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ャ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･ﾍﾟｰﾌﾞ)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棚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	ドラグサクション浚渫兼油回収船「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	靭性モルタル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　河﨑　真一郎

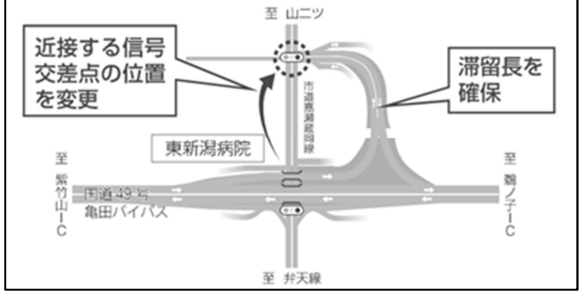
1　はじめに

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．

路　線　名：国道49号亀田バイパス（姥ヶ山IC）
箇　　所：新潟市中央区姥ヶ山
事業内容：交差点改良（交通事故重点対策事業）
延　　長：0.7km
構造規格：第3種第1級
設計速度：80km/h（国道本線），40km/h（ランプ）



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).

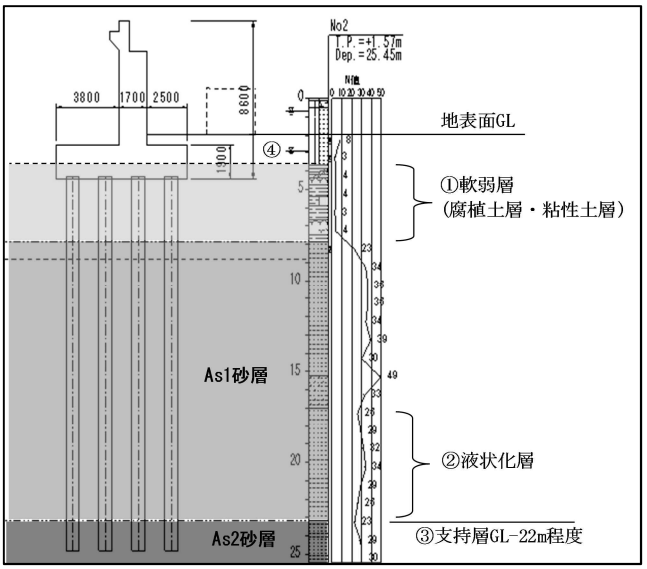
① 地表から GL-5m までの杭頭部に腐植土層を含む軟弱層がある.

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.

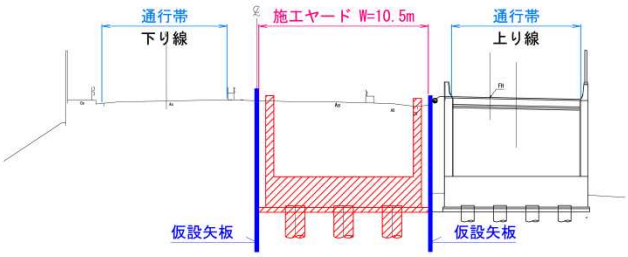


図－２　A1 橋台ボーリング柱状図

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=10.5m の狭隘な施工ヤードで施工する必要があった。

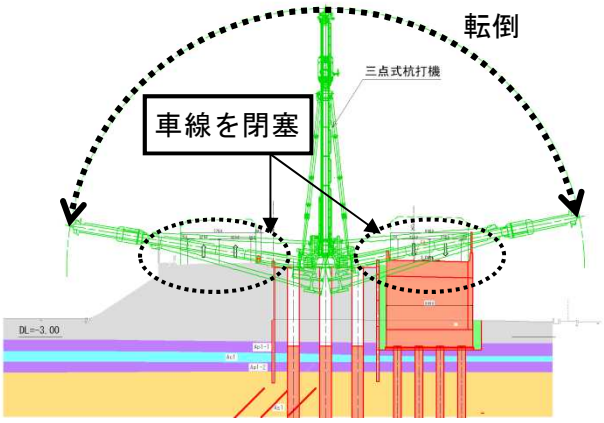


図－３　施工ヤード

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

選定条件 ＼ 基礎形式			直接基礎	打込み杭基礎				中堀り杭基礎							鋼管ソイルセメント杭基礎	プレボーリング杭基礎	場所打ち杭基礎			
						鋼管杭		PC・PHC杭			鋼管杭									
				RC杭	SPHC杭・	打撃工法	ハンマ工法・バイブロ	最終打撃方法	噴出攪拌方式	コンクリート打設方式	最終打撃方法	噴出攪拌方式	コンクリート打設方式				オールケーシング	リバース	アースドリル	回転杭
地盤条件	支持層までの状態	中間層に極軟弱層がある	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×
		中間層に極硬い層がある	○	×	△	△	△	○	**○**	○	○	**○**	○	**○**	**○**	△	**○**	△	**○**	**○**
		中間層にれきがある　れき径　5cm以下	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		れき径 5cm～10cm	○	×	△	△	○	△	△	△	△	△	△	△	○	○	○	○	△	○
		れき径10cm～50cm	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	△	×	×	○
		被状化する地盤がある	△	△	○	○	○	○	**○**	○	○	**○**	○	**○**	**○**	**○**	**○**	**○**	**○**	**○**
	支持層の状態	支持層の深度　5m未満	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		5～15m	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○
		15～25m	×	△	○	○	○	○	**○**	○	○	**○**	○	**○**	**○**	**○**	**○**	**○**	**○**	**○**
		25～40m	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△
		40～60m	×	×	△	○	○	△	△	△	△	○	○	○	○	○	△	○	×	×
		60m以上	×	×	×	△	△	×	×	×	×	×	×	△	△	×	△	×	×	×
		支持層の土質　粘性土（20≦N）	○	○	○	○	○	○	×	△	○	×	△	○	×	○	○	○	○	○
		砂・砂れき（30≦N）	○	○	○	○	○	○	**○**	×	○	**○**	×	**○**	**○**	**○**	**○**	**○**	**○**	**○**
		※.軟岩	○	×	×	△	×	×	×	×	△	×	×	×	×	○	△	○	○	○
		※.硬岩	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×	○	○	○
		傾斜が大きい（30程度以上）	○	×	△	○	○	△	△	△	○	○	○	△	△	○	△	△	△	○
		支持層面の凹凸が激しい	○	△	△	○	○	△	△	△	○	△	△	△	△	○	△	○	○	○
	地下水の状態	**地下水位が地表面近い**	△	○	○	○	○	○	**○**	○	○	**○**	○	**○**	**○**	**○**	**○**	**△**	**△**
		湧水量が極めて多い	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	×
		地表より２m以上の被圧地下水	×	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×
		地下水流速　３m／ｍｉｎ以上	×	○	○	○	○	○	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×
構造物の特性	荷重規模	鉛直荷重が小さい（支間20m以下）	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		鉛直荷重が普通（支間20m～50m）	○	△	○	○	○	○	**○**	○	○	**○**	○	**○**	**○**	**○**	**○**	**○**	**○**	**○**
		鉛直荷重が大きい（支間50m以上）	○	×	△	○	○	△	△	△	○	○	○	○	△	○	○	○	△	○
		鉛直荷重に比べ水平荷重が小さい	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		鉛直荷重に比べ水平荷重が大きい	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	支持	**支持杭**	／	○	○	○	○	○	**○**	○	○	**○**	○	**○**	**○**	**○**	**○**	**○**	**○**	**○**
		摩擦杭	／	○	○	○	○	／	／	／	／	／	／	○	○	○	○	○	○	○
施工条件	水上	水深５m未満	○	○	○	○	○	△	△	△	△	△	△	△	△	×	○	△	△	×
		水深５m以上	×	△	△	○	○	△	△	△	△	△	△	△	△	×	×	△	×	×
	作業空間が狭い		○	△	△	△	△	△	**△**	△	△	**△**	△	**△**	**△**	**△**	**△**	**△**	**△**	**○**
	斜杭の施工		／	△	○	○	○	×	×	×	△	△	△	△	×	△	△	×	×	×
	有害ガスの影響		△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	周辺	**騒音振動対策**	○	×	×	×	△	△	**○**	○	△	**○**	○	**○**	**○**	**△**	**○**	**○**	**○**	**○**
		隣接構造物に対する影響	○	×	×	△	△	△	**○**	○	△	**○**	○	**○**	**○**	**○**	**○**	**○**	**○**	**△**

○：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
基礎形式選定表	中堀りPHC杭 先端セメントミルク噴出撹拌	×	三点式杭打ち機を使用するため 適さない
	中堀り鋼管杭杭 先端セメントミルク噴出撹拌	×	〃
	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 場所打ちｵｰﾙｹｰｼﾝｸﾞ工法 (BKFﾊﾝﾏｰｸﾞﾗﾌﾞ工法)		第2案 回転杭	
施工イメージ						
経済性			900万円（1.00）	○	980万円（1.09）	△
施工性	交通影響	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

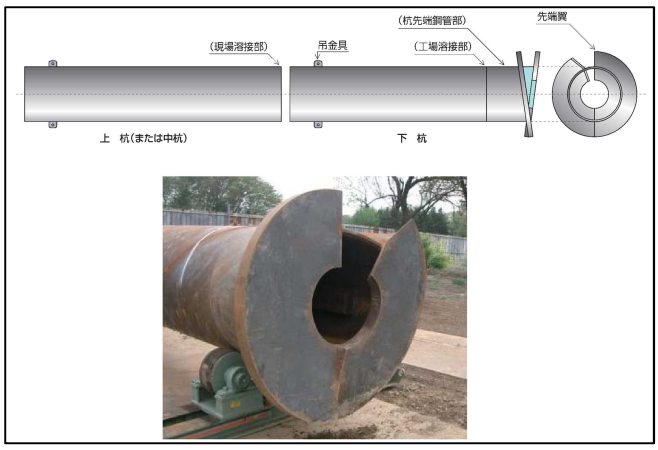
実際の施工にあたっては，つばさ杭工法を活用した．つばさ杭工法は杭先端に翼を設けた鋼管杭を回転貫入させる工法である（図－６）．つばさ杭工法の特長は以下のとおりである．

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

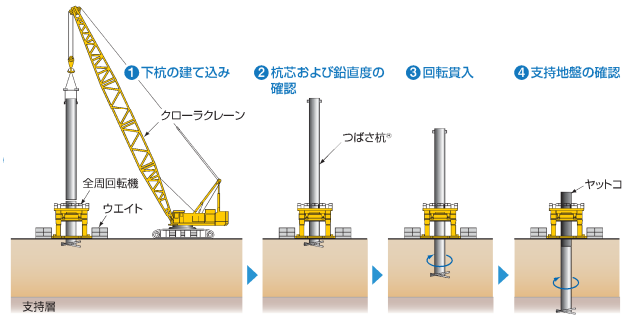
つばさ杭工法の適用性を表-4 に整理した．表-4 のとおり，全ての条件に適用しており問題なく採用できる結果となった．

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	φ318.5～φ1600	○	φ1200
先端翼径	杭径の1.5～2.0倍	○	φ1800
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

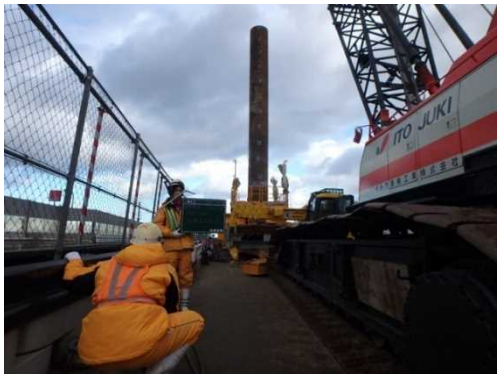
３．３　つばさ杭工法の施工の流れ

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 125.2 km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 20 km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。

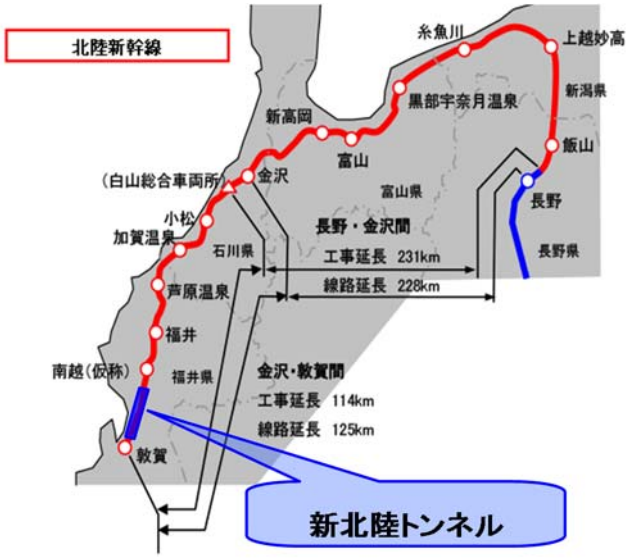
２．工事概要

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

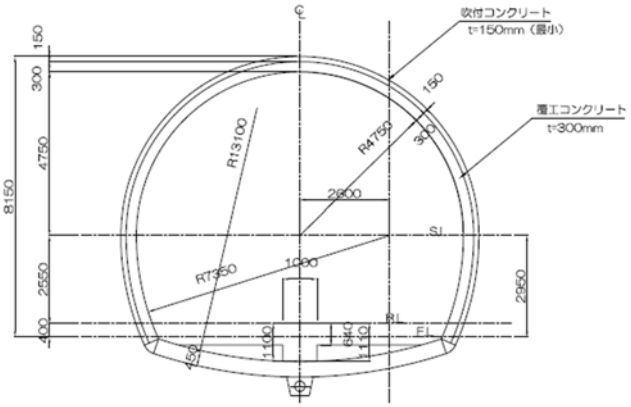
工　　期：2014(H.26).3.17～2020(H.32)2.17



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す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㎥/h、ミキサ容量0.5㎥/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㎥/h、ミキサ容量1.25㎥/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ノズル吹付機（吹付能力25㎥/h）を導入した。なお、２ノズル吹付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

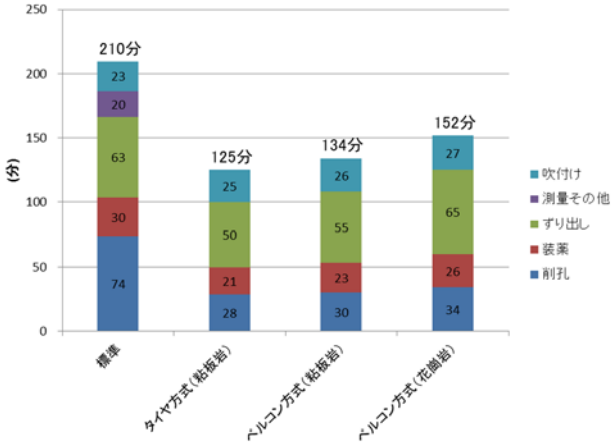
2015年８月に斜坑掘削が完了、タイヤ方式により本坑掘削を開始し、平均月進は136m、最大月進は150mを記録した。2016年１月から３月中旬までは本坑掘削を休止とし、ベルコン設備を設置した。その後、ベルコン方式として掘削を開始し、平均月進は140m、最大月進は186mを記録した。

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砕時間の方が長く、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

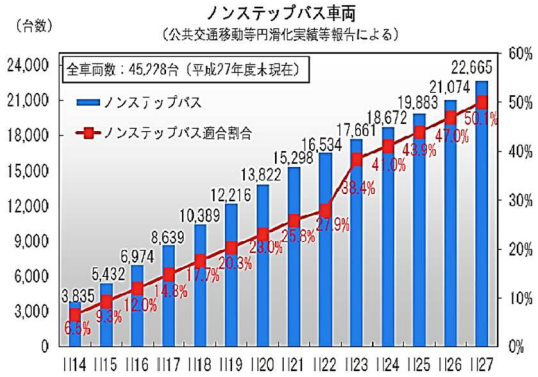
超高齢社会が進展していく中で、公共交通機関の重要度はますます高まっている。一方で公共交通の整備は十分に進んでおらず、誰もが移動しやすい交通環境の実現が課題となっている。

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―１）。

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―１）。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－２）。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―１．ノンステップバス導入の推移

写真―１．フランスのＢＲＴ

写真―２．フランスのバス停

写真―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―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―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―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プリンターで造型し、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、㈱アドヴァンス、泉観光バス㈱、新潟交通観光バス㈱、㈱トーニチコンサルタント、㈱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㈱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扉回避部に濃緑のペイントを施した。

写真―６．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―７）。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―７．三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て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る。

【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

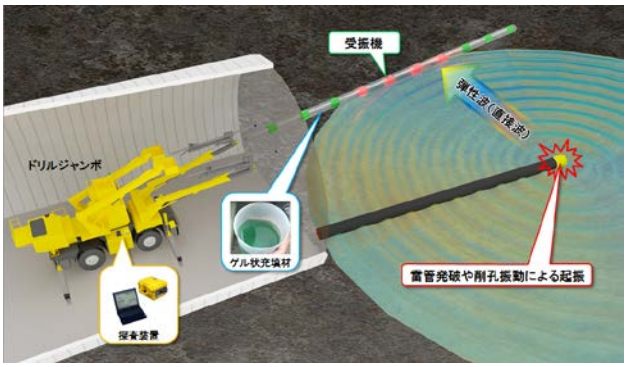
前田建設工業株式会社　本店 土木技術部マネージャー　水谷　和彦

１　はじめに

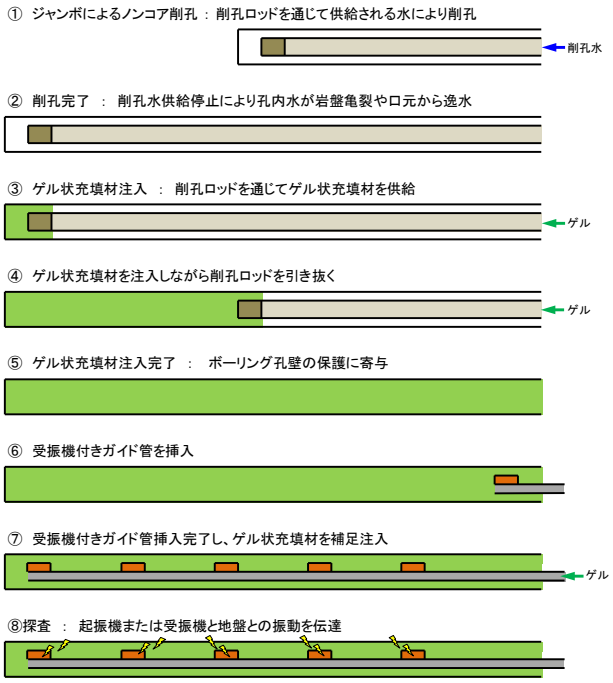
山岳トンネルは土被りが大きく施工範囲が広域におよぶことから、設計段階では十分な精度の地質情報が得られておらず、施工段階で切羽の地質状況に応じて修正設計を行いながら施工するのが一般的である。掘削前に地質状況を調査する方法として反射法による切羽前方探査があるが、その結果は、実際の地質状況と異なる場合もあり、設計変更というよりも危険予知的な利用に留まっていると考えている。それは、海外の地質構造に比べて日本の地質構造は複雑なため、反射波には多くの地質情報が含まれており、その様な反射イベントから単純に地質構造を解釈することが難しいからではないかと考えている。

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）

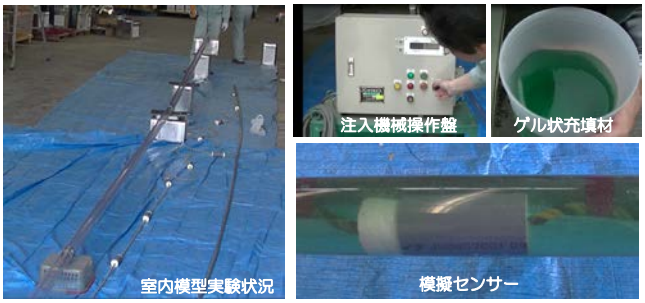


図－２　ゲル状充填材の充填イメージ

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）。



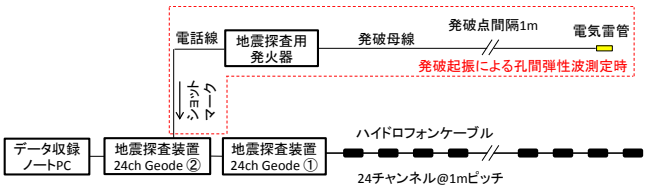
写真－１　室内模型試験状況

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）。

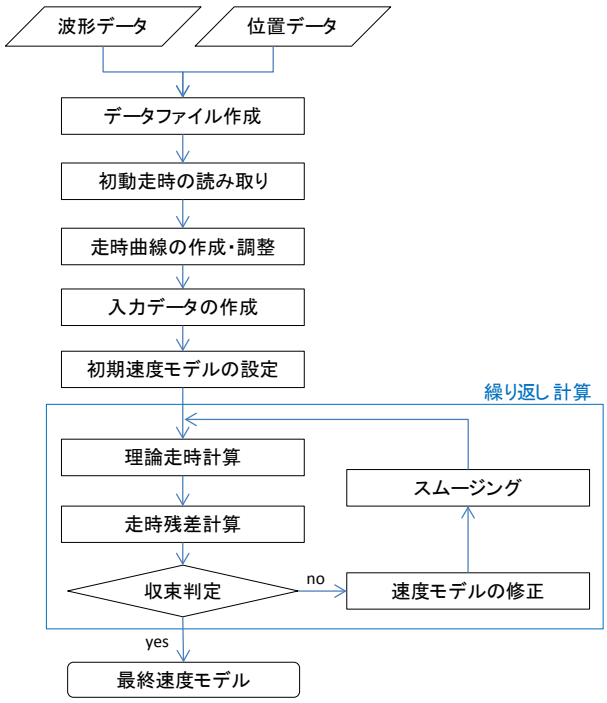
写真－２　現場実証試験状況

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。

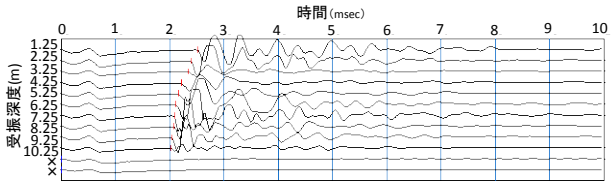


図－３　測定システム模式図

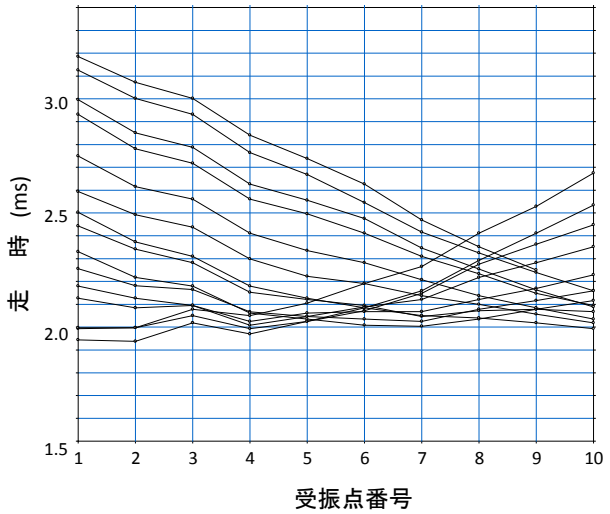
弾性波の受振にはハイドロフォン(φ35mm)と呼ばれる水圧を感知する受振機を使用した。ハイドロフォンをゲル状充填材中に置くことで地山を伝播してきた弾性波を感知可能とした。今回試験の起振は瞬発電気雷管の発破によって行った。解析フローチャートを図－４に示す。波形記録（図－５）から初動走時を読み取り、走時曲線を作成した（図－６）。走時曲線より初期速度モデルを作成し、繰り返し計算を行うことにより、弾性波速度分布を得た（図－７）。なお今回の結果は、孔荒れによる受振器の設置不良により、切羽奥 10～15m 迄の測定結果となっている。探査結果は、掘削時の切羽状況とも整合が取れており、本手法の成立性を確認する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



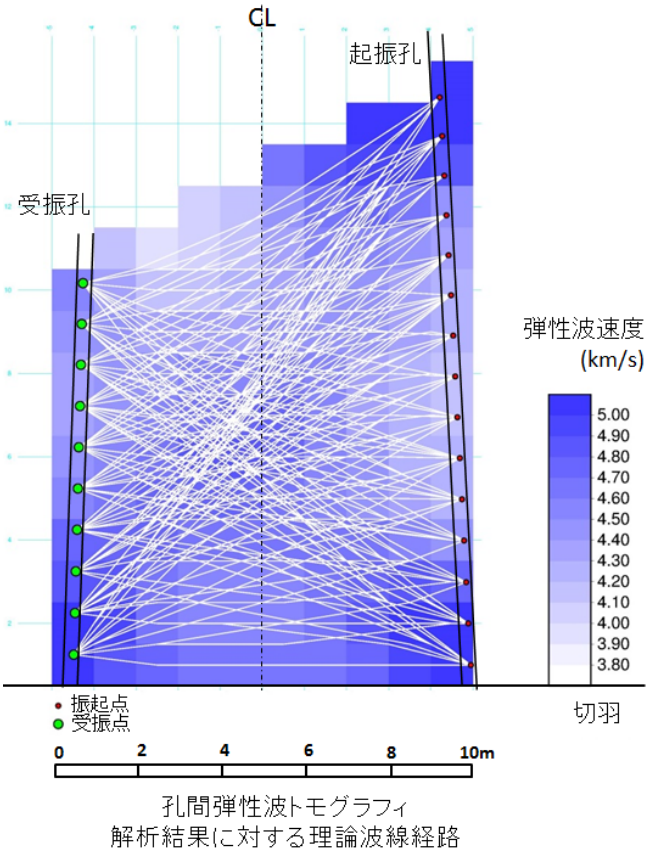
図－４　解析フローチャート



図－５　発破起振による波形記録



図－６　走時曲線図



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

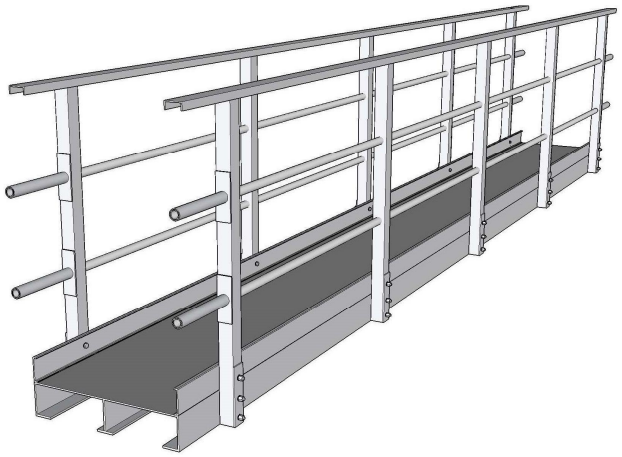
2012 年（H24）の道路橋示方書の改定において，橋梁維持管理の容易さと，確実性について考慮する旨記述され，５年毎の点検業務規定により，設計段階から点検用検査路等の計画が増えてきている.また,既存の検査路については,海岸部や融雪材などを散布する地域において鋼製検査路の腐食劣化も進行している事から，より耐食性の高い点検設備の検討も行われており，その一つとして，FRP 材を用いた検査路の採用も増えてきている.

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.

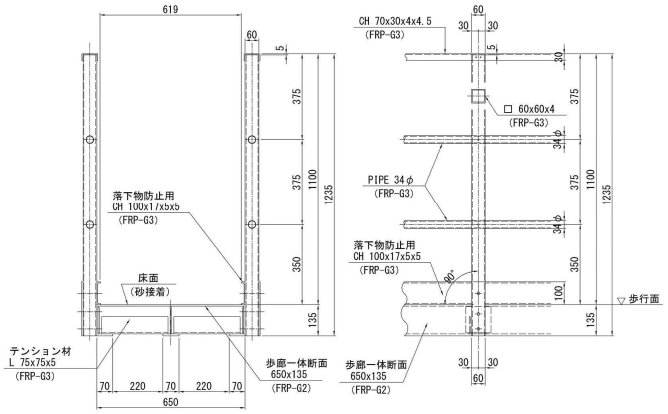
本稿では，FRP 検査路を実橋に適用するにあたり実施した各種の耐荷力試験結果を示すとともに，現在約 90 件の実績がある中で，既設橋梁に FRP 検査路を後から設置した事例として，福井県坂井市の鋼橋に設置した上部工検査路の施工状況について報告する.

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/mm²)		引張弾性率(N/mm²)		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

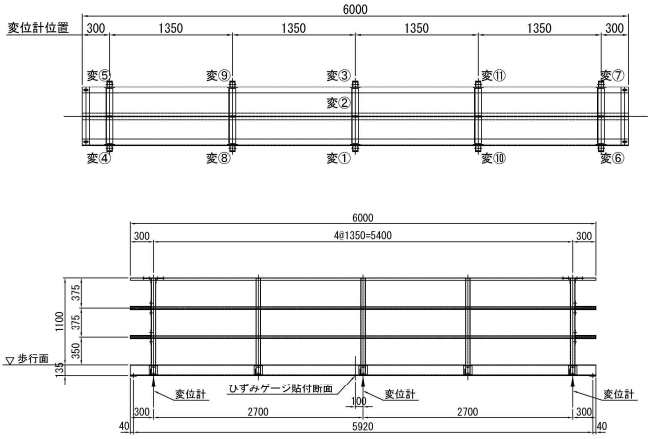
３．ＦＲＰ検査路の耐荷性状

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．



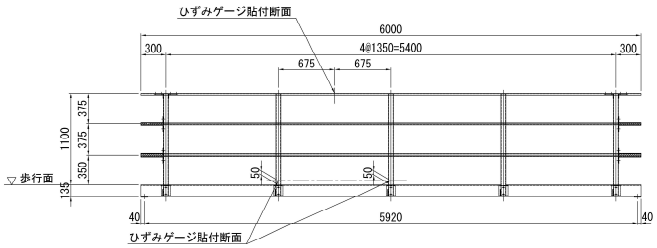
図－3　6ｍタイプ供試体概要図

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.

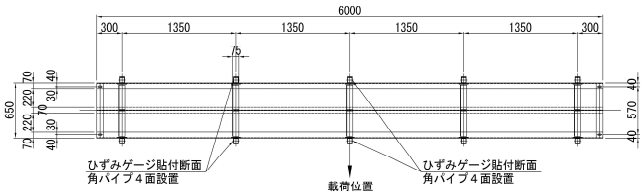


図－4　試験体概要図

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 160 kgと比較的軽量であることから，写真－10 に示すように，足

場上を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

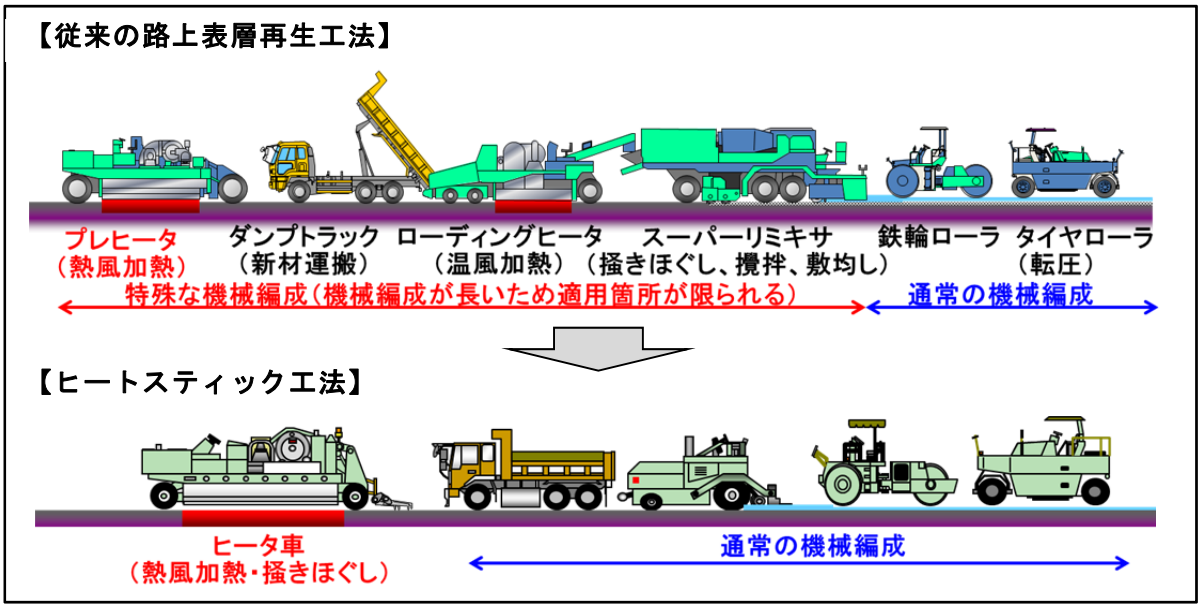
1　はじめに

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。



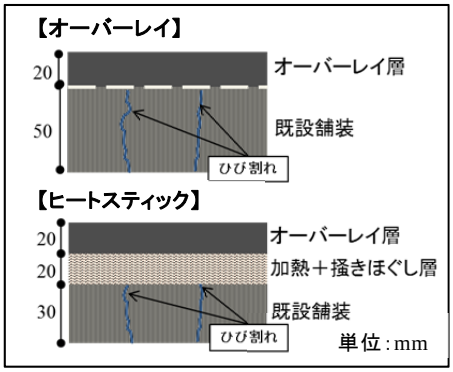
図－1　施工体制の比較

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 N_5 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。

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

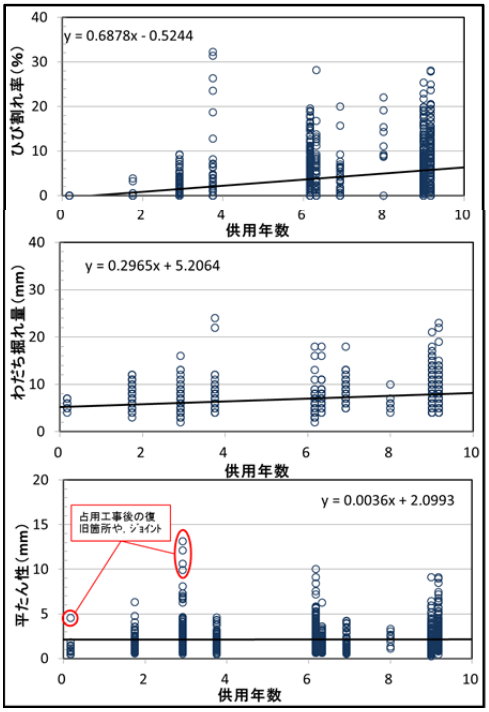
No.	施工時期	供用年数	交通量区分	施工延長（m）
1	平成28年 7月	0.2	N_4	297
2	平成26年12月	1.8	N_4	860
3	平成25年10月	2.9	N_4	1,880
4	平成24年12月	3.8	N_4	720
5	平成22年 7月	6.2	N_3	2,480
6	平成22年 5月	6.3	N_3	640
7	平成21年10月	6.9	N_3	620
8	平成20年 9月	8.0	N_4	160
9	平成19年 9月	9.0	N_5	2,740
10	平成19年 7月	9.2	N_4	1,352

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，平たん性を測定した。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，平たん性は，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。

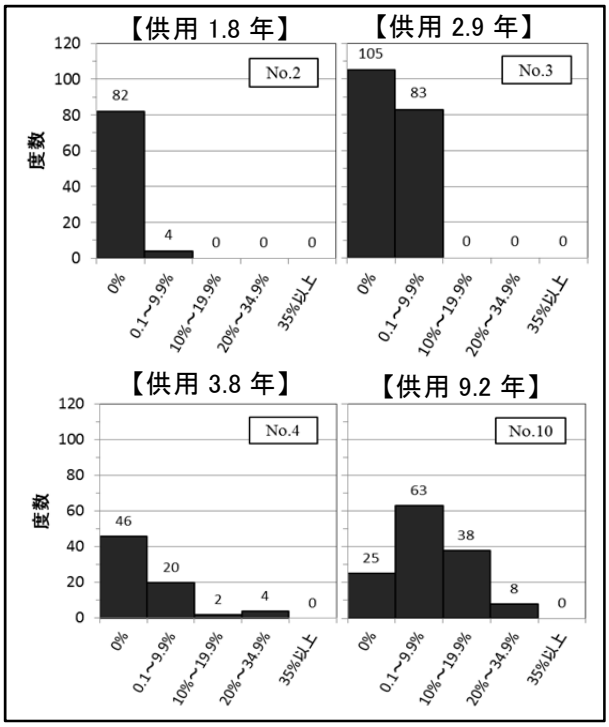
この結果から，今回対象としたヒートスティック適用箇所の破損は，ひび割れによるものが主と考え以降では，供用年数とひび割れ率の関係に着目し整理することとした。なお，整理にあたっては，交通量の影響を排除する目的で，10 路線中 6 路線を占める交通量区分 N_4 の路線を対象とし，供用間もない No.1 と延長が短くデータ数の少ない No.8 を除く 4 路線を評価対象とした。

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

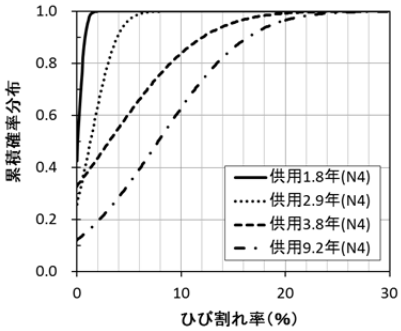


図－3　路面性状測定結果

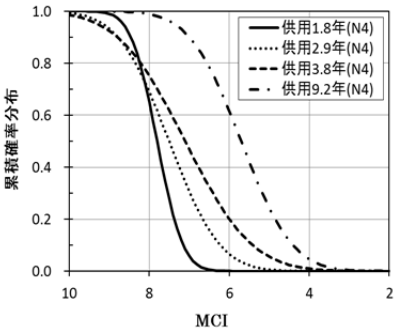
る程度），10～19.9%（両輪の車輪通過箇所にひび割れが発生する程度），20～34.9%（両輪の車輪通過所にひび割れが発生し，部分的に亀甲状のひび割れが発生する程度）と，それ以上の 35%以上に分類した。ヒストグラムを**図－4** に示す。供用期間が長くなるに従い，ひび割れ率が増大する傾向が認められる。次に，各路線のひび割れ率の累積確率分布による評価結果を**図－5** に示す。累積確率分布より，供用 3 年程度までは，線形の傾きに大きな変化は認められず，ひび割れ率は最大でも 5%程度以下の分布に収まっている。しかし，供用 4 年程度以降になると，ひび割れ率の分布が広がり，線形の傾きに変化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



図－4　路線毎のひび割れ率のヒストグラム（交通量区分 N_4）



図－5 ひび割れ率の累積確率分布

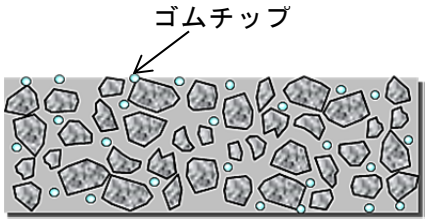


図－6　MCI の累積分布

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 N_4 の路線において延長 50m×幅員 3.2m×厚さ 2cm の規模とし，隣接する箇所に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。

写真－2　施工前の現況

（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。

表－2　施工前の路面性状

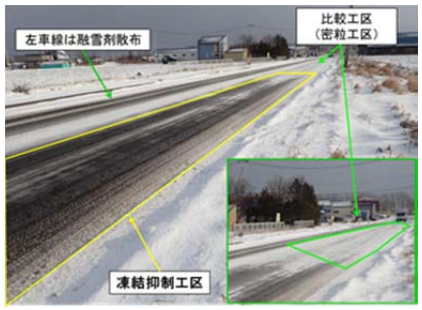
評価項目	舗装種別	特性値
ひび割れ率 (%)	密粒(比較)	11.0
	凍結抑制	14.2
わだち掘れ量 (mm)	密粒(比較)	27
	凍結抑制	19
平たん性 (mm)	密粒(比較)	3.45
	凍結抑制	3.51

（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，冬期のみの凍結抑制効果の他，通年を通し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とものと言える。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　宏二朗
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生じた。

本論では，終点部の重複箇所の施工おいて，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

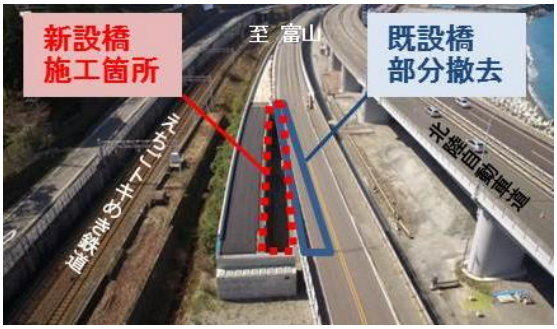


写真-2　歌高架橋の合流部（終点部）の状況

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。

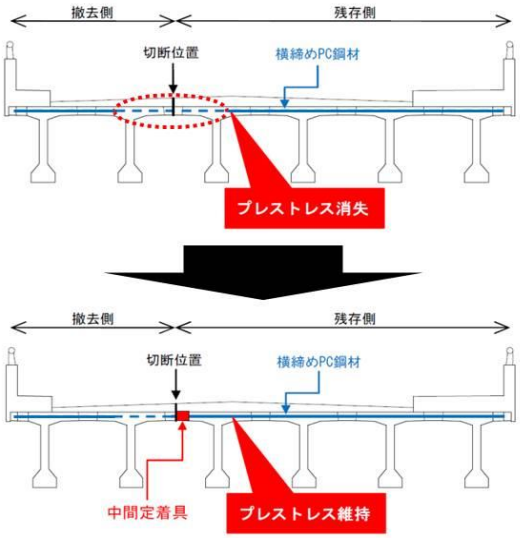


図-2　中間定着概要図

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、従来の工法では、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、従来の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。

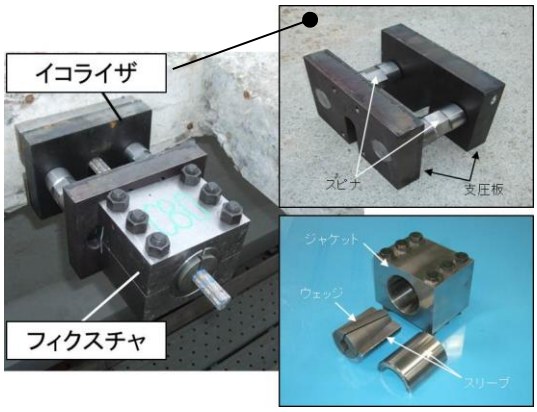


写真-3　中間定着具の構成

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，シースを取り除き，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，シース内の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。

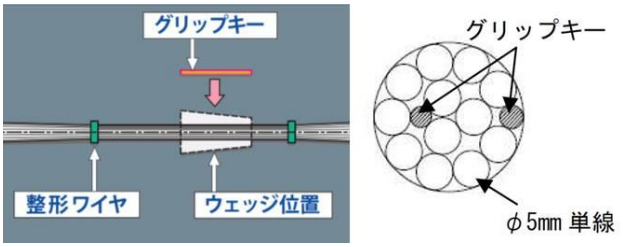


図-3　PC鋼材の整形・グリップキーの挿入

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。

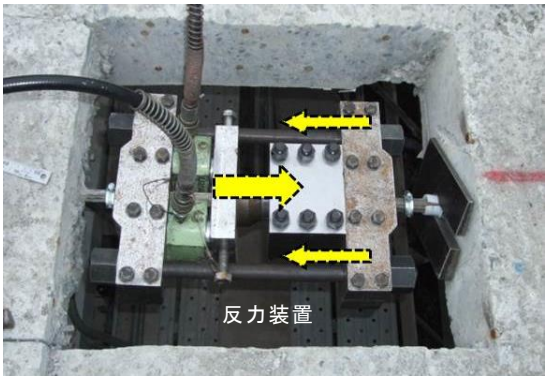


写真-6　ジャケットへのウェッジの圧入

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。

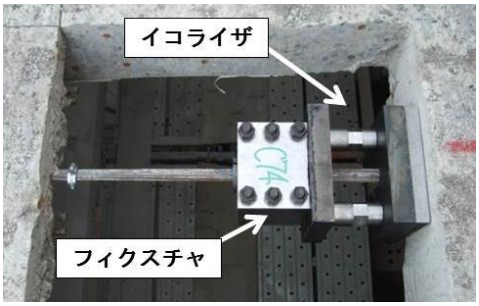


写真-7　イコライザの取付け

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くないものと思われ、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㈱　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。

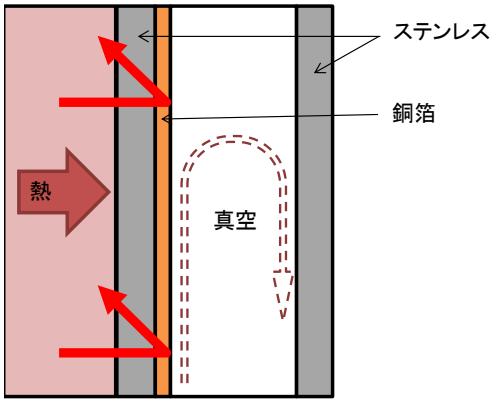
- 保温効果を高めるために、熱伝導率の低い断熱材を選定する
- ホッパ内の熱を蓄熱する構造とする
- ホッパ内側の設置制約（t≦20mm）を設け、これを満たす断面構造とする

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	グラスファイバー不織布	グラスウールシート	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グ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。 グ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グ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。

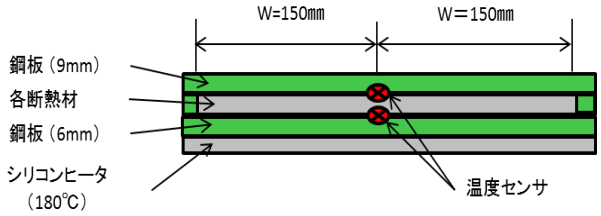
写真－１　グラスファイバー不織布

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、ホッパを想定した鋼板（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。



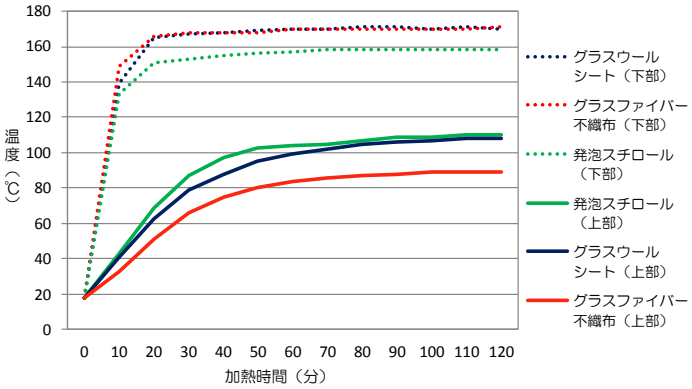
図－２　温度測定位置

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ッパ部の従来構造（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

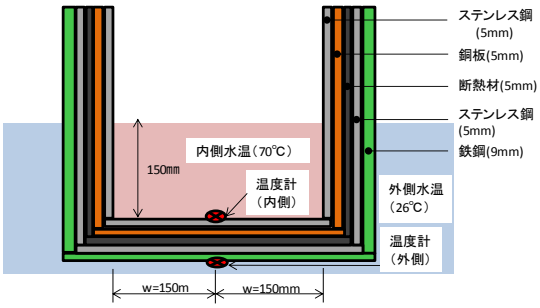
（単位:mm）

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
鋼板	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ッパ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。

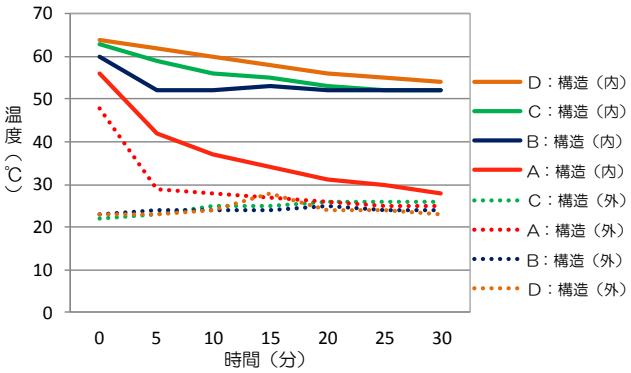


図－４　箱型の温度測定位置（Ｂ構造）

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℃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。

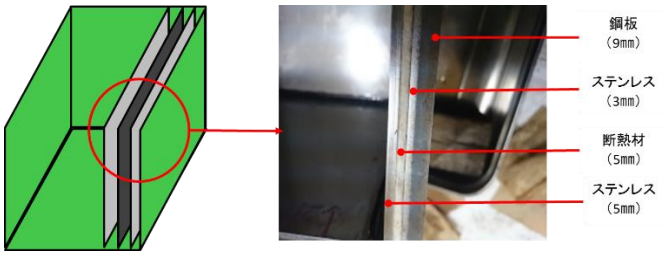


図－５　水浸後の温度の推移

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℃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【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ャとプレートを装着しない従来構造のフィニッシ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℃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

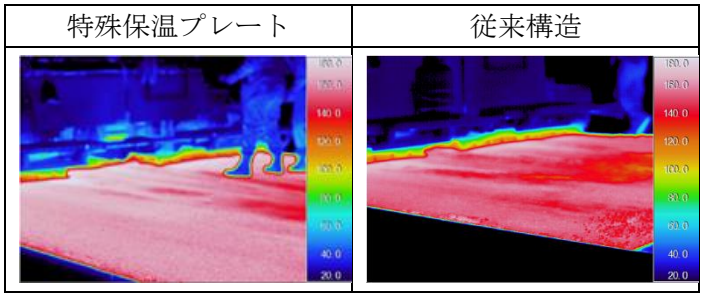
写真－４　従来構造のホッパ

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（℃）
	出荷温度（℃）	到着温度（℃）	敷きならし温度（℃）	温度差（℃）	
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パに装着する「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パ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パ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

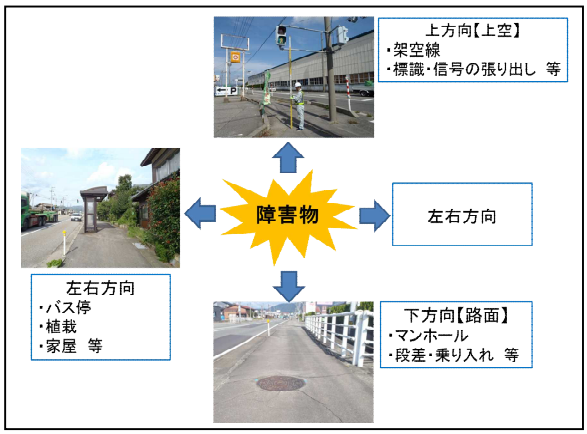


図-1　障害物の実態

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、±1m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)。

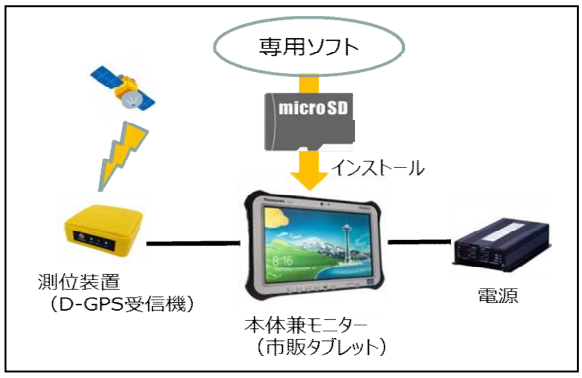


図-2　ガイダンス装置機器構成

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に反映させ、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。

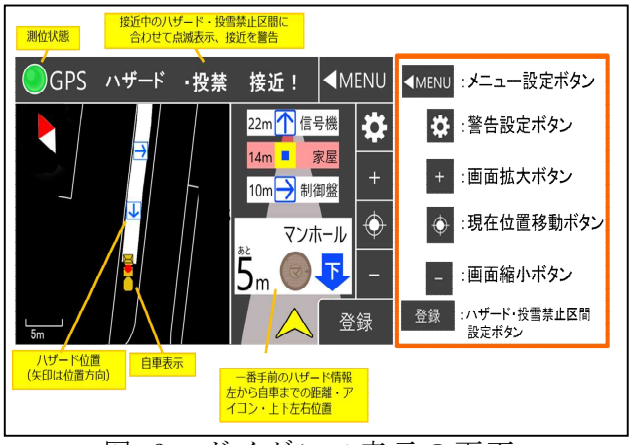


図-3　ガイダンス表示の画面

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）。

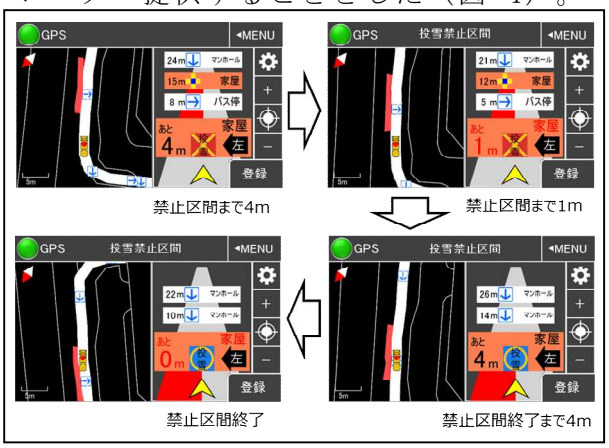


図-4　投雪禁止区間警告

(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、その後にハザードの種別、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。

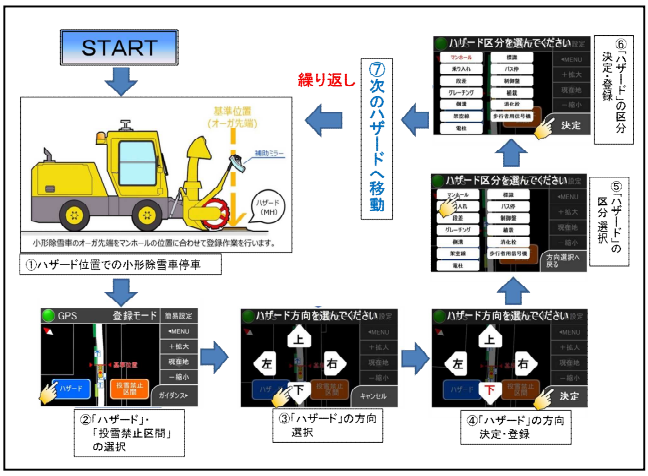


図-5　データ登録画面

(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）。

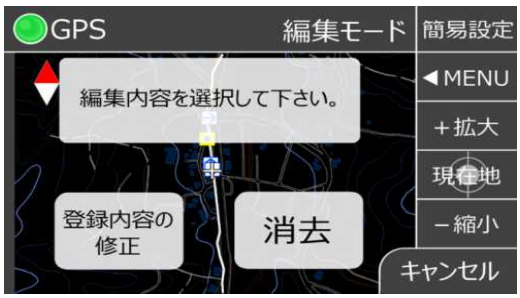


図-6　データ編集画面

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 時間当り約 1km、少ない区間で 1 時間当り約 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	・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	・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･ﾍﾟｰﾌﾞ)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 m^2 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 284m^2, 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。

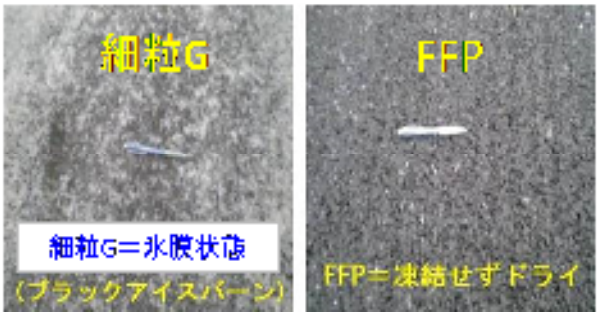
この施工箇所の 12 月における FFP の凍結抑制効果を、写真－1 及び写真－2 に示す。写真－1 は粒状の凍結防止剤を散布して 24 時間経過した際の路面状況であるが、手前の FFP 路面には積雪が見られないことに対し、奥の一般舗装(細粒ギャップアスコン 13F)(以後、細粒 G)には積雪があった。

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。

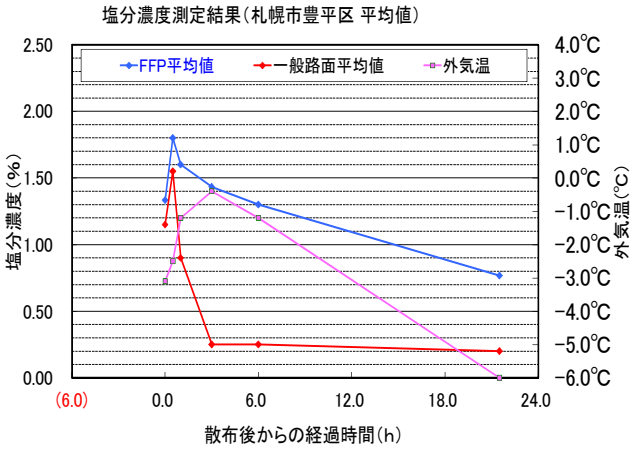
このことから検証結果は、細粒 G に比べて FFP は凍結抑制効果が高いといえる。

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 2 mm～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、このことからも「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。

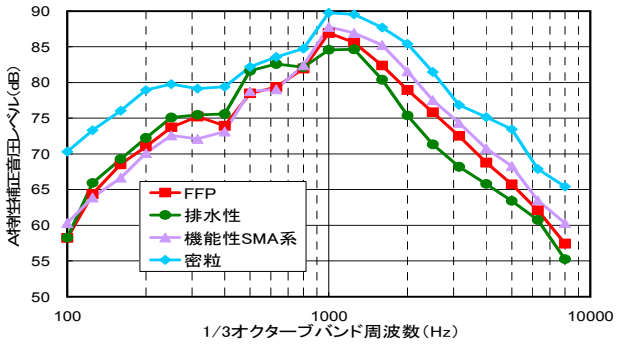
写真－３　浮き水抑制路面状況

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相当する。



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（切削ｵｰﾊﾞｰﾚｲ）

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 BPN_{20} 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（切削ｵｰﾊﾞｰﾚｲ）

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）

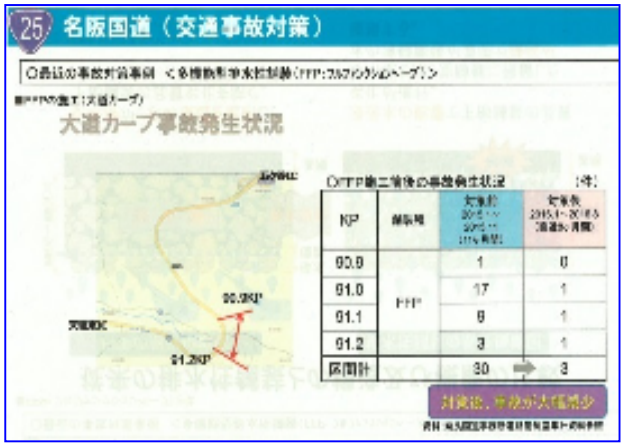
表－４　米谷カーブの交通事故発生状況

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。

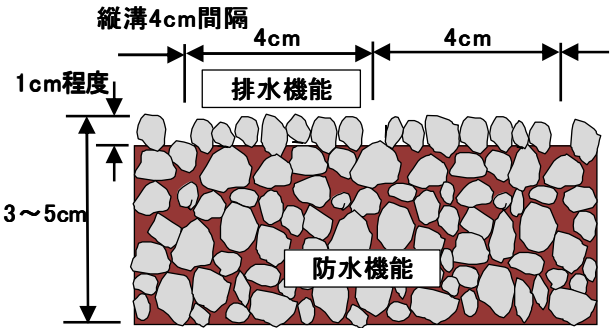
一方、大道カーブ（下り）の交通事故発生状況は、表－5 の通り、約１年間で30件発生していた事故がFFP施工以降、3件=1/10件しか発生していないことを考えると、これらの検証結果からもFFPは「事故防止対策」に、極めて効果があるといえる。

表－５　大道カーブの交通事故発生件数



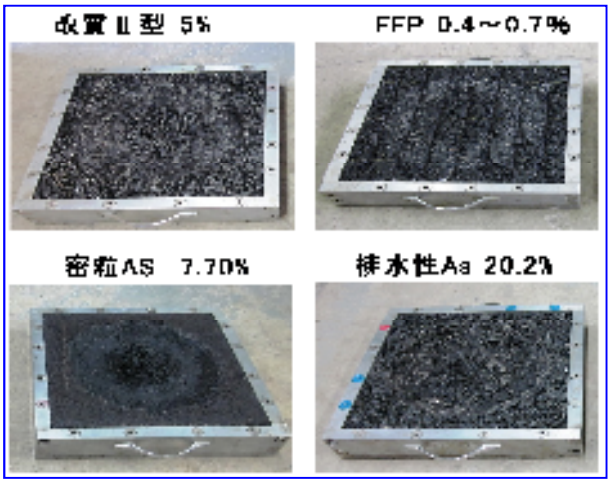
５．高耐久性舗装としての検証

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、下部は砕石マスチックアスファルト混合物と同等の防水性機能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。



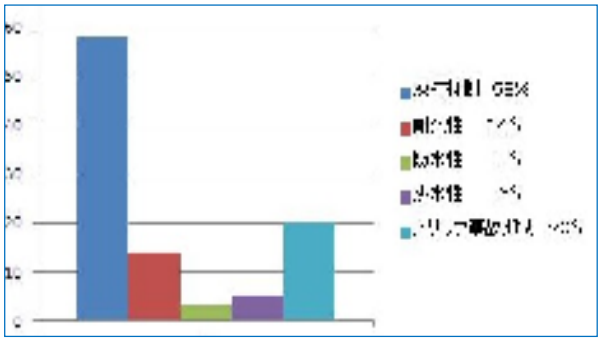
写真－７　ねじり骨材飛散試験後のテストピース状態

表－６　ねじり骨材飛散率の測定結果

配　合	ローラコンパクタ転圧温度(℃)	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･ﾍﾟｰﾌﾞ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棚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製の落石防護棚（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う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．

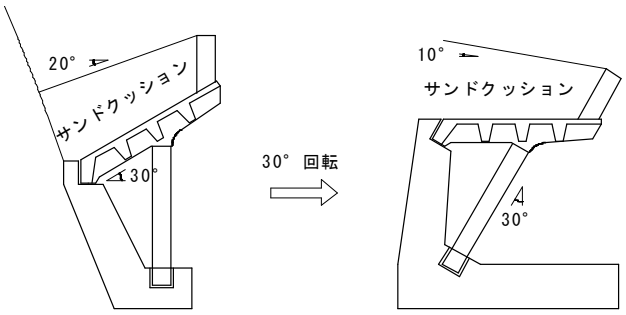


図-1 実験供試体構造図

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．

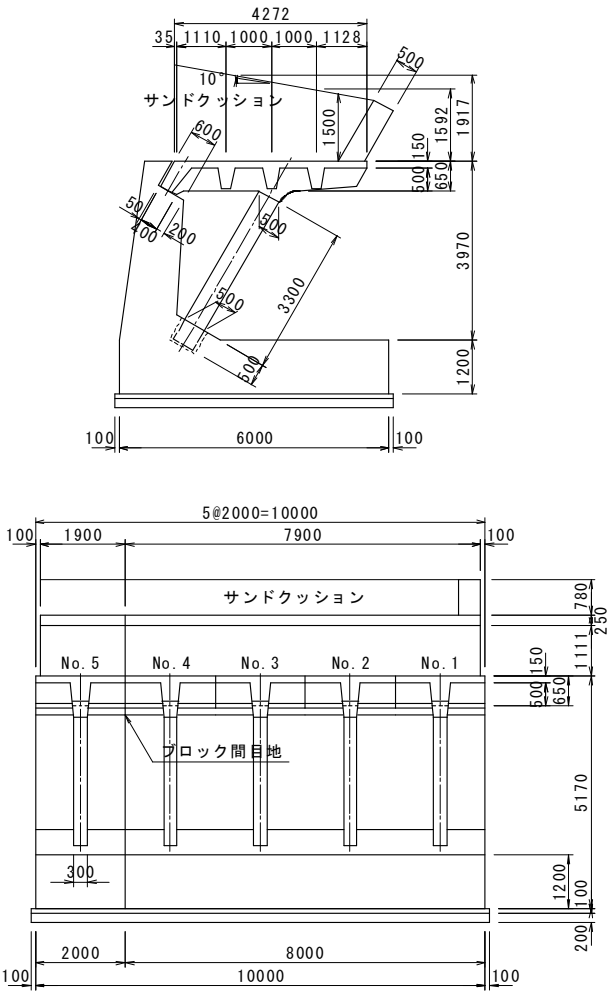


図-2 供試体側面図(上)正面図(下)

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．

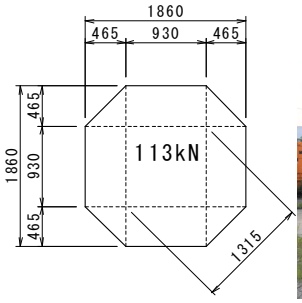


図-3 重錘寸法形状　　写真-2 重錘外観

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．

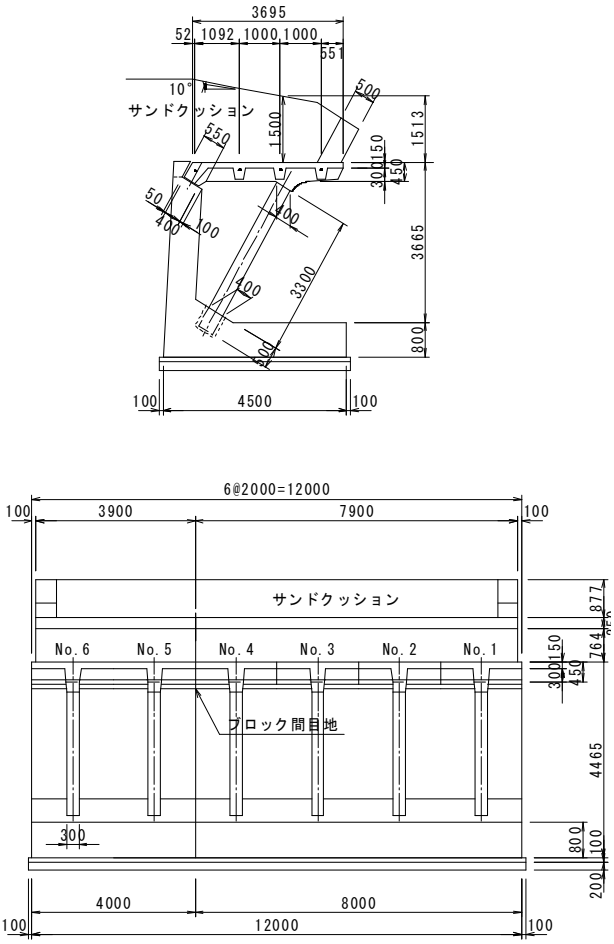


図-4 供試体側面図(上)正面図(下)

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．

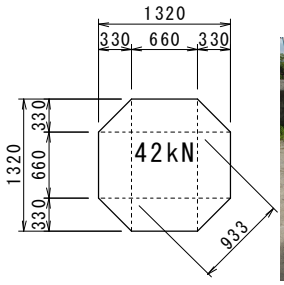


図-5 重錘寸法形状

写真-3 重錘外観

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じた衝撃力を表-2 に示す．

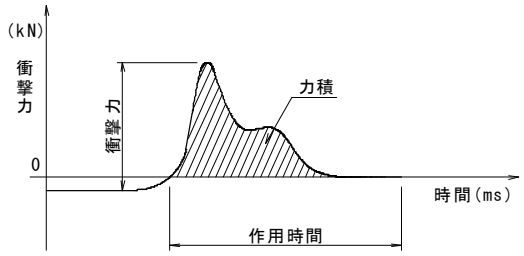


図-6 衝撃力と時間

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100μsec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500μsec　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．

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

ここに，P：衝撃力(kN)，m：重錘質量(t)，g:重力加速度(m/sec^2)，λ:ラーメの定数(kN/m^2)，H：落下高(m)　　である．

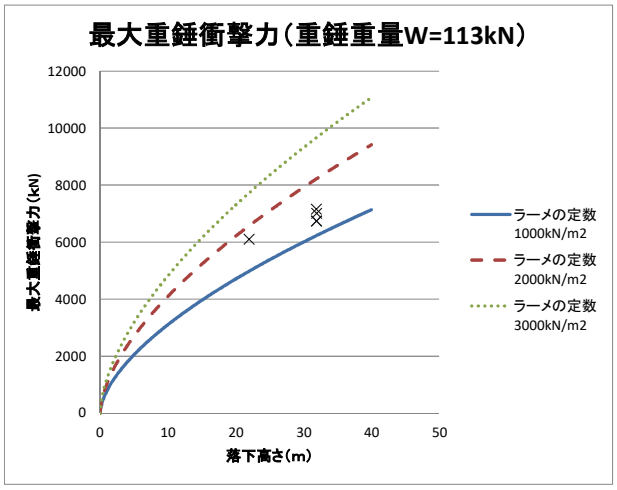


図-7　衝撃力と落下高の関係[3500kJ]

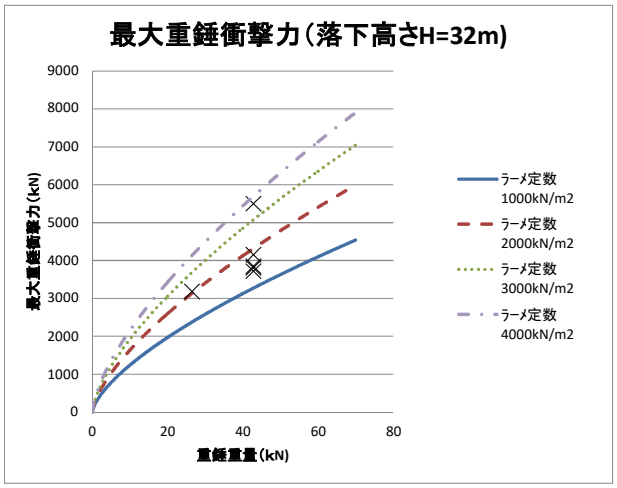


図-8　衝撃力と重錘重量の関係[1200kJ]

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

また，[3500kJ]実験時のラーメの定数λは 1500kN/m^2 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

最大変位量一覧（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

最大変位量一覧（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

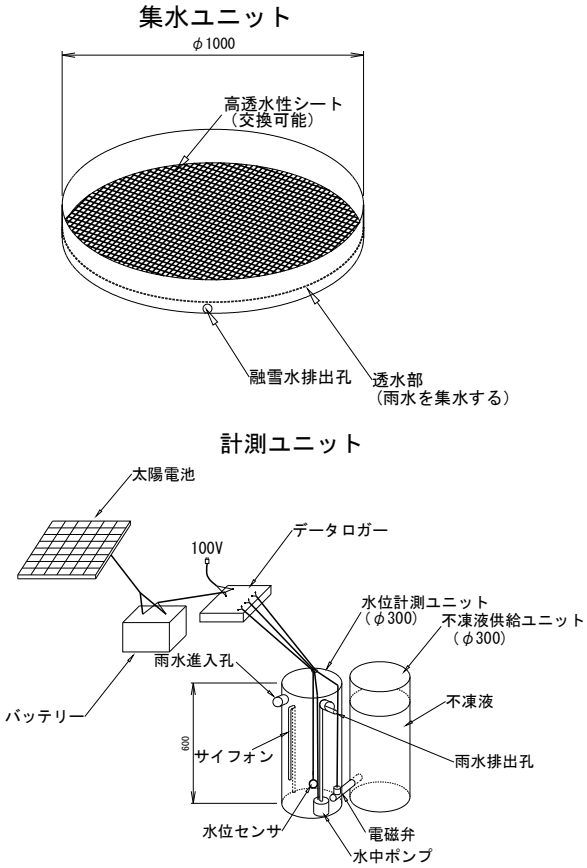
【課題２】: フェイルセーフ機構を持った計測ユニットの開発

【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澱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―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

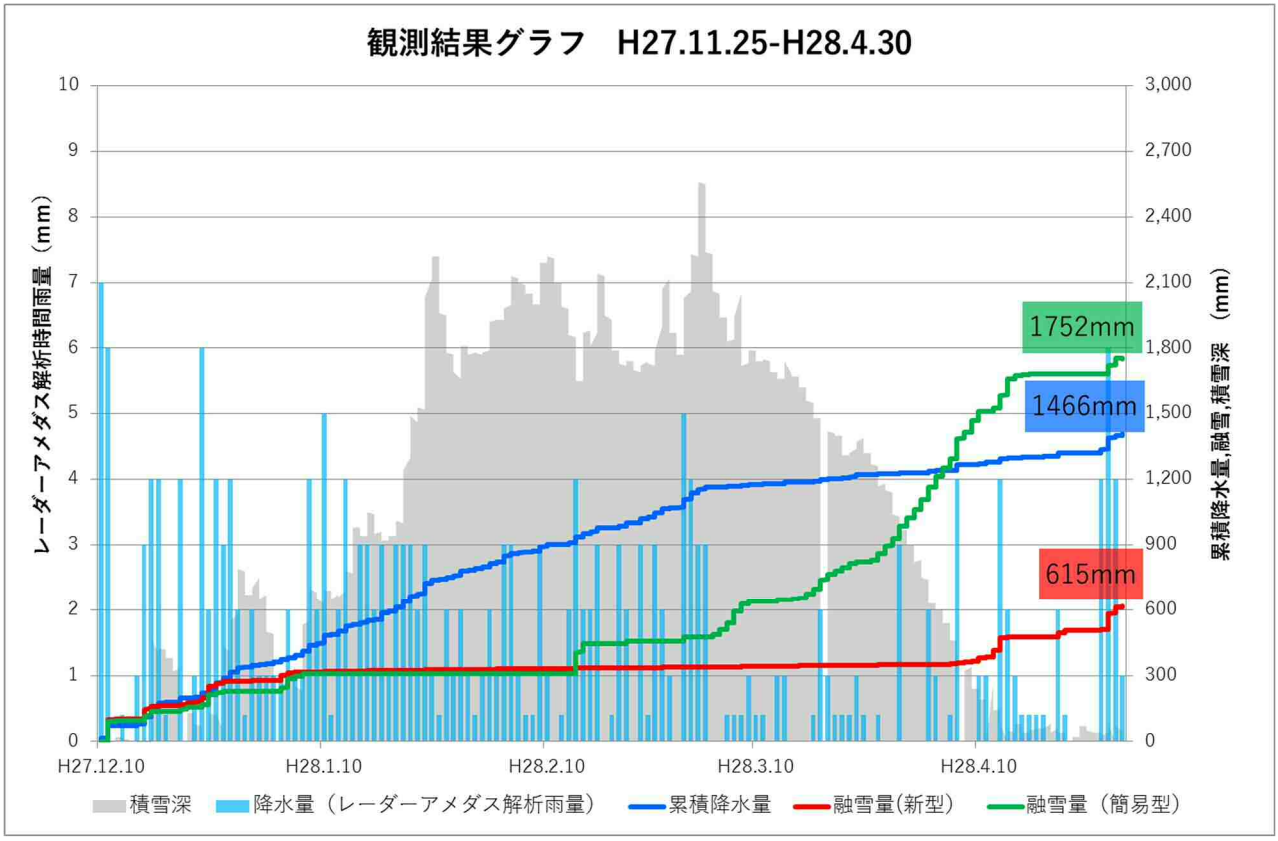
試験計測は、長岡市のご協力を頂き、長岡市山古志種苧原に位置する「あまやち会館」駐車場一角にて平成27年11月25日より開始した。今年で2期間の冬期計測実験を行っている。計測は、新型ライシメーターと簡易型ライシメーターによるものとし、融雪量のほか、タンク水深、水温、バッテリー電圧やポンプ稼働回数についての計測を行った。

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－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－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



図―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、以下の課題をが抽出された。

（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

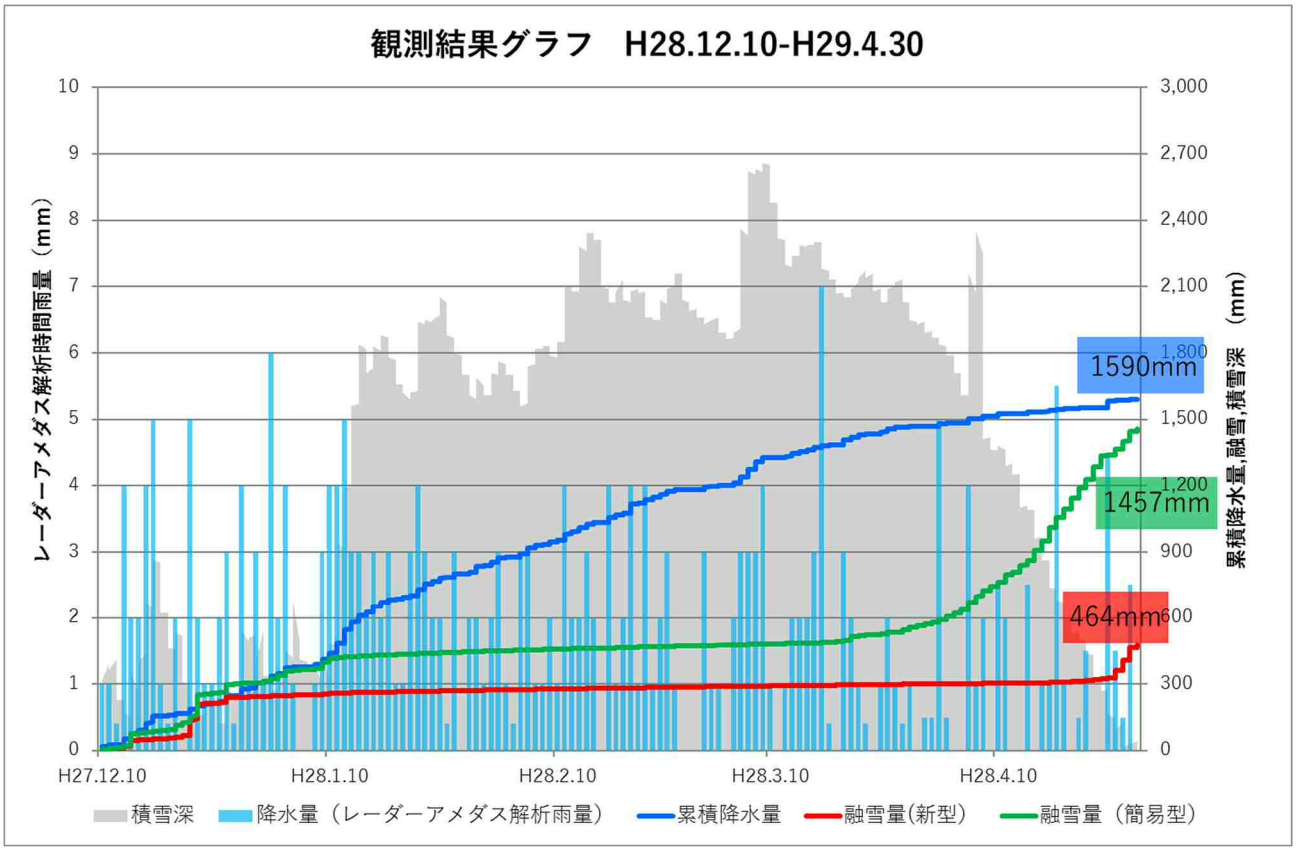
以上の課題を基に、平成 28 年度は以下の仕様にて実験を継続した。

（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。

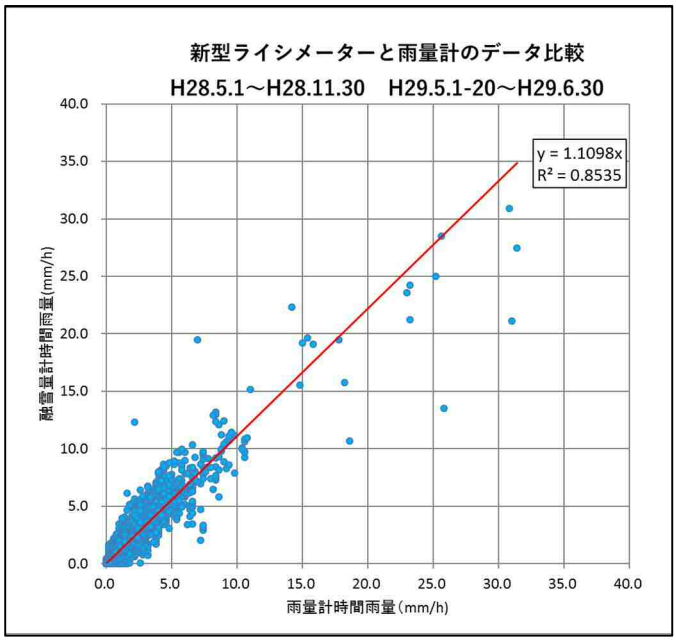
（２）新型ライシメーター計測不良の要因と想定されたマウントを除去した。また新型ライシメーター横に、1m×1m の簡易型ライシメーターを設置し、新型ライシメーターとのデータの比較を行うことにした。なお簡易型ライシメーターは夏季に植物がビニールシートを突き破って繁茂したことから、遮光性のシートに変更した。

（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―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―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―３　現地試験結果（平成 28 年度）



図―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

ドラグサクション浚渫兼油回収船「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

ドラグサクション浚渫兼油回収船「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り、高粘度化するとともに凍結し易くなる。[1)]

写真-1　白山全体及び搭載油回収機

「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℃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に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	ｻﾗﾀﾞﾄﾞﾚｯｼﾝｸﾞ、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

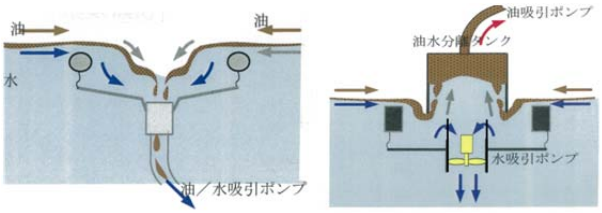
現在「白山」に搭載されている投げ込み式油回収機は搭載から十数年経過していることもあり、経年劣化が進み修理費用も割高となる他、取替部品は海外から取り寄せる必要があり、輸送コストや部品交換の期間もかかるなど保守性に課題がある。

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

ることができる。この方式を油分濃縮型と言う。

新たな投げ込み式油回収機の回収機構を図-２に示す。

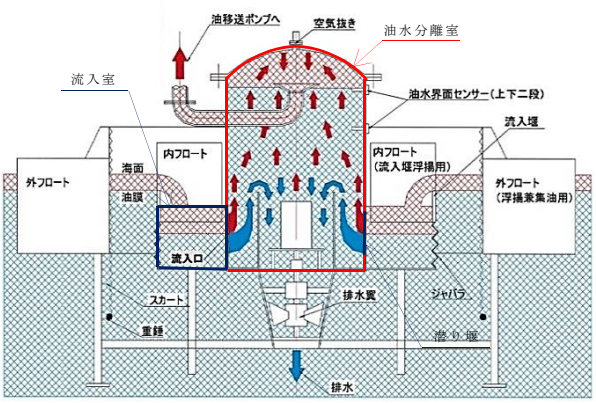


図-２　新油回収機の油回収機構

３．２　排水翼

排水翼はプロペラ式で、流入堰を越えてジャバラ内に溜まった油水を分離室内に吸収し、分離された水分を下方に放出する。

高粘度油の場合、油分は団粒化しやすく、分離槽内での浮上速度は大きい。したがって排水翼流量を大きくしても、油分は分離しやすい。低粘度の場合は堰部や分離槽流入口における流れの乱れにより、油分は細粒化し易く、浮上速度は小さくなる。このため、排水翼流量を大きくすると、浮上分離せず排水翼からの排出水とともに排出され、分離効率は悪くなる。この様に回収油の性状によって油分回収効率の傾向が変わるため、排水翼の流量は最も適した流量に調整する。

３．３　油回収ポンプ

新たな投げ込み式油回収機は高粘度かつ濃縮した油を回収することを目的としているため、油の性状によっては管の閉塞が発生する恐れがある。この課題を解決するため、移送する配管内に加水し、油水混合液を作る手段を講じることとした。図-３に回収油水ラインを示す。ただし頻繁に加水を行い、閉塞対策をするのでは高濃度油回収機の利点を活かせないことになるので、回収油の性状により排送が困難な場合のみ、回収ポンプの運転に連動して加水を行う。また加水位置は、油分濃度がほぼ100%の状態で管路輸送が行われる油回収機本体の濃縮油引き抜き部直後の配管とする。

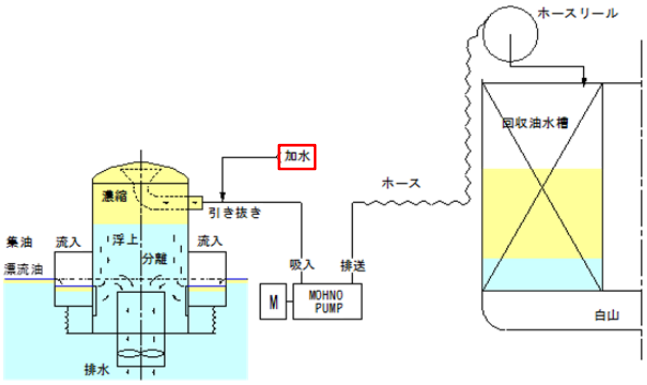


図-３　回収油水ライン

３．４　水ジェット装置

ジェットノズルから海面に噴射されたジェット水が作り出す潮目を利用して集油とゴミ除去を行う機能を油回収機に持たせた。

集油機能は掃海幅片舷1.5mを備え、集油幅をおよそ6m確保している。これにより従来の回収機で使用していたオイルフェンスが不要となる。

ゴミ除去機能は油とゴミを分離するために設けた格子にとらえたゴミをジェット水の流れで押し返し、回収機の外へ押し流す。

３．５　フロート

フロートは、曳航時の進行方向側に流出油導入のための開口を備えたU字型平面を持ち、左右の外舷側を鋭角な頂点とする形状のロート型をなすことにより、フロートの中心部に配置さ

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。

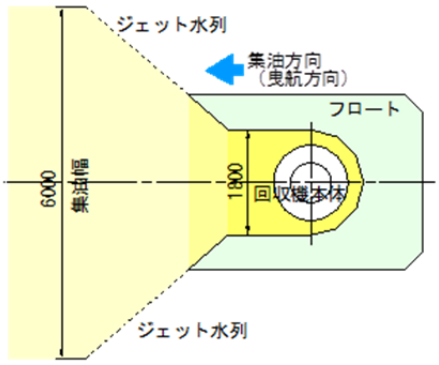


図-４　水ジェット及びフロート図

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。

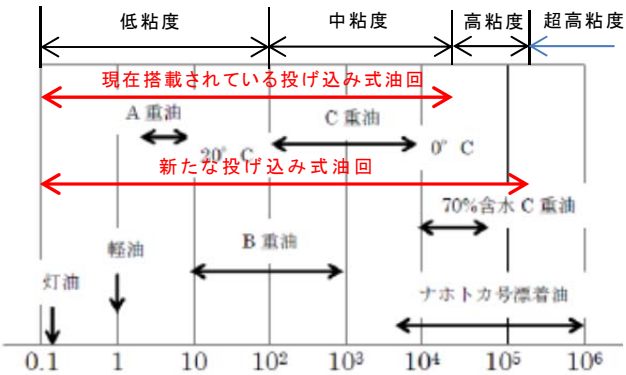


図-５　油の粘度の範囲

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の設計が終わり、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

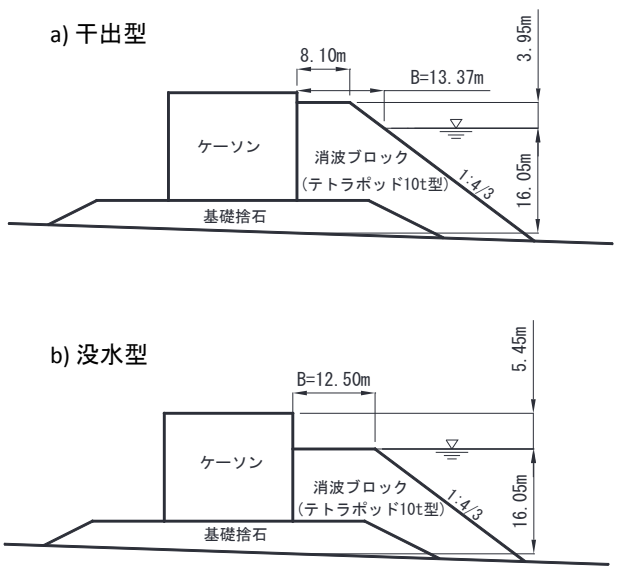
実験には，長さ 50m，幅 1.0m，高さ 1.3m の二次元造波水槽を用いた.水槽内に 1/30 勾配の模型床を設け，堤体を設置した．実験波は不規則波とし，その理論スペクトルは修正 Bretschneider-光易型スペクトルとした．波浪条件は，現地量で周期 $T_{1/3}$ を 10s，15s，および 20s，波高 $H_{1/3}$ を 0.25m から 4.0m 程度（以下，数値は全て現地量）とし，1 波群 250 波以上を作用させた．反射率の測定位置はケーソン前面から 1 波長以上離れた位置とした．反射率 K_R は合田ら[5)]の入・反射波分離推定法を適用して求めた．実験縮尺は 1/53.9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

２．２　検討断面

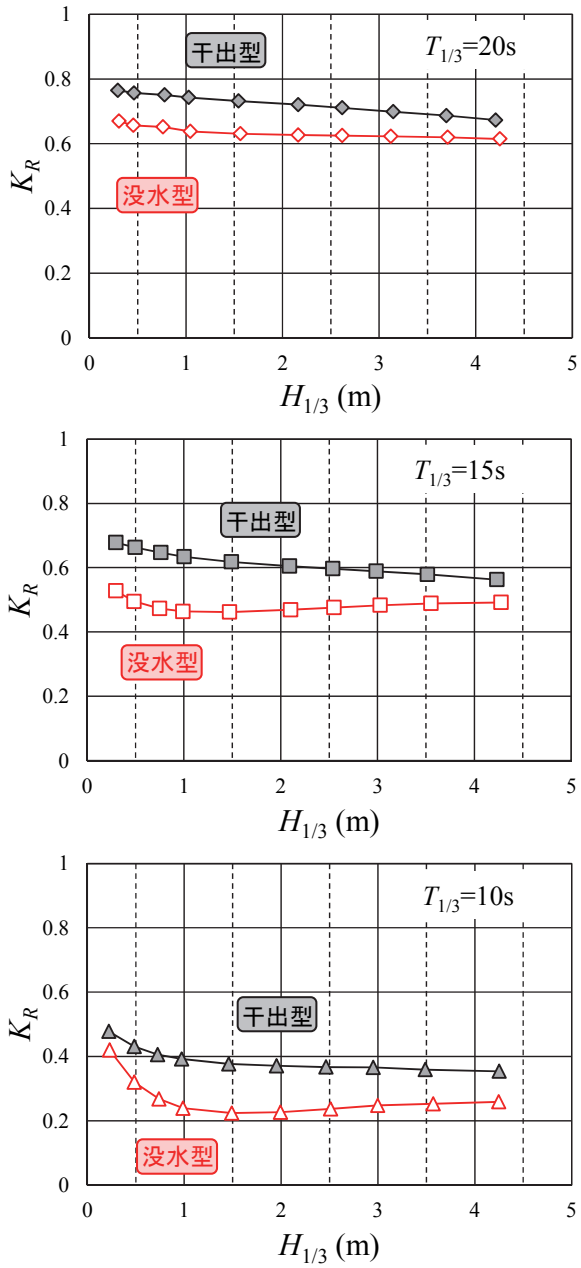
検討対象断面は図―１に示すように干出型と没水型とし，ケーソン前面位置の水深 h を 16.05m とした．消波ブロックにはテトラポッド 10t 型を用いた．消波ブロックの反射率 K_R は一般的に 0.3～0.5 程度である．そこで，最も短い周期である $T_{1/3}$=10s の時の反射率 K_R が 0.3 程度を満たすように構造物幅 B（静水面における構造物幅）を設定した．その際，干出型においては谷本ら[6)]を 没水型においては上久保ら[2)]を参照した．

３　実験結果

３．１　効果的な対策工の検討



図―１　検討断面



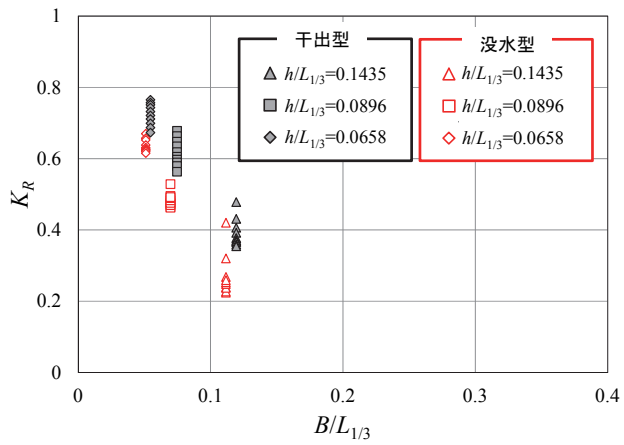
図―２　反射率 K_R と波高 $H_{1/3}$ の関係

図―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．

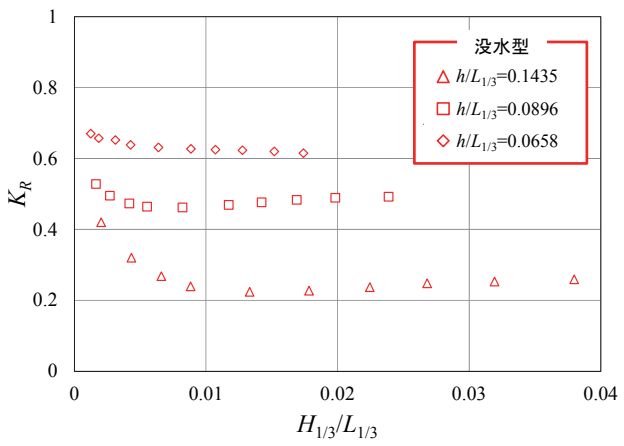
没水型の方が干出型に比べて反射波抑制効果が高くなるメカニズムについては，長周期波を対象とした検討において三井ら[7]が明らかにしている．没水型は天端部の広い範囲でエネルギーを消費することで高い消波性能を得られることが示されており，周期の長い風波の場合においても同様のメカニズムで反射波抑制効果が高くなっているものと考えられる．詳細は三井ら[7]を参照されたい．

３．２　断面諸元と反射率の関係

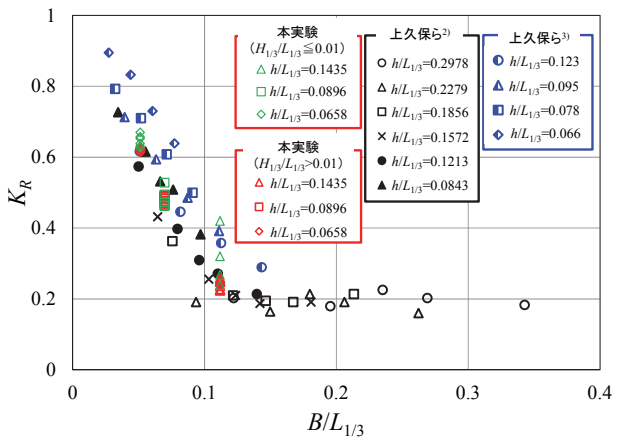
図―３は，図―２に示した干出型および没水型の結果を水深波長比 $h/L_{1/3}$ を用いて反射率 K_R と相対天端幅 $B/L_{1/3}$ の関係で示したものである．相対天端幅 $B/L_{1/3}$ の増大に伴い反射率 K_R が小さくなることがわかる．また，没水型は相対天端幅 $B/L_{1/3}$ の増大に伴い波高 $H_{1/3}$ の違いによる反射率 K_R のばらつきが大きくなるが，干出型はあまり変わらない．



図―３　反射率 K_R と相対天端幅 $B/L_{1/3}$ の関係



図―４　反射率 K_R と波形勾配 $H_{1/3}/L_{1/3}$ の関係

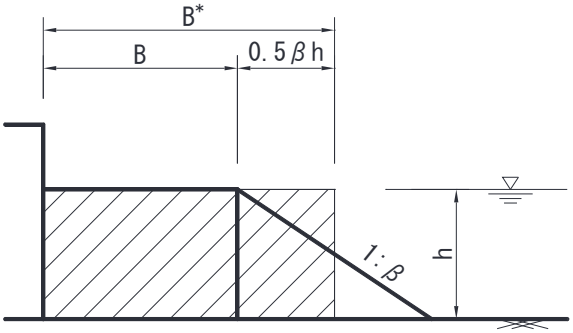


図―５　反射率 K_R と相対天端幅 $B/L_{1/3}$ の関係

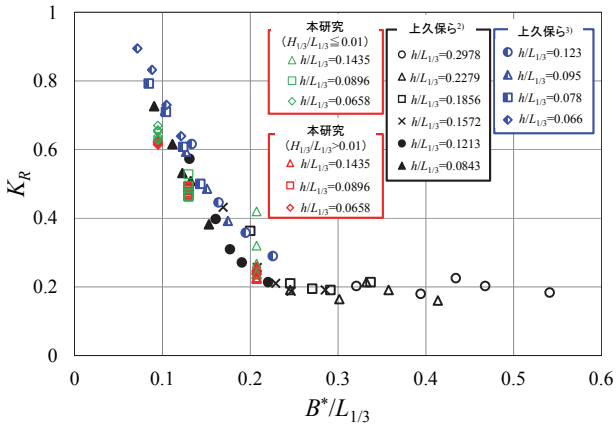
図―４は相対天端幅 $B/L_{1/3}$ の増大に伴い波高 $H_{1/3}$ の違いによる反射率 K_R のばらつきが大きくなる没水型に着目して，各水深波長比 $h/L_{1/3}$ における反射率 K_R と波形勾配 $H_{1/3}/L_{1/3}$ の関係を示したものである．波形勾配 $H_{1/3}/L_{1/3}$ が概ね 0.01 以下の比較的小さい範囲において波形勾配 $H_{1/3}/L_{1/3}$ の増大に伴い反射率 K_R は減少し，その後，概ね一定となるのは共通である．波形勾配 $H_{1/3}/L_{1/3}$ の増大に伴う反射率 K_R の減少の程度は，水深波長比 $h/L_{1/3}$ が大きいほど顕著である．

図―５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 $H_{1/3}$=3.5m における反射率 K_R，上久保ら[3)]は波高 $H_{1/3}$=3.0m 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―６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（$1/20 \leqq h/L_{1/3} \leqq 1/2$）であるため海底面の流速は 0 とはならない．よ



図―６　B*の定義



図―７　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―７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―５と比較すると，$B^*/L_{1/3}$ で整理した図―７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.

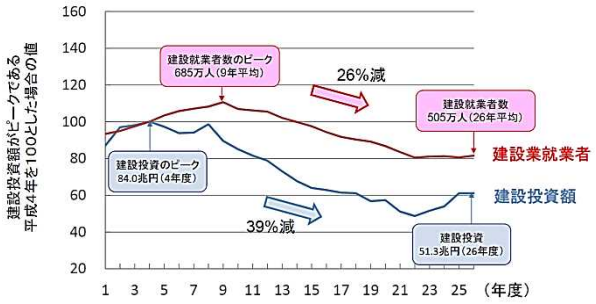
拡張現実を用いた水中可視化技術「Beluga-AR」

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

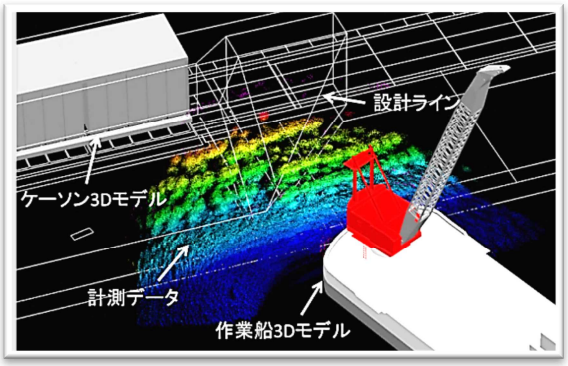
今日、海洋工事における水中部の出来形管理や構造物の形状把握には、短時間で広範囲かつ高密度の測深データを収集可能なナローマルチビーム(NMB)測量が採用されている。この技術は、海洋工事の施工管理に必要不可欠なツールとして一般的となっているが、広範囲の海底地形を面的に捉えるためには、NMB 測深機を搭載した測量船で対象範囲を航行する必要がある。また、NMB 測量で取得したデータは、ノイズ除去や計測データの重ね合わせ等の解析作業が必要になるため、リアルタイム性に欠けるという課題があった。このような背景から、水中部の状況をリアルタイムに把握可能なシステムが求められていた。

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°×50°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°×24°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に限定され、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

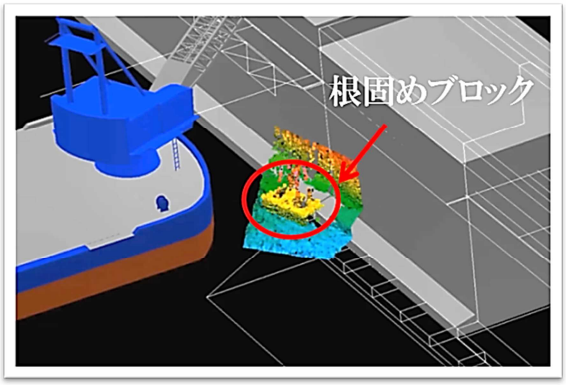
平成 28 年、鹿児島県で「Beluga-AR」の導入を行い、根固めブロック及び被覆ブロックの据付

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。

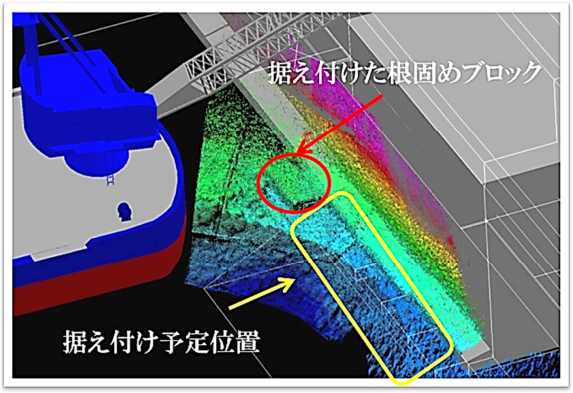
ブロック据付工に従事した非自航式旋回起重機船の船首部に 3D ソナー、パンチルト装置、GNSS 受信機、動揺補正装置を設置した。さらに、旋回するクレーンの動きを「Beluga-AR」上で表現するため、ブームの先端に小型の GNSS 受信機を設置した。

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

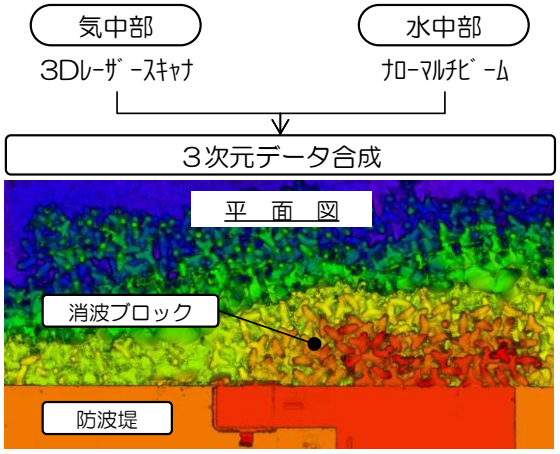
表－１　港湾工事におけるＩＣＴ技術

情報化施工技術の名称		技術の概要	備　考
３Ｄ測量	ﾅﾛｰﾏﾙﾁﾋﾞｰﾑ，ﾚｰｻﾞｰを用いた3D測量	ﾅﾛｰﾏﾙﾁﾋﾞｰﾑ，UAV(ﾄﾞﾛｰﾝ)等を活用し，3次元データを取得する．これらのデータを用いて，数量計算や出来形確認等を行う．	
	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　：　水中三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，潜水士の位置を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

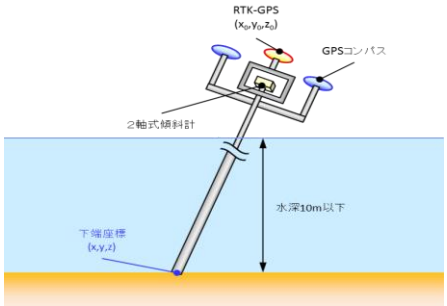
また，気中部の測量については，ＵＡＶ（ドローン）を用いた航空測量の技術開発が進められており，今後の活用が期待される（写真－1参照）．

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．

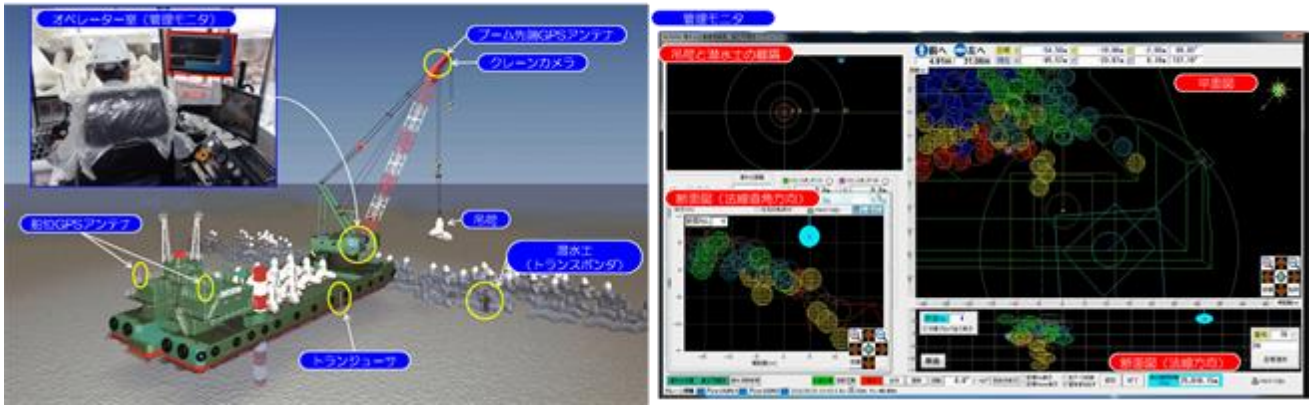
③ 函体の平面的な位置や姿勢を数値的且つ視覚的に，リアルタイムで確認することと、水中カメラおよび監視カメラで直接監視を行うことにより，函体の接触防止に繋がる．

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．



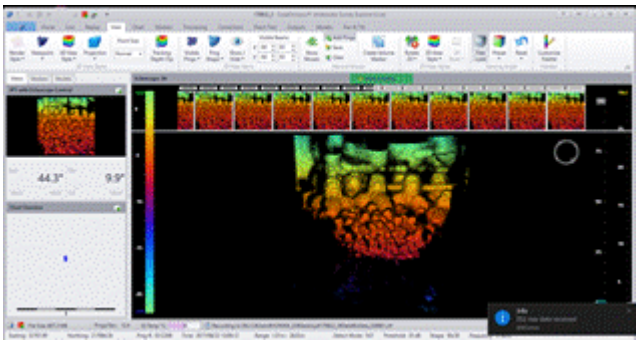
図－４　３Ｄブロック据付支援技術の概要および管理モニタ

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．