

令和 4 年度
建設技術報告会
報文集

令和 5 年 1月

北陸地方建設事業推進協議会

令和 4 年度「建設技術報告会」実行委員会

目 次

■報告技術

技術 番号	区分	技術名	発表者	所属	頁
----------	----	-----	-----	----	---

テーマ:① i-constructionによる生産性向上、インフラ分野のDX

1	河川	ダムコンクリート運搬設備(SC プレミアムベルコン)の開発	山下 哲一	清水建設株式会社	1
2	道路	道路除雪における除雪車運行管理システムの導入について	小野寺 充	新潟市	5
3	道路	トンネル覆工コンクリートの自動打設システムの開発	松本 修治	鹿島建設株式会社	9
4	道路	トンネル坑内自動巡視ドローン	松岡 祐仁	株式会社フジタ	13
5	港湾	ケーソン据付時のICT施工について	東 凌	国土交通省 北陸地方整備局 敦賀港湾事務所	17
6	港湾	消波ブロックを対象としたUAV測量	西 広人	五洋建設株式会社	21
7	港湾	消波ブロックのリアルタイム据付シミュレーション	三井 順	株式会社不動テトラ	25
8	共通	5Gを用いた遠隔操縦システムの構築	稲川 雄宣	株式会社大林組	29

テーマ:② 社会資本の的確な維持管理・更新

9	道路	プレキャスト床版接合技術「Head-bar ジョイント」	川口 哲生	大成建設株式会社	33
10	道路	道路橋RC床版の高耐久補修工法T-Sus Layerの開発	橋本 理	大成建設株式会社	37
11	道路	他分野で取得したデータの(利)活用による舗装修繕工事の適用検討	品田 惇貴	株式会社植木組	41
12	道路	防水性能を有した橋面アスファルト舗装の開発	鈴木 拓人	東亜道路工業株式会社	45
13	道路	塩分吸着型複合防水工法の開発	佐川 聡	東亜道路工業株式会社	49

テーマ:③ 雪に強い地域づくり

14	道路	ICT活用により作業装置を自動化した除雪トラックの試行運用について	福島 徹	国土交通省 北陸地方整備局 北陸技術事務所	53
15	道路	積雪寒冷地の路面破損状況に着目した全天候型常温合材の開発	本間 圭一	北川ヒューテック株式会社	57
16	道路	FFP(フル・ファンクション・ペー)舗装の凍結抑制効果	藤澤 洋彦	株式会社ガイアート	61
17	道路	放熱管方式無散水融雪設備の開発	東 知樹	株式会社グランテック	65
18	道路	3D測量を活用した融雪配管埋設型プレキャストRC舗装版施工	坂井 祐史	株式会社興和	69
19	共通	冬期融雪対策への通電発熱塗料を用いたシートヒーターの適用	前田 幸男	佐藤工業株式会社	73

テーマ:⑤ 環境の保全と創造

20	道路	廃プラスチック材を活用した舗装材の開発	西園 雄太	北川ヒューテック株式会社	77
21	港湾	作業船へのGTL燃料の導入について	田沼 遊太郎	若築建設株式会社	81
22	共通	景観や環境の影響を最小限に抑えた遠隔自動浚渫技術「水底土砂ポンプ浚渫工法」	井上 真志	あおみ建設株式会社	85

テーマ:⑥ その他

23	共通	車両前方画像を活用したAI による交通事故危険事象検知システム	濱島 彩織	前田建設工業株式会社	89
----	----	---------------------------------	-------	------------	----

■掲載技術

テーマ:⑥ その他

24	共通	建設業の働き方改革の推進について～いしかわ週休2日工事・ICT の活用等～	濱野 仁樹	石川県	93
----	----	---------------------------------------	-------	-----	----

報 告 技 術

ダムコンクリート運搬設備（SC プレミアムベルコン）の開発

清水建設 土木技術本部 ダム統括部主査 山下 哲一

1 はじめに

近年、超大型台風の襲来や集中豪雨等の異常気象が多発しており、治水等により安全・安心な暮らしを保障できる社会基盤の構築が急務となっている。特に、ダムは集中豪雨時に洪水調節を行うことで、周辺地域の洪水を防止するための極めて重要な施設である。さらに、近年では、ダムの嵩上げ等による再開発も進められており、水害から国民の生命や資産を守るためのダム開発が数多く行われている。

現在、重力式コンクリートダムが多く建設されており、その施工ではコンクリート打設がコスト及び工期の過半を占めている。コンクリート打設作業は、コンクリート製造から運搬・打設の繰返し作業であり、その中でも特にコンクリート運搬は、作業効率を最も影響を与える要素であり、ダム工事の生産性向上には運搬設備の効率化が重要である。

2 開発の目的

2. 1 背景

従来、大型のコンクリートダム建設工事では、固定式ケーブルクレーンをコンクリート運搬設備として採用している事例が多いが、20t ケーブルクレーンと 6.0m³ コンクリートバケットの組み合わせでも運搬能力は平均 100m³/hr 程度である。ハッ場ダムでは、コンクリート製造設備に 3.0m³ 強制二軸型×2 基のタイプを採用していたが、製造能力は 180m³/hr であり、製造能力を充

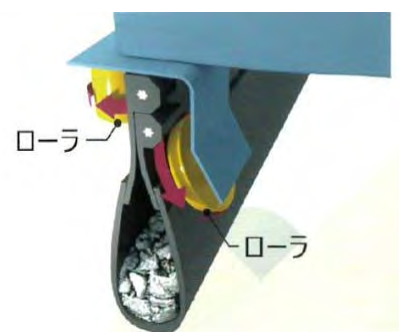
分に活かした設備ではなかった。

2. 2 目的

上記観点から、ダムの急傾斜面（約 45°）を最短距離で直接運搬でき、かつ運搬能力の高い設備（200m³/hr）を開発するに至った。なお、高速運搬にともなうコンクリート材料分離にも配慮する必要がある、運搬能力と品質を確保できる設備を目標として掲げた。

2. 3 袋状ベルトコンベヤの採用

本開発では、ベルトコンベヤの中でも、ドイツコンチテック社が保有する袋状ベルトコンベヤ（SICON）に着目した（図－1）。



図－1 袋状ベルトコンベヤ

本ベルトコンベヤは、コンクリートを包み込んで運搬することで、材料分離を抑制可能である。また、ベルトコンベヤはベルトスピードを高速にすることにより、運搬能力の確保も可能であり、平地での運搬能力（最大 1000t/hr；400m³/hr）から斜面部でも 200m³/hr は確保できると想定された。

3 実証試験機の設置

目的として掲げた急傾斜面における運搬能力（200m³/hr）、材料分離の抵抗性を確認するため、福島県いわき市において実証試験機を計画、設置した。

3. 1 ■ 実証試験機の仕様

本実証試験機は、運搬設備である袋状ベルトコンベヤと材料供給設備であるベルトフィーダから構成される（表－1）。

表－1 機器仕様

	袋状コンベヤ	ベルトフィーダ
搬送量	最大500t/hr (200m ³ /hr)	最大680t/hr (270m ³ /hr)
ベルト幅	1,400mm	1,200mm
水平機長	56m	12m
揚程	28m	—
最大傾斜角度	45°	—
ベルト速度	170m/min	0～61.5m/min
電動機	37kW×2台	37kW×1台

3. 2 実証試験機設置

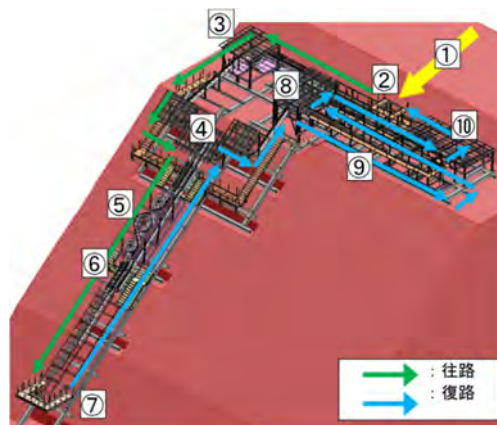
実証試験機は、令和3年8月より土工事を開始し、令和3年11月より架台設置、令和4年1月より袋状ベルトコンベヤ本体を設置し、令和4年3月に設置を完了した（写真－1）。



写真－1 実証試験機

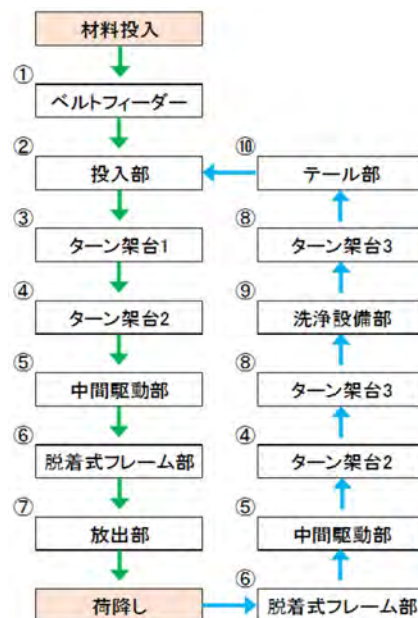
3. 3 コンクリート運搬

実証試験機の運搬経路を図－2に示す。



図－2 詳細図

運搬手順を図－3に示す。



図－3 コンクリート運搬フロー

① ベルトフィーダ

材料をホッパーに投入後、ベルトフィーダーにて袋状ベルトコンベヤに定量の材料を供給する（写真－2）。



写真－2 ベルトフィーダ

②投入部

袋状ベルトコンベアの上端をローラーで開き、ベルトフィーダーから供給される材料を受け取る。材料供給後、再度ベルト上端を閉じ、袋状にして材料を運搬する。

③④ターン架台

設置されているプーリーにて、ベルトの方向および角度を変更し、材料を水平部から斜面部に運搬する（写真－3）。このターン架台によりベルトの方向や勾配を変更可能であり、通常のベルトコンベアのような乗り継ぎ設備は不要である。



写真－3 ターン架台

⑤中間駆動部

45°の急勾配を下りで材料運搬するために、斜面上に設置される動力源である。

⑥脱着式定置フレーム

堤体打設進捗に応じてベルトコンベア本体を短くする際に、このフレームを撤去する。

⑦放出部

袋状ベルトコンベアをローラーで一旦開き、材料を荷降しする。材料荷降し後、再度ベルトを閉じてリターンさせる。

⑧ターン架台

設置されているプーリーにて、ベルトの方向および角度を変更し、斜面部から水平部にベルトを移行する。

⑨洗浄設備

袋状ベルトコンベアを開き、水を噴射してベルト内部を洗浄して、その後エアブローを行い、水気を

切る。洗浄後、ベルトを再度閉じる。

⑩テール部

テンションウエイト（1t）によりベルトに張力を導入している。また、移動式となっており、ベルトコンベア本体の短縮に伴い、テイクアップ装置が移動して、余剰分のベルトを収納する。

4 実証試験

4. 1 実証試験手順

実証試験は以下の手順で実施した。

【STEP1】無負荷試験

ベルト速度を無負荷で段階的に上げ、目視で設備の操作性・安全性を確認した。

【STEP2】骨材想定材料運搬試験

実際のコンクリートの粒度分布に近い骨材を運搬し、目視にて、設備の操作性・安全性・運搬状況・運搬後の材料を確認した。

【STEP3】RCD コンクリート（スランプ 0cm）想定材料運搬試験

RCD コンクリートを模擬した材料（石灰石微粉末・骨材・水を混合）を運搬し、運搬能力、材料分離抵抗性を確認した。

【STEP4】有スランプ（3cm）コンクリート材料運搬試験

スランプ 3cm のコンクリートを使用し、運搬能力、運搬前後の性状試験、材料分離抵抗性を確認した。

4. 2 実証試験結果

4. 2. 1 運搬能力

RCD コンクリート、有スランプコンクリートともに、3.0m³製造し運搬したところ、ベルト速度 170m/min で 53 秒で運搬を完了することができた。

$$3.0\text{m}^3/53\text{秒} \times 3600\text{秒} (1\text{hr}) = 203.8\text{m}^3/\text{hr}$$

であり、200m³/hr 以上の運搬能力を確認できた。

4.2.2 RCD コンクリート想定 の品質確認 (材料分離抵抗性)

材料分離抵抗性の確認には、JIS A 1119「ミキサで練り混ぜたコンクリート中のモルタルの差および粗骨材量の差の試験方法」(通称「ミキサの練混ぜ性能試験」)の内、粗骨材量の差の試験方法により評価することとした。試験は、運搬前と運搬後の材料について実施した。

$$\alpha = \frac{\theta_{1G40} - \theta_{2G40}}{\theta_{1G40} + \theta_{2G40}} \times 100 (\%) \quad (式) 1$$

$$\theta_{G40} = \frac{W_{G40}}{W_{Con}} \times 100 (\%) \quad (式) 2$$

ここで、 α : 40 mm 以上の粗骨材量の差 (%)

試験の規格値は、「田代ら、大型コンクリートダムの高速施工に対応する運搬方法、コンクリート工学, Vol.53, No.12, 2015.12」を参考に、粗骨材量の差 (α) を 10%以下とした。

試験結果を以下に示す (図-4)。

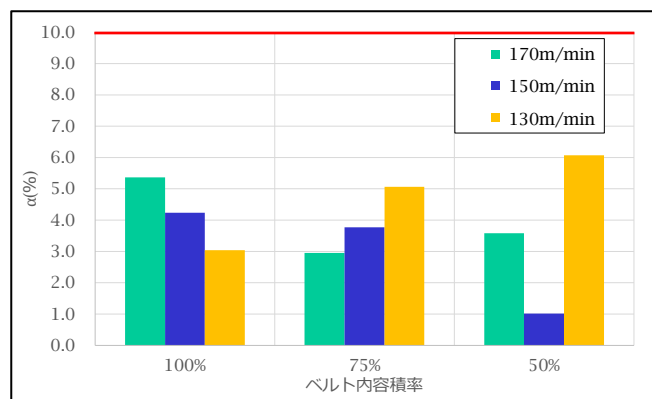


図-4 試験結果 (粗骨材量の差)

ベルト速度やベルト内の容積率を変えながら、試験を実施したところ、全てのパターンにおいて10%を大きく下回る結果を得ており、材料分離抵抗性は高いことが確認できた。1ケースあたり3回の試験を実施し、平均値を示している。

4.2.3 有スランブコンクリートの品質確認

(性状試験及び材料分離抵抗性)

有スランブコンクリートについては、スランブ 3.0±1.0cm 空気量 3.5±1.0% の配合を目標に、生コンをベースに配合調整を行った。粗骨材の最大寸法は 80mm である。なお、40mm 以下のウェットスクリーニングを実施した後に試験を実施した。

運搬前後で、スランブ・空気量・粗骨材量の評価を実施した結果を表-2 に示す。運搬前後で性状に大きな変化がないこと、材料分離に問題ないことを確認した (表-2)。

表-2 試験結果

	スランブ (cm)	空気量※ (%)	α (%)
運搬前	2.0	2.8(3.5)	—
運搬後	2.5	3.0(3.8)	—
差	+0.5	+0.2	2.98

※空気量は骨材フルサイズ換算後の値を示す。

()内の数値は計測値である。

以上から、本設備は 200m³/hr の運搬能力を有し、品質上の全く問題がなく、適切なコンクリート運搬設備であることを確認した。

5 終わりに

実証試験を通じ、コンクリート設備としての能力と品質が確認できたため、本設備を「SC プレミアムベルコン」と命名した。

今後は、運搬能力の向上 (300m³/hr) を目指し、改良を進め、大型ダム工事において導入し、コンクリートダム建設工事の生産性向上に務めていく所存である。

道路除雪における除雪車運行管理システムの導入について

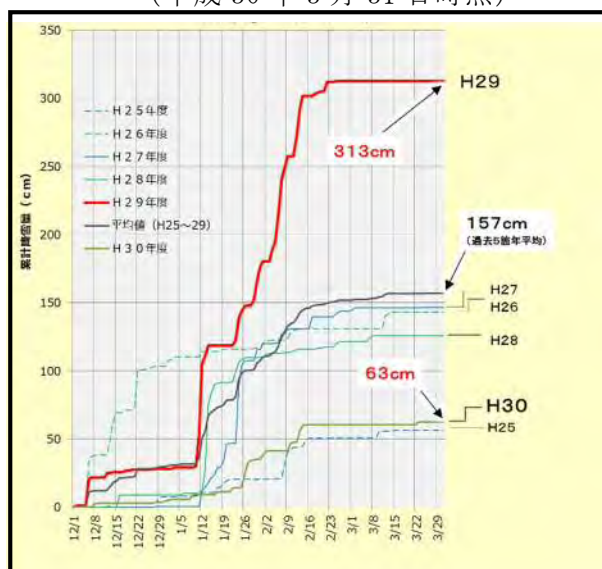
新潟市 土木部 土木総務課 小野寺 充

1 はじめに

新潟市では、平成 29 年度に 8 行政区の平均累計降雪量が 313cm を記録し、例年の約 2.6 倍となる大雪となった。例年は降雪が少ない海岸部でも大雪となったことから、幹線道路で大渋滞が発生し、生活道路の除排雪作業の遅れや、バスの運休・ダイヤの乱れなど、市民生活に大きな影響が生じた。

本市では、この経験を踏まえて、課題の抽出と見直しを行った結果、平成 30 年度から、ICT 技術を搭載した道路除雪における除雪車運行管理システムを導入した。

図－1 市内平均の累計降雪量
(平成 30 年 3 月 31 日時点)



写真－1 幹線道路の渋滞状況



写真－2 生活市道の除排雪の遅れ



1. 1 除雪車運行管理システム導入の目的

1. 1. 1 新潟市における道路除雪の課題

本市の大雪時における道路除雪の課題を抽出した結果、「除雪車の稼働状況がリアルタイムに把握できない」こと、「除雪車1台の受持延長が長い」こと、「時間外労働が多く除雪業者および職員の負担が大きい」ことが挙げられた。

当時、除雪車の稼働記録は、作業中に GPS 情報を端末で記録し、作業後に抽出した情報を基に、作業日報を作成し確認していたため、リアルタイムに稼働状況が把握できなかった。このため、大雪時の除雪作業の遅れに気付かず、市民からの問い合わせに対する対応の遅れや、作業の遅れが生じている路線への応援体制の構築等が困難であった。

さらに、除雪車1台当たりの稼働延長や稼働時間を正確に把握・蓄積できないことから、除雪

機械の受持延長の適正化を検討するための情報が十分に収集できていなかった。

また、大雪時には、作業日報や履行書類の作成量が膨大になること、短い期間に除雪費用を集計し報告書等を作成する必要性が生じることなどから、除雪協力業者と市の職員の業務量が増大し、多大な負担が生じていた。

1. 1. 2 道路除雪の課題に対する対策

本市では、これらの課題を解決するために、「除雪車の位置情報を俯瞰的に可視化できる機能」、「除雪車の稼働延長や稼働時間等を自動で記録、出力が利用できる機能」、「除雪車の稼働記録に基づき作業実績が自動作成され、稼働費用が自動で算出される機能」を有する除雪車運行管理システムの導入を行った。

2 除雪車運行管理システムについて

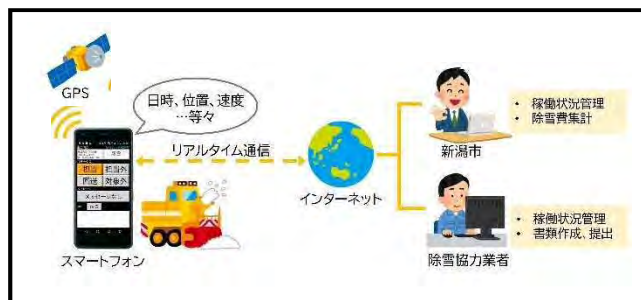
2. 1 除雪車運行管理システムの概要

除雪車運行管理システムは、除雪車にスマートフォンを搭載し、位置情報を取得することで、Web 上で除雪車の稼働を管理するシステムである。

スマートフォンから取得した情報がインターネットを通じて、システム上に集約・反映されることで、除雪車の稼働が地図上に軌跡として表示され、リアルタイムに除雪車の稼働状況を把握することができる。また、データベースに情報を蓄積することで、除雪路線の見直しに活用することが可能となった。

さらに、システムに除雪車の稼働延長や稼働時間等が自動的に記録されることで、作業日報等の書類が自動作成される機能や、事前に除雪機械の規格や契約単価、契約業者の企業情報について台帳を作成し、システムに登録することで除雪車の稼働費用が算出され、請求書等の履行書類が作成される機能を有している。

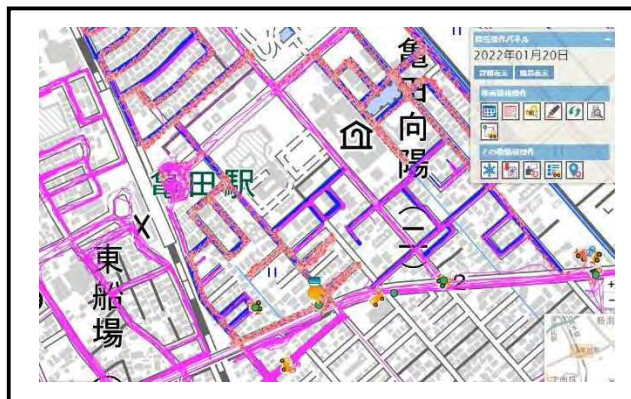
図－2 除雪車運行管理システムの概要



写真－3 除雪車のスマートフォン搭載状況



写真－4 除雪車の稼働軌跡の表示



2. 2 システム導入時の課題と対応

2. 2. 1 除雪協力業者へのサポート

システム導入に伴い、除雪協力業者を対象としたサポート体制の構築を行った。本システムはインターネット環境の整備や、スマートフォンの操作を前提としているため、除雪協力業者に対し基本的な操作説明や、貸与品の取り扱い説明など行う必要があったことから、全ての除雪協力業者を対象に説明会を開催した。さらに、説明会等で受けた質問等をまとめたFAQを作成し配布することで、市の除雪担当やシステ

ム運営企業を窓口とした相談対応など、除雪協力業者がシステムを活用できるようサポート体制の構築を図った。

写真－５ 運行管理システム操作説明会



2. 2. 2 複数区と契約している除雪車

本市では、8つの行政区で除雪業務を担っており、複数の区と除雪契約を行っている協力業者も多い。システム導入当初は1台の除雪車に対し、契約数に応じて複数のスマートフォンを貸与し使い分けを行っていたが、複数区からの同時出動や回送の重複に応じて、稼働実績を修正する手間が発生するなど、非効率であった。

これに対し、除雪車1台に貸与するスマートフォンは1台とし、除雪の稼働状況をシステムが自動判断し、複数の区に稼働実績が割り振られるようシステムを改変することで、稼働実績の修正作業を軽減する対応を行った。

2. 2. 3 除雪費用集計業務への対応

除雪費のうち国県道や市道ごと、車道除雪、歩道除雪、凍結防止剤散布等の作業種別ごとなど、除雪費用の集計や、大雪時の予算要望用の集計など、書類作成に必要な情報を抽出し、それらをエクスポートする機能を追加する対応を行い、業務量の負担軽減を図った。

2. 3 システム導入効果

2. 3. 1 除雪車稼働状況のリアルタイム把握

リアルタイムで除雪車の稼働を視認できることから、除雪作業の遅れを早期に発見し、他の除雪業者に応援を依頼する等の対応が可能になった。また、市民等からの問い合わせがあった際に、除雪車の軌跡を確認し除雪実施の有無などを把握したうえで速やかに対応が出来るようになった。

特に、システム導入後の令和2年度は、短期間に150cm以上の降雪を記録した異常降雪により、市民から多くの問い合わせを受けたが、システム導入前に比べ、現地確認の作業時間を短縮することができ、効率的な対応を行うことができた。

2. 3. 2 除雪車1台の受持延長の適正化

システムに記録した除雪車の稼働延長や稼働時間等のデータを解析することで、除雪車1台ごとの受持延長の適正化について定量的な検討を行うことが出来るようになった。

それにより、令和3年度では令和2年度の異常降雪時の稼働記録を基に除雪車の受持延長の見直しや、除雪車の増台を行い、より効率的な除雪体制の構築を図ることが出来た。

2. 3. 3 除雪に伴う業務量の軽減

システム上で除雪車の稼働実績が集計され、作業日報や履行書類が自動作成されることや、除雪費の集計が随時行えることとなったため、除雪協力業者と市の職員の業務負担が軽減された。

3 今後の課題・展望

3. 1 市民に対する除雪実施情報の提供

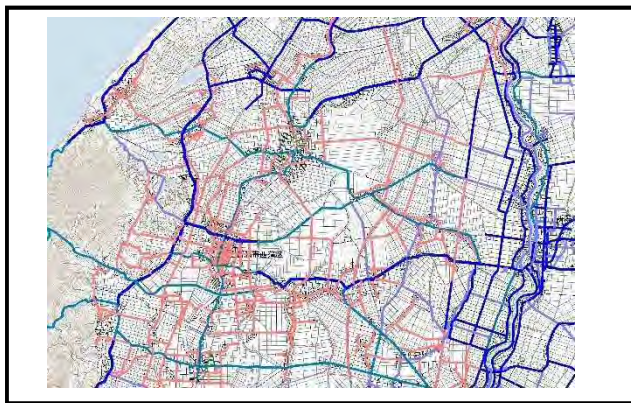
除雪車運行管理システムのサブシステムとして、除雪状況公開用のシステムを構築し、ホームページ上で閲覧を可能にすることで、市民に対する情報提供を行っている。しかし、システム容量等の制約により一部の幹線道路に限定した公開となっていた。

これに対し令和２年度の異常降雪を踏まえた対応として、大雪時に市民が出控え等の判断をするための情報提供が求められており、令和４年度からは、生活道路を除く全ての路線を公開することを予定している。これにより市民が、生活道路を除いた道路の除雪実施状況を市役所に問い合わせることなく、ホームページから確認することが可能となり、リモートワーク等の行動変容を検討することが可能となると期待している。

写真－６ 除雪状況公開イメージ（現時点）



写真－７ 除雪状況公開イメージ（公開拡大）



３．２ 除雪作業の安全性向上

令和３年度より、除雪作業時の安全性向上を目的として、除雪協力業者が降雪期前に行う除雪路線点検報告を基に、除雪路線上の支障物（占用物の段差等）を登録し、除雪作業中のオペレータに対し支障物が近づいた際にスマートフォンを通じて注意喚起アラートを行う機能を搭載した。

さらなる安全性の向上に向け令和３年度の除雪作業時に使用した印象をオペレータに聞き取りを行い、課題の抽出を行った結果、協力業者からの報告に基づき市職員がパソコン上で入力作業を実施する手順としたため、登録内容の共有や位置情報の精度に課題が残った。

この対策として、現在は除雪稼働時の出動と終了の報告操作を主な機能としたスマートフォンに、支障物の位置情報を直接入力する機能を付加することで、オペレータが支障物を直接登録できるシステムに改変することを検討している。また、これにより路線点検報告書をシステム上で自動作成することや、占用管理者ごとの対応依頼をシステム上で作成する機能を付加することも併せて検討している。

写真－８ 支障物のアラート機能



４ さいごに

除雪車運行管理システムの導入により、除雪車の稼働管理、情報の蓄積および利用、必要書類の作成をひとつのシステムで行うことが可能となった。

今後、市民への道路除雪についての情報提供や、現場での除雪作業の管理、除雪協力業者と市職員が連携し行っている事務作業について、システム内に集約し互いの情報を利用することでより効率的なシステムとなるよう検討している。

今後とも、道路除雪における市民サービスの向上に努めていきたい。

トンネル覆工コンクリートの自動打設システムの開発

鹿島建設（株） 技術研究所 主任研究員 ○松本 修治
土木管理本部トンネルグループ 担当部長 手塚 康成
土木管理本部トンネルグループ 統括技師長 青柳 隆浩

1 はじめに

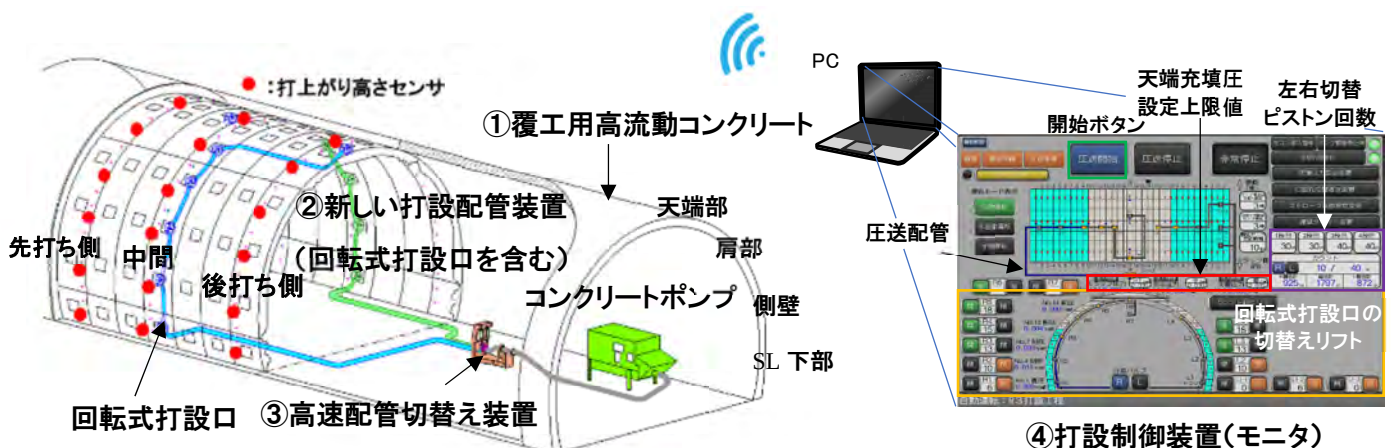
近年，建設業界では作業員不足が深刻化しており，国交省では生産性を向上させるために，建設作業の機械化，自動化を推進している．山岳トンネルの分野では，危険作業となる掘削の自動化が進められており，狭隘な移動式型枠内で窮屈な姿勢での苦渋作業となる覆工コンクリートの施工においても自動化が求められている．そこで，筆者らは，覆工用に開発した高流動コンクリート¹⁾（以降，覆工用高流動コンクリートと称する）を用いることで締固め作業を不要にするとともに，人力による配管の切替え作業を不要とする新しい打設配管装置を開発した．さらには，それらを自動制御する打設制御装置を開発し，自動打設システムとした．これにより，覆工コンクリートの品質を作業員の技量に依存させずに確保し，かつ，省力・省人化を実現しようとしている．本稿では，この自動打設システムの概要と実規模の模擬トンネルに適用した実績について紹介する．

2 自動打設システム

2. 1 システムの概要

一般的な覆工コンクリートの施工では，概ね 5～6 名の作業員が狭隘な移動式型枠内にスランブ 15cm 程度のコンクリートを打ち込み，打設窓から人力で締固め作業を行う．また，配管の切替えに伴って必要となる配管内部に残留したコンクリート（以降，廃棄コンクリートと称する）の回収や配管清掃の作業がある．本自動打設システムは，作業員の技量によらない安定した品質を確保しつつ，苦渋作業の低減や施工の省人化および安全性向上を実現させるために，コンクリート技術および各種装置を組み合わせたものである．

自動打設システムは，図－1 に示すように，①覆工用高流動コンクリート，②新しい打設配管装置，③高速配管切替装置，④打設制御装置の 4 つで構成される．④打設制御装置により，コンクリートポンプの圧送開始や停止などの稼働状況に合わせて，②新しい打設配管装置と③高速配管切替装置を自動



図－1 自動打設システムの概要

で制御することで、人の手を全く介さずに、型枠延長の中央下部から順番に吹き上げて①覆工用高流動コンクリートを打ち込むことを可能としている。

2. 2 覆工用高流動コンクリート¹⁾

自動打設システムでは、覆工用高流動コンクリートを用いることで締固め作業を省略する。覆工用高流動コンクリートは、単位セメント量 450kg/m^3 以下で、スランプフローを $500\sim 600\text{mm}$ としたものである。また、使用する混和剤は、覆工コンクリートの施工に適するように新しく開発したものである。

覆工コンクリートは、閉鎖された空間に打ち込まれるため、背面に空洞が生じないようにブリーディング量が少ないことが求められる。また、一般的に設計基準強度が 18N/mm^2 程度の場合が多いなか、限られた打設口から流動して充填させられるため、単位セメント量を極力増やさずに材料分離抵抗性を有することが求められる。さらに、施工サイクルを確保するために材齢 18 時間程度で脱型するため、強度発現を遅延させてはならない。そこで、筆者らはブリーディング抑制成分と増粘成分を含有し、可使時間を確保しつつ強度発現の遅延が生じにくいポリカルボン酸塩を主成分とした特殊な高性能 AE 減水剤²⁾を開発・実用化した。この混和剤を用いることで、ブリーディング量を一般的な覆工コンクリートの半分程度にまで低減しつつ、適切な材料分離抵抗性の確保が可能となった。また、材齢 18 時間における圧縮強度は、一般的な覆工コンクリートと同程度にできる。

2. 3 新しい打設配管装置

従来の覆工コンクリートの施工では、図-2 に示すような打設配管装置を用いて移動式型枠内に予め設置した複数の打設口からコンクリートを打ち込むため、配管を次の打設口に切り替える際に廃棄コンクリートが多量に発生していた。これにより、打設作業中に人力での廃棄コンクリートの回収と配管清掃などの作業が必要となる上、回収後の廃棄

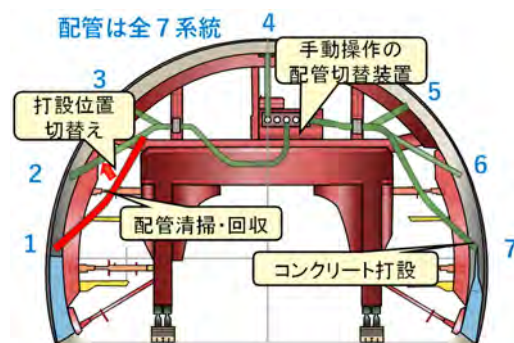


図-2 従来の打設配管装置

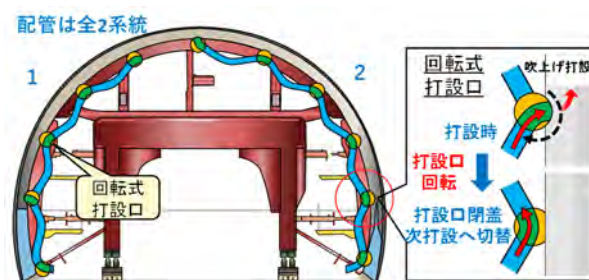


図-3 新しい打設配管装置

コンクリートを処分しなくてはならなかった。そこで、新たに開発した打設配管装置は、図-3 に示すように、圧送配管と回転式打設口が一体化したものである。打込み時には打設口が型枠内部に接続していて、打込みの完了を検知すると自動で打設口が回転して型枠表面で接続口の蓋が閉まると同時に、次の打設口への配管ルートが開通される構造としている。これにより、打設中の廃棄コンクリートの回収や配管清掃が不要となる。

2. 4 分岐配管の高速切替装置

従来の打設配管装置(図-2)は、打設口ごとに独立した配管系統(7系統程度)を作業員が手動で切替装置を操作して行うため、配管切替に時間を要していた。新たに開発した打設配管装置は、上記の課題を改善するため、コンクリートポンプの稼働状況に連携して分岐配管を自動かつ高速で切替え可能となっている(写真-1)。本装置は、密封型スイング式で、油圧制御により3秒間で分岐配管を切り替えることができる。

2. 5 全体を自動制御する打設制御装置

本装置は、回転式打設口を切り替えるタイミングを、型枠に設置した複数の静電容量式センサでコンクリートの充填状況を検知しながら、左右のコンクリートの高さが同じになるように自動制御して、計画どおりに打設するものである。

トラックアジテータの入替え等による打込みの停止と再開は、コンクリートポンプのホッパに設置した液面計により自動制御する。ホッパ内のコンクリートが減少して液面計の下限を感知すると圧送を自動停止し、トラックアジテータ入替え後に投入したコンクリートを感知すると自動で圧送を再開する。天端部の打込みは、型枠に設置した3箇所（先打ち側、中間、後打ち側）の圧力計により制御する。天端の吹上げ口より打込みを行い、事前に設定した圧力値に到達するとコンクリートの打込みを自動停止する。さらに、打込み状況は、打設制御装置のモニタ（図-1）によって、覆工の展開図および断面図でリアルタイムに見える化することが可能である。これらの打設速度や充填状況などの打設履歴は、記憶媒体に記録される。打設記録の確認が容易となるため、脱型後の仕上がりに関連付けることで、次回以降の施工に反映させてPDCAを回すことで品質向上を図ることができる。

3 実規模の模擬トンネルへの適用検証

3. 1 概要

覆工コンクリートの実規模施工実験は、トンネル断面が内空幅10m、内空高8m、覆工厚0.3m程度、延長10.5mの模擬トンネルを対象として夏期に実施した。夏期は型枠内に打ち込まれたコンクリートの流動性が低下しやすい。自動打設システムでは、流動性が低下し硬くなったコンクリートを吹き上げながら打ち込むことになるため、品質への影響が懸念された。そこで、コンクリートポンプの時間当たりの吐出量を一般的な実績である10～20m³/hより



写真-1 配管系統の高速切替え装置

表-1 覆工用高流動コンクリートの配合
(設計基準強度 27N/mm²)

SF (mm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	Gvol (L/m ³)	単位量 (kg/m ³)					
					W	C	S1	S2	G	VSP
550	4.5	50.0	52.7	317	175	350	743	186	840	4.375

C:普通ポルトランドセメント、密度 3.16 g/cm³, S1:川砂、表乾密度 2.63g/cm³, S2:山砂、表乾密度 2.66g/cm³, G:砂利、密度 2.66g/cm³, VSP:高性能 AE 減水剤(開発品)

少し多い13～22m³/hに設定した。覆工用高流動コンクリートの使用材料および配合は表-1に示すものを用いた。混和剤は、新たなに開発した高性能 AE 減水剤を時間経過に伴う流動性の変化が小さくなるように調整した。施工実験では、トラックアジテータの全台でスランプフロー（JIS A 1150：目標値500～600mm）、空気量（JIS A 1128：目標値4.5±1.5%）試験を行った。覆工コンクリートの硬化後の品質評価としては、材齢90日で、表面水分率が5.5%以下であることを確認した後、トレント法による透気試験³⁾を実施した。測定箇所は、図-1に示す覆工コンクリートにおいて、両サイドのSL、肩下、肩上と天端部の7か所を、後打ち側、中間、先打ち側の3断面で全21点とした。さらに、写真-2に示すSL下部の高さで吹上げ口、先打ち側の中間と流動先端、後打ち側の中間と流動先端の計5本のコアを採取し、圧縮強度、静弾性係数を試験した。

3. 2 適用結果

覆工用高流動コンクリートのフレッシュ性状は、スランプフローの平均560mm、空気量の平均4.6%と目標範囲内で安定していた。また、その施工性は良好であり、全ての装置がトラブルなく順調に稼働し、

圧送作業員を除いた型枠監視1名だけで、計画どおりに覆工コンクリートを打ち込むことができた。なお、コンクリート温度は31℃程度であった。

各部位での覆工用高流動コンクリートの充填状況は、いずれの部位においても材料分離することなく流動先端となる棲板まで流れ、隅々までほぼ水平に充填されていく状況が確認された。セントルにかかる側圧は、一時的に液圧になることがあったものの、最大70kPa程度であり、覆工用中流動コンクリートと同程度であった。

写真-2 に覆工コンクリートの仕上がりを示す。色むらや表面気泡も少なく良好な結果であった。

図-5 に覆工コンクリートの透気係数の測定結果を示す。1BL 内でのばらつきは小さく、「一般」から「良」評価であった。覆工コンクリートの硬化後の表層品質も良好であることが確認できた。

図-6 に圧縮強度および静弾性係数の試験結果を示す。各部位において多少のばらつきはあるものの、変動係数は約 8%と小さかった。静弾性係数は、どの部位も同程度で、変動係数は約 1%と小さい結果であった。また、ブリーディングが集積しやすい後打ち側、先打ち側の流動先端においても圧縮強度と静弾性係数の低下は認められず、設計基準強度を満足していることを確認した。これは、混和剤に含まれる増粘成分の効果であり、最大 5m 程度流動させるトンネル覆工特有の打込み条件においても材料分離することなく打ち込めたためと考えられる。

4. まとめ

実規模の模擬トンネルにおいて、開発した高性能 AE 減水剤を用いた覆工用高流動コンクリートを、新たに開発した自動打設システムで施工し、これらの施工性の検証を行った。その結果、1 名での打込みが可能であり、大幅な生産性向上が見込めることが分かった。また、品質は透気係数が「一般」～「良」評価となり、かつ打ち込んだコンクリートの圧縮強



写真-2 コンクリートの仕上がり

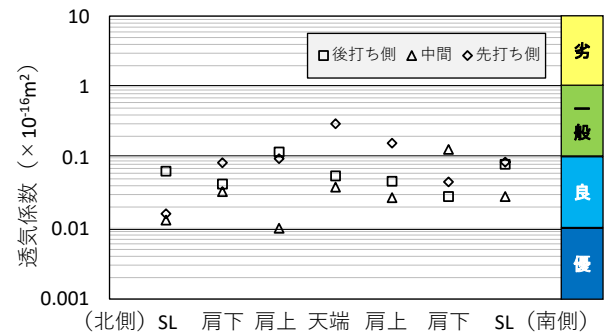


図-5 覆工コンクリートの透気係数

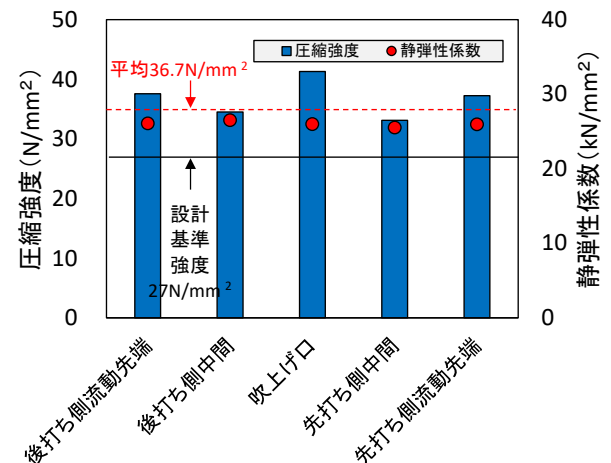


図-6 圧縮強度および静弾性係数（採取コア）

度および静弾性係数のばらつきも小さく、均質な覆工を構築できることが分かった。

参考文献

- 1) 松本修治, 佐藤崇洋, 坂井吾郎, 手塚康成, 青柳隆浩, 西岡和則: 山岳トンネルにおける覆工用高流動コンクリートの適用実績, トンネル工学報告集, 第27巻, I-17, 2017.11.
- 2) 作榮二郎, 亀島健太, 松本修治, 坂井吾郎: ブリーディング低減成分を含有した増粘剤一液型高性能 AE 減水剤を使用した覆工用高流動コンクリートの基本特性, 第75回年次学術講演会, V-434, 土木学会, 2020.
- 3) R.Torrent and G.Frenzer: A method for the rapid determination of the coefficient of permeability of the "covercrete", International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering(NDT-CE), pp.985-992, Sep.1995.

トンネル坑内自動巡視ドローン

株式会社フジタ 土木本部土木エンジニアリングセンター 設計部 松岡 祐仁

1 はじめに

国土交通省が推進する「i-Construction」の3本柱の一つである「ICT技術の全面的な活用」により、測量の他、維持・管理においてもドローンを活用した取り組みが広く行われている。

当社では、これまで建設現場において、ドローンが人的作業を代替することによる効率化や生産性向上に着目し、「全自動ドローンシステム」¹⁾による巡視・点検や測量作業の自動化、非接触での検査・確認を行う遠隔臨場にドローンのリアルタイム映像を提供する「遠隔臨場ドローンシステム」²⁾などの開発を行ってきた。

本稿では、トンネル坑内のドローンによる巡視・点検システム開発の取り組みを報告する。

2 トンネル坑内自律飛行システム

2.1 トンネルにおけるドローン活用の課題

今回、ドローンによる巡視・点検対象とした山岳トンネル工事では、掘削施工サイクル間の限られた時間内で、測量や計測等の施工管理や巡視・点検が、現場職員により行われている。また、掘削最前線である切羽では、発破後や作業間に残薬、浮石、支保工裏面の状況の目視点検が行われているが、肌落ち、崩落等のリスクが存在し、効率的かつ安全な巡視・点検技術が求められている。ドローンにとってトンネル坑内は、自動/自律飛行のためのGNSSによる位置情報を取得できないことに加え、機械設備や大型重機など飛行の障害になるものが多く存在するため、日常的に活用するには厳しい環境である。

2.2 坑内自律飛行システムの開発

トンネル坑内での管理ツールとしてドローン活用を推進するために、高度な操縦技術を有する専門オペレーターではなく、現場職員が日常のかつタイムリーに運用できる自律飛行機能が望まれる。そこで、非GNSS環境である坑内でGNSSに依存しない自律飛行システムを株式会社センシンロボティクスと共同開発した。

坑内でドローンの自律飛行を実現するため、追加センサーを搭載することとし、暗所でも高精度で周囲環境との距離を計測できる3D-LiDARを採用した。3D-LiDARを使用した自律制御では、事前に作成した点群地図とリアルタイムに取得したスキャン点群との位置合わせにより自己位置推定を行う手法が多く採用されている。しかし、トンネルのように一部を切り取った際の形状の変化に乏しい環境ではLiDAR-SLAMなどにより事前地図を精度よく生成することが難しい。また、自己位置推定自体も困難であることが想定される。

このため、一定の形状が連続するトンネル断面に着目して、設計断面を基にしたテンプレート点群とリアルタイムスキャンを比較することでドローンの移動方向を算出し、それをもとに自律飛行を行う手法を採用した(図-1)。

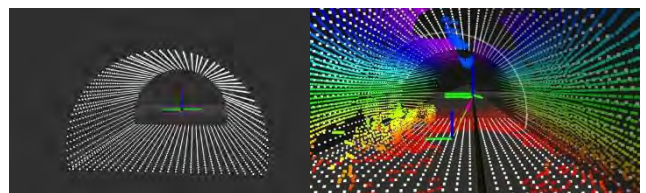


図-1 テンプレート点群(左)とスキャン点群の重畳(右)

2. 2. 1 ハードウェア構成

トンネル坑内の自律飛行で用いたドローンを図-2に示す。ドローン本体は、DJI MATRICE™ 300 RTKを用いた。追加センサーの3D-LiDARは、Ouster® OS 0®-64を採用した。64レイヤーのレーザーが出力され、画角は90度、計測距離は最大50mである。加えて、追加の自律飛行システムを動作させるドローン搭載型PCを、3D-LiDAR、ドローンと接続して必要な情報を送受信可能となっている。さらに、搭載型PCには無線LANにより、オペレーターが持つPCと通信を行い、自律飛行開始指示や周辺環境の情報を送受信できる。また、ドローン本体に付属する送信機からの特定操作により、自律飛行とマニュアル飛行の切り替えが可能になっている。



図-2 坑内自律飛行ドローン

2. 2. 2 ソフトウェア構成

本検証で用いた自律飛行システムは、Robot Operating System(ROS)上に機能ごとに実装したモジュールが双方に情報をやり取りすることで自律制御が動作する(図-3)。

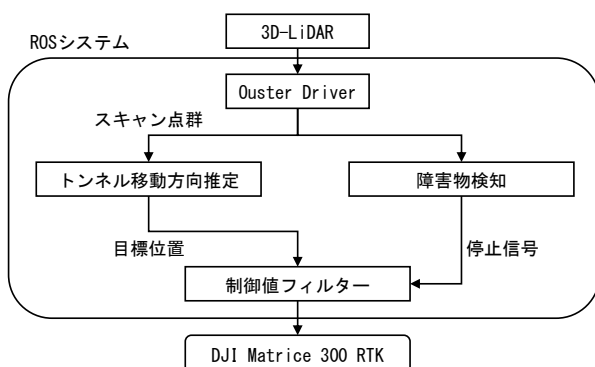


図-3 自律飛行システムソフトウェア構成

主要な機能モジュールは、「トンネル移動方向推定」、「制御値フィルター」、「障害物検知」の機能となる。LiDARによるスキャン点群は、ROSシステムに取り込まれ、トンネル移動方向推定モジュールと障害物検知モジュールに入力される。トンネル移動方向推定モジュールは、トンネル内移動に適した目標位置をドローンの姿勢に応じて推定し出力する。求めた目標位置は、制御値フィルターに入力され、滑らかに移動が可能となる目標速度を決定する。また、障害物や切羽を検知した際は、障害物検知モジュールから停止信号が制御値フィルターに送られ目標速度を0にする。最終的に、制御値フィルターによる目標速度をドローンに入力することで目標速度を達成する制御・移動を行う。

その他の機能として、後退飛行して機体を手元まで戻すリターン機能、飛行停止後に自律飛行を再開するリスタート機能、自律飛行と手動飛行の切り替え、障害物を自律飛行で回避するリルート機能(開発中)を実装する。

2. 3 現場検証

本システムの適用性を確認するため、現在施工中の令和元-4年度横断道羽ノ浦トンネル工事(発注者:国土交通省四国地方整備局)において、2022年1月、6月に現場試行を行った。

試行時点でのトンネル掘削延長400m(2022年1月)、600m(同6月)を対象に「坑口から自動離陸を行い、トンネル坑内の自律飛行を行った後、切羽に辿り着くと自動で停止(ホバリング)する」ことを目標に自律飛行の検証を行った。

トンネル坑内の自律飛行計画は、地面からの飛行高度3m、トンネル断面の飛行位置はセンターを基本とし、日々の重機や機械設備等の配置状況を踏まえて、適宜左右にオフセットして設定した。前方の障害物検知は、障害物との保安

距離や切羽手前での停止距離を踏まえて検知距離 5～20m とし、左右の検知距離は 1.5m と設定した。飛行速度は、1m/s に設定した。

坑口でスタートの指示を与えた後は、粉塵の影響や障害物を検知して一時停止することがあったものの自律飛行をリスタートすることで、事前に立てた飛行計画通りの位置を進行し、切羽手前まで問題なく自律飛行することができた。坑内の自律飛行状況を図-4 に示す。

また、自律制御において、テンプレート点群との照合の障害となる重機や機械設備等で飛行環境に変化がある場合でも、誤作動を起こすことはなく、安定した飛行が確認できた。また、万が一に備えて、自律飛行中のオペレーターによるマニュアル操作での介入を確認したが、問題なく制御を切り替えることができた。



図-4 坑内の自律飛行状況

3 トンネル坑内自動巡視システム

本開発では、現場職員が日常的に行っている目視での巡視・点検時の安全性確保、データ取得・整理の効率化、高度化を目指し、坑内を自律飛行するドローンのアプリケーションとして、次の情報収集手段を試行活用することとした。

3. 1 坑内の網羅的な情報収集・共有

坑内全線の情報収集は、自律飛行するドローン上部に艤装した 360 度カメラにより行う。360 度カメラは、現場モニタリングシステム Open Space (Open Space Labs、Inc) と連携する目的で使用する。本システムでは、事前に読み込

んだ平面図上で、撮影開始位置を指定して、360 度カメラを移動するだけで、平面図上に撮影した経路と経路上に画像が自動プロットされる。

飛行距離 600m、自律飛行速度 1m/s 設定時は、1m 毎に 2 枚 (0.5 秒間隔)、計 1200 枚の 360 度画像が取得される。撮影は、ドローンの飛行時間と同じで、約 10 分で完了した。これを人の手で整理することは不可能だが、OpenSpace は、AI による自動処理で図面上にプロット・整理し、飛行経路上を任意の視点でフライスルー可能な VR 空間を 10 分程度で生成できる。また、地上からの撮影と異なり、空中からの撮影では、人の目線からは死角になる箇所や目の届きにくい天端付近の状況も記録することができる。

生成された坑内 VR 空間上では、当日の撮影画像の他、過去画像や BIM/CIM モデルと並べて連動比較ができる。過去画像との比較では、経時変化の確認やトンネル工事の進捗に伴い施工される覆工等により不可視になる部分の施工管理記録としての活用ができる。また、BIM/CIM モデルと比較することにより、施工進捗や設計との差異の確認が可能となる (図-5)。

この結果は、遠隔地であっても Web ブラウザから確認することができる。空間上にコメントやデータ等を追加することで、遠隔地からの点検、検査や、受発注者間においても非接触での情報共有を迅速に行うことが可能となる。

坑内の自律飛行に本システムを組み合わせることで、撮影作業や画像整理を省力化して、坑内の網羅的な情報収集と迅速で高度な情報分析・共有が可能になるものと考ええる。

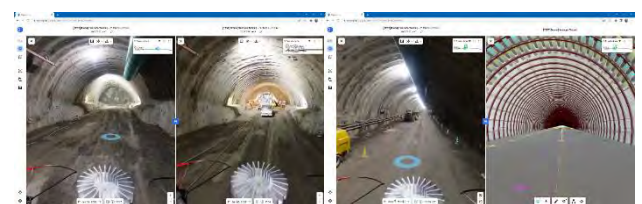


図-5 OpenSpace (時系列比較、BIM/CIM 比較)

3. 2 無人切羽点検

現場モニタリングシステムの坑内の網羅的な情報収集に対し、切羽面等対象を絞った詳細な情報収集手段として、ハイブリッドカメラ (DJI Zenmuse™ H20T) による検証を行った。

自律飛行で切羽到達後、ホバリング状態にあるドローンをマニュアルに切り替え、ドローン下部に搭載したカメラの向きやズームを操作して切羽の任意箇所の画像/映像の取得を行う。このカメラは、ズーム、ワイド、熱赤外線画像/映像を同時記録する。ワイドで全体、その中心部の詳細をズーム、全体の温度情報を熱赤外線ですべて記録・確認する使い方が可能である(図-6)。

熱赤外線画像からは、温度情報から水の検出が可能であった。検証中の切羽は、水のない状態であったが、切羽面亀裂や鏡吹付け裏面から水が滲出していた場合、次サイクルの施工時に留意すべき情報として活用できるものとする。



図-6 切羽のワイド画像/熱赤外線画像

飛行撮影時の映像は、ドローン送信機上で確認することができるが、操縦者以外にも、リアルタイムに坑外や事務所等の遠隔拠点にいる関係者に映像共有できれば、安全や迅速な情報共有の面から情報の価値が向上すると考え、遠隔臨場ドローンシステム²⁾を活用することとした。

本システムは、ドローンカメラの映像を送信機から坑内 Wi-Fi を介してクラウド上にアップロードし、遠隔地の PC や携帯端末の Web ブラウザから、リアルタイム映像を閲覧できる技術である。映像品質は、ネットワークの品質に左右されるが、検証期間中は、3~5 秒程度の遅延

があったものの鮮明な映像で坑内の状況をリアルタイムで確認することができた(図-7)。



図-7 遠隔地 PC による坑内リアルタイム確認

4 おわりに

トンネル坑内自動巡視システムは、ドローンの自律飛行に現場モニタリングデータ処理の自動化を組み合わせ、現場職員が日常的に行っている巡視のデータ取得・整理の効率化、高度化を図ったものである。併せて、ハイブリッドカメラによる詳細な情報取得とそのリアルタイム配信により、発破直後や作業間に、自律飛行と組み合わせて切羽点検を行うことで、現場職員、作業員が切羽に近接することなく遠隔地でも的確に坑内の現状把握・確認が可能となった。

現在、本システムは、自律飛行制御の高度化に加え、搭載機器の防塵性向上、操作性の改善等を行い、現場職員が坑内をより手軽に、かつ安全に飛行させて活用できることを目標に現場実装に取り組んでいる。

今後は、開発と併せて、現場での運用を進め、他現場への水平展開を図る計画である。本稿が、現場の施工管理の生産性向上、安全管理の高度化に資する技術として参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 上原広行、松岡祐仁、長尾健：「全自動ドローン」で測量と安全巡視を無人化、建設施工と建設機械シンポジウム、2021
- 2) 松岡祐仁、林秀晃、吉井太郎：遠隔臨場ドローンシステムの開発、建設施工と建設機械シンポジウム、2021

ケーソン据付時の ICT 施工について

敦賀港湾事務所 保全課 東 凌

1 はじめに

敦賀港は、敦賀湾奥に位置し、特徴的な地形により水深が深く、海底の浚渫を必要としない天然の良港として古来より栄えてきた。近年では、鞠山北地区で北海道と関西・中京圏とを結ぶ内航フェリー及び内航 RORO 船が苫小牧港から毎日就航している他、2010 年に供用した鞠山南地区 A 岸壁では、広島の大竹港とを結ぶ瀬戸内海航路（コンテナ航路）・韓国・釜山港とを結ぶ釜山航路（コンテナ航路）や、金ヶ崎地区では 2019 年に開設された博多 RORO 船が就航している。また、川崎・松栄地区では韓国・釜山港とを結ぶ外航 RORO 船が就航しており、国内外を問わず物流の拠点として重要な役割を担っている。

本稿では、延伸が進められている鞠山南地区 B 岸壁において、ケーソン据付時に新技術を用いて据付を行った際のシステムの概要と導入によってもたらされる有効性について報告する。

2 ICT 活用工事導入の背景

国土交通省では、建設現場における生産性を向上させ、魅力ある建設現場を実現する i-Construction の取組を進めており、建設現場の生産性を 2025 年度までに 2 割向上させることを目指している。¹⁾

港湾工事においては、2020 年度より ICT 本体工のモデル工事が実施されており、基礎工や浚渫工などにおいても ICT を活用する取組みが拡大しており、北陸地整管内での活用が進められているところである。

本工事は、北陸地方整備局管内として初めて行われる本体工における ICT 活用モデル工事となった。

3 工事の概要

工事概要は以下の通りである。（図-1）（表-1）

- ・工事名：令和 2 年度敦賀港（鞠山南地区）岸壁（-14m）築造工事（その 3）
- ・受注者：東洋建設（株）
- ・工期：令和 3 年 2 月 12 日～令和 3 年 9 月 10 日
- ・工事内容：基礎工、本体工（ケーソン据付）、

付工



図－1 敦賀港平面図

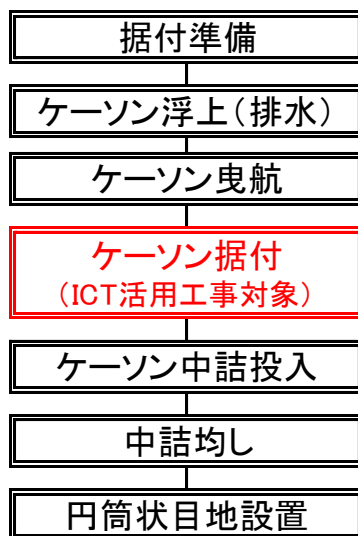
表－1 ケーソンの諸元

項目	数値	備考
全長（6函）	90m	
重量 （1函あたり）	2, 220t	止水板・ バラスト含む
幅 B	12. 9m (14. 4m)	
長さ L	15. 0m	
高さ H	15. 5m	

4 ケーソン据付の概要

4. 1 施工手順

本土工における施工フローを図-2に示す。
なお、ICT 活用工事の対象となっているのは
ケーソン据付（赤文字記載箇所）である。

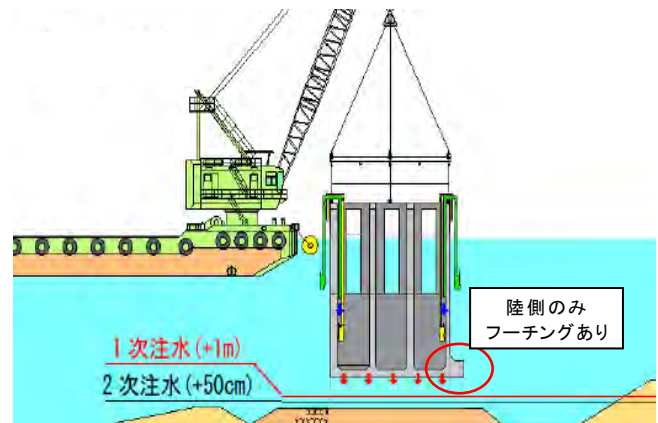


図－2 本土工フロー図

4. 2 一般的な本土工（ケーソン据付）の概要

据付場所までケーソンの曳航が完了後，起重機船で注水用の水中ポンプ 8 インチ，水中ポンプ 6 インチを設置し，ケーソンの陸側沖側を 180 度反転させた後，据付マウンドより約 1m の高さまで一次注水する．次に，起重機船によりケ

ーソンをおおよその据付位置に位置決め後，据付マウンドより約 50cm の高さまで再度注水する．既設堤体上のケーソン据付装置の誘導に従い，所定の位置に据え付ける．据付位置確認後，ケーソンマス内へ均等に注水を行う．（図-3）



図－3 ケーソン据付状況図

5 ICT 本土工の概要

本工事で使用したICT本土工としてのシステムはケーソン据付システム『函ナビ』（NETIS 番号:CBK-130002-VE）と呼ばれているもので，据付用ケーソンの位置と目標据付位置をリアルタイムに可視化する技術と，注排水ポンプを自動で操作する技術を用いて施工を行った。

5. 1 施工方法

5. 1. 1 機器の配置

本工事で使用したICT機器は以下の通り。
ケーソン上：操函ウインチ，注水ポンプ，水位計，二軸傾斜計，全方位ミラー
遠隔操作側：自動追尾トータルステーション，制御装置，監視モニター，ウインチ・ポンプ操作装置

5. 1. 2 キャリブレーション

キャリブレーションは，水位計と傾斜計について行い，水位計については1mと5mの2点で調整を行う．傾斜計は仮置き場所に着底しているケーソンの4隅の天端相対高をレベルで計測し，ケーソンの傾斜を計算により求め，その傾斜値を

傾斜計の初期値として設定する。

5. 1. 3 施工前準備

函ナビに据付目標位置(座標)、ケーソンの形状、隔室数、全方位ミラー設置位置、ケーソン初期傾斜値等の情報を登録する。

5. 1. 4 施工

施工中、作業指揮者は遠隔監視モニター、操作装置にて監視・操作を行う。

5. 2 目標据付位置の可視化

函ナビは、ケーソン据付時、ケーソンを誘導するために必要なケーソン位置・傾き、及びケーソン枡内の水位データをリアルタイムにパソコン画面上に表示し、これらのデータをケーソン底板部4隅の動揺幅に変換処理し、うねりによるケーソン動揺軌跡として表示する。(図-4)

これらの情報により、ケーソン動揺幅、既設ケーソンとの離隔や基礎マウンドまでの距離を監視しながら、正確に新設ケーソンを所定位置に据付ける。

5. 3 注排水ポンプの自動施工

ケーソンの各枡内に水位計を設置することで枡ごとの水位差を随時監視する。このデータによりシステムが水位差を抑えるよう、注排水ポンプを自動で操作し水位の調整を行う。(図-5)

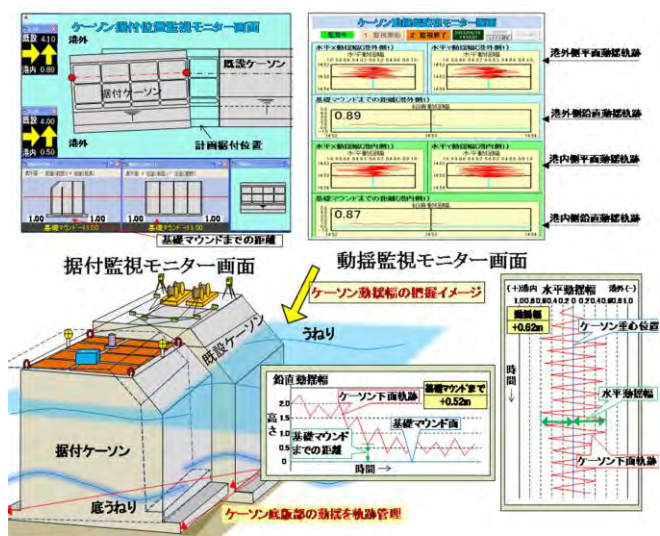


図-4 函ナビ 概念図

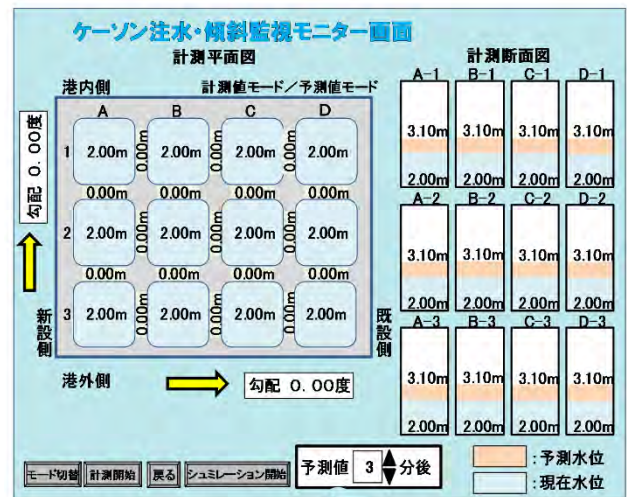


図-5 自動注排水システムモニター画面

6. 有効性について

このシステムを使用するにあたって、従来の施工方法と比較した際、下記の点において優位であると考えられる。

6. 1 据付作業の省力化

函ナビによってケーソンの誘導管理がなされることによって浮遊中の位置や姿勢をリアルタイムに把握し、それらを起重機船と連携させることでケーソンの挙動を管理しながら効率的の良い据え付けを実現することができた。この省力化により、従来のウインチ方式を用いて施工する場合と比較して作業時間を約2時間短縮することができた。

また、省力化に伴って後述する安全性の向上にも寄与していると考えられる。

6. 2 安全性の向上

当該システムを用いることにより、従来はケーソン上にある開口蓋から水位を計測しに行く必要があったが、水位計で自動的に計測することが可能になった。

また、システムが自動的にポンプの注排水を操作するので、操作員がケーソン上で作業する必要がなくなった。このことから、ケーソン据付時、狭隘で上床版用アンカーなど突起物の多

いケーソン上での作業を従来の施工方法と比較して3人（約28%）削減でき、躓き転倒災害、転落災害やアンカーワイヤーによる跳ねられ災害等のリスクの低減を図ることができる。

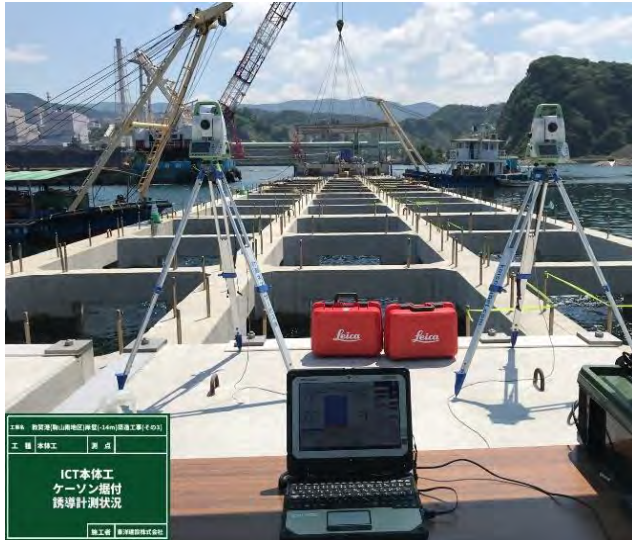


図-6 ケーソン据付時の計測の状況

7. 施工上の工夫点

7. 1 ケーソンの形状を考慮した施工

本工事において使用したケーソンの形状はスリットケーソンで、かつ片側のみフーチングを有する左右非対称構造のもので（図-3）不安定となりやすい形状であることから、ケーソンの動揺を安定させるためには高い技術力が必要となる。そのため、ICT本体工の対象工事としたことでリアルタイムに位置などの情報を管理する技術が使われ、浮函の水平バランスを保ちながら精度よく安定した施工を行うことができた。

7. 2 ICT活用指針

令和2年度の発注当時は、港湾工事におけるケーソン据付（本体工）のICT活用工事に関する実施要領がなく、具体的な指針が示されていなかったため受注者へ提示できる資料が非常に少なかった。そのため、他の整備局において函ナビなどのICT技術を駆使して施工した実績を参考として本工事にも活用することで、据付時の

ケーソン位置の可視化や注排水ポンプの自動化といったICT施工をスムーズに行うことができた。

その後、2022年4月には港湾事業における「ICTの全面的な活用」に関する基準の改定等があり、ICT機器を用いた出来形管理要領や監督・検査要領の運用が開始されており、施工を行う上で必要となる資料の拡充が図られている。

8. まとめ

敦賀港（鞠山南地区）岸壁（-14m）築造工事（その3）において、ICT施工を用いてケーソン据付を行った。北陸管内では初めて行われる施工方法であり、発注当初はICT活用工事計画書等、十分な資料がなかったが、受注者の創意工夫などの施工技術により充分でない部分が補われ、施工にあたって目標としていたICT施工が成された。

本工事では、ケーソンの位置や傾きをリアルタイムに一元管理し、かつ、ケーソン内の注排水を自動化することにより、ケーソン上での作業を減らし省力化に繋がり、さらには安全性の向上に寄与することが確認できた。

2022年度に具体的な記載がなされている出来形管理要領が作成されたことから、施工に当たって明確な指針を示すことができるようになり、ICT施工を標準的に使用する体制が整えられており、今後は同工種において普及と展開が見込まれる。

謝辞

本稿を執筆するにあたって、東洋建設株式会社様には多くのデータとご助言を提供頂きました。厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 港湾におけるICT検討導入委員会資料

消波ブロックを対象とした UAV 測量

五洋建設株式会社 技術研究所 土木技術開発部 西 広人

1 はじめに

消波ブロックの性能評価に必要な断面形状や高さ等、形状把握のための計測は、転落の危険があることから、近接する防波堤上部工上からの延長計測や目視計測が主流であった。そこで、安全かつ迅速に消波ブロックの 3 次元形状を把握するため、UAV 測量の適用を検討した。本論文ではその検討内容と計測手法、取得点群評価方法について紹介する。

2 消波ブロックの詳細形状取得

消波ブロックはその機能特性から、施工延長が長大、個々の形状が複雑、空隙を持つ構造体といった特徴がある。しかし、性能評価のための天端幅や高さの計測は前述した特徴のために実施が困難である。従来では出来形計測は施工延長のみ¹⁾、被災時の点検は目視確認に留まっている²⁾。したがって、ICT 技術を用いた非接触型の計測が有効であると考ええる。

一方、近年では大規模土工現場等で UAV 測量が広く適用され、広域計測の省力化および省人

化に寄与している。UAV 測量は写真測量やレーザ測量に大別されるが、いずれの測量方法も空中を飛行して計測する。著者らは構造物と接触せずに計測を行うという UAV 測量の特徴から、消波ブロック計測への適用を試みた。

3 UAV 測量概要

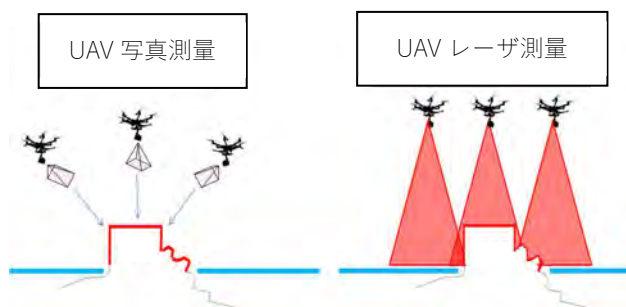
UAV 測量は前述のように 2 種類の測量方法(図-1)に大別される³⁾。

①UAV 写真測量は、UAV にカメラを搭載し、連続的に重複した画像を撮影する。撮影した画像と地上基準点や機体情報を元に SfM (Structure from Motion) 処理を行うことで点群データを生成する。機材が比較的安価かつ簡単に入手でき、最も普及する UAV 測量方法である。陸上工事現場等では、対象物を囲むように標定点と呼ばれる位置座標が既知である点を設置し、SfM 処理で発生する歪み等の誤差を補正することで高い精度での計測を実現している。

②UAV レーザ測量は、レーザスキャナを UAV に搭載し、対象物に対してレーザを照射することで、反射パルスの往復時間から距離を計測して空間情報を計測する。レーザにより対象物を直接 3 次元点群として捉えることができるため、UAV 写真測量に比べると高コストであるが、数多く使用されている測量方法である。また、レーザの波長を変更することで気水中を連続的に計測するグリーンレーザ測量等も近年普及しつつあり、気水中の連続データ取得等への適用が期待されている。



図-1 消波ブロックの出来形計測状況



図－2 UAV 測量方法模式図



図－3 計測対象の防波堤

4 検討内容

本論文では、前述した測量方法の内、最も普及する写真測量について、消波ブロックを対象とした計測手法を立案し、現地計測に適用した⁴⁾。計測対象とした防波堤を図－3、設置した対空標識（標定点、検証点）を図－4、計測諸元を表－1に示す。計測結果を踏まえ、計測精度の検証および定量的な計測パラメータの把握を試みた。

4. 1 港湾構造物特有の環境影響評価

SfM 処理は、撮影した画像から特徴点を抽出することで撮影位置を推定し、同一地点に対する複数画像の視差から点群データを生成している。したがって、撮影される写真の中に特徴点が必要であるが、消波ブロックは周囲を海に囲まれており、海面は常に変化するため特徴点として抽出することができない。また、2章で述べた消波ブロックの機能特性上の特徴により、直接標定点を設置することが難しい。

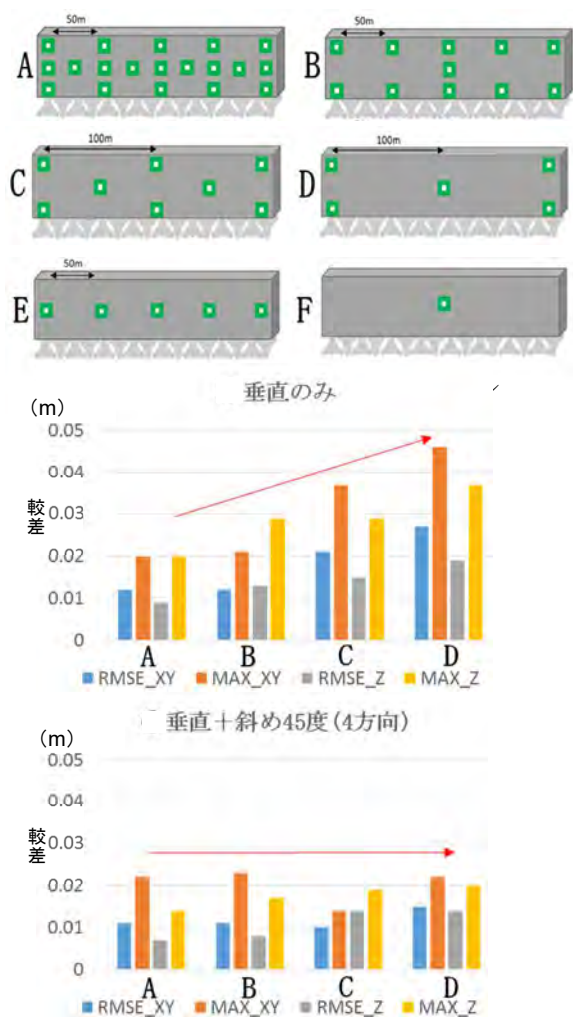


図－4 対空標識

表－1 計測諸元

測 量 手 法	写真測量
使 用 機 体	DJI-Phantom4Pro
飛 行 高 度	垂直:30m 斜め30度, 45度:25m
飛 行 速 度	2.9m/s
G S D	垂直, 斜め30度:0.8cm 斜め45度:1.0cm
コ ー ス 間 重 複 度	オーバーラップ:80% サイドラップ:60%
計 画 点 密 度	-

したがって、消波ブロックに隣接する上部工上に、標定点を図－5に示すように複数パターン設置し、精度を確認する検証点を設けて撮影パターン毎の精度比較を行った。その結果、A～Dの配置パターンについては、検証点での最大較差が水平方向で4.6cm、鉛直方向で3.7cmとなり、要求精度である位置精度 $\pm 5.0\text{cm}$ を満たす結果となった。一方、E、Fの配置パターンについては、最大較差が100cm以上となり、実用的な精度の確保はできなかった。A～Dパターンは対象範囲の四隅に標定点を設置しており、長手、短手方向ともに最低でも2列以上の配置となる。一方、E、Fパターンは長手方向もしくは短手方向が1列配置になる場合があり、点群データの補正をする際に、面的な補正ができなかったことが要因として考えられる。また、図－6より、垂直撮影のみでは標定点の減少に伴い較差が増大しているが、斜め撮影を加えることで較差の減少が抑制されている。これは、垂直撮影に比べて防波堤垂直部などを撮影できたことで、より



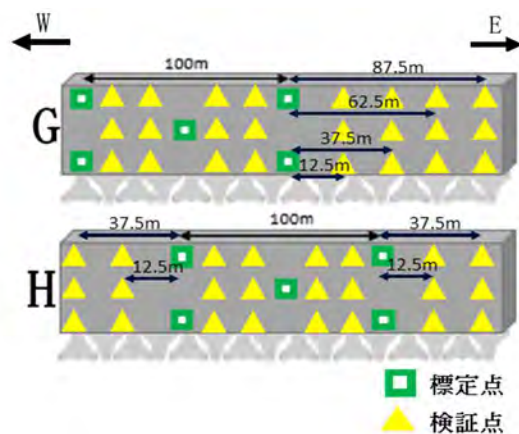
図－6 標定点減少による較差推移

多くの特徴点を抽出したため点群生成時の精度が向上したものと推察される。

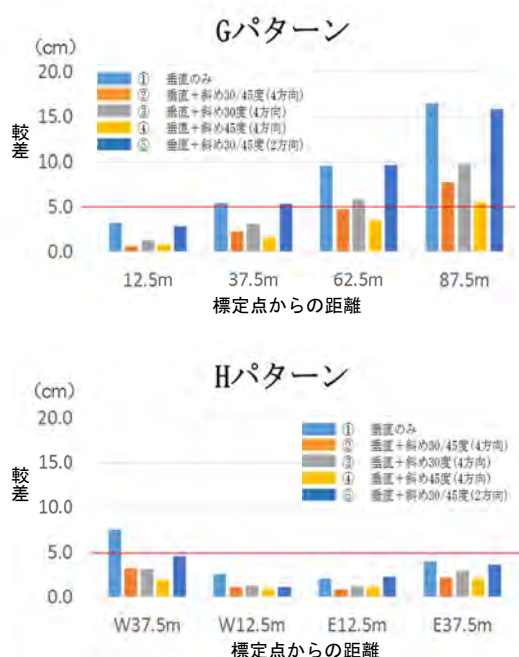
以上より、港湾構造物特有の環境下においても、UAV 写真測量が適用できることが示された。

4. 2 標定点外での計測精度評価

消波ブロックは安全管理上、直上での作業が困難であるため、四隅に標定点を設置することができない。したがって筆者らは、前章のような隣接する上部工上への標定点の設置により消波ブロックが計測できないかと考えた。そこで、図－7に示すように標定点を上部工上に設置し、標定点で囲まれた範囲外に検証点を複数設置して計測を行った。その結果、図－8に示すようにGパターンでは、標定点範囲からの距離が長くな



図－7 標定点範囲外への検証点



図－8 標定点外検証点での較差分布

るにつれて較差の増大が確認されたため、標定点外での較差の増大要因の一つは、標定点範囲からの距離であることが明らかとなった。

HパターンでもGパターンと同様に標定点範囲からの距離が較差と比例しており、標定点範囲を中心に左右に較差が分布していることが確認できたため、較差の分布は標定点範囲を中心に同心円状であると推察される。

加えて、G、Hパターンともに、前検討と同様、斜め撮影の有効性が示され、45度の場合が最も較差が少ない結果となった。これは、30度では傾ける角度が大きく、同一地点への撮影画

像で対象物にパラペットが干渉したことに起因すると考えられる。

以上より、消波ブロックと同様に標定点範囲から離れた対象物を計測する場合にも、要求精度 $\pm 5.0\text{cm}$ を満たす計測が可能であることが明らかとなった。

5 消波ブロック範囲での写真測量とレーザ測量の比較

前述した UAV 写真測量手法で取得した点群データと、同一地点で実施した UAV レーザ測量により取得した点群データを比較することにより、消波ブロックの形状が忠実に再現されているのかを確認した。消波ブロック断面の点群データを重ね合わせたものを示す図-9より、消波ブロック天端付近から法尻付近まで、両測量方法で同様の形状を取得していることがわかる。法尻付近では、レーザ測量では影になり形状を再現できない部分についても、写真測量では斜め撮影を併用しているため、形状が取得できていることがわかる。また、今回はグリーンレーザを使用したため、レーザ測量については水中の消波ブロックの形状を取得しているが、写真は水面上に点群ができています。これは水中の消波ブロックが撮影されているものの、屈折の影響で高さ方向に誤差が出ていることが考えられ、水部付近での取り扱いには留意する必要がある。

以上より、計測手法に留意した UAV 写真測量では、高コストな UAV レーザ測量と同様の精度

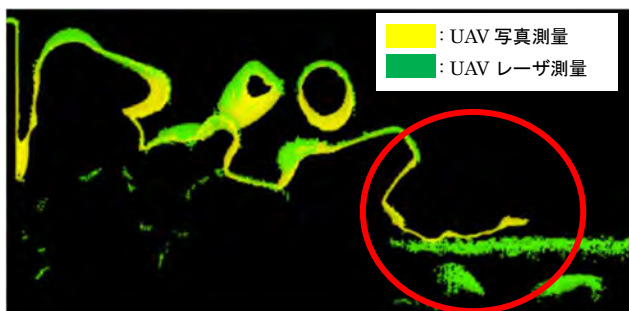


図-9 消波ブロック断面での点群比較

を持つことが明らかとなった。

6 おわりに

本論文では、港湾工事及び維持管理の省力化・効率化に資するため、ユニークな形状がゆえに従来は3次元形状の把握が困難であった消波ブロックの点群データを、①対象となる消波ブロックに隣接する上部工上の四隅に標定点を配置すること、②消波ブロックが標定点範囲から62.5m以内になるよう標定点を設置すること、③垂直撮影に加えて4方向からの斜め撮影45度を加えること、の3つを実施することで高い精度かつ安全に計測できることを発見した。今後は、地球温暖化に起因する海象条件の激甚化により、消波ブロックの被災の増加が懸念され、とくに施工延長の長い消波ブロックは被災箇所や被災状態の把握が重要となる。本手法を用いた出来形・維持管理のさらなる高度化や、被災状況の見える化などの建設DXを実現することで、人々の暮らしを守る港湾施設の施工や維持管理等港湾事業の一助となるよう引き続き検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局：港湾工事共通仕様書（令和3年3月），2021.
- 2) 国土交通省港湾局：港湾の施設の点検診断ガイドライン（第2部 実施要領），2014.
- 3) 西広人，琴浦毅，堺浩一，今野洋幸：UAVを用いた消波ブロックの測量手法に関する検討，土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol. 76，No. 2，pp. I_690-I_695，2020.
- 4) 西広人，琴浦毅，堺浩一，石塚淑大：消波ブロックを対象とした UAV 写真測量の適用性検討，土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol. 177，No. 2，I_691-I_696，2021.

消波ブロックのリアルタイム据付シミュレーション

(株) 不動テトラ 総合技術研究所 海洋・水理グループ ○三井 順
海洋・水理グループリーダー 久保田真一
材料・構造グループ 橋田 雅也
材料・構造グループリーダー 昇 悟志

1 はじめに

近年、i-Construction の取り組みが進められている中で、消波工の測量や設計、施工、維持管理等において3次元データの活用が進んでいる。例えば、UAV 等による既設消波工の3次元測量による劣化度の判定や、3次元形状に基づく消波ブロックの必要個数の計算などが行われている。また、越波や波力等による消波構造物の水理機能や作用耐力比を評価する手法として、数値シミュレーションの活用が進められており、将来的には個々の消波ブロック形状をモデル化した精緻な数値シミュレーションも可能となると考えられる。このように、今後は様々な場面で消波工の3次元デジタルモデルの重要性が高まると考えられ、その構築方法を確立することは重要な課題である。

従来の技術で消波工の3次元モデルを作成する場合、消波ブロックモデルを3次元CADにより配置していくことが考えられる。しかし、この方法ではブロック同士の接触を考慮することはできないため、ブロック同士がオーバーラップしてしまう等、実際にブロックが積み上がる状況を再現することはできない。

そこで、消波工の3次元デジタルモデルを容易に作成するための、消波ブロック据付シミュレーション手法の開発を行った。本手法は、実際のブロック据付作業(図-1)と同様にワイヤーで

ブロック据付作業をシミュレートできることが特徴である(図-2)。



図-1 ブロック据付状況

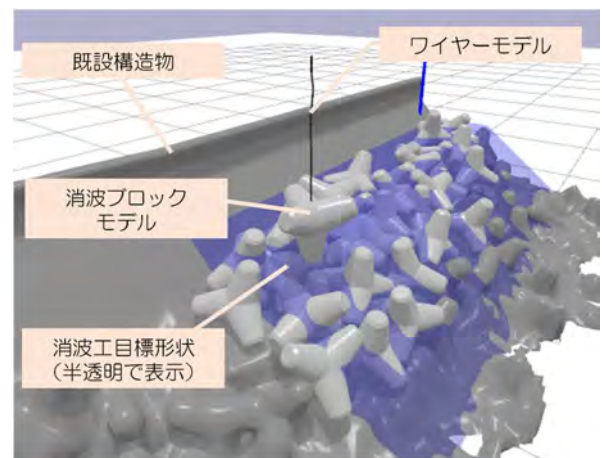


図-2 ブロック据付シミュレーション状況

2 シミュレーション手法の概要

本シミュレーションは、UAV 測量等で得られた既設構造物の3次元形状データを読み込み、そこへ消波ブロックモデルを設置していき、設置完了後のブロック形状データや各ブロックの位置・姿勢のデータ等を出力するというものである。

本手法は、オープンソースの物理エンジンで

ある PyBullet をベースとして開発した。物理エンジンは、複数の物体の接触や衝突を含む物理挙動をリアルタイムでシミュレートするものであり、ゲームにおいてリアルな表現をするために用いられる他、ロボットや建設機械等のシミュレーションのような精度が求められる用途でも活用されている。ブロック据付シミュレーションに物理エンジンを用いることの利点は、「リアルタイム」かつ「インタラクティブ」なシミュレーションが実施できることである。これにより、消波工の状況をモニターしながら、設置するブロックモデルを適切な位置に誘導し、ブロック相互のかみ合わせを考慮して据え付けるといった、実際の据付作業に近い操作が可能となる。

2. 1 ワイヤーモデルによるブロック据付

ブロックの設置位置や姿勢の微調整ができるように、ワイヤーを用いる実際の据付作業を模擬することとした。ワイヤーモデルは複数の棒状体をヒンジで連結して作成した。ワイヤーモデルの下端とブロックモデルを連結してブロックを吊り上げ、ワイヤーの上端部を操作して移動し、設置位置が決定したらワイヤーとブロックの連結を切り離す(図-3)。また、ワイヤーとブロックとの連結位置を切り替えることで、実施工で用いられる複数のブロック吊上げ姿勢を再現できるようにした(図-4)。

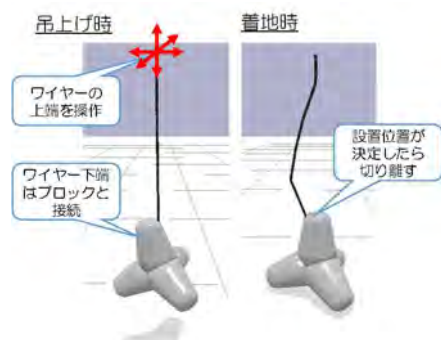


図-3 ワイヤーモデルによるブロック据付

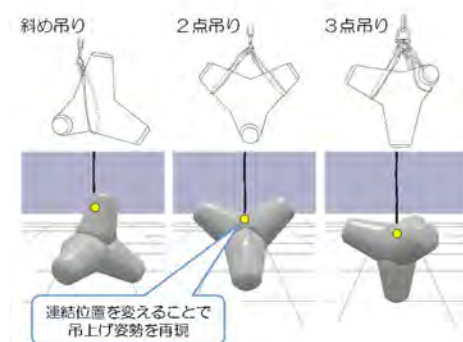


図-4 ブロック吊上げ姿勢

2. 2 操作方法

ブロック据付作業においては、設置するブロックの水平・上下移動、鉛直軸まわりの回転、視点の移動やズーム、ワイヤーの切り離し、吊り上げ姿勢の切り替え等、様々な操作を行う必要がある。そこで、ゲームパッドを用いてこれらの入力をできるようにすることで、操作性を向上させた(図-5)。

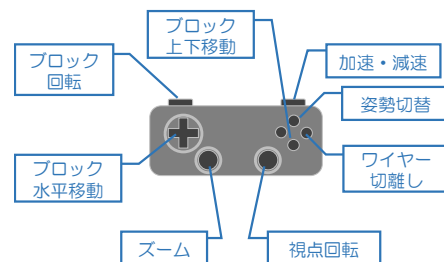


図-5 ゲームパッドへの操作割り当て例

また、別の操作方法として VR 空間内での据付操作を行う方法も並行して開発を進めている。この場合の機器構成は、PC、VR ヘッドセット、VR コントローラーとなる。視点の操作は VR ヘッドセットからの情報に基づいており、操作者の位置と向きに応じて視点が移動する(図-6)。また、ブロック位置の操作に関しては、VR コントローラーの位置(すなわち操作者の手の位置)に連動して動くようにした。VR を用いることの利点として、消波工の凹凸や距離感をより現実的に把握できることや、設置するブロックをより直感的に誘導できることも挙げられる。



図-6 VRを使用する場合の機器構成

2. 3 その他の機能

その他の機能として、自動設置機能、断面形状測定機能、ブロック固定機能などを加えた。

自動設置機能は、図-7に示すように規則的な配置で複数のブロックを自動的に並べるものである。

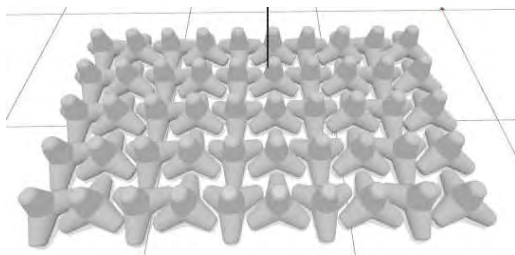


図-7 自動設置機能による規則的な配置例

また、多数のブロックを設置する場合にはブロックを一つずつ操作すると時間と労力を要するため、指定した任意の領域内に所定のブロック個数が収まるようにブロックを自動的に配置する機能も開発中である。図-8はこの自動設置機能を用いて台形状の断面の傾斜堤にブロックを設置した例である。また、任意の測線で断面形状を測定することも可能である（図-9）。

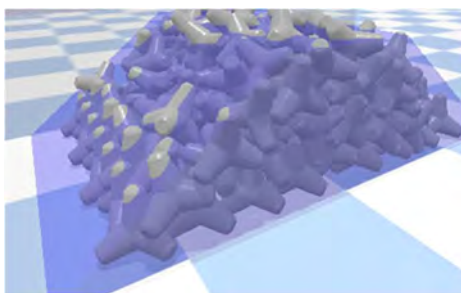


図-8 自動設置機能による傾斜堤への設置例

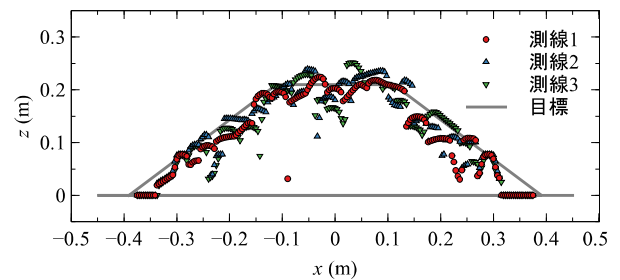


図-9 断面形状の測定結果例

物理エンジンは比較的高速に物体同士の衝突判定を行うことが可能であるが、設置したブロック個数が増えてくると計算負荷が高くなり、動作が遅くなってくる。そこで、計算負荷を緩和するための対策として、設置済みの一部のブロックを固定し、固定したブロック同士の衝突判定は行わないようにする機能を加えた。このブロック固定機能を用いることで、ブロック個数が多くなってもスムーズにシミュレーションを実施することができる。

3 消波工の補修検討への活用例

本技術は、消波工の設計・施工・維持管理などの様々な場面での活用が考えられるが、ここでは補修検討への活用方法例を紹介する。検討の流れは以下の通りである（図-10）。

- ① UAV 測量等により既設構造物の3次元形状データを取得する
- ② 消波ブロックの積み増しの検討を本シミュレーション手法により行う
- ③ 得られた消波工の3次元データを取り込んだ波浪シミュレーションを行い、ブロック積み増しの効果を検証する

既設構造物のデータは、OBJ形式のデータに変換することで、ブロック据付シミュレーションで読み込むことができる。UAV 測量で得られる3次元形状データ等は空間解像度が非常に高いこ

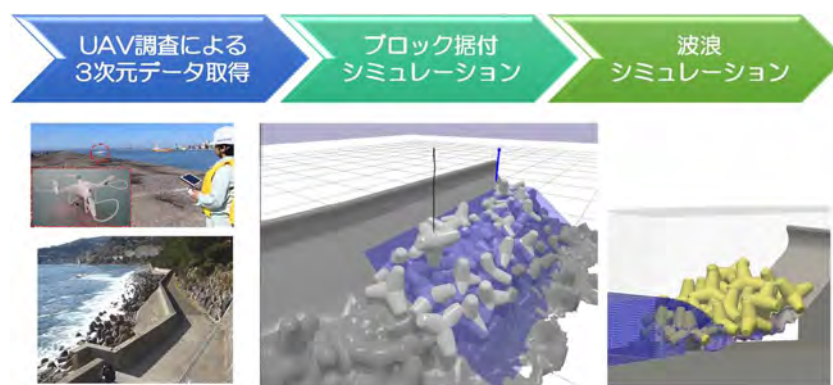


図-10 本技術の活用イメージ

とがあるため、そのまま読み込んでしまうと計算負荷が高くなってしまう場合がある。そのような場合には、影響が小さいと考えられる範囲で既設構造物の形状を簡略化する必要がある(図-11)。

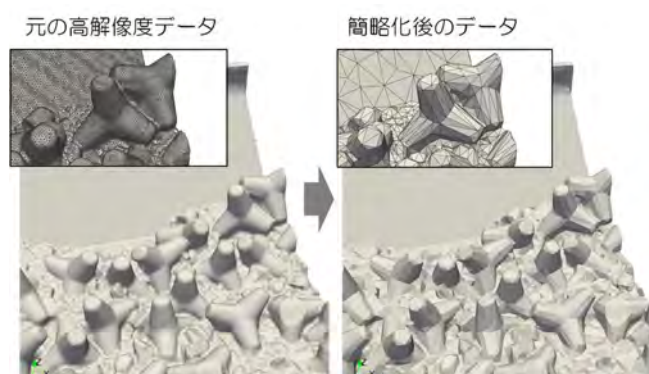


図-11 既設構造物の3次元形状データ例

ブロック据付完了後のデータは STL 形式で出力できる。そのデータを OpenFOAM 等の流体解析シミュレーションに取り込むことで、例えばブロック積み増しの有無による越波状況の比較を行うことができる(図-12)。このように、現地の地形や既設構造物の形状だけでなく、個々の消波ブロック形状まで考慮した波浪シミュレーションを行うことで、ブロック積み増しの検討をより精緻に行えると考えられる。

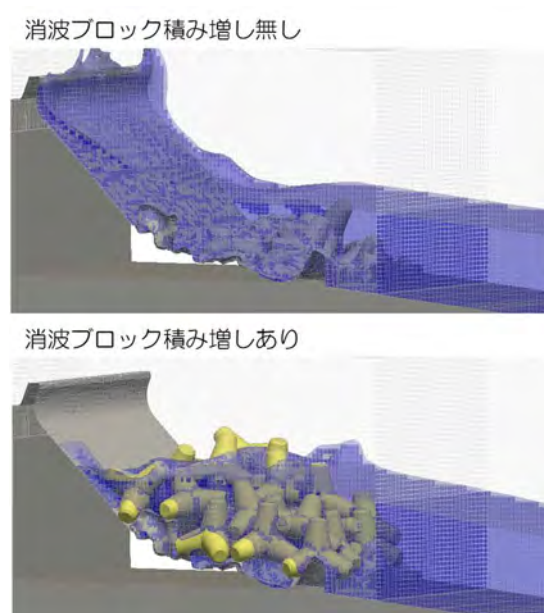


図-12 3次元ブロック形状データを取り込んだ波浪シミュレーションの実施例

4 おわりに

消波工の3次元デジタルモデルを容易に作成するためのブロック据付シミュレーション手法を紹介した。本技術は、消波工の水理機能の高精度な数値シミュレーションや、現場でのブロック据付作業におけるブロック設置方法の検討など、様々な用途での活用が考えられる。

今後も、消波工の設計・施工・維持管理等における高度化や効率化に寄与できるよう、検討を継続する所存である。

5G を用いた遠隔操縦システムの構築

大林組 技術研究所 ○主席技師 稲川 雄宣

上級主席技師 古屋 弘

日本電気 新事業推進部門 ディレクター 印南 貴春

酒井重工業 開発本部 新技術開発部 リーダー 櫛田 成基

1 はじめに

建設分野におけるロボット化は「無人化施工技術」として発展し、今日さまざまな現場で活躍するに至っている。特に近年は地震、豪雨、噴火災害など大規模災害の復旧や対策工事に数多く適用され、社会インフラの再構築に無人化施工技術は大いに活用されている。

大林組と日本電気は図-1 に示すように、2017 年度より、KDDI が総務省から受託した委託業務「5G を利用した建設機械(以下、建機と略記)の遠隔操縦の実証実験」において、建機の遠隔操縦の実証実験を 3 年間実施してきた¹⁾。2019 年度は酒井重工業も加わり、遠隔操縦を実際の道路造成のように施工図面にに基づく工事(一般施工)への適用を想定し、5G 通信(第 5 世代通信規格)を用いた遠隔操縦により、道路造成を実施した²⁾。

2020 年度は官民研究開発投資拡大プログラム(PRISM)³⁾での試行業務に採択され、実現場の施工において 5G を利用した建機の遠隔操縦の実証実験を実施した。なお、土木の現場を想定した場合、ローカル 5G(地域の企業や自治体等が個別に利用できる 5G ネットワー

ク)を用いて運用されることが考えられるため、本件ではローカル 5G を用いた。さらに、遠隔操作による作業だけではなく、一般の施工において重要となる出来形管理や品質管理に関しても遠隔で実施することとした。すなわち、遠隔操作やマシンコントロールに 3D レーザースキャナ、加速度計などのセンサを組合せ、リアルタイム出来形・品質管理を組合せた「統合施工管理システム」を構築し、試行した。

2 機器構成および実験内容

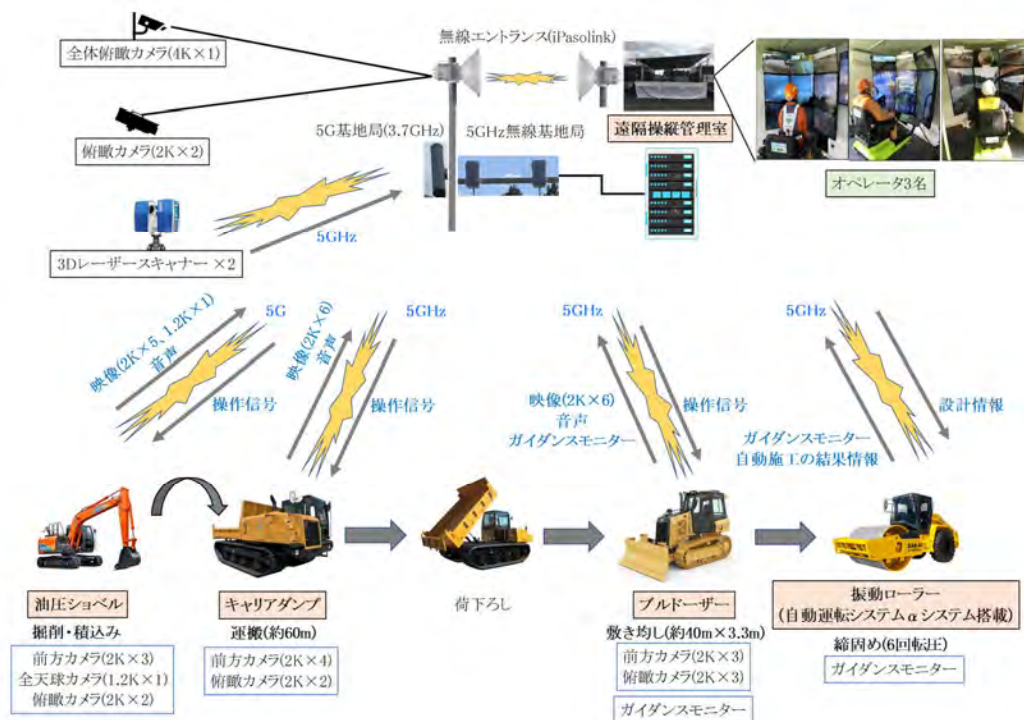
実験は、2021 年 3 月に(株)大林組が施工中の静岡県御殿場市印野字丸尾の境沢川調節池にて実施した。以下に、概要について述べる。

2. 1 機器構成

実験に使用した機器構成を図-2 に示す。今回の実証実験では、油圧ショベル、キャリアダンプ、ブルドーザーの計 3 台の建機を、5G と 5GHz 帯無線を利用して汎用遠隔操縦装置と電気信号制御装置による遠隔操縦を行った 5G の高速大容量と低遅延を活用することで油圧シ



図-1 5G 通信を用いた建機の遠隔操縦実証実験



図－２ 機器構成

ョベルは搭乗操作と同様の操作性を目指すとともに、5GHz 帯無線を利用したキャリアダンプとブルドーザーの遠隔操縦及び自動運転システムを搭載した振動ローラと連携させる。同時に実証ヤードから約 300km 離れた当社西日本ロボティクスセンターから油圧ショベルの長距離遠隔操縦、キャリアダンプの音声操縦にて搭乗操作と同様の操作性についても確認した。

また現在の施工方法では、測量や施工を順次行って出来上がった工事物(出来形)に対して品質の確認を行うのが一般であるが、5G を利用した施工方法の展望として、遠隔操縦に測量や施工の結果を集約して、測量と施工を同時に実施することで、作業のムラや無駄な工数を削減することを目的とする。今回は 2 台の 3D レーザースキャナを用いて測量を行い、土砂量や造成結果をリアルタイムに遠隔操縦管理室にて把握することによって、一般工事における測量と施工を同時に実施することを再現した。また、GNSS を用いた転圧回数や加速度応答値による換算乾燥密度、地盤反力係数等による面的品質管理も試行した。

2. 2 実験工程

今回の実証実験は幅 3.3m × 60m の堤体にコア材を運搬し、敷均し転圧する一連の堤体造成工事にて実施した(図－3)。実験の流れ及び建機の動作は以下のとおりである。

- ①油圧ショベルでコア材を 4 回掘削し、クローラキャリアに積込を実施。
- ②クローラキャリアはコア材を約 60m 先(片道)の造成箇所運搬し、荷下ろしを実施。
- ③ブルドーザーは運搬されたコア材を 2 回から 3 回ほど敷き均しを実施。
- ④振動ローラは幅 3.3m × 20m での 6 回締固め作業を実施。

実験エリアでは 3D レーザースキャナにて実験開始前に道路造成箇所を測量し、測量した結果をガイダンスモニターにすぐに表示できるように設定した。

3 実証実験結果

3. 1 E2E (End to End) 遅延測定結果

3. 3 統合施工管理システム試行結果

堤体盛土の本体施工を対象とした実証実験において、5G 技術を中心とした遠隔操縦を基幹とし、自動運転、マシンコントロールを実施し、円滑に施工を行うことができた。また、静岡県御殿場市から 300km 離れた大阪府枚方市からの油圧ショベルの超遠隔や音声操作によるキャリアダンプの自律運転もトラブルもなく実施でき、新たな遠隔操縦技術の実証を行うことができた。

品質管理に関して、今回の統合施工管理システムでは、3D レーザースキャナ、 α システムおよびコンパクションマイスターを導入した。特に前者に関しては、最短 15 秒間隔で現場情報をスキャニングしリアルタイムに遠隔施工管理室に情報を送ることでオペレーター支援を行うことができた。また、出来形も必要な精度で計測ができ、近年流行のドローンよりも高精度で高頻度な計測が行えることが確認できた。これらはさらに詳細なデータ（測定密度を細かくする）では大容量のデータ通信が必要となることから、5G の活用とセットで現場利用が促進するものとする。後者についても、遠隔操作室において俯瞰カメラからの映像だけでなく、転圧回数のヒートマップが確認できるため、施工完了時に所定のエリアが規定の転圧回数以上で締固めたことを遠隔で管理することが可能であった。

4 おわりに

今回の実験では、5G と 5GHz 帯無線を利用して汎用遠隔操縦装置と電気信号制御装置での 3 台の建機（油圧ショベル、クローラキャリア、ブルドーザー）の遠隔操作と 1 台の建機（振動ローラ）の自動運転により、堤体盛土（コア材）を造成することをシナリオとして実験を行った。5G の大容量データ通信により、建機の遠隔操縦が違和感なく操縦できる目標指標である E2E 遅延測定 200msec 以下の結果を得ることができた。また、通信品質の劣化が発生しないようにコーデックの受信バッファの値を調整することにより、映像の途切れはほぼ発生せず、遠隔操作に大きな支障は生じなかった。すなわち、

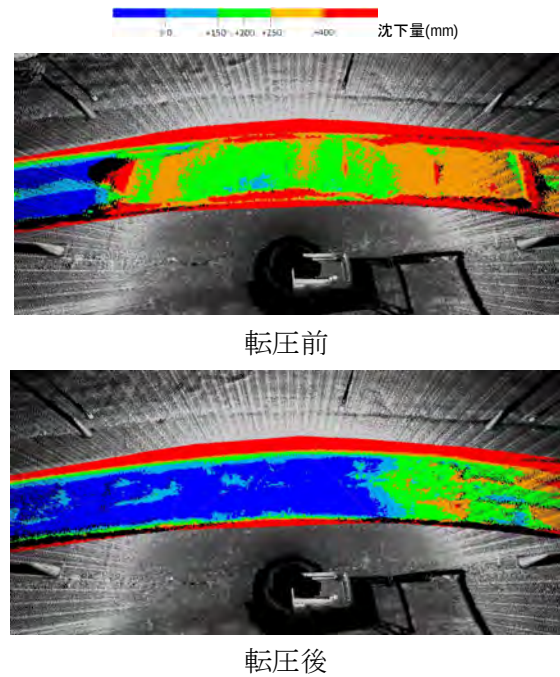


図-4 3D スキャナーによる計測結果

ローカル 5G を用いた建機の遠隔操作による本体堤体盛土造成を実証し、一般施工へのローカル 5G 適用の可能性を示すことができた。

謝辞：今回の実験は、官民研究開発投資拡大プログラム予算を活用し、国土交通省の 2020 年度「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」にて実施している。本発表にご協力頂いた関係者各位に感謝する。

【参考文献】

- 1) 古屋 弘, 森 直樹, 永嶋 充, “次世代高速通信 5G を用いた重機の遠隔操縦試験”, 大林組技術研究所報, No.82, 2018
- 2) 古屋 弘, 岩下正剛, 陣内英二他, “次世代高速通信 5G を用いた重機の遠隔操縦の高度化”, 大林組技術研究所報, No.83, 2019
- 3) 官民研究開発投資拡大プログラム (Public/Private R&D Investment Strategic Expansion Program: PRISM (プリズム)), 内閣府, <https://www8.cao.go.jp/cstp/prism/index.htm> (参照 2021-09-09)

プレキャスト床版接合技術「Head-bar ジョイント」

大成建設(株)技術センター 課長 ○川口 哲生

大成建設(株)技術センター 主任 渡部 孝彦

大成建設(株)技術センター チームリーダー 武田 均

浙江大学建筑工程学院 教授 趙 唯堅

1 はじめに

高度経済成長期に建設された道路橋の鉄筋コンクリート製床版（以下、RC 床版）は、塩害や疲労等による劣化が顕在化しており、劣化した既存の RC 床版をプレキャスト床版(以下、PCa 床版)に取り替える工事が多数計画・実施されている。床版取替工事では、工事に伴う交通への影響を最小限に抑制する必要がある、現地での施工期間をできるだけ短縮し、速やかに供用を再開すること求められる。床版の PCa 化は品質確保の観点で優れ、施工性の向上や工期短縮にも有効であるが、現場施工部となる PCa 床版同士の接合部の構造については改良の余地があった。そこで、現場施工となる接合部の間詰施工量の低減と施工性の向上させるため、接合部の幅を大幅に短縮可能な PCa 床版相互の接合構造を開発した。なお、本技術は車両の通行方向に直行する方向（橋軸直行方向）接合部の接合構造である。

2 Head-bar ジョイントの概要

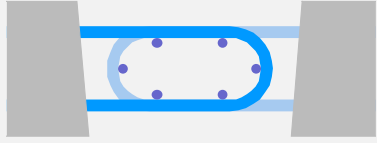
図-1 に開発した PCa 床版接合構造 (Head-bar ジョイント)

の概要、表-1 にその特徴を従来技術（ループ継手）と比較して示す。ループ継手は、相互の PCa 床版から突出したループ状の橋軸方向鉄筋を接合部の現場打ちコンクリートに定着することで床版を接合するもので閉合したループ状鉄筋の内側に橋軸直交方向の鉄筋を 6 本配置することが必要である。これは、PCa 床版設置により相互のループ状鉄筋が閉合した後に横から差し込んで配筋する必要があり現場作業性が低下する要因の一つであった。また、ループ状鉄筋の曲げ加工における曲げ半径の制約により実質的に床版厚は 220mm 以上とする必要があり、PCa 床版の設計の自由度を制限する要因ともなっていた。さらに、間詰部の現場打ちのコンクリートの施工では、間詰に必要なコンクリートが比較的多くなるため、レディーミクストコンクリートを床版架設用のクレーンによるバケット打ちやポンプ圧送により施工されるのが一般的であった。この場合、間詰施工時には PCa 床版の架設作業ができないことが工程上の課題であった。



図-1 開発した PCa 床版接合構造 (Head-bar ジョイント)

表-1 既存技術（ループ継手）と Head-bar ジョイントの特徴

		Head-Barジョイント	ループ継手
接合部の概要			
間詰幅		110mm	330mm
間詰材		・高強度繊維補強モルタル（収縮補償） 設計基準強度：97N/mm² ・勾配施工可 ・簡易なミキサで製造	・収縮補償用コンクリート 設計基準強度：50N/mm² ・勾配施工可 ・レディーミクストコンクリート
鉄筋	鉄筋（橋軸方向）	・プレート定着型機械式定着鉄筋（Head-Bar）	・ループ状鉄筋
	間詰部鉄筋（橋軸直角方向）	・不要	・6本配置 鉄筋は側面端部から挿入
施工性	PCa床版の設置 間詰部の配筋	・上部から吊降ろしにより床版を設置 ・橋軸直角方向鉄筋の配筋工程を省略	・上部から吊降ろし後横方向に移動して床版を設置（あご付きの場合） ・橋軸直角方向の鉄筋の配筋作業が煩雑
	間詰材の打込み	・ミキサから直接排出・打込み ・施工量はループ継手の1/3程度	・クレーン+バケット，配管+ポンプ

以上の観点から床版間の接合部の間詰幅を大幅に短縮できれば、床版取替工事のさらなる効率化が図れるものと考えられた。

図-1 と表-1 に示すように、新たに開発した PCa 床版の接合構造は従来技術の課題を解決したものであり、間詰幅は従来の 1/3（110mm）に短縮することができ、さらに間詰部への鉄筋の配置を省略することが可能となった。また、間詰材の施工量の低減により、簡易なコンクリートミキサを用い現場で間詰材を製造して、ミキサから直接間詰部に打ち込む方法でも十分な施工ができ、間詰材の打込みに架設用クレーンを使用する必要がなくなり架設工程に影響を及ぼすことなく間詰部の施工が可能になった。

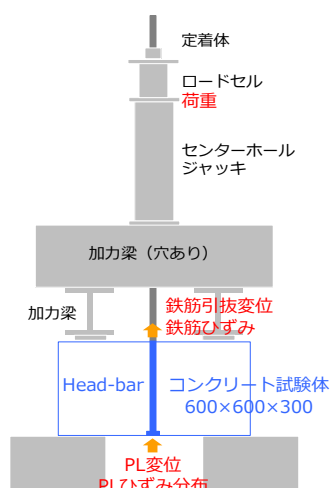
3. 接合部の仕様と構造性能に関する各種実験

本構造では鉄筋の引張力は間詰材を介して伝達されるものと考えた。つまり、対向する機械式定着鉄筋の定着プレート同士が互いに拘束することによって鉄筋応力が伝達されると想定した。このような機構を想定した場合、鉄筋の規格引張強さ相当の荷重までプレートが健全であるこ

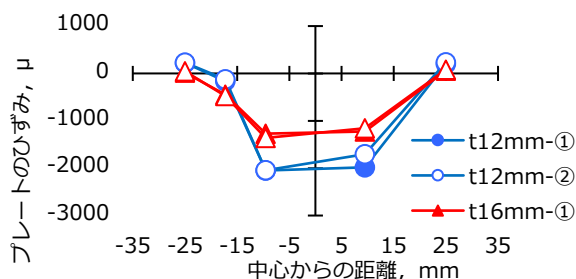
と、間詰材のコーン破壊が防止されることが従来技術と同等の構造性能を確保するために重要であると考えられた。そこで、プレートの健全性の検証を目的としプレートの形状寸法を要因とし鉄筋部の付着を切った引抜き試験、プレートの形状寸法が間詰材のコーン破壊に及ぼす影響の検証を目的とした定着試験および終局時の破壊性状の確認を目的とし間詰幅と間詰材強度を要因とした静的曲げ載荷実験を実施した。以上の実験による検証結果により接合部の仕様を決定し、最終的に輪荷重走行試験を実施して開発した接合構造を適用した PCa 床版の疲労耐久性を検証した。以下に、各実験結果の概要を示す。また、輪荷重走行試験により疲労耐久性を検証した後、実現場に適用を行って、良好な施工性を有することを確認した。

(1) 引抜き試験

図-2 に示すように試験体は通常のコンクリートとし試験時強度は 33N/mm² であった。鉄筋部の付着を切ってプレートの長辺長は 70mm とした。実験の結果、プレート厚さ 12mm では規

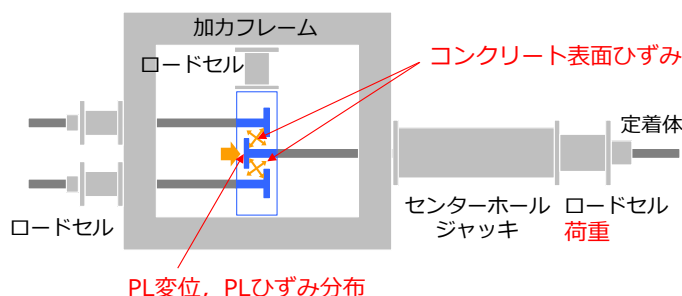


鉄筋	プレート	
	材質	寸法 (mm) 短辺a×長辺b×厚t
SD345 D19	SM490	40×70×12
		40×70×16

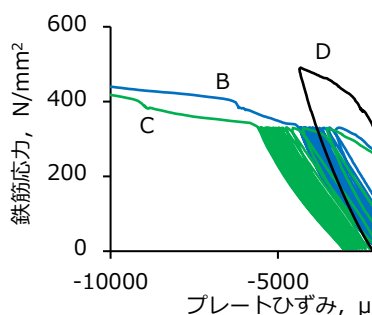
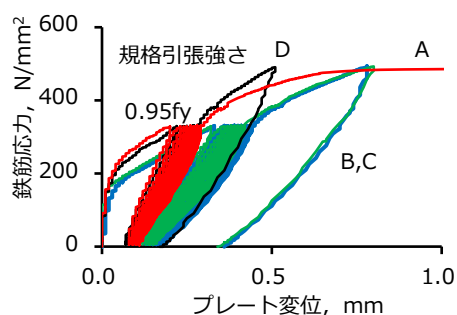


規格引張強さ相当荷重時のプレートのひずみ分布 (t12mm 降伏)

図-2 引抜き試験(鉄筋部付着なし)



鉄筋	プレート			記号
	形状	材質	寸法(mm) a×b×t	
SD345 D19 間隔 150mm	円形	S35C	φ50×12	A
			40×60×12	B
	矩形	SM490	40×70×12	C
			40×70×16	D



A コーン破壊 B,C,D 健全

(載荷試験後の状況)

図-3 定着試験

規格引張強さ相当の荷重時に降伏ひずみを超えるひずみがプレートに発生する結果となり、厚さ16mmでは降伏しないことが確認された。

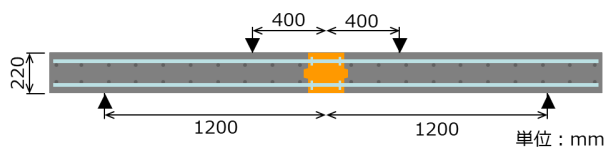
(2) 定着試験

図-3に示すように試験体は高強度繊維補強モルタルとし試験時強度は74N/mm²であった。試験体の寸法は奥行き100mm、長辺長300mmで、短辺長はプレート厚さに応じて100mmまたは110mmとした。実験の結果、間詰部のコーン破壊を防止すれば、規格引張強さ相当までの応力

が確実に伝達されることが確認された。プレート面積が大きくプレートの曲げ剛性が高いほど定着性能が高くなると考えられた。

(3) 静的曲げ載荷実験

図-4に示す様に試験体は実橋のPCa床版の接合部を模擬した版状の形状で、幅825mm、長さ3000mm、厚さ220mmとした。PCa床版は圧縮強度50N級のコンクリートである。床版取替工事と同様に床版製作後に接合した。実験の結果、間詰材が中強度で間詰幅100mmの場合に、接合



間詰材	間詰幅, mm	記号
高強度100N級 鋼繊維2.3%	100	H100
	150	H150
中強度60N級 鋼繊維1.0%	100	M100
	150	M150
	250	M250
膨張コン50N級	340(ループ継手)	R340

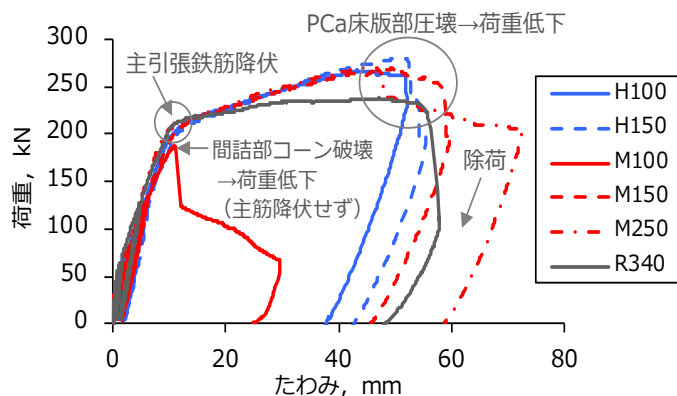


図-4 静的曲げ載荷実験

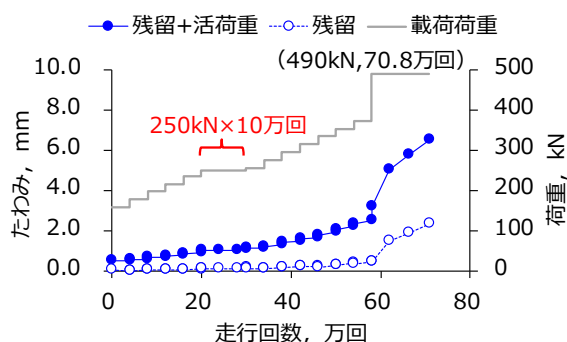
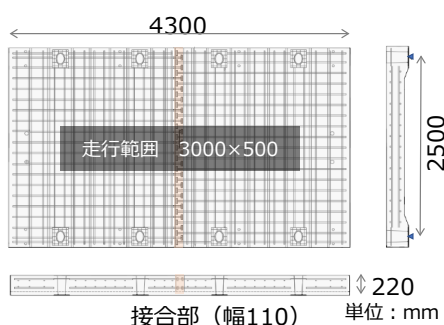


図-5 輪荷重走行試験

部間詰材のコーン破壊により鉄筋の抜出しが生じ、鉄筋が降伏することなく荷重低下した。一方、高強度間詰材は間詰幅 100mm の場合もループ継手と同等以上の耐力が確認された。この実験から間詰材を高強度繊維補強として間詰部の破壊を防止すれば、終局時の挙動は従来と同様であり、間詰幅を 100mm 程度まで短縮することが可能と考えられた。

(4) 輪荷重走行試験

開発した接合構造では間詰幅が小さいため、単位長さ当たりにおける接合部付近の配筋量と床版本体の配筋量がほぼ同等となり、間詰材に使用した鋼繊維による応力分散も期待できることから、接合部内には橋軸直角方向の鉄筋を配置しない条件で実験を行った。図-5 に示す様に、輪荷重走行試験は、NEXCO 設計要領第二集橋梁保全編¹⁾ (NEXCO 試験方法 442、プレキャスト PC 床版接合部の疲労耐久性)による耐用年数 100 年

に相当する荷重と載荷回数(250kN×10 万回)を含む階段状の載荷パターンにて実施した。250kN×10 万回終了時に水張り試験を実施して、設計共用期間 100 年に相当する疲労耐久性を満足することを確認した。その後、試験体が破壊に至るまで荷重を上げながら載荷を継続し PCa 床版部が破壊に至ることを確認した。

4 まとめ

RC 床版の取替え工事を対象に、現場工期短縮を目的として、プレート定着型鉄筋と接合部間詰材の高品質化により、間詰幅を大幅に短縮することができ、PCa 床版の設置と接合に関する施工性を向上させることができる「Head-bar ジョイント」を新たに開発した。

5 参考文献

- 1) NEXCO 三社 設計要領第二集 橋梁保全編 令和元年 7 月

道路橋 RC 床版の高耐久補修工法 T-Sus Layer の開発

大成建設(株) 技術センター 社会基盤技術研究部 主席研究員 ○橋本 理

大成ロテック(株) 技術研究所 部長 越川 喜孝

1 はじめに

近年、既設道路橋の RC 床版では床版上面の劣化や、それに伴う内部鉄筋の腐食、遊離石灰の漏出等の進行が確認され、床版としての耐荷力低下が大きな社会問題となっている。RC 床版の劣化は交通荷重の繰返し作用とコンクリートのひび割れ内部に浸透した水の相互作用によって促進されるものと考えられている。すなわち、コンクリートのひび割れ内部に水が浸入することで、ひび割れの進展やひび割れ内部のすり磨き作用による損傷、内部鉄筋の腐食、凍害等による劣化が促進され、RC 床版の耐荷力が急速に低下する。

筆者らは、一般のコンクリートに比べて高強度で緻密な超高性能繊維補強セメント系複合材料（Ultra-High Performance Fiber Reinforced Cement-based Composites：以下、UHPFRC）により RC 床版上面を打替えあるいは増厚する高耐久補修工法 T-Sus Layer の開発を行ってきた¹⁾。T-Sus Layer を床版上面の全面に施すことで既設 RC 床版に生じたひび割れ内部への水や塩分の浸入を抑制し、ひび割れ内部のすり磨き作用に対する抵抗性が向上すると考えられるため、交通荷重に対する長期耐久性の向上も期待される。

本稿では、T-Sus Layer を適用した RC 床版の輪荷重走行試験を行い耐疲労性の検証を行ったので、その結果について報告する。

2 T-Sus Layer の概要

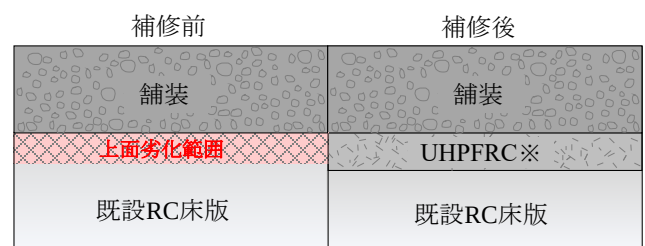
2.1 工法概要

T-Sus Layer は、図-1 に示すとおり既設 RC 床

版の上面を UHPFRC にて打替えあるいは増厚する高耐久補修工法である。図-2 に各種繊維補強コンクリートにおいて 1 本のひび割れに着目した場合のひび割れ幅とひび割れ間で繊維が架橋することにより伝達される応力（引張応力）の関係²⁾（UHPFRC を追記）を示す。SFRC ではひび割れの発生とともに当該箇所では負担できる引張応力が急激に低下するのに対し、UHPFRC ではひび割れが発生する引張応力（ひび割れ発生強度）が大きく、ひび割れ発生後でもひび割れ部で負担できる引張応力が大きいことが分かる。したがって、RC 床版上面に UHPFRC 層を設けることで、RC 床版内への水や塩分の浸入に対する抵抗性が大幅に向上し、床版の延命化やライフコストの低減に繋がるものと期待される。

2.2 使用材料および配合

T-Sus Layer で使用する UHPFRC の構成材料お



※ウォータージェットにて劣化範囲を除去後打込み

図-1 T-Sus Layer の構成

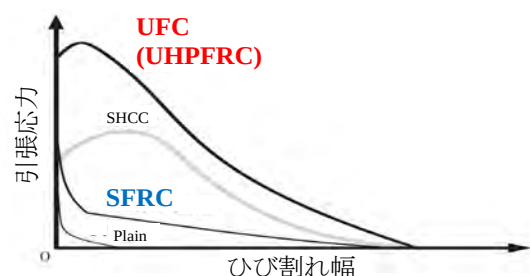


図-2 引張応力-ひび割れ幅関係²⁾

表－1 UHPFRC の構成材料

使用材料	記号	概 要
結合材	B	ポルトランドセメント，ボゾラン材等から構成される市販のプレミックス品
骨 材	S	粒径2.5mm以下に調整された市販のプレミックス品
鋼繊維	F	長さ:15mm，直径:0.2mm，アスペクト比:75 引張強度:2,000N/mm ² 以上
高性能減水剤	SP	専用減水剤
空気量調整剤	AC	ポリアルキレングリコール誘導体

表－2 UHPFRC の配合

単位量 (kg/m ³)					
W			B	S	F
	SP	AC			
170	10	1	1,086	1,135	157 (2vol.%)

よび配合を表－1、表－2 に示す。一般的に超高強度繊維補強コンクリート (UFC) のコンシステンシー管理にはフロー試験 (JIS R5201) が採用されており管理値として自己充填を可能とするため 230～270mm (落下なし) とされているが³⁾、T-Sus Layer では勾配面での流動抵抗性保持が可能な UHPFRC のフロー管理値として 140～180mm (15 回落下) と設定した¹⁾。

3 輪荷重走行試験

3. 1 実験条件および配合

本実験では、床版上面に劣化が進行している供用中の既設 RC 床版を想定し、昭和 47 年制定の道路橋示方書⁴⁾ (以下、S47 道示) に準じて設計・製作した RC 床版の上面を T-Sus Layer にて補修した床版を用いた。RC 床版に使用したコンクリートは設計基準強度 24N/mm² のレディーミクストコンクリートであり、配合は表－3 に示すとおりである。コンクリートおよび UHPFRC の材料試験結果を表－4 に示す。

3. 2 供試体の仕様

図－3 に供試体形状と寸法を示す。RC 床版の厚さや配筋仕様は、実際に S47 道示に準拠して供用された床版⁵⁾を参考に設定した⁶⁾。

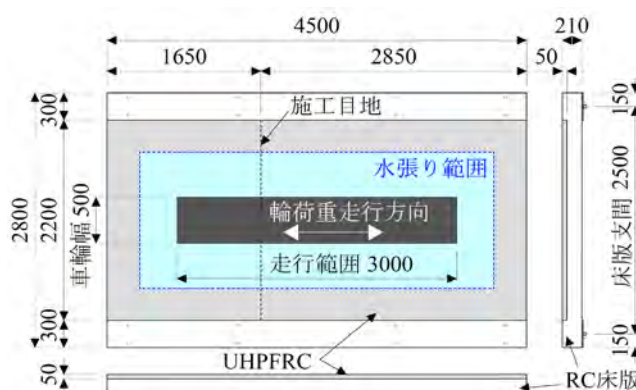
表－3 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
		W	C	S	G	混和剤
54.5	48.9	176	323	864	925	3.23

表－4 材料試験結果

種 別	コンクリート		UHPFRC	
材 齢	28日	48日※	28日	48日※
養生方法	標準養生	現場養生	20℃封緘	現場養生
圧縮強度 (N/mm ²)	26.8	27.4	169	188
ひび割れ発生強度 (N/mm ²)	-	-	8.63	7.97
ヤング係数 (kN/mm ²)	25.3	26.3	53.9	55.3

※輪荷重走行試験開始材齢



図－3 供試体形状と寸法

UHPFRCによる上面打替え厚さは50mmとし、RC 床版上面をウォータージェットにて除去した後、打継面を湿潤状態として UHPFRC を打込んだ。なお、UHPFRC 施工目地部には鋼繊維が架橋しておらず耐久性上の弱点となることが想定されたため、図－3 に示す位置に UHPFRC の施工目地を設け、図－4 に示す目地処理を施した。FRP 格子筋の仕様を表－5 に示す。

3. 3 実験方法

輪荷重走行試験では、供試体上面に載荷版を一行に並べ、その上に鉄輪を走行させることにより載荷を行った。鉄輪の走行範囲は図－3 に示すとおりである。供試体の支持条件は、長辺方向の 2 辺を単純支持とし鉛直方向の変位のみ拘束した。また、短辺方向の 2 辺は端桁による弾性支持とし変位を拘束することで短辺からの曲げ

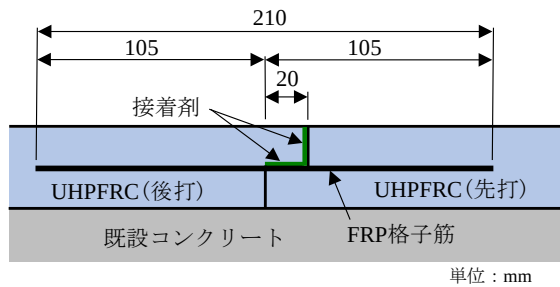


図-4 UHPFRC 施工目地の処理

表-5 FRP 格子筋の仕様

筋断面積 (mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	引張弾性率 (N/mm ²)	格子間隔 (mm)	単位重量 (g/m ²)
26.4	1,400	100,000	50×50	1,510

表-6 予備載荷の載荷ステップ

STEP	載荷荷重 (kN)	載荷回数 (回)	累計回数 (回)
1	157	1,000	1,000
2	177	1,000	2,000
3	196	5,000	7,000

破壊を防止した。試験中の計測項目は、輪荷重走行試験の各段階で実施する静的載荷時の床版たわみおよびひび割れ分布である。

はじめに、供用中の RC 床版に生じているひび割れを模擬する目的で、T-Sus Layer を施す前段階の RC 床版を試験機に設置し輪荷重を載荷した（以下、予備載荷）。予備載荷の載荷ステップを表-6 に示す。予備載荷は、床版下面に二方向ひび割れ（間隔が 50cm 以下）が生じるまでとした。これは、保全点検要領⁷⁾において劣化度 B・C と判定され、劣化が大きい、あるいは大きくなりつつあると判定される劣化程度に該当する。

予備載荷後、図-3 に示す範囲の床版上面を UHPFRC にて打ち替え、輪荷重走行試験を行った（以下、本載荷）。本載荷では、輪荷重走行下における UHPFRC の防水性を検証する目的で、本載荷開始時より供試体上面に水を張った条件で載荷した（図-3）。載荷は階段状荷重漸増載荷による方法とし、157kN から開始後、走行回数 4 万回毎に荷重を 19.6kN ずつ増加させた。ただし、載荷荷重が 250kN に達した段階では、耐用年数

表-7 本載荷の載荷ステップ

STEP	載荷荷重 (kN)	載荷回数 (回)	累計回数 (回)
1	157	40,000	40,000
2	177	40,000	80,000
3	196	40,000	120,000
4	216	40,000	160,000
5	235	40,000	200,000
6	250	100,000	300,000
7	275	40,000	340,000
8	314	破壊まで	



写真-1 輪荷重走行試験（本載荷）の状況

100 年相当の走行回数（乾燥条件）として提案されている 10 万回⁸⁾を採用しており、その後は表-7 に示す載荷方法とした。本載荷の状況を写真-1 に示す。

3. 4 実験結果および考察

予備載荷完了時点にて、ひび割れが亀甲状に生じており、その間隔が 50cm 以下であることを確認した。供試体中央（1m×1m）でのひび割れ密度は 8.8m/m² であり一般に使用限界状態⁹⁾とされている 10m/m² に近い値となった。

図-5 に本載荷時におけるたわみと走行回数の関係を示す。たわみは、本載荷の各段階で静的載荷を行った際に供試体中央に生じたたわみを示している。供試体下面からの漏水は、載荷荷重 314kN で 7000 回走行した時点で UHPFRC 施工目地直下付近で確認され、耐用年数 100 年相当走行回数⁸⁾の完了時点での漏水やたわみの急増は生じなかった。

図-6 に本載荷時におけるたわみと等価走行回数の関係を示す。たわみは静的載荷時における供試体中央の総たわみである。同図には、比較

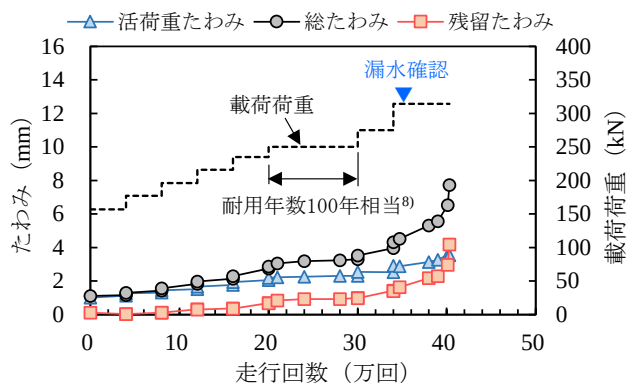


図-5 たわみと走行回数の関係

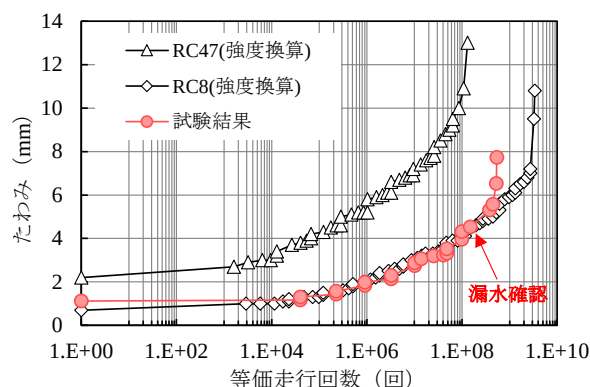


図-6 たわみと走行回数関係

のため S47 道示および平成 8 年制定の道路橋示方書・同解説¹⁰⁾に準拠した RC 床版の輪荷重走行試験結果¹¹⁾(以下、RC47 および RC8)も併記した。なお、RC47 と RC8 の等価走行回数は、床版の強度条件を本実験と一致させて比較するため、本実験の材料試験結果に合わせて既往の疲労強度式により換算を行っている⁶⁾。図-6 を参照すると、本実験は供試体上面に水張りをした条件で行ったにも関わらず、乾燥条件で実施された RC47 に比べて等価走行回数が多いこと、漏水が確認されるまでの範囲において RC8 と同程度のたわみとなることが確認された。このことから、本実験の範囲内においては、輪荷重走行下でも T-Sus Layer の防水効果が保持されること、かつ T-Sus Layer を施すことにより床版のたわみを大幅に低減可能であることが分かった。

4 おわりに

本稿では、既設 RC 床版の高耐久補修工法 T-Sus Layer の概要および輪荷重走行試験結果について紹介した。今後は様々な条件の現場に適用することを想定し、具体的な検討を進めていく。

参考文献

1) 橋本理ほか：超高性能繊維補強セメント系複合材料を用いた既設 RC 床版上面増厚工法の

開発、大成建設技術センター報、Vol.52、No.26、2019

- 2) 内田裕市：繊維補強コンクリート構造物の設計技術の現状と課題、コンクリート工学、Vol.50、No.5、pp.468-472、2012
- 3) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)、コンクリートライブラリー113、2004
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書、1972.3
- 5) 長谷俊彦ほか：ビニロン繊維補強コンクリートによる既設 RC 床版の上面打替え補強効果、構造工学論文集、Vol.63A、pp.1263-1272、2017
- 6) 橋本理ほか：UHPFRC で上面を打ち替えた RC 床版の耐疲労性の評価、第 12 回道路橋床版シンポジウム論文報告集、2022 (投稿中)
- 7) 東・中・西日本高速道路株式会社：保全点検要領 構造物編、2021.4
- 8) 長尾千瑛ほか：プレキャスト PC 床版継手の疲労耐久性照査試験、プレストレストコンクリート工学会第 26 回シンポジウム論文集、pp.189-192
- 9) 松井繁之：道路橋床版、森北出版、2007.10
- 10) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、1996.12
- 11) 中谷昌一ほか：道路橋床版の疲労耐久性に関する試験、国土技術政策総合研究所資料第 28 号、2002.3

他分野で取得したデータの（利）活用による舗装修繕工事の適用検討

株式会社植木組 新潟本店 舗道部 品田 惇貴

1 はじめに

2020 年度より適用となった ICT 舗装工（修繕工）においては、施工履歴データの活用による出来形管理の負担軽減が進められている一方、三次元起工測量やその準備、設計データの作成に時間を要するなど、本質的な生産性向上に向けた課題も散見される。

また、『project PLATEAU』をはじめとした、デジタルツイン構想の推進に伴い、多くの業界団体が様々な三次元空間情報を取得・蓄積し、利活用を広げている一方、取得データは自社の単一目的での利用に留まることが多く、他業界へのデータ共有・活用する事例は少ない。

本報では、さらなる生産性向上に繋がる手法の構築を目的として、データの相互活用に着目し、舗装修繕工事における業務手法を抜本的に見直すため、他業界で取得済みの三次元点群データを起工測量データとして適用する手法を考案した。

2 開発背景

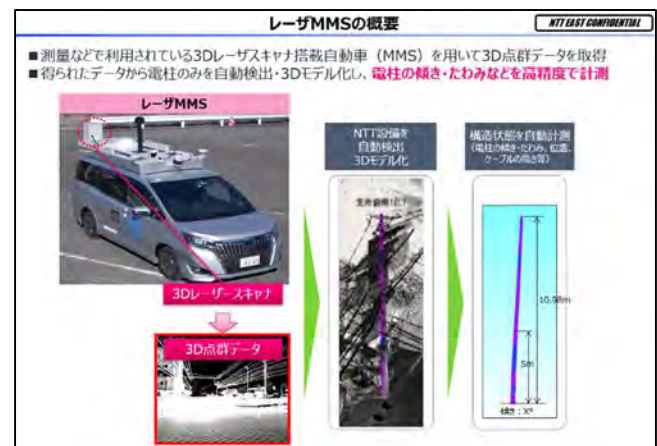
2. 1 舗装修繕工事の現状

ICT 舗装工（修繕工）で必須項目の三次元起工測量では、通常、TLS（地上型レーザースキャナ）や MMS（モービルマッピングシステム）を用いて計測を行うが、TLS 設置に伴う現場の制約条件や MMS の平面・鉛直精度の補正に必要となる標定点設置など、計測準備に多くの時間を要している。特に舗装修繕工事は、供用中の車道上での施工となるため、交通規制時間内の作業完了が必須であり、業務全体の効率化・省力化が求められている。

2. 2 MMS によるインフラ設備点検

今回、三次元起工測量における時間・工数の大幅削減に向け、民間企業が保有するインフラ設備点検

用に取得された三次元点群データに着目した。当該データは、沿道上における電柱の傾き・たわみなどの計測を目的としており、殆どの地域路線の三次元点群データを MMS により取得している（図－1）。



図－1 電柱計測用 MMS

2. 3 生産性向上に向けた取組み

地域を網羅している三次元点群データを、舗装修繕工事の起工測量データに適用可能となれば、都度測量をしている現状から、大幅な業務短縮を図ることができ、生産性向上に寄与すると考えた。通常、MMS を舗装工事の計測で用いる場合、標定点を現場に設置する必要があるが、インフラ設備点検の運用上においては設置が困難である。そのため、標定点を設置せずに MMS で取得した三次元点群データを、補正しない状態で舗装工事に適用可能であることが求められる。

以上のことから、本取組みではインフラ設備点検用に MMS で取得した三次元点群データについて、

- ① 舗装修繕工事で適用可能な平面方向の相対精度を有するかを確認
- ② 標定点による高さ調整を不要とする GNSS を用いた切削マシンコントロールシステムの活用

を検討することとした。

3 TLS 及び MMS の精度比較検証

3. 1 概要

MMS 計測時に標定点等の設置が必要な理由は、衛星測位の状況や車両走行時の車体傾きによるロール誤差及び加減速によるピッチ誤差を補正し、精度を基準値内に収めるためである。そのため、標定点を設置しないインフラ設備点検用の三次元点群データが、舗装修繕工事で適用可能な要求精度水準を満足しているかを確認することとした。

3. 2 試験方法

テストフィールドにおいて、20m 間隔で千鳥に検証点を設置し、TS（トータルステーション）による座標取得と MMS による計測を実施した（写真－1）。



写真－1 テストフィールド

TLS データを正として、MMS データを比較するため、縦横断線形の切出し基準として、道路中心位置にマーキングを施した。MMS の計測条件は、通常のインフラ設備点検業務と同条件とし、スキャンレート 100 回転/秒、取得点数 100 万点/秒、車両速度 30 km/h で実施した。（写真－2）

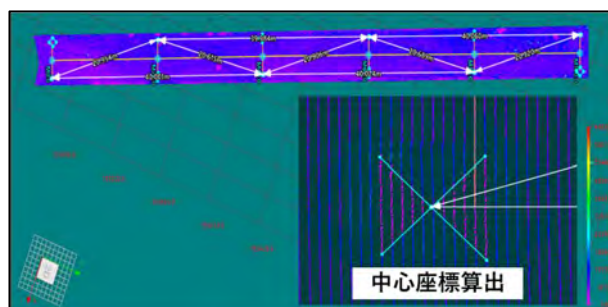


写真－2 構内計測状況

3. 3 検証点較差の確認

平面方向の精度確認のため、TS で取得した各検証点座標の交点間を結んだ距離と、MMS で取得した点群上の各検証点の交点間距離を比較した（図－2）。ただし、MMS 点群の場合、設置した検証点の中心を直接取得できるとは限らないため、中心座標は交点計算から算出した。

結果、各検証点を結ぶ全ての交点間距離が精度確認試験の要求精度である平面較差 10 mm 以内となり、相対精度は良好であることが分かった。

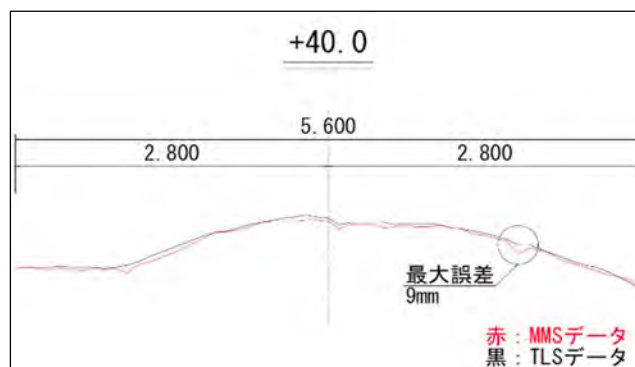


図－2 交点間距離の比較

3. 4 縦横断形状比較

3. 4. 1 横断形状の比較

鉛直方向の精度確認のため、両端部を合わせた TLS と MMS の横断形状（10 cm 間隔）について、誤差を確認した（図－3）。



図－3 横断形状比較

結果、全体として両波形形状に大きな差異は見られず、全箇所の誤差平均値は -1.8 mm ($N=330$) となり、精度確認試験の要求精度である鉛直 $\pm 4\text{ mm}$ 以内と良好な結果となった。最大で -9 mm の箇所があったが、これはレーザによるスキャンのスパン間に測点があったことに加え、当該箇所ではひび割れが生じ

ており、照射されたレーザが、そのひび割れに入りこんだことなどが原因として考えられる。

3. 4. 2 縦断形状の比較

TLS と MMS の縦断形状については、起終点端部を合わせ、50 cm 間隔により誤差を確認した(図-4)。

結果、誤差の平均値は精度確認試験の要求精度である ± 4 mm 以内には収まらなかった。MMS による点群の取得は横断計測の連続となっている。計測時には様々な誤差要因が存在するが、各横断面の計測は一瞬のレーザ照射によるため、横断形状が受ける誤差の影響は小さい。これと比較して縦断形状は、時系列ごとにデータを取得・形成すると同時に、誤差が蓄積されていく性質を有する。このことが、本比較において、誤差が大きくなった原因と考えられる。

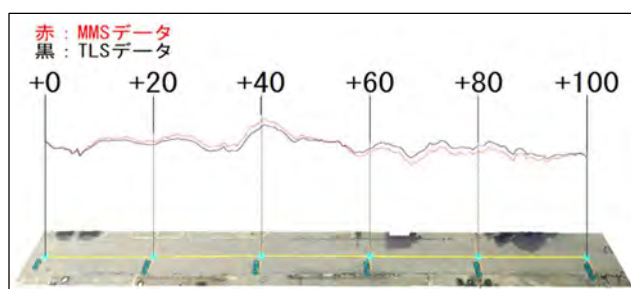


図-4 縦断形状比較

3. 5 標準偏差の比較

標準偏差については、縦断プロファイルメータによる計測結果を正として、ソフト上で算出した TLS 及び MMS のデータと比較した(写真-3)。



写真-3 縦断プロファイルメータ計測状況

結果、全てのデータにおいて、概ね同等の標準偏差値となり、良好な結果となった(表-1)。

表-1 標準偏差比較結果

	データ数	標準偏差(mm)
縦断プロファイルメータ	68	4.48
TLS	68	4.75
MMS	68	4.57

3. 6 体積の比較

計画の切削体積を比較するため、TLS と MMS の両データについて、両端部を結んだ横断形状に対し、端部で 50 mm 切削する計画を作成し、算出した。

結果、テストフィールド ($A=750$ m²) において、2% (0.75 m³) の誤差となった。1 層の切削厚が 50 mm とした場合、鉛直 ± 4 mm の誤差が生じたと仮定すると、最大で $\pm 8\%$ の体積誤差が生じることとなる。よって、今回の試験結果 2% は十分に許容できる範囲であると考えられる。

3. 7 精度比較まとめ

以上の精度比較結果から、インフラ設備点検用に取得されたデータが、標定点による補正を行わずとも、舗装修繕工事において適用可能な要求精度を相対的に有していることが確認できた。

4 現場実証試験

4. 1 概要

精度比較結果より、実際の現場において、MMS による計測データから三次元設計データを作成し、マシンコントロールシステムを活用した施工を行うこととした。実証現場は、県管理の国道におけるガスパ敷設工事後の舗装本復旧工事を対象としている。今回の実証では、通常のインフラ設備点検時と計測条件を揃え、新たに計測したデータを用いて実施した。

4. 2 設計データ作成時の留意点

当該現場は両側二車線道路であるが、施工は片側車線のみであるため、縦断勾配の修正は実施していない。横断勾配については、センターと路肩端部を

結ぶ形を基本とし、端部の巻き込みが大きい箇所については、現況や前後断面を参考に勾配を決定した。

4. 3 GNSS マシンコントロールシステム

今回使用したマシンコントロールシステムは、GNSS を利用した厚さ制御方式であり、平面位置と切削深さを個別に計測・制御している。平面位置については、切削機に取り付けた GNSS 受信機により決定しており、切削深さにおいては、当該箇所での設計切削厚とレーザによる実測結果に基づいてコントロールしている（写真－4）。



写真－4 システム取付け状況

4. 4 設計切削厚に対する実測値の比較

MMS で取得した現況面データに基づく各測点の設計切削厚の比較については、センターから 2.0m 位置を対象に実施した。

結果、切削厚の誤差平均値は -2 mm ($N=56$) となり、全ての測点において出来形管理規格値 -7 mm を満足していた。但し、道路構造物を避けて施工した直後の箇所においては、最大で -7 mm の誤差が生じていたことから、マシンコントロールに影響が出ていたものと考えられる。

4. 5 設計切削量に対する実測値の比較

今回の現場実証において、最終的な切削量を比較したところ、設計値に対し $+3.5\%$ 程度と十分な精度で施工を行うことができた。一部箇所においては、測点マーキングと切削機側のマシンコントロール操作画面において、最大で 50 cm 程度の測点のズレが発生したが、これは MMS 及び切削機で取得された GNSS 座標の累積誤差によるもの、MMS 点群上の構造

物から起点位置を推定したこと、などが原因として考えられる。現場施工時においては、測点マーキングを元に切削機側の調整を施すことで、ズレを修正し、精度を確保することができた。

4. 6 現場検証まとめ

精度確認及び現場検証を経て、縦断修正を必要としない舗装修繕工事であれば、取得済みの三次元点群データを起工測量データとして適用可能であることが確認できた。従来の TLS による測量と標定点を設置する MMS による測量とでは、約 2 割程度の時間・工数削減効果がある。今回提案する手法では、標定点の設置作業等が不要となることから、更に約 5 割程度の削減効果を見込んでおり、本質的な生産性の向上に寄与するものと考ええる。

5. おわりに

今後は、インフラ点検業務で三次元点群データを取得済みの現場において、TLS との精度比較を実施するなどし、様々な現場条件にも適用できるよう研究及び実績を重ねていきたい。また、施工履歴データを活用した出来形管理手法への適用拡大は勿論のこと、施工を経て更新された情報を蓄積し、三次元データに付与していくことで、各地方エリアのデジタルツイン構築に向け、取り組んでいく所存である。本取組みを通じて構築された新たなプラットフォームが業種を超えた新たなイノベーションを引き起こし、地域課題解決の一助となるよう、利活用を推進していくとともに、地域社会に新たな価値を提供し続けていきたい。

謝辞

本取組みにおきまして、御協力及び御助言頂きました、株式会社 NTT 東日本一関信越 新潟支店、大陸建設株式会社、株式会社イクシスの皆様に感謝申し上げます。

また、現場検証を御快諾頂いた、北陸ガス株式会社、新潟県柏崎地域振興局の皆様には、本取組みについて御賛同、御理解を頂き、感謝申し上げます。

防水性能を有した橋面アスファルト舗装の開発

東亜道路工業株式会社 技術研究所 鈴木 拓人

1 はじめに

起伏の多いわが国の国土事情を鑑みると広域な道路ネットワークを形成するうえで橋梁は必要不可欠であるため、橋面舗装の修繕工事による交通規制は非常に大きな経済損失となるばかりか、通行止め等となった場合には地域を孤立させることにもなり得る。橋梁の床版は交通荷重の影響を受け、そこに水が介在することで疲労耐久性が著しく低下することが報告されている¹⁾。従って、床版の長寿命化を図るためには適切な橋面防水を施すことが重要となる。

一般的な鋼床版における防水工法には「防水性能を有したアスファルト混合物」として、グースアスファルト舗装（以下、グース）が適用されている。グースは流し込み施工が可能であり、ひび割れ抵抗性に優れているため突起物などが多い鋼床版に適用される。近年では、床版防水の施工を目的として、コンクリート床版への適用も検討されている²⁾。しかしながら、グースは特殊な材料や施工機械が必要であり汎用性が低いことや、夏期の耐流動性が低いこと、さらにコンクリート床版に適用するとブリストリングが発生しやすいといった課題があった。

上述した課題を解決するため、一般的な施工機械を用いてグースと同程度の水密性を有するアスファルト混合物を現場で施工可能な樹脂防水一体型アスファルト舗装（以下、開発工法）を開発した。本報告では、開発工法の概要とともに、実橋での施工事例について述べる。

2 開発の目的

開発工法は、グースと同程度に防水性能の高いアスファルト混合物（以下、混合物）を現場にて構築し、床版と一体化させることを目的としている。

3 舗装構成

図-1に開発工法の舗装断面を示す。開発工法は、接着防水材として熱可塑性植物系樹脂を多量（2.0～3.0 kg/m²）に塗布することを特長とする。この接着防水材の融点は80℃程度であるため、基層舗設時に混合物と接触すると容易に溶融し、混合物下面の空隙を充填するとともに混合物へ浸透する（図-2参照）。また、使用するプライマーは、材質に関わらず高い接着力を有しているため、開発工法はコンクリート床版でも鋼床版でも適用可能である。

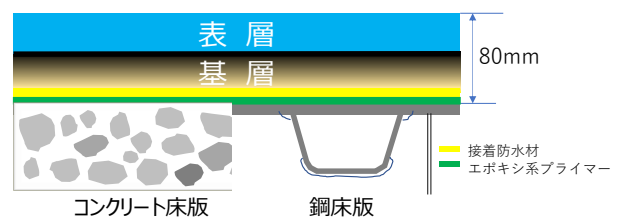


図-1 開発工法の舗装断面

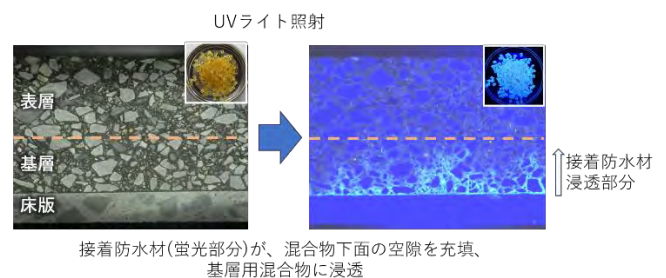


図-2 基層用混合物に浸透した接着防水材の状況

表－1 に開発工法の舗装構成を示す。基層に用いる混合物の種類は施工性を考慮し密粒度混合物とし、床版の種類に応じてポリマー改質アスファルトを選択する。例えば鋼床版の場合には、高たわみ性改質アスファルトを用いることでグースと同程度の曲げ破断ひずみを有し、かつ動的安定度が1500回/mm以上を示す高たわみ性密粒度混合物となる。鋼床版の疲労対策を目的とした場合には、基層用混合物に剛性の高い高剛性砕石マスチックアスファルト混合物（高剛性SMA）を用いる場合もある³⁾。表層用混合物は、要求される走行性能に応じて選定することができる。また、いずれの材料を選択しても、通常のアスファルト舗装で使用する機械で施工可能である。

表－1 樹脂防水一体型アスファルト舗装の構成

項目		内容
防水層※	プライマー	エポキシ系プライマー(2液反応型) 0.25～0.4 kg/m ²
	珪砂	5号珪砂 0.75 kg/m ²
	接着防水材	熱可塑性植物系樹脂 2.0～3.0 kg/m ²
基層	Con床版	密粒度(改質Ⅲ型-W)
	鋼床版	高たわみ性密粒度(高たわみ性改質アスファルト) 目的：グースアスファルト代替 高剛性SMA(特殊バインダ) 目的：鋼床版補強
表層		要求性能に応じて選定

※ 床版の種類あるいは不陸に合わせて塗布量を調整

4 開発工法に用いる材料

4.1 防水層について

床版と混合物の接着を確実にするため、温度により強度が低下せず、かつブリスタリングを抑制できるエポキシ系プライマーを選定した。プライマーの上に塗布する接着防水材は、植物由来の熱可塑性樹脂である。プライマーや接着防水材の塗布量は、基層用混合物の種類、床版の種類および不陸の状態に応じて調整する。

開発した接着防水層は、塗布量を2.0 kg/m²ある

いは3.0 kg/m²としても道路橋床版防水便覧の基本照査試験⁴⁾に要求される性能を満足することを確認している。表－2 にコンクリート床版と鋼床版について、それぞれ塗布量を2.0 kg/m²としたときの防水層としての基本照査試験結果を示す。

表－2 防水層の基本照査試験結果

試験項目		試験温度	鋼床版	コンクリート	品質規格
防水性試験Ⅱ		23℃	—	漏水なし	漏水が無いこと
ひび割れ追従性試験Ⅱ		-10℃	—	0.4mm	0.3mm以上
引張接着試験		-10℃	1.6MPa	1.4MPa	1.2MPa以上
		23℃	1.0MPa	1.4MPa	0.6MPa以上
せん断試験		-10℃	1.7MPa	1.2MPa	0.8MPa以上
			1.3mm	2.3mm	0.5mm以上
		23℃	1.21MPa	0.89MPa	0.15MPa以上
			1.3mm	2.3mm	1.0mm以上
水浸引張接着試験		23℃	88.0%	86.0%	水浸前の50%以上
耐薬品性試験	3%NaCl水溶液	23℃	異常なし	異常なし	異常がないこと
	飽和Ca(OH) ₂ 水溶液		異常なし	異常なし	

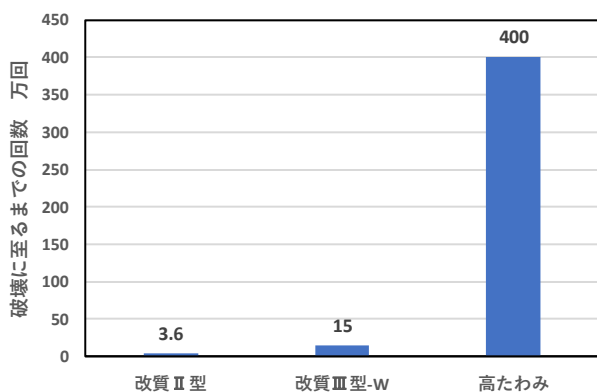
4.2 混合物について

表－3 に使用するバインダ及びそのバインダを使用した混合物の代表性状を示す。

高たわみ性改質アスファルトは、疲労抵抗性がポリマー改質アスファルトⅡ型（以下、改質Ⅱ型）の100倍以上、ポリマー改質アスファルトⅢ型-W（以下、改質Ⅲ型-W）の20倍以上となり（図－3 参照）、かつ低温において、グースと同程度の曲げ破断ひずみが得られるように改良したものである。さらに、軟化点は75℃以上あり、ポリマー改質アスファルトⅢ型-Wと同等以上である。

表－3 バインダ及び混合物の代表性状

試験項目			改質Ⅲ型-W	高たわみ性改質アスファルト
バインダ性状	軟化点	℃	70.0以上	75.0以上
	伸度(15℃)	cm	30以上	50以上
	タフネス(25℃)	N・m	16以上	-
	粗骨材の剥離面積率	%	5以下	5以下
	フラス脆可点	℃	-12以下	-25以下
	針入度(25℃)	1/10mm	40以上	100以上
混合物性状	動的安定度(60℃)	回/mm	3000以上	1500以上
	曲げ破断ひずみ(-10℃)	×10 ⁻³	6.0以上	8.0以上



図－3 曲げ疲労試験結果（15℃）



写真－2 接着防水材上での舗設状況

4. 3 施工方法

(1) 防水層の施工

開発工法は床版の種類によらず、表面処理として研掃工を実施する。その後、防錆と接着防水材の接着を高めることを目的としてエポキシ系プライマーを塗布した直後に珪砂を散布する。プライマーが硬化した後、専用レーキにより接着防水材を塗布する（写真－1 参照）。



（黄色部分が塗布後の接着防水材）

写真－1 接着防水材の塗布状況

(2) 混合物の施工

塗布した接着防水材の温度が外気温まで低下した後、一般的なアスファルトフィニッシャーやローラを用いて基層用混合物を舗設する。接着防水材は60℃以下では粘着性を示さないため、多量に塗布した後施工機械が走行しても接着防水材が損傷を受けることはない（写真－2 参照）。

5 実橋での試験施工

5. 1 施工概要

2021年7月に福岡高速5号線の鋼床版区間に対して開発工法を適用した。表－4に施工概要、図－4に施工状況を示す。施工規模は約300㎡であり、3日間の連続規制のもと、一日目に既設舗装の撤去、二日目に研掃工から防水層の施工、三日目に基層、表層の舗設を行なった。

プライマー塗布量は0.25kg/㎡、接着防水材塗布量は3.0kg/㎡とした。混合物の敷きならしは、一般的なアスファルト舗装と同様に実施した。転圧時は接着防水材が基層下部で溶融するため、混合物が流動しやすくなる。この流動を最小限に抑えるため、初転圧に線圧の低い4tタンデムローラを使用した。

表－4 試験施工の概要

項目	内容
施工日	2021年7月27-29日
施工場所	福岡高速5号線(内回り)板付～月隈JCT
床版の種類	鋼床版
工事内容・数量	施工延長・幅 L = 62.8m, W = 4.75m 防水工 A = 298.3m ² 基層工 (密粒度As_ポリマー改質AsⅢ型-WF) t = 4cm, A = 298.3m ² 表層工 (ポーラスAs_ポリマー改質AsH型) t = 4cm, A = 298.3m ²



図－4 施工状況

5. 2 施工後の状況

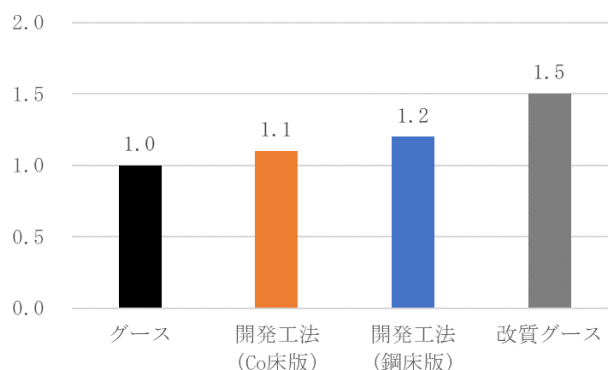
施工前後の状況比較を写真－3 に示す。施工後 6 ヶ月ではわだち掘れやひび割れといった異常はなく供用中であり、今後も追跡調査を実施する予定である。



写真－3 施工前後の状況
(左：施工前、右：施工直後)

6 コスト比較

図－5 にグースの材料単価を基準とした各工法の単価比率を示す。開発工法はグースよりもコストは高くなるが、特殊施工機械を使用しないため汎用性が高く、かつ施工時の温度が低く抑えられるため臭気の課題が改善される。



図－5 コストの比較

7 おわりに

防水層とアスファルト混合物層を一体化させる施工方法を開発した。開発工法は、高たわみ性改質アスファルトを用いることでグースアスファルトと同程度の防水性と曲げ破断ひずみを有し、かつ耐流動性に優れる混合物を通常の施工機械を用いて構築可能となる。汎用性の高い本開発工法が、道路橋床版の長寿命化に貢献できることを期待するものである。

参考文献

- 1) 松井: 移動荷重を受ける道路橋 RC 床版の疲労強度と水の影響について、コンクリート工学年次論文報告集 Vol. 9 No. 2, pp. 627-632、1987
- 2) 田中他: 床版防水性能を有する橋面舗装の開発、土木学会論文集 E1 (舗装工学)、Vol. 72、No. 3 (舗装工学論文集) 第 21 巻、I_69- I、2016
- 3) 佐々木他: 高剛性アスファルト混合物による鋼床版補強工法の開発、道路建設、2019
- 4) 社団法人日本道路協会: 道路橋床版防水便覧、pp. 35、2007. 3

塩分吸着型複合防水工法の開発

東亜道路工業株式会社 技術研究所 主任 ○佐川 聡
東亜道路工業株式会社 北陸支店 副支店長 砂田 良和

1 はじめに

コンクリート床版の損傷の一つであるひび割れは、舗装の打替え時における切削、塩害あるいは凍害などで生じることが知られている¹⁻²⁾。これらのひび割れを通じて塩化物イオンや水、酸素などの劣化因子が浸入することでさらにコンクリート床版の強度が低下する。近年ではひび割れの補修を兼ねた防水工法として、浸透系防水材料でひび割れを充填する複合防水工法が開発され、その需要が高まっている。しかしながら、塩害由来のひび割れに対して浸透系防水材料を充填する対策のみでは、コンクリート内部に残存している塩化物イオンにより塩害が再び引き起こされることが懸念される。

そこで筆者らは、ひび割れ注入材や断面修復工法のプライマー及び鉄筋防錆剤として鉄筋腐食の抑制が期待できる塩分吸着型エポキシ樹脂に着目し、舗装の補修時に床版面に塩害対策を施す塩分吸着型複合防水工法（以下、本工法）を開発した。本工法は以下に述べる塩害補修工法に求められる4つの性能のうち3つ（①～③）を一つの材料で対応することができる。

2 塩害対策について

コンクリート中の鉄筋は不動態被膜によって腐食から守られていると考えられている。しかし、コンクリート床版は供用中に海洋からの飛来塩分や凍結抑制剤などの影響で塩化物イオンが内部に浸入し、この塩化物イオンが一定濃度（ 2.0kg/m^3 ）以上になると鉄筋を覆っている不

動態被膜が消失し、鉄筋腐食が生じる。鉄筋腐食が生じるとその部分は鉄錆の発生により2.5倍程度に膨張するため、かぶりコンクリートが押し出されるような形でひび割れが生じる。そのひび割れを通じて劣化因子の供給が容易となり、更に鉄筋腐食が促進され、コンクリートのはく離や剥落、鉄筋の断面減少を生じ、構造物の耐久性能、耐荷性能が低下する³⁾。

このようなサイクルとしないために、塩害補修工法には4つの性能が要求される。①コンクリート中への塩化物イオン、水、酸素の浸入を低減するための劣化因子の遮断、②コンクリート中に浸入した塩化物イオンを除去するための劣化因子の除去、③鉄筋の腐食進行を抑制する鉄筋腐食の抑制、④コンクリートの浮き、はく離、鉄筋露出部を修復するコンクリート脆弱部の修復である³⁾。塩害の進行具合によってはこれらすべてに対応する必要があり、それぞれに対応する複数の工法が必要となる。

3 開発目標

上述した塩害補修工法の要求性能を踏まえ、下記のように本工法の開発目標を設定した。

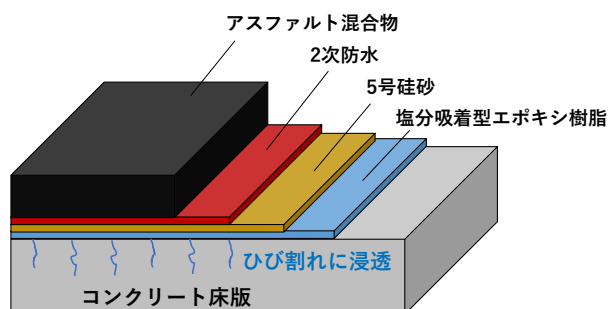
- 既設床版のマイクロクラック等を通じて外部から床版内に浸入する塩化物イオンを抑制する＝①
- コンクリート床版中に生じたひび割れ周辺部の塩化物イオン濃度を減少させる＝②
- 鉄筋に到達したひび割れに浸透し、鉄筋の破壊された不動態被膜を再構築する＝③

4 塩分吸着型複合防水工法について

表－1 に本工法の材料構成、図－1 に概略図を示す。1 次防水として塩分吸着型エポキシ樹脂プライマー（以下、H E P）を使用する。2 次防水として切削面の凹凸にも対応できる加熱塗膜型アスファルト防水と、施工時に加熱を必要としない常温粘着型シート防水を用いる構造とし、現場に合わせて選択できるようにした。本工法は防水の基本照査規格を満足し、さらに北海道開発局の暫定基準値である－20℃の低温環境下でも十分な接着性能を有していることを確認している。

表－1 本工法の材料構成

種別	材料種	使用量
2次防水	加熱塗膜型アスファルト防水	1.2kg/m ²
	常温粘着型シート防水	－
1次防水	塩分吸着型エポキシ樹脂 (浸透系防水材)	0.25kg/m ²



図－1 概略図

5 塩分吸着材料の性能

5. 1 ひび割れ浸透性能

ここではひび割れ浸透性能について検証した結果を示す。

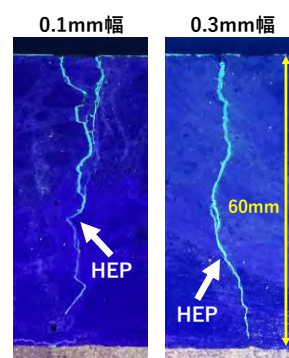
5. 1. 1 検証方法

H E P のひび割れへの浸透性能を確認するために以下の試験を実施した。コンクリート平板（J I S A 5371 ; 300×300×60mm）に幅 0.1～0.3mm のひび割れを導入させ、表面に蛍光顔料を加えた H E P を 0.25kg/m² 塗布した。硬化後、ひび割れを導入した平面に対して垂直にコンクリ

ート平板を切断し、その断面にブラックライトを当ててひび割れへの浸透状況を観察した。

5. 1. 2 検証結果

図－2 に H E P 塗布後の切断面の写真を示す。同図から H E P はひび割れの最深部まで浸透していることが確認される。また、この結果より 0.1mm 幅のひび割れにも浸透していることが確認された。このことから H E P は微細なひび割れへ浸透し、塩化物イオン等の劣化因子の再浸入を防ぐことができるといえる。



図－2 浸透系防水材の浸透状況

5. 2 塩分吸着性能

ひび割れ部における H E P の塩分吸着性能を検証した結果について述べる。

5. 2. 1 検証方法

暴露面からかぶり 50mm の位置に異形鉄筋 D13 を設置した 150×500×100mm の角柱のコンクリート供試体中央に二点載荷にて 0.3mm のひび割れを導入した。ひび割れ導入後、暴露面以外の 5 面をエポキシ樹脂にて被覆し供試体を作製した。

暴露試験は鹿児島県谷山港にある暴露試験場の護岸上にて実施した。暴露 6 ヶ月経過時にひび割れに H E P を注入し、注入後は 3 ヶ月再暴露した。暴露 6 ヶ月後の H E P 注入前の供試体及び再暴露 3 ヶ月後の H E P 注入後の供試体において、ひび割れを中心に φ25mm のコアを採取し、コンクリート内部の塩化物イオン濃度の分布状況を電子線マイクロアナライザー（E P M

A) によって分析した。なお、注入前および注入後の分析は同じコアによる実施ができないため、同試験条件で異なる供試体にて実施した。

5. 2. 2 検証結果

図-3 に暴露面から深さ 20mm 部分における塩化物イオン濃度分布図を示す。注入前は暴露面から 0~5mm の範囲のコンクリートに 0.6% 以上の塩化物イオンが浸透していることが分かる。また、12~20mm の範囲において若干ではあるがひび割れ周辺部に塩化物イオンが確認できる。

注入後は 12~20mm の範囲のひび割れ部において 0.4% 程度の塩化物イオンが確認できる。これはエポキシ樹脂由来の塩化物イオンである。一方、0~10mm の範囲におけるひび割れ部の塩化物イオン濃度はそれよりも高く、その周辺部では塩化物イオン濃度が減少していることが分かる。このことから HEP の塩分吸着効果によって、ひび割れ周辺部の塩化物イオンが固定化されたと考えられる。

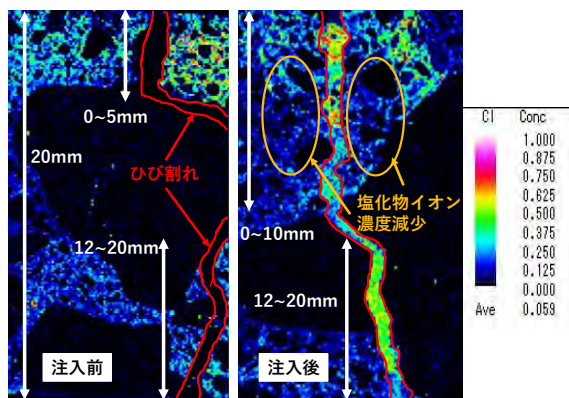


図-3 塩化物イオンの濃度分布図

5. 3 鉄筋腐食抑制性能

HEP の鉄筋腐食抑制性能を自然電位と分極抵抗の測定を行い検証した。

5. 3. 1 検証方法

供試体寸法は、内径 100mm、高さ 200mm の硬質ポリ塩化ビニル管を型枠として、長さ 150mm の異形鉄筋 D13 を型枠の側面中央に水平に設置し、

コンクリートを打設した。その後、コンクリート内の鉄筋に対して直角方向に 0.7~1.0mm 幅のひび割れを割裂引張により導入した。

ひび割れを導入した供試体は、40℃の恒温槽にて 3% 塩化ナトリウム水溶液に 1 日浸漬、1 日乾燥を 2 サイクル実施し、ひび割れ部に塩化物イオンを供給した。その後、HEP を供試体上面のひび割れから注入した。さらに、40℃の恒温槽にて 3% の塩化ナトリウム水溶液に 3 日浸漬、4 日乾燥を 1 サイクルとし、塩化物イオンを供給し続けた。

サイクル毎に自然電位と分極抵抗を測定することで鉄筋の腐食状況を推定した。比較として、塩分吸着剤を添加していないエポキシ樹脂（以下、EP）を注入したものと、何も注入していないもの（以下、ブランク）についても、自然電位と分極抵抗の測定を行った。

5. 3. 2 検証結果

図-4 に自然電位の測定結果、図-5 に分極抵抗の測定結果を示す。いずれの数値も高いほど防食環境にあるといえる。ブランク及び EP は低い値で推移する中、HEP は注入後から高い自然電位を保っており、自然電位が回復している。分極抵抗は注入直後より抵抗値が 130~150kΩ・cm² まで上昇し、13 サイクルまで安定している。これらの結果から、塩化物イオンを吸着すると同時に不動態被膜の再構築を行い、鉄筋の腐食を抑制していると考えられる。

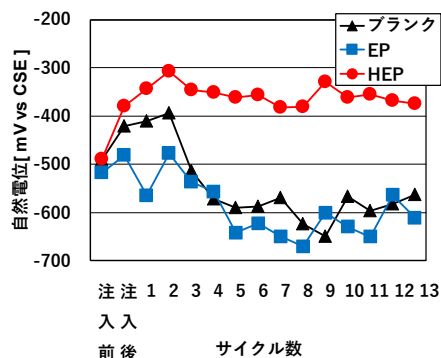
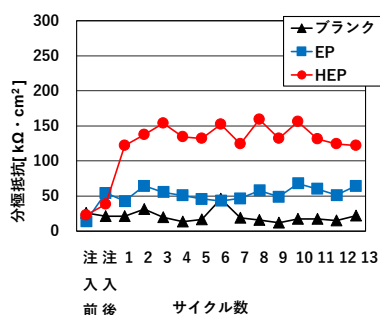


図-4 自然電位の測定結果



図－5 分極抵抗の測定結果

6 施工事例⁴⁾

本工法の施工事例について述べる。

6.1 工事概要

表－2 に工事概要を示す。施工箇所は気温が－15℃程度まで低下する地域で、凍結抑制剤の散布が必要とされる橋梁である。橋梁の健全度判定区分はⅢであり、構造物の機能に支障が生じる可能性があるため早期に措置を講ずべき状態にあった。

表－2 工事概要

工事名	中津山舗装補修外工事（三ツ口橋工区）
工期	2021年1～2月
施工場所	一般国道346号外登米市米山町中津山地内外
施工規模	836.8m ² （L:128.7m W:6.5m）

施工前の床版の状況を写真－1 に示す。既設舗装を切削後の床版上面には、腐食した鉄筋が確認された。床版の下面には錆の漏出と炭酸カルシウムの溶出が確認された。塩害で発生したひび割れから侵入した二酸化炭素による中性化が進行していると考えられる。損傷の激しい劣化部については断面修復を行った。修復箇所は4.8m³であった。修復後はショットブラストにより表面処理を行った。



写真－1 施工前の床版の状況

6.2 施工

HEP は主剤と硬化剤を体積比 2:1 で混合したエポキシ樹脂に、塩分吸着剤をエポキシ樹脂質量の 20%置換して調整した。写真－2 に HEP の塗布状況を示す。ローラーで 0.25kg/m² 塗布直後、5 号硅砂を 0.3kg/m² 散布した。端部は立ち上がり部まで塗布を行った。2 次防水は床版上面の凹凸に対応するために加熱塗膜型アスファルト防水を選択した。写真－2 に防水材の塗布状況を示す。防水材を 1.2kg/m² 塗布後、4 号硅砂を 1.0kg/m² 散布した。端部には L 型の止水テープおよび導水テープを設置した。



写真－2 施工状況

7 おわりに

塩害対策を兼ねた複合防水工法を開発した。本工法は今回の事例を含め約 1300m² の実績がある。今後は実施工の追跡調査を行う。

【参考文献】

- 1) 公益社団法人土木学会：道路橋床版防水システムガイドライン（案）pp.101-102，2012
- 2) 公益社団法人土木学会：道路橋床版の維持管理マニュアル pp.84-89，2012
- 3) 一般社団法人コンクリートメンテナンス協会：コンクリート構造物の維持管理～塩害・中性化・ASR補修の考え方～ 技術資料 Ver.4.2，pp.5-44，2017
- 4) 佐川他：塩害対策床版複合防水工法の施工事例，日本道路会議，2021

ICT活用により作業装置を自動化した 除雪トラックの試行運用について

国土交通省 北陸地方整備局 北陸技術事務所 ○福島 徹
前原 正之

1. はじめに

北陸地方整備局では、管内3県（新潟県・富山県・石川県）の直轄国道14路線、管理区間延長約1,073kmの冬期道路交通を確保するため、約500台の除雪機械を配備し、除雪作業を実施している。

除雪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した操作が必要であり、経験と熟練した技能を必要とするが、昨今は、熟練技能を持つオペレータの高齢化に伴う引退や、新規入場者の減少により、担い手の確保及び技能の維持が課題となっている。

このような背景のもと、北陸技術事務所では、オペレータの負担軽減、経験の浅いオペレータの作業支援を目的として、ICT（情報通信技術）を活用した除雪機械の開発に取り組んでいる。

本稿では、作業装置の自動制御機構を装備した除雪トラックを実際の除雪作業で試行的に運用した概要を報告するものである。

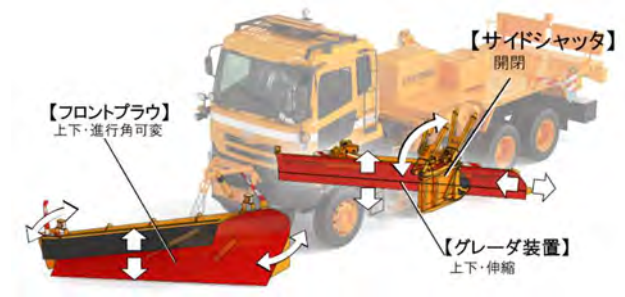


図-1 除雪トラック作業装置の概要

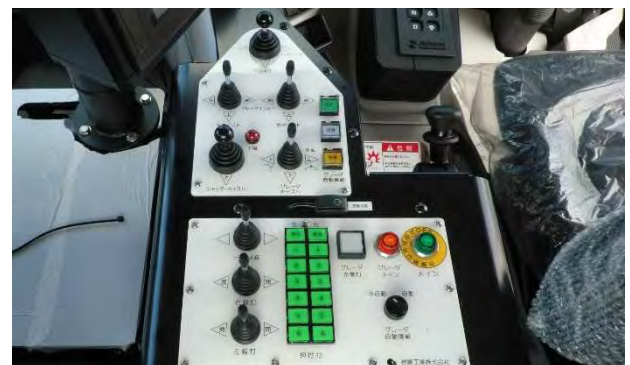


写真-1 除雪トラック作業装置操作パネル

2. 除雪トラック作業装置の自動制御機構

2-1) 除雪トラック作業装置の概要

除雪トラックによる新雪除雪は、路面に降り積もった雪を路側にかき寄せるもので、作業装置としては、新雪などを除雪する「フロントプラウ」、圧雪などの路面を整正する「グレーダ装置」、交差点や沿道施設の出入り口といった、雪を置いてはいけない区間において一時的に雪を抱え込む「サイドシャッター」で構成されている。

（図-1）

除雪トラックのオペレータは、車両本体の運転と同時に8本のレバー、20個のスイッチにより作業装置の操作を行わなければならない熟練した技能が求められる。

（写真-1）

このため、除雪トラックの作業装置（フロントプラウ、グレーダ装置、サイドシャッター）の操作を自動化することにより、オペレータは車両の運転に専念できるため、作業の安全性が向上する。また、オペレータの負担軽減が図られることにより、担い手の確保に寄与するものと考えている。

2-2) 自動制御機構の概要

作業装置を自動化するための制御は、オペレータが各装置を操作した操作位置情報を反映させた“除雪作業用地図データ”を作成し、GNSS受信機（準天頂衛星システムみちびき対応型）で取得した自車位置情報とを照合し、地図データに設定した箇所で、作業装置に所定の動作を行わせる仕組みとした。（図-2）（写真-2）

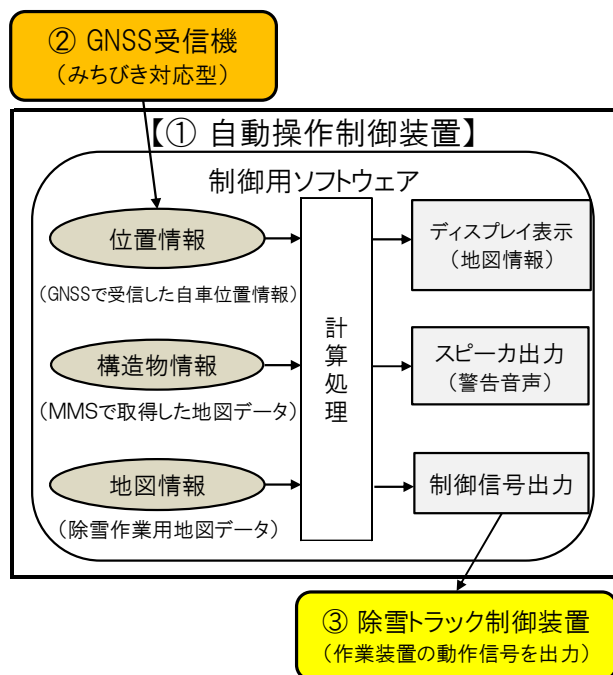


図-2 制御ユニット概念図



写真-2 自動制御装置

3. 各作業装置の自動制御

3-1) フロントプラウ

フロントプラウは、交差点等の道路構造が変化する箇所で、進行角の変更や上下の操作を行う必要がある。

進行角の操作は、交差点部や道路の接続部などの雪を置いてはいけない箇所で、除雪車の前方にまっすぐ前送りするために行う。また、上下の操作は、橋梁ジョイント等にフロントプラウが接触するのを防ぐため、当該箇所を除雪作業を実施しながら通過する際、一時的に上下の操作を行う。(図-3)

3-2) グレーダ装置

グレーダ装置は、装置幅の変更や上下の操作を行う。

装置幅の変更は、駐車帯などで一時的に道路の幅が変化する箇所で、装置を伸縮させて装置の幅を変更する。また、フロントプラウと同様に、橋梁ジョイント等との接触を避けるため、一時的な上下の操作を行う。(図-3)



図-3 作業装置の動作イメージ

3-3) サイドシャッタ

サイドシャッタは、グレーダ装置に付随し、交差点部や道路の接続部などの雪を置いてはいけない箇所において、グレーダ装置から左側に押し出される雪の流れを止めるため閉操作を行い、通過後に開操作を行う。



写真-3 サイドシャッタの動作

4. 自動制御機構の精度確認

自動制御機構を装備した除雪トラックの作業装置の動作精度（縦断方向）の確認を行った。自動制御システムで設定された動作完了位置に対し、実際の動作完了位置は様々な外的要因により動作遅れが発生することから、許容できる精度と安定性を評価する必要がある。

過去の試験結果から、除雪トラックの走行速度やエンジン回転数の変動が自動制御の精度・安定性に大きな影響があることが判明している。除雪トラックの作業時の走行速度が25km/h程度のため、前提速度を30km/hとし、10km/h～30km/hで評価した

手動操作の場合と同等以上の動作を目指すものとして、人間の単純なボタン操作等の単純反応時間は0.15sが下限とされているため^{*}その時間を指標とし、その時間に対する30km/hの場合の移動距離が1.25mなので、目標値を±1.25m未満と定めて、改良した自動制御装置の精度・安定性を検証した。

動作精度の確認は、試験コース上での作業データを作成し、作業装置の実際の動作地点を計測し、動作完了目標地点との差を比較した。（写真-4）

動作精度の試験結果からは、装置毎に動作完了目標地点に対するずれ量にばらつきは見られるものの、±0.8m以下で制御ができていることが確認され、目標値を満足している。（表-1）



写真-4 自動制御動作精度の確認状況

表-1 自動制御動作精度の確認結果

	フロントブラウ		グレーダ装置		サイドシャッタ	
	進行角		伸	縮	閉	開
	32°→0°	0°→32°	0cm→50cm	50cm→0cm		
目標値	±1.25m未満					
平 均	0.2m	0.5m	-0.8m	-0.4m	-0.2m	-0.2m
誤差幅	0.3m	0.4m	0.2m	0.7m	0.5m	0.7m

5. 試験車両での試行運用状況

5-1) 試行運用の概要

作業装置自動制御について所定の精度が確認できたことから、試験車両を実際の除雪作業に使用し、除雪の負荷を受けても、動作試験と同様の精度で、各作業装置が所定の動作を行うか確認を行った。

確認方法は、試験車両に搭載したカメラの記録映像、作業装置の動作状況を記録したロガーデータによる解析と、試験車両に搭乗し除雪作業に従事した除雪機械オペレータへの意見聴取により行った。

試行運用では、安全に作業を実施する観点から、オペレータが安全に実施できると判断した場合に自動制御機構を使用して除雪作業を行うこととした。また自動制御中であってもすぐに手動に切り替えることも可能となっている。

試行運用は、国道17号湯沢除雪工区（長岡国道事務所湯沢維持・雪害対策出張所）内の約13km及び国道49号安田除雪工区（新潟国道事務所水原維持出張所）内の約20kmで、各除雪工区の協力のもと実施した。

5-2) 降雪期前の現道試験

降雪期前に試行運用を行う除雪担当区間において、試験車両を使用して現道試験を実施した。

現道試験では、試行運用区間の除雪作業を実際に行うオペレータの協力を得て、作業装置動作位置の設定及び確認、試行運用区間内での自動制御による無負荷の動作試験を行った。作業装置動作の位置設定では、オペレータの意見を取り入れながら、動作試験を繰り返して調整した。



写真-5 降雪期前の現道試験実施状況（湯沢工区）

5-3) 試行運用時の自動制御実施状況

作業装置の自動化で自動制御による除雪作業の実施状況は表-2のとおりである。自動制御の使用頻度は、湯沢工区で14.5%、安田工区で41.0%であった。（表-2）

表-2 自動制御による除雪作業の実施状況①

工区名	全除雪 出動回数	うち自動制御を 使用した出動回数	自動制御を 使用した割合
湯沢工区	138	20	14.5%
安田工区	61	25	41.0%

また、各作業装置の出動1回あたりの平均操作回数の比較では、自動制御を使用した場合は、フロントプラウの操作が30%程度低減し、サイドシャッタの操作は85%以上の低減となった。（表-3）

表-3 自動制御による除雪作業の実施状況②

工区名	フロントプラウ 出動1回あたりの平均操作回数		操作低減率
	自動操作なし	自動操作あり	
湯沢工区	100回	70回	30.0%
安田工区	20回	13回	35.0%

工区名	サイドシャッタ 出動1回あたりの平均操作回数		操作低減率
	自動操作なし	自動操作あり	
湯沢工区	44回	6回	86.4%
安田工区	74回	9回	87.8%

5-4) 試行運用で確認された課題

試行運用では、自動制御により作業装置が所定の位置で所定の動作を行うことができるかの確認を目的に実施したところであるが、一部作業装置が所定の動作とならなかったなどの課題が確認された。（表-4）

表-4 試行運用で確認された課題

対象箇所	確認した課題
制御装置の構成	低速走行時に進行方向の判別が不能となる
制御プログラム	連続動作区間で動作の遅れ又は停止する
制御装置操作	手動から自動への復帰するための操作手順が多い
その他	積雪量に応じた調整が容易にはできない

確認された課題のうち、制御装置の機器構成や制御プログラムに要因があるものについては、構成機器の見直しやプログラムの改良を行い、課題の解消を図っていく。また、所定の動作とならない場合にも確実に除雪作業を行うために、オペレータの操作により手動へ切り替えることが出来るようになっているが、そののちに自動制御に復帰させる操作についても操作手順が多く、自動制御に復帰しにくいことが課題として挙げられており、あらためてオペレータの要望をヒアリングし、操作手順をより安全かつ簡便なものとするための検討を進めていく。さらに、手動操作では、降積雪量が多い場合に作業装置の動作角度や範囲を細かく調整して雪の量に対応しており、同じ対応が自動制御でも可能か、適用条件を整理し必要性も含め検討する必要がある。

6. まとめ

当初の目標としていた、フロントプラウの進行角可変及び上下動作、グレーダ装置の伸縮及び上下動作、サイドシャッタの開閉動作について自動化を図ることができた。ただし、実際の除雪作業の中で使用する試行運用では初めての試みであったことや、当該年度は過去5ヶ年平均の約1.5倍もの降雪量があったことも要因となり、自動制御の使用頻度が少ない結果となった。

自動制御の使用頻度を上げるために、令和3年度の試行運用で確認された課題解消のほか、降積雪量が多い場合に作業装置の動作を調整する機能や、オペレータに装置の作動状況をよりわかりやすく伝える機能など、自動制御機構を搭載した除雪トラックを安心して使用してもらうための検討が必要と考えている。



写真-6 運用状況

7. 令和4年度の計画

令和3年度で、当初の目標としていた、3つの装置・5つの動作（フロントプラウの進行角可変及び上下動作、グレーダ装置の伸縮及び上下動作、サイドシャッタの開閉動作）の自動化を図ることができた。同時に自動制御機構の問題点や、降積雪量に応じた対応など、あらたな課題が確認された。

今回、確認された課題についてさらに検討および改良を行い、オペレータの負担が小さくなるように、また経験の浅いオペレータであっても、安心して安全な除雪作業を行えるように、引き続き除雪作業装置自動化の取り組みを進めていく計画である。

※参考文献

新美 亮輔、横澤 一彦 反応時間 脳科学辞典
<https://bsd.neuroinf.jp/wiki/反応時間> (2013)

積雪寒冷地の路面破損状況に着目した全天候型常温合材の開発

北川ヒューテック（株）技術研究所 ○本間 圭一
北川ヒューテック（株）技術研究所 坂本 吉広

1 はじめに

北陸地方の路面では、冬期の降雪時と夏場の降雨期に路面損傷が顕在化し、特に12月から3月の積雪寒冷期から融雪期にかけてポットホールが発生が急増する傾向にある。また大雪となった年度では、他年度の同時期と比べポットホールの発生が顕著であり、今冬期の応急的な路面補修の要請回数が多かったことも記憶に新しい。路面が濡れた、あるいは水没した状態にある損傷部位では、応急的な復旧処置として全天候型の常温合材がしばしば用いられている。しかし交通量の比較的多い路線での補修箇所では、凍結による付着切れ、除雪車両のブレードによる衝撃、タイヤチェーンによるラベリング作用等によると思われる再破損が発生し、補修を繰り返す事例が散見されている。弊社では、平成23年度の北陸豪雪を機に、このような状況下に着目した常温合材の開発に取り組んできた。今回は、全天候型の”固まらない”常温合材の特性について報告する。

2 北陸地方で見られる路面損傷事例

2.1 除雪ブレード、ラベリング作用による損傷

積雪寒冷地域では、降雪による立ち往生や渋滞を回避するために、除雪機械によって道路上の排雪作業を行っている。幹線道路での除雪作業では、車両重量15t程度のモーターグレーダーが時速15km程度で隊列を組んで走行しながら、路面上の雪を削り取るようにブレードを滑らせながら作業

を行う（写真－1）。その際に、マンホールの蓋やグレーチングなど構造物にブレードを引っ掛けた時のシャープピンが折れる衝撃荷重は60～70kN前後ともいわれておりブレード衝撃力の強さが伺える¹⁾。近年、幹線道路等においては、アスファルト舗装の劣化に伴うひび割れが多くみられており、除雪ブレードやチェーンによる衝撃が路面に加えられることで、ポットホールに進展する事象が散見されるようになった。これと同時に、既に補修された箇所が、ブレードにより掘り起こされて再びポットホールとなる。また、再び掘り返された補修材の塊に車両が乗り上げる、弾き飛ばすなど、これらが引き金となる破損や事故報告もされている。このように積雪寒冷期に使用される常温合材には、本復旧までの間、除雪作業による再破損に耐えられる構造であることも重要である。



写真－1 幹線道路における除雪車両

2.2 ポットホール再発の要因

ポットホールの発生には、多くの因子が複合的に作用していると考えられているが、主要な因子として①水の存在、②温度変化、③荷重の作用が挙げら

れ、²⁾これらの要素が、ひび割れや施工ジョイント等などの弱点に作用すると損傷がより早く進展する。積雪寒冷地では、雪解け等による水がひび割れや施工ジョイント等から侵入もしくは浸透し、さらに気温の変化、凍結や融解、荷重が繰り返し作用することで舗装体に影響を及ぼすと言われている。²⁾北陸地方でよく見られる消雪設備付近に発生したポットホールの発生形態も同様であり、脆弱な舗装構造部から浸入した水が、混合物の層間の接着力を低下させて表層部を破壊している可能性が高い。さらに、浸透した水が路盤や路床まで到達する場合には、部分的な泥濘化を引き起こして一気に支持力が低下し、大きなポットホールを発生させる事例（写真－2）も見られる。



写真－2 路盤まで破損したポットホール

特に、路盤以下まで影響が及ぶ場合には、繰り返し荷重等により補修箇所が動くため、硬化する常温合材による補修では対応しきれない状況も見られるようである。

3 開発品の材料特性について

3. 1 開発品の概要

前述のような破損形態から、北陸地方で見られるポットホール補修では、①除雪ブレード、チェーンによる衝撃に対する抵抗性、②常に水が供給あるいは水没した状況下での作業、③繰り返し荷

重による路面の動きに追従する安定性などが求められ、これらに着目した固まらない全天候型常温合材を開発した。使用材料は、5mmTOPの粗骨材、砂分、アスファルトベースの特殊バインダーからなる。開発品は、骨材同士が外部からの圧力により付着して粘土のような団塊となる付着構造（粘弾付着系）であり、従来の全天候型常温合材のような水を反応基材とした硬化反応やカットバック剤が揮発することで混合物の強度が高まる気化反応を利用した結合メカニズムとは異なる。

3. 2 全天候型常温合材の基本性状について

全天候型常温合材は、粘弾付着系全天候型常温合材(X：以下、粘弾付着系と呼ぶ)のほか、カットバック系全天候型常温合材2種（A、B：以下、カットバック系と呼ぶ）、水硬化系全天候型常温合材3種（C、D、E：以下、水硬化系と呼ぶ）の合計6種を対象に評価を行った。各常温合材の試験結果について表－1に示す。

表－1 各全天候型常温合材の試験結果

測点	密度:20℃時 (g/cm ³)	常温カンタブロ試験 (%)	常温低速WT試験	
			DS(回/mm)	変形量(終了時間)
A	2.050	※測定不能	※測定不能	※25mm(1～2分)
B	2.212	※測定不能	※測定不能	※25mm(4～7分)
C	2.228	11.5	5,500～7,800	1～2mm
D	2.338	3.6	5,500～7,800	1～2mm
E	2.308	8.9	31,500以上	1mm程度
X	1.966	2.3	1,000～1,200	2～4mm

A、B、C、D、Eの密度はいずれも2.0以上であるが、Xのみ1.966g/cm³と適度な空隙を有する材料である。常温カンタブロ試験³⁾結果では、A、Bが90%前後の値（ほぼ元の状態）となり、C、D、E、Xが規格値である20%以下となった。また、写真－3に示した常温カンタブロ試験後の供試体(X)を見ると、角が丸く、供試体の厚みが厚くなっており、衝撃を吸収しているように変形した。常温低速WT試験³⁾結果から、A、Bの変形量はいずれも試験開始

から10分以内に25mm以上（測定不能）となった。一方、C、D、Eの変形量はいずれも1～2mm程度であり、DS値が5,500以上と非常に高い安定性を示した。また、Xの変形量は2～4mm程度となっており、DS値1,000～1,200と硬化しない材料であるにもかかわらず比較的安定した値が得られた。さらにこの試験値は、散水の有無に関わらず、転圧直後から得られると言うことが特筆すべき特徴の一つである。



写真-3 試験後の供試体(X)

3. 3 冬期路面を想定した低温低速WT試験

低温低速WT試験は、積雪寒冷期の実際の路面を想定した過酷な条件下（低温・湿潤）において、材料の安定性を評価するために行った試験である。試験条件を表-2に示す。

表-2 低温低速 WT 試験の試験条件

走行方式：クランク式	タイヤゴム硬度：20℃ 84±4
接地圧：0.630±0.015MPa	60℃ 78±2
試験室内温度：10±1℃	載荷方法：垂重式
水浸温度：0℃±0.5℃	走行回数：21回/分
供試体の種類：室内作製	走行距離：23cm
供試体寸法：長さ×幅×厚さ＝300mm×300mm×50mm	

本試験は、実際の冬期路面を再現するため、写真-4に示すように0℃の氷水を張った水槽内で試験を実施した。また、載荷荷重は一般的なWT試験と同様としたが、載荷速度は積雪時に交通速度が低下することを鑑みて標準速度の1/2（低速）とした。全天候型常温合材の評価は、前述の試験同様の6種（A、B、C、D、E、X）を対象に行った。各常

温合材は、低温試験室（室温0℃）にて12時間以上養生したものを使用した。また供試体作製時は、低温試験室で冷水（0℃に調整した水）を散水して

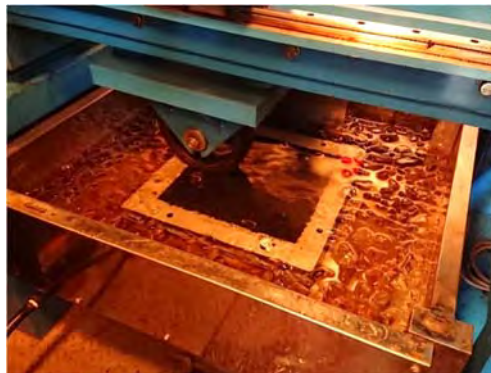


写真-4 低温低速 WT 試験状況

練り混ぜた後に型枠に入れ、ジョウロで散水しながら整形・転圧を行った。転圧完了後は、速やかにWT試験に移行するものとし、練り混ぜ時に冷水に触れてから10分後に試験開始した。DS値、変形量は、試験開始0分から75分までの値を測定して求め、変形量が25mmに達した場合は、その時点の時間を記録して試験終了（測定不能）とした。図-1に低温低速WT試験結果を示す。

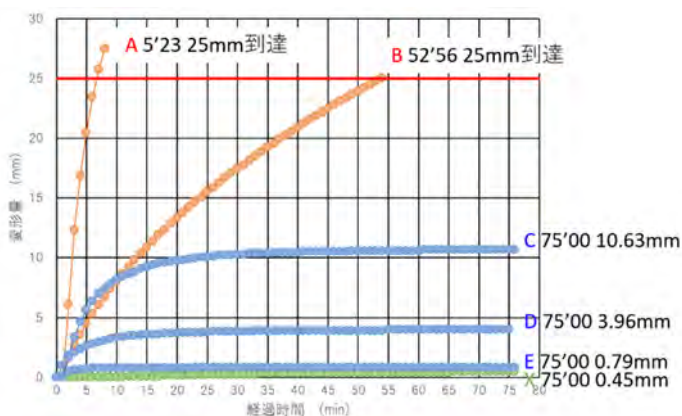


図-1 低温低速 WT 試験結果

Aは、5分半ほどで変形量25mm以上となり測定不能となった。またBは、約53分で測定不能となった。カットバック系は、揮発成分が気化することによって安定化（固化）するメカニズムである。このため低温環境下においては、揮発成分が気化し難く固化しないため、締固めた供試体の早期流動に繋がると考えられた。一方、水硬化系を見て

みると、Cの変形量は開始から25分程度まで徐々に変形量が増加していき、試験終了時11mm程度でDS値5,500程度となった。またDでは、15分程度まで増加して試験終了時4mm程度でDS値13,000程度、Eは5分程度まで増加して1mm未満の変形量でDS値63,000以上となった。これらの結果より、特に低温時の条件下における水硬化系は、種別の違いによって硬化速度が異なる結果となった。ただし、C、D、Eいずれの材料においても硬化完了した後の変形量がほとんどないことから見て、非常に安定した固化体となることが見て取れた。粘弾接着系Xは、試験終了時の変位量が1mm程度、DS値が6,000程度となっており、水硬化系にも劣らない安定性を示した。特に、低温時には、転圧初期から高い安定性を見せることが分かった。

3. 4 実車を用いた供試体踏み付け試験

実車を用いた供試体踏み付け実験は、万が一、補修材が路面上に掘り返された場合を想定して、車両を時速10kmで移動させ、タイヤで硬化養生したマーシャル供試体に乗上げる実験である。この時の供試体の観察を基に、路面上に補修材が露出した際の挙動などを検証するものである。タイヤが供試体に乗上げた後のコア状況を写真-5に示した。



写真-5 乗り上げ後のコア状況

実験に使用した供試体は、前述の試験同様にカットバック系2種(A、B)、水硬化系3種(C、D、E)、粘弾接着系(X)の6種類で行った。試験結果より、A、B、C、D、Eの5種類は、タイヤがコアに乗上げる衝撃等による形状変化がほとんどなく、後ろに弾き飛ばされるように1~2m程度路面上をすべり移

動した。一方、Xでは、タイヤがコアに乗上げるとその場で変形して潰れるあるいは分解するような挙動となった。実際の幹線道路上の車両が時速60km程度で移動していることを考えると、開発品は潰れることで重大事故の発生を抑制できる可能性が示唆された。

4 まとめ

今回報告した“固まらない”全天候型常温合材は、ゼロすり付け等を諦め、側面拘束されたポットホールに特化することで、低温湿潤な環境下においても水硬化系と同程度の高い安定性を転圧直後から得ることが可能である。また“固まらない”という特性により、除雪ブレードによる衝撃力、あるいは外力により削り取られ、万が一、補修材が路面上に掘り返された場合においても、その場で潰れる、あるいは小さく壊れることで被害を最小限に食い止められる安全性も示唆された。

5 おわりに

開発品は、開封後であっても硬化することがないため廃棄がなく、冷暗所保管で5年程度の長期保存可能である。このような固まらない粘弾的な特性を持つ全天候型常温合材が、北陸地方の冬期の路面補修だけでなく、災害時の緊急資材として活用・貢献できれば幸いである。

< 参考文献 >

- 1) シャーピンレスグレーダー装置の開発, 石塚ほか, 第28回北海道開発局技術研究発表会資料, 昭和60年
- 2) 融雪期に発生する舗装のポットホールの実態と発生メカニズムの検討, 丸山ほか, 寒地土木研究所月報 No. 730
- 3) 舗装設計施工要領 1.5.6 緊急補修材料の性能試験, 首都高速道路(株), 平成27年4月

FFP（フル・ファンクション・ペーパ）舗装の凍結抑制効果

株式会社ガイアート 北陸支店 藤澤 洋彦

フル・ファンクション・ペーパ（以下、FFP）とは、平成23年9月に弊社が開発した縦溝粗面型ハイブリッド舗装（多機能型排水性舗装）のことである。平成25年にNETIS登録され、平成27年4月に事後評価済み技術（KT-130010VE）として評価された。FFPは、長野県北佐久郡軽井沢町の白糸ハイランドウェイで最初の施工を行ってから、これまでに施工面積が94万㎡、施工件数が410件以上の施工実績がある（令和4年3月現在）。さらに、今後予定されている施工もあり、施工数量も増加傾向にある。

本報文は、この縦溝粗面型ハイブリッド舗装の凍結抑制舗装抑制効果について述べるものである。
キーワード：縦溝粗面仕上げ、排水機能、防水機能、凍結抑制機能、塩分残存効果、事故対策舗装

1. はじめに

排水性舗装は、1980年代から路面の水はね防止や雨天時の視認性向上に優れた舗装とし、高速道路の表層を始めとして広く普及してきた。

一方で、表層から浸透した水分によって下層の表面からはく離が発生することで表・基層の2層打換えが必要となることや、積雪寒冷地（以下、雪寒地）では表層内に残った水分が氷結することで膨張し、表層内部から破壊する損傷が発生している。2013年3月の北海道新聞では内部破壊現象の発生メカニズムとともに、札幌市内で路面状況の悪化により車の運転に支障を及ぼしているとの内容で報じられた。

さらに排水性舗装は、浸透水を直ちに排出する構造のため、凍結防止剤を散布しても流出しやすく、密粒度アスコンなどに比べて散布回数が多くなるという問題もある。

このように排水性舗装は排水機能等で優れた面があるものの、雪寒地では耐久性に難点があるために現在では採用が控えられる状況にある。

これら雪寒地における排水性舗装の問題点を解決し、新たな凍結抑制舗装及び雪寒地における排水性舗装の代替えとするために縦溝粗面型ハイブリッド舗装を開発し、2022年6月時点で80万㎡を超える施工を行ってきている。

本報告は、縦溝粗面型ハイブリッド舗装の施工実績のうち、北海道における凍結抑制効果について述べるものである。

2. 縦溝粗面型ハイブリッド舗装の概要

縦溝粗面型ハイブリッド舗装は、表層1層内の表面付近にポーラスアスファルト舗装と同等の排水機能を持ち、下部は碎石マスチックアスファルト混合物（以下、SMA）と同等の防水性能を併せ持つ舗装である（図-1参照）。また、締固め装置を改造したシニックスクリードを有する専用

アスファルトフィニッシャにより（以下、AF）敷均しを行うことで、舗装表面は縦溝を含めた粗面に仕上げることができる（写真-1参照）。この縦溝粗面は、表面の粗さがポーラスアスファルト舗装と同等であるため、タイヤ路面騒音の低減や雨天時等の浮き水を抑制することができる。

また、雪寒地では排水性舗装表層下部の空隙に残った水分の凍結による破損が発生していることから、縦溝粗面型ハイブリッド舗装では路面付近の排水層厚は、10～15mm程度としている。

そして、一層内の下部に防水機能を有するために下層表面の保護ができるので、路面性状の回復を目的とした修繕工事に際し表層のみの打換えとすることが可能になる。

さらに雪寒期では散布した凍結防止剤が表面付近の空隙と縦溝に留まるため容易に外部へ流出せず凍結抑制効果の持続性（塩分残存率）が密粒度アスコンや排水性舗装等に比べて大幅に向上させることも可能となる。

近年では、高速道路や山間部において事故が多発していた箇所への適用で事故件数が減ったという実績から、事故対策舗装としての機能も期待できる。

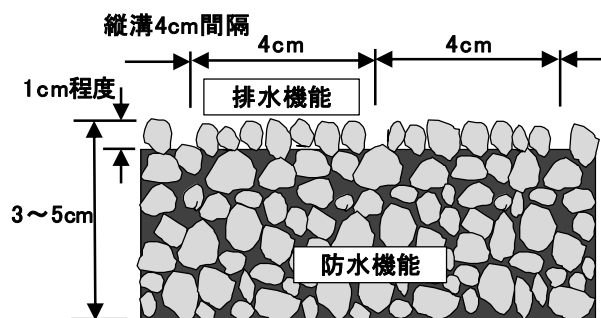


図-1 縦溝粗面型ハイブリッド舗装構造イメージ



写真-1 縦溝粗面仕上げの例

3. 効果の検証

3. 1 積雪寒冷地における耐久性の検証

先述の通り、寒冷地における排水性舗装は、表層に残留した水分が凍結する際に膨張して内部から破壊することがある。この内部破壊の発生については、雪寒地では融雪期に融雪水や気温変化、および荷重の作用といった要因でポットホールが発生するとの報告がある。

実際、北海道札幌市内における排水性舗装の破損も融雪期に多く発生している。写真-2 は施工後ひと冬を経過した排水性舗装の路面状況の例であるが基層の表面が露出するほど表層が破損していることがわかる。これに対し縦溝粗面型ハイブ



写真-2 排水性舗装の内部破損例



写真-3 施工2年後のFFP路面（札幌市内）

リッド舗装は、写真-3 に示す通り、施工後2年経過しても破損は見られず、路面状況も良好な状態を維持していた。

以上のことから雪寒地特有の融雪期に発生しやすい内部破壊に対する抵抗性が、縦溝粗面型ハイブリッド舗装は高いといえる。

3. 2 室内における凍結抑制効果の検証

縦溝粗面型ハイブリッド舗装の凍結抑制効果を検証するため、図-2 に示す検討フローに従い、室内において凍結防止剤残存率の確認試験を実施した。

その試験結果について、凍結サイクルと塩分濃度測定結果の関係を図-3 に、凍結サイクルとBPN測定結果の関係を図-4 に示す。

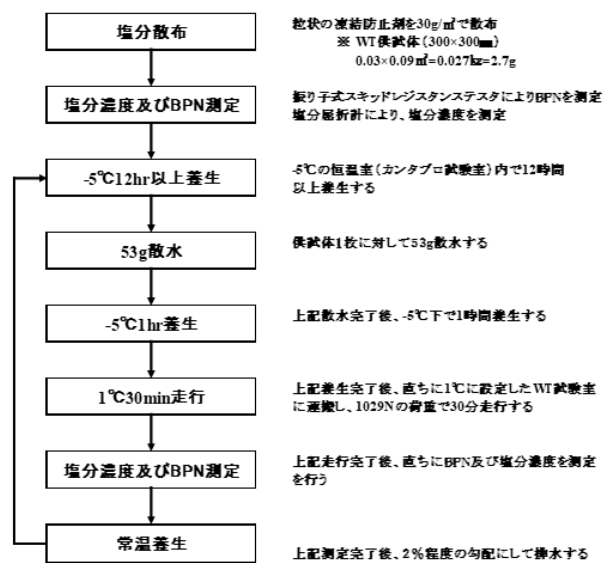


図-2 凍結抑制効果の検討フロー

ここで縦溝粗面型ハイブリッド混合物との比較を行うため、排水性舗装や雪寒地で使用されている細粒ギャップアスファルト混合物、粗面型SMA混合物についても同様の手順で試験を実施した。

図-3 より、縦溝粗面型ハイブリッド舗装で散布した水がシャーベット状となる限界の塩分濃度1.2%を基準値として適用した場合、縦溝粗面型ハイブリッド混合物が基準値を下回るサイクル数は他混合物の約2倍程度以上となっていることが分かる。

また、図-4 より、縦溝粗面型ハイブリッド混合物は、他混合物よりも高いBPNを維持できていた。

以上のことから、縦溝粗面型ハイブリッド舗装は一般の舗装に比べて凍結防止剤の効果持続時間が長く、散布回数を半分程度まで半減することが可能で、走行安全性を確保できると考えられる。

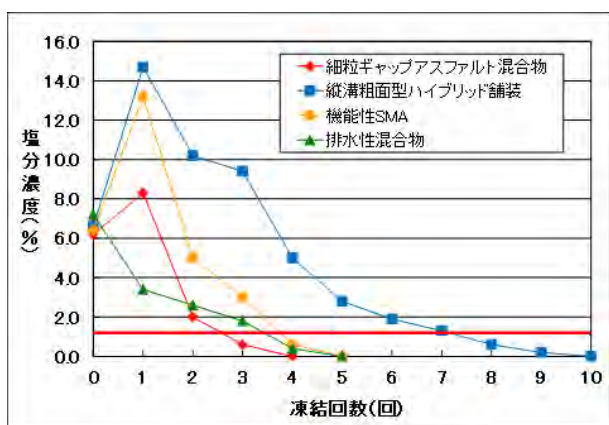


図-3 凍結サイクルと塩分濃度測定結果の関係

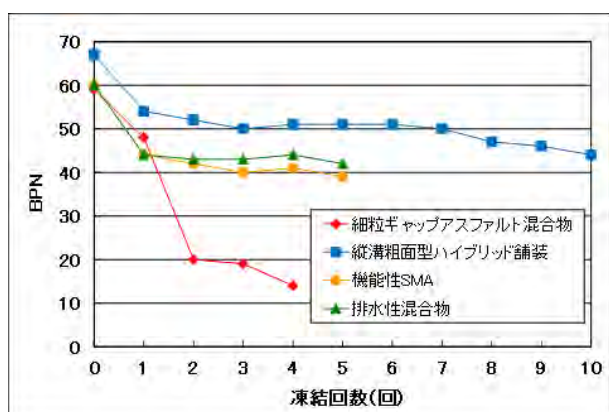


図-4 凍結サイクルとBPN測定結果の関係

3. 3 実道における浮き水抑制効果

縦溝粗面型ハイブリッド舗装が有する排水機能により、写真4に示すように雨天時等の浮き水を抑制することができる。この浮き水を抑制することで、ハイドロプレーニング現象やスモークキング現象を抑制し、雨天時における安全性確保に帰する。そして、浮き水が抑制されることで路面が冬期に凍結することなく、ブラックアイスバーンの解消も期待できる。



写真-4 縦溝粗面型ハイブリッド舗装浮き水抑制

3. 4 札幌市内における凍結抑制効果の事例

3. 4. 1 西野真駒内清田線（五輪通）の事例
札幌市豊平区の西野真駒内清田線（五輪通）における縦溝粗面型ハイブリッド舗装工事の施工概要を以下に記す。

施工日：2015年9月3日

施工場所：北海道札幌市南区澄川（図-5 参照）

施工面積：1,750 m²

施工厚さ：t=40 mm



図-5 西野真駒内清田線（五輪通）施工位置

本工事箇所において、実道における縦溝粗面型ハイブリッド舗装の凍結抑制効果検証を行うためカメラでの路面撮影により調査を実施した。

写真-5 は、施工直後の雨天時における路面状況である。写真の左側2車線が縦溝粗面型ハイブリッド舗装、右側2車線が密粒度舗装であるが、密粒度舗装には浮き水が見られることに対し、縦溝粗面型ハイブリッド舗装は路面が露出している様子が分かる。このことから、密粒度舗装に比べて、縦溝粗面型ハイブリッド舗装は浮き水の凍結によるブラックアイスバーン抑制が期待できる。

また、写真-6 は施工後ひと冬目の冬期路面状況であるが、密粒度舗装に積雪がみられることに対して縦溝粗面型ハイブリッド舗装は路面が露出



写真-5 施工直後浮き水抑制状況

している。このことから、密粒度舗装に比べて凍結凍結抑制効果が高いと言える。

そして、写真－7 は約 2 年後の路面状況であるが、縦溝粗面は維持されており、破損等も見られなかったことから、本工事箇所においても耐久性に問題はないと考える。



写真－6 施工直後路面露出状況



写真－7 25 ヶ月後路面状況

4. まとめ

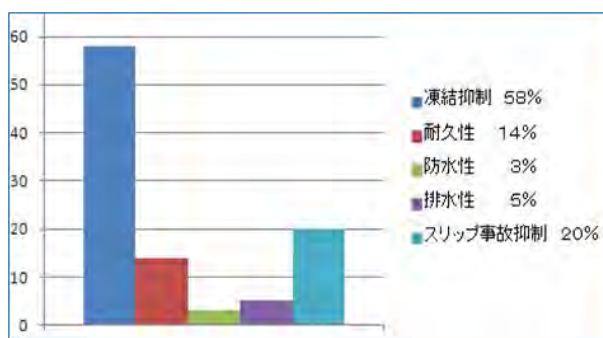
縦溝粗面型ハイブリッド舗装の凍結抑制効果に関する室内および実道での検討結果をまとめると、以下のことが言える。

- ① 縦溝粗面型ハイブリッド舗装は、雪寒地で使用されている一般的な混合物に比べて塩分の効果持続時間が長い。このため冬期路面管理での凍結防止剤散布回数を減らせる可能性がある。
- ② 縦溝粗面型ハイブリッド舗装は、雪寒地で使用されている混合物に比べ、高いすべり抵抗性を維持することができる。
- ③ 縦溝粗面型ハイブリッド舗装は、比較対象とした密粒度舗装に比べて路面露出率が高い。
- ④ 札幌市において、縦溝粗面型ハイブリッド舗装は、2 年以上の耐久性があることを確認できた。

また、発注者の主要要求性能について最大 2 項目の複数回答を含めたものをまとめると、図－6 のとおりである。

図－6 より、要求性能のうち凍結抑制機能を挙げた回答は、全回答の中の 58%となっていた。

また、スリップ事故抑制として 20%、舗装の耐久性（長寿命舗装）として 14%、排水機能として 5%防水機能として 3%、という回答を得た。補足事項として、複数回答では『凍結抑制機能＋ α 』という要求性能が多かった。



図－6 縦溝粗面型ハイブリッド舗装における発注者の要求性能

5. おわりに

今回検討した縦溝粗面型ハイブリッド舗装の室内における凍結抑制効果の検討結果から塩分の効果持続性が長いことやすべり抵抗性に高い効果があることを、実道における凍結抑制効果の検証結果からは路面露出しやすいことを確認できた。

今後も西野真駒内清田線の施工箇所や他の雪寒地において、縦溝粗面型ハイブリッド舗装の凍結抑制機能や耐久性について検証していきたい。

〔参考文献〕

- 1) 齊藤、多機能型排水性舗装の開発、第 12 回北陸道路会議（2012）
- 2) 藤本ほか、フル・ファンクション・ペーパ（FFP）の施工事例、第 12 回北陸道路会議（2012）
- 3) フル・ファンクション・ペーパーFFPー、土木施工（2013. 1）
- 4) 丸山他、融雪期に発生する舗装の損傷実態と損傷のメカニズム、第 57 回（平成 25 年度）北海道開発技術研究発表会

放熱管方式無散水融雪設備の開発

株式会社グランテック 事業所 技術開発室 ○東 知樹
事業所 営業 林 功

1 はじめに

消融雪技術は、散水融雪技術と無散水融雪技術に大分類される。この中で多く使用されているのは、散水融雪技術である。これが広く普及している代表的な要因として、構造が比較的簡単で消雪効果が大きいこと、また低コストでCO2排出量が少ないことが挙げられる。しかし、大量積雪時には溶け残しが発生する、多量の地下水汲み上げによって地盤沈下が発生する、歩行環境が悪いなど散水融雪の適用について諸問題が報告されている。

これらの問題を解決する手法として、舗装盤内に熱源を確保して舗装上の積雪を消融雪する無散水融雪技術がある。

この無散水融雪技術の熱源は、化石エネルギー、ローカルエネルギー、自然エネルギーに大分類される。熱源として化石エネルギーを用いる代表例として、「ボイラー方式」と「電熱方式」を紹介する。

「ボイラー方式」は、灯油・ガスなど化石エネルギーを燃料として不凍液などを加熱した熱流動体を、舗装盤内に配管したパイプ内部へ循環させることで熱源を確保し、消融雪を行う技術である。「電熱方式」は、舗装盤内に配列したニクロム線やシーズ線を加熱し、これを熱源として消融雪する方式である。

化石エネルギーを使用する技術は、省エネや環境問題(CO2排出量削減)などの観点から、今後の適用は少なくなるものと考えられる。コスト面の観点から言えば、「ボイラー方式」は使用する

設備(ボイラー自体や不凍液)の継続的なメンテナンスや買替えが必要であり、「電熱方式」はボイラー方式に比べて融雪性能が小さく、これを補うため多量の配列が必要であることからインシヤルコストが高価であり、また維持継続的に熱源を発生させるためランニングコストも高額である。



写真－1 井水式無散水融雪施工例

本報では、上記に挙げた省エネ・環境負荷の問題を解決できる、「自然エネルギー」を用いた無散水融雪について紹介する。これは井戸から揚水した地下水の通水によって発生させた熱エネ

ルギーのみを用いる「井水式無散水融雪技術」（以下、“本技術”と称す）である。本技術の概要を2章で紹介し、当社が現状取り組んでいるイニシャルコストダウン手法を3章にて紹介する。

2 本技術の概要

井戸によって汲み上げた地下水を舗装盤内に埋設させた鉄管（放熱管）に循環させ、路面上の雪を融かす技術（放熱管方式無散水融雪）は、数多くの研究成果が発表されている[1]。

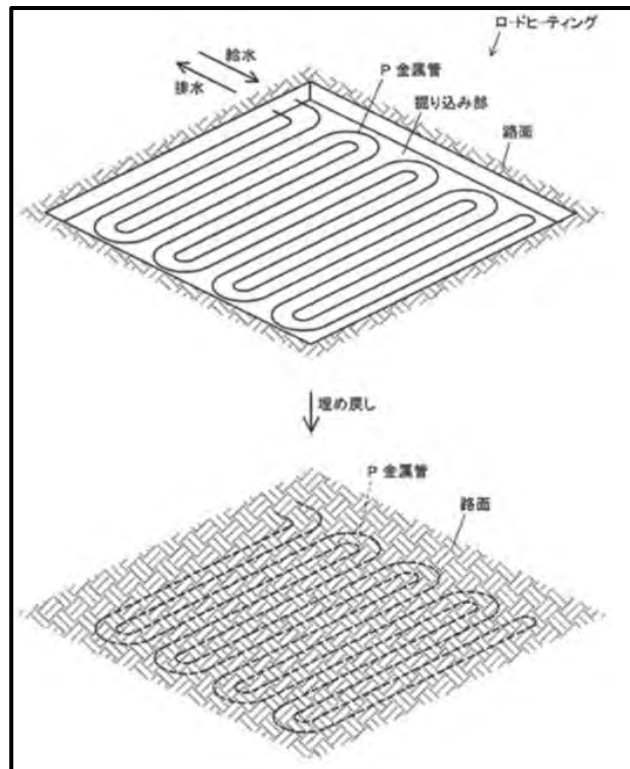
この地下水を循環させる仕様は定期的に井戸の逆洗浄を要するなど、設備維持に負担が発生する。そこで、当社における本技術の標準仕様は、給水口より鉄管に通水を行い、有効活用出来る場所へ排水を行なうこととしている（図1）。これによって設備維持の負担を減じることが出来る。

この手法のデメリットとしては、散水融雪と同じく取水した地下水を地上に排出する機構であるため、地域によっては地盤沈下が発生する懸念がある。散水融雪と比較し、取水量を減じることが出来るため総沈下量は低減されるが、地盤沈下が懸念される地域での工事については、リチャージ井戸を掘り、取水した水を地下に戻す復水処理を行う仕様を用いることを原則としている。

本技術の当社における設計検討の手法は「路面消・融雪施設等設計要領/社団法人日本建設機械化協会北陸支部（平成20年5月版）」[2]に基づくこととしている。この放熱管方式無散水融雪の設計検討を行う上では、放熱管の種類、放熱管の舗装表面までの距離、舗装の熱伝導率、流量などの条件によって融雪能力がどのように変化するかを知ることが必要となる。

2.1 標準仕様

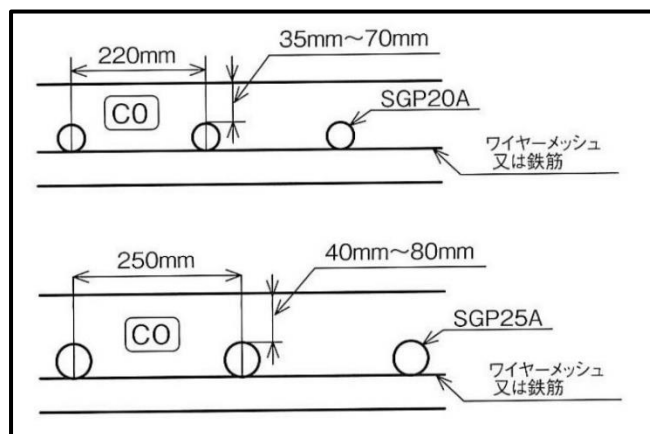
放熱管として使用する鋼管は一般配管用炭素鋼鋼管(JIS G3452)に規定されるSGP鋼管とする。放熱管の被り深さやその他詳細な仕様については表1及び図2を参照されたい。



図－1 配管イメージ図

表－1 放熱管（鋼管）の仕様

呼び	鋼管 外径φ (mm)	鋼管 厚さt (mm)	鋼管継手 外径 (mm)	鋼管継手 長さ (mm)	管設置 間隔 (mm)	最小被り 深さ (mm)	最大被り 深さ (mm)
SGP20A	27.2	2.8	31.8	100.0	220.0	35.0	70.0
SGP25A	34.0	3.2	38.1	100.0	250.0	40.0	80.0



図－2 標準断面図

3 本技術のコストダウン取組

本技術におけるコストダウンの取組を紹介する。本技術のコストは、先に挙げた「ボイラー式」「電熱式」と比較し、導入に際してのイニシャルコスト及びランニングコストは安価であることが多い。しかし、散水融雪と比較すると、1㎡あたりのイニシャルコストが5.0倍以上であると言われている。このコストの明確な差異によって、本技術の採用が見送られるケースが多数であった。

本技術でのイニシャルコストダウンの取組内容は、写真2に示すリターンベンド(鋼管の折り返し部分)をローコストで制作出来る専用機械(パイプ曲げ機)の新規開発、そして鋼管ジョイント部分の制作である。パイプ曲げ機の説明を3.1項で行い、ジョイント部分制作に係る説明を3.2項で行う。



写真-2 リターンベンド配管状況

3.1 パイプ曲げ機の開発

自然の低温な熱源(地下水)を利用した本技術では、埋設放熱管には熱抵抗が小さい鋼管を用いることが多い。この鋼管を用いて数地内に配管する場合、鋼管を折り返し曲げ敷設することが必要である(写真2)。この折り返し部についてはリターンベンドを用いて鋼管と繋ぎ合わせることが一般的であるが、価格が比較的高額で

ある。このリターンベンドは、写真2からも読み取れる通り、多量の個数を使用するものである。

リターンベンドが高額である理由は、断面を円形に保ったまま正確な寸法でU字に曲げる為には高度な技術を要するためである。一般的に鋼管の曲げ加工に使われるロールベンダーは、様々なサイズの曲げ規格に対応するため、機構が複雑である。これにより、曲げ加工に要する時間も長くなる傾向がある。

以上のことから、リターンベンドによってイニシャルコストが上昇していると考え、これを解決するため、ローコストでリターンベンドを制作出来る「パイプ曲げ機」(以下、”本機械と称す)を開発した。(写真-3)

正確な曲げ加工を実施する時間を短縮させるため、本機械では専用金型を油圧シリンダーでパイプに押し当て成形する「金型プレス方式」とし、その金型は実験により円形を保ったまま正確に設計通りのU字曲げが出来る形状を探し出し、採用した。更に正確な寸法を確保出来る工夫として、押圧力にてスプリングバックを調整できる機構を付加させた。

これらの点は”パイプ曲げ技術”として特許申請を行った。上記の工夫により、パイプの脱着時間を含め1分以内に正確な曲げ加工を完了させることに成功している。

本機械の開発により、SGP鋼管の仕入れ価格に切断加工費用を累加するのみでリターンベンドの作成が可能となった。

3.2 鋼管ジョイント制作

放熱管を組み立てる際、鋼管をジョイント金具で連結していく必要がある。従来このジョイント金具はLAと呼ばれるゴムシール付き金具を使用している(写真4)。このジョイント金具はリターンベンド以上に多量に使用する為、イニ

シャルコスト上昇の大きな要因となっていた。

このコスト削減のため、放熱管外径よりも僅かに太い内径のパイプを長さ 100mm に切断し、これをジョイント金具とした。放熱管外径部とジョイント金具内径部は鉄管用接着剤で接着する事により、水圧に耐え得ることを確認した。この技術の適用により、ジョイント金具コストを低下させることに成功した。

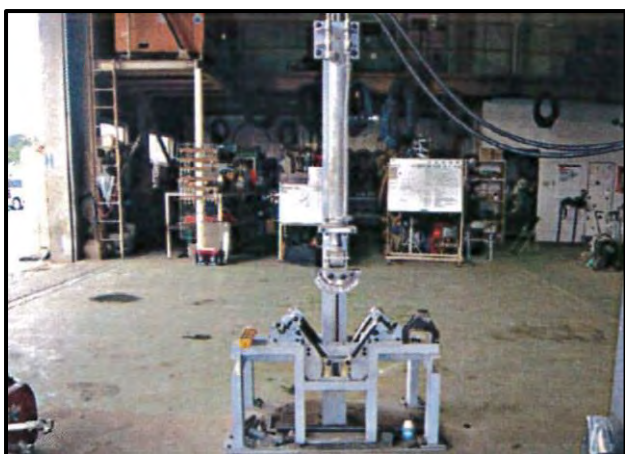


写真-3 パイプ曲げ機全景



写真-4 LAジョイント継手

4 まとめ

- ・本技術は、散水融雪の問題点として挙げられる「溶け残し」「地盤沈下」「歩行環境の悪化」を解決出来る技術である。
- ・本技術は、自然エネルギーを用いることで省エネや環境問題(CO2 排出量削減)を達成できる。
- ・本技術の工夫により、「井水式無散水融雪」の

デメリットである”高額なインシャルコスト”を解消した。

- ・ランニングコストは従来の井水式と同じく他方式より安価である。

5 あとがき

「無散水融雪技術」は、「散水融雪と比較し高額である」というパブリックイメージが定着している。本技術の適用及び技術開発における当社の目的は、これまでのパブリックイメージを覆すこと、また新技術の情報周知を行うことで、より安心・安全、そして快適な社会環境の提供に努めることである。

[参考文献]

- [1]熊谷元伸・野原以佐武:地下水利用による無散水融雪工法の実用化に関する研究、国立防災科学技術センター研究報告第 41 号、1988.3
- [2]社団法人日本建設機械化協会北陸支部:路面消・融雪施設等設計要領、社団法人日本建設機械化協会北陸支部
- [3]斎藤浩之:消融雪施設の現状と自然エネルギーを活用した融雪技術の紹介、建設の施工企画(745)、2012.3

3D測量を活用した融雪配管埋設型プレキャストRC舗装版施工

株式会社 興和 北陸支店 水工部係長 ○坂井 祐史
株式会社 興和 水工部課長 石田 謙介
水工部 清水 祐哉
技術開発室 渡邊 健太

1 はじめに

バイパス道路のインターチェンジ(IC)ランプ部には、機械除雪の効率化を目的として、消融雪設備が整備されている。このうち、条例で地下水の取水が規制されている地域では、消融雪設備(消融雪パイプ)ではなく、舗装内に融雪配管を埋設する融雪設備が整備されることがあるが、融雪配管は、対象車線全体を面的に整備するため、通行止め規制や迂回路施工を伴うことが多い。

本稿では、交通規制を最小限に抑えることができる工法として採用された融雪配管埋設型プレキャストRC舗装版(以下、「融雪用RC版」という)の施工計画において3D測量を活用した事例について報告する。

2 融雪用RC版施工の課題(ICランプ部)

2.1 融雪用RC版

融雪用RC版は、製作工場において、配管→気密試験→配筋→コンクリート打設→コンクリー



写真1 融雪用RC版の配管・配筋



写真2 融雪用RC版の完成品

ト養生の各工程を実施するため、現場作業期間が大幅に短縮される。交通量の多いバイパスICランプ部の施工では、夜間規制のみで即日開放が可能となる。

2.2 融雪用RC版施工の課題(ICランプ部)

バイパスICランプ部が複雑な合成勾配を有する曲線形状になっているのに対して、融雪用RC版は、勾配を有していない直線(台形)形状となっている。そのような現場条件に対して、従来の施工計画では、2D図面で融雪用RC版の配置を計画していたが、実際の施工では現場の合成勾配に合わせて融雪用RC版を傾けて設置していくため配置計画に対するずれが生じやすいという課題を抱えていた。

そこで、3D図面で融雪用RC版の配置を計画し、配置計画と施工とのずれを生じにくくする方法について試みることにした。

3 3D測量を活用した施工計画

3. 1 施工計画の手順

3D 測量を活用した施工計画の手順を図 1 に示す。

3D スキャナと各種ソフトウェアを使用して、現地作業（測量・位置出し）と内業（点群データ処理・3D モデル編集）を繰り返して融雪用 RC 版の施工計画を進めた。

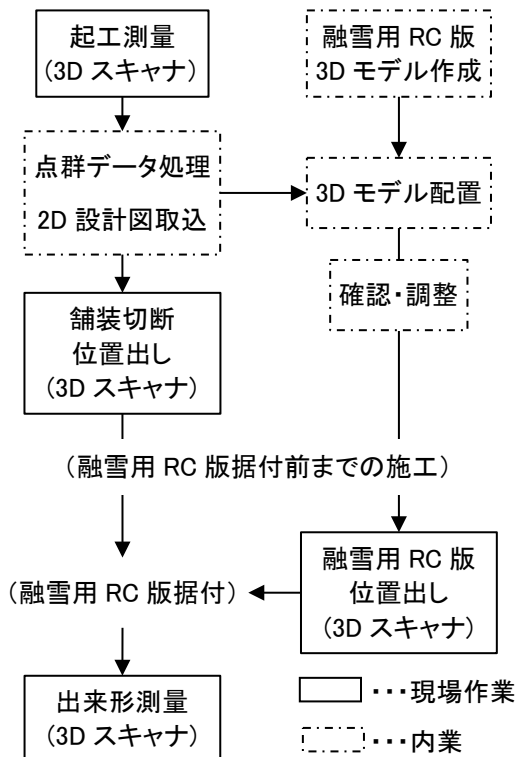


図 1 施工計画の手順

3. 2 使用機器とソフトウェア

今回の 3D 測量と施工計画に使用した機器等を表 1 に示す。

現場における点群データ取得及び位置出しには、Trimble 社製のスキャニングトータルステーション Trimble SX10 を使用した。

点群データの処理には、福井コンピュータ社製の TREND-POINT、3D モデルの配置には福井コンピュータ社製の TREND-CORE をそれぞれ使用し、3D モデルの配置に必要な融雪用 RC 版の 3D モデル作成には、Trimble 社製の SketchUp を活用した。

表 1 機器仕様

種 別	機器・ソフトウェア名
3D スキャナ	Trimble SX10
点群データ処理	TREND-POINT
3D モデル配置	TREND-CORE
3D RC 版モデル作成	SketchUp

3. 3 起工測量（点群データ取得）

施工対象道路の 3D モデルを作成するために 3D スキャナにより起工測量（点群データ取得）を実施した。3D スキャナ測量は、測定対象にプリズムを設ける必要がないため、安全に早く少人員でデータを取得できる利点がある。バイパス IC ランプ部は交通量が多いことから、特に安全面で大きな利点を感じた。



写真 3 レーザースキャナによる測量

取得した点群データをソフトウェア上で処理し、図 2 に示すような 3D モデルを作成した



図 2 起工測量による 3D モデル（点群データ）

3. 4 3Dモデルの活用

点群データから作成した現場の3Dモデルに2D設計図データを取り込むことにより、施工過程の様々な場面で3Dモデルを活用することができた。

舗装版切断範囲や配管設置位置の座標を3Dスキャナに取り込み、現地で3Dスキャナを使って位置出しを実施した。この作業は、3Dスキャナではなく従来のトータルステーションでも可能な作業ではあるが、一度点群データを取得してしまえば、経験値の差によらず従来方法よりも容易に施工過程の様々な場面で活用できるということを確認できた。

3. 5 融雪用RC版の施工計画

起工測量データから作成した施工対象道路の3Dモデルに融雪用RC版の3Dモデルを配置して施工計画を試みた。

融雪用RC版3Dモデルの一例を図3に示す。融雪用RC版は、設置する道路線形に合わせて様々な形状の製品となっている。

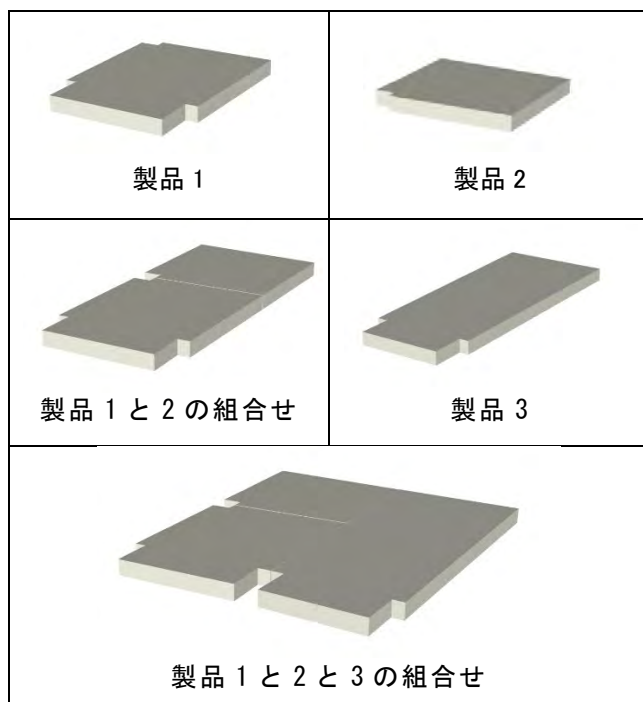


図3 融雪用RC版の3Dモデル

個々の融雪用RC版3Dモデルを全て組合せると図4のようになる。

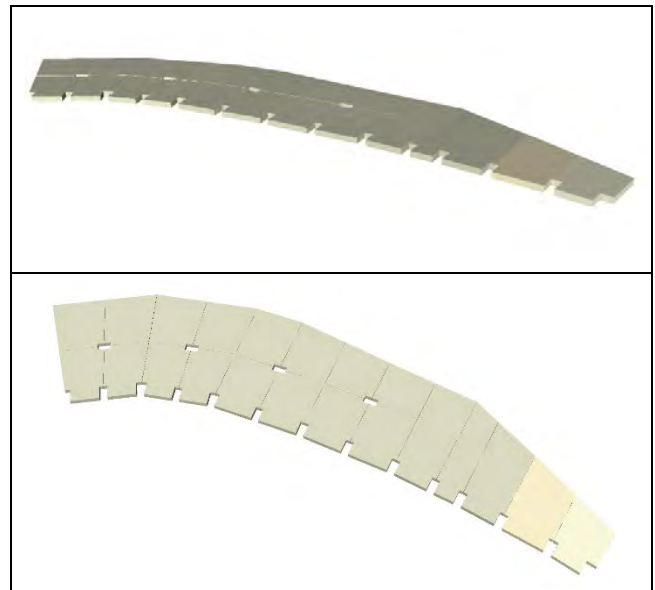


図4 融雪用RC版の3Dモデル組合せ例

この融雪用RC版3Dモデルを現地3Dモデル（点群データ）に配置して、3Dモデル上で位置や高さを確認しながら微調整を繰り返し、配置計画を決定した。現地3Dモデルに融雪用RC版3Dモデルを配置した例を図5に示す。

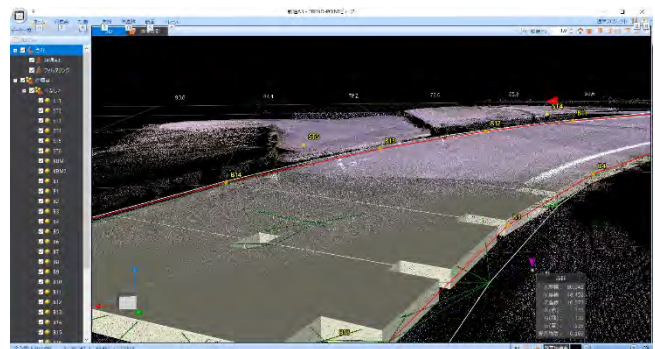


図5 融雪用RC版の3D配置計画の例

3Dモデル上で配置計画することの優位点は、融雪用RC版の高さを調整しながら計画できる点である。融雪用RC版の施工時は、周辺舗装の高さ及び隣り合う融雪用RC版の高さに合わせながら設置する。高さ調整すると融雪用RC版の鉛直方向に傾きが生じる影響で水平方向にも若干の

ずれが生じてくる。この若干のずれは、施工範囲が直線形状であれば、あまり問題はないが、バイパスランプ部のような曲線形状の場合は、予定の曲線より外側あるいは内側にずれてきて融雪用 RC 版を設置できなくなる可能性がある。

3D モデル上の配置計画では、施工時の高さ調整をモデル上でシミュレーションすることができる。今回は当初、隣り合う融雪用 RC 版の段差を 0mm にする配置計画を試みたが、周辺の舗装との高さ関係などどこかに歪みが生じるため段差を 3mm 以内にすることを基準として計画した。融雪用 RC 版の出来形管理として版間の段差は、個々の測定値で 5mm 以内、平均値で 3mm 以内という基準があるため、個々の段差を最大でも 3mm 以内とする条件を採用した。

高さ調整の例を図 6 に示す。この図例は、わかりやすくするために極端に高さを変えたものであるが、イメージとしては図に示すように版ごとに高さ情報を与えて配置を調整した。



図 6 3D モデル上の高さ調整イメージ

3. 6 融雪用 RC 版の施工

施工に先立ち、3D モデル上で計画した配置情報（座標）を 3D スキャンに取込み、現地に位置出ししたが、この作業も従来よりも早く、安全に実施できた。

施工は配置計画通りに実施でき、版間の段差を規定値以内に管理することもできた。



写真 4 融雪用 RC 版設置状況

そして、最も良かった点は、写真 5 に示すように配置計画の位置から“ずれ”を生じさせずに施工できたことである。

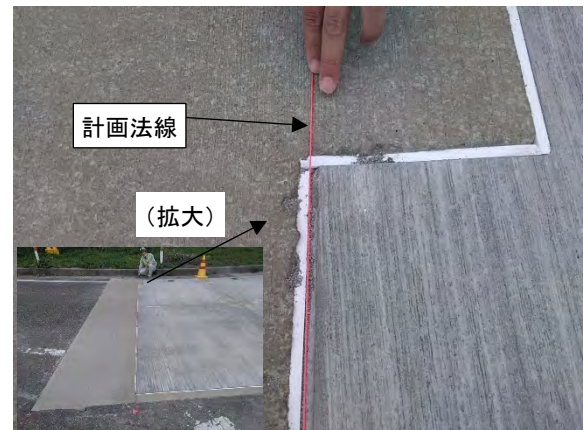


写真 5 計画法線からの“ずれ”の確認

4 おわりに

融雪用 RC 版の施工計画に 3D 測量を活用することにより、配置計画の正確性及び測量や位置出しの効率性を高めることができた。

今後、3D 測量や 3D モデルを用いた設計手法や施工管理手法に応用することにより、設計から施工計画及び施工管理までの生産性向上や品質向上に寄与すると考えられる。

参考文献：リバーシブル型融雪配管埋設型プレキャスト RC 版舗装設計施工マニュアル, プレキャスト RC 版舗装協会, 2017. 7

冬期融雪対策への通電発熱塗料を用いたシートヒーターの適用

佐藤工業株式会社 技術センター 上席研究員 ○前田 幸男
技術センター 上席研究員 伴 享

1 はじめに

これまで、雪や凍結に起因する転倒災害防止対策として、階段踏板部を対象とした発熱シートによる融雪方法を開発してきた^{1),2)}。

発熱シートは、通電すると発熱する”通電発熱塗料“を用いて製作した薄型の発熱シートであり、仮設足場のステップや仮設ハウスの屋外階段などの踏板裏面に取付けて融雪をする。

ここでは、2022年冬期に実施した階段融雪の試行結果について報告する。

2 通電発熱塗料を用いた発熱シートの概要

2.1 発熱シートの構成および取付け方法

発熱塗料は導電体のカーボンを含む水性樹脂ベースの材料で、通電すると発熱する高粘度(3~5Pa・s)の塗料である。通常の熱線ヒーターと比べ低電圧で発熱し、温度上昇が早く、加熱が均一となるなどの特徴がある。

一方、発熱は、塗膜材内の通電が前提となり水や鉄面への漏電に対する絶縁が必須となること、また、高粘性塗料を薄く均一に塗装する必要がある。このため、絶縁性のPET(ポリエチレンテレフタレート)シートに、均質な薄膜形成が可能なスクリーン印刷技術を用いて塗布することで、薄い発熱シートを形成している。

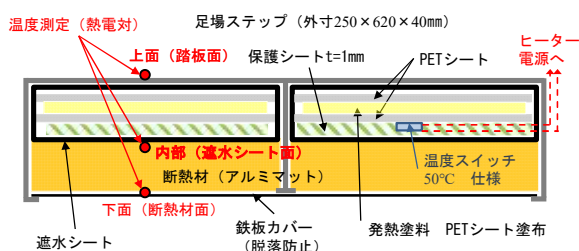


図-1 発熱シートの設置（短辺方向断面）

発熱シートは、通電発熱塗料、PETシート、銀ペーストの電極、過剰加熱防止用温度スイッチ、保護シート、遮水シートで構成され、ヒーター下面の断熱材とともに階段踏板裏面に設置する（図-1、写真-1）。

2.2 発熱シートの運転

電源は、図-2に示す温度スイッチ（50℃設定：バイメタル式）を介し、銀ペーストの電極に接続され、制御盤内の電圧調整器で所定電力密度となる電圧に調整し、外気温サーモスタット（8℃設定）でON-OFF制御した。

融雪面の温度は、使用環境温度、供給電力による発熱量で定まるため、低温恒温槽を用いた室内試験を実施し、図-3に示す各温度条件に



写真-1 発熱シートと足場ステップ

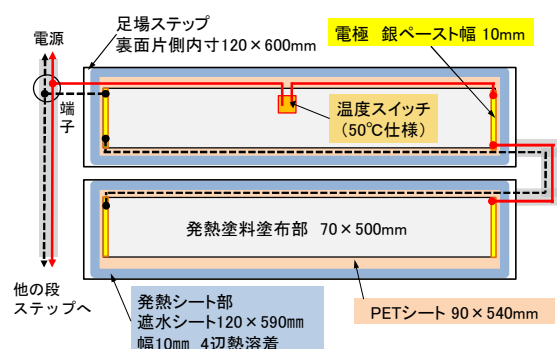


図-2 発熱シートの設置（平面配置）

おける電力密度とステップ上面温度の関係より、運転条件を設定した。同結果より、電力密度 300 W/m^2 程度の運転条件であれば、 -20°C の外気温においても、 1°C となることから、同条件を融雪可能な目安とした。なお、電力密度は、単位面積当りの使用電力 (W) であり、現地試験では、足場ステップ5段分の運転時の設定電力を式(1)より算定し、電力計指示値 (W) がこの所定値となるように電圧調整して設定した。

$$\text{設定電力} = 300 \text{ W/m}^2 \times 5 \text{ 段} \times A = 212 \text{ W} \quad \text{式(1)}$$

$$A: \text{シート面積} = 0.142 \text{ m}^2 (= 0.12 \times 0.59 \times 2 \text{ sets})$$

3 現場融雪試験

3.1 試験方法

足場ステップの融雪試験は、2022年1月から約2.5ヵ月間、冬期に約1mの積雪深となる秋田県仙北市内の工事事務所敷地内で実施した。

試験は、約1m嵩上げした足場上に無対策および発熱シート対策を施した足場ステップを各5段設置した(写真-2)。

温度測定は、熱電対を使用し、融雪対策した

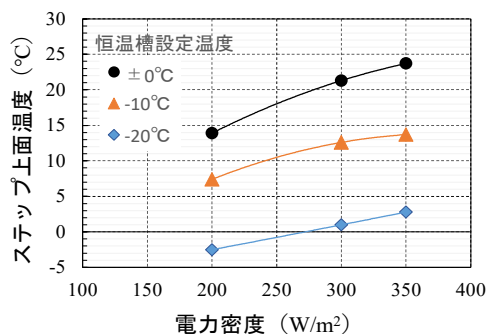


図 - 3 低温恒温槽での室内試験結果



写真 - 2 試験状況 (2022.1.24 6 cm積雪時)

ステップについては、図 - 1 に示したように、2 段目、3 段目のステップ上面 (踏板面)、内部 (発熱シート下面)、下面 (断熱材下面)、さらに、外気温、無対策ステップ上面 (1 段目) の温度および使用電力を測定した。なお、測定は 2 秒間隔で記録し、6 時間毎に整理した。

3.2 降雪時の融雪確認試験結果

2022年1月28日の0時から3日間の測定結果を降雪記録と併せて図 - 4 に示す。外気温および無対策面温度が $-12.6^\circ\text{C} \sim +1.6^\circ\text{C}$ 環境において、対策踏板面の温度は2段目、3段目とも $10^\circ\text{C} \sim 20^\circ\text{C}$ となり、融雪が確認された。同期間のうち1/28 昼から1/29 昼の間に約20 cmの積雪(気象庁: 角館記録より)が確認された。降雪後の踏板面の積雪状況を写真 - 3 に示す。

融雪程度が反映される対策踏板上面温度は、外気温、加熱による温度上昇分に影響を受けるため、図 - 5 に対策時と無対策時の温度差を加熱上昇温度とし、外気温に対する変化を示す。

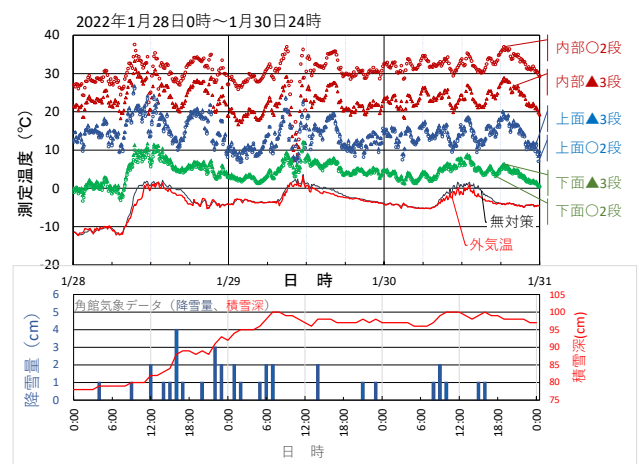


図 - 4 測定結果と降雪記録



写真 - 3 融雪状況 (約 20 cm降雪後)

なお、図中の融雪必要温度(=2℃-外気温)は、無対策面が加温により2℃程度以上となる時に融雪が開始すると仮定し、日射の影響を考えず外気温=無対策面温度として示している。

加熱上昇温度は、外気温に依らず、概ね14℃程度高い融雪可能の状態となることが確認された。運転時の電力密度は平均337 W/m² (6時間の平均電力240Wより算出)で、外気温の変化、サーモスタット作動による変動を含む平均値であるが、定温、電力密度200 W/m²~350 W/m²の条件で行った室内試験(図-3)の結果と同様の傾向を示したといえる。

3. 3 積雪時の融雪確認試験結果

降雪時の試験に対して、積雪状態からの融雪状況を確認とするため、発熱シートの運転を停止し、約25cm積雪した状態(2022.2.16)から運転し、積雪時の融雪状況を確認した。

図-6に、対策ステップおよび無対策面の温度、外気温ならび消費電力の時刻歴と融雪状況を示す。

運転開始9:10から14:00までの間、消費電力の凹凸(電源ON-OFF)に対応する内部温度の上下変動が認められる。これは踏板上面の積雪による断熱・保温効果により内部温度が上昇し、内部温度スイッチが動作したためである。融雪し始めた14:30以降、温度スイッチは動作せず、内部温度の変動もなく上面温度は加温され、

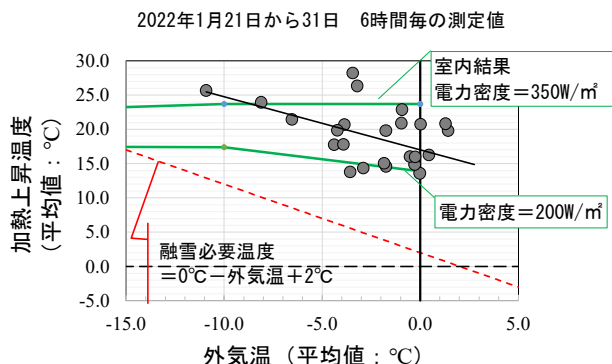


図-5 外気温に対する加熱上昇温度

10℃以上に上昇した。なお、内部温度と温度スイッチの設置面が異なる(図-1)ことから、温度スイッチ動作温度50℃に対し、内部温度は20℃ないし30℃で変動している。

踏板面上の積雪の保温程度は、外気温、積雪厚さ、風などに影響されるが、温度スイッチの動作温度を50℃設定よりも高くすれば(発熱塗料は120℃仕様)、内部温度がより上昇することから、より早く融雪するものと考えられる。あるいは、軽く掃う程度の除雪でも、踏板面上の積雪の保温影響が軽減され、踏板面への放熱が促進されるので、融雪効果が向上(融雪時間が短縮)することもあると考えられる。

4 運転時の消費電力と融雪能力

4. 1 外気温の影響について

降雪時を対象とした運転時の外気温と消費電力量の関係を図-7に示す。図中の連続通電(●)は、サーモスタットが作動しない(常時通電)場合を示し、-10℃~0℃の環境における消費電力量の6時間の積算値は1.45kW、1時間当たりでは240Whr (=1.45 kWh /6時間)、電力密度に

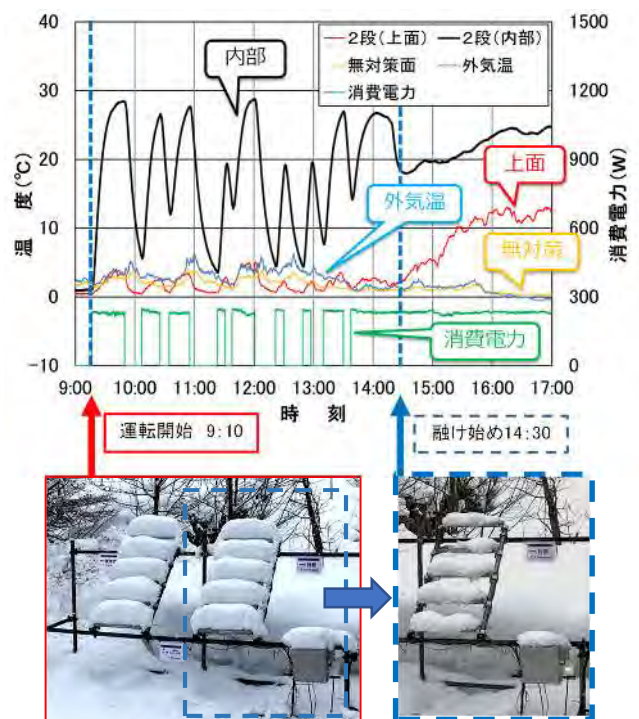


図-6 2022.2.16 測定結果と融雪状況

換算すると $340\text{W/m}^2 (=240\text{W}/0.708\text{m}^2)$: ただし、発熱シート全 5 段分面積は 0.708m^2) となり、ほぼ設定値 ($300\text{W/m}^2 \sim 350\text{W/m}^2$) となった。

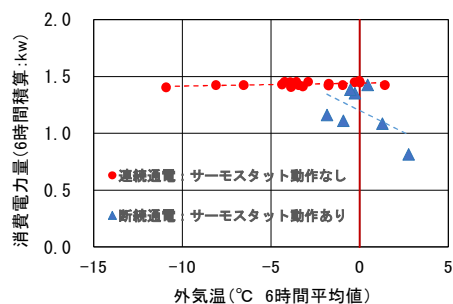
一方、外気温が 0°C 以上となると、外気温サーモスタットあるいは内部温度スイッチが作動 (ON-OFF) するため、同図中の断続通電 (▲) に示すように、外気温の上昇に伴い消費電力量は減少することが確認された。

踏板面の融雪能力は、外気温、踏板面の発熱温度 (電力密度) に影響を受ける。図一 5 で示した“加熱上昇温度”が“融雪必要温度”に対し、より大きいほど融雪しやすい状態となる。そこで、この“加熱上昇温度”と“融雪必要温度”の差分を“融雪余裕温度差”とし、消費電力量に対して整理した結果を図 - 8 に示す。

同図は 2022.1.21 から 3.8 までの期間の設定電圧 (電力密度) 条件を変えたケースを含むヒーター運転期間のデータで、6 時間毎の平均値を示している。同期間の 6 時間平均の外気温は、 $-10.9^\circ\text{C} \sim +5.1^\circ\text{C}$ であり、凡例の 4 段階の温度範囲で整理している。

消費電力量が同程度の場合には、外気温の上昇とともに融雪余裕温度差は大きくなり、また、融雪余裕温度差が同程度の場合には、外気温の低下とともに消費電力量が大きくなる。

外気温が高く融雪余裕温度差が過大となる場合は消費電力を抑制し、外気温が低く過小となる場合は消費電力の増加が必要となる。また、融雪余裕温度差は、外気温、風、階段材質・形



図一 7 消費電力の関係 (2022.1 結果)

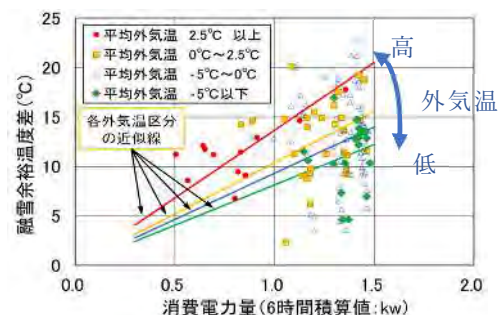
状、断熱材性能などの放熱の影響や電力密度、サーモスタット動作温度などの運転・制御による加温条件に影響を受ける。降雪時の省エネ運転、積雪時の急速融雪など、用途、環境に応じた融雪必要温度および融雪余裕温度差を検討し、運転条件を設定することが必要となる。

5 おわりに

通電発熱塗料を用いた発熱シートを階段踏板裏面に取付け、加温による融雪効果確認試験を実施した。その結果、降雪時、積雪時ともに融雪効果が認められ、以下について確認できた。

- ・降雪に対する融雪では、使用環境温度において、必要となる融雪面の温度上昇分に対応するヒーターの電力密度を求め運転条件を設定する方法の有効性が確認された。
- ・積雪に対する融雪時間の短縮のためには、融雪面の温度ならびに温度上昇速度を上げる方法が必要となる。

今後は、より効率的な加温のため、断熱方法、運転制御方法 (サーモスタット動作温度、降雪センサーの導入等) を検討するとともに、操作性向上のためスマートスイッチ等の導入や配線接続の省力化、さらに耐久性・転用性について検討する予定である。



図一 8 融雪余裕温度と消費電力量

参考文献

- 1) 前田、伴他：通電発熱塗料を用いた発熱シートによる融雪試験—降雪時の運転状況—、令和 4 年度土木学会全国大会、VI-440
- 2) 伴、前田他：通電発熱塗料を用いた発熱シートによる融雪試験—積雪時の運転状況—、令和 4 年度土木学会全国大会、VI-441

廃プラスチック材を活用した舗装材の開発

北川ヒューテック(株) 技術研究所 ○西園 雄太
中国支店 桶谷 達也
(株)リサイクルセンター 馬場 隆

1 はじめに

近年、国内外において、プラスチック製品の使用制限や廃プラスチック排出の抑制に注力し始めている。アスファルト混合物の添加材として廃プラスチック材を利用することは、リサイクル促進の観点から重要な試みである。とりわけ海外においては、アスファルト混合物に廃プラスチック材を活用することが盛んである。例えば、オランダで廃プラスチック材を原料としたプレハブ舗装を行っている。また、既往の研究によると、廃プラスチック材を添加することにより、リサイクル促進の観点だけでなく、耐流動性等のアスファルト混合物の性状向上が期待できることが確認されている¹⁾。

本稿では、廃プラスチック材を添加材として使用することにより、アスファルト混合物の性状向上が確認された舗装材の報告をするとともに、今後の廃プラスチック材利用の展望と課題を報告する。

2 選別材料の選定

2.1 各選別材料の性状及び添加材に適した材料の選定

2.1.1 選定方法

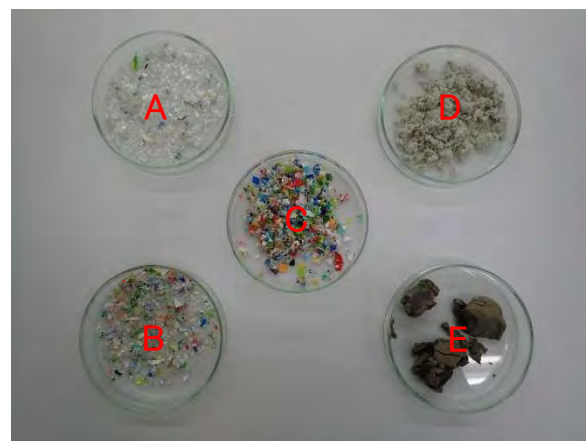
(株)北陸リサイクルセンターでは、使用済みの飲料空容器を回収し、工場内でペットボトル容器の圧縮、粉砕、洗浄、脱水の工程を経て、最終的にリサイクルしている。上記の工程で出てきた材料を効率的に処理するため、色や風力、水中（比重）等の方法で各材料の選別を行っている。本研究では、各方法で選別した材料を使用し（写真－1）、その中からアスファルト混合物の添加材に適した材料を決定するために、室内

試験を実施した。

試験内容は、アスファルトに対して各選別材料の溶解状況を調べるため、加熱したストレートアスファルト（60-80）に各選別材料を混合して溶解の状況を目視で観察した。また、混合した各試料を用いた針入度試験を行った。

2.1.2 試験結果

各選別材料の溶解状況は、E 以外の 4 材料に関しては概ね溶解したものの、E については温度条件によっては溶解しなかったため、E を添加材とすることを除外した。次に、針入度に関して、A 及び B の針入度がストレートアスファルトと同等（針入度が約 60）である一方、C 及び D の針入度は 40 台と改質効果が期待できる結果となった。また、この C 及び D の 2 材料は溶解性も良好なため、2 種の材料を用いてさらなる室内試験による検証を行った。



写真－1 各方法で選別された廃材料

2.2 C及びDの選定

2.2.1 試験材料の混合及び試験方法

C及びDの2材料の中から、より添加材として適している材料を選定するため、下記に述べる室内試験を行った。ウェットミキシングとドライミキシング（以下、wet 及び dry）といった材料の混合方法や2材料をミックスした場合など、条件を変えて試験を行った。各条件を表-1に示す。表に示す通り、今回は、比較対象として無添加も含めた7条件で試験を行った。各材料はプラントで混合し、練り落とした材料を用いてマーシャル安定度試験、ホイールトラッキング試験を行った。

表-1 各試料の添加条件

試料番号	添加材	添加量
①	無添加	
②	C混入 (wet)	6kg/t
③	C混入 (dry)	6kg/t
④	D混入 (wet)	6kg/t
⑤	D混入 (dry)	6kg/t
⑥	C:D混入 (wet)	6kg/t (1:1)
⑦	C:D混入 (wet)	6kg/t (2:1)

2.2.2 試験結果

室内試験の結果を図-1及び図-2に示す。マーシャル安定度に関して（図-1）、wet・dry関係なくC混入の②、③及び⑦の安定度は、全て無添加①を上回り、統計的にも有意な差があった。一方、D混入の④、⑤、⑥の安定度は、①と同程度であった。

さらに、ホイールトラッキング試験の結果は顕著な差が見られた（図-2）。④、⑤の動的安定度は1,000回/mm未満と改質効果が見られず、⑥は1,729回/mmと動的安定度の向上が見られた。また、②、③及び⑦はいずれも3,000回/mm以上であり、改質効果が期待できた。以上の結果より、Cを添加材に適用するとアスファルト混合物の性状の向上を期待できる結果となった。また、⑦においても②、③と同様の結果が見られたものの、④、⑤、⑥の結果を見る限り、Dには物理的性状の向上が期待できないため、Cを添加

剤として利用することを決定した。

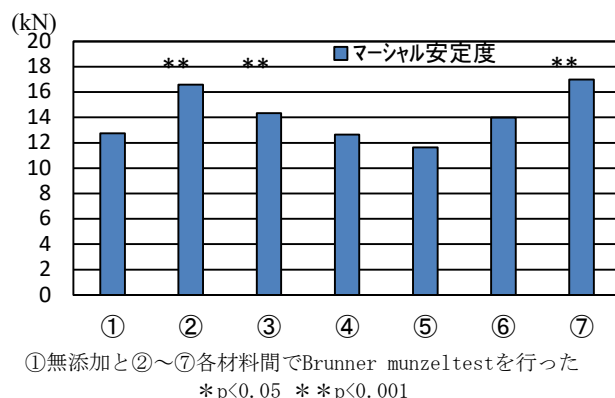


図-1 各材料のマーシャル安定度

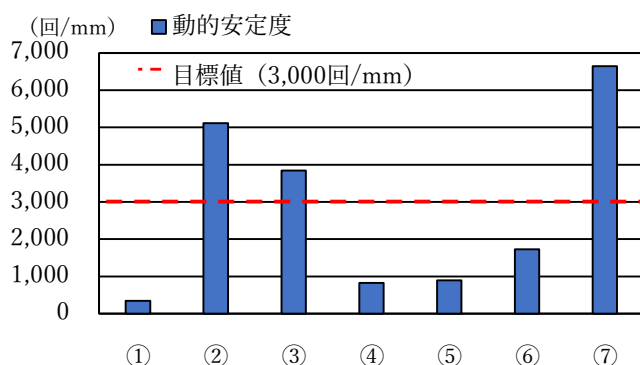


図-2 各材料の動的安定度

3 Cの適正添加量の考察

3.1 試験方法

次に、室内試験を通して、各添加量の性状について比較するとともに、Cの適切な添加量を検討した。今回も比較対象として①無添加の性状も確認している。Cの添加量の条件は、②6kg/t、③12kg/t、④30kg/tの3条件で比較を行った。今回も材料の混合はプラントで行った。また、①、②の物理性状に関しては、2.2のデータを用いている。室内試験の項目は、2.2と同様、マーシャル安定度試験及びホイールトラッキング試験である。その他として、各添加量のプラント練り落としの際の温度も計測した。

3.2 試験結果

表－2には、各添加量の練り落としの際の温度を示した。この表に示すように、Cの添加量が増加するほど、練り落とし温度が低下する傾向が見られた。原因として、Cは水中選別で選定された材料であり、材料中の含水比は約30%程度である。そのため、添加量が増加するほど水分量も増加するため、温度低下の傾向が見られたと考えられる。今回の結果では、Cの添加量1kgに対して約0.8～1.0℃の温度低下がみられた。

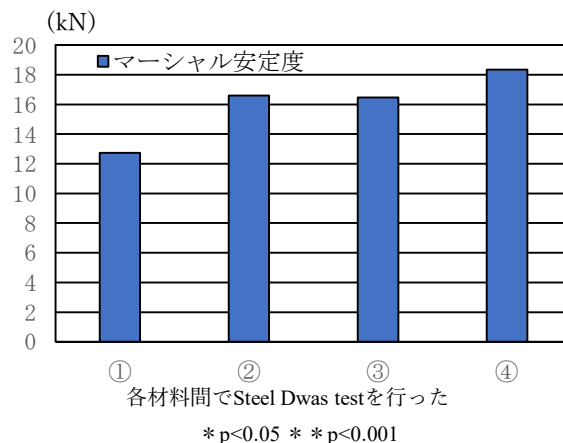
表－2 各添加量の練り落とし温度

種別	温度(℃)
①無添加	166
②6kg/t	161
③12kg/t	156
④30kg/t	135

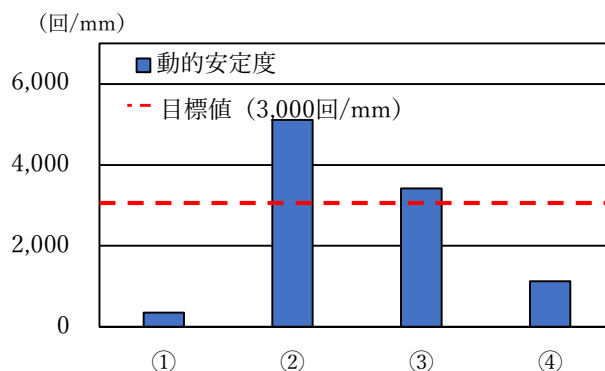
図－3には、マーシャル安定度試験の結果を示している。Cを添加することにより、無添加①と比較して、各添加量②、③、④の安定度は増加傾向が見られた。しかしながら、各材料間の多重比較を行ったところ有意差は見られなかった。

一方、図－4に示している動的安定度は、Cの添加量が増加するほど低下していく傾向が見られた。この傾向が生じた理由の一つとして、添加量の増加に伴い、混合が不十分で練り落とし温度が低下し、添加量が多くなるほど、添加材が適切に融解できる温度に至らなかったためだと推察できる。また、今回の材料に限らず、プラスチック材の添加量が過多になると性状の低下を招くことは、既往の研究と合致する²⁾。添加量の過多といった要因も、アスファルトの性状の低下に起因したと考えられる。

上記の試験結果を踏まえると、Cの添加量は6kg/tが適当であると考えられる。



図－3 各添加量のマーシャル安定度



図－4 各添加量の動的安定度

4 現場への反映

4.1 施工概要

これまでの試験結果を踏まえて、運送会社の駐車場の一部区間において、Cを添加したアスファルト混合物を用いて施工を行った。施工面積は約180 m²で、密粒度アスファルト混合物(20F)にCの材料を添加した舗装材を使用した。混合方法はウェットミキシングで行い、添加量は上記の試験結果から適当量であると判断された6kg/tとした。また、施工と併せて、混合物の品質の確認をするために室内試験も行った。試験内容は、マーシャル安定度試験、ホイールトラッキング試験及び、耐油性を検証する油浸マーシャル安定度試験を行った。

4.2 施工の結果

プラントでアスファルト混合物を製造する際、写真－2のようにCを投入する。投入する工程以外は、施工方法や施工性も通常通りである。また、施工後の舗装表面の目視観察においても、Cの溶け残りなどは観察されず、通常のアスファルト混合物と遜色なかった。室内試験においては、C入りの混合物のマーシャル安定度や動的安定度は、前述の試験結果と同程度の試験値が確認された。大型車両が停車する駐車場の場合、車両から漏れ出す油分によるカットバック等の懸念があるため、耐油性の確認も行った。油浸マーシャル安定度試験の場合、確立された試験方法がないため、既往の研究を参考に試験を行った³⁾。試験結果は、無添加に比べて油浸残留安定度が66%と大きく、既往の研究から、改質アスファルトの油浸残留安定度が50%程度であり、ポリマー改質アスファルトⅡ型と同程度以上の耐油性を確認した。



写真－2 添加材投入状況



写真－3 施工後

表－3 施工後の室内試験結果

物理性状	無添加	C添加
標準マーシャル安定度 (kN)	15.0	15.8
油浸マーシャル安定度 (kN)	7.1	10.5
油浸残留安定度 (%)	47.1	66.2
動的安定度(回/mm)	530	5,274

5 まとめ

今回の開発に際し、以下、得られた知見・課題点をまとめる。

- 廃プラスチック材の種類にもよるが、アスファルト混合物に添加することにより、混合物の性状向上が期待できることが示唆された。Cの材質は主にポリエチレン (PE) やポリプロピレン (PP) であり、他の研究でもこのような材質とアスファルトの相性が良いことが言及されており、この結果を裏付けるものとなった。
- 今回使用したCの添加材は、リサイクルの過程で選別された状態のまま使用しており、添加するための特別な加工等をしておらず、今回開発した舗装材はマテリアルリサイクルに通ずる方法である。そのため、手間も省かれており、リサイクルの効率性から考えても望ましい方法であると思われる。
- 開発した舗装材の物理性状の向上は評価できたが、環境配慮の視点での評価が不十分であった。例えば、1tあたり廃棄ペットボトルが何本分リサイクルできているか、といった評価も併せて今後検討していきたい。

【参考文献】

- 1) 佐々木 秀幸他、廃プラスチックの再利用技術に関する研究、岩手県工業技術センター研究報告第8号 (2001)
- 2) D.Movilla-Quesada et al. Effects of Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) on Stiffness of Hot Asphalt Mixtures, Hindawi Advances in Civil Engineering Volume 2019
- 3) 平戸 利明他、ハイブリットバインダによる高安定性アスファルト混合物の開発、道路建設 2011 年 No.727

作業船へのGTL燃料の導入について

若築建設 本社 技術部機械課長 金子 貴一
本社 技術部機械課員 高塚 浩
本社 技術部機械課員 ○田沼 遊太郎

1 はじめに

現在、世界的にCO₂の排出量削減が求められている。弊社のように燃料を使用して工事を行うことを生業としている会社の立場からCO₂排出量削減を実現する手段のひとつとして、CO₂の排出量が少ない燃料を選定することが挙げられる。本報では、燃焼時のCO₂の排出量が少なく、環境負荷の低いとされるGTL燃料を作業船に導入するために行った実証試験の方法と結果について報告する。

表－1 GTL燃料の性状

性状	単位	基準	JIS K2204 2号	GTL規格 (Shell保証規格)	GTL 現物スベック
セタン指数	-	min	45	60	83.6
密度 (15℃)	g/cm ³	max	0.86	0.79	0.7781
硫黄分	%	max	0.001	0.0003	0.0001未満
引火点	℃	min	50	70	91
10%残油の残留炭素分質量%	% (m/m)	max	0.1	<0.1	0.01未満
脂肪酸メチルエステル (FAME)	% m	max	-	-	0.1未満
トリグリセリド	% m	max	0.01	-	0.01未満
動粘度 @30℃	mm ² /s	min	2.5	>2.7	3.181
蒸留性状90%留出温度	℃	max	350	330	310.0℃
流動点	℃	max	-7.5	-30	-32.5
目詰まり点	℃	max	-5	<-10	-24

2 導入の背景

2.1 GTL燃料について

GTL (Gas To Liquid) 燃料とは天然ガスを元に精製された液体燃料の総称であり、Shell 社が提供しているGTL軽油は、日本国内の軽油の規格JIS K2204に適合し、軽油の代替燃料としてディーゼル機関において使用することができるとされている(表-1参照)。なお、以降表記するGTL燃料はすべてShell社のGTL軽油を示す。

GTL燃料は、単位体積当たりの燃料を燃焼させた場合に発生するCO₂の排出量が軽油と比べて8.5%、A重油と比べて12.9%少ない(表-2参照)。また、硫黄分の含有量や、燃焼時の煤の排出量が少ないため、環境負荷の少ない燃料として期待されている。

表－2 燃料によるCO₂排出量比較^{1) 2)}

油種	CO ₂ 排出量[tCO ₂ /kℓ]	軽油基準[%]	A重油基準[%]
軽油	2.58		-4.80
A重油	2.71	+5.04	
GTL軽油	2.36	-8.53	-12.92

2.2 海上工事用機械への導入検討の経緯

GTL燃料は、これまで日本国内では軽油引取税などとの兼ね合いで、公道を走る車や重機に給油できないことや、供給体制が整っていないことなどから、普及してこなかった。

近年、GTL燃料の供給体制が整いつつあり、陸上の現場において建設機械などへ導入されている。弊社ではGTL燃料を導入するため、グラブ浚渫船「若鷲丸」に搭載されているすべてのディーゼル機関で燃焼させてGTL燃料の特性を掴むべく実証試験を行うこととなった。

3 実証試験

3. 1 実証試験を行った原動機

グラブ浚渫船「若鷲丸（写真－１）」に搭載されている原動機を表－３に示す。これらの原動機について、燃料の比較試験を行った。



写真－１ グラブ浚渫船「若鷲丸」

表－３ 原動機一覧

用途	メーカー	型式	出力	台数	燃料
クレーン用原動機	ヤンマー	6EY26LW	1840kW	1	A重油
スラスト用原動機	三菱重工	S6M3F-T2MTKL	254kW	2	A重油
60KVA発電機 (搭載原動機)	デンヨー (いすゞ自動車)	DCA-60ESI2 (BB-4BG1)	60KVA (57.1kW)	2	A重油
400KVA発電機 (搭載原動機)	デンヨー (コマツ)	DCA-400LSK (SAA6DI40E-5-C)	400KVA (357kW)	2	軽油

3. 2 実証試験内容

それぞれの原動機で無負荷試験および負荷試験を行った。負荷試験内容を表－４に示す。また、排気ガスの色を目視で確認した。

表－４ 測定内容

原動機	負荷方法	測定項目
クレーン 6EY26LW	グラブバケットを保持	燃料消費量、シリンダ内最高圧力、冷却水温度、LO温度、給気温度、排気温度、燃料ポンプ圧力
スラスト S6M3F-T2MTKL	係船状態でスラストを稼働	燃料消費量、給気圧、排気濃度、排気温度、吸入空気温度
60KVA発電機 DCA-60ESI2	負荷試験装置に接続	燃料消費量、電流値、電圧値、周波数、冷却水温度、油圧
400KVA発電機 DCA-400LSK		

4 実証試験結果

4. 1 クレーン原動機の実証試験結果

浚渫用グラブバケットを吊り上げ、ブレーキをかけずに一定の高さで保持し、計測を行った。測定結果を表－５に示す。

この結果から、GTL燃料の燃焼ではシリンダ内の最高圧力が下がり、原動機出力が減少していることが判かった。

また、負荷運転時の燃料消費量について、8.0%高くなった。(GTLの燃料消費量÷A重油の燃料消費量=150.0[ℓ/hr]÷138.9[ℓ/hr]=1.080)

表－５ クレーン原動機計測結果

油種	条件	記録時間 [min]	回転数 [rpm]	潤滑油圧力 [MPa]	高温清水圧力 [MPa]	低温清水圧力 [MPa]	給気圧力 [MPa]	燃料ポンプ圧力 平均 [mm]	シリンダヘッド冷却水出口温度 平均 [℃]	シリンダ内最高圧力 平均 [MPa]	燃料消費率 [ℓ/hr]
A重油	無負荷	5分	750	0.54	0.20	0.08	0.01	15	225	5.1	—
		15分	750	0.52	0.20	0.08	0.01	15	223	5.1	60.4
	負荷	5分	750	0.51	0.20	0.08	0.07	20	300	8.0	—
		15分	750	0.51	0.20	0.08	0.07	20	300	8.0	138.9
GTL	無負荷	5分	750	0.52	0.19	0.08	0.02	16	227	5.0	—
		15分	750	0.51	0.19	0.08	0.02	16	225	5.0	75.5
	負荷	5分	750	0.50	0.20	0.08	0.08	21	297	7.4	—
		15分	750	0.50	0.20	0.08	0.08	21	298	7.4	150.0
GTLの変化量	無負荷	5分	750	-3.7%	-5.0%	0.0%	100.0%	6.7%	0.7%	-2.0%	—
		15分	750	-1.9%	-5.0%	0.0%	100.0%	6.7%	0.7%	-2.6%	25.0%
	負荷	5分	750	-2.0%	0.0%	0.0%	14.3%	5.0%	-1.1%	-7.1%	—
		15分	750	-2.0%	0.0%	0.0%	14.3%	5.0%	-0.6%	-7.9%	8.0%

3. 2 実証試験内容

それぞれの原動機で無負荷試験および負荷試験を行った。負荷試験内容を表－４に示す。また、排気ガスの色を目視で確認した。

表－４ 測定内容

原動機	負荷方法	測定項目
クレーン 6EY26LW	グラブバケットを保持	燃料消費量、シリンダ内最高圧力、冷却水温度、LO温度、給気温度、排気温度、燃料ポンプ圧力
スラスト S6M3F-T2MTKL	係船状態でスラストを稼働	燃料消費量、給気圧、排気濃度、排気温度、吸入空気温度
60KVA発電機 DCA-60ESI2	負荷試験装置に接続	燃料消費量、電流値、電圧値、周波数、冷却水温度、油圧
400KVA発電機 DCA-400LSK		

4. 2 スラスト原動機実証試験結果

作業船を固定した状態でスラストを動かし、回転数を変えながら測定を行った。測定結果を表－６に示す。

GTL燃料の燃焼では負荷運転時の燃料消費量は8.4%高くなった。(GTLの燃料消費量÷A重油の燃料消費量=61.0[ℓ/hr]÷56.3[ℓ/hr]=1.084)

4. 3 発電機の試験結果

発電機を負荷試験装置に直結し、負荷を変え

ながら測定を行った。表－7に60KVA発電機、表－8に400KVA発電機の測定結果を示す。

60KVA発電機で負荷90%時に最大5.7%（GTL燃料消費量÷A重油消費量=13.38[ℓ/hr]÷12.66[ℓ/hr]=1.057）、400KVA発電機で負荷50%時に最大3.0%（GTL燃料消費量÷軽油消費量=55.1[ℓ/hr]÷3.5[ℓ/hr]=1.030）の燃料消費量の増加が見られた。

表－6 スラスト原動機計測結果

油種	回転数 (目標) [rpm]	回転数 (計測) [rpm]	圧力 [MPa]	排気温度 ターボ出口/ベネル [℃]	ヘッド出口 平均 [℃]	燃料消費 [ℓ/hr]	排気温度
A重油	無負荷 2300	2293	0.020	153	223.2	7.1	0.6
	900	906	—	130	215.7	5.6	0.3
	1500	1499	0.010	321	356.5	17.3	0.3
	1900	1896	0.068	385	417.0	32.8	0.5
	2300	2267	0.173	417	458.7	56.3	0.7
GTL 燃料	無負荷 2300	2290	0.015	143	165.8	2.7	0.2
	900	908	—	129	213.3	5.6	0.2
	1500	1508	0.020	310	349.3	18.4	0.3
	1900	1906	0.073	395	406.0	35.0	0.5
	2300	2273	0.178	416	460.5	61.0	0.5
GTLの 変化量	無負荷 2300	-0.1%	-25.0%	-6.5%	-25.7%	-62.2%	-67%
	900	0.2%	—	-0.8%	-1.1%	1.1%	-33%
	1500	0.6%	100.0%	-3.4%	-2.0%	5.9%	0%
	1900	0.5%	7.4%	2.6%	-2.6%	6.8%	0%
	2300	0.3%	2.9%	-0.2%	0.4%	8.4%	-29%

表－7 60KVA発電機計測結果

	負荷率 [%]	電力値 [kW]	電流値 [A]	電圧値 [V]	周波数 [Hz]	回転計 [rpm]	水温 [℃]	油圧 [×100kPa]	燃料使用量 [ℓ/hr]
A重油	0	0	220.0	61.6	1845	79	2.2	3.00	
	25	12	31.5	219.3	60.7	1820	83	2.0	5.04
	50	24	63.1	219.1	59.8	1790	84	1.8	7.68
	75	36	95.1	219.0	59.6	1785	81	1.6	10.68
	90	43.2	114.5	219.0	59.4	1780	82	1.4	12.66
GTL	0	0	219.9	61.4	1840	78	2.0	2.94	
	25	12	31.3	219.3	60.6	1815	83	1.9	5.16
	50	24	63.1	219.1	59.8	1790	84	1.7	8.04
	75	36	94.5	219.0	59.6	1785	81	1.6	11.10
	90	43.2	114.5	218.8	59.3	1775	83	1.4	13.38
GTLの 変化量	0	—	0.0%	-0.3%	-0.3%	-1.3%	-9.1%	-2.0%	
	25	12	-0.6%	0.0%	-0.2%	-0.3%	0.0%	-5.0%	2.4%
	50	24	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-5.6%	4.7%	
	75	36	-0.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3.9%	
	90	43.2	0.0%	-0.1%	-0.2%	-0.3%	1.2%	0.0%	5.7%

表－8 400KVA発電機計測結果

	負荷率 [%]	電力値 [kW]	電流値 [A]	電圧値 [V]	周波数 [Hz]	回転計 [rpm]	水温 [℃]	油圧 [×100kPa]	燃料使用量 [ℓ/hr]
軽油	0	0	0	464	61.5	1840	59	5.9	15.3
	25	80	105.3	463	60.9	1825	74	5.0	32.8
	50	160	210.5	462	60.2	1805	75	5.0	53.5
	75	240	314.9	461	59.7	1785	77	5.0	72.7
	90	288	377.0	461	59.3	1775	85	4.9	84.2
GTL	0	0	0	464	61.4	1840	73	5.6	15.1
	25	80	105.3	463	60.9	1825	74	5.1	33.6
	50	160	210.2	462	60.3	1805	75	5.0	55.1
	75	240	315.2	461	59.6	1785	80	4.8	74.9
	90	288	377.0	461	59.2	1775	88	4.8	86.8
GTLの 変化量	0	0	0.0%	-0.2%	0.0%	0.0%	23.7%	-5.1%	-1.2%
	25	80	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.0%	2.6%
	50	160	-0.1%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	3.0%
	75	240	0.1%	0.0%	-0.2%	0.0%	3.9%	-4.0%	3.0%
	90	288	0.0%	0.0%	-0.2%	0.0%	3.5%	-2.0%	3.0%

4. 4 CO₂の排出量について

本試験結果によって、GTL燃料は従来の燃料と比べて、クレーン原動機で最大8.0%、スラストの原動機で最大8.4%、60KVA発電機で最大5.7%、400KVA発電機で最大3.0%燃料消費量が多くなった。表－2のCO₂排出係数を元にして、それぞれの原動機でGTL燃料に切り替えることによるCO₂の削減量を計算すると表－9のようになる。なお、無負荷運転時は燃料にかかわらず挙動が安定しないことや燃料消費量が少ないことを考慮して除外した。

表－9 GTL燃料によるCO₂削減量

原動機	従来油種	排出係数[tCO ₂ /kWh]	GTL換算量	CO ₂ 削減量[%]
クレーン	A重油	2.71	1.080	5.97
スラスト	A重油	2.71	1.084	5.60
60KVA発電機	A重油	2.71	1.057	7.96
400KVA発電機	軽油	2.58	1.030	5.76

※ GTL燃料の排出係数[tCO₂/kWh]: 2.36

※ (CO₂削減量)=(1×(従来油種CO₂排出係数))

÷((GTL燃料換算量)×(GTL燃料CO₂排出係数))

4. 5 排気ガスの色について

クレーン原動機およびスラスト原動機において、急激な負荷変動を行い排気ガスの色を目視で確認した。スラストでは顕著な変化は見られ

なかったが、どちらもGTL燃料では排気色が薄くなる傾向が見られた。



写真-2 クレーン排気ガス比較



写真-3 スラスト排気ガス比較

5 まとめ

今回試験を行い、以下のことが判った。

- ・若鷲丸に搭載しているディーゼル機関はすべてGTL燃料で動かすことができ、短期的に不調となる要因は見られなかった。
- ・A重油や軽油を使用したときと比べて、GTL燃料は消費量が多くなる傾向があるが、燃焼時に発生するCO₂の排出推定量は減少した。
- ・排気ガスの色は薄くなる傾向が見られた。

また、今回の試験において、排気ガスの色は多少薄くなったものの劇的なまでの変化はなかったが、試験前や実験中に原動機や排気管のオーバーホールや清掃を行っていなかったことから、原動機や排気管等に蓄積している煤が影響し、黒煙が排出されていることも考えられる。GTL燃料を使用していくことで今後の黒煙の排出量は減少していくことを期待している。

また、GTL燃料は長期安定性に優れるため、稼働量の予測のつきづらい受注産業の工事においては、燃料の劣化を抑えることも大きなメリットとなる。

6 おわりに

今回、GTL燃料の試験の結果、グラブ浚渫船「若鷲丸」はGTL燃料を用いて稼働させることができ、CO₂の排出量削減も見込めると判断して、2022年5月にA重油タンクを清掃しA重油の代わりにGTL燃料150kℓを搭載した。



写真-4 GTL燃料搭載状況

謝辞: 今回、若鷲丸へGTL燃料を導入するための検証にあたり、燃料供給元の伊藤忠エネクス様および、原動機メーカーのヤンマーエンジニアリング様、セイカダイヤエンジン様他に多大なご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 環境省: ”算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧”
https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calcul/itiran_2020_rev.pdf (参照 2022.08.05)
- 2) 建設機械施工 Vol.74 No.3 March 2022
“GTL (Gas to Liquids): 天然ガス由来軽油代替燃料のご紹介”

景観や環境の影響を最小限に抑えた遠隔自動浚渫技術 「水底土砂ポンプ浚渫工法」

あおみ建設株式会社 技術事業本部技術開発部 井上 真志

1 はじめに

日本国内においてため池は約 20 万個存在するとされ、水草・水生生物等の一時的または永続的な生息地として、水質の浄化や生態系保全に役立っている。その他、湖沼や閉鎖性海域においても同様の重要性が論じられている。そうした中、2030 年までをターゲットとして「持続可能な開発目標 (SDGs)」の 14 項目が掲げられ、その重要な項目とし河川、湖沼、海洋および沿岸域の生態系の回復や持続的な環境保全などの達成が広く叫ばれている。しかし、現状では湖沼や閉鎖性海域における水質改善のおくれ（環境基準達成率は約 5 割・3 大湾などの環境基準達成率は 7 割弱）や貧酸素水塊の発生、藻場・干潟等の減少、水辺地の親水機能の低下等、様々な課題も報告されている。

このような社会情勢を受けて、低コストで、かつ環境影響を極力発生させないコンパクトで簡易な浚渫工法や処分土量の削減等が可能な送泥・汚泥処理に関する工法の開発が望まれている。当社ではそのような課題を解決する工法を

開発し、実際の施工現場に適用したので、工法の概要とその事例について報告する。

2 開発背景と開発方針

2009 年より福山内港の水質悪化の著しい最奥部において、原因物質である有機物を効果的に除去する「閉鎖水域における環境改善の研究」を実施した。水質および底質汚濁等の基礎調査研究から、1 年にわたる水域でのモデル実験を経て、得られたデータや知見より「窒素・リン等の汚濁物質の効率的な除去理論」を確立した。そのような中、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、放射性物質は土粒子に吸着し、降雨とともに集積され、ため池の水底に堆積した箇所が確認され、その効率的な除去が求められた。そこで、「ため池等」の浄化において、福山港での実証理論を応用して福島県内のため池放射線対策の課題を解決する効率的な浚渫工法である「水底土砂ポンプ浚渫工法」を開発した。(図-1)

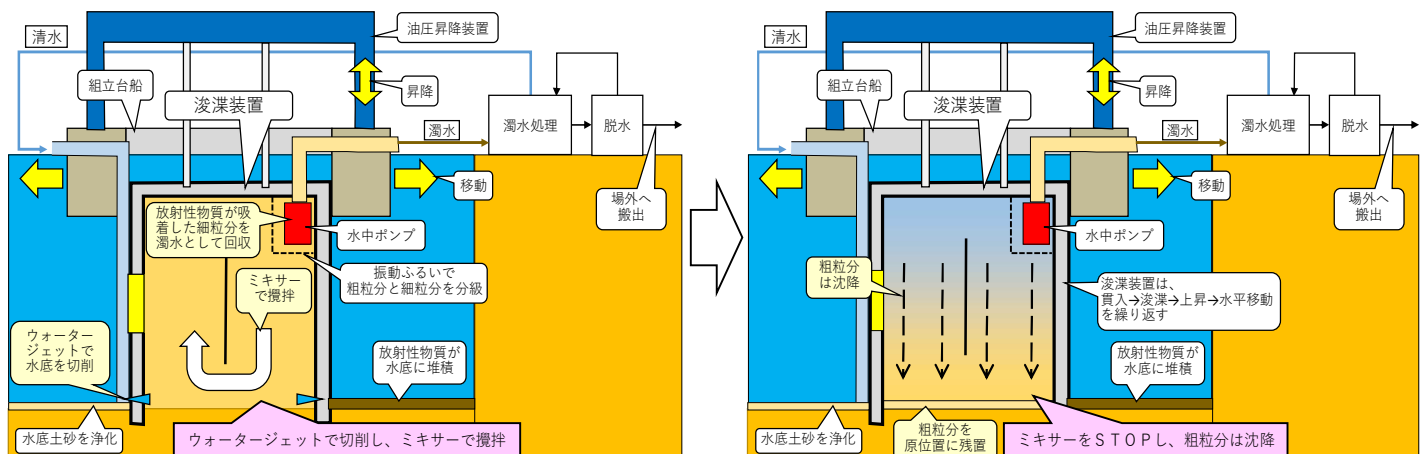


図-1 水底土砂ポンプ浚渫工法 概要図

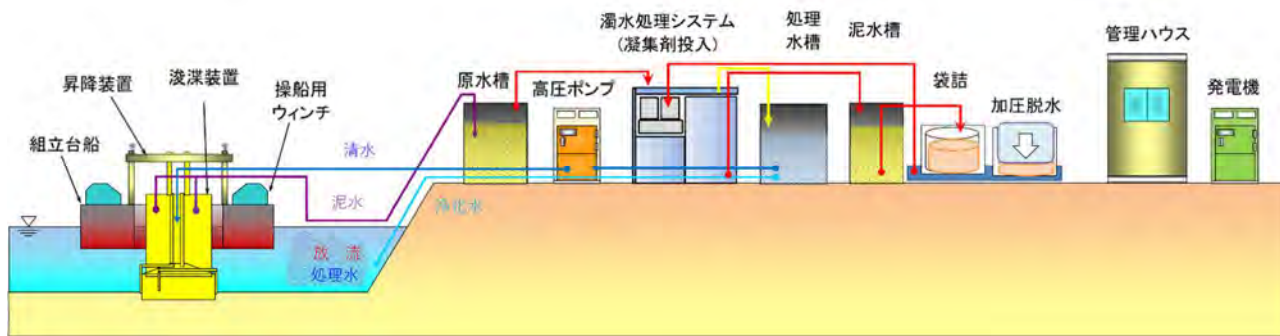


図-2 水底土砂原位置分級工法機材構成

開発に際しては下記の項目に留意した。

- ①一般的な浚渫工法では実施困難な 30cm 以下の薄層浚渫を実現する。
- ②浚渫中の放射性物質等の拡散は許されないため、施工中の汚濁発生を防止する。
- ③放射性物質は細粒分が多く吸着していることから、細粒分を効率的に回収する。
- ④廃棄物の最終処分量低減の観点から、発生土量を出来る限り減容化し、余掘りを含め浚渫土量そのものを少なくすることが望ましい。
- ④ため池はアクセス道路が狭隘で、機材運搬等で使用する大型車は進入できないことが多いため、小型車で運搬し、小型クレーンで組立が可能、小型軽量機材が必要である。

3 水底土砂ポンプ浚渫工法の概要及び特徴

水底土砂ポンプ浚渫工法はため池において、水底の表層部に堆積した細粒分を多く含む土砂を効率的に回収する工法である。底が開いた四角柱状の浚渫装置で水底の浮泥や堆積物を囲い、周辺に濁りが出ないように隔離した状態で、装置の中の堆積物をジェット水流により攪拌・懸濁し、それをポンプにより吸引し、浚渫する機構となっている。放射性物質以外にも窒素・リン・ダイオキシン等有害汚染物質は細粒分に吸着していることから、細粒分を効率的に回収することで、水底の環境が改善される。また、汚染度の低い粗粒分を残置することで、処分土量の削減を図れる。覆砂効果を期待できることも本工法の優位点である。さらに汚染度低下の効果を高める為、

装置内の濁水に超音波を照射し粗粒分に付着する細粒分を剥離して、除去効果を高めることもできる。本工法の特徴を以下に示す。

- 底面が開放された浚渫装置を対象の水底に根入れさせ、密閉された装置内で水底土砂をウォータージェットで切削するとともに、水と土砂をミキサーで攪拌混合し、土砂を振動フルイで原位置分級して、細粒分のみを濁水として回収。
- 浚渫装置内に振動ふるいを装備し、比表面積が大きく有害汚染物質が多く吸着する細粒分のみ濁水として回収し、粗粒分を浚渫原位置に残置することで、処分土量の減容化によるコスト削減を実現。
- 施工機材は小型軽量で、機材搬入や機材組立作業を小型クレーン等で実施できる機材構成であり、進入路が狭隘な場所でも施工可能。(図-2)
- 密閉空間内で浚渫するため、周辺に汚濁が拡散することはない。(図-3)



図-3 浚渫時の装置周辺の水中写真

- 最新の ICT 技術を活用した施工管理装置により、陸上の管理事務所から無線遠隔操作による無人化を実現し、通常 3～4 名必要な船上作業員を不要とし、コスト削減を実現。
- センサーを活用し、出来形・品質管理記録を自

動作成し、施工及び品質管理の効率化を実現。

4 施工方法

4. 1 施工フロー

水底土砂ポンプ浚渫工法の施工フローを示す。

(図-4)

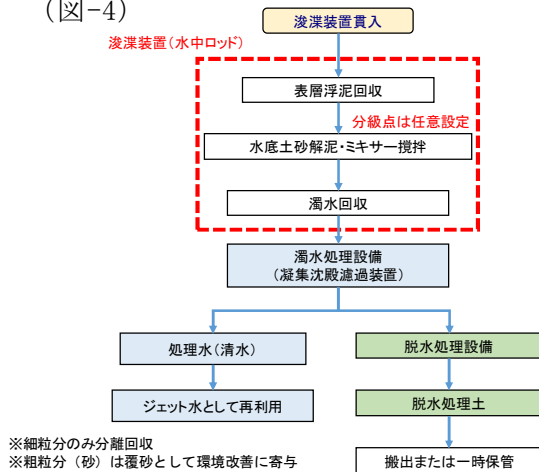


図-4 施工フロー

4. 2 準備工

施工に先立ち、現場水域の底質土砂を採取し、底質分析を実施する。分析項目は発注者の規定に基づき実施する。採取した底質土砂にて凝集試験等を実施し、凝集材の添加量等濁水処理の材料使用量を決定する。

4. 3 船位誘導システム及び遠隔施工用管理装置

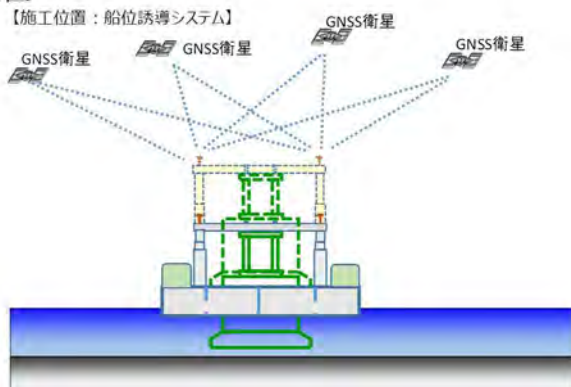


図-5 GNSS システム構成図

水底土砂ポンプ浚渫工法の施工位置は、船位誘導システムを使用し位置決めを行う。(図-5)

船位誘導システムは、RTK-GNSS を浚渫装置に2基搭載し、浚渫装置の位置および向きをリアル

タイムに計測できる。操船者は、施工対象の水域を施工範囲毎にメッシュで区切られた画面上で、設計位置と現在位置が重なるように操船することで、高精度な施工位置の誘導が可能である。また、各メッシュには、施工前後の水底地形が標高で表示され、計画浚渫深をクリアしたことを確認しながら確実に施工を進めることができる。再施工の判断が即座にできる為、作業の手戻りを最小限に抑えることができる。

浚渫装置を搭載する台船は、4隅に設置したウィンチにより、浚渫施工水域範囲内を自由に四方向移動が可能である。本浚渫機では、特殊なウィンチを搭載することで操縦レスポンスが良く、簡単に操船出来る為、経験の浅い作業員でも容易に操船が可能である。

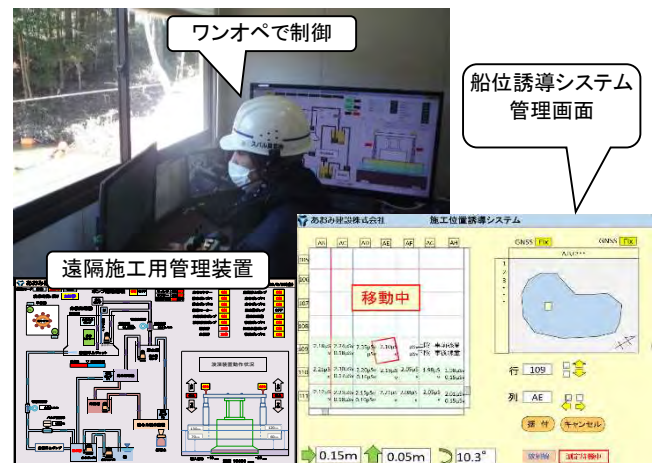


図-6 船位誘導・遠隔施工用管理システム

水底土砂ポンプ浚渫工法の施工管理は浚渫装置の上下動の操作、ポンプ類の起動・停止、パイプラインの動作状況や流量管理、各種センサー類の計測値の表示などを目的とした施工管理装置により制御できる機構を備えている。浚渫は、

「船の移動→計測→浚渫装置の貫入→解泥攪拌→浚渫装置の引き抜き」と各施工モードの設定を入力する事により自動的にプログラム制御できる。オペレータは、管理画面を見ながら浚渫装置の上下操作と施工モードの切り替え操作を行うのみで、ほとんどの作業は自動運転により施

に堆積する泥を除去する浚渫実証実験である
「史跡松本城浚渫工法調査業務委託」に本工法
の多用途化を目指し参画した。(図-8)。

A photograph of Matsumoto Castle, a five-story black and white Japanese castle with multiple tiers of eaves, situated on a hill overlooking a body of water. A small boat with a colorful banner is on the water in the foreground.

船位誘導システムにより浚渫施工位置決定後、水底面の高さの確認および水位の確認を行い、ポンプ浚渫を行う。ポンプ浚渫の流れは以下の通り。



松本城では、長年の堆積物により近年、水深が非常に浅くなり、堀が埋まる問題が顕在化している。そのため、時期によって水位が下がり堆積物が露出し、悪臭を発生することから、堆積物の除去の必要性が生じている。そこで松本市では松本城の内堀、外堀および総堀の全面的な浚渫の実施にあたり、最も適した方法を検討するため、浚渫方法の異なる３工法で実証実験を実施した。この実証実験に参画する為に、「水底土砂ポンプ浚渫工法」を実証現場条件に対応すべくカスタマイズし、観光地である松本城の環境に配慮した施工を行った。実証の結果、課題である「景観の確保」「浚渫中の汚濁防止」「臭気発生対策」「史跡に損傷を与えない施工」に配慮した施工を実施し、有効性を確認し、プロポーザル業務の結果においても高評価を得た。

6 おわりに

水底土砂ポンプ浚渫工法により、多用途化を目指したため池以外の水域での事例を紹介した。この事例に留まらず、「湖沼」「運河」「静穏海域」等でも活用可能と考えており、今後も施工現場の条件に対応した工夫や技術開発を継続していくことで、水域の環境改善に貢献していきたい。

水中ロッド下端部に水平方向に装備したウォータージェットで水底土砂の表層を切削・解泥し、水中ミキサーで攪拌・懸濁する。

攪拌・懸濁され振動フルイを通過した泥水をサンドポンプで、サクシオンホースを介し陸上に送泥し、濁水処理・脱水処理を経て場外に搬出。

浚渫装置内の濁度を確認し懸濁水の吸引、送泥を停止し装置を引き抜き、次の場所に移動する。

5. 1 松本城プロポーザル業務の事例

— 88 —

車両前方画像を活用した AI による交通事故危険事象検知システム

前田建設工業(株) 本店 土木技術部 主任 ○濱島 彩織
前田建設工業(株) 双葉町中間貯蔵施設作業所 統括作業所長 城山 晃一
作業所所長 佐々木 卓也
(株)Create - C 代表取締役 仲条 仁

1 はじめに

環境省では2011年の東京電力福島第一原子力発電所の事故により放出された放射性物質の除染作業に伴い、発生した土壌等を中間貯蔵施設へ輸送する事業を推進している。土壌等を輸送する事業においては、放射性物質を含む土壌等をダンプトラックにて輸送しており、ダンプトラックが通行する一般道路や高速道路において、交通事故の抑止安全対策の実施に特段の配慮が求められる。そのため、通行経路上に潜む危険事象を確実に把握することが重要となる。

しかし、従来の車載加速度センサーやドライブレコーダーのみでは危険事象の判定基準が曖昧であり、運転手への具体的な注意喚起には至らないことが課題となっている。さらに、管理者側も運転状況を把握するために、膨大な蓄積された運転動画を確認する必要がある。そこで、人の勘や経験に頼らず通行経路上に潜む危険事象を効率的かつ確実に検知するシステム「AI SAVE® (エーアイセーブ)」を開発・実用化した。

2 検知対象の危険事象

検知対象の検討にあたり、運転手が実際にどのような危険事象を注視しているかを把握するためのアンケート調査を行った。

アンケート結果(図-1)より、特に危険を感じる箇所・事象の回答では、沿道樹木の繁茂や幅員狭小区間、見通しの悪いカーブや大型車のす

れ違いが難しい狭小区間への指摘率が高い結果となった。さらに、令和2年度交通安全白書(内閣府)によると、追突事故が12.6万件/年と最も多く発生している事故であり、重大事故となる死亡事故の内訳では正面衝突が31%、歩行者横断中が23%となっているため、これらの頻発事故・重大事故も、輸送工事においては注意すべき事項である。

以上を踏まえ、運転手アンケートの結果に、事故統計情報から得られる知見を加味し、本システムにて検知する危険事象8項目を選定した。選定した項目を表-1に示す。



図-1 アンケート結果

表-1 本システムの検知対象とする事象

No	システム検知項目	重大事故危険	頻発事故危険	アンケート危険指摘
1	黄色センターラインはみ出し走行	○ (正面衝突)		
2	車線内走行位置不適	○ (正面衝突)		
3	車間距離不足		○ (追突)	
4	スピードオーバー			○
5	一時停止箇所での不十分減速			○
6	急カーブで対向車接近			○
7	歩行者接近	○ (歩行者横断)		○
8	幅員狭小区間ですれ違い注意			○

3 システム概要

本システムは、車両前方画像をスマートフォン1台で撮影し、クラウド上に集めた撮影画像をAIに学習させ、危険な運転挙動や注意すべき道路環境を検知し、運転手へ警告するものである。さらに、市販のスマートフォンを活用することで、高度なセンサーや運転支援システムが搭載されていない事業用車両に対しても簡易に運用できる。

実際に輸送車両では、撮影用のスマートフォンアプリを起動し、車両のダッシュボードにスマートフォンを設置・撮影する(図-2)。撮影された前方画像は1秒に1枚クラウドサーバーに送信され、フレームレートが1fpsの動画と同等な画像データとして取得される。その後、画像データが解析エンジンにインプットされ、結果を表示し、WEBサーバーと連携することでインターネットを介して、ユーザーが確認できる構成とした。また、画像データと共に、日時、GNSS座標(経度・緯度)、GNSS移動速度といった端末情報もサーバーに送信される。GNSS移動速度は、輸送車両の走行速度(km/h)として扱い、それに基づいて停止距離(m)が算出される。さらに、GNSS座標にマッチングさせる形で指定最高速度(km/h)、幅員狭小区間か否か、輸送ルートが上か否かといった外部情報も解析エンジンにインプットされる。

検知された危険事象は、運転手だけでなく、管



図-2 スマートフォン設置状況

理者も確認することができる。また、蓄積されたデータを可視化・共有することで、運転手への注意喚起や、より実効性の高い安全対策の検討・実施が可能となる。

4 危険事象の解析エンジン

本システムでは8件の事象検知を実現するため、AIモデルを構築し、表-2に示す5つの解析モジュール(道路形状分類、車線検出、物体検出、車両方向分類、距離測定)により構成されている。危険事象によって使用される解析モジュールが異なり、解析モジュールだけで対応できない場合は、他の情報として自車速度、停止距離、指定最高速度、幅員狭小区間も併用されることがある。例えば、黄色センターラインはみ出しの検知には、道路形状分類と車線検出のモジュールのみで解析処理できる。一方、周辺車両との位置関係を把握する必要がある車間距離不足や対向車接近に関する危険検知は、道路形状分類、物体検出、車両方向分類、距離推定、停止距離のように、比較的複雑なモジュールと他の情報を組み合わせることで危険事象を検知する。

各解析モジュールの開発にあたっては、深層学習モデルを適用するか否かという2種類のアプローチに分けられる。深層学習にしないのであれば、基本的に画像処理技術等を適用するこ

表-2 危険事象と解析モジュールの関係

	1:使用 0:不使用	解析モジュール					他の情報		
		道路形状分類	車線検出	物体検出	車両方向分類	距離推定	自車速度	停止距離	指定最高速度
検知対象の危険事象									
黄色センターラインはみ出し	1	1	0	0	0	0	0	0	0
車線内走行位置不適	1	1	0	0	0	0	0	0	0
車間距離不足	1	0	1	1	1	0	1	0	0
スピードオーバー	1	0	0	0	0	0	1	0	1
一時停止箇所での不十分な減速	1	0	1	0	1	0	1	0	0
急カーブでの対向車接近	1	0	1	1	1	0	1	0	0
歩行者に注意	1	0	1	0	1	0	1	0	0
幅員狭小区間での対向車接近	1	0	1	1	1	0	1	0	1

とになる。本システムの初期段階では、5つの解析モジュールとも深層学習のアプローチで開発し、実際の画像データ(約72万枚)で検証した。深層学習モデルの使用・不使用による検知精度の違いを比較すると共に、500台/日の輸送車両という実務的な条件を満たす設計を検討した。その結果、道路形状分類、物体検出、車両方向分類には深層学習、車両検出には画像処理技術、距離測定には光学原理を適用することが検知精度と計算コストの両面において最適であることが確認され、本システムではそれを採用した。

さらに、解析データでは検知精度向上のため、車両方向分類を実施している。実際に運用する中で、物体検出の際に周辺車両の検知が出来るものの、それだけでは前方車両と対向車両を判別することが出来ない誤検知が見られた。そこで、車両画像へ車両方向を8種類に分類するAIを追加で導入することで、前方車両と対向車両を判別できるように教師データを構築した。分類した8種類は図-3に示すように、矢印が左上(↖)、真上(↑)、右上(↗)を指すような車両画像であれば、前方車として判定できる。

車両方向分類を実施することで、前方車両であるにも関わらず、対向車両として認識していたデータが減少し、誤認識を減少することが出来た。



図-3 車両方向8種類の分類例

5 解析結果の可視化

本システムは画像解析結果を該当運転手のみに出力するのではなく、現場監督者が確認可能とするため、可視化WEBサイトを構築した。WEBサイトでは、4つの項目に関して閲覧できるようになっている。項目は現在位置情報マップ、危険箇所ハザードマップ、運転手別日別走行履歴、日別危険事象ランキングが閲覧出来る。本システムでは、現場監督者や運転手が輸送ルート上の危険性のある箇所を把握可能な状態にすることを最終目標としているため、これらのデータを活用して運用を行う。

以下に、それぞれのWEBサイトの活用方法を示す。

5.1 現在地情報マップ

現在地情報マップでは、全運転手の位置情報を確認することが可能である。地図上では、走行軌跡と走行速度が凡例に沿って色別で表示され、運転手ごとの最新の位置情報だけでなく、走行速度も併せてリアルタイムで確認出来るため、運行情報を管理することができる。

5.2 危険箇所ハザードマップ

危険箇所ハザードマップでは、指定した期間において、検知した8種類の危険事象を色別で記録されたデータとして確認することが可能である(図-4)。さらに、記録された箇所においては、危険事象が発生している状況を動画で確認

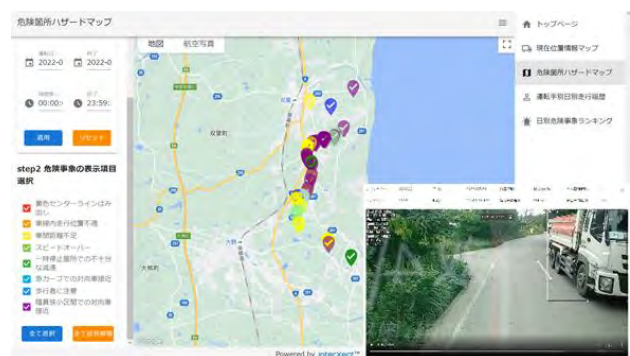


図-4 危険箇所ハザードマップ

することができ、実際にどのような状況で生じた危険事象なのかを運転終了後に確認することができる。

5. 3 運転手別・日別走行履歴

運転手別日別走行履歴では、指定した運転手・日別で発生した危険事象を閲覧することができ、運転手に合わせたフィードバックに活用することができる。

5. 4 日別危険事象ランキング

蓄積した危険事象データを、日別かつ運転手ごとのランキングで表示することが可能となっており、危険事象ごとでの検出ランキングを閲覧できる。発生した危険事象を運転手別・日別で発生事象を可視化することで注意喚起につなげることが出来る(図-5)。

ドライバーごとの
危険事象の検出回数

ドライバー	プロジェクト	全検出回数	危険事象の種類	危険事象の種類	危険事象の種類	危険事象の種類	危険事象の種類	危険事象の種類	危険事象の種類	危険事象の種類
50	0	1	25	11	1	3	0	6		
27	0	0	15	4	0	0	0	5		
25	0	0	4	12	2	3	1	3		
7	0	1	2	1	1	0	0	2		
4	2	0	0	0	0	0	2	0		
4	0	0	0	4	0	0	0	0		
2	0	0	0	0	0	0	0	2		

Rows per page: 20 17 rows

検出数ごとに並び替え可能

図-5 日別危険事象ランキング

6 安全教育への展開

本システムの効果的な活用方法としては、作業前のKY活動時や、毎月の安全教育時が挙げられる。具体的な活用方法を以下に示す。

6. 1 KY活動時

日々のKY活動時には、運転手ごとに前日の運転挙動や危険箇所など、蓄積されたデータを共有し当日の輸送工事に着手することで、安全管理を行う。記録されたデータは8件の危険事象が起きた場所を危険ハザードマップ上で確認することができ、さらに動画で発生した危険事象の原因を閲覧することが出来るため、なぜその場所で危険事象が発生したのかを運転手と管理

者で共有することが出来る。例えば、センターラインのはみ出しを検知した場合には、運転手の不注意だけではなく、道路上にはみ出した樹木や歩行者を避けた場合が原因となるセンターラインのはみ出し事象を確認することができるため、注意する内容を具体化することができる。

作業前に自身の運転結果を確認し、その他の運転手ともコミュニケーションをとりながら共有することで、注意すべき位置を把握した上で安全運転に努める。

6. 2 安全教育

毎月の安全教育においても、蓄積されたデータを活用しており、危険箇所ハザードマップを運転手全員で確認することで、危険箇所が一目でわかり、全員で危険箇所を確認・共有することができる。さらに、危険事象箇所を検出した回数に関して、運転手ごとでのランキングを確認することが出来るため、検出された数が少ない運転手を模範運転手として奨励し、安全運転の意識付けを行いながら輸送工事における無事故無災害につなげている。その他、新規入場者にとっても、これまで蓄積したデータを確認することで、初めて走行するルートでの危険箇所を事前に把握することができ、事故削減につなげる。

7 おわりに

本システムにより、従来までの加速度センサー値のみのアラートから、運転手が真に注視すべき危険事象を検知することが可能となった。また、データが蓄積されることから安全性向上のための円滑なコミュニケーションが実施可能となった。今後は、検知精度の向上などシステムの改良を進めるとともに、より安全な輸送工事のために活用し、トンネル工事のずり運搬等、他作業にも展開していく。

揭 載 技 術

建設業の働き方改革の推進について

～いしかわ週休2日工事・ICTの活用等～

石川県土木部監理課 技術管理室 濱野仁樹

1. はじめに

建設業は、社会資本整備を支える担い手であるとともに、災害復旧や除雪など、県民の安全・安心の確保を担う「地域の守り手」として重要な役割を果たしています。しかし、近年就業者数の減少や高齢化による将来の担い手不足が大きな課題となっており、将来の担い手確保に向けた建設業の働き方改革が重要となっています。

このため本県では、就業環境の改善として「いしかわ週休2日工事」の実施や、生産性向上としてICT建設機械を活用したモデル工事の実施、新型コロナウイルスを契機に、非接触・リモート型での現場管理を行う遠隔臨場の実施など、働き方改革の推進に向けた取組を実施しております。

2. いしかわ週休2日工事

2-1 これまでの取組

建設現場における週休2日制の普及・定着に向けた取組として、平成27年度から、原則土日を休日とする「いしかわ土日やすみモデル工事」を導入し、令和3年度には過去最多となる2,780件でモデル工事を実施したところです。

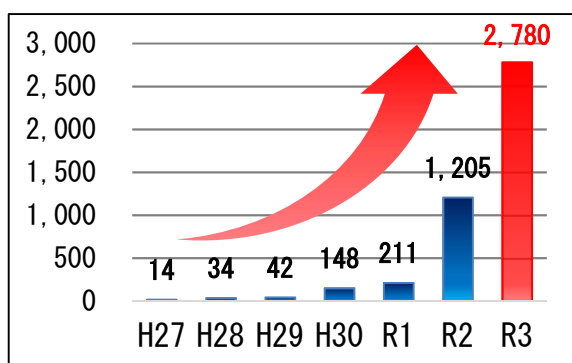


図-1 モデル工事の実施件数

モデル工事では、実施件数の拡大を図るため、週休2日の確保を条件とする「発注者指定型」に加えて、受注者が実施の有無を選択できる「施工者希望型」で発注を行っているほか、週休2日を達成した場合は工事成績評定で加点を行っています。

また、週休2日の実施により工期が長くなることから、共通仮設費や現場管理費、機械経費を補正するとともに、休日が増えることで工事従事者の収入減に繋がらないよう、労務費についても補正を行っ

ています。

2-2 近年の取組

令和3年度からは、受注者がモデル工事に取り組みやすいよう、発注者指定型に加えて、施工者希望型についても、週休2日に伴う補正を必要経費として当初設計で計上することとしました。

なお、施工者希望型でモデル工事を希望しない場合や週休2日が達成できなかった場合は、補正分を減額しております。

さらにこれまでの取り組みにより週休2日工事が周知されてきたことから、令和4年度からは、「いしかわ週休2日工事」として、災害復旧を除く全ての工事において、週休2日を実施することとしています。

現在働いている工事従事者や将来の担い手となる若者にとって、建設業がより魅力的でやりがいを感じる産業となるためには、週休2日制の早期実現が急務であり、引き続き、週休2日工事の推進に積極的に取り組んでいきたいと考えております。

3. ICTの活用

3-1 これまでの取組

ICT建設機械を活用したモデル工事については、今後、減少が予想される熟練したオペレータに頼ることなく、より効率的で安全な工事の促進に向けて、平成27年度から取り組んでいます。

これまで、道路土工や河川土工など順次、対象工種を追加し、令和3年度は過去最多となる145件でモデル工事を実施したところです。

＜ICTモデル工事実施件数＞

	H27	H28	H29	H30	R1	R2	R3	合計
道路土工	1	3	11	14	16	24	62	142
河川土工		2	4	16	10	8	29	69
舗装路盤工			4	2	7	1	39	53
砂防土工				3	4	3	4	14
河川浚渫工					4	4	4	12
実施件数	1	5	19	35	41	44	145	290

図-2 ICT施工の実施件数

モデル工事では、ICT施工の普及・拡大を図るため、建設機械のリース料や3次元設計データ作成の費

用など、必要な経費を適切に設計で計上するほか、ICT施工を実施した場合は工事成績評定で加点を行っています。

3-2 昨年度の取組

ICT建設機械による施工を必須とせず、出来形管理等の施工管理や検査で3次元データを活用する「簡易型ICT活用工事」を導入しました。

「簡易型ICT活用工事」は、ICT技術を活用する工事の施工プロセスのうち、「3次元設計データ作成」、「3次元出来形管理等」および「3次元データの納品」のみを必須とするものです。

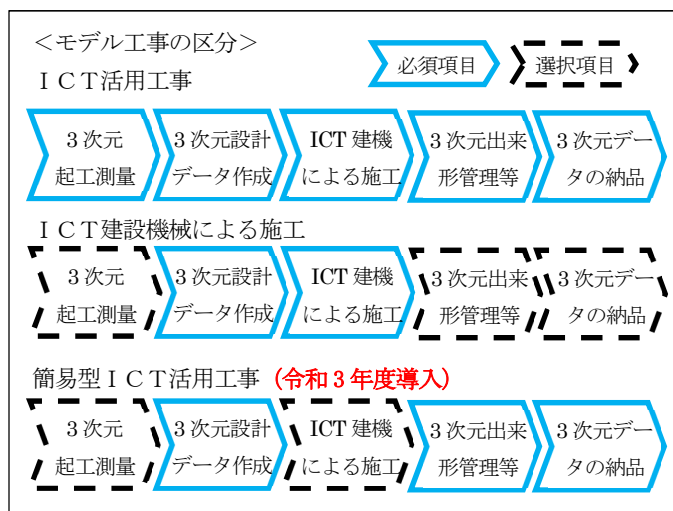


図-3

無人航空機による測量と3次元データによる出来形管理

簡易型ICT活用工事の導入により、これまで3次元データに触れてこなかった受注者にも、3次元データに触れる機会が増えることで、今後のICT

施工の拡大が期待されます。

3-3 ICT地盤改良工（中層混合処理工）

令和3年度、石川県内で初めてとなるICT建設機械による中層混合処理工を実施したので、その内容について紹介します。

＜工事概要＞

（金沢外環状道路 海側幹線IV期事業（図-4））

位置：金沢市千木町～福久町 地内

工事内容：施工延長 L=227.8m

中層混合処理工 V=3,739m³

（深さ約3.7m、幅約4.4m）

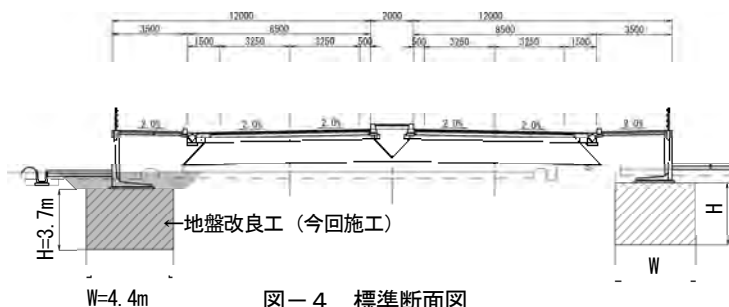


図-4 標準断面図

＜ICT仕様＞

ICT施工の実施項目は以下のとおり

- ①3次元設計データ作成
- ②ICT建設機械による施工
- ③3次元出来形管理等の施工管理
- ④3次元データの納品

ICT地盤改良機械は、ベースマシンとなるバックホウに、後付けの機器（チルトセンサーやGNSSアンテナ等）を取り付けて対応しました。なお、キャリブレーションは、事前に入力した3次元設計データと衛星の情報を基に行いました。



写真-1 ICT地盤改良機械

<ICT 施工による効果・課題>

【作業効率の向上】

ICT 施工の実施により、従来と比べて施工区割りや丁張り設置が不要となったことに加え、現地での検測が不要となる施工履歴データを用いた出来形管理が可能になったこと、写真管理枚数が半数以下に減少したことなどの省力化が図られ、作業効率が格段に向上しました。

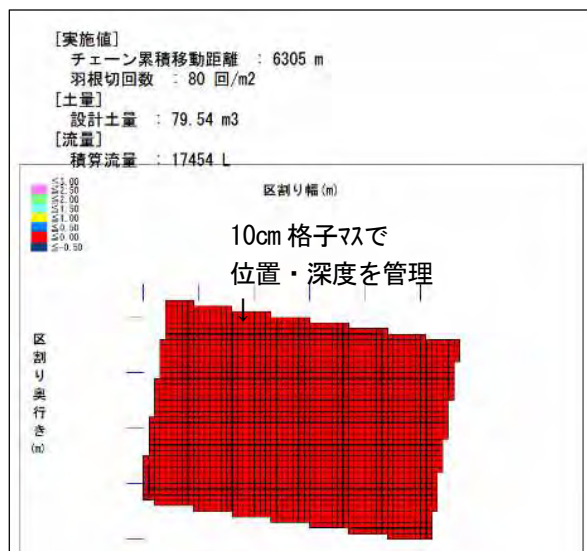


図-5 出来形管理帳票（区画毎）

【今後の課題】

ICT 施工により、オペレータは手元のモニターで情報を得ながら施工できるが、改良強度の品質に影響する区画毎の均一性（羽切回数や改良材の吐出量の管理）を確保する操作は、従来同様オペレータの技能に依存しており、今後の機器の改良やTSによる精度確認頻度の設定などにおいては、更なる効率化が望まれます。

3-4 ICT法面工

最後に令和2年度から令和3年度にかけて5件実施したICT法面工（吹付法枠工）について紹介します。

<工事概要>

（一般国道304号 国道改築工事）

位置：金沢市清水谷町 地内

工事内容（ICT法面工）：

令和2年度吹付枠工 L=1,502m（3工区）

令和3年度吹付枠工 L= 905m（2工区）



写真-2 令和2年度 完成写真（3工区分）

<ICT仕様>

ICT 施工の実施項目は以下のとおり

①起工測量（ICT 土工の完成データを使用）

②3次元設計データ作成

③3次元出来形管理等の施工管理

④3次元データの納品

なお、①起工測量と②3次元設計データ作成については、ICTの吹付法枠工では必須とされていませんが、今回の工事では今後の作業の更なる効率化を目指して、積極的に取り組みました。

<ICT 施工による効果・課題>

【①起工測量について】

今回のICT法面工においては、起工測量時における点群データとして、別発注のICT土工事で取得した完成時点群データをそのまま使用しました。これによりICT法面工の起工測量の費用の削減が図ることができました。



図-6 起工測量データ（＝土工事の完成時データ）

【②3次元設計データの作成について】

吹付法枠の設計データをパソコン上で作成することで、机上での数量精査が可能となります。これにより、設計データの作成にはある程度の慣れが必要になりますが、危険な現場での計測作業が不要になるとともに、1人で設計数量を計測することが可能となるため、作業の省力化が図られます。

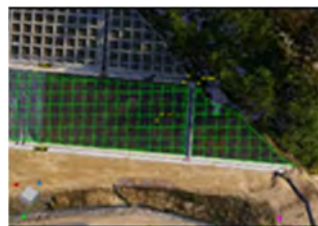


図-7 3次元設計データ

【③3次元出来形管理等の施工管理】

施工完了後、空中写真測量（UAV）により点群データを取得し、出来形管理用の3次元モデル図を作成しました。この3次元モデル図を利用して、出来形計測のすべてを机上で行いました。②と同様に現場での出来形計測を無くしたことで安全性の向上と作業の省力化を図ることができました。

なお、ICT法面工の実施が県内初であったことから、施工業者の協力のもと現地計測と机上計測との比較を行っており、両者の計測値の差は最大で

10mm、平均で5mm程度でしたが、すべての計測値は出来形管理基準値を満足していました。この計測値の差異については、人為的な計測誤差や、点群の密度によるものと考えられます。



図－8 机上での出来形計測

【④3次元データによる検査・納品】

完成検査時においても③で作成した3次元モデル図を使用し、机上で出来形計測を行いました。構造物の細かな仕上がり状況等は現地で確認する必要がありますが、現場条件が厳しい現場においては、発注者側の安全性の向上も図ることができます。

【今後の課題】

ICT法面工はICT土工と違い、3次元設計データをICT建設機械に取り込むことができないため、3次元設計データ通りの施工とはなりません。

また、ICT法面工の出来形管理基準は、従来基準での管理であり、ヒートマップを用いて面管理を行うICT土工と比べて、出来形管理の面でも課題があると考えます。

この点の技術が進歩し、法面工においても更なる効率化が望まれます。

4. 遠隔臨場の試行

本県では、令和3年度から、業務効率化のため、各出先事務所にタブレットを配付し、工事現場において立会確認等をリモートで実施する遠隔臨場に取り組み始めたところです。

遠隔臨場とは、スマートフォンやタブレット等のモバイル端末によるテレビ会議システムを活用し、建設現場における「段階確認」や「材料確認」、「立会」を遠隔で行い、受発注者双方の業務の効率化を図るものです。

令和3年3月に策定した遠隔臨場の試行要領では、試行対象を受注者が希望した工事で、検測値等が映像で確認でき、工事の品質に影響を及ぼさない工事としており、受注者が遠隔臨場に取り組みやすいよう、細かい仕様を設けず、機器についても受注者が保有するスマートフォン等で実施することができるようになっています。また、現場の遠隔臨場に加え、活用場所を増やすため、その他会議や打合せ等においても積極的に活用を図るようにもしています。

遠隔臨場で監督員に提出する実施状況写真の撮影方法は、次に示す2つの方法があります。

- ①ビデオ通話画面上に監督員の映像を表示させた状態で、スクリーンショット撮影する方法
- ②ビデオ通話画面上に監督員の映像を表示させた状態で、端末を別のカメラで撮影する方法



図－9 遠隔臨場による確認状況

また、遠隔臨場については、工事の一部工種のみでの実施も可能としており、受発注者双方の業務の効率化に向けて、実施件数の拡大に努めていきたいと考えています。

5. おわりに

本県では、こうした働き方改革の推進に向けた取組を通じて、建設業に対するイメージが新3K（給料がよく・休暇がとれ・希望が持てる）となるよう、引き続き、建設業の働き方改革の推進にしっかりと取り組んでまいります。