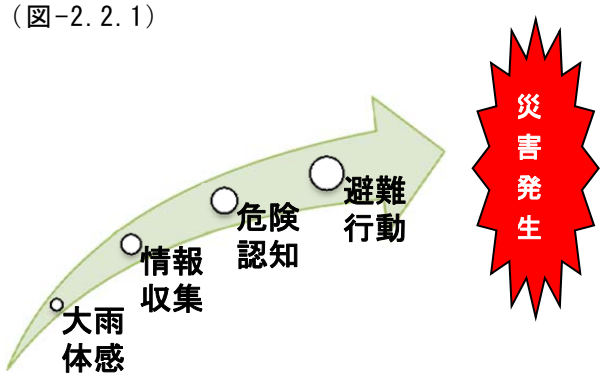


図-2.2.1　避難行動までのプロセス一例

このうち，実際には行われないプロセスはどこか？大雨という現象は否応なしに体感できるし，大雨の際にはテレビ等で盛んに情報を流している現状を考えれば，情報を受動的に受け取ってはいるが，能動的に収集は行っていない状態が大半ではないだろうか．こう考えると「情報収集」あたりから避難へ向けたプロセスが停滞すると考えられる．この停滞原因を解消すれば「避難行動」へのプロセスが開始されるのではないかと考えた．

(3)　逃げ遅れる原因を考える

情報収集以降のプロセスが停滞することで，結果として逃げ遅れ，被災する．逃げ遅れた状況を考えると，①「逃げたくても逃げられない状況」であったか，②「意識的に逃げなかった」かのどちらかであると思われる．土砂災害の多くは降雨を誘因として発生し，降り始めから災

害発生までに多少の時間的猶予があるのが通常である事から，①は災害発生までの猶予の間に適切な判断が行われなかったため，切迫した状況に陥ったと考えられる．（夜間の局地的集中豪雨や要配慮者等の身体的な要因を除く．）②の大部分は，自信を持って逃げないという判断をしたというより，「自分は大丈夫だろう」「周りは誰も避難していないからたぶん大丈夫だろう」といった楽観的判断によるものと思われる．結果的にこれが①の状況へ繋がると思われる．つまり，①と②は事象の前後関係であり，判断の誤りに起因するという点で根幹は同じである．そして避難所の場所を知らないことが決定打となり，被災する．

(4)　楽観的判断の心理

人が楽観的判断を下してしまうことは，災害心理学では「正常性バイアス」または「正常化の偏見」（**図-2.4.1**）と呼ばれている．[3] 正常性バイアスは，人が過度の緊張状態，不安状態に陥らないための心理作用である．ある範囲までの異常は，異常だと感じずに，正常の範囲内のものとして認識することで心理的ストレスの軽減を図る．これは，日常的に意図せず行われている価値判断としての**脳の働き**であり，自己防衛の手段である．

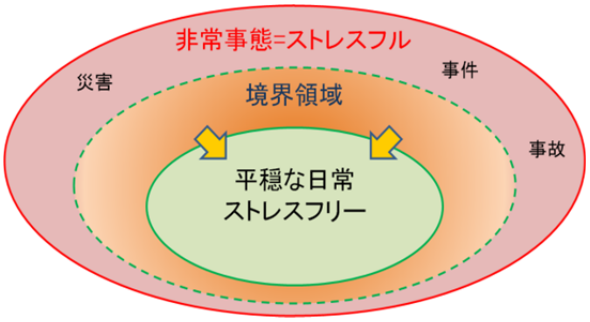


図-2.4.1　正常性バイアスの概念

正常性バイアスは脳の働きであるため，誰にでも起こりうる．本来，自己防衛の手段であるはずが，災害時においてはリスクの過小評価に直結してしまう．避難者にとっては非難のタイミングを逸することに繋がり，防災担当者にとっては警戒情報発信のタイミングを逸することに繋がる．どちらも避難行動にとってはマイナス要因でしかない．

正常性バイアスを乗り越えて非常事態というストレスフルな状況を受け入れるためには，災害に関する**正しい知識**と，経験に基づく**危機意識**が必要となる．適切なリスク評価が正しい判断に繋がる．

東日本大震災でクローズアップされた言葉に「津波てんでんこ」というものがある．由来については諸説あるようだが，これは事象に対して価値判断を差し挟まず避難行動へと繋げている点で，正常性バイアスを乗り越える，ある種究極の方法と言えるのではないか．そして，幼少期からこのフレーズに触れていることに，問題解決のヒントがありそうである．

3．長野県犀川砂防事務所の取り組み

文部科学省が定める学習指導要領によれば，「生きる力」（**図-3.1**）を涵養するため，能動的な災害対応能力の基礎を養うことが必要とされている．[1] 子どもの発達段階に応じて小学校１年生から中学３年生までの各教科に自然災害と地域特性に関連づけた教育内容が設定されている．[4)5)6)]

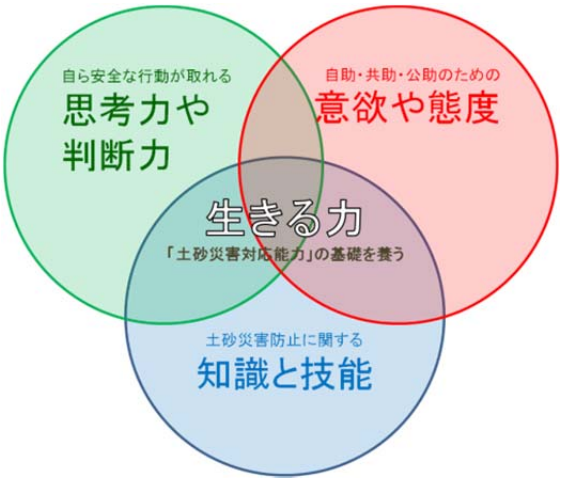


図-3.1　土砂災害防止教育の目的 [1]

子どもが学校で防災教育を受けた場合，家庭内での会話を通じて大人に対しても防災意識の啓発が期待できる．つまり，子どもへの防災教育が大人を含めた地域全体の防災力向上につながることが期待される．また，防災教育を受けた子どもは次世代の地域の担い手として防災活動に関わることが期待され，地域として防災意識啓発のサイクル形成が期待できる．[1)4)]

急峻な地形を有する長野県においては土砂災害に関する防災教育に重点が置かれているが，[5)6)] 現状では，全ての小中学校の教員が土砂災害に関する十分な情報を得ることは困難である．そこで，犀川砂防事務所では事務所を挙げて土砂災害に関する防災学習の支援に取り組んでいる．子どもには「次に何をしたらよいか？」を考えるきっかけとなるよう「体験を通し記憶に残る学習」を提供している．

(1) 座学

土砂災害の種類や原因についての説明は当然のこと，情報収集の方法や災害発生前後の心構えなども交えて座学を行う．砂防関係者の間で使っている専門用語は，子どもはもちろん一般の大人に対しても通じない場合が多いことを意識して丁寧な説明を心がけている．専門用語は平易な言葉で換言し，細かい数値よりも「体感」を重視した内容としている．

学校の指導計画に沿った支援内容とするためには，担当教諭と事前に十分な打合せを行い，時には教科書を借り受けて学習範囲を確認し，指導計画を逸脱しない配慮が不可欠である．学校教育は文部科学省の学習指導要領に則して実施されるため，我々は支援の立場を崩さないことが肝要[1)]となる．

(2) 現場見学

多くの子どもは野外学習が好きである．生活圏内の砂防施設を見学することでその大きさや働きを体感でき，座学との相乗効果が期待できる．（**写真-3.2.1**）学習と遊びの境界を曖昧にすることで，防災を実生活の問題として捉えてもらうことを狙っている．実際，自分達の遊びのテリトリーに危険箇所や砂防施設があることを知ると興味津々である．ただし，事故防止のため十分な下見を行い，動線設定や見学スペースを確保するなど事前準備が必要である．



写真-3.2.1　大型砂防堰堤の現場見学

(3) 土石流実験装置

犀川砂防事務所は大型の土石流実験装置を保有している．（**写真-3.3.1**）

砂防施設の効果は画面だけでは伝わりにくい．水と砂利を使う実験は子どもの興味を引き，土石流を安全かつ容易に疑似体験できる．「実験」という響きも子どもには刺激となっており，臨場感，音や空気感を体験することで座学との相乗効果が期待できる．



写真-3.3.1　土石流実験装置

(4)　被災体験講話

地域の年長者から被災体験を聞くことも土砂災害への理解を深めるために有効である．特に，長野県で災害が多発した平成１６，１８年以降に生まれた子どもが小学校へ入学する年齢となって来ており，災害を知らない世代へ被災体験を継承していかなければならない．犀川砂防事務所では管内市町村の協力を得て，地域別に被災体験講話に協力いただける方と面談し，講師リストを作成した．理解度を高める工夫として，現場見学と併せて被災現場で講話を行うこともある．（**写真-3.4.1**）



写真-3.4.1　被災体験講話

(5)　体験型学習（中学生以上対象）

安全に避難するためには「安全な避難経路」を通ることが望ましい．市町村から公表されるハザードマップには避難所と危険箇所が示されているが，安全な避難経路という観点で見ている人がどれだけいるだろうか．

体験型学習は航空写真に自宅（青），避難所（緑），危険箇所（赤）のシールを手作業で貼ることを通して，**平面情報を空間認識に変換する**作業である．（**図-3.5.1**）「シールを貼る」という単純作業に特化する事で，危険箇所を意識する余裕が生まれ，ハザードマップに記載されていない「子どもの視点から見た危険箇所」を独自に追加するなどの応用技を繰り出す子どももいる．多くの子どもは手を動かすことが好きである．主眼は情報を認識に変換することであるが，子ども自らの手を動かすことで，理解度を高める効果を狙っている．

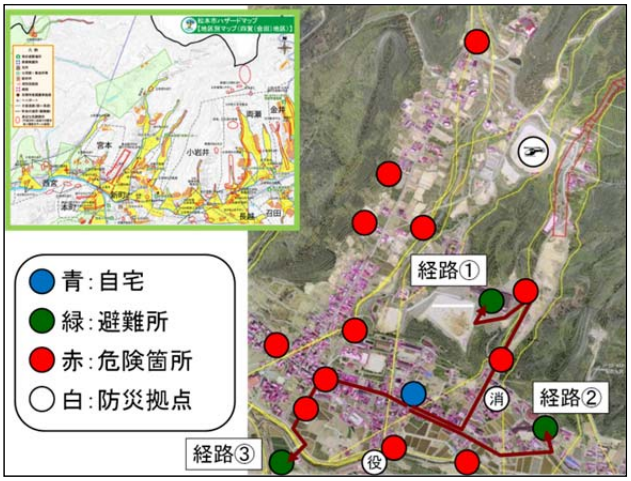


図-3.5.1　体験型学習で作成した避難経路図

４．今後の展開と課題

平成２４年度に手探り状態で始めた防災学習支援は今年度で４年目を迎え，管内の小中学校においては徐々に定着しつつある．子どもの反応を見ながら実施内容にも都度改良を加え，実績として前述５つのスタイルを形成することができた．座学，現場見学，土石流実験装置，被災体験講話，体験型学習をバランス良く組み合わせることで，学校のニーズに合致する提案が可能である．本年度は６校で実施予定である．

昨年度，新たな展開として，地域防災力の向上促進を目的に大人向けの啓発活動を開始した．平成２６年１１月３０日に安曇野市明科地区で行われた「地域で土砂災害に備える集い」に土石流実験装置を持ち込み，実演を行った．（**写真-4.1**）実演後に「砂防堰堤は，満砂後は効果がないのではないか？」といった質問があり，満砂後でも一定の土砂捕捉効果があることが，一般の方にはわかりにくい事象であると再認識した．

防災講演の後にはハザードマップと航空写真を用いて自宅周辺の危険箇所を確認し，安全

な避難経路を確認した．イベント終了後，航空写真と色シールを持ち帰り自由としたところ全１４地区が持ち帰り，その後の自主的な防災活動に役立てている．



写真-4.1　H26.11.30「地域で土砂災害に備える集い」安曇野市明科※中央は宮澤宗弘安曇野市長

このイベントでは，土石流実験装置の実演と体験型学習が，大人に対しても有効であることが確認できた．さらなる展開として，ＰＴＡや地元消防組織の研修会等への進出を狙いつつ，地区防災マップ作成支援や情報基盤総合整備事業との連携も検討している．[7)]

今後，学習内容のブラッシュアップは当然の課題であるが，最大の課題は継続性である．どの事務所でも共通の課題であると思われるが，取り組み体制に温度差が生じ活動が継続しなくなることを懸念している．地域防災力の向上を図るには継続的な防災学習を行い，世代をこえて防災意識を浸透させる必要がある．事務所として，防災学習支援の継続を考えていきたい．

５．おわりに

長野県においては，大雨と土砂災害は一体で考える必要があると考える．静岡大学防災総合センター牛山素行教授(長野県出身)は『日本で，山と川がある場所にその地域としては多量の雨が降って，(内水だけじゃなくて河川からあふれるくらいの)洪水だけが発生して山は一切崩れない，なんて状況は，ちょっと想像がつかない．斜面がある場所では河川洪水と土砂災害はほぼセットだと考えて，対応する必要があるだろう.』[8)]と述べている．また，大雨だけでなく，融雪や地震も土砂災害の原因になり得ることも忘れてはならない．

土砂災害は自然現象と社会生活の接点において発生する．風光明媚で雄大な自然に囲まれた長野県では，日常生活圏での出来事である．防災行政に携わる者として，このことを常に意識できるような啓発活動が求められていると感じている．長野県犀川砂防事務所では「地域防災力の向上」を最終目標に掲げ，今後も防災教育支援を継続していきたいと考えている．

【参考文献】

1) 土砂災害防止教育支援ガイドライン（案）H21.3 国土交通省砂防部
2) 砂防基礎調査住民説明会用パワーポイント（平成 26 年度版）　長野県砂防課
3) 人はなぜ逃げおくれるのかー災害の心理学 H16.1 広瀬弘忠
4) 東日本大震災を受けた防災教育・防災管理等に関する有識者会議最終報告　H24.7 文部科学省
5) 小学校学習指導要領，同解説　H20.6 文部科学省
6) 中学校学習指導要領，同解説　H20.7 文部科学省
7) 「住民主導で作成したハザードマップ」長野県安曇野市明科南陸郷地区作成
8) 豪雨災害と防災情報を研究する disaster-i.net 別館「自然災害科学研究者静岡大学防災総合センター教授牛山素行による研究活動記録用ブログ」http://disaster-i.cocolog-nifty.com/blog/2014/06/post-7983.html

熊野大花火大会交通円滑化対策について

近藤弘司[1]・出口大治[2]・北村俊介[3]

123紀勢国道事務所　調査設計課（〒515-0005 松阪市鎌田町144-6）

毎年8月17日に行われる熊野大花火大会は、三重県東紀州地域最大のイベントであり、人口2万人の熊野市に20万人を近い来訪者が訪れる。例年、花火大会開催日には主なアクセスルートである現道国道42号は20ｋｍを超える渋滞が発生するなど、地域の大きな交通課題となっていた。

ここでは、国道42号と平成25年9月29日に全線開通した熊野尾鷲道路のダブルネットワークを活用した交通円滑化対策について紹介する。

キーワード：既存道路を賢く使い交通分散による交通円滑化・ＴＤＭ・地域の課題解消

１．はじめに

(1) 熊野大花火大会の概要

毎年8月17日に行われる熊野大花火大会は三百年余りの歴史があるとともに、東紀州地域最大のイベントであり、海上に半円状の花火を咲かせる三尺玉海上自爆や世界遺産 鬼ヶ城※から打ち上げられる鬼ヶ城大仕掛を一目見ようと、県内外から人口2万人の熊野市に20万人近い来訪者が訪れている。その会場は、国道42号に面した世界遺産 七里御浜※となっている。　（※構成資産）



図-1 花火大会の状況（左：花火大会会場　右：海上自爆）

(2) 来訪者の推移と渋滞状況

花火大会来訪者のほとんどが市外から主に自家用車で来訪する。このため、来訪者による交通集中が発生し、特に名古屋方面（尾鷲→熊野（下り））からの主なアクセスルートである国道42号では、高速道路である熊野尾鷲道路が開通する前の平成25年には会場を起点に、最大26ｋｍ、尾鷲～熊野間の通過に最大5時間を要する大渋滞が発生していた。また、花火開始時間になっても約16ｋｍの渋滞が継続し、ツアーバス14台が到着できず引き返すなど、渋滞解消は喫緊の課題であった。

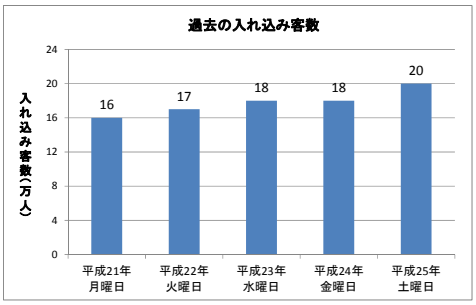


図-2 入れ込み客数の推移

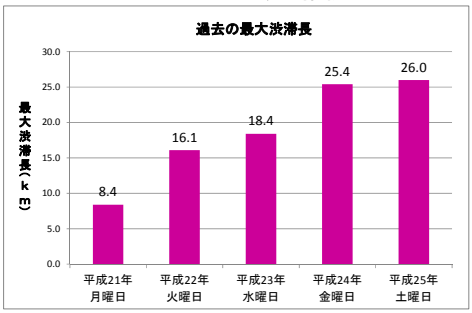


図-3 国道42号の最大渋滞長　尾鷲→熊野（下り）



図-4 平成25年の状況

（左：H25.9.11毎日新聞　右：国道42号渋滞状況）

(3) 熊野大花火大会交通円滑化協議会

この課題を解決するために、熊野尾鷲道路の開通前の平成25年2月に熊野市・警察・道路管理者・バス事業者・観光協会・商工会議所等、関係機関で組織する「熊野大花火大会交通円滑化協議会」を設立し、協働して渋滞解消を目指すこととなった。

2．道路状況の変化と課題

(1) 道路状況の変化と渋滞への影響

平成25年の花火大会以降は、紀勢自動車道・熊野尾鷲道路などの高速道路が開通することにより、交通の利便性が大幅に向上し、これまで以上に来訪者が増え、更に大幅な渋滞の悪化が見込まれた。渋滞は国道42号の花火大会会場付近を先頭に発生している。このため高速道路が開通し、熊野大泊ICまで国道42号とダブルネットワークとなっても、会場付近の交通容量は変化しない。

また、来訪者は高速道路によりスムーズに来場できると思い、花火開始時刻直前に来場すると予想され、その時のピーク率が昨年より高くなると見込まれた。このため、高速道路開通後の渋滞がより深刻化し、花火開始前までに到達できない車両が大幅に発生することが懸念されるとともに、国道42号と熊野尾鷲道路が交わる熊野大泊IC交差点が新たなボトルネックになることや、渋滞が延伸した際の交通処理方法などの問題も懸念された。



図-5 道路状況の変化と会場位置図

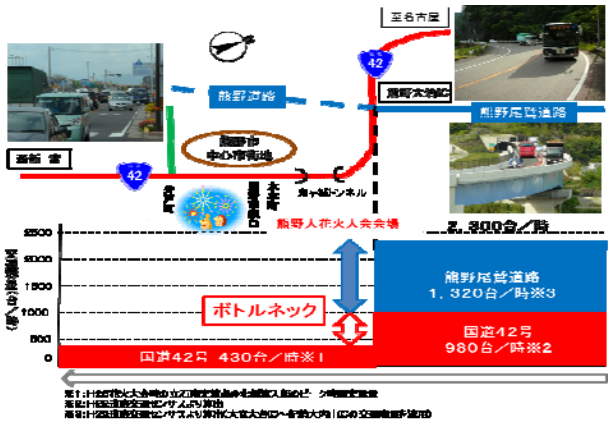


図-6 花火大会会場周辺の交通容量

(2) 熊野尾鷲道路で大渋滞を発生させた時の課題

高速道路開通後における渋滞の発生予測を行ったところ、平成25年と同程度の来訪者が訪れた場合、会場付近を先頭に国道42号で約11ｋｍ、熊野尾鷲道路にも約18ｋｍ発生することが予想された。このため熊野尾鷲道路の本線上での渋滞における下記のような課題が懸念された。

a) 渋滞を避けようとする交通が途中ICで下車し、狭隘な区間が残る国道311号に流入するなど地域の生活が混乱

b) 本線上においてUターンする車両が発生するなどの交通安全面

c) SA・PAが無いため、本線上でのトイレのための路肩駐車

d) 本線の約7割がトンネル構造であるため、渋滞による換気（一酸化炭素中毒）

3．熊野尾鷲道路を活用した交通円滑化対策

(1) 熊野尾鷲道路の通行規制

上記の課題を踏まえ、熊野大花火大会交通円滑化協議会では、会場周辺の道路を安全かつ円滑に利用して頂くために、熊野尾鷲道路の通行規制を実施することとした。

通行規制は、熊野尾鷲道路の下りをバスのみ通行可として運用し、一般車両は国道42号を通行させ、交通の分散化を実施した。

【バスのみ通行可として規制する目的】

a) 熊野尾鷲道路の通行出来る時間帯を限定し、朝からの来訪を促し時間的な交通分散を図る

b) 会場周辺に駐車場を増やすことは困難であり、また、鉄道も単線のため増発は不可能であり、ツアーバス等の利便性を高め、将来的に自家用車による来訪を減少させる

c) マイクロバスも通行可能とし、相乗り等も促す

d) バスは駐車場の事前予約を行っており、駐車場の混雑を避ける



図-7 熊野尾鷲道路通行規制チラシ

(2) 通行規制を周知する上での工夫

早い段階から、関係機関と度重なる協議を進め、「早めの意志決定と早めの広報」を実施するとともに、様々なツールを使用し広報を実施した。

また、初めての取組であり、マスコミの関心も高かったことから、発信時期・内容を考慮した記者発表を実施した結果、新聞10紙に計22回掲載されるなど、費用をかけずに周知を実施することができた。

【主な広報手段】

a) 花火大会公式HPでの一括した情報提供
　通行規制情報、駐車場情報、満空情報、過年度・当日の規制・渋滞情報など
b) 発信時期・内容を考慮した記者発表（事前3回）
c) 地元市町の広報誌へのチラシの折り込み
d) ポスター・チラシの配布・掲示
　道の駅・県市町・警察・関係団体など
e) 日本道路交通情報センターHPでの情報の掲載
f) 路側放送の活用（NEXCO・国土交通省）
g) 道路情報板の活用（NEXCO・国土交通省）
h) 案内看板の設置
i) PA・道の駅等でのモニターを用いた当日の情報提供
j) バス協会と連携した会員への周知

4．平成26年花火大会当日の状況

(1) 交通状況等

a) 来場者数

当日の午前三重県北部での降雨や、前日近畿地方で100mmを超える大雨であったことも影響し、来場者数は約17万人と前年より3万人減少した。

※H25は土曜日開催で約20万人

b) 交通量

当日の0時～22時の交通量は、花火大会会場に向かう名古屋方面（尾鷲→熊野（下り））、新宮方面（新宮→熊野（上り））の両方向とも前年度の約9割であった。

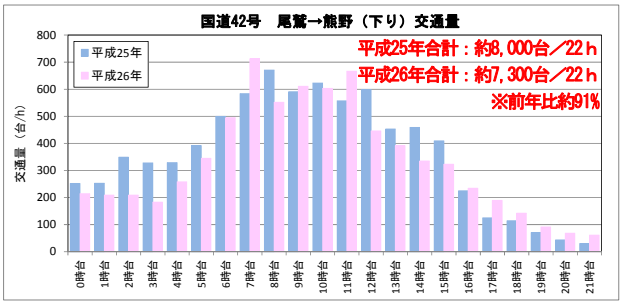


図-8 国道42号　尾鷲→熊野（下り）交通量

C) 渋滞長

会場を先頭とする渋滞は、名古屋方面（尾鷲→熊野（下り））からは、最大約8kmの渋滞が発生したが、昨年の約26kmと比べ、大幅に渋滞が減少した。

新宮方面（新宮→熊野（上り））からは最大約4kmの渋滞が発生したが、例年と変わらない状況であった。

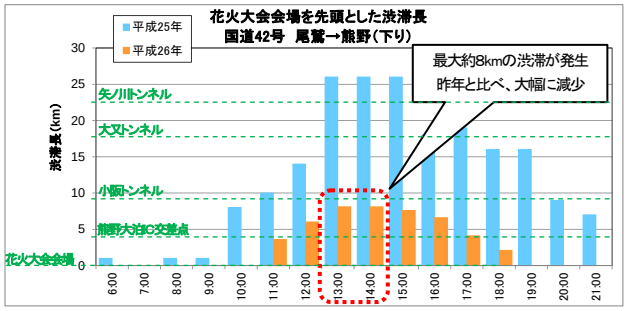


図-9 国道42号　尾鷲→熊野（下り）渋滞長

d) バスの状況

熊野尾鷲道路がバスのみ通行可となったことから、駐車場予約のあった137台全てのバスが花火大会開始前に到着することができた。

また、アンケート調査では、ツアーバス利用者の約7割の方が満足と回答し、自家用車による来訪者の約1割の方が来年も同様の通行規制が行われ、ツアーバスの利便性が得られた場合、ツアーバスへの利用に切り替えるという意向があると回答した。

これにより、バスの利便性を確保する施策の継続により、将来的なツアーバスの利用促進につながる可能性があることが確認できた。今後は、施策の更なる改良とともに、バスの利便性向上について利用者に積極的に広報を行っていく必要があると考える。



図-10 熊野尾鷲道路を利用するツアーバス

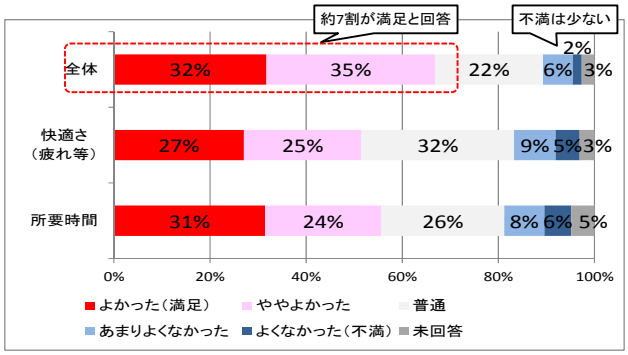


図-11 ツアーバスに対する満足度

(2) 渋滞が減少した要因

名古屋方面（尾鷲→熊野（下り））からの渋滞が大きく減少した要因について分析した結果を以下に示す。

a) 交通需要の時間分散

交通量は前年度の約9割であったが、1時～6時台までの早い時間帯に大きく交通量が減少しており、渋滞が発生している午前中（7時～12時台）は交通量が前年度と比較しても30台しか減少していないことがわかった。

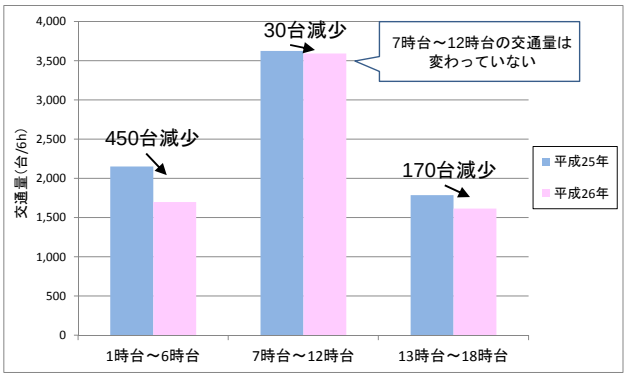


図-12 国道42号 尾鷲→熊野（下り）における6時間交通量

また、1時間毎の交通量で見ると、通行規制が開始される前の7時台の交通量が大きく増加し、通行規制後の8時台の交通量が減少している。

これは、熊野尾鷲道路を8時から通行規制することが事前に広く浸透し、通行規制前に通過しようとする交通需要の時間分散が図られたものと考えられる。

これにより、渋滞の立ち上がりを抑制し、渋滞が発生する時間を遅くすることができた。このことで、最大渋滞長の大幅な減少にもつながったと考えられる。

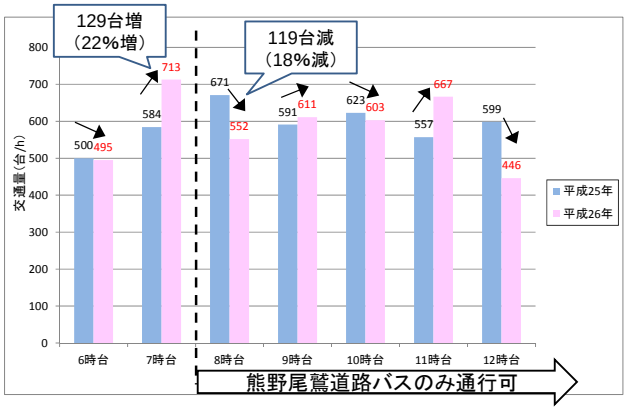


図-13 国道42号 尾鷲→熊野（下り）における時間別交通量

b) 熊野尾鷲道路のバスのみ通行可による効果

会場周辺の国道42号は12時より熊野市中心部への一般車両の進入が基本的に禁止され、井戸町交差点の右折レーンは閉鎖される。



図-14 熊野市内 位置図

しかし、ツアーバスは12時以降も井戸町交差点を右折し、その先の臨時駐車場に駐車することが可能なため、12時以降に到着するバスは、後続の直進車の通行を阻害して右折することになる。今回、熊野尾鷲道路をバスのみ通行可の規制を実施したことにより、ツアーバスの到着が12時前になったことから、図-17に示すようなツアーバスによる交通阻害の発生が少なくなり、国道42号の渋滞が減少した一因と考えられる。

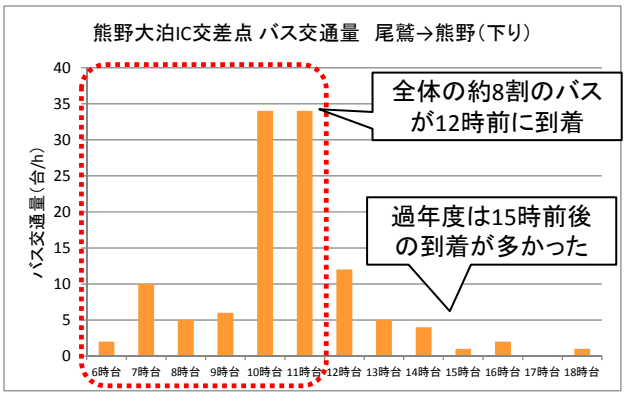


図-15 国道42号 尾鷲→熊野（下り）時間別バス交通量
（熊野大泊IC交差点）

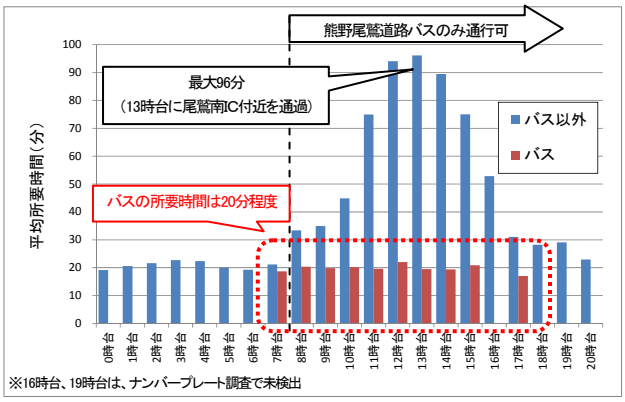


図-16 尾鷲南ICから熊野大泊ICまでの所要時間
（バス以外は8時以降国道42号利用）



図-17 井戸町交差点における交通阻害状況（午後）

また、尾鷲から熊野までの国道42号は矢ノ川峠・佐田坂という2つの大きな峠を越える必要があり、縦横断勾配が非常に厳しい急峻な山間部を走行することとなる。

熊野尾鷲道路のバスのみ通行可により、ツアーバスがこの山間部を通行せず、熊野尾鷲道路を通行したことで大型車混入率が4.0%から1.5%に低下するとともに、バスの足の遅さなど、渋滞を助長させる要因を排除できたため、渋滞長・通過時間の大幅な減少につながったと考えられる。

（8時～21時）

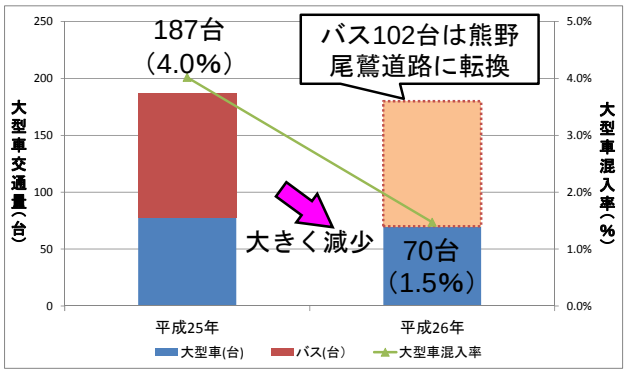


図-18 国道42号を通過する大型車の台数の変化

5．今後に向け更なる改善点の検討

今後の更なる改善のポイントは、国道42号の会場付近の交通容量（430台／時）を低下させず増大することが必要であり、平成26年の花火大会時の交通状況を詳細に調査し、渋滞要因を解消する必要がある。

以下にその要因を示す。

(1) 露天商による荷下ろし車両の路上駐車による渋滞

花火大会当日の午前を中心に、露天商が花火大会会場となる海岸に店舗の設営、商品の搬入のため、国道42号本線上に荷下ろし車両が路上駐車をしている事が判明した。

当該区間は比較的道路幅員が広いため、単路部に路上駐車している場合は、駐車車両の脇を通行することができるため大きな交通阻害とはならないが、車両を海岸へ進入するゲート近くに駐車すると荷下ろしが楽なため、ゲート近くの交差点内に路上駐車しているケースが多数確認された。そのため、交差点において右折待ちをする車両が発生すると、後続の直進交通の通行を妨げるため、渋滞発生の要因となっていることが明らかとなった。

対策として、露天商の荷さばきスペースを設置し、運用ルールの厳密化を行い、荷下ろし駐車方法等に対する指導の強化を行うことで、渋滞発生の要因となる路上駐車を抑制することが可能であると考える。

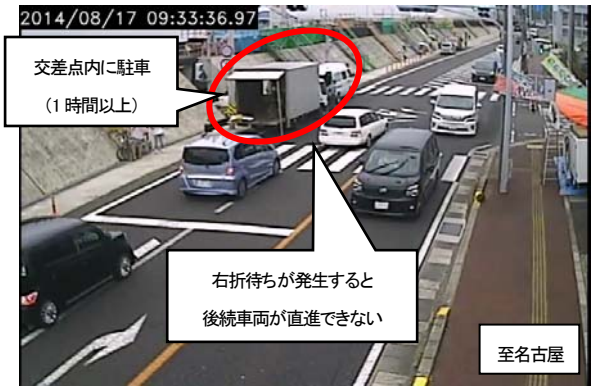


図-19 露天商の荷下ろし車両による渋滞（午前）

(2) 井戸町交差点の右折交通による渋滞

井戸町交差点は、国道42号と県道34号が交差する交差点であり、ナビゲーションによる誘導や、会場周辺の早い段階で熊野市中心部に入りたいという心理状態もあり、名古屋方面からの右折交通が特に増加する。

このため、テーパー長を超過した車両が後続の直進交通を阻害する状況が発生していた。



図-20 井戸町交差点の右折超過による渋滞（午前）

また、県道34号に国道42号からの右左折交通が集中することで先詰まりが発生する。

このため、国道42号から右折ができない状況となり、著しく交通容量が低下し渋滞の発生要因となっていることが明らかとなった。

これらの交通状況は10時過ぎから交通規制が開始される12時過ぎまで発生していた。



図-21 井戸町交差点の交差道路先詰まりによる渋滞（午前）

さらには、12時以降、井戸町交差点で一般車の交通が規制され、右折レーンが閉鎖されるため、直進レーンからバスが右折するため、後続の直進交通の通行を阻害している要因となっていることも判明した。

対策として、井戸町交差点の信号現示の見直しや、井戸町交差点を通行するバスの運行ルートの変更、井戸町交差点を右折する一般車両に対し、井戸町交差点より新宮側に位置する立石南交差点からの進入を促す案内を徹底するなどの対策により、現在発生している渋滞について改善することが期待される。

６．おわりに

今回、交通円滑化対策を実施したことで、長年解決できないと考えていた渋滞を大幅に緩和することができるとともに、花火大会当日の熊野市内の国道42号の交通状況を詳細に把握・分析したことで、新たな渋滞要因も判明した。

今回の対策の結果、「交通需要のコントロール（交通分散・早めの来場）」が重要であり、そのためには下記の視点がポイントとなる。

(1) マイカー来訪者

・渋滞回避のため早めの来場を促す方策
　※熊野尾鷲道路通行規制開始前の早めの来場を促すことにより、交通分散が図られる
・ツアーバスでの来場割合の向上を促す方策

(2) ツアーバス来訪者

・熊野尾鷲道路のバスのみ通行可による渋滞回避のインセンティブを与える方策を続けることでツアー数の増加を期待

(3) 来訪者全般

・早めの来場により待ち時間を快適に過ごしていただくためのイベント・休憩場所の充実
・待ち時間に徒歩で行ける観光地や物産展へ誘導することにより、熊野市への興味と次回の来訪を促進

今後も熊野市・警察をはじめ、観光協会・商工会議所等関係機関と密に協議を行い、更なる交通円滑化を目指し、より快適に花火大会に来て、過ごし、無事に帰っていただけるよう対策を実施していきたい。



図-22 高速道路の開通を祝う行燈

瀬田川の水辺に
新しい賑わいを生み出す取り組みについて

田尻　一朗[1]・山本　浄二[2]

[1]近畿地方整備局　河川部　河川管理課　（〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44）

[2]近畿地方整備局　河川部　（〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44）.

平成２６年度末に最終整備区間の完了により瀬田川散策路が全体完成し、瀬田の唐橋から瀬田川洗堰の間の水辺をぐるりと一周歩くことができるようになることを契機に、多くの人々が行き交う賑やかな瀬田川水辺空間へと移り変わっていくための”きっかけづくり”として約１年間段階的に様々な取り組みを行った.

本研究は、これらの取り組みについて報告するとともに、これから瀬田川の水辺に新しい賑わいを現実に生み出していくための更なる取り組みについて考察するものである.

キーワード　住民参加，地域連携，水辺

１．　はじめに

日本最大の湖である琵琶湖には１１８本の一級河川が流れ込んでいるが、琵琶湖から出ていく河川は瀬田川のみであり、琵琶湖の出口から約５キロメートル下流には琵琶湖の水位と下流への水の量を調節する「瀬田川洗堰」がある．瀬田川は、風光明媚な自然景観を残す河川で、周辺には、近江八景「瀬田の夕照」に描かれ、多くの文学作品に登場し古くから有名な「瀬田の唐橋」や、紫式部が源氏物語の着想を得た地として有名な「石山寺」をはじめ、千二百年以上もの時を刻むお寺や神社などがある.

瀬田川の水辺整備事業は、環境に配慮した護岸や河川管理用通路を整備するもので、河川管理用通路整備により、効率的で確実な河川施設の巡視・点検が可能となるとともに、瀬田の唐橋から瀬田川洗堰間の水辺を途切れることなく移動でき、河川利用者が水辺を安全・快適に移動可能となるものである．（**写真－１**）

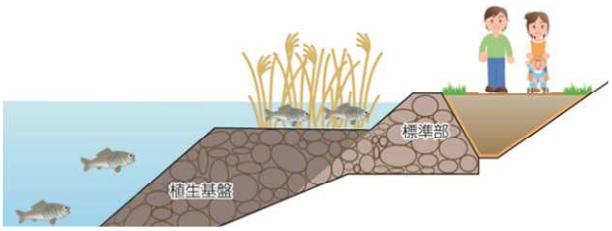
平成元年度より事業を進めてきた瀬田の唐橋から瀬田川洗堰間の左右岸約４．６ｋｍの水辺整備が平成２６年度に完了し、利用者が瀬田の唐橋から瀬田川洗堰間の水辺の散策路をぐるりと一周約８．５ｋｍ歩くことができるようになった．（**図－１**）（**写真－２**）

これまでこの散策路は、整備が完了した区間から順次共用し瀬田川散策路として沿川住民等にご利用いただいてきたが、認知度の低さや散策路のルートがわかりにくい等の課題があり（**写真－３**）、利用者数が少ない状況であった．そこで平成２６年度末の散策路の全体完成を契機に、多くの人々が行き交う賑やかな瀬田川水辺空間へと移り変わっていくことを目的に瀬田川散策路の「親しみ感の向上」、「利用利便性の向上」、「認知度の向上」、「賑わいの創出」といった観点で約１年間段階的に様々な取り組みを行った.

本研究は、多くの人々が行き交う賑やかな瀬田川水辺空間へと移り変わっていくための”きっかけづくり”として実施した様々な取り組みを報告するとともに、これから瀬田川の水辺に新しい賑わいを現実に生み出していくための更なる取り組みについて考察するものである.



写真－１　瀬田川水辺整備区間位置図



図－１　水辺整備イメージ



写真－２　水辺整備状況



写真－３　わかりにくい散策路ルート・標識

２．　新しい賑わいを生み出す取り組み

瀬田川散策路に対する「親しみ感の向上」、「利用利便性の向上」、「認知度の向上」、「賑わいの創出」といった観点で、以下の目的・内容の取り組みを約１年間かけて段階的に行った．（図－２）

STEP1　H25.10～H26.3
「親しみ感の向上」
○散策路「愛称」と橋の「名前」一般公募
瀬田川散策路写真コンテスト

STEP2　H26.6～H27.2
「利用利便性の向上」
○散策路のサイン計画検討・標識の整備

STEP3
「認知度の向上」
○最終整備区間橋完成式典（H27.2.14）
○瀬田川散策路ウォークラリー（H27.3.22）

STEP4
「賑わいの創出」
○ミズベリング大津・瀬田川会議（H27.3.22）

次の展開

図－２　取り組みフロー

STEP1：「親しみ感の向上」
a)散策路の「愛称」と橋の「名前」一般公募
瀬田川散策路写真コンテスト（H25.10～H26.3）

瀬田川散策路が平成２６年度で完成するにあたり、瀬田川散策路が地域住民のみなさまに益々親しまれるよう瀬田川散策路の「愛称」と平成２６年度最終整備区間の橋の「名前」の一般公募と、「瀬田川散策路からのすばらしい風景写真コンテスト」を実施した．ホームページでの周知に加え、瀬田川沿川の自治会への組回覧でチラシを配布し、沿川住民の皆様に幅広く周知されるよう取り組みを行った．（図－３）



図－３　「愛称」等募集チラシ

瀬田川散策路の「愛称」については、応募総数２３６点の中から、瀬田の唐橋から瀬田川洗堰までの間をぐるっと一周できることを「ぐるり」、散策路のことを「さんぽ」とつけることで大変わかりやすくて親しみやすい愛称であることから、「瀬田川ぐるりさんぽ道」という愛称を選定した．

最終整備区間の橋の「名前」については、応募総数２０６点の中から、千丈川のほたるを守っていきたい、知ってもらいたいという思いが込められた「ほたる」という言葉が入った名前の応募が多くあり、その中で「南

郷」という場所を表す言葉を合わせて、大変わかりやすく親しみやすい名前であることから「南郷ほたる橋」という名前を選定した．写真コンクールでは、最優秀賞１点と特別賞５点を選定し、後日ウォーターステーション琵琶にて選定写真の展示会を開催した．

これらの結果報告チラシを作成し、募集のお知らせと同様にホームページでの周知に加え、瀬田川沿川の自治会への組回覧でチラシを配布し、沿川住民の皆様に幅広く周知されるよう取り組みを行った．（図－４）



図－４　「愛称」等決定報告チラシ







写真－５　アンケート用紙とアンケート状況

STEP2：「利用利便性の向上」
散策路のサイン計画検討・標識の整備
（H26.6～H27.2）

瀬田川散策路（以下「瀬田川ぐるりさんぽ道」）沿いには十分な案内標識が無く、瀬田の唐橋から瀬田川洗堰に移動するまでの間でルートを間違えてしまう箇所があった．

また、「周辺に設置しているトイレの位置がわからない」、「公共交通機関の位置がわからない」などの地元住民からの意見があがっており、利用者にとってわかりにくい状態となっていたため、利用者の利便性向上を目的に親しみ感のある案内・誘導・注意標識を要所に設置する計画を立てた．（写真－４）



写真－４　標識設置状況

案内・誘導・注意標識の設置箇所については、「瀬田川ぐるりさんぽ道」に来られる利用者に対してルートを案内し、あわせて周辺の観光情報提供を主目的に立案した．普段、「瀬田川ぐるりさんぽ道」を利用している方も距離がわかるなど便利になるように、さらに初めて訪れる人でも迷うことなく周遊することができ、訪れた人が一足伸ばして、周辺の観光施設にも訪れることができるなど、周遊促進を図ることを重視した．

案内・誘導・注意標識のデザインについては、瀬田川沿川が大津市の条例で風致地区に指定されていることや、瀬田川水辺協議会提言「瀬田川のあるべき姿」で瀬田川散策路の利用上のルールや景観への配慮等を踏まえるとともに、利用者の立場に立ち“親しみやすさ”と“わかりやすさ”を重視したデザインとするため、標識サンプル（ロゴ３種・カラー４種）を作成し、利用者を対象にアンケート調査を実施した上で（写真－５）、過半数の方に支持を得た標識デザインを決定した．（図－５）



図－５　アンケートにより決定した標識デザイン
（ロゴとカラー）

さらに、国土交通省が定めた「観光活性化標識ガイドライン」「地図を用いた道路案内標識ガイドブック」に則り、英語対応や身体障害者対応などについても考慮したデザインとした．

ユニバーサルデザイン対応については、主な地名の表記は日本語及び英語併記が基本ではあるが、すべてに併記すると地図面が煩雑になり、見にくくなることから、距離および方向の基準としている「瀬田の唐橋」「瀬田川洗堰」のみを併記とし、注意情報に関してはピクトグラムでの表記にとどめた．（図－６）



図－６　ピクトグラムを用いたサインデザイン

瀬田の唐橋、瀬田川洗堰周辺や散策路と公道の分岐点には、要望の多かったトイレの位置や公共交通機関や観光施設を明記した地図を設置した．（図－７）



図－７　トイレの位置や公共交通機関等を明記した地図

「認知度の向上」を図るため、様々なウォーキングイベントを実施運営している滋賀県ウォーキング協会へ直接広報し、会員の方々への周知をお願いするとともに、他府県ウォーキング協会への情報提供の協力を依頼した．（図－８）



図－８　参加者募集チラシ

(2) STEP3：「認知度の向上」

a) 南郷ほたる橋完成式典（H27.2.14）

平成２７年２月１４日に南郷ほたる橋完成式典を開催．開通式典には、ご来賓や地域のみなさま、関係者のみなさま約５０名にご列席いただき、南郷ほたる橋の完成を祝うテープカットや、ほたるの学校の生徒が描いた絵画をもとにした２枚の陶板の除幕式開催後に渡り初めを行い、親しみ感と認知度の向上を図った．（写真－６）

ご列席いただいた方からは「初めて見る景色に感動しました」「これから安全で便利になる」などのコメントをいただいた．



写真－６　南郷ほたる橋完成式典状況

b) ウォークラリーイベントの開催（H27.3.22）

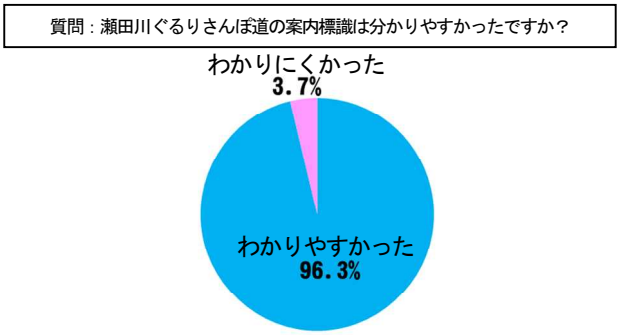
散策路周辺に設置した全３７箇所の案内・誘導・注意標識により「親しみ感の向上」と「利用利便性の向上」が図られたか確認するため利用モニタリング調査と、「瀬田川ぐるりさんぽ道」の「認知度の向上」を目的として「瀬田の唐橋」から「瀬田川洗堰」の間の水辺の散策路をぐるりと１周８．５ｋｍのコースのウォークラリーイベントを実施した．

平成２７年２月に完成した「南郷ほたる橋」や唐橋東詰の雲住寺など計１１カ所の沿川見所チェックポイントを設置し、琵琶湖河川事務所職員や石山観光協会さん、滋賀県ウォーキング協会さん、雲住寺さん、ウォーターステーション琵琶の会の皆さん等のボランティアスタッフによる見所解説も実施し、３２２名の方に瀬田川の景色を楽しみながら散策を楽しんでいただいた．瀬田川の水面では、瀬田漕艇倶楽部の皆さんのご協力でたくさんのレガッタやカヌーが繰り出し、ウォークラリーイベントを盛り上げていただいた．（写真－７）



写真－７　ウォークラリー開催状況

ウォークラリー参加者に対して、案内・誘導・注意標識により利用利便性が向上したか確認するアンケートを実施した結果、９６．３％の方がわかりやすかったと評価されたことから、散策路の利用利便性の向上が図られたものと考えられる．（図－９）



図－９　アンケート結果

＜わかりにくかった主な理由＞
・トイレの明示が少なかった
・左岸側のルートの表示間隔が長すぎて、わかりにくかった
・標識の文字をもう少し太字にしてほしかった

⑶ STEP4：「賑わいの創出」
ミズベリング大津・ 瀬田川会議の開催（H27.3.22）

瀬田川の水辺に興味を持つ市民や企業の方々と行政が一体となって、瀬田川の水辺から新しい賑わいを生み出すきっかけづくりとして、ミズベリング大津・瀬田川会議を開催し、瀬田川に関わる地元住民、学生、大学関係者、NPO団体、商工会議所、観光協会、博物館職員、公務員、河川レンジャー等の計６０名の方が、肩書きを外して各テーブルで瀬田川の未来のカタチを自由に発想するワークショップを実施した.
（図－１０）（写真－８）



図－１０　参加者募集チラシ



写真－８　ワークショップの状況

会場全体からアイデアが生まれ出やすい環境を整える工夫として、各班で出たアイデアを即座にイラスト化し、正面のスクリーンでアイデアを即座に共有しながらワークショップを進行した.　（写真－９）



各班からアイデア聞き取り


アイデアを即座にイラスト化


アイデアイラストを集約


スクリーンで同時に共有
写真－９　アイデア共有状況

その結果、「瀬田川の水辺で朝市」、「巨大ビワコオオナマズを瀬田川に浮かべる」、「瀬田川の水辺でカイツブリビアガーデン開催」など様々なアイデアが飛び出した.

参加者からは、「瀬田川の未来のカタチが自由に発想できた」、「自分のアイデアが具体化されてイメージができた」、「アイデアの中から一つでも実現できれば」、「また開催してほしい」などの意見があり、瀬田川水辺の新たな賑わいを創出するきっけづくりとなる、官・民の横のつながりができたと考えられる.
（図－１１）



図－１１　瀬田川の未来のカタチ　アイデア

＜ワークショップで出たアイデア＞
【安らぎ・修景施設】
・巨大オブジェ（ビワコオオナマズ、シャーク）
・水上でお昼寝ができる浮島
・水辺で日向ぼっこ
・花しょうぶ園
・水辺de 足湯
・噴水
・展望台
・水辺のライトアップ
・水中トンネル
・バードウォッチング

【娯楽・アクティビティ】
・スポーツ施設（プール、ゴルフ場、ジム等）
・洗堰サーフィン
・ドッグラン
・アスレチック

・水上スキー
・水上観覧車
・カジノ
・吊り橋
・風雲たけし城的アトラクション
・橋の下の映画鑑賞
・フライボード
・Zorb（ゾーブ）

【食・コミュニケーション】
・水の駅（朝市）
・ビアガーデン
・水中コンサートホール
・水中カフェ
・焼肉船（近江牛）

【イベント】
・水辺サイクリング大会
・水辺ランニング大会
・唐橋からアヒル（ラバーダック）レース
・ボートレース

【交通・運搬】
・水陸両用バス
・船底が透明な遊覧船
・渡し船
・橋桁に絵を描く
・洗堰に歩道と自転車道
・水上で休憩できる遊歩道

３．様々な取り組みの検証と今後の取り組み

「親しみ感の向上」の観点で行った散策路の「愛称」と橋の「名前」の一般公募、瀬田川散策路写真コンクールについては、特に瀬田川沿川の住民の皆さんに多くご応募いただき、瀬田川散策路は「瀬田川ぐるりさんぽ道」という親しみやすい愛称に決定し、橋の名前も「南郷ほたる橋」という親しまれる名前に決定したが、この取り組み自体を一般公募による住民参加型で行ったことで瀬田川散策路、瀬田川への「親しみ感の向上」にたいへん効果的であったと考えられるとともに、決定した「愛称」、「名前」を以降「利用利便性の向上」、「認知度の向上」において使用することとなり、更に「親しみ感の向上」に効果的であったと考えられる.

「利用利便性の向上」の観点で行った散策路のサイン計画、標識の設置については、瀬田川ぐるりさんぽ道の初めての利用者でもルートを迷わずに周遊できるように、また、観光施設へ訪れることもできるように設置箇所と設置箇所に応じた標識内容となるように工夫したことで、利用者アンケート結果からも、おおよそ目標は達成出来たと評価できる。また、標識デザインの決定にあたっても、利用者を対象にアンケート調査を行う住民参加型で行ったことで、「親しみ感の向上」の観点でも効果的であったと考えられる.

「認知度の向上」の観点で行った南郷ほたる橋完成式典やウォークラリーイベントの実施については、瀬田川沿川住民だけではなく、滋賀・京都・大阪方面等への参加呼びかけの段階で「認知度の向上」に効果を発揮しているとともに、後日、新聞記事で取り上げられたことで、合わせて「認知度の向上」に効果的であったと考えられる.

「賑わいの創出」の観点で行ったミズベリング大津・瀬田川会議の開催については、瀬田川に関係する様々な方々と肩書きを外して瀬田川の未来のカタチを自由に発想し、大変多くのアイデアが飛び出し、瀬田川の水辺の新たな賑わいを創出するきっかけとして大変有意義な試みであったと考えられる.

４．おわりに

約１年間段階的に行った様々な取り組みはいずれも”きっかけづくり”としては大変効果的であったと考えるが、今後、この流れを活発化していくためには官（行政）・民間（企業、住民、NPO 等）の横のつながりの協働体制をしっかり構築していくことが重要であるとともに、何より継続してこのような取り組みを行っていくことで、新しい賑わいを生み出し、多くの人々が行き交う賑やかな瀬田川水辺空間へと移り変わって行くものと考える.

※本論文の内容は、山本、田尻の従前の所属である琵琶湖河川事務所調査課における業務に基づくものである.

謝辞：瀬田川の水辺に新しい賑わいを生み出す取り組みにご協力頂きました瀬田川沿川住民の皆様方、石山観光協会、滋賀県ウォーキング協会、雲住寺、瀬田漕艇倶楽部、ウォーターステーション琵琶の会、ミズベリング・プロジェクト事務局、その他関係機関等のご理解とご協力に対して深く感謝の意を表し、本報告の結びとさせていただきます.

交通安全事業における合意形成の取り組み

土居　修人
中国地方整備局　山口河川国道事務所　交通対策課　（〒747-8585 山口県防府市国衙１丁目 10－20）

事故ゼロプランとして取り組んだ一般国道 188 号　神代交差点改良事業では，利用実態を反映した効果的な事故対策を行うために，事業計画の立案段階において，地元・学校・警察・道路管理者・自治体が参加したワークショップを開催し，道路利用者の生の声を聞いて事業を進めた．平成 27 年 4 月に事業が完成したことから，事業の進め方についてワークショップ参加者にヒアリングを行い評価と改善点についてとりまとめを行った．

キーワード　合意形成，ワークショップ，ヒアリング

1.　はじめに

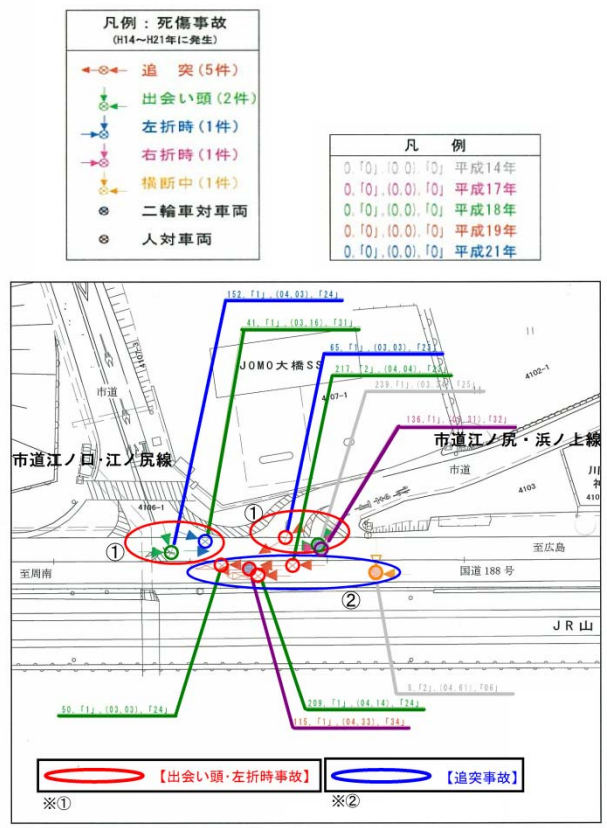
国道 188 号は，山口県岩国市を起点として下松市に至る延長 72.4km（内 4.7km は岩国南バイパス）の一般国道であり，地域の社会・経済活動を支える幹線道路である．神代交差点は，柳井市の岩国市境に近い神代地区にある交差点であり，接続する市道江ノ口・江ノ尻線を経由して大島大橋に行けるため，本交差点を右折する交通が多いのが特徴となっている．（**図－1**）



図－1.　位置図

しかし，当該箇所は国道 188 号に，市道江ノ口・江ノ尻線，市道江ノ尻・浜ノ上線が鋭角に取り付く K 字型の交差点であり，国道から市道，市道から国道への流入・合流位置が分かりにくい．そのため，国道合流時の「出会い頭・右折時事故」（**図－2** 主に赤楕円※①付近）や，判断の遅れた車両の「追突・接触事故」（**図－2** 主※②付近）が多発しており，さらに横断中の道路利用者との接触事故も起こっている．

このため，地域住民の方から安全性の向上を求める声が挙がっていた．交通安全事業は，より早急な対策と道路利用者の立場から整備計画を考えることが重要である．そこで，地域住民や警察，道路管理者（国・市）を交えたワークショップを行い，道路利用者をはじめとする様々な意見を取り入れることで，利用実態を反映した事故対策を行った．さらに，交差点改良完成後ワークショップ参加者にヒアリングを行い，事業の進め方への評価と，完成後の事故削減効果について調査を行った．



図－2.　神代交差点 事故図

2.　ワークショップについて

本ワークショップは，事前に道路管理者が取りまとめた交差点改良計画案について，最終決定の前に道路利用者の参考意見を取り入れ，地域の特性を活かした計画作りを行う目的で開催した．

特に，交通安全事業において，地元住民の事業への協力の是非が事業を進めるための重要なポイントとなっている．スムーズな合意形成を図るためにも，道路利用者の生の声を聞き，事業計画における立案の過程に参加して頂くことは事業の必要性を理解して頂くためにも重要である．（**写真－1**）



写真－1.　第１回ワークショップ　風景

（1）　第１回ワークショップ H23.6.27

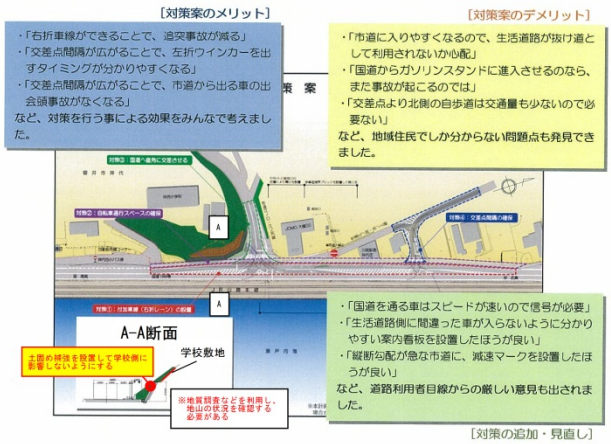
参加者は 33 名（内 地元関係者 17 名，柳井警察署１名，柳井市役所 10 名，国交省３名，コンサル２名）．第 1 回ワークショップでは，神代交差点の現状把握と，道路構造令を元に設計の基本の理解を深め，それを参考に事故原因の課題抽出図の作成を行った（**図－3**）．



図－3.　第１回ワークショップ　課題抽出図

（2）　第２回ワークショップ H23.11.14

参加者は 24 名（内　地元関係者 9 名，柳井警察署１名，柳井市役所 10 名，国交省２名，コンサル２名）．第 2 回ワークショップでは，前回抽出された課題を再度絞り込み，対策案図を作成した．（**図－4**）



図－4.　第２回ワークショップ　対策案図

3.　事故対策

当該箇所は，国道 188 号柳井地区において，ヒヤリハット件数ワースト１位となっており，事故発生

率も高くなっている．

「1．はじめに」で前述した通り，当該箇所はK字の交差点となっており，交差点間隔も短いために流入位置が不明確であり「出会い頭・右折時事故」が起こっている．また，長い直線区間であるため速度超過となり易く，滞留した右折車両への「追突事故」が多発している．（**図－2** 参考）

そこで，事故原因から考えられる対策内容の抽出およびワークショップで出された意見を反映させた事故対策を行った．

（1）出会い頭･右折時事故

国道 188 号に取り付く，市道江ノ口・江ノ尻線から国道へ流入する際，見通しが悪く，出会い頭事故が多発している．（**写真－2**）また，江ノ尻･浜ノ上線から国道へ流入する際，広島側への見通しが悪いことや，一時停止を無視する車両などが多く見られた．（**写真－3**）



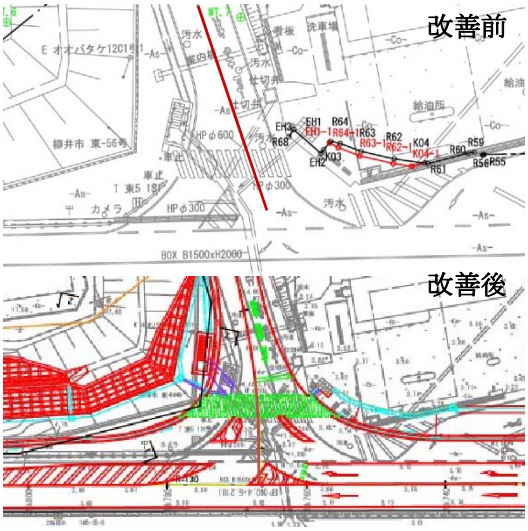
写真－2．　市道江ノ口･江ノ尻から国道 188 号を望む



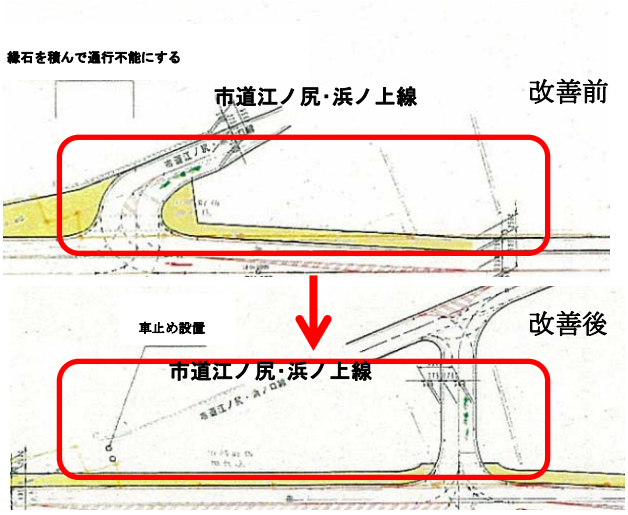
写真－3．　市道江ノ尻･浜ノ上線から広島方面を望む

a）対策：線形改良

道路利用者の声より「市道江ノ口･江ノ尻線から国道 188 号に合流する際，木が生い茂っており周南方面から来る車が見にくい」「市道江ノ尻･浜ノ上線が国道 188 号に対し斜めに取り付いており，広島方面から来る車が見にくい」という意見が挙がった．また，道路構造令より「原則として，交差点は直角に近いものとする」ことから，市道江ノ口･江ノ尻線と市道江ノ尻･浜ノ上線の国道 188 号への取り付き方を直角化し，国道への見通しを改善する計画とした．（**図－5，6**）



図－5．　市道江ノ口･江ノ尻線 線形改良



図－6．　市道江ノ尻･浜ノ上線 線形改良

（2）追突事故

国道 188 号を岩国市から周南市に向かう方向に，右折車両の滞留が出来ている．そこに，長い直線で速度超過した車両が「追突事故」を，右折待ちの車両の脇を強引に通過する車両が「接触事故」を起こ

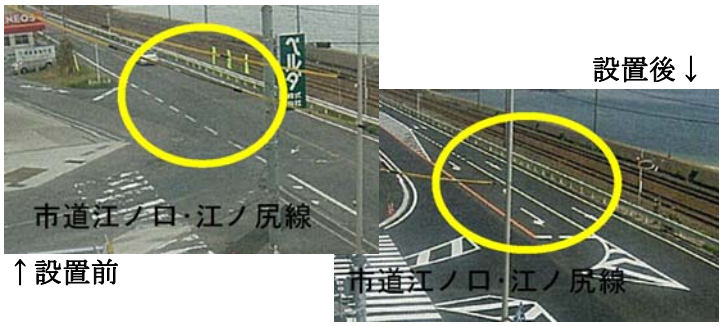
している．（**写真－4**）



写真－4.　滞留中の右折車両

b）対策：右折車線の設置

道路利用者の声より「交差点があることが分からない」「右折車両が突然ウインカーを出すので危険」という意見や，道路構造令より「原則，平面交差点には右折車線を設ける」ことから，国道 188 号から各市道への右折車線（K 字交差点にて補足説明）を設置することで，右折車両と直進車両を分離する計画とした（**写真－5**）



写真－5.　右折車線取付け

（3）K 字交差点による不明確な流入位置

交差点付近は，国道 188 号と 2 本の市道が会合する K 字の交差点であり，なおかつガソリンスタンドの出入り口が近接している．そのため，国道から市道への流入位置が分かりにくく，判断の遅れた車両が「出会い頭事故」や「追突事故」を起こしている．（**写真－2, 6**　図－2 出会い頭左折時事故※①参考）

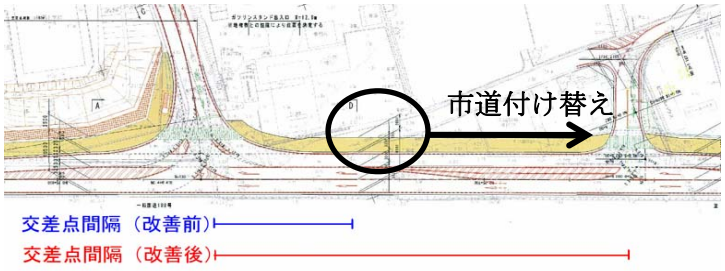


写真－6.　市道江ノ口･江ノ尻線から国道 188 号を望む

c）対策：交差点間隔の改善

道路利用者から「交差点間隔が近く右折車両がどちらの市道へ流入するのか分からない」との声が挙がっている．また，道路構造令にも「交差点における主流交通は，できるだけ直線に近い形とし，かつ主流交通の側に 2 以上の脚が交会しないようにする」とある．

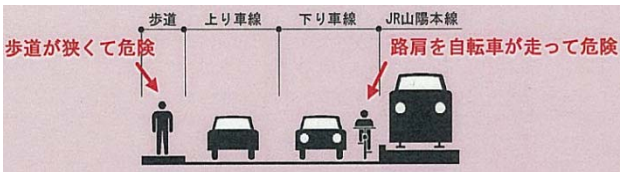
このことから市道の取付け位置を変更し，K 字交差点であったものを，市道江ノ口･江ノ尻線と国道 188 号，市道江ノ尻･浜ノ上線と国道 188 号の 2 箇所の T 字交差点とする改善を行った．（**図－7**）



図－7.　交差点間隔の拡幅

（4）国道車道における自転車通行

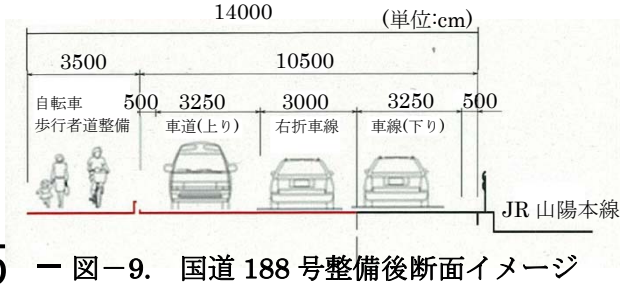
地元住民から「国道 188 号下り線側を，中学生が自転車で走行していてとても危ない」との意見が挙がった．上り線側に歩道があるものの，十分な歩道幅が確保されておらず，歩行者と自転車のすれ違いが困難である．このことから，歩道を走れない自転車が下り線側の狭い路肩を走行していることが考えられた．（**図－8**）



図－8.　国道 188 号状況断面イメージ

d）対策：歩道幅の見直し

上り線側の歩道を拡幅し，自転車通行の利便性を確保することで，自転車･歩行者の双方が安全に利用できる空間の整備を行った．（**図－9**）



図－9.　国道 188 号整備後断面イメージ

4. ヒアリング・アンケート調査結果

H27.6.9 にワークショップや事業への評価について，当時のワークショップ参加者 8 名（鮮魚店，ガソリンスタンド, 東浜旧自治会長, 西浜旧自治会長，柳井市交通安全協会神代支部 支部長, 柳井市連合婦人会大畠地区婦人会 副会長, 大畠中学校 愛育会 会長，学校ボランティア 地域コーディネーター）に加え，東浜・西浜現自治会長 2 名を含めた計 10 名に対してヒアリング調査を，歩道拡幅を行った場所を通学路として利用する大畠中学生 7 名に対してアンケート調査を行った．

(1) ヒアリング調査結果

ヒアリングでは 5 つの質問を設定した．質問に対する結果と考察をそれぞれ記していく．（**図－10**）

a)「今回ワークショップを開催したことで道路構造の課題や交差点事業の必要性の理解を得ることは出来ましたか（ワークショップに参加していない現自治会長 2 名は除く）」

対象者全員から肯定的な意見を得ることが出来た．主な意見として，「様々な立場（地権者間・道路管理者・警察など）の意見を聴くことができ，事業の認識が深まった」などがある．

b)「皆さんの意見は計画に反映されましたか（ワークショップに参加していない現自治会長 2 名は除く）」

概ね全体から肯定的な意見を得ることが出来た．そのうち否定的なものとして，「信号機の設置要望が反映されなかった」との意見があった．信号機の設置については警察の判断となるため，今後ワークショップにおいて，住民の理解が得られるような説明内容・方法を事前に警察の方と調整していく必要があると考える．

c)「工事中・工事後に同様の会を開催した方が良いか」

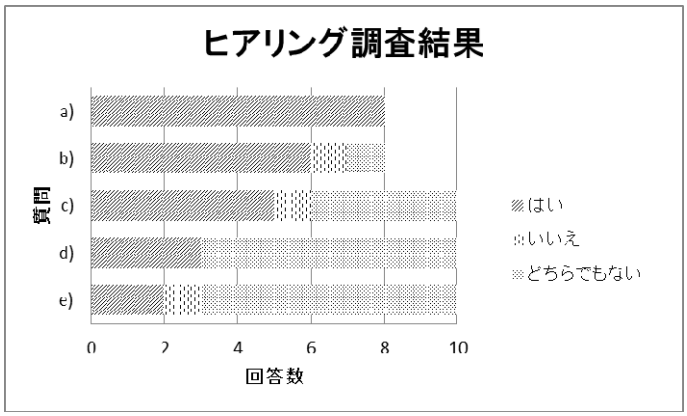
肯定的な意見と否定的な意見が半々という結果となった．主な意見として「工事中，工事後の状況を知りたいので，同じ様な会を開催して説明会を開いて欲しい」といった意見が目立っていた．

d)「交差点の通行環境は良くなりましたか」

「道路の視認性が向上し運転しやすくなった」と，道路構造としては肯定的な意見が多かったが，一方で，国道から市道への流入位置が分かりづらく，気付かずに通り超してしまう」などの意見が挙がった．路面標示や視認性の向上を図るなどの追加対策が求められた．

e)「自転車歩行者道の通行環境は良くなりましたか」

どちらとも言えないと答えた方の多くが，「拡幅した歩道をあまり利用していないので分からない」と答えていた．その中で，肯定的な意見として「安全に歩道を通行出来るようになった」．否定的な意見として「中学校までの連続性が無い」との意見が挙がっていた．



図－10．ヒアリング調査結果

(2) アンケート調査結果

アンケートで用いた問いは以下の 3 つである．質問に対する結果と考察をそれぞれ記していく．

a)「歩道が広くなって通行しやすくなりましたか」

肯定的な意見が 6 名，否定的な意見が 0 名，よくわらないが 1 名となった．主な意見として，「車の見通しが良くなり，安心して登校できるようになった」などの意見が多く挙がっていた．（**写真－7，8**）





写真.7 拡幅前 → **写真.8 拡幅後**

b)「以前までの通学路と比べてどんな点で通行しやすいですか」

「歩行者とのすれ違いがスムーズになった」や，「広くなったことで車の位置を確認しやすくなった」などの整備効果について評価する意見が多かった．

c)「さらに改善して欲しいところはありますか」

「当該箇所だけではなく，学校までの自転車歩行者道の拡幅をおこなっていただきたい」や「信号機を付けて欲しい」といったヒアリング調査の質問 e)とほぼ同様の意見が得られた．事業箇所だけではなく，その先に続く歩道に対しても危険性を感じている生徒が多いことが分かったため，今後対策を検討する必要がある．

5. おわりに

今回取り扱った交通安全事業では，歩道拡幅や線形改良のための用地買収から区画線の設置まで，交通安全事業を幅広く取り扱った事業である．そのため，地元の方々に事業の内容を的確に伝えることができないといった事案が懸念されたため，地元住民や自治会の方々との連携は不可欠であった．ワークショップを開催して良かった点として，そのような状況の中，ワークショップを開催する事により，地元住民の事業への理解が深まり協力が得られたことで，ワークショップ終了から約 3 年間という短期間で事業を完成させる事が出来た事である．また，地元住民の方々から生の意見を取り入れる事により，道路の利用実態にあわせた計画を立案することができた．

今後の課題として，工事中や工事後に地元住民とコミュニケーションをとる機会が少なかった事が挙げられる．ヒアリング調査を行う中で「建設業者の方たちがよく挨拶を交わしてくれたり，工事中の騒音に対してお詫びを入れに来てくれたりしてくれた事で，安心して事業の進行を見守れた」という意見が挙がっていた．

今後自分が工事を発注した際は，実際に当該箇所の現場に赴き，地元住民と交流していく事を意識したい．

今回ヒアリング･アンケート調査を行ったことで，交通安全事業を進めるにあたり，ワークショップ等で挙がった地元からの意見をどれだけ反映させられるかが重要である事が分かった．地域住民の方達の意見をよく聴き，合意形成を図りながら効果的な事業を進めていきたい．

波介川河口導流路の整備効果について

新谷　大吾

四国地方整備局　高知河川国道事務所　調査課　（〒780-8023　高知県高知市六泉寺町96-7）

波介川河口導流路は昭和60年に事業着手、平成24年に完成し、同年6月より運用を開始している。運用開始以来、平成26年末までに8回の洪水操作を実施しており、その効果について算出方法と合わせて報告する。

キーワード　波介川河口導流路、仁淀川浸水被害検証システム、防災、効果

1. はじめに

波介川は、一級河川仁淀川の下流部で合流する右支川であり、流域面積 73.3km2、幹川流路延長 19km で、流域内には土佐市市街地を含む約 3 万人が居住している。

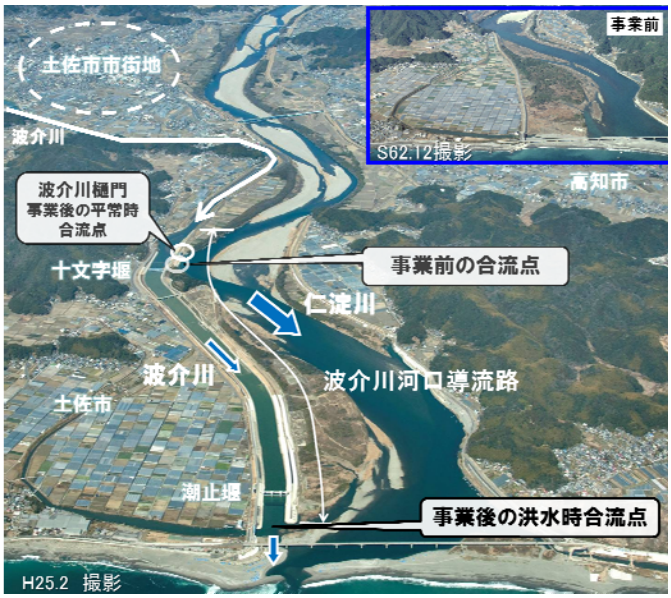
波介川の旧合流点から 8km 付近までは、仁淀川本川の氾濫堆積物で出来た自然堤防が形成されており、それより上流は後背湿地であるため、下流よりも上流の方が地盤の低い、「低奥型地形」を呈している。また、洪水時には波介川よりも仁淀川本川の水位が高くなることから、仁淀川の背水影響を受け、過去幾多の浸水被害を被ってきた。



（図-1）仁淀川流域図

波介川流域の被害を抜本的に改善するため計画された「波介川河口導流路」は、合流点を河口付近まで延伸することで仁淀川本川の背水影響を排し、波介川の洪水時疎通能力を向上させるものであり、昭和 60 年に事業着手し、平成 24 年に完成し通水が開始された。

現在の波介川は、洪水時には河口付近に放水口を持ち、平常時には河口から約 2.2km 上流（事業前の合流点付近）に仁淀川本川との合流点を持っている。



（写真-1）波介川河口導流路整備前後航空写真

2．過去の洪水被害と事業の概要

波介川は、その地形的特性より古来より水の「はけぬ」川と呼ばれ、過去幾多の洪水被害に見舞われてきた。

特に昭和 50 年 8 月の台風 5 号では、仁淀川本川が計画高水位を超過し、さらに波介川合流点直上流部の堤防が決壊したため、本川水位の高い状態が長く続き、吐け口のない波介川の氾濫水は、比較的標高の高い土佐市市街地中心部にまで溢れ、都市機能に壊滅的な打撃を与えている。波介川流域内では、屋根上、軒下浸水などを含み浸水家屋数 3,354 戸、浸水面積 1,590ha の甚大な災害を被っている。



（写真-2）昭和 50 年台風 5 号による浸水被害状況

この昭和 50 年台風 5 号災害の激特事業によって、旧合流点より約 2km 上流に逆流防止水門が昭和 55 年に整備され、仁淀川本川からの逆流被害については解消された。しかし、本川水位が高くなると水門が閉鎖され、その間における波介川流域からの流出量は全く排水出来ないことから、以降も波介川内水による浸水被害が頻発している。

（表-1）波介川流域の既往浸水被害

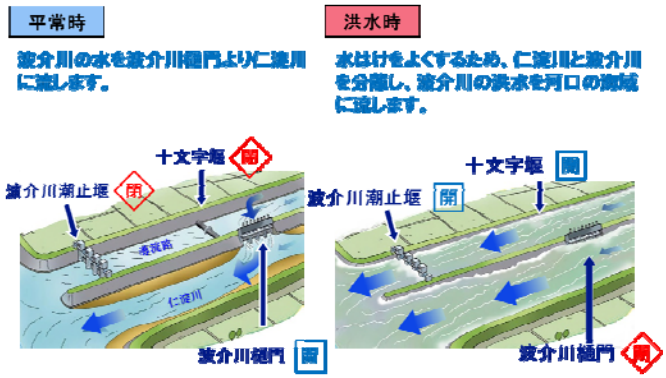
発生年月	原因	浸水面積（ha）	浸水家屋数（戸）
昭和38年8月	台風9号	1,163	593
昭和47年7月	台風9号	368	112
昭和50年8月	台風5号	1,590	3,354
昭和51年9月	台風17号	959	270
平成9年9月	台風19号	326	14
平成10年9月	集中豪雨	377	70
平成16年10月	台風23号	558	55
平成17年9月	台風14号	533	111
平成19年7月	台風4号	470	49

（家屋浸水を生じた被害のみ）

波介川の治水方策は、仁淀川本川水位が高い状態においても波介川流域の洪水に対処できるよう、合流点を河口付近に付け替え、計画全量（900m3/s）を海に放水する河口導流路方式を採用している。

波介川河口導流路の新河道は、仁淀川の狭窄部に影響を及ぼさず、かつ優良農地である堤内用地の犠牲を極力少なくするよう配慮した。その概要は河床幅 70m、法線幅 120m、河床勾配 1/10,000 で、延長 L=約 2,500m である。

環境面では、新河道の掘削による塩水遡上を防止するため河口部に潮止め堰を設け、また、従来の合流点環境を極力改変しないよう、旧合流部付近に堰と水門を設け、平常時と洪水時の流向を制御している。



（図-2）平常時と洪水時の波介川施設操作

3．波介川河口導流路の効果検証システムの構築

波介川河口導流路は、平成 24 年 6 月の運用開始以来、平成 26 年末までに 8 回の洪水操作を実施しており、うち 4 洪水において顕著な浸水防御効果を発揮している。

（表-2）波介川河口導流路による浸水防御効果の実績

発生年月 原因		波介川 水位（m）	浸水面積 （ha）	浸水家屋数 （戸）	被害額 （億円）
平成25年9月 台風17号	導流路なし	5.6	110	8	2.0
	実績	4.0	0	0	0
平成25年10月 台風27号	導流路なし	5.9	230	14	4.0
	実績	4.6	0	0	0
平成26年8月 台風12号	導流路なし	7.0	592	115	20.6
	実績	6.3	212	13	5.1
平成26年8月 台風11号	導流路なし	6.9	538	75	14.7
	実績	5.9	202	3	3.4

（波介川水位は波介水位観測所）
（被害額及び導流路なしの値はシミュレーションによる）

これらの効果を正しく広報するために、高知河川国道事務所では、平成 24 年に仁淀川浸水被害検証システムを構築し、平成 26 年より活用している。

（1）　仁淀川浸水被害検証システムの特徴

本システムは、『リアルタイムにおける内水浸水状況のシミュレーション』、『出水後における波介川導流路事業の事業効果算定』を把握することを支援するためのシステムとして構築しており、その特徴は下記のとおりである。

① 内水氾濫モデルを事業効果システムに導入
波介川治水計画に用いた流出・河道水位及び内水氾濫を追跡できるモデルを事業効果算定用にシステムに組み込んだもの。

② 施設効果を迅速に表示し出水速報等に活用可能

③ 最新の LP データに基づく地盤高や正確な家屋の宅盤高などの情報を表示

④ 河川水位や浸水被害状況をリアルタイムで表示し、効率的な巡視などの業務支援に活用可能

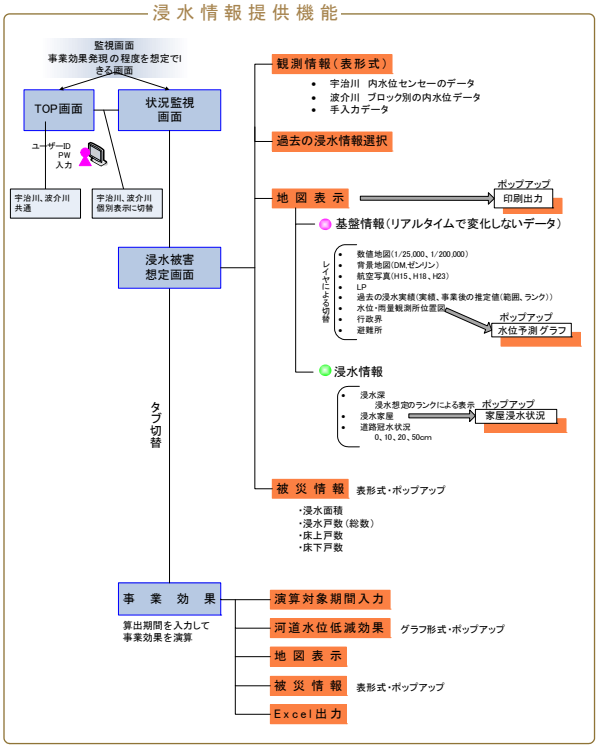
（2） 浸水情報提供機能の構成

本システムの浸水情報提供機能を大きく区分すると図-3 のような構成となっている。

・観測データをもとにした流域の状況監視画面

・観測データから推定される浸水被害想定画面

・波介川河口導流路の効果を算定するための画面



（図-3） システムの全体構成

（3） システムの拡充

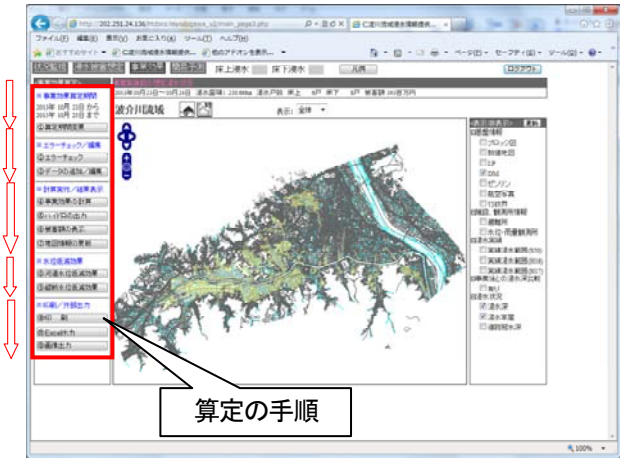
本システムは、図-3 に示すように、リアルタイムの情報を利用して、GIS 上での浸水範囲を推定し被害状況を把握できる機能ばかりでなく、統一河川情報や仁淀川洪水予測システムからのデータを共有する機能を平成 25 年に追加し、システムの機能を充実させた。

・事業効果算定機能（図-4）

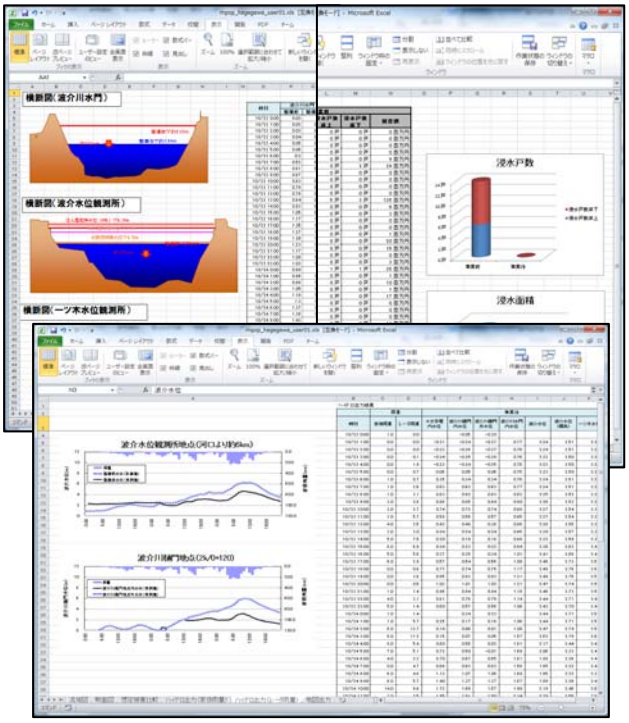
事業効果算定のための入力データとして、家俊雨量（レーダ雨量）、波介川樋門内外水位が必要であるが、これらのデータは、高知河川国道事務所の河川情報システムや統一河川情報から自動的に入力できるようになっている。しかし、家俊の雨量観測の欠測が多いため、平成 25 年度の出水においてはシステムを十分に活用出来なかった。そのため、同年にエラーチェック機能を追加し、欠測が発生している場合は、手入力で対応できるようにした。このように、事業効果が算定できないことを避けるための機能を追加している。

さらに、各地点のハイドログラフを出力するとともに、職員による目視での確認や、内水氾濫ブロック毎の被害額を算定することとした。

また、公表用の図面作成においては、図-5 に示すものを予め用意し、事業効果の計算後に、図-4 に示す【Excel 出力】のボタンを押すと、図-5 に示す横断図が出力される。なお、公表資料そのものは、パワーポイントで作成していることから、この機能は、それに貼り付けるための図を出力する機能である。



（図-4）事業算定用の画面と浸水範囲比較の表示



（図-5）Excel で公表資料を出力した事例

・簡易浸水予測機能

波介川三施設の操作は複雑であり、かつ早めに体制に入ることから簡易的に波介川の流出・河道水位の予測を行うことで、目安をつけることを目的に追加した機能である。統一河川情報システムに、レーダ雨量（実況・予測）が格納されているため、これを利用した波介川の水位予測が可能となっている。

４．システムを活用した波介川導流路効果の算出

仁淀川流域では、平成 26 年 8 月に台風 12 号、11 号の影響により 8 月 2 日～8 月 10 日までの 9 日間で 1,187㎜の降雨を記録（家俊雨量観測所）したが、土佐市においては波介川河口導流路が効果を発揮し被害が軽減された。その効果量についての算定に仁淀川浸水被害検証システムを活用した。図-6 にシステムを活用した記者発表例を示す。

当初システムを用いた施設効果の表現としては、『浸水面積』や『浸水家屋』の減少で表していたが、『被害額』の軽減という形で表すようになり、より流域住民へ施設の効果が分かりやすく伝わるようになった。

また、本システムを職員が直接操作することで、施設効果についての記者発表を迅速に行うことが出来た。台風 12、11 号発生時における事業効果についての記者発表のタイミングは下記のとおりであり、概ね台風接近後 3 日以内に事業効果まで含めた記者発表を行うことが出来た。

・台風 12 号　平成 26 年 8 月 1 日～4 日
　→記者発表日時：平成 26 年 8 月 7 日
・台風 11 号　平成 26 年 8 月 8 日～10 日
　→記者発表日時：平成 26 年 8 月 13 日

５．おわりに

波介川河口導流路は『土佐市 100 年の大計』と言われたほど土佐市の流域住民にとって悲願の事業であった。そのため、波介川河口導流路の効果については特に関心も高いため、管理者である国土交通省としても今後も波介川河口導流路の整備効果について迅速かつ的確に広報していく必要があると考えている。

今回、本システムを活用することで職員が直接事業効果を算出することが可能となった。今後は本システムの改良を図り、より精度の高い広報が可能となるよう努めたいと考えている。

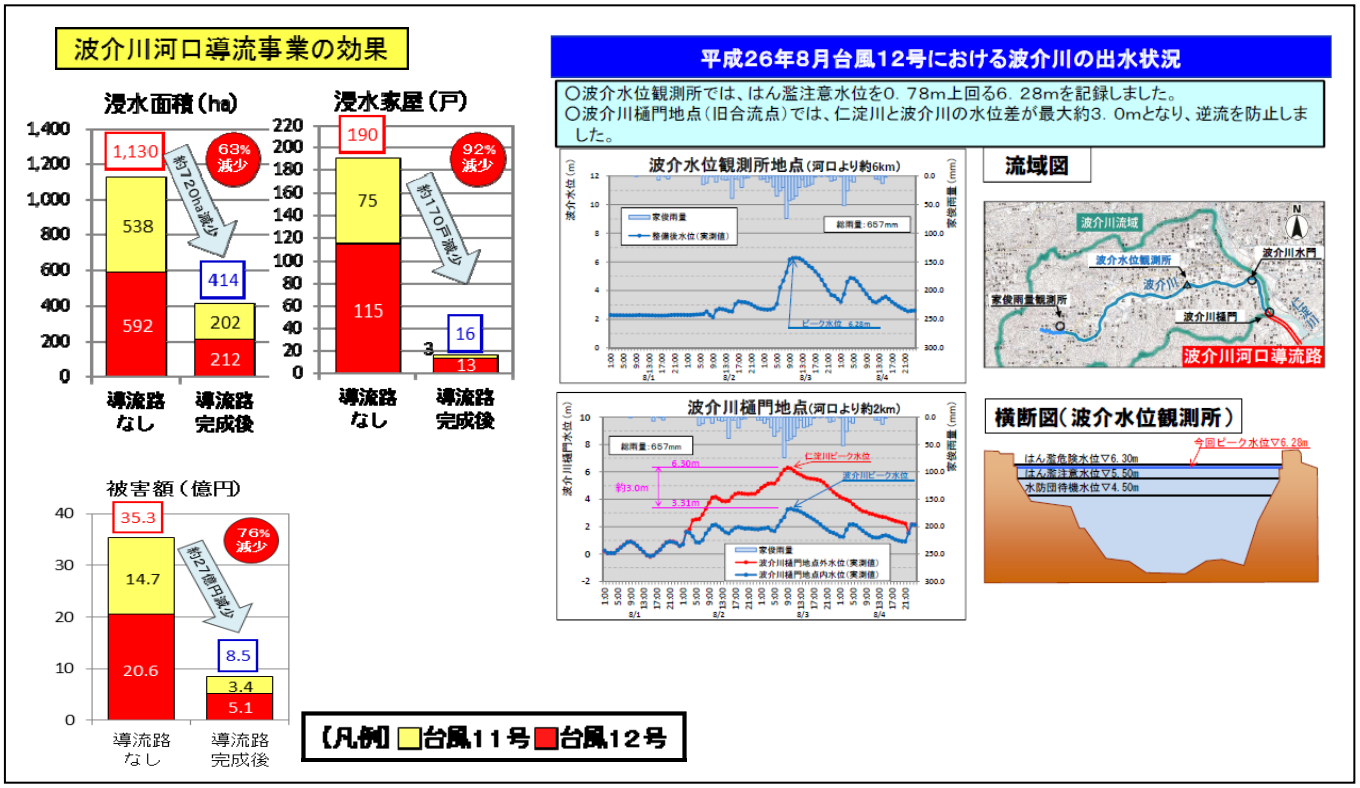


図-6　システムを活用した波介川導流路効果の記者発表例

バーチャル映像を活用した効率的な技術力継承

松尾　健二[1]

[1]九州地方整備局　北九州国道事務所　交通対策課　（〒802-0803北九州市小倉南区春ヶ丘10-10）

少子高齢化に直面した今日、日本が蓄積している技術力を次世代へ継承していくことは、よりよい公共サービスを維持していくために必要不可欠である．その一方で、業界全体を取り巻く環境の変化や仕事に対するマイナスイメージにより、将来の担い手不足が深刻な状態となっている．

今回、最新のＩＣＴ技術（バーチャル映像）を活用することにより、効果的な技術力継承及び土木の魅力発信に寄与できるシステムについて紹介する．

キーワード　業務改善、技術力継承、イメージアップ、ウェアラブルカメラ

1. はじめに

近年の新規採用者数の減少により、国土交通省の職員年齢構成は大きく変化している．職員の人数構成が全年齢的に均等だった時代は、ＯＪＴ手法による先輩から後輩へ技術的な指導を伝えることが容易だった．しかし、若年層の極端な減少により、次の世代への技術力継承が容易では無くなりつつある．この現象は、業界全体でも同様であり、技術の担い手不足が深刻化している．

こうしたことから、技術力継承の仕組みの改善はもとより、業界全体のイメージアップにより人材確保を行っていくことが喫緊の課題となっている．このため、2 次元の広報から 3 次元の広報へシフトチェンジし、短期間で技術力継承・魅力発信に寄与するシステムの検討を行った．

今回、システムの実証実験が完了し、次の展開への目処が立ったため、システム概要について紹介する．

2. 技術力継承の取組

(1) 所内講習会

個人の知識・技術を組織的に共有・継承することを主眼に置き、事務所毎に開催されている．事務所内のベテラン職員による知識の共有だけでなく、外部講師による講習会も実施してきた．平常業務では知ることができない知識を吸収することが出来、職員の仕事の質及び幅の向上に寄与している．

(2) 基礎技術講習会

九州技術事務所の研修施設において、座学に加え実モデルや試験実習を中心として講義を行い、日常業務に直結する基礎的な技術の習得を目的とした講習会を平成１5 年度より継続して実施している．昨年度は「基礎技術（9 コース）」及び「専門技術（2 コース）」が開催され、年間 200 名以上の職員が参加している．「基礎技術講習会」の講師は、九州技術事務所の職員で構成され、「講師養成スキルアップ講座」等により、日々講義内容の向上に努めている．

(3) 専門委員会制度

九州地方整備局の専門委員会制度は、職員の技術力向上や技術力伝承、これらを有効に活用した業務の効率化を目的として平成 23 年度からスタートし、42 の専門委員会が設置され延べ 1,180 人が活動している．

情報通信技術系の職員が行っている電気通信技術力向上小委員会では、主に事務所の係長クラスを中心に、運営を行っている．この取り組みの中で特徴的なものが、若手職員自らが検討テーマやその解決手法について考え、自主的に委員会を運営していることである．また、座学による講義の場合や机上演習等の場合は、職員自らが講師となり、それぞれの得意分野を持ち寄って講義を進める等の取り組みを行っている．

3. 現状の課題

各講習会では、内容をよりよいものとしていくために、毎回アンケートが実施されている．アンケート結果を解析すると、下記状況が理解できる．

まず参加者へ対するアンケート結果である．出張を伴う「基礎技術講習会」では、現在業務と密接な関係のある講習会への参加が多い．一方、出張を伴わない「所内講習会」では、現在の業務に直接関係しなくても積極的に参加する状況がみられた．

また、さらに「所内講習会」不参加者に、不参加理由のアンケートを取ったところ「業務多忙（参加意思有）」という回答が75%以上を占めていた．
(図-1)

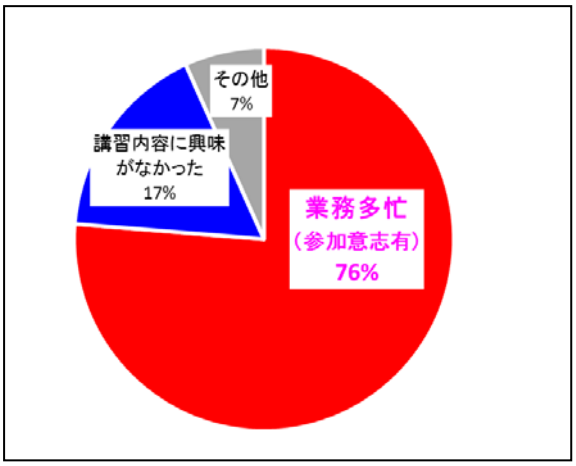


図-1 講習会不参加理由

今回のアンケート結果から判断すると、

・気軽に参加できれば、業務外の講習にも参加したい

・講習会に参加したいが、時間が合わない

といった傾向がわかる．

この状況は、一般向けの広報イベントにも同様の傾向が見受けられる．国土交通省では、様々な広報イベントを開催しているが、開催日が平日だったり拘束時間が長かったりする場合、若年層をターゲットにしたイベントであっても参加率が低い場合がある．

このことから参加者の都合のよいタイミングでイベントに参加できる仕組みが出来れば、効果的に情報を伝えることが可能となる．

4. 効果的な技術力継承・情報発信

これらの課題を解決する手法として考案したものは、ウェアラブルカメラやヘッドマウントディスプレイを組み合わせたシステムである．これにより、土木技術者の技を、本人目線で記録し、臨場感ある形で映像を視聴することが可能となる．

この映像データを活用することにより、日程が合わず参加できなかった方も、都合の良い時間にバーチャル参加することができる．

今回の手法を構成する設備の詳細を次に記述する．

(1) ウェアラブルカメラ

体に身につけることの出来る小型のカメラで、保有者の目線をそのまま記録することが出来る．一般的にヘルメット等に取り付けてスカイダイビングやサイクリングの記録などに使われている．最新のカメラではハイビジョン長時間撮影が出来るため、その場にいる臨場感（バーチャル体験）の保存が可能となる． **(写真-1)**

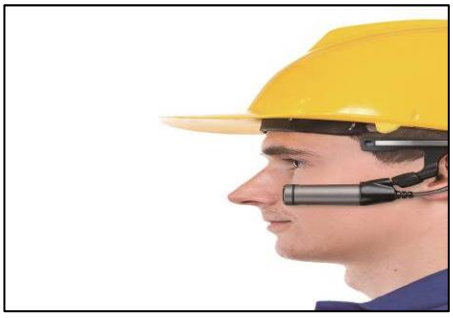


写真-1 ウェアラブルカメラ製品例

(2) ヘッドマウントディスプレイ

頭に取り付けることのできるメガネ型の映像表示装置である．小型のディスプレイ部分に映像や文字を表示することが出来る．ハンズフリーで映像を見ることが可能なため、他の場所で撮影されたバーチャル映像を見ながら作業を行うことにより、熟練者の技を手元に再現することができる．最近では、ディスプレイ装置がハーフミラーのものや、片目のみの装置もあり、周囲の状況が確認できる状態で作業することが可能となっている．
(写真-2)



写真-2 ヘッドマウントディスプレイ製品例

(3) システム運用方法

最初のステップとして、熟練者がウェアラブルカメラを装着し、普段行っている作業を実施する．ウェアラブルカメラを通して記録された目線映像は、記録媒体（SDカード）を介して、イントラネット上の映像蓄積サーバーに保存する．（図-2）

後日、内容を見たい方は、映像蓄積サーバーよりデータを取得しヘッドマウントディスプレイで再生する．技術の内容を目前で視認することにより、没入感の高いバーチャル体験が可能となり、通常より早く内容を理解することが出来る．

システム検討段階では、操作が複雑な災害対策機器の講習会の補助システムとして検討を進めてきた．今回システムを活用することにより、災害派遣現場においても、講習内容を復習することが出来、迅速な TEC-FORCE 活動に寄与することができる．

5. 活用事例

北九州国道事務所では、防災機器の設営講習会を６月に開催した．当日は、道路防災訓練を実施していたため、現地講習会には限られた人員しか参加できなかった．

しかし、講習会参加者がウェアラブルカメラを装着し、参加者の目線を防災室や各出張所に配信することにより、業務多忙で参加できなかった職員もバーチャル参加することができた．（図-3）

このシステムは、講習場所が狭隘な場所でも有効であった．橋梁点検などは、現地で劣化状況判定の講習を行うことが最も有効であるが、不安定な足場の上での作業となるケースが多く、一度に多くの職員が受講することができない．バーチャル映像を活用することにより、熟練者がどのような目線で点検し判断を行うかが容易に理解できる．（写真-3）

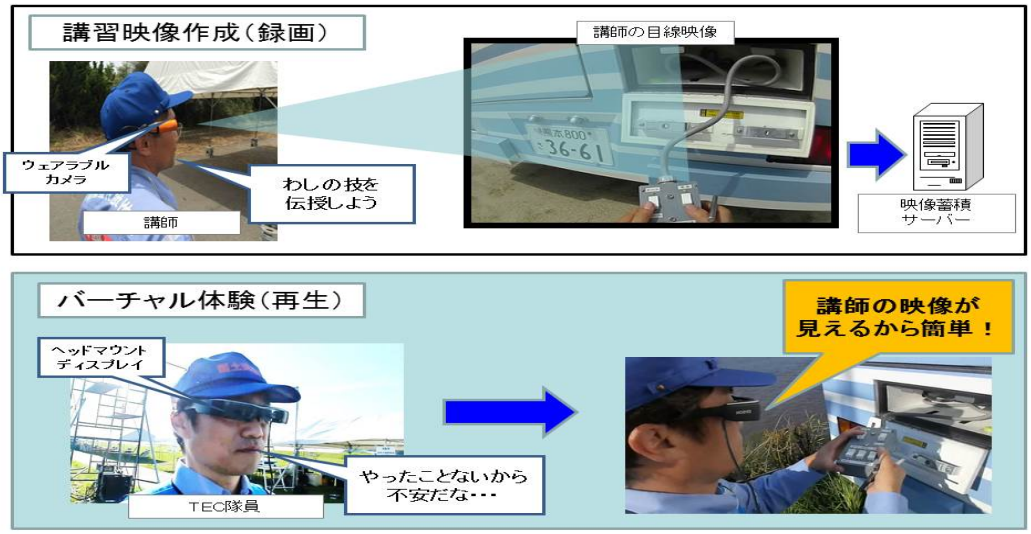


図-2　システム運用方法

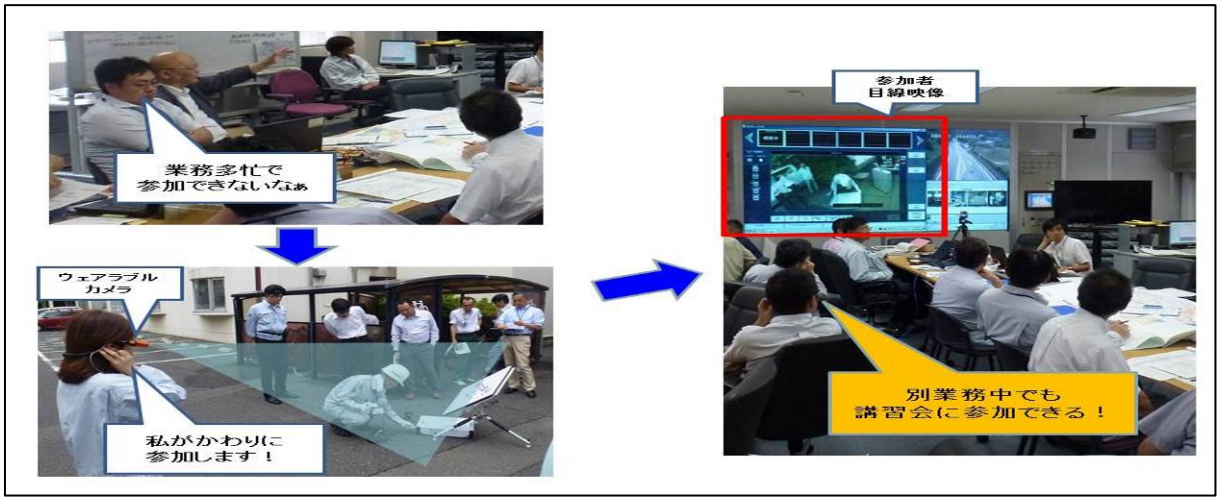


図-3　バーチャル講習会の開催状況



写真-3 橋梁点検の状況

また、バーチャル映像を活用した広報は、業界全体のイメージアップに大きく寄与する．従来広報である文字や写真を組み合わせた 2 次元的な手法では、受け手側に発信者の意図が伝わりにくかった．

バーチャル映像による 3 次元広報では、双方で同じ視点を共有でき、よりリアルな情報を視覚的に伝えることができる．さらに、SNS による拡散・シェア効果も期待され、土木の魅力を幅広い世代に発信することが可能となる． **(写真-4)**



写真-4　SNS による広報への活用例

6.　まとめ

今回説明したシステムの特徴をまとめると、次の 3 つの利点が挙げられる．

① 作業の省力化につながる．（1 人で撮影可）
② いつでも・どこでも視聴が可能
③ 効果的に土木の魅力発信が可能

① により、熟練者が普段実施している状況を本人目線で撮影することができるため、特別な準備や人手が不要となり、作業の省力化につながる．
② については、映像データの保存が容易なため、現地作業や移動中でもモバイル端末などで視聴することが出来る．
③ については、リアルな映像による現場技術者の姿を伝えることにより、今まで隠されていた土木の魅力を一般の方に発信することが可能となる．

システムを活用していくためには、各現場において映像記録を推進していく必要がある．また、記録した映像をキーワード検索し、映像の抽出を可能とする映像検索システムの選定も必要である．

さらに、本技術は地域住民の方への事業説明などにも応用することが可能である．事業計画を進めるにあたっては、設計段階から地域住民の方への情報提供が必要不可欠である．臨場感のある映像をウェアラブルカメラで撮影し、ヘッドマウントディスプレイで視聴して頂くことにより、計画に対する理解をスムーズに深めることが期待される．

7.　最後に

今後、少子化により労働人口の減少を避けることは出来ない．それにより、数年後には次の世代への技術力継承が困難な時代が来ることが想定される．

その一方で、よりよい公共サービスの維持のために土木技術継承の取り組みは今後とも継続していく必要がある．

そのためには、情報通信技術の活用による効果的な情報発信が必要不可欠である．

今後も最新の技術動向を注視し、業務改善のためのシステム構築を検討し、様々なニーズに対応できるように尽力していきたい．

謝辞：システム検討にあたり、新技術の情報収集及びフィールド提供をいただいた皆様、並びに新しい環境でチャレンジする機会をいただいた皆様に感謝申し上げます。

首里城公園における
現場見学会の取組について

知念　弘[1]・池田　豊[2]

[1]沖縄総合事務局　国営沖縄記念公園事務所　首里出張所長　（〒903-0812 沖縄県那覇市首里当蔵町3丁目1番地）

[2]沖縄総合事務局　国営沖縄記念公園事務所　首里出張所　計画係長　（　同　上　）.

首里城公園は、平成4年に一部供用を開始以来沖縄の観光拠点として多くの観光客にご利用頂き、平成26年度の入園者数は約252万人に達した。今後も沖縄県の入域観光客数は増加傾向にあることから、より一層沖縄の観光拠点としての役割が期待されている。一方、県内在住者の入園者数の割合は約9%程度で、毎年減少傾向にあることから、県内在住者の入園者数の低さが課題となっている。首里出張所では、県内在住者の入園者数増加に繋げようと毎月第三土曜日に現場見学会を実施しており、現場見学会の取組事例について報告する。

キーワード　県内在住者，現場見学会，開園区域，未開園区域

1.　はじめに

国営沖縄記念公園首里城地区は、昭和61年に「沖縄復帰記念事業として行う都市公園の整備」が閣議決定され、平成4年に正殿等を含む主要建物を一部開園し、平成27年4月時点で整備面積約4.7haのうち約2.9haを開園している（図-1）。現在は、未開園区域となっている正殿裏の[注1]御内原（おうちばら）地区（図-2）を中心に復元整備を進めている。



図-1　国営公園区域図

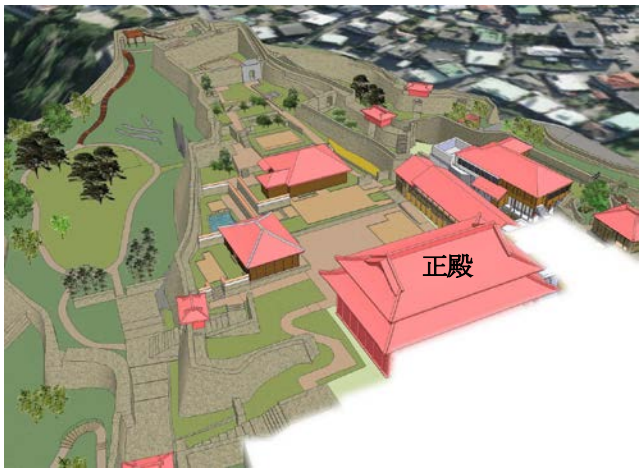


図-2　御内原地区整備イメージ図

注1：国王やその家族及びそれらに仕える多くの女官達が生活する場所であり、王族を除いて男子禁制となっていた。王妃を頂点とした女官組織のもと、儀礼の場として多くの建物があった生活・儀礼の空間。

2. 首里城公園入園者の現況

首里城公園の入園者数は、平成11年度から200万台を突破し、平成26年度の入園者数は約252万人（対前年度比7.2%増）に達した。（図-3）

平成26年度の入園者内訳を見てみると、日本人県外在住が72.6%と高く、次いで外国人が19.5%となっている（図-4）。利用交通手段の内訳を見ても、レンタカー

48.5%、貸し切りバス21.7%（図-5）となっており、入園者数の観光客の占める割合が高いことがわかる。今後も沖縄県入域観光客数は増加傾向（図-6）にあることから、比例して首里城公園の観光客の入園者数も増加していくものと予測される。

首里城地区

年度	入園者					入館者数（有料区域）
	入園者総数	大人	小人	日最大	日平均	
平成4	1,114,181	1,032,895	81,286	19,930	7,478	959,325
5	2,148,249	1,978,129	170,120	22,434	5,902	1,720,194
6	1,841,073	1,690,165	150,908	21,676	5,044	1,469,324
7	1,852,366	1,709,220	143,146	27,955	5,061	1,510,741
8	1,771,089	1,647,553	123,536	13,988	4,893	1,456,269
9	1,887,202	1,773,499	113,703	11,408	5,213	1,582,424
10	1,973,565	1,822,447	151,118	11,236	5,407	1,619,512
11	2,095,646	1,922,915	172,731	10,557	5,757	1,721,869
12	2,117,218	1,965,024	152,194	12,936	5,914	1,680,402
13	2,035,291	1,887,108	148,183	12,811	5,591	1,505,807
14	2,361,566	2,189,197	172,369	13,209	6,506	1,693,771
15	2,513,038	2,331,615	181,423	14,528	6,885	1,755,507
16	2,455,362	2,244,301	211,061	12,637	6,764	1,674,707
17	2,569,726	2,345,458	224,268	16,651	7,040	1,794,188
18	2,674,641	2,436,003	238,638	14,502	7,328	1,820,870
19	2,629,741	2,374,049	255,692	13,494	7,205	1,913,287
20	2,470,340	2,198,019	272,321	12,913	6,768	1,936,387
21	2,130,139	1,850,312	279,827	10,669	5,836	1,790,981
22	2,008,352	1,754,760	253,592	10,944	5,502	1,674,924
23	2,102,927	1,829,548	273,379	10,636	5,761	1,680,539
24	2,190,018	1,908,921	281,097	13,983	6,033	1,753,386
25	2,349,297	2,058,872	290,425	14,347	6,436	1,732,876
26	2,522,395	2,226,910	295,485	14,385	6,968	1,813,274
計	49,813,422	45,176,920	4,636,502	-	-	38,260,564

図-3　首里城公園入園者数

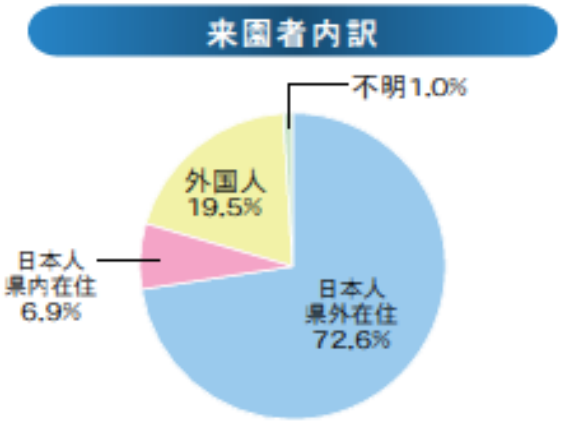


図-4　平成26年度首里城公園入園者内訳

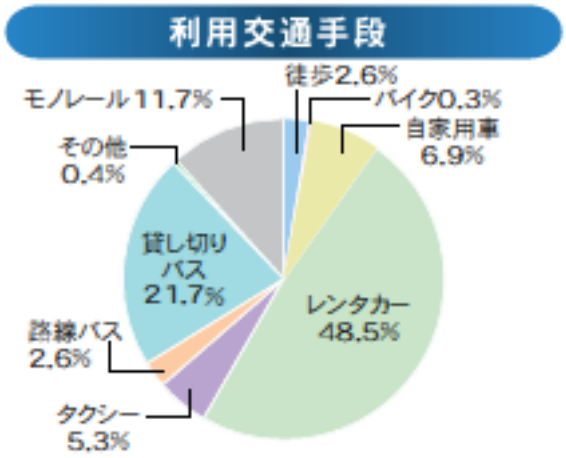


図-5　平成26年度首里城公園入園者
利用交通手段



図-6　入域観光客と公園入園者の推移

一方県内在住の入園者数の割合は、平成25年度は11.0%（図-7）に対し、平成26年度は6.9%（図-4）と減少している。

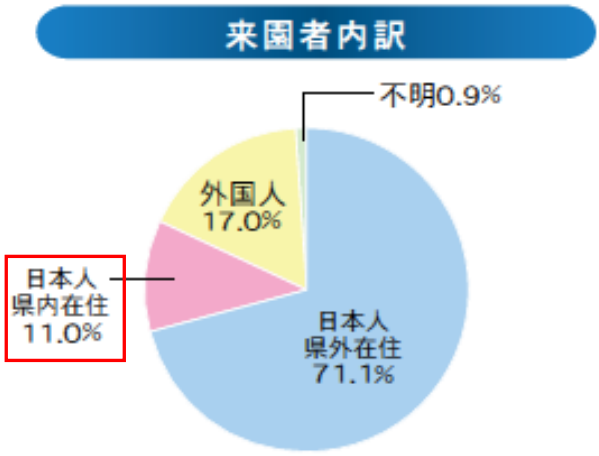


図-7　平成25年度首里城公園入園者内訳

その原因の一つとして、県民が琉球の歴史や文化に興味が薄れ首里城に関心が無い事が推測される。このままでは、首里城復元の意義としてある
①貴重な国民文化遺産の回復
②新たな県民文化の創出
③伝統技術の継承と発展
④歴史的風土探訪の場の形成
が薄れ、単なる観光名所とての役割だけに止まりつつある。県民の強い願いで復元された首里城。もう一度県民に首里城の魅力の再認識、新しい発見を知って貰うため、首里出張所では開園区域を管理している沖縄美ら島財団首里城管理センターと連携して現場見学会を行っている。

3.　現場見学会の取組内容

(1) 現場見学会を実施するまでの問題点

これまで首里城公園は多数の施設を復元しており、それと同時に施設に関する解説板を設置している。しかし、解説板の内容は施設概要の説明や文献に記載されている

往時の名称等の説明にとどまっており、復元の経緯、復元方法の伝統技術・工法の説明が十分になされていない。

首里城正殿を復元する際、遺構保護の観点から約70cm嵩上げされている為、発掘調査で遺構が確認されても復元する際には、往時の遺構の上に新しい石材を積んで復元する為、完成時に入園者は生の遺構を見ることが出来ない。

復元された施設でも、新たな根拠資料が発見されるとその資料に基づいて修復していくが、修復した跡もそのような説明等及び情報発信をしていない。

県内で唯一伝統技術・工法（木造建築、漆塗り、石積み）を採用して大規模な復元整備を行っているのにも関わらず復元過程を公開していない為、伝統技術の発展に寄与していない。以上の問題点から、現場見学会は下記の観点で説明会を実施している。

①開園区域における復元の経緯及び復元方法の説明
②開園区域で開催している企画展の説明
③未開園区域の今後の整備計画、復元方法及び発掘調査箇所の説明

①、②については、首里城公園管理センターの学芸員が担当し、③については、首里出張所の職員で担当している。

(2) 現場見学会の広報

現場見学会の告知は、毎週木曜日に発刊される地元新聞情報誌のインフォメーションコーナーでの掲載（無料）（図-8）、美ら島財団首里城公園管理センターが月一で発行している広報紙『首里城通信』（図-9）での告知、ホームページで行っている。

それにより定員25名に対し毎回定員を超える応募者がある。



図-8　地元新聞情報誌による掲載



図-9　首里城通信による広報

(3) 見学会の内容

平成25年11月より月一回実施。（毎月第3土曜日）10:30～12:00までの1時間30分程度。

まず始めに、開園区域において首里城管理センターの学芸員が復元方法や復元経緯を説明（図-10）。その後南殿の展示室等で開催している企画展や伝統技術の説明を行っている。約40分程度。

次に未開園区域に移動し、首里出張所職員が未開園区域の今後の整備計画、復元方法、発掘調査の現場説明を行っている（図-11）。約50分程度。



図-10　学芸員による開園区域の説明の様子



図-11　首里出張所職員による未開園区域の説明の様子

開園区域においては、学芸員が文献資料を基に時代背景や、根拠資料の出所、根拠資料に基づいた復元経緯の説明を行うことで、解説板には無い新たな情報、知識を得ることが出来る。また、春分の日、夏至、秋分の日、冬至の日には復元された日影台（日時計）を利用して、実際に日時計の計測体験（図-12）を行っている。その体験により復元施設が単なるレプリカでは無く、根拠資料に基づく高い精度で復元していることを実感してもらえる。また、企画展の説明においては、伝統工法の技術の説明や、工程等を詳細に説明することから、伝統技術及び文化の凄さに改めて気づくことが出来る。



図-12　日影台の計測体験の様子

未開園区域においては、今後の整備計画を中心に説明を行い、古絵図や古写真、遺構等の根拠資料を基に復元の手法や、復元根拠について説明している。特に重点的に説明を行っているのが、建物復元の復元タイプ（図-13）である。建物復元は復元の特A～平面表示のFまで7タイプに分けている。これは根拠資料の充実さによりランク分けを行っているもので、木造による復元から、内部はRC構造で外部を木造にした外観復元等がある。その説明を行うことで完成後、内装が現代風なっている理由にご理解・納得頂いている。また、発掘現場の遺構の見学においては、見学者の誰もが遺構の凄さに感動し、かつて約580年前ここに琉球王国があった事実に驚きを隠せない様子である。さらに、未開園区域の現場見学会において大変喜ばれる箇所がある。そこは東のアザナという展望台で首里城で一番標高の高い場所（標高約140m）であり、東に久高島、西に那覇港や慶良間諸島、南に南部方面の町並み、北に中部方面等360度の眺望を見ることが出来る（図-14）。そこでは、首里城正殿が西向きに建っている理由（仮説）や、首里に都を移した理由の説明をする事によって、首里城の魅力を最大限体感出来る場所となっている。

タイプ	大分類	定義
特A	復元	遺構、図面、古写真、配置図、事例、聞き取りの成果等の根拠資料に基づいて、往時の材料・工法でより精度を上げて内外部とも復元した建築物。
A	復元	遺構、古写真、配置図、事例、聞き取り等の根拠資料に基づいて、往時の材料・工法で内外部とも復元した建築物。
B	準復元	遺構、古写真（内部写真含む）、配置図、事例、聞き取り等の根拠資料に基づいて、往時の材料・工法で内外部とも復元した建築物。間取りについては、一部想定している。
C	外観復元	往時の間取りは不明であるが、遺構、古写真、配置図、事例等の根拠資料に基づいて外部を復元し、内部は公園機能を重視した建築物。
D	外観想定復元	建物を写した古写真は確認されていない。遺構や配置図、古絵図、事例に基づいて外部を想定復元し、内部は公園機能を重視した建築物。
E	外観再現	建物の位置や規模等を確認できる遺構や古写真はない。配置図、古絵図、事例に基づいて外部を再現し、内部は公園機能を重視した建築物。
F	平面表示	建物の位置や規模等を確認できる遺構や古写真はなく、配置図と古絵図等で建物の雰囲気がわかる程度、建物の輪郭のみを平面的に表示。

図-13　建物復元タイプの凡例



図-14　東のアザナからの眺望（西側方面）

(4) 現場見学会の参加者の声

毎回現場見学会終了後は、参加者から普段入ることの出来ない未開園区域を見学できた喜び、往時の遺構、復元の過程を見れた満足度は非常に高く、感謝の御礼や激励を頂き、全面開園を楽しみにしている等の喜びの声を多数頂いている。開園区域においても、何回か来ているが初めて知る事ばかりで、改めて首里城の魅力を知ることが出来た等の感想を頂いている。

4.　今後の課題・まとめ

現場見学会を実施したことで首里城の魅力の再認識、新たな発見の効果は発揮できている。しかしながら県内在住者の入園者数の増加には未だ効果が発揮出来ていない。その理由として、現在現場見学会に参加している多くは、元々琉球の歴史や首里城に興味があり、個人的に何回も首里城に来園しているリピータで、ボランティアガイドやバスガイドの参加者もいる。しかし、未開園区域の情報を事前に与えることで、未だ知られていない首里城の魅力を知ることが出来、見学会に参加した人達の口コミにより、全面開園時には入園者の増加に繋がることを期待したい。今後は未だ首里城に来たことが無い人や、若い層の参加者を増やしていくことにより、県内在住者の入園者数増加に繋げていきたい。その改善策として、現場見学会の認知度をさらに高め、現場見学会の参加者の声を広報していく必要がある。

県内で伝統技術・工法を用い大規模な復元整備を行っているのは首里城だけである。だからこそ我々は積極的に復元過程を広報していく義務があり、それが伝統技術の継承と発展に寄与していくものと思われる。現場や復元過程を積極的に広報することは、首里城復元の意義を正確に伝える手段の一つであり、社会資本整備の必要性を最大限にPR出来る手段だと思う。今後も継続して現場見学会を行い、県民に首里城の魅力を伝えて行きたい。