

一般社団法人
日本建設機械施工協会誌 (Journal of JCMA)

2024

建設機械施工



Vol.76 No.5 May 2024 (通巻891号)

特集 トンネル



6m継ぎロックボルト打設の高速自動化

自動化

ロックボルトの自動打設

従来

打設位置
合わせ

穿孔

モルタル
注入

ロックボルト
挿入

巻頭言 岩盤特性による掘削機械の応答

特集技術論文

- SENS 掘進中に出現した巨大な岩塊群の撤去
- シールド工事におけるアコースティック・エミッション技術を用いた支障物切削負荷検知技術の開発
- シールドマシンのローラーカッター交換システムの開発
- 山岳トンネルにおける吹付けコンクリートの自動化
- 山岳トンネル工事における計測作業の遠隔化技術の開発
- 遠隔岩判定会議の実施における創意工夫 他

行政情報

- 道路トンネル定期点検における点検支援技術の導入促進
- 「高規格道路ネットワークのあり方 中間とりまとめ」と「WISNET2050・政策集」

交流のひろば

- 足尾式さく岩機と清水三兄弟トンネル工事

すいそう

- ザ・ベストヒットスイツ！
- 異文化交流

一般社団法人 日本建設機械施工協会

杭打工事用

パイルキーパー

海上・河川等での杭打ち作業用、
パイル保持装置

石狩湾新港洋上風力発電事業工事向け
パイルキーパー

仕様

杭 径 最大 $\phi 2500\text{mm}$
杭重量 最大 90ton
開 閉 油圧駆動
前後スライド範囲 $\pm 900\text{mm}$ 油圧駆動
左右スライド範囲 $\pm 1000\text{mm}$ 油圧駆動

実績多数

海上工事、陸上工事、岸壁護岸工事、海上空港、
ダム湖再生工事、導柵治具、リーダー付



洋上風力発電ジャケット基礎杭工事



吉永機械株式会社

〒130-0021 東京都墨田区緑4-4-3 吉永ビル TEL:03-3634-5651
URL: www.yoshinaga.co.jp

建設機械用
無線操作装置

ダイワテレコン



ICT施工や自動制御に対応可能

ダイワテレコン872

- 最大72点の操作点数を持ち、比例制御にも対応いたします。
- 指令機操作パネルはレイアウトフリーで用途に合わせた実装部品が選択可能。
- 特定省電力無線429MHz帯域および1200MHz帯域選択可能。
- 外部接続用ポート(オプション仕様)より、LAN通信制御が可能。

取付改造実績

油圧ショベル、ブルドーザ、振動ローラ
クローラダンプ、鑿岩機、その他特殊専用機など

無線遠隔装置だけでは終わらない
弊社では制作から取付改造工事までを完全サポート
大型機対応屋内工場完備(100tクラスまで対応)



ハンディータイプ
使いやすさを極めた高機能・高性能
ダイワテレコン810

用途
インバータ制御機器
エンジン制御
油空圧比例制御

DAIWA TELECON

大和機工株式会社

常滑工場 〒479-0002 愛知県常滑市久米字西仲根227番
TEL: 0569-84-8582 (直通) FAX: 0569-84-8857
ホームページ <http://www.daiwakiko.co.jp/>
e-mail mekatoro@daiwakiko.co.jp

◆ 日本建設機械施工協会『個人会員』のご案内

会 費：年間 9,000円(不課税)

個人会員は、日本建設機械施工協会の定款に明記されている正式な会員で、本協会の目的に賛同し、建設機械・建設施工にご関心のある方であればどなたでもご入会いただけます。

★個人会員の特典

- 「建設機械施工」を機関誌として毎月お届け致します。(一般購入価格 1冊800円＋消費税/送料別途)
「建設機械施工」では、建設機械や建設施工に関わる最新の技術情報や研究論文、本協会の行事案内・実施報告などのほか、新工法・新機種の紹介や統計情報等の豊富な情報を掲載しています。
- 協会発行の出版図書を会員価格(割引価格)で購入することができます。
- シンポジウム、講習会、講演会、見学会等、最新の建設機械・建設施工の動向にふれることができる協会行事をご案内するとともに、会員価格(割引価格)でご参加いただけます。

この機会に是非ご入会下さい!!

◆一般社団法人 日本建設機械施工協会について

一般社団法人 日本建設機械施工協会は、建設事業の機械化を推進し、国土の開発と経済の発展に寄与することを目的として、昭和25年に設立された団体です。建設の機械化に係わる各分野において調査・研究、普及・啓蒙活動を行い、建設の機械化や施工の安全、環境問題、情報化施工、規格の標準化案の作成などの事業のほか、災害応急対策の支援等による社会貢献などを行っております。

今後の建設分野における技術革新の時代の中で、より先導的な役割を果たし、わが国の発展に寄与してまいります。

一般社団法人 日本建設機械施工協会とは…

- 建設機械及び建設施工に関わる学術研究団体です。(特許法第30条に基づく指定及び日本学術会議協力学術研究団体)
- 建設機械に関する内外の規格の審議・制定を行っています。(国際標準専門委員会の国内審議団体(ISO/TC127、TC195、TC214)、日本工業規格(JIS)の建設機械部門原案作成団体、当協会団体規格「JCMAS」の審議・制定)
- 建設機械施工技術検定試験の実施機関に指定されています。(建設業法第27条)
- 災害発生時には会員企業とともに災害対応にあたります。(国土交通省各地方整備局との「災害応急対策協定」の締結)
- 付属機関として「施工技術総合研究所」を有しており、建設機械・施工技術に関する調査研究・技術開発にあたっています。また、高度な専門知識と豊富な技術開発経験に基づいて各種の性能試験・証明・評定等を実施しています。
- 北海道から九州まで全国に8つの支部を有し、地域に根ざした活動を展開しています。
- 外国人技能実習制度における建設機械施工職種の技能実習評価試験実施機関として承認されています。

■会員構成

会員は日本建設機械施工協会の目的に賛同された、個人会員(建設機械や建設施工の関係者等や関心のある方)、団体会員(法人・団体等)ならびに支部団体会員で構成されており、協会の事業活動は主に会員の会費によって運営されています。

■主な事業活動

- ・学術研究、技術開発、情報化施工、規格標準化等の各種委員会活動。
- ・建設機械施工技術検定試験・外国人技能評価試験の実施。
- ・各種技術図書・専門図書の発行。
- ・除雪機械展示会の開催。
- ・シンポジウム、講習会、講演会、見学会等の開催。海外視察団の派遣。

■主な出版図書

- ・建設機械施工(月刊誌)
- ・日本建設機械要覧
- ・建設機械等損料表
- ・橋梁架設工事の積算
- ・大口径岩盤削孔工法の積算
- ・よくわかる建設機械と損料
- ・ICTを活用した建設技術(情報化施工)
- ・建設機械施工安全技術指針本文とその解説
- ・道路除雪オペレータの手引き

その他、日本建設機械施工協会の活動内容はホームページでもご覧いただけます！

<https://jcmanet.or.jp/>

※お申し込みには次頁の申込用紙をお使いください。

【お問い合わせ・申込書の送付先】

一般社団法人 日本建設機械施工協会 個人会員係
〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 機械振興会館2F
TEL:(03)3433-1501 FAX:(03)3432-0289

一般社団法人 日本建設機械施工協会 会長 殿

下記のとおり、日本建設機械施工協会 個人会員に入会します。

令和 年 月 日

個人会員入会申込書		
ふりがな		生年月日
氏名		昭和 平成 年 月 日
勤務先名		
所属部課名		
勤務先住所	〒 TEL _____ E-mail _____	
自宅住所	〒 TEL _____ E-mail _____	
機関誌の送付先	勤務先 自宅 (ご希望の送付先に○印で囲んで下さい。)	
その他 連絡事項	令和 年 月より入会	

【会費について】年間 9,000円(不課税)

- 会費は当該年度前納となります。年度は毎年4月から翌年3月です。
 - 年度途中で入会される場合であっても、当該年度の会費として全額をお支払い頂きます。
 - 会費には機関誌「建設機械施工」の費用(年間12冊)が含まれています。
 - 退会のご連絡がない限り、毎年度継続となります。退会の際は必ず書面にてご連絡下さい。
- また、住所変更の際はご一報下さるようお願い致します。

【その他ご入会に際しての留意事項】

○個人会員は、定款上、本協会の目的に賛同して入会する個人です。 ○入会手続きは本協会会長宛に入会申込書を提出する必要があります。

○会費額は総会の決定により変更されることがあります。 ○次の場合、会員の資格を喪失します: 1.退会届が提出されたとき。 2.後見開始又は保佐開始の審判を受けたとき。 3.死亡し、又は失踪宣言を受けたとき。 4.1年以上会費を滞納したとき。 5.除名されたとき。 ○資格喪失時の権利及び義務: 資格を喪失したときは、本協会に対する権利を失い、義務は免れます。ただし未履行の義務は免れることはできません。 ○退会の際は退会届を会長宛に提出しなければなりません。 ○拠出金の不返還:既納の会費及びその他の拠出金品は原則として返還いたしません。

【個人情報の取扱について】

ご記入頂きました個人情報は、日本建設機械施工協会のプライバシーポリシー(個人情報保護方針)に基づき適正に管理いたします。本協会のプライバシーポリシーは <https://jcmanet.or.jp/privacy/> をご覧下さい。

論文投稿のご案内

日本建設機械施工協会では、学術論文の投稿を歓迎します。論文投稿の概要は、以下のとおりです。なお、詳しいことは、当協会ホームページ、論文投稿のご案内をご覧ください。

当協会ホームページ <https://jcmanet.or.jp/>

★投稿対象

建設機械、機械設備または建設施工の分野及びその他の関連分野並びにこれらの分野と連携する学際的、横断的な諸課題に関する分野を対象とする学術論文(原著論文)の原稿でありかつ下記の条件を満足するものとします。なお、施工報告や建設機械の開発報告も対象とします。

- (1) 理論的又は実証的な研究・技術成果、あるいはそれらを統合した知見を示すものであって、独創性があり、論文として完結した体裁を整えていること。
- (2) この分野にとって高い有用性を持ち、新しい知見をもたらす研究であること。
- (3) この分野の発展に大きく寄与する研究であること。
- (4) 将来のこの分野の発展に寄与する可能性のある萌芽的な研究であること。

★部門

- (1) 建設機械と機械設備並びにその高度化に資する技術部門
- (2) 建設施工と維持管理並びにその高度化に資する技術部門

★投稿資格

原稿の投稿者は個人とし、会員資格の有無は問いません。

★原稿の受付

随時受け付けます。

★公表の方法

当協会機関誌へ掲載します。

★機関誌への掲載は有料です。

★その他：優秀な論文の表彰を予定しています。

★連絡先

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8（機械振興会館）

日本建設機械施工協会 研究調査部 論文担当

E-mail : ronbun@jcmanet.or.jp

TEL : 03 - 3433 - 1501

FAX : 03 - 3432 - 0289

令和6年度版 建設機械等損料表

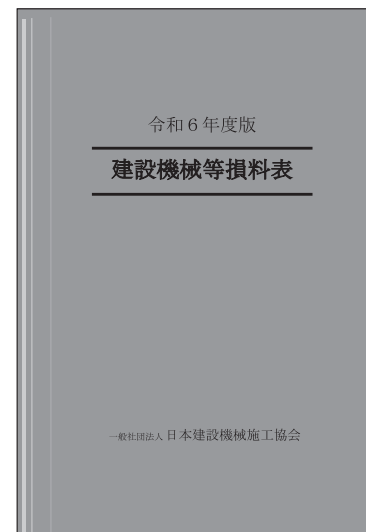
- 発売日 : 令和6年4月25日
- 体裁 : A4判 モノクロ 474ページ
- 定 価 : 一般価格 本体 9,680円 (本体8,800円+税10%)
会員価格 本体 8,228円 (本体7,480円+税10%)

※送料別途

■内容

令和6年度版の構成項目は以下のとおりです。

- 第Ⅰ章 機械損料の構成と解説
- 第Ⅱ章 関連通達・告示等
- 第Ⅲ章 損料算定表の見方(要約版)
- 第Ⅳ章 建設機械等損料算定表
- 第Ⅴ章 船舶損料算定表
- 第Ⅵ章 ダム施工機械等損料算定表
- 第Ⅶ章 除雪用建設機械等損料算定表



書籍の表紙イメージ

一般社団法人 日本建設機械施工協会

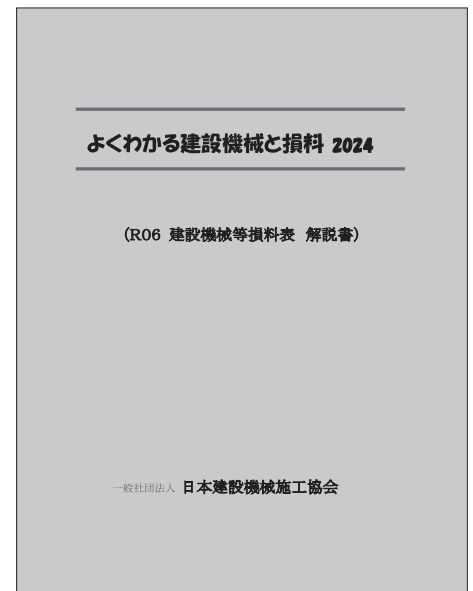
(R06 建設機械等損料表 解説書)

「よくわかる建設機械と損料 2024」の発売について

一般社団法人 日本建設機械施工協会は、5月24日に書籍「よくわかる建設機械と損料 2024」を発売します。

本書は先に発売した書籍「令和6年度版建設機械等損料表」の記載・掲載内容をわかりやすく解説したもので、多くの特長を持っています。

単に損料に関する理解を深めるだけではなく、機械そのものに対する幅広い知識を得るという点においても有益・有効な資料と考えます。是非ご活用ください。



書籍の表紙イメージ

***** 記 *****

- 発売日 : 令和6年5月24日(金)
- 体裁 : A4判、一部カラー、約330ページ
- 本体価格 : 一般 7,260円(本体6,600円+税10%) ※送料別途
会員 6,171円(本体5,610円+税10%) ※送料別途

■内容・特長

- (1) 損料用語を平易な表現でわかりやすく解説
- (2) 換算値損料や損料補正值の計算例を紹介
- (3) 令和6年度版 建設機械等損料算定表の主な改正点を表にして紹介
- (4) 建設機械器具のコード体系を大分類別に図示
- (5) 損料算定表掲載の機械器具の概要・特徴を写真・図を添えて紹介
- (6) 主要な建設機械については、メーカー・型式名を表にして紹介
- (7) 索引でヒットしない機械について、その要因と対処方法を表にして紹介

***** 以上 *****



(一社) 日本建設機械施工協会 発行図書一覧表 (令和 6 年 5 月現在)

消費税 10%

No.	発行年月	図 書 名	一般価格 (税込)	会員価格 (税込)	本部 送料
1	R6 年 5 月	橋梁架設工事の積算 令和 6 年度版	12,100	10,285	990
2	R6 年 5 月	よくわかる建設機械と損料 2024	7,260	6,171	770
3	R6 年 4 月	令和 6 年度版 建設機械等損料表	9,680	8,228	770
4	R5 年 10 月	道路除雪施工の手引 (第 17 版)	4,950	3,960	770
5	R4 年 5 月	大口径岩盤削孔工法の積算 令和 4 年度版	6,600	5,610	770
6	R4 年 5 月	よくわかる建設機械と損料 2022	6,600	5,610	770
7	R4 年 3 月	日本建設機械要覧 2022 年版	53,900	45,100	990
8	R3 年 1 月	情報化施工の基礎 ～i-Construction の普及に向けて～	2,200	1,870	770
9	H30 年 8 月	消融雪設備点検・整備ハンドブック	13,200	11,000	770
10	H29 年 4 月	ICT を活用した建設技術 (情報化施工)	1,320	1,122	770
11	H26 年 3 月	情報化施工デジタルガイドブック 【DVD 版】	2,200	1,980	770
12	H25 年 6 月	機械除草安全作業の手引き	990	880	770
13	H23 年 4 月	建設機械施工ハンドブック (改訂 4 版)	6,600	5,610	770
14	H22 年 9 月	アスファルトフィニッシャの変遷	3,300	2,970	770
15	H22 年 9 月	アスファルトフィニッシャの変遷 【CD】	3,300	2,970	770
16	H22 年 7 月	情報化施工の実務	2,200	1,870	770
17	H21 年 11 月	情報化施工ガイドブック 2009	2,420	2,178	770
18	H20 年 6 月	写真でたどる建設機械 200 年	3,080	2,618	770
19	H19 年 12 月	除雪機械技術ハンドブック	3,300	2,970	770
20	H18 年 2 月	建設機械施工安全技術指針・指針本文とその解説	3,520	2,992	770
21	H17 年 9 月	建設機械ポケットブック (除雪機械編)	1,100	990	770
22	H16 年 12 月	除雪・防雪ハンドブック (除雪編) 【CD-R】	5,500	4,950	770
23	H15 年 7 月	道路管理施設等設計指針 (案) 道路管理施設等設計要領 (案) 【CD-R】	3,520	3,168	770
24	H15 年 7 月	建設施工における地球温暖化対策の手引き	1,650	1,485	770
25	H15 年 6 月	道路機械設備 遠隔操作監視技術マニュアル (案)	1,980	1,782	770
26	H15 年 6 月	機械設備点検整備共通仕様書 (案)・機械設備点検整備特記仕様書作成要領 (案)	1,980	1,782	770
27	H15 年 6 月	地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル	550	495	770
28	H13 年 2 月	建設工事に伴う騒音振動対策ハンドブック (第 3 版)	6,600	5,940	770
29	H12 年 3 月	移動式クレーン、杭打機等の支持地盤養生マニュアル (第 2 版)	2,750	2,475	770
30	H11 年 10 月	機械工事施工ハンドブック 平成 11 年度版	8,360	8,360	770
31	H11 年 5 月	建設機械化の 50 年	4,400	3,960	770
32	H11 年 4 月	建設機械図鑑	2,750	2,475	770
33	H10 年 3 月	大型建設機械の分解輸送マニュアル 【CD-R】	3,960	3,564	770
34	H9 年 5 月	建設機械用語集	2,200	1,980	770
35	H6 年 8 月	ジオスペースの開発と建設機械	8,470	7,623	770
36	H6 年 4 月	建設作業振動対策マニュアル	6,380	5,742	770
37	H3 年 4 月	最近の軟弱地盤工法と施工例	10,450	9,405	770
38	S60 年 1 月	建設工事に伴う濁水対策ハンドブック 【CD-R】	6,600	5,940	770
39		建設機械履歴簿	440	396	770
40	毎月 25 日	建設機械施工	880	792	770

定期購読料 年 12 冊 10,032 円 (税・送料込)

購入を希望される場合、当協会 HP <https://jcmnet.or.jp/> の出版図書欄の「出版図書のご購入について」から本部、または支部の購入方法に基づきお申込みください。

特 集

巻頭言

行政情報

特集技術報文

トンネル

4

岩盤特性による掘削機械の応答

福井 勝則 東京大学工学系研究科 教授

5

道路トンネル定期点検における点検支援技術の導入促進

児玉 祐一 国土交通省 道路局 国道・技術課 課長補佐

10

「高規格道路ネットワークのあり方 中間とりまとめ」と「WISENET2050・政策集」

守田 銀二 国土交通省 道路局 企画課 道路経済調査室 調査第三係長

15

SENS 掘進中に出現した巨大な岩塊群の撤去

北海道新幹線, 羊蹄トンネル (比羅夫) 他工区

生越 亮 (株)鉄道建設・運輸施設整備支援機構 北海道新幹線建設局 ニセコ鉄道建設所 担当副所長

20

シールド工事におけるアコースティック・エミッション技術を用いた支障物切削負荷検知技術の開発

今岡 洋輔 (株)大林組 生産技術本部シールド技術部 副課長
大前 慶恵 (株)大林組 生産技術本部シールド技術部 副課長
上田 潤 (株)大林組 生産技術本部シールド技術部 担当部長

26

シールドマシンのローラーカッター交換システムの開発

田村 憲 大成建設(株) 土木本部 機械部 機械技術室 次長
志田 智之 大成建設(株) 土木本部 土木技術部 都市土木技術室 部長 (技術担当)

30

山岳トンネルにおける吹付けコンクリートの自動化

実地山における実証試験の現況報告

犬塚 隆明 鹿島建設(株) 機械部 自動化施工推進室 主任
牟田口 茂 鹿島建設(株) 機械部 生産機械技術グループ 部長
平岡 耕介 鹿島建設(株) 機械部 自動化施工推進室 課長代理

36

山岳トンネル工事における計測作業の遠隔化技術の開発

切羽の無人化に向けた取り組み

額額 善孝 西松建設(株) 技術研究所 土木技術グループ 係長
塚田 純一 ジオマシンエンジニアリング(株) 本社 代表取締役社長
松本 慶太 (株)アラヤ 事業推進部 リーダー

41

遠隔岩判定会議の実施における創意工夫

京免 継彦 佐藤工業(株) 技術センター ICT 推進部

45

山岳トンネル工事における最適発破自動設計施工システムを開発

切羽に見える化し, 発破設計と穿孔作業工程を自動化

井手 康夫 清水建設(株) 土木技術本部 イノベーション推進部 部長

50

山岳トンネル工事で超高強度吹付けコンクリートを適用

脆弱地山における支保部材の高強度化により安定した掘削を実現

谷口 翔 (株)安藤・間 建設本部 土木技術第三部 トンネルグループ 主任
湯本 健寛 (株)安藤・間 名古屋支店 椿原トンネル作業所 副所長
小林 雄二 (株)安藤・間 名古屋支店 池島トンネル作業所 所長

56

山岳トンネルにおける防水シート施工の自動化技術

大森 禎敏 五洋建設(株) 土木部門 土木本部 土木技術部

61

鋼管膨張型ロックボルトの機械打設システムの開発

杉本 憲一 (株)熊谷組 土木事業本部 土木技術統括部 トンネル技術部 部長
青木 宏一 (株)熊谷組 土木事業本部 土木技術統括部 トンネル技術部 副部長

65

VR 空間で遠隔地から「岩判定」トンネル工事現場の施工状況を複数人がリアルタイムで遠隔地から確認できるシステムを構築

千葉 力 (株)竹中土木 技術・生産本部 技術開発部 課長
森 桂一 (株)竹中土木 技術・生産本部 技術開発部 課長
高橋 直也 (株)竹中土木 東北支店 直轄作業所 工事担当 (監理技術者)

	70	吹付け厚さのリアルタイム測定と管理 「吹付けナビゲーションシステム」を開発 新型吹付機「ヘラクレス-Navigator」 四塚 勝久 エフティーエス㈱ 特機営業部 次長
	75	6 m 継ぎロックボルト打設の高速自動化 2 ブーム ロックボルト自動打設機 ボルティンガー B22RL-i 片桐 正人 古河ロックドリル㈱ 高崎吉井工場 搭載機設計二課 主任技師 田島 良一 古河ロックドリル㈱ 営業本部 営業企画部 技師長 山岸 隆史 鹿島建設㈱ 土木管理本部 土木工務部 トンネル統括部長
交流のひろば	80	足尾式さく岩機と清水三兄弟トンネル工事 落合 望 足尾さく岩機㈱ 代表取締役社長
ずいそう	85	ザ・ベストヒットスイーツ！ 天児 りか 古河産機システムズ㈱ コントラクト本部 プロジェクト営業部
	87	異文化交流 達家 養浩 (一財) 日本建設情報総合センター 近畿地方センター長
部会報告	88	(株) JAL エンジニアリング エンジン整備センター見学会報告書 機械部会 基礎工事用機械技術委員会
CMI 報告	91	トンネルの覆工の設計に寄与する数値解析的検討 井野 裕輝 (一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 研究第一部 主任研究員 笠井 大地 (一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 研究第一部 技術員
	96	新工法紹介 機関誌編集委員会
	98	新機種紹介 機関誌編集委員会
統計	100	令和 6 年度 公共事業関係予算 機関誌編集委員会
	107	建設工事受注額・建設機械受注額の推移 機関誌編集委員会
	108	行事一覧 (2024 年 3 月)
	112	編集後記 (京免・田島)

◇表紙写真説明◇

6 m 継ぎロックボルト打設の高速自動化

写真提供：鹿島建設㈱

山岳トンネルの NATM 工法では、岩盤とコンクリートを一体化させるため、ロックボルトを壁面へ打設するが、2 ブームロックボルト自動打設機「ボルティンガー」は、ロックボルト工を機械化して、省人化および被災リスクを低減させ、更に自動穿孔ポジショニング、自動穿孔および自動打設機能により施工の効率と精度を向上させたユニットを左右両ブームに備えて、高速施工を実現した。

巻頭言

岩盤特性による掘削機械の応答

福井 勝 則



私は鉱物資源開発や土木を対象とし、岩盤工学・開発機械学の研究を行っている。

本号はトンネル特集号ということで、この関連では、30年ほど前に平均月進1,000mを想定した掘削システムの開発を検討した。運搬は連続ベルトコンベアの利用で特段問題はないと判断し、支保と掘削の検討を行った。支保では鋼製支保やロックボルトでは施工に時間を要するため、当時まだ日本のトンネルではほとんど利用されていなかった鋼繊維補強吹付モルタルの利用を想定し、その力学的特性や耐久性に関する検討を行い、普及を目指した。その後、ペットボトルを再利用したPET繊維補強モルタルを対象としてその物性の把握、施工機械の調整、施工での問題点、耐久性などの検討を行った¹⁾。それらの成果はトンネル内でのコンクリートの剥落や防爆防止などで現在でも多く利用されている。

掘削では高速施工の観点から全断面トンネル掘進機TBMの利用を想定した。TBM工法では能力的に月進1,000mは簡単に達成できるが、日本のように地質が複雑な岩盤では切羽や天盤の崩落によって数か月も掘削が停止することがあり、当時はギャンプル的な色彩を持つ掘削機械との位置づけであった。これはNATMと違い、全断面掘削のために岩盤の目視ができないためであり、切羽やその前方地質の把握が重要な課題であった。当時、多変量解析などの手法により、掘削抵抗などの機械応答と掘進速度の関係は検討されていたが、さほどの成果は得られていなかった。TBMで使用されるディスクカッタに関して、基礎的な室内試験が過去に多く行われ、推力は岩盤強度や切込み深さに比例することが示され、これに基づきTBMの設計がなされていた。この関係から岩盤強度は推力／切込み深さに比例することとなる。TBMでの掘削中の推力および切込み深さは機械の応答としてリアルタイムで計測されているので、単純にリアルタイムで推力／切込み深さを求めれば岩盤特性の把握が

できることとなると考え、推力／切込み深さと岩盤調査結果の比較検討を行い、よく一致することを見出した。この結果に基づき、機械の応答（掘削抵抗）から切羽の岩盤特性（岩盤強度）を求める手法を開発し、その利用によって安定した月進が得られるようになり、その際のノウハウを多くの文献や資料²⁾にまとめ、TBM工法の欠点を克服した。この手法は他の掘削機械（さく岩機²⁾、レイズボラ、モービルマイナなど）にも適用し、機械掘削を行えば掘削している箇所の岩盤強度や掘削体積比エネルギーから岩盤特性を把握できるようになった。

さてTBMであるが、水力発電用導水路や新東名高速の先進トンネルなど20年ほど前までは多く用いられていたが、その後は急激に使用が少なくなった。しかし最近いくつかのトンネルでTBMの利用が増えはじめているのだが、日本でのTBM工法は私の記した文献や資料である程度は完成したものと思っていたが、技術の伝承がなされず、また昔のように切羽や天盤の崩落が発生したとの連絡が聞こえてきた。このように過去にある程度完成した技術でも使用が少なくなり、それを体験していない技術者に技術伝承がなされず、技術レベルが落ちることを経験した。今回はまだ私がまだ現役だったので、過去の資料を提示し解説することによってその現場では理解され利用されることとなった。これがもう少し経っていたら、最初から技術の確立ということになる。このような事例は他の技術でも多くみられ、この解消には技術の伝承が必要であるが、人間を介することにも限界があり、AIなどに期待するしだいである。

《参考文献》

- 1) T. Ochi, S. Okubo, K. Fukui : Development of Recycled PET Fiber and Its Application as Concrete-Reinforcing Fiber, Cem. Concr. Comp. Vol.29, Issues 6, pp.448-455 (2007)
- 2) 福井勝則, 大久保誠介 : TBM掘削を利用した岩盤強度の推定に関するQ&A, トンネルと地下, 32 [No.12], pp.43~51 (2001)

行政情報

道路トンネル定期点検における点検支援技術の導入促進

児 玉 祐 一

橋梁・トンネル等の道路構造物の定期点検の実施にあたっては、近接目視による場合と同等の評価を行える他の方法も想定されており、国土交通省では、前回の定期点検要領の改定と同時に「新技術利用のガイドライン（案）（平成31年2月）」を発出している。

そういった中、新技術導入促進の一環として、道路構造物の点検の効率化・高度化を推進するため、点検に活用可能な技術を取りまとめた「点検支援技術性能カタログ」（以下、性能カタログという）を策定し、随時更新を行っており、令和6年4月12日に、橋梁、トンネル、土工、舗装、道路巡視の点検に活用可能な78技術を拡充¹⁾したところである。

本稿では、主に、トンネルにおける点検支援技術の導入促進の取組について紹介する。

キーワード：トンネル、定期点検、点検支援技術、性能カタログ、新技術導入促進

1. 定期点検における実務上の課題

従前より、定期点検要領では、健全性の診断の根拠となる状態の把握は近接目視により行うことが基本であることが示されている。しかしながら、道路トンネルにおける定期点検は近接目視のみならず、打音検査、触診といった作業を併用して行うのが一般的であり、これらの具体的な方法は表―1に示すとおり、人力作業が主体となる。また、道路トンネルの点検作業は通常、片側車線規制下で行われるため、点検作業者には車線規制下での人力作業が求められる。

このように、点検作業者の作業上の負担を軽減するために、国土交通省では点検支援技術の導入を積極的

に進めている。以降に、点検支援技術の導入促進の取組みについて述べる。

2. 定期点検要領における点検支援技術の位置付け

前章で述べたように、定期点検の根拠の道路法施行規則では、「点検は近接目視により行うことを基本」としており、その技術的助言においては、「定期点検では、健全性の診断の区分の決定を適切に行うために必要と考えられる道路構造物の点検時点での状態に関する情報を適切な方法で入手すること。このとき、必要と考えられる情報を、近接目視、または近接目視に

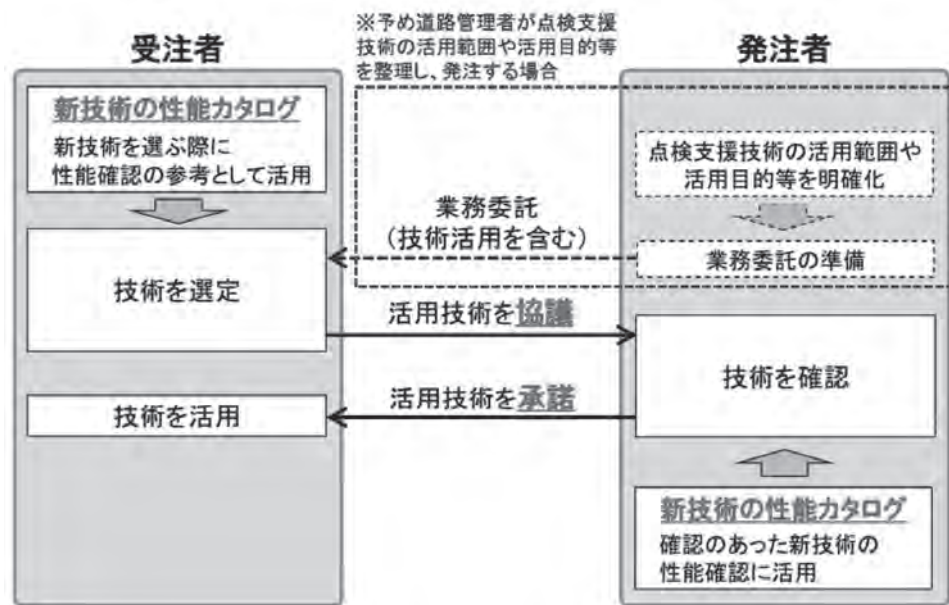
表―1 定期点検で行われる作業の例

分類	近接目視	打音検査	触診
作業方法	肉眼で変状等の状態を評価できる距離まで接近し、変状を把握する。	点検用ハンマーにより覆工面等の点検対象を打撃し、発生する打音から異状の有無を把握する。	照明灯具等の各種附属物に触れて、それらの取付状態を把握する。
作業例			

よる場合と同等の評価が行える他の方法により収集すること。」としている。これは、前回（平成31年2月）の道路トンネル定期点検要領に含まれており、今回の改定（令和6年3月）もこの内容は引き継がれている。

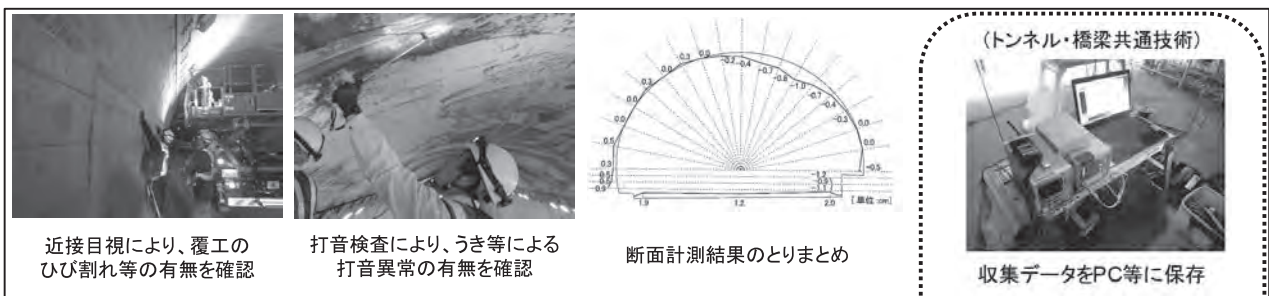
以上のように、定期点検において近接目視以外の方法の併用も可能となることが示されたことを踏まえ、国土交通省では前回の定期点検要領の改定と同時に「新技術利用のガイドライン（案）」²⁾（平成31年2月）を発出した。同ガイドラインは、定期点検を行う者（具

体的には点検業務の受注者）が点検支援技術を利用する際、受発注者間の協議に使用する書類等について示したものである。図—1は、同ガイドラインに示された点検支援技術活用の流れである。この中に性能カタログの記載があるが、これは国土交通省が進める点検支援技術の新技術導入促進計画で整備を進めている「性能カタログ」が該当する。性能カタログは、概ね毎年更新されており、最新の性能カタログは令和6年4月12日に拡充（図—2参照）されたものとなる。

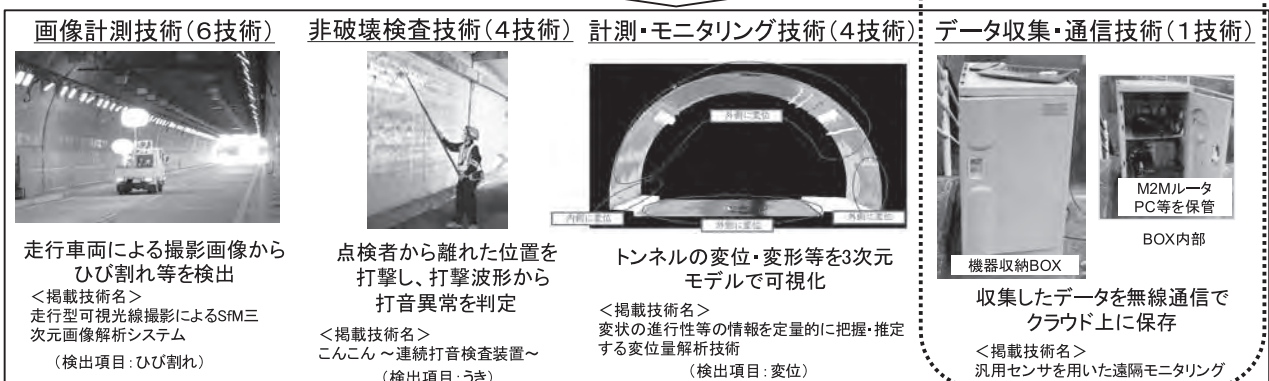


図—1 点検支援技術活用の流れ

従来点検



点検支援技術



図—2 拡充されたトンネル点検支援技術の例

3. 性能カタログの概要

性能カタログは、性能カタログ内で定められた標準項目に対する性能値をカタログ形式で取りまとめたものである。定期点検業務の受注者は、新技術の活用を検討するにあたって、性能カタログを利用することで、掲載されている技術の現場への適用性や性能等を確認することができる。

(1) 技術の分類

性能カタログにおける点検支援技術は、計測手法等の特性に応じて、「画像計測技術」、「非破壊検査技術」、「計測・モニタリング技術」、「データ収集・通信技術」に分類される。表―2に、各分類の技術の概要を示す。

(2) 性能カタログの構成

表―3に性能カタログを構成する標準項目を示す。性能カタログでは、機器等の仕様・能力に対する開発者の保証及びその前提条件（利用条件等）が類似の目的や原理の機器間で比較可能になることを意図し、標準項目や記載方法を指定している。一方で、性能値他の具体的内容の記載は開発者の責任で行われる。

4. トンネル点検支援技術の例

点検支援技術による支援の方法には、人力作業を効率化するもの、状態の把握に資する情報を得るもの、

点検結果のとりまとめを支援するものなどがある。

以下に、性能カタログに掲載されたトンネルの点検支援技術の一部を紹介する。

(1) 近接目視の支援

覆工表面の画像撮影を行い、撮影された画像から変状を抽出する。その結果を近接目視の参考とすることで、近接目視作業の効率化が期待される。また、正確な変状展開図の作成にも有用である。

画像を取得する方法にはいくつかあるが、そのうち走行型画像計測技術は計測時の車線規制が不要になるという利点がある。写真―1に走行型画像計測技術の一例を示す。覆工表面を撮影可能なカメラ等を車両に搭載し、車両を走行させながら覆工表面の画像撮影



写真―1 画像計測技術の例

表―2 技術の分類

技術分類	技術の概要
画像計測技術	点検対象構造物（橋梁又はトンネル）の画像を撮影又は計測する技術、画像を処理し調書作成を支援する技術
非破壊検査技術	点検対象構造物（橋梁又はトンネル）の変状を外部から非破壊検査により計測する技術
計測モニタリング技術	点検対象構造物（橋梁又はトンネル）をセンシング又はモニタリングする技術
データ収集・通信技術	点検対象構造物（橋梁又はトンネル）に設置したセンサ等により計測したデータを収集し、通信技術によりデータ転送する技術

表―3 性能カタログの標準項目

技術分類	画像計測技術	非破壊検査技術	計測・モニタリング技術	データ収集・通信技術
標準項目	1. 基本事項 2. 基本諸元 3. 運動性能 4. 計測性能 5. 画像処理・調書作成支援 6. 留意事項 7. 図面	1. 基本事項 2. 基本諸元 3. 運動性能 4. 計測性能 5. 留意事項 6. 図面	1. 基本事項 2. 基本諸元 3. 運動性能 4. 計測性能 5. 留意事項 6. 図面	1. 基本事項 2. 基本諸元 3. 留意事項 4. 図面

を行う技術である。

(2) 打音検査の支援

ハンマーを用いて行われる人力での打音検査に代わって打音異常を把握する技術や、打音検査時の打撃音から打音異常の有無を判定するなど、一連の打音検査を補助する技術が性能カタログに登録されている。人力による打音検査は苦渋作業につながることから、これらの技術を利用することで打音検査作業の低減を図ることが期待される。

写真—2 はハンマーによる打撃を行う装置で、非破壊検査技術の一例である。同装置の打撃音から打音異常の有無を判定することを目的としている。写真—3 は人力によるハンマーの打撃の結果から、うき・はく離の有無を把握する装置である。この技術も非破壊検査技術に分類される。

(3) トンネルの変形・形状計測

外力が作用するトンネルにおいて、トンネルの変形

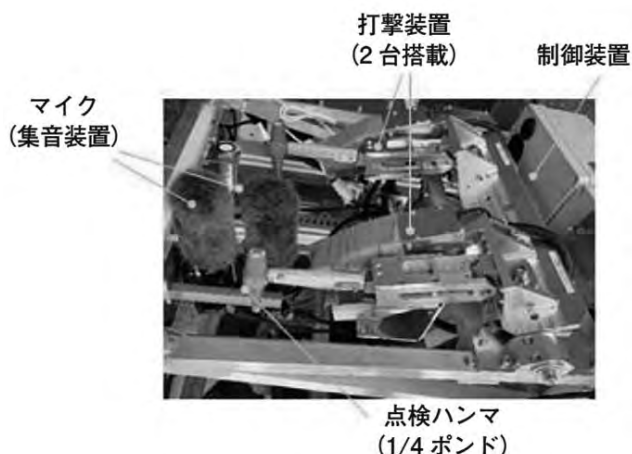
が徐々に進行することがある。変形の進行性を確認するために、形状計測技術を利用して定期的にトンネルの形状を把握することが可能となる。

写真—4 は、レーザー計測により覆工の形状計測を行う技術である。変形のモニタリングが可能となることから、計測・モニタリング技術に分類されている。

(4) 覆工巻厚・背面空洞の計測

覆工の巻厚不足と背面空洞の双方が確認されるトンネルでは、突発的に覆工が崩壊する恐れがある。この現象は突発性の崩壊と呼ばれ、覆工表面には目立った変状が見られないものの、覆工背面における変状が進行した結果として生じるものである。覆工表面に現れる変状が小さいため、人力による近接目視や打音検査のように覆工表面付近の変状把握を目的とした点検で把握することは困難である。

覆工巻厚や背面空洞を地中レーダによって計測する技術の一例を写真—5 に示す。このような技術は、非破壊検査技術に分類される。



写真—2 ハンマーにより打撃を行う装置の例



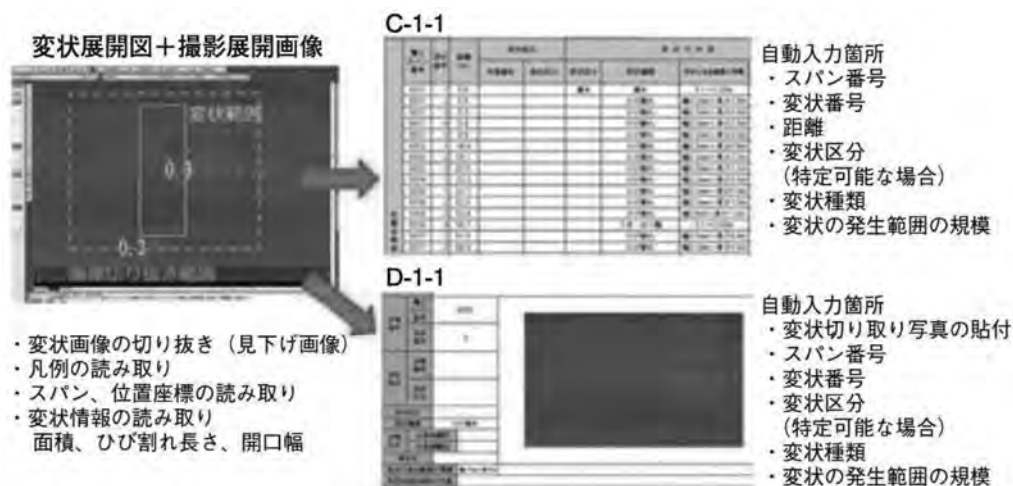
写真—4 覆工の形状計測を行う技術の例



写真—3 ハンマーによる打撃音からうき・はく離を把握する技術の例



写真—5 地中レーダにより覆工巻厚および背面空洞を計測する技術の例



図—3 内業を支援する技術の例

(5) トンネル内附属物の点検・監視

道路トンネルにはジェットファン、照明灯具などの様々な付属施設、ならびに標識や吸音板などが取り付けられている。これらを総称してトンネル内附属物という。

トンネル内附属物の取付状態を把握することも定期点検において行われるが、トンネルによっては点検対象が膨大となるため、作業の効率化が求められている。また、附属物の挙動を定期的に把握することが必要となることもあり、附属物の監視を行う技術も開発されている。

写真—6は、人力によるハンマーの打撃の結果からボルトやナットのゆるみの有無を把握する装置の一例である。これらの技術は非破壊検査技術に分類される。



写真—6 ハンマーの打撃の結果からボルトやナットのゆるみの有無を把握する装置の例

(6) 内業の支援

現地での点検作業終了後は、その結果をとりまとめて記録する内業が必要となる。これらの作業を効率化するために内業を支援する技術が利用される。図—3に内業を支援する技術の一例を示す。画像処理を中心とした技術になることから、画像計測技術に分類されている。

5. おわりに

本稿では、国土交通省道路局が推進している、トンネルに関する点検支援技術性能カタログについて紹介させていただいたが、引き続き新技術の積極的な活用と、これによる点検の効率化・高度化を進めていきたい。

J C M A

《参考文献》

- 1) 国土交通省 道路局：点検支援技術 性能カタログ，2024.4.12 記者発表 点検支援技術性能カタログを拡充 —橋梁・トンネル・土工・舗装・道路巡視の点検支援技術を追加— (https://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_001799.html)
- 2) 国土交通省：新技術利用のガイドライン（案），2019.2

【筆者紹介】

児玉 祐一（こだま ゆういち）
国土交通省 道路局 国道・技術課
課長補佐



行政情報

「高規格道路ネットワークのあり方 中間とりまとめ」と「WISENET2050・政策集」

守 田 銀 二

我が国の広域道路ネットワーク計画については、これまで高規格幹線道路（昭和 62 年）や、地域高規格道路（平成 6 年）が計画されているところであるが、これらの計画は約 20 年以上見直しがなされておらず、時代のニーズに対応した広域道路ネットワークの見直しが必要であった。そのため、令和 3 年までに各地域ブロックごとに新広域道路交通計画を策定し、新たに高規格幹線道路や地域高規格道路など、規格の高い道路ネットワークを一体として高規格道路と位置づけた。

新広域道路交通計画や、新たな国土形成計画などを踏まえ、次世代の高規格道路ネットワークがどうあるべきか、国土幹線道路部会が「高規格道路ネットワークのあり方 中間とりまとめ」を、国土交通省道路局が「WISENET2050・政策集」をそれぞれとりまとめたので、本稿ではその内容について紹介する。

キーワード：高規格道路、WISENET、シームレスネットワーク、エッセンシャルネットワーク、自動物流道路

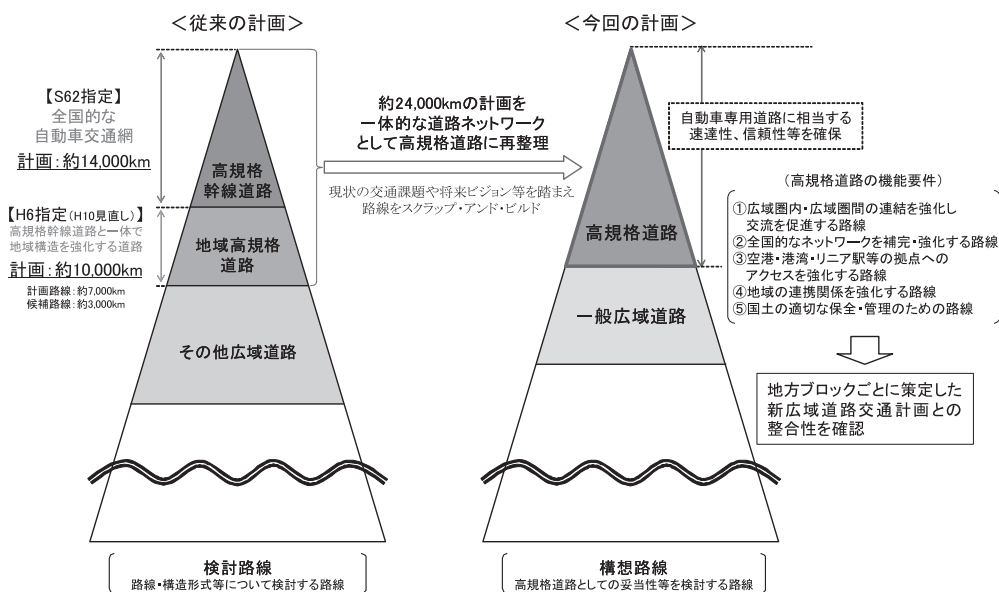
1. はじめに

我が国の広域道路ネットワークについては、第四次全国総合開発計画（昭和 62 年閣議決定）において約 14,000 km の高規格幹線道路が定められ、平成 6 年には広域道路整備基本計画に基づく地域高規格道路の計画が策定された。

我が国の社会経済や国土を取り巻く状況が大きく変化中、

- ・これら計画は 20 年以上見直されてこなかったこと
- ・社会経済の要請として、総合交通体系の基盤としての道路の役割強化や、ICT・自動運転等の技術進展を見据えた計画の必要性が高まったこと
- ・平時・災害時を問わない安定的な輸送を確保するために重要物流道路制度が創設されたこと

等を踏まえ、地域の課題や将来のビジョンなど、時代のニーズに対応した新たな計画として、令和 3 年 7 月までに、地方ブロックごとに新広域道路交通計画が策



図一 高規格道路ネットワーク計画の策定方針

定され、広域道路ネットワーク計画において、高規格幹線道路や地域高規格道路など、規格の高い道路ネットワークを一体として、高規格道路が位置付けられた(図—1)。

各地方で策定された新広域道路交通計画や、令和5年7月に閣議決定された新たな国土形成計画における国土づくりの方向性等を踏まえ、全国的な視点から、次世代の高規格道路ネットワークがどのような役割を果たしていくべきか、社会資本整備審議会道路分科会国土幹線道路部会(以下、国土幹線道路部会)において、高規格道路ネットワークのあり方をとりまとめた(表—1)。また、国土交通省道路局も本とりまとめを踏まえ、今後取り組む具体的な政策を「WISENET2050・政策集」としてとりまとめたので、本稿では、これらの内容についてご紹介する。

2. 道路ネットワークの現状と課題

戦後本格化した我が国の高速道路整備は、受益者負担の考え方に基づく道路特定財源制度、利用者負担による有料道路制度を推進の両輪とし、これまでに高規格幹線道路網14,000kmの約9割が開通するなど、着実に整備延長を伸ばしてきた。

この延長をもって我が国の高速道路ネットワークは概成しつつあると評する声もあるが、そのネットワークの質に目を向ければ、諸外国に例を見ない暫定2車線区間が4割を占め、サービスレベルの面では都市間の移動性(都市間連絡速度)が諸外国に大きく劣後するとともに、大都市圏及び地方都市における渋滞は経済的にも環境面でも大きなロスを生じるなど、多くの課題を抱えている現状にある。

こうした課題の背景には、空間的な制約から規格の高い道路に短距離トリップが混入したり、生活道路に長距離トリップが流入したりするなど、道路ネットワークが本来有すべき階層性の崩れが生じていることにも一因がある。

このような現状認識を踏まえ、国土幹線道路部会においては、主に以下のような広域道路ネットワークの課題が挙げられた。

(1) 都市間連絡のサービスレベル

我が国の主要都市間の連絡速度は、平均で61km/hである一方、ドイツ・フランス・イギリスの欧州諸国における主要都市間の連絡速度は概ね80km/h以上が確保されており、諸外国と比較すると十分な連絡速度を確保しているとは言えない状況である(表—2)。この背景の一つには、ネットワークを繋げることを優先して整備を進めてきた我が国では、暫定2車線区間が諸外国に比べ多いためであり、時間信頼性や安全性、通行止めリスクの面からも大きな課題がある。

(2) 走行の円滑性・安全性

我が国の幹線道路網における平均速度は、ポテンシャルを表す自由走行速度(10%タイル速度)が平均61km/hであるのに対し、実勢速度は36km/hと約4割低下している。年間総走行時間で見れば、約150億人時間の内、約4割(61億人時間)が渋滞等によ

表—2 諸外国との比較(都市間連絡速度)

	日本	ドイツ	フランス	イギリス	中国	韓国
平均連絡速度	61 km/h	84 km/h	88 km/h	74 km/h	87 km/h	77 km/h

表—1 国土幹線道路部会における検討経緯等

	開催状況等	審議内容	その他
令和5年 3月10日	第54回国土幹線道路部会	○広域道路ネットワークの現状・課題について	
令和5年 5月26日	第55回国土幹線道路部会	○広域道路ネットワークのあり方について	
令和5年 7月 4日	第56回国土幹線道路部会	○広域道路ネットワークのあり方について	
令和5年 7月28日			新たな国土形成計画閣議決定
令和5年 8月29日	第57回国土幹線道路部会	○新たな国土形成計画について(報告) ○高規格道路ネットワークのあり方について	
令和5年10月24日	第59回国土幹線道路部会	○高規格道路ネットワークのあり方 中間とりまとめ(案)について	
令和5年10月31日	「高規格道路ネットワークのあり方 中間とりまとめ」公表(国土幹線道路部会)		「WISENET2050・政策集」公表(国土交通省道路局)
令和5年12月11日	第61回国土幹線道路部会	○地方小委員会等における、中間とりまとめの内容共有・周知について	

る時間ロスであり、欧米の主要都市における損失時間は移動時間の約2割であることを踏まえれば、この渋滞を解消し、パフォーマンス向上を図ることは、経済的にも環境的にも重要な課題である。

3. 時代の重大な岐路に立つ日本（新たな国土形成計画の策定）

（1）時代の重大な岐路に立つ日本

急速に進む人口減少と少子高齢化、巨大災害リスクや安全保障上の課題など、増大するリスクの中で、四方を海に囲まれ、南北に細長い我が国が置かれている厳しい地勢の輪郭が強調されている。

諸外国に目を向ければ、GDP 世界第2位までシェアを高める中国や、2023年に人口が世界一になると推計されるインドなど、アジア諸国のさらなる成長が見込まれる中、低成長期を迎える我が国の国際的地位は相対的に低下しており、その危機感は、今次策定された新たな国土形成計画において、「時代の重大な岐路に立つ国土」として示され、ここにおける選択が我が国の行く末を大きく左右するものと強く認識されている。

（2）新たな国土形成計画の策定

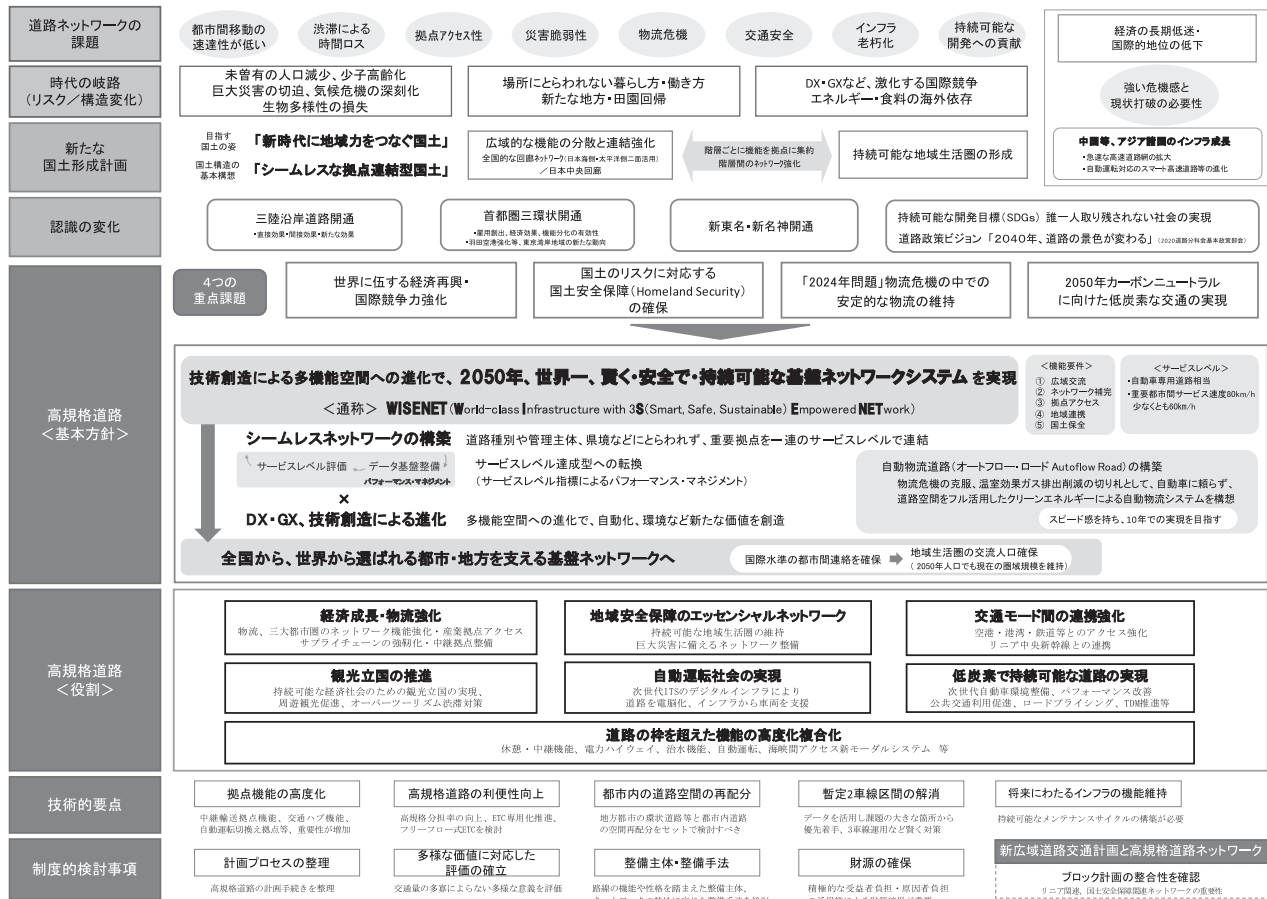
令和5年7月、国土審議会における累次の審議を経て、約8年ぶりとなる新たな国土形成計画が閣議決定された。

同計画においては、2050年、さらにその先の長期を見据えつつ、今後概ね10年間を計画期間として、総合的かつ長期的な国土づくりの方向性を定めており、目指す国土の姿として「新時代に地域力をつなぐ国土」、国土構造の基本構想として「シームレスな拠点連結型国土」がそれぞれ示された。

4. 高規格道路ネットワークのあり方 中間とりまとめ（国土幹線道路部会）

2050年の将来を見据え、高規格道路ネットワークに求められる役割やその構築に当たっての基本方針等について、国土幹線道路部会において議論され、令和5年10月に「高規格道路ネットワークのあり方 中間とりまとめ」が公表された（図—2）。

この中間とりまとめでは、新たな国土形成計画で示された国土づくりの方向性を踏まえ、「2050年、世界一、賢く・安全で・持続可能な基盤ネットワークシス



図—2 『高規格道路 中間とりまとめ』の概要

テム」, 通称「WISENET (ワイズネット)」(World-class Infrastructure with 3S (Smart, Safe, Sustainable) Empowered NETwork) を実現することを目標に, 「シームレスネットワークの構築」や, 「徹底した DX・GX の推進と技術創造による進化」を柱とする基本方針が示された。

また, 物流危機への対応や温室効果ガス削減に向けて, 自動車に頼らない新たな物流形態として自動物流道路 (オートフロー・ロード) が提案されており, 関係者と連携して実現可能性を早期に見極め, 今後 10 年での実現に挑戦していくことが重要であるとされた。

(1) 「シームレスネットワークの構築」

高規格道路が目指すべきサービスレベルを達成し, 「シームレスな拠点連結型国土」の実現に資するため, 行政界や道路種別にとらわれず, 一定の都市間連絡速度などシームレスなサービスレベルを確保した「シームレスネットワーク」を構築する。

このネットワークを 14,000 km の高規格幹線道路とこれを補完する広域道路網から構成し, 各地域の生活・経済圏域において重要な拠点機能を担う主要な都市, 交通拠点等を連絡することにより,

- 時間距離の短縮による国土の連結強化
- 地域生活圏の交流人口確保
- 交通拠点アクセスの向上
- 都市間ネットワークの多重性・代替性の確保
- 低炭素で持続可能な社会への貢献

を図る。

(2) 「徹底した DX・GX の推進と技術創造による進化」

中国や韓国など, 諸外国に目を向ければ, HOV レーン等の賢い交通運用を可能とする道路ストックの充実

が図られるとともに, 道路を中心とした DX・GX 等, 道路空間を成長産業のインキュベーターとする挑戦が行われている。

こうした状況を踏まえ, 道路システムの DX の取組「xROAD」や道路分野における脱炭素化を加速し, 今後は徹底した DX・GX の推進と技術創造により, 我が国のネットワークを多機能空間へと進化させていくことが重要である。

この多機能空間を生かすことで, 拠点間連絡や企業活動を支援するという従来型の社会資本 (下部構造) としての機能にとどまらず, 道路ネットワークそのものがこれからの日本の成長を支える「様々な価値を生み出していく特別な空間」となりうる。

こうした取組により, 全国から, 世界から選ばれる都市・地方を支える基盤ネットワークを形作ることが重要である。

5. WISENET2050・政策集(国土交通省道路局)

「高規格道路ネットワークのあり方 中間とりまとめ」を踏まえ, WISENET の実現に向けて国土交通省道路局が今後取り組む具体的な政策を「WISENET2050・政策集」としてとりまとめた (図-3)。この中では, 「シームレスネットワークの構築」と「技術創造による多機能空間への進化」を要点としつつ, 今後の高規格道路に求められる役割として以下項目を設定し, 政策展開を図っていくこととしている。

(1) 経済成長・物流強化

国際競争力強化のため, 三大都市圏環状道路, 日本海側と太平洋側を結ぶ横断軸の強化など, 強靱な物流ネットワークの構築を図るとともに, 物流拠点, 貨物

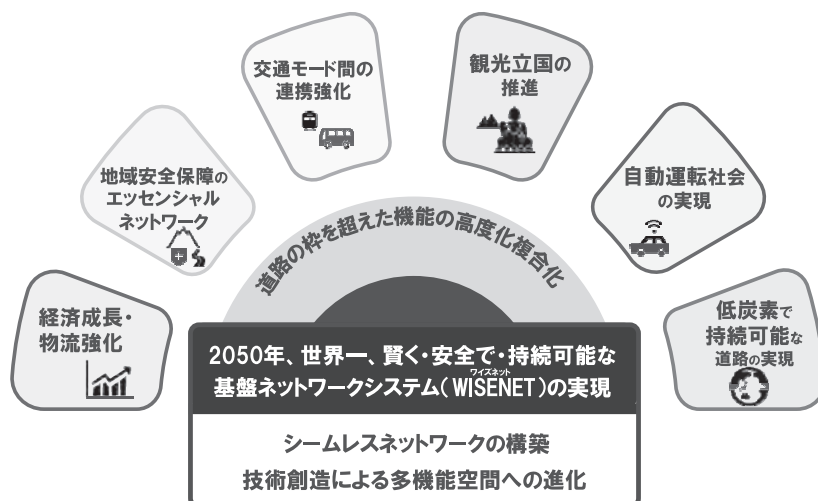


図-3 「WISENET2050・政策集」のコンセプト

鉄道駅・空港・港湾周辺のネットワークの充実や中継輸送拠点の整備等，物流支援の取組を展開する。

(2) 地域安全保障のエッセンシャルネットワーク

三陸沿岸道路に学び，人口減少や大規模災害リスクの中，地方部における生活圏人口の維持に不可欠な高規格道路を「地域安全保障のエッセンシャルネットワーク」と位置づけ，早期形成を目指す。

また，高規格道路が作り出す新しい人口圏域を意識し，これまでの地域・ブロックの概念を超えた圏域の形成を支援する。

(3) 交通モード間の連携強化

カーボンニュートラル，省人化の観点から，海上輸送，鉄道輸送等との連携を強化し，最適なモーダルコンビネーションを実現する（写真—1）。

また，集約型公共交通ターミナル（バスタ）の整備・マネジメントを通じて，人中心の空間づくりや多様なモビリティとの連携など MaaS や自動運転にも対応した未来空間の創出を進めていく。

(4) 観光立国の推進

ゲートウェイとなる空港・港湾や観光地のアクセスを強化し，観光資源の魅力を高める。あわせて，オーバーツーリズムが課題となっている観光地をデータで分析し，ハード・ソフト両面において地域と連携した渋滞対策等の取組を進める。

(5) 自動運転社会の実現

高速道路の電脳化を図り，道路と車両が高度に協調することによって，自動運転の早期実現・社会実装を目指す。

また，2024 年度の新東名高速道路を皮切りに，2025 年度以降は東北自動車道等においても取組を開

始し，将来的に全国へ展開する。

(6) 低炭素で持続可能な道路の実現

「カーボンニュートラル推進戦略」の4つの柱に基づき，次世代自動車の普及環境の整備，高規格道路への機能分化やデータに基づくパフォーマンス改善など，低炭素で持続可能な道路交通を実現する。

また，電気自動車・燃料電池自動車等の次世代自動車の普及を後押しするため，SA・PA や道の駅等，充電ニーズの高い箇所を中心に急速充電器の増加を図る。

このほか，以下のような項目についても，重点を置いて取組を進める。

<拠点機能の強化>

拠点施設においては，地方創生・観光を加速する拠点を目指し，地域の賑わい創出，防災機能や自動運転も見据えた交通ハブ機能の強化を推進する。

高規格道路と直接連結する SA・PA 等の拠点については，立地希少性を踏まえ，複数機能の集約や上空空間の活用など，土地の高度利用を推進する。

<自然再興（ネイチャーポジティブ）の実現>

地球温暖化やヒートアイランド対策，生物多様性の保全に寄与するため，周辺環境や景観に配慮した道路ネットワークの形成や道路空間の創出を目指す。

6. おわりに

本稿では，令和5年10月にとりまとめられた「高規格道路ネットワークのあり方 中間とりまとめ」及び「WISENET2050・政策集」の紹介を主に行った。

今後我々は，新たな国土形成計画でも示された我が国が抱える重大なリスクや社会の構造変化に対応することをこれまで以上に意識し，危機感を持って取り組む必要がある。

2050 年に，世界一，賢く・安全で・持続可能な基盤ネットワークシステム，通称 WISENET が実現されるよう，あらゆる関係機関と連携し，取り組みを進めてまいりたい。

J C M A

【筆者紹介】

守田 銀二（もりた ぎんじ）
国土交通省 道路局 企画課
道路経済調査室
調査第三係長



写真—1 空港と市街地を結ぶ高規格道路
（愛媛県 松山外環状道路）

特集>>> トンネル

SENS 掘進中に出現した巨大な岩塊群の撤去

北海道新幹線，羊蹄トンネル（比羅夫）他工区

生 越 亮

北海道新幹線（新函館北斗・札幌間）は，工事実施計画が平成 24 年 6 月に認可され，現在整備を進めている。羊蹄トンネルは，平成 31 年 4 月から SENS（シールドを用いた場所打ち支保システム）による施工を開始し順調に掘進していたが，令和 3 年 7 月初旬に坑口から約 3.4 km 地点の掘進途中で，緻密で硬質かつ巨大な岩塊群にシールドが遭遇したことで，カッタヘッドが回転不能となり停止した。本稿では，シールドが停止に至った経緯から再発進させるための岩塊群の撤去計画，施工実績および現在の進捗を報告する。

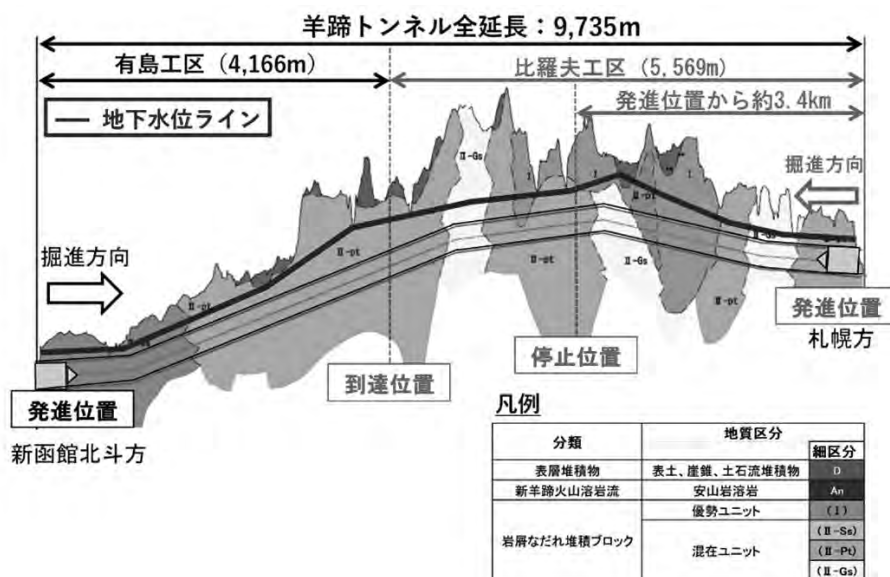
キーワード：SENS，NATM，導坑掘削，岩塊群撤去，岩屑なだれ堆積物

1. 羊蹄トンネル（比羅夫）工区の概要

北海道新幹線（新函館北斗・札幌間）の線路延長約 212 km のうち，羊蹄トンネルは，北海道虻田郡ニセコ町から同郡倶知安町に至る延長 9,735 m の新幹線複線断面トンネルであり，起点方の有島工区（延長 4,166 m）と終点方の比羅夫工区（延長 5,569 m）の 2 工区で施工するトンネルである（図—1，2）。本トンネルは羊蹄山西側の裾野に位置し，周辺の地層は羊蹄山の噴火活動に伴って形成された，複雑な岩屑なだれ堆積物で構成され，豊富な地下水を有した地質であり，トンネルは地下水位以下で構築することになる。



図—1 羊蹄トンネル位置図



図—2 羊蹄トンネル縦断面図

2. 羊蹄トンネルにおける SENS 掘進

(1) SENS 採用経緯

当初の調査では、深層部で比較的地質が良いことに加えて、遮水層が存在すると想定されたことから、NATMによる掘削を計画していた。その後、詳細な200m毎の地質調査等を実施し、深度化したところ、ルート上には未固結の地質が分布していることが明らかとなり、切羽の自立が困難であると判断した。また、地下水位が高く透水係数大きいことが確認され、大規模湧水を懸念し、シールド(写真—1)を用いた、SENSによる掘削工法を採用した。

(2) 当初想定していた岩塊遭遇の可能性と対策

本トンネルは、羊蹄山からの火山噴出物が複雑に堆積した地質であり、トンネル掘削断面は、全て岩層なだれ堆積物に相当する。施工前の地質調査結果より、基質は未固結・半固結の地質であり、掘進に伴い出現する最大礫径は $\phi 1,200$ mm程度と予測されたが、地山中に不規則に存在する岩塊把握は非常に困難であった。このため、事前に岩塊を地上から撤去する方法で

はなく、シールド側で対応することを前提に対策を講じた。

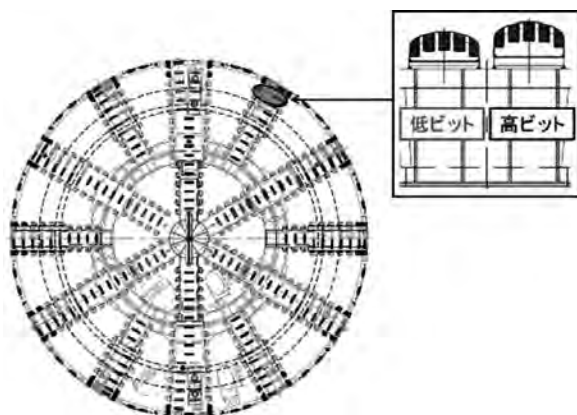
シールド側の対策では、 $\phi 1,200$ mm程度の礫の取り込みを可能とするスクリーコンベアを装備することに加えて、カッタフェイス側においても一部のビットの配列を並列かつビット同士に段差をつけることで設置した。それにより、片方のビットが摩耗の限界に達した場合でも、もう一方のビットを用いて継続的な掘進が可能とした(図—3)。また、ビット本体に超合金チップを組み込むことで岩塊対策とした。

3. シールドが掘進停止に至った経緯

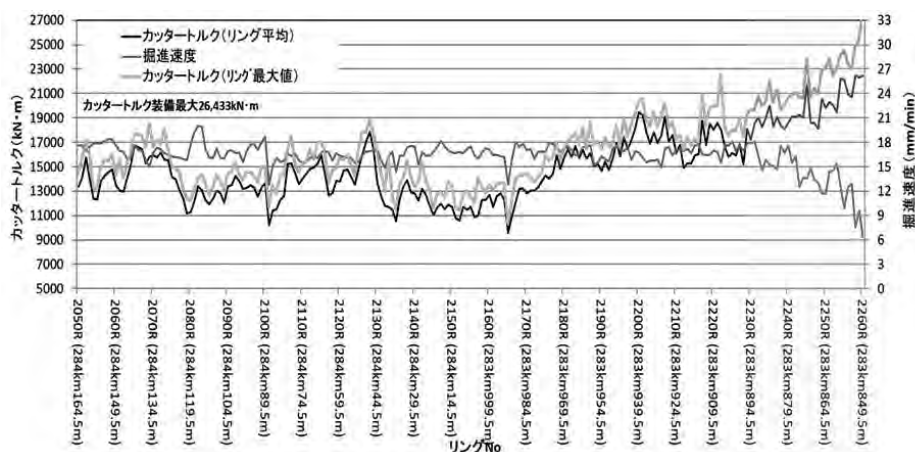
平成31年4月からシールド掘進を開始し、平均月進約140mで順調に進捗していたが、令和3年6月中旬に掘進していた2,230R付近から噴發現象が度々発生し、塑性流動性が不足していることを懸念したため、チャンバ内へ加水することで流動性を高めることに努めて、掘進を行った。また、同時にこの頃からカッタトルクは上昇傾向にあり、掘進速度も低下していた状況である(図—4)。カッタモーターの油温上昇を



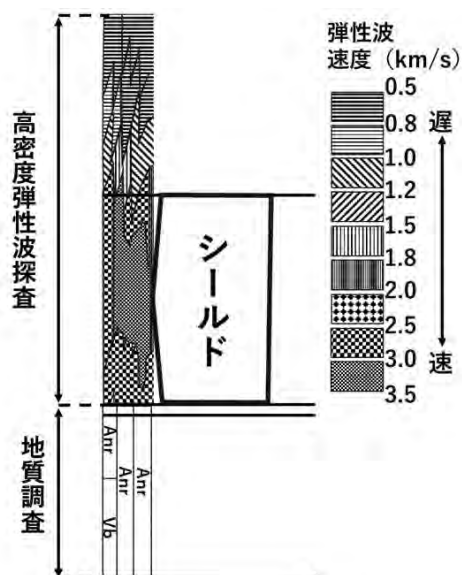
写真—1 シールド



図—3 カッタフェイス構造上の工夫



図—4 カッタトルク値、掘進速度の遷移状況



図一 9 高密度弾性波探査結果および地質調査結果の関係性

わせたところ、カットフェイス前では、弾性波速度が 1.8 ～ 3.5 km/s と羊蹄トンネル区間の地質調査結果の中では、比較的速い結果（図一 9）となり、同時に比抵抗値は周辺の値が 10Ω 程度に対して、局所的に 500Ω 以上と高い傾向にあった。今後羊蹄トンネル全線のうち、未掘削区間を調査、解析する上で貴重な知見であるため、検討を深度化し参考とする。

7. おわりに

羊蹄トンネル（比羅夫）他工区では、令和 3 年 7 月に掘進中にシールドが緻密で硬質な安山岩塊群に遭遇したことで停止した。その後、岩塊群の撤去に向けた様々な調査、検討を実施し、NATM による迂回掘削することで岩塊群の撤去を完了した。令和 5 年 11 月末には、ようやくシールドを再発進させ、現在は掘進管理に重点を置き、掘進中の振動状況やカットトルク値の増減、排土状況等を綿密に確認しながら掘進中である。

J C M A

《参考文献》

川西健之：北海道新幹線羊蹄トンネル（比羅夫）の SENS 施工に伴う機械設備、建設施工協会、pp.44-49、2023.2

〔筆者紹介〕

生越 亮（おごせ りょう）
 独鉄道建設・運輸施設整備支援機構
 北海道新幹線建設局 ニセコ鉄道建設所
 担当副所長



シールド工事におけるアコースティック・エミッション技術を用いた支障物切削負荷検知技術の開発

今 岡 洋 輔・大 前 慶 恵・上 田 潤

都市部のシールド工事では、杭などの支障物を直接シールド機で切削する工事が増加している。また、想定していなかった支障物と遭遇しシールド機が破損する事例も散見されている。支障物切削時の衝撃や切削負荷の増大によりカッタービットおよびカッター駆動部が損傷すると、掘進不能になる恐れがある。そのため、支障物切削中の切削負荷を把握し、掘進管理へ反映する必要がある。そこで、アコースティック・エミッション（以下、AE）技術を用いた切削負荷や衝撃の評価技術の開発に着手した。本稿では、支障物切削時における AE 技術の適用性を検証するために実施した、実工事での直接発進に伴う立坑壁切削時の AE 計測結果、および支障物切削時の AE 計測結果を紹介する。

キーワード：シールド、支障物、直接切削、切削負荷検知、アコースティック・エミッション、AE

1. はじめに

近年、都市部のシールド工事では、シールドの通過に支障となる杭や土留め壁などを直接シールド機で切削する工事が増加している。また、想定していなかった支障物と遭遇しシールド機が破損する事例も散見されている。

支障物切削時の衝撃や切削負荷の増大によりカッタービットおよびカッター駆動部が損傷すると、掘進不能になる恐れがある。そのため、支障物切削中の衝撃や切削負荷を検知し、掘進管理へ反映することで、切削負荷や衝撃を抑制する必要がある。

そこで、金属やコンクリート等の非破壊検査に使用される AE 技術に着目し、シールド掘削における代表的な支障物（杭、土留め材等）である金属やコンクリートが切削される際に発生する弾性波を検知し、切削負荷を評価する技術の開発に着手した。

本稿では、支障物切削における AE 技術の適用性を検証するために実施した、実工事での直接発進に伴う立坑壁切削時の AE 計測結果、および支障物切削時の AE 計測結果を報告する。

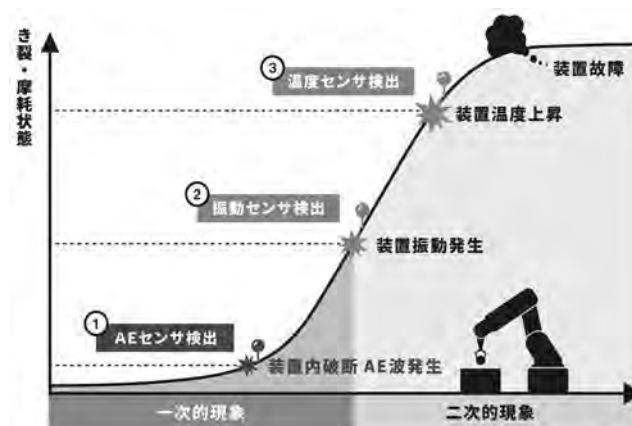
2. AE の特性と適用範囲

AE とは、材料の塑性変形や摩耗時に発生する高い周波数をもつ音響信号を“弾性波”として放出する現象であり、この音響信号を検出・評価する AE 技術に

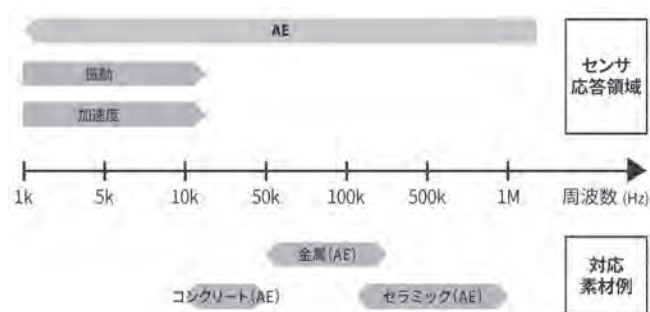
より、材料のクラックの発生や進行を非破壊で把握することができるため、通常、機械設備の保全予知に用いられる手法である。

振動センサ・温度センサなどの多くのセンサは、材料の変形や摩耗により生じた振動や熱などの二次的な現象を捉えるものであるが、AE センサは材料の変形や摩耗が発生した際の一次的現象を捉えることができるのが特徴である（図—1）。

AE の共振周波数帯は数 kHz ～数 MHz と言われ、人の可聴域よりもはるかに高周波領域であり、シールド工事での切削対象である金属やコンクリートなどが変形した際に発する音響信号の共振周波数と合致しているため、いち早く対象の変形を捉えることができる（図—2）。



図—1 き裂・摩耗の進行と各センサの検出¹⁾

図-2 センサの共振周波数¹⁾

AE の計測するパラメータは、取得時間内における最大振幅（AE 波形の最大値）およびエネルギー（AE 波形の積分値）であるが、シールドの支障物切削においては、各パラメータから切削対象や、切削によるシールド機への負荷の大小を判断できると考える。

3. AE の適用性検証

(1) 検証目的

シールド機内部に設置した AE センサで、支障物切削により発せられる AE 波形の検知が可能であるか、また、支障物切削における AE 技術での検知の有効性を検証した。

(2) 検証方法

立坑壁（コンクリート + FFU 材）を直接切削して発進するシールド工事（掘削外径 $\phi 12$ m 級）において、AE 計測を実施した。AE センサは、シールド機隔壁部およびロータリージョイント部へ設置した（写真-1）。また、振動センサを用いた計測値との確認・比較のため、振動計測も合わせて実施した。

計測は、無負荷時、立坑壁切削時、地山掘削時の各区間とし、シールド発進前から連続して計測を行った。

AE センサはコンクリートの共振周波数である 60 kHz 帯のものを使用し、センサ出力 0.1 μ s ごとに

サンプリングし、10 ms ごとに最大振幅およびエネルギーに換算し記録する。

(3) 検証結果

掘進データから、立坑壁切削時および地山切削時におけるカッタートルク値（図-3）と切込み量（図-4）を示す。図-3 から、立坑壁切削時より地山掘削時の方が高い値を示しているのがわかる。これは、地山掘削時の方が掘進速度 5 mm/分と速く、切込み量が大きくなったことにより、カッタートルクが高くなったと考えられる。

一方、AE 計測結果の最大振幅（図-5）やエネルギー

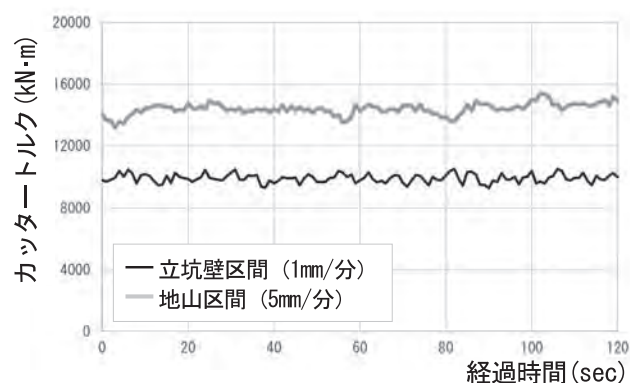


図-3 カッタートルク

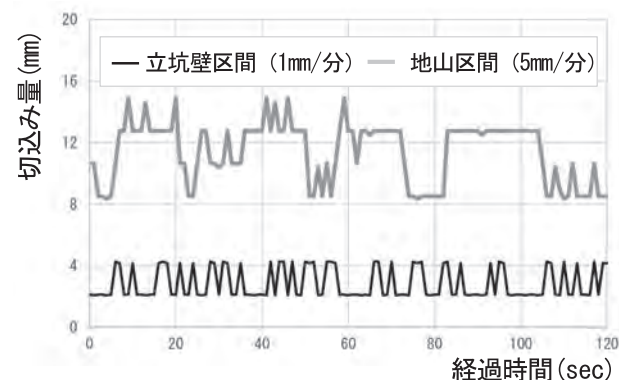


図-4 切込み量

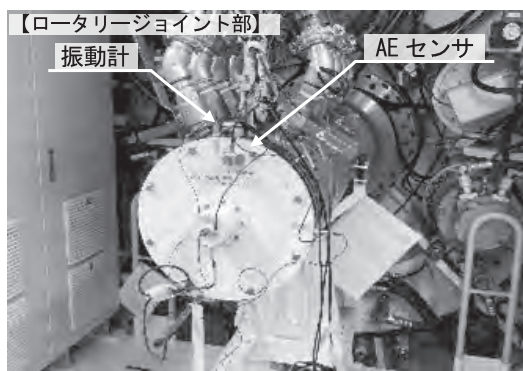
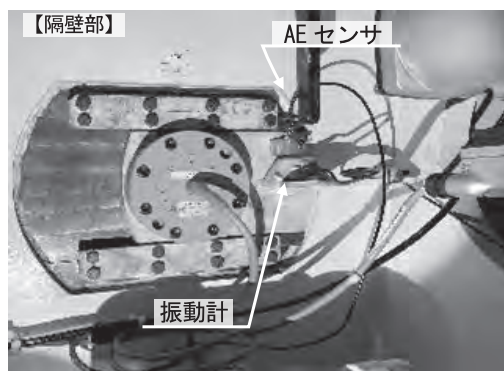
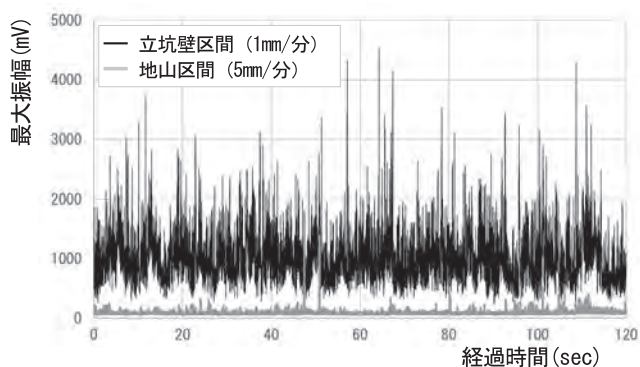
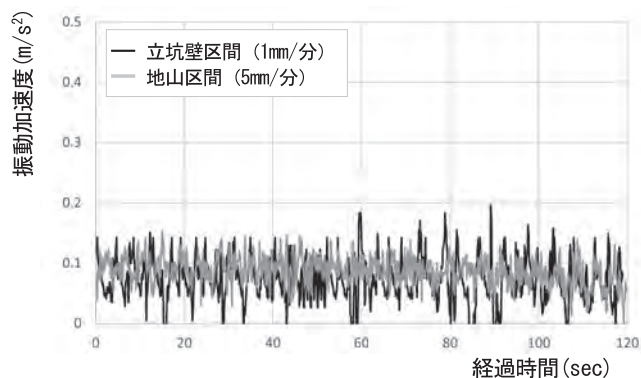


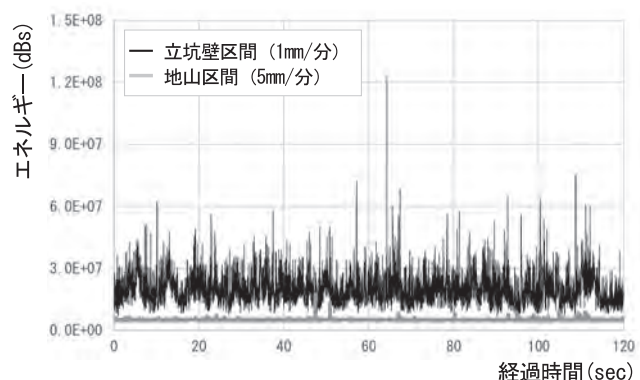
写真-1 AE センサおよび振動計設置状況



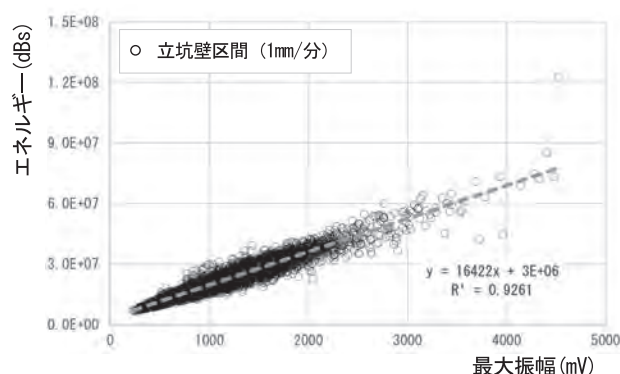
図—5 AE 計測結果 (最大振幅)



図—7 振動計測結果



図—6 AE 計測結果 (エネルギー)



図—8 最大振幅—エネルギーの相関図

(図—6)では、カッタートルクの値とは異なり立坑切削時の方が高い値を示している。これは、コンクリートや地山が切削される際の切削現象による波形を捉えたものであり、切削対象の違いによる AE 波形の差異によるものと考えられる。

また、振動計による計測結果では、立坑壁切削時と地山掘削時とで明確な違いを確認することができなかった(図—7)。以上より、AE 波形をシールド機内から検知可能であり、切削対象によって AE 波形の明確な違いを確認することができたため、支障物切削において AE 技術での検知が有効であると言える。

次に、立坑壁切削時の AE 計測値について最大振幅とエネルギーの散布図(x 軸:最大振幅,y 軸:エネルギー)を図—8に示す。この結果より、切削における掘削速度が一定であれば AE 計測値に相関関係があることが確認できる。近似式を1つの指標とした場合、近似式から外れる値であれば、切削時の衝撃が発生しているなど、切削状況が変化していると考えられることができる。

4. 実工事における支障物切削時の AE 計測

(1) 工事概要

支障物(土留め鋼管矢板φ1.4 m)を直接切削するシールド工事(掘削外径φ7 m 級)で AE 計測を実施

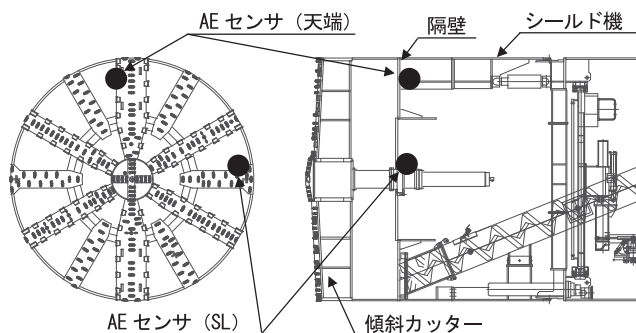
図—9 傾斜カッター²⁾

した。当該工事は、支障物がカッター面全体に存在するため、図—9に示すようなカッターヘッドに傾斜角度をつけた傾斜カッターを採用し、支障物に対し中心部から外周部へと切削部分を変えながら切削する。

(2) 計測方法

AE センサは、シールド機隔壁部の天端および SL 付近の2か所に設置し AE 計測を実施した(図—10)。計測は、地山掘削時、支障物切削時の各区間とし、連続して計測を行った。

AE センサは金属の共振周波数である 250 kHz 帯のものを使用し、センサ出力 0.1 μs ごとにサンプリングし、10 ms ごとに最大振幅およびエネルギーに換算し記録する。



図一10 AE センサ設置箇所

(3) 計測結果

(a) 切削ステップにおける計測結果

地山掘進時の計測結果と、支障物切削時の切削ステップごとの計測結果を切削状況とともに示す。

AE 計測結果については、天端と SL 付近で概ね同様の計測結果であったため、天端の計測データを用い、切削ステップ・状況に合わせた比較を行うため、エネルギーを用いて述べる。

①地山掘削時

地山切削時のカッタートルク，AE 計測値を図一11に示す。掘進速度 30 mm/min で掘進を行っているが，N 値 3 程度の粘性土地盤を掘進しているため，カッタートルク，AE 計測値ともに小さい値を示している。

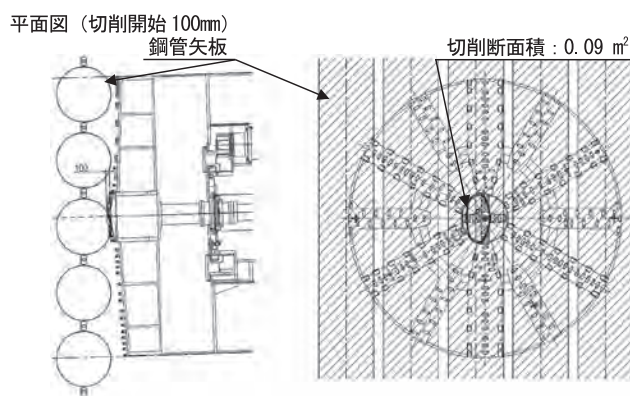
②切削開始 100 mm 付近

切削開始 100 mm 付近の切削状況およびカッタートルク，AE 計測値を図一12，13に示す。

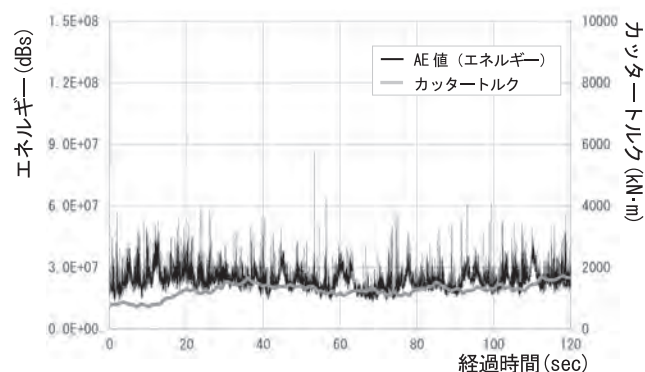
1本の鋼管矢板をシールド機中心部で切削しており，切削範囲が徐々に増えていく状況である。カッタートルクも切削範囲の増加にあわせ上昇し，AE 計測値も一定幅で変動していることがわかる。なお，切削 0 mm ～ 100 mm 区間においても，カッタートルク，AE 計測値ともに徐々に上昇傾向にあることを確認している。

③切削開始 200 mm 付近

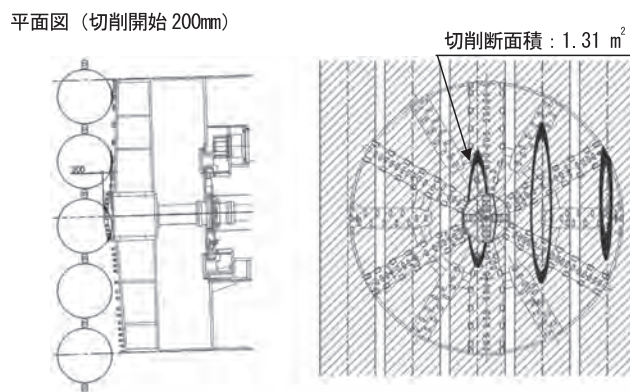
切削開始 200 mm 時の切削状況およびカッタートルク，AE 計測値を図一14，15に示す。



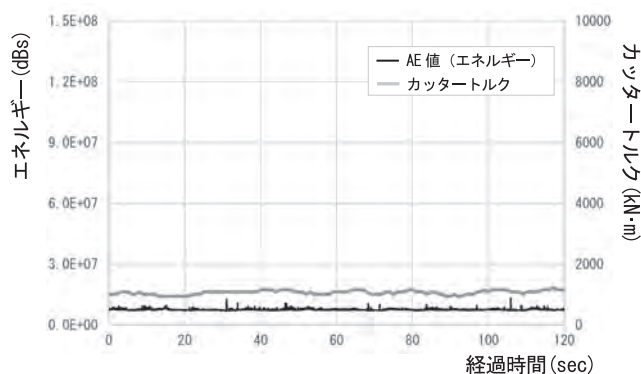
図一12 切削状況 (切削開始 100 mm)



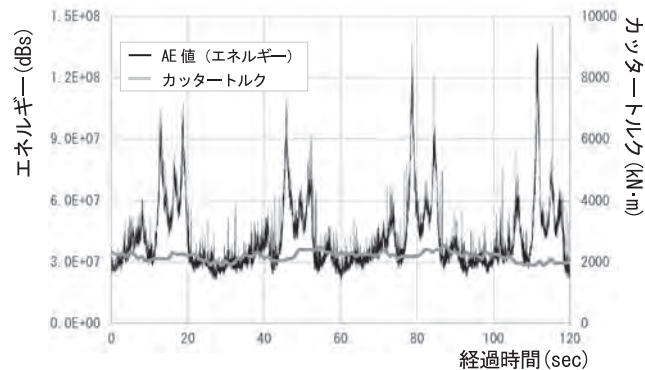
図一13 計測値 (切削開始 100 mm)



図一14 切削状況 (切削開始 200 mm)



図一11 計測値 (地山掘進時)



図一15 計測値 (切削開始 200 mm)

3本の鋼管矢板を切削しており、鋼管矢板を面で捉えている状況である。切削断面積は増加し、カッタートルクも上昇している。AE計測値は、フィッシュテール部の切削にあわせて周期的に上昇していることがわかる。

④切削開始 500 mm 付近

切削開始 500 mm 時の切削状況およびカッタートルク、AE計測値を図—16、17に示す。

5本の鋼管矢板をカッター面で切削しているが、切削断面積を比較すると、切削開始 200 mm 時よりも小さく、鋼管矢板を線で捉えている状況である。カッタートルクは、切削開始 200 mm 時より大きな値を示しているのに対し、AE計測値は小さい値を示した。

⑤切削開始 800 mm 付近

切削開始 800 mm 時の切削状況およびカッタートルク、AE計測値を図—18、19に示す。

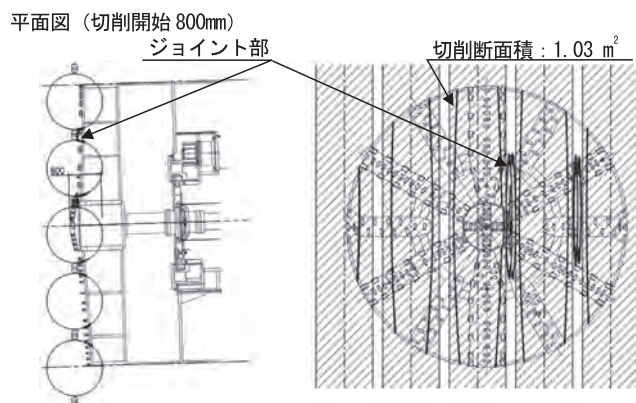
鋼管矢板ジョイント部をカッター面で切削している状況である。カッタートルクは徐々に上昇し、切削開始 500 mm 時の値より大きな値を示し、AE計測値についても切削開始 500 mm の時より大きい値を示している。密な構造のジョイント部を切削することによ

り、どちらの値も増加したと考えられる。

(b) 切削負荷の評価

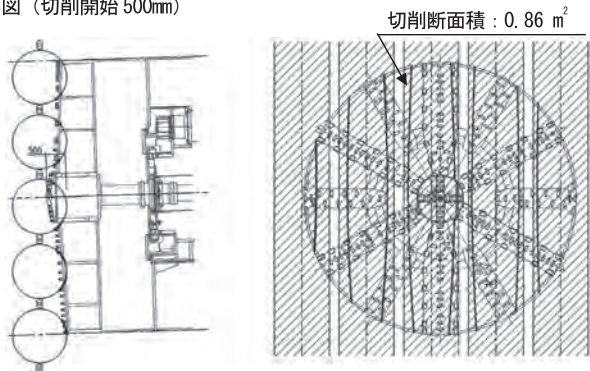
切削位置における AE 計測値（各 100 mm 区間のエネルギー平均値）と切削断面積の関係を図—20に示す。AE 計測値の大小と切削断面積の大小が概ね合致していることから、AE 計測値と切削断面積に比例関係があることが推察でき、切削開始 500 mm 時の AE 計測値が小さな値を示したことも切削断面積が小さいことが1つの要因と考えられる。

また、図—21に示す切削位置におけるエネルギー平均値と最大振幅平均値の関係から、最大振幅とエネ

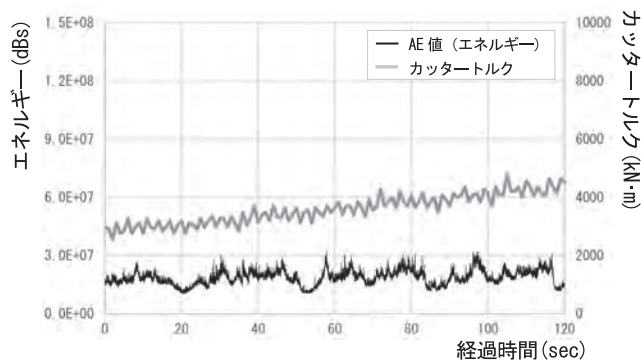


図—18 切削状況（切削開始 800 mm）

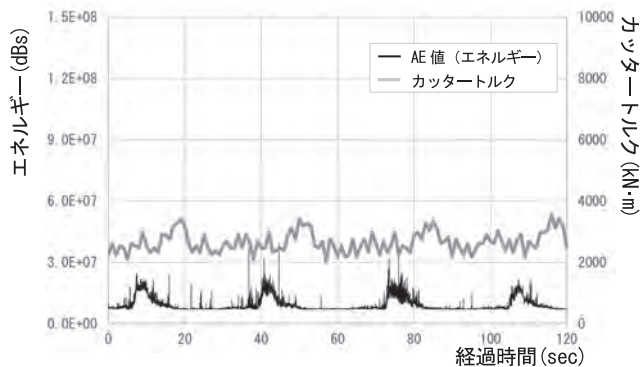
平面図（切削開始 500mm）



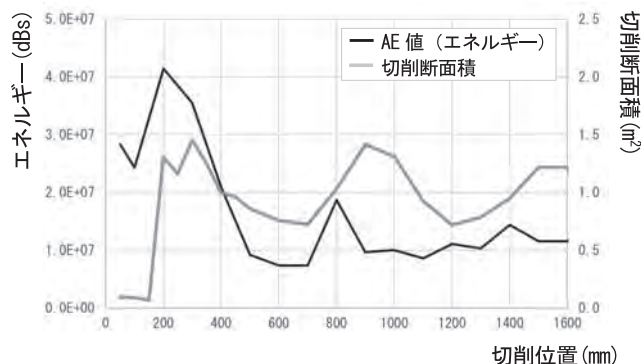
図—16 切削状況（切削開始 500 mm）



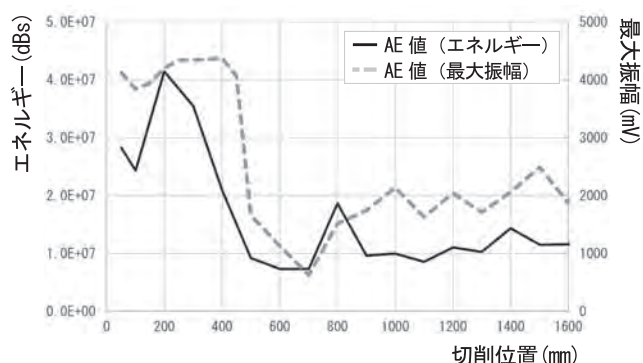
図—19 計測値（切削開始 800 mm）



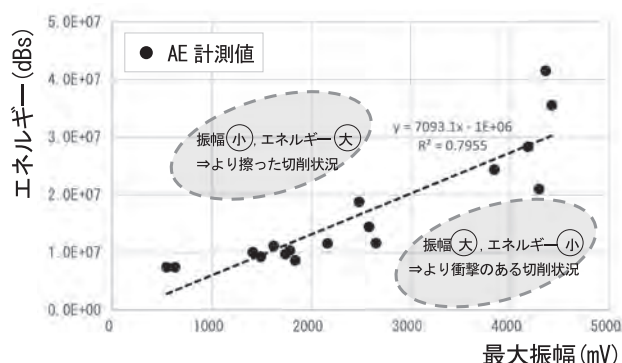
図—17 計測値（切削開始 500 mm）



図—20 AE 計測値と切削断面積の関係



図—21 エネルギーと最大振幅の関係



図—22 最大振幅－エネルギーの相関図

ルギーは概ね追従していることが確認でき、図—22に示す最大振幅とエネルギーの散布図（x 軸：最大振幅，y 軸：エネルギー）および近似式より，相関関係を確認することができる。

なお，近似式を1つの指標とした場合，近似式の上側にある時は，振幅に対しエネルギーが高いため，より擦ったような切削状況であり，近似式より下側にある時は，振幅に対しエネルギーが低く，より衝撃があるような切削状況であると推察できる。

5. おわりに

AE の適用性検証結果から，シールド工事において，AE 技術での検知は有効であることがわかった。また，実工事での計測結果から，支障物切削において，カッタートルク等のシールド機の負荷だけでは把握できないことを，AE 技術では把握できることがわかった。これらの計測から，支障物切削負荷検知技術の開発に必要な AE 計測データ取得および知見を得ることができ，支障物切削負荷検知技術の開発に向けて大きな一歩となった。今後は，AE 波の伝搬特性も考慮し，支障物との接触や支障物切削時の衝撃・切削負荷の評価指標を分析し，切削管理へフィードバックできるシステムの構築に取り組んでいく所存である。

J C M A

《参考文献》

- 1) 信和産業(株). 「Acoustic Emissionとは」. <https://www.first-ae.jp/acoustic-emission/>
- 2) JIM テクノロジー(株). 「技術紹介（支障物切削）」. <https://www.jimt.co.jp/tech/efficiency.html>

〔筆者紹介〕



今岡 洋輔（いまおか ようすけ）
（株）大林組
生産技術本部シールド技術部
副課長



大前 慶恵（おおまえ よしえ）
（株）大林組
生産技術本部シールド技術部
副課長



上田 潤（うへだ ひろし）
（株）大林組
生産技術本部シールド技術部
担当部長

シールドマシンのローラーカッター 交換システムの開発

田 村 憲・志 田 智 之

外径 3 m 以上のシールド機に搭載可能な機械式ビット交換工法「THESEUS 工法[®]」(以下、本工法)を 2021 年に開発した。本工法は、バルクヘッド(隔壁)に設けた伸縮する可動式マンホールをシールド機内側からカッタースポーク背面に接続して、カッタースポーク内部と機内を連続した空間にして、大気圧下でビット交換ができる。2022 年には人力に代わり、カッタースポーク内の空間を自走しビット交換作業をする遠隔操作ロボットを開発した。今回はこの工法を拡張し、岩盤や巨礫を含む地層を掘削する際に使用する「ローラーカッター」の交換システムを開発した。

本稿ではローラーカッター交換システムの開発コンセプト及び実証実験について報告する。

キーワード：ローラーカッター交換，ロボット，遠隔操作，自動化

1. はじめに

本工法は、シールド機のバルクヘッドに設けた可動式マンホールをカッターヘッド背面に接続しシールド機内とカッター内部を連続した空間にすることで、切羽に出ることなくビット交換を可能としている。また、専用ロボットを遠隔操作し交換することで、通常のシールド機と同等のカッターヘッド形状寸法を実現している。

一方、岩盤や巨礫を含む地層を掘進する場合、シールド機のカッターヘッドにはローラーカッターを装備するが、長距離掘進等で摩耗・損傷した場合は交換が必要となる。掘削対象が硬質岩盤で切羽の安定が確保される場合は、シールド機外に人が出て交換できるが、巨礫を含む砂礫地盤では別途、切羽崩壊を防止するための地盤改良等が必要となり、工費増大、工期延伸の要因となっている。

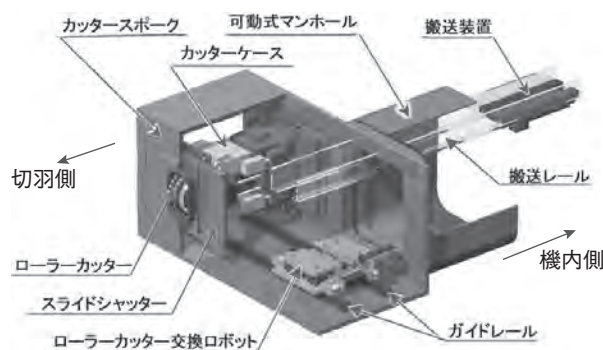
そこで、土砂掘削用ビットの機械式交換工法として開発した本工法を基にローラーカッター交換機構を新たに開発した。本報では開発コンセプトと基本構造および基本性能確認のために実施した実証実験について報告する。

2. 開発コンセプト

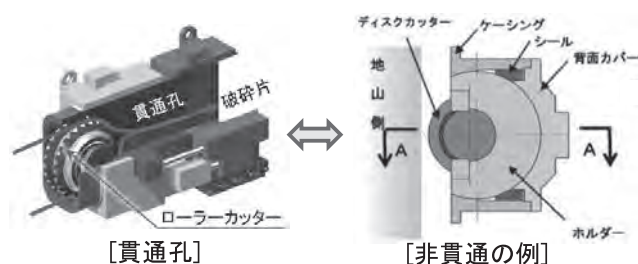
機械式ローラーカッター交換システムの開発に当たっては、従来型のローラーカッター交換方法の課題

を解決するため以下の条件を満足するものとして図—1 に示す基本構造を考案した。

- (1) 地盤に含まれる粘土分が固結しローラーカッターの回転が拘束されて偏摩耗の要因とならないように、カッターヘッド前面から背面までの貫通孔を確保する(図—2)。
- (2) カッターヘッドの厚さ、幅が大きくならないように、内部に人が立ち入ることなく交換可能な機構



図—1 貫通孔イメージ



図—2 ローラーカッター交換システム基本構造

を採用する。

- (3) ローラーカッターは重量物で、かつ狭隘な場所で行き扱ふ必要があるため、人力による作業を回避しロボットによる遠隔操作を実現する。

3. 基本構造

ローラーカッター交換システムの主要構成品を図-3に示す。本システムは、①インナーケース（ローラーカッターを固定し、掘進時は地山側に押し出し、交換時にはスポーク内に引き込む）とアウターケース（インナーケースをカッタースポーク内に固定する）から

成るローラーカッターケース（以下、ケース）、②ローラーカッター交換時のみカッタースポーク内に搬入し、遠隔操作によって交換作業をするローラーカッター交換ロボット（以下、ロボット）、③交換時にカッタースポーク内に土砂や地下水が流入しないよう地山と縁を切るためのスライドシャッター（以下、シャッター）から構成され、以下の手順でローラーカッターを交換する（図-4参照）。

- (1) 可動式マンホールをカッターヘッド背面に接続し、ロボットをカッターヘッド内部に搬入(1～2)
- (2) ロボットが交換対象のケース位置まで移動した後、把持ピンでケースを支持(3)

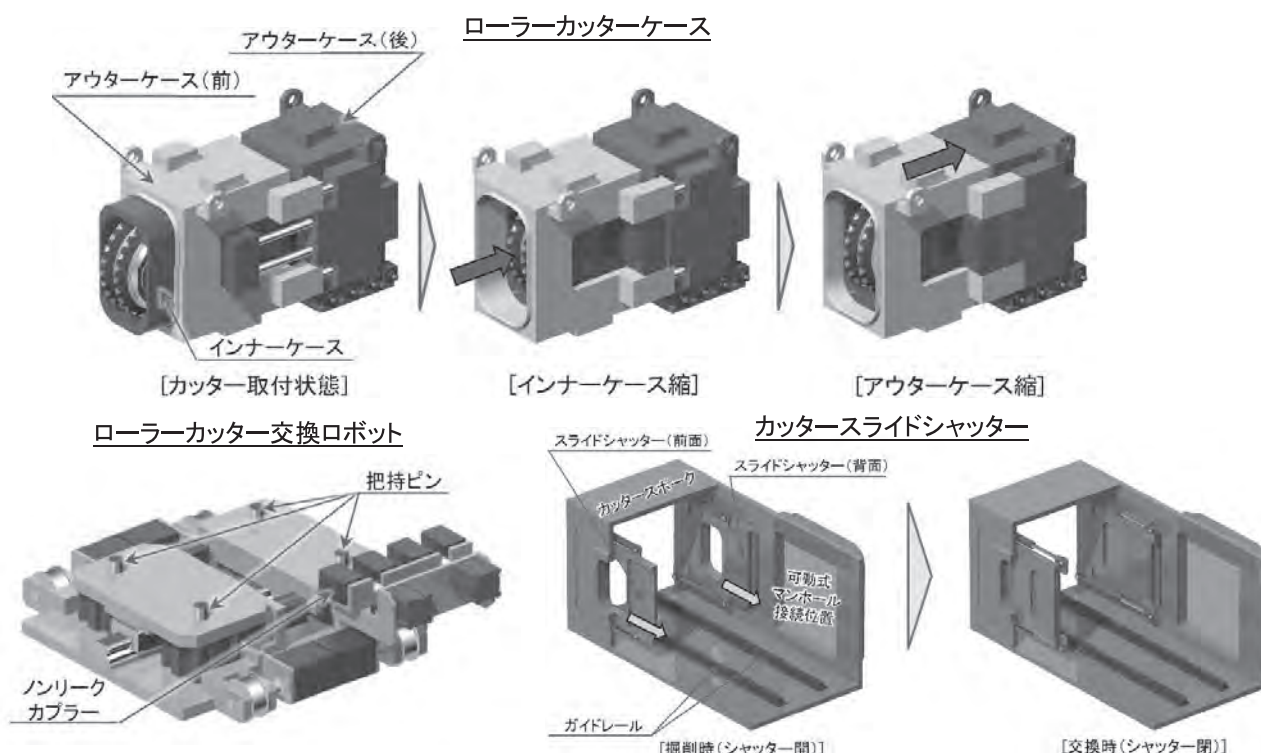


図-3 ローラーカッター交換システム主要構成品

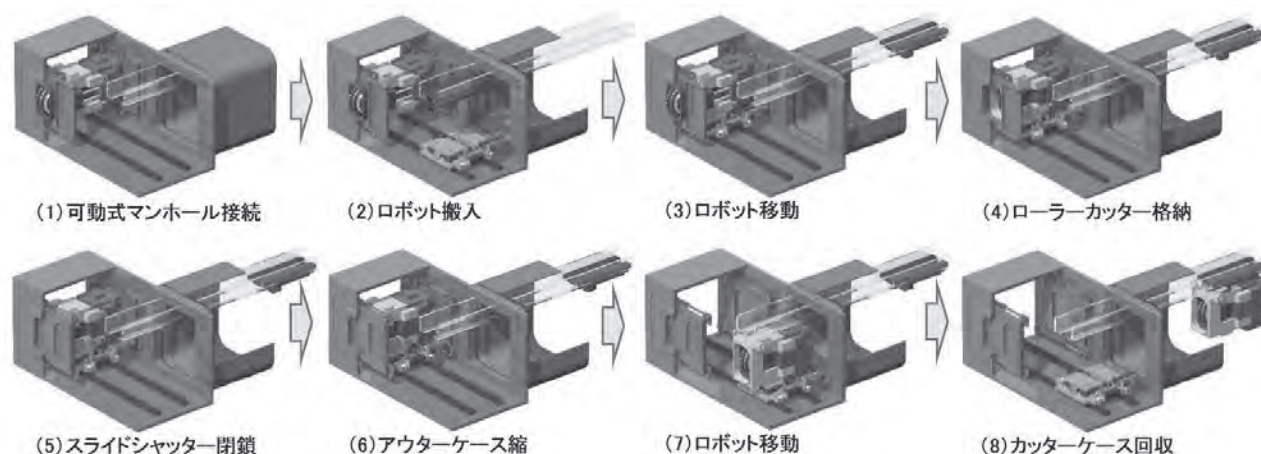


図-4 ローラーカッター交換手順

- (3) ロボット側からケース側に内圧を保持した状態で油圧ラインの接続・切離しができるノンリークカップラーを接続し、ローラーカッターをケース内に格納 (4)
- (4) カッター前背面のシャッターを閉鎖後、アウターケースを締めカッターヘッドからケースを分離 (5～6)
- (5) ロボットによりケースを可動式マンホール前まで移動し、搬送装置でシールド機内に回収 (7～8)

新しいローラーカッターへの交換は、(1)～(5)を逆の手順で行う。また、複数のローラーカッターを交換する際は、可動式マンホール側から順次撤去し、遠い側から再設置する。

4. 実証実験

実験装置は、14インチのローラーカッターを備えたカッタースポーク部を模擬したもので、可動式マンホールをカッター背面に接続した状態となっている (写真—1)。

ローラーカッターを内包したケース (写真—2) は約 800 kg で、取り扱い質量が大きいため、各操作による応答性がよい (即応性が高い) 油圧によって作動するものとした。

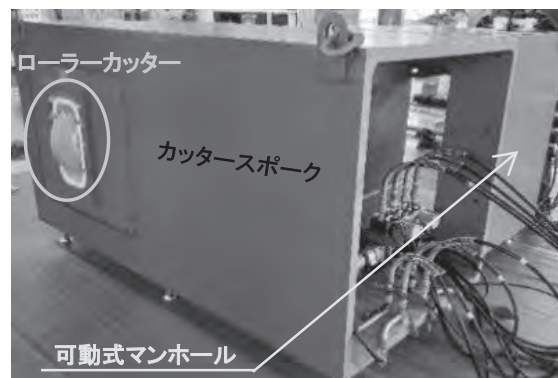
本装置では、ロボット (写真—3) に装備したノンリークカップラーにより交換時のみ油圧ラインを接続するため、カッタースポーク内に交換装置用の油圧ホースを配置する必要がなく、掘進時の衝撃による油圧ホース破損等のトラブル回避に寄与している。ロボットは、コントローラーにあるモニター映像を確認しながら遠隔で操作し、位置合わせを行う (写真—4)。

以下にローラーカッター回収時の実証実験の一連の状況写真を示す (写真—5)。

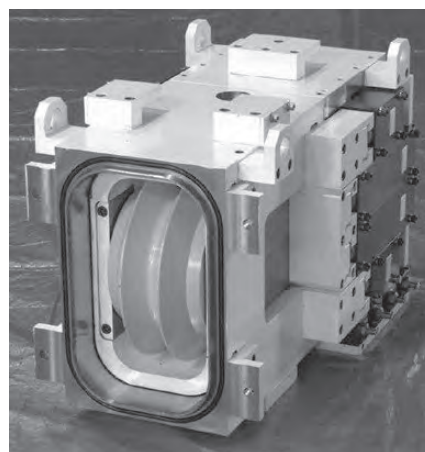
5. 実証実験結果

実証実験は、カッターケースの回収・取付けを複数回繰り返し行ったが、シャッター、ケースおよびロボットの可動部の作動状況は円滑で、ノンリークカップラー部の油漏れも認められなかった。

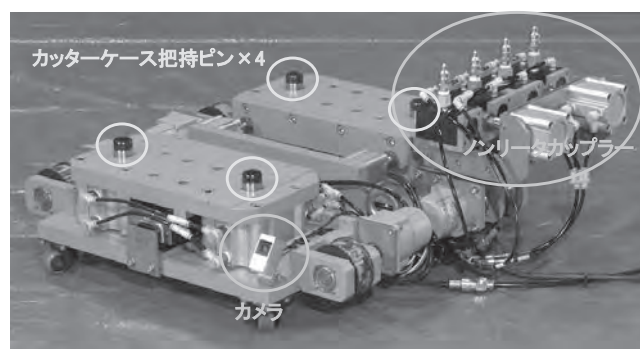
交換時間は回収・取付け作業ともに約 5 分であった。最後に、カッターケースの気密性を確認するために、シャッター前面・背面に蓋をして耐圧試験を行った。圧力 0.5 MPa のエアを封入し 30 分間静置後、圧力の低下がないことを確認した (写真—6)。



写真—1 実験装置全景



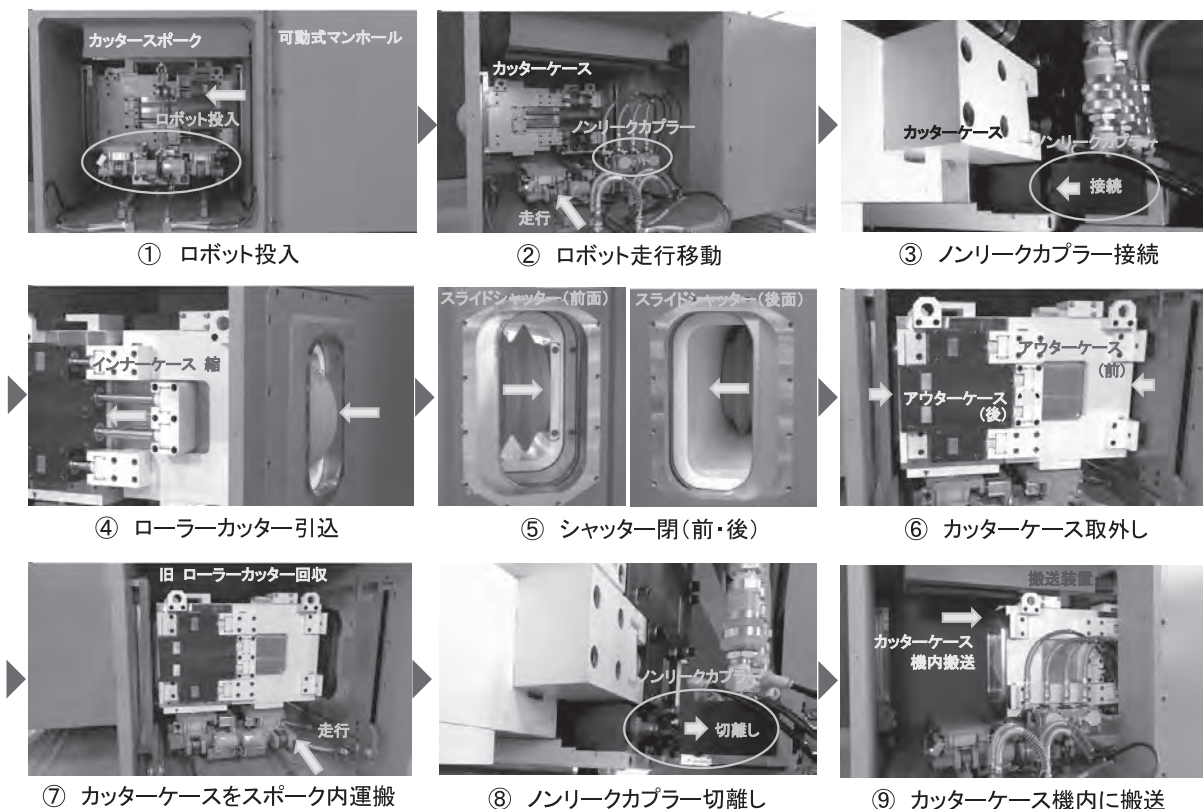
写真—2 カッターケース



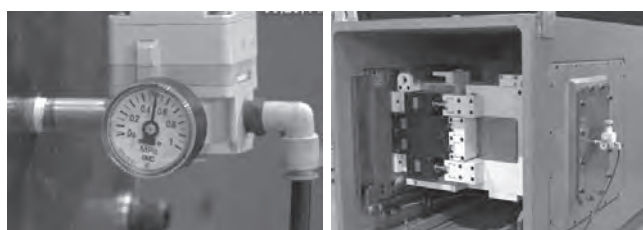
写真—3 ロボット



写真—4 コントローラー



写真—5 ローラーカッター回収順序



写真—6 耐圧試験状況

6. おわりに

実証実験により、本システムは構造的に問題なく作動し、気密性も確保できていることを確認した。これにより従来型のローラーカッター交換方法の課題を解決できる可能性を示すことができた。今後は、実装に向けて更なる小型化と自動化を図り、掘削対象が土砂から岩盤に変化するような特殊な地盤条件の工事へ適用する予定である。

J C M A

[筆者紹介]

田村 憲 (たむら けん)
大成建設㈱
土木本部 機械部 機械技術室
次長



志田 智之 (しだ ともゆき)
大成建設㈱
土木本部 土木技術部 都市土木技術室
部長 (技術担当)



山岳トンネルにおける吹付けコンクリートの自動化

実地山における実証試験の現況報告

犬塚 隆明・牟田口 茂・平岡 耕介

トンネル工事における「生産性・安全性の向上」、「熟練技能者・担い手不足の対応」などの重要な課題解決を目的として、掘削作業全般を対象に自動化施工システムの構築を進めている。本稿で紹介する吹付けコンクリートの自動化では、技能者の経験や技量に依らず生産性の高い吹付けを行うことを目標とし、地山条件に応じた最適ノズルワークと自動吹付け機を核とした自動吹付けシステムの開発に取り組んでいる。現在は、実地山を対象とした実証試験の段階であり、サイクルタイムや品質において良好な結果を得られているが、実用化を目指しさらなる改良を行っている。

キーワード：自動化施工システム、自動吹付け、自動吹付けシステム、最適ノズルワーク、生産性・安全性向上

1. はじめに

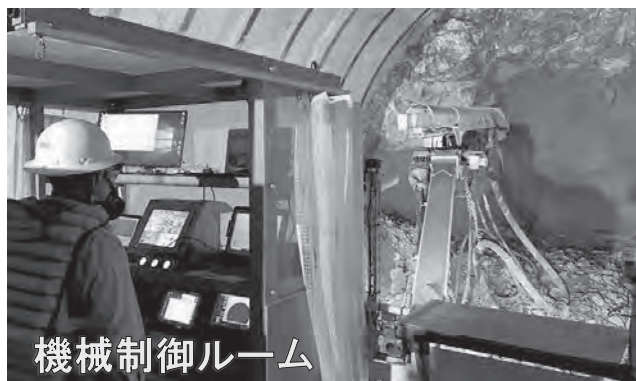
(1) 自動化施工システムの目的

トンネル工事は、掘削最前線である切羽直近での危険な作業や重労働が多いため、「生産性・安全性の向上」の対策が急務である。さらには、労働人口の減少・高齢化が進むなか、上記の労働環境を背景にトンネル作業員の新規参入者も少なく、「熟練技能者・担い手不足」も喫緊の課題となっている。これらの課題に対する解決策として、自動化施工システムの開発を進めている。これらの開発によって、トンネル掘削作業の主体を人から自動化機械にすることで、課題の根底にある労働集約型の作業体制を抜本的に変革し、省人化を図るとともに生産性・安全性を飛躍的に向上させることが狙いである¹⁾。

本開発においては、自動化機械の導入により、省人化と安全性の向上は実現できるものと考えているが、単に機械を導入しただけでは生産性の向上は見込めず、いかに効率の良い作業を実施できるかが重要である。つまり、生産性を向上させる最適な作業方法と手順を策定し、各施工条件から最も効率的な作業を導出する作業計画の構築が必要不可欠である。そのため、後述する模擬トンネルや実地山における試験においては、作業データの取集と分析、作業計画の改善に重点を置き取り組んでいる。

(2) 吹付けコンクリートの自動化

山岳トンネル工法の施工サイクルのうち吹付けコンクリートは、技量や経験を特に要する作業であり、施工の良し悪しは吹付けノズルを操作するオペレータの腕に依存するところが多い。そのため、将来、熟練技能者が不足した場合には、現状の水準と比べて品質や生産性の低下が懸念される作業の一つである。一方で、開発を進めている自動吹付けシステム（以下、本吹付けシステム）は、吹付け機が施工条件をもとに計画されたノズルワークにしたがって自動で吹付けを行っていくものであり、オペレータの技量や経験に依らない吹付けが可能である。また、従来はオペレータが吹付け状況を確認するために切羽近傍に立入る必要があったが、本吹付けシステムでは写真—1に示す制御ルームで機械動作を監視することが主作業であるため、安全に吹付け作業を行うことができる。



機械制御ルーム

写真—1 自動吹付け機の制御ルーム

2. 本吹付けシステム

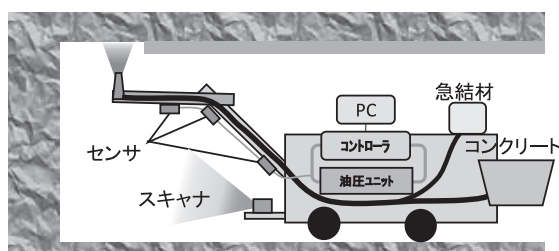
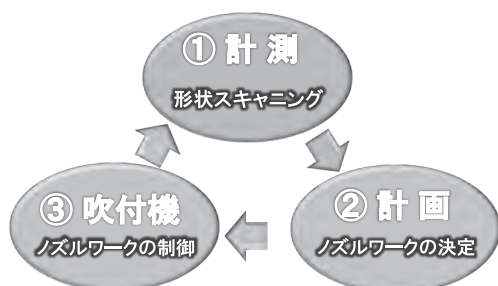
本吹付けシステムは、吹付け前に計測した地山形状に基づき、ノズルワークとノズルの配置や経路を決め、鏡部や坑壁部などの所定の範囲を任意の厚さで連続的に吹付けすることが可能である。この自動吹付けを実現するために重要な3つの開発項目は、①計測システム、②吹付け計画、③自動吹付機（機械制御）であり、これらについて述べる（図—1）。

(1) 計測システム

計測システムは、図—2に示すように、吹付機の前方に設置したレーザスキャナで切羽を計測し、吹付け計画に必要な地山形状や吹付け厚さを算出するものである。計測システムの特長は、走査時間の短いレーザスキャナの採用に加えて、計測と演算処理を連動させるプログラムの構築により、スキャン開始から短時

間で結果を出力できる点である。さらに、レーザスキャナの欠点である限定的な計測範囲を解決するために、回転架台を組み合わせてスキャナ1台で切羽全体の広域を計測できるものになっている²⁾（図—3）。これらの改良により、自動吹付けに十分なデータを1分程度で取得できるようにした。また、スキャナ計測の障害となる粉塵対策として、エア清掃機能を付加し、吹付けの環境下においてもデータの精度を確保できるように工夫した。

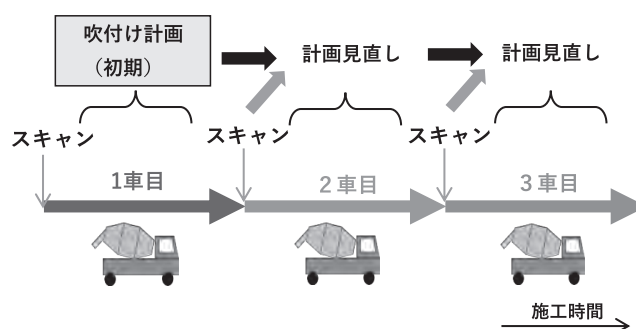
また、吹付け作業中は粉塵や作業振動、吹付機のブームが障害となり、スキャンデータの精度が低下したため、トラックミキサの入替え時などの吹付け中断時にスキャナ計測を行っている。本吹付けシステムでは、上記の計測タイミングで、吹付け厚さの確認と吹付け計画の見直しを行い、自動吹付けの精度を高めている（図—4）。



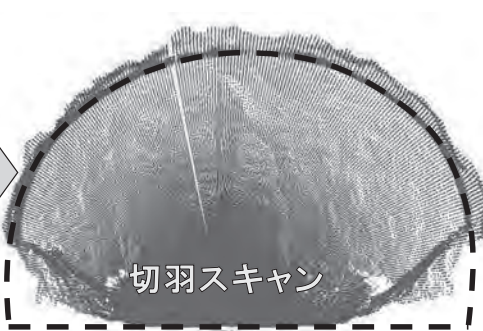
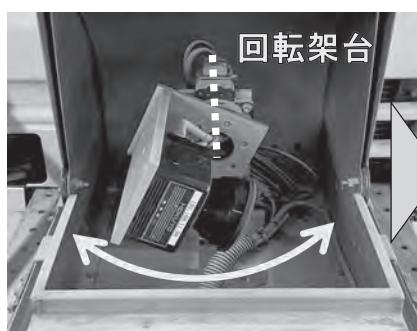
図—1 自動吹付けの開発項目



図—2 吹付機搭載型の計測システム



図—4 計測システムの運用方法



図—3 レーザスキャナを活用した切羽広域計測

(2) 吹付け計画

吹付け計画では、計測システムにて得た地山形状と必要吹付け厚さのデータから、最適なノズルワークと吹付け経路を決定する。ここで言う「最適なノズルワーク」とは、後述する模擬トンネルでの吹付け実験で得られた最小限のリバウンドで均一にムラなく所定の厚さを吹付けられるノズル動作である。吹付け計画では、この最適なノズルワークを効率的な吹付けを行うための基本ノズル動作としている。

凹凸を有する実際の地山を対象とした計画では、必要な吹付け厚さをもとに区分し、そのエリアごとにノズルワークを導出する（図—5）。次に、下部から吹付けすることを基本として、エリアごとに吹付けの順序と、スキャンデータをもとに坑壁および鏡部に衝突しないように、エリア間のノズル移動経路を決める。

天端部や余掘りの深いエリアにおいては、一度に多量の吹付けを行うと一旦付着したコンクリートが自重により剥落するため、一度に吹付けする量を制限し複数の層に分けて吹付けを行う計画にしている。また、そのエリアを吹く際は、連続した吹付けとならないよう途中に別のエリアを吹付けることにより、コンクリートの凝結時間を確保し剥落を防止している（図—6）。さらに、余掘り部では、層ごとに変わる形状を予測計算し、平滑に埋まるようノズルワークの再計算を行っている（図—7）。吹付け計画では、上記の処理をスキャンデータの取込みから数十秒で計算完了するロジックを構築しており、遅滞なく吹付け作業へ移

ることができる。

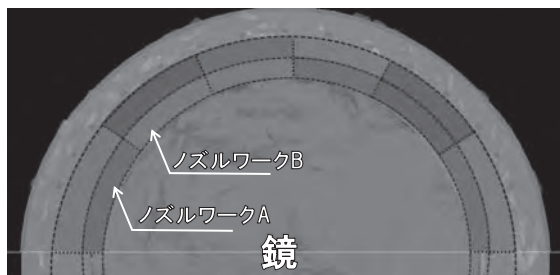
(3) 自動吹付機

吹付機の自動化では、吹付け計画で要求されるノズルワークを自動で動作する制御システムを構築した。

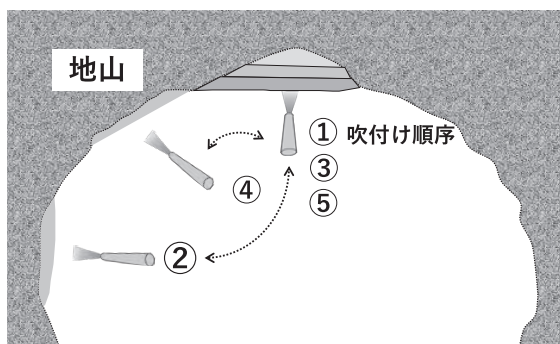
自動吹付機の動作制御システムは吹付け姿勢計算部と油圧制御部に大別され、姿勢計算部においては、自動吹付機に設置した測量用のプリズムから把握される機体の位置や姿勢と、吹付けブーム、アーム、ノズルの可動部すべてに取り付けた角度と伸縮センサを用いて、吹付け姿勢の計算を行う。また、センサのみでは把握できないブーム等の位置により異なる機械たわみなどの補正を加えており、ノズルの位置精度を高めている。

油圧制御部では、通常のON/OFF制御を比例制御に改造したことにより、任意の速度での動作を可能にし、さらに、動作の応答性と速度の追従性を高めるためフィードバック制御を組み込んでいる。また、ノズルの振角度 θ や振角速度 ω は（図—8）、吹付けの出来形に大きく影響するため、ノズルスイング時の制御遅れ時間の改善や、ノズル振角速度のキャリブレーション等を特に留意して行った。

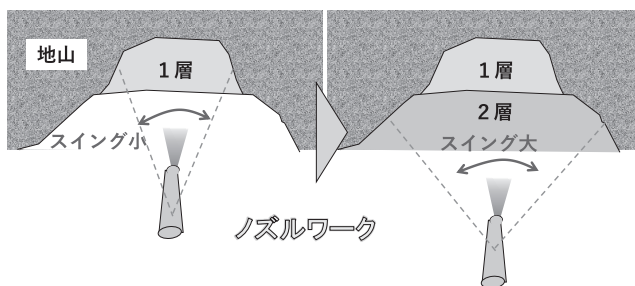
この他に、コンクリートの圧送やエア、水バルブの制御システムを開発し、吹付け前に行うコンクリート配管の水通しなどの準備作業や吹付け後の清掃なども自動化している。また、コンクリートの付着に重要な急結剤の量や添加時のエア量も制御しており、制御ルーム（写真—1）にて一連の吹付け作業を管理できるようにした。



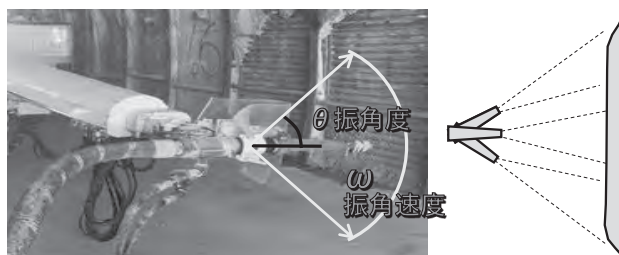
図—5 必要吹付け厚さによるエリア分割とノズルワーク決定



図—6 天端および余掘り部の吹き方



図—7 余掘り部でのノズルワークの再計算



図—8 ノズルの振角度 θ と振角速度 ω

3. 模擬トンネル

(1) 実験目的

自動吹付機はノズルの位置決めや動作速度の精度が高く、ノズル動作の繰り返し制御が可能であることから、自動吹付機の特長を生かした最適なノズルワークを確立できると考えた。そこで、最適な吹付けを行うノズルワークを確立するために、吹付け距離や振角速度といったノズルワークをパラメータとし、リバウンドや出来形との関係性を見出す吹付け実験を行った(写真—2)。

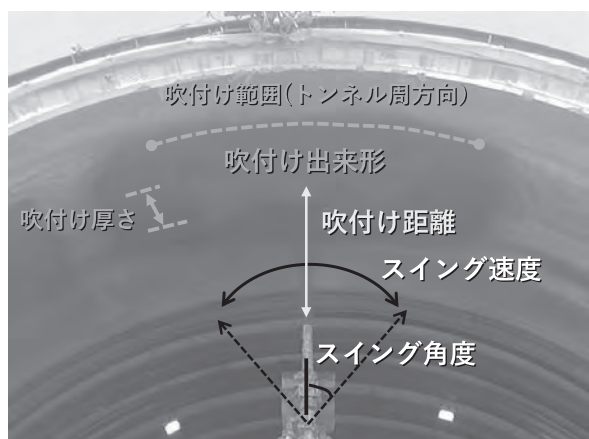
(2) 吹付け実験

はじめに行った材料関係の実験では、急結剤として採用しているクリアショットの標準配合をベースにスランプを変えたコンクリート配合を準備し、ノズルを振らない最も単純なノズルワークによって材料の影響度を確認した(表—1)。その結果、実験で用いるコンクリート性状のバラつきの範囲内では、リバウンド率や品質に大きな差異は見られず、材料の影響は低いものとして、吹付け条件をパラメータとした実験を進めた。吹付け条件をパラメータとした実験では、吹付

け距離や角度、ノズルの振角速度などを変えてリバウンドとの関係を整理した(図—9)。この結果をもとに、地山を対象とした吹付け計画では、地山形状データからリバウンドを最小限とする吹付け距離、角度となるようにノズルの配置計算を行っている。また、図—9の結果からノズルの振角速度は遅い方がリバウンドは少ないが、ノズルの移動速度に対して遅すぎると吹付け面にムラが生じるため(図—10)、吹付け面が平滑となる適正な速さを算出するようにしている。

吹付け出来形においては、上記で求めたリバウンド量の関係をもとにリバウンド量を見越した吹付け量、つまりノズルの移動速度の計算と、コンクリート噴射角などによるコンクリートの広がりを考慮した振角度の計算により、吹付け厚さと幅の予測値と実測値が一致することを確認している^{3), 4)}。

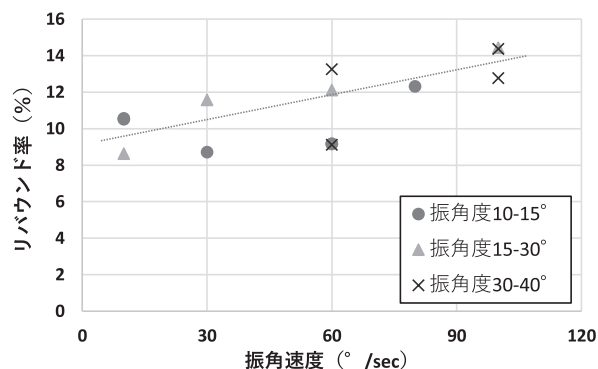
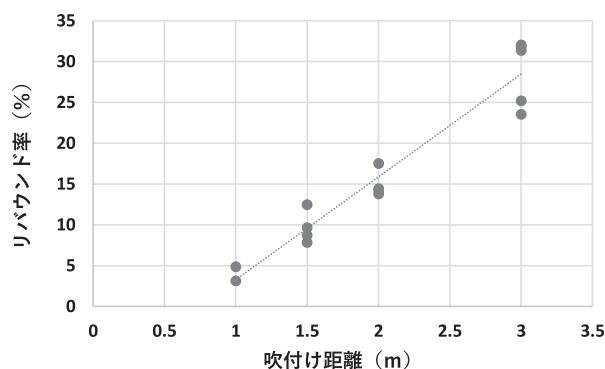
以上より、模擬トンネルの吹付け実験において、吹付け距離、吹付け角度、振角速度のパラメータとリバウンドの関係を定量的にデータ取得し、得たい出来形からノズルの移動速度と振角度、振角速度を算出する式を構築することができた。吹付け計画では、この式をもとに、地山の凹凸に応じて区分された部位ごとに最適なノズルワークを算出し、リバウンドを最小にし



写真—2 吹付け実験（模擬トンネル）

表—1 コンクリート配合の影響確認試験

		配合 1	配合 2	配合 3
配合	C (kg/m ³)	400		
	Gmax(mm)	13		
	W/C(%)	50		
スランプ（現着）(cm)		20.0	22.5	16.0
自動吹付	吹付け状況			
	品質（目視評価）	○（ダレなし）	○（ダレなし）	○（ダレなし）
	リバウンド率	7 %	7 %	9 %



図—9 吹付け距離および振角速度とリバウンドの関係

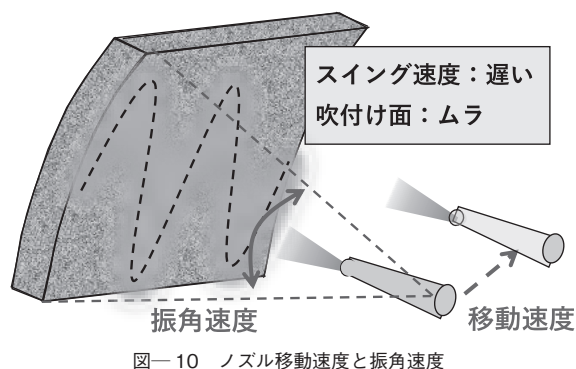


図-10 ノズル移動速度と振角速度

て設計の仕上げ面まで平滑に吹付けられるロジックとなっている。

4. 実証試験

現在は、模擬トンネルの実験を経て、本吹付けシステムを実地山に適用し、吹付けの品質やサイクルタイムの検証結果をもとに改良を行っている。以下に一次吹付けと二次吹付けについての現況を報告する⁵⁾。

(1) 一次吹付け

一次吹付けは、掘削後の地山に対する最初の支保部材となるため、掘削地山全体に所定の厚さを確実に吹付けることが求められる。本システムの適用当初は、掘削範囲の過少評価による吹き残しや切羽の凹凸を適切に捉えられずノズルが切羽に接触することが生じたが、スキャンデータの解析粒度を細かくするなどのロジック改良を重ね、現在はトラブルなく、吹付け開始

から終了まで連続動作で自動吹付けを実施できている。

自動一次吹付けの一例として、図-11に鏡部の吹付け厚さの結果を示す。この図は、鏡面を50cm四方のメッシュに分割し、そのメッシュごとに吹付け前後のスキャンデータから吹付け厚さを求めたものであり、全体的に所定の厚さで吹付けできていることが分かる。また、坑壁部の吹付け厚さも鏡部と同様に良好な結果が得られている。一方、前述のとおり吹付け中のスキャナ計測は難しいため、実地山を対象とした吹付けにおいては、特に地山不良部等で見られる吹付けの剥落への対応が課題であると考えている。この対策として、カメラ画像を用いて剥落箇所を特定するなどにより、リアルタイムに再吹付けを行うシステム改良を検討している。

(2) 二次吹付け

二次吹付けでは、鋼製支保工の間を設計の仕上がり面まで平滑に吹付け上げることを目標としており、一次吹付け後に行うスキャナ計測により、2章(2)で述べた方法にて、部位ごとの必要吹付け厚さに応じて吹付け計画を再作成する。この際、一次吹付けの計画と実測を比較評価し、必要に応じてリバウンド率などの吹付け計画の諸パラメータの見直しを行い、二次吹付けの精度を高めている。

図-12に坑壁部の自動吹付け結果を示す。グラフの縦軸は設計仕上がり面までの吹付け厚さ、横軸は天端を0°とした断面位置を示しており、吹付け前と後の差分が本吹付けシステムによって吹付けた厚さであ

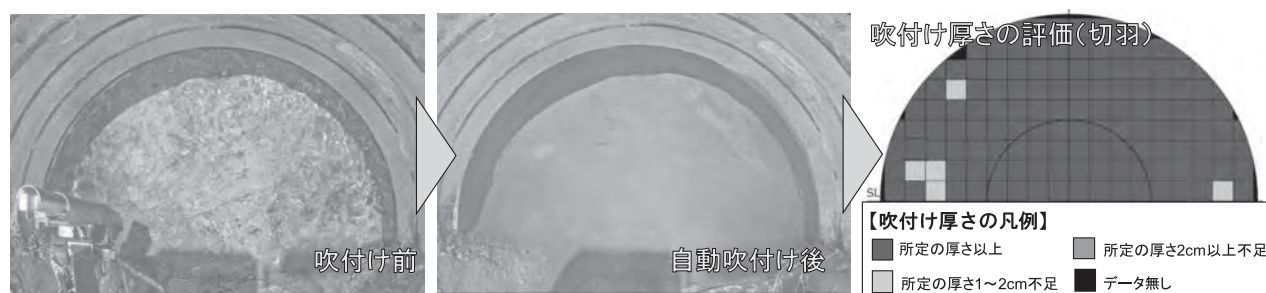


図-11 自動一次吹付けの結果（鏡部）

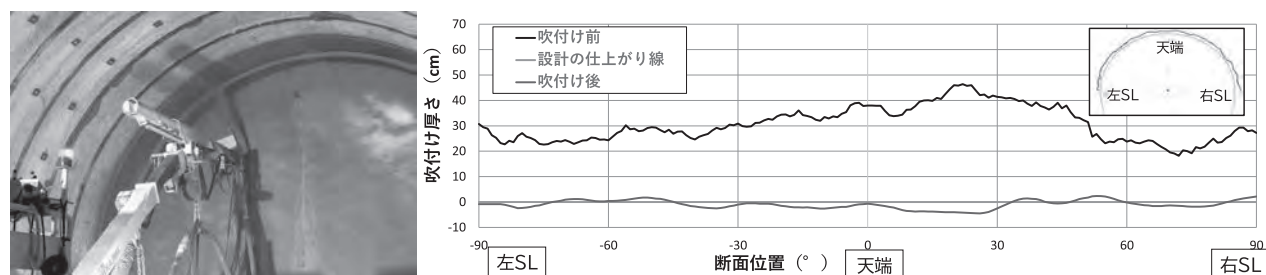


図-12 自動二次吹付けの結果（坑壁部）

る。本結果より、吹付け後の仕上がりには多少の凹凸があるものの十分な吹付けができていることを確認できる。また、鋼製支保工を有する支保パターンでは、鋼製支保工の背面やフランジ間を吹付けるノズルワークを坑壁部の吹付けパターンに組み込み、坑壁部と支保工部への吹付けを連続的に行うことで地山との一体化を図っている（写真—3）。

サイクルタイムについては、吹付け前の形状スキャンや自動吹付機のセットなど通常にはない手順が増えるが、吹付け時のコンクリートポンプの吐出量を $20 \text{ m}^3/\text{h}$ 以上に増やして作業時間の短縮を図っている。また、コンクリート配合と急結剤添加量の適宜見直し⁶⁾と、最適なノズルワークによる吹付けにより、リバウンドの少ない施工を実現している。

5. おわりに

本稿では、吹付けコンクリートの自動化におけるシステムの特長と、模擬トンネルでの吹付け実験、現在行っている実地山を対象とした実証試験について報告した。実証試験においては、模擬トンネルでの基礎研究開発により構築した自動吹付けシステムを実地山に適用した結果、吹付けの品質とサイクルタイムについて良好な結果が得られ、本システムの適用性を確認することができた。現在は、さらなる生産性向上を目指して2ノズル吹付機の自動吹付けに挑戦中であり（写真—4）、2つのブームを制御しながら効率的に動作させるシステムの構築を進めている。

また、吹付け自動化の他にも、トンネル掘削一連の施工ステップである発破掘削、ずり出し、あたり取り、ロックボルト打設の自動化・遠隔化も並行して進めている。これらが完成した際には、トンネル工事における「生産性・安全性の向上」と「担い手不足への対応」



写真—3 支保工背面部への吹付け



写真—4 2ノズル吹付機の自動化

の課題に対し、抜本的な解決が図れると考えている。

JCMA

《参考文献》

- 1) 三浦 悟, 牟田口茂, 岩野圭太: 自動化技術による施工の生産性向上, 構想・計画調査・設計・施工・維持補修・管理の総合土木技術誌, 第61巻, 1号, p.p.96-99, 2019.12.
- 2) 犬塚隆明, 手塚康成, 岩野圭太, 浜本研一, 白坂紀彦: 一体型簡易3Dスキャナと余掘り評価ソフトの開発, 土木学会第72回年次学術講演会, VI-718, 2017.
- 3) 犬塚隆明, 岩野圭太, 松本修治, 松村匡樹: 山岳トンネルにおける吹付けコンクリートの自動化, 土木学会第74回年次学術講演会, VI-1080, 2019.
- 4) 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.
- 5) 犬塚隆明, 牟田口茂, 平岡耕介: 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3), 土木学会第78回年次学術講演会, VI-930, 2023.
- 6) 松本修治, 犬塚隆明, 平岡耕介, 渡邊賢三: 吹付けコンクリートの配合要因などが付着性に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.45, No.1, 2023.

【筆者紹介】

犬塚 隆明 (いぬづか たかあき)
鹿島建設㈱
機械部 自動化施工推進室
主任



牟田口 茂 (むたぐち しげる)
鹿島建設㈱
機械部 生産機械技術グループ
部長



平岡 耕介 (ひらおか こうすけ)
鹿島建設㈱
機械部 自動化施工推進室
課長代理



山岳トンネル工事における計測作業の遠隔化技術の開発 切羽の無人化に向けた取り組み

瀬 瀬 善 孝・塚 田 純 一・松 本 慶 太

筆者らは山岳トンネル工事における切羽の無人化を実現するために機械の遠隔化や自動化に関する技術開発を進めており、本稿ではその一環として観察・計測作業の無人化を目的に開発したシステムについて述べる。本システムは計測台車と遠隔操作装置によって構成されており、任意の計測機器を搭載した計測台車を遠隔操作装置で制御することによって、観察・計測作業のための切羽近傍への人の立ち入りを不要とするものである。本システムを用いて自動走行技術の開発にも取り組んでおり、今後は各種重機の自動化も進めていく。

キーワード：山岳トンネル，観察・計測工，無人化，遠隔操作，自動化

1. はじめに

国内における建設業の就業者数は1997年頃をピークに減少傾向を示すとともに、そのうち55歳以上が占める割合が増加する一方で29歳以下の割合は減少しており、高齢化が進行している。特に山岳トンネル工事においては狭隘な坑内で複数種類の特殊機械を使用する複雑な作業が必要とされているため属人化が進みやすく、将来的にベテラン作業員の引退や若手入職者の減少による労働力の不足や、技術継承ができないことによる施工品質の低下が懸念されている。また、切羽でたびたび発生している肌落ち災害においては、被災者のうち6%が死亡、42%が1か月以上の休業となっており、発生した場合の重篤度が高いことから、

作業員が切羽に近づく機会の削減（切羽の無人化）が求められている。

これらの問題を解決するために、切羽から離れた位置から機械を操作する“遠隔化”や、AIやSLAM等の制御により自動で機械を稼働させる“自動化”に関する技術開発が進められてきている。油圧ショベルやエレクトー一体型吹付け機等の重機による切羽作業が主な開発対象とされているが^{1), 2)}、山岳トンネルの施工管理の一環として日常的に行われている観察・計測作業の際にも切羽に近づく機会があることから、遠隔化や自動化が必要であると考えられる。

本稿では、上記の背景から山岳トンネル工事の観察・計測作業を遠隔で実施するために開発した無人計測台車『Tunnel RemOS-Meas. (トンネルリモスメジャー)』



図一 山岳トンネル工事の各種建設機械の遠隔化・自動化

について述べる。本システムは、山岳トンネル工事の各種建設機械の遠隔化・自動化のために筆者らが構築を進めている『Tunnel RemOS (トンネルリモス)』(図—1)の構成技術のひとつである。

2. システムの概要

本システムは、計測機器を搭載する計測台車と、計測台車を制御する遠隔操作装置によって構成されており、各種計測作業の遠隔化を目的としている(図—2)。

(1) 計測台車

計測台車は、任意の計測機器を搭載することが可能な台車である。特長を以下に述べる。

- (a) 幅、長さ、高さが各々1 m程度と比較的小型であるため、重機との離合や狭隘な場所での計測が容易である。
- (b) 移動手段はクローラであり、左右のクローラを独立的に操作することで、前進、後進、旋回といった動作が可能である。不整地での走行やその場での方向転換が可能であるため、切羽作業の合間に迅速に計測作業を行うことができる。
- (c) 広さ40 cm × 65 cmの設置スペースには、カメラ

やスキャナ等の任意の計測機器を設置可能である。設置スペースは垂直昇降型のリフトとなっており、計測機器の使用場面に合わせて高さを85～170 cmの範囲で調整することができる(図—3)。

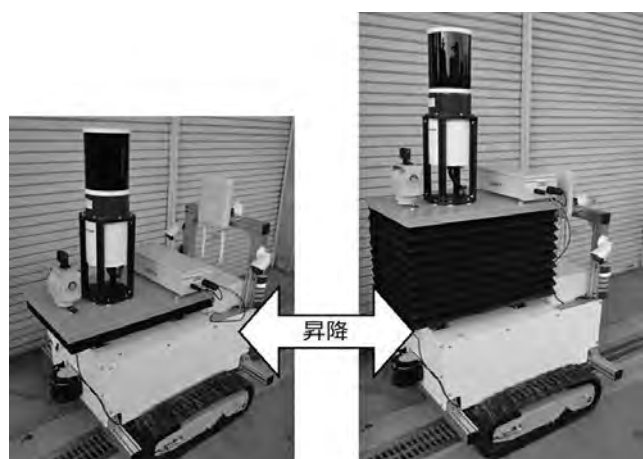
- (d) 動力源はリチウムイオンバッテリーである。エンジンと比較して坑内環境を悪化させないこと、他の種類のバッテリーと比較して軽いこと、昼夜稼働する山岳トンネル現場で使用するために連続稼働や急速充電が可能であることを考慮して選定した。
- (e) 遠隔操作中に装置周囲の状況を確認するために、映像を取得するためのカメラや、接近物を検知するためのラインスキャナやLiDARを搭載している。併せて、装置の稼働状況を周囲に知らせるために表示灯やブザーを搭載している。また、緊急時に動作を停止させるためのキルスイッチも設けている。
- (f) 小電力無線局(2.4/5.0 GHz)を搭載しており、遠隔操作装置からの操作信号を受信するとともに、計測台車からは稼働状況や各計測機器のデータが送信される。

(2) 遠隔操作装置

計測台車の遠隔操作には、遠隔操作室またはタブレット端末といった遠隔操作装置を用いる。装置の種類は、現場の状況や他技術の適用状況を鑑みて選定する。遠隔操作室(図—4)は床面積12 m²程度のコン



図一2 システム構成



図一3 計測機器設置スペースの昇降



図一4 遠隔操作室

テナハウスを4tトラックに搭載したものであり、室内に設置されている専用のリモコンまたはコクピットを用いて計測台車を遠隔操作することができる。コクピットには、前方に複数のモニタ、足元にペダル、手元にレバーやボタンのついた制御盤を設置しており、設定を変更することで、共通の設備を用いて坑内の各種重機を遠隔操作することも可能となっている。この機能は将来的に複数の重機を遠隔化・自動化することを見据えて実装したものであり、重機の遠隔操作システムを導入する現場においては、計測台車の制御も遠隔操作室から行われることが想定される。なお、現段階では遠隔操作の試行中のため遠隔操作室を切羽から200～300m程度の位置に配置しているが、将来的には光ケーブル等で通信区間を延長して坑外や現場外から遠隔操作を行うことを想定している。タブレット端末を使用する場合には、計測台車を制御するために開発したソフトや、周囲確認用カメラの映像を観るための市販のソフトを多重起動して遠隔操作を行う（図—5）。

また、搭載した計測機器の制御には、専用のソフトウェアをインストールしたタブレット端末やスマートフォンを使用する。

3. 使用方法

本システム使用時には計測機器を搭載した計測台車を駐機場所から切羽まで走行させ、観察・計測を行った後に再び走行させて駐機場所へ戻す。本システムによる遠隔化が想定される観察・計測作業の例を以下に述べる。

(1) 切羽観察

地質状況を把握して設計や施工の妥当性を判断するために切羽観察が実施されているが、ずり搬出直後の岩肌が露出している状況で切羽に近付くため、肌落ち

による被災が懸念される。本システムにカメラを搭載して、遠隔臨場のための映像配信や切羽観察簿に貼付するための写真の撮影を遠隔で行うことにより、安全性の向上が期待される。また、AIで切羽性状を評価するシステム³⁾と併せて運用することで、切羽評価の自動化による省力化も期待される。

(2) 覆工コンクリートの打設数量の推定

本システムに3Dスキャナを搭載して側壁や天端に打設した吹付けコンクリートの形状を計測し、得られた点群データを設計の覆工コンクリートの形状と比較することで、覆工コンクリートの打設数量を容易に把握できる。これにより、材料の発注の容易化による生産性向上や、材料の余剰を防止することによるコスト削減が期待される。

(3) 切羽面の押出変位の計測

特に爆薬の装填作業は切羽に近接しながら行うため肌落ちによる被災リスクが高いが、本システムにLiDARを搭載して切羽面の形状を連続的に計測し続け、作業開始時との差分から閾値以上の押出し変位が検知された場合に警報を出すことで被災を防ぐことが期待される。装薬作業中は大型重機であるドリルジャンボが切羽近傍に設置されているものの、計測台車は小型であるため容易に切羽に接近することができる。

(4) 作業環境の測定

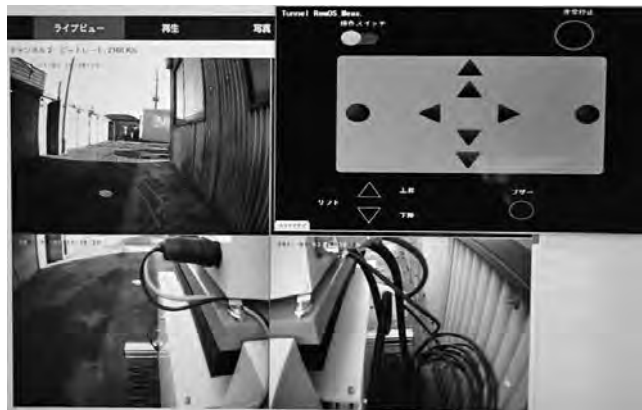
本システムにガス濃度計や粉じん計等を搭載して無人で計測を行うことができるため、ガスや粉じん等が発生した場合でも人が立ち入ることなく状況を把握することが可能である。

4. 自動走行に関する取り組み

観察・計測作業は項目ごとに実施頻度が定められ日常に行われている場合が多く、自動化を進めることで職員の拘束時間の短縮による生産性向上が期待される。そのため、本システムを利用して切羽で観察・計測作業を行う場合を想定して、計測台車の自動走行技術の開発に取り組んだ。

(1) 自動走行技術の概要

今回開発した自動走行技術は、SLAM（Simultaneous Localization and Mapping）を活用して計測台車の駐機場所と切羽の間の移動を自動化する。計測台車に搭載した複数のLiDARやカメラによる認識結果から自



図—5 タブレット端末による操作

己位置推定 (Localization) と周辺地図作成 (Mapping) を同時に行い、適切な走路を判断して左右のクローラを制御する。遠隔操作装置による遠隔操作中に設定を切り替えることで自動走行を行うことが可能であり、以下の方法で制御が行われる (図-6, 7)。なお、切羽における観察・計測作業は、現時点では遠隔操作にて行うが、将来的には自動化を検討している。

- (a) 走行時には、2DLiDAR や 3DLiDAR で取得した点群データから周囲の物体を認識してトンネル内の地図を作成するとともに台車の位置を把握し、トンネル壁面と一定の離隔距離を確保しながら駐機場所と切羽の間を移動する。走路上に重機や人

等の障害物が検知された場合には回避し、回避後に再び走路に戻る。

- (b) 台車前方の LiDAR の点群データを基に切羽を検知し、事前に設定した位置で停止する。
- (c) 駐機場所では、台車側方や後方のカメラを用いて、壁面に設置した AR マーカーを検知する。映像内のマーカーの大きさを基に、壁面との距離を画像処理で判断しながら出発や駐機を行う。
- (d) 駐機場所や切羽付近で旋回する際には、LiDAR で取得した壁面の点群データを基に台車の旋回角度を制御する。

(2) 自動走行技術の試行結果

施工中のトンネル現場や実験ヤードにおいて、自動走行技術の試行を行った (図-8)。トンネル中央が走路となるように壁面からの離隔距離を設定して自動走行を行った結果、障害物を模擬するために走路上に設置した衝立を迂回しながら、直進時には概ね一定の速度 (2 km/h) で進むことができた。また、切羽から 12 m の地点を停止位置に設定した結果、台車は切羽から 11.9 m の位置で停止し、比較的高い精度で制御できることが確認された。駐機場所においては、壁面に設置した AR マーカーを視認して出発や駐機を行

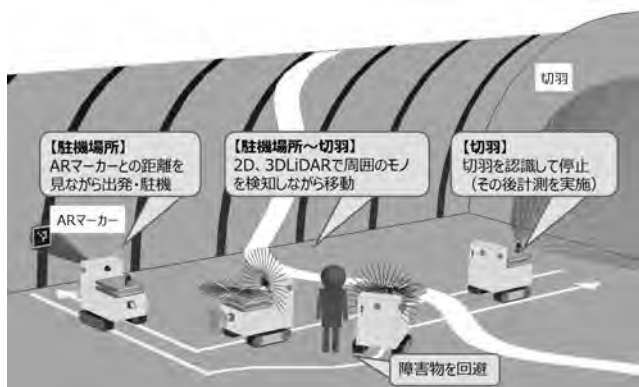


図-6 自動走行技術の概要

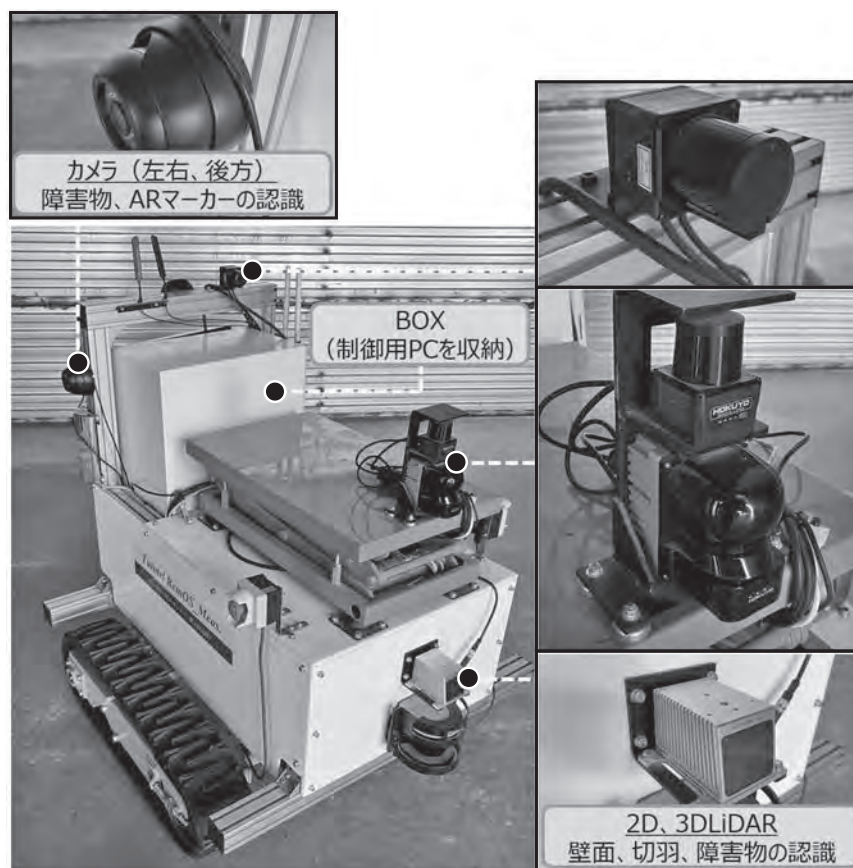
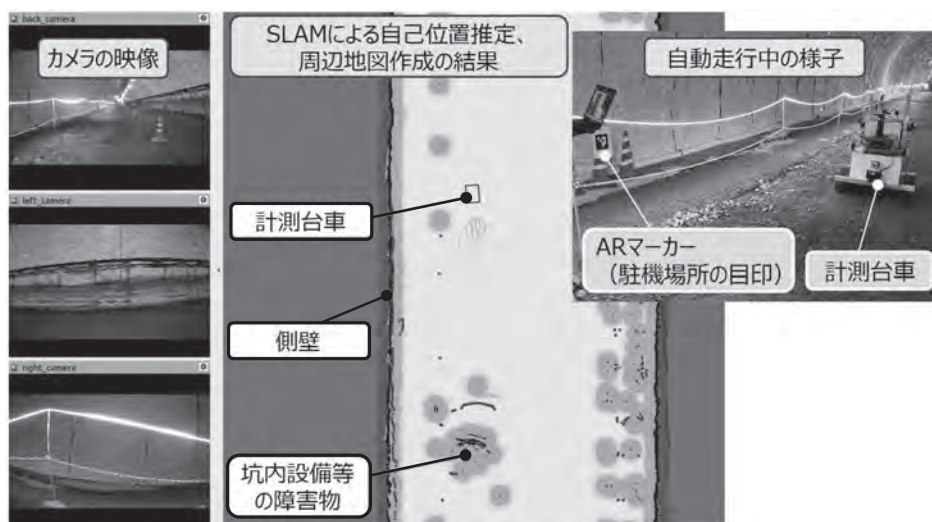


図-7 自動走行のための搭載機器



図—8 SLAM による取得データの例と自動走行中の様子

うことができた。

今回の試行では基本的な自動走行の動作を確認できたものの、実用する際にはいくつかの課題が挙げられることから、今後は更なる改良が必要であると考えられる。具体的には、今回の試行では障害物として衝立を使用したのに対し、実際の現場では人や重機等のように移動するものや、形状が複雑で全体像の認識が困難である機械・設備が存在しており、それらとの衝突を防止するためには実環境での検証や改良が不可欠であると考えられる。また、切羽付近ではずりや泥濘化によって路盤が不陸になっている場合が多く、台車が傾斜・振動してLiDARやカメラによる周囲環境の認識が不安定になることで、SLAMによる自己位置推定や周辺地図作成の精度が低下することが懸念される。これに関しては、台車の安定化や、設置機器の防振等の措置が必要であると考えられる。

5. おわりに

本稿では、山岳トンネル工事における観察・計測作業の遠隔化・自動化を目的としたシステムの開発状況について紹介した。今後は本システムの改良を行っていくとともに、今回の開発で得られた知見を活かして各種重機の自動化にも取り組んでいきたい。

JCMA

《参考文献》

- 1) 山本悟, 塚田純一, 高橋将史: 山岳トンネルにおける油圧ショベルの遠隔操作システムの開発, 令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会, VI-927, 2023
- 2) 五味春香, 水谷和彦, 小笠原裕介, 鈴木麟太郎, 坂下誠, 浅井秀明: 全自動鋼製支保工建込みシステムの現場適用に向けた検証試験, 令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会, VI-938, 2023
- 3) 三井善孝, 山下雅之, 山本悟, 園田香織: 山岳トンネルにおけるAIを活用した切羽評価システムの開発, 令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会, VI-666, 2020

【筆者紹介】

額 額 善 孝 (こうけつ よしたか)
西松建設(株)
技術研究所 土木技術グループ
係長



塚 田 純 一 (つかだ じゅんいち)
ジオマシンエンジニアリング(株)
本社
代表取締役社長



松 本 慶 太 (まつもと けいた)
(株)アラヤ
事業推進部
リーダー



遠隔岩判定会議の実施における創意工夫

京 免 継 彦

トンネル施工において「岩判定会議」は、トンネル施工方法を受発注者で確認しあう最重要会議である。トンネル施工のプロフェッショナル達が、実際の切羽を目視し、施工の安全性を確保しながら、コストと施工性のバランスを考慮した掘削方法を決定する。トンネル技術者の腕の見せ所である。そのため、「安全施工を確保できるのか?」と「遠隔臨場開催」に懐疑的な技術者も多い。ただ、建設施工の「遠隔」「AI」導入を止める事はできない。ICT を駆使し「遠隔」「目視」の差を埋め、目視以上のデータ解析による岩判定を推進しなければならない。本報文で2つの遠隔技術を紹介する。

キーワード：遠隔臨場、eYACHO、帳票共有化、LiDAR、点群

1. はじめに

建設工事現場では、遠隔臨場が強力に推進されている。筆者も近々で「遠隔臨場による既済部分検査」に立ち会った。新規工事の特記仕様書には「完了検査、中間検査……可能な範囲で実施」といった内容が記載され始めている。今回、中国地整のトンネル工事において「新技術実証」として遠隔岩判定会議を実施した。その内容から、有効性が確認できた「切羽観察データシートの共有化」、「3D 切羽形状データの活用」について報告する。

2. 切羽観察データシートの共有化

従来の岩判定会議では、発注者および受注者の関係者がトンネル坑内に集まり、実際の切羽を見ながら帳票（切羽観察データシート）に記入して判定を行っている。複数人が紙の帳票に記入し、これらを集めて集計表を作成し、これをもとに協議を行うのが一般的である。

よって、遠隔臨場で岩判定を行う場合、各所で記入された帳票を、ネットワークを利用して共有する必要がある。そこで、eYACHO（株）MetaMojii）を利用して共有化を実現した。また、共有帳票は開発ツール・データオプション（SQL データサーバ機能）を利用して作成し、判定値の自動算出、リアルタイム集計表示も実現している。

【機器・技術のスペック】

使用する機器とアプリケーションを表—1 に示す。

表—1 使用機器・アプリケーション

項目	構成	メーカー、業者
機器	iPad	Apple
アプリケーション	eYACHO+ 開発ツール・データオプション	(株) MetaMojii

(1) 遠隔臨場による岩判定 Step

遠隔岩判定時の配置（図—1）および岩判定会議の Step を以下に示す。

配置：発注者判定員＝事務所、詰所

受注者職員＝切羽

Step 1：監理技術者説明（Web 会議）

Step 2：補助者① BIM/CIM データ説明（Web 会議）

Step 3：補助者②③ 切羽状況、岩破碎状況のカメラ LIVE 配信

Step 4：質疑応答

Step 5：「切羽観察データシート」記入（eYACHO にて共有）

Step 6：講評、まとめ

(2) 遠隔岩判定用切羽観察データシート

eYACHO を使えば資料を共有することができるが、入力されたデータの計算、別帳票への転記、集計といった二次利用を行うためには「開発ツール・データオプション」を利用する必要がある（図—2）。「開

【機器・技術のスペック】

使用する機器とアプリケーションを表—2に示す。

表—2 使用機器・アプリケーション

項目	構成	メーカー、業者
機器 (LiDAR)	Geo Scan Advance	(株)オブティム
アプリケーション	Trend-Point	福井コンピュータ(株)

(1) LiDAR による切羽 3D データ取得

「Geo Scan Advance」(図—5)は、単品 LiDAR (LIVOX 社製)に iPhone を組み合わせ、アプリによる操作と、写真合成による色付き点群データ生成を実現している。各所要時間は以下となる。

Step 1: 機器セット, 計測準備 ← 3分

Step 2: 計測 ← 15秒

Step 3: データアップロード ← 5分

Step 4: PC にデータダウンロード ← 5分



図—5 Geo Scan Advance

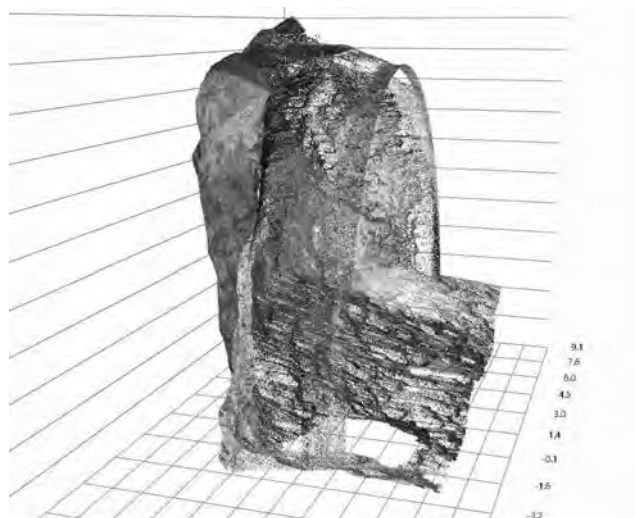
岩判定対象切羽が見えてから 15 分程度で、切羽 3D 点群を PC に取り込むことができる。

(2) 切羽 3D データの出力

図—6は、実際の岩判定会議時の切羽写真である。天端から中段にかけて崩落が発生していた。切羽写真から、左右と中心部との岩質の違いは見て取れるが、崩落状況を明確にイメージすることは難しい。

一方、図—7は同一切羽を 3D で計測し、俯瞰した画像である。天端部進行方向側の崩落状況がはっきりと確認できる。図—8は崩落幅をアプリ上で計測している状況である。

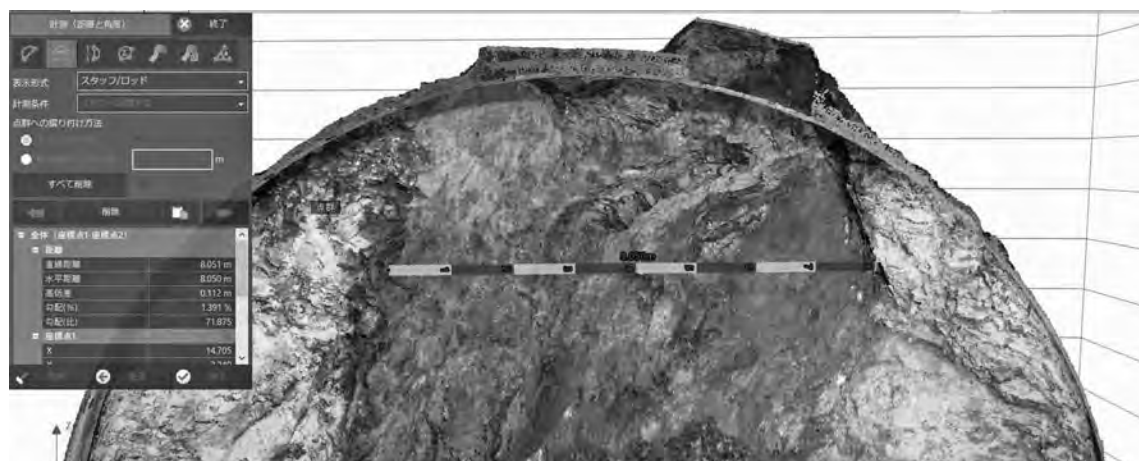
吹付け前の切羽に近づくことは禁止されているが、LiDAR を使用すれば、切羽に近づかなくても、手元の PC の 3D データ上で自由に計測したり、崩落土量を算出したりすることができる。



図—7 切羽 3D データ



図—6 切羽写真



図—8 崩落幅を計測

(3) 適用の考課

切羽形状、崩落状況、深さ等が3D表示画面で確認できる点が非常に有効と考える。また、操作の簡便性や取得時間の短さにおいて、他のレーザースキャナー（以下LS）系システムと比較して優位性が高い。さらに、iPhoneの高精細カメラとの合成による岩盤の色の再現も、岩判定には必須の技術である。

(4) 課題

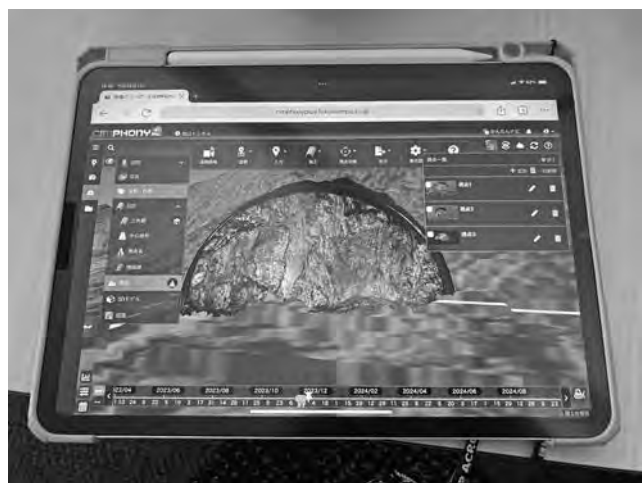
切羽3Dデータ（点群）の取得は、LiDARで簡易に行うことができ、点群データの閲覧や寸法計測についてもPC上で簡易に行うことができる。しかし、これらについてもタブレットで行えるのが理想と考えて

いる（図—9）。そのためには、タブレット上で点群を閲覧操作するためのアプリが必要となるが、現状では見当たらない。ブラウザ上で点群を表示できるものはあるが、PCを基本に作られているため操作性に難がある。3Dモデル系の表示アプリは多数リリースされているので、今後に期待したい。

4. おわりに

通常の検査や立会いについては、Web会議システムにYouTuberが利用するようなジンバル式カメラがあれば、目的は果たせる。ただ、岩判定会議となると、如何に現在の切羽状況をWeb会議上の参加者に理解してもらうかが重要となる。今回報告した3D地山形状の共有は非常に有効ではあるが、「割目の状態」「岩の硬さ」といった部分を共有する事は難しい。当社は、様々な最新ICTを利用し、まさに臨場感あふれる岩判定会議を目指して、アップデートを重ねる計画である。

J C M A



図—9 タブレットで閲覧

【筆者紹介】

京免 継彦（きょうめん つぐひこ）
佐藤工業㈱
技術センター ICT推進部



山岳トンネル工事における 最適発破自動設計施工システムを開発 切羽を見える化し、発破設計と穿孔作業工程を自動化

井手 康夫

発破掘削による山岳トンネル工事では、設計断面に対して必要量以上に掘削する余掘りや、掘削が不十分なアタリを最小限に抑えることが、トンネルの安定性確保や効率的な施工には重要となる。従来、発破精度に影響する穿孔本数や位置、火薬の装薬量といった発破パターンの設計は、熟練技能者が経験と感覚を頼りに行っていた。しかし、近年、熟練技能者不足が急速に進んでおり、データに基づく再現性のある設計手法の確立が求められている。本稿では、穿孔時に自動収集される穿孔エネルギー値を基に、自動で最適な発破パターンを設計し、設計された発破パターンに応じて自動で穿孔を行うことが可能な最適発破自動設計施工システムについて紹介する。

キーワード：山岳トンネル、発破掘削、フルオートコンピュータジャンボ、自動化

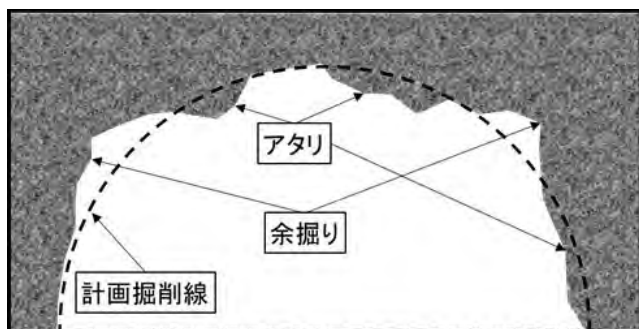
1. はじめに

山岳トンネル工事における発破掘削では、計画掘削線に対して必要量以上に掘削する余掘りや、掘削が不十分なアタリが発生する（図—1）。これらが増大した場合は、ずり出しやコソク、吹付けに要する時間や材料が増加するため、掘削サイクルタイムや建設コストが増加する。また、特に余掘りが大きくなった場合は、地山が損傷し、緩み領域が拡大するため、トンネルの品質や耐久性にも悪影響を及ぼす。そのため、発破掘削の精度を高め、これらを最小限に抑えることが重要である。発破掘削の精度を高めるためには、地山条件を適切に把握し、その条件に最適な発破パターン（穿孔本数、穿孔位置、装薬量）を設計する必要がある。従来、発破パターンの設計は、熟練技能者が経験と感覚を頼りに行っていた。しかし、近年熟練技能者不足が急速に進んでおり、データに基づく再現性のある設計手法

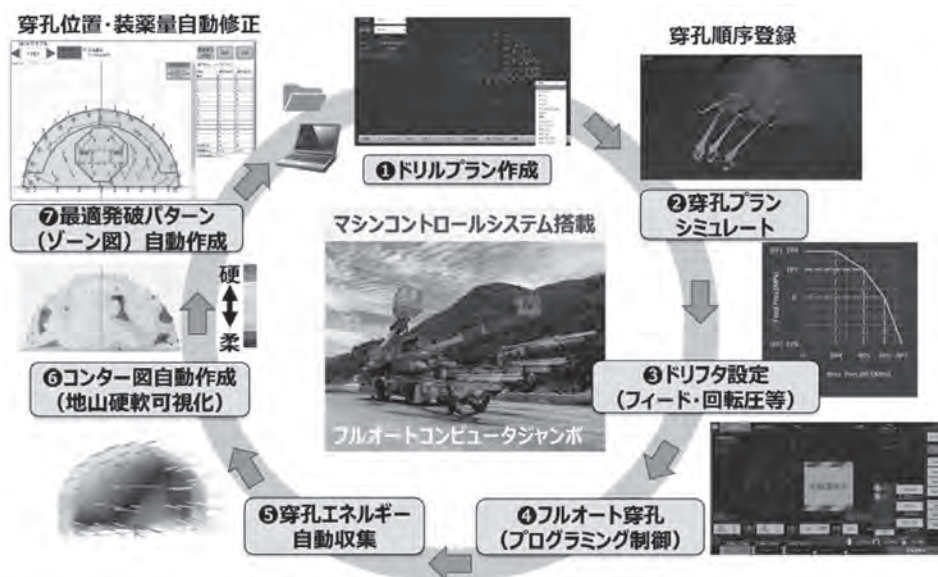
確立が求められている。そこで、定量的な地山評価データをもとに、最適な発破パターンを自動的に設計する新たなシステムを開発した。評価データは、地山条件に大きく影響するパラメータの一つである岩盤強度と相関がある穿孔エネルギーを使用した。さらに、マシンコントロールシステムを搭載したフルオートコンピュータジャンボと連携させることで、岩盤データの取得から発破設計、穿孔に至る一連の作業を自動化し、シームレスな連携を実現した「最適発破自動設計施工システム」を構築した。本稿では、このシステムの概要と高速道路トンネル現場に実装した際の結果について報告する。

2. 最適発破自動設計施工システムの概要

最適発破自動設計施工システムによる施工フローを図—2に示す。⑤～⑦が発破パターン自動設計の工程で、①～④が自動穿孔の工程である。まず発破パターン自動設計の工程では、前サイクル穿孔時に穿孔エネルギー値を取得する。穿孔エネルギー値は、単位体積あたりの岩を穿孔するのに要する正味のエネルギー量である。この値は岩盤強度と相関があることが知られており、本システムでは、この値を解析して、切羽面における地山の硬軟の分布を可視化すると同時に発破パターンを自動設計し、ゾーン図として出力する。一方、自動穿孔の工程では、設計された発破パターンに対応するマシンコントロール（ドリルプラン、穿孔プラン、ドリフト設定）を自動選択し、施工を進める。以下に工程の詳細を示す。



図—1 発破後のトンネル余掘りとアタリ形状



図一 2 最適発破自動設計施工のフロー

(1) ドリルプラン作成

線形データ，支保パターン図，発破パターンを入力し，位置合わせから穿孔までを連続して自動で行うブームモーションを計画する。

(2) 穿孔プランシミュレート

事前にフルオートコンピュータジャンボのブーム動線シミュレーションを行い，3ブームが相互干渉しないよう穿孔順序を設定する。

(3) ドリフト設定

ホールタイプごとに，地山状況の変化に応じて最適な穿孔が行える打撃圧やフィード圧制御などを設定する。

(4) フルオート穿孔

プログラミング制御可能なフルオートコンピュータジャンボを使用し，設定した穿孔プランに従って，3ブーム同士の干渉なく高精度に自動穿孔する。穿孔箇所の穿孔速度・穿孔長は，運転席モニターにリアルタイムに表示する（写真一1）。

(5) 穿孔エネルギー自動収集

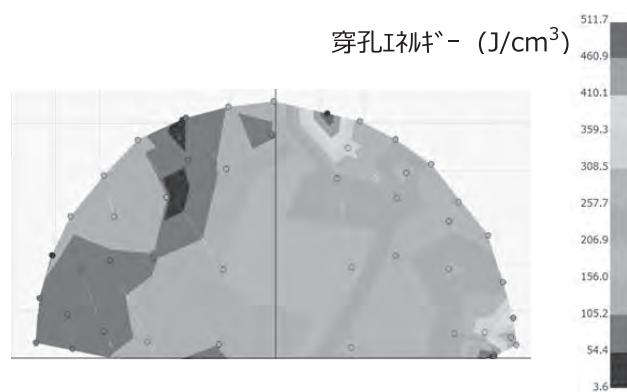
装薬孔穿孔時にフルオートコンピュータジャンボの機能により全孔の穿孔エネルギーを自動収集し，データを保存する。

(6) コンター図自動作成

自動収集された穿孔エネルギー値をサイバー空間において解析することで，地山の硬軟（穿孔エネルギー値の大小）を判定したコンター図（図一3）を作成する。



写真一 1 フルオート穿孔状況



図一 3 地山の硬軟を示すコンター図

(7) 最適発破パターン自動作成

最適な孔数と装薬量を定義した発破パターンを設計する。発破パターンは、切羽の不均質性を考慮するため、切羽面全体を分割して設計する。発破の良否に大きく左右する自由面形成を担う切羽中央部、発破掘削時の余掘り・アタリに最も影響を与える切羽の右肩部と左肩部、その他の右下と左下の領域の5つに分割する。各領域の地山の硬軟の判定結果から、その領域における最適な発破パターンをそれぞれ選択し、選択されたパターンを組み合わせることで、切羽全体の発破パターン図（ゾーン図）を設計する（図-4）。各領域の発破パターンは地山の硬軟に応じて3段階（領域

内の平均穿孔エネルギー値：150J/cm³以下を小、150J/cm³～300J/cm³を中、300J/cm³以上を大）で定義し（図-5）、岩級区分（CⅠ、CⅡ、DⅠ）ごとにそれぞれ243通りの発破パターンから次施工に最適なものをリアルタイムに抽出し、決定する（図-6）。なお、設計された発破パターン図（ゾーン図）には、その発破パターンで使用する合計装薬量、親ダイ数、雷管の段数、各孔に装薬する増しダイ数を表示する（図-4）。コンター図とゾーン図は、解析が完了すると、自動で担当者のタブレットとPCに共有されるため、切羽観察における地山等級との対応で、地山の硬軟を区分する穿孔エネルギー値の閾値を見直すことで、より地山の変化を捉えた最適な発破パターンを設計できる。

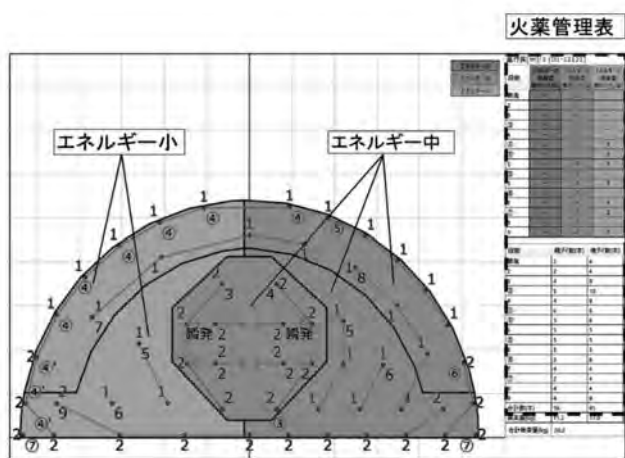


図-4 自動設計される最適な発破パターン図（ゾーン図）

(8) 新ドリルプラン作成

決定された発破パターンはフルオートコンピュータジャンボに自動転送され、新パターンに対応したドリルプランを適用することが可能である。

3. 現場適用と効果

(1) 適用事例

最適発破自動設計施工システムを東海北陸自動車道真木トンネル工事に適用した事例について述べる。東

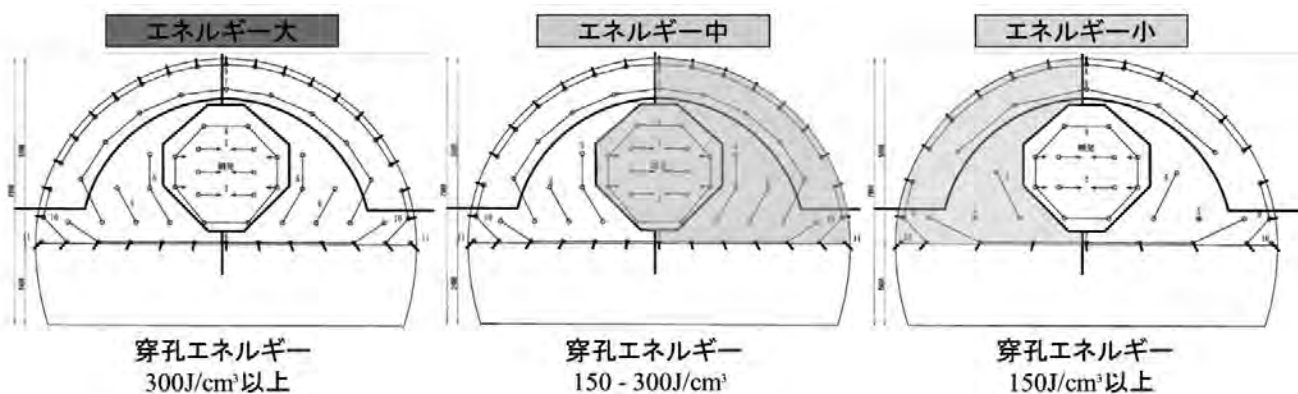
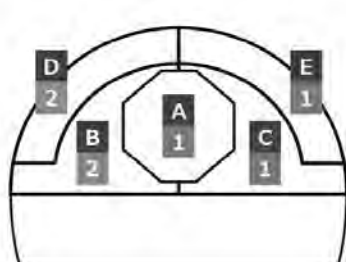


図-5 基準発破パターン（岩級区分がDⅠの場合の例）

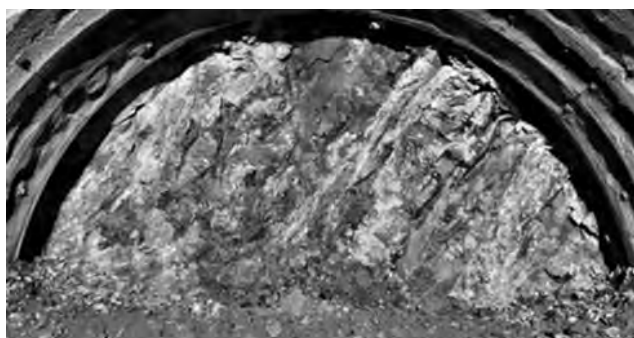


地山の 硬軟 岩区分 (進行長)	硬 ← → 軟		
	穿孔エネルギー値		
	大	中	小
CⅠ (1.5m)	0	1	2
CⅡ (1.2m)	0	1	2
DⅠ (1.0m)	0	1	2

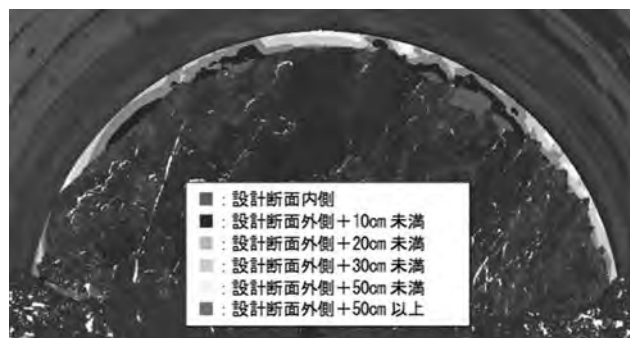
エリア	A	B	C	D	E
判定	1	2	1	2	1

発破パターン	
軟硬3段階・5エリア	
= 3×3×3×3×3	
= 243通り	

図-6 最適発破パターンの設計方法



写真一 2 実証試験を実施した切羽



図一 7 システム適用後の掘削出来形



写真一 3 システムの適用状況（装薬完了）

海北陸自動車道真木トンネルは富山県南砺市に位置し、トンネル延長1,578 m、掘削断面積77 m²の2車線高速道路の2期線トンネルである。適用効果を検証した切羽を写真一2に、本システム適用状況を写真一3に示す。切羽の地質は主に流紋岩が主体で、部分的に亀裂が卓越し、粘土が介在しており、支保パターンは、DIであった。

(2) 適用効果

真木トンネル工事での最適発破自動設計施工システムの適用効果を下記に示す。

(a) 掘削精度の向上

本システムの適用後に3次元レーザースキャナで計

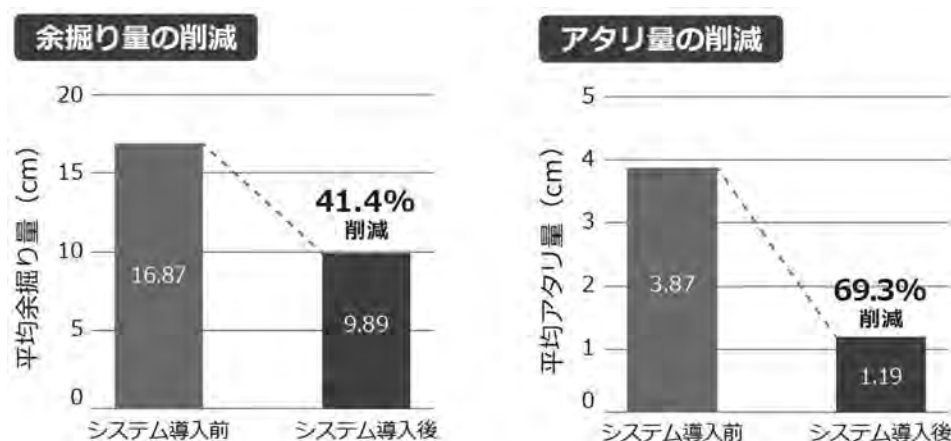
測した掘削出来形を図一7に示す。本システムの適用前の平均アタリ量は3.87 cm、余掘り量が16.87 cmであった一方で、適用後の平均アタリ量は1.19 cm、余掘り量は9.89 cmとなり、余掘り量が41.4%、アタリ量が69.3%削減でき、かつ平滑な掘削面を得ることができた（図一8）。火薬使用量の原単位は、システムの適用前が平均0.43 kg/m³に対し、適用後は0.40 kg/m³であり、7%削減した。

(b) サイクルタイム短縮効果

本システムの適用により掘削サイクルタイム短縮効果も確認できた。まず、自動で発破パターンが作成されるため、発破計画時間が不要となった。さらに、穿孔の自動化により、穿孔作業が効率化し、穿孔速度が向上したことで、穿孔時間を一般的な工法と比較して16%短縮（（標準時間37分）→31分）が図れた。装薬時間も、装薬量の最適化により、一般的な工法と比較して23%短縮（（標準時間30分）→23分）した。その結果サイクルタイムを約20%削減できた。

(c) 火薬取扱作業員の負担軽減効果

使用する各装薬孔の雷管の段数と増しダイ本数はシステムにより自動で計算・集計されタブレット上に共有されるため（写真一4）、火薬取扱作業員の作業負担が軽減できた。



図一 8 適用効果（余掘り量・アタリ量の削減）



写真—4 発破パターン共有状況

4. おわりに

山岳トンネルの発破掘削において、「最適発破自動設計施工システム」を現場適用し、岩盤データの取得

から発破設計、穿孔に至る一連の作業の自動施工を試行した。この結果、サイクルタイム・施工コストの削減とともに、トンネル掘削面の平滑化などトンネルの品質、耐久性の向上が見込めることが示された。今後は、実用化した本技術を複数の現場に展開し、山岳トンネルの共通技術として発展していくことを目指す。

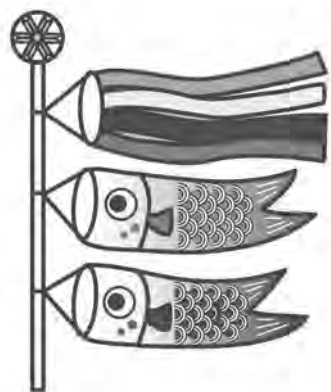
J C M A

《参考文献》

- 1) 邊見涼, 他:最適発破自動設計施工システムによる発破掘削の高度化, 土木学会第78回年次学術講演会, VI-953, 2023.

【筆者紹介】

井手 康夫 (いで やすお)
清水建設㈱
土木技術本部 イノベーション推進部
部長



山岳トンネル工事で超高強度吹付けコンクリートを適用 脆弱地山における支保部材の高強度化により安定した掘削を実現

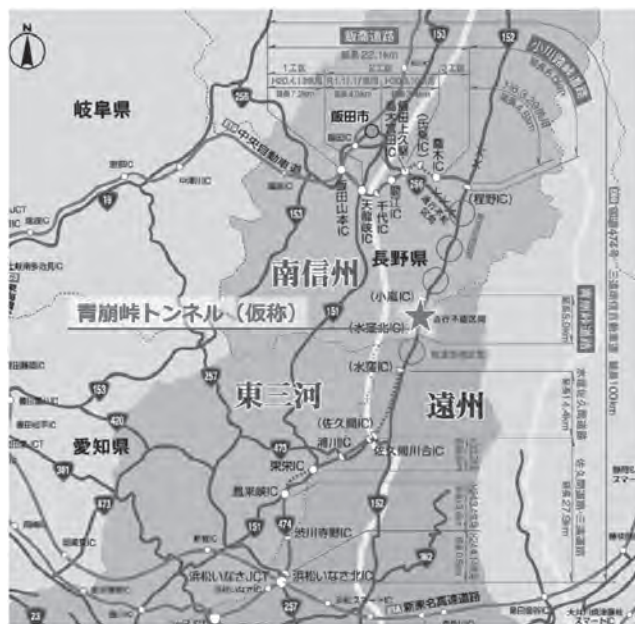
谷 口 翔・湯 本 健 寛・小 林 雄 二

青崩峠トンネル（仮称）は、長野県と静岡県の県境に位置する全長 4,998 m の山岳トンネルである。本トンネルは中央構造線と離隔距離約 500 m で平行に位置するため、断層運動の影響を受けた複雑な地質が切羽に出現する。本トンネルの静岡側工区（L=2,144 m）では、変位の増加や変状の発生状況に応じて E パターンや二重支保工などの支保部材のランクアップを段階的に適用し、さらに、土かぶり高が 550 m を超える地山深部では 54 N/mm^2 の超高強度吹付けコンクリートを適用するに至った。本稿では、中央構造線近傍の脆弱な変成岩類の特徴をとらえた二重支保工および超高強度吹付けコンクリートの適用とその結果について報告する。

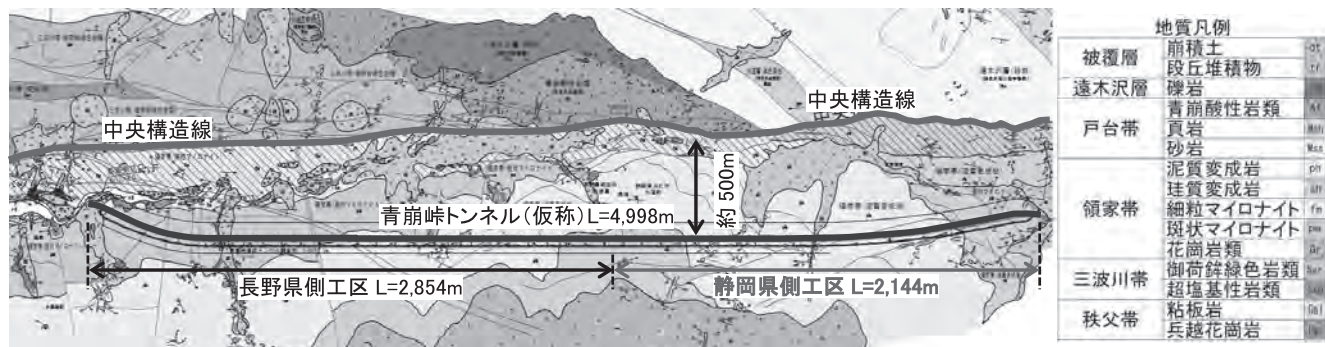
キーワード：山岳トンネル、大土かぶり、二重支保工、超高強度吹付けコンクリート

1. はじめに

三遠南信自動車道は、長野県飯田市山本を起点として、静岡県浜松市北区引佐町に至る延長約 100 km の高規格幹線道路である（図—1¹⁾）。このうち青崩峠トンネル（仮称）は、長野県飯田市南信濃八重河内から静岡県浜松市天竜区水窪町奥領家に至る全長 4,998 m の片側 1 車線の道路トンネルであり、長野側工区 L=2,854 m と静岡側工区 L=2,144 m に分かれて両側から施工している。本トンネルは国内最大の断層である中央構造線に対して離隔距離約 500 m で平行に位置するため、断層運動の影響を受けた複雑な地質がトンネル全線にわたって出現することが予測されていた（図—2）。静岡側工区では、とくに脆弱な領家変成岩類が出現するとともに土かぶり高が約 600 m と大きく、掘削時に大きな土圧が作用することが想定されていた



図—1 トンネル位置図



図—2 トンネルの平面位置

表—1 工事概要

工事名称	平成 30 年度三遠南信池島トンネル本坑工事
工事場所	静岡県浜松市天竜区水窪町奥領家～長野県飯田市
工 期	2018 年 8 月 10 日～2025 年 3 月 24 日
発 注 者	国土交通省中部地方整備局
施 工 者	(株)安藤・間
工事内容	- トンネル延長： 全長 4,998 m のうち静岡側坑口より 2,144 m - 内空断面：67 ～ 85 m² - 施工方法：NATM（発破方式） - 掘削工法：補助ベンチ付き全断面工法

ため、設計段階から特殊パターンである E パターンが計画されていた。表—1 に本工区の工事概要を示す。

2. 地質概要

図—3 に地質縦断面図を示す。本トンネルの静岡側工区では主に領家変成岩類が分布しており、泥質変成岩、砂質変成岩、珪質変成岩、細粒マイロナイトの 4 種類に大別される。泥質変成岩と細粒マイロナイトは数 mm ～ 10 mm 間隔のせん断面が発達して剥離性に富むため、掘削により切羽を開放すると割れ目が開口して肌落ちを生じる。とくに黒色を呈する泥質変成岩が出現すると土圧が増大し、大きな変位や変状が生じ

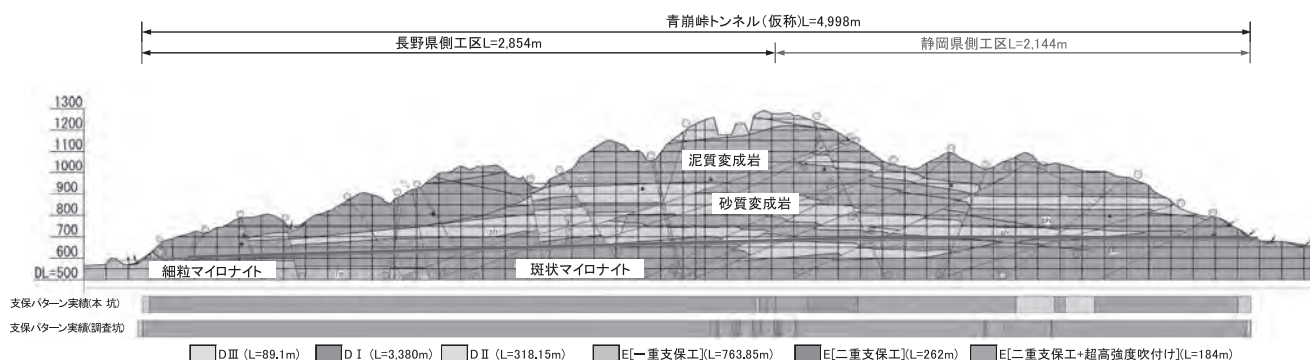
る。一方、砂質変成岩と珪質変成岩は比較的硬質であり、とくに珪質変成岩はハンマーで叩くと火花が出るほどである。

各地層の幅は厚くても数 m 程度で、これらの地質が断層活動などの影響によりもみ込まれているため、切羽は非常に複雑な岩相を呈している（図—4）。砂質変成岩と珪質変成岩は硬質で機械による掘削が困難であることから、発破方式により掘削を行っている。

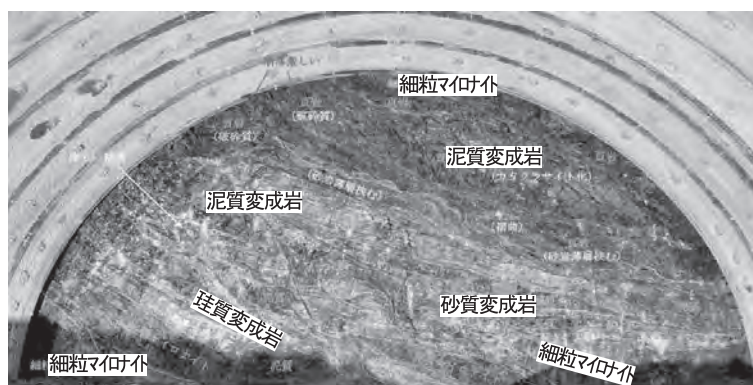
3. 本地山の特徴と対応策

(1) 変状の発生状況

本工区では、土かぶりが約 300 m に達する TD.590 m 付近ごろから変位が増大し、吹付けコンクリートの圧ざ（曲げによる圧縮ひび割れ）や側壁部のロックボルトプレートの変形、ロックボルトの破断が生じはじめた。変状は断続的に発生したが、変状形態や変位傾向は類似しており、本トンネルの地山特有のものであると考えられる。変状が発生するのは、推定強度 5 ～ 10 N/mm² 程度の脆弱な泥質変成岩が切羽周辺に分布する区間が主であり、土かぶりの増加に伴って地山強度比が低下し、塑性土圧が増加したことが変状の発生原因であると推定した。



図—3 地質縦断面図



図—4 切羽の地質状況

表—2 本坑におけるEパターンの仕様

パターン名	吹付けコンクリート		変形余裕量 (cm)	鋼製支保工	ロックボルト (耐力 290 kN 以上)
	厚さ (cm)	設計基準強度 (N/mm ²)			
E I	25	36	20	HH-200 × 201	L=4 m
E II-b	35	36	10	HH-200 × 201	L=4 m
E III-b	45	36	10	HH-200 × 201	L=4 m
Ed I -a	35	36	10	HH-200 × 201	L=4 m
二重支保工	25	36	10	HH-200 × 201	—
Ed I (HH) -a	35	54	10	HH-200 × 201	L=4 m
二重支保工	25	54	10	HH-200 × 201	—

※上段：一次支保工，下段：二次支保工

(2) 対応策

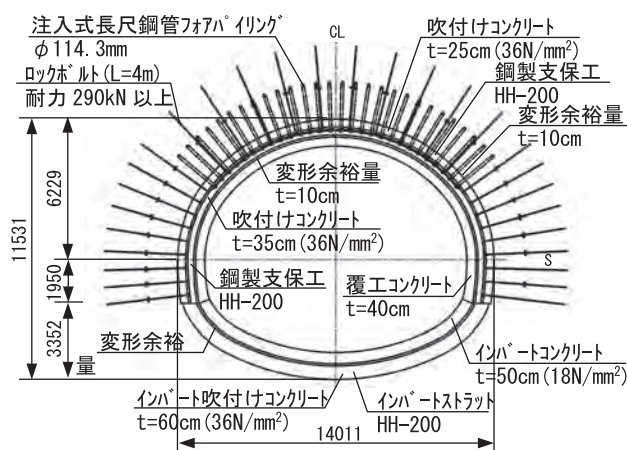
上記の変状や変位，応力などの発生状況を踏まえて，対応策として支保パターンをEパターンにランクアップした。Eパターンにランクアップして以降は変位および変状の発生状況に応じて，段階的に吹付け厚を増やすことで対応した。表—2に本工区におけるEパターンの仕様を示す。

4. 二重支保工の適用

(1) 二重支保工の施工

TD.1,760 m 付近（土かぶり H=440 m, E III-b-F パターン）まで掘り進めたところ，再び変位と変状が増大した（図—5）。施工の安全上，一層の吹付け厚は 45 cm が限界と判断し，二重支保工への移行を判断した²⁾（図—6）。

これまでの施工実績から，本地山の変位は掘削することにより生じ，掘削を止めると，変位の増加はほぼ



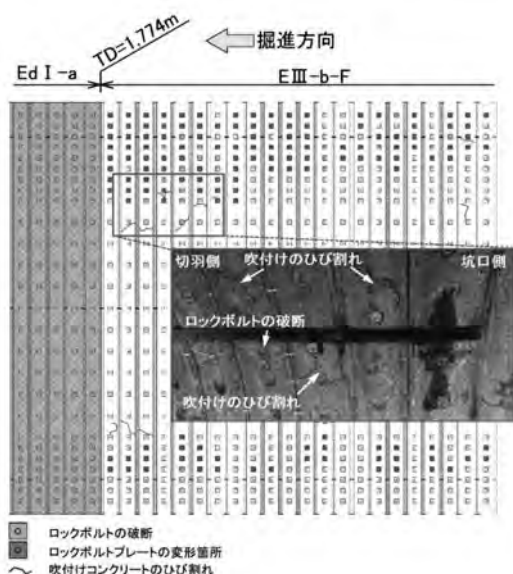
図—6 支保パターン図 (Ed I-a, 二重支保工)

なかった。また，膨潤性粘土鉱物はなく，時間の経過による変位の増加もほぼなかった。これらの特徴より，地山の応力解放は掘削作業に伴うものに限られるため，二次支保工の設置位置を切羽から離せば離すほど高い「いなし」効果が得られると考えられた。このため，二次支保工の設置位置は，変状が発生しはじめる切羽離れ 6 m (0.5D D：掘削幅，L=13 m) の離隔とした。

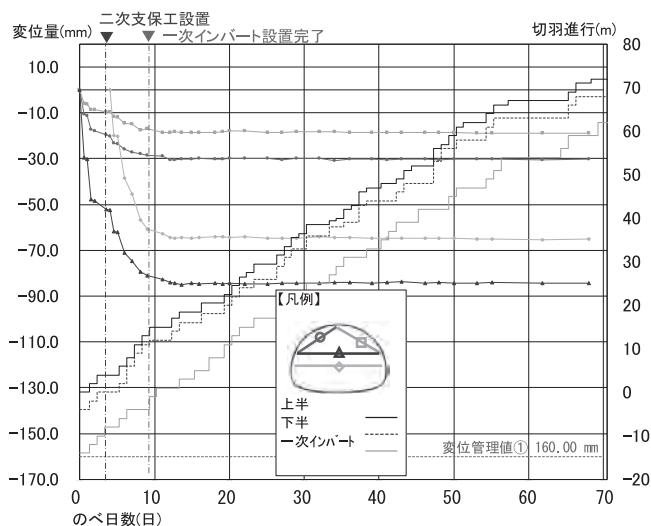
一次インバートについては，切羽近傍での早期閉合作業には鏡面の崩落の危険が伴うことなどから，施工位置は切羽から 1D 程度の離隔とした。また，一次インバートには大きな応力が作用していないことから，インバートストラットは二次側にのみ設置し一次インバートの吹付けコンクリートは一次と二次に分割せずに一括で施工することとした。

(2) 二重支保工の施工結果

図—7に二重支保工を適用した TD.1,920 m（土かぶり H=535 m）における内空変位計測結果を示す。この断面では，初期変位速度では沈下および内空変位がともに 30 mm/日であったが，二次支保工を設置す



図—5 変状の発生状況 (TD.1,760 m 付近)



図—7 内空変位計測結果 (TD.1,920 m)

ることにより変位速度を4 mm/日程度まで低下させることができ、一次インバートを施工することで収束させることができた。

とくに変位の大きい箇所では、二次支保工設置までの間に一次支保工のロックボルトや吹付けコンクリートに変状が見られたが、二次支保工の吹付けコンクリートには変状が生じることはなかった。このことから、「いなし」効果を踏まえた本施工方法が有効に機能していたと考えている。

5. 超高強度吹付けコンクリートの適用

二重支保工の支保部材の応力測定結果から、吹付けコンクリートの発生応力は設計基準強度を超過していないものの、許容値である18 N/mm²を超過していることが判明した。このため、支保耐力の余力が小さく、大土かぶり部の断層破碎帯が予想される区間で土圧が増大した場合に支保耐力の不足が懸念された。

以上のことから、支保耐力をさらに高めて支保工の変状を防止することを目的として、36 N/mm²を超える超高強度吹付けコンクリートを開発することとした。

(1) 超高強度吹付けコンクリートの仕様

(a) 設計基準強度

二重支保工を適用し始めた位置での土かぶりは約

440 mであった。単純に荷重が土かぶりに比例するわけではないが、比例すると仮定した場合、最大土かぶり約600 mの位置での土荷重は1.36倍となる。このため、開発する吹付けコンクリートの設計基準強度は、余裕を見込んで、これまでの二重支保工Ed I-aパターンの吹付けコンクリートの設計基準強度36 N/mm²の1.5倍の54 N/mm²とした。

(b) 初期強度

本トンネルで適用した二重支保工の施工方法は、一次支保工掘削後、トンネルの変形を許容する、ある程度の「いなし」効果を期待している。このことから、初期強度はあげすぎないほうがよいと判断し、初期強度については、現行の高強度吹付けコンクリートと同様、1日強度で10 N/mm²を目標とした。

表—3に超高強度吹付けコンクリートの配合を示す。配合設計にあたっては、当社が保有する「大容量・低リバウンド吹付けコンクリートシステム」における配合設計方法をもとに設定した。これにより、従来と同等程度の施工性を確保するとともに強度を大幅に高めることを可能とした。なお、急結剤にはデンカ株式会社により新たに開発された新型の液体急結剤および粉体助剤を使用した。

(2) 超高強度吹付けコンクリートの適用結果

(a) 施工状況

実施工におけるコンクリートの実吐出量は18 m³/hr程度、リバウンド率は16%程度であり、従来と比較して施工性を落とすことなく施工できた。また、一軸圧縮強度についても、 σ_1 が14.2 N/mm²で現行配合と同程度で、 σ_7 が47.1 N/mm²、 σ_{28} が63.8 N/mm²と現行配合の1.5倍程度の強度を安定して確保できた。

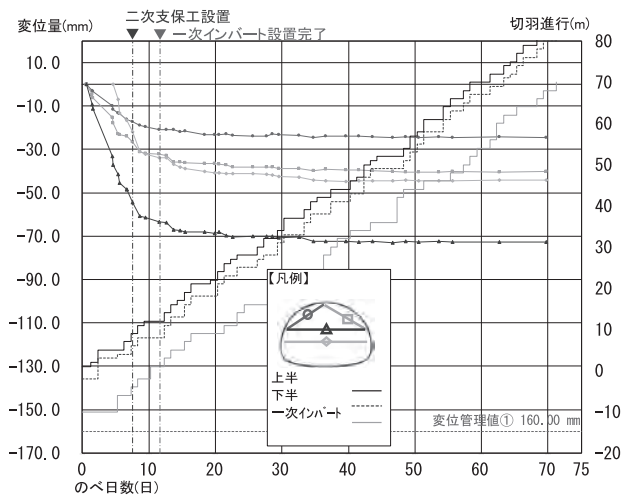
(b) 変位の発生状況

超高強度吹付けコンクリートは、二重支保工Ed I-aパターンのうち、吹付けコンクリートの設計基準強度のみを36 N/mm²から54 N/mm²に変更したEd I (HH)-aパターンとして適用した。このEd I (HH)-aパターンは、もっとも土かぶりが大きく本工区最後の断層であるF16断層帯から工区境までの146 m区間(土かぶり565～595 m)で適用した。

図—8にTD.2,010 m(土かぶりH=570 m)におい

表—3 超高強度吹付けコンクリートの配合

設計基準強度	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					Ad (C × %)	液体急結剤 (C × %)	粉体助剤 (C × %)
			W	C	FA	S	G			
$\sigma_{28d}=54 \text{ N/mm}^2$	35	55	210	600	—	868	813	1.4	7.0	5.0
$\sigma_{28d}=36 \text{ N/mm}^2$	42	70	197	470	127	1,060	594	1.2	7.0	5.0



図—8 内空変位計測結果 (TD.2,010 m)

る内空変位の計測結果を示す。掘削後、沈下および内空変位の変位速度はともに 10 mm/日程度あったが、二次支保工を設置することで 1 mm/日程度まで低減でき、一次インバートを施工することで、変位を収束させることができた。超高強度吹付けコンクリートの初期の強度の立ち上がりを高強度吹付けコンクリートと同等とすることにより、Ed I-a パターンと同様に、掘削初期の土圧を「いなす」ことができたと考えられる。

(c) 支保部材の応力測定結果

① 鋼製支保工応力

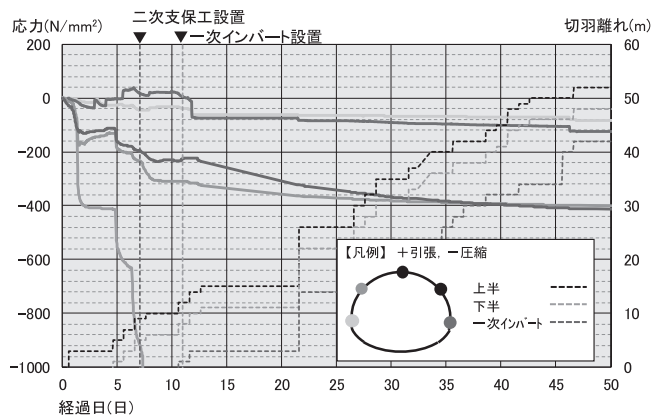
TD.2,010 m (土かぶり H=570 m) における鋼製支保工の応力測定結果を図—9, 10 に示す。図—9 より一次支保工の天端部の応力値は掘削直後から急激に増加し、二次支保工の設置時点で高規格鋼の降伏点 440 N/mm^2 をはるかに上回った。なお、応力値はひずみゲージでの測定結果の換算値であるため、降伏点以降は、実際に鋼製支保工に作用している応力値でないことに留意が必要である。

一次支保工の応力値に対し、図—10 に示す二次支保工の鋼製支保工の応力値は 600 N/mm^2 程度であり、一次支保工と比較して、応力値がかなり低減されていることが分かる。

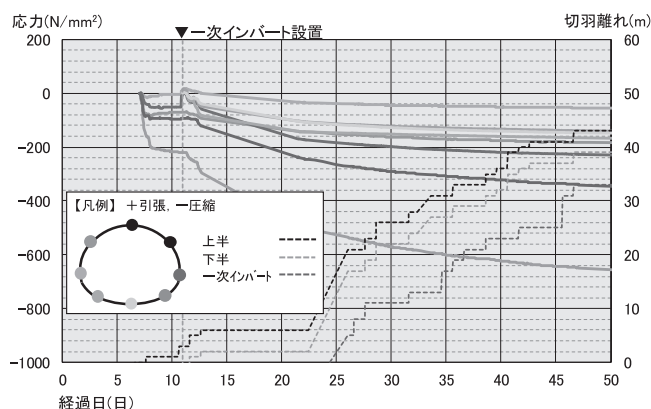
② 吹付けコンクリート応力

同断面における吹付けコンクリートの応力測定結果を図—11, 12 に示す。一次支保工の吹付けコンクリートの応力は、二次支保工設置前に天端部と右肩部の応力値がピークを迎え、二次支保工設置時点では、応力値が低下しており、最終的な応力の最大値は 25 N/mm^2 程度に落ち着いている。

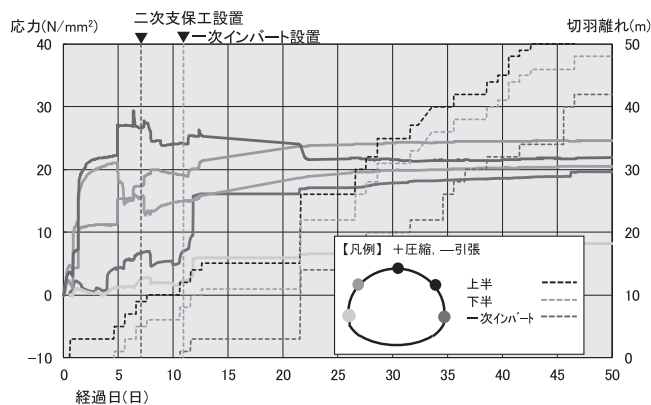
二次支保工の吹付けコンクリート応力は緩やかに増加し、アーチ部の応力値の最大が 15 N/mm^2 程度、一



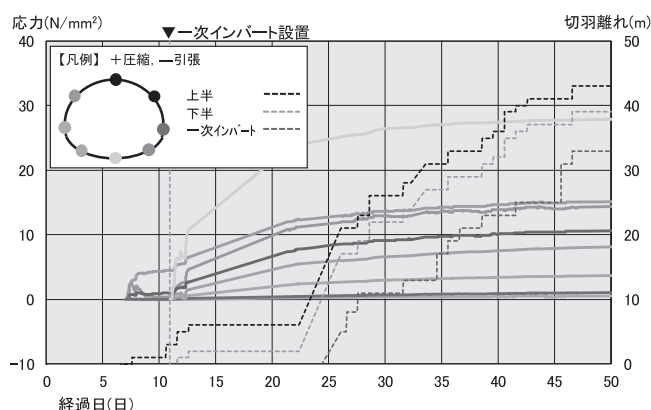
図—9 鋼製支保工縁応力, 一次支保工 (TD.2,010 m)



図—10 鋼製支保工縁応力, 二次支保工 (TD.2,010 m)



図—11 吹付けコンクリート応力, 一次支保工 (TD.2,010 m)



図—12 吹付けコンクリート応力, 二次支保工 (TD.2,010 m)

次二次を一括施工した一次インバート部で 30 N/mm^2 程度までの応力が生じている。

一次支保工、二次支保工ともに最大 30 N/mm^2 程度までの応力が生じており、通常の高強度吹付けコンクリート（設計基準強度 36 N/mm^2 ）では、耐力が限界に達していた可能性も高い。吹付けコンクリートの強度を増加させることで、トンネル全体としての耐力に余裕を持たせることができ、構造的な安定性を確保できたと考えている。

6. おわりに

中央構造線に近接する領家変成岩類が分布する青崩峠トンネル（仮称）の静岡側工区では、掘削当初から断層活動の影響を受けた複雑な地層の中を掘り進めてきた。これらの複雑かつ脆弱な地層に対する施工経験を積み重ねることで、大土かぶり部においても最適な施工方法を考案することができたと考えている。本稿が、同様な施工条件のトンネルの施工に参考になれば幸いである。

謝 辞

本工事の施工にあたっては、砂金伸治委員長をはじめとする青崩峠道路トンネル施工検討委員会の方々に、ご支援、ご教授賜りました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

J C M A

《参考文献》

- 1) 国土交通省飯田国道事務所 HP：新築・改築事業、三遠南信自動車道、<https://www.cbr.mlit.go.jp/iikoku/seibi/sanen/>, 2023.11.25
- 2) 湯本健寛, 辰巳順一, 小池良宏：中央構造線に近接する不良地山での山岳トンネルの施工, 土木学会トンネル工学報告集, 第32巻, I-21, 2022.11

〔筆者紹介〕

谷口 翔（たにぐち しょう）

（株）安藤・間

建設本部 土木技術第三部 トンネルグループ
主任



湯本 健寛（ゆもと たかひろ）

（株）安藤・間

名古屋支店 椿原トンネル作業所
副所長



小林 雄二（こばやし ゆうじ）

（株）安藤・間

名古屋支店 池島トンネル作業所
所長



山岳トンネルにおける防水シート施工の自動化技術

大 森 禎 敏

山岳トンネル工事では、建設機械や設備を用いる工程においては、IoT や AI 技術を導入して生産性を向上させる取組みが進められているものの、通常は技能者の手作業で行われる防水工についての技術開発は限定的なものとなっている。本開発では、これまで技能者の手作業で行われてきた山岳トンネルにおける防水シートの拌み溶着についての自動化を試みた。また、防水工の施工だけでなく、既に廃棄物処分場の遮水シートに適用されている熱画像検査方法を適用することで品質管理についても自動化することを目指した。

本稿では、本技術の開発経緯と概要について報告するものである。

キーワード：山岳トンネル，防水シート，溶着，自動化，品質管理，熱画像検査方法

1. はじめに

情報通信白書によると、少子高齢化により我が国の15～64歳の生産年齢人口は、1990年代の半ばをピークに減少している。生産年齢人口の減少は、労働力の不足はもとより、国内需要の減少にともなう経済規模の縮小など様々な社会的、経済的課題の深刻化を招くとされている¹⁾。このことから国土交通省では、全ての建設生産プロセスでICT等を活用するi-Constructionを推進し、建設現場の生産性を2025年度までに2割向上させることを目指した建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクトなどが進められてきた²⁾。

これまで山岳トンネルの建設現場では掘削、支保工、防水工および覆工コンクリート工の各工程で5～6名程度の作業員が従事してきた。掘削や覆工コンクリート工といった建設機械や設備を使用する作業工程についてはIoTやAI技術を導入して生産性を向上させる取組みが進められているものの、展張から溶着までを技能者が手作業で施工する防水工については限定的な技術開発しかされてこなかった。

このことから、これまで技能者の技能に依存していた防水シートの拌み溶着を自動で行えるシステムの構築を目標に本開発を進めてきた。加えて、廃棄物処分場における遮水シートの品質管理に適用されてきた熱画像検査方法を適用することで、山岳トンネルにおける防水シートの品質管理の自動化と効率化にも取り組んだ³⁾。

本稿では、開発した防水シート施工における溶着作業の自動化技術と熱画像検査方法を用いた品質管理手法について報告するものである。

2. 開発の背景

山岳トンネルにおける防水シートは、地山からの湧出を円滑に排水し覆工コンクリートに過大な水圧を作用させないようにするとともに、吹付けコンクリートと縁切することで覆工コンクリートの外部拘束を低減してひび割れを抑制する重要な構造部材である。一方で、その施工は熟練技能者が高所かつ狭所となるシート張台車上で50～60 kg/本となるシートの展張から溶着までを手作業で行うのが一般的である（写真—1参照）。



写真—1 一般的なシートの溶着作業状況

近年、熟練技能者が減少する一方で、漏水や覆工コンクリートのひび割れがない高品質なトンネル構築が求められている。このことから、熟練技能者によらず安定した品質を確保できるとともに、施工の省力化に資する技術が山岳トンネルの防水工にも求められていると考え本技術の開発に着手した。加えて、溶着部の品質管理に廃棄物処分場の遮水シートに適用されている熱画像検査方法を山岳トンネルの防水シートにも適用することで品質管理の省力化と高度化にも取り組むこととした。

そこで、本開発では、狭所かつ高所での苦渋作業から技能者を解放するとともに、熟練度によらず溶着部の安定した品質が確保でき、品質管理についても自動化することを開発の目標とした。

3. 自動溶着技術の概要

開発した自動溶着装置の概要を写真—2 (a), (b) に示す。この写真に示すように本装置は、シート張台車に張り出したレールと自動走行する溶着機で構成されている。



(a) システム全景

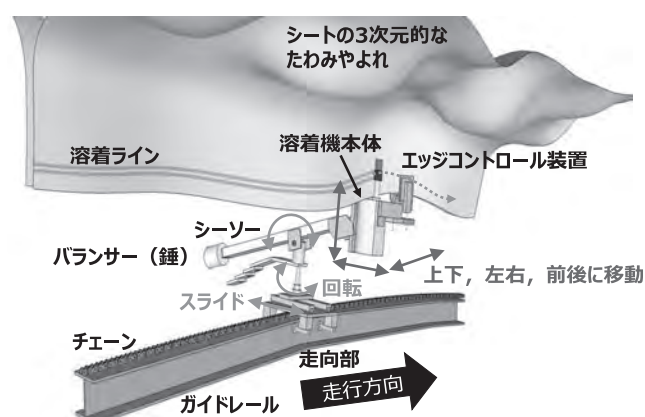


(b) 溶着機本体

写真—2 自動溶着装置の概要

図—1 に示すように自走式の溶着機は、シート張台車に張り出して設置したチェーン付きのガイドレール上を走行させるものとした。その際、歯車とチェーンをかみ合わせることで溶着機が上り、下りするいずれでも走行速度をある程度一定にすることができるようにした。また、ガイドレール上を移動する走行部に溶着機本体を上下させるためのシーソー機構を設けるとともに、シーソーと溶着機本体に回転機構を設けることで敷設した防水シートのたわみやよれ（写真—3 参照）に追従して溶着ができるようにした。

実際の溶着では、写真—2 (a) に示した溶着の始点で写真—4 に示すように溶着機に防水シートをセッ



図—1 自動溶着装置の概要



写真—3 防水シート余溶着部のたわみとよれ



写真—4 防水シートのセット状況

トし、手元にあるワイヤレスコントローラー（写真—5 参照）の開始ボタンを押すと溶着が開始するようにした。溶着機が終点に達したら停止ボタンを押して溶着機を止めてシートを取り外せば溶着作業が完了できるので、溶着作業自体を作業員1名で実施できるようになった。

4. 本装置の特徴

写真—3に示したように防水シートの溶着箇所にはたるみやよれが生じる。これまでは、熟練技能者がシートのたるみやよれに溶着機を自ら追従させてしわなく溶着していた。本装置では、溶着機に設けた2つのコントロール機構によって熟練技能者と同様の安定した品質でのシート溶着を実現した（写真—6（a）、（b）参照）。



写真—5 ワイヤレスコントローラー



(a) 走行部の首振り角度読み取りセンサー



(b) エッジコントロール装置

写真—6 溶着機のコントロール機構

(1) 走行部と溶着機の同調機能

安定して溶着させるためには、走行部がガイドレール上を移動する速度と溶着機の装着速度を同調させる必要があった。すなわち、溶着機が走行部よりも大幅に遅れると溶着機が走行部に引きずられ加熱不足による溶着不良が生じる。また、溶着機の溶着速度のほうが速く、走行部を引っ張るような状態になると過溶着となりシートに穴が空くなどの損傷を誘発させることが想定された。

このことから、走行部の走行速度と溶着機の溶着速度を同調させる機構を設けた。具体的には走行部の上部に設けたシーソーの回転部にシーソーの首振り角度を読み取るセンサーを設け、首振り角度から走行部が遅れていると判断される場合には、走行部の走行速度を大きくして溶着機に追いつかせるものとした。また、溶着機が走行部よりも遅いと判断される場合には、走行部の走行速度を遅くして溶着機が追いつけるようにもした。この制御は、センサーからの信号をもとに自動で行うものとした。

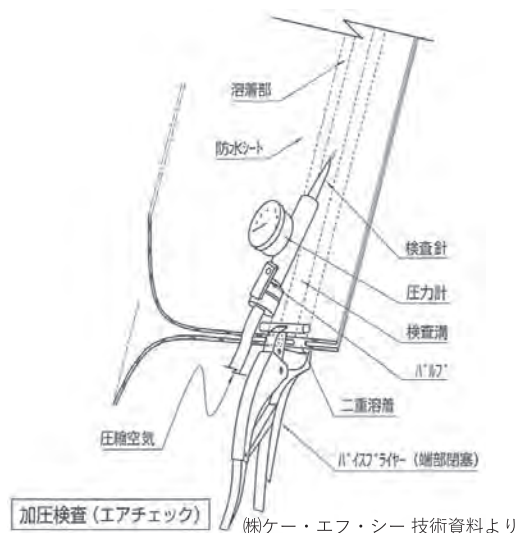
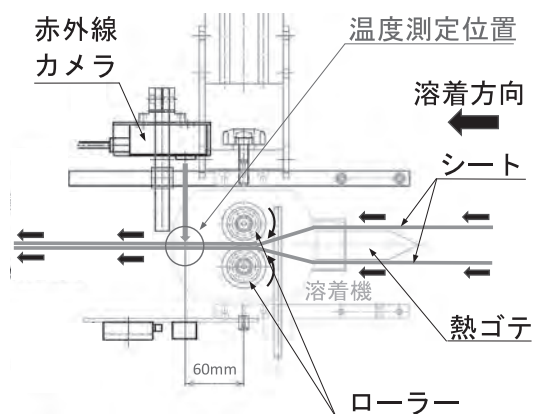
(2) エッジコントロール装置

展開した防水シートのたるみやよれを解消してしわなく溶着するためにエッジコントロール装置を設けた。エッジコントロール装置は、シートの取込み量を調整するとともに溶着方向に一定の張力を作用させる機構を有することで、重ね合わせたシートのしわやよれを解消しながら溶着させることができるようになった。

5. 溶着部の品質管理方法

防水シート溶着部の品質管理は、通常2本の溶着ライン間の未溶着部に圧縮空気を注入して、一定時間経過後の漏気量から合否を判定する加圧試験（JHS 707）⁴⁾が適用される（図—2参照）。この試験は、溶着箇所5箇所1箇所程度の抜き取り検査であるとともに、不合格となった場合に不良箇所を見つけ出すことに時間を要することが多い。

このことから、本自動溶着装置については廃棄物処分場における遮水シートの品質管理に適用されてきた熱画像検査方法³⁾の適用を検討し、検証を進めた（図—3参照）。この技術は、九州大学と環境・遮水管理センシング技術研究会によるもので写真—7（a）に示すように溶着機に赤外線カメラを装着して溶着部の温度を検出して品質を確認する方法である。検出した温度データは、タブレットなどで容易に確認できるも

図一2 加圧試験の概要⁵⁾

図一3 品質管理の検出部

のである（写真一7 (b) 参照）。

この品質管理方法では、施工前に実験室で溶着温度と溶着部の引張強度の関係を求める必要があるものの（図一4 参照）、図一5に示すように温度監視枠で検出された溶着ラインの温度から直接合否を判定することができる⁵⁾。加えて、この試験方法を用いることで溶着箇所全てで品質の確認ができるとともに、記録としても残すこともでき、不合格となった場合でも不良箇所を容易に見つけられる利点が得られる。

6. 開発成果と今後の展開

本開発の結果、防水シート溶着時の技能者の苦渋作業を解消するとともに、溶着作業に要する技能者を3人から1名に低減することができた。加えて技能者の技量によらない安定した溶着部の品質確保が可能になったと考えている。今後は現在の溶着速度 2.5 m/min を一般的な技能者による施工速度と同程度の 4.0 m/min を目標とし作業時間の短縮を図る予定である。さらに

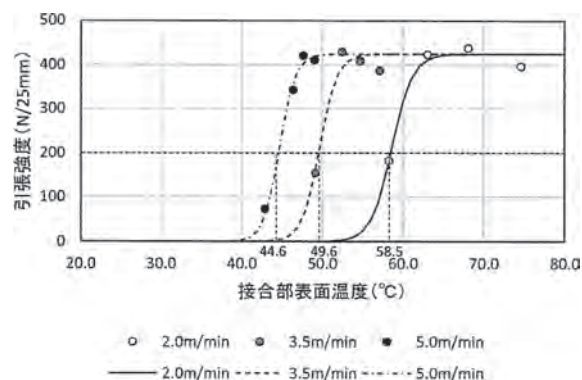


(a) 検査部

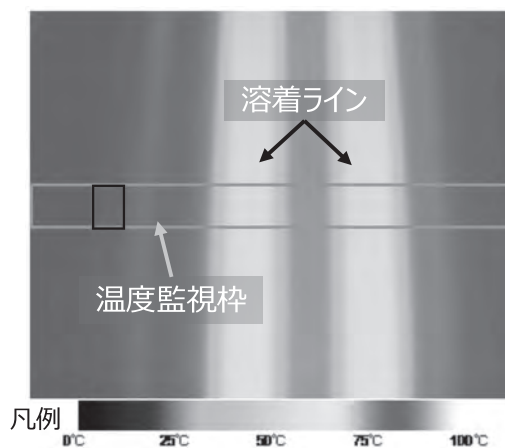


(b) 出力部（タブレット等）

写真一7 溶着部の品質管理方法の概要



図一4 溶着速度ごとの溶着温度と引張強度の関係の例（室温 35℃）



図一5 温度検出結果の例

将来的には、シートの展張から溶着、折返しおよび品質管理までの一連の拌み溶着作業を完全自動化できるシステムへ展開することを目標としている。

また、熱画像検査方法については今後、山岳トンネルの防水シートへの適用が増えることで知見が得られ、事前の室内試験が不要になり、山岳トンネルでも一層簡便に使えるようになって考えている。

7. おわりに

山岳トンネルの防水シートは地下水排除や吹付けコンクリートとの拘束抑制など覆工コンクリートの安定性を確保することに加えて、冬季における氷柱の生成抑制や路面で凍結防止など道路や鉄道としての供用性維持にも寄与するものである。防水工は工事費として占める割合は小さいもののトンネル安定性や機能を維持する上で極めて重要な構造部材であると考えている。

今後は、防水シート施工でのさらなる省力化を目指すとともに、覆工コンクリート施工時にシートに作用する外力などを検証してトンネルの長期運用に資する

防水技術の開発も視野に入れた検証、開発を進める予定である。

JCM A

《参考文献》

- 1) 総務省：情報通信白書令和4年版，pp.26-30，2022.
- 2) 国土交通省：技術調査，建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト，2022.
https://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000062.html
- 3) 中山裕文・島岡隆行・作左部公紀・上田滋夫・青山克己・坂口伸也・吉田宏三郎：最終処分場遮水シート接合における熱画像検査方法の開発と実証試験，ジオシンセティックス論文集，第28巻，pp.127-134，2013.
- 4) 東日本高速道路(株)・中日本高速道路(株)・西日本高速道路(株)：NEXCO試験方法 第7編，トンネル関係試験方法，pp.9-10，2017.
- 5) 環境・遮水管理センシング技術研究会：遮水管理リモートセンシング検査技術者 資格認定テキスト，p.35，2023.

【筆者紹介】

大森 禎敏（おおもり さだとし）
五洋建設(株)
土木部門 土木本部 土木技術部



鋼管膨張型ロックボルトの機械打設システムの開発

杉 本 憲 一・青 木 宏 一

山岳トンネル工事における切羽作業の無人化・遠隔化・機械化の一環として、鋼管膨張型ロックボルトである「RPE ロックボルト」を利用した機械打設システムを開発した。現在施工中のトンネル工事で試験施工を実施し、効果の確認を行った。

キーワード：山岳トンネル、ロックボルト、鋼管膨張型、機械化、省力化

1. はじめに

山岳トンネル工事では、機械化による作業の省力化と安全性が図られているものの、依然として切羽付近における事故の発生の可能性は高く、重大災害に繋がることが多い。

(株)熊谷組では2015年より山岳トンネルの切羽作業に関して、効率化・安全性の向上を目的とし、施工サイクル一連の遠隔化・自動化を目指して技術開発に取り組んでいる。これまでに長崎県雲仙普賢岳や阿蘇斜面の災害復旧工事で当社が培ってきた「無人化施工技術」を取り入れ、既往の技術の改良を行いながら爆薬の遠隔装填システムや遠隔吹付け技術などの開発を行っている。

山岳トンネルの切羽作業の中で、ロックボルトの打設作業は、写真—1に示すように、人力による苦渋作業かつ切羽近傍の高所での危険を伴う作業であり、改善すべき作業のひとつである。本稿では、ロックボ

ルトの施工性の向上を目的として、ボルト挿入から定着作業までを機械化するシステムを開発し、試験施工を行った結果について報告する。

2. システム構成

今回の開発対象としたロックボルトは、一般的に用いられているモルタル等による定着式ではなく、主に湧水対策や早期の支保性能発揮を期待する場合に用いられる鋼管膨張型ロックボルト「RPE ロックボルト」とした。図—1に示すように、膨張前の折りたたまれた状態の鋼管内に、高圧水を注入して膨張させることによって孔壁と密着させて所定の摩擦力を得る摩擦定着式である。

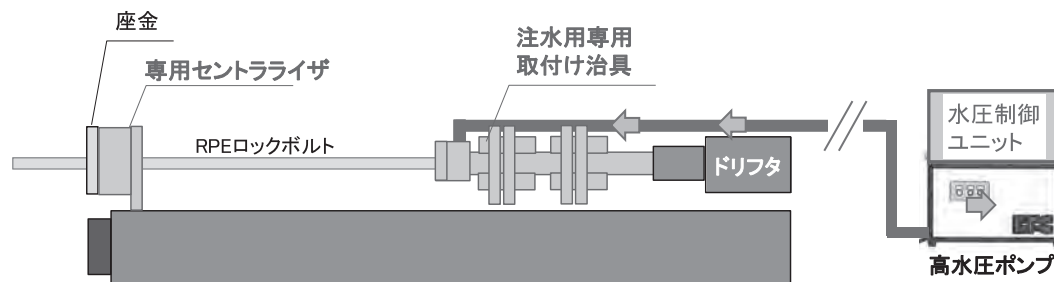
従来どおりドリルジャンボによるロックボルト孔の削孔後に、ボルトの挿入と高水圧ポンプによるロック



写真—1 人力によるロックボルト打設作業（注水拡張）



図—1 鋼管膨張型ロックボルト¹⁾



図ー2 システム概念図

ボルトの拡張作業を専用治具により機械化し、人力作業を介さない一連の作業となるよう開発を行った。

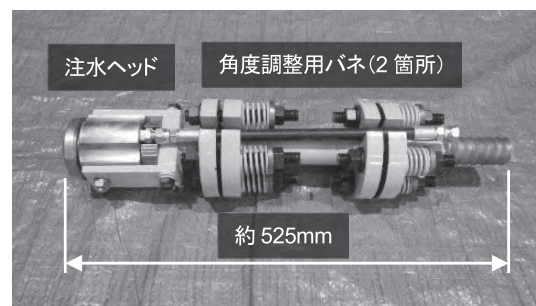
システムの概念図を図ー2に示す。

鋼管膨張型ロックボルトの機械打設のため、注水専用取付け治具と水圧制御ユニット、専用セントライザを新たに開発した。

(1) 注水専用取付け治具

注水専用取付け治具は、写真ー2に示すように、ボルト拡張のための注水ヘッドとボルト挿入のための角度調整用バネ（2箇所）で構成され、これをドリフタに連結する。この専用治具の注水ヘッドにボルトをセットし、水圧によりボルトを把持した状態で、削孔した孔へボルトの挿入を行う。

また、角度調整用バネは2箇所設けることで、削孔した孔中心と挿入するボルトの軸心を一致させやすくし、ボルト挿入・注水拡張作業をスムーズかつ正確に行えるようにした。



写真ー2 注水専用取付け治具

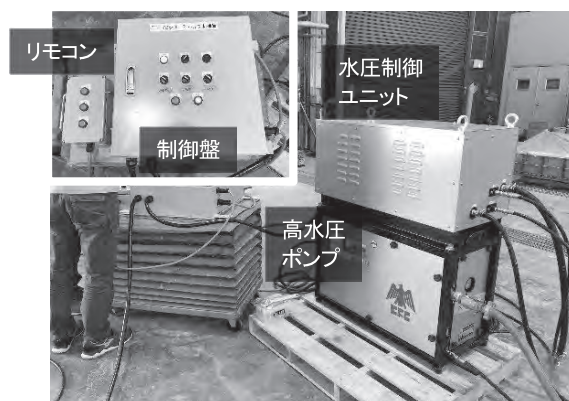
(2) 水圧制御ユニット

ボルト把持のための水圧は、鋼管膨張型ロックボルトの拡張に必要な水圧（通常 25 MPa）より小さく、かつボルト拡張が生じずにボルト把持が確実にできる水圧（10 MPa）とした。

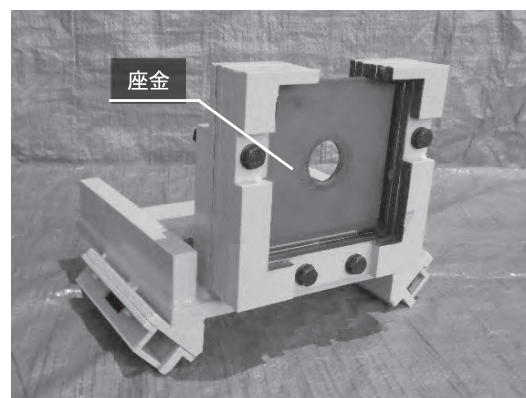
水圧制御ユニット（写真ー3参照）は、通常の高水圧ポンプに接続することで 10 MPa でも水圧を保持できる機構を備え、10 MPa と 25 MPa の2段階の水圧を設定できる。

従来、切羽近傍で作業員がボルト端部に注水アームをセット後、レバーを引いて注水ポンプを稼働し、ボルトを膨張させ定着させていた。

本システムの注水によるボルト拡張作業は、ドリルジャンボの操作室で削孔・ボルト挿入を終えたオペレータがリモコン操作により行うことができるため、地上でロックボルトをドリフタにセットする作業員とドリルジャンボのオペレータの2人で打設作業を進めることができる。



写真ー3 水圧制御ユニット



写真ー4 専用セントライザ（座金セット）

(3) 専用セントライザ

専用セントライザは、写真ー4に示すように、あらかじめ角座金（150 × 150）をセットできる構造とした。

座金は、セントラライザに磁石により取り付けられ、ボルト挿入時には注水専用取付け治具の先端の注水ヘッドによりセントラライザからボルト挿入とともに押し出されて、吹付けコンクリート壁面に設置される。

3. 試験施工

現在施工中のトンネル工事にて、施工性（作業性や打設時間）、品質（所定の位置へのロックボルトの挿入、プレート設置、注水による定着、引抜耐力）、専用治具の耐久性の確認のための試験施工を行った。

なお、試験施工では、通常の支保機能を損なわないよう、標準支保パターンのロックボルトを打設した箇所の中間位置に、試験施工用のロックボルトを打設することとした。

試験施工の順序を下記に示す。

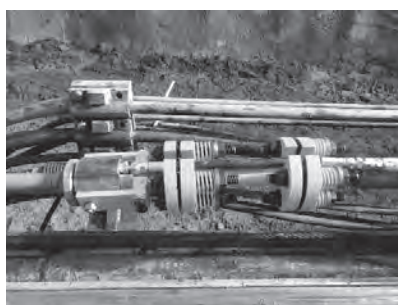
- ①従来工法と同様に、ドリルジャンボの左右ブームでロックボルト孔を削孔する。

- ②中央ブームに設置した専用治具に、ボルトをセットする。角座金をガイドセルに取り付けた専用セントラライザに、マグネットにより取り付ける。
- ③リモコン操作により、注水ポンプを起動させ、ボルトを把持するための注水（注水圧 10 MPa）を開始する。
- ④注水圧 10 MPa は保持したまま、削孔誘導技術などにより、ガイドセルを所定の打設位置に誘導する。
- ⑤ドリフタと接続した注水用専用取付け治具によりボルトの挿入と同時に、専用セントラライザにセットした座金を吹付けコンクリート壁面に設置する。
- ⑥ボルト挿入完了後、リモコン操作により注水ポンプを稼働させ、ボルト拡張に必要な注水圧（25 MPa）でボルトを定着させる。注水完了後、自動的に注水ポンプは停止する。
- ⑦ドリフタとガイドセルを移動させ、ボルト打設完了。

試験施工の状況を写真—5に示す。試験施工後に



(a) ボルト・座金セット状況



(b) 注水用専用取付け治具



(c) 専用セントラライザ



(d) 水圧制御ユニット



(e) 水圧制御ユニットのリモコン操作



(f) ボルト挿入状況



(g) ボルト挿入・座金設置状況



(h) ボルトの注水拡張状況



(i) 打設完了

写真—5 試験施工状況

引抜き試験による品質確認を行ったが、いずれもロックボルトの品質基準を満足することが確認できた。

試験施工では、いずれも 30 ～ 40 秒程度でスムーズなボルト挿入が行え、挿入後のボルト拡張も含めて、概ね 90 秒程度で打設完了した。

また、写真—6 に示すように、ドリフタに取り付けた専用治具と挿入したボルトの軸心が多少ずれた場合でも、想定どおり角度調整用バネと注水ヘッド部の水圧把持により、漏水することなく、確実に注水拡張を行えることがわかった。

4. おわりに

今回の開発は、鋼管膨張型ロックボルトを対象に、ロックボルト専用機械でなく、従来どおりドリルジャ

ンボに専用治具を取り付けるだけで、ボルト挿入・摩擦式による定着作業を機械化し、人力作業を介さない一連の作業をスムーズかつ効率的に行えたものと考える。

また、今回開発したシステムは、鋼管膨張型だけでなく、モルタル等による定着式のロックボルトへの応用も可能と考えている。

さいごに、山岳トンネルの切羽作業に対し、特徴的な災害である落盤・土砂崩壊災害リスクを回避するため、当社で培ってきた無人化施工における遠隔操作技術を活用し、切羽作業の遠隔化・自動化を図るとともに、更なる効率化・省力化を目指して、今後も技術開発を進めていく所存である。

J C M A

《参考文献》

- 1) ケー・エフ・シー：RPE ロックボルト カタログ, <https://www.kfc-net.co.jp/products/cat02/07.html>

【筆者紹介】

杉本 憲一（すぎもと けんいち）

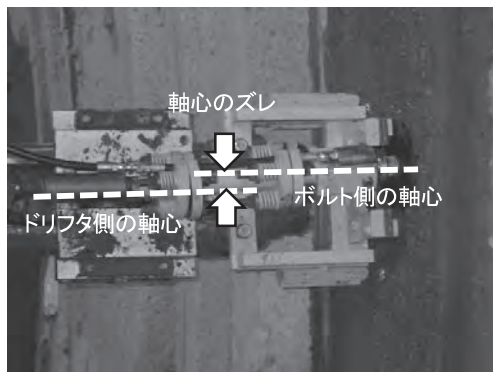
（株）熊谷組

土木事業本部 土木技術統括部 トンネル技術部
部長

青木 宏一（あおき こういち）

（株）熊谷組

土木事業本部 土木技術統括部 トンネル技術部
副部長



写真—6 ボルトの注水拡張状況

VR 空間で遠隔地から「岩判定」トンネル工事現場の施工状況を複数人がリアルタイムで遠隔地から確認できるシステムを構築

千葉 力・森 桂 一・高橋 直也

建設業では人手不足が深刻な問題となっている。人手不足は実際に現場で働く作業員だけでなく、発注者や施工管理に携わる受注者にも顕在化している。人手不足の原因は、少子高齢化による人口の減少、給与水準の低さや休暇が取れないなどの待遇面、更には「きつい」「きたない」「危険」という 3K に代表される建設業のかっこ悪いイメージもある。そうした社会的背景の中、建設現場では生産性向上（労働環境含む）を実現するため、ICT を活用した様々な取組が盛んに行われている。本技術は、従来トンネル掘削の最先端で行われていた岩判定を VR 空間（仮想空間）上で行うものであり、複数人がリアルタイムに遠隔地から現場の状況を確認できる技術である。本技術を現場に導入することで受発注者の生産性向上につながり、前述の建設業が抱える問題を解決する一技術であることが示唆されたので本稿で紹介する。

キーワード：山岳トンネル、岩判定、VR、ローカル 5G、CIM

1. はじめに

建設業の就業者数は年々減少¹⁾しており、人手不足が深刻な問題となっている。そのような状況下で、2024 年 4 月からは時間外労働の上限規制が建設業でも適用され、これまで以上に建設現場での生産性向上が求められるようになってきている。人手不足の原因は、少子高齢化による人口減少だけではなく、建設業に対する悪いイメージが入職者を減らし、離職者を増やす¹⁾一因となっている。建設業各社が会員で構成される（一社）日本建設連合会では、この悪いイメージを払拭するため、新 3K（給与が良い、休暇がとれる、希望がもてる）に「かっこいい」を加えた新 4K を掲げ、魅力溢れる業界の実現に向けた取組みを行っている。本技術は、上記の問題を解決する一つの方法であると考えらる。

山岳トンネルは線状構造物であるため、施工延長が長く、山岳部での施工となるため、事前の調査・設計段階で地山の状況を詳細に把握し、地山を支えるための支保工（アーチ状の H 型鋼、ロックボルト、吹付けコンクリートで主に構成）を精度よく選定することが極めて困難である。このため施工段階において、実際に掘削した地山状況を受発注者間で確認し、支保工の仕様を決定する「岩判定」が行われている。この岩判定は、トンネル工事において最適な支保工を選定する上で極めて重要なものであるため、トンネル掘削先

端部である「切羽（きりは）」付近に受発注者が一同に会し、図—1 に示すような切羽観察表を使用して地山の状態（切羽の状態、素掘面の状態、圧縮強度、風化変質、割れ目の頻度、割れ目の状態、割れ目の形態、湧水、水による劣化など）を目視で観察し点数付けを行い、支保工の仕様を決定している。

開発したシステムは遠隔地（具体的には現場事務所などの自席 PC）から VR 空間上に受発注者がアクセスして岩判定を行うシステムである。システムの運用にあたっては岩判定の精度などの諸課題はまだあるが、建設現場の生産性向上や魅力的な「かっこいい」現場施工管理に資する可能性が示唆されたため、システムの概要と現場適用した際の効果を報告する。

2. VR 遠隔岩判定システム

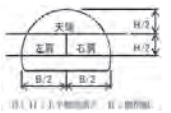
(1) システム概要

トンネル工事では地山の状況に合わせた適切な支保仕様を決定するため、掘削中のトンネル最先端部である切羽に受発注者が集い、地山の状態を直接確認し支保工の仕様を決定している。山岳トンネルの多くは山岳部に位置しており、関係者が現地に集まる現行の岩判定のやり方には多くの移動コストがかかっている。そこで、受発注者が現地に集まることなく、適切な支保仕様を決定することのできる VR 遠隔岩判定システムを開発した。本技術で実現した内容は下記の 3 つで

切羽観察表 [全岩質共通]

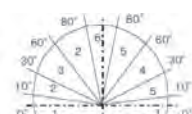
1. 切羽基礎情報

トンネル名:			
観察年月日:	令和5年3月1日		
測点:	N0	+	m
断面番号:	N0		
坑口からの距離:	m		
土被り高さ:	m		
地表地形:			
岩石名:	地質時代:		区分:
湧水状況:	<切羽>	湧水量:	L/min 色:
		湧水箇所:	<切羽全体> 湧水量:
			L/min 色:



切羽に良好な部分と劣悪な部分が混在する場合の見方
※「(C)圧縮強度」、「(D)風化変質」、「(E)割れ目の頻度」を評価する場合に適用
劣悪な部分: 10%以上の場合→劣悪な部分で評価
劣悪な部分が10%以下の場合→その他の良好な部分で評価
劣悪な部分が10~30%の場合→両者の中間的な部分で評価

2. 切羽観察記録

評価区分(掘削地点の地山の状況と挙動)					
(A) 切羽の状態	1. 安定	2. 鏡面から岩塊が抜け落ちる	3. 鏡面の押し出しを生じる	4. 鏡面は自立せず崩れ、あるいは流出	5. その他
(B) 素掘り面の状態	1. 自立(普請不要)	2. 時間がたつと緩み肌落ちする(後普請)	3. 自立困難掘削後早期に支保する(先普請)	4. 掘削に先行して山を受けておく必要がある	5. その他
(C) 圧縮強度	1. $\sigma_c \geq 100 \text{ MPa}$	2. $100 \text{ MPa} > \sigma_c \geq 20 \text{ MPa}$ ハンマー打撃で砕ける	3. $20 \text{ MPa} > \sigma_c \geq 5 \text{ MPa}$ 軽い打撃で砕ける	4. $5 \text{ MPa} > \sigma_c$ ハンマー刃先食い込む	5. その他
(D) 風化変質	1. なし・健全	2. 岩目によって変色、強度やや低下	3. 全体的に変色、強度相当に低下	4. 土砂状、粘土状、破碎、当初より未固結	5. その他
(E) 割れ目の頻度	1. 間隔 $d \geq 1 \text{ m}$ 割れ目なし	2. $1 \text{ m} > d \geq 20 \text{ cm}$	3. $20 \text{ cm} > d \geq 5 \text{ cm}$	4. $5 \text{ cm} > d$ 破碎、当初より未固結	5. その他
(F) 割れ目の状態	1. 密着	2. 部分的に開口	3. 開口	4. 粘土挟む、当初より未固結	5. その他
(G) 割れ目の形態	1. ランダム形状	2. 柱状	3. 層状、片状、f"'"	4. 土砂状、細片状、当初より未固結	5. その他
(H) 湧水	1. なし・渉水程度	2. 滴水程度	3. 集中湧水	4. 全面湧水	5. その他
(I) 水による劣化	1. なし	2. 緩みを生ず	3. 軟弱化	4. 崩壊、流出	5. その他
割れ目の方向性(卓越する不連続面のとき)	縦断方向(切羽をみて)				
	横断方向(切羽をみて)				

評価区分		
左肩	天端	右肩

3. 火薬量

評価項目・区分	1	2	3	4	5
火薬	火薬量	1,0kg/m ³ 以上	B相当(1,0kg/m ³)	C相当(0,8kg/m ³)	D相当(0,6kg/m ³)
					0,6kg/m ³ 以下

評価区分	

図一 切羽観察表の例²⁾

ある。

- (a) 現地で目視や岩検ハンマーにより確認している項目(切羽および素掘り面の状態、岩の風化変質具合、割れ目の頻度、形態、湧水量、水による劣化など)を遠隔地から遜色なく確認できる
- (b) 関係者間で円滑なりアルタイムコミュニケーションが取れる
- (c) 既施工区間の情報(既施工区間の天端沈下・内空変位量、切羽観察簿など)が容易に閲覧できる

(2) システム構成

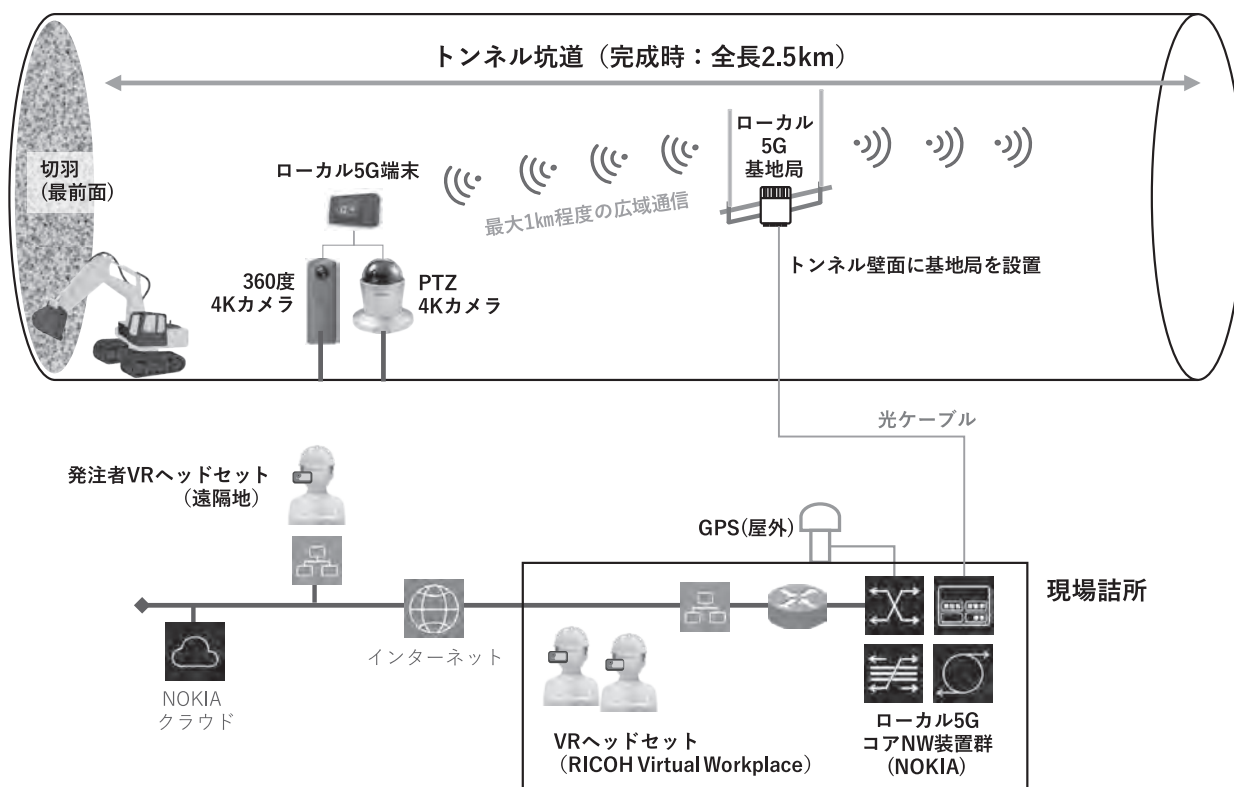
本システムは大きく下記の3のシステムから構成されている。

- ①現場と遠隔地を高品質なりアルタイム映像、音声でつなぐシステム
- ②既施工区間の情報(書類、帳票)を遅滞なく作成、共有するシステム

- ③①②で共有されている映像、情報を直観的に操作、閲覧できるシステム

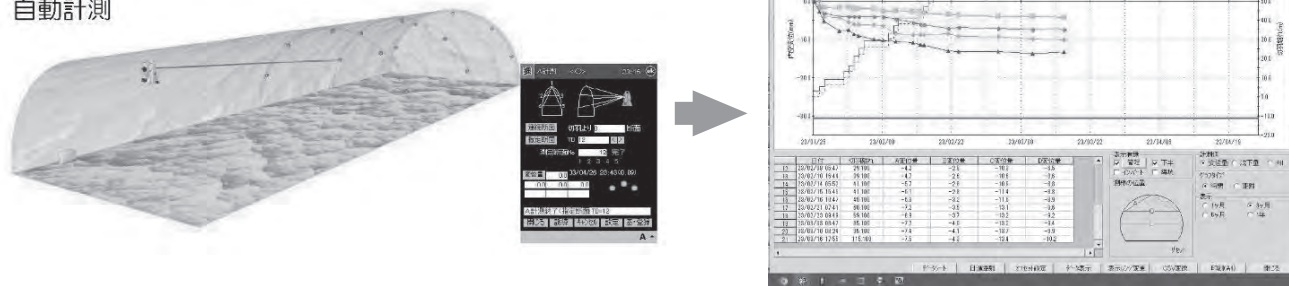
前項の(a)(b)を実現するためには現場と遠隔地を高品質なりアルタイム映像、音声でつなぐことが重要となる。そこで、本システムではトンネル構内へローカル5Gを設置し、現場と関係施設(発注者事務所、現場事務所)を5Gおよび光回線で繋ぐことで高速通信環境を整備した。この通信環境の下、トンネル坑内に切羽を細部まで確認できる4K PTZ(Pan Tilt Zoom)カメラ、坑内の状況を自由視点で確認できる4K360°カメラを設置し、トンネル坑内の任意の場所をリアルタイムに確認できるシステムを構築した。システム通信構成図を図2に示す。

前項の(c)を実現するためには切羽地山の状況を記録する切羽観察簿や坑内の変位状況(天端沈下量や・内空変位量)を記録する帳票などの書類を定められた頻度、タイミングで遅滞なく作成し、共有する必要が



図一 2 システム通信構成図

自動計測



i) 坑内に設置されているトータルステーションで変位を定期自動計測

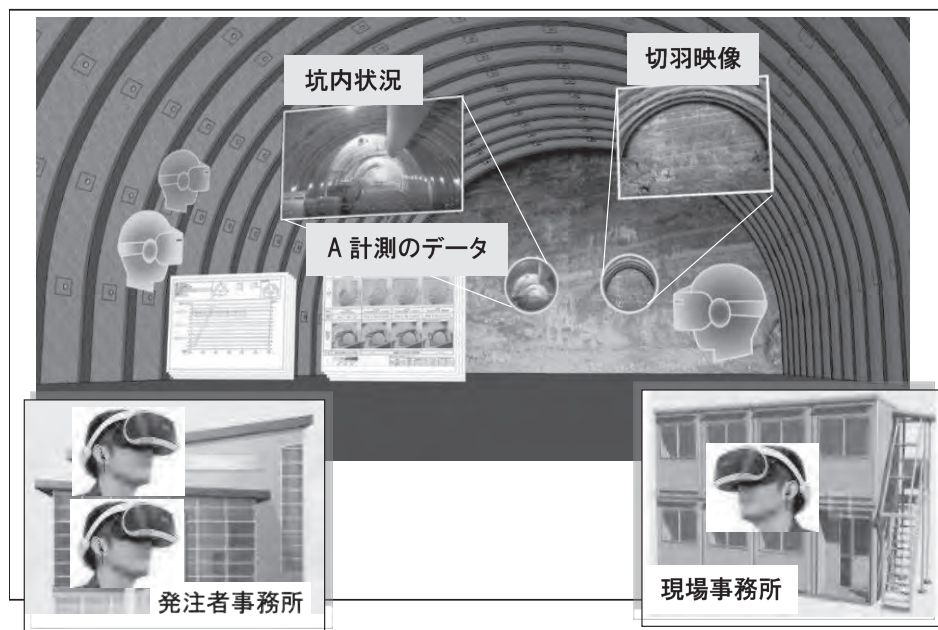
ii) 計測データを帳票へ自動入力，サーバーへ自動アップロード

図一 3 計測工 A の自動計測，帳票出力イメージ

ある。しかし、現場の施工管理者は多くの業務を抱えており、メモやスケッチ、計測したデータをすぐに帳票や書類にまとめる時間が取れず、後回しとなることが往々にしてある。そこで、切羽観察簿の作成を補助する AI システムと計測工 A の計測および帳票作成を自動で行うシステムを組み合わせ、既施工区間の情報を遅滞なくサーバーに共有するシステムを構築した。計測工 A 自動計測～帳票出力のイメージ図を図一 3 に示す。

①②のシステムから共有された映像、情報を誰でも

直観的に操作、閲覧できるようにするため、VR 空間上に現場の CIM データを取り込み、現場のリアルタイム映像や既施工区間の情報を各管理測点に紐付けて保存するシステムを構築した。関係者は遠隔地（自席）から VR ヘッドセットを使用し、VR 空間へとアクセスし、現場の状況や各種帳票の確認をしたり、同時に接続している関係者と映像、音声、資料を共有しながらコミュニケーションをとることができる（図一 4 参照）。



図ー4 VR空間上のコミュニケーションイメージ図

3. 現場導入

(1) 工事概要

今回、システムの導入を行った工事は掘削延長約 2.5 km、掘削断面積約 70 m² の道路トンネルを全線機械掘削による NATM にて施工する工事である。軟弱な地山での施工となるため、地山状況に応じた適切な支保仕様で施工することが重要となる。調査・設計段階から地質の変化点も多く想定されており、多くの岩判定が予定されていた。軟弱地山での施工は落石や切羽の崩壊といった事象も発生しやすいため、急な土質の変化が生じた場合にもすぐに岩判定を行える体制作りも重要である。本工事は山岳部のトンネル工事であり、発注者の管理事務所と現場の距離が約 55 km 離れており、事務所と現場の移動に往復で約 140 分の時間を要するため、岩判定に関する業務の効率化が求められていた。

(2) システム運用体制

現場にシステムを導入するにあたり必要な機器として、トンネル坑内にローカル 5G 機器、PTZ カメラ、360° カメラ、坑内システム制御用 PC を設置し、遠隔地（現場事務所、発注者管理事務所）に VR 用ゴーグルと VR 用ノート PC を利用人数分準備した。また、切羽観察簿の作成をサポートする AI システムを現場事務所の PC に導入し、坑内の変位計測を行う測量機器及び制御解析用 PC を坑内に設置した。

(3) 現場でのシステム運用状況

現場でのシステム運用導入状況を以下の写真に示す。写真ー1が発注者が事務所で確認している状況、写真ー2が受注者の監理技術者が現在の切羽状況を説明している状況、写真ー3がテレワークで岩判定をサポートしている状況である。写真ー4は切羽を 4K PTZ カメラと 4K360° カメラを介して確認するときの状況、写真ー5は切羽の岩片を現場の施工管理者が岩検ハンマーで打撃している様子や音を確認している状況、写真ー6は VR 空間の CIM モデル内で既施工区間の情報（掘削の実績）を受発注者間で共有、説明している状況となる。本システムを介して従来は関係者が現地で行っていた地山状況の確認や既施工区間の情報の閲覧、受発注者間の質疑、意見交換を行うことで遠隔地から岩判定を実施できた。

(4) 導入効果

本システムを現場導入し、最も効果が高かったのは移動時間の短縮である。特に発注者側は普段は遠方にある発注者事務所で勤務しており、岩判定の際に現場まで移動していたため、岩判定 1 回あたり約 2.5 時間／人の移動時間短縮効果があった。今回の適用現場は施工延長が長いことから、設計段階で約 30 回の岩判定が予定されており、全ての岩判定を本システムで実施できれば約 75 時間の移動時間の短縮が実現できることになる。一方、受注者側は 1 回あたり約 12 分の移動時間の短縮効果があるという結果となった。また、トンネル切羽の近傍に多くの関係者が立ち入るのは落石等の懸念

VR を使用した遠隔岩判定の状況



写真1 発注者事務所



写真2 受注者事務所



写真3 遠隔地でのサポート



写真4 切羽確認



写真5 岩片のハンマー打撃音の確認



写真6 VR 上での会議

から避けるべきであり、本システムで高精細な切羽画像から地山状況の確認を実施できるようになったことで岩判定時の安全性が向上したことも大きな効果であった。

現場導入で判明した課題としてはVRコントローラに慣れるまでに時間がかかること、発注者側の通信設備の問題（外部システムの導入、アクセス許可）や、岩判定の品質にも課題があった。発注者側からは、「全ての岩判定を今回のシステムで行うことは難しい。VR上で行う岩判定の効果や品質の検討を施工初期段階で十分に行うことが必要である。また、比較的現場近くに滞在している人員は現地、遠方にいる人員はシステムを利用するといった併用がよい。」などの意見があった。受注者側（現場）としては、「地山の急変時に現地確認のために、遠方から発注者に来てもらうのではなく、今回のシステムを採用することで、迅速な対応ができる。」との意見があった。

4. おわりに

今回開発したVR遠隔岩判定システムを現場に導入することでVR空間上でリアルタイムな現場状況確認や既施工区間の情報閲覧、円滑なコミュニケーションを実現し、関係者が現地に集まることなく岩判定を実施することができた。これにより、これまで多くの関係者が時間を費やしていた岩判定業務を効率化することができた。

今回の事例は建設事業の特性であるオンサイトでのものづくりから、新たな建設業の姿への変革の一つの事例であると考えられる。今後も魅力ある建設業、「カッコいい」現場施工管理につながる技術の開発を進めていく所存である。

JCMIA

《参考文献》

- 1) (一社) 日本建設連合：建設業デジタルハンドブック
- 2) 近畿地方整備局道路部道路工事課：トンネル地山等級判定マニュアル（試行案）

【筆者紹介】

千葉 力 (ちば つとむ)
 ㈱竹中土木
 技術・生産本部 技術開発部
 課長



森 桂一 (もり けいいち)
 ㈱竹中土木
 技術・生産本部 技術開発部
 課長



高橋 直也 (たかはし なおや)
 ㈱竹中土木
 東北支店 直轄作業所
 工事担当 (監理技術者)



吹付け厚さのリアルタイム測定と管理 「吹付けナビゲーションシステム」を開発

新型吹付機「ヘラクレス -Navigator」

四 塚 勝 久

山岳トンネル工事におけるコンクリート吹付け作業は、オペレータが切羽直下で肌落ちの危険や高粉じん下の過酷な労働環境の中で作業をしている。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及びずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドラインを改正發布している。吹付け作業の安全性と生産性向上に開発主眼をおきトンネル施工会社と吹付けシステム製造メーカーの5社共同研究により開発した吹付けナビゲーションシステムの技術紹介をする。

キーワード：山岳トンネル，切羽，ミリ波レーダ，モーションキャプチャカメラ，吹付けロボット，ナビゲーション

1. はじめに

山岳トンネル工事におけるコンクリート吹付け作業は、オペレータが切羽直下で肌落ちの危険やコンクリート吹付けによる粉じんの飛散など過酷な労働環境の中で出来形を目視確認しながら吹付けロボットのリモコン操作をして作業をしている。厚生労働省は、令和2年に「ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン」を改正し、令和6年には「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」を改正している。これらのガイドラインにおいては、コンクリート吹付けの遠隔化や自動化技術の導入が求められている。そこで5社共同研究は、トンネル工事切羽作業の安全性と生産性の向上に向けて、吹付け作業の無人化・自動化に関する技術開発を進めている。その中でもリアルタイム吹付け厚さ測定システムを開発の重要な構成要素と位置付けて、吹付けナビゲーションシステムの開発を行った。

2. 開発課題

吹付け厚さをリアルタイムに測定するセンサーは、コンクリート及び急結材が噴射され水分を含む高粉じん環境下において途切れることなく距離測定が可能なもの、また支保工側面や裏面の測定をするためノズル近傍に取付け可能なサイズで耐粉じん性、耐防水性、コンクリート圧送ポンプや吹付けロボットのノズル揺動の影響を受けて常に振動するため耐振動性も必要で

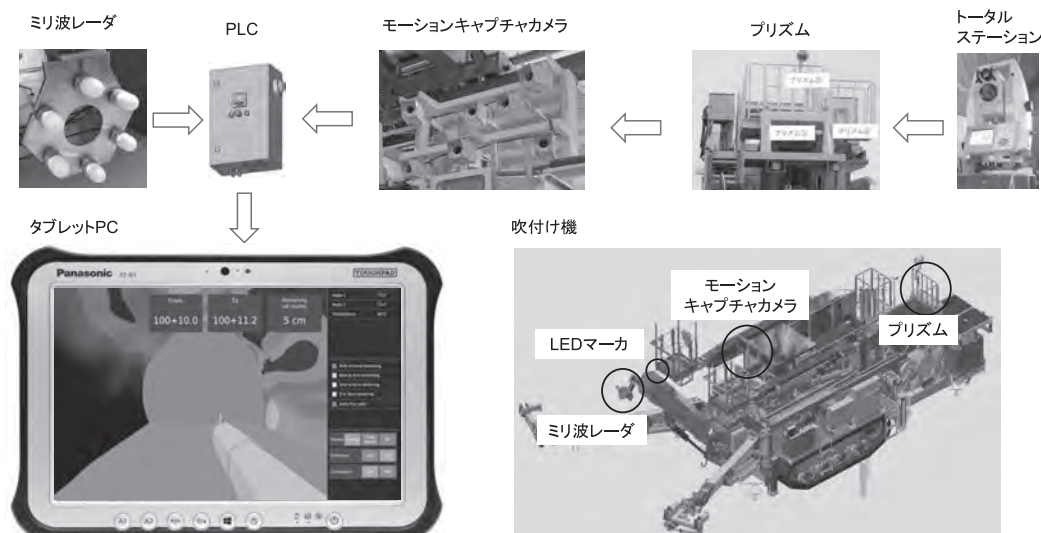
ある。また、厚さは一定のグリッドサイズで吹付け前後の比較をする必要が有るためセンサーの測定焦点が絞れるものが必要となる。吹付けロボットは剛性が高く可動部の位置座標情報の把握、正確で微細な油圧制御ができるものが必要になる。

3. 開発技術の概要

本技術は、吹付け厚さをリアルタイムに測定するセンサーをミリ波レーダとし、吹付けノズル位置座標を正確に測定する技術はモーションキャプチャカメラにて連続的にマーカを測定しノズル位置の補正を行う。吹付けロボットは、剛性の向上と油圧流量調整弁をPLC制御した6軸タイプのロボットを開発した。機体の位置座標は後方に取付けたプリズム3点を測定することで算出する。これらミリ波レーダ、モーションキャプチャカメラ、機体測定の技術を統合計算し切羽でのリアルタイム吹付け厚さ測定の表示が可能となり、タブレットPC画面を見ながらコンクリート吹付けのナビゲーション操作が実現する。図—1に吹付けナビゲーションシステムの概要図を示す。

(1) コンクリート厚さをリアルタイムに測定するミリ波レーダ技術

水分を含む粉じん環境下において途切れることなく距離測定を可能とし、またセンサーは吹付けノズル部周辺に取付けられ測定焦点が絞れるものとして自動車衝突防止などで使用されるミリ波レーダ技術に着目し



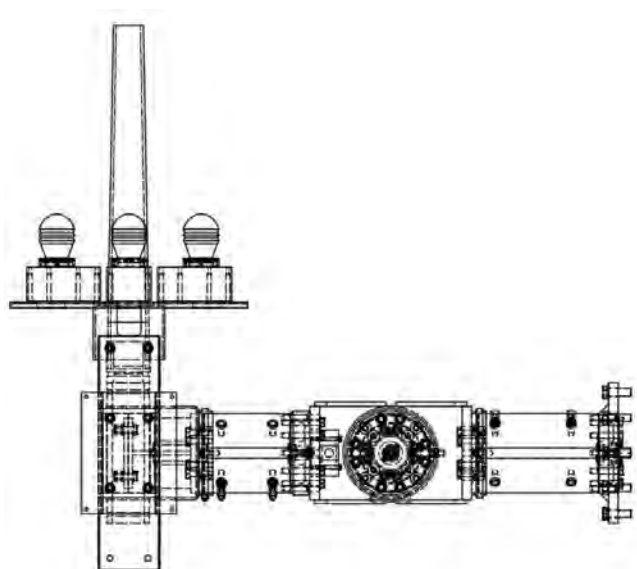
図ー1 吹付けナビゲーションシステムの概要図

た。ミリ波レーダは光学距離センサーに比べると測定環境の影響を受けづらく雨や霧に対する透過性も高い特長が有り吹付け厚さのリアルタイム測定に最適である。新たに開発したミリ波レーダは76 GHz帯の周波数を有し小型でノズル周辺に搭載可能である。ノズルから壁面までの距離を1.5 m～2.0 mとした場合に10 cm×10 cmのグリッドで吹付け面を測定する条件でレーダ照射角度を決め専用のレーダアンテナを採用した。レーダの単体の距離測定精度は1 mm以下と高精度で吹付け厚さの測定には十分な性能を有している。躯体は強靱なアルミ合金製のケースを用いIP等級68とトンネル切羽での吹付け作業に十分耐えられる構造を持っている。これらレーダをノズル部に6ヶ取付け（図ー2）、ノズルの動きに追従して吹付け厚さの測定を行う。ノズル部のミリ波レーダは、吹付け

中にコンクリートの跳ね返りを受けながら測定を連続的に行う。粉じんの中では優れた距離測定性能を示すが、レーダアンテナ部に吹付けコンクリートが堆積するとレーダは遮られて測定ができなくなる。そこでレーダの電波に対して透過性の高いレドーム※を前面に取付けてレドームを回転させる事で吹付け中の跳ね返りによるレーダ部へのコンクリート堆積を防止している（写真ー1）。

（2）吹付けノズル位置をリアルタイムに正確に測定するモーションキャプチャ技術

吹付け作業中はロボットブームの伸縮によるブーム自身のたわみ、圧送コンクリートやノズル動作に起因する揺れが常にランダムに発生する。リアルタイムに



図ー2 ミリ波レーダ搭載ノズル部



写真ー1 回転機構を有したレドーム

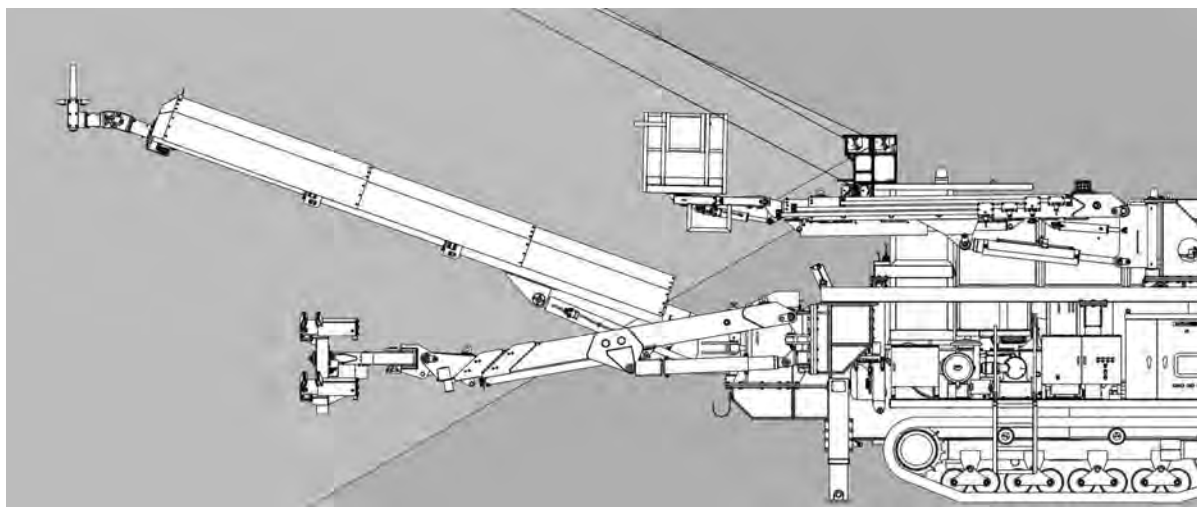
※レドーム レーダアンテナをその構造をもって保護するものであり風、雨、雪、砂、氷、太陽光線などの自然環境からアンテナを保護する役割を持つもの。

正確なノズル位置座標を測定する方法としてモーションキャプチャカメラを導入した。モーションキャプチャカメラは、一般的には雲台に固定され測定対象物を囲むように配置し測定精度を確保する。トンネル工事の切羽作業においては常に切羽は前進するため切羽近傍の壁面に継続的にカメラを設置する事は難しく、また、吹付け作業時にノズル部を囲むようにロボット周辺にカメラを配置する事も難しい。吹付け機に搭載されるモーションカメラは、3DCADによる視野シミュレーションに基づき吹付け機キャビン屋根部に測定範囲と測定精度を確保する向きで配置される（図—3）。ノズル位置座標の測定は、モーションキャプチャカメラは粉じん環境下で動作する必要があるため、それらは鋼鉄製の防じん防水処理を施したケース内に格納し（写真—2）、レンズ全面にはひずみの影響を受けないガラスレンズを配置する。ノズル部に取付けるマークは、ビーズ反射材が塗布された円形マークでは吹付け中に赤外線反射強度が粉じんにより弱くなり見失う事があるため、自発光型4点LEDマーク（写真

—3）を採用しその中心位置を算出する事で対策した。吹付け中にコンクリートの付着などで4点全てを認識できない場合は、残りのLEDマークにより中心位置を補完する。また、モーションカメラで測定されてノズル位置座標は機体の傾きも考慮し座標計算を行う。

（3）吹付けロボットの剛性の向上と油圧制御をPLC制御化する技術

吹付けロボットは今後の自動化も考慮し新規に6軸タイプのロボットを開発した（図—4）。従来型のロボットに比べ剛性をアップさせ、ヒンジ部のはめ合い誤差を少なくしロボットの組付け精度を向上させた。また、全長9.5mに伸びるロボットは、各可動部に角度センサーと粉塵環境下でのセンサートラブルを未然に防ぐ特別に設計した伸縮計を内蔵した油圧シリンダーを採用する。また、油圧流量調整弁をPLC（プログラマブルロジックコントローラ）（写真—4）により正確で繊細なロボット制御を可能としている。



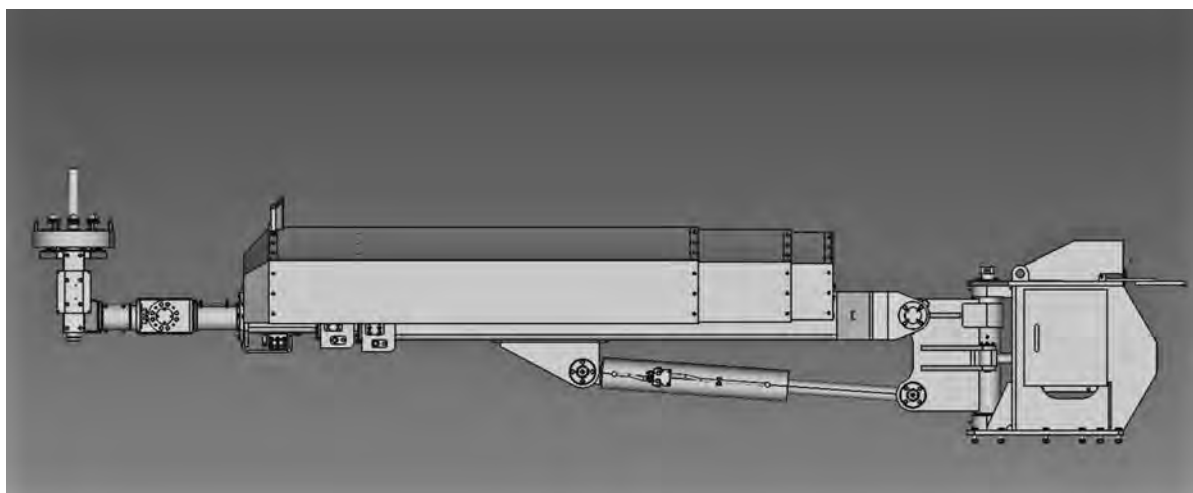
図—3 モーションキャプチャカメラ視野シミュレーション



写真—2 防じん防水ケース内に格納したカメラ



写真—3 LED マーク



図—4 新型 6 軸吹付けロボット



写真—4 吹付けロボット制御用 PLC (プログラマブルロジックコントローラ)

(4) 機体の位置座標測定技術

切羽に移動停止した機体は、機体後方に設置したプリズム 3 点 (写真—5) を坑内に設置されたトータルステーション (写真—6) で順に自動測定し位置座標及び傾きを測定算出する。

4. リアルタイム吹付け厚さの測定

機体に 400 V が接続されるとシステムは自動起動する。オペレータは、操作室より機体測定の操作を行う。

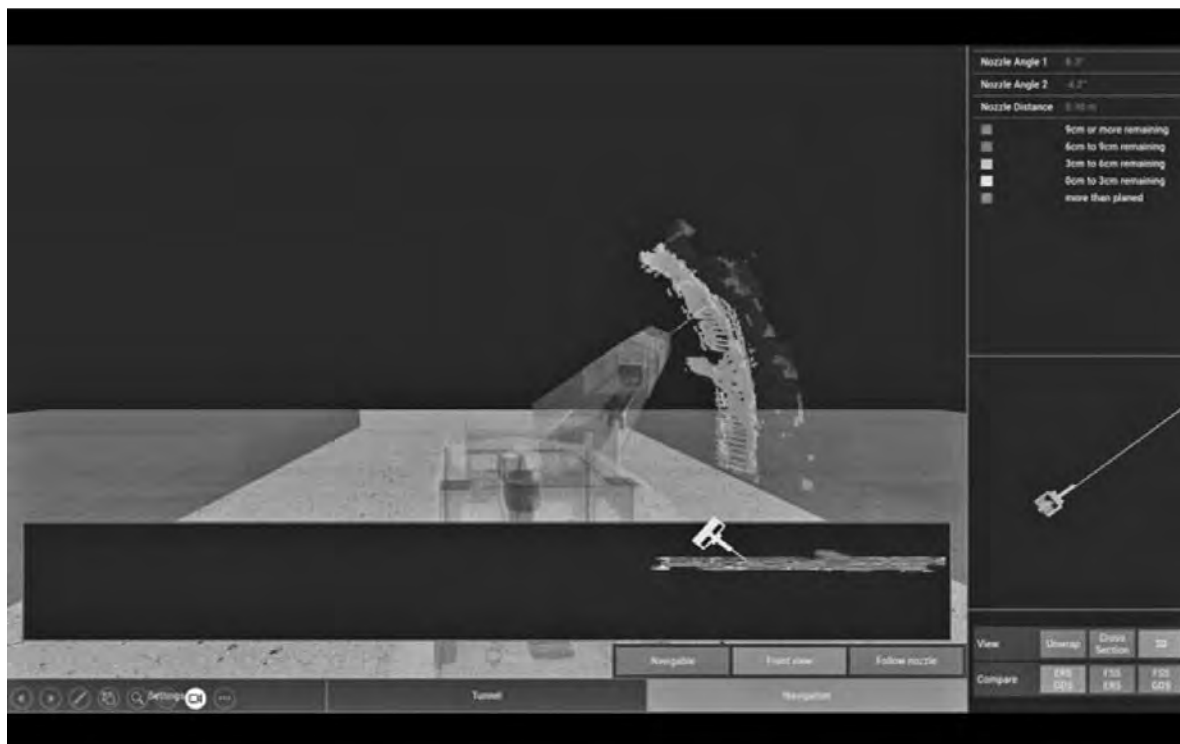
坑内 Wi-Fi を通して後方に設置されたトータルステーションは操作室からの信号を受け取り、機体後方に設置されたプリズム 3 点を順に測定する。測定後機体の座標及び傾き情報を算出し、また切羽における設計断面情報と共に測定データを機体に搭載している PLC に送信する。PLC が受信した情報を基にモーションキャプチャカメラシステムはカメラ基点及び機体の傾きを把握しノズル部に設置した LED マーカを測定開始しノズル部の位置座標データを送信する。ノズル部に搭載したミリ波レーダ 6 ケは同時に測定準備に入り、タブレット上では吹付けナビゲーションシステムソフトウェアが起動する。ソフトウェアは機体の位置座標、切羽座標、ロボットに組み込まれた角度計、伸縮計のデータ及びモーションカメラで得られるノズルの位置座標データとレーダから得られる距離データの統合計算を行いタブレット PC 画面上に吹付け厚さをリアルタイムに表示する (図—5)。吹付け厚さの色付け表示は、予め設定した凡例に基づき色づき表示さ



写真—5 プリズム



写真—6 トータルステーション



図ー5 吹付けナビゲーションシステムソフトウェア

れ吹付けの増し吹きが必要な箇所が画面上で確認できる。吹付け中のコンクリート堆積を防ぐレドームは、コンプレッサーの起動、坑内の水接続と同時に機能を発する。

5. まとめ、展望

吹付けナビゲーションシステムを搭載したエレクトラ一体型吹付機（写真ー7）は、現場導入も進めており、新たな改良を検証作業と共に進め、より安全で生産性の高い開発を継続して進め、広く現場導入されるように普及を図る。



写真ー7 吹付けナビゲーションシステム搭載機

6. おわりに

技術的支援、検証現場並びに機材の提供をして頂いた共同研究開発メンバーである清水建設(株)、戸田建設(株)、西松建設(株)、前田建設工業(株)の皆様に感謝いたします。

J C M A

《参考文献》

- 1) 清水建設(株) 小島英郷ほか：山岳トンネル吹付けロボットのリアルタイム厚さ測定システムの開発，土木学会 第76回年次講演会，2021
- 2) 前田建設工業(株) 水谷和彦ほか：山岳トンネルにおけるコンクリート吹付けナビゲーションシステムの開発，土木学会 第78回年次講演会，2023
- 3) 西松建設(株) 山下雅之ほか：山岳トンネルコンクリート吹付けの遠隔操作システムの開発，土木学会 第77回年次講演会，2022

【筆者紹介】

四塚 勝久（よつづか かつひさ）
エフティーエス(株)
特機営業部
次長



6 m 継ぎロックボルト打設の高速自動化

2 ブーム ロックボルト自動打設機 ボルティンガー B22RL- i

片 桐 正 人・田 島 良 一・山 岸 隆 史

山岳トンネルの施工においてロックボルトの打設作業は、作業員の負担が大きいうえ、被災するリスクの高い作業の一つである。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」を策定して、機械化により事故防止対策を求めた。また、国土交通省は i-Construction として最先端技術の活用による生産性の向上を求めている。その要望に対応して、ロックボルトの挿入孔の穿孔、定着用モルタルの注入、ロックボルトの挿入までの作業を機械化し、更に2ブーム化し生産性を向上したロックボルト打設機「ボルティンガー」を開発した。しかしロックボルト打設機は、駆動するアクチュエータが多い。そこで、誰でもが容易に操作できるように、ロックボルト打設作業の操作を自動化した、フルオート2ブームロックボルタを鹿島建設(株)と古河ロックドリル(株)が共同開発した。本報では、ロックボルト打設の機械化とその課題について説明したうえで、ロックボルト工の自動化について報告する。

キーワード：NATM 工法、生産性向上、省力化、自動化、安全性向上

1. はじめに

建設工事における、近年の最先端技術を活用した機械化と省人化による生産性の向上には目を見張るものがある。一方、山岳トンネルの標準工法である NATM 工法において欠かせないロックボルトによる支保の補強作業は未だ、崩落の危険性のある切羽近傍で、人力による作業が行われていた。本開発機は、このような作業者の負担を減らし、落盤事故などによる被災リスクを減らし、ヒューマンエラーによる品質の低下を抑え、自動化により省人化させ、打設専用機による急速施工を達成させるべく開発された。更に、ロックボルト孔の穿孔データを記録・保存することにより地質状況を把握して、岩判定や補助工法の選定に役立てる(図—1、表—1)。

表—1 本開発機の仕様(型式：B22RL- i)

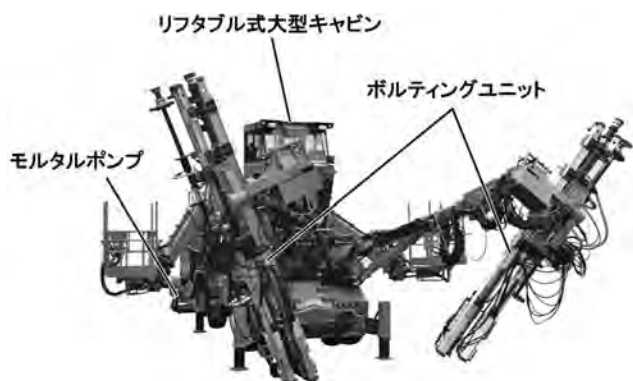
全長×全幅×全高(走行時)	18.29 × 3.14 × 4.02 m
総質量	54.5 t
ボルティンギンク施工範囲	W 15.7 × H 10.19 m
穿孔ロッド	3.66 + 3.05 m
3 m ロックボルト格納数	12 本
ボルティンギンクユニット全長	5.85 m

2. ロックボルト打設の機械化

これら3つの作業を機械化すべく、ロックボルト打設機が開発された。これは、3つの装置(穿孔装置、ボルト押し込み装置、モルタル注入装置)を1つのユニットとして、ブーム先端に取付される。アンカー部を切羽に固定させてユニットがズレないようにして、ブームを動かさないまま、各装置をローテーションさせて、作業を切り替える(図—2)。

更に、穿孔用継ぎ足しロッド着脱装置(ロッドセッター)、およびロックボルトの格納用マガジンとボルトクランプを備えたことにより、2本継ぎの6 m ロックボルト打設に対応させている(図—3)。

機体後方にはモルタルポンプを搭載し、キャビンから操作することにより、従来よりも省人化および安全性を向上させた。



図—1 2 ブームロックボルト自動打設機

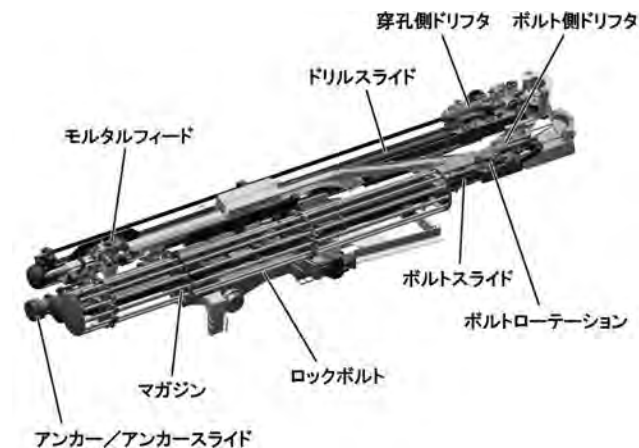


図-2 ボルティングユニット

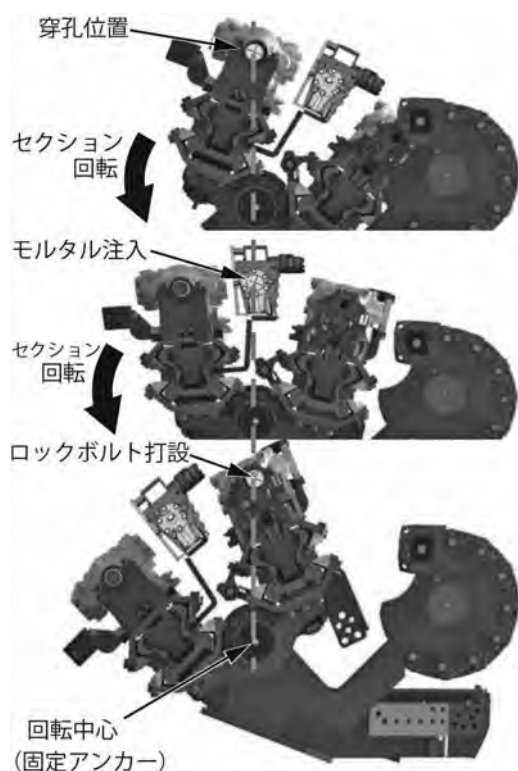


図-3 ボルティングユニット作動図

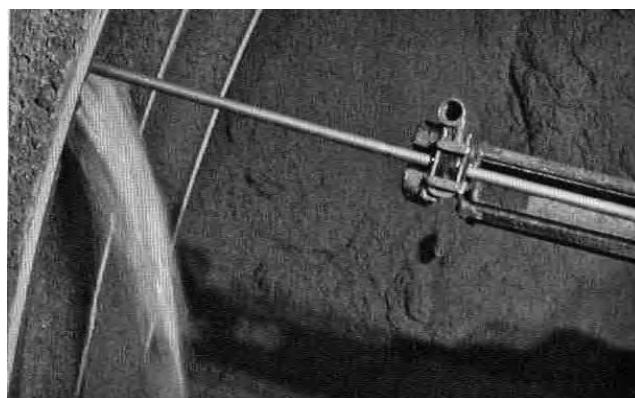
図-4 ロックボルト打設孔の穿孔¹⁾

図-5 穿孔ユニット

写真-1 モルタル注入する作業員¹⁾

3. ロックボルト打設の手順の機械化

山岳トンネルの NATM 工法において主に 9 つの工程がある (①穿孔, ②装薬, ③発破, ④ずり出し, ⑤アタリ取り, ⑥ 1 次吹付, ⑦支保工建込み, ⑧ 2 次吹付, ⑨ロックボルト打設)。これらの中で, ②装薬と ⑦支保工建込み, ⑨ロックボルト打設作業では, 切羽に近付いて作業しなければならず, 安全性と省人化が課題であった。特に, ⑨ロックボルト打設は, 軟弱地盤や大断面の場合, 打設本数が増え, 長尺化されるので, 迅速且つ確実な施工が求められた。

ロックボルト打設作業は, 3 つの作業に分けられる

(ロックボルト打設孔の穿孔, ロックボルトを定着させるモルタル充填, ロックボルトの挿入)。

ロックボルト打設孔の穿孔は, 装薬孔の穿孔機により, 同じく穿孔径 45 ~ 65 mm で行われることが多い (図-4)。

近年の自動穿孔技術の活用により, 穿孔圧力を自動調整しながら穿孔できるようになった。継足しロッド用ロッドセッタにより, 6 m 穿孔にも対応している (図-5)。

モルタル注入は, 従来, 作業員が注入ホースを挿入して行ってきた。作業者は垂れてきたモルタルを被ることもあったうえ, 別車両のモルタルポンプの操作者

と合図でやりとりする必要があった（写真—1）。

モルタル注入ユニットにより、注入作業を機械化できた。注入ホースの後退速度を調整することにより、注入量を調整できる（図—6）。

ロックボルト挿入は、従来、作業員が手で押し込んでいた。2本継ぎ6mロックボルトは、約20kgにもなり、大きな負担だった。挿入の途中で孔壁に引っ掛かった場合、ハンマーを使って打ち込まなければならなかった（写真—2）。

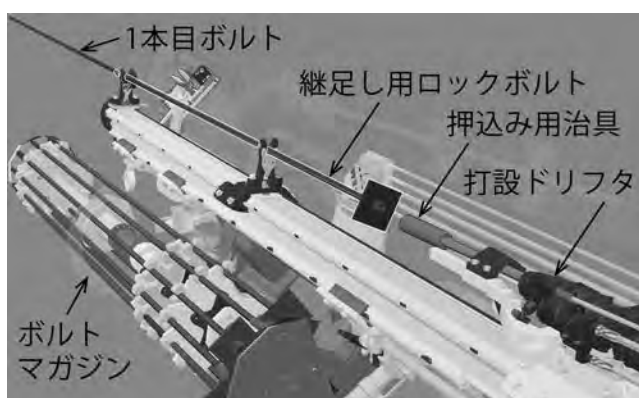
打設作業を、ロックボルト打設ユニットにより機械化できた。ロッドマガジンには、継足し用ロックボルトと次の打設用ロックボルトを12本格納できるので、



図—6 モルタル注入ユニット



写真—2 ロックボルト打設¹⁾



図—7 ロックボルト打設ユニット

連続打設できる。打設用ドリフタ先端の押込み用治具は、ロックボルトの種類に合わせて交換する（図—7）。

4. ロックボルト打設機操作の全自動化

ロックボルト打設機により作業は機械化および遠隔化され、切羽から離れたキャビンから、安全に施工できるようになった。一方、ボルティングユニットには多数の油圧シリンダなどのアクチュエータが搭載され、打設孔位置など施工前の設定を除いても、操作するレバーが3本、ボタンが29個、ダイヤルが2個以上にもなった（図—8）。

タッチパネルでは、打撃圧とフィード前進圧のメーター部をタッチして設定値を調整する（図—9）。

これらの全操作回数は56回以上になる。そこで、操作回数を減らすため、ロッドの着脱など一連の操作は制御システムにより、プログラムに従って連続作動できるようにした（シーケンスボタン）。

本開発機では、2ユニット機でのオペレータの負担と、施工ミスの削減および省人化するため、3つの作業を全自動で行えるようにした。穿孔準備位置にあるボルティングユニットは、施工開始ボタンをタッチすると、



図—8 コンソール



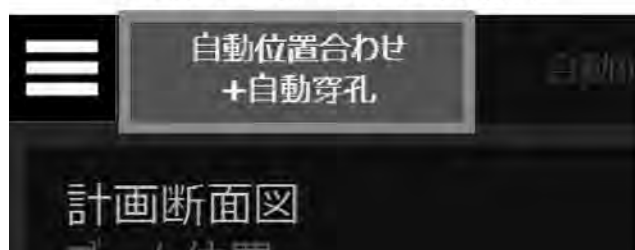
図—9 タッチパネル

ロックボルト打設操作手順

手順	作業内容	操作部品	レバー	操作	所
1	ブーム操作選択スイッチを選択します。	セクションブーム	ブーム(スライド)		
2	ブームを操作し、ボルト打設位置に合わせます。	ブーム操作各種			
3	アンカーを伸ばし、整地させます。	アンカースライド	スライド	前	
4	ドリルスライドを伸ばし、整地させます。	ドリルスライド	スライド	前	
5	穿孔ドリフタでボルト打設用の孔を穿孔します。	穿孔各種操作			
6	穿孔終了後、穿孔ドリフタを最後位置まで後退させます。	フィード	フィードレバー	後	
7	ドリルスライドを後退させます。	ドリルスライド	スライド	後	
8	マジン止回転スイッチを押して、ロックボルトを所定位置(セクタライズ)にセットします。	マジン	マジンスライド		
9	モルタル操作選択スイッチを選択して、セクションをモルタルします。				
10	モルタル洗淨水吐出スイッチを選択して、モルタル洗淨水を吐出します。				

操作回数 56 回 (最低)

画面タッチ 1 回だけ (全自動化)



図—10 ボルティングユニット操作手順

打設位置合わせ、穿孔、モルタル注入、ボルト挿入する各装置の切替も含めて、自動で行える (図—10)。

5. ロックボルト打設の自動位置合わせ

従来、ロックボルトを打設する位置は作業者がスプレーでマーキングしていた。高所で壁面に近付くので、被災リスクがあった (図—11)。

また、マーキング位置と穿孔位置を合わせなければならないが、オペレータから見づらい場合、打設の位置と角度を正確に合わせるのが難しいという課題があった。

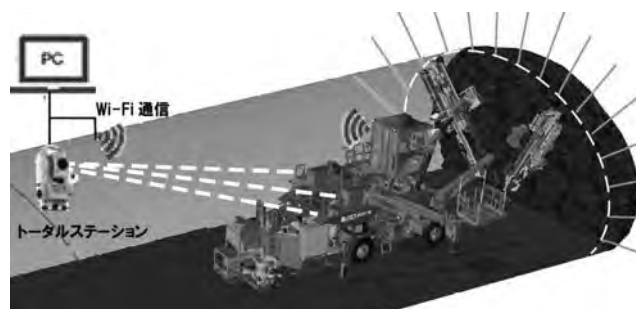
本開発機には、自動位置合わせ (ポジショニングアシスト) 機能が搭載されており、正確に打設位置と角度を合わせることが可能である。



図—11 従来の打設位置マーキングと打設精度



図—12 打設位置設定画面



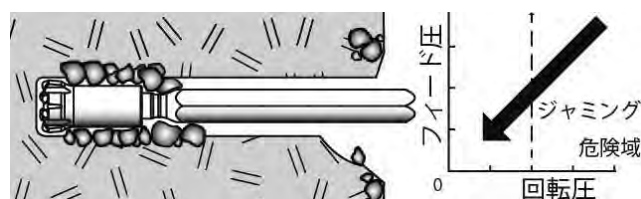
図—13 穿孔位置の自動位置合わせシステム

使用するには、まず施工前に打設位置の計画をオフィス PC にて入力し、それを機体のメイン PC に送信する (図—12)。

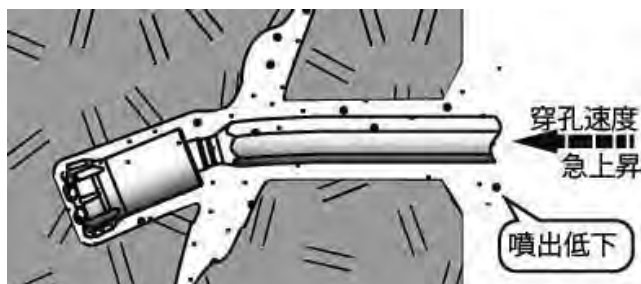
次に坑内トータルステーションにより機体を測量し、機体の位置と方向や角度を取り込み、予め計画された打設位置と角度で、ボルティングユニットを自動的にポジショニングする (図—13)。

6. コンピュータジャンボの自動穿孔技術

ロックボルトを挿入する孔を穿孔する時、破碎帯などを穿孔すると、孔壁が崩壊したり、孔が詰まって練り粉が排出されず、ロッドとピットが抜けなくなることがある (ジャミング現象)。本開発機では、穿孔状況に応じて穿孔油圧が自動調整されるように設定しておけば、回転圧が上昇したり、孔詰まりによりフラッシング流量が低下してジャミングが発生したのを感知すると、穿孔ドリフタの送り圧力 (フィード前進圧) や打撃圧を自動的に低下させる。しきい値を越えた場合、一旦、ドリフタを後退させてから再穿孔する (図—14)。



図—14 ジャミングと穿孔圧制御



図—15 空隙と孔曲がり

穿孔時に空隙に入ると、打撃音が高くなり、穿孔速度が速くなる。空隙通過後、空隙壁面に穿孔ビットが斜めに当たった場合、穿孔孔を曲げたまま穿孔してしまうことがある。穿孔ロッドを曲げたまま穿孔すると、回転圧が上がり、ロッドのネジを締め過ぎてしまい、2本目の穿孔ロッドのネジが緩められなくなり、自動運転できなくなってしまう。穿孔後には、ロックボルトが挿入時に引っ掛かり易くなる。空隙を穿孔し始めた場合、一旦、前進を止めるか、前進速度を低下させるべきである。だが、空隙に入っても、回転圧が上昇したり、フラッシング流量が低下しないことがあるため、穿孔が極めて順調なのか、空隙に入ったのか自動判別が難しい場合がある。しかし、監視者が自動穿孔中、穿孔モニタおよび打撃音、孔口からの吐出の量や色の変化に注意していれば孔曲がりを回避できる（図—15）。

7. 結果

2ブームロックボルト打設機の自動化により、以下の効果が確認できた。

(1) ロックボルト打設作業の省人化

切羽付近で、打設位置のマーキングや、モルタル注入、ロックボルト挿入作業する人員を削減した。また、自動化により、2ブームボルティングユニットのワンマンオペレーションを実現した。

(2) 切羽付近の作業を無くし、安全性を向上、作業環境を改善

被災リスクが高く、未固結のモルタルが垂れることがある切羽付近での作業を機械化および自動化した。

(3) オペレータの熟練度に頼らずに打設精度を向上

打設位置の自動位置合わせ機能、穿孔の自動調整、モルタル注入およびロックボルト打設までの自動操作化により、熟練者でなくても、精度の高い打設作業を実現した。

(4) 施工時間の短縮

ボルティングユニットを左右両ブームに搭載したことにより、1ブームユニット機に比べて施工量を倍増化した。

このような効果を持つ本開発機は新技術情報システム NETIS に登録され（登録番号：KT-220225-A）、活用の促進が期待される。

8. おわりに

2ブームロックボルト打設機を自動化することにより、急速施工が可能となり、工程及び作業員の負担を減らし、落盤などによる被災リスクを低減し、建設業界の高齢化や人材不足の解消に貢献可能となった。自動化施工により、人為的な施工ミスを減らし、記録・保存された施工データを次の施工計画に反映することにより、これまで経験豊富なベテランしか持っていなかったノウハウを活かせるようになり、生産性を高めることが可能となった。今後、長尺ロックボルトが多用される、不良地山での大断面トンネルの施工において活用が期待される。

一方、施工される岩盤の状況は様ではなく、予めセットされた自動施工プログラムを手動設定に切替しなければならない場合も想定される。施工データを集積し、解析方法の確立を進めて、ロックボルト打設作業を無人化するべく、今後とも活動して行く。

J C M A

《参考文献》

- 1) 溝渕 利明, 見学しよう工事現場 2 トンネル, ほるぷ出版, p.26-27, 2011

【筆者紹介】

片桐 正人（かたぎり まさと）
古河ロックドリル(株)
高崎吉井工場 搭載機設計二課
主任技師



田島 良一（たじま りょういち）
古河ロックドリル(株)
営業本部 営業企画部
技師長



山岸 隆史（やまぎし たかふみ）
鹿島建設(株)
土木管理本部 土木工務部
トンネル統括部長



交流のひろば/agora—crosstalking—



足尾式さく岩機と 清水三兄弟トンネル工事

落 合 望

かつて日本一の銅産出量を誇った栃木県足尾銅山はまた国産さく岩機発祥の地でもある。

足尾で製作された空圧さく岩機は油圧さく岩機に主役の座を譲るまで、国内外の鉱山やトンネル工事現場で活躍した。足尾製空圧さく岩機と、群馬、新潟県境を抜ける清水、新清水、大清水の清水三兄弟トンネル工事との関わりを振り返って見る。

キーワード：さく岩機、トンネル、ドリフタ、ジャンボ、足尾

1. はじめに

空圧さく岩機は高圧空気の力で打撃を与えながらタガネ（以下「ロッド」）を回転させて岩を砕き、岩盤に爆薬装填孔をせん孔する。手持ちで使用する重量10 kg未満の小型から架台に載せて使用する重量50 kgを超える大型まで多くの種類があるが、せん孔時には大きな振動が発生するためしっかりと保持しないとせん孔できないだけで無く、さく岩機自体が破損する事もある。ここではトンネル工事で主に使用された大型さく岩機（以下「ドリフタ」）の位置決め・保持方法の変遷を中心に紹介したいと思う。



写真—1 国産第一号小型さく岩機 ASD11

2. 国産さく岩機の開発と実用化（1910年代～1940年代）

古河鉱業足尾銅山で国産第一号さく岩機（写真—1）が開発されたのは大正3年（1914年）であり、大正5年（1916年）にはさく岩機工場を設置して本格的にさく岩機の製造、販売に乗り出した。以後昭和38年（1963年）までは古河鉱業で製作された空圧さく岩機は「足尾式さく岩機」と呼ばれ、ASD（ASIO-SIKI-DRILL）の型番で親しまれた。

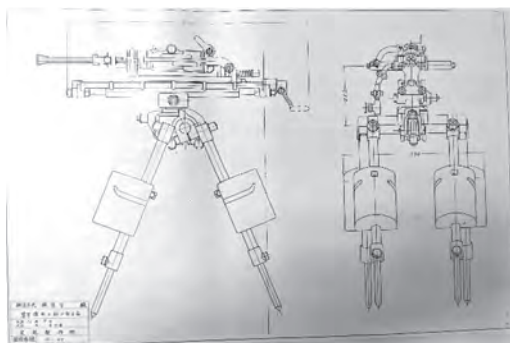
戦前の我が国の技術力で独自開発できたのは、中型の手持ちさく岩機（重量約20 kg）までで、出力の大きなドリフタの開発は手に余り、終戦（1945年）までドリフタは主に米国製品に範を取った物を製作した（写真—2）。

この時代のドリフタの据え付け・位置決めは人力に頼



写真—2 鉄道省納品さく岩（1920年代 足尾銅山さく岩機工場）

り、せん孔作業時のさく岩機保持は次の方法によった。
① 錘を取り付けた三脚または四脚架台に搭載して自重で保持する（写真—3）。



写真—3 錘付き四脚架台に搭載されたドリフタ（大正12年：1923年 鉄道省向け）



写真—4 岩盤上下面に突っ張り固定したスタンドに搭載されたドリフタ（足尾銅山）

②伸縮するねじで坑道の上下面に突っ張り固定したパイプスタンド架台に搭載して保持する（写真—4）。架台を含めたドリフター式の重量は150 kgを超えるため、どちらの方式によっても1孔毎のせん孔位置の変更は数人掛かりの重労働であった。

(1) 清水トンネル（狭軌単線トンネル）工事

全長 9,702m（大正11年：1922年～昭和6年：1931年）

清水トンネル工事は導坑先進方式で進められ、導坑部分は外国製ドリフタ、導坑の拡大は足尾式さく岩機 ASD11 が使用された^{1), 2)}。

ドリフタの保持はパイプスタンド架台式で行われ、作業者はせん孔位置に合わせて屈んだり、踏み台を利用したりした（写真—5）。



写真—5 清水トンネル導坑工事で使用されるドリフタ（土合口坑門）

表—1 清水トンネル年度別掘鑿距離

年度	大正11年度	大正12年度	大正13年度	大正14年度	大正15年度
進行	104.615 m	90.585 m	459.635 m	1,052.250 m	422.120 m

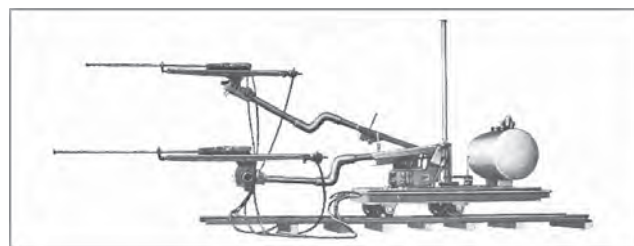
当時のロッドの材質は炭素鋼であり、刃先に焼き入れを施して硬度を上げて使用した。清水トンネルでは導坑貫通まで7年以上（1922年～1929年）かかっている（表—1）。

3. 大型ドリフタと大型ジャンボの実用化（1950年代～1970年代）

第二次大戦後、アメリカでタングステンカーバイド焼結の摩耗に強い超硬チップが実用化されてロッドの刃先に使用されるようになると、打撃力を強化した大型ドリフタが開発された。新しいドリフタは高出力な反面、せん孔時の振動と反動も増大したため、アメリカではドリフタを頑丈なブームに載せて油圧などで運動させるドリルジャンボ（以下「ジャンボ」）が開発され（図—1）、ジャンボや大型のショベル、ブリ運搬車などを使用する大断面工法はアメリカ工法と呼ばれた。

国内でのジャンボの本格採用は佐久間ダム工事（昭和28年：1953年）から始まる。この工事で足尾は旧型ドリフタを改良した ASD33 ドリフタ搭載ジャンボで入札に臨んだが、米国製新型ドリフタを搭載したジャンボに失注した。そこで足尾は全く新しいさく岩機の開発に取り組み、昭和29年（1954年）に新型バルブを採用した大型ドリフタ ASD35 を開発した。

ASD35 は先ずは奥只見ダム工事（昭和30年：1955年）のジャンボに採用されたが、この時、奥只見ダム工事現場で黒部ダム工事（昭和31年：1956年）に使用するドリフタ選定のため、ゼネコン立ち会いの下に ASD35 と米国製ドリフタの性能試験が昼夜一週間連続で実施された。ここで ASD35 は米国製ドリフタより高い掘進速度を示したことから、黒部ダムの第四工区、第五工区工事では ASD35 を搭載したジャンボが採用された。



図—1 初期の2ブームジャンボ

(1) 新清水トンネル（狭軌単線トンネル）工事 全長 13,490 m（図—2）

（昭和 38 年：1963 年～昭和 42 年：1967 年）

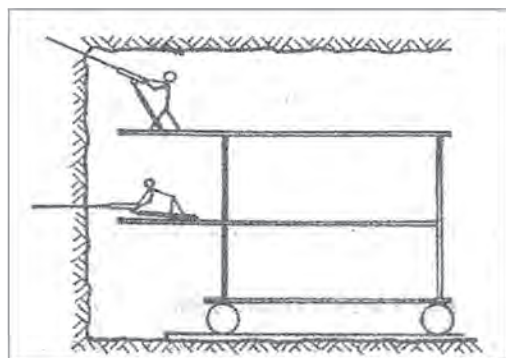
新清水トンネル工事ではトンネル断面（W5.4 m × H6.0 m）を全断面工法により月進 200 m での掘進が目標とされた。計画当時はまだジャンボなどの大型機械はアメリカからの輸入に頼る部分も大きかったため、地質の変化が激しく人件費が安い我が国では設備費のかかるアメリカ工法より、地質の変化に柔軟に対応できる軽量な手持ち空圧さく岩機（レッグドリル）を駆使用するスウェーデン工法（図—3）の方が国情に合っているなどと相当意見が分かれた。両工法の得失について慎重に検討が加えられ、最終的に設備費が多くなっても作業の能率化を図れるアメリカ工法が有利とされジャンボが採用された（表—2）。

新清水トンネルでは ASD35 搭載の大型ガントリージャンボが第一工区（湯檜曾工区）（写真—6）、第二工区（土合工区）、第三工区（土樽工区）に納入され、本格的にバーンカット工法が取り入れられた。

第一工区は地熱による高温、第二工区は湧水、第三工区は断層に悩みながらも関係者の尽力で目標通り四年で工事を完了したことで改めてアメリカ工法の有利性が確認され、以降のトンネル工事はジャンボによる大断面施工が普通となり、新幹線、高速道路建設で多数のジャンボが使用された（表—3）。



図—2 新清水トンネル 平面・断面図



図—3 手持ちさく岩機を使用するスウェーデン工法

表—2 さく岩機方式の比較

	工法	
	アメリカ工法	スウェーデン工法
設備購入費	大きい	小さい
さく岩機経費	大きい	小さい
岩質による さく岩機の増減	不可	可
作業者の人数	少ない	多い
作業者の固定化	容易	困難
作業者の疲労度	小さい	大きい
せん孔能率	高い	低い
余掘り	少ない	多い
進行	速い	遅い



写真—6 新清水トンネル 11 ブームガントリージャンボ（湯檜曾工区）

表—3 古河鉱業が国内納入した大型ジャンボ台数

1955 年 10 月～1960 年 5 月	28 台
1961 年 4 月～1965 年 12 月	7 台
1966 年 5 月～1970 年 8 月	46 台
1970 年 9 月～1971 年 12 月	31 台
1972 年 1 月～1973 年 12 月	58 台

4. 自走式ジャンボの実用化（1970 年代～）

(1) 大清水トンネル（標準軌複線トンネル）工事 全長 22,280 m（図—4）

（昭和 46 年：1971 年～昭和 57 年：1982 年）

開通当時は世界最長となった大清水トンネル工事では工期短縮のため作業用斜坑を 5 本掘り、6 工区に分割して施工されたが、本坑用大型ジャンボ搬入のため斜坑の早期完成が求められた。従来のスキッド式斜坑ジャンボでは、傾斜面の引き上げ引き下げに必要な大型巻き上げ機がズリ積み等の作業では邪魔になり急速施工が困難になる。そこで斜坑ジャンボに代わり、ブー

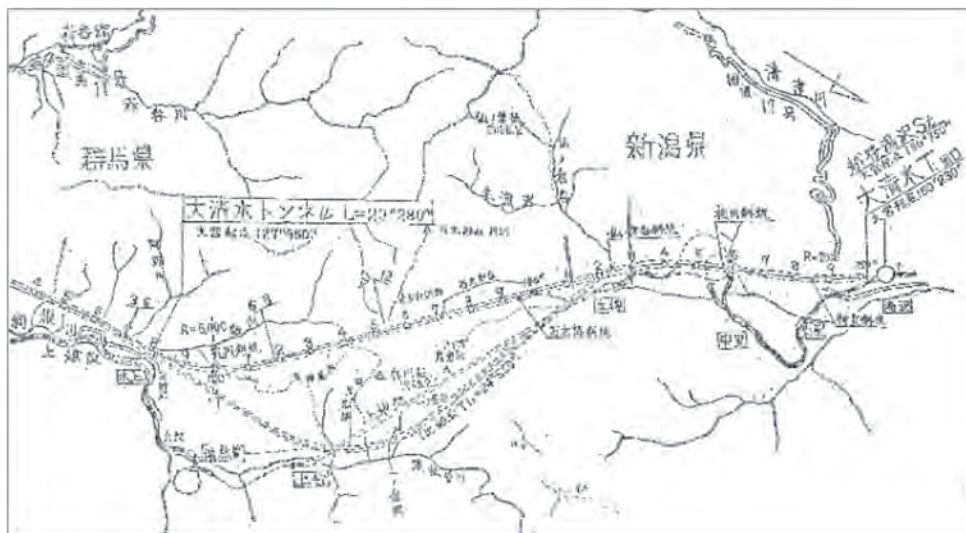


図-4 大清水トンネル 平面図

ム2本をクローラ台車に搭載したクローラジャンボ「トンネルエース」(写真-7)を提案し、各斜坑に2台ずつ納入した(D95空圧ドリフタ搭載)。

当初は実績の無いクローラ式ジャンボという事で足回りの事故が懸念されたが、走行に全く問題は発生せず、スキッド式と違い傾斜を自在に登降してズリ積み機との入れ替えが簡単に行える事や、一人で1ブームしか操作できないそれまでのジャンボと異なり、運転台にドリフタ操作機能が集中しているトンネルエースでは一人で2台のドリフタを操作して効率良くせん孔作業ができる事から非常に好評となった。

同時に現場からはチャージングゲージやオペレータ保護キャビンなど後に採用されるジャンボ用装備の要望が上がり、トンネルエースは現在に続く自走式ジャンボの草分けとなった。

大清水トンネル本坑の切羽断面はW10.6m×H8.6mと大型な事から、6工区中5工区は上部半断面先導工法で施工されたが、万太郎谷工区は19ブームガントリージャンボ(写真-8)により全断面工法で行われた。このジャンボは長さ17.2m、重量約130トンと当時世界最大級の大きさであり、空圧ドリフタ搭載大型ジャンボの一つの頂点となった。

5. おわりに

昭和51年(1976年)にジャンボ用油圧ドリフタが製品化され、清水3兄弟トンネルの弟に当たる関越トンネル下り線工事(全長10,926m)は油圧ドリフタ搭載9ブームガントリージャンボが使用された(昭和53年:1978年)。油圧ドリフタは空圧ドリフタの約3倍の能力を発揮して工期、工費の大幅な削減を実現し



写真-7 大清水トンネル斜坑工事現場のトンネルエース



写真-8 大清水トンネル19ブームガントリージャンボ(万太郎谷工区)

た事からトンネル工事で使用されるドリフタは急速に油圧ドリフタに置き換えられていった。現在のトンネル工事現場ではさらに強力な最新式油圧ドリフタを搭載しコンピュータで自動化された大型自走式ジャンボ(写真-9)³⁾が活躍している。

2024年は足尾で国産第一号さく岩機が開発されてから110周年となる。弊社では足尾式さく岩機の歴史を知っていただきたく、第一号さく岩機ASD11ほか



写真—9 全自動ドリルジャンボ

《参考文献》

- 1) 黒河内四郎「上越線建設工事に就いて（其二）」土木建築工事画報 昭和七年一月号 P43
- 2) 黒河内四郎「上越線建設工事に就いて（其三）」土木建築工事画報 昭和七年二月号 P29
- 3) 古河ロックドリル(株)ホームページ <http://www.furukawarockdrill.co.jp/index.htm>
- 4) 足尾さく岩機(株)ホームページ <http://www.furukawarockdrill.co.jp/ashio/index.html>



協力 古河足尾歴史館

過去に製造した各種の手持ち空圧さく岩機を整備して古河足尾歴史館などで展示しているのでご覧いただければ幸いです。

J C M A

【筆者紹介】

落合 望（おちあい のぞむ）
足尾さく岩機(株)
代表取締役社長



ずいそう

ザ・ベストヒットスイーツ！

天 児 り か



好きなことは？趣味は何か？ストレス解消は？と聞かれた際、真っ先に思い浮かぶものが私にとっては「食」である。嬉しいとき、楽しいとき、悲しいとき、辛い状況下でもお腹は空くし、美味しい食事を摂って、お腹と心が満たされればなぜかパワーが出てくる。また、休日に紅茶と好きなお菓子を食べながら家族や友人と過ごす時間も私にとっては幸せなひと時である。毎週、次は何を食べようかと考え、美味しいものを誰かと一緒に食べながらおしゃべりする時間が幸せであり、明日からもまた頑張ろうと思えるのだ。

普段、私はベルトコンベヤの営業をしており、特殊な密閉式吊下げ型コンベヤの営業活動や発表会で全国各地を駆け回っている。全国を回って行くなかで自然と地域ごとの、ご当地と呼ばれる食べ物やその地域で話題になっている食に触れる機会が多い。

また、大学時代には青春18きっぷを利用し各地を電車で回り、観光地やその地域で美味しいと言われる食べ物を自分で調べ、また地元の方やタクシードライバーの方から集めた情報を基に自ら足を運んで食べ歩いてきた。

社会人になった現在でも、機会を伺い有給を取得しては、全国を旅行して各地の美食に触れてきた。

そんな中で、今回私はこれまで足を運んできて「これは美味しい！」「ぜひ食べて欲しい！」と感じた食べ物、中でも私の大好物であるスイーツに着目して、いくつかご紹介していきたい。

まずご紹介する一品目は岐阜県八百津町の栗きんとんだ。数多くの美味しい栗きんとんの老舗が並ぶ八百津町の中でも今回、私がご紹介したいお店は明治創業「元祖 栗きんとん 緑山老舗」の栗きんとんである。こちらは現場のお客様に紹介され知ったお店なのだが、現在、六代目が跡を継いでおり、こちらのお店が美濃地方で一番初めに栗きんとんを作り出したお店と言われている。関東近郊の栗きんとんという私はお節料理に入っている栗やサツマイモを使った粘り気のある栗きんとんを想像していたのだが、中部地方では炊いた栗に砂糖を加え、茶巾で絞って形を整えた和菓子のことをそう呼ぶらしい。一口、口に入れると繊細で甘さ控えめな栗きんとんが口の中でじゅわっと溶け



写真—1 栗きんとん



写真—2 栗きんとんを狙う愛犬

て広がっていく。まさに上品そのものである。また、栗自体の粒が残っているので触感も同時に楽しめる。お店によって甘さや触感が変わってくるので、食べ比べをしてご自身の好みの味を見つけてみるのも良いかもしれない（写真—1, 2）。

二品目に神奈川県横浜市にある「Atelier RONDE」（アトリエロンド）のロンドの足跡と呼ばれるクッキーを紹介したい。店内は猫をモチーフにした内装になっており、ショウウィンドウにはケーキや洋菓子など様々な種類のお菓子が並ぶ。お店はシェフとその奥様で切り盛りしていて、長年クッキーの名店で知られる洋菓子店で修行を積んだシェフの作る猫の足跡の形をしたクッキーはサクッと美味しく、甘さ控えめで絶品だ。一箱でアプリコットとチョコレートの二種類の味

が楽しめる。少し贅沢をして二枚重ねて食べてみるのもおすすめだ。予約販売がメインで毎月すぐに売り切れてしまう程の人気ぶりのため、手に入った際には一枚一枚大切に味わって食べている。

三品目に宮城県仙台市にある「村上屋餅店」のづんだ餅だ。明治創業の老舗で先祖代々伊達家御用達の菓子司をされていたという歴史のあるお餅屋である。こちらのお店がずんだ餅発祥のお店と言われている。注文を受けてからつく弾力のあるもちりとした出来立てのお餅と、豆のうす皮を一つ一つ取り除く作業をした舌触りの良い鮮やかな黄緑色をしたクリーミーなづんだを初めて食べた際には衝撃を受けた。ちなみに、こちらのお店では「ずんだ」ではなく「づんだ」と呼ぶらしい。諸説はあるようだが、豆を打ってつぶすという「豆打（づだ）」がなまって「づんだ」になったと言われているようだ。是非、仙台に訪れた際には、ずんだ餅発祥の味を味わっていただきたい。

四品目に沖縄県那覇市にある「うなりぎき」の紅芋サーターアンダギーを紹介したい。こちらも現地の方に教えてもらったのだが、沖縄のおばあが営業している地元の人に愛されるお店である。紅芋サーターアンダギー種類のみ販売となっていることも職人意識の高さが窺える。外はサクサクで、二つに割ってみると紅芋そのものの色をしており食欲をそそられる。紅芋の香ばしさを感じるさっぱりとしたサーターアンダギーは絶品だ（写真—3）。

また、サーターアンダギーは生地を油で揚げるとチューリップの様に生地が割れる。その様子がパッと



写真—3 紅芋サーターアンダギー

咲いた笑顔の様に見えることから沖縄では福を呼ぶ縁起物としても親しまれている。お店は民家の一角にあり分かりにくいですが、沖縄に行った際にはおばあのサーターアンダギーを目当てに足を延ばしてはいかがでしょうか。

ここまでいくつかのお店を紹介したが、他にも沢山紹介したいお気に入りのスイーツがある。

今回、執筆の内容を考えるにあたり、お気に入りのお菓子店の話を上司にしたところ、「営業トークもそのくらい饒舌に話せるように！」と叱咤激励を受けた。

これからも好きなことに情熱を注ぐよう、営業にもより一層情熱を注いでいきたい。

そして今週末もお気に入りのお供を楽しみに明日からもまた頑張っていこう。

——あまこ りか

古河産機システムズ(株) コントラクト本部 プロジェクト営業部——

ずいそう

異文化交流

達 家 養 浩



コロナも落ち着き、インバウンドが戻ってきて、京都など観光地では賑わいが戻ってきています。海外と日本の違いを自身の海外赴任を思い出しながら紹介します。

もう30年以上前になりますが、唯一の海外赴任はモロッコでした。JICAの、道路保守建設機械訓練センターというプロジェクト方式の技術協力で長期専門家として2年間赴任しました。公用語はアラビア語でしたが、フランスが旧宗主国で広くフランス語が通用しています。業務もフランス語ということで、初めてフランス語と接することになりました。赴任前に国内で語学研修を受けた際の講師がフランスの方で、これが初めてフランス人との対話の始まりでした。また、英語圏ではない国に派遣ということで、フランスで語学研修が受けられることに、約2週間フランスのヴィシーという町で語学学校に通うことになりました。

初めてのフランスで、パリ経由でヴィシーまで向かうことになったのですが、フランスでは、建物の階の数え方が日本と違い、日本で1階はフランスでは0階と数えるので、3階といわれると日本の4階になることや、地下鉄には改札がありますが、国鉄の駅には改札がなく代わりに自分で検札をしなくてはならないことなど日本との違いを感じつつ下宿先のヴィシーに到着、しかし海外あるあるの通り、下宿先の主人が来たのは約1時間遅れ、フランスでもこれかと思いましたが、気を取り直して愛想笑い。下宿先の主人がワイン大好きで、しかも酒を飲むのが私と2人だけだったので、每晚ワインを頂けました。好きなワインを飲んでいいよと言われ、倉庫へ行くと2種類あったのですが、それぞれ2ダース位積んであったので、これがハウスワインというのかと変に納得していました。レストランでミネラルウォーターを頼むとき「ガス無し」と頼まないと炭酸水が普通に出てきました。市内で取れるミネラルウォーターに炭酸ガスが含まれているそうです。公園の水飲み場では蛇口をひねると炭酸水が出てきます。レストランで出てくる炭酸水より遥かに弱い炭酸水ですが驚きました。

下宿先では、私たち以外に若いロシア人と中国人夫婦が語学学校に通っていました。

中国人のご主人の方が私と同じで語学が苦手らしく、なかなか会話が進まなかったのですが、同じ漢字

圏ということで筆談を試してみるとこれがうまくいって、楽しく趣味の話を繰り広げていました。

語学研修も終わり、モロッコに到着。まずは不動産屋と家探し、決まってから電気、ガス、水道、電話などの手続きを始めるのですが、日本では1日ですべて手続きが終わるところ、1日1件が精いっぱい。何をやるにもとにかく時間がかかることに、最初はイライラしていましたが、いつの間にか慣れていくことに。1年後一時帰国した際には日本のスピードについていくのに必死になっていました。モロッコの人は基本的に優しく、子供を大切にしてくれます。日本人が珍しかったのか、どこに行っても子供はヒーロー扱い、ありがたかったです。

また、一時帰国の際に訪れたドイツでは、フランクフルト空港からレンタカーを借りてドイツ国内を回ることになりました。空港内にあるレンタカー会社のカウンターで契約をすると鍵を渡され、駐車場に止めてあるのでそのまま乗って下さいとのこと、駐車場からアウトバーンに直接アクセスできるので非常に合理的だと思いました。少し走り、ホテルを探し泊まることに。小さなホテルを見つけ空いているか尋ねるため中に入ると、年配の女性が2人で対応してくれましたが、単語を並べただけの英語とフランス語では殆ど通じません。ドイツ語対日本語の身振り手振りでしたが1室確保できました。金額だけは紙に書いてもらいました。その後、ドイツでは言葉の壁にぶつかりますが、ある日道を聞くために声をかけた人がたまたま学生でフランス語を習い始めたところだそうで簡単なフランス語しかできないと言っていたが、こちらも同様なので逆にわかりやすかったです。最近は翻訳機などがあるので困らないかもしれませんが、英語圏以外ではとりあえず学生らしい人に聞くのがおすすめです。モロッコやヨーロッパでは、日本の制度や習慣と違うことが多く、戸惑いながらも楽しかった思い出です。

訪日外国人旅行者も自国の制度と違うことが多いと思うので、困っている時や、何か聞かれることがあれば出来るだけ丁寧に接してあげようと思っています。

——たつけ やすひろ

(一財)日本建設情報総合センター 近畿地方センター長——

部 会 報 告

(株) JAL エンジニアリング エンジン整備センター見学会報告書

機械部会 基礎工事用機械技術委員会

1. はじめに

機械部会の基礎工事用機械技術委員会では、令和5年度現場見学会として航空機をメンテナンスしている(株)JAL エンジニアリング様のエンジン整備センター、および機体格納庫を2023年11月8日に訪問させていただきましたので、その内容について報告致します。参加者は、基礎工事用機械技術委員と事務局を含め18名でした。

2. (株) JAL エンジニアリング 会社概要

JAL グループの航空機／エンジン／部品の整備、およびその計画、管理までを一貫して担っている会社です。東京国際空港（羽田）・成田国際空港・大阪国際空港（伊丹）をベースに、日本各地の空港に支店を構え、JAL グループの航空機のほか、そこに乗り入れている国内外の航空会社の航空機の運航と安全を支えています。さらに、経験を積んだ多くの社員がJALのネットワークを支える海外の空港でも活躍しています。

主な事業としては、

1. 航空機の機体点検整備及び運航整備における整備・改造
2. 航空機用原動機及び原動機部品の整備
3. 航空機用装備品及び部品の整備
4. 航空機の機体内外及び部品の塗装
5. 無線設備等の点検事業
6. 乗員救難訓練施設・設備の保全業務
7. 航空事業従事者等の養成訓練事業
8. 航空機部品以外の部品の整備
9. 整備用材料加工品の製作及び販売
10. 環境にかかわる水、空気等の公害防止設備及び関連機器の設計、施工、点検、保守
11. 環境にかかわる水、空気等の公害防止に関する調査、分析、コンサルティング

など、多岐にわたりますが、今回は成田空港敷地内にあるエンジン整備センターでエンジンや機体の整備を見学させていただきました。

3. エンジンメンテナンスセンター

センター入り口にあるフロアーには、航空機のエンジンカットモデルや大型ファンブレードの展示がしてあり、ジェットエンジンについて説明をして頂きました。

ジェットエンジンは、エンジン前方から吸い込んだ空気を圧縮し、それを燃料と混合して燃焼させることで発生する燃焼ガスを後方に勢いよく排出することで推力を得ているエンジンです。この吸気、圧縮、燃焼、排気の4つの工程をそれぞれ別の部屋で行います。

例えば、エアバス社のA350に使われているエンジンでは、圧縮比約50と非常に高く、自動車のガソリンエンジンの圧縮比10程度と比べても高い圧縮比になっています。

排気出口温度も800度と高温で、耐熱性、耐強度性、耐腐食性に特化したインコネルなどの材料で作られているそうです。

航空機用のジェットエンジン製造メーカは多くなく、ゼネラル・エレクトリック社、プラットアンドホイットニー社、ロールスロイス社の3社が主要航空機用ジェットエンジンメーカです。

ジェットエンジンの構造は、各社とも大きな違いはないのですが、高圧縮化を行って燃費の向上を狙うなど、各社技術開発を進めているそうです。

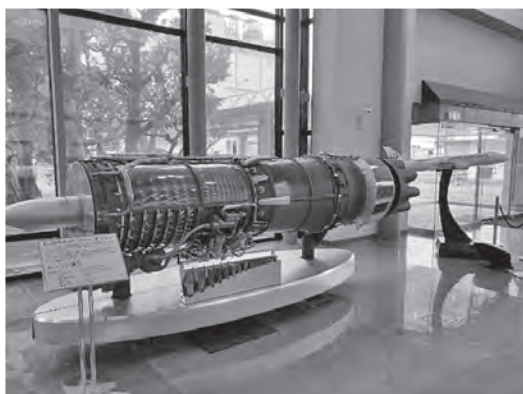
ジェットエンジン一基当たり400枚以上使われているタービンブレードの部品価格は、1枚400万円から700万円ほどするそうで、ジェットエンジンすべて交換するとかなりの高額になります。

ブレードなどの部品は、定期的に新品に交換しなければならず、そのため10年もするとほぼすべての部品が交換されるそうです。

ジェットエンジンの寿命は、航空機の安全を確保するため離陸回数で制限され、大体10,000～25,000サイクル程度で破棄となるようです。よって国内線のような短い飛行区間で使われるエンジンは、寿命が短くなります。国際線では航続距離が長いので飛行時間が長く、離陸回数も少なくなるのでジェットエンジンにとっては条件が良いとのことでした。



写真—1 センター入口フロアー



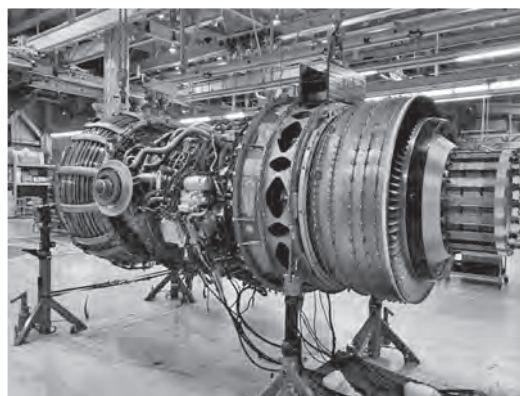
写真—2 エンジンカットモデル

このエンジンテスト現場を見学できるチャンスがありましたが、時間の都合上それができなかったことは非常に残念でした。

ファンブレード、タービンブレードは、チタンの削り出しで一体型の部品です。

工場内にはブレードを磨く機械もあり、研磨に使われる石の種類は30種位あるそうです。ブレードの形状、材質により最適な石の種類を選んで行います。何を選ぶかは、今までの経験と実績で決めていてノウハウがあるとのことでした。

このブレードの形状にはエンジン各社によっていく



写真—3 整備中のジェットエンジン

4. 第1工場

ジェットエンジンを整備する部署では、エンジンを分解する部隊とエンジンを整備する部隊に大きく分けて2つに分かれています。

エンジンの分解・組立を行う作業者が、立った姿勢で作業ができるようエンジンを床の下に沈み込ませるようにするなど、(作業者の負担を軽減させるような)工夫がされています。

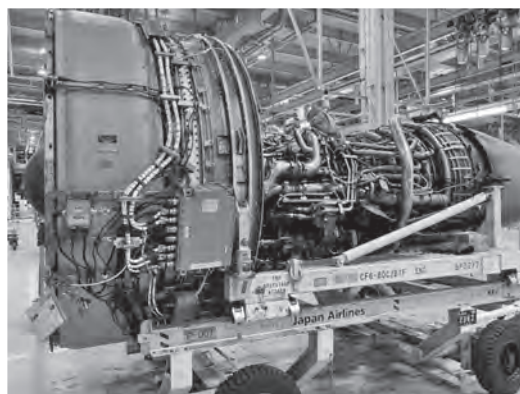
エンジンの整備は、バラバラに分解後点検を行い、不良部品や定期的に交換する部品を交換します。分解されたエンジンを元に戻すには熟練技術が必要で、マニュアルはあるのですが、マニュアルを見ながら組み立てるのではなく、すべてを丸暗記している熟練技術者もおられるそうです。

エンジンの整備をするには上長が認定する資格が必要で、その資格は1級、2級のように分かれており、各級に整備できるエンジンの種類や内容が決まっています。

整備が終わって完成したエンジンをテストする試運転場もありました。最大推力の計測、各部に異常がないかなどを正常なエンジンデータと比較を行って可否を判定されています。



写真—4 ファンブレードとディスク



写真—5 整備待ちのジェットエンジン

つもの特許が出願されており、最新の技術が投入されています。

エンジンのシャフトは、単軸、2軸、3軸からなる圧縮機となっていて、多段圧縮機の方が高压で、エンジン全長が短くなる特徴があり、エンジンの失速性能が良くなるということです。

5. 格納庫

続いて機体の整備をする格納庫（第1ハンガー）を見学しました。

格納庫は、立ち入り制限区域となっていますが、特別に許可を頂き見学することができました。この格納庫は、成田空港開業1年前から建っていたそうです。

格納庫の3番ドックでは、B737の内張りを取り外し、断熱材をはがす作業をされてました。その後、精密検査を行い不良箇所があれば修理することになります。この整備をするために約1ヶ月間かかるということです。

整備する機体には、胴体と主翼に4個のジャッキをかけ、機体を水平に設置・保持されるようになっていました。

大きな主翼には、エルロン（左右のロール軸を制御）、フラップ（高揚力装置）、スラット（前縁にある高揚力装置）、スポイラー（揚力を低くする装置）が装着されています。

尾翼には、水平尾翼と垂直尾翼がありそれぞれ動翼が備わっています。水平尾翼には機体の上下方向をコントロールするエレベーター（ピッチングを制御する昇降舵）、垂直尾翼には機体の左右方向をコントロールするラダー（ヨー軸を制御する方向舵）が備わっています。

主翼の構造は、スパーと呼ばれる桁、翼型を作っているリブと外側を覆う外板からなっており、主翼の中は空洞で燃料タンクになっています。燃料タンクは、ドラム缶620本分（124,000L）のジェット燃料が入ります。

燃料タンクの点検を行う前には、酸素濃度などの測定を行い、安全確認したうえで、有資格者が狭いハッチから入り点検を行います。



写真—6 第1ハンガーにて

胴体後部には補助エンジンが搭載されており、圧縮空気、油圧、電力を供給しています。ジェットエンジンは、この圧縮空気によりスタートさせます。エアコンなどは電力で動かしています。

機体の整備終了後すべての工具が元の保管場所に戻っていないと、その工具が見つかるまで探すことになり、出庫はできないそうで、安全と品質に対する危機管理が徹底していると感じました。

出張や旅行などで航空機を利用された方も多いと思います。垂直尾翼に鶴のマークがある航空機です。今回その航空機の整備している工場を見学させて頂き高い技術力を生かした最先端の施設と熟練の技術者によって航空機の安全を支えているのだなと思いました。

6. おわりに

今回の見学会において説明および案内をして頂きました、(株)JAL エンジニアリングのエンジン整備センター企画グループの中野グループ長様、関係者の皆様に心より厚く御礼申し上げます。

J C M A

【筆者紹介】

伊藤 孝明（いとう たかあき）
アボロンシステム(株)
営業部 参与
（一社）日本建設機械施工協会
機械部会 基礎工事用機械技術委員会 委員



トンネルの覆工の設計に寄与する数値解析的検討

井野 裕輝・笠井 大地

1. はじめに

近年、覆工構造の合理化を目的にプレキャスト覆工¹⁾や覆工の薄肉化に関する検討が行われている。加えて、トンネルのリニューアルや補強を目的に内面に新たなコンクリートを打設する内巻補強工が用いられることが多く、設計法に関する検討²⁾も行われている。しかし、山岳トンネルにおける覆工コンクリートの厚さや強度は経験的に定められることが多く、新たな技術の検証における設計荷重等が決まっていない。加えて、トンネルの掘削時の挙動についても経験的に定められた応力解放率を用いた2次元解析が用いられることが多い。そこで、これら事象について様々な数値解析的アプローチが行われているが、CMIで取り組んでいる数値解析による検証結果を紹介する。

2. 2次元数値解析における応力解放率とトンネル挙動

(1) 検討背景

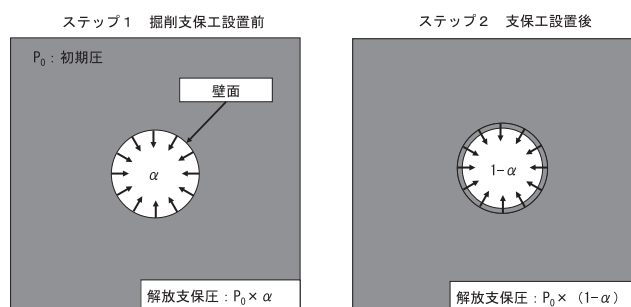
応力解放率は、単純化した条件での解析結果などを参考に経験的に定めているが、実務では地山条件、支保構造、断面形状、掘削工法に関係なくほぼ同一の値が一般的に用いられる。しかし、地山の初期応力状態、トンネルの断面形状、断面閉合時期などが、応力解放率に及ぼす影響については十分な知見が得られておらず、条件によっては2次元解析ではトンネル挙動を適切に評価できない場合があることも考えられ、解析結果の評価に際してはその適用性を把握しておくことが重要となる。このため、弾塑性体の地山を対象に、地山特性曲線法の考え方に基づいた応力解放率の設定法の提案³⁾を行っているが、そのうち本稿では、円形・等方圧の条件の結果について報告する。

(2) 応力解放率の設定方法

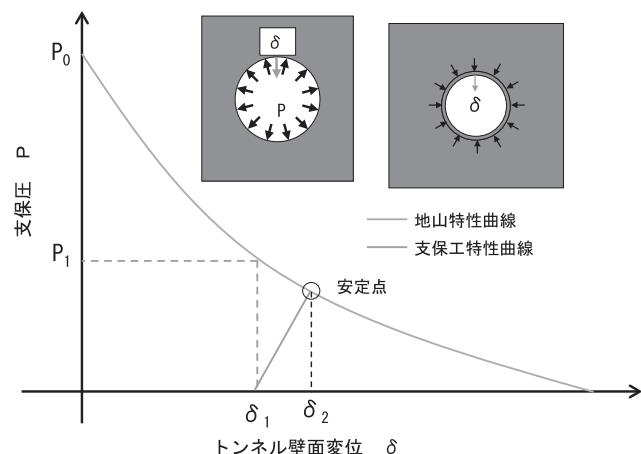
トンネル掘削時の挙動は、切羽の進行とともに地山応力が解放される3次元の問題となるが、一定の条件下では、切羽進行に伴う地山応力の解放過程を近似す

ることにより、2次元問題として扱うことが可能となる。具体的には、2次元数値解析においては、掘削手順に応じて解析を幾つかのステップに分け、切羽進行に伴い解放される地山応力（支保圧）を解析ステップごとにトンネル掘削位置壁面に作用させることで3次元の挙動を模擬しており、この過程で施工ステップに応じた支保工の設置もモデル化する。解析ステップは図—1に示すように支保位と支保圧工の設置前と設置後の2ステップとする場合が多く、応力解放率は、支保工設置までに解放される地山応力の初期応力に対する比率として定義される。支保工設置までの応力解放率は、一般的に30～50%が使われており、実務では、地山条件や支保構造、掘削工法、断面形状に関係なく、支保工設置前は40%、支保工設置後は60%とすることが多い。これまで、その設定方法は、施工実績から経験的に定める方法、3次元解析から得られた支保工設置時と収束時の変位の比率とする方法、3次元解析と変位が合うようにトライアル計算により求める方法などが用いられてきたが^{4)～6)}、本研究では、その力学的な位置づけを考え、地山特性曲線法の考え方に基づいて支保圧に着目して応力解放率を設定することとした。

地山特性曲線法の考え方においては、トンネル掘削前にトンネル掘削位置の壁面を支えていた半径方向の地山応力（支保圧）が切羽の進行とともに減少する過程を、2次元解析から得られる図—2に示すようなトンネル壁面変位と壁面の半径方向の地山応力の関係を示す地山特性曲線として表している。また、支保工を

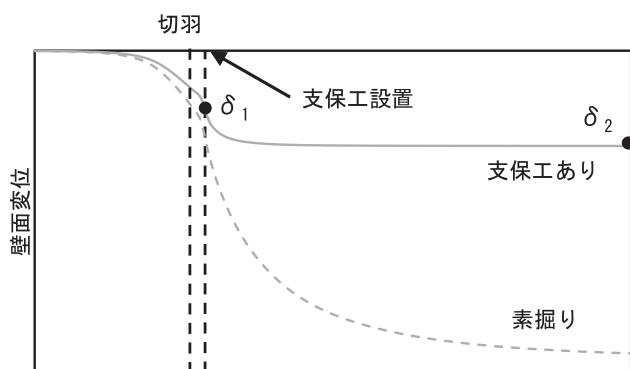


図—1 2次元数値解析ステップ



図—2 地山特性曲線と支保工特性曲線

設置した後の安定点は、支保工の変位と支保工に作用する荷重（支保圧）との関係を示す支保工特性曲線と地山特性曲線との交点として得られるが、支保工設置時には、図—3に示すように先行変位 δ_1 が発生しているので、支保工特性曲線の始点は先行変位 δ_1 となる。 δ_1 は、地山条件が同一でも支保工の剛性によっても異なり、理論的に求めることは難しいため、3次元の数値解析により求める必要がある。応力解放率は、この先行変位 δ_1 発生までに解放される地山応力の割合として定義されるため、3次元解析から得られた先行変位 δ_1 に対応する地山特性曲線上の支保圧 P_1 を求め、解放される支保圧 $(P_0 - P_1)$ を用いて応力解放率を $\alpha = (P_0 - P_1) / P_0$ (P_0 : 初期圧) として設定すれば、先行変位 δ_1 に関しては2次元解析により3次元解析と整合した結果が得られる。なお、地山が弾性体の場合は、解放される地山応力と変位は直線関係にあるため、応力解放率は、先行変位の最終変位に対する比率としても求めることができる。地山特性曲線は、地山の初期応力状態が等方圧、断面形状が円形の場合は、理論解析によっても求めることが可能で、天端、側壁、底盤などトンネル断面の位置に関係なく同一のものが得られる。



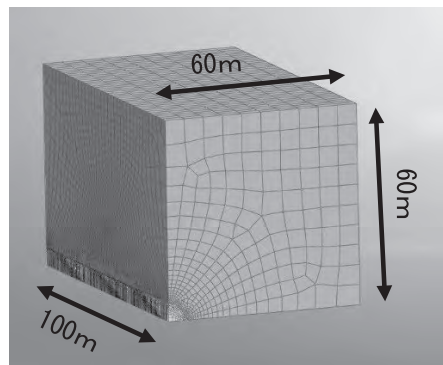
図—3 切羽位置と壁面変位との関係

(3) 数値解析の概要

解析で使用したモデルを図—4に示す。本研究では、数値解析により得られた地山特性曲線から応力解放率の設定を行うが、土被りが小さい場合は、解析領域の大きさが解析結果、特に変位に及ぼす影響が大きいため、解析領域の大きさが影響を及ぼさない大土被りのトンネルを対象とした。3次元解析では、掘削半径5 m、支保工厚20 cmの円形トンネルを対象とした1/4モデルを用いた。境界条件は、トンネルが含まれない外周面を自由、含まれる側面をローラー境界とした。初期応力状態は側圧係数 λ を1とし、上から土被り約400 m相当の10 MPa、左右からも10 MPaを等分布荷重として作用させた。掘削は一掘進長1 m、支保工は切羽から後方1 mに設置し、解析ステップは掘削と支保工設置のサイクルを繰り返すものとした。掘削工法は、全断面工法を対象とし、断面形状は円形断面を基本とした。2次元解析では、トンネルの掘削半径、支保工厚、断面形状は3次元解析と同じとした1/4モデルを用いた。境界条件は、トンネルが含まれない2辺を自由、含まれる2辺をローラー境界とし、初期応力状態も3次元解析と同じとした。

(4) 解析に用いた物性値と解析ケース

解析に用いた物性値を表—1に示す。地山は Mohr-



図—4 解析モデル

表—1 物性値

	単位	地山	支保工
変形係数	E [MPa]	200 ^{*1}	4,000 ^{*2}
ポアソン比	ν	0.3	0.2
粘着力	c [MPa]	2.1 ^{*3}	—
内部摩擦角	ϕ [°]	10	—
ダイレイタンス角	Ψ [°]	0	—
一軸圧縮強さ	qu [MPa]	5 ^{*3}	—

※1 一部ケースについては $E_g=50, 400$ MPa についても実施

※2 一部ケースについては $E_s=8,000, 40,000$ MPa についても実施

※3 一部ケースについては $qu=10, 20$ MPa についても実施
 $qu=2c \cdot \tan(45^\circ + \phi/2)$

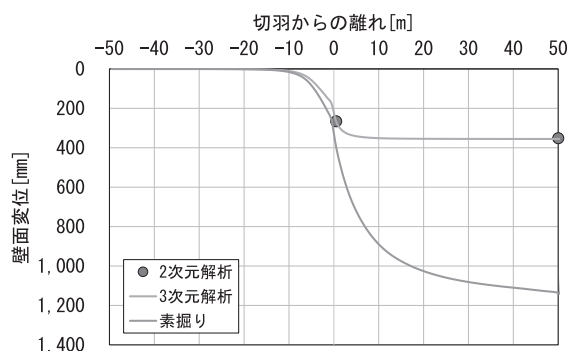
Coulomb の破壊規準に従う弾完全塑性体、地山の内部摩擦角は $\phi=10^\circ$ 、一軸圧縮強度は $q_u=5\text{ MPa}$ で地山強度比は 0.5、変形係数は $E_g=200\text{ MPa}$ を基本とした。支保工は弾性体として、3次元解析ではソリッド要素、2次元解析では平面要素でモデル化し、変形係数は吹付けコンクリートを想定して $E_s=4,000\text{ MPa}$ とした。なお、一部のケースについては地山の一軸圧縮強度、変形係数、支保工の変形係数を変化させた解析も行った。解析は、地山の初期応力状態が等方圧（側圧係数 $\lambda=1$ ）、円形断面、全断面掘削を行った。解析コードは3次元解析、2次元解析ともに MIDAS-FEA-NX を用いた。

(5) 解析結果

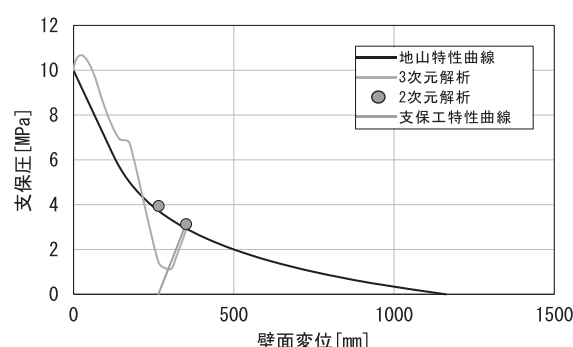
図—5 は、3次元解析⁷⁾ から得られた切羽距離とトンネル壁面変位との関係を、図—6 は、トンネル壁面の地山応力（半径方向）と壁面変位との関係を2次元解析から得られた地山特性曲線と併せて示したものである。壁面変位の符号は内空側への変形を正としている。図中には、3次元解析から得られた支保工設置時の先行変位に対応する地山特性曲線上の支保圧から得られた応力解放率（ $\alpha=63\%$ ）を用いて得られた2次元解析結果も併せて示した。なお、壁面での地山応力は、地山特性曲線の支保圧に対応するものであるが、2次元解析、3次元解析ともに壁面に接する要素の中心応力を抽出しており、厳密には壁面位置での応力ではないことに留意する必要がある。参考までに横軸上の支保工設置時の変位を示す点と2次元解析から得られた安定点における変位と壁面での地山応力を示す点を結んで求めた支保工特性曲線も示した。3次元解析から得

れた変位収束時の安定点は2次元解析から得られた地山特性曲線上に来るとともに、2次元解析結果とも概ね一致しており、支保工設置時の変位に対応する支保圧に着目した応力解放率を用いた2次元解析により3次元解析と整合した結果が得られることが分かる。なお、3次元解析から得られた支保工設置時の地山応力は地山特性曲線上における壁面の支保圧よりも非常に小さい値を示すが、これは、3次元解析では支保工設置を行う前のステップで無支保状態となるためであり、地山特性曲線上における壁面の支保圧は3次元解析では切羽周辺の地山が負担しているものと考えられることができる。

表—2 は、支保工の変形係数 E_s 、地山の変形係数 E_g 、地山強度比 q_u/P_0 を変化させた場合の応力解放率を同様の方法により求めたものである。弾性解析と弾塑性解析との比較では、弾性解析（地山強度比 $=2$ ）の場合の応力解放率が 42% であるのに対して弾塑性解析の応力解放率は地山強度比が 1 の場合で 48%、0.5 の場合で 63% と地山強度比が小さくなるほど応力解放率は大きくなる。前述したように実務では 40% が採用されることが多いが、この数値は弾性解析から得られる応力解放率に比較的近いと言える。したがって、弾塑性挙動を示す地山を対象に検討を行う場合、応力解放率 40% を用いた2次元解析は、支保工に発生する応力に対しては3次元解析よりも大きな値を与える可能性がある。先行変位を含めた地山の変位に対しては3次元解析よりも小さな値を与える可能性がある。ただし、地山が塑性化する場合は、切羽安定のための鏡ボルトや天端安定のための長尺鋼管先受工が採用されることが多く、これらは切羽での応力解放を抑制する効果が期待できるため、これらの効果も考



図—5 切羽位置と壁面変位との関係



図—6 地山応力と壁面変位との関係

表—2 地山強度、支保剛性、地山変形係数を変化させたときの応力解放率

	支保工変形係数 E_s ($E_g=200\text{ MPa}$, $q_u/P_0=0.5$)			地山変形係数 E_g ($E_s=4,000\text{ MPa}$, $q_u/P_0=0.5$)			地山強度比 q_u/P_0 ($E_s=4,000\text{ MPa}$, $E_g=200$)		
	素掘り	4,000 MPa	8,000 MPa	50 MPa	200 MPa	400 MPa	0.5	1	2
α	74%	63%	60%	58%	63%	66%	63%	48%	42%

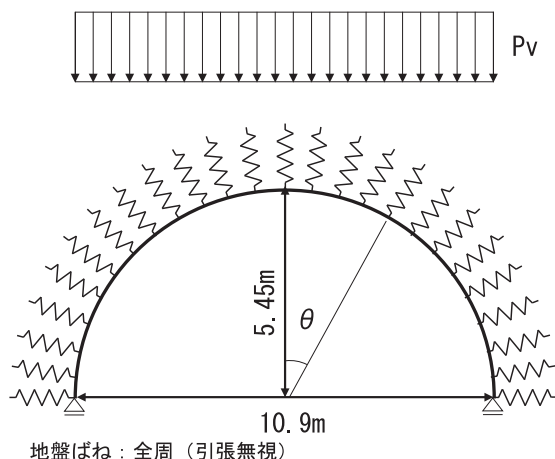
慮すると、実際の応力解放率は上述した値よりも小さくなると思われる。地山強度以外に応力解放率に影響を及ぼす要因は、支保工の剛性、地山の変形係数が挙げられ、応力解放率は支保工の剛性によって60%～63%、地山の変形係数によって58%～66%と変化する。支保工の剛性が大きいほど、地山の変形係数が小さいほど応力解放率は小さくなり、地山の変形係数に対して支保工の剛性が相対的に大きくなると、支保工設置時の先行変位は抑制され、支保工設置までの応力解放率は小さくなる傾向にある。以上のように、支保工設置時の変位に対応する地山特性曲線上の支保圧に着目して応力解放率を設定した場合は、弾塑性解析の場合でも、収束時の変位、支保工に作用する荷重ともに2次元解析は3次元解析と整合した結果が得られる。

3. 覆工の剛性が断面力分布に与える影響

覆工は地盤反力の影響を受けるため、薄肉化等で剛性（軸剛性や曲げ剛性）が変化すると地盤反力の受け方が異なり、作用する断面力が変化する可能性がある。しかし、これらの剛性が覆工に与える影響について検討した例がない。そこで、本稿は、覆工厚さや強度を変化させた場合の断面力分布に及ぼす影響を数値解析により検討した結果について報告するものである。

(1) 解析概要

解析に用いたモデルを図—7に示す。上半断面をモデル化し、覆工厚さ30 cmにおいて内径10.6 mとなるように図心軸が幅10.9 m、高さ5.45 mの単心円である。解析で使用する弾性係数については、一般的な覆工コンクリート強度の18 N/mm²の値であることから、コンクリート標準示方書⁸⁾より22,000 N/mm²とした。解析ケースを表—3に示す。断面力分布に



図—7 モデル図

表—3 解析ケース

ケース	覆工厚さ (cm)	ヤング係数 (N/mm ²) E=22,000	軸剛性 (N) EA	曲げ剛性 (N・mm ²) EI
1	30	1	1	1
2	30	1/2	1/2	1/2
3	30	1/8	1/8	1/8
4	15	1	1/2	1/8
5	15	2	1	1/4

与える軸剛性及び曲げ剛性の影響を検討するために、弾性係数もしくは厚さを変化させた。

解析は弾性のフレーム解析により行った。解析コードはEngineer's Studioを用いた。

荷重は、鉛直方向に作用する等分布荷重とし土被り10 m相当の220 kN/m²を作用させた。トンネル周辺の地山は引張無視の地盤ばねでモデル化し、地山の地盤反力係数 k_r は式(1)により求めた。地山の変形係数 E_g は1,000 MPa (CII 地山相当) とした。

$$k_r = 1.7 \times a \times E_g \times D - 3/4 \quad (1)$$

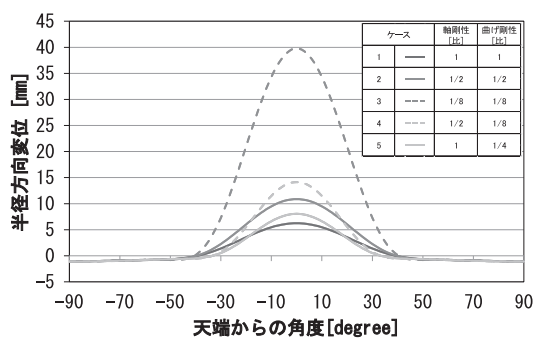
a : 補正係数 (=1), E_g : 地山の変形係数, D : トンネル幅

(2) 解析結果

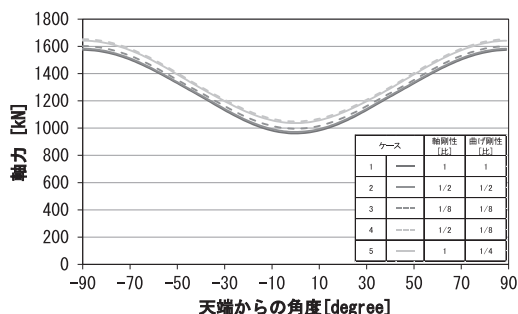
図—8は、解析から得られた変位分布を示したものである。軸剛性及び曲げ剛性の変化の比が同じケース1～3とケース4、5はそれぞれ剛性の比に反比例した変形量であることが分かる。しかし、ケース1とケース5は、軸剛性は同等で曲げ剛性は1/4であるが、天端変位の差は1/4よりも小さい。また、ケース3とケース4は、曲げ剛性は同等であるが、軸剛性は1/4である。同様に、天端変位の差は1/4よりも小さい。ただし、前述の曲げ剛性を変化させたものと比較し、軸剛性を変化させた方が変位の差は大きい。以上より、曲げ剛性よりも軸剛性の方が変位に与える影響が大きいことが分かる。

図—9 (a) は、軸力分布の関係を示したものである。軸力分布については、いずれのケースにおいても明確な差は確認できなかった。

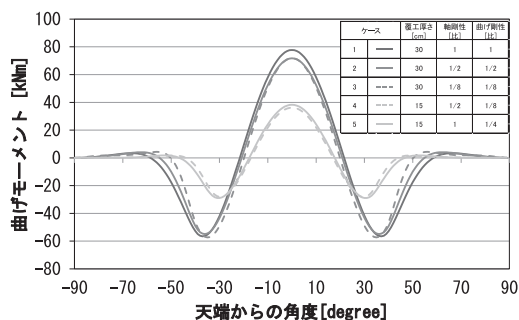
図—9 (b) は、曲げモーメント分布を示したものである。解析結果としては、覆工の厚さが30 cmであるケース1～3と15 cmであるケース4、5でそれぞれ同様の曲げモーメント分布を示した。単純な形状の断面力分布については、荷重が同一の場合、剛性によらずスパン等の梁の支持条件等の影響しか受けない。しかし、今回は鉛直荷重により作用する外力についてはいずれのケースも同一である。そこで、地盤か



図—8 変位-角度



(a) 軸力-角度



(b) 曲げモーメント-角度

図—9 断面力

ら作用する反力について確認を行った。それぞれのケースにおける水平反力及び鉛直反力の結果を表—4に示す。地盤反力を受ける範囲を受働領域、受けない範囲を主働領域としたとき、地盤反力の受働・主働領域を表—5に示す。その結果、地盤反力の大きさは、剛性が低くなるほど小さくなる傾向がみられたが、覆工厚さの変化による影響は確認されなかった。また、地盤反力の受働領域がケースによって異なることが確認された。これは剛性によって変形モード及び大きさが異なることが原因だと考えられる。これらのことから、軸剛性と曲げ剛性の関係により、変形モードが異なり、地盤反力の受け方が変わるため、断面力分布が異なることが分かった。

4. おわりに

数値解析的アプローチにより、従来では経験的に決

表—4 地盤反力

ケース	地盤反力の合計値 (kN/m ²)	
	水平方向	鉛直方向
1	920	366
2	942	384
3	1,128	535
4	1,058	490
5	1,008	446

表—5 受働領域と主働領域の範囲

ケース	受働領域 (m)	主働領域 (m)
1	4.189	6.711
2	4.189	6.711
3	4.648	6.252
4	5.450	5.450
5	5.124	5.776

定していた値の妥当性の検証や、大規模実験の難しい覆工構造の耐荷力に関する基礎的検討が行えた。今後は、実トンネルの計測結果との比較や実験を通じて数値解析手法の妥当性の検証を行うことができれば、より説得力のあるデータになると考えている。

当研究所では、設計における課題の解決を目的に、数値解析に取り組んでいる。今後は、設計法への反映方法の検討など、今後のトンネル設計の高度化に寄与できるように検討を進めていこうと考えている。

J C M A

《参考文献》

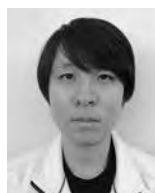
- 真下英人, 井野裕輝, 吉武謙二, 鹿島竜之介, 夏目岳洋: 山岳トンネルにおけるプレキャスト覆工の耐荷力に関する研究, 土木学会論文集 F1 (トンネル工学), 77 巻 2 号 p. I-1-I-18, 2021
- 石田雄太郎, 川端康夫, 真下英人, 進士正人, 安井成豊, 井野裕輝, 細井秀憲, 小原勝巳, 阿部隆英, 林 久資, 中村明彦, 鯨井 巧: 巻厚不足の矢板工法トンネルにおける補強設計の提案, トンネル工学報告集, 第 33 巻 I-24, 2023
- 井野裕輝, 笠井大地, 真下英人: 2 次元数値解析における応力解放率とトンネル挙動に関する一考察, トンネル工学報告集, 第 33 巻 I-3, 2023
- 真下英人, 水川雅之, 日下 敦: トンネル早期閉合効果に関する解析的検討, トンネル工学報告集, 第 17 巻, pp.35-41, 2007
- 前川和彦, 八木 弘, 伊藤哲男, 國村省吾, 奥井裕三, 桑島 滉, 蔣宇 静: 全断面早期閉合の二次元数値解析における応力解放率の検証, 土木学会論文集 F1, Vol.78, No.1, pp.26-39, 2022
- 市田雄行, 小原 伸: トンネルの 2 次元掘削解析における応力解放率に関する一考察, トンネル工学報告集, 第 25 巻, I-31, 2015
- 井野裕輝, 真下英人: 中央導坑先進工法適用時の 2 次元数値解析における応力解放率と導坑効果に関する一考察, トンネル工学報告集, 第 32 巻, I-8, 2022
- 土木学会: コンクリート標準示方書 [設計編], 2022

【筆者紹介】

井野 裕輝 (いの ゆうき)
(一社) 日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所 研究第一部
主任研究員



笠井 大地 (かさい だいち)
(一社) 日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所 研究第一部
技術員



新工法紹介 機関誌編集委員会

04-461	鋼管楊重装置『Pi-Lif』 および鋼管接続を自動化する 『AGF-Sq』	西松建設 DSI ニッシン ドリルマシン
--------	---	----------------------------

▶ 概 要

一般的に、天端や切羽崩落の恐れがある山岳トンネル工事には注入式長尺鋼管先受け工（AGF）が補助工法として採用される。注入式長尺鋼管先受け工はトンネル天端部前方に鋼管を打設してトンネル周辺地山をアーチ状に補強する工法で、鋼管の接続はネジ式となっており、その接続作業は1本あたり約59kgと非常に重い鋼管をドリルジャンボに備えられているマンゲージ上で2名の作業員が人力で鋼管を回して接続する必要がある。この作業は作業員にとって苦渋作業であり、手指の巻き込まれ、挟まれなどの労働災害もたびたび発生しており、鋼管接続作業の自動化が課題となっていた。また、ネジ式の鋼管接続の場合、打設済みの鋼管と新たに接続する鋼管の軸が揃っていなければ接続が困難であり、その場合、接続に時間を要することによりサイクルタイムが増加する問題もある。このような背景から、注入式長尺鋼管先受け工に関して、新たに開発した鋼管楊重装置『Pi-Lif (Pipe Lifter)』および、ドリルジャンボにスクイーズユニットを搭載し、鋼管接続を自動化した『AGF-Sq』を実現場に導入して安全性・生産性の向上効果を確認した。

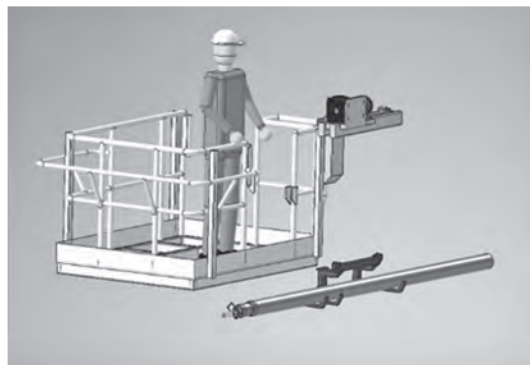
▶ 特 徴

(1) 鋼管楊重装置『Pi-Lif』

ドリルジャンボのマンゲージ上への人力による運搬、鋼管のセット作業時の負荷低減および安全性向上のために、鋼管把持用のフックと楊重用ウインチを組み合わせた鋼管楊重装置『Pi-Lif (Pipe Lifter)』を新たに開発した。把持用フックのみを降下させ、地上にて鋼管をセットしてウインチで上昇させることで、マンゲージを昇降させることなく鋼管の運搬、機械上へのセット作業が可能となる。

(2) 『AGF-Sq』

本工法は、注入式長尺鋼管先受け工に通常用いられているネ



図一2 鋼管楊重装置『Pi-Lif』

ジ式の鋼管接続に代わってスクイーズ方式を採用している。

スクイーズ方式では、ドリルジャンボのドリフター先端に取り付けたスクイーズユニット（加締機）内の油圧クランプシリンドラを使用して、事前に縮小加工したオス管端部を切羽に打設済みのメス管端部に圧着接続することができる。接続作業が機械化・自動化されるため、マンゲージ上での接続作業時における作業員の安全性が向上し、さらに、鋼管楊重装置『Pi-Lif』により、次の鋼管を取りに行くためのマンゲージの昇降が不要になり鋼管のセットも容易となるため、鋼管接続作業全体のサイクルタイムを6割程度削減可能である。



図一3 スクイーズユニット

▶ 用 途

・長尺鋼管先受け工

▶ 実 績

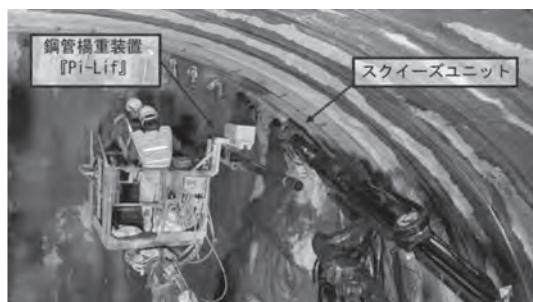
・四国地方整備局発注 窪川佐賀道路不破原トンネル工事

▶ 問 合 せ 先

西松建設(株) 西日本支社 不破原トンネル出張所

〒789-1712 高知県幡多郡黒潮町不破原 7-1

TEL : 0880-31-4133



図一1 Pi-Lif および AGF-Sq 施工状況

新工法紹介

04-462	山岳トンネル肌落ち災害の課題を解決する新技術「自動装薬システム」	前田建設工業
--------	----------------------------------	--------

▶ 概 要

一般的な装薬は、ドリルジャンボで削孔した装薬孔の孔奥から起爆用の親ダイ（紙巻含水爆薬と電気雷管）、増ダイ（紙巻含水爆薬を数個）、込物（粘土）の順に人力で挿入し、込棒で突き固める。20 年程前に機械装填技術が開発され、切羽より数 m 離れた遠隔装填が可能になったが、数 m 離れた所から、小径装薬孔への長尺パイプ挿入は難易度が高く、通常作業として定着していないのが現状である。

また、厚生労働省が策定した「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン」によれば、山岳トンネルにおける労働災害は切羽で 9 割発生しており、その中でも鋼製支保工建込みや装薬作業時の被災事例が 8 割を占めている。これらの作業は切羽直下に作業員がやむを得ず立ち入る人力作業であり、この切羽立入作業を無人化することで被災リスクを限りなく減らすことができる。そこで前田建設工業では、肌落ち災害の課題を解決するための新技術として切羽立入作業を不要にする「自動装薬システム」（写真—1）および「装薬孔位置検出システム」（写真—2）を開発している。

▶ 特 徴

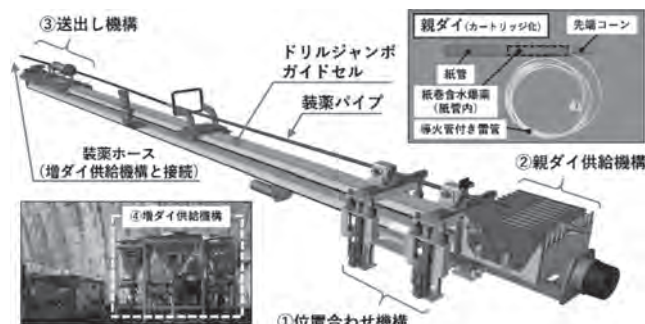
本システムはドリルジャンボのガイドセルに搭載し、①位置合わせ機構、②親ダイ供給機構、③送出し機構、④増ダイ供給機構で構成した。親ダイは紙巻含水爆薬と非電気式雷管（導火管付雷管）の組合せとし、先端コーン（位置合わせ誤差・孔荒れ対策）と紙管（収納・把持機能）に内包してカートリッジ化し、増ダイは粒状爆薬（含水爆薬や ANFO）にすることで、エア圧送による機械装填を可能とし、密装填効果により込物を省略。

また、本システムは装薬孔を削孔するドリルジャンボとは別の機械で構成しており、全自動ドリルジャンボの削孔データ（座標、角度、深さ）を元に対象の孔位置にセットするが、座標を元にセットしても装薬パイプと孔位置は上下左右で最大 50 mm の誤差が生じることが開発初期の現場試験により明らかになったため、座標を元に機械およびブームをセットした後、パイプを正確に位置合わせするための孔位置検出システムを開発し、これを自動装薬システムに実装することにより高精度で自動制御することを可能にした。

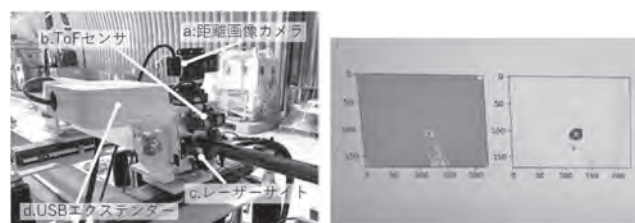
孔位置検出システムは、a:距離画像カメラ、b:ToF センサ、c:レーザーサイト、d:USB エクステンダーで構成し、専用の孔位置検出用ソフトウェアは独自のアルゴリズムでトンネル坑

内の照度において孔を検出できるように検証を重ねて改良した。

これらのシステムは当社研究施設 ICI 総合センターの模擬トンネル内で実大検証試験を経て、実際の山岳トンネル現場においても装薬～発破までの一連作業の試験施工を完了している。



写真—1 自動装薬システム



写真—2 孔位置検出システム



写真—3 無人の切羽にて試験施工の様子

▶ 用 途

・山岳トンネル装薬発破の自動化技術

▶ 実 績

・山岳トンネル切羽面における試験施工

▶ 問 合 せ 先

前田建設工業(株) 土木技術部

〒102-8151 東京都千代田区富士見 2 丁目 10 番 2 号

TEL : 03-3265-5551

新機種紹介 機関誌編集委員会

▶ 〈02〉 掘削機械

23-〈02〉-07	ヤンマー建機 後方小旋回油圧ショベル ViO80-7, SV100-7	'23.6 発売 新機種
------------	---	-----------------

当該機は、従来機である8tクラス油圧ショベル「ViO80-1B」、10tクラス油圧ショベル「SV100-2A」のフルモデルチェンジ機である。

ViO80-7の特徴としてエンジン出力を19%向上させるためターボエンジンを搭載し、それにより従来機から掘削スピードを15%、登坂速度を10%向上させた。また油圧シリンダ径の小径化と、ポンプの分流バランス調整により、ターボエンジンを搭載していても従来機同等の燃費性能を確保することに成功した。さらに油圧回路の高压化により、AUX動作においてより作業圧が高い動作でもスムーズに作業が可能となっている。

エンジンの冷却方式を従来の吐出式から吸込式に変更し、ファンからの周囲騒音への影響を極力小さくすることでViO80-7は国土交通省が定める超低騒音型建設機械の基準を満たしている。事前に流体解析にて風流れ、風速分布、風圧力を確認しながらレイアウトを決定し、また実機での音源分離や周波数分析等を駆使することで、吸込方式において最適なボンネット開口、部品レイアウトになるよう設計している。

油圧システムはヤンマー独自の「ViPPS2i」を採用している。ViPPS2iとは独立した2つのポンプを負荷に応じて個別に制御し、必要な個所に必要な油量だけを供給することで、スムーズな複合操作性と低燃費を実現した油圧システムである。SV100-7はViPPS2iを新たに搭載することで更なる燃費の向上を図っており、従来機に対して燃料1L当たりの作業量を15%向上している。またポンプ特性の変更により登坂速度を25%向上しており、性能向上も図っている。

周囲への安全性を向上させるため、右側方と後方にカメラを標準搭載した。また従来機よりガラス面積を大きくしたキャビンを採用し、死角を少なくすることでより視界性を向上させている。

表―1 ViO80-7の主な仕様

機械質量	(t)	8.10
定格出力	(kW (PS) /min ⁻¹)	46.7 (63.5) /1,700
バケット容量	(m ³)	0.28
バケット幅	(m)	0.75
後端旋回半径	(m)	1.145
走行速度 高速/低速	(km/h)	4.5/2.3
接地圧	(kPa)	35.9
輸送時寸法		
全長	(m)	6.39
全幅	(m)	2.29
全高	(m)	2.54
標準小売価格 (税抜)	(百万円)	13.104

表―2 SV100-7の主な仕様

機械質量	(t)	9.67
定格出力	(kW (PS) /min ⁻¹)	51.0 (69.5) /2,100
バケット容量	(m ³)	0.37
バケット幅	(m)	0.95
後端旋回半径	(m)	1.365
走行速度 高速/低速	(km/h)	4.0/2.0
接地圧	(kPa)	38.6
輸送時寸法		
全長	(m)	6.36
全幅	(m)	2.32
全高	(m)	2.67
標準小売価格 (税抜)	(百万円)	14.849



写真―1 (左) ヤンマー ViO80-7 後方小旋回油圧ショベル
(右) ヤンマー SV100-7 後方小旋回油圧ショベル

問合せ先：ヤンマー建機(株) 営業統括部 販売促進部
〒833-0055 福岡県筑後市熊野1717-1

▶ 〈05〉 クレーン、インクラインおよびウインチ

23-〈05〉-04	タダノ オールテレーンクレーン AC 6.300-1	'23.8 発売 新機種
------------	----------------------------------	-----------------

最大クレーン性能300tの6軸オールテレーンクレーンの新製品であり、欧州排出ガス規制 EU StageV 対応のエンジンを搭載している。

80mのロングブームを採用し、高揚程の作業とパワフルな吊り上げ性能を両立。ジブなしでも高揚程作業が可能のため、揚重作業の効率化を実現する。

また多様なジブ仕様を設定しており、スタンダード仕様の油圧チルトジブのほか、フルスペック仕様では8種類の豊富なジブ仕様を設定。現場や作業に合わせてスタンダード仕様に付属している油圧チルトジブに加え、3種類のフィックスジブと3種類のラフィング

新機種紹介

表ー3 AC 6.300-1 オールテレーンクレーンの主な仕様

最大吊り上げ能力	
ブーム (kg × m)	140,000 × 5.0
油圧チルトジブ (kg × m)	22,500 × 12.0
フィックスジブ (kg × m)	28,400 × 4.5
ラフィングジブ (kg × m)	28,800 × 13.0
ランナー (kg × m)	40,000 × 20.0
最大作業半径	
ブーム (kg × m)	74.0 × 2.2
油圧チルトジブ (kg × m)	86.0 × 1.2
フィックスジブ (kg × m)	90.0 × 1.3
ラフィングジブ (kg × m)	82.0 × 2.5
ランナー (kg × m)	74.0 × 1.9
アウトリガ	
最大張出幅 (m)	8.48
中間張出幅 (m)	4.02, 5.52, 6.98
最小張出幅 (m)	2.73
公道走行状態寸法	
全長×全幅×全高 (mm)	15,350 × 3,000 × 3,990
公道走行状態	
車両総重量 (kg)	44,070
走行性能 最高速度 (km/h)	85
価格 (税別) (百万円)	
スタンダード仕様	410
フルスペック仕様	470

ジブ、ランナーから選択が可能である。

クレーンの安全を見守る過負荷防止装置として IC-1 が搭載されており、ディスプレイ上での直感的な操作や、故障の際には自己診断機能でオペレータをサポートする。

公道走行時は旋回台付きの走行スタイルであり、組立・搬送準備時間の短縮につながる。

さらに定期メンテナンスの負担低減にもつながるクレーン部とキャリヤ部共通のシングルエンジン方式を採用した。



写真ー2 タダノ AC 6.300-1 オールテレーンクレーン

問合せ先：(株)タダノ 総務部 広報・広宣 G

〒101-0054 東京都千代田区神田錦町2丁目2番地1

KANDA SQUARE 18 階

令和6年度 公共事業関係予算

1. はじめに

令和6年度国土交通省公共事業関係予算については、東日本大震災や令和6年能登半島地震をはじめとする大規模自然災害からの復旧・復興や災害に屈しない強靱な国土づくりのための防災・減災、国土強靱化の強力な推進、脱炭素社会の実現に向けたグリーントランスフォーメーション（GX）の推進、国土交通分野のデジタルトランスフォーメーション（DX）や技術開発、働き方改革等の推進、持続可能な観光の推進、民間投資やビジネス機会の拡大、安心して暮らせる住まいの確保と魅力ある住生活環境の整備などの課題に対し、令和5年度補正予算と合わせて切れ目なく取り組みを進めるため「国民の安全・安心の確保」、「持続的な経済成長の実現」、「個性をいかした地域づくりと分散型国づくり」を3本柱として計上している。また、2024年問題の解決等に向けた取り組みとして「担い手の確保・育成や物流の効率化等による物流の革新」、「担い手の確保・育成や生産性向上による持続可能な建設業の実現」が盛り込まれている。以下に概要を紹介する。

2. 令和6年度予算の基本方針

（基本的な考え方）

我が国は、気候変動による豪雨や大雪等の自然災害の激甚化・頻発化や新型コロナウイルス感染症の経験を踏まえた持続可能な経済社会の構築、世界的な物価高騰と諸外国における金融引締め等による経済の下振れリスクへの対応、急速に進行する少子化への対応等、「時代の転換点」とも言える構造的な課題に直面している。こうした状況に対応し、国民の命と暮らしを守り抜くとともに、GX・DXの推進、デジタル田園都市国家構想の実現等による「新しい資本主義」の加速、こども・子育て政策の抜本的強化や経済安全保障の強化、新たな国土形成計画に基づく「新時代に地域力をつなぐ国土」の実現を図るため、令和6年度予算では、

- ・国民の安全・安心の確保
- ・持続的な経済成長の実現
- ・個性をいかした地域づくりと分散型国づくり

の3点を柱に、令和5年度補正予算と合わせて切れ目なく取組を進め、施策効果の早期発現を目指す。その際、「5か年加速化対策」後の国土強靱化の着実な推進に向け、改正国土強靱化基本法に基づき、施策の実施状況の調査など、「実施中期計画」の策定に向けた検討を進める。また、令和6年能登半島地震からの復旧・復興に全力を尽くす。さらに、令和6年度に厚生労働省より移管される水道行政については、上下水道一体で取り組む体制を構築し、機能強化を図る。

（公共事業の適確な推進）

社会資本整備は未来への投資であり、ストック効果の最大化に取り組む必要がある。既存施設の計画的な維持管理・更新・利活用を図りながら、上記の3本柱の実現に資する波及効果の大きなプロジェクトを戦略的かつ計画的に展開することが不可欠であり、中長期的な見通しの下、必要かつ十分な公共事業予算の安定的・持続的な確保を図る。その際、資材価格の高騰等を踏まえて、必要な事業量を確保する。

また、公共事業の効率的かつ円滑な実施・順調な執行のため、新・担い手3法も踏まえ、施工時期等の平準化や適正価格・工期での契約、国庫債務負担行為の積極的な活用、地域企業の活用に配慮した適正規模での発注等を推進するとともに、新技術の導入やi-Constructionの推進、災害に備えた防災体制の拡充・強化にも取り組む。あわせて、建設資材価格の変動への対応、建設キャリアアップシステムも活用した処遇改善、現場技能者への賃金支払の適正化による建設産業の賃上げを図るとともに、週休2日の実現に向けた働き方改革の推進、外国人技能労働者の受入・育成等に取り組む。

3. 令和6年度国土交通省関係予算（国費）

事業毎の予算を表―1に示す。

表一 令和6年度国土交通省関係予算国費総括表

(単位：百万円)

事 項	国 費			備 考
	令和6年度 (A)	対前年度倍率 (A/B)	前年度 (B)	
治 山 治 水	884,407	1.00	884,019	1. 本表は、内閣府計上の沖縄振興予算のうち、国土交通省関係分を含み、国土交通省計上の北海道開発予算、離島振興予算、奄美群島振興開発予算等のうち、他省庁関係分を含まない国土交通省関係予算の総括表である。
治 水	852,184	1.00	851,796	
海 岸	32,223	1.00	32,223	
道 路 整 備	1,671,492	1.00	1,671,083	2. 本表から内閣府計上の国土交通省関係分を除き、国土交通省計上の他省庁関係分等を加えた国土交通省所管の予算額は、6兆965億円である。
港 湾 空 港 鉄 道 等	403,734	1.02	397,584	
港 湾	244,903	1.00	244,403	
空 港	30,925	1.08	28,742	3. 推進費等の内訳は、 防災・減災対策等強化事業推進費 13,886 百万円 官民連携基盤整備推進調査費 331 百万円 北海道特定特別総合開発事業推進費 4,325 百万円 社会資本整備円滑化地籍整備事業費 1,400 百万円 である。
都市・幹線鉄道	22,822	1.00	22,822	
新 幹 線	80,372	1.00	80,372	
船舶交通安全基盤	24,712	1.16	21,245	4. 行政経費には、一般会計から自動車安全特別会計への繰戻し6,500百万円を含む。
住宅都市環境整備	730,304	1.00	730,657	
住 宅 対 策	156,106	1.00	156,171	
都市環境整備	574,198	1.00	574,486	5. 本表のほか、 委託者の負担に基づいて行う附帯・受託工事費 72,374 百万円 国土交通省所管の政府情報システムのデジタル庁一括計上分 33,417 百万円 東日本大震災復興特別会計（復旧・復興）46,300 百万円 がある。
市街地整備	102,516	1.00	102,433	
道路環境整備	446,808	1.00	447,179	
都市水環境整備	24,874	1.00	24,874	6. 公共工事等の実施時期の平準化等を図るため、2か年以上の国債（国庫債務負担行為）754,346 百万円及びゼロ国債 188,833 百万円を設定している。
公園水道廃棄物処理等	145,161	1.15	126,717	
上 下 水 道	112,775	1.20	94,331	
上 下 水 道	3,000	皆増	—	7. 防災・減災、国土強靱化のための5か年加速化対策に基づく事業等について計画的かつ円滑な事業執行を図るため、事業加速円滑化国債77,724百万円を設定している。
水 道	17,136	1.01	17,036	
下 水 道	92,639	1.20	77,295	
国 営 公 園 等	32,386	1.00	32,386	8. 前年度予算額には令和6年4月1日に厚生労働省から移管される水道整備・管理行政に係る予算額を含む。なお、防災・安全交付金の前年度予算額には、生活基盤施設耐震化等交付金を含む。
社会資本総合整備	1,377,105	0.98	1,400,643	
社会資本整備総合交付金	506,453	0.92	549,190	
防災・安全交付金	870,652	1.02	851,453	9. 計数は、整理の結果異動することがある。
小 計	5,212,203	1.00	5,210,703	
推 進 費 等	19,942	1.02	19,542	
一般公共事業計	5,232,145	1.00	5,230,245	
災 害 復 旧 等	57,949	1.01	57,547	
公共事業関係計	5,290,094	1.00	5,287,792	
そ の 他 施 設	56,947	1.22	46,714	
行 政 経 費	606,632	1.06	574,803	
合 計	5,953,673	1.01	5,909,309	

／ 総 計

4. 予算の概要

4.1 国民の安全・安心の確保

(1) 東日本大震災や令和6年能登半島地震をはじめとする大規模自然災害からの復旧・復興

(a) 東日本大震災からの復興・再生…………… [463 億円]

(注) 復興庁一括計上

「第2期復興・創生期間」における東日本大震災の被災地の住まいの再建や復興まちづくり、インフラの整備を着実に推進するとともに、福島県における被災者の暮らしを支える被災地の地域公共交通や、福島県の震災復興に資する観光関連事業等に対する支援を引き続き実施する。

- ・「住まいの復興工程表」等に基づく災害公営住宅等の整備や家賃の減額に対する支援
- ・原子力災害被災地域における道路整備の推進
- ・福島県における復興の象徴となる国営追悼・祈念施設の整備の推進
- ・福島県における住まいの再建や復興まちづくりの進捗に応じた地域公共交通に対する支援
- ・福島県の震災復興に資する観光関連事業等に対する支援

(b) 令和6年能登半島地震をはじめとする大規模自然災害からの復旧・復興

令和6年能登半島地震や近年相次ぐ豪雨、台風等の大規模自然災害からの復旧・復興に向けて、道路、河川、砂防、港湾、水道、下水道、公園、鉄道等のインフラの整備や被災地の住宅再建・宅地の復旧等に対する支援を着実に推進する。

(2) 災害に屈しない強靱な国土づくりのための防災・減災、国土強靱化の強力な推進

(a) 気候変動による水害や土砂災害の激甚化に対抗する「流域治水」の加速化・強化…………… [6,114 億円 (1.01)]

※上記の他、令和5年度補正予算2,709億円。合計8,822億円(1.46)

気候変動による水災害リスクの増大に備えるために、流域治水関連法も踏まえた「流域治水」の考え方に基づき、堤防整備、ダム建設・再生などの対策をより一層加速するとともに、自助・共助・公助の観点に立って、国・都道府県・市町村、企業・住民など流域のあらゆる関係者で水災害対策を強力に推進する。また、気候変動による集中豪雨の増加や火山噴火等により激甚化・頻発化する土砂災害に対して、ハード・ソフト一体となった総合的な対策を実施し、地域全体の安全性向上を強力に推進する。

(b) 南海トラフ巨大地震、首都直下地震、日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震対策等の推進…………… [2,062 億円 (1.07)]

※上記の他、令和5年度補正予算3,585億円。合計5,647億円(2.94)

切迫する南海トラフ巨大地震、首都直下地震、日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震などの大規模地震に備え、想定される被害特性に合わせた実効性のある対策を総合的に推進する。

(c) 密集市街地対策や住宅・建築物の耐震化の促進

…………… [76 億円 (1.09)]

※上記の他、令和5年度補正予算7億円。合計83億円(1.20)

大規模地震や大規模火災の発生時における人的・経済的被害の軽減を図るため、密集市街地の改善、住宅・建築物の耐震化や防火対策等を推進する。

(d) 災害対応能力の強化に向けた線状降水帯等に関する防災情報等の高度化の推進…………… [75 億円 (1.03)]

※上記の他、令和5年度補正予算466億円。合計541億円(7.40)

非接触・リモート型の新技術の活用や共有体制の構築により、線状降水帯、火山噴火等に関する防災気象情報や災害発生状況などの防災情報の適確な把握・提供を図り、行政や住民の災害対応能力を強化する。

(e) 災害時における物流・人流の確保…………… [4,119 億円 (0.99)]

※上記の他、令和5年度補正予算2,551億円。合計6,670億円(1.60)

災害発生時であっても輸送ルートが確保されるよう、啓開体制を構築するとともに、地震、豪雨、豪雪等を想定した防災対策を推進する。

(f) 盛土の安全確保対策の推進…………… [8,707 億円の内数]

※上記の他、令和5年度補正予算3,299億円の内数。合計12,006億円の内数。

令和5年5月に施行された盛土規制法に基づく都道府県等が実施する規制区域指定のための調査等の取組や盛土の安全性把握調査、対策工事等に対する支援措置を通じて、盛土の安全確保対策を推進する。

(3) インフラ老朽化対策等による持続可能なインフラメンテナンスの実現…………… [7,628 億円 (1.03)]

※上記の他、令和5年度補正予算1,640億円。合計9,269億円(1.25)

インフラが持つ機能が将来にわたって適切に発揮できるよう、広域的・戦略的なインフラマネジメントの取組や、国土交通省インフラ長寿命化計画（行動計画）に基づく取組など、インフラ老朽化対策等による持続可能なインフラメンテナンスの実現に向けた取組を推進する。

(4) 地域における総合的な防災・減災対策、老朽化対策等に対する集中的支援（防災・安全交付金）… [8,707 億円 (1.02)]

※上記の他、令和5年度補正予算3,299億円。合計12,006億円(1.41)

激甚化・頻発化する風水害・土砂災害や大規模地震・津波に対する防災・減災対策、予防保全に向けた老朽化対策など、地方公共団体等の取組を集中的に支援する。

(5) 交通の安全・安心の確保

(a) 運輸分野の各モードにおける総合的な安全対策の推進

…………… [106 億円 (1.05)]

※上記の他、令和5年度補正予算50億円。合計155億円(1.55)

公共交通等における安全・安心の確保を図る取組を推進する。

統計

(b) 通学路等の交通安全対策の推進 …… [2,512 億円 (1.00)]
 ※上記の他, 令和 5 年度補正予算 210 億円。合計 2,722 億円 (1.08)
 交通安全確保のため, 生活道路対策や踏切対策, 無電柱化等の道路交通安全環境の整備等を推進する。

(6) 海上保安能力の強化等 …… [2,595 億円 (1.07)]
 ※上記の他, 令和 5 年度補正予算 707 億円。合計 3,302 億円 (1.37)
 厳しさを増す我が国周辺海域の情勢等に対応するため, 「海上保安能力強化に関する方針」に基づき, 海上保安業務の遂行に必要な能力を強化するとともに, 救助・救急体制等国民の安全・安心を守る業務基盤の充実を図る。

(7) 国民保護・総合的な防衛体制の強化等に資する公共インフラ整備

令和 4 年 12 月に閣議決定された国家安全保障戦略等に基づく国民保護・総合的な防衛体制の強化等に資する公共インフラ整備 (空港・港湾) に取り組む。

4.2 持続的な経済成長の実現

(1) ストック効果を重視した社会資本整備の戦略的かつ計画的な推進

我が国の経済を支える人流・物流ネットワークや, 企業立地・設備投資を誘発するインフラなど, 国内投資の拡大, 生産性の向上等に資する社会資本を戦略的かつ計画的に整備する。

(a) 効率的な物流ネットワークの早期整備・活用
 …… [3,802 億円 (1.02)]

※上記の他, 令和 5 年度補正予算 426 億円。合計 4,228 億円 (1.14)
 大都市圏環状道路等の整備やピンポイント渋滞対策等を併せて推進し, 交通渋滞の緩和等による迅速・円滑で競争力の高い物流ネットワークの実現を図る。

(b) 地方都市のイノベーション力・大都市の国際競争力の強化
 …… [131 億円 (1.01)]

※上記の他, 令和 5 年度補正予算 9 億円。合計 140 億円 (1.07)
 イノベーション拠点の形成やデジタル技術等を通じた地方都市と大都市との交流・連携を推進するとともに, 国際ビジネス拠点を支える都市基盤の整備や優良な民間都市開発事業を推進する。

(c) 航空ネットワークの充実 …… [125 億円 (1.00)]
 ポストコロナの経済社会の変化等に対応するため, 航空機燃料税に加えて地方路線等への適切な空港使用料の軽減措置を行うとともに, 国際競争力の強化や訪日外国人旅行者の受入対応等に資する空港の機能強化等を計画的に推進する。

(d) 整備新幹線の着実な整備 …… [804 億円 (1.00)]
 我が国の基幹的な高速輸送体系を形成する整備新幹線について, 着実に整備を進める。

(e) 鉄道ネットワークの充実 …… [173 億円 (0.96)]
 ※上記の他, 令和 5 年度補正予算 28 億円。合計 201 億円 (1.11)
 大都市圏における地下高速鉄道ネットワーク等の都市鉄道整備や

技術開発等を進めるとともに, 東京圏における今後の都市鉄道のあり方や幹線鉄道ネットワーク等に関する調査を行う。

(f) 国際コンテナ戦略港湾の機能強化 …… [633 億円 (1.01)]
 ※上記の他, 令和 5 年度補正予算 18 億円。合計 651 億円 (1.04)

サプライチェーンの強靱化・安定化を進めるため, コンテナ船の国際基幹航路の維持・拡大に向けた取組を推進する。

(g) 成長の基盤となる社会資本整備の総合的支援 (社会資本整備総合交付金) …… [5,065 億円 (0.92)]

※上記の他, 令和 5 年度補正予算 542 億円。合計 5,606 億円 (1.02)
 将来の成長の基盤となる民間投資・需要を喚起する道路整備や PPP/PFI を活用した下水道事業や公園整備, 地域の賑わいの創出に資する民間等と連携した河川の水辺整備など, 地方公共団体等の取組を総合的に支援する。

(2) 脱炭素社会の実現に向けたグリーンTRANSフォーメーション (GX) の推進

(a) ZEH・ZEB の普及や木材活用, ストックの省エネ化など住宅・建築物の省エネ対策等の強化 …… [1,103 億円 (1.13)]

※上記の他, 令和 5 年度補正予算 2,113 億円。合計 3,216 億円 (3.28)
 我が国の CO₂ 排出量の約 3 割を占める民生部門における省エネ, 再エネ利用等を促進するため, カーボンニュートラルの実現に向けた住宅・建築物の省エネ化や木材利用の促進を図る。

(b) グリーンインフラ, まちづくり GX 等のインフラ・まちづくり分野における脱炭素化の推進 …… [179 億円 (1.12)]

※上記の他, 令和 5 年度補正予算 116 億円。合計 295 億円 (1.84)
 自然の持つ多様な機能を活用するグリーンインフラ等のインフラの活用, 都市における緑地の確保やエネルギー利用の再エネ化・効率化等を進めるまちづくり GX の推進を図るなど, インフラ・まちづくり分野における脱炭素化を推進する。

(c) カーボンニュートラルポート (CNP) の形成, 持続可能な航空燃料 (SAF) の導入促進等の交通分野における脱炭素化の推進 …… [143 億円 (1.53)]

※上記の他, 令和 5 年度補正予算 21 億円。合計 164 億円 (1.75)
 脱炭素化に配慮した港湾機能の高度化や水素等の受入環境の整備等を図る「カーボンニュートラルポート (CNP)」の形成推進や洋上風力発電の導入, 持続可能な航空燃料 (SAF) の導入促進など, 鉄道, 自動車, 海事, 港湾, 航空といった交通分野における脱炭素化を推進する。

(3) 国土交通分野のデジタルTRANSフォーメーション (DX) や技術開発, 働き方改革等の推進

(a) DX の推進等 …… [4 億円 (0.99)]
 ※上記の他, 令和 5 年度補正予算 13 億円。合計 17 億円 (3.98)

ポストコロナの新たな経済社会に的確に対応する観点から, デジタルTRANSフォーメーションの加速化を図る。また, 統計の抜本的な改革を推進するための「国土交通省統計改革プラン」(令和 4 年 8 月 10 日) に基づき, 統計全般の省横断的な企画立案, 点検,

／ 統 計

品質改善を図る。

- (b) i-Construction, 建築・都市のDX等の「インフラ分野のDXアクションプラン」の推進…………… [83億円 (1.17)]

※上記の他, 令和5年度補正予算 165 億円。合計 248 億円 (3.48)

新技術の活用拡大, ICT 施工の地方公共団体への普及等により i-Construction を推進する。また, 建築物の3次元データと属性情報を併せ持つ BIM, 3D 都市モデルの整備・活用・オープンデータ化を推進する Project PLATEAU, 不動産の共通コードである不動産 ID 等について, 活用・連携を行う建築・都市のDX及びこれらと地理空間情報を組み合わせた利活用の高度化を推進する。これらも含め, 「インフラ分野のDXアクションプラン (第2版)」等に基づき, インフラDXの推進に向けて取り組む。

- (c) 経済安全保障にも資する造船・海運の国際競争力強化や海洋開発等の推進…………… [10億円 (1.08)]

※上記の他, 令和5年度補正予算 26 億円。合計 36 億円 (3.94)

造船・海運の国際競争力強化・生産性向上, 海洋資源・エネルギー等の開発・利用, 海洋権益の保全・確保に関する取組等を推進する。

- (d) 運輸業, 不動産鑑定業, 造船・海運業, 宿泊・観光業等における人材確保・育成…………… [30億円 (1.06)]

※上記の他, 令和5年度補正予算 327 億円の内数。合計 357 億円の内数。

現場を支える技能人材等の確保・育成や生産性の向上のため, 適切な賃金設定等の処遇改善, 教育訓練の充実等を官民一体で推進する。

(4) 持続可能な観光の推進

- (a) 持続可能な観光の推進…………… [529億円 (1.60)]

※上記の他, 令和5年度補正予算 717 億円。合計 1,246 億円 (3.77)

我が国の成長戦略の柱, 地域活性化の切り札である観光について, 持続可能なあり方で, 全国あまねくその効果を広めるべく, 観光産業の「稼げる」産業への変革を進めつつ, 持続可能な観光地域づくりや地方を中心としたインバウンド誘客, 国内交流拡大に戦略的に取り組む。

- (b) 社会資本の整備・利活用を通じた観光振興

観光資源としての既存ストックの公開・開放などの社会資本の利活用や, 観光客の移動円滑化等にも資する社会資本の整備を通じて, 地域の観光振興に貢献する。

(5) 「2024 年問題」の解決等に向けた物流の革新, 持続可能な建設業の実現

令和6年4月から時間外労働の上限規制がトラックドライバーや建設業に適用され, 影響が懸念される「2024 年問題」の解決等に向けた取組を推進する。

- (a) 担い手の確保・育成や物流の効率化等による物流の革新

…………… [105億円 (0.98)]

※上記の他, 令和5年度補正予算 287 億円。合計 392 億円 (3.66)

物流の「2024 年問題」の解決等に向け, 持続可能な物流を実現すべく, 令和5年6月の関係閣僚会議にて決定された「物流革新に

向けた政策パッケージ」や同年10月に取りまとめられた「物流革新緊急パッケージ」に基づき, 物流拠点・ネットワークの機能強化やモーダルシフト促進等の物流GX・DX・標準化等による「物流の効率化」, 「トラック荷主特別対策室 (トラックGメン)」が実施する悪質な荷主・元請運送事業者への監視・指導強化等による「商慣行の見直し」, 再配達削減に向けたポイント還元実証事業等の「行動変容を促す仕組みの導入」等の抜本的・総合的な対策を一体的に進め, 物流の生産性向上等を推進する。

- (b) 担い手の確保・育成や生産性向上による持続可能な建設業の実現…………… [5億円 (0.98)]

※上記の他, 令和5年度補正予算 3 億円。合計 8 億円 (1.60)

建設業の「2024 年問題」の解決, 持続可能な建設業の実現に向け, 建設資材価格の変動への対応, 建設キャリアアップシステムも活用した処遇改善, 現場技能者への賃金支払の適正化による建設産業の賃上げ, 週休2日の実現に向けた働き方改革の推進, 外国人技能労働者の受け入れ・育成等により, 担い手の確保・育成や生産性向上に取り組む。

(6) 民間投資やビジネス機会の拡大

- (a) ビジネスでの利活用に向けた地籍整備等の推進やデータ基盤・提供環境の整備…………… [97億円 (1.02)]

※上記の他, 令和5年度補正予算 20 億円。合計 117 億円 (1.23)

不動産投資市場の活性化等を通じたビジネスの機会拡大・効率化や新ビジネスの創出に向けた環境整備を推進するため, 土地の適正価格の把握や社会資本整備の基盤である地籍整備について地域特性に応じた戦略的な推進を図る。

- (b) PPP/PFI の推進 …………… [54億円 (2.25)]

※上記の他, 令和5年度補正予算 1 億円。合計 56 億円 (2.30)

民間の資金・ノウハウを活用した多様な PPP/PFI を通じて, 低廉かつ良質な公共サービスを提供するとともに, 民間の事業機会を創出し, 経済成長の加速化や地域活性化を図る。

- (c) インフラシステム海外展開の戦略的拡大…………… [27億円 (0.99)]

※上記の他, 令和5年度補正予算 3 億円。合計 30 億円 (1.09)

デジタル変革, カーボンニュートラルへの対応等を通じ, 世界のインフラ需要を取り込んでいくため, 「インフラシステム海外展開戦略 2025」及び「国土交通省インフラシステム海外展開行動計画」等を踏まえ, 我が国の強みである質の高いインフラの海外展開に向けた取組を官民一体で推進する。

(7) 2025 年大阪・関西万博や 2027 年国際園芸博覧会に向けた対応

令和3年8月に策定された大阪・関西万博に関連するインフラ整備計画に基づく会場周辺のインフラ整備や経済産業省からの委任を受けた「日本館」の整備等, 2025 年大阪・関西万博の円滑な開催に資する取組を関係省庁と連携し推進する。

神奈川県横浜市で開催される 2027 年国際園芸博覧会については, 令和5年4月に関係閣僚会議を設置, 順次開催し, 本博覧会の成功

に向け、関係府省庁で一丸となって開催準備に万全を期することとされており、2025年大阪・関西万博とも連携して機運醸成を図るなど、着実な準備を進める。

4.3 個性をいかした地域づくりと分散型国づくり

(1) 共生社会実現に向けたバリアフリー社会の形成と活力ある地方創り

(a) 地域公共交通や観光地・宿泊施設等のバリアフリー化の推進とユニバーサルデザインのまちづくりの実現

…………… [269 億円の内数]

※上記の他、令和5年度補正予算 584 億円の内数。合計 853 億円の内数。

誰もが安心して暮らし、快適に移動できる環境を整備するため、鉄道駅や地域公共交通、観光地・宿泊施設等のバリアフリー化を推進する。また、全ての人に優しいユニバーサルデザインのまちづくりを実現するため、幅広い世代が利用する駅前広場や公園施設等のバリアフリー化を推進する。

(b) 空き家対策、所有者不明土地等対策及び適正な土地利用等の促進…………… [79 億円 (1.12)]

空き家・所有者不明土地等の適正かつ効果的な活用により地域の生活環境の維持・向上を図り、魅力・活力のある地域の形成を推進する。

(c) 離島、奄美群島、小笠原諸島、半島、豪雪地帯等の条件不利地域の振興支援…………… [46 億円 (0.99)]

※上記の他、令和5年度補正予算 15 億円。合計 61 億円 (1.30)

離島、奄美群島、小笠原諸島、半島、豪雪地帯等の条件不利地域について、地域資源や地域の特性、創意工夫等を活かした取組に対する支援を行う。

(d) 民族共生象徴空間（ウボボイ）を通じたアイヌ文化の復興・創造等の促進…………… [18 億円 (1.01)]

※上記の他、令和5年度補正予算 9 億円。合計 28 億円 (1.53)

令和2年7月に開業した「民族共生象徴空間（ウボボイ）」への年間来場者数 100 万人を目指し、戦略的な誘客施策を実施するとともに、コンテンツの充実や地域との連携等の推進を図り、アイヌ文化の復興・創造等を促進する。

(e) 首里城の復元に向けた取組の推進…………… [47 億円の内数]

※上記の他、令和5年度補正予算 0.3 億円の内数。合計 47 億円の内数。

関係閣僚会議で決定された「首里城正殿等の復元に向けた工程表」に基づき、首里城正殿の本体工事（令和4年11月着工）を引き続き実施し、令和8年の復元に向けた取組を進める。

(2) デジタル田園都市国家構想の実現に資する分散型国づくりや持続可能な地域活性化

(a) 新たな国土形成計画の推進…………… [1 億円 (0.85)]

※上記の他、令和5年度補正予算 0.3 億円。合計 1 億円 (1.08)

新たな国土の将来ビジョンとして「新時代に地域力をつなぐ国土」を掲げ、「シームレスな拠点連結型国土」の構築を図る新たな国土

形成計画（令和5年7月閣議決定）を実効的に推進していくため、広域地方計画の検討・策定作業を進めるとともに、新しい資本主義やデジタル田園都市国家構想を踏まえつつ、人口減少下においても地方において人々が安心して暮らし続けることができる社会の実現に向けた取組を推進する。

(b) 地方への人の流れを創出する二地域居住等の促進・個性ある多様な地域生活圏の形成…………… [202 億円 (1.00)]

※上記の他、令和5年度補正予算 12 億円。合計 215 億円 (1.06)

第三次国土形成計画に掲げる「新時代に地域力をつなぐ国土」を実現するため、各課題に対応した施策を講じ、地方への人の流れを創出する移住・二地域居住等の促進を図る。また、デジタルとリアルが融合した「地域生活圏」の構築のためのモデルケースを創出するとともに、多様な公園緑地の整備や、固有の歴史・景観資源の活用等により、安全で魅力ある地域づくりを進める。

(c) コンパクトでゆとりとにぎわいのあるまちづくりの推進

…………… [753 億円 (1.01)]

※上記の他、令和5年度補正予算 53 億円。合計 806 億円 (1.08)

地域の生活機能の誘導・集約や防災指針を軸とした防災・減災を推進するとともに、多様なライフスタイルを支えるコンパクトでゆとりとにぎわいのあるまちづくりを推進する。

(d) スマートシティの社会実装の加速…………… [5 億円 (1.14)]

※上記の他、令和5年度補正予算 7 億円。合計 12 億円 (2.55)

デジタル田園都市国家構想の実現等に向けて、新技術や官民データを活用して地域の課題解決、新たな価値の創出を図るスマートシティの実装の加速化を図るとともに、その基盤となる 3D 都市モデルの整備等を推進する。

(e) 次世代モビリティの普及促進…………… [3 億円 (0.90)]

※上記の他、令和5年度補正予算 320 億円の内数。合計 323 億円の内数。

ポストコロナにおけるヒト・モノの移動ニーズの変化に対応するため、デジタル田園都市国家構想の実現に資する AI・IoT 等の新技術を活用した次世代モビリティの普及等を促進する。

(f) 地域・拠点の連携を促す道路ネットワークの整備

…………… [3,724 億円 (0.99)]

※上記の他、令和5年度補正予算 2,076 億円。合計 5,799 億円 (1.54)

分散型国づくりへの転換を図るとともに、デジタル実装した社会を支え、人流・物流の円滑化・活性化を図るため、地域・拠点をつなぐ道路ネットワークを整備する。

(g) 地域の暮らしと産業を支える港湾整備の推進

…………… [1,331 億円 (1.00)]

※上記の他、令和5年度補正予算 201 億円。合計 1,532 億円 (1.16)

デジタル実装した社会を支え、民間投資の誘発、雇用と所得の維持・創出を図るため、地域の暮らしと産業を支える港湾の整備を推進する。

(3) デジタル田園都市国家構想の実現に資する交通のり・デザイン…………… [435 億円 (0.99)]

※上記の他、令和5年度補正予算 361 億円。合計 796 億円 (1.81)

／ 統 計

地域の多様な関係者が連携・協働し、デジタル技術も活用しつつ地域公共交通を再構築する「リ・デザイン」に向けた取組を支援し、持続可能な公共交通サービスの構築を推進するとともに、港湾等の人流ネットワークの早期整備・活用による広域圏の自立的発展と交流・連携の強化を図る。

(4) 「こどもまんなかまちづくり」の推進等こども・子育て政策の抜本的強化

「こども大綱」（令和5年12月閣議決定）及び「こども未来戦略」（令和5年12月閣議決定）を踏まえ、こどものための近隣地域の生活空間を形成する「こどもまんなかまちづくり」を加速化するとともに、こどもや子育て当事者を社会全体で支える機運を醸成するための取組を実施する。

(5) 安心して暮らせる住まいの確保と魅力ある住生活環境の整備

(a) 多様な世帯が安心して暮らせる住宅セーフティネット機能の強化……………[826億円(1.21)]

※上記の他、令和5年度補正予算2,102億円。合計2,928億円(4.31)
高齢者世帯、子育て世帯など、住まいの確保に困難を抱えている世帯をはじめとして、誰もが安心して暮らせる多様な住まいの確保を図る。

(b) 既存住宅流通・リフォーム市場の活性化…[474億円(1.53)]

※上記の他、令和5年度補正予算2,100億円。合計2,574億円(8.31)
既存住宅流通・リフォーム市場の活性化に向け、取引環境の整備や既存ストックの質の向上、住宅・建築分野のDXを推進する。

(6) 豊かな暮らしを支える社会資本整備の総合的支援（社会資本整備総合交付金）【再掲】……………[5,065億円(0.92)]

※上記の他、令和5年度補正予算542億円。合計5,606億円(1.02)
コンパクト・プラス・ネットワークの推進やゆとりとにぎわいのあるまちづくり、地域公共交通のリ・デザイン（再構築）など、地方公共団体等の取組を総合的に支援する。

〔参考〕デジタル庁一括計上[334億円(1.03)]

国土交通省が所管する政府情報システムに係る予算については、デジタル庁に一括計上した上で、国土交通省において執行する。

(一括計上されたシステム)

- ・国土交通本省行政情報ネットワークシステム
 - ・次世代河川情報システム
 - ・特殊車両通行許可システム
 - ・海事局情報連携等基盤システム
 - ・地方整備局等行政情報システム
 - ・火山監視情報システム
- 等

5. おわりに

令和6年元日に発生した能登半島地震におきましては、亡くなられた方々のご冥福をお祈り申し上げますとともに、被災された皆さまに心よりお見舞い申し上げます。

令和6年度の通常分の予算は、令和5年度の予算に比べて微増となっている。令和5年度補正予算は地域の実情や要望等を勘案しつつ、事業の必要性や高い緊急性が認められる事業に配分されており、依然として高水準を維持している。我が国では、前述のような大規模自然災害が毎年のように発生、または発生する可能性が高いことから、復旧・復興を速やかに進めるとともに、災害に強い国土づくりを強力に推進していかなければならない。

一方で、運送・物流業界や建設業界では、2024年問題解決のために働き方改革の促進や担い手の確保・育成を推し進めなければ事業存続の危機に陥る恐れがあることから、DX、GXなどを推進しつつ我が国の持続的な経済成長を実現していく必要がある。また、国際的な都市間の競争力を高めるために、拠点都市における地域の基盤となる公共公益施設の整備等を重点的に支援し、民間投資を促進することも重要であり、公共事業の8割程度を占める国土交通省予算（令和5年度補正予算を含む）の早期執行が望まれる。

令和4年2月から続くロシアによるウクライナ侵攻やパレスチナとイスラエルの紛争については未だ終息の気配がなく、世界および日本の社会経済への影響が継続することが懸念される。そのような中で一刻も早く社会経済が落ち着きを取り戻し、国土交通省の各施策の推進によって、魅力ある安心して暮らせる日本の構築が期待される。

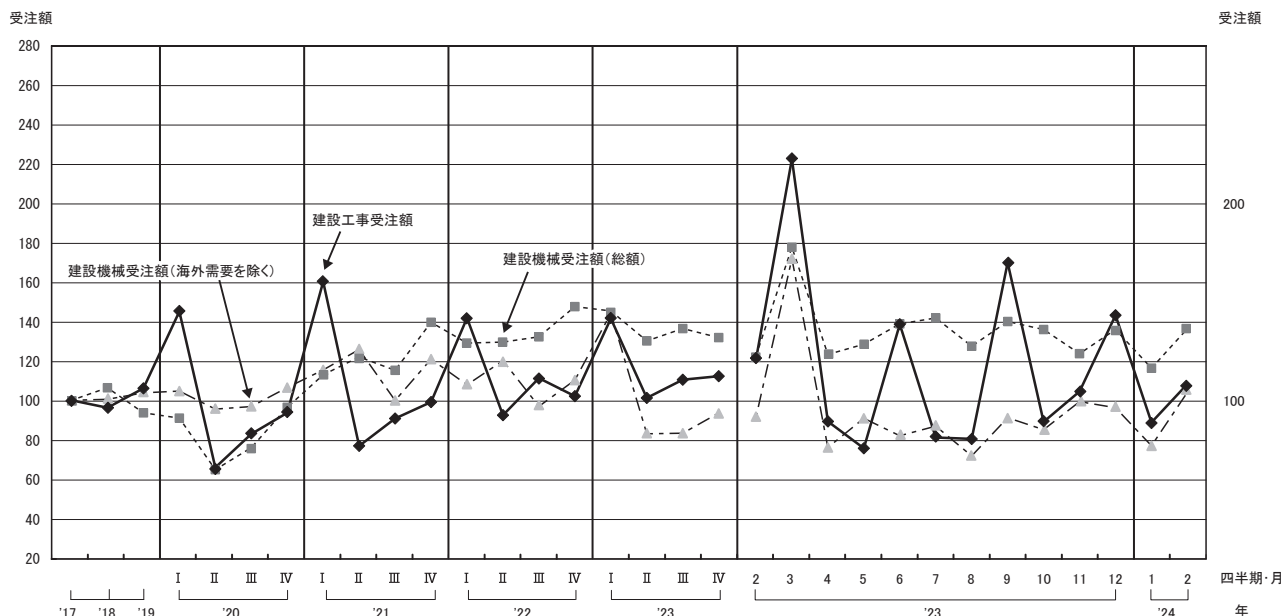
本文は、令和6年1月に国土交通省が発表した「令和6年度予算概要」によって作成したものである。

〔文責：小笠原〕

統計 機関誌編集委員会

建設工事受注額・建設機械受注額の推移

建設工事受注額:建設工事受注動態統計調査(大手50社) (指数基準 2017年平均=100)
建設機械受注額:建設機械受注統計調査(建設機械企業数24前後) (指数基準 2017年平均=100)



建設工事受注動態統計調査 (大手 50 社)

(単位: 億円)

年 月	総 計	受 注 者 別						工 事 種 類 別		未消化 工事高	施工高
		民 間			官 公 庁	そ の 他	海 外	建 築	土 木		
		計	製 造 業	非製造業							
2017 年	147,828	101,211	20,519	80,690	36,650	5,183	4,787	99,312	48,514	165,446	137,220
2018 年	142,169	100,716	24,513	76,207	30,632	8,561	5,799	95,252	46,914	166,043	141,691
2019 年	156,917	114,317	24,063	90,253	29,957	5,319	7,308	109,091	47,829	171,724	150,510
2020 年	143,170	97,457	19,848	77,610	35,447	5,225	4,175	91,725	51,443	171,740	141,261
2021 年	157,839	111,240	22,528	88,713	38,056	4,671	3,874	106,034	51,806	192,900	137,853
2022 年	165,482	119,900	33,041	86,862	33,436	5,252	6,898	114,984	50,496	207,841	130,901
2023 年	172,094	121,790	31,098	90,690	40,060	5,360	4,883	117,929	54,164	217,576	161,186
2023 年 2 月	14,867	9,285	1,928	7,358	5,010	372	199	9,662	5,204	209,850	12,419
3 月	27,481	18,606	4,053	14,553	7,409	674	791	17,187	10,294	214,894	21,223
4 月	10,993	8,354	2,034	6,320	2,003	528	107	7,807	3,186	215,556	9,294
5 月	9,304	6,854	1,807	5,047	1,772	345	332	6,125	3,179	214,435	10,569
6 月	17,100	12,062	2,801	9,260	3,457	506	1,075	11,401	5,699	215,220	16,006
7 月	9,973	5,877	1,269	4,607	3,360	429	308	5,401	4,572	214,911	9,995
8 月	9,888	7,470	2,331	5,138	1,930	343	146	7,132	2,756	212,974	12,201
9 月	20,973	15,485	2,622	12,863	4,341	643	504	15,905	5,068	216,368	17,673
10 月	10,962	8,266	2,603	5,663	2,197	420	79	8,081	2,881	217,263	11,029
11 月	12,872	9,824	2,094	7,730	2,032	385	631	9,359	3,513	218,161	12,726
12 月	17,660	12,721	6,000	6,721	4,097	379	463	13,002	4,658	217,576	17,838
2024 年 1 月	10,931	7,371	1,467	5,904	2,871	391	298	7,657	3,273	218,177	10,491
2 月	13,237	8,390	2,925	5,465	4,001	365	481	7,965	5,273	－	－

建 設 機 械 受 注 実 績

(単位: 億円)

年 月	17 年	18 年	19 年	20 年	21 年	22 年	23 年	23 年 2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	24 年 1 月	2 月
総 額	21,535	22,923	20,151	17,646	26,393	29,024	29,315	2,198	3,197	2,214	2,308	2,494	2,549	2,289	2,516	2,442	2,221	2,442	2,089	2,451
海 外 需 要	14,912	16,267	13,277	10,966	18,737	21,816	22,627	1,694	2,246	1,795	1,807	2,042	2,070	1,894	2,013	1,973	1,673	1,911	1,665	1,869
海外需要を除く	6,623	6,656	6,874	6,680	7,656	7,208	6,688	504	951	419	501	452	479	395	503	469	548	531	424	582

(注) 2017～2019 年は年平均で、2020～2023 年は四半期ごとの平均値で図示した。

2023 年 2 月以降は月ごとの値を図示した。

出典: 国土交通省建設工事受注動態統計調査

内閣府経済社会総合研究所機械受注統計調査

行事一覧

(2024年3月1～31日)

機械部会



■機械部会 幹事会

月 日：3月1日（金）（会議室，Web 併行開催）

出席者：椎名徹副部会長ほか17名

議 題：①副部会長挨拶 ②各技術委員会委員長からのR6年度活動計画の説明とその審議 ③事務局からR5年度の機械部会の活動実績（数値データ）、各委員会のトピックスについて報告

■機械整備技術委員会

月 日：3月4日（月）（会議室，Web 併行開催）

出席者：小林一弘委員長ほか12名

議 題：①「ハイブリッド建機・電動建機の安全整備・点検のためのガイドライン」の見直しについて討議 ②R6年度活動計画について議論

■路盤・舗装機械技術委員会 見学会

三和エナジー(株) 新狭山バイオプラントの見学

月 日：3月6日（水）

参加者：美野隆委員長ほか29名

見学内容：2月9日に開所したバイオ燃料の製造プラントの見学：①バイオプラントの概要説明 ②バイオプラント見学 ③質疑応答

■トンネル機械技術委員会 積込・運搬機械調査WG

月 日：3月8日（金）（会議室，Web 併行開催）

出席者：浅沼副委員長ほか11名

議 題：①WG活動報告書の完成に向け，報告書案について討議

■路盤・舗装機械技術委員会・JCMAS「ロードローラー作業エネルギー消費量試験方法」作成WG

月 日：3月11日（月）（会議室，Web 併行開催）

出席者：柴田大地 WG リーダほか12名

議 題：①JCMAS 草案について議論 ②今後の進め方とスケジュールについて議論

■トンネル機械技術委員会 機械設備の改善WG

月 日：3月12日（火）（会議室，Web 併行開催）

出席者：椎橋孝一郎リーダほか15名

議 題：①WG活動報告書の完成に向

け，報告書案について討議

■基礎工事用機械技術委員会

月 日：3月13日（水）（会議室での対面開催）

出席者：樗沢淳一委員長ほか23名

議 題：①青山機工(株)による技術プレゼン：「真空圧密工法について」 ②各社トピックス：東邦地下工機(株)「ボーリングマシンの変遷とN値」 ③今後のスケジュールについて：技術プレゼン，各社トピックスの予定

■トンネル機械技術委員会・幹事会

月 日：3月14日（木）（会議室，Web 併行開催）

出席者：丸山修委員長ほか6名

議 題：①3月開催WGの報告と活動成果の紹介 ②令和6年度の活動内容について議論：調査活動のチーム編成と活動方法について討議，見学会候補地について議論，総会（4/18（木））の内容（講演者の選定など）について討議，令和6年度委員会体制について討議

■ショベル技術委員会

月 日：3月15日（金）（会議室，Web 併行開催）

出席者：安部敏博委員長ほか9名

議 題：①R6年度の活動計画の説明 ②各社トピックス：(株)クボタ「建設機械事業の概要と新規技術の紹介」 ③「JCMASに基づく「エネルギー消費量試験方法」のISO化」進捗状況の情報共有：標準部会 ISO11152WGからの提案に関する議論 ④GX建設機械認定制度について：JCMAS H020における試験条件を満たせない場合の対応について議論

■油脂技術委員会

月 日：3月18日（月）（会議室，Web 併行開催）

出席者：石川広二委員長ほか24名

議 題：①燃料エンジン油関係：カーボンニュートラル燃料の動向に関する報告：R5年度のまとめ ②高粘度指数作動油関係：高粘度指数油圧作動油規格についての報告 ③規格普及促進関係：JAMA Lube Oil Seminar 2024 報告，オンファイル状況の報告 ④JCMASの改正について：進捗状況の報告，書面審議結果の報告 ⑤その他：油脂技術委員会の運営体制と役割分担について，令和5年度，6年度の活動について

■路盤・舗装機械技術委員会 総会

月 日：3月21日（木）（会議室，Web 併行開催）

出席者：美野隆委員長ほか会場参加者

41名，Web参加63回線

議 題：①委員長挨拶 ②R5年度活動報告，R6年度活動計画発表 ③建設機械（路盤・舗装）の自動化・自律化及び生産性向上技術の普及・拡大に関する発表（4件） ④カーボンニュートラル，建設機械の低燃費化等の舗装現場への適用拡大に関する発表（3件） ⑤JCMSAからの情報提供

■除雪機械技術委員会

月 日：3月26日（火）（会議室，Web 併行開催）

出席者：坂井幸尚委員長ほか20名

議 題：①国交省から除雪に関する状況報告：R6年度の予算概要の説明 ②自動化，情報化対応関連，他技術についての情報共有：技術プレゼン「自動運転レベル4に向けた技術的課題」，R6年度以降の活動テーマの検討 ③ホームページの更新について ④その他：来年度の委員会の体制，および活動計画について

■原動機技術委員会

月 日：3月28日（木）（Web会議）

出席者：工藤睦也委員長ほか18名

議 題：①前回の議事録確認 ②国内次期排出ガス規制に関する情報交換：環境省中央環境審議会 第15次答申の動向に関する情報共有 ③海外排出ガス規制の動向に関する情報交換：CARB（カリフォルニア大気資源局）Tier5について ④カーボンニュートラルについて情報交換：CN燃料の動向について

■情報化機器技術委員会

月 日：3月29日（金）（会議室，Web 併行開催）

出席者：白塚敬三委員長ほか6名

議 題：①R5年度活動のまとめ ②R6年度活動計画の具体的内容について議論 ③規制・規格の最新情報の共有 ④施工現場のDX化（市販の衝突検知システム）に関する情報共有と議論 ⑤R5年度合同部会の発表テーマの情報共有

標準部会



■令和5年度下期標準化会議

月 日：3月1日（金）

出席者：小塚大輔部会長（コマツ）ほか12名

場 所：Web上（Microsoft Teams）

議 題：令和5年度活動報告及び今後の予定 ①ISO/TC 127 土工機械委員会 ②ISO/TC 195 建設用機械及び装置委

員会 ③ ISO/TC 214 昇降式作業台委員会 ④ 国内標準委員会 ⑤ 令和6年度標準部会事業計画 (案)

■ ISO/TC 195/AG 1 国際バーチャル WG 会議

月 日: 3月1日 (金) 夜

出席者: 川上晃一 SC 1 議長 (日工株) ほか9名

場 所: Web 上 (ISO Zoom)

議 題: 2024 年 ISO/TC 195 鄭州国際会議の開催日程 (9月10日~13日) 及び順序の調整: 10日 [AG 1, SC 2/WG 1, WG 2] 11日 [SC 1, SC 2] 12日 [TC 195, 社交行事] 13日 [WG 9]

■ ISO/TC 195 親委員会

月 日: 3月8日 (金) 昼

出席者: 佐々木正博委員長 (ファーストループテクノロジー株) ほか25名

場 所: Web 上 (ISO Zoom)

議 題: ① 2023 年 10 月~2024 年 1 月に開催された WG 会議 (バーチャル) の状況報告 ② 各分科委員会案件の審議 ③ 令和5年度下期標準化会議 活動報告 (案)

■ ISO/TC 195/SC 3/WG 2 国際バーチャル WG 会議

月 日: 3月8日 (金) 夜, 13日 (水) 夜
出席者: 山本卓也委員 (機研製作所) ほか21名

場 所: Web 上 (ISO Zoom)

議 題: ① WD 20770-1.2 コメント審議 (続き) ② 次回会合予定 (4月22日, 26日バーチャル)

■ ISO/TC 195/SC 1/WG 7 コンクリートミキサー専門家会合

月 日: 3月13日 (水)

出席者: 池田喜治コンビナー (株北川鉄工所) ほか2名

場 所: Web 上 (ISO Zoom) 及び協会会議室

議 題: ① ISO/CD 18650-2 コンクリートミキサー練り混ぜ効率の試験要領 CD 意見照会結果コメント審議・対応検討 ② 今後の予定

■ ISO/TC 127/SC 2/WG 24 国際ハイブリッド WG 会議

月 日: 3月13日 (水) 午前, 14日 (木) 午前, 15日 (金) 午前

出席者: 田中昌也委員 (コマツ) ほか10名 (対面) +10名 (Web)

場 所: ドイツ・フランクフルト VDMA および Web 上 (Zoom)

議 題: ① ISO19014 機能安全 DIS 投票 (Part 1, 2, 4) 状況 ② WG24 有志とドイツ IFA の打合せ結果報告 ③ ISO 6135 人工知能に基づく制御系の安全

案文審議

■ ISO/TC 195/SC 2/WG 2 国際バーチャル WG 会議

月 日: 3月18日 (月) 夜

出席者: 和田悟知委員 (豊和工業株) ほか11名

場 所: Web 上 (CEN Zoom)

議 題: ① PWI 24149 路面清掃車性能試験方法の検討 ② 次回会合予定 (4月30日バーチャル)

■ ISO/TC 82/JWG 1 ISO 18758 ロックドリルリグ国際バーチャル WG 会議

月 日: 3月19日 (火) 夜

出席者: 西脇徹郎 (JCMA 事務局) ほか14名

場 所: Web 上 (ISO Zoom)

議 題: ISO/WD 18758 に対する各専門家意見の検討

■ ISO/TC 127/SC 1/WG 6 国際バーチャル WG 会議

月 日: 3月25日 (月) ~ 27日 (水)

出席者: 正田明平プロジェクトリーダー (JCMA 事務局) ほか5名 (日本) +Chuck Crowell コンビナーほか6名 (海外)

場 所: Web 上 (ISO Zoom)

議 題: ISO/TS 11152 エネルギー使用試験方法 Part 3 ホイールローダ案文審議

■ ISO/TC 195/SC 1/WG 10 コンクリート用振動機 専門家会合

月 日: 3月26日 (火)

出席者: 小倉公彦コンビナー (JCMA 事務局) ほか2名

場 所: 協会会議室及び Web 上 (ISO Zoom)

議 題: ① ISO/WD 18651 コンクリート内部振動機-用語及び商業仕様 中国 (再) コメント審議・案文検討

■ ISO/TC 127/SC 2/WG 15 国際バーチャル WG 会議

月 日: 3月27日 (水), 28日 (木)

出席者: 小塚大輔委員長 (コマツ) ほか3名 (日本) +Steve Neva コンビナー (Bobcat) ほか海外6名

場 所: Web 上 (ISO Zoom)

議 題: ISO 13649 火災防止 コメント審議・DIS 案文整備

■ ISO/TC 127/WG 17 国際バーチャル WG 会議

月 日: 3月28日 (木)

出席者: 小塚大輔委員長 (コマツ) ほか2名 (日本) +Jon Spomer コンビナー (Bobcat) ほか海外20名

場 所: Web 上 (ISO Zoom)

議 題: ① ISO 5757 充電式エネルギー

貯蔵システム 規格表題に関する WG 意見照会結果の審議

建設業部会



■ 建設業部会

月 日: 3月4日 (月)

出席者: 猪又勝美主査ほか27名 (内 Web 参加者11名)

議 題: 1. 部会長挨拶 2. 令和6年度建設業部会活動体制 3. 令和6年度年間活動計画 4. 令和5-6年度 各 WG 報告: ① 機電技術者交流企画 WG 報告, ② クレーン安全情報 WG 報告, ③ 建設業 ICT 安全 WG 報告 5. その他: ① 令和5年度 合同部会報告, ② 令和5年度 建設施工と建設機械シンポジウム, ③ 令和5年度 研究開発助成審査委員会, ④ 令和5年度 標準部会関連, ⑤ その他・部会員の皆様からのご意見, ご提案

■ 令和5年度若手現場見学会

月 日: 3月19日 (火)

参加者: 森田部会長ほか28名

工事名: 『横浜環状南線桂台トンネル工事』

場 所: 神奈川県横浜市栄区上郷町 1151-128

発注者: 東日本高速道路株

施工者: 大成・フジタ・銭高 JV

概 要: 大断面泥土圧 (気泡) シールド, 併設トンネル超近接施工, 土砂搬送ベルトコンベアの回転立坑での捻転

行 程: 13:30~14:10 概要説明 (40分) 【現場見学】

14:10~14:30 発進立坑→トンネル坑口→函渠→調整池 (20分)

車で移動 (15分)

14:45~15:15 公田換気所→回転立坑下→坑口→地上 (30分)

車で移動 (25分)

15:40~16:00 釜利谷 JCT 内土砂ピット→ベルコン・改質機 (20分)

車で移動 (15分)

16:15~16:45 質疑・着替え等 (インフォメーションセンター) (30分)

■ 三役会

月 日: 3月28日 (木)

参加者: 森田将史部会長ほか4名

議 題: ① 3/19 開催「令和5年度若手現場見学会」報告 ② 令和6年度建設業部会見学会候補地について ③ その他

レンタル業部会



■レンタル業部会

月 日：3月12日（火）（Web 会議併用）
出席者：飛山分科会長ほか11名
議 題：①部会長挨拶 ②コンプライアンス分科会活動状況報告 ③R6年度レンタル業部会事業計画案 ④R5年度レンタル業部会活動実績 ⑤各社の取組事項、部会員共通の問題、課題について

各種委員会等



■機関誌編集委員会

月 日：3月5日（火）
出席者：中野正則委員長ほか24名
議 題：①令和6年6月号（第892号）計画の審議・検討 ②令和6年7月号（第893号）素案の審議・検討 ③令和6年8月号（第894号）編集方針の審議・検討 ④令和6年3月号～令和6年5月号（第889～891号）進捗状況報告・確認 ※通常委員会及びZoomにて実施

支部行事一覧

北海道支部



■技術部会

月 日：3月5日（火）
場 所：かでの2・71030会議室
出席者：熊谷政行技術部会長ほか16名
内 容：①令和5年度事業報告について ②令和6年度事業計画について ③その他：令和6年度除雪機械技術講習会実施計画について

■調査部会

月 日：3月7日（木）
場 所：北海道支部会議室
出席者：小松正明調査部会長ほか9名
内 容：①令和5年度事業報告について ②令和6年度事業計画について ③その他：令和6年度土木工事標準歩掛及び建設機械等損料算定表の改定概要について

■広報部会

月 日：3月7日（木）
場 所：北海道建設会館8階F会議室
出席者：村上昌仁広報部会長ほか13名
内 容：①令和5年度事業報告について ②令和6年度事業計画について ③その他：支部だよりNo.127号の発行に

ついて、支部講演会、建設工事等見学会について

東北支部



■令和5年度 東北土木技術人材育成協議会（対面+Web 会議）

月 日：3月7日（木）
出席者：東北地方整備局 宮本慎也企画部長ほか27名
議 題：①新規加入団体及び覚書等の改訂について ②令和5年度の活動報告 ③令和6年度の活動方針（案）

■第3回 企画部会（持ち回り会議）

月 日：3月12日（火）
参加者：木村信悦企画部会長ほか5名
議 題：①令和6年度事業計画（案）について ②令和6年度事業予算（案）について ③令和6年度表彰候補者（案）について ④その他

■第3回 支部運営委員会

月 日：3月19日（火）
場 所：仙台市 仙台サンプラザ
参加者：高橋弘支部長ほか29名
議 題：①令和6年度事業計画（案）について ②令和6年度事業予算（案）について ③令和6年度表彰候補者（案）について ④その他

■令和6年度 基礎技術講習会実施に向けた打合せ（Web 会議）

月 日：3月27日（水）
出席者：東北技術事務所 佐藤禎夫総括技術情報管理官ほか5名
議 題：①ICT・UAV講習会の日程について ②ICT・UAV講習テキストの重複について ③インフラDX講習について

北陸支部



■令和5年度 建設技術報告会 第2回実行委員会

月 日：3月5日（火）
場 所：書面表決
出席者：堤事務局
議 題：①建設技術報告会の実施報告について ②建設技術報告会の収支決算報告について ③令和6年度の開催について

■令和5年度 第2回企画部会

月 日：3月14日（木）
場 所：興和ビル10F大会議室
出席者：穂苅正昭企画部会長ほか12名
議 題：①令和5年度事業報告（見込み）及び決算報告（見込み）について ②令和6年度事業計画（案）及び収支

予算（案）について ③令和6年度優良建設機械運転員・整備員表彰（案）について ④北陸支部第13回総会に向けての計画について ⑤あかしや通信No.42の発刊について ⑥令和6～7年度JCMA北陸支部部会名簿（案）について ⑦機関誌「建設機械施工」の“ずいそう”執筆者の選定について

■令和5年度 第3回運営委員会

月 日：3月18日（月）
場 所：新潟東映ホテル 2F「朱鷺の間」
出席者：丸山暉彦北陸支部長ほか18名
議 題：①令和6年度事業計画及び収支予算について ②令和6年度優良建設機械運転員・整備員表彰（案）について ③北陸支部第13回総会に向けての計画について ④あかしや通信No.42の発行について

■新潟県除雪オペレータ担い手確保協議会 第10回本部協議会

月 日：3月21日（木）
場 所：新潟県自治会館 301会議室
出席者：穂苅企画部会長
議 題：①第9回本部協議会の振り返り ②今後の担い手確保の活動について ③その他

中部支部



■第2回部会長・副部会長会議

月 日：3月6日（水）
出席者：川西光照企画部会長ほか8名
場 所：太陽生命名古屋第2ビル会議室
議 題：令和5年度事業報告（案）、令和5年度決算報告（概算）、令和5年度事業計画（案）、令和6年度収支予算（案）等

■第3回運営委員会

月 日：3月15日（金）
場 所：ナカトウ丸の内ビル2階第1会議室
参加者：浅野和広支部長ほか25名
議 題：令和5年度事業報告（案）、令和5年度決算報告（概算）、令和6年度事業計画（案）、令和6年度収支予算（案）等

■企画部会

月 日：3月19日（火）
出席者：川西光照企画部会長ほか3名
場 所：太陽生命名古屋第2ビル7階事務局
議 題：令和6年度総会についての打合せ等

■建設 ICT 出前授業

場 所：愛知少年院（愛知県豊田市）
月 日：3月29日（金）

参加者：少年院在住者 23 名
 講師：サイテックジャパン(株) ICT 推進企画室長鈴木勇治氏、福井コンピュータ(株)中部営業所長會澤達也氏、(株)シーティーエス東海営業部長宮澤豊氏

関西支部



■企画部会

月 日：3月12日（火）
 場 所：関西支部
 出席者：村中浩昭企画部会員以下 3 名
 議 題：①令和 6 年度事業計画（案）及び収支予算（案） ②会員の推移 ③優良建設機械運転員等表彰の推薦について ④総会終了後の講演について ⑤今後の予定

■運営委員会

月 日：3月14日（木）
 場 所：大阪キャッスルホテル
 出席者：深川良一支部長以下 22 名
 議 題：①令和 6 年度事業計画（案）及び収支予算（案） ②その他

中国支部



■第 4 回部会長会議

月 日：3月7日（木）
 場 所：広島 YMCA 会議室

出席者：玉田一雄企画部会長ほか 11 名
 議 題：①令和 6 年度事業計画（案）について ②第 13 回支部総会について ③その他懸案事項

■3 月期運営委員会

月 日：3月18日（月）
 場 所：広島 YMCA 会議室
 参加者：河合研至支部長ほか 17 名
 議 事：①令和 6 年度事業計画（案）について ②令和 6 年度収支予算（案）について

四国支部



■協賛事業「四国建設広報協議会」

月 日：3月14日（木）
 場 所：四国地方整備局
 出席者：協議会を構成する 27 の団体・組織から 23 名が参加
 内 容：①令和 6 年度協議会役員（案）について ②令和 5 年度収支報告 ③建設フェア四国 2023 in 高松報告 ④建設フェア四国 2025 の開催について ⑤その他

■R5 第 3 回運営委員会

月 日：3月22日（金）
 場 所：書面による会議
 参加者：岡村未対支部長ほか 29 名
 議 題：① R6 年度事業計画（案）について ② R6 年度予算書（案）につい

て ③ R6 年度表彰予定者について ④人事異動等に伴う役員等の変更について

九州支部



■技術部会 現場見学会

月 日：3月1日（金）
 場 所：立野ダム（国交省）
 出席者：11 名
 内 容：①ダム概要説明 ②スクリーン、放流管等説明 ③天端よりダム下流側説明

■企画委員会

月 日：3月19日（火）
 場 所：リファレンス駅東ビル
 出席者：11 名
 議 題：①令和 5 年度 JCMA 九州支部の主要行事について（総括） ②支部長表彰について ③第 3 回運営委員会議事について ④その他：R6 年度に向けての懸案事項 等

■第 3 回運営委員会

月 日：3月19日（火）
 場 所：リファレンス駅東ビル
 出席者：玉石支部長ほか 12 名
 議 題：①令和 6 年度事業計画書（案）について ②令和 6 年収支予算書（案）について ③支部監査役の推薦について

編集後記

最後までお読み頂きありがとうございます。今月は、4年ぶりのトンネル特集でした。昨年から編集委員に加わり、トンネル特集の編集担当も引き継がせて頂いたのですが、本当に建設事業者および建機メーカーの方が編集するので驚きました。業界誌の編集はもちろん、トンネル施工機械はともかく、施工についてはほとんど素人でしたので、勉強しながら取り組ませて頂きました。おかげさまで、著者の方々にご協力頂き、発刊することが出来ました。巻頭言では、福井教授にご研究の業績とその伝承についてご寄稿頂きました。素晴らしい研究の業績も、需要や景気の変化に左右されてしまうことがあります。60年前は多くの大学に鉱山関係の学科がありましたが、多くの地下鉱山が閉山され、就職先が減少して厳しい状況と聞きます。清水三兄弟トンネルの記事にもありますように、初期のトンネル掘削には地下鉱山の鉱夫や資機材が貢献しました。若い頃、元鉱山技師の営業マンが、採掘前の原石山の骨材の良否を言い当てた伝説を聞いたことがあります。打撃振動に抗い、繰り粉を被りながらノミを切羽に自力で押し

込んだドリルマンは、感覚と経験により岩石と対話していたのかもしれませんが。一方、トンネル工学では多くの論文が発表され、安価で（または無料で）研究発表を傾聴できます。製造業ですと特許申請だけすることが多いですが、発表会では質疑応答まで行われていたので驚きました。自分達だけでなく、業界全体の改善にとって、素晴らしい取り組みだと思います。現在のトンネル施工を取り巻く環境は、労働者の高齢化と人材不足、コストの高騰や、大深度や既設物近傍への施工、環境への対応など、厳しさを増しています。省人化と高精度化には機械化が効果的と思われそうですが、自然の岩盤が相手なので、鉄に加工するのと勝手が違います。学術界、施工業者、機材業者、設計者および施工主が協力して、理論に基づく新工法を編み出し、現場で実証する必要があります。その意味で、本誌が施工および製造者により編集されるのは、良い取り組みだと思います。熱意ある人達の英知を集め、掘削や探査データが蓄積されていけば、いつか断層や水脈も探り当てるAI山師システムが出来るかもしれません。本誌が、その結節点になれば幸いです。

（京免・田島）

機関誌編集委員会

編集顧問

今岡 亮司	加納研之助
後藤 勇	新開 節治
関 克己	高田 邦彦
田中 康之	田中 康順
中岡 智信	渡邊 和夫
見波 潔	

編集委員長

中野 正則	日本ファブテック(株)
-------	-------------

編集委員

吉田 真人	国土交通省
大津 太郎	農林水産省
内海 友介	(独)鉄道・運輸機構
岡本 直樹	(一社)日本機械土工協会
河原 圭司	鹿島建設(株)
赤坂 茂	大成建設(株)
藤井 攻	清水建設(株)
桐山 茂雄	(株)大林組
出口 明	(株)竹中工務店
宮川 克己	(株)熊谷組
松本 清志	(株)奥村組
京免 継彦	佐藤工業(株)
平田 惣一	鉄建建設(株)
副島 幸也	(株)安藤・間
松澤 享	五洋建設(株)
那須野陽平	東亜建設工業(株)
佐藤 裕	日本国土開発(株)
丑久保吾郎	(株)NIPPO
室谷 泰輔	コマツ
山本 茂太	キャタピラー・ジャパン
花川 和吉	日立建機(株)
丹治 雅人	コベルコ建機(株)
漆戸 秀行	住友建機(株)
大竹 博文	(株)加藤製作所
田島 良一	古河ロックドリル(株)
鈴木 健之	施工技術総合研究所

事務局

（一社）日本建設機械施工協会

6月号「河川・ダム治水対策、維持管理、点検補修特集」予告

・「ハイブリッドダム」の取組 ・水局DXWGの取り組み等の事例紹介 ・川辺川の流水型ダムにおける環境影響評価の取り組み ・令和4年7月14日からの大雨で活かされた過去の教訓 ・WECでの水質技術開発の取り組み ・ダム貯水池掘削・浚渫土の下流土砂還元や有効利用を促進するダム堆砂分級工法の開発 ・デジタルツイン建設工事監理における自動・自律UAVの活用事例 ・ダム工事の環境技術について ・アーチ式砂防堰堤コンクリート打設における創意工夫 ・堤防強化に貢献する「回転式破碎混合工法（ツイスター）」 ・シャフト式遠隔操縦水中作業機による硬岩掘削技術の開発 ・リアルタイム土砂・洪水氾濫予測モデルの紹介 ・水中施工無人化へ絶対位置を高精度取得 ・水位予測精度向上へ向けた状態把握技術の開発

【年間定期購読ご希望の方】

- ①書店でのお申し込みが可能です。お近くの書店へお問い合わせください。
②協会本部へのお申し込みは「年間定期購読申込書」に必要事項をご記入のうえFAXをお送りください。

詳しくはHPをご覧ください。

年間定期購読料（12冊） 10,032円（税・送料込）

建設機械施工

第76巻第5号（2024年5月号）（通巻891号）

Vol.76 No.5 May 2024

2024（令和6）年5月20日印刷

2024（令和6）年5月25日発行（毎月1回25日発行）

編集兼発行人 金井道夫

印刷所 日本印刷株式会社

発行所 本部 一般社団法人 日本建設機械施工協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3丁目5番8号 機械振興会館内

電話（03）3433-1501；Fax（03）3432-0289；<https://jcmanet.or.jp/>

施工技術総合研究所 〒417-0801 静岡県富士市大淵 3154

電話（0545）35-0212

北海道支 部 〒060-0003 札幌市中央区北三条西2-8

電話（011）231-4428

東北支 部 〒980-0014 仙台市青葉区本町 3-4-18

電話（022）222-3915

北陸支 部 〒950-0965 新潟市中央区新光町 6-1

電話（025）280-0128

中部支 部 〒460-0002 名古屋市中区丸の内 3-17-10

電話（052）962-2394

関西支 部 〒540-0012 大阪市中央区谷町 2-7-4

電話（06）6941-8845

中国支 部 〒730-0013 広島市中区八丁堀 12-22

電話（082）221-6841

四国支 部 〒760-0066 高松市福岡町 3-11-22

電話（087）821-8074

九州支 部 〒812-0013 福岡市博多区博多駅東 2-4-30

電話（092）436-3322

本誌上への
広告は



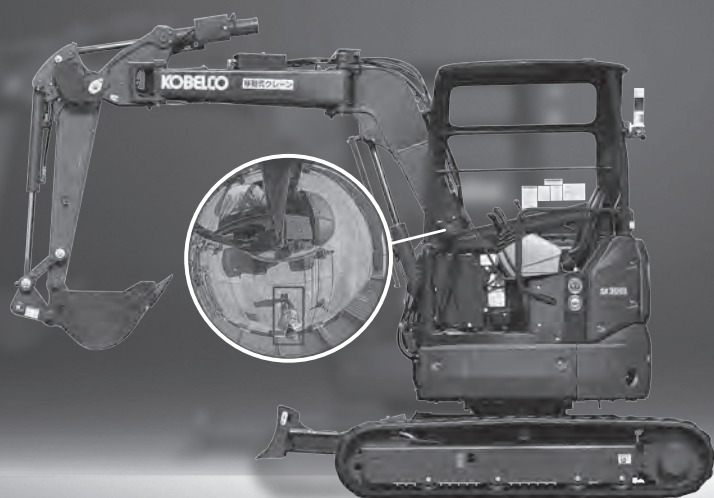
有限会社 サンタナ アートワークスまでお申し込み、お問い合わせ下さい。

〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町2-21-5 井手口ビル4F TEL：03-3664-0118 FAX：03-3664-0138

E-mail：san-mich@zam.att.ne.jp 担当：田中

KOBELCO

機械周辺の人を認識して知らせることで 効率よく作業を行える衝突軽減装置



人
検知



検知対象外

※警報・停止機能はモノに
対しては作動対象外です。

広い範囲を監視

“人”を検知して機械を“停止”

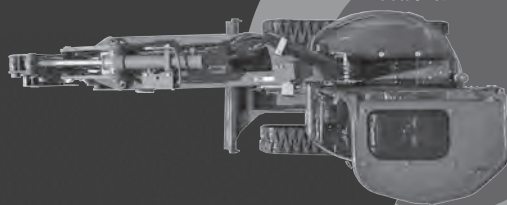
※現場の状況により検知精度に影響が出る場合があります。

ミニショベル向け衝突軽減装置

OmniEye®

NETIS登録済

車両搭載可能AIカメラ(KK-200027-VE)



警告エリア

警報/停止エリア

【運転員への警告エリア】

キャノピ:半径2.5m/キャブ:半径2.7m

【周囲の人への警報/機械停止エリア】

キャノピ:半径1.8m/キャブ:半径2.0m

コベルコ建機日本
WEBサイト



コベルコ建機日本株式会社

本社/〒272-0002 千葉県市川市二俣新町17番地 ☎047-328-7111
www.kobelco-kenki.co.jp

確かな技術で世界を結ぶ

Attachment Specialists

可動式ハイキャブ



任意の高さに停止可能

油圧式マグネット



産廃物からの金属片取り出しなどに効果を発揮

自動車解体機



車の解体・分別作業を大幅にスピードアップ

ラバウンティシア サーベルシリーズ



船舶・プラント・鉄骨物解体に威力を発揮

マテリアルハンドラ



ワイドな作業範囲で効果の良い荷役作業

ウッドシア



丸太や抜根を楽々切断



マルマテクニカ株式会社

■ 名古屋事業所

愛知県小牧市小針2-18 〒485-0037
電話 0568(77)3312
FAX 0568(77)3719

■ 本社・相模原事業所

神奈川県相模原市南区大野台6丁目2番1号 〒252-0031
電話 042(751)3800
FAX 042(756)4389

■ 東京工場

東京都世田谷区桜丘1丁目2番22号 〒156-0054
電話 03(3429)2141
FAX 03(3420)3336

建設機械施工

広告掲載のご案内

月刊誌 建設機械施工では、建設機械や建設施工に関する論文や最近の技術情報・資料をはじめ、道路、河川、ダム、鉄道、建築等の最新建設報告等を好評掲載しています。

■職業別 購読者

建設機械施工／建設機械メーカー／商社／官公庁・学校／サービス会社／研究機関／電力・機械 等

■掲載広告種目

穿孔機械／運搬機械／工事用機械／クレーン／締固機械／舗装機械／切削機／原動機／空気圧縮機／積込機械／骨材機械／計測機／コンクリート機械 等

広告掲載・広告原稿デザイン——お問い合わせ・お申し込み

サントナアートワークス

広告営業部：田中 san-mich@zam.att.ne.jp

TEL:03-3664-0118 FAX:03-3664-0138

〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町2-21-5 井手口ビル4F

建設機械施工 カatalog資料請求票

本誌に掲載されている広告のお問い合わせ、資料の請求はこの用紙を利用し、ファクシミリなどでお送りください。

※カatalog／資料はメーカーから直送いたします。 ※カatalog送付は原則的に勤務先にお送りいたします。

お 名 前： 所 属：

会社名(校名)：

資料送付先：

電 話： F A X：

E-mail：

	広告掲載号	メーカー名	製品名
①	月号		
②	月号		
③	月号		
④	月号		
⑤	月号		

FAX 送信先：サントナアートワークス 建設機械施工係 FAX:03-3664-0138

Mikasa 

<http://www.mikasangyo.com>

街づくりを支える、信頼の三笠品質。



転圧センサー

バイプロコンパクター

MVH-308DSC-PAS

NETIS No. TH-120015-VE

タンピングランマー

MT-55H



MVC-F60HS

NETIS No. TH-100006-VE



MRH-601DS

低騒音指定番号5097



FX-40G/FU-162A



MCD-318HS-SGK

低騒音指定番号6190

三笠産業株式会社

MIKASA SANGYO CO., LTD. TOKYO, JAPAN

本社 〒101-0064 東京都千代田区神田猿樂町1-4-3 TEL: 03-3292-1411 (代)

大阪支店 TEL: 06-6745-9631
札幌営業所 TEL: 011-892-6920
仙台営業所 TEL: 022-238-1521
新潟出張所 TEL: 090-4066-0661

北関東営業所 TEL: 0276-74-6452
長野出張所 TEL: 080-1013-9542
中部営業所 TEL: 052-504-3434
金沢出張所 TEL: 080-1013-9538

中国営業所 TEL: 082-875-8561
四国出張所 TEL: 087-868-5111
九州営業所 TEL: 092-431-5523
南九州出張所 TEL: 080-1013-9547

沖縄出張所 TEL: 080-1013-9328

FA機器の最適無線化提案

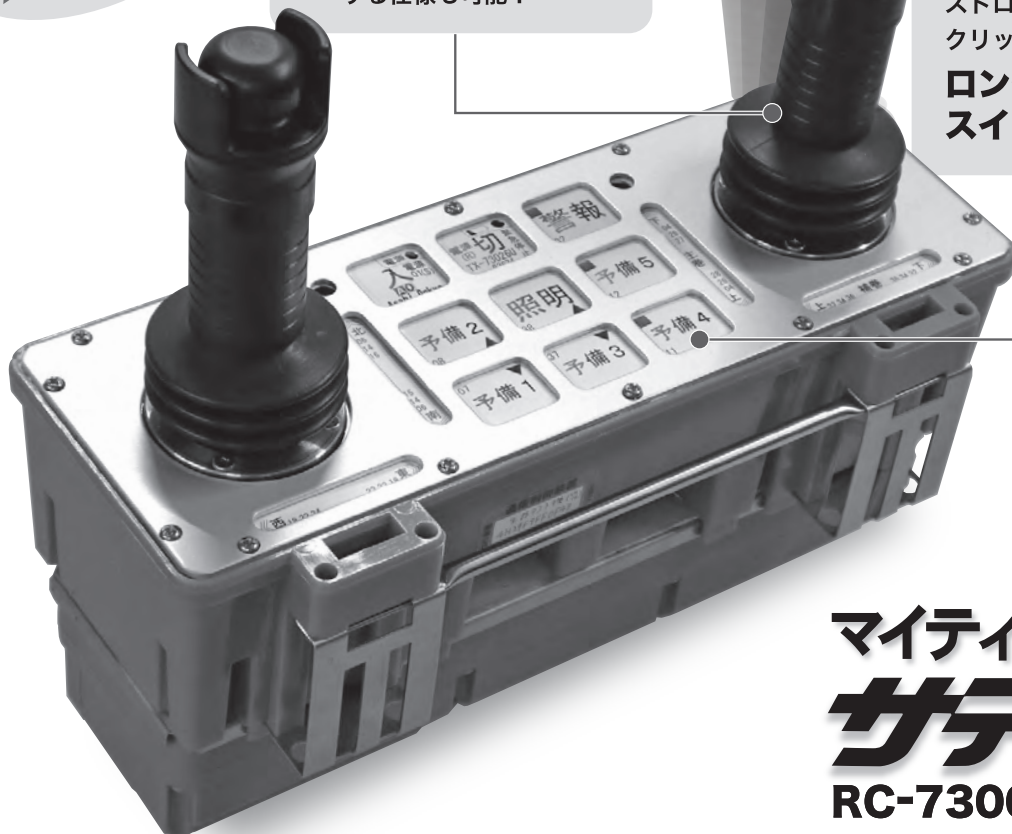
クレーン・搬送台車・建設機械・特殊車両他
産業機械用無線操縦装置

New!

自社開発した
**3ノッチ式
ジョイスティック**
中立位置に自動復帰
する仕様も可能!

自動復帰!

ストロークが深く、
クリックがハッキリ!
**ロングストローク型
スイッチ** を標準採用



マイティ 429MHz帯・1.2GHz帯
特定小電力モデル対応
サテラ
RC-73000U/G シリーズ

スリムケーブルレス 5800シリーズ 好評発売中!

双方向データケーブルレス

《TC-1000808S》

**緊急停止
スイッチ** (オプション)

429MHz帯・1.2GHz帯
特定小電力モデル対応

プッシュロック、
ターンリセット型
キノコスイッチ



クレードルタイプ
充電台対応

**2段押3組
標準型**

- ・インバーター制御の
クレーンに最適!
- ・クリック感ハッキリの
ロングストローク
スイッチ

**429MHz
1216MHzが
同価格!!**

- ・見えない機械の制御もフィードバック!
- ・双方向制御がこの1セットで対応可能!
- ・新周波数920MHz帯を採用!



常に半歩、先を走る



朝日音響株式会社

〒771-1311 徳島県板野郡上板町引野字東原43-1 (本社工場) FAX.088-694-5544 TEL.088-694-2411
<http://www.asahionkyo.co.jp/>

無線化工事のことならフルライン、フルオーダー体制の弊社に今すぐご相談下さい。また、ホームページでも詳しく紹介していますのでご覧下さい。

朝日音響 検索





誰もが安全で健康に働ける 現場を目指して

ICT の進化は、経験値や体力を問わず、

さまざまな人材が現場で活躍できる可能性を広げています。

コマツは ICT を通じて、誰もが安全で健康に働ける

未来の現場を目指します。

KOMATSU
Creating value together

コマツカスタマーサポート株式会社 〒108-0072 東京都港区白金1-17-3 Tel.050-3486-7147 <https://kcsj.komatsu/>



雑誌 03435-5



4910034350544
00800

「建設機械施工」

定価 八八〇円 (本体八〇〇円 + 税 10%)