

令和 3 年度
建設技術報告会
報文集

令和 4 年 1月

北陸地方建設事業推進協議会

令和 3 年度「建設技術報告会」実行委員会

目 次

■報告技術

技術 番号	テーマ	技術名	発表者	所属	頁
区分:河川					
1	①	大河津分水路改修(令和の大改修)における新しい監督・検査のあり方について	山根 恭子	国土交通省 北陸地方整備局 信濃川河川事務所	1
区分:道路					
2	①	舗装修繕工の活用に向けた MMS の精度向上と生産性向上 2 つの取り組み	北添 慎吾	福田道路株式会社	5
3	①	完全自動鋼製支保工建込みロボットの開発	遠 亮太	前田建設工業株式会社	9
4	②	テープ状の排水装置(タフシャット導水テープ)の開発	新井 崇史	東亜道路工業株式会社	13
5	②	積雪寒冷地に適した高耐久常温アスファルト混合物の開発	小柴 朋広	世紀東急工業株式会社	17
6	②	防水性能を有した橋面アスファルト舗装の開発	麻上 淳平	東亜道路工業株式会社	21
7	③	ICT活用による除雪トラック作業装置自動化の取り組みについて	武石 清一	国土交通省 北陸地方整備局 北陸技術事務所	25
区分:砂防					
8	①	ICT無人バックホウによる大型ブロック積み砂防堰堤の施工に関する実証実験について	漢野 正典	国土交通省 北陸地方整備局 神通川水系砂防事務所	29
9	①	砂防CIM の取組	京免 継彦	佐藤工業株式会社	33
区分:港湾					
10	①	既存施設を活用した岸壁改良工事の課題と対処	谷澤 来夢	国土交通省 北陸地方整備局 伏木富山港湾事務所	37
11	①	高性能水中位置管理機能搭載ブロック据付支援システム WIT B-Fix Neo	土屋 洋	若築建設株式会社	41
12	①	パイプライン敷設工事における3Dモデルの導入効果について	神蔵 昌士	株式会社本間組	45
13	②	供用中の栈橋を耐震補強するRe-Pier工法	吉原 到	あおみ建設株式会社	49
区分:共通					
14	①	地盤改良工事の見える化技術Gi-CIM の開発	堤 彩人	五洋建設株式会社	53
15	①	山岳トンネル工事を対象とした自動化施工システムの開発	高橋 公城	鹿島建設株式会社	57
16	①	未来の建設生産システムの構築に向けて	佐久間 清文	清水建設株式会社	61
17	①	遠隔臨場ドローンシステム	林 秀晃	株式会社フジタ	65
18	③	豪雪地域における積雪を考慮したクローズド型廃棄物最終処分場	小林 正利	株式会社福田組	69
19	④	超硬質地盤に対応した低変位深層混合処理 CI-CMC-HG工法	古庄 哲士	株式会社不動テトラ	73
20	⑤	カーボンサイクル・コンクリートの開発	大脇 英司	大成建設株式会社	77
21	⑥	軟弱地盤調査の効率化を目指した原位置地盤試験機の開発	夏坂 亮太	東亜建設工業株式会社	81

■掲載技術

区分:共通					
22	⑥	『送出しを变える』パンタグラフ手延機の開発	大井 祥之	川田工業株式会社	85

テーマ

- ① i-constructionによる生産性向上、インフラ分野のDX
- ② 社会資本の的確な維持管理・更新
- ③ 雪に強い地域づくり
- ④ 自然災害からの安全確保
- ⑤ 環境の保全と創造
- ⑥ その他

報告技術

大河津分水路改修（令和の大改修）における 新しい監督・検査のあり方について

国土交通省 北陸地方整備局 信濃川河川事務所 事業対策官 南 健二
○大河津出張所 管理第二係長 山根 恭子

1 はじめに

我が国は人口減少・高齢化が進行しており、ブル崩壊以降、経済成長も停滞している。加えて、コロナ禍では人と人との接触を避ける非接触形式のニーズも高まっている。

建設産業においても就業者数の減少、特に、中長期的な担い手確保は急務であり、IoTやAIに代表される先端デジタル技術の活用により、建設生産システム全体をデジタル化・自動化し、業務・サービスの高度化、それらによる働き方そのものを変革するデジタルトランスフォーメーション（以下、DXと記す）に向けた動きが活発化している。そして、伝統的に行われてきた対面式のスタイルがオンライン化されることにより、新たな付加価値を持つようになった。

このような建設現場を取り巻く環境下のなかで、信濃川河川事務所は国土交通省の「i-Constructionモデル事務所」に指定され、特に大河津分水路改修事業（以下、本事業と記す）は、「3次元情報活用モデル事業」（施工段階）として位置づけられている。

大規模な河道掘削や構造物の改築を伴う本事業において、工事の生産性向上や品質確保を図

るために、3次元モデルを併用した遠隔臨場の試行内容について、事例に基づき紹介するとともに、新たな技術を活用した工事監督や工事検査の構想等について報告する。

2 大河津分水路改修事業（令和の大改修）概要

大河津分水路は、洪水を安全に流下させる断面が不足していることから、本事業により山地部の掘削及び低水路拡幅で断面を確保する工事を行うとともに、老朽化が進む第二床固の改修も行っている。また、河口付近の川幅が広がることから、国道402号野積橋の架け替えを行うものである。（図-1参照）

本事業を円滑に進めるにあたり、特に課題となるのは以下の三点である。

- ①事業期間が18年間と長期に及ぶこと
- ②多数の関係者との協議・調整を要すること
- ③複数の工事が同時に進行すること

このような複雑・長期にわたる事業を、効率的・効果的に執行・監理するためには、視覚的に理解しやすく、また多様な情報を一元的に管理できるツールが必要である。そこで、本事業ではBIM/CIMを全面的に導入することとした。



図-1 大河津分水路改修事業の概要

3 一般的な遠隔臨場

遠隔臨場は、一般的に以下のように実施されている。

①受注者が現地のリアルタイム映像を配信

②発注者が PC もしくはタブレットにより現地から配信される映像を確認（図-2 参照）

上記の方法により、受発注者が現地映像をリアルタイムに共有することができ、モニターに映ったカメラ映像により必要な視覚的情報が得られる。立会臨場に比べると、時間的制約が格段に減り、工事の生産性向上につながる取り組みといえる。加えて、昨今のコロナ禍では、普段顔を合わせない人同士の接触は特に避ける必要があることから、感染拡大防止の観点からも、臨場方法として遠隔を選択する場面が増えている。



図-2 タブレットを用いた遠隔臨場

問題点として挙げるとすれば、モニターから得られる平面的かつ限定された情報では、工事現場全体を確認することができないため、構造物同士の位置関係が把握しづらい点にある。また、不可視部などの「段階確認」は共通仕様書で定められていることなどから、工事監督員自ら、直接目視をした形で実施することが必要ではないかと感じることもある。

公共工事では、税金を投じて施工された完成物が、長きにわたり健全な状態で残されることが求められる。工事の施工においては、契約書に定めるとおり、受注者責任ではあるが、遠隔臨場を定着されるためには、工事の品質は確保しつつ、受発注者双方ともに工事の生産性向上を

現することが求められる。なお、現時点において、本事業に係わる工事受注者の意見や監督員（現場技術員含む）の意見を整理して結果を示す。

（表-1 参照）

また、R3 年度上半期に試行した臨場項目について、遠隔臨場の適性を評価した。（図-3 参照）なお、後述する大河津 DX の取り組みにより、遠隔臨場特有の、出来形及び品質の確認に関して新たな優位性も得られた。

表-1 遠隔臨場に対する意見

受注者の意見
○監督員との時間調整がしやすい。
△作成する工事書類は従来と同じ。
×使い慣れていない。
×通信環境が悪い。
×現時点の試行段階では費用全額を発注者負担はよいが、その後は不透明。
×発注者側のセキュリティの都合で、端末は受注者が用意する。
発注者の意見
○現場への移動時間がなくなり、日程調整が楽になった。
○作業服に着替えることはない。（スカートのままでよい。髪型も崩れない。）
○狭陰部など同時に複数人で立ち会いが出来ない箇所は、PC画面を通じて、一同に介して確認できる。
○監督員の仕事について、先輩から後輩へ技術の伝承（人材育成）
×遠隔機器（PC、タブレット、ソフトなど）は工事毎に異なり、工事の本数分だけ機材があり、扱いが煩雑。
×視覚的情報が限定され、工事現場全体を確認することができない。
×不可視部分は直接目視が必要な時もある。

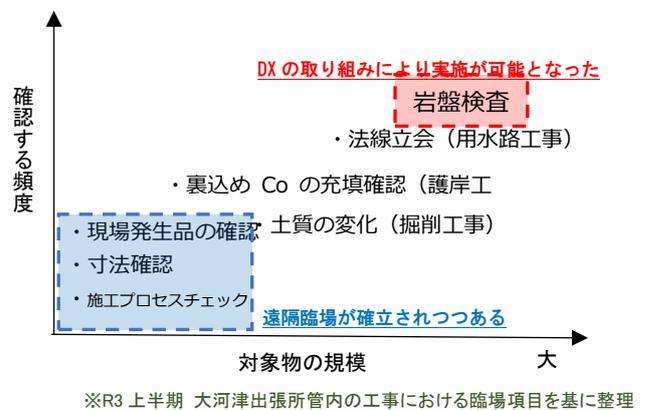


図-3 遠隔臨場の適性

4 大河津 DX の取り組み

大河津分水路改修事業では「大河津 DX」として、BIM/CIM 活用を組み合わせた遠隔臨場を行っている。大河津 DX では、通常の現場での臨場でも目視できない水面下の状況確認等が可能となる。以下、その取り組み事例について紹介する。

4. 1 新第二床固改築工事の概要

既設の第二床固は大河津分水路の河口付近である 7.8k に位置し、大河津分水路全体の河床洗掘を防ぐために昭和 6 年に構築された。しかしながら、竣工後 100 年近くが経過し、老朽化による機能低下が懸念されている。新第二床固改築工事は、この対策として新しい川幅に合わせた新しい第二床固を施工する。（図-4 参照）

施工箇所は、河川の流水に加え、海上からの強風、波浪の影響を受ける非常に厳しい条件下である。床固施工にあたり、鋼殻ケーソンを順次曳航、据付、設置、固定の作業を実施する。そして新設する第二床固本体工の下流側には、減勢工及び護岸工の施工を行う。現河道に流水させながらの工事施工であり、台船の活用や潜水作業を伴う、水中施工主体の工事である。鋼殻ケーソンを設置する前の岩盤検査や水中コンクリート打設の状況など、直接現場に立ち入ることができない現場特性でもある。

以上の状況から、本工事では特に、水面下にあ

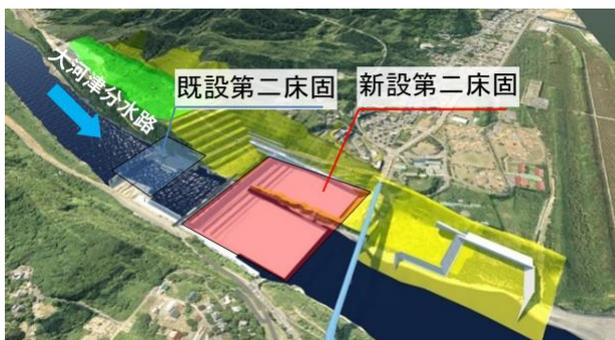


図-4 第二床固（既設・新設）

り、永久に不可視部分となってしまう構造物の品質を、いかにして確保するかが課題とされる。

4. 2 本工事における遠隔臨場の取り組み

本工事では、従来のような PC に加えて、VR を利用した臨場に取り組んでいる。これまでは、写真やデータの表記された書面（数値的評価）により工事の品質を判断しているのみであったが、仮想空間に遠隔から入り込むことで、直接現場に立ち入った状況を再現可能となった。

現段階での試みでは、受注者があらかじめ撮影した三次元画像を仮想空間とし、発注者が VR ゴーグルを用いて段階確認などを行っている。

従来の遠隔臨場とは異なり、リアルタイムに現地を確認しているわけではないが、以下の三点が大きな利点である。

- ①受発注者が別々の場所から同一の仮想空間に入り込むことで共通の認識を持つことができること
 - ②発注者自ら確認したい位置に近づくことができること
 - ③BIM/CIM 活用と組み合わせ、三次元モデルを取り入れた遠隔臨場が可能であること
- 特に③に関しては、まさに建設工事における DX の先進的な取り組みであり、本工事をモデルケースとした大河津 DX として、利点や課題を抽出することで、他工事への展開の礎となることが期待される。（図-5 参照）

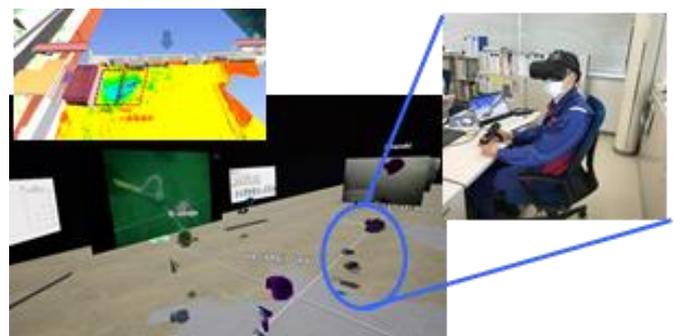


図-5 CIM モデルと VR を併用した遠隔臨場

5 今後の構想 - 令和時代の「工事監督・工事検査」の取り組み

本章では、これまでの遠隔臨場の実績をふまえ、令和という新しい時代における工事監督・工事検査について、今後の構想を述べる。なお、以下に述べる構想は、新第二床固改築工事において実際に試行することを予定している。

5.1 より正確な現地状況の把握

現地に 360°カメラを設置し、リアルタイムで映像を配信する。受発注者は VR ゴーグル等により同一の仮想空間に入り込み、その仮想空間にてリアルタイム映像を見ながら(遠隔)臨場を行う。さらに、CIM モデルと実物の映像を併用することで、設計との相違を三次元的に確認することが可能となる。(図-8,9 参照)

これにより、工事の品質は確保しつつ、施工段階における工事書類のやりとりや「確認項目」と「頻度」を簡素化できるものはないか検討する。また、VR の場合、アバターとして登場する技術者の本人確認や監督員確認後の署名の代替をどのようにするかも併せて検討する。

5.2 CIM モデルへの情報付与

発注者が確認した寸法などの情報を、逐一 CIM モデルに確定情報として付与していく。情報を蓄積・一元化することで、工事の進捗把握と品質確認が容易となり、工事の完成検査のための資料整理を簡素化することができる。

また、CIM モデルを活用することで、構造図・配筋図等が一つの設計図として確認できるようになり、施工上の不具合や問題点が把握しやすくなることで、協議事項の判断や解決の時間短縮や品質向上にもつながる。

さらに、このようなデータ一元管理のもと、工事完成書類としてまとめた後、維持管理段階へ

引き継ぐものとする。

5.3 「大河津分水改修工事監督・検査技術要領(案)」の策定

(1)(2)の試行結果により、受発注者双方ともに工事の生産性向上を実現可能となることに期待するが、工事の品質確保のためには、監督員個人の責任によらない一定の監督・検査ルールが必要となる。この要領(案)のもとで工事監督・検査を行うことで、働き方そのものを変革する DX のねらいを達成できることが望ましい。

将来的には、本要領(案)を他工事にも展開することで、北陸から全国へと建設現場における DX を促し、かつその有用性の発信につなげていきたい。

6 おわりに

我々の行う公共事業は、その土地固有の地形を変化させ、長年にわたり地域に影響を及ぼすものである。人口減少、情報技術の発達、そしてパンデミックといった、社会が激動していく令和時代においても、それは変わらない。

今後さらに新しい技術が生まれたとき、それがどのように、また何のために活用されていくべきかを常に考える必要がある。

謝辞：日々工夫を重ねながら先進技術の活用に取り組んでいる受注者の皆様へ、感謝と尊敬の意を申し上げます。

参考文献

- 1)令和3年度版 国土交通白書
- 2)「建設現場が目指す DX—デジタル化と自動化がもたらす未来—」(令和3年度土木学会報文 鹿島建設株式会社)

舗装修繕工の活用に向けた MMS の精度向上と生産性向上 2 つの取り組み

○福田道路株式会社 事業本部 技術部 技術部長 北添 慎吾
アジア航測株式会社 社会インフラマネジメント事業部 技師 菊池 拓
大陸建設株式会社 常務取締役 櫻庭 晃

1 はじめに

建設業の慢性的な人手不足の解消と生産性向上に向けて始まった i-construction。ICT 土工は明確な効果が見えているものの ICT 舗装に関しては未だにそのメリットが見いだせていないのが現状である。特に舗装修繕工に関しては既設舗装を基準に設計されることから、基準点を用いた測量そのものに疑問を感じている。基準点測量にこだわらない厚み管理が可能になれば、生産性向上につながられるのではないかと考え、今回の取り組みを実施した。

2. ICT 舗装（修繕）の課題

2.1 TLS の課題

通常、ICT 舗装工（修繕）の起工測量には地上型レーザースキャナ（以下 TLS と表記）が使用されている。しかし、通過車両によるノイズやオクリュージョン（欠損）を考慮した計測をおこなうと、測量時間の増加（1km 当たり 2 日間）やソフトウェアによる処理に手間（1km 当たり 2～3 日間）がかかる。また、歩道のない道路や自動車専用道路などでは安全性が確保できないという課題もあり、ICT による生産性向上のメリットが見いだせていない。

2.2 MMS の課題

この課題を解決するためにモバイルマッピングシステム（以下 MMS と表記）の活用を推進している。MMS は交通規制なしで移動しながら 3D 点群データ取得でき、ノイズも少ないことから TLS による計測と比べ作業人員削減・工期の短縮

が期待できる。また、点群データ取得と同時に路面性状の測定が可能（一般財団法人土木研究センターの性能確認試験に合格した車両）で、路面性状及び切削量を含む縦横断計画まで事前調査の大部分をカバーできる。



写真-1 MMS による計測状況

しかし、衛星取得状況・IMU（慣性計測装置）の精度・標定点の設置間隔・走行操作などすべてにおいて注意を払っても、IMU やソフトウェアで調整しきれない MMS のロールやピッチ誤差が発生することもあり、工区全体を通して TLS 並みの精度が得られなかった。その対応で各測点の再測量と再調整が必要となることもあり、精度向上への取り組みが喫緊の課題であった。

3. MMS 精度向上の取り組み

3.1 現場 A での取り組みと精度検証

実際の舗装修繕工事（現場 A）で実施した MMS 精度向上の取り組みを紹介する。MMS 活用のメリット（作業人員削減・工期の短縮・安全確保）を

活かすためには、TLS と同等の精度を前提とした上で標定点を少なくする必要があります。また標高チェック後の再調整をなくすことも重要で、それらの条件を満たすため下記のステップにて精度向上の取り組みを実施した。

ステップ 1 (水平位置調整用評定点設置)

工事基準点設置と同時に、TS による放射観測にて位置調整用評定点 (緑マーク) を 50m 間隔で千鳥状に配置する。



写真-2 TS による標定点設置状況
ステップ 2 (MMS 計測)

MMS の走行計測により点群データを取得する。

ステップ 3 (1 次点群データ作成)

MMS で計測したオリジナルデータと位置調整用評定点をソフトウェアで紐づけし、区間全体で水平位置調整を行なった 1 次点群データを作成する。

ステップ 4 (標高調整用評定点=測点の逆打ち)

区間全体で位置調整を行なった 1 次点群データから中心線及び 20m ピッチで横断端部のデータ (黄色マーク) を作成する。作成した横断端部のデータを TS (トータルステーション) にて逆打

ちし、現地の各測点 (切削端) の標高取得と測点マーキングを同時におこなう。

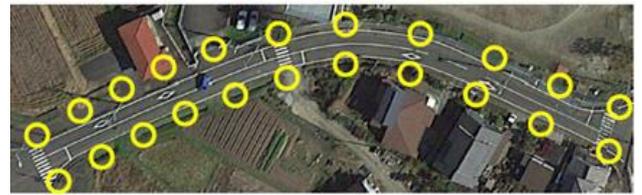


写真-3 TS 逆打ちによる測点マーキング
ステップ 5 (検証点設置と 2 次点群データ作成)

ステップ 4 の測点逆打ちと同時に、20m ピッチに左・中・右の順で検証点データ (赤マーク) を取得して標高精度の検証に使用する。区間全体で位置調整を行った点群データと標高調整用データを再びソフトウェアで紐づけし、最終の 2 次点群データを作成する。

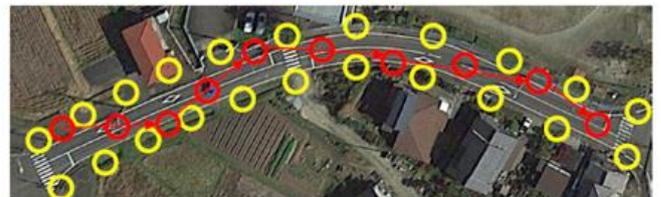


写真-4 検証点データの取得
ステップ 6 (縦横断計画と切削量算出)

専用のソフトウェアで縦横断計画と切削量を算出する。

精度の検証

MMS で取得したオリジナルデータとステップ施行後の調整データの検証結果は表-1 のとおりである。

表-1 検証結果

	平均誤差		標準偏差	
	水平	標高	水平	標高
オリジナルデータ	27mm	47mm	16mm	19mm
ステップ施行後(成果)	4mm	4mm	1mm	3mm

標定 20m ピッチ
検証フィールド延長 800m

ステップ施行後の調整データは、必要精度である水平 10mm 以内、標高±4mm 以内となり TLS と同等の精度であることが確認できた。

3.2 現場 B で調整後のプロファイル精度検証

TLS と MMS のプロファイルについては 2 年前から検証（3 現場）を実施しており、一般財団法人土木研究センターの性能確認試験に合格した MMS であればほぼ同等のプロファイルデータが得られている。但し、これまでは MMS のオリジナルデータと調整後のデータのプロファイルを任意の測点の較差のみで検証していた。仮に MMS のオリジナルデータの誤差が大きい箇所が存在していると、ソフトウェアによる調整によってデータにゆがみが生じるなどプロファイルそのものが変形している可能性が考えられる。それを防止するためにも更なる精度検証が必要と考え、全工区において較差に切削量体積比較を加え、プロファイルの精度検証を実施することにした。

表-2 プロファイルの比較（体積比較）

路線名: 舗装修繕工事(現場B)	延長: 651m		
計画層: 切削層	平均幅員: 6.5m		
	オリジナル	調整後	差分
断面積の合計(m ²)	22.981	22.965	-0.016
体積(m ³)	195.460	195.110	-0.350
考察	651mの路線延長における切削量の誤差は $0.35/195.460=0.18\%$		

現場 B においても現場 A と同様の方法で MMS による計測を実施した。この現場では調整データ（ソフトウェアによるロールやピッチ誤差の修正）とオリジナルデータを全測点で比較してプロファイルの精度の検証（表-2）を試みた。この結果から、延長 651m で 3700 m² の面積における切削量の差が 0.35 m³（全体積の 0.18%）となり、調整後のプロファイルとオリジナルデータのプロファイルに差は見られなかった。また、図-1 と図-2 に示す衛星取得状況の厳しいトンネル坑口付近の横断面を確認してみた。工区を通して最も差が大きかった測点の最大値が 3mm であったことを考えるとオリジナルデータと調整データとの差異はほとんどないと言え、

MMS のオリジナルデータと標定点の差であるロールやピッチ誤差をソフトウェアが的確に調整していることが検証できた。

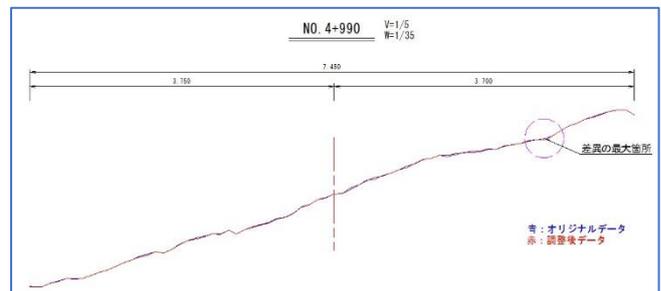


図-1 オリジナルデータと調整データの比較（衛星取得条件の厳しいトンネル坑口付近）

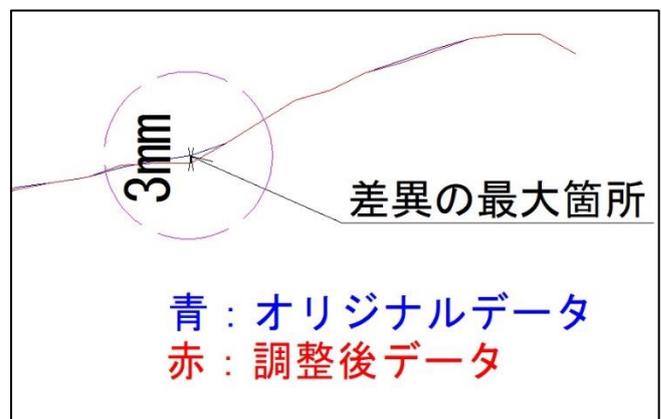


図-2 図-1 の拡大図

4. MMS 生産性向上に向けた取り組み

精度向上に向けた検証を経て、上記ステップによって TLS と同等の精度が担保されることが証明されたが、今後の生産性向上を考慮した場合、MMS のメリットを活かすためには正確な標高値を持たせないプロファイル重視の考え方が有効だと考える。MMS によって取得した点群データによるプロファイルは、これまでの現場で得られた MMS と TLS とのプロファイルを比較してもほとんど差異（4mm 以内）はなかった。但し、基準点ベースの絶対精度に関しては精度検証（水平 10mm 以内、標高 ±4mm 以内）に合格した MMS であっても、カーブや勾配変化そして衛星測位状況によって修正しきれない機械的誤差が生じる。これまでの 3 現場における各測点の TS とオリジナルデータのズレは XY 座標値で最大 30mm、

Z 座標値で最大 100mm であった。このズレがプロファイルの歪んだ誤差であればこのデータは使用できない。しかし、このプロファイルのズレが単純な縦横斜めのスライドしたズレであるならば、基準点ベースの座標値ではなく既設舗装を正として考えれば標定点による調整なしで舗装の縦横断計画が作成できることになる。したがって一般財団法人土木研究センターの性能確認試験に合格し、且つ精度検証（水平 10mm 以内、標高±4mm 以内）に合格した MMS であれば、プロファイルの精度が担保されると考えてよい。この方法は北海道の自動車専用道路や国道・道道（特に交通規制を極力減らしたい対面通行区間）において既に活用されている。

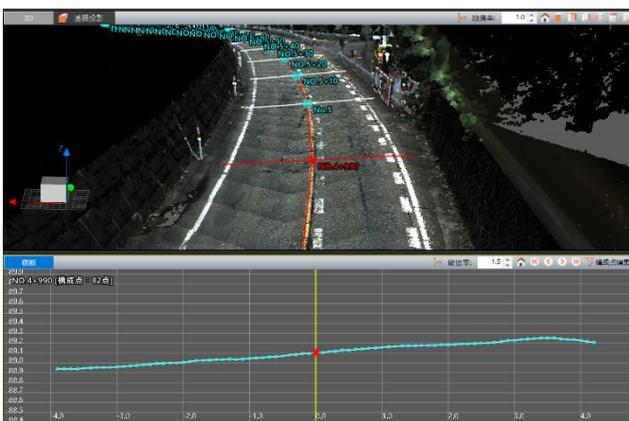


図-3 現場 B の点群データと横断面

この方法の作業手順は下記のとおりである。

ステップ 1 (測点マーキング)

基準点・標定点を設置せず、測点マーキングのみを実施する。但し起終点の位置や測点マーキングは内業時に特定しやすい明瞭な標が良い。

ステップ 2 (MMS の走行)

MMS の走行のみで点群データを取得する。

ステップ 3 (点群データ作成)

MMS 取得データから三次元点群を作成する。

ステップ 4 (縦横断計画と切削量算出)

MMS の後処理解析で算出された標高データ基準にして専用のソフトウェアで縦横断計画と切削量を算出する。※但し、極端な縦断凸凹や段差部

は別途測量が望ましい。

5. GNSS マシンコントロールシステムとの連携

現在、実証実験中の新しい切削機の GNSS マシンコントロールシステムでは、XY 座標は GNSS、Z 座標は 3 次元設計データと点群データの差から自動で厚みを計算してドラム高さをコントロールさせる。このシステムを使用すれば mm 単位の標高精度（プロファイルの精度が担保されれば設計厚さで管理可能）を求める必要がないので、これらを連動させれば事前調査の簡易化と路上でのマーキング作業が不必要となり、交通規制の回数が減少し現場での安全性と生産性は大きく高まるものとする。

6. おわりに

舗装修繕工事は既設舗装のデータを元に縦横断設計を実施している。新設の舗装工事のように正確な標高を持った基準点ベースの座標がなくても 1 層の切削オーバーレイ工なら既設舗装から 50mm 切削して 50mm 舗装するように計画すれば良く、凸凹や段差による縦断修正もプロファイルそのものが正確であれば、基準点ベースの座標値を持たせなくても問題はないと考える。

また、北陸地整管内においては調査点検業務として MMS による路面性状調査が実施されているので、このデータ（路面性状及び 3 次元データ）を工事にも積極的に利用していきたい。調査点検業務による舗装修繕計画を舗装工事につなげていくことができれば更なる生産性向上効果が期待できる。

これは、計画・調査・設計段階から 3 次元モデルを導入し、その後の施工、維持管理の各段階においても 3 次元モデルを連携・発展させて事業全体にわたる関係者間の情報共有を容易にし、一連の建設生産・管理システムの効率化・高度化を図る BIM/CIM につながるものと考えている。

完全自動鋼製支保工建込みロボットの開発

前田建設工業(株) 土木設計部 ○達 亮太
 土木技術部 水谷 和彦
 機械部 坂下 誠
 機械部 浅井 秀明

1 はじめに

切羽肌落ち災害は山岳トンネル工事特有の重大な労働災害であり、特に鋼製支保工建込み作業や装薬作業といった切羽直下に坑内作業員が直接立ち入る作業時はこれらの災害に巻き込まれるリスクが高い(図-1)。肌落ち災害が発生した場合には、災害の重篤度が非常に高く、最悪の場合には死亡事故につながる可能性がある。

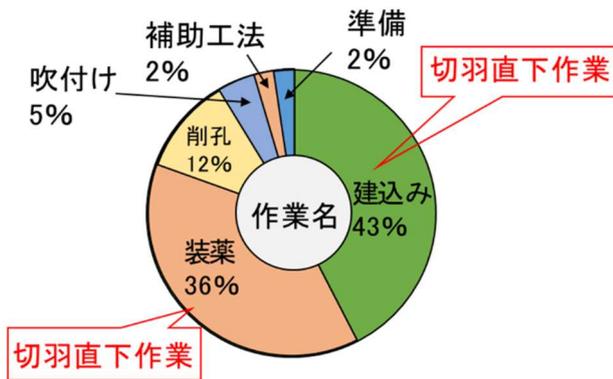


図-1 災害発生時の切羽作業内容

平成30年1月に厚生労働省は「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン」を改訂し、一次吹付け、鏡吹付けを確実に実施すること、切羽作業中は切羽監視責任者を専任配置することのほか、装薬作業の遠隔化や支保工建込み作業の機械化などが求められてきた。¹⁾

一般的な切羽肌落ち災害防止対策として、地山の緩み抑制(鏡吹付けや鏡ボルトなど)や岩石落下の予測(切羽監視人の配置や切羽押出計測

など)、防護対策(肌落ち防護マットなど)を複合的に実施し、災害発生確率を下げる努力はしているが、抜本的な対策とは言い難い。一方当社では、以前より開発を行ってきた「鋼製支保工建込みロボット」²⁾(図-2)を様々なトンネル現場に導入してきた。本技術は、自動追尾型トータルステーションを用いたナビゲーションシステムと高性能エレクターマシンを連動させたシステムであり、切羽に作業員が立ち入ること無く、オペレータ前方のナビゲーション画面に設計建込位置と実測値との差分を3次元に表示し、オペレータ1名で鋼製支保工建込み作業を可能とする技術である。

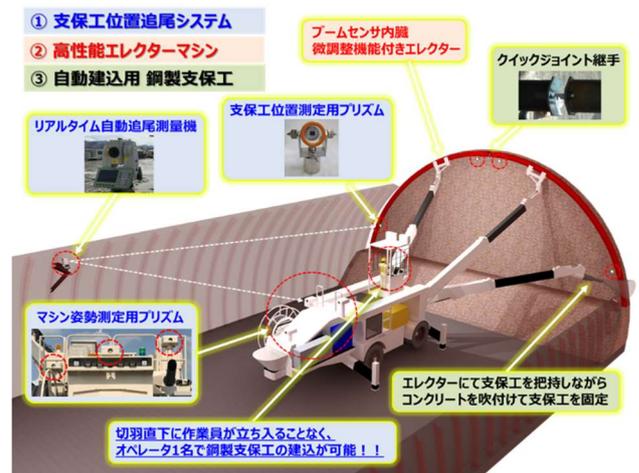


図-2 鋼製支保工建込みロボットの概念図

しかしながら、本技術を運用するには鋼製支保工建込作業を経験したオペレータであっても多少の訓練が必要であり、また、建設業全体の課題として深刻化している少子高齢化による労働

者不足や熟練技能を伝承できないといった懸念に対応した仕組みを構築する必要があった。

本紙では、これらの課題解決策として現在開発を進めている、ボタン1つで鋼製支保工建込作業を自動化する「完全自動鋼製支保工建込みロボット」(写真-1)の技術概要および機能について報告する。



写真-1 完全自動鋼製支保工建込みロボット

2 開発技術の概要

本技術は、「完全自動鋼製支保工建込み制御システム」により、ロボットの油圧をコントロールし、ボタン1つで鋼製支保工を把持した状態から鋼製支保工建込みまでの一連の動作を一貫して自動かつ高精度で実現する。

自動建込みの手順を示す(写真-2)。はじめに機体後方の測量機の自動追尾システムでロボットに取り付けた3つのプリズムを視準してロボット本体の位置計測を行い、機体のセンサのみを用いて、大まかな設計位置まで鋼製支保工を移動する(1次動作)。続いて、自動追尾システムで鋼製支保工に取り付けた4つのプリズムを視準して位置計測を行い、システム側にリアルタイムで提供される鋼製支保工の座標値をもとに詳細な位置合わせ、およびワンタッチ式クイックジョイント継手を用いた天端締結を行う

(2次動作)。

鋼製支保工建込み作業における標準的な施工では、少なくとも熟練のオペレータ1名と切羽に立ち入る作業員が3~4名必要となるが、本技術を導入することにより、オペレータ1名がボタン1つで鋼製支保工建込み作業を行うことが可能となる。

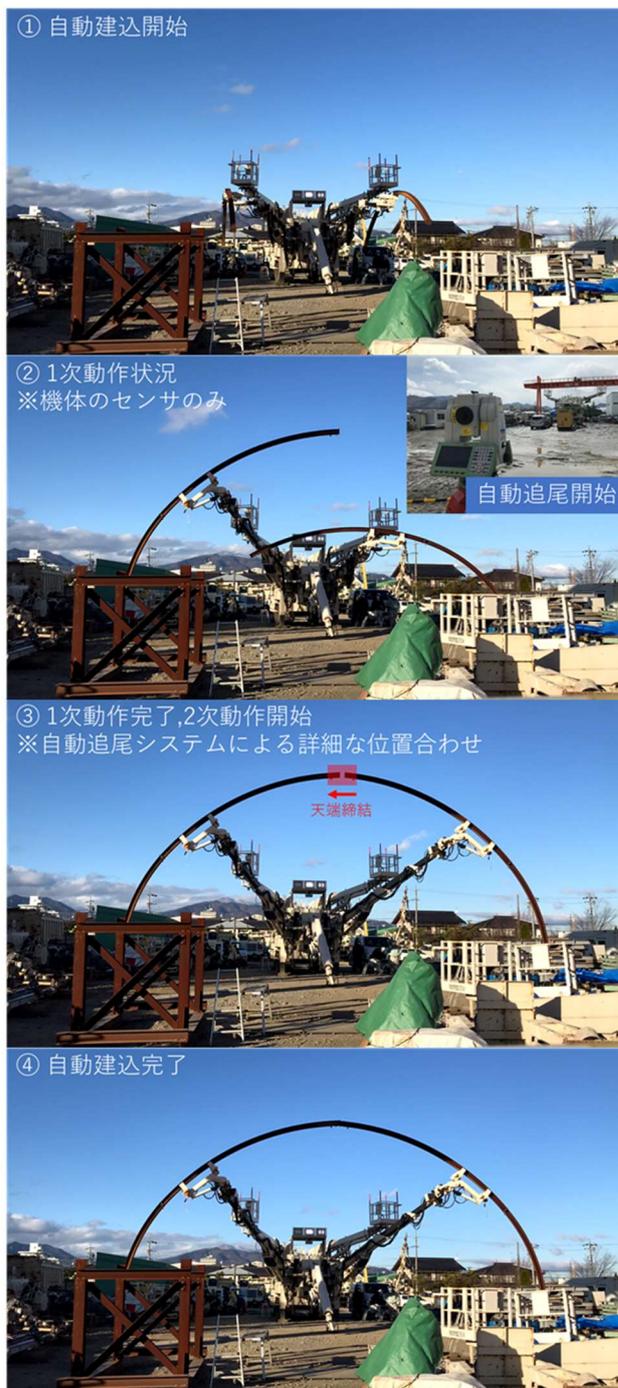


写真-2 自動建込みの様子

3 自動制御システムの構築

鋼製支保工建込みを効率的に自動制御する上で、支保工重量およびブーム位置に対するたわみ量を把握することが重要であり、完全自動鋼製支保工建込み制御システムでは、鋼製支保工を把持した際のブームのたわみ量を考慮し、システム内の目標建込位置(座標)を決定している。

たわみ量は、ブームの伸縮量、水平角度、鉛直角度により決定する把持位置と重量の異なる鋼製支保工を組み合わせることで100ケース程度選定し、可動部のブームと非可動部のブーム基点にプリズムを取り付け(写真-3)、たわみ量を計測した。

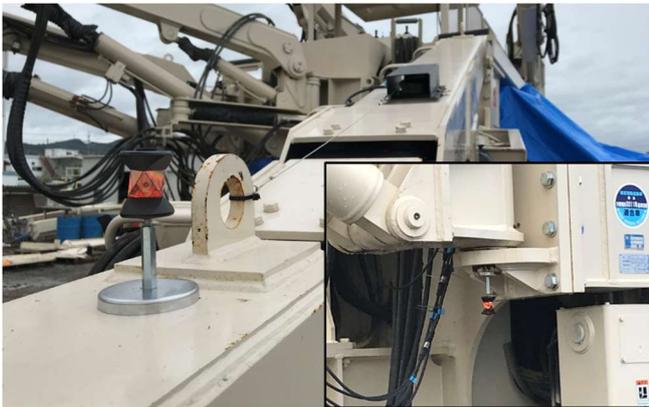


写真-3 たわみ計測用プリズム

たわみ試験の一例として、ブーム角度を鉛直上向きに0°、15°、30°と変えた場合の試験時の様子を以下に示す(写真-4)。



写真-4 たわみ試験の様子(鉛直上向き30°)

上記試験より、ブームの伸縮量が1000mmの場合にはたわみが10mm程度生じたが、伸縮量が3667mm(最大)となると、たわみが約60~90mm生じる結果となった(図-3)。

ブーム長が大きくなると、たわみ量も大きくなり、一方、同一のブーム長(伸縮量)においては、鉛直上向きの角度が大きくなるにつれ、ブーム基点からの水平距離が小さくなるため、たわみ量も小さくなった。

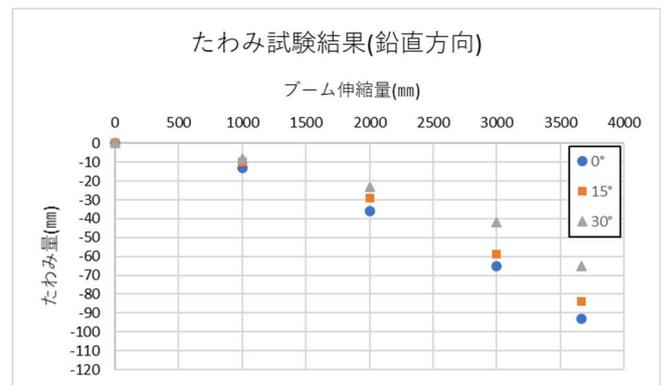


図-3 たわみ試験の結果(鉛直方向)

4 ワンタッチ式自動建込み継手の導入

本技術では、従来の人力による天端ボルト締結作業を省略するため、ボルトナット構造ではなくワンタッチ式クイックジョイントを天端継手部に採用している(図-4)。

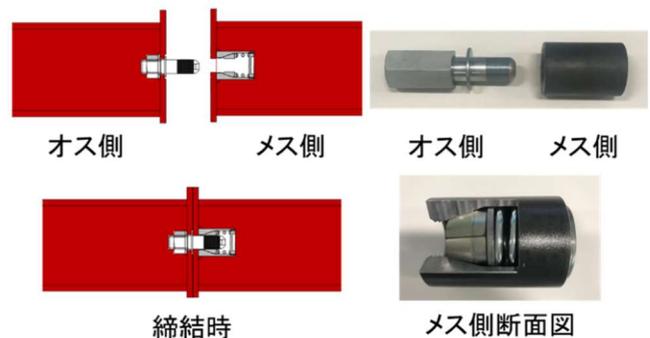


図-4 ワンタッチ式クイックジョイント

ワンタッチ式クイックジョイントとは、オスとメス構造のジョイントを押し込むだけで即座に連結可能なジョイントシステムであり、シー

ルドトンネルセグメントの組み立て用に開発されたものである。ねじ強度は強度区分 10.9 相当であり、通常のボルト強度（4.8）よりも 2 倍以上の強度を有する。

一連の自動建込み動作において、センサのみによる大まかな建込み（1 次動作）にて生じる設計建込み位置との誤差については、リアルタイム自動追尾測量による詳細な位置合わせ（2 次動作）にて補正する。しかしながら、2 次動作についても天端ボルト 1 本分に相当する ±20 mm ほどの建込み誤差が生じるため、ボルトの挿入に失敗する可能性がある。

上記対策として、複数の継手ケースを検証した結果（写真-5）、確実な天端締結を実現するため誘導用の当て板の取り付けやメス側のテーパ形状の加工といった改造を施すことにより、ボルトの挿入ならびに天端締結を容易に行うことが可能となった（写真-6）。



写真-5 継手の検証



写真-6 天端継手部の工夫

5 工場試験における技術検証

工場試験にて本技術の検証を行い、鋼製支保工建込みに要する時間を計測した。

従来のナビゲーション技術である「鋼製支保工建込みロボット」と支保工建込み時間を比較した結果を表-1 に示す。本システムを導入することで、人力による操作では実現不可能な 2 つのブームを同時に動かす動作が可能となり、鋼製支保工建込み時間を大幅に短縮できた。

また、建込み時間の短縮はサイクルタイム短縮に貢献するだけでなく、早期に支保効果を発現することで地山の緩み抑制効果を期待できるとともに、切羽肌落ち災害を撲滅するだけでなく、省人化と施工サイクル短縮といった観点から生産性向上が実現できる。

表-1 鋼製支保工建込み時間の比較

1.通常の建込	作業時間	15分
	切羽直下	5人
2.鋼製支保工建込ロボット	作業時間	12分
	切羽直下	0人
3.完全自動鋼製支保工建込ロボット	作業時間	6分
	切羽直下	0人

※1,2については東北地方整備局 広瀬1号トンネルにおける施工実績²⁾

6 おわりに

工場試験において、本技術の有効性を確認することができた。今後は現場へ導入して技術検証を行い、システムの改善および更なる自動化技術への改良を推進する計画である。

参考文献

- 1) 土木学会 平成 30 年度全国大会第 73 回年次学術講演会論文集, 鋼製支保工建込みロボットの開発
- 2) 土木学会 土木建設技術発表会 2020, 山岳トンネル支保工建込みの自動化

テープ状の排水装置（タフシャット導水テープ）の開発

東亜道路工業株式会社 技術研究所 主任 ○新井 崇史

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

コンクリート床版や鋼コンクリート合成床版は、床版内に水が入ることで床版の劣化が進行し、床版の砂利化や床版層のはく離などが生じる。そのため、基層以下に浸入した水分を水平方向の排水装置により集水し、床版の水抜き孔や排水ますにより排水する対策が必要となる¹⁾。

これまで、水平方向の排水装置として、鋼製や樹脂製の導水パイプが利用されてきた。導水パイプは、床版の勾配により、水が高いところから低いところへ流れる性質を利用して、滞留水を排水ますまで誘導する。そのため、逆勾配となる箇所や床版の局所的な凹部となる箇所からの排水はできない。このような箇所では、滞留した水により、床版や舗装の劣化を引き起こすという課題がある。

そこで、これまでの対応箇所に加え、逆勾配となる箇所や床版の局所的な凹部などからの排水も可能とする排水装置として、テープ状の排水装置（以下、導水テープ）を開発した。本論文では、導水テープの特徴と室内試験結果、施工事例について紹介する。

2 導水テープの特徴

（当社商品名：タフシャット導水テープ）

2.1 構造

開発した導水テープの構造断面を図-1に、荷姿を図-2に示す。導水テープの基本構成は、

「ゴムアスファルト＋不織布＋ゴムアスファルト」のサンドイッチ構造としている。厚さを3mm、幅を30mm、長さは15mとし、施工性や携帯性を考慮して、荷姿はロール状としている。導水テープは、不織布(④)を基材としており、接着面からの水の放出を防ぐため、その上下面を不透水フィルム(③)で貼り付けている。また、床版、舗装および防水層と導水テープを接着するため、不透水フィルムの上下面にゴム・アスファルトコンパウンド(②)を塗布している。さらに、ゴム・アスファルトコンパウンドの片面には、施工機械による導水テープの剥がれを防止するため、珪砂(①)を散布し、反対面には導水テープ同士の接着を防ぐため、剥離紙(⑤)を貼り付けている。剥離紙側が下面であり、剥離紙を剥がしながら、防水層上や床版上に設置していく。

2.2 排水原理

導水パイプと導水テープの排水原理について、図-3に示す。導水パイプは、勾配を利用して、導水パイプの内部を通水する方法で導水する。一方、導水テープは、不織布の毛細管現象（細い管を液体の中に立てると、液体が管内を上昇して外部の液面より高くなったり、あるいは下降して低くなったりする現象）とサイフォンの原理（液体が管の中を登って、もとの位置より高い地点を通過して、低い方へ流れ続ける現象）を利用して導水する。すなわち、毛細管現象に

より、滞水した水を不織布内に吸収し、サイフォンの原理により、不織布内の水を排水ますに落とし込んだ流末に導くことで排水する。このとき、効果的に排水を行うため、導水テープの流末を 30cm 程度排水ますに落とし込む必要がある。

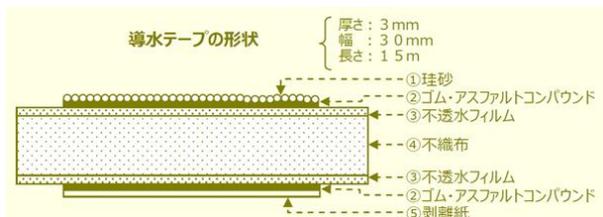


図-1 導水テープの構造断面



図-2 導水テープの荷姿

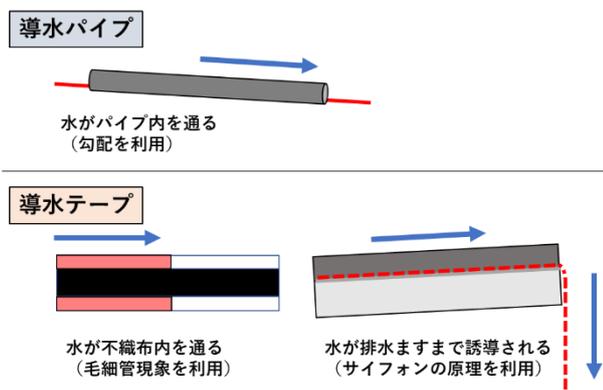


図-3 排水原理

3 室内試験

3.1 垂直導水性

導水テープは、不織布による毛細管現象を利用して排水する。そこで、導水テープの垂直方向への導水能力を評価した。

試験概要を図-4 に示す。導水テープを垂直に立て、その下部 1cm 程度を着色水に浸し、毛細管現象によって不織布内を上昇する垂直水位を時間ごとに測定した。

その結果、着色水の垂直水位は瞬時に 5cm 程度まで上昇し、その後はほぼ横ばいとなった。したがって、導水テープは、低位置から高位置へ垂直方向に 5cm 程度導水する能力をもつと考えられる。

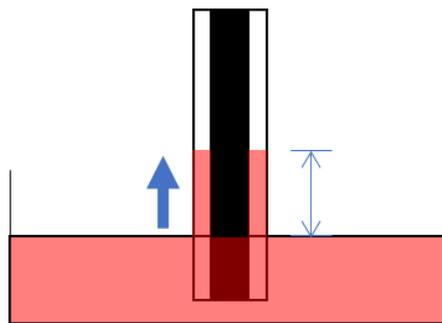


図-4 垂直導水性試験概要

3.2 舗装の耐久性への影響²⁾

導水テープは、不織布により構成されているため、舗装の耐久性低下が懸念される。そこで、ホイールトラッキング試験機を用いた走行試験により、導水テープの有無による舗装の耐久性への影響について評価した。

供試体は既往文献を参考にして作成した³⁾。供試体の概要を図-5 に示す。厚さ 6cm のコンクリート版 (30cm×30cm) に防水層処理を行い、その中央部に導水テープを設置した。導水テープの端部は、それぞれ供試体幅より延長し (取水側: 10cm, 排水側: 30cm), 舗装との接着を防ぐため、転圧する際に木材を用いて保護した。舗装用混合物は、75 回突きの密粒度アスファル

ト混合物（13）とし、バインダはストレートアスファルト 60/80 を用いた。舗装厚は 4cm とした。

試験状況を図-6 に、試験結果を図-7 にそれぞれ示す。導水テープを設置した供試体と設置しなかった供試体の動的安定度の値は同程度であった。したがって、導水テープ設置による舗装の耐久性への影響はないものと考えられる。

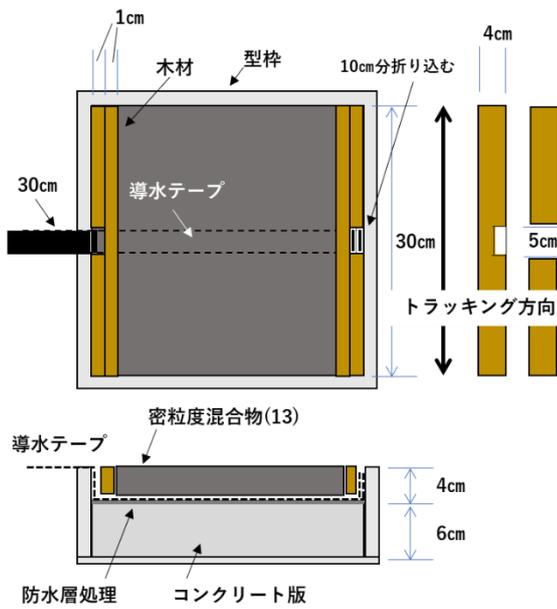


図-5 供試体概要



図-6 試験状況

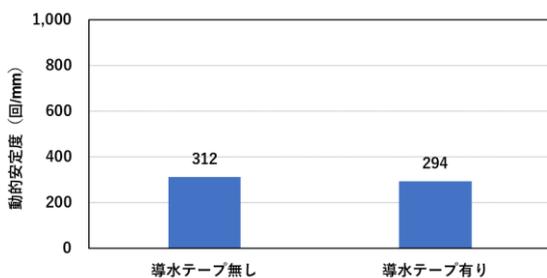


図-7 試験結果

3. 3 交通荷重による導水性への影響²⁾

導水テープを横断方向に設置すると、交通荷重による圧縮を要因とした導水性の低下が懸念される。そこで、交通荷重の有無による導水テープの導水性への影響について評価した。

導水試験の概要を図-8 に示す。導水テープは、毛細管現象とサイフォンの原理を利用して排水する。そこで、導水テープの取水側は平皿に入れた着色水に約 5cm 浸し、排水側は約 30cm 垂直に垂らして、浸水から初流出までの時間と時間ごとの導水量を測定した。

試験結果を図-9 に示す。走行試験を行った供試体と行わなかった供試体の流出開始までの時間は、ほぼ同程度であった。また、流出開始時刻から 30 分ごとの導水量もほぼ同程度であり、時間経過による変化はなかった。したがって、交通荷重による導水性への影響はないものと考えられる。

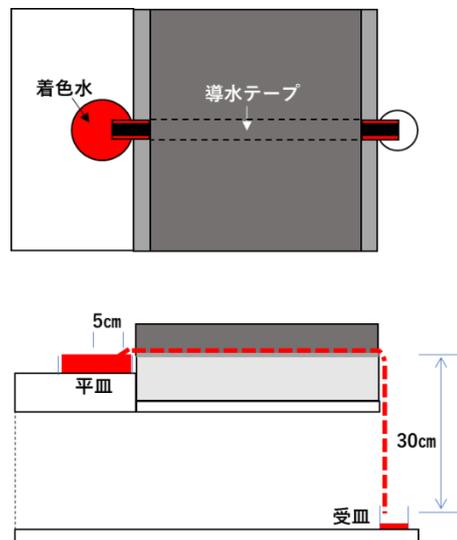


図-8 試験概要

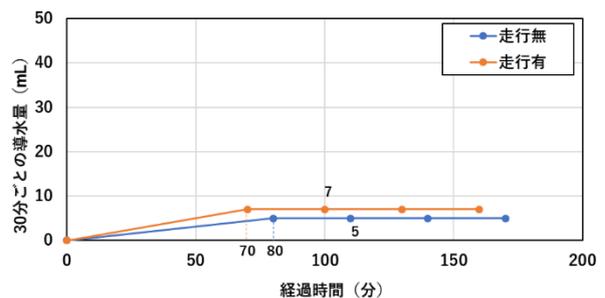


図-9 試験結果

3. 4 舗装の逆勾配による導水性への影響²⁾

舗装の逆勾配による導水テープの導水性への影響について評価した。導水試験の概要を図-10に示す。舗装の逆勾配を0%、5%、10%と変化させて導水試験を行った。その結果、逆勾配10%（垂直高さ3cm）の場合でも、導水量の値は、勾配0%の場合と同程度であった。したがって、舗装の逆勾配がある箇所においても導水テープは適用可能であると考えられる。

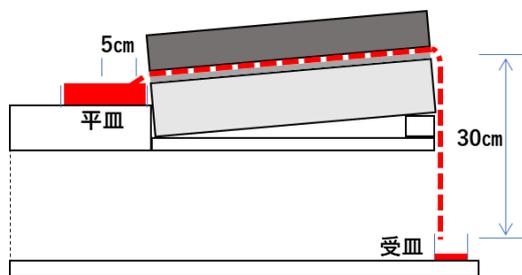


図-10 試験概要

4 施工事例

逆勾配となる箇所からの排水を目的として、導水テープを補修工事に適用した事例を紹介する。導水テープの設置状況を写真-1に示す。

本現場は、床版の入隅部の一部が、排水ますに向かって逆勾配となるため、排水ができずに滞水することが懸念された。そこで、当該箇所からの排水を意図して導水テープを設置している。設置作業は剥離紙を剥がしながら床版面に貼り付けるだけと容易であった。

5 おわりに

タフシャット導水テープは、不織布の毛細管現象とサイフォンの原理を利用して排水する、これまでにない排水装置である。これまでの対応箇所に加え、逆勾配となる箇所からの排水や床版の局所的な凹部などからの排水も可能となり、道路橋床版および橋面舗装の耐久性向上に寄与する。

本技術のさらなる普及をもって、道路橋床版および橋面舗装の長寿命化に貢献していきたい。



(貼り付け作業状況)



(貼り付け後の状況)

写真-1 導水テープの設置状況

【参考文献】

- 1) 複合構造レポート 15 複合構造物の防水・排水技術 -水の侵入形態と対策-, 土木学会, 2020.3
- 2) 新井崇史, 増戸洋幸, 塚本真也: テープ状の排水装置に関する一検討, 土木学会全国大会 第75回年次学術講演会, 2020.9
- 3) 道路橋床版防水便覧(平成19年度版), 日本道路協会

積雪寒冷地に適した高耐久常温アスファルト混合物の開発

世紀東急工業株式会社 技術本部 技術部 専任次長 小柴 朋広

1 はじめに

常温アスファルト混合物は、一般的に舗装路面の維持管理において、ポットホール等の補修に用いられている。しかしながら、湿潤路面では硬化不良を起こし、重交通路線では早期の飛散等が発生することから、近年、全天候型の高耐久常温アスファルト混合物を用いることが多くなっている。

本文は、水分硬化型常温アスファルト混合物の特性を活かし、さらに積雪寒冷地域の課題である低温時の性能を向上した全天候型高耐久常温アスファルト混合物の開発について記す。

2 検討の背景と目的

2.1 常温アスファルト混合物の位置付け

常温アスファルト混合物（以下、常温合材という）は、表-1に示すように、主に舗装の維持修繕の中で、舗装の機能的な維持を目的とするパッチングやポットホールの穴埋め等に用いられている。常温合材は施工が容易なため、特に緊急の一時的な補修に用いられることが多い。

表-1 アスファルト舗装の維持修繕

舗装の維持	予防的維持	舗装の修繕
パッチング (加熱合材、 常温合材)	シール材注入工法 表面処理工法 薄層オーバーレイ工法	打換え工法 切削オーバーレイ工法 オーバーレイ工法
シール材注入工法		

2.2 常温合材の種類

従来、常温合材はアスファルトを灯油等の石油由来の原料で軟化させることで、常温でもすぐに硬化せず持ち運び等が容易となることから、簡易的な舗装の補修等に用いられてきた。

しかしながら、求められる過酷な使用環境や耐久性等により、近年は表-2に示すように、雨天時でも施工できる全天候型の常温合材が開発されている。

表-2 常温合材の種類

種類	一般	全天候型	
			水分硬化型
特徴	安価 硬化が遅い	雨天時も施工可能 比較的硬化が速い	雨天時も施工可能 硬化が非常に速い
主な適用箇所	一般道・歩道等	重交通路線等	重交通路線等
主な軟化剤	石油系燃料等	酸化重合型油脂等	脂肪酸等

さらに、最近では水分による化学反応で硬化させるタイプ（以下、水分硬化型という）の常温合材も開発され、高速道路の緊急補修等にも使用されている。水分硬化型は雨天時も施工できるだけでなく、短時間で強度発現することや、比較的高い耐久性を有しているため、筆者らは水分硬化型の常温合材に着目し、以前から様々な配合検討を行ってきた。

2.3 本検討の目的

水分硬化型の常温合材は雨天時だけでなく水たまりになったポットホールにも適用できるた

め、雪解け後の北陸地方での舗装維持にも適していると考えられる。

ただし、冬期に緊急補修作業を行うことも多く、低温下ではアスファルトや脂肪酸の粘性が高まるため常温合材が硬くなり、作業性（敷均し易さや袋からの出し易さなど）が低下する。また、低温時は施工後の常温合材が脆性破壊しやすく、早期に割れや骨材飛散などが発生することがある。

そこで、筆者らは水分硬化型常温合材について、低温時の作業性および耐久性の向上を目的として配合等の検討を行った。

3 室内検討

3.1 バインダ配合の検討

低温時の作業性および耐久性を向上させるため、十数種類の混合脂肪酸について低温時の粘性等から最適と考えられるものを絞り込み、バインダ（アスファルトと脂肪酸等の混合物）配合の検討を行った。この結果、図-1に示すように筆者らが従来使用していた旧バインダに対し、新たに選定した新バインダ配合は、低温時の粘度が低いことが確認できた。

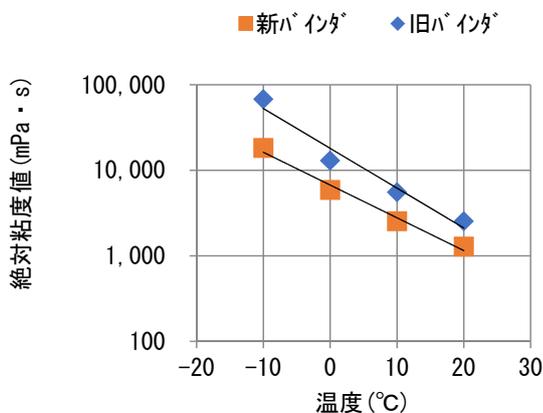


図-1 粘度試験結果

3.2 作業性の検証

新たなバインダ配合により、常温合材を製造し、作業性の評価を行った。なお、作業性の評価については、金属製のレーキを用いた作業性評価試験¹⁾により行った。作業性評価試験の流れを図-2、作業性評価結果を図-3、および試験状況を写真-1に示す。なお、今回試験温度は20°Cとして、専用型枠を用い、タンパで5回突き固め（片面）を行い、レーキ負荷を測定した。

この結果、従来配合に対し新たな配合は、検討した全ての温度域でレーキの負荷が低く、作業性が向上していることが確認できた。

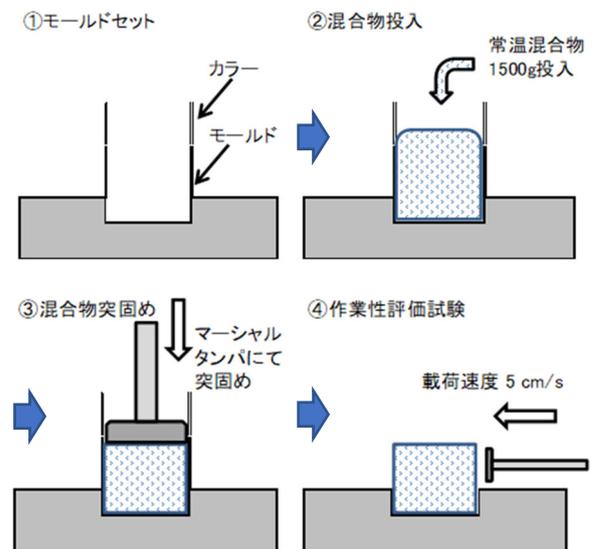


図-2 作業性評価試験

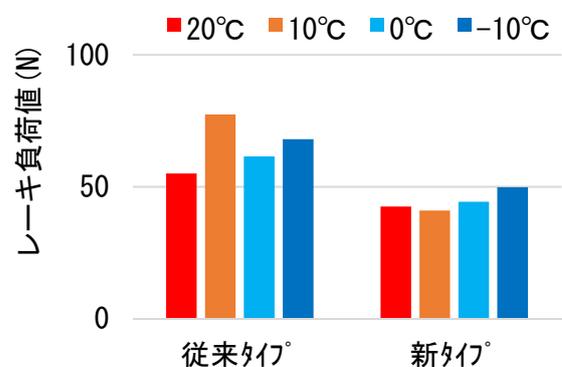


図-3 作業性評価結果



写真-1 作業性評価試験状況

3. 3 耐久性の検証

常温合材の耐久性評価として、カンタブロ試験による骨材飛散抵抗性の比較を行った。試験結果を図-4に示す。なお、試験温度は常温および冬期を想定し、20℃および-10℃とした。

この結果、新たなバインダ配合により、耐骨材飛散抵抗性が向上し、低温時においてもカンタブロ損失率を半減することができた。

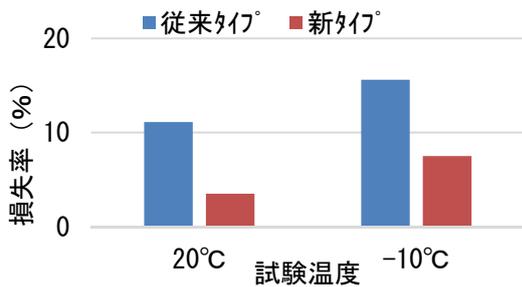


図-4 カンタブロ損失率比較

4 実道における適用性の検証

4. 1 試験施工概要

本常温合材（以下、開発品という）を用い、令和元年7月に福島県内の大型車交通量4,000台/日・方向以上の重交通路線において試験施工を実施した。

本試験施工では、一般的な全天候型常温合材と比較するため、左右のわだち両側ともにポットホールとなっている箇所を選定した。また、ポットホールの手前には大きなわだち掘れが生じていたため、開発品によるパッチングを行った。施工前の状況を写真-2に示す。



写真-2 施工前の状況

4. 2 施工状況

試験施工状況を写真-4～写真-7に示す。

開発品の施工前に既設の補修材を撤去し、充填、散水、転圧作業を行った。

なお、施工当日に降雨があり、ポットホールには水が溜まっていたが、問題なく施工できた。



写真-4 ポットホールへの充填



写真-5 散水状況



写真-6 転圧状況

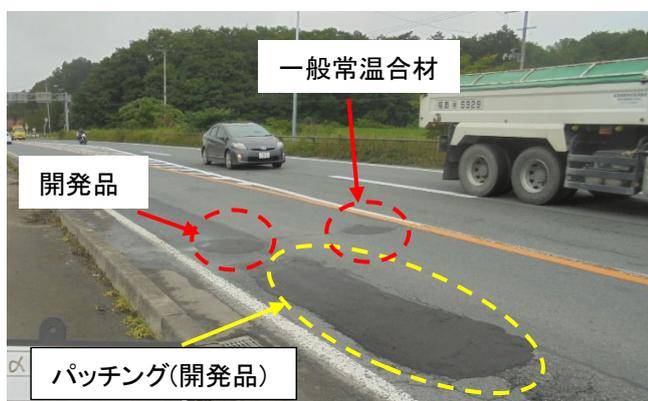


写真-7 施工完了

4. 3 試験施工結果

施工後の経過観察を行ったところ、一般的な全天候型常温合材は約3週間で破損し、再補修となったが、開発品は写真-8に示す通り、約2か月で再補修となった。再補修までの日数を図-5に示す。



写真-8 施工2か月後の路面状況

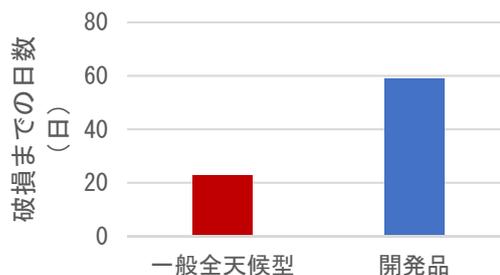


図-5 再補修(破損)までの日数

なお、パッチング箇所は筆者らの予想に反し、割れなども発生せず2か月以上残存し、その後は端部から徐々に飛散した。

5 まとめ

本検討結果より、水分硬化型常温合材について、材料選定や配合調整等により、低温時の作業性および耐久性を向上させることができた。

また、現場における作業性は良好であり、耐久性については一般的な全天候型常温合材に対し、破損が生じ再補修となるまで約3倍程度の日数であったため、重交通路線の補修頻度の低減等が期待できる。

本路線では維持作業の中で現在も継続して開発品を使用しているが、冬期においても良好な作業性および耐久性を確認している。

6 おわりに

本検討により、積雪寒冷地域に適した水分硬化型の常温合材を開発することができた。

今後もさらなる製品の改良を行い、より作業性および耐久性を向上させた常温合材を開発していきたい。

以上

<参考文献>

- 1) 源藤ほか：常温アスファルト混合物の作業性評価方法に関する一検討、第32回日本道路会議論文集、3132、2017.10

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 ○麻上 淳平
同 平戸 利明

国立研究開発法人土木研究所 舗装チーム 主任研究員 川上 篤史

1 はじめに

建設後50年を経過した道路橋床版の割合が加速度的に高くなることが予想されており、戦略的な維持管理・更新が求められている¹⁾。道路橋床版は主にコンクリート床版と鋼床版分けられるが、コンクリート床版で構築されるケースが多い。コンクリート床版は、滞水状況下であると疲労耐久性が著しく低下することが指摘されているため、床版の長寿命化を図るためには、水の制御が重要となる²⁾。

コンクリート床版の防水は、大別して、シートやコンパウンドなどの床版防水工法と床版防水性能を有する混合物がある。床版防水工法では、防水層が数ミリ程度と薄いため、床版のひび割れに追従しにくいこと、およびアスファルト混合物の舗装時に損傷しやすいことが課題として挙げられる。床版防水性能を有するグースアスファルト舗装（以下、グース）は、防水工の必要がなく、かつ防水層厚が厚いため、防水性能の信頼性が高いことから、近年コンクリート床版への適用が検討されている³⁾。しかしながら、特殊な施工機械が必要あることや、夏期のわだち掘れ抵抗性が低いといった課題は残されている。

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。本報告は、国立研究開発法人土木研究所との共同研究で行っている研究成果の一部^{4) 5)}である。

2 開発の目的

開発工法では、アスファルト混合物（以下、混合物）の転圧時に、床版と防水材、および混合物を現場にて一体化させ、防水性能と接着性能を確保す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熔融し、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。

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、基層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（SMA）を用いる場合もある⁶⁾。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。

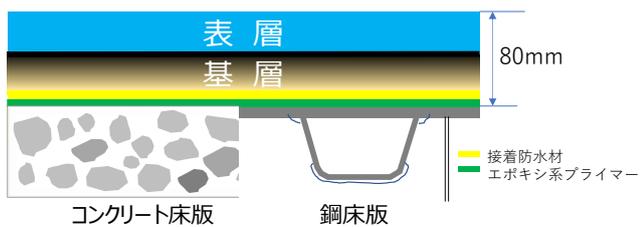


図-1 開発工法の舗装断面

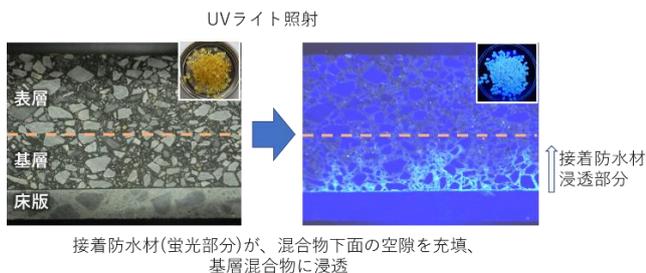


図-2 基層混合物に浸透した接着防水材の状況

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(特殊ポリマー改質アスファルト) 目的: グースアスファルト代替 高剛性SMA(特殊バイнда) 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

床版とアスファルト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の抑制を目的としエポキシ系プライマーを選定した。さらにこ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、基層混合物の種類、床版の種類あるいは床版の不陸の状態に応じて設定する。

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⁷⁾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 3.0 kg/m² としたときの防水層としての基本照査結果を示す。

表-2 防水層の基本照査試験結果

試験項目	試験	鋼床版	コンクリート	品質規格
	温度			
防水性試験 II	23℃	—	漏水無	漏水がないこと
ひび割れ追従性 II	-10℃	—	0.4 mm	0.3 mm以上
引張接着試験	-10℃	1.6 MPa	1.8 MPa	1.2 MPa以上
	23℃	1.0 MPa	1.3 MPa	0.6 MPa以上
せん断試験	-10℃	1.7 MPa	3.4 MPa	0.8 MPa以上
		1.3 mm	1.9 mm	0.5 mm以上
	23℃	1.21 MPa	0.89 MPa	0.15 MPa以上
		1.3 mm	2.3 mm	1.0 mm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	23℃	3% NaCl水溶液	異常なし	異常がないこと
		飽和Ca(OH) ₂ 水溶液	異常なし	

4.2 アスファルト混合物について

表-3 に使用するバイнда及びそのバイнда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、ポリマー改質アスファルトⅡ型と比較し、疲労抵抗性が100倍以上となり、かつ低温において、グースと同程度の曲げ破断ひずみを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(以下、改質Ⅲ型-W)と同等以上である。

表-3 バイнда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нда性状	軟化点	℃	70.0以上
	伸度(15℃)	cm	30以上
	タフネス(25℃)	N・m	16以上
	粗骨材の剥離面積率	%	5以下
	フラス脆可点	℃	-12以下
	針入度(25℃)	1/10mm	40以上
混合物性状	動的安定度(60℃)	回/mm	3000回以上
	曲げ破断ひずみ(-10℃)	×10 ⁻³	6.0以上



写真-1 高たわみ性密粒度



写真-3 接着防水材上の舗設状況

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、研掃工を実施した床版面に施工する。その後、防錆と接着防水材の付着を高める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工する(写真-2 参照)。



(黄色部分が塗工後の接着防水材)

写真-2 接着防水材の塗工状況

(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のアスファルト混合物を舗設する。接着防水材は 60℃以下では粘着性を示さないため、多量に塗布しても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。

5 土木研究所構内での試験施工

5. 1 施工概要

開発技術について、実機における施工性や耐久性あるいは端部処理方法について検討するため試験施工を行った。表-4 に施工概要、図-3 に舗装構成を示す。床版は、国立研究開発法人土木研究所構内の舗装走行実験場に構築されているコンクリート版を床版と見立てて、その上に基層 40mm、表層 60mm を舗装した。表層の厚さは、他工区との調整のため、厚くなっている。舗装端部は、水上側に縁石、水下側に側溝を設置した。側溝と舗装の境界部には舗装下部から水が浸水したことが分かるようにポーラスアスファルト混合物を設置した。

表-4 試験施工の概要

項目	内容
施工日	2021年8月19-20日
施工場所	国立研究開発法人 土木研究所構内 舗装走行実験場
床版の種類	コンクリート版
出荷混合物	密粒度アスファルト混合物(13) 改質Ⅲ型-w
施工規模	13m×5.1m、舗装厚さ基層40mm、表層60mm

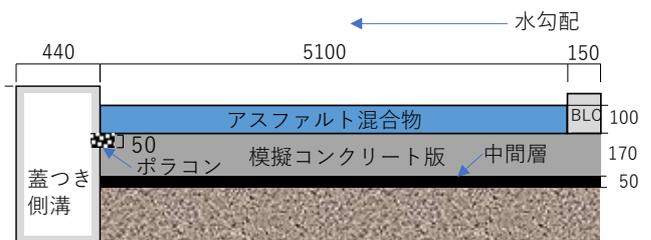


図-3 舗装構成

5. 2 試験施工の状況

施工基盤を研掃し、その後プライマーと接着防水材を塗工することで防水層を構築した。勾配が 6～8%あったが、接着防水材の塗工温度を調整することで、所定の厚さを確保した。その後、基層混合物（密粒度（13）、改質Ⅲ型-W）を舗装した。端部防水は床版面と同様な構成とし、基層端部にはL型成形目地、表層にはI型成形目地を設置した。写真-4に防水層から基層までの施工状況を示す。



写真-4 防水層から基層までの施工状況

5. 3 走行試験状況

表層完成後、調査前試験として、縦横断のプロファイルを計測した後、荷重車（前輪軸重 7.05 t、後前輪軸重 13.07 t、後後輪軸重 12.97 t、総重量 33.09 t）による走行試験を実施している。令和 4 年度末までに予定としている走行回数は 75 万輪（49 kN 換算）である。

6 コスト比較

図-4 にグースの材料単価を基準した各工法の単価比率を示す。開発工法で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。

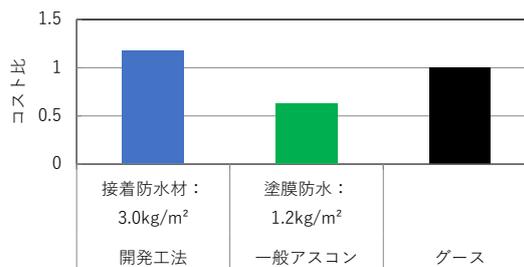


図-4 コストの比較

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。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た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、既設道路橋床版の延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) 国土交通省：国土交通白書 2020、
<https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/r01/hakusho/r02/html/n1212000.html>、2020
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 平戸他：グースアスファルト代替工法の開発、防水ジャーナル、pp.92-95、2021.6
- 5) 平戸他：植物由来の接着防水材を用いたグースアスファルト代替工法の開発、日本道路会議、2019
- 6) 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
- 7) 社団法人日本道路協会：道路橋床版防水便覧、pp.35、2007.3

ICT 活用による除雪トラック作業装置自動化の取り組みについて

北陸技術事務所 施工調査・技術活用課長 前原 正之
 施工調査・技術活用課専門官 ○武石 清一

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台の除雪機械を配置し、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、経験と熟練した技術を必要とするが、昨今、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、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情報化施工技術の検討に取り組んでいる。

本稿では、除雪トラック作業装置自動化の検討における2020年度までの取り組みについて報告するものである。

2 除雪トラック作業装置自動化の検討

2.1 作業装置自動化の検討方針

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」で構成されている。（図-1）

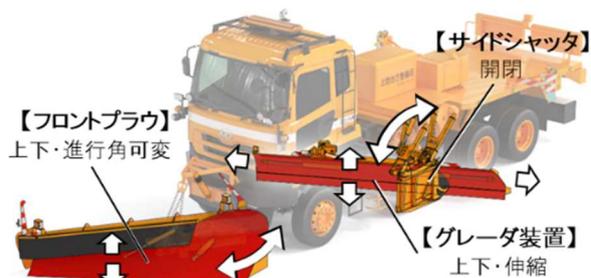


図-1 除雪トラック作業装置

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が、熟練した技能が求められる。（写真-1）



写真-1 除雪トラック作業装置操作パネル

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）の操作（動作）を自動化することで、オペレータは、車両の運転に専念できることによる作業の安全性向上と作業装置操作の負担軽減が期待でき、担い手の確保にも寄与するものと考えている。

表-1 自動化開発計画

作業装置名	動作内容	実施／開発計画		
		2019年	2020年	2021年以降
フロントプラウ	進行角可変		○	○
	上 下			○
グレーダ装置	左右伸縮		○	○
	上 下			○
サイドシャッタ	開 閉	○	○	○

2. 2 制御方法

作業装置を自動化するための制御方法は、モバイル・マッピング・システム（以下「MMS」という）で取得した3次元点群データから、自動化に必要な地物等の情報を抽出したベクタデータを生成し、これにオペレータの操作位置情報（実操作での操作記録）を反映させた①除雪作業用地図データを作成し、②GNSS受信機（準天頂衛星システムみちびき対応型）を組み合わせることにより、作業装置の動作を自動化することとした。（図-2）

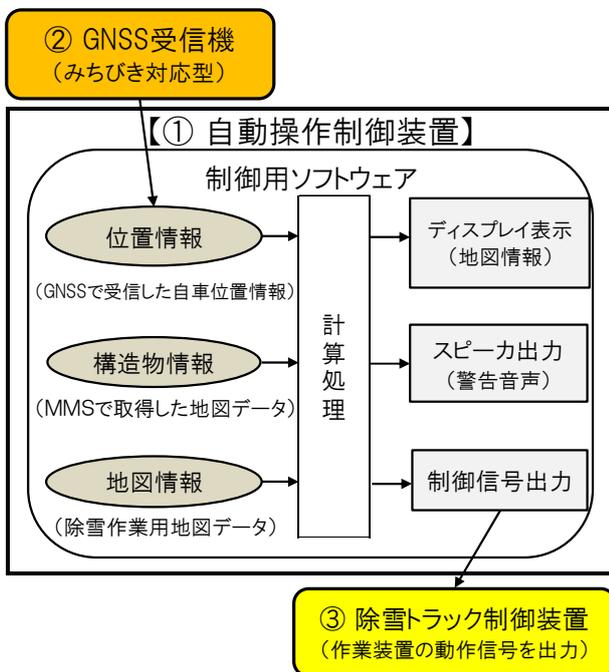


図-2 制御ユニット概念図

自動化に用いる機器としては、①作業用地図データをインストールした「自動操作制御装置」、②GNSS受信機（準天頂衛星システムみちびき対応型）、③各作業装置へ動作信号を出力する「除雪トラック制御装置」で構成し、自車位置と地図上の動作位置情報が一致した際に動作信号を出力する。

また、今回の試作機では自動操作制御装置の表示機能として、衛星信号の受信状態、作業装置自動制御のオン・オフ、作業装置の状態と縁石等の地物情報と作業装置の動作位置を線画で模式

化して表示し、作業装置の状態をオペレータが認識できるようにしたほか、作業装置の動作位置接近に合わせ、ブザー音で動作を予告する機能を搭載した。（写真-2）なお、作業装置の状態表示としては、フロントプラウの進行角の角度、グレーダ装置の伸縮量とした。



写真-2 自動操作制御装置

2. 3 除雪作業用地図データの作成

前述の除雪作業用地図データに反映させる作業装置の操作情報は、フロントプラウの進行角変更、グレーダ装置の伸縮、サイドシャッタ開閉のそれぞれについて登録を行った。（図-3）

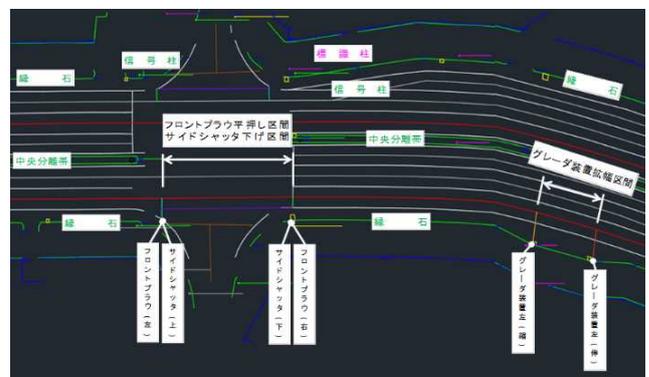


図-3 除雪作業用地図データの例

3 フロントプラウ、グレーダ装置自動化検討

3. 1 制御方法の検討

2020年度においてはフロントプラウの進行角を変化させる動作及びグレーダ装置を伸縮させる動作の自動制御に着手した。

フロントプラウ及びグレーダ装置の自動化に向けては、それぞれの作業装置について操作し

ている場所や操作の目的を、ドライブレコーダーやデータロガーにより作業実態を記録し整理した。

フロントプラウの操作は、交差点、バス駐車帯、沿道施設への出入り口など、雪を残せない箇所ではフロントプラウの向きをまっすぐにして、雪を前送りにする場合に行われている。

グレーダ装置では、車線数の増減や導流部(ゼブラゾーン)、バス駐車帯など、道路の幅が変化する箇所での操作が多く行われていた。

これらの操作実態から、フロントプラウについては、雪を残せない箇所において雪を前送りする一連の動作の自動化を、また、グレーダ装置については、部分的に道路幅が広がる箇所において一時的にグレーダ装置を外側に張り出し、通過後には縮小させる一連の動作の自動化をそれぞれ取り組むこととした。(図-4)

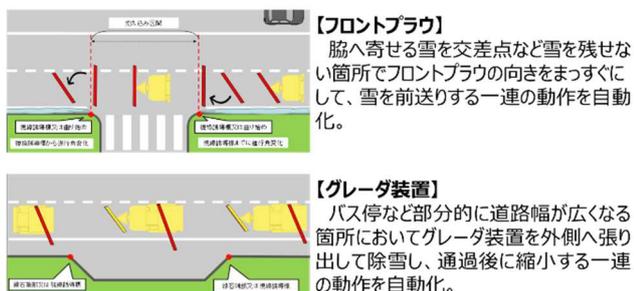


図-4 作業装置の動作イメージ

3. 2 除雪トラック試験機の改良

フロントプラウ及びグレーダ装置の自動化を図るためには、それぞれの作業装置の状態を把握する必要があるため、作業装置を動作させる油圧シリンダの伸縮量を計測できるように、ストロークセンサー付き油圧シリンダに改良を行った。これにより、フロントプラウでは、車両本体の進行方向に対しての角度、また、グレーダ装置については、左右それぞれのブレードの伸縮量を把握できるようにした。なお、フロントプラウの進行角は、35°、25°、15°、0°(水平)、-

15°の5段階で設定、また、グレーダ装置は左右とも最大570mmの伸縮を把握できるものとした。(図-5)



図-5 除雪トラック試験機改良箇所

3. 3 自動操作制御装置の改良

前年度までに試作した自動操作制御装置について、フロントプラウ及びグレーダ装置を自動化するための改良を行った。

基本的な制御方法はサイドシャッタの自動化と同様に、作業用地図データ上に設定した動作地点を目標として、作業装置に所定の動作を行わせるものとしている。また、除雪トラックの運転室に設置している自動操作制御装置のモニター表示についても改良を加え、フロントプラウ及びグレーダ装置の状態と動作状況をオペレータに知らせる内容を追加した。(図-6)



図-6 自動操作制御装置の表示画面例

3. 4 現道上での動作試験

除雪トラック本体及び制御プログラムの改良後、現道上での動作試験を実施した。

現道上での試験は、一般国道 17 号及び一般国道 49 号に試験区間を設定し、動作確認を実施した。(写真-4)



写真-4 国道 17 号での現道試験の実施状況

動作試験の方法は、道路上にある目標物(交差点手前の停止線やデリニュータポールなど)と一致する位置までに、作業装置が所定の動作を完了させるよう設定し、その動作状況をドライブレコーダーに記録した画像から、設定どおりに動作しているかどうかを検証した。

目標とした動作完了位置に対し、概ね良好に動作することを確認できたが、積雪が無い時期に行った除雪ステーションでの構内試験では見られなかった目標地点とのずれが発生した。

目標地点とのずれが生じた原因は、除雪トラックの走行(作業)速度の変化、作業装置の動力である油圧出力の変化によるものと推定された。油圧の変化はエンジン回転数の変化に起因するもので、これらは除雪トラック特有の機構であり、作業装置の動作特性に応じた制御プログラムの改良を検討することとしている。

また、国道 17 号の試験区間において、GNSS 受信機から現在位置とは大きくかけ離れた座標値が出力されるという異常が発生した。この異常値の出力は受信機固有の特性もあり、完全に無くすことはできないため、自動操作制御装置に座標の異常値を排除するフィルタリングプログラムを追加した。その後、誤動作は発現せず、設定どおりに作業装置が動作することを確認した。

4 除雪作業における課題への対応状況

フロントプラウ及びグレーダ装置についても、熟練オペレータが行っている作業装置の操作情報を GNSS により取得した自車位置情報に基づき、道路上で再現できることが確認された。

現状、車両本体の運転操作と複数のレバー及びスイッチを同時に操作しながら行っている除雪作業に対して、作業装置の動作を自動化することで、オペレータは車両本体の運転操作に専念することができるため、安全性の向上につながり、除雪作業の新規入場者であっても一定レベルの安全作業が可能になると考えている。

5 今後の計画

2020 年度までに、フロントプラウの進行角可変動作、グレーダ装置の伸縮動作、サイドシャッタの開閉動作の自動化に取り組んできた。

2021 年度においては、フロントプラウ及びグレーダ装置の、路面の構造物(橋梁ジョイント、マンホール等)への接触を回避する上下動作や、トンネル、同門、消融雪区間等、除雪の必要が無い区間で行われている、上下(一時格納)動作について自動化の検討を行う予定としている。(図-7) また、上空遮蔽区間等の GNSS 不感帯における、自車位置測位を補完する技術について検討を行い、作業装置自動化の取り組みを進めていく計画である。

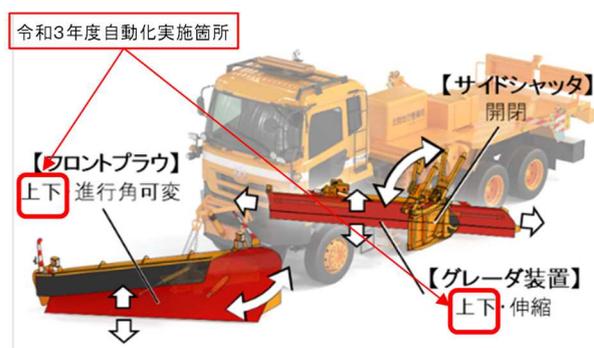


図-7 2021 年度自動化検討箇所

ICT 無人バックホウによる大型ブロック積み砂防堰堤の 施工に関する実証実験について

○ 神通川水系砂防事務所 工務課 工務係 漢野 正典
神通川水系砂防事務所 工務課 工務係長 南 憲長
神通川水系砂防事務所 工務課長 清水 俊美
神通川水系砂防事務所 副所長 中田 圭一

1 はじめに

神通川水系砂防事務所は岐阜・富山にまたがる神通川流域の内、神通川右支川高原川の新猪谷ダム上流で砂防事業を実施している。高原川の上流部には活火山である焼岳が位置しており、1915年、1926年、1962年等に水蒸気爆発を発生させている。特に1962年は噴石によって負傷者2名を出す災害を発生させ、加えて近年では群発地震や1995年中ノ湯水蒸気爆発で死者4名を出すなど活発な活動が続いている。こうした焼岳の火山噴火に伴う土砂移動現象による災害から貴重な生命、財産を守り、地域住民が安心して暮らせるよう、火山活動の推移にあわせ各場面で効果的な減災対策を実施することを基本方針として平成23年度に焼岳火山噴火緊急減災対策砂防計画が策定された。この中で、緊急ハード対策の一環として大型ブロック積み砂防堰堤が計画されているところである。

大型ブロック積み砂防堰堤の施工にあたっては、火山活動の急激な変化に対応できるよう、安全かつ迅速な作業が求められている。今回の実証実験では「チャレンジ砂防プロジェクト」の一環として、既存の遠隔操縦による無人化施工技術とICT建設機械（マシンガイダンス：以下、MGとする）を組み合わせた機械を使用し、工事施工中の大型ブロック積み砂防堰堤で大型ブロックを据え付ける作業の効率性や安全性の確認、今

後の課題等について検証し、更なる技術開発に繋げることを目的として行った。本実証実験は過去にも行われているため、本論文では前回の実証実験での課題点を踏まえ、上記の実証実験結果と今後の課題等について報告する。

2 実証実験内容

本章では、今回の実証実験の内容について説明する。また、同様の実証実験が過去に1度行われており、今回で2回目となる。本節では今回の実証実験内容と合わせて1回目の実証実験で判明した課題に対する対応策についても説明する。

2.1 実証実験概要

本実験は実際の工事現場で行われた。実験場所は岐阜県高山市奥飛騨温泉郷中尾地先足洗谷にある深谷砂防堰堤（図-1参照）で、今回の工事にて無人化ICT建機で据付した大型ブロックの数量は238個である。今回使用された大型ブロックは4t標準型のビーハイブである。

次に、今回使用した無人化ICT建機とそれを用いた施工方法について説明する。従来のブロック据付作業は作業員が建機に搭乗した状態で操縦することで施工していたが、今回は作業員が建機に搭乗すること無く遠隔で操縦することを可能にするためにバックホウ（以下、BHとす

る。)にMGとカメラを搭載した。図-3が今回使用した無人BHだが、この無人BHに搭載されているMGは「Trimble Earthworks」と呼ばれる2Dマシンガイダンス対応のリモートコントロールキットを採用している。また、無人BHの先端部分には4t標準型ビーハイブを吊り上げるための把持装置(図-2における青色の装置)を装着することによって、遠隔操縦による大型ブロックの据付作業が可能となる。

まず、把持装置の先端をビーハイブの中央にある穴(把持ホール)に入れる。次に、把持装置の先端を内側から開くように動かすことでビーハイブを固定し持ち上げる(図-3参照)。その後は所定の位置まで移動し据え付ける。これにより遠隔操縦による大型ブロックの据付作業が可能となる。



図(写真) - 1 工事施工箇所とその周辺地域



図(写真) - 2 無人化ICT建機と把持装置



図(写真) - 3 把持装置によるブロックの吊り上げ状況

施工に当たっては、オペレーターが現場から少し離れた操作室でラジコン操作により遠隔操縦する。操縦中は無人BHに設置されているカメラの映像やMGの画面を複数のモニターに映し、目視で確認しながら行う。

2. 2 前回の実証実験で判明した課題に対する対応策

次に、過去に行われた実証実験で判明した課題に対する対応策について説明する。前回は工事現場ではなく当事務所所有のブロック製作ヤード(岐阜県高山市奥飛騨温泉郷柏当地先)で同様の実験が行われたが、実験の結果、以下の建機操作上の課題が判明した。

- a) MGの画面が視覚的に分かりづらい。
- b) 回転方向のガイダンスが無い。
- c) ブロックの把持ホールの位置がMGで把握できない

そこで、今回は次の改良を行い、より効率的な施工となる様に工夫した。

2. 2. 1 MGの画面が視覚的に分かりづらい 本実験では、MGの画面でも視覚的にわかりや

すくするために、通信形態とMG機種を変更した。まず、通信装置について説明する。無人化 ICT 建機に測量用のプリズムを設置させ、それをトータルステーションに自動追尾させることで建機が今どこにいるのか把握が可能となった(図-4)。また、MG 機種を変更したことによりモニターを大型化することができ、より大きな画面で操縦することが可能となった(図-5)。



図(写真) - 4 建機の位置を把握する流れ

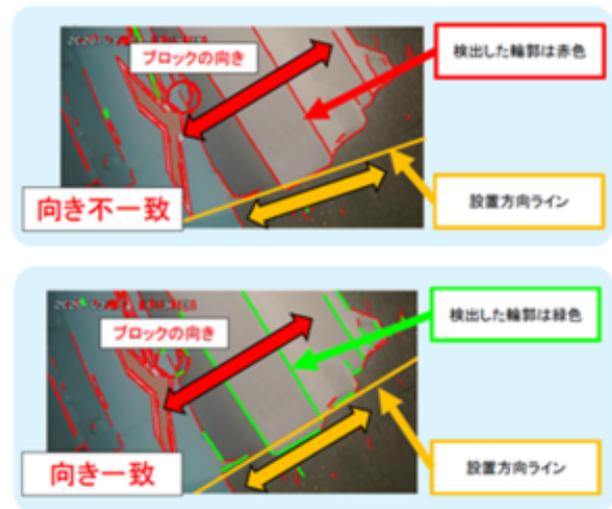


図(写真) - 5 MG のモニター画面

2. 2. 2 回転方向のガイダンスが無い

ブロック設置には回転する動きが重要となるが、前は高さ方向のガイダンスしかなく、回転方向は目視で苦労して行った。そこで本実証実験では把持部を映すカメラ映像に画像処理ソフトを新たに用いた。画像処理ソフトにより、ブロックの輪郭に色覚情報が提供される。設置方向ラインはオレンジ色で表示されており、この設置方向ラインとブロックを置く方向が一致した場合だと緑色に表示され、逆に方向が一致して

いないと赤色に表示されることでオペレーターにも視覚的にわかりやすく明示することが可能となった(図-6 参照)。



図(写真) - 6 画像処理ソフトに表示される色とその役割

2. 2. 3 ブロックの把持ホールの位置が把握できない

通常のカメラだと把持ホールの位置が画面外になり見えない。そのため、図-7 のように把持部にカメラを設置することで把持ホールの位置をより見やすくした。



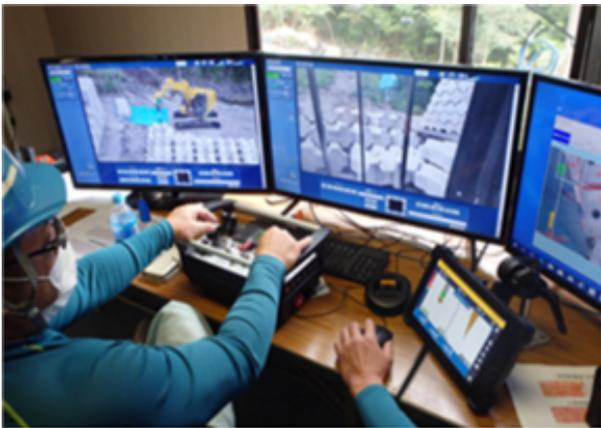
図(写真) - 7 把持装置に設置されているカメラ

このように、前回の実証実験における課題を対策した上で今回の実証実験に臨んだ。図-8, 9 は実証実験中の現場の状況写真と操作室の状況

写真である。



図（写真）－ 8 無人化 ICT 建機によるブロック据付作業の様子



図（写真）－ 9 把持装置に設置されているカメラ

3. 実証実験結果と今後の課題

3. 1 実証実験結果

本実証実験の結果、以下のとおりとなった。

- ・前回の実証実験では、1個あたり約15～16分であるのに対し、今回の実証実験では1個あたり約3～4分と10分以上の時間短縮となり、効率性が格段に向上した。ただ、従来の有人施工だと1個あたり1～2分であることから、施工効率は向上したものの、従来の施工効率にはまだまだ至らないことが分かった。
- ・前回の実証実験では現場付近で作業員を1名配置し、肉眼で確認が必要だったが、画像処理ソフトの導入によって設置精度が上がったため、

現場付近による肉眼での確認が不要となり、安全性がより高まった。

特に、画像処理ソフトの導入においては、肉眼での確認が不要となり、省人化による生産性の向上にも役立つことが分かった。

3. 2 今後の課題

本実証実験では前回の実証実験と比べて安全性及び効率性が上がる結果となったが、本実験においても様々な課題が抽出された。

- ・把持装置とブロックの距離感が分かりづらい。
- ・BHの可動領域上、同じ高さで大型ブロックの据付ができる段数は3段目までだった。そのため、4段目以降になると本施工前に作業ヤード内の地盤を盛土する必要がある。

4. 考察

今回の実証実験は、無人化 ICT 建機を用いて実際の工事現場でブロック積み砂防堰堤を施工するという国内初の試みであることから、前章のとおり様々な課題が抽出された。特に、4段目以降の大型ブロックを据付する際は作業ヤード内の地盤を盛土しなければならないため、実際に大型ブロック積み砂防堰堤を無人化 ICT 建機で施工する際にかかる時間は、今回の実証実験で確認された設置時間よりも更に多くの時間を要すると思われ、更なる改善・工夫が必要とされる。その一方で、現場内の転石や狭隘な谷地形などの環境下で施工を行っている砂防の現場では、道路や河川などの他の分野と比べて ICT 建機の使用等が困難なことから i-Construction の普及が進んでいないため、本実験のような技術開発の取組は今後の砂防工事において重要な礎になると感じた。今回の実証実験を糧として今後も更なる技術開発を目的に無人化施工技術の高度化を進めていきたい。

砂防 CIM の取組

佐藤工業株式会社 技術センター ICT 推進部 京免 継彦

1 まえがき

信濃川水系大源太川第 1 号砂防堰堤は、完成から 80 年以上経過して堤体内部の空洞や漏水が著しく老朽化が進んでいるため、補強対策として既設堰堤の上流面に天端幅 3 m のコンクリートを腹付けすることにより補強し、また堰堤内部の空洞を充填するカーテングラウチングを施工した。

国土交通省が提唱する『CIM 活用による業務改善や品質向上』を目的として、当工事は①コンクリート堰堤工打設計画のモデル化、施工計画での活用、打設データ可視化②グラウト施工データの可視化③トンネル施工データの可視化を実施した。

2 工事説明

2.1 工事概要

工事件名：大源太川第 1 号砂防堰堤補強工事

発注者：国土交通省北陸地方整備局

施工者：佐藤工業株式会社

主要工程：砂防土工・コンクリート堰堤工

仮排水トンネル工・仮栈橋工

仮締切工・コンクリート堰堤補強工

2.2 歴史的価値

アーチ形状練り石積からなる景観、戦前に建築され今なお現存する土木施設としての文化的価値が評価され、平成 15 年に「登録有形文化財」に登録され、平成 23 年には土木学会による「選奨土木遺産」に認定されるなど、歴史的・文化的価値の高い土木構造物として内外に認められて

いる。



図-1 着工時の大源太第 1 号砂防堰堤

3 堤体打設 CIM

コンクリート堤体工として、打設ブロック毎の 3 次元モデルを作成、日々の打設進捗に合わせて打設データを紐づけた。「打設前検査表」「打設形状スライス図」「コンクリート打設記録」「コンクリート強度試験結果」「施工状況写真」を各ブロックに紐づけている。各ブロックの形状も「スライス図」に基づき、実際の形状としている。最終的に「TREND-CORE (福井コンピュータ)」を利用し、データの一元化を実施した。CIM の作成については、各打設ブロックモデルは「スライス図」を基に「Sketch UP」で作成している。各打設データの紐付けは「TRE

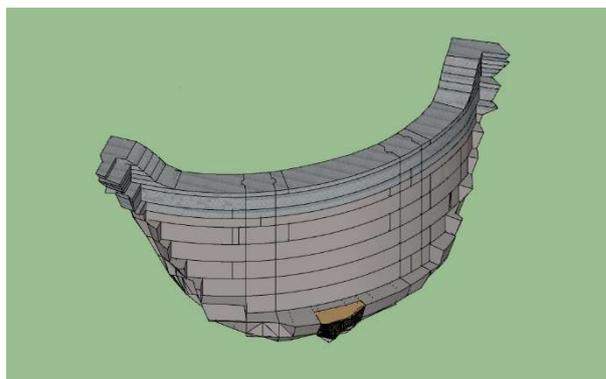


図-2 コンクリート打設ブロックモデル

ND-CORE」を使用した。

作成した 3 次元データおよび紐付けした各種データについて、現場の職員は無料の「TRENND-COREビューア」を用いることで迅速にデータの閲覧・利用をすることができた。これらを用いることで打設数量の事前把握や、作業所での打設記録作成を省力化できた。

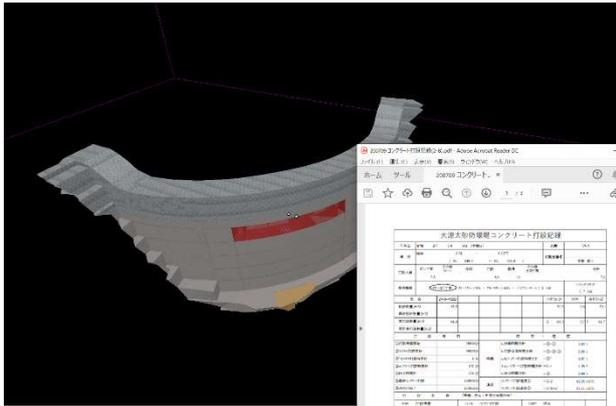


図-3 各データの紐づけ状況

4 グラウチングCIM

4.1 CIMの概要

通常グラウト施工データは、2次元図として管理している。今回、同データを3次元データとして可視化した。モデルに紐づけるデータは「ルジオン値」「モルタル注入量」「ボーリングコア」とした。ボーリング孔モデルは、設計図、注入実施資料を基に「SketchUP」で作成している。既設躯体モデルと合成し「ルジオン値」「モルタル注入データ」の紐付けは「Navisworks」を使用した。作成した3次元データおよび紐付けした各種データについて、現場の職員は無料のアプリケーションである「Navisworksビューア」を用いることで迅速にデータの閲覧・利用をすることができた。

4.2 グラウチングの計画

既設堰堤内部にA列孔、B列孔へグラウチングを行った。施工順序はB列側からパイロット

孔→1次孔→2次孔→3次孔→追加4次孔の施工を行いA列側も同様に行った。

ルジオン値を10Lu以下、非超過確率85%以上を目標とした。

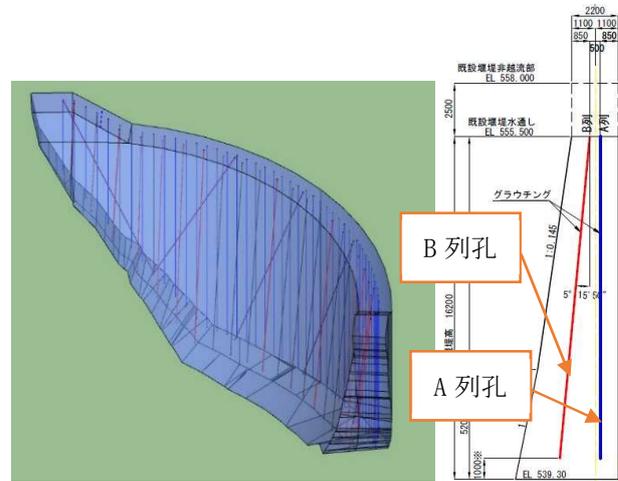


図-4 既設堰堤ギライティング計画

4.3 カーテングラウチングの結果

パイロット孔では100Lu超が見られたが1次孔、2次孔で100Lu以下となり、3次孔で全て50Lu以下、目標の10Luを超えるステージが多い為4次孔を施工し10Lu以下となった。

チェック孔のボアホールカメラ画像と採取コア状況によって充填率85%以上達成が確認された(表-1)。

表-1 空洞充填率算定結果

	空洞面積=A (cm ²)	セメント=B (cm ²)	充填率=B/(A+B) (%)
A1-CH-1	27.9	440.9	94.0%
A1-CH-2	116.6	801.3	87.3%
A2-CH-3	22.5	200.1	89.9%
A2-CH-5	36.2	1,081.7	96.8%
A3-CH-6	89.6	536.3	85.7%
A3-CH-7	133.5	1,002.1	88.2%
合計	426.3	4,062.4	90.5%

4.4 グラウチングの新しい表現

可視化の表現方法として「半球ルジオン+半球注入量」方式と「色ルジオン+球の大きさ注入量」方式の2種類と球以外のモデルを使用したものを作成して表現方法の検討を行った。

グラウチング結果のルジオン値、単位セメン

ト注入量は通常(図-4、5)の様な2次元で管理しているが、「Autocad Civil 3D」及び「SketchUP」ソフトを使用して既設堰堤3次元モデル、ボーリングライン、ルジオン値及び単位セメント注入量の3次元分布図の作成を行った(図-7)。

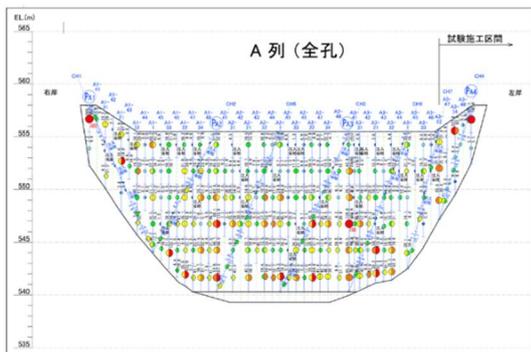


図-5 従来の分布図

凡 例	
ルジオン値(Lu)	単位セメント注入量(kg/m)
Lu ≤ 5	Ce ≤ 5
5 < Lu ≤ 10	5 < Ce ≤ 10
10 < Lu ≤ 20	10 < Ce ≤ 20
20 < Lu ≤ 50	20 < Ce ≤ 50
50 < Lu ≤ 100	50 < Ce ≤ 100
100 < Lu	100 < Ce

ルジオン値	⊕	単位セメント注入量
-------	---	-----------

図-6 従来の表現方法

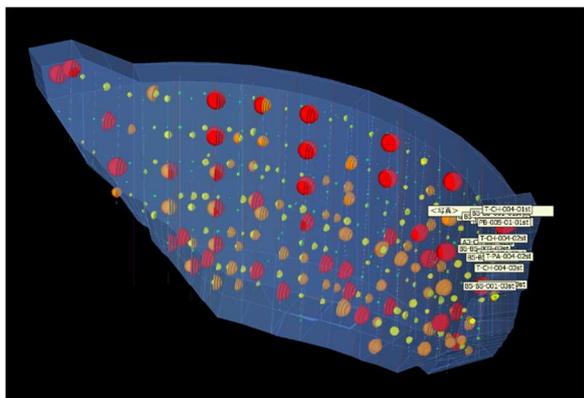


図-7 グラウト結果の3次元分布図

作成した3次元分布図に、Navisworksソフトを使用して、球体の大きさでボリューム表現を行い、球体を画面上で選択することでルジオン値や単位セメント注入量を表示できるよ

うにした。画面上の各記号番号をクリックする事で基礎処理工事日報、ボーリングコア写真などを画面上に表示させる事が出来る。

ルジオン値、単位セメント注入量を3次元化したことにより、3D回転時にルジオン値と単位セメント注入量の見分けがつかなくなる為、単位セメント注入量側の球体に片側縞模様を入れて種類分けを行った。

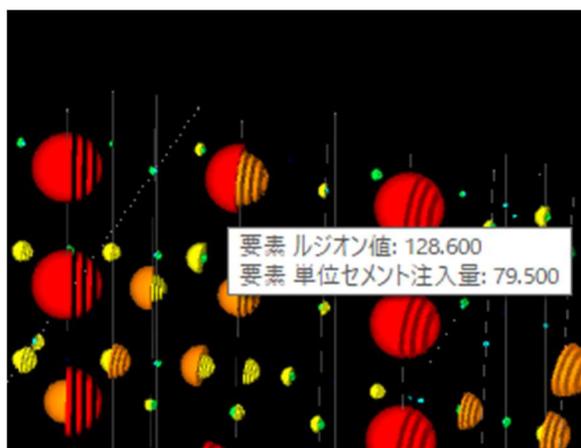


図-8 球体片側に縞模様を適用した図

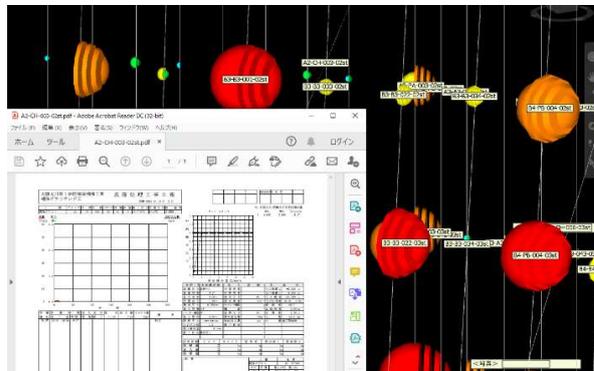


図-9 基礎処理工事日報との紐付け

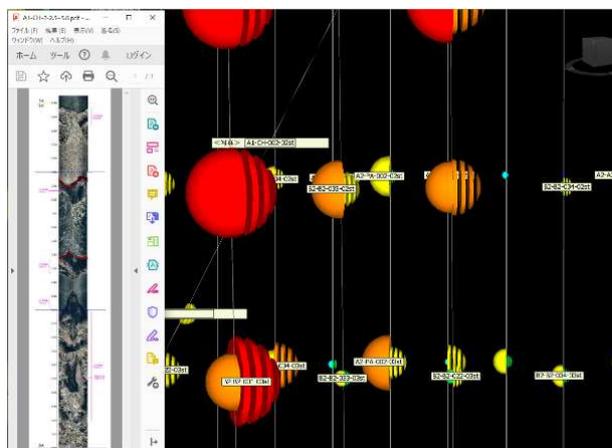


図-10 ボーリングコアとの紐付け

5 仮排水路C I M

弊社では、G I Sシステムを利用したトンネル施工管理システムを開発し、トンネル施工現場で活用している。当工事の仮排水路トンネルデータも同ソフトを利用した。また、今回の新規試みとして、新設既設の構造物モデル、点群データをG I S上で表現する試みも実施している。一元化するデータとしては「切羽観察記録」「ロックボルト打設記録」「覆工コンクリート関連データ」を紐づけている。

C I M作成においては、トンネル覆工モデル、飲み口部モデルは「SketchUP」で作成している。既設点群は令和2年4月計測データを利用している。トンネル線形との合成、施工データの紐付けは、佐藤工業開発の「トンネル施工管理システム」で実施している。

現場の職員は、作成した3次元データを「トンネル施工管理ソフト(佐藤工業)」にて閲覧でき、迅速にデータを閲覧・利用することができた。

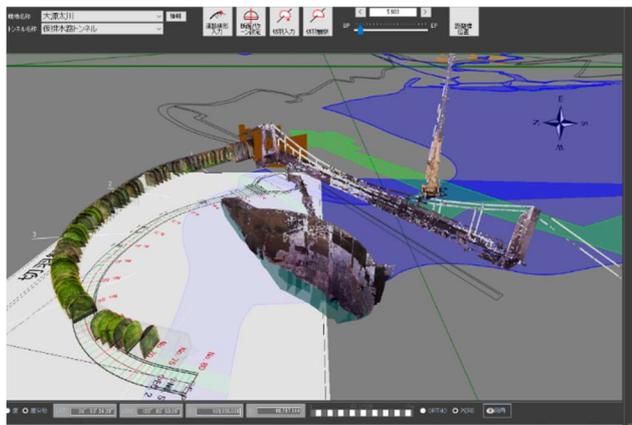


図-1.1 トンネル施工管理ソフトでの俯瞰図

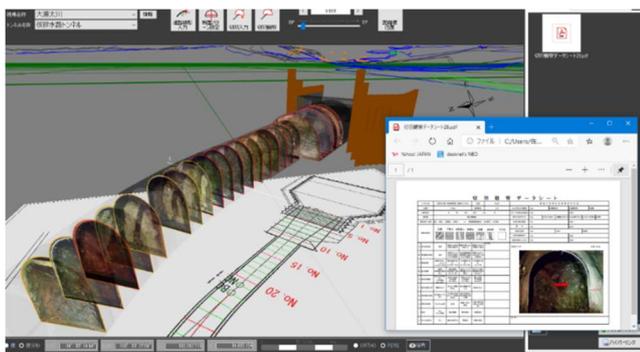


図-1.2 施工データ紐づけ(切羽観察記録)

6 結び

①コンクリート堰堤工打設計画のモデル化、施工計画での活用、打設データ可視化②グラウト施工データの可視化③トンネル施工データの可視化と大きく3種類の取り組みを行った。コンクリート堰堤工において打設モデルを活用した他、これら3次元モデルに施工データを可視化することにより精度の高い施工管理を実現できた。

特に、カーテングラウチング結果を3次元で様々な方向から表示することでグラウト効果の一つ一つ詳細に確認することが出来るようになった。視覚的な分かりやすさに加え、リンクデータを活用する事でグラウチングの詳細を画面上で簡単に確認出来た。球体の色や大きさも自由に変える事が出来る為、今後地域住民への説明等が必要になった際にはグラデーション表示などの工夫も視野に入れることができる。

建設工事にB I M及びC I Mを活用する事例が多くなっているが、砂防堰堤もC I Mを活用することで従来より精度の高い施工管理ができることがわかった。今後も積極的に砂防堰堤C I Mを取り入れ、さらなる活用を探りたい。



図-1.3 登録有形文化財モニュメント

既存施設を活用した岸壁改良工事の課題と対処

○伏木富山港湾事務所 工務課 谷澤 来夢

1 はじめに

富山県射水市及び高岡市に跨がる伏木富山港 新湊地区は、1968年の開港に併せて背後の工業用地に多数の工場が立地し、臨港工業地域の物流拠点となっている。

図-1に示す新湊地区中央ふ頭は、製紙会社が紙・パルプ製品の原材料に利用する木材チップのほか、港湾背後地域に立地する工場のボイラー燃料やゴム等の原料となる炭素材として利用される石油コークス、アルミ製品の原材料であるアルミ地金等のバルク貨物を取り扱っている。

現在中央ふ頭では、大型船舶の寄港が増加する一方、大型船舶の必要水深を満たす岸壁が、中央1号岸壁（水深14m）しかないため、次の課題により非効率かつ不経済な荷役を取らざるを得ない状況となっている（図-2）。

- ① 中央2号岸壁（水深10m）にある専用荷役機械を使用する木材チップ船の大型化により、中央1号岸壁での喫水調整^{※1}後、バースシフト^{※2}を行う荷役形態となっている。
- ② 大型船舶が唯一接岸できる中央1号岸壁に集中することで、混雑による沖待ち^{※3}が生じている。
- ③ 取扱貨物の増加に伴い、中央ふ頭内の貨物置場が不足しており、老朽化施設の維持管理を踏まえつつ効率的な港湾利用に資する最適な利用配置検討が必要である。

これらの課題を解消するため、ふ頭再編整備として事業を進め、その主たる整備として中央1号岸壁と同等の大型船が利用できるよう、中央2号岸壁の水深を10mから14mに増深改良する工事を実施している。

増深改良では、既存施設を有効活用する構造を選定していたが、設計時点で想定されていなかった現場条件の相違が工事着手後に判明した。

本報告は、既存施設を活用した改良工事を進めるうえで、現場条件の相違に関する対処を報告するとともに、今回の経験からBIM/CIM活用効果について考察する。

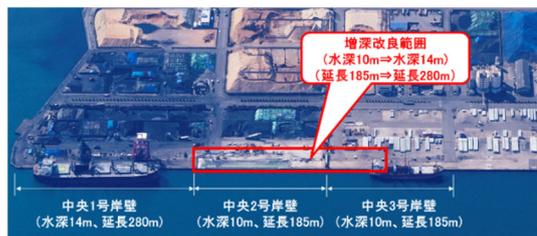


図-1 伏木富山港 新湊地区 中央ふ頭



図-2 中央ふ頭利用における課題

- ※1喫水調整： 貨物を降ろし船を軽くして浮かせること。
- ※2バースト： 必要水深が確保されていないため、2号岸壁に直接接岸できない大型船が1号岸壁で喫水調整した後、2号岸壁に移動を行うこと。
- ※3沖待ち： 船舶が頭番待ちで港に入らず沖合で待機すること。

2 岸壁改良構造

既存の中央2号岸壁は、図-3に示す水深10mの港湾施設であり、主要構造は前面鋼矢板、控えブロック及びこれらを結ぶタイ材により構成されている。また、前面鋼矢板と控えブロックの間には、荷役大型クレーン走行用のレール基礎として鋼管杭が設置されている。

この既存岸壁の水深を10mから14mに増深改良するにあたり、以下の施工条件に配慮して設計を行い構造を選定した。

- ① 隣接する中央1号から3号岸壁を連続するバースとして利用するため、現状の岸壁法線を確保。
- ② 隣接する岸壁及び背後荷役施設を供用しながらの改良工事となるため、供用施設へ支障を生じさせないように配慮。
- ③ 港湾に隣接する漁場に対し、土砂流出による海水の濁り抑制への配慮。
- ④ 大型船利用が進む中で利用者から早期供用の要請。

上記の配慮事項に加え、経済性も検討した結果、図4のとおり既存岸壁の主要構造となる前面鋼矢板を残置して、改良岸壁の部材として活用する構造とした。

この前面鋼矢板を残置することで、前述の配慮すべき①～④に対応できるとともに、背後土砂の掘削量や裏埋材量を抑えることができるため、コスト縮減及び工期短縮が図られる。

また、前面鋼矢板の電気防食が利用でき、かつ新設部材となる鋼管矢板が前面鋼矢板の背後となり腐食環境が海中から土中となることで断面係数を抑えられるためコスト縮減が図られる(図5)。

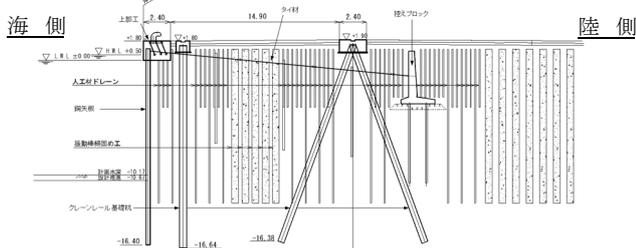


図-3 既存中央2号岸壁構造図

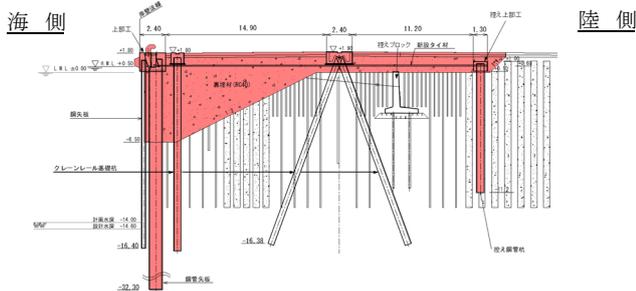


図-4 岸壁増深改良構造図

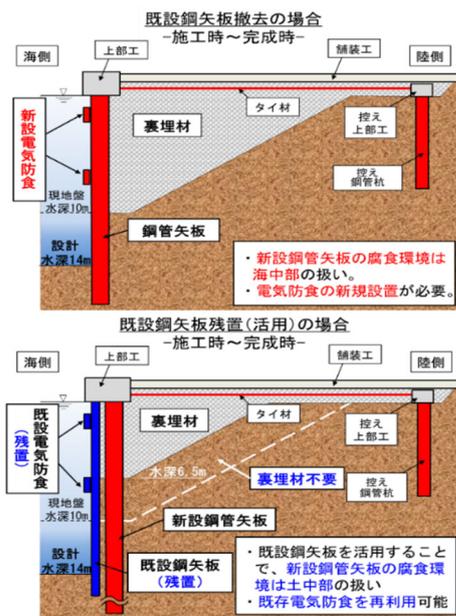


図-5 既設鋼矢板残置によるメリットイメージ

3 工事に伴う施工課題及び対応

3.1 施工手順及び実施状況

前項図4の構造にもとづく施工手順を図6に示す。

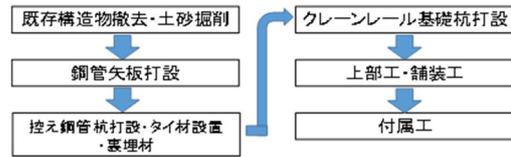


図-6 施工手順

当該工事では、隣接岸壁に合わせた岸壁法線を確保しつつ、新設鋼管矢板を既設鋼矢板と海側クレーンレール基礎杭との間に打設しなければならないことから、矢板打設としては、一般的な出来形管理ではあるものの精緻な施工管理が求められる施工であった。

2019年度より工事に着手し、既存構造物の撤去や土砂掘削を実施した後、2020年度にウォータージェット併用バイブロハンマ工法により新設鋼管矢板の打設を開始した。しかし、開始1本目の打設時に、新設鋼管矢板が水深15m付近に到達してから海側へ傾斜し始め、水深20m付近で出来形の許容(法線出入り±100mm)を超えた。

当初、転石などの地中障害物の影響と想定し、新設鋼管矢板の引抜き・貫入を繰り返したが改善されなかったため、新設鋼管矢板を引き上げたところ、ウォータージェット配管の破損が確認されたことから打設不能と判断し、作業を中断した。

3.2 現状調査及び対処方法の検討

3.2.1 現状調査

新設鋼管矢板打設不能の要因は、以下の現象により、既設鋼矢板が傾斜していることで、その下端付近と新設鋼管矢板が接触した可能性が考えられた。

- ・既設鋼矢板の下端深度は16.4mである一方、新設鋼管矢板打設時の傾斜は水深15m付近から発生しており、両者の深度に近い。
- ・新設鋼管矢板打設時の傾斜が海側に発生した。
- ・既設鋼矢板側のウォータージェット配管が破損した。

このため、既設鋼矢板の現状を把握することを目的に以下の調査を行った。

- ① 気中部既設鋼矢板の傾斜を測定

既設鋼矢板頭部が設計法線からの出入りを計測することに合わせて角度計を使用して気中部における既設

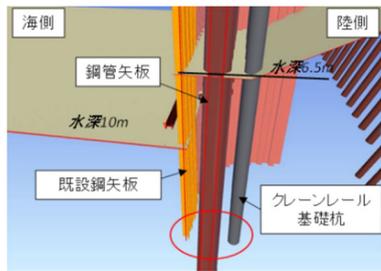


図-9 CIMモデル

① 既設鋼矢板と新設鋼管矢板との間にある土砂が、新設鋼管矢板をウォータージェット併用パイプロハンマ工法で打ち込んだ際の振動で密実な状態（N値 30～50未満）になったと考えられ、この土圧の影響で傾斜。

② 建設当時の施工精度において施工自体の傾斜も想定。これら想定される傾斜要因が不明であるため、傾斜を復元させ現行の設計断面で整備を進めることが可能であるか現地試験により施工方法を含め検討を行う。

現地試験では、施工性やその可否も含めた検討も行うこととしており、既設鋼矢板と新設鋼管矢板との間にある土砂の除却と、これに伴う復元量を検証したうえで、傾斜した既設鋼矢板の処理方法を決定することとしている。なお、現地試験において既設鋼矢板の引き戻しが不可能と判断された場合には、再度、断面検討が必要となる（図-8）。

5 改良工事におけるBIM/CIM活用の考察

岸壁改良工事にあたり、既存中央2号岸壁の建設当時の詳細な出来形や竣功図が残っていなかったため、主に当時の設計資料を参照し、設計・施工方法を検討してきた。しかし、前述の通り、想定した既設鋼矢板の配置が実際の現地状況と異なったため、工事着手後の設計断面の再検討が必要となっている。

他方、昨今の建設工事におけるDXとして取組まれているように、既設構造物の出来形や施工履歴がBIM/CIMにより一元的に管理されていれば、不可視部分を含め、3次元モデルの俯瞰的な全容把握が可能となり、次の効果が期待できたと考えられる。

既設鋼矢板の現地状況を可視化できていれば、当初設計において新設鋼管矢板との干渉を把握できた。

また、より緻密な施工検討を行い、それを設計にフィードバックできた。これらにより、当初設計の確度が上がり、工事着手後の再検討が回避できた。

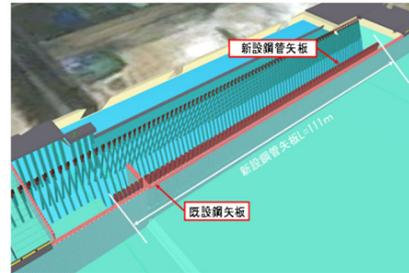


図-10 CIMモデル（全景）

特に、改良工事を行ううえで既存施設の実態把握は必須であり、本工事の場合、これを3次元的にどこまで詳細に把握できるかが円滑な工事实施の鍵となる。

BIM/CIMの活用はもとより、モデル化にあたっては、現地状況の実態を確実に反映することが重要なことをあらためて理解した。

6 あとがき

本論文では、岸壁改良工事において、設計・施工を進めるなかで生じた課題と、その対処方法について述べた。

本工事は、BIM/CIMの活用対象工事であり、現在、現地施工において、効率的な施工管理及び出来形管理に取り組んでいる。社会基盤インフラが、「新しくつくる」から「賢くつかう」時代を迎えていることから、既存施設を活用した施設の更新または改良工事においては、確実な構造の引継ぎが必須であり、本工事においても、これを見据えた対応をしていきたい。

本報告が、既存構造物を活用した改良工事の検討の一助となれば幸いである。

謝辞：岸壁工事にあたり、施工を担当した各社のご協力、新潟港湾空港技術調査事務所の支援により、厳しい施工条件においても事業促進を図ることができ、ここに感謝の意を表しお礼申し上げます。

参考文献：1) 伏木富山港新湊地区中央ふ頭再編事業～使いやすく、競争力のある港を目指して～、北陸地方整備局事業研究発表会，2019

高性能水中位置管理機能搭載ブロック据付支援システム WIT B-Fix Neo

若築建設株式会社 建設事業部門 技術部 技術研究所 ○土屋 洋
建設事業部門 技術部 知財管理課 坂井 崇

1 はじめに

国土交通省は、港湾事業において ICT を全面的に活用する工種のひとつとして、ブロック据付工を挙げている。水中におけるブロック据付工事を支援するための ICT 活用システムは、現場導入開始より既に 10 年以上の実績を持っており、信頼性の高いものが運用されている。しかし、ICT 活用工事で求められる機能に加え、技術提案できる高度な技術が求められる近年では、これに十分に対応できるように、要素技術の追加や既存の機能の改善が課題となっている。

港湾工事に用いられる ICT 活用システムであるブロック据付支援システムでは、吊荷の位置をクレーンブームトップの位置で管理するものが主流である。この方式は、ワイヤーの振れ等により、ブームトップの位置は正確に把握できても、吊荷の位置は正確に把握できない場合がある。そこで、吊荷の位置を高性能水中位置検知装置によって直接測位する機能を持つブロック据付支援システム「WIT B-Fix Neo (Wakachiku Information Technology Block Fixation System Neo)」(NETIS : KTK-210007-A) を開発した。本稿は、高性能水中位置検知装置をはじめとした構成技術を含め、WIT B-Fix Neo についての概要を報告するものである。

2 水中位置検知装置

電波、電磁波が拡散しやすい水中では、音響を用いた測位技術が使用される。水中位置検知装置は音響を利用するアクティブソナーの一種

で、船上の「トランスデューサ」と対象物に設置した「トランスポンダ」が音響信号をやり取りすることによってトランスポンダ位置の測位を行うものである。測位方式はいくつか存在するが、本システムは、「SSBL 方式」または「SBL 方式」と呼ばれる測位方式を採用している。

2. 1 SSBL 方式による水中測位

SSBL 方式は、Super Short Base Line 方式の略称で、Ultra Short Base Line) 方式とも呼ばれる。発信する音波の波長を基準にした複数の振動子を正確かつ規則的に配列した「トランスデューサ・アレイ」を用いる測位方式である。図-1 に SSBL 方式の水中位置検知装置の説明図を示す。

SSBL(SuperShortBaseLine)方式

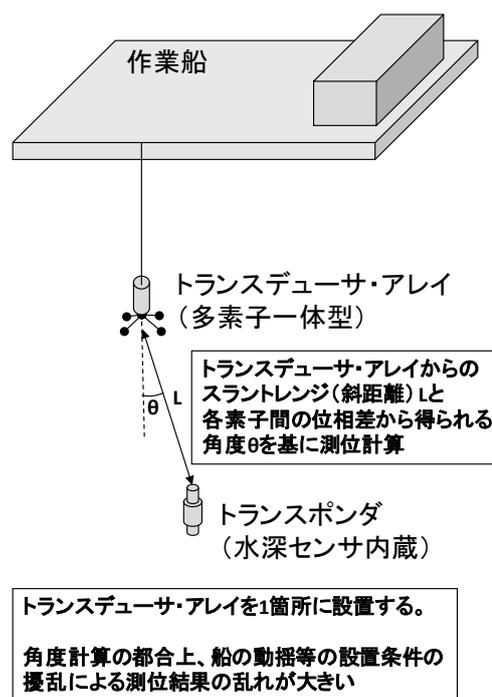


図-1 SSBL 方式水中位置検知装置

この測位方式では、トランスデューサ・アレイを船舶の1箇所に艀装し、測位対象となるトランスポンダへのスラントレンジ（斜距離）と方向角を用いて測位する。艀装が1箇所で済むため手軽に使いやすく、比較的広く普及している方式である。港湾工事で用いられる ICT 施工支援システムにおいても導入が進んでおり、主に潜水士の位置管理に用いられることが多い。十分な精度を持つ測位方式であるが、測位計算に方向角を用いることから、艀装状況や音響環境、艀装した船の動揺状況によっては測位が不安定になることもある。

2. 2 SBL 方式による水中測位

SBL 方式は、Short Base Line 方式の略称である。単素子のトランスデューサを船上の複数箇所に艀装し、測位対象のトランスポンダまでのスラントレンジ（斜距離）を複数取得し、これを用いた幾何学計算によりトランスポンダの位置を決定する。図-2 に SBL 方式の水中位置検知装置の説明図を示す。

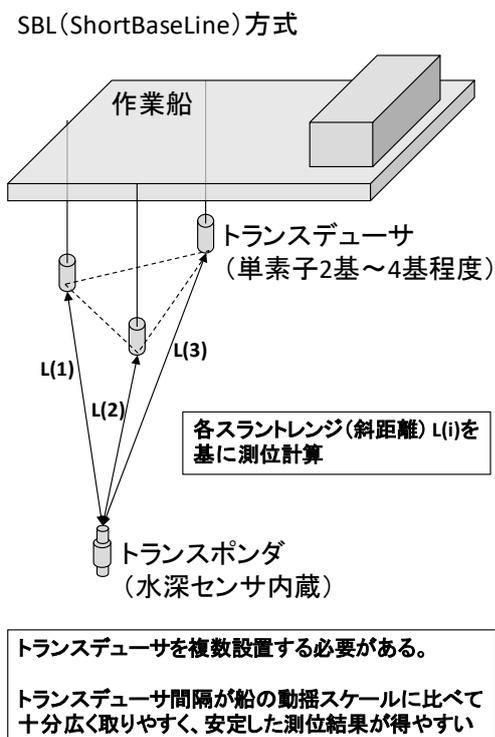


図-2 SBL 方式水中位置検知装置

SBL 方式では、測位計算の都合上、トランスデューサどうしの距離（Base Line）を比較的長くとる必要がある。必要な距離は、測位対象水深によるが、10m~40m 程度をターゲットとした港湾工事では、短くても 10m 以上が望ましい。SBL 方式では、角度を使わず、距離のみを用いた測位計算を行う（三角測量のイメージ）ので、測位安定性が高く、安定した高精度測位が比較的容易である。

3 施工支援システム「WIT B-Fix Neo」

「WIT B-Fix Neo」は、水中位置検知装置、GNSS 等を組み合わせ、ブロック据付工をはじめとした水中構造物の据付に適用できる施工支援システムである。本システムは、SSBL 方式、SBL 方式の両方式に対応しており、測位対象、管理目的、使用船舶等の条件に合わせて適切に使い分けることができる。また、本システムで用いる水中位置検知装置は、港湾工事で対象となることの多い浅海域用に、水深 60m 程度、平面距離は半径 300m 程度に検知範囲を絞り、測位安定性や精度の向上を図っている。さらに、吊荷対象物に設置するトランスポンダには水深センサが内蔵されており、測位に用いられる幾何学計算の解の補正に有用な追加情報を得ることができる。

3. 1 システム構成

本システムの構成を図-3 に示す。基本的な構成は、以下の通りである。

1. 船位およびクレーンの吊点位置を測位するための GNSS 機器
2. 吊荷、潜水士の位置を測位するための水中位置検知装置
3. これらの機器の取得データを送受信するためのネットワーク（一部無線）

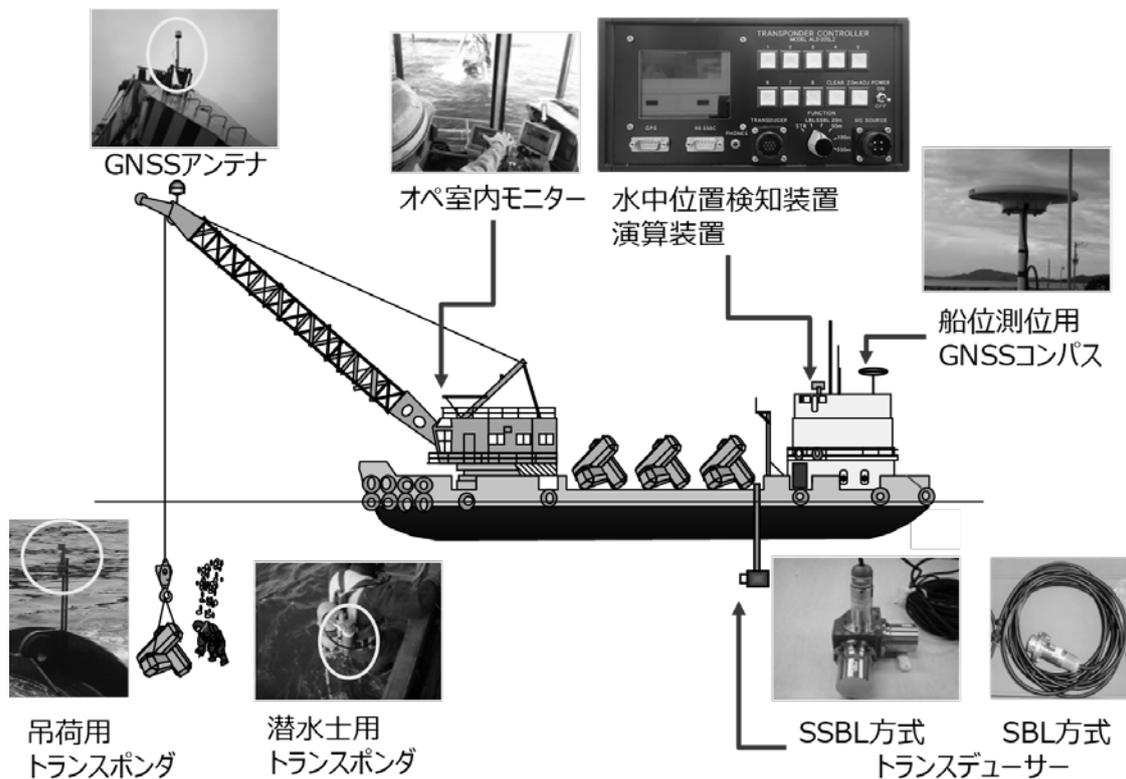


図-3 WIT B-Fix Neo のシステム構成

従来、ICT を用いたブロック据付管理システムでは、クレーンブームトップのGNSSを用いて吊荷の位置を管理する方法が多くとられていた。しかし、風や潮流等により吊荷が動揺する場合には、お互いの位置は必ずしも一致しない。これに対して、本システムでは吊荷に取り付けたトランスポンダを用いて吊荷の位置を直接測位することにより、正確な吊荷の位置管理が可

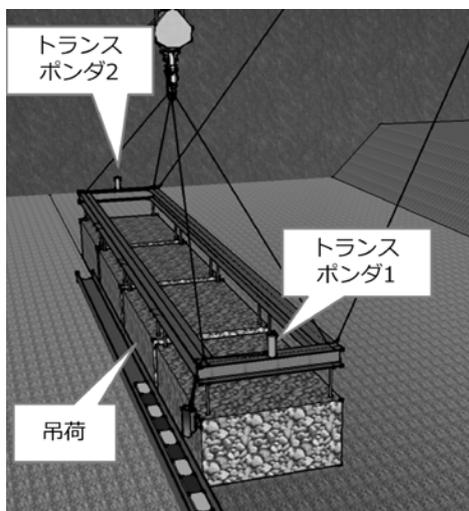


図-4 トランスポンダを複数設置した吊荷

能となる。方向管理が必要なものに関しては、図-4に示すように、複数のトランスポンダを用いることで位置、方向の管理も可能である。

3. 2 施工管理ソフトウェア

各測定機器の情報は無線、有線のネットワークによりやり取りされ、施工管理ソフトウェアの入力として、船上の任意の場所において取得可能である。また、管理ソフトウェアの画面は必要に応じてリモート共有され、管理者、作業員の持つ端末を用いて情報を共有できる。さらに、船位誘導機能、進捗管理機能等、施工管理に有用な機能を備えており、2008年に現場導入されて以来、様々な改良を重ねてきた。以下、本システムの活用例として、被覆ブロック、大型ブロックの据付について紹介する。

3. 2. 1 被覆ブロック据付

被覆ブロックの据付において、図-3のような機器構成で、SSBL方式の水中位置検知装置を用いて吊荷と潜水士の位置を管理する場合の管

理画面例を図-5に示す。潜水士はアイコンで、吊荷位置はクロスヘアラインの中心として表示され、互いの位置関係が視覚的に把握できる。トランスポンダの深度は画面下部に時系列表示されており、平面位置と併せて3次元的な位置管理が可能である。また、図中左上のように吊荷と潜水士の接近警報機能を備えており、安全管理に有用である。施工管理については、画面上の色付けとリスト表示による進捗管理機能を備えており、効率的な管理が可能である。

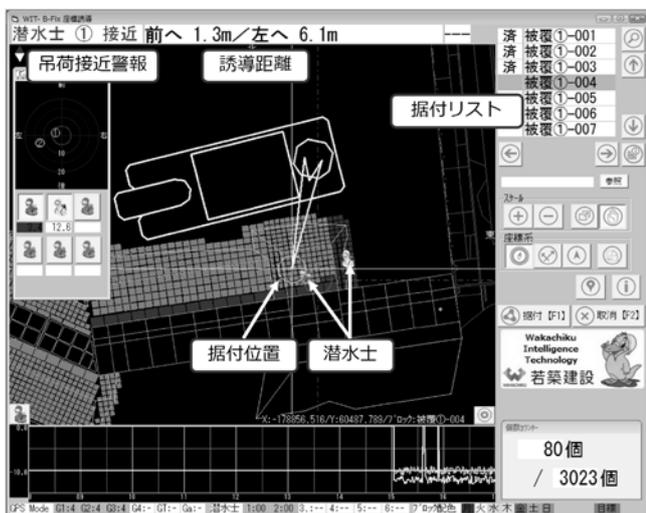


図-5 被覆ブロック据付管理画面例

タッチ補正の精度が重要であり、艀装や事前キャリブレーションに労力を割く必要がある。

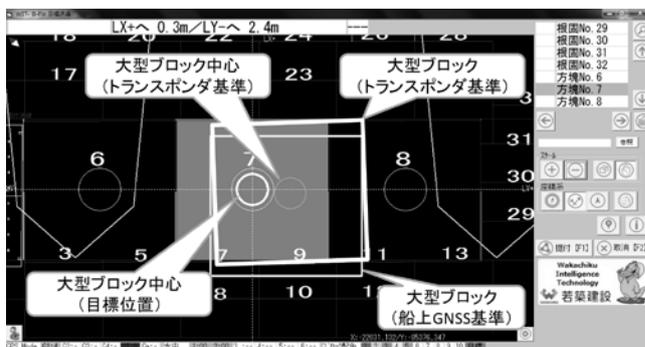
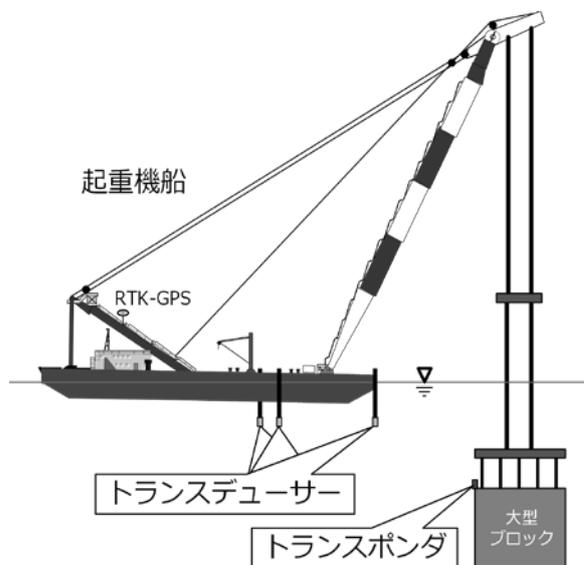


図-6 大型ブロック据付管理画面

3. 2. 2 大型構造物の据付

大型の水中構造物(大型ブロック)を据付ける場合の管理画面例を図-6に示す。ブロック据付位置を高精度に管理するために、図-6上に示すようにSBL方式の水中位置検知装置を用いており、据付対象のブロックには、方向管理のために2本のトランスポンダを設置している。図-6下の管理では、ワイヤーが前後に振れており、トランスポンダ基準の位置とGNSS管理の位置が、画面上下方向にずれていることがわかる。大型構造物の据付においては高精度な位置管理を求められることから、水中の吊荷位置を高精度に直接測位できる機能が有効である。半面、測位精度を出すには艀装精度や船体のロール、ピ

4 おわりに

高性能な水中位置検知装置を備え、水中の吊荷位置を直接測位できるブロック据付管理システム「WIT B-Fix Neo」について、その構成機器と施工管理ソフトウェア、および活用事例を紹介した。本システムは10年以上にわたり改良を継続し、現場の需要に応えた有用な機能を実装してきた。SBL方式の高性能水中位置検知装置への対応と水中の吊荷位置の直接管理機能もそのひとつであり、2021年には機能を再整理し、新たなICT活用施工管理システムとして現場への導入を進めているところである。3Dソナー等の高度な新技術と併せて適材適所で運用し、本システムを有効に活用していきたい。

パイプライン敷設工事における3Dモデルの導入効果について

株式会社本間組 土木事業本部技術部 技術企画課 係長 ○神蔵 昌士
土木事業本部技術部 技術企画課 主任 山本 誠
土木事業本部土木部 工事課 主任 近藤 礼侑

1 はじめに

国際拠点港湾である新潟港の西港区（以下、新潟西港と称す）は信濃川河口に位置する河口港であり、上流から運ばれてきた土砂が絶えず堆積することから、航路水深を確保するために年間を通して浚渫が行われている¹⁾。

現在、新潟空港沖に新土砂処分場が直轄事業で建設されており、それと並行して、新潟西港でポンプ浚渫した土砂を新土砂処分場まで送るためのパイプライン（以下、排砂管と称す）の敷設工事が継続して行われている。

本稿では、建設現場の生産性向上を図るi-Constructionの取組のうち、属性情報を持った3Dモデル（以下、CIMモデルと称す）を活用し、上記事業の排砂管敷設工事において、計画から施工管理を行った事例及び導入効果について報告する。

2 工事概要及び課題

当工事は新潟西港の新土砂処分場建設事業にかかる、浚渫用の排砂管（φ760mm）及び受台を延長487m設置する工事である。

排砂管の敷設ルートのは大半は、海岸護岸部沿いとなるが、護岸背面には管理用道路があるため、護岸前面の消波ブロック上に排砂管を敷設する必要がある。

過年度までの工事では、排砂管の実物大の模型を利用して現地で護岸や消波ブロックとの干渉の有無を確認し、ルートの修正・再チェックを繰り返し、最適な線形および縦断を決定していた（図-1）。しかし、受台を設

置する箇所は140～160箇所にあぶため、それぞれについて横断測量と作図作業が必要となり、膨大な作業量が工程を圧迫していた。

このルート選定作業の省力化及び迅速化を図るため、当工事ではCIMモデルを活用することとした。



図-1 従来方法による排砂管ルート測量

3 CIMモデル活用項目

当工事においてCIMモデルを活用した項目を以下に示す。

- ① 3次元起工測量
- ② 設計照査・設計変更協議への利用
- ③ 施工手順の確認
- ④ AR機器と連携した施工管理の実施
- ⑤ AR機器と連携した安全管理の実施

3.1 3次元起工測量

3次元起工測量は空中写真や地上レーザースキャナを用いて行う方法があるが、草木が繁茂している箇所があることに加え、消波ブロックや既設護岸の死角部分も極力3次元データとして取得するために、UAV搭載型レーザースキャナによる3次元起工測量を採用した。結果、高精度の点群データを取得することができ、草木の下の地盤高及び消波プロ

ックのかみ合わせを3Dモデルで再現することができた(図-2)。



図-2 取得点群データ

3.2 設計照査・設計変更協議への利用

3次元起工測量により取得した消波ブロックの点群データと、発注図を基に社内で作成した排砂管及び護岸のCIMモデル(詳細度200)をソフト内で統合し、排砂管と消波ブロックの干渉チェックを行った(図-3)。

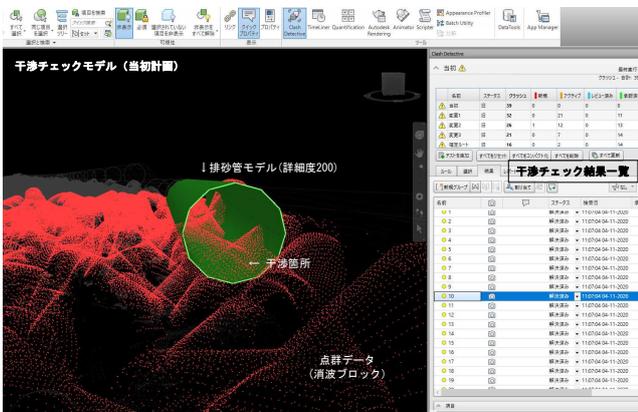


図-3 CIMモデルによる干渉チェック

上記を基に排砂管のルート修正を繰り返すことで、当初の計画ルートで27箇所確認された干渉箇所が、最終変更ルートでは6箇所まで減少することができた。

干渉チェックの結果は干渉箇所の位置情報を持っていることから、そのまま設計変更協議資料として活用することができ、協議資料の効率化につながった。

排砂管ルートの決定後、排砂管CIMモデルの詳細度を上げ(詳細度300)、それに合わせて受台の計画を行った。受台の設置位置や形状を統合モデル内にて、高精度でシミュレーションできることから、後工程である現地確認測量もCIMモデルを確認することで効率的に行うことができた(図-4)。

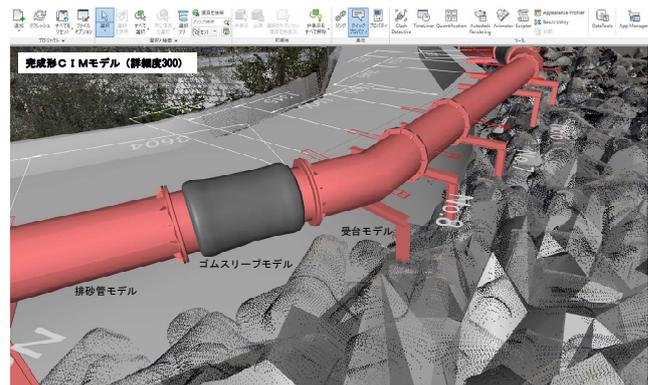


図-4 受台配置CIMモデル

3.3 施工手順の確認

CIMモデルを利用することで、施工順序や各施工段階での現場状況を、3Dでシミュレーションできるため、地形の高低差による死角の把握や、2次元図面では表現できない構造物取り合い部分を詳細に検討することが可能となり、職員・作業員の施工手順の合意形成の迅速化に加え、施工打合せの高度化が図れた(図-5)。

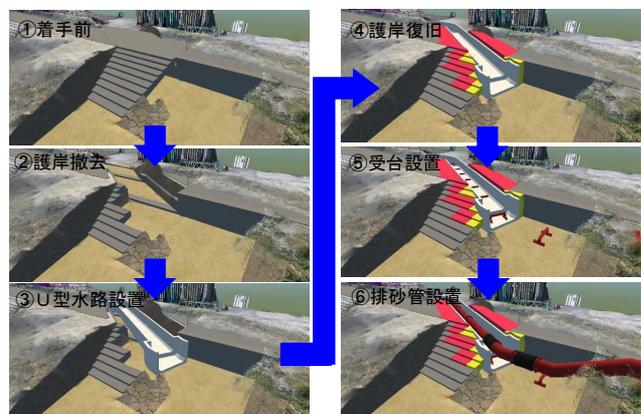


図-5 施工シミュレーションモデル

3. 4 AR機器と連携した施工管理の実施

CIMモデルを施工管理段階でも活用するため、作成したCIMモデルを現地映像にリアルタイムで表示させることができるAR機器との連携を実施した。



図-6 ARによる排砂管施工管理

排砂管敷設は、線形や部材の組み合わせが複雑なため、部材の取り違いやフランジ位置のズレが生じると、目標位置に到達することができないことから、AR機器により、映像内に排砂管のCIMモデルを表示させ、設置位置の誘導やゴムスリーブや異形管のチェック、フランジ位置確認を行った(図-6)。

結果、部材取り違いによる手戻り等生じさせることなく、効率的に受台設置、排砂管敷設作業を終えることができた。

3. 5 AR機器と連携した安全管理の実施

当該施工区域内において、公園設備である水道管が埋設されていることが確認され、近接する土工時は重機による損傷が懸念された。そこで、地表面への埋設管位置明示に加え、AR機器による埋設管明示及び深度確認を実施した。重機作業中、常時埋設管の全体像及び深度を同時に視認することができ、埋設管位置の誤認や確認忘れ等のヒューマンエラー防止に役立った(図-7)。

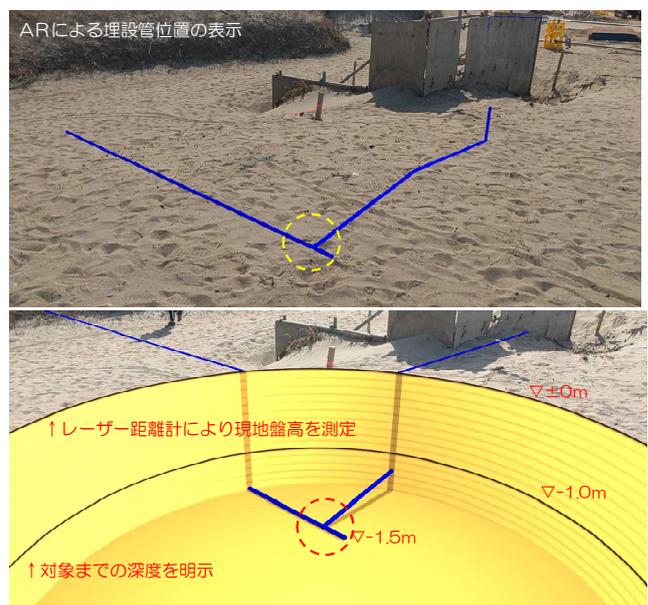


図-7 ARによる埋設管位置確認

また、排砂管敷設作業に先立ち、AR機器とスマートグラスを連動させて、現地での施工シミュレーションを実施した。スマートグラスを作業員が使用することにより、事前に現場における作業員配置の確認に加え、狭隘なU型水路内における排砂管と作業員の位置関係をAR映像により第三者目線で確認することができ、危険要因を事前に体感することで、効果的な危険予知活動となり、作業全体の安全性向上に繋がった(図-8)。



図-8 ARによる施工シミュレート

4 CIMモデルの導入効果

3次元起工測量を含むCIMモデル導入効果について、当工事で確認した効果を表-1に示す。なお、従来方法は過年度工事の実績より算出した値である。

表-1 CIMモデル導入効果

項目	従来方法		CIMモデル 利活用		備考
	日	人	日	人	
起工測量	9日	27人	1日	5人	従来施工：横断測量@5m CIM利活用：UAVレザ-
追加測量	1日	3人	0日	0人	従来施工：変更範囲測量 CIM利活用：当初データより任意の位置の図面作成可能
解析	0日	0人	3日	3人	従来施工：不要 CIM利活用：点群データ解析
図面作成	7日	11人	3日	3人	
ルート測量 (当初)	1日	2人	0日	0人	従来施工：実寸大模型による確認 CIM利活用：机上確認
変更 ルート測量 (4ルート)	4日	8人	1日	2人	従来施工：各ルート確認 CIM利活用：最終ルート案のみ 現地確認実施
受台位置 測量	3日	6人	1日	2人	
計	25日	57人	9日	15人	

排砂管及び受台の位置決定までに要する日数及び人工について、従来方法と比較し、16日・42人工の省力化が図れた。

CIM設備（高性能パソコン、CIM関連

ソフト）の初期費用を除いた経済性については、従来方法から約20%のコスト削減となった。

5 おわりに

建設業界では新しい人材が確保できないことにより、深刻な人手不足や技能継承の停滞などが大きな問題となっている²⁾。今後、人員の大幅な増加が見込めないなか、建設生産・管理システムの効率化・高度化を図り、事業を維持・成長させることが重要となる。

当工事において、CIMモデル導入により、従来では不可能であった高度で迅速な検討が可能となり、発注者及び関係機関との意思決定及び合意形成の迅速化が図れたことで、現場全体の生産性向上に繋がった。

また、当工事で得られたCIMモデル導入効果は、3次元起工測量以外を内製化できた影響が大きい。現場担当者及び本社技術者が現場状況に応じ、CIMモデルの作成・更新及び情報の抽出が可能な体制を整えることができたことで、外注費の削減、生産性の向上の拡大に繋がった。

建設現場の生産性向上にCIM活用が有効であると実証できたことから、今後、その効果を最大化するため、CIMモデル操作技術の向上及び技術者の育成活動の継続・加速に加え、AI等の新技術との連携による更なる生産性向上に向けた取り組みに挑戦していく考えである。

参考文献

- 1) <https://www.niigata.pa.hrr.mlit.go.jp/6/13/14/> 北陸地方整備局 新潟港湾・空港整備事務所HP
- 2) 一般財団法人 日本建設業連合 建設業ハンドブック 2020 2020年

供用中の栈橋を耐震補強する Re-Pier 工法

あおみ建設株式会社 技術事業本部技術開発部 吉原 到

1 はじめに

国土交通省は平成 18 年に「耐震強化岸壁緊急整備プログラム」を策定して、限られた社会資本整備予算の中で既設構造物の延命化や耐震補強整備を進めている状況である。民間企業においても、高度経済成長時に建設された専用岸壁が更新時期を迎えたものの代替施設がないため、岸壁を供用しながらかつ低コストで延命したいというニーズがある。

このような社会情勢を受けて、低コストで、かつ現在の物流機能を低下させることなく、岸壁を供用しながら耐震補強できる「Re-Pier 工法(図-1)」を開発し、実際の栈橋に適用したので、工法概要と施工方法、施工事例について報告する。

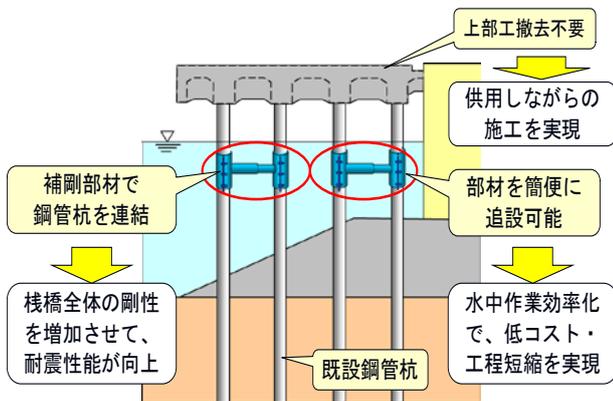
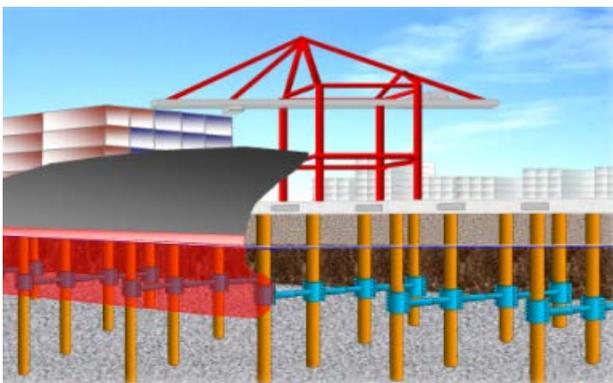


図-1 Re-Pier 工法の完成イメージと特徴

2 開発背景と開発方針

栈橋式の岸壁における耐震補強・延命化工事では、「栈橋の供用は止めたくない」、「工事期間ではできる限り短くしたい」、「できるだけ安価に対策したい」というニーズが強い。しかし既設栈橋を撤去して新設する場合や、上部工の撤去や鋼管杭の増設を伴う補強方法ではコスト高となる上に岸壁の長期供用停止が避けられないため、以下の3つの開発方針を設定した。

- ①既設栈橋を活用し、部材を追加して補強することで供用制限を最小化する。
- ②水中の作業を軽減し、現地施工期間を最短とすることで、工程短縮とコストの縮減を図る。
- ③シンプルで簡単に取付できる構造とする。

3 Re-Pier 工法の概要

従来、新設構造物を対象に、鋼管杭を補剛部材で連結することで栈橋全体の剛性を増加させる工法として、「格点式ストラット工法」が適用されてきた。しかし、この工法を既設構造物に適用するためには、既設上部工を撤去し、部材を杭頭部から挿入する必要があるため、長期間にわたり岸壁を供用停止する必要があった。そこで、既設上部工を撤去せずに、上部工直下で補剛部材を鋼管杭に追設できる部材構造と施工方法を開発した。

本工法は、部材長を調節できる構造とすることで、狭隘な杭間(水中)で簡便に追設できることが特徴である。低コストで、短期間に、施設供用にできるだけ影響を与えずに、栈橋の耐震性

能の向上や前面水深の増深化、構造物の延命化を実現することができる。(図-2, 3)

本工法に使用する「伸縮ストラット部材(図-4)」は、ストラット部と鞅管部の2種類の部材で構成されている。ストラット部は、径の異なる2本の鋼管からなり、径の細い管を太い管の中から出し入れすることで、設置時に部材長を調節できることが特徴である。

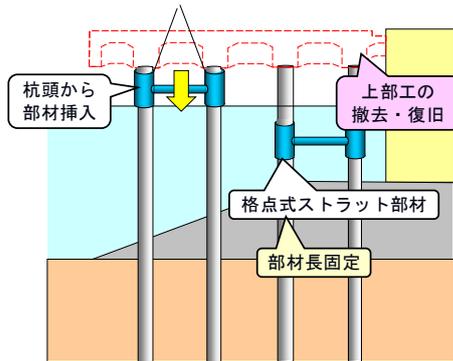


図-2 従来工法による施工上の課題

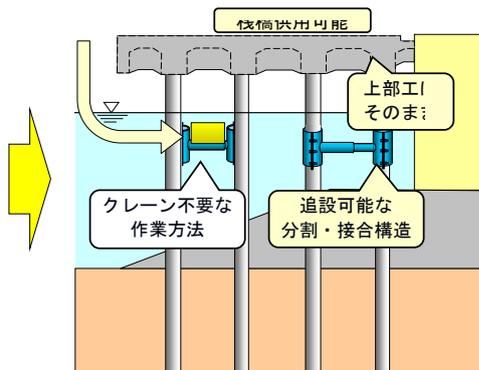


図-3 Re-Pier 工法での施工

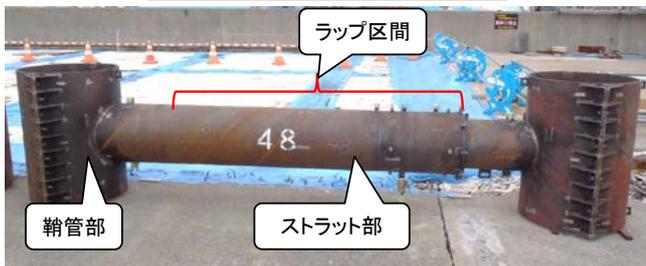


図-4 伸縮ストラット部材

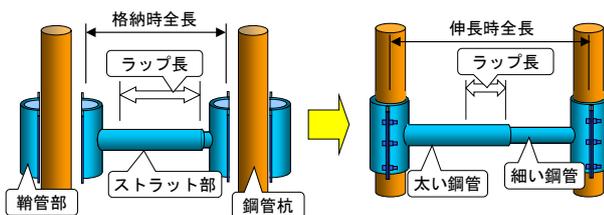


図-5 既設鋼管杭への補剛部材追設の仕組み

鞅管部は、鋼管を半割りにした形状の部材にフランジ加工を施し、ボルトで接合する構造とした。

まず、部材長が最短となる格納状態にして設置場所まで運搬し、既設鋼管杭間で上部工に打設したアンカーから吊下げる。その後、入れ子状の鋼管を引き出して部材を伸長し、鞅管のフランジを接合し、既設鋼管杭と補剛部材を連結する。最後に、既設杭と鞅管の遊間、および径の異なる鋼管と鋼管のラップ区間にモルタルを充填し既設構造物と剛結する。(図-5)

従来は、上部工を撤去して杭頭から補剛部材を挿入する事で対応していたが、本工法では上部工を撤去することなく部材の追設が可能である。さらに補剛部材にはモルタル漏洩防止シール材を内蔵し、潜水士による水中作業を大幅に軽減する工夫も盛り込んでいる。

通常、既設栈橋の杭間距離は、杭打設時の施工誤差によりばらつきがあるが、部材全長を容易に調節できることを生かし、補剛部材は同一寸法で製作することが出来る(部材のユニット化を実現)。(図-6)

なお、充填するモルタルは、水中不分離性と狭隘な空間への充填性を確保するために、専用の配合を開発し、工場でプレミックスしたものを現場に搬入し、モルタルミキサーで現場練りして打設している。

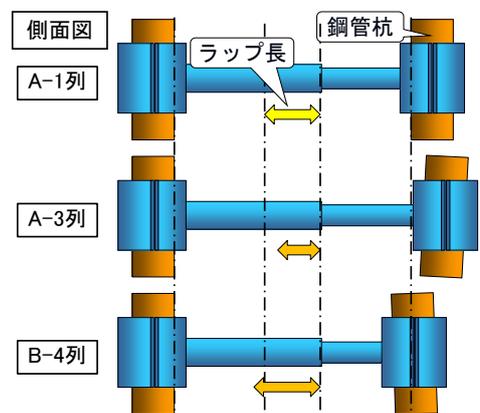


図-6 杭間の変動への対応

4 施工方法

4.1 施工フロー

現地での施工は、ストラット設置準備工、ストラット設置一連、モルタル打設工、防食工という流れで進める。(図-7)

4.2 ストラット設置準備

既設鋼管杭表面の下地処理を行った後、鋼管杭とモルタルの付着力を向上させるシアキーを水中溶接する。次に水中作業を簡便化するためのバンド式ブラケットを鋼管杭に取り付け(図-8)、部材を一時的に吊り下げるためのアンカーを上部工下面に設置する。

4.3 ストラット設置一連

重量物である補剛部材を栈橋下面の設置位置まで専用フロータを使用して運搬する。補剛部材にフロータを艀装し進水すると、水中で浮きも沈みもしない中立の状態(中性浮力)となる。潜水土は潮位や波浪の影響を受けない深度まで補剛部材を沈め、その深度を維持しながら簡単に移動できるので、安定して設置できる。(図-9)

栈橋上の25t程度のラフタークレーンにより部材を進水し、その後は、潜水土が栈橋の下面まで曳航・移動させ、先に上部工に取り付けたアンカーに補剛部材を吊り替えて、所定の位置に部材を設置する。なおフロータは補剛部材の質量に合わせた専用品である。(図-10)

4.4 モルタル打設工

補剛部材の鋼管がラップする区間と、既設杭と鞘管の遊間に水中不分離性モルタルを充填し、補剛部材と既設構造物を剛結する。(図-11)



図-8 バンド式ブラケット設置

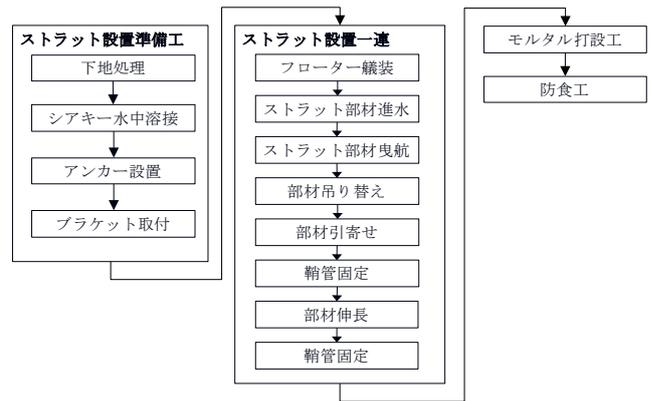


図-7 施工フロー



図-9 専用フロータ艀装状況



図-10 部材設置一連

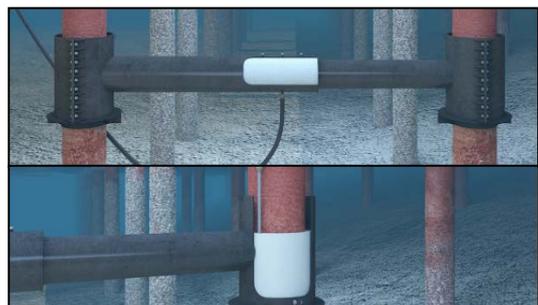


図-11 モルタル打設

5 施工事例の紹介

5.1 事例1 (宮城県仙台塩釜港)

当工事は、2014年(平成26年)3月宮城県発注の東日本大震災後の災害復旧工事である。当該施設は、岸壁延長320m、前面水深-4.5m~-5.5mの直杭式RC栈橋であり、海側の栈橋は平成2年に建設されたものであるが、震災により栈橋全体が40cm程度沈下した。

岸壁の機能を回復するため、コンクリートを増し打ちして上部工を嵩上げする計画であったが、単純にコンクリートを増し打ちすると、重量の増加により耐震性能が不足するため、図-12に示すとおり、Re-Pier工法で補強した。

伸縮ストラット部材の質量は、約1.5t/基で、64基を施工した。岸壁は海上保安部の巡視艇や震災復旧工事に従事する工事用船舶の停泊場所として活用されていたので、岸壁を供用しながら補強工事を実施した。(図-13)

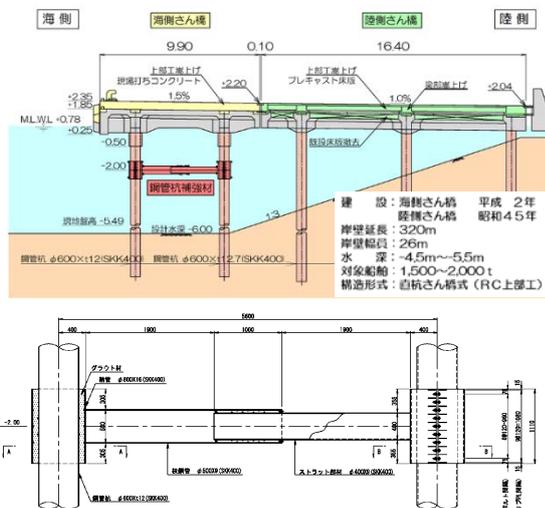


図-12 補強断面図と部材詳細



図-13 施工状況

5.2 事例2 (愛媛県中島港)

愛媛県松山市の離島にあるフェリー岸壁での事例で、平成26年から29年にかけて施工した。

当該施設は、岸壁延長60m、前面水深-7.5mの直杭式RC栈橋(図-14)であり、住民の生活の足であるフェリー用として供用されている。離島で唯一の耐震岸壁であり、その岸壁を現行の基準で照査した結果、基礎杭の耐震性能が不足することが判明し、耐震補強を実施することになったが、対策にはフェリーの運航を1日も止めないことを求められたため、栈橋を供用しながら施工可能なRe-Pier工法が採用された。

伸縮ストラット部材は、約2.7t/基で、24基施工した。施工は1度もフェリーの運航を止めることなく無事完了した。(図-15)



図-14 フェリー岸壁

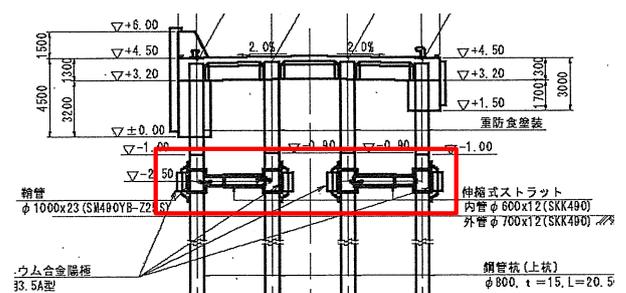


図-15 栈橋補強断面図

6 おわりに

今後は、水中作業をより軽減するために部材の構造や形状、施工方法の工夫を重ね、現場水中作業の大幅な削減と生産性向上を実現し、供用しながら耐震・増深対策が出来るというメリットを活かし、既設栈橋の長寿命化に貢献していきたい。

地盤改良工事の見える化技術 Gi-CIM の開発

五洋建設 土木本部 土木設計部担当課長 堤 彩人

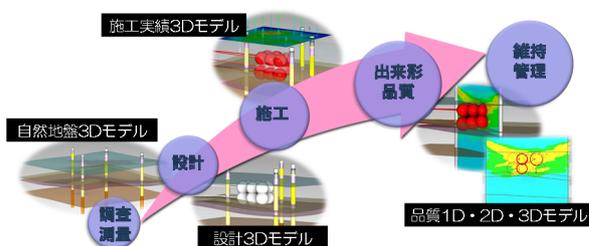
1 はじめに

不可視領域を施工対象とする地盤改良工事を“見える化”するため、BIM/CIMによる施工管理システム Gi-CIM(NETIS 登録番号：KTK-21009-A)を開発した。本論文では、Gi-CIMの特徴について記載するとともに、市街地の地盤改良工事における Gi-CIM適用事例を紹介し、その適用効果について解説する。

2 地盤改良工事の“見える化”

地盤改良工事は地中が施工対象となるため、見えないことに起因する様々な課題を抱えている。例えば、“埋設物回避の課題”、“地盤異常検知の課題”、“出来形把握の課題”等が挙げられる。ここで、“地盤異常検知の課題”について考えてみる。施工中のポイントと空間的に遠く離れた地点で地盤変形が顕在化することがある。この地盤変形は施工段階で顕在化した事象ではあるが、調査段階や設計段階など過去のプロセスに誘因がある場合も考えられる。このことから、地盤改良工事を“見える化”するには、プロセス横断的な（空間的、時間的に多様な）管理情報を統合し、分析するアプローチが有効な手段と考えられる。

近年、建設工事の様々なプロセスの情報を統合管理する技術として、BIM/CIMの普及が進んでいる。BIM/CIMは、調査～設計～施工～維持管理と段階的に更新される管理情報を3次元的に統合するための技術で、地盤改良工事の“見える化”と調和的なコンセプトを有する。著者らは、両者の親和性に着目し、2017年より、地盤改良工事の施工管理を高度化するためのBIM/CIMシステム Gi-CIM（Ground Improvement CIM）の開発に取り組んでいる。



図－1 Gi-CIMの適用イメージ

3 Gi-CIMの特徴

Gi-CIMは、地盤改良工事の一連のプロセスの中で得られる多層的な管理情報を時間軸に従い、忠実にモデル化することで、工事を間接的に“見える化”するためのBIM/CIMシステムである(図－1)。本章では、曲がり削孔式浸透固化処理工法におけるGi-CIM適用事例¹⁾を基に代表的な特徴を紹介する。

3.1 Excel入力による簡易な3Dモデリング

地盤改良工事の一連のプロセスの中でも、特に、施工段階における有用性を重視し、現場職員が簡易な操作で3Dモデルを作成することができる仕様とした。図－2に3Dモデリング操作の模式図を示す。図は、地中構造物の直下を曲がり削孔で施工するイメージである。地中構造物は事前に3D-CADで作成したもので、削孔ラインと改良体はGi-CIMによりモデル化したものである。Gi-CIMでは、専用のExcelシートに、改良体の名称、形状のタイプ（球や円柱）、描画位置（空間座標）、大きさ（直径や長さ）等の形状パラメータ入力することで3D形状を定義することができる。さらに、同じExcelシートの後続フィールドに、改良体の造成日、薬液の注入量、工事写真の外部参照パス等の施工記録を入力することで属性情報を管理することができる。

No.	改良体名称	改良体形状	改良体位置	改良体サイズ	改良体材質	改良体色	改良体形状	改良体位置	改良体サイズ	改良体材質	改良体色	改良体形状	改良体位置	改良体サイズ	改良体材質	改良体色
1	S1	S1-1	改良体	0.400	球	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02
2	S2	S2-1	改良体	0.400	球	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02
3	S3	S3-1	改良体	0.400	球	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02
4	S4	S4-1	改良体	0.400	球	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02
5	S5	S5-1	改良体	0.400	球	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02
6	S5	S5-2	改良体	0.400	球	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02
7	S6	S6-1	改良体	0.400	球	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02
8	S6	S6-2	改良体	0.400	球	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02
9	S7	S7-1	改良体	0.400	球	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02
10	S8	S8-1	改良体	0.400	球	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02
11	S8	S8-2	改良体	0.400	球	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02	1	2.02

改良体名称・形状
位置・大きさを指定

施工管理項目
品質管理項目

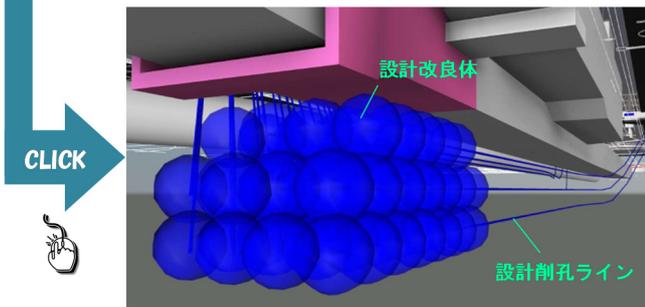


図-2 3Dモデリング操作の模式図

Excelシートに必要な情報を入力した後、モデリングを実行すると、属性情報を有する3Dの地盤改良モデルが生成される。Gi-CIMを用いると、専門的なBIM/CIMのスキルを必要とせず、Excel操作だけで形状定義と属性管理を完結することが可能となる。

3. 2 削孔実績を忠実に3Dモデリング

曲がり削孔式浸透固化処理工法では、削孔出来形管理のため、挿入式管路計測装置により削孔軌跡の空間座標を取得する²⁾。空間座標の数値データはcsvファイルとして出力されるので、このファイルをGi-CIMの入力データとし、実績の削孔ラインを忠実に3D化できる仕様とした。図-3に実績削孔ラインの3Dモデルを示す。図中の青線と赤線はそれぞれ、設計と実績の削孔ラインである。前者は設計情報のため規則的に配置されているのに対し、後者は計測値を基に描画しているため蛇行し不規則に配置されている。図中には、削孔ラインを包含する灰色の円柱がモデル化されている。これは削孔軌跡の逸脱許容範囲を明示するもので、管理基準値を指定すると設計削孔ラインに沿ってモデル化される。

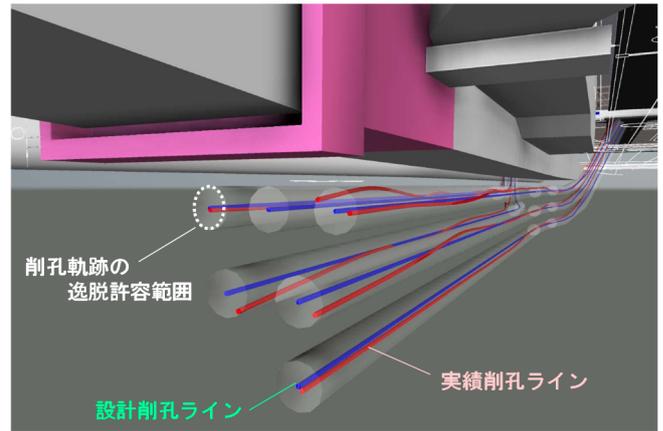


図-3 実績削孔ラインの3Dモデル

3Dモデル上で視覚的に削孔精度を管理することができるため、設計からの逸脱が大きな削孔ラインを確認した場合には、後工程の注入工で注入順序や注入量を最適化し品質の向上を図ることができる。

3. 3 注入実績と事後調査結果の3Dモデル

浸透固化処理工法では、理論的には、球形の改良体が造成される。工事においても改良体は球形を成すと仮定すると、その体積 V は式(1)で表される。

$$V = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{D}{2} \right)^3 \quad (1)$$

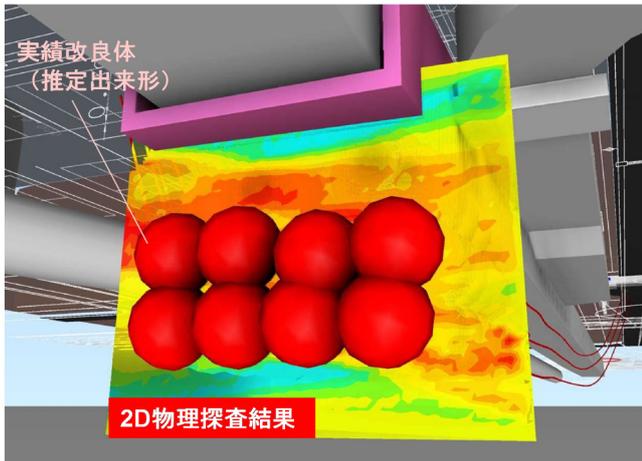
ここに、 D は改良体の直径である。

一方、浸透注入の概念では、薬液は地盤内の空隙に充填され、注入の前後で地盤体積は変化しない、と考える。さらに、細粒分が多い等の理由で空隙内の $\alpha\%$ の部分にしか薬液が充填されない、と仮定すると、薬液注入量 Q と V の関係は式(2)で表される。

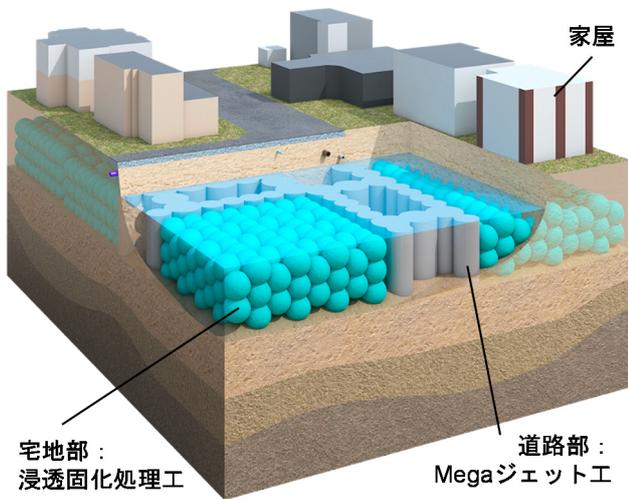
$$Q = \frac{n \alpha}{100 \cdot 100} V \quad (2)$$

ここに、 n は空隙率、 α は充填率であり、いずれも設計値として与えられるものである。

薬液の注入位置は3.2の実績削孔モデル上に定義される。加えて、実績の Q の値と式(1)、(2)より、おおよその改良体の大きさを再現することで、推定出来形3Dモデルを作成することが可能となる。

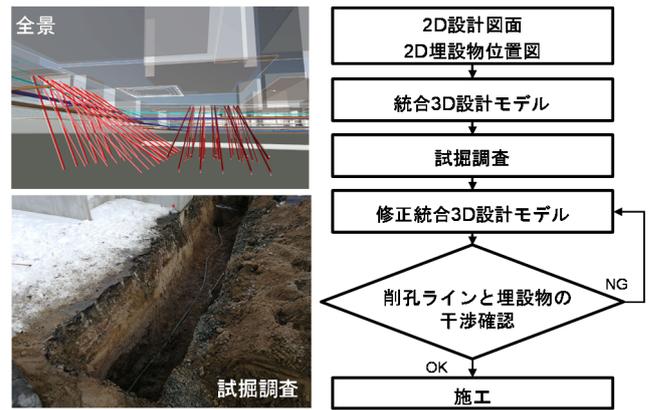


図－4 推定出来形と物理探査結果の3Dモデル



図－5 工事の模式図

図－4に推定出来形モデルを示す。赤色の球体が推定出来形モデルであるが、施工実績に応じて、中心位置や大きさが異なることがわかる。また、図の推定出来形モデルの背後にカラフルな面が直立しているが、これは音響トモグラフィ地盤探査により2次元的に改良範囲の可視化を試みた結果である。改良前後の地盤の減衰率の変化を示しており、赤色が濃い範囲では改良効果が高く、青色の範囲では改良効果が認められないと判定される³⁾。Gi-CIMでは、推定出来形に加えて、直接検査した事後調査の結果も3Dモデルに統合することができるため、複数の評価基準により立体的に改良地盤の品質を評価することが可能となる。



図－6 削孔シミュレーションのイメージ

4 Gi-CIMの適用実績

本章では、清田区里塚地区市街地復旧工事におけるGi-CIM適用事例を紹介する。図－5に工事の模式図を示す。この工事では、地盤の液状化と流動化の再発防止対策として、宅地部を浸透固化処理工法（薬液注入工法）で、道路部をMegaジェット工法（高圧噴射攪拌工法）で地盤改良した⁴⁾。

4.1 3Dモデルを用いた削孔シミュレーション

宅地部の浸透固化処理工法の施工では、道路部からの斜め削孔により家屋直下の地盤を改良することから、様々な地中埋設物を交わすための高度な削孔管理が要求された。このため、地中埋設物を損傷させないための対策として、Gi-CIMを用いて削孔シミュレーションを行った（図－6）。削孔シミュレーションの手順を以下に整理する。

- ① まず、2Dの設計図面と埋設物位置図を統合し、3Dの設計モデルを作成する。
- ② 次に、削孔工に先駆けて試掘調査を行い、統合3D設計モデルの埋設物の位置情報を修正する。

- ③ 設計削孔ライン（図中の白線）が埋設物と干渉しないことを確認し、干渉の可能性がある場合には、修正統合3D設計モデル上で削孔ラインを変更する（図中の赤線）。
- ④ 施工時には、修正統合3D設計モデルを用いて、現場で削孔開始前の安全確認を実施する。

3Dモデル上で安全な削孔ラインを検討できることに加え、計画変更後も依然としてリスクの高い削孔ラインの施工の際には、iPad上に3D設計モデルを表示し、現場の削孔オペレータに注意を促すことで安全性を向上させることができることを確認した。

4. 2 3Dモデルを用いた地下水位の把握

地盤改良により地下水の流れが阻害され、地区全体の地下水位が上昇することが懸念されたため、施工中の地下水位の変化を監視する必要があった。このため、観測井戸で計測した離散的な地下水位の情報を統合してコンター図を作成し、地盤改良工の進捗情報と合わせて管理した。図-7にGi-CIMで作成した地下水位の観測モデルを示す。コンター図は、施工開始時点からの地下水位の変化を表したもので、色相が赤色に近いほど地下水位の上昇が大きいことを示す。図より、地盤改良が完了している付近の地下水位が上昇していることがわかる。

図-7のように多層的な情報を時間軸に沿って“見える化”することで、日常管理においては早期に異変を発見することができること、また、発注者との協議においては合意形成の支援ツールとして機能すること、等の効果を確認した。

5 おわりに

地盤改良工事の施工情報を簡易な操作で3D化することができるシステムの整備が完了した。現場からは、リアルタイム3Dモデリング機能、3DモデルのAR化機能を望む声が寄せられているため、引き続き、機能強化に取り組んでいく計画である。

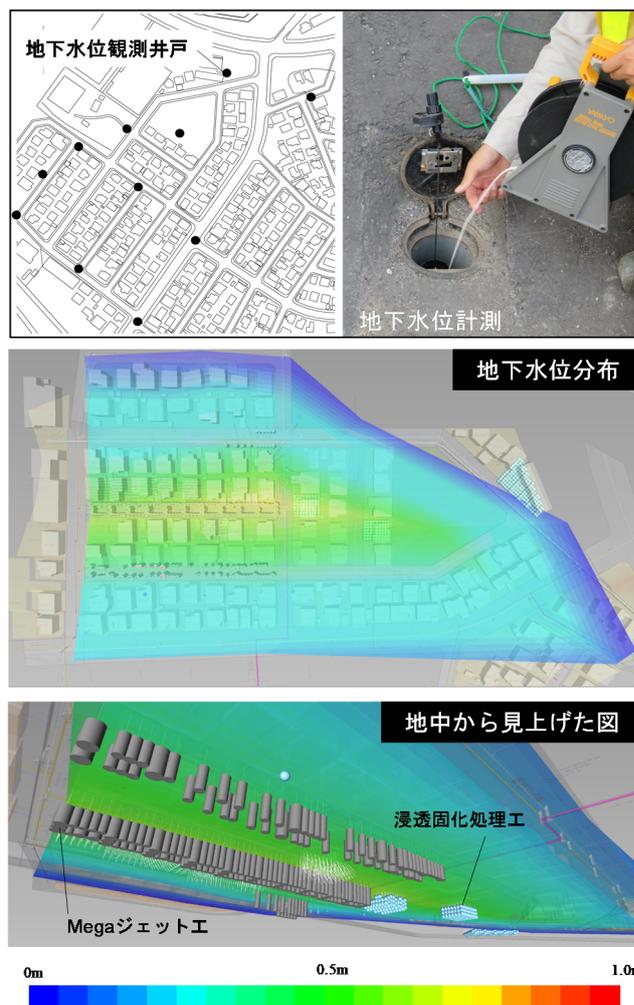


図-7 Gi-CIMによる地下水位管理

参考文献

- 1) 増田雄太郎, 堤彩人, 山本敦, Enni Chen: 曲がりボーリングを用いた地盤改良工事に対するBIM/CIMの適用事例, 第55回地盤工学研究発表会, DS-8-06, 2020.
- 2) 一般財団法人沿岸技術研究センター: 浸透固化処理工法技術マニュアル(改訂版), 2020.
- 3) 榊原淳一, 田子彰大, 堤彩人, 山本敦, 増田雄太郎, 高野大樹, 高橋英紀: 震弾性波の振幅減衰を用いた薬液注入範囲の把握, 基礎工, Vol.46, No.11, pp.54-57, 2018.
- 4) 堤彩人, 山本敦, 鈴木定義, 後藤雄平, 佐々木将仁: 液状化被害を受けた宅地の災害復旧工事—札幌市の市街地における浸透固化処理工法の適用事例—, 基礎工, Vol.49, No.5, pp.44-47, 2021.

山岳トンネル工事を対象とした自動化施工システムの開発

鹿島建設	土木管理本部	トンネルグループ統括技師長	青柳 隆浩
	土木管理本部	トンネルグループ担当部長	手塚 康成
○機械部		自動化施工推進室担当部長	高橋 公城
機械部		自動化施工推進室担当部長	牟田口 茂
機械部		自動化施工推進室	犬塚 隆明

1 はじめに

「作業員・熟練者の不足」、「労働災害・事故の多さ」、「低い建設生産性」は建設業全般にわたる喫緊の課題となっている。建設業は労働集約型産業として、施工体制の重層化が進んだ結果、ノウハウの必要な施工や作業手法は、熟練工または経験値の高い作業員の技術、いわゆる暗黙知に依存する体質になっている。一方、建設業の労働災害は、他産業と同様に減少傾向ではあるが、就労者数あたりの災害数は、他の産業に比べ突出した状況は変わらない。これらの課題を解決するためには、抜本的な生産体制の変革が必要であり、その有効な手段の一つが自動化機械を用いた施工システムであると考えている。人力主体の施工から自動化機械主体の施工に移行することで、作業員不足、労働災害の課題を解消し、今まで熟練作業員のノウハウとして暗黙知だった作業方法をデジタル化し、定量的な分析・評価を行い、常に生産性向上が可能なシステムとなる。本稿では、鹿島建設が進める山岳トンネル自動化システムの作業ステップのうち、最も経験と熟練性を必要とするコンクリート吹付け作業に着目した、コンクリート自動吹付け機の開発について報告する。

2 山岳トンネル自動化システムの概要

山岳トンネル掘削工事の掘削は、(1)穿孔(2)装薬・発破 (3)ずり出し (4)アタリ取り (5)吹

付け (6)ロックボルト打設と一連の決まった施工ステップを切羽において繰り返し施工する。鹿島では、全ての施工ステップで自動化を進め、作業方法の分析・シミュレーションによる基本作業の最適化、現場環境に適した作業の構築を行っている(図-1)。2016年に穿孔作業を自動で行う「4ブームフルオートコンピュータジャンボ」を導入、「コンクリート吹付け」作業の自動化開発を2018年に着手、2019年にはロックボルト打設の一連作業を完全機械化した専用機を開発し、順次、掘削作業の機械化・自動化を進めてきた。



図-1 山岳トンネル自動化のイメージ

3 コンクリート自動吹付け機の開発

「熟練作業員の品質を確保した上で、生産性の高い吹付けを行う」という目標を達成するためには、地山条件に応じた“最適な吹付け方法の定式化(管制)”、定式化した吹付け方法を正確に再現する“高精度な自動吹付け機の開発(制御)”、吹付け出来形を高精度計測する“計測評価システムの開発(計測)”この三機能が必要で

ある(図-2)。この三機能を装備した最適な自動吹付けシステムの開発を三年間かけて実施してきた。その開発経緯を以下に述べる。



図-2 自動吹付けに必要な3つの機能

3. 1 自動吹付け機の開発(制御)

3. 1. 1 吹付け機の改造

最適な吹付けを行うため、汎用の吹付け機を高精度な自動吹付け仕様に改造を行った。汎用機の各アクチュエータ(ブーム、アーム、ノズル)は、on/off 制御の油圧バルブ(速度一定)のため、任意の速度制御ができない。そこで、任意の速度制御が可能な比例制御の油圧バルブに変更した。各アクチュエータの稼働部にセンサを設置、センサ情報はコントローラで処理し、制御PCで制御するシステムを構築した(図-3, 4)。



図(写真)-3 開発した自動吹付け機

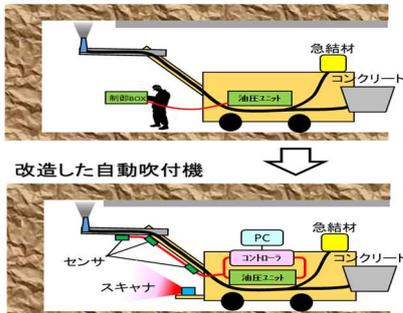


図-4 自動吹付け機への改造

3. 1. 2 開発した自動吹付け機

山岳トンネル工事の掘削における吹付け作業は、「切羽吹き」「支保工吹き」「坑壁吹き」と3

つのモードがある(図-5)。各モードは、それぞれ要求仕様が異なる(表-1)。以下に各モードについて述べる。

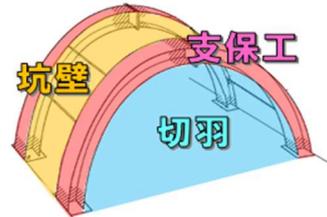


図-5 3つの吹付けモード

表-1 各吹付けモードの要求仕様

モード	吹付けの要求仕様		ノズル位置誤差の要求仕様
	吹付け厚	仕上面	
①坑壁吹き	設計厚以上かつ地山凹凸に対応し、所定の内空ラインまで吹き上げる	平滑性が求められる	5~10cm以内
②鏡吹き	所定の吹付け厚(ex. 5cm)を確保	特になし	10cm程度
③支保工吹き	地山と鋼製支保工の一体化させ、H鋼の中まで密実であること	特になし	数cm以内

切羽吹きは、地山等級毎に必要な吹付け厚が異なるため、一定の吹付け厚に管理する必要がある。吹付け機の複数のアクチュエータ(8自由度、図-3)を連動させ、どこを吹く時もノズル先端部を任意の設定速度に制御し、吹付け厚を管理する。支保工吹きは、鋼製支保工の背面やフランジ間へ密実にコンクリートを吹付ける必要がある。坑壁吹きや切羽吹きよりも高精度なノズルの位置、方向、速度の制御が必要である。坑壁吹きは、吹付け面を平滑に仕上げることが必要である。多岐にわたる実験によりノズルワークと付着形状の関係式を構築し(定式化)、高精度に吹付け出来形を管理することができる。

3. 2 吹付け厚計測システムの開発(計測)

3D スキャナを自動吹き付け機に搭載し、切羽形状を計測出来るシステムを自社にて開発した。発破後の切羽面や吹付け出来形を正確に3次元座標で計測し、そのデータを基に最適な吹付け方法の選定が可能となった(図-6)。

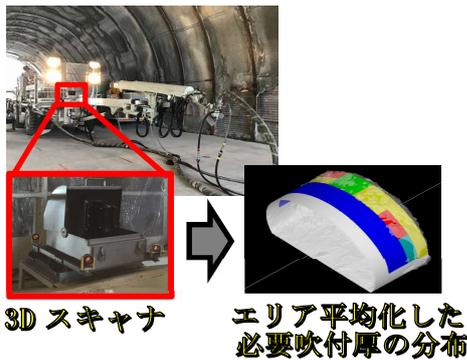


図-6 3D スキャナと必要吹付け厚表示例

3. 3 最適な吹付け方法の定式化(管制)

3. 3. 1 吹付けコンクリート配合の検証

吹付けコンクリートの材料特性が吹付け出来形に与える影響を検証した。吹付けコンクリート配合はクリアショットの標準配合をベースとして、スランプと細骨材率を3種類に変化させた配合を準備した。評価基準は、吹付け出来形の形状(ダレの有無等)とリバウンド率とした。結果は、どの配合も出来形に遜色は無く、リバウンド率も同程度、配合による差異は見られなかった(表-2)。一方、作業員の手動吹きでも同様の吹付け実験を行った。リバウンド率の差異が明らかとなり、リバウンド量は、ノズルの振り角やノズルと壁面距離等、ノズルの動かし方が、材料の特性よりも支配的であることが判明した。

表-2 配合の検証

		配合1	配合2	配合3
配合	C (kg)	400	400	400
	Gmax(mm)	13	13	13
	W/C	50	50	50
	s/a	61	63	65
スランプ (現着) (cm)		20.0	22.5	16.0
自動吹付	吹付け状況			
	品質 (目標平面)	(ダレなし)	(ダレなし)	(ダレなし)
	リバウンド率	7%	7%	9%
手動吹付	リバウンド率	18%	15%	16%

※ 手動吹付は、トンネル吹付作業の熟練オペレータによる吹付

3. 3. 2 吹付け方法とリバウンド量

吹付け距離(ノズルと壁面の距離)、ノズル振り角速度、コンクリート吐出量の3つの要素とリ

バウンド量の相関を確認した。リバウンド量は、吹付け距離、振り角速度とほぼ比例の関係がある(図-7, 8)。吐出量は、吐出量が増加するほど付着が増え、リバウンド量が減少する(図-9)。吹付け距離は、離隔1mが最もリバウンド量は少ないが、ノズル先端と壁面までの距離が近く、ノズルのエア圧力により凝結前のコンクリートが影響を受け、吹付け出来形が不規則に変化することが確認された。そこで、エア圧力の影響を受けない範囲でリバウンド量が最小となる1.5mを最適な吹付け距離と判断した。ただし、エア圧力を変更すれば、最適吹付け距離も当然ながら変化することになる。

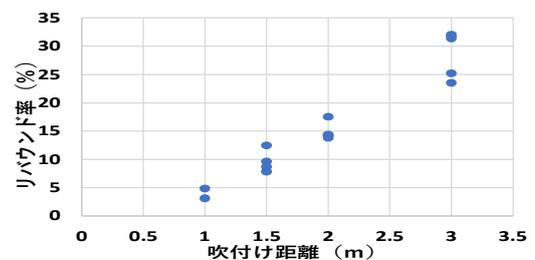


図-7 吹付け距離とリバウンド

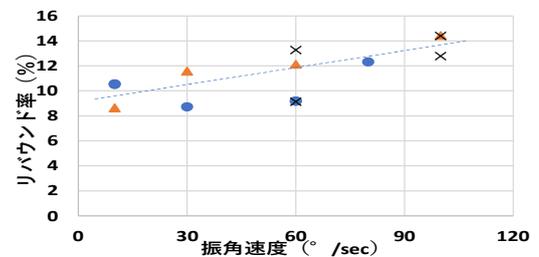


図-8 ノズル振り角速度とリバウンド

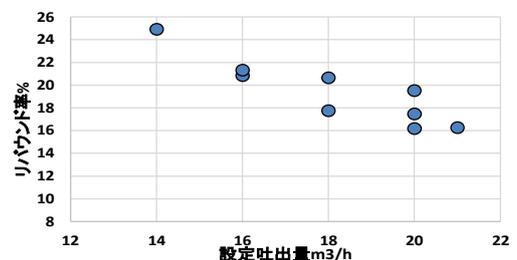


図-9 コンクリート吐出量とリバウンド

3. 3. 3 吹付け方法と付着形状

吹付け形状を厚さ、高さの要素に分け、トンネル周方向の長さを吹付け幅と定義する。吹付

幅は、ノズルの振角度とコンクリート吹付け時のノズルからの放射角等を考慮し、幾何学的に関係式を構築した(図-10)。図-11には、実測値をプロットした図を示す。関係式と実測は良く整合していると言える。一方、吹付け厚は吐出量からリバウンド量を差し引き、吹付け幅が既知であれば、吹付け厚を導き出せる。図-12に導き出した予測値と実測値が良く整合することを示す。

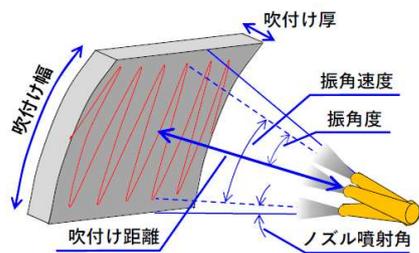


図-10 振角度と吹付け幅の関係

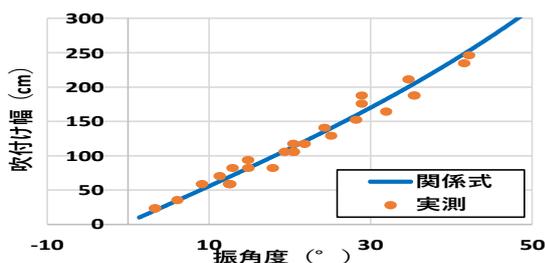


図-11 関係式と実験の比較

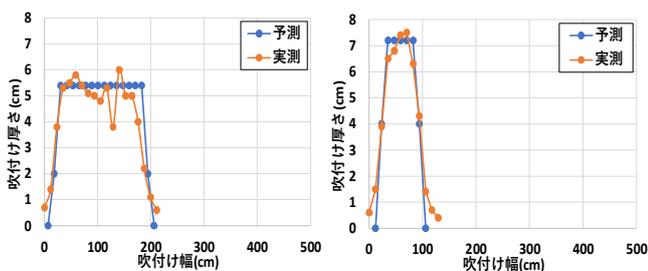


図-12 吹付け形状(厚さ・幅)予測と実績比較

3. 3. 4 地山条件に適した吹付け方法

計測システムのスキャンデータから、坑壁の凹凸に応じた最適な吹付け方法を選定するシステムを開発した。実験から構築した吹付け方法と吹付けコンクリートの付着形状の関係から、地山形状に合わせた吹付け方法を導き出すことができる。このシステムには、シミュレータ機能があり、導き出した吹付け方法による吹付け

出来形(予想)が、品質、リバウンド、サイクルタイム等の管理条件を満足させているか、事前に確認出来る。管理条件を満足できなければ、吹付け方法の見直しを実施する。

4 おわりに

鹿島建設では、2018年秋に(一社)日本建設機械施工協会施工技術総合研究所の敷地内に開発専用の模擬トンネルを築造し、日々試験を行ってきた。開発に最も時間と労力を要する吹付け作業の自動化を中心に開発を行った。その結果、ノズルの位置制御誤差は、±10 cm以下、速度制御誤差は5%以下という高精度なコンクリート自動吹付け機を開発することができた。このようにコンクリート自動吹付け機は、自動吹付け作業に必要な機能を構築するフェーズは完了した。今後、実際のトンネルに持ち込み、自動吹付け作業を実施しながら、各機能のブラッシュアップを実施予定である。さらに現在、汎用機を改造した実験用1ノズル自動吹付け機(1号機)とは別に自動吹付けに適した2ノズル吹付け機を製作中である。吹付け機構が2つとなり、更なる生産性向上を目指す。今回開発した自動吹付け機が一般のトンネル現場へ早期に導入できるように今後も全力で取り組んで行く所存である。

《参考文献》

- ・三浦悟、牟田口茂、岩野圭太；自動化技術によるトンネル施工の生産性向上、構想・計画調査・設計・施工・維持補修・管理の総合土木技術誌 土木施工 Vol.61, 2020
- ・犬塚隆明、岩野圭太、三浦悟；山岳トンネルにおける吹付けコンクリートの自動化(その2)、土木学会第75回年次学術講演会, VI-433, 2020

未来の建設生産システムの構築に向けて

清水建設（株） 土木技術本部 イノベーション推進部 グループ長 ○佐久間 清文
北陸支店 土木技術部 部長 土田 一輝

1 はじめに

建設分野においては、インフラ分野のDX（デジタル・トランスフォーメーション）の推進を掲げ、ICTやデジタル技術を活用することで、建設生産システムを変革して生産性・安全性を大幅に向上させ、魅力ある建設現場、安全・安心で豊かな生活の実現を目指している。

DXは大きく「行動」「知識・経験」「モノ」に分類されるが、中心となる技術は施工機械の大型化・自動化、施工情報のデジタル化・可視化、そしてデジタルツインの構築である。

本報告では、近未来の建設生産システムの構築に向けたDXに関する個別技術の開発とその成果について紹介する。

2 技術開発事例

2.1 覆工コンクリート自動打設システム

2.1.1 開発の目的

山岳トンネルの覆工コンクリートの打込み・締固め作業は、これまで熟練工の経験に大きく依存してきた。一方で、近い将来、熟練工が大量に離職していくこと、狭隘な作業空間での苦渋作業への対応は喫緊の課題であった。そこで、作業員の技量によらない高品質な均質化、作業員の苦渋作業からの低減を目的に、覆工コンクリートの自動打込み・締固めが可能なシステム開発を行った。

2.1.2 技術の概要

本システムはマニピュレータ方式により、2本の打込みノズルを備え、自動で移動させながら配管を切り替えていく（図-1）。

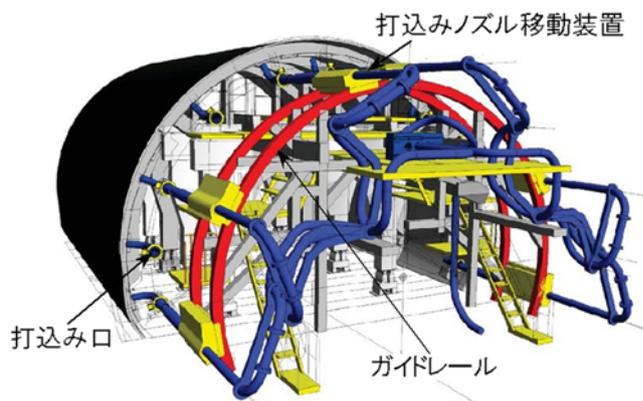


図-1 自動打込み機概要図

打込みノズルと打込み口の接続は、打込みノズルに装着された接近検知センサと、高さ調整センサによって自動的に行われる。打込みノズル接続後、コンクリートポンプ車を用いて中流動コンクリートを自動圧送し、吹上げ方式でコンクリートを打ち込む。各打込み口から圧送されたコンクリートが所定の打込み高さに達したことをセンサが感知すると打込みが完了し、型枠バイブレータが自動で起動して15秒間締固めを行う（図-2）。

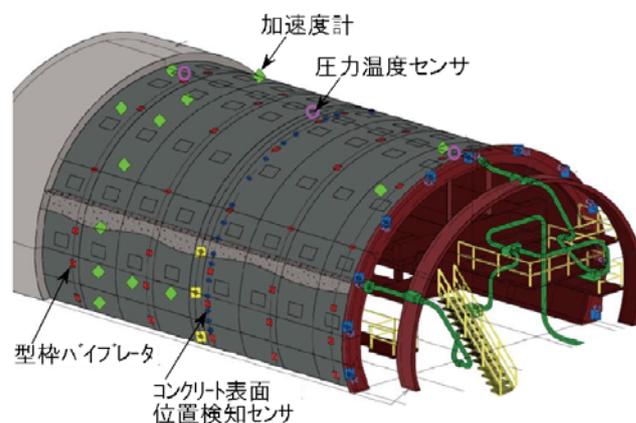


図-2 自動締固め装置概要図

締固め状態は、モニター上に可視化され、それをもとに次の施工を判断する。覆工自動施工はコンクリート感知センサと型枠バイブレータ、コンクリートポンプを集中制御することで行う（図-3）。



図-3 打込み・締固め状況管理用展開図

2. 2. 3 技術の検証と成果

本システムは施工中を含め計 6 現場で実装している。通常の打込みは鉛直打込みとなるため、材料分離やエアの巻き込みが生じることがある。本システムの吹上方式はそれらの発生が生じない打込みが可能であり、エアあばたや色むらの少ない品質を確保できた（図-4）。



図-4 覆工コンクリートの出来映え

また、従来の人力作業が機械作業に置き換わったことにより、狭隘な作業空間での苦渋作業がなくなった。さらに、従来労務 6 人で約 6.5 時間を要した打設作業は、労務低減 67%の 2 人、打

設時間 15%低減の約 5.5 時間となった。

2. 2 3眼カメラによる配筋検査システム

2. 2. 1 開発の目的

配筋検査は鉄筋コンクリート構造物の品質保証のための重要なプロセスである。

現地における検査は検尺ロープなどの設置から計測、黒板記入、発注者の確認を実施し、検査後は事務所での帳票作成等を行うため、多くの人員と時間を要していた。様々な配筋検査システムが開発されてきたが、計測精度や使い勝手に課題が多く実用化に至っていなかった。そこで、それらの課題を解決する検査システムを開発した。

2. 2. 2 システムの概要

本システムは3眼のステレオカメラを用いて対象物を撮影することで、カメラと鉄筋までの距離を精度よく把握し、日射の影響や2段配筋の構造においても、足場内の安全な場所からの撮影、鉄筋径と本数、鉄筋の平均間隔、重ね継手長の計測が可能である。足場プレスやセパレータなどの異物はシステムが自動で除去し、上下2段の縦・横方向の計4段の鉄筋を同時計測が可能である。測定したデータは自動算定し、7秒程度で帳票まで作成し、発注者と共有のクラウドに自動保存することが可能である（図-5）。



図-5 3眼カメラによる配筋システム概要

2. 2. 3 技術の検証と成果

システムの検証として、日射、配筋仕様などの撮影環境が異なる約20の現場で実証を行った。

結果は、検査に要する人数を従来の複数人から一人に削減した上で、上述の機能を満足すること

を確認した（図-6）。メジャーと本システムによる鉄筋平均間隔計測の誤差を示す（図-7）。鉄筋平均間隔は、鉄筋径によらず±5mm程度の誤差に収まり、基準値である規格値±鉄筋径を判断するには十分な精度を有している。

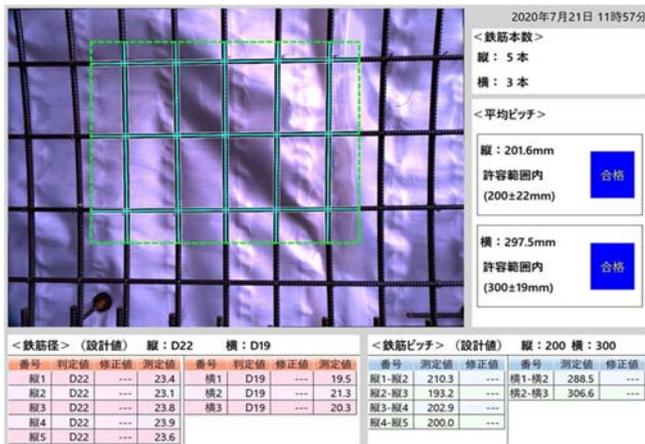


図-6 撮影画像と自動作成した帳票

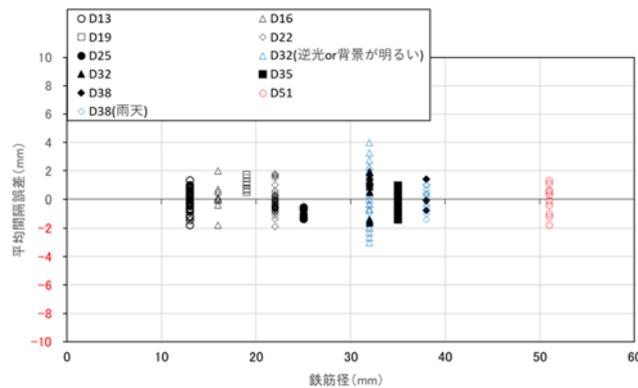


図-7 メジャーとシステム計測の平均間隔誤差

本システムによる省人化率を示す（表-1）。橋梁上部工の配筋検査において、従来の検査方法に対して、全プロセスにおいて省人化を達成し、その合計は75%となった。

表-1 省人化率の比較

配筋箇所	作業場所	従来検査				システム検査	
		作業時間	人工	人工・時間	作業内容	人工	人工・時間
橋梁上部工 (上床版4カ所、 下床版4カ所、 側壁2カ所)	事務所	2:00	1	2:00	・配筋調書ひな型作成	1	1:00
	現場	5:00	2	10:00	・配筋自主検査	1	2:00
	事務所	2:00	1	2:00	・配筋調書記入 (自主検査用)	1	1:00
	現場	2:00	3	6:00	・段階確認 (配筋検査、写真撮影、 片付け)	1	1:00
小計				20:00		5:00	
削減率(%)				75			

2. 3 遠隔施工管理技術

2. 3. 1 開発の目的

遠隔臨場は、発注者監督員の移動時間短縮だけでなく、施工者側にとっても発注者側との調整や待ち時間の短縮メリットが期待される。一方、「建設現場の遠隔臨場に関する試行要領（案）」（国土交通省、令和3年3月）の実施・記録方法だけでは、検査後の帳票作成、写真整理等の省力化が図れないため、更なる機能向上を図ることを目的に開発を行った。

2. 3. 2 システムの概要

本システムは遠隔臨場画面に、帳票・電子黒板入りの写真を映し出し、検査結果の入力から発注者の承認まで行うことが可能である。帳票・電子黒板入りの写真は発注者側のみが承認可能であり、かつ、承認後は変更が不可となる。承認された帳票は発注者と共有するクラウドへ自動保存されるため、施工者側は検査後の帳票作成が不要となる（図-8）。



図-8 遠隔臨場システムの概要

2. 3. 3 技術の検証と成果

トンネル工事のうち覆工、インバート工、排水工を対象に5か月間で500件超の遠隔臨場を実施し、発注者・受注者双方にアンケートを行った（図-9）。本システムに対する全体評価は高く、受発注者双方にとって有効なものであることが確認された。一方で、評価の低い項目については、原因分析と改良を行うことで一層の生産性向上を図っていく。

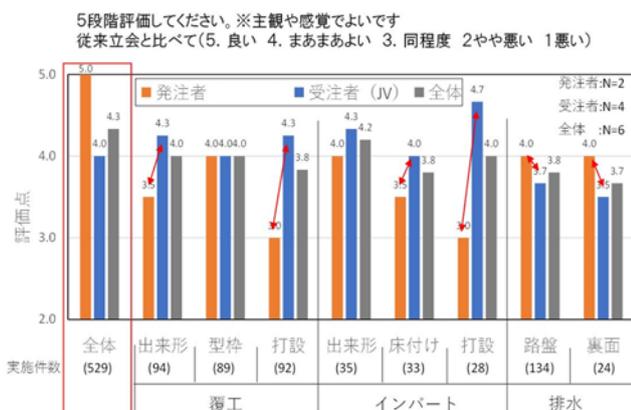


図-9 システム使用後のアンケート結果

2. 4 遠隔拠点からのサイバー検討システム

建設分野では、距離や実寸法の確認が重要であり、経験者が現地で現物を確認することで現実的な対策を講じる三現主義が必須であった。一方、3Dレーザースキャナによる色調点群データの取得、天球カメラ映像とBIM/CIMモデルの合成、VR（仮想現実）などの技術が目覚ましく進展していることで、より現実感のある仮想空間の構築と、ヘッドマウントディスプレイを装着した出席者がアバターとして没入することが可能となる。

この仮想空間において遠隔サイバー会議を行うことで、通常では入れない空間や、現実では見落とす可能性のあるポイントに容易に、回数や遠隔拠点の有無を問わずアクセス可能となる。経験豊富な遠隔地のベテラン技術者の参加、多くの関係者による気づきが得られ、移動時間やスケジュール調整が不要な検討会が実現する。

既存の高速道路に挟まれた狭隘な空間でのクレーン作業に関するVR検討会の例を示す（図-10）。本検討会は対象現場と、そこからそれぞれ90km離れた2地点を接続し、工事経験者や関係者が参加した。実際には立ち入ることのできない既設高速道路の高欄とクレーンの離隔等を確認することで入念な施工計画の立案に加え、関係者の移動時間をなくすことができた。フロントローディングにより、実施工においても事前の検討と寸分変わらない施工が可能となった（図-11）。



図-10 VR空間での作業手順打合せ



図-11 実施工状況

4 おわりに

未来の建設生産システムに向けた開発と実装状況の一例を紹介した。DXをさらに推進するためには、現地で取得したデジタルデータを高速に共有させることが不可欠であり、そのためのAPIやプラットフォームの構築を産学官連携して取り組む必要がある。

遠隔臨場ドローンシステム

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企画部 松岡 祐仁
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機械部 ○林 秀晃
株式会社センシンロボティクス マーケティング部 吉井 太郎

1 はじめに

近年、ドローンは、モバイル技術の進化やバッテリーの小型化、低価格化によって 2010 年代から急速に進歩・普及するようになった。インフラや設備点検・測量の分野では、ドローンの活用が引き続き普及していくとみられていることから、需要の拡大が見込まれている。

遠隔臨場とは、web 会議システムである Microsoft teams などといった配信システム、及びウェアラブルカメラやタブレットなどの端末を併用し、建設現場において段階確認・材料確認・立会の作業を行うものである。リモート化されることで移動時間の削減、非接触による新型コロナウイルス感染症拡大防止など、働き方改革や生産性向上を期待されている。

遠隔臨場は、2020 年度からインフラ分野の DX として推進され、建設現場にて試行を開始している。現在の遠隔臨場は、前述の通り、ウェアラブルカメラなどを利用した運用が主流となっているが、課題も抱えている。その課題を 2 点あげる。

- ① 必要機材を担当職員が準備し、発注者の指示でカメラの向きや撮影場所を移動する必要がある
- ② 撮影者やカメラの配置により、撮影範囲が制限されてしまう

① の課題に対して

発注者自らが、カメラの向きやズームをリモート操作できるなど、対話性に優れたインターフェースが必要である。これは、ライブ中継を行う点で、

双方向の通信性能の向上が求められると共に安定した通信環境が必要である。

② の課題に対して

機動性に優れているドローンを活用することで撮影範囲が飛躍的に拡大できる可能性がある。その反面、カメラの性能や操作性の向上が求められる。

以上を踏まえ、本報では、現在のウェアラブルカメラなどを活用した遠隔臨場の更なる効率向上と高度化を目指し、開発した「遠隔臨場ドローンシステム」（株式会社センシンロボティクスと共同開発）の概要と、本システムを実現場で試行した際の課題解決について報告する。

2 システムについて

2.1 使用機器

検証では 1200 万画素の 14 倍カメラを搭載したドローン（SENSYN Mark-2）（図-1）を用いた。仕様表を表-1、表-2 に示す。

表-1 ドローン(SENSYN Mark-2)の仕様表

サイズ	対角0.888m
重量	7.5kg
入力電源	25分
動作保証温度	-10℃ ~ +40℃
防水・粉塵性能	IP54相当
耐風性能	10.0m/s
充電時間	空の状態から約1時間で満充電

表-2 ドローン(SENSYN Mark-2)搭載カメラ

カメラ	14倍ズームカメラ
センサー	CMOS 1/2.3"
サイズ	4000 (H) x 3000 (V) 1,200万画素
レンズ	HFOV= 92 or 50 EFL : 2.3mm

本機は 25 分間連続飛行が可能となっており、ドローンの機動力とともに、高倍率ズームカメラにて、広範囲の俯瞰とピンポイントで、より詳細な映像を提供できることを期待して選定した。

2. 2 システム構成

本システム(図-2)は、遠隔監視システムである SENSYN CORE Monitor (以下 SC モニタ) を基に建設現場の遠隔臨場向けに改良したシステムであり、ドローンが撮影した現場の画像・映像データや飛行時のテレメトリ情報はドローンから 4G-LTE 回線を通して、クラウドにアップロード・蓄積される。アップロードされた情報は、クラウドで一括管理され、遠隔会議室や現場事務所など、様々な場所から本システムに接続することで映像確認(現場内の確認)ができる。また、遠隔管理者は、映像確認だけでなく、ドローンの旋回やカ

メラのズーム操作が可能となっている。



図-3 SC モニタ

SC モニタの操作画面は、図-3 のように右下にあるドローンのコントローラ、左下にあるドローン飛行位置確認マップ、撮影映像などで構成されている。コントローラでは、左側の方向スティックでドローンの旋回が、+-ボタンでドローンのズームが可能となっており、カメラのジンバルピッチも調整できる。また、外部関係者には、URL を共有することで、どこにいても映像の共有が可能である。また、本システムでは、リアルタイムの映像共有のみならず、過去の画像をクラウドに蓄積しているので、同じ場所での画像比較も行える。なお、音声通信は、近年 web 会議システムとして普及している Microsoft teams を併用した。



図-1 ドローン機体

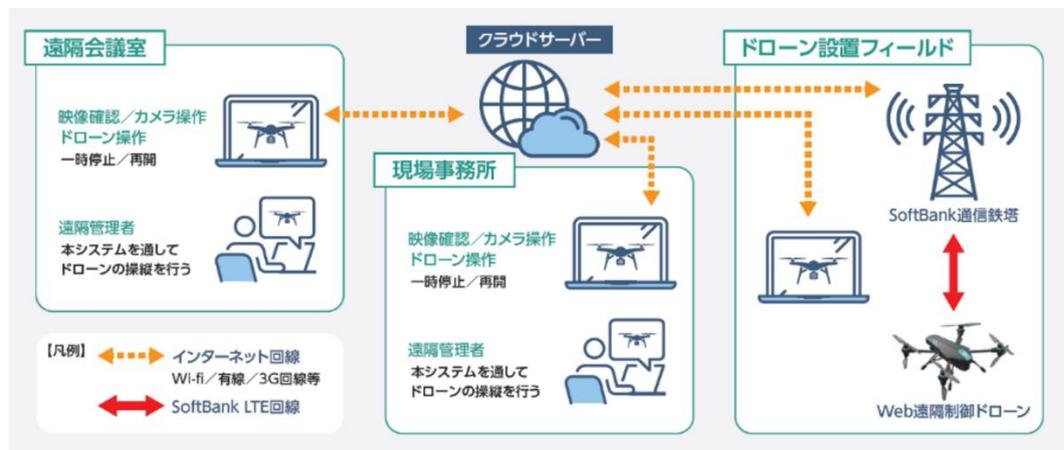


図-2 システム全体図

3 本システムの現場試行について

3.1 現場試行の概要

工事名 : 令和元-4 年度横断道羽ノ浦トンネル
工事

場所 : 徳島県小松島市

発注者 : 国土交通省四国地方整備局

試行期間 : 2021/3/29~2021/8/4

3.2 通信システムの改良

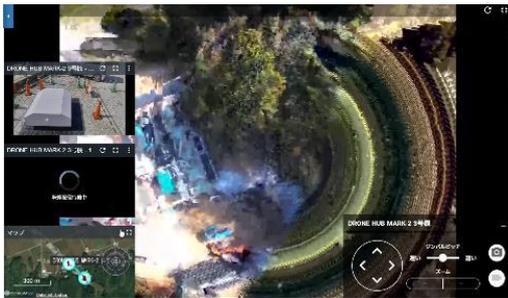


図-4 改善前



図-5 改善後

テスト飛行の際、ドローンからのリアルタイムでの映像のみ、通信遅延によりブロックノイズが多発した（クラウドに保存済みの映像データは問題なし）。図-4 はドローンが旋回した際のリアルタイム映像をピックアップしたものであるが、アーチ状の残像ノイズが現れた。旋回終了後は通常の映像に戻った。これは映像伝送遅延が原因と考えられる。検証を行った結果、高画質な映像と通信遅延がトレードオフの関係であることに起因していることが分かった。そこで解像度とフレームレートの最適化を下記の通り実施した(図-5)。

- ・解像度 : 1280×960 (HD) ⇒960×720
- ・フレームレート : 20 コマ/s ⇒10 コマ/s

また、映像のエンコード処理には LTE 回線で「H.264H」を使用していた。しかし、調査の結果、機体でのエンコーディングの負荷が想定よりも高く遅延が生じ、画質にも影響していたため、負荷の低い「H.264B」に変更した。これらを行うことでライブ映像の遅延や配信の途絶といった問題が解消され、映像のスムーズな更新が行えるようになった。

3.3 遠隔臨場ドローンシステムの現場試行

本システムの試行概念図を図-6 に示す。試行の目的は、従来の遠隔臨場であるウェアラブルカメラやタブレットを補助する形で、広範囲に渡って発注者が見たい映像をすぐに確認できることである。



図-6 試行概要

試行では、ドローンの機動性を用いた映像提供検証と盛土箇所に 1cm 単位のリボンロッドを設置し、ピンポールで指した目盛値を現場詰所の PC モニタにて視認可能かどうかの検証を行った。条件は高度 20m・30m に対して、各々カメラの倍率 1 倍・7 倍・14 倍の計 6 通りで実施した。

3. 4 遠隔臨場の試行結果

3.3 の検証条件にて実施した法面の法長検尺の検証結果を表-3 に示す。

表-3 飛行結果

倍率[倍] 高度[m]	1	7	14
20	×	×	○
30	×	×	○

高度 20m・30m のケースにおいて、両高度ともに倍率 14 倍のみ視認できる結果となった。

高度 30m、倍率 14 倍のリボンロッド部確認映像の拡大を図-7 に示す。



図-7 リボンロッド 1cm ピッチ視認(モニタ)

本検証を通して、ドローンを用いた遠隔臨場は、従来の遠隔臨場にドローンによる空撮映像を提供することが有意であることを確認できた。また、カメラにて 1cm ピッチの目盛りを視認できたことから、ドローンは遠隔臨場に必要な仕様に耐えうると考えられる。

本システムにて、ドローンによる検査状況の空撮映像を追加提供するメリットと特徴を 4 点あげる。

- ① 地上からでは、撮影者の移動やカメラの段取り替えが必要な場合でも、ドローンにより検査対象全域の概況から、cm 単位のピンポイントな詳細確認までを短時間でカバーすることが可能である。

- ② リアルタイムかつ複数映像の表示とクラウドに保存された過去の遠隔臨場記録の再現・比較閲覧が可能である。
- ③ 複数拠点から web ブラウザでアクセスすることでドローンの遠隔操作が可能である。
- ④ リアルタイム映像を確認しながら、機体の向きやカメラのズーム（最大 14 倍）を自由に操作可能である。

4 おわりに

本システムは、スムーズな操作と映像配信を実現し、検査時に使用するリボンロッドの 1cm ピッチの目盛りをモニタで視認できるほど高画質なものである。これにより、発注者の現場臨場業務を大幅に削減でき、遠隔臨場の更なる効率化、高度化を図ることが可能である。

また、現在、主に市場に出回っている DJI 社製の Phantom4 シリーズのドローンについても、カメラのズーム機能がない機種で、ズーム不可であるが、本システムで活用できることを確認した。

今後は、より安定した映像品質が確保できるように、時間や場所に応じて適切なキャリア通信網が選択できるシステムの検討が必要だと考える。また、ドローンの制御・通信に普及段階に入った 5G を活用し、映像の高画質化をさらに推進すべく、技術開発を継続する所存である。

謝辞

共同での本システム開発にあたり、ご協力いただいた株式会社センシンロボティクス各位に深く感謝申し上げます。

- 1) 国土交通省：建設現場の遠隔臨場に関する監督・検査試行要領（案）、pp. 1～6、令和3年3月
- 2) 国土交通省：資料 3 インフラ分野のDXに向けた取組紹介、pp. 2～20、令和2年7月29日

豪雪地域における積雪を考慮したクローズド型廃棄物最終処分場

(株)福田組 技術部 環境技術課課長 小林 正利

1 はじめに

近年、周辺環境配慮や土地の有効活用（オープン型より狭い敷地で設置可）等の観点から全国的にクローズド型最終処分場の建設が増加している。一方、豪雪地域では積雪に起因する被覆施設の損傷など維持管理上の問題が発生している。被覆施設の積雪対策や廃棄物搬入通路の確保など、積雪地域特有の問題に配慮し、設計施工を行ったクローズド型最終処分場の二つの事例（新潟県長岡市、新潟県糸魚川市）を紹介する。

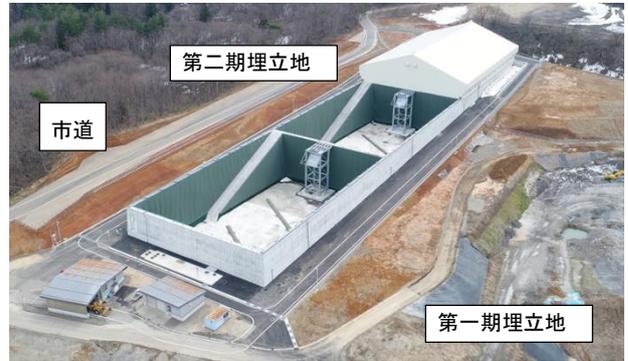


写真2.1 柿処分場第二期埋立地外観

立地は第一期埋立地（オープン型）と市道に近接するため、十分な排雪スペースがなく、除雪・排雪処理が検討課題であった。

2 事例1 新潟県長岡市

2.1 施設概要・主要構造物・設計条件

施設概要・主要構造物・設計条件を表2.1に示した。当該処分場は緩傾斜地であるため貯留構造物が地表面から露出する構造である（写真2.1）。過去27年間の長岡市の最大積雪深は160cm¹⁾であり、当該地は観測地点より標高が高く、それ以上の積雪深が見込まれる。当該埋

2.2 積雪配慮設計

2.2.1 被覆施設

(1) 雪処理構造方式の採用

本施設においては雪処理構造方式（落雪型）を採用した。耐雪型構造方式（耐雪型）を採用する場合、貯留構造物の幅員（40m以上）を考慮すると中間支柱が必要となる。管理型最終処分場に

表2.1 施設概要・主要構造物・設計条件（事例1）

施設概要					
施設名称	柿最終処分場第二期埋立地	所在地	新潟県長岡市柿町増沢 1520	発注者	長岡市
埋立面積	7508 m ² (3区画合計)	埋立容量	109,870m ³		
埋立物	焼却残渣（灰）・不燃ごみ・側溝清掃汚泥				
埋立構造・方式	準好気性埋立構・サンドイッチ方式	工期	平成29年3月28日～令和3年3月15日		
主要構造物					
①貯留構造物	鉄筋コンクリート造（W45m×L60m×D15m×3基）	②被覆施設	鉄骨トラス+塩ビ系膜テント構造		
③搬入設備	タンピングステージ（鉄骨造）	④遮水施設	PE製二重遮水シート+電流式漏水検知システム		
⑤散水設備	散水ガン6基、雨水貯留槽	⑥監視設備	地下水観測井戸、ガス検知器（屋内）		
⑦浸出水集排水設備	浸出水集排水管兼ガス抜き管、浸出水ピット3基、浸出水貯留槽1基				
⑧浸出水処理設備	浸出水処理施設（既設）、浸出水調整設備		⑨関連施設	管理用道路、補助消雪設備	
設計条件					
立地条件	標高125～131m 丘陵緩傾斜地	積雪荷重	29.4N/cm ² （垂直積雪量250cm）		
被覆・構造方式	インフラコスト・ランニングコストを考慮して提案	搬入車両	10台/日（6～8tDT、7-tローラー車、道路清掃車）		
構造計算	建築基準法や長岡市建築基準法施行細則等に準拠 積雪荷重：積雪の単位荷重 29.4N/cm ² 垂直積雪量：250cm（耐雪構造方法）もしくは100cm（雪処理構造方式の場合） 風圧力：地表面粗度区分=Ⅲ地域、基準風速=30m/sec 地震力：地震地域係数 Z=0.9				

においては遮水機能が最も重要である。シートによる遮水機能はシート接合部が脆弱となりやすく、接合部の最小化が必要である。中間支柱を用いる場合、シート加工が複雑で接合部が多く、漏水リスクが高まる。よって、漏水リスクを軽減するため中間支柱がない落雪型を採用した。

(2) 移動式被覆施設

落雪型採用により、廃棄物搬入通路に屋根雪の落下・堆積が生じ、除雪作業の負担が大きくなる。埋立地を分割し、埋立進捗に伴い被覆施設が移動する形式の採用により、屋根面積を1/3とし、屋根からの落雪量を軽減した。

(3) 被覆施設形状・材質

屋根移動時の作業性を考慮し、被覆施設の軽量化のために膜テント構造とした。屋根雪の滑落性を考慮して、屋根傾斜を35%（一般的には20%）とし、屋根膜材として平滑性に優れた特殊フッ素樹脂フィルム加工材（国土交通省認定不燃膜材料）を適用した。屋根頭頂部には屋根積雪滑落を誘発する雪割を設置した。令和2～3年冬期の実績として屋根積雪は10cm以下であった。（写真2.2～3）また、雪底による側面膜損傷を防止するために軒出し構造とした。

2.2.2 廃棄物運搬車両用通路

廃棄物運搬車両用通路においては、除雪作業の支障となるピットや配管類を地中埋設とした。配管類埋設深さは凍結防止を考慮し、凍結深以下とした。また、通路幅員を10mとし、屋根雪滑落による事故防止、および除雪によって発生する排雪を堆積するスペース（5m）を確保した。（写真2.4）

2.2.3 落雪溝

堆雪側圧による被覆施設損傷を防止するために落雪溝を設置した。

当該処分敷地は傾斜地であり、廃棄物搬入口側（写真2.1奥側）から徐々に傾斜し、対面側



写真2.2 被覆施設(屋根傾斜 35%、雪割)



写真2.3 積雪深 60 cm時の屋根堆雪状況

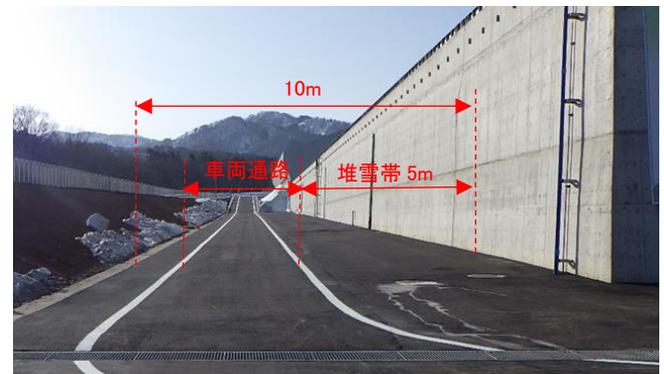


写真2.4 廃棄物運搬車両用通路



写真2.5 落雪溝

で地盤面が8m下がる形状である。被覆施設現状位置においては、屋根からの落雪が堆積し、被覆施設に側圧がかかり損傷する恐れがあるため、被覆施設側面のスロープに落雪溝(幅5.0m×最大高さ8m)を設置した。落雪溝は、平地での自然積雪深と屋根の水平長から滑落した屋根雪の堆積形状を推定し²⁾、形状を決定した。

2. 2. 4 融雪散水

落雪溝に堆積した雪の融雪を促進するために、被覆施設外周部に融雪散水設備(散水量最大200m³/日)を設置した。場内散水水源である雨水貯留槽貯留水を融雪散水に用いることを基本とし、不足時には地下水モニタリング井戸から地下水を補充するものとした。(写真2. 6)

3 事例2 新潟県糸魚川市

3. 1 施設概要・主要構造物・設計条件

施設概要・主要構造物・設計条件を表3. 1に示した。当該処分場は谷地であり、旧最終処分場の下流側近傍に位置する(写真3. 1)。過去15年間の当該地近傍の最大積雪深は235cm(糸魚川市提供データ)である。被覆構造は、耐雪型が指定され、屋根雪除雪を行わないことが条件とされた。在来の耐雪工法の場合、設計積雪深超過



写真2. 6 落雪溝融雪散水



写真3. 1 糸魚川市一般廃棄物最終処分場外観

時に屋根除雪が必要であり、除雪機を屋上に吊り上げての作業は転落事故のリスクがある。また、雪庇による軒先損傷及び落雪被害が懸念され、屋根除雪不要の構造・設計が検討課題であった。

表3. 1 施設概要・主要構造物・設計条件(事例2)

施設概要			
施設名称	糸魚川市一般廃棄物最終処分場	所在地	新潟県糸魚川市大字大野地内
埋立面積	1,488 m ²	埋立容量	6,000m ³
埋立物	焼却飛灰固化物	埋立構造	準好気性埋立構造
埋立方式	サンドイッチ方式	工期	平成30年12月20日～令和3年3月19日
主要構造物			
①貯留構造物	鉄筋コンクリート造 (w23.0m×L62.0m×D5.0m)	②被覆施設	鉄骨造ドーム型
③搬入設備	搬入スロープ、搬入車両旋回場(車両直接投入方式)	④遮水施設	TPO製二重遮水シート
⑤散水設備	散水ガン3基	⑥浸出水集排水設備	浸出水集排水管兼ガス抜き管
⑦浸出水処理設備	浸出水処理施設(既設)	⑧監視設備	地下水観測井戸、ガス検知器(屋内)
⑧関連施設	管理用道路		
設計条件			
立地条件	標高82~87m 谷地	積雪荷重	8.2kN/m ² (垂直積雪量280cm)
被覆・構造方式	<ul style="list-style-type: none"> 耐雪構造方法。 維持管理時の作業性に配慮し、被覆設備は、中間柱を必要としない構造とする。 		
構造計算	<ul style="list-style-type: none"> 建築基準法及び同施行令告示(平成14年国土交通省告示第666号)、日本建築学会「鋼構造設計基準」、日本建築センター「建築物の構造関係技術基準解説書」等に準拠し、十分な耐震、耐雪、耐風強度を有すること。 積雪荷重は8.2kN/m²(垂直最深積雪量280cm)を見込むものとする。 		
搬入車両	4~10tDT 2台/日		

3. 2 積雪配慮設計

3. 2. 1 被覆施設

(1) 被覆施設形状・材質

本施設においては、鉄骨ドーム工法（デッキプレート溶融亜鉛めっき処理）を採用し、雪止め金具を併用した。（写真3. 2）ドーム頭頂部積雪範囲及び雪止め金具は積雪深 280 cmに耐える構造・設計とした。想定以上の積雪の場合、ドームの強度が雪止め金具強度を上回るため、落雪が先行する。そのためドームは崩落せず、屋根除雪は不要である。落雪に対して、その形状から屋根の耐圧特性は均一であり、堆雪による側圧からの耐性も十分である。（写真3. 3）

また、鉄骨ドーム工法は、その形状から、雪底・つらは発生しないため、これらによる事故防止のための除雪作業も不要である。

3. 2. 2 廃棄物運搬車両用通路

基本設計においては、被覆施設廃棄物搬入口は施設正面から見えない裏手に配置され、廃棄物搬車両の接触事故防止のため、埋立地を一方通行で周回する計画であった。しかし、廃棄物運搬は2台/日であり接触事故の危険性は少ないため、周回道路をなくし（管理用通路は確保）、施設正門から最短距離で搬入できる位置に搬入口を配置した。（写真3. 4）また、処分場内に廃棄物搬入車両旋回場を設置し、場外での方向転換を不要とした。これらにより、廃棄物運搬車両用通路の除雪作業を大幅に軽減した。

4 まとめ

最終処分場の適地選定は大きな課題であり、クローズド型最終処分場はオープン型より狭い敷地に設置できる利点ある。一方、豪雪地域においては除雪・排雪が課題となり、その利点とトレードオフの関係にある。本事例では、雪国ならではのアイデアと発想で、除雪・排雪に関する維



写真3. 2 糸魚川市一般廃棄物最終処分場外観



写真3. 3 積雪深 60 cmにおける屋根積雪状況

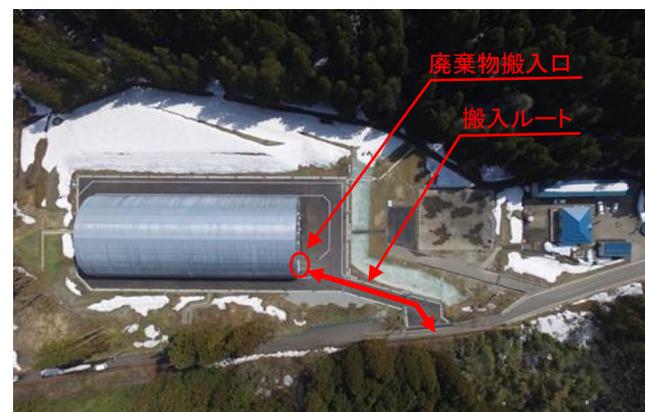


写真3. 4 廃棄物搬入ルート

持管理を省力化する設計を行った。

最後に、本施設設計にご協力いただいた今泉テント株式会社様、東光鉄工株式会社様、八千代エンジニアリング株式会社様に謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 新潟の雪情報：観測所一覧/降積雪資料
http://www.chiiki.pref.niigata.jp/yuki/Web/contents_4.html
- 2) 中村秀臣：滑落した屋根雪の堆積形状，日本雪氷学会「雪氷」，第40巻，pp37-41, 1978

超硬質地盤に対応した低変位深層混合処理 CI-CMC-HG工法

株式会社不動テトラ 北陸支店地盤研究室 ○古庄 哲士
北陸支店地盤研究室 田口 雄一

1 ■はじめに

深層混合処理工法は、スラリー状または粉体の固化材を軟弱土と原位置で攪拌混合し、硬質な改良体を造成する工法である。CI-CMC工法は大径かつ高品質な改良体を造成することのできる機械攪拌式深層混合処理工法である。

東日本大震災以来、それまで強度が十分に地盤改良が不要とされてきた硬い地盤でも改良が必要となる場合や、支持層への確実に根入れをすることが求められるケースが増えている。このような硬質な地盤では貫入時間が長くなることや、貫入不可となる場合、補助工法を併用する必要があり、コスト増加、工費の長期化が問題となる。効率的・経済的に施工を実施するために硬質地盤に適用できる工法の開発が求められていた。

このような社会的要請に応えるべく、CI-CMC工法の攪拌翼を改良することで、砂質土で最大N値50、粘性土で最大N値15程度より硬質地盤に適用可能なCI-CMC-HA

工法を開発した。さらに、N値50を超える硬質層での改良や支持層への根入れを可能とすべく、機械設備を改良することで、より硬質な地盤へ適用可能なCI-CMC-HG工法を開発した。

本稿ではCI-CMC-HG工法の特長及び施工実績について紹介する。

2 ■従来工法の特長

CI-CMC工法（以下、従来工法とする）はセメントスラリーにエアを混合する「エジェクター吐出」機構を採用している。セメントスラリーを霧状に吐出することで、土がほぐされ、土粒子の流動性が高まることにより、貫入・攪拌時の貫入抵抗を小さくなる。これにより従来の深層混合処理工法より、大径かつ高品質の改良体を造成することが可能となった。また、土粒子の流動性が高まることでエアとともに地表面へ移動がスムーズになり、低変位施工が可能となる。



エジェクター吐出機構

写真-1 CI-CMC工法

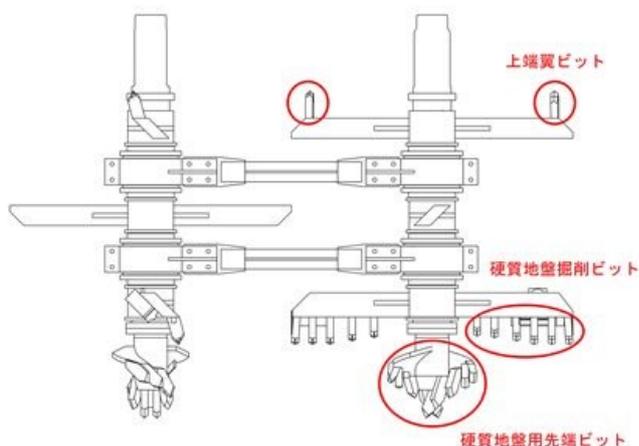


図-1 CI-CMC-HA工法攪拌翼形状

3 ■ C I - C M C - H A 工法の改良点

C I - C M C - H A 工法では図-1 に示すように攪拌翼に取り付けるビットを改良することでより硬質な地盤への適用を可能とした。

4 ■ C I - C M C - H G 工法の特長

これまでの工法に加え、C I - C M C - H G 工法は下記の特長がある。

① 貫入能力の向上

表-1 に機械設備の比較を示す。C I - C M C - H G 工法では約 2 倍のトルクを有する高トルクインバータモータを搭載した硬質対応オーガーを使用している（写真-2・写真-3）。また、攪拌翼はC I - C M C - H A 工法の改良に加え、貫入補助として、先端吐出機構を追加している（図-2・写真-4）。先端吐出機構を併用することで、機械への負荷をかけずに貫入能力を向上することができる。

表-1 機械設備の比較

	C I - C M C 工法	C I - C M C - H G 工法
オーガー	90KW	90KW
発電機	600KVA	600KVA
回転数	低速：16min-1 高速：32min-1	3.3~ 29.5min-1
最大トルク	50kN・m	104kN・m

② 安定した工程の確保

C I - C M C 工法では回転数の調整は高速と低速の 2 種類であった。しかし、インバータによる制御により、同じ定格出力で軟弱層では高速回転による品質確保、硬質層では低速回転による高トルク施工で貫入力の向上が見込める。これにより、改良深度の途中でN値 50 を超えるような超硬質層がある場合や堅固な支持層へ根入れを行う場合でも機械への負荷が小さく、故障頻度が大幅に低減できるため、安定した工程を確保することができる。



写真-2 施工機・オーガー



写真-3 インバータモータ制御盤

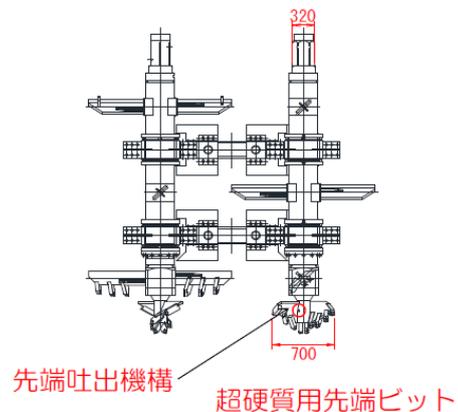


図-2 C I - C M C - H G 工法攪拌翼形状



写真-4 先端吐出機構

③ 工期短縮・コストの削減

従来工法では硬質な地盤で貫入不可となる場合、アースオーガー（二軸同軸式）による先行削孔が必要であった（写真－5）。しかし、C I - CMC - HG工法では貫入能力の向上により、先行削孔が不要となり、超硬質地盤でも従来工法と同様の施工サイクルで施工できる。これにより、工期の短縮・コストの削減が可能となる。

した施工管理システム「v i s i o s - 3 D[®]」の搭載が可能である。「v i s i o s - 3 D[®]」は地盤内の施工状況をアニメーション表示することができるシステムである。これにより視覚的に施工状況を把握することができる。また、施工記録を紙の帳票ではなく、施工情報を色分けした3次元モデルの作成も可能であり、地盤改良の信頼性の向上と、より確かな品質の確保に寄与している。

④ 見える化施工への対応

国土交通省が推進するB I M / C I Mに対応

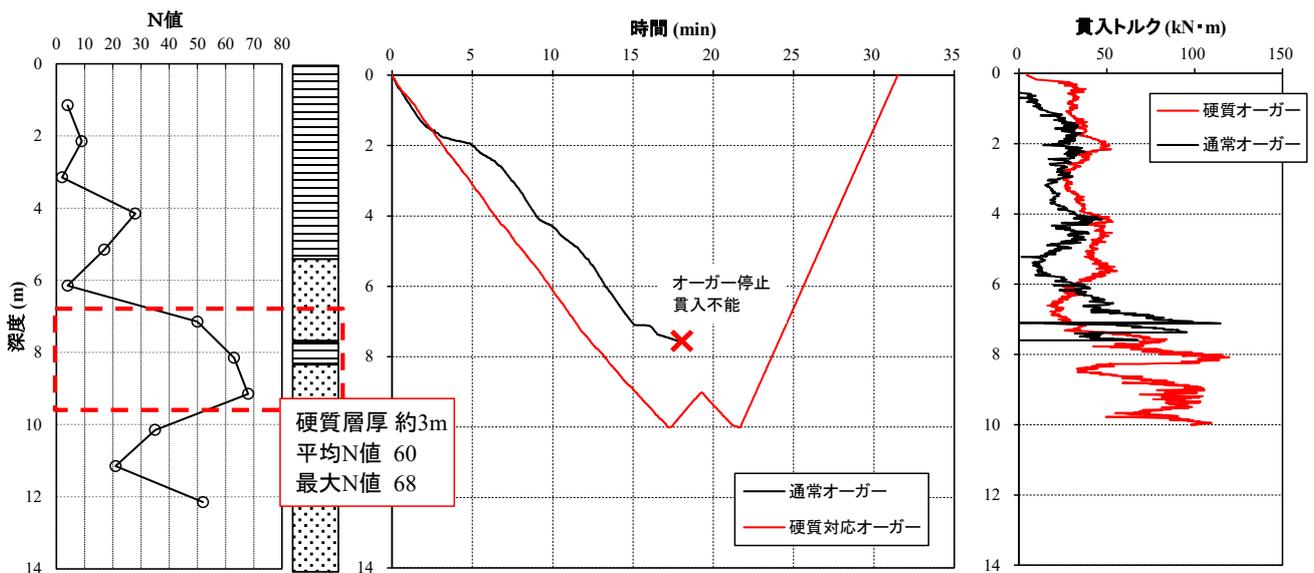


写真－5 超硬質地盤への対応
（左：従来工法
右：C I - CMC - HG工法）

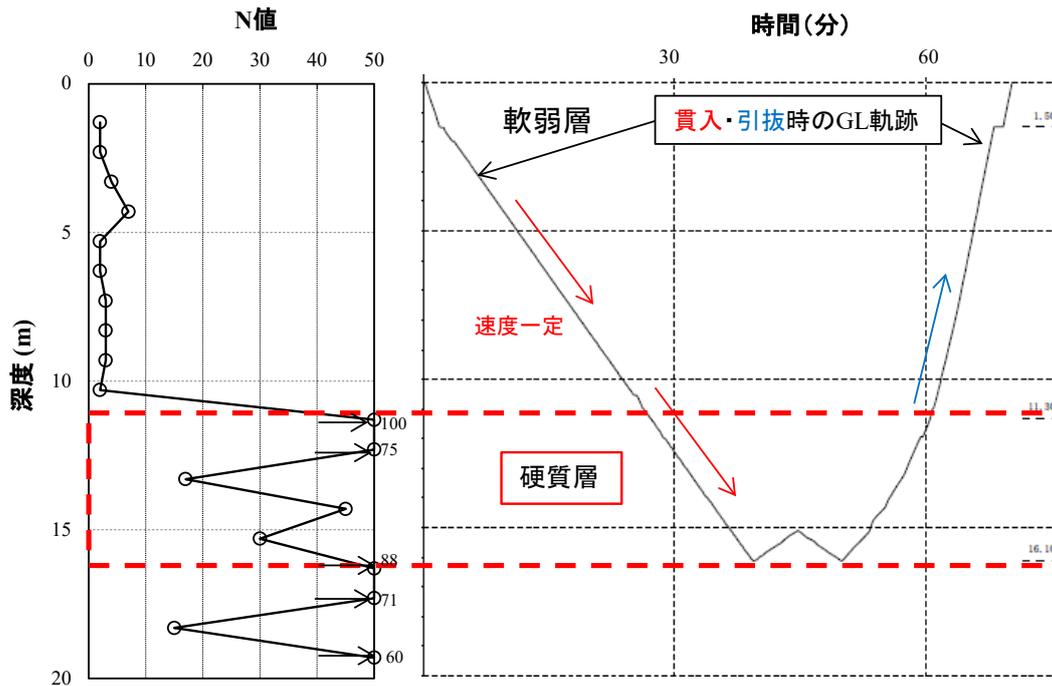
5 ■超硬質地盤への適用事例

C I - CMC - HG工法の適用事例を紹介する。図－3は試験工事において、従来工法とC I - CMC - HG工法の比較を行ったものである。従来工法ではN値50付近でオーガーが停止し、貫入不可となっているのに対し、C I - CMC - HG工法ではN値70程度の硬質地盤でも貫入できていることが確認できた。

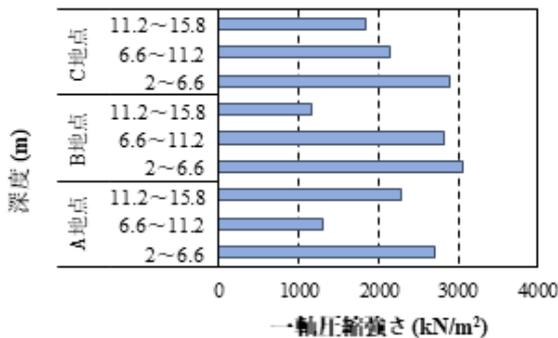
図－4は道路横断ボックスカルバート基礎の沈下及び液状化対策としてC I - CMC - HG工法で施工したときの原地盤N値ならびに施工



図－3 従来工法との貫入能力の比較
（左：N値 真中：施工記録 右：貫入トルク）



図－4 地盤改良柱状図及び施工記録



図－5 事後調査結果

記録図である。当該地区ではN値17～100とバラツキの大きい砂礫層が介在する地盤であり、軟弱層以外の平均N値は63と硬質地盤であった。しかし、このような硬質地盤においてもN値2程度の軟弱層の施工速度と同等の速度で施工が出来ていることが確認できる。また、事後調査により改良体の連続性ならびに設計基準強度 $q_{uc,k} = 1,100 \text{ kN/m}^2$ 以上の強度を確認しており、品質面においても要求性能を満足していることが確認できた(図－5)。

5 ■ おわりに

本稿では、新たに開発した深層混合処理工法のCI-CMC-HG工法の特長及び施工実績について紹介した。硬質地盤においても従来工法と同様の施工サイクルで改良径 $\phi 1,600 \text{ mm}$ の大径施工が可能となることで、より経済的な地盤改良を提供することが期待できる。

今後、発生が予想されている大規模地震に対して安全性を確保するため、CI-CMC-HG工法の積極的な運用を目指していく。

■ 参考文献

- 田中肇一、伊藤竹史、武田尚也『建設機械施工 Vol.71 No.10』、一般社団法人建設機械施工協会、(2019年)
- 伊藤竹史、梅田洋彰『建設機械、2021年6月号』、日本工業出版、(2021年)

カーボンリサイクル・コンクリートの開発

大成建設(株)技術センター 材工研究室 主幹研究員 大脇 英司

1 はじめに

わが国は「2050年カーボンニュートラル」を宣言し、2030年度の温室効果ガス排出量を2013年度比で46%削減する目標を示した。政府はこれを「経済と環境の好循環」による成長の機会とし、グリーン成長戦略を打ち出した。一環として、主要な温室効果ガスである炭酸ガス（以下、CO₂）を炭素資源として利用するカーボンリサイクル技術の開発が進められている¹⁾。通常のコンクリートは材料の製造過程において1m³あたり260～300kgのCO₂を排出する。著者のグループは製鋼副産物（高炉スラグ）を多用してCO₂排出を最大で80%抑制するコンクリートを開発し、さらにカーボンリサイクル技術で製造される炭酸塩を活用するカーボンリサイクル・コンクリートの開発を進めている（写真1）²⁾。大量のCO₂を固定でき、CO₂排出量の収支（ネット）がマイナスとなる「ビヨンド・ゼロ」の新たな社会基盤材料である。カーボンニュートラルの達成を支援し、脱炭素社会の構築への貢献が期待される。

2 CO₂の排出を抑制する環境配慮コンクリート

コンクリートの製造、施工に関わるCO₂排出量の多くは使用するポルトランドセメントの製造に起因する。図1に示す環境配慮コンクリートは²⁾、ポルトランドセメントの使用量を低減してCO₂排出量を抑制する。セメント・ゼロ型はポルトランドセメントを使用せず、高炉スラグ微粉末を、水和反応を制御するためのカルシウム系化合物で固化する。CO₂排出量を75～80%削減できる。フライアッシュ活用型はポルトランドセメント量を10～25%に減じ、高炉スラグ微粉末とフライアッシュで置換する。CO₂削減率は60～80%である。建築基準法対応型は建築基準法の指定建築材料として使用できる。ポルトランドセメントを高炉スラグ微粉末で60～70%置換する。CO₂削減率は60～70%である。いずれも、従来のコンクリート製造設備や施設（生コン工場）で製造でき、現場打ちコンクリートやコンクリート製品（二次製品）として使用できる。使用にあたっては、土木学会「混和材を大量に使用し



写真1 カーボンリサイクルによる炭酸カルシウム(左)とカーボンリサイクル・コンクリート(右)

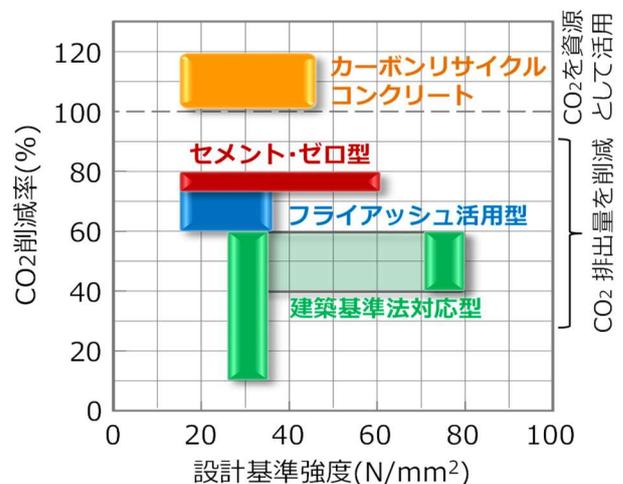


図1 環境配慮コンクリートの種類と特徴

たコンクリート構造物の設計・施工指針（案）」（土木学会コンクリートライブラリー152，2018年）が活用できる。現場打ちコンクリートのほか，石材調建材³⁾やシールドトンネル用セグメント⁴⁾などとして社会実装が始まっている（写真2～4）。セメント・ゼロ型の材料開発と実用化技術の開発について「平成26年度土木学会賞環境賞」（土木研究所と共同受賞），エンジニアリング協会「2021年度第13回エンジニアリング奨励特別賞」を授かった。

3 カーボンリサイクル・コンクリートの開発

カーボンリサイクル・コンクリートは，CCU（Carbon dioxide Capture and Utilization）により製造される炭酸塩を利用する（図2）。カーボンリサイクル・コンクリートには炭酸塩のうち炭酸カルシウムを利用する。炭酸塩に固定，貯蔵したCO₂量から炭酸塩製造に係るCO₂排出量を差し引き，残りをCO₂回収量としてオフセットできる。セメント・ゼロ型のようにCO₂原単位の小さなコンクリートに炭酸塩を混合するとCO₂原単位はマイナスになり（CO₂削減率が100%を超える），「ビヨンド・ゼロ」のコンクリートを実現できる（図1）。

これまでコンクリートへのCO₂の固定には次のような課題があった。酸性のCO₂ガスを強アルカリ性の鉄筋コンクリートに吸収させるとコンクリートが中性化し（中和され），鉄筋の防錆に有効な鉄筋表面の不動態皮膜を失う。また，CO₂の吸収を容易にするためにコンクリートの空隙を増やすと強度が低下する。これらに対し，防錆能力や強度に影響しない程度にCO₂吸収量を制限するとCO₂固定量が小さくなる。

他方，CO₂ガスを吸収させず，CCUによる炭酸塩を混合する方法がある。CO₂は酸性ガスとしての性状を失い，コンクリートへの化学的影響



写真2 セメント・ゼロ型の現場打ちでの適用例

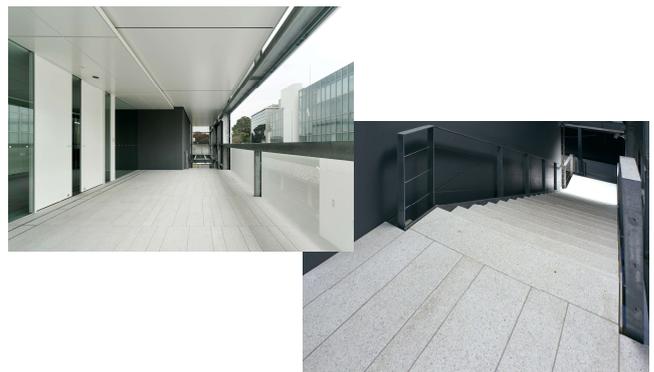


写真3 セメント・ゼロ型を用いた石材調建材の例



写真4 セメント・ゼロ型を用いたセグメントの例

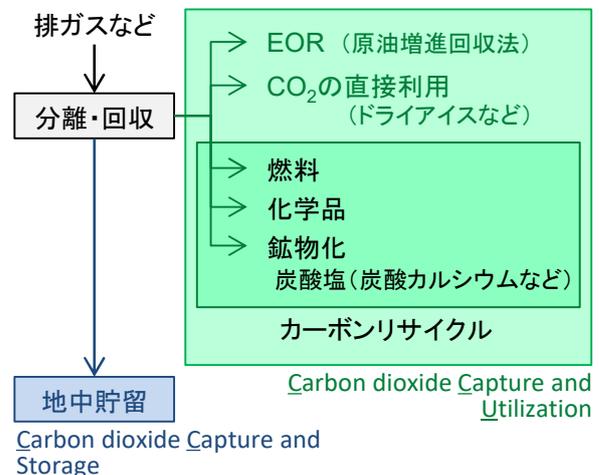


図2 カーボンリサイクルにおける炭酸塩の製造

は小さくなるが、一般に炭酸塩は水和反応性を示さないため、セメントなどの結合材との置換率が高くなると強度が低下する。強度特性の改善のために水結合材比を低減すると、コンクリートの粘性の増加などにより施工性が低下する。

カーボンリサイクル・コンクリートは炭酸カルシウムを、高炉スラグ微粉末を主成分とする強アルカリ性の結合材で固化する。これまでの開発過程で得た材料設計技術により、大量の炭酸カルシウムを混合しても適切な施工性や強度特性などが得られる配合を見出した。生コン（現場打ちコンクリート）やコンクリート製品（二次製品）として活用できる。特徴を以下に示す⁵⁾。

① 全断面にCO₂を大量に固定する（写真5）。固定量はコンクリート1m³あたり70～170kgであり、CO₂の地中貯留（CCS：Carbon dioxide Capture and Storage）において貯留層1m³あたり20～100kgと試算されることに匹敵する。

② CO₂の回収、固定によりCO₂原単位が「マイナス」（-55～-5kg/m³）になる。なお、CO₂を回収、固定した炭酸カルシウムは本格的な商業化の途上にあるため、1kgのCO₂を回収、固定するために0.5kgのCO₂を排出すると仮定した。

③ CO₂をガスとして取り込まないことで強アルカリ性を保ち、鉄筋の防錆性能を維持する（写真5）。

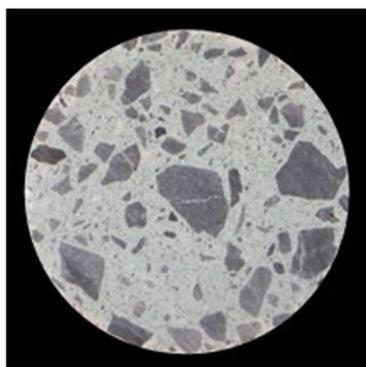
④ 生コン工場の通常設備で製造できる。また、強度特性（圧縮強度：20～45N/mm²）や、フレッシュ性状（スランプ：12～21cm，スランプフロー：45～60cm）も従来のコンクリートと同等であり、設計、施工に関して蓄積された技術や経験が活用できる。

⑤ 生コン工場や建設現場に高濃度のCO₂を運び込む必要がなく、安全性の確保に関して特別な心配がない。

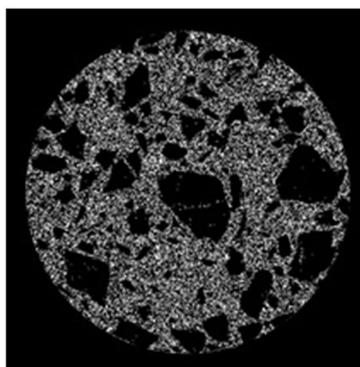
4 カーボンリサイクル・コンクリートへの期待と課題

カーボンリサイクル・コンクリートのCO₂排出量は、前項②に示すようにマイナスであり、オフセットによる「2050年カーボンニュートラル」への貢献が期待される。また、カーボンリサイクル・マテリアル（炭酸カルシウム）の活用は「経済と環境の好循環」に寄与する。さらに、通常のコンクリートと同等の性能であることは、脱炭素社会における基盤材料として円滑な移行が期待できる。

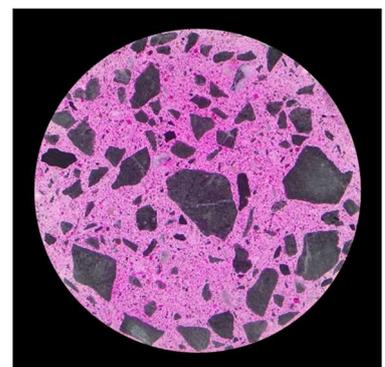
一方、カーボンリサイクル・マテリアルは新しく、これを用いたコンクリートを活かす規準類や法体系および実績はない。安全・安心な社会インフラの提供が期待されるが、安全の礎となる規準類や法体系の制定と、安心のよりどころで



(a) 可視光像



(b) 蛍光 X 線元素分析による炭素像（白い点が炭素）



(c) フェノール・フタレイン噴霧後（ピンク＝強アルカリ性）

写真5 カーボンリサイクル・コンクリートの断面（φ10cm）

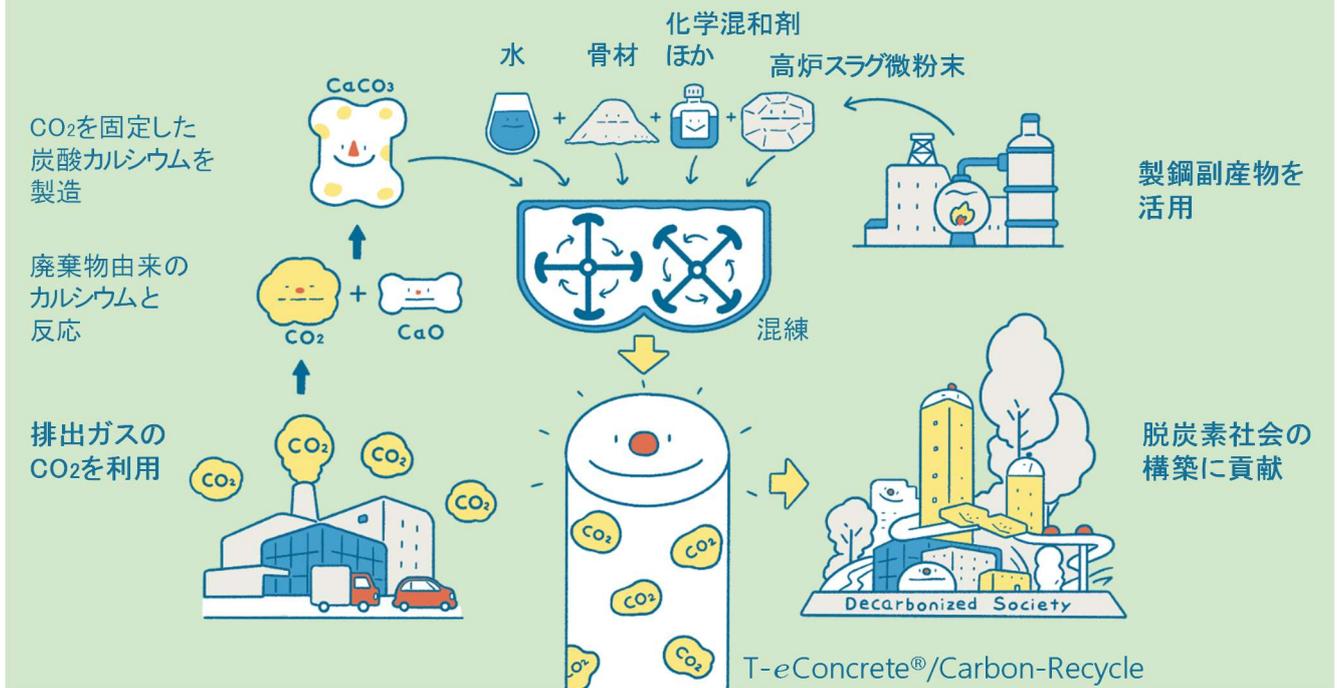


図3 カーボンリサイクル・コンクリートによる脱炭素社会の構築への貢献

ある実績の積み重ねは表裏の関係にある。ジレンマを乗り越えて規準類や法体系を整備しなければならない。また、カーボンニュートラルには大量のカーボンリサイクル・マテリアルを要する。環境効率や経済効率に優れる方法だけでは製造できない。サーキュラーエコノミーにおける環境や経済の側面と、コンクリートを含む製品群の性能や品質のバランスが重要であり、“地球”というシステムで最適化を達成しなければならない。そのために、カーボンリサイクルに係る環境評価やカーボンプライシングの確立も急務である。

社会は「2050年カーボンニュートラル」に向かって変化が激しい。セメントをはじめとする従来のコンクリート材料の環境性能の向上、コンクリートに活用できるカーボンリサイクル・マテリアルの開発も期待される。カーボンリサイクル・コンクリートはBAT (Best Available Technology or Techniques: 現時点で利用可能な最良の技術) の一つであり、日々更新に努めたい。

参考文献

- 1) 経済産業省：カーボンリサイクル技術ロードマップ, 2019.6. <https://www.meti.go.jp/press/2019/06/20190607002/20190607002-1.pdf>
- 2) 大脇英司：高炉スラグ微粉末を利用した環境配慮コンクリートの炭酸ガス排出抑制から炭素の有効利用への進化, コンクリート工学, Vol.59, No.9, pp.819-826, 2021.9
- 3) 大成建設HP：CO₂排出量を削減し、低コストで意匠性に優れた天然石材調建材「T-razzo」を開発, 2019.7.5. https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2019/190705_4668.html
- 4) 大成建設HP：国内初 環境配慮コンを用いたシールドセグメント「T-eCon/Segment」を現場導入, 2021.7.1. https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2021/210701_8227.html
- 5) 大成建設HP：カーボンリサイクル・コンクリート「T-eConcrete®/Carbon-Recycle」を開発, 2021.2.16. https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2021/210216_5079.htm

軟弱地盤調査の効率化を目指した原位置地盤試験機の開発

東亜建設工業 技術研究開発センター 研究員 夏坂 亮太

1 はじめに

軟弱地盤上に埋立や盛土工事を行う際には、原地盤のすべり破壊や沈下に対する地盤の評価を適切に行わなければならない。当社独自の軟弱地盤の調査・設計・施工管理技術「ACCESS (Advanced Construction Control for Earthwork on Soft Soils) 法」は、これまで大規模な埋立や盛土工事を中心に適用され、国内外で多くの成果・実績を挙げてきた。今回紹介する原位置地盤試験機「TOA-SID-MarkII」(写真-1)は、機動性と操作性に富んだ地盤試験専用プラットフォームであり、ACCESS 法を大規模プロジェクトに限らず、より広範な条件下の工事に展開させる目的で開発したものである。

2 ACCESS 法

2.1 ACCESS 法の概要

ACCESS 法は、①地盤のローカル性に左右されず、多様な粘性土地盤に適用できる、②誰でも容易に使用できる、③調査から設計、施工管理ま

でを一貫した手法で行うという理念のもと、電気式コーン貫入試験 (CPT) と一面せん断試験 (DST) を主体とした調査・設計を行い、施工管理は CPT で行う方法として 1990 年代に提案された¹⁾。ACCESS 法の基本的な実施手順を以下に、フローを図-1 に示す。

- 1) 施工区域内全域において CPT を実施し、土層構成と実効コーン貫入抵抗 ($q_t - \sigma_{v0}$) を把握する (ここに、 σ_{v0} は全土被り圧)。
- 2) 代表地点で採取した乱れの少ない試料に対して再圧縮法²⁾による DST を行い、原位置非排水せん断強さ ($s_{uf(d)}$) を求める。また、土層区分ごとに別途 DST を実施し、正規圧密状態における強度増加率 ($s_{un(d)}/\sigma_{vc}$) を求める。
- 3) DST で得られた $s_{uf(d)}$ からひずみ速度依存性を考慮した安定解析用の設計用せん断



写真-1 TOA-SID-MarkIIの全景

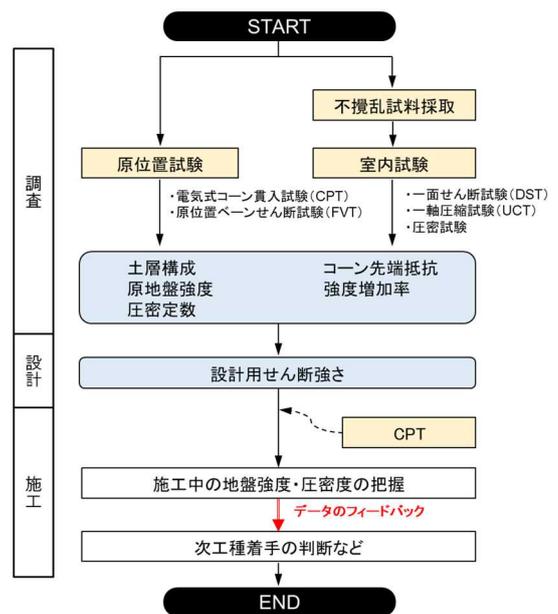


図-1 ACCESS 法の実施フロー

強さ ($s_{u(mob)} (= 0.85 \cdot s_{uf(d)})$) を求める。

- 4) $q_t - \sigma_{v0}$ と $s_{u(mob)}$ との関係はコーン係数 (N_{kt}) を用いて、 $q_t - \sigma_{v0} = N_{kt} \times s_{u(mob)}$ の形で表す。なお、 N_{kt} は日本の沖積粘性土で塑性指数 I_p によらず、8~16 程度となることが報告されている³⁾。
- 5) 採取した乱れの少ない試料を用いて、定ひずみ速度圧密試験 (CRST) を実施し、圧縮指数 (C_c)、圧密降伏応力 (p_c)、圧密係数 (c_v) などの圧密定数を決定する。
- 6) $s_{u(mob)}$, C_c , p_c , c_v を用いて設計を実施する。
- 7) 施工管理では、施工開始後の適当な時期に CPT を実施することで、その時点での原位置非排水せん断強さ ($s_{uf(d)1}$)、有効応力 (σ_{y1}')、圧密度 (U) を算定する。
- 8) 設計時に予測した数値との比較を行い、次工程の着手判断を行う。

2. 2 ACCESS 法の適用事例⁴⁾

ここで、関西国際空港 2 期工事における ACCESS 法の適用事例を報告する。

本工事は、水深 20m にある層厚約 25m の沖積粘性土地盤をサンドドレーン工法によって地盤改良し、緩傾斜石積護岸を築堤するものであった。設計においては、盛土の築造に合わせて 2 回の圧密放置期間 (4 ヶ月) が設けられていたが、施工中の地盤評価に ACCESS 法を用いたことで圧密放置期間の短縮が可能となった事例である。

まず、事前調査として施工開始前に原地盤の初期強度を確認し、CPT と設計用せん断強さ ($s_{u(mob)}$) を関連付ける N_{kt} の設定を行った。沖積粘性土を調査対象として CPT、原位置ベーンせん断試験 (FVT) およびサンプリングを行い、乱れの少ない試料を用いて DST、一軸圧縮試験 (UCT) および簡易三軸圧縮試験 (CIU) を実施した。各試験結果から求めた設計用せん断強さ

($s_{u(mob)}$) と $q_t - \sigma_{v0}$ との関係は図-2 の通りであり、本工事で用いる N_{kt} は 12.0 を採用した。さらに、併せて実施した DST によって正規圧密状態の強度増加率は、

$$s_{un}/\sigma_{vc}' = (s_{un(d)}/\sigma_{vc}') \times 0.85 \cong 0.3$$

であることを確認した。

施工中の調査は、緩傾斜石積護岸の施工層厚が 7.5m となった時点で第 1 回目、層厚 18m で第 2 回目の圧密放置期間が設定されており、それぞれの圧密放置後 3 ヶ月および 4 ヶ月経過時点で CPT を実施して地盤強度の発現状況を確認した。各調査段階で実施した $s_{u(mob)}$ の深度分布を図-3 に示す。盛土荷重の増加や圧密の進行に伴って $s_{u(mob)}$ が増加していることが確認できる。また、図中には事前調査での CRST や DST の結果に基づいて予測した地盤強度の結果も併せて示しているが、CPT から算出した $s_{u(mob)}$ とよく一致しており、設計時の予測通りに圧密が進行していることが確認できる。なお、本工事では、CPT による水圧消散試験も実施している。この水圧消散試験とは、CPT の貫入を中断して深度を一定に保持し、間隙水圧の経時変化を測定するものである。図中には消散試験から求めた圧密度を実測値として示しているが、CPT から求

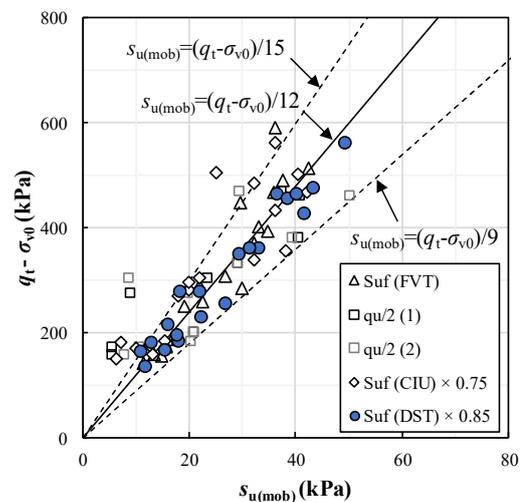


図-2 $s_{u(mob)}$ と $q_t - \sigma_{v0}$ との関係

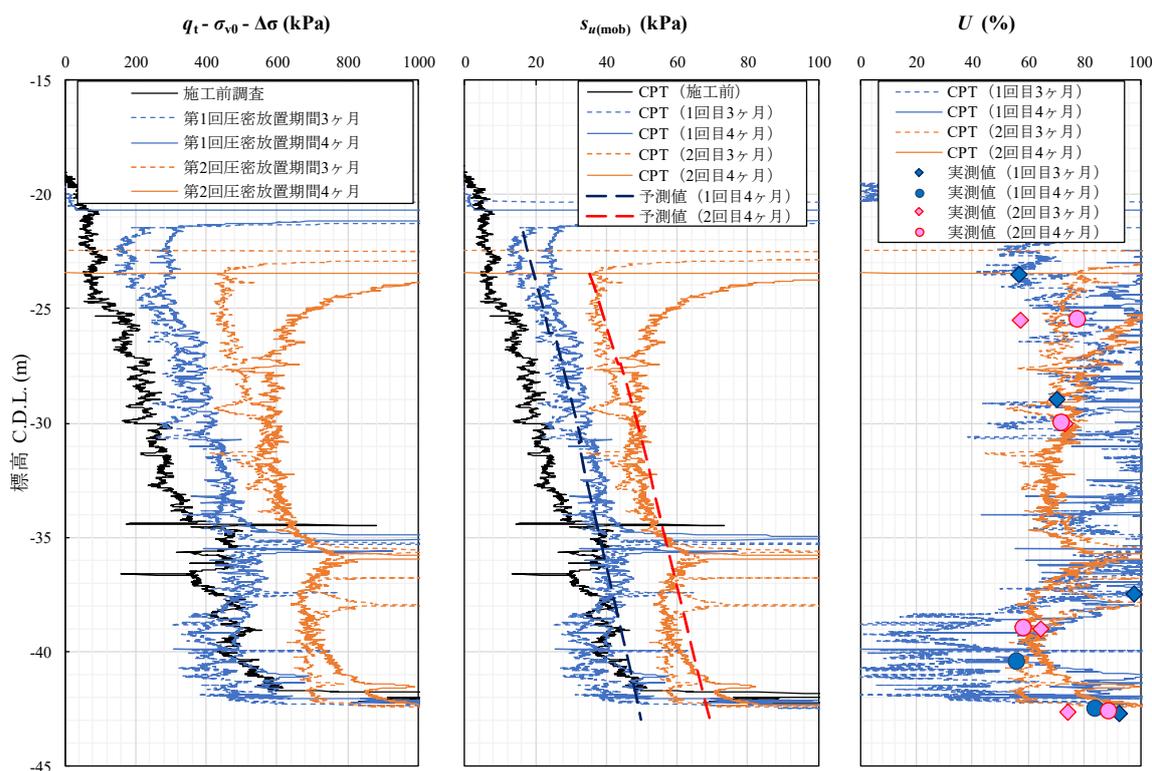


図-3 施工途中での CPT 調査結果

めた圧密度とよく一致している。

以上の結果から ACCESS 法の高い有効性が認められた。また、その後の施工においては、圧密放置後 3 ヶ月経過した時点での地盤強度が予測値と等しく、次工程着手に必要な値が確保できていると判断された場合は、放置期間の短縮によって全体工程短縮に大きく寄与した。

3 TOA-SID-MarkIIの開発

3.1 開発の背景

ACCESS 法は、圧密に伴う地盤強度増加の確認や次工程の着手判断が短時間で行えるうえに、多様な粘性土地盤に対応可能である。一方で、原位置試験ではボーリングマシンや大型貫入機などのプラットフォームの使用が前提であり、前章で示したような大規模プロジェクトでの利用がほとんどであった。

そこで、現場の大小に関わらず、ACCESS 法を幅広く活用していくことを目的に、原位置試験

を手軽に行える地盤試験専用プラットフォームの開発に着手した。

3.2 試験機の概要

当試験機の全体概要を図-4に示す。試験機は、地盤情報として最も調査ニーズの高い深度 10~30m 程度までを対象にしている。試験機的主要な特長を以下に示す。

(1) 車載可能な規格

車載時の機体サイズは $L 2046 \times W 1087 \times H 1174$ mm と小型であり、機体重量は 600 kg と標準的な貫入機よりも軽量なため、一般貨物自動車への積載が可能である。これにより、現場サイトまでクレーンを使用することなく容易に運搬できる。

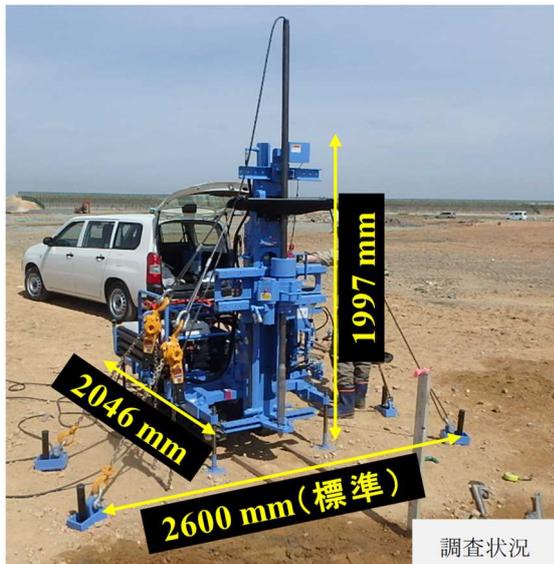
(2) 自走式仕様

試験機にはキャタピラと移動用エンジンを備えており、自機のみで容易に現場内を移動できる。また、本体重量が軽量で

あるため、ぬかるみなどの厳しい条件下であっても優れた機動性を発揮する。

(3) スライド可能な貫入ヘッド

試験機の貫入ヘッドは、リーダー中心から左右に 250 mm ずつ (=左右端の距離が 500 mm) の水平スライドが可能である。そのため、アンカー打替えを伴う機体の再設置を伴わずに複数の調査を行うことができる。



試験機の仕様詳細

寸法 L×W×H	2046×2600×1997 mm	(調査時)
	1959×1185×1364 mm	(移動時)
	2046×1087×1174 mm	(車載時)
車載姿勢時質量	600 kg	
フィード力	45 kN (11.7 MPa)	(押し力)
	30 kN (11.7 MPa)	(引力)
ストローク	有効 600 mm	

図-4 TOA-SID-MarkIIの全体概要

(4) 斜め貫入に対応したリーダー

試験機のリーダーは最大 45 度の斜め貫入に対応しており、擁壁などの既設構造物直下の地盤調査ニーズにも対応できる。

4 おわりに

近年の建設業界では、現場情報を効率的に収集し、適切に利用する「情報化施工」の需要が益々高まっている。ACCESS 法は、人為的誤差を最小限としながら地盤定数を比較的短時間で高精度に得ることができ、取得したデータを随時施工にフィードバックできることから、情報化施工技術の一つとして改めてその重要性に注目しているところである。

今回紹介した原位置地盤試験機「TOA-SID-MarkII」は、ACCESS 法の適用範囲拡大を目指し、原位置試験を手軽に行える地盤試験専用プラットフォームとして開発したものである。今後は、本試験機を通じて様々な工事へ ACCESS 法を活用していきたい。

【参考文献】

- 1) 半沢秀郎, 浅田英幸, 鈴木耕司: ACCESS System - 地盤のローカル性と地盤の地域格差の克服を目指して -, 第 41 回地盤工学会シンポジウム発表論文集, pp.49-54, 1996.
- 2) 半沢秀郎, 岸田隆夫: 年代効果を受けた粘土の非排水強度特性, 土と基礎, Vol.30, No.12, pp.5-10, 2013.
- 3) (公社)地盤工学会: 地盤調査の方法と解説 - 二分冊の 1 -, p.392, 2013.
- 4) Fukasawa, T., Mizukami, J., Kusakabe, O.: APPLICABILITY OF CPT FOR CONSTRUCTION CONTROL OF SEAWALL ON SOFT CLAY IMPROVED BY SAND DRAIN METHOD, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol.44, No.2, pp.127-138, 2004.

掲載技術

『送出しを変える』パンタグラフ式手延機の開発

川田工業株式会社 大阪工務部 富山工事課工事長 ○大井 祥之
工務部 大阪工務課課長 笹原 啓

1 はじめに

橋梁の架設箇所は、河川や溪谷、道路上、鉄道上等、多岐に渡る共に、様々な架設方法が用いられる。地形条件の制約によりベントが設置できない場合や道路上あるいは鉄道上を限られた時間の中で架設する際には、送出し工法が採用される。本稿は、短時間で安全に送出しを行うことを目的に開発したパンタグラフ式手延機を開発し、実証実験を経て実橋工事で使用した報告を行うものである。

2 開発の背景

2.1 送出し工法

送出し工法とは、送出しヤードで手延機、連結構、主桁を組立て、ジャッキや自走台車を使用して橋軸方向に移動させながら架設する方法である。主桁の先端には、連結構を介して、主桁重量よりも軽い手延機を取付ける。(写真-1) 主桁先端に手延機を取付けるのは、最大張出し時の主桁の負担を軽くし、先端たわみ量を少なくするためである。



写真-1 送出し状況

2.2 たわみ取り

前方支点到達時は、手延機の先端がたわみ、支点上の部材は負曲げが発生している状態である。手延機の先端を所定の送出し基準ラインまでジャッキアップすること(たわみ取り)により、支点上に発生した負曲げを解消し、次径間の送出しに備える。(写真-2) このたわみ取り作業には、1支点左右あたり約1日を要する。また、たわみ取りを行わない方法として、連結構の取付角度を解析により算出する方法もあるが、主桁の支点上に発生した応力を軽減させることができないため、主桁の架設補強が手延機先端をジャッキアップする方法よりも多くなる。

手延機のたわみ量は、送出し高さに影響する。手延機のたわみ量が大きい場合には、送出し高さが高くなり、安全性の確保が難しくなると共に、送出し設備の組立や送出し完了後のジャッキダウンに多大な労力と時間を要することとなる。



写真-2 手延機たわみ状況

3 パンタグラフ式手延機の開発

3.1 開発目的

パンタグラフ式手延機の開発目的は、以下の3点である。

- ① 約1日掛かっていたたわみ取り作業時間の短縮を図る。
- ② 従来人力で行っていたたわみ取り作業を遠隔操作が可能な機械操作とする。
- ③ 送出しを低い位置で行うことにより、安全性の向上を図る。

3.2 機構

1枚のウェブに対し1台のジャッキで制御できるようにトラスにパンタグラフ構造を組み込んだ。また、クレビスジャッキの伸縮が効率的に先端の上下動となるように、山形のパンタグラフ形状とした。(図-1、図-2)

3.3 フェールセーフ機構

万が一、油圧ジャッキに異常があつて、油圧が抜けた時でも、手延機の先端が上下動しないように、油圧シリンダーにネジ切りをして安全ナットを装備した。(図-3)

3.4 パンタグラフの動作

先端から12mの位置にパンタグラフ構造を有し、トラスの上下弦材を繋ぐクレビスジャッキのストロークを伸ばすことで、手延機先端がフラットの状態から上向き最大約3.0mまで上昇する。手延機先端を上げて前方の橋脚・橋台上へ送出し、到達した支点で先端を支持してフラットに戻すことでたわみ取りを行う。

3.5 設計条件

- 全長 : L=57.0m
 主構間隔 : B=1.6m
 送出しスパン : L=70.0m
 先端揚程 : 0m~3.0m (st=750mm)

荷重割増 : 曲げ、軸力 1.2、せん断、反力 1.5

水平震度 : Kh=0.2

適用図書 : 道路橋示方書(H24.3)

鋼構造架設設計施工指針(2012.5)

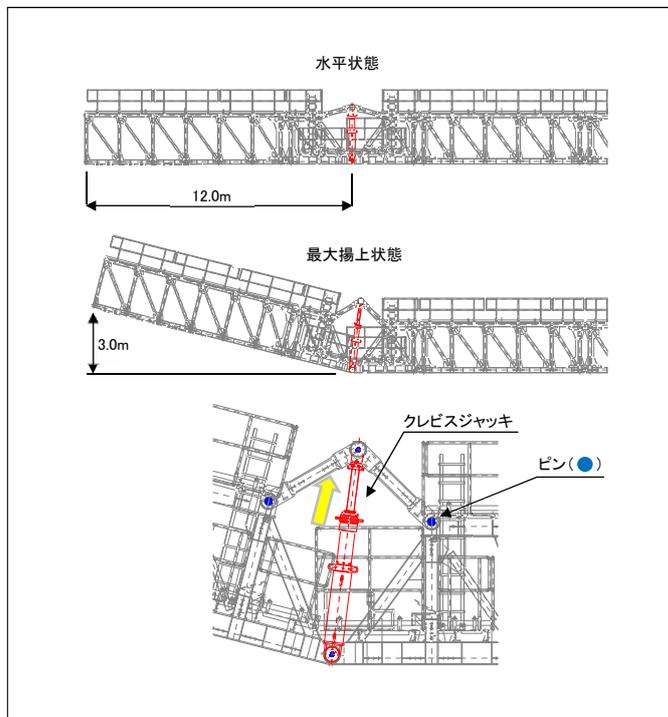


図-1 機構

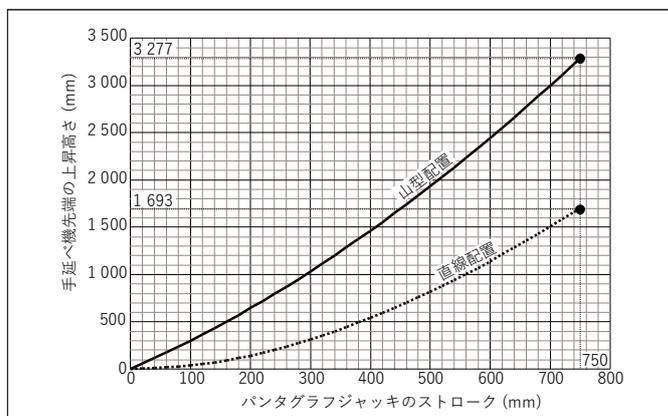


図-2 ジャッキ St と上昇高さの関係

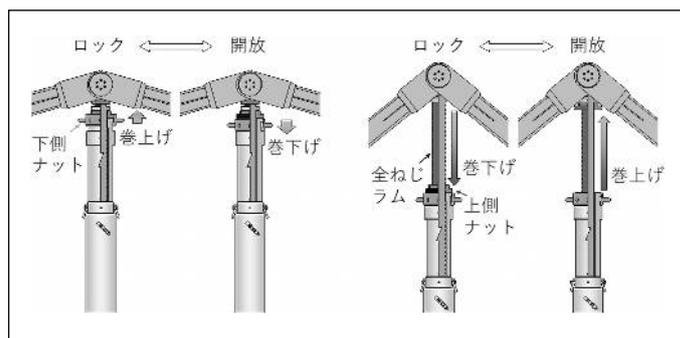


図-3 フェールセーフ機構

4 実証実験

弊社富山工場安居ヤードにて実証実験を行い、設計条件の妥当性を確認した。(写真-3, 4)



写真-3 たわみ取り前



写真-4 たわみ取り後

4.1 実験内容

あらゆる事態を想定して、下記に示すケースにて荷重と変位を計測し、解析値と比較した。

検証項目		想定した施工状態
パンタグラフ支持	①ジャッキ前方支持	パンタグラフ部材の支点上通過
	②ジャッキ直下支持	
	③ジャッキ後方支持	
支間長60m	④先端支持	たわみ取り後
	⑤先端開放	支点着地前
	⑥先端揚上	支点到達時
	⑦先端揚上・横力載荷	送出し中の受風
	⑧先端支持・中間支点不等支持	機材組立誤差
	⑨先端支持・中間支点斜配置	斜橋の送出し
	⑩先端開放・中間支点斜配置	
支間長70m	⑪先端支持	たわみ取り後
	⑫先端開放	支点着地前
	⑬先端左右不等支持	支点到達時
	⑭先端内外不等支持	斜橋の送出し

4.2 実験結果

④～⑥の実験結果を抜粋して以下に示す。実測値と解析値にほぼ乖離がなく、解析が妥当であったことを確認した。

検証項目	鉛直反力(kN/主構)				パンタグラフジャッキ荷重(kN)	先端変位(mm)	
	前方支点		中間支点			鉛直方向	
	左主構	右主構	左主構	右主構	左主構	右主構	
④	実測値	111	632		154	-	
	解析値	107	647		173	-	
	誤差	+4	-15		-19	-	
⑤	実測値	-	880		154	-	
	解析値	-	867		173	-	
	誤差	-	+13		-19	-	
⑥	実測値	-	873		-130	-1632	
	解析値	-	867		-125	-1541	
	誤差	-	+6		-5	91	

4.3 たわみ取りに要する時間

たわみ取りに要する時間は約30分であった。ジャッキアップによりたわみ取りを行う従来の方法に比べて大幅に時間短縮が可能であることが確認できた。

項目	時間(分)	作業内訳
準備	10	ロックナット解除、点検、作業員移動
パンタグラフ変形操作	10	フルストロック変形、ポンプチェック、位置調整
後処理	10	点検、ロックナット装着、作業員移動
合計	30	

4.4 たわみ取りの先端受点設備

手延機先端の下面にはレールが取付けてあり、たわみ取り時に発生する受点位置の変化を円滑に行えるようにした。(写真-5)

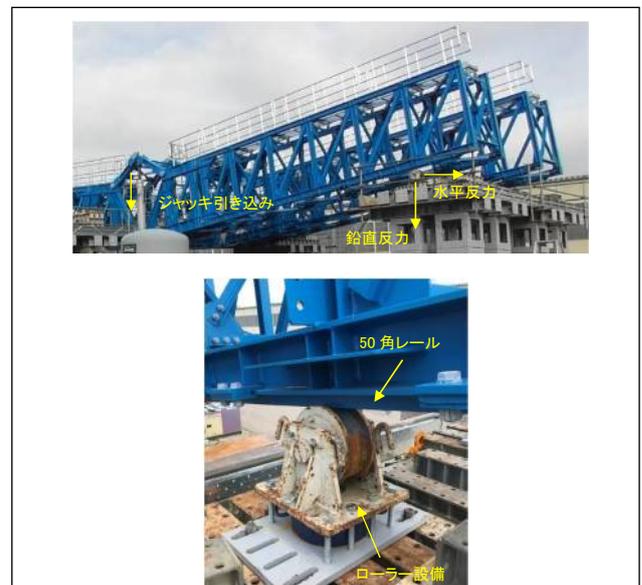


写真-5 先端受点設備

5 実橋における使用

実証実験により、設計計算の妥当性が確認できたため、実橋においてパンタグラフ式手延機を使用することとした。

5.1 工事概要

工事名：北陸新幹線鞍谷川橋りょう（合成桁）

発注者：鉄道建設・運輸施設整備支援機構

橋梁型式：4径間連続合成箱桁橋（鞍谷川B）

橋長：L=201.0m（431km982m～432km183m）

支間長：60.0m+3@47.0m

工事場所：福井県鯖江市吉谷町

交差条件：鞍谷川、片上川、用水

架設工法：送出し工法

本橋の架設は、鞍谷川、片上川、用水が交差ししており、非出水期内的での施工が完了できないため、隣接のラーメン高架橋上を送出しヤードとする送出し工法を採用した。（図-4）

5.2 送出し方法

ラーメン高架橋柱位置及び橋脚上に送出し装置、エンドレスローラーを設置し送出しを行った。事前に行った送出し解析では、最大張出し時（P1 橋脚到達直前）に手延機先端のたわみが高さ $h=1.0\text{m}$ となることが分かった。

5.3 パンタグラフ式手延機使用状況

解析による最大たわみ 1.0m に基づき、先端揚上量を 2.0m に設定して送出した。支点反力とパンタグラフジャッキの荷重は、解析の最大値に対して、それぞれ $\pm 20\%$ で管理を行った。

実橋におけるたわみ取りの時間は、30分程度であった。4径間全てのたわみ取りを各支点に到達したその日に完了し、安定した状態で送出し作業を完了することができた。（写真-6）



写真-6 送出し状況

6 今後の展望

今回は、時間制約のある中での送出しでは無かったが、たわみ取りが実証実験と同様で30分/回で作業完了することが分かった。また、パンタグラフ式手延機を使用すれば、低い位置での送出しが可能となり、作業時間の短縮そして安全性の確保に寄与することが分かった。本工事後、2件の送出し工事に使用し効果が発揮でき、『送出しを変える』ことができたと感じている。

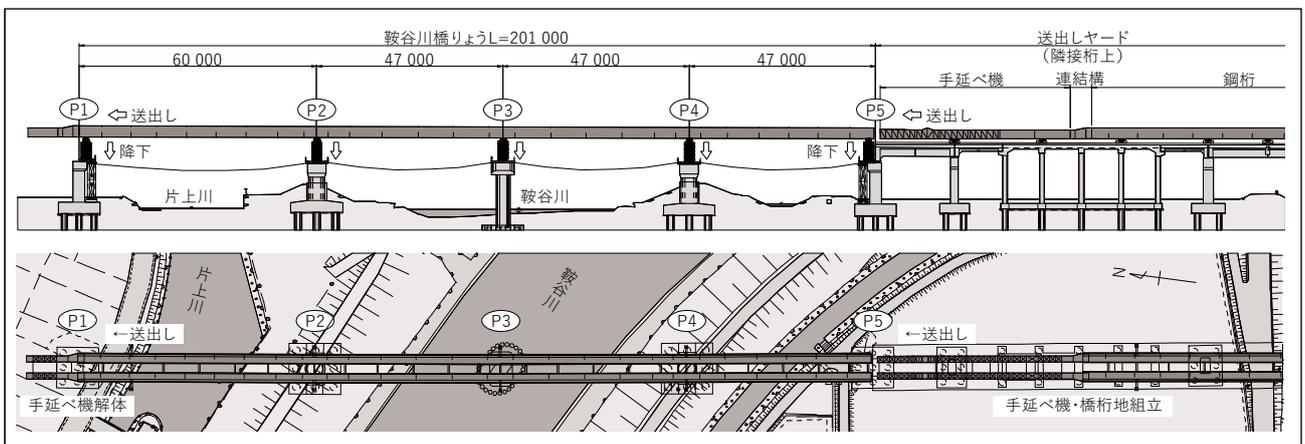


図-4 鞍谷川B橋梁一般図