令和 元 年度

建 設 技 術 報 告 会

報 文 集

令和 元 年 10 月

北陸地方建設事業推進協議会

令和元年度「建設技術報告会」実行委員会

令和元年度建設技術報告会報文集　目次

◆令和元年10月2日（水）

第Ⅰグループ

1-1　多用途に適用可能な高耐久型常温補修材　1

鹿島道路株式会社　尾崎　風香

1-2　全天候型高耐久常温アスファルト合材（楽ファルト）の開発　5

大林道路株式会社　上地　俊孝

1-3　より高品質な維持修繕技術の開発　9

世紀東急工業株式会社　関　伸明

1-4　ﾌﾟﾚｷｬｽﾄｺﾝｸﾘｰﾄ版を採用したﾄﾝﾈﾙｲﾝﾊﾞｰﾄの製造・施工報告　13

日本サミコン株式会社　青木　裕

第Ⅱグループ

1-5　富山駅付近連続立体交差事業について～あいの風とやま鉄道線富山駅全線高架化～　17

富山県　竹田　勝博

1-6　音響付加型凍結抑制舗装工法メロディウェイ（ザペックタイプ）の開発　18

世紀東急工業株式会社　板東　芳博

1-7　ICT活用による除雪機械の情報化施工技術開発　22

国土交通省　北陸地方整備局　北陸技術事務所　山田　拓

1-8　ヒートポンプレス下水熱融雪システムに関する実証研究　26

株式会社興和　小酒　欽弥

第Ⅲグループ

1-9　倶利伽羅防災トンネルにおけるCIMの活用検討　29

国土交通省　北陸地方整備局　富山河川国道事務所　大橋　由紀子

1-10　トンネル鋼製支保工建込みロボットの開発　33

前田建設工業株式会社　水谷　和彦

1-11　IoTを活用した新しい山岳トンネル施工管理手法　37

清水建設株式会社　小島　英郷

1-12　山岳トンネル工事の安全および効率的な施工を支援する新技術　40

大成建設株式会社　谷　卓也

令和元年度建設技術報告会報文集　目次

◆令和元年10月3日（木）

第Ⅳグループ

2-1　DNA解析技術・撮影技術の導入による生物調査の高度化・効率化の取り組み　44

国土交通省　北陸地方整備局　神通川水系砂防事務所　中川　雅允

2-2　水底土砂ポンプ浚渫工法　48

あおみ建設株式会社　吉原　到

2-3　ベルリプレイス工法における公開実証実験の報告　52

真柄建設株式会社　大瀬　弘樹

2-4　硬質地盤に対応した低変位深層混合処理工法　CI-CMC-HA工法　55

株式会社不動テトラ　田口　雄一

第Ⅴグループ

2-5　土木新製品開発支援事業の取組みについて　59

富山県　開井　宏光

2-6　法面工向け体験型VR安全教育システム　62

株式会社興和　太刀川　翼

2-7　水理模型実験による防波堤反射波低減構造の検証　66

国土交通省　北陸地方整備局　新潟港湾空港技術調査事務所　豊島　愛莉

2-8　ケーソン無人化据付施工支援システム　70

若築建設株式会社　土屋　洋

第Ⅵグループ

2-9　低セメント量の高流動コンクリート「ニューロクリートNeo」　74

株式会社大林組　桜井　邦昭

2-10　重機搭載レーザー計測システムの開発　78

株式会社フジタ　渋谷　光男

2-11　地盤改良工法のデジタル化・見える化技術　薬液注入『Grout Conductor』　82

日特建設株式会社　恵良　桂司

2-12　航行（運行）支援システム「ARナビ」　86

東亜建設工業株式会社　西方　舟

2-13　MCツインヘッダによる軟岩・中硬岩の法面整形について　90

国土交通省　北陸地方整備局　金沢河川国道事務所　岩間　亮友

第Ⅰグループ

多用途に適用可能な高耐久型常温補修材

鹿島道路株式会社　技術研究所　　○尾崎　風香
同　　研究室長　　五伝木　一
同　　課長代理　　芳賀　潤一

1　はじめに

我が国の道路ストックは 2017 年 4 月 1 日時点で延長 120 万 km を超えており、その中でも国道や県道、市町村道などの高度経済成長期に建設された道路は建設後 40 年を超えたものも多く、これらのストックの平均年齢は 30 年程度に達している[1)]。現在はこれらの道路ストックを限られた予算の中で、道路利用者や道路管理者のニーズを踏まえながら効率的に維持・管理していくことが求められており、簡単に作業ができ高耐久な道路補修材の需要が高まっている。

このような背景のもと、アスファルト舗装のポットホールや段差などの小規模かつ緊急性を要する多様な補修箇所に迅速に対応可能な、高耐久型常温補修材（以下、補修材という）を開発した。本報告では、補修材の特長および供用性について取りまとめて報告する。

2　補修材の特長

本補修材は、最大粒径1.2mmの砂を主とした骨材と、ポリマーを含む混合液からなるモルタルタイプの常温硬化型補修材である。混合直後は流動性に富むためポットホールへの充填性が良い上、粒度が細かいため荒れた路面の表面処理など幅広く使用できる特長がある。そのほか、取扱いが簡便で誰でも一人作業が可能であること、施工機械が不要であること、補修後 30 分程度で交通開放が可能であること、常温保存が可能である特長がある。

2．1　荷姿と適用範囲

補修材の荷姿を写真－1 に、使用量ごとの補修範囲の目安を表－1 に示す。1 箱の総重量は約 19kg で、粉体 3.8kg と液体 0.9kg を 1セットとして、4セット同梱している。1セットで約 2 リットルの補修が可能で、例えば 5mm 程度の段差をすりつける場合は 63×63cm の面積を、深さ 3cm の場合は 26×26cm、5cm の場合は 20×20cm の面積を補修可能であり、これまでの実績では、深さ 15cm 程度の穴埋めまで適用している。



写真－1　補修材の荷姿

表－1　使用量ごとの補修範囲の目安

使用量	補修厚さ	補修面積
1 セット	5mm	63×63cm(0.40m²)
	10mm	45×45cm(0.20m²)
	30mm	26×26cm(0.07m²)
	50mm	20×20cm(0.04m²)
2 セット	30mm	37×37cm(0.14m²)
	50mm	28×28cm(0.08m²)

２．２　使用方法

補修に必要な道具の一例を写真－2 に示す。特別な混合機械や施工機械は不要で、材料と仕上げ用の道具のみで簡便に補修ができる。

補修の流れを写真－3 に示す。粉体に液体を投入後 30 秒程度振り混ぜ、補修箇所に流し込んだ後にコテなどで仕上げる。材料は流動性があり転圧が不要であるため、作業者による品質のばらつきが生じにくい特長がある。また、粉体と液体を合わせた 1 袋が 5kg 未満であるため、性別や年齢を問わず取扱いが簡便で、持ち運びや補修が容易である。

なお、補修箇所の表面は乾燥状態が望ましいが、湛水している場合は布などで水を拭き取ることで補修が可能である。また、プライマなどの接着剤は不要である。

２．３　作業時間と交通開放時間

硬化速度は外気温や日射の条件により変化するが、通常期は混合開始から約 5 分後に補修材がこわばりはじめ、約 10 分で表面が硬化するため、その間にコテ仕上げを完了するのがよい。夏季は硬化が早くなり作業時間が著しく短くなるが、別添の凝結遅延剤を手順(2)の時点で粉体に添加することで 10 分程度の作業時間を確保できる仕様としている。

補修完了から交通開放までの時間は、30 分以内を目標としている。材料の特性上、低温環境下で硬化が遅くなるものの、5℃以上で 30 分以内に交通開放が可能である。



写真－2　必要な道具の一例



（1） 補修箇所の清掃



（2） 開封(道具不要)・空練り



（3） 液体の投入



（4） 混合（30 秒間）



（5） 流し込み



（6） コテ仕上げ・完成

写真－3　補修の流れ

3　適用性の検討

3．1　改良簡易ポットホール試験

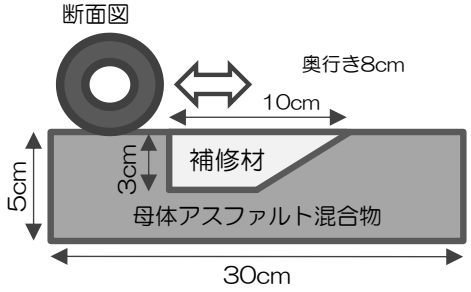
補修材の適用性を確認するため、室内にてホイールトラッキング試験機を用いた走行試験を実施した。試験の概要を表－2 に、概念図を図－1 に示す。通常の簡易ポットホール走行試験[2)]より実際の補修を更に忠実に再現するため、事前の検討を踏まえ、試験温度を常温から 45℃へ、擬似ポットホールの形状を円柱型からすり付けを模擬した形状へと変更し、高温のアスファルト混合物のたわみに対する補修材の追従性の確認と、すり付け部分の破損の有無を確認した。

試験の結果、高温環境下にて 5 時間走行後も補修箇所に変形や破損は見受けられず、充分なたわみ追従性と変形抵抗性を有していることが確認できた。

表－2　改良簡易ポットホール試験の概要

項目	通常版	改良版
穴の形状※	円柱型 2cm 直径10cm	台形型 平面部 5cm 幅8cm すり付け部 5cm 高さ 3cm 長さ10cm
試験温度	20℃（常温）	45℃
走行条件	材令 30 分、686N、42 輪/分	
走行輪数	30 輪	12,600 輪
評価基準	鉛直変位 3mm 未満	変形・ひび割れ 発生の有無
母体	密粒混合物（As：改質Ⅱ型）	
備考	東京都の試験法	鹿島道路独自

※図は擬似ポットホール作製のための治具の寸法



図－1　改良簡易ポットホール試験の概念図

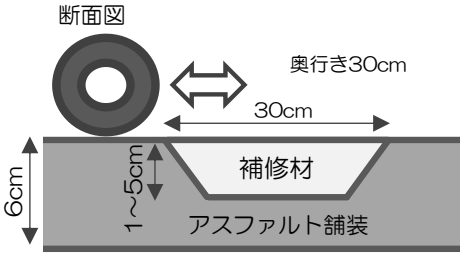
3．2　実規模でのタイヤ走行試験

実規模での適用性を確認するため、写真－4 に示すロードシミュレータを用いた走行試験を実施した。図－2 のようにアスファルト舗装を破壊して擬似ポットホールを作製し、補修材で補修した 30 分後に輪荷重 49kN のタイヤを時速 5km で 200 輪（約 1 時間）走行させた。

走行試験の結果、補修材に破損は認められず、その後 3200 輪（約 13 時間）走行させても健全な状態であることが確認できた。走行試験後の補修箇所の様子を写真－5 に示す。以上より、実規模での適用性が確認できた。



写真－4　ロードシミュレータの外観



図－2　実規模タイヤ走行試験の概念図



写真－5　走行試験後の補修箇所の様子

4　実路での適用事例

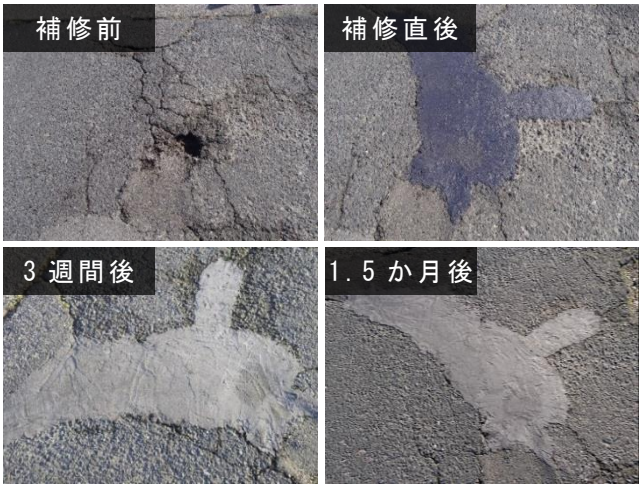
実路で補修した事例を写真－6、写真－7、および写真－8 に示す。

事例 1 は直径 5cm、深さ 5cm の穴と、周囲の亀甲状ひび割れおよび沈下部を補修した。ひび割れ部の面積は 35×120cm 程度であった。補修直後は濃紺色だが、補修後 20 分程度で硬化して黒色になり、交通開放した。外気温は13℃、天気は晴れであった。供用 3 週間で既設舗装の色に馴染み、1.5 か月経過後までひび割れなどの変状はなく、健全な状態を保っている。

事例 2 は積雪地域に発生した面積 25×20cm、深さ 3cm のポットホールを補修したものである。写真のとおり補修前の基盤には亀甲状のひび割れが発生しており、交通条件が厳しいことが見て取れる。更に、当該補修箇所はこれまで一般の常温合材で補修しても 1～2 か月で破損してしまい、補修と破損を繰り返している箇所である。本補修材による補修時の外気温は 13℃で天候は晴れ、補修後 20 分で交通開放した。補修直前に降雨があり基盤が湿潤状態であったことと、先述のとおり条件が厳しい箇所であることから補修材の破損が懸念されたが、6 か月後も健全な状態を保っている。

事例 3 はアスファルトプラント構内のダンプトラック通行路で、アスファルト舗装の施工継ぎ目に5～10mmの段差が生じている箇所である。補修 6 か月後もひび割れや剥がれはなく、健全な状態を保っている。

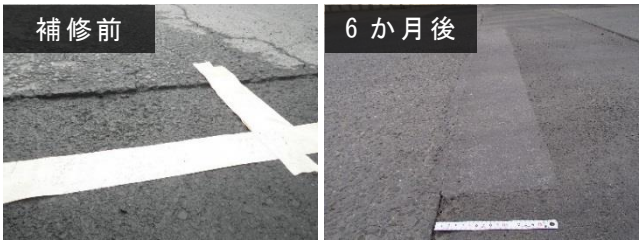
以上の実路での適用事例と経過観察結果から、本補修材は穴埋め、段差すりつけ、表面処理といった多様な補修箇所に適用が可能で、ある程度の期間について良好な供用性を有していることが確認できた。



写真－6　実路での適用事例 1
（穴埋め・表面処理）



写真－7　実路での適用事例 2（穴埋め）



写真－8　実路での適用事例 3
（段差すりつけ）

5　おわりに

本補修材は、穴埋めから段差すりつけ、表面処理といった多様な補修箇所をひとつの材料で、誰でも手軽に補修でき、早期交通開放が可能な高耐久型常温補修材である。今後も実路での供用性を確認しつつ、更なる用途の拡大を目指したい。

【参考文献】
1) 国土交通省：道路構造物の修繕及び更新について、第4回国道（国管理）の維持管理等に関する検討会、平成 25 年
2) 東京都建設局：土木材料仕様書、平成 31 年

全天候型高耐久常温アスファルト合材（楽ファルト）の開発

大林道路（株）　技術研究所　第一研究室主任　○上地　俊孝
同上　室長　東本　崇
同上　研究員　山原　詩織

1　はじめに

常温合材によるパッチングは代表的な維持工法の一つであるが，パッチング材を適用後，次の修繕までに何度も再破損を繰り返すことが本工法の課題の一つである．筆者らは，この課題に着目し，優れた維持工法材料として，高耐久で再破損率の低い常温合材の開発を目指した．

本報では，これまでの一般的なパッチング材の課題について考察し，目指すべき常温合材の性状を定めた．さらにパッチング材として市販されている様々なタイプの常温合材と，開発した全天候型高耐久常温合材（以下，楽ファルト）について室内試験と試験施工により評価した．

2　開発品の目指す性状

一般的なパッチング材はバインダにカットバックアスファルトを使用しており，施工後にカットバック材が揮発することで強度が発現する．使用時，転圧により舗装表面が密になると，内部のカットバック材が揮発しづらくなるため，強度発現に時間を要する．しかし，パッチング材は緊急補修に用いられるため，施工後すぐに交通開放する必要があり，強度が発現する前に車両を走行させるため破損に至る．このように初期の強度発現（硬化）に時間を要することが一般的なパッチング材の課題である．

一方で，ポットホールのような補修箇所は下地（基層や路盤層）が脆弱化していることが多く，その上に施工する常温合材は硬化後に脆弱層の変形に追従する可撓性を併せ持たないとひび割れ，再破損する．

以上のことから，楽ファルトはこのような“剛性（早い強度発現）”と“可撓性”の両方の性状をあわせ持つことを目指した．

3　開発品の概要

楽ファルトの外観を写真-1 に示す．楽ファルトの概要は以下の通りである．

- 袋詰め保存が可能で，施工時に現地で混合作業の必要がない．
- 常温において，スコップなどで施工・転圧可能な作業性を有する．
- 雨天や降雪時，水たまりにも使用可能．
- 水をかけることで硬化反応するため，施工後すぐに交通開放可能．
- 高い耐久性を有し，再破損率が低い．



写真-1　楽ファルトの外観

これらの特徴を満足できるよう，常温合材の硬化機構 [1] から中和反応型常温を楽ファルトに採用した．

また，既存の中和反応型常温は強度発現が

早い特徴を持つ一方でバインダが硬化反応により強固な結晶構造をとるため，高い可撓性は得がたい．そこで楽ファルトのバインダ成分は一般的な中和反応型常温のバインダ成分と異なる材料構成とすることで可撓性を向上させた．

4　室内試験による楽ファルトの評価

4．1　比較評価試験

4．1．1　評価方法

楽ファルトと市販の全天候型常温合材について，室内試験により性状を評価した．評価した常温合材の概要を表-1 に，評価項目を表-2 に示す．まず，開封直後の作業性を試験者の感覚により相対比較した．また，全天候型常温混合物の性状として，東京都土木材料仕様書[2)]の試験項目を実施した．さらに，供用一週間後の性状として供試体作製後に20℃で一週間養生し，曲げ試験（-10℃）およびホイールトラッキング試験（60℃）を実施した．その際，加熱の密粒度アスファルト混合物の性状と一部比較した．

表-1　評価合材の概要

表記	硬化機構の分類	骨材粒度
楽ファルト	中和反応型常温	細粒タイプ
中和A	中和反応型常温	細粒タイプ
改質A	改質常温（カットバック）	細粒タイプ
改質B	改質常温（カットバック）	開粒タイプ
感圧A	感圧型常温（カットバック）	細粒タイプ

表-2　評価項目

試験項目	試験方法	養生時間	養生温度	試験温度
作業性評価	-	-	20℃	20℃
常温ホイールトラッキング試験	東京都土木材料仕様書	作製直後	20℃	20℃
簡易ポットホール走行試験（水浸）		作製直後	20℃	20℃
一軸圧縮試験		7日間	60℃	20℃
ホイールトラッキング試験	舗装調査・試験法便覧 B003，B005	7日間	20℃	60℃
曲げ試験		7日間	20℃	-10℃

中和反応型常温の供試体作製状況を写真-2 に示す．反応に水が必要な楽ファルトおよび中和 A については，供試体作製時に十分な水を散布してから転圧することとした．



写真-2　中和反応型常温の供試体作製状況

4．1．2　評価結果と考察

1）作業性

作業性の評価結果を表-3 に示す．作業性は，改質 A が特に良好であったが，楽ファルトはその他市販の常温合材と同程度であり問題ない作業性を有していた．

表-3　作業性の評価結果

常温混合物の種類	開封時の常温混合物の状態	スコップのささり易さ（20℃）
楽ファルト	小さい塊がある	○
中和A	小さい塊がある	○
改質A	塊がない	◎
改質B	大きい塊がある	△
感圧A	大きい塊がある	○

2）東京都土木材料仕様書の試験項目

東京都土木材料仕様書に規定された試験項目の結果を表-4 に示す．楽ファルトおよび中和 A は常温ホイールトラッキング試験結果が高水準なのに対し，簡易ポットホール走行試験結果が低水準となる傾向が見られた．両試験共に供試体作製直後に走行を開始するが，楽ファルトおよび中和 A は転圧中や試験中も硬化反応が進むため，3mm 沈下までには反応時間が足りず強度が得られないが，20mm 沈下までには一定の強度が得られたものと推察する．ただし，簡易ポットホール走行試験

についても楽ファルトは規格を十分に満足していた．

残留ひずみ率は常温混合物の耐久性と関係があるとされている[3]．楽ファルトの残留ひずみ率は規格を満足しており，他の常温合材の中でも高水準であった．

表-4　東京都土木材料仕様書の試験項目に関する試験結果

常温混合物の種類	常温ホイールトラッキング試験 20mm沈下時の走行回数(回)	簡易ポットホール走行試験 3mm沈下時の走行回数(回)	一軸圧縮試験 残留ひずみ率(%)
楽ファルト	2,520以上	75	1.9
中和A	526	36	3.0
改質A	177	462	1.1
改質B	222	555	2.2
感圧A	2,520以上	375	1.5
規格値	**50回以上**	**30回以上**	**1.0%以上**

3） ホイールトラッキング試験結果

60℃で実施したホイールトラッキング試験結果を図-1 に示す．中和反応型常温である楽ファルトと中和 A のみ，試験時間 60 分の変位量が 20mm 未満であり，その他の常温合材は試験開始直後に変位量が 20mm に達した．

また，楽ファルトの動的安定度は 300 回/mm程度であった．通常の加熱アスファルト混合物の 654 回/mmと比較するとやや劣るが，常温合材としては十分に高い水準である．このことから，楽ファルトは供用 1 週間で加熱アスファルト混合物に準ずる耐流動性を有していると言える．

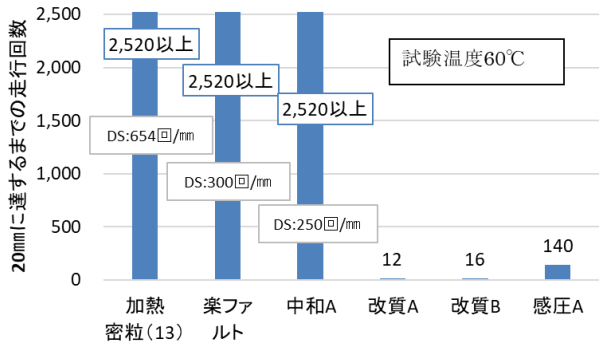


図-1　ホイールトラッキング試験結果

4） 曲げ試験結果

曲げ試験結果を図-2 に示す．中和 A の曲げひずみは加熱アスファルト混合物の 1.2 倍程度で，楽ファルトは 2 倍程度であり，楽ファルトは一般的な中和反応型常温に比べて可撓性の向上が確認できた．中和反応型常温以外の常温合材の曲げひずみはさらに高いが，20℃では軟らかく，型枠から外すと自重で崩壊する状態であった．

楽ファルトは高温側の供用温度域（60℃）で加熱アスファルト混合物に準ずる耐流動を有しつつ，低温側の供用温度域（-10℃）では加熱アスファルト混合物以上の可撓性を有していることを確認した．

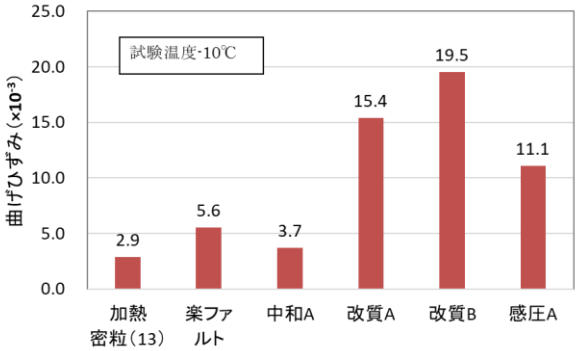


図-2　曲げ試験結果

4．2　強度発現時間の評価

4．2．1　強度発現時間の評価方法

楽ファルトの強度発現までの時間を確認するため，マーシャル供試体を作製し，作製後の養生時間とマーシャル安定度の関係で評価した．供試体の養生温度，試験温度はともに 20℃で実施した．

4．2．2　強度発現時間の評価結果

供試体作製後の養生時間とマーシャル安定度の関係を図-3 に示す．楽ファルトは，供試体作製（水を散布）直後に著しくマーシャル安定度が向上し，供試体作製 24 時間後に

は最終強度に近いマーシャル安定度となっていた．このように，強度発現が非常に速いことから，楽ファルトは施工後すぐに交通開放しても破損しづらいことが期待できる．

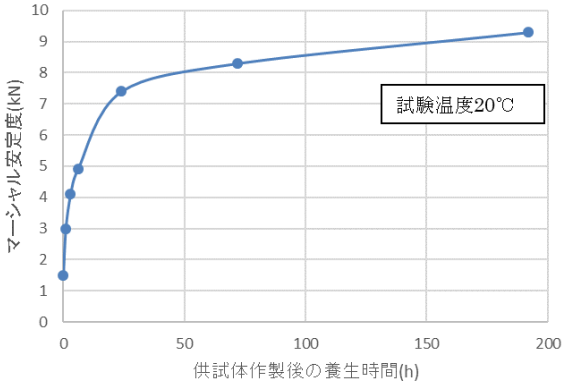


図-3　強度発現の評価結果

5　実道における耐久性の検証

交通量区分 N_7 の国道で耐久性を検証した．同路線上のタイヤ通過箇所に発生したポットホールを，室内比較評価の結果が良好だった感圧 A と楽ファルトで 10 箇所程度ずつ補修し，経過を観察した．経過観察中に破損した場合は再補修し，延べ破損数を補修箇所数で除した破損率で評価した．

楽ファルトの補修後 28 日の供用状況を写真-3 に示す．補修後 28 日においても楽ファルトで施工した個所には流動変形および，ひび割れがほとんど見うけられず，良好な状態を維持していた．一方で感圧 A は検証期間に再破損を繰り返した．

検証結果を図-4 に示す．感圧 A は補修後 50 日までに破損率が 450%に達したのに対し，楽ファルトはほとんど破損せず，破損率は 18%程度であった．以上の結果より，楽ファルトが高耐久で再破損率の低い常温合材であることを確認した．



写真-3　補修後 28 日の供用状況

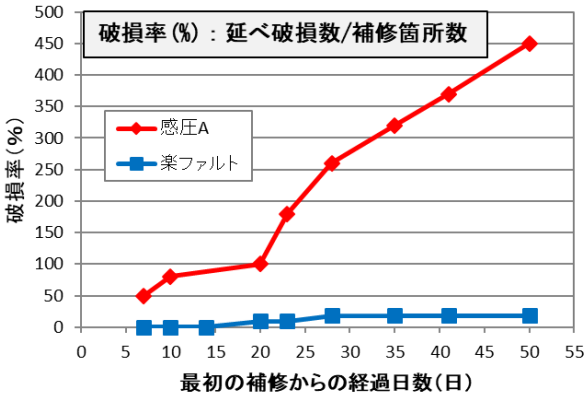


図-4　実道における耐久性検証結果

6　おわりに

今回開発した楽ファルトについて，室内検討により“剛性”と“可撓性”の性状をあわせ持つことを確認した．また実道での評価試験により一度補修するとほとんど再破損しないことを確認した．今後は冬季の作業性についても評価し，作業性と耐久性に優れた常温混合物の更なる検討開発を続ける所存である．

［参考文献］

1）　上地　俊孝，東本　崇，山原　詩織ほか：硬化機構に着目した全天候型常温混合物の開発，舗装，vol.54，No.7（2019）

2）　東京都建設局：平成 29 年土木材料仕様書，（2017）

3）　（社）日本道路協会：舗装調査・試験法便覧 第Ⅲ章試験編-2，pp.418～423，（2007）

より高品質な維持修繕技術の開発

世紀東急工業株式会社　技術本部　技術部　技術グループ次長　　関　伸明

1　はじめに

高度成長期以降に整備したインフラが今後、一斉に老朽化することから、計画的な維持管理・更新を推進し、国民の安全・安心の確保や維持管理・更新に係るトータルコストの縮減・平準化等を図る必要がある[1)]。

このような背景から、ポットホール等の緊急補修材としての常温混合物、より安価な予防的維持工法のニーズが求められるようになってきている。

本文では、より高品質な維持修繕技術として、当社が新しく開発した全天候高耐久性常温混合物と表面処理工法の 2 つについて紹介する。

2　全天候高耐久性常温混合物

（当社商品名：αミックス）

2．1　開発の目的

当社における従来の常温混合物は、アスファルトを揮発性剤でカットバックし、これが揮発して強度発現する揮発硬化型であったが、揮発に時間を要するために初期強度が低い、雨天時や低温域では強度発現がしにくい、低温域では団粒化しやすく作業性が悪い等の仮題があった。このため、低温域の性状と作業性を改善して耐久性を向上した新しい常温混合物（αミックス）の開発を目的とした。

2．2　開発の目標

開発の目標を以下に示す。

①従来の常温混合物（揮発硬化型）と比較して耐久性が高く、施工後早期に硬化して交通開放できる。

②雨天時や水たまり箇所でも施工できる。

③低温域での性状や作業性に優れる。

2．3　開発の検討

常温混合物は密粒度タイプと開粒度タイプに分類されるが、今回開発の検討した常温混合物は密粒度タイプで水分硬化型（水で固まる）タイプとした。

2．3．1　低温域の作業性評価

低温域の作業性評価結果を図-1 および写真-1 に示す。

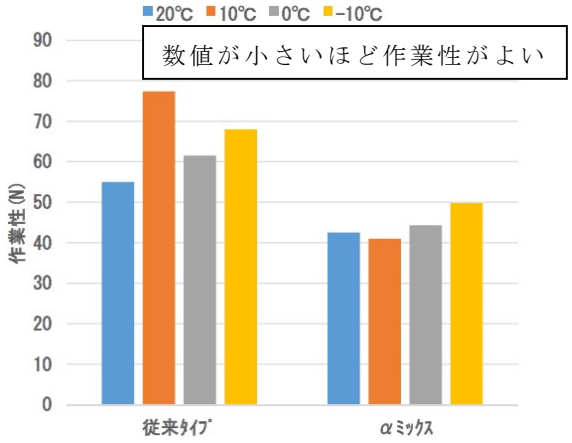


図-1　低温域の作業性評価



写真-1　作業性評価試験

２．３．２　低温域の骨材飛散抵抗性

低温域の骨材飛散抵抗性評価結果を図-2 および写真-2 に示す。

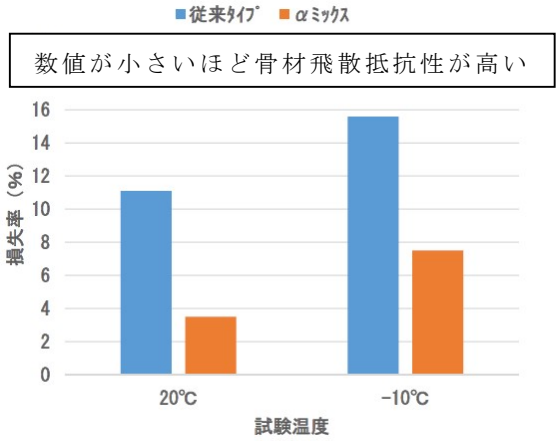


図-2　低温域の骨材飛散抵抗性評価



写真-2　カンタブロ試験

２．３．３　初期強度の発現性

作製直後から 48 時間後までの常温マーシャル安定度の時間的推移を図-3 に示す。

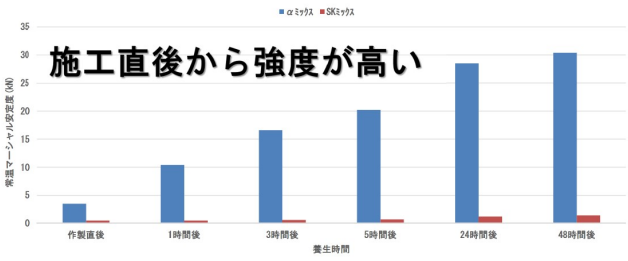


図-3　常温マーシャル安定度

上記以外に、東京都建設局が示す重交通対応・全天候型常温混合物の品質規格に適合するか確認した。公的機関による試験結果を表-1 に示す。

表-1　公的機関による試験結果

必要な性能	測定値	規格値 [2)]
初期安定性 *1	2,520 回以上	20mm 沈下時の走行回数 50 回以上
供用時の耐久性*2	3.1%	残留ひずみ 1.0%以上
降雨時の耐水性*3	127 回	3mm 沈下時の走行回数 30 回以上

*1　常温ホイールトラッキング試験

*2　一軸圧縮試験

*3　簡易ポットホール走行試験

２．４　実路における施工事例

北海道札幌市の幹線道路で発生したポットホールの施工事例として、冬期 1 月に実施した状況を写真-3 に示す。施工後 4 か月が経過しているが、概ね施工した常温混合物は残存していることが分かる。



写真-3　北海道札幌市での施工事例

２．５　おわりに

今回、新しく開発した常温混合物（αミッ

クス）は当初の開発の目的や目標を達成したものとなり、歩道から幹線道路や高速道路等のあらゆる環境で使用可能な補修材が開発できた。

3　表面処理工法

（当社商品名：シンカーペット-neo）

3．1　開発の目的

当社が保有していた表面処理工法のシンカーペットは厚さ 3cm 未満で施工するものであり、施工コストは安価であるが耐久性が低い。また、薄層オーバーレイ工法の ST マスチックは最大粒径 5mm の砕石マスチックアスファルト混合物を厚さ 2～3cm で施工するものであり、耐久性は高いが施工コストが高い等の課題があった。このため、施工コストと耐久性のバランスが取れた新しい薄層オーバーレイ工法の開発を目的とした（図-4 の黒枠「開発対象」）。

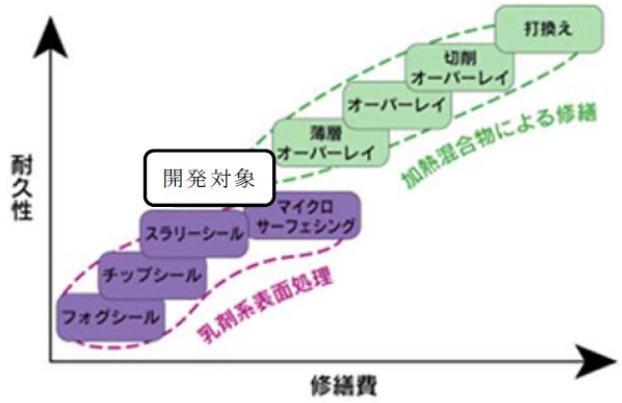


図-4　薄層オーバーレイ工法の開発対象

3．2　開発の目標

開発の目標を以下に示す。

①仕上がり厚さが 2cm と薄く温度低下しやすいため、混合物の温度が低下しても所定の施工性（締固め性）を確保できる。

②早期のリフレクションクラック発生を抑制できる。

③舗装端部のすり付け作業がしやすく、剥がれにくい粒度とする。

3．3　開発の検討

3．3．1　施工性改善効果

特殊添加剤を用いた施工性改善効果を図-5 に示す。温度が 30℃程度低下しても従来品と同等な締固め効果が得られた。

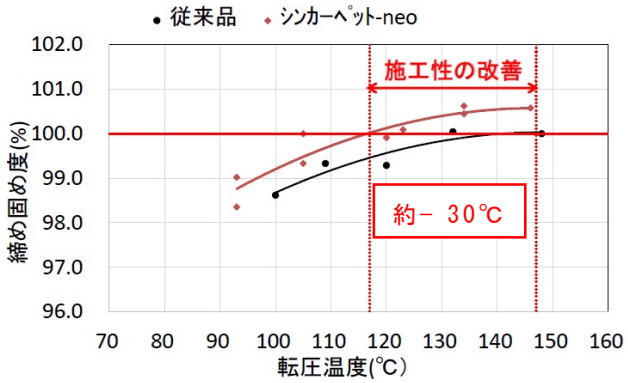


図-5　特殊添加剤による施工性改善効果

3．3．2　早期のリフレクションクラック発生抑制効果

リフレクションクラックの発生を促進できるクラック評価試験を写真-4、試験結果を図-6 に示す。

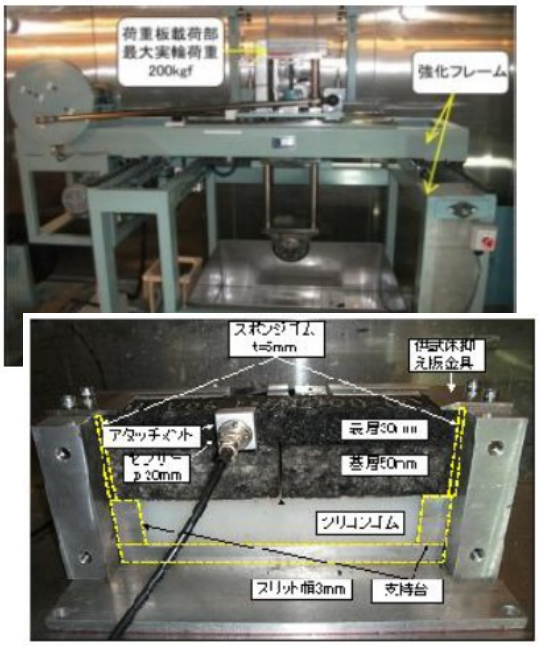


写真-4　クラック評価試験

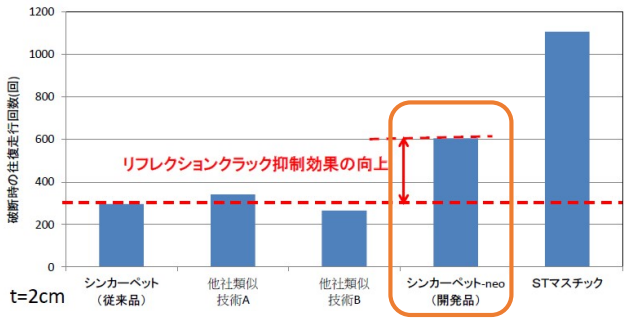


図-6　クラック試験結果

3．3．3　舗装端部の施工性と剥がれ抵抗性

舗装端部の施工しやすさと剥がれにくさを考慮した目標骨材粒度を表-2 に示す。

表-2　目標とする骨材粒度（単位：%）

	13.2mm	4.75mm	2.36mm	0.6mm	0.3mm	0.15mm	0.075mm
目標粒度	100	100	75	37.5	24	13	7.5
粒度範囲	100	85～100	65～85	25～50	13～35	6～20	3～12

3．4　実路における施工事例

施工概要を表-3、施工状況、施工前の路面状況、施工後全景をそれぞれ写真-5～7 に示す。

表-3　施工概要

項目	内　容
施工日	平成29年3月28日
施工場所	静岡県内の観光地へつながる道路
施工規模	630m^2（幅員9m×延長70m）
舗装厚	2cm
転圧機械	3ｔタンデムローラ、10ｔタイヤローラ
使用乳剤	タイヤ付着抑制型アスファルト乳剤



写真-5　施工状況



写真-6　施工前の路面状況



写真-7　施工後全景

3．5　おわりに

施工前後で路面のひび割れ率やわだち掘れ量を測定した（表-4）。施工後の仕上がりは良好で、施工約１ヶ月後を経過した時点でひび割れの早期発生もなく良好な状態であった。また、本技術を駐車場アスファルト舗装の表面処理に適用したい要望があり、駐車場向けの混合物の配合検討も行っている。

表-4　路面調査結果

項目	施工前	施工後
ひび割れ率（%）	70	0
わだち掘れ量（mm）	2.6	0.4

【参考文献】

1）　国土交通省；社会資本ストックの戦略的維持管理，平成29年3月

2）　東京都建設局；土木材料仕様書，平成 29 年

ﾌﾟﾚｷｬｽﾄｺﾝｸﾘｰﾄ版を採用したﾄﾝﾈﾙｲﾝﾊﾞｰﾄの製造・施工報告

日本サミコン株式会社　技術部設計開発課　○青木　裕
工務部工事課　安部　雅詩
工務部工事課　吉澤　直輝
技術部製造管理課　山田慎太郎

1　はじめに

甲子道路は福島県の中通りと会津地方を結ぶ国道 289 号線の山岳部に設けられた道路であり，休日は観光路線としても重要な役割を果たしている．

この道路で，平成 20 年に開通した全長 4345m の甲子トンネルにおいて，平成 23 年 3 月にトンネル内で路面の隆起が確認された．盛り上がった路面を切り下げる応急対策を施したものの，隆起は収まらず最大 33cm を計測した．膨潤性のある粘土鉱物のスメクタイトを含んだ岩盤の膨張圧が原因とみられている．

対策工としてはインバートの取替えが有効であるが，周辺に迂回ルートを確保できない甲子トンネルでは，インバートを現場打ちで施工した場合，全面通行止が昼夜 200 日以上発生し，迂回しなければならない車は 60 万台に達すると試算された．

一方，プレキャストインバート（以下プレキャスト版と呼ぶ）で施工した場合，全面通行止を夜間の 100 日程に抑えられ，交通量が多い新緑や紅葉の観光シーズンなどを避けて施工が出来るため，工期は 2 年に及ぶものの，工事期間中に迂回しなければならない車は，13,000 台と大きく縮減できる．このような状況からプレキャスト版が採用された．なお，トンネル改修で全断面一体型のフルプレキャストインバートを使うのは，国内初となる．

トンネル断面図を図-1，平面図を図-2 に示す．

本稿では，このプレキャスト版の製造・施工について報告する．

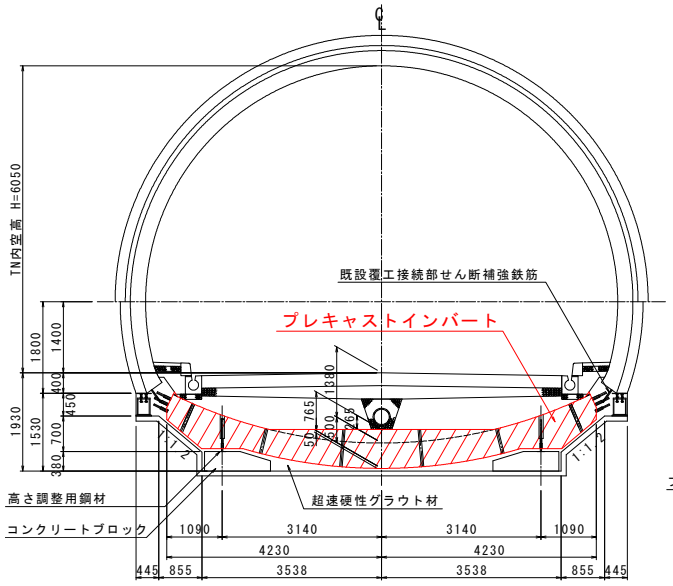


図-1　トンネル断面図

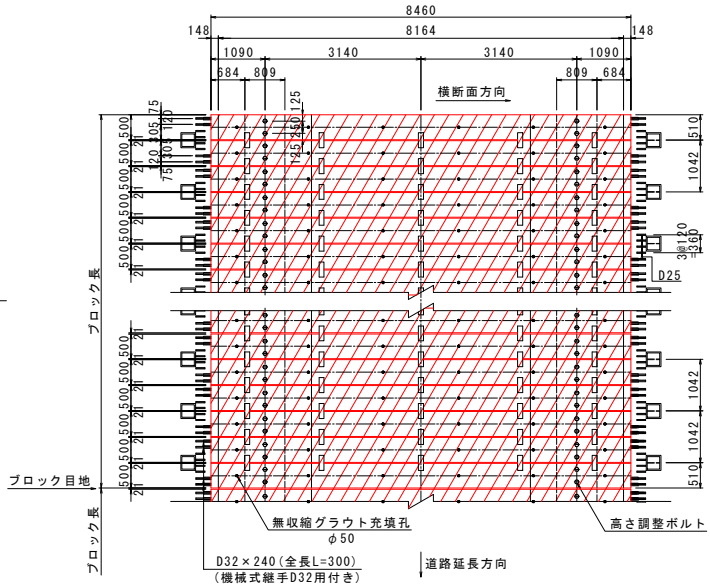


図-2　平面図

2　プレキャスト版

2.1 構造

工場内で仮置き中のプレキャスト版を，写真-1 に示す．

構造は RC 構造とし，主鉄筋 D19 を 4 本，配力筋 D16 を@250mm に配置し，高さ調整用ダクト，連結金具，裏込グラウト充填用ダクトを設置した．

2.2 型枠構造

同一形状のプレキャスト版を複数枚製作することから，鋼製型枠を製作した．

型枠の構造は脱型が容易に行える事を考慮して，側壁・妻枠はボルトによる脱着方式を採用した．

鋼製型枠を写真-2 に示す．

2.3 コンクリートの品質

設計基準強度 σck=50N/mm2 とし，スランプ 8cm，粗骨材の最大寸法を 20mm，空気量は 4.5±1.5%に設定した．またセメントは早強セメントを用いた．

2.4 製造工程

型枠清掃後，型枠外にて組み立てた鉄筋を型枠内に配置し，付属物の設置完了後にホッパーにてコンクリートの打設を行った．打設面はプレキャスト版の側面側とし，打設後は一晩蒸気養生し，翌日脱型を行う．上記サイクルの繰り返しにて 1 日 1 枚の製作を行った．

3　施工概要

まず，準備工としてセンターラインに沿って土留杭となる H 形鋼の打設や，左右の側壁に補強用ロックボルトの打込を夜間全面通行止で実施した．

準備工完了後，昼夜片側交互通行にて毎週木曜日～月曜日に左右の車線を切替えながら，既設インバートの撤去，基礎コンクリートの吹付を，半断面ずつ施工した．

プレキャスト版の設置は，毎週月～水曜日に夜間全面通行止にて設置した．プレキャスト版同士は金具により連結した後，基礎コンクリートとプレキャスト版との空隙部及び，覆工コンクリートとの連結部を超早硬型のグラウトで充填した．その後，走行車線を埋戻し，片側交互通行にて交通開放した．

なお，1 日の施工範囲は交通規制時間の制約から 4 枚とし，60t 吊りラフテレーンクレーンにて運搬車から 1 枚ずつ吊り上げ，そのまま設置する方法で施工を進めた．

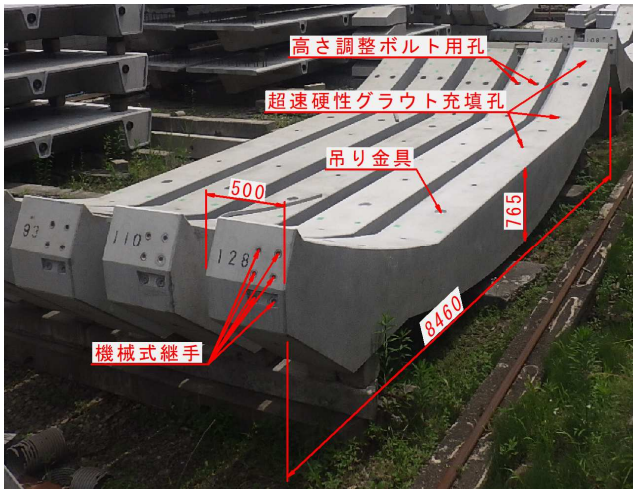


写真-1 プレキャスト版


写真-2 鋼製型枠

4　施工上の課題

一晩の施工サイクルタイムを表-1 に示す．またプレキャスト版設置の施工概要図を図-3 に示す．狭隘なトンネル内での施工さらに，掘削により運搬車がトンネルセンターに配置できないため，クレーンの揚程，旋回など作業範囲の制限が課題となった．

また「掘削～プレキャスト版設置～端末型枠設置～裏込グラウト充填～埋戻し」を交通規制時間内に終わらせる必要があり，使用機材・材料等の選定も課題となった．

5　課題への対策・対応

トンネル内でのクレーン作業の課題については，クレーンの吊り上げを通常通り行うと，巻きしろ不足となるため，事前に製作しておいた H 形鋼を用いた専用水平治具を採用することで解決し，さらに写真-3

表-1　一晩の施工サイクルタイム

サイクルタイム	作業内容
21：00 ～	通行止規制開始
21：30 ～	掘削、土留杭撤去
0：00 ～	プレキャスト版設置
1：30 ～	裏込めグラウト充填･型枠撤去
3：30 ～	土留杭設置、埋戻し
6：00 ～	通行止規制解除



写真-3　仮組状況

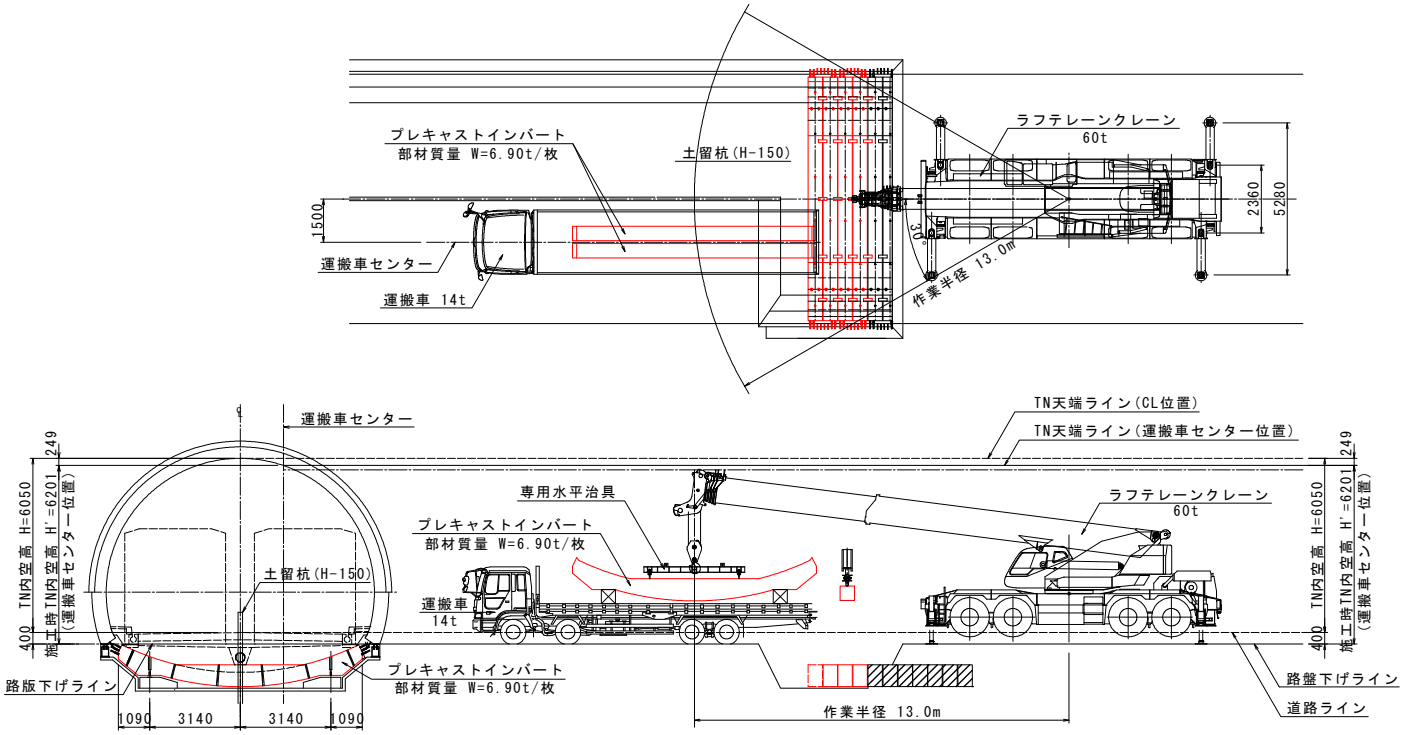


図-3　施工概要図

に示す様に施工前に仮組を行い，揚程，吊り上げ，旋回範囲，プレキャスト版設置方法の確認を行った．

また，掘削により運搬車がセンターに配置できない事で揚程の確保が課題であったが，図-3 に示す様に，路盤を下げる事で揚程を確保した．

規制時間内に作業を終わらせるため，所定の計画高にプレキャスト版を迅速に設置できるよう高さ調整材を設けて，高さ調整ボルトによる微調整時間の短縮を図った．

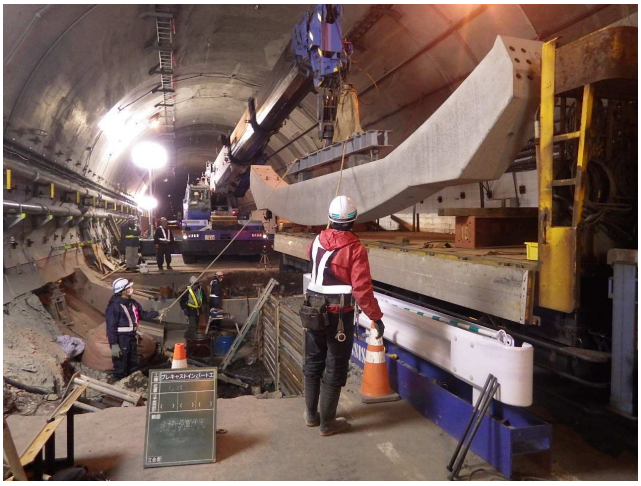


写真-4　運搬車，クレーン配置状況

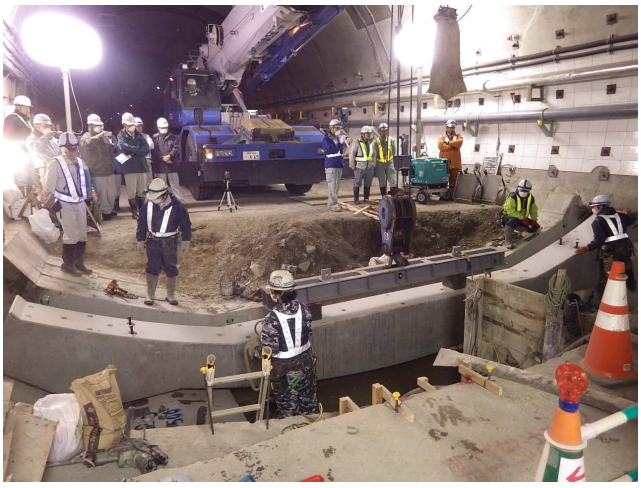


写真-5　プレキャスト版設置状況

覆工コンクリートとの接合部に設置する，型枠の取付時間を短縮するために，プレキャスト版左右上面にインサートを設置し，鋼製型枠を短時間で取り付けられる様に工夫した．

一方，空隙部に充填する裏込めグラウトは，充填性能と交通開放時の強度を確保するため，初期強度が規定値以上，かつ充填性能の高い超速硬無収縮グラウトを採用した．

なお，施工に先立ち試験練りを行い，流動性，硬化速度，2 時間後の圧縮強度を試験し，所定の品質・施工性が得られる事を確認した．

充填作業は約 4 ㎥/日を 1 時間程度で注入を完了させる必要があるため，モルタル連続練り装置(2 ㎥/h)を 2 台使用する事により対処した．

写真-4 に運搬車・クレーンの配置状況，写真-5 にプレキャスト版設置状況を示す．

6　今後の展望

プレキャスト版の架設は，今年 7 月に無事完了した．

狭隘なトンネル内で，かつ限られた通行止規制時間内の作業にプレキャスト版の採用は有効ではあるが，1 日の施工量がプレキャスト版 4 枚で，トンネル縦断方向の距離にして 2m 程度である．今後は 1 日の施工量を増やしていく事を考えている．

また，既設トンネルに限らず，新設トンネルへの適応も可能と考えている．

7　おわりに

最後に本工事の施工にあたり，ご助言，ご指導いただきました関係各位に厚く御礼申し上げます．

第Ⅱグループ

富山駅付近連続立体交差事業について
～あいの風とやま鉄道線富山駅全線高架化～

富山県　土木部　都市計画課　新幹線・駅周辺整備班　副係長　竹田　勝博

1　はじめに

富山駅付近は、鉄道により南北に分断されているうえ、鉄道と交差する 2 本の主要道路が 2 車線しかないため、駅南北間の交通が渋滞し、また周辺の効率的な土地利用や一体的なまちづくりに支障をきたしていた。

この改善を図るため、平成 17 年度に連続立体交差事業に着手し、平成 27 年 4 月 20 日にあいの風とやま鉄道上り線及び JR 高山本線が高架化した。平成 31 年 3 月 4 日に、あいの風とやま鉄道下り線が高架化し、富山駅の全線高架化（写真－１）が完成した。



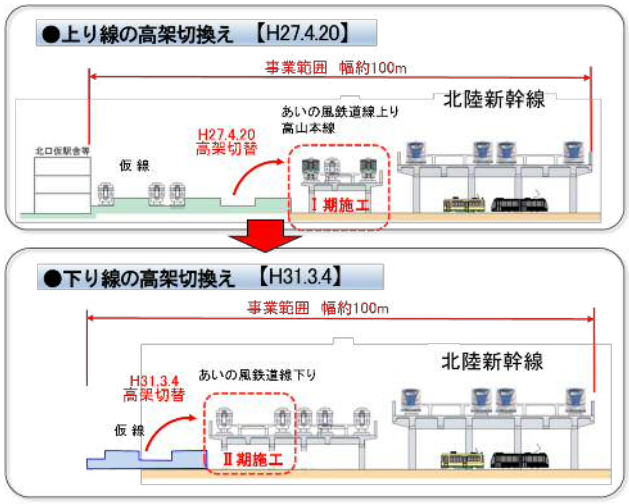
写真－１（富山駅高架化完成記念式典）

2　事業着手までの経緯

連続立体交差事業は、踏切の除却が採択要件の一つであるが、富山駅周辺の鉄道を交差する道路はアンダーパスであったため、除却できる踏切がなく事業化することが出来なかった。しかし、平成 12 年に「大規模な改築を伴う立体道路は踏切とみなす」という要件の緩和が行われたことにより、除却する踏切は無いが、道路を 4 車線に拡幅する計画を「みなし踏切」として事業化が可能となった。また、平成 13 年 4 月に北陸新幹線の上越～富山間がフル規格で認可となったことから、富山駅は北陸新幹線の整備と併せて連続立体交差事業を行うこととし、平成 17 年に事業認可を取得し事業着手に至った。

3　高架化の施工手順

富山駅付近は、高層マンションやホテルが立ち並ぶ市街地であるため、新幹線と連続立体交差事業を同時に行うだけの事業用地を確保することが困難であった。この課題を解決するため、まず富山港線を別ルートで路面電車化し、確保しなければならない事業用地を少なくすることで工事が可能となった。工事については、新幹線開業までをⅠ期施工として、仮線の設置及び新幹線工事と在来線上り線の高架化の施工を行い、次にⅡ期施工として在来線下り線を高架化する手順（図－１）で工事を行った。



図－１（高架化施工手順）

4　今後の整備

現在、仮線の撤去作業を進めており、仮線撤去後には道路の 4 車線化工事を行う。また、富山駅付近連続立体交差事業は、あいの風とやま鉄道線の高架化に引き続き、富山地方鉄道本線の高架化を進め早期完成を目指す。

5　おわりに

引き続き富山駅周辺が、県都の玄関口としてふさわしく、活力と賑わいのある都市空間となるよう事業の推進に取り組んでいきたい。

音響付加型凍結抑制舗装工法メロディウェイ（ザペックタイプ）の開発

世紀東急工業株式会社　技術本部
技術部　技術グループリーダー　　板東　芳博

１　はじめに

冬期路面におけるスリップ事故の抑止や、走行安全性の向上を目的とした凍結抑制舗装が数多く開発されており、積雪寒冷地を中心に施工されているが、山間部の急傾斜や道路線形が悪い場合が多く、冬期のみならず夏期においても注意喚起が必要と思われる場所は多く存在する。

本報は、冬期は凍結抑制、通常期は音による注意喚起を促すことを目的として、グルービングに凍結抑制材を充填した凍結抑制舗装に、同じくグルービングを活用した音響舗装技術を組み合わせた音響付加型凍結抑制舗装工法「メロディウェイ（ザペックタイプ）」について、その効果と有効性を述べるものである。

１．開発の目的

「メロディウェイ（ザペックタイプ）」の開発コンセプトは、凍結抑制効果と音響効果の両立が最優先に掲げられる。今回適用するそれぞれの技術について、以下に記す。

１．１　凍結抑制舗装技術

凍結抑制舗装は冬期の路面凍結を抑制し、車両のスリップ事故などを防止する技術である。今回用いる技術は、路面に施工したグルービングにゴムチップと凍結防止剤（以下CMA）をウレタン樹脂で固めた凍結抑制材を充填するものである。凍結抑制材の弾力による物理的な氷板破砕とともに、CMA の化学的な凍結抑制効果を併せもっている。

なお、グルービングの形状は幅 9mm、深さ 10mm とし、60mm の間隔で溝を設置することを標準としている。図 - 1 に凍結抑制舗装の概念図を示す。

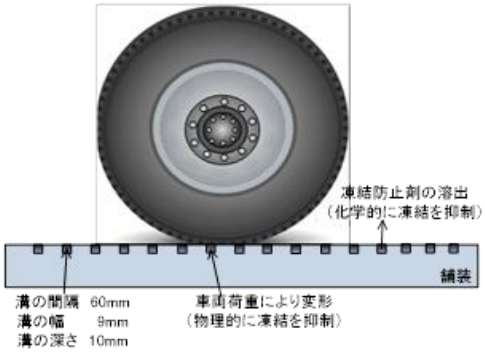


図-1　凍結抑制舗装の概念図

１．２　音響舗装技術

音響舗装は、路面に施工したグルービングとその上を走行する車両とのタイヤ間で発生する音を利用して音楽を奏でる舗装である。この技術は、グルービングとタイヤ間で発生する音の周波数が、グルービングの溝間隔が広いと低く、狭いと高くなる事を利用したもので、各音階に合わせてグルービングの溝間隔を調整する事により様々な音楽を奏でる事が可能である。

なお、グルービングの形状は幅 9mm、深さ 5mm とし、横断方向に 44mm～100mm の間隔で音階に合わせて溝を設けることを標準としている。図－2 に音響舗装の概念図を示す。

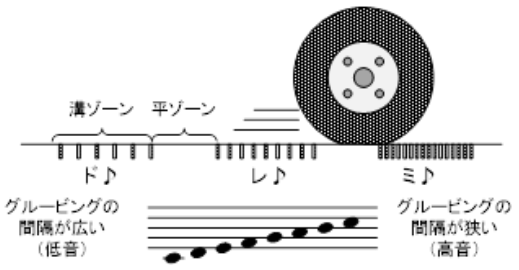


図-2　音響舗装の概念図

２．技術的な課題

今回、開発した工法は既存の２つの技術を組み合わせることにより、それぞれの機能を両立させるものであるが、凍結抑制と音響が発生するメカニズムが相反するものであることが問題であった。それぞれの機能を発揮させる場合の課題を以下に記す。

２．１　凍結抑制舗装の効果に関する課題

今回用いる凍結抑制舗装技術は、グルービングに充填した凍結抑制材の弾力により氷を破砕する。氷版破壊効果を十分に発揮させるため、凍結抑制材を充填する溝の深さは10mm を標準としている。これに対し、音響舗装技術の標準の溝の深さは 5mm と浅いため、音響舗装を基準とした舗装にすると氷板の破壊が十分に行われない事が懸念された。

２．２　音響舗装の効果に関する課題

音響舗装技術もグルービングを活用した特殊技術である。特徴としては、グルービングと走行する車両のタイヤとの間で生じる摩擦音や衝撃音を活用するものであるが、溝内での音の反響も音の大きさを決定する要因と言われており、溝の深さは 5mm 程度を必要としている。これに対し、凍結抑制舗装はグルービングを凍結抑制材で充填してしまうため、見かけ上溝が無くなることから、タイヤと溝との間で発生する音が消失するなど、音にどのような影響が現れるのかが懸念された。

３．課題に対する検討

このように、凍結抑制舗装と音響舗装は共にグルービングを活用した技術ではあるが、その効果を発揮させるためには、相反する舗装面が必要となる。そこで、両技術の組み合わせが可能かどうかについて室内検討を行った。

３．１　凍結抑制材の影響に関する室内検証

グルービングによる音の発生を検証するため、回転式音響測定装置を用いた室内音響試験を行った。試験は、放射状に溝を入れたホイールトラッキング供試体を平面的に回転させ、凍結抑制材の有無による発生音の違いを確認した。この結果、図-3 に示すように凍結抑制材を充填した後の音圧は、凍結抑制材を充填する前と同程度の音圧を示すことが確認された。

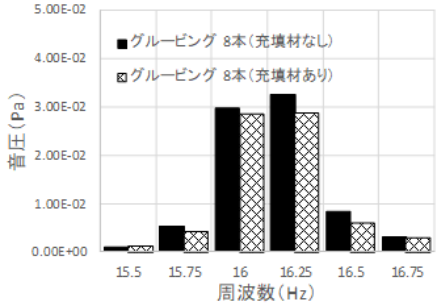


図-3　凍結抑制材充填による音への影響

当初は、凍結抑制材をグルービングに充填することで、溝内の音の反響が無くなり、音圧が小さくなるものと想定していたが、凍結抑制材に有する空隙がそれを補完したものと考えられる。

３．２　凍結抑制効果に必要な溝間隔の決定

凍結抑制効果を得るために必要なグルービングの溝間隔を決定するため、氷着引張試験[1)]により溝の影響を確認した。試験は、直径100mm の冶具にかかる溝の本数で氷着引張試験を行った。

表-1　溝の本数と氷着引張強度

溝の本数(本)	1	2	3
氷着引張強度(MPa)	0.35	0.2	0.1

表-１に氷着引張強度の測定結果を示す。表より、溝が １ 本でも 0.35MPa と十分な効果が得られる事が分かった。このことから、軽自動車などのタイヤ径の小さな車両であっても、タイヤ接地面にグルービングが必ず １ 本含まれるように溝の間隔を最大100mm程度

とすることとした。

４．既設凍結抑制舗装の音・周波数特性

室内検討により音が発生する事が確認できたことから、既設の凍結抑制舗装区間でも同様の効果が見られるかを確認した。

図-4 は、溝間隔 50mm の凍結抑制舗装上を 50km/h で走行した時のタイヤ路面音を、車両のタイヤ近傍に取付けたマイクロフォンによりサンプリングし、1/12 オクターブバンド分析したものである。この結果、274Hz の A 特性音圧レベルが約 90dB(A)と卓越する結果となった。計算上、溝間隔 50mm の路面上を 50km/h で走行すると 278Hz 付近にピークが現れることを想定していたことから、このピークは溝に起因したものと思われる。なお、この周波数帯の音階は「ド＃」に相当する。このことから、凍結抑制舗装においても一定の音が得られるとともに、音階の調整も可能と推定された。

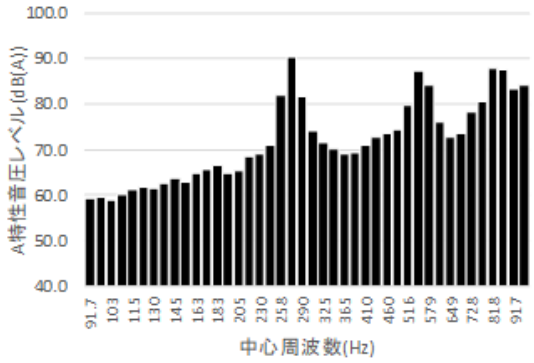


図-4　ﾀｲﾔ路面音の 1/12 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ分析

５．本施工の実施

これまでの検討結果より、凍結抑制舗装技術に音響舗装技術を組み合わせても両方の機能が発揮されると考え、本施工を行った。

５．１　適用音楽の選曲

施工場所がリゾート地へのアクセス道路のため、夏をイメージした「夏の思い出」を選曲し、さびの部分が奏でられるようにグルービングを施工した。

５．２　グルービングの溝間隔の確認

溝の間隔は最短でラ＃の 47.2mm、最長でソ＃の 105.9mm とし、氷着引張試験結果により決定した最長 100mm 程度の溝間隔とした。写真-1 に凍結抑制材充填状況を示す。



写真-1　凍結抑制材充填状況

６．効果の確認

施工完了後、音響舗装としての機能、速度抑制効果および凍結抑制効果について確認した。

６．１　音響舗装の機能

①音階の確認

グルービング施工後、凍結抑制材充填前の路面において車両を走行させ、音の確認を行った。耳で聞く官能評価では、車外、車内において音楽を認識できる事が確認できた。また、1/12 オクターブバンド分析においても設計通りの音階が得られていることが確認できた。

②凍結抑制材の充填の影響

凍結抑制材充填後、充填前と同様に音の確認を行った。図-5 は、グルービング施工直後（充填前）の路面と、凍結抑制材充填後の路面とのタイヤ路面音の音圧レベルを比べたものである。この結果、凍結抑制材充填後の音圧レベルは、充填前と同程度の値を示した。このことから、室内検証試験と同様に溝に凍結抑制材を充填しても、音量が低下する等の悪影響を及ぼさないことが確認できた。

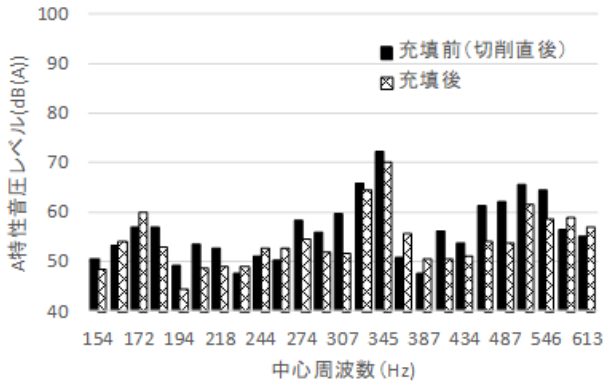


図-5　凍結抑制材の有無による音圧レベル

6．2　速度抑制効果

速度の抑制効果を確認するため、施設利用者の一般車両の走行速度を、本技術の適用区間と道路線形および、縦断勾配が類似している通常舗装区間とで比較した。この結果、本技術を適用した区間では約 20％の速度抑制効果が見られた（表-3）。

表-3　車両走行速度の測定結果（N=103）

	通常舗装区間 (km/h)	本技術適用区間 (km/h)	速度抑制率 (%)
小型車	56.4	46.3	**17.9**
普通車	58.3	47.5	**18.5**
RV系	58.0	47.0	**19.0**
中･大型車	50.8	41.0	**19.3**

6．3　凍結抑制効果

凍結抑制効果を確認するため、冬期の積雪後の現場状況を確認した。写真-2 は、通常舗装と本技術適用区間の境界の写真であるが、本技術適用区間の方が雪解けの量が多く、路面の露出が明確であった。



写真-2　凍結抑制効果

7．まとめ

凍結抑制舗装と音響舗装は共に、グルービングを活用した技術であるが、グルービングに凍結抑制材を充填する事で、音階が出なかったり音量が小さくなったりしてしまう等の悪影響が懸念されていた。今回、本検討によりそれら懸念が解消され、1 年を通じて多機能な安全対策舗装を確立することができた。以下に本工法により得られた結果を示す。

・凍結抑制効果と音響効果の併用が可能である

・速度の抑制効果および、冬期のスリップ事故の抑制効果がみられ、安全性に寄与する

本施工を実施した現場の施設管理者より、積雪時の路面露出も早くスリップ事故も見られていないようであるとの報告を受けた。今後も状況観察を続けていく必要があるが、当初の目的とした冬期のみならず 1 年を通じた道路の安全性を確保するという成果が得られたものと考える。また、現地に音響道路であることを示す看板を設置することで、現地での話題提供や地域活性にも寄与できると考えている。

なお、施工後 3 年程経過したが、ゴムチップの飛散も無く良好な路面を保持している。

謝辞

本技術の開発にあたり、音響舗装技術の技術支援、技術導入の検討に御協力いただいた末広産業株式会社の諸氏および、現場での検証試験、施工において現場を提供いただいた東急リゾート株式会社の諸氏に感謝の意を表します。

≪参考文献≫

1）日本道路協会、舗装性能評価法別冊、pp.63～72

ＩＣＴ活用による除雪機械の情報化施工技術開発

北陸技術事務所　施工調査・技術活用課長　　橋本　隆志
機械調査係長　○山田　拓

１　はじめに

北陸地方整備局では、管内（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、076km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。

各除雪機械の運転は、路面状況、道路構造、沿道状況等の変化に適応させた操作が必要であり、経験と熟練した技術が必要である。

昨今においては、除雪機械の熟練技能を持つオペレータの高齢化に伴う引退や新規入職者の減少により、担い手の確保が重要な課題となっている。

このような背景のもと、北陸技術事務所では初心者でもベテラン並に安全で作業効率の良い除雪作業が可能となるよう、ICT（情報通信技術）を活用した「除雪機械の情報化施工技術」の検討に取り組んでいる。

2010年度から検討を行っており、これまでに凍結防止剤散布車、ロータリ除雪車、歩道除雪車、一次除雪機械（除雪トラック）の4機種の作業ガイダンス装置を開発し、順次現場への導入を進めてきた。

現在は、将来目標の除雪機械マシンコントロール化（以下MC化という）に向け、一次除雪機械（除雪トラック）のMC化を検討中である（表-1）。

本稿では、2017～2018年に実施した、一次除雪機械（除雪トラック）の作業ガイダンス装置開発及びMC化の検討について報告するものである。

表－１　検討の経緯

除雪機械＼年度	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	将来
凍結防止剤散布車	ガイダンス開発						ガイダンス改良			ＭＣ化
ロータリ除雪車				ガイダンス開発			ガイダンス改良			
歩道除雪車						ガイダンス開発				
一次除雪機械（除雪トラック）							ガイダンス開発 MC化検討			

２　作業ガイダンス装置の開発

２．１　機能の検討

除雪トラック作業のガイダンス装置は、過去に開発したロータリ除雪車の作業ガイダンス装置をベースとし、除雪トラックの作業補助に必要となる機能を追加、及び改良することで開発した。

２．１．１　接近警告機能

基本的なガイダンス機能は、障害物、道路構造物との接触事故防止、及び作業注意区間への接近警告機能とした。（写真-１、２）



写真-１　障害物



写真-２　構造物、作業注意区間

２．１．２　作業速度

除雪トラックの作業速度は約 30km/h であり、作業中にオペレータが画面を注視することが難しい。

そのため、容易に確認が可能となるよう画面表示（文字＋矢印）と音声により接近警告を行う仕様とした。（図-１）

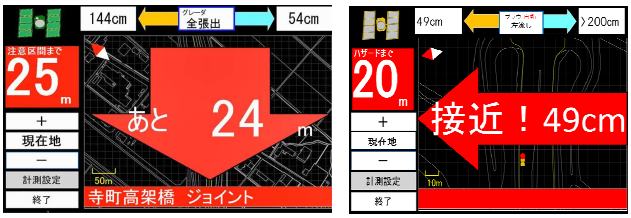


図-１　画面全体での接近表示

２．１．３　測位方式

測位方式は、一般的なICT建機で使用実績があり、cm単位で正確な測位が可能となる、VRS方式を採用した。（表-２）

表-２　測位方式概要

測位方式	概要	測位誤差
VRS方式	①サービス事業者より、リアルタイムで自車位置の補正データを受信。 ②基準局を必要とせず、GPS受信機1台で高精度の測位が可能であるが、通信料が必要	水平 2～3cm 標高3～4cm

２．１．４　地図データ

地図データは、計測した路肩端、道路中心線データと、国土地理院の背景地図データを組み合わせ作成し、計測精度は10cm以内となるよう設定した。

２．２　機器・画面構成

完成した作業ガイダンスの機器構成・画面構成（図-２）は、次のとおりである。



図-２　機器・画面構成

２．３　実用性の検証

今回採用した機器・地図データは、ロータリ除雪車の作業ガイダンス装置で使用実績があり、基本的な性能に問題がないことは確認済みである。

ただし、過去に開発したロータリ除雪車の作業速度（5km 以下）とは速度差があるため、一次除雪作業の作業速度下（30km/h）でも、位置情報の反映が遅れることなく、正確な位置測位が可能か検証を行った。

ガイダンス装置を搭載した車両にて、平均速度 30km で走行し誤差を計測した結果、水平誤差は平均して 10cm 以内であった。

製作した地図データ、測位データの公称精度内に収まっており、正常に測位していることが確認できた。

２．４　導入効果

２．４．１　安全性・施工性向上

除雪作業に直接的な障害となる障害物をガイダンスすることにより、接触事故防止の安全性向上が見込まれる。

この他、作業注意区間（ランプ・パーキングエリア）を登録し事前ガイダンスすることにより、ミス防止による施工性向上も期待できる。

２．４．２　除雪作業支援効果

運転経験が浅いオペレータには安全性の向上が見込め、ベテランオペレータにはケアレ

スミス防止が見込める。

また、工区間応援で土地勘のない地域で作業を行う場合や、吹雪による視界不良時に自車位置を確認するのに有効である。

３．一次除雪機械 MC 化の検討

３．１　検討方針

除雪トラックは、フロントプラウ、グレーダ装置、サイドシャッタ操作のため、多様なレバー操作が必要である。

この作業装置類を完全自動化することを目標に、2017 年度より MC 化の検討に取り組んでいる。（写真-３）

今回は、2018 年度に実施したサイドシャッタ装置の MC 化の検討結果について報告する。

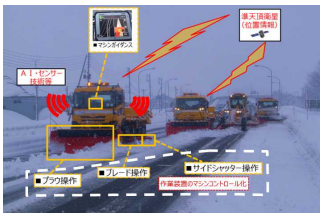




写真-３　簡素化イメージ、操作レバー

３．２　検討スケジュール

除雪機械の作業装置ＭＣ化を行うためには、次の 3 点の技術を組み合わせたシステムを構築していく必要がある。（表-３）

表-３　MC化に必要な技術

No.	要素技術	候補技術	要素技術から得られる情報	要素技術による操作制御
1	精度の高い衛星受信機	・VRS受信機 ・準天頂衛星システム「みちびき」 ・慣性計測装置　等	自車、作業装置の位置情報の把握	車両位置情報での作業装置動作制御（誤差は数cm）
	精度の高い地図データ	・MMSデータ ・ダイナミックマップ　等		
2	センサー技術	・傾斜計 ・ストローク計　等	路面積雪量、雪抱え込み量、作業装置の状況　等　把握	雪の量に合わせた作業装置の角度、押付圧等の動作制御
3	AI技術	・画像認識技術 ・車線、障害物等認識技術	積雪の有無、障害物・人間等の感知 車線の把握 オペレータ作業履歴の蓄積　等	作業装置動作タイミングの自動化制御 障害物・歩行者等の回避制御

このうち、高精度の自車位置情報、センサー技術については、既存技術の組み合わせで対応可能と想定される。上記2点の技術を基に、状況を判断し作業装置を自動制御するAI技術が必要となるが、既存技術では対応が難しい。

当面は作業装置毎に段階的に自動化の検討を進めていき、技術開発の動向を踏まえ、各技術を組み合わせた MC 化の検討を行う予定である。（表-４）

表-４　検討スケジュール

検討年度		H29	H30	H31	R2	将来
①位置情報と合わせたマシンコントロール化						自動運転化
	マシンガイダンス					
	サイドシャッタ操作					
	プラウ操作					
	グレーダ操作					
②センサー技術と合わせたマシンコントロール化		数年後に実用化の可能性あり				
③AI技術等によるマシンコントロール化		市場の技術開発に応じて実用化を検討				

３．３　サイドシャッタ装置のMC化検討

サイドシャッタは、路面整正装置で除雪した雪を、交差点や乗入部に残さないよう、シャッタを閉めることで一時的に雪を抱え込む装置である。（写真-４）

このサイドシャッタの自動制御は、開閉操作を行う位置情報のみによる制御が可能なことから、前項で述べた3技術のうち、高精度の自車位置情報を使用したMC化に取り組んだ。





写真-４　サイドシャッタ動作状況

３．３．１　衛星受信機

MC化の検討では、2018年11月より正式運用された、準天頂衛星システム（みちびき）のセンチメータ級測位補強サービス（CLAS）を採用した。

移動体の公称精度は水平誤差12cm、標高誤差２４ｃｍであるが、今回新潟市内から福島県境にかけて片道68kmを試験走行した結果、誤差30cm以下が6割程度という結果であった。

平野部では公称精度内に収まるが、トンネル等の上空遮蔽物、樹木の影響がある衛星不感地帯で大きな誤差が生じていた。

2019年度は、慣性測定装置（IMU）等を使用し、衛星測位の不感地帯での測位を補うシステムを検討中である。

３．３．２　地図データ

MMS（モービルマッピングシステム）で取得したレーザー点群データから、除雪装置の制御に必要な道路中心線形、縁石、障害物等を抽出した地図データを作成した。（写真-５）

MMS の公称精度は、水平・標高誤差ともに±25cm であるが、今回作成した地図データは、水平誤差 5cm、標高誤差 6cm であった。

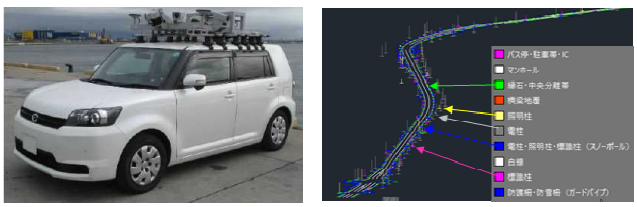


写真-５　MMS 搭載車両、地図データ

３．３．３　制御ユニット

サイドシャッタ MC 化の制御ユニットは、タブレット PC、GPS アンテナ、除雪トラック制御装置とし、各機器をＬＡＮ通信で交信させて制御を行う構造とした。

MMS で作成した地図データに、サイドシャッタ作動の基準点を設定し、自車位置と地図の基準点が一致した際に制御信号出力を行う仕様とした。（図-３）

作成した制御ユニットをの動作確認試験を行った結果、基準点通過時の始動誤差は平均して 0.42 秒、距離にして 1m程度であり、実用レベルであることを確認した。

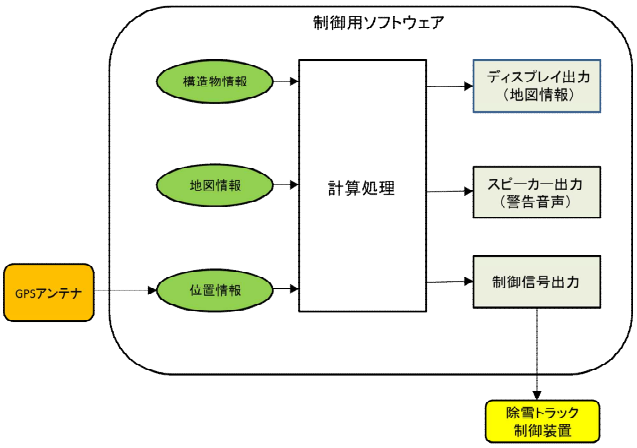


図-３　制御ユニットイメージ

４．終わりに

2010 年度から行ってきた作業ガイダンス装置の開発は、今回一次除雪機械（除雪トラック）の開発が完了したことにより一通り完了した。

ICT（情報通信技術）は日進月歩であることから、今後は市場の技術開発動向を踏まえ、開発した各除雪機械ガイダンス装置のフォローアップを行っていきたい。

また、将来目標の除雪機械自動運転化に向け、各除雪機械の作業装置の操作自動化（マシンコントロール）の技術開発を行い、除雪作業における安全性、施工性、生産性の向上に努めていきたい。

ヒートポンプレス下水熱融雪システムに関する実証研究

(株)興和　水工部課長　小酒　欽弥

1　はじめに

下水熱は、下水道管渠ネットワークを通じて都市に豊富に存在し、熱利用時の低炭素化効果の高い未利用エネルギーである。外気温と比べると季節間の温度変化が小さい特長があり、冬期の温熱や夏期の冷熱の有効な熱源の１つとして期待されている。

本研究は、国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究である平成30年度下水道革新的技術実証事業（H30B-DASHプロジェクト、）のうち、実証研究に採択された「他の熱源よりも低コストに融雪できる下水熱利用融雪技術」の採択事業として、(株)興和・積水化学工業(株)・新潟市が共同研究体として実施したものである。

2　システム概要

実証研究に採用したシステム概要を図-1に示す。下水熱を用いる場合、二次側温度を調整しやすいヒートポンプを用いるシステムが一般的であるが、本システムは下水管に設置した採熱管で熱交換を行い、温められたブラインを直接放熱パネルに循環して融雪する「ヒートポンプレス」であることが大きな特長である。また、既存の下水熱融雪システム（以下、既存システム）では管底に設置した採熱管を折り返して設置していたが、実証研究では片押し対向流方式（以下、片押し方式）の熱交換とする革新的技術を採用した。ここでは管底に設置して採熱するタイプとして「片押し方式・管底設置型下水熱交換融雪システム」（以下、本システム）と呼ぶ。

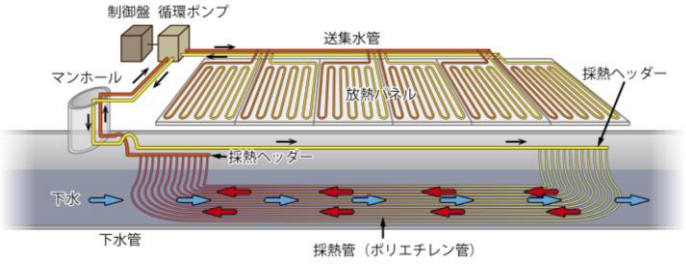


図-1　システム概要

3　事業目標

本研究は、表-1 の高 COP（Coefficient Of Performance※融雪必要熱量÷施設消費電力量）と低コストを事業目標に設定した。目標達成のため、高熱性能採熱管、高熱性能舗装、片押し方式の熱交換、遅いブライン流速の４つの革新的技術を採用した。

表-1　事業目標

目標項目	達　成　目　標
高 COP	本システム運用時に COP10 以上。（既存システム※では 3～4）
低コスト	本システムコスト(50 年換算)を従来システム※から 10%以上削減。

※従来システム：温水ボイラー利用融雪施設

※既存システム：高熱性能材料を用いない折り返し方式の下水熱融雪施設

4　施設概要

本システムは、図-2 に示す新潟市中央区寄居町地内の交差点に設置した。融雪面積は 204 m^2、必要熱量は 25.1 kW である。下水管は更生後Φ1000 の合流式で、採熱延長 91.8 m にΦ17 の採熱管を 24 ユニット配置した。制御は路面温度と降雪の 2 要素とし、循環ポンプは 2.2 kW を採用した。放熱・採熱設備を写真-1、写真-2 に示す。

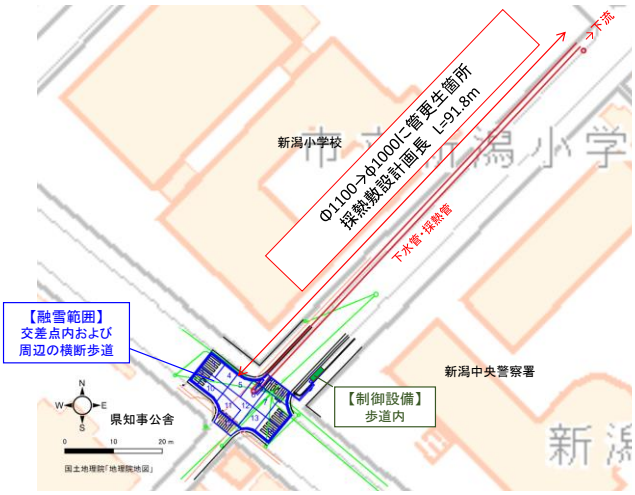


図-2　研究施設の配置位置

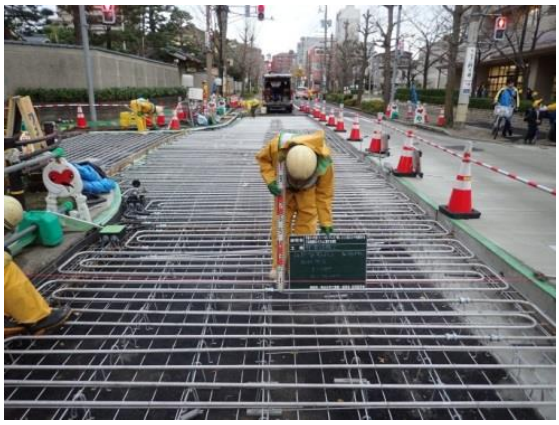


写真-1　放熱配管

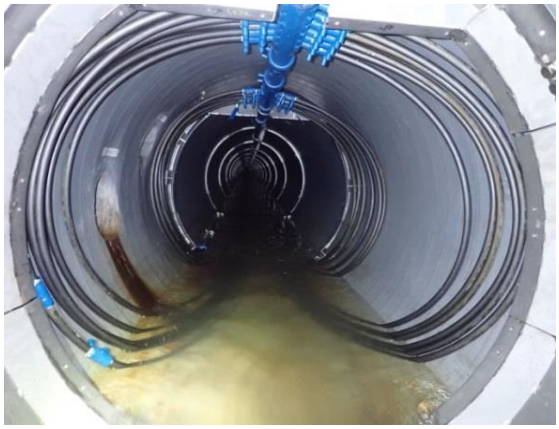


写真-2　採熱管（下流ヘッダー部）

※カバー設置前

5　観測状況

本システムは、採熱能力、放熱能力を下水温度や路面温度と比較して検証することを目的に、循環水温度を放熱パネルの入口・出口、採熱管の入口・出口の計 4 箇所、循環流量を 1 箇所、舗装温度を 1 箇所、下水温度を上流・下流の 2 箇所で計測を行った。融雪状況を写真-3 に、本システムとして安定して放熱しているときの各測定値および放熱量と採熱量を図-3 に示す。



写真-3　融雪状況（1/27　7:30）

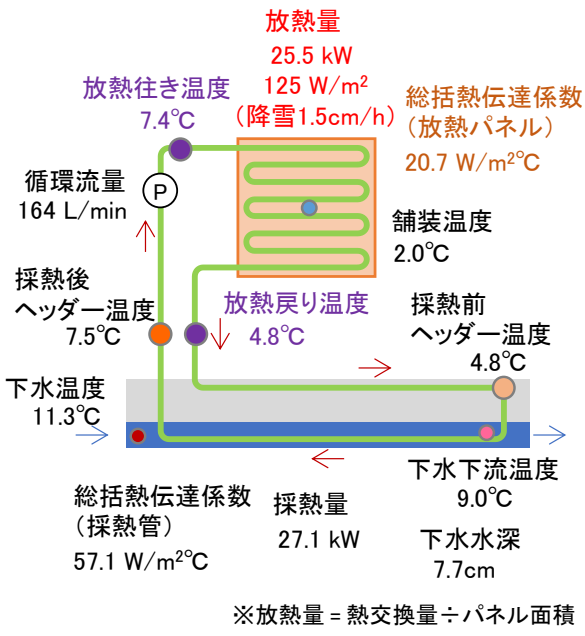


図-3　安定放熱時の測定温度の例

6　評価結果

(1) COP 分析結果

測定した下水－舗装温度差と COP の関係を図-4 に示す。下水温度と舗装温度の差が大きいほど COP が高いことが分かる。連続運転時は舗装－下水の温度差が 5℃以上、間欠運転時は 3℃以上で COP10 以上を達成している結果となった。

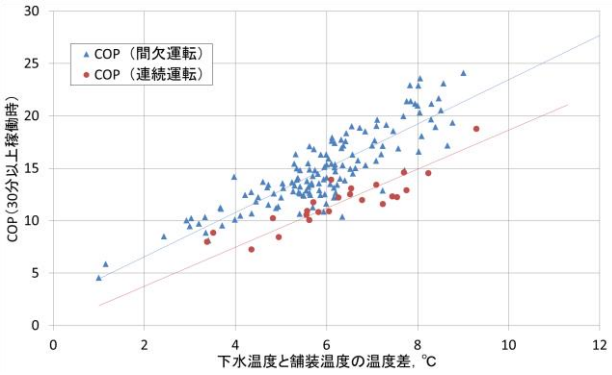


図-4　下水－舗装温度差と COP の関係

また、測定期間（平成 30 年 12 月 26 日～平成 31 年 2 月 28 日）中の条件別の COP 算出結果を表-2 に示す。測定期間平均 COP は 13.9 となり、目標である COP10 以上を達成する結果が得られた。

表-2　期間中の運転条件別 COP

運転状況		間欠運転	連続運転
路面温度 Tp	Tp＞4.5℃	14.9	
	3.0℃＜Tp≦4.5℃	12.4	
	Tp＞3.0℃		12.8
	Tp≦3.0℃		11.2
降雪時			13.2
全期間平均		13.9	

(2)コスト分析結果

本システムを参考に、融雪能力と運転時間、採熱規模を固定した条件で、50 年換算のシステムコストを比較した結果を表-3 に示す。条件 1 の 200 W/m^2 かつ運転 2000 時間は札幌で北海道、東北および北陸の山間部を想定し、条件 2 の 125 W/m^2 かつ運転 1000 時間は新潟で北陸の平野部を想定した。条件 1 の 200 W/m^2 の建設費が条件 2 の 125 W/m^2 より安価なのは、同一採熱規模に対する融雪面積が小さくなるためである。

総費用の縮減割合は、必要な融雪能力が大きく運転時間が長いほど大きく、融雪能力が小さく運転時間が短いエリアほど小さくなるが、いずれの想定条件でも縮減割合は事業目標である 10%を上回り、条件 1 の場合で 34.0%、条件 2 の場合で 13.7%の縮減を達成できる見込みとなった。

表-3　コスト比較結果（25kW あたり）

想定条件	試算項目	本システム	従来システム	総費用縮減割合
条件1	建設費（千円）	51,000	23,000	－
	維持費（千円／年）	184	1,366	－
	総費用（千円／年）	**1,204**	**1,825**	**34.0%**
条件2	建設費（千円）	67,500	32,000	－
	維持費（千円／年）	154	1,103	－
	総費用（千円／年）	**1,504**	**1,743**	**13.7%**

総費用（千円／年）＝建設費（千円）÷50＋維持管理費（千円/年）
条件1：200 W/m^{2}想定※降雪量2.4cm/hかつ2,000h運転
条件2：125 W/m^{2}想定※降雪量1.5cm/hかつ1,000h運転

7　おわりに

本研究の結果、4 つの革新的技術を用いることで、システムの総費用 10%縮減と COP10 以上の事業目標を達成し、利用可能性が拡がった。一方、本報告で詳細に言及できなかったが、4 つの革新的技術のうち、高熱性能採熱管と高熱性能舗装では、性能目標値と実測値に差が見られたことから、令和元年度も引き続き検証を行う計画となっている。

今年度の検証で本システムの設計精度を高めつつ、高 COP を達成できる下水管渠および下水水深（流量）の関係と、融雪面積の条件について整理を行う予定である。これらの成果をまとめ、まだ設置数が少ない下水熱利用融雪施設の普及拡大に繋げたい。

第Ⅲグループ

倶利伽羅防災トンネルにおけるＣＩＭの活用検討

富山河川国道事務所　工務第二課設計係長　　大橋　由紀子

１　はじめに

ＣＩＭ（Consutruction Information Modeling/Management）は、インフラ施設に対して3次元モデルを作成し、計画、調査、設計、施工、維持管理の各段階で実施した成果を反映することで、事業全体にわたる関係者間の情報共有を容易にし、フロントローディング効果により一連の建設生産システムの効率化・高度化を図ることを目的としている。

ＣＩＭの試行は、土工、橋梁、トンネルなど様々な分野において行われているが、トンネルにおけるＣＩＭの現状は、施工段階で主に実施され、設計では試行段階である。今後、プロセス全体でＣＩＭモデルを共有し、トンネル事業を通して、調査～維持管理まで一元管理することが求められている。

本稿は、倶利伽羅防災トンネルの詳細設計において、地すべりに近接するトンネルの設計精度向上を目的として設計段階でＣＩＭの導入を試行した結果について報告するものである。

２　倶利伽羅防災の概要とＣＩＭの実施方針

２．１　倶利伽羅防災の事業概要

倶利伽羅防災は、一般国道８号の事前通行規制区間（連続雨量 180mm）の回避及びトンネル幅員狭小による事故危険区間の解消を目的とした、富山県小矢部市安楽寺～石川県河北郡津幡町河内間の延長 3km（1 号トンネル 1,871m と 2 号トンネル 436m、トンネル間距離 15m）、片側 1 車線の道路整備事業である。

当該区間は、新潟県・富山県・石川県における一般国道8号の県境区間の中では最も交通量が多く、北陸地域の人と物などの交流を支える重要な区間である。しかしながら、大雨等による事前通行規制区間が存在し、過去40年間で7回の全面通行止めが発生している。

本事業により、災害に強く信頼性の高い幹線道路ネットワークを確保し、安全・安心な住民生活及び地域経済を支援するものである。

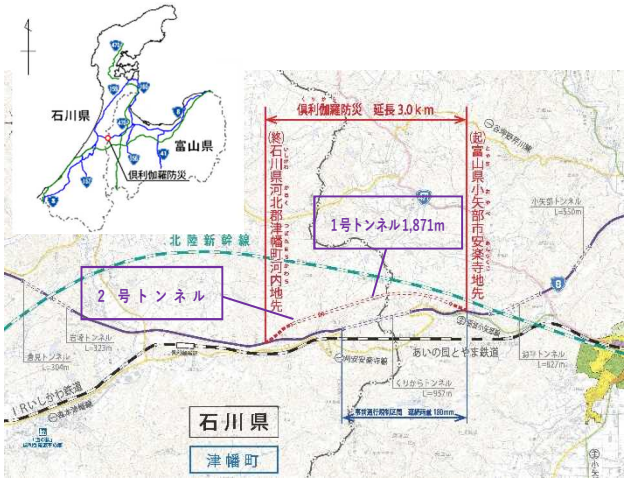


図-1　倶利伽羅防災平面図

２．２　ＣＩＭの実施方針

1号トンネル終点側坑口は、地すべりブロックの直下に計画されている。

地すべり面とトンネルの位置関係をより正確に把握することが、設計条件の設定、対策規模の設定を行う上で重要な判断要素となる。また、トンネル施工時には地すべりの挙動を動態観測するため、観測に向けた必要情報の提示が重要である。以上の理由から、1号トンネル終点側の地すべりブロック近接部を対象範囲としてＣＩＭを実施した。ＣＩＭの実施目的は以下とした。

①トンネルと地すべりの位置関係の正確な把

握

②地すべり対策工の配置計画の照査

③施工、維持管理に引き継ぐ情報の属性付与

２．３　ＣＩＭモデルの作成

トンネル詳細設計に並行して地質調査を実施しており、その調査結果をもとに地質調査者が地質モデルを作成、トンネル設計者が地形モデル、構造モデルを作成した。

a）地形モデル

地すべりブロック近接範囲を抽出し、平板測量成果をもとに、詳細度300で地形モデルを作成した。

b）地質モデル（地すべりブロック）

地表踏査、ボーリングを実施した上で、地すべり面を詳細度300で3次元的に再現した地質モデルを作成した。

c）構造モデル

トンネル構造（補助工法含む）、地すべり対策工（長尺鉄筋挿入工）について、詳細度300で構造モデルを作成した。

３　ＣＩＭの実施結果

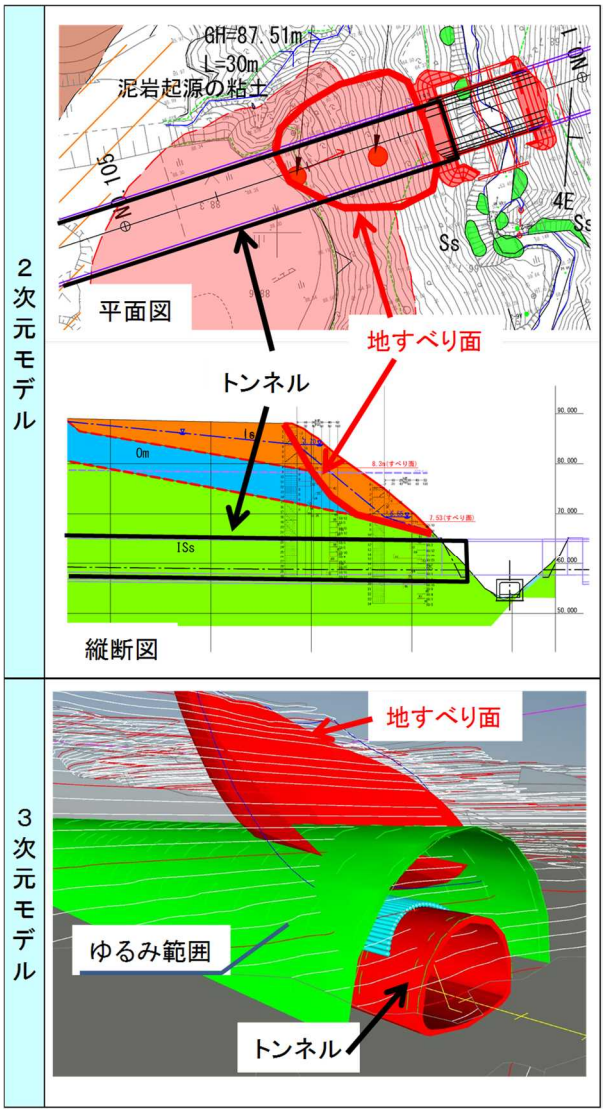
前述したＣＩＭの実施目的に対し、実施結果を以下に取りまとめる。

３．１　トンネルと地すべりの位置関係の正確な把握

地すべり安定計算を実施する上で、トンネルゆるみ範囲と地すべり面の干渉範囲の設定、対策工の適正配置を行う上で、トンネルと地すべりの位置関係を正確に把握する必要がある。

ＣＩＭモデル作成結果を表-1に示す。平面図と縦断図の2次元モデルではトンネルと地すべりの最小離隔のみ確認できるが、3次元モデルで地すべり面を正確なすり鉢形状として再現したため、トンネルと地すべり面の位置関係や横断的な広がりを把握することができた。その結果、トンネル掘削で生じるゆるみ領域と地すべり面が干渉する区間や程度を、斜面安定解析の条件設定（設計断面の選定、トンネル施工影響範囲の設定）に反映することができ、斜面安定解析の精度が向上した。

表-1　トンネルと地すべりの位置関係の再現



３．２　地すべり対策工の配置計画の照査

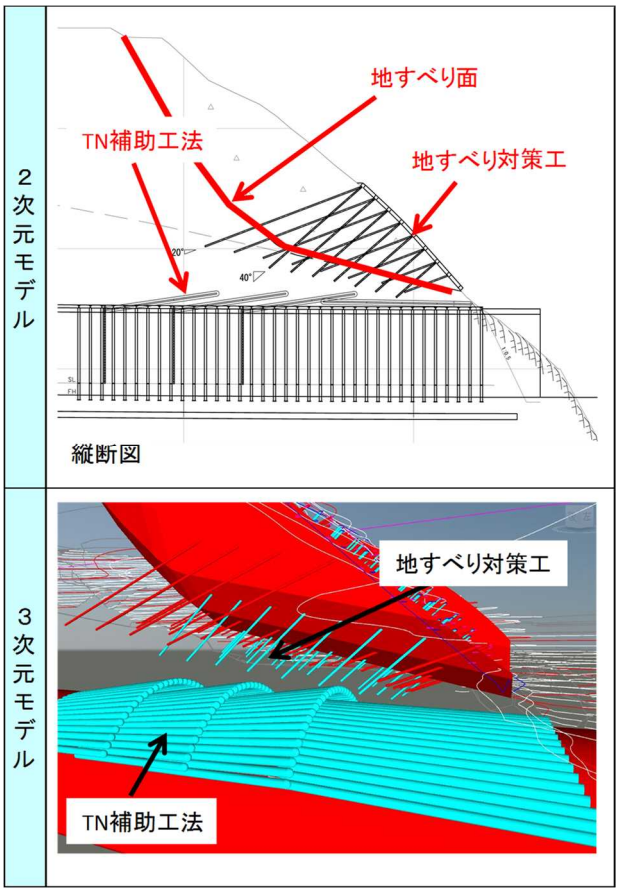
詳細設計では、地すべり面直下をトンネルが貫通する事により、地すべりを誘発させるおそれがあるため、トンネル貫通に先行して地すべり対策工を行う計画としている。トン

ネル補助工法（長尺鋼管フォアパイリング工法）と地すべり対策工（ルートパイル工法）が非常に近接するため、各々の構造物を正確に再現し、干渉の有無を照査した。2次元モデルでは、トンネル中心の縦断図のみで照査するが、ＣＩＭモデルでは地形の起伏、すべり面の形状を反映するため、全てのボルトにおいてトンネルとの離隔を検証することができる。（表-2）

坑口部のトンネル補助工法は、貫通側坑口側から水平に打設するものとし、打設箇所、ボルト延長を何通りも再現し、トンネル補助工法の最適な打設方法を計画した。

その結果、離隔が鋼材中心間隔で60cm以上確保されており、地すべり対策工の配置が適切に計画されていることを照査した。

表-2　トンネル補助工法及び地すべり対策工



３．３　施工時に引き継ぐ情報の属性付与の試行

ＣＩＭにおける属性とは、そのモデルに関する情報を、必要な時に引き出せるよう、モデル上に情報データを保管するものである。つまり、属性入力とはＣＩＭの最も有効な効果である「調査・計画、設計、施工、維持管理までの一元管理」を行うために必須の手段であり、後続の段階での有効活用を見据え、有効と考えられる属性データを選別し、各段階で作成しておくことが望まれる。

しかし、現在ＣＩＭ導入ガイドライン（案）では、どのような属性を付与させるかについて明確な決まりがなく、属性入力自体が試行段階である。

情報は多いほど良いと考えられるが、データを1つのファイルで一元管理するＣＩＭでは、付与する属性が多いとファイルサイズが大きくなり、ハイスペックなパソコンでしか実施できなくなるため、結果的に効率性が損なわれる可能性がある。従って、ＣＩＭにおける属性情報は、今後どのような情報が必要となるかを想定し、効果的に活用できる情報を選別して付与させることが望まれ、その選別が各分野で試行されている。

倶利伽羅防災トンネルでは、設計段階で提示すべき情報を表-3のとおり整理した。そのうちの３つについてＣＩＭモデルに属性として入力した。

表-3　各段階で求められる情報

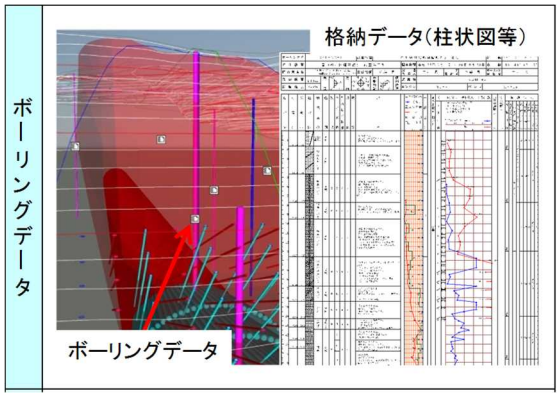
	本業務での属性入力	今後求められるデータ	
	設計段階	施工段階	維持管理段階
トンネル施工管理	支保パターン区分 補助工法計画図 ボーリングデータ	支保構造、区間長 補助工法規格 切羽観察 地質記録	変状箇所の施工記録
計測管理	計測工配置 計測計画 (頻度、期間等)	計測種類･位置 計測記録 動態観測記録	変状箇所の施工記録
地すべり対策工	地すべりデータ 対策工設計書		変状発生時の要因分析、再設計

①ボーリングデータ

トンネル施工段階では地質的な課題箇所をより正確に把握し、事前に対応策を講じることが、支保工、補助工法を決定するうえでの判断材料となり、維持管理段階では変状箇所の要因を推定する貴重な情報源である。

施工段階で地質を記録し、設計時との条件の対比を行うため、また、維持管理段階で変状が確認された場合に要因分析を行う基礎データとするため、設計段階ではＣＩＭにおいてボーリング位置、深度をモデル化し、属性として柱状図、コア写真をリンクした。

表-4　ＣＩＭ属性入力結果の一例



②計測工配置

山岳トンネルは計測結果等の施工データを常に補完し、安全管理を行うため、適正な計測計画であることを3次元モデルで把握し、施工段階での計測結果の受け皿を整えることも重要である。また、施工情報は維持管理段階では変状発生原因を正確に把握するため、施工時の切羽変状箇所や、現場で支保パターンを見直した結果等を保管することが望ましい。

施工時に実施する計測工の種類、位置を明示するため、設計段階ではＣＩＭにおいて計測工をモデル化し、計測工計画をリンクした。施工段階ではＣＩＭ中に計測結果を属性入力し、維持管理段階の初期データとして記録していくことを想定している。

③対策工設計書

維持管理段階で地すべりの変状が確認された場合、その要因の分析または地すべり対策工の再設計を行う目的で、設計段階ではＣＩＭにおいて地すべり対策工に関する資料をリンクし、すぐ確認できるようにした。

4　今後のトンネルＣＩＭにむけて

1号トンネルでは地すべり近接箇所に着目し、ＣＩＭモデルでトンネルと地すべりの位置関係把握、地すべり対策工とトンネル補助工法の干渉の照査、今後の過程に引き継ぐ情報の属性付与について試行したことにより、下記の効果が得られた。

・3次元データによりトンネルと地すべりの位置関係がより精度よく把握できた。
・地形・地質条件を踏まえて地すべり対策工を適正に配置でき、その状況を照査できた。
・施工段階、維持管理段階で必要な情報を想定し、それに対応するデータを属性として付与することで、データの一元管理の方法を試行できた。

今回、3次元化することによる設計精度の向上や状況の明確化、それを用いた設計協議の円滑化等、所定の効果が確認でき、設計段階におけるＣＩＭの有効性が検証できた。ＣＩＭには様々な情報を格納することができるが、情報量が多いと必要な情報をすぐに選択できなくなり有効に活用できなくなる。設計段階で必要と思われる情報を整理したが、各トンネルごとに重要視されるデータが変わるため、設計段階で作成したＣＩＭを施工や維持管理に引き継いだ事例を調査し、施工に有効活用できる設計段階ＣＩＭを検討する必要があると考える。

トンネル鋼製支保工建込みロボットの開発

前田建設工業㈱　本店　土木技術部　トンネル技術チーム　水谷　和彦

1　はじめに

切羽肌落ち災害は山岳トンネル特有の労働災害であり、統計上、鋼製支保工建込み作業中の被災事例が最も多いのが現状である[1)]。災害防止対策として、地山の緩み抑制（鏡吹付けや鏡ボルトなど）や岩石落下の予測（切羽監視員の配置や切羽押出計測など）、設備的防護対策（マット設置やマンゲージガードなど）を複合的に実施し、災害発生確率を可能な限り下げる努力をしているが、抜本的な対策とは言い難いのが現状である。平成 28 年 12 月に厚生労働省より通達された「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン」（平成 30 年 1 月改正）[2)]においては、機械化による事故防止対策が要望されており、そもそも切羽に作業員が立入ることがなければ被災することはない。そこで我々は、切羽に作業員が立ち入ること無く、山岳トンネル用鋼製支保工を設置可能な『鋼製支保工建込みロボット』を開発した（写真-1）。本報告では、開発した鋼製支保工建込みロボットの技術概要および工場試験や現場試験結果について報告する。



写真-1 鋼製支保工建込みロボット全景

2　現行の施工方法

現行の鋼製支保工の建込み方法としては、オペレーター以外の作業員は切羽直下における作業となる（写真-2）。特に、支保工脚部では鋼製支保工の位置合せ作業が必要となり、最も被災リスクの高い作業である（写真-3）。また、支保工天端部では、天端ボルト・ナット締結やつなぎ材設置、溶接金網設置の為に、切羽直下に立ち入る作業となる（写真-4）。

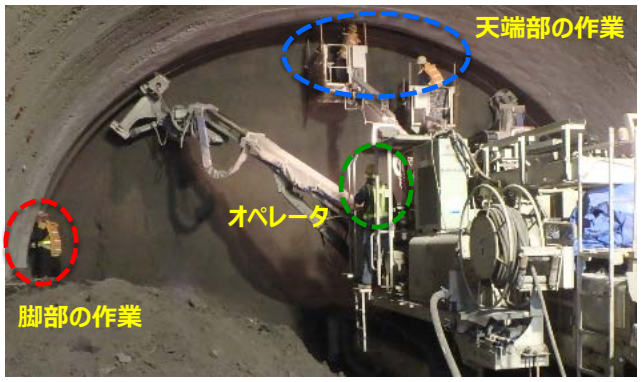


写真-2 鋼製支保工建込み状況（現行）



写真-3 支保工脚部の作業状況（現行）



写真-4 支保工天端部の作業状況（現行）

3　開発技術の概要

鋼製支保工建込みロボットの技術概念図を図-1 に示す。本技術は、鋼製支保工に装着した測量用プリズムや自動追尾型トータルステーションなどで構成された「支保工位置ナビゲーションシステム」と、鋼製支保工位置を微調整可能な「高性能エレクターマシン」により、運転席からの操作のみで高精度な支保工建込みを実現する。また、ワンタッチ式クイックジョイントを備えた「自動建込用鋼製支保工」による天端継手締結や支保工を把持しながらコンクリートを吹付けることにより、作業員の切羽立入を不要にする。

支保工建込み作業における標準的な施工では、少なくともオペレーター1 名と切羽に立ち入る作業員４名必要となるが、本技術の導入により、オペレーター1 名のみでの機械作業となるため、省人化と施工サイクル短縮による生産性向上を実現するとともに、切羽肌落ち災害撲滅が期待できる。

4　工場試験

現場試験に先立ち、鋼製支保工建込みを模擬した試験を古河ロックドリル㈱ 吉井工場にて実施した（写真-5）。工場試験では、鋼製支保工建込みロボットの操作性や自動建込用鋼製支保工の施工性を確認し、操作手順のマニュアル立案と自動建込用鋼製支保工の仕様を決定した。



写真-5 工場試験状況

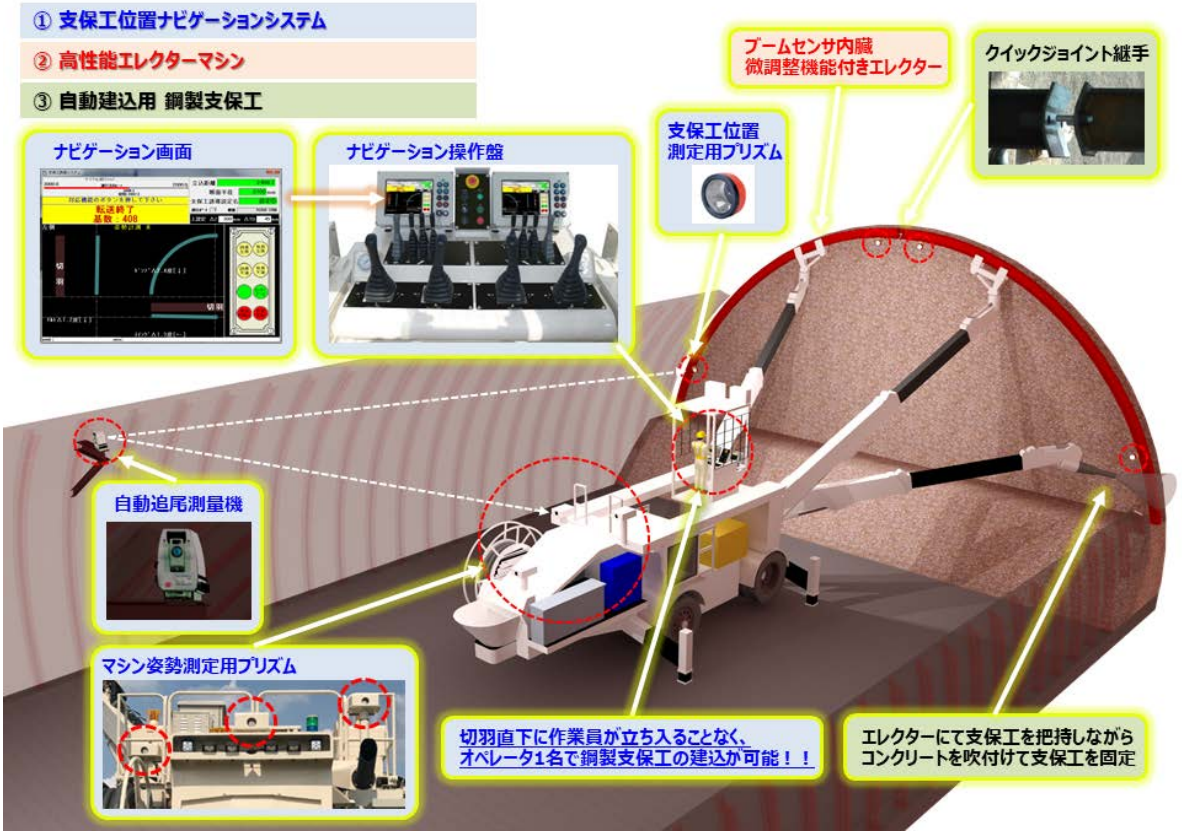


図-1　鋼製支保工建込みロボットの技術概念図

5　現場試験

現場での試験施工を複数回繰り返し、鋼製支保工建込みロボットによる作業手順を以下のように決定した（今回は、最初に右側鋼製支保工の位置合わせ、次に右側鋼製支保工の位置合わせをすることとした。左右逆であっても問題ない）。

① 準備工

架台に仮置きしている鋼製支保工をエレクターアームにて把持して待機場所に停車する。エレクターアームにて把持している鋼製支保工に、溶接金網を溶接により固定する(写真-6)。また、左右鋼製支保工脚部と右側鋼製支保工天端部に測量用プリズムをマグネット装着する。

② 鋼製支保工建込みロボット移動

掘削が完了した後、エレクターアームにて鋼製支保工を把持した状態で支保工建込みロボットを機械待機場所から切羽に移動する。

③ 一次吹付けコンクリート

最初に位置合わせを実施する右側素掘り面より一次吹付けコンクリートを施す。

④ 右側鋼製支保工位置合わせ

オペレーターは運転席のナビゲーション画面を見ながら、右側鋼製支保工脚部と右側鋼製支保工天端部の位置合わせを行う(写真-7)。位置合わせ完了後、作業員が切羽直下に立入らないように、網付きの棒により測量用プリズムを回収する。

⑤ 右側鋼製支保工脚部二次吹付けｺﾝｸﾘｰﾄ

エレクターアームにて把持した状態で、右側鋼製支保工のエレクターアーム下まで吹付けコンクリートにて固定する(写真-8).

⑥ 鋼製支保工天端締結

クイックジョイントにより左右鋼製支保工の天端部を締結する(写真-9)。

⑦ 左側鋼製支保工位置合わせ

オペレーターは運転席のナビゲーション画面を見ながら、左側鋼製支保工脚部の位置合わせを行う。位置合わせ完了後、測量用プリズムは回収する。

⑧ 左側鋼製支保工脚部二次吹付けｺﾝｸﾘｰﾄ

エレクターアームにて把持した状態で、左側鋼製支保工のエレクターアーム下まで吹付けコンクリートにて固定する.

⑨ 天端部二次吹付けコンクリート

左右のエレクターアームを解除し、エレクターアーム把持部から上部の吹付けコンクリートを施す。



写真-6 溶接金網取付状況



写真-7 右側鋼製支保工位置合わせ状況



写真-8 右側鋼製支保工脚部固定状況



写真-9 左側鋼製支保工位置合わせ状況

6　本技術の導入効果

現場試験の結果、以下の効果が確認できた。

① 切羽立入り作業ゼロを達成

標準施工では切羽に４名の作業員が立ち入って作業していたが、本技術の採用により作業員の切羽への立入り作業はゼロとなった。

② 鋼製支保工建込み作業における省人化

鋼製支保工位置合わせオペレーター１名、吹付けコンクリートノズル操作者１名、測量用プリズム回収者１名の合計３名での鋼製支保工建込み作業が可能になった。

③ 施工サイクルの短縮

鋼製支保工建込み時の切羽立入り作業がゼロになったため、一次吹付けコンクリート、鋼製支保工建込み、二次吹付けコンクリート作業において各サイクルの終了後に次サイクルに移行する必要がなくなった。そのため、左側一次吹付けコンクリート時の右側鋼製支保工位置合わせおよび右側二次吹付けコンクリート時の左側鋼製支保工位置合わせが同時作業可能となり、施工サイクルが短縮できた。

④ 鋼製支保工建込み精度の向上

従来のつなぎ材を省略することで、鋼製支保工を設計位置に建込むことができる為、カーブ区間での鋼製支保工建込精度が向上した。

⑤ 一次吹付けコンクリートの省略が可能

切羽立入り作業がゼロになったため、素掘り面への一次吹付けコンクリートが省略可能となった。

7　おわりに

鋼製支保工建込み時の切羽立入作業がゼロとなり、建込み時の切羽肌落ち災害に対する安全性を格段に向上させることができた。また、鋼製支保工建込作業の省人化と施工サイクル短縮による生産性向上、高精度建込による品質向上を実現できた。

本技術は、ナビゲーション技術を活用したマシンガイダンス技術であり、現状はオペレーター操作の技量が必要になる。今後は、熟練していない作業員でも施工可能な完全自動化技術の構築を目指す。

【参考文献】

1) トンネル切羽からの肌落ちによる労働災害の調査分析と防止対策の提案, 2012, 労働安全衛生総合研究所

2) 山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン, 2018, 厚生労働省

IoTを活用した新しい山岳トンネル施工管理手法

清水建設（株）　土木技術本部　開発機械部　部長　○小島　英郷
北陸支店　土木技術部　部長　土田　一輝

1　はじめに

日本の目指すべき将来像として、超スマート社会 Society5.0「デジタルスマートシティ」がある。実現する５つのターゲット領域（都市、地方、モノ・コトサービス、インフラ、サイバー空間）において、センサー、情報通信、高速演算、IoT、AI 人工知能技術の進化とともに、新たな資源としての「ビッグデータ」を利活用することで、時間・空間の制約から開放されたサイバー空間とフィジカル空間（現実空間）の融合によるデジタルツイン基盤が生まれる、大規模な改革が始まろうとしている。

建設施工においても、デジタルツイン技術（センシング、情報通信、データクレンジング、コンピューティング、映像や音声、アラートなどのイメージング、自律制御技術など）を複合的に、効率よく組み合わせて施工生産性を高める技術開発が各分野で始まっている。

1．1　開発の目的

建設施工ではこれまで機械化・大型化を進めるとともに、教育や熟練工の経験知に依存しながら、生産性と安全性を高めてきた。i-Construction にもあるように、これらを支えてきた、優秀な技能工や多能工らの大量離職を前に、高度な技術ノウハウを蓄えておくことや、山岳トンネルでの死亡災害統計（図-1）の様に、被災者数の下げ止まりといった課題もある。これらは、切羽崩落災害と

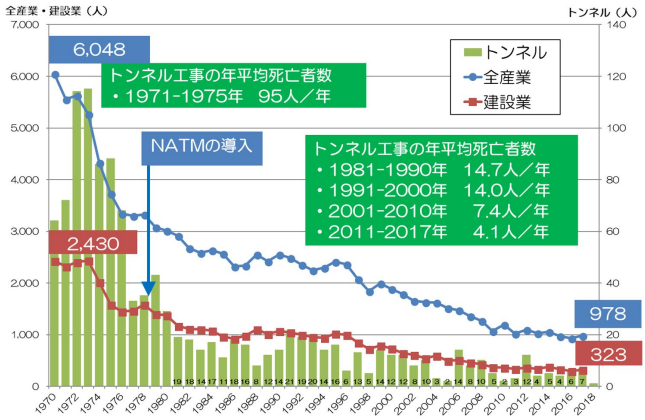


図-1　山岳トンネル工事の死亡災害

重機接触災害によるものが多いが、これらの課題に対して ICT、IoT、AI 人工知能などの最新技術を導入し、建設機械、地盤環境、作業環境、人の動作行動バイタル情報など、あらゆる情報を集約・分析・共有しながらデジタル融合することで、生産性と安全性の飛躍的な向上を図る次世代型トンネル構築システム「シミズ・スマート・トンネル」（図-2）の開発を進めている。

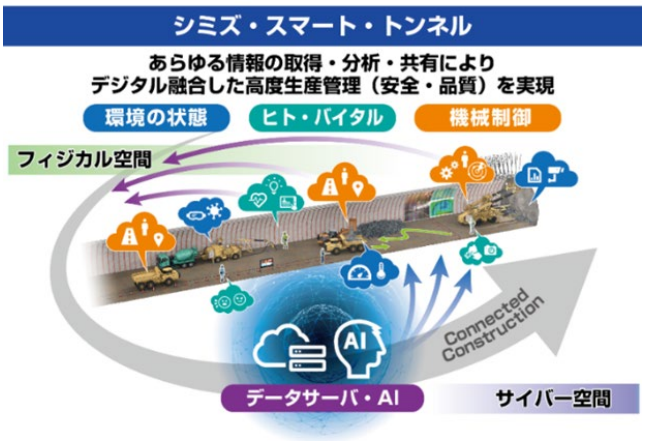


図-2 山岳トンネル高度施工管理

本報告では、官民研究開発投資拡大プログラム（PRISM）の一環として、2018 年度に国土交通省より「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」で公募採択された、熊本 57 号滝室坂トンネル西新設（一期）工事の試行業務の一部を含めて報告する。

2　山岳トンネル高度施工管理

デジタルツインにより、あらゆる情報の取得・分析・共有およびガイダンスをリアルタイムに行うことを目指している。

2．1　切羽安全監視システム

ミリ波合成開口レーダーを応用して、ミリ単位の変位および反射波から求める位相や卓越周波数の変化をモニタリングすることで、切羽監視員はトンネル掘削切羽面の変調を早期に把握するとともに、設定閾値に対してアラート発報を行うものである（図-3）。



図-3　ミリ波切羽安全監視

2．2　行動モニタリングシステム

レーザーレーダー・サーマル・可視光センサを搭載した特殊カメラにより、狭隘な坑内で複雑に絡み合う機械と作業員の位置や動線情報を 3 次元で正確に捉える装置を設置した。このデータを基に、機械の入替方法や稼働時間、作業員と機械の接近状況等の行動情報を見える化分析し、生産性と安全性向上に寄与する作業方法や作業環境の評価に繋げる分析を行っている（図-4）。

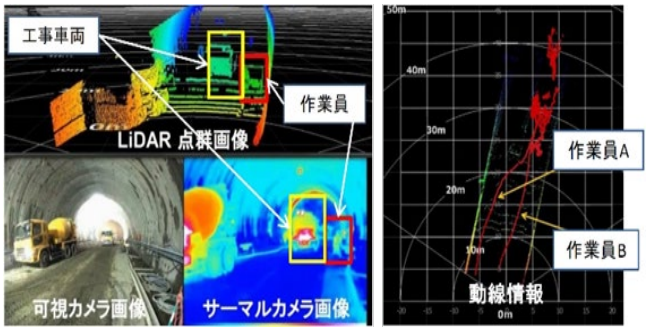


図-4　行動モニタリングシステム

2．3　生体データ管理システム

建設作業者は、時に作業への集中しすぎによる周囲認知レベルの低下や、体調不良による意識低下が発生する場合がある。ここではヘルメット内側に取り付けた圧電センサーから得られる脈圧波形と、リストバンドの加速度センサーから得られる運動量データから、作業中のバイタルコンディションを分析することで、作業員の集中度合い（周辺認知レベル）、ストレス度、疲労度などのコンディションを把握し、作業内容と作業環境との相関検証に有効なデータを取得している（図-5）。



図-5　圧電センサーとバイタルデータ分析

２．４　3D 掘削評価システム

山岳トンネル施工では、掘削ごとに切羽面を評価するために観察データを取得する。この時、タブレット端末などの一般的なデジタルカメラを用いて得られた複数枚の写真データを合成し、点群化および座標付け処理を行いながら、掘削精度を 3D で定量的に管理・評価するシステムを運用した（図-6）。

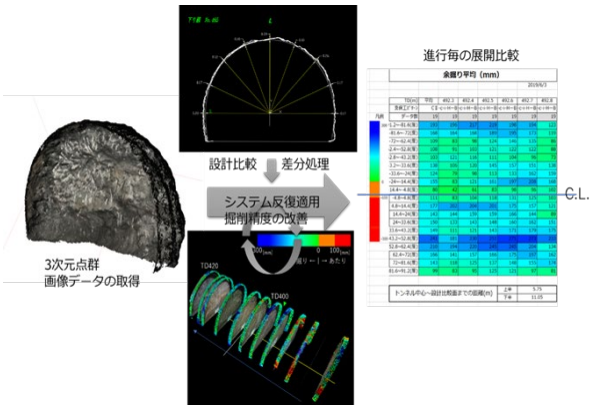


図-6　3D 掘削評価システム

これらを BIM/CIM システムへ情報統合することで、切羽判定 AI 技術への利用や周辺地山評価をより具体的な数値形状とした一元管理を可能としている（図-7）。

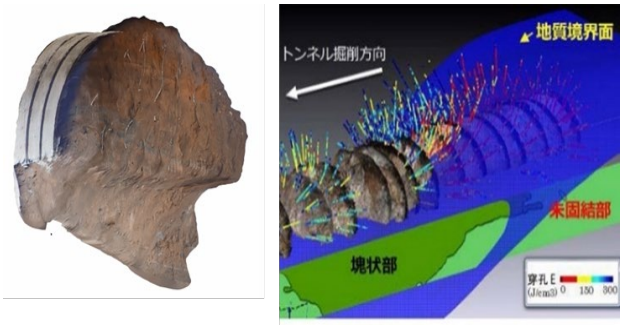


図-7　切羽３Ｄデータと BIM/CIM 統合

２．５　遠隔立会検査システム

山岳トンネル施工の場合、工事事務所と施工現場が離れていることも少なくない。映像音声通話システムを応用することで、多方面より発注者の監督官は現場へ赴くことなく、遠隔地の施工状況をタブレット上でリアルタイムに確認でき、立会写真から管理帳票の承認に至る一連の検査プロセスを簡素に完結するシステムを試行した。

これにより検査に関わる双方の移動・待機のロスタイムを減らすとともに、結果の即時保存と、発注者様式の帳票フォームへの出力機能を有することで、施工者側のデータ管理の簡略化・書類作成の負担軽減が図れるものとなった（図-8）。



図-8　遠隔立会検査システム

３．終わりに

デジタルセンサーの技術進化は日進月歩であり、加速度的な技術革新が進んでいる。経験工学や認知行動のデジタル化により、情報共有を高速化させることで、生産性と安全性が飛躍的に高度な次元で成立することが可能となっている。本報告で紹介した技術他、多岐にわたるデジタル技術開発は、産官学、国内外を問わないスタートアップやオープンイノベーションとの連携が不可欠で、より幅広い技術の集約と共に、関係技術者の教育も重要な課題となっている。

山岳トンネル工事の安全および効率的な施工を支援する新技術

大成建設　技術センター　地盤研究室次長　　谷　卓也

1　はじめに

山岳トンネル工事では、切羽作業（写真-1）における重篤な災害が０（ゼロ）とならず、安全性向上に対する技術面からの早急な支援が望まれている。また同時に、ＩＣＴ（情報通信技術）の活用は、安全確保や施工品質の向上のみならず、施工の効率化にとって重要な鍵となっている。

当社では、安全支援技術として、切羽における落石を瞬時に検知・警報できるよう、親指大（約１㎝）からの落石を瞬時（0.1 秒以内）に検知して光とサイレン音で警報し、切羽近傍の作業員を迅速に危険な状況から退避させる切羽監視システムを開発した。一方、施工の効率化支援については、作業現場における情報の可視化・共有化ツールとして切羽プロジェクションマッピング技術を開発した。これは、安全確保や品質向上にとって重要な地質情報をクラウドに集約し、座標計算と画像補正技術により、スクリーンとなる切羽の形状に合わせて切羽写真等の任意の画像をコンピュータジャンボ（ＣＰジャンボ）に搭載したプロジェクターから投影するものである。作業員のみならず工事関係者が、可視化された共通の地質情報を切羽で確認、情報共有できる。特に、岩盤の硬軟コンター図は、効率的な発破に必要な定性的な硬軟を色で与え、施工安全の確保と工程短縮に寄与している。

本報では、これら２つの新技術について、その概要と運用方法、施工実績と運用時の効果について述べるとともに、今後の展望と合わせてまとめる。



写真-1　切羽作業の状況

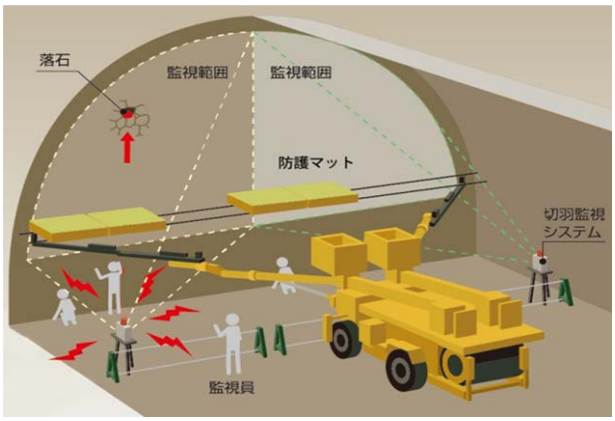


図-1　切羽監視システムの運用イメージ

2　切羽監視システム

2．1　概要

切羽作業においては、安全のために切羽全体を吹付けコンクリート覆う「鏡吹き」といった対策の他、様々な安全対策が施され、専任の切羽監視員も配置されている（図-1）。切羽監視システムは、この専任の監視員とともに『機械の眼』により切羽を監視し、切羽作業の更なる安全性の向上を目指している。三脚設置式の切羽監視システムを写真-2 に、システムの構成を図-2 に示す。

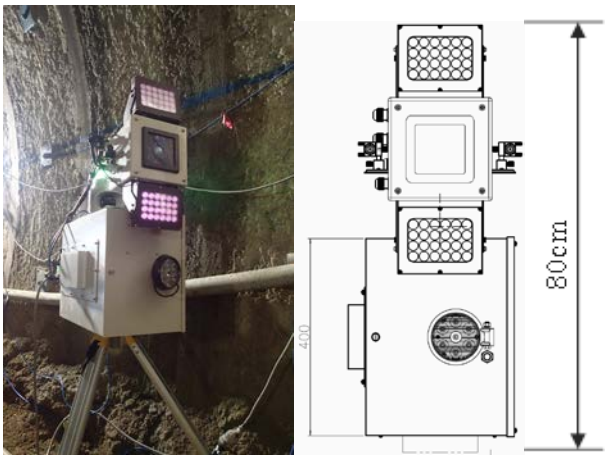


写真-2　切羽監視システムの外観

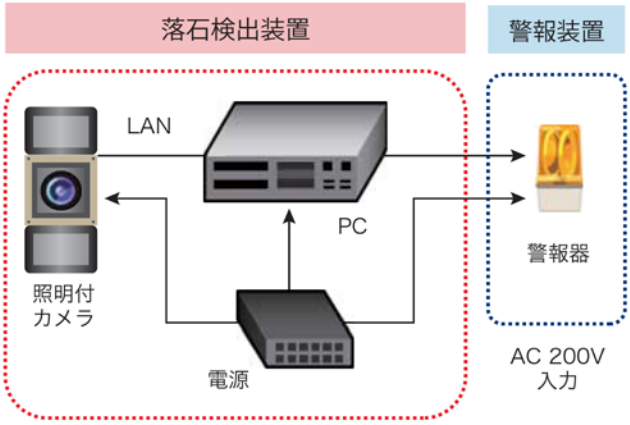


図-2　装置の構成

切羽監視システムは、図-2 に示すように、大容量の高解像度画像データを圧縮せずにＰＣにリアルタイム転送できるマシンビジョンカメラを備え、1 秒あたり約 50 枚の画像を高速かつ連続的に撮影する。カメラ付属の照明は、落石の監視範囲の光量を確保するため、近赤外線ＬＥＤを採用している。これは、作業員が使うレーザーポインタや建設機械の照明といった可視光との干渉を防ぐためであり、誤警報の発報を防ぐ工夫の一つである。

高性能ＰＣに送られる画像はリアルタイムに処理され、大きい落石の予兆となる 1cm 程度の小石から 1ｍを超える大きな岩塊まで、フレーム差分法という方法を用いて検出を行う。これは、連続する２つの画像の差分画像を生成し、動くものだけを浮かび上がらせる一般的な画像処理方法である。落石検出では、この生成画像に鉛直下向きの移動体が現れた場合に落下物が発生したと判定する。しかし、画像には人や機械、湧水等、多くの落石以外の下方への動きもある。そこで、落石と人・機械の動きを区別して誤警報を発しないよう高度な画像認識機能も備え、誤検知がほとんど無い信頼性の高い装置としている。

また、本システムは、直径 1cm 程度以上の落石を 0.1 秒以内に検知し、サイレン音とフラッシュ光による警報が可能となるように設計されている。この検知から警報までの時間は、落下物が 50cm の高さから自由落下する時間（0.3 秒）から、人間が警告に反応し退避行動に移ることのできる時間（0.2 秒）を差し引いた時間（0.1 秒）である。そのため、落石や崩落の予兆を捉えるのみならず、検知した落石そのものからの被災を免れる可能性を高めることができる。

２．２　運用

運用に際しては、通常、切羽の近傍（切羽から 5～10m 離れ）の作業を妨げない箇所に、三脚に載せたシステムを２箇所に設置する。断面の小さいトンネルでは、1 台での監視も可能である（写真-3）。また、必要に応じて、本体（ＰＣ、電源）とカメラ（照明、警報装置）を分離してトンネルの壁面に設置するタイプも開発し（図-3）、種々の現場条件における運用の利便性も考慮して開発している。

２．３　実績と効果

現在、切羽監視システムは国内の道路トンネル工事の３現場にて運用されている。切羽からの肌落ち防止のために施される鏡吹きの

効果により、各現場とも切羽近傍での作業中における落石の発生は無く、幸いにも本システムの警報により、被災を免れるといった危険な状況には遭遇していない。



写真-3　小断面トンネルにおける運用状況

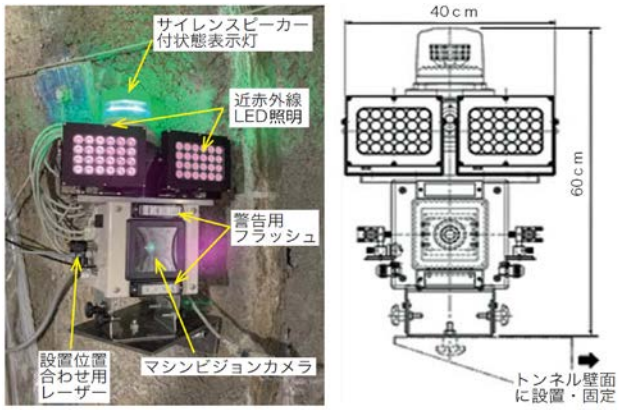


図-3　カメラ分離タイプの壁面設置状況

3　切羽プロジェクションマッピング

3．1　概要

山岳トンネル工事の現場では、連続して掘削工事を進めるため作業班を昼夜に分け、その交代時には切羽近傍の地質の硬軟や地山の安定性に関する情報について引継ぎを行っている。しかしながら、引き継ぎは「硬い・軟らかい」といった定性的な表現で行われ、さらに交代後の作業班は、鏡吹きされた切羽しか見られず、地質状況の目視確認ができない。そのため、切羽の凹凸や湧水の滲む箇所は確認できるものの、地山の色や亀裂の状態、注意を要する箇所の正確な位置の把握は難しい。そこで、切羽で地質情報を可視化し、作業に携わる全員がその情報を共有し、安全性と着実な進捗を確保するための切羽プロジェクションマッピング技術を開発した。この技術は、ＣＰジャンボのキャビン屋根上のプロジェクターから、スクリーンとなる鏡吹きされた切羽に向け、歪みの無い画像を投影するものである（図-4）。

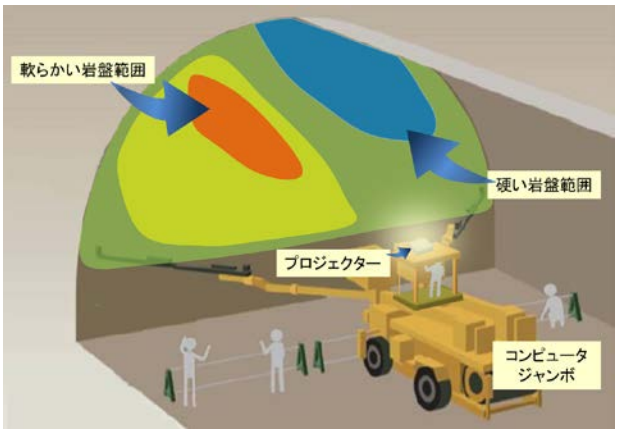


図-4　岩盤硬軟コンターの投影イメージ

投影は、ＣＰジャンボの運転台に配置したスイッチとボタンだけで操作できるようになっている。画像を切羽に投影したい場合、キャビンに備えたスイッチを入れるだけで装置は稼働し、切羽写真や岩盤の硬軟を表すコンター図といった画像の切り替えもボタンを押すだけである。これらの画像はＣＰジャンボを起動すると、自動的に投影用の最新画像データがクラウドサーバからダウンロードされる。さらに、ＣＰジャンボの自動測量機能と連携してプロジェクターの位置座標と傾きの情報を取得し、切羽との位置関係をシステムのＰＣが計算し、歪みを補正した画像の投影準備が完了する。硬軟コンター図も、目の前



（a）掘削直後の切羽　（b）鏡吹き終了　（c）切羽写真投影　（d）コンター図投影

写真-4　切羽プロジェクションマッピングの手順

にある切羽までを掘削する際に得た装薬孔の削孔エネルギーデータから自動作成される。

３．２　運用

写真-4（a）～（d）に、切羽プロジェクションマッピングにおける画像投影までの一連の流れを示す。写真-4（a）は掘削直後の切羽状況であり、このタイミングで切羽の写真を撮影する。撮影写真は指定したクラウドサーバーに自動保存される。また、この時点までに、岩盤硬軟のコンターが自動作成され、同じサーバーにアップロードされる。その後、切羽は写真-4（b）の様に鏡吹きされた状態となる。次の装薬孔の削孔前に、作業員は切羽プロジェクションマッピングのシステムを操作し、写真-4（c）の切羽写真や同（d）のコンター図を見て、切羽の地質状況を確認する。ＣＰジャンボのキャビン屋根に搭載したプロジェクターによる投影画像を利用した、現場作業員と企業体職員の情報共有の状況を写真-5 に示す。



写真-5　投影画像を利用した情報共有状況

３．３　実績と効果

現在、切羽プロジェクションマッピングのシステムは、国内の道路トンネルと鉄道トンネルの工事現場にて、新たに運用が開始されている。2018 年度にこのシステムを稼働した現場では、効率的な装薬量の設定による発破作業により過装薬や弱装薬の減少し、安全かつ着実な掘削進行を実現することができた。

４　まとめ

ＩＣＴを活用した切羽監視システムと切羽プロジェクションマッピングの２つの新技術について述べた。前者は切羽作業の安全を画像処理および画像認識技術で支援するものであり、信頼性の高いシステムとして現在も運用され、安全確保に貢献している。後者については、これまで定性的にしか引継ぎできなかった岩盤の硬軟を、切羽に投影するコンター図の色によって定量的な把握と情報共有が可能となり、安全性の確保と施工の効率化の両面で、有効に利用されている。

今後は、これら２つの技術を総合的に運用できるようにし、さらなる普及展開を進めていきたい。

第Ⅳグループ

DNA解析技術・撮影技術等の導入による生物調査の高度化・効率化の取り組み

神通川水系砂防事務所　調査課調査係長　　中川　雅允

1.　はじめに

砂防事業では，自然環境調査を行う際，河川水辺の国勢調査で用いられる調査手法（通称：水国マニュアル）を援用することが多い．

しかし，砂防事業が展開される山岳部は，河川水辺の国勢調査が対象とする河川敷の環境と異なり，広大な樹林，ガレ地や急峻な崖地など，環境や連続性が大きく異なる．よって生息種も河川と異なり，クマなどの大型獣，イタチなどの肉食動物，人目につかない箇所を移動するオコジョ，樹上に生息するヤマネやモモンガなどの名が聞かれる．しかもこれらは希に出現する，定まったルートでしか活動がみられない，樹洞性・夜行性であるなど，生態や行動が特異なものが多い．

近年，技術の発展により，従来調査手法では確認が困難な山岳域の生物の生息状況の把握に向け，様々な工夫が可能となってきた．本稿は，神通川水系砂防事務所が平成30年度に行った自然環境モニタリングの一環として，山岳域の生物（特に小型哺乳類）の確認に向け様々な調査手法を組合せ，試行した結果を報告するものである．

表-1　従来調査方法を砂防域で実施する場合の問

従来調査方法	砂防域で実施する場合の問題点
目撃・フィールドサイン調査	樹上性・樹洞性の哺乳類の検出が難しい
夜間踏査	奥山では作業に危険を伴う
自動撮影カメラ調査	撮影台数・期間によってはデータ処理が膨大になる
トラップ調査	設置場所に熟練が要る
巣箱調査	痕跡が主体で個体の実態感が得られにくい

2.　事例の紹介

(1)　ヤマネ

a) 当初計画

当初計画段階では哺乳類を対象とした「春季，夏季，秋季の3回」とされており，フィールドサイン法による痕跡調査やシャーマントラップなどによる捕獲調査が想定された．現地踏査の結果，調査範囲内に樹洞性の小動物（ヤマネ，モモンガ）の生息環境となる落葉広葉樹林や大径木が確認されたことから，「春から秋までの巣箱による連続観察，月1回の見回り」を追加し，6月11日に巣箱を設置し，その後毎月１回点検を行った．

b) DNA 分析技術の投入による種の同定

9月20日の見回り時，巣箱に巣材と糞と思われる有機物が確認された．これらの残留物からは種の同定が出来かねたため，残留物を対象としてDNA解析を行った結果，ヤマネと判定された．



図-1　巣箱設置状況（左）・巣箱内残留物(右)

c) 赤外線動画撮影装置によるエビデンスの取得

DNA解析のアウトプットはデータシートなどであり，個体の実体感は全く得られない．そこで，残留物が確認された巣箱を被写体として自動撮影カメラを設置し，ヤマネ個体の赤外線動画撮影を試みた．その結果，10月10日にヤマネが巣箱を伺う様子が撮影され，訴求力の高い調査結果を整えることができた．また，痕跡が確認されなかった巣箱でも同様に自動撮影カメラを設置した結果，痕跡（糞）が確認されていたモモンガを撮影することができた．



図-2　撮影されたヤマネ(左)・モモンガ（右）

(2)　オコジョ

a) 当初計画

当初，横坑を利用するコウモリ類の同定を目的とし，横坑内に存在する糞を収集したうえ，DNA種網羅的解析を行った．その結果，ユビナガコウモリ，モモジロコウモリと併せ，オコジョの生息が確認された（表-1）．

b) 無人撮影カメラによるエビデンスの取得

次に，ヤマネと同様に個体の撮影を試みた．オコジョは動作が俊敏であり，物陰に隠れつつ定まった移動経路を利用し行動する．よってレリーズタイムラグが小さいカメラを用い，周辺環境から移動経路を推定してカメラアングルを決定するなどの工夫を施した．

カメラを設置したところ，7月から10月にかけて複数回の利用が確認され，当該地域を利用するペアの存在が示唆された．



図-3　横坑のモモジロコウモリ（左）・横坑内

Identity	Alignment_length	Target	Species
100	170	*Mustela erminea*	オコジョ
100	173	*Homo sapiens*	ヒト
99.412	170	*Miniopterus fuliginosus*	ユビナガコウモリ
100	173	*Myotis macrodactylus*	モモジロコウモリ
100	258	*Enterobacteriaceae bacterium*	バクテリア

表-2　横坑内残渣（糞）に対するDNA解析結果

表-3　横坑入口におけるオコジョ確認状況

日付	画像
7月25日	
7月26日AM	
7月26日PM	
8月3日	
10月10日	

(3)　カワネズミ

本件は上記とは視点が異なり，DNA 分析結果を踏まえ，捕獲調査などを見送った事例である．

砂防事業計画地周辺を流下する小渓流を対象とした保全計画立案に際し，対象の小渓流にイワナの生息が確認されたため，イワナの捕食者であり渓流生態系の上位に位置するカワネズミの生息確認を行った．

カワネズミは通常トラップ（かご罠）にて捕獲調査を行うが，トラップによる捕獲個体の死亡率が極めて高いこと，トラップの設置・見回りに費やす労力が大きいことから，トラップ調査などの取組みの前に，まず環境DNA 技術を用いて簡便に生息の有無を把握した．

分析の結果，カワネズミの生息を示唆するDNAの増幅がみられなかったことから，コストと労力を要するトラップ調査などの必要性を棄却し，取組みを終えた．



図-4　調査地の環境（左）・環境 DNA サンプリング

3.　支援技術の紹介

事例に示した取組みは，近年開発が進み，実用化が容易になってきた2つの技術を援用して行っている．ここでその概要を紹介する．

(1)　ＤＮＡ解析技術

DNA解析技術は10年以上前から環境調査で用いられてきたが，近年「環境DNA」や「次世代シーケンサ」を用いた分析が盛んになり，分析が手軽になってきたため自然環境調査での採用事例が増加している．主な用途は生物相の把握，特定の種の在不在の判定などである．また，これまでは分析用に個体の組織片を採集する必要があったが，環境DNA技術では水中を漂う組織片をもとに分析を行うため，水生生物を対象とする場合に要する作業は試料水の採水作業のみであり，労力が大幅に低減される．

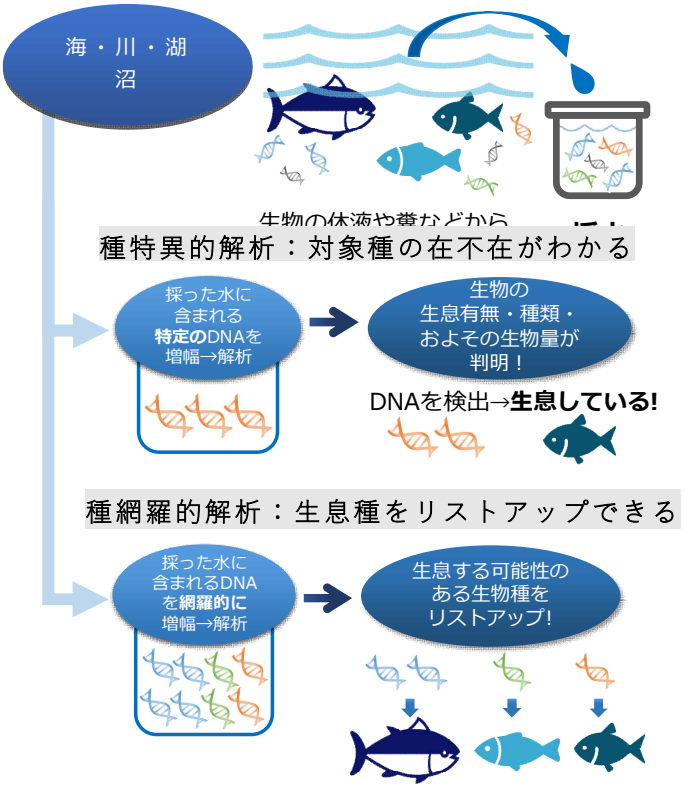


図-6　環境 DNA 解析のイメージ

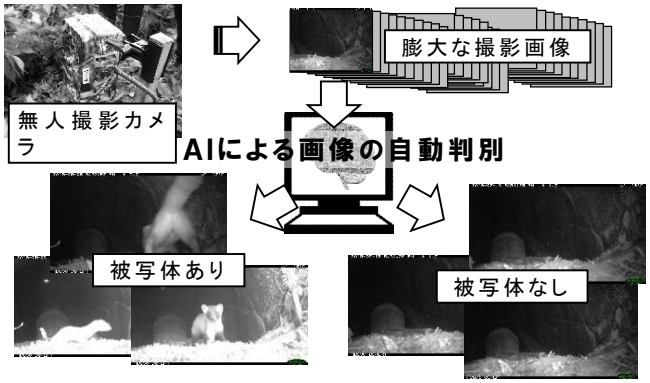


図-7　AI による画像判定技術のイメージ

（2） ＡＩによる画像判定技術

設置型無人撮影カメラによるデータ取得は，時には取得画像が数千枚ともなり，撮影画像から生物データを抽出するために多大な労力を要する．

そのため，AIによる画像判別技術を用い，撮影された全画像データから生物が撮影された画像を抽出する技術を開発中である．

当該技術はいまだ発展途上であり種レベルまでの判定は困難であるが，スクリーニング段階で採用することにより画像判定労力を大幅に低減することができる．

これにより，画像判定のコストを気にせず理想的な台数・期間の設置が可能となり，希少な生物の確認可能性を高めることが可能となっている．

4. 今回の取組の効果

今回の取組のうち、特に従来調査手法から大きく作業内容を変更したオコジョ、カワネズミについて比較を行った（表-4、表-5）。

従来調査手法と今回取組では、調査目的や得られる成果の内容に大きく差があるが、従前は生息可能性を判断するためにも捕獲調査を実施する必要があったことから、新規技術の採用により、より低コストで安全に詳細調査や保全対策の必要性の判断が可能になったと言える。

また、従来調査手法は、調査の精度（特に捕獲率）が調査地の生息密度だけではなく調査者の熟練にも依るものであったが、環境DNA 調査ではサンプルを適切に採取・処理すれば種が特定できるため、より広汎な環境、多地点での調査・解析が可能になると考えられる。

表-4 オコジョ調査手法の比較

	従来調査手法（捕獲＋カメラ調査）	今回取組（環境 DNA＋カメラ調査）
目的	行動圏、生息密度推定	生息可能性（在不在）
条件	・トラップ：20 個×2 季 ・カメラ調査：30 箇所×2 週間	・環境ＤＮＡ分析：2 検体×3 回 ・カメラ調査：2 箇所×4 ヶ月
コスト面	・捕獲許可等申請 ・トラップ調査 ・カメラ設置・回収 ＋調査結果とりまとめ **約 600 万円**	・坑道内踏査、サンプル採取 ・カメラ設置・電池交換 ・DNA 分析（種網羅的解析） ＋調査結果とりまとめ **約 200 万円**
安全面	トラップ設置回収時の林内立入	林道、坑道周辺の踏査
環境面	捕獲個体へのダメージがある	個体へのダメージは無い

表-5 カワネズミ調査手法の比較

	従来調査手法（捕獲調査）	今回取組（環境 DNA）
目的	行動圏、生息密度推定	生息可能性（在不在）
条件	トラップ：10 個×2 季	環境ＤＮＡ分析：2 検体×2 回
コスト面	・捕獲許可等申請 ・トラップ調査 ＋調査結果とりまとめ **約 300 万円**	・サンプル採取 ・DNA 分析（種特異的解析） ＋調査結果とりまとめ **約 150 万円**
安全面	トラップ設置回収時の渓流立入	採水作業
環境面	捕獲個体へのダメージがある	個体へのダメージは無い

6. まとめ

砂防域に生息する生物を適切に把握するためには，現場に蓄積された残渣の収集によるDNA解析，または現場に設置し

データを蓄積していくカメラや巣箱といった，時間を味方につけてデータの量と質を高める手法がより効果的である．

また，スクリーニングをかけて在不在を推定したうえで撮影や捕獲といった証拠収集に進むことで，コスト・労力を縮減しつつ，生息を見逃すリスクを削減することが可能となると思われる．

水底土砂ポンプ浚渫工法

あおみ建設株式会社　土木本部技術開発部　　吉原　到

1　はじめに

東日本大震災で被災した福島第一原子力発電所から放射性物質が広く飛散した。福島県内には、「ため池等」が大小合わせて 3000 以上あると言われており、飛散した放射性物質は、降雨によりため池に集積され、水底に堆積している。すでにがれき撤去や道路除染などで放射性汚染土が大量に発生している中、土砂処分場の受け入れ能力を鑑み、「ため池等」の浄化においては、放射性物質で汚染された水底土砂の表層部(10cm～30cm 程度)のみを効率的に除去する工法が求められた。

あおみ建設では、平成 25 年度環境省除染技術実証事業を経て、平成 26 年度より福島県と福島県土地改良事業団体連合会指導のもと「ため池等汚染拡散防止対策実証事業」に参画し、その成果を元に「水底土砂ポンプ浚渫工法」を新規開発し、福島県内のため池において、浚渫作業を実施している。本工法の開発にあたり、現場の特性などから設定した要求仕様を以下に示す。

- 農業用水として活用されているところもあり、浚渫時に極力汚濁拡散せず、確実に除去できること。
- ため池への進入路が狭隘で大型車の進入が困難な場所が多い。使用機材は小型軽量とし、小型クレーンで組立および進水・揚収作業ができること。

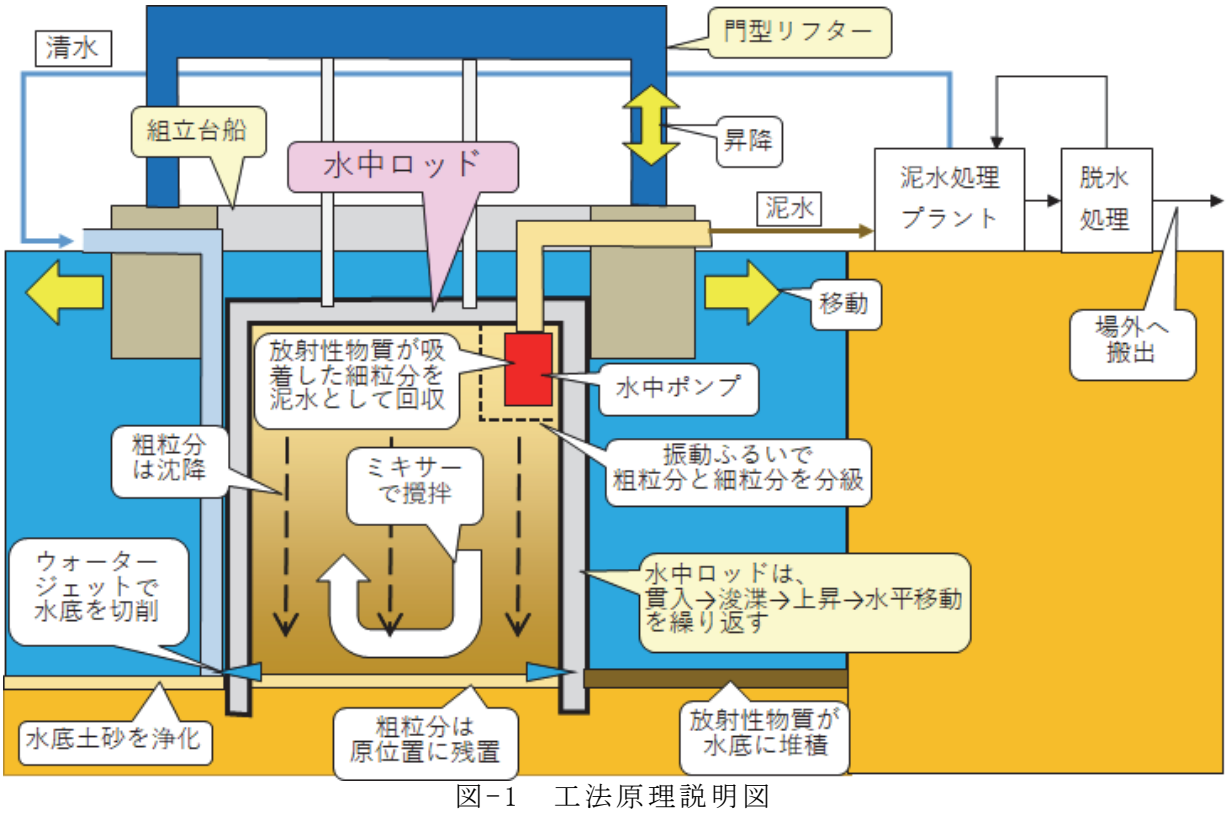


図-1　工法原理説明図

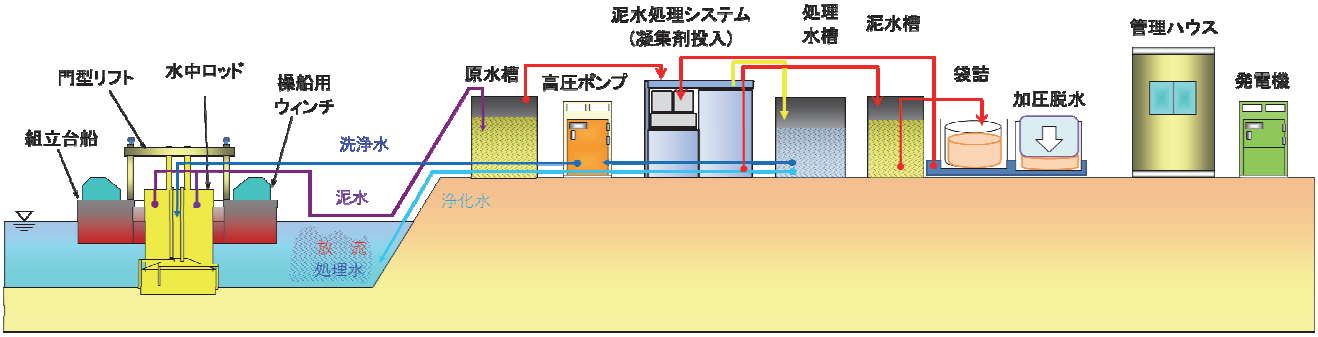


図-2　水底土砂ポンプ浚渫工法全体イメージ

2　工法の概要

2．1　工法原理

底面のみ解放された直方体のケーシング(水中ロッドと呼ぶ)を水底に貫入し、閉鎖空間を確保する。水中ロッド先端部に装備したウォータージェットで閉鎖空間内の水底土砂表層部を切削し、ロッド内の池の水とともにミキサーで攪拌すると、閉鎖空間全体が放射性物質を含んだ泥水となる。振動ふるいでは土粒子の粗細を分級しており、ふるいを通過する細粒分は、水中ポンプで泥水として陸上に送水して、泥水処理・脱水処理を経て汚染土として場外に搬出する。ふるいを通過しない粗粒分は、ミキサーを停止したのち原位置に沈降・残置させる。放射性物質は比表面積の大きい細粒分に多く吸着するため、汚染度の低い粗粒分を残置することで、脱水処理の効率化とともに、処分土量の削減を図っている(図-1、図-2)。

2．2　施工手順

浚渫船は、小型トラックで運搬可能な組立式台船となっており、台船上に水中ロッドと水中ロッドを昇降させる門型リフター、台船を移動させるウィンチを搭載している(写真-1)。浚渫船はロの字型になっており、台船の中心から水中ロッドを吊り降ろし、水底に貫入させる。水中ロッドが1回に浚渫する面積は 4m^{2}で、平面位置の誘導精度を考慮して、

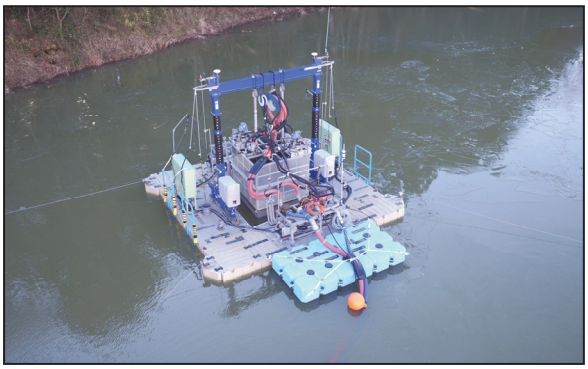


写真-1　浚渫船全景

平面寸法は 2.1m×2.1mとしている。以下に詳細な浚渫手順を示す。

① 台船を所定の位置に誘導したのち、ロッドを水底に貫入・根入れさせる。貫入に伴い浮泥が拡散しないように、水中ロッド内部の水を排水しながら水底まで貫入させる。

② 所定の根入れ長を確保したら、ウォータージェットで水底土砂を切削し、水中ロッド内に設置したミキサーで循環水流を発生させて、水底の土粒子と閉鎖空間内の水を攪拌混合する。

③ 水中振動ふるいで土粒子の粗細を分級して、ふるいを通過する細粒分は、泥水として排水ポンプで陸上のプラントに送水する。

④ ウォータージェットとミキサーによる攪拌混合、ポンプアップを繰り返す。水中ロッド内の泥水が所定の濁度以下となったら、ウォータージェットとミキサーを

停止する。ふるいを通過しなかった粗粒分はロッド内で水底に沈降・残置する。

⑤　排水を継続したまま、水中ロッドを引き抜き、次の施工位置まで移動する。

上記①～⑤を繰り返すことで、浚渫施工を行う。なお、陸上に送水した泥水は、泥水処理プラント(写真-2)で凝集沈殿させ、浄化した水はウォータージェット水として再利用する。



写真-2　泥水処理プラント

プラントで沈降した高濃度泥水は、脱水かごに設置した大型土嚢に袋詰めし、一次脱水(自然脱水)を行う。所定の時間経過したのち、大型土嚢ごと加圧脱水装置に挿入し、二次脱水を行う。

二次脱水により含水率 55%以下の粘性土となり、大型土嚢のまま処分場に運搬することができる。

3　施工管理システム

3．1　施工管理システムの構成

浚渫船は、ため池への進入路が狭隘であることから、小型軽量であることが求められた。そこで、浚渫船は無人とし、陸上に設置した管理事務所から、遠隔で操船と浚渫装置の運転制御を行うものとした。

施工管理システムは、浚渫船の船位誘導と施工の進捗を管理する船位誘導システムと、施工機械全般を半自動で運転制御する遠隔施工用管理装置の 2 つで構成されている。2 つのシステムは管理事務所内に設置され、事務所内のオペレータは誘導画面を見ながらウィンチのリモコンを操作して、台船の位置を誘導する。管理事務所に RTK-GNSS 基地局、台船に RTK-GNSS 移動局を 2 台設置し、台船の位置及び向きをリアルタイムに把握できる。また遠隔施工用管理装置により、水中ロッドの昇降、ミキサーや水中ポンプなど機器の操作、各センサーデータの取得と施工管理データの記録などを総合的に管理する。これらの機械類の制御や各種データの送受信は、事務所と台船間を無線 LAN で接続して行っている(図-3、写真-3)。

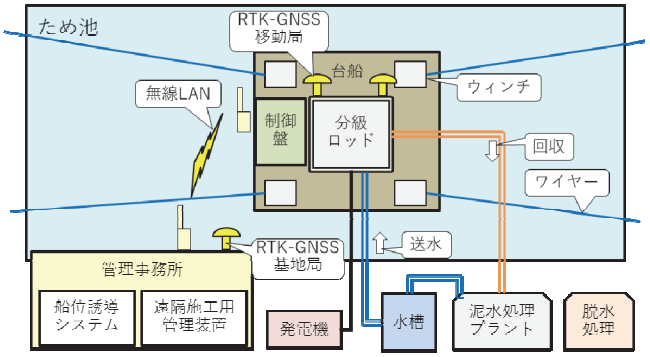


図-3　施工管理システム構成図



写真-3　管理事務所での遠隔制御状況

3．2　船位誘導システム

船位誘導システムは、RTK-GNSS を使用し、水中ロッドの平面位置と向きを高精度に誘導する。管理画面(図-4)では、ため池の形状に合わせてため池全体を水中ロッドの施工単位である 2m×2mのメッシュで自動的に区切り、画面上にリアルタイムに表示される平

面位置を見ながら、台船に搭載した４台のウィンチを遠隔で操作して施工位置へ誘導する。未施工は白、既施工は緑で表示し、施工の進捗を視覚的に把握する。また、遠隔施工用管理装置と連動して計測データを取り込み、水底土砂の施工前後の放射線量を画面表示し、再施工などの判断に活用している。

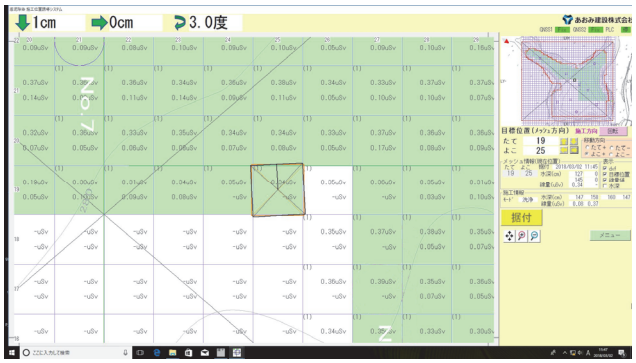


図-4　船位誘導システム管理画面

３．３　遠隔施工用管理装置

管理装置は、機器の自動運転制御および各種施工管理の記録を行う。浚渫の施工サイクルは、移動－計測－ロッド貫入－攪拌洗浄－ロッド上昇を繰り返すが、そのモードの遷移に合わせて、機器の ON/OFF や運転時間を自動的に制御している(図-5)。また、各種センサーの計測値は自動的データベース化され、運転日報も自動的に作成する。この管理装置により、オペレータが行う操作はほぼ自動化され、機器の異常検知やリアルタイムの計測値に基づく機器の微調整など、高度な施工管理と省力化が実現した。また、遠隔操作により、台船上の無人化も実現した。

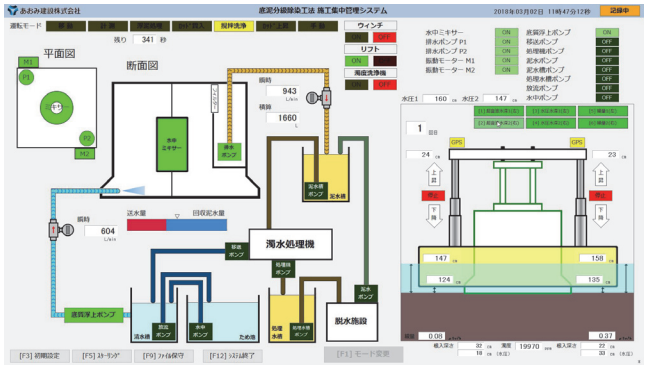


図-5　施工管理装置管理画面

４　工法の特徴

①　水底に貫入する水中ロッド内部の閉鎖された領域のみを浚渫するため、水底表層に堆積した放射性物質を確実に除去できるとともに、施工中に濁りを周辺に発生させない(写真-4)。



写真-4　浚渫時の水中ロッド周辺の状況

②　小型の組立式台船（4.0m×4.0m）を使用することで、進入路が狭く大型クレーンが使えない現場条件であっても、機材の搬入・組立および進水が可能。

③　台船の喫水が浅く、岸際まで施工可能。（適用可能水深　0.3m～5.0m）

④　船位誘導システムと遠隔施工用管理装置により、無人化施工と高度な施工管理・省力化を実現した。

⑤　水底土砂の放射線量をリアルタイムに計測することで施工品質の確保と手戻りの防止を実現。

５　おわりに

本技術は、当初除染対策技術として開発されたものであるが、底泥に堆積する有害物質の除去工法としても活用できる。残置する粗粒分には覆砂と同様の効果が見込まれ、閉鎖性水域の環境改善技術としての活用も検討していきたい。

ベルリプレイス工法における公開実証実験の報告

真柄建設株式会社　ベル・ミクロ事業部　工事課長　○大瀬　弘樹
土木事業本部　本部長　吉田　幸弘

1　はじめに

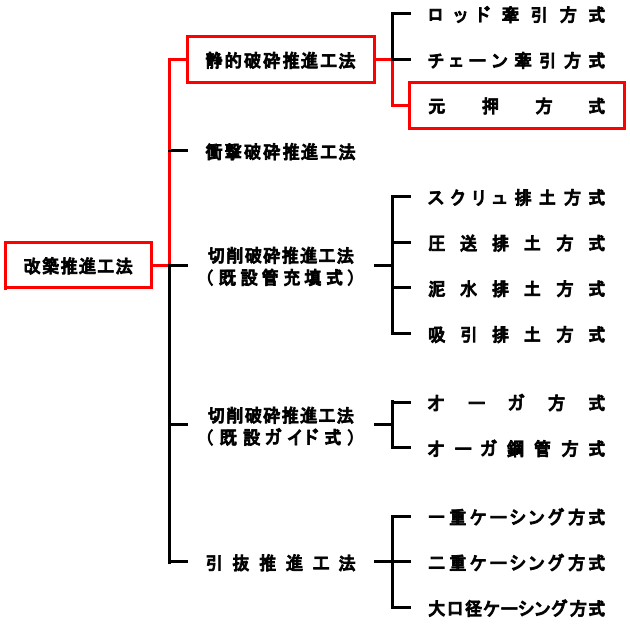
我が国において、これまで 47 万 km にのぼる管路布設の中で 50 年以上の耐用年数が超過する管路は 1 万 km 以上にものぼり、今後は加速度的に更新工事が増えるのは明らかである。また、管路の老朽化にともなう陥没事故も年間 3300 箇所発生している。このような状況の中、各自治体では長寿命化を含めた維持管理計画において、開削による布設替え、管更正工（既設管路内面に管きょを構築）、改築推進工（既設管路の破砕より新管へ置換え）などの管路改築を推し進めている。

このような社会的な要求を踏まえ、ベル工法が有する技術（塩化ビニル管での長距離・曲線推進と礫対応型掘進機）を活かし、現在、改築推進工法の開発を進めるとともに「公開実証実験」を行ったので報告する。

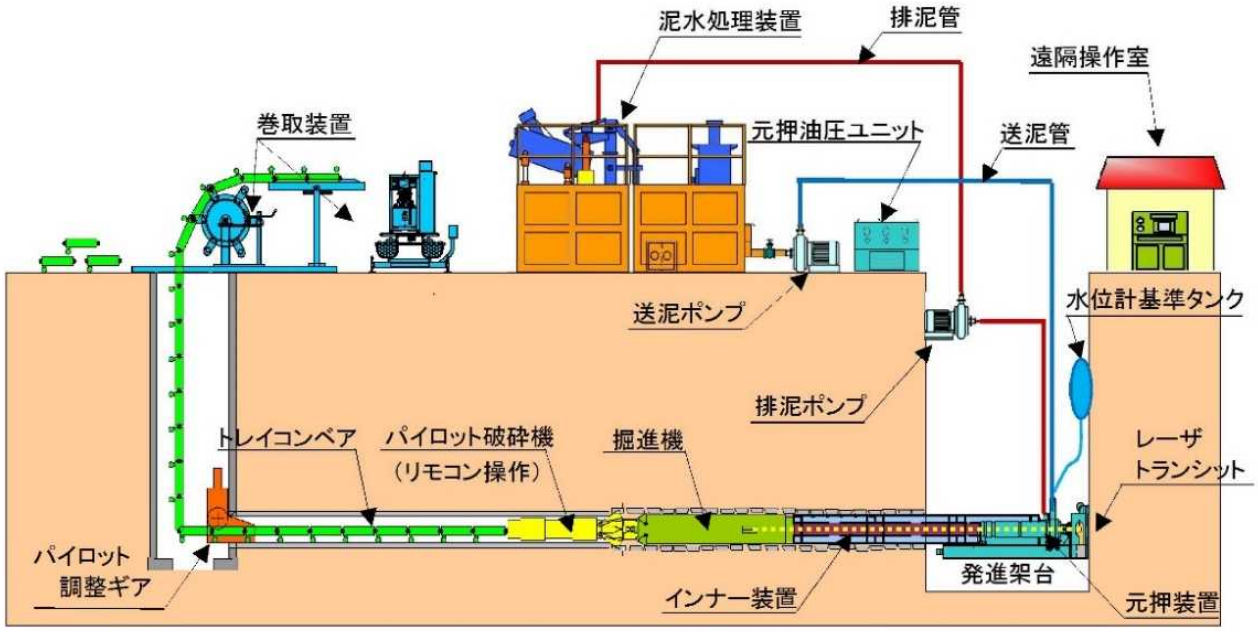
2　ベル工法改築推進の分類

本工法の概要を**図－１**に示す。

本工法は、改築推進工法の**図－２**に示す分類の中で、静的破砕推進工法（元押方式）に分類される。



図－２　改築推進工法の分類

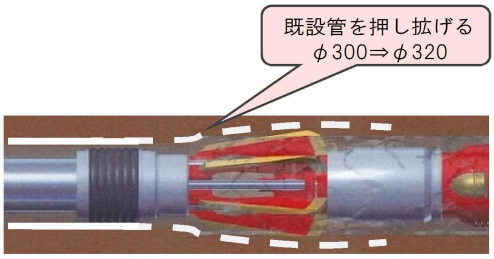


図－１　開発を進めている改築推進の概要図

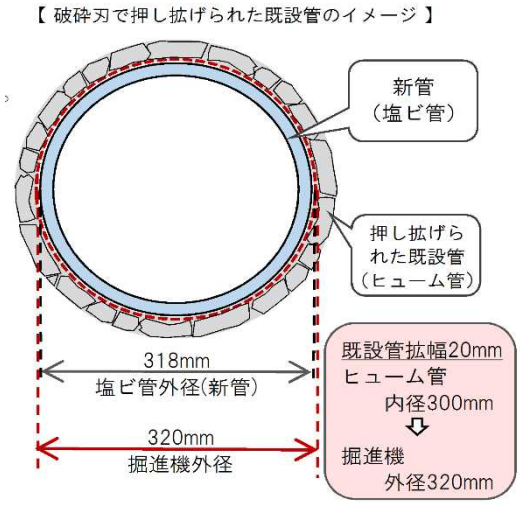
３　パイロット破砕機

３．１　既設管の拡幅

パイロット破砕機は、破砕刃で既設管を押し拡げて、地山に破片を押し込みながら、既設管の内径を 20㎜ 拡幅する。



図－３　パイロット破砕機の破砕状況



図－４　改築後の既設管断面

３．２　既設管の破砕状況（地上実験時）

新品のヒューム管を既設管に見立て、地上での破砕実験を行った。



写真－１　破砕の初期段階



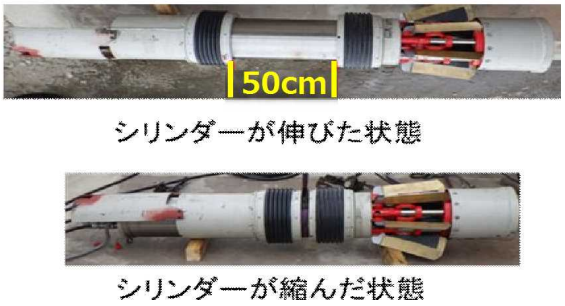
写真－２　破砕の途中段階



写真－３　破砕の完了

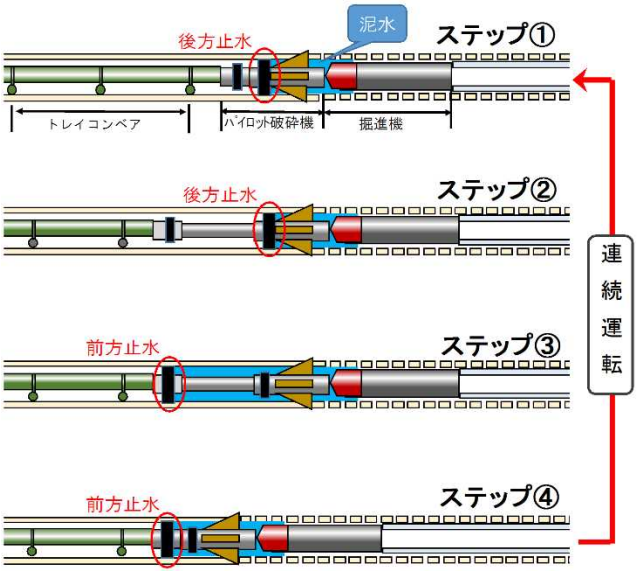
３．３　泥水の止水

パイロット破砕機には、掘進機との間に充填した泥水を止水させるため、ゴム製の２箇所の止水装置を装備している。到達側からエアーを注入し、既設管内面に圧着させることにより止水が可能となり、前方・後方の止水装置を連続運転し油圧式シリンダーを伸縮させる。



写真－４　パイロット破砕機の伸縮

尺取虫方式によるステップ図を以下に示す。



図－５　止水装置の動作（ステップ別）

４　実証実験の報告

平成２８年１０月から開発に着手し、様々な地上実験を経て平成３０年９月～１１月に地中実験を行った。実証実験では、既設管はヒュー

ム管(HP300)と塩ビ管(VU300)を破砕し、新管を塩ビ管（VP300）に置き換え、全延長７０ｍ、計４スパンで実験を５回実施した。そのうち、第３回実験は公開実証実験（**写真-5** 参照）として開催し、日本推進技術協会・自治体・コンサルタントにも来場いただき、ヒューム管を塩ビ管に置きか換えるスパンの試験状況（φ300、L=20m）を確認した。



写真－５　公開実証実験の状況

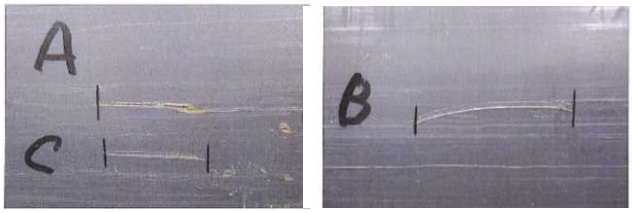
実証実験では推進スピードが 180mm/分（**写真-６**参照）となり 1m を 6 分で推進でき、段取り時間等を含めても 15 分程度となった。よって、1 時間あたり 4m 程度となり、当初想定よりも推進スピードが速い結果を得られた。推力も４ｔ程度の低推力での施工となった。



写真－６　操作盤モニター

また、後日、３スパン目で改築した新管の先頭管を回収し、第三者機関でキズの状態を検証し、その後性能試験を行った。（**写真-７**参照）

試験結果は、キズの深さが 0.3mm 程度以下で、偏平試験・引張試験ともに、新品と同等の性能が確認できた。（**表-１**参照）



（写真－７塩ビ管キズの状況）

表－１塩ビ管の性能試験結果

キズの大きさ測定

試験箇所	キズの大きさ(mm)		
	幅	長さ	深さ
キズA	2.4	49	0.2
キズB	0.6	39	0.2
キズC	2.0	25	0.3

偏平試験

試験箇所	圧縮量(mm)	線荷重(kN/m)	
		測定値	性能
偏平試験	9	18.15	14.51以上

引張試験

試験箇所	試料番号	引張降伏強さ(Mpa)	
		測定値	性能
引張試験	1	49.9	45.0以上
	2	49.2	

５　課　題

課題としては、水替工や取付管の処理などである。

６　おわりに

現在、改築推進工法は管更正工法と比較し、日進量が遅く、かつ、工事費が高くなるため工法採用にまで至らないケースが多い。

しかしながら、本工法のように信頼性の高い自立管（硬質塩化ビニル管）による改築推進を確立して普及させれば、コスト面や日進量を改善することにより管更生工法とは異なり、これまで以上の長期的、かつ安定的なライフサイクルコストの縮減が見込まれる。

これからの開発では、下水道管渠に限ることなく、水道管、電力管およびガス管の各分野で、いろいろな管種･管径に挑戦し開発を行い、社会資本の長寿命化に貢献していく。　　以 上

硬質地盤に対応した低変位深層混合処理工法　CI-CMC-HA工法

株式会社不動テトラ　北陸支店研究室　○田口　雄一
北陸支店研究室　　服部　貴洸

１　はじめに

地盤改良工法の一種である深層混合処理工法は、セメント系の固化材と原地盤を撹拌混合して、固化改良体を造成する工法である。深層混合処理工法は機械撹拌式と高圧噴射撹拌式に大別される。この内、機械撹拌式は、改良径相当の撹拌翼を地盤中に貫入し、固化材と地盤を強制的に撹拌混合して、所定の径を確保する。ＣＩ－ＣＭＣ工法は、機械撹拌式の深層混合処理工法の一種であり、大径で高品質な改良体が造成でき、且つ低変位施工が可能な工法である。

近年では、既設の建屋や構造物に近接して施工することが増え、施工時にそれらへ変位影響を与えないように、低変位工法が用いられる。しかし、中間に硬質土層が堆積していると、撹拌翼がそれ以上貫入できず高止まりが生じる。このような場合、補助工法によって硬質土層を事前にほぐしてから施工することが多い。しかし、補助工法を併用すると、経済性や工程が不利となり、併用しない場合と比べて、それぞれが倍以上となるケースもある。

これらの課題に対応するため、低変位施工が可能なＣＩ－ＣＭＣ工法を進化させ、硬質地盤に適応可能とした「ＣＩ－ＣＭＣ－ＨＡ工法」を開発、実用化した。本稿では、ＣＩ－ＣＭＣ－ＨＡ工法の概要、特徴、施工事例について報告する。

２．工法の概要

２．１　概要

機械撹拌式の深層混合処理工法の一種であるＣＩ－ＣＭＣ工法は、エアを用いて固化材スラリーを霧状に吐出するエジェクター吐出方式を採用している。エジェクター吐出の効果により、高品質な改良体の造成および低変位施工が可能となる。

ＣＩ－ＣＭＣ－ＨＡ工法は、ＣＩ－ＣＭＣ工法を進化させた工法である。ＣＩ－ＣＭＣ工法の特徴を維持しつつ、撹拌翼の改善により、硬質な地盤に対しても適用可能となった。また、エア量を制御することによって、改良体強度のバラつきを抑制することができる。

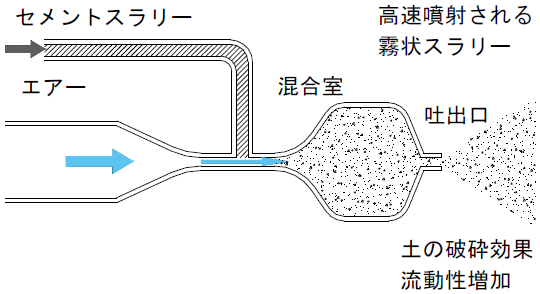


図-1　エジェクター吐出概要



図-2　エジェクター吐出状況

２．２　従来工法との比較

従来工法との比較を表-1 に示す。従来のＣＤＭ工法では砂質土でＮ値 15、粘性土でＮ値 8 まで、ＣＩ－ＣＭＣ工法では砂質土でＮ値 35、粘性土でＮ値 8 までが適用範囲であったのに対して、ＣＩ－ＣＭＣ－ＨＡ工法では、砂質土でＮ値 50、粘性土でＮ値 15 まで適用可能となる。

表-1　従来工法との比較

	従来工法（CDM工法）	CI-CMC工法	CI-CMC-HA工法
吐出方式	通常吐出（ｽﾗﾘｰのみ吐出）	ｴｼﾞｪｸﾀｰ吐出（ｽﾗﾘｰ+ｴｱで霧状に吐出）	
改良径	φ1,000mm×2軸	φ1,600mm×2軸	
適用範囲	【砂質土】N値≦15 【粘性土】N値≦8	【砂質土】N値≦35 【粘性土】N値≦8	【砂質土】N値≦50 【粘性土】N値≦15
水平変位	数cm～数10cm	数mm	

３．特徴

３．１　優れた貫入能力

ＣＩ－ＣＭＣ－ＨＡ工法の撹拌翼は、ＣＩ－ＣＭＣ工法の先端ヘッドの形状や撹拌翼に取り付ける掘削ビットの配置を改善している。さらに、エジェクター吐出によって貫入時に土をほぐすことで、貫入時および撹拌時の負荷を低減できる。これらの効果によって、砂質土でＮ値 50 程度、粘性土でＮ値 15 程度の硬質地盤への貫入および撹拌混合が可能となった。さらに、上端ビットを設置し、引抜きをよりスムーズに行えるようになった。

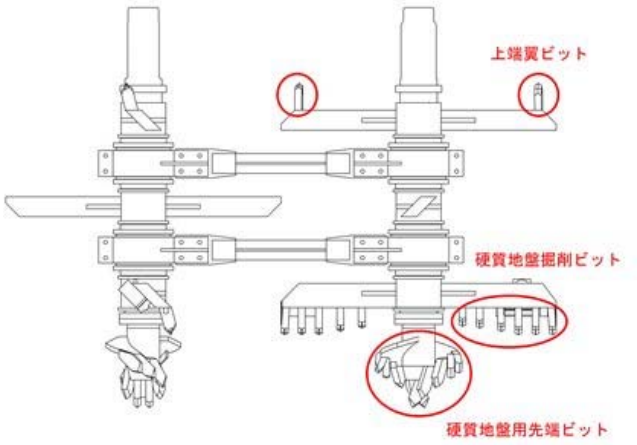


図-3　撹拌翼形状

３．２　低変位施工

一般的な深層混合処理工法では、スラリーを投入することによる地中での体積増加等が生じ、周辺地盤に変位が生じる。

ＣＩ－ＣＭＣ－ＨＡ工法はエジェクター吐出によって土をほぐしながら貫入することで、撹拌域内での土粒子の流動性が高まり、余分な撹拌土がエアと共に地上へ上がってくる（エアリフト効果）。投入したスラリー量相当を排土することによって、地中での体積変化が生じず、低変位施工が可能である。

従来工法では周辺へ数cmの変位が生じるのに対して、ＣＩ－ＣＭＣ－ＨＡ工法は数 mm 程度に抑えることができる。

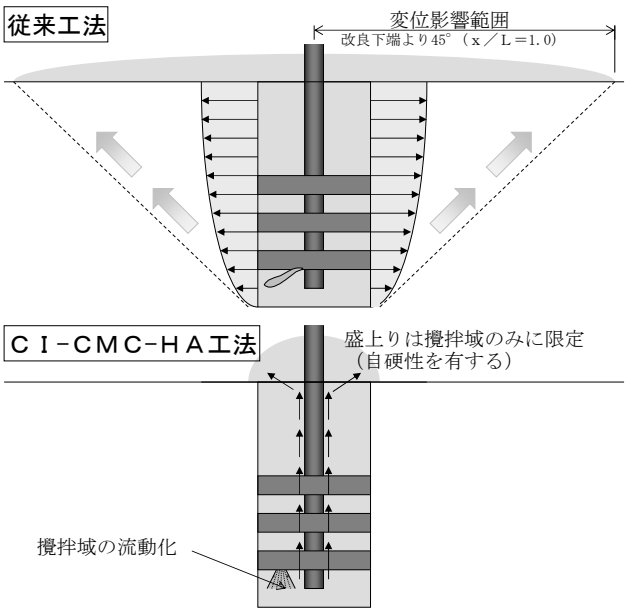


図-4　低変位施工のメカニズム

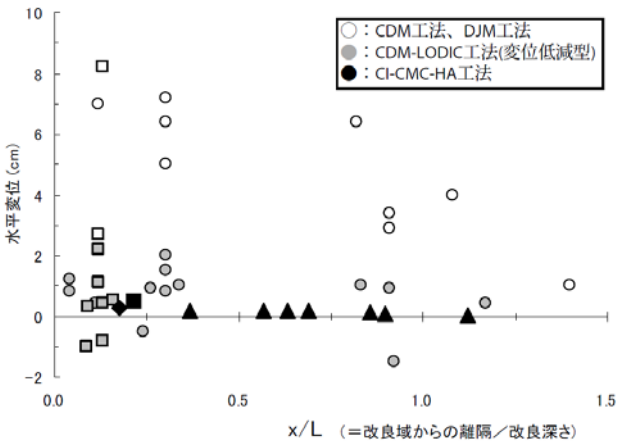


図-5　周辺変位計測事例

３．３　大径で高品質な改良体

エジェクター吐出により改良域全体に固化材の散布が可能であり、撹拌効率が高まる。さらに、エア量を制御することで、φ1,600㎜の大径でありながら、強度のバラつきの小さい改良体を造成可能である。

３．４　排土の有効利用

前述のように、施工時にはエアリフト効果によってスラリー量相当の排土が生じる。排土は固化材が良く混じった状態であるため、自硬性を有する。そのため、現場内で仮置きすることで改質した土砂の状態となり、そのまま盛土や仮設道路等に転用が可能である。



図-6　排土有効利用概要

４．施工方法

４．１　施工機械

施工機械構成を下図に示す。また、施工機械は、標準的な機械のみではなく、狭隘地での施工も可能な小型施工機械も選定可能である。



図-7　施工機械

４．２　施工手順

施工方法を以下に示す。①施工機械を所定位置にセットする、②固化材を吐出しながら貫入する、③先端部が所定の深度に到達したことを確認した後、固化材の吐出を停止し先端処理を行う、④撹拌翼を逆回転させながら引き抜く、⑤所定深度まで改良体を造成する。

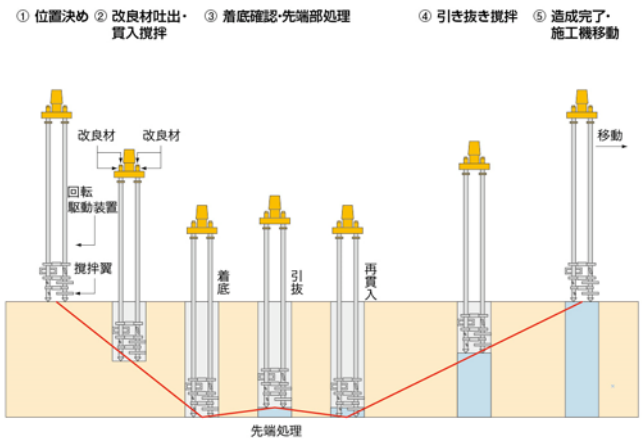


図-8　施工手順

５．適用事例

ＣＩ－ＣＭＣ－ＨＡ工法の施工事例を示す。道路計画で新設擁壁を設置する箇所において、その基礎地盤が軟弱であり、円弧すべり破壊や擁壁基礎の支持力不足が生じる懸念があった。そのため、すべり対策、支持力確保として深層混合処理工法が計画された。しかし、改良対象層の中間には、硬質な砂礫層が堆積しており、最大でＮ値が 41 を示していた。また、供用中の道路や民家が近接しており、道路、民家への変位影響が懸念された。

それに対して、ＣＩ－ＣＭＣ－ＨＡ工法で施工することで、供用中の道路や民家へ影響を与えることなく、また、硬質な砂礫層に対して貫入でき、高止まりすることなく施工を完了することができた。

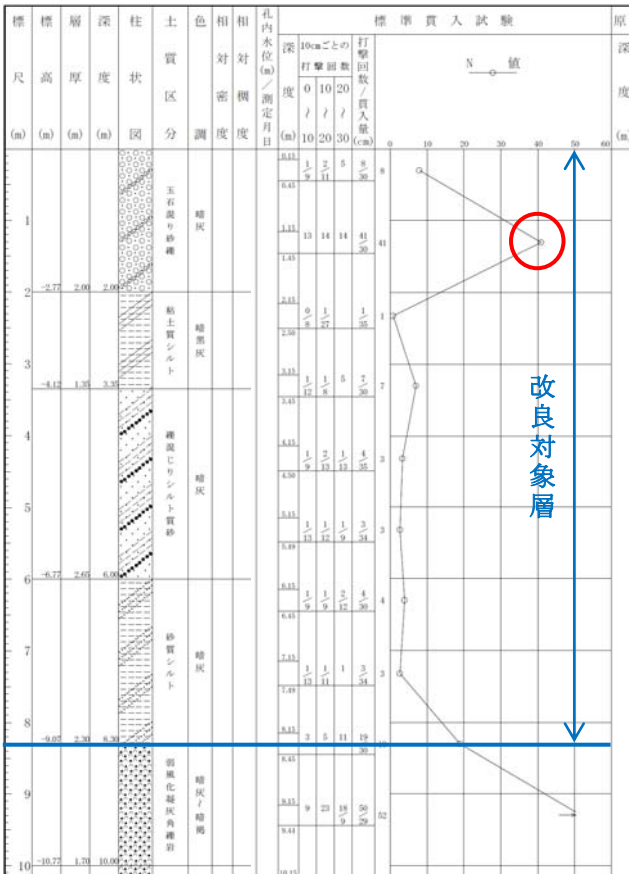


図-9　柱状図

６．おわりに

硬質地盤に対応した低変位深層混合処理工法の概要、特徴、適用事例について紹介した。当工法は、硬質地盤が堆積し、更に低変位施工が必要となる箇所で地盤改良が必要となる場合に有効である。

また、直近ではＣＩ－ＣＭＣ－ＨＡ工法の更なる進化系として、Ｎ値 50 を超える地盤に対して対応可能となるＣＩ－ＣＭＣ－ＨＧ工法を開発した。超硬質オーガーを装備することにより、障害物が中間にある場合や砂岩等に根入れが必要となる場合等のこれまで適用できなかった箇所に対しても適用可能となる。

今後も工法の更なる進化、および実績を積み重ねていくことによって、様々な地盤条件や施工条件に対する地盤改良工事へ貢献していきたい所存である。

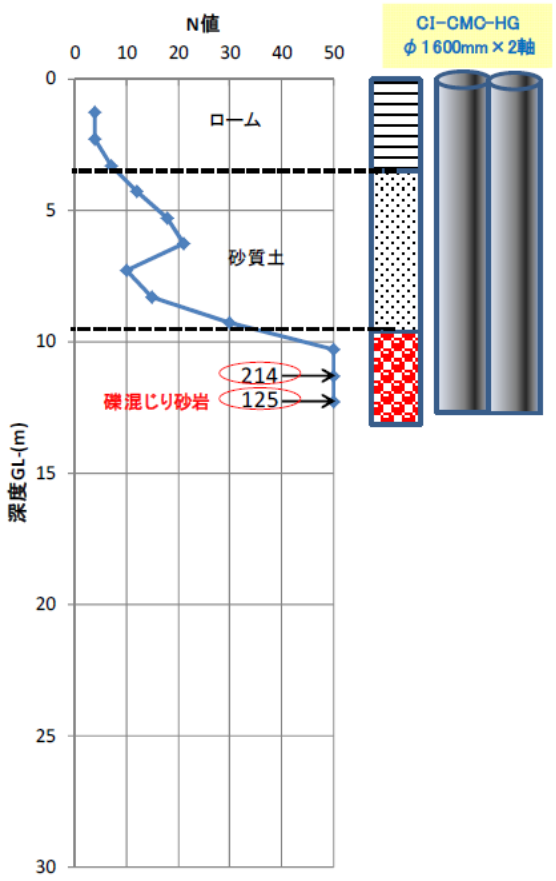


図-10　CI-CMC-HG 工法適用事例

第Ⅴグループ

土木新製品開発支援事業の取組みについて

富山県　土木部　建設技術企画課技師　　開井　宏光

1　はじめに

富山県土木部では、各機関と連携して新製品開発に強い意欲を持つ県内企業を開発の構想から実用化までトータルに支援する「土木新製品開発支援事業」に平成 17 年度より取組んでいます。

ここでは、本事業を開始するまでに至る背景及び事業概要について報告させていただきます。

2　事業の背景

富山県では、高度経済成長期以降に道路・河川等の公共施設の社会資本整備を計画的に推進してきたところですが、高度経済成長期に建設された公共施設の更新時期が迫り、これらのメンテナンスも考慮した社会資本整備が求められています。財政的には長期債務の増大や高齢化社会の到来による医療費・社会保険費の増大から公共事業関係の予算が抑制されていました。

さらに、世界全体の課題である地球環境への配慮から、環境に優しい循環型社会形成の推進も求められていました。

このような状況において、県では、平成 10 年度より「富山県公共工事コスト縮減対策に関する行動計画」に基づき、工事毎に工夫を行い、コストの縮減に努めてきましたが、工事コストの縮減率は年々減少し、伸び悩むことになりました。このため、更なる工事コストの縮減を図るためにも、新技術の開発に期待が寄せられていました。

また、循環型社会形成の推進の観点から、



図―１　土木新製品開発事業
パンフレット表紙

平成 15 年度からは、県内の産業廃棄物を使用した「富山県認定リサイクル製品」の積極的な使用に努めてきましたが、この製品は必ずしも公共工事のニーズにあった製品ばかりではないため、公共工事における利用が伸び悩む状況となっていました。

一方、建設関連投資が激減する社会情勢下により異業種への転換や多角経営化を余儀なくされる建設関係企業への支援や製品開発意欲の高い企業への新たな支援が、県内の経済活性化の観点からも重要課題となっていました。

さらに、企業の方から新製品の紹介・説明を受けた際に、事前に公共工事のニーズを把握していれば、より需要のあるものになるの

ではないかという製品が多く、製品化前のニーズの提供や助言、さらには富山県の気候や風土などの適合性等を確認するための製品化前の試験施工地の提供などの支援も必要であると感じていました。

これらのことを踏まえ、公共工事におけるコスト削減、リサイクル推進に寄与するとともに、多くの社会的な背景や状況から公共工事のニーズにかなった画期的な新製品開発に向けた支援施策が必要であるという認識により本事業を開始しました。

3　支援事業の取組みの概要について

①土木新製品開発ニーズの紹介

公共工事の担当者や県民の方々から、道路河川など公共施設の建設・維持管理に求められている「ニーズ・アイディア」を集め、県のホームページにて公表し、開発のたねとしてご活用いただきます。

②相談受付・助言

製品開発の構想から実用化までの各段階で相談に応じたり助言をします。

③試験施工箇所の提供

新製品の試験・試作段階で必要となる試験施工のため、道路や河川などの公共施設を試験施工場所として提供します。

費用は、開発企業負担となります。

④新製品の誕生

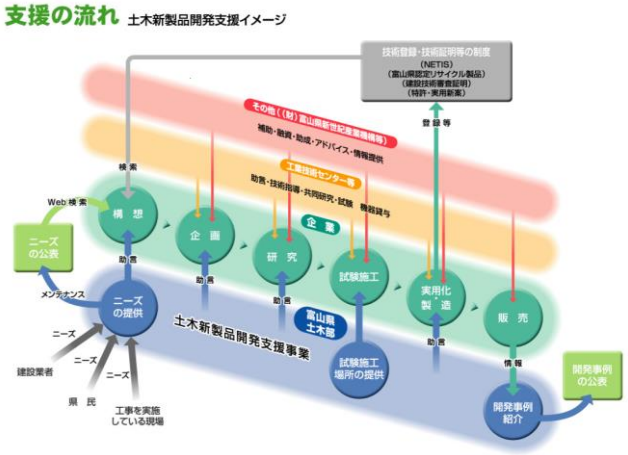
技術登録や技術証明には、次の制度があります。

・新技術情報提供システムへ(NETIS)への登録制度
（国土交通省　北陸地方整備局）
・富山県リサイクル製品認定制度
（富山県環境政策課）
・富山県認定トライアル発注制度
（富山県経営支援課）
・建設技術審査証明制度
（建設技術審査証明協議会の会員）
・特許、実用新案等の制度
（特許庁）

本事業では、この技術登録や技術証明等には、携わらず製品開発までのサポートをしています。

⑤製品開発事例の紹介

開発企業や起業家及び公共工事担当者等の使用者への情報提供として、新製品に関する情報をホームページで紹介しています。



図―２　支援事業の流れ

4　支援事業の実績

①透水型グレーチング「しんとうくん」
（泉建設株式会社）

耐候性の高い合成樹脂を使用し、石材を従来のグレーチングの網目の中に敷詰めた透水性の高い側溝蓋です。落ち葉やゴミを水路に流さないため、側溝清掃の頻度を軽減し維持管理コストの削減につながる等の特徴があります。

こちらは、富山県工業技術センター及び（財）富山県新世紀産業機構の支援もいただき開発されました。

製品評価の状況として、NETIS への登録、

富山県トライヤル認定商品、特許・実用新案権取得となっています。



図―３　透水型グレーチング
「しんとうくん」

②「ＴＡＧＡＷＡ　ＴＩＬＥ」
（株式会社リッチェル）

太陽光発電により LED が自動発光する景観照明及び災害時の誘導照明です。

メンテナンスフリーであり、防水及び衝撃力に強いという特徴があります。

製品評価の状況として、特許・実用新案権取得となっています。



図―４　「ＴＡＧＡＷＡ　ＴＩＬＥ」

５　今後の課題

平成 17 年度より事業を開始し、開始当初こそは新製品構想の問合せがありましたが、年々減少し、実際に製品化された件数は２件と伸び悩んでいる状況になっています。

今後は、PR 活動の強化とともに支援内容の充実についても検討していく必要があると考えています。

●支援内容を充実させる対策例
・支援対象企業の拡大
（県内企業にこだわらない）
・製品化後における試験施工場所の提供
・利用促進のための施策

６　おわりに

本事業の鍵となる新製品のニーズの紹介にあたっては、建設現場から浮かぶニーズ・アイディアを皆様から提供していただくなど、皆様のお力添えなくしては、成り立たないと考えています。

どうぞ、今後ともこの事業の趣旨をご理解いただき、ご協力いただきますようお願いいたします。

土木新製品開発事業 URL
http://www.pref.toyama.jp/sections/1510/gi/navi/navi.htm

法面工向け体験型ＶＲ安全教育システム

株式会社　興和　技術開発室　　○太刀川　翼
技術開発室長　　山本　宏幸
株式会社　シーエスレポーターズ　　山口　貴大
前田　心

１　はじめに

建設業界において、労働災害の防止は重要な課題であり定期的な安全教育などの取り組みが積極的に行われている。安全教育の形態として、現地での実体験を伴う安全教育は効果的であるが、安全面の観点から実施が困難である工種や場面が存在する。例えば、命綱にぶら下がりながらの急斜面上での作業が必要な法面工事がこれに該当する。また、座学での安全教育では受講者が実現場においても安全行動がとれるかを推し量ることは難しい。

そこで非日常的体験を仮想空間にて疑似体験可能なＶＲ（ＶirtualＲeality）に着目し、仮想の工事現場での疑似作業体験が可能、かつ体験者の安全行動の習熟度や見逃している安全点検項目を判定できるよう、体験者の行動を採点する機能を有する安全教育システムの開発について取り組みを進めている。

本稿では、急傾斜地という特殊で厳しい環境で施工される法面工に特化した、ＶＲ安全教育システムの開発について報告する。

２　背景

２．１　従来の安全教育

働き手の減少が問題となっている昨今、建設業界では作業員を確保するために、新規参入者の数が増加している。特に外国人労働者が補助作業員として従事する例も増えてきた。しかし、現場のノウハウを知らない人間がいきなり現場作業に従事することはリスクが高く、様々な事故に繋がっている現状がある。特に法面工は、時に作業員が斜面上部で固定された命綱にぶら下がりながらの急斜面上での作業が必要な工事である（写真―１）。そのため、安全点検を怠る、作業手順を守らないなどの不安全行動を行った場合、作業員の墜落や転落、資材の飛来や落石などにより重大な事故が発生する恐れがある。

そのため、経験の浅い作業員の安全行動の習熟や、熟練者の慣れによる危機意識の低下防止を目的として、定期的な安全教育が行われている。しかし、従来の座学や仮設斜面での安全教育では、重大な災害に結びつく落石や墜落などを発生させ体験することは困難であった。また、同じ安全教育を行っても、作業員個々の習熟度や危機意識の高さに差異が出るケースがある。



写真―１　斜面上での作業状況

２．２　ＶＲ安全教育の普及

近年、建設分野においても安全教育にＶＲを利用した事例が増えてきている。ＶＲの利点は、現実空間では不可能な非日常的体験を仮想空間で疑似体験できる点である。安全教育においては、上記の点とＶＲ特有の没入感を生かし、体験者に重大事故などの恐怖体験をさせることで、危機意識の向上を図るシステムが多くみられる。

しかし、既存のシステムには法面作業に対応したものが存在しない。また、既存システムは「墜落」「落下」「衝突」などの瞬間的な恐怖体験に主眼を置き、体験者にわざと不安全行動を起こさせるものが多く、「体験者が一連の作業の中で、危険の回避や危険個所の修正を行う」ことが出来なかった。

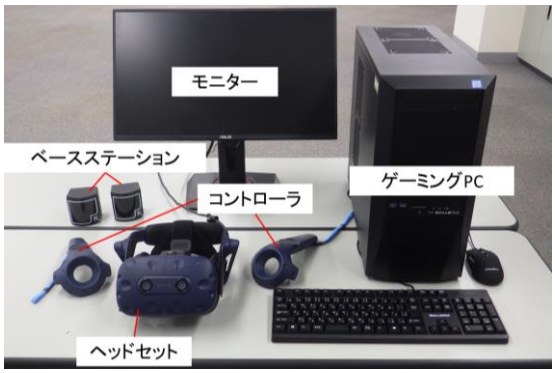
２．３　開発の目的

現場での安全教育が困難な法面工について、作業員の安全点検項目の習得と、不安全行動の防止を目的として、仮想空間上での一連の現場作業、及び落石や墜落などの恐怖を疑似体験できる体験型ＶＲ安全教育システムを開発した。

３　開発システムの概要

３．１　使用機器

本システムに使用する機器の構成を写真―２、及び表―１に示す。また、本システム実施時は、ＶＲ体験者が動き回るためのスペースとして、最低でも２．５ｍ×２．５ｍ、可能ならば５ｍ×５ｍほどの空間を確保する必要がある。



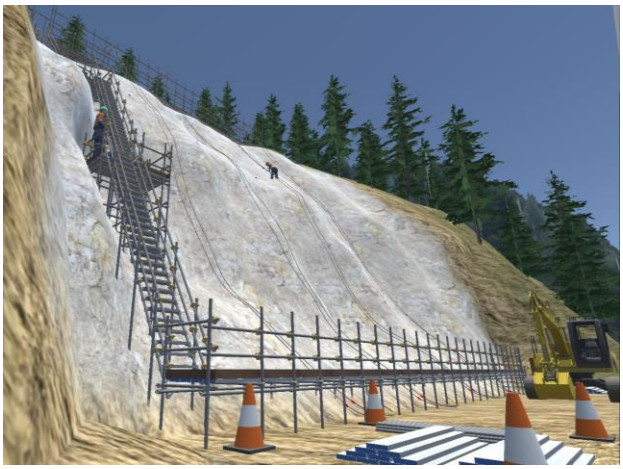
写真―２　ＶＲ安全教育使用機器の構成

表―１　ＶＲ安全教育使用機器の構成

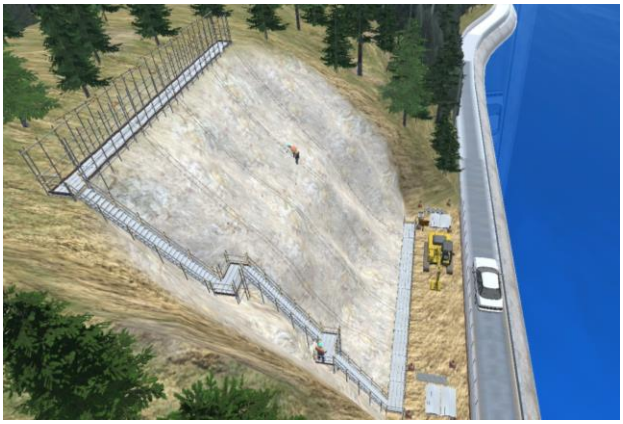
使用機器		役割、備考
HTC VIVE Pro	ヘッドセット	• 頭部の傾きを感知 • 内蔵ディスプレイの映像が仮想空間での体験者の視界となる
	ベーステーション	体験者の位置、移動を感知する
	コントローラ	物を掴む、危険箇所を修正するなどの動作を制御する
ゲーミングＰＣ		高性能なグラフィックボードが必要
モニター		体験者と視界を共有するために必要

３．２　仮想法面現場

仮想法面の作成にはAutodesk 社のＣＩＭソフトであるＣivil３Ｄを使用した。仮想法面は、小規模工事の現場を想定し、勾配約６０度、延長２０m、法長約３０m、高低差約２０m となっている。さらに、作成した法面上に単管足場や昇降階段、作業員などの３Ｄモデルを配置し、仮想空間上に法面工事現場を再現した（図―１～２）。



図―１　仮想法面工事現場　斜面下から



図―２　仮想法面工事現場　斜面上空から

３．３　危険の回避

本システムの特徴の１つは、「体験者が一連の作業の中で、危険の回避や危険個所の修正を行う」ことで、体験者の安全点検項目の習得を図るものである。

仮想現場内で体験者は、斜面下の資材置き場で資材を拾ってから、現場内を移動し、命綱を装着して斜面上の作業員まで接近して資材の受け渡しを行う、という一連の作業に従事する（図―３～４）。その上で、作業中に直面する様々な危険を回避するために、体験者は常に、安全点検項目のチェックを忘れず、不安全行動の回避に努めなければならない。本システムは、以上のような疑似体験により体験者の安全点検項目習得を図るものである。

また両手のコントローラを用いることで、物を拾う、物を掴む、返事をする、などの操作が可能となっており実際の現場作業で行う多様な動作が再現されている。（図―５）。



図―３　ＶＲ体験画面その１



図―４　ＶＲ体験画面その２



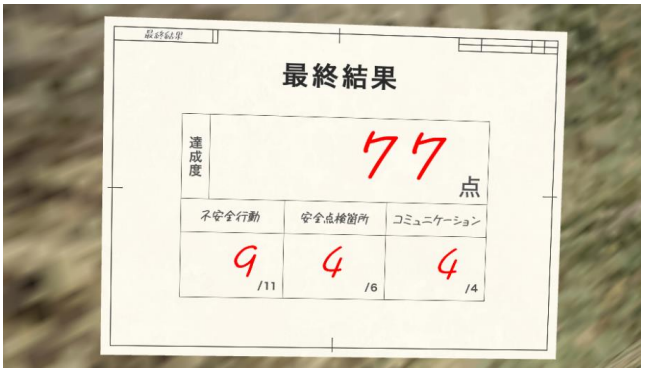
図―５　ＶＲ体験画面その３
（アンカーピンを拾い上げた状態）

３．４　採点機能

本システムは、体験者の行動を“不安全行動”“安全点検箇所”“コミュニケーション”の３つの観点から採点する機能を有している。採点結果は作業終了時に表示されるため、安全作業の習熟度を客観的に把握することが可能である（図―７）。また、どの安全

点検を怠ったのか、どのような行動が不安全であったのかが分かる詳細なレポートの出力も可能となっており、自身の行動を振り返る材料として活用できる。

さらに、工事にあたる作業員全員が本システムを体験することで、作業員一人一人の見逃しがちな安全点検項目や、行いがちな不安全行動が把握でき、より詳細な安全管理が可能となる。そして、これら個々人の特性を現場代理人や職長、作業員全員が共有することで、現場での安全意識のさらなる向上が図られ、労働災害の防止につながると考えられる。



図―７　採点結果の表示

３．５　“慣れ”の防止

同じコンテンツを繰り返し体験すると、発生するイベントの内容や発生タイミングを覚えてしまう“慣れ”が生じる。本システム開発当初から、体験者が“慣れ”てしまい、以前に発見したイベントの発生箇所やタイミングのみに注意を払い、それ以外への注意を怠るようになる、という懸念があった。そのため、本システムでは一部の危険個所を毎回ランダムに発生させ、“慣れ”を防止する工夫を盛り込んでいる。

３．６　講義形式との併用

上記のように本システムは、体験者が安全点検項目に注意を払いつつ、一連の作業を行う点を肝としている。ゆえに、体験者には、ＶＲ体験前に法面工における安全点検項目を把握していることが求められる。したがって、本システムの教育効果を十全に発揮するためには、従来の講義形式の安全教育によって、安全点検項目や発生する恐れのある事故事例について周知した後に、本システムを実施することが望ましい。

４　今後の展開

本システムは、自社内の安全教育システムとして利用するほか、座学を含めた法面工向けの安全教育を行う出張サービスへの活用を検討している。

また法面工以外の、実体験を通じた安全教育が困難な工種向けのＶＲ安全教育システムの開発も予定している。

５　終わりに

「一連の作業を連続して行う」「体験者が恐怖体験の回避に努める」「採点機能により体験者の特性を明らかにする」といった特徴により、単なる恐怖体験に止まらない革新的なＶＲ体験型安全教育システムを開発することができた。本開発が、さらなる作業員の安全行動の習熟及び、安全意識の向上に繋がり、労働災害の防止に貢献できれば幸いである。

謝辞

本開発にあたり、「平成３０年度建設企業経営革新支援事業」制度の対象事業として助成を賜りました、公益社団法人にいがた産業創造機構様へ深く感謝申し上げます。

水理模型実験による防波堤反射波低減構造の検証

北陸地方整備局　新潟港湾空港技術調査事務所　　伊賀　浩之
北陸地方整備局　新潟港湾空港技術調査事務所　　早田　泰子
北陸地方整備局　新潟港湾空港技術調査事務所　○豊島　愛莉

1　はじめに

敦賀港では荷役障害の事例が確認されており、荷役稼働のさらなる安定性向上のため、港内静穏度の確保が求められている。要因のひとつとして、防波堤等からの反射波の影響による港内擾乱が考えられている。

そこで、反射波低減構造に改良した断面を対象とし、二次元造波水路を用いて反射波実験及び安定実験を行った。なお、既往の実験より、M.S.L.時に消波ブロック天端高が静水面と一致する没水型反射波対策工断面が反射率低減に有効であることを確認している。ただし、目標反射率 0.3 に対し余裕があったことから、既往の実験断面を元により経済的な断面を得ることを目的とし、実験を行った。

検討対象施設について図-1 に示すとおり、敦賀港の川崎・松栄地区防波堤を対象とした。

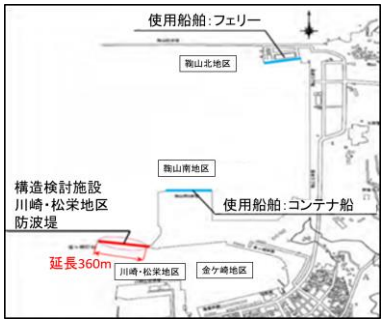


図-1　検討対象施設位置図

2　実験条件

2．1　実験施設、実験縮尺及び海底勾配

実験は、長さ 59.0m、幅 1.25m の二次元造波水路を使用した。

実験縮尺は、現地断面規模を考慮し、1/25（歪み無し）とした。フルード相似則に従い、各諸量の計算した結果を表-1 に示す。

現地の測量結果より、海底勾配が 1/153 であったため、本実験も同様の 1/153 とした。

表-1　実験縮尺（フルード相似則）

諸元	対象物理量	縮尺	例示	
			現地	模型
長さ L	波高,波長,水深,模型寸法	1/25	0.42m	1.68cm
時間 T	周期,波の作用時間	$1/\sqrt{25}=1/5.0$	10.0s	2.00s
速度 L/T	波速,流速	$\sqrt{25/25}=1/5.0$	0.5m/s	0.10m/s
質量 F	ブロック,石材質量等	$1/25^3=1/15,625$	1.84t/個	117.76g/個

2．2　潮位条件及び波浪条件

潮位条件については、反射波実験の潮位は M.S.L.（+0.2m）を基本とし、一部のケースで潮位 H.W.L.（+0.5m）に変更し、潮位変化に対する反射率の違いを把握した。安定実験の潮位は L.W.L.（±0.0m）とした。

実験波浪条件は、表-2 のとおりである。作用させる波浪は全て不規則波とし、反射波実験では 200 波 3 波群を、安定実験では 1,000 波 2 波群を作用させた。

表-2　実験波浪条件

実験項目	潮位	波の種類	波浪条件					
			種類	有義波高 H1/3		有義周期 T1/3		作用波群
				現地（m）	模型（cm）	現地（s）	模型（s）	
反射波実験	M.S.L.（+0.2m） H.W.L.（+0.5m）	不規則波	消波対象波	0.42m	1.68cm	10.0s	2.00s	200波 3波群
安定実験	L.W.L.（±0.0m）		設計波	0.98m	3.92cm	12.7s	2.54s	1000波 2波群

2．3　実験断面条件

実験断面は、没水型反射波対策工断面とし、天端幅や法尻高を見直して実験を行った。

防波堤構造を選定した際のポイントは「設計波に対して安定した構造」、「反射率 0.3 程度を目標とした低反射構造断面」、「他工事のトンネル掘削で発生した建設発生土（ずり石）の有効活用」の 3 つである。

反射率の目標値は過年度の検討結果より、本防波堤の反射率を 0.3 に改良すると鞠山南岸壁の稼働率向上が期待出来るという結果を得たことから設定している。

既設断面と既往の実験断面、そこから対策工を施工し改良を行った断面イメージを図-2 に示す。

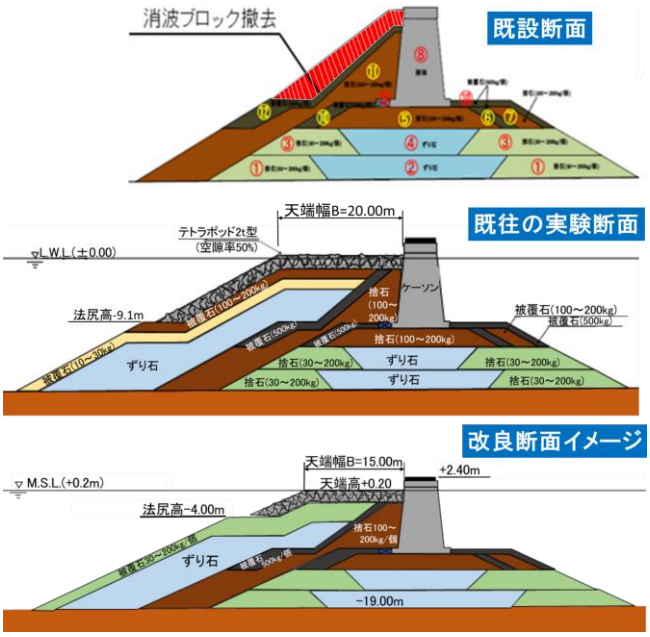


図-2　既設・既往の実験・改良イメージ

2．4　実験の流れ

①安定実験：既往の実験断面をベースにより経済的な断面にするため、天端幅を 20m から 15m に縮め、ブロック法尻高を-9.1m から-4.0m にあげて、安定を確認した。

②反射波実験：①で安定を確認した断面で反射率を測定したが、目標反射率を超過したので反射率を満足させるため、予備実験で最適断面を選定し、断面の安定を確認した。

3　実験方法

3．1　安定実験

挙動検査域は水路幅 80cm 内の中央 40cm を範囲とし、消波ブロックと被覆石を対象とした。消波ブロックの挙動観察は、波作用前、波作用中及び波作用終了時に行った。消波ブロックの挙動は移動と動揺に大別し、ブロック 1/2 個以上の移動を被害として扱った。

一方、石材については、図-3 に示すように、砂面計を用いて波作用前及び波作用終了時に複数測線の断面測定を行い、断面変形量を求め、安定性を評価した。検査領域は、水路中央を含む 5 測線の測点ピッチ間隔を 2cm にして測定を行った。

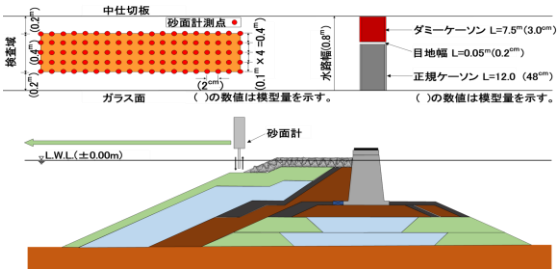


図-3　砂面計配置図及び検査領域図

3．2　反射波実験

消波ブロック前面、防波堤前壁面より 1.5 波長の範囲に、サーボ式波高計（1.5 波長測点）及び容量式波高計を 0.25 波長間隔（0.5、0.75、1.0、1.25 波長）で各 2 台設置した。波の入･反射分離解析を行い、反射率及び反射波高の岸･沖分布を求めた。反射波実験時の波高測定位置を図-4 に示す。

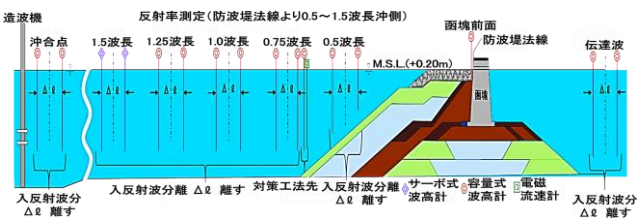


図-4　反射波実験時の波高測定位置

4　安定実験結果（法尻高検討）

4．1　消波ブロック及び被覆石の安定評価

4．1．1　消波ブロックの安定評価

消波ブロックの安定性は被害率をもとに評価した。被害率（D）は、以下の式（1）より求める。

$$D=\frac{n}{N_B}\times 100 \quad (1)$$

n は検査領域内で移動したブロック個数、N_B は検査領域内のブロックの総数である。被害率 1%を安定評価の許容値として、安定性を評価した。

4．1．2　被覆石の安定評価

被覆石の直径を求めると、40cm 程度となる。消波ブロックの場合、港湾の施設の技術上の基準・同解説より 1/2 個以上の移動を被害として扱っていることから、被覆石の 1/2 個程度の移動量に相当する±20cm を安定評価基準値として、安定性を評価した。

4．2　安定実験結果

安定実験結果について，表-4 に示す。

表−4　安定実験結果（法尻高検討）

実験断面	消波ブロックの耐波安定性		被覆石（30～200kg/個）の耐波安定性	
	作用波浪（設計波） 波高：$H_{1/3}$=0.98m 周期：$T_{1/3}$=12.7s	実験結果	作用波浪（設計波） 波高：$H_{1/3}$=0.98m 周期：$T_{1/3}$=12.7s	実験結果
消波ブロック法尻高：−4.0m	波群：1	被害率D=0.0%	波群：1	断面変形量の最大値：約8.0cm（5測線の最大）
	波群：2	被害率D=0.0%	波群：2	断面変形量の最大値：約12.0cm（5測線の最大）
	評価	○（安定；D<1.0%）	評価	○（安定；<±20cm）
消波ブロック法尻高：−3.0m	波群：1	被害率D=0.0%	波群：1	断面変形量の最大値：約8.0cm（5測線の最大）
	波群：2	被害率D=0.0%	波群：2	断面変形量の最大値：約40.0cm（5測線の最大）
	評価	○（安定；D<1.0%）	評価	×（不安定；>±20cm）

消波ブロック法尻高-4.0m では、設計波の作用に対して、消波ブロックおよび被覆石の安定性が確保されることが確認できた。

一方、消波ブロック法尻高-3.0m では、設計波の作用に対して、消波ブロックの安定性が確保されたが、被覆石の安定性が確保されない結果となった。

消波ブロックおよび被覆石の安定性を確保するには、消波ブロック法尻高を-4.0m とする必要があることがわかった。

5　反射波実験結果

5．1　断面の機能評価

4．2で選定した断面で反射波実験を行ったところ、目標反射率を超過する結果となったため、小段設置や天端幅拡幅断面を作成し予備実験を行った。（小段：ケーソン側に消波ブロックを積み上げること。）

反射波実験結果（予備実験）は表-5 のとおりである。

表-5　反射波実験結果（予備実験）

実験断面	消波ブロック断面諸元	実験結果					
		潮位M.S.L.			潮位H.W.L.		
		波群	反射率	実験結果	波群	反射率	実験結果
比較対象のベースとなる実験断面	消波ブロック天端幅：15.0m	波群 1	0.314	×	波群 1	0.274	○
	消波ブロック天端高：+0.2m	波群 2	0.320	×	波群 2	0.282	○
	消波ブロック法尻幅：−4.0m	波群 3	0.318	×	波群 3	0.283	○
	小段有無：無し	平均	0.317	×	平均	0.280	○
小段の設置効果の検討	消波ブロック天端幅：15.0m	波群 2	0.299	○	波群 2	0.250	○
	消波ブロック天端高：+0.2m	波群 3	0.299	○	波群 3	0.250	○
	消波ブロック法尻幅：−4.0m	平均	0.299	○	平均	0.250	○
	小段有無：**有り**	比率	94.2%		比率	89.4%	
拡幅効果の検討	消波ブロック天端幅：**17.0m**	波群 2	0.257	○			
	消波ブロック天端高：+0.2m	波群 3	0.258	○			
	消波ブロック法尻幅：−4.0m	平均	0.258	○			
	小段有無：無し	比率	81.1%				
拡幅効果及び小段設置効果の検討	消波ブロック天端幅：**17.0m**	波群 2	0.251	○			
	消波ブロック天端高：+0.2m	波群 3	0.252	○			
	消波ブロック法尻幅：−4.0m	平均	0.252	○			
	小段有無：**有り**	比率	79.3%				
天端水深の影響検討	消波ブロック天端幅：15.0m	波群 1	0.274	○			
	消波ブロック天端高：**−0.1m**	波群 2	0.282	○	波群 2	0.311	×
	消波ブロック法尻幅：−4.0m	波群 3	0.283	○	波群 3	0.309	×
	小段有無：無し	平均	0.280	○	平均	0.310	×
		比率	88.1%		比率	110.8%	

実験断面全てが要求性能を満足した。

予備実験の中で、最も経済的なのは天端高を下げた断面である。ただし、潮位 H.W.L. の場合に反射率 0.3 を超過する結果となった。

天端高を下げた断面の次に経済的なのがケーソン前面に小段を設置した断面である。潮位 H.W.L.でも反射率は 0.3 以下となり、最適断面であることが確認された。ただし、潮位 M.S.L.は反射率 0.299 とぎりぎりなことから、潮位変動によっては反射率を超過することが考えられる。

一方、天端幅拡幅断面と小段設置及び天端幅拡幅断面は消波ブロック及び被覆石等の投入量が最も多く、経済的ではない。

５．２　選定断面の決定

要求性能を満足し最も経済的な断面は、小段設置断面であることがわかった。但し、反射率は 0.299 と余裕のない数値であることから、小段の設置に加え、天端高を 10cm 下げて+0.10m とした断面について検証することとした。

選定断面について図-６に示す。

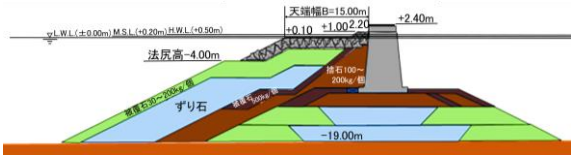


図-６　選定断面

６　選定断面の総合評価

選定断面の反射波実験および安定実験結果については表-６のとおりである。

６．１　選定断面の反射波評価

潮位 M.S.L.における 3 波群平均の反射率は 0.251 となり、潮位 H.W.L.におけるそれは 0.245 となり要求性能を満足した。小段の設置とともに消波ブロック天端高を 0.1m 下げたことにより、反射率を低減することが出来た。

６．２　選定断面の安定評価

選定断面における消波ブロックの被害率は 0%であり、被覆石の断面変形量の最大値は、許容変形量である±20cm 以内に収まっており、安定であった。設計波の作用に対する安定性が確保できた。

７　まとめ

選定断面は、要求性能である反射率 0.3 以下を満足するとともに、設計波の作用に対して安定性が確保された。また、天端幅を縮め法尻高を上げたことで、消波ブロック投入量を削減できたため、経済性に配慮した断面になっており、現地適用性の高い断面として評価できる。

８　あとがき

今後、現地においても同様の結果が得られることを期待しているが、外力条件をコントロールすることはできず、必ずしも実験結果と一致するとは限らないため、引き続き現地のフォローをしていく所存である。

表-６　選定断面の反射波実験および安定実験結果

評価項目	反射率						消波ブロックの耐波安定性			被覆石(30～200kg/個)の耐波安定性		
	作用波浪（消波対象波）		実験結果（M.S.L.）	作用波浪（消波対象波）		実験結果（H.W.L.）	作用波浪（設計波）		実験結果（L.W.L.）	作用波浪（設計波）		実験結果（L.W.L.）
選定断面（消波ブロック天端幅：15.00m、天端高：+0.10m、小段：有り）	波高：$H_{1/3}$=0.42m 周期：$T_{1/3}$=10.0s	波群：1	0.248	波高：$H_{1/3}$=0.42m 周期：$T_{1/3}$=10.0s	波群：1	0.240	波高：$H_{1/3}$=0.98m 周期：$T_{1/3}$=12.7s	波群：1	被害率D=0.0%	波高：$H_{1/3}$=0.98m 周期：$T_{1/3}$=12.7s	波群：1	断面変形量の最大値：約8.0cm（5側線の最大）
		波群：2	0.253		波群：2	0.247		波群：2	被害率D=0.0%		波群：2	断面変形量の最大値：約12.0cm（5側線の最大）
		波群：3	0.252		波群：3	0.248						
	評価		○（要求性能満足；平均：0.251<0.3）	評価		○（要求性能満足；平均：0.245<0.3）	評価		○（安定；D<1.0%）	評価		○（安定；<±20cm）

ケーソン無人化据付施工支援システム

若築建設株式会社　技術研究所　施工制御グループ課長　　土屋　洋

1　はじめに

ケーソン据付工事は、扱うものの大きさに反して高精度の繊細な作業が求められる工種のひとつである。また、千トンオーダーの重量物を扱う危険な作業でもあり、安全面にはひときわ注意する必要がある。このため、作業の効率化、省力化はもちろん、安全性の向上についても課題となっているところである。

一方、省力化、生産性の向上を目指す i-Construction の概念に基づく ICT 化の必要性から、IT 機器をはじめとした様々な新技術が現場に導入されてきており、据え付け現場の様相は少しずつ変化している。

これを受け、ケーソン据付工事における作業効率，安全性の向上を目指して、ケーソン据付施工支援システム「WIT C-Moni（Caisson-Monitoring system）」が開発された。本稿で紹介する「ケーソン無人化据付施工支援システム」はこれを拡張し、遠隔操作と自動制御技術を用いて函上を無人化、GNSS をはじめとした各種センサーにより施工情報を集中的に管理することで、安全・確実な作業をサポートするものである。

2　無人化施工対応 WIT C-Moni の概要

ケーソン据付施工支援システムは、2010 年ごろより現場に導入を開始し、2012 年には全機材を遠隔化、ケーソン上を無人化した据付支援システムを開発するなどの大規模な機能追加も行っている。現在では、このシステムを「WIT C-Moni」として NETIS 登録している。本システムは、図-1 に示すように「動態管理部」、「注水管理部」、「遠隔操作部」の 3 要素のシステムモジュールから構成されており、必要に応じて各部の測定、制御機器を組み合わせることで様々な使用形態とすることが可能な柔軟なシステムとなっている。

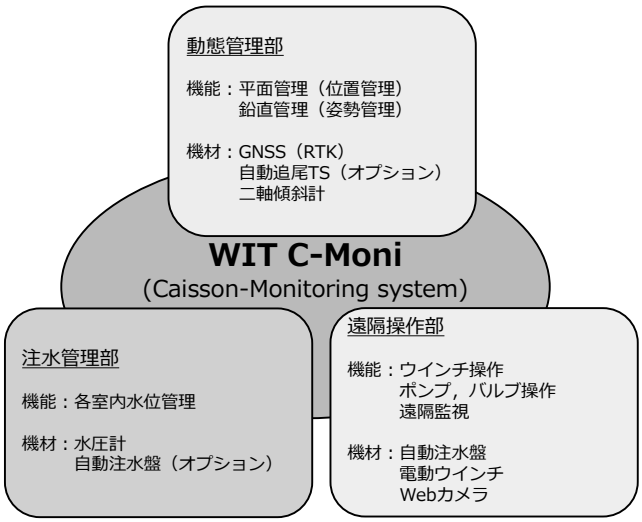


図-1　システムの概要

3　動態管理部

動態管理部は、ケーソンの位置、動態をリアルタイムに可視化し、モニター上で一括管理するためのシステムモジュールであり、本システムの中核をなす部分である。

図-2 は，動態管理用ソフトウエアの管理画面である。GNSS の計測値を用いた平面位置、鉛直位置と、2 軸傾斜計の計測値を用いた傾斜状況を確認できるようになっており、3 次元的な位置管理および動態管理が可能となっている。また、背景には目標据付位置の輪郭以外にも、CAD 図面およびソフトウエア上で設定できる任意の線またはポイントを表示することが可能で、直感的な判断がし易い。

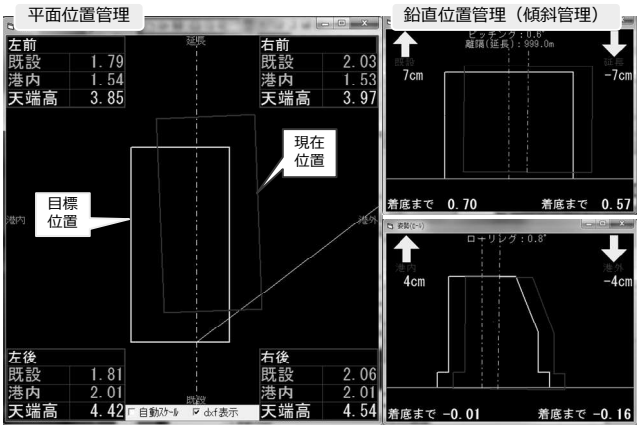


図-2　システム管理画面（動態管理部）

4　注水管理部

ケーソン据付作業において、注水作業は鉛直方向にケーソンを制御する非常に重要な作業である。注水管理部は、注水作業の状況を可視化し、必要に応じて水頭差を一定以下に保ちながらポンプを制御し，自動的に注水を行うことのできる積極的制御機能を持つシステムモジュールである。

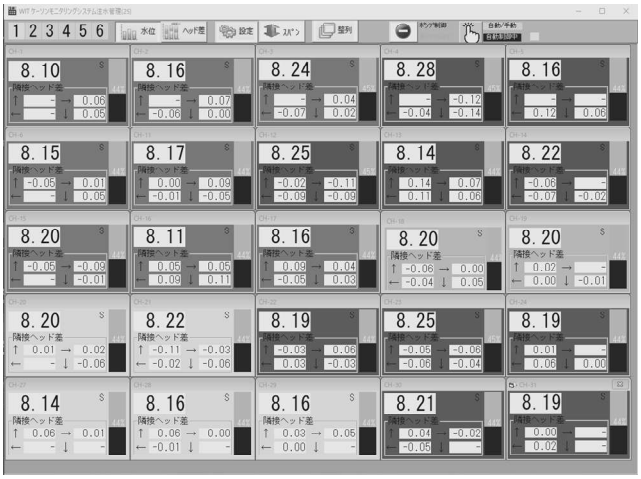


図-3　システム管理画面（注水管理部）

注水管理ソフトウエアは，図-3 に示すように新設ケーソンの隔室内水位を一覧表示し，注水状況を数値的に判断できるようにするものである．各隔室ごとに独立したサブウインドウとなっており、自身の水位および隣接隔室との水頭差がリアルタイムで表示される。水頭差による警報表示ができるので、偏った注水状況に対しても迅速な対応の判断に対する一助となる。

また、この注水管理ソフトウエア上において自動注水およびポンプの遠隔操作が可能なので、注水状況の監視と対応をその場で集中的に行うことができる。

5　遠隔操作部

動態管理部、注水管理部に加え、遠隔操作ウインチ等を準備することで，ワイヤリング後の新設ケーソン上を無人化して据え付け作業を行うことができる。無人化後の据付作業は、函上の人的な安全性に関してほぼ留意することがなくなるので、わかりやすい安全性向上策として技術提案に採用されることが多くなっている。

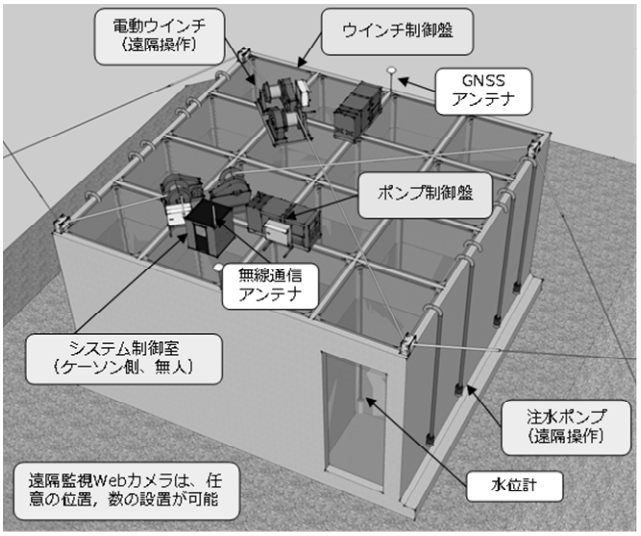


図-4　無人化据付時の新設函上機材イメージ

例えば、据付用双胴ウインチを用いた新設ケーソン上では、図-4 のような艤装配置となる。遠隔操作を行うウインチ、ポンプにはそれぞれ PLC 内蔵の制御盤（図-5、図-6）を設置し、その他の制御機器をシステム制御室に設置する。また、必要に応じ

て図-7 のように函上に Web カメラを設置することで、集中管理室から目視できない場所を確認することができる。

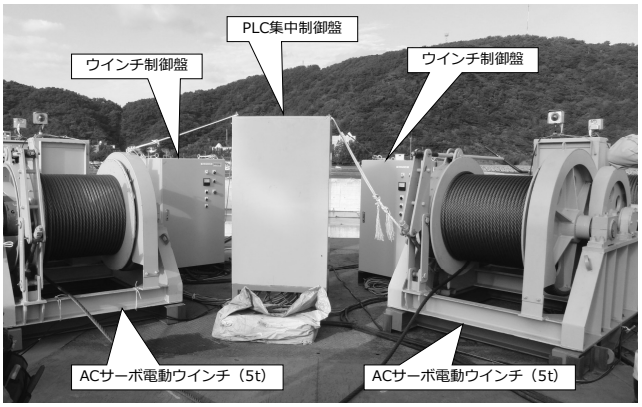


図-5　遠隔操作用電動ウインチ

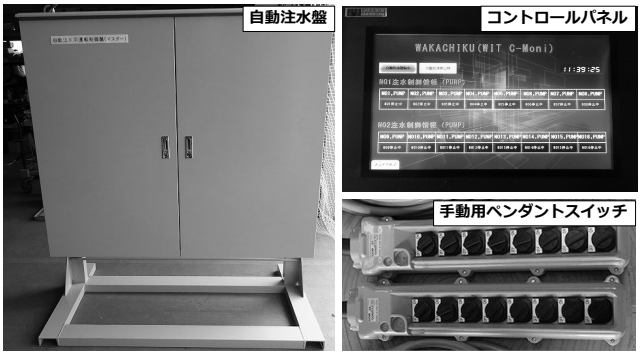


図-6　自動注水盤



図-7　Web カメラ設置例

6　施工時の運用状況

曳航式のケーソン据付作業における基本的な施工フローと，各システムモジュールが稼動する段階、および使用される機能を図-8 に示す。

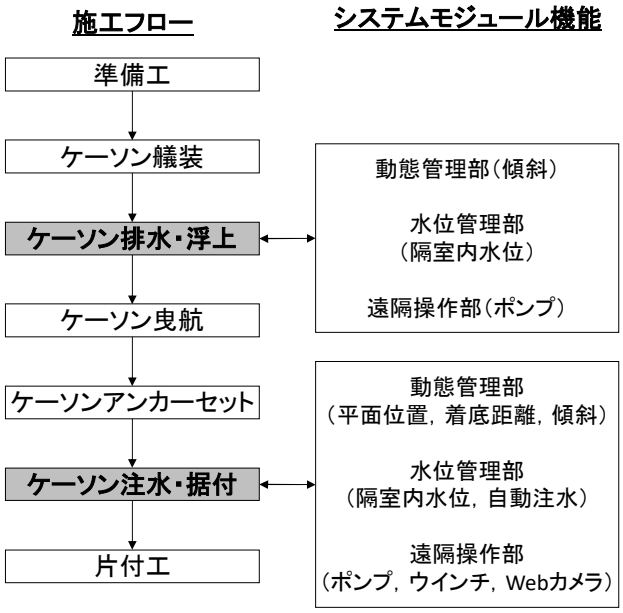


図-8　施工フローと使用システムモジュール

仮置きケーソンを浮上させる際には，傾斜計の計測値よりケーソンの傾斜に異常がないか注意しつつ、水位管理ソフト上でポンプ操作を集中的に行うことができる。ケーソンの傾斜を能動的に制御しながら作業を行うことで、効率的かつバランスよく排水することが可能である。

据付作業時は、各種ワイヤーを接続した後、ケーソン上および危険の予想されるケーソン周辺より人員を完全に排除した後に、据付作業に入る。

据付作業は集中管理室内で行う。図-9 に据付作業中の室内の機器設置状況および機械操作状況を示す。各 PC のモニタ画面は、中央の集中操作盤の位置から全て参照できる。また、ウインチ、ポンプスイッチの状況は集中操作盤前に設置している操作画面（図-10）により全て確認可能である。図-5 に示す AC サーボ電動ウインチを採用している場合は、ブレーキを含む細やかな負荷管理、制御も可能となる。



図-9　集中操作室

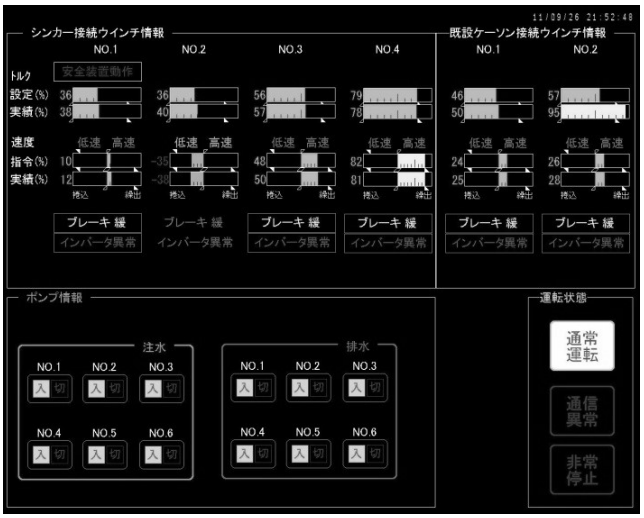


図-10　ウインチ、ポンプスイッチモニター



図-11　Web カメラ監視モニター

さらに、図-7 のように Web カメラを各所に設置している場合は、各機材の動作状況をはじめとしたケーソン上の様々な状況を図-11 のような一覧画面を用いて集中管理室から容易に把握できる。各画面は単独拡大表示機能を持ち、ワイヤー緊張状態や目地間隔、法線離隔状況などを詳細に見ることも可能である。

無人化据付施工支援システムでは、これらの情報、機材を活用しつつウインチ，ポンプを遠隔操作し、安全、確実に据付作業を遂行（図-12）することができる。

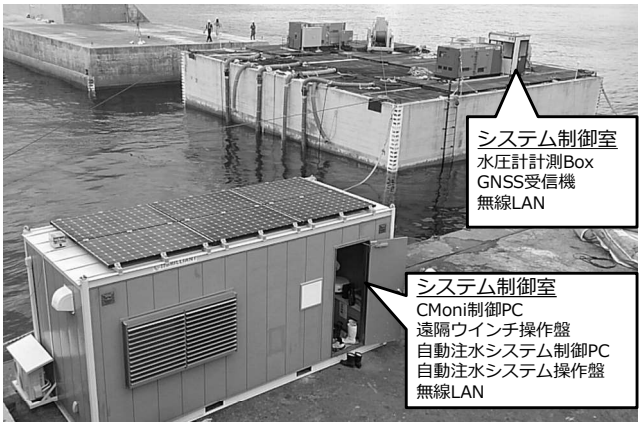


図-12　無人化据付状況

7　おわりに

ケーソン据付施工支援システム「WIT C-Moni」に用いられる技術および無人化施工時の運用状況について述べた。「WIT C-Moni」は、ケーソン据え付け作業時に使用される各機能がモジュール化されており、それぞれを独立して用いたり、一部の機能のみを活用することも可能である。本稿で紹介したフルスペックの無人化システムは、高度な ICT 施工が可能となる反面、どうしても導入～運用コストが大きくなる。モジュール化された機能を柔軟に構成し、適用現場の施工条件、規模、予算、必要性に応じて各機能を適切に活用することが重要である。

第Ⅵグループ

低セメント量の高流動コンクリート「ニューロクリートＮｅｏ」

（株）大林組　技術研究所　生産技術研究部　課長　　桜井　邦昭

1　はじめに

近年、建設工事に従事する熟練作業員の高齢化と若手作業員の不足が深刻化している。また、現場でのコンクリート工事の生産性はこの 30 年間でほとんど改善されていないとの報告もなされている[1)]。そのため、国土交通省では、現場打ちコンクリートの生産性を向上する一方策として高流動コンクリートの適用拡大を挙げている[2)]。

高流動コンクリートは、高い流動性と自己充填性を有し、締固め作業が不要となるため、コンクリート工事の生産性を大幅に改善できる。

しかし、従来の高流動コンクリートは、高い流動性に見合った材料分離抵抗性を確保するために、一般的な建設工事に用いられるコンクリート（以下、普通コンクリートという）と比べて、セメント量を大幅に増加させる必要がある。このため，温度ひび割れの発生リスクや材料コストが増加することから，一般的な建設工事ではほとんど適用されていない現状にある。

そこで、新規に開発した特殊増粘剤と市販の高性能 AE 減水剤を用いることで、普通コンクリートと同等のセメント量のまま、高い流動性と自己充填性を確保できる高流動コンクリート「ニューロクリート Neo」を開発した。ニューロクリート Neo の位置づけの概念図を図-1 に示す。

本稿では、ニューロクリート Neo の概要および道路トンネルの覆工コンクリートへの適用事例について報告する。

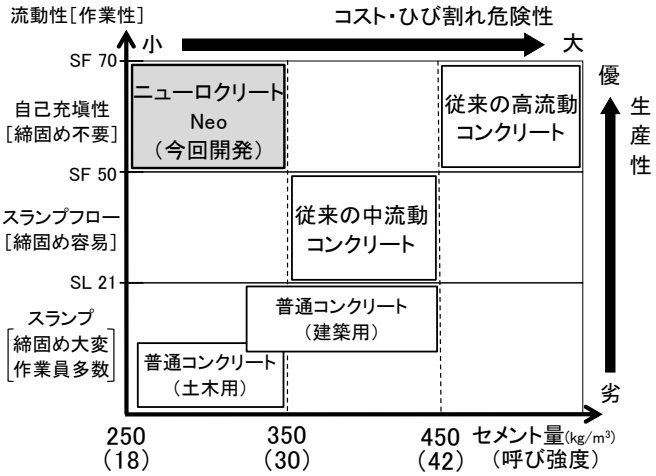


図-1　ニューロクリート Neo の位置づけ



写真-1　特殊増粘剤の外観

2　ニューロクリート Neo の概要

ニューロクリート Neo では、大半の生コン工場で常備する市販の高性能 AE 減水剤を用いて高い流動性を確保する。一方、特殊増粘剤を用いることでコンクリートに適切な粘性を付与して、モルタル分と骨材との分離を抑制する（材料分離抵抗性を確保する）ことで、少ないセメント量でも自己充填性を有する高流動コンクリートを実現している。

使用する特殊増粘剤は、写真-1 に示す粉末状のセルロースエーテル系増粘剤である。セルロースエーテルはセメントペースト中に溶解して粘性を高める効果があるが、従来品では粘性を高める反動により、流動性が低下

する課題があった。そこで、材料分離抵抗性と流動性の確保が両立できるように組成等を調整するとともに、従来に比べて添加量を大幅に低減できる新規の特殊増粘剤を開発した。

特殊増粘剤は水溶紙に梱包した状態で納品され、コンクリート製造時に他の材料の投入に合わせてミキサ内に投入すればよいので、生コン工場での追加設備は不要である。また、使用量が少ないため、ニューロクリート Neo の製造後に他配合のコンクリートを製造する場合でも、ミキサ等の洗浄は不要である。

3　ニューロクリート Neo の配合例

ニューロクリート Neo の配合例を表-1 に示す。また、同一の単位水量およびセメント量の普通コンクリートの外観を写真-2 に，ニューロクリート Neo の外観を写真-3 にそれぞれ示す。ニューロクリート Neo は、単位セメント量が約 290kg/m^3 と少ないにも関わらず、市販の高性能 AE 減水剤と特殊増粘剤（60g/m^3）を用いることで、材料分離を生じることなく高い流動性を確保できている。

4　ニューロクリート Neo の適用事例

本章では、ニューロクリート Neo を道路トンネルの覆工に適用した事例を示す。

4．1　実物大模擬型枠による流動実験

ニューロクリート Neo を用いることで、締固めを行うことなく型枠内を流動・充填できることを検証するため、施工に先立ち、一般的なトンネル覆工の１スパン長と同じ延長 10.5m の壁状部材での流動実験を行った。

ニューロクリート Neo は生コン工場で製造し、アジテータ車にて現場まで約 30 分かけて運搬した後、壁状部材の端部からアジテータ車のシュートにて打ち込んだ。実施工の荷卸し速度を模擬し約 5 分で打ち込んだ。実験時のコンクリート温度は約 15℃であった。

表-1　ニューロクリート Neo の配合例

配合種類	スランプフロー（cm）	空気量（%）	W/C（%）	s/a（%）	単位量（kg/m^3）				減水剤	特殊増粘剤（g/m^3）
					W	C	S	G		
普通コンクリート	スランプ 15±2.5	4.5	54.9	44.1	161	293	806	1053	WR	－
ニューロクリートNeo	60±10	4.5	54.9	51.0	161	293	932	923	SP	60

WR：AE減水剤，　SP：高性能AE減水剤



写真-2　普通コンクリートの外観



写真-3　ニューロクリート Neo の外観

流動状況を写真-4 に示す。コンクリート自体の高い流動性により、反対側端部まで容易に流動した。また、ノロやペースト分の先走りは認められなかった。

実験後に流動勾配を測定したところ約 1/175 であった。また、流動先端部で試料を採取して洗い試験を行い、試料中の粗骨材量を調べたところ、含有していた粗骨材量は、配合計算値に対して 102％であり、材料分離することなく均質な状態で流動・充填できていることを確認した。

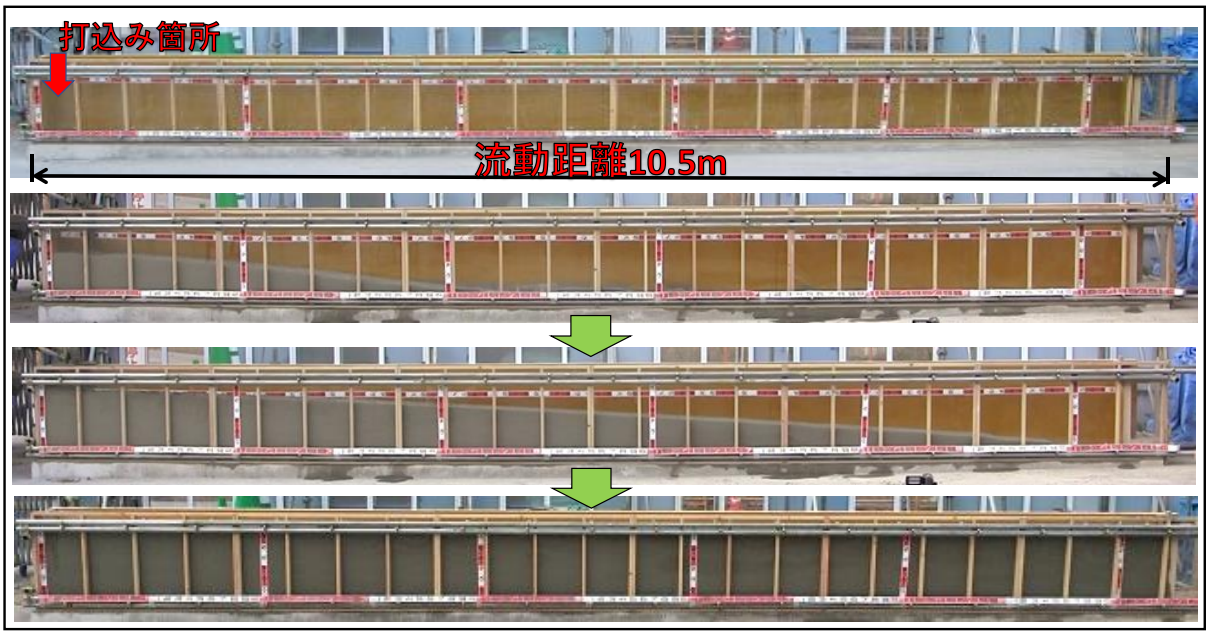


写真-4　流動実験でのニューロクリート Neo の流動状況

４．２　トンネル覆工への適用

適用した道路トンネル（某地方整備局発注工事）は、掘削断面積が約 75m^2、覆工厚さ 30～35cm であり，覆工コンクリートは 1 スパン長 10.5m で施工している。

ニューロクリート Neo の型枠（セントル）内での流動状況を写真-5 に示す。鉄筋を有する区間でも、容易に間隙を通過し、型枠の隅々まで材料分離することなく流動・充填できていた。

セントル下端部に圧力計を設置して、コンクリートの打上がりに伴い、セントルに作用する側圧を計測した結果を図-2 に示す。なお、打上がり速度は、標準的な施工速度である 1.5m/h とした。

一般に、高流動コンクリートを用いる場合には、型枠に液圧が作用するとして型枠支保工の設計を行うこととされているが、側圧の最大値は 0.04N/mm^2 程度と小さく、従来の普通コンクリートの場合と大差のない結果であった。今後，データの蓄積が必要であるが、ニューロクリート Neo で施工する場合でも、従来のセントルに対してそれほど大がかりな



写真-5　セントル内での流動状況

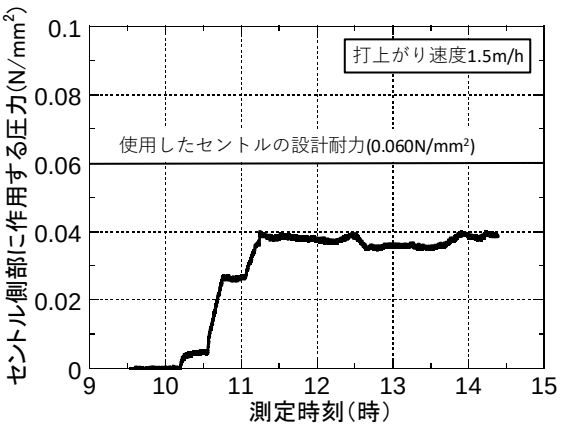


図-2　セントルに作用する側圧の測定結果

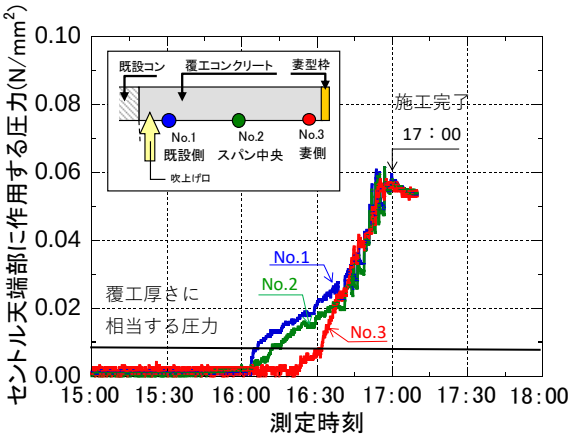


図-3　天端部の充填確認の測定結果



写真-6　ニューロクリート Neo で構築した覆工

補強対策は不要であると考えられる。

覆工の天端部は、端部からの吹上げ施工となるため、特に充填が難しい部位である。そこで、セントルの天端 3 か所に圧力計を設置して、コンクリートが確実に充填できることを検証した。測定結果を図-3 に示す。いずれの測定箇所においても、覆工厚さに相当する圧力に対して 5 倍程度の圧力が作用しており、締固めを行うことなく密実に充填できることが確認できた。

ニューロクリート Neo を用いて構築した覆工の外観を写真-6 に示す。充填不良やひび割れは一切認められなかった。また、従来の普通コンクリートで構築した場合に生じやすい側壁部の表面気泡や、天端部での色むら等も認められず、仕上がりも良好となることが確認できた。

また，ニューロクリート Neo で覆工を施工することで，バイブレータによる締固め作業が不要となり，作業員数が 2 名程度低減できること，セントル内の騒音が 95dB から 75dB へ低減できるなど，生産性の向上と作業環境の改善に寄与することが確認できた。

5　おわりに

特殊増粘剤と市販の高性能 AE 減水剤を用いることで、普通コンクリートと同等のセメント量のまま、高い流動性と自己充填性を有する高流動コンクリート「ニューロクリート Neo」を開発し、道路トンネルの覆工コンクリートに適用した。その結果、締固め作業を行うことなく、高品質な覆工コンクリートを構築することができ、コンクリート工事の生産性を向上できることを検証した。

なお、ニューロクリート Neo は、本稿で紹介した以外にも、日本各地のトンネル現場の覆工コンクリートで順次適用を開始しており、良好な結果が得られている。今後は、覆工コンクリート以外の構造物にも積極的に適用し、生産性を高めつつ、高品質なコンクリート構造物を構築していく所存である。

参考文献

1）流動性を高めたコンクリートの活用検討委員会：流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン、2017.3

2）国土交通省大臣官房 技術調査課：「流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン」について、コンクリートテクノ、Vol.36、No.7、pp.17-19、2017.7

重機搭載レーザー計測システムの開発

株式会社フジタ　土木本部土木ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞｾﾝﾀｰ機械部　○渋谷　光男
上原　広行

１　はじめに

土工事で使用するバックホウにレーザースキャナを後付で搭載することで、掘削～法面整形の作業中にリアルタイム３Ｄ出来形計測を行えるシステムを開発した。本稿では、本システムの概要と PRISM（官民研究開発投資拡大ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ）を活用した現場試行プロジェクト（国土交通省公募）における本技術の検証結果について報告する。

２　開発の背景

現状のＩＣＴ建機は、バックホウのマシンガイダンスに見られるように、オペレータにバケット先端の位置を提示し、設計ラインを超えないようサポートする技術です。しかし、施工面全体の形状変化の把握や設計ラインとの差異の判定には重機作業を中断し、別途に行う測量作業の結果と比較する必要があり、効率面での技術的課題を抱えていた。

３　システムの概要

３．１　技術の概要

重機搭載レーザー計測システム（以下、重機 LS）は、バックホウが移動しながら現場内の任意の位置で面的な出来形座標を取得するシステムで、従来の地上型 LS を用いた測量の盛り替え手間を不要とするものです。

本システムは、2DLS と RTK-GNSS 受信機、傾斜計、解析モニタで構成される（写真-1）。オペレータが運転席で計測ボタンを押し、計測範囲を重機が旋回スキャンすることで、RTK-GNSS が位置座標、2DLS が作業面までの距離、傾斜計が重機姿勢を各々計測し、解析装置で演算処理を行い現況の点群データに変換する。このデータを３次元設計データと重ねあわせ、差分を色分けしたヒートマップ（図-1）で表示することで、現況と設計を比べ切盛土の判断や出来高土量も容易に算出できる。



写真-1　重機 LS バックホウ搭載状況

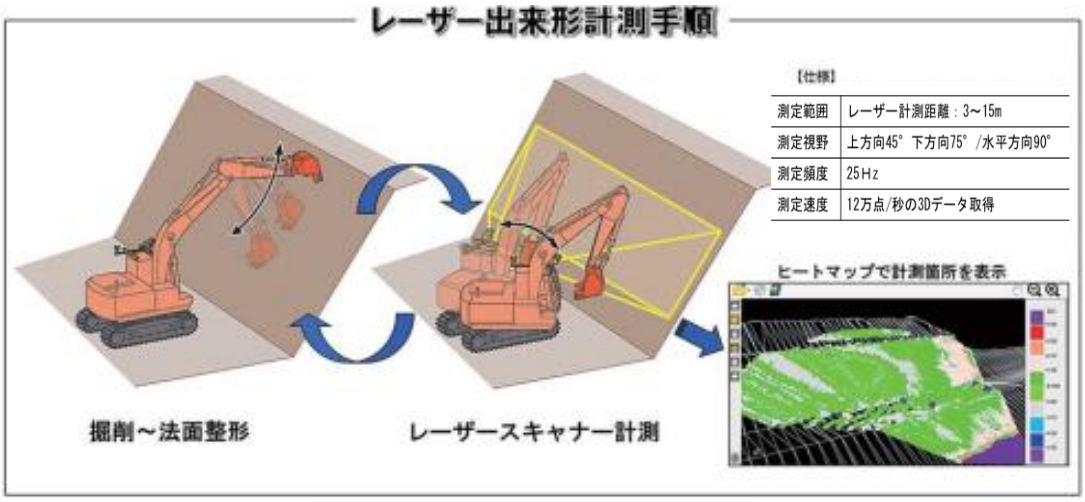


図-1　重機 LS 出来形計測手順

また、点群データを専用ソフトに取り込めば、ヒートマップの応用により規格値を満足しない計測箇所を色分け表示し、出来形合否判定（図-2）が可能となる。

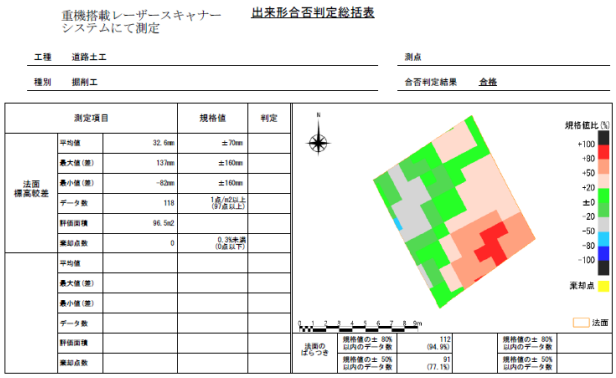


図-2　法面出来形帳票（合否判定）

3．2　技術の特徴

本システムの特徴を以下に示す。

・屋外用の安価な 2DLS を使用し、重機を旋回させて計測することで 3D データを取得できるため、高価かつ耐久面で課題のある 3DLS に比べ、汎用性と普及性の高いシステム。

・法面作業の進捗に応じた出来形の LS 計測で、簡易的な出来高数量の算出が可能。

・重機に後付けで容易に搭載でき、計測は運転席のタッチパネルで操作が可能。

・UAV 測量のように雨天・強風など作業環境や地形条件の影響を受けずに安定した測量が可能。

・計測解析時間が短いため、測量作業が大幅に省力化され土工事の生産性が向上。

4　現場試行プロジェクト

4．1　現場試行の概要

本技術は、国土交通省の「建設現場の生産性向上を飛躍的に向上するための革新的技術の導入活用に関するプロジェクト」に採択され、施工中の造成工事に導入し効果を検証した。試行現場の工事概要と試行業務の概要を以下に示す。

・試行現場：土岐口開発造成工事（１）

＜工事＞（写真-2）

・概要：開発面積 37.6ha の造成工事

・発注者：岐阜県土岐市土岐口財産区

・期間：2017 年 9 月～2020 年 4 月

＜試行業務＞

・概要：データの取得活用により労働生産の向上を図る技術「重機 LS」の試行

・委託者：国土交通省中部地方整備局

・コンソーシアム：㈱フジタ、ジオサーフ CS㈱

・期間：2018 年 11 月～2019 年 3 月



写真-2　土岐口開発造成　現場試行箇所

４．２　現場試行の結果

４．２．１　データの精度確認

重機 LS で適切な計測精度を確保できるかを検証するために、実際の法面整形作業にて精度確認試験を行った。現場内に 2 箇所の検査点（LS からの距離 10m 以上）を設置し、工事基準点を用い TS で測量した各検査点の座標値を真値として、重機 LS で計測した 2 点座標間の距離（10m 以上）を算出する手法と各座標値の較差を真値と比較する手法で計測精度を評価した。この結果、較差の最大値は 34mm となり、出来形計測（面管理の場合）の要求精度±50mm 以内を確認した。また、計測時の重機姿勢が計測精度に与える影響についても検証し、ﾋﾟｯﾁﾝｸﾞﾛｰﾘﾝｸﾞ角度が各々±20 度以内の計測条件であれば精度に影響が無いことを確認した（写真-3）。



写真-3　重機傾斜時の計測試験

４．２．２　出来形計測の省略

従来の法面整形作業では、丁張を用いた日常の出来形管理、すなわちオペレータが丁張に水糸を張り小段に登り目視で勾配と凹凸をチェックする作業（出来形確認）と巻尺やレベル、TS 等で法面を計測する作業（出来形計測）に時間を要していた。この作業を集計した結果、1 日当り 1.0h 程（出来形確認 0.5h＋出来形計測 0.5h）要していた。この内出来形確認の作業は、ICT 建機（マシンガイダンス）を利用すれば、丁張無しで作業可能なため、丁張チェックの省略で 0.5h の短縮を確認した。ICT 建機と重機 LS の併用では、作業中に法面形状を 3D で把握できるため、出来形計測の 0.5h も省略でき、1.0h/日の時間短縮となることを確認した。従来建機と重機 LS 活用による法面整形の作業時間比較を図-3 に示す。出来形管理の省略作業比較を図-4 に示す。この日常の出来形計測に関わる人工（2 名×0.5h）の省力効果も見込まれる。

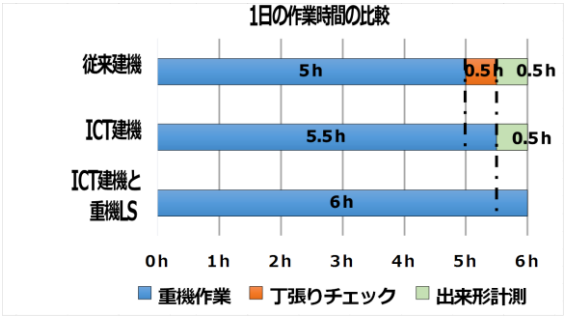


図-3　法面整形の作業時間比較／日

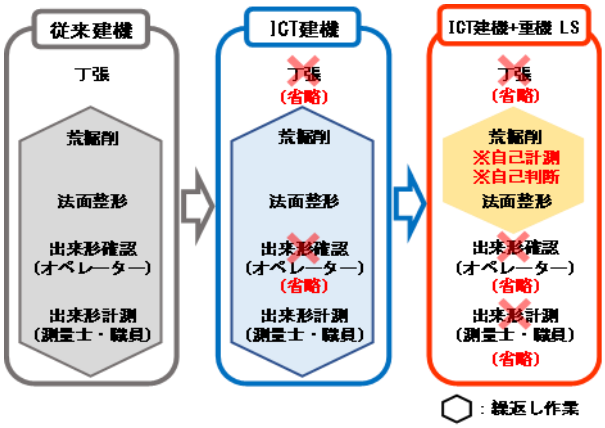


図-4　出来形管理の省力作業比較

４．２．３　類似の地上型 LS との比較

出来形測量にかかる時間を、類似の地上型 LS と重機 LS で比較した結果、1 回の測量で地上型 LS は 25 分、これに比べ重機 LS を利用すると精密計測（検査対応モード）で 5 分（80％短縮）、簡易計測（日常チェックモード）で 3 分（88％短縮）となり、測量作業の時間短縮が達成できた（図-5）。

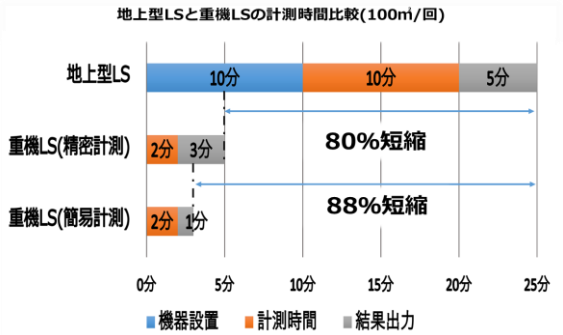


図-5　地上型 LS と重機 LS 計測時間比較

４．２．４　検査・書類の簡素化

法面整形工の出来形実地検査（検尺、レベル、TS 測量）は、準備を含め従来 2 人日かかっていたが、重機 LS で計測した 3D データ出来形を活用した出来形帳票による合否判定で、監督員が現場に臨場して行う従来型の実地検査の方法を代替できるため、検査の大幅な簡素化が可能となる。また、検査にともなう写真や書類の削減も見込まれる（写真-4）。

４．２．５　安全性の向上

実際に重機 LS を活用したオペレータのアンケートで、安全に関して以下の効果を確認した。

・ICT 建機と同様丁張り等が不要になり、現場作業員と重機が交錯しないため、接触事故の危険が無くなった。

・オペレータが作業中に行う出来形確認作業が無くなり、運転席から降りる必要がないため、転倒の危険が無くなった（写真-5）。

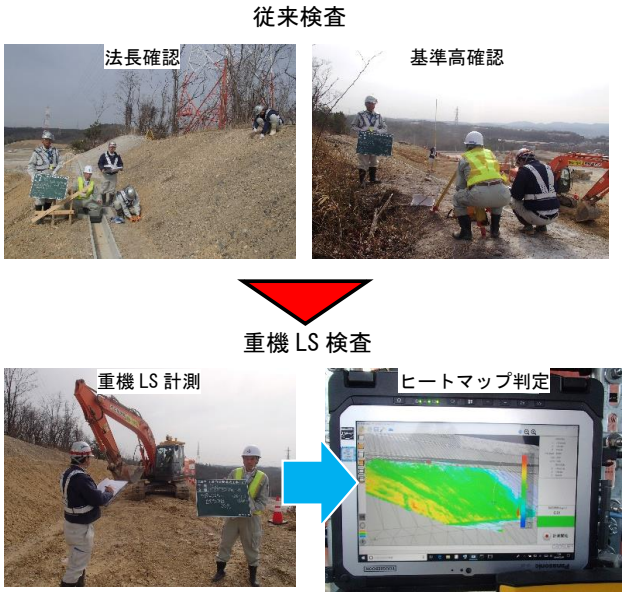


写真-4　従来と重機 LS の実地検査



写真-5　従来と重機 LS の出来形確認

５　おわりに

重機LSは、作業中にリアルタイム3D出来形計測が可能な技術で、作業を中断することなく法面形状や出来高土量が把握できるため、作業効率の大幅な向上につながる。また、品質面でも熟練オペレータのノウハウが必要とされる法面整形作業が、出来形の可視化で未熟練者でも高精度な作業が可能となることが、現場試行プロジェクトにより実証された。

本システムは土工事以外のダムやトンネルの施工管理への展開も可能なため、今後は様々な応用に向けて更なる機能向上を図り、より使いやすく計測システムへと改良を進める所存です。

本技術の開発と現場試行にあたり、多岐にわたりご指導ご協力を頂きました関係者各位に厚くお礼を申し上げます。

地盤改良工法のデジタル化・見える化技術
薬液注入『Grout Conductor』

日特建設㈱　技術本部技術営業部　次長　　恵良　桂司

1　はじめに

日特建設は、一昨年創業 70 年を迎え、ダム基礎を創業工種として今日では、インフラ整備工事、防災工事、環境緑化工事を中心に幅広い数多くの工法を保有している。

わが社では、『「守る」技術で、つながる、未来へ。』をスローガンに掲げ、安全･安心な国土造りに貢献する、地質に強い基礎工事のエキスパートを目指している。

保有工法の豊富さは、総合カタログ（写真－１）をご覧になるか、当社のホームページにアクセス願いたい。



写真－１　総合カタログ(NITTOC2019)

そこには、都市再生、維持補修、環境防災に大別された様々な工法が並んでおり、山間部から平坦地・河川海岸沿線に至るまで、必ず身近でお役に立つ工法が見つかるはずである。

ここでは、地盤改良工法のデジタル化・見える化技術として『Grout Conductor』を紹介する。

Grout Conductor（以下「本システム」と表記）は、薬液注入工の ICT 化、省力化を実現した施工管理システムである。

本報では、その概要および適用事例について述べる。

2　Grout Conductor の概要

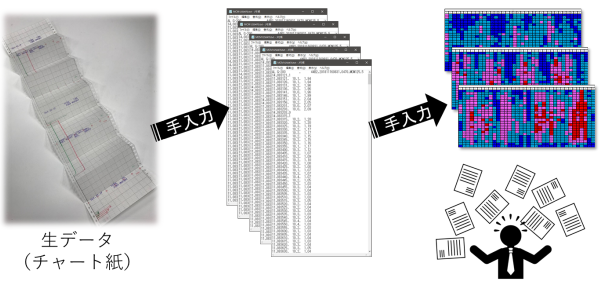
2．1　開発の目的

従来の薬液注入工における施工管理は、注入材を送り出すプラント側に設置された積算流量計に表示される注入圧力と注入流量を常時監視し、実際には目に見えない地中での浸透状況を推測していた。

併せてボーリングマシン側では、周辺地盤の変位や注入材のリーク（噴出）等の監視を行い、双方で連絡を取り合いながら施工を進めていた。

これらの従事者には長年の経験による知識を必要とし、マシン台数が増えるに従い積算流量計の監視人員も追加させる必要があった。

写真－２に従来の管理状況を示す。



写真－２　従来の管理状況

一方日常管理としての提出書類作成においては、注入作業終了後チャート用紙を手動で

読み取りパソコン入力する必要があり、解析においても１本ずつ手作業で圧力マップ図等へ入力しなければならず、作業時間（残業時間）の増大に繋がる傾向となっていた。

本システムは、上記の問題を解決すべく開発されたものである。

２．２　Grout Conductor の特徴

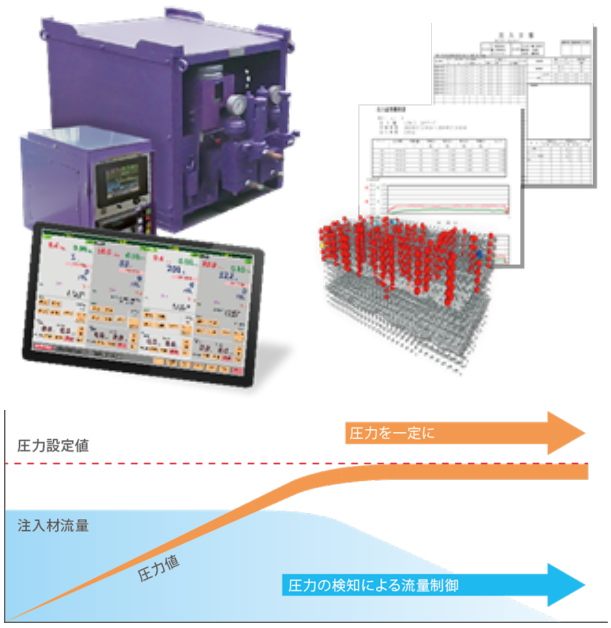
本システムの画面には、注入中の積算流量計からのデータがマシン台数分表示され一括管理が可能となり、更にタブレット端末にすればプラントから離れていても注入状況の把握やグラウトポンプの操作が可能となる。

新しい機能として、注入圧力の上限値を設定することにより注入流量を自動制御できる。つまり、注入圧力の上昇に従い設定圧力を超えないように流量を自動で抑えてくれるというものである。これにより、周辺構造物や周辺地盤への影響を低減できるものと考えられる。

帳票制作においても、集積されたデータにより日報や『圧力-流量グラフ』を自動出力できるシステムとすることで労働力の負担軽減を図ることができる。

更に蓄積データを 3D 表示することにより、従来では確認が難しかった地中内の注入状況を容易に素早く確認することが出来るようになった。注入深度毎の注入量と注入圧力を球の大きさと色で表示させることにより改良効果を推定し、ボーリング柱状図等の地盤情報とリンクさせ、地中での注入状態を明確に表現できる。

写真－３にシステムイメージを示す。



写真－３　システムイメージ

３　適用事例

３．１　立坑外周止水注入

ポンプ場改修工事に伴う土留め鋼矢板背面部での止水注入

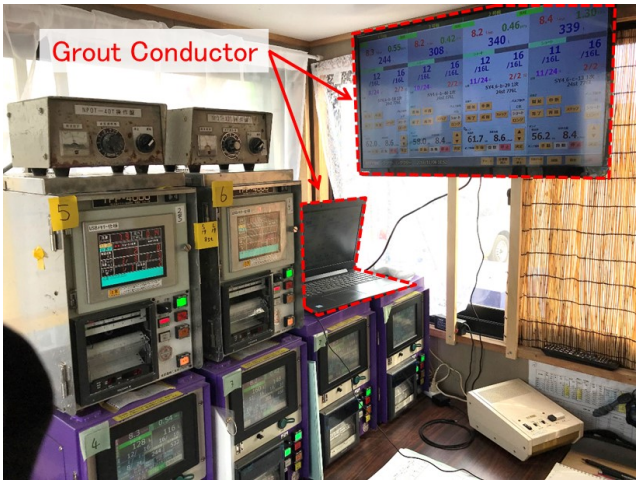
写真－４にボーリングマシン配置状況、
写真－５に注入プラント全景、
写真－６に本システム設置状況、
写真－７に管理システム画面
写真－８に圧力・注入量３Ｄ表示を示す。



写真－４　ボーリングマシン配置状況



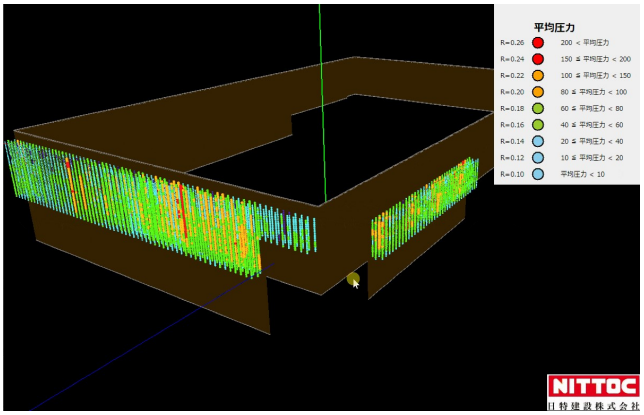
写真－５　注入プラント全景



写真－６　本システム設置状況



写真－７　管理システム画面



写真－８ 圧力・注入量３Ｄ

３．２　既設ダム漏水対策注入

既設ダム漏水対策工事に伴う堤体前面部での止水注入

写真－９にボーリングマシン配置状況、

写真－10 に注入プラント全景、

写真－11 に本システム設置状況、

写真－12 に圧力・注入量３Ｄ表示を示す。



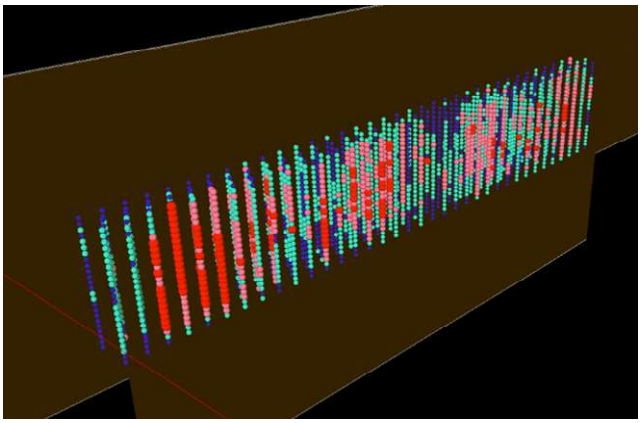
写真－９　ボーリングマシン配置状況



写真－10　注入プラント全景



写真－11　本システム設置状況

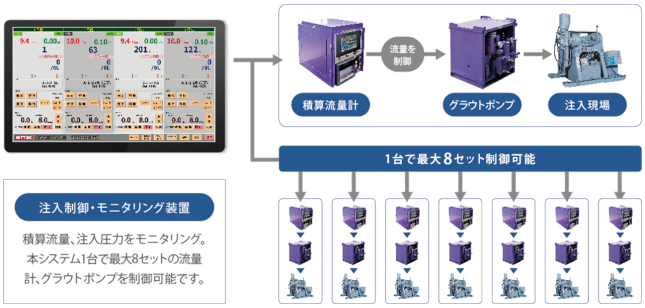


写真－12　圧力・注入量３Ｄ表示

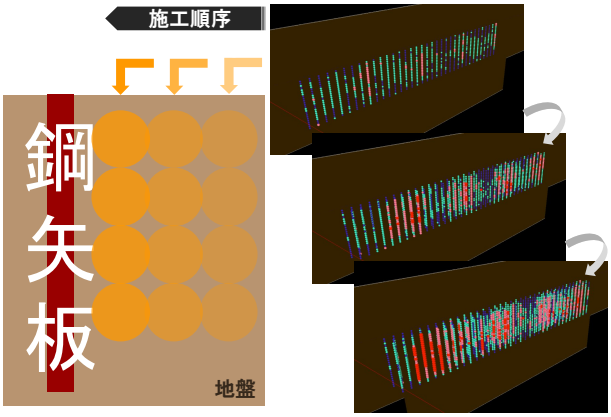
⑥ 汎用機械の制御・運転を自動化することで、「労働者の省力化、負担軽減」を実現できる

写真－13 にシステム配置イメージを、

写真－14 に３Ｄ表示の活用イメージを示す。



写真－13　システム配置イメージ



写真－14　３Ｄ表示の活用イメージ

4　まとめ

『Grout Conductor』の特徴をまとめると以下の通りである。

① システム１台で最大８セットの流量制御が可能

② 画面ボタンのクリック操作のため、熟練工は必要としない

③ 施工情報をデジタル化・３Ｄ表示し「見える化」に対応している

④ 得られたデータの「集積、分析、評価」で注入効果の判定に活用できる

⑤ 地盤情報を取り込むことで、「i-Construction、ICT 化」に対応できる

5　おわりに

現在『Grout Conductor』は試験施工を終え、本格的に現場導入されつつある。

今後は、他の地盤改良工法（高圧噴射撹拌工・機械撹拌工）にも対応させるため開発を進めている。

早期の NETIS 登録を目指すとともに ICT 化を推し進め、更なる労働者の省力化・負担軽減に寄与できるものと考えている。

●問い合わせ先

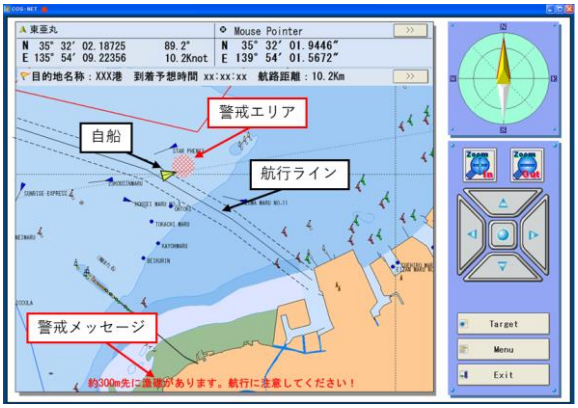
日特建設㈱北陸支店　TEL　025-241-2234
日特建設㈱技術本部　TEL　03-5645-5115

航行（運行）支援システム「ARナビ」

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
グループリーダー　田中　孝行
課長　藤山　　映
○　西方　　舟

1　はじめに

港湾工事では、安全かつ円滑に施工を進めるため、航路の確認や工事用船舶の運航状況、一般船舶の動静を把握することが非常に重要である。当社が 2003 年に開発した船舶運航監視システム「COS-NET」は、位置情報発信端末、AIS（自動船舶識別装置）、船舶レーダー等を利用し、工事船舶や一般航行船舶の動静情報を監視するシステムである。近年では港湾工事における安全対策として数多く採用されており、施工上必要不可欠なツールとなっている。図－１に COS-NET の表示画面を示す。



図－１　「COS-NET」表示

そして更なる船舶航行時の安全性向上のため、拡張現実（AR：Augmented Reality）の技術を応用して船舶航行（車両運行）時、航路（経路）や進行方向、危険区域、AIS 情報などを仮想的に表示する航行（運行）支援システム「AR ナビ」（以下 AR ナビ）を開発した。

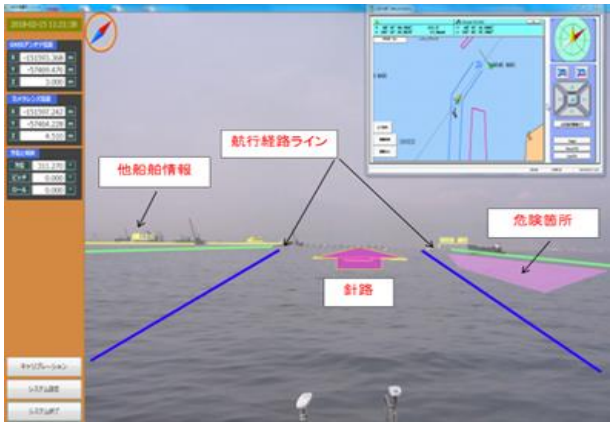
2　航行（運行）支援システム「AR ナビ」

2．1　システム概要

AR ナビは船舶や車両を運航する際、カメラで撮影した映像上に航行（運行）経路や危険区域を AR として重畳表示し、視覚と音声情報により分かり易くナビゲーションするシステムである。これによって航行（運行）経路の誤認、浅瀬などの進入禁止区域への接近や進入を早期に認識でき、船舶航行においての安全性向上が期待できるものである。

AR ナビ最大のメリットは、航路を示すものや標識のない海上において仮想的に前方カメラで取得した映像上に航路情報などをリアルタイムに重畳表示できることにある。当該機能により、航行経路や針路を早期に認識し安全航行をサポートすることができる。陸上の現場で使用する場合、ダンプトラックなどに AR ナビを装備することにより、日々変化する現場の運行ルートを視覚情報として操船者に分かり易く提供することができる。

更に災害発生時など、新たな危険個所が急に発生した場合、AR ナビへ危険区域の設定を随時追加することによって、船舶や車両の安全を確保しつつ、迅速な対応を行うことが可能となる。図－２に AR ナビの表示画面を示す。



図－２　「AR ナビ」表示

２．２　システム機器構成

AR ナビは、前方の映像を取得するカメラ、自船位置及び方位を計測する GNSS 方位計、表示およびデータ管理を行う管理パソコンから構成されている。

基本構成に加え、オプションとして AIS（自動船舶識別装置）やレーダーを使用することで AIS 搭載船舶の情報や小型船舶の情報を表示することも可能である。図－３にシステム構成図を示す。



図－３　システム構成

２．３　システム適用範囲

AR ナビは工事用船舶や工事用車両を使用する全工事で操縦者に対するナビゲーション支援として適用可能である。特に、一般船舶の往来の多い海域、航行距離が長距離となる海域、浅瀬など警戒するべき箇所が多く存在する海域、また工事の進捗にともなって日々の航路や危険個所が変化する現場などに効果的である。

なお、GNSS 測位が不可能となる橋脚下やトンネル内、カメラの視界が確保できない夜間や濃霧などでは適用することができない。表－１に AR ナビの運用条件と表示精度を示す。

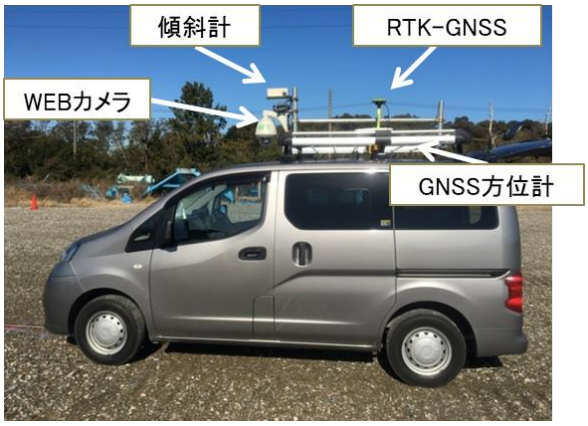
表－１　AR ナビの運用条件および表示精度

制限速度	船舶：10knot以下 車両：20km/h以下
遅延速度（理論値）	GNSS更新間隔10Hzより0.1sec
表示誤差（理論値）	GNSS方位計精度±0.75°より算出 100m地点：±1.3m　500地点：±6.5m

３　基礎実験

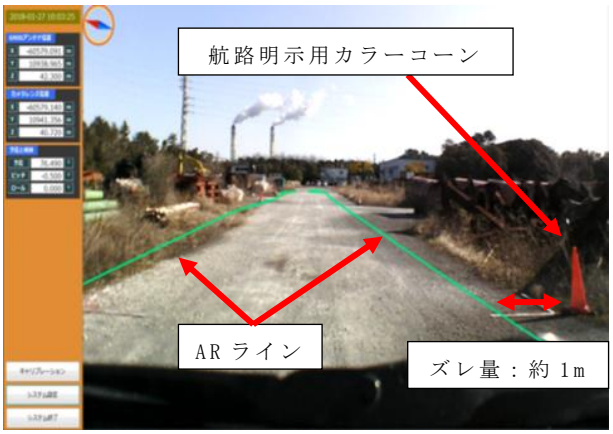
３．１　実験概要

カメラと GNSS 方位計のデータを取り込んでシステム画面上で航路等のライン（以下 AR ライン）が正確に描画できるか検証するために、車のルーフキャリアに機材を設置し走行試験を行った。写真－１に車両への機材設置状況を示す。



写真－１　車両への機材設置状況

GNSS の測位精度や動揺（傾斜）の影響が AR ライン描画に与える影響を検証をするため、「精度±1m の D-GNSS とカメラを使った場合（構成①）」と、「精度±2cm の RTK-GNSS とカメラを使用し、精度 0.1° の 2 軸傾斜計を補正情報として追加した場合（構成②）」の 2 条件で検証を行なった。



図－４　AR ライン（構成①）

３．２　実験結果

AR ラインの描画確認として時速 20km で走行し、AR ラインと設定した航路が一致するか目視確認した。D-GNSS とカメラを使った構成①では設定した航路に対して、最大で 1m 程度のずれが確認される箇所もあったが、航行に支障をきたすような大きなズレはなく良好な描画が可能であった。また RTK-GNSS とカメラを使用して 2 軸傾斜計で補正をした構成②では、表示した航路と設定した航路はほぼ一致した。図－４に構成 1 の表示状況、図－５に構成②の表示状況を示す。



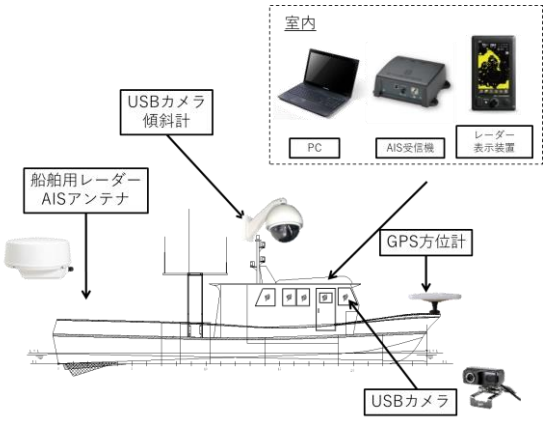
図－５　AR ライン（構成②）

また、設置時間、機材の耐久性、ソフトウェアの操作性についても検証を行った。設置時間については、構成①の場合約 1 時間、構成②の場合 3 時間～4 時間必要であった。また走行中の振動による機材の破損やズレは発生せず、機材の耐久性に問題がないことを確認できた。さらに、ソフトウェアの操作性では、AR ラインを事前に設定することにより、操縦者は特別な操作を必要とせず AR ナビを使用することができた。

４　現場導入試験

４．１　試験概要

海上工事の現場にて導入試験を行った。導入現場では、基地港から施工区域まで交通船が往復約 16km 航行しており、航行中に付近を航行する他船舶の動静監視が重要である。さらに、現場周辺は浅瀬が点在しており、付近を航行する際、座礁しないように十分注意する必要がある。システム機器を交通船に艤装し、カメラや GNSS 等のキャリブレーションを行った後、航行試験を実施した。図－６に交通船への機材設置図を示す。



図－６　交通船への機材設置図

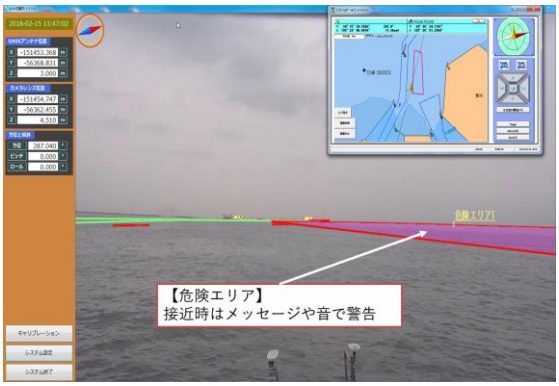
４．２　導入結果

キャリブレーション後、交通船は船速約10ノットとして、施工区域まで10往復以上航行し、検証を行なった。

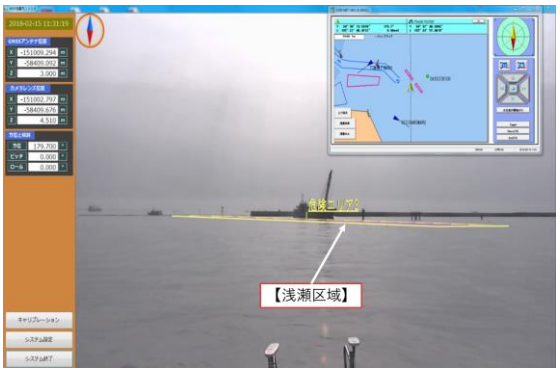
結果、航路や警戒エリア、浅瀬エリア、進行方向などを画面上にリアルタイムに表示が可能であることを確認した。船舶の動揺による表示画面のずれについては、傾斜計の補正によって大幅に低減できることが確認できた。また、AIS情報は、他船から伝送されれてくるため伝送間隔の影響によって、表示が遅れる現象が見られた。しかし画面上で認識する際に大きな遅延はなく、正常に情報を表示することができた。また、警戒エリアに侵入した際には画面表示と音声で操船者に注意喚起を行うことができた。図－７、８、９に導入試験のシステム画面を示す。



図－７　システム画面①



図－８　システム画面②



図－９　システム画面③

５　おわりに

従来ハザードマップや電子海図等を利用して航行経路や危険区域を確認しており、安全確認作業を行うことは操船者の負担となっていた。今回、ARナビを導入してシステム画面上で操船者に分かり易い視覚情報として表示することで船舶航行（車両運行）時の安全性の向上に寄与できるものと考える。

今後さらに現場導入を重ねていくことで、機能の向上とさらなる機能追加を行なっていく所存である。

MCツインヘッダによる軟岩・中硬岩の法面整形について

北陸地方整備局　金沢河川国道事務所　輪島国道出張所
出張所長　野村　賢一
○　　技官　岩間　亮友

1　はじめに

一般国道 470 号能越自動車道輪島道路は、「輪島 IC（仮称）」から「のと里山空港 IC」を結ぶ延長 11.5km の自動車専用道路である。

輪島道路の施工現場では、ICT を積極的に活用しており、輪島道路の平成 30 年度施工工事（工種に土工を含むものに限る）20 件のうち 17 件とほぼ全ての工事で ICT 土工を実施している。その中でも「H29・30 能越道長沢道路その７工事」においては、更なる ICT 活用事例としてマシンコントロールバックホウにツインヘッダを搭載し、軟岩・中硬岩の法面整形を実施した。

本稿では、岩掘削バケットを使用した従来の法面整形とツインヘッダを使用した法面整形の比較検討について報告する。



図-1　輪島道路平面図

2　ICT 技術と建設機械

ICT（Information and Communication Technology）技術のうち、位置情報を基にしたICT建設機械のマシンコントロール技術は飛躍的に向上しており、この技術を応用して新しい施工方法をイノベートする時代となってきている。

ICT建設機械にはマシンコントロール（以下MCという）技術とマシンガイダンス（以下MGという）技術があり、最近ではMC建設機械が多く使用されるようになってきた。このMC技術は重機の掘削バケット等の形状を設定し、GNSS等で得られた重機本体の位置情報を基にバケット先端の位置情報を制御する技術で、三次元設計データと組み合わせることにより設計面に合わせてバケットが動きセミオートで作業ができる。

この技術により、これまで熟練オペレーターしかできなかった作業が、未熟練者でも比較的容易に出来形精度が確保できる。また、バケットの形状は自由に設定できることからアタッチメントの工夫で応用が広がり、今後この技術による土工事の効率化、省力化、省人力化が期待できる。

3　現状と課題

通常、軟岩・中硬岩の法面整形は、大型ブレーカーで荒掘削した後、MCバックホウの岩掘削バケットにより整形を行っている。岩掘削バケ

ットでの整形は、バケットについた爪で法面をひっかき削り落としながら行う。このため、法面に爪痕が残り、縦方向の凹凸が大きくなる（図-2）。

また、岩掘削バケットでの整形は施工性も非常に悪く、軟岩・中硬岩の法面整形における施工性や品質を向上させることが課題であった。



図-2　岩掘削バケットで中硬岩を整形した法面

4　技術的解決策

課題に対する解決策として、MCバックホウのアタッチメントをバケットからツインヘッダに替えて法面整形を試みた。このツインヘッダは、円筒形の形状に複数のビットがついたアタッチメントにより、回転打撃で掘削整形する機械で、主にトンネルの掘削に使用されている（図-3）。

ツインヘッダによる掘削の特徴として、その形状から、オペレータから掘削している深さが把握しづらく、施工性は良いが、出来形を考慮しない荒い掘削にしか利用されていなかった。

しかし、ツインヘッダと MC 技術を組み合わせる事で、オペレーターによる先端位置の把握が可能となり、複数のビットで回転して掘削整形するため、法面の凹凸が小さくなることから、品質及び施工性が向上すると考えられる。


図-3　ツインヘッダ

5　アタッチメントの形状設定

MC バックホウで精度良く施工するためには、バケット等のアタッチメント形状を正確に計測して事前に MC バックホウに入力する必要がある。通常のバケットは形状設定がしやすく、バケット先端の爪先を基準位置とするが、円筒形のツインヘッダは明確な刃先がないため形状設定が難しく、形状設定を 3 パターンで検討した。

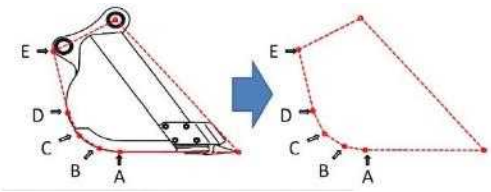


図-4　通常バケットの形状設定イメージ

5．1　Aパターン（図-5）

ツインヘッダ底面とドラム両端からの垂線を構成点（アタッチメントの輪郭を決定する点）として設定する。

取り外し可能な専用治具により刃先等の構成点を決定しているため、精度管理が確実で比較的容にできることや、モニターに表示される形状が実物と近いため、オペレーターが違和感なく施工できる。

しかし、バケット形状の底面を施工面へ水平に接触させるように施工することから、建機の位置調整が必要で、施工面へのアプローチ角度も限られるため、施工性が低下する。



図-5　Aパターンの形状設定



図-7　Cパターンの形状設定

５．２　Bパターン（図-6）

ドラムセンターの水平軸から45度毎に仮想点をとり、構成点として設定する。

モニターに表示される形状が実物と近いため、オペレーターが違和感なく施工でき、Aパターンのデメリットであるアプローチ角度を調整する必要もない。

しかし、構成点が仮想の点であるため、ビットの位置等により十分な精度が得られない可能性がある。



図-6　Bパターンの形状設定

５．３　Cパターン（図-7）

ドラム回転軸を刃先として構成点を決定し、ドラム回転軸からドラム外周（ビットの先端）の寸法を設計面からオフセットし施工する。

Aパターンのデメリットであるアプローチ角度を気にする必要がなく、トータルステーションを使用することでBパターンのデメリットである精度確認も可能である。

Aパターンは施工性の低下、Bパターンは精度の信頼性が懸念されるため、Cパターンを採用した。

なお、MGバックホウで施工する場合は、モニターで表示される形状と実際の形状の差異は大きな問題となるが、MCバックホウで施工する場合は、設計面に対しバケットを自動制御するため大きな影響はないと考えられる。

６　従来工法との比較検証結果

６．１　出来形精度

出来形精度の測定方法として、レーザースキャナーによる点群測量を行い、ヒートマップ（点密度 1cm×1cm）を作成して従来工法とツインヘッダ工法の比較を行った。平均値の数値には 10mm 程度しか差はないが、見た目に分かるほど従来工法は凹凸が大きく、ツインヘッダ工法は凹凸が小さく平坦性が良い（図-8）（表-2）。

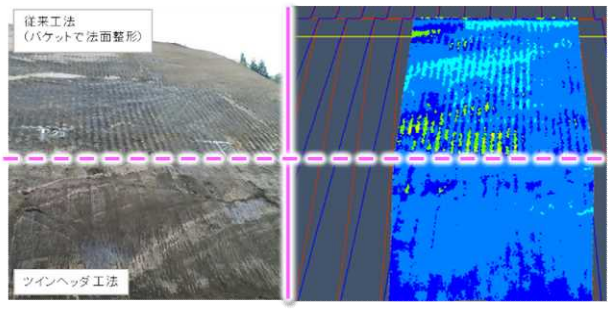


図-8　法面の出来形比較

６．２　施工性

事前に従来工法（岩掘削バケット）における施工性調査を実施し、この得られた結果とツインヘッダ工法を比較し施工性を評価した（表-1）。評価方法を統一するため、両工法とも設計面より20cm手前まで大型ブレーカで荒掘削を行った後の評価とした。

従来工法では7m2/h、ツインヘッダ工法では21m2/hと3倍の施工性があった。

また、岩掘削バケットでの整形は法面をひっかくように整形することから、重機への反動が大きい。

しかし、ツインヘッダは法面を回転打撃で削り取ることから、重機への反動が少なく、オペレーターへの負担の面でも肩こりやストレスが少なく好評であった。

６．３　騒音

従来工法、ツインヘッダ工法、大型ブレーカー工法の騒音を、2m離れた箇所で騒音計により測定した。

結果は従来施工が91.0dB、ツインヘッダ工法が81.6dB、大型ブレーカー工法が104.4dBとツインヘッダ工法はかなり低騒音であった。

７　おわりに

ツインヘッダによる軟岩・中硬岩の法面整形は、検証項目すべてにおいて従来工法より優れていた（表-2）。しかし、機械の賃料が非常に高価であることから、導入するには大規模な法面整形現場や工期が厳しい現場等、費用対効果を詳細に検討する必要がある。今後、ツインヘッダによる施工が大型ブレーカの施工のように汎用性が高くなり、市場に機械台数が多くなれば価格は低下すると考えられる。

今回は、主にトンネルの施工現場で用いられるツインヘッダとMC技術と組み合わせて法面整形工に用いたが、ツインヘッダに限らず、用途外の建設機械とMC技術と組み合わせることで、従来工法より有効な技術と成り得る。本事例のようにMC技術を応用し、新たな施工方法を模索することが生産性向上の鍵になると思われる。

謝辞：本稿の作成にあたり、ご協力いただいた株式会社豊蔵組様に深く感謝申し上げます。

表-1　施工性の検証

①従来技術（岩掘削バケット）

日付	作業時間	施工整形	時間当たり施工量
12月1日	2時間	15.66m2	7.83m2/h
12月7日	8時間	63.33m2	7.92m2/h
12月9日	4時間	38.60m2	9.65m2/h
12月11日	8時間	38.61m2	4.83m2/h
12月14日	8時間	39.78m2	4.97m2/h
12月15日	8時間	46.31m2	5.79m2/h
12月18日	4時間	42.71m2	10.68m2/h
12月19日	8時間	56.89m2	7.11m2/h
12月20日	2時間	14.82m2	7.41m2/h
合計	52時間	356.71m2	**6.86m2/h**
54.88m2/日			

②検証工法（ツインヘッダ）

日付	作業時間	施工整形	時間当たり施工量
5月10日	3時間	70.00m2	23.33m2/h
5月11日	6時間	120.00m2	20.00m2/h
合計	9時間	190.00m2	**21.11m2/h**
168.88m2/日			

表-2　検証結果のまとめ

項目	細目	従来工法	ツインヘッダ	大型ブレーカ
1-1)出来形精度	平均値	-51mm	-42mm	—
	最大値	82mm	21mm	—
	最小値	-125mm	-110mm	—
1-2)法面の不陸	平均値	40mm	10mm	—
2)施工性	平均値	7m2/h	21m2/h	—
3)騒音	平均値	91.0dB	81.6dB	104.4dB