平成 27 年度

建 設 技 術 報 告 会

報 文 集

平成 27 年 11 月

北陸地方建設事業推進協議会

平成 27 年度「建設技術報告会」実行委員会

目　　次

第１会場報告技術

１－Ⅰ－１	橋梁長寿命化のための桁洗浄	1
１－Ⅰ－２	アルミ合金製常設作業パネル『cusa（キュウサ）』の開発	5
１－Ⅰ－３	FRPを用いた歩道床版拡幅工法の耐荷性能に関する実験的研究	9
１－Ⅰ－４	ユニバーサルデザインに基づく「バリアフリーバス停」の提案	13
１－Ⅱ－１	新型除雪トラックの開発	17
１－Ⅱ－２	GPSを利用した雪氷車両の半自動操作システム	21
１－Ⅱ－３	凍結防止剤の滞留による効果持続を期待した型押し式すべり止め舗装	25
１－Ⅱ－４	粗面型ゴム粒子入り凍結抑制舗装「アイストッパー」	29
１－Ⅲ－１	消雪井戸リユース地中熱ヒートポンプシステムによるスポット融雪	33
１－Ⅲ－２	自然由来ヒ素汚染土壌の分離浄化工法	37
１－Ⅲ－３	TT-Monitor による切羽前方地山予測	41
１－Ⅲ－４	リブ付きアーチフォームを用いたRC床版	45
１－Ⅳ－１	北陸地方整備局における「CIM」の取組み	49
１－Ⅳ－２	玉石混り砂礫地盤に対するシールドマシンの選定と掘進実績	53
１－Ⅳ－３	新しい斜め土留め方式（斜め控え壁式鋼矢板方式）の開発と現場への展開	57
１－Ⅳ－４	「Made in 新潟 新技術普及・活用制度」の概要	61

第２会場報告技術

２－Ⅰ－１	斜め・水平施工を可能とする機械撹拌系地盤改良工法の開発　WinBLADE 工法	65
２－Ⅰ－２	水門等遠隔監視制御システムの整備について	69
２－Ⅰ－３	ケーソン据付の安全性・施工性向上技術	73
２－Ⅰ－４	底泥分級浄化工法の開発	77
２－Ⅱ－１	環境共生に配慮した消波ブロック「テトラネオ」	81
２－Ⅱ－２	水中浮体式波浪観測装置の更新について	85
２－Ⅱ－３	曲がり削孔式浸透固化処理工法による供用中の滑走路の液状化対策	89
２－Ⅱ－４	劣化損傷した既設桟橋の鋼管杭と上部工の接合部の巻立て補強技術「タフリードPJ工法」の開発	91
２－Ⅲ－１	UAV（無人航空機）を用いた空中写真測量技術の適用性について	95
２－Ⅲ－２	THS工法（既設集水井の更生）	99
２－Ⅲ－３	塩化ビニル推進管による長距離・曲線推進工法『ベル工法』	103
２－Ⅲ－４	分粒装置付きロードスタビライザの施工事例	107
２－Ⅳ－１	塩分分析におけるJNLA試験事業者登録の紹介	111
２－Ⅳ－２	空中放射音波による遠距離非接触非破壊検査技術/NCAI 法	115
２－Ⅳ－３	HIVIDAS（ヒビダス）の開発	119

第1会場

第Ⅰグループ

橋梁長寿命化のための桁洗浄

新潟県　土木部　道路管理課主任　　池内　啓介

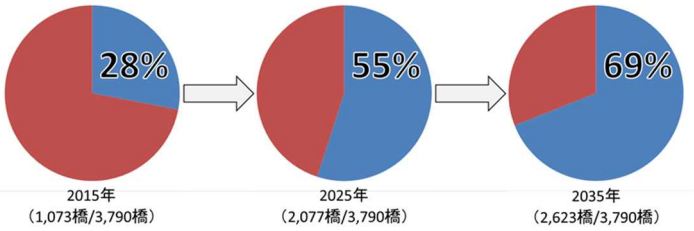
1　はじめに

新潟県が管理する道路橋は約３，８００橋ある。そのうち４割以上が冬期における地域特性から、季節風による飛来塩分（写真－１）や凍結防止剤（写真－２）の影響を受け、多くの橋梁に塩害の損傷が生じている。

鋼橋では、その多くに腐食や防食機能の低下が生じており、いわゆる「事後保全」による対策を実施し、損傷への対応を図ってきた。しかし、今後、供用年数が５０年以上経過する橋梁が増加（図－１）することに伴い補修費用の増加が予想されることから、安価な予防保全の取り組みとして、損傷の生じやすい桁端部に着目した桁洗浄マニュアルをとりまとめ平成２６年４月から運用を開始している。

写真－１　冬期風浪の状況

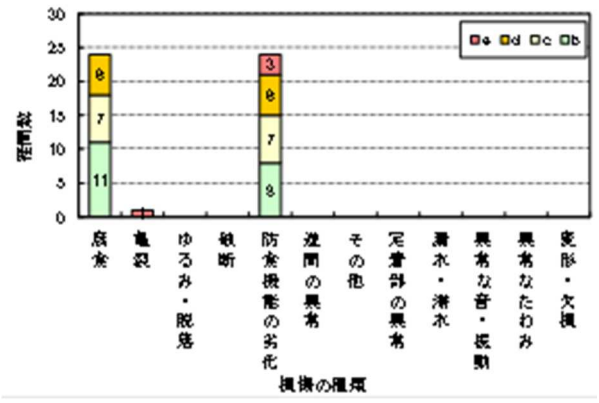
写真－２　凍結防止剤の散布状況



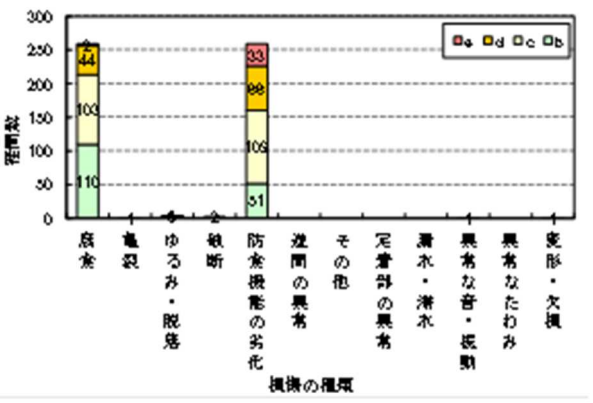
図－１　供用年数が５０年以上経過する橋梁の割合

2　鋼部材の塩害対策

本県が管理する鋼橋は図－２および図－３に示すとおり、その多くに腐食や防食機能の劣化が生じている。これは、飛来塩分や凍結防止剤に含まれる塩化物イオンにより、腐食や防食機能の劣化が促進されていることが原因と考えられる。



図－２　鋼橋主桁の損傷状況（沿岸部の橋梁）



図－３　鋼橋主桁の損傷状況（凍結防止剤散布橋梁）

特に桁端部（写真－３）においては、一般的に伸縮装置からの漏水により、雨水や融雪水が桁端部に浸透し、湿潤状態が長くなることから、支間中央と比べ腐食環境の厳しい部位であり、これを放置すると腐食により断面欠損するなどし、補修に多大の費用を要する。これまでの維持管理においては、鋼橋の防食機能の劣化や腐食に対し、塗装や部分的な桁補修を行ってきているが、今後さらに増大する事が予測される補修費用を低減するため、劣化の促進要因と考えられる塩分の除去を目的として、塩害により腐食の生じやすい桁端部に対する桁洗浄を行うものとした。新潟県における鋼部材の塩害対策の考え方について表－１に示す。

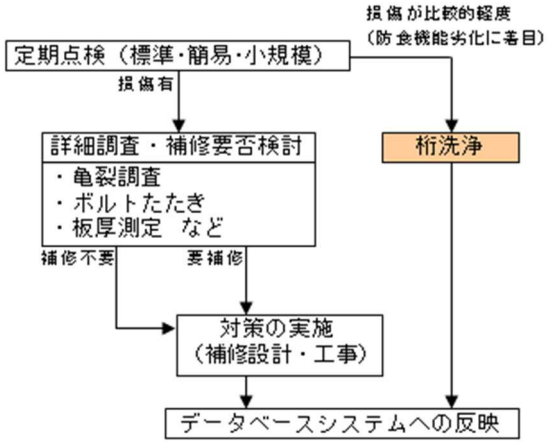
写真－３　桁端部の腐食状況

表－１　新潟県における鋼部材の塩害対策の考え方

①　防食機能の劣化進行を抑止するため桁洗浄を行う。

②　点検により要補修とされた橋梁は、管理区分と優先度に従い補修を行う。

③　塗装仕様はＲｃ－Ｉを基本とし、特定の部材又は部位の劣化が著しい場合には部分塗替え塗装を行う。



３　桁洗浄マニュアルの概要

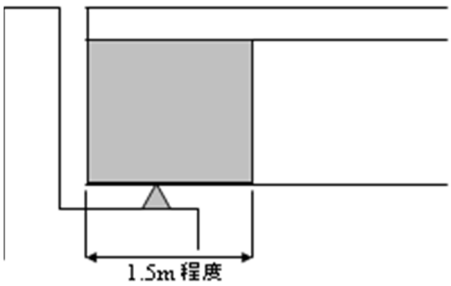
洗浄作業は、地域の維持管理業者が作業することを想定しており、作業に用いる機器は、容易に準備できることが求められる。試験施工の結果、十分な洗浄効果を有していることが確認されたことから、一般に家庭用として使用されている高圧洗浄機（表－２）を用いることとした。

桁洗浄マニュアルの概要について以下に示す。

３．１　対象橋梁および対象部位

対象橋梁　塗装が比較的健全な鋼橋

対象部位　桁端から１．５ｍ程度（図－４）の範囲の主桁横桁、対傾構、支承



図－４　洗浄範囲

３．２　洗浄頻度および時期

洗浄頻度　２年に１回を基本とする。

洗浄時期　４月～６月が望ましい

３．３　洗浄方法

（１）清掃

洗浄に先立ち、沓座廻りに堆積した土砂等の除去を行う。

表－２　高圧洗浄機の例

吐出圧力	2～7.5Mpa
吐出水量	360 リットル／h
本体重量	12.5kg
本体寸法	290×340×805mm
電圧	単相 100V
消費電力	1,350W（最大出力時）
ホース長	5.5m

（２）洗浄機器

洗浄は高圧洗浄機で行う。

（３）水圧・水量

水圧は５ＭＰａ以上、水量は５～６リットル／分程度以上を標準とする。

（４）洗浄水

洗浄水は水道水を利用し、温度は常温とする。

写真－４　桁洗浄の状況

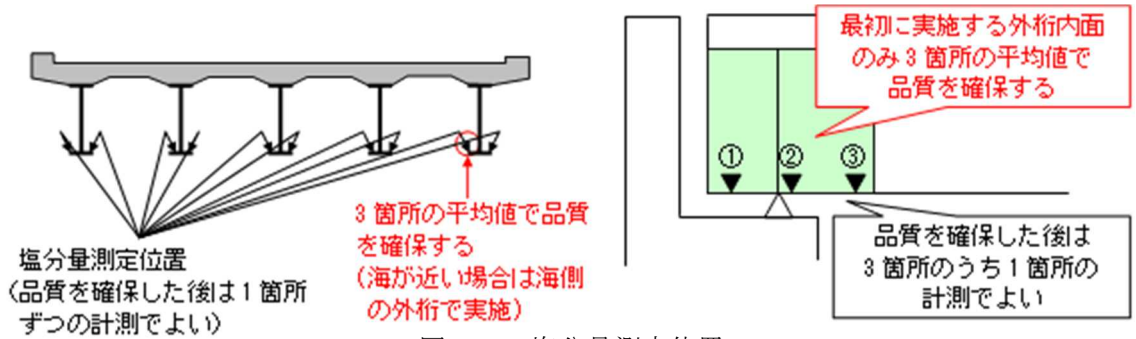
（５）洗浄回数・時間

洗浄回数は１回以上を標準とするが、下フランジ上面は２回以上の洗浄を行う。また、１回あたりの洗浄時間は１分／ｍ２以上を標準とする。

３．４　塩分量測定

桁洗浄による付着塩分の除去効果を確認するため、洗浄前と洗浄後に桁表面の付着塩分量を計測する。塩分は下フランジ上面に多く付着するため、測定は下フランジ上面で行う。（図－５）

洗浄後の測定により、付着塩分量が５０ｍｇ／ｍ２以下であることを確認する。



図－５　塩分量測定位置

写真－５　電気伝導度測定器による表面塩分量の測定例

３．５　濁水処理

濁水処理は、洗浄前に塗装歴を確認し、塗料中の鉛含有量を確認した上で、洗浄水の回収・処理方法を決定することを基本とする。塗料中に鉛成分が含まれていることが確認された場合は、洗浄水の回収・処理を行うものとする。また、漁業権の存在などで濁水の流出に問題があると懸念される場合は、必要に応じて河川管理者等と協議し、濁水の回収の有無

写真－６　ブルーシートによる養生

を判断する。

濁水の回収が必要な場合は、洗浄する部分にブルーシート等による養生（写真－６）を行うことにより、洗浄水の飛散防止および回収を行う。回収した濁水は、産業廃棄物として処理する。

4　実施状況

平成２６年度は、県内の１４地域機関２９橋において桁洗浄を実施し、すべての橋梁において洗浄後の付着塩分量５０ｍｇ／ｍ２以下を満足する結果となった。このことから桁洗浄マニュアルを用いた桁洗浄による塩分の除去については、一定の効果が確認できた。

4．１　桁洗浄から１年後の追跡調査

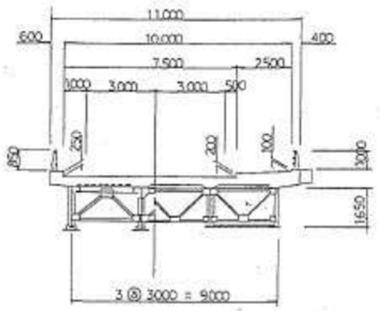
桁洗浄の頻度について、本県と類似する環境の地域にある橋梁では、塗装経年２年から腐食損傷の発生部材数が増加傾向となるデータがあることから、これを参考に２年としている。

しかし、過去に実施した調査では、洗浄後１年後には付着塩分量が洗浄前の５０～９０％まで回復するというデータがあったことから、平成２６年度に桁洗浄を実施した小倉大橋（表－３、図－７）において、洗浄から１年経過後（表－４）の付着塩分量の回復状況を計測した。

測定はＡ１側とＡ２側の主桁端部の下フランジ上面で行った。その結果を表－５、図－８に示す。小倉大橋では、桁洗浄から１年経過後に洗浄前と同程度まで付着塩分量が回復している。特に、Ａ１側では洗浄前の１２０％の付着塩分量が確認された。

表－３　小倉大橋の諸元

腐食環境	海岸線から7．2km 凍結防止剤散布
構造形式	鋼2径間連続4主鈑桁橋
橋長	L＝62．0m
架設年次	平成元年



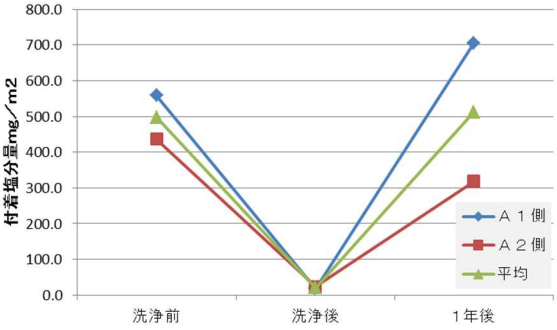
図－７　横断面図（小倉大橋）

表－４　塩分量測定年月日（小倉大橋）

洗浄前	H26.9.25
洗浄後	H26.9.25
1年後	H27.7.7

図－５　付着塩分量の推移（小倉大橋）

	A1側	A2側	平均
洗浄前	558.4	436.0	497.2
洗浄後	17.7	23.7	20.7
1年後	705.6	318.3	512.0
回復量	126%	73%	103%



図－８　付着塩分量の推移（小倉大橋）

5　今後の課題

今回の追跡調査では、洗浄から１年経過後の付着塩分量が洗浄前と同程度まで回復しているというデータが得られたことから、２年に１回を基本とする洗浄頻度は検討を要する。桁洗浄が鋼橋の防食機能の劣化や腐食に対する予防保全に資するために、今後も追跡調査等を重ねてデータを蓄積し、洗浄頻度などの課題について検証を行う必要がある。

アルミ合金製常設作業パネル『cusa（キュウサ)』の開発

○株式会社横河ブリッジホールディングス　総合技術研究所　主幹　　井口　進
株式会社横河ブリッジ　技術計画室　主査　　金澤宏明

1.　まえがき

近年、道路構造物をはじめとする社会資本の急速な老朽化を防止し、適切なメンテナンスサイクルを確立することで、これら構造物の長寿命化を図ることが求められている。特に、平成 26 年 7 月には、「道路法施工規則の一部を改正する省令」が施行され、橋梁については、国が定める統一的な基準により、5 年に 1 回の頻度による近接目視点検が義務づけられた。しかしながら、既設橋梁の多くは、上部工検査路が設置されているものの、広範囲に面的な近接目視点検を行うことは困難な場合が多い。

このような背景の下、筆者らは主に鋼橋を対象に、橋梁下面に設置するアルミ合金製の常設作業パネルを「cusa」を開発した（図-1)。「cusa」は、アルミ合金製のパネルを主桁間あるいは下面全体に設置し、常設の作業パネルとするものである。これにより、広範囲にわたる面的な近接目視点検が常時可能となる。本文では、筆者らが開発した「cusa」の概要とその性能検証結果、現場への適用事例について報告する。

2.　「cusa」の概要

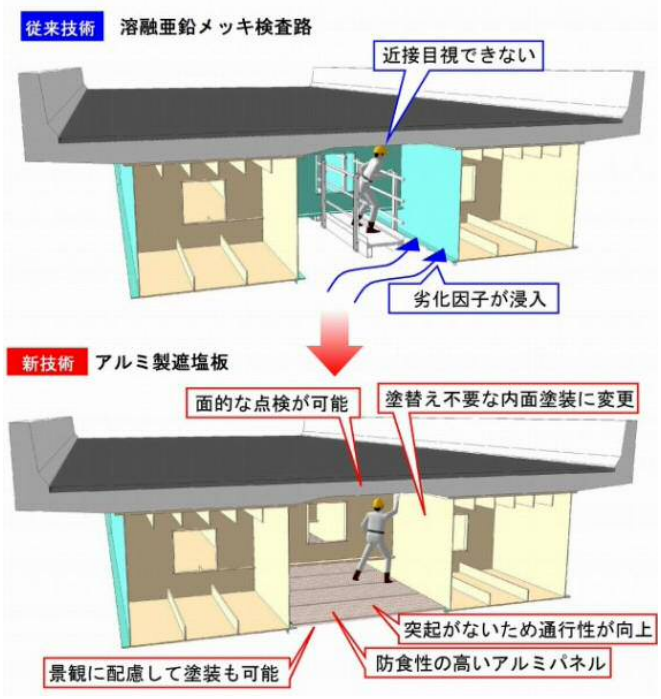
2.1 アルミパネルの特長

「cusa」に用いるアルミ合金製パネル（以下、アルミパネル）を写真-1 に示す。アルミパネルは、中空の矩形断面の押し出し成形材で、これを橋軸直角方向に配置する。幅 200mm 程度の押し出し成形材を、橋軸方向にはパネル端部を嵌合により連結して連続化し、幅 500mm 程度のユニットパネルとする。ユニットパネルは、片面施工が可能なリベットにより連結し、さらに連続化する。このようなパネル構造は、下水処理場の濾過池などの覆蓋として多くの実績を有するものである。

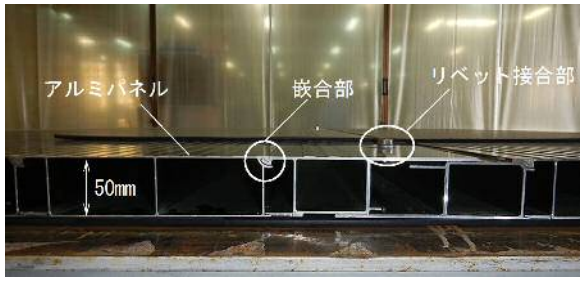
本構造の特長を挙げると、次のとおりである。

(1) 長期防食性

材料としてアルミ合金を採用することで、長期の防食性を確保できる。防食を目的とした塗装も不要であり、LCC に優れる。



図－1　アルミ合金製常設作業パネルの概要



写真－1　cusa に用いるアルミ合金製パネル

(2) 軽量

アルミは、鋼に比べて軽量（比重 1/3）であることから死荷重の低減が図られ、既設橋梁へ設置した場合の負担も最小限に抑えらる。また、既設橋梁などの狭隘な作業空間においても、パネル設置の作業性は良好である。

(3) 耐荷性能・耐火性能

アルミ合金（A6063S-T5）は高強度であり、パネルの断面形状をマルチセル構造とすることで、点検や作業用の足場として十分な剛性を有する断面とし、高い耐荷性能を有している。アルミパネルの設計においては、活荷重（3.5kN/m^2）、吹き上げ荷重（3.0kN/m^2）ならびに群集荷重（1.8kN/枚）に対して、応力度およびたわみの照査を行っている。さらに、アルミは国土交通省告示（第 1178 号、平成 16 年 9 月 29 日）に示される不燃材料であることから、安心で安全な構造と言える。

2.2 「cusa」の構造的特徴

「cusa」の構造的特徴を挙げると、以下のとおりである。

(1) アルミパネルの固定方法

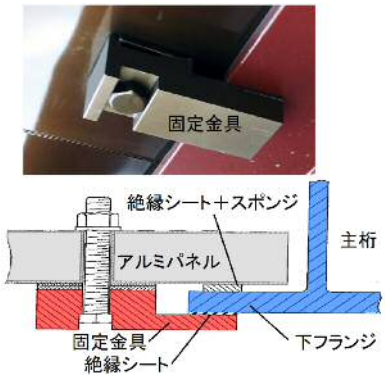
アルミパネルを主桁間に設置する場合、アルミパネルは専用の固定金具（アルミ合金製）により主桁下フランジと連結する（写真-2）。台風などの吹き上げ荷重に対しても抵抗する。なお、この固定金具はアルミパネル上面からの片面施工が可能である。

(2) 作業者の通行に配慮した断面形状

矩形断面の押し出し成形材を使用しているため、パネル上面はフラットであり、さらに 2mm 程度の凹凸による滑り止め加工を施しており、作業者の通行に配慮している。

(3) 高い気密性の確保と異種金属腐食対策

嵌合で連結したアルミパネルは気密性に優れている。アルミパネルを主桁下フランジ上に設置する場合、アルミパネルと鋼材との間にシリコン製スポンジを設置することで、飛来塩分などの腐食劣化要因の侵入を防止でき、「遮塩板」としての機能も付与できる。また、絶縁シートにより異種金属腐食対策も施している。



写真－2　固定金具（主桁下フランジへの固定）

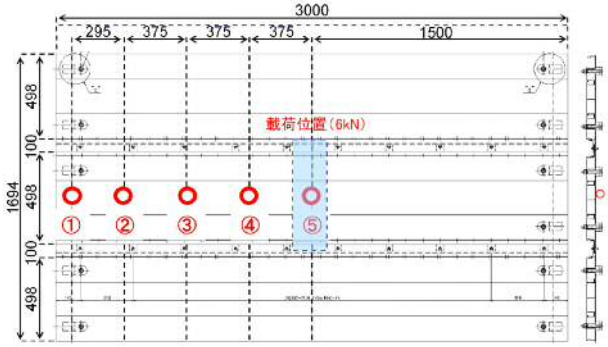
3. 「cusa」の性能確認の検証

3.1 耐荷性能の確認（荷重載荷試験）

本構造の耐荷性能を確認するために、点検作業者の通行を想定した静的載荷試験および疲労試験、吹き上げ荷重を想定した静的破壊試験を実施した。

(1) 静的載荷試験

静的載荷試験では、支間 3,000mm、50mm 厚のアルミパネル 3 枚を連結した供試体を作成し、



図－2　静的載荷試験の着目部

支間中央断面に荷重（P=6kN、200mm×700mm）を載荷した。載荷試験の着目部は、図-2 に示す 5 点とした。試験結果は、別途 FEM 解析を実施し、解析結果との比較を行った。FEM 解析は、アルミパネルと主桁下フランジとの連結を単純支持とした場合、固定支持とした場合の 2 ケース実施した。アルミパネルの鉛直変位分布および橋軸直角方向ひずみの分布を図-3 に示す。鉛直変位分布は、単純支持および固定支持の中間の挙動を示している。一方、橋軸直角方向ひずみは、単純支持に近い挙動となっている。アルミの許容ひずみは約 1,500μであり、今回の載荷荷重の範囲においては、アルミパネルは十分な耐荷力を有していると言える。

(2) 疲労試験

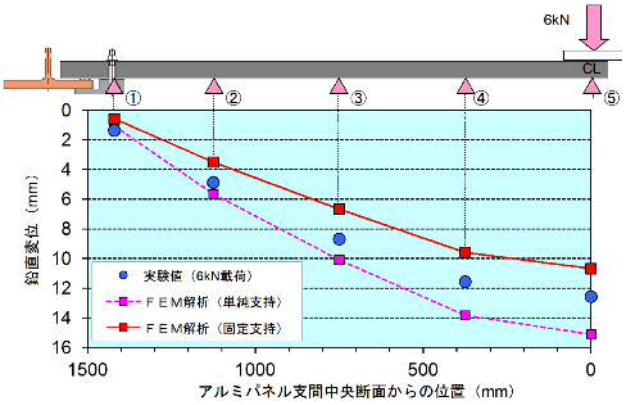
疲労試験では、点検作業者の通行を想定して、静的載荷試験と同一位置にΔP＝2kN を 10 万回繰り返し載荷した（100 年間、作業者 5 名が 1 ヶ月に 1 回、10 回程度通過することを想定）。疲労試験の結果、アルミパネルの疲労試験前後での挙動に大きな変化はなく、疲労耐久性に問題は認められなかった。

(3) 吹き上げ荷重を想定した破壊試験

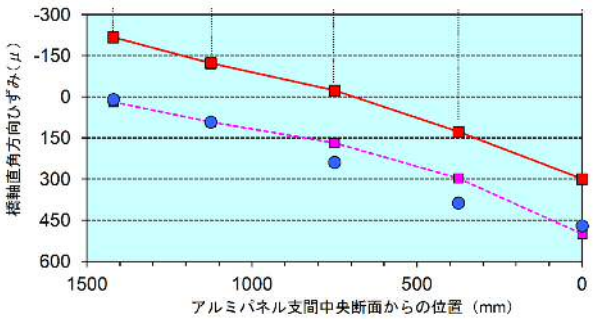
暴風による吹き上げ荷重を想定した破壊試験では、アルミパネルを天地逆に設置し、静的載荷試験と同一位置に荷重を漸増載荷した。その結果、P=34.8kN 載荷時に、アルミパネルどうしの連結部（リベット接合部）が破断することで終局状態となった。この時の最大たわみは 104mm（許容たわみの 6.9 倍）であったが、アルミパネルが脱落するようなことはなかった（写真-3）。

3.2 長期防食性と腐食劣化要因の遮断性の確認（暴露試験）

本構造の長期防食性と腐食劣化要因の遮断性を確認することを目的に、橋梁の部分模型を作

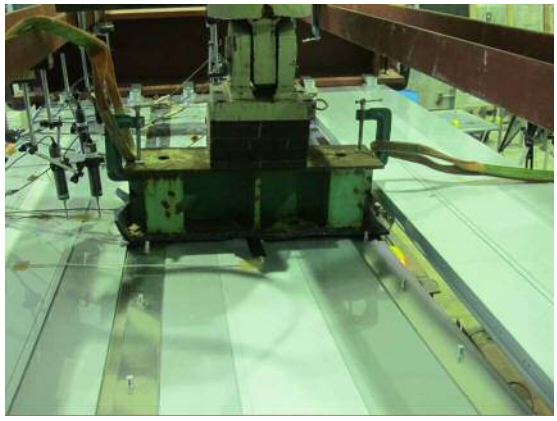


(a) 鉛直変位

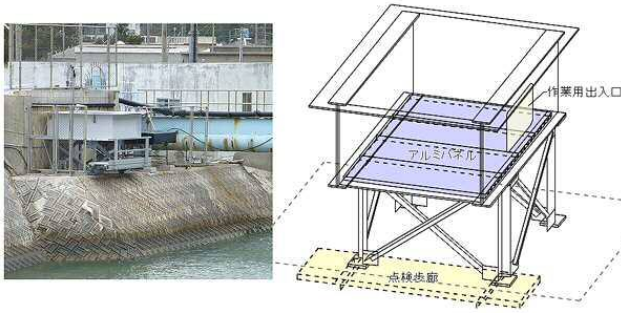


(b) 橋軸直角方向ひずみ

図－3 静的載荷試験結果



写真－3 破壊試験における終局状態



図－4 暴露試験状況

（於：沖縄辺野喜暴露試験場）

成し、長期暴露試験を実施している。暴露試験は、国内有数の厳しい腐食環境下にある沖縄県辺野喜暴露試験場にて実施している（図-4）。

(1) 防食性の検証

暴露試験開始 2 年経過後のアルミパネルの状況を写真-4 に示す。結露による水滴と飛来塩分の結晶が表面に付着しているが、アルミパネル表面には変色や腐食は一切見られず、防食性に問題はない。現在も定期観察を継続している。

(2) 腐食劣化要因の遮断性の検証

鋼橋の腐食劣化要因の一つである飛来塩分の遮断性を検証するために、模型内外の飛来塩分量をドライガーゼ法により測定した。1 年間の測定結果を図-5 に示す。模型外側（桁外）の飛来塩分量が最大 3.87mdd（平均 2.36mdd）であったのに対して、模型内側（アルミパネル内面側）は最大 0.03mdd（平均 0.01mdd）に抑えられている。これより、「cusa」はアルミパネルの固定部の気密性を高めることにより、遮塩板としての機能を付与することできると言える。

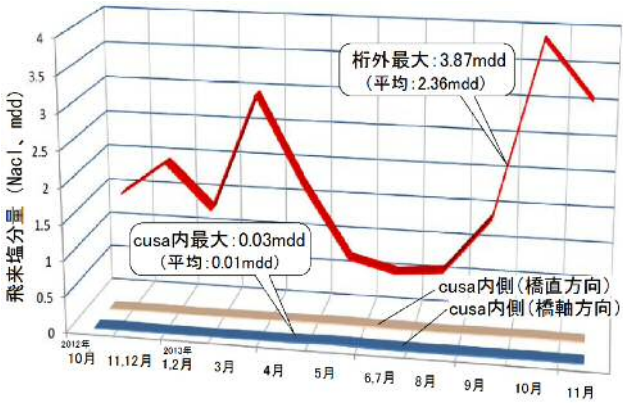
3.3 異種金属腐食の対策効果（塩水噴霧試験）

「cusa」では、異種金属腐食対策として、前述のとおりアルミパネルと鋼材との間に絶縁シートを設置している。その効果を検証するために、小型供試体を作成し、塩水噴霧試験（JIS Z 2371）を実施した。2,000 時間経過後、鋼材とアルミ材との接触面を観察した。絶縁シートを設置していない供試体では異種金属腐食が発生していたが、絶縁シートを設置した供試体では、異種金属腐食は全く認められなかった（写真-5）。

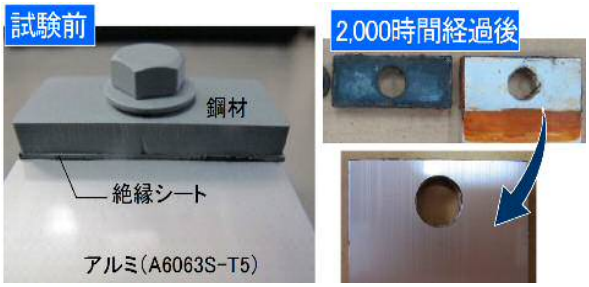
4. 結び

遮塩板としての機能も有するアルミ合金製常設作業パネル「cusa」は、岩松川橋（四国地方整備局殿発注）にて初めて適用された（写真-6）。、本橋での「cusa」の設置による腐食環境改善効果の検証を進めており、その結果については別の機会に報告したい。

写真－4　アルミパネル状況（2 年経過）



図－5　飛来塩分測定結果



写真－5　塩水噴霧試験結果

写真－6　岩松川橋の「cusa」内部状況

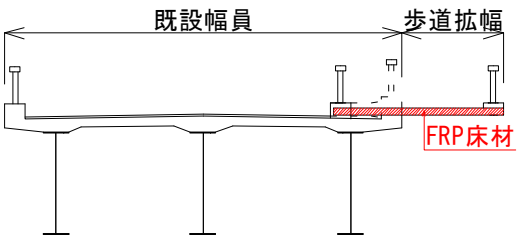
FRPを用いた歩道床版拡幅工法の耐荷性能に関する実験的研究

宮地エンジニアリング株式会社　橋梁営業部　FRP・保全開発G　　石原　彰子

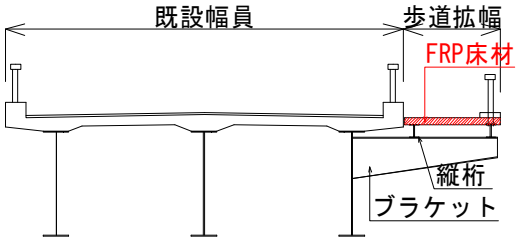
１．はじめに

近年，交通安全対策として歩道を拡幅する事例が増加しているが，橋梁で歩道を拡幅する場合，別途側道橋を設置すると大がかりとなることから，鋼製の歩道を既設橋梁に添架する構造が用いられている．この場合，拡幅部の重量の増加による既設桁や下部工の補強等が必要となり，既設構造物への負荷が少ない軽量な床版構造が求められている．

また，路面の滞水のみならず，海岸部や凍結防止剤を散布する積雪寒冷地では塩分による鋼材の腐食が促進されるため，耐食性に優れた材料の選定も必要となる．このような背景のもと，軽量，高強度で，耐食性に優れるGFRP(ガラス繊維強化プラスチック，以下，FRP)を用いた歩道床版拡幅工法が考案された．



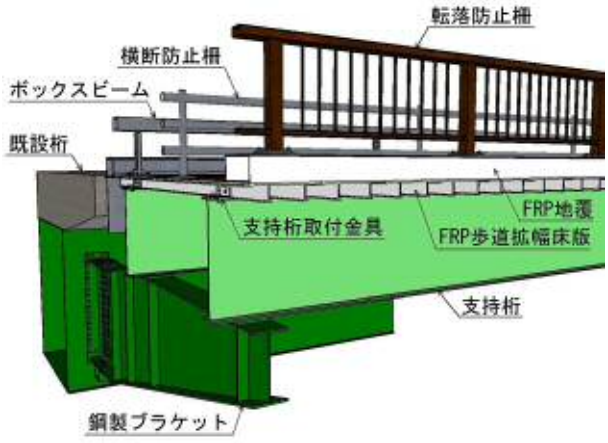
(a)床版上載タイプ



(b) ブラケット支持桁タイプ

図－1 歩道拡幅構造の種類

この歩道床版拡幅構造としては，既設桁の取付け構造の違いから，図－1に示すように，床版上載タイプ[1)]とブラケット支持桁タイプがある．本稿では，図－1(b)に示すブラケット支持桁タイプを対象に実橋への適用性を確認するために実施した各種試験[2)]の内，鉛直載荷試験および支持桁取付け部載荷試験について報告する．本床版の構造概要を図－2に示す．



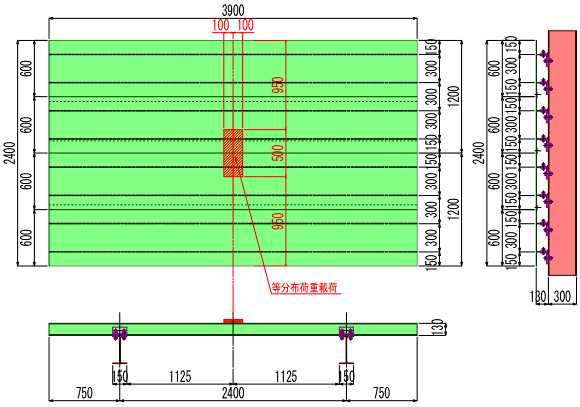
図－2　FRP床版概要図

２．鉛直力載荷試験

２．１　試験概要

FRP床版の活荷重に対する耐荷性能を確認するため，静的載荷試験を行った．試験体(図－3)は，全長3900mm，幅600mmのFRP材を橋軸方向に4枚並べ，継手はラップ継手構造とし，ラップ面はエポキシ樹脂系接着剤とステンレス製ブラインドリベット（4.8φ×150mm間隔）で固定した．

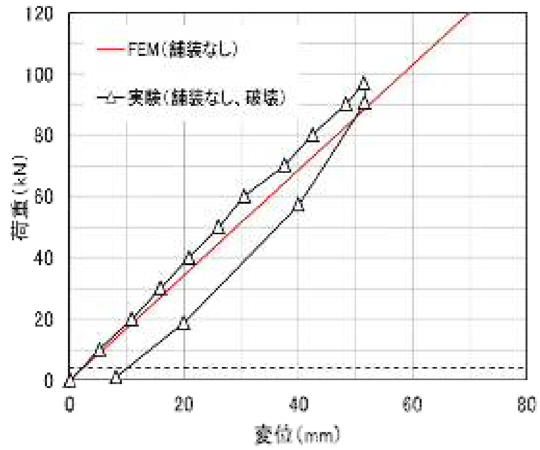
試験は，群集荷重を想定した等分布荷重載荷とする必要があるが，試験体全面に均等な荷重載荷が困難なため，荷重の偏載を考慮して試験体リブの支間中央に200mm×500mmの載荷板で実施した．このとき，供試体中央の曲げモーメントが，群集荷重による設計曲げモーメント（7.916kN・m/m）と等価となる載荷荷重（3.95kN）を設計荷重とした．



図－3　鉛直力載荷試験の試験体図

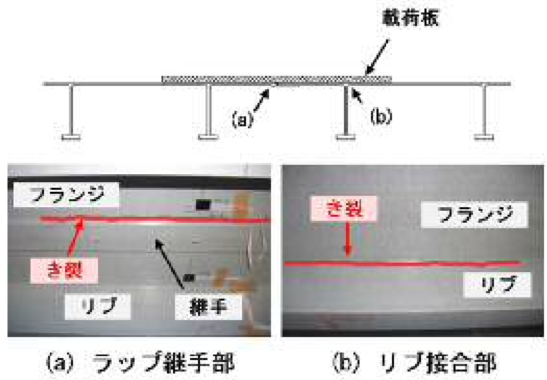
２．２　試験結果

図－4に，荷重載荷点直下のフランジにおける荷重と変位の関係を示す．図中のFEMは，FRP材を直交異方性材料でモデル化し，幾何学的非線形を考慮したFEM解析の結果である．これより，変位の実験値は荷重の増加とともに線形的に推移し，96.9kNで荷重が低下し破壊に至った．破壊荷重96.9kNは，設計荷重3.95kNの24.5倍であり，FRP床版が活荷重に対して高い耐荷力を有することが確認できた．



図－4　荷重と鉛直変位の関係

載荷試験後の試験体の損傷は，床版とリブ取付け部(写真-1(b))のせん断破壊であり，同時に試験体継手部の断面変化位置(写真-1(a))における繊維方向のき裂も確認できた．これはFRP材が異方性材料であること，リブや継手部の断面変化位置で応力集中が生じたことが要因と考えられる．ただし，試験体は破壊した後も90kN程度の荷重を保持しており，局所破壊しても全体崩壊に至るような破壊形態とならないことが確認できた．



写真－1　鉛直力載荷試験の供試体損傷状況

３．支持桁取付け部の耐荷力試験

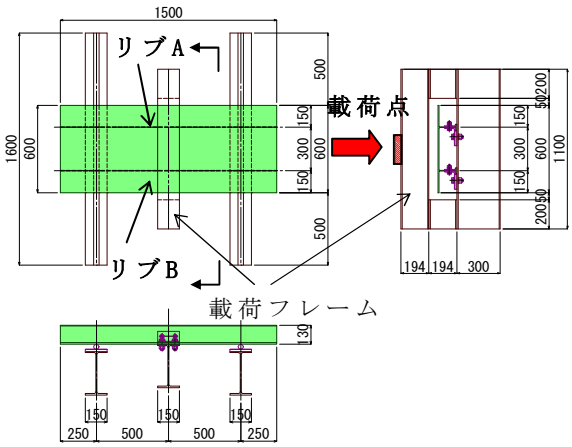
３．１　上揚力載荷試験

３．１．１　試験概要

FRP床版は死荷重が小さいため，下面から風が吹いた場合，FRP床版が浮き上がる可能性があることから，支持桁の取付け部に上陽力が作用することを模擬した静的載荷試験を実施した．実験に使用した試験体(図－5)は，全長1500mm，幅600mmのFRP材単体を使用し，

支持桁との取付けは，鋼製アングル材とFRP材リブをボルトで接合する構造とした．

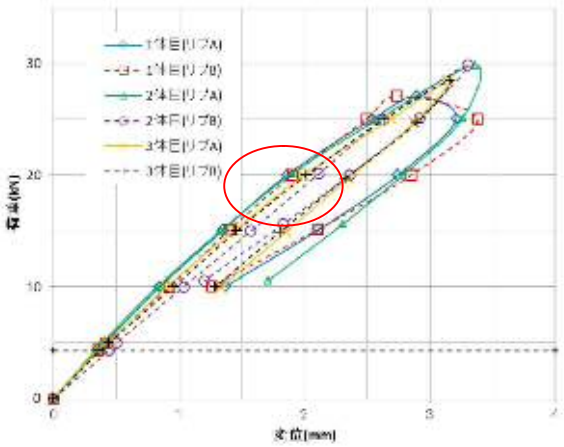
試験はFRP材を単純支持し，支持桁を，載荷フレームを介して油圧ジャッキにより下方へ押すことで上揚力を模擬した．設計荷重は，床版下面からの風荷重3.0kN/m^{2}が作用すると想定した場合の，支持桁上での上陽力14.33kN/mを用い，600mm幅に換算した荷重（4.30 kN）とした．



図－5　支持桁取付け部の試験体

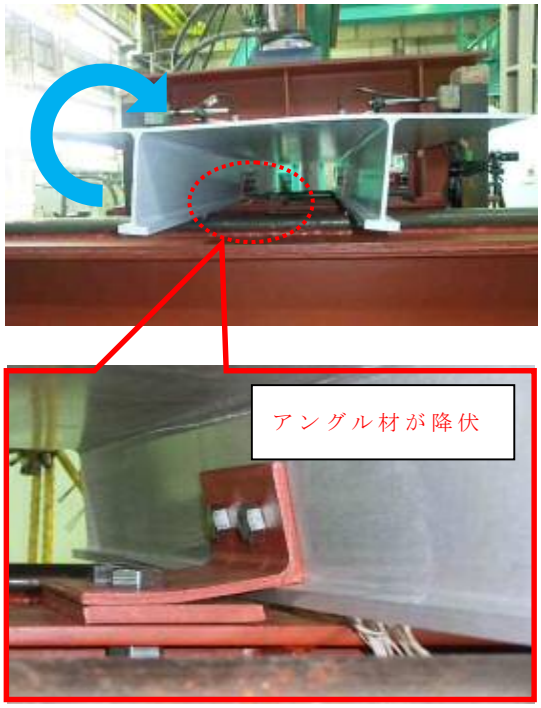
３．１．２　試験結果

図－6に，載荷荷重とFRP材ウェブの変位との関係を示す．計測位置は，図－5に示すリブA，Bのアングル材接合部の近傍である．これより，荷重の増加とともに変位が線形的に増加し，いずれの場合も25kNを超えたあたりでアングル材が降伏したため試験を終了した．このときの破壊荷重27～29kNは，設計荷重4.30kNの6倍以上であり，アングル材接合部についても実用上十分な耐荷力を有することが確認できた．



図－6 荷重と鉛直変位の関係

なお，写真－2の試験後の損傷状況に示すように，アングル材の降伏後，FRP材のリブがねじれ，アングル材接合部とリブの隅角部でき裂が発生したが，実際の床版では，FRP材が橋軸方向に連続することから，このような変形は生じないと考えられ，耐荷力はさらに大きいものと推察できる．



写真－2　支持桁取付け部の試験体損傷状況

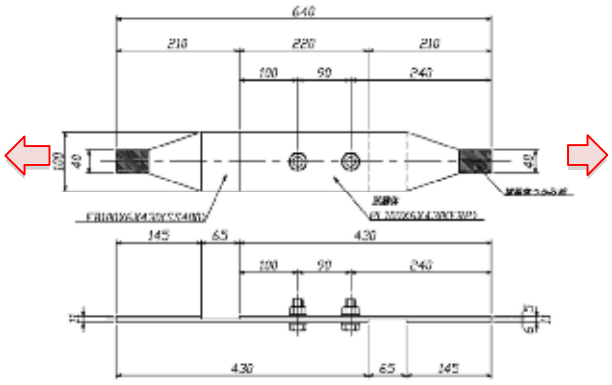
３．２　水平力載荷試験

３．２．１　試験概要

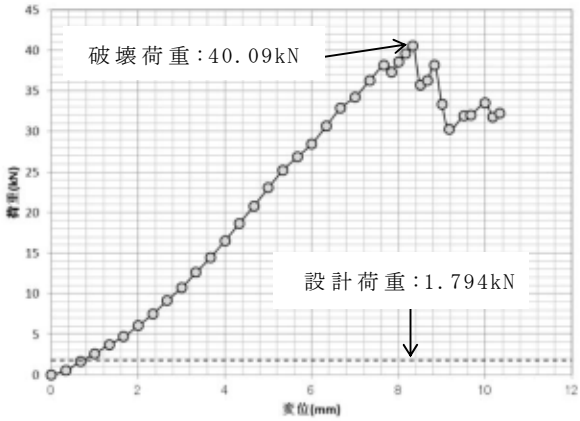
支持桁とFRP床版の取付け部の水平方向には，地震による水平力が作用するため，取付け部を模擬したFRP板と鋼材をボルト接合した試験体(図－7)による引張試験を実施した．このときの設計荷重は，支点反力に設計水平震度0.3を乗じた値（1.794kN）とした．

３．２．２　試験結果

図－8に，変位制御で載荷した時の荷重の推移を示す．荷重は破壊まで概ね線形的に推移しているが，設計荷重の約4倍の7kNで若干傾きが変わる変曲点が見られた．この荷重付近でボルトと孔が接触し，支圧状態に移行したためと考えられる．破壊荷重は40.09kNであり，写真－3に示すように，接合部ではなく母材幅の変化部で破断した．この破壊荷重は，設計荷重の約23倍あり，実用上十分な耐荷力を有することが確認された．



図－7　支持桁取付け部の供試体

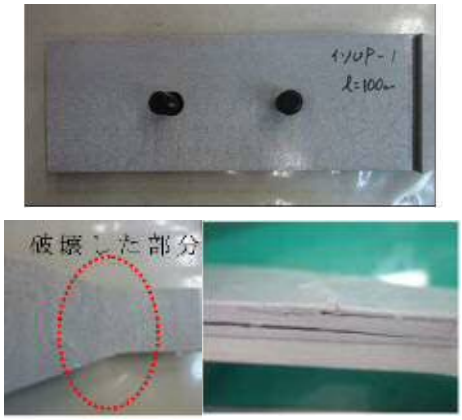


図－8　支持桁取付け部の供試体

４．まとめ

FRP床版に対する載荷試験の結果，以下のことがわかった．FRP床板の活荷重に対する耐荷力は，設計荷重の20倍以上を有していることがわかった．なお，破壊形態は床版リブ取付け部のせん断破壊であり，FRP床版は全体崩壊に至るような破壊形態とならないことが確認できた．

支持桁取付け部分の耐荷力は，風荷重による上揚力に対しては，設計荷重の6倍以上，地震荷重による水平力に対しては，設計荷重の20倍以上を有していることが確認できた．



写真－3　支持桁取付け部水平荷重載荷試験後の損傷状況

＜参考文献＞

1)角間恒，岡田慎哉，久保圭吾，松井繁之：ＦＲＰを用いた道路橋歩道拡幅構造の耐荷性能に関する研究，土木学会構造工学論文集，Vol.60A(2014年3月)

2)田村修一，保呂秀次，久保圭吾，角間亘，岡田慎哉，松井繁之：FRPを用いた歩道床版拡幅工法の耐荷性能に関する実験的研究，土木学会構造工学論文集 Vol.61A(2015年3月)

ユニバーサルデザインに基づく「バリアフリーバス停」の提案

日本道路（株）　技術営業部　○ 関　賢治
日本道路（株）　北信越支店　　水倉一夫

１.はじめに

我が国においては、少子高齢化に向けたコンパクトシティへの対応として、公共交通網の再整備が重要な課題となっている。また 2020 年のオリンピック/パラリンピック開催に向け、我が国は観光立国を目指しており、首都圏だけでなく特色ある景観を有する地方都市においても、国内外から多くの観光客が訪れ、人の往来が増えることが予想される。このため運輸部門の CO_2 排出抑制の課題も重要であり、公共交通の重要性が増すものと思われる。特にバス輸送は高速鉄道に比べ面的な移動に有効であり、地域交通にとって不可欠なものである。そうした中で大量輸送が可能である鉄道の駅は整備が進んでいるが、バス輸送は輸送人員分担率が第３位の 15.3%であるにもかかわらず、バス停の快適性の実現は大きく立ち遅れている。

我々は誰もが快適に安全に使用できるユニバーサルデザインバス停を目的として、欧州諸国で普及し始めているバスの正着性を高める縁石と路面温度上昇を低減するインターロッキングブロックを使用して、既設バス停を改良し、実証実験を行った。

２．既存バス停の問題点

ITS 活用による BRT システムの導入のほか、車両もノンステップバス、ワンステップバスが導入され、ニーリング機能がある低床バス等の普及により、乗り降りの改善はなされているものの、バスの正着性が十分でないことから高齢者、車椅子利用者、ベビーカー使用者、キャリーケース使用者などの利便性が十分ではない。

特に路線バスにおいては都市部では 10 年程度で車両の入れ替えがなされているものの、地方部においては 20 年以上の使用が行われている。そのため、統一化されたバス停の規格がなされることはなく、状況客に対して利便性が向上することがなかった。バスが停留所に正着し、完全にフラットな状況が可能であれば、快適であるばかりか、乗降時間が短縮されて定時制・速達性にも寄与できるものである。

また、一般的に乗合バスの場合、バス停に冷房装置の設置はなく、夏の暑さに弱い利用者にとって待ち時間を快適に過ごすことは重要な課題となっている。

３．海外での実施例

フランス、ドイツなどでは、バスのタイヤを特殊な縁石に接触させる形で正着させる方法が取られている。この特殊な縁石はタイヤのショルダー部を縁石にあてながら正着することにより、バスと停留所の開きを極力少なくし、乗降をスムーズにするシステムである。これにより利便性・快適性の能向上だけでなく、安全性に対しても寄与することが多い。LRT 停車場とバス停を併用することで乗り換えを容易にしており、移動に対して、面として住民の生活を向上させる手段としている。（写真１）

写真１　海外における運用例

４．横浜国立大における実証調査

ドイツ国内おいて普及が始まっている PROFILBETON 社のカッセルカーブプラス縁石（以後、正着促進縁

石と呼ぶ：図１）を輸入し、国立大学法人横浜国立大学、（公社）日本交通計画協会、三井物産プラントシステム（株）、日本道路（株）連携のもと、横浜国立大学構内の「国大北」バス停に設置し検証した。この正着促進縁石は高さが 37cm ほどあり路面からの突出が 22cm ほどである。国内で使用される歩車道境界ブロック C が高さ 30cm で、路面からの突出が 20cm 程度であることから、バス停の高さが変わることになる。実証実験ではバス停そのものを作り直し、バス停で待つ人の暑さ対策として新たに開発された超保水性ブロック（製品名：エコロブロック Biz）舗装をとりいれた（図２）。このブロックは保水量を超える水は速やかに透水するため、冬期に凍結することを抑制できるといった特徴もあり、降雪後の除雪も容易であることが検証されている。夏場の路面の温度低減効果についても検証されており、夏期は概ね摂氏 10～15 度アスファルト舗装路面に比べ低減出来る（図３）。

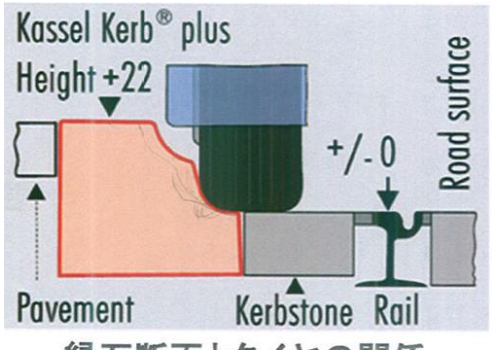


図１　縁石断面とタイヤの関係

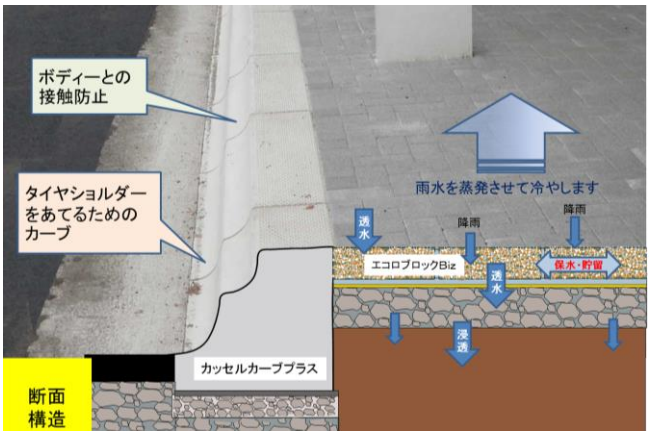


図２　構造概略

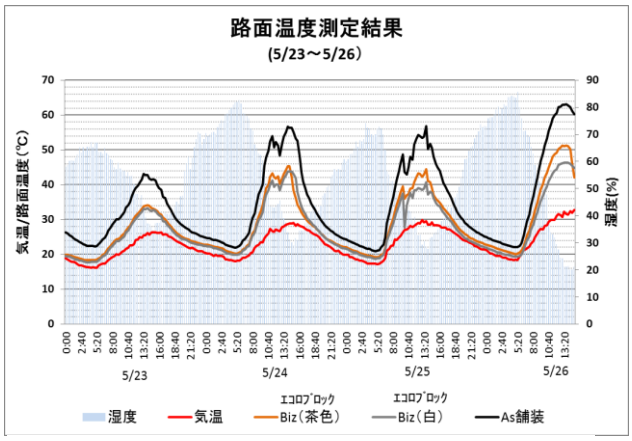


図３　超保水性ブロックの路面温度低減効果

4.1 バス正着性の検証

図４は「国大北」バス停において横浜国立大学中村教授らが、朝８時台のバスを正着促進縁石導入前 42 サンプルと導入後 120 サンプルについて調査した結果である。導入前の既存の状態ではバスとバス停の間隔（ギャップ）が平均 40.2cm であったのに対して、正着促進縁石を導入した後はギャップの平均が 11.6cm となった。健常者であれば 40cm 程度のギャップは一旦車道に降りることなく、直接マウンドアップ歩道からバスに乗降できるもが、高齢者や荷物を持った人にとっては困難な距離である。写真 2 は、実際に高齢者の乗降状況であるが、筋力や股関節の柔軟性が衰えた場合、50cm 程度のギャップに対し、横向きに乗り越えようとしている。一般健常者においても図 5 のように歩幅ぎりぎりの離隔であった場合には、バス床面とバス停歩道部のすべり抵抗に大きな差があると、バラ

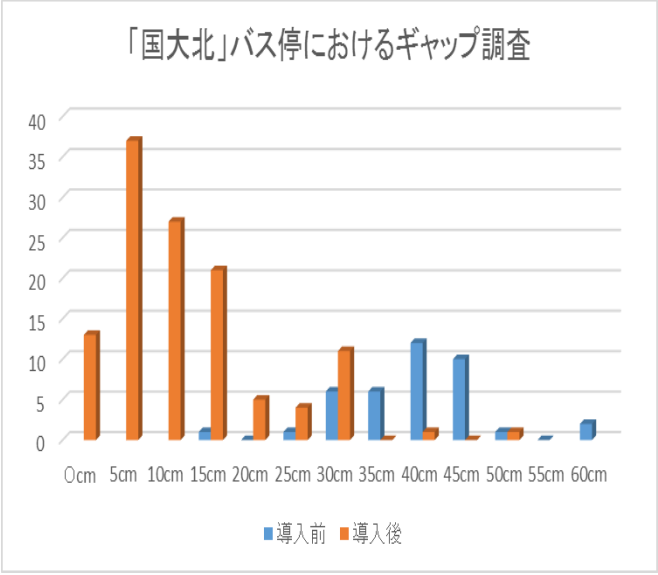
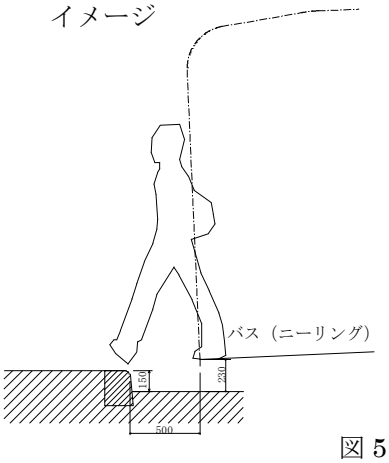


図４

ンスを崩し転倒の危険が高まる。この正着促進縁石を使うことで 12cm 弱の距離となったことは、正着促進縁石は効果が認められるものと考えられる。

今回実際のバス停での検証は、ドライバーが正着促進縁石に接触させて停めることがなかったため、ギャップが 15cm を超えることもあったが、ドイツで実施されているような、タイヤ縁石に寄せて正着させる運転方法であればすべて 10cm 以下のギャップとなるであろう。

一般的なバス停の乗降イメージ



正着促進縁石を使用したバス停の乗降イメージ

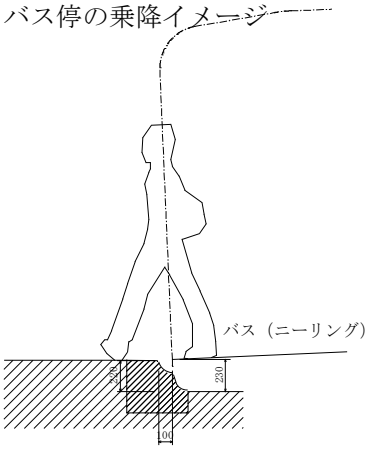


図 5

一般的なバス停の乗降

正着促進縁石使用したバス停の乗降

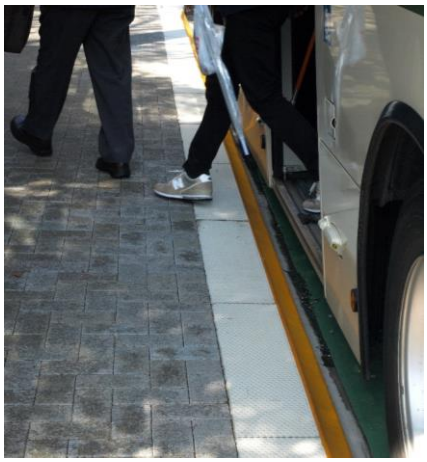


写真 2

4.2 バス停歩道面路面温度上昇抑制効果等

今回の試験施工場所である横浜国立大学構内のバス停は、たいへん緑豊かな箇所で、バス停全体が木陰であり、超保水性ブロックを設置した歩道部と、車道部の温度差はわずかであったが、写真 3 のように日差しを遮るもののない駅前などでは、効率的に路面温度上昇抑制効果が発揮されている。これにより、バス停で待つ乗客の足元の温度を下げ、涼しい環境を作ることができる。

さらに、このブロック舗装は透水性が良好で、降雪後の再凍結がおきにくい。そのため路面の氷膜がはがれ易くなることから、降雪時除雪の容易さが発揮できるものと思われる。（表 1、写真 4）

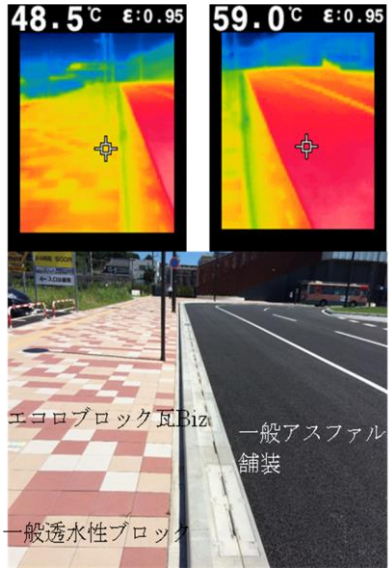


写真 3

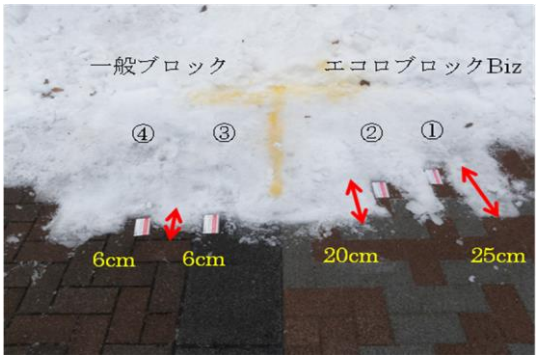


写真 4

舗装の種類	工区	回数	引張試験（N）	氷板撤去量（cm）
レインボーエコロブロックBiz	①	1	101.5	25
		2	73.4	
		3	135.0	
	②	1	125.9	20
		2	157.5	
		3	113.3	
一般のILB	③	1	183.0	6
		2	196.0	
		3	273.0	
	④	1	322.7	6
		2	300.0	
		3	284.7	

表 1

５．実証から得られた今後の課題

実証実験に使用した製品はドイツ製品を直接輸入したものであり、日本国内の車両やタイヤ等システム全体での適合性を確認する必要がある。今後国産化もふくめ、我が国の交通事情により適合する形状を考慮し、安全・安心なものとしたい。この実証実験で得られた正着促進縁石普及についての課題は以下のとおりである。

・タイヤ側面の摩耗・破壊に関する耐久性・安全性

確実に正着させるために、強度的に強いショルダーで縁石との接地となる。そのためこの部位の摩擦に対する検証が必要である。

・タイヤの違いによる縁石形状（特に冬用・夏用タイヤ）

冬用タイヤのスタッドレスは夏用タイヤとタイヤプロファイル（断面形状）が異なる。一般的にはスタッドレスタイヤはトレッド面がワイドである。季節にかかわらず、安定した正着性能が要求される。

・法制度の整備、運輸会社の社内規定

安全運行にきわめて神経を使っているバス運行業者は縁石とタイヤ並びにボディーの一部が接地した場合事故と考えている。そのためドライバーはこうした状況が起こらないよう訓練されている。縁石に擦らせても安心な配慮が必要である。

・バス停部分の雨水処理

従来、街渠ますの雨水処理を行っている部分にたいしての対応が必要である。

・バスベイの平面構造や駅前広場の平面構成の見直し

歩道側に台形につくられたバスベイや、半径の小さい駅ロータリーは基本的に正着が困難である。

・ミニバス等のコミュニティーバスへの対応

中低速の路線バスは、ほぼ同一サイズのタイヤであるが、ニーリング時のステップ高さがメーカーにより異なる。近年自治体の運営で使われる小型サイズのコミュニティーバスは、扉の開き方や車輪径の関係で縁石の大きさが制限される。

６．まとめ

バス乗降時に段差が無く、スムーズな移動が出来るこうしたバス停は身障者や高齢者ばかりでなく、あらゆる利用者の安全を確保し、また効率的な乗降によりバス運行時の時間短縮につながり定時性・速達性が向上する。さらに、夏の暑さを緩和し、すべり対策に優れた舗装材はバス停利用者の快適性を高めることができる。

今後。世界からの観光客を効率よく移動させ、高齢化した住民の利便性をはかるためにも、もっとも身近な近距離交通手段である路線バスの効率化は重要な課題である。今後は、コストを低減し、幅広く普及できる材料を使うことにより、より多くのバス停で採用されることを目指しており、これによりバスの利便性向上につなげたいと願っている。

最後に検証にご指導頂き、試験施工の場所まで提供していただいた、国立大学法人横浜国立大学理事・副学長中村文彦先生および関係者の皆様に感謝申し上げる。

第1会場

第Ⅱグループ

新型除雪トラックの開発

北陸技術事務所　施工調査・技術活用課　課長　　前田　光昭
専門官　○小林　弘朗

１　はじめに

多雪地域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を期に、国内メーカーが国内需要数低下と排ガス規制対応負担を理由として、新車の製造・販売を２０１３年３月に中止したことから、圧雪処理の代替機械の開発が急務となった。

写真－１　除雪トラック（10t 級6×6）

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、除雪グレーダの圧雪処理を補助するものとして、路面整正装置を備えたものであるが、この路面整正装置では、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できない。またブレードの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。

本開発は、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行ったものである。

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	牽引力の検証	・牽引力の比較 ・圧雪処理能力の比較
圧雪処理後路面の凹凸発生	サスペンションの影響確認	・ブレードと車体の振動の比較 ・除雪後の路面平坦性の比較
切削角・推進角が固定で作業性悪い	切削角可変の検討	・路面整正装置の改良
障害物回避、ウインドロー処理が困難	路面整正装置およびサイドシャッタの動作改良	・油圧系統の改良
路面整正装置が直接視認できない	路面整正装置の視認性改善	・既存技術応用による視認性の改良

３　既存除雪トラックの現場試験等による課題検証

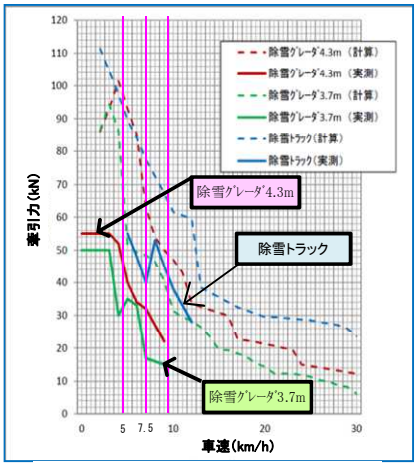
３．１　牽引力の比較

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、除雪グレーダをスタック車両として牽引する試験で能力を比較した。

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。

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）。

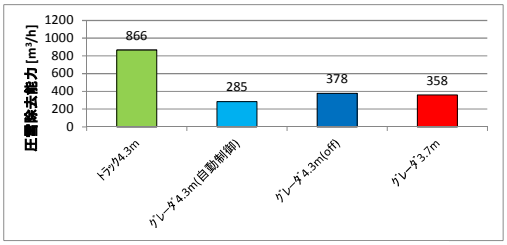


図－１　実測値と計算値の比較

３．２　圧雪処理能力の比較

試験は、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。

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



図－２　車種別の圧雪処理能力

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。

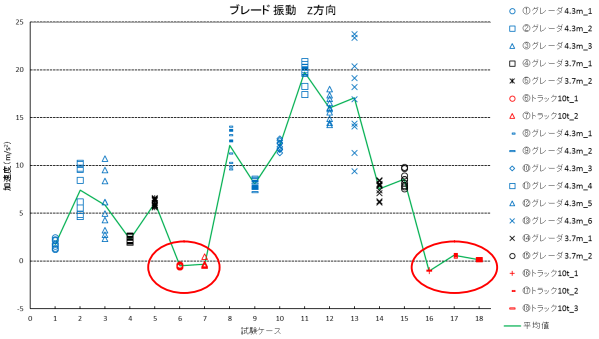
３．３　ブレード・車体の振動の比較

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。

【 ブレード振動 】

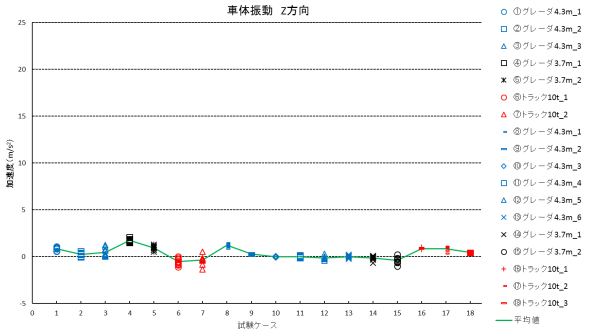
ブレードの上下振動（Ｚ軸）で比較した場合、除雪グレーダ４．３ｍ、除雪グレーダ３．７ｍに比べて、除雪トラックの振動は小さい結果となった(図－３)。



図－３　ブレード加速度－Ｚ軸

【 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)。

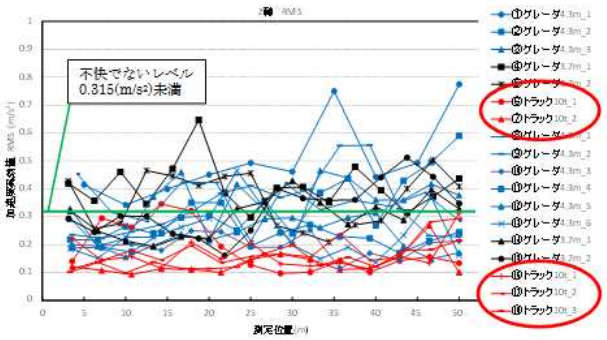


図－４　車体加速度－Ｚ軸

３．４　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。

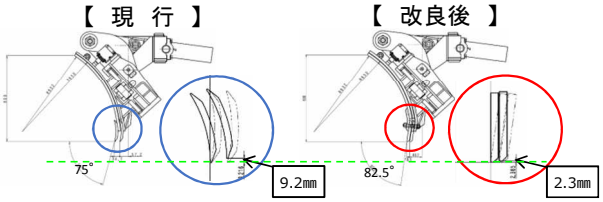
４　既存除雪トラックの施工性向上のための改良及び評価

４．１　路面整正装置の改良

４．１．１　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良した。

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）９．２㎜から２．３㎜に低減した（図－６）。



図－６　切削角可変機構

４．１．２　改良機構の現場試験（圧雪処理能力試験）

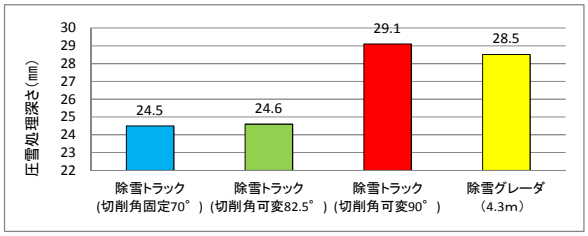
圧雪処理能力試験は、前記の改良を施した除雪トラック、改良前の除雪トラック（切削角７０°固定）及び除雪グレーダ４．３ｍで、１回目の試験と同じ県道３９９号杉野沢二俣線にて実施した。

能力評価は、「圧雪処理深さ（圧雪の取れ具合）」より評価を行った。

【 圧雪処理深さ 】

評価は、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結果となった（図－７）。

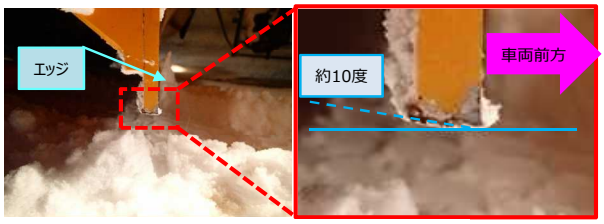


図－７　圧雪処理深さ

４．１．３　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－２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。



写真－２　切削角 90° 時の刃先

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なかったと思慮される。

以上の結果、切削角を変えられることでエッジの刃研ぎが可能となり、圧雪処理において有効に働くことが確認された。

４．２　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３６．９cc／rev から５６．２cc／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（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

４．３　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。

【 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－３）。

写真－３　モニターの設置及び画面状況

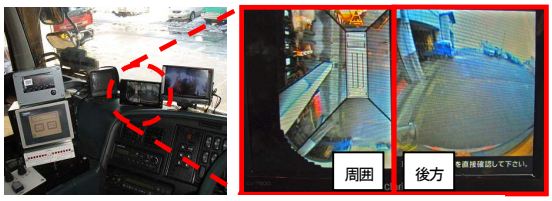
写真－４　センサー設置位置及び表示パネル状況

【 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－４）。

【 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－５）。



写真－５　モニターの設置及び画面状況

写真－６　センサー設置位置及び表示パネル状況

【 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－６）。

写真－７　小型ＬＥＤマーカの設置状況

【 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－７）。

４．４　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除雪工区（妙高、藤沢、長岡、湯沢、二居）の実作業に導入し、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。

切削角可変機構および各動作速度アップは、高い評価が得られたが、それ以外は低い評価となった（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	×	×	×	×

５　新型除雪トラックの仕様とりまとめ

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について、適応性評価において「○」とされたものを「標準装備」、「△」とされたものを「オプション」で設定した。また、標準装備品を新車から装着した費用も設定した。

６　新型除雪トラックの効果

圧雪除去、除雪幅の対応、道路付属物回避において作業性の向上が確認された（表－４）。

表－４　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		注記
		現行	新型	
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

７　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、交差点等の雪の抱え込み箇所が比較的少ない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。

８　あとがき

今後は、引き続き除雪作業に新型除雪トラックを試験導入し、今回の試験では再現できなかった厳しい状況下での能力を確認する。また、大型除雪グレーダより能力が劣る除雪グレーダ（３．７ｍ２２０ｐｓ級）が再販されるため、それらとの使い分け等を検討し、今後の機種検討及び配備計画見直しの参考となる評価を行う必要がある。

ＧＰＳを利用した雪氷車両の半自動操作システム

東日本高速道路株式会社　新潟支社　技術部　　技術企画課　○小島　崇幸
ネクスコ・エンジニアリング新潟　施設管理部　ＩＴＳ開発課　田村　進一
ネクスコ・エンジニアリング新潟　施設管理部　ＩＴＳ開発課　富田　正則

１　はじめに

雪氷車両は、冬季期間の高速道路において、積雪や路面凍結区間の除雪・排雪作業や凍結防止剤散布作業にあたっている。

東日本高速道路株式会社 新潟支社管内において、平成 26 年度は年間 157 日を雪氷対策期間としており、雪氷作業延長は合計 53 万 km となっている。これは地球 1 周を約 4 万 km とすると約 13 周に相当する（表－１）。雪氷作業がお客様の安全に与える影響、労力、費用は膨大であり、その効率化が最重要課題となっている。

表－１　平成 26 年度　新潟支社管内雪氷作業延長

新潟支社 管理事務所	路線	雪氷対策期間	作業延長
新潟	北陸道	11 月 15 日～翌 4 月 15 日	33,500 km
	磐越道		54,700 km
	日東道		32,700 km
長岡	北陸道		58,000 km
	関越道		22,300 km
上越	北陸道	11 月 10 日～翌 4 月 15 日	74,500 km
	上信越道		69,400 km
湯沢	関越道		189,400 km
合計	―	―	534,500 km

現在新潟支社管内で実施している雪氷作業の効率化対策としては、雪氷車両のＧＰＳ信号と車載無線機を利用し、リアルタイムな位置情報の把握と共有を可能とした「ＧＰＳ車両位置管理システム」がある。

今回はこの雪氷車両のＧＰＳ信号を利用し、あらかじめ決められた位置の作業内容（プラウ、グレーダなどの除雪装置の位置、凍結防止剤散布量、標識の表示項目など）を登録し、当該位置に近づいたときに作業内容をオペレータに知らせ、ワンタッチで実行させる半自動操作システムを構築した。本発表ではこの半自動操作システムによる、凍結防止剤散布作業の実験について報告する。

２　ＧＰＳを利用した位置把握

高速道路上の車両等の位置については「キロポスト値」で管理しており、高速道路上には「キロポスト標」という数字標識が起点から終点まで 100 m 間隔で設置されている（写真－１）。

オペレータは「キロポスト標」と管理用デジタル車載無線を使い、道路管制センターや雪氷対策本部と作業報告や指示のやり取りを行っている。

しかし、冬季期間のホワイトアウトなど視界不良の悪環境では、「キロポスト標」の視認性が悪化し、道路管制センターや雪氷対策本部からの指示に対して的確な対応が出来ない場合がある。

そこで、タッチパネル式の 7 インチ液晶ディスプレイ
に、受信したＧＰＳ信号（緯度経度情報）をキロポスト値に変換して表示する車載端末装置（以下、ＧＰＳ車載端末）を雪氷車両に取り付けることにより、「キロポスト標」が見えない状態であっても車内で正確な現在位置（キロポスト）を把握することが可能となっている（写真－２）。

写真－１　キロポスト標

写真－２　ＧＰＳ車載端末

３　操作の集約

雪氷車両にはプラウ（以下、除雪装置）、凍結防止剤散布装置(以下、剤散布装置)、標識装置の機械装置が搭載されている。この機械装置にはそれぞれに操作器があり、走行中の操作は煩雑になっている。また、メーカーによって操作が異るためオペレータの負担が大きくなっている。

そこで、ＧＰＳ車載端末から除雪装置、剤散布装置、標識装置等の機械装置に直接制御信号を送り制御することで、ＧＰＳ車載端末からワンタッチで各操作が可能となる道路維持作業車用集中操作器を開発した（西日本高速道路株式会社、西日本高速道路エンジニアリング関西株式会社、名古屋電機工業株式会社および株式会社ネクスコ・エンジニアリング新潟の共同開発）。

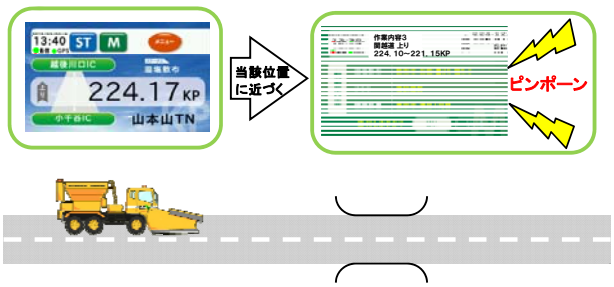
操作可能項目は下記の通りである。

1. 除雪装置の位置の上下
2. 剤散布装置の散布撒幅（3 m～8 m：0.5 m 単位）
3. 剤散布装置の散布量（10 g/m^2～70 g/m^2：5 g/m^2 単位）
4. 剤散布装置の水と塩の混合比（0～100 %：1 %単位）
5. 剤散布装置の塩の種類の選択（「ﾌﾚｰｸ」「粒」「粒大」「粉砕塩」「特例塩」「原塩」の 6 種類）
6. 標識装置の表示項目の選択（30 種類）

図－１　集中操作器操作画面（例）

４　半自動操作システム

半自動操作システムとは、ＧＰＳ車載端末の位置情報と集中操作器の機能を組み合わせ、作業内容とキロポスト値をあらかじめ登録すると、当該位置に近づいたときに警告音と同時に登録された作業内容をポップアップさせ、オペレータに知らせるものである。オペレータは「はい」、「いいえ」の最終決定することができ、「はい」を選択すると作業内容の変更が可能となる。「いいえ」を選択すると現在の作業内容を維持する。



図－２　半自動操作システム動作

５　試行対象区間及び登録作業内容

今回は、東日本高速道路株式会社 新潟支社 湯沢管理事務所管内である関越自動車道の小千谷ＩＣ～越後川口ＩＣで実験を行った。実験対象として小千谷基地に所属する兼用車（除雪、散布、標識）を使用した(写真－３)。

表－２　作業登録内容(例)

	小千谷基地～本線合流	小千谷本線～山本山トンネル
対象装置	作業内容 1	作業内容 2
散布装置	量：25ｇ/m^2　、撒幅：4.5 m	量：25ｇ/m^2　、撒幅：7 m
標識装置	作業中、追越禁止	作業中、追越禁止
	トンネル入口～トンネル出口	**山本山トンネル～越後川口本線**
対象装置	作業内容 3	作業内容 4
散布装置	量：20ｇ/m^2　、撒幅：4.5 m	量：30ｇ/m^2　、撒幅：7 m
標識装置	作業中、追越禁止	作業中、追越禁止
	その他の区間	
対象装置	作業内容 5	
散布装置	停止	
標識装置	作業中→	

写真－３　湿塩散布車

今回の実験では雪氷基地（ＩＣ内）～本線合流まで散布量は「25 g/m^2」、散布撒幅は一車線のため「4.5 m」とする。また高速道路本線では散布量「25 g/m^2」、散布撒幅は走行車線と追越車線の二車線となるので「7 m」とする。トンネル内では路肩が狭くなるため散布量「20 g/m^2」、散布撒幅「4.5 m」と散布量を少なくする。その他、高速道路の上下線を反転するときなどは停止する。また水と塩の混合比「29 %」、塩の種類「粉砕塩」は一定とした。

剤散布作業での標識は散布作業中「作業中　追越禁止」を表示し、後方の一般車両に注意を促す。散布作業停止中は「作業中　→（右矢印）」を表示し、一般車両に追越させる。

上記の作業内容をＧＰＳ車載端末に登録させた（表－２）。ただし、今回は除雪装置の操作の変更は行わず現状維持とした。

また、今回の半自動操作システムはオペレータが最終決定するため、作業変更場所で作業内容をポップアップしても作業変更のタイミングが遅れてしまう。そこで、変更箇所の 70 m 手前で作業内容をポップアップするように設定した（兼用車の作業中の走行速度が約 40 km/h なので約 6 秒手前となる）。

６　試行運用結果

実験後のオペレータへのアンケートにおいて、「作業切り替え地点でポップアップと警告音により通知するため、切り替えを忘れることがなくなった。」、「ワンタッチ操作で散布内容と標識表示を同時に変更できるため、走行に集中できるようになった。」等の意見があり、結果は概ね良好であった。

また、「道路状況に応じて、散布撒幅や散布量を微調整できるとよい。」、「完全な自動操作システムにして欲しい。」等の改良要望があった。

７　まとめ

本発表では、東日本高速道路株式会社 新潟支社 湯沢管理事務所管内の関越自動車道　小千谷ＩＣ～越後川口ＩＣにて、ＧＰＳ車載端末の位置情報と集中操作器の機能を組み合わせた剤散布作業の半自動操作システムの実験を報告した。

今後は操作性向上と自動操作システムの実現により、雪氷作業のさらなる安全と効率化を目指す。

凍結防止剤の滞留による効果持続を期待した型押し式すべり止め舗装

(株)NIPPO 北信越支店技術グループ　近藤　裕章

１．はじめに

排水性舗装は、道路交通騒音の低減のほか、雨天時には路面に滞水しにくいことからすべり抵抗を確保しやすいなど、車両の走行安全性を含めたメリットが認められて全国的に普及している。しかし、イニシャルコストが他の舗装に比べて割高なため、都市部への適用が主であり、地方の生活道路や山岳道路では適用されることが少なく、安価で効果のあるすべり止め舗装が期待されている。

一方で、冬期の道路の路面凍結対策としては凍結防止剤が散布されている。例えば、乾式散布においては凍結防止剤が路面に留まりにくく、風や通行車両による路外への散乱や飛散が使用数量のロスとなって、効果の持続性やコスト増に影響する。

そこで、一般的なアスファルト舗装の表面に、ブロック模様の型押しをすることで、雨天時には凹みを伝って排水させてすべり抵抗性を向上させ、冬期には凍結防止剤の流出を遅延する、多機能型すべり止め舗装「グリップサーフ」（以下、本工法）を開発した[1)]。型押し式を採用することで、新設や既設舗装を問わず施工が可能である。ここでは、本工法の概要や効果、施工事例について述べる。

２．本工法の概要

本工法は、表面の排水効率を考慮してブロック柄がパターン化された特殊なワイヤーメッシュ（以下、テンプレート）を用いて、アスファルト舗装の表面に型押しをして小さな排水溝を設ける、すべり止めアスファルト舗装である。

テンプレートを、アスファルト舗装の表面に圧入してから取り外し、複数の小さな排水溝を設ける。テンプレートには直径約８㎜の特殊なワイヤーロープを使用していて、ローラ等の転圧機械で圧入しても押し潰されることはない。

図-1 に、テンプレートのパターンを示す。パターンの型は、車線の一部分に適用する「バルタン」と「矢がすり」、車線の全面に適用する「ラティス」の３種類がある。各パターンの溝は、道路の縦断方向（車両の進行方向）に対して約 45℃の角度としていて、降雨によって路面に形成された水膜を

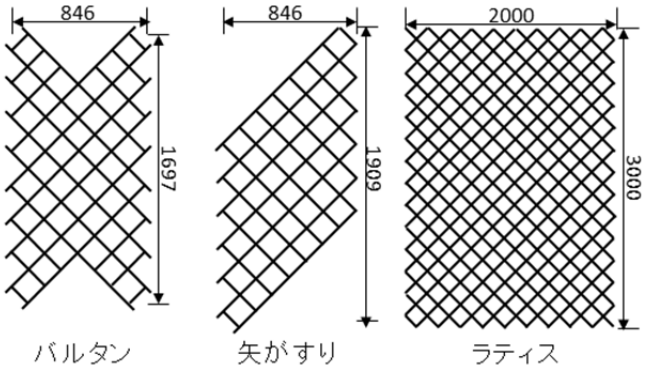


図-1　テンプレートの種類

写真-1　排水溝端部の排水状況

早期に溝へ導くようになっている。また、排水溝の水を外へ排出する箇所を限定することを目的に、溝の端部が格子の枠を飛び出す形状となっている（**写真-1**）。

バルタン型は、あらゆる道路勾配に対して排水機能を付与する形状としていて、配置パターンの自由度が高いことが特長である。

矢がすり型は、道路勾配に合わせてテンプレートの向きと配置パターンを設定することにより、更なる排水機能の向上が期待できる。

ラティス型は、中央線と外側線に囲まれた範囲に対して全面を型押しするので、雨水を確実に車線外へ排水することが期待できる。

３．本工法の効果

３－１ すべり抵抗

排水効果によるすべり抵抗性を評価するために、ＤＦテスターを用いて動摩擦係数の測定を行った。**図-2** に測定結果を示す。結果、本工法を適用して排水溝を設置することで動摩擦係数が増加し、すべり抵抗性が向上することを確認した。

３－２ 視認性の向上

通常のアスファルト舗装（密粒度系）は、降雨時の雨水が舗装表面を伝って、車両が通過する際にタイヤ付近を中心に水煙が発生する。これに対し、本工法は雨水が溝を伝って排出されるので、水煙が発生しにくくなり、すべり抵抗性の確保と同時に視認性が向上する（**写真-2**）。

３－３ 凍結防止剤の流出遅延

積雪寒冷地において、冬期路面の凍結対策として凍結防止剤を散布するが、型押しによる格子状の溝を設けることにより、凍結防止剤が溝に留まり路外への流出遅延が期待できる（**写真-3**）。

室内にて、舗装表面の残留塩分濃度の経時変化を測定した結果（**図-3**）、本工法を適用した場合、塩分濃度が未適用に対して高く保たれやすいことが分かった。このことは、凍結防止剤が路面の溝の中に留まっているものと考えられ、凍結防止剤の流出遅延が期待できると考える。

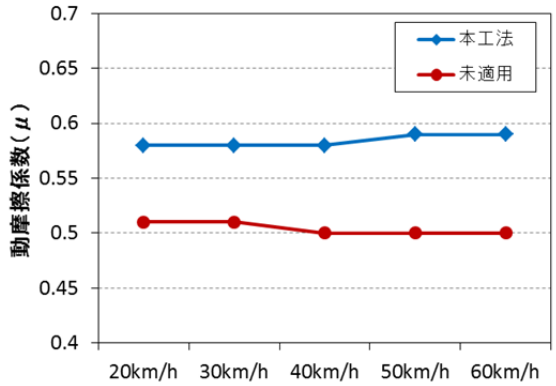


図-2　すべり抵抗値の測定結果[1)]

写真-2　雨天時の状況
（タイヤ付近の水煙発生の違い）

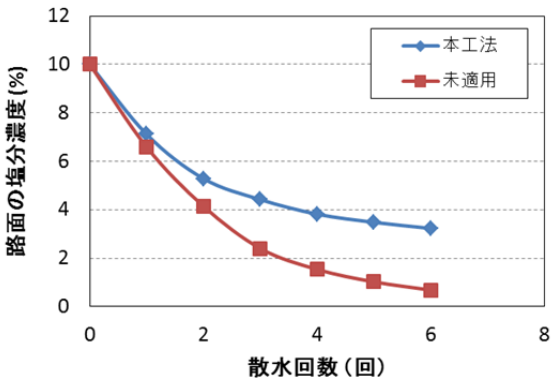


図-3　残留塩分濃度の測定結果

写真-3　凍結防止剤の残存状況
（白い点が防止剤）

４．施工方法

本工法の施工方法は、新設時もしくは改修時に表層舗設と同時に施工する方法（以下、同時施工）と、既設アスファルト舗装を使って施工する方法（以下、後付け施工）がある。

４－１　同時施工

同時施工は、アスファルト舗装の表層舗設と同時にテンプレートの型押しを行うものである。**図-4** に同時施工のフローを示し、同時施工の主な特徴は以下のとおりである。

◆単一パターンを連続して施工する場合に適している。

◆舗設と型押しを別々に行うケースに比べて経済性に優れる。

◆舗設と型押しを別々に行うケースに比べて、施工時間や工期を短縮できる。

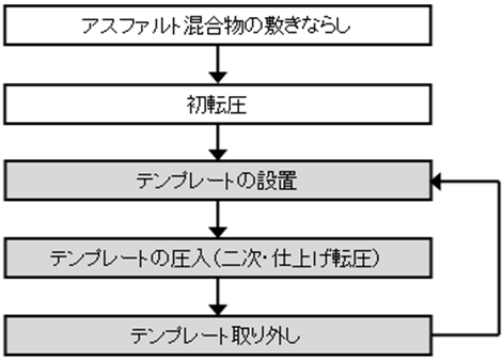


図-4　同時施工のフロー

写真-4　同時施工の施工状況

４－２　後付け施工

後付け施工は、既設アスファルト舗装の路面をヒータで加熱して、テンプレートを圧入するものである。後付け施工のフローは**図-5** に示すとおりであり、既存のアスファルト舗装を活かせることが特徴である。

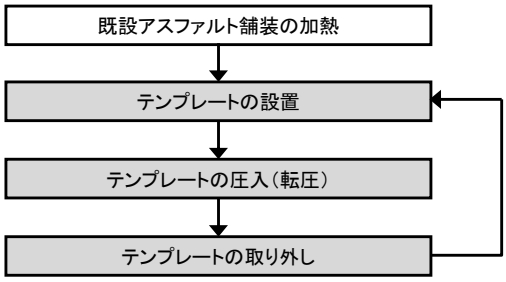


図-5　後付け施工のフロー

写真-5　後付け施工の施工状況

５．施工事例

本工法の主な適用場所は、以下のとおりである。

◆カーブ手前の減速部分（**写真-6**）

◆横断歩道の停止線手前の減速部分（**写真-7**）

◆山岳地の坂路、郊外の道路（**写真-8**）

◆スリップ事故の多発地点（**写真-9**）

写真-6　カーブ手前の減速箇所

写真-7　停止線手前の減速部分

写真-8　山岳地の坂路

写真-9　スリップ事故の多発地点

６．おわりに

本工法が、すべり抵抗の向上や降雨時の視認性確保、凍結防止剤の流出遅延に対して有効であることを確認した。今後は、実道における雨天時や冬期などのデータ収集を継続して行い、現場へのフィードバックを行いながら、効果の裏付けをさらに進めていく所存である。

［参考文献］１）河野圭吾：型押し方式によるすべり止め舗装を開発、道路、pp2～3、2015.4

粗面型ゴム粒子入り凍結抑制舗装「アイストッパー」

大林道路株式会社　技術研究所　材料研究室研究員　○前田　昇吾
技術研究所　材料研究室室長　鈴木　徹
ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ部　生産技術課課長　菅野　善次郎

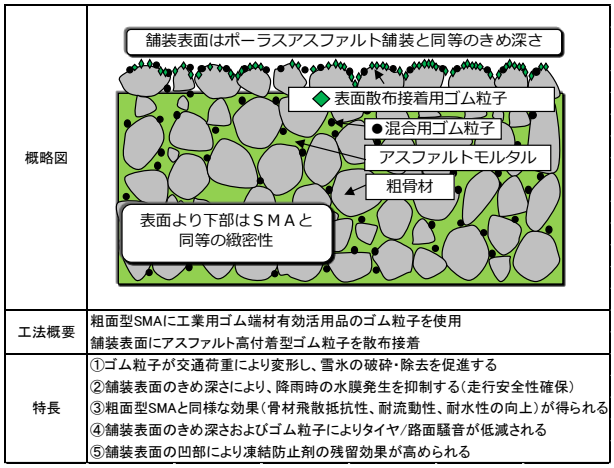
1　はじめに

積雪寒冷期における走行車両の安全性確保のために多種多様な凍結抑制舗装が開発されている。弊社では、ゴム粒子を使用した 3 種類の凍結抑制舗装を保有しているが、これらの工法で得られた様々な知見を基に新たなゴム粒子入り凍結抑制舗装として、「粗面型ゴム粒子入り結抑制舗装（アイストッパーR）」を開発した。アイストッパーRは，粗面型砕石マスチック（SMA）舗装にゴム粒子を混合するとともに舗装表面にもゴム粒子を散布・接着させた物理系凍結抑制舗装である．

本文は、アイストッパーRの概要、室内試験による凍結抑制性能ならびに冬期路面調査による現道（北陸地方）における凍結抑制性能について述べるとともに、アイストッパーRの凍結抑制性能発揮条件(気象条件)および適用条件・適用箇所についとりまとめ報告するものである。

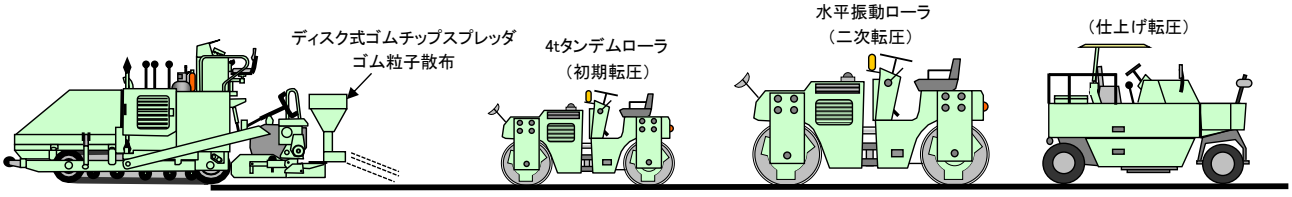
2　アイストッパーRの概要 [1)]

アイストッパーRの概要を図－1 に示す。アイストッパーRは粗面型 SMA 混合物にゴム粒子を混合するとともに，舗装表面にもゴム粒子を散布接着させた物理系凍結抑制舗装であり，表面付近のテクスチャがポーラスアスファルト舗装と同等で，表面以下は SMA と同等に骨材間隙をアスファルトモルタルで充填された密実な構成を持つ舗装である。



図－１　アイストッパーRの概要

施工機械編成例を図－2[1)]に示す。アイストッパーRは混合物の製造時にゴム粒子を混合することと，表面にゴム粒子を散布接着する以外は，通常のアスファルト舗装と同様である。当該工法は一行程で凍結抑制機能を付与しながら舗設することが大きな特長の一つである [1)]。



図－２　アイストッパーRの施工機械編成例 [1)]

3　室内試験における凍結抑制性能の検証

積雪寒冷地域における冬期の路面性状の分類を表－1[2]に示す。表に示されているとおり冬期路面においてすべり抵抗が低下し、特に注意が必要な路面性状は、圧雪、氷板、氷膜(厚さ 1mm より厚いものが氷板、厚さ 1mm 以下が氷膜)とされている[2]。弊社では、すべり抵抗が低下して注意が必要な路面性状に着目し、以下の室内評価試験を行った。

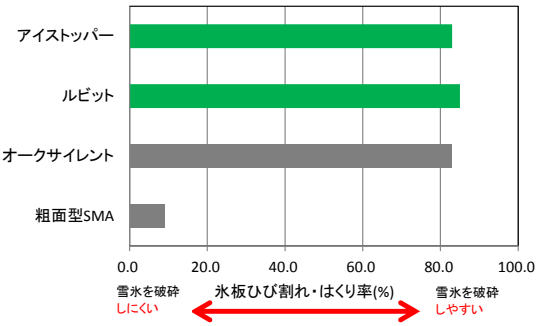
表－１　積雪寒冷地域における冬期の路面性状の分類

■：特に注意　■：注意

車両走行部の雪						路面の分類
雪氷の有無	表面の光沢	トレッド跡	雪の状態	雪の色	厚さ	
				下層の状態		
有り	光っている	あまり付かない		白っぽい		非常にすべりやすい圧雪
				黒っぽい（灰，茶色）	1mm以上	非常にすべりやすい氷板
					1mm以下	非常にすべりやすい氷膜
	光っていない			白っぽい		圧雪
				黒っぽい（灰，茶色）	1mm以上	氷板
					1mm以下	氷膜
		付く（ぬかる）	さらさら（雪煙が発生）	下層なし		こな雪
				下層氷板，氷膜 非常にすべりやすい圧		こな雪下層氷板
			ざくざく（ザラメ状，粒状）	下層なし		つぶ雪
				下層氷板，氷膜 非常にすべりやすい圧		つぶ雪下層氷板
			べたべた（水を含んだもの）			シャーベット
			その他（締まっている）			圧雪
無し	湿潤					湿潤
	乾燥					乾燥

3．1　氷板に対する評価[3]

氷板に対する評価は、氷板ホイールトラッキング（以下、氷板ＷＴ）試験により評価した。本試験は、ＷＴ試験用供試体の表面に氷板を形成し、試験温度-5℃の恒温室で荷重走行試験を行い、試験後の氷板のひび割れの状態を氷板ひび割れ・はくり率で評価するものである。試験結果を図－3 に示す。



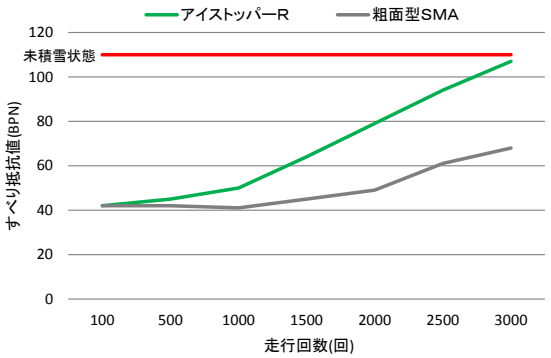
図－３　氷板ＷＴ試験結果

通常の粗面型 SMA の氷板ひび割れ・はくり率は 10%程度に対し、アイストッパーＲは 85%程度で当社保有のその他凍結抑制舗装と同程度であり、氷板を破砕しやすいことが確認できる。

写真－１　回転ラベリング試験状況

3．2　圧雪に対する評価[3]

圧雪に対する評価として、回転ラベリング試験機を使用した。本試験は、試験温度-5℃の恒温室において、供試体上に作製した疑似積雪の上に車輪を走行させることにより圧雪・氷板が形成される過程を再現し、走行回数ごとにすべり抵抗値(BPN)を測定して凍結抑制効果を評価するものである。試験状況を写真－１、試験結果を図－4 に示す。



図－４　回転ラベリング試験結果

アイストッパーＲは、通常の粗面型 SMA と比較して車輪走行回数に対するすべり抵抗値(BPN)の上昇が大きく、凍結抑制効果を発揮していることが確認できる。

なお、文献によれば、ポーラスアスファルト舗装は、氷膜路面が形成された場合、密粒等と比較して早期に骨材が露出し、すべり抵抗性が向上する等の有効性が報告されている[4]。当該工法はポーラスアスファルト舗装と同等のきめ深さを有しているため、氷膜に対しても効果は期待されるものである。

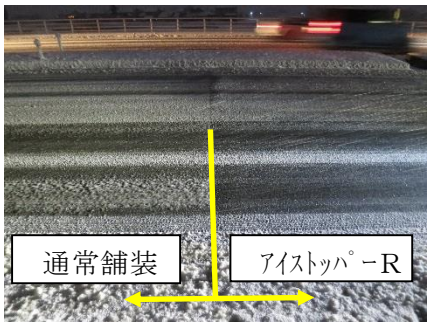
4　実道における凍結抑制効果の検証

4．1　アイストッパーRの冬期路面状況

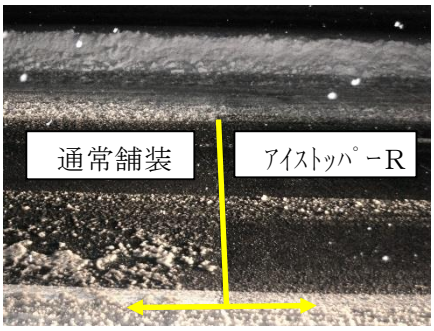
北陸地方におけるアイストッパーRの施工事例は，平成 25 年 8 月に富山県内の国道、平成 26 年 10 月に新潟県内高速道路および平成 26 年 11 月に新潟県内の国道 2 箇所の 4 件である。代表として新潟県内の国道で施工した箇所の 1 冬目（平成 27 年 1 月）の冬期路面状況を写真－2 に，富山県内の国道の 1 冬目(平成 26 年 2 月)および 2 冬目 (平成 27 年 2 月)の冬期路面状況を写真－3, 写真－4 に示す。

写真－2 より，アイストッパーR区間は全体的に黒路面が露出しているが，反対車線の通常舗装区間は雪氷で覆われた状態であった。同様に写真－3，写真－4 より，アイストッパーR区間は 1 冬目，2 冬目とも黒路面が露出した状態を保っていたが，隣接の通常舗装区間は洗濯板状のアイスバーンが形成されていた状況であった。

写真－2 新潟県内国道(1 冬目)



写真－3 富山県内国道(1 冬目)



写真－4 富山県内国道(2 冬目)

4．2　現地調査結果による凍結抑制効果の発揮条件

アイストッパーRの凍結抑制効果がみられた事例における気象条件･雪氷の種類等を表－2 に示し，その要約を以下に示す。

・一般的に、凍結抑制舗装の効果が顕著に現れる温度領域は、気温が-5℃程度以上といわれている[5)]。現地調査で凍結抑制効果がみられた気温の範囲は-3.0～2.9℃であり、上記の気温領域内である。

・時間当りの降雪量は 0～1cm が多いが，6cm でも凍結抑制効果がみられた。

・積雪量が少ない地域（富山県内国道）および積雪量が多い地域（新潟県内国道①②、新潟県内高速道）ともに凍結抑制効果がみられた。

・効果がみられた雪氷の厚さはいずれも 3cm 以下で主に降雪初期あるいは除雪・凍結防止剤散布後において効果が顕著に現れた。室内で検証したとおり氷板・圧雪に対して凍結抑制効果がある。

表－２　凍結抑制効果がみられた事例における気象条件・雪氷の種類等

調査箇所	調査日時		天候	気温（℃）※	降雪量【1時間当り】(cm)※	積雪の深さ(cm)※	雪氷の種類【目視】	雪氷の厚さ【目視】(cm)
	年月日	時刻						
新潟県内国道①	H.27.1.17	14:40	雪	1.5	0	73	シャーベット	0～1
	H.27.1.29	8:45	晴れ	−0.6	1	67	氷板	0～1
新潟県内国道②	H.27.1.18	9:30	曇り	2.9	0	78	氷板	1～3
富山県内国道	H.26.2.4	16:00	曇り	−2.0	1	14	氷板	1～3
	H.26.2.4	18:00	雪	−2.6	1	14	氷板	1～3
	H.26.2.5	4:45	曇り	−3.0	0	12	氷板	1～3
	H.26.2.8	13:00	雪	−0.8	6	23	氷板	1～3
	H.27.2.10	6:00	雪	−1.5	0	29	氷板	1～3
	H.27.2.10	7:30	雪	−2.3	0	29	氷板	1～3
新潟県内高速道	H.27.3.12	6:40	雪	−0.4	0	85	圧雪	1～3
	H.27.3.12	8:30	雪	−0.2	6	93	圧雪	1～3

※気温、降雪量、積雪の深さについては気象庁HPの気象データを使用

5　アイストッパーＲの適用条件・適用箇所

5．1　適用条件

以上の室内試験結果および限られた量の調査結果ではあるが、現地調査における検証結果から、アイストッパーＲの凍結抑制効果が期待できる条件を表－3 に示す。

表－3　凍結抑制効果が期待できる条件

項目	条件	効果	コメント
気温	-5℃以上	○	当該地区は最低気温が-5℃以下となる日はほとんどない
	-5℃以下	△	
雪氷の種類	氷膜（ブラックアイス）	◎	路面のきめ深さとゴム粒子により相乗的に効果を発揮
	氷板（アイスバーン）	○	室内・現地調査により効果を確認
	圧雪	○	
雪氷の厚さ	3cm以下	○	現地調査より効果がみられた時の雪氷の厚さは3cm以下
	3cm以上	△	
除雪	有り	○	当該地域は積雪量が多いため，ある程度の除雪作業が必要
	無し	△	
凍結防止剤散布	有り	◎	舗装表面の凹部により凍結防止剤の残留効果が高められる
	無し	○	

今回の調査箇所は最低気温が－5℃となる日がほとんどなく、－5℃以下での検証はできなかったが、－5℃以上の気温域では凍結抑制効果が確認された。また、雪氷の厚さが 3ｃｍ以下の条件下では顕著な凍結抑制効果がみられた。このことから、除雪・凍結防止剤散布といった冬期路面管理がある程度頻度が高く実施されている路線への適用が望ましいと考えられる。特にアイストッパーＲは図－1 で示したように、舗装表面の凹部により凍結防止剤の残留効果が高められるといった利点がある。

5．1　適用箇所

一般的に言われている凍結抑制舗装の適用箇所は以下の①～⑥のとおりである。

①交差点、交差点付近、坂路、カーブ、踏切手前など車両の減速、停止が要求される箇所

②トンネル、スノージェット等の出入り口付近、消融雪施設の背後部などの路面状況の変化が著しい箇所

③日陰部、橋面部などの特に凍結しやすい箇所

④農地隣接部、人家密集箇所などの凍結防止剤の散布を抑えたい箇所

⑤山間部などの除雪車の出動や、凍結防止剤の供給・散布が困難な箇所

⑥ボトルネック箇所などの除雪時間が限られる箇所や、除雪効率を向上させたい箇所

今回の検証の結果、「⑤山間部などの除雪車の出動や、凍結防止剤の供給・散布が困難な箇所」については、凍結抑制効果が発揮しづらい箇所であると考えられる。

6　おわりに

アイストッパーＲは、室内検討試験、北陸地方の冬期路面調査結果から、優れた凍結抑制性能を有していることが確認された。また、限られた量（地域、調査日等）の調査結果であるため限定的ではあるもののアイストッパーＲの凍結抑制効果が発揮される適用条件・適用箇所について検証できた。今後も他凍結抑制舗装も含め各地域における冬期路面性状を継続的に調査し、凍結抑制舗装の適用条件・適用箇所について明確化していきたい。

【参考文献】

1）北野原、澤田、鈴木：粗面型ゴム粒子入り凍結抑制舗装の開発、第 12 回北陸道路会議報文集、2012
2）宮本修二：講座 路面の評価－積雪寒冷地の路面－，舗装，Vol.37，No.1，2002
3）上地、東本、鈴木：粗年型ゴム粒子入り凍結抑制舗装の凍結抑制性能の検証，土木学会第 69 回年次学術講演会，Ⅴ－572，pp.1143－1144，2014
4）千葉、田高、安部：開粒度舗装の冬期路面対策としての効果について，寒地土木研究所月報，No.644，2007
5）（社）雪センター：凍結抑制舗装資料，1997

第1会場

第Ⅲグループ

消雪井戸リユース地中熱ヒートポンプシステムによるスポット融雪

○株式会社興和　技術開発室課長　桑原 賢二
水工部課長　藤野 丈志
新潟県十日町地域振興局　維持管理課長　藤田 義治

1　はじめに

近年、省エネルギー、低炭素化に寄与する技術として、地中熱を冷・温熱源とするヒートポンプが注目されている。しかしながら、空調や融雪施設の熱源として認知されつつあるものの、普及は思うように進んでいない。要因の一つは、空気熱源ヒートポンプと比べて地中熱交換井が必要な分、初期コストが高い点である。

ところで、北陸地方を中心に広く普及している消雪パイプは、その水源のほとんどを井戸水としており、新潟県内には県管理施設だけで約 3,000 本の消雪パイプ用井戸がある。そして、老朽化し使用不能となった井戸は、道路陥没等の事故を防ぐため埋め戻されている。この埋め戻される消雪パイプ用井戸を地中熱交換井として再利用すれば、安価に地中熱交換井を作ることができ、また省資源にもつながると考えた。

そこで、廃坑予定の消雪パイプ用井戸を地中熱交換井として再生し、地中熱ヒートポンプの熱源とする“消雪井戸リユース地中熱ヒートポンプ融雪システム”を考案し、国道の歩道融雪施設として設置した。本報告では、施設概要、試験結果とシステムの有効性および今後の展開などを述べる。

2　消雪井戸リユース地中熱ヒートポンプシステム

2．1　消雪井戸リユース地中熱交換井

消雪井戸リユース地中熱交換井は、廃坑予定の消雪パイプ用井戸に、採熱管を挿入し、地中熱交換井として再生するものである。**図-1** に採熱管挿入イメージを示す。

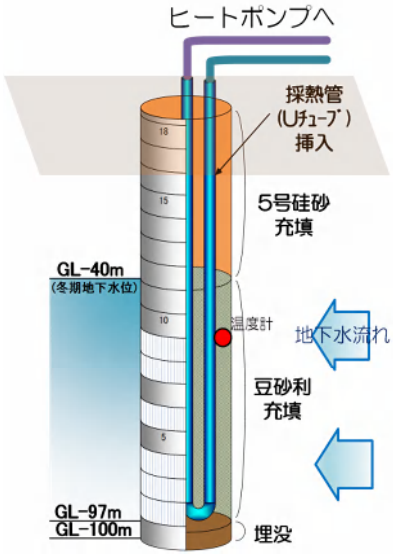


図-1　採熱管挿入イメージ

採熱管は、地中熱利用システムにおいて一般的なボアホール式地中熱交換井に用いられる高密度ポリエチレン製U字長尺管φ25×1組を使用した。**図-2** に採熱管挿入状況を示す。井戸は地下水位面より高い位置は空洞となり、採熱管を挿入しただけでは熱伝達効率が低い。一方、地下水に浸っている部分は、もともと井戸であるため帯水層の深度にストレーナが設置されており、地下水の流動による熱伝達が期待できる。そこで、冬期の地下水位を考慮し、地下水位以深は地下水移流効果を狙って消雪井戸の充填材に使用される豆砂利(**図-3**)で埋め戻し、地下水位より浅い部分は粒度が小さく密であり熱伝達率が大きい５号硅砂(**図-4**)を充填し、わずかでも採熱能力を高めるための工夫をした。

消雪パイプ設置地域は、周辺の一斉揚水により冬期間著しく地下水位が低下する場合があり、今回試験施設も冬期地下水位が約 40m であったため、採熱能力が低くなってしまう懸念があった。

図-2　U字採熱管挿入状況

図-3　豆砂利（φ6～9mm）

図-4　５号硅砂

２．２　試験施設概要

深度 100m 級井戸にU字採熱管を挿入すると、定格出力 5kW の小型地中熱ヒートポンプの必要熱源規模と概ね合致し、設置地域により差があるものの 20～35 ㎡程度のスポット融雪が可能と考えた。そこで、新潟県十日町市通り山地内の国道 353 号にある廃坑予定の SGP200A×100ｍの消雪井戸を地中熱交換井に作り変え、その近傍にあるバス停前の歩道に融雪施設を設置した。**表-1** にヒートポンプ仕様を、**図-5** にシステム概要図を示す。

表-1　ヒートポンプ主要仕様

形式	温水暖房用 地中熱ヒートポンプ
メーカー・型番	㈱コロナ　GTS-H6000
電　源	単相200V 50/60Hz
最大消費電力	2.8kW
定格温水出力	5.0kW
定格消費電力	1.493kW
定格COP	3.9
沸き上げ温度	25-60℃
冷　媒	R410A
補　機	循環ポンプ、シスターン 内蔵（一次・二次側共）

※定格運転条件：地中戻り温度0℃、温水往き温度35℃

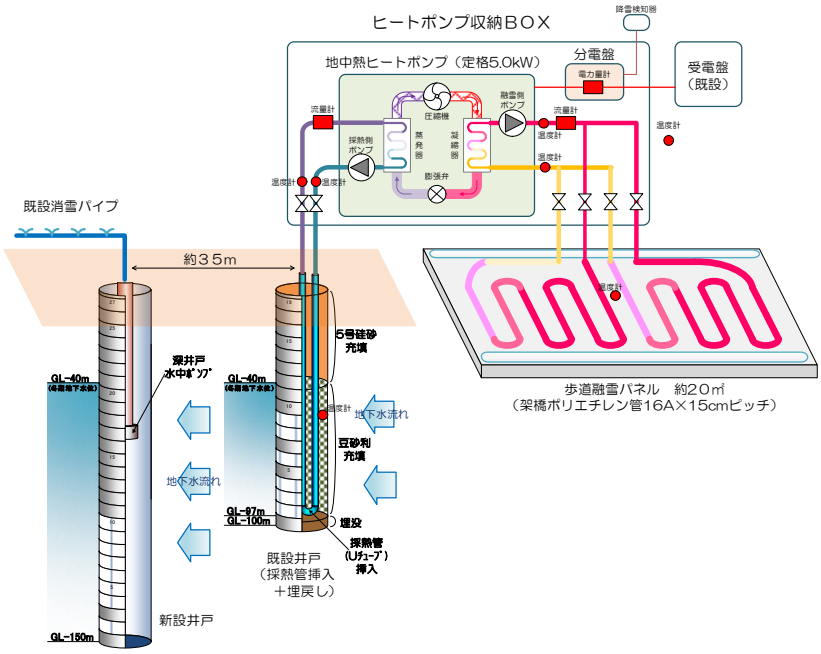


図-5　システム概要図

ヒートポンプ定格能力と地域の融雪必要熱量から、融雪範囲は約 20 ㎡とし、架橋ポリエチレン管 φ16 を 150mm 間隔でコンクリート舗装内に敷設して(**図-6**)ヒートポンプの二次側と接続した。ヒートポンプには一次側の地中熱交換器への循環、二次側の暖房温水循環を行うそれぞれの小型ポンプが内蔵されている。試験的設置であることから複雑な制御を避け、降雪検知器のみの自動運転を行うものとした。ヒートポンプの設置は、降雪検知器のみを設置するための簡易な制御盤とあわせて、壁掛式の筐体にコンパクトに納めて(**図-7**)歩行者の障害とならないよう配慮した。また、今回地中熱交換井として再生する老朽井戸と、掘り替えた新設井戸の距離は約 35m 離れている。

ヒートポンプは、理論上採熱側(一次側)と利用側(二次側)の温度差が小さいほど高効率となる。住宅温水暖房用途では温水送り温度を 40℃程度に設定することが多いが、今回の融雪運転では、無駄な放熱を防ぎかつ高効率運転とするべく、温水送り温度が約 20℃程度となるよう制御設定を変更した。

図-6　放熱管敷設状況

図-7　ヒートポンプ格納盤

図-8　融雪状況

3　試験結果

3．1　運転状況

設置工事、試運転終了後、今年 1 月 19 日より自動運転を開始した。今シーズンは豪雪に見舞われたが、昨年 12 月の大雪には間に合わなかったものの、それ以降の運転状況を確認できた。観測時間 1,674 時間中、降雪検知による融雪運転時間は、468.7 時間であった。

図-8 に融雪状況を示す。消雪パイプで消雪されている車道と同様に、本システムを導入した歩道バス停部分も良好に融雪されていた。

図-9 に全運転期間中の地中採熱量、地下 50ｍにおける地中温度並びに採熱側戻り水温を示す。11.6～11.8℃あった地中温度は、稼働時の採熱により 0.5℃程度低下するが、停止とともに速やかに元の温度に回復し、長期的な温度低下は見られなかった。稼働中の採熱側戻り温度は、常に 7℃以上を有していた。これは、地下水位以下において、常に地下水が流入して採熱管周囲温度が低下しない状況にあるためと推察する。結果、運転期間中を通じて安定した良好な採熱が可能となり、後述する高効率運転に繋がったものと考えられる。

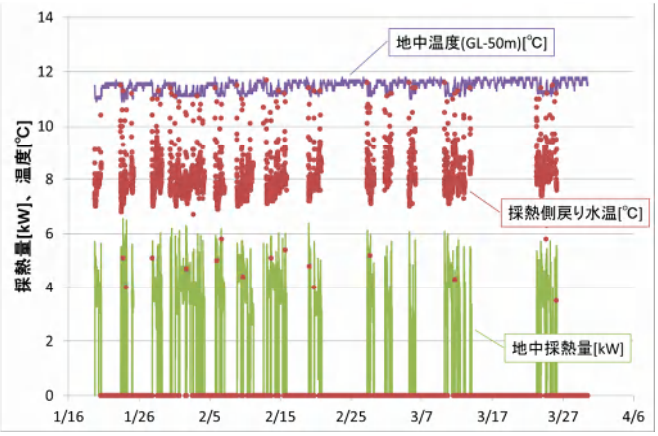


図-9　全運転期間における採熱運転状況

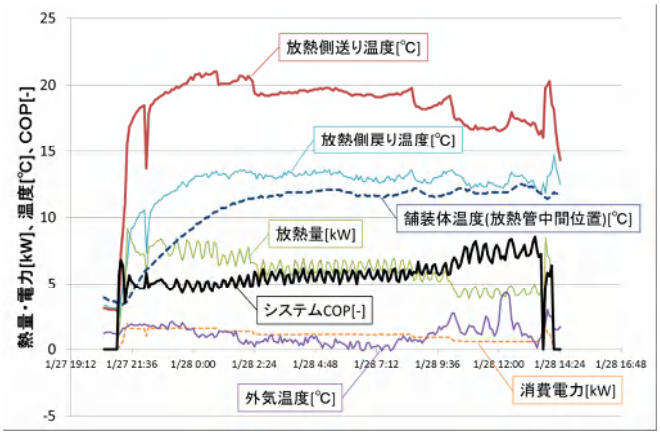


図-10　稼働中の放熱量とＣＯＰ

図-10 に降雪開始から終了までの連続した自動運転を行った 1/27 20:30 から 1/28 14:30 までの時間を例に取り、放熱側循環温度、舗装体温度、放熱量、消費電力、システムＣＯＰを示す。ここで、システムＣＯＰとは、出力エネルギー(融雪放熱量)÷入力エネルギー(システム全体の消費電力量)を指し、数値が大きいほど高効率となる指標である。舗装体温度が低下した状態から降雪により運転を開始し、システムＣＯＰが 5 程度で運転している状態から、舗装体が温まるに従いヒートポンプ内部

の自動制御により高効率運転に移行し、運転終盤にはシステムＣＯＰが 7 程度まで上昇した。また、運転開始時の放熱が大きい時間帯においては融雪出力が最大で 7kW 超を記録した。

表-2 に全運転期間における消費電力、利用熱量、システム COP を示す。平均の融雪出力は 6.161kW となり、運転期間中のシステム COP は 5.68 であった。採熱状況が良好だったこと、適切な制御設定を行ったことから、**表-1** に示す定格仕様を上回る能力が確認できた。

表-2　消費電力・利用熱量のまとめ

	運転期間累計	時間平均値
消費電力	508.9 kWh	1.085kW
利用熱量	2,888.4kWh	6.161kW
システムCOP	5.68	

３．２　コスト

ボアホール型地中熱交換井の設置費は、掘削地質等で変動し 15,000～25,000 円/m と言われているため、一般的な深度 100 m の地中熱交換器で 200 万円程度となる。試験施設における消雪井戸リユース地中熱交換井の設置コストは 40 万円以下であり、1/5 以下に抑えることができた。

施設設置が遅れ冬期間全体の運転ができなかったが、1/19～3/30 の約 70 日間で 468.7 時間の運転に対し 508.9kWh の消費電力であったことから、12/1～3/31 の約 120 日間で約 800 時間の運転を仮定すると、シーズン約 870kWh の消費電力が見込まれる。この場合の電力量料金は約 20 ㎡の融雪でシーズン 10,000 円程度であり、非常に安価にスポット融雪ができたことになる。また、本施設の電力は、既設消雪パイプの高容量の受電設備から分電させたため、基本料金もごく少なく抑えられる。

４　まとめ（システムの有効性、今後の課題と展開）

老朽消雪井戸を熱交換井として活用するにあたり、今回の対象井戸は地下水位が非常に低く、地中熱採熱に不利な状況とみていたが､観測した結果､長期間にわたって安定して採熱することができた。消雪パイプ設置地域では、周辺の消雪パイプ運転による地下水移流効果が見込まれ、消雪井戸リユース地中熱交換井は地下水熱を利用する点において優れていると考えられる。

ただし、その地下水移流効果は、地下水位(飽和長と不飽和長の割合)や周辺の揚水状況から設置場所により変動するものと考えられ、事前の定量的な評価が難しい。今回設置施設でも採熱に余力があることから、たとえばU字採熱管を複数本挿入するような工夫を行うことで、より大面積の融雪ができる可能性もある。この地下水移流効果の事前評価は今後の課題となる。

新潟県で行った消雪施設の更新予測[1)]では､今後 40 年間で年平均 77 本の更新が必要とされており、廃坑となる消雪パイプ用井戸は毎年発生する状況とみられ、融雪したい箇所がその井戸に近ければ安価に対応することができる。また、ヒートポンプ設備は狭い歩道脇でも通行の障害とならず設置できることから、消雪パイプ設置道路脇の、バス停や交差点などのスポット融雪に本システムが貢献できるものと期待している。

【参考文献】

1) 坂東和郎,藤野丈志,小酒欽也,沼屋賢一, 2011：新潟県管理の消雪施設における将来更新数の予測. 雪氷研究大会(2011・長岡)講演要旨集

自然由来ヒ素汚染土壌の分離浄化工法

前田建設工業株式会社　土木技術部　チーム長　山本　達生
土木技術部　リーダー　岩田　将英

1　はじめに

近年，地下構造物が輻輳する大都市圏では大深度地下での建設工事が増え，その過程で遭遇する自然由来ヒ素の汚染土の処分方法が大きな課題となっている．新潟平野の沖積堆積物中に挟在する泥炭質層(砂丘湖の湖底堆積物)[1)]や，関東平野の上総層群土丹層で土壌環境基準を超過することが多く，また，砂やシルトに比べ腐植土，粘土でヒ素濃度が高くなる傾向がある[2)]．

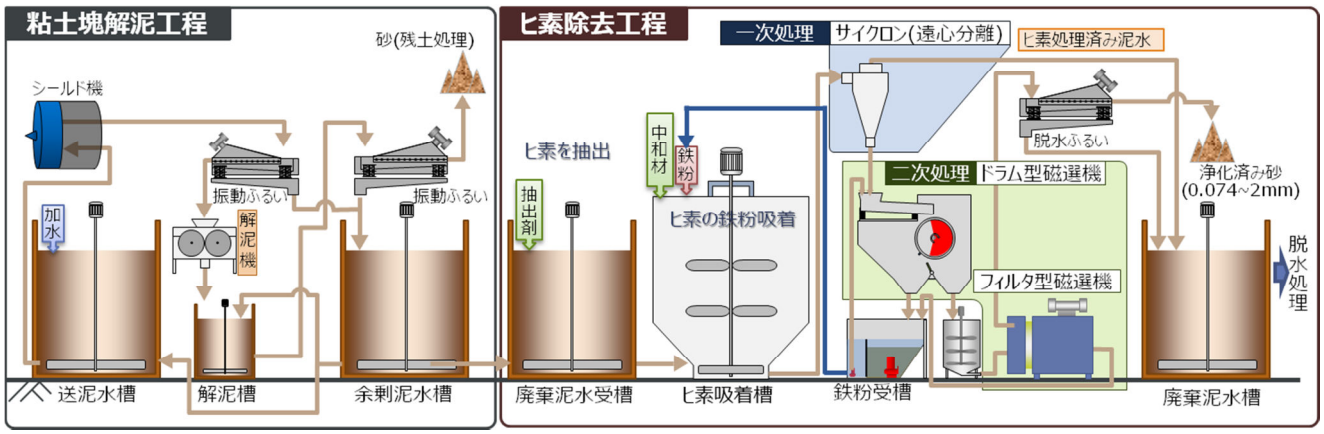
粒径が細かい土壌が問題となる事例が多いことから，掘削土砂を泥水状とすることで浄化処理が容易になると考え，泥水式シールド工法で発生する廃棄泥水を対象としたヒ素浄化工法を開発した．

本報告は，開発した工法の概要と，都内大深度地下の自然由来ヒ素汚染土壌を対象とした小規模浄化プラントの稼働状況について報告するものである．

2　開発工法について

泥水式シールド工法で自然由来ヒ素汚染地盤を掘削した場合，廃棄泥水に溶け出したヒ素イオンが土壌環境基準を超過する要因になる．このため，鉄粉に廃棄泥中のヒ素イオンを吸着させた後，廃棄泥水から鉄粉回収することでヒ素の浄化処理ができると考え，鉄粉によるヒ素吸着工程と遠心分離・磁性分離による鉄粉回収工程からなる浄化工法と設備を考案した．考案設備の概要を図－1 に示す．

なお，比較的硬質なシルト・粘土層を掘削する際には，握り拳大の粘土塊が掘削泥水中に含まれるため，ヒ素除去工程の前段に粘土塊解泥工程を備えた設備構成とした．



図－1　自然由来ヒ素汚染泥水の分離浄化処理設備概要図

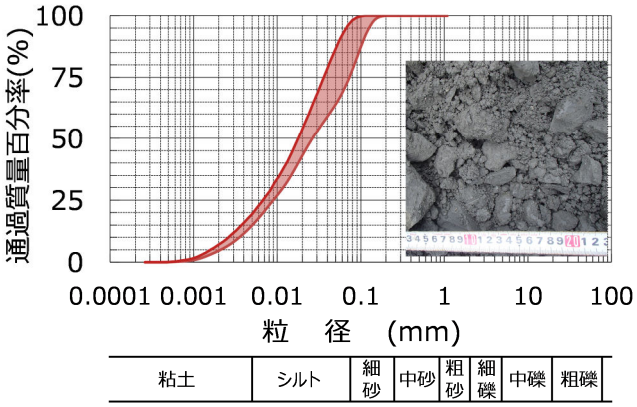
3　実証実験

考案した浄化工法および設備の性能を評価するため，写真－1 に示す小型プラント(40m³/h 級)を建

設(敷地面積 14m×9m)し，自然由来ヒ素汚染泥水の分離浄化処理を行った．

浄化対象泥水は，GL-55~60m の深度より掘削・採取した上総層群土丹(図－2 参照)を解砕し，水道水で泥水密度を 1.32t/m³ に調整することで得た．ヒ素溶出量は環境基準値の 5 倍程度であった．

写真－1　処理プラント全景



図－2　供試材料の粒度分布と外観

３．１　粘土解砕工程

供試土(図－2 参照)にはφ50mm 前後の粘土塊が含まれていたため，ロールクラッシャーで破砕した後，所定量の水道水を添加して水中ポンプ撹拌することで泥水状とした．

解砕処理後の自然由来ヒ素汚染土壌と泥水状に調整した供試材料を写真－2，写真－ 3 に示す．

写真－2　破砕後の土壌

写真－ 3　解泥状況

３．２　ヒ素抽出・吸着工程

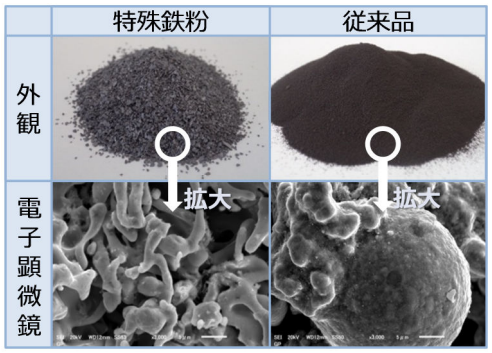
本工程では，廃棄泥水受槽に移送した泥水に特殊砒素抽出材を添加し，溶解性の高いヒ素を液相に移動させた後，鉄粉を添加してイオン化したヒ素を鉄粉に吸着させる．粒径が大きい鉄粉を使用する程，後工程での分離処理が容易になるが，鉄粉とヒ素の接触機会の減少により，ヒ素吸着能力が低下する恐れがある．このため，写真－4 に示すよう，従来ヒ素吸着用鉄粉として利用されているもの(以下，従来品とする)に比較して，粒径は 6 倍程度大きいが表面積が従来品と同程度の特殊鉄粉を使用した．当該特殊鉄粉によるヒ素吸着能力を室内試験により確認した結果，図－3(反応時間 30 分)図－4(添加用 0.3wt%-DS)に示すよう，特殊鉄粉添加量 0.3wt%-DS 以上，反応時間 30 分以上で土壌環境基準値を 3 倍弱超過する土壌を土壌環境基準値以下に浄化する能力があることが確認できた．

３．３　遠心分離機(サイクロン)による鉄粉一次分離処理

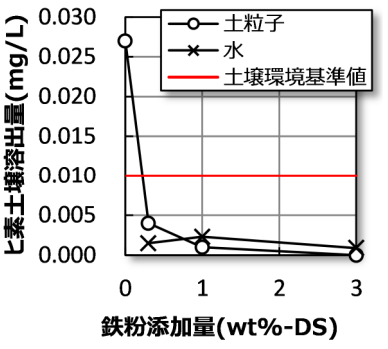
考案した浄化工法では特殊鉄粉を使用しているため，サイクロンによる遠心分離により大まかな特殊鉄粉と泥水の分離処理が可能となる．サイクロンの設置状況を写真－5 に，サイクロン上側から排出される鉄粉除去泥水(以下，サイクロン浄化泥水とする)およびサイクロン下側から排出される鉄粉

濃縮物(以下，サイクロン濃縮鉄粉とする)の発生状況をそれぞれ写真－6，写真－7 に示す．

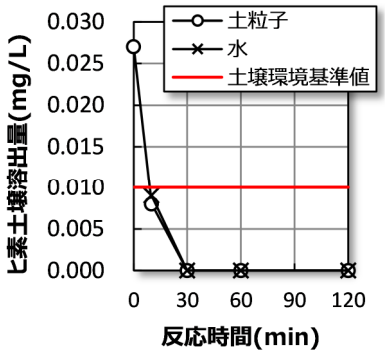
サイクロン濃縮鉄粉は，添加した特殊鉄粉が廃棄泥水中の砂分とともに全体の 2～3 割程度に濃縮され，サイクロン浄化泥水は鉄粉が除去されているため浄化済み泥水として全体の 7～8 割程度の配分比でそれぞれ排出されることを確認した．



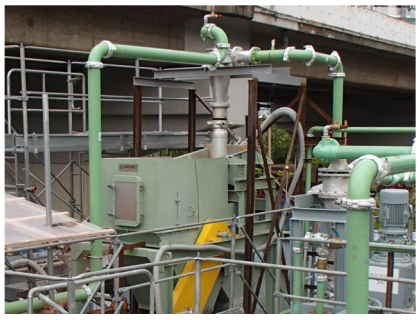
写真－4　特殊鉄粉の特徴



図－3　鉄粉添加量と溶出量



図－4　反応時間と溶出量



写真－5　サイクロン設置状況

写真－6　サイクロン浄化泥水

写真－7　サイクロン濃縮鉄粉

３．４　磁性分離機による二次分離処理

サイクロン濃縮泥水には特殊鉄粉の他に廃棄泥水中に含まれる砂分が混入している．このため，特殊鉄粉と砂分を分別することを目的に磁性分離を加えた設備構成とした．磁性分離には，磁力源として永久磁石を用いるドラム型磁選機(写真－8)と，電磁石を用いるフィルター型磁選機(写真－9)を組み合わせ利用した．ドラム型磁選機は消費電力が小さく鉄粉濃度の高い流体の大量処理に適し，フィルター型磁選機は消費電力が高いものの鉄粉濃度の低い流体から精度よく鉄粉を回収するのに適している．本工法では高磁性の特殊鉄粉を使用するため，フィルター型磁選機の電磁力を 1/4 程度に抑えた設備を使用した．

これら磁性分離機により回収した特殊鉄粉を写真－10 に示す．砂分等の混入が観察されるものの添加した特殊鉄粉のほぼ 100%を回収できることを確認した．

３．５　ヒ素溶出量

当該工法により分離浄化処理したヒ素溶出量濃度の一覧を表－1 に示す．特殊鉄粉は 8 回繰返し利用した．ヒ素溶出量が環境基準値の 0.7 から 5 倍程度の自然由来汚染土壌を検出下限値以下にまで低

下することが示された.

写真－8　ドラム型磁選機

写真－9　フィルター型磁選機

写真－10　回収鉄粉

表－1　処理前後のヒ素濃度一覧

		土壌の種類	処理前		処理後	
			処理量 (m^3)	ヒ素溶出量 (mg/L)	ヒ素溶出量 (mg/L)	ろ水ヒ素濃度 (mg/L)
泥水密度 1.32t/m^3	1回目	泥岩①	0.711	0.034	<0.005	<0.005
	2回目	砂質泥岩	0.888	0.007	<0.005	<0.005
	3回目	砂質泥岩	0.804	0.007	<0.005	<0.005
	4回目	砂質泥岩	0.868	0.007	<0.005	<0.005
	5回目	砂質泥岩	0.826	0.007	<0.005	<0.005
	6回目	砂質泥岩	0.736	0.007	<0.005	<0.005
	7回目	泥岩②	0.727	0.052	<0.005	<0.005
	8回目	泥岩②	0.563	0.052	<0.005	<0.005
	合計(処理量)		6.122	-	-	-

4　まとめ

粒径が大きく特殊鉄粉を使用することで，サイクロンによる遠心分離で７～８割程度の分離浄化済みの泥水が得られることから，磁性分離機での処理量を大幅に縮減した小型浄化設備を構築することが出来た.

さらに,当該工法により基準値を 5 倍程度超過する自然由来汚染土を検出下限値以下に浄化できた.

5　おわりに

今後，自然由来ヒ素汚染土壌が発生する建設工事に適用し，プラントの運転データの収集等を通じて，技術の信頼性・品質向上を進めていく所存である.

参考文献

1)島田允堯，自然由来重金属等による地下水・土壌汚染問題の本質：ヒ素，応用地質技術年報，No.29，pp31～59，2009 年

2)金子正史ら，新潟県における自然由来のヒ素による地下水汚染の実態，新潟県保健環境科学研究所年報，第 25 巻，pp93~95，2010 年

TT-Monitor による切羽前方地山予測

大成建設　技術センター　土木技術研究所　地盤・岩盤研究室　　○坂井　一雄
同　上　　谷　卓也
同　上　　青木　智幸

1　はじめに

山岳トンネルは地下深部に構築される線状構造物という特徴があるため、一般的に事前の地盤調査で必要な地質情報をすべて把握することは、調査手法の限界と調査に充てられる費用の制約上、不可能である。このため、事前の地盤調査を補完し設計時の支保パターンの妥当性を確認する目的で、トンネル掘削時に情報化施工として切羽観察や坑内変位の計測を行う。また、特に切羽前方の断層破砕帯や軟弱層が切羽の自立性やトンネルの安定性に対し影響が大きいと予想される場合には、施工の安全性を確保するため切羽先進ボーリングや TSP などに代表される切羽前方探査を実施する必要がある。

しかし、上述のような切羽前方探査は切羽近傍にて削孔や探査作業を実施するため、掘削作業を一時中断する必要があり、少なからず掘削工程に影響を与える事が問題である。そこで著者らは、日常の計測管理の一環として実施できる迅速かつ簡易な手法で、切羽前方の地山状況を予測する手法を開発した。この手法はトンネル天端の微小な傾斜角度が切羽前方の地山の硬軟によって変化すること利用するものである。本論文では、予測手法の原理と傾斜角度の評価手法を概説し、トンネル天端に短時間で設置できる小型傾斜計「TT-Monitor」の開発とそれを用いた現場実証試験の結果について概説する。

2　予測手法の原理と傾斜角度の評価方法

2.1　予測手法の原理

トンネル縦断面に着目すると、切羽の進行に伴うトンネル周辺地山の変形は、概念的に誇張して描くと図-1 のように表現される。図中の矢印が掘削前からの地山の変形量を表す。一般的に地山の変形は切羽到達前から生じ、切羽到達時点で発生する変形量、すなわち図中の断面 A での変形量は、最終的に発生する全変形量の 30%程度であるとされている。切羽通過後は地山の応力解放の影響が大きいため、変形は切羽通過前に比べて急激に増大し、ある切羽離れに達した時点で収束する。地山の性状が一様である場合は、図-1 の赤点線に示すように収束値は一定となるが、同図で明らかなように、変位収束前のトンネル周辺地山の変形量は切羽離れに応じて異なっている。これはトンネル天端部の沈下も同様であり、切羽近傍である

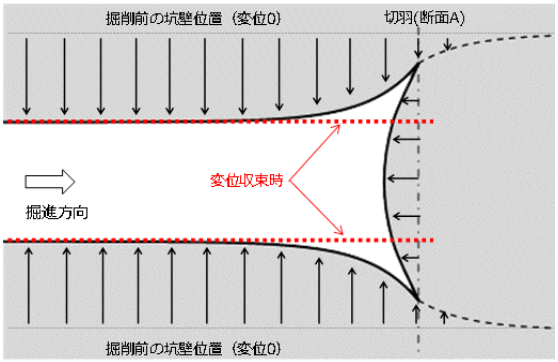


図-1　切羽の進行に伴う周辺地山の変形概念図

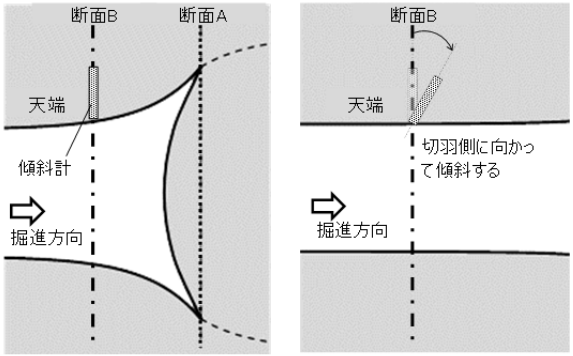


図-2　左：傾斜計設置時、右：変形収束時における天端の傾斜状況概念図

ほど、切羽からの距離の違いによる沈下量の差は大きく、同時期の沈下量は切羽に近いほど小さい状況である。このため図-2 左に示すように切羽近傍の天端部で傾斜角度を計測すると、傾斜計設置時以降に発生する変位量の差により、図-2 右に示すように切羽方向に向かって倒れる傾斜角度が得られる。なお、上記の挙動は現場実証試験でも確認されている。

2.2　傾斜角度の評価方法

掘削対象となる地山の性状が一様である場合、傾斜計を設置する際の切羽離れを計測断面毎に統一し（例えば切羽離れ 1m で設置）、同じ切羽離れに到達した時点での傾斜角度を評価する（例えば切羽離れ 3m で評価）と、図-3 上に模式図を示すように、理論的には傾斜角度は計測断面毎に同一となる。一方、切羽前方に断層破砕帯のような軟弱層が存在する場合は、切羽近傍の地山の挙動が変化するため、天端部の傾斜角度の変化の程度が異なると想定される（図-3 下を参照）。そこで、地山の変化がある場合に、天端部の傾斜角度がどの程度影響を受けるか検討するために、三次元逐次掘削解析を実施した。

図-4 に三次元解析モデルを示す。解析は土被り 200m の 2 車線道路トンネルを想定した。変形係数を E=1,000MPa とした硬質層の前方に、E=100MPa の軟弱層が存在する条件で逐次掘削解析を実施した。なお地山の応力－ひずみ関係は弾性とした。

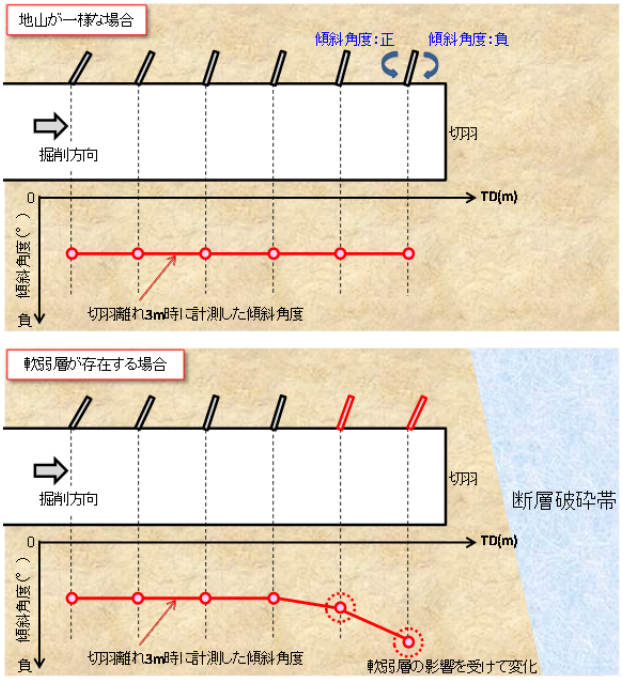


図-3 傾斜角度の推移の違い（上：地山が一様な場合、下：切羽前方に軟弱層が存在する場合）

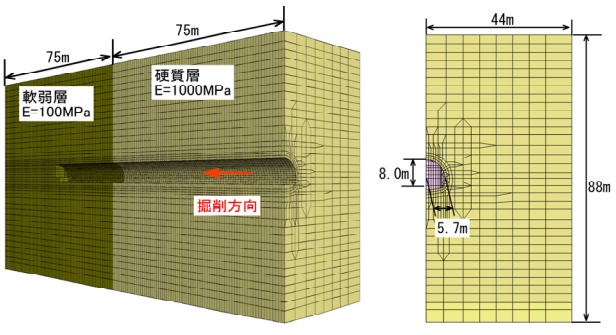


図-4 三次元解析モデル

図-5 に解析結果として得られた、切羽離れ 3m 時点でのトンネル天端部の傾斜角度を示す。なお、実施工における傾斜計設置可能時期を考慮して、切羽離れ 1m 時点を初期値とした。図-5 より、地層境界より十分離れた断面、すなわち前後の地山

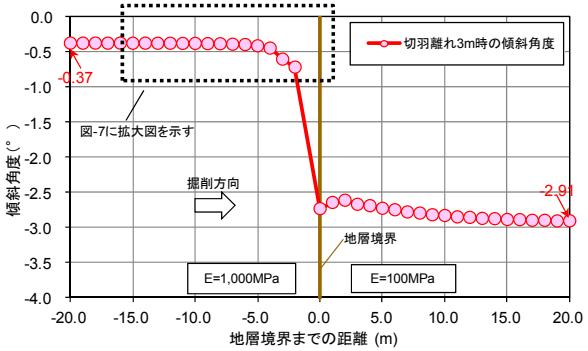


図-5 解析結果（切羽離れ 3m 時の傾斜角度）

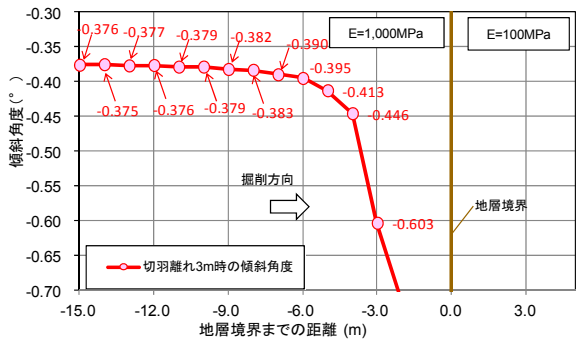


図-6 地層境界直前部の傾斜角度の変化

条件が一様であると考えられる位置では、傾斜角度が概ね一定値を取ることがわかる。具体的には、硬質層（E=1,000MPa）では-0.37°、軟弱層（E=100MPa）では-2.91°である。また、E=1,000MPa と E=100MPa の地山で比較すると、E=100MPa の方が傾斜角度の絶対値が大きい。これは、地山の変形係数が小さい方が切羽離れ 1m から切羽離れ 3m までに発生する変位量が大きいことに起因する。

次に地層境界の直前部に着目した傾斜角度の変化を図-6 に示す。地層境界から 10m 以上手前の断面では傾斜角度は-0.376°～-0.379°（符号は負が切羽側に倒れる角度を表す）の間でほぼ一定であるが、地層境界に近づくにつれて、傾斜角度の絶対値が大きくなる。地層境界より 3m 手前の断面で、切羽離れ 3m における傾斜角度（切羽が地層境界に到達した時点）は-0.603°まで変化する。これは、トンネル天端部の傾斜角度は切羽が軟弱層側に到達する以前より、軟弱層の影響により 0.2°以上（0.603-0.379=0.224）変化することを示す。そのため、解析で算出されたような微小な傾斜角度の変化を計測できる傾斜計を開発すれば、図-3 下に示すようにトンネル縦断方向に所定の間隔で傾斜角度を計測することで、傾斜角度の変化量から切羽前方に存在する軟弱層の予測が可能であると考えた。

3　小型傾斜計「TT-Monitor」の開発

解析結果で示したような、天端部の微小な傾斜角度を施工現場にて計測することを目的として小型傾斜計「TT-Monitor」を開発した。TT-Monitor の外観を写真-1 に示す。TT-Monitor は MEMS 技術を用いた加速度センサを内装した傾斜角度計測ユニットと塩化ビニル管（もしくは鋼管）の外管から構成される。機器の仕様を表-1 に示す。

写真-1 TT-Monitor の外観

表-1 TT-Monitor の仕様

直径 (mm)	42 (外管), 34 (計測ユニット)
長さ (cm)	60 (外管), 37 (計測ユニット)
重量(kg)	0.8
測定範囲 (°)	±15
測定分解能(°)	0.001
動作温度 (℃)	-10~80
電源	Li-ion 電池
動作電圧 (V)	3.1~4.4
メモリ	EEPROM
記録容量	2,000, FIFO
測定間隔	1,2,3,5,10,20,30 分
無線規格	Bluetooth (Class1)

TT-Monitor はトンネル天端部で鉛直に削孔したロックボルトと同径の計測孔に、計測ユニットを外管内に挿入した状態で設置する。地山へ固定は外管につけた落下防止金具と孔内へのモルタル充填により行う。二重管構造であるため、計測終了後は計測ユニット部のみを抜き出して回収し、次断面の計測に転用することが可能である。このため、3 個程度の計測ユニットを準備すれば、トンネル全線での計測が可能である。また、次章に示す現場実証試験の結果では、計測器の設置・撤去に要する時間は削孔を含めても数分程度である。

図-7 に TT-Monitor を用いた標準的な計測レイアウト図を示す。坑内変位計測と同様に所定の断面間隔で計測を実施する。ただし、解析結果からわかるように、地山変化が傾斜角度に与える影響は概ね切羽から 10m 前後の範囲であることから、図-7 では標準的な計測断面の間隔を 5m とした。

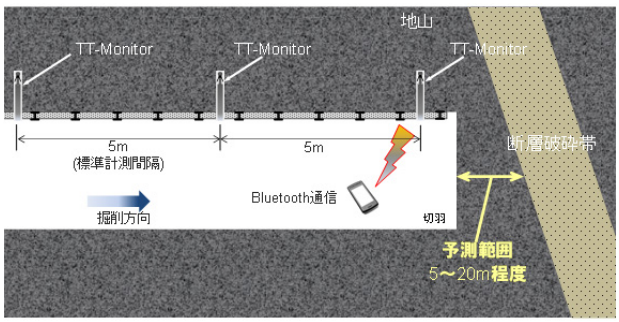


図-7 TT-Monitor の標準計測レイアウト図

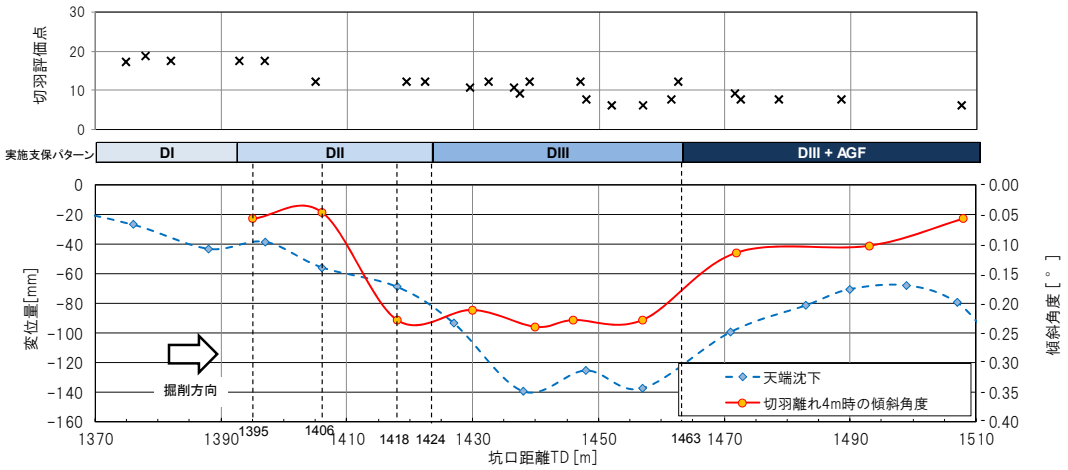


図-8 現場実証試験の結果（上：切羽評価点、中：実施支保パターン、下：傾斜角度と天端沈下）

4 現場実証試験

中生代砂岩頁岩互層からなる地山を掘削対象とした道路トンネルで、TT-Monitor を用いた切羽前方地山予測手法に関する現場実証試験を行った。計測対象区間は 100mm 以上の天端沈下を生じた脆弱な地山区間であり、土被りは概ね 80m である。図-8 に計測結果を示す。赤実線は各計測断面における切羽離れ 4m 時点での傾斜角度であり、初期値は切羽離れ 1m 時点で取得した。青点線は天端沈下の計測結果である。また、図中の上部には切羽評価点と実施支保パターンの変化を示す。

支保パターンを DⅢとした TD1424m～TD1463m の区間は、切羽評価点が 10 点を下回る箇所もあり、天端沈下量も 100mm を超過する非常に軟弱な地山区間であった。傾斜角度は TD1395m、TD1406m では-0.05°程度の値であったが、TD1418m で絶対値が急増し、-0.23°となった。その後は DⅢ区間の終わりまで-0.20°～-0.25°の間で推移した。TD1418m における傾斜角度の絶対値の増加は、TD1424m 以降の非常に軟弱な地山区間の影響を受けたものであると考えられる。TD1418m での天端沈下は 70mm であり、DⅢ区間の天端沈下量の最大値 140mm に比べれば半分程度の値であることから、天端沈下よりも傾斜角度は敏感に切羽前方の地山変化を捉えていることがわかる。この現場実証試験を通して、実施工において TT-Monitor を用いた切羽前方地山予測が十分に可能であると考察した。

5 まとめ

本論文では、小型傾斜計「TT-Monitor」を用いた切羽前方地山予測手法について概説し、現場実証試験の結果から同手法の有効性について示した。事前調査の不確実性が高い大土被りトンネルでは、適切な掘削工法、支保パターンおよび補助工法の検討に際し、施工時に切羽前方地山の状況を把握する必要性は高い。その中で、本手法は従来の切羽前方探査手法と比較して、簡易かつ迅速に実施できるため、日常の計測管理の一環として実施でき、掘削工程にほとんど影響を与えない点で優れている。また、小型傾斜計は計測完了後に回収し、再設置することができるため、数個の小型傾斜計でトンネル全線にわたって予測を連続的に実施できる。したがって、従来手法に対するコスト優位性もあると考えている。

2015 年 9 月現在、TT-Monitor は施工中の道路トンネルにおいて、事前調査の結果で切羽前方に存在すると想定される断層破砕帯の位置を把握する目的で運用中である。この他のトンネル施工現場においても本手法を普及・展開するとともに、実績を重ねて予測の信頼性向上を目指したいと考えている。

リブ付きアーチフォームを用いたＲＣ床版 [1)]

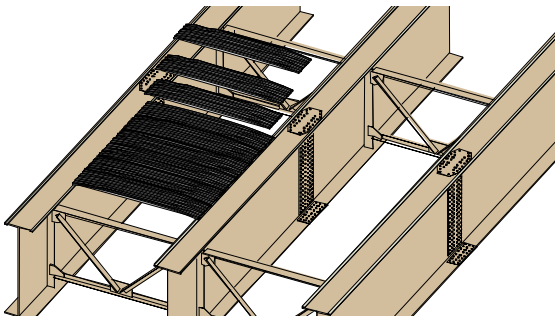
川田工業（株）　○栗山　浩　　街道　浩　　協立エンジ（株）西條　龍
川田建設（株）　吉松　秀和　　大阪大学名誉教授　松井　繁之

１　はじめに

橋梁床版の高耐久化達成と同時に，施工の省力化が強く要望されている．特に，現場作業が多くを占める橋梁の床版工事において，木製型枠の不足，支保工や型枠施工の職人不足により，型枠工事の合理化・省力化が大きな課題となっていた．そこで，この課題を解決するため，木製型枠に代わる埋設型枠としてリブ付きアーチフォーム（以降，ＲＡＦと略す.）を開発した．

ＲＡＦは鋼橋のＲＣ床版を適用対象とし，型枠の下面リブで床版自重・施工荷重に抵抗する剛性を与えており，床版施工用の支保工・木製型枠・作業足場を省略することができる．また，現場作業の安全性確保や省力化・施工工期の短縮・木製型枠の産業廃棄物の削減などの効果を発揮するものである．図－１にＲＡＦの施工概念図を示す．

本論文では，実物大のＲＡＦを適用したＲＣ床版の輪荷重走行試験結果，劣化度および剥落防止性能の評価について，その概要を報告する．



図－１　ＲＡＦの施工概念図

表－１　ＲＡＦの配合

単位：%

セメント	珪石粉末	配合水	繊維補強材	増粘材等
32.0	34.4	20.0	8.8	4.8

表－２　材料試験結果

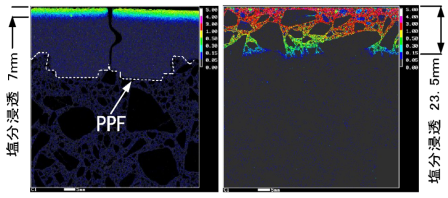
	引張強度 (N/mm^2)	圧縮強度 (N/mm^2)	弾性係数 (kN/mm^2)
コンクリート	2.12	23	23.8
RAF 押出方向	15.8	62	16.1 (17.7)
RAF 押出直角方向	12.6	55	12.8 (15.7)

( )内は，曲げ引張試験値を示す．

２　ＲＡＦの材料特性および構造

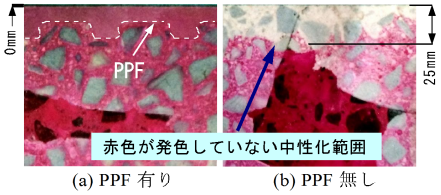
ＲＡＦは，ポリプロピレン繊維で補強したセメント押出し成形板である．ＲＡＦの一回の練り混ぜ量約 630kg 当りの配合を表－１ に示す．原材料全体に対し，ポリプロピレン繊維を含む繊維補強材は重量比で約 8.8%の割合を占めている．ＲＡＦは混練・真空脱気・押出し成形など一連の製造工程（真空押出し成形法）と高温高圧蒸気養生（オートクレーブ養生）により緻密な組織となる．試験体に使用した使用材料の材料試験結果を表－２ に示す．

本材料は，透水性はあるものの，同材料の既存製品である埋設型枠（ＰＰＦ）で実施された写真－１ に示す塩分浸透深さや写真－２ に示す促進中性化試験において，ＲＣ床



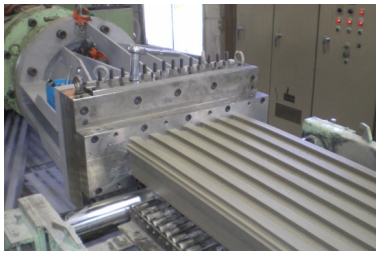
(a) PPF 有り　　(b) PPF 無し

写真－１　６箇月間の塩分浸透深さ（EPMA 法）

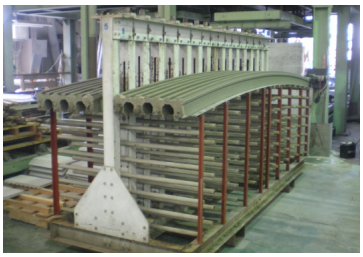


(a) PPF 有り　　(b) PPF 無し

写真－２　促進中性化試験結果（フェノールフタレイン法）



(a) 押出し成形状況



(b) 曲面成形状況

写真－3　ＲＡＦの成形状況

版に比べて塩分や炭酸ガスの浸透速度が極めて小さく，材料劣化に対する耐久性が非常に高いことが分かった．

写真－3 にＲＡＦの押出し成形の状況およびＲＡＦの曲面状成形の状況を示す．

試験を実施したＲＡＦは，図－2 に示すように，１パネルあたり幅 450mm×長さ 2,500mm である．断面形状は図－3 に示すように，平板部の厚さ 17mm であり，上面に７本の突起を有し，突起の寸法は幅 26mm×高さ 18mm である．下面には４本のリブを有し，リブの寸法は床版中央において幅 50mm×高さ 70mm である．上面の凹凸形状により，コンクリートとの付着一体性が確保できる．

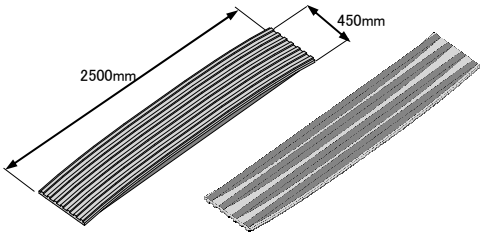
3　輪荷重走行試験の概要

ＲＡＦを適用したＲＣ床版の輪荷重走行試験を実施する目的は以下の通りである．

① ＲＡＦを適用したＲＣ床版の疲労耐久性の確認
② ＲＡＦとコンクリートの一体性の評価
③ ＲＡＦのひび割れ状況の把握
④ ＲＡＦの目地部の挙動の把握
⑤ ＲＡＦの構造部材としての有効性の評価

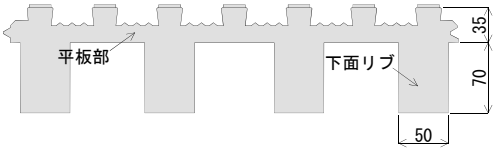
試験体は２本の主桁に支持された床版であり，幅員 2.92m，長さ 5.00m としている．床版支間は 2.67m，床版厚は 190mm であり，床版厚にはリブ部を除くＲＡＦの厚さを含んでいる．試験体の製作は，設計基準強度 24N/mm² のコンクリートを打設した．輪荷重走行試験の載荷方法は表－3 および図－4 に示す通りであり，わが国の幹線道路において 100 年以上の供用に相当する等価繰返し回数である載荷荷重 190kN，走行回数 60 万回とした．輪荷重走行試験の状況を写真－3 に示す．

また，図－5 に示す試験体のＦＥＭモデルを用いた弾性

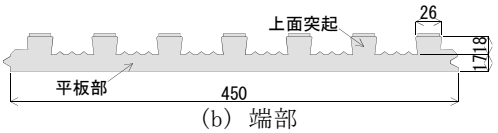


(a) 表面　　(b) 裏面

図－2　ＲＡＦの外観および寸法



(a) 中央部

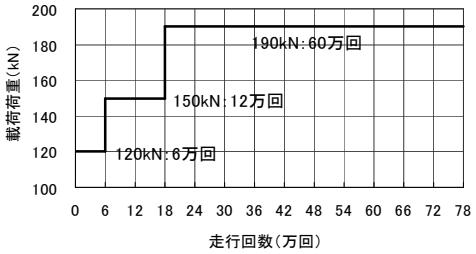


(b) 端部

図－3　ＲＡＦの断面形状

表－3　輪荷重走行試験の等価損傷

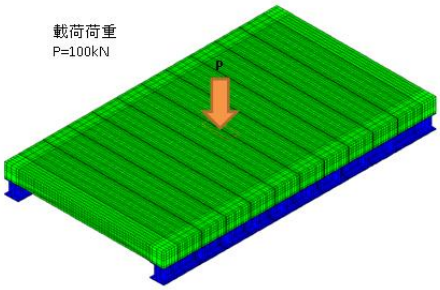
走行回数	載荷荷重 P（衝撃を考慮）	N_{eq-s}
回	kN	
60,000	120.0	0.00000068
120,000	150.0	0.00002345
600,000	190.0	0.00239580
		0.00241993
実橋が1年で受ける等価繰返し回数 N_{eq-a}＝		0.00001399
N_{eq-s}/N_{eq-a}＝	173 年	



図－4 輪荷重走行試験の荷重および回数

写真－3　輪荷重走行試験状況

解析を行い，測定結果との比較を行った．解析に用いたモデルは，全断面を有効としたモデル（全断面有効モデル），下面リブにひび割れが発生した後のＲＡＦの下面リブと引張側コンクリートを無視しＲＡＦの平板部を有効としたモデル（引張側コン無視・ＲＡＦ平板部有効モデル），引張側コンクリートとＲＡＦ全体を無視したモデル（引張側コン無視・ＲＡＦ無視モデル）の３種とした．本モデルでは，ＲＡＦとコンクリートは完全結合とし，付着切れなどの詳細な検討を行うことを目的とせず，全体挙動のみを比較することとした．

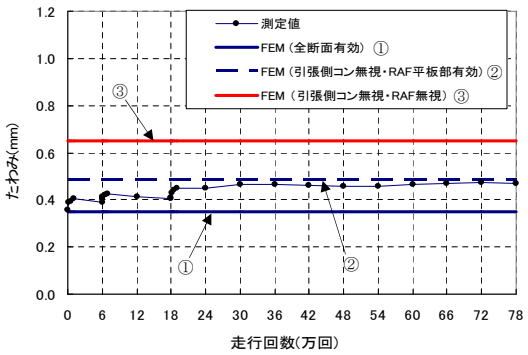


図－5　輪荷重走行試験体の FEM モデル

４　輪荷重走行試験の結果

４．１　たわみの経時変化

試験体中央の載荷時の計測値から除荷時の計測値を引いた弾性たわみを設計荷重 100kN 相当に換算した値の経時変化を図－6 に示す．図中には，ＦＥＭによる弾性解析結果として，①「全断面有効モデル」のたわみ値を青色実線，②「引張側コン無視・ＲＡＦ平板部有効モデル」のたわみ値を青色破線，③「引張側コン無視・ＲＡＦ無視モデル」のたわみ値を赤色実線で示している．計測値は，全断面有効の計算を大幅に下回って推移している．これは，計算値にはＲＡＦのアーチ形状を考慮していないものの，下リブ以外のＲＡＦが床版の断面剛性に有効に寄与しているためと言える．



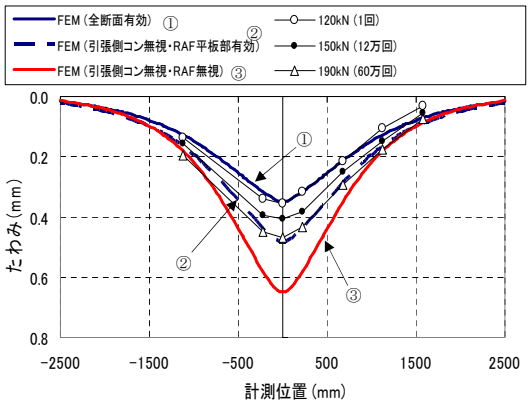
図－6　弾性たわみの経時変化

４．２　ＲＡＦの目地部の挙動

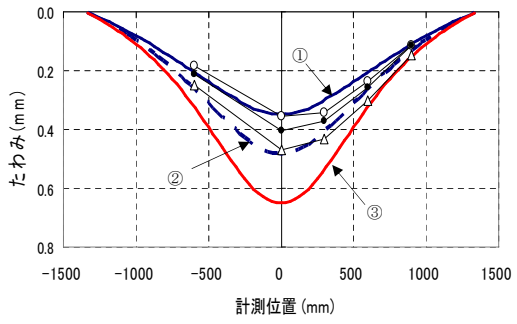
載荷時の計測値から除荷時の計測値を引いた目地の開閉量をπゲージにより計測した．荷重の増加に伴いひび割れ幅が 0.06mm まで増えたが，その後一定で推移していた．目視検査による目地部の開閉発生の観察を行ったが，載荷試験終了まで確認されなかった．

４．３　弾性たわみの分布

設計荷重 100kN に換算した橋軸方向および橋軸直角方向の弾性たわみの分布を図－7 に示す．弾性たわみの分布は初期載荷において全断面有効の解析値とおおむね一致した．載荷終了時においても，引張側コンクリートとＲＡＦ全体を無視したモデルの解析値の 72%程度の値にしか至っていないことから，引張強度の高いＲＡＦがコンクリート床版と固着し，コンクリート床版との合成効果が持続されて疲労耐久性を向上



（a）橋軸方向



（b）橋軸直角方向

図－7　弾性たわみ分布

させていると言える．

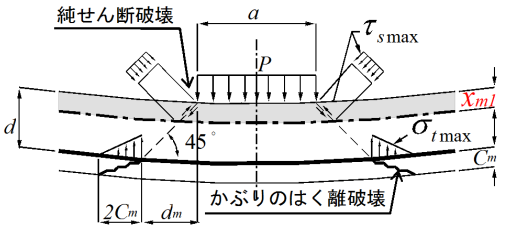
松井が提案した式(1)に示す弾性たわみによる劣化度評価式 [2]を適用すると，本試験体の劣化度は使用限界値 1.00 に対し 0.40 程度となり，走行試験による損傷の程度は比較的小さいものと推定できる．

$$D_\delta = \frac{W - W_0}{W_c - W_0} = \frac{0.470 - 0.349}{0.650 - 0.349} = 0.40 \le 1.00 \quad \text{式(1)}$$

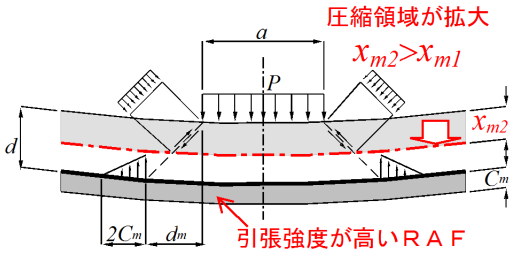
４．４　ひび割れ発生状況

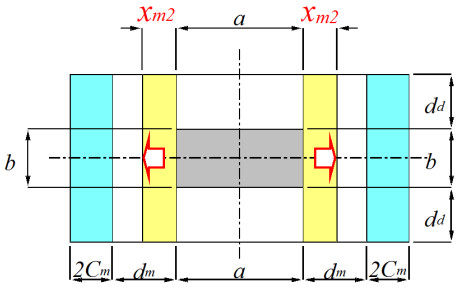
床版下面ひび割れの状況については，下面リブの下縁において 190kN 走行時 0.30mm，除荷時 0.20mm であり，ＲＡＦの平板部の下縁において 190kN 走行時 0.15mm，除荷時 0.10mm であった．

走行試験終了後に試験体を切断し内部のひび割れ状況を確認した．橋軸方向の切断面は，上面突起の付け根付近に僅かな微細水平ひび割れの発生があったが，目視で確認できるひび割れはなかった．また，ＲＡＦの継手部にも目立ったひび割れは発生していなかった．橋軸直角方向の切断面は，下面リブに発生した曲げひび割れが床版断面内のＲＡＦの平板部と上面突起まで伸びたが，コンクリート部まで伝播していない．



(a) ＲＣ床版





(b) ＲＡＦ床版

図－8　圧縮領域の拡大

なお，コンクリートとの境界面で付着切れがなく，上面突起がコンクリートとの付着一体性とせん断抵抗性としての効果を十分発揮していることが確認できた．

５　まとめ

今回の実験では，ＲＡＦを適用したＲＣ床版の疲労耐久性，劣化度および剥落防止性能の評価を行い，十分に実用に耐えうる床版であることが実証できた．ＲＡＦ床版の剛性が高く，耐久性に優れる要因として，図－8 に示すせん断破壊モード [2]から推測すると，引張強度が高いＲＡＦ型枠の抵抗により中立軸が下がり，コンクリートの圧縮領域が増加すること要因であると考えられる．また，ＲＡＦ床版は，現場施工の省力化や工期短縮だけでなく，材料劣化に対する耐久性が高いため，海岸地域や工場地域など幅広いケースでの採用が期待できる．

【謝辞】　輪荷重走行試験の実施にあたって，独立行政法人寒地土木研究所の方々には多大なご協力をいただきました．ここに謝意を表します．

＜参考文献＞　1) 西條, 吉松, 街道, 松井, 表, 三田村: リブ付きアーチフォームを適用したＲＣ床版の開発, 構造工学論文集, Vol. 61A, 2015.　2) 松井繁之編著：道路橋床版 設計・施工と維持管理，森北出版，2007.

第１会場

第Ⅳグループ

北陸地方整備局における「ＣＩＭ」の取組み

北陸地方整備局　企画部　技術管理課　基準第二係長　○田中　純壱
企画部　技術調整管理官　　高島　和夫
企画部　技術管理課　課長補佐　　姫野　芳範

１　はじめに

わが国の建設産業が直面している課題として、「社会インフラの老朽化」と「担い手不足」が挙げられる。

こうした中、急速に進化している ICT（情報通信技術）を取り入れ、社会インフラの新たな管理手段の構築や若年層の建設業離れを解消するための魅力ある建設産業の実現が不可欠となっている。

そのため、国土交通省では第３期国土交通省技術基本計画（平成 24 年 12 月策定）や、情報化施工推進戦略（平成 25 年 3 月策定）において、３次元モデルを活用した「CIM」の導入を位置付け、情報化施工の推進や建設生産システムの改善を図ることとしている。

２　ＣＩＭの理念

CIM（Construction Information Modeling／Management）とは、建築分野の生産手法である BIM（Buildnig Information Modeling）の思想とツールを建設分野全般に適用することにより、公共事業の計画・調査・設計段階から３次元モデルを導入し、その後の施工・監督検査、維持管理においても３次元モデルに連携・発展させ、情報の一元化や、事業全体にわたる関係者間での情報共有により、一連の建設生産システムの効率化・高度化を図ることによる公共事業の品質確保や環境性能の向上、トータルコストの縮減を目的としている。

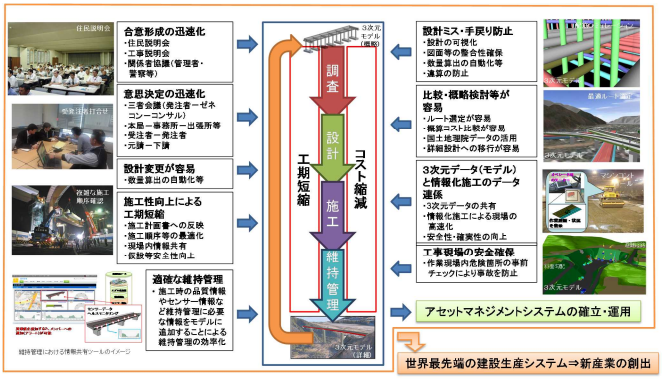


図-1　CIMによる効果例
（出典:大臣官房技術調査課資料）

３　北陸地方整備局の取組状況

３．１　試行事業について

北陸地方整備局では平成 24 年度より、表-1 及び表-2 に示す事業について、モデル事業として CIM を試行導入している。

なお、各事業の詳細については、富山河川国道事務所および千曲川河川事務所より別報告されている。

表-1　CIM試行業務

No.	事業区分		業務名	事務所	工期
1	道路	詳細設計	能越自動車道中波2号跨道橋詳細修正設計他設計業務	富山河川国道事務所	平成24年8月～平成25年3月
2	河川	詳細設計	荻原地区樋門及び橋梁詳細設計業務	千曲川河川事務所	平成25年5月～平成26年3月

表-2　CIM試行工事

No.	事業区分	業務名	事務所	工期
1	道路	能越道　中波道路その3工事	富山河川国道事務所	平成25年11月～平成27年3月
2	道路	能越道　中波市道跨道橋工事	富山河川国道事務所	平成25年12月～平成27年2月
3	河川	荻原築堤護岸他工事	千曲川河川事務所	平成26年9月～平成27年5月
4	河川	荻原築堤護岸その2工事	千曲川河川事務所	平成26年9月～平成27年5月

３．２　産学官ＣＩＭについて

国土交通省の CIM 制度検討の中期目標（平成 24 年度～平成 28 年度）である『CIM 導入ガイドライ

図-2　能越道中波跨道橋工事　3次元モデル

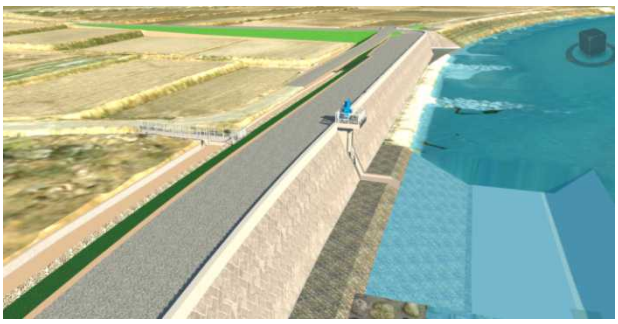


図-3　千曲川荻原地区築堤護岸工事　3次元モデル

ンの策定』に向けて、実モデル構築を通じた課題抽出、対応検討を行うことを目的とした「産学官による CIM の構築（大臣官房技術調査課建設システム管理企画室）」[1]について、平成 26 年度から検討を行っている。

これは、４つの工種（橋梁、トンネル、ダム、河川）を対象に、CIM 技術検討会等（産）、土木学会（学）、国土交通省（官）の産学官の検討体制を構築し、平成 26 年度および平成 27 年度の２年間にわたり、実モデル構築を通じた検討を行うものである。

北陸地方整備局では、全国で５件（橋梁２件、トンネル１件、ダム１件、河川１件）の産学官 CIM のうち、「千曲川荻原地区築堤事業」が「河川 CIM」実施案件として選定され、新たな河川管理（築堤事業）の方向性を個別検討目標として取り組んでいるところである。

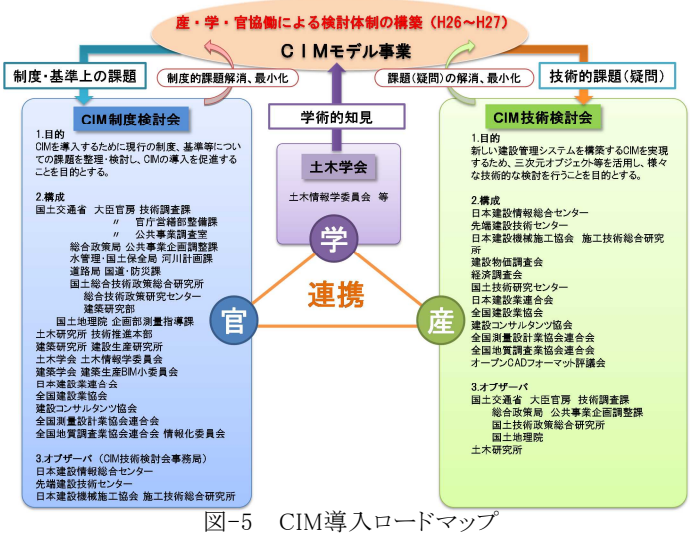


図-5　CIM導入ロードマップ
（出典:大臣官房技術調査課資料）

図-4　産学官によるCIMの検討体制構築の位置付け
（出典:大臣官房技術調査課資料）

３．３　現時点での試行結果について

平成 24 年度から開始した CIM 試行事業（能越道、千曲川）について、現時点までの試行結果から得られた、主な効果と課題は以下のとおりである[2) 3)]。

（１）成果

＜施工の手戻り削減＞

３次元モデルを用いた鉄筋干渉チェックにより干渉箇所の確認・修正ができ、施工段階での手戻り削減が図れた。

＜安全教育、安全管理の向上・効率化＞

３次元モデル化した動画を用いて、新規入場者をはじめとする安全教育訓練を行うことで、安全管理に効果があった。

＜施工管理、品質管理の効率化＞

施工ステップをモデル化したことにより、仮設構造物の配置計画を効率的に検討できたため、施工管理を円滑に行うことができた。

（２）課題

＜維持管理用データの入力の煩雑さ＞

鉄筋等の各部材の仕様情報（属性）をデータとして付与したことの効果の反面、その属性情報が膨大にあり、入力に時間と労力を要するなど非効率であった。

＜ＣＩＭ対応ソフトの未整備＞

発注者・受注者とも、３次元モデルを操作するソフトをほとんど保有していないのが現状である。

今後は、セキュリティー面や費用面にも優れた安価で簡単なソフトの普及・活用の方法を検討していく必要がある。

＜３次元モデル作成の効率化＞

３次元モデルを作成するためには専門のスキルが必要となるが、現状では地方の建設企業では、それらのスキルを有したオペレーターが不足しており、多大な時間と労力を要した。

４　北陸地方整備局の今後の取組み

４．１　維持管理面における活用検討

試行事業を通して得られた課題のうち、維持管理段階で必要となる属性情報の付与レベルの整理が挙げられる。

CIM 導入の理念として、「調査・設計、施工、維持管理そして更新に至る各情報の一元化による業務効率の向上、公共事業の品質確保、トータルコストの縮減」等を目指すことであり、北陸地方整備局においては、設計段階および施工段階での検討は行っており、今後は維持管理段階での CIM の活用方策の検討を取り組むこととしている。

具体的には、試行工事を実施した橋梁（跨道橋）、築堤、樋管を対象として、各々の構造物の施工段階から引き継がれる CIM モデルを、維持管理段階で効率的に活用するための考え方や手法を検討していく。

４．２　検討のアプローチ（案）

（１）維持管理に必要な項目の整理

前述した対象構造物における、各々の「維持管理基準」や「点検評価要領」を元に、それらの運用に必要となる属性情報の抽出を行う。

抽出にあたっては、設計段階および施工段階での試行結果から得られた課題を踏まえ、構造物全体で一律に詳細な属性情報を付与するのではなく、部位・部材ごとにレベル分けするなどが必要と考えられる。

表-3 に、施設管理（巡視、点検）の元となる各点検項目を踏まえ、必要と想定される CIM 属性情報のイメージを示す。

表-3　橋梁点検時に想定されるCIM属性情報イメージ

部位・部材区部			対象とする項目（損傷の種類） 鋼	コンクリート	その他	CIM属性情報（案）
上部構造	主桁		①腐食 ②亀裂 ③ゆるみ・脱落 ④破断 ⑤防食機能の劣化 ⑩補修・補強材の損傷 ⑬遊間の異常 ⑱定着部の異常 ⑳漏水・耐水 ㉑異常な音・振動 ㉒異常なたわみ ㉓変形・欠損	⑥ひびわれ ⑦剥離・鉄筋露出 ⑧漏水・遊離石灰 ⑨抜け落ち ⑩補修・補強材の損傷 ⑪床版ひびわれ ⑫うき ⑬遊間の異常 ⑱定着部の異常 ⑲変色・劣化 ⑳漏水・耐水 ㉑異常な音・振動 ㉒異常なたわみ ㉓変形・欠損	－	外形形状、 部材（鋼・コンクリート・鉄筋）属性
	横桁					
	床版					
	対傾構			－		外形形状、部材（鋼）属性
	横構	上横構				
		下横構				
	主構トラス	上・下弦材				外形形状、部材（鋼）属性、格点部形状
		斜材、垂直材				
		橋門構				
		格点				
		斜材、垂直材のコンクリート埋込部				
	アーチ	アーチリブ		⑥ひびわれ ⑦剥離・鉄筋露出 ⑧漏水・遊離石灰 ⑨抜け落ち ⑩補修・補強材の損傷 ⑪床版ひびわれ ⑫うき ⑬遊間の異常 ⑱定着部の異常 ⑲変色・劣化 ⑳漏水・耐水 ㉑異常な音・振動 ㉒異常なたわみ ㉓変形・欠損		外形形状、 部材（鋼・コンクリート・鉄筋）属性、 格点部形状
		補剛桁				
		吊り材				
		支柱				
		橋門構				
		格点				
		吊り材等のコンクリート埋込部				
	ラーメン	主構（桁）				外形形状、 部材（鋼・コンクリート・鉄筋）属性
		主構（脚）				
	外ケーブル			－		ケーブル属性
	PC定着部		①腐食 ⑤防食機能の劣化 ㉓変形・欠損	⑥ひびわれ ⑦剥離・鉄筋露出 ⑧漏水・遊離石灰 ⑫うき ⑱定着部の異常 ⑲変色・劣化 ㉓変形・欠損	－	外形形状、 部材（鋼・コンクリート・鉄筋）属性、 PC鋼材属性、 定着部形状

出典:「橋梁定期点検要領（H26.6　道路局 国道・防災課）」を元に作成

（２）設計条件等へのフィードバック

前項で想定した維持管理段階での属性情報については、設計～維持管理までの一元化を構築する上で、設計段階や施工段階で、維持管理を見据えた３次元モデルを作成する必要がある。逆に捉えれば、

維持管理段階で活用されない属性情報がわかれば、これまでの試行結果から得られた課題にあるとおり、設計段階や施工段階において、全ての属性情報の入力によらず、必要最小限の情報での３次元モデルの作成が可能となることから、維持管理段階で必要となる属性情報を前項での想定を踏まえ、施設管理者としての視点でより詳細に検討・整理を行い、設計条件等へフィードバックすることによる３次元モデルの効果的な構築を目指すこととする。

４．３　その他の取組み

（１）平成 27 年度試行事業の検討

北陸地方整備局において、これまでに取り組んだ構造物の設計業務および工事以外において、CIM 導入により効果を発揮できる事業を優先的に導入促進すべく試行対象の拡大を検討する。

（２）官民ＣＩＭ検討会（仮称）の設置

既往の検討事例を元に、CIM の「維持管理段階への展開」に向けて、受注者・発注者が相互の立場から、維持管理に必要な項目、設計条件、属性情報等に意見交換するために、官（当整備局）・民（施工会社および設計コンサルタント等）による検討会の設置を検討中。

この検討会において、維持管理を効率化するためには、設計・施工段階から「どんな情報」を「どの程度まで」付与しておくべきかを整理することとしている。

（３）ＣＩＭ勉強会（仮称）の開催

「CIM」の普及を図る取り組みの一つとして、発注者である当整備局職員が、まずは「CIM」についての理解を深める必要がある。

また、発注者としては、受注者が作成した３次元モデルの可視化や属性情報の管理が主な活用用途であるため、３次元モデル作成ソフトの利用ではなく、３次元モデル統合ソフトの利用が前提となる。

これらのスキルアップを図るため、当整備局職員を対象とした「CIM 勉強会（仮称）」の開催を検討中である。

５　おわりに

平成 24 年度から始まった CIM 構築の取り組みも、４年目を迎えている。

北陸地方整備局においても、能越道中波跨道橋事業および千曲川荻原地区築堤護岸事業の２件で、設計段階および施工段階での試行を取り組んだ。

平成 28 年度の先導的導入事業による「CIM 導入ガイドライン」策定を見据え、当整備局としては、これから維持管理段階での活用方法についての検討を中心に進めていくこととなる。

現時点では、平成 27 年度の取り組み内容としては、まだ検討段階での報告となっているが、理想とする CIM の構築に向けて、当整備局の試行検証の結果がガイドラインの策定に寄与するべく、さらに取り組みを推進して参りたい。

参考文献

1）大臣官房技術調査課：報道発表資料（平成 26 年 12 月 4 日）
2）富山河川国道事務所：平成 26,27 年度北陸地方整備局事業研究発表会資料
3）千曲川河川事務所：平成 26,27 年度北陸地方整備局事業研究発表会資料

玉石混り砂礫地盤に対するシールドマシンの選定と掘進実績

鹿島建設株式会社　北陸支店　富山ライン建設工事 Ｂ工区　シールド工事事務所
所長　竹下　慶輔
機電課長代理　豊田　敏之

１　はじめに

近年、シールドトンネル工法は多種多様化するニーズに対応すべく、口径を問わず、長距離化・大深度化・高速施工といった技術が進むとともに、軟弱地盤から硬質地盤、河川横断や高水圧下といった非常に厳しい条件下においても、多くの施工実績を残している。

国際石油開発帝石株式会社が事業を進めている新潟県糸魚川市から富山県富山市までの総延長 102km におよぶ天然ガス輸送パイプライン（呼称：富山ライン）においても、河川横断部や非開削区間に複数のシールド工法が採用されている。

本稿では、富山県特有の直径１ｍ級の巨礫を含む玉石混り砂礫地盤に対する小口径シールドマシンの選定と掘進実績を報告する。

写真－１　玉石混り砂礫
（立坑掘削時に出土）

２　施工条件

富山ラインＢ工区では、点在する７箇所において掘削外径φ2280㎜の泥土圧シールド工法が採用され、そのうち、常願寺川・黒崎・神通川①・小泉の４箇所が、全線にわたり巨礫を含む玉石混り砂礫地盤を掘進することになった。主なシールド施工条件を表－１に示す。

表－１　富山ライン建設工事Ｂ工区シールド工事一覧

工区	常願寺川	黒崎	神通川①	小泉	北上④	北上⑤	神通川②
シールドマシン							
施工延長	797m	562m	1,521m	983m	1,022m	1,154m	750m
推定土圧	0.11MPa	0.10MPa	0.18MPa	0.23MPa	0.12MPa	0.19MPa	0.20MPa
地質	玉石混り砂礫層	玉石混り砂礫層	玉石混り砂礫層	玉石混り砂礫層	砂礫層 粘土層	砂礫層 粘土層	粘土層
最大礫径	1,050mm	900mm	900mm	630mm	400mm	240mm	10mm
礫強度	143MN/m2	178MN/m2	239MN/m2	219MN/m2	未計測	未計測	未計測
河川横断構造物等	常願寺川	国道 41 号線	神通川 熊野川 NEXCO	宮島川 井田川 ＪＲ高山線	馬渡川	国道 8 号線	神通川

※　河川横断は全て一級河川またはその支川

３　シールドマシンの選定

３．１　施工における課題

施工条件に記載のとおり玉石混り砂礫層を掘進する４工区においては、一級河川・国道・ＪＲ横断といった厳しい条件に加え、事前調査ボーリングの結果から推定直径 630mm～1,050mm という巨礫の存在が想定されたため、連続した破砕掘進とカッタビットの寿命（摩耗限界）による交換作業計画が必要となった。施工計画においては、厳しい施工条件に適合したシールドマシンの選定が大きな課題となった。

３．２　シールドマシンの選定

課題克服のため、主に下記２項目に重点を置きシールドマシンの選定を進めた。

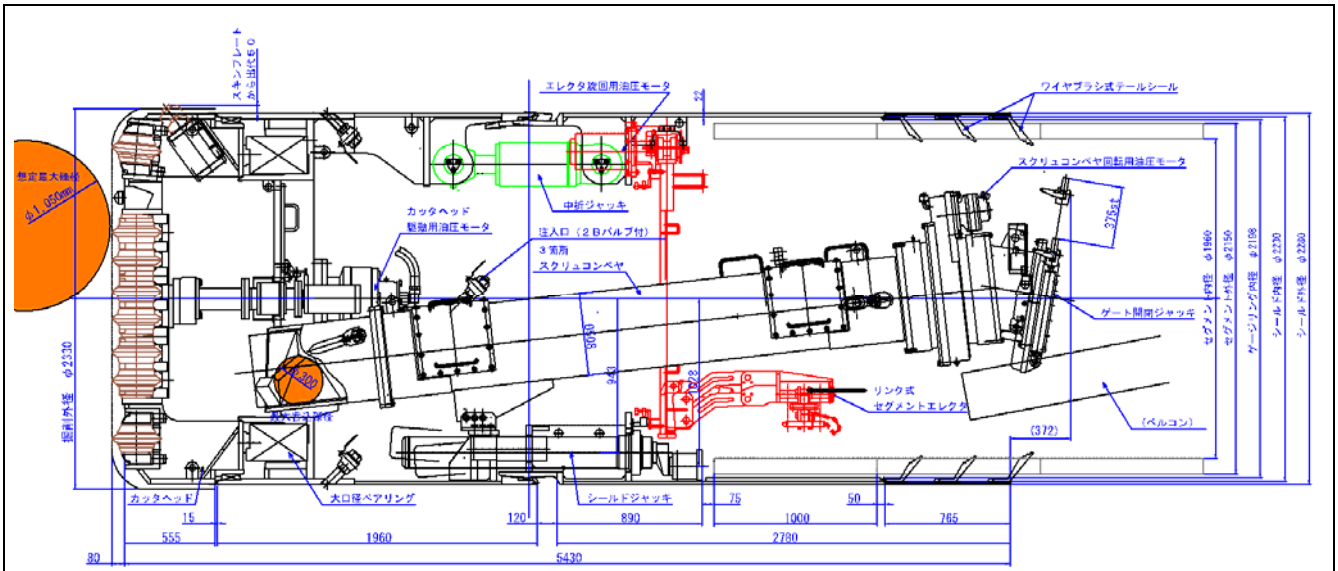
・巨礫・玉石の連続破砕が可能な仕様とすること

・地中でのビット交換作業による長距離施工の実現

巨礫や玉石層におけるシールド掘進の思想は、破砕しながら前進していくことである。破砕掘進は、カッタフェイスにローラビット（ディスクカッタ）を配置することで、切羽にて巨礫や玉石をスリット幅より小さく破砕し、スリットを通過した土砂をスクリュコンベヤにて排土する流れであり、スクリュコンベヤの最大呑込礫径をφ300mm に設定した。

カッタ前面に合計で 15 個のローラビットを配置し、長距離掘進対策として地中でのビット交換作業に優れるセミドーム型のカッタヘッドを採用した。また、河川横断での漏水や耐久性向上として、ワイヤーブラシ式テールシールを３段配置し、最後段にはウレコンシールを採用した。

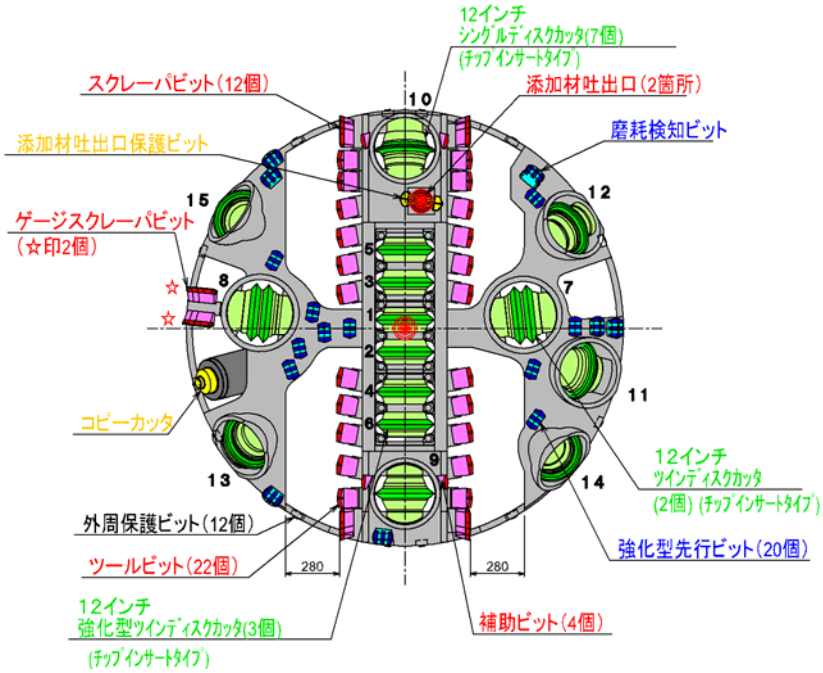
本工事で採用した巨礫を含む玉石混り砂礫層対応シールドマシンの主な仕様を図－１に示す。



カッタヘッド形状	セミドーム型（周辺支持・両回転）	スクリュコンベヤ	リボンタイプ（最大呑込径φ300mm）
カッタ回転数	最大 2.7rpm	スクリュ排土量	25.6m3/h（100%効率時）
カッタトルク	常用最大 409kNm（α値＝34.5）	掘進速度	80mm/min（全数無負荷作動時）
開口率	41%（最大開口幅 280mm）	総推力	4,704kN（588kN×8 本）

図－１　シールドマシン主要仕様（玉石混り砂礫対策）

ローラビット（ディスクカッタ）には、超鋼チップが埋め込まれたチップインサートタイプを採用することで摩耗対策を講じることにした。（図－２・写真－２）



図－２　カッタフェイス正面図

写真－２　ローラビット
（チップインサート型ディスクカッタ）

カッタ回転トルク（カッタを回転させる力）の装備能力は、過去の施工実績などから一般的な論理式であるα＝Ｔ／Ｄ^3（α：トルク係数、Ｔ：カッタトルク（kN・m）、Ｄ：シールド外径（m））によって便宜的に求められており、土圧式シールドのα値の目安は 8～23 以上と示されている。[1)] 泥土圧式シールドにおいて巨礫を掘進する場合、非常に高いカッタトルクが必要となっており、今回選定したシールドマシンは、全線破砕掘進となる過酷な条件を考慮し、カッタモータを３台装備し常用最大 409kN・mの高トルク仕様（α値＝34.5）とした。

４　掘進実績

７工区の掘進実績を表－２に示す。玉石混り砂礫層を掘進した４工区とも、ほぼ計画どおりの進捗であった。大きなトラブルもなく順調に掘進することができ、巨礫や玉石をローラビット（ディスクカッタ）で破砕し、バランスよくスクリュコンベヤにて取り込みが出来ていたと想定される。

表－２　富山ライン建設工事Ｂ工区シールド工事一覧

		常願寺川	黒崎	神通川①	小泉	北上④	北上⑤	神通川②
		玉石混り砂礫層				砂礫・粘土	砂礫・粘土	粘土層
最大月進量	m/月	260	165	300	260	270	300	430
平均月進量	m/月	110	110	130	140	150	190	95
平均掘進速度	mm/min	20	20	25	35	45	45	50
ｼﾞｬｯｷ推力（kN）	平均	3,000	2,700	3,000	2,600	1,900	2,200	2,100
ｶｯﾀﾄﾙｸ（kN・m）	平均	270	250	270	300	240	250	200
ビット交換回数	回	2	1	3	2	なし	なし	なし

ビット摩耗係数から掘進可能距離を逆算し、ビットの交換箇所の選定を行ったが、全ての交換場所で摩耗限界に達する前に点検や交換を実施することができ計画的な長距離施工を実現することができた。

セミドーム型のカッタフェイスを採用したことで、地中でのビット交換も安全に作業することができ、チップインサート型のディスクカッタを採用したことも連続した玉石や巨礫の破砕掘進に対し、非常に優れた効果を発揮した。

破砕掘進中の平均カッタトルクは、装備トルクの 60～80%程度で推移していたが、瞬間最大値は装備トルクの上限に達し何度かオーバートルクによるカッタ停止が発生する状況であったことから、α値＝34.5 という高いカッタトルクを採用したことは、破砕掘進に対し有効な対策であった。

写真－３　切羽で破砕している状況

写真－４　摩耗交換したディスクカッタ

写真－５　排土状況（切羽ＢＣ）

写真－６　排土状況（ズリ鋼車）

５　おわりに

今回、巨礫を含む玉石混り砂礫地盤の破砕掘進の対策として、チップインサート型のローラビット（ディスクカッタ）と、高いカッタ回転トルクを有したシールドマシンを選定したことは、非常に有効的な組み合わせであった。

連続する破砕掘進における厳しい条件下であったため、固定ビット（ツールビット・強化型先行ビット）のチップ欠損などが見受けられたが、セミドーム型のカッタヘッドを採用したことで、地中でのビット交換を計画的に行うことが可能となり、全工区において非常に良い掘進実績を得られることが出来た。

今後、本稿の知見が水平展開されることで同工種の一助となれば幸いである。

１）土木学会：トンネル標準示方書　シールド工法・同解説

新しい斜め土留め方式（斜め控え壁式鋼矢板方式）の開発と現場への展開

株式会社大林組　北陸支店　北電富山 LNGJV 工事事務所　　大川　祥功

1　はじめに

本工事は LNG（液化天然ガス）を燃料とするコンバインドサイクル発電方式の火力発電所を建設する工事である。貯蔵能力 18 万 kL の PC 地上式タンク 1 基（防液堤外径φ83.7m、高さ 40.48m）を含む LNG 燃料設備エリアの土木工事一式のうち LNG を気化するための海水を取り込む取水口構築工事における大規模仮設土留めに対し採用した斜め土留め工法について、新たな補強構造形式と施工法を開発・実用化したことを報告する。

斜め土留め工法とは開削工事にて通常鉛直に構築される土留め壁を傾斜させて構築する工法である。土留め壁を傾斜させることで土留め壁に作用する土圧を低減し、通常必要とされる切梁、グラウンドアンカー等の支保工を省略し、掘削および躯体構築時の工程短縮と施工性向上および品質向上が可能となる。

2　斜め土留め工法採用の背景と技術的な課題

2．1　斜め土留め工法採用の背景

当初設計では掘削深さ GL-8.75m～GL-13.25m に対して、切梁（3～4 段）＋中間杭形式の鋼矢板土留め工法（図-1）が計画されていたが、躯体構築時の施工性向上、工期短縮および品質向上を目的に、支保工を省略した自立式土留めの鋼矢板斜め土留め工法（図-2）を採用した。

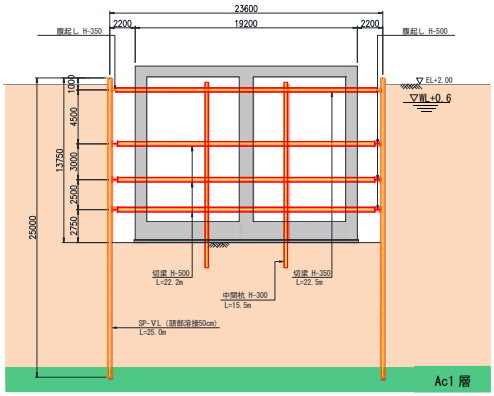


図-1 切梁+中間杭土留め（当初計画）

2．1　構造面の課題

掘削深さが 10m 程度の大規模土留めの場合、鋼矢板斜め土留めの背面に鋼矢板の控え壁を圧入し頭繋ぎで頭部変位を抑制した「控え壁式鋼矢板方式」（図-3）の斜め土留めが開発・実用化されている。本工事でも同方式の斜め土留めを検討するにあたり、最深部は掘削深さが 10m 以上でありかつ地下水位が高く（地下水位低下は不可）、軟弱粘性土層も介しており土留めの安定を確保できないことから、いかに変位を抑制するかが課題であった。

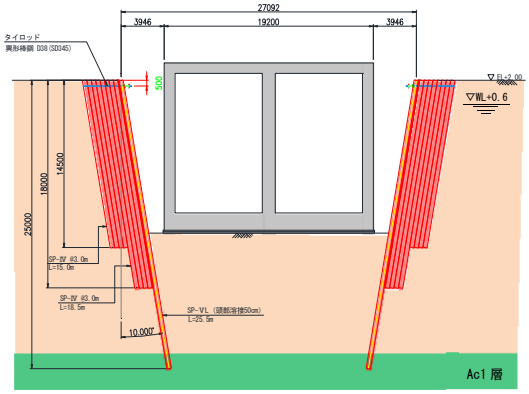


図-2 斜め土留め（変更後）

2．2　施工面での課題

本仮設土留めは、躯体構築時の床付けからの地下水による湧水をできるだけ少なくするために、GL-25m 付近の遮水層（Ac1 層）に根入れする設計となっており鋼矢板全長が 25.5m で計画されていた。従来 20m を超える長尺の鋼矢板を圧入する場合、鋼矢板圧入時に継手を溶接しながら圧入を行っていたが、溶接時に圧入作業

が中断し溶接時間も全体工程に対して影響が大きいこと、現場での不安定な地盤上の溶接作業であり品質に不安が残ることから、事前溶接した 25.5m の長尺鋼矢板を一括圧入することにした。しかし、長尺鋼矢板を斜めに圧入する場合、鋼矢板の中間部で矢板がたわみ、中間の継手部に過大な負荷が作用すること、計画角度を保持して圧入することが困難となる懸念があったため、いかにたわみを抑制し安定して計画角度で圧入するかが課題であった。

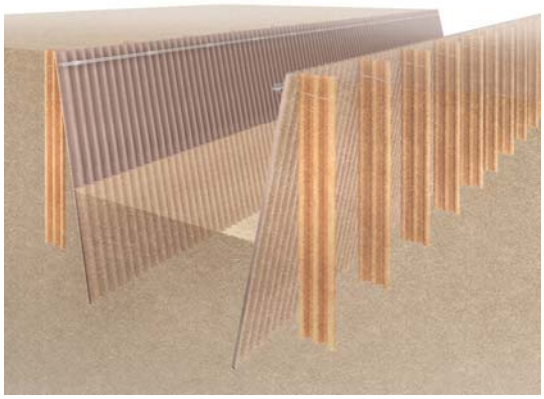


図-3 控え壁式鋼矢板方式

3　解決策

3．1　斜め控え壁式鋼矢板方式の開発

構造面での課題である最深部の床付け付近の土留め壁の変位を低減するには、壁体の曲げ剛性を増加させる必要があった。そこで、実績のある「控え壁式鋼矢板方式」の控え壁を、斜め土留めに嵌合しながら同じ角度で圧入し、斜め土留めと控え壁を一体化した「斜め控え壁式鋼矢板方式」を開発した（図-4）。

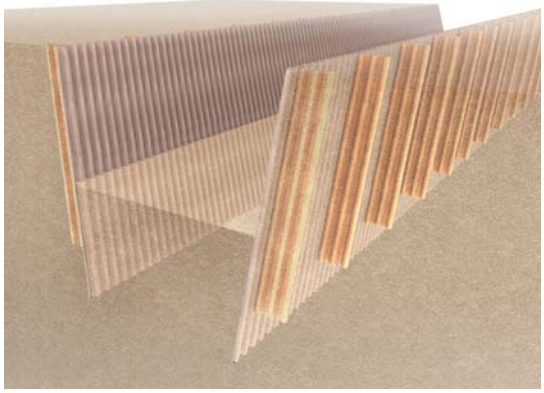


図-4 斜め控え壁式鋼矢板方式

従来の「控え壁式鋼矢板方式」と新たに開発した「斜め控え壁式鋼矢板方式」のそれぞれについて、梁バネ弾塑性解析による構造照査を行った結果を図-5 に示す。壁体の最大変位は 442mm となり、発生応力度も許容値以下となった。さらに、斜め控え壁の効果を確認するため、土の材料非線形性を考慮した 3 次元 FEM 解析を実施した。控え壁位置での FEM 解析結果の変位分布を図-6 に示す。土留め壁の変位は最大で 66mm となり安全性が確認できた。

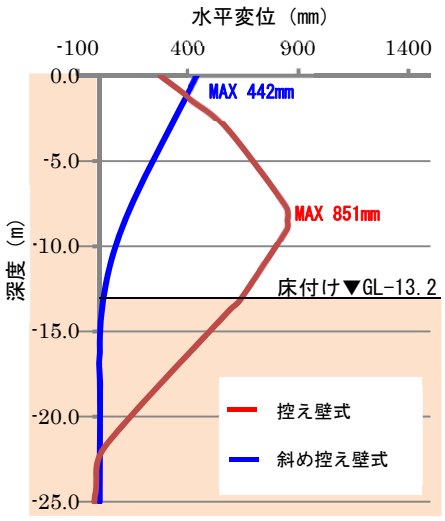


図-5 土留め壁水平変位の比較

今回開発した「斜め控え壁式鋼矢板方式」について、本施工前に斜め土留め背面のセクションに嵌合させながら斜めに控え壁を圧入する試験施工を実施し、本構造で最も重要なポイントであるセクション全長にわたって一体化できることを確認することにした（写真-1）。

写真-1 斜め控え鋼矢板打設状況

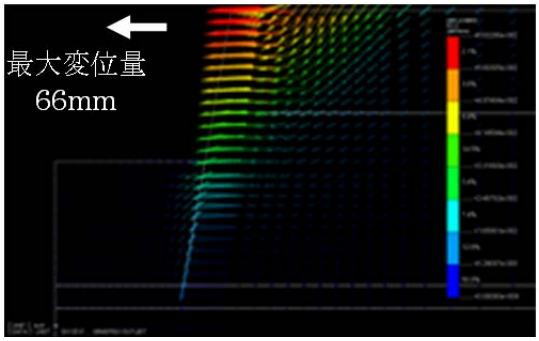


図-6FEM 解析による土留め壁水平変位分布

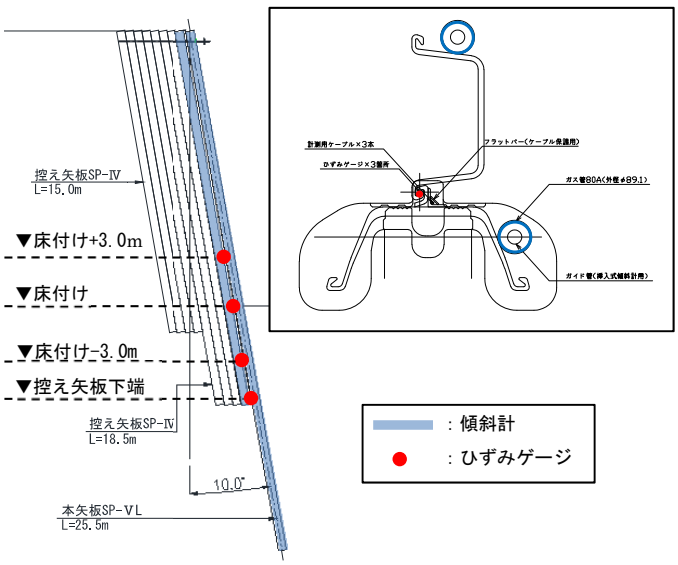


図-7 計測器設置計画図

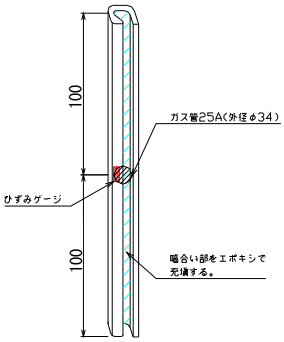


写真-2 ひずみゲージ設置状況

①ひずみゲージによるセクション通過確認

ひずみゲージを斜め土留め背面のセクション内に 4 箇所設置し、通電した状態で控え壁をセクションに嵌合させながら圧入した。セクション内のひずみゲージは斜め土留め打設時に土圧により破損しないようエポキシ樹脂にて保護し最下端部は鉄板で土砂の流入を防止した（図-7、写真-2）。図-8 に計測結果を示す。控え壁の端部がセクション内のひずみゲージを切断しながらセクション下端まで圧入されたことが確認できた。また圧入時の圧力は控え鋼矢板全長にわたり 20ton 程度で安定しており、引抜いた控え壁のセクションにも大きな変形や傷がなく、下端まで安定して圧入されたと判断した。

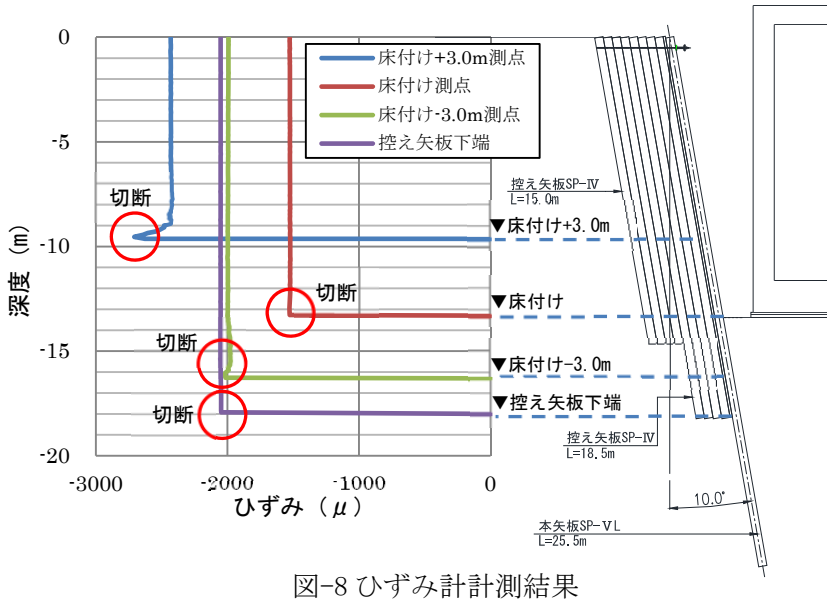


図-8 ひずみ計計測結果

②傾斜計による圧入角度の確認

斜め土留めおよび控え壁の双方の圧入角度を測定するため、鋼矢板に傾斜管を取り付けて圧入した。圧入完了後、傾斜管内に挿入式傾斜計を挿入し、全長にわたって圧入角度を測定した（図-9）。斜め土留めおよび控え壁ともに、設計圧入角度 10° で圧入されたことが確認できた。

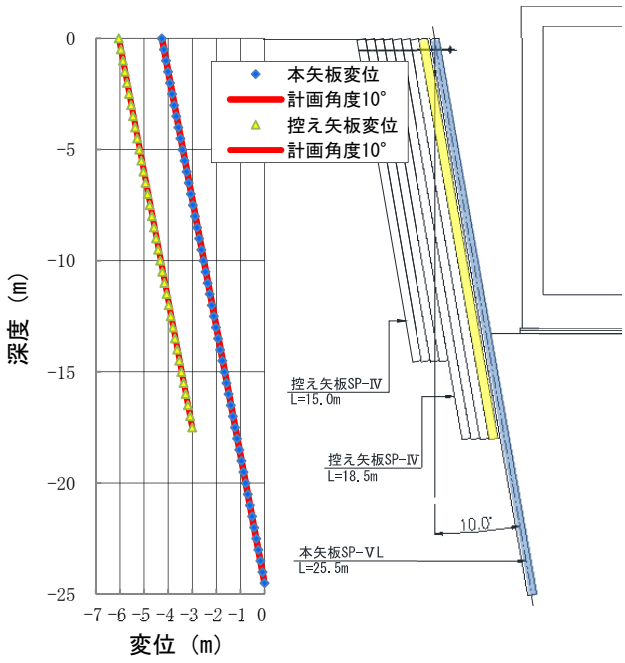


図-9 鋼矢板傾斜測定結果

３．２　長尺鋼矢板一括圧入工法の開発

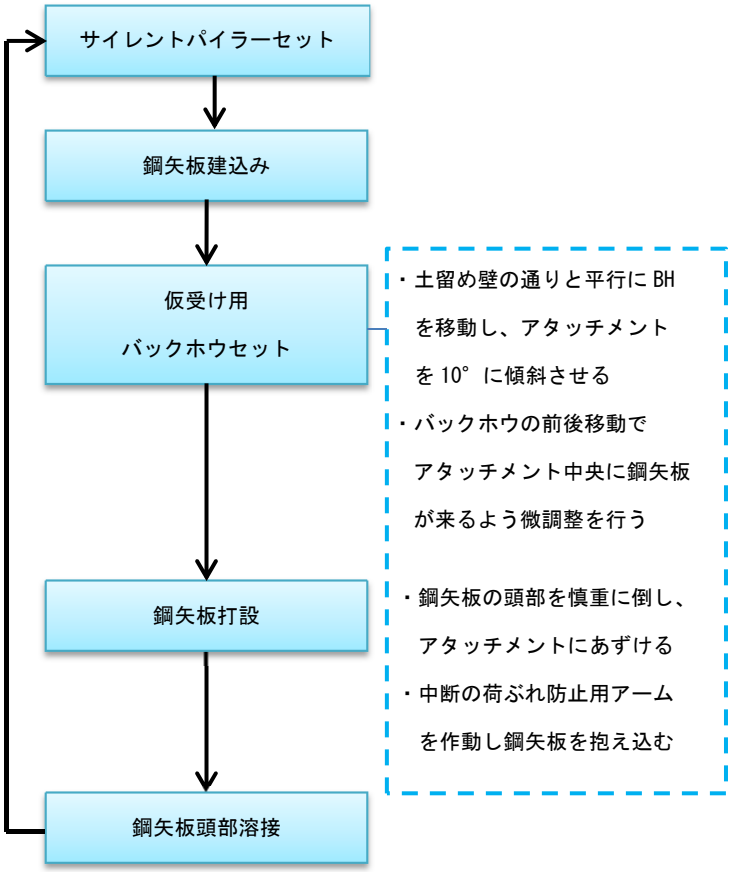


図-10 鋼矢板打設施工フロー図

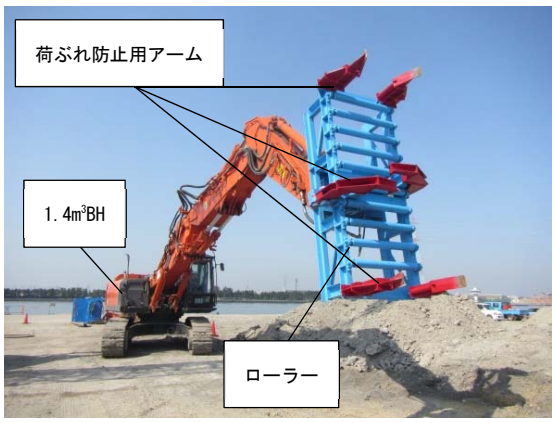


写真-3 仮受け用アタッチメント

写真-4 鋼矢板一括圧入状況

25.5m の長尺鋼矢板を斜めに圧入する際の中間部のたわみを防止するため、1.4m³級のバックホウをベースマシンとして、中間部を仮受けする占用のアタッチメントを開発した（写真-3）。アタッチメントには、鋼矢板の圧入角度に応じて傾斜角をオペレーターが運転席で調整できる機構とした。また強風時でも安全に施工できるよう鋼矢板の荷ぶれを抑えるアームを 3 段取付け、さらに圧入をスムーズに行うために鋼矢板仮受け面にローラーを設置した。仮受け方法は、長尺鋼矢板吊り込み後、アタッチメントを 10° に傾斜させたバックホウを土留め壁と並行してセットし（バックホウの前後移動で鋼矢板の位置にアタッチメントをアジャストする）、鋼矢板頭部を倒しながらアタッチメントに鋼矢板をあずける。その後荷ぶれ防止用アームのうち中段アームで鋼矢板を抱え込み圧入を開始する（写真-4）。中間部を含めた鋼矢板全長で計画圧入角度 10° を保持した状態で所定の深度まで圧入できることを確認でき、一括圧入工法の採用で、施工歩掛は当初の二枚分割圧入時の 6 枚/日から 11～12 枚/日と約 2 倍となり大幅な工期短縮を実現することができた。

４　まとめ

本取水口工事では、掘削効率アップや躯体構築時の施工性向上による工期短縮、躯体構築時の品質向上を目的に、当初計画の切梁＋中間杭による仮設土留め工法を、施工段階で斜め土留め工法に見直した。しかし、本工事では、最大掘削深さ 13.25m で地下水位が高く従来の斜め土留め工法の新たな構造形式の「斜め控え壁式鋼矢板方式」を開発・実用化した。さらに、25.5m の長尺鋼矢板を斜めに一括圧入するための占用のアタッチメントを開発・実用化できたことで、大幅な工程短縮に成功した。本工事での施工実績が、今後の斜め土留め工法の適用範囲の拡大および工期短縮の一端になれば幸いである。

「Made in 新潟 新技術普及・活用制度」の概要

新潟県土木部　技術管理課　技術管理班　主任　　渡辺　健

１　はじめに

「Made in 新潟 新技術普及・活用制度」（以下、「本制度」という。）は、新潟県内の企業が開発した建設分野の新技術を広く情報公開し、新技術の普及と活用を促す制度である。本制度は、社会資本整備の質の向上や県内企業の技術力向上、ひいては県内建設産業の育成を図ることを目的とし、新潟県が平成 18 年度に創設した制度である。

また、県では開発企業だけでは難しい県外への販路開拓を支援するとともに、県発注工事等で活用した結果を公開することにより、全国での普及・活用を促している。

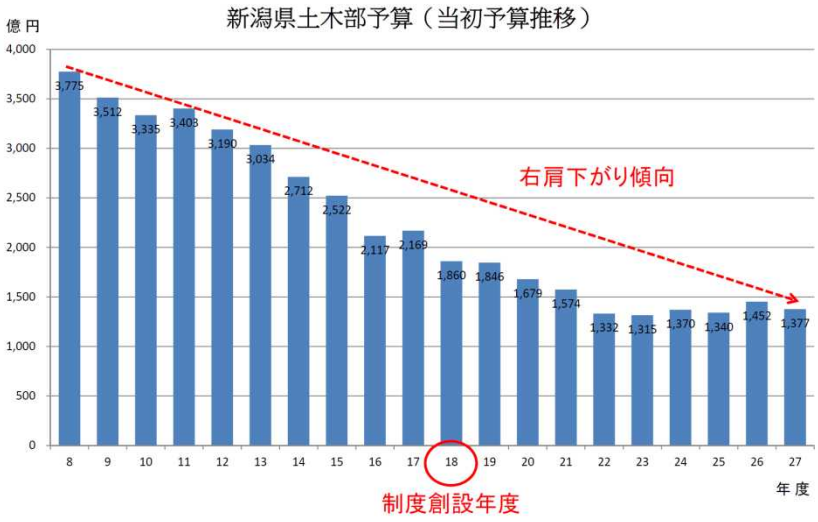
２　制度の必要性

２．１　建設産業の現状

新潟県における建設産業は、社会基盤の整備のみならず、道路・河川等の維持管理、除雪、災害復旧など、重要な役割を担い、地域にとって欠かすことのできない産業である。

しかし、近年の建設市場の縮小（**図－１**）により、建設産業は厳しい経営環境に置かれている。

これらの変化に対応すべく、経営基盤の強化、経営革新や新分野進出等に官民一体となって取組んでいる状況にある。



図－１　新潟県土木部予算の推移

２．２　制度の意義

新潟県内の建設企業は、厳しい経営環境下においても、創意工夫と自助努力により、地域の保全に貢献しており、県がこれらの企業やその試みを後押しすることには大きな意義がある。

また、県内企業が開発した新技術を県発注工事等で積極的に活用し、活用結果を公表することで、全国での普及を促すことは開発企業の経営基盤の強化につながり、地域に欠かすことのできない建設産業の経営健全化は、結果として地域住民の安心・安全につながる。

これらを背景に、新潟県は建設産業の振興策の１つとして、平成 18 年度に本制度を創設し、新技術の普及と活用を促し、県内建設関連産業の活性化に取り組んでいる。

３　制度の概要

３．１　技術の申請

本制度に登録するための申請要件を以下に掲げる。

・ 新潟県内に主たる営業所（本社、本店）がある企業等の法人が直接開発した技術であること

・ 土木、港湾および建築分野に適用できる技術であり、実用化されていること

３．２　技術の審査

申請のあった技術について、学識経験者および有識者等で構成される新技術評価委員会（以下、「評価委員会」という。）で、以下に掲げる基準により登録の可否を審査する。

・ 「従来技術より活用効果が高い技術」または「従来にはない画期的な技術」であること

・ 各種仕様書・関係法令等に適合することが明確であること

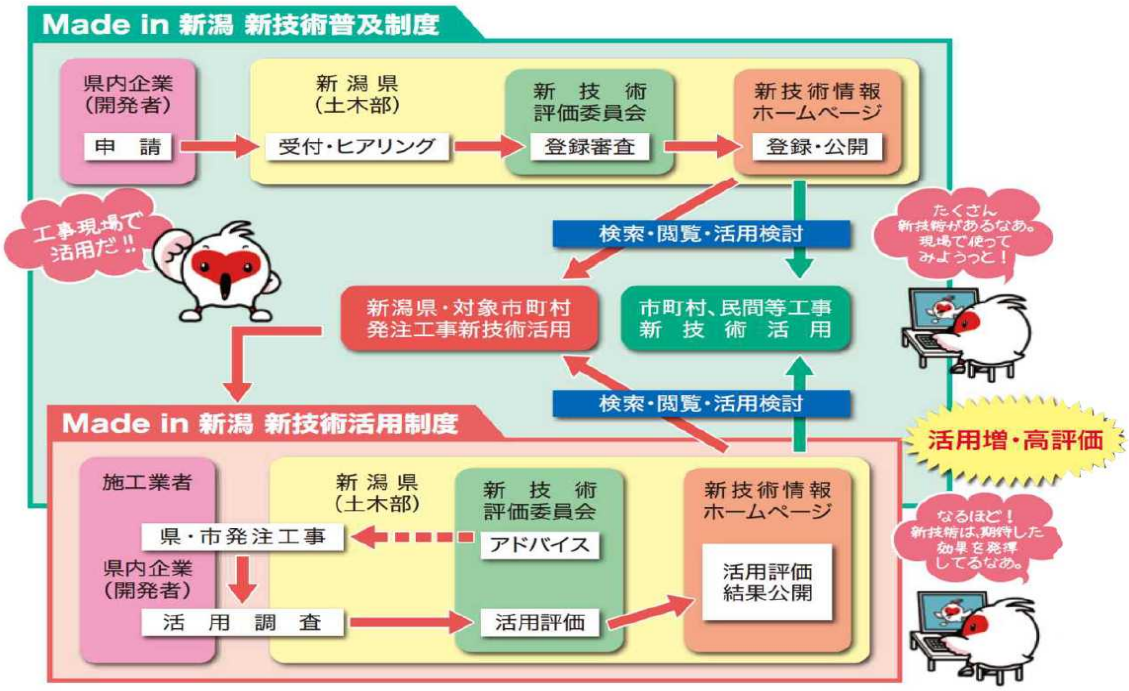
・ 論理的な根拠があり、技術的な事項に係る性能・機能等が実験等の方法で確認されていること

３．３　「普及制度」と「活用制度」

本制度は「普及制度」と「活用制度」の２つで構成される。（**図－２**）

「Made in 新潟 新技術普及制度」は、評価委員会の審査で登録適当とされた技術を「Made in 新潟 新技術情報データベース」（以下、「データベース」という。）に登録し、その技術が新潟県はもちろん、県内の市町村や国等の官公庁、民間企業、そして県外まで広く普及することを促す制度である。

「Made in 新潟 新技術活用制度」は、データベースに登録した新技術のうち、新潟県や対象市町村が発注した工事において活用効果を調査・評価し、この結果を公開して、他の現場での活用や技術改良を促す制度である。



図－２　制度の概要

３．４　優れた新技術へのインセンティブ

データベースに登録されている技術の中で、活用効果（活用評価が高得点）が高く、活用実績（活用件数または売上額）の多い技術を「Made in 新潟 ゴールド技術」（以下、「ゴールド技術」という。）に認定している。さらにその中でも評価委員会で、県内外で高い評価・需要が期待できると認められた技術を「Made in 新潟 プラチナ技術」（以下、「プラチナ技術」という。）に認定している。（ロゴマークは**図－３**）

ゴールド技術に認定された技術は、技術の信頼性の向上、更なる普及・活用の拡大が期待できる。

また、開発企業は新潟県と共同出展する県外の建設見本市へ優先的に参加することができる。

プラチナ技術に認定された技術は、「Made in 新潟 プラチナ技術」の名称を永久使用でき、県歩掛や県単価の標準化を優先的に実施している。

また、開発企業は県外への販路開拓のための補助金を受けることができる。（販路開拓支援事業）

図－３　ロゴマーク
ゴールド・プラチナ技術

３．５　販路開拓支援事業

前節で述べたプラチナ技術に認定された技術の開発企業を対象に、県外で配布される出版物やチラシ等の広告掲載費や、新潟県外で行うデモ施工費、見本市への出展費等に補助金の交付を行っている。これにより、開発企業の県外での戦略的な販路拡大を後押ししている。

３．６　新技術（シニア）

登録期間（登録時６年、活用評価実施技術８年、ゴールド技術 12 年、プラチナ技術 15 年）が満了した技術は、開発企業が希望すれば「新技術（シニア）」（以下、「シニア技術」という。）として制度に登録され、県は引き続き普及の支援を行う。ただし、シニア技術は活用評価を受けることができない。（ロゴマークは**図－４**）

図－４　ロゴマーク
シニア技術

３．７　その他取り組み

これまで述べたほか、「設計」「積算」「発注」「施工」の各段階で登録技術の活用を促進するための取り組みを実施している。

設計段階：設計委託の比較検討の選定において、本制度の新技術を含めることを義務づけ

積算段階：活用が進み評価の高い技術の県標準歩掛を設定、活用が進んでいる技術（製品・材料）の県単価を設定

入札段階：総合評価落札方式において、本制度の新技術の活用を提案した場合、加算点で加点

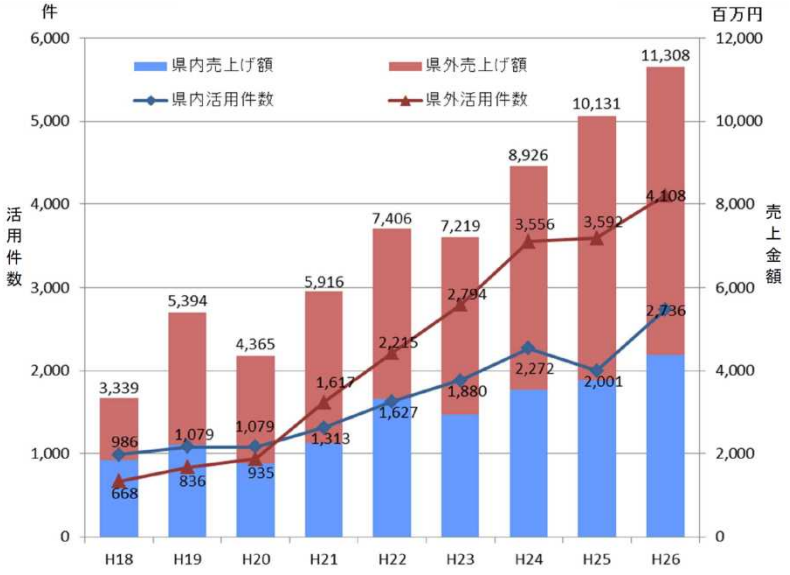
施工段階：受注者の提案で新技術を活用した場合、工事成績評定で加点

４　活用実績

平成 18 年度から平成 26 年度までの「Made in 新潟 新技術普及・活用制度」の活用件数および売上の推移を示す。（図－５）

平成 18 年度の制度創設以来、着実に実績を伸ばしており、平成 26 年度までの累計で活用件数が約 35,000 件、売上金額が約 640 億円となった。

また、平成 26 年度売上金額約 113 億円の約６割が県外売上げであり、全国へ普及している。



図－５　Made in 新潟登録技術の活用・売上状況

５　広報活動等

５．１　イベントの開催と参加

新潟県は、本制度および本制度に登録されている新技術の概要や、実際に活用した状況等を多くの人々に知ってもらう場として、「Made in 新潟 新技術展示・発表会」や「Made in 新潟 新技術説明会」を毎年開催している。

また、これまで「けんせつフェア北陸」、「EE 東北」（仙台市で開催の建設見本市）といった県外のイベントに参加し、本制度および登録技術を県外に向け発信し、更なる県外への販路拡大を支援している。

５．２　新技術情報提供システム（NETIS）との連携

平成 26 年度から新技術情報提供システム（NETIS）（以下、「NETIS」という。）との連携が始まり、NETIS の推奨技術等へ新潟県からの推薦が可能となり、平成 27 年度準推奨技術に本制度プラチナ技術が選定された。

６　おわりに

建設工事における新技術の導入は、建設コストの低減、社会資本の長寿命化等の良質な社会基盤の整備に寄与するものである。新潟県は本制度により新技術の普及と活用を促すことで、今後も県内建設産業の活性化を推進していく。

加えて、登録技術の県発注工事における積極的な活用を行い、特に、プラチナ・ゴールド技術をはじめとする活用効果の高い技術については、今後も県内外での更なる販路拡大を支援していく。

最後に、本制度については、ウェブページ（「Made in 新潟」で検索）にて広く情報を公開しているので、現場での工法、技術を検討の際にはご覧いただきたい。

第2会場

第Ⅰグループ

斜め・水平施工を可能とする機械攪拌系地盤改良工法の開発
WinBLADE 工法

日特建設株式会社　技術本部　設計部課長　髙橋　学

1　はじめに

新たな機械攪拌方式の原位置攪拌改良工法として、地中拡翼型の攪拌装置を用いた工法“WinBLADE 工法”（以下、「本工法」と言う）が開発された。本工法では、閉じた状態での攪拌翼を地中に挿入し改良範囲端部で直径 1.2mに拡翼した後、固化材を供給しながら原位置攪拌を行い、円柱状の固結改良体を造成する。斜め・水平の改良も容易に行えることが特徴で、既存施設周辺、直下を対象とした液状化対策、耐震補強への適用を想定している。本報では、本工法の概要と特徴を説明する。

2　工法概要

本工法は、開閉可能な攪拌翼を用いた機械攪拌工法である。挿入したビットを地中にて直径 1.2m もしくは 0.8mに拡径し、セメント等の固化材をスラリーとして吐出し、地盤と混合攪拌することにより、ソイルセメント改良体を造成する。

小型の機械を使用することにより機動性に優れ、角度を調整することにより、鉛直だけでなく従来工法では対応できなかった斜めや水平方向の改良体を造成することを可能としている。また、併せて開発した監視・自動制御システム（FRP 制御システム）を使用し、効率的かつ安定的に改良体を造成することができる。本工法の施工手順を図-1 に示す。

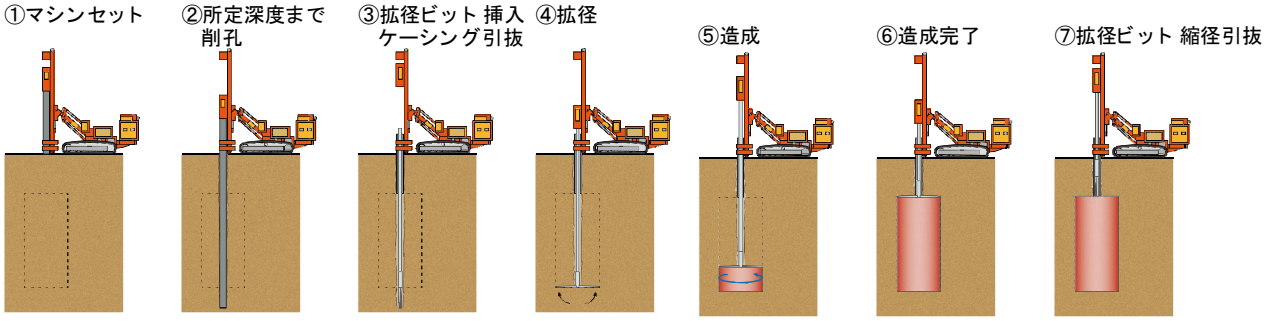


図-1 WinBLADE 工法施工手順

3　工法の特徴

本工法の主な特徴は、“開閉可能な攪拌翼”、“特殊小型機による機械攪拌”および“自動制御システムのよる施工管理”である。以下にそれぞれの特徴について詳細を述べる。

3．1　開閉可能な攪拌翼

写真-1 に攪拌翼の開閉状況を示す。この攪拌翼に開閉機構を設けたことが、本工法の最大の特徴であ

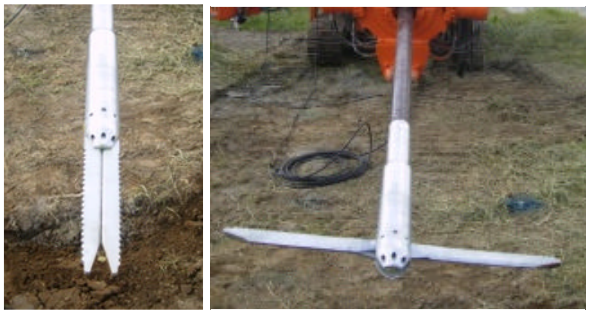


写真-1　攪拌翼開閉状況

る。従来の攪拌翼を使用した機械攪拌工法は、改良径＝攪拌翼長さであり、直径 1.2mの改良体を造成する場合の攪拌翼長さは 1.2mとなる。そのため土被り部（未改良部）は貫入・引抜時に改良径と同等の地盤が乱され、場合によっては貧配合の固化材にて土被り部を改良しなければならない場合がある。

それに比べ、本工法は攪拌翼が開閉可能であり、直径 1.2mの改良体を造成する場合でも、土被り部の乱される範囲は、削孔用ケーシングの直径である 165mm のみとなる。また、従来工法では地中埋設物が改良範囲上部や改良範囲内に存在する場合、施工不可能であった。本工法は攪拌翼の開閉を行うことにより、地中埋設物をかわした改良が可能である（図-2）。

図-2　地中埋設物をかわした施工例

３．２　特殊小型改良機による機械攪拌

本工法で使用する改良機は、改良型のロータリーパーカッションドリル（RPD-150CLF）を標準としている（写真-2）。自走することが可能であり、ガイドセルを鉛直から水平まで傾けることが可能である。これにより、狭隘な現場でも対応が可能であり、従来工法が鉛直施行のみを標準としているのに対して、本工法は、鉛直、斜め（写真-3）および水平の改良体を造成することが可能である。これを利用して、今まで困難であった既設構造物直下の改良を行うことができるのも、本工法の特徴である。

写真-2　ロータリーパーカッションドリル

写真-3　斜め施工状況

３．３　自動制御システムによる施工管理

本工法は均質な改良を造成するべく、自動制御システム（FRP 制御システム）を搭載している。

従来工法では、セメントスラリーの単位時間当たりの吐出量は一定であり、硬質地盤により貫入・引抜の速度が一定に保てず、貫入・引抜時間が伸びた場合、改良対象土への固化材添加量は過大となる。また、改良対象土と固化材の攪拌混合回数（羽根切り回数）は機械攪拌工法の改良品質に大きな影響を及ぼし、この制御が改良体の均質性を左右すると言える。

図-3 に自動制御システム概要を示す。回転制御装置に設置した回転計にて回転速度を計測し、その情報を制御装置に伝達する。次に、回転速度をもとに、単位改良長あたりの攪拌混合回数が一定値を保つフィード

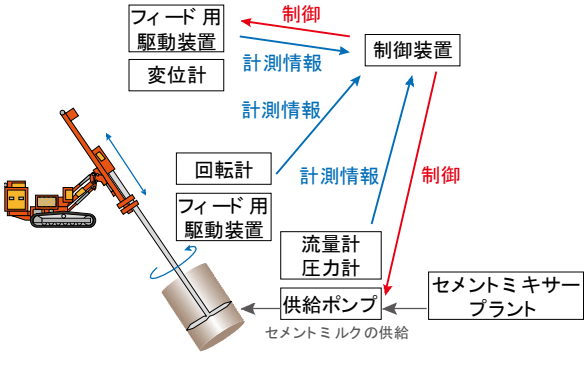


図-3　自動制御システム概要

速度に制御される。さらに、そのフィード速度から単位体積あたりの固化材添加量が一定に保たれるように、供給ポンプの吐出量が自動制御される。

これらの一連の流れにより、地盤の変化によって回転速度が変動しても、それに連動するようにフィード速度およびセメントスラリーの供給量が自動制御され、攪拌混合回数および固化材添加量の最適化を図ることが可能となる。また、施工時の管理が自動化されることにより、省力化や安全性の向上にもつながっている。

4　造成実験

本工法にて浚渫土層、沖積砂層を対象として造成実験を行った内容を報告する。[1)]

4．1　対象地盤概要

造成実験で改良対象となる地盤の基本物性、地層構成及び造成位置を図-5 に示す。造成長は 2.0m/リフト×4 リフトで合計 8.0mとなる。対象地盤は下層から順に、1 リフト目が位置する GL-7m以深には自然堆積の沖積砂層（As）が存在し、2 リフト目以浅となる上層は、砂層、粘土層が互層に存在する浚渫土層（Fs1, Fc1, Fs2, Fc2）である。

東日本大震災の際の噴砂跡が実施工箇所周辺で残っており、Fs1、Fs2 層が液状化したことが確認されている。

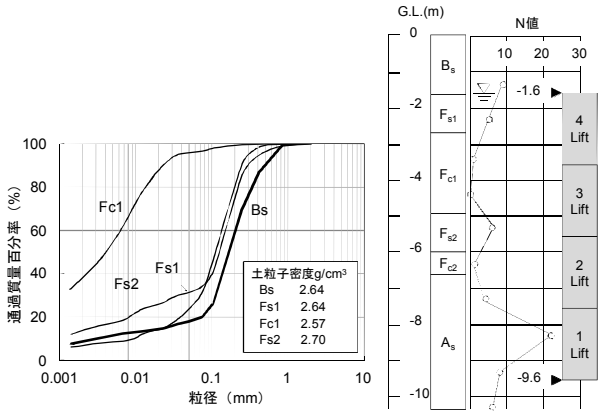


図-5　粒度分布・土粒子密度，地層構成造成位

4．2　施工状況

図-6 に 1 リフト目、図-7 に 3 リフト目のモニタリング・制御結果を示す。ここで、左軸の移動距離は各リフト下端位置を 0 として、2mの引き上げ、押し下げの動きを示し、回転速度とセメントスラリーの吐出量を併記している。沖積砂層を対象とした 1 リフト目では、終始計画通りの回転速度、セメントスラリー吐出量が確保できた。これに対して、浚渫砂・粘土層を対象とした 3 リフト目では、1 回目の引き上げ時にフィード速度、回転速度が低下し、それに連動してセメントスラリー吐出量も抑えられ、その後の押し下げ、引き上げ時は、1 リフト目と同様に安定した動作が確保された。

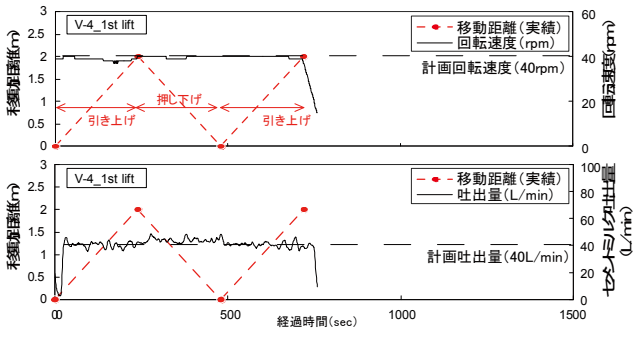


図-6　1 リフト目回転速度と吐出量の推移

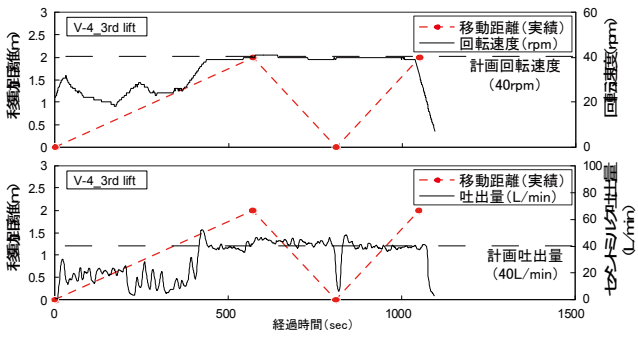
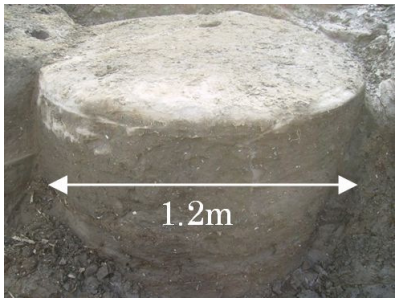


図-7　3 リフト目回転速度と吐出量の推移

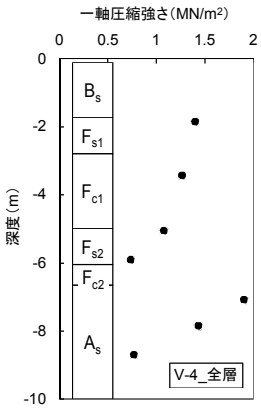
４．３　事後調査

7 日程度の養生後、Fs1 層から Fc1 層にかかる深度まで掘り起こし、造成帯上部 1mほどを目視観察し直径 1.2mの造成体を確認した（写真-4）。その際、周辺の掘削箇所から木片、植生跡が認められ、上記で示した不規則な施工動作の要因であると推測した。



写真−4　改良体上部の状況

その後、造成部分全長にわたりロータリー式スリーブ内蔵サンプラーにてコアを採取し、コア採取率（コアの断面の 50%以上が固結したと認められる長さの割合）を確認したところ、全体では 89%となり品質の良否の目安となる 90%[2)] をほぼ満たすことができた。ただし、各地層で評価すると、沖積砂層では全体が 100%であったのに対して、浚渫土層では 80%を切る箇所が Fc1 層に生じ、粘性の高い層では品質改善の必要性が認められた。また、本コアより試料を採取し、一軸圧縮強さを求めた結果を、図-8 に示す。本結果では特に送区分による著しい強度差は認められず、Fs1 層、Fc1 層について行った室内配合強度との比較により、現場室内強度比は 1/3 程度であることを確認した。



図−8　一軸圧縮強さの分布

４．４　造成実験結果および課題

施工実験を通して、浚渫土層、沖積砂層、での施工動作の違い、改良品質の傾向をまとめた。沖積砂層については既存の攪拌改良工と同等の改良が達成される一方、不均一性、不純物の混入が見られる浚渫土層については、攪拌回数の割り増し等による品質向上の必要性が認められた。

５　まとめ

造成実験から、本工法による地中内での攪拌翼の開閉を用いた改良体造成の確実性と、自動制御システムによる施工管理の有効性を確認できた。新たに開発した工法として、今後施工実績を重ねていくうえで、様々な課題が生じていくことが考えられる。それらに対応しつつ、より良い工法となるよう改善を進めていきたい。なお、「平成 23 年度震災対応型液状化対策技術の開発」、「浦安市が管理する施設を利用した液状化対策技術の開発」から得られた成果である。関係各位のご協力に感謝申し上げます。

参考文献：1）石井裕泰，藤原斉郁，小林真貴子，青木智幸，立石洋二，菅浩一，三上登，佐藤潤：地中拡翼型の地盤改良工法の開発～浚渫土層，沖積砂層での造成～，土木学会第 68 回年次学術講演会 pp.591-592、2013.

2）建築のための改良地盤の設計及び品質管理指針，日本建築センター，2002

水門等遠隔監視制御システムの整備について

（株）興和　水工部　　大川　滋

1　はじめに

新潟県中越地方を流れる信濃川および魚野川には国土交通省信濃川河川事務所が管理する水門・樋門・樋管等のゲート設備や排水機場等の排水設備が多数ある（**写真-1,2**）。これらの設備は、維持管理として日常点検や定期点検を行っているものの、施設の老朽化により突発的に故障する場合もあり、早期復旧するためには故障箇所の速やかな特定が不可欠である。また、水位上昇時などは施設操作員が現地に行き、ゲートや排水機場の運転操作をして対応しているが、操作員の高齢化や安全確保などが課題と思われる。

本稿では、河川水位や各設備の運転状況・故障発生を常時監視し、信濃川河川事務所および出張所から水門や排水機場を操作することを目的に構築した「水門等遠隔監視制御システム」について報告する。

写真-1　ゲート設備

写真-2　排水設備

2　システム概要

図-1 に示すのが水門等遠隔監視制御システムの概要図である。本システムは、河川事務所、出張所および光ネットワークでループ接続された現地設備で構成されている。各設備の情報を事務所と出張所に設置した管理サーバで取得し、各監視表示端末の WEB ブラウザ画面上で確認することができる。なお、光ネットワークは、既設の伝送ネットワークに VLAN 設定を行い利用した。

表-1 に監視・制御項目を示す。樋門や樋管では、ゲートの開閉動作、ゲートの状態（開度）、内水位や外水位等の情報を主に通信している。また制御では、ゲートの開閉、排水設備のポンプの運転、非常用発電機の運転などを遠隔地の出張所や事務所から行うことができる。

表-1　監視・制御項目

ゲート （水門・樋門・樋管）	監視	ゲート開閉状態（全開、全閉、開中、閉中、開度）、異常発生の有無、内水位・外水位、等
	制御	開操作、閉操作、等
	その他	音声の送受信
排水機場 （ポンプ・発電機）	監視	設備状態（運転、停止）、異常発生の有無、等
	制御	運転操作、停止操作、等

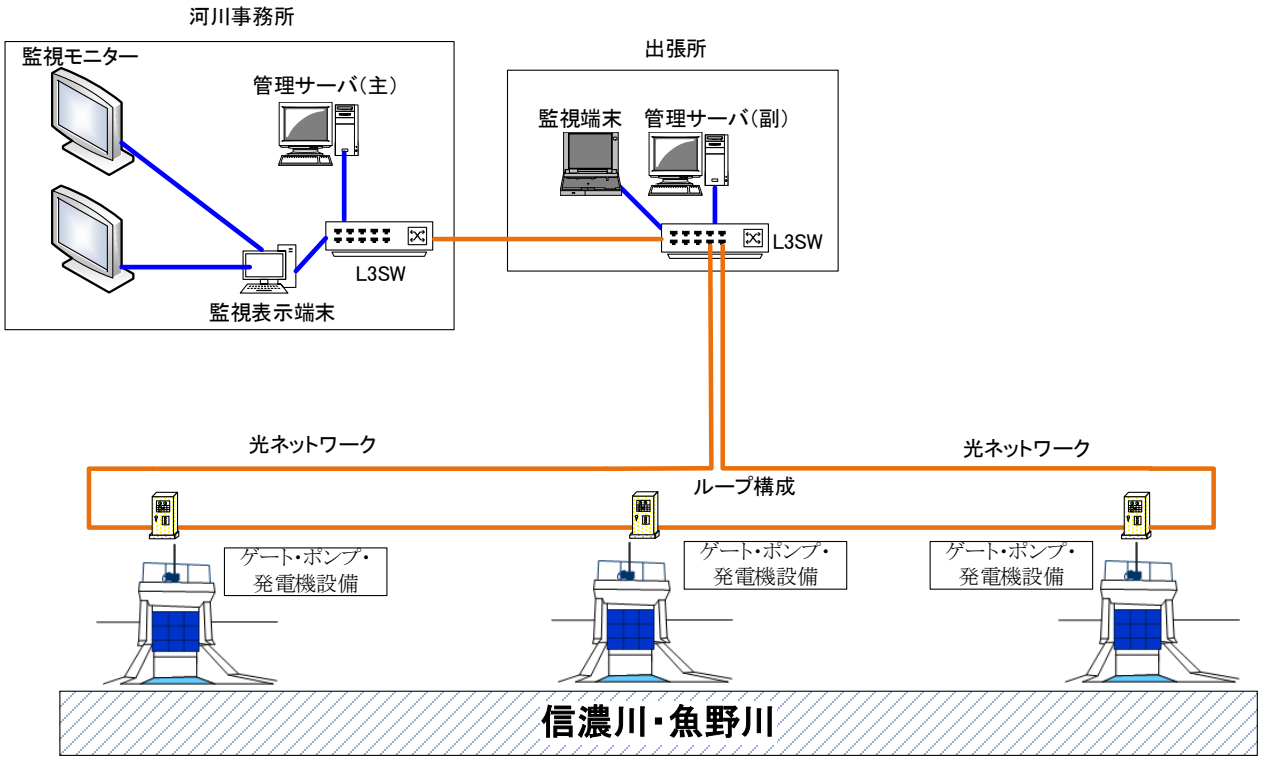


図-1　水門等遠隔監視制御システム概要図

3　システム構成・特徴

3．1　河川事務所・出張所設備

今回導入したシステムは、信濃川河川事務所に主サーバを設置し（**写真-3**）、堀之内出張所に副サーバを設置している。これらは監視情報を自動的に同期することでサーバの二重化を行っており、片側に障害が発生しても、もう片側でシステムの運用を継続できるようになっている。

事務所の遠隔監視端末（デスクトップＰＣ、**写真-4**）は、サーバに接続可能で、蓄積されているデータを WEB ブラウザで表示することができるようになっている。

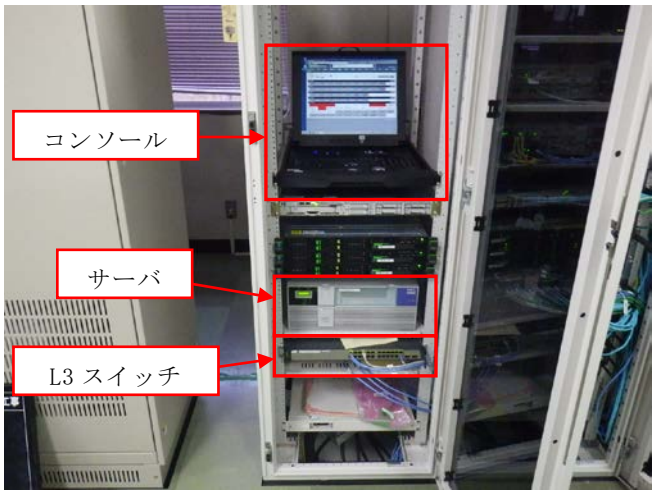


写真-3　河川事務所　サーバ

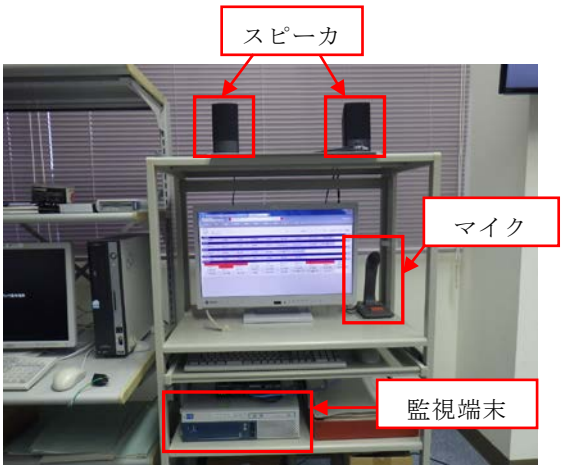


写真-4　河川事務所　監視端末

また、同様に出張所の遠隔監視端末（**写真-5**）もサーバに接続可能である。河川事務所内では、遠隔監視端末の画面を災害対策室等に設置したモニターでも確認することができるようになっており（**写真-6**）、異常が出ているかどうかを常に確認できるようになっている。

さらに遠隔監視端末には、スピーカ・マイク・音声伝送装置が設置してあり、必要があれば設備側のスピーカにリアルタイムで音声を流すことができ、設備側の音も現地の集音マイクで拾って端末側で聞くことができる。

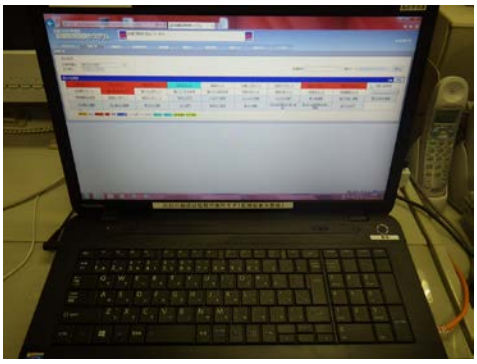


写真-5　堀之内出張所　監視端末

写真-6　災害対策室　液晶モニター

３．２　現地設備

今回の工事では、現地の制御装置としてさまざまな監視・制御に対応する多機能データロガーを採用した。これにより各種設備のデータ取得や遠隔操作が容易にできるようになった。

小型のゲート設備については既設のゲート操作盤に多機能データロガー等を組み込んだ(**写真-7,8**)。これによりゲートの状態（開中、閉中、全開、全閉等）や故障情報などの信号はロガーに入力された後、サーバに伝送される。また信号の状態が変化するとただちにサーバへ通信を行い、WEB ブラウザ表示に反映される。

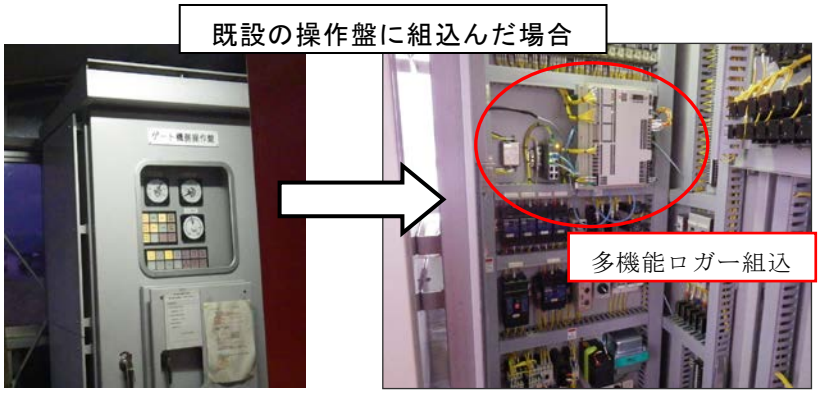


写真-7　ゲート操作盤　　**写真-8　組込状況**

大型のゲート設備や、ゲートと排水機場が同一箇所にある施設は、制御装置収納用の制御盤を別途用意し、その中に多機能データロガー等を組み込んだ（**写真-9,10**）。これらはゲート設備情報以外にもポンプ運転・停止情報や、詳細故障情報等を監視している。

また、現地についているスピーカや集音マイクは、事務所や出張所と音声の送受信をするときに使用する（**写真-11,12**）。

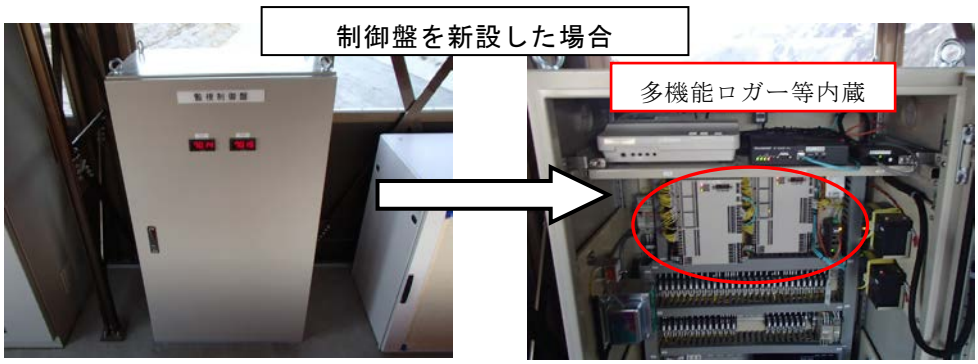


写真-9　新設した制御盤　　写真-10　制御盤内の状況

写真-11　樋管建屋　　写真-12　回転灯・マイク・スピーカ

３．３　監視画面

本システムの監視画面は、WEB ブラウザで閲覧できるようになっている。全設備の状態を色別に表示する機能などをもっており、直感的に全体の状況を把握することができる（**図-2**）。これ以外にも、個別施設の表示操作画面（**図-3**）、水位データのグラフ（**図-4**）、ゲート開閉等の操作履歴、稼働履歴および稼働グラフ等がある。

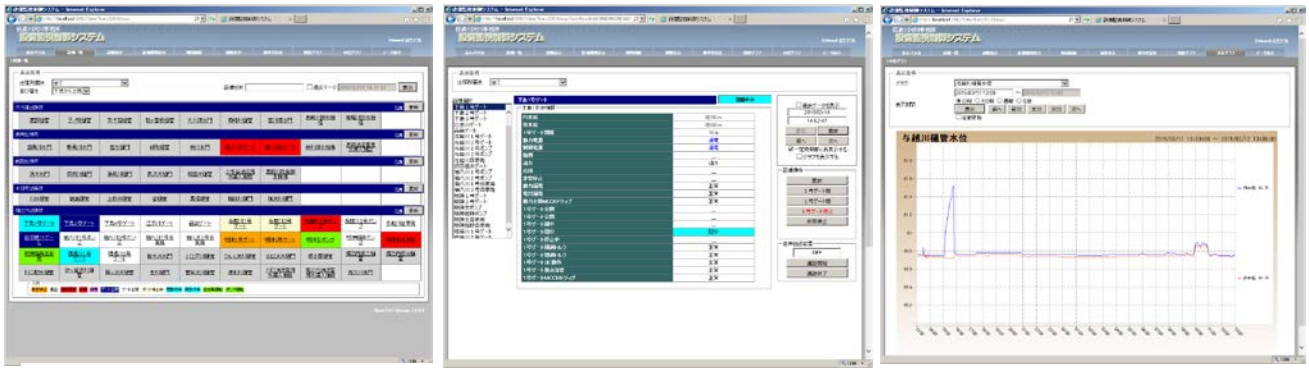


図-2　設備一覧画面　　図-3　個別施設の表示操作画面　　図-4　水位グラフ画面

４　おわりに

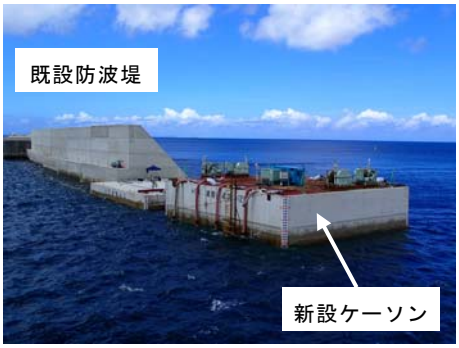
今回の施工範囲は、管理している設備全体の一部であったが、システムの設置により常に設備の状態を遠隔監視できるようになり、河川水位等の情報も一目で見られるようになった。また、現地に行かなくても遠隔から設備操作を行えるようになり、今後の設備運用に役立てることができるようになったと考えられる。

ケーソン据付の安全性・施工性向上技術

株式会社本間組　土木事業本部技術部技術開発研究室　係長　○本間　義信
土木事業本部土木部工事課　担当課長　早川　洋史
土木事業本部土木部工事課　担当課長　田中　淳二
土木事業本部機電部　担当課長　堀内　亮二
土木事業本部技術部　技術開発研究室長　岩田　秀樹

1　はじめに

港湾や漁港での防波堤築造工事において、ケーソンを製作した後、浮上させ、引船にて曳航した後に、所定位置に沈設する作業が行われている。防波堤の延伸や沖合展開に伴い、近年、より海象条件の厳しい環境下での施工管理を余儀なくされ、とりわけ作業員の安全確保が重要な課題となっている。また、そのような条件の下、限られた施工可能日で効率よく作業を進めることも施工管理上の重要な課題となってきている。そこで、当社ではこれらの課題に対応すべく、ケーソン据付時の安全性・施工性を向上させるための新たな技術を現場に適用した。本報では、ケーソン据付に関し、従来方法の課題と本技術の概要、現場での適用事例およびその効果について紹介する。



写真－１　既設防波堤と新設ｹｰｿﾝ

写真－２　据付時のｹｰｿﾝ上の状況

2　ケーソン据付工の概要と課題

従来のケーソン据付では、ケーソン枡内への注水作業、ケーソン移動用ウインチ操作および測量作業を伴うため、据付作業中に作業員が据付ケーソン上を頻繁に移動する必要がある。ケーソン上には引き寄せワイヤーや電源ケーブルなどが多数設置されており（写真－２参照）、つまずきや転倒、海中転落および挟まれの危険がある。

ケーソンの位置制御は、ケーソン上に複数台設置した引き寄せワイヤー用の巻き取りウインチを作業員が直接操作しながら目標位置へ移動させ、かつ、着底のためケーソン枡内の水位を目視確認しながら水中ポンプの注排水操作をケーソン上の操作基盤にて直接操作していた。このように複数人の作業員による操作が必要となり、連絡指示系統が複雑で、誤操作の防止や作業効率を確保するための対策が必要であった。

ケーソンの位置確認は、トランシット、レベルによる法線や高さ管理を実施していたが、同一の気象海象条件下でも作業指揮者の経験と測量結果伝達のタイミングにより据付精度にバラツキを生じていたため、作業指揮者の経験に左右されず、据付精度を確保できる据付方法が望まれていた。

これらの課題への対応としてケーソン据付作業に関わる作業員の安全性と施工性の向上を目的として当社では、自動追尾式トータルステーションと水中カメラによるケーソンの位置、姿勢を数値的、

視覚的に把握する技術とケーソンに設置された据付用ウインチ、注排水ポンプの遠隔操作技術とを連携させ、ケーソン据付作業に適用した。

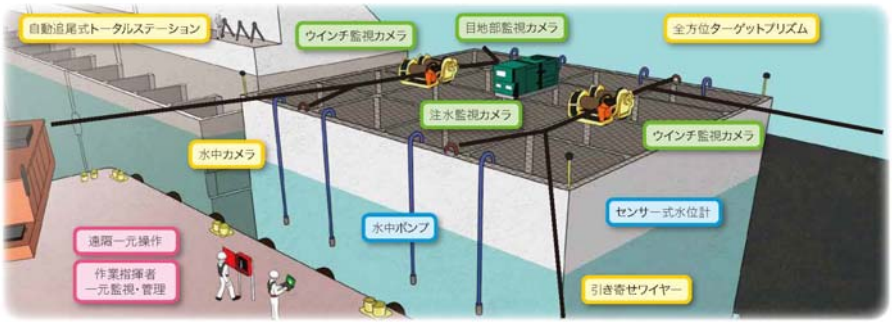
図－１　本技術の構成

３　技術の概要

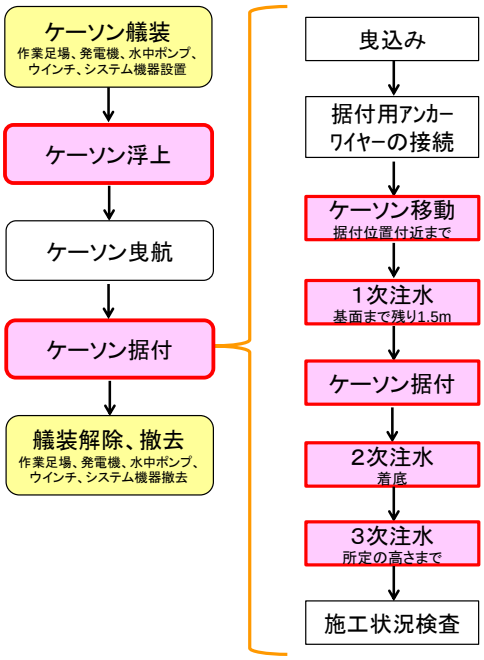
本技術の構成を図－１に示す。本技術は、函体位置管理技術、函体水位管理技術、函体位置制御遠隔操作技術、作業状況遠隔監視技術から構成され、これらを起重機船上の集中制御室で一元管理できる。

３－１　技術の適用

本技術の適用範囲は、ケーソン据付作業（図－３参照）のうち赤太線で囲まれた工種が該当する。ケーソン据付においては、ケーソン移動から３次注水までが本技術の適用範囲となり、ケーソン上の作業員は起重機船上に退避でき、ケーソン上での直接作業は不要となる。作業員は起重機船上のケーソン上から離れた位置で、ケーソンの移動、注排水を繰り返し実施でき、規定の位置に据付け可能となる。



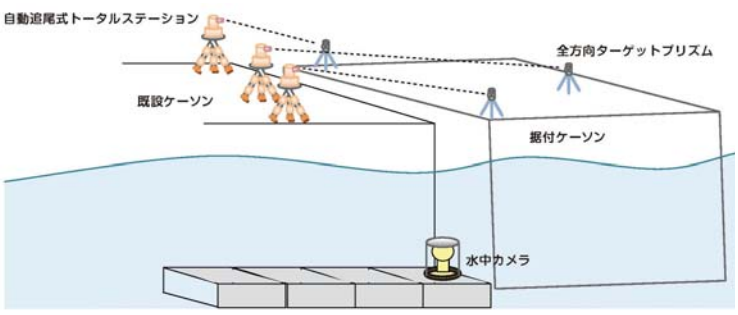
図－２　ケーソン据付作業状況イメージ図



図－３　ケーソン据付作業フロー図

３－２　函体位置管理

本システムは、自動追尾式トータルステーションと水中カメラを連携させた函体据付管理システムであり、既存防波堤上などに設置した３台のトータルステーションで、据付ケーソンに設けた３箇所のターゲットプリズムを自動追尾計測し、測定データを基にケーソンの平面位置、傾斜状況をリアルタイムで把握するとともに、据付箇所に設置した水中カメラの映像を同時表示させることで、ケーソンの位置と姿勢を数値的、視覚的にリアルタイムで把握しながらケーソンの据付を行うシステムである（図－４参照）。作業指揮者がケーソンの位置確認を行うモニター画面を写真－３に示す。リアルタイムでケーソンの位置情報が把握でき、かつ、確認が困難なケーソン底部（水中部）の状況（既設ケーソンとの離れ等）についても同一画面上で視覚的に監視できる。



図－４　函体位置管理システム概念図

３－３　函体水位管理

函体水位に関しては、センサー式水位計を隔室に設置し、水位を計測する。水位情報は集中制御室に無線 LAN 伝送しモニター表示により、函体水位が監視できる（写真－４参照）。また、監視用にカメラを配置し、集中制御室で視覚的に監視でき、水位情報を基に集中制御室で水中ポンプを遠隔操作する。

３－４　函体位置制御遠隔操作

ウインチを集中制御室で遠隔操作可能としており、作業員は函体位置を確認しながら､指揮者の指示の元、繰り出し、停止、巻き込み操作を行う。この際、各ウインチには監視カメラを設けてあり（写真－５参照）、稼働状況を併せて確認できる。

３－５　作業状況遠隔監視

ケーソン上の作業状況を視覚的に補完するため監視カメラを設けた（写真－６参照）。既設ケーソン側の端部に据付中の目地間隔を確認する目的として設置した。また、水中ポンプの稼働状況を確認するため、ケーソン天端にも設置した。これらのカメラは集中制御室で遠隔操作が可能な仕様となっており、ズーム、旋回、上下動によりケーソン上の状況が細部まで確認可能となっている。

４　現場での適用事例

本技術を用いてケーソン据付を実施した事例を以下に示す。

４－１　工事概要

当該工事は、沖縄総合事務局発注の防波堤築造工事であり、ケーソンを仮置き場から浮揚させ、所定の設置箇所に据付を行ったものである。工事概要を以下に示す。

工事名称：那覇港(浦添ふ頭地区)
防波堤(浦添第一)築造工事

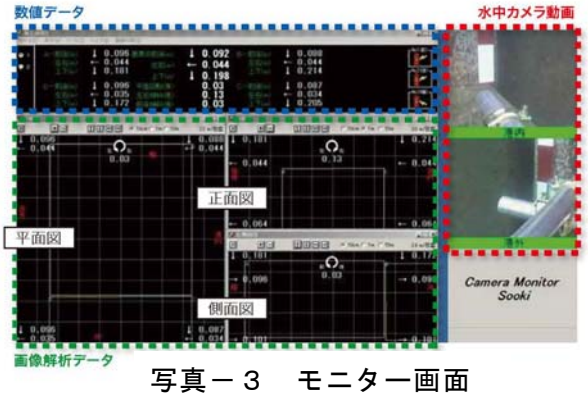
工期：平成 26 年 3 月 11 日～平成 27 年 9 月 30 日

据付日：7 月 19 日、8 月 18 日

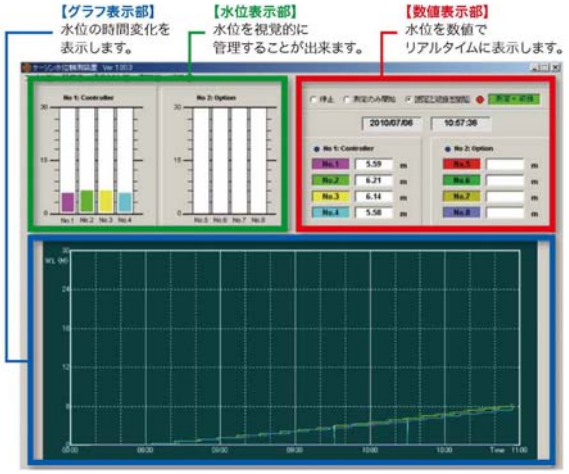
ケーソン規模：2,669t/函（B18.0m×L20.0m×H16.0m）

据付函数：２函

据付水深：-13.0m



写真－３　モニター画面



写真－４　水位監視モニター画面

写真－５　ウインチ

写真－６　監視カメラモニター

４－２　適用状況

ケーソン据付作業における適用状況を紹介する（写真－７、８参照)。作業指揮者は、集中制御室の管理モニターにより「ケーソン姿勢」「動揺傾向」を把握、ケーソン位置の修正方向と修正値を定量的に確認でき、操作者への指示も的確に実施できた。操作者はウインチ４台をモニター監視しながら一元操作でき、作業効率が向上した。これらの情報は集中制御室にて共有可能でリアルタイムに確認でき、誤動作防止につながった。また、作業指揮者は、水位監視モニターと監視カメラモニターにより、「ケーソン枡内水位」「注排水状況」を把握、視覚的・定量的に確認でき、操作者への適切な指示ができた。一方、操作者も集中制御室でこれらの情報を共有し、操作の確実性が向上できた。

写真－７　ケーソン据付状況

写真－８　遠隔操作状況

４－３　適用の効果

（１）ケーソン据付の効率化と安全性の確保

・ケーソンの平面的な位置と姿勢を作業指揮者がモニター上で定量的かつ視覚的にリアルタイムで把握でき、的確な誘導指示が行えた。

・水中部、気中部における新設ケーソンと既設ケーソンの近接状況を動画監視することができ、既設構造物との接触防止をより確実に図ることができた。

・ケーソン枡内水位と函体位置制御の管理について、据付ケーソン上での作業を無くすことで、それに伴う危険が排除でき、安全性が向上した。

表－１　従来型とｼｽﾃﾑ算出値の差(2 函目)

	x	y	z
A（既設港内側）	0.008	-0.010	-0.004
B（既設港外側）	-0.004	-0.001	0.008
C（新設港内側）	-0.014	-0.022	0.003
D（新設港外側）	0.003	0.029	-0.001

・施工性について、集中制御室で一元管理でき、情報伝達、機器操作の面で効率化が図られた。

（２）据付精度の確保

・ケーソンの据付許容範囲内で設置できることはもちろんのこと、ケーソンの姿勢を数値的、視覚的に捉えることで、波浪によるケーソンの動揺傾向を把握し、的確に作業の進捗を図ることができた。また、従来の測量方法とシステム算出値を比較したところ（表－1 参照)、20mm 程度の差が見られたが測量誤差の範疇と考えられる。

５　おわりに

ケーソン据付の安全性・施工性向上技術として、自動追尾式トータルステーションと水中カメラによるケーソンの位置、姿勢を数値的、視覚的に把握する技術と、ケーソンに設置された据付用ウインチ､注排水ポンプの遠隔操作技術との連携技術について､概要と適用事例について紹介させて頂いた。まだ適用現場は少数であるが、本技術はケーソン据付工事において有効な技術であり、新規工事において更なる適用を図りたいと考える。

底泥分級浄化工法の開発

あおみ建設株式会社　土木本部技術開発部　　榊原　雅人

1　はじめに

現在、海上保安庁及び国土交通省を中心とする関係省庁及び自治体が連携して、「全国海の再生プロジェクト」が実施されており、海域における環境改善対策として、汚泥の堆積が著しい運河等においては、堆積有機物をはじめとする底泥の除去（汚泥浚渫）、良質な土砂を用いた浅場の造成による底質の改善（覆砂）等を効果的に推進する海域の汚濁負荷の削減が実施されている。また、汚泥浚渫では処分場不足の問題も有り、近年では密閉グラブによる高濃度薄層浚渫工法が開発され、一般的な浚渫に比べ浚渫土の処分量が低減できる様になってきているが、更なる処分量の削減が求められている。

この様な社会的ニーズに対応すべく、汚染された底質の何処に汚染物質が存在するのかを分析し、汚染物質が多く付着した粒子のみを分級・回収することにより、処分量の低減が図れる「底泥分級浄化工法（NETIS　KTK-110004-A）」を開発した。

2　工法の原理

懸濁物質は普通粘土粒子や有機物の集合体(約 0.1ｍｍ程度)である（写真-1）。

懸濁粒子には、有害物質が結合・付着しており、これら懸濁粒子の多くは水底に堆積する。堆積物となった有機物の分解に伴って嫌気化が進み、富栄養化が顕在化する。粘土鉱物や有機物は吸着性に富む物質であり、図-1 のモデルのように種々の物質を吸着している。

堆積土の場合には、同じ質量で比較すると粒子が細かいほど比表面積が大きく、それだけ吸着物質も多い。普通の堆積物では、細かい方から質量で 10%を除去することで、吸着物質の 80～90%が取り除けることになる。

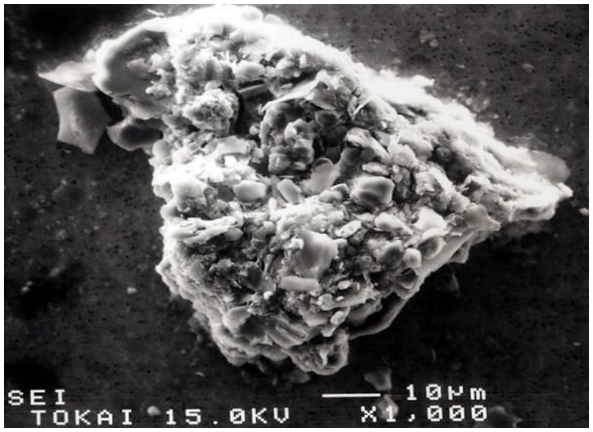


写真-1　懸濁粒子の電子顕微鏡写真

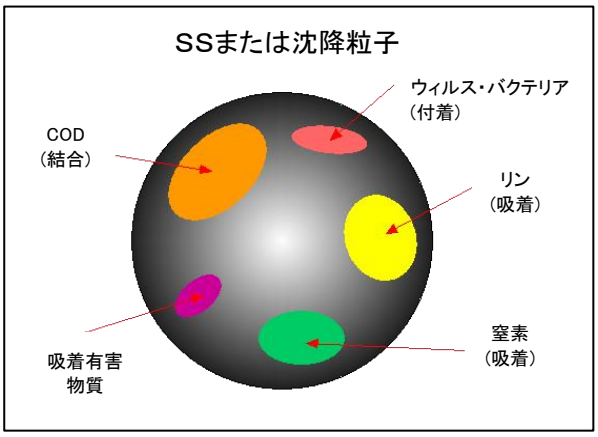


図-1　懸濁粒子と結合・付着物質のモデル

3　底泥分級浄化工法の概要

底泥分級浄化工法は、図-2 に示すように噴射撹拌ロッド先端のシェル内に底質を取り込み、ジェ

ット水により底質を撹拌し細粒子を懸濁浮遊させ、水面付近まで浮上した細粒分のみを回収する工法である。

窒素やリン等を含む汚染物質が懸濁粒子の表面に付着しやすい性質を利用し、比表面積の大きい細粒分を除去することで効率の良い底質改善を図る。懸濁水となって回収された粒子は船上において固液分離し、有機物が付着した懸濁物は、脱水処理後袋詰め等により回収する。(図-3,図-4)

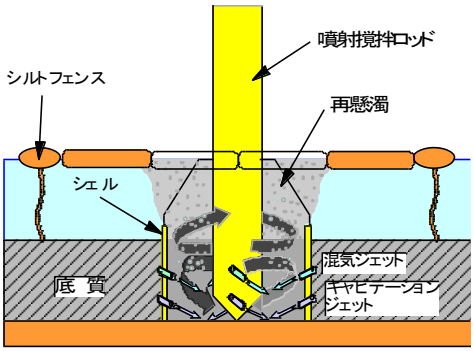


図-2　噴射攪拌状況　概要図

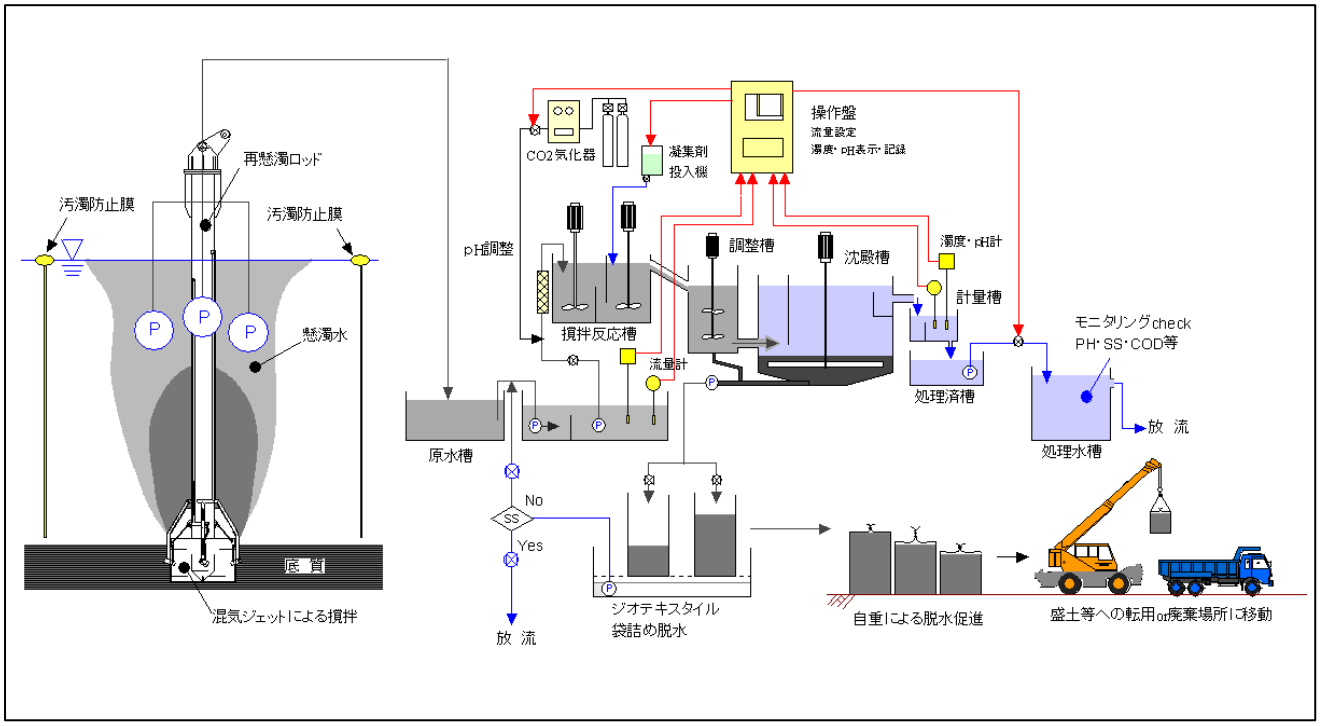


図-3　処理システム

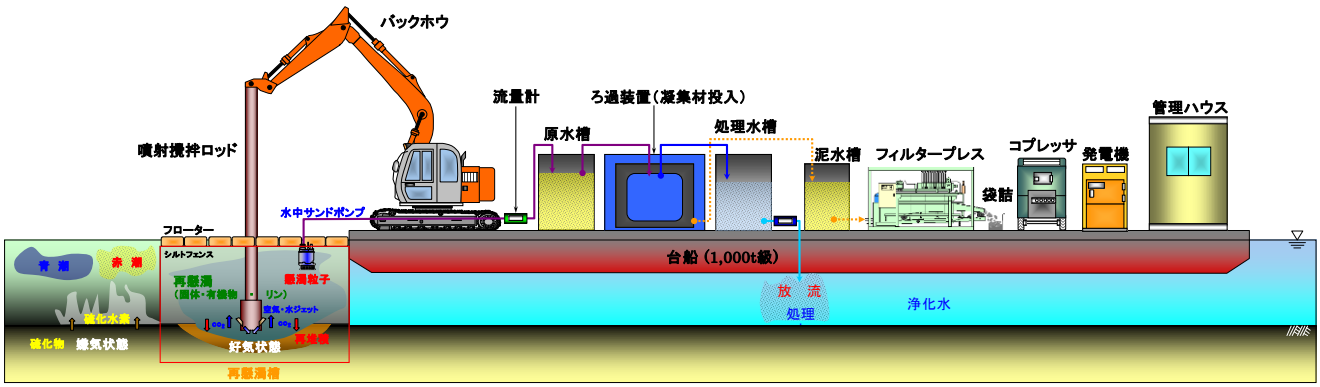


図-4　底質浄化船（処理設備船上配置例）

4　処理手順

処理手順は以下に示すとおりである。

①噴射撹拌ロッド先端のシェルに底質を取込み、シェル内部に装備されたジェット水流で取り込んだ底質を撹拌し、泥水状にして粒子を懸濁浮遊させる。

②懸濁浮遊した粒子は、ジェット水流が作り出す上昇流により自然に細粒分と粗粒分の水中分級され、有害物質が多く付着している細粒分のみをサンドポンプにより回収する。

③回収した細粒分を含む泥水は水処理システムにて固液分離する。

④脱水処理後、細粒分を袋詰め等で回収し、陸揚げ後処分する。

5　実証事例

5．1　実証試験工事

福山内港環境改善実証実験(写真-2)

福山港内港地区（広島県福山市）

平成 21 年 11 月 30 日～平成 22 年 3 月 31 日

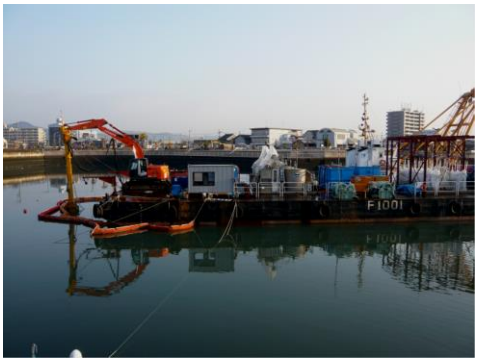


写真-2　実証実験状況

5．2　工事の目的

福山港内港地区は、瀬戸内海のなかでも最も富栄養化が進行した閉鎖性水域である。そこで中でも汚染の著しい最湾奥部において、悪臭の直接的な原因である硫化物、そして硫化物が生成する条件となっている有機物(強熱減量及び COD)、さらにはプランクトンの異常発生の原因となる栄養塩(全窒素及び全リン)を底泥から除去することを目的とした。これらは、堆積粒子そのもの及び土粒子に吸着または付着した物質として回収される。

5．3　結果

(1)有害物質の除去

悪臭の直接的原因物質である硫化物と硫化水素が生成する条件である有機物(強熱減量及び COD)や、富栄養化原因となる栄養塩(全窒素及び全リン)の除去が確認でき、底質・水質の好気化を促進する事が確認された。(表-1)

表-1　回収底泥の汚染物濃度

		濃度	除去量（kg）	
強熱減量	(%)	21	1747	
COD	(mg/g)	113.5	944	
全窒素	(mg/g)	8.36	70	
全リン	(mg/g)	3.52	29	
硫化物	(mg/g)	5.6	47	放出量含む

除去固体乾燥質量：　8,320 kg

処理水量：　4,445m³

(2)底質の浄化

混気ジェットにより懸濁化された未回収の底泥は酸素を含んで再堆積する。その効果を酸化還元電位(以下、Eh)によって評価した。悪臭の原因となる硫化水素の底質からの発生は Eh が低くなると発生しやすくなる。概ね pH7 において Eh-200mV 以下で嫌気状態となり硫化水素が発生する。

底泥分級浄化工法で浄化した後の Eh は-150mV から 100mV 程度まで改善されたことで、更に硫化水素の発生しにくい状態となった。(図-5)

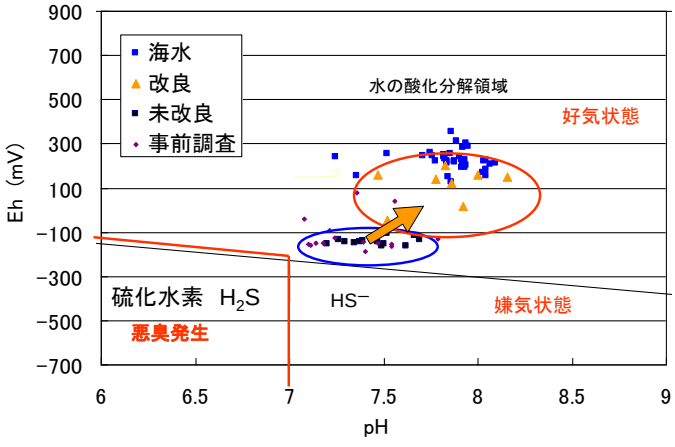


図-5　酸化還元電位と pH の関係

6　工法の利点と現場への適用

6．1　底泥分級浄化工法の利点

(1)浚渫土量の削減

汚染物質が細粒子に吸着する事に着目し、底質の粒度組成で細かい方から質量比 10%（D10）を取り除けば、底質の全比表面積の 80～90%の除去が可能となるため、一般的な浚渫方法の 1/10 の回収土量の除去で底質が改善され、処分土量の大幅な減容化が可能となる。また、大がかりな機械設備および大型作業船も必要せず、無振動・低騒音の施工が可能であることからも、トータルコストの縮減が図れる。

(2)エアレーションの効果

底質を噴射撹拌することにより、水中の溶存酸素が増え、水質は好気状態になる。

(3)覆砂効果

汚染物質が付着した細粒子を回収除去するため、再堆積した粗粒子は汚染物質が無く、覆砂と同じ効果が得られる。

(4)海底耕耘

改善対象となる層厚の底質をシェル内に取込み、キャビテーションジェット水流により撹拌洗浄して土粒子を分散さるため、底質は一気に好気化する。

6．2　適用箇所および効果

本工法の適用箇所と期待される効果は、以下を想定する。

・閉鎖水域における栄養塩や有害物質に汚染された底質および水質の改善
・底泥の堆積により効果が薄れた覆砂の機能の回復
・水生生物産卵場所の底質改善による青潮発生抑制
・河口付近に流入堆積した、有害物質の除去と水質改善
・養殖イケスの富栄養化底質土の除去と水質改善（溶存酸素量の増加）（赤潮発生の防止）
・湖沼・ダム湖に堆積する底質と水質の改善

7　おわりに

底泥分級浄化工法については、懸濁不拡散を目的とした閉鎖型(環境負荷低減型)のロッドを開発し、社内実験で効果を確認している。

また、底泥分級浄化工法の発展型として、粗粒分の洗浄も同時に行うことができる閉鎖型のロッドを使用することで､懸濁水を拡散させずに施工することができる｢水底土砂原位置分級除染工法」を開発しており、放射性物質の除去にも対応した環境改善を行うことができる。本工法は、サイフォン式分級ロッド先端のシェル内に底質を取り込み、キャビテーションジェット水により底質を撹拌洗浄し、汚染の少ない粗粒分を現水底に存置したまま細粒分のみを分級除去する工法である。

水底土砂原位置分級除染工法は、福島県、環境省の実証事業にて 3 件の実績があり、その技術を底泥分級浄化工法にフィードバックすることで、より確実な施工を行うことができる。

第2会場

第Ⅱグループ

環境共生に配慮した消波ブロック「テトラネオ」

（株）不動テトラ　ブロック環境事業本部　北陸技術部　○廣瀬　紀一
技術統轄部　　青田　徹
北陸技術部　　浜口　正志

1　はじめに

近年の港湾、漁港、海岸などの施設整備では、現地の環境との共生に配慮することが不可欠となってきている。これらの施設に用いられる消波ブロックには、海藻類が着生し、藻場が形成されることが知られているが、従来の消波ブロックは海藻類の着生に配慮した形状ではなかった。

そこで、従来の消波ブロックと同等以上の安定性、経済性、構造強度を有し、環境共生、特に海藻類の着生に配慮した形状の新型消波ブロック「テトラネオ」を開発した。環境共生機能の効果を確認するためには、現地調査が必要であり、平成 22 年の現地施工開始以来、現地調査を重ね、海藻類の着生、魚類の蝟集等の効果を確認したので、以下に報告する。

2　テトラネオの特長

日本沿岸域で藻場を構成する種として、コンブ類、アラメ、カジメなどのコンブ科海藻やホンダワラ類などがあげられる。これらのうち、コンブ科海藻は天然岩礁の凸部やブロックの稜線部に着生しやすいことが知られている。テトラネオ（図－1）は、長い稜線を持った形状により、これらの海藻類の着生に有効である。

図－1　テトラネオ

さらに、魚介類の蝟集には、生物の生息空間が広いこと、その空間が複雑であれば、生物が生息しやすいと考えられる。テトラネオは、空隙率が 60%と大きく、生物生息空間が広い。さらに、脚部が突起形状となっているため、形成される空間が複雑で、多様な生物の生息が期待できる。

また、テトラネオは、脚先端に突起を設けるなど形状の工夫による高い耐波安定性、高い空隙率による低廉な施工費、脚付け根部分の断面積を増すことによる高い構造強度などの特長を有する消波ブロックである。

3　環境共生機能の現地調査結果

テトラネオは、平成 22 年度に茨城県鹿島港で初めて施工されて以来、全国 90 箇所以上で施工がなされてきている。このうち、環境共生機能の調査は 8 箇所で行っている。ここでは、石川県蛸島漁港、静岡県宇佐美漁港での調査結果を示す。

3．1　石川県蛸島漁港

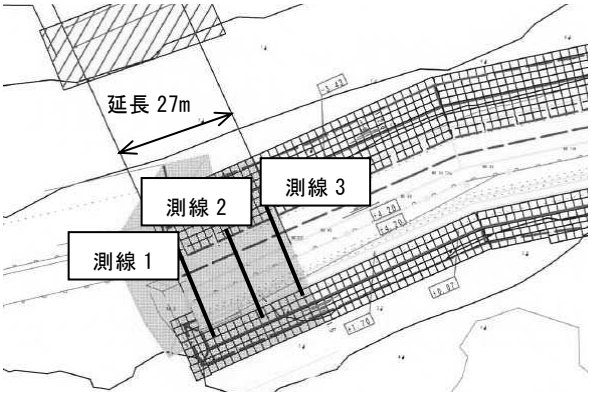
3．1．1　蛸島漁港の概要

蛸島漁港は石川県珠洲市に位置する漁港（図－2）で、漁港改良工事により、平成 25 年度からテトラネオ 6t 型が設置され始めている。石川県能登半島は、大型褐藻類のホンダワラ類を中心とした藻場が形成されることが予想され、その他にクロメやツルアラメの着生が期待される海域である。

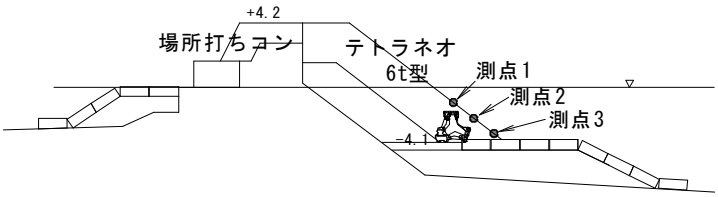
図－2　蛸島漁港位置図

３．１．２　調査方法

調査は平成 26 年 7 月に実施した。テトラネオ設置範囲の両端付近と中央付近に 3 本の調査測線を設定した（図－3）。各測線の上層、中層、下層の 3 箇所を調査測点（図－4）とし、テトラネオの脚部 1 本に着生している海藻類の被度の目視観察およびクロメについては着生個体数、全長の測定を行った。また、周囲の魚類等生息状況についても目視観察を行った。



図－3　調査測線



図－4　調査測点模式図

３．１．３　調査結果

調査結果を表－1 に示す。水深が 1.0m 未満の測点 1 ではアオサ類が多く観察された（写真－1）。大型海藻のクロメ、ホンダワラ類は水深が 1.5m よりも深い測点で多く見られた。クロメは全長数 cm～35cm 程度であり、ブロック 1 脚あたり最多で約 200 個体が着生していた。ブロック設置から 1 年未満での調査であり、クロメの全長はまだ大きくはないが、突起周辺の稜線やブロック下部の稜線に

表－1　付着生物調査結果

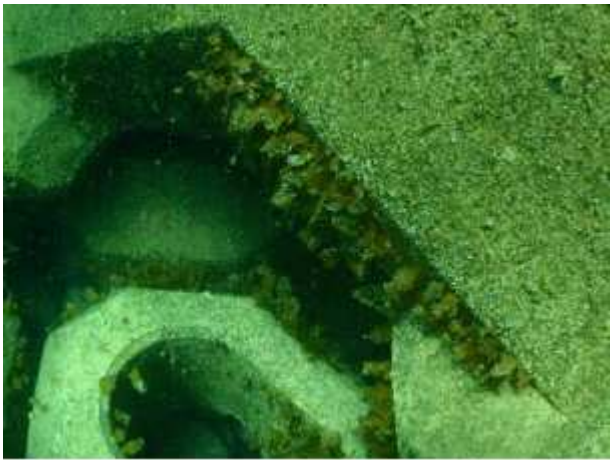
測線		測線1			測線2			測線3		
測点		測点1	測点2	測点3	測点1	測点2	測点3	測点1	測点2	測点3
水深(m)		0.5	1.5	2.7	0.5	1.9	2.6	0.5	2.0	2.9
付着生物被度(%)	アオサ類	90	40	10	80	＋	＋	10	10	＋
	クロメ	＋	20	20	＋	10	20	＋	20	30
	ホンダワラ類	＋	＋	10	＋	10	30		＋	50
	フクロノリ				10			20	＋	
	有節サンゴモ	＋			＋			30		
クロメ	全長(最大値)	～35cm	～35cm	～35cm	～30cm	～30cm	～20cm	～35cm	～25cm	～20cm
	個体数	約100	約100	約100	3	約100	約200	30	約200	約200

注：被度の＋は5%未満を表す

集中して着生しているのが観察され、ブロックの形状の効果が確認された（写真－2)。その他、ブロック上にはサザエやアカウニ、ヒザラガイが見られ、魚類ではアナハゼやフグ類が観察された。

ブロック設置後の経過年数は浅いものの、クロメ等が着生しはじめ、今後はこれら海藻類が生長し、藻場が形成されていくものと考えられる。

写真－1　アオサ類の着生状況（測線 2 測点 1）

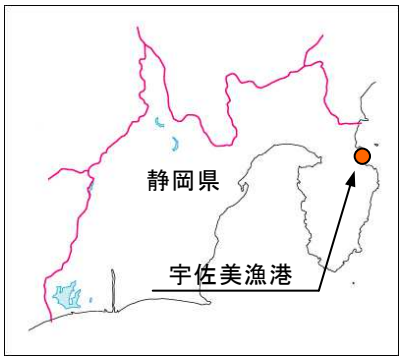


写真－2　クロメの着生状況（測線 3 測点 3）

３．２　静岡県宇佐美漁港

３．２．１　宇佐美漁港の概要

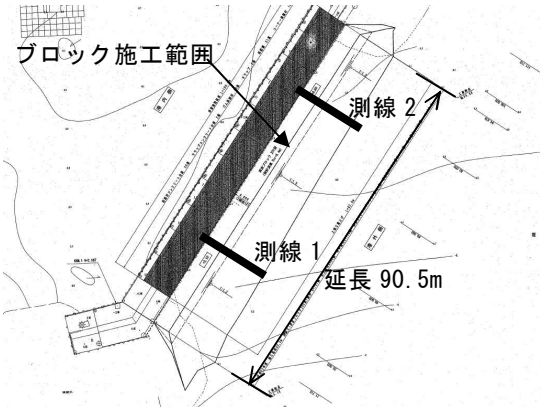
宇佐美漁港は静岡県伊豆半島に位置する漁港である（図－5)。防波堤改良工事が進められ、消波工としてテトラネオ 20t 型が平成 23 年 2 月～3 月にかけて施工された。宇佐美漁港周辺は、カジメが繁茂する優良な藻場が形成されており、テトラネオへのカジメの着生が予想された。



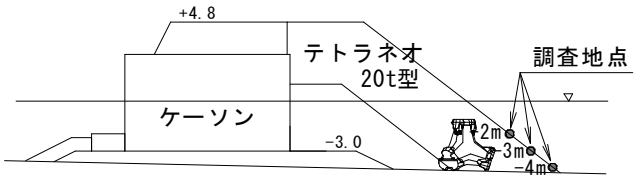
図－5　宇佐美漁港位置図

３．２．２　調査方法

調査は平成 24 年 6 月（第 1 回)、平成 25 年 2 月（第 2 回)、7 月（第 3 回）に実施した。図－6 に示すよう、テトラネオの施工範囲に調査測線を 2 本設定し、海底から水深 1m 毎（図－7）に 50×50cm



図－6　調査測線

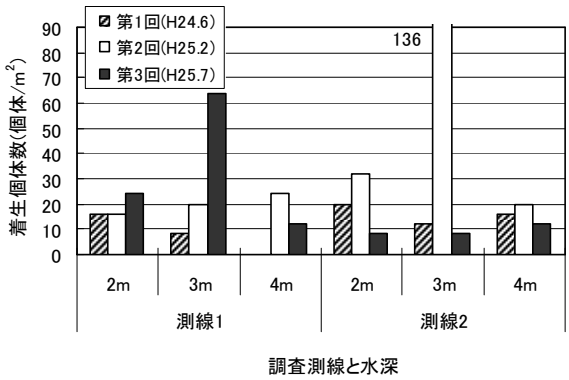


図－7　調査地点模式図

の方形枠をブロックに当て、枠内に着生しているカジメの個体数を測定した。また、全長の長い上位3 個体の計測も行った。カジメ以外に着生している海藻類および測線周辺に生息している魚介類の目視観察も行った。

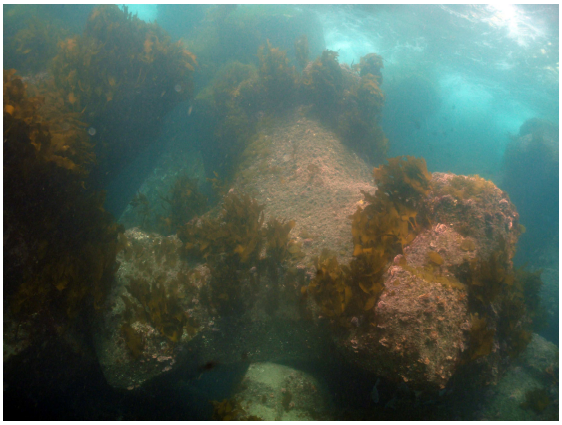
３．２．３　調査結果

カジメの着生個体数の推移を図－8 に示す。カジメの着生個体数は、第 1 回調査では 8～20 個体／m²、第 2 回調査では 16～136 個体／m²、第 3 回調査では 8～64 個体／m² であった。概ね、各水深とも第 1 回調査から第 2 回調査にかけて着生個体数が増加し、第 3 回調査では減少している。これは、第 1 回調査後にカジメが成熟し、胞子が放出され、翌年の第 2 回調査時には幼体が多く着生していたことによるもので、その後の生長に伴う淘汰によって、第 3 回調査では個体数が減少したものと考えられる。カジメの上位 3 個体の平均全長は第 1 回調査が 20cm 前後、第 2 回調査が 10～40cm 程度、第 3 回調査が 30～50cm 程度で順調な生長が見られた。これらのカジメはブロックの稜線部や突起部に着生している個体が多く観察され（写真－3）、ブロックの形状の効果が確認された。



図－8　カジメの着生個体数の推移

カジメ以外では、ワカメ、ホンダワラ類、テングサ類などが見られ、徐々に海藻類の多様性が高くなってきている。また、ネンブツダイやメジナの群れ、クロダイの蝟集やサザエの生息（写真－4）なども観察され、テトラネオが魚礁の効果を発揮していると考えられる。



写真－3　カジメの着生状況（第 2 回調査）

写真－4　テトラネオ上のサザエ（第 3 回調査）

４　おわりに

海藻類の着生や魚介類の蝟集などの環境共生機能に配慮して開発されたテトラネオの現地調査を実施した。調査の結果、稜線へのクロメやカジメの着生、種々の魚類の蝟集やサザエなど動物類の生息が観察され、環境共生機能が発揮され始めていることが確認された。テトラネオの利用によって、今後の港湾、漁港、海岸などの施設と環境との共生に一層の貢献ができるものと考える。

水中浮体式波浪観測装置の更新について

北陸地方整備局　新潟港湾空港技術調査事務所　　髙橋　信幸
北陸地方整備局　新潟港湾空港技術調査事務所　　○河合　真一

1　はじめに

波浪観測データは，全国的に波浪観測網（以下，ナウファス）が構築されており，直轄工事の安全管理，災害査定，防災，港湾施設の設計波浪の算定，波浪推算の高度化，港湾計画策定等に活用されている．

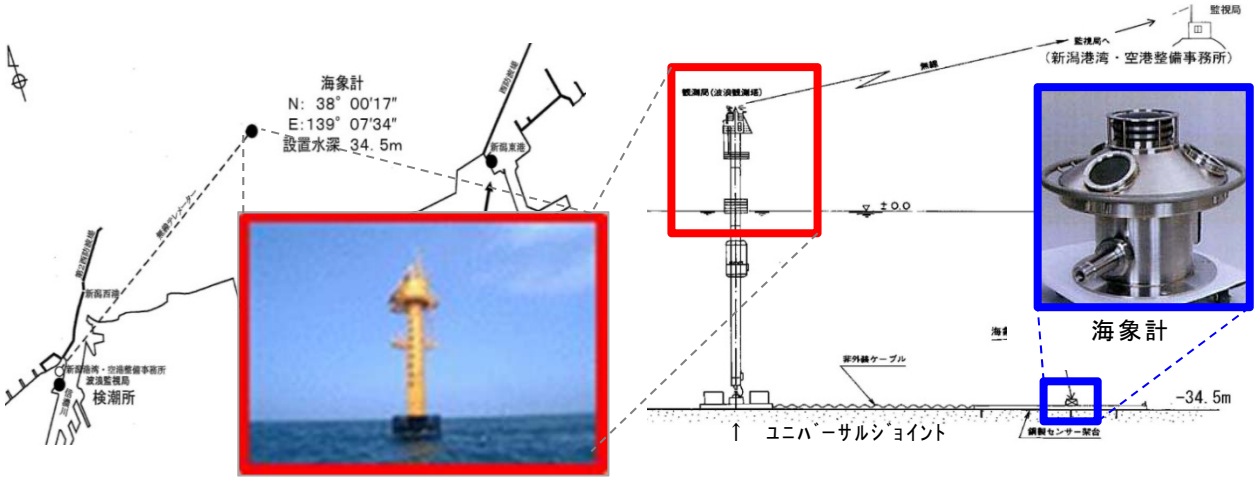
このうち，新潟沖と伏木富山港（伏木）の波浪観測データ（波高･波向･周期）は水中浮体式波浪観測装置（以下，マフコタワー）により，監視局へ無線送信されている．【図－1 参照】この送信方法は，無線テレメータによりデータ送信することから，陸岸からの距離に制限を受けない点で沖合の波浪観測に適しており，導入された．

マフコタワーの交換周期の目安は，先行して設置されている他港のマフコタワーの点検実績より 10 年としているが，新潟沖は 2001 年 7 月に再設置されてから 14 年（当初 1989 年設置：26 年経過），伏木富山港（伏木地区）は 1999 年 7 月に再設置されてから 16 年（当初 1987 年設置：28 年経過）が経過しており，早急に更新が必要な時期に達している．毎年実施している定期点検の結果からは塔体全体の発錆や劣化が見受けられる．

また，他港のマフコタワーでは再設置されてから 18 年（当初 1985 年設置：30 年経過）が経過しているが，係留部分のユニバーサルジョイントに不具合が発生するなど長期間の欠測を招きかねない劣化も確認されている．

一方，波浪観測装置の技術開発は近年進展しており，最新の技術動向を踏まえつつ，地域特性・自然特性を考慮して，最適な更新方法を検討する必要がある．

ここでは，マフコタワーの最適な更新方法について提案する．



図－１　波浪観測装置概念図（新潟沖）

2　現状の波浪観測における主な課題

現状のマフコタワーでの波浪観測における主な課題は以下の2点である．

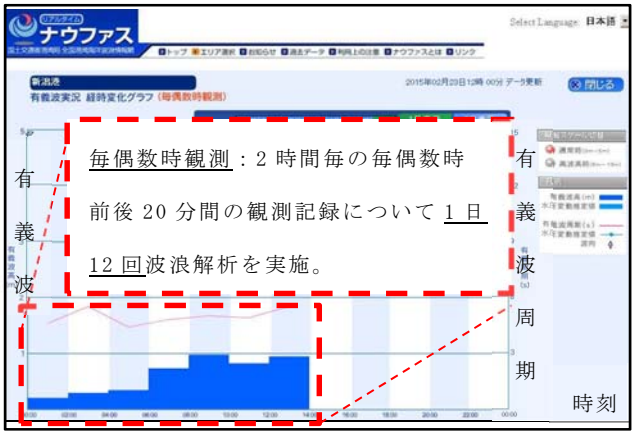
機能面の課題：連続観測に対応出来ない．

維持管理面の課題：点検・保守に費用と手間が掛かる．

2．1　機能面の課題

ナウファスの波浪観測データは従来観測と連続観測の2種類により整理されている．従来観測（毎偶数時観測）とは，2時間毎の毎偶数時前後20分間の観測記録について1日12回波浪解析を実施している．【図－２参照】一方，連続観測とは，波浪解析を切れ目無く連続的に実施しており，観測単位である20分毎に1日72回の波浪解析を実施している．【図－３参照】

現状のマフコタワーによる波浪観測は太陽電池により電力を賄っているが，電力供給が十分ではないために従来観測に抑えており，他地点の多くで実施されている連続観測がなされていない．そのため長周期波の観測も出来ない状況である．全国的には連続観測と長周期波観測は 93％（72 地点/77 地点）が観測可能（平成 27 年 3 月現在）であり，マフコタワーによる観測方式は機能面で立ち遅れていることは明白である．よって，安定した電力供給を確保出来るシステムで更新し，連続観測を実現することが求められる．



図－２　毎偶数時観測の例（新潟沖）

図－３　連続観測の例（輪島港）

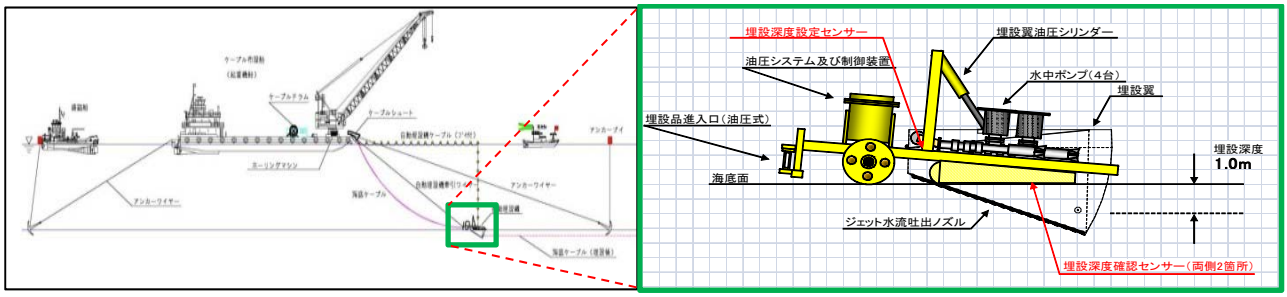
2．2　維持管理面の課題

現状は「マフコタワー方式」であるが，この方式で更新を行うことが現在でも可能であるかについて，現マフコタワーを製作した造船会社にヒアリングを実施した．その結果，現員での新規製作及びオーバーホール作業は対応出来ないとの回答であった．決して数多くない観測方式であるマフコタワー方式は，それ故に技術の伝承も不十分であった．マフコタワーを新規製作する場合は新たに製作できる会社を探す必要があるため，現方式での更新の実施は事実上困難である．

また，塔体での電源は太陽電池で賄うため商用電源を必要としないものの，交換周期 5 年と 7 年の 2 種類の高価なバッテリーを用いるほか，陸上からの保守も出来ない．そのため不具合発生時は，塔体及び塔体内での点検が必要となるが，その都度傭船しての現地作業が伴うため費用が嵩むほか，海象条件によっては迅速な対応が困難となることもあり，長期間の欠測を招きやすい．よって，極力海象条件に左右されないシステムで更新し，維持管理費用の低廉化と点検・保守作業の効率化を実現することが求められる．

3　主な課題の対応策

更新方法は現方式の「マフコタワー方式」と「海底ケーブル方式」の２種類があるが，前述した２の課題における問題点を払拭するため，最新の技術動向を踏まえ，「海底ケーブル方式」で更新することを提案する。「海底ケーブル方式」とは，海底に設置した海象計センサーと陸上部観測機器との間の海底面下に海底ケーブルを埋設して接続する方式である．現マフコタワー設置時の 1980 年代には 5km を超える長尺ケーブルでは観測データを送信できなかったが，その後の技術開発の進展により遠距離のデータ送信が確立された．本方式は，中継器（信号増幅器）を設置することで，10km 以内では対応可能である．海象計センサーから陸上迄の距離は新潟沖は約 5.3km・伏木富山港は約 2.7km であることから両港ともに十分に適応できる範囲内に収まる．また，以前は海底ケーブルが波浪により移動し岩礁との摩擦で損傷したり，漁船アンカーによって断線する事故もあり，長尺の海底ケーブル敷設には危険性が伴ったが，ウオータージェットを使ったケーブル自動埋設装置【図－４参照】が開発された結果，海底が砂層の場合は海底下 3m まで埋設することで海底ケーブル破断等の危険性は軽減されるほか，漁業操業への影響についても通常観測時（ケーブル敷設時・ケーブル取替え作業時以外）は問題ない．

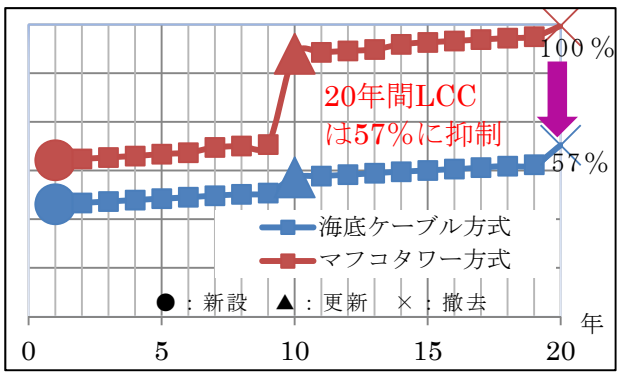


図－４　海底ケーブル自動埋設装置

4　ライフサイクルコストの比較

試算値により，両方式別のコストを比較すると，設置から点検，維持管理，更新，撤去に至る全体の費用（ライフサイクルコスト）は，20年間のスパンで考えた場合，海底ケーブル方式はマフコタワー方式の57％まで抑制できる．【表－１参照】

表－１　ＬＣＣ比較（試算値）

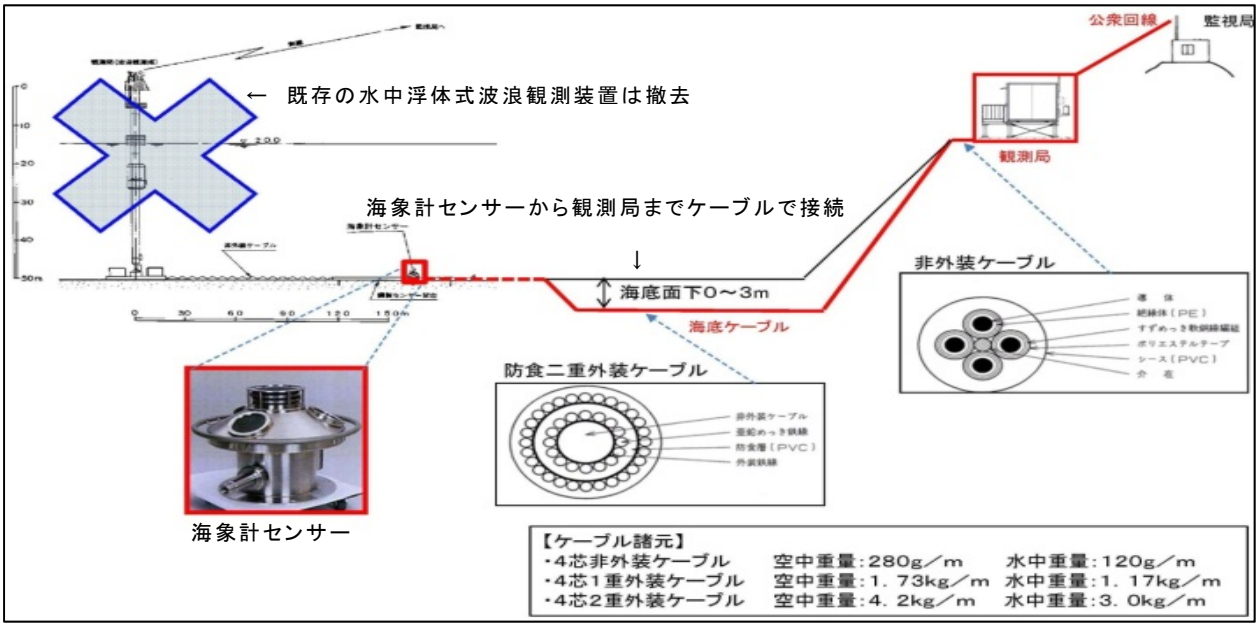


表－２　メリット・デメリットの比較

比較項目	マフコタワー方式	海底ケーブル方式
製作・保守	現マフコタワーの製作業者が現在では対応できない状況で、他に適切な会社がない。	海象計メーカーが対応可能で実績も豊富である。
波浪計の種類	海象計	海象計
観測モード	毎偶数時観測（20分／2時間）	連続観測（連続24時間観測可）
観測項目	波高・波向・10層の潮流	波高・波向・10層の潮流
電源	連続観測に対応するには、大容量の太陽電池が必要である。	陸上の商用電源を利用できる。
維持管理	塔体には空調がないことと塩分の影響で電子部品が劣化し易い。陸上からの保守ができない。	陸上からの保守が可能である。
更新作業の容易さ	海上からの塔体の引き上げが必要であるため、非常に手間がかかる。気象条件・海象条件にも左右されやすい。	陸上での更新作業が可能である。
設置工事	新潟港で水深35m、伏木富山港で水深46mという大水深に塔体を設置するため、大掛かりな工事となり、余り実績もない。	標準的な工事であり、実績も豊富である。
観測局舎	無し	海底ケーブルが陸に上がった付近に設置
波浪以外の観測	洋上風が観測できる。	観測できない。
波浪計の陸岸からの距離	制限なし	10km程度以下
必要な折衝・調査	なし（現在の合意の延長）	ケーブル経路，揚陸地点の確認 機雷の調査（新潟,伏木） 漁協との調整 海上保安部との調整 地権者との調整 港湾管理者（県）との調整 観測局設置場所の検討
LCC	－	20年間のLCC試算値は、マフコタワー方式の57％に抑制される。
総合評価		○

5　現時点での評価

両方式のメリット・デメリットを整理した比較結果を表－２に示す。現時点では機能性，維持管理性，経済性の観点から海底ケーブル方式に優位性があると判断出来る．【前項：表－２参照】併せて，海底ケーブル方式で更新する場合の系統図を図－５に示す。【図－５参照】



図－５　海底ケーブル方式で更新する場合の系統図

6　あとがき

以上，水中浮体式波浪観測装置の更新方法について述べた．海象観測施設は沖合に設置されるため，波浪・潮流・風雨・塩害等，過酷な条件下におかれ，海水中に没している目に見えない部位も多いため維持管理は非常に困難となる．そのため，新設時は勿論のこと，既存施設の更新にあたっても，予め点検・保守がしやすい方式を採用し，長期的な視点でライフサイクルコストを抑制することが重要である．

また，定期点検・保守の結果を収集し，施設管理者で劣化・損傷の状態を共有するほか，補修や点検の履歴も蓄積・分析していくことで，地域特性・自然特性の違いにより生じるバラツキに対しても予測精度を向上させ，適切な維持管理を目指していくべきある．

更新の実現には，関係機関の理解・協力が不可欠であるため，更新の必要性やその影響について，十分な説明を行うとともに，実施に際しては前述した留意点を踏まえつつ慎重に事業を進める必要があると考えている．

謝辞：本論文の執筆に際し，ヒアリングや資料提供にご協力頂いた方々に深甚なる感謝の意を表します．

参考文献

１）一般財団法人沿岸技術研究センター：波を観る，2013年3月

曲がり削孔式浸透固化処理工法による供用中の滑走路の液状化対策

五洋建設株式会社　技術研究所　副所長○林健太郎
ペンタテクノサービス　　技術部　部長　植田勝紀

1．　はじめに

2004 年の新潟中越地震では、道路や鉄道の路線が寸断され、緊急支援物資や人の輸送に支障をきたした。その際に有効に活用されたのが、新潟空港を中心とした空路による輸送である。鉄道や道路などの線状の輸送機関では、数カ所の地点が被災すると復旧までの間機能が停止するのに対し、拠点とする被災地の空港が無事であれば、空路を用いた物資・人員の輸送は可能である。反対に言えば、地震などの自然災害が起きたときの拠点とするためには、空港施設が被災しないように対策を施すことが最も重要である。

今回、滑走路の液状化対策のために新しい『曲がり削孔式浸透固化処理工法』が開発され、福岡、松山、東京の 3 つの空港で適用されている。**図－1** に東京国際空港 C 滑走路の施工断面図を、**写真-1** に削孔状況を示す。この写真からも分かるように本施工位置では、使用中の滑走路直下に昼夜 21 時間施工で実施された。本文では、この新しく改良された曲がり削孔技術の紹介を行う。

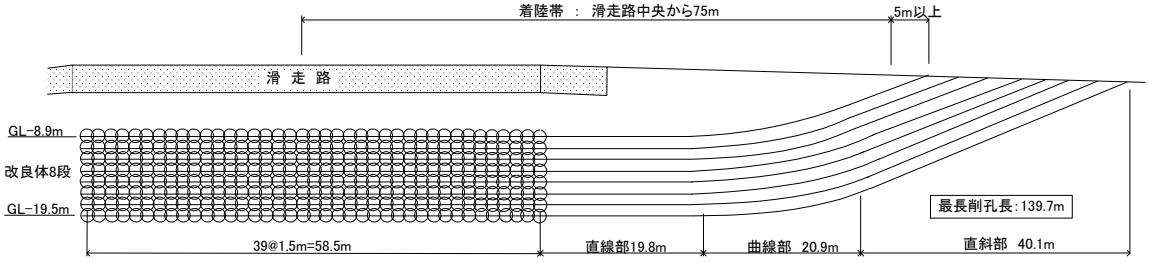


図-1　東京空港 C 滑走路標準施工断面図

2．　システムの概要

従来の『曲がり削孔システム』は最大削孔長が 100m 程度であった為、空港滑走路直下施工に向けて長距離・大深度工事対応のシステムに改良された。新しい『曲がり削孔システム』の根幹である削孔先端部のロッド構成概要を**図―2** に示す。

写真-1　施工状況（東京国際空港 2014）

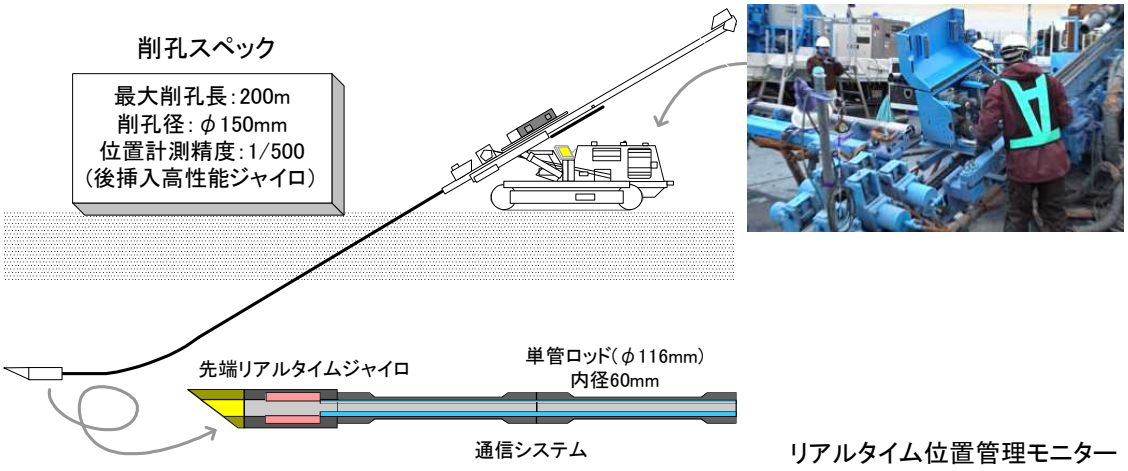
1）　方向制御

削孔方向を計画ライン通りに誘導するために、カーブ削孔時はロッドの回転を止めて片側にテーパーのついた先端ビットを押込み、片テーパー面に地山からの反力を受けて曲げ制御する。直線削孔時はこのビットを回転させながら押込むことで直線的に推進制御する。外径φ89㎜の削孔ロッドの曲がり性能は鋼材の材質に左右されるため、ロッドの材質は靭性の大きい特殊鋼が採用された。また、先端ビットのテーパー受圧面積を従来型より広くす

ることで、曲げ制御時に地盤反力を大きく受けるように改良している。

2） 位置検出装置

計画された削孔ラインに対して精度よく誘導するためには、土中の先端ビットの位置を正しく検出することが重要である。本システムでは先端ビットの位置を検出するために、固定式と挿入式の 2 種類のジャイロを併用している。固定式リアルタイムジャイロは、削孔時の先端ロッドに取り付けられ、先端のビットの方向・位置を削孔作業者にリアルタイムで伝え、操作員はこの情報を元に削孔機を操作する。削孔十数メートルごとに削孔を止めて挿入される高精度のジャイロは、削孔ラインを計測する出来高管理の役割を持っている。



図—2　位置検出装置の構成

3．　施工概要

東京空港 C 滑走路地盤改良工事では、滑走路直下の地盤 32,000m^3 が「浸透固化処理工法」にて改良された。「曲がり削孔」で計画路線を削孔し最終点で注入外管を建て込み、一定区画の削孔が完了した後、注入外管に 1.5m ピッチで開けられた注入穴から順次薬液が注入された。本工事における「曲がり削孔」の総削孔本数は 270 本、最大削孔長 150m、最大削孔深度 GL-20m、薬液注入は 1,0800 箇所の注入孔からトータル 12,400m^3 の恒久性薬液（エコシリカ）を対象地盤に浸透注入して、液状化対策を実施した。

実施工では 7 台の曲がり削孔機を用いて、週 7 日、日 21 時間施工を行うことにより、平成 26 年 7 月に着工後、翌 3 月に無事、安全に工事を終了することができた。

4．　おわりに

今回の施工位置は、比較的ゆるい砂地盤であったため、事後調査では、均一に高強度の改良土に改質されていたことが確認された。今回の施工は、航空機の離発着中にも、削孔と注入が実施された。安全確保のために、施工中に滑走路直下地盤の 4 箇所で間隙水圧が監視され、水圧の上昇が認められた場合、注入を中止した。

しかしながら、建設残土で埋め立てられた箇所では、地盤は不均一で粘性土をかんでいる箇所も見受けられる。今後は、間隙水圧の監視も含め、より安全な施工を目指した、情報化施工が必要である。

劣化損傷した既設桟橋の鋼管杭と上部工の接合部の巻立て補強技術「タフリードＰＪ工法」の開発

東亜建設工業　技術研究開発センター　新材料・リニューアル技術グループ
○リーダー　網野　貴彦
主任研究員　田中　亮一

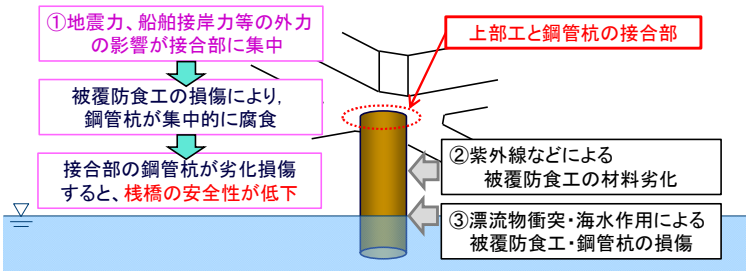
１　はじめに

既設の桟橋上部工と鋼管杭の接合部（以下，接合部）では，地震力や船舶接岸力等の外力の影響により劣化損傷している事例が多数見られている。接合部において鋼管杭が劣化損傷すると桟橋の安全性に大きく影響するため，適切に補修・補強を行う必要がある。しかしながら，従来の技術では，設計当初に期待された耐荷力まで確実に回復・向上できる補強工法はなかった。そこで，接合部において劣化損傷した杭断面を確実に補強できる「タフリードＰＪ工法（Tough and Flexible Advanced Mortar Method for Pile Jacketing）」を開発した（岐阜大学・港湾空港技術研究所・東京工業大学との共同開発技術である）。本稿では，本工法の概要と，曲げ耐力向上効果を検証した実験結果について紹介する。

１．１　開発の背景

桟橋は，海上ー陸上輸送の結節点として，国際競争力や地域ごとの経済活動を支える重要な役割を担っている。しかし，近年になって，高潮，大規模地震，津波等による被災が様々な地域で発生し，大規模な損壊が生じたときの社会的損失に対する危機感が高まっている。さらに，既存桟橋の大半は高齢化施設であり，大量のストックに対する維持管理費の増加も懸念されている。財源縮小が見込まれる今後は，既存桟橋の長寿命化，災害に強い施設への改良に対する技術開発が必須と考えられる。

桟橋の鋼管杭は，図ー１に示すように，海水作用による材料劣化や突発的な外力作用（流木等の漂流物による衝突等）による損傷を受けやすい。また，杭と上部工の接合部は地震力等の外力の影響が集中する部位であるため，接合部付近において鋼管杭が劣化損傷している事例も多い。今後，災害に強い桟橋への改良を図るためには，劣化損傷した接合部に着目した確実な補強技術の確立が重要である。

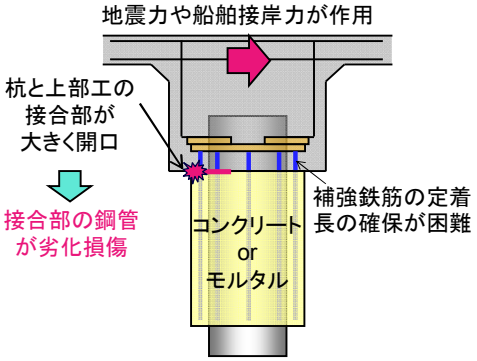


図ー１　桟橋鋼管杭の典型的な劣化損傷

１．２　劣化損傷した接合部における従来技術の課題

劣化損傷した桟橋鋼管杭の従来の補強技術として，鋼板接着工法とＲＣ巻立て工法が挙げられる。しかし，これらは接合部における鋼管断面の補強において次の課題があった。

鋼板接着工法の場合は，補強鋼板の定着に必要な溶接長の確保のために上部工を大きくはつり取る必要がある。また，



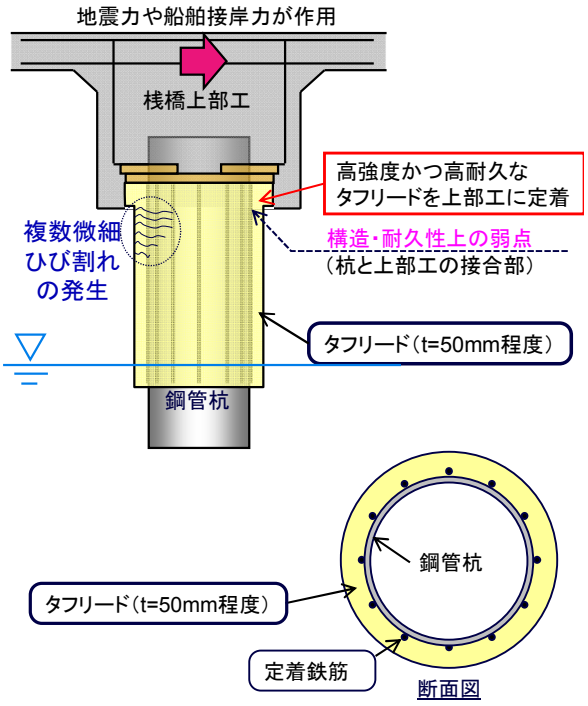
図ー２　従来の接合部補強の課題（ＲＣ巻立て工法を例に）

通常の桟橋には杭頭プレートが存在するため，溶接長を確保できず適用できないことが多かった。

ＲＣ巻立て工法の場合は，上部工にあと施工アンカーによる補強鉄筋を定着する必要がある。杭頭プレートが存在しない場合にはこの工法を適用できるが，杭頭プレートが存在すると補強鉄筋を配置できず適用できない。また，補強鉄筋が配置できる場合でも，巻立て厚（最小でも 200mm 程度）が大きいため補強部の剛性が大きくなり，無補強部との境界で断面破壊しやすくなる懸念もあった。

１．３　タフリードＰＪ工法の概要

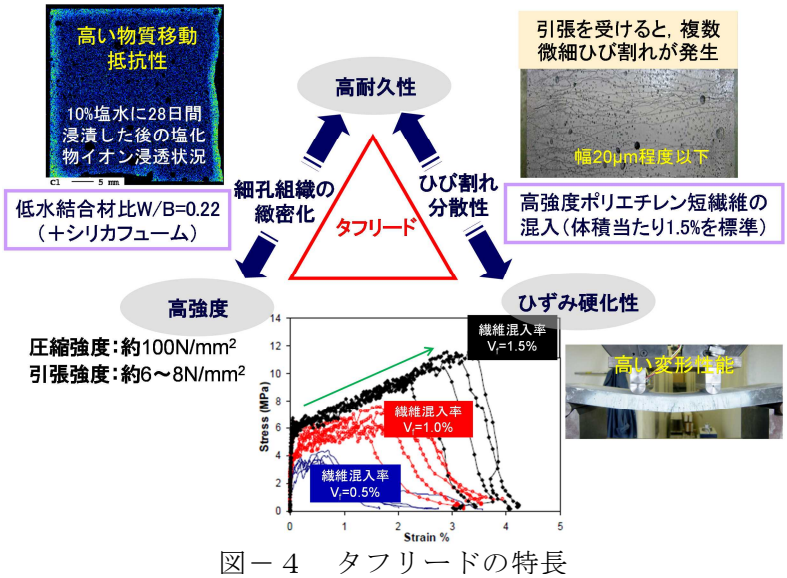
タフリードＰＪ工法は，図－３に示すように，接合部における上部工の一部をはつり取り（杭頭プレート下面の深さ 10cm 程度），接合部付近の上部工と干満帯付近までの鋼管杭表面を一体として，高強度・高靭性・高耐久性の特長を併せ持つ超高強度繊維補強モルタル（以下，タフリードと称する）により巻き立てる工法である。本工法の最大の特徴は，①はつり取った上部工の一部のアンカー効果により上部工とタフリードを定着させる構造と，②杭軸方向に定着鉄筋を設置して鋼管杭とタフリードを一体化させる構造の採用により，タフリードの有する優れた材料特性を最大限に発揮させている点にある。これにより，構造上かつ耐久性上の弱点である接合部における鋼管杭の断面耐力の向上（強靭化），被覆防食工としての防食性・耐衝撃性・耐摩耗性等の長期耐久性の確保（長寿命化）を同時に達成する。また，船舶の接岸力等の水平力の影響が接合部付近のタフリードに及んだとしても，タフリードの有する高強度・高靭性の性質により損傷を軽微に留められる。



図－３　タフリードＰＪ工法の概要

２　超高強度繊維補強モルタル（タフリード）の特長

タフリード[1]は，図－４に示すように，水結合材比 0.22，シリカフューム混和により，非常に緻密なマトリックスを形成する。さらに，単位体積あたり 1.5%を標準として高強度ポリエチレン繊維を添加する。これにより，現場養生において圧縮強度で約 100N/mm^2，引張強度で 6～8N/mm^2，劣化因子の侵入に対する優れた抵抗性（塩化物イオンの拡散係数は約 0.012cm^2/年[2]）を発揮する。また，杭変形によりタフリードに約 20μm 以下の複数微細ひび割れが生じることがあるが，水分供給のある海洋環境ではひび割れの自己治癒性が発揮され，長期的な防食性能が維持される。



図－４　タフリードの特長

3　タフリードＰＪ工法による鋼管杭の接合部断面の曲げ耐力向上効果

タフリードＰＪ工法の開発にあたり，これまで本工法による曲げ耐力の向上効果[3)]や防食性能[2)]等について確認してきた。ここでは，紙面の関係上，本工法の確立のため，実物大スケール試験体による曲げ載荷試験の結果を踏まえて検討したファイバーモデルを用いた設計手法について示す。

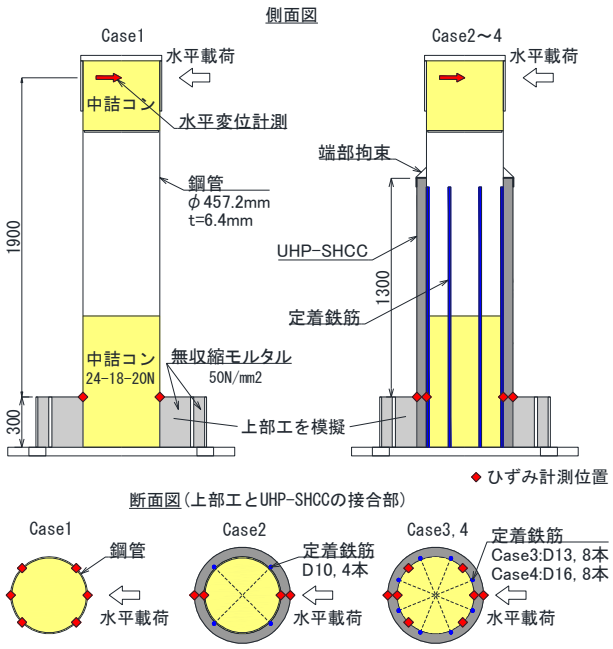
３．１　試験概要

実物大スケールの試験体概要と曲げ載荷試験の検討ケースを図－５ に示す。検討ケースは，Case1 が鋼管のみの基準試験体で，Case2～4 は定着鉄筋の条件を変えたタフリードＰＪ工法を適用した試験体である。試験体の使用材料の力学的性質を表－１ に示す。計測項目は，水平荷重，載荷点の水平変位，接合部断面の鋼管とタフリード表面のひずみとした。また，実際の上部工重量を考慮して 300kN の軸力を導入して水平載荷を実施した。

３．２　試験結果

図－６に水平荷重と水平変位の関係を示す。本工法を適用した試験体の最大荷重は基準試験体の 1.61～1.85 倍であり，曲げ耐力の向上が確認された。また，定着鉄筋量が多いほど最大荷重は増加していることから，定着鉄筋量も荷重増加に寄与していることがわかった。

図－７に接合部における曲げモーメントと鋼管縁部ひずみの関係を示す。基準試験体では軸力を作用させたことで鋼管杭の圧縮縁が先に降伏した。一方，本工法を適用した試験体では，巻き立てたタフリード圧縮側の荷重分担が大きいため鋼管杭の圧縮縁のひずみ増加が抑制されて引張縁が先に降伏し，降伏曲げモーメントが大幅に増加した。

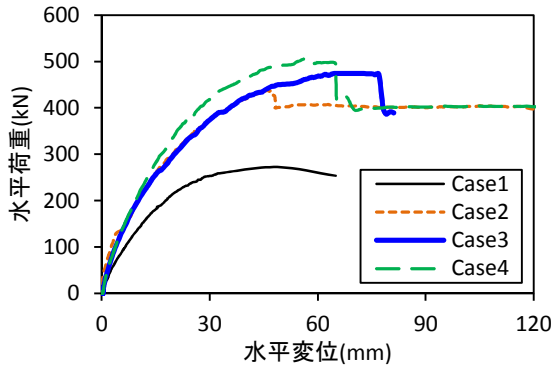


図－５　載荷試験の概要

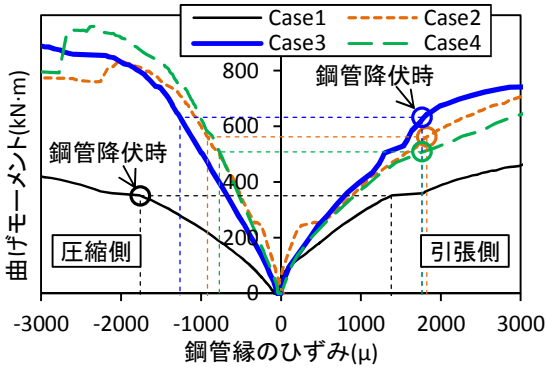
表－１　使用材料の力学的性質

材料	項目	Case1	Case2	Case3	Case4
鋼管 STK400	降伏点(N/mm²)	365		353	
	引張強さ(N/mm²)	470		465	
	破断伸び(%)	39		35	
定着鉄筋 SD295	降伏点(N/mm²)	－	356	356	362
	引張強さ(N/mm²)		552	501	509
	破断伸び(%)		25.6	30.4	25.0
タフリード	圧縮強度(N/mm²)	－	100.0	91.1	
	静弾性係数(kN/mm²)		25.7	23.1	
	引張降伏強度(N/mm²)		4.00	4.00	
	引張強度(N/mm²)		5.70	7.58	
	引張終局ひずみ(%)		0.58	1.81	

＊鋼管・定着鉄筋は試験成績表の値，タフリードは試験結果



図－６　荷重－変位

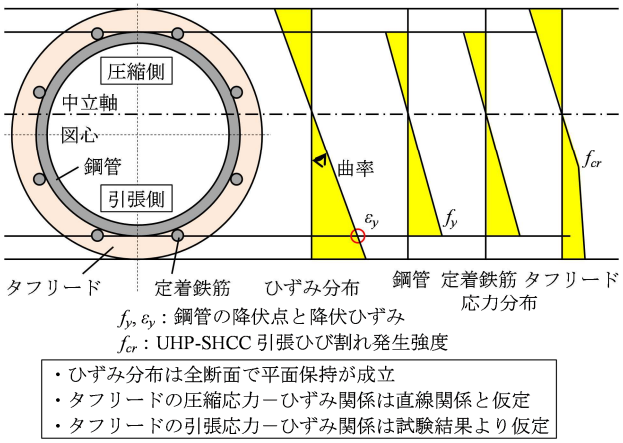


図－７　曲げモーメント－鋼管縁ひずみ

３．３　設計手法の検証

劣化損傷した既設桟橋の多くは許容応力度法により設計されているものが多いことが想定される。そこで，劣化損傷した鋼管杭の接合部における耐力を建設当初の設計レベルに回復させる補強を想定して，鋼管が降伏に至る際の曲げモーメント（以下，降伏曲げ耐力 M_y）をファイバーモデルによって算定した。なお，計算に用いた降伏曲げ耐力時のひずみ・応力分布は図－８に示すものであり，鋼管およびタフリードの圧縮応力・引張応力－ひずみの関係は表－１に示す値に基づき設定した。

実験値と計算値の比較結果を表－２に示すが，実験値と計算値はほぼ一致しており，ファイバーモデルにより降伏曲げ耐力の算定（本工法の設計）が可能であることがわかった。



図－８　降伏曲げ耐力時のひずみ・応力分布

表－２　降伏曲げ耐力の実験値と計算値の比較

Case	計算値				実験値	実験値／計算値
	負担モーメント(kN· m)			降伏曲げ耐力 (kN· m)	降伏曲げ耐力 (kN· m)	
	鋼管 (+鉄筋)	タフリード 圧縮側	タフリード 引張側			
1	327	－	－	327	350	1.07
2	343	173	38	554	564	1.02
3	361	169	39	569	632	1.11
4	386	171	38	595	509	0.86

４　おわりに

本稿では，タフリードＰＪ工法の概要，曲げ耐力向上効果の実験と検証結果の一例を主として紹介した。

なお，当社桟橋の鋼管杭に対して本工法の試験施工を実施し（平成 25 年 9 月施工），現在も健全な状態が維持されている。また，試験施工を通じて，本工法の施工法および品質管理手法を確立した。なお，試験施工は桟橋の建設約 40 年後に実施したが，図－９に示すように，有機系材料による被覆防食を撤去した結果，接合部付近で著しい孔食が見られており，接合部は劣化損傷しやすい部位であることを裏付けていた。今後は，老朽化が進み過酷な環境下に曝される桟橋のリニューアル工事に本工法を幅広く活用していただけるように，更なる施工性向上やコストダウンを推進していく所存である。

図－９　タフリードＰＪ工法の試験施工

【参考文献】

1）国枝稔，志水康祐，江口輝行，上田尚史，中村光：超高強度ひずみ硬化型モルタルの基礎物性と補修材料としての利用法，土木学会論文集 E2（材料・コンクリート構造），Vol.67，No.4，pp.508-521，2011

2）水田潤，田中亮一，国枝稔，岩波光保，加藤絵万，川端雄一郎：ひび割れを有する超高強度ひずみ硬化型モルタルの海洋環境下における鋼材防食性能について，土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集，V-255，pp.509-510，2014

3）網野貴彦，国枝稔，岩波光保，田中亮一：超高強度ひずみ硬化型モルタル巻立てによる桟橋鋼管杭の曲げ耐力向上効果に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，pp.292-297，2012

第2会場

第Ⅲグループ

UAV（無人航空機）を用いた
空中写真測量技術の適用性について

北陸地方整備局　信濃川河川事務所　調査課長　秩父　宏太郎
北陸地方整備局　信濃川河川事務所　調査係長　○古川　健作

１．　はじめに

信濃川河川事務所では、信濃川中流域区間約100kmにおいて、河川計画・管理に必要な河川測量として、定期的に縦横断測量を行っている。当事務所では、「信濃川水系信濃川河川維持管理計画（案）」(平成２４年３月)に基づき、５年に１度、もしくは大規模出水時などにおいてはその都度、縦横断測量を実施している。縦横断測量は、現況河道の流下能力、河床の変動状況を把握するための基本となる他、河道計画検討に際しての重要なデータである。

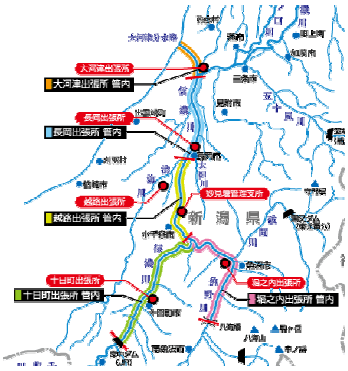


図-1　管理区間

２．　定期測量について

２－１　定期横断測量成果をこれまで以上に現場にて活用するために

信濃川河川事務所の定期横断測量は、５つある出張所管内毎にそれぞれ５年に１度測量を実施しており、測量の成果は水理計算や河床変動計算、工事数量の算出、堤防の諸元など、様々な場面で活用できる重要なデータである。このように、定期縦横断測量データはさまざまな場面で活用できる重要なデータであるが、測量成果から得る基礎データをこれまで以上に現場にて十分活用する際においては２つの課題がある。

① 測量成果が５年サイクルの成果であるため最新の測量データが必要な場合、新たな測量が必要となる
② 測点間隔の間のデータが必要となった場合、新たな測量が必要となる

図-2　直接測量状況

そこで、①②それぞれの課題を解決するために
① 最新成果が手軽に追加可能
② 測点間の測量が可能
となれば、定期縦横断測量成果がこれまで以上に現場にて活用可能である。そこで、経済的、迅速かつ手軽な方法にて面的な測量データが入手可能な測量手法がないかを検討した。

２－２　課題に対応可能な測量技術の導入検討

公共測量規定に従い、定期縦横断測量を実施する際、使われる測量技術は「直接測量」「航空レーザ測量」「空中写真測量」であるが、まずは

表-1 現状の測量技術における課題の対応状況

	直接測量	航空レーザ測量（有人ヘリ）	空中写真測量（有人ヘリ）	UAV写真測量（無人ヘリ）
①手軽に最新成果が入手可能	△	×	×	検証
②コスト	○	×	×	検証
③測点間隔の間のﾃﾞｰﾀが入手可能	×	○	○	検証

これらの測量技術が今回の課題に対して対応可能かを整理した(表-1)。整理した結果、これら測量技術は今回の課題に対して一長一短であるため、新たな測量方法を模索することとし、その中でも現在、様々な場面での活用方法に注目が集まっている「UAVを用いた写真測量技術」について、課題解決に対応可能かを検証することとした。

３．　UAVを用いた空中写真測量技術について

３－１　UAVとは

UAVは、無人航空機（Unmanned Aerial Vehicle）という意味のアルファベット頭文字をとったもので、空からの偵察活動や攻撃といった軍事での導入を目的に技術開発が進んだ経緯があるが、現在は様々な場面での活用方法に注目が集まっている。既存の有人ヘリ等に比べて、手軽で低コスト化等が期待できることが魅力の一つである。

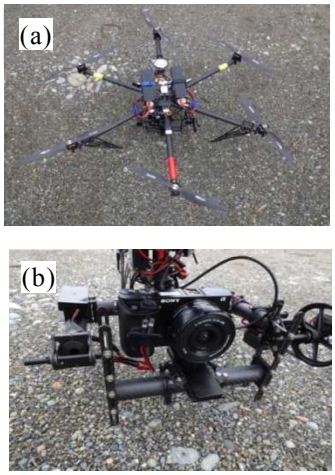


図-3　使用したUAV等

３－２　使用するUAVについて

「ドローン」など様々な呼び方をされる場合もあるUAVについては明確な分類はなく、様々なタイプのUAVがあるが、本検討においては、空中停止や低速移動が可能であり離着陸にスペースを要さない、今後の産業用UAVの主流となりつつある、複数の回転翼を持つマルチローター型UAVを用いて検証することとした。

４．　UAVを用いた空中写真測量の実施

４－１　UAVの飛行計画等

今回、信濃川No.445～No.460(新潟県小千谷市川井地先～小千谷市塩殿地先)（図-4)において高度100ｍ～150mの範囲にてUAVを用いた空中写真測量を実施した。

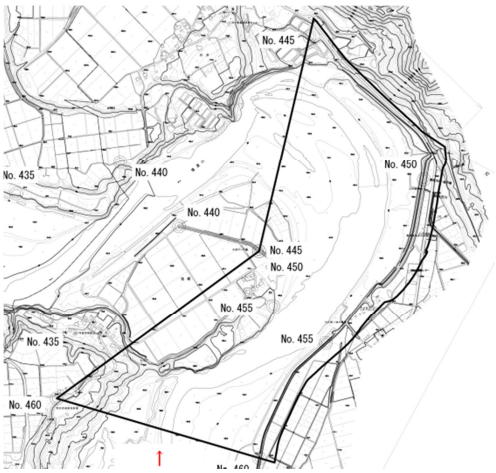


図-4　測量範囲図

UAVの飛行・撮影方法は、自律飛行による垂直写真撮影を基本とするが、家屋付近や県道、鉄道等の安全面で飛行不可能な場所については、斜め写真撮影を行った。UAV機体はルーチェサーチ株式会社保有のSPIDER(図-3(a))、カメラはSONY α 6000(図-3(b))を使用した。その他必要な機材として、UAVの状態をモニタリングするためのパソコン、UAVから送信されるデータを受け取るために必要となる画像伝送装置がある。

４－２　UAV を用いた空中写真測量

UAV を用いた空中写真測量においても、通常の空中写真測量と同様のデータ処理方法にて、３Ｄモデル作成およびグリッドデータの作成が可能である。

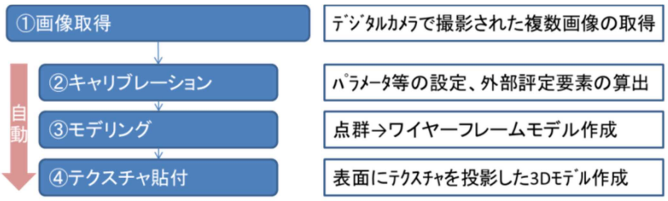


図-5　３Ｄモデル作成手順

① ３Ｄモデル作成

３Ｄモデル作成において画像処理方法は図-5 に示す作業手順のとおりである。画像取得後の②～④の工程については自動的に処理できるソフトを用いて手軽さを維持した。なお、今回はレベル 500(水平位置の誤差の許容範囲:0.15m、標高の誤差の許容範囲:0.2m)の精度を目標としたことから、グリッド間隔は 0.5m とした。

② 河川横断形状の作成

作成した３Ｄモデルから面的に断面形状の作成が可能であった(図-6)。任意断面における断面形状を作成することができた。

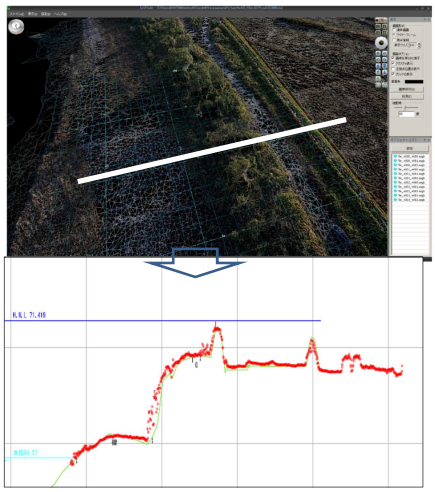


図-6 横断形状の作成

５．既存の測量技術との比較

UAV を用いた写真測量にて作成した堤防横断図と既存測量成果(直接測量、航空レーザ測量)との精度比較を行った。

５－１　法肩･法尻部分での精度比較

定量的な検証箇所として堤防の勾配変化点(法肩･法尻)を選定し、UAV 測量と定期横断測量結果との差について評価した。

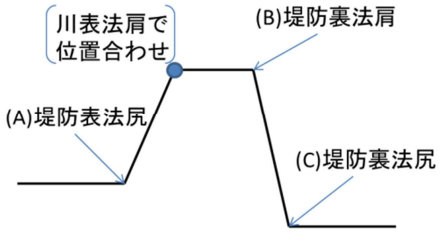
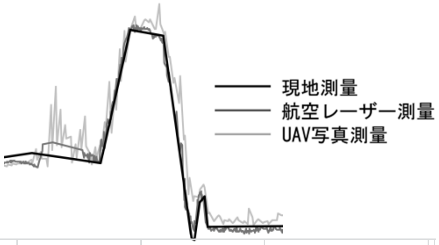


図-7 堤防の勾配変化点(法肩･法尻)

撮影･解析条件が整ったところでは航空レーザ測量と同程度の精度が確認できた箇所(表-2、No.445 および 450 測線右岸部)もあるが、法肩法尻部分において欠測や異常値が多くの測線で確認された。定期横断測量と比べ、航空レーザ測量では、平均で±10cm 程度の精度が確保されている一方で、UAV 測量では平均で±30cm 程度の精度（最大値最小値では 1m を越える箇所も)にとどまったことから､今後は撮影方法等の改善が必要である。



検証地点		①定期横断測量 H(m)	②航空レーザ測量 H(m)	③UAV測量 H(m)	定期横断測量との差 ΔH(③-①)
No. 445 左岸	(A)堤防表法尻	66.929	66.91	66.62	-0.309
	(B)堤防裏法肩	69.058	69.08	68.90	-0.158
	(C)堤防裏法尻	67.145	67.15	67.27	0.125
No. 450 左岸	(A)堤防表法尻	66.905	66.97	66.71	-0.195
	(B)堤防裏法肩	69.010	69.05	68.80	-0.21
	(C)堤防裏法尻	67.199	67.11	67.31	0.111

表-2　精度比較結果(No.455 および 450 測線右岸部)

５－２　植生箇所(植生草本群、密集樹林帯)での精度比較

植生箇所(植生草本群、密集樹林帯)において、航空レーザ測量との比較を行った。UAV を用いた写真測量成果としては樹木形状の外枠が表現されるが、樹木形状が複雑であるため、航空レーザ測量結果との差は樹木群においては最大３ｍ、草が生い茂っている箇所では数１０cm 程度の差を確認した。空中写真

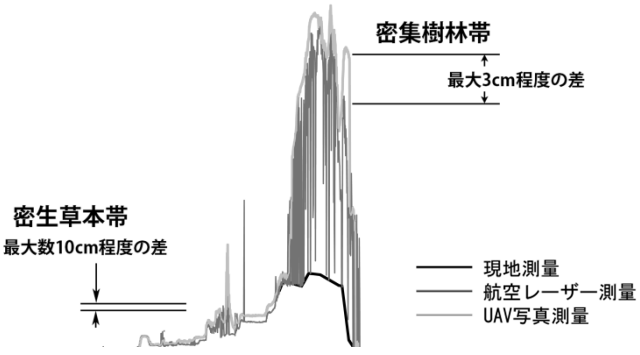


図-8 植生箇所での精度比較

測量では、写真に写ったものしか計測できないため、複雑な地形である場所においては撮影枚数を増やすなど撮影方法を改善する必要があると考える。

５－３　横断図での精度比較

河道全体で横断図を作成した場合には図-9 のように明らかな形状異常が確認された。原因は、①動きのある水部での空中三角測量ができなかったことによる位置ズレが生じたこと、②背の高い樹木が付近にある場所では写真に写る地上部分の範囲が狭くなり精度の高い測量ができないこと、などが考えられる。

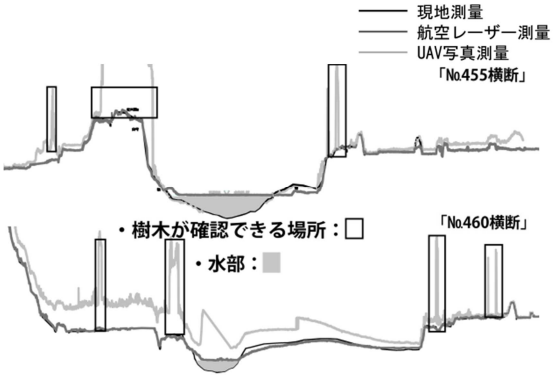


図-9 河道全体の横断図での比較

５－４　航空レーザ測量と UAV 測量のコスト比較

精度を比較した航空レーザ測量と UAV 写真測量を対象とし、概算金額比較を実施した(表-3)ところ、UAV 測量の方が 0.1km2 程度の比較的面積が狭い領域でコスト上有利であった。しかし、1.0km2 程度以上の面積では航空レーザ測量がコスト上有利となる結果となった。これらは、UAV が１フライトの撮影可能範囲が限定されること、空中写真測量に必要な対空標識設置に係る作業が発生するため、面積が広くなればなるほどその作業分が増加することが原因と考えられる。

表-3 航空レーザ測量との概算金額比較

単位：百万円

	面積 0.1km²	面積 1km²	面積 10km²	備考
航空レーザ測量	2.2	2.7	4.2	地図情報レベル500
ＵＡＶ写真測量	1.7	3.4	18.3	

５－５　定期横断測量と UAV 写真測量のコスト比較

これまでに行われている定期横断測量により横断図を作成する場合と、UAV 測量により取得した３Ｄデータから横断図を作成する場合の概算金額を比較した(表-4)。通常の距離標間隔(200m 間隔)における比較では、UAV 測量による横断測量の方がやや高くなる結果となったが、100m 間隔にするとコスト上有利となる。さらに、UAV 測量においては横断間隔間のデータも持つことになるためより細かな情報取得においては有利になる。

表-4 定期縦横断測量との概算金額比較

単位：百万円

	定期縦横断測量	UAV写真測量による横断図作成	備考
測量業務費 (距離標間隔200m)	1.7 (1.00)	1.9 (1.12)	測量本数16本
測量業務費 (距離標間隔100m)	2.8 (1.65)	2.2 (1.29)	測量本数31本

６．まとめ

UAV を用いた写真測量を実施し、「航空レーザ測量」「直接測量」との精度比較、コスト比較を実施したところ、UAV を活用した測量の効果が十分発揮できる条件は、0.1 ｋ㎡程度の比較的狭い領域での活用において優位であることが分かった。また、精度等に関しては、既存の測量成果と比較すると課題があるため、精度が要求される場面での適用は現時点で難しいと考えられる。しかし、手軽に撮影可能であること、有人ヘリでは近づけない場所や徒歩では危険で近づけない場所での撮影が可能であること、など UAV を用いた測量の特徴を活かしながら、精度向上に向けた取組を継続することで UAV 写真測量の可能性が今後広がるものと期待できる。

ＴＨＳ工法（既設集水井の更生）

株式会社 笠原建設　機材部長　　吉原　敬

１　はじめに

ＴＨＳ工法とは、地すべり抑制工である集水井のうち、鋼製ライナープレートの老朽化した集水井を更生する工法である。集水井を供用しながら、高密度ポリエチレン製大口径管（以下、ＴＨＳ管）を既設集水井の内部に設置して、間隙に砕石またはモルタルを充填し一体化することで、土圧に対して自立する耐圧強度を有する。また、集排水機能は既存の配管を利用し、従前能力を確保することが可能となるものである。

写真を以下に示す。

写真－１　劣化集水井

写真－２　更生後

写真－３　更生後集排水管

１．１　背景

１９６０年代から、地すべり抑制工の一つとして設置されてきた、鋼製ライナープレートの集水井は、経年劣化及び塩害や酸性土壌といった外的要因による老朽化が著しい。これに対し、集排水パイプの洗浄等による機能の維持管理は実施されているが、集水井に対しての維持管理はほとんど実施されていないのが現状であり、集水井に対しても必要に応じた修繕・更生を行うことが重要であると考える。そこで、長期的な地すべり対策である集水井を永続的かつ経済的に維持できるよう、ライフサイクルコストに着目しＴＨＳ工法の開発を行った。

１．２　集水井の劣化状況

ライナープレートの集水井は、主に①ライナープレート（鋼製波板）②補強部材（H型鋼）③昇降設備の３点で構成されている。これらの現状を写真－４～６に示す。

写真－４　地上露出部

写真－５　補強部材

写真－６　昇降設備

いずれも新潟県糸魚川市藤崎地内で撮影したものであるが、海から約５００ｍという沿岸地域に設置されていることもあり、ほとんどの部材が腐食している状況である。また、当社は集水井の維持管理業務を請負うことがあり、設置されている昇降設備の腐食により、集水井内への昇降に困難な状態を確認している。これらのように数十年経過した集水井は、腐食による損壊の危険に晒され、維持管理にも支障を来しているのが現状である。今後更に老朽化の加速が予測される事から、早期の集水井更生が必要と考える。

２　更生工法の検討

集水井を更生するにあたり、課題は以下の通りである。

２．１　耐久性

先にも述べたとおり、集水井は長期的な地すべり対策である。よって、永続的かつ経済的に維持を行えるよう、長寿命であるのはもちろんのこと、塩害や酸性土壌といった外的な要因に対しても耐性がある更生材料を用いてライフサイクルコストを向上させる必要がある。

２．２　更生材料の耐土圧強度

地すべり抑制工の集水井は、深層の地下水を排除するために設置されるもので、一般的に深さは１０～２０ｍのものが多いようである。集水井には深度に応じた土圧が負荷されことになるが、劣化した集水井には、設置当時に期待していた耐土圧強度を有しているとは考えにくく、さらに年々強度が低下していくことも想定されるので、更生材料にも深度に応じた耐土圧強度が必要となる。

２．３　施工の合理化

劣化した集水井を更生するので、当然のことながら集水井内での作業が発生する。安全面を考えると短い作業期間であることが望まれる。また、集水井が設置されている場所は、施工当時の進入路も撤去され、資機材の搬入も困難なことから軽量な製品が望ましい。

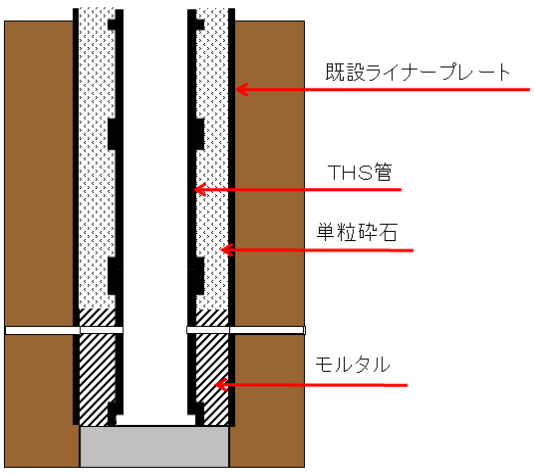
３　ＴＨＳ工法概要

前項を踏まえ、ＴＨＳ工法の概要を以下に示す。

３．１　更生方式

施工期間を短縮するため、ＴＨＳ管を内側に挿入するさや管方式を採用した。略図を図－１に示す。既設集水井との間隙には、下部はＴＨＳ管固定のためモルタルを充填し、その他の間隙は単粒砕石を充填する。単粒砕石を使用することで、集水井壁面からの湧水を集水することも可能となる。

施工手順は、集水井内の昇降設備を撤去、底盤コンクリート打設、ＴＨＳ管据付、集排水管接続、モルタル・砕石充填、最後に昇降設備・天蓋を設置し完了となる。



図－１　断面図

３．２　更生材料

更生材料はポリエチレン樹脂（以下、ＰＥ）を採用した。ＰＥは近年、下水道管にも多く採用されているもので、耐薬品性・耐摩耗性に優れていることから、塩害・酸性土壌に強く、５０年以上の耐久性があるとされている。強度面については、厚肉の大口径管を採用することにより、既設の集水井に依存することなく、深度に応じた耐土圧強度を有することを実現させた。また、ＰＥは比重が鉄の１／８と軽量であることも採用の決め手（比重：鉄＝７．８５、ＰＥ＝０．９６）となった。

４　試験施工

ＴＨＳ工法の確立後、にいがた産業創造機構の建設業経営革新支援事業にて、本工法の試験施工を行った。ここでは、実際の集水井を使用することができなかったので、深度４ｍの模擬集水井を設置し、次の項目を重点的に確認した。

①施工手順の有効性（既設集水井の傾斜・集排水位置の測量～本施工までの一連作業）

②ＴＨＳ管据付け作業の確認（据付け位置の測量、接続・固定方法、据付け精度）

③集水管・排水管接続作業の確認（ＴＨＳ管削孔、接続部材組合せ、固定方法、排水勾配調節）

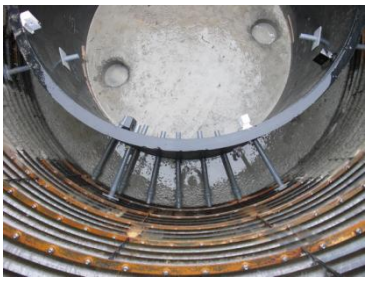
④裏込め材充填確認（使用材料の適否、充填方法）

ＴＨＳ管の据付は想定通り素早く設置ができ、懸念されていた裏込め材の充填性も均一に充填することが確認できた。また、集排水管の接続においては、ＴＨＳ管の加工性が高くスムーズに接続することが可能であった。

各工程の状況を写真－７～１２に示す。

写真－７　ＴＨＳ管

写真－８　据付状況



写真－９　集水管接続

写真－１０　排水管接続

写真－１１　充填状況

写真－１２　砕石充填

５　ライフサイクルコスト比較検討

耐用年数を基にライフサイクルコスト（以下、ＬＣＣ）の比較を行った。比較対象はＴＨＳ工法、

ライナープレートによる新設集水井及び内巻更生の３工法である。表－１に比較表を示す。金額は参考直接工事費とし、集水井深度を１０m、ライナープレートの耐用年数を２０年[1)]として試算した。

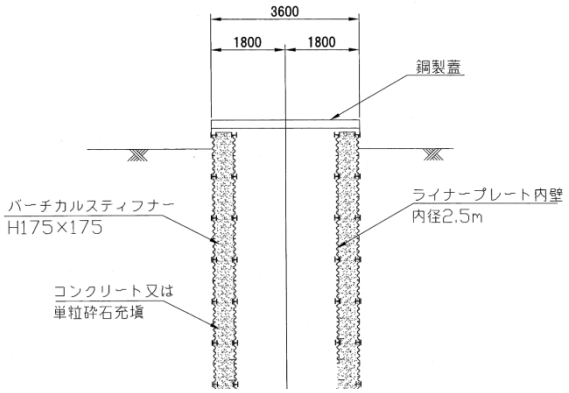
表－１　ライフサイクルコスト比較（H＝１０m）

	ＴＨＳ工法	ライナープレートによる新設集水井	ライナープレートによる更生（内巻）
耐用年数	50年以上	20年	20年
概算直工費	材料費 11,000,000 円 工事費 12,000,000 円	ライナープレート材料 5,000,000 円 掘削・ボーリング・付帯工 22,000,000 円	ライナープレート材料 4,000,000 円 工事費 8,000,000 円
	合計 23,000,000 円	合計 27,000,000 円	合計 12,000,000 円
工事日数	約50日	約100日	約50日
LCC	23,000,000円／50年	THS工法の耐用年数を基準で算定すると 1～2度の更新が必要となる。 よって、 39,000,000円～51,000,000円／50年	THS工法の耐用年数を基準で算定すると 1～2度の更新が必要となる。 よって、 24,000,000円～36,000,000円／50年

最初に集水井を新規設置する場合は、ライナープレート材料の他に、掘削・集排水ボーリング及び周辺整備等の付帯工事が発生するので、直接工事費が最も大きくなる。また、ＬＣＣは２０年毎にライナープレートによる内巻の更生を行わなければならないので、ＴＨＳ工法の耐用年数を基準にすると、５０年あたりで5，１００万円の費用が発生することになる。この試算には用地費用、調査費用及び設計委託費用等は含んでおらず、さらに事業費と工事期間が嵩むことになる。

次にライナープレート内巻更生は、既存の集水井の内側に一回り小さいライナープレートを設置（図－２参照）するものである。直接工事費は最も安価であるが、こちらも２０年毎に更生を行う必要があるので､最大で３，６００万円の費用が必要となる。

最後にＴＨＳ工法は､最も材料費が大きくなるが、５０年以上の耐用年数を有する長寿命材料を使用しているので、５０年あたりのＬＣＣは2，３００万円と最も安価という試算結果となった。



図－２　内巻更生

６　おわりに

地すべり抑制工の集水井といった長期的事業に対し、ＴＨＳ工法で使用しているＴＨＳ管のＰＥ材料は、「腐らない」といった特徴を最も発揮することができ、ＬＣＣには大きな効果を示す。しかし、初期開発費用面が材料価格に影響し、材料費率が大きくなりメリットが少ないのが現状である。今後は、ＴＨＳ管の改良による材料費の低減や、工期短縮等によるコスト縮減に取組んで行きたい。

最後に本工法開発にあたり、長岡工業高等専門学校岩波教授、タキロンエンジニアリング㈱様にご指導ご協力をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献：１）(独)土木研究所　千田容嗣, 武士俊也, 阿部大志, 宇都忠和（2011）技術変遷からみたライナープレート集水井の耐用年数に関する一考察　第 60 回平成 23 年度砂防学会研究発表会概要集

塩化ビニル推進管による長距離・曲線推進工法『ベル工法』

真柄建設株式会社　土木事業本部　土木技術部長　　上田　信二

1　はじめに

下水道小口径管の開削工事において、そのほとんどが、水理特性、防食性、耐薬品性、経済性、耐震性に優れた硬質塩化ビニル管が使用されている。一方、小口径の長距離推進工事では、硬質塩化ビニル管は耐荷力が小さく、主に、耐荷力が大きい鉄筋コンクリート管が使用されている。なお、鉄筋コンクリート管は汚水から発生する硫酸により腐食し、管に穴が開き道路陥没事故が発生するとともに、ストックマネジメントの改築更新費用も増大しているのが現状である。そこで、下水道管渠の長寿命化を目的に、防食性･耐薬品性に優れた硬質塩化ビニル管による長距離・曲線推進工法の実用化を目指した。

平成 19 年 6 月、国立研究開発法人　新エネルギー・産業技術総合開発機構（通称：ＮＥＤＯ)の平成 19 年度イノベーション実用化助成事業に採択され、この事業において、技術開発、実証実験、最終審査を経て、平成 22 年に呼び径 300 と 350 の 2 タイプ、推進延長 250m まで、最少曲率半径 60m までの長距離・曲線推進が可能な「ベル工法：NETIS No. KT-150038-A」を実用化した。本工法は、ライフサイクルコストに貢献できる技術として平成 22 年 7 月に「国土技術開発賞」最優秀賞、平成 24 年 2 月に内閣総理大臣賞「ものづくり日本大賞」を受賞するとともに、平成 26 年度までの実績が施工累計延長 6,600m を超えた。本稿では、ベル工法の特長、施工事例、および新たな取り組みについて紹介する。

2　ベル工法の特長

2．1　型式分類とシステム

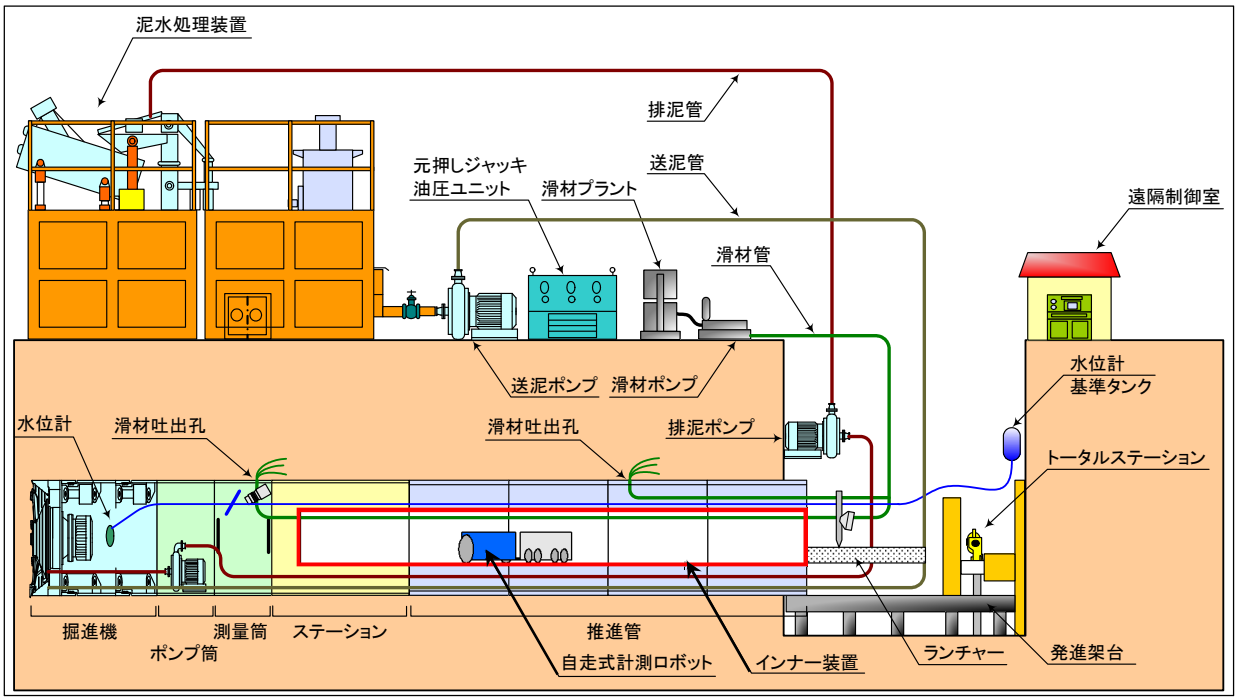
ベル工法の型式分類を**表－１**、システムの概要（ＶＣ型システム）を**図－１**に示す。

ベル工法は、推進管と地山との周面摩擦力が推進管の許容耐荷力より下回る本数ごとに、元押しジャッキからの推力を伝達するインナー装置に設置された支持装置で周面摩擦を支持する方式を採用したことで長距離推進を可能にした。

測量方法については、ＶＣ型（曲線推進用）では光学式ジャイロおよび加速度計を搭載した自走式測量ロボットの方式を採用、Ｖ型（直線推進用）ではレーザー方式を採用している。

表－１　ベル工法の型式分類表

排土方式	泥水一工程方式
型　式	曲線用：VC 型、直線用：Ｖ型
管　径	φ300、φ350
掘進可能延長	250m
最小曲率半径	曲線 R=60m、複数曲線施工可能
適用土質	普通土・礫質土・硬質土
最大礫径	φ300→30mm、φ350→35mm
礫　率	20％未満
軟弱地盤・互層対応	Ｎ値 3 以下の軟弱地盤、硬さの著しく相違する層の境界付近の掘進には方向制御を確実にするため、地盤改良を必要とすることがある。
管　種	VP-300、VM-350
立　坑	発進φ2.5m、到達φ1.2m（2 号人孔回収可能）

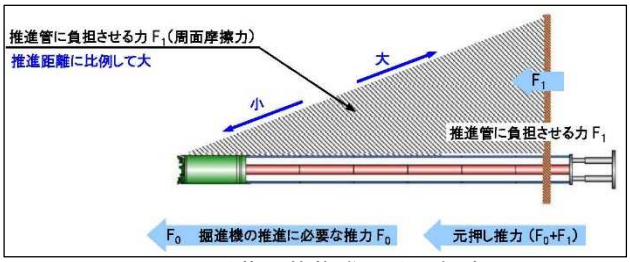


図－１　ＶＣ型（曲線推進用）のシステム概要図

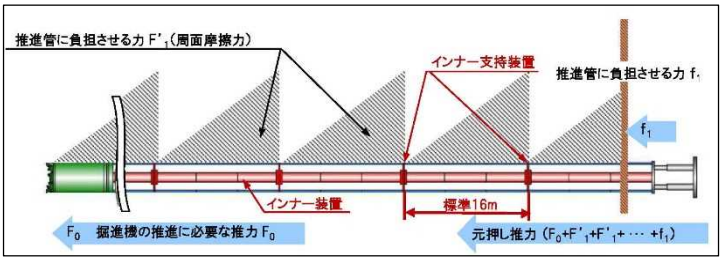
２．２　長距離推進の理論

従来の低耐荷力管（塩化ビニル管）による推進工法は**図－２**に示すように、先導体への先端抵抗を推進力伝達ロッドに作用させ、管には土との周面摩擦力を負担させている。なお、周面摩擦力は推進距離に比例して大きくなるので管の許容耐荷力によって推進距離が制限される。このため、耐荷力の小さい塩化ビニル管は、短い距離の施工しかできない。

ベル工法は**図－３**に示すように、管への周面摩擦力を仮設のインナー装置に負担させて推進管（塩化ビニル管）への負担を大きく軽減することにより長距離推進を可能にした工法である。推進管の許容耐荷力を下回る間隔（標準 16m）ごとに鋼製のインナー装置に設けられた支持装置（**写真－１、２**）で塩化ビニル管を支持する方式を採用しており、周辺摩擦力をインナー装置に負担させながら推進する方式で、鋼製インナー装置の耐荷力は大きく、長距離の推進を可能としている。



図－２　低耐荷力管推進工法の概念図



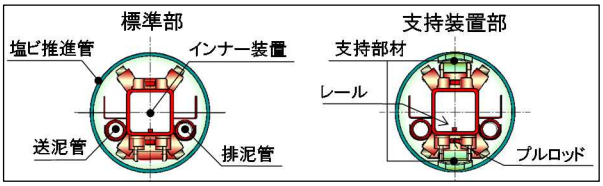
図－３　インナー支持装置による管推進工法の概念図

写真－１　インナー支持装置（塩ビ管設置前）

写真－２　インナー支持装置（塩ビ管設置後）

２．３　インナー装置

インナー装置は、塩化ビニル管を支持する機能だけでなく、測量ロボットの走行路（BOX部）、送排泥管および滑材注入ホースやケーブル類のトレイが一体となっている。これを推進管内に挿入し順次接続しながら掘進する。**図－４**と**写真－３**に示すように、インナー装置には、支持部材を備えた装置と標準部に使用する装置がある。推進到達後、プルロッドを引くことにより全ての支持部材を管内に収めることができ、発進立坑からインナー装置を順次回収が可能となる。



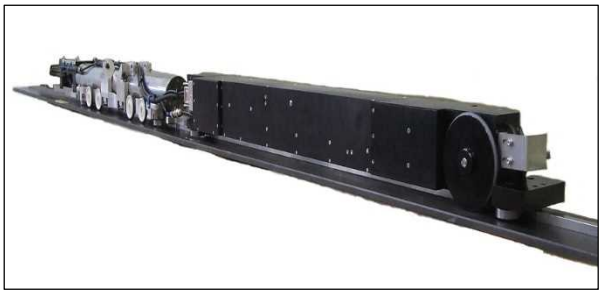
図－４　インナー支持装置の断面図

写真－３　インナー支持装置の全景写真

２．４　曲線推進での測量システム

曲線推進での測量方法は、**写真－４**に示すように、光学式ジャイロと加速度計を搭載した「自走式計測ロボット方式」を採用した。自走式計測ロボット方式は、インナー装置内の走行路を自走式計測ロボットが、真北からの全体方位角や距離について全管を往復計測することができ、長距離や複数曲線においても高精度の座標測量が可能となる。また、自走式計測ロボットは、駆動輪で自走し横滑りすることなくインナー装置の方向を計測出来るように、インナー装置の軌道を車輪で挟み込むモノレール方式を採用した。

このように、座標管理を行うことにより、道路台帳や後施工で行う際の資料として活用が出来る。さらに、管内測量方式ということから、土被りや地中埋設物に影響されることなく、河川及び鉄道横断、狭隘な道路や交通量の多い道路でも施工を可能とした。



連結した時の全景写真

上段：計測台車、下段：駆動台車

写真－４　自走式測量ロボットの写真

２．５　ベル工法用推進管

ベル工法用推進管は、発進立坑φ2500mm から長距離推進の施工性を向上させるために新たに開発した推進管であり、**写真－５**に示すように標準管とプッシャー管を使用する。プッシャー管は、インナー支持装置使用時に採用する。また、管端部の破損を防止できる曲線用のスペーサーも開発した。

標　準　管

プッシャー管

写真－５　ベル工法用推進管

3　ベル工法の施工例（既設ボックスカルバート水路直下を長距離曲線で施工）

・施工場所：石川県内

・呼び径：300

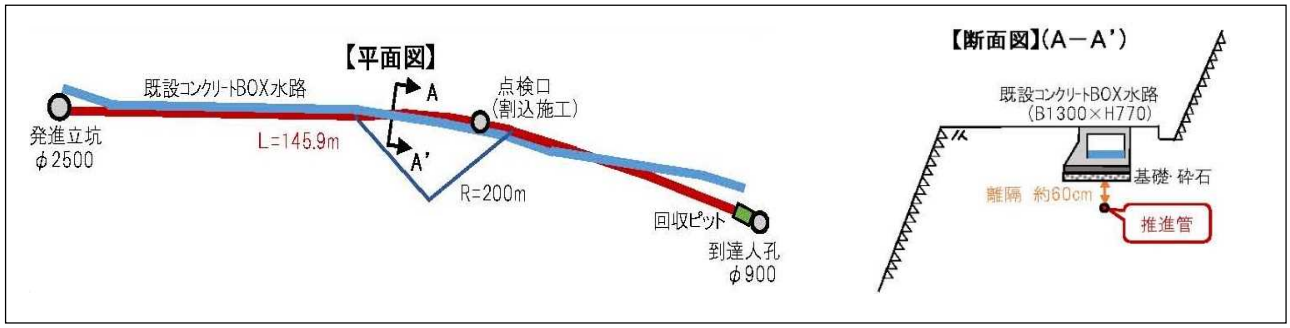
・推進延長：145.93m

・線形：曲線１箇所 R=200m

・土被り：2.00～2.32m

・土質：砂（大桑層）Ｎ値＝50 以上

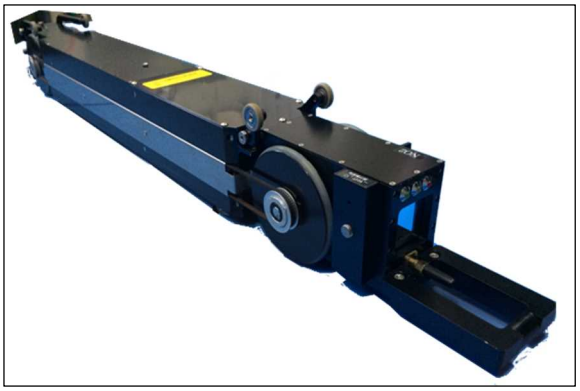
図－５に示すように、ボックスカルバート水路の直下を通過しながらの曲線推進であり、「自走式計測ロボット」での測量で位置を確認しながら推進し、精度良く到達することができた。後施工でのボックスカルバート水路真横の「点検口」設置も測量データを基に問題なく設置することができた。



図－５　施工例工事箇所の平面図と断面図

4　新たな取り組み

破砕出来る最大礫径（長径）は呼び径の 1/10、礫含有率は 20%未満が基準となっているが、現在、礫質土への対応を可能とするために掘進機等を開発している。また、現在、自走式計測ロボットは、計測台車と駆動台車の２連式であるが、曲線推進時の測量精度向上のために、**写真－６**に示すような一体型の計測ロボットを製作し、より高精度で安全な測量を目指している。



写真－６　新型自走式計測ロボット（改良中）

5　おわりに

小口径管推進工法においては、工事コストの低減として今後ますます長距離・曲線推進施工の技術が求められる。同時に、下水道事業費の低減として直接の工事費ばかりでなく、ライフサイクルコストの低減も求められている。この様な背景の中でベル工法は、上述のニーズをかなえられる工法として発注者に限らず多方面から期待が寄せられている。これらの期待に応えられるように、今後様々な条件の工事を施工して、技術の安定化および対応土質や管径の更なる拡大を図り、ベル工法の改良と開発に努めていきたい。

分粒装置付きロードスタビライザの施工事例

鹿島道路株式会社　生産技術本部工事統括部機械部　開発・設計課　　端　孝之

1　はじめに

分粒装置付きロードスタビライザ「ストーンセパレータ」の原型は 1989 年に開発された、ロードスタビライザにスクリーンを取り付け、分粒機能を持たせた「クラッシングセパレータ」（写真-1）である。ゴルフ場造成工事などで軟岩破砕に供用することにより、破砕・分粒が 1 回ででき、客土が不要で直接芝の貼り付けが可能であった。今回、クラッシングセパレータに対する改善点を考慮し、新たに浅層改良に特化したロードスタビライザ「ストーンセパレータ」を開発し、現場での施工を行ったのでこれを紹介する。

写真-1　クラッシングセパレータ

2　背景

グラウンドなどの表土は、長年の使用により圧密され透水機能が低下し、不陸が発生して水溜りが多く生じ運用に支障をきたすことがある。このような機能が低下した状態の土に不足分を客土し、または改良材を足して撹拌改良を行うことで透水機能回復を図ることが可能である。従来のクラッシングセパレータは、機械が大型で回送するにはトレーラが必要であり、騒音も大きいため周辺環境への影響を考慮する必要があった。また、施工深さは 350㎜ 程度を基準としており、それよりも浅い施工の場合は、土の抱え量が減ることから分粒効率が低下することがあった。また、近年では都市部での比較的小規模なグラウンド等の改良工事が増加する傾向にある。このような経緯を踏まえ、新たに開発したロードスタビライザが「ストーンセパレータ」である。

3　概要

ストーンセパレータは、車体後方のフード内にあるビットを備えたロータを回転させ、機能の低下した表土を撹拌混合し改良を行う。通常のロードスタビライザと異なるのは、フード内に配置された振動スクリーンで、小石や粗粒塊などは下層へ、細粒分は表層へ分離させることができる点である。1 回の施工で、土のかきほぐし・混合・撹拌・分粒までを行うことができる効率的な工法である。また、下層に分離された石の層は排水層として機能することが期待できる。また、同時に補充材や改良材を添加・混合することで用途に応じた状態にリフレッシュすることも可能である。

写真-2 ストーンセパレータ（新規開発機械）

本体の寸法と重量はセルフローダで回送できるように、全幅は 2,450 ㎜、重量では 13 トン未満となっている。輸送運搬コストの低減が可能であり、狭い現場内での作業性や移動性などにも配慮したものである。

4　性能・機能

本機の施工深さは 100～200 ㎜の範囲となっている。施工速度は 4～10m/min で、深さや土の固さによって変動する。グラウンドを想定した場合、折り返しの移動なども含み、1 日(8 時間)で 2,000～3,000 ㎡程度の施工を行うことが可能である。車体は扱いやすさを重視し、上面がフラットになっており左右・前方の視界を確保している(写真-2)。適用場所としては、透水機能の低下したグラウンド等を想定しており、グラウンド設計基準に合わせて浅い層の改良に特化して機械全体を従来のロードスタビライザより小型化している。

分粒工程は、フード内に設置したスクリーン面に残る粗粒分を前方へ落とし、スクリーンを通過した細粒分のみ後方へ落とす機構となっている(図-1)。この仕組みにより、ストーンセパレータが進むにつれ、前方に落ちた粗粒分の上に細粒分が後から積み重なっていく。スクリーンは交換式で、分粒サイズによって寸法の異なった網目に変えることができる。また、スクリーンは取付角度調整が可能であり、土の性状にあった分粒効率の良い適切な角度に合わせることができる。なお、スクリーン枠部分にはバイブレータ機能が付いており、粘性土等の付着による目詰まりを防止する工夫をしている。

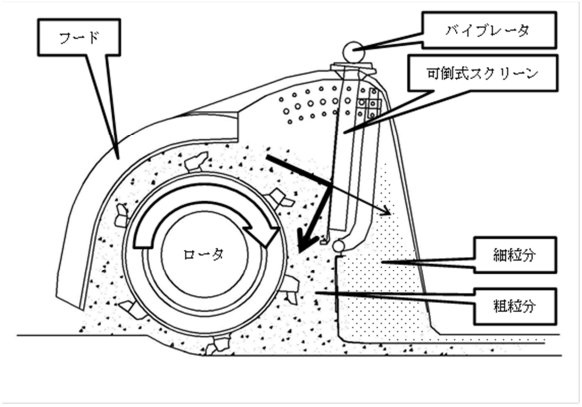


図-1　分粒のイメージ

5　施工事例①　神社の参道

東京都内の神社参道での施工事例を紹介する。現場は総延長約 500m、施工深さ 150㎜、幅員約 6m という条件であった。参道は管理用車両が走行する程度だが、わだち掘れが一部にあり歩行者が非常に多いため踏み固められ水溜りが発生するほか、一部表面には小石の点在が認められた。水はけの改善とわだち掘れの解消、表面に点在する小石の除去がこの施工の目的であった。

施工は、始めにグレーダで表面の仕上げ用玉砂利を路肩側へ除けてからストーンセパレータにより撹拌・分粒を行い、振動ローラ・タイヤローラの順に転圧を行った。その後、グレーダにより整正、再度転圧をかけて最後に路肩側に除けた玉砂利を戻して仕上がりとした。撹拌・分粒の施工速度は約 4～5m/min 程で、3 日間で約 3,000 ㎡の施工を行うことができた。

写真-3 神社参道　施工前後の比較

写真-3 に示す左側が施工前、右側は施工後の状態である。施工前の状態は小石が表面に目立つが、施工後は表面にあった小石が下層に分粒沈下されたことが確認できる。

写真-4 は分粒状況で、写真中央凹部分の小石はこの後ストーンセパレータが通過していく際に下層として埋められ、写真左側のように表面には小石が目立たない仕上りとなる。全体の施工結果としては、わだ

ち掘れが解消され表面の小石が分粒されることにより、問題の無い仕上がりとなった。透水機能については、降雨時にその改善効果が確認された。

この現場は、写真-3 のように幅員の限られたエリア内の施工であり、参拝客も多いので施工エリア外に機械が回避できない条件であったが、コンパクトな本機はタイヤローラやグレーダとのすれ違いなどもエリア内で容易に行うことができ、スムーズに施工を進めることができた。このような、浅い処理深さ、大型機では作業困難な狭隘なエリアという条件では、当ストーンセパレータの利点が最大に発揮できたといえる。

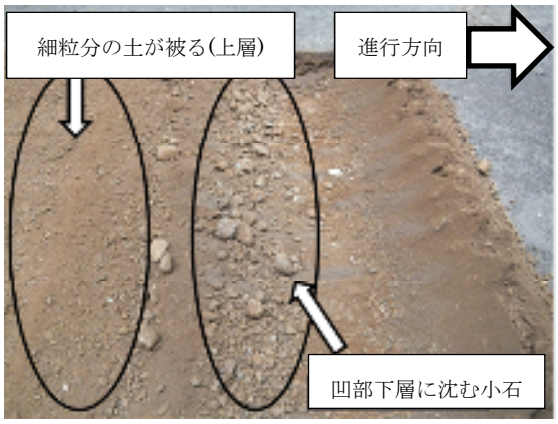


写真-4 分粒状況
（下層：粗粒分、上層：細粒分）

6　施工事例②　グラウンド

千葉県の企業敷地内にあるグラウンド予定地の施工を行った例を紹介する。ここは、野球場グラウンド予定地で、内野・ファウルライン沿いの合計約 2,800 ㎡の施工を行った(写真-5)。施工深さは埋設物の関係もあり 100 ㎜程度と浅い処理深さであった。

空き地をグラウンドとして転用するということで、小石の除去および水はけの改善が主な目的であった。写真-5 の改良前の状態は表面に川砂を敷いており、一見すると表面に小石などは見えないが川砂の下には小石や草木の根等が埋まっている状態である。

写真-5　企業グラウンド　施工前

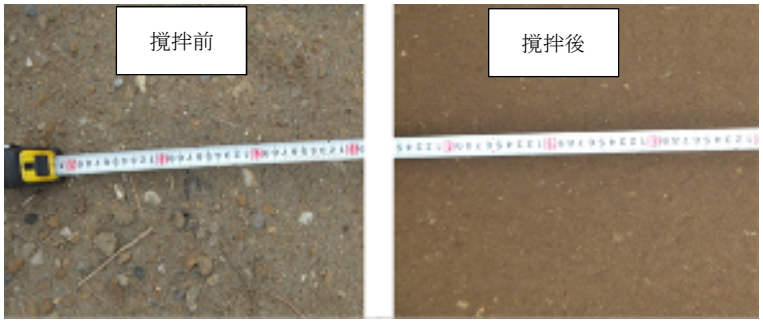


写真-6　施工前後のグラウンド表面比較

施工はストーンセパレータで撹拌・分粒した後にブルドーザで整正、次にコンバインドローラで仮転圧、その後、改めてブルドーザで整地の順に行った。施工深さが 100㎜ と浅かったが、石が露出するようなこともなく、改良が問題なく行えていることが確認できた(写真-6)。写真左側の施工前で川砂が無い状態では小石が目立ち草木の根なども見受けられるが、写真右側の施工後の表面は目立つ小石は無くなっていることが確認できる。

この現場は、空き地を新たに整備してグラウンドとする予定地であったため、地中に埋没した異物や大きい転石等が多く混在していた。施工深さが浅いこともあり、施工速度は最大 10m/min 程度で施工を進められたが、異物・転石の影響で、場所によって効率よく進まない箇所もあった。これらの事前処理がストーンセパレータでの施工上重要なポイントである。

写真-7　撹拌完了後の全景

施工後の現場全景が写真-7 である。まだ整地は終えていない状態だが、降雨により水はけ状態は、十分改善されていることが確認できた。今回施工しなかった一部分では水溜りやぬかるみが発生しており、ストーンセパレータによる施工の有効性を確認できたと言える。

7　施工事例③　グラウンド・改良材混合

次に北海道内の中学校グラウンド施工事例を紹介する。この現場では特殊針葉樹皮土壌改良材（以下、特殊改良材）の混合を併せて行った。施工箇所は、グラウンドの一部であり、サッカーコートおよびトラックコースにあたる部分の改良で、施工面積は約 5,000 ㎡、11 月末の寒冷な時期ということもあり、水溜りやぬかるみは晴天が続いても解消しない状態であった。特殊改良材を混合することにより、水はけの改善、雑草の発生・表土の流失・砂ぼこり飛散の抑制効果が期待される。今回使用した特殊改良材は樹皮を堆積して発酵による自己加熱処理を施したもので、出荷時に含水比を調整し混合を行いやすくしている。水はけの改善や表土の流失防止効果は細かな樹皮の繊維が土粒子と絡むことにより、土壌の安定を図ることによるものである。

施工は、最初にスクリーン目詰まり防止のために雑草を除去し、その後ストーンセパレータによる撹拌・分粒を 150㎜ の深さで行い、仮転圧後、特殊改良材を敷均し(写真-8)、深さ 100㎜ で混合・再分粒した後、転圧・整正を行った。写真-8 は面積に対して規定量を散布するためにエリアを区切って特殊改良材を敷き均している状況である。100㎜ 深さでの混合・再分粒は、十分に改良材を分散させるために施工レーンをラップさせ、同じ場所で 2 回以上の混合が行われるように工夫した。

写真-8　改良材敷均し状況

写真-9 は撹拌・混合・分粒後、転圧を行った状態である。施工後の混合・分粒状態に関しては他の現場と同様、不陸の解消と石の下層への分離が十分にできたと考えている。改良材の混合に関しては、一般の農業用トラクターを使用した場合、4～6 回程度の繰り返し混合が必要とされていたが、ストーンセパレータの場合 2 回の混合で十分な攪拌性を目視で確認することができた。水はけは改良材による改善が期待されたが、後日調査確認を行い、良好な結果であった。

写真-9　撹拌、混合施工・仮転圧状況

本現場の施工結果としては、ストーンセパレータにより十分な撹拌・混合・分粒を行うことができ、特殊改良材の混合も農業用トラクターより施工能力が高く、効率的に作業を進められることが確認できた。

8　おわりに

この様にストーンセパレータは、グラウンド等の浅層の改善・改良に特化した分粒装置付きロードスタビライザである。本機は、これまでに複数の現場で施工を行って作業性や分粒・混合機能の評価を行い、表土の改良に十分な性能を発揮できることを確認してきた。1 回の施工で撹拌・分粒を行い、効率的に機能の低下した表土の改善を行う特長を生かし透水機能の改善・小石の分離に効果を発揮する機械・工法である。さらに、改良材を同時に混合することで表土の機能回復をさらに効果的に行うことができる。今後いろいろな土質での施工を重ねて、問題点や機能の改善を進めていく所存である。

第2会場

第Ⅳグループ

塩分分析におけるＪＮＬＡ試験事業者登録の紹介

中日本ﾊｲｳｪｲ･ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ名古屋(株) 金沢支店道路技術部構造技術課担当課長 北川勝明

１　はじめに

中日本ﾊｲｳｪｲ･ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ名古屋株式会社 金沢支店 試験研究室（以下、「試験室」という。）は、平成 26 年 8 月に JNLA（試験事業者登録制度）に基づき、認定登録されました。

申請の区分は「石灰・セメント・ガラス化学分析試験」、対象試験は「JIS A 1154：硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」であり、試験室で最も多く実施している試験となります。

ここでは、登録までの歩みと技術的要求事項の主要な項目である「不確かさ」について概説します。

なお、当試験室では、親会社の中日本高速道路(株)はもとより、全国の一般民間会社から依頼を受け、劣化したコンクリート構造物を中心とした各種の試験を実施しています。

弊社金沢支店ではコンクリート構造物の塩害やアルカリ骨材反応等の劣化状況を調査し、試験室において塩化物イオン量・アルカリ量・陰イオン量分析、促進養生試験、EPMA 分析等により劣化要因と劣化の進行過程を診断し、劣化の進行予測と補修効果の評価を行います。これらの診断・評価結果に基づき、LCC から最適な補修工法を提案できるトータルマネージメントの体制を取っています。試験室は、これらの診断・評価のための分析・試験やコンクリート構造物の長寿命化を追求するための研究拠点となっています。

２　JNLA（試験事業者登録制度）とは

２．１　JNLA の概要

JNLA とは、Japan National Laboratory Accreditation system の略称であり、工業標準化法（JIS 法）に基づく試験事業者登録制度のことを言います。これは国際標準化機構などが定めた試験所に関する基準（ISO/IEC 17025：日本では JIS Q 17025）の要求事項に適合しているかどうか審査を行い、試験事業者を登録する制度です。

つまり、**図-1** に示すように JIS マーク表示制度が、国により登録された第三者機関から認証を受けることによって、JIS マークを表示することができる制度と同様に、JNLA 制度は試験を行う事業者が適切な試験結果を提供する能力があるかどうかを、第三者機関が登録する制度となります。

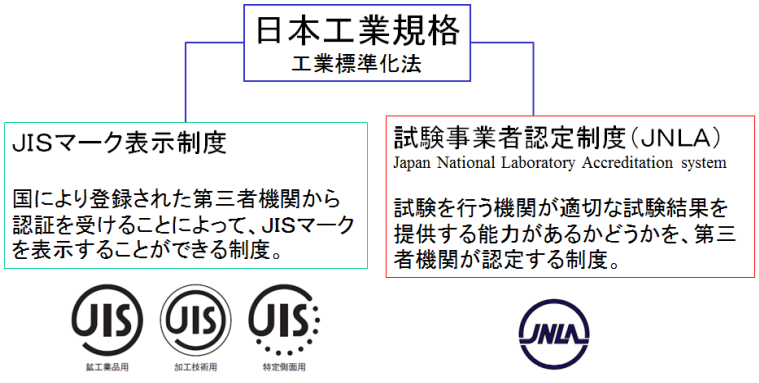


図-1　JIS マーク表示制度と JNLA との関係

２．２　審査の内容

この制度は、日本工業規格（JIS）の試験を実施する試験事業者を対象として、その品質システム、試験施設、機器などが試験を実施する上で適切であるか、定められた品質シス

テムが運営されているかを書類審査・現地審査により審査し、登録するものです。

ISO/IEC 17025 は、試験事業者がすべて満たさなければならない次の 3 つの要求事項を規定しています。

① マネジメントシステムを運営する能力
② 技術的に適格であること
③ 技術的に妥当な結果を出す能力

図-2 国際 MRA 対応認定事業者の標章

２．３ JNLA 制度の標章（ロゴ）

登録事業者は、その証（あかし）として**図-2** の右に示す JNLA の標章（ロゴ）の入った試験証明書を発行できることとなります。登録の対象となる区分は、鉄鋼・非鉄金属、繊維、化学品、電気、土木・建築、日用品等の多岐に亘っています。

２．４ 国際 MRA 対応

さらに、当試験室の試験証明書が全世界に通用可能となるように、国際 MRA 対応を図り認定を受けました。国際 MRA 対応では、試験能力の維持状況を確認するために、定期的な検査、及び技能試験（もしくは試験所間比較）を計画・実施する必要があります。国際 MRA 認定事業者は、その証として**図-2** の左と中に示すように JNLA に加えて ILAC MRA マークの入った試験証明書が発行できます。

なお、IAJapan 標章の下に示した番号は当試験室の認定番号となります。

３ JNLA 登録までの歩み

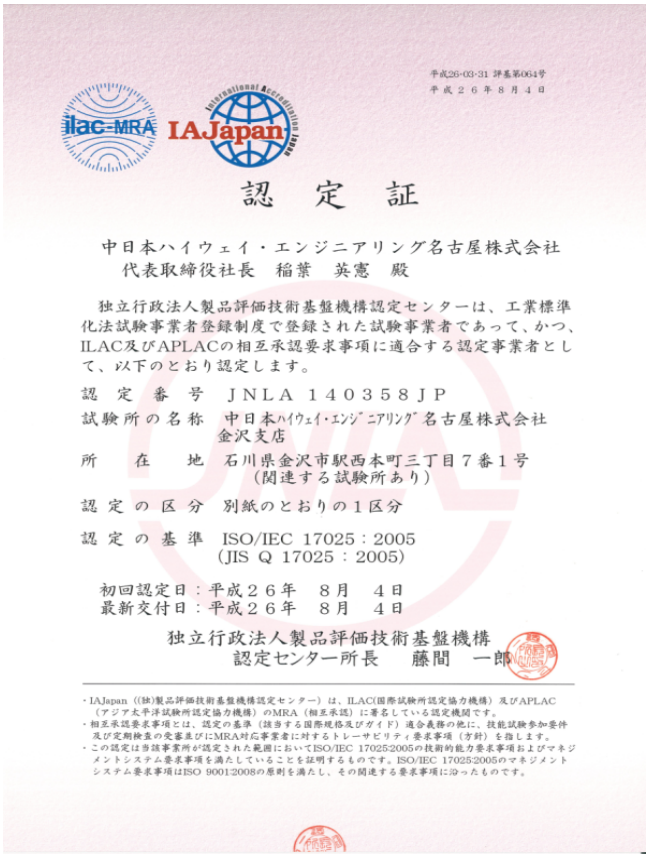
３．１ 登録への経緯

平成 26 年に全国の道路橋（70 万橋）全橋を５年に一度、近接目視点検を基本とする道路法施行規則(省令)が改正されることになりました。この省令では、道路橋において健全性の診断・分類を行わなければならず、塩害に対する健全性の診断には、塩分分析が必要になります。この塩分分析には、公正で信頼できるデータの提供が不可欠と認識しています。

３．２ 申請までの概要

試験室を広く認知していただくために、何らかの公的資格取得が必要と考え、JNLA 登録を目標としたプロジェクトチームを平成 24 年に発足しました。

翌年、当社の経営目標の一つに試験室の JNLA 登録を掲げ、金沢支店内での役割・体制を調整


平成26-03-31 評基第064号
平成２６年８月４日

ilac-MRA IAJapan

認　定　証

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社
代表取締役社長　稲葉　英憲　殿

独立行政法人製品評価技術基盤機構認定センターは、工業標準化法試験事業者登録制度で登録された試験事業者であって、かつ、ILAC及びAPLACの相互承認要求事項に適合する認定事業者として、以下のとおり認定します。

認定番号　ＪＮＬＡ１４０３５８ＪＰ
試験所の名称　中日本ﾊｲｳｪｲ･ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ名古屋株式会社 金沢支店
所在地　石川県金沢市駅西本町三丁目７番１号 （関連する試験所あり）
認定の区分　別紙のとおりの１区分
認定の基準　ISO/IEC 17025：2005 (JIS Q 17025：2005)

初回認定日：平成２６年　８月　４日
最新交付日：平成２６年　８月　４日

独立行政法人製品評価技術基盤機構
認定センター所長　藤間　一郎

・IAJapan（(独)製品評価技術基盤機構認定センター）は、ILAC(国際試験所認定協力機構）及びAPLAC（アジア太平洋試験所認定協力機構）のMRA（相互承認）に署名している認定機関です。
・相互承認要求事項とは、認定の基準（該当する国際規格及びガイド）適合義務の他に、技能試験参加要件及び定期検査の受審並びにMRA対応事業者に対するトレーサビリティ要求事項（方針）を指します。
・この認定は当該事業所が認定された範囲においてISO/IEC 17025:2005の技術的能力要求事項およびマネジメントシステム要求事項を満たしていることを証明するものです。ISO/IEC 17025:2005のマネジメントシステム要求事項はISO 9001:2008の原則を満たし、その関連する要求事項に沿ったものです。

図-3　認定証

し、JNLA 登録申請の準備段階へと進展しました。

登録取得に向け最も苦労したことは、技術的に困難が予想された「塩化物イオンの試験における不確かさ推定手順書」策定でした。このため、「不確かさ」についての研修を受講し基礎知識を習得したことにより、算定が可能となりました。この「不確かさ」については後述します。

３．３　申請から登録まで

平成 26 年 3 月に JNLA 登録申請書を独立行政法人製品評価技術基盤機構に提出し、7 月に現地審査を受け、8 月には**図-3** に示すように認定証が交付されました。

４　技術的要求事項の一つ「不確かさ」

４．１　技術的要求事項

ISO/IEC 17025 では、「管理上の要求事項」と「技術的要求事項」が存在し、前者は ISO9001 をより精緻にしたものであり、後者については要員の訓練や試験設備の能力確保、測定のトレーサビリティ、試験方法の妥当性確認のため「測定の不確かさ推定手順書」の策定等を要求するものです。

４．２　「不確かさ」とは

「不確かさ」とは計測値のばらつきの程度を示した尺度です。従来から使用されているばらつきの概念に「誤差(Error)」があり、これは真値と測定値の差のことを指します。しかし、測定する事象の真値を知ることは不可能であることから、1990 年代に「不確かさ(Uncertanity)」という測定値など実験値のみに基づく概念が定義されました。不確かさは、試験工程ごとの個々のばらつきの大きさが全部合わさった試験全体のばらつきのことを指し、後述する「バジェットシート(**図-4** 参照)」で表します。

ばらつき要素	記号	値 ±		確率分布	除数	標準不確かさ
天秤						
天秤の校正機関による不確かさ	u_{W1}	0.0082	g	正規分布	2	0.00041
天秤の読取り分解能	u_{W2}	0.005	g	矩形分布	√ 3	0.000288675
天秤の温度の影響	u_{W3}	7	℃	矩形分布	√ 3	8.0829E-05
メスアップ						
ろ液定容時のメスフラスコのメーカー許容差	u_{M1}	0.12	ml	三角分布	√ 6	0.000489898
ろ液定容時のメスアップ繰返し性 (試験員A)	u_{M2}	0.024267474	ml	—	1	0.000243003
ろ液定容時のメスアップ繰返し性 (試験員B)	u_{M2}	0.017175907	ml	—	1	0.00017205
ろ液定容時のメスアップ繰返し性 (試験員C)	u_{M2}	0.04086414	ml	—	1	0.000408984
ろ液定容時のメスフラスコの温度の影響	u_{M3}	15	℃	矩形分布	√ 3	0.001784012
⋮	以下、同様に全ての試験工程のばらつき要素の不確かさを見積もる					
合成標準不確かさ	u_c			正規分布		0.001374136
拡張不確かさ	U			正規分布(k=2)		**0.00194332**

図-4　バジェットシート(模式図)

４．３　「不確かさ」の算定

今回登録された「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」(**写真-1** 参照)につい

ても、正確な測定を要する手順ごとに不確かさを精査し、それぞれを所定の計算式に従って、全てを合成して最終的な「不確かさ」を導き出さなくてはなりません。

例えば、

① 試料の秤量に起因する不確かさ

② 抽出液の定容時、分取時に起因する不確かさ

③ 電位差滴定に起因する不確かさ

・・・などです。

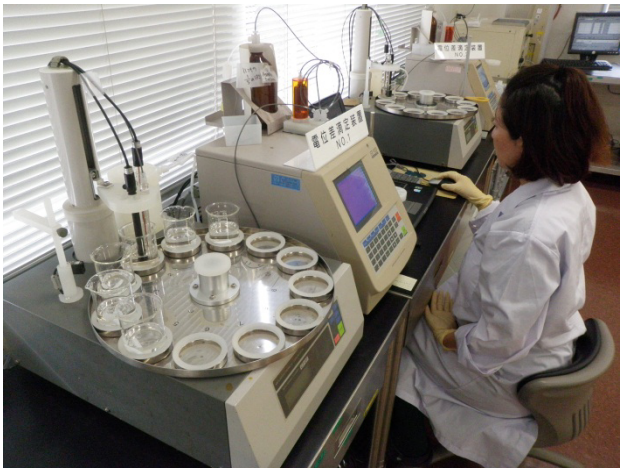


写真-1 電位差滴定法による塩化物イオンの分析状況

この内、①試料の秤量だけをとっても、天秤の校正機関による不確かさ、天秤のメーカー仕様書による直線性、天秤の読取り分解能、天秤の温度による影響などが考えられ、それぞれの不確かさを算定する必要があります。

また、②抽出液の定容時についても、試験室要員毎の繰返し測定量を集計し、各人の不確かさを導いて、定容時の不確かさを合成する必要があります。

最終的には、一連の算定結果をバジェットシートと呼ばれる一覧表(**図-4**)にまとめ、測定値に対して通常は測定精度でいう所の２σ（信頼区間 95%）の範囲に入る「±拡張不確かさ」で示すこととなります。

５ 結び

上記のように試験室では、「不確かさ」を整理し、他の試験所間との比較試験により自身の校正を行っており、信頼できるデータの提供が可能となります。

また、JNLA 登録事業者として、管理上の要求事項及び技術的要求事項を今後も満たしていく所存です。

さらに、試料の受取りから結果の報告までの、トレーサビリティが保証され、全てが記録され、追跡できるシステムとなっています。

試験事業者として公正、公平性の保持に努め、法令･規制要求事項の遵守と、誠実な業務遂行を試験室にかかわるもの全員の方針としております。

今後は、塩害に対する健全性の診断や塩害の補修設計など測定精度が保障された「JNLA 登録事業者での試験」の採用が多くの機関で検討されるようアピールを続けて行く所存です。

以 上

空中放射音波による遠距離非接触非破壊検査技術/NCAI 法

佐藤工業　技術研究所　上席研究員　　○歌川　紀之
佐藤工業　技術研究所　主任研究員　　黒田　千歳
桐蔭横浜大学　工学部　教授　　杉本　恒美
桐蔭横浜大学　工学部　研究員　　上地　　樹

1　はじめに

橋梁やトンネルなどコンクリート構造物の点検では、目視点検および叩き点検が基本となる。目視点検、特に近接目視点検や叩き点検は、コンクリート面に近づいて実施されるため、足場や高所作業車からの高所作業となり、特にトンネルの天端や橋梁下部では上向きの苦渋作業となる。これらの作業を合理化するため、目視点検については、レーザーや CCD カメラなどの光学機器による撮影、ひび割れの自動認識（位置、幅）システムの開発、近接するためのリモートコントロールのヘリコプターへのカメラの搭載などが成され、作業の合理化の研究開発は進みつつある。一方、叩き点検については、赤外線カメラの利用、電磁波法の利用、レーザー超音波法 [1]、打音ロボットの開発などが成されているが、目視点検に比較し、作業の合理化のための研究開発が進んでいないことが現状である。

筆者ら [2]は、叩き点検を合理化・高精度化する技術として、空中放射音波による遠距離非接触非破壊検査技術（Non Contact Acoustic Imaging Method;NCAI 法）に着目し、研究開発を進めている。本技術は、指向性が強いスピーカーで発生させた音圧の大きい音波をコンクリート面に入射させる。その結果、コンクリート表面に発生した振動をレーザードプラ―振動計で測定し、その振動分布から、コンクリート表面の浮き・はく離などの欠陥を探査する技術である。試験体を対象とした探査では、10m離れた位置から、これらの欠陥の探査が可能であることが確認された。

本報告では、NCAI 法を紹介するとともに、コンクリート単一ではなく、アスファルトとコンクリートからなる二層材料、ここでは、アスファルトとコンクリートからなる橋梁 RC 床版の試験体へ NCAI 法を適用した結果を示す。

2　NCAI 法

2．1　探査原理

NCAI 法は、叩き点検と同じ探査原理である。叩き点検では、浮き、はく離部分において、表面と水平ひび割れ間にコンクリート板が構成され、その部分をハンマー打撃することにより、コンクリート板の曲げ振動が発生する。曲げ振動により発生する音を耳で聞くことにより、音色から欠陥の有無を判断する。一方、NCAI 法では、スピーカーにより発生した音波により上記のようにコンクリート板に曲げ振動を発生させ、その振動をレーザードプラ―振動計で面的に測定することにより、その振動分布から、欠陥箇所を

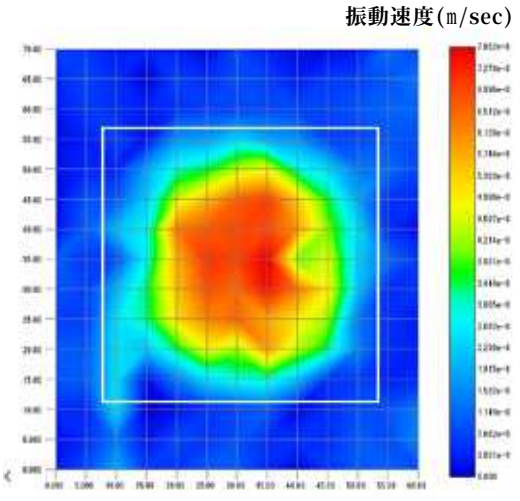


図-1　NCAI 法を用いた曲げ振動の可視化画像

探査する技術である。正方形のはく離試験体に対し、5m 離れた位置から NCAI 法で用いたハードウェアで面的な振動分布を測定した結果を図-1 に示す。図-1 では、正方形板（50cm×50cm、厚さ 7cm）の曲げ振動の一次の固有周波数と考えられる 1220Hz における測定点における周波数振幅の値を図化したものである。このように、音波の加振により、コンクリート板が固有振動が発生し、その振動を遠隔地から観測することが、NCAI 法の測定原理となる。

２．２　ハードウェアと入射波

図-2 にハードウェア構成を示す。スピーカは、高音圧と強い指向性を発生できる長距離音響放射装置 LRAD-300X(Long Range Acoustic Device)を 用いた。LRAD-300X では最大 142dB の音を発生することが可能で、100m 離れた位置でも 100dB 程度の音を供給できる。振動計は、スキャニングレーザー振動計 SLDV(Scanning Laser Doplar Vivrometer)を用いた。SLDV により、コンクリート表面の面外方向の面的な振動速度をスキャニングしながら測定できる。また、振動測定は、入射音と同期を取って測定される。

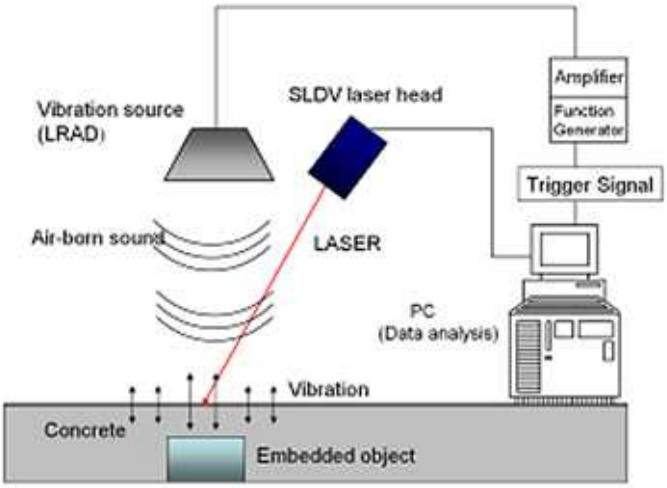


図-2　NCAI 法におけるハードウェア構成

図-3 に本測定で用いた、トーンバースト波を示す。トーンバースト波とは、最初に低い周波数の音数波を入れ、時間を空けて順番に周波数を高くしていく波である。実構造物のコンクリート表面には広さ、深さが異なるはく離欠陥があり、それらの曲げ板の固有周波数は一定ではない。そこで、前述の共振現象を見つけるためには、色々な周波数で振動させることが必要となる。ハンマーのような衝撃加力では、各種の周波数が含まれるが、音波では衝撃的な加力は難しいと考え、当初は、広いレンジの周波数を有するホワイトノイズやチャープ波を用いてきたが、加力が弱いこと、スピーカーから振動計への直接波や反射波によるノイズの除去が難しいことから、トーンバースト波を用いることとした。

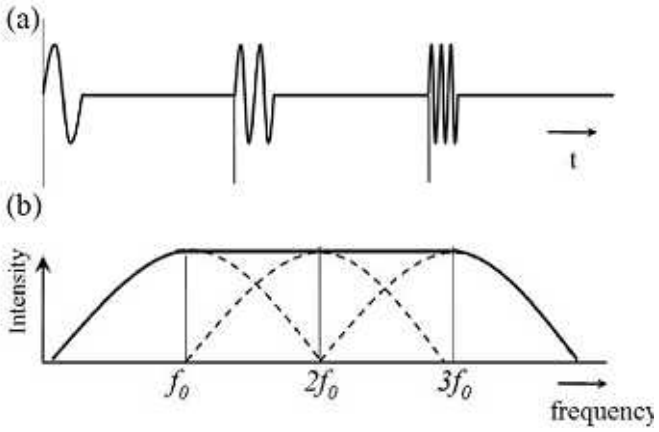


図-3　NCAI 法で用いたトーンバースト波

３．測定

NCAI 法により、アスファルト舗装下の RC 床版中に生じた分離化・はく離などの探査を実施した結果を以下に示す。

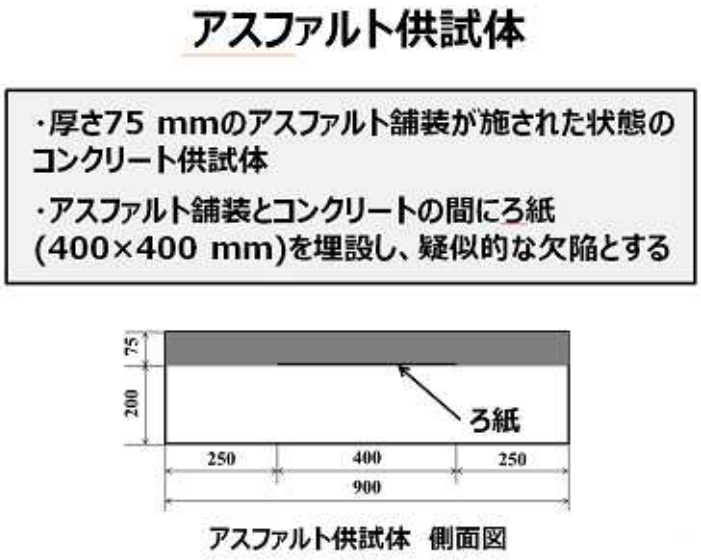


図-4　アスファルト供試体

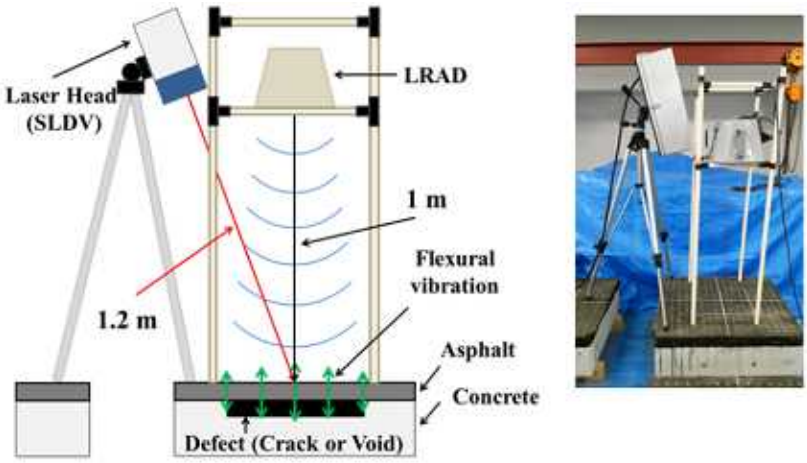


図-5　測定配置図

図-4 に示す RC 床版中の分離化・はく離を想定した、５種類の供試体 900×900×275㎜(コンクリート厚さ 200㎜、アスファルト厚さ 75㎜)を用いた。測定機は、路面上の車載機からの測定を想定し、図-5 に示すように配置した。図-6 に分離化の測定結果を健全な RC 床版の結果と比較した。本結果では、アスファルトとコンクリートの分離化に伴う欠陥部の周波数 1563Hz の共振が観察されている。なお、この共振は、事前に実施されたハンマリングテストにより観察されている。一方、欠陥がない場合は同周波数での共振が起きていないことも確認された。

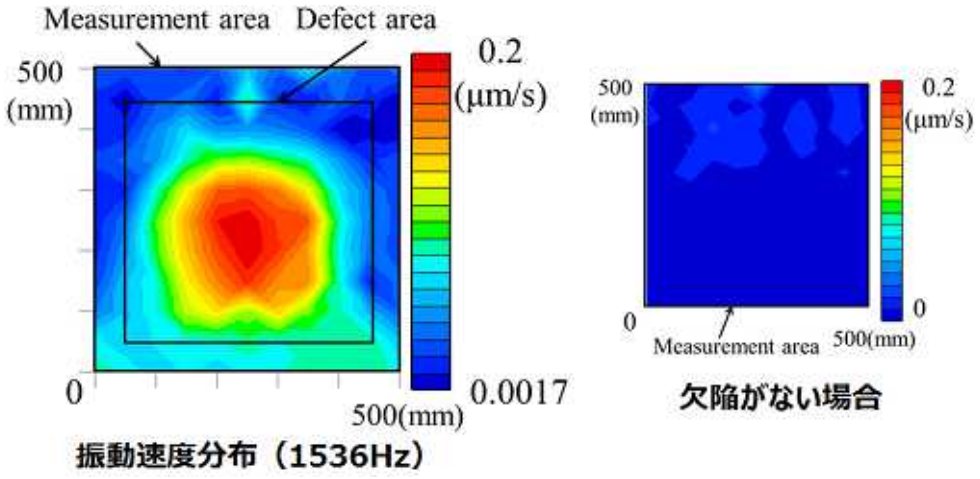


図-5　測定結果

４．おわりに

叩き点検を合理化、高精度化する技術である NCAI 法を紹介した。アスファルト舗装下のコンクリート床版内部の分離化・はく離を模した欠陥についての適用事例を示した。その結果、路面上から、アスファルト舗装下のコンクリート床版中のアスファルトとコンクリートの分離化やコンクリート内部の剥離を探査することが可能であることがわかった。本研究は、平成 23 年度～平成 26 年度の国土交通省「道路政策の質の向上に資する研究開発」の予算で実施されたものです。また、現地の測定では NEXCO 中日本㈱金沢支社、金沢工業大学木村研究室の支援をいただきました。関係者には謝意を表します。

参考文献

1) 島田義則,コチェエフ　オレグ,篠田昌弘,御崎哲一,高橋康将,瀧浪秀元：レーザを用いたコンクリート欠陥検出の進展,非破壊検査 61(10),pp.519-524,2012.10.
2) 杉本恒美,赤松　亮,歌川紀之,片倉景義：コンクリート非破壊検査のための遠距離非接触音響探査法,日本コンクリート工学年次論文集,pp.2062-2067,Vol.36,No.1,2014.
3) 上地樹、赤松亮、杉本恒美： SLDV と空中放射音波を用いたコンクリート非破壊検査,―N2U-BRIDGE とアスファルト供試体における探査結果例―，桐蔭論叢，第 30 号 pp.185-191，2014.10

ＨＩＶＩＤＡＳ（ヒビダス）の開発

清水建設株式会社　土木技術本部基盤技術部主査　　久保　昌史

1　はじめに

現在、構造物の点検は目視や打音によるものが主流であるが、点検員による結果のばらつきや見落とし等のヒューマンエラーといった課題がある。こうした課題を解決するために、強制加熱が不要なパッシブ赤外線方式による熱画像と可視画像を同時に撮影したハイブリッド画像から、ひび割れや浮き等の変状をコンパクトな装置で効率的に抽出できる技術（ＨＩＶＩＤＡＳ（ヒビダス））を開発した。

写真-1　撮影装置の全景

2　ＨＩＶＩＤＡＳ（ヒビダス）の概要

本技術は、赤外線カメラを用いて強制加熱不要なパッシブ法による熱画像とデジタルカメラを用いた可視静止画像を同時に連続的に撮影し、これらの画像を重ね合わせたハイブリッド画像を処理することによって変状を抽出、図化するシステムである。写真-1 に撮影装置の全景を、写真-2 に撮影機材を示す。撮影は、加熱装置や大がかりな照明装置が不要なため、コンパクトなシステムとなっている。

写真-2　撮影機材

画像解析では、図-1 に示すように画像のゆがみ等を補正して全体画像に接合し、解析ソフトを用いて変状を抽出・図化するとともに、ひび割れ長さや浮き等の面積を集計する。

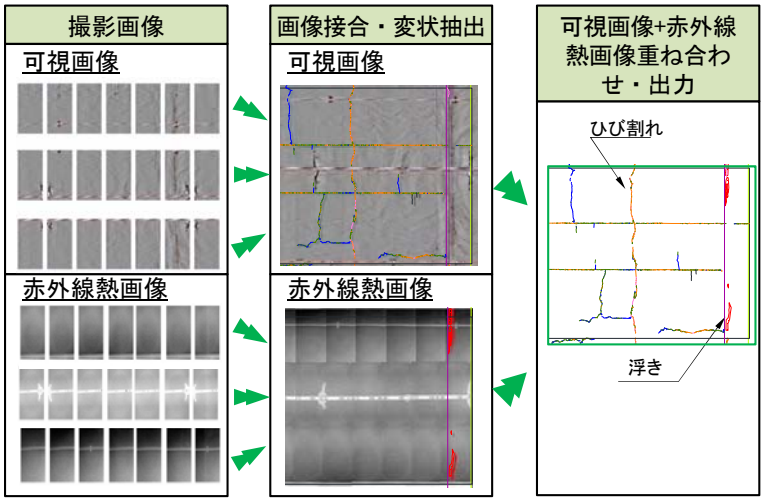


図-1　画像処理の流れ

本技術の特長を以下に示す。

・客観的でばらつきや見落としがない診断結果が得られる。
・大掛かりな設備を必要としない画像診断が構造物全般に安価で安全に適用できる。
・診断結果がデジタルデータとして保管され効率的な維持管理が可能になる。
・大量維持管理次第における調査、診断の省力化、効率化が可能になる。

3　測定原理

3．1　赤外線熱画像

本技術で適用するパッシブ赤外線法とは、従来のアクティブ赤外線法のように対象物の表面を強制的に加熱することなく、自然状態で熱画像として撮影する手法である（本技術では温度分解能 0.02℃の高感度赤外線カメラを使用）。熱画像の温度分布から、温度差の生じている範囲を浮き、剥離として抽出する。浮き、剥離部では、図-2 に示すように背面に空気層が介在するため、健全部に比べて温まりやすく冷めやすい特徴があり、写真-3 のように表面に温度差が生じる。

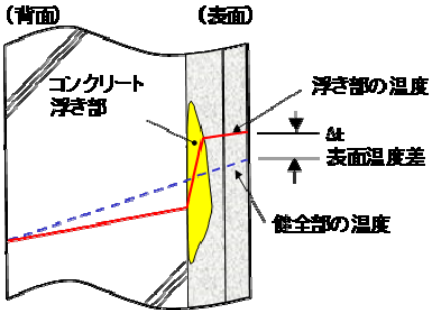


図-2　浮きの測定原理

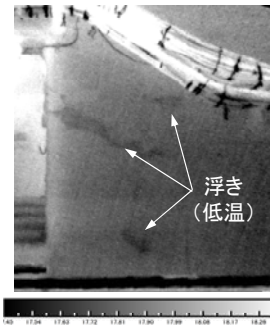


写真-3　熱画像の例

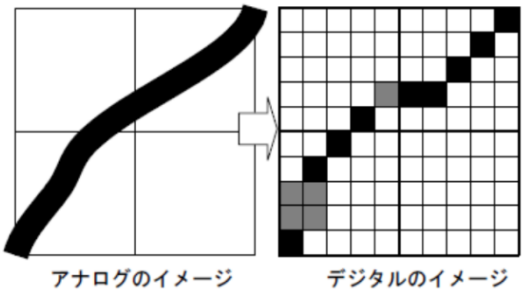


図-3　ひび割れの画像処理のイメージ

3．2　可視画像

可視画像からは、ひび割れ、豆板、鉄筋露出や漏水等の変状を抽出する。このうち、ひび割れについては、コンクリート表面の濃淡特性からデジタル画像処理を行うことで、ひび割れ幅と長さを自動抽出できる。ひび割れ部は光の反射がなく黒色を呈するため、可視画像では図-3 に示すように灰色のコンクリート面に黒色のひび割れが線として映る。この画像の画素数をさらに細分化すると大きさに応じて色調が変化し、ひび割れ幅を測定することができる。また、連続したひび割れからひび割れの長さを測定することができる。なお、ひび割れ以外の変状は、可視画像からその範囲を測定する。また、漏水は赤外線熱画像でも抽出されるため、双方の画像から判定する。

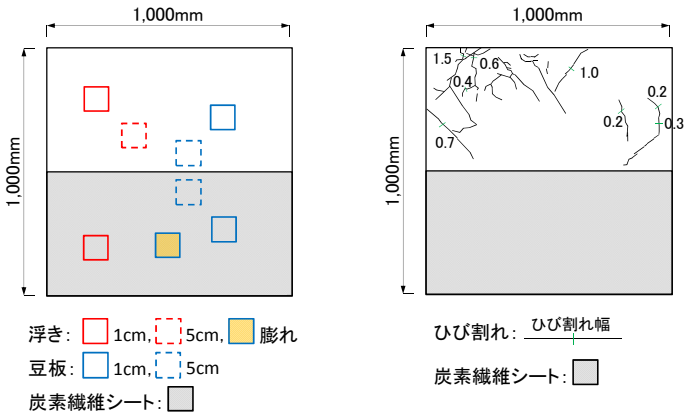


図-4　模擬変状試験体

4．開発の経緯

4．1　抽出性能確認試験

本技術の開発にあたり、劣化や補修を模擬した試験体を用いて変状抽出性能の確認を行い、撮影時の速度が変状抽出性能に及ぼす影響について検討した。

浮きや豆板、ひび割れの変状を生じさせたコンクリート試験体を、移動速度を静止（0km/h）から 40km/h に変化させて撮影し、速度による影響を確認した。試験体概要を図-4 に示す。

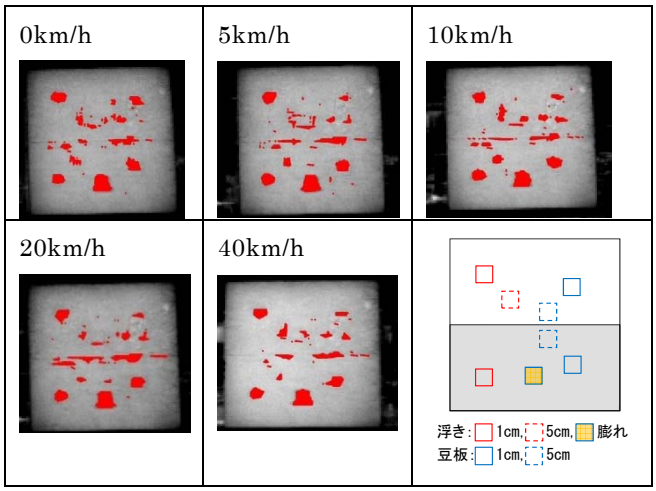


写真-4　浮き抽出結果

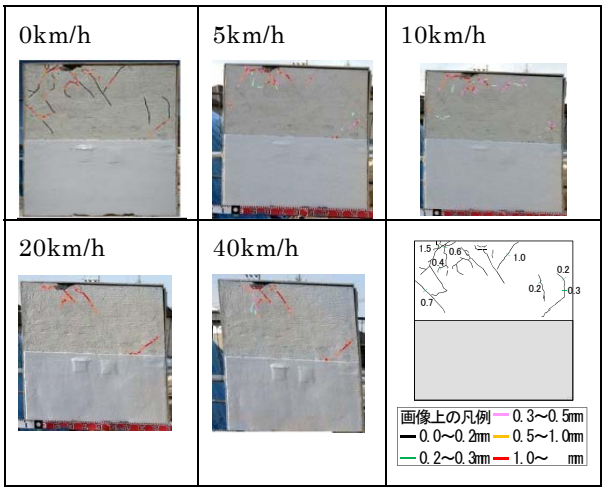


写真-5　ひび割れ抽出結果

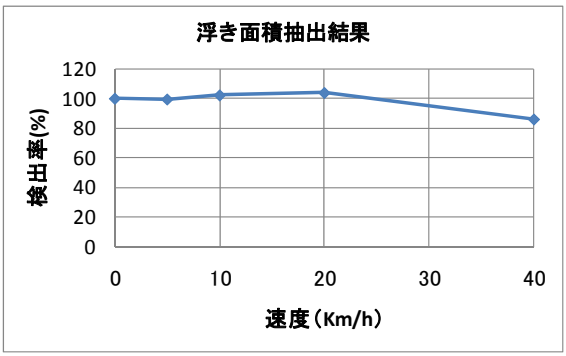


図-5　移動速度と浮き抽出面積の変化

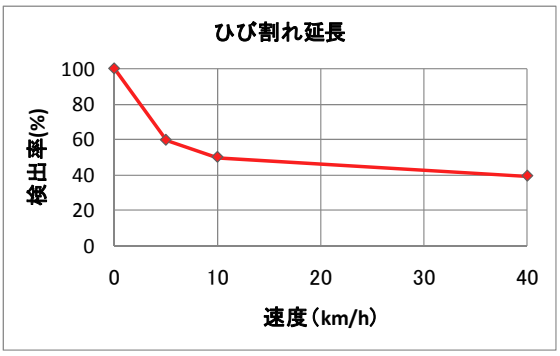


図-6　移動速度とひび割れ抽出延長の変化

赤外線熱画像による浮き、豆板の抽出結果を写真-4 に、可視画像によるひび割れの抽出結果を写真-5 にそれぞれ示す。また、各速度で抽出した浮き面積やひび割れ長さの静止状態（移動速度 0km/h)に対する割合を「検出率」として図-5、6 に示す。浮きについては、試験実施の温度変化が大きく、赤外線カメラの温度分解能も高かったため、模擬変状以外の温度変化部も抽出する結果となったが、移動速度に関わらず実際の診断において必要な抽出性能は満足する結果となった。一方、ひび割れの抽出長さは、移動速度が速くなるほど短くなり、0km/h の静止画と比較すると 5km/h で 60%、40km/h では 40%程度まで低下した。

これらの結果から、赤外線画像による浮きや豆板の抽出精度は移動速度の影響は小さいが、可視画像によるひび割れ抽出については移動速度によって精度が大きく低下することが明らかとなった。したがって本技術では、移動による撮影の効率化よりも変状の抽出精度を重視し、可視画像による抽出精度を確保するため、撮影は静止状態で行うこととした。

4．2　温度環境条件の検討

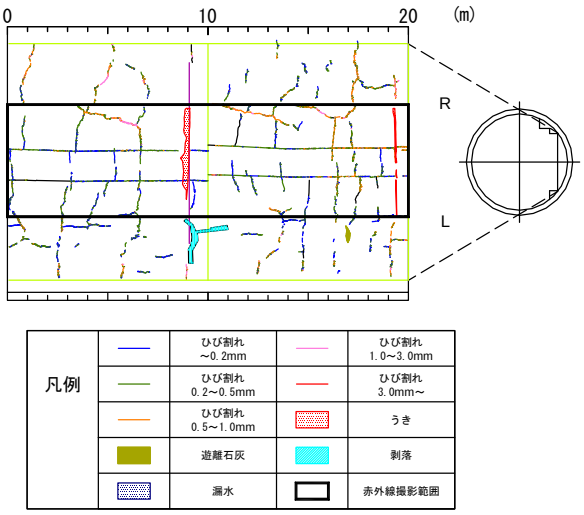
赤外線熱画像による浮き、剥離の抽出精度に対する温度環境の影響について検討するため、実構造物への適用後も、一日に朝、日中、夜間等、複数回撮影したり、季節毎に撮影したりすることにより、変状抽出に最適な温度環境条件の検証を継続的に行った。

その結果、温度変化が大きくなる最適な時期や時間帯に撮影することにより、剥落の危険のある浮きや剥離に関しては、ほぼ 100%の確率で抽出が可能となった。

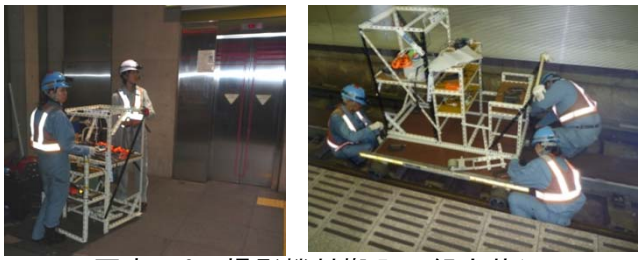
5　適用事例

5．1　鉄道トンネル

シールド工法の二次覆工コンクリート（内径φ4.8m、調査延長 70m）に対して、トンネル直上での鋼管杭打込みおよび地盤改良工事による近接施工の影響を確認するため工事の進捗に合わせて 6 回調査を行った。計測は、夜間の線路閉鎖時間内の約 2.5 時間であったが、コンパクトな撮影装置により時間内に機材搬入、撮影、搬出を完了した(写真-6)。6 回の調査結果から、ひび割れ幅やひび割れ延長の季節変動が把握でき、近接施工による影響はないことが確認できた。



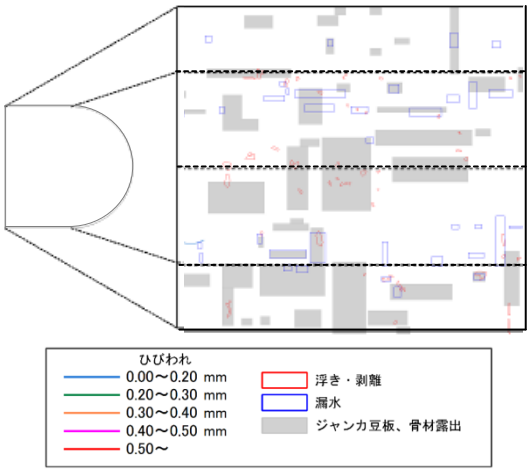
図－7　変状展開図の例



写真－6　撮影機材搬入、組立状況

5．2　道路トンネル

大正末期に建設され 90 年近く経過した在来工法による生活道路トンネルの覆工コンクリート（幅員 2.7m、高さ 2.7m、延長 55m）の調査を実施した。主に歩行者や軽車両が利用する小断面トンネルであったが、コンパクトな撮影装置により支障なく調査を実施した(写真-7)。変状数量を定量的に把握することにより、補修対策を立案するための有用な情報を提示した。



図－8　変状展開図の例

6　おわりに

本技術は、特殊な技能や設備が不要でコンパクトなシステムであり、今後の到来が目前に迫る大量維持管理時代における調査、診断の省力化、効率化に寄与することができ、社会的に大きく貢献できる技術である。

写真－7　撮影状況

今後、更に実績を増やすとともに、日々高性能化するカメラや GPS、通信機能等の IT 関連新技術を積極的に取り入れ、走行撮影や自動化、ロボット化に向けて更なるブラッシュアップに取り組む予定である。

以上