

那覇港防波堤（那覇）堤頭部における新形式防波堤の開発

沖縄総合事務局 那覇港湾・空港整備事務所 濱川 充典

1. 開発の目的と特徴

那覇港那覇防波堤は、急速な経済発展を遂げつつあるアジア・太平洋地域において、国際コンテナ輸送の中継拠点としてアジアの十字路を目指す那覇港における船舶航行や港湾荷役の安全性を保証することを目的に整備が進められている。この防波堤は小型船舶への反射波の影響を抑えるため、延長900mのすべての区間で消波機能を有する必要がある。

そのため、既に建設が終了した860m区間は消波ブロック被覆混成堤形式および消波ブロック被覆上部斜面堤形式が採用され、現在では図-1に示す南側堤頭部40m区間を残すのみとなっている。

本防波堤の南側堤頭部は、高波浪海域への整備であるとともに、図-2、3に示すとおり、隣接する那覇空港の制限進入表面直下に位置しているという特異な条件を有している。

そのため、隣接工区で採用されている消波ブロック被覆上部斜面堤形式では、この制限進入表面下における作業空間内において消波ブロックの安全な据付が困難であるとともに波作用時における波の打ち上げが那覇空港を利用する航空機に与える影響が懸念された。

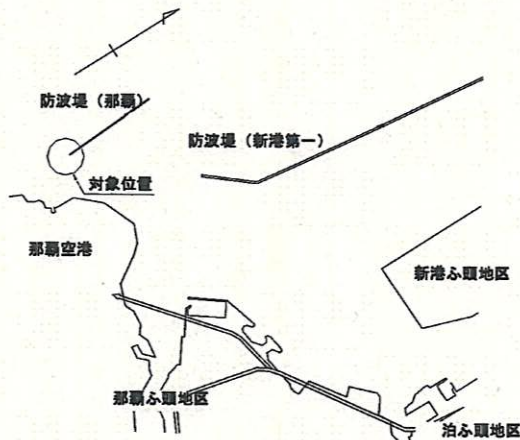


図-1 那覇港那覇防波堤位置図

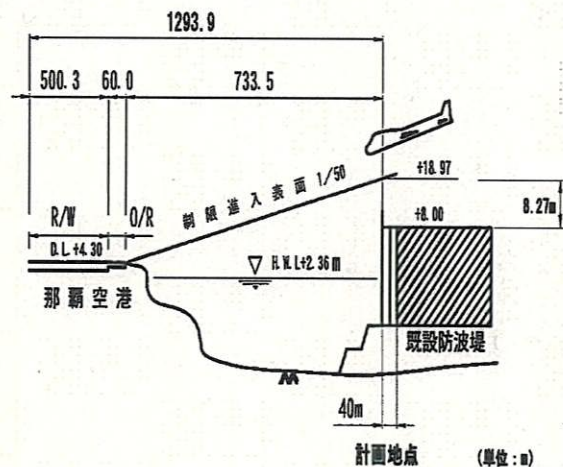


図-2 那覇空港制限進入表面

そこで、上記問題点に対応可能な新形式防波堤として、図-4に示す『斜面横スリット式上部斜面堤』を提案し、波の打ち上げ現象を水理模型実験により再現するとともに、主要部材の構造解析を実施し、水理的及び構造的な性能の確認を行った結果について報告する。



図-3 計画地点における航空機進入状況

2. 斜面横スリット式上部斜面堤の特徴

この新形式防波堤である斜面横スリット式上部斜面堤は次のような特徴を持つ。

2. 1、滑動抵抗力の増大

斜面スリットケーソンと同様、上部工およびスリット斜面が傾斜しており、作用波力の水平成分の減少および鉛直成分の増加より、滑動に対する抵抗力が増大する。

2. 2、消波ブロックを使用しない

直立スリットケーソンと同様、スリット開口部において消波する構造であるため、施工上の問題を有する消波ブロックを使用しない。

2. 3、打ち上げ高さの低減

波が斜面に作用することにより、打ち上げ方向が斜め後方へ卓越するため、通常の直立スリット堤に比べ、打ち上げ高さが低減される。

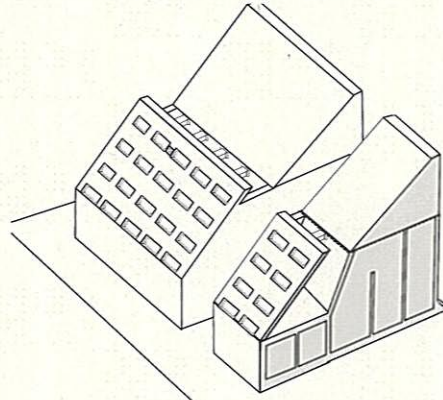


図-4 斜面横スリット式上部斜面堤イメージ図

3. 斜面横スリット式上部斜面堤の水理特性

3. 1、基本断面及び波圧分布

斜面横スリット式上部斜面堤基本断面を図-5に示す。堤体の安定計算に用いる波力は、関口らにより斜面スリット堤で提案された、直立スリット堤と上部斜面堤の波力算定式を組み合わせる式により算定を行う。

斜面スリット堤の設計で考慮する波圧は、押し波時で3種類、引き波時で3種類の合計6種類の位相について考え、ケーソンの安定上最も厳しくなるように設定する。

押し波時における波圧分布を表-1に示す。

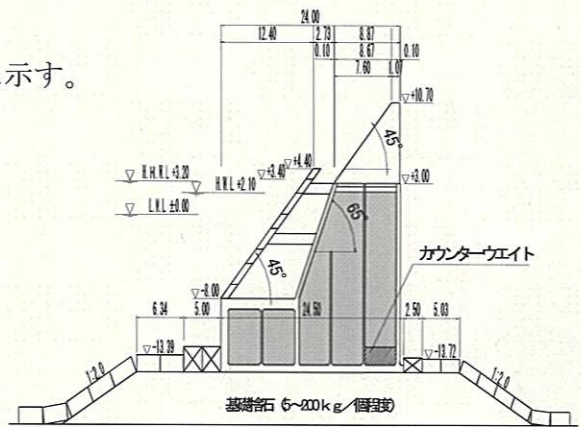


図-5 斜面横スリット式上部斜面堤の基本断面

表-1 斜面スリットケーソン堤の波圧分布 (押し波時)

押し波時Ⅰ： スリット部の波力が最大となる位相		
押し波時Ⅱa： 遊水室後壁に衝撃的な波力のピークが現れる位相		
押し波時Ⅱb： 遊水室後壁に比較的ゆるやかに変化する波力のピークが現れる位相		

3. 2、水理模型実験

水理模型実験は、長さ105m、幅3mの2次元造波水路を用いて行った。実験時の模型及び計測器の配置状況を図-6に示す。縮尺は1/50で、仮設床は2種類の斜面部（1/15勾配4.0m、1/100勾配37.5m）と一様水深部（6.0m以上）から構成される。斜面端部から0.3m離れた位置がのり先となるように砕石マウンド（0.14m厚）を作製し、その上に模型堤体を設置した。斜面横スリット式上部斜面堤の模型断面は図-7に示すとおりである。

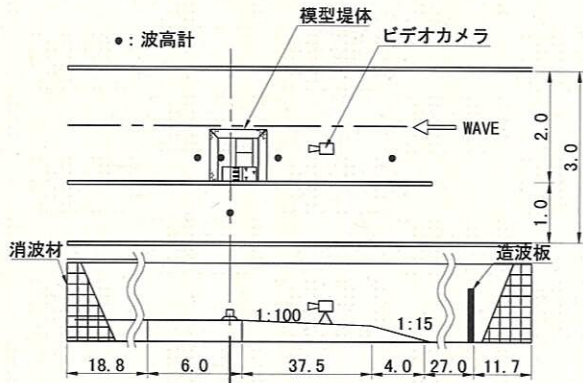


図-6 実験断面

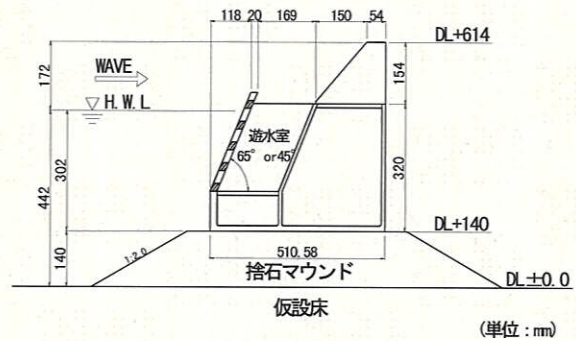


図-7 模型断面

3. 3、実験ケース

打ち上げ高さ測定時の波浪ケースは、表-2に示す3ケースであり、那覇港において最近5年間に観測された年最大実測波（ただし、台風により那覇空港が閉鎖された期間に観測された波を除く）に基づいて設定した。また、スリット角度ケースとして、前面スリット角度の効果を評価することを目的に、スリット角度65度の基本ケース以外にスリット角度を45度とした場合も対象とした。

表-2 波浪ケース

ケース	H (cm)	T (s)	波向	観測年度
1	14.0	1.4	45°	1997年
2	17.0	1.5	0°	1998年
3	14.0	1.2	67.5°	2000年



写真-1 打ち上げ高さ

3. 4、実験結果

実験においては、静水面から連続する水面の上昇量及び静水面から離脱する水塊の打ち上げ高さに着目し、それぞれについて上部工天端から最高到達までの距離を打ち上げ高さとして計測した。写真-1に計測の一例を示す。

実験結果より、スリット角度が45度の場合に打ち上げ高さは全てのケースにおいて許容値（16.5cm）以下となることが確認された。（図-8参照）

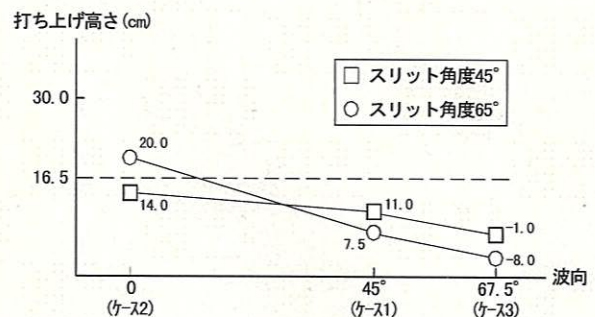


図-8 波向別スリット角度別打ち上げ高さ

4. 斜面横スリットケーソン式上部斜面堤の構造解析

4. 1、構造概要

斜面横スリット式上部斜面堤は、スリット部に立体ラーメン構造を採用しているとともに、スリットおよび遊水室後壁が斜角を有する構造のため、側壁が異型になる。

つまり、従来のケーソンに比べて特殊な構造形状を有していることになる。このため、構造設計においては、スリット部を図-9に示す三次元の立体フレームで、また、特殊形状の側壁・隔壁部材をシェル要素でモデル化し、二次元線形FEM解析を実施した。

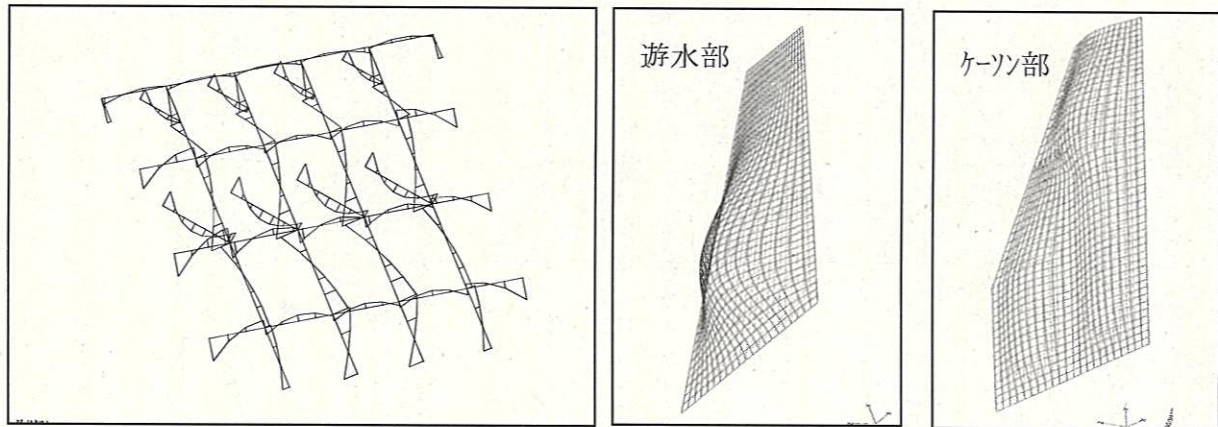


図-9 三次元立体フレーム解析結果(曲げモーメント)およびFEM解析結果(変形図)

4. 2、解析結果

スリット部材に三次元の立体フレーム解析を採用したことにより、各スリット部材を両端固定梁にモデル化する従来の設計手法に比べて、最大モーメントで約2割ほど小さくなることが確認された。同様に、遊水部およびケーソン部の異型側壁についても、従来の矩形版を対象とする計算数表を便宜的に用いた計算結果と比べて、最大モーメントで約半分になることが確認された。

これらの解析結果に基づき、図-10に示すスリット部材およびその周辺の仮想梁部材には、鉄筋コンクリートに比べて耐荷性能に優れる鉄骨鉄筋コンクリートを採用することとした。

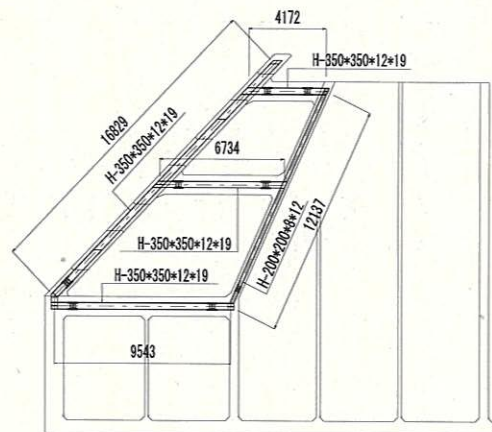


図-10 鉄骨鉄筋コンクリート採用位置

5. まとめ

空港制限表面直下という特異な条件において適用可能な新形式防波堤として斜面横スリット式上部斜面堤を抽出し、打ち上げ高さについて水理模型実験による検証を行った。その結果、本防波堤形式は打ち上げ高さの低減効果に優れ、設定した波浪条件において、打ち上げ高さ(水面値)を空港制限表面以下に抑えることが可能であることを確認した。

今後、現地計測による部材応力と設計応力の比較等を実施し、より合理的で安全な防波堤形式を実現するための検討を継続したいと考えている。

航空レーザー計測による土砂変動量の把握について

関東地方整備局 富士川砂防事務所 調査課 木本 智史

1. 背景

富士川流域は南アルプスをはじめとする3,000m級の急峻な山地にその源を発し、静岡県の駿河湾に注ぐ一級河川である。流域の西側一帯には糸魚川 - 静岡構造線が南北に縦断しており、脆弱で侵食されやすい地質構成であるとともに断層や破碎帯が数多く分布しており、土砂生産量が多い流域である。また、富士川流域は流砂系を一貫した総合的な土砂管理のモデル流域でもあり、関係各機関と連携を図っている。

流砂系での総合的な土砂管理を推進するには、流域全体の土砂動態を量と質の観点から、空間的・時間的に検討する必要がある。こうした概念に基づき、土砂動態を把握するためには、個別領域の土砂移動現象の把握が必要である。流砂系の上流域にあたる砂防領域においても土砂生産の量と質の把握に努めているところである。

その中で従来、山地河川の河床における土砂変動量の把握は、河床横断測量を行うことが一般的であった。しかし近年、レーザー計測機器技術の発展等により航空レーザー計測によって河床部の地形を面的に且つデジタルデータで把握することが可能となった。

そこで本報告では、平成13年と平成15年に実施した航空レーザー計測結果を用いた山地河川河床部の河床変動量の算出結果について報告する。

2. 航空レーザー計測について

航空レーザー計測で使用する航空レーザープロファイラはGPS(Global Positioning System)受信機を内蔵しており、電子基準点もしくは地理座標が既知である地上基準局でのGPS受信データと照合することにより、高精度に航空機の位置が計測される。

また、航空レーザープロファイラはIMU(Inertial Measurement System)を内蔵しており、航空機の姿勢(ロール、ピッチ、ヨーそれぞれの角度)も計測される。これらのサブシステムはPOS(Position and Orientation System)と総称され、これによってレーザー光の照射位置、照射方向が高精度で把握される。

今回の計測ではGPS、IMU、レーザー測距装置によって、レーザー光1発ごとの標高と地理座標を算出し、山地河床部の3次元空間データを取得した。

そして、航空レーザー計測の

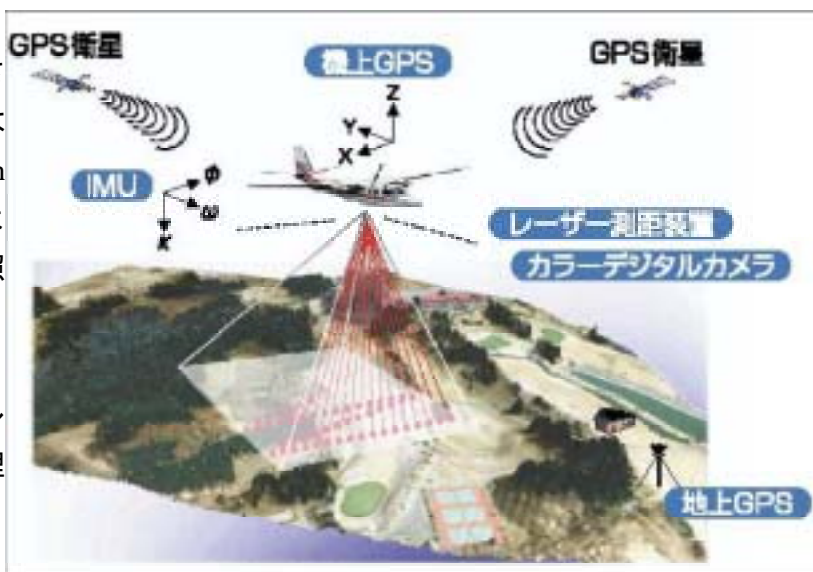


図1 航空レーザー計測の概念図

精度は、対地高度 1,000m で標高 15cm、水平 0.5m、一方、間接水準による河床横断測量の精度は、計測実施箇所（平均測量幅 80m）で標高 20cm、水平 0.3m とされる。計測方法や条件が異なるため両者を一概に比較できないが、航空レーザー計測の精度は河床横断測量と同程度であるといえる。

3 . 計測概要

今回、航空レーザー計測を実施した範囲は、図 2 に示した管内を流れる早川の支川雨畑川の雨畑ダムより上流の河床部である。計測範囲内には、東側に御池ノ沢崩壊地、西側に八潮崩れと 2 つの大規模崩壊地が存在し、土砂生産が非常に活発な区域である。ここで、平成 13 年 12 月上旬と平成 15 年 11 月下旬に航空レーザー計測を実施した。

また、レーザーは植生や水面上で反射するため、河床部に到達せず正確な地形の計測ができないことに鑑み、落葉期・湧水期を計測時期として選定した。

なお、土砂変動量の算出は、航空レーザー計測範囲のうち、計測を 2 回とも実施している範囲について、2mDEM(Digital Elevation Model)データを作成し、それらを差分する事で求めた。



図 2 計測位置図

4 . 計測結果

2 回の航空レーザー計測の結果から雨畑川流域全体の土砂変動高を算出した。その中でも特に堆積の土砂変動が顕著に現れていた御池ノ沢の土砂変動高を図 3 に示す。また、特に侵食の土砂変動が顕著であった稲又谷の土砂変動高を図 4 に示す。

まず、御池ノ沢の 2 回の計測結果を比べてみると、上流側の御池ノ沢第二堰堤から御池ノ沢第四床固にかけて侵食傾向であり、ここでの侵食土砂量は約 20,000m³であった。また、御池ノ沢第四床固から御池ノ沢第二床固にかけて、河床部が全体的に堆積傾向であり、ここでの堆積土砂量は約 96,000m³となった。

次に、稲又谷の 2 回の計測結果を比べてみると、河床全体が侵食傾向にあり、特に流水

部と思われる地点で侵食傾向が大きく、侵食土砂量は約 120,000m³ となった。

一方、稲又堰堤から約 2km 上流に位置する稲又第三堰堤（図 4 の範囲外）の上流部では、河床部が上昇している様子を捉えることができた。

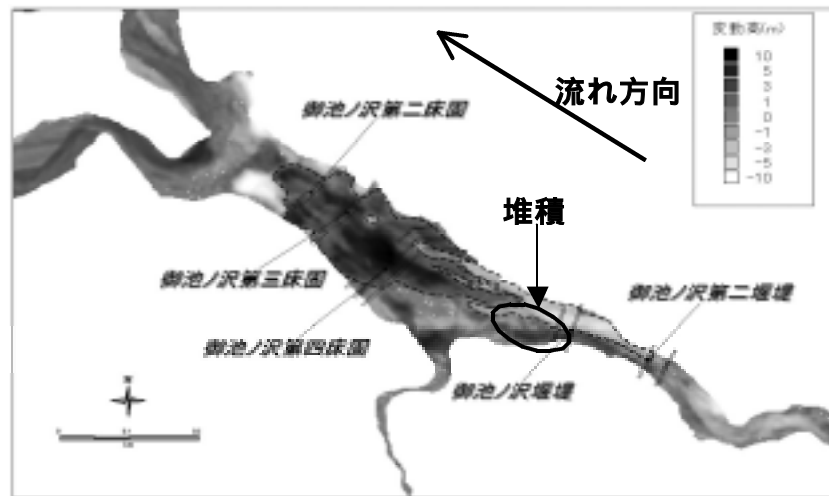


図 3 御池ノ沢下流部の土砂変動高

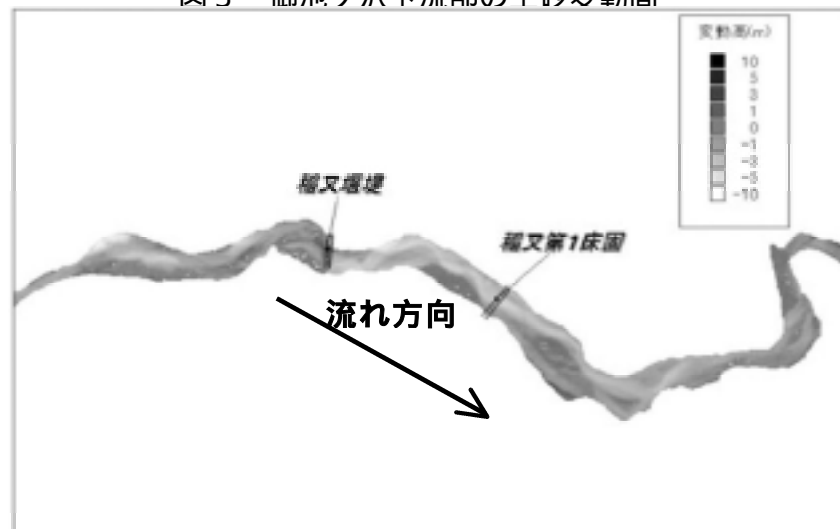


図 4 稲又谷の土砂変動高

5. 考察

航空レーザー計測による 2 回の計測結果より地形データを作成することで、山地河川の河床部における土砂変動について、平均断面法のように区間ごとの変動量の把握ではなく、広い範囲を面的に定量的な把握を行うことができた。その中でも特に、御池ノ沢床固群で大量の土砂が捕捉されている様子や稲又第三堰堤下流の稲又谷では広い範囲に渡って侵食傾向であることを捉えることができた。

図 4 の下流に位置する雨畑川との合流部から稲又堰堤までの区間約 1.8km の侵食状況を表 1 の河床変動測量結果からみると、平成 13 年は台風による出水の影響で大量の土砂が侵食されたが、平成 12 年の計測結果と稲又第三

表 1 河床変動測量結果（稲又谷）

計測期間	侵食土砂量(m ³)
H11年12月～H12年12月	47,030
H12年12月～H13年12月	112,554
H13年12月～H14年12月	60,342
H14年12月～H15年12月	79,217

堰堤が完成した平成 14 年以降の計測結果を比べると、侵食土砂量は増加傾向にある。これらの要因として、八潮崩れ等から供給される大量の土砂が稲又第三堰堤によって捕捉されたことで稲又谷への土砂供給が減少したためだと推察される。

また、計測方法について言及すると、ある領域を面的に計測する航空レーザー計測の土砂変動量と、図 5 に示した

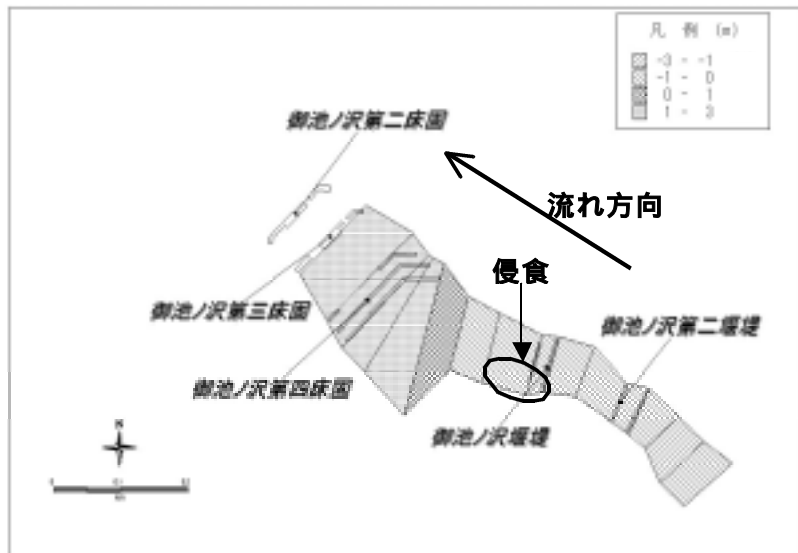


図 5 御池ノ沢下流部の土砂変動高（河床横断測量）

ある測線の情報を拡大近似する河床横断測量結果では、図 3 と図 5 のように御池ノ沢堰堤下流左岸側の一部で局所的に堆積・侵食が逆転することもあるなど算出結果が異なることが考えられる。だが、航空レーザー計測は広い範囲を面的に捉えられることから、航空レーザー計測結果から算出した土砂変動高が真値に近いといえるだろう。

そして、航空レーザー計測に当たっての留意点として、植生や水面の影響を大きく受けやすいことは前述したとおりである。特に、平成 15 年の計測時は稲又第三堰堤の上流にダム湖が形成されていたことから、堰堤上流の堆積土砂量を算出することができなかった。今後は、植生や水面による影響の除去手法を検討することで、より正確な河床の変動を捉えることが可能となると考えられる。

6. まとめ

従来、山地河川の河床部の土砂変動は河床横断測量等を用いて把握してきたが、航空レーザー計測を用いることにより、山地河川における土砂変動状況を面的に且つデジタルデータで把握可能であることが示された。図 3 の航空レーザー計測と図 5 の河床横断測量を比べると、土砂変動の平面的な再現性では航空レーザー計測が河床横断測量よりも優れているといえる。更に、台風等による大規模出水後の土砂変動状況の把握を行うにも、航空レーザー計測は安全かつ効率的に行えることから非常に有効であるといえる。そして、精度でも、総合土砂管理のモニタリングにおいて河床横断測量で求められる計測精度（ L ：距離(m)、標高精度： $5cm + 15cm\sqrt{L/100}$ 、距離精度： $L/300$ ）を満たしている。これらを踏まえると、航空レーザー計測は現況の計測機器の性能、測定精度で河床横断測量に代わる十分なデータを得ることが可能であり、総合土砂管理のモニタリングの 1 つの手法として提案できるものであるといえる。

また、今後は、航空レーザー計測後の処理について、植生や水面による影響の除去手法の検討を進めていくことが必要である。

道路騒音を『音』で低減する新型遮音壁の設置について

淀川河川事務所 機械課 整備係長 味田 悟

1. はじめに

一般国道43号は道路交通に起因する騒音や振動、大気汚染といった環境改善を求める訴訟が提起され和解が成立し、兵庫国道事務所では様々な環境改善のための取り組みを行っているところである。今回、平成8年度より国土交通省国土技術政策総合研究所と三菱重工業(株)の共同開発により製品化された、「音を音で低減する」原理のアクティブ型新型遮音壁(以後、新型遮音壁)を、昨年度一般国道43号へ試験導入したので報告する。

2. 動作原理

新型遮音壁の動作原理を図-1に示す。新型遮音壁には、外部の騒音を検知するためのマイクと音波の位相を逆転するための制御回路、制御音を発生するスピーカが一体化した「スピーカセル」を複数配置し構成されている(1m当り6個×2列の合計12個)。「スピーカセル」は道路側に向けられたマイクにて騒音をキャッチし、その信号を制御回路に送り、制御回路で騒音と逆位相の音を作り出し、スピーカから発生させる。このスピーカから流した逆位相の音と遮音壁上部で回折する騒音が打ち消しあい住宅側への騒音が弱まる。これを一瞬で行い、時々刻々と変化する騒音に対して次々に繰り返される。このような減音動作を「スピーカセル」が個々に行うことにより騒音を低減する。

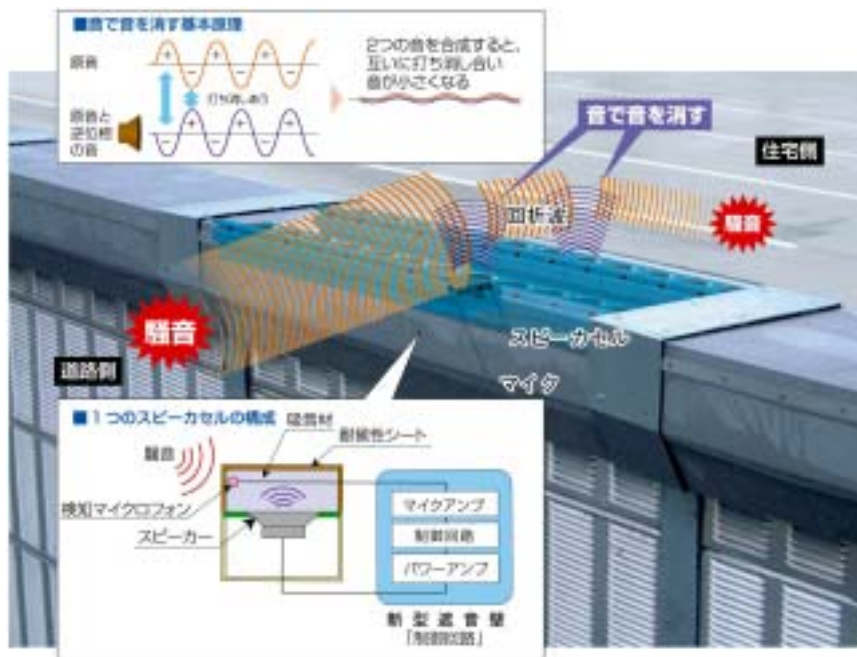


図 - 1 新型遮音壁の原理

3. 工事概要

兵庫県芦屋市精道町の一般国道43号へ連続して設置されている遮音壁(路面から高さ5m)延長254m(上り142m、下り112m)の上部に新型遮音壁を被せるように取り付け設置をした。設置場所の道路平面図を図-2に、道路断面図を図-3にそれぞれ示す。

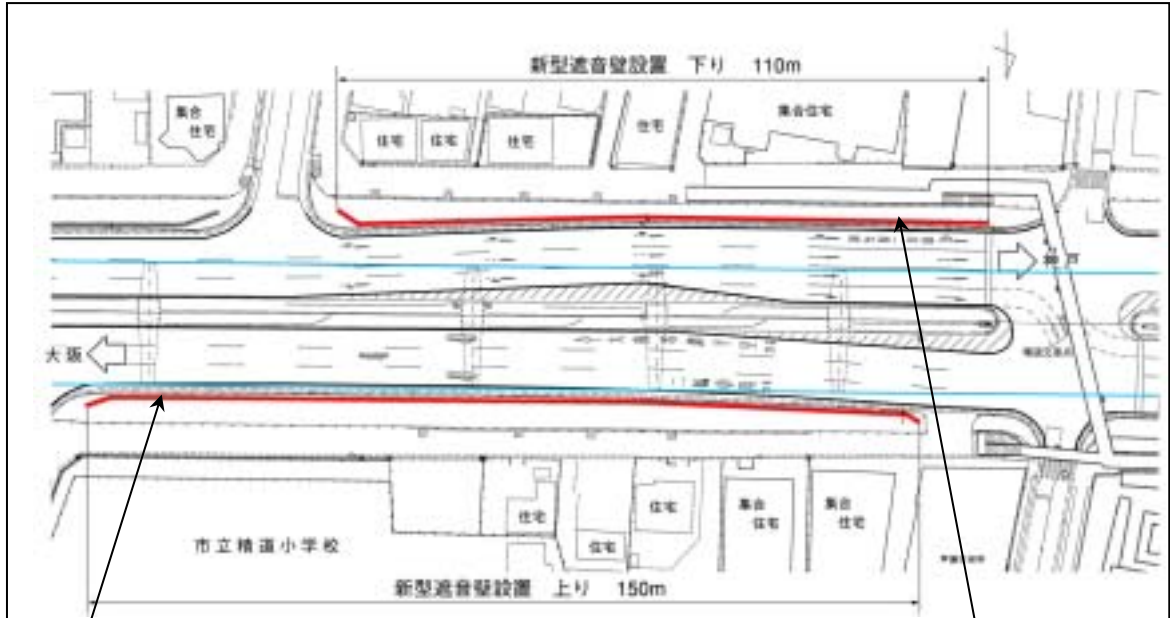


図 - 2 設置場所の道路平面図

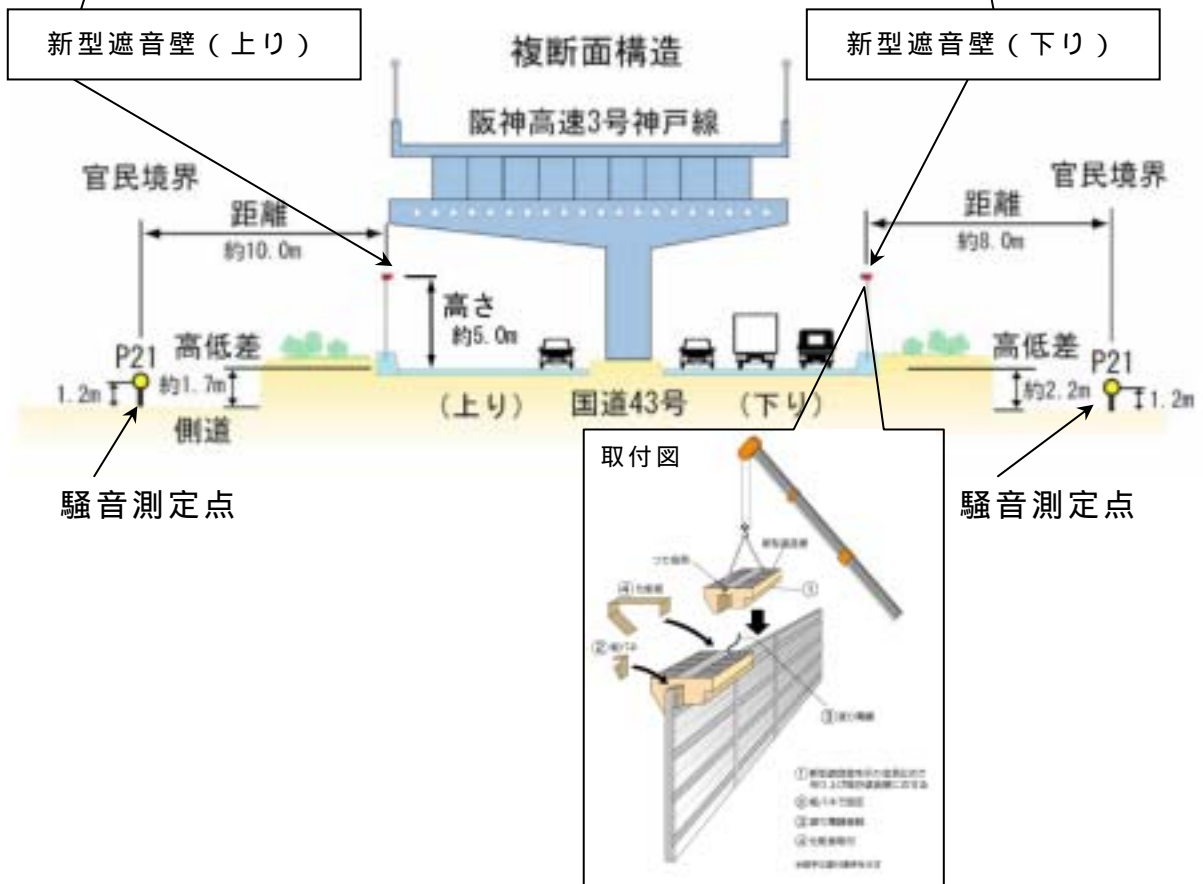


図 - 3 設置場所の道路断面図

4. 新型遮音壁設置前後の騒音データ（24時間平均等価騒音レベル）

設置前後において、環境騒音測定方法である官民境界（設置区間中央部）での24時間平均騒音（等価騒音レベル）の計測を行い、毎正時10分間の等価騒音レベルを求め、昼間・夜間の時間帯毎に平均した結果を表-1に示す。

昼間時間帯で-0.3~-1.0dB、夜間時間帯で-1.5~-1.6dB（交通補正後）の騒音低減効果が得られた。尚、設置効果を純粹に把握するため、設置後の交通量については補正を行っている。

表-1 新型遮音壁の設置効果（官民境界の騒音レベル）単位dB(A)

車線別	時間	測点	設置前	設置後	レベル差
下り車線	昼間	P21(官民境界上)	61.1	60.1	-1.0
	夜間	P21(官民境界上)	59.0	57.5	-1.5
上り車線	昼間	P21(官民境界上)	63.3	63.0	-0.3
	夜間	P21(官民境界上)	61.3	59.7	-1.6

5. 大型車の周波数分析結果（実交通の大型車のピーク騒音値）

特定の大型車両通過時に、新型遮音壁設置区間と従来の遮音壁（路面からの高さ5mの壁）設置区間との瞬間最大値（最大騒音レベル）を比較した結果を表-2及び図-4に示す。新型遮音壁により-3~-6dBの騒音低減効果と低い周波数域での騒音低減効果が得られた。

表-2 大型車走行時の効果（官民境界の騒音レベル）単位dB(A)

大型車車種	新型遮音壁無し	新型遮音壁有り	レベル差
タンクローリ車	70.3	64.1	-6.2
トラック8t車	65.0	61.5	-3.5

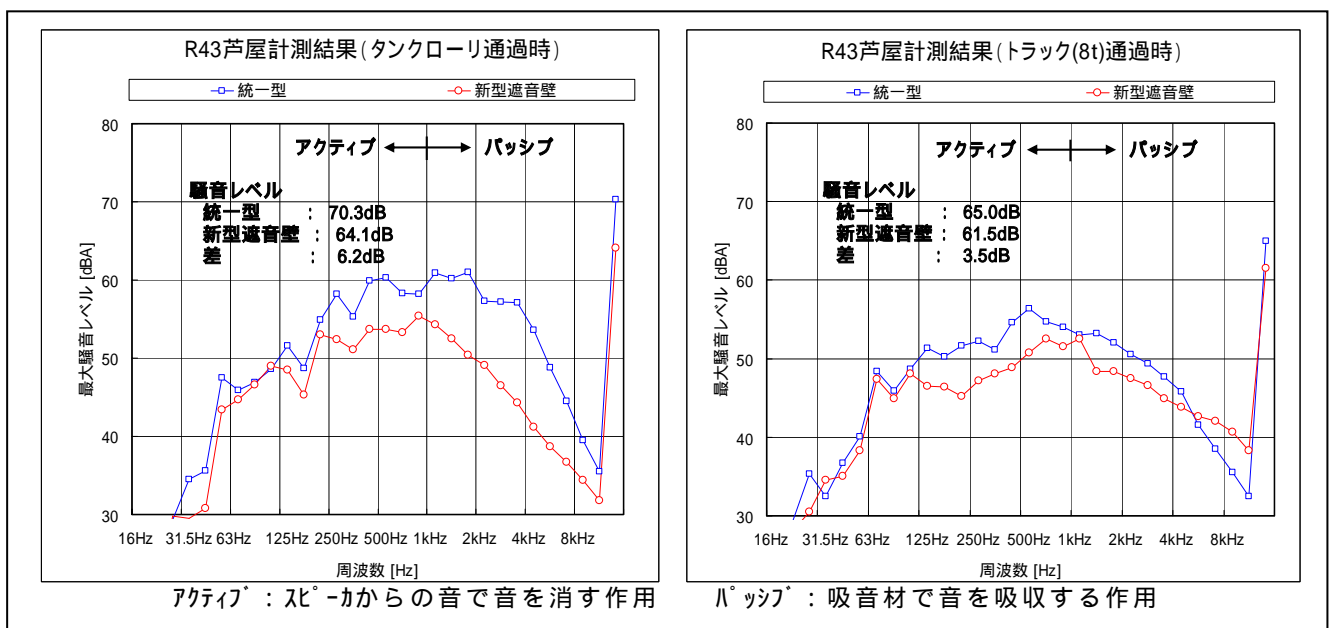


図-4 大型車走行時の低減効果

6. 現地適応試験の結果

日本初となる「音を音で低減する」新型遮音壁を試験導入した結果、24時間平均等価騒音レベルで比較したところ、設置前後の差は最大で-1.6dBであり、国土技術政策総合研究所の実験施設で得られた平均-4.3dBの減音効果は得られなかった。

今回の新型遮音壁設置場所では、下記～などのような複雑な条件が輻射しており、新型遮音壁による効果については今後更に検証が必要である。

道路構造による条件

国道43号と阪神高速道路が重なっている複断面構造による音源・伝搬経路等の多様化等

位置関係による条件

車道端から官民境界までの距離や車道面と測定点との高低差など、相対的な位置関係による騒音低減効果の違い等

遮音壁開口部からの回り込み音の影響

官民境界の位置とその周辺民家などの反射の影響による、遮音壁の途切れた部分（開口部）からの騒音の官民境界への影響等

道路信号制御による道路騒音の大きな変動による影響

信号周期で道路騒音が大きく変化し、信号で全車が停止する場合に官民境界での騒音が当該地の暗騒音レベルに近くなるための騒音低減効果の目減り等（図-5参照）

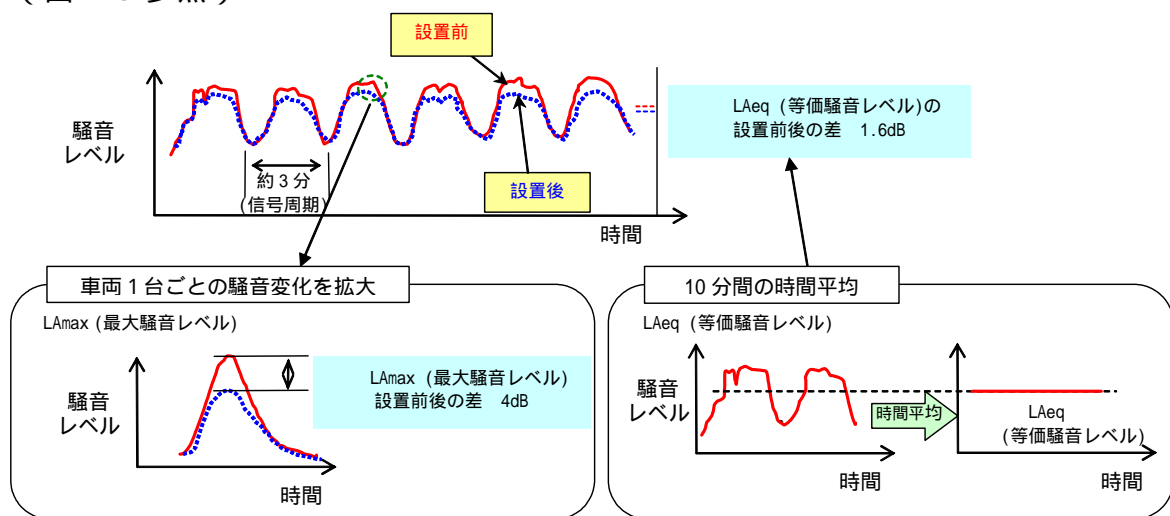


図-5 信号周期による騒音低減効果の目減り

7. あとがき

- (1) 今回設置した場所は阪神高速道路が重なっている複断面構造や周囲条件も影響しているものの、減音効果は-1.6dB程度得られたことは、43号の環境基準達成率を向上させる観点で意味があると考えられる。
- (2) 大型車両のピーク騒音の減音効果は、実験値と同様-4dB程度が確認された。
- (3) 今後は単路部での効果検証や遮音壁開口部の騒音対策の検討など、引き続き環境改善の取り組みを実施していきたい。

シルテーションによる港湾施設の埋没の技術的対策について

九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所

技術開発課 技術開発第一係長 黒田 祐一

1. はじめに

有明海や周防灘の様な泥土分が多い海域にある港湾においては、シルトや粘土等の浮泥が波や流れによって巻き上げられ移動するシルテーションによる港湾施設の埋没によって、大型船舶の航行に支障を生じる可能性が高くなっていく。このため、九州地方整備局港湾空港部では平成3年より潜堤（逆T型）の設置による港湾施設の埋没対策を熊本港において実施しており埋没量低減の成果をあげてきている。（図-1）

一方、潜堤は没水構造物であるため、小型船舶の航行に対して障害となる可能性があることから、できる限り潜堤の天端高を低下させることにより、小型船舶の航行の円滑化を図ることが必要である。（図-2）

この課題に対応するため、従来の逆T型潜堤よりも天端高を低下させることが可能な潜堤の形状等について検討を行ったものである。

2. 検討内容

2.1 検討方法

熊本港では、従来より航路や泊地を逆T型潜堤で囲むことで、埋没対策を実施しており、その潜堤の有効性は確認されている状況にある。

その有効性を保持しつつ、より低天端化した潜堤のあり方について検討するため、浮泥の流動状況を詳細に観測できる水槽により実験を行った。（図-3）

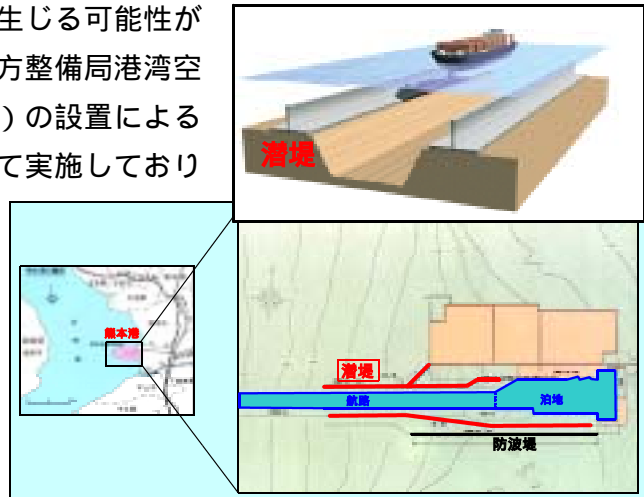


図-1 潜堤設置事例（熊本港）

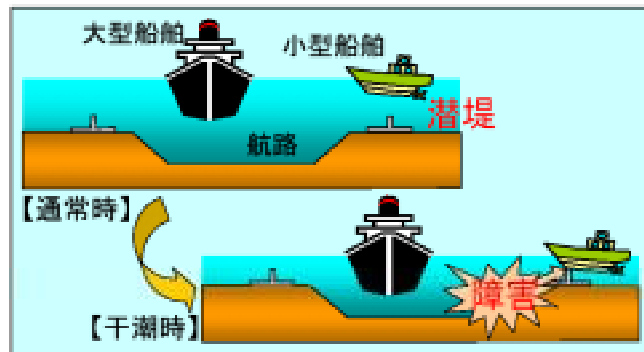


図-2 潜堤の設置状況

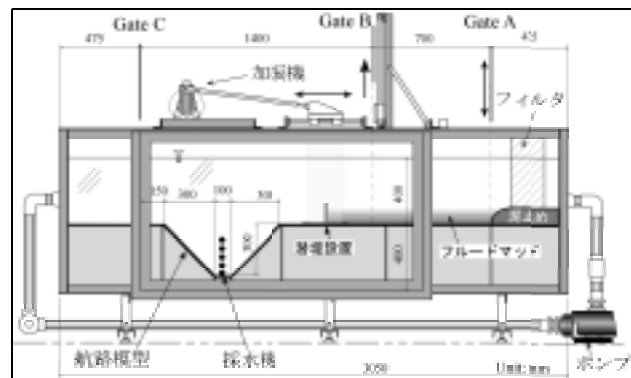


図-3 実験水槽図

この実験水槽は、高濃度浮泥層（フルードマッド）の流動を可視化できるようにしており、また、水槽内部には航路を模した落ち込み部を設けるとともに、ポンプや加振機により流れや波の影響を再現できるようにしている。

なお、水槽実験の再現性を検証するため、密度流モデルを用いた数値シミュレーションにより、潜堤形状による浮泥の拡散効果の違いを取り入れ、潜堤により形成される渦の効果も確認した。

2.2 対象潜堤

埋没阻止効果を高めるためには、流れや波の影響により潜堤上を越えてしまう浮泥に対して、潜堤背後に形成される大規模な渦によって攪拌させ浮泥濃度を低下させることが有効と考えられる。（図 - 4）



図 - 4 渦の効果

そのため、断面形状により渦の形成が異なる4種類の潜堤（逆T型、台形型、雨滴型、逆型）を対象として検討した。（図 - 5）

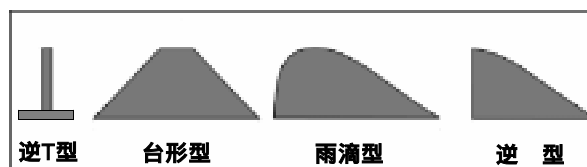


図 - 5 潜堤の種類

3. 検討結果

3.1 潜堤高の比較

潜堤高の影響を検討するため、潜堤高 h_s が10cmと20cmの逆T型潜堤を用いた実験を行った。その結果、潜堤高が10cmの場合には潜堤上を越流した浮泥は航路の斜面に沿って流下しているのに対し、潜堤高20cmの場合には濃度の薄い浮泥が上層部を通過している状況にある。そのため、潜堤高が高くなると、潜堤上を越流する浮泥量自体が少なくなること、また潜堤直上の流速が速くなることにより潜堤航路側の渦の規模が大きくなり浮泥を攪拌する効果がさらに高まることにより、航路への埋没阻止能力はますます高まるものと考えられる。（図 - 6）

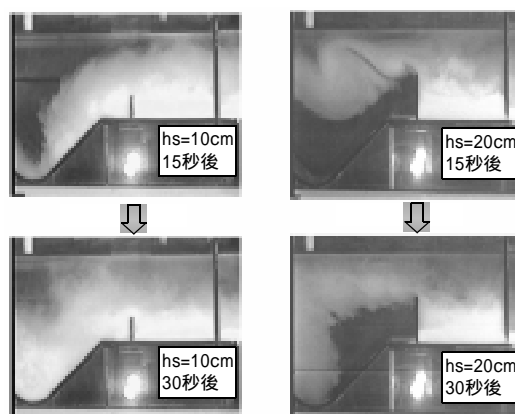


図 - 6 潜堤高の比較（水槽実験）

また、実験と同じ条件により、3種類の潜堤高($h_s=10, 15, 20\text{cm}$)で数値シミュレーションした結果、実験の場合と同様に、潜堤高の高い方が航路側に流入する量が少なく航路へ堆積しにくくなることが再現された。

（図 - 7）

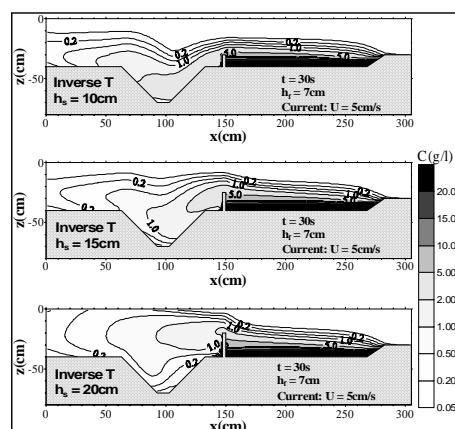


図 - 7 潜堤高の比較（シミュレーション）

3.2 潜堤形状の比較

潜堤形状の違いによる浮泥の埋没阻止効果の相対的な比較検討を流れや波が作用する条件のもとで行った。その結果、潜堤周辺に生じる渦の形成と埋没阻止効果との間に深い関係があることが認められ、特に潜堤上を越流する浮泥が渦によって静水と攪拌混合され、浮泥濃度の低下による沈降速度の減少により航路への堆積が抑制される様な、逆T型潜堤と逆型潜堤が効果的と確認された。(図-8)

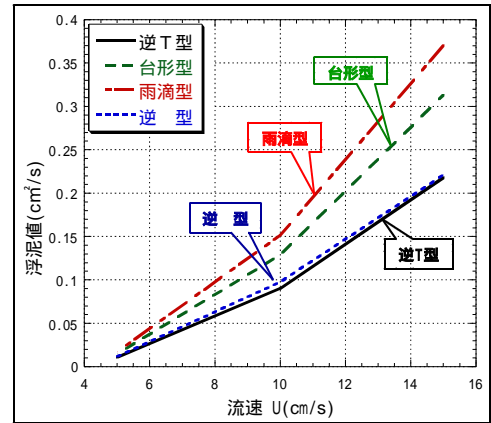


図-8 潜堤形状の比較

3.3 複列潜堤の効果

埋没阻止効果を低下させずに潜堤の低天端化を図るために、潜堤を複列に配置した場合について検討を行った。潜堤の複列化による埋没阻止効果の比較を逆T型潜堤で実験した結果、浮泥厚 h_f が7cmの同条件であれば複列化により航路内の濃度を半分程度に抑えられることが確認された。(図-9)

また、その結果をもとに埋没阻止効果が同程度となると考えられる航

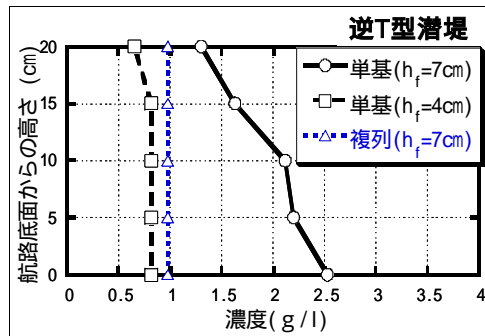


図-9 単基・複列の効果

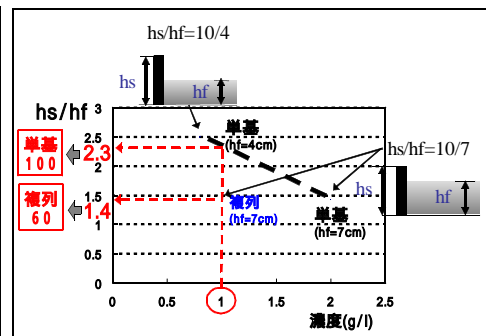


図-10 単基・複列の高さ比較

路内浮泥濃度の条件下において、単基と複列の高さを比較検討することにより、複列潜堤は単基設置の潜堤の6割の高さで同程度の埋没阻止効果があるものと考えられた。

(図-10)

3.4 複列潜堤の組合せ

潜堤形状の違いによる埋没阻止効果の結果で効果的と確認されて逆T型潜堤と逆型潜堤を組合せた3種類(逆T型, 逆型, 逆T型)の複列潜堤により、埋没阻止効果の検討を行った。

その結果、浮泥が堆積している側では浮泥を乱さない様に逆型潜堤を、航路側では越流浮泥を攪拌し濃度低下を促す逆T型潜堤を設置する逆T型潜堤が最も有効な組合せであることが確認された。(図-11)

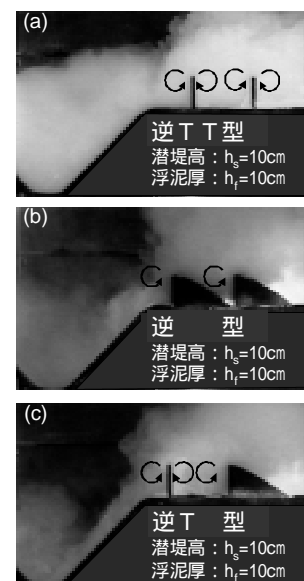


図-11 複列潜堤の組合せ

3.5 複列潜堤の設置間隔

複列潜堤の有効な設置間隔については、渦の攪拌効果により潜堤越流浮泥の濃度低下を促進させるために、潜堤間の渦が十分に発達する距離が必要である。(図-12)

潜堤間に発生する渦の数値シミュレーションを行った結果、潜堤間隔 D は潜堤高の2倍程度は必要であることが確認された。(図-13)

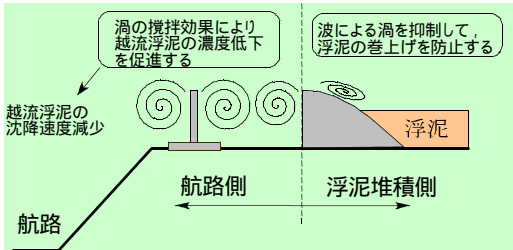


図-12 複列潜堤の渦効果

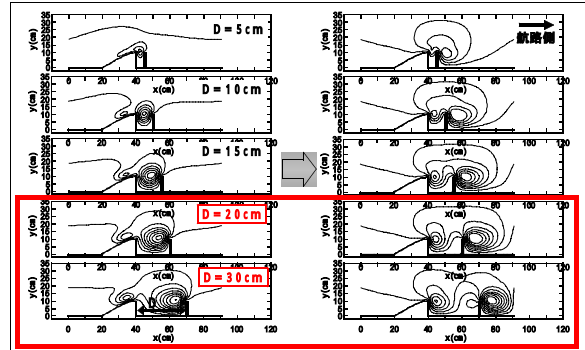


図-13 複列潜堤の設置間隔

4. おわりに

従来の逆T型潜堤と同程度の埋没阻止効果を保持し、より低天端化させる様な潜堤の形状等を研究した結果、技術的に潜堤の複列化が効果的であり、その潜堤高は逆T型潜堤の6割程度とすることが可能であることが確認された。また、複列潜堤としての形状の組合せは逆T型潜堤が有効であり、その際の最適な設置間隔は潜堤高の2倍程度は必要であることも確認された。(図-14)

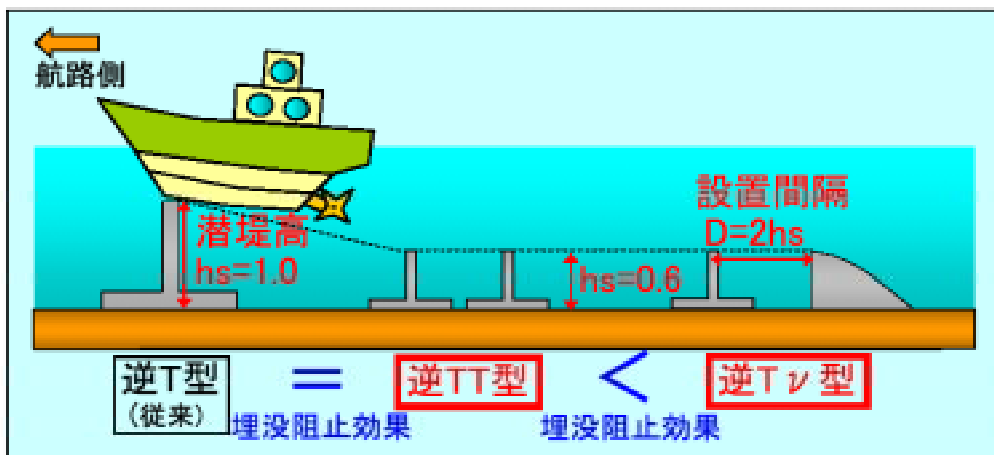


図-14 複列潜堤の効果

一方で、複列化により断面ボリュームがアップし、施工コストの増大等といった課題の発生もあり得ることから、本検討内容の実現化のためには、潜堤の構造や材料を見直し、コスト削減方策等についても検討する必要があるものと考えられる。

また、近年、環境と調和した港湾整備も求められていることから、自然環境協調の付加機能を有する潜堤の検討に取り組み、より効果的・効率的な埋没対策の技術開発を進める必要がある。

無人ラフテレーンクレーンの開発

金沢河川国道白峰砂防出張所長 金谷 孝雄
北陸技術事務所 整備係 加藤 学

1、はじめに

これまで北陸技術事務所では、砂防工事現場や災害復旧現場における作業の安全を確保するためバックホウ等各種建設機械の無人化技術の開発を行ってきた。しかし、現在の無人化施工技術では、資機材を遠方に移動する技術がなく、施工性の低下を招いていた。

そこで資機材を遠方に移動するのに最適で、機動性に優れた無人ラフテレーンクレーンの開発を行ったものである。

ここでは、平成14年度から着手した、無人ラフテレーンクレーン開発の概要と性能試験結果について報告する。

2、無人ラフテレーンクレーンの概要

2.1、無人クレーンの特徴

無人クレーンの特徴は次のとおりである。

50t吊ラフテレーンクレーン

遠隔操作時の操作有効距離は150m

一般公道の走行が可能（有人時）

災害復旧工事に不可欠な吊り荷走行可能

過負荷防止装置サブモニタシステム装備

遠隔モニタシステムを装備



写真 - 1 無人ラフテレーンクレーン

2.2、遠隔操縦の無線システム

遠隔操縦に係る無線システムは、車輛の制御は「特定小電力無線」を採用し、画像伝送は「SS無線2.4GHz」を採用した。また、クレーンはバックホウ等に比べ操作項目

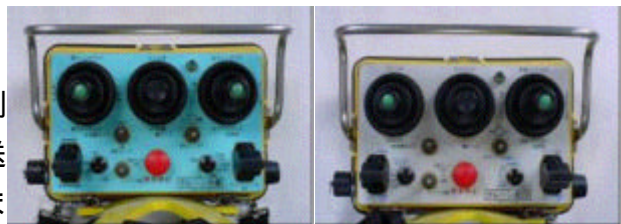


写真 - 2 走行用（右）作業用（左）送信機

が多く煩雑であることから、1つの送信機全ての操作項目をカバーするのは困難であった。そのため、走行用と作業用の2つの送信機でクレーンの遠隔操縦を行うこととした。

2.3、遠隔モニタシステム（映像支援と過負荷防止装置）

クレーンの遠隔操縦支援のため各種遠隔モニタを装備した。主な遠隔モニタ装置は次のとおりである。

車載カメラ：作業監視用及びワイヤードラム乱巻監視用カメラ

水準器カメラ：クレーンの水平状態確認用カメラ

クレーンカメラ：ブームの先端にカメラを取付、吊り荷を真上から確認し、吊り荷の状態や作業現場との位置関係の確認

過負荷防止装置：遠隔操作時でもクレーンの作業負荷情報をリアルタイムでサブモニ

タに表示できることより安全な作業を確認

固定カメラ : 作業現場全体の映像確認用カメラ (現地で必要に応じて用意)



写真-3 クレーンカメラ



写真-4 クレーンカメラ映像(左)



写真-5 車載カメラ

過負荷防止システムカメラモニター(右)

3、無人クレーンの法規制

無人クレーンの開発にあたり「移動式クレーン検査証」及び「自動車車検証」を取得する必要があった。無人クレーンは国内初の試みであるため各担当部局と次のような調整を行い無人クレーンの完成を迎えている。主な事項は次のとおりである。

3.1、移動式クレーン検査証

確実に電波の届く距離である150mを操作有効距離とすること。

必ずクレーン本体、各種警告灯が目視確認できる位置で作業を行うこと。

クレーン本体、必要により固定用カメラ(現場確認用)を設置し、常に安全を確認しながら作業を行うこと。

3.2、自動車車検証

クレーン作業中(作業姿勢)でないと遠隔操作での走行ができない構造とすること。

4、無人クレーン性能試験

試験は、金沢河川国道事務所白峰砂防出張所管内の柳谷地区にて施工されていた導流落差工で、現場性能確認試験を、北陸技術事務所富山出張所構内では平地試験を実施した。

4.1、現場性能確認試験

本試験を実施した柳谷川の左岸側は落石や土砂崩落など荒廃が著しいため無人区域とし、比較的安定している右岸側については有人地域として施工を進めている。(写真-6)調査方法は有人区域と無人区域で表-1に示す内容及び方法で試験を実施した。有人区域では同条件で有人操作と無人操作



写真-6 柳谷地区有人・無人箇所の別

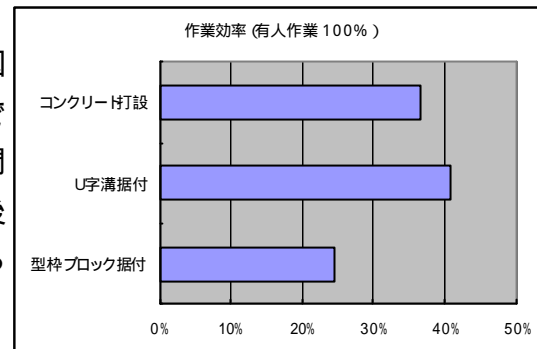
の比較を行った。また、オペレータへのヒアリングを行い無人クレーンへの改善点等の調査を実施した。

作業工種	作業内容	組合せ資機材	調査項目	有人区域作業方法	無人区域作業方法
型枠工（設置）	玉掛け 型枠移動（行き） 位置決め（設置） 型枠移動（戻り）	クレーン+ 円形ブロック	サイクルタイム計測	画像支援を使用せず目視作業	画像支援を使用作業及び目視作業
U字溝設置	玉掛け 型枠移動（行き） 位置決め（設置） 型枠移動（戻り）	クレーン+ U字溝			
コンクリート打設	バケット位置決め、 コンクリート投入 バケット移動（行き） コンクリート打設 バケット移動（戻り）	クレーン+ C oバケット			

表 - 1 試験内容及び方法

4.1.1、有人区域試験結果

有人作業を100%とした場合の作業効率を図-1に示す。3工種とも約3割程度の作業効率であった。今回操作を行ったオペレータは、短期間の操作訓練後すぐに現場に入っているため、今後操作に慣れることにより作業効率の向上が図れると考えている。



4.1.2、無人区域試験結果

本試験結果は、画像支援作業と目視作業とで図-1 無人クレーン作業効率 サイクルタイムに大きな差は生じなかった。これは、作業半径等現場条件が異なることから、一概に比較できないため、平地試験で再度調査することとした。

4.1.3、無人クレーン導入によるメリット

現場性能確認試験で確認できた無人クレーン導入によるメリットは、図-2のように、今までクレーンが入れず施工が不可能であった場所でも安全に施工ができるようになったこと、作業半径が狭まったことよりコンクリートバケットが従来の1m³から1.5m³へと大型化が可能となり作業効率の向上が図れた。また、今まで安全対策のために施工してきた仮設費の削減にも貢献できたと考える。

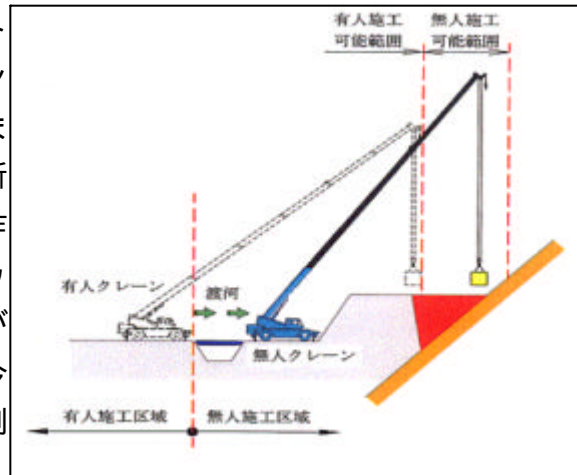


図 - 2 従来工法と新工法比較

4.1.4、オペレータヒアリング結果

現地性能確認試験で操作したオペレータへのヒアリング結果は次のとおりであった。

- ・送信機を使用した作業には違和感はない。
- ・無人操作は作業時のエンジン回転が低く設定されているため作業効率が悪い。
- ・無人操作では複合操作がやりづらい。

現地性能確認試験及びオペレータのヒアリング結果を受け、2点について改造を行った。

- ・作業用のエンジン回転数を現状より高い設定を追加した。
- ・送信機の補巻ウィンチ操作を左レバーから右レバーに移すことにより、旋回とウィン

手作業の複合操作を可能とした。

4.2. 平地試験

現地性能確認試験を受けて改良した項目について検証を行った。

4.2.1. エンジン回転数設定変更

作業用エンジン回転設定(M)(1100rpm)と最高エンジン回転設定(H)(1700rpm)の間に新たな回転設定としてM2(1400rpm)を設定し、その効果について検証した。(図-3)

結果、設定MとM2で大きな差は現れなかったが、オペレータのヒアリングではM2の方が作業しやすいというコメントであった。

4.2.2. 操作レバー設定変更

操作レバーの設定変更を行ったことで、旋回操作とウィンチ操作の複合操作が可能となったことから、サイクルタイムが16%向上と良好な結果が得られた。(図-4)

4.2.3. 画像支援システム

現地性能試験で確認できなかった画像支援システム作業と目視作業との作業効率の差を図-5に示す。結果、画像支援システムが非常に有効であることが確認できた。これは、クレーンカメラの映像が吊り荷を真上から見れることより作業速度が向上していると考えられる。

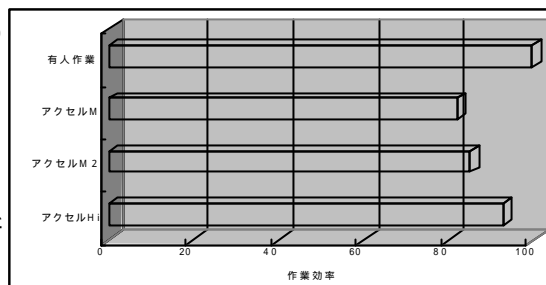


図-3 エンジン回転数別作業効率

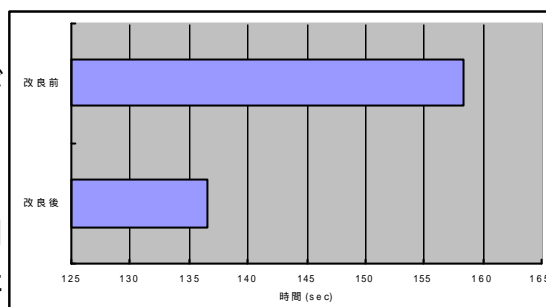


図-4 操作レバー別サイクルタイム

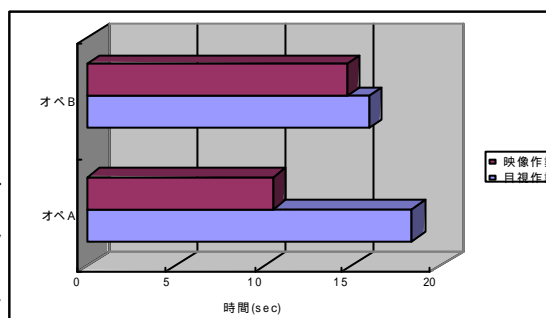


図-5 目視作業・映像作業の比較

5. まとめ

無人クレーンの導入により、今まで施工不可能であった箇所でも安全な施工が可能となった。また、コンクリートバケットの大型化や、安全対策に係る施工費の軽減が可能となりコスト縮減にも貢献できたと考えている。本機の導入により、無人化施工工法の範囲が広がり、砂防工事現場や災害現場等の危険区域での活躍を期待する。

今後の課題としては、作業効率の向上を図る必要がある。これは、オペレータへの情報不足(音、振動等)が要因と考えられ今後、オペレータへの情報増加を図る必要がある。また、平成16年度に本格稼働となることから、オペレータ支援を実施し操作の習熟による作業効率の向上を図っていく。

本調査は、これまで無人化施工技術検討委員会で検討してきたもので、平成16年度は本委員会で「無人化技術マニュアル(仮称)」の作成を行い無人化施工の更なる安全や無人化施工管理体制の強化を図っていくものである。

最後に本検討にあたり調査等にご協力頂いた多数の関係者に感謝致します。

一関遊水地鉄道橋改築事業に伴う軟弱地盤 対策としての低改良率工法の効果について

東北地方整備局 岩手河川国道事務所 工務第三課 一戸 欣也
○ 宇部 鉄也
工務第二課 福田 優

1. はじめに

北上川の中流部・岩手県南部に位置する一関遊水地事業計画の一環として、北上川の支川太田川を完全背水堤として改修するため計画・施工されたJR第3太田川橋梁は、全国的に事例のない**遮水壁土堤方式のボックスカルバート構造**を採用している。この構造は特殊であることから、国土交通省及び東日本旅客鉄道（株）の双方の技術を反映させながら、土木研究所の指導協力のもと、計画段階から施工に至るまで多年度に渡って諸検討を実施してきた。

本稿では、種々ある特殊性のうちアーチアクション効果の実現性、施工コスト縮減に着目して、最新の技術情報を取り込み、大規模な堤体盛土工事における軟弱地盤の地盤改良工法として「**低改良率の深層混合処理工法（DJM）による地盤改良**」を採用した経緯、検討内容、動態観測結果、工法の有益性、コスト縮減化の方向性など、今後の同種施工への参考とすべく概要を報告するものである。



図-1 位置図

2. 低改良率地盤改良工法の技術的特徴

2. 1 アーチアクション効果による低改良率の実現化

当該地はN値=0~3、深度≒13mの軟弱層である。JR部は現況高さを維持するため荷重増加は殆ど無いが、その近隣に約10mの横堤盛土を新たに施工するため、不同沈下防止として太田川函体周辺の地盤改良が必要となる。当初JR設計では現地盤強度増加を目的に、改良体杭径1m(改良率90.6%)の計画であったが、協議過程の中で土木研究所(土研)より低改良率施工の可能性について指導があり、再照査後変更に至った。低改良率の採用は、日本では新潟、北海道に次いで3例目で、測定計器を設置して施工中からの観測は初めての試みである。

土研での模型実験(図-3)では、沈下量がある一定になるまでは改良・未改良部とも、応力分担比が急増し収束する実態が確認されており、改良率が高いほど応力分担比は大きくなる。また、図-4では、改良率と応力分担比及び盛土高さでその相関性を示しているが、盛土が高くなる程応力分担比が増大する傾向にあり、低改良率ほど盛土高による増加率が高く、応力分担効果が増長される。



図-2. 完成状況写真

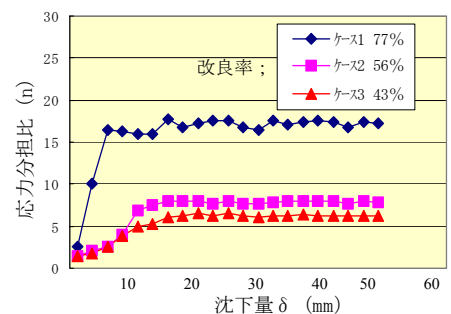


図-3. 不同沈下量と応力分担比の関係
(土木研究所模型実験データ)

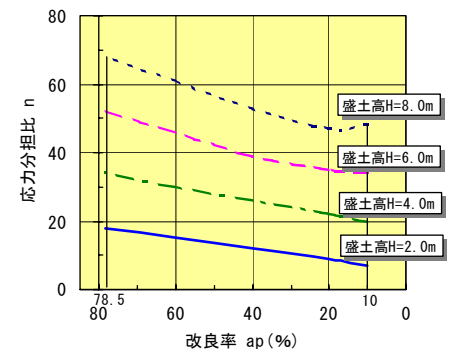


図-4. 改良率、応力分担比、盛土高の関係
(土木研究所模型実験データ)

低改良の成立理論は、軟弱地盤上に盛土を施工した際、改良部及び未改良部盛土の不同沈下により発生したせん断面に沿って上層盛土にアーチ作用（アーチアクション効果）が働き、改良部に作用する盛土荷重は図-5 のような形（杭体間の土砂分）が想定される。この状態下での上層盛土による鉛直荷重は、アーチ作用によりその殆どが改良部にかかることになり、改良部を支持点とするいわゆるドーム型のアーチとして保持されるためと考えられている。

前出の新潟、北海道の低改良率で施工した事例における動態観測結果においても、実測応力分担比は改良率 35%、盛土高 6.7m で 40、改良率 14.8%、盛土 8.0m で 80 を示し、実験と同様な低改良率の効果が確認されている。

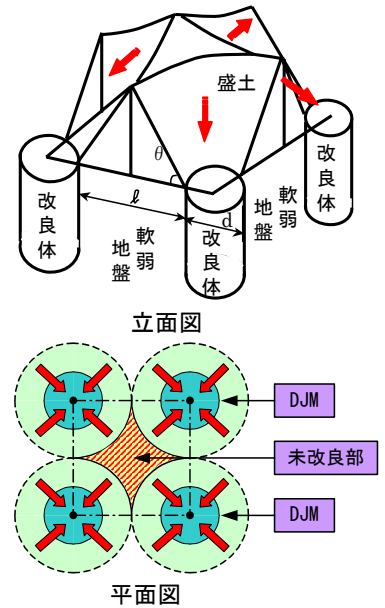


図-5. 未改良部に作用する盛土荷重とアーチ効果

2. 2 ジオテキスタイルの適用性とその効用

低改良率による深層混合処理工法地盤においては、アーチ効果によって改良部に応力が集中するものの、盛土初期状態では改良部と未改良部に若干の不同沈下が発生する。この状態を極力抑制し、且つ盛土荷重を均等に分散作用させる目的で、地盤改良の上にジオテキスタイルを敷設した（図-6）。但し、この効果は明確なものではなかったため、改良杭の設計自体では配慮していない。

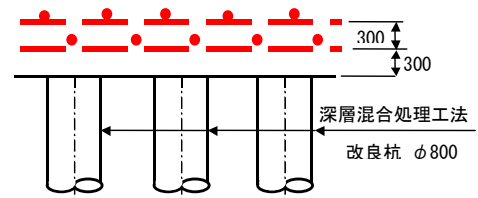


図-6. ジオテキスタイルの敷設状況

3. 効果検証のための動態観測の実施

施工スケジュールの関係から試験施工の余裕が無く工事を実施せざるを得ない状況、およびJR軌道への安全性、国土交通省での採用実績の少ない工法であることから、地盤改良の効果把握のため横堤施工時の挙動を観測しながら工事を開始した。

4. 計測計画の概要とその中間結果の整理、効果検証の方向性

4. 1 計測状況

工事開始後、特殊構造（大函体、マスコンクリート打設、地盤改良等）施工の技術的課題、施工時の問題、安全管理等を工事進捗に合わせ調整協議する目的で、土木研究所、東北地方整備局及びJRにより構成される「技術検討会」が設置された。動態観測については、前出3.の経緯からこの検討会の中で詳細計画を検討協議している。結果、右図に示すように上下流両岸に各計測機器を設置するものとし、施工時の安全管理及び地盤改良の効果検証を図った。

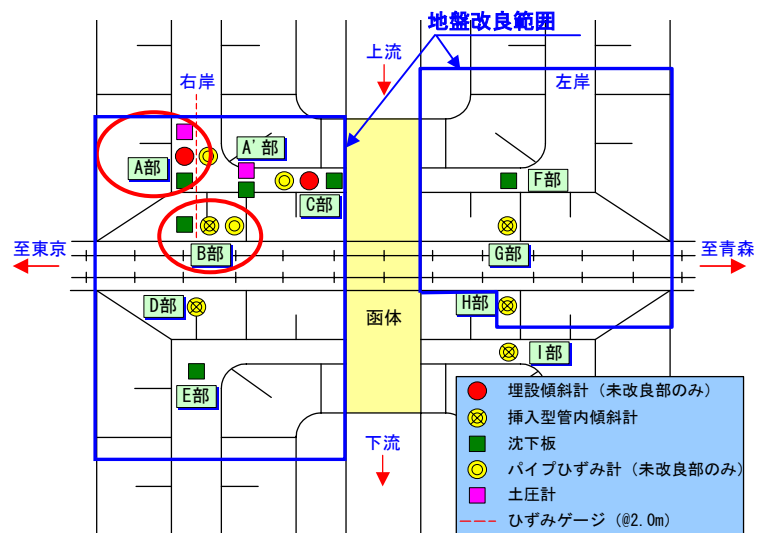


図-7. 地盤改良計測機器の設置状況平面図

4. 2 計測中間結果の整理

低改良率の効果検証のため改良杭と未改良部の挙動を把握すべく、計測結果が顕著に発現するであろう沈下量及び土圧性状、併せてジオテキスタイルの性状を検証した。

(1) 沈下性状について

最大盛土高さ9.7m (A部、図-7 参照)における土研提案式による沈下量は、改良杭部で22.9mm、未改良部で31.3mm、不同沈下量は8.4mmである。因みに、改良しない無処理の場合の沈下量は80cm程度である。

盛土を先行施工しある程度荷重の馴染みの生じたB部(盛土高4.8m部、図-7 参照)を示すものである。初期段階では変化が小さいが、突如急増しているのは平成15年5月26日と7月26日の地震時で、その後、沈下に戻る方向にあるのは地震後の地盤沈下の戻りか、周囲の盛土荷重の影響等が考えられる。相対的には、未改良部の沈下量がやや大きく、理論に合致した傾向を示していると言える。

(2) 土圧性状について

土圧計測は、盛土高が高く改良杭深度の深い上流側右岸のA部で実施した。初期状態は沈下量同様に変化は小さいものの、地震時には微増のみで大きな変化は見られず、急増したのは盛土高3m程度からである。理論ではアーチ効果で改良部に応力が集中すれば、改良部土圧の方が卓越してくるが、計測結果でも改良部の土圧が大きく、未改良部の方が小さい傾向を示している。但し、アーチ発現効果はまだ薄く、盛土完了後も漸増しているものの応力分担比は2.5程度と低い状況である。

(3) ジオテキスタイルの性状について

ひずみ分布は、盛土が高い方が相対的に大きく、JR軌道付近ではその荷重影響が見られる。

ひずみ分布(応力分布)が波打ち形状を示し、差異は顕著ではないが、改良の有無による荷重分担効果を表しているものと判断できる。盛土完了後も漸増し、差異が顕著化する傾向にある。

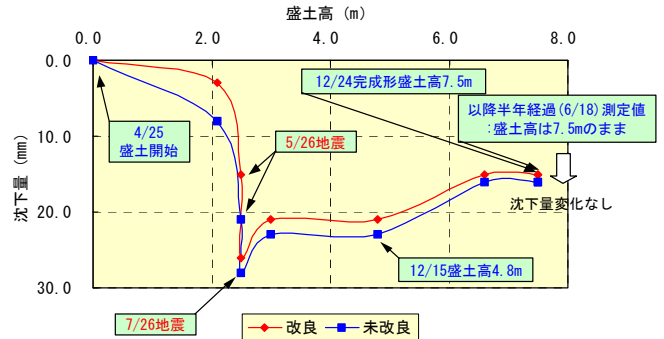


図-8. 改良杭と未改良部の沈下量計測結果 (B部)

※計測は12/15のB部盛土完了後も横堤盛土による影響を考え、計測を継続実施中。
→ 12/24横堤盛土完成後、沈下量に変化無し。

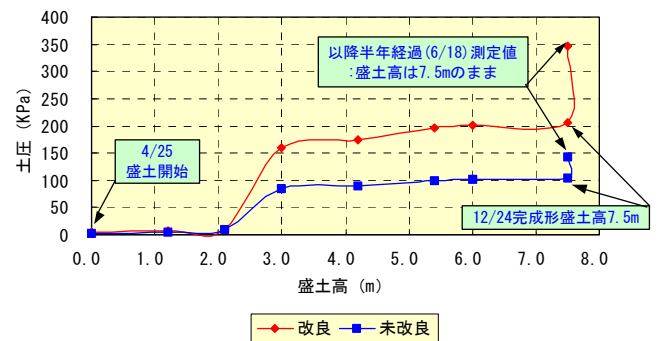


図-9. 改良杭と未改良部の土圧計測結果 (A部)

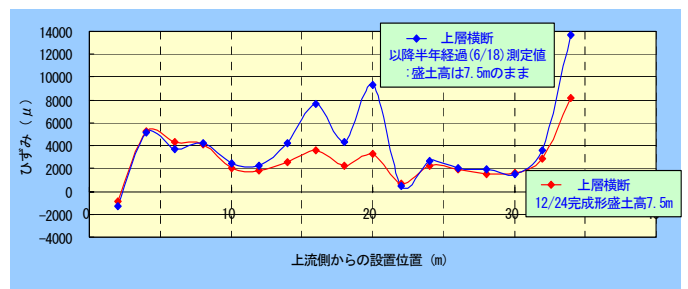
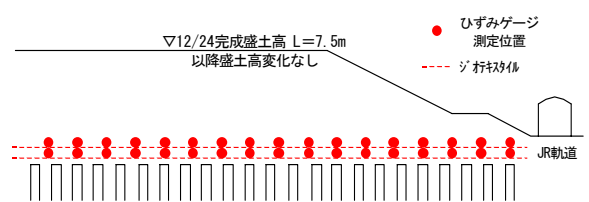


図-10. ジオテキスタイルのセンサーひずみ値の結果

4. 3. 効果検証の方向性

今回の効果検証として特に着目した改良・未改良の計測値の傾向は、現状の中間計測結果でも相互の差異がある程度出てきてはいるが、明確な差異には至っていない。これは、盛土載荷重配分が均等化していないためと考えられる。現在も沈下量以外の計測値は漸増しており、数年後、盛土載荷重配分の均等化によるアーチ効果が増長された状況下の計測値で判断することにより、更なる効果検証が図られるものと思われる。

5. コスト縮減効果

当初設計段階(表-1のJR設計と国交省案)は標準のDJM技術マニュアルに準拠していたが、本工事においては新しい土研提案式を取り入れ、改良径 $\phi=800\text{mm}$ 、打設ピッチ $1.5\text{m}\times 1.5\text{m}$ 、改良率 $a_p=22.3\%$ とした低改良率で施工を行った。これにより、コスト縮減効果は当初設計から約60%減になると推定される。

表-1. 改良仕様と経済比較表

検討案	改良径 (mm)	打設ピッチ (m)	改良率 (%)	設計改良強度 (kgf/cm ²)	施工本数 (本)	改良土量 (m ³)	1m ³ 当たり 単価(円)	工事費 (千円/1000m ²)	比率
JR設計	1000	1.0m×1.0m	90.6	10.0	1000	10,205	8,782	141,012	1.00
国交省案	1000	1.5m×1.5m	40.3	10.0	445	4,541	8,782	66,399	0.47
土研式案	600	1.1m×1.1m	23.3	10.0	826	3,039	18,484	90,831	0.64
土研式案	800	1.5m×1.5m	22.3	10.0	445	2,904	11,866	58,262	0.41

採用案

※数量、工事費比較は、改良対象面積 $A=1,000\text{m}^2$ とした算定。

6. 低改良率地盤改良工法の展望・将来性

これまで述べたとおり低改良率による地盤改良は、アーチ作用により沈下を抑制するものであり、改良率及び盛土高が高いほど応力分担比が増加して有利となる傾向にあるが、通常のDJMでは応力分担比 n を10~20として設計する事が多く、アーチアクション効果を用いる場合は50~80程度を目標としている。

今回の設計においては、JR軌道部の許容沈下量 0.8cm をクリアするため $n=25$ としているが、現時点では $n=2.5$ 程度と $1/10$ の発現であり、今後継続して観測することが必要と考える。

沈下量についても、盛土材の単位体積重量や土質定数 ϕ の条件を変えた試験を行うこと等によって設計精度が高まっていくものと思われる。

今回の報告は、低改良率地盤改良工法を本格的に採用した、先駆的工事例として報告したものであるが、実験段階でのアーチアクション効果は確認されているものの、データ欠測箇所等があり、現状では完全な効果検証とは言い切れない。

今後、本工事箇所の計測値の動向を見守ることや、同種工事の取り組みの増加によって、アーチアクション効果の検証がされることを期待するものである。

前例を含めた3箇所の現地での施工に問題は生じておらず、これら6~10mの盛土において低改良率採用での安全性は概ね評価出来るものとする。

舗装の技術革新活用への第一歩

特定性能規定工事における高機能舗装の耐久性向上について

高山国道事務所 高山維持出張所

管理係長 大崎 義保

1. はじめに

近年、我が国では少子高齢化社会への移行、環境・エネルギー問題の深刻化等、経済・社会面において大きな転換期を迎えており、我々道路管理者も道路という社会資本の整備に対し、これらの変化に対応すべく様々な取り組みを実施している。また近年の技術基準類の改正では、舗装構造について技術革新に対する柔軟な対応ができるように、仕様を要求する従来の「仕様規定」から目標とする性能を要求する「性能規定」への移行を大きな柱としている。

こうした情勢において、高山国道事務所では、従来から懸案であった積雪寒冷地での高機能（低騒音）舗装の耐久性について「性能規定」を導入した総合評価落札方式による工事発注を実施した。

2. 性能規定工事導入の背景

高機能舗装は従来の舗装と比較し、雨天時の走行性や前方視認性が向上すること、および路面から発生する騒音が低下するなどの利点が多いことから近年施工実績は全般的に増加傾向にある。

その一方で高機能舗装は骨材同士の接着面積が少なく、通常の舗装より接着力が弱いという特徴を持っている。更に当事務所管内は全て積雪寒冷地であり、降雪期のチェーン装着率が非常に高いという要因が重なるため、チェーンによる舗装骨材の飛散や、舗装のすり減り損傷が避けられないという状況にあった。

この結果、高機能舗装としての性能を維持できる期間が低下するだけでなく、通常の舗装としての性能低下（わだち掘れ等）、歩道への飛散骨材による近隣住民への環境悪化、飛散骨材による走行車両損傷等が発生しており、新たな道路管理面の問題が懸念されている。そこで当事務所では、冬期の厳しい環境条件に適応できる高機

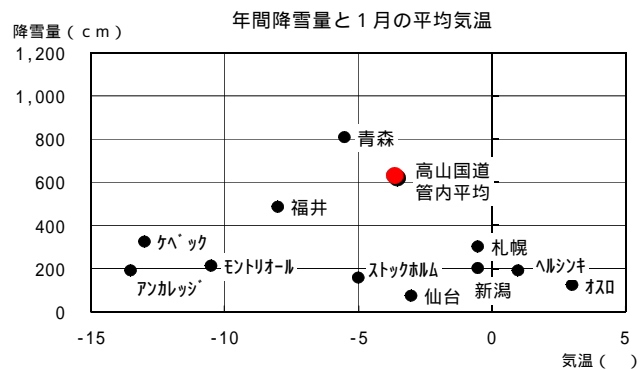


図 - 1 高山国道管内の冬期気象状況

能舗装の耐久性確保について、舗装の長寿命化に伴う維持修繕コストの低減、工事回数の減少といった様々な間接的効果の波及を期待して、性能を規定した工事発注の導入を試みた。

3．性能規定における評価指標の決定

今回の施工では舗装における表層工において先端技術センター等の意見を参考に、下記の評価指標を規定して発注を行った。

指標項目	施工直後
1．塑性変形輪数	動的安定度(DS)3000回/mm以上
2．浸透水量	現場透水試験 800ml/15sec以上
3．平坦性	各車線毎に 2.4mm以内
4．空隙率	17%程度
5．骨材飛散抵抗性	最低値として低温カンタブロ試験値20%以下

この評価指標の決定のうち、1～3については「舗装の構造に関する技術基準」で定める値とし、4の空隙率についてはJHおよび、東北地方整備局の施工実績により設定した。

今回特筆すべきは、5に骨材飛散抵抗性を評価指標に加えたことである。これは「室内低温カンタブロ試験」を実施することで舗装の耐久性を数値評価できる事から、発注者の要求する舗装の耐久性を定量的な数値に置き換え、これを性能評価指標として設定した。

室内カンタブロ（Cantabro）試験とは、供試体をドラム状の試験装置（ロサンゼルス試験機）の中に入れ300回転させた後の供試体の損失重量を測定するものであり、欧州では幾つかの国が排水性混合物の骨材間の結合力を評価するために用いている。一方、国内では排水性舗装の歴史が浅いこともあり本試験を舗装の品質管理基準に用いている事例は少ない。

ところで、アスファルトは温度が高いほど粘着性が高く、温度低下に伴い粘着性は低下する性質を持っているため、供試体の温度を-20℃まで低下させた供用環境下で行う「室内低温カンタブロ試験」を採用し、より現場環境に近づけた耐久性を測定することで、これを性能規定における評価指標とした。

これは中部地整管内では初の試みであった。

$$\text{損失量 (\%)} = (A - B) \div A \times 100$$

ここに、A：試験前の供試体の質量（g）

B：試験後の供試体の質量（g）



図 - 2 ロサンゼルス試験機

4. 施工と性能指標

工事施工にあたり、低温カンタブロ試験を午前、午後各3回、計6回/日で実施し、施工区全域にわたり品質確保に努めた。この結果、損失量は図-3に示すとおり、平均値で10.21%と発注者が要求した20%を大幅に低減することができた。骨材飛散抵抗性以外の性能指標については表-1に示すとおり、全て要求された性能規格を満足する結果を得ることができた。

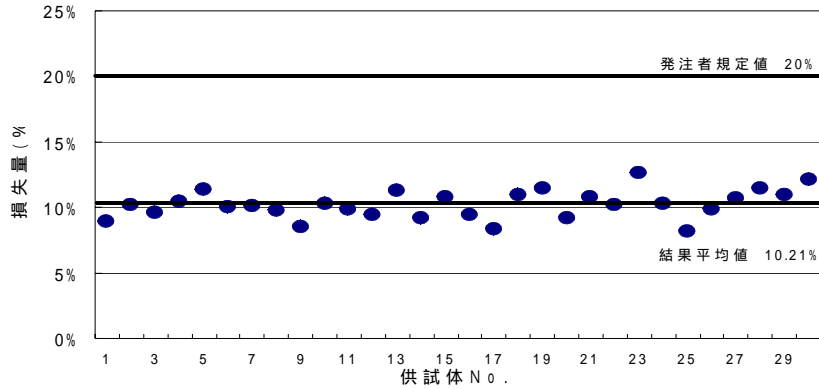


図-3 低温カンタブロ試験結果

指標項目	性能規定値	施工結果
1. 塑性変形輪数	動的安定度(DS)3000回/mm以上	10,125 回/mm
2. 浸透水量	現場透水試験 800ml/15sec以上	868.2 ml/15sec
3. 平坦性	各車線毎に 2.4mm以内	1.05mm
4. 空隙率	17%程度	17.45%

表-1 性能規定値と施工後の測定結果

5. 追跡調査

今回は工事終了後も継続して追跡調査を実施し、一般的な排水性舗装の損傷具合との比較を行い、耐久性についての客観的評価を実施した。

この調査においては骨材飛散の状況を最も端的に示すのが、剥離飛散によるわだち掘れ量であると考え、図-4に示す手法にて測定を行った。

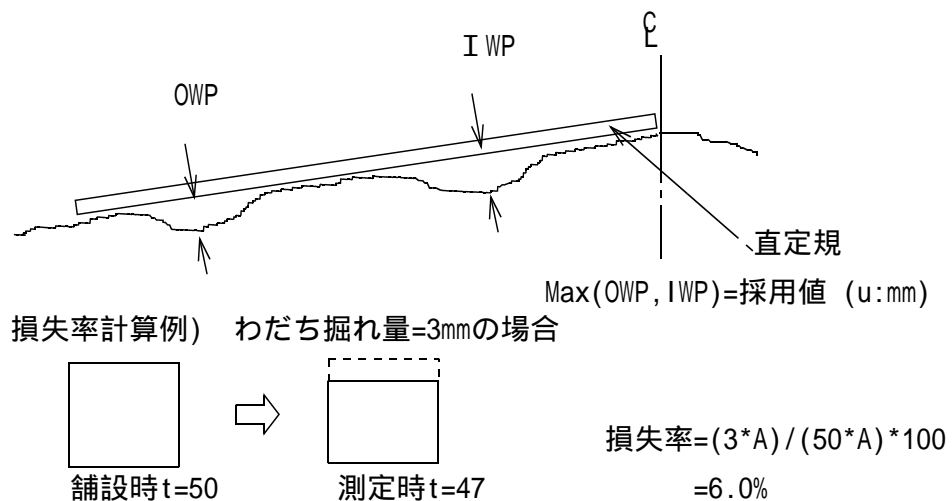


図-4 わだち掘れ量の測定方法

この結果に交通量を要素として加え、空隙率別にグラフ化したのが図 - 5 である。各施工箇所の経年数はそれぞれ異なるので、絶対的な比較はできないが、一般的に空隙率が大きい箇所(20%)ほど損失率が大きくなる傾向が見られる

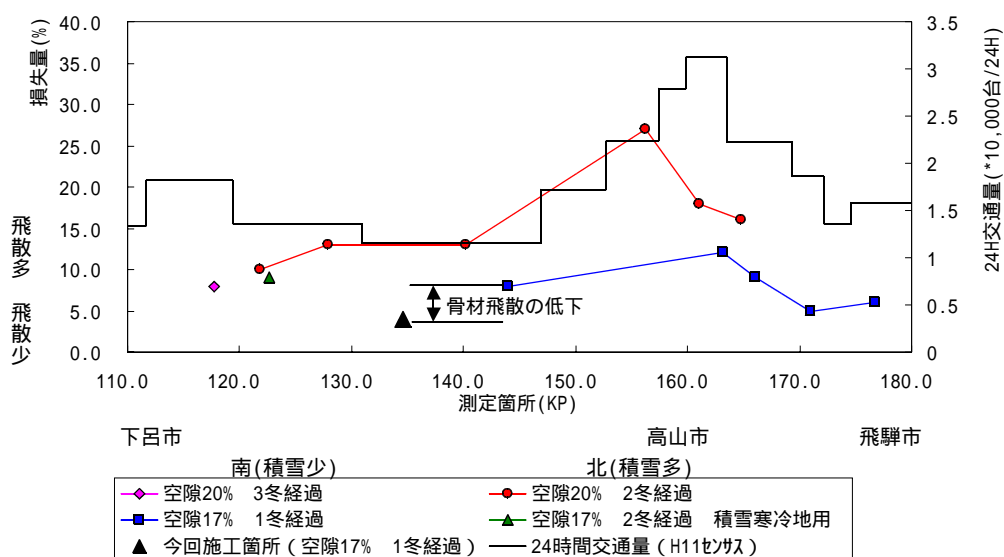


図 - 5 管内排水性舗装区間骨材飛散状況

6. 考察

今回の施工と一般的な排水性舗装との骨材飛散状況は、経過期間と空隙率、ならびに交通量が同じ条件での対比（下向矢印）では、標本数および経過期間が少ないという要素があるものの、明らかに骨材飛散の低減、（耐久性の向上）が認められた。つまり今回の性能指標値の妥当性が検証できたことを意味する。また、

1) 積雪寒冷地用高粘度アスファルトの選定

（ただし低温カンタブロ試験を実施し損失量20%以下を満足するもの）

2) 空隙率17%の設定

という要因が舗装の耐久性（品質）に与える影響が大きいことが確認された。

まとめとして、今後主流となっていくであろう性能規定工事の試行として評価指標の妥当性が検証できたこと、ならびに発注者の求めた性能を得られたこと、積雪寒冷地における排水性舗装の留意点の確認ができたことは非常に有意義であったと考える。

性能規定工事について、発注者の求める性能を発揮するためには、工事の追跡調査をデータベース化し、性能指標値の適切性と普遍性、信用性について常に検証しつつ工事発注にフィードバックしていくことが今後の重要な課題であると提言し私の報告とする。

最後に、論文作成にあたりご協力を頂いた関係者各位に対し本誌面を借りて深く感謝する。

浄水場の汚泥と家畜堆肥を利用した植生基盤材による堤防緑化について

北海道開発局 旭川開発建設部 治水課 阪本 秀樹

1. はじめに

石狩川上流域の現況築堤は、牛朱別川分水路事業による掘削土の砂礫及び礫質土で構成されている。その土質はシルト分、腐植含有量、保肥力等が不足している。このため従来から客土吹付工（厚3cm）による法面植生を行ってきたが、現状は年数の経過と共に植生の衰退が著しく、長期的に植生が持続できる、安定した植生基盤の改良が必要とされてきた。そこで、河川



写真-1 衰退した堤防植生状況

水を浄水場で浄化する際に発生する浄水汚泥と、家畜堆肥とを混合し、客土材として活用することで循環型の堤防緑化工法を確立することを目的として実施した。

平成11～12年度に堤防法面植生回復試験業務として数十種類の植生基盤を変え調査・検討を実施した上で、平成13～14年度に試験フィールド事業として浄水汚泥・堆肥種子吹付工（以下汚泥堆肥吹付）を実施した。本研究はその施工後の植生状況を取りまとめたものである。

2. 現況盛土の土壌分析調査

現況盛土の土壌を分析したところ（表-

表-1 現況土壌の土壌分析結果と標準値

1) 植物の生育にとって最も重要な腐植含有量が極めて少ない。腐植含有量が少ないために土中生物の生育環境が不良となり、土壌は無機化して、土の再生力が失われる。また、植物の細胞核形成に不可欠な有効態りん酸や、寒さや干ばつ、病害虫から植物を守る置換性カリ等、植物にとって欠かすことのできない養分が過小な土壌である。

項目	標準値	現況盛土	評価
pH(H ₂ O)	5.5～6.5	6.1	
有効態りん酸 mg/100g	20～50	7.6	×
置換性カリ mg/100g	20～40	6.3	×
置換性苦土 mg/100g	30～50	48.5	
置換性石灰 mg/100g	150～300	186.1	
塩基飽和度 %	60～80	78.5	
腐植含有量 %	3.0～7.0	0.88	×
りん酸吸収係数 mg/100g	600～1000	508.0	×
塩基置換容量(CEC) me/100g	10～20	11.2	
電気伝導度(EC) Ms/cm	1.0以下	0.05	
粘土分 %	10.0	6.9	×
シルト分 %	25.0	7.0	
砂分 %	65.0	30.7	
礫分 %		55.4	

塩基置換容量（CEC）は保肥力を示すもので、ほぼ標準値を示しているが、実情は僅かな粘土分から検出されたものと考察する。シルト分も微少で、砂礫の多い構成となっているため保水性、空隙性に欠ける土壌である。

3. 浄水汚泥・堆肥種子吹付工の特性

3.1 浄水汚泥と家畜堆肥による緑化基盤材の利点

川より取水した水を浄水場で浄化する過程で発生したスラリーを、濃縮、脱水、乾燥さ

せてできた浄水汚泥はシルト分を多く含むため、砂礫質土のシルト分補充には格好の材料である。また、浄水汚泥には水とシルト分を分離する際に使用される高分子凝集剤が含まれているので、通常の吹付施工時に使用する粘着材が不要となる。

家畜堆肥は発酵作用で作られるため栄養分や生物性に富み、土の腐植成分を高めるばかりでなく、肥料養分の保持や透水性、通気性の確保、いわゆる団粒構造を形成する大きな役目を担ってくれる。

3.2 浄水汚泥の土壌分析結果と考察について

吹付使用前の浄水汚泥の土壌分析結果（表-2）は、りん酸吸収係数が異常に高い数値となっている。これは、凝集剤に含まれるアルミとリン酸が結合することで土中にあるリン酸が枯渇し、植物の根がりん酸を吸収できない状況を示している。

その他の成分は若干少ないものもあるが、養分が豊富な家畜堆肥を混合することで、比較的良好な土壌になると判断できる。また、シルト分を多く含むことが確認でき、現況盛土材のシルト分補充には好条件の土質である。

環境濃度の計測については、毎年使用前の浄水汚泥現物及び吹付後の土壌分析を行ったが、平成3年環境庁告示第46号「土壌の汚染に係る環境基準」の基準値を超える異常数値は確認されていない。

3.3 従来工法との吹付配合比較

従来工法の客土吹付では、客土を水で練り上げるために、土の団粒構造が破壊される。さらに、粘着材を加えるため、シルト状になった泥土は水分が蒸発すると急速に凝縮固化し、密度の高いものになる。その結果ひび割れが生じ、地山と剥離する現象が起きるため、発芽や発根に支障をきたしてきた。また、有機質材が少ない工法であるため、肥料養分が短期間に降雨などで流失してしまうことがある。

これらの欠点を補う配合としておもな汚泥堆肥吹付の特徴は、高度化成肥料を減量し草丈の急激な成長を抑え、遅効性肥料を用いることで根伸の生育を促す。

りん酸肥料及び家畜堆肥を混合することで、不足した有効態りん酸の改善を図る。浄水汚泥に凝集剤が含まれるため、粘着剤が不要となり客土材の流失を防ぐ効果がある。土壌菌粉体は、土壌の団粒構造形成と肥料養分を分解し地中に浸透させる効果がある。硬質ゼオライト（沸石の岩を砕いたもの）は保肥力を増強し（CECを高める）、土壌微

表-2 浄水汚泥の土壌分析結果

項目	標準値	浄水汚泥	評価
pH(H2O)	5.5~6.5	6.4	
有効態りん酸 mg/100g	20~50	2.5	×
置換性カリ mg/100g	20~40	19.1	×
置換性苦土 mg/100g	30~50	32.4	
置換性石灰 mg/100g	150~300	233.7	
塩基飽和度 %	60~80	83.5	
腐植含有量 %	3.0~7.0	2.65	×
りん酸吸収係数 mg/100g	600~1000	1468.0	×
塩基置換容量(CEC) me/100g	10~20	12.4	
電気伝導度(EC) Ms/cm	1.0以下	0.33	
粘土分 %	10.0	8.2	
シルト分 %	25.0	36.4	
砂分 %	65.0	55.2	
礫分 %		0.2	

生物の増殖に効力を発揮する。

種子は、気象条件、土壌条件による様々なリスクに対応するため、4種混合としている。また、景観と維持管理に考慮することで、試行的にいずれの草種も草丈の伸びない矮性タイプとし、付近住民が憩う市街地区域には、公園芝向きのものとしている。

表－3 配合比較表（厚3cm）

名称	品名	10.0m ² 当り使用量			
		従来工法		浄水汚泥・堆肥種子吹付工	
		一般	市街地	一般	市街地
種子	ケンタッキーブルーグラス(普通種)	0.4kg		0.4kg	
	ケンタッキーブルーグラス(パーティティア)		0.4kg		0.4kg
	ケンタッキーブルーグラス(パロン)		0.4kg		
	クリーピングレッドフェスク(普通種)	0.4kg		0.4kg	
	クリーピングレッドフェスク(ペンローン)		0.4kg		
	ペレニアルライグラス(アクセント)				0.4kg
	ペレニアルライグラス(マンハッタン)		0.4kg		
	トールフェスク	0.8kg			
	トールフェスク(ビクシー)				0.4kg
	ハードフェスク(クリスタル)				0.4kg
高度化成肥料	有効成分(N:P:K)合計40%以上	16.0kg		8.0kg	
りん酸肥料	有効りん酸成分20%以上	-	8.0kg	10.0kg	
速効性肥料	被覆複合山型タイプ(N:P:K)合計40%以上	-		5.0kg	
粘着材	液体	24.0kg		-	
養生材	ファイバー	20.0kg		20.0kg	
土壌改良材(A)	アズミン・アースメークなど	12.0kg		-	
	土壤菌粉体	-		6.0kg	
土壌改良材(B)	ビートモスなど	200.0%		-	
	硬質ゼオライト	-		100.0kg	
客土材	吹付用客土	3.0m ³		-	
	家畜堆肥	-		2.0m ³	
	浄水汚泥	-		1.0m ³	

4. 施工について

以前、高含水比の浄水汚泥を天日乾燥したものを使用したため凝集剤の固化現象が生じ、吹付タンク内につまることがあった。現在では旭川市浄水場から中間処理業者が機械脱水、粉碎した浄水汚泥を現場に搬入しているため、吹付用客土材としては非常に良好で、施工性の向上につながった。それ以降の工程は従来工法である客土吹付工と同様で、吹付タンク内にベルトコンベアで浄水汚泥を投入し、家畜堆肥及び土壌改良材等と水を混合攪拌して、基層を吹き付ける。基層完了後、養生材、肥料、種子を種子吹付機により水で混合攪拌し、表層を吹き付し完了となる。



写真－3 吹付状況



写真－4 吹付後堤防植生状況

5. 調査結果

5.1 経済性比較調査

浄水汚泥と家畜堆肥というリサイクル材の有効活用を図ることで、従来工法と比較して、材料費が安価になった。平成16年度旭川で実施した汚泥堆肥吹付(t=3cm)の配合では、従来工法(t=3cm)と比較し1m²当り約5%の単価(直接工事費)縮減となった。

5.2 耐久性比較調査

汚泥堆肥吹付は速効性の高度化成肥料を減量しているため、吹付後初期段階での葉茎は短いものの、根の長さは従来工法の2倍近い長さとなった。これは、高度化成肥料の力で簡単に草丈が伸びる従来工法に対し、汚泥堆肥吹付の草丈はゆっくりと伸び、根は家畜堆肥や土壌改良材等の養分が地中に浸透したため、奥深くまで養分を求め伸びたためであると考えられる。また、年数の経過と共に、汚泥堆肥吹付の草丈は良好に伸び、現時点で衰退や株化現象は見られていないが今後とも種子配合を見すえた生育状況の追跡調査を進めていきたい。



写真-5 従来工法



写真-6 汚泥堆肥吹付

また、年数の経過と共に、汚泥堆肥吹付の草丈は良好に伸び、現時点で衰退や株化現象は見られていないが今後とも種子配合を見すえた生育状況の追跡調査を進めていきたい。

表-4 追跡調査

〔面積 100cm²当り〕

内容	工種	従来工法 (3 cm)			汚泥堆肥 (3 cm)			汚泥堆肥 (5 cm)		
		吹付年	1年後	3年後	吹付年	1年後	3年後	吹付年	1年後	3年後
芝密度調査 (本)		48.0	34.0	36.0	84.0	71.0	49.0	78.0	60.0	55.0
葉茎伸長調査 (cm)		11.0	10.0	20.0	10.0	10.0	27.0	11.0	13.0	25.0
根伸長調査 (cm)		6.0	6.0	9.0	9.0	9.0	14.0	9.0	10.0	15.0

(東旭川築堤試験地点 標準芝密度 50 本/100cm² 8月分)

5.3 今後の課題

浄水汚泥に含まれている凝集剤の影響でリン酸吸収係数が高くなり、リン酸肥料の増肥が必要であるため削減方法の検討が望まれている。また、浄水汚泥を中間処理業者に託すことなく利用できればコスト縮減にもつながるため、自治体との連携及び技術開発が必要となっている。家畜堆肥の品質（発酵腐熟度）にバラツキがあり、吹付工に適した品質を設定することが、今後の検討課題となっている。

6. まとめ

旭川市では浄水汚泥が年間約2千m³発生し、その多くは産業廃棄物として処分され、家畜堆肥については農業以外の用途が限られていることから堆積されたままの状態が多く再利用は思うように進んでいないのが現状である。浄水汚泥と家畜堆肥を良質な植生基盤材として活用することで、浄水汚泥は還元され、家畜堆肥の新たな用途により家畜排泄物利用法の推進にもつながるものと考えられる。

河川堤防から発生する刈取草を地元家畜農家に供給し、それを食す牛から出る家畜堆肥と河川水から発生する浄水汚泥とを客土材に利用することは循環型社会の形成の一つでありより一層の拡大を期待している。さらには堤防植生の緑化基盤のみならず公園、ゴルフ場等の植生基盤材にも利用できる可能性がある。

リサイクル材には今後大いに目を向ける必要があり、限りある自然の営みに添った豊かな植生基盤づくりが今後広く普及されていくことを期待したい。

皆生海岸における離岸堤の施設改良に伴うクレスト型人工リーフの計画について

中国地方整備局 日野川河川事務所 大森 利幸

【要旨】

鳥取県西部に位置する皆生海岸は、「海岸侵食」という言葉が初めて使われた全国でも有数の侵食海岸であり、直轄として初めて離岸堤が施工され、それにより目覚ましく前浜が回復し、海岸侵食対策の成功事例として高く評価されている海岸である。

しかし、離岸堤築造後30年が経過し、経年沈下、ブロック散乱など、徐々にその効果が失われはじめ、補強工事等を行う必要が生じている。さらに反射波の影響により沖合侵食が生じ、海浜の安定性が低下しているため、反射率が小さく、かつ波浪制御機能・漂砂制御機能を有する技術への転換を図る必要も生じている。また、近年、防護機能に加え、周辺環境と調和した海岸保全施設整備が求められており、水面上3m突出する離岸堤が景観上好ましくないといった声が地元関係者からも強く聞かれはじめた。

これらを踏まえ、今回の既設離岸堤の施設改良計画は、平成11年に改正された海岸法の理念である「防護・環境・利用の調和の取れた海岸」を目指すため、新しい技術を取り入れ、また、地域住民の意見を計画段階から反映させながら策定したものである。

1. 対象地域

対象地域は、鳥取県米子市の皆生海岸皆生工区とし、既設離岸堤12基を対象にする。

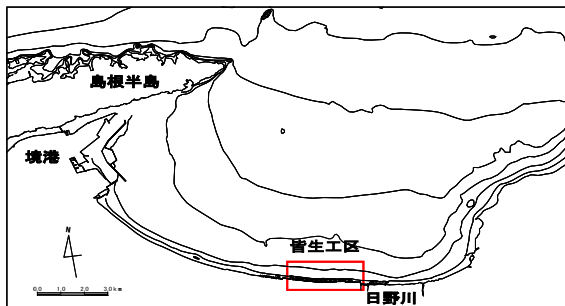


図-1 全域図



図-2 皆生工区

2. 委員会・懇談会の設立

離岸堤の施設改良は、現況と同様の防護機能を保ちつつ、漂砂の移動(メカニズム)を考慮した構造で、かつ、当該地域の景観回復を図り、地域の活性化に資するものでなければならない。そのため、高度な技術的判断が必要となる。そこで、海岸工学に詳しい学識経験者からなる「皆生海岸技術検討委員会」を設立した。

また、計画段階から出来る限り地域住民の意見を反映させるため、皆生海岸に関わりの深い学識経験者及び地域関係者等からなる「皆生海岸利用促進懇談会」を設立した。

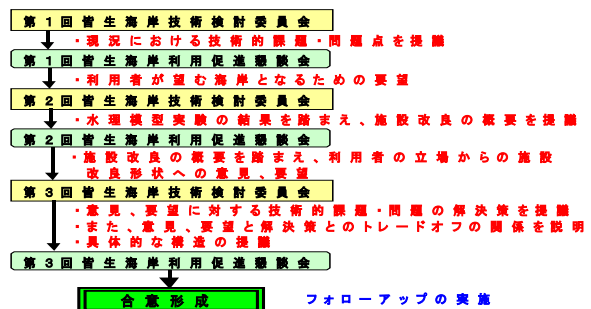


図-3 検討フロー

3. 水理模型実験

今回の離岸堤の施設改良は、新しい技術であるため、確立された手法はない。

そのため、国土技術政策総合研究所にある大型水理模型実験装置を用い、現況の皆生工区の海岸状況（離岸堤によるトンボロの海浜）を再現し、様々な条件を与えて実験した。また、全体的な変化（現象）については等深線変化モデルで予測を行い、検討を行った。

3.1 実験条件

現在、最も景観に配慮でき、また、反射率が小さく、波浪制御機能・漂砂制御機能を有する人工リーフを離岸堤に変わる新しい保全施設として実験を行った。模型縮尺は1/50とし、相似則により各変数の縮小率を定めた。但し、砂の粒径は1/50にするとシルトに近い粒径となり粘性等が生じ、砂としての動態を示さないため、過去の実験例から0.29mmの珪砂とした。

実験条件を以下に示す。

- ・波高 H_o 6.0cm(3.0m)
- ・換算沖波波高 H_o' 6.5cm(3.25m)
- ・周期 T_o 1.13s (8.0s)
- ・波形勾配 H_o'/L_o 0.037
- ・浅水係数 K_s 0.918
- ・人工リーフ天端幅 80.0cm(40.0m)

() 書きは、現地での実寸法を表す。

※人工リーフ天端幅は事前に予備検討を行い、人工リーフに置き換えた場合、既設離岸堤に影響を及ぼさない範囲での最大値。

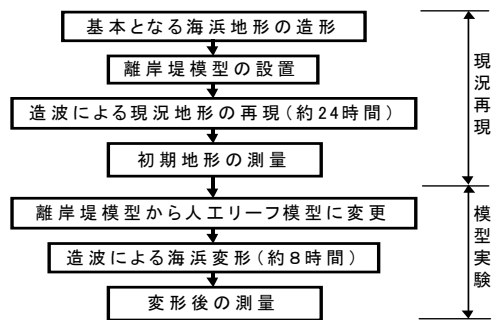


図-4 実験フロー

3.2 実験ケース

3.2.1 従来型的人工リーフ

従来型として4ケース実験を行った。

- ・ケース A1: 人工リーフなし（離岸堤を撤去した場合）
- ・ケース A2: 天端水深の深いケース
- ・ケース A3: 天端水深の浅いケース
- ・ケース A4: 天端水深が浅く、岸側を透過型としたケース

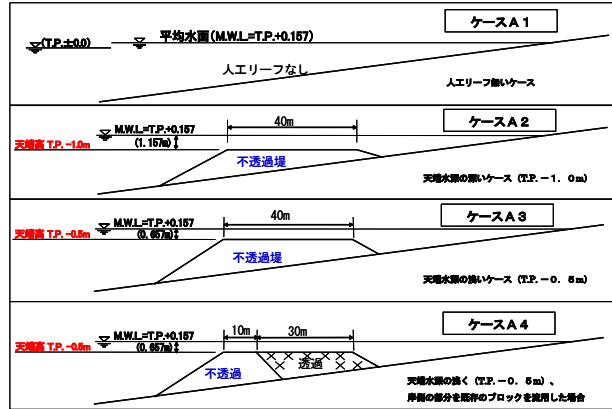


図-5 ケースA(従来型人工リーフ)

3.2.2 クレスト型人工リーフ

ケースAで求める結果が得られないため、ケースA3をベースに天然のリーフの形状を参考としたクレスト（礁嶺）を人工リーフに付加したクレスト型人工リーフで実験を行った。なお、ケースBの基本形となるB1（1列、高さ1.0m）は、予備検討を行い、決定した。

- ・ケース B1: クレスト1列、高さ1.0m
- ・ケース B2: クレスト1列、高さ0.5m
- ・ケース B3: クレスト2列、各々高さ0.5m
- ・ケース B4: クレスト2列、高さ1.0mおよび0.5m

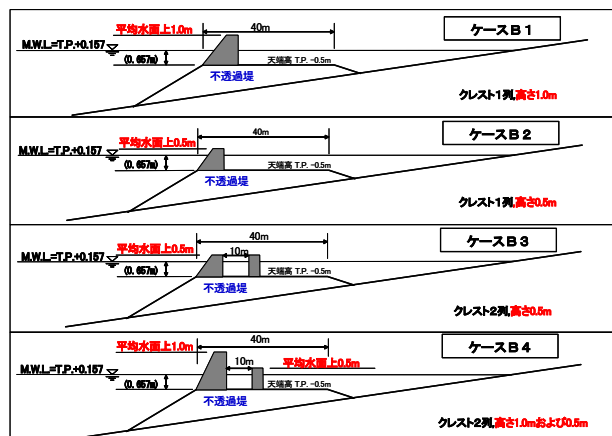


図-6 ケースB(クレスト型人工リーフ)

3.3 実験結果及び考察

3.3.1 地形変化

ケースA1は、既設離岸堤を撤去した場合である。海岸線は若干後退した程度であったが、海浜面積は減少し、海底勾配も急となり、防護効果が著しく低下した。

ケースA2は、海底勾配は緩やかとなったが、海岸線は大きく湾曲し、海浜面積は減少した。

ケースA3、A4は自然に近い海岸線を呈し、海底勾配も緩やかとなったが海浜面積は減少した。

A2～A4についても海浜面積は減少しており、防護効果に問題があると言える。

ケースB1は、消波効果は高い結果となったが、トンボロ地形が形成（現況の離岸堤による地形に近い形状）された。また、海浜面積も若干減少した。

ケースB2は、比較的良好な結果となったが、海浜の面積は若干減少した。

ケースB3は、海底勾配は緩やかで、自然海浜に近い海岸線を示し、海浜面積も実験ケースの中で唯一増加した。

ケースB4は、ケースB3よりも効果の高い結果が得られると期待したケースであったが、海浜面積は若干減少した。

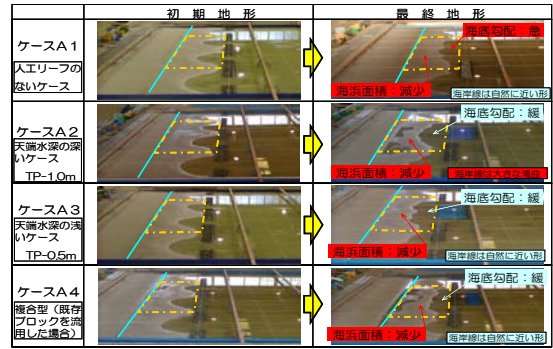


図-7 ケースAの地形比較(初期→最終)

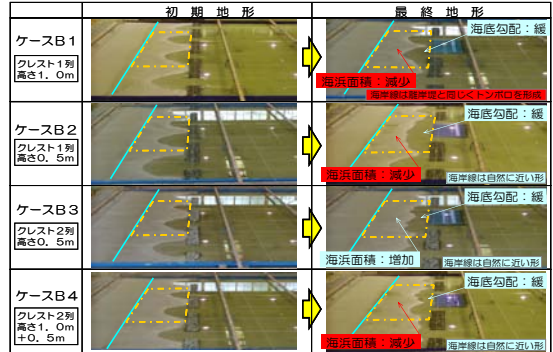


図-8 ケースBの地形比較(初期→最終)

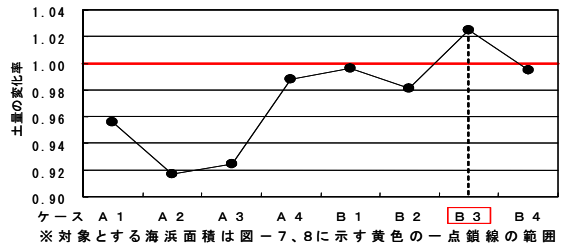


図-9 土量の変化率(最終/初期)

3.3.2 流況変化

人工リーフは、景観に配慮でき、反射率の低い構造であるが、人工リーフ上及びリーフ背後で流速が早くなる、岸側の水位が高くなるという点が構造上の弱点である。特に今回の施設改良は、皆生温泉街の前の海水浴場として利用されている箇所での改良であるため、人工リーフ上に人が行く可能性があり、また、海水浴場として供されている箇所の流速、流向を検討することは、この施設改良計画を進める上で重要な要素である。

図-10は従来型的人工リーフ(ケースA3)であり、天端水深の深いケースよりも浅いケースの方の流速が早くなり、岸側の水位も上昇する結果であった。

図-11は、クレスト型人工リーフ(ケースB3、クレスト2列、高さ0.5m)であり、水流に対して沖側クレストが抵抗し、さらに岸側クレストで抵抗するとともに流向を変化させ、岸側に到達する流速、流量を大幅に低減する結果となった。

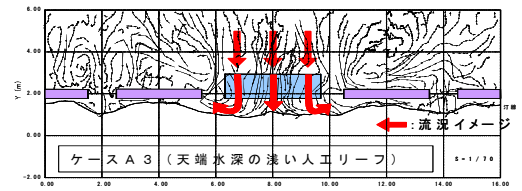


図-10 ケースA3の流況図

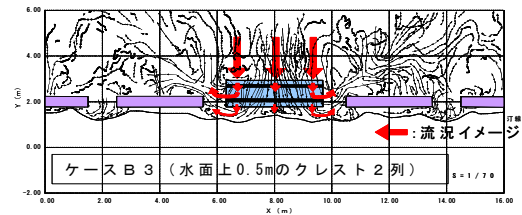


図-11 ケースB3の流況図

4. クレスト型人工リーフの設計

水理模型実験、数値シミュレーションのデータを皆生海岸技術検討委員会に諮った結果、最も効果の高いケースB3に基づいて設計を行うこととした。

人工リーフの設計は、「人工リーフの手引き(国土交通省河川海岸室、国土技術政策総合研究所海岸研究室 監修)」によって確立されているが、クレストの部分の設計は確立された手法はない。そのため、構造的に類似する防波堤を参考に、その設計手法を準用して設計を行った。

クレストの施工位置は、沖側は実際の施工においては施工可能な位置とし、岸側の施工位置は沖側クレストから10m離れた位置とした。沖側クレストと岸側クレストの間は広いほど効果は高いが、広くすると人工リーフ上で変化した流れによって左右の離岸堤に対して悪影響(洗掘)を起こしてしまうため、影響が少なく、消波効果の高い位置として10mを決定した。

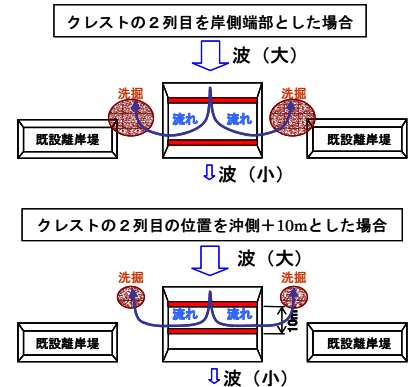


図-12 クレストの配置位置の決定

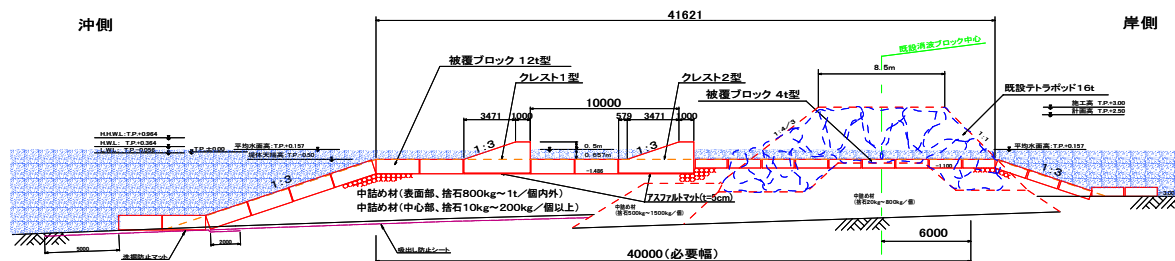


図-13 標準横断面図

5. 合意形成への取り組み

皆生海岸の利用者の立場からの意見・要望を「皆生海岸利用促進懇談会」で取りまとめ、技術的に検討する「皆生海岸技術検討委員会」の中で可能な限り、それら意見・要望を実現するための検討を行った。特に構造上、平均水面よりも0.5m突出する部分(景観面)、当海岸が鳥取県の主要な観光地であり、夏期には海水浴場等として利用されている部分(利用面)については、意見・要望と計画とのトレードオフの関係について説明し、相互に連携を取りながら合意形成を行った。

6. 今後の課題・問題点

今回の計画は、皆生工区(12基)について検討を進めたが短い期間での検討であったため、当面、1基目の施設改良計画を安全にかつ最も効果的に行うことを主眼に進めた。今後、皆生海岸の皆生工区の2基目以降の改良計画及びこの新しい技術である既設離岸堤の施設改良を全国に展開する技術確立のため、以下の点について検討を進めていく必要がある。

- ① 今回の計画は新しい技術であり、水理模型実験、数値シミュレーション等で検証しているが、現地での裏付けデータがない。そのため、現地において漂砂解析、波浪・流況解析、波力解析等の検証(モニタリング)を行い、この新しい技術を確立していく必要がある。
- ② 今回の計画のうち、クレストの構造については最終形ではない。そのため、現地施工後、水面上に出るクレストの部分が景観に対してどのように影響を与えているかを地元関係者から意見をもらい、クレスト部の構造の改良、景観に対する工夫を加えていく。(フォローアップの実施)

山岳地域における No Grid（無送電）観測設備

松本砂防事務所 工務課 近澤淳平

1. はじめに

一級河川姫川は糸魚川・静岡構造線沿いに長野県側の北アルプスから日本海へ流れる。その支流、浦川流域では、脆い地質、錯綜する断層などの条件が重なり、日本三大崩壊の一つ、稗田山の崩壊を始め、過去に土砂災害が多発している。平成14年3月、浦川へ流入する唐松沢の上流斜面にて、雪解けに伴う崩落が起きた。人的・物的被害は無かったが、現在も土砂が大量に堆積し、2次移動の危険性があるため、遠隔制御可能な監視カメラ、気象観測装置などの観測設備設置を決定した。この設備の内容と、導入してからの実績・有効性について報告する。



図1. 唐松沢崩落・土砂堆積現場

2. 概要

観測設備設置場所には、監視カメラが唐松沢土砂堆積現場全域を見渡す最適地となる風吹岳中腹を選定した。観測のためには、下記インフラ2点が必須である。 観測設備動作電源。 監視カメラ映像・気象観測データ送信用伝送路。

しかし選定地が山岳地域なため既存の送電線・伝送路は無い。そこで電気送電及び情報伝送のための有線設備と無有線設備による検討を行った。選定地に対して、最近傍の電源トランス(新設)・ネットワーク接続ポイント(既設)から山道に沿った実質距離はそれぞれ約10km, 15kmとなる。これらの距離のケーブル埋設コストと、無送電観測設備(以下、No Grid 観測設備)及び無線LAN伝送路による設備構築コストとの比較を表1に示す。イニシャルコスト82%、ランニングコスト33%の縮減が可能との試算結果を得た。

だが No Grid 観測実現には問題がある。太陽光発電の発電量はパネル設置面積に比例するが、選定地が樹木伐採不可の保安林のため、十分なパネル設置面積が確保できない。一定した電力を得られない自然エネルギー採用に加え、各機器の電源をWEBにて遠隔制御するシステムを開発する(後述)。急激な日照量・風速の増減、遠隔制御による負荷設備電源入切により、大きな充電電流/突入電流が発生し蓄電設備が不安定化する。また、充放電が短時間に繰り返されると、

送電線及び光ケーブル		自然エネルギー及び無線LAN	
配管	82,307	発電設備(太陽光・風力)	5,090
配線	30,047	蓄電設備	21,580
受変電設備	1,483	長距離無線LANシステム	2,540
光伝送設備	1,442	遠隔電源制御	3,000
工事関連経費	62,555		
総計	177,834	総計	32,210

項目(いずれも年間)	送電線光ケーブル	自然エネルギー無線LAN
保守・点検費用	600	450
電気料金	69	0
総計	669	450

(上)表1. イニシャルコスト
(下)表2. ランニングコスト 【単位 千円】

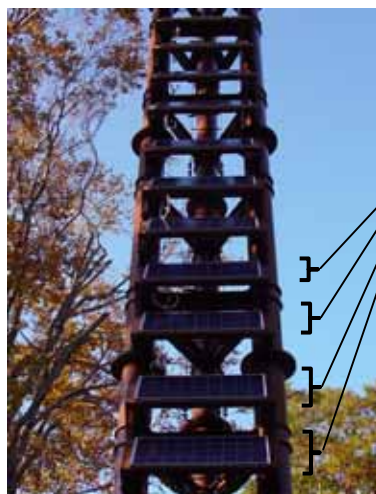
蓄電設備の早期劣化を引き起こす。次章で上記2点の問題への解決方法を報告する。

3. 解決方法について

3.1. 太陽光パネル設置方法

無日照・無風が5日間連続しても機器が稼働する電圧を保持できる設計とする。その電力量と、発電のために使用する太陽光パネルの枚数を算出し、局舎屋根、鉄塔それぞれに割り振った結果を表3に示す。高さ25mの鉄塔への、計24枚のパネル設置は、図2の様に、横方向の骨組みを有効利用した。また、冬季の積雪を防止するために、近い地点で過去に施工した無線中継所の屋根の角度での実績を参考にし、パネルの設置角度を60度とした。局舎屋根についても、この角度を適用している。

機器名称	設置場所	数量	定格出力	合計
太陽光パネル	局舎屋根	18 [枚]	49 [W]	882 [W]
太陽光パネル	鉄塔	24 [枚]	80 [W]	1920 [W]
風力発電機	鉄塔	1 [台]	64 [W]	64 [W]
			最大出力	2866 [W]



太陽光パネル
(上)
表3.
最大出力電力量
(左)
図2.
監視用鉄塔

3.2. 電気二重層コンデンサ蓄電設備

蓄電設備に産業用蓄電池と電気二重層コンデンサを併用する。同コンデンサは、充放電寿命が原理的に無制限という特性に加え、瞬時の大放電/急速な充電を可能とする。機器への瞬時的な突入電流/発電による充電電流をコンデンサが吸収し、蓄電設備全体の安定性が向上する。それが蓄電池の長寿命化に寄与し、交換保守等の運用コストが縮減できる。

4. その他設備について

No Grid 観測設備の全体構成図を図3に示す。まず太陽光・風力によるハイブリッド発電を行う。この電気は局舎内の電気二重層コンデンサ・蓄電池に適切に割り振られて、蓄電される。これを電源とし、監視カメラ、気象観測機器により監視を行

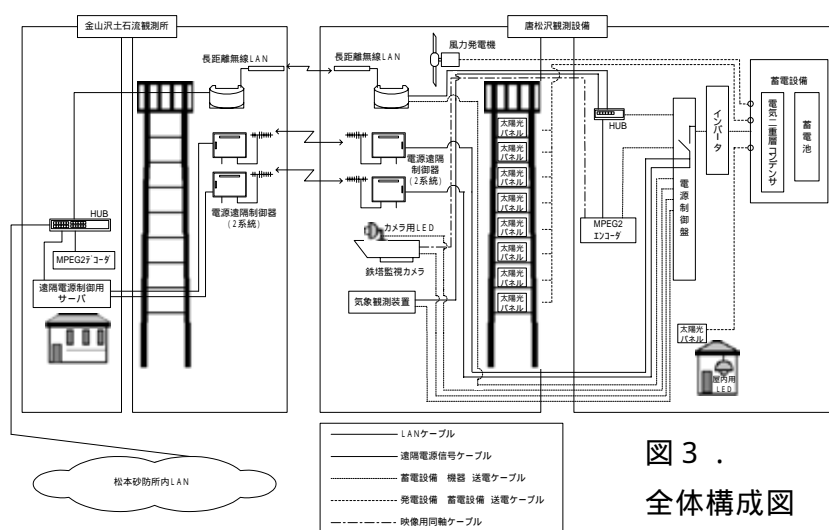


図3.
全体構成図

い、長距離無線LANにて監視内容を伝送する。限られた電源を有効に利用するため、遠隔電源制御機器にて全機器の電源制御を行い、その時々で必要な機器の電源だけを入れる。本章では、この構成中の各設備を説明する。

4.1. ハイブリッド発電システムについて

電源には、自然エネルギーの中でも、多くの実績がある太陽光発電と風力発電を採用する。日中は主に太陽光による発電を行い、夜間や無日照時には風力による発電を行う。昼夜を通して発電を行うことにより、蓄電池の過放電を防ぎ、充放電サイクルを減少させ、蓄電設備の劣化を抑える事が期待できる。

4.2. 長距離無線LANについて

本観測設備の最大の目的は、カメラで堆積土砂を監視する事にある。伝送システムは以下の3点を満たす必要がある。映像が高画質である事。リアルタイム映像を表示できる事。映像伝送の中継点となる金山沢観測所まで直線距離2kmを中継無しで接続できる事。これらの条件に対して、長距離無線LANシステムは下記の対応が可能である。監視カメラ映像を、DVDと同等の画質が得られるMPEG2方式でエンコード/デコードする。伝送速度は11Mbpsであるので、エンコード/デコードによる遅延も含めて、タイムラグが実測値で1秒を下回る。最大接続距離は36Kmで、一般的な無線LANシステムに較べて長距離の接続に優れている。

4.3. パワーLEDの採用について

室内照明とカメラ用照明にパワーLEDを採用する。一般的に使用される高輝度放電灯(マルチハロゲン灯、高圧ナトリウム灯などの総称)と比較した結果を表4に示す。比較対照品より価格が高く、照度は約82%に落ちるが、消費電力が約27%、製品寿命が8倍と優れている。

	高輝度放電灯	パワーLED
照度(5m)	1215 [lx]	993 [lx]
消費電力	70 [W]	19 [W]
平均寿命	12,000 [時間]	100,000 [時間]
価格	114,000 [円]	143,100 [円]

表4. 照明灯比較表

4.4. 電源制御について

限られた発電量を有効利用するために、設備機器毎に電源入切をするシステムを考案した。430MHz 特定小電力トランシーバユニットにより、複数の接点信号を送受信し、手動やタイマーで必要な時だけ機器の電源を入れる事とした。松本砂防事務所ネットワーク内端末からWEB画面にて操作可能で、同時に電源電圧確認も可能である。

次に遠隔電源制御WEB画面、及び監視カメラ制御WEB画面について記述する。

4.4.a. 遠隔電源制御WEB画面(図4)

本画面では、電源制御可能な機器名を色別で表示し、各機器の電源状態が一目で確認できる。本画面中、上下に重なる機器名は、機器が親子関係にある事を示す。「監視カメラ」を例とする。「ネットワーク」の上に表示し、ネットワーク機器電源を入れなければ、監視カメラ電源を入れられない意味を表す。

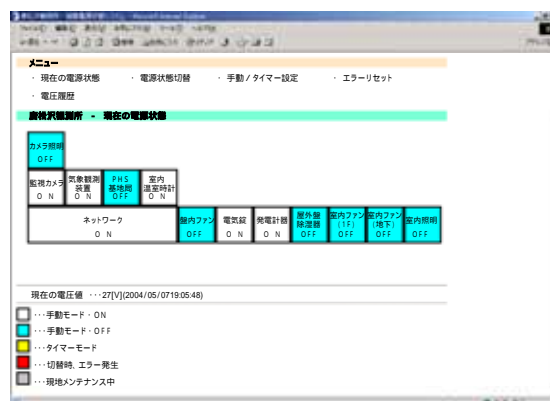


図4. 遠隔電源制御WEB画面

4.4.b. 監視カメラ制御WEB画面(図5)

本画面上部に表示されるリアルタイム映像を見ながら、画面下部のコントロールボタンで監視カメラを遠隔制御できる。またプリセット点を最大10点まで登録可能とし、簡易な操作で監視地点を表示できるようにした。



図5. 監視カメラ制御WEB画面

5. No Grid 設備の有効性について

平成16年4月までの電源電圧実測値推移(日平均)を図6に示す。グラフ中、冬型の気圧配置が多かった1月中旬から2月中旬にかけて電圧値が下がっており、2/4~2/11にかけて特に変動が大きい。長野気象台による、この期間中の観測データを表5に示す。同期間、観測機器による電源負荷は変化させていない。よって電源電圧値と日照時間には強い相関があるとと言える。2/4~2/7にかけて無日照が

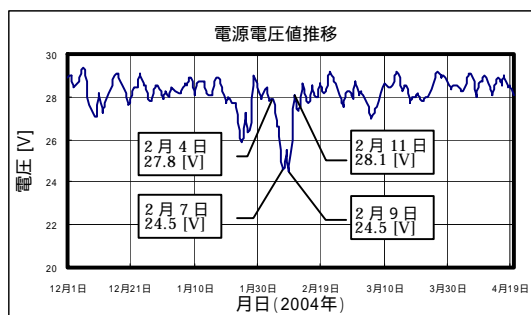


図6. 電源電圧実測値推移(日平均)

続いたが、風力発電による発電量も加えて、観測に影響する程の電圧値低下は起こらず、監視カメラ映像・気象データの収集に成功した。その後の2日間の好天により、電圧値が急速に回復している。さらに、電圧値の減衰率から、無日照が7日間続いても機器動作のための最低電圧値(21.6[V])を確保できる事が推算でき、当初設計の仕様を満たしていた。

以上から、無日照に対する、自然エネルギーと電気二重層コンデンサを使用した本 No Grid 設備の有効性を実証する事ができた。加えて、遠隔電源制御装置による設備制御を行わずに安定的に電源電圧を確保できた事は、更なる気象条件の悪化にも対応可能と言える。

月日	日照時間 [時間]	積雪差分 [cm]
2月4日	0.0	15
2月5日	0.0	14
2月6日	0.9	-3
2月7日	0.0	10
2月8日	6.2	-9
2月9日	0.0	1
2月10日	7.9	-9
2月11日	6.7	5

表5. 気象観測データ

()積雪差分は、当日1時の積雪深と24時の積雪深との差分を示す

6. あとがき

山岳地域に観測所を設置するには、送電線・伝送路の敷設コストを必要とする。近接した地点に複数の観測所を展開するならばそのコストも有効だが、幹線から遠方に独立した観測所を設置するには、本件のような No Grid 観測設備によりコスト縮減が実現できる。

No Grid 観測設備設置工事は平成15年11月に完了し、約1年が経過した。北アルプスの厳冬期を経てなお、今現在も全設備が正常に動作している。よって耐久性の面でも問題が無かったと言えるが、長期的にデータを検証していく事が必要である。

また、今後、省電力の設備・装置が市場に出てくると予想される為、より完成度の高い設備とする為に導入の検討をしていく事が望ましい。