

平成 29 年度
建設技術報告会
報文集

平成 29 年 11 月

北陸地方建設事業推進協議会

平成 29 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	橋梁下部工事の狭所施工における新技術の活用	1
1-I-2	長大トンネルにおける急速施工の取り組み	5
1-I-3	バリアレス縁石	9
1-I-4	トンネル切羽前方クロスホール弾性波トモグラフィの開発	13
1-II-1	FRP材を用いた検査路の既設橋梁へ後から設置した事例の報告	16
1-II-2	積雪寒冷地域における簡易式路上表層再生工法「ヒートスティック」の供用性評価と新たな機能の付加	20
1-II-3	橋梁の部分撤去で導入された中間定着工法について	24
1-II-4	アスファルトフィニッシュ用の特殊保温プレートの開発	28
1-III-1	歩道除雪車の作業ガイダンス装置の開発	32
1-III-2	FFP(フル・ファンクション・ペーパー)が持つ「多機能効果の検証」について	36
1-III-3	性能実証型落石防護柵メガロックキーパーの実物実験	40
1-III-4	地すべり地に活用できる融雪量計の開発	44
1-IV-1	ドラグサクシオン浚渫兼油回収船「白山」の投げ込み式油回収機更新について	48
1-IV-2	港内反射波を効率的に消波するコンパクトな没水型対策工	52
1-IV-3	拡張現実を用いた水中可視化技術「Beluga-AR」	56
1-IV-4	港湾工事における情報化施工技術	59

第2会場報告技術

2-I-1	水中点検ロボット(アクアジャスター搭載型ROV)の開発	63
2-I-2	老朽化した鋼矢板護岸・水路の迅速再生技術～ストパネ工法～の開発	67
2-I-3	信濃川下流における環境に配慮した河道掘削の取組	71
2-I-4	吸水性泥土改質材「ワトル」	75
2-II-1	「Made in 新潟 新技術普及・活用制度」の概要	79
2-II-2	高い浸透性能を発揮する「極超微粒子セメント注入材料」	82
2-II-3	自律制御型振動ローラー「T-iROBO®Roller」の一般工事適用について	86
2-II-4	Holostruction(ホロストラクション)～三次元データの活用による生産性向上技術～	90
2-III-1	管路内水位監視サポートシステム(携行型)の紹介	94
2-III-2	靱性モルタルNAの開発	98
2-III-3	軟弱地盤におけるベル工法(塩化ビニル推進管による長距離・曲線推進)の施工	101
2-III-4	打音診断へのAI技術の適用	105
2-IV-1	重量鉄筋配筋作業支援ロボット(配筋アシストロボ)の開発	108
2-IV-2	砂防現場におけるICT活用工事の課題について	112
2-IV-3	GIB工法(落石衝撃緩衝工法)	116
2-IV-4	安全性と効率性を考慮した集水井内部の点検手法	120

第1会場

第Iグループ

橋梁下部工事の狭所施工における新技術の活用

○新潟国道事務所 工務第一課 小林 美憂
工務第一課課長 関根 伸幸
工務第一課係長 河崎 真一郎

1 はじめに

国道49号亀田バイパスの姥ヶ山ICは、鳥屋野南部開発の進展や大型商業施設等の立地により慢性的な交通渋滞が発生している。また、市道嘉瀬蔵岡線と上りランプ及び下りランプとの2交差点が近接しているため、交通渋滞が国道本線にまで影響し、交通事故発生の原因となっている。

このため、姥ヶ山事故対策事業において、姥ヶ山ICの改良による交通渋滞対策の実施、および近接する信号交差点位置の変更による滞留長確保を目的とし、事業を推進中である(図-1)。

本線上り線の橋台下部工事において、回転貫入鋼管杭の施工が上り線と下り線に挟まれた狭隘な箇所での施工であった。このため、実際の施工にあたっては、新技術工法である「先端翼付き回転貫入鋼管杭工法(以下「つばさ杭工法」)」を活用し、施工時の安全確保と周辺への騒音対策を実現した。本稿では、その概要について報告する。

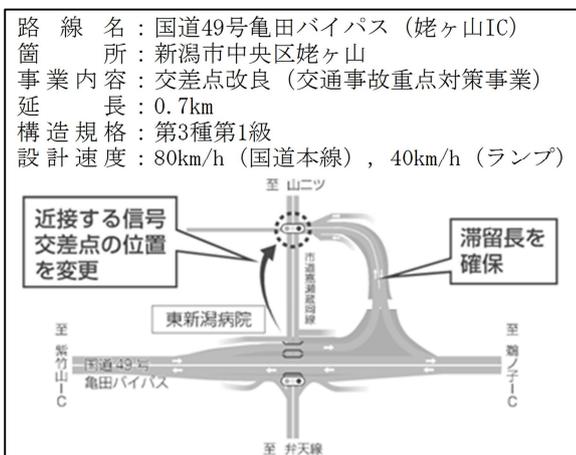


図-1 事業概要

2 設計概要

2.1 地盤条件

A1橋台側のボーリング調査結果より、当該箇所の地盤条件は以下のとおりである(図-2)。

- ① 地表からGL-5mまでの杭頭部に腐植土層を含む軟弱層がある。
- ② As1砂層はN値30程度で比較的固いが、下層が液状化層となる。
- ③ 支持層は、深度GL-22m程度以深のAs2砂層である。
- ④ 地下水位は、地表面付近に位置している。
- ⑤ 橋長35.1mで荷重規模は、普通規模(20~40m)である。

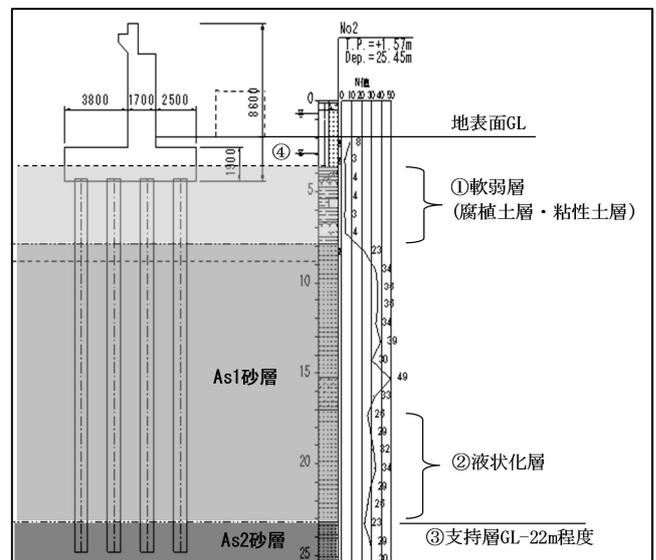


図-2 A1橋台ボーリング柱状図

2. 2 施工条件

2. 2. 1 狭隘な箇所での杭基礎施工

本施工の杭基礎は、亀田バイパスの上下線に近接して打設された仮設矢板に挟まれた、 $W=10.5\text{m}$ の狭隘な施工ヤードで施工する必要があった。

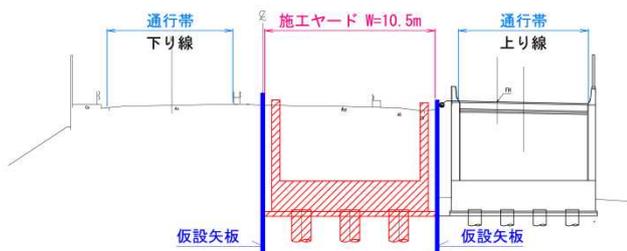


図-3 施工ヤード

亀田バイパス本線盛土は、盛土材が細砂であることから吸い出しを受けやすく、盛土内部にゆるみ・空洞が存在する可能性が懸念される。

三点杭打ち機は、全備重量 100t 程度であり強固な地盤上での作業を前提としており、作業時に転倒する恐れがある。万が一盛土地盤が沈下・倒壊し三点杭打ち機が転倒した場合は、図-4 に示すとおり、完全に車線を閉塞し一般車両を巻き込む大事故につながる可能性が高い。

したがって、盛土上からの基礎施工に関しては、三点杭打ち機を使用しない杭種を選定した。

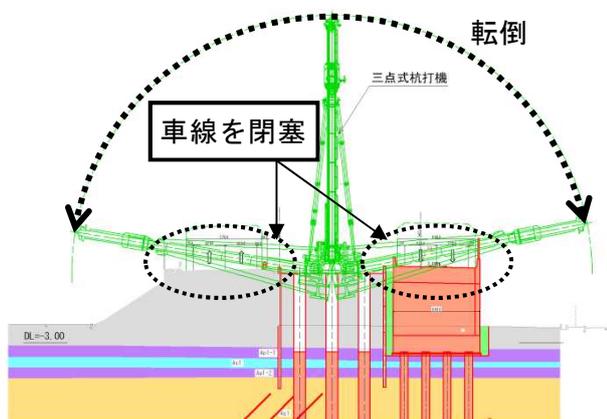


図-4 本線上り線施工時の転倒

2. 2. 2 住宅地・病院が近接

当該箇所は住宅地、病院が近接しているため、施工時の騒音・振動に対する検討を行った。その結果、杭基礎施工位置から、減衰距離 22m の範囲が隣接する民地境界に干渉する。したがって、一般的なオールケーシング工法により施工を行う場合は、騒音対策が必要となる。

振動については、振動規制値以内であるため、特に対策を必要としない。



図-5 周辺状況

2. 3 基礎形式の決定

2. 3. 1 基礎形式比較案の抽出

基礎形式の比較案は、前項の条件を踏まえ、下記の①または②に該当する基礎形式として 9 案を抽出した。なお、①については、すべての条件について、○ (適合性が高い) もしくは△ (適合性がある) のいずれかに当てはまる工法を「適合性が高い」として抽出した。

- ① 基礎形式選定表(表-1)において適合性が高い工法 (8 案)
- ② NETIS 登録技術の中で条件を満足する工法 (1 案) …回転杭工法

表-1 基礎形式選定表

基礎形式	選定条件	打込み杭基礎		中掘り杭基礎				プレキャストコンクリート		場所打ち杭基礎		
		R	S	鋼管杭	最終打撃方法	最終打撃方法	最終打撃方法	最終打撃方法	プレキャスト	オールケーシング	リースドリル	掘削
支持層下の状況	中間層に掘削層がある	○	△	△	△	△	△	△	○	○	○	○
地盤条件	中間層に掘削層がある	△	△	△	△	△	△	△	○	○	○	○
	れき層 5cm以下	△	△	△	△	△	△	△	○	○	○	○
	れき層 5cm~10cm	○	△	△	△	△	△	△	○	○	○	○
	れき層 10cm~30cm	○	△	△	△	△	△	△	○	○	○	○
	管状化する地層がある	△	△	△	△	△	△	△	○	○	○	○
	5m未満	△	△	△	△	△	△	△	○	○	○	○
	5~15m	△	△	△	△	△	△	△	○	○	○	○
	15~25m	△	△	△	△	△	△	△	○	○	○	○
	25~40m	△	△	△	△	△	△	△	○	○	○	○
	40~60m	△	△	△	△	△	△	△	○	○	○	○
60m以上	△	△	△	△	△	△	△	○	○	○	○	
支持層の性状	粘性土 (20S/N)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	※ 軟弱	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	※ 硬質	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	※ 硬質	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
地下水の状態	地下水位が地表面に近い	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	※ 軟弱	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	※ 硬質	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	※ 硬質	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
構造物の特性	地盤より2m以上の破砕地下水	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	地下水流速 3m/日以上	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	船重荷重が小さい(空船20m以下)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	船重荷重が大きい(空船20m~50m)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
施工条件	船重荷重が大きい(空船50m以上)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	船重荷重に比べ水平荷重が小さい	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	船重荷重に比べ水平荷重が大きい	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	支持層	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
工期	水深5m未満	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	水深5m以上	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	作業空間が狭い	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	船・杭の設置	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
環境	騒音・振動の影響	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	掘削廃棄物に対する影響	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○：適合性が高い △：適合性がある ×適合性が低い

2. 3. 2 基礎形式比較案の選定

前項において抽出した工法の適否を表-2 に整理した。

施工機械および現場条件を勘案し、基礎形式の比較案として、下記の2案を選定した。

- 第1案：場所打ち杭オールケーシング工法
(騒音対策としてBKFハンマーグラブ工法を併用)
- 第2案：回転杭

表-2 抽出工法の適否判定

基礎形式	判定	理由
中掘りPHC杭 先端セメントミルク噴出攪拌	×	三点式杭打ち機を使用するため適さない
中掘り鋼管杭 先端セメントミルク噴出攪拌	×	〃
鋼管ソイルセメント杭	×	〃
プレボーリング杭	×	三点式杭打ち機を使用 橋梁基礎としての実績が少ない
場所打ち杭 オールケーシング工法	○	騒音・振動が大きいものの、 抑制工法を併用すれば適用可
場所打ち杭 リバース工法	×	孔壁崩壊の恐れが高い 施工機械を設置するヤードが必要
場所打ち杭 アースドリル工法	×	孔壁崩壊を防ぐベントナイト液を 使用するため、泥水処理設備が必要 橋梁基礎としての実績が少ない
深礎杭基礎工法	×	地下水位が高くドライ施工が困難
NETIS 回転杭	○	設備が少なく無排土のため狭い ヤードでの施工が可能

2. 3. 3 基礎形式の決定

各案について経済性の他、一般交通の安全性を含めた施工性を検討・評価し、施工性が優位である「第2案：回転杭」を選定した。

表-3 本線基礎形式比較表

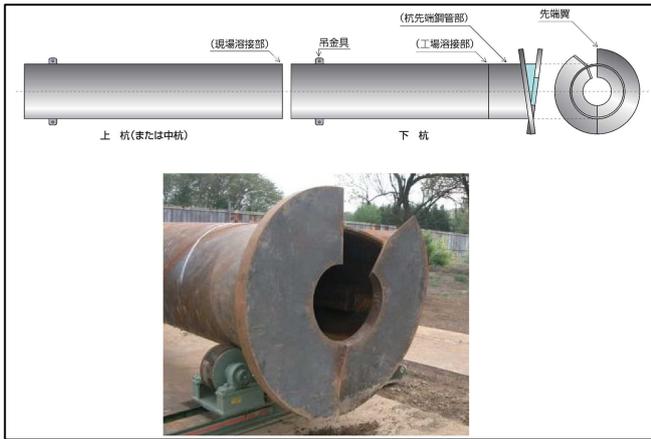
工法	第1案		第2案		
	場所打ちオールケーシング工法 (BKFハンマーグラブ工法)		回転杭		
施工イメージ					
経済性	900万円 (1.00)	○	980万円 (1.09)	△	
交通影響 施工性	クレーン 回転頻度	78回	△	2回	○
	資材 搬出入頻度	土砂運搬、鉄筋カゴ、 生コン	△	杭体のみ	○
	作業性 実稼働日数	48日	△	33日	○
	ヤード内 占有面積	525m ²	△	320m ²	○
評価	△		○		

3 実施工について

3. 1 つばさ杭工法の概要

実際の施工にあたっては、つばさ杭工法を活用した。つばさ杭工法は杭先端に翼を設けた鋼管杭を回転貫入させる工法である(図-6)。つばさ杭工法の特長は以下のとおりである。

- ① 先端部の翼は、施工時に回転による推進力を発生し、拡底部材として一般の鋼管杭より広い先端支持面積が得られるため、先端押込み支持力とアンカー効果による引抜き抵抗力を得ることができる。
- ② 先端の翼は開口しており、土砂を取り込むことで施工性が向上し、大口径鋼管杭への適用性が向上した。
- ③ 回転貫入のため、無排土・低騒音・低振動での施工が可能である。
- ④ セメントプラント等の設備が必要なく、狭隘な施工スペースでの施工が可能である。



図－6 つばさ杭の構造²⁾

3. 2 当該箇所における適用性

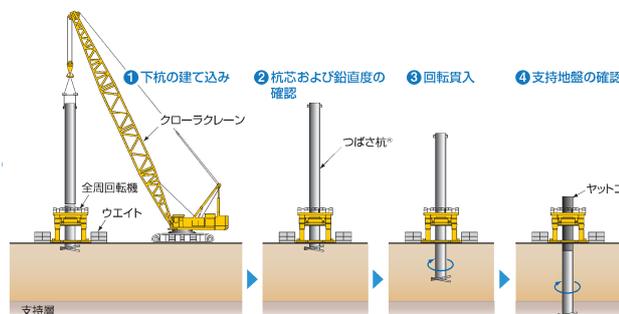
つばさ杭工法の適用性を表-4に整理した。表-4のとおり，全ての条件に適用しており問題なく採用できる結果となった。

表－4 つばさ杭工法の適用性

項目	適用範囲	当該箇所の適用性
杭径	φ 318.5～φ 1600	○ φ 1200
先端翼径	杭径の1.5～2.0倍	○ φ 1800
支持地盤	砂質土，砂礫	○ As2砂層
れき径	先端翼内径の1/2以下	○ 4.75mm
最大施工深さ	77mまで	○ 21.9m
斜杭角度	15° まで	○ 鉛直

3. 3 つばさ杭工法の施工の流れ

つばさ杭工法の施工の流れは以下のとおりである。



図－7 施工の流れ²⁾



図－8 回転貫入状況



図－9 回転貫入状況

4 まとめ

姥ヶ山 IC の本線上り線の橋台下部工事において，回転杭工法（つばさ杭工法）を活用するに至った経緯は，以下2点の条件である。

- ① 現道交通脇での狭隘箇所において，安全に施工する必要があること
- ② 住宅・病院が近接しているため騒音対策が必要であること

つばさ杭工法については，小設備であるため狭隘箇所での施工が可能であること，低騒音・低振動での施工が可能であることなど，様々なメリットが挙げられる。

本稿では，騒音対策が必要であり，狭隘な現場において，つばさ杭工法の適用性及び施工について述べてきたが，無事故で安全に施工完了したことから，有効な工法であったと言える。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書IV下部構造編
- 2) JFE スチール株式会社：つばさ杭(土木編)パンフレット

長大トンネルにおける急速施工の取り組み

鹿島建設 北陸支店 新北陸トンネル（葉原）JV 工事事務所

所長 田 中 久 人

次長 森 下 慶 一

課長○安 齋 勝

1. はじめに

2015年3月14日に長野・金沢間で営業運転が開始された北陸新幹線は、金沢・敦賀間を結ぶ線路延長約125.2kmの延伸が決定し、工事が開始されてきている。

新北陸トンネルは、福井県南越前町と敦賀市をむすぶ全長約20kmの長大トンネルである。当工事の葉原工区は、全6工区のうち敦賀側の中間地点に位置する斜坑延長557m（最大勾配12.5%）、本坑延長4,495mのトンネルである。

当工事では、長大トンネルにおける本坑の急速施工を目指し、土砂搬送設備やバッチャープラントの大型化、施工の効率化等に取り組んでいる。本稿では、長大トンネルにおける本坑急速施工の中間実績について報告する。

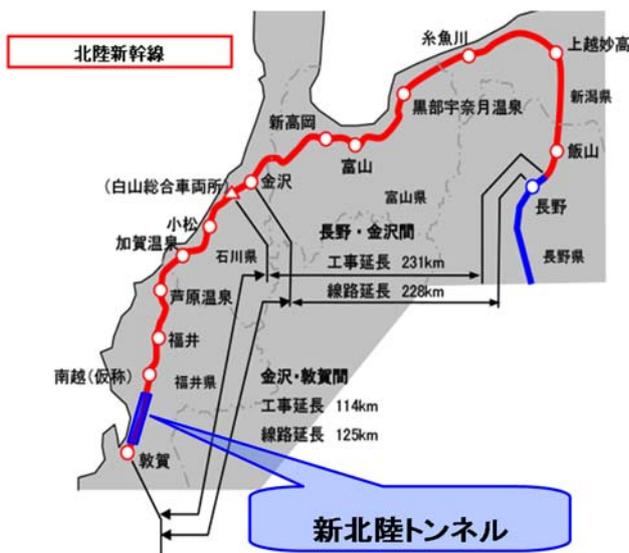
2. 工事概要

主要工事数量

・トンネル延長	斜坑	557m
	本坑	4,495m
・トンネル掘削断面積	斜坑	30.0～52.7m ²
	本坑	75.7～80.6m ²
・インバート工		4,495m
・防水工		4,495m
・覆工		4,495m
・路盤鉄筋コンクリート工		4,495m
・残土処理工		367,470m ³

工事場所：福井県敦賀市葉原

工 期：2014(H.26).3.17～2020(H.32)2.17



図－1 新北陸トンネルの位置図

当工事の葉原工区は、南条山地と敦賀湾東縁山地を分ける大規模な断層帯とされる「柳ヶ瀬断層帯」の南西側の敦賀湾東縁山地側に位置する。また、新北陸トンネルの中では最も土被りが大きく、その高さは約540mである。トンネルの地質は、トンネル入口のある終点側と貫通地点の起点側、大きく分けて2つの地質より成り立っている。起点側の区間は、古生層に貫入した花崗岩よりなり、断層付近に湧水が多いとされている。終点側の区間は、主として砂岩、粘板岩の互層となる混在岩である。本坑の代表的な掘削断面図を図-2に示す。

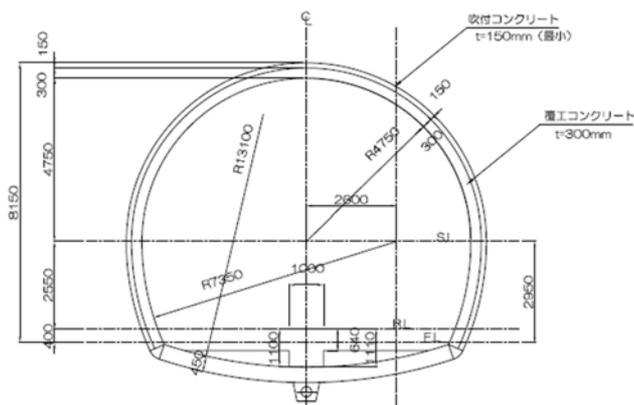


図-2 本坑断面図 (Iパターン)



写真-1 花崗岩 (TD. 2,000m 付近)

3. 本坑急速施工へ向けた取り組み

当工事は、本坑延長が 4,495m と長いことに加え、本坑掘削完了後（貫通後）の残工種のアクセスも斜坑からの1箇所と変わらないこと、残工種がコンクリート構造物であり施工サイクル短縮がそれほど期待できないことから、本坑掘削サイクル向上が工程短縮において重要となる。

以下に、急速施工へ向けて取り組んでいる工夫等を示す。

3. 1 施工機械の工夫

① ドリルジャンボ

当初計画で本坑 4,495m のうち、Ⅲパターンが 42%、Ⅳパターンが 20%と延べ 62% (2,820m) が鋼製支保工の無いパターンであり、トンネルの大

部分が硬質な岩であると想定されていた。そのため、削岩能力の高いアトラス製の3ブーム2バスケット 190kg 級ドリルジャンボを採用した。

また、余掘量の低減や効率的な削孔によるサイクル短縮を目的に、削孔長・挿角表示ができる削孔方向制御システムを搭載した。



写真-2 ドリルジャンボ

② 大容量クラッシャー

ずり出し時間を短縮させるため、クラッシャー能力400t/h (通常300t/h) の大容量クラッシャーを導入した。



写真-3 大容量クラッシャー

③ 幅広ベルトコンベア

本坑掘削時のずり出し時間の短縮を目的として導入した大容量クラッシャーの能力を最大限に活かすため、ずり搬送能力450t/h (通常400t/h) を有するベルコン幅750mm (通常610mm) の幅広ベルコンを採用した。



写真-4 幅広ベルコン

④ バッチャープラント

通常、トンネル工事のバッチャープラントで製造するコンクリートは、トンネル掘削工で使用される吹付コンクリートのみである。しかし、当工事は、鉄運機構発注の工事であるため、防水工に「背面平滑型トンネルライニング工法 (FILM)」が標準工法として採用されている。

そのため、防水工に使用する充填モルタルもバッチャープラントで製造する必要があるため、従来標準とされてきたバッチャープラント（製造能力15 m^3/h 、ミキサ容量0.5 m^3 /バッチ）では、供給待ちにより掘削の施工サイクルに影響を及ぼすものとなる。そこで、当工事では、大容量バッチャープラント（製造能力22.5 m^3/h 、ミキサ容量1.25 m^3 /バッチ）を導入した。



写真-5 大容量バッチャープラント

⑤ エレクタ付2ノズル吹付け機

吹付け作業および支保工建込作業時の機械の入

替え時間をなくすことによる切羽の開放時間短縮と吹付機の大容量化による吹付時間の短縮を目的としてエレクタ付2ノズル吹付け機（吹付能力25 m^3/h ）を導入した。なお、2ノズル吹付け機を採用することで吹付時間は短縮されるものの、粉塵濃度が多くなると予測されたため、急結材には液体急結材と紛体助材により粉塵を抑制できるクリアショット工法を採用した。



写真-6 エレクタ付2ノズル吹付け機

3. 2 設備の工夫

急速施工を達成するための設備の工夫および仮設備延伸に対するロスタイム軽減対策を行った。

① ベルコン延伸・集塵機移動

切羽・クラッシャー間の最適距離60mを保つためには定期的なベルコン延伸作業が必要不可欠である。しかしながら、通常掘削2サイクルを行うと、ベルコン延伸の時間を割り当てることができない。したがって、掘削サイクルに影響を与えないよう、削孔・装薬中にできる時間内（1.5h程度）で延伸作業も余裕をもってできるように、週に4回、1回あたり9～12mでベルコン延伸を行っている。

② 残像マーキングシステム

鋼製支保工の無いパターンが多く、施工の目安となるものがないため、余掘量の増大による掘削・吹付時間の増加が問題となると考えられた。その

ため、残像マーキングシステムを採用し、サイクルタイムの向上につなげた。



写真-7 グリーンレーザ

4. 施工実績

4.1 月進

2015年8月に斜坑掘削が完了、タイヤ方式により本坑掘削を開始し、平均月進は136m、最大月進は150mを記録した。2016年1月から3月中旬までは本坑掘削を休止とし、ベルコン設備を設置した。その後、ベルコン方式として掘削を開始し、平均月進は140m、最大月進は186mを記録した。

4.2 サイクルタイム

図-3にIVパターン（掘削長2m、吹付け厚5cm、ロックボルト・鋼製支保工なし）の1mあたりサイクルタイムを示す。現場実績はすべての運搬方式・岩種において鉄運機構の定める標準サイクルよりも短かった。特に削孔・装薬時間の短縮が顕著で、標準に対して約50%だった。IVパターンの硬岩に対して、削岩能力の高いアトラス製の190kg級ドリルジャンボの採用が効果的であった。ずり出し時間に関して標準との大きな差は見られなかったが、運搬方式・岩種によってそれぞれ特徴が見られた。運搬方式ではタイヤ方式の方が有利であった。これは、掘削初期の運搬距離が短い段階でタイヤ方式を採用していたことに起因すると考えられ

る。距離が長くなれば、安定した時間で運搬可能なベルコン方式が有効となる。また、岩種では粘板岩の方が有利であった。その一因として花崗岩が堅硬である点が挙げられる。キレツの少ない堅硬な花崗岩では、ホイールローダの往復時間よりもクラッシャーによるずり破碎時間の方が長く、ずり出し時間が延長する傾向にある。

吹付け時間は標準と大きくは変わらない。ただし、余吹きが設計の約2倍となっているが、2ノズル吹付け機の採用により、余吹き量分と同等のサイクルを確保している。

また、標準サイクルに含まれる測量時間が、グリーンレーザの導入により0分になったこともサイクル向上の要因である。

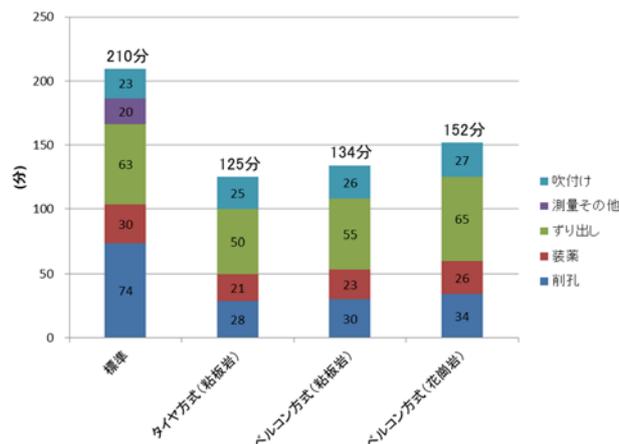


図-3 サイクルタイム

5. おわりに

北陸新幹線の金沢・敦賀間の早期開業が決定したことにより、今後も本坑の急速施工への取り組みは重要となってきている。さらなる工期短縮に向け、コンクリート構造物関連工事であるインバート工、覆工、路盤鉄筋コンクリート工に関する工期短縮案も検討する必要がある。

当工事の取り組みが類似工事の参考となれば幸いである。

バリアレス縁石

公益社団法人日本交通計画協会 交通計画研究所

所長 萩原 岳

研究員 近藤 翔平

新潟市 都市政策部都市交通政策課 地域交通整備室

主幹 佐藤 公康

主査 樋口 将至

株式会社アドヴァンス 事業本部 技術開発部

部長 細野 義則

○野村 春姫

1 はじめに

超高齢社会が進展していく中で、公共交通機関の重要度はますます高まっている。一方で公共交通の整備は十分に進んでおらず、誰もが移動しやすい交通環境の実現が課題となっている。

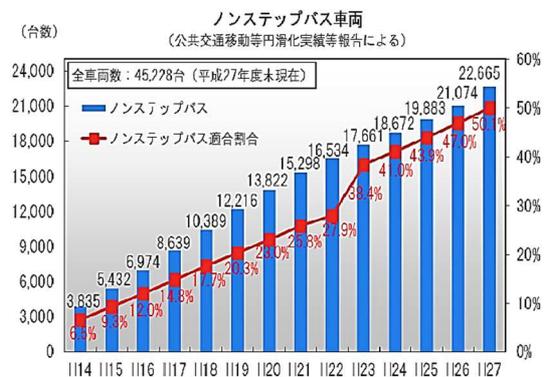
平成18年に施行された「高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律」(通称バリアフリー新法)により、建築物や公共交通機関のバリアフリー化が着実に進められてきた。当初の達成目標であった平成22年度末までに、1万6千534台のノンステップバスが導入された。およそ27.9%のバスがノンステップ化されたことになる(図一)。

しかし、引き続き着実な取り組みをすべく、国は平成32年度末までに約70%をノンステップ化するという目標を掲げた「移動等円滑化の促進に関する基本方針」の一部改正を行った。

欧州の先進各国では、既にBRTやLRTに着目し多くの都市でさまざまな形式の車両が導入され基幹的な公共交通軸として機能している(写真一)。また、乗降時にバスと停留所との離隔をできる限り少なくし、快適に乗り降りできるバス停が整備されている。これは、側面・底面が特殊な形状をした縁石に、タイヤを擦り付けるように停車させることでバスと停留所との隙間を極力少なくし停車できるというしくみだ(写真二)。バスをバス停に対して並行に隙

間なく停車することをわが国では「正着」と呼んでいるが、この正着により乗降容易性が向上することは、バス交通の定時性・速達性にも大きく貢献することになる。

欧州での取り組みを日本でも普及させるために、日本の道路構造令に適合した国産の正着誘導縁石(バリアレス縁石)(以下、バリアレス縁石)を、各種実証実験や関係機関との協議を経て共同で開発した。



図一．ノンステップバス導入の推移



写真一．フランスのBRT



写真一 2. フランスのバス停



写真一 4. 正着状況

2 製品の特徴

バリアレス縁石は、通常の歩車道境界ブロックと異なり車道側の縁石側面が天端に向かって後退している（写真一 3）。これは、ドライバーの技量の差に関わらず容易に正着できるよう誘導する効果があり、タイヤサイドの摩耗を軽減し、車体の接触が生じないようにしている。また、タイヤトレッド部が接する縁石底面部には連続的な凹凸を施し、ドライバーはその上部を走行したときに発生する微振動によって、正着を認識できるしくみとなっている（写真一 4）。

小型ノンステップバスの車種によっては扉開口時に車外へ張り出す構造となっているため、傾斜面に小段を設け接触を回避できるよう扉が収まるスペースを確保した。縁石天端には特殊な形状をした微小な突起が多数あり、雨や雪で濡れている場合でもスリップ防止効果を発揮し安全に乗降できる構造とした。これらの機能を有していることでバスの正着を実現し、利便性・安全性の高いバスの利用が可能となった。



写真一 3. バリアレス縁石

3 開発への取り組み

国土交通省では、都市の基幹公共交通軸となるBRTの導入支援やバリアレス縁石など新技術の導入に向けた取り組みを進めており、新潟市でも平成27年9月よりBRTの運用がスタートした。こうした動向も踏まえ、バス交通の利便性・快適性の向上に向けた有効な技術としてバリアレス縁石の開発に着手した。

バリアレス縁石プロトタイプは平成27年12月に、新潟市、新潟交通㈱の協力のもと、同社南部営業所において実証実験を行い、その機能・各種効果を検証している。

タイヤトレッド部が接する縁石底面部の連続的な凹凸については、基礎実験で低速走行時に対応する突起高さ及び、間隔の妥当性を検証する実車走行実験を実施した。大型バスのタイヤサイズに近い10tユニック車で、約2mの試験体上を複数回走行し振動の違いをドライバーと同乗者にヒアリングしている。

実証実験ではBRTの連節車両をはじめ市内を運行する様々な車両を用いて正着等のトライアルを行い、バリアレス縁石の有効性・安全性等の検証を行った。この検証結果を踏まえ、傾斜角度、扉回避部の有無等形状の異なるプロトタイプ3種を3Dプリンターで成型し、新潟市秋葉区役所構内道路におけるバリアレス縁石社会実験に向けて区バスで使用している小型ノ

ンステップバスの実車計測を実施した。車体計測や各縁石モデルと車両乗降部との離隔を実測し分析することでバリアレス縁石の形状を決定した。

4 検証

バリアレス縁石の形状決定後、その効果を検証するために新潟市が事業主体となり、(公社)日本交通計画協会、(株)アドヴァンス、泉観光バス(株)、新潟交通観光バス(株)、(株)トーニチコンサルタント、(株)ブリヂストンの協力のもと、(福)新潟県視覚障害者福祉協会、高齢者や子育て世代などに計画段階から参画していただき、新潟市秋葉区役所構内道路バス停留所にてバリアレス縁石を設置し、実証実験を実施した。主に正着性能、安全性能、耐久性能の3項目とモニターによる乗降容易性や歩道との関係性について検証している。

正着性能については、複数のドライバーによる小型・大型バス車両での試行で完全正着時のバリアレス縁石と車両乗降部との水平・垂直離隔を計測した。また、試行後にドライバーへ正着行為に対する抵抗感や正着の容易性等のヒアリング調査を行った。安全性能については、バスが歩道部へオーバーハングしながら正着する際の歩道部への影響範囲を測定し、それによる縁石及び歩道部上端部への接触の有無を確認した。耐久性能については、正着試行と併行してタイヤの摩耗箇所・摩耗量の計測を(株)ブリヂストンが検証した。3項目の検証結果集計後、乗降容易性・バス待ち環境確認試験にて、視覚障がい者や高齢者等数名にモニターになっていただき、乗降の容易性や車内での振動、揺れなど車内環境についてヒアリングした(写真-5)。安全性能試験の実験結果より、バス利用者とバス車両との接触の危険がない安全なバス待ち位

置の検討に加えて、歩行者の交通状況に問題はないか等について検証している。



写真-5. 乗降容易性の検証

5 検証結果

1) バス乗降部と停留所との離隔

通常の歩車道境界ブロックが設置された既存のバス停とバス乗降部との離隔は平均50cm程度であったが、バリアレス縁石設置後は約10cm程度となり正着性が向上した。

2) 完全正着率の向上

ドライバーにバリアレス縁石の正しい運用方法を事前に研修し、実際に体験してもらうことで完全正着の確率は向上した。

3) モニターからの意見

バリアレス縁石設置前はバス乗降部と停留所との離隔が大きく一度車道へ降りてから乗車していたが、正着することで楽に乗降できるようになったとの意見が寄せられた。

4) バス待ち位置の表示

オーバーハング影響範囲や視覚障がい者のバスが接近することによる恐怖感を考慮し、バス利用者が安全に待機できるよう縁石前面から70cm離れた位置に点字誘導ブロックやバス待ちの目印を設置した(写真-6)。

5) バスドライバーへの配慮

バス停へ進入する際に、運転席からでもバリアレス縁石を認識し、安全に停車できるように扉回避部に濃緑のペイントを施した。



写真一六．新潟市秋葉区役所前バス停

6 導入事例の紹介

実証実験後、バリアレス縁石の効果や安全性が十分に立証されたため、引き続き新潟市が事業主体となり、公道への導入に向け市道路管理者や交通管理者との協議を経て秋葉区内ショッピングセンター周辺の市道にて、区バスの経路変更に伴う新設バスベイ2ヶ所の設置と併せバリアレス縁石を導入。このバスベイは、新潟県内では初となる三角形切り込み型とし、バスが本線へはみ出して他交通を妨げることがなく、併せてバスを歩道に寄せ易くする効果もある(写真一七)。これにより、円滑な交通環境を確保するとともに、バスと歩道との距離が最小限となり利用者の安全かつ快適な乗降を実現できる。これは横浜国立大学の中村文彦教授の研究成果を応用した改良型バスベイであり、バス進入角度に着目し本線に合流する際の後方確認が容易な角度設定を参考にしたものである。

また、導入区間の歩道はフラット形式であったため、バリアレス縁石設置区間を縁石高さと同じ20cmにマウントアップし既存の歩道高さと擦り付けた。歩道への切り込み最大部分の

歩道最小幅員は、道路構造令に規定されている2m以上確保を遵守している。



写真一七．三角形切り込み型バスベイ

7 今後の取り組み

交通結節点やバス停留所などにバリアレス縁石を広く普及させるため、運用面において、通常の縁石と区別できる仕組みや点字誘導ブロックの位置などバリアフリーの観点から基準を構築する必要がある。

また、既設のバスベイにバリアレス縁石を導入する場合、路面排水等の機能面から既設排水構造物及び縁石の基準位置との取り合いが課題となる。バリアレス縁石前面に側溝を設置する場合、バスが正着時に側溝上面を縦断走行するため、これに耐えうる構造の側溝に改良することが望ましく、特に側溝の暗渠化が最適である。

前述の課題点を含め、様々な計画箇所に応じた設計段階でのコスト削減を図るため、計画・設計方法を標準化し最適な施工ができる体制を整えたいと考えている。

最後に、ご協力いただいた関係各位に感謝の意を申し上げます。

【参考文献】1) 鈴江早紀子、大蔵泉、中村文彦、矢部努：新形状のバスベイの設計と評価に関する研究、第28回土木計画学研究発表会講演集、2003 2) (公社)日本交通計画協会：都市と交通、通巻96号、2014

トンネル切羽前方クロスホール弾性波トモグラフィの開発

前田建設工業株式会社 本店 土木技術部マネージャー 水谷 和彦

1 はじめに

山岳トンネルは土被りが大きく施工範囲が広域におよぶことから、設計段階では十分な精度の地質情報が得られておらず、施工段階で切羽の地質状況に応じて修正設計を行いながら施工するのが一般的である。掘削前に地質状況を調査する方法として反射法による切羽前方探査があるが、その結果は、実際の地質状況と異なる場合もあり、設計変更というよりも危険予知的な利用に留まっていると考えている。それは、海外の地質構造に比べて日本の地質構造は複雑なため、反射波には多くの地質情報が含まれており、その様な反射イベントから単純に地質構造を解釈することが難しいからではないかと考えている。

2 開発への取り組み

本手法の開発においては、上述した反射法の弱点を解決する手法として、直接波を用いた孔間弾性波トモグラフィに着目した。孔間弾性波トモグラフィは、孔間距離が基本的に既知であり、直接波を利用した手法であることから、探査原理的に反射法よりも高精度である。また、ドリルジャンボのボーリング孔に本手法を適用できれば、切羽前方を集中的に探査できる汎用的な手法になると考えた。しかし、本手法を適用するにあたり次の課題が考えられた。①鉛直ボーリングの場合は振動を伝播させるために孔内に水を溜めるが、水平ボーリングの場合、孔内に水を溜めることが困難である。②鉛直ボーリングに比べて水平ボーリングの孔壁は崩れやすく、起振機や受振機の挿入や回収が困難である。そこで、水平ボーリング孔に充填が容易で岩盤亀裂に浸透せず、かつ、振動を

伝えることが可能な材料として、固体と液体の中間的な流動性をもつゲル状充填材を一つの候補と考えた。また、このゲル状充填材には、ボーリング孔の保孔効果も期待した。これらの技術を組合せて開発したものが「トンネル切羽前方クロスホール弾性波トモグラフィ探査」である（図-1）。本手法の最大の特徴は、水平ボーリング孔にゲル状充填材を注入することにより、孔壁保護と弾性波伝播を行う点である（図-2）。



図-1 探査概念図（鳥瞰図）

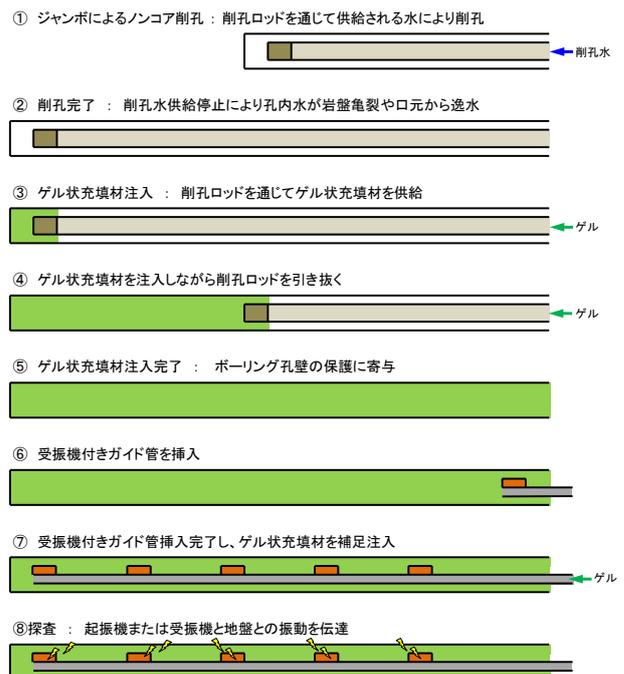
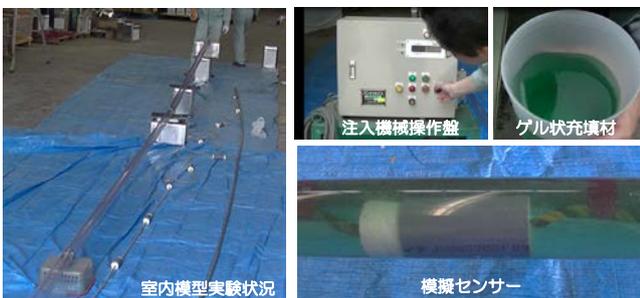


図-2 ゲル状充填材の充填イメージ

3 開発の成果と実績

3.1 ゲル状充填材の製造および室内模型試験

ゲル状充填材は、水溶性高分子を水に溶解して製造し、粘度を変化させたサンプルを数ケース製造した。これらゲル状充填材の充填性を確認するため、ボーリング孔を模擬したアクリル製塩ビ管を用いた充填性試験を実施した。それにより、ポンプ圧送が可能で口元から容易に流出せず、模擬センサ周辺にエアだまり等の空洞が生じないゲル材仕様を決定した（写真－1）。



写真－1 室内模型試験状況

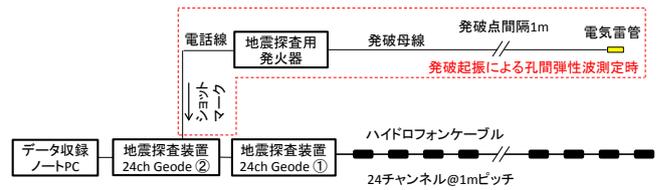
3.2 現場実証試験

本手法の成立性を確認するため、現場実証試験を実施した（写真－2）。



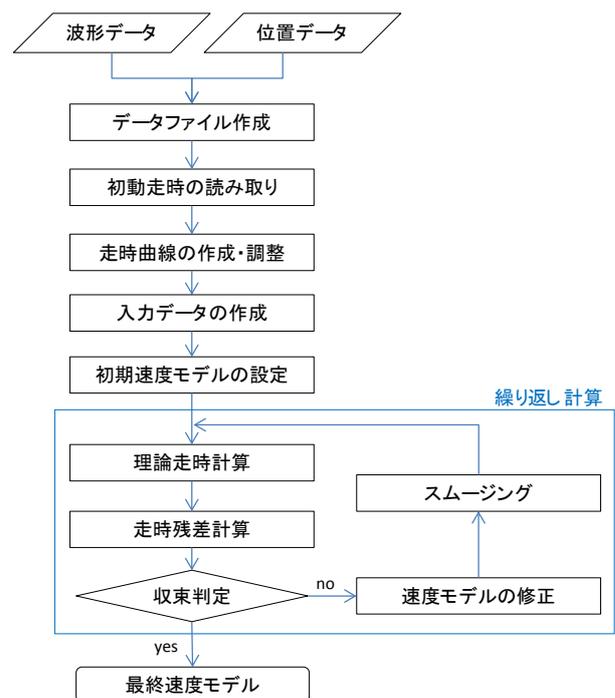
写真－2 現場実証試験状況

測定は、ドリルジャンボによる切羽左右2本のボーリング孔（φ65mm）を使用し、右孔を起振孔、左孔を受振孔として、孔間を伝播する弾性波を測定した。測定システム模式図を図－3に示す。



図－3 測定システム模式図

弾性波の受振にはハイドロフォン（φ35mm）と呼ばれる水圧を感知する受振機を使用した。ハイドロフォンをゲル状充填材中に置くことで地山を伝播してきた弾性波を感知可能とした。今回試験の起振は瞬発電気雷管の発破によって行った。解析フローチャートを図－4に示す。波形記録（図－5）から初動走時を読み取り、走時曲線を作成した（図－6）。走時曲線より初期速度モデルを作成し、繰り返し計算を行うことにより、弾性波速度分布を得た（図－7）。なお今回の結果は、孔荒れによる受振器の設置不良により、切羽奥10～15m迄の測定結果となっている。探索結果は、掘削時の切羽状況とも整合が取れており、本手法の成立性を確認することができた。



図－4 解析フローチャート

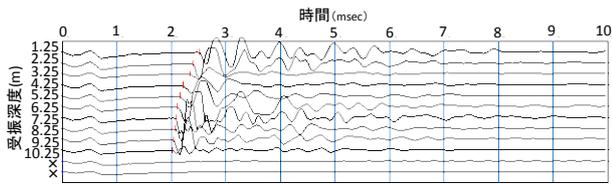


図-5 発破起振による波形記録

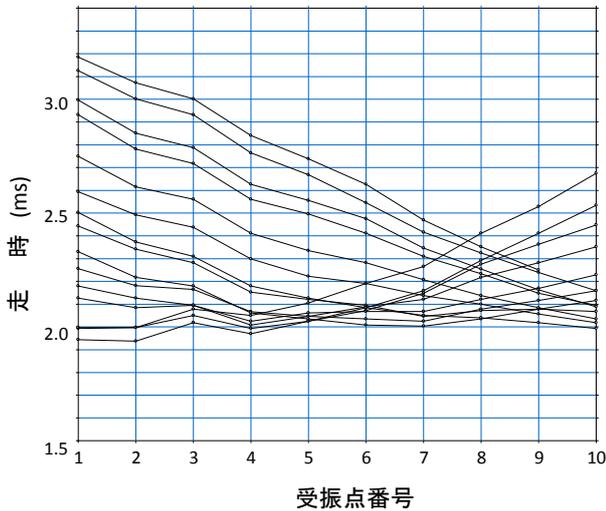
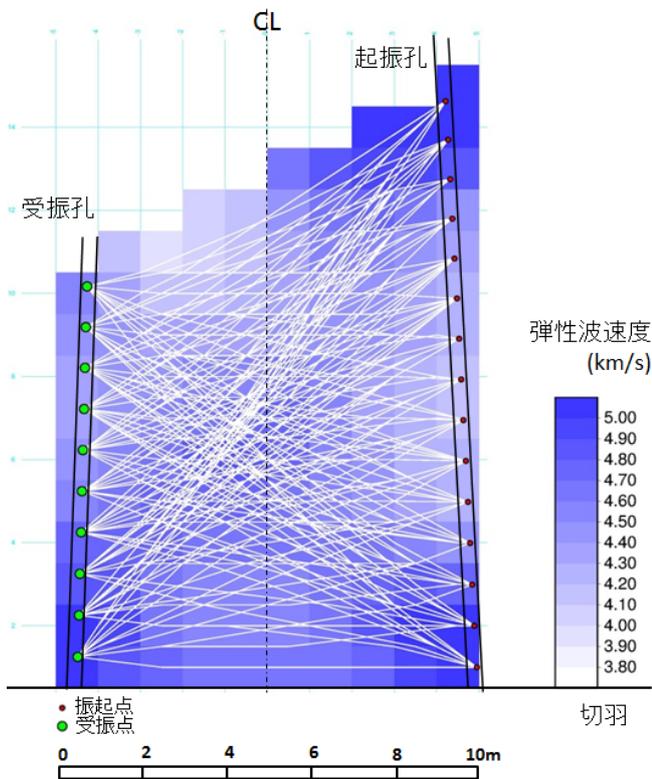


図-6 走時曲線図



孔間弾性波トモグラフィ
解析結果に対する理論波線経路

図-7 解析結果

4 今後の課題

現場実証試験では受振孔の孔荒れにより、受振器を切羽奥 10m までしか挿入できなかった。その原因としては、削孔直後にゲル状充填材による保孔ができなかったことや、今回のゲル状充填材仕様では十分な保孔効果が得られなかったことが考えられた。その問題点を踏まえ、現在、削孔直後に保孔可能な充填システムの開発や、保孔効果の高いゲル状充填材仕様への改良を行っている。また、本手法を汎用的な切羽前方探査手法とするため、簡易に実施可能な測定・解析システムの構築も進めている。

5 おわりに

ゲル状充填を用いることを特徴とする新たな切羽前方探査手法を開発し、成立性を確認することができた。本手法の様な、切羽前方探査技術の高精度化により、山岳トンネルの事前設計技術向上に繋げていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 物理探査学会物理探査容量作成委員会：物理探査適用の手引き（とくに土木分野への利用）、pp.226-236、2000.3.
- 2) 物理探査学会標準化検討委員会：物理探査適用の手引き、pp.427-437、2008.10.
- 3) 水谷和彦・赤木英治・袋井孝洋：ゲル状充填材を用いた切羽前方水平孔間弾性波トモグラフィの試み、土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集、VI-384、2016.8
- 4) 大島洋志(国際航業(株)), 吉富幸雄・山上順民(大成建設(株)), 水谷和彦(前田建設工業(株)), 西琢郎(清水建設(株)), 山本浩之・中谷匡志((株)安藤・間)：トンネルと地下 トンネル新技術への挑戦(17)、pp.69-80、2017.4

第1会場

第Ⅱグループ

－FRP 材を用いた検査路の既設橋梁へ後から設置した事例の報告－

宮地エンジニアリング株式会社 橋梁営業部 FRP 開発グループ 渡部 陽一

1. はじめに

2012 年（H24）の道路橋示方書の改定において、橋梁維持管理の容易さと、確実性について考慮する旨記述され、5 年毎の点検業務規定により、設計段階から点検用検査路等の計画が増えてきている。また、既存の検査路については、海岸部や融雪材などを散布する地域において鋼製検査路の腐食劣化も進行している事から、より耐食性の高い点検設備の検討も行われており、その一つとして、FRP 材を用いた検査路の採用も増えてきている。

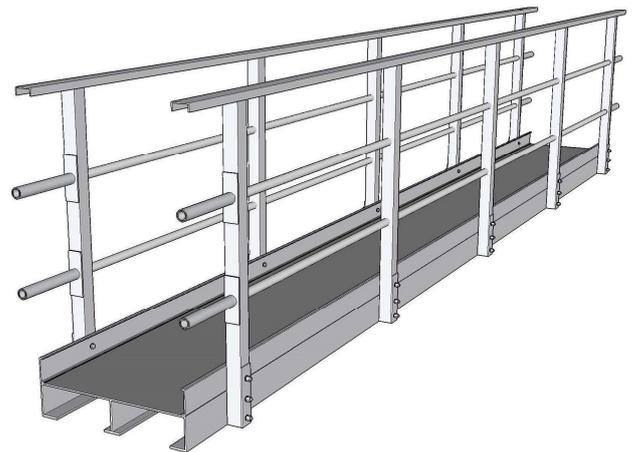
FRP 検査路の構造について、概要図を図－1 に、断面図を図－2 に示す。FRP 材は、海岸部や融雪材を散布するような腐食環境の厳しい場所での適応に対して、耐食性に優れているため、従来の鋼製検査路に比べ、維持管理上有利となる。また、軽量であるため、既設橋梁に後から検査路を設置する場合についても、既設構造物への荷重増加の影響を最小限に抑えることができる上、橋梁下面への設置に際しクレーン等の重機を必要とせず、人力による施工が可能となることから施工性においても有利となる。

本稿では、FRP 検査路を実橋に適用するにあたり実施した各種の耐荷力試験結果を示すとともに、現在約 90 件の実績がある中で、既設橋梁に FRP 検査路を後から設置した事例として、福井県坂井市の鋼橋に設置した上部工検査路の施工状況について報告する。

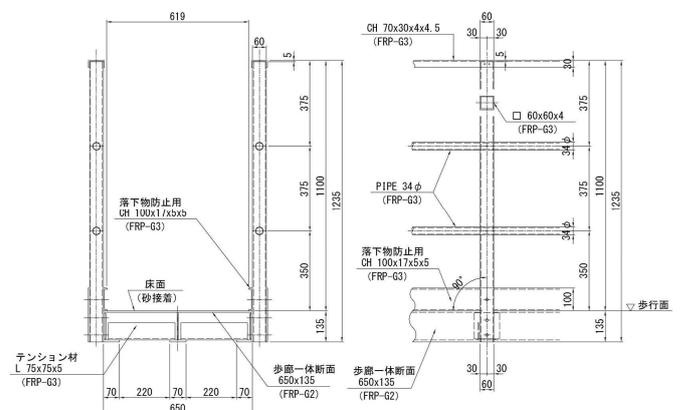
2. FRP 検査路の構造概要

FRP 検査路に使用する材料は、FRP 材の中でも高強度・高弾性率で製造可能な GFRP 引抜成形材

を用いている。手摺の構造について、最上段は角パイプを用いた柱にチャンネル材を笠木として被せることで、柱による笠木の分断がなく歩行時の使用性の向上を図っている。また、丸パイプの中段手摺を柱の角パイプに貫通させることで交差部の角変形を抑制し、面内の剛性を高めている。歩廊の構造は、歩行面と梁材を一体成型した断面で活荷重に抵抗するものとしている。



図－1 FRP 検査路の概要図



図－2 FRP 検査路の断面図
（支間 L = 6.0m の場合）

表-1 GFRP 引抜成形材の材料試験結果

種別	引張強さ(N/mm ²)		引張弾性率(N/mm ²)		破断ひずみ	許容ひずみ	適用
	基準値	試験値	基準値	試験値			
HO135	250 以上	334	20000 以上	25000	13360	4453	歩廊 6m
CH70	350 以上	435	24000 以上	32000	13594	4531	笠木
SP60	350 以上	391	24000 以上	31000	12613	4204	支柱

基準値は JIS K 7015 による

3. FRP 検査路の耐荷性状

検査路の荷重は、活荷重および手摺への水平力・鉛直力が設計荷重として規定されている。FRP 構造物に関しては、FRP が異方性材料であることから、想定した計算結果と異なる損傷が生じる可能性があり耐荷性状が明確ではない。このため、実用化にあたっては、各荷重に対する載荷試験を実施し、耐荷性状の確認を自社規定で行っていた。ただし、2015 年 (H27) に東、中、西日本高速道路株式会社より、FRP 製検査路に関する試験方法 (440-2015) が発刊されたため、これに準拠した性能の確認を行った。本稿では、支間長が 6m の歩廊に対する群集荷重、手摺に対する鉛直荷重、水平荷重に対する試験について報告する。試験体の材料試験結果は、表-1 に示す。

3. 1 活荷重載荷

試験に用いる供試体は、検査路の 6m タイプ (一体断面歩廊、高さ 125mm) で実施した。載荷は、30kg に調整した砂袋を載せる方法で実施し、活荷重 (3.5kN/m²) 相当の荷重を載荷した。

試験体の概要を図-3、全景を写真-1、試験状況を写真-2 に示す。このときの支間中央のたわみ値 (44mm) が、規定されている許容たわみ算定式 $L/100$ で計算した値 (60mm) よりも小さいことが分かった。これより、設計荷重に対する耐荷力は問題ないことが確認できた。

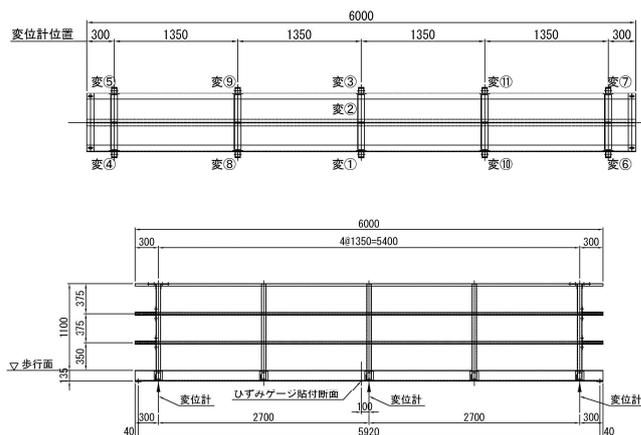


図-3 6mタイプ供試体概要図



写真-1 供試体全景



写真-2 歩廊静的載荷試験(鉛直)

3. 2 上段手摺に対する鉛直載荷

試験に用いる供試体は活荷重載荷試験に用いた供試体と同じものを使用した。載荷位置は、図-4に示す支間中央付近の支柱間とした。また、写真-3に示すように、載荷は30kgに調整した砂袋を載せる方法で実施し、設計荷重0.59kN/m相当を載荷した。この時の上段手摺、支柱のひずみは、破断ひずみ（上段手摺：13,594、支柱：12,613）以下であることが規定されている。試験結果のひずみ（上段手摺：562、支柱：149）は、設計荷重に対してもFRP検査路に損傷は生じておらず、十分な耐荷力を有していることが確認できた。

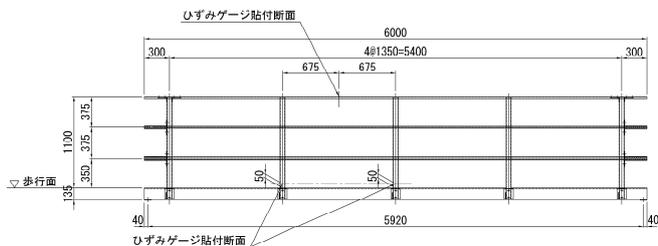


図-4 試験体概要図



写真-3 上段手摺 静的載荷試験(鉛直)

3. 3 手摺に対する水平載荷

試験に用いる供試体は、活荷重載荷のものと同じものを使用した。載荷位置は、図-5に示す柱部とし、写真-4、5に示すようにジャッキを併用した治具により水平に載荷した。この時の支柱のひずみは、破断ひずみ（上段手摺：13,594、支柱：12,613）以下であることが規定されてい

る。試験結果のひずみ（上段手摺：189、支柱：499）は、設計荷重に対してもFRP検査路に損傷は生じておらず、十分な耐荷力を有していることが確認できた。

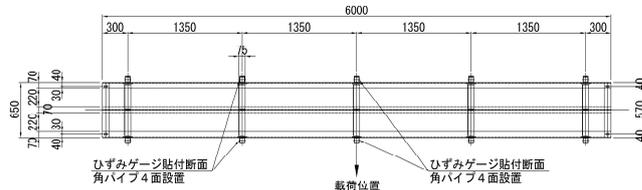


図-5 試験体概要図



写真-4 手摺の静的載荷試験(水平)



写真-5 治具取付け状況

4. 実橋へのFRP上部検査路の適用事例

福井県坂井市の九頭竜川河口に位置する新保橋にFRP検査路を施工した事例について報告する。検査路の施工は、まず橋上のユニック車(写真-8)から歩廊部材を桁下の足場に橋梁側面から搬入する。(写真-9)、FRP検査路は8mの部材長に対して、重量が160kgと比較的軽量であることから、写真-10に示すように、足

場상을設置箇所まで人力で移動させる方法とした。これより、足場内の狭い空間にも関わらず、FRP 検査路の設置は容易に施工できることが確認できた。また、手摺は、歩廊部材を既設橋梁へ固定した後に取付けを行っている。そのため、横構がある場合でも、支柱との干渉を回避するようにあらかじめ設計し、実測にて確認しておけば、写真-11 のように取付けることも可能である。検査路の設置完了した橋梁下面からの状況を写真-12 に示す。



写真-8 検査路の荷卸し状況



写真-9 桁下の足場への取込み

5. おわりに

近年、維持管理の必要性から検査路を後から追加する場合や、腐食した検査路の取替え事例が増加し、高速道路の大規模更新で検査路の増設事例も多くなってきている。この場合、軽量で耐食性に優れるFRP検査路の適用は有益なものと言える。



写真-10 桁下の足場への取込み



写真-11 手摺設置完了



写真-12 設置完了（床版下面より）

参考文献

- 1) 久保圭吾・永見研二・山口浩平・日野伸一・稲葉尚文・青木卓也：道路橋検査路用 FRP 製ブラケットの静的耐荷性能と試験施工，土木学会第 4 回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム，pp.115-122，2012.
- 2) 久保圭吾・清水達也：FRP 材を用いた検査路の耐荷性状と適用実例，平成 26 年度近畿地方整備局研究発表会論文，2014.

積雪寒冷地域における簡易式路上表層再生工法「ヒートスティック」の 供用性評価と新たな機能の付加

鹿島道路(株) 技術研究所 ○ 五傳木 一
 // 芳賀 潤一
 // 岡部 俊幸
 // 大嶋 智彦

1 はじめに

わが国の道路総延長は、127万km（平成27年4月1日現在）を超え、今後これらのストックは限られた予算の中で、道路利用者や納税者のニーズを踏まえながら効率的な維持管理が必要とされている。簡易式路上表層再生工法「ヒートスティック」は、路上表層再生工法の路面ヒータ車を使用する維持工法であり、供用に伴う縦断方向の凹凸の悪化や占用工事の部分的な補修箇所等の影響により、乗り心地が低下した舗装路面を回復させ、走行安全性および乗り心地の改善等を目的として、これまでに各所で適用を図ってきた。

本報では、積雪寒冷地域において本工法を適用した箇所の供用性を述べるとともに、積雪寒冷地域を対象として、新たに開発し付加した凍結抑制機能を備えたヒートスティック工法の実道における供用性について取りまとめて報告する。

2 ヒートスティック工法の概要

ヒートスティック工法とは、図-1に示すように従来の路上表層再生工法の機械編成を簡素化したことにより、市街地等の道路へも適用可能とした維持工法であり、既設表層混合物をヒータ車で加熱、掻きほぐし、その上部に新規アスファルト混合物を2～3cm程度で敷きならし、締め固めて仕上げるリペーブ方式の維持工法である。

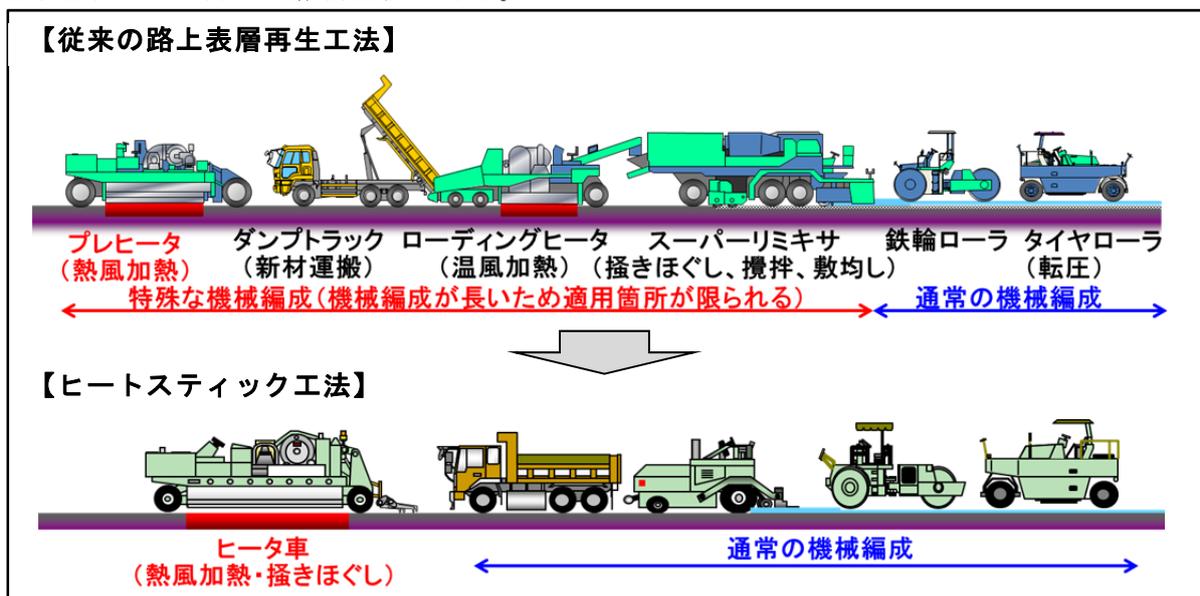


図-1 施工体制の比較

ヒータ車による既設舗装の加熱，掻きほぐしの状況は，写真-1 に示すとおりであり，既設舗装を掻きほぐすことにより，既設舗装にひび割れが発生している場合には，図-2 に示すように単純にオーバーレイを行う場合よりも，リフレクションクラックの抑制効果が得られるという特長を有している。この他に，ヒートスティック工法の特長は，パッチング跡や局部補修箇所等の解消による走行安全性，乗り心地の改善が図れる他，リペーブ（オーバーレイ）方式による施工方法であるため，舗装発生材の抑制も可能となる。

本工法の適用条件としては，維持工法であるため基本的に既設舗装が構造破損していないことが前提であり，適用にあたっての目安は，ひび割れ率 20%程度以下，わだち掘れ量 30mm 程度以下，交通量区分 N₅以下を推奨している。

なお，既設舗装のわだち掘れ量が 20mm 程度以上発生している場合には，わだち掘れ凸部の除去を事前に行うこともある。

3 積雪寒冷地域における供用性評価

供用性の評価は，簡易型の路面性状測定車により，表-1 に示す供用年数や交通量区分が異なる 10 路線を対象に，ひび割れ，わだち掘れ，平坦性を測定した。その結果を図-3 に示す。なお，図-3 は路線ごとの測定データから 10m 間隔で各種の路面性状値を整理しているため，路線ごとにデータ数は異なっている。わだち掘れ量，平坦性は，供用に伴う顕著な悪化は認められないものの，ひび割れは供用とともに増加する傾向が認められる。

この結果から，今回対象としたヒートスティック適用箇所の破損は，ひび割れによるものが主と考え以降では，供用年数とひび割れ率の関係に着目し整理することとした。なお，整理にあたっては，交通量の影響を排除する目的で，10 路線中 6 路線を占める交通量区分 N₄の路線を対象とし，供用間もない No.1 と延長が短くデータ数の少ない No.8 を除く 4 路線を評価対象とした。

まずは，路線ごとにヒストグラムを作成し，供用年数とひび割れ率の内訳について整理した。なお，ヒストグラムは，0.1~9.9%（片側の車輪通過箇所にひび割れが発生す



写真-1 加熱，掻きほぐしの状況

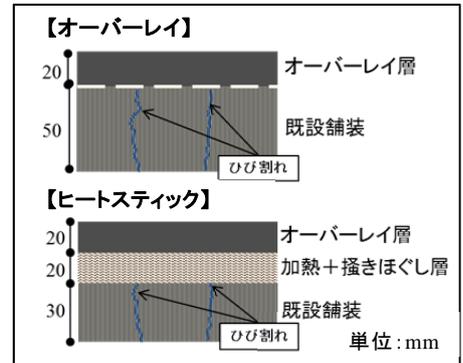


図-2 50mmの既設舗装上に20mmオーバーレイする場合の例

表-1 供用性の調査箇所一覧

No.	施工時期	供用年数	交通量区分	施工延長 (m)
1	平成28年 7月	0.2	N ₄	297
2	平成26年12月	1.8	N ₄	860
3	平成25年10月	2.9	N ₄	1,880
4	平成24年12月	3.8	N ₄	720
5	平成22年 7月	6.2	N ₃	2,480
6	平成22年 5月	6.3	N ₃	640
7	平成21年10月	6.9	N ₃	620
8	平成20年 9月	8.0	N ₄	160
9	平成19年 9月	9.0	N ₅	2,740
10	平成19年 7月	9.2	N ₄	1,352

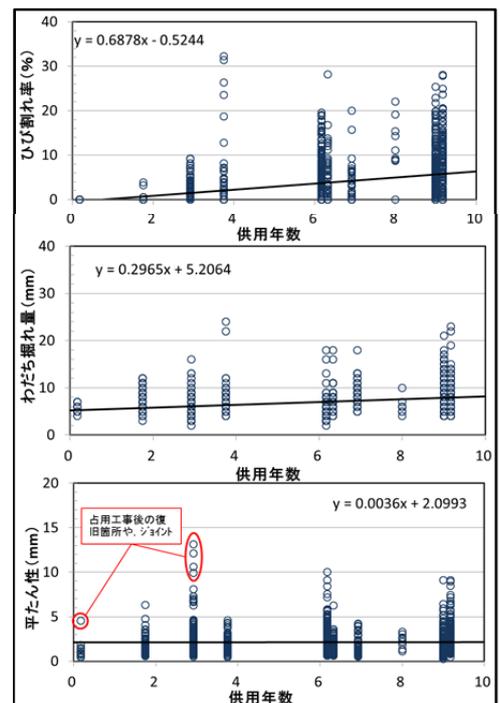


図-3 路面性状測定結果

る程度)、10~19.9% (両輪の車輪通過箇所にひび割れが発生する程度)、20~34.9% (両輪の車輪通過所にひび割れが発生し、部分的に亀甲状のひび割れが発生する程度)と、それ以上の35%以上に分類した。ヒストグラムを図-4に示す。供用期間が長くなるに従い、ひび割れ率が增大する傾向が認められる。次に、各路線のひび割れ率の累積確率分布による評価結果を図-5に示す。累積確率分布より、供用3年程度までは、線形の傾きに大きな変化は認められず、ひび割れ率は最大でも5%程度以下の分布に収まっている。しかし、供用4年程度以降になると、ひび割れ率の分布が広がり、線形の傾きに変化が生じている。今回、対象とした路線の結果では、供用9年を超えた場合もヒストグラムから明らかなように、10m

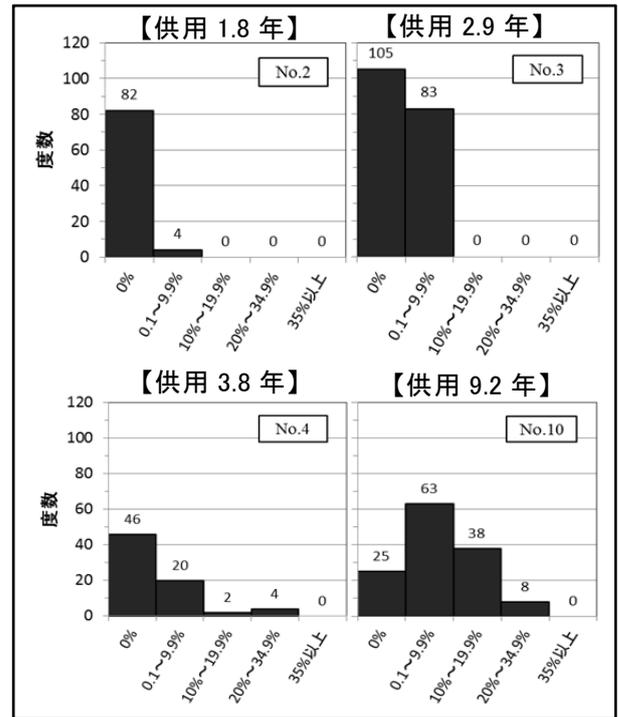


図-4 路線毎のひび割れ率のヒストグラム (交通量区分N₄)

ごとに評価したひび割れ率は、最大でもそのほとんどが20%以下となっている。参考として、MCIの累積確率分布を図-6に示すが、供用9年を超えた路線においても、一般的に修繕を必要とされるMCI4以下の占める割合は、ごく僅かであることがわかる。このよ

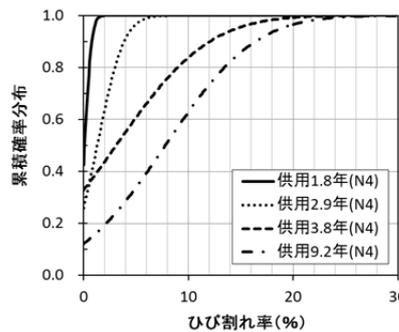


図-5 ひび割れ率の累積確率分布

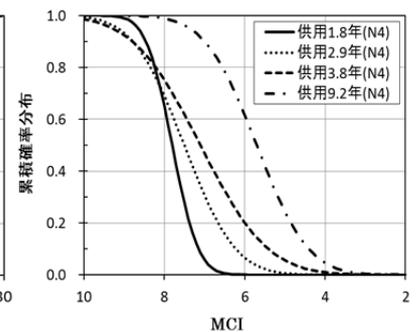


図-6 MCIの累積分布

うに、交通量や供用年数に着目し条件整理をするなどし、累積確率分布を用いることで、将来的なおよその劣化予測も可能になると言える。

4 凍結抑制機能を付加したヒートスティック工法

ヒートスティック工法は、前述したように積雪寒冷地域においても良好な供用性を有していること、近年では除雪作業される方の高齢化が進んでいること、限られた財源で効率的な維持管理を行う必要があること等を勘案し、通常の凍結抑制舗装よりも安価となる設定でヒートスティック工法に凍結抑制機能を付加した。この凍結抑制舗装は、図-7に示すように物理系の凍結抑制舗装であり、ヒートスティック工法のみならず、単独でも2~3cmの薄層の凍結抑制舗装として適用可能となっている。

以降では、適用した箇所の凍結抑制効果や路面性状などについて述べる。

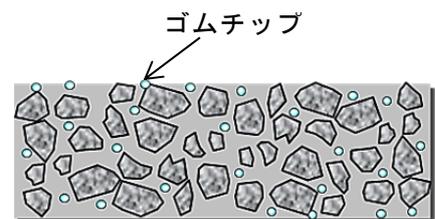


図-7 凍結抑制舗装のイメージ

凍結抑制機能を付加したヒートスティック工法は、交通量区分 N₄ の路線において延長 50m×幅員 3.2m×厚さ 2cm の規模とし、隣接する箇所と比較対象として実績のある密粒度混合物を用いたヒートスティックの工区を同規模で設け、凍結抑制効果を含む供用性の評価を行うこととした。

(1) 施工前の現況

ヒートスティック施工前の路面性状を写真-2, 表-2 に示す。施工前の路面性状は、写真に示すようにパッチングによる補修箇所やひび割れが点在し、乗り心地が低下していた。また、わだち掘れ量は、ヒートスティック工法の表層厚 20mm を超えている箇所も含まれていたため、ヒートスティック工法に先立ち既設舗装を平均 20mm で切削した。



写真-2 施工前の現況
表-2 施工前の路面性状

評価項目	舗装種別	特性値
ひび割れ率 (%)	密粒(比較)	11.0
	凍結抑制	14.2
わだち掘れ量 (mm)	密粒(比較)	27
	凍結抑制	19
平たん性 (mm)	密粒(比較)	3.45
	凍結抑制	3.51

(2) 施工および追跡調査結果

施工は、前述したように事前切削を行った路面を対象として、ヒータ車で加熱、20mm 掻きほぐし、その上部に新規アスファルト混合物を 20mm オーバーレイした。施工状況は、写真-3 に示すとおり、ヒータ車のみが特殊機械であるがその他の施工機械は、一般的なアスファルト舗装に用いている汎用機である。



写真-3 施工状況

写真-4 に、凍結抑制効果の一例を示す。凍結抑制舗装は、隣接している比較対象の密粒舗装に比べ、明らかに路面の露出が多いことから、凍結抑制機能が備わっているものと言える。



写真-4 凍結抑制効果

また、当該施工箇所においては、冬期のみ凍結抑制効果の他、通年を通じた舗装の供用性についても確認を行っている。その結果の一部を、表-3 に示す。凍結抑制舗装の路面性状は、供用期間が短いものの実績のある密粒舗装と大差なく一冬経過後における時点でも、特に問題無い供用性を有していることが確認できている。

表-3 施工後の路面性状

評価項目	舗装種別	施工直後	供用 296 日後
ひび割れ率 (%)	密粒(比較)	0	0.2
	凍結抑制	0	0.2
わだち掘れ量 (mm)	密粒(比較)	0	2
	凍結抑制	0	2
平たん性 (mm)	密粒(比較)	1.06	1.24
	凍結抑制	1.17	1.34
備考		—	一冬経過後

5 おわりに

ヒートスティック工法は、舗装の維持修繕が中心となる現在において、既設舗装の走行安全性および乗り心地の改善および延命措置を図る有効な維持工法の 1 つと言える。また、新たに付加した凍結抑制機能は、その効果が確認され沿道の住民や道路利用者の環境保全対策にも有効であるものと言える。今後も当該区間の供用性に着目するとともに、既設舗装の維持管理に有効な工法の開発に努めたい。

橋梁の部分撤去で導入された中間定着工法について

国土交通省 高田河川国道事務所 工務第二課 白木 宏二郎
此川 孝悦
田中 光一
国土交通省 松本砂防事務所 調査課 松本 修一

1 はじめに

歌高架橋は、図-1に示す新潟県糸魚川市の沿岸部に位置する国道8号の橋梁である。日本海からの飛来塩分等に由来すると思われる塩害により、著しい損傷が確認されているとともに、過年度に補修が実施された箇所についても再劣化が確認されている(写真-1)。

当事務所では、塩害により劣化が生じた橋梁の一部においては、補修による対策だけではなく、橋梁架替等の抜本的な対策を実施しているところであり、歌高架橋も橋梁架替が必要となった一橋である。



図-1 歌高架橋（新潟県糸魚川市）の位置

歌高架橋は、「北陸自動車道」と「えちごトキめき鉄道」に挟まれた狭隘な場所に設置されており、新設橋は既設橋に隣接して建設する必要がある。また、起終点の合流部は、写真-2に示すように、新設橋と既設橋が重複するため、新設橋架設に支障となる既設橋の一部を撤去する必要があるが生じた。

本論では、終点部の重複箇所の施工において、現道交通を確保しつつ既設橋撤去を可能とした横締めPC鋼材中間定着工法について報告する。



写真-1 主桁鉄筋の腐食状況



写真-2 歌高架橋の合流部（終点部）の状況

2 「中間定着工法」利用の背景

新設橋と重複する既設橋の2径間は橋軸方向に切断しなければならないが、ポストテンションT桁橋である歌高架橋は、主桁フランジや横桁に横締めPC鋼材を配置して一体化している。そのまま横締めを切断した場合、撤去部分だけでなく、残存部分のプレストレスも消失してしまい、残存部分において現道交通を通過させることが不可能となる。そのため、現道交通を確保した上での既設橋の部分撤去に際し、残存部分のプレストレス維持手法が課題であった。

前述した課題に対して、歌高架橋では残存部分のプレストレスの維持を目的として、PC鋼材を切断位置で定着させる「横締めPC鋼材中間定着工法」を利用した。当工法は図-2に示

すように、橋軸方向に切断分割する前に横締めPC鋼材を固定することで残存部分のプレストレスを維持し、現道交通確保を可能とした。

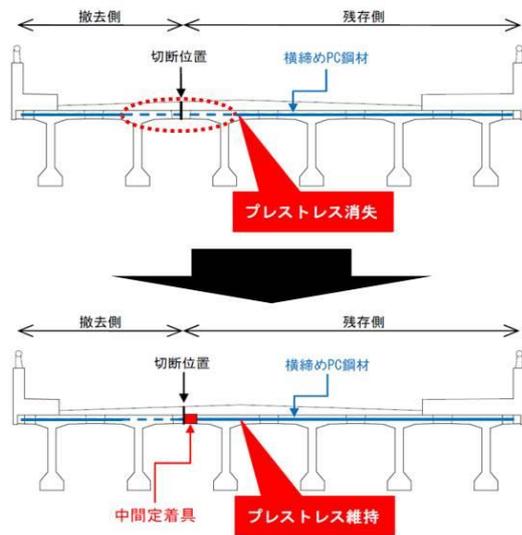


図-2 中間定着概要図

3 新工法の概要

従来の中間定着工法では、箱形もしくは円筒型のフレームにPC鋼材を通し、そのフレームの内部に膨張剤を充填することで、膨張による圧力がPC鋼材を固定し、中間定着後もプレストレスを保持し続けるといったものであった。しかしながら、従来工法では、中間定着完了後にPC鋼材の張力の再調整が不可能であるため、中間定着時に張力が失われた場合、鋼材を再緊張することができなかった。

そのような事項を懸案し、中間定着完了後にプレストレスを付与することができ、構造物の安全性を維持し続けることができるように開発されたのが、ウェッジ圧入方式の中間定着工法である。本工法はプレストレスの付与に加え、従来工法と比較して作業が簡単であるといった特徴が挙げられる。

4 中間定着具の構成

残存部分のプレストレス維持の要となる中間定着具は、写真-3に示すとおり、大きく分け

て、PC鋼材をしっかりと握り持つ「フィクスチャ」と、張力を維持する「イコライザ」の二つの部品から構成される。詳細には、フィクスチャはウェッジ、スリーブ、ジャケットの3点からなり、イコライザは2枚の支圧板とその間にあるスピナで構成される。

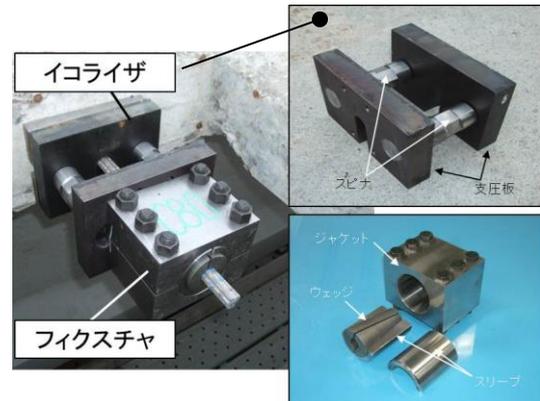


写真-3 中間定着具の構成

今回利用した中間定着具は現場施工前に室内試験を実施している。室内試験では様々なタイプのPC鋼材の残存張力測定を繰り返した。また、室内でコンクリート床版打設、PC鋼材の緊張、グラウト注入により、模型を作成し、その後中間定着の一連作業を行うことで、計画が実際の現場作業と一致するかを確認するとともに、PC鋼材張力が長期的に維持されることを確認している。この室内試験の結果を基に今回、歌高架橋に採用することとなったが、実橋への適用は全国初の試みであった。

また、中間定着具を設置し、PC鋼材を切断した後であっても、PC鋼材張力をコントロール(再緊張)できるという特徴があることから、歌高架橋で採用した。

5 施工手順

歌高架橋における既設橋部分撤去について、現地写真を用い、施工手順を説明する。

5. 1 横締めPC鋼材中間定着

5. 1. 1 床版はつり・グラウト除去

中間定着具が収まる範囲について、横締めPC鋼材一本おきにコンクリートをはつる。その後、PC鋼材を露出させるため、シーすを取り除き、グラウトはハンマーで軽くたたいて除去する(写真-4)。



写真-4 コンクリートはつり・PC鋼材露出

4. 1. 2 PC鋼材の整形

既設橋は架設年次が古い(1975年)ことから、シーす内のPC鋼材はバラバラに並んでおり、束の形が不揃いであるため、このままではウェッジの装着が難しい。そこで、露出した鋼材の両端に整形ワイヤで締付け、図-3に示すようにウェッジ装着位置にグリップキーを施し、PC鋼線束の形状を円形に整えるとともに、空隙をなくし、保持力を確実なものとする。

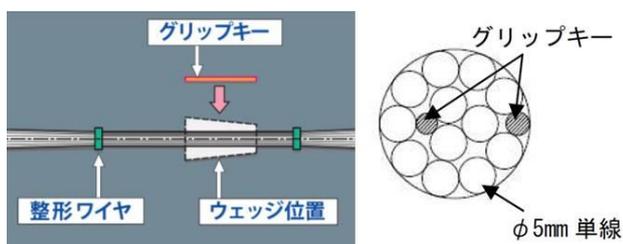


図-3 PC鋼材の整形・グリップキーの挿入

4. 1. 3 フィクスチャの取付け

フィクスチャの取付けはジャケットをPC鋼材の上下から挟んでボルトを締め、中にスリーブを入れる。二分割されているウェッジで円形に整えたPC鋼材を挟み、マーキングした所定

の位置に装着する。その後、ジャケットを移動してウェッジと一体化にする(写真5)。



写真-5 ウェッジの装着・ジャケットとウェッジの一体化

4. 1. 4 反力装置の取付け・ウェッジ圧入

PC鋼材をしっかりと握り持つことがフィクスチャの役割であることから、ウェッジをスリーブ内に確実に圧入し、フィクスチャを完全に一体化させる必要がある。ウェッジをスリーブに圧入するにあたり、写真-6に示すように反力装置をジャケットを囲むように取付け、ジャッキにて圧入する。ジャッキの圧入力は反力装置を介してスリーブに伝わることから、PC鋼材に負荷をかけずに固定が可能なため、大きな圧力で圧入することができる。

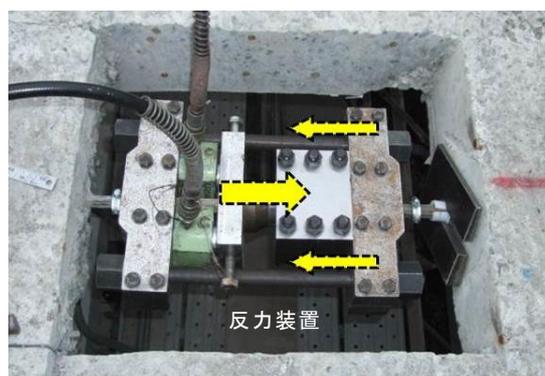


写真-6 ジャケットへのウェッジの圧入

4. 1. 5 イコライザの取付・セット補正

ウェッジ圧入後に反力装置を取り外し、一体化されたフィクスチャと残存させる桁フランジの間にイコライザを取付ける(写真-7)。

次に、支圧板の間にあるスピナを回して二つの支圧板の間隔を調整し、写真-8に示すよう

に、さらにスピナに対してトルクレンチを用いてトルク管理することで、既存張力を確保することができる。

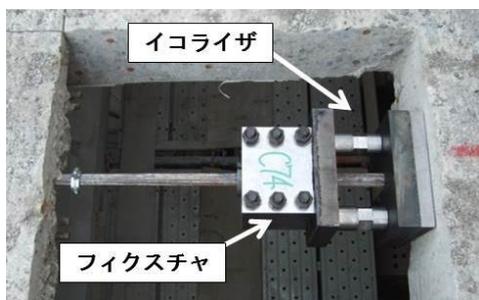


写真-7 イコライザの取付け

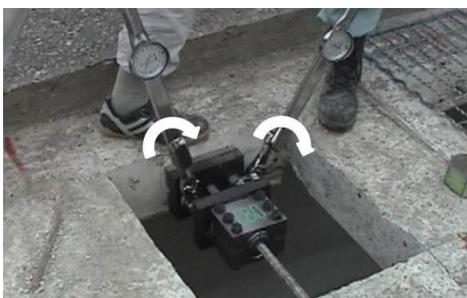


写真-8 トルク管理

4. 1. 6 PC鋼材の切断

PC鋼材の張力確保が確認されたら、写真-9に示すように、ガス切断器を使用し撤去側のPC鋼材を切断する。

切断による突発的な張力の抜けを防ぐために、加熱初期は低温で1~2分鋼材を炙り、熱膨張により中間定着具に張力を移行させる。撤去側の張力が抜けたところで温度を上げ、PC鋼材を切断する。



写真-9 PC鋼材の切断

4. 1. 7 中間定着の繰り返し

一本おきに残した部分の中間定着具の設置を行い、全ての主桁フランジの横締めPC鋼材を中間定着させる。

5 まとめ

歌高架橋の終点側合流部における中間定着は、2016年10月に全箇所完了し、その後新設橋の構築が進められた。横締めPC鋼材中間定着工法を採用したことで、現道交通を確保しながら既設橋を撤去するという工事を無事完成することができた。

2017年3月には、写真-10に示すように、交通が新設橋に切り替わり、歌高架橋は役目を終え、同時に今回施工した中間定着も任務を終え、残存桁と合わせ撤去されることとなっている。

歌高架橋のような条件下にある橋梁は少ないものと思われ、本工事によってその有用性が確認されたことで、今後、本工法のニーズは増加していくものと考えられる。



写真-10 歌高架橋新設橋への交通切り替え

参考文献

- 1) 渡部寛文, 勝俣良夫, 森石慶久, 高長正裕: PC橋架替工事における横締め鋼材中間定着工法の適用, プレストレストコンクリート, Vol. 59 No. 1, pp. 35-40, 2017

謝辞

本論文を執筆するにあたり、ご協力を頂きました川田建設株式会社様をはじめとする関係各位に感謝の意を示します。

アスファルトフィニッシャ用の特殊保温プレートの開発

大林道路(株) 本店 機械部機械課主任 阿部 慎

1. はじめに

冬季のアスファルト舗装工事の施工では、アスファルトフィニッシャのホッパに加熱アスファルト混合物（以下、合材と称す）を受けると合材温度が低下し、締固め不足や粗い仕上がりといった不具合が発生することが懸念される。一般的な対策として、ホッパ全体を遮熱シートで覆う方法やホッパ外側に断熱材やヒーターパネルを設置する方法があるが、合材が供給されるまでの待機時間内での保温や部分的な保温・加熱では保温効果に限界があると考えられる。

そこで、筆者は以下の方針で合材の温度低下を抑制する「特殊保温プレート」を開発した。

- ・保温効果を高めるために、熱伝導率の低い断熱材を選定する
- ・ホッパ内の熱を蓄熱する構造とする
- ・ホッパ内側の設置制約 ($t \leq 20\text{mm}$) を設け、これを満たす断面構造とする

本稿は、断熱性が高い素材を組み合わせ、これをホッパ内側に貼り付けることにより合材の温度低下を抑制し、アスファルト舗装工事の品質を確保することを目的に開発した「特殊保温プレート」について報告するものである。

2. 断熱材の選定

2.1 断熱材の検討

保温効果が持続する構造の一例として、魔法瓶がある。魔法瓶には図-1に示すような真空層が設けられており、魔法瓶には銅箔などを挟み込んで熱エネルギーを反射して内部に熱を保つ構造となっている。このような真空層をホッパ部に構築することは技術的に困難であることから、熱伝導率が低い層をホッパ部に設けることを検討した。そのため、熱伝導率の低い断熱材とホッパ内側の設置制約の条件を満たすような薄い素材の断熱材 (5mm 以下) で断熱効果と耐久性を評価した。使用した断熱材を表-1に示す。

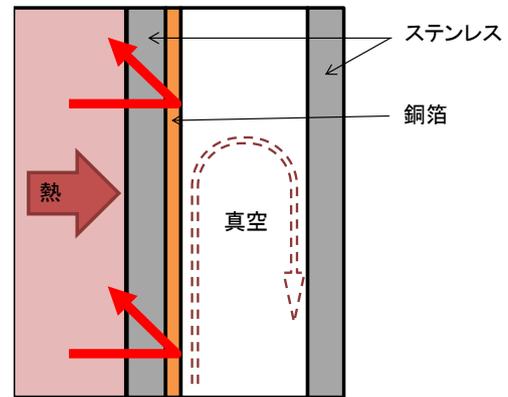


図-1 保温効果のある構造

表-1 検討に用いた断熱材

断熱材	ガラスファイバー不織布	ガラスウールシート	発泡スチロール
熱伝導率 (W/mK)	0.020	0.023	0.030
厚さ (mm)	5	4	5

表-1の断熱材のうち、固体としては最も低い熱伝導率を有するシリカエアロジェルを含浸させた断熱材であるガラスファイバー不織布を写真-1に示す。主に工場の屋外の高温で帯びているダクト等に使用されている。ガラスウールシートは、低熱伝導金属微粒子配合の発泡体のガラス繊維でできた綿状ガラスウールに防食性を高めたアルミ合金泊で挟み込んだ断熱材であり、住宅や飛行機等で使用されている。発泡スチロールは、気泡を含ませた発泡プラスチックの一種のポリスチレンであり、全体の98%が空気で成型された断熱材である。主に保冷バッグ等に使用されている。



写真-1 グラスファイバー不織布

2. 2 断熱効果と耐熱性の評価

断熱材は間接的に合材と接するため、合材温度以上の耐熱性を有している必要がある。そこで、以下の方法で断熱材の効果と耐熱性を評価した。

まず、シリコンヒータ上に合材投入時の衝撃から断熱材を保護することを想定した鋼板(厚さ6mm)と断熱材を載せ、断熱材の上部と下部に温度センサを設置した。次に、ホoppaを想定した鋼板(厚さ9mm)を断熱材の上に載せ、合材の到着温度(170℃±10℃)の上限値(180℃)までシリコンヒータを加熱して、断熱材上部および下部の温度を測定した。

シリコンヒータ加熱時の温度測定位置を図-2に、加熱状況を写真-2に示す。

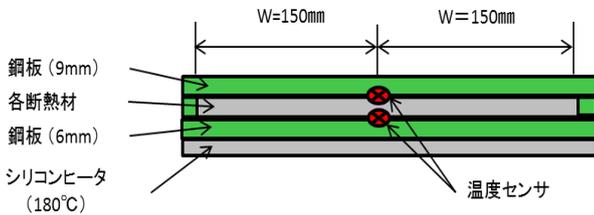


図-2 温度測定位置



写真-2 シリコンヒータによる加熱状況

2. 3 断熱効果と耐熱性の評価結果

断熱材を挟んだ鋼板を加熱したときの断熱材上部と下部の温度測定結果を図-3に示す。図より、グラスファイバー不織布の上部の温度は他の2種類の断熱材より低く、断熱効果が高いといえる。また、加熱後の断熱材の状態をみると、熱による収縮や変形も生じておらず、耐熱性も有している。一方、グラスウールシートと発泡スチロールの上部温度はグラスファイバー不織布よりも最大で約20℃高く、加熱時に断熱材の収縮あるいは溶解しており、合材を扱う上で必要な耐熱性を有していないと考えられる。

以上の結果から、グラスファイバー不織布を特殊保温プレート用の断熱材として選定した。

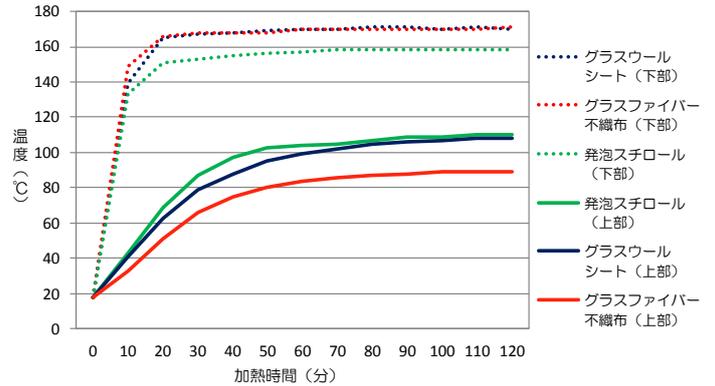


図-3 断熱材の上部と下部の温度測定結果

3. 特殊保温プレートの構造の検討

3. 1 各種プレートの選定と組み合わせ

特殊保温プレートの構造を検討するため、アスファルトフィニッシャのホoppa部の従来構造(A)に熱が伝わりにくいステンレス鋼や断熱材に合材の熱を蓄える銅板を複数層に組み合わせた3種類のプレート(B, C, D)を作製した。各構造の部材の厚さを表-2に、使用した鋼材の熱伝導率を表-3に示す。

表-2 各構造と部材の厚さ

構造	鉄鋼	ステンレス鋼	断熱材	銅板	ステンレス鋼
A	9	-	-	-	-
B	9	5	5	5	5
C	9	3	5	1	5
D	9	1	5	1	5

(単位:mm)

表-3 各部材の熱伝導率

鋼材	熱伝導率 λ (W/mK)
ステンレス鋼	16
銅板	80
銅板	401

3. 2 プレートの保温効果の検証

表-2に示したプレートの保温効果を検証するため、以下の方法でその効果を確認した。まず、図-4に示す複数層で形成されたプレートをホoppa断面に見立てた一辺300mmの立方体の箱型内側に設置した。次に、箱型に70℃の温水を入れ26℃の水槽に箱型を浸して経過時間と温度を測定した。

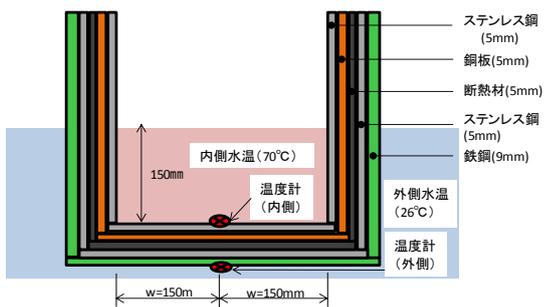


図-4 箱型の温度測定位置 (B構造)

3. 3 プレートの保温効果の検証結果

3. 3. 1 保温効果の比較

プレートを設置した箱型を水槽に浸したときの温度の推移を図-5に示す。箱型の内側の温度を比較すると、A構造以外は内側に遮熱層を設けているため50°C以上を維持している。また、30分後の温度分布から銅板の温度上昇が確認できる。なお、A構造では水槽の水温とほぼ同程度まで低下している。一方、箱型の外側の温度は、A構造以外は水浸後の温度変化が小さく、ステンレス鋼や銅板の厚みによる差はそれほど生じていない。

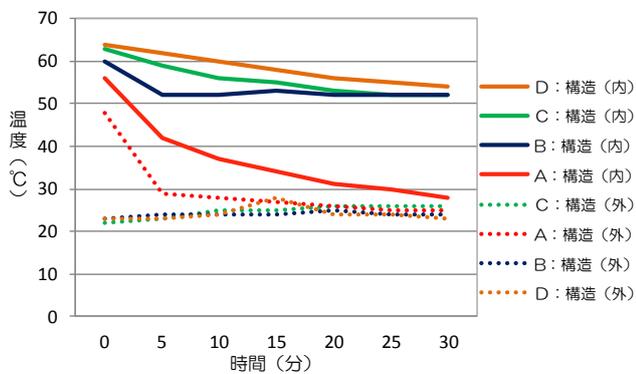


図-5 水浸後の温度の推移

3. 3. 2 銅板の有効性

図-5の箱型内部の水温の推移に着目すると、C、D構造はほぼ同様に推移している。一方、B構造は試験開始5分間で約10°C温度が低下している。この結果をふまえて、C構造で銅板の有無による蓄熱効果を検証したところ、銅板が内部の熱を奪うことが推察され、銅板を入れない方が保温効果は高いことが判明した。

以上より、銅板による蓄熱効果は小さいと判断し、合材の荷受け時の衝撃を考慮してC構造から銅板を外

したものを【ステンレス鋼3mm・断熱材5mm・ステンレス鋼5mm】を特殊保温プレートの基本構造に決定した。特殊保温プレートの構造断面を図-6に示す。

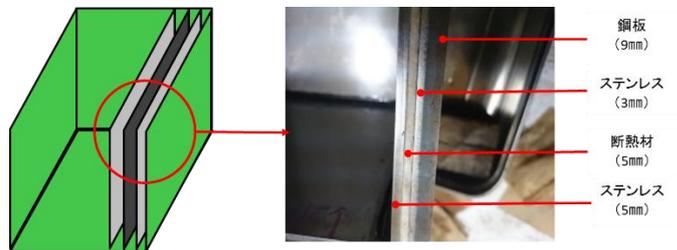


図-6 特殊保温プレートの構造断面

4. フィールドにおける保温効果の検証

4. 1 実施工による概要

特殊保温プレートの保温効果をフィールドで検証するため、新設の舗装工事の実施工(基層工)において、同プレートをホッパに装着したアスファルトフィニッシュャとプレートを装着しない従来構造のフィニッシュャにて保温効果を比較検証した。これらのホッパの外観を写真-3、4に示す。なお、実施工の概要を以下に示す。

- ①施工日時：平成28年3月18日～19日
- ②施工条件：外気温10°C以下、風速約3m程度、運搬時間約30分の沿岸付近の国道
- ③施工幅員：9m(4.5m×2レーン)
- ④施工延長：450m
- ⑤施工厚さ：50mm
- ⑥使用材料：再生粗粒度アスファルト混合物(20)
- ⑦施工機種：フェーゲル1803-2(特殊保温プレート有り・無し)



写真-3 特殊保温プレートを装着したホッパ



写真-4 従来構造のホップ

4. 2 実施工による保温効果の検証

実施工では、初日にアスファルトフィニッシャに特殊保温プレートを装着し、2日目はプレートを外した従来構造で施工した。合材ダンプの出荷温度、到着温度と敷きならし温度の関係を表-4に示す。なお、表中の温度差は到着温度と敷きならし温度の差、温度差【平均】は全ての合材ダンプで測定した到着温度と敷きならし温度の差の平均値である。施工日が異なるため、気象条件等による合材の到着温度の違いを考慮する必要があるが、今回の実施工による検証では、特殊保温プレートを装着した場合の到着温度と敷きならし温度の差が従来構造よりも小さく、図-6に示すように特殊保温プレートを装着した方が敷きならし直後の合材温度が高く、敷きならし面の引きずり等が発生しにくいと考えられ、施工が進むにつれて一層小さくなることを示唆する結果を得た。

表-4 到着温度と敷きならし温度の関係

	施工開始時 (合材ダンプ1台目)				1日平均 温度差 (°C)
	出荷温度 (°C)	到着温度 (°C)	敷きならし 温度 (°C)	温度差 (°C)	
特殊	170.0	164.3	152.7	11.6	6.2
従来	170.0	164.7	146.5	18.2	17.9

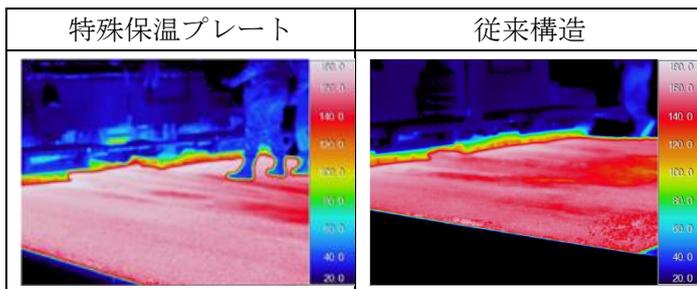


図-6 施工開始1台目の敷きならし直後の温度分布

5. まとめ

冬季の合材の温度低下を抑制して舗装の品質を確保する事を目的として、アスファルトフィニッシャのホップに装着する「特殊保温プレート」を開発し、保温効果を検証した。検証結果から得られた知見を以下に示す。

- 1) シリコンヒータ上に鋼板で保護した断熱材を設置して断熱性と耐熱性を評価した結果、グラスファイバー不織布が最も断熱効果が高く、耐熱性も高いことが判明した。
- 2) 断熱材と部材を組み合わせたプレートをホップに模した箱型の内部に設置し、温水を入れた箱型を水槽に設置した結果、断熱材と鋼板による断熱効果は高いが、銅板は蓄熱に寄与しないことが分かった。
- 3) 作製した特殊保温プレートをフィニッシャに装着し、試験施工で合材を荷受けしてホップと合材温度を測定した結果、プレートの断熱効果により保温効果が得られること、敷きならし後もその効果が持続することを確認した。
- 4) 実施工で合材温度の低下の抑制効果を検証した結果、特殊保温プレートを装着したフィニッシャは従来構造のフィニッシャよりも到着温度と敷きならし温度の差が小さく、特殊保温プレートによる保温効果が実施工でも期待できることが分かった。

6. おわりに

今回開発した「特殊保温プレート」は、舗装の品質向上に寄与することを確認した。合材の温度低下を抑制することで敷きならし後の締固め温度を確保でき、初期転圧でフィニッシャと接近することも少なくなり、作業員や重機に接触する危険も軽減できると考える。

当社では保有する全てのアスファルトフィニッシャに特殊保温プレートを装着済みであり、冬季や夜間、風が強い橋梁部等の舗装工事の他、中温化アスファルト混合物の品質確保にも寄与する技術として積極的に展開を図っていく。今後は、他の機械や設備に向けた用途拡大も視野に入れて検討を行う予定である。

第1会場

第Ⅲグループ

歩道除雪車の作業ガイダンス装置の開発

国土交通省 北陸地方整備局 北陸技術事務所 機械調査係長 長谷川 崇

1. はじめに

北陸地方整備局では、管内3県（新潟県・富山県・石川県）の直轄国道管理区間14路線、合計約1,079kmの冬期道路交通を確保するため約500台の除雪機械を配備し、除雪作業を実施している。

除雪作業の現場において近年、除雪オペレータの高齢化が進んでおり、熟練除雪オペレータの引退に伴う担い手の確保が重要な課題となっている。一方で除雪機械の運転は路面状況、道路構造、沿道状況等の変化に合わせた作業装置の操作が必要であり、その技能の習熟には相当の期間を要する。

このような背景のもと北陸地方整備局では、今後さらに深刻化が予想される熟練除雪オペレータ不足への対応と作業の安全性向上を目的に、ICT（情報通信技術）を活用し、除雪作業をアシストするガイダンス装置の開発検討に取り組んでいる。歩道除雪車について、除雪作業中に「障害物」と「投雪禁止区間」を画面と警告音にて自動で知らせるガイダンス装置の開発を行ったので報告する。

2. ガイダンスの必要性

歩道除雪作業の際には、オペレータに対し安全教育を行うとともに工区内の地形、障害となる構造物、危険箇所について常に注意を払う必要がある。特に歩道は段差、乗り入れ、マンホール、道路標識、植樹等の除雪作業に支障となる障害物が多く、経験の浅いボランティアサポート（VSP）が歩道除雪作業に携わることもあり、雪で覆われた障害物などを

知らせるといった、オペレータをアシストすることが求められている（写真-1、図-1）。

このような状況から、歩道除雪車のガイダンス装置の開発を行ったものである。



写真-1 歩道除雪作業状況

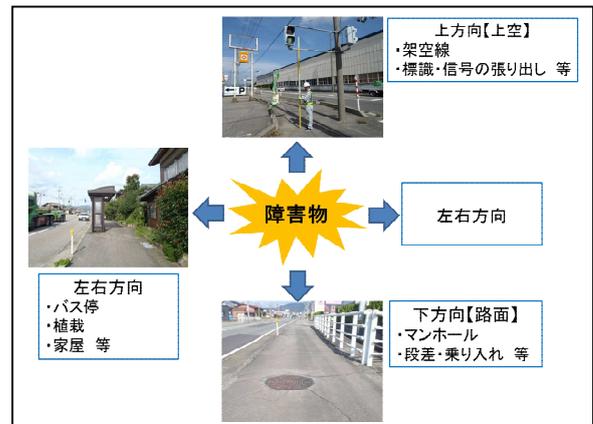


図-1 障害物の実態

3. ガイダンス装置の検討

(1) ガイダンス内容の検討

北陸地方整備局管内の歩道除雪作業における代表的な工区に作業実態のヒアリングを実施し、併せて障害物の現地確認を行い、危険作業の実態、希望するガイダンス要望等を整理した。その結果から「障害物」と「投雪禁止区間」のガイダンス機能を実装することとした。

(2) ガイダンス用データ登録方法の検討

ガイダンスには、障害物と投雪禁止区間の位置（座標）データが必要となる。データ作成になるべく費用をかけないこと及び、容易にデータが作成できることをコンセプトとして、ガイダンス装置（車載端末）にデータ登録及び編集機能を実装して、降雪期前に作業箇所を走行し、オペレータが障害物や投雪禁止区間を登録できることとした。

(3) ガイダンス装置の機器構成

歩道除雪作業ガイダンス装置の調達・保守を容易とするために市販製品の組み合わせで構成することとし、必要な性能を有する製品の市場調査を実施した。

【ガイダンス装置（本体・表示）】

視認性、歩道除雪車の運転室内の設置スペース・環境及び、開発・調達の容易性を考慮し、7～10 インチサイズの市販タブレットPC（防塵・防滴仕様）をガイダンス装置本体兼表示装置として選定した。

【測位方式】

測位方式は、歩道除雪車での作業速度を想定したうえで精度と機器価格、運用経費を勘案し選定した。GNSS 単独測位では除雪作業を行うには誤差が大きすぎることから、±1 m程度の誤差に収まる D-GPS 方式を選定し、ガイダンス装置として現場での実用上支障がないか確認を行った（図-2、表-1）。

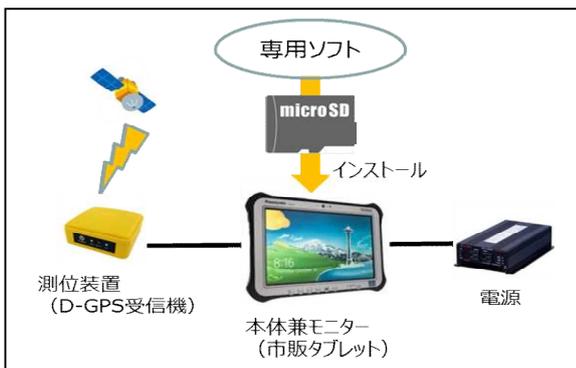


図-2 ガイダンス装置機器構成

表-1 測位方式の比較

測位方式	概要	精度	機器価格	備考
GNSS (単独測位)	GPS (アメリカ)、GLONASS (ロシア) 等、衛星を用いた測位システムの総称	3m～十数m	5千円～5万円	測位精度の誤差が大きすぎる
D-GPS (ディファレンシャルGPS)	衛星信号、FM波、ビーコン等から補正情報を得て測位を行う。 ※今回は衛星信号で検討	30cm～1m	10万円～70万円	
RTK-GNSS (VRS方式)	インターネット経由で補正情報を受信して測位を行う。現場の基準局の設置が不要。	1～2cm	100万円～	補正情報利用料・通信費 25万円/1シーズン

4. ガイダンス用ソフトウェア

ソフトウェアは開発・改良が容易なように windows10 で動作するものとし、模擬動作するデモソフトを使用してオペレータへヒアリングを行い、出された意見を仕様へ反映させ、現場において使い勝手が良いものとなるよう配慮した。

(1) ガイダンス機能

事前に登録されたデータをもとに、ガイダンス装置の画面に周辺地図及び、障害物と投雪禁止区間の位置・種類・距離を表示し、障害物と投雪禁止区間に接近すると画面表示と音でオペレータへ注意喚起を促す機能を検討した（図-3）。周辺地図は、一般公開されている電子国土地図データを表示させることとし、専用のソフトにより簡単な操作で取り込みが可能なものとした。

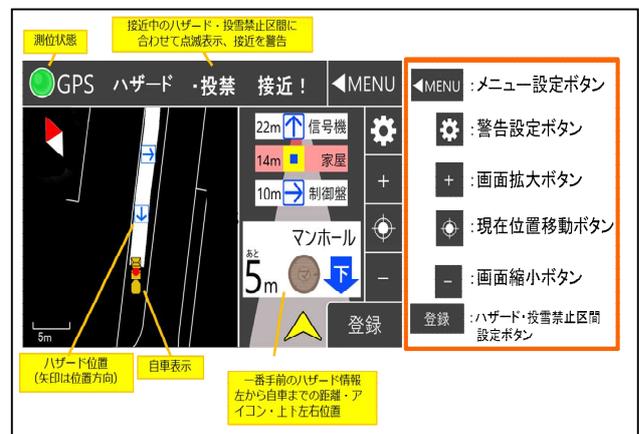


図-3 ガイダンス表示の画面

投雪禁止区間警告は設定された距離内に接近すると警告を行い、投雪禁止区間は画面上の走行軌跡（白線）に沿って赤いラインで表示されるようにした。また、投雪禁止区間の手前では区間までの距離と禁止理由などを、投雪禁止区間内に入ると終点までの距離をオペレータへ提供することとした（図-4）。

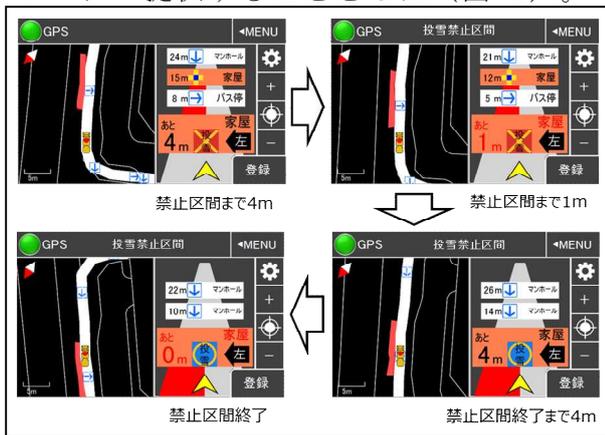


図-4 投雪禁止区間警告

(2) ハザード登録機能

ハザード（障害物や投雪禁止区間）を登録できる機能である（図-5）。

登録したい位置で除雪車を停車し、所定のボタンを押すだけでその座標を登録し、その後ハザードの種類、存在方向について選択式で入力する方式とした。これにより現地測量作業を必要とせず、簡単に障害物を登録することが可能となった。

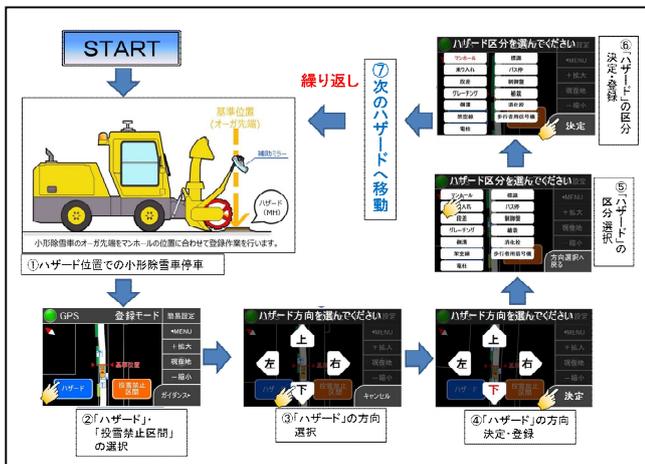


図-5 データ登録画面

(3) データ編集機能

登録された障害物と投雪禁止区間の編集を行う機能である。データの編集は方向と障害物の種類の修正・消去を可能とした（図-6）。

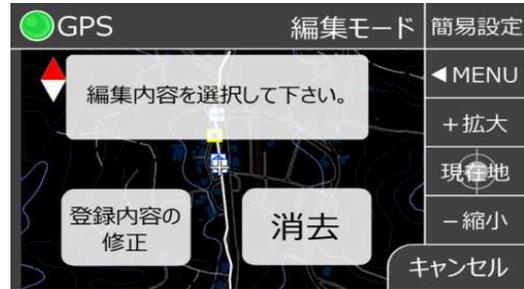


図-6 データ編集画面

5. 現地適応性検証

開発したガイダンス試作装置を、新潟県長岡市にある長岡国道事務所の宮本工区に配備されている小形除雪車1台に取付け、国道8号の歩道除雪作業区間において検証試験を実施した（写真-2）。

実施場所：長岡国道事務所 宮本工区

国道8号歩道部（L=6.7km）

試験車両：小形除雪車 1.0m 級



写真-2 取付状況

(1) ハザード登録機能の検証

ガイダンス装置を取り付けた小形除雪車を使用し、降雪期前に実際の除雪作業路線を走行しながら作業の際の障害物、投雪禁止区間等のハザードを登録し作業性について検証を行った（写真-3）。なお、運転及び登録操作は当該工区を担当するオペレータに依頼した。

実施日時：平成 28 年 12 月 13 日

計測・登録データ

計測延長 6,320m（上下線累計）

障害物登録数 116 箇所

投雪禁止区間 20 箇所

所要時間 4 時間

データ登録の速度は、登録箇所が多い区間で1時間当たり約1km、少ない区間で1時間当たり約3km間の登録ができた。オペレータが慣れてくると停止→登録→発進が1回あたり10秒程度となり、作業性は良好だった。



写真-3 障害物・投雪禁止区間の登録状況

(2) ガイダンス機能の検証

実際の歩道除雪作業でガイダンス装置を使用し、使い勝手（有効性、操作性、視認性、測位の安定性）及び耐久性の検証を行った（写真-4）。

検証期間：平成 29 年 1 月 10 日

～平成 29 年 2 月 20 日

期間中の実稼働：10 時間， 出動回数 3 回



写真-4 歩道除雪作業状況

検証はオペレータへの聞き取りと、装置の

ログ解析により実施した。検証期間中の測位の安定性、視認性、操作性は良好でガイダンス装置の効果が確認できた（表-2）。

表-2 歩道除雪作業ガイダンス装置検証結果

検証項目	結果
測位の安定性	<ul style="list-style-type: none">・起動時間は 30 秒～1 分程度、起動後は安定して測位できた。・障害物（立木、家屋）等の陰で一時的に測位不能となるが、ソフトで異常値を排除し、座標を平準化する補正処理を行っているため問題なし。
機器の耐久性	1 シーズンを通し不具合はなく使用できることを確認した（長期耐久性については今後引き続き検証する必要がある）。
視認性・操作性	<ul style="list-style-type: none">・画面は見やすく分かりやすい。操作も簡単との評価を受けた。・警告音は聞き取り難い場合があるため改良を検討する必要がある。・装置の取り付けは運転室内が狭いため、オペレータの要望により調整予定。
装置の効果	今回はベテランオペレータのため作業速度、障害物との接触回避に変化はみられなかったが、若手の育成には効果的という意見を得た。

6. 今後の課題

試作装置を取り付けた歩道除雪車の平成 28 年におけるの出動回数は 3 回、延べ稼働時間は 10 時間と短かった。今後、実作業での長期耐久性検証及び、オペレータから意見のあった警告音や取り付け位置の最適化について、今後引き続きフォローアップを行っていく予定である。

7. おわりに

今回開発したガイダンス装置により、経験の浅いオペレータはもとより熟練オペレータにおいても、ガイダンス装置を使用することで、大雪や吹雪など視界の悪い状況でも障害物と投雪禁止区間の把握が可能となり、除雪作業の効率性及び安全性向上に寄与するものと期待される。

FFP (フル・ファンクション・ペーブ) が持つ「多機能効果の検証」について

(株) ガイアート 北陸支店 新潟営業所 ○堂越 寿啓
北陸支店 営業部 松浦 正幸

1. はじめに

フル・ファンクション・ペーブ(以下、FFP)とは、平成23年9月に弊社が開発した多機能型排水性舗装(縦溝粗面型ハイブリッド舗装)のことである。平成25年にNETIS登録され、平成27年4月に事後評価済み技術(KT-130010VR)として評価された。FFPは、長野県北佐久郡軽井沢町の白糸ハイランドウェイで最初の施工を行ってから、これまでに施工面積が30万㎡を超え、施工件数が150件以上の施工実績が(平成29年9月現在)ある。さらに、今後予定されている施工もあり、施工数量も増加傾向にある。

本報文では、これまで発注者の主な要求事項であった『凍結抑制機能・多機能効果』や、新たに評価されてきた『事故対策舗装・高耐久舗装』としての、『FFPが持つ多機能効果の検証』について報告する。

キーワード：多機能型排水性舗装、一層で排水性と防水性、凍結抑制機能、すべり抵抗性、耐流動性、ねじり骨材飛散抵抗性、舗装の耐久性(長寿命舗装)、環境負荷軽減効果

2. 凍結抑制機能の検証

札幌市内における凍結抑制効果の事例を示す。施工場所は、北海道札幌市豊平区西岡地先で施工面積は284㎡、施工厚さt=35mm勾配が約9%程度の坂道の頂点部付近であり、冬期には雪たい積場へ雪を運搬する大型車(車両重量10t以上の特大型車も含む)が頻繁に通行する(12月から3月までの大型車通行台数が約46,000台)路線である。

この施工箇所の12月におけるFFPの凍結抑制効果を、写真-1及び写真-2に示す。写真-1は粒状の凍結防止剤を散布して24時間経過した際の路面状況であるが、手前のFFP路面には積雪が見られないことに対し、奥の一般舗装(細粒ギャップアスコン13F)(以後、細粒G)には積雪があった。

写真-2は凍結防止剤散布77時間後の路面状況であるが、細粒Gの表面は、ブラックアイスバーンとなっていることに対し、FFP表面は凍結せず、ドライな状態であった。

このことから検証結果は、細粒Gに比べてFFPは凍結抑制効果が高いといえる。



写真-1 散布後40時間経過後の路面状況(札幌)

また、写真-2に示す通り、この路面の状態を拡大してみると、細粒G舗装は凍結し表面に厚さ2mm~3mmの氷膜が生成しているが、FFPの縦溝粗面構造の表面は凍結せずドライな状態で、凍結防止剤(白い粉状~粒体)が残存していた。

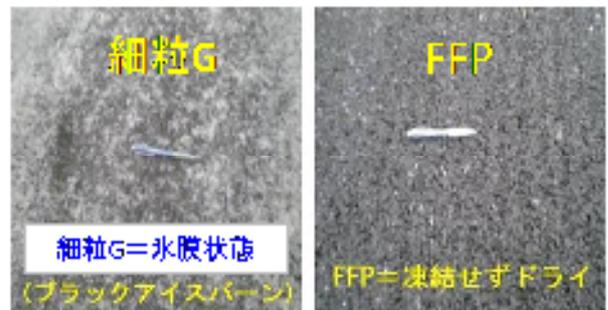


写真-2 散布後77時間経過後の路面状況

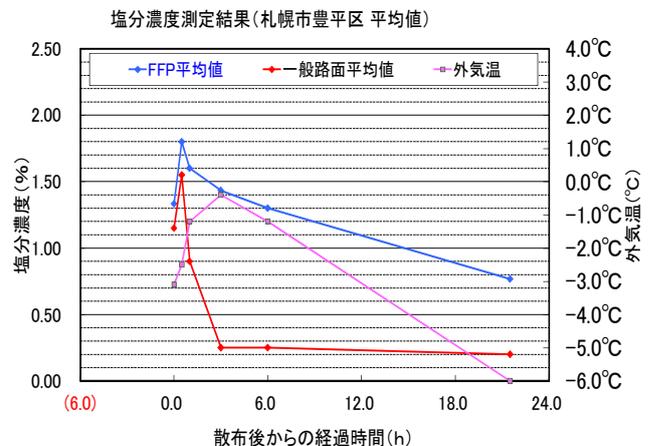


図-1 路面の塩分濃度測定結果

図-1は、凍結防止剤散布後からの塩分濃度を測定した結果を示したものであるが、FFPと細粒Gともに、散布直後に溶け出して塩分濃度が上がる

が、積雪や車両走行等の影響を受け、細粒Gでは急速に塩分濃度が低下する。これに対し、FFPは表面付近の空隙や縦溝に凍結防止剤が残存することにより、塩分濃度は緩やかに失われていくことがわかる。細粒Gに比べてFFPは凍結抑制効果が高く、効果が持続することが確認できた。

効果の検証結果、このことから「散布量の低減」と「環境負荷軽減効果」が期待できる。

3. 多機能効果の検証

3.1 浮き水抑制効果（排水効果）

写真-3は雨天時のFFP路面と密粒路面を撮影したものである。密粒路面は浮き水が見られるのに対しFFPは浮き水が見られず、排水機能の効果がはっきりと表れており、「水はねやスモーキング現象」、「ハイドロプレーニング現象の抑制」に効果があることが判る。



写真-3 浮き水抑制路面状況

3.2 騒音低減効果の検証（音が静か）

図-2にて路面騒音測定の結果について他舗装との比較を行い、効果の検証結果を説明する。

騒音低減効果に関しては、やはり排水性舗装の方が効果が高い、しかし空隙づまりや骨材飛散が生じ、早い段階で効果が薄れることが予測される。

一方、青の密粒舗装と赤のFFPでは、比較すると3dbから4dbほどの低減効果がある。3dbから4dbの低減効果とは交通量が約半分に対応する。

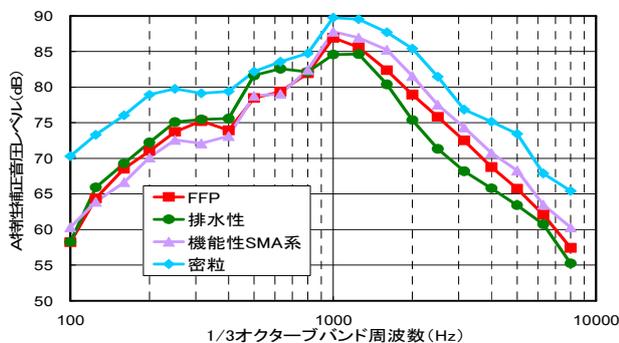


図-2 A特性騒音測定結果

3.3 視認性向上の検証（眩しくない）

写真-4は、太陽光線の反射状況を比較した写真である。FFPと類似したような粗面系のものと

比較しても違いが判る。FFPの路面は縦溝に太陽光が吸収される事により反射量が少なく、ドライバーのまぶしさを低減する事により「安全性が高まる」ことが期待できる。



写真-4 晴天時における日光の反射状況

4. 事故対策舗装として効果の検証（交通安全）

昨年6月に近畿地整技術論文発表会において、2005年の自動車専用道路10km当り事故発生件数で、全国でワースト1となった名阪国道における事故多発区間、通称Ωカーブで、FFPを採用したことによる「事故件数低減や凍結抑制効果等」について発表があった。（図-3・図-4参照）



図-3 名阪国道のΩカーブ

これまでも事故防止対策としてポーラスアスファルト舗装（以下、排水性舗装）をベースとしたすべり止め舗装を採用して対策を講じてきたが、思うような効果が得られず、耐久性にも難があった。

このような背景から、他の自動車道で「事故対策舗装」として実績のあったFFPをΩカーブで試験的に採用導入し、事故低減への効果と耐久性についてそれぞれ効果の検証を行った。



図-4 近畿整備局技術論文発表会

名阪国道におけるFFPの施工は、図-3～図-4に示す「大道カーブと米谷カーブ」で行われており、それぞれの検証結果を以下に示す。

①米谷カーブ（下り90.25KP～90.337KP）

施工日：2014年9月8日、9月9日

施工面積：714m² t=50mm（切削ホバレイ）

名阪国道における事故防止対策としてのFFP施工は、まず「米谷カーブ」において行われた。

施工直後の路面は写真-5に示す通り、FFPの特長である縦溝粗面が際立っており、施工・仕上がりに共に良好であった。この「米谷カーブ」での施工直後及び施工1年後、路面性状の確認を行った。

また、効果の比較検証のために、すべり止め舗装と排水性舗装でも同じ試験を実施した。



写真-5 米谷カーブ FFP 施工後の路面状況

表-1 米谷カーブ施工直後の路面性状試験結果

測定路面	浸透水量 (ml)	BPN ₂₀
FFP (施工直後)	1,224	79
すべり止め舗装 (施工1ヶ月後)	1,255	65
排水性舗装	1,284	62
FFP社内基準値 (施工直後)	800以上	60以上

表-1より、各舗装の浸透水量は概ね同等の浸透水量であったことに対し、すべり抵抗値 BPN₂₀では他の舗装に比べて FFP の優位性が見られる。

また、表-2より、FFPは供用後1年経過後も、浸透水量の基準値（寒冷地の排水性舗装と同等の浸透水量）を満足していた。

表-2 米谷カーブ1年後の路面性状試験結果

測定路面	浸透水量 (ml)	BPN ₂₀
施工直後	1,224	79
施工1年後	923	85
FFP基準値 (施工直後)	800以上	60以上

また、1年経過してもすべり抵抗値BPN₂₀においても、施工直後と同等以上の数値を維持しており、すべり止め舗装が供用1ヶ月後の排水性舗装と同等のすべり抵抗値であったことを比較すると、この検証結果から、すべり止め舗装に比べてFFP路面は、「すべり止め効果」と共に、すべり止めの持続性が高いといえる。

②大道カーブ（下り90.9KP～91.29KP）

施工日：2015年12月8日～12月12日

施工面積：2,883m² t=50mm（切削ホバレイ）



写真-6 大道カーブ FFP 施工後の路面状況

表-3 大道カーブ施工直後の路面性状試験結果

測定路面	路面の粗さ MPD (mm)	浸透水量 (ml)	BPN ₂₀	平たん性 σ (mm)
下り線走行	1.74	1,410	82	0.97
下り線追越	1.49	1,363	75	1.00
FFP基準値 (施工直後)	1.2以上	800以上	60以上	2.4以下

大道カーブにおける施工直後の路面も米谷カーブ同様に縦溝が認識できる粗面仕上げとなっており（写真-6参照）、施工直後の路面性状も基準値を満足する良好な施工であった。（表-3参照）

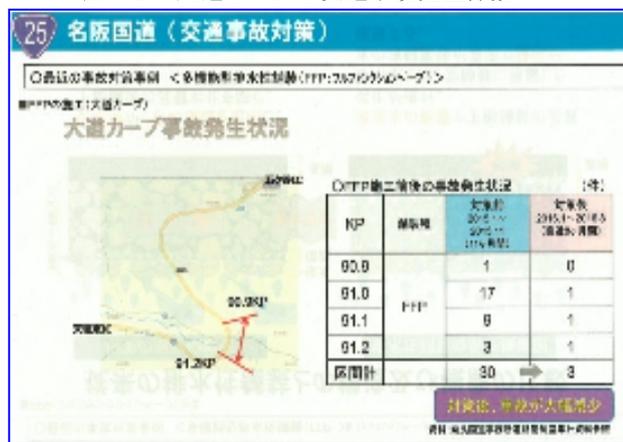
表-4 米谷カーブの交通事故発生状況

KP	舗装種類	事故件数 1015年1月～11月
90.0	すべり止め舗装	1件
90.1		0件
90.2		1件
90.3	FFP	0件

次に、FFP施工前後の米谷カーブ（下り）の交通事故発生状況は表-4に示す通り、隣接するすべり止め舗装工区において2件事故が発生しているが、FFP工区では1件も発生していない。

一方、大道カーブ（下り）の交通事故発生状況は、表-5の通り、約1年間で30件発生していた事故がFFP施工以降、3件=1/10件しか発生していないことを考えると、これらの検証結果からもFFPは「事故防止対策」に、極めて効果があるといえる。

表-5 大道カーブの交通事故発生件数



5. 高耐久性舗装としての検証

FFP は、混合物一層の施工で表面水を滞留させ難くする縦溝粗面仕上げと、下部は砕石マッシュクアスファルト混合物と同等の防水性を併せ持つ舗装である。(図-5の構造モデルを参照)

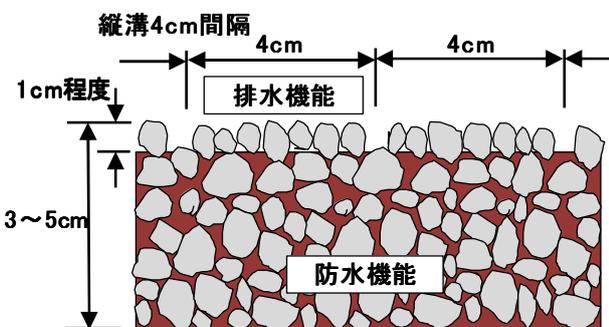


図-5 FFPの構造モデル

また、メカニズムを改良したアスファルトフィニッシャーで施工することにより、縦溝粗面に仕上げ、さらに、高機能改質アスファルトを使用することにより、耐流動性と骨材飛散抵抗性に優れている。ねじり骨材飛散試験機にて、ねじり骨材飛散試験を実施し、ねじり骨材飛散率を算出評価し、ねじり骨材飛散率の測定結果を表-6及びねじり骨材飛散率測定試験片の状態を写真-7に示す。

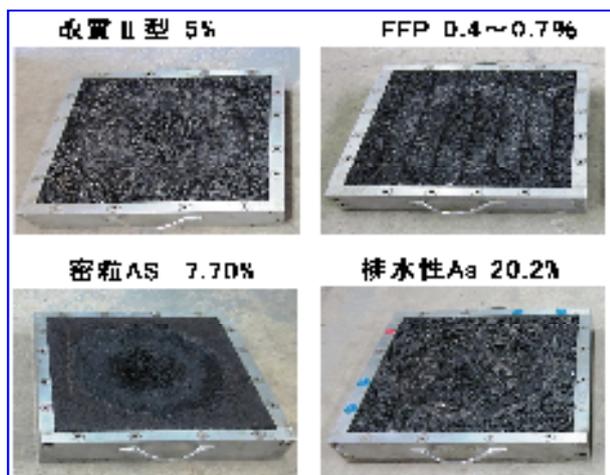


写真-7 ねじり骨材飛散試験後のテストピース状態

表-6 ねじり骨材飛散率の測定結果

配合	ローコンパクタ 転圧温度(°C)	ねじり骨材飛散率 (%)
FFP	155	0.4~0.7
排水性混合物 空隙率20%	155	20.2
密粒度混合物 StAs60/80	155	7.7
密粒度混合物 改質II型	155	0.5

測定結果の表-6 から一般の排水性混合物のねじり骨材飛散率は 20.2%と評価供試体中最も大きな値であり「ねじりに対する抵抗性」が低い。

これに対し FFP 混合物は、0.4~0.7%と、表面に空隙を有し、縦溝粗面仕上げであるにもかかわらず、改質II型アスファルトを用いた密粒度混合物と同等のねじり骨材飛散率と同等のねじり抵抗性を有している。この検証結果より、「高耐久性」を合わせ持った「長寿命舗装」といえる。

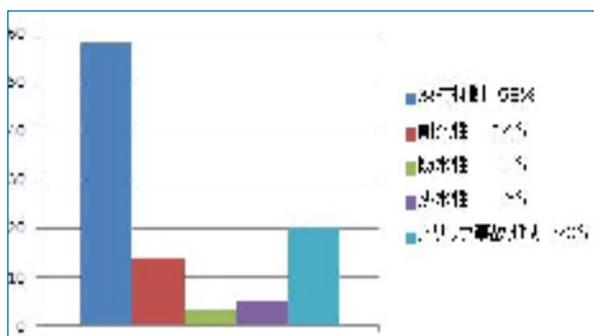


図-6 FFPにおける発注者の要求機能

6. まとめ

発注者が舗装に要求する主な機能を、最大2項目回答としたアンケートから複数の回答を得た。その内訳を図-6にまとめると、全回答中58%が「凍結抑制機能」となっており、「スリップ事故抑制」として20%、「舗装の耐久性(長寿命舗装)」として14%、「排水機能」として5%、「防水機能」として3%、補足事項として、その他の意見では『凍結抑制機能+α機能』という回答が多かった。

今後は、このユーザーニーズに応えるべく、FFPの持つ機能を、さらに高めながら検証していく。

【参考文献】

- 1) 藤本ら：縦溝粗面型ハイブリット舗装の凍結抑制効果に関する一考察、第26回ふゆトピア研究発表会 2014.1
- 2) 中谷ら：多機能型排水性舗装施工による事故件数低減等の効果について、平成28年度近畿地方整備局研究発表会、2016.6
- 3) 藤本ら：フル・ファンクション・ページの施工実績について、平成26年度建設技術報告会、2016.9
- 4) 山崎ら：多機能型排水性舗装のねじり抵抗性に関する評価について、第31回日本道路会議

性能実証型落石防護柵メガロックキーパーの実物実験

日本サミコン株式会社 技術開発部 ○高野 芳弘
技術開発部 中村佐智夫
技術開発部 鈴木 敦

1 はじめに

落石防護工の1つとして、道路斜面の法尻に設置されるPC製の落石防護柵（以下ロックキーパーと呼ぶ）があるが、近年高エネルギー吸収柵と呼ばれる落石防護柵も計画・施工されてきている。しかし、同じ落石防護工に対して、設計方法が塑性変形を許容しない許容応力度法のロックキーパーと塑性変形を許容する高エネルギー吸収柵を同一にして、経済比較が行われておりその不合理性が問題となっている。

また、サンドクッションを介して落石が衝突した場合のコンクリート構造物の挙動について、実験的・理論的研究は盛んに行われているものの、現時点では現象を的確に表現できる解析方法は未だ確立されていない。

このような状況の中、弊社では従来から使用されているロックキーパーの更なる耐力アップを目的として平成17年に1500kJメガロックキーパーを開発し、そして今回は対落石性能を更に確かめるために、3500kJと1200kJの2種類で実物供試体による性能実証実験を行った。

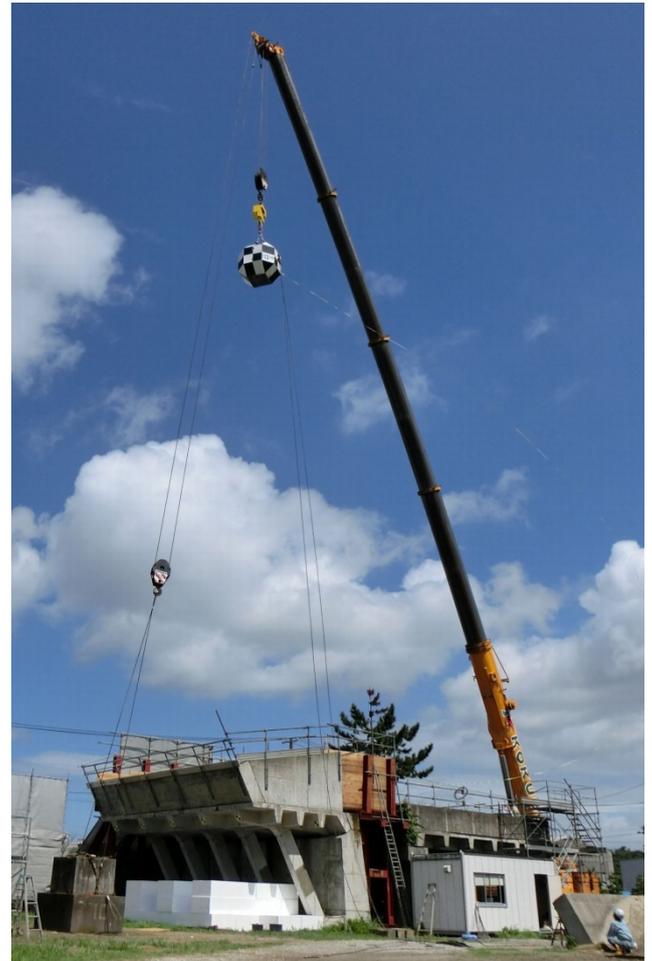


写真-1 実験状況全景

2 実験方法

2.1 実験概要

主梁面直角に重錘が作用するように、実験は実際の構造から30°回転させた供試体に、トラッククレーンで吊り上げた重錘を所定の高さから落下させ、その時の重錘加速度と供試体の変位を測定した。実験状況全景を写真-1に、実験供試体構造図を図-1に示す。

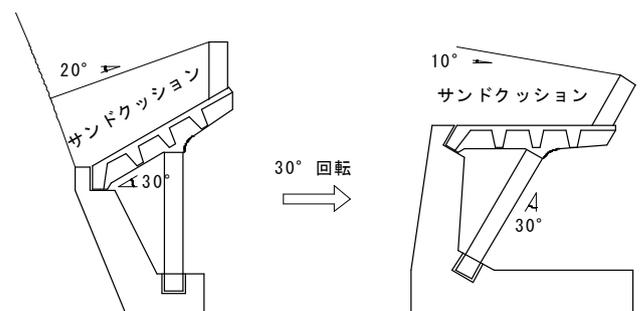


図-1 実験供試体構造図

2. 2 実験設備

2. 2. 1 3500kJ実験供試体・重錘

図-2に示すように実物供試体を5セット設置し、ブロック間目地を設けるために、No.1～No.4梁において横締めを行い1ブロックとし、No.5梁を独立させた。

なお、使用した実験供試体は、平成17年に1500kJを連続載荷した時の供試体に対して、No.1～No.4の主梁・柱はひび割れ注入と断面修復を施したもので、損傷の激しかったNo.5主梁・柱のみ撤去後に新規取替えをしたものである。

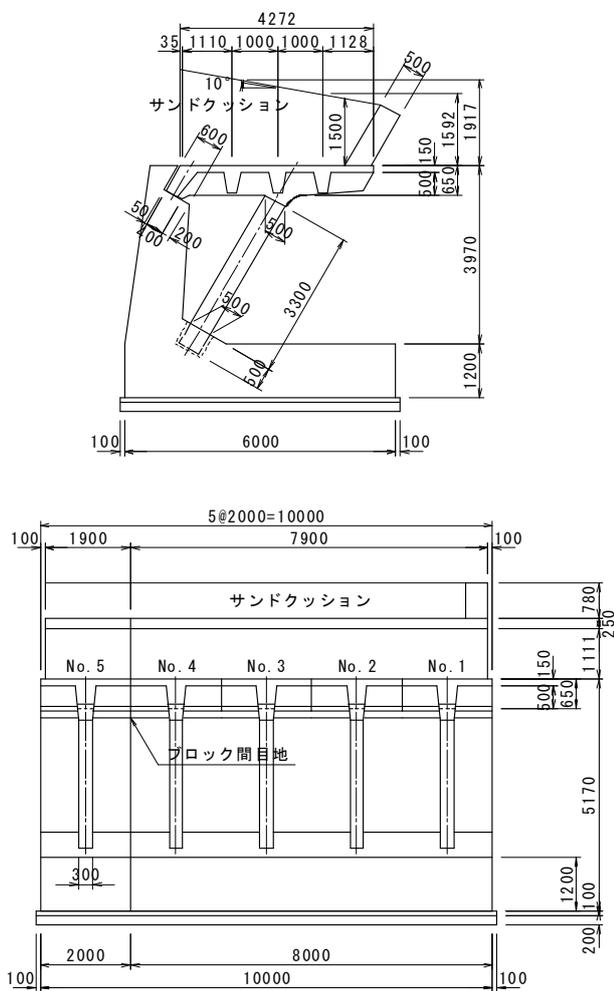


図-2 供試体側面図(上)正面図(下)

落石を模した重錘は、113kNのEOTAタイプとした。重錘寸法形状を図-3、重錘外観を写真-2に示す。

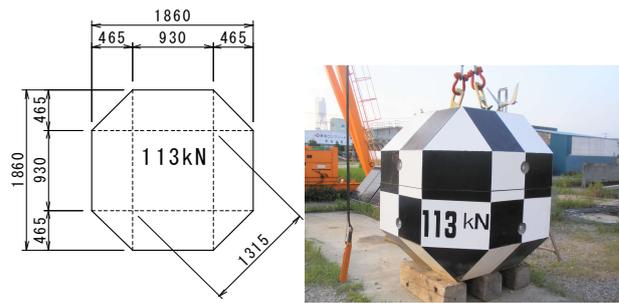


図-3 重錘寸法形状 写真-2 重錘外観

2. 2. 2 1200kJ実験供試体・重錘

図-4に示すように実物供試体を6セット設置し、ブロック間目地を設けるために、No.1～No.4梁およびNo.5～No.6梁において横締めを行い、1ブロック、2ブロックとした。

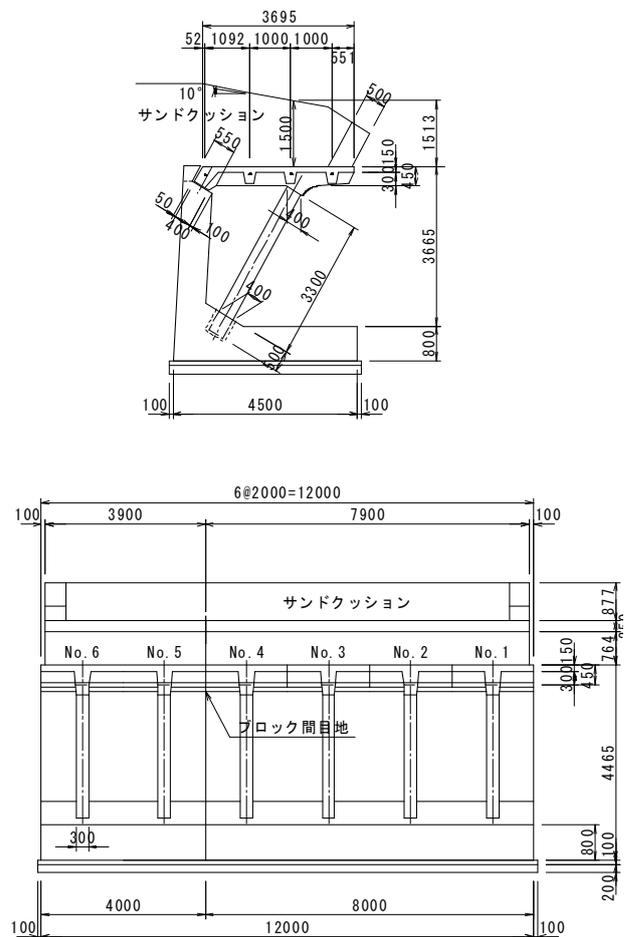


図-4 供試体側面図(上)正面図(下)

落石を模した重錘は、42kNのEOTAタイプとした。重錘寸法形状を図-5、重錘外観を写真-3に示す。

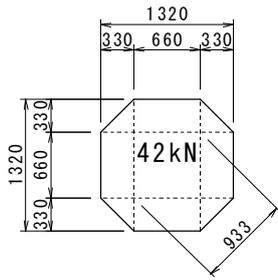


図-5 重錘寸法形状



写真-3 重錘外観

じた衝撃力を表-2 に示す。

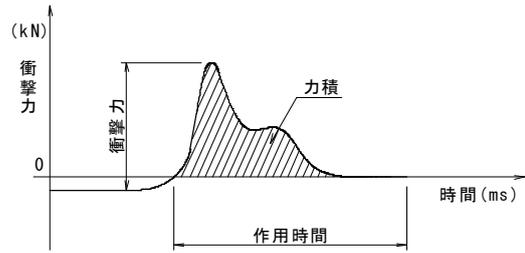


図-6 衝撃力と時間

2. 3 重錘落下条件

重錘落下条件を表-1 に示す。落下高は衝突時の速度が 25m/s 以上となるように高さを逆算して 32m とし、落下条件は落石の位置エネルギーが 3600kJ, 1340kJ とした。

表-1 重錘落下条件

重錘重量	落下高	落石の位置エネルギー
113kN	32m	3600 kJ
42kN	32m	1340 kJ

2. 4 測定項目

測定項目は、1) 重錘加速度、2) 主梁変位、3) 残留変位である。

重錘加速度は、重錘の重心付近に加速度計を接着剤で設置した。

主梁変位は、主梁の先端と支間中央に基準ターゲットを貼り付け、高速度カメラで最大変位を測定した。

残留変位は、上部工と下部工にターゲットを設置し、光波測距儀にて落下前後の座標を測定し、その差を変位量とした。

3 実験結果

3. 1 重錘加速度

衝撃力の時系列変化のモデルを図-6 に、波形処理で得られた重錘加速度から、落下ごとの加速度ピーク値を抽出したデータとそのピーク値に自由落下分の 1G を加えた値に重錘重量を乗

表-2 重錘加速度と衝撃力

【3500kJ】

落下No.	実験ケース/落下位置	重錘重量 (kN)	落下高 (m)	加速度 (G)	衝撃力 (kN)
1回目	T22-2m-113-22 (No.2桁、2m位置)	113	22.2	52.97	6089
2回目	T44-SC-113-32 (No.4桁、支間中央)	113	32.0	58.71	6737
3回目	T44-2m-113-32 (No.4桁、2m位置)	113	32.0	61.06	7002
4回目	T23-SC-113-32 (No.2~3桁目地、支間中央)	113	32.0	58.69	6734
5回目	T23-2m-113-32 (No.2~3桁目地、2m位置)	113	32.0	*****	*****

注)

- ・1回目落下は、試験落下(落下高22.2m)
- ・5回目落下は、信号ケーブル切断のためデータ無し
- ・重錘加速度はサンプリングタイム100 μsec で測定したデータを21点単純移動平均で平滑化した。(遮断周波数211kHz)

【1200kJ】

落下No.	実験ケース/落下位置	重錘重量 (kN)	落下高 (m)	加速度 (G)	衝撃力 (kN)
1回目	T22-2m-26-32 (No.2桁、2m位置)	26.54	32.0	118.81	3180
2回目	T44-SC-42-32 (No.4桁、支間中央)	42.79	32.0	127.47	5497
3回目	T44-2m-42-32 (No.4桁、2m位置)	42.79	32.0	---	---
4回目	T23-SC-42-32 (No.2~3桁目地、支間中央)	42.79	32.0	96.06	4153
5回目	T23-2m-42-32 (No.2~3桁目地、2m位置)	42.79	32.0	88.82	3844
6回目	T45-SC-42-32 (No.4~5桁目地、支間中央)	42.79	32.0	85.71	3716
7回目	T45-SS-42-32 (No.4~5桁目地、床板中央)	42.79	32.0	87.96	3806

注)

- ・1回目落下は、試験落下(重錘重量26.54kN)
- ・3回目落下は、計測エラーのためデータ無し
- ・重錘加速度はサンプリングタイム500 μsec ローパスAUTO (遮断周波数 250Hz)

得られた衝撃力と落下高の関係[3500kJ]を図-7 に、衝撃力と重錘重量の関係[1200kJ]を図-8 に示す。

なお、図中の実線は落石対策便覧¹⁾に準拠し、下式(3-1)により求めた値をプロットしている。

$$P=2.108 \cdot (m \cdot g)^{2/3} \cdot \lambda^{2/5} \cdot H^{3/5} \cdots (3-1)$$

ここに、 P ：衝撃力(kN)、 m ：重錘質量(t)、 g ：重力加速度(m/sec²)、 λ ：ラーメの定数(kN/m²)、 H ：落下高(m) である。

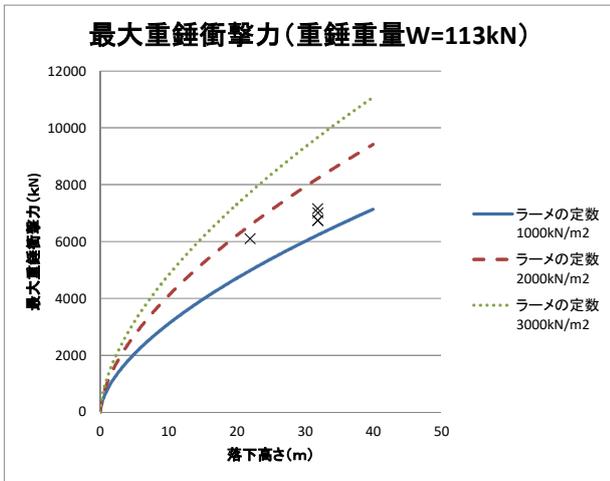


図-7 衝撃力と落下高の関係[3500kJ]

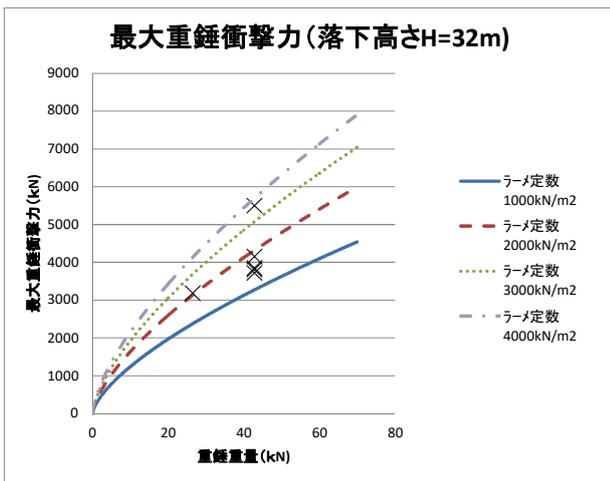


図-8 衝撃力と重錘重量の関係[1200kJ]

[1200kJ]実験のラーメ定数 λ は、2回目落下を除いて1300~2100kN/m²であった。

また、[3500kJ]実験時のラーメの定数 λ は1500kN/m²前後でありほぼ合致している。

3. 2 変位

高速度カメラによる画像解析と光波測距儀による座標測定より、重錘落下直下における主梁最大変位および残留変位を表-3に示す。

4 実験成果のまとめと現場への反映

表-3 重錘加速度と衝撃力

最大変位一覧(3500kJ)

落下No.	実験ケース	最大変位(mm)		残留変位(mm)	
		柱位置	スパン中央	柱位置	スパン中央
1	T22-2m-113-22	19	24	17	11
2	T44-SC-113-32	18	35	3	18
3	T44-2m-113-32	30	46	24	22
4	T23-SC-113-32	26	42	13	22
5	T23-2m-113-32	43	36	41	26

※ 変位は、落下直下の主梁での値を示す

最大変位一覧(1200kJ)

落下No.	実験ケース	最大変位(mm)		残留変位(mm)	
		柱位置	スパン中央	柱位置	スパン中央
1	T22-2m-26-32	28	2	15	1
2	T44-SC-42-32	11	16	5	6
3	T44-2m-42-32	14	19	2	7
4	T23-SC-42-32	8	12	0	3
5	T23-2m-42-32	11	8	0	3
6	T45-SC-42-32	13	16	6	7
7	T45-SS-42-32	-	18	-	3

※ 変位は、落下直下の主梁での値を示す

※ 落下No.7の柱位置変位は、測定エラー

本実験では、落石に見立てた重錘を衝突速度25m/sで複数回位置を変えて落下させた。その結果、全てのケースにおいて重錘を捕捉しており、落下による変位量も建築限界を侵さない小さなものであった。クラックは落下位置以外の場所でも見られたが、これは落下エネルギーが分散して構造物全体で持ちこたえることを示している。

本構造物は、軽微な損傷であればひび割れ注入や断面修復程度の補修で十分であると確認できた。また、道路脇への設置であるため大規模な道路規制が不要であり、LCC的にも有利に維持管理を迅速容易に行うことが可能である。

5 謝辞

本実物実験を、無事故無災害で無事に終えることができましたことに、関係各位に厚くお礼申し上げます。

参考文献

1) 社団法人 日本道路協会：落石対策便覧，2000.6

地すべり地に活用できる融雪量計の開発

株式会社 興和 技術開発室 次長 堀松 崇

1 はじめに

新潟県をはじめとする積雪寒冷地では、1年の約1/3が積雪に覆われる。このような地域では融雪時に土砂災害が発生するほか、雪崩や融雪洪水などの融雪害も発生する。積雪期の降水量は、降雪をヒーターなどで融かし、これを降雨に換算して計測することが一般的である。しかしながら融雪時の災害を警戒する場合には、現在の降雪量を雨量換算するよりも、むしろ積もっている雪がどれだけ融けているのかという融雪量に着目することが重要である。

従来の融雪量計測は、ライシメーターの使用や計測範囲を舗装するなどして融雪水を集水し、流量計等を利用して行っている。一般的に大規模な工事が必要であることから地すべり地などでの設置が困難であることが多い。今回新たに開発した融雪量計（特開2017-032398号）は上述した欠点を解消したものである。

本発表は、現在開発中の融雪量計の特徴や現地試験を行った結果生じた課題や解決策について報告するものである。

2 融雪量計の開発目標

融雪量計の開発目標と課題は以下の通りとした。

- 【目標】：確実にデータ収集を行えるパッケージ化した融雪量計を製作する
- 【課題1】：目詰まりしにくいライシメーターの開発
- 【課題2】：フェイルセーフ機構を持った計測ユニットの開発
- 【課題3】：機器全体の小型化

3 融雪量計の構成と特徴

融雪量計は集水ユニット、計測ユニット、遠隔監視システムから構成される（図-1）。各

ユニットは軽量、コンパクトとし、ライトバンでの資材搬入を可能としたほか、人力による設置も可能とした。これらの特徴により、融雪量計は従来設置が困難であった地すべり地などへの設置が可能である。

集水ユニットは従来型ライシメーターの問題点の一つであった動植物遺骸侵入による目詰まり防止を図るため、ユニット上部に高透水性の人工芝を敷設する全透水型とした（以下新型ライシメーターとする）。なお、ライシメーターは早急な設置が必要となるケースや例えば5m四方のような広範囲での集水が必要となるケースを踏まえ、ビニールシートと塩ビ管により迅速に設置可能な簡易型ライシメーターも開発した（以下簡易型ライシメーターとする）。

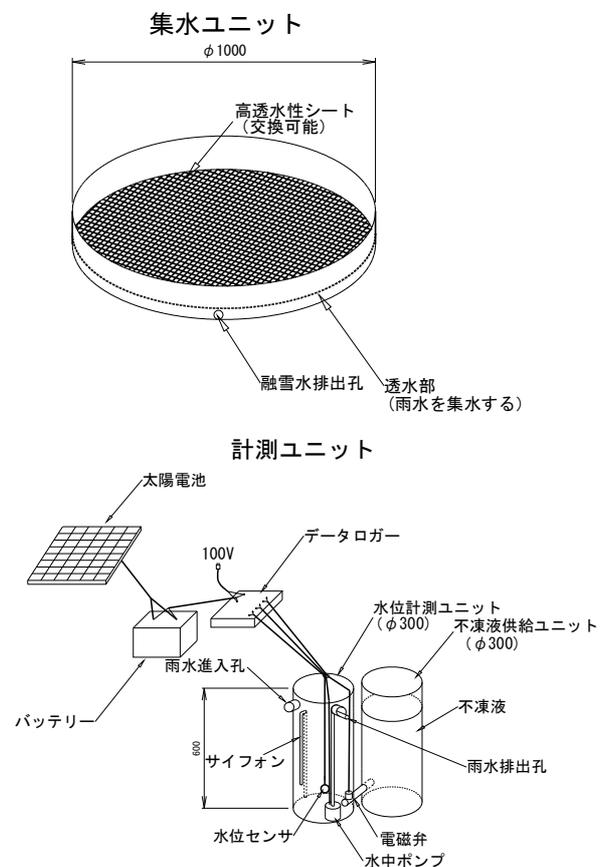


図-1 融雪量計の構成
(上:集水ユニット、下:計測ユニット)

計測ユニットは集水ユニットより集められた融雪水をためる直径 30cm のタンクを設け、タンク内の水位を計測する方式とし、装置全体の小型化を図った。本方式ではタンク内水位が一定以上となった際に、水中ポンプにより排水するものとした。また計測ユニットは常に安定した計測を行うために、以下に示すようなフェイルセーフ機構を設けた。

(1) 停電、バッテリー電圧低下による計測不能防止

商用電源が確保できない現場での使用や、停電した場合でも計測可能な状況とするために、計測ユニットはバッテリー稼働を可能とした。また省電力型のデータロガーを使用するとともにソーラーパネル等による充電を行い、バッテリーの電圧低下を防止するものとした。

(2) 計測ユニット内の雨水凍結防止

計測ユニット内の融雪水は寒冷地での使用時には凍結する可能性があるため、必要に応じ不凍液を供給する不凍液供給ユニットを設置できるものとした。

(3) スライム沈殿による計測不良防止

タンク内の水位計測はスライムの沈殿による計測不良を防止するために、フロート式水位計を採用した。

(4) 水中ポンプの目詰まりによる排水不良

計測ユニットにはサイフォンを設け、万が一水中ポンプが故障した時でも自然排水されるような構造とした(図一1)。

(5) 遠隔監視システム

現地の計測状況をモニタリングする遠隔監視システムを構築した。現場管理者はこのシステムを利用することで、遠隔地から現状の計測状況やカメラによる現地状況の確認、各種センサーやデータロガー、ポンプの異常を把握することが出来る。

4 試験計測結果

4.1 平成 27 年度計測結果

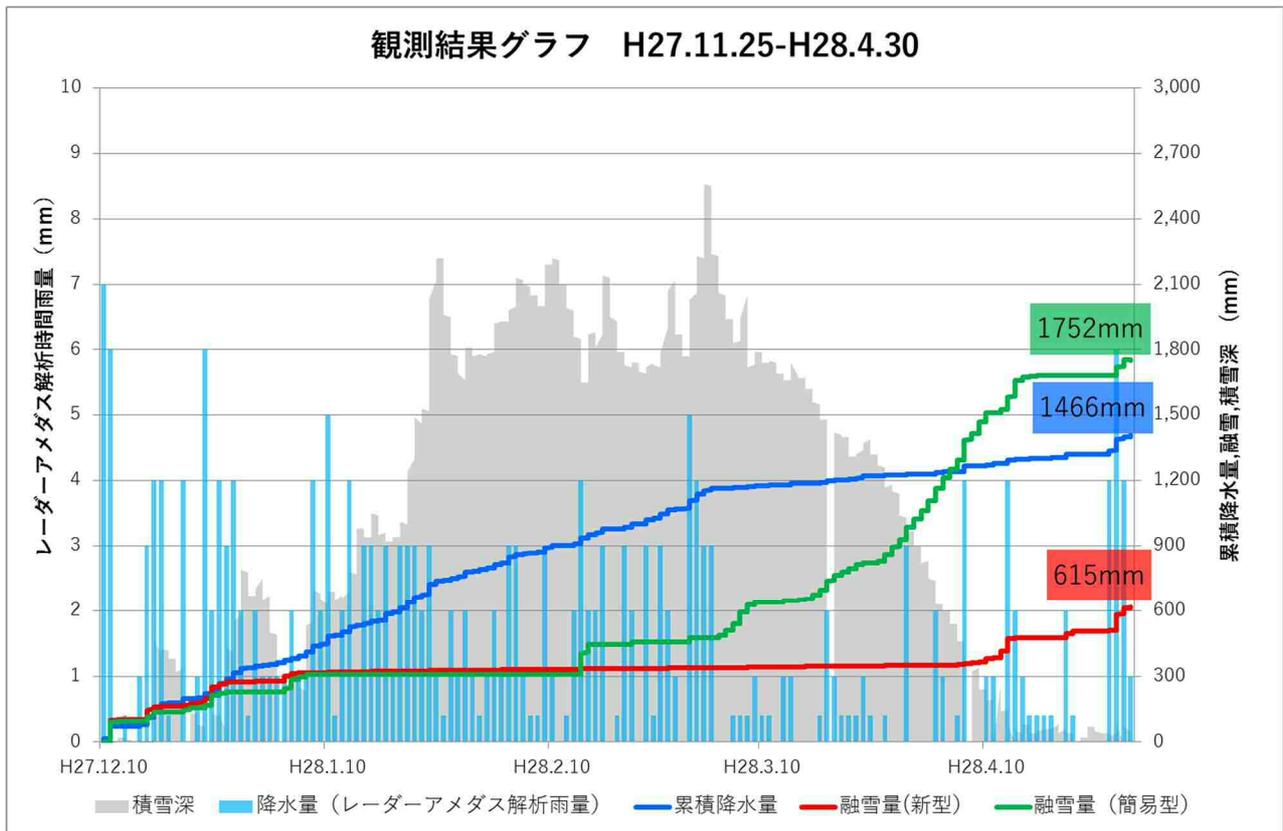
試験計測は、長岡市のご協力を頂き、長岡市山古志種芋原に位置する「あまやち会館」駐車場一角にて平成 27 年 11 月 25 日より開始した。今年で 2 期間の冬期計測実験を行っている。計測は、新型ライシメーターと簡易型ライシメーターによるものとし、融雪量のほか、タンク水深、水温、バッテリー電圧やポンプ稼働回数についての計測を行った。

平成 27 年 11 月 25 日から平成 28 年 4 月 30 日までの計測結果を図一 2 に掲げる。試験結果の概要は以下のとおりである。

(1) 新型ライシメーターによる雨量・融雪量の総量は 615mm であったのに対し、簡易型ライシメーターによる総量は 1752mm であり、両者の間には約 2.8 倍の計測差がみられた。計測期間におけるレーダーアメダス解析雨量値(1km メッシュ)は 1466mm であった。図一 2 によると、新型ライシメーターは融雪時の 2 月下旬以降、融雪量をほとんど計測しておらず、簡易型ライシメーターの計測値の方が妥当性の高い結果となった。

(2) 新型ライシメーターの計測不良が生じた原因としては、融雪水を計測ユニットに確実に導水するために、ライシメーター設置位置に 20cm 程度のマウンドを設けたため、周囲よりも台地状の地形形状となっていたこと、全透水型としたために、雪底面からゆっくりと水分が抜けることにより常に「ドライ」な状況を呈していたこと、ライシメーターの構造上、地面と雪面の間に空気層ができるため、地温が雪面に伝達しづらい状況にあったこと、ライシメーターの面積が小さいなどが考えられた。

(3) 新型のポンプ稼働回数は 28 回(140 分稼働)、簡易型のポンプは 1385 回(693 分稼働)



図一 2 現地試験結果 (平成 27 年度)

働)であったがソーラーパネルの発電状況が良好で、バッテリー電圧は一度も 12V を下回ることが無かった。

4. 2 平成 27 年度現地試験結果による課題

平成 27 年度の現地試験により、以下の課題を抽出された。

- (1) 計測ユニットはφ30cm×H60cmとしたが、現地での削孔・設置が困難であった。
- (3) 新型ライシメーターの計測不良の改善
- (3) 無雪期における融雪量計の雨量計としての利用可能性について検討する

4. 3 平成 28 年度の観測仕様と観測結果

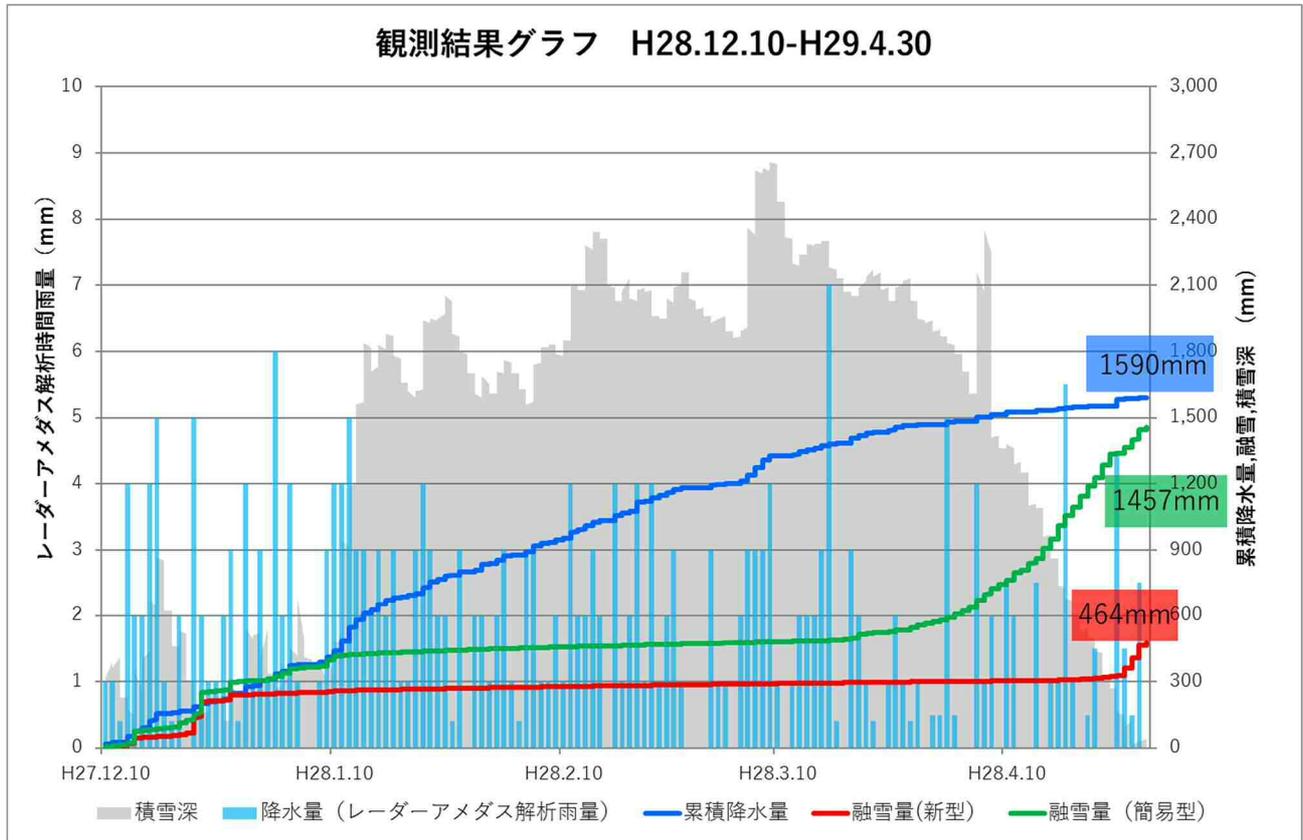
以上の課題を基に、平成 28 年度は以下の仕様にて実験を継続した。

- (1) 冬期間のソーラーパネルの発電状況が良好であったことから、計測ユニットをφ30cm×H30cm程度に小型化し、ポンプ稼働回数を増やす仕様に変更した。

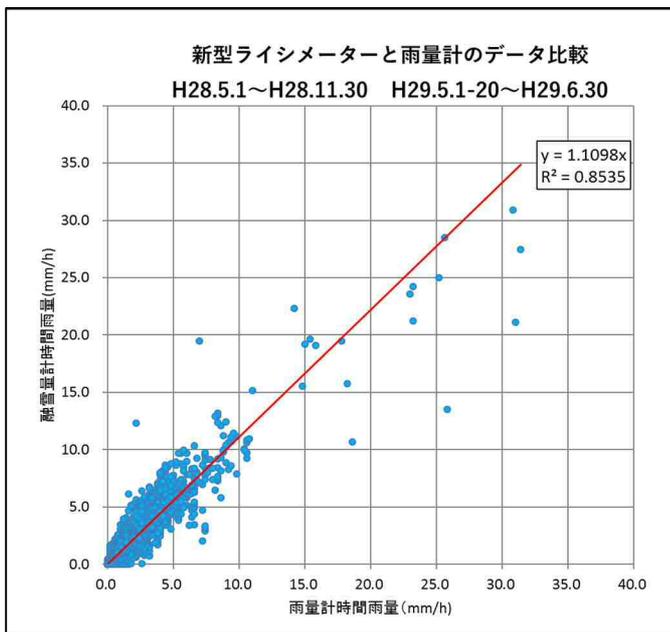
(2) 新型ライシメーター計測不良の要因と想定されたマウントを除去した。また新型ライシメーター横に、1m×1mの簡易型ライシメーターを設置し、新型ライシメーターとのデータの比較を行うことにした。なお簡易型ライシメーターは夏季に植物がビニールシートを突き破って繁茂したことから、遮光性のシートに変更した。

(3) 無雪期の雨量計測も行い、雨量計としての利用可能性についても検討した。

平成 28 年 12 月 10 日から平成 29 年 4 月 30 日の試験結果を図一 3、平成 28 年 5 月～11 月、平成 29 年 5 月～6 月の雨量計と新型ライシメーターによる雨量観測結果を図一 4 に掲げる。これによると新型ライシメーターによる雨量・融雪量の総量は 464mm であったのに対し、簡易型ライシメーターによる融雪量の総量は 1457mm であり、両者の間には約 3.1 倍の計測



図一 3 現地試験結果 (平成 28 年度)



図一 4 雨量観測結果 (雨量計との比較)

差がみられた。新型ライシメーターは平成 27 年度の観測結果同様、冬期間の融雪量をほとんど計測できていなかった。

一方、夏季の雨量観測は雨量計と良い相関を示し、新型ライシメーターは雨量計計測値の約

1.1 倍の雨量を計測するという傾向が認められた。ただし、時間降水量が 10mm を超えるとデータにばらつきがみられる傾向がある。

5 まとめおよび今後の対応

今回開発した融雪量計は小型であり、人力での設置が容易である。冬期 2 期間の計測試験の結果、年間を通じてバッテリーとソーラーパネルでの運用が可能であったほか、遠隔監視システムの安定性も確認できた。新型ライシメーターは無雪時における簡易的な雨量計としての利用が可能であるものの、現状で融雪量を計測できておらず、今後も計測不良の要因の検討、開発の継続を行っていく。

計測ユニットについては、安定した計測が可能であったため、従来型のライシメーターや簡易型ライシメーターと組み合わせた製品化を現在進めている。本製品は、今年度中に発売を予定している。

第1会場

第IVグループ

ドラグサクシオン浚渫兼油回収船「白山」の 投げ込み式油回収機更新について

北陸地方整備局 新潟港湾空港技術調査事務所 山下 竜巳
北陸地方整備局 新潟港湾空港技術調査事務所 齋藤 英治
北陸地方整備局 新潟港湾空港技術調査事務所 ○ 菅 遥洋

1 はじめに

ドラグサクシオン浚渫兼油回収船「白山」は、国土交通省が保有する油回収機能を有した浚渫船である。1997年1月にロシア船籍タンカー「ナホトカ号」の油流出事故があり、日本海沿岸に甚大な被害をもたらした。これを契機に油流出災害への体制強化が行われ、早急な油回収作業が可能な船舶の建造要請が高まり、油回収機能を搭載した「白山」が建造された。

本論文では、同船に搭載されている投げ込み式油回収機の高性能化を目指して行った検討・設計について紹介する。

「白山」は左舷船首側に投げ込み式油回収機を1基、船体中央付近両舷に舷側設置式油回収機を1基ずつ、計3基の油回収機を備えており、油の状態に応じて使い分けている。

舷側設置式油回収機（写真-1上）は、本船の前進により油回収機内に油水を取り込み、主に外洋での大量流出時や高波浪時の回収に適しており、低粘度油に対応している。

投げ込み式油回収機（写真-1下）は浮遊堰式と呼ばれ、ポンプ吸引口をフロートで支持し、吸引口を海面より少し低い位置に追従させ、吸引口を堰として浮遊油を取込み回収する方式で、低粘度～中粘度油に対応している。

しかし、ナホトカ号油流出事故では、長時間海上を漂流した油が海水と交わることで高粘度化するエマルジョン化が発生した。エマルジョン化は低温下においてその傾向が顕著とな



写真-1 白山全体及び搭載油回収機

り、高粘度化するとともに凍結し易くなる。¹⁾

「白山」が担務する主な油回収海域は北方に位置しており、北海道北部では外気温が -20°C を下回ることもある。そのため油回収作業においてさらなる高粘度油回収への対応が求められており、投げ込み式油回収機に関しては回収効率、保守性の向上などの改善点も求められている。この様な背景から投げ込み式油回収機更新について検討を行った。

2 油回収機の課題

投げ込み式油回収機更新にあたって、前述のとおり高粘度油回収への対応、回収効率の向上、保守性の向上の3点が改善点となっている。以下にその概略を記す。

2.1 高粘度油回収への対応

現在「白山」に搭載されている舷側設置式油

回収機は主に低粘度油を対象としている。投げ込み式油回収機は低～中粘度油までを対象としているため高粘度化した油に対応可能な油回収機が求められた。

粘度はcSt（センチストークス）という単位で表すことができ、4万cStまでが中粘度であり、そこから30万cStまでが高粘度である。具体例を表-1に示す。本検討では30万cStの油の回収ができることを目標とした。

表-1 粘度単位（cSt）と粘度の対応例

粘度（cst）	左記粘度に対応する物の例
～10,000	サラダドレッシング、液状洗剤
数万	ケチャップ、さらさら蜂蜜
100,000	マーガリン、シュークリーム
200,000	ヨーグルト、マヨネーズ
500,000	水飴、糊
1,000,000	ジャム、固い蜂蜜

2. 2 回収効率の向上

現在「白山」に搭載されている投げ込み式油回収機は回収油水中の油の割合が低く、回収総量に対する油の量は少ない。そのため回収効率の向上が求められている。

2. 3 保守性の向上

現在「白山」に搭載されている投げ込み式油回収機は搭載から十数年経過していることもあり、経年劣化が進み修理費用も割高となる他、取替部品は海外から取り寄せる必要があり、輸送コストや部品交換の期間もかかるなど保守性に課題がある。

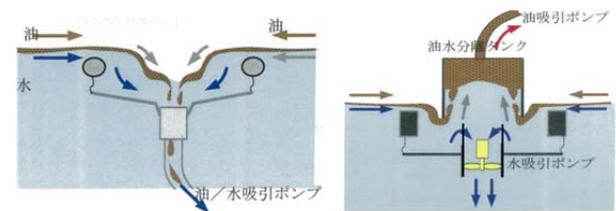
3 新たな投げ込み式油回収機の概要

新たな投げ込み式油回収機については高粘度油回収への対応と回収効率の向上の点から選定した。

現在搭載されている投げ込み式油回収機は、

流入堰を越えてホッパーに溜まっていた油水を移送ポンプにより下方へ吸引する。（図-1左）

新たな投げ込み式油回収機は回収機内で油分が上昇する機構が組み込まれており、油水を浮遊堰から回収機内に取り込むと、吸引した油水を油分と水分に分離・濃縮し、回収機の上部に溜まった油分のみを上方から吸引ポンプで吸引する。水分は排水翼により下方の排水口より排出される。（図-1右）



現在の油回収機

新たな油回収機

図-1 投げ込み式油回収機比較

3. 1 油回収機構

新たな投げ込み式油回収機は海面に吊り下ろされると、流入堰の頂部がほぼ海面と一致するよう保持フロートの浮力が調整されている。

保持フロートを乗り越えた油は流入室に一時蓄積されることにより、次第に凝集し、大粒径化する。排水翼を稼働し、油水分離室内の海水を排出すると、流入室の海水が潜り堰を通り抜けて油水分離室に流れ込む。

大粒径となった油は、油水分離室を上昇し、上部に蓄積される。蓄積された油は油回収ポンプにより船上の回収油タンクに送油される。一方、分離された水分は排水翼により下方から排出される。

海面の油膜が薄く蓄積が遅い場合は、油水分離室の上部に設置された油水界面センサーにより油の蓄積を感知して、油回収ポンプを間欠運転することにより濃縮された油のみを回収することができる。これにより回収効率の向上を図

れた回収機本体に流出油を効果的に導くことができるよう配慮する。水ジェットによる集油幅とフロートの概略を合わせ、図-4に示す。

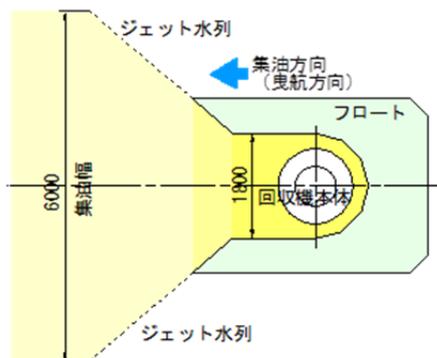


図-4 水ジェット及びフロート図

3.6 現在搭載されている油回収機との比較
前章で挙げた3点の課題に対する、現在搭載されている投げ込み式油回収機と新たに設計した投げ込み式油回収機の比較を以下に示す。

3.6.1 対象粘度

現在搭載されている投げ込み式油回収機は低粘度から中粘度（0～4万cSt）までの油に対応している。

対して新たな投げ込み式油回収機はさらに高粘度（30万cSt）までの油に対応しており、これは長時間漂流して海水と混ざり合いエマルジョン化した油に対応できることを想定した性能である。図-5に油の粘度の範囲を示す。

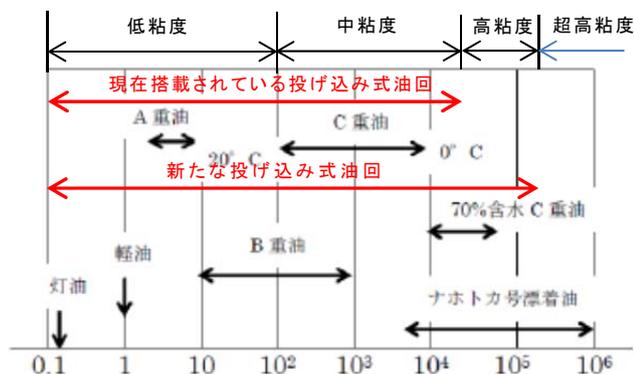


図-5 油の粘度の範囲

3.6.2 回収効率

現在搭載されている投げ込み式油回収機の回収能力は250m³/hであり、ドラム缶約1250本となるが、回収油水中の油分量は少なく回収効率は5%程度以下に留まる。そのため、実回収油量は12.5m³/h程度と推定される。

新たな投げ込み式油回収機は油水分離機能により高濃度の油水を回収することができる。回収能力は30m³/hと現搭載の回収機と比較すると小さいが、回収効率は70～90%と格段に向上し、回収油量は21～27m³/h程度と倍増する。

3.6.3 保守性

現在搭載されている投げ込み式油回収機は製作から十数年が経過しており、老朽化が進んでいる。また、海外製ということもあり、取替部品の調達に時間とコストがかかるとともにメーカー技術者の来日に時間を要すことからメンテナンス性が著しく悪い。このため、緊急の対応が難しいという懸念もある。

新たな投げ込み式油回収機は、国内での即時修理を可能にし、修理コストの低減と共に修理期間も短縮することで保守性の向上が期待できる。

4 おわりに

新たな投げ込み式油回収機的设计が終わり、今後は製作することとしている。なお、他の油回収船が高粘度油に対応する油回収機を製作する際の参考になるよう引き続き進めて行く。

参考文献

- 1) 港湾空港技術研究所：W/O エマルジョンを形成した水-重油系の流動特性と管摩擦損失の制御手法に関する研究

港内反射波を効率的に消波するコンパクトな没水型対策工

(株) 不動テトラ ブロック環境事業本部 総合技術研究所 水理研究室長 ○久保田真一
ブロック環境事業本部 総合技術研究所長 松本 朗
ブロック環境事業本部 副本部長 錦織 和紀郎
北陸支店 ブロック環境技術室長 廣瀬 紀一

1 はじめに

多くの港湾において、長周期波あるいは周期の長い風波を起因とした係留船舶の動揺による荷役障害が問題となっており、港内静穏度の向上が求められている。その対策として港内に消波構造物を設置する方法がある。

長周期波を対象とした消波構造物の検討は田中ら¹⁾によって行われており、構造物の天端が静水面より高い構造形式(以下、干出型とする)よりも構造物の天端が静水面に位置する構造形式(以下、没水型とする)の方が、よりコンパクトな構造で長周期波を効率よく消波できることを明らかにしている。

一方、周期の長い風波を対象とした消波構造物の検討は上久保ら^{2), 3)}により行われている。消波ブロック被覆堤において、段階的に消波工の天端高さを下げた場合の反射率の変化について検討しており、消波工の天端が静水面付近に位置する場合に反射率が小さくなる傾向にあることを示した。しかし、検討対象とした波高は2m以上であり、港内長周期波影響評価マニュアル⁴⁾に記載されている荷役限界波高(0.2m~0.5m)における反射率は不明である。

そこで本報告では、比較的周期が長い風波を対象として、荷役限界波高を含む検討対象波高に対する没水型の反射波抑制効果を示し、所定の反射率に対する構造物幅の算定方法を提案するものである。

2 実験条件

2. 1 実験方法

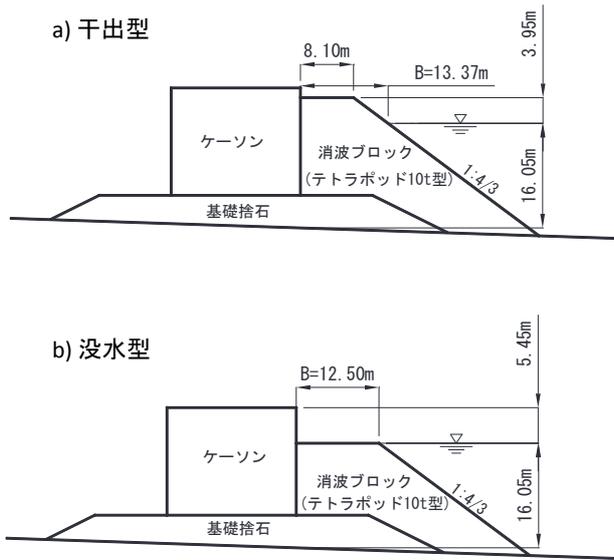
実験には、長さ50m、幅1.0m、高さ1.3mの二次元造波水槽を用いた。水槽内に1/30勾配の模型床を設け、堤体を設置した。実験波は不規則波とし、その理論スペクトルは修正 Bretschneider-光易型スペクトルとした。波浪条件は、現地量で周期 $T_{1/3}$ を10s, 15s, および20s、波高 $H_{1/3}$ を0.25mから4.0m程度(以下、数値は全て現地量)とし、1波群250波以上を作用させた。反射率の測定位置はケーソン前面から1波長以上離れた位置とした。反射率 K_R は合田ら⁵⁾の入・反射波分離推定法を適用して求めた。実験縮尺は1/53.9である。

2. 2 検討断面

検討対象断面は図-1に示すように干出型と没水型とし、ケーソン前面位置の水深 h を16.05mとした。消波ブロックにはテトラポッド10t型を用いた。消波ブロックの反射率 K_R は一般的に0.3~0.5程度である。そこで、最も短い周期である $T_{1/3}=10s$ の時の反射率 K_R が0.3程度を満たすように構造物幅 B (静水面における構造物幅)を設定した。その際、干出型においては谷本ら⁶⁾を、没水型においては上久保ら²⁾を参照した。

3 実験結果

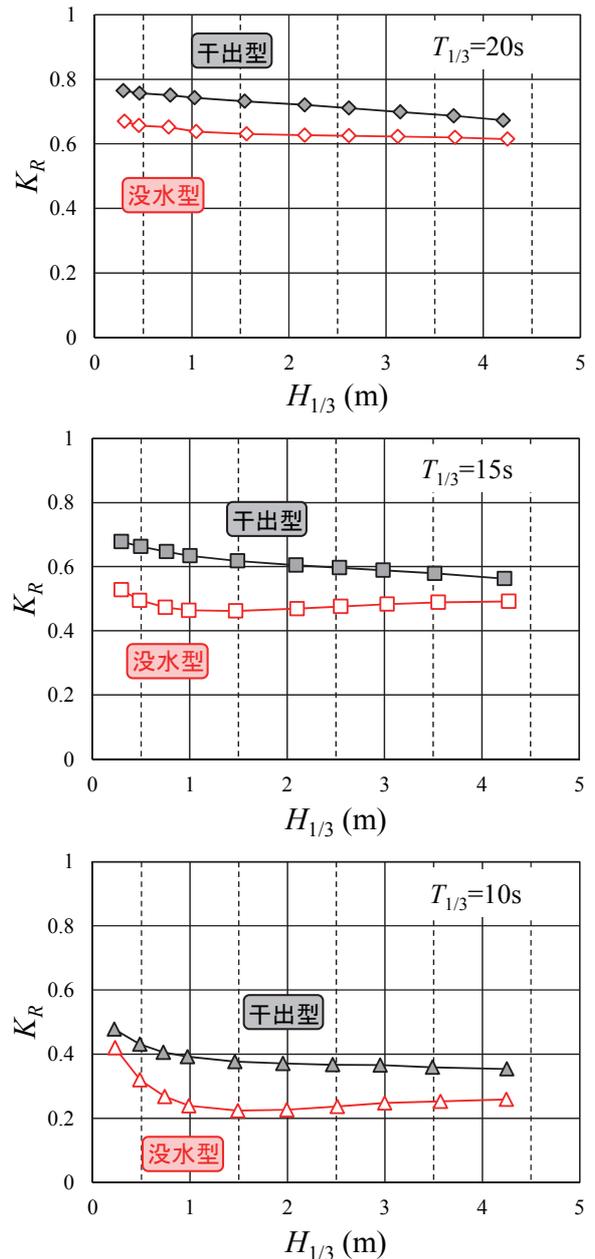
3. 1 効果的な対策工の検討



図一 1 検討断面

図一 2 に各周期における干出型および没水型の反射率 K_R と波高 $H_{1/3}$ の関係を示す。干出型と没水型の反射率 K_R を比較すると、荷役限界波高を含む検討対象波高に対して没水型の反射率 K_R が小さいことがわかる。構造物幅 B は干出型の方が大きいにもかかわらず、よりコンパクトな没水型の方が周期の長い風波に対しても反射波抑制効果が高いことが示された。干出型および没水型ともに、周期 $T_{1/3}$ が長くなるに伴い反射率 K_R が大きくなる傾向は共通である。波高 $H_{1/3}$ の増大に伴う反射率 K_R の変化の傾向については、干出型では減少傾向を示しているが、没水型は波高 $H_{1/3}$ が 1.0m 程度までは減少傾向を示すものの、その後は概ね一定となっている。

没水型の方が干出型に比べて反射波抑制効果が高くなるメカニズムについては、長周期波を対象とした検討において三井ら⁷⁾が明らかにしている。没水型は天端部の広い範囲でエネルギーを消費することで高い消波性能を得られることが示されており、周期の長い風波の場合においても同様のメカニズムで反射波抑制効果が高くなっているものと考えられる。詳細は三井

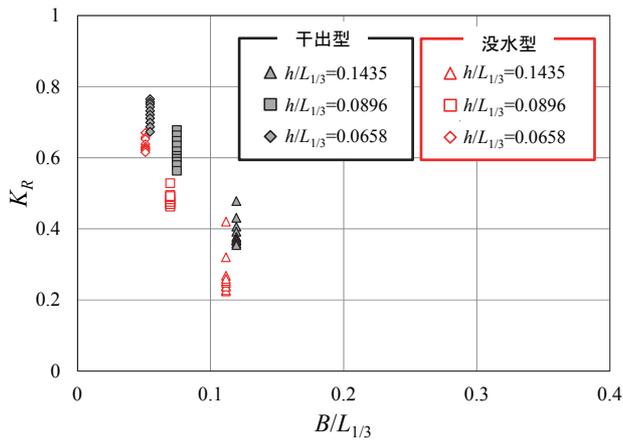


図一 2 反射率 K_R と波高 $H_{1/3}$ の関係

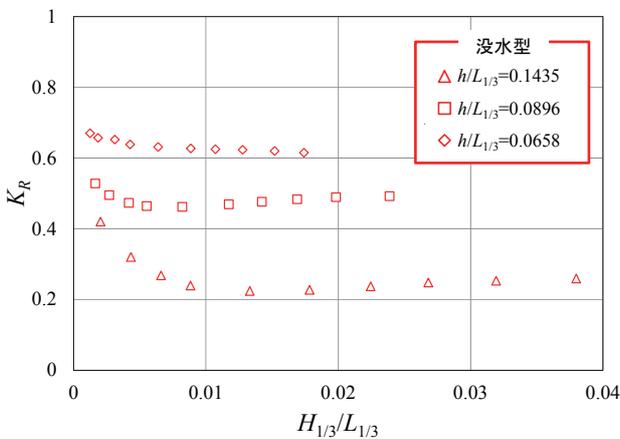
ら⁷⁾を参照されたい。

3. 2 断面諸元と反射率の関係

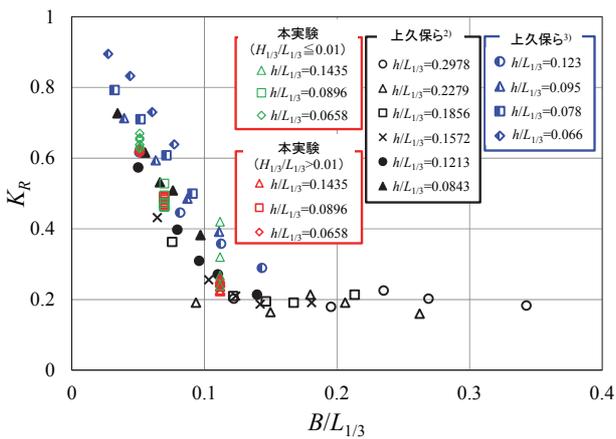
図一 3 は、図一 2 に示した干出型および没水型の結果を水深波長比 $h/L_{1/3}$ を用いて反射率 K_R と相対天端幅 $B/L_{1/3}$ の関係で示したものである。相対天端幅 $B/L_{1/3}$ の増大に伴い反射率 K_R が小さくなることがわかる。また、没水型は相対天端幅 $B/L_{1/3}$ の増大に伴い波高 $H_{1/3}$ の違いによる反射率 K_R のばらつきが大きくなるが、干出型はあまり変わらない。



図一三 反射率 K_R と相対天端幅 $B/L_{1/3}$ の関係



図一四 反射率 K_R と波形勾配 $H_{1/3}/L_{1/3}$ の関係



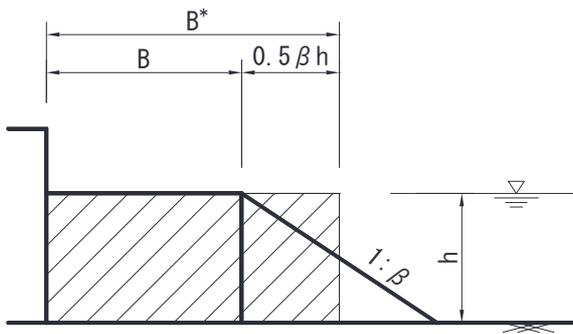
図一五 反射率 K_R と相対天端幅 $B/L_{1/3}$ の関係

図一四は相対天端幅 $B/L_{1/3}$ の増大に伴い波高 $H_{1/3}$ の違いによる反射率 K_R のばらつきが大きくなる没水型に着目して、各水深波長比 $h/L_{1/3}$ に

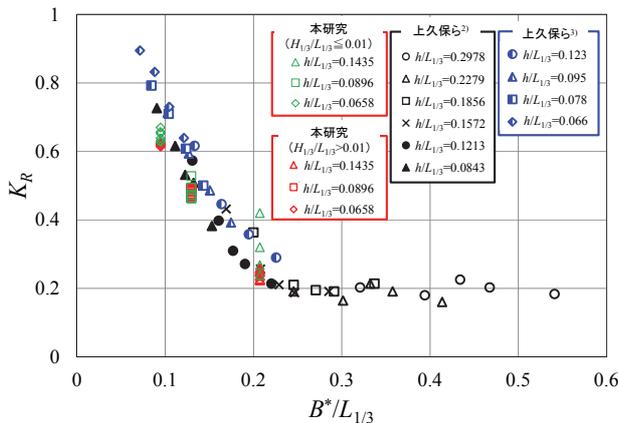
おける反射率 K_R と波形勾配 $H_{1/3}/L_{1/3}$ の関係を示したものである。波形勾配 $H_{1/3}/L_{1/3}$ が概ね 0.01 以下の比較的小さい範囲において波形勾配 $H_{1/3}/L_{1/3}$ の増大に伴い反射率 K_R は減少し、その後、概ね一定となるのは共通である。波形勾配 $H_{1/3}/L_{1/3}$ の増大に伴う反射率 K_R の減少の程度は、水深波長比 $h/L_{1/3}$ が大きいほど顕著である。

図一五に没水型における本実験および上久保ら^{2), 3)}の反射率 K_R と相対天端幅 $B/L_{1/3}$ の関係を示す。本実験の結果は、波形勾配 $H_{1/3}/L_{1/3}$ の増大に伴い反射率 K_R が減少する範囲である 0.01 以下のものと反射率 K_R が概ね一定となる範囲である 0.01 より大きい範囲のもので分けて示している。また、上久保ら²⁾は波高 $H_{1/3}=3.5\text{m}$ における反射率 K_R 、上久保ら³⁾は波高 $H_{1/3}=3.0\text{m}$ における反射率 K_R であり、両者ともに波形勾配 $H_{1/3}/L_{1/3}$ は 0.01 より大きい条件である。なお、上久保ら²⁾と上久保ら³⁾では波高 $H_{1/3}$ だけでなく水深波長比 $h/L_{1/3}$ も異なっている。各実験とも相対天端幅 $B/L_{1/3}$ の増大に伴い反射率 K_R は減少しており、共通の傾向を示している。しかし、相対天端幅 $B/L_{1/3}$ が同じとき、水深波長比 $h/L_{1/3}$ が大きいほど反射率 K_R が小さくなる傾向が見られる。

田中ら¹⁾は長周期波を対象とした検討において、波の場を長波近似すれば流速は水深方向に一定であるため、水深（消波工の厚さ）が構造物の消波特性に影響を与えるものと考えた。図一六に示すように構造物幅を構造物断面の没水部をそれと等しい高さの矩形に置き換えたときの幅を B^* と定義し、反射率 K_R と $B^*/L_{1/3}$ の関係から構造物幅を精度よく算定できること示した。本研究および上久保ら^{2), 3)}の $h/L_{1/3}$ を確認すると、いずれの実験条件も長波領域 ($h/L_{1/3} < 1/20$) ではないものの浅海波領域 ($1/20 \leq h/L_{1/3} \leq 1/2$) であるため海底面の流速は 0 とはならない。よ



図一六 B*の定義



図一七 反射率 K_R と $B^*/L_{1/3}$ の関係

って、水深の違いによる構造物の大きさが反射率 K_R の違いに影響していることが考えられる。そこで、田中ら¹⁾に基づき反射率 K_R を $B^*/L_{1/3}$ との関係で再整理した。図一七にその結果を示す。反射率 K_R を相対天端幅 $B/L_{1/3}$ で整理した図一五と比較すると、 $B^*/L_{1/3}$ で整理した図一七の方が $h/L_{1/3}$ の違いによる反射率 K_R のばらつきが小さいことがわかる。このことから、反射率 K_R と $B^*/L_{1/3}$ の関係を用いて所要構造物幅を算定する方が精度が良いと考えられる。

4 まとめ

本報告では、長周期波に対して反射波抑制効果が高くかつコンパクトな構造である没水型対策工を周期の長い風波に適用した場合の消波効果について述べるとともに、構造物幅の算定方

法を示した。主要な結論を以下に示す。

(1) 荷役限界波高を含む検討対象波高に対し、没水型は干出型に比べ反射率 K_R が小さく、長周期波だけではなく周期の長い風波に対しても反射波抑制効果が高いことが示された。

(2) 没水型の所要構造物幅 B は、反射率 K_R と相対天端幅 $B/L_{1/3}$ の関係を用いて算定するよりも反射率 K_R と $B^*/L_{1/3}$ の関係を用いて算定した方が精度よく求めることができる。

参考文献

- 1) 田中真史，松本朗，半沢稔：没水型長周期波対策工の消波特性に関する実験的検討，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.68，No.2，pp. I_816-I_821，2012.
- 2) 上久保勝美，山本泰司，長谷一矢：港内消波工の天端幅および高さが反射率におよぼす影響，第54回北海道開発技術研究発表会，2011.
- 3) 上久保勝美，酒井和彦，林誉命：港内消波工の反射波特性について，第57回北海道開発技術研究発表会，2014.
- 4) 沿岸技術研究センター：港内長周期波影響評価マニュアル，86p，2004.
- 5) 合田良実，鈴木康正，岸良安治，菊地治：不規則波実験における入・反射波の分離推定法，港湾技研資料，No248，24p，1976.
- 6) 谷本勝利，原中祐人，富田英治：曲面スリットケーソンの水理特性に関する実験的研究，港湾技術研究所報告，第19巻，第4号，53p，1980.
- 7) 三井順，菅章悟，久保田真一，松本朗，半沢稔：没水型長周期波対策マウンド構造物の消波メカニズムに関する検討，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.72，No.2，pp. I_895-I_900，2016.

拡張現実を用いた水中可視化技術「Beluga-AR」

東亜建設工業株式会社 土木事業本部 機電部 電気グループ ○保利 敏之

1 はじめに

1. 1 近年の建設業界の動向

建設業界では、1990年代初頭に起こったバブル崩壊後から現在に至るまで、建設投資額の減少が建設業就業者数の減少の割合を上回っており、東日本大震災直後の東北地方の様に局所的に労働力の不足している場面はあったものの、一貫して労働力が過剰である状態が続いていた。そのため、建設業界では、省力化につながる建設現場の生産性の向上は見送られてきた。建設業就業者数と建設投資額の増減を図-1に示す。

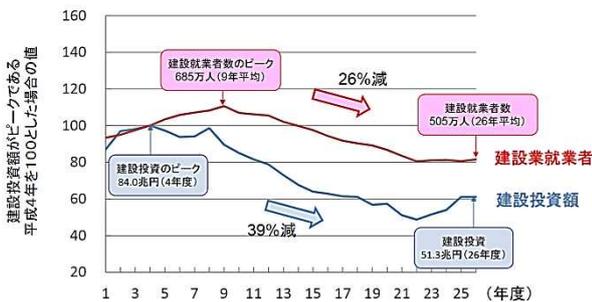


図-1 建設投資額および建設業就業者の増減

昨今、団塊世代が定年を迎えることによる生産年齢人口の減少が問題になっており、建設業界の技能労働者においてもこの問題は顕著である。一般社団法人日本建設業連合会では、2014年度に343万人いた技能労働者が2025年度には、100万人以上の高齢者が離職し、技能労働人口が216万人まで減少するといった予測を発表した(2)。

以上のことから、建設業界では、来るべき労働者不足に対応することが急務であった。そこで、国土交通省は、2016年度から労働者一人一人の生産性を向上させ、企業の経営環境を改善し、建

設現場に携わる労働者の賃金水準の向上を図るとともに安全性の確保を目指す取り組みであるi-Constructionを建設業界全体で推進していくことを発表した。i-Constructionでは、「①ICT技術の全面的な活用」、「②規格の標準化」、「③施工時期の平準化」の三つの取り組みを重点的に行う。従来は、これらの取り組みを施工段階の一部で実施していたが、今後は、測量・設計・施工・検査・維持・管理の全てのプロセスにおいて最適化を図り、労働環境の改善及び生産性の向上を行う。そのため、現在、建設業界では、上記の3つの取り組みを施工現場に活用することが奨励されている状況である(3)。

1. 2 開発の背景

今日、海洋工事における水中部の出来形管理や構造物の形状把握には、短時間で広範囲かつ高密度の測深データを収集可能なナローマルチビーム(NMB)測量が採用されている。この技術は、海洋工事の施工管理に必要な不可欠なツールとして一般的となっているが、広範囲の海底地形を面的に捉えるためには、NMB測深機を搭載した測量船で対象範囲を航行する必要がある。また、NMB測量で取得したデータは、ノイズ除去や計測データの重ね合わせ等の解析作業が必要になるため、リアルタイム性に欠けるという課題があった。このような背景から、水中部の状況をリアルタイムに把握可能なシステムが求められていた。

この課題を解決するため、当社では拡張現実の

技術を応用し、3D ソナーの計測データと 3 次元モデルを重ね合わせることによって、水中の様子がリアルタイムに 3 次元で表現可能なシステム「Beluga-AR」を開発した。本稿では、「Beluga-AR」の概要と現場への導入事例について紹介する。

2 水中可視化システム「Beluga-AR」の概要

水中可視化システム「Beluga-AR」は、拡張現実(Augmented Reality:AR)の技術を応用し、3D ソナーの計測データと 3 次元モデルを組み合わせ、水中部のリアルタイムな可視化を可能とするシステムである。水中部の施工状況や潜水士の作業状況をリアルタイムに確認でき、ブロック据付・撤去工をはじめ、さまざまな工種に適用可能である。「Beluga-AR」のイメージを図-2 に示す。

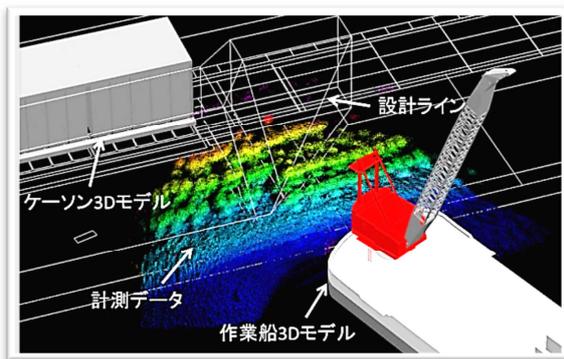


図-2 Beluga-AR イメージ図

2. 1 機材構成

「Beluga-AR」は、3D ソナー、パンチルト装置、GNSS 受信機、動揺補正装置などから構成されている。3D ソナーには Coda Octopus 社製の「Echoscope」を使用し、 $50^{\circ} \times 50^{\circ}$ の範囲に 128 × 128 本のビームを照射し、最大距離 150m までの計測が可能である。ビーム幅は $24^{\circ} \times 24^{\circ}$ に切り替えることも可能で、より詳細な計測および表現をすることができる。さらに、375kHz と 610 kHz の 2 つの周波数を切り替えることで、広範囲と高密度の計測を行うことができる。また、ソナ

ーの照射方向を変更するパンチルト装置を併用することで、より広域の可視化が可能である。

GNSS 受信機、動揺補正装置を用いることで、3D ソナーから得られる点群に座標を持たせることが可能になるだけでなく、作業船 3D モデルの位置やクレーンの旋回、起伏の描画を実際の作業船の位置や動きに合わせた表現が可能になる。また、3DCAD と同じように、表示画面は自由に拡大縮小、回転が可能である。

計測データは「Beluga-AR」を動かしている PC 内に保存されるため、計測後にデータを「再生」して閲覧することが可能である。

2. 2 特徴

通常、パンチルト装置でソナーを起伏・旋回させた場合、視認可能な範囲はビームが照射された箇所限定され、画角から外れた範囲の状況は把握することができない。「Beluga-AR」では、パンチルト装置から取得される角度情報を利用して、視準している部分をリアルタイムに更新し、それ以外の部分を過去に視準した際の残像として表示させることによって、広範囲の可視化を実現している。この機能は、潜水士や吊荷などの移動体の状況を把握する際に有効であり、リアルタイムに更新される狭い視界内だけでなく、広範囲の状況を加味した表現によって、吊荷との接触事故等の潜水災害の防止に寄与する。また、自動ノイズ除去機能を使用することによって、水中のリアルタイムな作業状況を鮮明な 3 次元の映像で把握することが可能となる。さらに、3次元設計図面との重ね合わせた表現によって、作業効率や施工精度、潜水作業の安全性の向上に寄与する。

3 現場への試験導入

平成 28 年、鹿児島県で「Beluga-AR」の導入を行い、根固めブロック及び被覆ブロックの据付

状況をリアルタイムに計測すると共に、3DCADの設計ラインと3Dソナーで取得したデータを重ね合わせ、その位置関係の整合性及び表現方法について確認した。

ブロック据付工に従事した非自航式旋回起重機船の船首部に3Dソナー、パンチルト装置、GNSS受信機、動揺補正装置を設置した。さらに、旋回するクレーンの動きを「Beluga-AR」上で表現するため、ブームの先端に小型のGNSS受信機を設置した。

3. 1 計測結果

図-3に、3Dソナーの計測データと設計図面を重ね合わせた画面を示す。図の中央付近に据付中の根固めブロックがあり、白いラインが設計ラインである。また、図-4に根固めブロック据付前後の比較画面を示す。根固めブロックの形状が明瞭に描画され、向き、傾斜が確認できた。

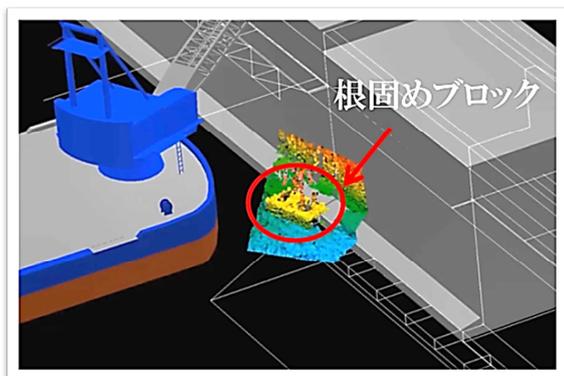


図-3 根固めブロック据付状況

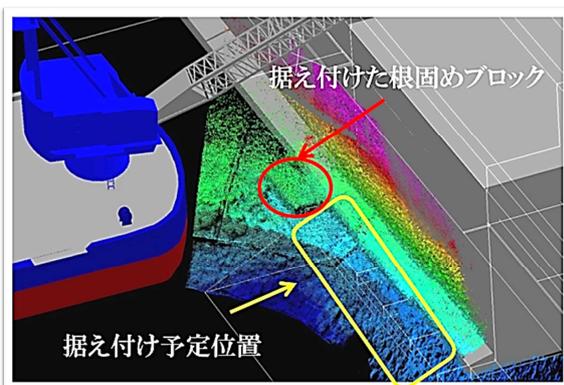


図-4 根固めブロック据付前後の比較

4 おわりに

本稿では、「Beluga-AR」の概要と現場への導入事例について紹介した。3Dソナーを使用した水中部の可視化だけでなく、拡張現実の機能を付加することによって、設計に対する水中構造物の配置状況がリアルタイムに確認でき、作業効率や施工精度の向上が期待できる。また、パンチルト装置を併用することによって、広範囲の可視化が実現できた。特に、潜水作業を伴う場合は、吊荷と潜水士の位置関係だけでなく、その周囲の情報も重要な視覚情報となることから、安全かつ確実な施工のために必要なツールとして大きな役割を果たすことが期待できる。

国土交通省が推進するi-Constructionでは、港湾工事のプロセス全体でICT技術を使用することによって、建設現場の生産性向上と安全性の確保が期待されている。マルチビームによる三次元データと組み合わせることで、全プロセスにおける3次元データ活用が可能となり、生産性向上と安全性向上が期待できる。

最後に、「Beluga-AR」の開発及び試験導入にあたり、ご支援いただいた関係者各位に深く謝意を表する。

参考文献

- (1) “建設現場の生産性に関する現状” 第1回 i-Construction 委員会 配布資料 資料1、<http://www.mlit.go.jp/common/001113550.pdf>, 2015.
- (2) “再生と進化に向けて —建設業の長期ビジョン—” 大成出版社、pp34-pp45、2015.
- (3) “技術調査 i-Construction” 国土交通省 HP 内、http://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000028.html

港湾工事における情報化施工技術

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 ○平池 智広
 土木事業本部機電部 機電課長 中澤 孝次
 土木事業本部技術部 技術開発研究室 主任 山本 誠
 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

近年、建設事業の施工プロセスでは、生産性向上や品質確保等を目的に、土工事をはじめとし、情報化施工技術（以下、ICT技術と称する）の採用が見られる。港湾土木工事においても、ICT技術を活用し、水中施工等における安全性や施工性の向上を図るための取り組みが実施されている。

本稿では、著者らが提案する音響測深やGNSS等を活用した港湾土木工事におけるICT技術について例示し、その適用事例について紹介する。

2 港湾工事におけるICT技術

表－1に港湾工事において適用できるICT技術を例示する。3D測量技術は、ナローマルチビーム等の活用が進められている。一方で、水中基準点測量の省人・省力化を目的とした水中基準点測量技術を開発し、運用

している。

また、ケーソン据付作業の安全かつ効率的な施工を目的とした遠隔一元操作により無人化施工を行うケーソン据付遠隔操作技術や、海上におけるブロック据付作業の安全性と施工性の向上を目的とした3Dブロック据付支援システムを開発・運用している。

この他、リアルタイムモニタリングによる水中可視化技術は、水中の3次元映像をリアルタイムに取得可能な技術であり、今後の活用が期待される。

これらのICT技術の概要について、次章以降に述べる。

3 3D測量

3.1 ナローマルチビーム、レーザーを用いた3D測量

消波ブロック被覆堤の維持管理において、経年的に進行する消波ブロック天端の低下に

表－1 港湾工事におけるICT技術

情報化施工技術の名称	技術の概要	備考
3D測量	ナローマルチビーム、レーザーを用いた3D測量	
	水中基準点測量技術	GNSS、傾斜計により構成され、水中の3次元座標を取得し、水中基準点を設置する。 技術名称：水中3次元座標測量システム NETIS：HRK-160003-A Made in 新潟：27D2001
ケーソン据付遠隔操作技術	ケーソン据付の作業の省人・省力化、安全性の向上を目的に、遠隔一元操作により、ウインチ及び注排水ポンプの運転を行う。	技術名称：函体据付効率化施工システム NETIS：HRK-160002-A
3Dブロック据付支援技術	ブロックの目標据付位置と吊荷の現在位置、潜水土の位置を3次元で確認しながら消波ブロックの据付作業を行う。	
リアルタイムモニタリングによる水中可視化技術	水中施工の3D映像をリアルタイムで取得する。	

起因する波高増大を防止するため、消波ブロックの嵩上げ等の工事が多く見られる。

このような場合、着手前のブロック天端は3次元的に複雑となることが想定され、このような形状を3次元測量により把握することが施工管理上重要である。

図-1は、消波ブロックの嵩上げ工事において、防波堤水中部、気中部をそれぞれナローマルチビーム、3Dレーザースキャナにより取得した点群データを基に作成した合成図である。複雑な既設ブロック天端の形状を予め把握することは、所定のブロック個数で噛み合わせ良く断面を形成させるために有効である。

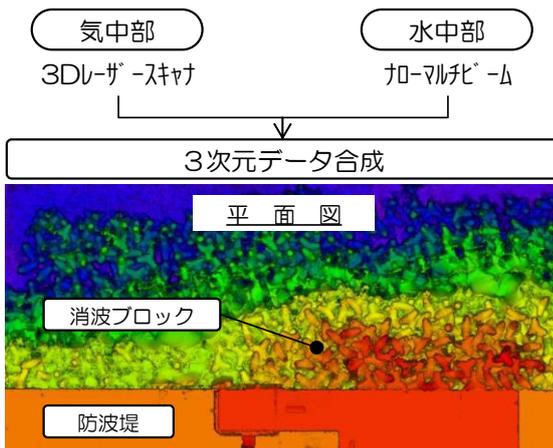


図-1 水中部・気中部の3次元データ合成

また、気中部の測量については、UAV（ドローン）を用いた航空測量の技術開発が進められており、今後の活用が期待される（写真-1参照）。



写真-1 UAV（ドローン）による航空測量

3.2 水中基準点測量技術

本技術は、潜水時間の縮減、ヒューマンエラーの要因を排除し、安全性、測量精度の向上を図ることを目的に開発したものである。

本システムはRTK-GNSSシステムと傾斜計で構成され、RTK-GNSSシステムから得られる位置情報とポールの傾斜情報、GNSSコンパスから得られるポールの方位から、ポール下端の3次元座標 x,y,z を得るものである(図-2、写真-2参照)。

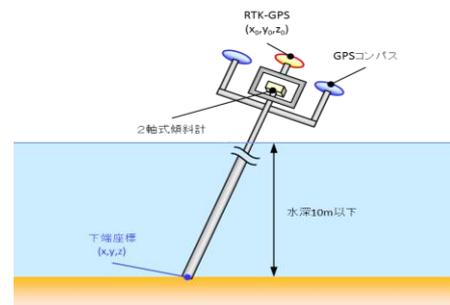


図-2 水中基準点測量技術の概要



写真-2 水中基準点測量

本技術の使用実績により、以下の効果を確認している。

- ① 繰り返し重錘を落下させる作業が削減されたことにより、潜水時間の短縮に繋がり、安全性が向上する。
- ② 陸上基準点の設置や陸上からの水上基準点の誘導が削減され、省人・省力化に繋がる。
- ③ 直接計測により、水中基準点の精度が向上した他、潮位補正を削減できたことに

より、ヒューマンエラーを排除でき、測量精度の向上に繋がる。

4 ケーソン据付遠隔操作技術

本技術は、計測機器から得られる函体位置および隔室内の水位情報を集中制御室で一元管理し、ウインチと注排水ポンプの遠隔操作を行いながら函体据付を行うことで据付精度の確保と安全性および施工性の向上を図ったシステムである（写真－3、図－3参照）。



写真－3 無人化施工によるケーソン据付



図－3 集中制御室での遠隔操作状況

本技術の使用実績により、以下の効果を確認している。

- ① ウインチと注排水ポンプの遠隔操作により、従来技術では必要であった作業員の函体上での作業を削減し、安全性が向上する。

- ② 集中制御室における据付作業の一元管理により、確実な函体位置制御が可能となる。また、従来技術では不可欠であった無線連絡を削減し、これにより生じるタイムラグを排除した。

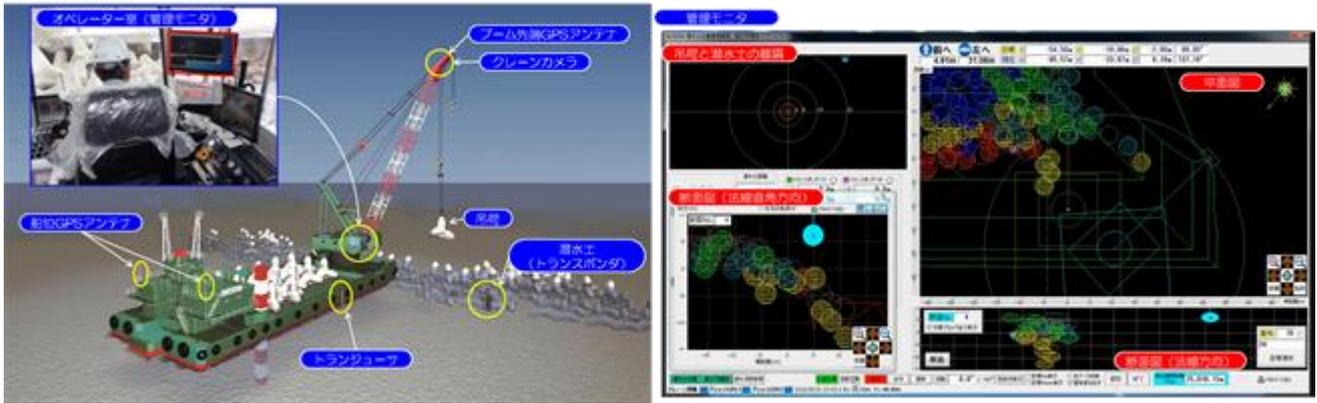
- ③ 函体の平面的な位置や姿勢を数値的且つ視覚的に、リアルタイムで確認することと、水中カメラおよび監視カメラで直接監視を行うことにより、函体の接触防止に繋がる。

5 3Dブロック据付支援技術

本技術は、海上クレーン作業でのブロック積込・運搬・据付までの一連作業の安全性および施工性の向上、省力化を目的とし、ブロックの目標据付位置および吊荷の現在位置、潜水士の位置を空間的に、リアルタイムで把握するシステム（図－4参照）であり、消波ブロック嵩上げ工事への使用実績により以下の効果を確認している。

- ① 従来、潜水士の位置は、有線電話による連絡や水面に浮かぶ呼吸気泡を頼りにしていた。また、吊荷と潜水士の離隔の確保は潜水士の単独判断に依存していたが、オペレーターが空間的にリアルタイムで確認可能としたことにより、適正な離隔を確保しながら作業でき、接触防止に繋がる。

- ② 従来は潜水士の目視確認に頼っていた据付位置をクレーンオペレーターがモニター上の平面図・断面図により確認しながら操作でき、正確且つ迅速な施工が可能となる。また、据付済みブロックを着色表示することで、工事進捗を視覚的に把握できる。



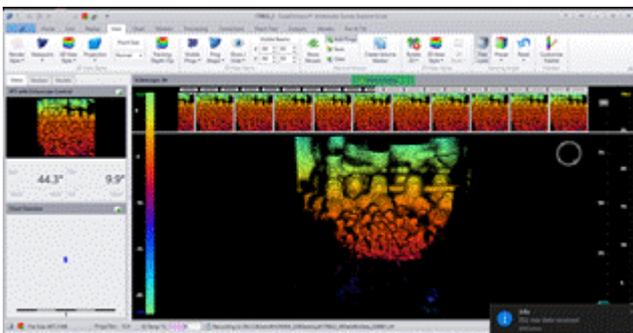
図－４ ３Dブロック据付支援技術の概要および管理モニタ

このような改良・維持管理工事への適用実績により、複雑な施工基面に合わせた配置計画および3次元的に複雑な形状を考慮した施工管理が可能であることを確認し、本技術の有用性について実証できた。

6 リアルタイムモニタリングによる水中可視化技術

リアルタイムモニタリングによる水中可視化は、水中の視界に左右されず、取得した動画を瞬時に表示できる技術である。

本技術を消波ブロック据付工事に導入し、機能を検証した。潜水士の合図誘導に加え、海上起重機船のクレーンオペレーターが水中部の施工状況をリアルタイムに、直接的に視認できることで、安全性・施工性の向上に資する技術であることを確認した(図－5参照)。



図－５ リアルタイムモニタリング画面

また、曇天下での施工や大水深での施工等、水中の視界が低い場合において、水中可視化技術の効果が特に期待できると考えられる。

今後、本技術を水中工事全般に幅広く適用するため、検討を進めていく考えである。

7 おわりに

本稿では、港湾土木工事におけるICT施工技術の概要と適用事例について報告した。

ICTを活用することで、水中部の「見える化」が図られ、安全性および施工性の向上、省人・省力化による生産性の向上が実現されてきている。今後、更なる生産性の向上を図るべく、各種ICT技術の研究開発、活用実績を踏まえた検証を積み重ねていく考えである。

また、国土交通省では、CIMの導入・活用による効率化・省力化が進められている。

ICT技術から得られた3次元データおよび情報を共有し、生産性の向上に繋げることを考慮しつつ、検討を進めていく所存である。

第2会場

第 I グループ

水中点検ロボット（アクアジャスター搭載型ROV）の開発

(株)大林組 土木本部生産技術本部 ダム技術部副部長 徳永 篤

1 はじめに

我が国の多くの社会インフラ施設の老朽化が進行する中、年々リスクの高まる大規模地震や頻発する風水害などの災害対策および社会情勢として人口減少・少子高齢化といった重要かつ喫緊の課題がある。これに対して、近年、ICTなどの活用により効率的・効果的な対応を可能とする技術を開発し、導入することが求められている。そうした中、ダム水中部の潜水士による近接目視の代替・支援技術の現場検証が国交省から公募された。そこで当社開発技術であるアクアジャスター®を搭載した水中点検ロボット「ディアグ®」を新規製作し、供用中のダムで実証実験を行って、水中のダム堤体面やゲート設備などの鮮明な映像を取得することができた。

従来はダムなどの水中構造物・インフラ設備の点検を潜水士により行っていたため、潜水深度によって作業時間の制限や危険を伴っていたが、水上からロボットの遠隔操作により点検することで、安全かつ長時間連続して行うことが可能である。以下にディアグの機能と実証実験での結果について記述する。

2 ディアグ®の機能

ディアグ®は濁りや流れのある目視困難な水中でも的確な点検を実施できるように図-1に示す機能を備えている。

2.1 アクアジャスター®

当社が開発したアクアジャスター®は、東京スカイツリー®建設時に効果を発揮したクレーン吊荷制御装置スカイジャスター®を水中で使

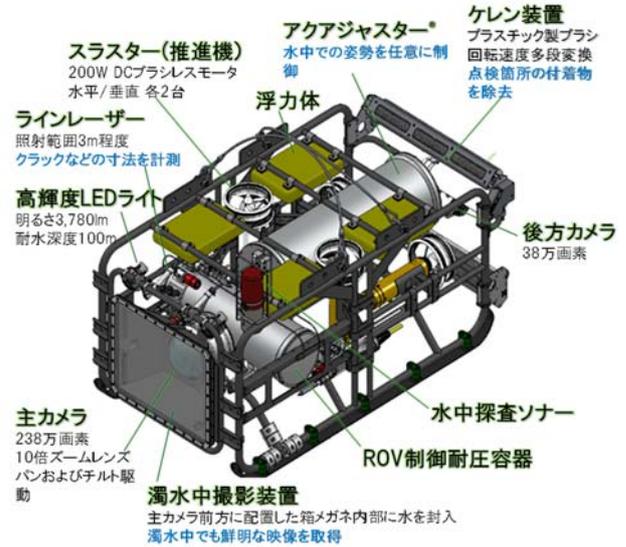


図-1 ディアグの機能

用できるようにした装置である。ジャイロ効果を利用することでディアグ®の姿勢制御が可能となる。ジャイロ効果とは、地球ゴマのように物体が自転運動をする際、回転速度が大きいほど姿勢が安定する現象である（図-2）。アクアジャスター®を搭載することで、流れのある水中（流速1ノットまで適用可能）でのロボットの姿勢が安定し、対象物を的確にとらえることが可能である。

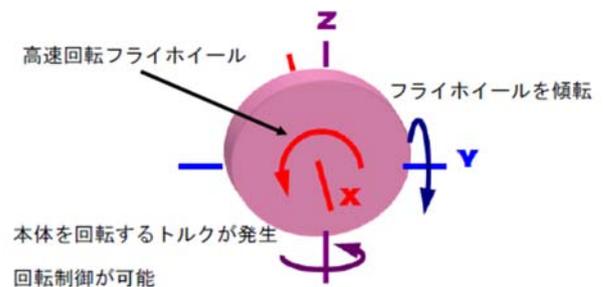


図-2 ジャイロ効果の説明

2.2 画像鮮明化技術

ディアグ®は主カメラとして238万画素のハイビジョンカメラを機体前方に搭載している。

水中での光量不足に対応するために照度 3,780lm の高輝度 LED ライトを備えるとともに、濁りによる不鮮明な映像のノイズを除去し、最適化して映し出す「画像詳細強化装置」によりリアルタイムに鮮明画像を見ることができる (図-3)。さらに、主カメラ前方に配置した箱メガネ (濁水中撮影装置) 内部に清水を入れて対象物に接近することで極端に濁った水中でも鮮明な画像を取得できる (図-4)。



図-3 画像詳細強化装置による効果

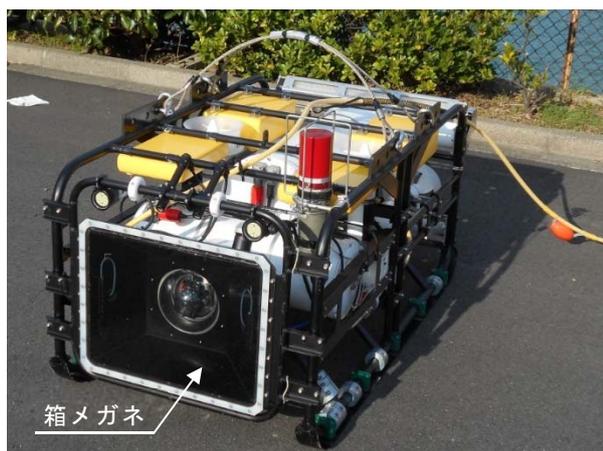


図-4 箱メガネ (濁水中撮影装置)

2. 3 耐圧機能

機器、電線、コネクターなどを耐圧仕様にするすることで、水深 100m までの作業を長時間連続して行える。これにより、従来潜水士では作業できなかった大深度での作業が可能である。

2. 4 クラックなどの計測機能

機体前方から対象物に対してラインレーザーを照射することができ、クラックなどの寸法測定が可能である。ラインレーザーは幅 3mm、間隔 100mm で、取り込んだ画像からスケール

アップにより寸法測定を行う (図-5)。

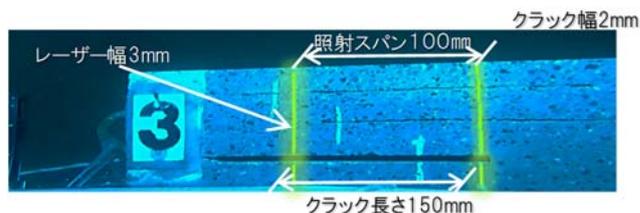


図-5 ラインレーザー照射状況

2. 5 点検対象物の清掃機能

本体後方にプラスチック製ブラシのケレン装置を搭載しているので、点検対象物の付着物を除去することができ、明瞭に撮影することができる (図-6)。

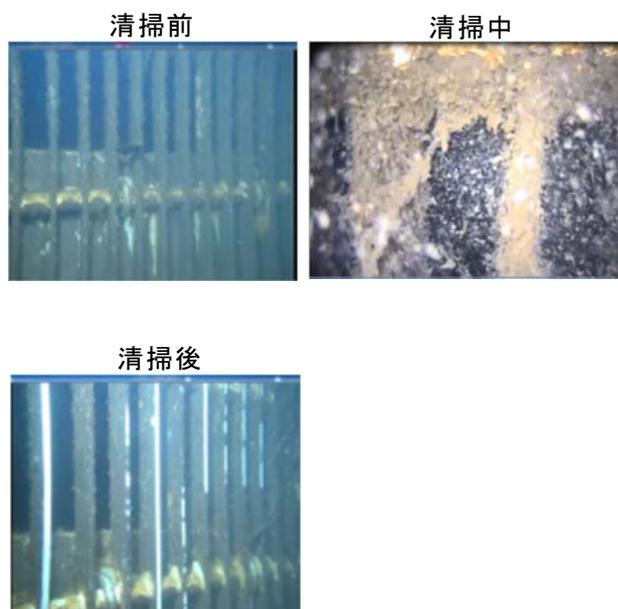


図-6 スクリーンの清掃状況

2. 6 位置情報取得機能

GPS または自動追尾機能付きトータルステーションとトランスポンダ (送信機と応答機の音波授受により位置情報を取得できる装置) を使用して水中にあるディアグ®の正確な位置を割り出し、撮影箇所の位置を把握することができる (図-7)。

2. 7 簡易な取扱い機能

ディアグ®の大きさは幅 780×奥行 1508×高さ 711mm、重さは約 130kg であり、作業員

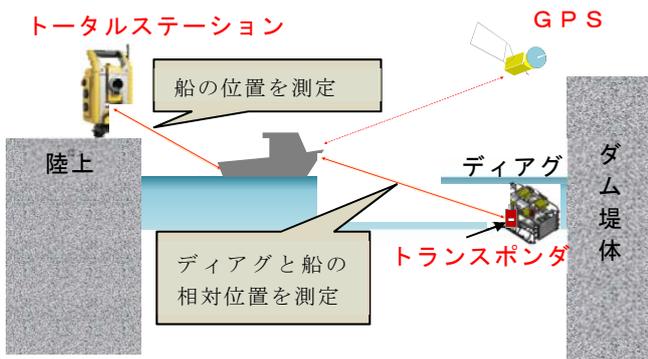


図-7 位置測定システム

4人で持ち運びが可能である。大型重機を使用することなく、地上または船上から人力で水中投入することができる。また、ワゴン車1台にすべての機材が積み込み可能で運搬が容易である。

ディアグ®の操作は陸上または船上のモニター画面を見ながらジョイスティック形式の操作リモコンを使用する。操作が簡単で資格も不要である(図-8、9)。



図-8 操作モニター



図-9 操作リモコン

3 ディアグ®のシステム構成

ディアグ®のシステム構成は図-10に示すとおりである。

3.1 ディアグ®本体 (図-10 ①)

一部を先述したが、アクアジャスター®、パンチルト機能付きハイビジョンカメラ、後方監視カメラ、高輝度LED照明、スラスタ、ケレン装置、ラインレーザー、プロファイリングソナー、深度センサ、姿勢センサを搭載し、鮮明な撮影データを取得する。

3.2 テザーケーブル (図-10 ②)

ディアグ®本体とコントロールユニットを接続する水中ケーブルで、本体への動作指示や取得した撮影データのコントロールユニットへの送信を行う。送電線、光ファイバー、テンションメンバで構成されている。

3.3 コントロールユニット (図-10 ③)

システム全体を制御するコントローラで、CPUやトランスなどを内蔵している。

3.4 操作リモコン (図-10 ④)

ディアグ®本体の運転を行う。アクアジャスター®やカメラの操作スイッチ、スラスタ操作のアナログスティックなどにより構成されている。

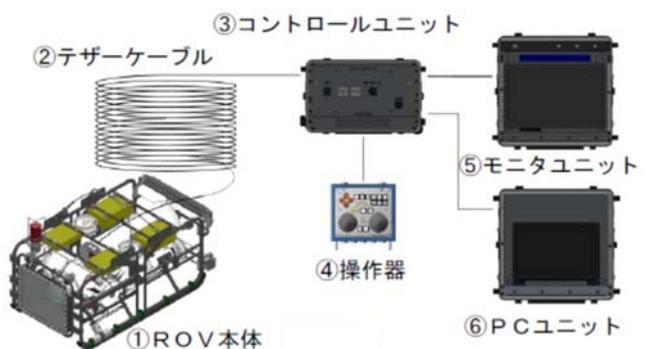


図-10 ディアグ®のシステム構成

3.5 モニターユニット (図-10 ⑤)

ディアグ®が撮影したハイビジョン映像を表示するモニタ、録画するレコーダおよびディア

グ®本体の傾きや方位を表示するディスプレイで構成されている。

3. 6 PCユニット（図-10 ⑥）

ディアグ®のすべての情報を表示するとともにログ保存を行う。

4 実証実験結果

国交省公募事業での実証実験は、平成 27 年 11 月 20 日に天ヶ瀬ダム（京都府）、同年 12 月 7 日に弥栄ダム（広島県・山口県）で実施した。

各ダムでの調査項目は①横継目・水平打継目・堤体面の概査、②模擬版探索・精査、③予備ゲート戸当り変状調査、④低水放流設備および着底水深調査、⑤選択取水塔調査（弥栄ダムのみ）であった。模擬版とは予め予備ゲート付近に設置されたコンクリート製の調査用試験体である。模擬版は、各ダムにおいて 4 種類設置されており、円柱状の突起や幅の異なるクラックが設けられている。①横継目、水平打継目、堤体面の概査ではクラックの有無を確認しながら水深 40m 付近まで潜行した。水中映像は高輝度 LED ライトと画像詳細強化装置を使用しながらハイビジョンカメラで撮影した。弥栄ダムでの横継目の概査状況を図-11 に示す。

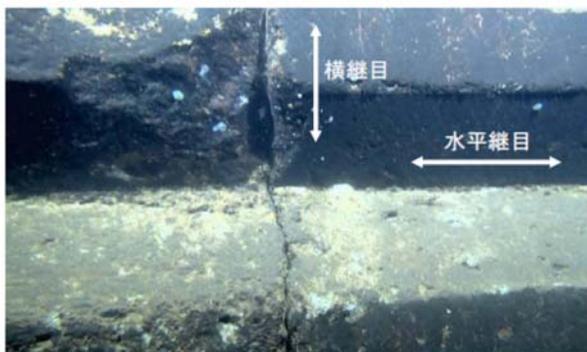


図-11 横継目概査状況（弥栄ダム水深 30m）

②模擬版調査はアクアジャスター®とラインレーザーを用いて計測した（図-5）。③予備ゲートの戸当り調査では変状箇所が見られ

なかった。④予備ゲート下部着底水深調査では天ヶ瀬ダムで 40m、弥栄ダムで 82m であった。

⑤選択取水塔調査では、水深 41m にて流木の堆積を確認した（図-12）。また、水深 20m 付近でディアグ®に搭載したケレン装置を使用してスクリーンの清掃を行った（図-6）。その結果、スクリーンに付着していたヘドロを除去でき、金属の光沢が現れた。



図-12 流木堆積状況（弥栄ダム）

これら 2 つのダム現場での水中心点検を実施した結果、点検撮影時にディアグ®の姿勢を安定させるアクアジャスター®によりブレない鮮明な動画を撮影できたことや、画像鮮明化技術を有してより精細な動画を撮影できたことが評価されて平成 27 年度末に国交省より最高評価となる「★★★」星 3 つの評価をいただき、試行的導入推薦技術とされた。そして平成 28 年度には国交省の管轄する 2 箇所のダムで今後の本格導入に向けた試行的導入を行った。

5 おわりに

合計 4 現場での実証実験では、堤体表面の状態を把握できる映像を取得することができ、一定の支援が可能な性能を有することが確認できた。今後はダムにおける水中心点検ロボットの本格導入に向けて改良を行うとともに、護岸・栈橋といったダム以外の河川構造物や港湾・海洋構造物への適用範囲拡大に取り組む。さらに測量機能などを付加してダム再開発工事での適用も検討していく。

老朽化した鋼矢板護岸・水路の迅速再生技術～ストパネ工法～の開発

○ (株) 水倉組 営業本部技術営業次長 小林 秀一
新潟大学自然科学系 (農学部) 准教授 鈴木 哲也
(国研) 農業・食品産業技術総合研究機構 ユニット長 樽屋 啓之
藤村ヒューム管 (株) 技術営業部課長 長崎 文博
藤村ヒューム管 (株) 技術営業部主任 田村 淳也

1 はじめに

新潟県に代表される低平排水不良地域では、地域の過剰水や集中豪雨時の排水対策が不可欠であり、高度経済成長期以降、施工性と経済性の観点から鋼矢板を用いた水利施設が整備された。現在、これらの施設は生活・生産環境の基盤を成すだけでなく、水資源のかん養や洪水防止などの多面的機能を有し、国民の生活基盤としての役割も担う重要な社会資本となっている。

鋼矢板はその材料特性により、供用開始直後から腐食反応が進行し断面が減少する。特に干満帯付近 (灌漑期と非灌漑期とで水面の高さが変動して、水面上に露出されたり水面下に沈降したりすることが繰り返される部分) では、早期に腐食が顕在化する (図-1)。腐食の進行による断面欠損を放置すると、鋼矢板の強度が低下して、倒壊などにより水路としての機能を果たさなくなることから、腐食対策が急務な技術的課題である。鋼矢板水路の設計では、供用期間中の腐食による断面減少を考慮し、断面減少後も構造安全性が確保できるように表裏あわせて2 mmの腐食代を設定している¹⁾。しかし、干満帯付近で局所的に進行する鋼矢板の腐食実態を踏まえると、腐食代が一定程度残存する段階から腐食対策を行う必要がある。

近年、既存施設の維持管理の重要性が広く認識されるようになり、産学官連携を積極的に促

す組織的取り組みも進められている²⁾。本報では、筆者らが取り組んできた「産学官連携に基づく腐食鋼矢板水路の迅速再生技術」であるストパネ工法の開発事例について概説する。

2 鋼矢板水路の迅速再生技術の開発

鋼矢板水路の腐食対策は、これまで主に有機系ないし無機系被覆材を腐食鋼矢板表面に塗布する技術が採用されてきた。被覆材の材料的特徴から、過湿条件や漏水がある場合、水路施設では施工が困難になる。加えて、従来工法では腐食層を完全に除去できない場合、被覆材の剥離や耐久性の低下が顕著になるなどの問題点が顕在化していた (図-2)。

これに対してストパネ工法は、耐久性に信頼性のある汎用資材のコンクリートに着目し、既設鋼矢板とプレキャストパネル (以下「PCa パ



図-1 鋼矢板水路の腐食と断面欠損

ネル」と記す)との間にコンクリートを充填し複合材とする表面被覆工法である(図-3)。被覆コンクリートの前面に残存型枠の機能も有するPCaパネルを配置することで、水利環境下における施工性が向上し、更にPCaパネルが有する密実度高強度な特性から供用後の流水摩耗の低減、耐凍結融解性の向上など長期耐久性を有することが確認されている³⁾。また、載荷試験によりコンクリート被覆が鋼矢板水路の耐力向上に寄与することを確認しており、今後補強工法としての発展も期待される⁴⁾。

ストパネ工法は、鋼矢板表面をコンクリートで被覆するため通水断面は減少するが、表面が平滑なPCaパネルを採用することで粗度係数が向上し、流下能力は補修前の施設と同等かそれ以上となる(図-4)。また、PCaパネルは、部材が薄く軽量であることから人力施工が可能で、都市化の進展により大型機械が進入できない狭隘な都市河川や橋梁下などでも施工可能で、幅広い護岸形式や現場条件に適用できる(図-5)。表面被覆材としてコンクリートを用いることの利点は、ライフサイクルコスト(以下「LCC」と記す)の低減のみならず、コンクリートのアルカリ性が鋼矢板の腐食進行を抑制する効果も期待できることにある。

3 補修後施設の水利特性

本技術の適用により粗度係数の低減が図られるが、これにより流速の上昇が予想され、河床が土砂である鋼矢板水路においては河床洗掘の影響が懸念される。この影響を確認するため、施工前後の2つの模型水路を製作し、流況比較試験を実施した。模型水路は、新潟県内で供用されている鋼矢板水路の平均的な断面寸法(幅4.0m×高さ2.0m)の1/5スケールに設定し、施工前後の水路をモデル化した(図-6)。施工前は



図-2 表面被覆材の再劣化事例

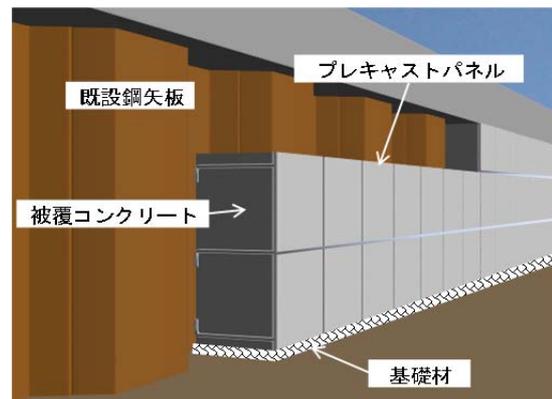


図-3 ストパネ工法概念図

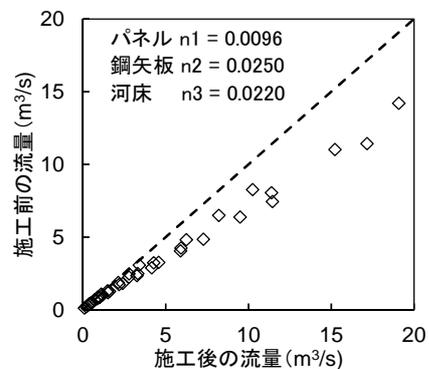


図-4 施工前後の流量比較



(A) 大断面の水路

(B) 狭隘で曲線的な水路

図-5 ストパネ工法による補修事例

鋼矢板水路を模した水路であり，施工後は補修後を模した PCa パネル被覆水路である．両模型水路の幅が異なるのは，既設水路の鋼矢板表面に PCa パネルを被覆する場合の通水断面の減少量を考慮したためである．模型水路の勾配は 1/1000 とし，施工前後の両模型水路にて，同一流量を流下させた場合の流速，水深および合成粗度係数を測定した．測定結果を表-1 に示す．結果，流下能力は施工後の模型水路において合成粗度係数の低減と流速の向上が確認された．

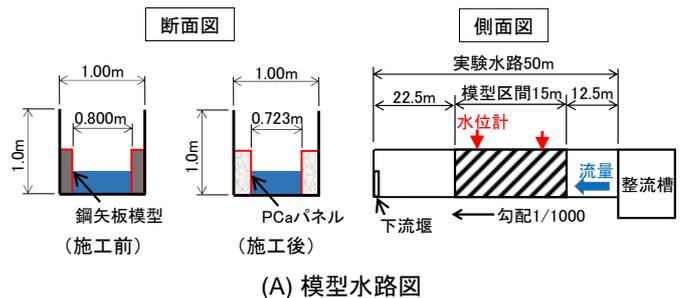
次に河床洗掘の影響を確認するため土砂掃流性を確認した．模型水路の渠底には，けい砂 5 号 (1.18 mm 通過 0.075 mm 止り) を厚さ 50 mm で敷詰めた．一定時間流水 ($Q = 0.07 \text{ m}^3/\text{s}$, $t = 390 \text{ min}$) を続けた後，けい砂の流下量を確認した．

表-2 に示す試験結果より，施工後の模型水路では，けい砂の流下率の低減効果が確認された．施工後の模型水路において，流速の上昇に反して砂の流下率が低減した要因として，施工前は鋼矢板の凹凸形状部での水流の乱れを起因とする砂の巻上げによる浮遊砂の流下が見られたのに対して，施工後は護岸の平滑化に伴う整流化によって巻上げによる浮遊砂が減少し，流下が抑制されたものと推察される (図-7)．

以上より，本技術を適用する際には，渠底土砂の下流域への流出抑制効果が期待できることが示唆された．このことから，下流域にある排水機場等における土砂堆積の低減に繋がり，施設管理者の維持管理作業の軽減にも寄与することが期待される．

4 流水条件下での迅速施工法の検討

鋼矢板水路の補修作業にあたっては，水路内の流水を切廻して作業範囲を締切る仮排水対策 (仮締切) が必要となる．灌漑期，非灌漑期で



(A) 模型水路図



(B) 試験状況

図-6 流況確認試験

表-1 流下能力試験の結果

	流量 (m^3/s)	0.02	0.04	0.06
施工前 (鋼矢板水路)	流速 (m/s)	0.078	0.142	0.200
	合成粗度係数	0.1388	0.0792	0.0581
	流速 (m/s)	0.088	0.162	0.227
施工後 (Co被覆水路)	流速 (m/s)	0.088	0.162	0.227
	合成粗度係数	0.1214	0.0689	0.0509

表-2 土砂掃流性の確認結果

項目	施工前 (鋼矢板水路)	施工後 (Co被覆水路)
砂の敷設重量	912 kg	821 kg
砂の流下重量	63 kg	22 kg
砂の流下率	6.9%	2.7%

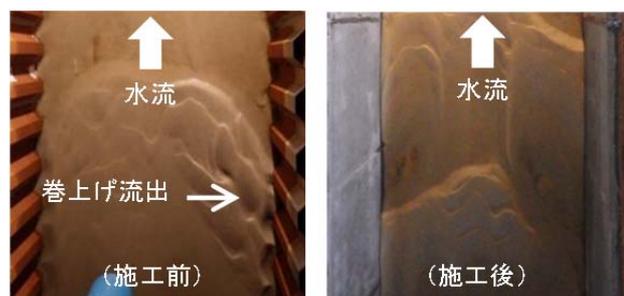
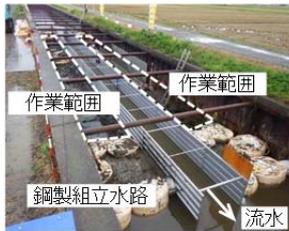


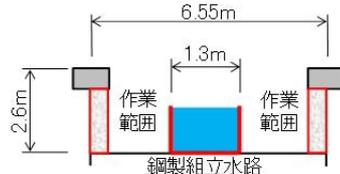
図-7 河床の砂紋分布状況



図-8 鋼製組立式仮設水路の設置状況



(A) 実証試験状況



(B) 実証試験断面図

図-9 鋼製組立式仮設水路の実証試験

表-3 鋼製組立式仮設水路の効果
(延長 100m 当り)

項目		鋼製組立式	大型土のう	低減率
経済性	仮締切工費	604.6 万円	676.2 万円	11%
	産廃処分費	2.2 万円	65.5 万円	97%
工程短縮	仮締切工	5 日	22 日	77%
	補修工	40 日	80 日	50%

水位変動を繰り返しながら、常に流水環境にある水路内では、気象や水利条件に影響されずに施工環境が確保できる仮締切方法が求められる。本技術では、効率的な仮締切方法として鋼製組立式仮設水路を現地実証試験に適用し、従来の大型土のうによる仮締切に対する経済性および工程短縮の低減効果について検証した。図-8に設置状況、図-9に実証試験の概要を示す。表-3の検証結果から、経済性効果として仮締切工の設置費が 11%低減すること、産業廃棄物の処分費が 97%低減することを確認した。工程短縮効果として仮締切工の設置日数が 77%短縮することを確認した。また、鋼製組立式仮設水路は、左右岸同時に施工することができるため、補修に関わる工程を 50%短縮することができた。

5 おわりに

本報では、喫緊の課題である鋼矢板水路の腐食問題に対する補修対策として、施工性および耐久性に優れた PCa パネルを活用したストパネ工法の有効性を報告した。

今後、既設の鋼矢板水路において LCC の低減を図りながら施設の長寿命化を試みる際には、LCC の低減と水理性能の向上を同時に実現できるストパネ工法の有効性は高いと思われる。また、鋼製組立式仮設水路を活用することで、経済的かつ効率的な仮締切工が可能となる。

謝辞

技術開発を進めるにあたり、新潟大学自然科学系（農学部）鈴木准教授および（独）農研機構・農村工学研究部門水利工学研究領域 樽屋ユニット長より、丁寧かつ熱心なご指導を賜りました。ここに感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 国土交通省北陸地方整備局：設計要領（河川編），pp.I-45-I.49，2016。
- 2) 鈴木哲也：鋼矢板水路の迅速再生工法の開発，産学官連携ジャーナル，Vol.13 No.5，2017。
- 3) 長崎文博，鈴木哲也，樽屋啓之，小林秀一，田村淳也：プレキャストパネルを活用したコンクリート被覆に基づく腐食鋼矢板水路の迅速再生技術の開発，ARIC 情報，Vol.126，2017。
- 4) 長崎文博，鈴木哲也，小林秀一，佐藤弘輝：コンクリートを被覆した鋼矢板の曲げ特性評価に関する研究，セメント・コンクリート論文集，Vol.67 No.1，pp. 521-528，2013。

信濃川下流における環境に配慮した河道掘削の取組

北陸地方整備局 信濃川下流河川事務所 調査設計課 ○青木 崇
 調査設計課長 木伏 重男
 調査設計課係長 若杉 康夫

1 はじめに

信濃川下流では、「信濃川水系河川整備基本方針」を平成20年6月に策定し、計画高水流量を安全に流下させるため、堤防整備と河道掘削により、流下能力を確保していくこととしている。河道掘削にあたっては、治水・環境機能の両面から一体的な河道計画を立てて掘削を実施しているところである。

また、国土交通省ではi-Constructionの取組である「ICT技術の全面的な活用」を推進しており、信濃川下流では、河道掘削工事においてICT土工により実施している。

本稿では、環境に配慮した河道掘削の概要と、ICT土工による河道掘削の事例と課題について報告する。

2 環境に配慮した河道掘削の概要

2.1 信濃川下流域の概要

かつて信濃川下流は、広大な水面とその流域の平野部には潟湖が多数存在する低湿地帯が形成され、生物の生息・生育場として自然豊かな環境が存在したと考えられる。

現在では、宅地・水田等の開発が進み、その多くが消滅した。また、河道内もその多くが耕作地として利用されているため、河道内の湿地環境は水際部の樹林地やわずかに残されたワンド、クリークなどの限られた範囲のみとなり、生物の生息・生育場としての機能は単調化している状況である。

2.2 河道掘削による湿地環境の創出

信濃川下流管内における河道部の水際は、深く掘れた形状をしており、水際部のエコトーンは非常に狭い範囲となっている。河道掘削により、多様な植生が生育可能なエコトーンの拡大とそれに伴う多様な生物生息環境の創出が期待される（図-1）。

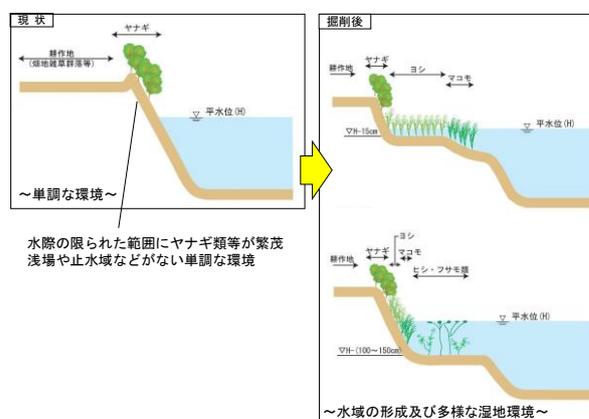


図-1 湿地環境の創出のイメージ

生物生息環境の創出の効果は、多くの生物の生息場、隠れ場の創出による生物多様性の向上と個体数の増加、生態系ピラミッドの充実と拡大、広域エコロジカルネットワークの中継地点としての機能（図-2）などである。

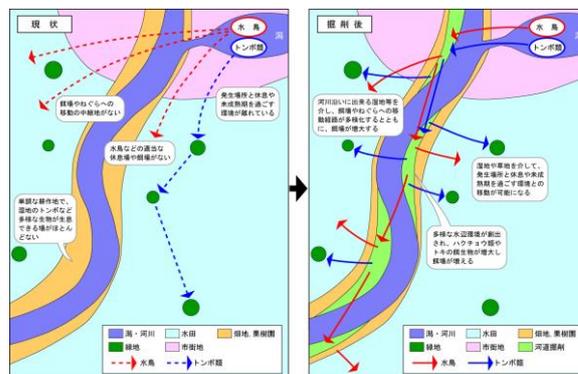


図-2 エコロジカルネットワーク中継地点

2. 3 山島新田地区の河道掘削計画

ここでは、信濃川下流山島新田地区の河道掘削計画について述べる。概要は、以下のとおりである。

- 対象：山島新田地区（信濃川下流右岸 30.5k 付近～32.5k 付近）
- 範囲：延長 1,440m，最大幅約 100m

掘削計画では、河道掘削の諸元設定のために、信濃川下流域を利用する生物から環境指標種を選定してこれらの生態を考慮したほか、取水施設に配慮した掘削形状とした（図-3）。掘削形状は、主に以下の4つの環境を想定して河道掘削計画を策定した。

（1）基本形状となる浅場

基本形状は、水生植物の形成や水鳥の利用に配慮して、平水位-30cm～-50cmとする浅場・緩流域の環境を想定した（図-4）。

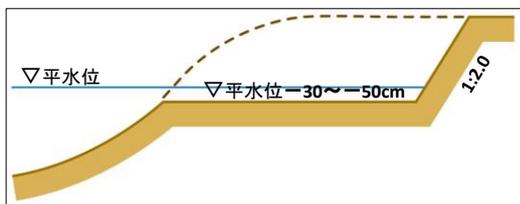


図-4 横断面イメージ

（2）ポンプ取水機能の確保を兼ねた水生生物の生息場となるクリーク状の深場

近傍にある取水施設のポンプ取水機能の確保を兼ねた、平水位-190cmのクリーク状の深場を形成し、本川側法面勾配 10 割の緩やかな勾配で、水生生物の多様な生息場となる環境を想定した（図-5）。

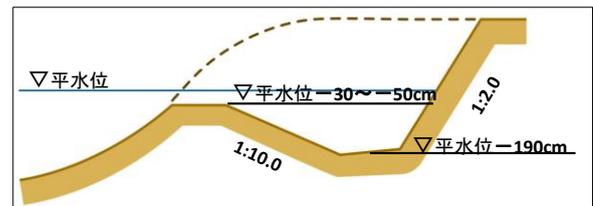


図-5 横断面イメージ

（3）渇水時に水生生物の生息場となる深場

平水位-30cm～-50cmの浅場の一部に、両側の法面勾配 10 割で平水位-70cmの深場を設け、渇水時の水生生物の生息環境としての機能を持つ止水域・緩流域の環境を想定した（図-6）。

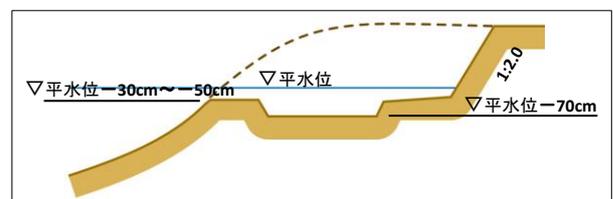


図-6 横断面イメージ

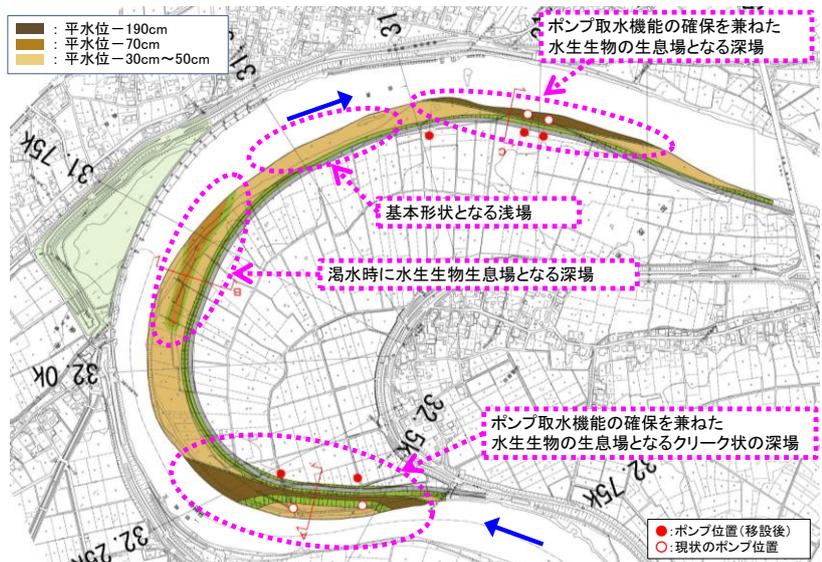


図-3 山島新田地区河道掘削の平面計画

(4) ポンプ取水機能の確保を兼ねた水生生物の生息場となる深場

近傍の取水施設のポンプ取水機能を確保するため、平水位-190cmに掘り下げ、掘削幅が約40mと狭いため水路状ではなくオープンな深場の環境を想定した(図-7)。

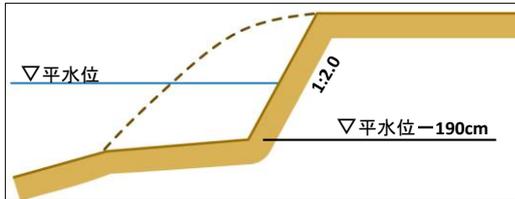


図-7 横断面イメージ

3 山島新田地区の河道掘削工事 (ICT土工)

3.1 河道掘削工事の概要

河道掘削工事では、河道掘削計画にて設定した掘削形状について、経験の浅いオペレータでも正確に施工できるICT土工を活用している(写真-1)。概要は、以下のとおりである。

○対象工事 : 山島新田地区河道掘削工事
その2~10工事 (全9工区)

○全体数量 : $V=346,200\text{m}^3$



写真-1 信濃川下流 山島新田地区

3.2 ICT土工の流れ

ICT土工は、三次元起工測量、三次元設計データ作成、ICT建設機械による施工、三次元出来形管理等の施工管理、三次元データの納品といった流れで行った(図-8)。

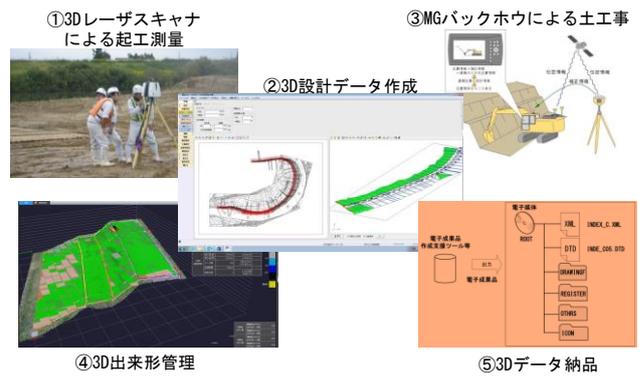


図-8 ICT土工の一連の流れ

(1) 三次元起工測量

本工事における三次元起工測量は、UAVによる空中写真測量(以下、「UAV写真測量」という。)と3Dレーザスキャナによる測量(以下、「3DLS」という。)により行った。また、水中部の測量には三次元測量が適用できないため、従来のトータルステーション測量(以下、「TS測量」という。)を用いた。

なお、UAV写真測量と3DLSとで同一範囲を測量したところ、掘削土量はUAV写真測量の $52,230\text{m}^3$ に対し、3DLSでは $52,258\text{m}^3$ と、ほとんど差異は見られなかった。

(2) 三次元設計データ作成

出来形管理の基準となる三次元設計データは、三次元測量の結果や、設計図の二次元の平面図・縦断図・横断図を組み合わせ、ソフトウェアを用いて作成した(図-9)。

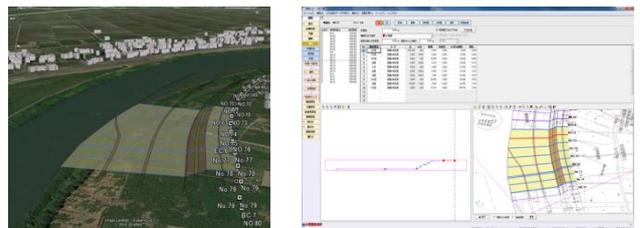


図-9 三次元設計データ

本工事での水中部の掘削は、ICT建設機械

吸水性泥土改質材「ワトル」

五洋建設株式会社 土木部門土木 2020 事業部 専門部長 和栗 成樹

1 はじめに

吸水性泥土改質材「ワトル」は、吸水性の高いペーパースラッジ焼却灰（PS 灰）を主原料とした泥土改質材である。PS 灰に補助薬剤と反応水を添加し混合攪拌後に乾燥処理を施した泥土改質材である。ワトルを高含水の泥土に添加混合することで、ワトルが速やかに泥土中の水分を吸水し、泥土は土状もしくは砂状に改質される（写真－1）。



写真－1 ワトル瞬時改質

また、従来のセメント系や石灰系改質材を用いた場合、改質土は高アルカリを示すが、ワトルによる改質土は時間経過とともに中性域となり、植生土等への再利用が可能となる。吸水改質なのでセメント系や石灰系改質材では改質が困難な有機質土にも有効である。更に、PS 灰の持つ多孔性により腐臭を発する泥土に添加すると臭気を吸着し低減する特徴を併せ持つ。

河川、湖沼、港湾の浚渫土や建設汚泥、軟弱残土の地盤材料としての再利用。また、これらのダンプトラックでの早期運搬を可能とする泥土改質材である。軟弱地盤のトラフィカビリティ確保にも利用できる。

本報では以上の特徴の検証結果を報告するとともに、建設現場での適応事例を紹介する。

2 ワトルの特徴

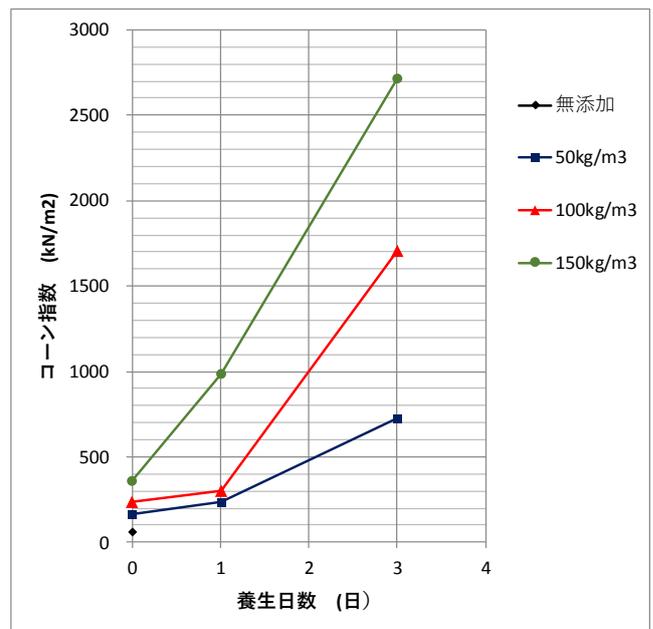
2.1 改質土の強度特性

ワトルを添加した泥土の強度増加は二段階で構成される。添加直後はワトルによる吸水改良が効果を発揮し、その後の時間経過（養生時間）とともに、ワトルに含まれる補助薬剤により水和物を形成し強度が増加する。

本項では含水比の異なる2種の泥土に対し、ワトルの添加量別の時間経過による強度増加の測定結果を示す。表－1 および図－1 は含水比46%の泥土の改質結果、表－2 および図－2 は含水比82%の泥土の改質結果を示す。

表－1 コーン試験結果（含水比46%）

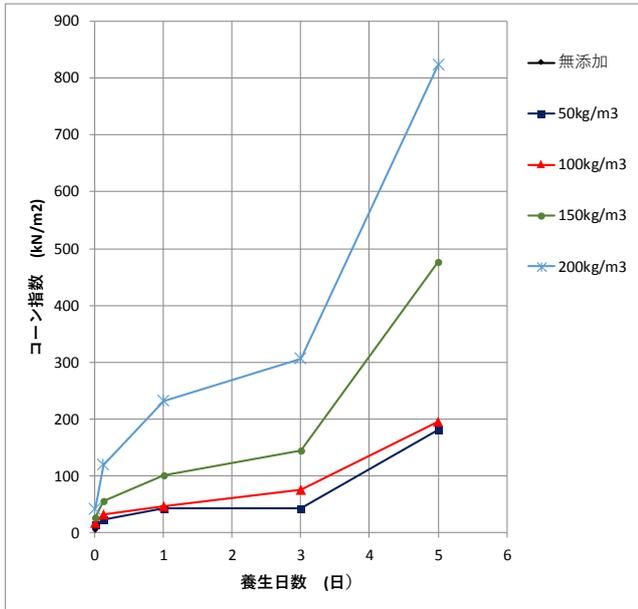
ワトル添加量		無添加	50kg/m ³	100kg/m ³	150kg/m ³
コーン指数 (kN/m ²)	添加直後	58	168	236	356
	1日養生後	—	235	305	988
	3日養生後	—	725	1708	2715



図－1 コーン試験結果（含水比46%）

表－２ コーン試験結果（含水比 82%）

ワトル添加量		無添加	50kg/m ³	100kg/m ³	150kg/m ³	200kg/m ³
コーン指数 (kN/m ²)	添加直後	5	14	19	28	42
	3時間養生後	—	23	32	55	120
	1日養生後	—	43	47	101	233
	3日養生後	—	43	75	145	307
	5日養生後	—	181	196	476	823



図－２ コーン試験結果（含水比 82%）

ダンプトラックで運搬できる土のコーン指数は 200kN/m²程度である。含水比 46%泥土の場合泥土 1 m³あたりワトルを 100kg 添加するとコーン指数は 236kN/m²となり、添加直後にダンプトラックでの運搬が可能となる。同様に含水比 82%泥土では 200kg 添加の場合、添加翌日にはコーン指数 233kg/m²となり、添加翌日の運搬が可能となる。

養生期間を確保すればワトルの持つ水和反応によりコーン指数は増加し、第二種改良土以上（qc=800kN/m²以上）の強度となる。事前配合試験において、建設現場での土砂仮置場の有無や目標強度を勘案したワトル添加量を設定する。

2. 2 有機質土の改質効果

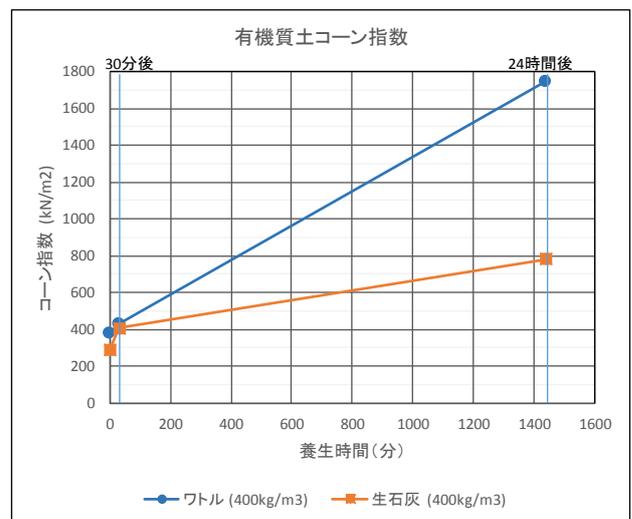
有機質土に含まれるフミン酸やフルボ酸はセ

メントや石灰の水和反応を阻害し改質効果が低下する。ワトルは物理的な吸水改質作用があるため、化学的改質であるセメントや石灰では困難な有機質土の改質に有利となる。

表－3 および図－3 は含水比 300%、強熱減量 22.6%の有機質泥土 1 m³に対し、ワトルおよび生石灰をそれぞれ 400kg 添加しコーン指数を計測した結果である。24 時間後のコーン指数はワトル改質土 1,745kN/m²、生石灰改質土 782kN/m²であった。生石灰と比較しワトルは有機質土に対して有効である。

表－3 有機質土の改質効果

		ワトル (400kg/m ³)	生石灰 (400kg/m ³)
コーン指数 (kN/m ²)	添加直後	379	286
	30分養生後	429	406
	24時間養生後	1745	782



図－3 有機質土の改質効果

2. 3 改質土の pH

従来のセメントや石灰系改良材で改質した土砂は pH12 以上の高いアルカリを示す。これら改質土が降雨等に曝された場合、高アルカリ水が流出し河川や周辺植生への影響が懸念される。

ワトル自体の pH は 10～11 程度のアルカリ性材料である。混合当初は改質土の pH が 10～

11 となるが、改質土を気中養生することで pH は徐々に低下し pH8.5(環境基準)以下となる。

図-4 にワトル改質土と生石灰改質土の pH 測定結果を示す。軟弱泥土 1 m³ に対しワトルおよび生石灰をそれぞれ 150kg、250kg 添加した改質土の pH を時間経過とともに測定した。生石灰改質土は pH12 以上の高アルカリを維持する。一方、ワトル改質土は 10 日程度で環境基準値 pH8.5 以下となる。気中養生の条件にもよるが、ワトル改質土は時間経過とともに改質土が中性化の特徴を持つ。早期の中性化には、養生中の改質土のバックホウ等によるかき上げが有効と推測する。

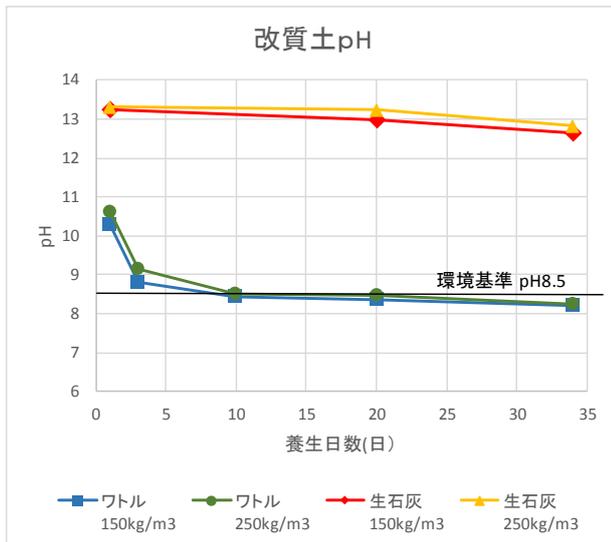


図-4 改質土 pH 測定結果

2. 4 臭気低減効果

湖沼や港湾の浚渫土には腐臭を発する泥土がある。これらを陸揚げすると腐臭は周囲に拡散し周辺環境に影響を及ぼすことが問題となる。ワトルの主原料である PS 灰は、その多孔質性により臭気を吸着する作用がある。腐臭を発する泥土にワトルを添加することで、改質土の臭気低減を図ることが可能である。

表-3 および図-5 は原泥、ワトル改質土、生石灰改質土の臭気指数の測定結果である。港

湾の底質土を対象にワトルおよび生石灰をそれぞれ泥土 1 m³ に対し 200kg 添加した。原泥、ワトル改質土、および生石灰改質土について、改質当日および翌日に臭気指数を測定した。原泥は陸揚げ直後の臭気指数は 15 であるが、気中放置した翌日には泥土に皮膜する水分が減少し臭気指数は 23 と増加した。生石灰改質土は添加直後に高熱を発生し臭気が増加する傾向が見られ、翌日の臭気指数も 21 と変化が無い。一方、ワトル改質土は改質当日の臭気指数が 12、翌日が 6 となり臭気の低減効果が認められた。なお、悪臭防止法での規制範囲は工業用に供されている地域で 21 以下、その他の地域で 18 以下とするのが適当とされている。

表-3 臭気指数測定結果

	原泥	ワトル 200kg/m ³	生石灰 200kg/m ³
改質当日	15	12	21
改質翌日	23	6	21

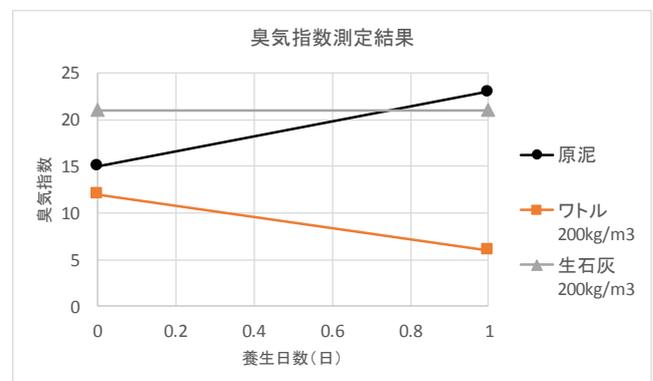


図-5 臭気指数測定結果

3. 建設現場での適応事例

3. 1 地盤改良工事

茨城県内で既存の田圃を駐車場に造成する工事である。既存の田圃表土では路床としての強度が不足するため、ワトルで路床改良を行った。周辺は耕作中の田圃に取り囲まれており、セメントや石灰で改良した場合、改良土からの

流出水は高アルカリとなる。このため、中性固化材であるワトルを使用し路床改良を行った。所定量のワトルを表土に敷き均しスタビライザーで攪拌混合する工法とした。施工状況写真を写真－2および写真－3に示す。



写真－2 敷き均し



写真－3 混合攪拌

3. 2 港湾浚渫土改質

茨城県内の発電所港内浚渫工事において、浚渫土を発電所構内に陸揚げし速やかに陸送により構内利用場所まで運搬する工事である。浚渫土は含水比が高く、現状ではダンプトラックによる陸送が不可能である。よって、浚渫土の改質が必要となるが、陸揚げ後の改質エリアが狭く、浚渫土改質後翌日にはダンプで運搬できる強度の確保が必要であった。瞬時改質が可能なワトルの使用で課題解決に至った。ポンドに投入した浚渫土にワトルを添加し、バックホウで攪拌混合し改良を行った。施工状況写真を写真－4および写真－5に示す。



写真－4 改良エリア



写真－5 改良状況

3. 3 トラフィカビリティ確保

東京都内の漁港防潮堤改良工事において、漁港周囲の防潮堤を建設する工事である。漁港入出港部の水門を締め切り、漁港内の海水を排水した後重機を搬入し防潮堤を構築する。排水後の底質土は含水比が高く、現状では重機の搬入

が不可能である。底質土をワトルで改質し重機のトラフィカビリティ確保を図った。工期短縮のため改質した部分に直ちに重機が前進するため、瞬時の改質が必要であった。また、漁港内の止水域の底質土であるため、腐臭が激しく有機分を多量に含む。消臭効果と有機質土改質も使用目的の一つである。施工状況写真を写真－6および写真－7に示す。



写真－6 現場全景



写真－7 混合攪拌

3. 3 湖沼護岸の構築

千葉県印旛沼の護岸築造の試験工事において、陸揚げされた浚渫土により湖沼の緩斜護岸を構築するものである。岸部の底質土を改質し重機足場とした後、改質した浚渫土を撒き出し緩斜護岸を構築するものである。重機足場構築のための瞬時改質と、中性域で緩斜護岸形状を維持できる強度の必要性からワトルの使用に至った。施工状況写真を写真－8および写真－9に示す。



写真－8 浚渫土改質



写真－7 撒出し

4. おわりに

昨今、泥土の再利用にあたり環境に配慮した改質材が求められている。建設残土の処分先が逼迫している現在、ワトルはそれらの要望に対し十分貢献できると考える。

第2会場

第Ⅱグループ

「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 主任 倉地 勇二

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土木、港湾および建築分野の新技術を募集し、新潟県が発注する工事に使用した結果を含めて広く情報提供を行う制度である。県内企業が開発した新技術の普及と活用を促進することで、県内建設関連産業の活性化に資することを目的としており、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

このような状況のもと、新潟県では、「第三次・新潟県建設産業活性化プラン」を策定し、建設産業の優れた技術と経営を確保するとともに、地域の守り手として持続的に発展していくため、官民一体となって取り組んでいる状況である。

新潟県の建設産業は、地域発展の基盤となる社会資本の整備等を担うとともに、災害対応や除雪などの地域の安全・安心の確保に重要な役割を果たし、また、これを通して地域経済や雇用を支えるなど、本県にとって欠かすことのできない主要な産業である。

一方で、長らく建設投資の減少が続いており、新潟県土木部予算も同様の傾向(図-1)にある。また、将来を担う人材不足などにより、建設産業は厳しい経営環境に置かれている。

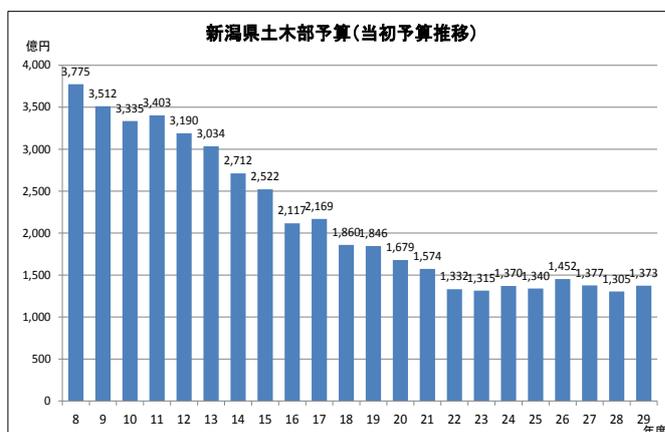


図-1 新潟県土木部予算の推移

2.2 制度の意義

新潟県内の建設関連企業は、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の普及・活用を促すことは、開発企業の経営基盤の強化につながり、地域の守り手である建設産業の活性化や、ひいては地域住民の安全・安心につながる。

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 技術の申請要件

本制度への登録を申請できる技術は、以下のすべての要件を満たす技術としている。

- 申請者は、主たる営業所(本社・本店)が新潟県内にある民間事業者

- 申請者が単独または共同で開発した新技術
- 土木、港湾および建築の工事等現場に活用できる新技術
- 普及が見込まれる新技術
- 実用化されている新技術

3. 2 登録審査

登録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、登録の可否を審査する。

3. 3 「普及制度」と「活用制度」

本制度は「Made in 新潟 新技術普及制度」と「Made in 新潟 新技術活用制度」の2つで構成される（図-2）。

「普及制度」は、評価委員会の審査で登録適当とされた新技術を登録し、登録した技術の情報をホームページ等で公表し、広く一般に提供することで、新潟県、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。

「活用制度」は、登録新技術を新潟県や対象市町村が発注した工事で活用して得た効果を調査し、評価委員会で評価した結果をホームページ等で公表し、広く一般に提供することで、他の工事での活用や技術改良を促す制度である。

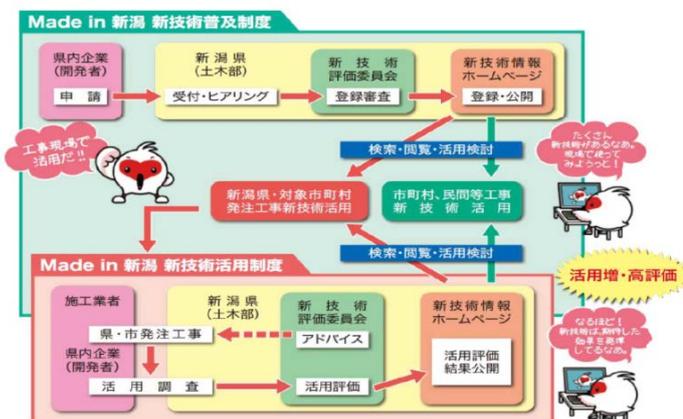


図-2 制度の概要

3. 4 登録技術の称号

登録技術の中で、活用評価結果が良好で、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」に認定している。ゴールド技術に認定することにより、当該新技術の信頼性を高め、普及と活用をさらに促進することを目的としている。

また、ゴールド技術の中でも、特に優れた技術で、全国的な需要が期待できる技術を評価委員会が選定し、「Made in 新潟 プラチナ技術」に認定している。プラチナ技術に対し、新潟県標準歩掛の整備や県単価表への単価掲載等の標準化支援を実施している。また、開発企業に対し、県外見本市への出展費用や県外デモ施工費等を補助する販路開拓支援事業により、県外販路開拓を支援することで、新技術を『広く普及した技術』へと昇華するよう後押ししている。



図-3 ロゴマーク

4 登録状況と活用実績

4. 1 登録状況

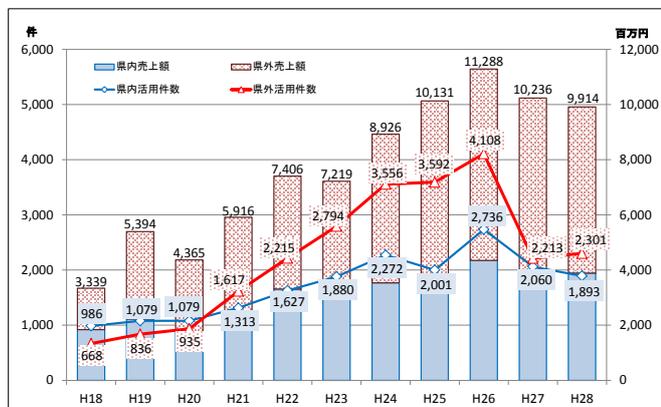
平成29年8月31日現在の登録技術数は188技術（土木168技術、建築20技術）となっている。また、登録技術のうち17技術がゴールド技術に認定されており、17技術のうち8技術がプラチナ技術に認定されている。

4. 2 活用実績

平成18年度から平成28年度までの登録技術の活用件数および売上の推移を示す。（図-4）

平成18年度の制度創設から平成28年度までの累

計の活用件数は約 44 千件、売上額は約 840 億円となっている。また、平成 28 年度の売上額約 99 億円のうち、6 割以上が県外での売上げであり、登録技術が全国で活躍している状況がうかがえる。



図－4 登録技術の活用・売上状況

5 普及・活用に向けた取組

5.1 県内イベントの開催

本制度及び登録技術について、新潟県内での知名度を高め、登録技術の県内の普及と活用を図るため、「Made in 新潟 新技術展示・発表会」及び「Made in 新潟 新技術説明会」を毎年開催している。

「展示・発表会」は毎年 11 月に主に朱鷺メッセコンペティションホールで開催し、約 80 技術の展示会と約 10 技術の技術発表や特別講演を行うイベントで、約 400 名の来場がある。

「説明会」は毎年 1～2 月に上中下越の 3 会場で 13 技術の技術説明を行うイベントで、3 会場合計約 400 名の来場がある。

5.2 県外見本市への参加

県外での本制度及び登録技術の知名度を高め、県外での普及と活用を図るため、県外で開催される建設見本市へ登録企業と合同で出展を行っている。平成 29 年度は仙台市、東京都、熊本県、名古屋市で開催される見本市への出展を行い、新潟県の有用な新技術を PR した。

5.3 新潟県発注工事での活用に向けた取組

登録技術の信頼性を高め、また、更なる技術改良を行うためには、新潟県が発注する工事で積極的に活用する必要がある。そのため、工事の各段階で下記の取組を実施している。

設計段階① 本制度や NETIS 等の新技術・新工法を積極的に活用・検討することを新潟県標準仕様書に位置づけ

設計段階② 概略設計業務、予備設計業務等の比較検討案の選定において、本制度の登録技術を含めることを特記仕様書により義務づけ

入札段階 総合評価落札方式において、本制度の登録技術の活用を提案した場合に加点

施工段階 受注者の提案で登録技術を活用した場合に工事成績評定時に加点

6 おわりに

建設産業は社会資本の整備を担い、災害対応等の地域の安全・安心の確保に重要な役割を果たす本県にとって欠かすことのできない主要な産業である。一方で、建設産業が置かれている厳しい経営環境のもと、建設産業が持続的に発展していくための様々な取組が官民一体で行われている。

建設工事における新技術の導入は、建設産業全体の技術力を高め、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もある。新潟県では「Made in 新潟 新技術普及・活用制度」により県内企業が開発した新技術の普及と活用を促し、地域の守り手である建設産業を活性化させていきたいと考えている。

最後に、本制度に登録されている新潟県の有用な新技術について、「Made in 新潟 新技術」のホームページで広く情報提供しているので、是非一度ご覧いただければ幸いです。

Made in 新潟 [検索](http://www.shingijutu-niigata.jp/)
<http://www.shingijutu-niigata.jp/>

高い浸透性能を発揮する「極超微粒子セメント注入材料」

日特建設(株) 技術本部 設計部 竹内 仁哉

1 はじめに

液状化対策、耐震補強、地盤強化、止水等を目的として薬液注入工法が用いられている。この工法は、ミキサー内で混合した注入材料を地盤内に浸透させて固結させる工法であり、他工法に比べて建設副産物の発生が少なく、施工設備も小規模で済むため利便性が高い。しかし、砂質土地盤に十分に浸透し、かつ強度発現性に優れた注入材料は今まで存在しなかった。そこで高い浸透性、強度発現性、耐久性を有する新しい注入材料を得るために、従来のセメント系注入材料よりも更に粒子径を細かくした極超微粒子セメント注入材料を開発した。本論文では、この極超微粒子セメント注入材料の注入特性と施工事例について報告する。

2 極超微粒子セメント注入材料の特性

2.1 セメント粒子径

極超微粒子セメント(以下 USFC と略す)は、注入材料としての浸透性能を向上させるために、セメント粒子を極力、微細に粉碎・分級する特殊な工程を経ることによって製造されている。図-1 にレーザー散乱・回折法で測定した USFC の粒度分布を示す。図中には、市販の超微粒子セメント(以下 SFC と略す)と普通ポルトランドセメント(以下 OPC と略す)の粒度分布も併記した。図-1 から USFC の平均粒径(D_{50})は $1.5\mu\text{m}$ であり、SFC の $4\mu\text{m}$ に比べて約 $1/3$ 、OPC の $20\mu\text{m}$ に比べて約 $1/13$ と極めて微細なセメント粒子であることが理解できる。写真-1 に USFC と SFC の電子顕微鏡写真(5000 倍率)を示すが、両者の粒子径の差異はより明瞭である。そしてこの粒子径の差異(大小)が、後述のとおり、地盤への

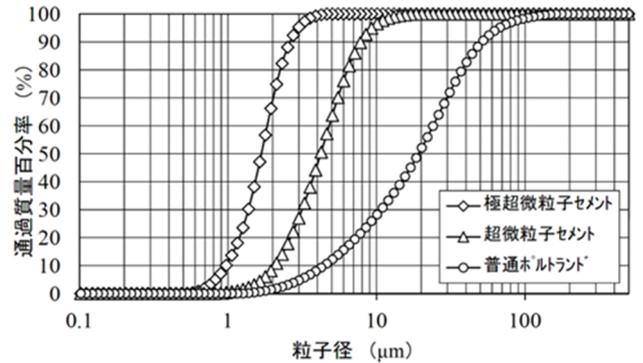


図-1 各種セメントの粒度分布

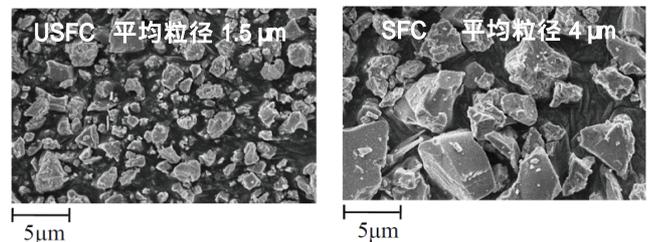


写真-1 セメント粒子の電子顕微鏡写真

浸透に対して大きな影響を与える。

2.2 浸透性能

USFC の浸透性能を評価するために、比較対象として SFC 及び OPC を選定し、写真-2 に示す配合 $W/C=200\%$ のグラウトの自然流下による浸透試験を行った。この試験は容器内に模擬砂層として 珪砂 4 号、豊浦砂、ガラスビーズ (JIS R6001 J-150) の 3 層を設け、試験容器の上部からそれぞれの注入材料を注ぎ各層への浸透状況(浸透可否)を確認して、その注入材料の浸透性能を評価するものである。各砂層の D_{50} および D_{15} を表-1 に、粒度分布を図-2 に示す。また浸透試験に用いた各注入材料の粒子径(G_{50} 、 G_{85})を表-2 に示す。

試験の結果、USFC のみが 3 層を全浸透通過したのに対し、SFC は豊浦砂層と珪砂 4 号層を、OPC は珪砂 4 号層のみを浸透通過した時点で目

詰まり現象が発生し、それよりの下層への浸透は不可であった。この結果から、注入材料に含まれる粒子径が砂層への浸透に大きな影響があること、および最も微細粒子である USFC の浸透性能が最も高いことが理解できる。

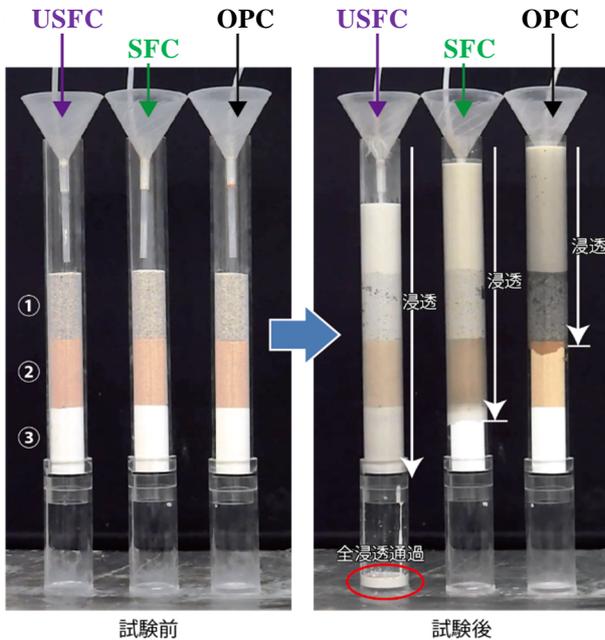


写真-2 自然流下による浸透試験¹⁾

表-1 試験砂層の粒径

粒径	①珪砂4号	②豊浦砂	③ガラスビーズ*
D ₅₀ (μm)	800	230	82
D ₁₅ (μm)	660	190	64

表-2 注入材料の粒子径

粒径	USFC	SFC	OPC
G ₅₀ (μm)	1.5	4.3	17.9
G ₈₅ (μm)	2.1	7.2	41

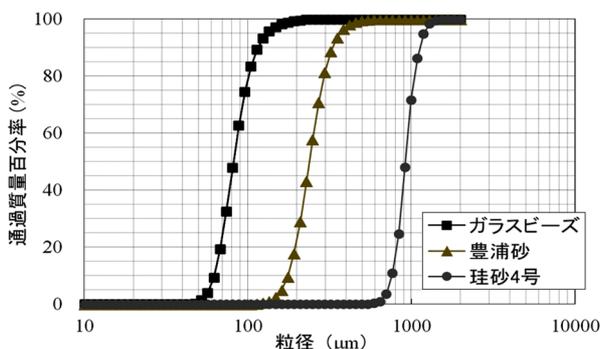


図-2 試験砂層の粒度分布

従来から、セメントグラウトを含む懸濁型注入材料が地盤に浸透するためには、土粒子間隙に対して注入材料の粒子径が十分に小さくなければならないとされている。一般に懸濁型注入材料の浸透限界は、次式に示すグラウタビリティ比(N₁)で判断することが可能である。

$$\text{【浸透する条件】} \quad N_1 = D_{15} / G_{85} \quad 15$$

D₁₅ : 地盤の土粒子の粒径加積曲線の 15% 粒径
 上述の浸透試験に用いた砂層および注入材料からグラウタビリティ比 N₁ の算出値と、浸透試験から得られた浸透可否をまとめると表-3 のようになる。表中の × は N₁ 比から見た浸透可否を示している。N₁ 比と今回の試験結果が整合的であることと同時に、理論上からも USFC の浸透性能の高さが理解できる。

表-3 グ라우タビリティ比 N₁ と浸透試験結果

	USFC	SFC	OPC
①珪砂4号	314 ○	92 ○	16 ○
②豊浦砂	90 ○	26 ○	5 ×
③ガラスビーズ*	30 ○	9 ×	2 ×

3. 野外での極超微粒子セメント注入試験²⁾

自然地盤において、実機を用いた実物大規模の注入試験を通じ、改良体の 3 次元的形状や強度等を確認する目的で野外注入試験を行った。

3.1 野外注入試験の概要

3.1.1 地盤条件

注入試験は千葉県富津市内の沖積層地盤で実施した。事前に
 行った地質調査結果から得られた注入対象地盤の特性を表-4に示す。

表-4 注入対象地盤の特性

土質分類	礫まじり中砂～細砂
細粒分含有率	F _c = 3%
間隙率	n = 36%
相対密度	D _r ≒ 100%
透水係数	k = 4.7 × 10 ⁻⁵ m/s
N 値	N = 17~27

3.1.2 注入試験の諸条件

注入試験孔は 4 孔とし、USFC の配合 (W/C) 及び注入速度は、表-5 のとおりに設定した。充填

率()は、事前に行った室内試験で貧配合条件ほど注入材料の浸透長が短縮した結果を考慮し、通常よりも高い値とした。計画注入量 Q は改良体(球体)の直径を $\phi 2.0\text{m}$ と仮定し、充填率 $\alpha=125\%$ と設定して、次式を用いて算出した。

$$Q = V \times n \times \alpha = (4/3 \times \pi \times 1^3) \times 0.36 \times 1.25 = 1,880 \text{ L/孔}$$

V : 改良体の体積 (m^3)

表-5 野外注入試験の諸条件

注入孔番	W/C (%)	注入速度 (L/min)	充填率 (%)
1	400	15	125
2	800	15	
3	800	20	
4	1200	15	

3.1.3 注入方法

注入に用いた試験用パイプの概要を図-3 に示す。試験用パイプは、孔径約 100mm のボーリング削孔した孔内に、注入区間長 $L=1.0\text{m}$ のストレーナー加工した $\phi 40\text{mm}$ の塩ビ製パイプを挿入した。なお、地表部への注入材料の漏出防止として、布製パッカを注入区間上部に取り付けている。

USFC の注入は、一定速度で行い計画注入量に達した時点で注入完了とした。作業中の注入速度、注入圧力及び積算注入量は、電磁流量計を使用し

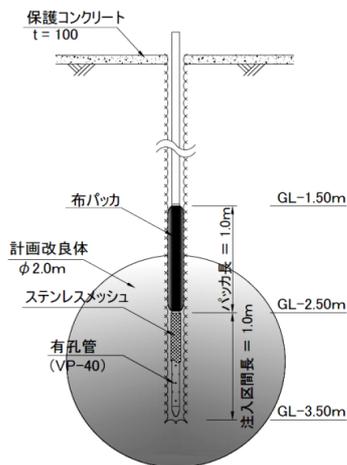


図-3 注入方法の概要図

3.2 野外注入試験結果

3.2.1 改良体の強度

注入完了後、試験孔からそれぞれ 0.25, 0.50, 0.75m 離れた位置でチェックボーリングを行い、採取したコアを用いて一軸圧縮試験(材齢 28 日)を行った。結果を図-4 に示す。特筆すべき事項と

して、1) $W/C=400\%$ は改良体外周部付近(0.75m)でも 7000kN/m^2 以上の高強度を発現した、2) $W/C=800\%$ 以上の貧配合条件でも 3000kN/m^2 以上の強度を有していた、ことが挙げられる。理由は不明であるが $W/C=800\%$ 、 20L/min の試験孔における 0.50m 部の異常高値を除けば、各試験孔における大きな強度差は無く、高強度かつ均質な改良体が造成されたものと推察できる。

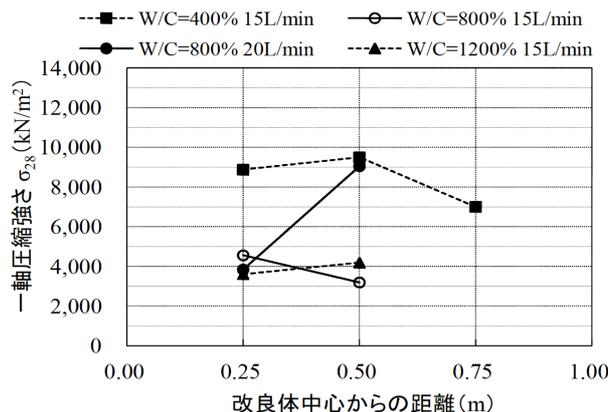


図-4 一軸圧縮強さと改良体中心からの離間距離

3.2.2 改良体出来形

注入完了後、地盤を掘削し改良体の出来形確認を行った。確認した改良体の一例を写真-3 に示す。各試験孔の改良体のいずれも球体状を呈しており、注入材料の割裂脈は無く浸透注入形態で改良されたものと

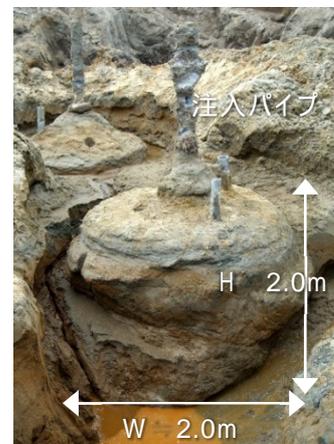


写真-3 改良体出来形 (W/C=400% 15L/min)

推察できた。出来形径は貧配合条件ほど改良体径が小さくなる傾向があり、頭部改良径で比較すると、 $W/C=400\%$ が $\phi 1.9\sim 2.0\text{m}$ 、 $W/C=800\%$ が $\phi 1.8\sim 1.9\text{m}$ 、 $W/C=1200\%$ が $\phi 1.5\sim 1.6\text{m}$ であった。この結果から、 $W/C=400\sim 800\%$ の範囲が適切な改良体径を得られる配合であると判断された。

4 施工事例³⁾

4.1 工事概要

自律制御型振動ローラー「T-iROBO®Roller」の一般工事適用について

大成建設株式会社 技術センター 先進技術開発部○青木 浩章

大成建設株式会社 技術センター 先進技術開発部 片山 三郎

大成建設株式会社 北信越支店 新潟環境エコパーク 3期工事作業所 阿部 祐規

1 はじめに

自律制御型振動ローラー（以下、T-iROBO Roller と記載）は、2012～2014 年度に国土交通省建設技術研究開発助成制度「次世代無人化施工システムの開発」（以下、助成制度と記載）に採択されて開発したものである。11t 級振動ローラーにセンサーや演算装置、あるいはロボット機構等を搭載し、作業計画や現場条件を与えて作業開始を命令するだけで自動走行を実施するシステムである(図-1)。

従来の無人化施工はモニターを見ながら遠隔操作をするため、設備面では作業箇所の状況映し出すカメラ設備や通信設備が多く必要ある。一方、作業面ではカメラ映像を見て操作するため、通常の搭乗操作と比べて運転操作が特殊で、操作できるオペレーターが年々減少し不足してきているという問題点があった(図-2)。この様な課題を解決するため、無人化施工の操作支援ツールとして振動ローラーを自動運転するT-iROBO Rollerを開発した。本システムは、前述した助成制度による開発終了後の2015年度には、国土交通省「次世代社会インフラ用ロボット開発現場検証」において無人化施工現場における適用性評価として7段評価中上位から2位の「活用を推薦する★★」の高評価を得ており、無人化施工において効果があることが示された技術である。

その一方で一般工事に目を向けると、無人化施工同様、人手不足や、熟練技術継承不足といった課題は共通事項として存在する。このため国土交通省においてもi-Constructionと称してICT技術

やロボット技術を活用し建設現場の生産性向上を目指おり、本システムのような自動運転技術も将来を見据えると、生産性向上に大きく寄与すると期待されている技術である。

本論では、無人化施工として発展してきたロボット技術であるT-iROBO Rollerを一般施工に適用した事例を紹介するとともに、適用時の走行精度などについて報告する。

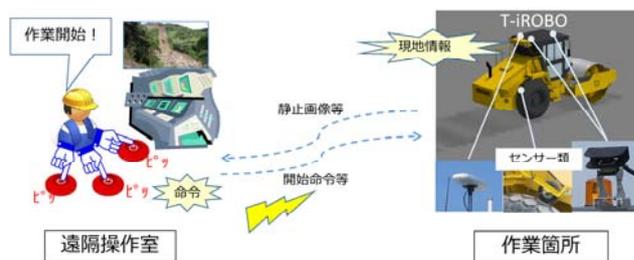


図-1 T-iROBO Roller の概要



図-2 従来の無人化施工

2 T-iROBO Rollerについて

2.1 システム概要

本システムの全体構成を図-3、センサー取付け状況を図-4、操作イメージを図-5 に示す。T-iROBO Roller は、ホスト PC 上で施工範囲などの作業計画を入力しスタートボタンを押すと、

そのデータに基づきレーン数と走行基線（レーンの中心線：黄矢印）を自動構築する。その後、作業開始命令を与えると、自律制御用 CPU が行う制御演算により走行基線に沿って正確に走行する。

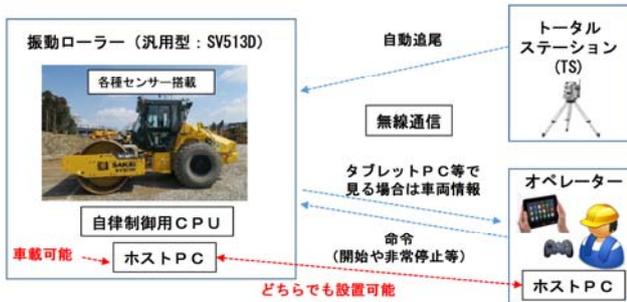


図-3 TiROBO Roller 全体構成



図-4 センサー搭載状況

規製造が殆ど無く、市中台数が少ない。そのため一般工事に展開していくためには、汎用機械に外付けして電制化するシステムが必要であった。そこで、ハンドルやアクセルといった物理的な駆動部分に電制化可能なステッピングモーターを外付けするロボット機構を開発した(図-6、図-7)。ロボット機構は、脱着が容易に可能な機構で、システム搭載した状態においても搭乗操作可能な構造である。



図-6 ハンドル部のロボット機構



図-7 アクセル部のロボット機構

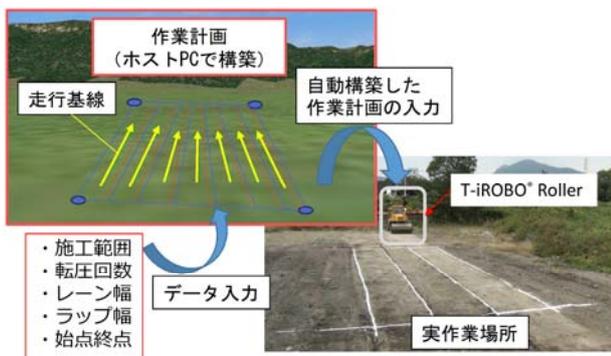


図-5 操作イメージ

2.2 一般工事適用のための改造

2.2.1 自律制御のための電子制御化

自律制御用 CPU による制御信号によって建設機械を制御するには、電子制御化（以下、電制化と記載）対応の建設機械が必要である。助成制度で開発した際に使用した振動ローラーは、製作メーカー純正の遠隔操作型の電制化された機械であった。しかし現在では、当該機械は新

2.2.2 システム対応

T-iROBO Roller は、元々は「遠隔操作仕様」であった。そのため、遠隔操作室などの建設機械から離れた遠隔地にホスト PC を設置し、施工状況や機械の状態は無線通信を介して監視する仕様としていた。しかし、遠隔操作室を配置するのは、設備が過大になり適用に対して障害となるため、一般工事で容易に適用可能にするため、以下の二点を改良した。

①ホスト PC の車載化（遠隔操作室不要）

②ホスト PC を使わない操作・車両情報監視

（ハンディーデバイスによる操作と

電光掲示板による状態監視）

図-8、図-9に遠隔操作仕様と一般工事仕様の全体システムをそれぞれ示す。ホスト PC を車載することで、設置に場所と手間が掛かる遠隔操作室

は不要で、オペレーターはハンディーデバイスを用いて作業開始命令等を与えることができる。この改良により無人化施工でない一般工事においても導入し易くなった。また今まで、ホストPCで監視していた情報は、建設機械に設置した電光掲示板に表示した。これにより作業場所で容易に作業状態を把握できるようになった(図-10)。自律作業する機械と通常作業機械が、近接協働する場合などにおいて適用すれば、作業の「見える化」となり安全性が向上する。



図-8 無人化施工仕様の全体システム



図-9 一般工事仕様の全体システム



図-10 電光掲示板による「見える化」

3 一般土工事における適用事例

3.1 工事概要

工事件名：エコパークいずもごき第3期

最終処分場建設工事 (図-11 参照)

(新潟県三島郡出雲崎町稲川字池ノ尻地内)

工期：2016.4.26～2018.8.31

発注者名：(公財) 新潟県環境保全事業団

工事内容：敷地 5.3ha, 容量約 93.7 万 m³



図-11 現場鳥瞰図

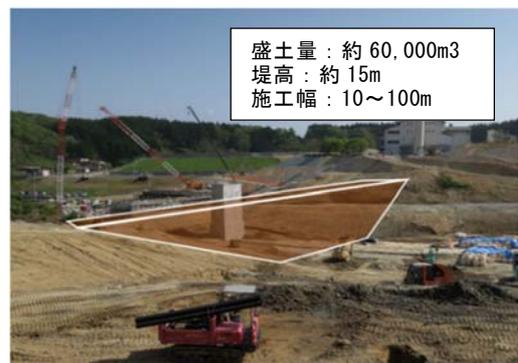


図-12 施工対象箇所

適用箇所は、廃棄物を貯留する埋立箇所の下流側に位置するアースダム形式の貯留構造物を構築する盛土転圧であった。現場は、図-12に示すよう盛土構造物の中央付近にコンクリート製の構造物を有している。T-iROBO Rollerの現行能力では、障害物には一時停止機能のみ考慮されており、障害物を回避する能力が無いため、障害物付近と法肩付近の自律運転は、作業所との協議の上、4t級の小型振動ローラーで有人作業を行うこととした。従って、T-iROBO Rollerは障害物が無い、広範囲な施工部位を担当した(図-13)。



図-13 T-iROBO Rollerによる施工状況

3.2 実施工での適用結果

施工は表-1 の条件にて実施した。転圧対象の土砂は、現場付近の切土残土や外部搬入されたものであり状態は様々であった。転圧後の轍(車輪跡)が 5cm 以上と未満で、図-14、図-15 のように走行精度がやや変化したが、計画基線と実走行の誤差の標準偏差 σ は、10cm 程度という結果であった。

表-1 施工条件

走行速度	3km/h
走行回数	無振動1往復, 有振動2往復
1層の施工面積	約600m ² (80m×7レーン程度)
データ数	約15,000データ/層
締固条件	最大乾燥密度の90%以上

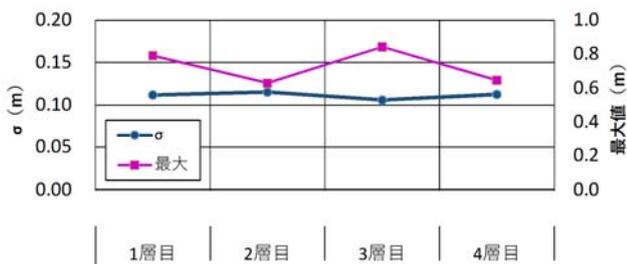


図-14 轍5cm以上の走行精度

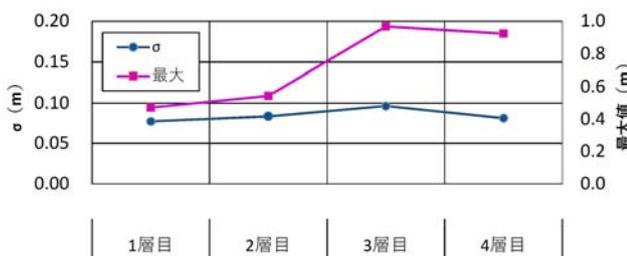


図-15 轍5cm未満の走行精度

4 まとめ

今回工事で T-iROBO Roller と協働したブルドーザーやキャリアダンプの運転手は、施工当初は次層盛土のための準備としての輻輳作業を行わず、自律運転状況を遠くで眺めていたようであった。しかし、何度も安定した自律走行を行う様子や、障害物発見等の偶発的事象において、一時停止する様子、強制停止する方法を確認することができたので、エリア区分をおこない、一方のエリアでブルドーザーによる敷き均し作業をおこない、もう片方のエリアで T-iROBO Roller による転圧作業を実施した。これにより敷き均し作業と、転圧作業を交互に実施できたため施工の効率化に繋がった。

冒頭で述べたとおり、このシステムは無人化施工をターゲットに開発したオペレーターの操作支援するツールであった。しかしながら今回の様に一般工事への適用を通して無人化施工現場以外でも十分活躍できる性能を有することが実証することができた。

本技術のように、建設機械を自動化することは、施工現場の生産性向上に期待ができると考えている。

謝辞

本現場実証にあたり(公財)新潟県環境保全事業団と工事作業所の関係者に、多くのご協力とご意見を頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献

青木浩章, 片山三郎, 阿部祐規: 自律制御型振動ローラー「T-iROBO®Roller」の一般土工事における実証, 大成建設技術センター報第 50 号, 47, 2017.

Holostruction (ホロストラクション) ～三次元データの活用による生産性向上技術～

小柳建設株式会社 ITシステム課 吉田 康

1 はじめに

近年、建設生産性向上を目的としたICTやUAV（ドローン等）活用など様々な新技術の取り組みが進行しているが、3次元データを含むデジタルデータの利活用は測量、施工、検査などの一部または、段階ごとにとどまり、工事全体での運用までには至っていない。

そこで、当社は国土交通省が推し進めるi-Constructionにて提言されているフロントローディングやコンカレントエンジニアリングの考え方のもと、すべての建設生産プロセス（計画・設計・施工・維持管理）における建造物の3次元データや関連書類などを一元管理し、複合現実技術（MR: Mixed Reality）によりそれらを活用できる仕組み作りを行っている。

2 本技術の概要

本技術は、複合現実技術（MR）を用いて建設生産プロセスにおけるすべてのデータを3次元ホログラフィックとして現実空間に投影し、実物大から様々なスケールにおいて建造物を確認できるとともに、関連書類の検索を直感的に可能とする技術である。

また、遠隔地を含む複数人とこれら投影された様々な情報をリアルタイムに共有することが可能であり、共同操作による計画や施工協議を円滑に進めることができる。

2. 1 複合現実技術（MR）

本技術の説明に先立ち複合現実技術（MR）について説明する。

2016年はVR元年と呼ばれ、仮想現実技術（VR: Virtual Reality）や拡張現実技術（AR: Augmented Reality）による様々なソリューションが誕生した。

本技術で用いる複合現実技術は現実世界と仮想現実の丁度中間に位置する技術と言える。（図-1）

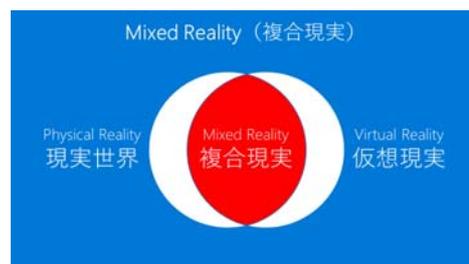


図-1 技術イメージ

なお、仮想現実技術（VR）については背景を含む全ての空間を仮想世界として表現する技術である為、現実世界の視界は完全に遮断され、自由な移動などが制限される。

また、拡張現実技術（AR）については補助的な情報提供用途として主に利用されている。

これに対し複合現実技術（MR）は、Microsoft社のHoloLens（以下ホロレンズ）（写真-1）というヘッドマウントディスプレイを頭部に装着し、現実世界に3次元モデルを融合しながら表示する技術である。（表-1）



写真－1 Microsoft 社ホロレンズ

表－1 仮想世界使用技術比較

技術名	技術概要
仮想現実 (VR)	背景を含む仮想世界内に人が入る
複合現実 (MR)	現実世界に仮想世界の情報を融合する
拡張現実 (AR)	現実世界に仮想世界の情報を重ね合わせる

ホロレンズは常にデバイス上のレーザースキャナとカメラにより投影する場所の空間認識を行う為、レンズ装着者は投影された3次元オブジェクトがあたかもその場所に存在するものとして立体的に認識することができ、自ら投影空間を自由に移動しながら様々な角度や縮尺により投影物を現実に近い形で目視することができる。(写真－2)



写真－2 1/100 スケールの確認イメージ

また、複合現実技術 (MR) では現実世界が実際に見える状態である為、複数のレンズ装着者と同時に同一の投影物を確認で

き、机などの障害物や他の利用者などと衝突する事無く投影空間内を自由に移動できる点が大きな特徴である。

3 Holostruction 技術

3. 1 技術の説明

当社が開発を進めている Holostruction (以下ホロストラクション) では、複数の利用者がホロレンズを用いて建造物の3次元データや関連情報を会議室などの空間に投影し、ディスカッションを行うことができる。

また、単なる3次元ビューワとは異なり、独自技術の Time Slider 技術 (以下タイムスライダー技術) により、現在・過去・未来の時間軸を自由に行き来することができ、確認したい工程段階の状態を3次元モデル上で容易に確認することができる。

これにより、複数の利用者が同一の3次元モデルを建設生産プロセスの各段階において、確認や協議を行うことが可能となっている。

3. 2 タイムスライダー機能

本技術の大きな特徴であるタイムスライダー技術は3次元データに時間属性を持たせることにより実現している。

建造物の3次元データを複数のレイヤーに分割し、レイヤー毎に時間属性を定義することで、指定された任意の時間軸に存在する3次元モデルを空間に投影することが出来るようになっている。(写真－3)

さらに、操作者は簡単な手の動き (ジェスチャー操作) により工程表上の見たい時間を指定することで、未来及び過去の施工状態を直感的に3次元モデルにより確認す

ることができる。(図-2)

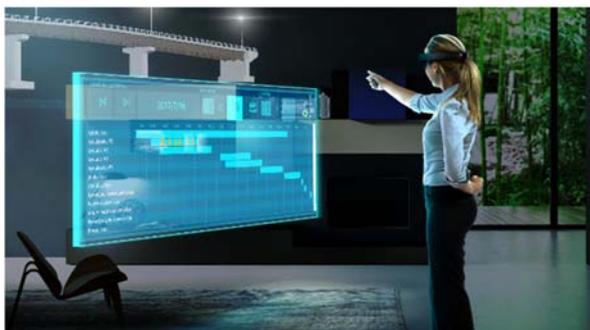


写真-3 3次元モデルの表示イメージ

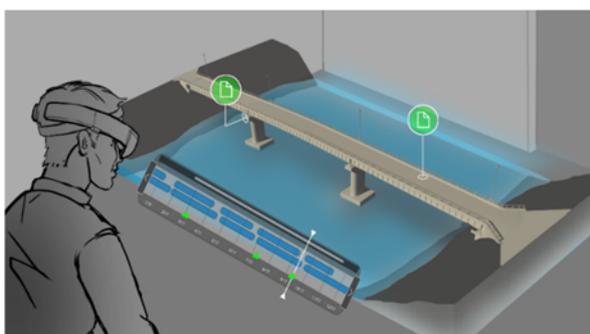


図-2 指定した時間軸の状況を確認

3. 3 コミュニケーション機能

建設業務には、数多くの会社や人が存在している。それらの人々のイメージの共有は非常に重要である。そこで、ホロストラクション技術では、複数の利用者が同一の3次元モデルを同時に参照、操作しながら、工程毎の詳細な打ち合わせや現場の安全性の確認など行える機能を有している。

(写真-4)

また、遠隔地の利用者ともネットワーク回線を介し、同一モデルを投影しながら、お互いの位置や視線などを認識しながらディスカッションを行うことができる。

なお、遠隔地の利用者は空間上にアバターとして表示させることにより、より現実に近いコミュニケーションが可能である。

(図-3)



写真-4 複数人での協議イメージ

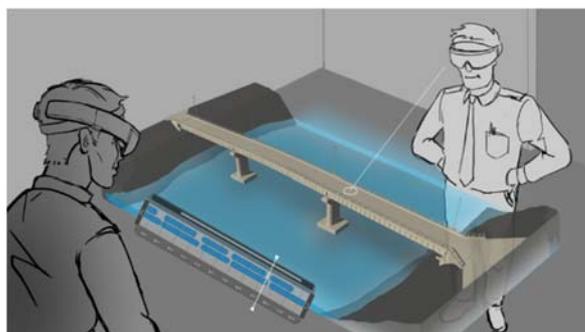


図-3 遠隔地者はアバターとしてディスカッションに参加

3. 4 ドキュメント機能

協議や検査に必要なデータや文書もシステム内に格納することで、3次元モデルを投影しつつ、工程段階に応じた必要書類を投影空間上に3次元モデルと共に表示できる仕組みである。(写真-5)

3次元モデルや工程表に紐づいた検査データなどを同一空間に可視化することで、広いスペースを使用した確認や協議が行える。

(図-4)



写真-5 ドキュメントの表示イメージ



図-4 各種検査データの表示イメージ

4 ホロストラクションによる課題解決

ホロストラクションの継続的な取り組みにより、建設業が抱える様々な課題の解決に寄与できると考える。

4.1 生産性の向上

設計や計画段階で、リアルに施工計画を立案することができ、現場の施工方法や問題点などを関係者が集中的に協議、検討することができるようになり、設計変更による手戻りのリスクを抑える。

また、全ての関係者が会議室や現場へ行くことなく、オンラインでこれら協議を行える事により時間効率を高め生産性を向上させる。

4.2 労働者不足・担い手不足の解消

3次元モデルを使用した打ち合わせを行う事により、経験の浅い若年者労働者や言葉の壁が存在する外国人労働者などが、熟年労働者の持つ経験や専門的知識を持たずに工事全体の流れや自身の作業工程の内容を直感的に理解することが可能となる。

4.3 安全性の確保

作業工程で生じる危険個所を予めシミュレーションし把握することができる。

重機や人員配置など3次元モデル上に実際に配置し1：1スケールにて確認できるほか、人が行きにくい危険個所などの状況をリモートで確認できるようになる。

4.4 検査業務の負担軽減

3次元モデルと検査書類を統合することにより、段階検査での必要データを容易に検索、確認することができる。

5 まとめ

本報告では、現時点でのホロストラクションの取り組みについて報告した。

現在、2017年4月に発表したホロストラクションのコンセプトモデルを産学官の様々な箇所で、デモンストレーションを行っている。体験者からは高い評価をいただいている一方、解決しなければならない課題もまだまだ多い。

しかしながら建設業が抱えている様々な課題を少しでも解消、低減させるため、今後も引き続き、現場での実証実験などを通して、各所と協力しながら、さらなる機能拡充を図っていく予定である。

第2会場

第Ⅲグループ

管路内水位監視サポートシステム(携行型)の紹介

株式会社 興和 水工部課長 土田 健太郎

1 はじめに

管路内水位監視サポートシステムとは、下水道管路内工事の安全確保のため、作業現場の上流側に水位計及び警報発信機を設置し、水位の上昇を検知したら、直ちに下流側へ警報を無線伝達するシステムであり、平成 21 年に開発したものである。

今回、下流側に配置する警報の受信部を新たに開発し、コンパクトで扱いも容易な携行型に改良したので、その概要について報告する。なお、この受信部の携行型は平成 28 年度に「Made in 新潟 新技術」として登録した。

2 開発の経緯

2.1 管更生工事における通常の安全管理

管更生工事における合流管渠(汚水雨水併用)内での作業は突然の降雨や溢水放流などで急激な管渠内水位上昇の危険を伴う。平成 20 年 8 月には東京都で、ゲリラ豪雨による管渠作業員の流失事故が発生し、下水道管更生工事の管内で作業を行っていた方が犠牲となった。

このような事故を防止するために、これまで通常では、常に監視員が水位及び降雨を監視し、避難水位となったら管路内の作業員に警報を発する安全管理体制がとられていた。

2.2 水位監視サポートシステムの開発

これまでの通常の安全管理をサポートするため、作業箇所の上流側管路内水位を自動監視し、避難水位に達する前に作業員に水位上昇を知らせるシ

テムを開発した。

2.3 インターネットと Eメールで情報取得

本システムは上流側での水位の異常を無線で下流側の作業現場へ警報を発することの他に、インターネットにより計測記録を現場事務所や会社内のパソコン(図-1)や、携帯電話(写真-1)、スマートフォン(写真-2)などで最新の水位を閲覧することが可能となる。

このインターネットによる計測記録は、管路内の水位の変動を、システム設置期間中は自動で記録として残すことができる。そのため、悪天候による水位上昇などの記録を残すことが可能である。さらに、このインターネットの計測を活用することで、作業の可否判断を現場でマンホールを開け、内部を確認しなくても可能となる。

また、水位上昇時や一定降雨時には工事関係者に Eメールで通知することも可能である。

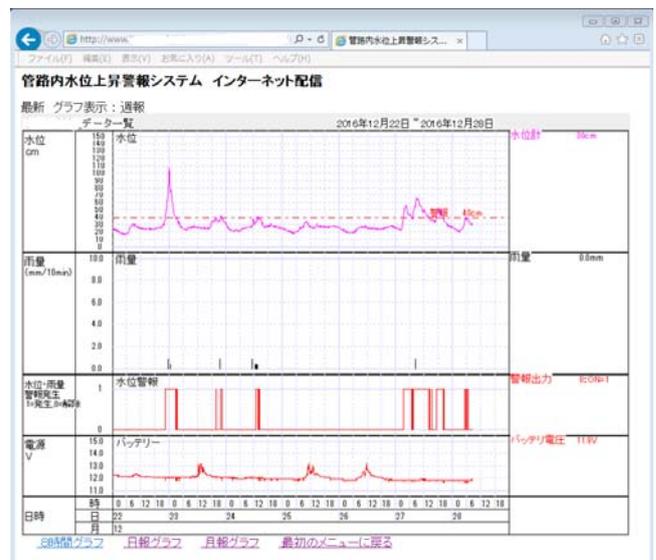


図-1 パソコンでの配信画面



写真-1 携帯電話での配信画面

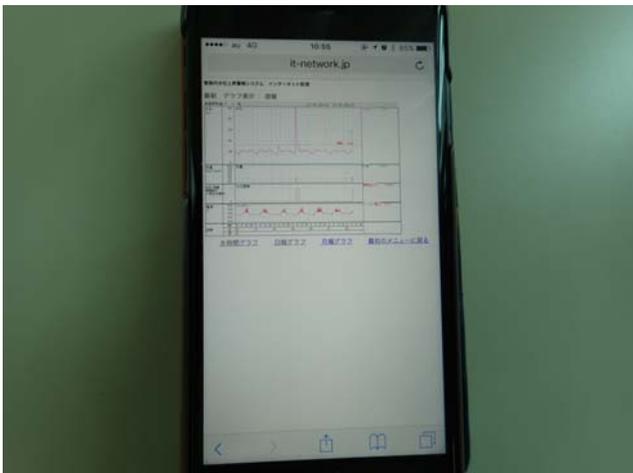


写真-2 スマートホンでの配信画面

2.4 携行型の警報受信部の開発(新技術)

これまで定置型だった警報の受信部(写真-6)は、その設置場所の確保、複数箇所の現場への警報発信が難しいという課題があったことから、それらの課題を解消するために、新たにコンパクトで扱いも容易な携行型の受信部(写真-7)を開発を行った。

3 システム概要

本システムの警報は、水圧式水位センサにより水位上昇を検知して行う。計測は工事施工箇所より、数十m～数百m上流部に水圧式水位計と発信部を、工事箇所マンホール付近に受信部を設置する。水位の計測間隔は約5秒に1回程度となっている。

発信部において警報設定値を超えると、おおむね5秒以内に受信部へ伝送し、工事施工箇所に回転灯とブザーで警報出力を行う。

また、オプションで雨量計を取り付けることで雨量計による警報発令も可能となっている。

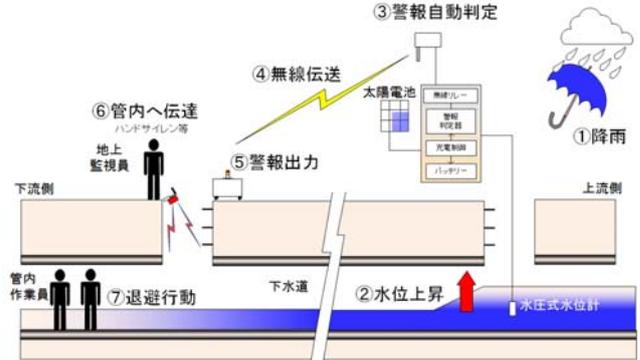


図-2 システム概要図

3.1 発信部

本システムの発信部は、水位に異常が発生すると警報を発信する。発信部では、データの自動判定と警報出力、このデータ及び警報を小エリア無線による下流への警報伝達とFOMAによる遠隔地へのデータの転送を行う。

本システムの電源は太陽電池とバッテリーを使用し運用している。また、オプションで雨量計を設置することも可能である。(写真-3)



写真-3 発信部設置状況写真

3.2 水位センサ

本システムの管路内で水位を計測する水位センサは、水圧を検知する投げ込み式を使用している。このセンサは下水・排水に対応する耐環境型となっている。(写真-4)

管路内での水位センサの設置は、管路内に設置した仮設の単管パイプに固定し設置する。(写真-5)



写真-4 水位センサ

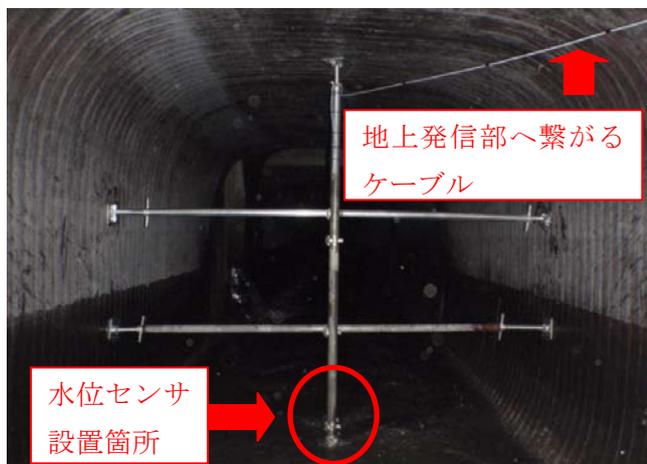


写真-5 管路内センサ設置状況

3.3 受信部

受信部は発信部から出された水位等による警報を受信する重要な部分である。この受信部の初期型は定置型(写真-6)で使用していたものを、小型軽量化し携行が可能となった(写真-7)。警報受信時にはブザー付きのフライトが作動し異常を知らせる。この受信部はバッテリーが内蔵されており、このバッテリーの充

電は AC アダプタを使用し充電することが可能である。

受信部の大きさは片手で簡単に持つことが可能であり、機械重量は 6kgとなっている。



写真-6 定置型受信部 (従来型)



写真-7 携行型受信部

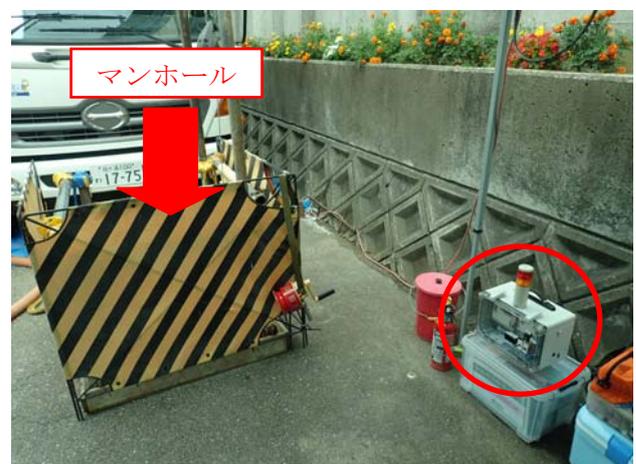


写真-8 携行型受信部現場内設置状況

4 導入の効果(従来技術との比較)

従来は受信部を現場近くの植え込みなどへ仮設の単管等を建柱し設置していた。しかし現場付近での建柱場所が確保できない場合に本システムの設置ができず、従来型の受信部の設置が難しくなっていた。

そこでこの受信部を小型軽量一体型にすることで受信部の移動が容易に行えるようになり建柱の必要もなくなった。そしてどの現場でも管路内水位の常時監視が容易に可能となった。

そのため、同一幹線上に複数の工事が発注された場合でも水位センサを上流側1箇所に設置すれば下流の複数地点でそれぞれ警報を受信することが可能となった。

5 導入実績

管路内水位監視サポートシステム(携行型)は、平成26年以降、新潟市の管更生工事の12現場で安全管理に導入されている。(平成29年3月時点)

現在も新潟市発注工事において、新潟市中央区で本システムが稼働している。

また、定置型を含む管路内水位監視サポートシステムは、平成22年以降で新潟市の管更生工事現場を中心として、長岡市、仙台市、松山市、北九州市など20現場以上で導入されている。

6 適用条件及び今後について

本システムの適用条件は以下のようになっている。

適用できる現場条件としては、発信部と受信部間で無線通信が可能であることが条件となる。市街地で数百m～3kmとなっており、無線中継局を立てることで距離の延長が可能である。また、発信部と受信部の見通しがよい区間では

特に効果を発揮することができる。

逆に適用できない現場条件としては、電波が届かない、無線中継局の設置が困難などといった、無線通信が困難な場合となっている。

なお、現在使用している小エリア無線は、無線局のデジタル化に伴い平成34年11月末で使用ができなくなる。そのため、本システムもそれまでにデジタル無線へ移行する予定である。

7 終わりに

本システムを開発・導入をしたことで、合流下水道管内で作業を行う場合に、現場内の安全管理体制において、監視員の配置と自動警報の二重の監視体制がとれるようになった。特に受信部が携行型になったことでより便利で扱いやすくなり、作業箇所が移動しても作業を行うすぐ近くに受信部を配置できるようになった。さらに同一幹線上の複数地点で施工をする場合にも監視が容易に行えるようになった。

本システムはインターネットでリアルタイムに水位や降雨の把握ができるため、現場作業の中止の判断等の際に実際に管渠内に入らずに見えない部分の監視も可能になった。これによって下水道管渠内作業実施の際に安全かつ容易に現場作業の可否を判断することが可能となった。本システムは安全管理面で非常に大きな役割を果たしている。今後もこのシステムを有効活用し安全作業に努めていきたい。

韌性モルタル NA の開発

株式会社レックス 本社 技術部次長 小林 徹

1 はじめに

コンクリート構造物の断面修復工や表面被覆工の補修材料として、ポリマーセメントモルタル(以下 PCM という)が広く使用されている。しかし、その脆性的特性により、ひび割れやすさとそれに伴う耐久性低下等の課題を有した材料である。特に北陸地方のように厳しい環境条件(塩害・凍害等)下においては、ひび割れ等に起因した早期劣化に関する指摘も少なくない。



写真-1 PCM 早期ひび割れの例

近年、ひび割れ抑制の目的で、有機系の短繊維(PVA 繊維)を多量に混入することで韌性や延性等の性質を付加し、ひび割れ抑制性能を大きく向上させた韌性モルタルが注目されている。その高いひび割れ抑制効果は、マトリックス中の繊維がひび割れをつなぎ止める(ひび割れ架橋効果)作用によるもので、土木学会コンクリートライブラリー127「複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料(High Performance Fiber Reinforced Cement Composites, 以下 HPFRCC と呼ぶ)設計・施工指針(案)」¹⁾にその特性、規格、性能評価方法並びに活用方法等について詳しく記述されている。

HPFRCC の一種である韌性モルタルは、その優れたひび割れ抑制性能が評価され、コンクリー

ト構造物の断面修復工や表面被覆工の補修材料として幅広く適用されている一方で、練り混ぜ機械(ミキサ)や施工方法の制限等が大きな課題であった。

2 韌性モルタル NA の開発

韌性モルタルにおける前述の課題を解決するため、新材料「韌性モルタル NA」の開発を行った。その概要について以下に述べる。

2.1 開発目標

韌性モルタルの課題は以下の通りであり、韌性モルタル NA の開発ではこれらの解決を目標とした。

- ① 材料の施工面への塗布方法は、吹付けポンプ施工が必須である。(左官工法に未対応)
- ② 材料混合において、モルタル中に繊維を均一に分散させるため、(高性能)専用モルタルミキサが必要である。
- ③ 材料は、紛体・繊維・混和剤の3材現場混合である。

2.2 研究・開発の概要

韌性モルタル NA の研究・開発に当たり、次の内容について検討を行った。

① 材料の配合検討

結合剤(セメント・フライアッシュ・シリカフューム等)や骨材、ポリマーの種類や配合の見直しを行い、専用ミキサや混和剤に頼らず繊維が分散しやすい配合の検討を行った。

② 施工性の確認

検討した配合について、ミキサ練混ぜ性能の確認やコテ塗り及び吹付け性能の確認を行った。

③ 材料物性値の確認

配合検討、施工性確認をクリアした材料について、圧縮強度等の材料性能評価試験を行い、目標値を満たすことを確認した。

上記の検討を繰り返し行い、開発目標を満たす新材料の開発に至った。

2.3 開発成果

韌性モルタル NA の開発により得られた成果は以下の通りである。

① コテ塗り施工が可能

小規模・狹隘断面等における施工も対応しやすくなり、施工適用範囲が拡大する。

② 汎用ミキサ、ハンドミキサで練混ぜ可能

施工機械の制約がなくなり、施工の効率化が図られる。

③ 製品のプレミックス化

材料練り混ぜ時の配合ミスが低減し、品質向上に寄与する。

④ コストダウン

材料単価を低減した。(経済性向上)

また、従来韌性モルタルと韌性モルタル NA の改良点の比較概要について図-1 に示す。

2.4 物性値

韌性モルタル NA の物性試験結果を表-1 に示す。従来韌性モルタルと同等の性能であるが、一般的な PCM と比較すると、引張りや曲げ性能はもちろんのこと、耐摩耗性や耐凍結融解性等についても優位性が確認できる。

表-1 韌性モルタル NA の試験結果

試験項目	試験結果	試験条件
フロー値	155mm	JIS R 5201
圧縮強度	47.1N/mm ²	JSCE K 561
曲げ強度	15.3N/mm ²	JIS A 1171
硬化収縮率	0.01%	JIS A 1129
付着力	1.58N/mm ² 以上	JSCE K 561
摩耗量	0.342g	JIS K 7204
中性化深さ	3mm	JIS A 1153
透水量	1.6g	JIS A 1404
相対動弾性係数(凍結融解性能)	99.9%	JIS A 1148
引張強度	5.79N/mm ²	ダンベル型一軸
引張終局ひずみ	4.47%	直接引張試験

3 施工事例

H28年度に韌性モルタル NA を使用した施工事例について紹介する。工事概要は以下の通り。

【発注者】新潟県 村上地域振興局

【構造物】農業用コンクリート用水路

【工 種】表面被覆工(無機系ライニング)

施工手順は、ウォータージェット工法による下地処理後に、コンクリートの補修(ひび割れ補修、断面修復、漏水処理)を行い、側壁 5mm、底版 9mm 以上の施工厚さで韌性モルタル NA の吹付け塗布を行った。

図-2 に施工フローを写真-2 に現場の竣工写真を掲載する。



図-1 従来技術と新技術の比較

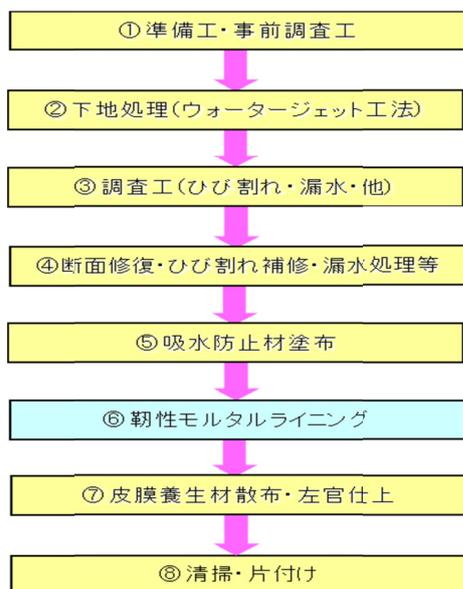


図-2 表面被覆工の施工フロー



写真-2 竣工写真

4 耐震補強への適用

今後の取り組みとして、靱性モルタルの特性を生かし、コンクリート橋脚の耐震補強、コンクリート床版の補強及びトンネル内面補強等の補強材料として適用するための検討を開始したところである。



写真-3 正負交番繰り返し載荷試験の状況

靱性モルタル NA を巻き立て補強した橋脚供試体を作成し、正負交番繰り返し試験(写真-3)により耐震性能の評価²⁾を行った。試験の結果、補強により最大荷重と耐震靱性が大幅に向上することが確認された。(図-3)

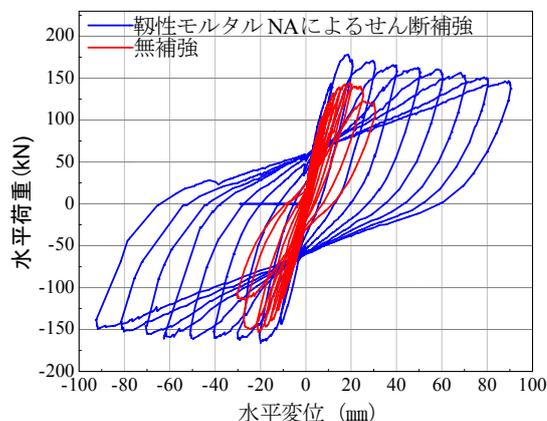


図-3 水平荷重-変位関係

5 おわりに

今回、靱性モルタルの優れた物性はそのままに、従来からの課題であった施工性や取扱い性を解決する新材料「靱性モルタル NA」を開発することができた。

また、本技術は、平成 28 年度に Made in 新潟 新技術普及制度に登録(登録名:吹付け・コテ塗り併用型靱性モルタル, 登録番号: 28D1001)されている。

最後に、靱性モルタル NA の開発に当たりご支援とご協力を頂いた新潟県靱性モルタルライニング工法協会, ならびに共同開発に取り組んで頂いた(株)デーロス・ジャパン等関係各位に深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会コンクリートライブラリー127:「複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料設計・施工指針(案)」, 2007年
- 2) 林承燦・小林徹・岩山健治・国枝稔:吹付け HPFRCC による RC 橋脚の耐震補強に関する評価, 土木学会第 72 回年次学術講演会, 2017年9月

軟弱地盤におけるベル工法

(塩化ビニル推進管による長距離・曲線推進)の施工

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

従来、小口径の長距離・曲線推進工法は、高耐荷力管（鉄筋コンクリート管）が用いられ、低耐荷力管（硬質塩化ビニル管）では不可能とされていた。そこで、ベル工法は、長距離を可能とする特殊なインナー装置および高精度な曲線線形の計測を可能とする管内測量システム（自走式計測ロボット）の開発により、世界で初めて硬質塩化ビニル管での長距離（250m）・曲線（R=60m）推進の開発に成功した。

ベル工法は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）のイノベーション実用化助成事業として土木分野で初めて採択され開発された。また、平成22年第12回国土技術開発賞最優秀賞、平成24年第4回ものづくり日本大賞内閣総理大臣賞を受賞した。標準掘進機を写真-1、新たに開発した礫対応型掘進機を写真-2に示す。



写真-1 標準掘進機



写真-2 礫対応掘進機

2 ベル工法の概要

ベル工法は、硬質塩化ビニル管を対象にした泥水方式一工程式の推進工法であり以下に仕様、長距離推進理論および測量システムを記述する。

2.1 ベル工法の仕様

ベル工法の仕様を表-1に示す。

表-1 ベル工法の仕様

排土方式 型式	泥水方式一工程式		
	標準型		礫対応型
	V型（直線）	VC型（曲線）	VC-D型 （礫対応曲線）
呼び径	300	350	300
管種	VP	VM	VP
最大礫径（mm）	30	35	120
礫率（%）	20		50
透水係数（cm/s）	1×10 ⁻³		
最小曲率半径（m）	60（複数曲線可）		
推進可能延長（m）	250	200	
最小発進立坑寸法（m）	φ=2.5		
最小到達立坑寸法（m）	φ=1.2		
管芯と底版高（mm）	発進 500 到達 400		

2.2 長距離推進の理論

図-1に示すように、従来の硬質塩化ビニル管による推進工法は、先端抵抗力を推進力伝達ロッドに負担させ、地山との周面摩擦力を推進管に負担させている。そのため、推進管の許容耐荷力と地山の周面摩擦力が等しくなる距離を推進可能距離としている。

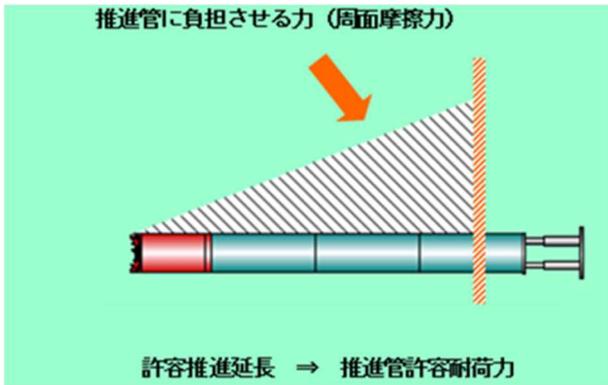


図-1 従来工法の概念図

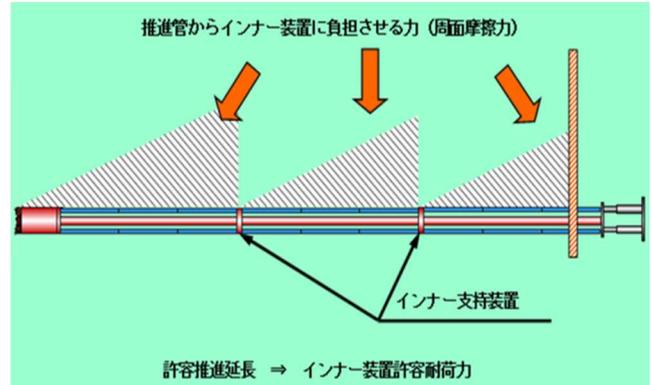


図-2 ベル工法の概念図

ベル工法では、地山の周面摩擦力が推進管の許容耐荷力を下回る 16m 毎にインナー装置に設置している支持部材（写真-3 参照）で硬質塩化ビニル推進管を支持する。

この方式は、インナー装置によって、先導体と推進管の両方を支持しながら掘進するシステムである。これにより、推進管への負担を大きく低減し、長距離推進を可能にした（図-2 参照）。

【インナー装置の全景】



【インナー装置の断面】

【支持部材】

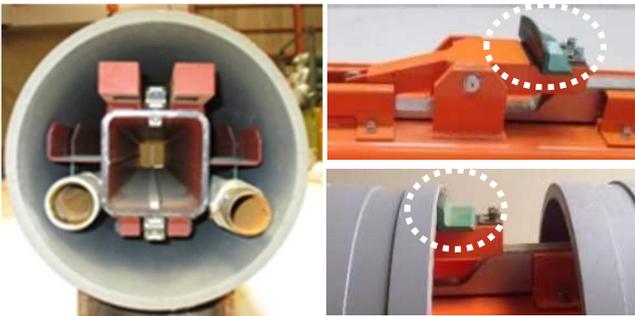


写真-3 インナー装置と支持部材の写真

推進管到達後、支持部材は、インナー装置内に格納することができ、インナー装置は、推進管と切り離して発進立坑内で回収可能としている。

2. 3 ベル工法の測量システム

ベル工法の測量システムは、「自走式測量ロボット」による自動化測量システムを採用している。写真-4に示す「自走式測量ロボット」は光学式ジャイロ及び加速度計を搭載し、自走により発進立坑内のランチャーから掘進機後部のステーションまで、インナー装置の内部を走行路として往復測量することで、推進された塩化ビニル推進管の全管で高精度の水平位置計測が実施できる。

したがって、地上から行う磁力線測量では土被りや既設埋設管に測量精度が大きく影響されるが、ベル工法は、管内での測量となることから、河川、水路横断および交通渋滞する道路などの施工環境下においても正確で安全な測量が可能である。

図-3に測量システム概要、図-4に測量フローを示す。



写真-4 自走式計測ロボット

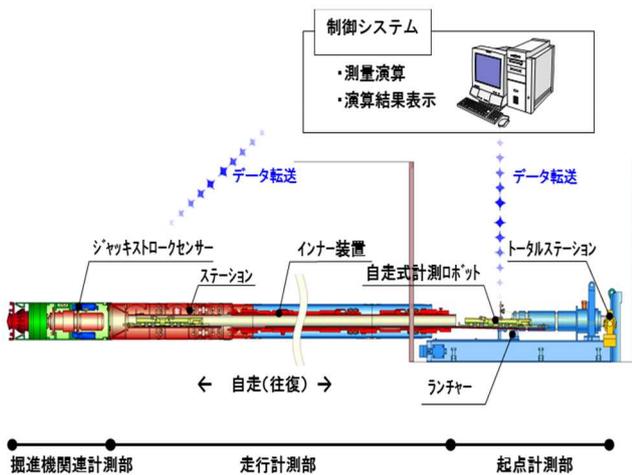


図-3 測量システムの概要

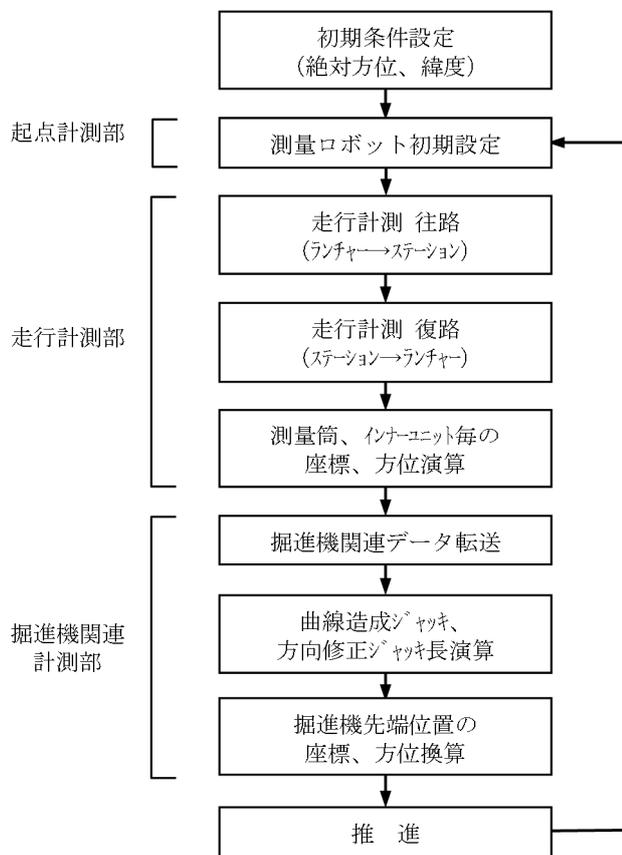


図-4 ベル工法の測量フロー

3 軟弱地盤におけるベル工法の施工

3.1 軟弱地盤への対応

ベル工法の掘進機外径は、硬質塩ビ推進管に合わせた寸法となり、推進管 $\phi 300$ で 350mm (高耐荷力管の推進工で 450mm 程度) となる。このように、ベル工法では、掘

進機外径を 100mm 程度小さくでき、機械重量を軽量化することができる。さらに、ベル工法では軟弱地盤の場合、掘進機・ポンプ筒・測量筒・インナー接続装置の全てをボルトで連結 ($L=3.783\text{m}$) し、掘進機底面の地盤に作用する荷重を分散させることで、軟弱地盤における掘進機の自沈やノーズダウンを防止している。

3.2 軟弱地盤での施工事例 1

施工場所：千葉県

推進延長： $L=143.18\text{m}$

線形： $R=60\text{m}$ が 2 箇所 S 字

管径： 300mm

土質：シルト質細砂 $N=1$

土被り： $4.0\sim 4.4\text{m}$

駅前通りが渋滞するため、脇道から発進し、主要道路に向けて推進を行った。また、到達も脇道の既設 2 号人孔に S 字カーブの曲線で到達させ、先導体は鉄蓋から回収した。対象地盤が N 値 = 1 の軟弱地盤であったため先導体の自沈が懸念された。しかし、ベル工法先導体を一体化させたことで、自沈を防止し、S 字カーブも含めてベル工法特性を活かした工事であった。

(図-5 参照)

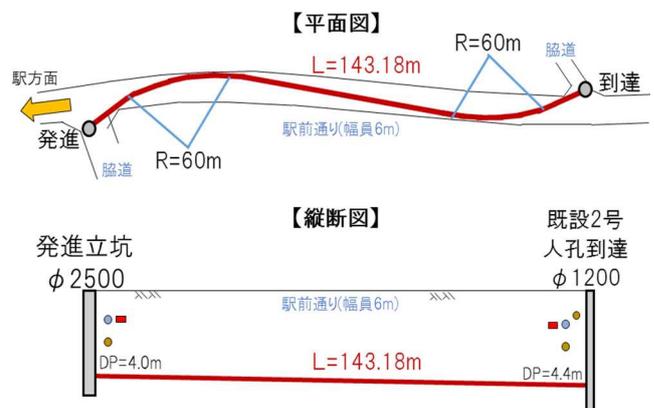


図-5 施工概要図

3. 3 軟弱地盤での施工事例 2

施工場所：静岡県

推進延長：L=112.29m

線形：R=60m

管径：300mm

土質：腐植土 N=1~2

土被り：3.07~5.42m

発進立坑に NTT の既設人孔が隣接していたとともに、発進から 6 m 程度で急曲線（60 R）を描く線形であった。また、掘進対象地盤が軟弱な腐植土層（N 値 1~2）であったため、先導体の自沈や既設人孔への影響が懸念された。そこで、先導体（掘進機~インナー接続装置）はボルト連結にて延長を長くし、荷重の分散を図れるシステムを採用したことで、薬液注入などの補助工法も実施せずに施工を完了させることができた。また、河川に隣接した推進であり、流木の存在が予想されたため、事前に「流木対応ビット」を取り付けた。掘進するにしたがって、予想通り流木に遭遇したが、事前の対応により流木も削り取り、無事に到達させることができた。

（図-6 参照）

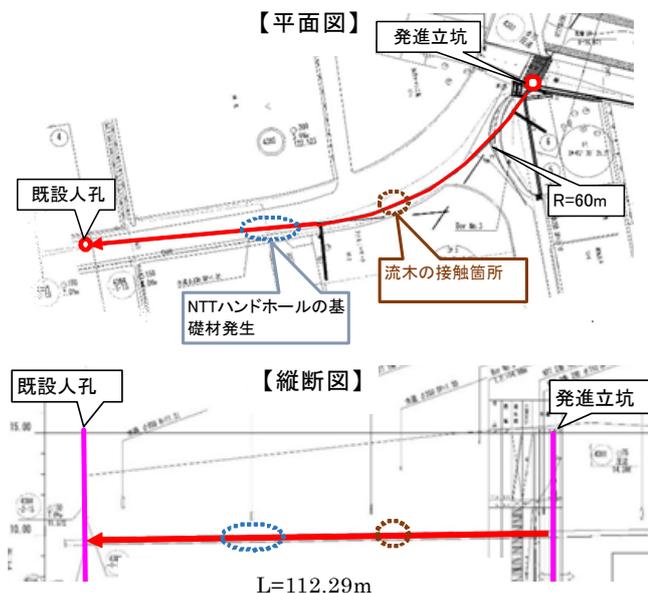


図-6 施工概要図

4 おわりに

ベル工法の実績は、平成 28 年度末までに総件数：59 件、施工総延長：L=8.6km と平成 21 年度より着実に実績を重ねてきている。また、ベル工法協会は、平成 27 年 1 月に（公社）日本推進技術協会に加入し、平成 27 年 8 月には国土交通省 NETIS に登録・公開された。（登録番号：KT-150038-A）

小口径管推進工法においては、工事コストの低減として、ますます長距離・曲線推進施工の技術が要求されるとともに、下水道事業費におけるライフサイクルコストの低減も求められてきている。

ベル工法では、更なる品質向上、システムの高度化および技術提案を積極的に行い、長寿命化や生産性向上を視野に入れたライフサイクルコストの低減に貢献できる工法として活躍できるよう努力していく。

以上

打音診断への AI 技術の適用

佐藤工業株式会社 土木事業本部 ICT 推進部長 京免継彦

1 はじめに

佐藤工業はコンクリートの健全性を評価する「健コン診断ポータブル」を 10 年前に開発し運用している（写真-1）。ハンマーの加力値データとマイクロフォンによる音データの 2ch による打音解析手法は、様々な打音システムが開発されている現在でも一定の評価を受けている。また、当社は昨年より AI 解析技術にも注力し、最新の演算装置 FPGA を利用した高機能な「AI 解析機」を開発した。この両者を組み合わせた「打音診断ポータブル-AI」を今回開発し、その解析能力と適用性について報告する。



写真-1 健コン診断ポータブル

2 AI 解析の有効性

AI 解析の有効性について覆工打音結果の解析例を紹介する。

2. 1 打音データの取得について

以下の内容で施工中トンネルの覆工打音データを取得した。

- ・打設後、材齢 3 日～17 日の覆工対象。
- ・測定は 1 日で実施。
- ・同時に同じ個所でコンクリート表面水率と弾性波速度を測定。

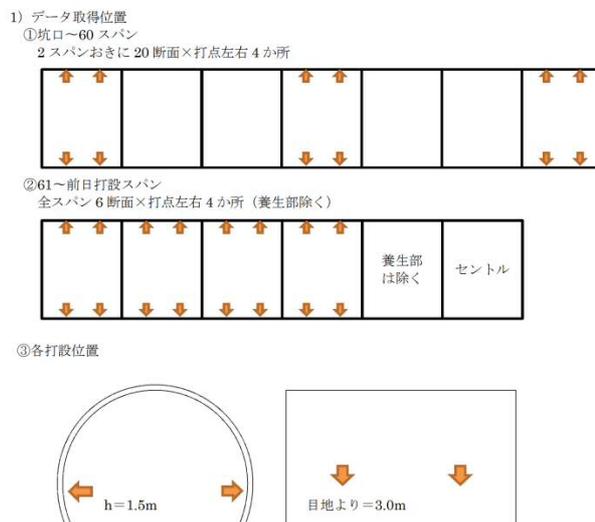


図-1 打音測定箇所

2. 2 従来方法による解析結果

打音データの FFT 解析、表面水率、弾性波測定の結果を示す。

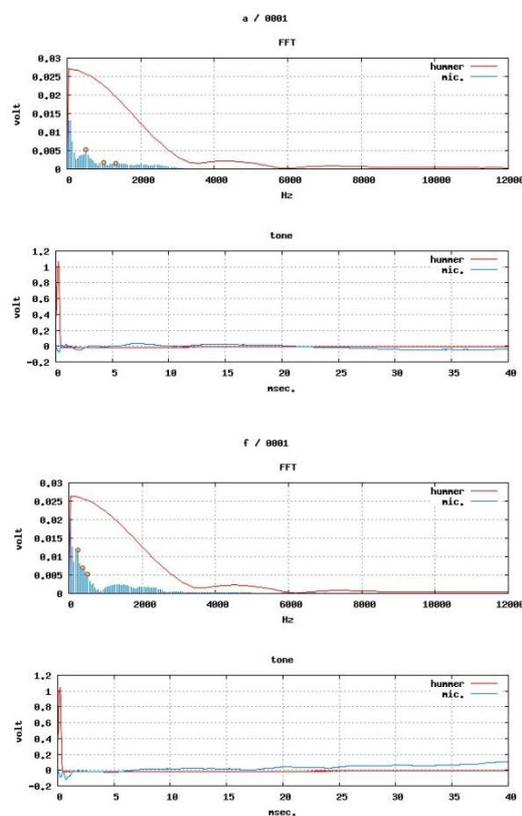


図-2 FFT 結果 (a および f)

表-1 表面水率・弾性波速度

		表面水率		弾性波速度	
		%		m/s	
a	1	4.5		3950	
	2	4.6		3550	
	3	4.6		3920	
	4	4.6	4.6	3800	3805.0
b	1	4.5		3870	
	2	4.5		3700	
	3	4.4		3690	
	4	4.5	4.5	3700	3740.0
c	1	4.3		3550	
	2	4.6		3610	
	3	4.4		3570	
	4	4.3	4.4	3870	3650.0
d	1	4.4		3750	
	2	4.2		3690	
	3	4.7		3900	
	4	4.6	4.5	3800	3785.0
e	1	4.8		3850	
	2	4.7		3690	
	3	4.8		3840	
	4	4.5	4.7	3620	3750.0
f	1	4.7		3790	
	2	4.7		3630	
	3	4.7		4080	
	4	4.5	4.7	3890	3847.5

サンプル a=3 日、b=5 日、c=9 日、d=11 日、e=13 日、f=17 日材齢の覆工に対して打音及びその他計測を行った結果である。この FFT その他の解析結果より、何らかの差異、特徴点を観測することは困難と考えられる。

2. 3 AI による解析結果

前述の打音結果データを AI 解析（主成分分析クラスタリング）した結果を以下に示す。

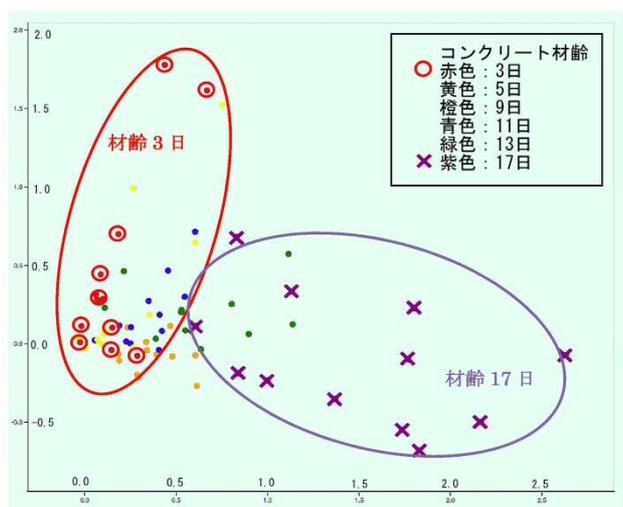


図-3 AI 解析結果

コンクリート材齢 3 日（赤丸）と 17 日（紫×）は完全にクラスタリング（区分け）することができている。この結果は従来方法（人間）では判別不能な特徴点を AI 解析（主成分分析）により判定可能な事実を示している。この結果とコンクリート性状（強度、表面水分、材齢）などを相関することで、計測技術に発展させることが可能となる。

2. 4 AI 解析技術について

人間の技術者がデータを解析する場合、「条件統一」「特徴点の抽出」「比較検討」「フィードバック」といった手順を行うが、実際の現場では、様々な影響因子により条件統一が難しくなり解析が困難となるケースがままある。AI による解析は影響因子を包括し純粋な統計結果として処理するため、人間以上の解析力を発揮する。ただし「技術的根拠付けが希薄」となる場合もありうる。

3 打音診断ポータブル-AI について

「打音診断ポータブル-AI」は「AI 解析機 α」、「AI 解析機 β」および「健コン診断ポータブル」の組み合わせにより構成される。

3. 1 AI 解析機 α

当社が開発した「AI 解析機 α」は、小型パソコン程度の大きさではあるが、最新の FPGA (Field-Programmable Gate Array) ユニットの 7 台搭載し、一般的なパソコンとは別次元の速度で処理することが可能である。一般的なパソコン等に用いられる高性能 CPU (演算装置) は、クワッドコア (4 列並列処理)、オクタコア (8 列) というように一度に処理できる数が固定されている。100 個の処理をする場合は 4 個もしくは 8 個ずつ順番に処理するようなイメージである。今回 AI 解析機に採用した FPGA はプログ

ラム可能な演算装置で、100 個処理したければ 1 回で 100 個処理するプログラムを書き込むことができ、そのため圧倒的な高速処理が可能である。入力データとしては、波形データ・FFT 解析データ・画像データなど様々なデータフォーマットに対応している。



写真-2 AI 解析機 α

3. 2 AI 解析機 β

「AI 解析 β 」は FPGA ユニットの 1 枚装備し、実際の計測現場に持ち出し可能としている。

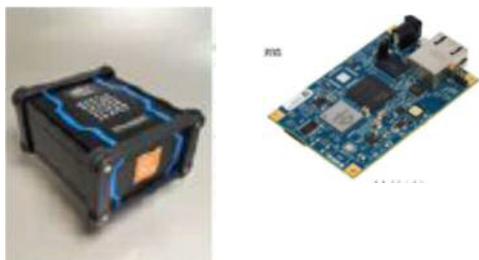


写真-3 AI 解析機 β

3. 3 システムの構成

「打音診断ポータブル-AI」システムの構成を示す。

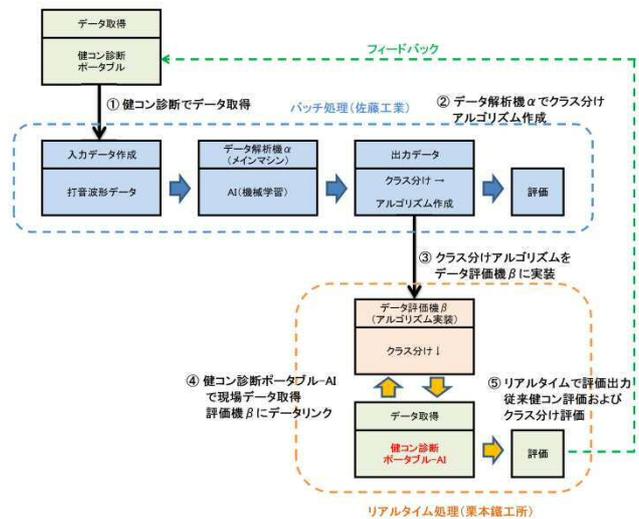


図-4 システムの構成

本システムの運用手順は以下となる。

- ① 健コン診断ポータブルで打音データを取得。
- ② AI 解析機 α でデータを解析、クラス分けアルゴリズムを作成。
- ③ アルゴリズムを AI 解析機 β に実装。
- ④ 現場で打音データ取得→AI 解析機 β で瞬時に解析。

4 おわりに

これまで、数種類の打音（波形）データを AI 解析しているが、いずれも高いクラスタリング結果を示している。AI による解析アルゴリズムと波形系データの相性は非常に良いといえる。現在、初弾として鋼構造物の健全性評価システムを開発中であり、ほぼ最終段階となっている。評価結果としては非常に優秀な解析能力が得られている。このシステムの特徴はアルゴリズムを入れ替えれば、様々な打音データに対応可能な点である。コンクリート、杭、アンカーなどあらゆる打音データが解析可能なシステムに発展可能と考えている。

第2会場

第IVグループ

重量鉄筋配筋作業支援ロボット（配筋アシストロボ）の開発

清水建設株式会社 土木技術本部 開発機械部 開発G課長 大木 智明

1 はじめに

建設業では、高齢化による大量離職等により今後 10 年間で技能労働者が約 130 万人減少することが予測されている。このような中、必要な社会インフラを整備していくためには、生産性向上は喫緊の課題である。

また、コンクリート工においては、近年の耐震化により鉄筋が太径化・高密度化し、鉄筋組立時の負担が増大している。さらに、技能労働者の高齢化も相まって生産性が低下している。

そこで、本開発では重量鉄筋の配筋作業に着目し、熟練技能労働者のコツを生かしながら作業負担を大幅に低減できる、人間の腕の動きを模した重量鉄筋配筋作業支援ロボット（配筋アシストロボ）（以下「本ロボット」という）を開発した。本ロボットは、配筋作業の省力化・省人化、苦渋作業の軽減が図れ、安全性も向上する技術であり、実現場においてその効果を確認した。写真－1 に本ロボットを示す。



写真－1 本ロボット全景

2 技術の内容

2.1 技術の概要

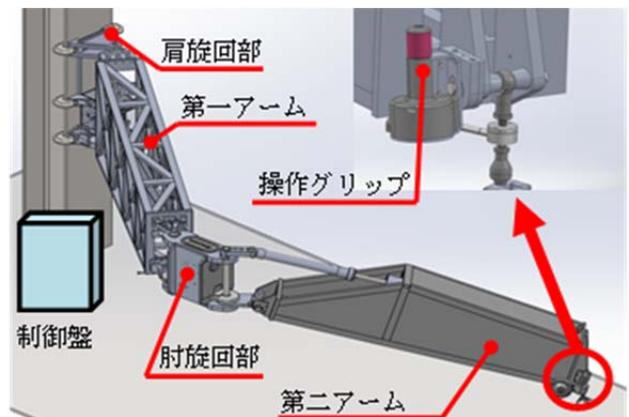
本ロボットは、人間の肩、上腕、肘、下腕、手にそれぞれ相当する 5 パーツと制御盤で構成されている。図－1 に構造概要を示す。人間の

手にあたる部分（ロボット先端部）で鉄筋の中心を把持し、操作グリップ（ロボット先端部に設置、6 軸力覚センサー内蔵）を握り、鉄筋を移動したい方向に軽く押すだけで、重量負担なく思い通りに、なめらかに鉄筋を移動させることが可能な技術である。諸元を表－1、水平可動範囲を図－2、鉛直可動範囲図を図－3 示す。

なお最初の本技術の展開先として、都市内開削トンネルでのボックスカルバート築造を想定した。そのため、本技術の使用はそれに合わせ、本ロボットの固定は中間杭（H鋼材）に取り付ける方式を選択した。

表－1 本ロボット諸元表

定格荷重	250kg
作業半径	約5.3m
揚程	約2.0m
分割数	4分割
入力電源	三相AC200V
水平方向操作	操作グリップ式 (6軸力覚センサー内蔵)
上下方向操作	ボタン式(昇降スイッチ式)
肩関節軸	100Wサーボモータ
肘関節軸	50Wサーボモータ
昇降軸	750Wサーボモータ



図－1 本ロボット構造概要

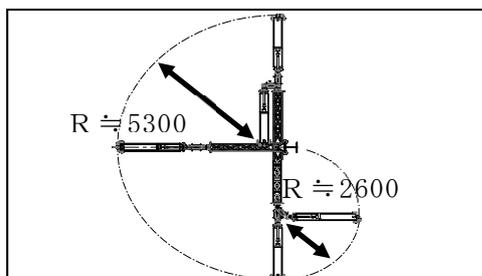


図-2 水平可動範囲図

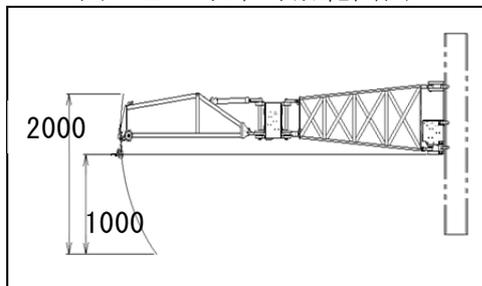


図-3 鉛直可動範囲図

2. 2 開発のコンセプト

構造物を構築する際、どこにどのような鉄筋をどれだけ配置するのか、その鉄筋の太さや長さ、配置間隔等、いわゆる配筋の仕様は構造物によって異なり、まったく同一のものはない。その上構築する場所も同じ場所ではないため、配筋作業の自動化の弊害となっている。また、効率よく鉄筋配筋作業を行うには組立て順序等に熟練者のノウハウが必要である。しかし、配筋作業は体力が必要なため、熟練者が高齢化すると体力が落ち、配筋作業についてのノウハウを持っていても、体力的な面から配筋作業に従事することは困難であった。

そこで、体力のいる力仕事部分はロボットで補い、高齢化した熟練技術者のノウハウを継続して活用可能とする‘人とロボットの融合したシステム’の構築をコンセプトにして、鉄筋組立作業の大幅な生産性向上を目指した。

2. 3 技術の特徴

本ロボットは以下の特徴を持っている。

①【人とロボットの協働作業の実現】:

力仕事は本ロボットが分担し、操作（ノウハウ）は人が分担することにより、お互いの強みを生かす‘協働作業’が実現。

②【人間の腕のモデル化】:

自らの腕のような直感的操作が可能。

③【分解組立方式の採用と軽量化】:

軽量化の追求と分解組立方式採用（4分割可能）により人力での組立・解体を容易に行うことが可能。

④【サーボモータとアシスト制御の採用】:

なめらかな動作性を持ち、細かい調整が必要とされる詳細位置決めにも支障なく使用が可能。

2. 4 運用方法

本ロボットは、鉄筋配筋作業において、対象の鉄筋重量に関わらず操作者1名、介添者1～2名で使用することを基本としている。その使用イメージを図-4に示す。操作者は、本ロボット先端にて操作をして鉄筋を移動する。介添者は、鉄筋端部に配置し、鉄筋移動時の荷ぶれ防止や鉄筋の正確な位置への誘導と鉄筋の固定を行う。配筋作業時は、本ロボットを固定した後昇降ボタンを操作して重量鉄筋を持ち上げる。その後、操作者が操作グリップを移動したい方向に押すだけで、動きに合わせてサーボモータが稼働し、アームがアシスト制御され、操作者の意図する方向に水平移動できる。

アームが操作者の意思と判断に合わせて直感的かつなめらかに動くため、計画線（墨）に合わせて難なく配筋できる。

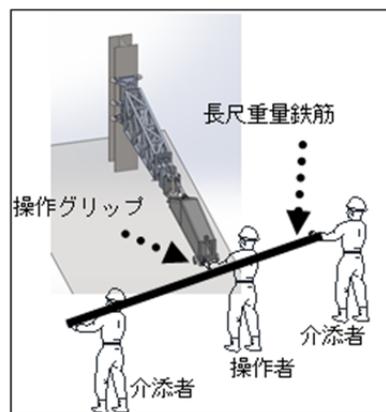


図-4 使用イメージ図

3 本技術の効果

3. 1 現場への適用

2017年6月現在3つの現場で適用した。ここでは、その適用結果の一つを紹介する。

適用例：ランプ道路用1連ボックスカルバートの頂版部の主筋D51で適用した。以下図-5に鉄筋加工図を示す。なお、本適用箇所は埋設型枠を使用しているため、鋼製リブ材や鋼材が存在し、特に鉄筋組立のしづらい場所であった。

本ロボットを使用した場合と従来通り施工した場合の比較を定量的に行った。以下に本ロボットを使用した場合と従来通り施工した場合の比較を表-2に示す。ここでは生産性を評価する指標として、1分で1人あたりに施工した鉄筋重量を「物的労働生産性」と定義して比較した。この結果より、本ロボットにより物的労働生産性は約1.9倍となった。1箇所での配筋作業がおこなえる施工量は配筋の仕様(鉄筋間隔、鉄筋径、長さ)により変化するが、参考として本ロボットの準備・解体時間を考慮しても約1.4倍の効果があることが確認できた。



図-5 鉄筋加工図

表-2 適用結果例

	本技術(A)	従来(B)	(A)/(B)
鉄筋組立時間(分)	120	150	0.80
鉄筋工数(人)	4	6	0.67
物的労働生産性(*1)	8.33	4.44	1.88
一人あたり重量負担(kg)	0	28	
(参考) 準備・解体時間(分)	20+20	0	
準備解体を含めた物的労働生産性	6.25	4.44	1.41

*1(施工量(kg))/(工数(人)×時間(分))

3. 2 本技術の効果

以上の適用結果を踏まえ、開発の効果を述べる。

①生産性向上

純粋な配筋作業の効率性を評価する指標として、物的労働生産性(施工鉄筋重量/施工人数

/施工時間)を定義し比較を行った。比較の結果従来比1.9~1.3倍の生産性向上がみられた。

②省人化

長く重い鉄筋ほど省人化効果が大きい。また、削減できた人員は他の鉄筋組立作業に従事できるため、施工効率が上がる。

③省力化

配筋時の鉄筋重量は、本ロボットが負担するため、作業員の配筋時重量負担はない。

④安全性向上・労働環境改善

鉄筋組立作業に必要な作業人員も取扱重量も減り、かつ自分で操作するため危険回避へのレスポンスもあがる。この結果、事故リスクが減り安全性が向上するとともに、重量物取扱い作業からも開放されるため、労働環境の改善につながる。

⑤機動的運用

四分割可能で、持ち運びが人力で容易に行える。したがって、重量負担が大きい作業にピンポイントでの使用が可能である。

⑥人とロボットの協働作業実現により、高齢熟練者のノウハウを継続して活用できる。(体力が落ちてでも使える)

4 課題と改良点

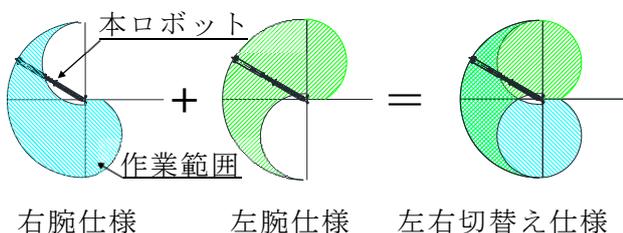
現場実証を行った結果以下の2点の改良を行うこととした。

4. 1 作業範囲の拡大(汎用性の拡大:一回の設置で作業できる範囲を増やす)

適用例で使用した時点ではアームの腕の動きは右腕同様の作業範囲であった。これは、操作グリップで感知した方向に肘関節部のモータを角度制御する際には、どちらか一方の方向に曲がるように制御する必要があったためである(ソフト的な制御の問題から困難であった)。そこで、人は一般的に右利きが多いため、自分の右腕のように直感的に操作できるように、右肘

同様の動き（回転）をするように回転角度を制限した。

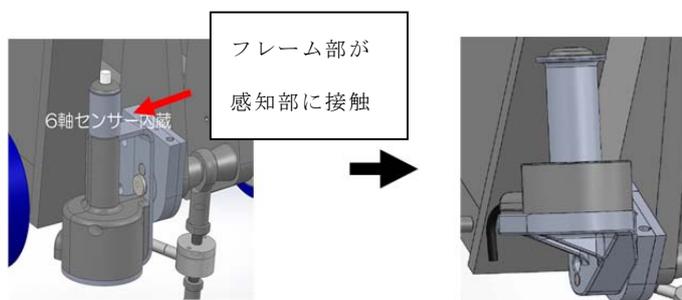
今回は、一度の設置でより広い旋回範囲を確保し、汎用性を上げるために、左腕同様の動きも可能になるように（図－6）制御システムの改造と左右切り替えスイッチの増設を行った。切り替えのタイミングとしては、肘部がまっすぐになった時点で右腕仕様と左腕仕様を切替えることでソフト的な問題を回避した。本年秋に現場に適用し、効果を確認する予定である。



図－6 旋回範囲の拡大

4. 2 操作グリップの操作性向上（操作グリップの形状変更）

当初想定した持ち方以外で操作した場合、極端な操作（上部へ目いっぱい動かす等）をおこなった場合、操作者の思う方向へ行きづらい事象が何回か見られた。これは、フレーム部にゆがみが生じセンサー感知部に接触していたことが原因であった（図－7）。そこで、原因となるフレーム構造を見直し、フレームのない新たな形状を採用することとした。今後適用を進める中でその有効性を引き続き検証していく。



図－7 操作グリップの改造

5 まとめ

本開発により、人とロボットの協働作業が実現し、重量のある鉄筋配筋作業において、省力化・省人化が可能となるとともに、安全性の向上、労働環境の改善が可能となった。

本技術は配筋作業にとどまらず、建設分野以外でも、一般的な重量物の移動・設置作業に適用が可能であり、広い汎用性を持つ。なお、現在の設置方法はH鋼材に取り付ける方式であるが、施工条件により変更可能である。

課題としては、上筋等の鉄筋架台上での適用時には、操作者の足場が必要なことや、鉄筋の縦起こしへの対応等があり、今後、取り組んでいく所存である。

【参考文献】

- 1) 大木智明、配筋作業をアシストするロボットアーム型作業支援ロボットー『配筋アシストロボ』、電力土木、第388号、pp. 97-99、2017
- 2) 金丸清人、配筋アシストロボの開発、月刊技術士、6月号、pp. 4-7、2017

砂防現場におけるICT活用工事の 課題について

北陸地方整備局 湯沢砂防事務所 工務課 樋口 拓也

1 はじめに 湯沢砂防事務所の概要

湯沢砂防事務所は、信濃川の支流である魚野川、清津川、中津川の流域、約2200平方キロメートルにおいて、砂防事業を行っている。管内には、谷川岳・苗場山などからなる「上信越高原国立公園」、越後三山・守門岳・浅草岳などからなる「越後三山只見国定公園」、巻機山を中心とする「魚沼連峰県立自然公園」があり、四季の変化に富んだ自然豊かで美しい地域となっている。また、貴重種の動植物が多数存在し、その数は鳥類で37科131種、哺乳類で50種に及んでいる。

その一方で、豊かな自然の恵みを与えてくれる山々は非常に脆弱な地質と急峻な地形からなっており、梅雨から秋にかけては集中豪雨や台風により、冬から春にかけては豪雪および融雪によって土砂流出や崩壊などが発生しやすく、土砂災害が起きやすい地域となっている。そのため、砂防工事の現場は厳しい条件が多く、工事の実施にあたっては、安全施設の設置や出来形管理のための仮設などにコストがかかるケースも多く、現場内の作業スペースも少なく狭隘な現場条件にあるなど、他工事に比べ生産性が低下する傾向にある。

2 ICT土工の導入の動機について

建設業界では、就業者の高齢化と若年入職者の減少により将来的な人材不足が懸念されており、これらの対応として建設現場における生産性の向上が大きな課題となっている。国土交通省では、建設現場における一人当たりの生産性の向上を図ることで、建設業における人材不足に対応するため、建設現場への「ICTの全面的な活用」を推進している。ICTの導入により、測量、施工、管理などあらゆる場面において省力化が図られるとともに未熟な作業員の機械操作能力の補助・向上や、バラツキの少ない施工管理が期待されている。

3 三俣溪流保全工の事業概要について

清津川中流域の三俣地区では、日本海側と関東圏域を最短ルートで結び、災害時の緊急輸送道路にも指定されている国道17号と清津川が並走している。この地域は湯沢町の主要観光施設が多いことから、毎年多くの観光客が訪れている。平成23年9月の台風

12号による増水においては、上流から多量の土砂が流出するとともに、溪岸浸食等の被害が沿川の至る所で発生した。また、平成25年9月に台風18号による増水でも、同様に土砂移動により一部の護岸が被災を受けている。このため、重要交通網である国道17号の保全や清津川沿川地域の土砂災害を防止するため三俣溪流保全工の整備を推進している。(写真-1)なお、本稿で対象とするICT活用工事は、当地区にて清津川に合流する土石流危険溪流(八木沢)において、護岸工などを設置する工事である。施工範囲を図-1に示す。



写真-1 三俣溪流保全工の整備範囲

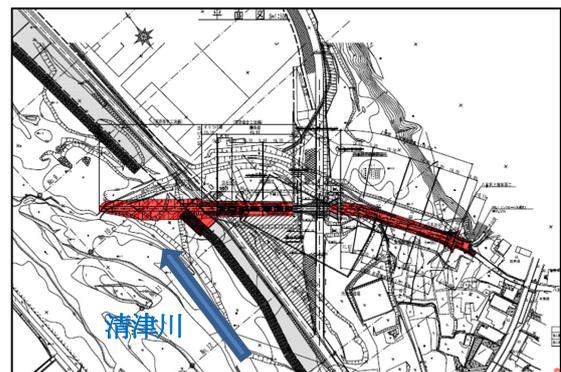


図-1 三俣溪流保全工その4工事の施工範囲

4 ICT土工の実施項目

4. 1 UAVによる3次元起工測量

UAV(無人航空機)(写真-2)を用いて上空から撮影された連続する空中写真を使い、対象範囲のステレオモデルを作成するとともに地物の3次元座標値を抽出することで起工測量を実施をした。



写真-2 本工事で使用したUAV

従来の測量方法では、地形測量・縦断測量・横断測量の3種類の測量を行う必要があり、多くの工程を要したが、UAVによる空中写真測量では、1フライトの飛行時間が約20分でおよそ200,00m²を計測することが可能となる。(高度50m、オーバーラップ90%、サイドラップ60%の場合)

4. 2 設計図面の3次元化と事前調査

既存の2次元の図面(平面図、縦断図、横断図)から、3次元データを作成し、これに空中写真測量から得られた点群データを取り込むことで、設計図と現況地形の重ね合わせた3次元図面を作成した。これにより、必要となる切土量や盛土量が自動的に算出され、施工量が簡易かつ明確に把握することが可能となった。

3次元図面の作成と同時に施工適用範囲がGNSSの受信可能な環境である事を確認した。受信状況の確認は、RTK-GNSSを用いて常にFIX解(GNSSの公称精度を満足する測位が可能な衛星補足状態にあることを言い、一般的には上空に5個以上の衛星が必要となる)が得られる状況にあることをチェックすることでを行った。(写真-3)



写真-3 RTK-GNSSを使用して受信状況を確認

4. 3 ICT建設機械による施工

4. 3. 1 ICT土工の範囲及び時期の検討

ICT土工の施行範囲の選定にあたっては、降雪があるとUAVによる出来形測定が困難であることを考慮し、降雪の影響がない箇所を選定するとともに、11月中のICT 土工部の施工を完了することを目標にした。ICT土工施工範囲を図-2に示す。

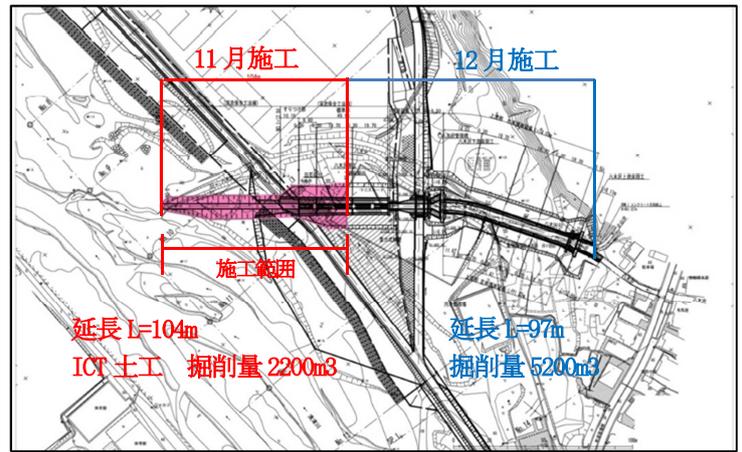


図-2 ICT土工の施工範囲

4. 3. 2 ローライゼーション

現場管理で使用する座標系とGNSSで取得される位置情報(緯度・経度・楕円体高)が異なるため、事前にGNSS座標系を現場座標系に変換する必要がある。

(図-3) そのため、施工エリア内最低4点の現場基準点(X, Y)をGNSS測量機で観測し、変換データを作成後、建設機械に入力を行う。

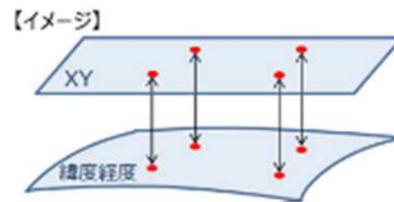


図-3 変換データの作成イメージ

上 現場座標系 下 GNSSで取得した位置情報

4. 3. 3 ICT 建設機械による施工

本施工では、マシンコントロールバックホウ(以下、「MC バックホウ」とする)を用いて土工の施工を行った。MC バックホウは、予め設計面の座標値を入力しておくことで、設計面に沿って自動でブームが稼働し、かつ、バケットの幅・輪郭点の中で最も設計面に近い点を自動検出しながら稼働範囲を制御するため過剰な掘削を防ぐことができる。(図-4, 5, 6) これにより、熟練のオペレータでなくとも過掘などのミスなく正確に床掘や法面作業ができる。又、掘削丁張りの設置の必要がないため、丁張り設置時の待機や降車しての掘削確認作業が不要となり、作業効率が向上する。併せて掘削箇所補助作業者が進入する必要がなく安全性が向上する。

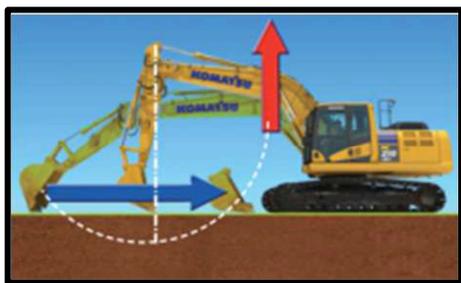


図-4 自動整地アシスト



図-5 最短距離制御

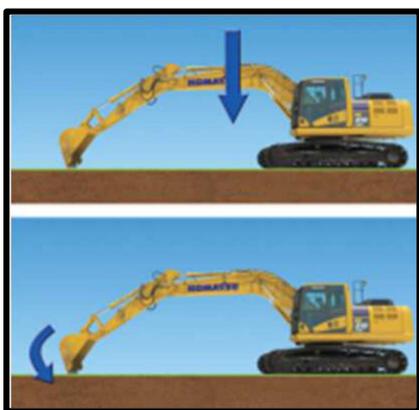


図-6 自動停止制御

バックホウに搭載された GNSS 機器及び配信される補正情報と建設機械に内製されている各センサーによりバケット刃先の位置の座標値が 3 次元で算出される。これらの値と 3 次元の設計データをリアルタイムで参照することにより、車載コントロールボックスのモニターに設計データと現状を表示され、これを確認しながら施工する。(写真-4) また、セミオート機能を併用する事により、自動制御で設計面以上の深掘を防止など、自動アシスト機能は、オペレータの技量に左右されない一定以上の品質を確保できる。



写真-4 切土法面整形の掘削作業状況及びモニター表示状況

4. 3. 4 精度確認方法

日々の点検はチェックシートに記載した項目について作業開始前に実施する。始業点検と合わせ、あらかじめ設置した既知点を用いて建設機械にて算出される座標値の精度確認を行う。精度確認は、既知の座標値を持ったチェック杭に MC バックホウの刃先を当て算出された座標値と既知の座標値との誤差が出来形管理値（基準高±50mm）以内であるかどうかを確かめて行うものであり、必ず作業前に実施する。(写真-5)



写真-5 チェック杭確認画面

4. 4 UAVによる3次元出来形管理

UAVを用いた空中写真測量により施工面の3次元点群データを取得することで出来形計測を行う。設計の3次元データと取得された施工面の3次元データを対比することで出来形を管理する。(写真-6)



写真-6 UAVによる出来形測定

5 従来工法とICT土工との比較

5. 1 測量について

従来工法では、縦横断測量を実施し、2次元測量成果を作成したうえで、3次元化する必要があるため、これに相当な時間が必要となる。これに対し、UAVを活用した写真測量等では、短時間で3次元測量を実施することができる。

5. 2 設計図面の3次元化

従来の方法では、単位延長あたりの断面から土量

などをその都度算出する必要があったが、設計図を3次元化し現況地形と参照することで、必要土量を自動的に算出・把握することが可能となり、施工量の算出や書類の整理が、効率的に実施することができる。

5. 3 施工について

従来方法では、熟練オペレータが、丁張りを指標としていたため、手間もかかるだけではなく、安全確保にも留意が必要であったが、MCバックホウによる「自動アシスト機能」を活用することで、丁張りの設置や、掘削面を確認しながらの作業が必要ないため熟練オペレーターでなくとも設計面付近の土工作業をスムーズに行うことができる。また、MCバックホウでは、法面整形時に施工範囲外にバケットの移動することが自動的に制御されることから、施工範囲外で作業する作業員との接触の危険性が無くなり安全性が向上した。

6 留意事項

今回、ICT施工を実施した結果、施工効率及び施工の観点で、従来工法と比較して優位であることを確認できた。

しかし、砂防現場の特殊性から以下の留意事項に配慮する必要が確認できた。

6. 1 UAVによる空中写真測量

UAVによる空中写真測量では、計測対象範囲に作業員や仮設構造物、建設機械などが配置されている場合、地形面のデータが取得できない。そのため、可能な限り地形面が露出している状況で計測する必要がある。くわえて、砂防の現場で降雪期が早く撮影に適した期間が限られている。また、山間部のため樹木が生い茂っており、草木があると測量の精度が落ちる。

6. 2 建設機械の調達

MCバックホウなどは建設機械専門業者からの1ヶ月単位リースとなるため、リース期間に見合う工事量が必要となるが砂防の現場では左岸、右岸の掘削や本堰堤、副堰堤など掘削範囲が複数に分かれていて施工時期が異なるため一連では作業できない。

6. 3 出来形管理

掘削に伴い巨石や転石が多く、石を撤去又は存置する必要があり、定規断面で施工ができない場合が多く別途出来形管理の方法を検討する必要がある。

7 おわりに

今回の試行により、ICT技術を導入することで、従来

施工と比較して、施工の効率等が向上したという結果が得られたことは、「生産性向上」という目的を果たす手段として、ICT施工が効果的であることを確認出来たが、砂防の現場は、その特殊性によりいくつかの留意事項に配慮する必要が確認出来た。

今後も事務所管内において、ICT活用工事の導入を推進することで、多様な現場条件における普及の可能性について検証を進めていきたい。

謝辞：本論文を作成するにあたり、「株式会社 森下組」や「株式会社 小松製作所」の皆様には資料提供等のご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

G I B工法（落石衝撃緩衝工法）

日本サミコン株式会社 技術本部 ○村田 佳久
 補修事業部 大嶋 雅光
 技術部 青木 裕

1 はじめに

経済の成長の中で、これまで整備されてきた我が国の社会資本ストックは、一方で老朽化が進んでいる。またこれまでのような経済成長が見込まれなくなった現代、新規建設に加え、このような既存社会資本ストックの適切な維持管理による長寿命化や有効利用を図ることがますます重要となっている。

道路際に設置する重力式コンクリート製落石防護擁壁は、設計対象となる落石衝撃力が小さいため、落石衝撃力の緩衝を目的とした緩衝体が設置されていないのが通常である。しかしながら、建設後の斜面危険度再点検や風化の進行により、近年では建設当初の想定設計荷重を超える評価がなされることもある。また、擁壁背面に緩衝体が設置されていないために落石衝突時にコンクリート表面が局部損傷した事例も報告されている。

このような背景から耐衝撃性能の向上やコンクリート面の局部損傷の回避を目的に、落石の受撃面にソイルセメントを用いた三層緩衝構造を設置した落石防護擁壁や、ジオセル緩衝体を設置した落石防護擁壁が提案され、その有効性が確認されている^{1),2)}。

本研究では、重力式コンクリート製落石防護擁壁の受撃面に単粒度碎石を充填したジオセル緩衝体構造を設置した場合の合理的設計法の確立に向けて、重錘衝突実験²⁾から得られた重錘速度の時間的変化や反発係数に着目し、検討を

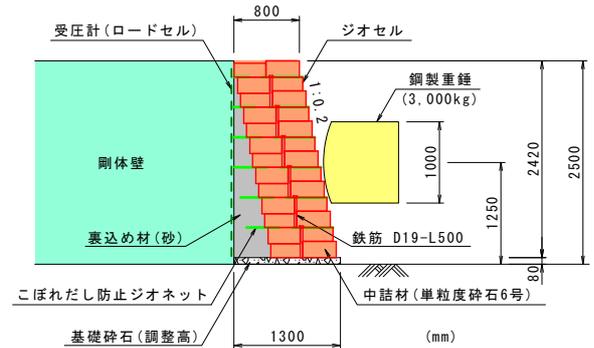


図-1 試験体の形状寸法



写真-1 ジオセル

写真-2 実験状況

表-1 実験ケース一覧

実験ケース	重錘重量 (kN)	落下高さ (m)	緩衝体 (中詰材)	実測重錘衝突速度 (m/sec)	入力エネルギー (kJ)
No.1	30	2.00	ジオセル 緩衝体 (単粒度碎石 6号)	6.31	59.0
No.2		3.75		8.74	114.3
No.3*		5.00		9.61	138.5
No.4		7.00		12.37	233.3
No.5		9.00		13.42	273.3
No.6**		7.00		12.12	220.3

*: 緩衝体の部分的修復 **: 緩衝体の修復なし

行った。

2 実験概要

2.1 試験体の概要

図-1には試験体の概要を示している。試験体は、幅5,000mm、高さ2,500mmであり、コン

クリート製の剛体壁前面にジオセル緩衝体を全て覆うように施工した。写真-1に示す緩衝体の施工に使用したジオセルは、展開時の寸法が厚さ 800mm、幅 2000mm、高さが 200mm 部分と 170mm 部分をもつ階段状となっており、高さの異なる部分を交互に積層し 2 分勾配で全 12 段設置した。ジオセル緩衝体の中詰材には全国的に入手しやすく空隙により排水性能や凍上防止性能のよい単粒度砕石 6 号を充填し、1 層ごとに裏込め材の砂と合わせて振動プレートで転圧した後、次段のジオセルを積み上げた。また、各段の連結性を高めるために鉄筋を所定の間隔で打ち込んでいる。

剛体壁には全 24 個の伝達衝撃応力測定用のロードセルを、重錘衝突位置を基準に水平方向に 11 個、鉛直方向に 12 個規則的に埋設している。また、重錘にはひずみゲージ式加速度計を設置した。

2. 2 実験方法

実験は、写真-2に示すように門型の鋼製フレームに吊り下げられた鋼製重錘をクレーンにより所定の高さまで吊り上げ、振り子運動により緩衝体に重錘を一度だけ水平に衝突させることにより実施した。落下高さは、吊り上げられた重錘の衝突面中央から計測した。

本実験に用いた重錘は質量 3,000kg、直径 1m の円柱状であり、衝突面は球面状となっている。重錘衝突位置は、重錘中心が剛体壁の半分の高さとなるように地表面より 1,250mm 上方の位置としている。また、延長方向の重錘衝突位置は剛体壁の幅 5,000mm の中央としている。

表-1には実験ケースの一覧と実測重錘速度、および速度から計算した入力エネルギーを示している。衝突速度は落下高さの計測位置の関係から理論値より大きい値となっている。なお、ケース No.3 に関しては No.2 の衝突後における

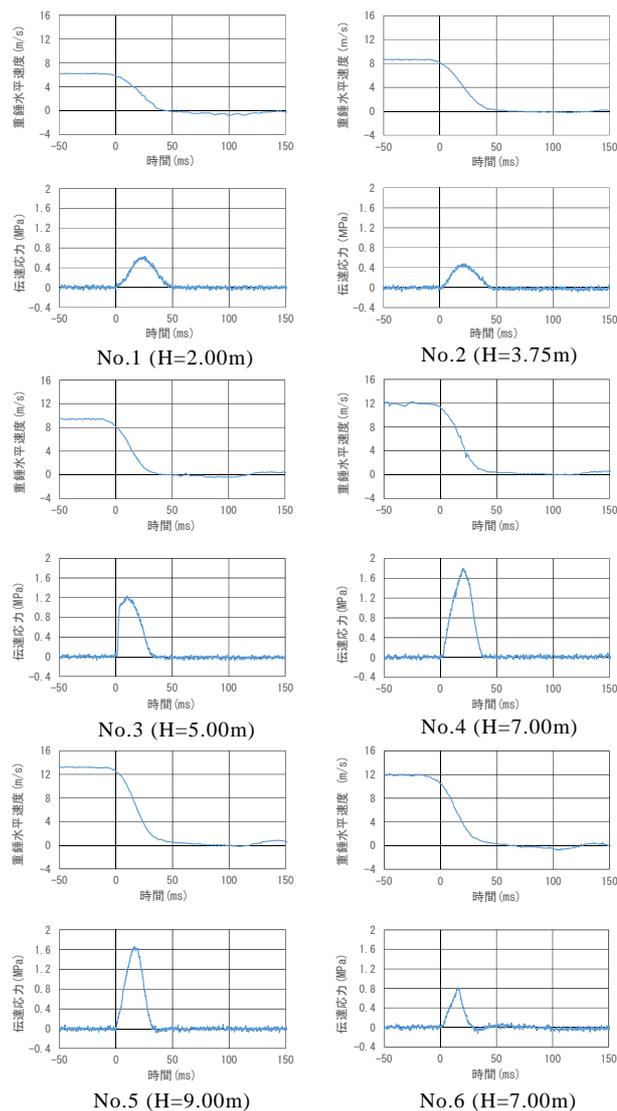


図-2 重錘水平速度と伝達応力の時間的変化

試験体の損傷が軽微であったことより部分的な修復とし、また、ケース No.6 に関しては、ジオセル緩衝体衝突後の損傷耐力を確認するため、No.5 の衝突後のジオセル緩衝体を修復することなく、重錘を衝突させている。

測定項目は、1) 重錘加速度、2) コンクリート製剛体壁前面に埋設された伝達応力、および 3) 高速度カメラによる重錘の衝突速度および貫入量である。なお、重錘の衝突速度および貫入量は高速度カメラにより撮影された画像データを用いて、重錘に貼付したターゲットマーカの移動量から算出した。

3 実験結果および考察

3.1 緩衝体への衝突速度

図-2には、実験ケースNo.1~6で得られた重錘衝突速度および衝突位置近傍における伝達応力の時系列を示している。なお、波形のゼロ軸は、衝撃力伝達開始時をゼロとしている。これによると、重錘の速度は緩衝体に衝突した時点から減速し始め、最大貫入量を経て重錘が緩衝体から離れた時点でほぼゼロとなることが分かる。この傾向は衝突速度にかかわらず類似である。また、衝突（速度減少の開始）時点からゼロ近傍に達するまでの時間は、いずれの場合においても100msec以内である。

一方、伝達応力は重錘が衝突した時点から急激に立ち上がり、重錘が緩衝体を離れる（重錘速度がほぼゼロ）時点までの中間付近で最大値を示している。表-2には、これらの実測結果より得られる重錘の衝突速度を V_0 (m/sec)、最大伝達応力発生時における速度を V_m (m/sec)として整理している。 V_m は V_0 の約40%~66%の範囲にあることが分かる。

なお、表中のNo.3は部分的修復後に、No.6は緩衝体を修復することなく、重錘を連続衝突させていることから、これら2ケースを除外すると、 V_m は V_0 の40%~59%の範囲となる。このばらつきは、ジオセルの中詰材に使用した単粒度碎石や裏込め材砂の締固め程度や含水量等の影響によるものと考えられる。

以上より、コンクリート製剛体壁の最大伝達応力発生時刻において、重錘衝突による最大衝撃力を受けると考えた場合には、その速度は衝突時の60%以下まで減速されると判断される。

3.2 重錘の反発係数

図-2に示した重錘速度波形を見ると、衝突後一度減少しはじめた速度は、その後大きく変化すること無くほぼゼロとなっていく。このこと

表-2 各ケースにおける重錘速度

実験ケース	重錘重量 (kN)	落下高さ (m)	実測重錘衝突速度 V_0 (m/sec)	最大応力時重錘速度 V_m (m/sec)	比率 V_m / V_0
No.1	30	2.00	6.31	2.54	0.40
No.2		3.75	8.74	5.06	0.58
No.3 *		5.00	9.61	6.31	0.66
No.4		7.00	12.37	6.53	0.53
No.5		9.00	13.42	7.89	0.59
No.6 **		7.00	12.12	5.85	0.48

*: 緩衝体の部分的修復 ** : 緩衝体の修復なし

は、重錘が緩衝体に衝突後、ほとんど反発することなく、静止していることを示唆している。これより、重錘がジオセル緩衝体に衝突した際の反発係数はほぼゼロであると考えて差し支えない。なお、実験時に撮影した高速度カメラからの映像でも重錘の反発はほとんど生じていないことを確認している。

3.3 ラーメの定数

図-3には、重錘衝撃力および重錘貫入量と入力エネルギーの関係を示している。図-3(a)には、落石対策便覧³⁾に準拠し、下式(3-1)により算出した理論値を破線にて示している。上側の破線が $\lambda = 1,000(\text{kN/m}^2)$ 、中央の破線が $\lambda = 1,500(\text{kN/m}^2)$ 、下側の破線が $\lambda = 2,000(\text{kN/m}^2)$ で算出した結果である。

$$P_{max} = 2.108 \cdot \lambda^{2/5} \cdot (m \cdot g)^{2/3} \cdot H^{3/5} \dots (3-1)$$

ここに、 λ : ラーメの定数(kN/m^2)、 m : 重錘質量 (ton)、 g : 重力加速度(m/sec^2)、 H : 落下高さ (m) である。

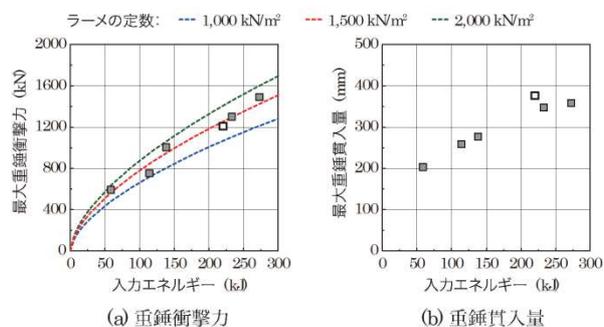


図-3 衝撃力および貫入量と入力エネルギーの関係

(a)図より、重錘衝撃力の最大値は、単一載荷や連続載荷にかかわらず、入力エネルギーの増大とともに増加しているのがわかる。また、単一載荷、連続載荷にかかわらず、すべての実験ケースにおいてラーメの定数が $\lambda = 1,500(\text{kN/m}^2)$ の破線に概ね一致することがわかる。

(b)図より、最大重錘貫入量は、単一載荷の場合では重錘衝撃力と同様に、入力エネルギーの増大に比例して大きくなるのがわかる。実験No.6の連続載荷の場合には、同程度の入力エネルギーである実験No.4と比較すると、貫入量が30mm程度大きい。

4 研究成果の現場への反映

本研究では、重力式コンクリート落石防護擁壁に見立てた剛体壁にジオセル緩衝体を設置し重錘を衝突させ、実験結果から得られた重錘衝突速度から、吸収可能な落石エネルギーが増加することがわかった。これにより過去に建設された既存の重力式コンクリート製落石防護擁壁の受撃面にジオセル緩衝体を新たに設置することで対応可能な落石エネルギーを増やし、既存の重力式コンクリート擁壁の対落石対応能力の増大と、延命化が図れる。



写真-3 既設擁壁の背面

また、コンクリート擁壁落石受撃面へのジオセル緩衝体の新たな設置は、大型機械を必要とすることなく比較的簡単でかつ短期間で施工可能なことから、現場への迅速な対応も可能である。

5 まとめ

- 1) ジオセル緩衝体を配置することにより、コンクリート剛体壁への伝達応力が最大となる時点において、重錘の速度は、衝突時速度の60%以下に低減する。エネルギー換算すると36%以下に低減され、重力式コンクリート製落石防護擁壁のエネルギー吸収能力の観点から、ジオセル緩衝体は非常に有効であると考えられる。
- 2) ジオセル緩衝体を設置して重錘を衝突させた場合は、重錘の反発は極めて少なく、反発係数はほぼゼロと考えられる。
- 3) ジオセル緩衝体を設置した場合の重錘衝撃力の最大値はラーメの定数を $\lambda = 1,500(\text{kN/m}^2)$ として計算した値と概ね一致する。

謝辞

本論文のとりまとめにあたり、国立大学法人室蘭工業大学の小室雅人准教授、栗橋祐介講師、東京インキ株式会社の大山亮貴氏に多大なるご指導をいただきました。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 牛渡裕二，岸 徳光，保木和弘，前田健一：ソイルセメントを有する三層緩衝構造を設置した1/2スケール落石防護擁壁模型に関する重錘衝突実験，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.2，pp.727-732，2012.7
- 2) 大山亮貴，小室雅人，栗橋祐介，村田佳久，渡部忍：単粒度碎石を充填したジオセルの緩衝効果に関する実験的研究，構造工学論文集，土木学会，Vol.61A，pp.1022-1011，2015.3
- 3) 社団法人 日本道路協会：落石対策便覧，2000.6

安全性と効率性を考慮した集水井内部の点検手法

国立研究開発法人 土木研究所 雪崩・地すべり研究センター

研究員 ○金澤 瑛

特任研究員 丸山 清輝

上席研究員 石田 孝司

1. はじめに

地すべり等防止法施行（1958年3月31日）から60年近くが経過し、地すべり対策施設全般に老朽化が進んでいる。地すべりの主たる誘因となる地下水を速やかに地すべり地外に排出することを目的に設置される地下水排除施設においても例外ではなく、これまでに整備された地下水排除施設の30%程度に機能低下を示す異常が確認されているとの報告がある¹⁾。地下水排除施設のひとつである集水井においては、井筒の破損、変形、腐食、湛水や、集水管・排水管の閉塞、天蓋や柵の変形、破損、腐食などの異常が確認されている（図-1）。これらの異常を放置すると地下水排除が適切に行われず、地すべりの安定度低下が危惧されることから、集水井の異常を早期に発見し対処するため、集水井内部の点検が実施される。

しかしながら、集水井内部の点検に際しては、有毒ガスや酸欠、管理施設であるトラップや踊り場の腐食・劣化による落下などの危険性がある。またこれら作業時の危険性に加えて、各地に数多くの集水井が設置されているという現状から、点検実施には多くの時間と手間を要しているという課題がある。そのため、安全かつ効率的な集水井内部の点検手

法が求められており、点検業務を受注するコンサルタント事業者においても各種の検討が進められている^{2) 3)}。

当センターでは、集水井内部の点検において安全性と効率性を考慮した点検手法の実用化に向けて、集水井内観察カメラを用いた井戸内部の点検手法を考案し、開発を進めている⁴⁾。本稿では、考案した集水井内観察カメラを用いた点検手法の概要を報告する。

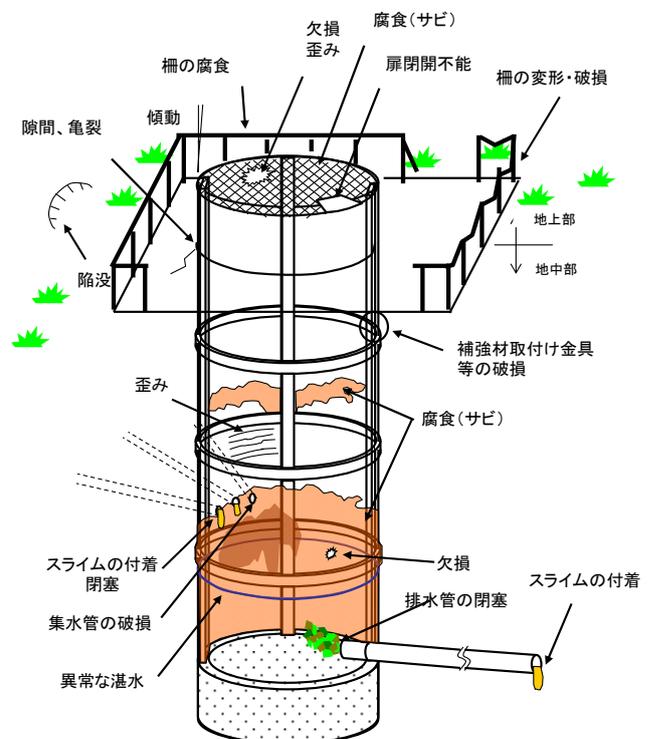


図-1 集水井の老朽化による異常:参考文献1)

2. 集水井内部点検手法

2.1 集水井内部点検手法の概要

集水井の点検を安全に行うためには、点検者が集水井内に立ち入ることなく、集水井の外から井戸の内部を点検することが望ましい。そこで、井戸内部を遠隔点検できる集水井内観察カメラを考案した。

図-2は、考案した集水井内観察カメラを用いた点検手法のイメージを示したものである。集水井内観察カメラは大きく分けて撮影部と昇降機から構成されている。撮影部には周囲360度全方位を一度に撮影できる全方位カメラを備えており、この撮影部を昇降機からリボンロッドで吊り下げ手動で上下させることで、集水井内部全体を一度に撮影しながら点検できる手法とした。撮影部を吊り下げた際、撮影部の重みにより振り子運動や回転運動が生じ撮影の支障となることから、それらの運動を抑制するも手法についても検討した。

を高速回転させジャイロ効果を発揮させることで、カメラの水平方向の回転を抑制する仕組みである。小型DCモーターは単三乾電池3本で駆動させた。

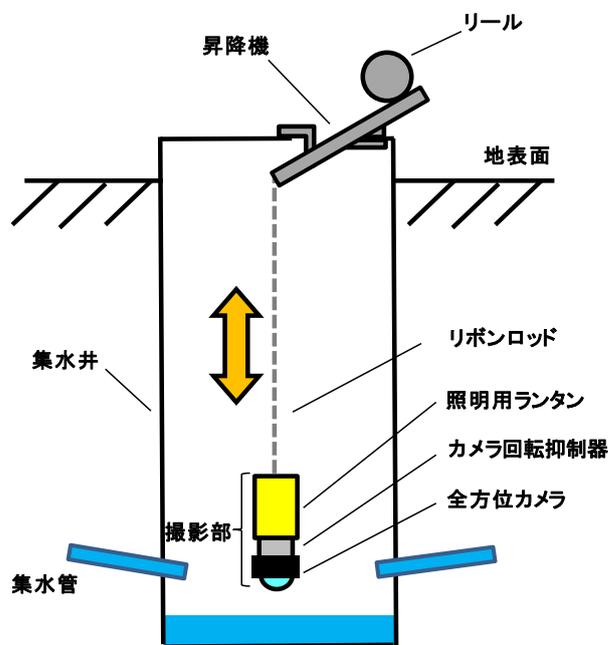


図-2 集水井内観察カメラのイメージ

2.2 撮影部

図-3左には、撮影部の全体を示した。撮影部は、防水ケースに収納した全方位カメラ、照明用ランタン、カメラの回転運動を抑制する回転抑制器から構成されている。全方位カメラは4K画質の360度アクションカメラ（Kodak社製PIXPRO SP360 4K）を用い、照明用ランタンは光量1000ルーメンのLEDキャンプ用ランタンを用いた。タブレット端末を用いて全方位カメラとWi-Fi通信することで、撮影した映像をリアルタイムで確認することが可能である。

図-3右には、回転抑制器を示した。回転抑制器は、フライホイール（円盤）とジンバル軸（回転台）を組み合わせた機構である。2台の小型DCモーターによりフライホイール

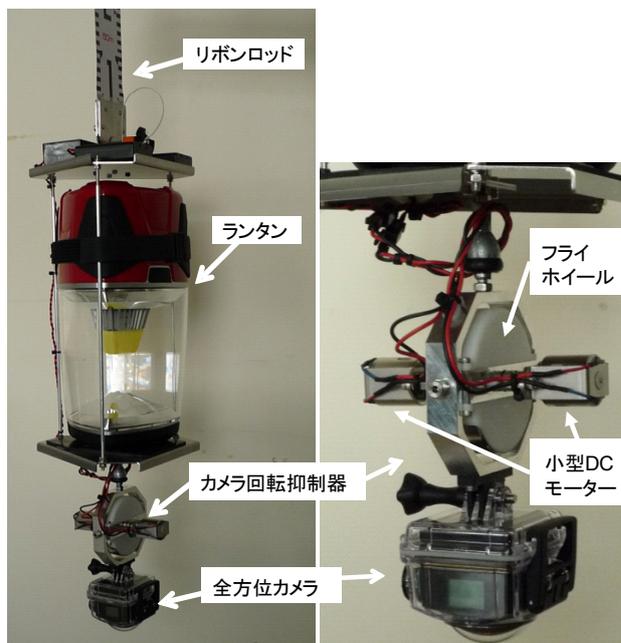


図-3 撮影部（右図：カメラ回転抑制器拡大）

2.3 昇降機

図-4には、試作した昇降機の全体を示した。昇降機は、架台とリールで構成されている。集水井出入り口から井筒中心に向けて架台を挿入し、前後2点で集水井出入り口の枠に固定する構造である。リールにはリボンロッド（長さ50m、幅60mm）が巻かれており、伸ばしたリボンロッドの先端に撮影部を取り付ける。リボンロッドは、幅が広くねじれ難いことから回転運動が生じ難く、また幅方向には振り子運動が生じ難いという特徴があることから、回転運動と振り子運動を抑制するために採用した。点検時は、リールに取り付けた昇降ハンドルを手動で回すことによりリボンロッドの長さを調節し撮影部を上下させることで、任意の位置での撮影を可能とした。なお地すべり地での運搬を考慮し、大部分をアルミ製とすることで軽量化を図った。

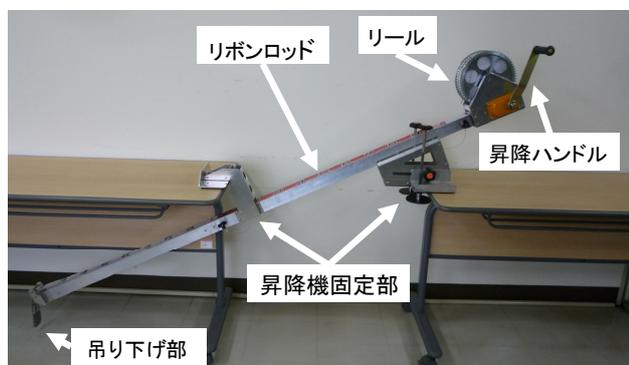


図-4 昇降機

3. 集水井内部点検手法の現地試験

現地試験は、新潟県上越市の猿供養寺地すべりに設置されている集水井1基、及び群馬県藤岡市の譲原地すべりに設置されている集水井5基において実施した。

図-5には集水井内観察カメラを集水井に設置した状況を示した。昇降機を設置する集水井出入り口の形状は設計時の仕様により様々であるが、今回実施した2箇所の集水井6基で

は適切に設置し固定することが可能であった。集水井内の撮影は、集水井出入り口から挿入し吊り下げられた撮影部が静止したことを確認した後、昇降ハンドルをゆっくりと回し、撮影部を降下させることで実施した。

図-6には猿供養寺地すべりと譲原地すべりにおいてそれぞれ全方位カメラで撮影した映像から作成した展開写真を示した。図-6上図ではコンクリート製の井筒本体の状況や集水管の閉塞状況、踊り場の劣化状況などが確認できる。図-6下図ではライナープレート製の井筒本体、パーティカルスティフナー（補強用の鉛直鋼材）、タラップの腐食、劣化の状況などが確認できる。本点検手法を適用することによりこれらの映像（画像）を取得することが可能であったことから、集水井内部の状況を概略的に確認するには本手法が有効な手段となると考えられた。一方で、本手法の課題として、展開写真にすることで発生するゆがみ（偏心）や写真拡大時の画質の粗さ、解像度の低さが挙げられた。そのため、詳細な点検に用いるためには、より高性能・高解像度のカメラを用いることや画像処理を施すなど、さらに工夫すべき点があることが明らかとなった。



図-5 集水井内観察カメラ設置状況

4. おわりに

本論文では、地すべり対策施設である集水井内部の点検において、当センターで開発を進めている安全性と効率性を考慮した点検手法の概要を報告した。

点検手法の適用性を検証する現地試験では、本試験地においては集水井内観察カメラの現地集水井への設置及び撮影を問題なく行うことができ、集水井の内部の概略的な状況を効率的かつ安全に映像で確認することが可能であった。一方で、展開写真のゆがみや画質の粗さが現時点の課題として浮き彫りとなり、より詳細な点検に用いるためには、さらなる改良を施す必要があることが明らかとなった。

今後は、展開写真のゆがみや画質の粗さに関する課題点について、本点検手法においてどこまでの精度が要求されるのかを見極めた上で、必要とあればより高性能・高解像度のカメラを用いるほか画像処理を施すなどの工夫により、ゆがみのない高画質な映像（画像）の取得を目指す必要があると考えられた。

参考文献

- 1) 野呂智之，丸山清輝，中村明，ハスバートル：地すべり防止施設の維持管理に関する実態と施設点検方法の検討ー地表水・地下水排除施設ー，土木研究所資料第4201号，2011
- 2) 井藤嘉教，山邊康晴，齋藤真，浅野広樹，折谷佳城，丸井英明：芋川地区地すべりにおける集水井工内部点検カメラを用いた施設点検事例，第55回日本地すべり学会研究発表会講演集，p.159-160，2016
- 3) 川俣英之，神野忠広，工藤卓也，小嶋伸一，山部哲，川崎巧，奥山遼佑：全方位カメラによる集水井の撮影事例，第55回日本地すべり学会研究発表会講演集，p.288-289，2016
- 4) 金澤瑛，丸山清輝，石田孝司：集水井内観察カメラの開発，第55回日本地すべり学会研究発表会講演集，p.292-293，2016



図-6 集水井内部展開写真（上図：猿供養寺地すべり，下図：讓原地すべり）