

平成 22 年度

# 建設施工と建設機械シンポジウム 論文集・梗概集

平成 22 年 11 月 9 日～10 日

東京・機械振興会館

主催：社団法人 日本建設機械化協会

後援：経済産業省

国土交通省

独立行政法人 土木研究所

社団法人 土木学会

社団法人 日本機械学会

社団法人 地盤工学会

社団法人 日本機械土工協会

一般社団法人 日本測量機器工業会

## 論文審査規定概要

### 1. 審査方法

論文アブストラクト及び本論文の2段階で行い、アブストラクトについては全審査員が全編を審査し、論文については1編あたり3名の審査委員が審査を行う。

下記の審査基準に基づき、審査委員会が採択の判断を下した場合に採択される。

### 2. 審査基準

新規性、有用性、完成度、信頼度並びに本シンポジウムの主旨に合致するかどうかの視点で採否の判断を行う。

### 3. 審査委員名簿（委員五十音順・敬称略）

	委員名	機関名	所属・役職
委員長	建山和由	立命館大学	理工学部 建築都市デザイン学科 教授 工学博士
副委員長	高橋 弘	東北大学	大学院環境科学研究科環境科学専攻 太陽地球システム・エネルギー学講座 地球環境開発環境分野 教授 工学博士
委員	川本伸司	前田建設工業(株)	土木事業本部 土木部 機械グループ マネージャー
委員	小栗賢一	西尾レントオール(株)	測器部 情報化施工推進室
委員	斉藤秀企	コマツ	開発本部 商品企画室 プロダクト・マネージャー
委員	白鳥昭浩	(社)日本建設機械化協会	技師長
委員	高見俊光	サコス(株)	営業推進部 部長
委員	竹之内博行	(社)日本建設機械化協会	施工技術総合研究所 技師長
委員	田中利昌	日立建機(株)	建設システム事業部 技術部 部長
委員	玉石修介	(社)日本機械土工協会	技術委員長
委員	西脇徹郎	(社)日本建設機械化協会	標準部長
委員	平岡茂樹	(株)トプコン	ポジションング・ビジネスユニット アジア中東マーケティング部 ストラクショナルグループ 課長
委員	藤野健一	(独)土木研究所	技術推進本部 先端技術チーム 主席研究員
委員	星野春夫	(株)竹中工務店	技術研究所 先端技術研究部新生産システム 部門 主任研究員 工学博士
委員	前原信之	(社)日本建設機械化協会	技術部長
委員	溝口孝遠	コベルコ建機(株)	顧問 工学博士
委員	宮野泰彰	キャタピラー・ジャパン(株)	市場開発部 マーケット営業支援課 課長

平成 22 年度

# 「建設施工と建設機械シンポジウム」論文集・梗概集 目次

○印 口述発表者

## I 論文集

1. 「地中障害物混在地盤に対する複合相対攪拌工法の適用事例」  
中央大学工学部：齋藤 邦夫  
小野田ケミコ株式会社：鈴木 孝一  
エポコラム協会：○高倉 功樹・・・ 1
2. 「軟弱地盤上の盛土施工における効率的な動態観測手法の開発」  
株式会社 岩崎：○進藤 康裕、木下 大也、秋田谷 浩史・・・ 5
3. 「低粉じん吹付け機における施工実績」  
株式会社フジタ：○橋詰 亮、野間 達也  
リブコンエンジニアリング株式会社：門倉 智・・・ 9
4. 「ラック&ピニオン駆動モノレール式非円形断面シールドトンネル用セグメント組立装置の開発」  
株式会社大林組：○曾根 大輔、久田 英貴  
三菱重工メカトロシステムズ株式会社：熊尾 義光、杉山 雅彦・・・ 15
5. 「護床ブロック移設アタッチメントの開発と施工」  
玉石重機株式会社：○片岡 広志、野中 耕一  
日立建機株式会社：友澤 茂治・・・ 21
6. 「無人・有人対応草刈機の開発」  
国土交通省 北陸地方整備局 北陸技術事務所：宮島 実、○小林 弘朗・・・ 23
7. 「空港ターミナルビルにおける大規模屋根スライド工法」  
鹿島建設株式会社：○和田 賢一、領木 紀夫、水谷 亮・・・ 27
8. 「ラインリーダーの開発」  
鹿島道路株式会社：○平藤 雅也  
株式会社トライテック：梶原 泰樹、柴崎 秀一・・・ 33
9. 「高粘着力地盤へのハイブリッド攪拌工法の適用と改良品質」  
小野田ケミコ株式会社：鈴木 孝一、西尾 経、○近藤 省一  
中央大学工学部：齋藤 邦夫・・・ 37
10. 「エアロ・ブロック工法」の開発」  
清水建設株式会社：○金丸 清人、原 忠・・・ 41

11. 「自由形状・大口径高圧噴射攪拌工法」  
前田建設工業株式会社：○安井 利彰、手塚 広明、竹岡 正二・・・ 4 5
12. 「不法投棄現場における廃棄物層内の環境改善技術の開発」  
東急建設株式会社：椿 雅俊・・・ 5 1
13. 「低粉塵岩盤切削工法」  
奥村組土木興業株式会社：○丸山 健一、野本 雅樹  
株式会社流機エンジニアリング：西村 聡・・・ 5 5
14. 「多断型端面掘削方式を用いたモデル掘削機の応力制御実験」  
呉工業高等専門学校：重松 尚久、○北岡 一成  
株式会社スターロイ：小田 登・・・ 6 1
15. 「車載型排出ガス計測装置による建設機械排出ガス評価について」  
独立行政法人土木研究所：○杉谷 康弘、藤野 健一、石松 豊・・・ 6 5
16. 「埋蔵文化財包蔵地における先端建設技術の活用について」  
独立行政法人土木研究所：○藤野 健一、石松 豊・・・ 6 9
17. 「ハイブリッド式大型ホイールローダの開発」  
日立建機株式会社：○伊藤 徳孝・・・ 7 5
18. 「超高層建設における大型タワークレーンの特殊装置について」  
株式会社大林組：○矢田 和也、椎名 肖一・・・ 7 9
19. 「ダンプシート掛け作業の安全対策」  
大崎建設株式会社：○長田 有史・・・ 8 3
20. 「動的ロードセルの問題点」  
東海大学大学院：○廣川 匠  
通信土木コンサルタント株式会社：木村 修一  
東海大学：近藤 博・・・ 8 5
21. 「敷鉄板の敷設方法と地盤支持力に関する実験的解析」  
独立行政法人労働安全衛生総合研究所：○堀 智仁、玉手 聡・・・ 8 9
22. 「現場の地耐力確認を目的とした簡易試験法の実験的検討」  
独立行政法人労働安全衛生総合研究所：○玉手 聡、堀 智仁・・・ 9 3
23. 「北海道における情報化施工に関する現状分析と今後の取り組みへの考察」  
株式会社岩崎：○木下 大也、進藤 康裕、熊谷 大輔・・・ 9 7
24. 「エコ運転指導を支援するダンプトラック I C T 運行管理システムに関する研究開発」  
株式会社キック：○才原 勝敏、西垣 重臣  
渡辺建設株式会社：渡邊 伊三郎・・・ 1 0 1

25. 「情報化施工のレンタル対応と適応性」  
株式会社トプコン：○竹内 幸弘・・・107
26. 「遠隔操作重機によるプレキャストアーチカルバートの据付」  
株式会社フジタ：○中村 好典、三鬼 尚臣、野末 晃・・・111
27. 「精密施工法を応用した汚染土壌掘削管理システムの適用」  
株式会社間組：○石原 吉雄、黒台 昌弘、辻 俊次・・・117
28. 「3次元計測／出来形管理システムの開発と建築工事への適用」  
株式会社大林組：○池田 雄一、金子 智弥、浜田 耕史・・・123
29. 「設計データを搭載した3次元測量機器による出来形管理手法の導入について」  
国土交通省国土技術政策総合研究所：○梶田 洋規、北川 順  
国土交通省関東地方整備局千葉国道事務所：遠藤 和重・・・129
30. 「情報化重機土工事の課題と整理」  
社団法人日本機械土工協会：○技術委員会・・・133
31. 「情報化施工の工事価格と工事規模に関する一考察」  
国土交通省国土技術政策総合研究所：宮武 一郎、坂本 俊英  
社団法人日本建設機械化協会：○藤島 崇・・・137
32. 「GPS を活用した除雪機械運用支援システムの開発」  
独立行政法人土木研究所寒地土木研究所：○岸 寛人、佐々木 憲弘、牧野 正敏・・・141
33. 「クラックスケール内蔵光波測量機と  
デジタル写真画像によるひび割れ抽出ソフトを用いた構造物のひび割れ計測」  
関西工事測量株式会社：○交久瀬 磨衣子、中庭 和秀・・・147
34. 「自動ステアリングによるアスファルトフィニッシャの制御に関する検討」  
前田道路株式会社：○菊地 重徳、宇田川 健治・・・151

## II 梗概集

### II-1 ポスターセッション要旨

1. 「コンクリート表層部の健全性評価システム「健コン診断ポータブル」」  
佐藤工業株式会社：○歌川 紀之、北川 真也、鍋谷 雅司・・・155
2. 「硬質岩盤掘削機の開発のための応力制御実験」  
呉工業高等専門学校：重松 尚久、○河村 倫太郎  
株式会社スターロイ：小田 登・・・157
3. 「端面掘削方式を用いた硬質岩盤掘削機の開発に関する基礎的研究」  
呉工業高等専門学校：重松 尚久、○高垣 夏輝  
愛媛大学：室 達朗・・・159

4. 「モデルベース開発による制御ソフト開発の効率化と品質向上」  
dSPACE Japan 株式会社：森田 康、○金田 大介・・・161
5. 「双腕型油圧ショベル」  
日立建機株式会社：○江口 隆幸、石井 啓範、小俣 貴之・・・163
6. 「JENOBA 方式によるネットワーク型 RTK-GPS 配信サービス」  
株式会社ジェノバ：細谷 素之、○岩田 好正・・・165
7. 「トータルステーションを用いた出来形管理」  
ライカジオシステムズ株式会社：○遠藤 恒士  
演算工房株式会社：白坂 紀彦・・・167
8. 「埋設部根入れ深さ測定装置「NST-2」」  
日進工業株式会社：○中村 真史  
SWR株式会社：山口 英俊・・・168

## II-2 施工技術総合研究所研究発表

- S1. 「環境対策工事におけるICTを活用したCM」  
施工技術総合研究所研究第一部：鈴木 健之・・・169
- S2. 「橋梁伸縮装置の損傷原因に関する調査研究」  
施工技術総合研究所研究第二部：小野 秀一・・・173
- S3. 「情報化施工に対応した監督業務支援ツールの開発」  
施工技術総合研究所研究第三部：椎葉 祐士・・・179
- S4. 「真空環流式路面清掃車の粉塵巻き上がり防止技術の開発」  
施工技術総合研究所研究第四部：佐野 昌伴・・・183

## II-3 協会活動報告

- K1. 「JCMMA製造業部会・機械部会の地球温暖化対策」  
製造業部会・機械部会：斉藤 秀企・・・189
- K2. 「JCMMA製造業部会活動報告」  
製造業部会マテリアルハンドリングWG：生田正治・・・193

## II-4 平成20年度研究開発助成成果報告

### 「道路建設における環境に優しい硬質岩盤剥離掘削技術の開発」

呉工業高等専門学校 環境都市工学科 准教授 重松 尚久・・・198

## II-5 特別講演

### 「南極での建設機械の利用と課題」

国立極地研究所 南極観測センター 設営担当マネージャー 石澤 賢二・・・200

## II-6 基調講演

### 「羽田空港D滑走路建設工事における情報化施工の取り組みについて」

国土交通省関東地方整備局港湾空港部港湾物流企画室 補佐 野口 孝俊（データなし）  
・・・205

# I 論文集

# 1. 地中障害物混在地盤に対する複合相対攪拌工法の適用事例

中央大学理工学部  
小野田ケミコ株式会社  
エポコラム協会

齋藤 邦夫  
鈴木 孝一  
○ 高倉 功樹

## 1. はじめに

近年、地盤改良工法に対する需要が拡大し、改良対象が砂・粘土等の軟弱地盤に限らず、障害物が混在する地盤への適用事例が増大している。

複合相対攪拌工法は、3種類の攪拌翼を相対反転させて固化材スラリーと地盤土を攪拌混合し、所要の強度を発現させる深層混合処理工法の一つである。

従来の機種と比べ、高いトルク性能と特殊な翼形状により、コンクリートガラ・転石が混在する地盤に対しても多くの改良実績を有している。

本文では、複合相対攪拌工法の概要を紹介すると共に、旧建築物の基礎杭や圧密促進のため打設された鉛直ドレーン材が残置された地盤あるいは大量の転石が混在する地盤を対象にした施工事例について報告する。

## 2. 複合相対攪拌工法の概要と特徴

複合相対攪拌工法の攪拌翼構造と回転方向を図-1に示す。同図より、攪拌翼は、台形状の外翼(A)3枚、中翼(B)・芯翼(C)各2枚と先端に装着された削孔ヘッド(D)により構成されている。

削孔ヘッド(D)と中翼(B)は右方向に正回転し、外翼(A)と水平版状の芯翼(C)がこれと逆回転して地盤土をかき解しながら籠状の翼内に取り込み、各翼体の相反作用によってセメントスラリーを効率高く原土に練り込む<sup>1)</sup>。

同時に攪拌翼の回転作動により「共回り」、「連れ回り」現象が抑制できる特徴を有している<sup>2)</sup>。

また、固化材スラリーの吐出位置が先端吐出口と中翼鉛直部の2箇所に設けられていることも、固化材の練り込みを効果的にし、安定した改良体品質をもたらす要因となっている。

さらに、本工法の回転駆動装置は、低速回転ながら従来のそれと比較して4~5倍もの掘削トルク性能を有している。

これと回転軸に装着されている攪拌翼の剛性の高さが、強力な削孔能力を発揮させ、N値=40~50の砂礫層や玉石まじり層を削孔・攪拌することを可能にしている<sup>1)</sup>。

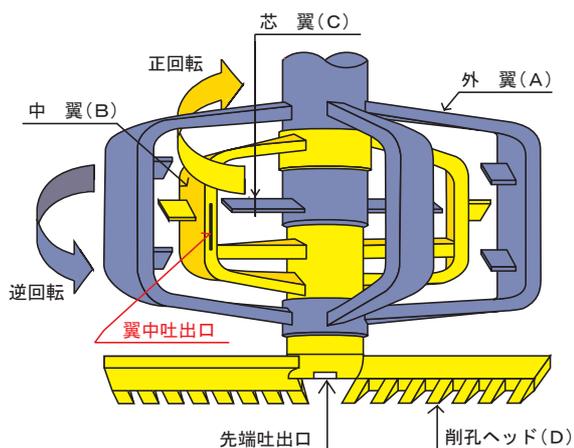


図-1 複合相対攪拌翼 模擬図

## 3. 地中障害物混在地盤における改良施工事例

### 3.1 既設杭が残置された地盤の改良例

#### (1) 工事概要

本工事は建築物を解体後、同箇所に複合商業施設を建設するものであり、その基礎として深層混合処理工法(改良径 $\phi$ 1.8m、 $l$ ≒13m)が計画された。改良対象地盤はGL-1.3mまでガラ主体の埋土、その下層に軟弱な砂、シルトが互層し、GL-8.5mからN値5~20程度、層厚3.8mの礫まじり砂層が続く。その下にシルト層が層厚1.1mで狭在し、GL-13.4m以深からN値>20~40の礫まじり砂層に連なる。この地盤中に直径 $\phi$ 0.45mのPHC杭、直径 $\phi$ 0.3mのPC杭・RC杭がおよそ13mの長さで残置されていた。

#### (2) 従来技術による施工方法

一般に、杭が残置された地盤で改良工事を行なう場合は、予め残置杭の頭出しを行い、オールケーシング工法で障害となる杭を除去し、その後、深層混合処理工法によって改良体を造成する<sup>3)</sup>。このため、通常の施工に比べ、残置杭を除去する前処理工程の時間と経費が必須となる<sup>4)</sup>。

さらに、旧構造物基礎の杭配置が不明な場合、上記に加えて杭配置の確認作業が必要になる。また、杭を除去した後も地盤改良中に未確認の杭に遭遇することは、しばしば経験するところである。このような場合、1)改めて杭を除去するか、2)設

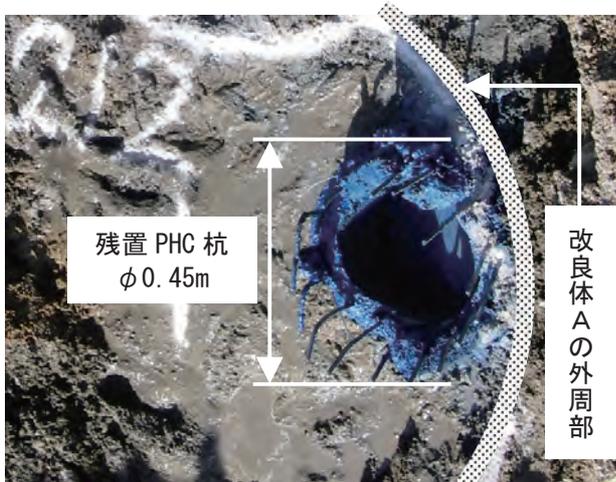


写真-1 確認された残置杭と改良予定範囲

計条件を満たす範囲で改良体位置の変更あるいは3)改良体を増打ちによって対処しなければならず、大幅な施工工程の変更が発生する。

### (3)施工結果と改良品質

本事例における複合相対攪拌工法による改良断面と典型的な残置杭位置関係ならびに施工仕様を表-1に示す。表中の改良体Aは、残置された杭種と位置関係から最も厳しい施工条件である。写真-1は、残置杭について頭出しを行ない、これと改良範囲の相対的位置関係を示す。写真の中央やや右に残置杭のPC鋼線が複数認められる。

図-2は、残置杭を含む3つの改良体A~Cと残置杭を含まない改良体Dの造成に伴う駆動モータの電流値を比較した結果である。

同図より、地盤上部が不均一なコンクリートガラ主体の埋土であるため、この影響により攪拌翼が完全に通過するGL-3.0m付近まで、残置杭の有無に関係なく、比較的大きな電流値変動が生じている。

GL-4.0m以深は軟弱な砂層、シルト層であるため、どの改良体も200A程度の電流値となる。礫混じり砂層となるGL-9.0m以深から漸次300A程度まで増大し、所定の深度近傍では約500Aとなった。これより、上層部の電流値を除くと、残置杭の有無による差異は認められない。また、改良体A~Cの電流値比較からも、杭径・杭種の違いによる破碎抵抗に特段の違いはないと考えられ、本工法は残置杭が混在する地盤であっても、通常施工と同等の施工性を保持していることが判明した。

写真-2は改良体Aについて改良体の天端まで掘削し、出来形の確認を行ったものである。改良体全断面に亘り、大きさ10~50mm程度の残置杭破砕片が均一に分散していることがわかる。

写真-3は、改良体Aについてオールコアボーリングを実施し、採取したコアの状況である。コアの表面に残置杭の破砕片が散在している。

コアの採取率としては97%以上となり、非常に高い連続性を確保しており、残置杭の破砕片を混

表-1 施工仕様と残置杭位置

番号	改良体A	改良体B	改良体C	改良体D
形状				
改良径(m)	φ1.80	φ1.80	φ1.80	φ1.80
残置杭(m)	PHC杭: φ0.45	PHC杭: φ0.30	RC杭: φ0.30	なし
施工長(m)	15.50	13.02	12.90	15.50
空掘長(m)	1.45	1.45	1.45	1.45
改良長(m)	14.05	11.57	11.45	14.05

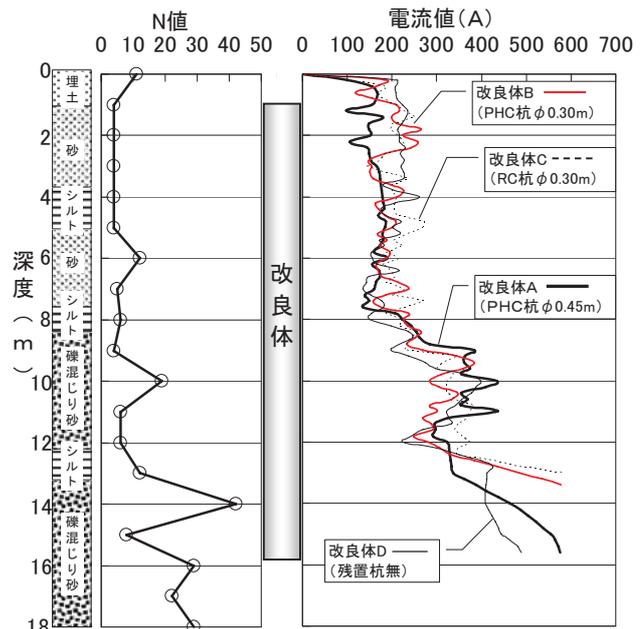


図-2 電流値比較



写真-2 出来形状況(改良体A)

入してもコアの欠損部がなく、破砕片と改良体が一体化された良好なコアであると言える。

また、一軸圧縮強度試験の結果、コアの平均強度は  $qu=8,018\text{kN/m}^2$  となり、変動係数は  $Vd=18.45\%$  となった。同一施工区域内の通常施工の改良体Dの変動係数は  $Vd=19.85\%$  となっており、いずれの変動係数も同程度でばらつきに大きな差がないことが確認された。

この結果より、コアの一軸圧縮強度においても



写真-3 オールコアボーリング採取状況

残置 PHC 杭( $\phi 0.45\text{m}$ )を破砕した改良体の品質は安定しており、通常施工における品質と同等であることが明らかとなった。

### 3.2 鉛直ドレーン材が残置された地盤の改良例

#### (1) 工事概要

鉛直ドレーン材が打設された地盤を道路用地として転用するのに伴い、同地盤を深層混合処理工法で改良することが計画された。図-3 はドレーン材と新たに計画した改良体の位置関係を示している。ドレーン材の間隔は  $1.0\text{m}$  であり、改良体は中心間隔が  $3.0\text{m}$  で、改良径  $\phi 2.0\text{m}$  であることから、最少で 2 本、最大で 6 本のドレーン材が改良体造成の妨げになることがわかる。

#### (2) 従来技術による施工方法

通常の深層混合処理工法では、水平板状の攪拌翼を一方に回転させ、羽根切り作動を地盤に与えて原土と固化材を攪拌混合させる。その際、ドレーン材が残置された地盤では、ドレーン材が翼体に巻き付き、羽根切り作動の効率を低下させ、原土と固化材の攪拌混合を著しく阻害する。また、一方向回転の機械攪拌工法では、巻付いたドレーン材と翼体とが一体化して「共回り」現象が生じる。結果として改良体の品質不良につながる。

#### (3) 施工結果と改良品質

写真-4 は、本工法による改良後、攪拌翼に巻き付いたドレーン材を示す。3 種類の攪拌翼が相対回転するため、ドレーン材を破断し翼体に多量に巻きつくことは認められなかった。そのため、「共回り」を未然に防ぐことができた。

また、ボーリングにより採取した計 27 個の試料について一軸圧縮試験を行い、改良体の品質を調

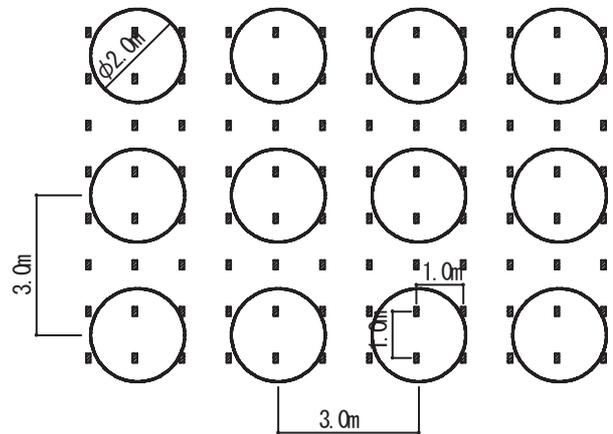


図-3 改良体とドレーン材配置



写真-4 ドレーン材破断状況

査した。その結果、現場平均改良強さ  $q_u = 3,797\text{kN/m}^2$ 、変動係数  $V_d = 21.9\%$  が得られた。品質を見極める目安となる変動係数  $V_d = 25\%$  に較べて若干小さく、ドレーン材が残置された地盤に対する本工法の改良品質の高さが確認できた。

### 3.3 転石が多量に混在する地盤の改良例

#### (1) 工事概要

道路拡幅用に補強土壁を構築し、これを安定させるために深層混合処理工法が計画された。地盤は、図-4 に示すように施工基面から深さ  $5\text{m}$  が崖錘堆積層(玉石まじり粘土質砂礫層,  $N$  値= $10 \sim 45$ )、その下に軟弱な火山灰質粘土、砂質シルト、砂礫、粘土質砂、礫まじり砂が傾斜する花崗岩上に成層している。崖錘堆積層には、直径約  $0.4 \sim 0.5\text{m}$  もの風化花崗岩の転石が多量に混在し、礫含有率は  $60 \sim 70\%$  と推定された。また、地盤内の地下水位が施工基面から約  $GL-3\text{m}$  の位置にあり、且つ施工ヤード幅が  $12\text{m}$  しかなく、制約の大きな条件下での工事であった。

補強土壁を支える改良体の直径は $\phi 1.6\text{m}$ で、ラップ施工させながら、支持層である花崗岩の傾斜に沿って階段状に根入れさせた。平均長さ $l=6.7\text{m}$ であり、改良本数 $N=137$ 本である。

### (2)従来技術による施工方法

通常、転石が多量に存在する地盤では、バックホウによる全面開削工法か、またはオールケーシング工法による置き換えが行なわれる。しかし、前者の場合には、地下水位条件より土留め・止水壁等の仮設工事が必要になり、しかも狭隘な条件がその施工の妨げになる。一方、後者は高いコストを覚悟する必要がある。また、何れの工法を選択しても、掘削により施工基面が乱され、処理機のトラフィカビリティを確保するため、別途表層改良が必要となる。その他、改良体を1本1本打設するごとにバックホウにより簡易的に転石除去を行なう場合も考えられるが、前述の通り対象層厚と地下水位の条件から完全除去は困難である。

さらに、改良体配置がラップ施工であるため、転石除去作業によって隣接する改良体へ悪影響を及ぼすことも考えられる。

### (3)施工結果と改良品質

写真-5は、複合相対攪拌工法による転石混在層の貫入攪拌状況である。

本工法の高トルク型の回転駆動機と高剛性の外翼と中翼の相対回転作動によって、一部の転石を破碎しながら貫入攪拌が行なわれる。また、同写真より転石を破碎する際の粉塵も見て取れる。写真-6は、オールコアボーリングを実施し、採取したコアの一部である。白っぽく見える部分が転石であり、改良体の内部に一体化されていることがわかる。改良品質として、現場平均改良強さは $qu=2,508\text{kN/m}^2$ 、変動係数は $Vd=24.2\%$ となった。転石混在層での施工においても、ばらつきは少なく、改良品質が安定していることがわかる。

### 4. まとめ

本文では、低速回転・高トルク型の複合相対攪拌工法を用いて、3種類の異なる地中障害物混在地盤を対象に攪拌改良を行い、その施工性と改良品質について精査した。その結果、

- 1) 本工法では、補助工法を何ら使用する事無く、目的とする改良施工を達成することが出来た。
- 2) 本工法に抛る改良体の変動係数は25%以下であり、特殊な地盤条件下であっても、安定した改良品質を確保していることが確認された。

### 参考文献

- 1) (財)先端建設技術センター：先端建設技術・技術審査証明報告書「エポコラム工法（エポコラム-Loto工法；大口径 $\phi 2,500$ 地盤改良工法）」、pp.5～11, 2006
- 2) 鈴木孝一・齋藤邦夫・原満生・佐藤篤哉・高倉功樹・古

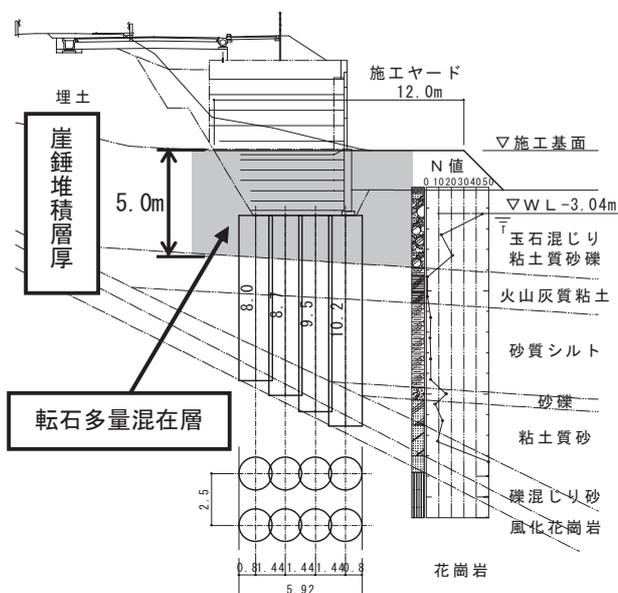


図-4 標準断面図(単位 ; m)



写真-5 転石混在層攪拌状況



写真-6 コア採取転石混入状況

澤政夫・蓮香朋宏：複合相対攪拌翼を用いた深層混合処理工法の改良原理と適用事例，材料，第59巻・第1号，pp.32～37, 2010.2

- 3) 齋藤邦夫・鈴木孝一・原満生・高倉功樹：低速回転・高トルク型複合相対攪拌翼による深層混合処理工法の施工性能について，平成20年度建設施工と建設機械シンポジウム，pp.147～150, 2008.11
- 4) 鈴木孝一・立石光一・原満生・高倉功樹：エポコラム-Loto工法(大口径深層混合処理工法)の概要と適用事例，第7回土質基礎に関する「新工法・新技術」技術報告会，北海道土木技術会，pp.1～8, 2009.1

## 2. 軟弱地盤上の盛土施工における効率的な動態観測手法の開発

株式会社 岩崎 企画調査部 ○進藤 康裕  
株式会社 岩崎 企画調査部 木下 大也  
株式会社 岩崎 システム支援課 秋田谷 浩史

### 1. はじめに

軟弱地盤上において盛土を施工する際、安全に施工を進めるためには盛土や周辺地盤の挙動を迅速かつ正確に把握することが重要となる。

そこで、盛土上に沈下板、周辺地盤に変位杭を設置し、それぞれの沈下量や変位量を観測する方法が一般的である。

しかし、施工範囲が広い場合は、観測点となる沈下板や変位杭が100点を超えることもあり、レベルや光波測距儀、スチールテープ等による従来の観測方法では、観測に2人で約1日を要するなど、多大な労力が必要となる。

特に、北海道は泥炭性軟弱地盤が広く分布しており、動態観測の効率化が急務である。

そこで、自動追尾・自動視準機能を有した高精度トータルステーションを用いて1名で観測し、更に専用ソフトを開発することでデータ入力から帳票出力を含む作業全体の効率化を実現することができた。

本論では、この新手法について開発背景や効果及び今後の展望を報告する。

### 2. 泥炭性軟弱地盤と動態観測

#### 2.1 泥炭性軟弱地盤と北海道の特性

泥炭とは、分解不十分な湿性植物の遺体が堆積してできたもので、有機物含有量、圧縮性は、極めて大きく、せん断強さは小さいなどの工学的特性を有する。

わが国では、その大部分が北海道に分布しており、また少ないながらも東北地方から九州にわたって散在している。

北海道には約2,000km<sup>2</sup>に及ぶ泥炭地が分布しているといわれており、北海道平野部面積の約6%に相当している(図-1)。

この様な、泥炭が表層部に堆積し、その下層に軟弱粘土層を有し地下水位が高い地盤は、建設工事で問題となる場合が多く、これを一般に「泥炭性軟弱地盤」と呼ぶ。

北海道内の泥炭性軟弱地盤は、泥炭層の厚さは3.0m~5.0m程度で、その下層は地域により異なるが、石狩地方などでは軟弱粘土層からなることが一般的で、その層厚も20.0mにも及ぶ地域も見受けられる。

この様な地域での道路建設に際しては、泥炭性軟弱地盤特有の工学的特性から、盛土による基礎地盤の滑り破壊や過大な沈下が発生しやすく、また周辺地盤の隆起、側方変位などが問題となることが多い(写真-1)。<sup>1)</sup>



図-1 北海道の泥炭性軟弱地盤分布図



写真-1 盛土に伴う側方変位被害

## 2.2 泥炭性軟弱地盤地での動態観測の目的

前述の様な、泥炭性軟弱地盤地の施工時は、一般的な施工管理項目はもとより、特に動態観測を中心とした管理が重要であり、施工上の位置付けとしては、下記の事項について、適切な判断を行うために、実施する。

- ①盛土の滑りによる破壊の危険性の有無を判断（施工速度のコントロール）
- ②载荷盛土の取り除き時期の判断
- ③残留沈下量の予測と対策（上越し量の設定）
- ④盛土による周辺地域の沈下または隆起による第三者への被害の予知及び対策<sup>2)</sup>

## 2.3 動態観測の概要及び重要性

この動態観測の主な項目は、以下の方法がある。

- ①沈下板観測による現地盤の沈下測定
- ②周辺現地盤の水平、鉛直変位の測定

また観測頻度は、表-1の頻度を原則とし、変状が生じ始めたことが予想される場合は適宜、発注者と協議する必要がある。

この様に軟弱地盤地における盛土の動態観測は観測により得られた安定管理データを基に盛土の破壊の危険性を判断し、盛土施工をコントロールする、極めて重要な管理であるといえる。

また各種計測器を用いその情報を基に施工の判断をおこなう施工と計測情報が一体となった施工方法を、一般的には情報化施工と呼び、古くからトンネルにおける変位計測データの施工への反映が実施されている。近年においてはICT技術（情報通信技術）、特にGPS、TS等の測位技術と機械制御技術とを融合した情報化施工技術が普及しつつある。

図-2に動態観測の情報化施工フローを示す。

## 2.4 従来の動態観測

この様に極めて重要な管理である動態観測は、一般には沈下板観測ではレベル、スタッフにより水準観測を行い、最低2名の人員を必要とした。

変位杭観測では、1測線ごとに設けられる不動杭と呼ばれる堅固な基準点に光波測距儀を据え付け観測対象である変位杭に反射プリズムを設置、その点間距離を観測することで、沈下板観測と同様に最低2名の人員を必要とした。

しかも施工範囲が広範囲に及ぶ場合はこれに伴い、観測すべき測線が増加する。盛土の施工規模によっては観測すべき沈下板、変位杭が100点を超える場合も数多く見受けられ、この様な観測規模の現場では2名で観測に半日以上、また観測データを用いた安定管理データの取り纏めにおいても半日程度を要し、これらを合わせると丸一日要するとのヒアリング結果も得ている。

この様に動態観測は極めて重要な管理ではあるものの、作業所においては観測に要する負担が多

大な管理であるともいえる。

(図-3)に従来法の動態観測イメージを示す。

表-1 動態観測の標準的な観測頻度

	対策 施工中	盛土 期間中	終了後 1か月	1~3 か月	3か月 以降	測定期間
沈下板 観測	1回/日	1回/日	1回/ 2~3日	1回/週	1回/月	工事期間 まで
変位杭 観測	1回/日	1回/日	1回/ 2~3日	—	—	終了後 1か月まで

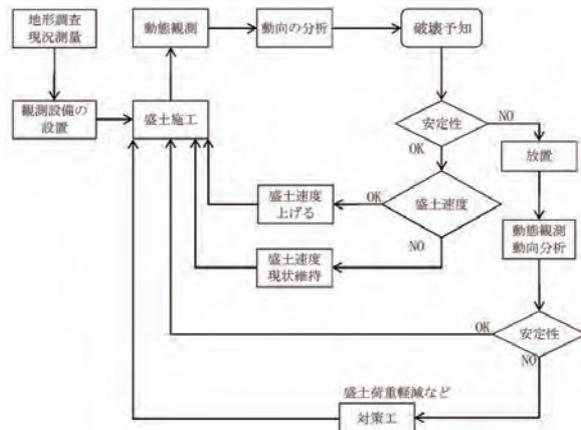


図-2 動態観測の情報化施工フロー

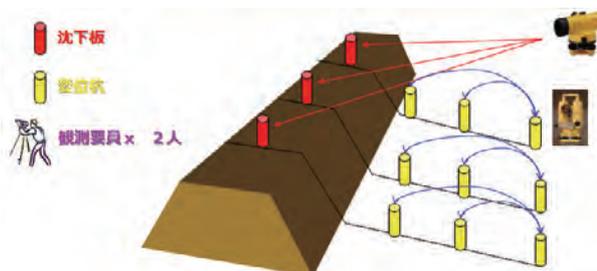


図-3 従来の動態観測手法のイメージ図

## 3. トータルステーションを用いた動態観測

### 3.1 開発の経緯

道内では近年、道央都市圏の環状道路として、新千歳空港を起点とし、小樽市へ至る全体延長約80kmの道央圏連絡道路が整備されつつあり、本路線には道内有数の軟弱地盤地域である石狩管内が含まれており、そこでは盛土の施工に伴い動態観測が日々実施されている。

上記背景を基に、動態観測の効率化を目的として2006年にトータルステーション（以下、TS）を用いた動態観測システムの開発をスタートした。

### 3.2 システム開発時の要求機能

本システム開発上の、留意点を以下に挙げる。

- ①特定測器メーカーへの依存を避ける為、日本測量機器工業会規格であるSIMA形式ファイルをTSから出力し、今回開発する軟弱地盤対策工管理システムへ取込む

(以下、管理システム)

②データ改変防止，大容量データ取扱い時の安定性及び処理速度を考慮し，データベース方式を採用

③管理データとして紙での提出を想定し，表計算ソフトへ安定管理帳票を出力

また利用されるTSの要求機能を以下に挙げる。

①日本測量機器工業会の規格であるSIMA形式のファイル出力への対応

②モータードライブを搭載し，自動視準，自動追尾機能，及び360°全周プリズムによる，ワンマン観測機能への対応

③動態観測において，従来法と同程度の観測精度を得る為，測角精度は水平，垂直とも5秒以上を有する

これら要件を満たした動態観測システムが2006年に完成し，現在まで道内外10数か所の現場で運用され，現場からの意見要望を反映した機能改善を実施しながら現在に至る。

また2008年1月には国土交通省が新技術の活用のため運用する，新技術情報提供システム（通称NETIS）への登録を完了している。

### 3.3 システムの概要

この動態観測システムは，観測時には2つの方法を想定しており，それぞれ以下の特徴を示す。

#### 【固定プリズム方式】

- ①予めプリズムを観測個所に常設
- ②観測精度が高く，また観測スピードが速い
- ③観測個所の分，プリズムが必要

#### 【360°全周プリズム方式】

- ①360°全周プリズムを持ち，観測個所毎に整準
- ②固定プリズムと比較し，観測個所を歩く工数が発生するが，相対的には低コスト

実際の現場においては求める精度，観測個所数，人員，コストなどを勘案し観測方法を選定する必要がある。

また安定管理データは上記観測で得られたデータをSIMA形式でパソコン上の管理システムに取り込み半自動的に安定管理データを取り纏めるものである。

2006年，開発当時の現場検証では沈下板50点，変位杭50点の観測個所を1名で観測し，観測0.26日，データ取り纏め0.13日の合計0.39日との結果を得ることが出来た，一方の従来法では2名観測で0.49日，データ取り纏めで0.50日の合計0.99日とのヒアリング結果を得ている。

本管理システムの画面イメージを図-4に示す，またTSを用いたワンマン観測のイメージを図-5，図-6に示す。



図-4 軟弱地盤対策工管理システム画面イメージ

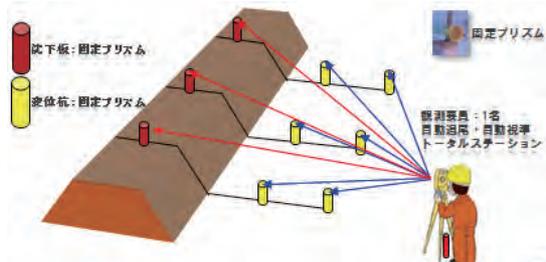


図-5 ワンマン観測（固定プリズム方式）

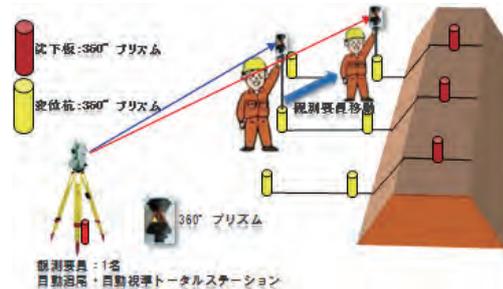


図-6 ワンマン観測（360°全周プリズム方式）

### 3.4 2007年現場検証及び結果

前述の2006年現場検証では沈下板50点，変位杭50点を観測したことは既に述べた。また，このときの観測手法は固定プリズム方式であった。

よって本節では，2007年末に実施した360°全周プリズムを用いた場合の検証結果を紹介する。

検証概要を，表-2に示すとおり沈下板9点，変位杭36点を1名で観測し，観測データを管理システムで取り纏めたときの，工数，コスト，精度を従来法と比較した。この結果を，以下に示す。

工数比較結果，表-3からは変位杭観測工数の削減が確認されるが，TSの単価が高額である為，金額的には大きな削減とはならなかった。一方，沈下板観測は従来法での工数も小さく，ともに絶対値の小さな結果となった。

更に観測～データ整理までのトータル工数に着目した場合は本技術では0.2日，従来技術では0.35日となりトータル金額でも一定の削減効果が確認できる。

しかしながら，2006年現場検証で得られた削減効果ほどには効果が得られていない。

これは観測個所数が少なく大きな低減効果が得づらい点，変位杭観測において視通を確保する為TSの移動が複数回発生した点，360°プリズム方式

特有の観測個所への移動の工数が影響を与えたと推測される。

一方、従来法と比較した変位杭観測精度を図-7に示す。その結果、新手法は従来法に対して、平均2mmほど短い値を示し、バラツキ(σ)も5mmほどと比較的良好な結果となった。

本検証では、TSに1秒機を選定し、その観測距離は200m弱であった。このことから5秒機以上の機種を用いた場合でも、その観測距離を100m以内とした場合、従来法と同程度の観測精度が得られることが期待できる。

また本検証から以下のことが考えられる。

- ①観測個所数が多いほど、工数削減効果が大きく、特に変位杭観測での工数削減が期待できる
- ②TSと観測個所の視通確保が重要であり、視通の確保ができない場合、大きな工数削減が期待できない
- ③1秒機を用いた場合、150m程の観測距離であれば従来法と同等の精度が期待できる

#### 4. 本システムの効果と課題

本章では、前章ならびに実運用現場でのヒアリング結果を踏まえ、本システムの効果と課題を述べる。

##### 【効果】

- ①観測個所数が多いほど、観測、データ取り纏めともに工数削減が期待でき、速やかな盛土の挙動把握に寄与する
- ②観測データを用い半自動的に安定管理データを取り纏める為、ミス、モレを削減できる

##### 【課題】

- ①視通の確保が困難な場合、工数削減が期待できない
- ②360°全周プリズムによる観測時、プリズムのロストが発生する

課題②に関しては、観測者の操作方法に起因するもの、太陽光の影響など気象条件に起因するものなど様々であるが、TSの機能向上に伴い、改善されつつある。

#### 5. おわりに

本論では、北海道の特性を踏まえた泥炭性軟弱地盤における、動態観測の重要性や新しい動態観測技術の概要、その検証結果について報告した。

また、各種計測器を用い、その情報を基に施工法を判断する、計測情報が一体となった情報化施工が古くから実施されていることにもふれてきた。

近年では、ICT技術を活用した情報化施工がわが国でも普及しつつあり、本技術もICTを活用した情報化施工技術と位置付けることができると考える。

このような情報化施工技術は土木施工において少なからず存在する苦渋作業の低減や、危険源への曝露数の減少、作業効率の改善などが期待でき、土木業界に漂う閉塞感へのブレークスルーとなりえる技術と考えられる。

今後も、GPS、TSに代表される測位機器や各種計測機器と、これらのデータを活用するソフトウェア開発などを通じ、土木施工の生産性向上に寄与できるような活動を継続したい。

表-2 動態観測検証概要(360°プリズム方式)

検証項目	観測数	区間
沈下板観測	9箇所	L=105.77m
変位杭観測	36箇所	L=105.77m
観測データ取り纏め	45箇所	

表-3 工数比較結果

比較技術	新技術	従来実績ヒアリング
地表面沈下計測 9点	・測量技師補:0.01人/9点計測 $20,400円 \times 0.01人 = 204円$ ・トータルステーション:0.01日/9点計測 $35,000円 \times 0.01日 = 350円$ 地表面沈下計測 0.01日 554円	・測量技師補:0.03人/9点計測 $20,400円 \times 0.03人 = 612円$ ・測量助手:0.03人/9点計測 $18,500円 \times 0.03人 = 555円$ ・レベル標料:0.03日/9点計測 $250円 \times 0.03日 = 8円$ 地表面沈下計測 0.03日 1,175円
側方変位測定杭計測 36点	・測量技師補:0.13人/36点計測 $20,400円 \times 0.13人 = 2,652円$ ・トータルステーション:0.13日/36点計測 $35,000円 \times 0.13日 = 4,550円$ 側方変位測定杭計測 0.13日 7,202円	・測量技師補:0.19人/36点計測 $20,400円 \times 0.19人 = 3,876円$ ・測量助手:0.19人/36点計測 $18,500円 \times 0.19人 = 3,515円$ ・光波標料:0.19日/36点計測 $1,350円 \times 0.19日 = 257円$ 側方変位測定杭計測 0.19日 7,648円
沈下板・変位杭観測データ取り纏め 45点	・測量技師補:0.06人/45点取り纏め $20,400円 \times 0.06人 = 1,224円$ ・軟弱地盤対策工管理システム:0.06日/45点 標準価格:600,000円 $5,000円 \times 0.06日 = 300円$ 観測データ取り纏め 0.06日 1,524円	・測量技師補:0.13人/45点取り纏め $20,400円 \times 0.13人 = 2,652円$ ・Microsoft Office Excel 2007 参考標準価格:28,800円 $223円 \times 0.13日 = 29円$ 観測データ取り纏め 0.13日 2,681円
TOTAL	0.20日 9,280円	0.35日 11,504円

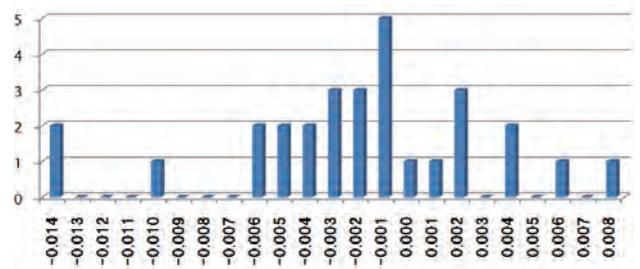


図-7 変位杭観測精度

#### 参考文献

- 1) 独立行政法人 寒地土木研究所, 泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル, pp1-6, 2002
- 2) 独立行政法人 寒地土木研究所, 泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル, pp159, 2002

### 3. 低粉じん吹付け機における施工実績

#### エアレス吹付け機の低粉じん性と普及への改善点

株式会社フジタ ○ 橋詰 亮  
株式会社フジタ 野間 達也  
リブコンエンジニアリング(株) 門倉 智

#### 1. はじめに

現在、トンネル工事の多くはNATMにより施工されている。切羽では穿孔、発破、ずり出し、コソク、吹付けコンクリート、鋼製支保工建て込み、ロックボルト打設を繰り返すことでトンネルを構築していく。吹付けコンクリートは、壁面にコンクリートを密着して設置する支保部材であり、トンネル工事における作業の中でも、最も粉じん濃度が高くなることが分かっている。

粉じん濃度は、厚生労働省が平成12年に策定した「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」（以下ガイドライン）にて、粉じん濃度目標レベル3（mg/m<sup>3</sup>）が初めて示された。

従来の圧縮空気によって圧送する吹付け方式では、この目標値をクリアすることが難しく、粉じんを低減する新たな吹付け技術が求められていた。

当社ではこの対策として、圧縮空気に頼らず回転装置を高速回転させることでコンクリートを打撃・投射し地山に吹付けるエアレス吹付け機を開発・導入した。

本稿では、エアレス吹付け機の施工結果と改善案を報告するものである。

#### 2. エアレス吹付け機概要

従来の吹付け方式では、圧縮空気の力によって、コンクリートを噴射し地山に吹付けている。これに対しエアレス吹付けでは、コンクリートを打撃・投射し、地山に吹付けるものである。

写真-1にエアレス吹付け機全景を示す。エアレス吹付け機は、通常の吹付け機をベースとし、ロボットアーム先端にはエアノズルに代わり、インペラヘッドと呼ばれる回転装置が搭載されており、吹付け機本体には、インペラ駆動油圧ユニット、スラリー急結剤添加装置、急結剤圧送用コンプレッサーが搭載されている。また、急結剤はスラリー急結剤の他に、液体急結剤の使用も可能となっている。

回転装置であるインペラヘッド（リブコンエンジニアリング社製）の構造は、図-1に示す様に、

- ・回転体のインペラ
- ・駆動油圧モータ
- ・インペラを覆うケーシング

から構成されており、簡単に取外し可能となっている。インペラには、コンクリートを投射するための4枚の羽根（インペラブレード）が取り付けられており、直径300mmの2枚のインペラリングが、ブレードを挟み込むように取付けられている。



写真-1 エアレス吹付け機（2号機）全景

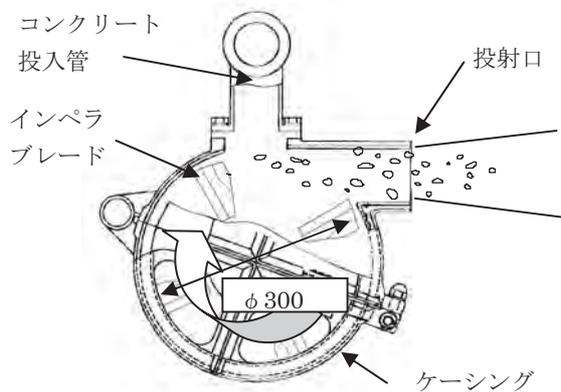


図-1 インペラヘッドの構造

インペラを覆うケーシングには、コンクリート投入管（φ65mm）と投射口（80mm×104mm）が設けられており、インペラヘッドの総重量はケーシング、駆動油圧モータを含め約70kgである。

次に吹付け方法の概要であるが、コンクリートはエアレス吹付け機後方のコンクリートホップから投入され、配管・耐圧ホースを通り、インペラヘッドまでポンプ圧送される。投入管からインペラヘッド内に圧送されたコンクリートは、4枚のブレードによって打撃・投射され、地山に吹付けられる。なお急結剤の添加方法としては、スラリー急結剤の場合には、インペラヘッド手前のY字管にてコンクリートに混入され、液体急結剤の場合には、インペラヘッドから投射されたコンクリートに直接噴射し添加を行う。

また、インペラの回転数は、無負荷時においては2800rpm、コンクリート投射時には2000～2600rpmもの高回転で駆動しており、時間当たり12m<sup>3</sup>の投射を可能としている。

当社ではこれまでに、エアレス吹付け機を3台運用しており、この3台の諸元を表-1に示す。

## 2.1 エアレス1号機



写真-2 エアレス1号機

最初に製作されたエアレス1号機は、プツマイスターWKM-1183impをベースマシンとして製作された。1号機の全景を写真-2に示す。本機では、急結剤は液体急結剤を使用しており、2006年～2007年まで運用を行った。

当機の問題点としては、

- ①マニピレーターを稼働させるシリンダージャッキがインペラヘッドの重量に対し小さかったため、トンネル天端部での動作が遅い。
  - ②インペラヘッドの作動角が狭く自由度が低い。
- といった、施工性の課題が挙げられた。

## 2.2 エアレス2号機

上述した、エアレス1号機での問題を解決するために、TCM製CSD90YKをベースマシンとした、エアレス吹付け機2号機が製作された。インペラヘッドの仕様は1号機と同じであるが、急結剤は新たにスラリー急結剤が採用された。当機ベースマシンには、コンプレッサーが搭載されていないため、スラリー急結剤を圧送するためのコンプレ

表-1 エアレス吹付け機比較表

		1号機	2号機	3号機
ベースマシン	メーカー	プツマイスター	TCM	古河ロックドリル株式会社
	型式	WKM-1183imp	CSD90YK	CJM2200E-I
コンクリートポンプ	型式	PM-BST1003FFH	テックマン M2000V	CP1
	吐出量	30m <sup>3</sup> /h	30m <sup>3</sup> /h	22m <sup>3</sup> /h
総重量		11ton	16ton	18ton
作業範囲	水平	11.2m	13.2m	12.4m
	垂直	11.5m	10.0m	9.6m
急結剤		液体急結剤	スラリー急結剤	スラリー急結剤
コンプレッサ		非搭載	搭載	2台搭載(22kw, 90kw)
工事での実績		<ul style="list-style-type: none"> <li>・近畿自動車道(敦賀線)高浜トンネル東工事</li> <li>・主要地方道鳥取鹿野倉吉線道路改良工事 (三朝トンネル)</li> <li>・平成15-17年度木岐トンネル工事</li> <li>・第二東名高速道路 静岡第一トンネル</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・四国横断自動車道久礼坂トンネル工事</li> <li>・東九州道(県境～北川間) 古江トンネル南 新設工事</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・東九州道(県境～北川間) 古江トンネル南新設工事</li> </ul>

ッサーを搭載している。2号機は2007年～2009年の間運用され、当機でエアレス吹付け機の基本構成が完成し、現在のエアレス吹付け機の構成となった。

### 2.3 エアレス3号機

エアレス3号機は、2号機ベースマシンの老朽化に伴い、2009年に新たに製作された。エアレス3号機の全景を写真-3に示す。エアレス3号機は、古川ロックドリル製 CJM2200E-I をベースマシンとし、ロボット部はジャンボのアームを流用している。急結剤は、2号機と同様にスラリー急結剤を採用しており、ベースマシンには、22kWのコンプレッサーと90kWのコンプレッサーを搭載し併用している。



写真-3 エアレス3号機

2号機では1号機で問題となった、吹付けの自由度は解決されたが、吹付け開始前や、清掃時の手間が目立った。そこでベースマシンの変更に伴い3号機では、これらの手間を通常の吹付け機と同等にすることを目指した。

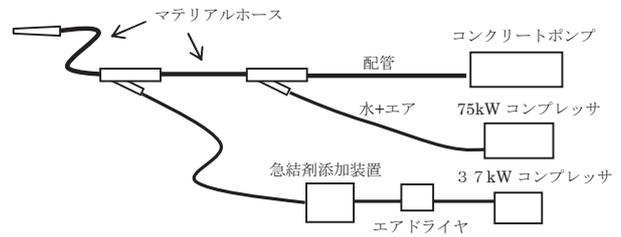
図-2に通常の吹付け機、エアレス2号機、エアレス3号機の配管略図を示す。

吹付け開始前、エアレス2号機では、インペラヘッドまでコンクリートポンプだけで圧送を行わなければならないため、先にセメントペーストやモルタルを圧送し、ホース・配管の内面の潤滑性を良くする必要がある。通常の吹付け機では、ポンプ圧送とエア圧送を併用しているため、閉塞の危険の高いホース内も、先送りモルタルが不要となっている。

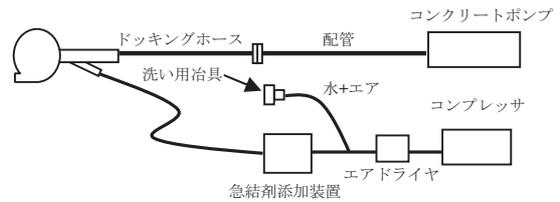
また、施工中のトラブルで最も多かったのが、この最初のコンクリート圧送でホースや配管を閉塞させてしまうことであり、エアレス2号機までは配管を外し洗浄する必要があった。

そこでエアレス3号機では、図に示したように、配管とドッキングホースの境にY字管を新たに設け、エアを補助的に送れるように変更した。これにより、通常の吹付け機と同様に、ポンプ圧送とエア圧送を行うことができ、先送りモルタルが不要になり、配管・ホースを閉塞させる確率を大幅に減らすことが可能となった。

通常の吹付け機



エアレス2号機



エアレス3号機

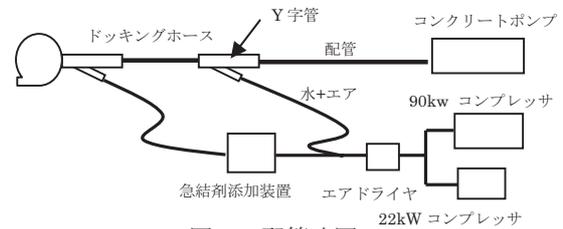


図-2 配管略図

また、吹付け終了後の清掃に関しても、完全にエアが使えなかったエアレス1号機では、配管内にスポンジを投入して洗浄水をポンプ圧送する必要があり時間と労力を要した。エアレス2号機では、水+エアで清掃を行うことが出来たが、ホースと配管接続部を外す必要があり、洗い専用治具を用いて、インペラヘッド側のホース、コンクリートポンプ側の配管を洗浄するため、清掃にはおよそ30分程掛かっていた。

新たにY字管を設けたエアレス3号機では、コンクリートポンプ側は配管を外し洗浄する必要があったが、インペラヘッドのあるドッキングホース側は、吹付け終了後即座に洗浄を行うことが可能となった。また使用する水量を増やしたことで、インペラの清掃も以前と比べ、確実に出来るようになった。また清掃に掛かる時間も通常の吹付け機と変わらない10分～15分にまで短縮することが可能となった。

なお、エア圧送を行うのは、吹付け開始時と洗浄時及び配管・ホースの閉塞時であり、吹付け中には、エア圧送を行わない。

### 3. 粉じん濃度測定

吹付け時の粉じん濃度について、試験施工を行いエアレス吹付けとエア吹きとの比較を行った。その結果を以下に示す。試験施工は、液体急結剤を使用した場合と、スラリー急結剤を使用した場合のそれぞれを示す。

#### 3.1 液体急結剤を使用した試験施工

##### (1) 試験概要

エアレス吹付け機の急結剤の添加方式は、液体急結剤による方式であった。図-3 に添加方式を示す。液体急結剤は投射口から投射されたコンクリートに直接噴射ノズルによって添加される。

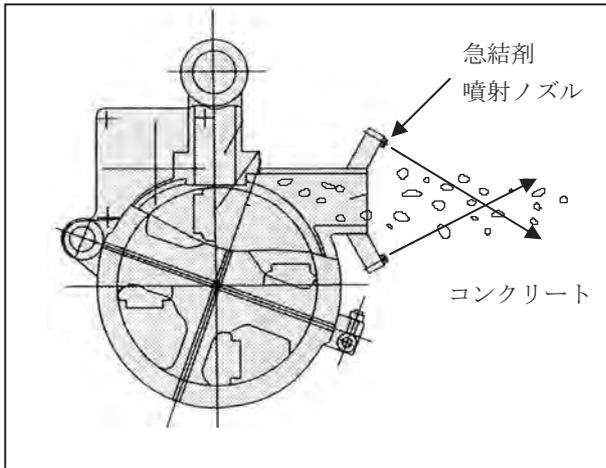


図-3 液体急結剤添加方式

液体タイプの急結剤を使用する場合には、ベースコンクリートの配合を変更する必要がある。液体急結剤の添加により実際の単位水量が増加するため、ベースコンクリートの水セメント比および単位水量を従来の粉体急結剤の配合に比べて小さくしなければならない。表-2 に通常の吹付けコンクリートの配合と、液体急結剤を使用した試験用のコンクリート新配合を示す。試験施工では、  
①通常のコンクリート配合をエア吹きで吹付ける。  
②新配合のコンクリートをエア吹きで吹付ける。  
③新配合のコンクリートをエアレス吹付け機で吹付ける。

以上の3種類を実施し、粉じん濃度を測定した。粉じん濃度は、光散乱式デジタル粉じん計を用い、測定方法は「地下工事における粉じん測定の指針」に準じた。測定位置は、切羽及び、切羽より50m

表-2 吹付けコンクリート配合

配合	W/C %	s/a %	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				混和剤 C×%
			C	W	S	G	
通常配合	60.0	62.0	360.0	216.0	1147.0	721.0	0.0
新配合	45.0	60.0	430.0	194.0	1110.0	758.0	0.5

後方で測定した。さらに労働省が策定した「ガイドライン」の中の測定方法（切羽より50m後方において10分以上の平均値）も実施した。

##### (2) 試験結果

表-3 及び図4, 5, 6 に粉じん測定結果を示す。吹付け方式が圧縮空気による方式の場合、粉じん濃度はコンクリートの配合に関わらず、どの地点においてもほとんど変動していない。

一方、エアレス吹付けでは、粉じん濃度が著しく低減している。エアレス吹付けの粉じん濃度は、エア吹きと比較して切羽部では約80%、50m後方では約50%減少する結果となった。

表-3 験施工結果

吹付方式	コンクリート配合	切羽部 mg/m <sup>3</sup>	50m後方部 mg/m <sup>3</sup>	ガイドラインによる方法 mg/m <sup>3</sup>
従来方式	通常配合	14.4	3.4	3.4
	新配合	13.5	3.1	2.6
エアレス	新配合	2.9	1.6	1.4

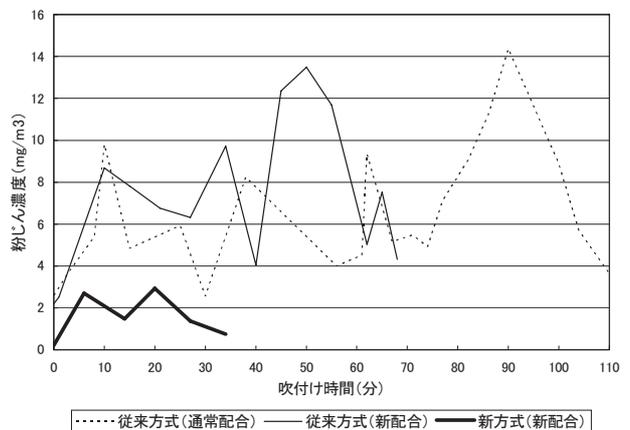


図-4 粉じん濃度測定結果（切羽）

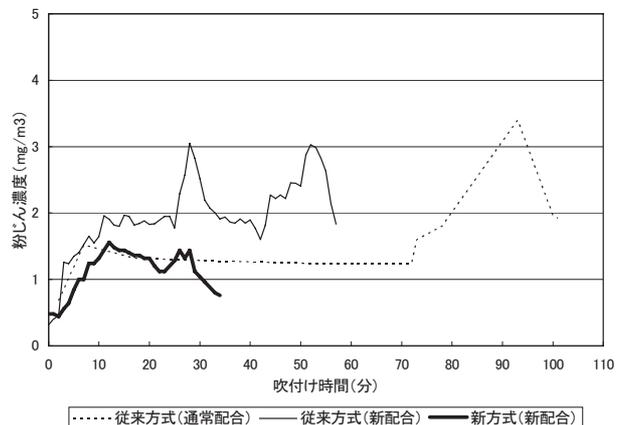


図-5 粉じん濃度測定結果（50m後方地点）

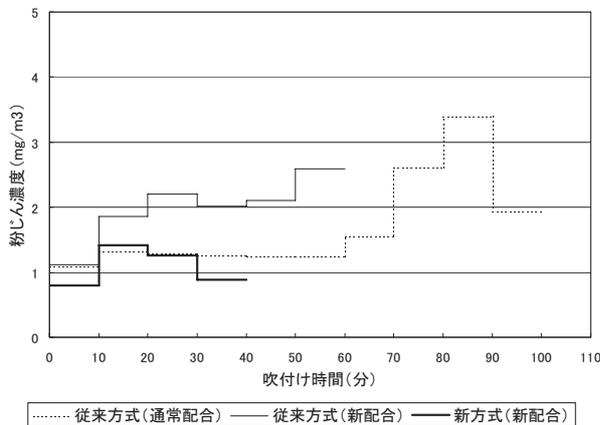


図-6 ガイドラインによる粉じん濃度測定結果

試験の結果、エアレス吹付けでは粉じん濃度が大幅に低減されることが明らかになった。また、液体急結剤は弱酸性であるため、人体や環境にやさしく、液体急結剤を使用した吹付けコンクリートは長期強度や耐久性に優れるという特徴がある。

しかし課題として、液体急結剤を使用した場合、通常よりセメント量が増え、コンクリート材料費が増加する。急結剤の添加率が増加するといったデメリットがある。

### 3.2 スラリー急結剤を使用した試験

エアレス吹付けにより発生する粉じん濃度は、「ガイドライン」に示される目標値を達成することができた。しかし液体急結剤を使用した添加方式では、急結剤がコンクリートと均一に攪拌されず、コンクリート強度に不均質さが生じる品質の問題や、粉体急結剤と比較して瞬結性に劣るために厚吹きが困難になるといった施工性の問題があった。

そこで、液体急結剤と粉じん発生量が同等であるスラリー急結剤をエアレス吹付け機と組み合わせ、大断面である第二東名・静岡第一トンネルにて施工を行った。

#### (1) スラリー急結剤

スラリー急結剤を用いた吹付けは、急結剤をスラリー化水により連続的にスラリー化し、コンクリートに添加する方式である。スラリー化には、スラリーショットシステムを用いて、適正な水急結剤比とする。

図-7にスラリーショットシステムの概略図を示す。急結剤は添加装置より、Y字管の手前にあるスラリー化ノズルまで、粉体にてエア搬送される。スラリー化ノズルにて水と混合させ、Y字管にてコンクリートに添加される。液体急結剤添加時と異なり、コンクリートに混合する直前で連続的にスラリー化して添加するため、投射時にはコンクリートと、十分攪拌された状態となる。またスラ

リー化するため、発生粉じん量を低減でき、飛散した場合にも浮遊時間が短く、早く沈降するメリットがある。スラリー急結剤の主成分は、セメント鉱物系の粉体急結剤と同じであるが、スラリー化に適した専用の急結剤を使用する必要がある。またベースコンクリートには、練混ぜ時に急結剤を添加する必要がある。急結剤は水溶性高分子からなる粉体の混和剤で、添加率は対セメント0.02質量%である。表-3に施工時に使用したコンクリート配合を示す。

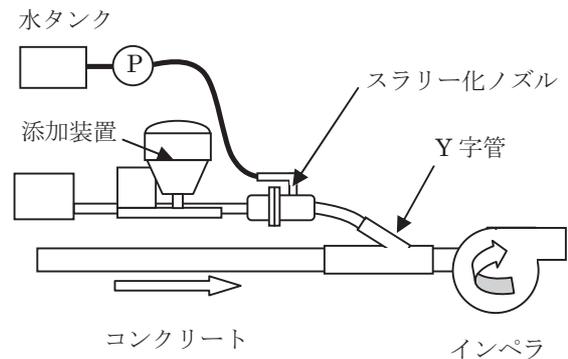


図-7 スラリーショットシステム概略図

表-3 コンクリート配合

W/C %	s/a %	単体量(kg/m <sup>3</sup> )				高性能 減衰剤%	急結助剤 %
		C	W	S	G		
60.0	62.0	360.0	216.0	1147.0	721.0	1.05	0.002

#### (2) 試験状況

図-8に施工時の機械配置とデジタル粉じん計(LD-3K)の配置状況を示す。図に示されているように、デジタル粉じん計は切羽より10m地点左側に1台、切羽より50m地点には左側と中央の2台を設置している。また、換気条件としては風管より送風量3000m<sup>3</sup>/分、大型集塵機は2000m<sup>3</sup>/分・1500m<sup>3</sup>/分各1台である。

#### (3) 施工結果

図-9に切羽10、50m地点における発生粉じんの経時変化を示す。

図に示されているように、切羽50m地点では部分的に突出しているものを除き、ほぼ1.5mg/m<sup>3</sup>以下となっていることが分かる。これは、エア+スラリー急結剤の場合では3mg/m<sup>3</sup>程度であるのに比較すると、約半分の粉じん量となっている。また、切羽10m地点においても、ほぼ2.5mg/m<sup>3</sup>以下であり、環境が改善されていることが分かる。

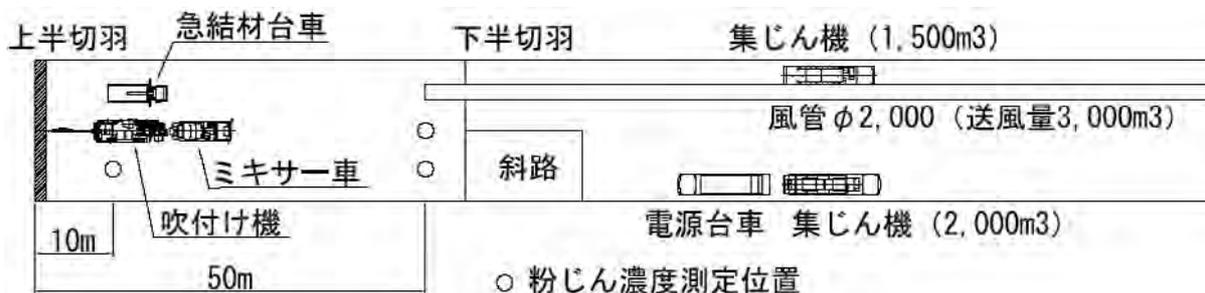


図-8 機械配置図

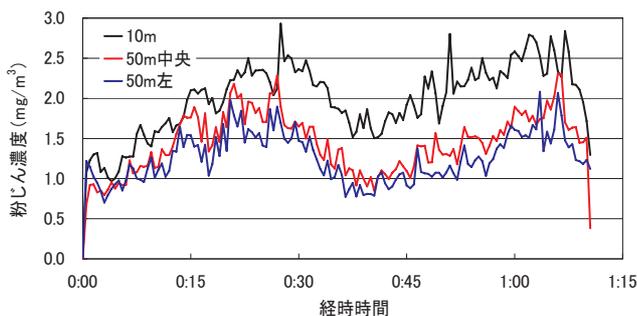


図-9 発生粉じん経時変化

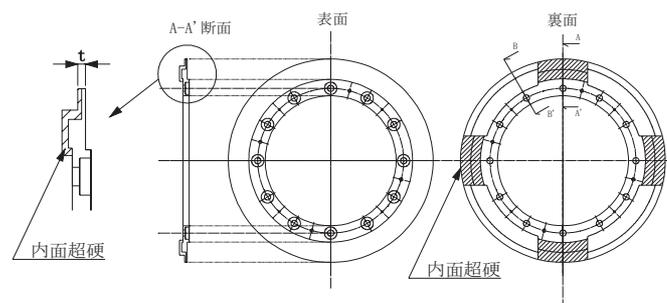


図-10 インペラリング

#### 4. 問題点および今後の課題

エアレス吹付けが、「ガイドライン」で示された目標値 3.0 (mg/m<sup>3</sup>) をクリアすることを、これまでの試験施工で証明した。またエアレス吹付け機も 3 号機となり、施工性も十分に改善されてきた。しかし普及には、まだいくつかの問題がある。

##### (1) インペラの消耗

エアレス吹付けでは、インペラは 2800rpm もの高回転でコンクリートを打撃・投射を行っている。そのため、インペラヘッドは磨耗し交換が必要となる。特に消耗が激しいのが、インペラリングとインペラブレードである。図-10 にインペラリングを示す。これらの部品の磨耗が多い部分には超硬部材が取り付けられているが、打撃の衝撃により割れてしまうことも稀にある。

現在の交換頻度では、交換に手間かかり、コストも通常のエア吹きと比べ大きくなっている。

##### (2) 施工能力

エアレス吹付け機における、施工能力の実績は 10m<sup>3</sup>~12m<sup>3</sup>/h 程度であり、通常のエア吹きと比べるとまだ劣っている。そのため 1 回の吹付け量の多い大断面での施工では、サイクルに大きく差がでると考えられる。

以上 2 つの問題点が上げられたが、その対策として、(1) の消耗品については、より磨耗に強い素材への変更が考えられる。しかし超硬部材の様に硬度が高い素材では打撃の衝撃で割れてしまう恐れがある。そのため、硬度と靱性のバランスを考えた素材選定を進めている。また材質変更に加え、母材へのコーティングも有効な手段であ

ると考える。ただし母材と同様に、耐磨耗性に優れた高硬度皮膜では、衝撃により破壊される恐れがある。そこで高硬度膜と衝撃に強い高靱性膜を幾層にも重ね合わせたコーティングを部材に施すことで、衝撃と磨耗に強いインペラリングの製作を検討中である。

(2) の施工能力に関しては、回転数を上げることが最も有効であるが、駆動モータが大きくなりインペラヘッド自体の重量増大が問題となってくる。そこでインペラヘッドの投射口やインペラブレードの寸法・形状の変更することで投射効率を上げることが今後の課題である。

#### 5. おわりに

エアレス吹付け機の低粉じん性は、環境のみではなく視界の良さも確保され、これは施工性の向上にも反映している。また 3 号機になったことで、吹付け準備や清掃の時間を短縮することができた。今後、エアレス吹付け機を普及するために、課題となる耐久性と経済性に優れた消耗部材の使用、投射能力の向上に取り組む予定である。

#### 参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所：トンネル工事における吹付け作業時の発生粉じん対策技術の手引き (案), H17年
- 2) 野間達也, 大下武志, 堀内喜久雄, 赤坂雄司, 坂口武：粉じん低減を目的とした実大規模トンネルでの吹付け実験, H17年

## 4. ラック&ピニオン駆動モノレール式 非円形断面シールドトンネル用セグメント組立装置の開発

株式会社大林組 ○曾根 大輔

株式会社大林組 久田 英貴

三菱重工メカトロシステムズ株式会社 熊尾 義光

三菱重工メカトロシステムズ株式会社 杉山 雅彦

### 1. はじめに

近年、近接する既設インフラや地下構造物への影響を極力少なくした上で、都市部にシールドトンネルを構築する需要が増している。限られた空間にトンネルを構築するため、また、掘削土量低減のため、所要断面形状に近い矩形や楕円形のような非円形断面シールドトンネルへの要望が高まっている。しかしながら、円形セグメントにくらべ桁高が大きくなり、コスト面で不利な矩形セグメントは実施例が少なかった。今回、新たにセグメントの各辺にアーチ構造を付けることと分割部を隅部よりずらすことにより桁高を減らし、コストを抑えた複合アーチ断面セグメントを開発した。さらなるコストダウンのために分割数を削減した結果、弧長が長く質量が最大9.4tとなった。そのため、実用化されている既存の矩形用セグメント組立装置では、その適用が困難となった。そこで今回、掘削断面形状にほぼ相似な形状のモノレール上を走行するタイプの新型セグメント組立装置を開発した。2車線道路トンネルを想定し、実物大の矩形セグメントを用いた実証実験を行い、組立装置の有用性を確認した結果について報告する。

### 2. セグメント組立装置の要求仕様

今回、2車線道路トンネル用セグメントの組立を想定し、組立装置に求められる要求仕様を検討した。周方向に隣り合うピース間を繋ぐコッターとトンネル軸方向に隣り合うリング間を繋ぐピンブッシュを挿入する締結方法を、セグメント組立作業時間短縮と品質確保のために採用した。そのため、従来のボルトナットにより接合するセグメント組立装置に求められるよりも、高精度の位置決めを行う必要がある。図-1にセグメント構造、図-2に継手構造を示す。また、矩形断面セグメントの特徴として、隅部ピースはL形状となる。この条件下で、所定位置に組み立てるにあたり、円形断面とは違う解決すべき課題を抽出した。第一に、既設セグメントとの位置合わせを旋回動作で

行える円形セグメントと異なり、レール上を組立装置が走行するとその位置によって走行レールの曲率が変わる。そのため、複数の動作を組み合わせ位置決めをする必要がある。第二に、上半のセグメントを組立位置まで移動させる時には、既設セグメントと排土設備との間を通過させる必要がある。すなわち、セグメントの組立が進むにつれて、セグメントの走行通過可能空間が狭くなる。そのため、単純な走行動作だけでは既設セグメントを回避できない。これらの課題を解決しなければ、セグメント組立時間が増大し、最悪は組立不可能となる。第三に、今後より多くの工事に適用するために、排土設備空間を広くすることで、シールド掘削機内に設置する排土設備選定の自由度を広げることが必要となる。

これらの課題を解決するために、①セグメントを把持した状態で組立装置が円滑に作動可能であること。②所定の速度やストロークが確保され様々な姿勢で制御できること。③セグメントを把持した際に、狭隘部を安全に走行通過できるような操作性が確保されていること。④周方向の走行位置決め精度確保ができることとした。第三の課題を解決するために⑤排土設備空間を最大化することとした。

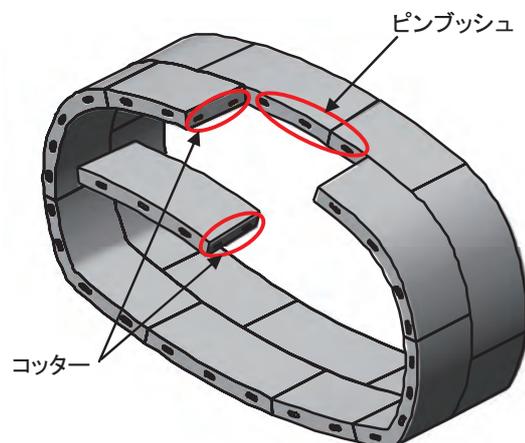


図-1 矩形セグメント構造

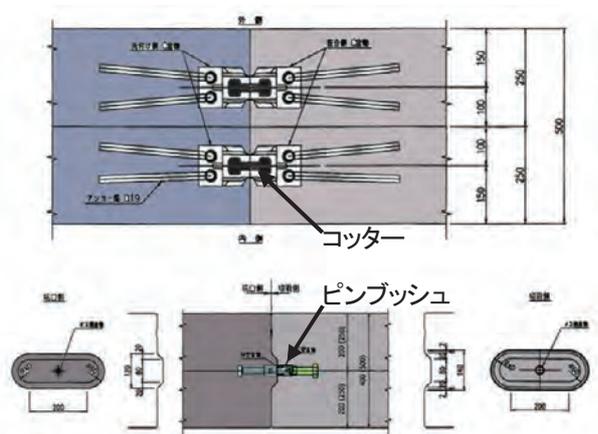


図-2 セグメント継手構造

### 3. 非円形断面シールドトンネル用セグメント組立装置の設計方針

- ① ラック&ピニオン式の駆動部とすることにより、矩形断面や楕円形断面において、全姿勢で安全に走行可能とし、最大10tのセグメントを扱う。
- ② T字型モノレールをトンネルにほぼ相似な形状で設置し、非円形断面のトンネルに適用させる。これにより排土設備空間を最大化する。
- ③ 周方向の位置決め精度確保ができる駆動部、把持装置を設計する。
- ④ 安全性確保のため、別途、逸走・落下防止装置を設ける。

### 4. ラック&ピニオン駆動モノレール式セグメント組立装置の概要

ラック&ピニオン駆動モノレール式非円形断面トンネルセグメント組立装置は、円形セグメント用のリングギア式組立装置とは異なり、シールド機リングガーター部内周にレールを設置し、そのレール上を走行する装置がセグメントを把持し、所定の位置までハンドリングし、組み立てるものである。

走行駆動部は、T字断面形状のレールを上下からローラーで挟み込み支持し、レール内側に取り付けられたピンラックと噛み合うスプロケットを回転駆動させることにより、走行するものである。また、セグメントを把持した時に反力を得るために、ガイドローラーをT字レールのフランジ両端とウェブの両側に装備する。4個のローラーとスプロケットはコの字形ボックスに取り付けられており、このボックスにはスプロケットに回転力を伝える減速機および油圧モーターも取り付けられ、また油圧力を発生させるパワーユニットも搭載している。組立精度確保のため、駆動ピニオンのバックラッシュを $\pm 0.6^\circ$ となるようにピニオンの設計を行った。

昇降・スイング機構部は、セグメントを組み立

てるために半径方向に昇降させるとともに、トンネル軸方向に対し揺動させるものである。シールド機の排土設備との干渉を考慮し、また、全体の高さを抑えるために昇降を2段式とし、2組の油圧ジャッキの伸縮によって昇降する機構とした。この2段の昇降機構の間にスイング機構を設け、2本の油圧ジャッキにより $\pm 15^\circ$ スイング可能とした。また、把持部は、セグメントをトンネル軸方向にスライドさせると共にセグメントを把持するブラケットを設け、把持したセグメントの姿勢を固定させるものである。スライドは1本の油圧ジャッキにより移動可能とし、セグメントの把持は把持部の把持ブラケットとセグメント吊り金具のピン穴へピンを挿入固定することにより連結するようになっている。また、セグメント姿勢制御（ローリング、ピッチング）は把持ブラケット中心に対角に配置した4本の油圧ジャッキを伸ばすことにより行う。図-3から図-6にセグメント組立装置構成、組立動作、駆動部詳細および組立装置切断面を示す。

### 5. 既存技術との比較

組立装置仕様の適切さを評価するにあたり、ラック&ピニオン駆動モノレール式組立装置と矩形セグメントの組立で実績のあるリングギア・片アーム式組立装置を一例として、特徴比較を行った。前述の通り、セグメント周方向のピース間締結にコッターを、リング間締結にはピンブッシュを使用している。そのため、組立装置の操作性が旋回位置決め精度確保が必要条件である。また、今後の本技術の水平展開を想定し、操作性、安全性、適用範囲、装置の占有空間とシールド機内の排土設備空間、および装置の転用可能性を比較検討し、表-1に両方式の特徴を挙げた。ラック&ピニオン駆動モノレール式セグメント組立装置は、トンネルにほぼ相似な形状のT字型モノレールを設置し、1台の組立装置によりセグメントの組立が行われる。そのため、組立装置による走行、昇降の移動軸がレール接線、法線方向に一致する。これにより、セグメントの安定性が良い。(図-7)それに対し、リングギア・片アーム式組立装置は左右に2台設置する。この旋回リングにはそれぞれリンク機構によるアームを設置してある。セグメントの位置決めにはリングを旋回させる。さらに、アームの揺動により周方向への移動を行う。そのため、セグメントを把持する機構は片持ちとなるため、安定性が劣る。(図-8)この傾向はセグメントが大きくなるほど顕著となる。組立装置で対処できない場合、セグメント設計を変更するなどの対処が必要となる。

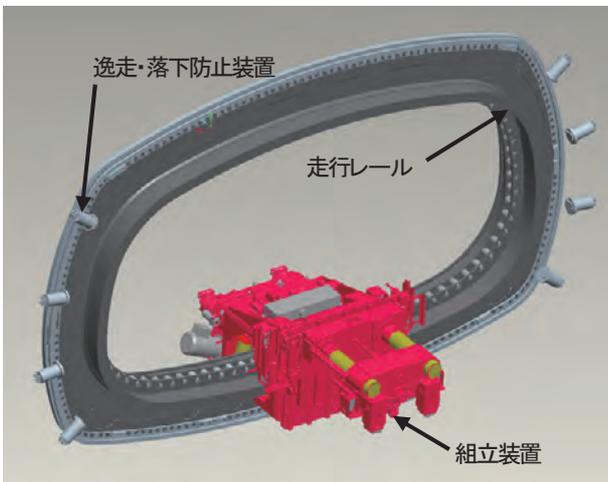


図-3 セグメント組立装置構成

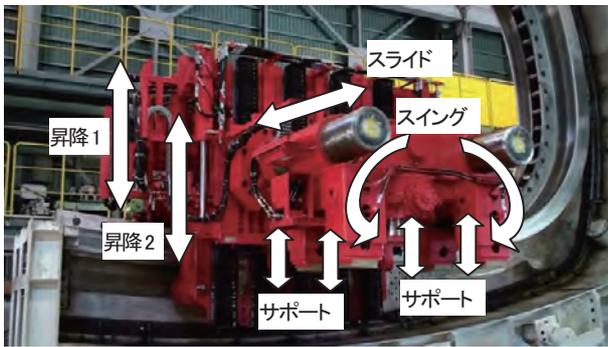


図-4 セグメント組立動作

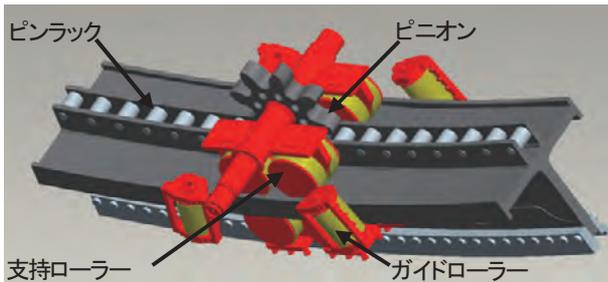


図-5 駆動部詳細

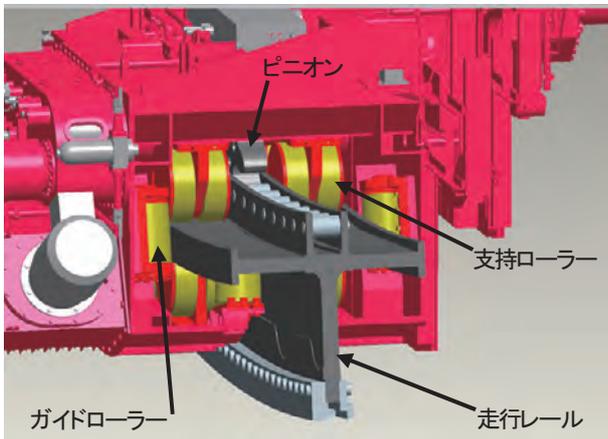


図-6 組立装置切断面

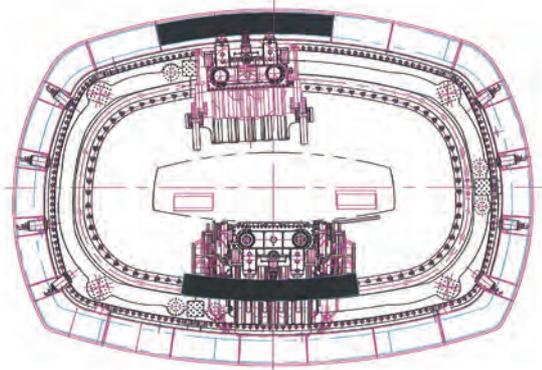
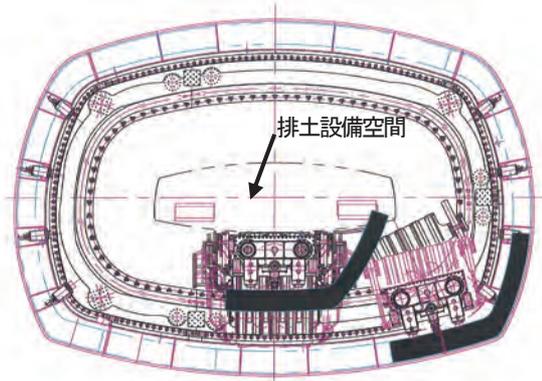


図-7 モノレール式による組立状況

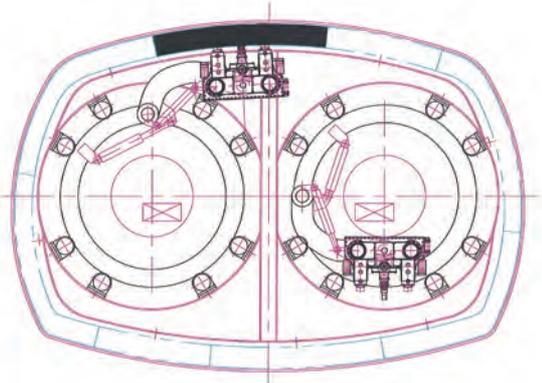
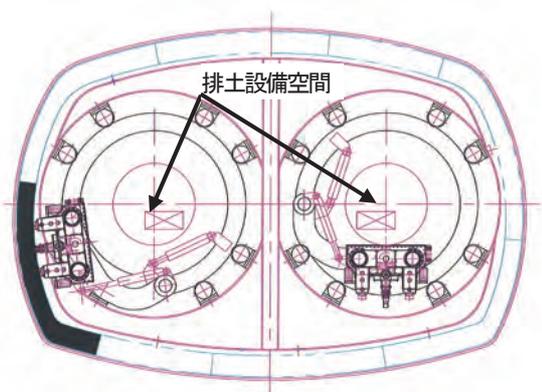


図-8 リングギア・片アーム式によるセグメント組立状況

表-1 既存技術との比較

		ラック&ピニオン駆動 モノレール式組立装置	リングギア・片アーム式組立装置×2台
組立装置 構造概要		シールド機の外形に相似な走行用モノレールを設け、油圧モーターで駆動する走行、昇降、スイング、スライド、サポートおよび把持装置から構成される。 排土設備空間最大化のため昇降装置は2段式とし、2つの昇降機構の間に把持装置を回転させるスイング機構を装備する。 パワーユニットも本体に装備し、電源のみケーブルにより供給する。	円形シールド機と同様の円形リング式セグメント組立装置を2台左右に設け、装置全体を旋回する。スライド装置、把持装置も円形シールド機と同様に装備する。昇降機構は、リンク式のアームを揺動させて行う。セグメント組立角度に対応するため把持部にスイング機構を装備する。
特徴	操作性	走行、昇降の移動軸がセグメントの法線方向と一致するため、位置決め操作は比較的容易である。	旋回、アームの昇降移動軸がセグメントの法線方向と一致しないため、操作は複雑となり位置決めが困難となる。
	安全性	セグメントを把持する機構がセグメントの法線方向と一致するため、セグメントの安定性が良い。 走行装置の落下防止対策として、油圧ブレーキと油圧ジャッキ式の2重対策を装備。	セグメントを把持する機構が片持ちとなるため、セグメントの安定性が劣る。 旋回ブレーキ機構は、一般的な円形用と同様である。組立装置の落下防止機構を別途装備することが難しい。
	適用範囲	レールを設置できる寸法に限り、断面形状に依らず適用可能。	縦と横の比が大きき形状には不向き。 縦長な断面には適用が困難。
	占有空間	装置の占有空間は小さい。 排土設備空間を中心部に大きく確保。	装置の占有空間が大きい。 排土設備空間が小さく、左右に分離。
	設計自由度	組立装置レールがシールド機リングガーター部内周にあり、シールド機内設備（例えば、排土設備）との干渉が少ない。	シールド機内設備用の空間が左右に分割されるため、シールド機内設備の設計自由度は少ない。
	転用	レールは目的の形状に応じて製作する必要があるが、走行組立装置は、断面形状によらず転用が可能である。	リングギアはシールド機の形状に左右されるため、また、それに取り付くアーム式組立装置も転用できる許容範囲が狭い。
	費用	組立装置本体の金額はリングギア・片アーム式と比較すると高い。 転用ができるため、LCC（ライフサイクルコスト）は低い。	構造は既存技術の応用であるため、1台当たりの費用は低いが2台必要となる。 一度の工事で処分されるため、LCCは高い。
	セグメント 設計	組立装置がシールド機リングガーター部内周全ての範囲で可動できるため、セグメント設計の自由度が増す。	組立装置は円周運動とアームの旋回運動のみであるため、機械の力学的な制約がセグメント設計に影響を与える。

## 6. 安全装置

要求仕様だけではなく、セグメント組立装置が安全に作動可能なこと、さらに装置周辺の作業員に対する安全性の確保も重要となる。例え

ば、供給電力の停電時や油圧装置等の機械的な故障で非常停止すること、特にセグメント組立装置が上昇中、または下降中において発生した場合、万一落下することが考えられる。そのような際に、

油圧が供給されないとブレーキがかかる油圧ブレーキで対応している。さらに、安全性および信頼性の確保とセグメント組立装置の落下防止のために、逸走・落下防止装置をシールド機の左右 8 箇所 に装備した。逸走・落下防止装置は周方向に所定間隔で設けており、組立装置本体の走行位置に応じて、自動的に出し入れされるシステムとなっており、組立装置下部に常に逸走・落下防止装置が突出するように制御されている。(図-3)

逸走・落下防止装置は伸びた状態であると組立装置と干渉するので、組立装置の走行方向との関連で前方の逸走・落下防止装置が縮限でないと組立装置の走行不可とするインターロックを設定した。また、非円形断面セグメントを安全に組み立てるために、逸走・落下防止装置だけではなく、以下の安全対策を実施した。

- ① セグメント形状によって排土設備空間への干渉状態が異なるため、セグメント把持を行う前に操作盤でセグメントの選択を行うようにした。
- ② 組立装置の作業位置や姿勢によっては、機内設備と接触する可能性がある。そのため、エンコーダーを用いて組立装置の位置とストローク計により姿勢を演算することで、誤操作による機械やセグメントへの破損を防ぐためのインターロックを設定した。
- ③ 組立装置操作を誤らないように高速での動作には同時に二つのボタンを押す必要があるようにインターロックを設定した。

①から③の対策により、オペレーターが不適切な動作を行うと強制的に低速操作しかできないようにした。また、インターロックが作動した時に、不適切な動作であることを認識できるように回転灯と警報音で知らせるようにした。ただし、操作盤上には適切な動作へと導くためのコメントが表示されるようになっている。

## 7. 実証実験

セグメント組立中の走行旋回時に、モノレールやセグメント組立装置の可動部に破損が発生しないように十分な剛性、円滑な作動性があること、組立時間を確認する必要がある。そこで、実機規模の試験装置を製作し、8分の3断面に相当するセグメントの組立試験を実施した。走行レールを組み込んだシールド機のテール部と既設セグメントを模した鋼製実証実験架台を製作した。この模擬テール内で組立実験を行った。写真-1に実証実験架台を示す。

### (1) 実験項目

- ・無負荷作動確認

- ・セグメント把持状態での負荷作動確認
- ・セグメント把持状態での複合作動確認
- ・セグメント組立性能の確認
- ・セグメント位置決め精度と組立性の確認
- ・セグメント継手の締結状況
- ・セグメントシールの組立性への影響
- ・安全装置作動確認
- ・排土設備（ベルトコンベア）との干渉確認

### (2) 実験方法

無負荷作動の確認を、走行、昇降、スイング、スライドおよびサポートジャッキの作動時間を計測することで、設計理論値との比較をした。

矩形セグメントの組立性の確認として、8つのピースに分割されるセグメントのうち、上部の2つを除く6つのピースに対して組立を行い、位置決め精度確認をした。位置決めに必要な時間を計測し、設計理論値と比較することで組立性の検証を行った。また、周方向ピース間には防水用シールを貼付け、セグメント組立装置が、シールをつぶすのに必要な押付力を備えているかを検証した。さらに、インバート部および側部ピースを組み立てた後、頂部ピースが円滑に通過可能であることも合わせて検証した。

安全装置作動確認は、セグメント組立装置の走行方向および位置に従って、あらかじめ定めたインターロックが機能しているかを確認した。また、排土設備空間またはシールドジャッキスプレッダーとの干渉を回避するように定めた昇降ジャッキとスイングジャッキのインターロックが適切であるかを確認した。

模擬的な排土設備として、ベルトコンベアフレームを実証実験架台の有効空間内に設置し、組立装置が走行する際のベルトコンベアフレームと組立装置とのクリアランスを確認した。

## 8. 実験結果および考察

L字型セグメント把持状況を写真-2に示す。このようにセグメント組立装置には、セグメント重心と把持位置が大きくずれた構造物を把持した状態での動作が求められている。

無負荷作動性能の確認により得られた設計理論値と実測値との比較の代表値として、走行に要する時間を表-2に示す。セグメント組立作業の走行に要する時間は理論値と比較すると10%以内で収まっている。図-2に示した周方向に隣り合うピース間を繋ぐコッターとトンネル軸方向に隣り合うリング間を繋ぐピンブッシュを挿入する際も、セグメントに損傷を与えることなく組み立てることができた。例えば、写真-2に示すL字型セグメントの平均組立時間は表-3の通りであった。作業時間は作業に対する熟練度が上がるに伴い短縮され、

8分の3相当断面のセグメント組立時間を2時間から40分へと向上することができた。測定値から算出した矩形断面全体の組立時間は85分程度となった。

表-2 設計理論値と実測値との比較

	速度 (mm/sec)	測定 スパン	時間 (秒)	
	理論値	(mm)	理論値	実測値
高速	142	5300	37	42
中速	80	2000	25	24
低速	40	1000	25	24



写真-1 実証実験架台



写真-2 L字型セグメント把持状況

表-3 L字型セグメント平均組立時間

把持	下降 ピン挿入 サポート伸び 上昇	140 秒
走行	粗位置決め	280 秒
微調整	締結まで	560 秒



写真-3 セグメント組立状況

## 8. まとめ

掘削断面形状に合ったレールさえ製作すれば、比較的自由的な断面に適用できる非円形断面用トンネルセグメント組立装置を開発した。2車線道路トンネルを想定し、実物大の矩形セグメントを用いた実証実験を実施した。組立装置の走行、昇降、スイング、スライド及びサポートジャッキの操作の安全性、信頼性、組立性を確認することができた。

ラック&ピニオン駆動モノレール式非円形断面シールドトンネル用セグメント組立装置を適用することにより、縦方向に長い矩形断面や楕円形断面に対しても、適用可能性が広がった。これにより、都市部の限定された空間に非円形断面シールドトンネル構築の可能性を広げることができる。さらに、非円形断面シールドトンネルは円形断面と比較すると、必要空間に対して掘削断面を小さくすることができる。そのため、掘削残土の削減や掘削工程の短縮など環境負荷の軽減に貢献できる。本セグメント組立装置本体は転用が可能であり、LCC（ライフサイクルコスト）を下げることも可能となった。

今後、実工事への採用とそのフィードバックを得ることで本組立装置の改善を図りたい。

最後に、本開発を進めるに当たって、多大な協力をいただいた三菱重工メカトロシステムズ株式会社および株式会社大林組の非円形断面施工設備開発スタッフに謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 特願 2010-4617 トンネル掘削機のセグメント組立装置
- 2) 特願 2010-4625 トンネル掘削機のセグメント組立装置

## 5. 護床ブロック移設アタッチメントの開発と施工

玉石重機株式会社  
玉石重機株式会社  
日立建機株式会社

○片岡 広志  
野中 耕一  
友澤 茂治

### 1. はじめに

河川の頭首工(堰堤)の改修に伴い、その下流に設置された護床ブロックの再利用を目的とした移動が施工指定された。30年以上前に敷設された護床ブロックを破損をさせず撤去・再利用するという施工であり、当初はクレーンで護床ブロックを吊り上げ、台車に積み込み運搬するよう計画されていた。しかしながら、吊り金具が腐食していることやブロックの劣化等の問題があった。安全性・施工性・経済性を考慮して検討した結果、護床ブロックを持ち上げるためのアタッチメントの開発に到った。ブロックを吊るのではなくすくい上げることにより破損を少なくでき、実際に良好な施工となったことを報告する。

### 2. 施工の概要

川上頭首工改修工事(佐賀県)において、既設の護床ブロックを約 850 個撤去を行い、その内約 650 個を再利用する工事である。

#### 2.1 施工条件

- ① 30 年以上経過した吊り金具取り付け部分の強度が不明である。
- ② 護床ブロックの吊り金具が腐食している。
- ③ 護床ブロックの重量は  $W=3.8 \text{ tf}$  である。
- ④ 迂回水路は施すものの、湧水はある。
- ⑤ 河床の支持地盤は砂地で良好である。
- ⑥ 撤去した護床ブロックは可能な範囲で再利用する。

#### 2.2 施工方法の検討

施工条件で述べたように、既設の護床ブロックの吊り金具取り付け部分の強度が不明であること。その護床ブロックに取り付けられてある吊り金具が腐食しており、クレーンによる吊り作業は安全上からも困難であること。また、護床ブロックは写真-1 のように X 字型のブロックの間は玉石・碎石で中詰されており、その中詰栗石の中から掘りおこす作業も発生する。

以上のことを考慮して、吊る作業からバックホウに装着したアタッチメントで持ち上げるという施工方法に変更し、アタッチメントの開発を行っ

た。幸いにも、河床の支持地盤は砂地で支持力は良好である。



写真-1 護床ブロック

### 3. アタッチメント(ブロックリフター)の開発

機能条件は、重量  $W=3.8 \text{ tf}$  幅  $w=2.0\text{m}$  厚さ  $t=0.9\text{m}$  の護床ブロックを掘り出し、持ち上げ台車に積み込むことである。

#### 3.1 アタッチメント(ブロックリフター)

標準仕様を図-1 のブロックを底面から支えるフォーク状の爪を 3 本採用した。両サイドに『ずれ止め』を設け、外側のフォークと同様スライド可能とし、ブロックの大きさに対応できるようにした。

- ・規格強度 :  $4,000 \text{ kgf}$  (1 本あたり)
- ・フォーク長 :  $1,600 \text{ mm}$
- ・フォーク幅 :  $250 \text{ mm}$
- ・フォーク厚 :  $100 \text{ mm}$

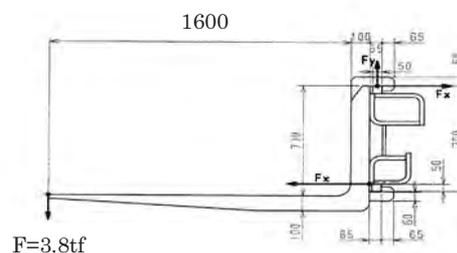


図-1 ブロックリフター側面図

### 3.2 ベースマシン(バックホウ)の選定

重量  $W=3,8 \text{ tf}$  を土砂の比重 1.8 で割れば  $2.1\text{m}^3$  となる。したがって、土砂に換算した山積  $2.1\text{m}^3$  級のバックホウ(45t)をベースマシンとした。

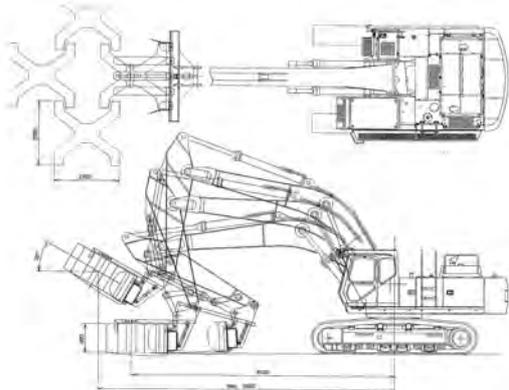


図-2 ブロックリフター  
(バックホウ 45t)

### 4. ブロックリフターによる施工

図-3 に当初計画とブロックリフターによる施工フロー図を示す。

クレーンで吊り上げるには、中詰栗石を撤去し、ブロックを持ち上げ、玉掛けの準備をしなければならない。作業行程も多く、投入人員も必要となる。一方、ブロックリフターの施工ではブロックを掘り起こし・持ち上げ・台車に積み込んだ後、まとめて中詰栗石の撤去を行うことができる。

このことから施工性も上がり、安全に施工することができた。また再利用の個数も確保することができた。



写真-2 掘り起こし作業



写真-3 持ち上げ作業



写真-4 積込作業

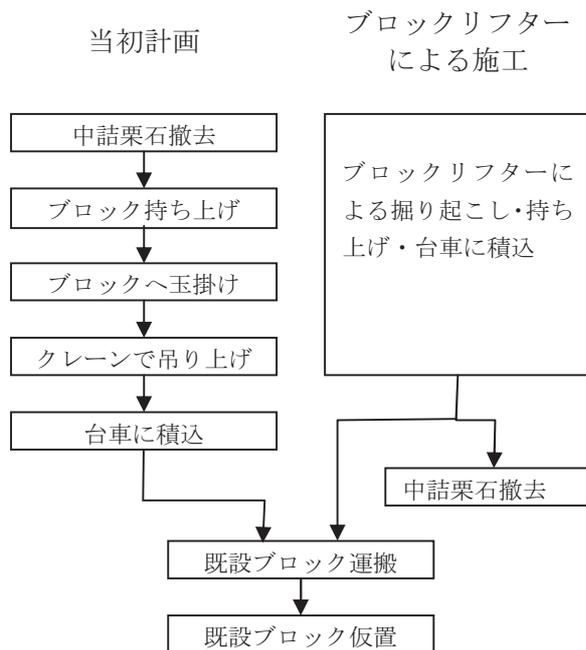


図-3 作業フロー図

### 5. まとめ

中詰栗石の撤去から玉掛け・吊り上げ・台車に積み込む作業をブロックリフターでは写真-2,3,4のように一括でできる。吊り上げる方法から持ち上げる方法に変えたことで、作業行程も省略化・簡素化できたと同時に工程も短縮できた。

## 6. 無人・有人対応型草刈機の開発

国土交通省 北陸地方整備局 北陸技術事務所 宮島 実  
○ 小林 弘朗

### 1. はじめに

現在、堤防除草作業に使用している大型遠隔操縦式草刈機（以下「現有機」という）は、急勾配法面における施工の機械化によるコスト縮減及び遠隔操作による安全確保に多大に寄与している。しかし、機械価格が高価なこと、また、作業速度が緩傾斜部ではハンドガイド式草刈機（以下「ハンドガイド」という）に比べ十分な優位性がないことなど課題があり、これらの改善を行うことで更なるコスト縮減が期待できる。

本報告は、機械価格の低減と施工効率の向上による除草コスト縮減を目的に、市販のハンドガイドに遠隔操縦機能を付加し、現場条件に応じて遠隔（以下「無人」という）及び搭乗（以下「有人」という）操作の使い分けが可能な無人・有人対応型草刈機を開発したので、その機能と効果について紹介するものである。

### 2. 現状の課題と対策

現有機は、機械価格が草刈機＋集草装置で約12,000千円と高価なため、地方自治体及び民間への普及が進まないほか、施工コストを押し上げる一因となっている。

また、緩傾斜部における作業速度は、現有機よりもハンドガイドが速く差がある。

そこで、市販のハンドガイド（集草機含み約6,000千円）に遠隔操縦機能と安全対策機構を付加し、現場条件に最適な操作である無人及び有人操作の使い分けが可能で機械価格が安価な草刈機を開発することとした。

### 3. 開発目標

#### (1)機械価格

現有機の約12,000千円から30%低減の約8,000千円。

#### (2)作業能力

現有機の0.32h/1,000㎡からの10%向上の0.29h/1,000㎡。

### 4. 開発工程

平成17年度から平成21年度までの5ヶ年の開発工程を表-1に示す。

試作機製作の他に、施工歩掛（案）、安全施工マニュアル（案）、製作仕様書（案）を作成した。

表-1 開発工程

項目	17年度	18年度	19年度	20年度	21年度
①実態調査	—				
②基本構想		—			
③概略設計			—		
④詳細設計				—	
⑤試作機製作					—
⑥性能試験					—
⑦現地性能確認試験				—	
⑧試作機の改良					—
⑨飛石防止装置効果検証試験					—
⑩現地性能確認試験(追加)					—
⑪現地適応性試験(長期調査)					—
⑫施工歩掛(案)の作成					—
⑬安全施工マニュアル(案)の作成					—
⑭飛石防止装置のオプション化検討					—
⑮不具合箇所対策検討					—
⑯製作仕様書の作成					—

### 5. 開発機の機能

開発にあたり「現有機に対する不満」「必要・不要な装置」について河川管理者と請負者にアンケートを実施した。

改善要望と改善方針を表-2に示す。

表-2 改善要望と改善方針

改善要望	要望理由	改善方針	
草刈機本体	刈残し 解消	・制御の応答遅れ ・刈幅が広く不陸に追従できない	・制御技術の変更 ・刈幅を狭くする
	法面損傷 の防止	・方向転換時に法面が荒れる	・接地圧、重量の軽減
	車両の 小型化	・狭い所に入れず刈り残しが出る	・機械幅、刈幅を狭くする
	飛石の 防止	・飛石による事故が発生する	・飛石防止装置の強化
送信機	防水仕様	・湿気による誤動作が発生する	・防水性能を高める
	転倒防止 ルール撤去	・送信機の操作時に邪魔になる	・転倒警報装置の装備

### 6. 開発機の製作

改善方針に基づき検討、開発、現場試験を行い、開発機に新たに搭載した機能を以下に示す。

### 6.1 ハンドガイド式草刈機（ベースマシン）

ハンドガイドでは実績の多い刈幅 1.5m 級をベースマシンとして改造を施すこととした（写真-1、写真-2 参照）。

これにより刈幅を狭く、重量を軽くでき、接地圧は 9% 低減される。



無人操作

有人操作

写真-1 操作方法



写真-2 開発機外観

### 6.2 路面追従機能の装備

法面の不陸に自動追従させるため、作業装置の油圧をフリーとするフローティング機能と倣い装置を採用した（写真-3 参照）。



倣い装置

写真-3 路面追従のイメージ

### 6.3 飛石防止装置の装備

開発機は、小形化に伴う能力低下を避けるため、草刈効率が優れているアップカット方式を採用した。

アップカット方式は、ダウンカット方式に比べ飛石の増加が懸念されるため、新たな飛石防止装置を開発した（写真-4 参照）。

装置は、形状、材質、取付位置等を変えて試作、試験を行った結果、刈刃に一番近い 1 段目には金属チェーンを配置し、2 段目には合成ゴム板 2 枚をスリットが千鳥になるよう配置した。



写真-4 飛石防止装置

### 6.4 傾斜警報機能の装備

オペレータ転倒時の操作レバー誤操作などによる草刈機の暴走を防止するため、送信機に傾斜計を内蔵し、送信機の異常な傾斜角度（前 60° 後 30° 左右 45° 以上を 3 秒連続）を検知すると草刈機が停止する。

また、有人操作及び無人操作における機械転倒事故を防止するため、草刈機本体にも傾斜計を装備し、危険な角度（有人操作：左右 27° 以上を 2 秒連続、無人操作：左右 35° 以上を 2 秒連続）を検知すると警報を発する（写真-5 参照）。

### 6.5 振動警報機能の装備

作業装置のカバーに振動計を装備し、刈刃欠損による異常振動（約 2.6G [刈刃 2 枚が外れた状態に相当] 以上の振動を 4 秒連続）を検知すると警報を発する（写真-5 参照）。



傾斜計

振動計

写真-5 傾斜計・振動計

### 6.6 送受信機の防滴防塵仕様

送受信機は、防塵防水の国際規格（International Protection）の IP65 仕様を採用した（写真-6 参照）。

#### (1) 防塵性

等級 6：塵埃は侵入しない。

#### (2) 防水性

等級 5: あらゆる方向からのノズルによる噴流水に対して保護する。



写真-6 送信機

## 7. 飛石防止装置の効果

開発した飛石防止装置の効果を定量的に把握するため、開発機、ハンドガイド及び現有機を使用し比較試験を実施した（写真-7参照）。

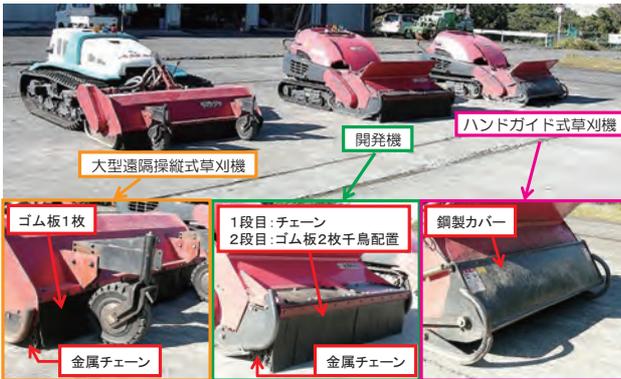


写真-7 試験に使用した3機種

試験方法は、再生クラッシュラン（RC-40）を使い整形した試験床（幅200mm×長さ1,500mm×高さ100mm）の上に作業装置をセットし、刈刃を回転して試験床を切削させ、草刈機（本体+作業装置）より外（前後左右）へ飛散した質量を計測した（写真-8参照）。

次に示す式(1)より「飛散率」を算出し比較した。

結果は、表-3のとおりであり、開発した飛石防止装置の有効性が証明された。

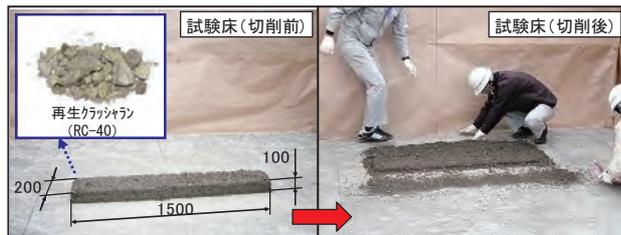


写真-8 飛石試験状況

$$\text{飛散率} = \frac{\text{草刈機より外に飛散した質量}}{\text{刈刃が切削した質量}} \quad \dots(1)$$

表-3 草刈機外への飛散率

	開発機	ハンドガイド	大型遠隔
飛散率	0.28%	17.60%	10.25%

なお、この飛石防止装置は、市販されているハンドガイドにもオプションとして装備できるように製作会社の協力を得て概略設計を実施した。

## 8. 開発機の性能確認

北陸地整管内の堤防除草作業で試験施工を行い、収集したデータを解析し、開発機の作業性能（出来形管理基準の確保、最大除草法面勾配、1,000 m<sup>2</sup>当り作業能力）について評価した。

### 8.1 出来形の確保

開発機は、草刈効率が優れているアップカット1回刈りによる作業効率向上を目的としているため、1回刈りで刈高さ10cm（出来形管理基準）を満足するか確認を行った。

刈高の計測結果を図-1に示す。（グラフの値は、最高、平均、最低の刈高を示している）

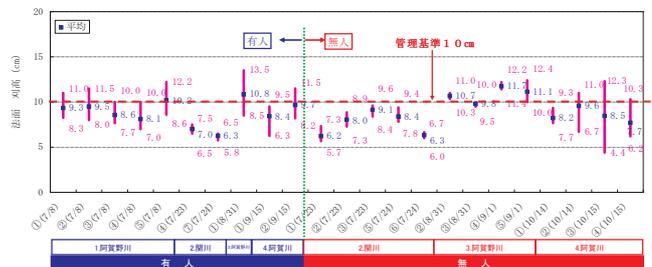


図-1 平均刈高の計測結果（法面）

#### (1) 有人操作時

平均値では、8/10 工区（80%）において管理基準を満足した。

#### (2) 無人操作時

平均値では、10/13 工区（77%）において管理基準を満足した。

無人操作時において、最低刈高も管理基準を満足しなかった工区は、ススキが多かったため、その切株の上をフローティングで通過したため刈高が高くなった。

なお、1回刈りで出来形管理基準を満足しなかった工区も、複数回刈りにより基準値を満足することを確認している。

### 8.2 最大除草法面勾配

除草作業を行った法面勾配範囲を表-4に示す。

無人操作時の最大除草法面勾配の目標値「35.5°（1:1.4）以上」での作業を実施し、適応可能であることを確認した。

表-4 試験実施の法面勾配範囲

試験	無人（遠隔）操作	有人（搭乗）操作
現場性能確認試験 （現場での性能確認）	35.5° ~ 23.9° (1:1.4~2.3)	33.2° ~ 23.1° (1:1.5~2.3)
現場適応性試験 （歩掛データ収集など）	35.5° ~ 23.1° (1:1.4~2.0)	33.2° ~ 24.4° (1:1.6~2.2)

### 8.3 作業能力

積算の条件を合わせるため、降雨による履帯の横滑り、法面をバックで戻りながらのレーン切り替え、天端での方向転換の度に仮刃の回転を停止させるなどの異常値を除いて比較した。

作業能力の計測結果を図-2に示す。

#### (1) 有人操作時

作業能力は0.24h/1,000㎡(平均勾配29.8°(約1:1.7))となり、目標値0.29h/1,000㎡を17%上回った。

#### (2) 無人操作時

作業能力は0.26h/1,000㎡(平均勾配:31.1°(約1:1.6))となり、目標値を10%上回った。

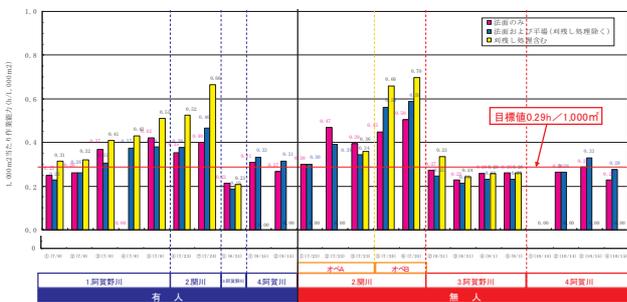


図-2 作業能力の計測結果

## 9. 施工単価

### 9.1 機械価格

開発機(本体+集草機)の価格は10,400千円(税抜き)となり、現有機の12,000千円(税抜き)から-13%の低減となったが、目標の-30%低減を達成することが出来なかった(図-3参照)。

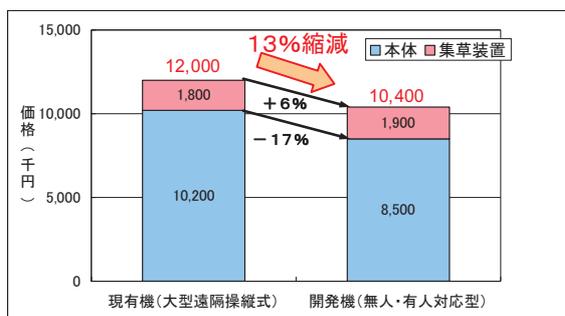


図-3 価格の低減率

### 9.2 施工単価

現有機と開発機の1,000㎡当たり施工単価(直接工事費、機械損料:業者持込み)の比較を図-4に示す。

暫定値ではあるが、労務、機械損料、諸雑費(補助機械及び燃料)の合計額で現有機を100%とすると約-5%のコスト縮減が期待できる。

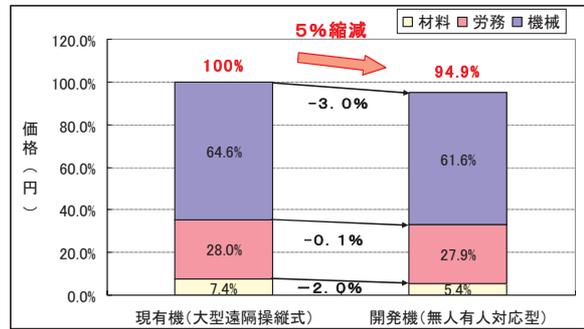


図-4 施工単価の縮減率(暫定値)

## 10. 考察

開発機の製作は、草刈機本体の製作、遠隔操縦化への改造、送信機の製作と3社による分業となったため、機械価格は目標値を達成できなかったものと考えられる。

施工費の縮減率については、今後、より多くの現場において施工合理化調査を実施し、歩掛の精度を上げたうえで評価を行う必要がある。

### 11. まとめ

アップカット方式の市販機をベースとして開発したことにより、目標を概ね達成することができた。

#### (1) 機械価格

草刈機+集草装置の価格は、10,400千円(税抜き)。

(現有機から-13%の低減)

#### (2) 作業能力

1,000㎡作業能力は、0.26h/1,000㎡。

(現有機から19%の向上)

### 12. あとがき

開発機の製作にあたり、制御方式を機械式から電子式に変更したため、有人及び無人での操作性を両立させることが難しく、現場性能確認試験を2ヶ年に渡り実施した。

また、飛石防止装置の開発は、試作した6パターンを工場における飛石試験で3パターンに絞り込み、現場で性能を確認して決定するなど、改良と試験に多くの時間を要した。

開発機は、平成22年度に北陸地整管内の河川事務所に7台を配備するほか、当面、小型遠隔操縦式草刈機の更新機として漸次導入を計画している。

導入後は、無人・有人対応型草刈機の技術的フォローアップ、コスト縮減効果の検証や技術紹介など、普及拡大に努め、堤防除草作業のコスト縮減に寄与していきたい。

# 7. 空港ターミナルビルにおける大規模屋根スライド工法

鹿島建設(株)東京建築支店  
 鹿島建設(株)東京建築支店  
 鹿島建設(株)機械部

○ 和田 賢一  
 領木 紀夫  
 水谷 亮

## 1. はじめに

本工事は「首都圏の空の玄関口」に相応しい「快適都市空港」の創出の基本方針のもとに、2010年10月に生まれ変わる東京国際空港国際線の旅客ターミナルビル建設プロジェクトである。

ターミナルビルを覆う大屋根は、柱スパン69m、トラス間スパン18mのトラス部材を10個連結した92m×162mの大架構立体鉄骨トラスで構成されており、この大屋根トラス鉄骨の建方工法が最重要課題となっていた。

本報では大屋根トラス鉄骨建方の工法として選定したスライド工法について報告する。



図-1 完成予想パース

## 2. 工法選定

大屋根の架かる本館のほぼ中央には京浜急行電鉄の既設地下トンネルが縦断しており、大屋根鉄骨建方についてはここに重機を設置することなく施工しなければならない、最適な工法を求めて諸工法の比較検討を進めた。(表-1)

原案であるリフトアップ工法においては、地上1階床躯体に置構台を設けて大型重機を配置することは可能であるが、屋根が架かるまで2, 3階の躯体工事に着手できない上に、トンネルを避けて両側に重機を設置して作業環境を整えなければならない。

第2案は各トラスそれぞれにベントを設けた一方向からの建方である。この工法についてもリフトアップと

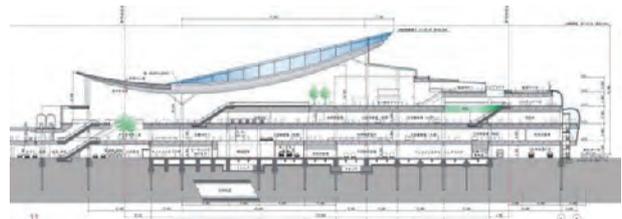


図-2 基準断面

同様に躯体の残工事が多大に発生してしまう。さらに、次のスパンに建方を移行する際に各ヤードの盛替え工事の発生によりコスト、工期に影響が出てしまう。また、各スパンにベントを設けるためすべての箇所躯体補強が必要となる。

表-1 大屋根建方工法比較表

案1 リフトアップ工法 GLで中央部屋根鉄骨を地組しリフトアップ	案2 ベント工法 建方ブロックごとにベントを設置し順次鉄骨建方	案3 スライド工法 妻側建方エリアで組み立てられた鉄骨を順次スライドで送り出す
使用クレーン: 200tクローラ×2台、300tクローラ×2台	使用クレーン: 750tクローラ×2台、450tクローラ×2台	使用クレーン: 500tクローラ×1台、180tクローラ×1台

第3案がスライド工法である。18m×9スパンに架かるトラス受け柱を仮設の滑り材で支持し、一体化した9m×92mの立体トラス鉄骨を仮設油圧ジャッキにて18mごとにスライドさせて次のトラスと連結させていく工法である。前述の二案に比べて建物外部に重機を配置して施工できるため、本躯体に多大な残工事が発生しない利点があり、全体工程を考慮して採用に至った。

### 3. 大屋根鉄骨建方・スライド工法の概要

#### 3.1.大屋根鉄骨トラス形状

トラス本体は上弦材2本と下弦材1本を組み合わせた上辺9m、高さが5.7mから1.8mのキール形のトラス断面となっている。屋根トラスの長さは基準トラスで92m、最大で114m。トラスを支える柱は水下側B通りと水上側G通りの2点で支持され、径間69mである。キール形のトラスが18mピッチに計10本配置され、およそ18,000㎡の屋根を形成している。(図-3,4)

基準トラス1本は約300tで、およそ290ピースの主材で構成されている。それぞれのトラスは4.5mの繋ぎ梁で連結され、連結部中央部に山形のトップライトカーテンウォールが配置される。これら繋ぎ梁鉄骨及び仕上げ材を含めた全体では1スパンおよそ550t、屋根全体質量は約5,000tである。

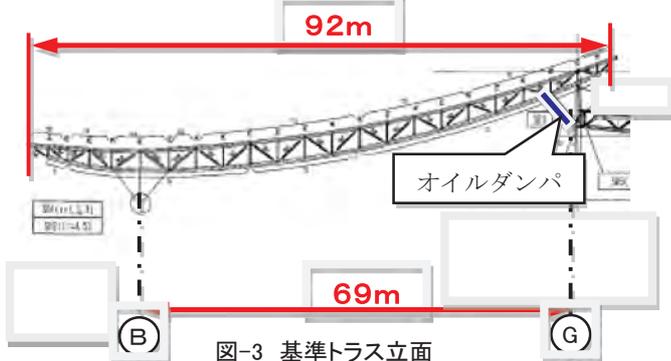


図-3 基準トラス立面

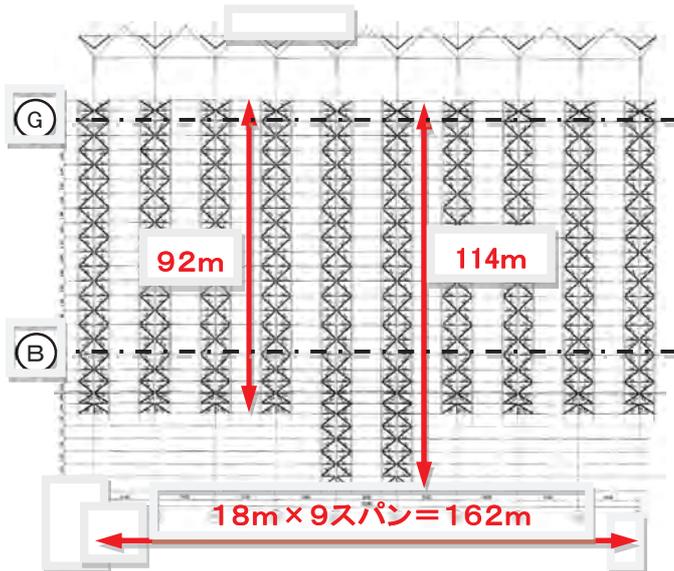


図-4 屋根伏図

#### 3.2.スライド工法の計画概要

建物平面端部には建方用に500tと180tのクレーンを配置した。トラスは吊上げ能力並びに構造上問題のない箇所7分割し、それぞれを決められた場所で地組みを行う計画とした。地組ヤードには100tクレーンを配置し、建方と地組みが同時進行する。

仮支柱であるベント柱の上に地組みされた鉄骨を揚重し、本締め溶接後にジャッキダウンを行い、92m約300tの大スパン架構が完成する。

その後、PC鋼より線とジャッキを使用して、仮設レールの上をスライドさせ18mのスパンを移動させる。

隣のスパンへの鉄骨スライドが完了したら、次のスパンの屋根トラス鉄骨を同様の要領で組み立て、この屋根トラス鉄骨をジャッキダウンした後に、先行しているトラスとトップライトの鉄骨でジョイントし、合わせてスライドを行う。(図-5)

この作業を10日サイクルで繰り返す。3スパン目で屋根の木毛板の揚重、トップライトカーテンウォールユニット取り付けを行い、4スパン目以降でステンレス屋根葺き作業をサイクルで行う計画とした。

サイクル工程を表-2に示す。

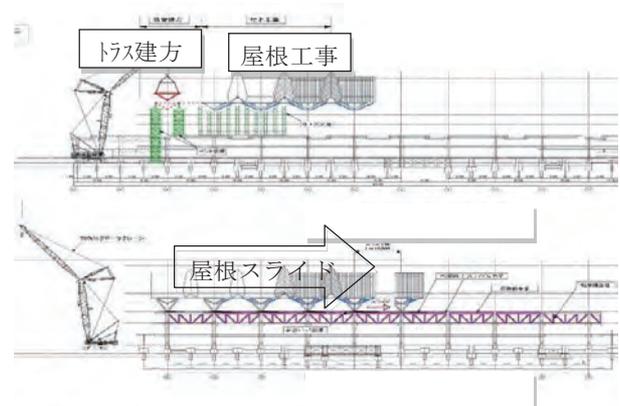


図-5 大屋根スライド概要断面図

表-2 サイクル工程

	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目
地組	トラス間	①トラス	②トラス	③トラス	⑤トラス	④トラス	⑥トラス	⑦トラス		トラス間
鉄骨建方	①, ②, ③	④, ⑤	⑥, ⑦	トラス間クサ	ジャッキダウン	トラス間鉄骨	母屋鉄骨	トップライト	スライド	
本締め		トラス鉄骨本締め				トラス間鉄骨本締め				
溶接・UT			トラス鉄骨溶接・UT				トラス間鉄骨溶接・UT			
塗装				トラス鉄骨塗装				トラス間鉄骨塗装		

#### 3.3.スライド工法実施の課題

スライド工法実施に当たっては多くの検討項目があったが、鉄骨形状並びに性能の特殊性から、特に以下の項目が重要検討項目として挙げられた。

- 特殊形状屋根における風の影響の把握
- 不安定トラスの支持方法、オイルダンパの拘束

- c. ジャッキダウン・スライド時の屋根全体の変形管理
- d. 単独トラススライド時の挙動と転倒の回避

aの風の影響においては、屋根下地母屋鉄骨と屋根材に作用する風圧力、トラス支持柱脚部への影響度及び外装工事着手前の内装天井工事の施工の可否を検証する必要があった。既存空港滑走路沿いで工事のため万に一つの飛散、風散事故も防がなければならない、施工段階ごとの構造骨組み、外装材用風荷重、先行天井下地に作用する風荷重の検討を風洞実験により行った。(写真-1)

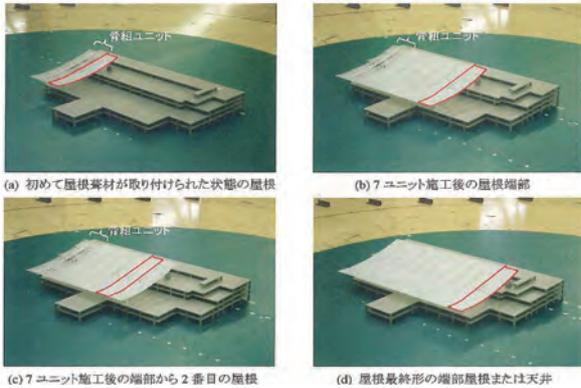


写真-1 風洞実験状況

実験の結果により、屋根施工状況ごとに屋根上下面に作用する風圧力に問題がないこと、柱脚のエレクションピースのディテール、有効な面のカーテンウォール着手順序、天井仕上げ材の施工時期と天井に作用する風圧力の低減対策方法を検証した。

b・c・dの課題については、重点管理項目として構造検討を行い、後述のスライド設備に反映した。

#### 4. スライド前工程

##### 4.1. 地組み

1本のキールトラスを7分割して、各々決められたヤード7ヶ所で地組みし、これらを3.5日間で建方する計画としている。トラスとトラス支持柱はそれぞれ別々に地組み、地組ヤードでジョイントしてから建方を行う。(写真-2)



写真-2 地組ヤード

トラス間の山形トップライト鉄骨は、稜線が一定勾配となっており、足元は弓なりの屋根上弦材と取り合うため、建方精度の確保が難しい。たわみを考慮した稜線が水平になるような架台を設置し、建方作業の単純化と精度確保を図った。

##### 4.2. 建方

7分割したトラス鉄骨は、最初にB通り上の柱付きトラスを建て、順次連結してG通り柱トラスを2日目までに建てる計画とした(写真-3)。10日サイクル中の3日間でトラス本体の建方を完了し、5日目のジャッキダウンまでに仕口の本締め溶接、UTを完了させ、先行トラスと一部の梁鉄骨を連結する。

トラスはそれぞれベント架台にボルトにて緊結、仕口部の取合いは座標で建方精度を管理する。

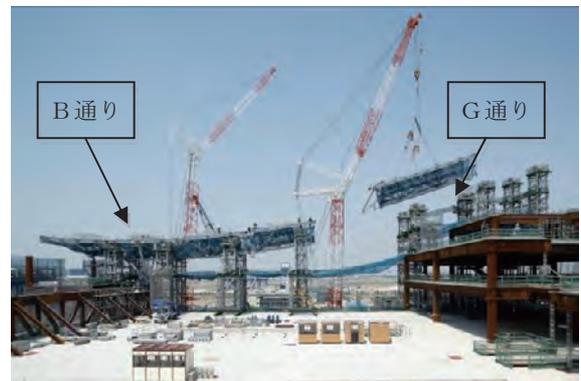


写真-3 ブロック建方

##### 4.3. ジャッキダウン

建方完了後のジャッキダウンにおいては、計画段階で鉄骨自重及び屋根仕上げ、天井仕上げの重量による各接点のたわみ量を解析により求め、製作ムクリを設けている。

ジャッキダウン時はトラス鉄骨を各ベント上で油圧ジャッキに受け替えて段階的に荷重を抜いていくが、ジャッキダウン中のたわみ量や平面変形、上弦材のレベルの管理が重要であり、即時対応が必要となる。そのため、総合司令室を設けてジャッキダウン作業中のトラスを自動追尾トータルステーションによる自動測量システムにて計測管理し、すべての作業員に指示が出せる体制を構築した。(図-6)

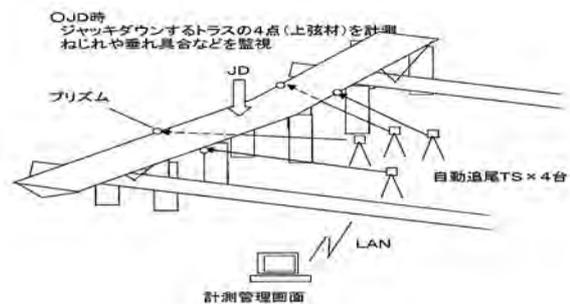


図-6 ジャッキダウン計測管理概念図

管理画面では、プリズム初期座標、解析によるたわみ限界値及びリアルタイムのプリズム平面位置、トラスのたわみ、捩れ、水平移動、限界値までの余裕度を確認できる。トラスの挙動が1秒ごとに計測されるため、司令室から減圧のタイミングなどをリアルタイムで指示ができる。

結果、解析たわみ量の100～150mmに対して60～70%と、ほぼ予測どおりのたわみ率であった。

## 5. スライド設備

### 5.1. 柱脚支持部

キール形トラス1本の支持点反力は水下側B通り310tf(3,040kN)、水上側G通り240tf(2,352kN)となる。1箇所を200tf(1,960kN)スライディングジャッキ2台で支持し、軌条梁と柱の隙間を10mm空けて浮かしている。スライディングジャッキ下部にはテフロン板を仕込んでおり軌条梁上を滑る。(図-7、写真-4)

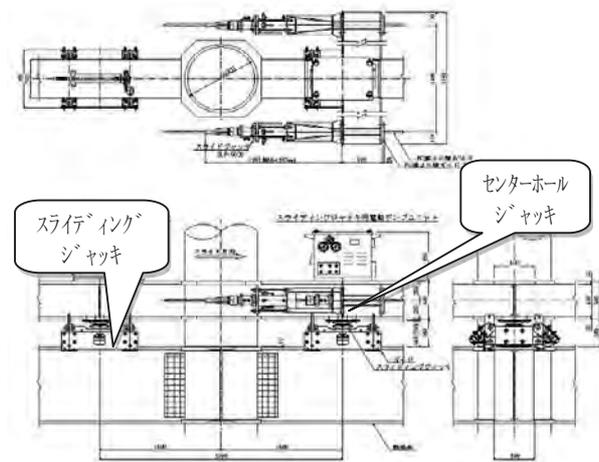


図-7 スライディングジャッキ詳細図



写真-4 トラスの柱脚支持部

本設梁は柱取り合い部が拡幅補強の形状となっており、また、柱径も最大1,100mmと大きいため、スライディングジャッキのガイドには柱を越えるときには干渉しないような、跳ね上げ機構を追加した。また、このガイド跳ね上げ機構にはスラストずれの修正機能も持たせている。(写真-5)



写真-5 スライディングジャッキ

### 5.2. 牽引装置、制御

最終スライドの質量がおよそ5,000tになるため、各支点をすべて牽引することで1支点当たりの牽引力を抑えるようにした。すべての柱脚部に2本のPC鋼より線(φ28.6mm)をセットし、36m離れた2スパン先を反力として2台の50tf(490kN)センターホールジャッキの伸縮運動で押し出すように屋根をスライドさせる。(図-8、写真-6)

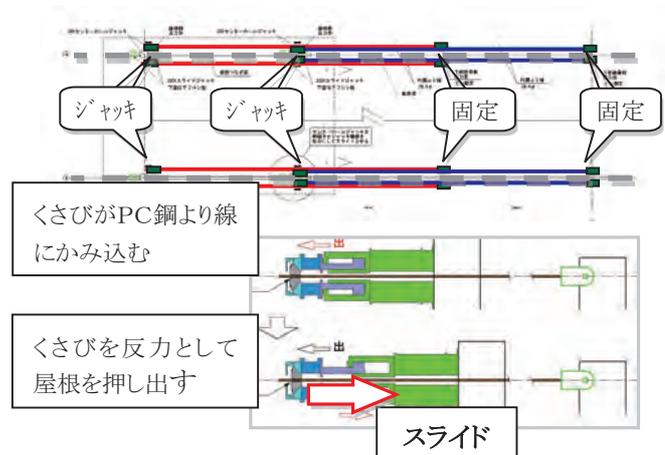


図-8 スライド機構概念図

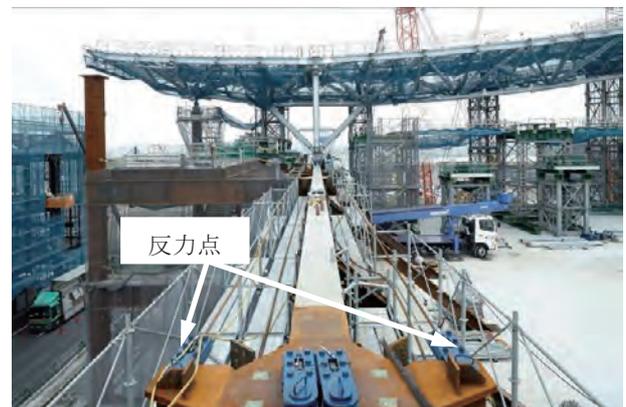


写真-6 ジャッキ反力点

それぞれのジャッキはストローク及び荷重状態を集中管理し、自動的に制御する。ジャッキストロークによる1回の移動量は180mm、100ステップで1スパンのスライドとなる。全体移動量は各通りに設置したリニアエンコーダで計測する。B通りとG通りはそれぞれにかかっている荷重が違うため牽引反力も違ってくる。柱脚部の移動量に差が出ないように20mmの差を限界として制御できるようなシステムとし、総合司令室内で管理した。(写真-7、図-9)

また、縦に連結したジャッキの荷重差は柱脚つなぎ材を圧縮し、座屈すると柱脚間隔保持ができなくなって屋根の崩壊につながる。そこで制御においては、左右の移動量同調制御に加えて、繋ぎ材座屈荷重を考慮した荷重バランス管理も行った。

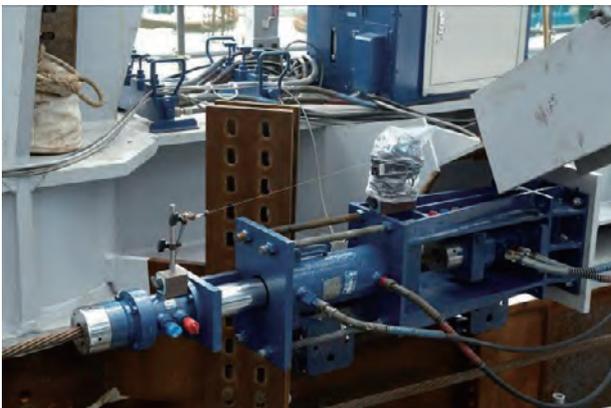


写真-7 センターホールジャッキ, リニアエンコーダ

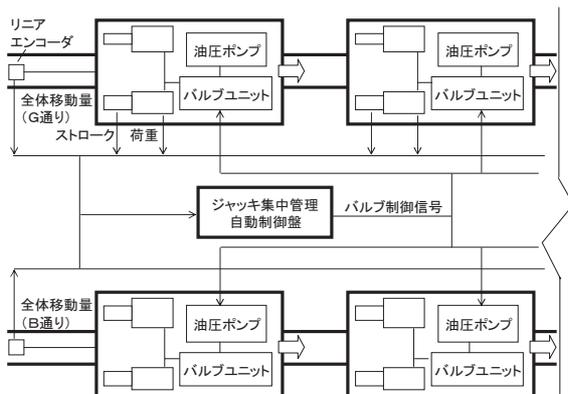


図-9 ジャッキ制御システム

### 5.3.スライド時のトラス支持拘束等構造仮設

トラス支持材取り合いはピン接合となっているためスライド時に柱脚を解放すると構造的に成立せず、また、柱脚ブロック自体も転倒が生じ、静定状態とするため各部の拘束材が必要となった。さらに第1回目のスライドは単独トラスとなるためトラス本体の転倒が懸念され、転倒防止束材を配置して安全性を高めている。(写真-8)

なお、地震対策として、各回のスライド終了時には本設のオイルダンパを機能させることとした。したが

って、スライド開始から係留までは、オイルダンパ拘束、柱脚回転拘束、エレクションピース解放、スライド、各柱脚微調整、エレクションピース固定、オイルダンパ復旧、柱脚拘束解放という流れとなる。



写真-8 トラス支持拘束材詳細

### 5.4.柱頭計画

本設柱はCFT構造であるため、最終スライドが完了し柱溶接を行った後にコンクリートを圧入する必要がある。柱最頂部のダイヤフラムには空気抜き穴と中央部に噴出し用の開口が必要だが、スライド時のジャッキの引っ掛けや開口によるダイヤフラムの強度低下が懸念された。そのため、開口を150mmまで小さくし、同厚の鋼板で取外し可能な蓋をし、蓋の脱落と開口補強のため十字型のリブ補強を施した。開口蓋は最終スライドで柱が正規の位置に来る直前に撤去し、CFT施工に支障ない状態とした。(写真-9)

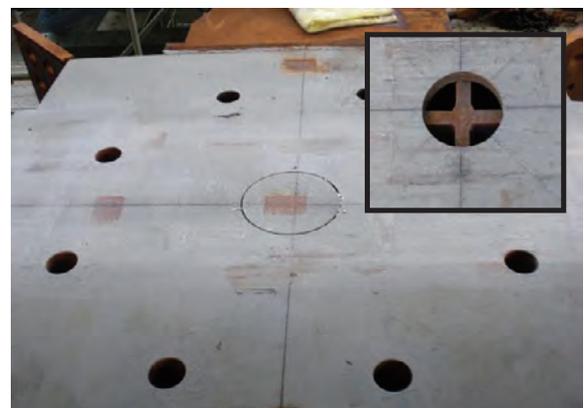


写真-9 柱頭CFT開口蓋

## 5.5.スライド位置・変形自動測量

ジャッキ制御システムでトラス柱脚部の荷重や移動量を管理することはできるが、屋根トラス全体の挙動は把握できない。屋根全体の過大な振れや平行四辺形の変形が生じていないことを管理するため、自動追尾トータルステーションによる自動測量システムを採用した。先頭トラスと最後部トラスの上弦材にプリズムを設置し、スライド中の屋根をリアルタイムで管理している。(図-10、写真-10)

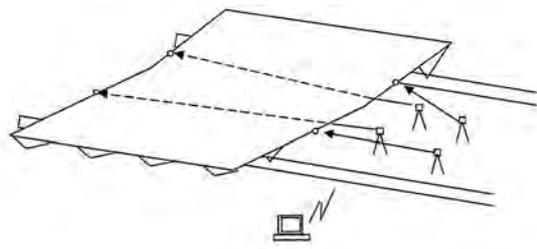


図-10 スライド時計測管理概念図

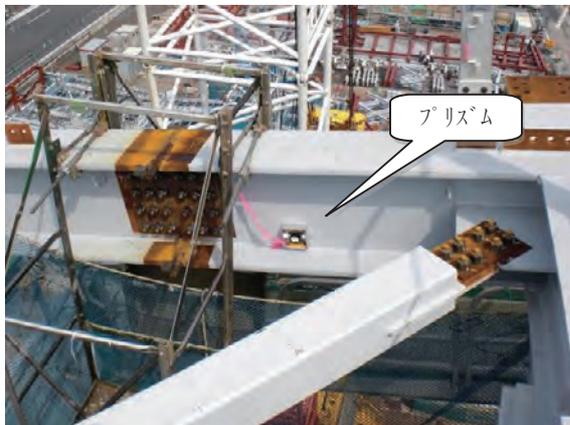


写真-10 プリズム設置状況

監視画面を写真-11に示す。画面右側には、プリズムを設置した座標の初期値、リアルタイム計測値、変化量、設計値との差などを表示している。画面左側上部は屋根の平面形状が大きく変形していない



写真-11 スライド監視画面

ことをモデルで確認できるようにしている。スラスト方向は、軌条梁とスライディングジャッキのセリの危険性があるため、自動計測と合わせスケールにて実物の柱脚部のズレ量管理も行った。画面左下部は鉛直方向の変位をモデル化して表示し、初期値に対する変位量を数値化している。特に、柱を乗り越える際の鉛直方向の変位による過荷重の回避などに有効であった。

## 6. スライド工法適用の効果

### ①品質

構造的な性能が最も要求され、鉄骨の建方精度が品質に大きく影響する部位であった。すべてのトラスを同じ場所で繰り返し作業としたことで作業員の習熟度が向上し、地組み段階での組立誤差は±2mm以下まで精度を上げることができた。建方並びにスライド工事においても同様に精度が高められ、設計要求品質を十分満足する結果となった。

### ②工程

2009年4月30日から施工開始した大屋根鉄骨スライド工事は同年8月11日に9回目の最終スライドを予定どおり完了、10本目のトラス建方も遅延なく目標を達成できた。外装ACW、吹き抜け天井パネル工事など大屋根が終わらなければ始められない工種が多く、複雑な形状のスライド工事を予定どおり完遂できたことは、工程確保に大きく寄与した。

### ③コスト

仮設軌条梁鉄骨の追加や躯体補強、鉄骨補強、ベント仮設、牽引設備などに費用は掛かるが、他工法では、仮設の盛替えなどさらに仮設費が膨れ上がっていたと考えられる。繰り返し作業によって習熟度が上がり、工程が順調に進捗したことは、コストにも大きなアドバンテージになった。

### ④安全

大部分の鉄骨組立を地上の地組ヤードで行うことで、高所作業を大幅に低減した。また、建方エリアにおいても十分に計画された足場やステージ上で養生など盛替えることなく作業を進めることができた。稼働中の空港敷地内での工事であり、風散・飛散防止も重要な管理項目であったが、スライド工法採用により建方エリアを制限でき、安全に施工できた。

## 7. おわりに

スライド工法によって総重量5,000t、平面面積18,000㎡という非常に大規模かつ変形の大きな大屋根を、躯体に大きなダメージを残すことなく短工期で施工することができた。今後は、今回の実績や工夫に加え、予想以上に時間を要した係留位置での微調整作業の効率化の課題を解決して、同種工事に水平展開していく所存である。

## 8. ラインリーダーの開発

### 光学技術を応用した舗装用レベリングセンサ

鹿島道路株式会社  
株式会社トライテック  
株式会社トライテック

○ 平藤 雅也  
梶原 泰樹  
柴崎 秀一

#### 1. はじめに

現在、アスファルトフィニッシャのスクリードの自動制御方式として、ソニックセンサ等を用いてセンサワイヤ、構造物などの基準高さを做う基準値トレース方式、トータルステーションを用いた3次元数値制御方式(3D-MC)などがある<sup>1)</sup>。これらの中から、個々の現場状況に応じた制御方式が採用されている。

橋梁やトンネル内などの構造物が施工端部まで迫っている現場においては、センサワイヤや構造物を使用した做い制御が主となっている。しかし十分な作業スペースを確保できないような現場においては、センサワイヤなどを用いることができない場合も多々ある。そのような場合、路面に舗装厚さを記しておき、その数値を参照しながらオペレータが手動で厚さを管理する非効率的な手法もとられてきた<sup>2)</sup>。そのような作業スペースに余裕の無い現場において、従来の方法よりも省力化やコストの削減が期待できるラインリーダー(舗装用レベリングセンサ)を開発した(写真-1)。

本文は、今回開発したラインリーダーを、従来の制御方法と比較、検討するとともに、橋梁部での施工例を紹介し、その有効性について報告を行うものである。



写真-1 ラインリーダー外観

#### 2. 概要

##### 2.1 背景

前述のように、作業スペースに余裕の無い橋梁や狭い部では、センサワイヤや構造物を做うシステムが用いられている。写真-2 にソニックセンサを用いた做い制御の施工例を示す。ここでは高欄上に鋼材を並べ、その高さを基準としスクリードを制御している。このシステムを用いる上で注意しなければならないのは、センサワイヤなどが高さ制御の基準となるため、これらを正確な高さに調整して設置しなければならないことである。



写真-2 ソニックセンサを用いた做い制御

写真-3、4に、作業スペースに余裕の無い高速道路の施工におけるセンサワイヤの設置例を示す。

写真-3 は、木製の高さ調整用の土台を高欄上に等間隔に設置し、その上にセンサワイヤを張っている。この現場はカーブ部分の施工もあるため、ワイヤが狙ったカーブラインを通るように、写真のような形状の設置台を製作した。

写真-4 は、ワイヤ固定用の脚を鋼材で製作し、構造物とボルト止めすることで固定している。固定位置を変えることによって、センサワイヤの高さ調整が行えるようになっている。



写真-3 センサワイヤ設置台



写真-5 ライン打ち作業



写真-4 センサワイヤ固定用脚

このように個々の現場状況に応じた設置方法を考え、それに合わせて鋼材や木材を加工し、かなりの数の設置台を製作しなければならない。更に施工前にこれらを設置し、施工後には撤去しなければならない。この設置作業だけで6~7人が必要となり、かなりの手間と時間が掛かっている。

## 2.2 ラインリーダーとは

ラインリーダーは、高欄やトンネルの壁面などに引かれたラインを光学センサで画像として取込み、内部処理によりラインを検知することで、ラインを基準として高さ制御を行う舗装用レベリングセンサである。

事前の準備作業として、現場で通常使用されているライン打ちの道具を用いて、壁面に決められた高さでラインを引くだけである。2~3人で準備することができ、さらにラインは自然に消えるため撤去作業の必要もなく、かなりの省力化が期待できる(写真-5)。

従来の做い制御と比較すると、センサワイヤ設置台の検討・製作に苦慮することがなくなり、段取りの手間も大幅に省くことが期待できる。

ラインリーダーから出力されるラインの高さ情報は、従来から使用されている汎用コントローラで目標高さとの離れとして計算され、その情報が電磁弁オン・オフの電流となり、フィニッシャ側のレベリングシリンダを制御する(図-1)。したがってラインリーダーを使用するために、アスファルトフィニッシャ側に特別な改造を施す必要がなく、現在保有している機械(特殊な機械を除く)で使用することができる。

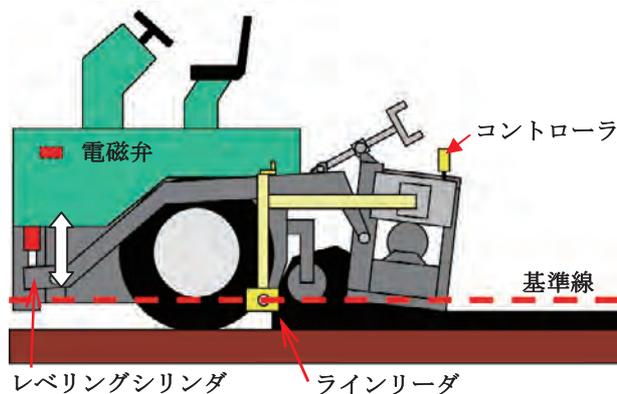


図-1 施工イメージ

## 3. ラインリーダー概要

### 3.1 システム構成

ラインリーダーは、以下のシステムから成り立っている。

- ・光学センサ：壁面に引かれたラインを画像として取込む。
- ・距離センサ：光学センサと壁面との距離を計測する。
- ・処理基板：各センサから得られた情報からラインを認識し、ライン情報をコントローラへ伝送する。
- ・補器類：壁面を照らす照明や各種表示ランプなど。

### 3.2 作動原理

ラインリーダーは、システムに組み込まれた光学センサが壁面をスキャンし、処理基板にて壁面に描かれたラインを検知する。これを進行方向にトレースしていくことで、ライン高さを認識していくのである。

写真-6 に処理基板による画像処理イメージを示す。点線矢印（写真中央）の位置をスキャンしたものが右側に示されている。このようにラインをピークとして検知する。

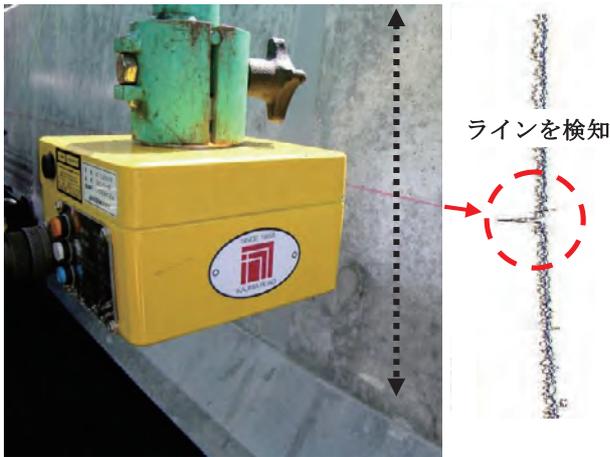


写真-6 画像処理イメージ

### 3.3 制御フロー

図-2 に制御フローを示す。

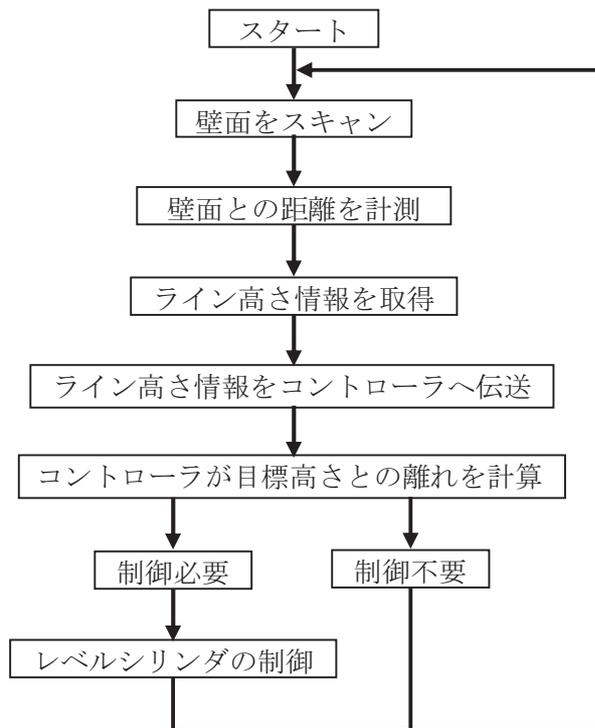


図-2 制御フロー

光学センサによるスキャンと同時に、距離センサが壁面と光学センサの距離を計測する。距離センサが計測した数値から補正値が算出される。これにより壁面とラインリーダーの距離が変わる場合でも、精度を確保して制御することが可能となる。各センサから得られた情報を処理基板が演算し、ライン高さを求める。求められたライン高さをコントローラへ伝送し離れを求め制御を行う。

### 3.4 応用

制御用コントローラとして東京計器株式会社製 Hi Grade を使用する（写真-8）。因って、アスファルトフィニッシャだけではなく、Hi Grade を接続することのできる切削機などの高さ制御などにも使用することが可能である。



写真-8 Hi Grade (制御用コントローラ)

## 4. 施工現場の紹介

開発に当たり試作機を製作し、実際の現場に導入して、トラブル、使い勝手などの確認を半年に渡り実施した。写真-9 は鹿児島県の橋梁で試作機を用いて施工を行った際のものである。壁面に目地がある場合や、壁面に直射日光が当たる場合でも、問題なく使用できることを確認した。



写真-9 試作機を用いた施工（鹿児島県）

写真-10 は沖縄県の高架橋で試作機を用いて施工を行った際のものである。ラインリーダー取付けアームを横に伸ばしての施工となり振動の影響が懸念されたが、その影響はみられなかった。



写真-10 試作機を用いた施工（沖縄県）

いずれの施工においても、ラインリーダーの敷均し精度を評価するため、下がり量のチェックと出来形の管理を行った。

制御に関しては、通常のセンサと同等の精度で施工できることを確認した。機械の振動による影響に関しても、問題ないことが確認できた。

段取り作業に関しては、センサワイヤ設置台などを準備する必要もなくなり、手間が大幅に減るなど良好な結果が得られた。

2010年6月までに、試作機による評価を重ね、そこから得られたデータをもとに、2010年7月に実用モデルが完成した。一回り小型化し、更に耐久性も向上している。使い勝手を考慮し、操作パネルやボタン、補器類も追加した。写真-11は試験機(左)と実用モデル(右)とを比較したものである。



写真-11 試験機と実用モデルの比較

写真-12, 13 は愛知県の高架橋で実用モデルを使用して施工を行った際のものである。



写真-12 実用モデルを使用した施工（愛知県）



写真-13 実用モデルを使用した施工（愛知県）

## 5. 今後の予定

今回実用モデルを4台製作したが、これらを積極的に現場導入していき、施工実績を伸ばすと共にアスファルトフィニッシャの他、切削機などの高さ制御にも応用していくことを検討している。

## 6. おわりに

ラインリーダーは、壁面に描かれたラインを検知し制御することができる。これにより、施工できる現場が増えるだけでなく、従来の段取りと比較すると時間、手間を大幅に削減することが可能となる。

なお本システムは、制御機器およびソフトウェア開発会社であるトライテック社と共同で開発を行っている（特願 2009-165472）。

## 参考文献

- 1) 福川光男：舗装技術者のための建設機械の知識，舗装，Vol42 No.6, pp.42～45, 2007
- 2) 山口達也：光学技術を利用したレベリングセンサ，舗装 Vol45 No.7, pp3～4, 2010

## 9. 高粘着力地盤へのハイブリッド攪拌工法の適用と改良品質

小野田ケミコ株式会社

鈴木 孝一

西尾 経

○近藤 省一

齋藤 邦夫

中央大学理工学部

### 1. はじめに

地盤改良は、都市近郊の再開発事業をはじめ既設構造物に近接した開削工事や既設構造物の耐震対策工事等に幅広く適用されている。しかしながら、上述した工事では、改良体相互あるいは構造物と改良体を確実に密着、一体化させることならびに地盤変位を抑制することが、最も重要な施工要件となる。

このような施工要件を満たす工法の一つとして、機械攪拌と超高压噴射攪拌を併用したハイブリッド攪拌混合処理工法（以下、SDM-Dy 工法と略記する）が開発し、現場で多数の実績を有している。

本稿では、SDM-Dy 工法の適用拡大の要請から、深層部の高粘着性の粘性土層におけるその出来形および改良品質についての調査結果を報告する。

### 2. 工法のメカニズム

#### 2.1 工法概要

SDM-Dy 工法 (Dynamic Super Deep Mixing Method) は固化材を超高压で噴射させて地盤を切削、攪拌、混合して所要の改良体を地盤内に造成する。そのときの超高压噴射による地盤の破壊力は、次式に示す通りである<sup>1)</sup>。

$$F \doteq \rho \cdot q \cdot v \\ = \rho \cdot (A \cdot v) \cdot v = \rho \cdot A \cdot v^2 \quad \text{式(1)}$$

ここに、 $F$ ：高压噴流の破壊力 (N)  
 $\rho$ ：密度( $\rho=\gamma/g$ ) ( $N \cdot s^2/m^4$ )  
 $q$ ：ポンプ吐出流量 ( $m^3/s$ )  $q=A \cdot v$   
 $v$ ：流速 (m/s)  
 $A$ ：ノズル断面積 ( $m^2$ )

また、流速( $v$ )は $\sqrt{p}$ に比例することから破壊力 $F$ は

$$F \doteq K \cdot A \cdot p \doteq K' \cdot q \cdot p \quad \text{式(2)}$$

ここに、 $p$ ：噴射圧力 (Pa)  
 $K, K'$ ：係数

式(2)より超高压ジェット破壊力は、噴射圧力 $p$ とポンプ吐出流量 $q$ に比例する。

本工法は、式(2)に基づき、噴射圧力を従来工法の1.5~2倍の $p=30\sim 40\text{MPa}$ 、同じく吐出量を1.5~3倍の吐出量 $q=150\sim 300\text{l/分}$ とし、超高压大容量化を図って、高粘着力粘性土地盤への適用と、より大口径の改良体造成を狙って開発した。写真-1に三点支持式杭打機をベースマシンとしたSDM-Dyの二軸施工機を示す。本工法は、機械攪拌翼(標準翼径 $\phi 1.0\text{m}$ )の先端部から固化材スラリーを超高压で噴射し、改良体外周部を超高压ジェットにより攪拌混合造成する。これにより、基礎杭、山留め壁等との密着施工が可能であり、改良体相互のラップ施工による一体化が図れる等、従来工法にはない優れた特長を備えている<sup>2)</sup>。

また、従来の機械攪拌工法に比べて、超高压噴射攪拌により、改良径 $D=\phi 2.8\text{m}$ までの大口径改良体が造成できる。そのため、日当たり施工量は機械攪拌工法の概ね2~3倍となって、大幅な工期短縮が図れる。また、改良体造成径に対し、機械攪拌翼径が小さいため、攪拌翼貫入による原地盤を乱す割合が概ね15%程度と少なく、通過域の強度低下は他工法に比べ著しく小さい。さらに、攪拌軸に装着したオーガースクリュー機構により、固化材スラリー量に見合う量の排土を制御し、低変位施工をも同時に可能とした<sup>3)</sup>。



写真-1 SDM-Dy 二軸式施工機の噴射状況

## 2.2 改良メカニズム

図-1はSDM-Dy工法の改良メカニズムの模式図である。機械攪拌翼先端部の噴射攪拌装置から地盤中に固化材スラリーを超高圧にして水平方向に噴射させ、回転しつつ引き上げる。これにより地盤は切削破壊すると同時に固化材スラリーと攪拌混合される。すなわち、切削混合攪拌された混合土は、噴射攪拌装置の背面に瞬時に移動すると共に、機械攪拌翼による攪拌が付加され、均質性の高い大口径改良体が造成される<sup>2),4)</sup>。

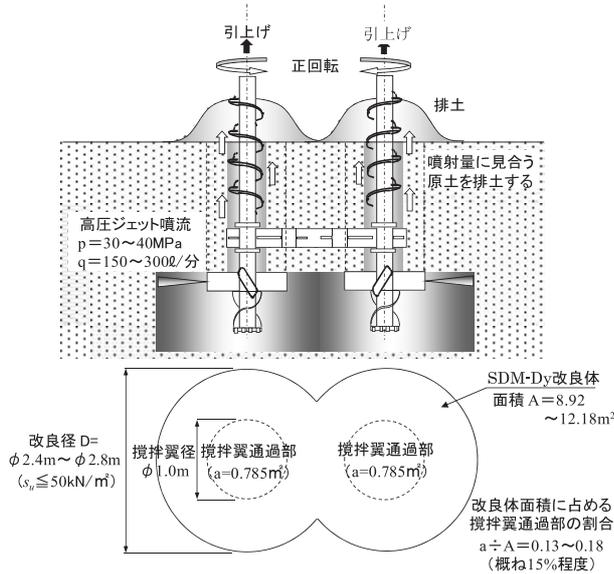


図-1 SDM-Dy工法の改良メカニズム

## 2.3 機械構成

本工法に用いる施工機械構成と仕様を表-1に示す。SDM-Dy 処理機では三点支持式杭打機を用い、駆動装置は二軸式アースオーガで超高圧耐圧化が施されている。また、超高圧ポンプは、固化材スラリーを  $q=150\sim300$  分もの大流量で安定して吐出させることが可能である。

施工管理装置は、噴射圧力、噴射流量、貫入・改良速度等の管理データをプラントとSDM処理機双方の各検出器でリアルタイムに監視し、総合管理装置に表示されると共に自動記録される。

表-1 施工機械構成

機 械 名	仕 様
SDM-Dy 処理機	SDM駆動装置、耐圧40MPa 施工管理装置
SDM-Dyオーガスクリュ	特殊オーガスクリュ×2軸 S DMオーガヘッド標準φ1.0m×2軸 軸間長1.4m~2.0m
超高圧大容量ポンプ	吐出圧力p=40MPa 吐出量q=150~300 $\frac{l}{分}$
スラリープラント	処理能力20~40 $\frac{m^3}{h}$ セメントサイロ30 t
発動発電機	プラント用、超高圧ポンプ用、SDM処理機用
バックホウ	0.8 $m^3$ 、排出ガス対策型

## 3. 高粘着力地盤における出来形と改良品質

一般に地盤改良工法は、 $N\leq 4$ 、 $q_u\leq 100kN/m^2$ の軟弱地盤<sup>5)</sup>で用いられることが多く、従来の高圧噴射攪拌工法の適用地盤は、概ね  $s_u\leq qu/2=50kN/m^2$  以下であった。近年、都市部では地盤内空間の高度利用化から施工深度がより深くなり、従来の適用地盤を超えた高粘着力を有する地盤に対応することが求められている。

以下に述べる2つの事例は、高粘着力を有する沖積粘性土地盤を対象に、本工法を適用して造成した改良体の出来形および改良品質について精査した結果である。

### 3.1 施工例1 (地盤強度 $s_u=120\sim140kN/m^2$ )

#### (1) 土質性状

施工位置の土質性状及び改良位置を図-2に示す。対象地盤中、GL-2.0m~2.7mの位置にAc1層 ( $s_u=35kN/m^2$ )とGL-6.5m~10.0mにAc2層 ( $s_u=40kN/m^2$ ) およびGL-16.6m~19.6mにはAc3層 ( $s_u=120\sim140kN/m^2$ ) がそれぞれ堆積している。地盤性状は、湿潤密度  $\rho_t=1.58\sim1.69g/cm^3$ 、自然含水比  $w_n=53\sim69\%$  である。

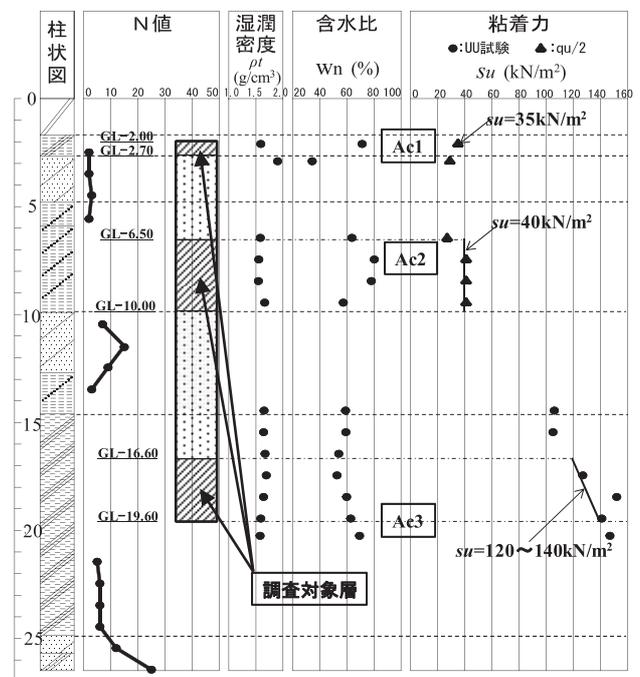


図-2 土質性状と調査対象層

#### (2) 改良仕様

深度GL-2.0m~19.6mの土層に最大改良径  $D=\phi 2.60m$ の改良体を造成する。施工仕様は圧力  $p=40MPa$ 、吐出量  $q=300$  分、改良時間  $t=4$  分/mである。

#### (3) 出来形確認

##### ① Ac1層 ( $s_u=35kN/m^2$ )

GL-2.0mまで改良体を造成し、試掘により改良体頭部を露出させて出来形を確認した。試掘状況写真を写真-2に示す。

改良体頭部の改良径を測定した結果、改良径  $D \approx \phi 2.60\text{m}$  が確認できた。同時に、二軸大口径改良としても均質性の高い断面性状を確認することができた。

②  $A_{c2}$  層 ( $s_u=40\text{kN/m}^2$ )

GL-6.5m~10.0m の  $A_{c2}$  層に対し、改良体中心から放射状に 5cm 間隔で、二重管サンプラー( $\phi 86\text{mm}$ )を用いて計 5 本の試料土採取を実施した。その内、3 本からコア全長に渡り固結していることが確認された。なお、各サンプリング位置は挿入式傾斜計により補正し、改良径  $D=\phi 2.54\text{m}$  を特定した。

③  $A_{c3}$  層 ( $s_u=120\sim 140\text{kN/m}^2$ )

GL-16.6m~19.6m の  $A_{c3}$  層においては、 $A_{c2}$  層と同様にコア採取を行い、その固結状況から、改良体径を特定し、改良径  $D=\phi 1.50\text{m}$  が確認された。

①~③によって確認された改良径の検測結果と原地盤の粘着力の関係から、図-3 が得られた。確認された改良径により導かれた近似線は、設計改良径と同等の結果が得られることがわかった。

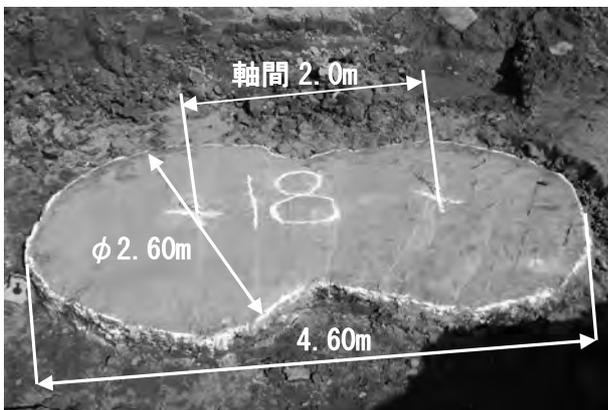


写真-2 改良天端試掘状況 ( $A_{c1}$ 層  $s_u=35\text{kN/m}^2$ )

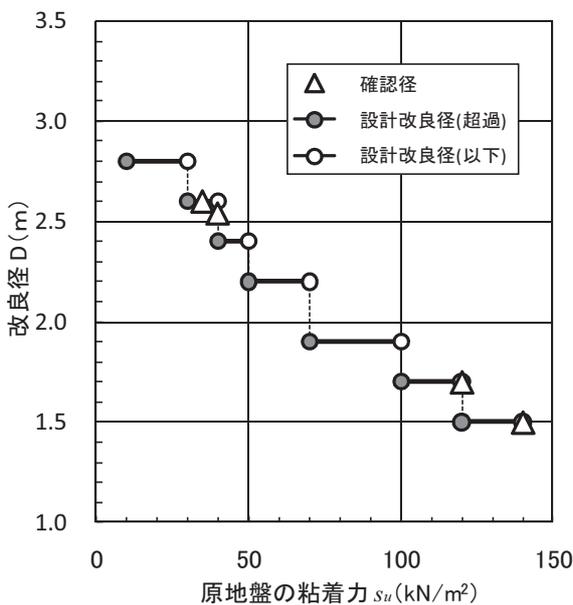


図-3  $A_c$  層の出来形検測結果

(4) 品質確認

調査対象層毎の改良土の一軸圧縮強さを表-2 に示す。 $s_u=35\text{kN/m}^2$  の  $A_{c1}$  層では  $\overline{q_{uf}}=1,835\text{kN/m}^2$  が確認できた。また、 $s_u=40\text{kN/m}^2$  の  $A_{c2}$  層では、 $\overline{q_{uf}}=3,045\text{kN/m}^2$  で  $V=6.0\%$  であった。 $s_u=120\sim 140\text{kN/m}^2$  の  $A_{c3}$  層では  $\overline{q_{uf}}=5,483\text{kN/m}^2$  で  $V=8.4\%$  であった。いずれの土層も均質性の高い状況が確認できた。

表-2 一軸圧縮試験結果

調査位置	一軸圧縮強さ $q_{uf}$ ( $\text{kN/m}^2$ )	平均値 $\overline{q_{uf}}$ ( $\text{kN/m}^2$ )	標準偏差 $\sigma_{n-1}$ ( $\text{kN/m}^2$ )	変動係数 V (%)
$A_{c1}$	1,560	1,835	-----	-----
	2,110			
$A_{c2}$	3,070	3,045	184	6.0
	3,180			
	2,710			
	3,040			
	3,240			
	3,030			
$A_{c3}$	5,030	5,483	461	8.4
	5,280			
	5,880			
	6,190			
	5,430			
	5,090			

3.2 施工例2 (地盤強度  $s_u=80\sim 120\text{kN/m}^2$ )

(1) 土質性状

図-4は、別途 SDM-Dy 工法を適用した原地盤の土質柱状図および土質性状である。主な改良対象土層であるシルト層は、湿潤密度  $\rho_t=1.57\sim 1.76\text{g/cm}^3$ 、含水比  $w_n=52.0\sim 69.5\%$ 、粘着力は GL-15m まで  $s_u \leq 50\text{kN/m}^2$  である。それ以深は、深度方向に大きな強度増加が見られ、 $s_u=80\sim 120\text{kN/m}^2$  の高粘着力粘性土地盤である。

(2) 改良仕様

改良体の造成は、図-4 に示す深度 GL-4.5m~22.5m 中の 3 箇所の沖積粘性土層で実施した。すなわち、中間地中梁改良部 2 箇所と底盤改良部 1 箇所の計 3 箇所を選定した。なお施工仕様は、前述した施工例1と同様である。

(3) 出来形確認

設計径  $D=\phi 1.7\text{m}$  に対し、改良体の外周位置でオールコア採取を実施した。その結果、コア全長で固結体が確認され、 $s_u=120\text{kN/m}^2$  の高粘着力地盤において、 $D=\phi 1.7\text{m}$  以上の改良径が確認できた。

また、GL-17.5m の  $s_u=80\text{kN/m}^2$  位置において、掘削時の改良径を調べた結果、 $D=\phi 1.90\text{m}\sim 1.95\text{m}$  が確認でき、平均改良径  $\overline{D}=\phi 1.93\text{m}$  であった。

(4) 品質確認

図-5は、改良径に対してオールコア採取を実施した位置を示す。採取位置は、改良体中心位置から改良径DのD/4の位置2箇所(No.1・No.2)とラップ部1箇所(No.3)の計3箇所であり、サンプリング試料について一軸圧縮試験を実施した。表-3が各試料の一軸圧縮試験結果である。

中間地中梁改良部の上層位置( $s_u=35\text{kN/m}^2$ )では、 $q_{uf}=2,921\text{kN/m}^2$ 、 $V=22.3\%$ であった。中層位置( $s_u=45\text{kN/m}^2$ )では、 $q_{uf}=4,437\text{kN/m}^2$ 、 $V=21.6\%$ となった。また、底盤改良部の下層位置( $s_u=80\sim 120\text{kN/m}^2$ )では、 $q_{uf}=4,823\text{kN/m}^2$ の $V=19.7\%$ であった。深度と共に変動係数は増大するが、 $V=19.7\%\sim 22.3\%$ が確認され、機械攪拌工法の $V=20\%\sim 40\%$ <sup>6)</sup>と比較しても良好な結果が得られた。また、コアの連続性についてもRQD値90%以上となり、固結部の連続性が高いことが認められた。

表-3 一軸圧縮試験結果

採取位置	一軸圧縮強度 $q_{uf}$ (kN/m <sup>2</sup> )			平均値 $\bar{q}_{uf}$	標準偏差 $\sigma_{n-1}$	変動係数 V
	D/4地点		ラップ部			
	No. 1	No. 2	No. 3	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(%)
上層	2,571	2,397	4,323	2,921	650	22.3
	3,090	3,181	2,566			
	2,779	2,112	3,273			
平均	2,688		3,387			
中層	5,204	4,182	5,384	4,347	938	21.6
	4,634	3,402	3,917			
	2,832	3,959	5,611			
平均	4,036		4,971			
下層	6,058	4,578	3,307	4,823	952	19.7
	5,524	3,984	6,213			
	4,576	4,753	4,411			
平均	4,912		4,644			

4. まとめ

機械攪拌に高圧噴射攪拌方式を組み合わせたハイブリッド攪拌混合処理工法であるSDM-Dy工法を、 $s_u > 100\text{kN/m}^2$ の高粘着力粘性土地盤を対象に適用した結果、以下のことが検証できた。

- ①噴射圧力  $p=40\text{MPa}$ 、吐出量  $q=300\text{ l/分}$ の改良仕様において、造成される改良径は、 $s_u=120\sim 140\text{kN/m}^2$ の地盤では $\phi 1.5\text{m}$ 、 $s_u=80\sim 120\text{kN/m}^2$ の地盤では $\phi 1.7\text{m}$ 以上が確認できた。
- ②改良品質では、高粘着力地盤においても改良強度の変動係数は $V=6\%\sim 22\%$ が確認され、一般的な機械攪拌工法の $V=20\%\sim 40\%$ と比較しても良好な結果が得られた。

以上の結果より、吐出圧力・吐出流量を従来の2~3倍に増加させることにより、高粘着力地盤に対しても安定した大口径改良体が造成可能である。また、施工方法では、既設構造物との密着性、改良体相互のラップ施工や低変位施工等の特長を併せ持つことから経済性も高いと判断される。

参考文献

- 1) 小野田ケミコ(株)：ミニマックス工法技術・積算資料第15版，2009.12
- 2) 鈴木孝一・西尾経：機械排土式低変位高圧噴射攪拌工法 - SDM工法とLDis工法の設計・施工，軟弱地盤の改良，総合土木研究所，pp.89~96，1999.11
- 3) 鈴木孝一・西尾経・田中信哉・松岡大介・齋藤邦夫：SDM工法（高速低変位深層混合処理工法）－機械攪拌併用高圧噴射攪拌による地盤変位の抑制制御型工法の概要と施工事例一，基礎工，Vol.37，NO.5，pp.88~90，2009.5
- 4) 鈴木孝一・西尾経・松岡大介：高圧噴射攪拌による高速低変位施工を実現したSDM工法(高速低変位深層混合処理工法)，建設の施工企画，No.698，pp.29~34，2008.4
- 5) 日本道路公団：道路土工指針，p.29，1986
- 6) 地盤工学会地盤改良効果の予測と実際編集委員会編：地盤改良効果の予測と実際，pp.215~216，2000.2

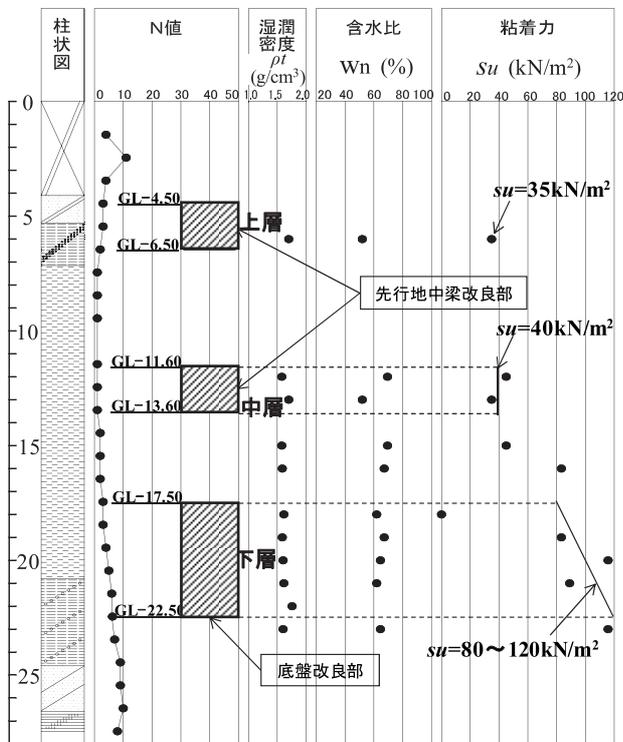


図-4 土質性状と調査対象層

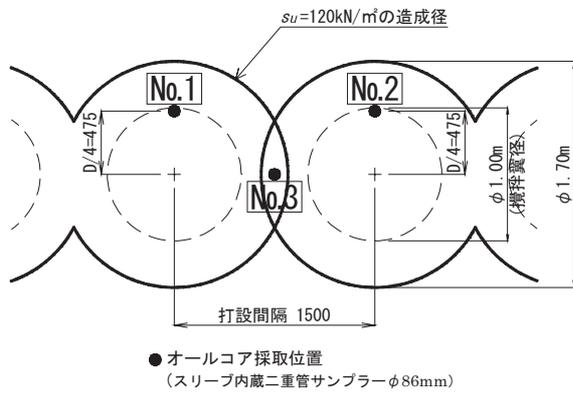


図-5 コア採取位置

# 10. 「エアロ・ブロック工法」の開発

## エアバッグで地山を押さえてトンネル掘削

清水建設(株)土木技術本部 ○金丸 清人  
清水建設(株)土木東京支店 原 忠

### 1. はじめに

都市部のトンネル築造は、円形の密閉型シールド機による施工が主流だが、シールド機は高価である。特にトンネル形状が矩形断面の場合、四隅まで掘削するために、カッタ機構が複雑となりコスト高となる。

今回開発した「エアロ・ブロック工法」は、自立地盤に矩形断面のトンネルを築造する場合のシールド機経済性を追求し、コストの安い開放型ではあるが開放型の弱点である切羽の安定性を、掘削時の開放面積を小さくし、新機構にて地山保持することで解決した。この工法は地山の安定効果が高い密閉型と低コストである開放型の間際に位置し、両者の長所を保有する新しい工法と言える。

平成19年に松本市の主要医療機関である相澤病院増改築工事で、地下通路施工にこの工法が採用され、掘進の結果とその効果が確認されたので報告する。

### 2. 開発技術の概要

一般的なシールド機はカッタを装備し高価である。カッタ機構を使用しない開放型のシールド機は、コストは安い切羽の地山変位量が大きく、密閉型と比べ切羽の安定性に劣ることにより、地表面沈下量も密閉型に比べ2～3倍程度大きく現在はほとんど使用されていない。「エアロ・ブロック工法」のシールド機は開放型であるが、以下の2点により地山の安定を図り、掘進時の地表面沈下を抑制している。(図-1参照)なお、適用地盤は自立性地盤を想定しているが、地下水以下でも補助工法(地盤改良等)を併用すれば施工可能である。

- 掘削部分を機械的に複数の小断面に分割し、掘削のため開放する小断面以外の切羽をエアバッグで常時保持して掘削に必要な開放面積を小さくする
- シールド機に装備したムーバブルフードで掘削部分の先行先受けを行う



図-1 エアロ・ブロック工法のイメージ図

#### 2.1 シールド機の構造

シールド機の切羽部分は機械的に複数の小断面に分割し、各小断面には角形筒状の箱形装置を挿入する。箱形装置はジャッキで前後に摺動可能な構造となっており、切羽側には「扉」と扉の地山側には「エアバッグ」を装備している。

掘進機の上部および側部上半には箱形装置と同様に前後に摺動可能な「ムーバブルフード」を備え掘削時の先行先受けを行う。

#### 2.2 掘削の手順

図-2に掘削の手順を示す。掘削は、複数の箱形装置の内、1カ所の扉を開けて行う。掘削以外の箱形装置では、扉を閉めた状態でエアバッグを膨張させ、地盤に土水圧に対抗する圧力をかけて切羽の変状を抑えている。掘削時は最初にムーバブルフードを押し出して先行先受けを行い、シールド機に備えたショベルで地盤を切削しながら箱形装置を押し出す。必要な押出長はセグメントの1リングが組立可能な長さ(1m前後)である。掘削終了後、扉を閉め、エアバッグを膨張し切羽を抑える。

掘削終了後、未掘削部分の箱形装置の内、1ヶ所の扉を開け同様の掘削作業を行う。順に掘削・

箱形装置押し出しを繰り返し、箱形装置全部の掘削が終了後、シールドジャッキを伸張しシールド機胴体を前進させる。シールドジャッキ伸張後通常のシールド工法と同様にシールド機テール内でセグメントを組立て1リング分の掘進サイクルが終了する。

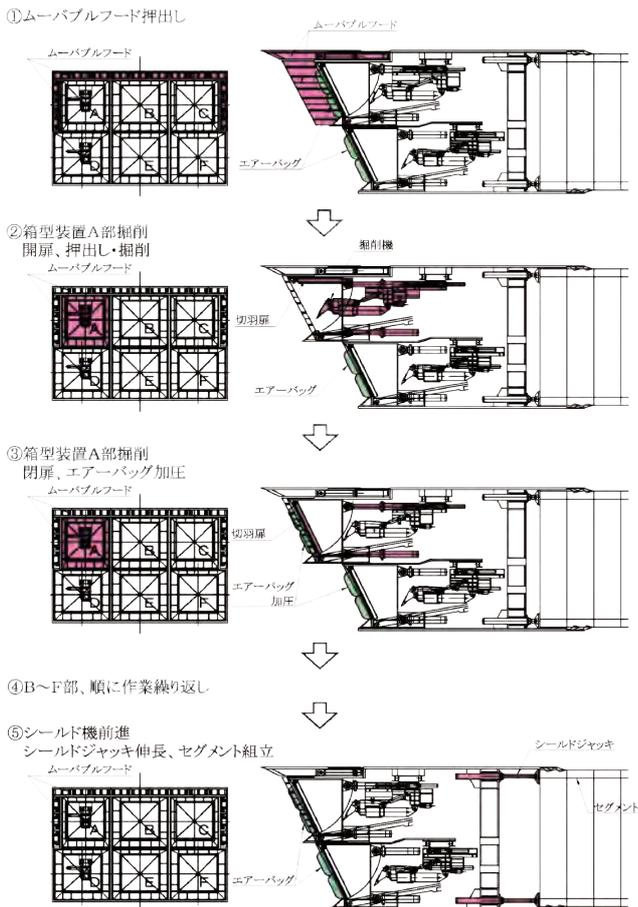


図-2 掘削の手順

### 2.3 工法の特徴

以下にこの工法の特徴とメリットを挙げる。

- 先行先受けを行い、掘削開放面積を小さくすることにより地山の安定を図り、地表面沈下を抑制する
- 開放型シールド機のため残置杭などの地中障害物の対応が容易である
- 密閉型に必要な掘削土処理設備がないため、道路下での掘進の場合、常設作業帯が不要となる
- 密閉型矩形断面シールド機に比べ掘削機コストは、約 1/3 となる
- 掘削残土は普通土なので、掘削残土が泥土化する密閉型に比べ環境負荷が低減する

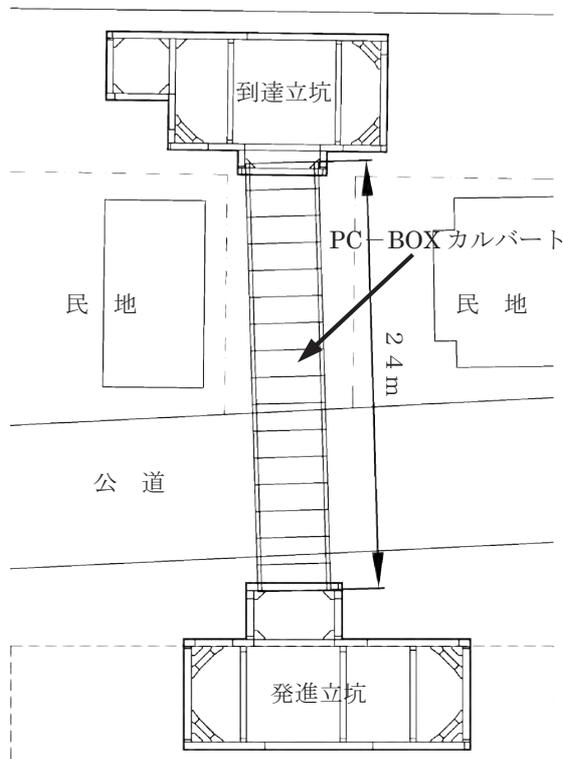


図-3 全体平面図

### 3. 実証工事

松本市の相澤病院増改築工事で実証工事を行った。図-3に全体平面図を示す。

当工事は道路を挟んだ病院増改築部の地下連絡通路築造工事で、内空は3.5m×2.9m、延長は24.0mである。土被りは3.0～4.0mと浅いが、付近住民や一般交通への配慮から、開削工法では無く、矩形断面PC-BOXカルバートを使用した全断面開放型の刃口推進工法による非開削工法が計画されていた。掘削の補助工法としては掘削部土質の礫と腐植土の互層に対する地盤改良および水位低下工法が予定されていた。

施工に関する原計画の詳細検討を行った結果、低土被り下で掘削断面が約4×3.5mと大きく、全断面開放型による地山の安定性の低下が懸念された。さらに地表面沈下時の交通・埋設物等周辺環境への影響が大きいため、地山の安定効果の高い「エアロ・ブロック工法」を新たに選定した。

当工法の適用に当たって掘削機は、原計画のPC-BOXカルバートを使用した推進機とし、推進機の切羽部分は機械的に4分割した。当工事は掘削距離が短いため前後に摺動可能な箱形装置は省き、エアバッグを装着した4枚の扉のヒンジは掘削機に固定した。写真-1にエアロ・ブロック工法掘削機を示す。



写真-1 エアロ・ブロック工法掘削機

箱形装置を省いたためエアバッグの膨らみ長を大きくして膨張時に扉から60cm先の掘削地山まで届くようにした。PC-BOX カルバートの長さが1.5mのため、掘進は50cm毎に3回に分けて行い、1リング分の掘進サイクルとした。掘削はムーバブルフードを先行して押し出し、分割した各部分毎にエアピックハンマーで地盤を切削し、掘削残土は人力でベルコンに積み込んだ。掘削終了後は扉を閉めエアバッグを膨張し切羽の変状を抑えた。図-4に相澤病院における施工手順、写真-2にムーバブルフード下の掘削状況、写真-3にエアバッグによる切羽保持状況を示す。

4分割した全ての掘削部分の終了後に行う推進作業は4枚の扉を全て閉め、全部のエアバッグを膨張した状態で行った。

推進機の前進によりエアバッグが縮小しバッグ内の圧力が上昇するが、所定の圧力(設定圧力: 0.1MPa)以上になるとエア抜き管のリリーフ弁が作動する構造としており、掘進中一定の圧力で切羽を維持することが可能とした。

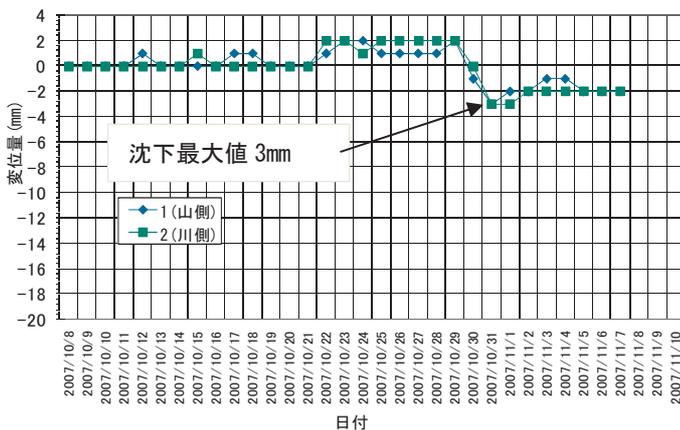


表-1 地上変位量

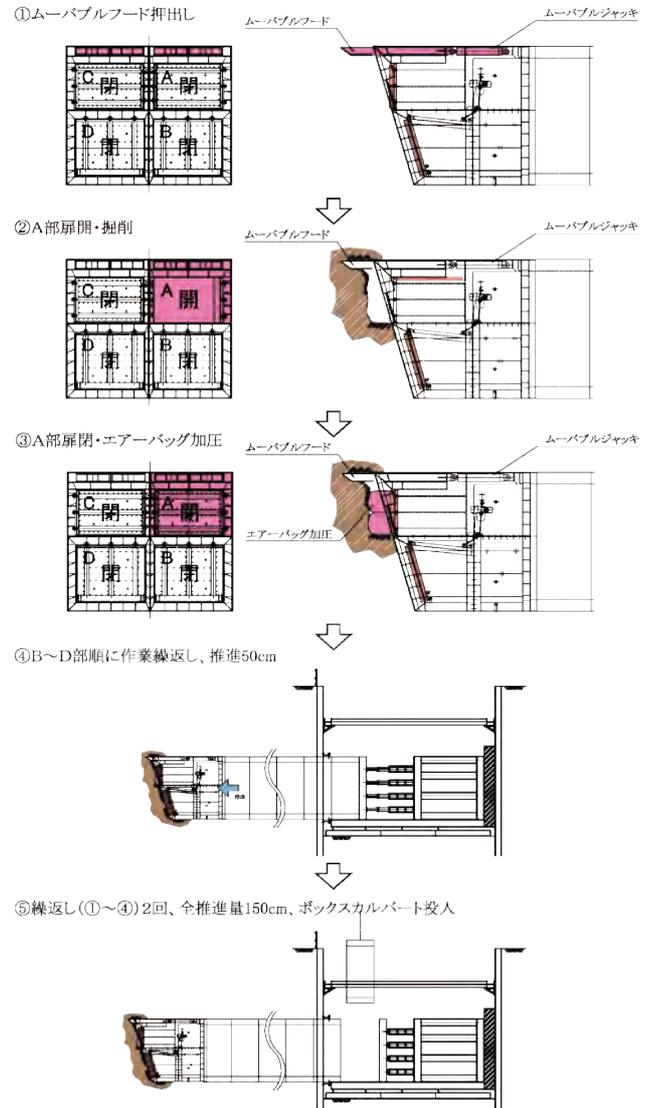


図-4 施工手順図

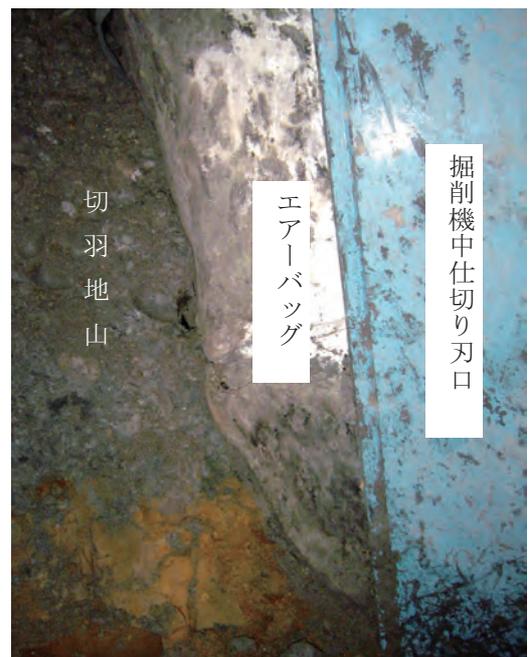


写真-3 エアバッグによる切羽保持状況

50cm 毎の掘削・推進を 3 回繰り返し、推進ジャッキを縮小し PC-BOX カルバートを投入して 1 リング分の掘進サイクルが終了する。写真-4 に掘削の状況、写真-5 に PC-BOX カルバート投入状況を示す。

施工は昼間のみ施工で平成 19 年 10 月 10 日に本格的な掘削を開始し同年 11 月 6 日に無事到達した。写真-6 に到達状況を示す。

推進の日進量は約 1 m であった。表-1 に地上変位量を示すが、沈下最大値は 3mm であった。推進直上には下水マンホールなどがあったが、特に異常は発生しなかった。

#### 4. おわりに

「エアロ・ブロック工法」は矩形断面のトンネル築造工法で、掘削機コストが安く(密閉型シールド機の約 1/3)掘削機に必要な設備がわずかなため、道路下など狭隘な施工場所での距離の短い地下人道築造においても適した工法である。

従来、開削工法で考えられていた浅いトンネル築造においても、非開削施工の可能性が増えたと言える。今後はアンダーパス工事の他、地下駅や地下街などからビルへ接続する地下人道などにも積極的に本工法を提案していきたいと考えている。



写真-4 掘削状況



写真-5 PC-BOX カルバート投入状況

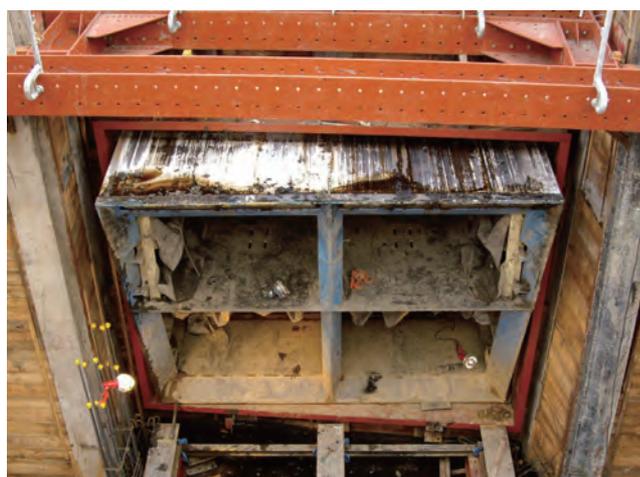


写真-6 到達状況

# 1 1. 自由形状・大口径高圧噴射攪拌工法

## —マルチジェット工法—

前田建設工業(株)

○ 安井 利彰  
手塚 広明  
竹岡 正二

### 1. はじめに

マルチジェット工法は、高圧噴射攪拌工法の一つである。

高圧噴射攪拌工法は、小型のボーリングマシンを用いて硬化材と圧縮空気を超高圧(30~40Mpa)で吐出し、地盤と混合攪拌する地盤改良工法である。硬化材の吐出量や吐出圧力等によって、改良径の異なる各種の工法が実用化されている。

従来の高圧噴射攪拌工法は、回転方式での改良体造成が主流であった。マルチジェット工法は、揺動方式による改良体造成により、扇形、壁状および格子状などの自由形状の改良体造成が可能である。また、専用モニターにツインノズルおよび高性能整流装置を装備し、ノズル吐出量(ℓ/分)や引上時間(分/m)を調節することで、改良半径 1.0~4.0m程度までの改良体造成を実現した。

自由形状および大口径改良により、従来工法に比べて必要改良範囲を無駄なく施工することができ、それに伴う排泥量も30%程度減少するため、低コストで環境にやさしい工法である。

一方、地盤改良の必要性は、各種港湾施設を中心とした液状化対策、耐震補強および発電所施設の耐震信頼性向上という観点で高まっている。既存施設を対象とした地盤改良では、狭隘な箇所での施工や施設を供用しながらの施工を求められることが多く、小型の施工機械で施工可能な高圧噴射攪拌工法で計画・実施する事例が増加している。

マルチジェット工法は、このような背景を踏まえて、従来の高圧噴射攪拌工法に比してコストダウン、工期短縮、既設構造物への影響低減、本設構造物としての高い品

質確保等を目的として開発された自由形状・大口径改良が可能な高圧噴射攪拌工法である。

### 2. 適用範囲

従来の土留め欠損防護、土留め底盤改良およびシールド発進・到達防護の仮設利用に加え、前述の既存施設の耐震補強、液状化対策などにも適用ニーズが高まってきている(図-1参照)。

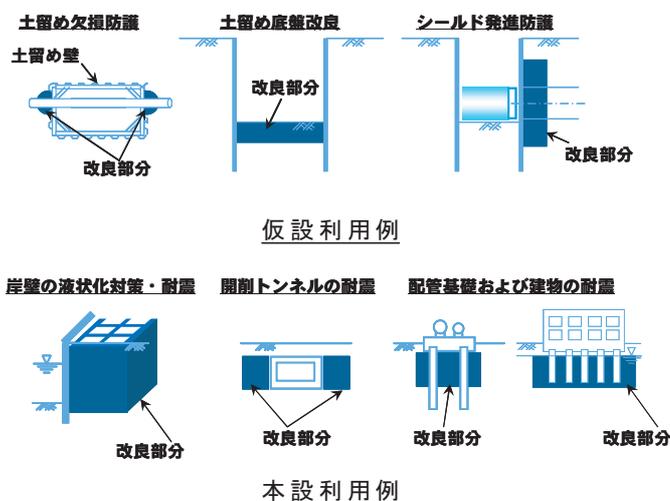


図-1 マルチジェット工法の適用例

### 3. 工法の概要

#### 3.1 特徴

##### (1)自由形状改良(扇形・格子状・壁状)

注入用のロッド(専用多孔管)を揺動させながら改良体を造成することにより、従来工法で主流であった円形改良体のみだけでなく、扇形、格子状、壁状の改良が可能である。これにより、必要な改良範囲を無駄なく最適な配置で改良することが可能となる(写真-1, 2, 3, 4)。

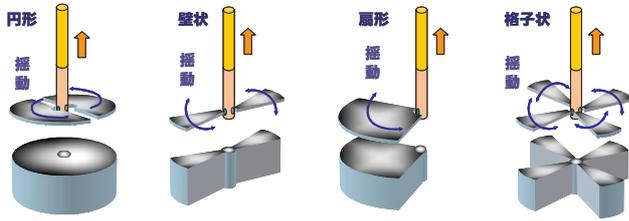


図-2 マルチジェット工法の改良体形状



写真-1 格子状改良体(粘性土地盤)



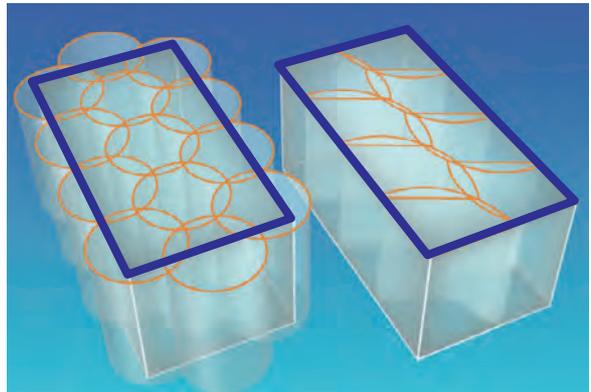
写真-2 半円状改良体(粘性土地盤)



写真-3 扇形改良体(砂礫地盤)



写真-4 壁状改良体(砂地盤)



従来工法      マルチジェット工法

図-3 改良体の最適配置例

## (2) 大口径改良

従来工法の最大改良直径は $\phi 5.0\text{m}$ 程度であったが、本工法はツインノズルを用いたジェット噴流等の工夫により、 $\phi 8.0\text{m}$ （半径 $R=4.0\text{m}$ ：砂質土、関東ローム、粘土質砂礫で確認済み）までの大口径改良が可能である（写真-5、6）。

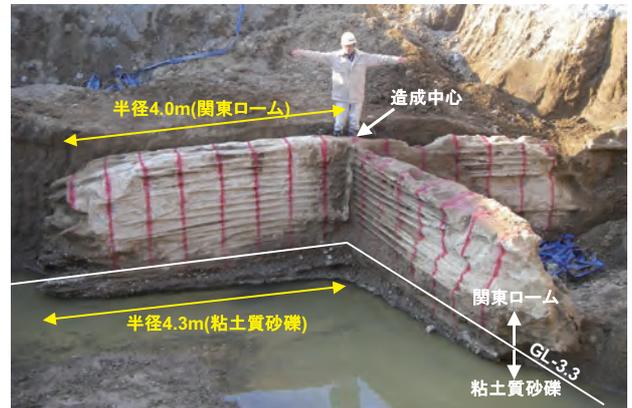


写真-5 大口径改良体(関東ローム、砂礫地盤)

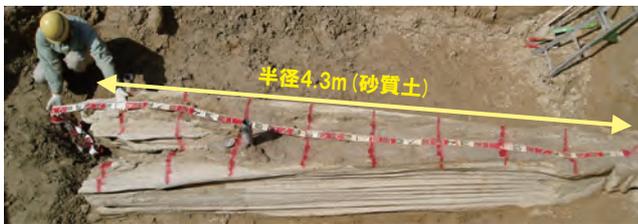


写真-6 大口径改良体(砂質土地盤)

自由形状・大口径改良により、必要な設計改良範囲に対して無駄のない改良や施工本数の低減が可能となるため、コストダウンや工期短縮を図ることができる。また、造成時に発生する排泥量も低減することができるため、コストダウン効果と併せて環境負荷低減も図ることができる(図-3)。

### 3.2 施工方法

#### (1) 施工仕様

マルチジェット工法の施工仕様を表-1に示す。また、表-2に示すようにマルチジェット工法では適切な噴射仕様を採用することにより、任意の改良径を造成することが可能である。

表-1 施工仕様一覧

項目	仕様		
噴射方法	超高压硬化材液と圧縮空気		
使用ロッド	専用ロッド(多孔管4~10孔)		
1噴射方向あたりノズル数	2~4		
最大改良半径	4.0m		
	標準値	単位	
圧縮空気	吐出圧力	1.05	Mpa
	吐出量	3~15	Nm <sup>3</sup> /min
硬化材	吐出圧力	40	Mpa
	吐出量	100~600	ℓ/min

表-2 標準設計有効半径-施工仕様<sup>1)</sup>

N値	標準設計有効半径(m)									
	砂質土	粘性土	砂礫土							
N ≤ 50	N ≤ 3	(注2)	4.00	3.50	3.00	2.50	2.00	1.75	1.50	1.00
50 < N ≤ 100	3 < N ≤ 5		3.60	3.15	2.70	2.25	1.80	1.55	1.35	0.90
100 < N ≤ 150	5 < N ≤ 7		3.20	2.80	2.40	2.00	1.60	1.40	1.20	0.80
150 < N	7 < N		2.80	2.45	2.10	1.75	1.40	1.25	1.05	0.70
噴射方向(方向)	1	1	1	1(注3)	1(注3)	2or1	2or1	2or1	2or1	2or1
噴射1方向あたりノズル数(個)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1ノズル吐出量(ℓ/分)	(注1)	(注1)	(注1)	190	190	95	95	95	50	
揺動角度(度)	20~360度									
造成時間(360度換算)(分/m)	(注1)	(注1)	(注1)	23.5	14.8	23.5	17.4	13.8		

注1) 原則として、事前確認試験実施。マルチジェット工法協会に相談のこと

注2) 礫質土のN ≤ 50については砂質土の90%程度とする。N > 50については原則として事前確認試験実施。

注3) 両側噴射を適用する場合は、マルチジェット工法協会に相談のこと

### (2) 施工手順

マルチジェット工法の施工は、図-4の手順で実施する。

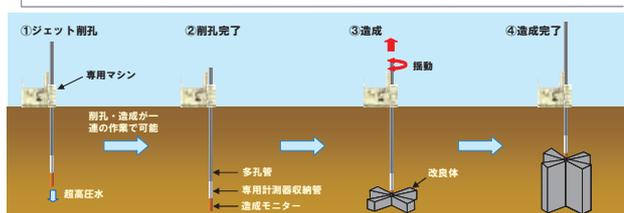


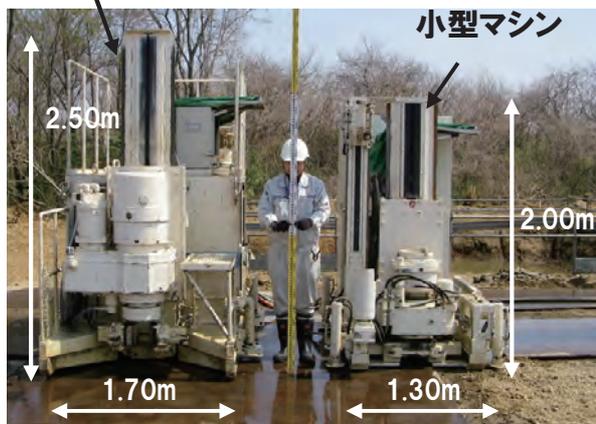
図-4 施工順序図

### 3.3 施工設備

#### (1) 削孔・造成マシン

基本的に、一般的な高圧噴射攪拌工法に用いるボーリングマシンと同じであるが、ロッドの回転に携わる油圧制御部分を改良することにより、高精度の揺動運転(0.1度単位での揺動角度設定可能)に対応できる。また、専用小型ボーリングマシンにより、狭隘部でクレーンを使用せずに施工することが可能である(写真-7)。

#### 従来マシン



#### 従来マシン



写真-7 削孔・造成マシン

## (2) 多孔管・先端モニター

マルチジェット工法では、注入ロッドとして多孔管を用いている。多孔管は、削孔水、硬化材および圧縮空気を圧送するための孔や孔曲がり計測用の専用計測器を収納するための孔など、多数の孔を有している。

多孔管の先端には硬化材を圧縮空気とともに超高圧で地盤に吐出するためのノズルを有した先端モニターを接続している。従来工法では1噴射方向に1つずつのノズル（シングルノズル）を有しているが（両側噴射の場合は2つのノズル）、マルチジェット工法では、1噴射方向に2つずつのノズル（ツインノズル）（図-5）を有している。写真-8は両側噴射時の気中噴射状況である。また、先端モニターの下端には、削孔用噴射ノズルが設置されており、多孔管建て込み時にジェット削孔が可能である（写真-9）。

これにより、削孔から造成が一連で施工できることに加え、削孔時間の短縮が可能である。



写真-8 気中噴射状況

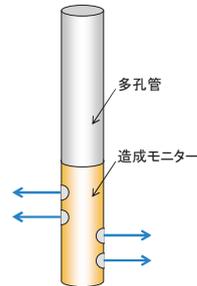


図-5 ツインノズル

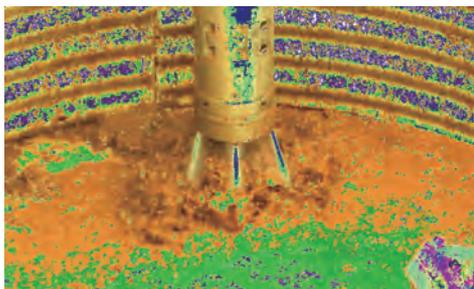


写真-9 ジェット削孔状況

## 4. 施工管理および品質管理

従来の高圧噴射攪拌工法では、仮設が主体であったが、本設として利用する場合には、より高度な品質確認がもとめられる。

そこで、本工法では、改良位置、施工状況、改良体出来形および改良体強度について、以下のような品質管理を行うことが可能である。

## 4.1 施工管理および改良位置

削孔・造成マシンの動作（揺動、STEP 高さ等）を制御している専用管理装置により、施工中の状況（深度、流量、圧力など）についてもリアルタイムに管理しながら施工を行うことができる（写真-10）。



写真-10 専用管理装置

また、先端モニター直上部の多孔管内に内蔵した専用計測器（傾斜計&磁気方位計）により、孔曲がり（施工位置）をリアルタイムで計測することが可能である（図-6）。

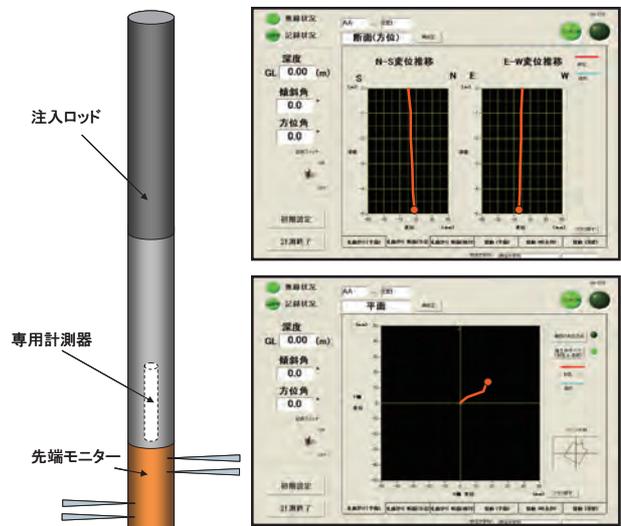


図-6 専用計測器による孔曲がり計測

## 4.2 改良体出来形

施工直後（硬化前）に、多孔管内に小型カメラを内蔵したビデオコーンを改良地盤内に挿入する。未固結改良体映像をモニターで直接視認することにより、改良径を確認することが可能である。また、ビデオコーンにも専用計測器（傾斜計&磁気方位計）を装着することにより、測定位置が明確になるため、精度の高い改良径の確認が可能となる（図-7）。

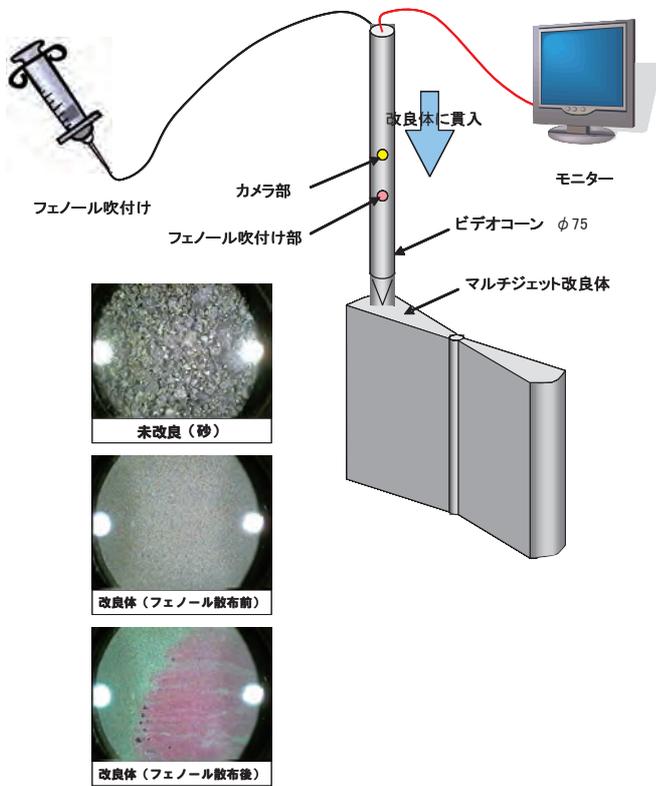


図-7 ビデオコーンによる改良径確認

#### 4.3 改良強度・剛性

施工直後（硬化前）にコーン貫入機を用いて、サンプリング機能を有したコーンを挿入する。採取した改良体をモールドに詰めて養生し、施工後3日程度以内に28日材齢の改良体の強度・剛性を予測することが可能である（図-8）。

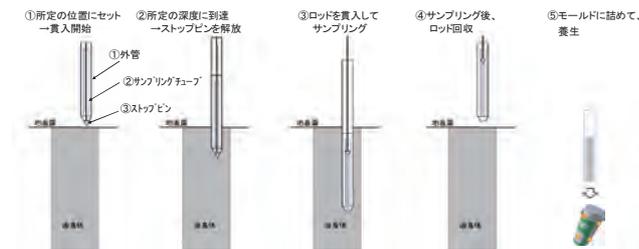


図-8 改良強度の早期確認

### 5. 周辺環境への影響

#### (1) 構造物側方の改良

図-9 に示すように、構造物に向けて噴射せず近接した改良が可能のため、構造物の変状や防水シートの破損に対してのリスクは回避できる。

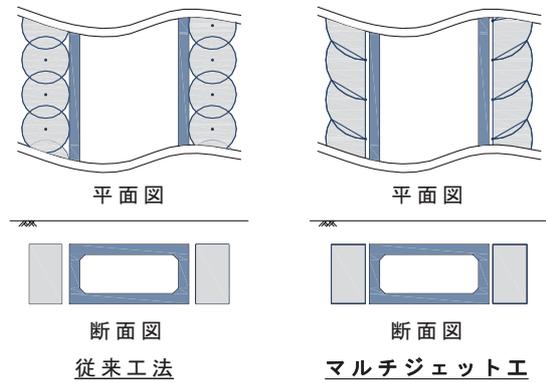


図-9 ボックスカルバート側方の改良

#### (2) 構造物直下の改良

大口径改良が可能であるため、既設構造物をコアリングすることなく直下の改良が可能である（図-10）。

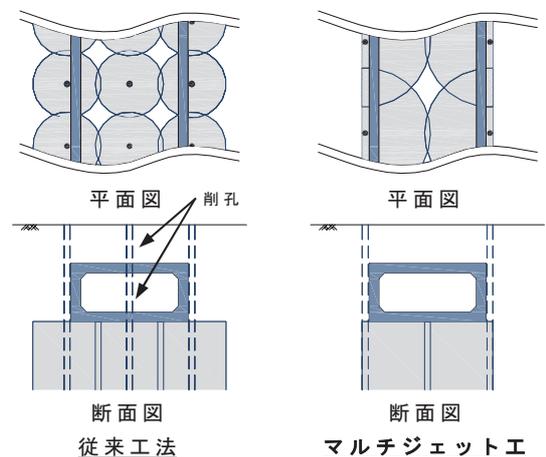


図-10 ボックスカルバート直下の改良

#### (3) 岸壁背面の改良

海側改良体を壁状改良とすることで、従来工法の円形改良と異なり、鋼矢板に向かって噴射する必要がなくなるため、海へのスラリー漏洩リスクが低減できる（図-11）。

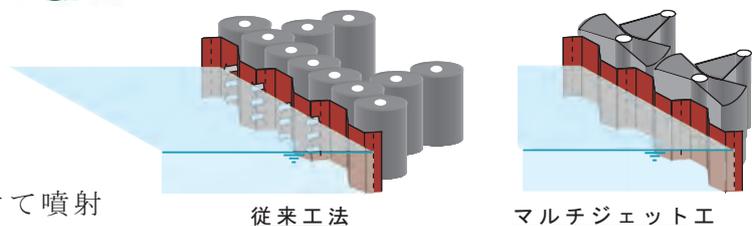


図-11 岸壁背面の改良

### 5. 施工実績

マルチジェット工法は、現在施工中を含めて、14現場での施工実績がある（表-3）。

表-3 マルチジェット工法施工実績一覧  
(H22.3 現在)

工事件名	発注者	着工	竣工	施工数量(m <sup>3</sup> )	改良目的
耐震液状化対策路盤改良工事 (〔本工事〕Aセンター)岸壁対策工事(1-5, 6)	A社	H19.6	H20.1	3,273	岸壁耐震補強
阪和自動車道 海南インターチェンジ工事	西日本高速道路株式会社	H19.7	H19.7	630	土留め壁補強
F工場地震(液状化)対策工事	B社	H19.9	H20.1	1,447	岸壁耐震補強
G工場地震(液状化)対策工事	C社	H19.10	H20.3	3,543	岸壁耐震補強
一般河川 寝屋川大日南調整池構築工事 (取水施設工)	大阪府	H20.1	H20.10	1,888	シールド発進・ 到達立坑地盤改良
盛土耐震補強工事	D社	H20.9	H20.11	1,258	盛土耐震補強
放水路旧護岸除却工事・除却開通改修工事	E社	H20.12	H21.1	1,220	放水路護岸補強
都市計画道路工事柏尾戸環線道路本体築造工事	横浜市	H21.1	H21.1	248	土留め壁止水
共同溝工事のうち分岐消道工事	東京電力株式会社	H21.7	H21.8	178	土留め壁底盤改良および歯抜け防護
阪和自動車道 海南インターチェンジ工事	西日本高速道路株式会社	H21.9	H21.10	135	構造物沈下防止
泉道高速名古屋新宝線きらく橋工区下部工事	名古屋高速道路公社	H21.10	H21.10	371	土留め壁底盤改良および歯抜け防護
第二海水取り入れ設備横護岸補強工事	昭和電工株式会社	H21.7	H21.11	2,000	岸壁耐震補強
新宿歩行者専用道第2号線Ⅱ期出入口設置工事	東京都	H22.3	H22.3	291	土留め壁歯抜け防護

## 6. まとめ

マルチジェット工法の開発により、従来工法に比べて、低コストで周辺環境にやさしい高圧噴射攪拌工法の施工が可能となった。今後、より環境に配慮した工法を目指し、開発を続けていく。

## 参考文献

- 1) マルチジェット工法 ー技術/積算資料  
マルチジェット工法協会 平成 22 年 7 月

# 1 2. 不法投棄現場における廃棄物層内の環境改善技術の開発

## 鋼管ケーシング工法を用いた多目的井戸設置による環境対策事例

東急建設株式会社

○ 椿 雅俊

### 1. はじめに

廃棄物処分場や不法投棄現場における環境改善技術のひとつとして廃棄物層内を積極的に好気的環境へ変換することが有効であることが知られている。その方法のひとつには廃棄物層内の浸出水排除や、有害ガス抜きを目的とした井戸を設置する方法がある。しかし従来工法であるボーリング工法による廃棄物層の削孔は困難でありコスト高でもあるため、長期間放置される処分場や不法投棄現場は少なくない。

従来工法では施工が困難なこと、コスト高を解消するために、鋼管ケーシングを用いた井戸の設置工法(以下、STREX 工法)の開発を実施してきた。

本稿では、STREX 工法によって多目的(通気・有害ガス抜等)な有孔管を無水・無排土、短時間、低コストで設置可能であることを確認するための研究開発を行い、さらに、実際の不法投棄現場において、多目的井戸を設置し、有害ガス(硫化水素ガス)発生時の防止対策について報告する。

### 2. STREX 工法の概要

工法の特徴は、先端部分が着脱可能な鋼管ケーシングを採用し、無水・無排土削孔を可能としている点である。工法の概要は、鋼管ケーシング内部に有孔管を装着または挿入し、所定の深度へ削孔し鋼管ケーシングを残置した後、鋼管ケーシングのみを回収し、目的に応じた井戸の設置を行う工法であり従来のボーリング工法と比較して低コスト、短時間での施工が可能である。また、無水・無排土削孔が可能であるため廃棄物を地上に排出することなく、周辺環境や作業環境を良好な状態に保持できる。STREX 工法を稼働中の最終処分場や不法投棄現場において通気設備として利用すれば、埋立廃棄物の早期の安定化促進が期待でき、廃止までの維持管理期間の短縮が可能となる。このようなことから、環境汚染リスクの低減や、維持管理コストの削減が期待できる。

STREX 工法による多目的井戸の施工について

以下に示す。

### 2.1 施工機械

STREX 工法において使用する機械および削孔方法は、鋼管杭無排土回転埋設工法「EAZET 工法」をベースとし、廃棄物処分場において適用可能となるよう鋼管材料、施工法について改良を行った。ただし、削孔機械に対する新たな開発、機械の改造等は実施していない。写真-1 に使用機械、使用機械の仕様を表-1 に示す。

表-1 使用機械の仕様

機械寸法	機械幅(mm)	2400~2500			
	機械長(mm)	5200~5600			
	走行時機械高(mm)	2800~2900			
	施工時機械高(mm)	8700~9500			
機械性能	機械重量(t)	13~15			
	施工トルク(kN/m)	60~100			
	押込力(kN)	50以上			
施工可能杭種類	杭本体径(mm)	対応先端羽径(mm)	650以下		
			114.3	設置可能な有孔管径(m)	50~75(肉厚塩ビ管)
			139.8		50~75(肉厚塩ビ管)
			165.2		50~100(肉厚塩ビ管)
			190.7		50~100(肉厚塩ビ管)
			216.3		50~125(肉厚塩ビ管)
			267.4		50~150(肉厚塩ビ管)
			318.5		50~250(肉厚塩ビ管)
	355.6		50~300(肉厚塩ビ管)		



写真-1 使用機械

## 2.2 多目的井戸の施工順序

STREX工法による多目的井戸設置の施工順序を図-1に示す。

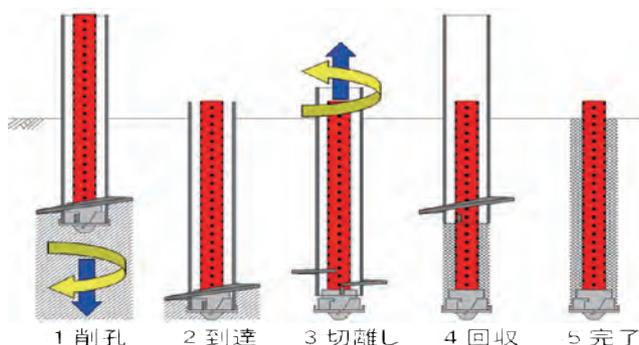


図-1 多目的井戸設置の施工順序

(1) 「鋼管ケーシング吊り込み」: 鋼管ケーシングに先端着脱材を取り付け、機械に吊り込む。鋼管ケーシング内部には有孔管が配置され先端部材で固定されている。

(2) 「鋼管ケーシング削孔」: 鋼管ケーシングを所定の深度まで削孔する。①, ②

(3) 「鋼管ケーシング切離し」: 先端部材を鋼管ケーシングから切離す。③

(4) 「鋼管ケーシング回収」: 鋼管ケーシングを引抜き、廃棄物層内に有孔管を残置する。鋼管ケーシングを引抜きながら有孔管周辺を砂利等で充填し、地表面をモルタル等でキャッピングする。④

## 2.3 先端部の着脱機構

先端着脱部材と鋼管ケーシングとの固定・切離し方法を図-2に示す。

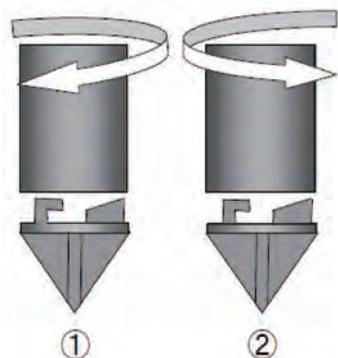


図-2 先端着脱部材の固定・切離し方法

(1) 鋼管ケーシングが時計回り（正転）時は先端部材のロック機構により鋼管ケーシングと先端部材は固定されている。（削孔時は常時この状態）

(2) 鋼管ケーシングが反時計回り（逆転）に回転すると先端部材のロック機構が解除され鋼管ケーシングと先端部材が分離される。

## 2.4 STREX工法の特徴

STREX工法の主な特徴は、以下のとおりで

あり井戸設備の早期完成が可能である。

① 無排土削孔が可能であるため、作業環境が従来のボーリング工法よりも改善される。

② 無水削孔が可能である。

③ 従来のボーリング工法に比べ、短時間で削孔が可能。

## 3. 技術開発の内容

### 3.1 鋼管ケーシング先端着脱部材の着脱機構の開発

先端部材の着脱機構は削孔中に鋼管内部に廃棄物が流入するといった不具合を解消する目的で、先端部材の着脱機構の開発を実施した。

### 3.2 埋立て廃棄物の性状に対応した鋼管ケーシング先端部材の開発

廃棄物の種類や埋立深度により先端部材の形状を変えたほうがよいことが予想されたため複数の先端部材の形状について実処分場の廃棄物地盤において施工性能の確認を行った。

## 4. 技術開発の成果

### 4.1 鋼管ケーシング先端着脱部材の着脱機構の開発

技術開発当初、先端部材の着脱形状は先端部材に切欠きを設け、鋼管ケーシングの内側に突起物をつけたものであった。しかし、先端部材と鋼管ケーシングの接続箇所から廃棄物、土砂等が鋼管ケーシング内部に入り込み、そのため先端部材の着脱が困難になることがわかった。試験施工の結果より着脱機構の形状を再度検討した結果、鋼管ケーシングに溝部分を設け、先端部材の方に突起物をつけた。また先端部材は土の流入を防ぐために二重管構造とした。この結果、先端部材の切離しを確実に行うことが可能となった。さらに廃棄物や土砂等の流入も見られなかった。

写真-2、写真-3に先端部材の形状を示す。

表-2に着脱機構の改良前と改良後の材料の形状および問題点を示す。

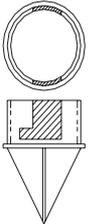
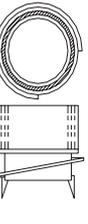


写真-2 先端部材の形状（改良したもの）



写真-3 先端部材の形状（改良したもの）

表-2 先端部材の着脱形状

	改良前	改良後
問題点	削孔に伴い土（廃棄物）ケーシング内に入ってくる先端の切離し支障が生じる	
鋼管ケーシング材	ケーシングに突起を設けている 	ケーシングに切欠きを設けている 
先端部材	先端部材に切欠きを設けている 	切欠き形状を変更 先端部材に突起を設けている 二重管構造と土の流入を防ぐ 

#### 4.2 埋立て廃棄物の性状に対応した鋼管ケーシング先端部材の開発

多目的井戸として使用する有孔管設置の対象となる廃棄物の性状、種類等に対応する先端部材の形状について検討を行った。検討する項目は、廃棄物層の固さ、ビニール片や金属片等の有無とした。実際に廃棄物処分場や不法投棄現場において施工を行う場合は、事前調査として、埋立廃棄物の履歴調査、サウンディングによる地盤調査を実施することが望ましい。

上記検討項目より先端形状が槍型のものおよび羽根型のものを製作し、埋立物の異なる廃棄物地盤で試験を実施した。試験の結果より、先端部が槍型形状のものはおもにビニール片や金属片などが多く埋設されている廃棄物層の削孔に対して有効であった。また、羽根形状のものはおもに焼却灰などの固結した廃棄物層の削孔に有効であった。

技術開発の結果より、以下のことが確認できた。

- (1) 一日当たり約 20mの削孔が可能（従来工法では 2～4m/日程度）
- (2) 削孔可能深度は約 40mまで可能。不法投棄現場への適用が可能。
- (3) 施工コストは従来工法（ボーリング工法）に比べ約 65%。

研究開発の成果より廃棄物の埋立地盤における井戸設置工は、従来工法よりも優位性があることが確認され、実際の不法投棄現場での環境改善工事に採用された。

### 5. 不法投棄現場における多目的井戸の設置

#### 5.1 不法投棄現場概要

多目的井戸の施工箇所は埼玉県内の不法投棄現場であり、木くず、廃プラ、金属くず等の産業廃棄物が堆積し、堆積量は約 65,000m<sup>3</sup>、堆積高さは約 20mであった。この廃棄物の山が崩落の危険性があり、生活環境上の支障があると判断され、廃棄物の一部を外部へ撤去し、堆積高さを下げ、法面勾配を緩やか成形し崩落の危険性を低減させた。さらに、廃棄物の山では、メタンガスや硫化水素ガスが発生していたため、ガス抜きや通気のための多目的井戸の設置が計画された。

写真-4 に不法投棄現場を示す。



写真-4 不法投棄現場の状況

#### 5.2 多目的井戸の設置

廃棄物の山の成型後、頂上部において STREX 工法によって多目的井戸を設置した。

この多目的井戸は、廃棄物層内のガス抜き用、硫化水素ガスの発生抑制対策のための薬液注入用、廃棄物層の内部状況の調査用、として使用するために設置した。多目的井戸は、廃棄物層内の温度上昇に対応可能な耐熱性塩ビパイプ（φ 125mm）とし、廃棄物層の全深度からの排気や注入が可能となるようオールストレーナー加工を施した。多目的井戸の施工深度は、8m および 16m であった。図-3 に多目的井戸の配置を示す。

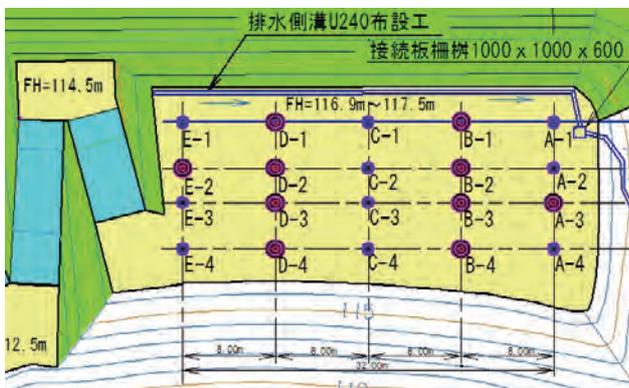


図-3 多目的井戸の配置 (赤丸：8m, 青丸：16m)

多目的井戸の施工状況を写真-5, 写真-6, 写真-7に示す。



写真-5 施工状況 (1)



写真-6 施工状況 (2)



写真-7 井戸設置完了

今回実施した不法投棄現場での多目的井戸の施工は、削孔深度の総延長が 240m に対して実質の施工日数は 11 日であった。これより約 22m/日の削孔が確認できた。また、施工中は無排土・無水削孔のため作業環境は極めて良好であった。(通常このような現場では、電気や水道の確保が難しい)

施工コストは従来工法であるボーリング工法に対して約 65%であった。

### 5.3 硫化水素ガスの発生抑制対策

設置した多目的井戸より 3.7%に希釈した塩化第二鉄溶液を廃棄物層内に注入し硫化水素ガスの発生抑制対策を実施した。多目的井戸において確認された硫化水素ガス濃度 (300ppm) に対して、塩化第二鉄溶液を 100L 注入した。その結果、1 時間以内に 62ppm まで低下することが確認された。また、最初の注入から 11 日目には 180ppm まで上昇していたため、再度塩化第二鉄溶液を 100L 注入したところ 9ppm まで減少した。

以上より塩化第二鉄溶液を多目的井戸より注入することで高濃度の硫化水素ガスを抑制することが可能であることが確認された。

図-4 に硫化水素ガスの変化を示す。

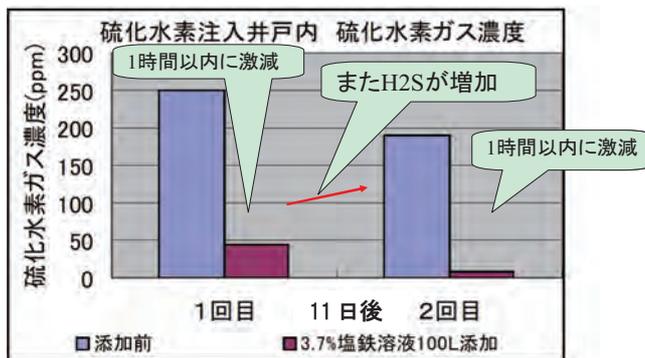


図-4 硫化水素ガス濃度の変化

### 6. まとめ

廃棄物処分場や不法投棄現場において多目的井戸の設置は環境リスク低減のための改善対策として有効であることが実施工によって確認された。特に不法投棄現場は無法地帯であるため今後の改善対策への着手が重要である。そのためにも低コストで対応可能な対策技術が不可欠である。

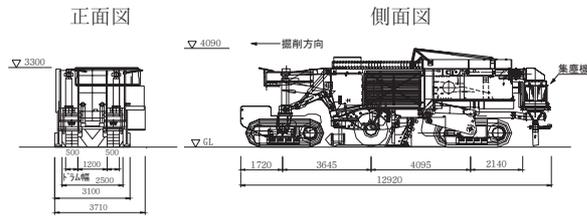
本研究開発は、平成18年度、19年度「環境省次世代廃棄物処理技術基盤整備事業」において実施したものである。

#### 参考文献

- 1) 磯部・椿他：不法投棄現場における場内井戸を用いた支障除去対策，第19回廃棄物学会研究発表会講演論文集 2008，pp.800～802，2008



2500SM寸法図



3500SM寸法図

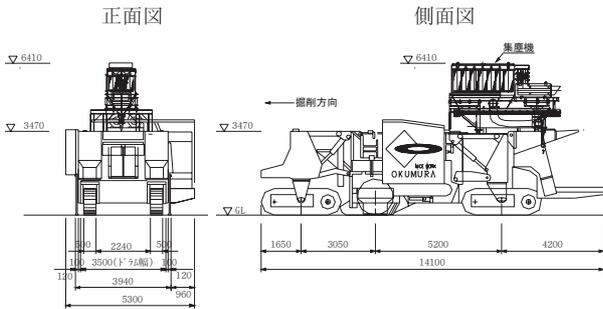


図-2 サーフィスマイナーの寸法図

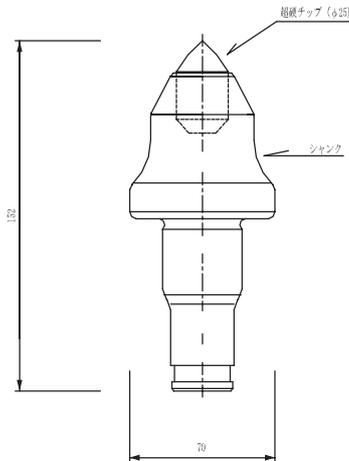


図-3 サーフィスマイナーの使用ビット

## 2.2 特長

サーフィスマイナーの特長を以下に示す。

### (1) 掘削能力が大きい

地山弾性波速度VPが2.0~4.0km/sec程度での軟岩Ⅱから硬岩までの掘削が可能である。

表-2に掘削能力を示す。

表-2 掘削能力

岩盤等級	地山弾性波速度	掘削能力
	km/sec	m <sup>3</sup> /日
中硬岩	2.0~2.9	200~400(平均300)
硬岩(参考)	2.9~4.2	80~120(平均100)

- 注1)上記の掘削能力は、標準であるため、岩石の固結度(一軸圧縮強度等で確認)を参考に決定する。
- 注2)硬岩については実績が少ないため、参考値である。実際には、試験施工を行って決定する。
- 注3)花崗岩、溶岩、玄武岩等の固結度の高い火成岩は、別途検討とする。

### (2) 環境への影響が小さい

30m離れた地点における騒音値は78dB以下で、同様に振動値は42dB以下のため、岩盤をゆるめることがないので重要構造物や民家に対して近接施工ができる。また、ドラム部における散水(毎分50ℓ)で粉塵の飛散防止に努めている。

図-4、-5に騒音値、振動値を示す。

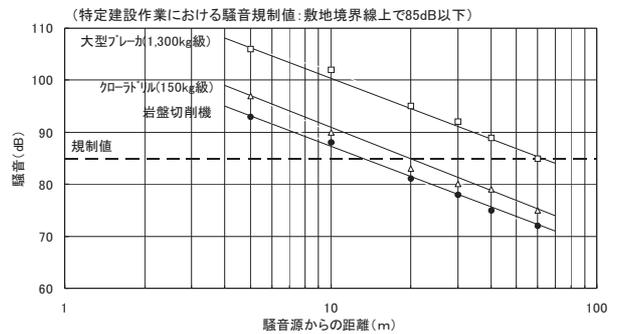


図-4 騒音値

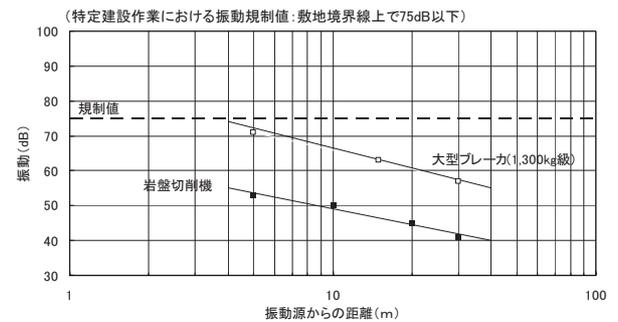


図-5 振動値

### (3) 掘削ずりをそのまま路床材、透水性材として使用できる

掘削ずりの最大粒径は、100~150mm以下となるため、2次破碎を省略してそのまま路床材や擁壁の裏込め材として使用できる。また、シルト分である粒径0.075mm以下が3~15%の範囲であるため、透水性材、フィルター材およびゾーニング材としても使用できる。さらにビットの本数や配置を工夫して最大粒径をコントロールすることも可能である。

写真-2に掘削ずりの状況を示す。



写真-2 掘削ずりの状況

(4) 掘削面の仕上がり精度と平坦性がよい

オペレータは、レーザーレベル計のデータを確認しながら掘削深さや縦断勾配をコントロールするため、仕上がり面の高さ精度は設計値の±3cm以下となる。また、掘削面は平坦であるため、現場の建設機械の安全性が向上する。

写真-3 に掘削面の仕上げ状況を示す。



写真-3 掘削面の状況

(5) 法面が階段状になる

機械の構造上、掘削幅が機械幅より狭くなるため、掘削後の法面は階段状になる。施工可能な法面の最急勾配は5分(1:0.5)である。

階段状の法面は岩盤緑化が必要な場合には、岩盤がゆるんでいないことや植生基盤が確保できていることから有利である。

図-6、写真-4 に階段状のり面の形成機構、法面

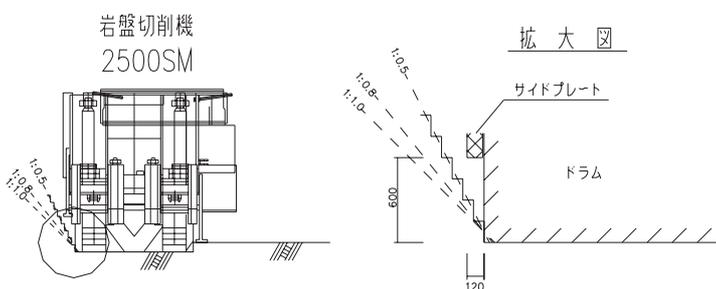


図-6 階段状のり面の形成機構

状況を示す。



写真-4 掘削後の法面の状況

(6) 1台の機械で掘削～小割までの連続作業ができる

### 3. 低粉塵化対策

サーフィスマイナーは、導入時からドラム内のビットの冷却、粉塵対策としてドラム内の散水を採用していた。しかし、住宅地の近接施工で大量の粉塵が発生し(写真-5)、工事の継続が危ぶまれた。そこで、以下の対策を実施した。



写真-5 対策前の粉塵発生状況

#### 3.1 事前対策

事前対策として、サーフィスマイナーの掘削ドラム周辺にゴムカバーを取りつけて開口部を閉塞し(図-7、写真-6)、散水ノズルを11本増加して(図-8、写真-7)、粉塵を抑えようと考えた。しかし、ゴムカバーが掘削した岩砕と接触して破損し、補修をしながら掘削を行ったが、粉塵の発生を抑えることが出来なかった。

さらに、散水ノズルを増加しているため、機械本体の水の消費が早くなり、通常3時間程度で給水を行うが、1時間半で給水を行わなければならない、作業効率も大幅に低下した。

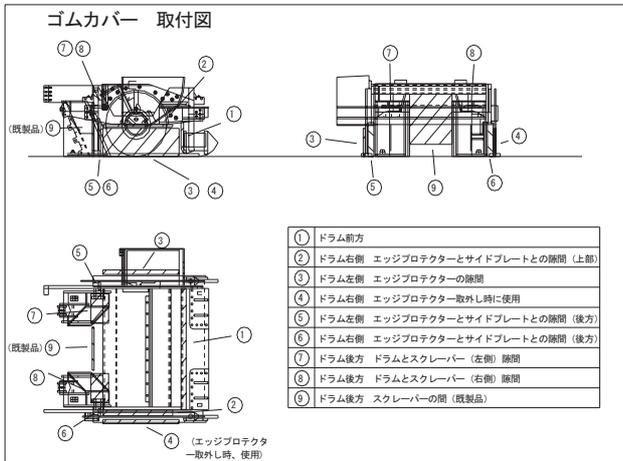


図-7 開口の閉塞

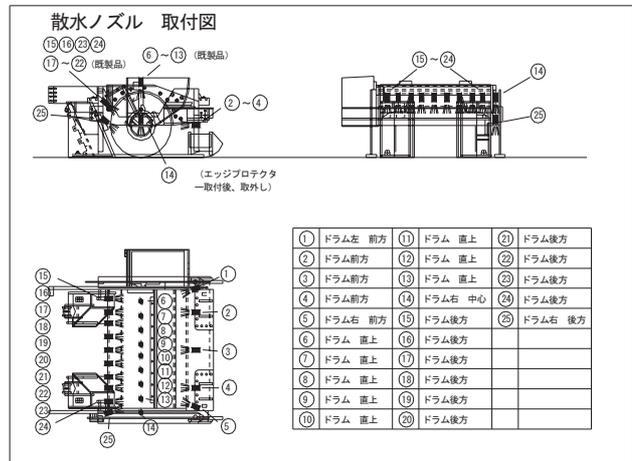


図-8 散水ノズルの増設



写真-6 開口部の閉塞

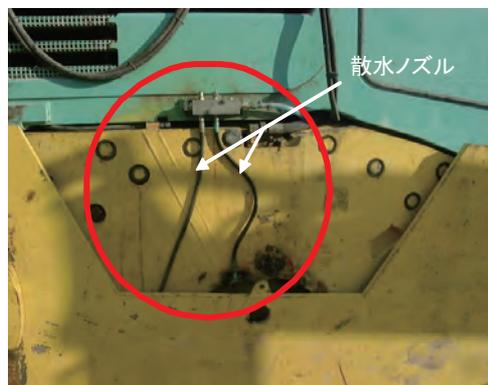


写真-7 散水ノズルの増設

### 3.2 本対策

事前対策では十分に粉塵の抑制はできず、このままでは苦情により掘削作業が中断すると判断して、表-3 に示す 3 つの対策を比較検討した。

(1) 対策 1: 散水要員による直接水散布によって抑制する方法

#### 1) 概要

機械本体を改造せずに粉塵を抑制する方法として、ゴムカバーから漏れる粉塵に直接水を掛けて抑制できないかと考えた。散水要員として土工が 4 名、4 t 散水車 3 台に 10 t 散水車 1 台、

運転手 2 名が張り付き、サーフィスマイナーの動きと並行して散水作業を行った。さらに、ブルドーザから発生する粉塵にも散水しなければならず、散水ホースがヤード内に這わして状態になり、掘削作業全体の作業効率が大幅に低下する状況であった。

#### 2) 結果

粉塵発生部に多量の散水を行ったが、逆に粉塵をまき散らす結果となり、粉塵を封じ込めることはできなかった(写真-8)。また、ヤードは、

表-3 工法比較表

対策名	対策概要	粉塵抑制の期待度	設備の大きさ	取り付けの難易度	施工性	施工中のコスト
対策1: 散水要員による直接水散布によって抑制する方法	ゴムカバーから漏れている粉塵に散水ホースを使って直接水をかける。	多少は期待できる。	散水車、散水ホースの準備ですむ。 設備規模: 小	細工の必要がなく、すぐにできる。	現場内に散水要員がいるため、サーフィスマイナーの掘削率が低下する可能性がある。	約420万円
対策2: 泡沫を粉塵発生源に直接散布し粉塵の発生、飛散を抑制する方法 (ダストバスタ)	泡沫を散水ノズルを使用して粉塵発生源に直接散布し、飛散を抑制する。	採石場での効果があり、実績もある。	コンプレッサー、発電機、水タンク、ダストバスタの設備が必要である。 設備規模: 中	サーフィスマイナーに付いている散水ノズルの穴を利用して、機械上部からはみ出さず、比較的簡単に取り付けることができる。	散水要員を減らせる。泡沫を散布するために水の給水を頻繁に行う必要があるため、サーフィスマイナーの掘削率が低下する可能性がある。	約425万円
対策3: 集塵機を用いて粉塵を吸引して抑制する方法	粉塵を閉じこめ、外に漏れるまでに集塵機で吸引し、抑制する。	トンネルの中で効果がある。掘削機械でトレンチャーに採用した実績があるが、抑制効果は100%ではなかった。機械の隙間を閉塞するのが難しい。	集塵機本体、軸流ファン、吐出サイレンサー、発電機の設備が必要であり、かなり大掛かりになる。 設備規模: 大	取り付ける物が大きく、設備機械がサーフィスマイナーからはみ出してしまふ。また、隙間の閉塞に細工、加工時間がかかりかかる。	散水要員を減らせる。掘削中の給水がなく、サーフィスマイナーの掘削率が向上する。	約450万円
		◎	○	○	△	○
		◎	△	△	◎	△

水浸しになり、掘削ずりも泥状になるため、掘削ずりの受入れ工区から苦情が発生した。



写真-8 対策1の状況

(2) 泡沫を粉塵発生源に直接散布し粉塵の発生、飛散を抑制する方法（ダストバスタ）

1) 概要

ダストバスタは、図-9に示すように粉塵抑制剤（リポラン 2800L：ライオン(株)）、水および圧縮空気を発泡器に送り込み、そこで泡沫を発生させるものである。今回、この泡沫を散布ノズルで粉塵発生源に直接散布し、粉塵の発生、飛散を未然に抑えるものである。

散布ノズルは、ドラム真上、斜め後ろ上にそれぞれ5本ずつ既設の散水ノズルの穴を利用し配置した(図-10)。泡沫の配合表を表-3に示す。

2) 結果

メーカーから採石場での効果を聞いていたのである程度の粉塵抑制を期待した。今回は簡易的にダストバスタ本体と発電機他を2tダンプトラックの荷台に積載して、サーフィスマイナーと併走して試験施工を行った(図-10)。泡は粉塵発生源に散布できないと効果がないため、最初から岩盤に散布し湿らせてから掘削を開始したが(写真-9)、掘削直後から粉塵が発生した(写真-10)。これは、ビットにより削られた掘削ずりが前方に押し出されるために泡が粉塵発生源に到達できていなかったためである。

また、風が吹くと泡が飛散してしまう結果になった。

表-3 泡沫の配合表

	粉塵抑制剤	水
配合比	1L	200L
散布量	6L/h	1,200L/h

(3) 集塵機を用いて粉塵を吸引して抑制する方法

1) 概要

今回、取り付けた集塵機は、トンネル用集塵

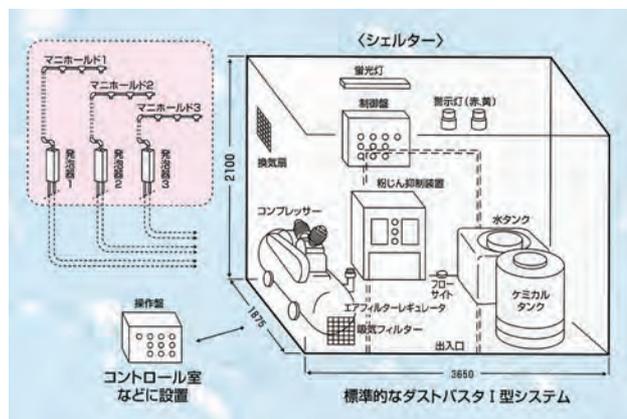


図-9 ダストバスタの機構図

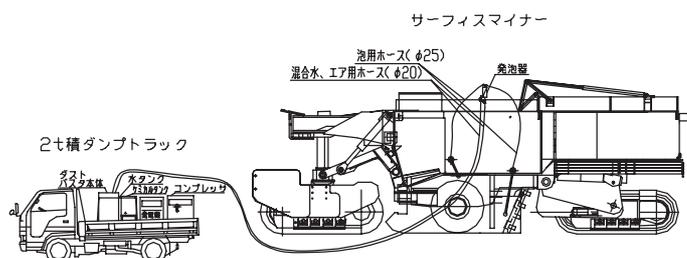


図-10 散布ノズル、機材の配置



写真-9 泡沫の散布状況



写真-10 対策2の状況

機と同じものである。この集塵機は、直径φ300mmのダクトから75m<sup>3</sup>/minの吸引力がある構造になっており、ダクト2本により150m<sup>3</sup>/minで、粉塵を吸引できるものを使用した。

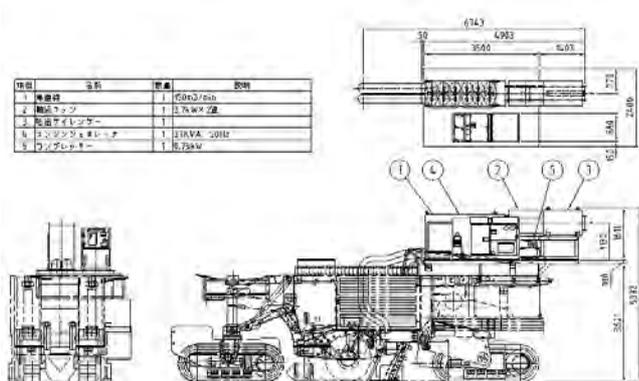


図-11 集塵機の設置

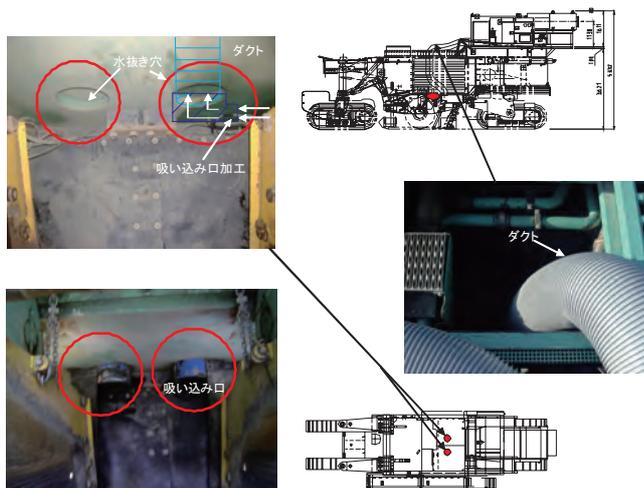


写真-11 ダクトの配置状況

集塵の効果は、ドラム回りの開口部をどれだけ閉鎖するかによって左右されるため、事前に行ったゴムカバーを再利用した。集塵機は、機械の上にH鋼を載せて本体に溶接し、耐震ゴムを敷いて取り付けた(図-11)。ダクトの配管はエンジンルームの中にある水抜き用の穴2つを利用した(写真-11)。粉塵が多く発生する場所は、ドラム後方、左右のスクレパーとドラムの隙間であることから集塵効率を向上させるために以下の工夫を行なった。

①吸込み口の加工

ダクトは、水抜き穴の口まで取り付け、口周りを鋼管で小さなダクトに加工し、吸い込み口をスクレパーとドラムの隙間まで取り付けた。

②掘削中にスクレパーが上下することで生じるドラムとの隙間の対策

スクレパーが上下することで隙間が変化するため、その動きに対応できるよう伸縮ゴムカバーを取り付けた。

③散水ノズルから出る水を吸い込むことによるフィルターの目詰まり防止

散水ノズルをドラムの前7本に絞り、散水量を減らした。

2) 結果

試験施工を行った結果、掘削開始から粉塵発生が見られなかった(写真-12)。その後、粉塵の発生しやすい硬質な部分での掘削を行って見た所、発生した粉塵がドラムの中に吸い込まれて行くのが確認できた。また、ダクト1本(75m³/min)で試したところ、粉塵を抑えることができなかった。このことから吸引力は150m³/minが妥当であると判断した。



写真-12 対策3の状況

(4)まとめ

対策1~3を検証した結果、目視ではあるが集塵機による対策が最も効果があることが確認できた。集塵機は機材が大きくなるため、サーフィスマイナーの専用機製作時には機材のコンパクト化、フィルター目詰まり対策等検討する必要がある。

4. おわりに

サーフィスマイナーは、集塵機を採用することで岩盤掘削において低騒音・低振動に加え、低粉塵化を実現した。

平成21年7月に開催された国土交通省新技術活用システムNETISの事後評価でサーフィスマイナーは、「少実績優良技術」に指定された。

今日まで、硬岩領域(中硬岩含む)の掘削で環境に対する制約ある場合、効率的な機械掘削を実現してきたが、花崗岩、流紋岩等の固結度の高い火成岩系では能力の低下、コストアップが課題となっている。

今後、ますます環境に対する社会の要請が高まる中、サーフィスマイナーの採用促進にはコストの低減が不可欠である。そのためには、施工能力を向上させる補助工法が必要であり、その開発に積極的に取り組んでいく所存である。

## 1 4. 多段型端面掘削方式を用いたモデル掘削機の応力制御実験

呉工業高等専門学校  
呉工業高等専門学校  
株式会社スターロイ

重松 尚久  
○北岡 一成  
小田 登

### 1. はじめに

本研究はコンクリート構造物の解体を行う際にバックホウなどの先端にアタッチメントとして取り付けて使用できるような、多段型端面掘削方式を用いたコンクリート掘削機のモデルを設計し、実験を行い、実際に掘削機を製作する際の設計指針を提供することを目的とする。今回、時間当たりの掘削深さを一定にして掘削していく変位制御により、モデル掘削機に作用する垂直力とトルクを測定し、掘削に必要な推進力を得た後、一定の推進力を掘削機に与えて掘削を行っていく応力制御による実験を行い、掘削機の推進力とトルクの関係、掘削速度の関係を明らかにした。

### 2. 実験概要

#### 2.1 端面掘削

従来の平面掘削方式と比較すると、端面掘削方式は2自由面を作った後、引張り破壊により削孔するため、掘削効率の向上やディスクカッタビットの摩耗減少も図れる。対象物に多くの自由面を形成することで、より小さな力で剥離破壊が発生する。過去の実験により<sup>1)</sup>、端面掘削方式は平面掘削との比較実験でエネルギー比が約1/10に減少することが分かっている。この技術を用いることにより、TBMのように大きな反力を確保しなくてもディスクカッタビットを用いて掘削することが出来るようになると思われる。

#### 2.2 モデル掘削機

本実験の掘削機は2つの自由面を有する端面にディスクカッタビットと呼ばれる円盤形の剥離破砕刃を押し当てる事により、自由面の端部を効率よく剥離破砕していく端面掘削方式を採用している。まず、端面掘削を行うには2つの自由面を確保する必要がある。写真-1にモデル掘削機の下方向からの写真を、図-1にモデル掘削機の構成図を示す。今回は先端にポイントアタックビットとフィッシュテールを配置することにより1工程で端面掘削を行えるようなモデル掘削機を作成した。半径30mmの間隔で配置されたポイントアタックビットで先進抗を掘削し、そこで形成された2自

由面を利用して1段上に30mm広がった位置に配置したディスクカッタビットが端面掘削を行う。続いて、先行のディスクカッタビットが形成した2自由面を利用して次の段のディスクカッタビットが段階的に端面掘削を行っていく。なお、ディスクカッタビットは周面摩擦を軽減させるために10°傾けて設置した。

### 2.3 実験方法

図-2に実験装置の概略図を示す。モデル掘削機を回転速度2rpmで回転する供試体に押しつけて掘削した。時間当たりの掘削深さを一定にして掘削していく変位制御による実験では、図-2の①部分に一定の貫入量を設定出来るウォームジャッキを載せ掘削速度を0.028mm/sec, 0.058mm/secに設定し、モデル掘削機を下降させていった。

一定の推進力を与えて掘削を行っていく応力制

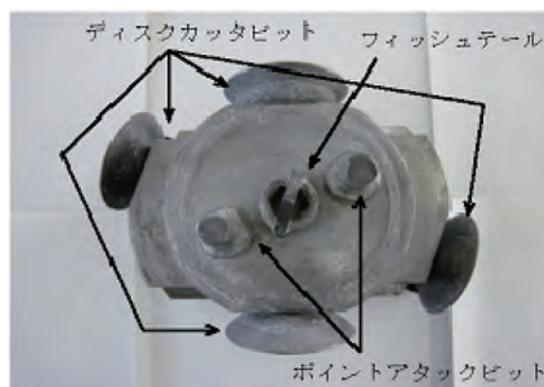


写真-1 モデル掘削機の下方向からの写真

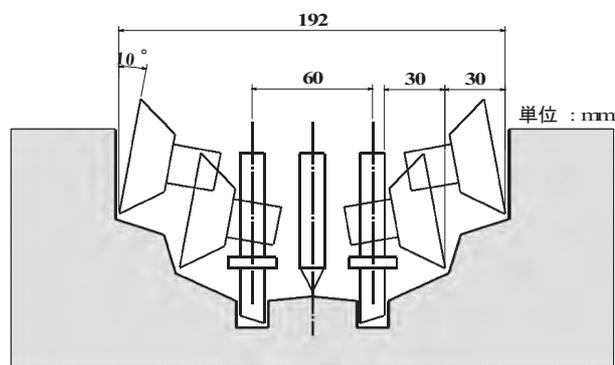


図-1 モデル掘削機の構成図

御による実験では、ウォームジャッキを油圧シリンダーに載せ替え、推進力を与えて掘削を行った。モデル掘削機が3段で構成されているので各段階に応じた推進力を設定した。推進力は、変位制御の実験で得られたデータを参考に、1段階ごとに3パターン設定した。ポイントアタックビットで先行掘削を行う1段目では7.5kN、8.5kN、10kN、ポイントアタックビットに加えディスクカッタービット1段目が作用する2段目では20kN、22.5kN、25kN、全ビットが作用する3段目では30kN、35kN、40kNに設定し実験を行った。次の段階のビットが当たり始めた直後に一旦掘削を止めてモデル掘削機を引き上げ、設定垂直力の変更を行い同時に排土処理を行った。

実験用の供試体は W/C=50%のモルタル供試体とコンクリート供試体を用いた。いずれも、一軸圧縮強度 40N/mm<sup>2</sup>以上を実現できるよう製作した。モデル掘削機に作用する垂直力  $F_z$  と作用トルク  $T$  は、モデル掘削機の上に取り付けたロードセルにより測定し、掘削深さ  $z$  は変位計により測定した。

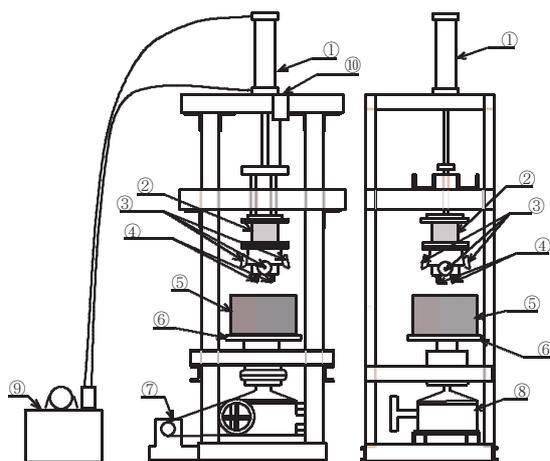
### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 変位制御

##### (1) 垂直力

掘削速度 0.028mm/sec の変位制御実験の際の垂直力と掘削深さの関係を示したグラフを図-3, 4に示す。図中の I の区間がポイントアタックビットで先行掘削を行っている区間、II の区間がポイントアタックビットに加え1段目のディスクカッター

ビットが当たり始めて掘削を行っている区間、III の区間が2段目のディスクカッタービットも当たり始め、実機に付いているすべてのビットが端面掘削を行った区間である。II と III のそれぞれの (E) と (S) は、(E) 区間が初期端面掘削区間で (S) 区間が定常端面掘削区間である。ここで、初期端面掘削と通常端面掘削とは、まず大きな剥離を生じさせる段階の事を初期端面掘削と呼び、その後小さな剥離を生じさせて掘削していく事を定常端面掘削と呼ぶ<sup>2)</sup>。図の (E) 区間で垂直力が下がっているのは、この初期端面掘削において大きな剥離が生じ力の解放が起きたためである。コンクリート供試体のグラフの方がモルタル供試体のグラフよりも値の振幅が大きいように見える。これはモルタル供試体中には存在しないコンクリート供試体中の粗骨材の影響によるものと考えられる。I の区間はコンクリート供試体の値の方が大きな値が出ているが、II 区間はピーク値の出ている場所に違いがあるものの共に約 25kN の最大値が出ている。III 区間の値も共に約 40kN の値が出ている。速度 0.058 mm/sec で掘削した際も I の区間ではコンクリート供試体の値の方が大きな値が出ており、II 区間では共に約 30kN、III 区間では約 50kN の値が出ており骨材の粒度に関係なく同等の垂直力が作用していたことがわかった。



- |               |                |
|---------------|----------------|
| ① 油圧シリンダー     | ⑥ ターンテーブル      |
| ② ロードセル       | ⑦ モーター (1.5kw) |
| ③ ディスクカッタービット | ⑧ 減速機          |
| ④ ポイントアタックビット | ⑨ 油圧モーター       |
| ⑤ 供試体         | ⑩ 変位計          |

図-2 実験装置の概略図

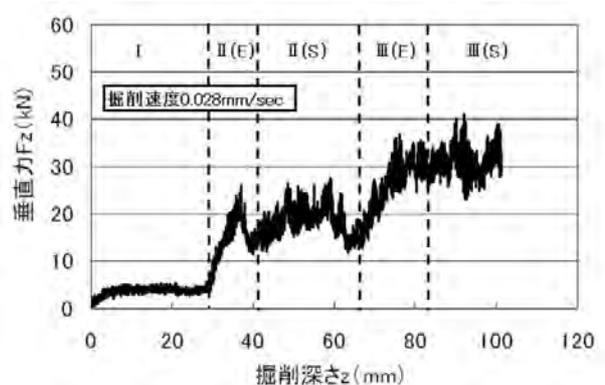


図-3 垂直力と掘削深さの関係 (モルタル)

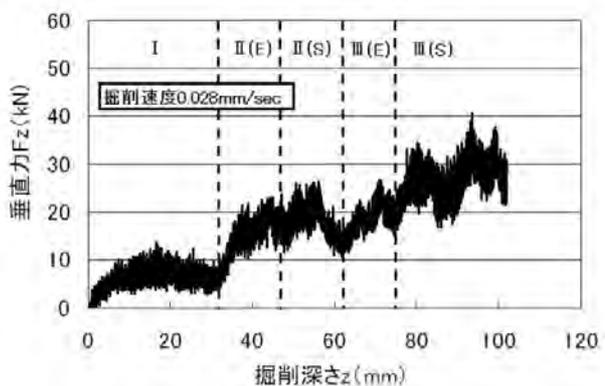


図-4 垂直力と掘削深さの関係 (コンクリート)

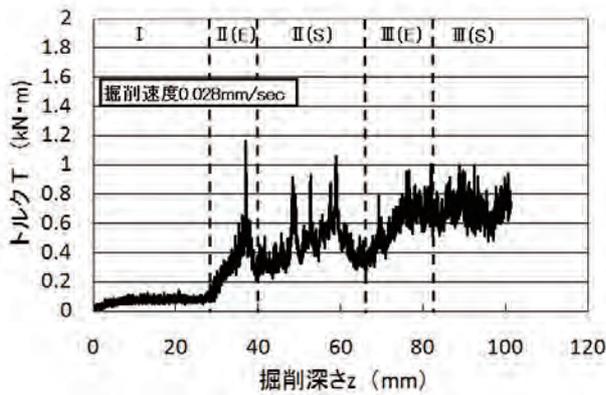


図-5 トルクと掘削深さの関係 (モルタル)

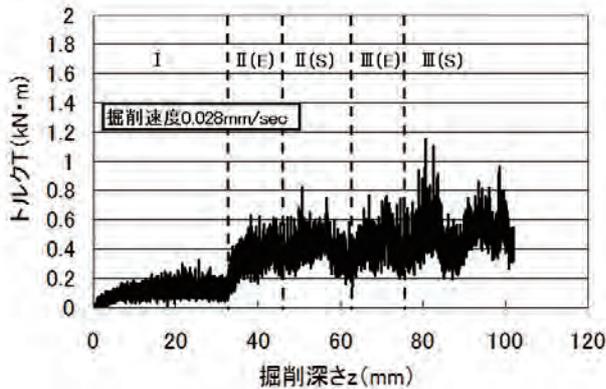


図-6 トルクと掘削深さの関係 (コンクリート)

## (2) トルク

掘削速度 0.028mm/sec の変位制御実験の際のトルクと掘削深さの関係を示したグラフを図-5, 6に示す。2つのグラフを見比べると、トルクにおいても垂直力と同じようにコンクリートのほうが値の振幅が大きく出ている。Iの区間でコンクリートのほうが大きな値になっているが、モルタルのグラフでIIの区間で一時的に大きな値が出ている場所もあるものの、お互いにIIの区間では約 0.6kN・m、IIIの区間では約 1.0 kN・mの値が出ており、トルクにおいても骨材の大きさはあまり影響がないものと考えられる。

## 3.2 応力制御

図-7~9に応力制御実験の1段目設定推進力7.5kNにおける垂直力、トルク、掘削深さの実測値と掘削時間の関係をそれぞれ示す。

図-7より、垂直力は剥離を生じさせながら掘削していくため、設定した推進力より上下に振幅するものの、一定の推進力を保ったまま掘削出来ていたことが分かる。図-8より、トルクは終始大きな変化は見られないが、1段目の掘削においては掘削が進んでいくにつれ上下の振幅が大きくなるという傾向が見られた。これは、掘削が進んでいくことで生じる剥離片が比較的大きな場合、一時的に大きな値が出るためだと思われる。図-9より、掘削深さは一定の傾きで増加しており、一定の速

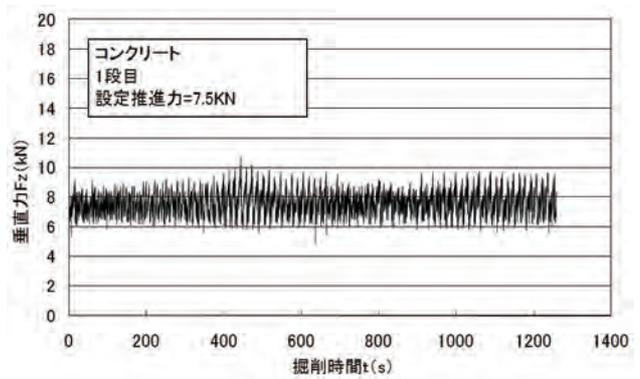


図-7 垂直力と掘削時間の関係

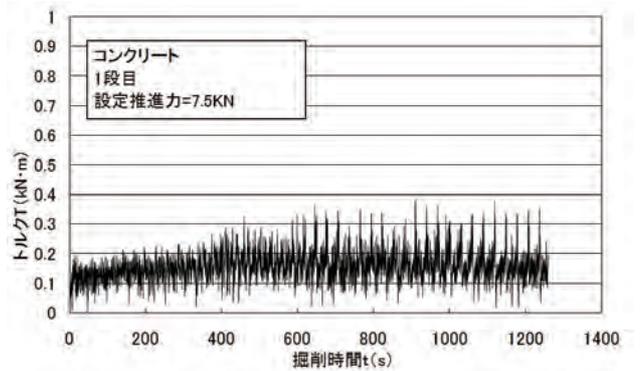


図-8 トルクと掘削時間の関係

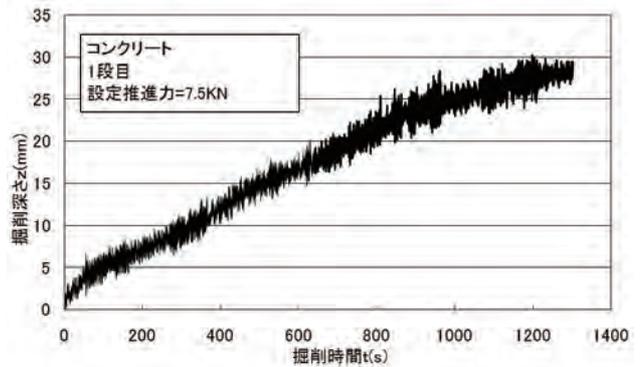


図-9 掘削深さと掘削時間の関係

度で掘削出来ていたことがわかる。これらの現象はすべての掘削において見ることが出来た。

### (1) トルク

図-10に1段目、2段目、3段目の推進力と作用トルクの関係を示す。図を見てみると推進力の増加に伴いトルクが増加していることが分かる。全体的に見てみると比例直線的に並んでいるように見える。変位制御の際のトルクと見比べても同じような値がでており、掘削機に作用するトルクは推進力に比例して増加していくと思われる。モルタルとコンクリートを比べてみると大きな差は見られなかった。

### (2) 掘削速度

図-11に1段目、2段目、3段目の推進力と掘削

速度の関係を示す。一般に推進力が大きくなると、掘削速度は速くなっている。1段目の掘削では他の段階に比べ推進力を上げた際の掘削速度の増加率が高かった。2段目の掘削を見てみると、モルタルとコンクリートで速度に違いはあるものの、傾向としては直線的に上昇していた。また3段目のコンクリートで同様の傾向を示した。

### 3.3 変位制御と応力制御の比較による検討

変位制御では掘削速度 0.028mm/sec の時に2段目で25kN、3段目で40kNの最大値が出ており、応力制御では推進力を各段階で3パターン設定し、そのうち大きな値を2段目で25kN、3段目で40kNに設定した。図-12に変位制御と応力制御の掘削速度の関係を示す。掘削速度は変位制御の時よりも速い速度で掘削出来ており、変位制御の際に作用していた垂直力と同等の推進力を与えて掘削すると、変位制御の際の掘削速度よりも速く掘削できることが分かった。また、2段目と3段目ではほぼ同じ速度で掘削出来ており、モデル掘削機を設計する際にも推進力を一定の割合で増加させることで掘削速度をある程度同じにすることができると予測できる。応力制御で2段目では20kNから2.5kN、3段目では30kNから5kNずつ増やし掘削をした。図-11から2段目の20kNから5kN増やした際の速度の上がり方と、3段目の30kNから5kN、35kNから5kN増やした際の速度の上がり方に同じような傾向が見られることもあり、実験で与えていた推進力よりも大きな推進力を与えた場合同じような傾きで掘削速度が上昇する可能性があると考えられる。変位制御では掘削速度 0.028mm/sec と 0.058mm/sec で掘削を行い2段目では垂直力に5kNの差があり、3段目では10kNの差があった。そして、2段目で5kN、3段目で10kNの差を持たせて掘削した結果、変位制御と同じように掘削速度が約2倍に増えていた。

### 4. 結論

今回、供試体としてコンクリートとモルタルを用いた。変位制御実験では1段目の掘削を除いてほぼ同じ垂直力が作用して掘削出来ており、トルクにおいても同様の傾向がみられ、骨材の大きさによる影響がなかった。応力制御実験では、作用するトルクを見るとコンクリートとモルタルで差があまり見られず、推進力が大きくなるにつれてトルクも大きくなり直線的に増加する事が分かった。掘削速度は推進力を大きくすることで掘削速度が上がる事が分かり、変位制御の際に作用していた垂直力と同等の推進力を与えると変位制御の際に与えていた掘削速度よりも速くなる事が分かった。掘削速度がある程度同じ割合で増加することが分かったが、同じような傾向が見られない場

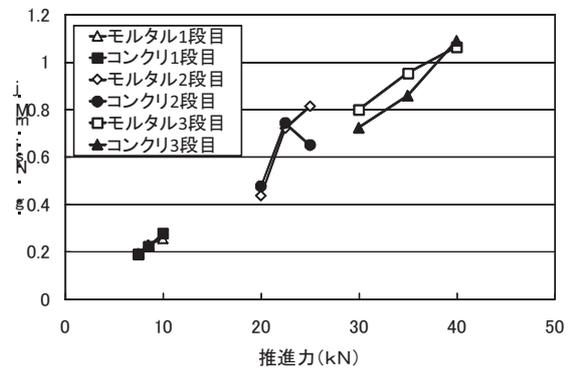


図-10 推進力とトルクの関係

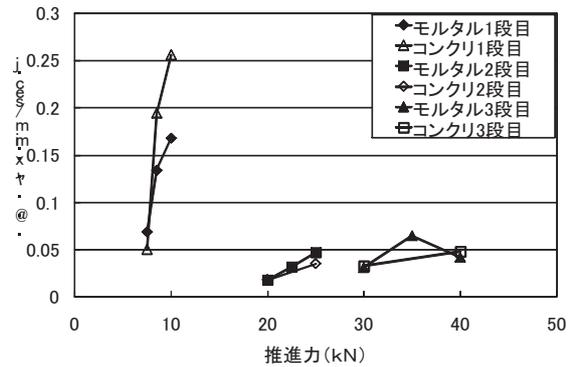


図-11 推進力と掘削速度の関係

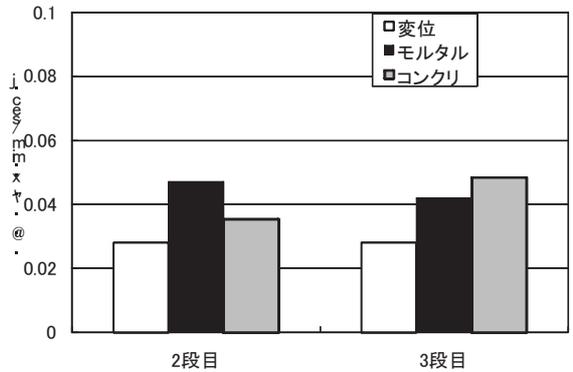


図-12 変位制御と応力制御の掘削速度の関係

合もあつたため再度検討が必要と考える。

今後の課題としては強度を変えた供試体を用いて、強度が掘削速度にどれほどの影響を与えるかを見ていきたい。

謝辞：本研究は、平成20年度(社)日本建設機械化協会の研究開発助成を受けて実施しました。

### 参考文献

- 1) 室達朗：岩盤掘削・穿孔作業の合理化方策について,建設機械, No.10, Vol.39, pp.1-4, 2003
- 2) 重松尚久・花岡尚・室達朗：道路建設における環境に優しい硬質岩盤剝離掘削技術の開発, 平成20年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集, pp.107~110, 2008

# 15. 車載型排出ガス計測装置による 建設機械排出ガス評価について

## 油圧ショベルに搭載した場合の適用性試験報告

(独) 土木研究所  
(独) 土木研究所  
(独) 土木研究所

○ 杉谷 康弘  
藤野 健一  
石松 豊

### 1. はじめに

建設機械をはじめとする公道を走行しない特殊自動車の排出ガス規制が平成 18 年から開始され、平成 23 年からは更に規制の強化が予定されている。実際の大气環境が改善される上で非常に重要なことは、排出ガス規制により高性能となった排出ガス性能が、工場出荷時だけの初期的な性能ではなく、実際の工事現場でも長期間に渡りその性能が維持されることである。排出ガス規制では、原動機の型式指定を厳密に行うことにより、原動機が車体に搭載された後においては、黒煙の値だけで排出ガス性能の悪化が監視されている。また、実際の工事現場では、原動機の型式指定時の試験条件（運転負荷等。）とは必ずしも同一ではないとともに、性能劣化や整備不良などにより、規制値どおりの排出ガス値が常に保証されているとは限らず、実際の工事現場における排出量については正確に把握されているわけではない。平成 23 年以降の排出ガス規制強化では、排出ガス低減に触媒が重要となるが、その性能が劣化したことを容易に判断することも難しく、排出されるガスの実態や性能維持の状態を確認することがますます不明になる可能性がある。これらの問題に対応するためには、実際の工事現場で稼働している車両の排出ガスをその状態で計測し評価する方法が有効と考えられる。近年、比較的コンパクトな車載型の排出ガス測定装置が開発されているが、これらが建設機械に搭載した場合でも有効に機能することが確認できれば、工事現場での排出ガス計測が可能となる。そのため、車載型排出ガス計測装置を油圧ショベルに搭載し、実稼働状態での排出ガス計測が有効に実施できるかを検証した。

### 2. 試験方法

#### 2.1 評価の観点

車載型排出ガス計測装置については、トラック等のオンロード車では、実際に車両に搭載し計測等を行った研究成果<sup>1)</sup>も発表されている。そのた

め、今回の検証は、オンロード車とは条件が異なる事項として、①油圧ショベルが作業中であっても（振動がある状態であっても）適切な計測が可能であること、②測定に必要な機器を全て搭載した状態であっても油圧ショベルの動作に影響がないことの 2 点に着目して実施した。

#### 2.2 搭載機器の概要

##### (1) 車載型排出ガス測定装置

オフロード法の規定では、排出ガスの測定方法として、NO<sub>x</sub>（窒素酸化物）については化学発光分析計（CLD）又は非分散形紫外線分析計（NDUV）を、CO（一酸化炭素）については非分散形赤外線分析計（NDIR）を、THC（全炭化水素）については水素炎イオン化法分析計（FID）が標準（又は標準予定）となっている。車載型排出ガス測定装置としては、これらの測定方法を使用する装置を選定した。現状では、2 社の装置が存在するが、NO<sub>x</sub>に関する測定原理が異なることから、両方の装置を試験することとした。NO<sub>x</sub>以外の測定原理は基本的に同じである。排出ガス測定装置の諸元を表-1 に、設置の状況を図-1 に示す。

表-1 車載型排出ガス測定装置諸元

測定項目	測定原理	
	A社製	B社製
NO <sub>x</sub>	CLD	(NO と NO <sub>2</sub> を合計する)
NO	—	NDUV
NO <sub>2</sub>	—	NDUV
CO	NDIR	NDIR
THC	FID	FID
寸法 (mm)	約 W350 × H330 × D500	約 W516 × H404 × D622
質量	約 29kg	約 35kg
外観		



図-1 車載型排出ガス測定装置設置状況

(2) 排出ガス流量計・排出ガス温度計

排出ガスの量を計算するためには、排出ガスの濃度と同時に流量を計測する必要がある。流量計はA社、B社とも、それぞれの車載型排出ガス測定装置専用のものを用意している。排出ガスの量（排気管の径）によりシリーズ化されており、今回の試験で使用した油圧ショベルに適したものを選定した。流量計の前部には、流れを安定させるための直管部が必要であり、フレキシブル管で方向を変えた後、治具を使用し、車体に設置した。流量計部には排出ガス温度計も設置されている。設置の状況を図-2 に示す。



図-2 排出ガス流量計設置状況

(3) エンジン回転計・燃料流量計

エンジンの仕事量を算出するため、エンジン回転数と燃料消費量を計測する。エンジン回転数はエンジンからの出力軸の一部に反射テープを貼り、それを光ファイバセンサで検知する方法とした。燃料消費量は、エンジンに送られた燃料の一部がエンジンタンクに戻されることを考慮し、戻り管を流量計よりもエンジン側につなぎこむことで、流量計では正味の消費量が計測できるようにした。設置の状況を図-3 に示す。



図-3 燃料流量計及びエンジン回転計設置状況

(4) 電源・搭載架台

排出ガス測定装置やその他の測定装置を駆動するための電源が必要であるが、車体のバッテリーを使用すると、その分エンジンが本来の仕事以上の負荷がかかるため、別途用意する必要がある。電源としてはバッテリーか発動発電機が想定されるが、長時間（測定装置は測定前に1時間程度の暖気が必要であり、一度電源を切ると開始前に再度1時間のロスタイムが生じる。そのため、試験時は、朝から夕方まで通電したままにする必要がある。）に耐えられる発動発電機とした。

また、排出ガス測定装置以外に、燃料流量計、発動発電機、ガスボンベなどを安全に車体に取り付ける必要があるため、専用の架台を製作し、搭載することとした。中型以上の油圧ショベルであればメーカーを選ばずに搭載ができるように車体後部にベルトのみで固定する方式とした。設置の状況を図4 に示す。



図-4 搭載架台設置状況

(5) 測定機器の構成

測定機器全体の構成を図-5 に示す。振動の影響を見るため、振動加速度計も設置している。

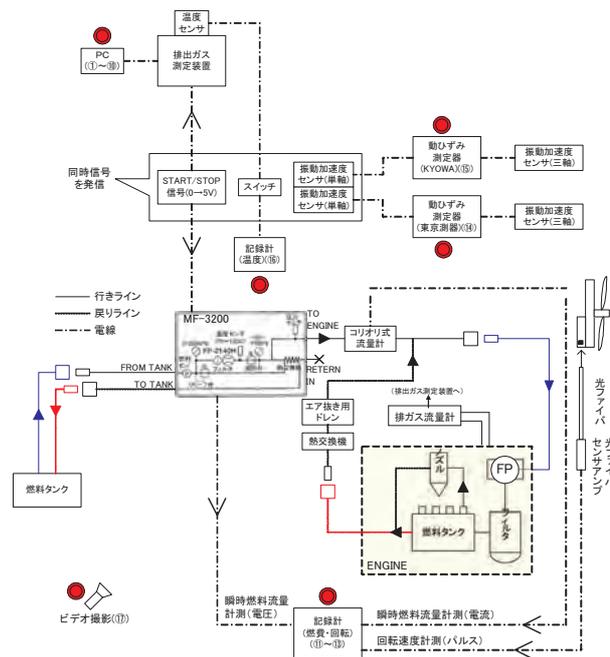


図-5 排出ガス測定機器構成図

## 2.3 動作条件

振動を与える動作は下記の11通りとした。①から⑩までの動作は実際の作業時に想定される個々の動作であり、それぞれ、停止状態から開始し、3回（又は3往復）実施した。⑪の動作は、実際の作業を想定し、掘削や走行を組み合わせた動作であり、を約20分間連続して実施した。

①から⑩までの動作条件においては、車載型排出ガス測定装置にガスボンベから一定の濃度のサンプルガスを吸引させ、濃度の出力信号の変化を観測した。⑪の動作条件においては、油圧ショベルの排気管からの排出ガスを計測した。

- ① 旋回操作（180度）：上部旋回体を180度回転し、止める動作。
- ② 走行（コンクリート面）：平らなコンクリート面における、走行・停止動作。
- ③ 走行（土地面）：地盤が土でほぼ平らな地面における、走行・停止動作。
- ④ 走行（不整地）：不陸のある土の地面における、走行・停止動作。
- ⑤ 走行（登り坂）：勾配が8～9%程度の坂を登り降りする動作。
- ⑥ 掘削・旋回・積み込みの一連動作：土を掘削し、90度旋回後、積み込みする動作。
- ⑦ バケット地面押し当て動作：バケットを上下に動かし、地面を締め固める動作。
- ⑧ クローラ端部落とし動作：バケットを地面に押し当てクローラ部を浮かした状態から、バケットを急に上げ、クローラ部を落下させる動作。
- ⑨ ブーム上げ動作：ブームを急激に上げる動作。
- ⑩ ブーム下げ動作：ブームを急激に下げる動作。
- ⑪ 実作業連続動作：掘削・旋回・排土・走行・待機（アイドル状態）を組み合わせた動作。

## 3. 試験結果

### 3.1 振動に対する影響

車体振動に対する結果を表-2に示す。各動作条件に対して、どちらか一方の機器でも測定器メーカーの保証する測定精度を超える異常値が発生した場合に「影響有り」と記載している。

NOxについては若干の濃度変化が見られたが、全て精度の範囲内であった。

COについての出力値を車体の振動加速度と比較すると、図-6及び図-7に示すように振動と連動して出力値の変動が見られものがあつた。この問題を解決するには、測定器が受ける振動を軽減するための特別の緩衝材や装置を用意するか、測定器そのものの耐振動性を高める改良が必要となる。ただし、実際に排出ガス性能を評価する際には、瞬時値ではなく、総排出量を総仕事量で割って計算することから、プラス方向とマイナス方向に同

程度にノイズが発生する場合には、その影響はある程度緩和されることになる。図-6の「③走行（土地面）」の場合には、ノイズにより示される濃度の値は、実際の値の約200%の値を示すところもあるが、ノイズが発生している範囲の濃度の平均値は実際の濃度の約111%であり、排出ガス流量が一定であると仮定すると総排出量では1割程度の差になる。また、動作全体では、影響の無い動作もあり、全体で見れば、影響は更に小さくなると想定される。また、COについては、通常、規制値と比較して排出量が十分小さく、規制値とのぎりぎりの比較をすることがないことも考慮すると、排出ガス性能を評価する上での支障とはならないと考えられる。

THCについても、図-8や図-9に示すようにノイズが発生した。そのノイズ波形から、振動による出力値のぶれというよりも、衝撃に対するプラス側への異常値といった方がよい。しかもかなり大きな異常値である。これを防ぐためには、振動を軽減するための対策をすることも求められるが、異常値の出方が明確であることや、強い衝撃の時だけであることから、実際の評価の際にも振動加速度を測定しておき、異常値の部分だけを排除することが現実的な対応であると思われる。

表-2 振動に対する影響の有無

動作条件	NOx 又は NO・NO <sub>2</sub>	CO	THC
①旋回操作(180度)	○	○	○
②走行(コンクリート面)	○	○	○
③走行(土地面)	○	影響有り	影響有り
④走行(不整地)	○	影響有り	影響有り
⑤走行(登り坂)	○	影響有り	○
⑥掘削・旋回・積み込みの一連動作	○	○	○
⑦バケット地面押し当て動作	○	○	○
⑧クローラ端部落とし動作	○	○	影響有り
⑨ブーム上げ動作	○	○	○
⑩ブーム下げ動作	○	○	○

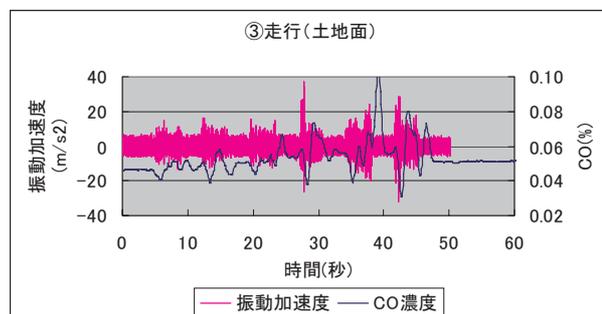


図-6 CO出力値の振動影響（走行（土地面））

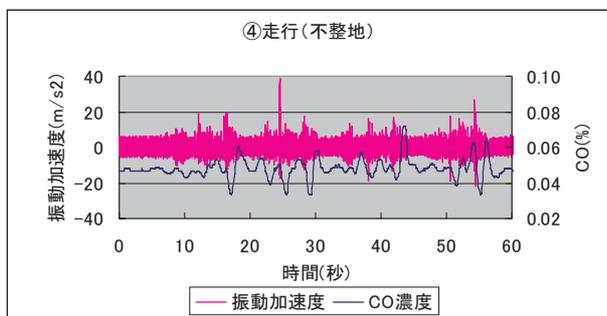


図-7 CO出力値の振動影響（走行（不整地））

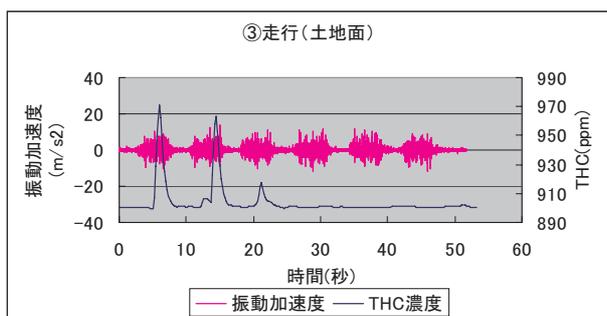


図-8 THC出力値の振動影響（走行（土地面））

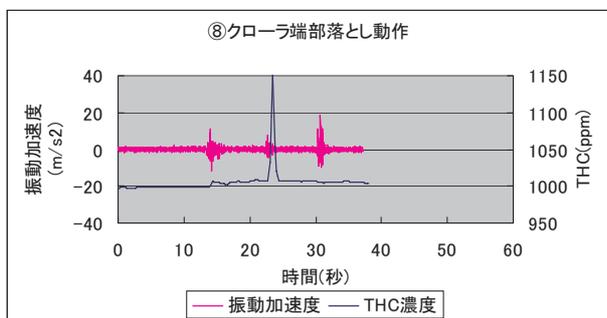


図-9 THC出力値の振動影響（クローラ端部落とし動作）

### 3.2 油圧ショベルの動作に対する影響

全ての測定機器を搭載した状態で、①から⑩の単独動作及び⑪の連続動作ともに、油圧ショベルの動作が制限されることはなかった。

ただし、全ての測定機器が車外（運転室内等ではないということ。）に設置されているため、水や泥がかかるような場所での作業や、雨中での作業など、作業環境の制限は受けることになる。

### 3.3 その他試験中に発生した問題点・懸案事項等

- (1) ベルトで固定しているものについては（搭載架台及びB社製の排出ガス測定装置）振動によりズレることがあった。相当きつく締め付けたつもりでも、特に初期の段階で発生しやすい。20分間の実作業試験では問題が発生するほどではなかったが、測定装置等を新たに設置した直後に1時間程度の連続測定をすることは避けた方がよいと思われる。
- (2) 測定装置に電源を供給する発動発電機が振動により1度停止した。特段の対策は実施せず、再始動させたが、その後は停止することはなかった。1度停止すると、再起動に時間を要す

るため、実際の現場での測定では（測定時間にもよるが）駆動部の無いバッテリーの方がリスクは少ないと思われる。

- (3) 測定器等は車外に設置され、簡単に撤去することも困難なことから、小雨であっても防ぐ必要がある。今回は簡易的なビニールの覆いを作成したが、急な天候の変化による対応を考えておく必要がある。
- (4) 排出ガスのサンプリングホース、燃料ホース、電源ケーブル、制御ケーブルなどが車体上に交錯するが、測定前後の確認などのために車体の上で作業することもあり、安全上、人の動線をよく考えて設置する必要がある。

## 4. まとめ

車載型排出ガス測定装置を使用し、使用過程の建設機械の排出ガス性能を確認する方法について検討を行った。その結果、以下のことがわかった。

- (1) 車載型排出ガス測定装置の建設機械での適用性を確認した結果、振動による出力値の変動（異常値の出力）が発生することが確認された。ただし、CO濃度の異常値については、排出ガス排出量全体への影響が小さいこと、THC濃度の異常値については、データの解析時に除去することで対応できることから、排出ガス性能の評価に使用できることがわかった。また、エンジン回転数、燃料消費量を計測することで仕事量を算出し、規制値との比較も可能であることを確認した。
- (2) 中型以上の油圧ショベルの場合、今回使用した搭載架台等を車体後部に設置すれば、必要な機器を搭載でき、特殊な現場やアタッチメント装着車でなければ、工事現場で作業を妨害せず（油圧ショベルの動作に影響を与えることなく）測定が可能であることを確認した。
- (3) 国内で建設機械に対して車載型排出ガス測定装置を使用して排出ガス測定を実施した事例はほとんどなく、試験中に所々で問題が発生したが、それらの課題を抽出することができた。

これらにより、実際の工事現場における排出ガス量の実態調査や、排出ガス低減技術の長期劣化の傾向等の調査を実施することへの道筋ができた。今後は、実際に調査を行い、本研究の成果を大気環境の改善に役立てていきたいと考えている。

## 参考文献

- 1) 山本敏朗・小川恭弘・佐藤進：車載計測システムを用いた実路走行時の環境負荷量の計測及び増大要因の解析（第3報），社団法人自動車技術会学術講演会前刷集，No.16-08，pp.11～16，2008

# 16. 埋蔵文化財包蔵地における先端建設技術の活用について

## ～情報化施工と3Dデータを使った文化財保護と活用～

(独) 土木研究所  
(独) 土木研究所

○ 藤野 健一  
石松 豊

### 1. はじめに

日本では、その国土に地域それぞれが培ってきた歴史が刻み込まれている。その1つに埋蔵文化財がある。

建設事業はいわゆる「開発」として土地の改変を伴う。その一方で、これらの埋蔵文化財は先人たちの歩みを示すものとして後世に伝えるべきものであるとともに、観光等の地域振興の柱となり得るものが多く、いわゆる「保存」と「開発」・「活用」の両立が求められている。

本稿では日本の歴史上の重要性が極めて高い、飛鳥および平成22年に遷都1300年を迎えた特別史跡平城宮跡を対象として実施した情報化施工および3次元データの有効活用について報告するものである。

### 2. 埋蔵文化財保護を目的とした情報化施工

#### 2.1 工事の概要

平城宮跡は世界遺産にも登録されている特別史跡で、これまでも日本の歴史を書き換える数々の発掘成果を上げている埋蔵文化財包蔵地である。

今回の工事はこのうち特に重要な第1次大極殿院地区の広場整備を行うもので、その概要は次の通りである。図-2に示す張芝・広場およびその付属物（排水施設等）が施工対象である。



図-1 第1次大極殿院完成イメージ図

工事名：平城宮跡第1次大極殿院広場整備工事

・敷地造成工	掘削	16,830m <sup>3</sup>
	路体盛土	12,100m <sup>3</sup>
	軽量盛土	2,039m <sup>3</sup>
・植栽工	張芝工	13,950m <sup>2</sup>
	雨水排水設備工	U型側溝 1,944m
・舗装工	雨水樹	53基
	管渠工	470m
	天然砂利舗装	27,400m <sup>2</sup>
	自然色舗装	4,020m <sup>2</sup>

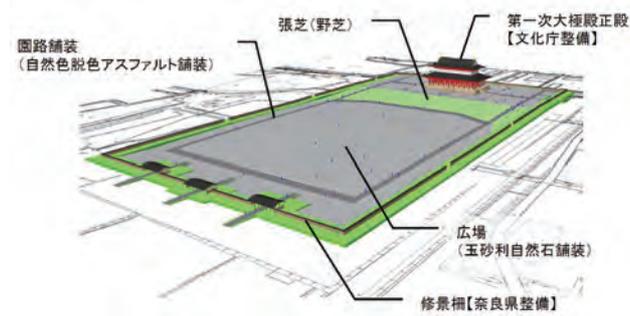


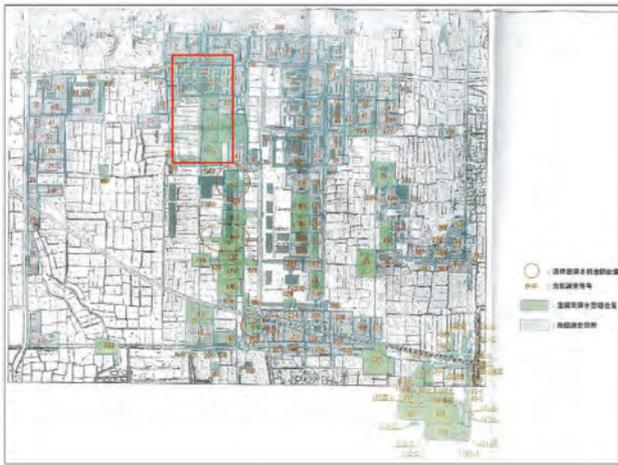
図-2 広場施工概要図

#### 2.2 施工の準備

今回の施工においては、以下の点について施工上留意した。

##### ① 遺構面の把握

埋蔵文化財への施工の影響を最小限にするためには、埋蔵文化財の遺構面を把握する必要がある。これまで、平城宮跡の発掘調査は過去に独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所（以下、「奈文研」という。）が実施している。この結果に基づく発掘調査後の遺構面の整理状況（着色部）を図-3に示す。赤線部が第1次大極殿院の回廊位置である。



図一 3 遺構面整理状況

このデータから奈良時代の遺構面は現地盤から約-0.2~-2.4mの位置にあることがわかった。

また、現在第1次大極殿院地区は東側半分のエリアが発掘されているが、西側半分のエリアについては後世にそのまま残すことが予定されており、明確な遺構面が把握できない。これについては、有識者からの指導により、西側エリアについては、東側エリアと中心軸において対象であることを前提として設計・施工を行った。

## ② 地盤調査

地表から力を加えた場合、地下の埋蔵文化財には図一4に示すとおり、変形や圧縮力を受ける。

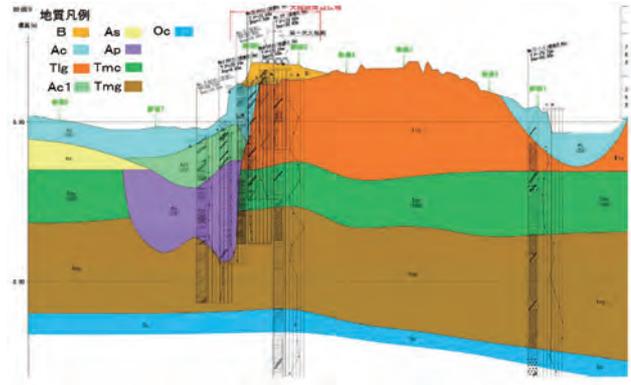


図一 4 荷重が遺構に与える影響イメージ

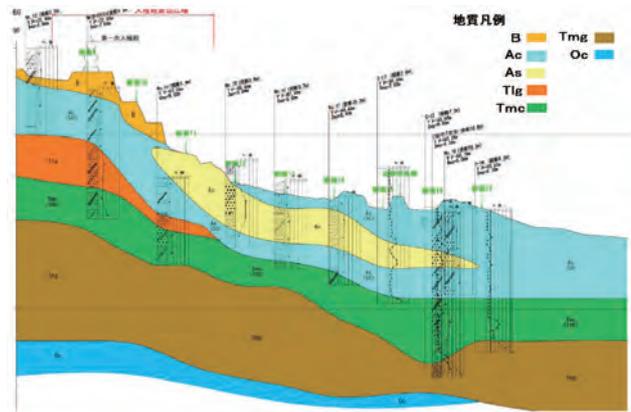
このとき、遺構面および埋蔵文化財はその下に存在する地盤の強度によっては損傷を受ける可能性がある。

そこで、過去に実施されてきた地質調査をもとに、第1次大極殿院地区の東西方向および南北方向の地層断面図を作成した(図一5, 6)。この図より、

- ・ 第1次大極殿院西側には腐植土層 (Ap 層) が存在し、軟弱地盤となっている (過圧密度 20kN/m<sup>2</sup>)。
- ・ 南北方向の第1次大極殿院中ほどに砂質土層 (As 層) が存在し、地震時に液状化する恐れがある。



図一 5 東西方向の地層断面図



図一 6 南北方向の地層断面図

ことが判明した。この結果、今回の広場整備においては、腐植土層による圧密沈下の影響にも対応することが必要であることがわかった。

## 2.3 情報化施工の目的

今回の施工においては、埋蔵文化財に与える影響を最小限に食い止めつつ、広場整備工事を行うことが必須要件である。

先の調査に基づく検討の結果、以下の項目に対応することが必要である。

- ① 広場の造成において、遺構面から確実な隔離を持った施工を行う。
- ② 広場の掘削作業 (側溝・柵の施工) において、地下遺構を損傷しない。
- ③ 広場内での締固めにおいて、過度な荷重をかけない。もしくは過度な締固めを行わない。

今回はこれらの達成を目的として、建設機械と施工法の選定にあたり、情報化施工を導入することとした。

## 2.4 施工機械と施工法の選定

今回の施工においては、遺構の保護を目的として、遺構面から地表まで 50cm の被覆土 (現状での最小厚) を確保することとし、それを前提として

遺構に対する荷重等の負荷を考慮した上で使用する運搬車両／建設機械の選定を行った。

特筆すべき事項としては、

- ・ 運搬機械が地盤に与える影響が大きいため、原則として 4t ダンプを使用することとし、仮設盛土などの保護を施した箇所においては 10t ダンプまでの使用に制限した。
- ・ 土の締固め工については、深層部まで影響しないように振動ローラの使用は行わなかった。また、ロードローラで 12t 級、タイヤローラで 20t 級の使用に制限した。

あわせて、損傷リスクの低減に情報化施工を活用した。

表－1 に情報化施工適用工種と使用した機材を示す。

表－1 情報化施工使用機材と使用目的

工 種	施工機械とシステム	使用目的
敷地造成工 掘削工	ブルドーザー 3D-MC, mm-GPS	①
敷地造成工 路体盛土工	ブルドーザー・モーターグレーダー 3D-MC, mm-GPS タイヤローラ GPS 締固め管理システム	① ③
雨水排水設備工 作業土工	バックホウ 3D-MG, mm-GPS	②
園路広場整備工 アスファルト系 舗装工(路盤工)	ブルドーザー・モーターグレーダー 3D-MC, mm-GPS タイヤローラ GPS 締固め管理システム	① ③

※使用目的は 2.3 に掲げる箇条書き部を指す。

さらに、軟弱地盤区域 (A<sub>p</sub> 層) については、軽量盛土 (EPS 工法) を使用し、負荷の低減に努めた。

## 2.5 埋蔵文化財包蔵地での施工の留意点

今回の施工を通じて判明した埋蔵文化財包蔵地における施工についての留意点について述べる。一般的に、埋蔵文化財包蔵地は遺跡図等でその位置や発掘状況が示されており、平城宮跡では図－3 にあるとおりである。

発掘調査においても結果は測量などによって記録されており、近年ではラジコンヘリ等を使用した空撮や空測も行われている。

これらの成果は遺構保存を行うために重要な遺



写真－1 発掘調査における空撮



写真－2 発掘調査における測量

構面の位置データ取得に欠かせないものである。

近年ではトータルステーションなどの機器も導入され始めており、工事測量と遜色のない精度での測量が行われている。

しかしながら、たとえば飛鳥の石舞台では昭和 8 年に京都大学が発掘調査を実施したように、かなり古くから行われてきており、その測量成果に現代と同等の測量精度を求めてよいか不明確なものが多い。従って、現地で試験的に遺構面からの覆土厚を確認することなどが必要である。

また、発掘調査後には遺構面を保護するために遺構面上に保護砂を撒き出し、その上で現地発生土によって埋め戻しを行う (写真－3)。



写真－3 保護砂の撒き出し状況

万一、施工中に遺構面に近接した掘削を行った場合、このような発掘調査および埋め戻し手順を理解していれば、保護砂を検出した場合、極めて危険な状況にあることがわかる。

このような発掘調査等に係わる知識を現場管理者がオペレータ等に周知しておくことが肝要である。

なお、古い発掘調査においては、このような保護砂による遺構面保護を行っていない場合もあるので、教育委員会が有する遺跡図等で発掘年次なども確認しておくことが必要である。

## 2.6 情報化施工の実施とその効果

### (1) 全体構成

平城宮跡第1次大極殿院広場整備工事において使用した情報化施工の全体構成を写真-4に示す。

なお、mm-GPSを使用しているため、回転レーザーも設置している。



写真-4 情報化施工の全体構成

### (2) 3次元マシンコントロールシステム

3次元マシンコントロールシステムは出来形の品質確保のために、mm-GPSを使用し、ブルドーザーおよびグレーダーの施工で活用した。

今回の効果は以下の通りである。



写真-5 3D-MCブルドーザーによる造成



写真-6 3D-MCコントローラ画面

- ① 小規模な造成工事ではあるものの、効率的な施工が実施できた。
- ② 地表面に丁張りを打つ必要がないため、文化庁への現状変更手続きが不要となり、事務的な手間を大幅に軽減することができた。
- ③ 広場での排水勾配の造成が効率的に良好な仕上がり精度で実施できた。

逆に、デメリットは以下の通りである。

- ① mm-GPSの適用範囲から外れると回転レーザーの移動が必要になった。
- ② 盗難防止のためにGPS基地局や建設機械に搭載したコントローラを毎日着脱し、保管する手間がかかった。
- ③ 情報化施工の機器コストが高く、建設機械の価格と同等かそれ以上のコストとなるため、使用についての目的、効果を明確化する必要がある。

### (3) 3次元マシンガイダンスシステム

本工事における3次元マシンガイダンスシステムは、排水溝を施工する際に通常の施工面よりも深く掘削する必要があることから、バックホウのバケットと遺構面の関係を常に把握し、遺構面保護を行うために導入したものである。



写真-7 3D-MGバックホウによる掘削

施工においては、事前に排水溝の施工図を元に、掘削箇所の遺構面を3D-MG用の電子データ(座標データ)化し、オペレータがリアルタイムで状況が確認できるようにした。写真-8にコントローラ画面を示す。深さ方向の表示はバケット先端と遺構面との距離を示している。

なお、今回の施工においては、システムの制約上、排水溝の設計掘削深さの表示はできなかった。



写真-8 3D-MG コントローラ画面

#### (4) GPS 転圧締固め管理システム

GPS 転圧締固め管理システムは過度な締固めによる地下遺構への影響防止と造成工事の効率化を目的として導入したものである。

今回の施工機械の選定では、深層部まで締固めの影響がある振動ローラを除外したが、埋蔵文化財の重要性を鑑み、最善の施工管理を目指した。

このシステムでは、写真-10に示す転圧状況をリアルタイムでオペレータがみることができたため、転圧回数不足・過剰を避けることができた。

#### (5) まとめ

平城宮跡第1次大極殿院広場整備工事において、1件の文化財破損事故を起こすことなく、無事施工を終了し、情報化施工は埋蔵文化財保護に有効であることが証明できた。



写真-9 タイヤローラによる施工

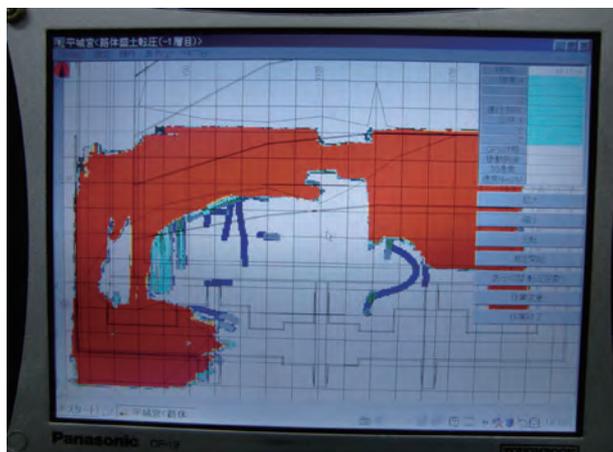


写真-10 転圧締固め管理システム表示画面

この事例は文化財保護と活用を両立させるときの事例として、また情報化施工による品質管理手法が様々な応用の可能性を持つことを示していると考えられる。

また、今回の施工においては、情報化施工によって、常に施工状況が正確に把握できるため、手戻り作業の軽減などの効果をもたらしている。机上の計算ではあるが、路体盛土工および舗装工においては11日の工期短縮効果があったと推定される。

その反面、使用する施工機械の規模が制限されたこともあるが、情報化施工の実施に当たっては通常作業ベースで約20%コストが割高になった。

しかしながら、上記のような文化財保護のための社会的責任とリスクを考慮したとき、このコストは許容されるとも考えられる。

今後、このような埋蔵文化財包蔵地での情報化施工については、総合評価方式入札契約等における技術提案としても効果が期待される。

### 3. 3D データを使った文化財保護

#### 3.1 バーチャルリアリティ技術の活用

CALS/EC や情報化施工の普及に伴い、建設事業ではIT技術の活用が進み、多くのデータが電子的に保存されるようになってきている。

先にも述べた通り、建設事業では近畿圏など歴史ある地域においては埋蔵文化財の保存と活用に関係するものが多く、その両立が大きな課題となっている。

文化財の活用を行う場合には、一般的には「遺構表示」などの遺跡の表現手法がとられる。

遺構表示は地下遺構の上に覆土し、その上に遺構の存在を示す構造物等を設置するもので、掘立柱の位置をツゲの木で表示したり、構造物の全部もしくは一部だけを復原するなどの方法がある。

しかし、このような復原は埋蔵文化財の直上で行



写真-11 遺跡の表現の例

うことが原則であるため、工事に影響を与えることが多い。

その解決策の1つにバーチャルリアリティ技術（以下、「VR」という。）の活用がある。

国営飛鳥歴史公園事務所では、明日香村・東京大学大学院情報学環池内研究室・奈良先端科学技術大学院大学横矢研究室と協力して、「バーチャル飛鳥京」プロジェクトを実施している。このプロジェクトはこれまでの「遺構表示」ではなく、仮想空間に遺構を復元し、ヘッドマウントディスプレイや通常のディスプレイ上に周囲の景観と重ね合わせて表現するものである。甘樫丘から飛鳥京をみた場合の事例について写真-12に示す。

（実際には写真中央の建屋等のグラフィック部分は田畑で、田園風景である。）



写真-12 バーチャル飛鳥京

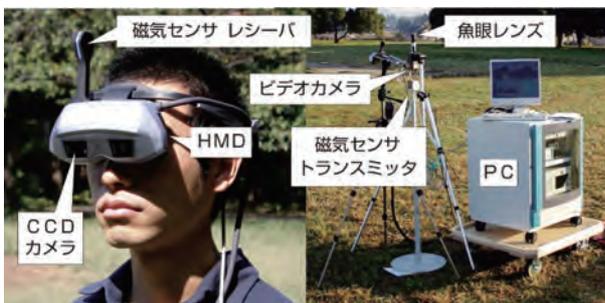


写真-13 システム構成の例（ゴーグル型）

この方法であれば、盛土などに設計変更を行って埋蔵文化財を保護できればその上部で工事を行うことが可能で、施工後にこの技術を使って仮想的に遺構表示を行うことができる。

また、表示の方法も遺構面の表現や存在したと想定される構造物形状の表現など選択的に実現が可能であるため、今後大きな可能性がある。

### 3.2 3D データの重要性

このようなVR技術においては、現在の景観との重ね合わせにおいて埋蔵文化財の測量成果が不可欠である。

特にCGデータの作成においては、現在もしくは将来の地形形状、対象範囲などについても詳細な位置データが必要となる。

発掘調査における測量成果は過年度に実施されたものの活用が多いことから電子的なものの取得は望めない。しかし、工事関係については、特に情報化施工等によって施工されるものについては電子的な測量成果が多く取得されることから、これらの成果を有効に活用することで、迅速にかつ効率的にプロジェクトを進めることが期待される。

## 4. まとめ

以上に述べた通り、保護すべき埋蔵文化財が包蔵されている地域において、先端的な建設技術、ここでは情報化施工を活用することにより、従来の施工と比べて、埋蔵文化財の保護について安全度の高い施工が可能となることが示された。

また、このような埋蔵文化財包蔵地で課題となる発掘調査後の遺構表示など観光資源等としての活用についてもVRの活用の有効性が示されていることを紹介した。

地域の生活のための社会資本整備と埋蔵文化財保護の両立は長きにわたって、日本の行政史にとっての課題であった。今回のような先端的な建設技術の活用が全国的な埋蔵文化財保護と社会資本整備の両立に資することを期待している。

## 謝 辞

本論文の執筆及び両プロジェクトの推進にあたっては、明日香村、東京大学大学院情報学環池内研究室、奈良先端科学技術大学院大学横矢研究室、近畿地方整備局国営飛鳥歴史公園事務所長 舟久保敏様に多大なご指導とご協力をいただきました。厚く御礼を申し上げます。

# 17. ハイブリッド式大型ホイールローダの開発

## 電動化による環境負荷の低減

日立建機株式会社

伊藤 徳孝

### 1. はじめに

化石エネルギーの枯渇、地球温暖化、鉱物資源・燃料価格の高騰、バイオ燃料に端を発した食料問題などから環境対応型の製品開発が強く求められてきており、建設機械も同様である<sup>4)</sup>。

大型ホイールローダにおいては油圧機器やエンジンの損失低減などに取り組んではいるものの、それだけでは大幅な燃料消費量の低減には限界があり大胆なシステムの見直しが必要であった。その低減対策として近年、注目されているのが電動化とハイブリッドシステムおよびエネルギーの再利用である。

以上のような状況下、以前より電動化に取り組み1997年にバケット容量11m<sup>3</sup>の大型電機駆動式ホイールローダ（以下電動機と呼称）を開発し、市場に投入して稼働データを蓄積してきている。

本報では、この電動機に対して、さらなる環境負荷低減を目指し、キャパシタを搭載してエネルギーの再利用を図った大型ハイブリッドホイールローダを開発したので、ここに報告する。

### 2. ホイールローダの現状

ホイールローダとは、主に掘削、運搬、積み込みを行う建設機械で、車輛本体が移動して前記の作業を行う構造であり、車両本体を移動するために多くのエネルギーを消費している。

現状のホイールローダを20,000時間使用したときの運転経費の一例を図1に示す。保有経費の他に修理費と燃料費および油脂・消耗品費が大きな割合を占めている。

エンジンの出力は主にタイヤを駆動する走行系、シリンダを駆動する油圧系および電装品等補機類の動力として使用される。走行系に採用されているトルクコンバータはエンジンの回転数とトルクを流体力により伝達し、回転速度比で0からおよそ1まで、トルク比で3程度まで変換することができる優れた機能を持っておりホイールローダには古くから使用されている。しかし、伝達効率が低い欠点がある。図2に従来のトルコン機でV字掘削作業を行った時のエンジン出力にたいする

エネルギー消費割合の一例を示す<sup>2)3)</sup>。走行系、および油圧系のエネルギー損失が大きいことが判る。

油圧系で使用される、ポンプは安価で信頼性の高いギヤポンプが多く使われてきたが、ギヤポンプの吐出量はエンジン回転数に比例して増減するため、作業機に必要な流量をコントロールバルブで絞って制御していることからエネルギー損失が多い。そこで、近年は省エネを目的として可変容量ポンプを使用し、必要な時に必要な部位に吐出する構造としたものが採用されてきている<sup>1)</sup>。



図2 V字掘削作業時のエネルギー消費割合

### 3. 大型電機駆動式ホイールローダ

#### 3.1 電動機の特徴

電動機の走行系には従来のトルコン機に比べて伝達効率の高い電機駆動式を採用した。動力伝達系統を図3に示す。駆動モータは効率が高く、メンテナンスの容易なACモータを採用し、インバータにより制御する構造とした。発電効率を上げるために作業時のエンジン回転数は1,800回転とし、作業待ちの時は自動でエンジンの回転数を下げる機能を追加した。

エンジン出力を従来のトルコン機と同等としたときの走行性能を図4に示す<sup>2)3)</sup>。

トルコン機と比較して伝達効率が高く、モータの出力範囲が広いことから変速機を使わずに必要な駆動力と走行速度を得る事が出来る。この車輛では、作業現場の状況に合わせて最高速度を制限するために速度段を設定して車速を抑えているが最大駆動力は全ての速度段で発揮できる。

したがって、オペレータは作業現場に適した速度段を運転開始時に一度設定するだけで、その後は変速操作することなく安全な速度で作業を続け

ることができる。

油圧系には可変容量ポンプを採用し、運転席のコントロールバルブからの信号で必要に応じて油圧ポンプの吐出量を制御する構造とした。この構造により作業時、オペレータは運転席のコントロールレバーを操作するだけで、いつでも作業機を最大速度で動かすことが可能となり、作業量を増やす事が出来た。

可変容量ポンプを採用したことで、油圧によるエネルギー損失を低減し、作動油温度の上昇を抑え作動油と油圧機器寿命を延長する事が出来た。

さらに、グリース給脂が不要なメンテナンスフリーピンを採用し、グリースによる環境汚染の低減およびメンテナンス間隔の延長を図った。

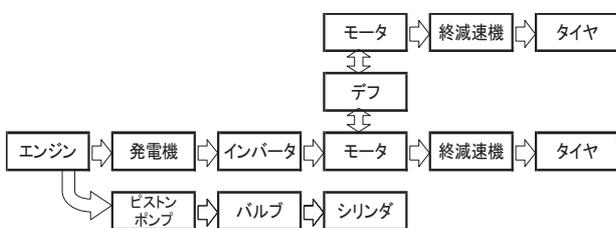


図3 電動機の動力伝達系統

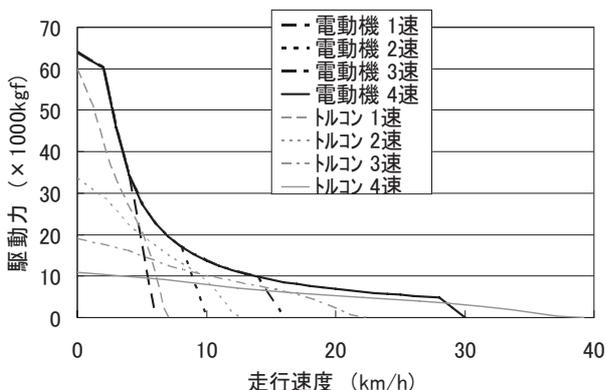


図4 走行性能

表1 時間当たり燃費消費量

機種	燃費 (L/hr)	測定期間
11m <sup>3</sup> 電動機	57.0	ユーザ <sup>1</sup> I '97/12~'02/2
11m <sup>3</sup> トルコンA	70.1	ユーザ <sup>1</sup> I '93/1~'94/12
11m <sup>3</sup> トルコンB	64.8	ユーザ <sup>1</sup> I '93/1~'94/12
11m <sup>3</sup> トルコンC	68.0	ユーザ <sup>1</sup> I '98/1~12
11m <sup>3</sup> トルコンD	64.1	ユーザ <sup>2</sup> II '96/1~12
11m <sup>3</sup> トルコンE	65.0	ユーザ <sup>2</sup> II '96/1~12

### 3. 2 電動機の評価

電動機は1997年から稼働を開始し稼働時間は20,000時間を超えている。表1にバケット容量11m<sup>3</sup>級ホイールローダの時間当たり燃料消費量を比較した。時間当たり燃料消費量は従来のトルコン機と比較すると約15%減少している<sup>2)3)</sup>。

しかしながら、負の評価として次の項目が残った。

- 1) ペダル操作による車輛の動き出しがトルコン機と比較すると0.5秒ほど遅れる。
- 2) 加速は良いが車速をアクセルペダルでコントロールする事が難しい。

これらの問題点は、トルコン機ではエンジンの出力により駆動力が決定されるが、電動機ではエンジンの出力に関わりなく、モータの出力が設定されるため車両の負荷変動に対してエンジン出力の応答が遅れることに起因している。

## 4. ハイブリッド式大型ホイールローダ

そこで、キャパシタを搭載しエンジン出力の応答遅れを補うことで電動機の欠点を改善し、エネルギーを再利用することでさらなる省エネを図った大型ホイールローダを開発することとなり、バケット容量13m<sup>3</sup>の大型ハイブリッドホイールローダ（以下ハイブリッド機と呼称）を開発し、2008年に発売した。

ハイブリッド機の外観を写真1に、ハイブリッドシステム構成を図5に、主な仕様を表2に示す。

ハイブリッドシステムは既にも実績のある電動機の電機駆動システムにキャパシタを追加し、車輛が減速するとき、モータで発生した電気エネルギーを回収出来るようにした。回収されたエネルギーは、発進および加速の動力として再利用する。

### 4. 1 エネルギーの回収

ホイールローダは主に車両の前後進を繰り返して作業を行う。作業時の前後進の切り替えは前後進レバーを操作して行われており、フットブレーキは使用されていないことが多い。そこで、前後進切換時の減速度はアクセルペダルの踏み込み量に比例して増減するよう制御してトルコン機の操作感覚に近づけた。

また、フットブレーキ操作時の、減速時のエネルギーを効率よく回収するために、ブレーキペダルの踏み込み角が少ない範囲では電気ブレーキが作動し、踏み込み角が増え、電気ブレーキの制動力が不足する範囲では電気ブレーキと油圧ブレーキが同時に働く構造とした。ペダル操作角と回生制動力および油圧制動力の関係を図6に示す。

一方、降坂時は電気ブレーキをリターダブレーキとして利用することとした。しかし、この車両の電気ブレーキは制動力に限界があり、高速域では制動力が不足する欠点がある。

そこで、電気ブレーキの制動力が不足するときは自動で油圧ブレーキが働く構造とした。システム構成を図7に、車速制動力特性を図8に示す。

この結果、油圧ブレーキの使用頻度が減りブレーキパッドの摩耗を軽減することができた。



写真1 ハイブリッド機の外観

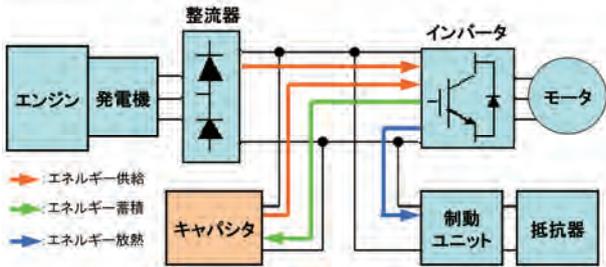


図5 ハイブリッドシステム構成

表2 ハイブリッド機の主な仕様

車両	型式	L130
	バケット容量	13m <sup>3</sup>
	常用荷重	23,400kg
エンジン	メーカー	Cummins
	型式	QST30
発電機	出力	735kW
	メーカー	Hitachi
走行モータ	型式	YEFC10UP-RD
	出力	625kVA
キャパシタ	メーカー	Hitachi
	型式	YEFFZO_KK
	個数	4
キャパシタ	型式	600L1-70C-DL
	定格電圧	800V
	最大電圧	875V
	最大電流	100A
	静電容量	8.2F

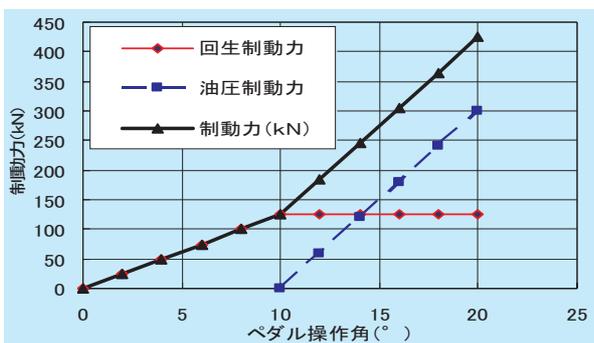


図6 ペダル操作角と制動力



図7 オートブレーキシステム構成

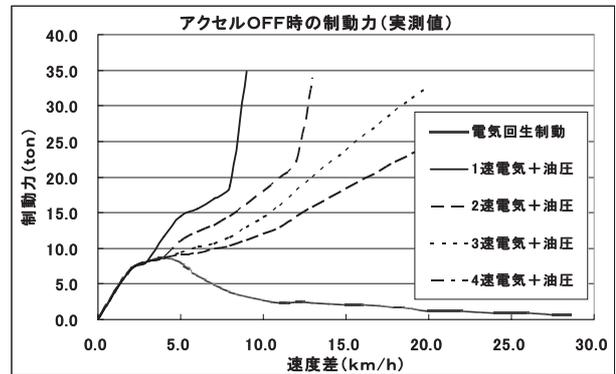


図8 オートブレーキの作動

#### 4. 2 キャパシタの仕様

ここでホイールローダに必要なエネルギーを検討してみると、走行系と油圧系を同時に最大出力で操作する場合、エンジン定格出力の150%程度の出力が必要となる。トルコン式の場合はエンジン出力に合わせて機械的に負荷が分担されているが、電動機の場合は負荷の分担はコントローラにより制御され、エンジンおよびキャパシタからのエネルギーが大きいほど走行系および油圧系に大きな負荷を与えることが可能となり、時間当たりの作業量を増やすことができる。

ホイールローダの標準的な作業では、前進で掘削後、荷を積んで後進した後、後進から前進に切り換えて前進、荷を放出する。減速時の電気エネルギーを回収する機会は後進から前進に変換する時であり、最低1回の減速・停止のエネルギーを回収出来るキャパシタの容量が必要である。キャパシタの仕様を表2に示す。

本車両では、さらに燃費を低減するため荷役用油圧ポンプに加えて、ステアリング用にも可変容量ポンプを採用しハンドル操作角に応じた吐出量となるように制御するなど、油圧系の省エネを同時に実施している。

#### 5. 実証試験

キャパシタの効果を実証するために、実機による各種試験により、電動機およびトルコン機との比較試験を行った。ここでは、キャパシタによる操作性の改善効果、作業量および燃料消費量について報告する。

##### 5. 1 操作性改善効果

実証試験では、まず当社試験オペレータによる官能評価を実施し、電動機で問題となった2項目について改善効果を確認し、良好な評価が得られた。

図9にアクセルペダルを瞬時に踏み込んだときのキャパシタの有無による発進・加速性を比較する<sup>4)</sup>。

アクセル操作に対する車両の追従性能は電動機

が 0.8 秒後に動き出しているのに対してハイブリッド機は約 0.2 秒となり 0.6 秒改善している。  
 キャパシタの有無では 0.3 秒の差があった。

また、キャパシタにより加速性が改善されていることがわかる。

## 5. 2 エネルギー回生

車輛の前後進を繰り返して行い、キャパシタの有無による充放電の状態および燃費の差を検証した。

図 10 において下方が減速時の回生電流を、上方が発進および加速の放電を示している<sup>4)</sup>。減速時に電気エネルギーがキャパシタに充電され、発進時および加速時に放電されていることが確認される。

前後進走行時の時間当たりの燃料消費量はキャパシタの有無で 13% の差が見られた。

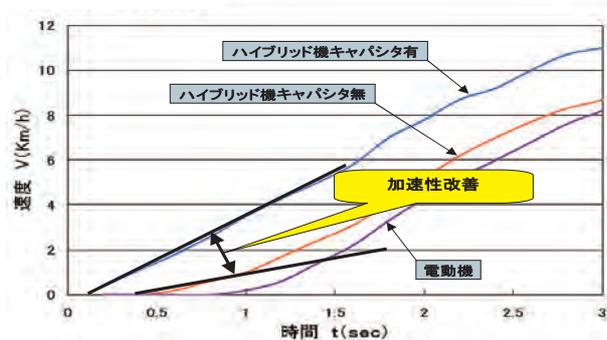


図 9 キャパシタの有無による発進・加速性評価

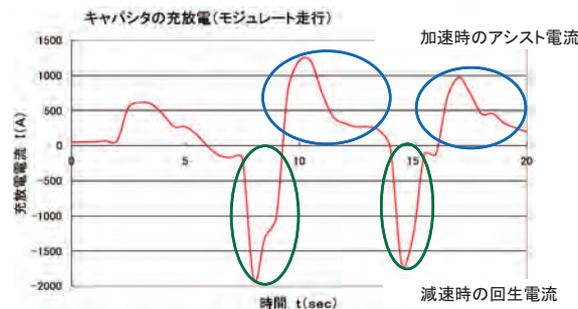


図 10 キャパシタの充放電

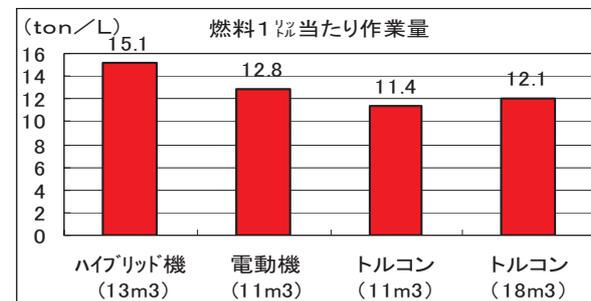


図 11 燃料 1 L 当たり作業量 (ロード&キャリ工法時)

社内試験終了後、ユーザに納車して、実機評価および実作業時のデータを計測した。試験方法はロード&キャリ工法で行い、燃料消費量は満タン

法、作業量は設備に装備されている計量器から読みとった。燃料 1 L 当たりの作業量を比較するとトルコン機と比較すると図 11 の通り 32% 作業量が増加している。

本機は現在、稼働時間は 4,000 時間を越え、操作性、作業性、燃費、メンテナンスコストでも高い評価を得ている。

これらの結果と 20,000 時間稼働している電動機の修理費および油脂・消耗品費の実績をもちいて、ハイブリッド機を導入し 20,000 時間使用したときの運転経費を推定すると図 12 となり、ユーザにも大きな利益となる事が想定できる。

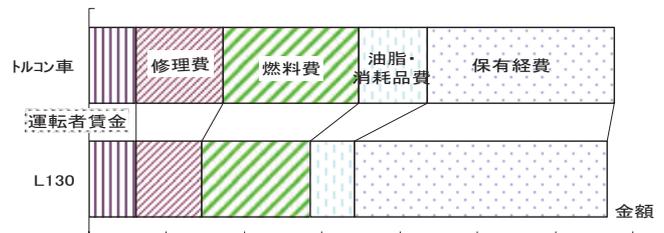


図 12 20,000 時間稼働時の運転経費

## 6. おわりに

今回のハイブリッド機はキャパシタを採用することで、車輛の負荷変動に対してエンジンパワーが追従出来ない不足分を補い、燃費低減と作業量の増加および作業性を改善できることが確認できた。

自家用車ではバッテリーを搭載した電動自動車一般化されてきているが大型ホイールローダでは、搭載に必要なバッテリーの容積と価格が膨大なことから現状、製品化は困難である。

今後、キャパシタ、バッテリーなどの蓄電技術の進歩により、さらに多くのエネルギーの蓄積および回収が可能となり、エンジンの小型化、油圧系の電動化、バッテリーによる車両の電動化と、省エネが進むことを確信して本文を終わる。

## 参考文献

- 1) 落合正巳・園田光夫：建設機械のハイブリッド化とハイブリッドショベル、社団法人 日本建設機械化協会 建設の施工企画 '09.1
- 2) 伊藤徳孝他：大型ハイブリッドホイールローダの開発、社団法人 日本機械学会 第 17 回交通・物流部門大会講演論文集 No.08-68
- 3) 伊藤徳孝：大型ハイブリッドホイールローダの開発、社団法人 日本建設機械化協会 建設の施工企画 No.719
- 4) 伊藤徳孝：ハイブリッド式大型ホイールローダ、社団法人日本フルードパワーシステム学会 Vol.41 No.4

# 18. 超高層建設における大型タワークレーンの特殊装置について

## 超高層建設への揚重技術のアプローチと展望

(株)大林組 機械部 主任 ○ 矢田 和也  
課長 椎名 肖一

### 1. はじめに

東京スカイツリー®建設に代表される超高層建設物は未知の高さでの施工となり、仮設計画、揚重技術に於いても様々な問題が発生する。600m超に設置される仮設設備、タワークレーン（以下、TC）などは現行の設計基準及びクレーン構造規格（以下ク規格）を満たすだけで安全が確保されたとは言いがたい。超高層建設における耐震・耐風に関する問題も統括して解決する必要がある。

本事例では、超高層建設におけるTC設置に関してのアプローチと要素技術の今後の展開について述べる。また、当社技術の吊荷方向制御装置「ジャピタス」の要素技術を基に、現在の技術で新たに開発した「スカイジャスター」について紹介する。

### 2. 技術概要

#### 2.1 耐風対策

TCの耐風安全性は、風洞実験による風力係数（ク規格を下回る部位はク規格を採用）と、数値解析的手法による超高層構造物の影響係数を加味した、ク規格の風荷重算定法に従って確認することとした。これら結果を用いて、TCに作用する風荷重が解明されると同時に、多くの問題が見えてきた。

##### (1) 作業時対策 ～あおり防止装置～

作業時にクレーンが荷を吊らない状態で突風を受けるとジブがあおられることが判明した。この現象が発生すると、大型フックが大きく揺られ、周辺資材、鉄骨、作業員への接触、そしてブームが折損、倒壊に至る重大災害へと直結する。地上500mでの突風と構造物自体の影響による風速割増を加味するとブームを破損させる恐れのある突風の発生が予想される。また、地上高さが高くなるにつれその出現頻度が上がるため、作業時における安全対策を確保することが必須条件となった。

作業時のブームのあおりが発生する難題に対し、ブームを常時ワイヤーで引張りあおりを防止する

機構を開発した。ブームの角度（作業半径）によって、必要な張力を変えるため、トルクモータへの電流値を制御する方式を採用した。これにより、ブーム伏時は低張力で、起こし時は高張力で管理することが可能になった。この、あおり防止機構によって、超高層特有の作業時の風に対してTCの安全性を確保できる。図-1 および写真-1 にあおり防止機構を示す。

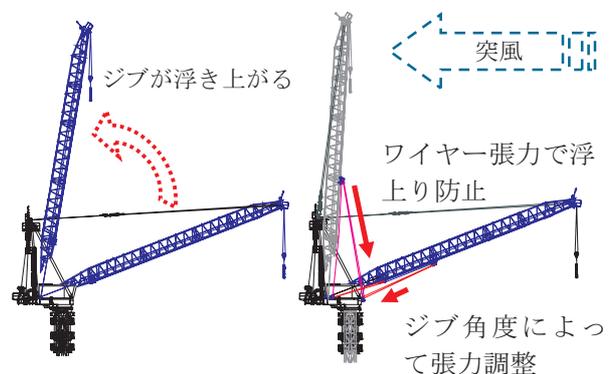


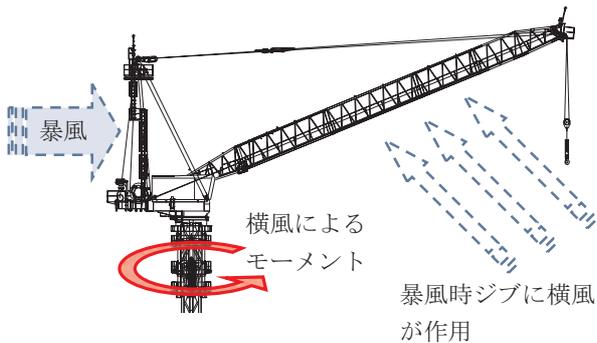
図-1 ジブのあおり（浮上り）防止機構



写真-1 あおり防止装置

(2) 暴風時対策 ～旋回アシスト～

一般に TC の台風対策はジブを伏せて旋回ブレーキを解放し、暴風が吹いた時に風見鶏のようにジブが風下に向くように待機する (図-2)。クレーンが旋回するのはジブを伏せることで横風によるクレーン本体の回転モーメントが大きく生じることに起因する。



横風がジブに作用し、本体を旋回させるモーメントが発生。旋回ブレーキを解放するため、ジブが風下へ向く

図-2 一般的なクレーンの暴風時待機姿勢

一方、スカイツリーの TC の配置は塔体形状の狭さから図-3 に示すように 3 台のクレーンが密集した配置となる。台風通過時にジブを伏せて待機してしまうとお互いのクレーンが衝突しジブの折損が生じてしまう。3 台のジブが衝突しないように、ジブを起こすと本体の回転モーメントが小さくなり、ジブが風下に向かなくなるだけでなく、ジブがあおられて損傷してしまう危険が加わる。台風の年間平均上陸個数は 2~3 個、接近個数は 10 個程度と言われている。スカイツリー建設中に TC は 2 年近く設置されるため、数回の台風直撃は避けられない状況にある。

■スカイツリー暴風時の問題点

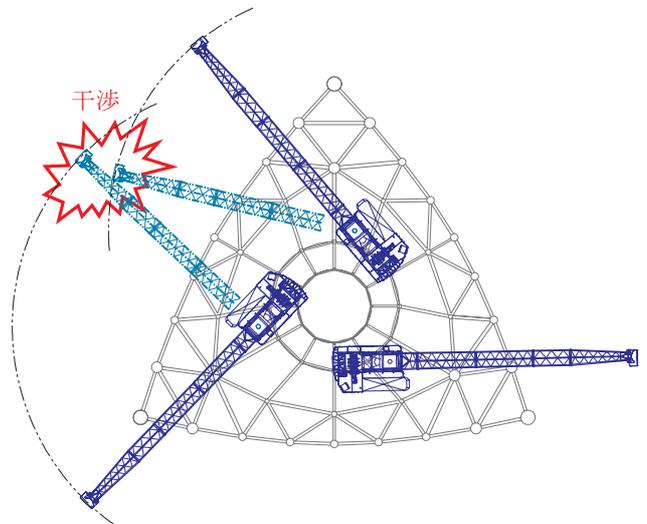
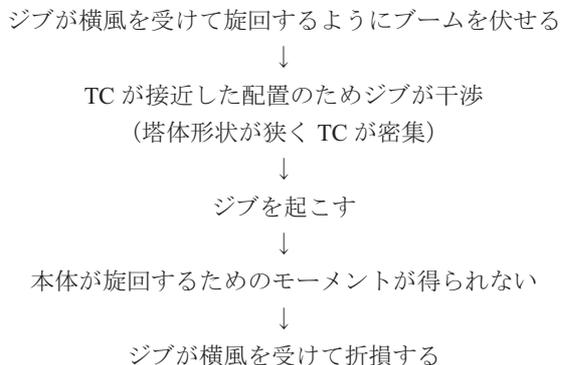


図-3 暴風時の問題点と塔体平面図

これらの状況を鑑みて、3 台のジブが旋回しても接触せず、ジブを起こした状態でも風下を向く機構が必要となる。これを解決すべく「旋回アシスト」を開発した。暴風が予想される際の待機姿勢時に、運転室上部に設置した風向風速計によって風向きを検知し、一定の風速以上になるとクレーンが旋回モータによって旋回するシステムである。ジブの起伏角度に問わずクレーンが旋回可能となる。台風対策に左右されない、一般の高層建築、狭小現場、近接工事以上の揚重機配置計画の自由度を実現し、ジブ損傷の発生確率を大幅に低減できる。図-4 にその概要を示す。

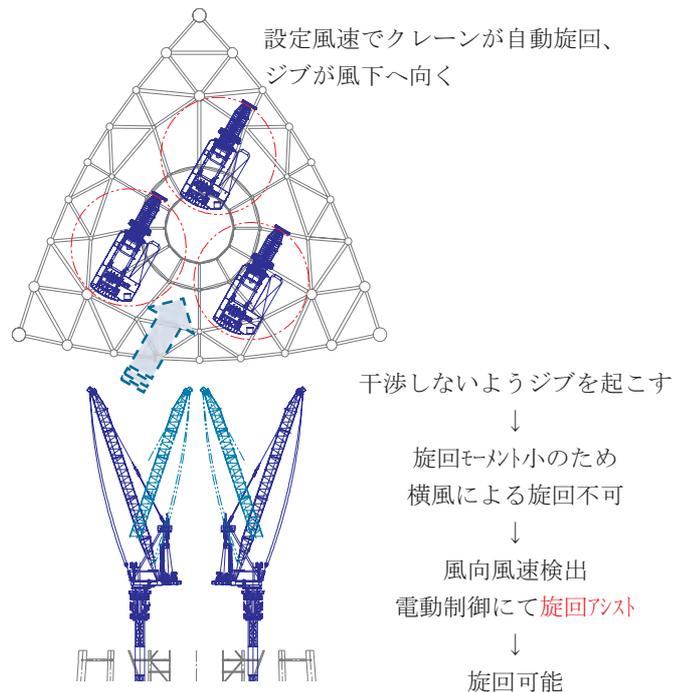


図-4 暴風時の改善点：「旋回アシスト」

## 2.2 耐震対策

### (1) 検討方針

一般的な仮設計画の際に使用される地震時の水平力は0.2Gである。ク規格においても地震時には同値の規定が定められている。風荷重と同様にク規格の施行時には600m級の人口構造物の上にクレーンが設置されることは想定されていない。応答解析によるクレーン耐震設計指針が検討され始めたが、概案が公表された程度にすぎない。

東京スカイツリーの場合、本体鉄骨との連成挙動を含めた詳細な地震時挙動を把握するため、地震応答解析に基づいた検討を行った。

### (2) 解析結果

応答解析の結果、各施工段階における塔体の高さでクレーンの自立高さが敏感に反応することから、クレーンのSTEP図作成段階で塔体高さでクレーン自立高さの考慮がなされたが、ジブ端部(運転室レベル)の最大加速度応答値、マスト基部あるいはステー位置での最大層せん断力係数は比較的大きく、ク規格の静的0.2Gと比較して過大な値である。

クレーンの自立高さの増減を行ってもマストの強度が不足することが判明した。この強度を満足するため、強化マスト「M2000H」を開発した。

これら、塔体高さでクレーン自立高さの調整、強化マストの採用によって600m級の構造物上での耐震安全性を実現している。

## 2.3 スカイジャスター

### ～吊荷方向制御装置の開発～

#### (1) 開発経緯

近年、建築物の超高層化や鉄骨重量の増加に伴い、大型タワークレーンの採用が増加している。当社では超高層建築物建設における高所への吊荷揚重作業において、風に備えて作業の安全性・生産性を向上させる技術として、吊荷方向制御装置「スカイジャスター」を開発した。

スカイジャスター(以下、SJ)は、高速回転するフライホイールをジンバルモータにより左右に傾転させることにより発生するジャイロモーメントを利用して空中で吊荷を自在に水平回転させることができる装置である。(写真-2)

またSJは従来同系機種(ジャピタス)に代わる高性能吊荷方向制御装置として位置づけられ、能力は従来機の5倍にあたる最大吊荷慣性モーメント1225kN・m<sup>2</sup>を発揮する。

SJでは設計段階から回転運動エネルギーも考慮し、風速10m/sの条件下で吊荷を1回転静止させるためのエネルギーを発する性能を有している。能動的に吊荷を回転した際、SJの持つエネルギーは640Nmであり、ジャピタスの130Nmに比較し5

倍近く(約)のエネルギー増である。

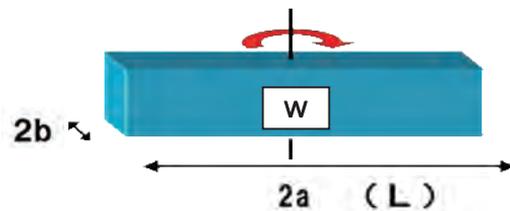


回転制御能力：1225kN・m<sup>2</sup> (WL<sup>2</sup>/12)

写真-2 SJ外観

スカイジャスターの特徴

- ・大きな慣性モーメント 1225kN・m<sup>2</sup> に対応
- ※吊荷の慣性モーメントについて



$$I = 1/3 W(a^2 + b^2) \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$\text{簡易式 } I = 1/12 \times WL^2$$

EX.

$$I = 1/12 \times 28 \times 9.8 \times 7.3^2 = 1218 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$$

274.4kN、長さ7.3mの吊荷を姿勢制御可能

- ・能動的な吊荷回転  
吊荷に回転を与え、所定の向きにする
- ・風による荷の回転制御  
人力で押さえきれない回転を停止させる
- ・吊荷姿勢の保持  
吊荷に対し外力が作用し続ける環境下でも吊荷回転が生じない
- ・外力に対しフリーの状態とする  
吊荷が外力に応じ回転可能
- ・バッテリー消費量を抑えた設計  
一番電力を必要とする起動時は商用電源による起動が可能  
ユニット化により、バッテリー交換が可能。昼

夜勤の現場にも対応可能

## (2) 現場使用状況

SJを用いた鉄骨建方状況を写真-3, 4に示す。柱の建方ではトラス構造のブレースが下層より立上るため、柱を回転しながら納める必要がありSJの能動的回転の応答性の良さ、位置決め精度の高さから弋工、TCオペ共に高い評価を得た。揚重中に回転したALC付ユニットも容易に所定の位置へ吊荷を回転できるので、柱建方同様に介錯ロープや作業員が吊荷を直接掴んで、荷を回転することが無い。このため風の影響による作業効率低下、安全性の改善を見込め、鉄骨工事の安定化への貢献が期待できる。



写真-3 柱建方状況



写真-4 ALC付ユニットの建方

## 3. おわりに

クレーン・重機事故が頻発し、報道へと直結する昨今、超高層建設物の施工に際し、超高層特有の問題が多く提起された。耐震、耐風に関し、これら難題の解明と解決策を講じてきた。その過程でタワークレーンに関して今後水平展開が必要な多くの技術が開発された。『旋回アシスト』は台風時のブーム折損事故を低減し、狭小現場、近接工事での台風対策を容易にする。『スカイジャスター』はこれまでのジャピタスのイメージを一新し、吊荷方向制御装置の常識を覆し、揚重作業の工期安定化と安全性向上へと貢献するだろう。

弊社では東京スカイツリーにおいては、未だ施工半ばで未知の高さでの施工中であるため、これら技術の成果を慎重に見極め、更に改善して行く必要がある。

最後に、今後これらの技術が数多くの現場で成果を収め、生産性、安全性の向上に役立てば幸いである。

# 19. ダンプシート掛け作業の安全対策

## シート掛け用足場の設置・運用による墜落防止対策

大崎建設株式会社

○長田 有史

### 1. はじめに

今回、千葉北西部で大規模造成工事を施工するに当たり、ダンプ土砂運搬(運搬距離約 1.5km)は、一部公道を走行する為、荷台をシート養生する必要が生じた。普段、シート掛け作業は、運転手自ら行うことが多いが、10t ダンプ荷台上の作業は2m以上の高さで高所作業となる為、墜落の恐れがあり、法律上安全帯の使用が必要である。しかしながら荷台上に安全帯を掛ける設備はなく、実際に荷台からの墜落災害も報告されており、墜落災害を防止する為に、対策を講ずることとした。

実施したのは、荷台上での作業時に安全帯を掛けることのできる設備を設け、運転手は運転席に座ったままで、専属に高所作業に慣れた作業員を配置し、シート掛けする形とした。

### 2. 足場の設置

足場の設置には、組立が容易に行うことができるビティ足場を選定し、3スパンで2段という形で設置した。足場板を設置するのは1段目のみとし、2段目は手摺兼安全帯掛けの単管取付用とした。その足場から単管をつなぎ、横に張り出す形で安全帯を掛ける設備を設けた。(図-1 参照)

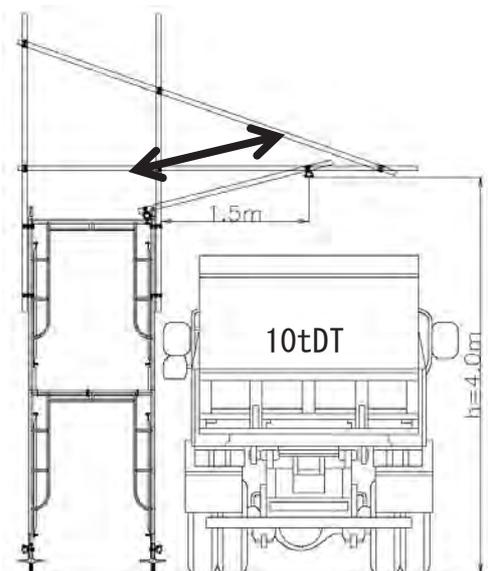


図-1 足場横断面図

足場は、1段目の巾木高さとダンプ荷台あおり高(実車計測 10台平均 h=2.05m)がほぼ同じになり、ダンプが横付けした際にスムーズに渡れる高さとなる。

次に、人力で上げ下げする遮断バーをダンプ停止位置の前方に設置。形状はE T Cバーの様な物で、支点部分は単管で組み立て、バーになる部分は竹を用いて、クランプで固定。重さでバーが閉まる構造にして、触れていない時は、閉じている状態にする。バーの開閉は、足場上から作業員がロープを使用して開閉操作できる構造とした。

(図-2 参照)

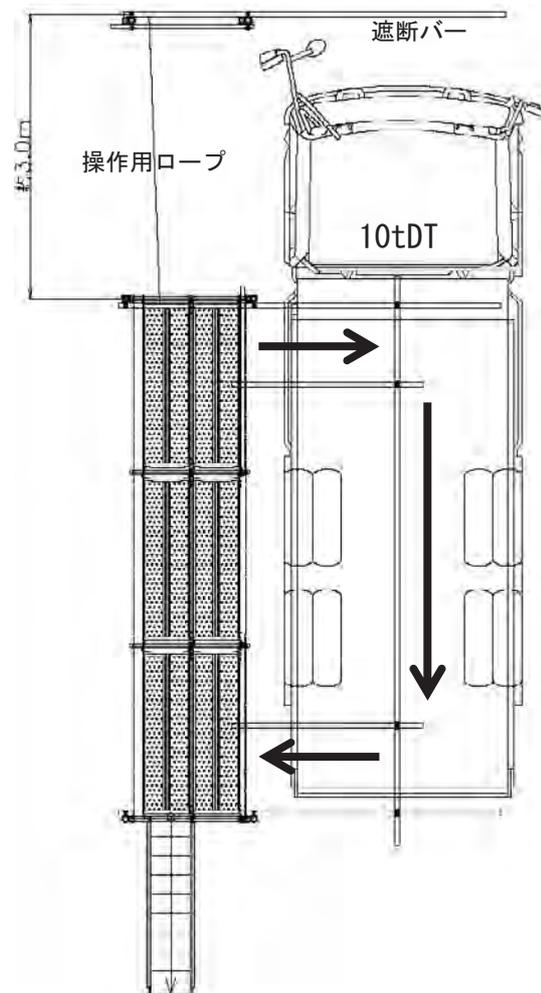


図-2 足場平面図

### 3. シート掛け作業

まず、足場横に進入する手前でダンプの左側可動あおりを開け、その後足場の横に配置する。ダンプは遮断バーの位置まで前進し停車する。

次に、足場上にいる作業員がダンプ荷台に乗り移り、途中2回安全帯を掛け替えながら、ダンプ荷台にシートを掛ける。(写真-1 参照)

シートを掛けた後、足場に戻り、遮断バーの開け操作をする。バーが開いたことをダンプ運転手が確認後、前進する。(写真-2 参照)

以上の作業を1回行うごとにダンプ1台分のシート養生を行うことができ、所要時間は1分弱であった。



写真-1 ダンプシート掛け状況



写真-2 シート掛け後、バーを開ける

### 4. 費用効果

通常のようにダンプ運転手が降車してシート掛けした場合、早くても2分以上掛かり、その差は1分以上。ダンプの往復時間で検討すると、シートをめくる際にも同じ差が発生する為、1回の往復につき2分以上の差が発生する。

今回、実施した現場ではシート掛け用とめくり用と同形状の足場を2箇所設置して対応した。仮に1分差として、運搬出来高を計算すると、掛

けるのと、めくるので計2回行うので、シート掛け足場なしの場合

$420 \text{分}(7\text{h}) \div 23 \text{分}(\text{現場往復時間}) = 18 \text{回}$

シート掛け足場・専任作業員ありの場合

$420 \text{分}(7\text{h}) \div 21 \text{分}(\text{現場往復時間}) = 20 \text{回}$

となり、約10%の出来高UPをすることができる。実績では、ダンプを15台/日使用して、作業員2名で延べ300台のシート掛け・めくり作業を行ったが、まだ若干余裕があった。スパッツ1台の最大処理台数が400台/日程度なので、スパッツ1箇所当たり足場1基と作業員1名で対応可能と考えられる。

運搬距離が短く、ダンプ1台当たりの運搬回数が多き場合は、費用効果が大きく見込まれるが、運搬回数が少ない場合は、費用効果は少なく、安全面での効果のみが期待される。

計算上、損得分岐点は、ダンプ9台/日・運搬時間30分/回・運搬回数15回(延べ135台以上)となる。

(10tダンプ単価¥43,500/日、普通作業員単価¥13,300/日とした場合)

### 5. 安全効果

足場から安全帯を掛けたまま乗り移る構造としたことにより、荷台昇降時の事故を防ぐことができた。

遮断バーを設置することにより、停車位置のズレを少なくすることができたと共に、運転手の思い違いにより荷台に作業員を残したまま走り出すことを防止できた。

安全帯掛け用の単管は、作業時につかまることができる為、土を積んで足元の悪い状態のダンプ荷台上で、スムーズに移動できるものとなった。

## 20. 動的ロードセルの問題点

### 出力値はロードセルの大きさに比例する

東海大学・院  
通信土木コンサルタント(株)  
東海大学工学部

廣川 匠  
木村 修一  
近藤 博

#### 1. はじめに

ロードセルの構造形式は種々あるが、コラムタイプのロードセルは、応答周波数が高いので、一般に衝撃荷重測定用として用いられている<sup>1)</sup>。その応答周波数には、ロードセルの載荷部を質点(m)、受感部をばね(k)と仮定して求めた固有振動数の1/10程度が一般に採用されている。これは、振動論に基づいた解析から、固有振動数の1/10の振動数で共振の影響を受け誤差が+1%生じる<sup>2)</sup>と考えられているからである(この考察に問題があることは既に報告した<sup>3)</sup>)。なお、土木学会で進めている、衝撃試験の標準化のための研究のなかでもコラムタイプのロードセルが利用されている<sup>4)</sup>。

しかし、梅田の調査<sup>5)</sup>によると、センサメーカを含め多くの利用者がロードセルの計測値に疑義を感じ、ロードセルの動的校正法の確立を願っている。いっぽう、藤井ら<sup>6)</sup>はロードセルで動的荷重を測定するのは無理と結論づけ、衝突体の速度計測から動的荷重を求める方法を提案している。しかし、藤井らの方法は被衝突体の剛性が大きいと問題が生じると推察する。また、藤井らは動的ロードセルの問題点については検討していない。

動的試験の速度による分類を表-1に示す<sup>7)</sup>。載荷速度0.5m/sは低速度試験に分類されている。速度0.5m/sは、重錘が1.28cmから落下したときの速度である。この程度の高さから重錘が落下したときの動的荷重も、ロードセルの寸法に計測値が影響を受ける。しかし、低速度試験の場合、大多数の利用者はその問題点に気が付かないで、ロードセルを利用してきたと想像する。

本研究は、ロードセル(コラムタイプ)の寸法や設置台の動的剛性を変化させて、重錘をロードセル上に落下させる実験を行った。その結果、ロードセルの出力値は、ロードセルの寸法や設置台の動的剛性に大きく影響を受けることを明らかにした。次に、この原因は、重錘、ロードセル及び設置台に生じる応力波の多重反射の影響であることを、インピーダンス法を採用した数値計算で明らかにした。さらに、多重反射の影響を小さくする

ために、ロードセルの載荷部にゴム製緩衝材を設置して同様な実験を行った。その結果、ロードセルの出力値は、ロードセルの寸法や設置台の剛性の影響を受けない出力値になることを明らかにした。ただし、このときの出力値は、緩衝材を設置しないときと比べると非常に小さくなる。すなわち、動的載荷試験でのロードセルでの測定値は、設計等に直接利用できないことを明らかにした。

表-1 載荷試験の速度による分類

区分	載荷実験			
	静的～ 準静的	動的(急速)		
		低速度	中速度	高速度
載荷 速度	0.1m/s 以下	0.1～ 0.5m/s	0.5～ 1.0m/s	1.0m/s 以上
区分	衝撃実験			
	低速度	中速度	高速度	超高速度
載荷 速度	10m/s 以下	10～ 50m/s	50～ 100m/s	数100m/s 以上

#### 2. 動的力とその測定法

物体が衝突する様子を図-1(a)に示した。このときに物体間に生じる力が動的力 $F_L$ である。この力を測定するのに図-1(b)に示した方法が一般的に採用されている。すなわち、重錘にロードセルを設置し動的力 $F_L$ を測る方法や、重錘に加速度計を設置し、衝突時の加速度を測定し動的力 $F_a (=ma)$ を求める方法である。しかし、測定した $F_L$ が $F_L$ と一致するかどうかは議論されていない。また $F_a$ についても同様である。重錘にロードセルを設置する方法は、土木学会で進めている衝撃試験の標準化のための研究でも利用されている。その研究では、ロードセルの先端部の曲率を変化させて実験し、曲率が小さくなる(被衝突体との接触面積が大きくなる)と、動的力が大きくなったと述べているが、この原因については明らかにされていない。

本研究では、図-1(c)に示すように、図-1(b)に示した方法とは異なり、被衝突体にロードセルを

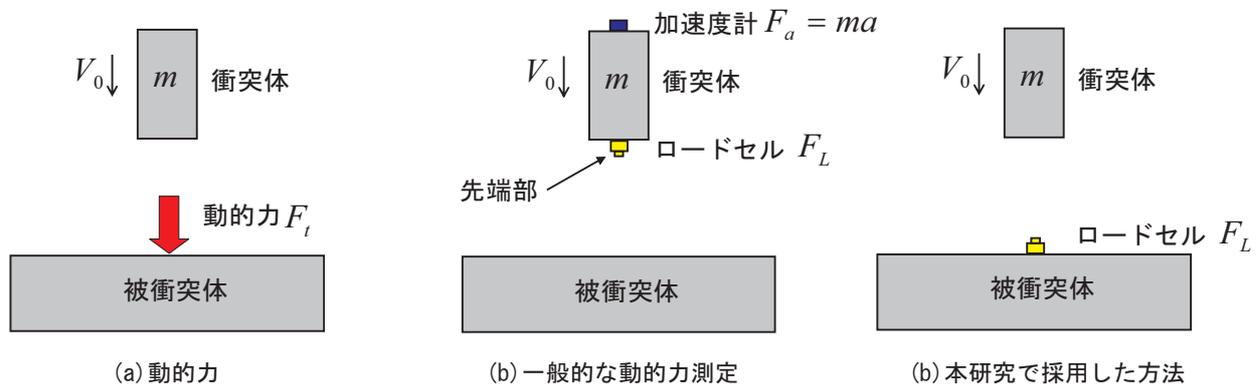
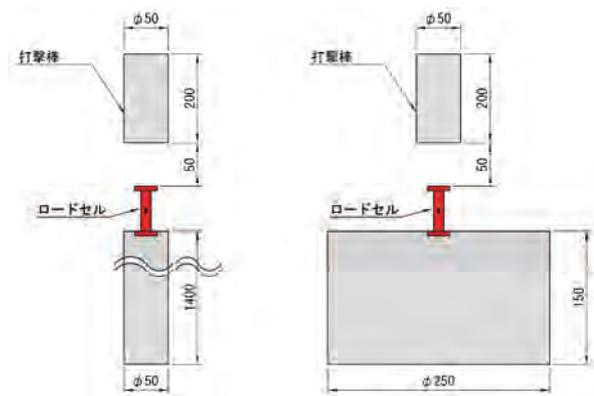


図-1 動的力とその測定法



LC1 LC4  
図-2 供試ロードセルの形状



(a) 設置台 S (b) 設置台 L

図-3 実験装置の概要

設置する方法で動的力を測定した(図(b)と図(c)でのロードセルの測定値は同一になる)。

### 3. 実験装置と方法

#### 3.1 供試ロードセル

図-2に、ひずみゲージ接着前の供試ロードセルの写真を示した。ロードセルの载荷部と設置部の直径は25mm、厚さは5mmである。また、受感部の長さは45mmで、受感部の断面積は、ロードセルの寸法の影響を調べるために、载荷部と設置部の断面積の1/5と4/5になっている。そこで、これらのロードセルを、LC1, LC4と呼ぶことにする。ロードセルの校正値は静的载荷により決定した。

#### 3.2 設置台

図-3に実験装置の概要を示した。図から明らかのように、ロードセルの設置台は、直径50mmで長さ1400mmの鋼棒と、直径250mmで厚さ150mmの鋼製台座の2種を採用した。これらの設置台を、それぞれ、設置台S、設置台Lと呼ぶことにする。設置台Sおよび設置台Lの断面積はロードセル設置部の断面積のそれぞれ4倍、100倍になる。

### 3.3 実験方法

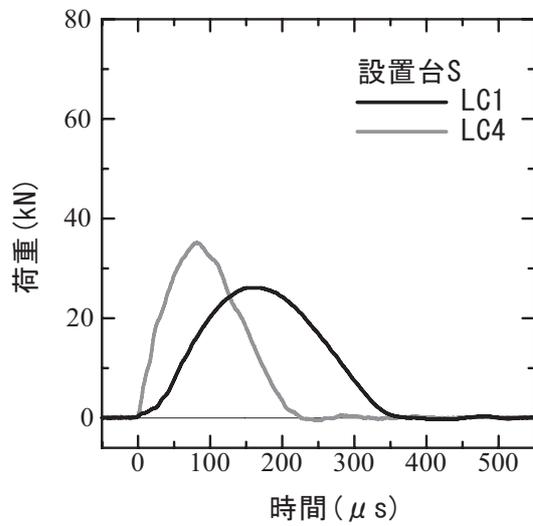
実験は、図-3に示したように、直径50mm、長さ200mmの打撃棒を落下高さ50mmから自由落下させて、ロードセルに载荷した。このときの载荷速度は約1m/sになる。なお、ロードセルに生じる荷重は载荷速度に比例する。

### 4. 実験結果と検討

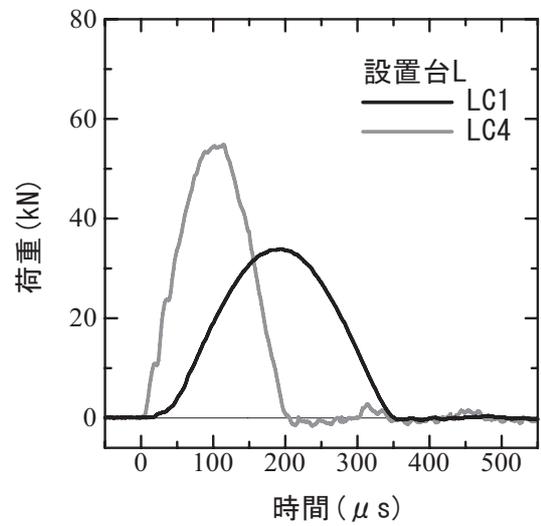
#### 4.1 緩衝材を設置しない場合

図-4に、緩衝材を設置しないで実験したときの、測定荷重を示した。両設置台とも、ロードセルの受感部断面積が大きいLC4の荷重値が、LC1の値より大きくなった。また、大きくなる割合は設置台Lのほうが大きい。さらに、設置台Lでの荷重が設置台Sでの荷重より大きくなっていることもわかる。これから、ロードセルの出力値は、ロードセルの寸法や設置場所の動的剛性の影響を受けることが推察される。

図-5は、図-4と同条件での、波動伝播モデルを利用した計算荷重を示したものである。計算荷重は荷重測定システム(打撃棒、ロードセル、設置台の3者からなる)内の応力波の多重反射の重ね合わ

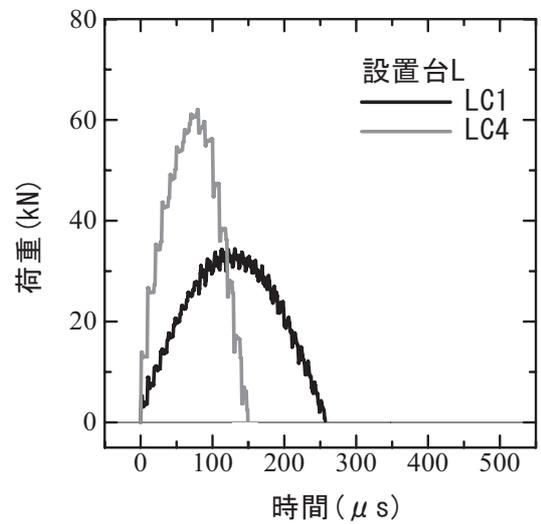
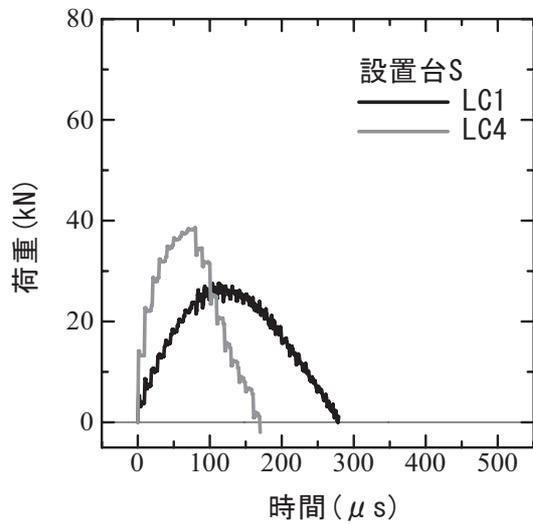


(a) 設置台 S



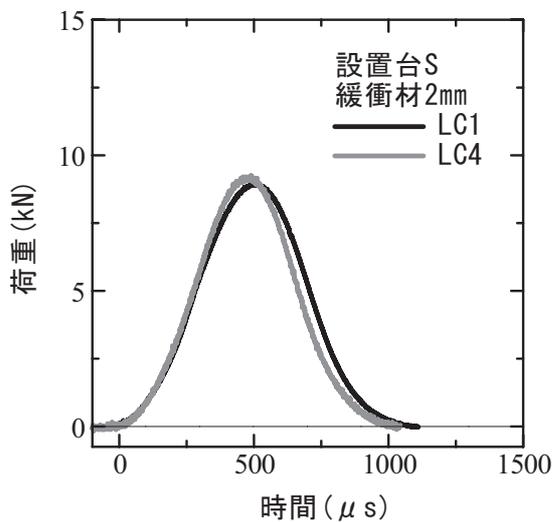
(b) 設置台 L

図-4 緩衝材を設置しないときの測定荷重

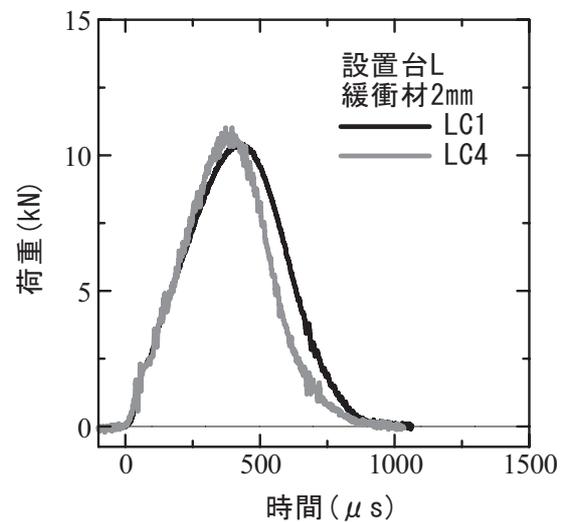


(b) 設置台 L

図-5 緩衝材を設置しないときの計算荷重



(a) 設置台 S



(b) 設置台 L

図-6 緩衝材 2mm を設置したときの測定荷重

せで求めたものである。

図-4と比較すると、立ち上がりが早くなるとともに、最大荷重も少し大きくなった。これは、理想条件での計算のため、計測装置や衝突体と被衝突体の接触状況の影響を受けないからである。すなわち、差異が少々あるものの図-4に示した測定荷重をよくシミュレートしていることがわかる。以上の検討から、ロードセルの出力値は、ロードセルの寸法や、ほとんど関心が払われていない、ロードセルの設置場所の動的剛性に比例することがわかる。数値計算によると、打撃棒が大きくなるにつれ、同一ロードセルでの、設置台Sと設置台Lの出力値の差は増大する。

よって、荷重計測システム内に波動が生じる条件では、ロードセルによる測定荷重の利用方法に問題が生じることがわかる。

#### 4.2 緩衝材を設置した場合

図-6は、ロードセルの載荷部に厚さ2mmの緩衝材を設置して実験したときの、測定荷重である。両設置台の実験波形は、ロードセル寸法の影響を受けずほぼ一致した。しかし、動的剛性の大きい設置台Lでの測定荷重は、設置台Sでの測定荷重より大きくなっていることがわかる。これは、波動伝播の影響を緩衝材厚さ2mmでは排除することができず、設置台の剛性が出力値に影響したためである。

図-7は、ロードセルの載荷部に厚さ4mmの緩衝材を設置して実験したときの測定荷重である。灰色線は、緩衝材無しの実験では荷重が最も小さくなる、ロードセルLC1で設置台Sで測定荷重で、黒線は、緩衝材無しの実験では荷重が最も大きくなる、ロードセルLC4で設置台Lでの測定荷重である。図から、両測定荷重がほぼ一致していることがわかる。厚さ2mmの緩衝材では、両設置台での測定荷重に差異があったが、厚さ4mmの緩衝材では差が消滅したことになる。すなわち、今回の実験条件では、厚さ4mmのゴム製緩衝材を設置したときの衝突箇所インピーダンス以下でロードセルを使用するならば、境界条件等の影響を受けずほぼ同じ荷重値を測定できることになる。しかし、このときの荷重値は、緩衝材を設置しないときの荷重値に比較して非常に小さくなる。

4.1と4.2の検討から、ロードセルは、特別な条件以外では動的荷重の計測に利用できないことがわかる。

#### 5. まとめ

ロードセルの寸法等を変化させての基礎実験を行うとともに、インピーダンス法を採用した波動伝播モデルにより検証し、以下のことが明らかに

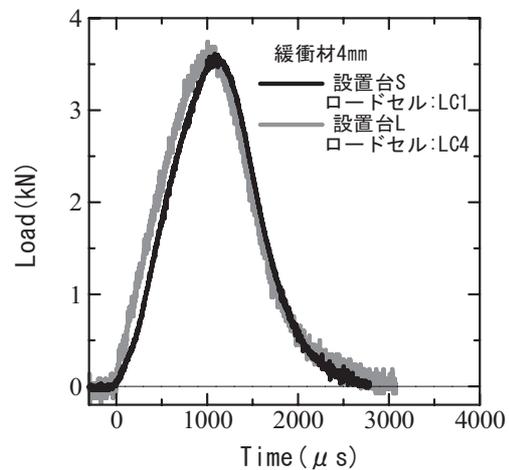


図-7 緩衝材4mmを設置したときの設置台SでのLC1と設置台LでのLC4の測定荷重

なった。

- (1) 動的ロードセルの校正法は静的校正で良いことを明らかにした。
- (2) ロードセルの測定値は、ロードセル寸法に比例するとともに設置場所の動的剛性にも比例する。
- (3) よって、ロードセルは特殊な条件以外では動的荷重の計測には利用できないことが明らかになった。特殊な条件とは、ロードセル内部の波動伝播の影響を無視できる条件のことである。
- (4) インピーダンス法での計算値は、測定値とほぼ一致した。よって、インピーダンス法はロードセルの動的問題を検討するのに有効な手段となる。

#### 参考文献

- 1) 土木学会構造工学委員会：衝撃実験・解析の基礎と応用，pp.17～18，2004。
- 2) 東藤・関根・田中・牧志：小型ロードセルについて，共和技報，397，1991。
- 3) 近藤・木村・本間：ロードセルの動的応答特性，計測自動制御学会論文集，Vol.41，No.10，pp.783～786，2005。
- 4) 土木学会構造工学委員会：衝撃実験・解析の基礎と応用，pp.53～71，2004。
- 5) 梅田：動的力計測の現状と問題点，計測と制御，Vol.27，No.6，pp.537-542，1988。
- 6) 磯部・藤井・斎藤：エアスライド型衝突試験機による動的荷重計測値の実験的および解析的評価，機械学会論文集(A編)，67巻，657号，pp.799～806，2001。
- 7) 土木学会構造工学委員会：衝撃実験・解析の基礎と応用，p.5，2004。

## 2 1. 敷鉄板の敷設方法と地盤支持力に関する実験的解析

### 敷鉄板の敷設効果

(独)労働安全衛生総合研究所 ○堀 智仁  
(独)労働安全衛生総合研究所 玉手 聡

#### 1. はじめに

基礎工事中用建設機械（以下、くい打機という）の転倒災害は、建設現場内で作業している労働者のみならず、その周辺にも被害が及ぶことがあり、社会的影響力の大きな労働災害の一つである。過去に発生した転倒災害を調査すると、くい打機が現場内を移動中、履帯が敷鉄板の端部に位置した際に転倒した事例や、敷鉄板の敷設が不十分だったことが原因で転倒に至った事例が見られた。写真-1 に転倒災害の一例を示す。履帯直下には大きな沈下が見られ、敷鉄板の端部に履帯が位置していたことがわかる。

労働安全衛生規則第 173 条<sup>1)</sup>では、くい打機の転倒を防止するため、履帯の沈下防止措置として敷板、敷角等の使用を義務付けている。しかし、現在の規則やマニュアル等<sup>2),3)</sup>では敷鉄板の定量的な設置基準は述べられていない。

くい打機の安定設置に関する現行の検討方法では、地盤上に敷鉄板を設置する場合、敷鉄板の荷重分散効果を考慮して接地圧を求めている。その際、敷鉄板の中央付近に履帯が位置した状態を想定している。しかしながら、くい打機は施工時に現場内を移動するため、敷鉄板端部に履帯が位置した際に、荷重分散効果が小さくなると考えられる。

本研究では、敷鉄板模型を作製し、敷鉄板の重ね敷きの敷設方法について分類分けし、それぞれの敷設効果について検討を行った。

#### 2. 実験の概要

##### 2.1 敷鉄板模型の製作

敷鉄板模型は一般的に使用されている敷鉄板（1.5m×6m×25mm）の1/25 スケール（60mm×120mm×1mm）で作製した。敷鉄板模型の長さについては、実験装置の都合上 1/50 とした。

##### 2.2 地盤のモデル化

模型地盤は、ウレタンフォーム（ $\rho=28\text{kg/m}^3$ ）を用いて作製した。本材料を用いた理由は、模型地盤の一様性を高めて、再現性を確保し、基礎的なデータを効率的に蓄積するためである。模型地



写真-1 転倒災害の様子

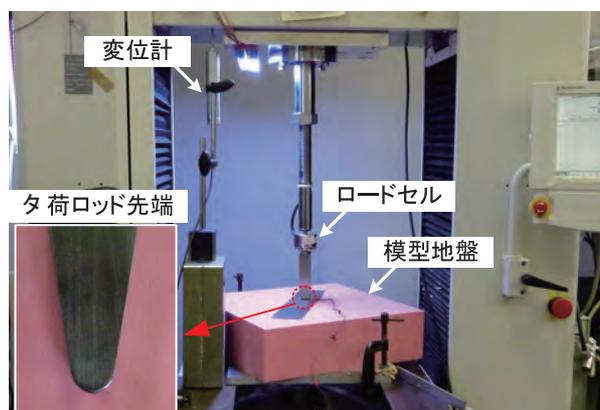


写真-2 試験の様子

盤の寸法は 360mm×360mm×100mm である。

##### 2.3 実験装置

本研究で用いた載荷装置は、島津製作所製の精

表-1 敷鉄板敷設方法の分類

大分類	中分類	小分類
<ul style="list-style-type: none"> <li>一枚敷き</li> <li>二枚敷き</li> </ul> $\frac{d_1 + d_2}{L} = 0$	<ul style="list-style-type: none"> <li>部分重複</li> <li>全体重複</li> </ul> $0 < \frac{d_1 + d_2}{L} < 1$ $\frac{d_1 + d_2}{L} = 0$	<ul style="list-style-type: none"> <li>半面交互</li> <li>偏心交互</li> <li>完全重複</li> </ul> $d_1 = d_2$ $d_1 \neq d_2$ $d_1 = 0, d_2 = L$

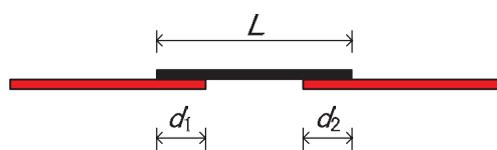


図-1 敷鉄板重複方法

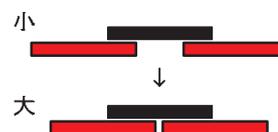


図-3 重複度の増大に伴う敷設の変化

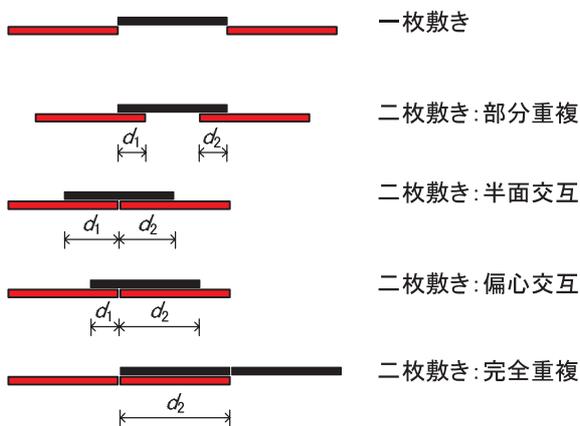


図-2 敷鉄板の敷設方法の概要

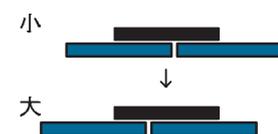


図-4 偏心度の増大に伴う敷設の変化

密万能載荷試験装置 AG-100kNIS (Autograph) である。この装置は圧縮試験及び引張試験を行うことができ、高精度の定速ひずみ制御により最大負荷容量 100kN まで載荷することが可能である。載荷荷重はくい打機のフロント荷重を模擬した載荷ロッドを介して線荷重を与えた。写真-2 に載荷試験の様子を示す。

### 3. 実験条件

#### 3.1 敷鉄板敷設方法の分類

敷鉄板を重ねて敷設した場合、荷重が作用する有効面積が大きくなり、地盤が作用する圧力が小さくなることを期待される。敷鉄板を敷設する際

には、種々の条件が考えられる。そこで、本研究では、敷鉄板を2次的にモデル化し、敷鉄板の長さを  $L$ 、両端における、隣接する敷鉄板との重複長さを  $d_1$  および  $d_2$  と定義した。図-1 にその概要を示す。

表-1 に敷鉄板敷設方法の分類を示す。大分類として、「一枚敷き」と「二枚敷き」に分類した。次に、中分類として二枚敷きに関して、「部分重複」と「完全重複」を定義した。部分重複は  $(d_1 + d_2)/L < 1$  であり、全体重複は  $(d_1 + d_2)/L = 1$  である。すなわち、部分重複は下部敷鉄板に隙間があるのに対して、全体重複は隙間がない状態である。小分類として、全体重複に関して、 $d_1$  と  $d_2$  の値の違いにより、「半面交互」、「偏心交互」、「完全重複」と定義した。その概要を図-2 に示す。

#### 3.2 敷設の状態を示す指標

敷鉄板の重複設置を行うにあたり、敷設の状態を示す2つの指標を定義した。一つは重複度であり、もう一つは、偏心度である。

##### 3.2.1 重複度

重複度( $R_L$ )の関係式を式(1)に示す。重複度の値

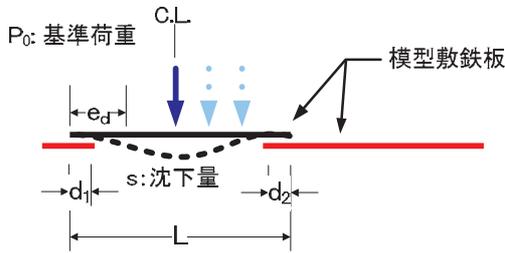


図-5 重複敷設の荷重の荷重位置の概要

表-2 敷鉄板に対する移動荷重の荷重位置

変数	荷重位置						
$e_d/L$	0.125	0.25	0.375	0.5	0.625	0.75	0.875

表-3 実験名称と敷鉄板敷設条件

実験名称	重複度 $R_L$	偏心量 $R_E$
sl_1	0	0
sl_2	1/4	
sl_3	2/4	
sl_4	3/4	
sl_5	4/4	
sl_6	4/4	1/4
sl_7	4/4	2/4
sl_8	4/4	3/4
sl_9	4/4	4/4

が増加することにより、連続する下部敷鉄板の隙間が小さくなる。図-3 に概念図を示す。

$$R_L = \frac{d_1 + d_2}{L} \quad (1)$$

ここで、 $R_L$  の値と敷設の状態の関係は次の通りである。

- 一枚敷き  $R_L=0$
- 二枚敷き (部分)  $0 < R_L < 1$
- 二枚敷き (完全)  $R_L=1$

### 3.2.2 偏心度

偏心度( $R_E$ )の値は、増加することにより、図-4 のように上部敷鉄板が偏心して敷設される。式(2)に偏心度の関係式を示す。

$$R_E = \frac{d_1 - d_2}{L} \quad (2)$$

ここで、 $R_E$  の値と敷設の状態の関係は次の通りである。

- 対称  $R_E=0$
- 非対称 (偏心)  $0 < R_E < 1$
- 非対称 (完全)  $R_E=1$

### 3.3 荷重試験条件

敷鉄板模型を種々の敷設方法で設置し、荷重実験を行った。その際、敷鉄板の重複度  $R_L$ 、偏心

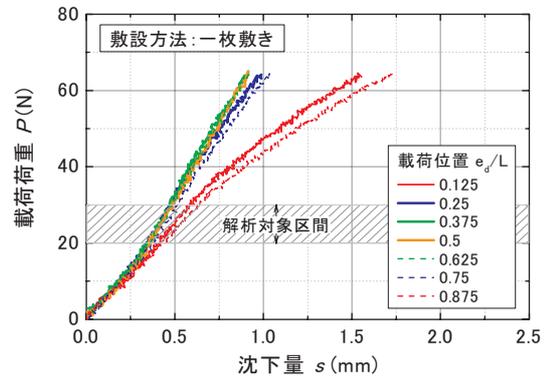


図-6 解析対象区間

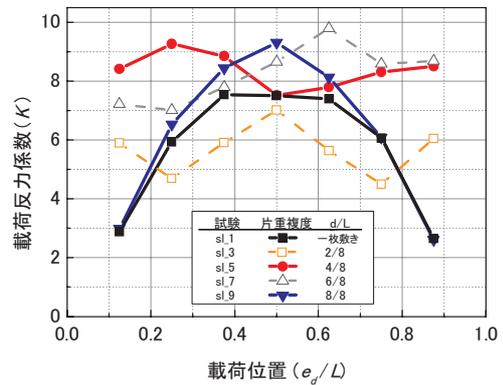


図-7 荷重反力係数と荷重位置の関係

度  $R_E$  および荷重荷重の荷重位置( $e_d$ )を変数とした。荷重試験は上部敷鉄板端部から  $L/8 (=15\text{mm})$  ずつ偏心量  $e_d$  を増加させ、全 7 地点において行った。図-5 に概要を示す。表-2 に荷重位置を示す。荷重荷重はウレタンフォーム地盤の弾性範囲内である 100N まで与えた。表-3 に実験名称と実験条件を示す。実験ケースは  $R_L$  と  $R_E$  を変えた全 9 ケースである。なお、試験は変位制御 (荷重速度 0.5mm/min) で行った。

## 4. 実験結果

### 4.1 解析対象区間

一枚敷きの敷鉄板に対して、荷重位置を変えて行った実験結果を図-6 に示す。図中のデータは荷重( $P$ )-沈下( $s$ )関係が直線関係を示す弾性域付近のデータである。荷重位置の違いにかかわらず、 $P=20 \sim 30\text{N}$  では、荷重  $P$  と沈下量  $s$  に直線関係が見られる。本研究では、この荷重荷重の範囲を解析対象区間とした。

### 4.2 荷重反力係数と荷重位置の関係

図-7 に各荷重条件での荷重反力係数( $K$ )と荷重位置( $e_d/L$ )の関係を示す。ここで、 $K$  とは支持力実験での弾性域の荷重-沈下関係から求めた傾きである。図中に示したデータは直線関係を示した

範囲(20N<P<30N)から求めた傾きである。同一荷重に対して発生する沈下量(s)を比較した場合、Kの増加はsを減少させる。したがって、Kの値が大きいほど荷重の分散効果が高いことを意味する。

一枚敷きの実験 sl\_1 では、曲線が上に凸の形状を示す。中央荷重( $e_d/L=0.5$ )に対してKは最大値を示すが、鉄板の両端に対する荷重ではKが小さい。従って、両端に近づくに従って荷重分散効果は減少することがわかる。

二枚敷きで半面交互させた sl\_5 では、Kはほぼ一定の値を示し、荷重位置の違いによるKの差は小さい。すなわち、半面交互では荷重位置の違いにかかわらず一定の荷重分散効果が得られている。

二枚敷きで完全重複させた sl\_9 では曲線が上に凸の形状を示し、sl\_1 と類似した結果である。中央荷重( $e_d/L=0.5$ )に対するKの値を比較するとsl\_1のそれに比べて大きい。この原因として、敷鉄板を重ね敷きにすることにより鉄板の厚さが2倍になり、曲げ剛性が増加したことが考えられる。しかしながら、両端付近では、Kの増加は見られず、一枚敷きの結果とほぼ同じ値を示している。

部分重複を与えた sl\_3 では、sl\_1 に比べて曲線がフラットになっており、安定した分散効果が得られているが、sl\_5 に比べてKの値は全体的に小さい。また、全体重複で偏心交互させた sl\_7 では全体的にKの値は大きくなっているものの、その変動はsl\_5 に比べて大きい。

敷鉄板上を通過する移動荷重により生じた沈下量の最大値と最小値の差を不同沈下量( $\Delta s$ )として、単位荷重増分( $\Delta P$ )に対する $\Delta s$ の割合を不同沈下率( $R_D$ )と定義した。式(3)にその関係式を示す。 $R_D$ が増加すると機体に生じる傾斜は大きくなり、転倒の危険が高くなることを意味する。

$$R_D = \frac{\Delta s}{\Delta P} \quad (3)$$

図-8に $R_L$ および $R_E$ と $R_D$ の関係を示す。 $R_E=0$ すなわち対称に設置され、かつ偏心がない場合は、 $R_L$ の増加に伴って $R_D$ は減少している。そして $R_L=1.0$ の半面交互条件では、 $R_D$ が最小となっている。すなわち、敷鉄板の隙間を小さくすることで、生じる沈下量が減少することを意味する。

一方、 $R_L=1.0$ では $R_E$ の増加に伴い $R_D$ も大きくなり、完全重複( $R_E=1.0$ )で、 $R_L$ は最大となっている。

以上の結果から、敷鉄板の敷設方法により敷設効果が異なることが明らかになり、重複度が大きく、かつ偏心度が小さい条件では、最も敷設効果が大きいことがわかった。また、重ね敷きであっても、完全重複条件では一枚敷きと同等の敷設効

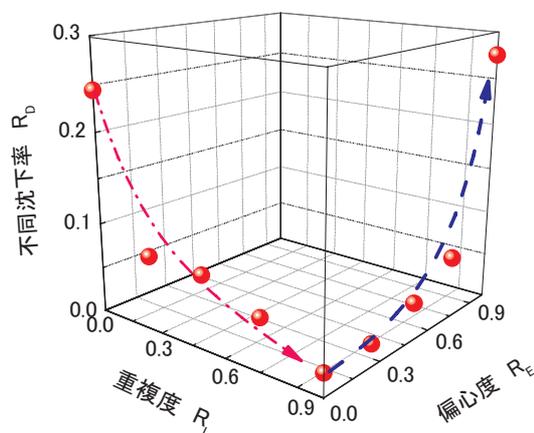


図-8 鉄板の不同沈下率( $R_D$ )に与える重複度( $R_L$ )と偏心度( $R_E$ )の関係

果しか得られないことが明らかになった。

## 5. まとめ

敷鉄板模型を作製し、敷鉄板の敷設方法を変えて荷重実験を行い、以下に示す知見を得た。

- (1) 敷鉄板の敷設方法の分類を行った。大分類(一枚敷きと二枚敷き)・中分類(部分重複と全体重複)・小分類(半面交互, 偏心交互, 完全重複)と大別した。また、敷鉄板の敷設の状態を示す指標として、重複度( $R_L$ )と偏心度( $R_E$ )の定義を行った。
- (2) 敷鉄板の敷設方法の違いにより敷設効果が異なることが明らかになった。重複度が大きく、かつ偏心度が小さい条件では、最も敷設効果が大きいことがわかった。また、重ね敷きであっても、完全重複条件では一枚敷きと同等の敷設効果しか得られないことがわかった。
- (3) 敷設方法の違いにより不同沈下率( $R_D$ )が異なることがわかった。したがって、くい打機が通過する際には不同沈下を生じ、それによって機械が傾斜する危険がある。そのため、敷鉄板を適切に敷設することは非常に重要であると考えられる。

謝辞: 本研究は平成19年度厚生労働科学研究費補助金の交付を受け実施したものである。関係各位に感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 労働調査会: 安衛法便覧 I, 労働安全衛生規則第173条, P.967, 2007.
- 2) 指針改定委員会ワーキンググループ: 改訂 移動式クレーン・基礎工専用機械の転倒防止指針, P.27, 1993.
- 3) (社)日本建設機械化協会: 移動式クレーン, 杭打機等の支持地盤養生マニュアル, PP.33-40, 1994.

## 2.2. 現場の地耐力確認を目的とした簡易試験法の実験的検討

(独)労働安全衛生総合研究所 ○玉手 聡  
同 上 堀 智仁

### 1. はじめに

移動式クレーンやくい打機は大型の機械であり、これらを安定設置するためには支持地盤が十分に堅固な状態にある必要がある。しかしながら、写真1に示すような転倒災害が依然として発生しており、現場地盤が不安定な状態で大型建設機械が使用されている現状をうかがい知ることができる。

このような転倒災害を防止するためには支持地盤の安定を確保することが不可欠である。しかしながら、現場地盤の支持力は目視や踏査などにより経験的に判断される場合が多く、支持力を見誤ったことによる転倒も発生している。従って、クレーン等の設置に際しては現場地盤の支持力を工学的に調査して、確認する必要がある。

地盤の支持力を直接的に調査する方法には平板載荷試験がある。しかし、この試験は実施に時間を要し、また方法も必ずしも簡単ではないため、現場では敬遠されがちなのである。

本研究では現場で広く用いられている掘削機械(ドラグ・ショベル)の自重を反力に利用した簡易な支持力試験の方法を検討した。本論文では現場支持力試験の方法を述べ、次いで開発した試験装置を紹介する。そして、得られた試験結果に基づいて本試験の適用性を考察する。



写真1 建設機械の転倒事故

### 2. 平板載荷試験と現場支持力試験の比較

表1は平板載荷試験と今回検討した現場支持力試験の比較を示す。両試験で用いる載荷板の形状とその大きさは同じであり、ともに直径30cmの円形である。しかし両試験では荷重の載荷方法と変位の計測方法が異なる。

平板載荷試験<sup>1)</sup>では計画最大荷重を5から8段階に分割し、段階的に荷重を載荷する。載荷荷重は各段階で30分間の保持が標準とされ、沈下量が計測される。

図1は平板載荷試験の標準的な方法を示す。載荷点に対して規程で定める離隔を与えた位置に基準点を設け、これに架けられた基準ばりを不同点として載荷板の変位を計測する。この離隔は1.0m以上と規定されており、変位計は対称な位置に4箇所設置し、載荷板の変位を計る。そして、4点の変位の平均値を載荷板の沈下量とする。荷重は先に述べた通り、一定荷重を段階毎に保持させるいわゆる応力制御方式である。

一方、本報告で紹介する現場支持力試験は反力とするドラグ・ショベルの浮き上がり量と載荷装置(アクチュエータ)の伸張量から載荷板の沈下量を算出することを特徴とする。さらに、荷重はアクチュエータを一定速度で伸張させることにより地盤に与える、いわゆる変位制御方式であることも大きく異なる部分である。

支持力試験では変位速度が5mm/minで荷重を与えた。この値は一軸圧縮試験における軸変位速度1%/minを参考に、載荷板直径のスケール比を近似的に考慮した値である。

表1 平板載荷試験と支持力試験の方法の比較

	平板載荷試験 (JGS 1521-1995)	支持力試験
載荷板	直径30cmの円形	
載荷方法	荷重制御 (計画最大荷重を5から8段階で載荷)	変位制御 (5mm/min)
反力装置	実荷重, アンカー, 重機	重機
沈下量	基準ばりから載荷板上の沈下4点を計測	載荷装置の伸張量から重機の浮き上がりを引いた値
所要時間 (1箇所)	3時間~4時間40分	約20分

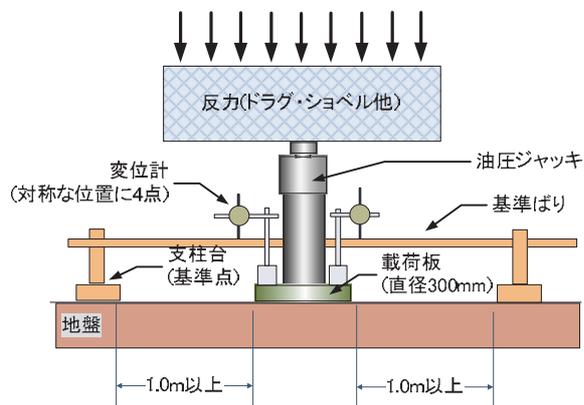


図1 平板载荷試験の標準的な方法

両試験における所要時間は大きく異なる。平板载荷試験では時間が载荷の段階数によって異なるが、平均で1点3時間以上を要する。これに対して支持力試験は約20分である。但し、この時間は载荷のみであり、準備時間を含まない。後述する支持力試験装置は架台上にユニット化されており、その準備時間の短縮も図られている。

### 3. 現場支持力試験の詳細

#### 3.1 試験装置の概要

図2は現場支持力試験の装置を示す。この装置は架台の4隅には車輪が取り付けられており、人力により現場内を移動することが可能である。試験に必要な载荷装置は架台にまとめて搭載されており、迅速な移動と試験が可能である。ハンドルは角度を0度、45度、90度の3段階に調節でき、写真2のように下部走行体と支持地盤の間に試験装置を挿入できる。

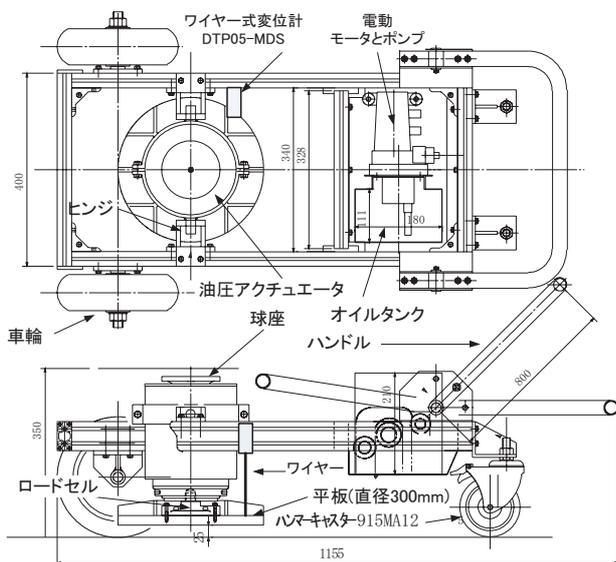


図2 現場用の支持力試験装置

油圧アクチュエータが架台の前方中央部に備わり、その後部には電動モーターと油圧ポンプが備わる。この油圧アクチュエータのシリンダー部には図3に示す3段ストロークする重複構造が与えられている。全長は258mmの収縮状態から最大486mmまで伸長する。アクチュエータが収納した状態をコンパクト化きたことにより、下部走行体と地盤の間に挿入することが可能となった。

アクチュエータと载荷板の間には容量100kN(10トン)の薄型ロードセルが備わり、载荷板に剛結されている。アクチュエータのストローク量( $s_c$ )はワイヤー変位計(図2参照)により、直接測定する。



写真2 下部走行体と支持地盤の間に設置された現場支持力試験装置

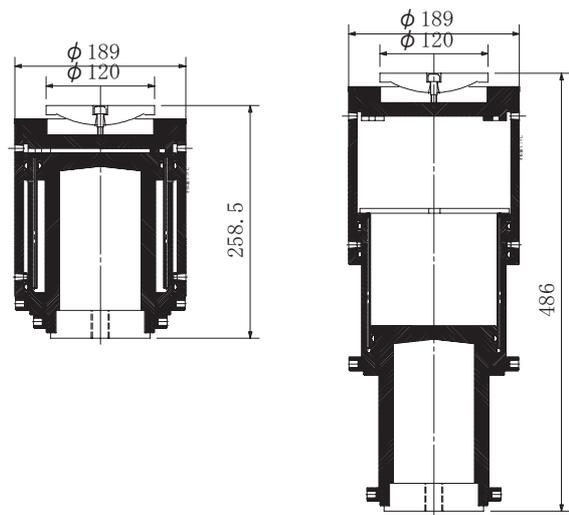


図3 油圧アクチュエータの構造  
(左:収縮状態 右:伸長状態)

#### 3.2 試験方法

ドラグ・ショベルを試験位置に移動させ、载荷部の地盤表面を平坦に仕上げる。そして、試験装置を下部走行体と地盤の間に挿入し、アクチュエータの上面にある球座が重機のフレーム位置と一致するように調整する。

上部旋回体の向きは履帯と平行になるような向きとし、傾斜が履帯に平行な向きに生じるようにする。写真3に示すワイヤー式変位計を機体に設置する。この変位計はマグネットホルダーを備え、重機ボディへの取り付けが容易となっている。

変位計は機体の前方と後方の2箇所に設置し、载荷に伴って図4のように生じる機体の浮き上がりを計測し、载荷板の沈下量(s)を補正して求める。

油圧アクチュエータの载荷位置における理論浮き上がり量( $s_{lt}$ )は前部と後部における機体の浮き上がり量 $s_a$ と $s_b$ 及び計測間隔 $l_a$ と $l_b$ を用い、式(1)で換算して求められる。そして、 $s$ はアクチュエータの伸張量( $s_c$ )と $s_{lt}$ を用いて、式(2)から求まる。

$$s_{lt} = \frac{s_b \cdot l_a + s_a \cdot l_b}{l_a + l_b} \quad (1)$$

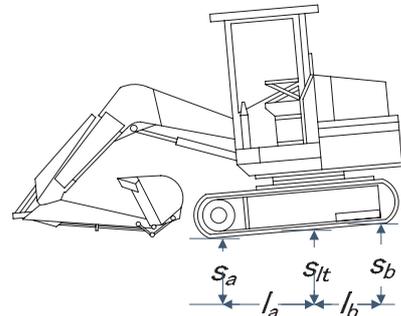
$$s = s_c - s_{lt} \quad (2)$$



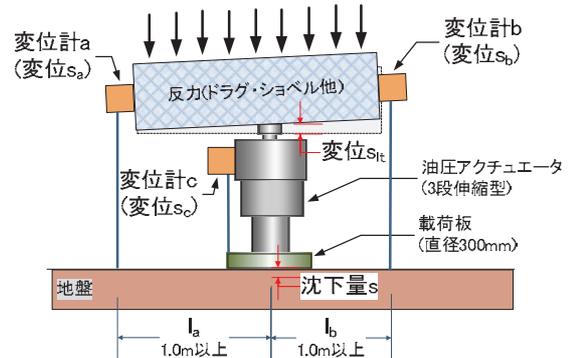
写真3 機体の浮き上がり変位量の測定  
(左：前部の様子、右：後部の様子)



写真4 重機を反力とした支持力試験の様子



a) ドラグ・ショベルに生じる傾斜計測のイメージ



b) 载荷板の沈下量 $s$ と各部の変位の関係  
図4 機体の浮き上がり補正の方法



写真5 試験装置と流量調整バルブと操作レバー

支持力試験の様子を写真4に示す。支持力試験装置が下部走行体と地盤の間に挿入され、機体後部にはワイヤー変位計が取り付けられている。载荷板に与えた载荷荷重( $F$ )及び $s_a$ 、 $s_b$ 、 $s_c$ はデータ収録装置に保存され、この収録装置はパソコンで制御される。

载荷試験の間はモニターでアクチュエータの変位速度( $v_y$ )を監視し、値が5mm/minでほぼ一定となるよう写真5にある流量調整バルブを操作する。なお、この値は一軸圧縮試験における標準的な载荷速度に準じて仮設定した値である。すなわち、直径50mm、長さ100mmの供試体に対して1%/min(=1mm/min)の変位速度を与える一軸圧縮試

験を参考に、直径 300mm に対する変位速度の換算値(6mm/min)をもとに 5mm/min と設定した。

#### 4. 試験結果の考察

図 5 は平板载荷試験(PL 試験)と支持力試験(BC 試験)の結果を比較して示す。試験は都内の建築現場で行った。地盤は表面から深さ約 1m までの範囲が、セメント安定処理により養生されていた。現場内の数カ所において、両試験をそれぞれ 2 ケース実施した。

载荷応力( $q$ )は载荷荷重を载荷板の面積( $A=0.0707\text{m}^2$ )で除した値であり、沈下比( $s/D$ )は沈下量( $s$ )を载荷板の直径( $D=300\text{mm}$ )で除した値である。両試験結果を比較すると、共通して载荷初期の  $s/D < 0.02$  では曲線の傾きが大きくその後、屈曲する。 $s/D > 0.03$  では  $s/D$  増分に対する  $q$  の増加が減少している。

载荷初期における曲線の接線勾配( $K$ )を比較すると、PL2 以外の 3 つは値がほぼ一致している。また、屈曲前後の 2 接線の交点における  $q$  の値を極限支持力( $q_u$ )と定義し、その値を比較する。PL2 はその他の 3 ケースに比べて 2 割程度値が大きいものの、その他の 3 つはほぼ値が一致している。現場内の支持力自体が幅をもって分布していることを考慮すると、支持力試験による  $q$ - $s/D$  関係の調査結果と平板载荷試験のそれとの間には大きな差が生じていないように思われる。

図 6 は関東ローム地盤と成田砂地盤で行った支持力試験(BC 試験)の結果を示す。両地盤においてそれぞれ 2 ケースの試験を実施した。2 つの地盤で得られた  $q$ - $s/D$  関係には良い一致が見られ、本試験の再現性が確認することができる。

砂質地盤の結果である BC3 と BC4 では、 $q$ - $s/D$  関係に明確なピークは見られない。 $s/D$  が 0~0.1 の範囲では  $s/D$  増分に対する  $q$  増分は高く直線的な関係が見られる。さらに、この関係には  $s/D=0.1$  付近で屈曲点が見られる。

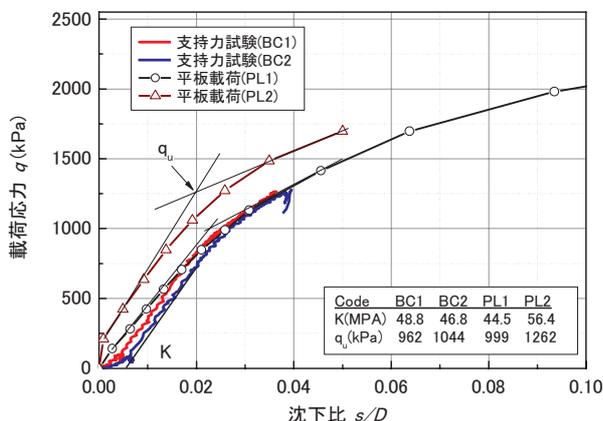


図 3 平板载荷試験と支持力試験による载荷応力( $q_u$ )-沈下比( $s/D$ )関係の比較

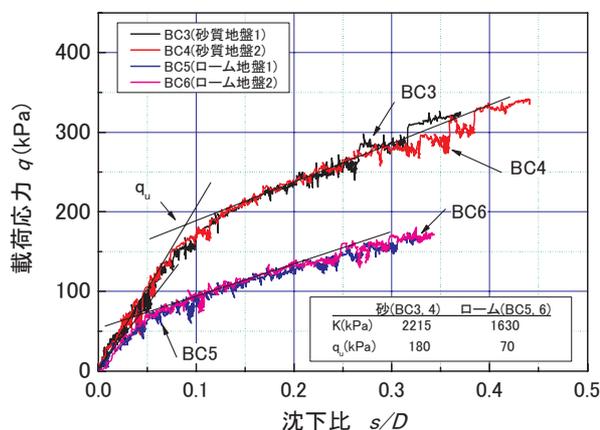


図 6 関東ローム地盤と成田砂地盤における载荷応力( $q_u$ )-沈下比( $s/D$ )関係の比較

$s/D > 0.1$  における  $q$  の増分は  $s/D < 0.1$  に比べて減少している。2 回の試験より得られた両曲線は良い一致を示している。ローム地盤の結果 BC5 と BC6 の  $q$ - $s/D$  関係にも類似した傾向が見られ、両曲線はほぼ一致している。得られた  $q$ - $s/D$  関係より求めた  $K$  と  $q_u$  の値は両地盤において明確な違いを示し、それぞれの地盤における再現性も確認された。

#### 5. まとめ

施工現場で使用される大型重機や移動式クレーンの転倒事故を防止するためには、設置地盤の安定確保が不可欠な条件である。しかしながら、その確認は目視や踏査等により経験的に判断されているのが現状である。

平板载荷試験は直接的に地盤の支持力を確認できる有効な試験法であるが、その実施に時間と準備を要するため、これまではクレーン等の安定確保に用いられた例がほとんど聞かれなかった。

本研究では簡易な現場支持力試験の適用を検討した。施工現場等において载荷試験を行い、平板载荷試験の結果と比較したところ、良い一致が見られた。また、同一地盤に対する結果の再現性も確認された。これは地下水位等の影響がない不飽和な地盤では、载荷速度の違いが载荷圧力と沈下比の関係に与える影響は少ないためと考えられる。

従って、移動式クレーンやくい打機等が使用されるような施工現場の短期的安定評価に対しては、現場支持力試験によって標準試験をある程度補完することが可能であり、支持地盤の安全確保に有効な手段となりうるものと思われる。

謝辞：本研究は平成 19 年度厚生労働科学研究費補助金(労働安全衛生総合研究事業)の交付を受け実施したことにより得られた成果である。関係各位に感謝申し上げます。

#### 参考文献

1)地盤調査法：地盤工学会, pp.345-361, 1999.

## 23. 北海道における情報化施工に関する 現状分析と今後の取り組みへの考察

株式会社 岩崎 企画調査部 ○ 木下 大也  
株式会社 岩崎 企画調査部 進藤 康裕  
株式会社 岩崎 企画調査部 熊谷 大輔

### 1. はじめに

近年、施工の効率化やコスト縮減を目的とした、情報化施工技術が実用化され、普及が進んでいる。情報化施工には様々な技術があるが、その中でもブルドーザやモーターグレーダの排土板を設計データに合わせて自動制御する 3DMC (3次元マシンコントロールシステム) やバックホウのバケットと設計データとの位置関係を表示する 3DMG (3次元マシンガイダンスシステム) の進歩が著しい。これらの 3DMC および 3DMG は、GNSS (Global Navigation Satellite System) や TS (トータルステーション) などを用いた測位技術と 3次元データを活用するのが特徴である。このような情報化施工は、一般的に以下のようなメリットがあると考えられている。

- ① 丁張りが削減されることにより、丁張り設置作業が軽減される。
- ② 従来の丁張りを使用した測点ごとの管理が、3次元データによる面的な管理になることにより、品質が向上する。
- ③ 重機の稼働時間が軽減されることにより、コスト縮減や CO<sub>2</sub> の排出削減につながる。

(株)岩崎では、情報化施工に関する現状と課題を把握するため、2007年からフィールドでの実証実験を行ってきた。また、北海道内における情報化施工の普及に寄与するため、体験実習および講習会を実施してきた。

本論では、このような活動を通じて得られた知見を基に、情報化施工を実施するにあたっての課題と対策や北海道の地域性に対応した情報化施工のあり方について述べる。

### 2. 情報化施工の現状と課題

情報化施工に関する体験実習および講習会の概要を報告するとともに、3DMC および 3DMG を実施する際の課題について以下に述べる。

#### 2.1 情報化施工に関する体験実習および講習会

体験実習は、フィールド内で 3DMC ブルドーザ

(7t, 13t) や 3DMG バックホウ (0.7m<sup>3</sup>) などに搭乗して、情報化施工機器の操作方法を習得する (写真-1)。また、パソコンを操作しながら 3次元データの作成演習を行うコースも選択でき (写真-2)、情報化施工の一連の流れを習得することを目的としている。この体験実習は、2008年6月から2010年6月までに延べ146社392名が参加した。

また、講習会は、情報化施工をはじめ、3次元データの有効性に特化した内容で、2008年2月から2010年5月までに延べ563社2712名が参加した。



写真-1 フィールドでの体験実習



写真-2 3次元データの作成演習

## 2.2 情報化施工の運用面における技術的課題

前述のように、3DMC および 3DMG は、主に以下の技術を活用することでメリットが発揮される。

①GNSS や TS などを用いた測位技術。

②3次元データの作成技術。

従って、施工時においてもこれらの技術に対する理解および習得が重要となる。

しかし、一般的に建設業界においては、GNSS や 3次元データを活用する機会が今まで少なかったこともあり、知識や熟練度が不足しているのが実態である。そのため、情報化施工のメリットを発揮できないばかりか、GNSS や 3次元データがトラブルの要因となる可能性がある。

これに関連して、体験実習におけるアンケートの中で、「情報化施工を実施するにあたって習得したい技術」についての回答結果を図-1 に示す。この中でも、「GPSによる実測」と「3次元データの作成」がともに 12% となっており、利用者にとっても重要な課題となっていると考えられる。

これらのことから、3DMC および 3DMG といった情報化施工を実施するにあたり、GNSS と 3次元データの活用が運用面における技術的な課題と考えられる。

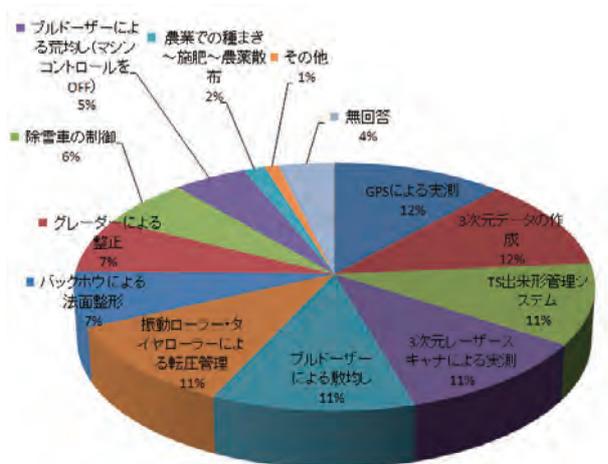


図-1 情報化施工を実施するにあたって習得したい技術 (146社 392名による体験実習アンケート結果より)

## 3. GNSS を利用する際の課題と対策

### 3.1 GNSS の測位方式

GNSS の測位方式としては、情報化施工で一般的に利用される RTK (リアルタイムキネマティック) 方式を対象に考察する。この測位方式は、図-2 に示すように、座標が既知である固定局とブルドーザやバックホウなどに取り付ける移動局のそれぞれにおいて、5個以上の衛星からデータを受信することで、移動局の測位が可能となる。また、固定局から移動局に向けて位置の補正情報を無線で送信する必要がある。

この RTK-GNSS を利用する際の課題と対策について以下に述べる。

### 3.2 衛星に関する課題と対策

RTK-GNSS は、常に 5 個以上の衛星からデータを受信する必要があるが、5 個未満の場合は測位することができない。また、受信できる衛星が 5 個以上であっても、その個数が少ない場合や幾何的配置などにより、精度が悪化する。さらに、衛星の受信状態は 1 日の時間帯によっても変化する。

そのため、GNSS を用いた情報化施工を実施する際には、以下のことが留意点として挙げられる。

- ①施工前に、終日、全施工範囲の衛星受信状態を確認する。受信できない場所がある場合、その場所における施工方法を再検討する必要がある。図-2 のように移動局を持って施工範囲を歩いて確認することも一つの方法である。手元のデータコレクタに衛星の受信個数が表示され、確認することができる。その際、時間や場所による衛星の状況を記録しておくことで、情報化施工実施時に GNSS の不具合があった場合、原因の早期解明につながる。また、地形を考慮した受信可能衛星について、解析ソフトにより推定することで、衛星受信状態を効率よく把握する方法もある。
- ②固定局は、障害物が少なく、衛星からの受信状況が良い場所に設置する。

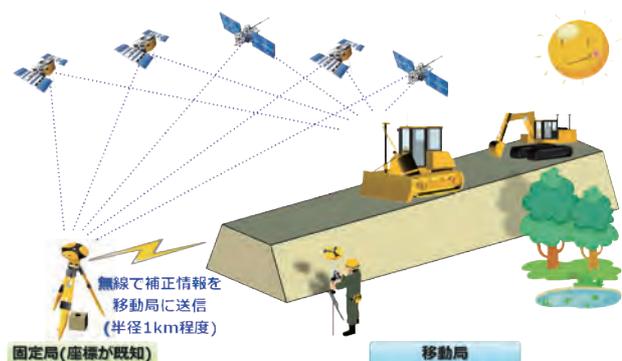


図-2 RTK-GNSS による観測イメージ

### 3.3 無線に関する課題と対策

RTK-GNSS は、固定局から移動局に向けて位置の補正情報を無線で送信している。従って、周囲の無線と混信する場合、GNSS の測位に影響を及ぼすことになるため、以下のことが留意点として挙げられる。

- ①前述した衛星受信状態の確認と合わせて、無線の混信状況を確認する。無線の状況が悪い場合は、良好な周波数を探す必要がある。ワイドバンドレシーバを使用することで、利用する周波数が他に使用されていないかを確認することができる。また、スペクトラムアナ

ライザを用いて、利用する周波数への周囲からの影響を評価することも可能である。

- ②隣接した施工区域においても RTK-GNSS を使用する場合は、事前に利用する周波数を打ち合わせ、混信を避ける。

#### 4. 3次元データを作成する際の課題と対策

##### 4.1 3次元データの概要

情報化施工で用いる3次元データは、図-3に示すようなTINサーフェスが一般的である。しかし、現状の設計図面の多くは、2次元データであることから、3DMCおよび3DMGといった情報化施工を実施するにあたり、設計図面を直接利用することが困難である。そのため、2次元データから3次元データを作成することが必要であり、3次元データの作成を効率化することが課題となる。

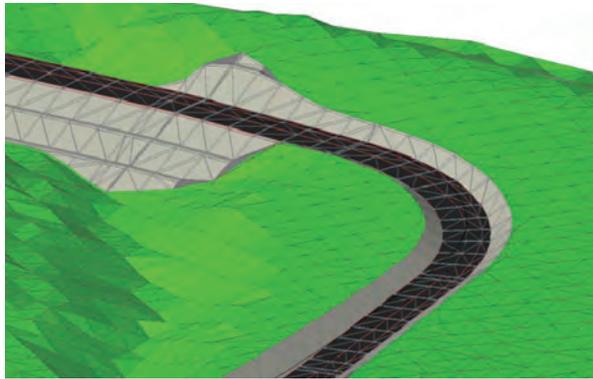


図-3 3次元データのイメージ

##### 4.2 3次元データの作成工数

そこで、表-1に示す4つの方法で、延長1kmの道路データを3次元化し、データの作成工数を比較した。その結果、方法①の作業時間を100とした時の方法②、③、④の作業時間を図-4に示す。これから、方法②、③、④の作業効率が高いことがわかる。ただし、方法④については別途、現況測量などにより現況データを作成する必要がある。この現況データの作成工数は、ここに含まれておらず、現場条件によって、作業方法や作業工数が異なる。また、方法③は横断面図の形状をパソコンの画面で目視確認しながら線形上に配置できるため、入力ミスや操作ミスが少ない。一方、方法①、②、③は、横断面図の数が増える程、工数も増加するのに対し、方法④は、標準断面図から3次元形状を自動計算するため、横断面図の数が工数に影響しにくい。

ただし、3次元データの作成は、対象とするデータの条件（線形形状、縦断形状、横断形状の複雑さなど）、作業者の熟練度などによっても作業効率が異なるため、工数に関して一概に結論づけるこ

とは困難である。

また、3次元データの作成は、表-1に示した方法だけではなく、他にも数多く考えられる。そのため、効率の良さやミスの少ない方法、またソフトウェアに要するコストなどを総合的に勘案して採用方法を定めることが重要であり、今後も3次元データの作成方法を検証する必要がある。

表-1 3次元データの作成方法

方法①	3次元座標をフリーソフトを用いて計算。
方法②	横断形状における変化点の3次元座標を測量CADで計算し、3次元CADに取り込んでTINサーフェスを作成。
方法③	3次元CADを用いて、横断面図を線形上に配置。
方法④	3次元CADを用いて、標準断面図を線形に沿って押し出し、現況に合わせて3次元形状を自動計算。

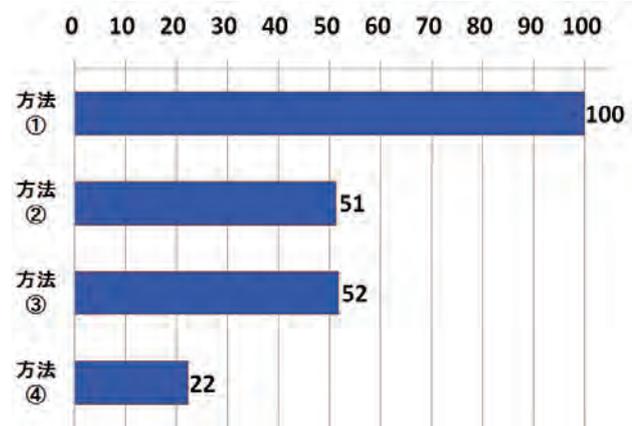


図-4 3次元データの作成工数

##### 4.3 3次元データによる曲線部の誤差

TINサーフェスは、三角形の面データを貼り合わせて作られる。従って、曲線部においては横断面図の間隔が狭い方が、実際の曲線に近い形で表現される。例えば、図-5は半径100mの単曲線区間を3次元データで表現したものであるが、20m間隔の横断面図から作成した3次元データより10m間隔の横断面図から作成した3次元データの方が、実際の曲線に近い。これらのデータを重ね合わせたものを図-6に示す。20m間隔の横断面図から作成された3次元データは、直線補完された部分の誤差が約51cmとなる。このことから、曲線部においては、横断面図の間隔が狭い方がデータの精度が高く、情報化施工実施時においても施工精度に影響を及ぼすと考えられる。一方、メッシュの細かいTINサーフェスを作成すると、ブルドーザやモーターグレーダ、バックホウでの操作において、支障を来す場合があり、必要以上に横断面図の間隔を狭

くすることは避けるべきである。従って、施工精度を確保できる適切な横断面の間隔を設定し、3次元データを作成することが重要となる。その際、図-7にあるように、曲線部がTINサーフェスによって直線補完されるために発生する誤差を計算で求め、3次元データ作成時に活用することができる。参考までに、図-7の数式を幅員3.5mの場合について、グラフ化したものが図-8である。

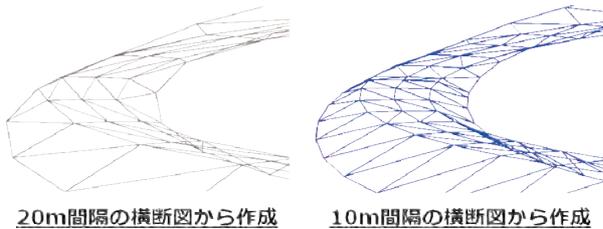


図-5 TINサーフェスにおける横断面の間隔による相違

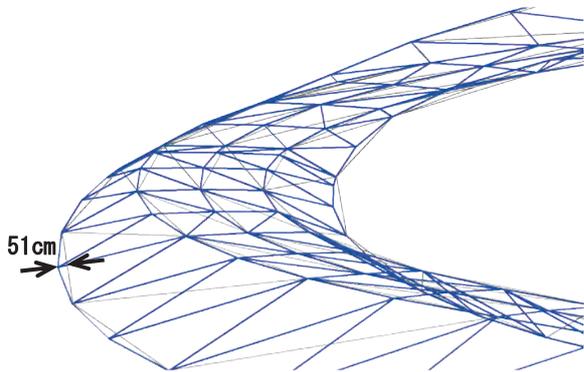


図-6 3次元データによる曲線部の誤差

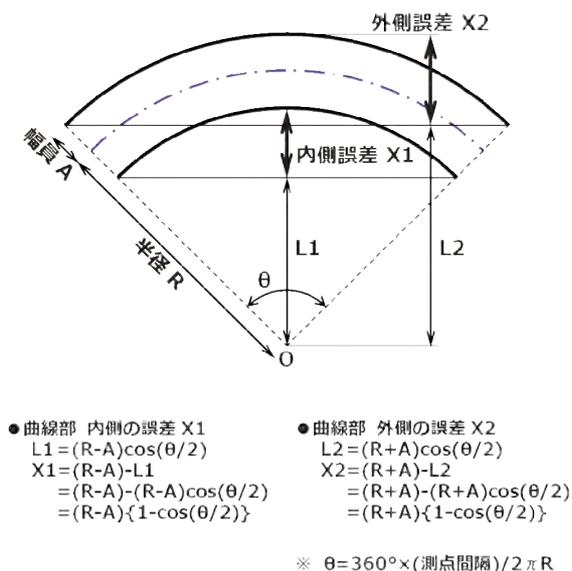


図-7 曲線部の直線補完による誤差

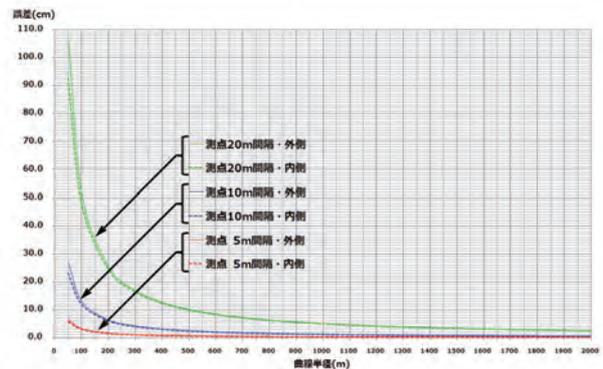


図-8 曲線部の直線補完による誤差（幅員3.5mの場合）

## 5. 地域性に対応した情報化施工

ここまで、北海道内のフィールドを用いた実証実験や体験実習により得られた情報化施工の課題と対策を報告した。これらの対策は、前述した情報化施工のメリットを活かすために重要であると考えられる。さらに、地域性に対応した情報化施工を実施することにより、メリットが増大すると考えられる。例えば、農業分野に着目すると、北海道においては農地の面積が全国の約1/4を占め、農家1戸あたりの経営規模は17.2haで、都府県における平均値の約14倍となる。そこで、近年、農家の減少、高齢化の進行などを背景に、効率的な圃場整備が重要視されており、情報化施工がメリットを発揮すると考えられる。また、冬期の除雪作業などへの応用も今後、期待される場所である。実際、体験実習で実施したアンケートにおいても、「農業機械の無人化」や「冬期施工の効率化」などの意見が得られている。

このように、地域性を考慮した情報化施工を実施できるよう、技術的なメリットや費用対効果などについて、さらに検討が必要である。

## 6. おわりに

近年、少子高齢化により、労働人口が減少し、社会保障費が増大する中、社会資本整備に対する財政的制約が一層厳しくなっている。一方、地球温暖化とそれに起因する自然災害の頻発などにより、社会資本整備の効率化が急務である。情報化施工は、建設生産性を向上させることで、このような状況を打開する可能性を持っている。

また、情報化施工で用いられる3次元データは、作成に労力を要する反面、さまざまな場面で活用できる可能性を持っており、魅力的な仕事を創造することができる。

このようなことを踏まえ、情報化施工技術の更なる発展と普及に寄与できるよう取り組んでいきたい。

## 24. エコ運転指導を支援する

### ダンプトラック ICT 運行管理システムに関する研究開発

(株)キック

渡辺建設 (株)

(株)キック

○才原 勝敏

渡邊 伊三郎

西垣 重臣

#### 1. はじめに

建設発生土、骨材、コンクリートなどの運搬に用いられるダンプトラックのエコ運転を励行するために、急発進と急加速の回避、一定速度の走行、点検整備の充実などの定性的な指導が運転手に対して行われる。しかし、運転手の運転性向を定量的に把握して、エコ運転の励行を指導する事例は希薄である。本論文では、ダンプトラック運転手の運転性向を定量的に記述し、評価する方法について述べる。まず、関連する諸研究開発について報告する。つぎに、本研究開発の目的、トレーニング・データの解析と考察、運転性向の特性値と評価方法について述べる。そして、具現化したシステムの機能とその現場適用事例について報告する。最後に、まとめと今後の課題を示す。

#### 2. 関連する研究開発

本論文に関連して行ってきた諸研究開発について報告する。

これらの研究開発は、「環境に優しい、生産効率のよい、安全な施工を実現するために、安価でポータブルなフィールド・データの計測装置とその計測データの自動収集機能、並びに効率的かつ効果的なデータ交換と情報の利活用を促進するプラットフォームを提供する。」ことを目標としている。これらの研究開発の対象は、建設発生土、骨材、コンクリートなどに関わる積込、運搬、荷下ろしなどの個々の作業とこれらの作業で構成される施工プロセスである。

まず、データの一元管理、施工管理情報の自動作成などの役割を担う施工情報管理システムの研究開発を行った<sup>1)</sup>。つぎに、作業現場においてフィールド・データを計測・自動収集し、一時保存管理するための作業時点情報管理の研究を行った<sup>2)</sup>。そして、現在、つぎに示す3つの研究開発を行っている。

(1) 積込、運搬、荷下ろしなどの一連の施工プロセスに関する生産性のラインバランス、並びにダンプトラック運転手の運転性向を定量的に記述する

方法<sup>3)</sup>、

(2) 情報通信が遅延/途絶する過酷な作業環境においても耐えられるデータ交換と作業状況実時間遠隔監視に関する情報技術<sup>4)</sup>、そして

(3) 建設機械の作業効率とオペレータの操作性向を定量的に記述する方法<sup>5)</sup>。

これら研究開発では市販の情報通信機器類をフィールド・データの計測装置として使用している。ここでは、建設機械や車両のメーカー仕様に依存しない、安価でポータブルな情報通信機器類の選択に努めている。さらに、システム機能の開発に際して、選択した情報通信機器類の仕様に可能な限り依存しないように努めている。この事由は、情報通信技術の発展に対応していくために、情報通信機器類の取替えを容易にすることにある。

#### 3. 目的

エコ運転の励行を図るためには、働き手のコンストラクタビリティ(constructability)とヒューマンウェア(humanware)の向上が重要である。コンストラクタビリティとは、プロジェクト全体の目的を達成するために、計画、エンジニアリング、調達、建設作業に係る施工知識と経験を最適に活用することである<sup>6)</sup>。ヒューマンウェアとは、リーダーシップ(leadership)機能とフォロワシップ(followership)機能、そして両者の相互作用を集合的に示す用語である<sup>7)</sup>。

本研究開発は、ダンプトラック運転手の運転性向に関する定量的な指標とその評価方法を提供し、ヒューマンウェアの向上を図ることを目的とする。この指標は、生産性の向上と環境に優しい作業の励行を目的とした指導・指示を行う元請職員や職長のリーダーシップ、並びに安全で環境に優しい運転を励行する運転手のフォロワシップの向上に役立つと期待される。ここで、運転性向とは運転の振る舞いであり、運転手の運転態度やスキルを示す。

#### 4. トレーニング・データによる解析と考察

GPS ロガを車載した乗用車を使用して3日間の試行運転を行い、運転性向把握方法を検討するためのトレーニング・データを生成した。

この試行運転条件をつぎに示す。

- (1) 2010年1月13日：正規ルートを通常走行した。
- (2) 2010年1月14日：指定外ルートを通常走行した。

このルートは、走行車数が少なく走行条件のよい道路であった。速度を出しやすく、アクセルとブレーキの操作をあまり切り替えずに、運転することができた。

- (3) 2010年1月14日：正規ルートをラフに走行した。

このトレーニング・データの解析と考察を試みた。ここでの考察の視点をつぎに示す。

- (1) 標準偏差の値は分布のバラツキの大きさを示す。

解釈：

- ① 標準偏差値が小さい場合、アクセルやブレーキを緩やかに踏む傾向がある。
- ② 標準偏差値が大きい場合、アクセルやブレーキを強く踏み込むことがある。

- (2) 加速度の歪度

歪度は分布の歪みを示す尺度である。

- ① 正の歪度は分布の形が右に歪んでいることを示す。

解釈：小まめにブレーキを踏むことが多く、アクセルを急に踏む傾向がある。

- ② 「0」近傍の歪度は分布の形が左右対称になっていることを示す。

解釈：加速と減速の仕方が同じである。

- ③ 負の歪度は分布の形が左に歪んでいることを示す。

解釈：小さな加速が多く、ブレーキを強く踏む傾向がある。

- (3) 躍度は瞬間的な(単位時間当たりの)加速度の変化を表す。

解釈：躍度の大きな値は搭乗者に不快感を与え、運転の粗暴性または運転技術の未熟性を示す。

- (4) 平均躍度自乗和

平均躍度自乗和は発生した力の変化の大きさを示す一つの尺度である。平均躍度自乗和を次式により求める。

$$ASJ = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n J_i^2 \quad (1)$$

ここで、ASJ：躍度の自乗和の平均値、 $J_i$ ： $i$ 番目の躍度の観測値、 $n$ ：サンプル数である。

解釈：

- ① 平均躍度自乗和が小さい場合はエネルギー効率のよい運転をしていることを示す。

- ② 平均躍度自乗和が大きい場合はエネルギー効率の悪い運転をしていることを示す。

- (5) 速度の平均交叉率

平均交叉率とは、計測データがその平均値を跨いだ回数を示す。平均交叉率を次式で求める。

$$mcr = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{|\operatorname{sgn}(x_i - \bar{x}) - \operatorname{sgn}(x_{i-1} - \bar{x})|}{2} \quad (2)$$

ここで、 $mcr$ ：平均交叉率、 $x_i$ ： $i$ 番目の観測値、

$n$ ：はサンプル数、 $\bar{x}$ ：平均値、 $\operatorname{sgn}$ ：符号関数である。

解釈：

- ① 平均交叉率が少ない場合は等速走行をしていることを示す。

- ② 平均交叉率が多い場合は、アクセルとブレーキの操作を交互に繰り返すことが多く、運転技術の未熟性を示す。

このトレーニング・データの解析と考察結果をつぎに示す。

走行速度、加速度、躍度、加減速回数の推移グラフを図-1に示す。この推移グラフでは、加速度と躍度の最小値を絶対値で描いてある。

運転性向の考察結果をつぎに示す。

- (1) 正規ルートを通常走行した初日の運転

- ① 速度と加速度の値は平常的なものである。
- ② 加速度の最大値と減速度の最小値の絶対値がほぼ等しい。しかし、躍度の最大値は最小値の絶対値より大きい。さらに、躍度の値と加減速回数の値が大きいことから、

「アクセルとブレーキの操作の切り替えしが多いこと、そしてブレーキよりもアクセルを急に踏む運転をしている。」ことがみてとれる。

- (2) 指定外ルートを通常走行した2日目の運転

- ① 最高速度の値が3日間の中で最も大きい。
- ② 減速度最小値の絶対値は加速度の最大値より大きい。さらに、
- ③ 躍度と加減速回数の値が3日間の中で最も小さい。

結果として「走行条件のよい道路で、速い速度で安定した走行をしている。」ことがみてとれる。

- (3) 正規ルートをラフに走行した最終日の運転

- ① 加速度の標準偏差の値が3日間の中で最も大きい。
- ② 加速度の歪度の値は、他の日は「0」近傍であるのに対して、負である。

これらのことから、「アクセルを小刻みに繰り返し、ブレーキを急に踏み込んでいる。」とみてとれる。

- ③ 減速度最小値の絶対値が加速度の最大値より大きい。同時に
- ④ 躍度最小値の絶対値がその最大値より大きい。これらのことから、「ブレーキを急に踏んでいる。」

ことがみてとれる。さらに  
 ⑤ 速度の加減速回数が大きい。  
 これらのことから、「最終日の運転が3日間のうち  
 で最も粗暴なものである。」とみてとれる。

これらの考察結果は前述した試行運転条件とよく  
 整合している。

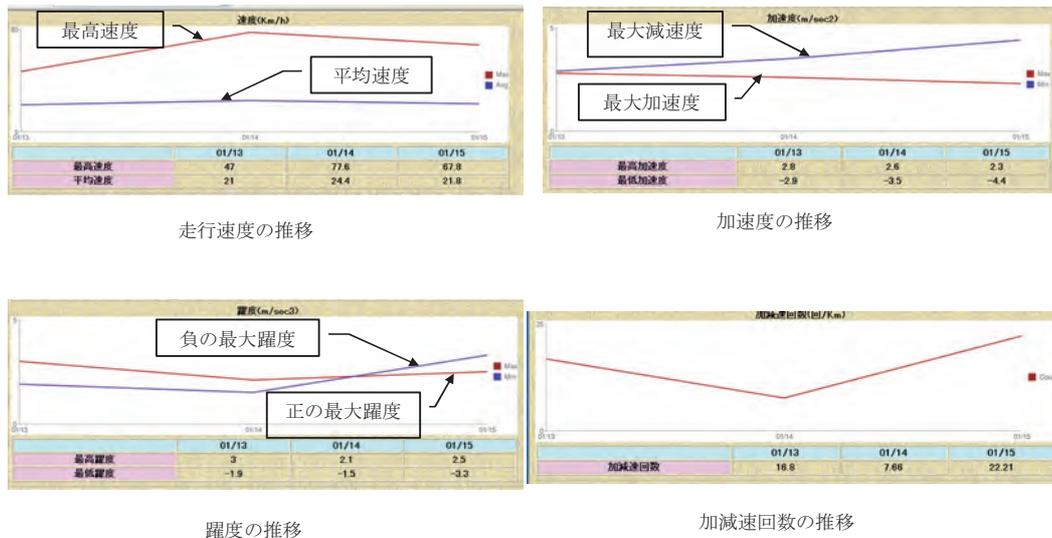


図-1 走行速度、加速度、躍度、加減速回数の推移グラフ

### 5. 運転性向の評価方法

トレーニング・データの解析と考察結果を踏まえて、運転性向を表現する特性値として、つぎのものを追加する。

- (1) 加減速回数を評価するための加速度の平均交叉率
- (2) 加速度の変化の分布形状をみるための躍度の歪度

これらの特性値に関する評価方法を以下に示す。

個々の運転手の特性値と運転手全員を対象にした特性値を比較し、運転性向をつぎのように評価する。

- (1) 各運転手の平均速度を全体の平均速度と比較する。この平均速度が全体平均速度より速いときは、この運転手は速い速度で走行する傾向がある。
- (2) 加速度と正の躍度について、該当する全体の分布の第三・四分位数より大きい値の頻度が多いとき、この運転手はアクセル操作が粗暴である。
- (3) 減速度と負の躍度について、該当する全体の分布の第一・四分位数より小さい値の頻度が多いとき、この運転手はブレーキ操作が粗暴である。
- (4) 平均躍度自乗和の値が該当する全体の分布の平均躍度自乗和の値より大きいとき、この運転手はエネルギー効率の悪い運転をしている。逆に、小さいときは、この運転手はエネルギー

効率のよい運転をしている。

(5) 速度と加速度の平均交叉率が全体の平均交叉率より大きいとき、この運転手は走行速度が不安定な運転をしている。逆に小さいとき、この運転手は運転技術に優れ、安定した走行速度で運転をしている。

(6) CO2 排出量が該当する全体の分布の第三・四分位数より大きいとき、この運転手はエネルギー効率の悪い運転をしている。

(7) CO2 排出量が該当する全体の分布の第一・四分位数より小さいとき、この運転手はエネルギー効率のよい運転をしている。

違反有無については、つぎのように判断する。

- (1) 最高速度が法定速度を超えると、交通規則に違反している。
- (2) つぎのような運転は、建設現場が定める運搬規則に違反している。

① 指定された運搬ルート以外を走行している。

② 指定された待機場所以外に停車している。

ここで、待機場所とは、積込または荷下ろしの作業を待つために、あらかじめ指定された場所をいう。但し昼食時や休憩時に駐車場に駐車している場合を除く。

表-1 に示すように、加速度と躍度のそれぞれの歪度の正、「0」近傍、負などの組み合わせにより運転性向を評価する。

表-1 加速度と躍度の歪度の値の評価方法

加速度の歪度	躍度の歪度	評価
正	正	小まめなブレーキ操作が多い。時に急加速することがある。
	「0」近傍	小まめなブレーキ操作が多い。加速と減速ともに緩やかな運転をしている。
	負	小まめなブレーキ操作が多い。時に急ブレーキをかけることがある。
「0」近傍	正	加速は急な、しかし減速は緩やかな運転をしている。
	「0」近傍	加速と減速ともに緩やかな運転をしている。
	負	加速は緩やかな、しかし減速は急な運転をしている。
負	正	小まめなアクセル操作が多い。時に急加速することがある。
	「0」近傍	小まめなアクセル操作が多い。加速と減速ともに緩やかな運転をしている。
	負	小まめなアクセル操作が多い。時に急ブレーキをかけることがある。

とで閲覧できる。

(6) 運転手は携帯電話を利用して、自らの運転性向を確認できる。

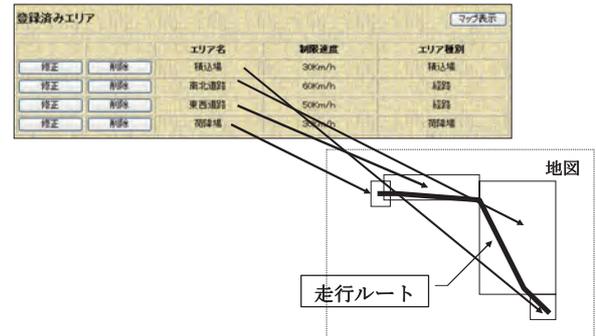


図-2 走行ルートの管理区域の設定例



図-3 一覧表の画面例

## 6. システム機能

特性値の計算と比較、そして、評価結果の出力を、取得したGPSデータに基づいて、自動的に行うシステムを開発する。システムの個別目標をつぎに示す。

- (1) データ解析と管理諸表作成を時間駆動型で自動的に行う。管理諸表は日報、週報、旬報、月報などの単位で作成できる。
- (2) 道路幅員、車線数、カーブ、交差点、通学路、人口集中地区 (Densely Inhabited District)、待機場所などの道路周辺環境を考慮して、走行ルートを区画割りし、管理区域として登録することができる。走行ルートの管理区域の設定例を図-2に示す。
- (3) 特性値を管理区域ごとに整理して一覧表として表示できる。この一覧表の画面例を図-3に示す。
- (4) 運転日報に記述される燃料補給量に基づいてCO2排出量を自動計算する。
- (5) 利用者は、出力結果であるデータ解析結果一覧表、走行履歴の地図上表示、データ解析結果のグラフ表示などを、該当ボタンを押下するこ

## 7. 現場適用事例

今まで述べてきた考え方と開発したシステムを、その有効性を検証するために、宅地造成工事の盛土材搬入工に適用している。盛土材搬入に用いられるダンプトラック台数は5台である。走行距離は片道約20kmである。作業開始後5日間の特性値の推移を以下に示す。3日目(8月9日)の夕方に、作業開始後2日間(8月6日と8月7日)のGPSデータ解析結果を運転手に配布した。

平均速度の推移を図-4に示す。走行ルートの途中にバイパス道路(基本2車線、一部3車線)があり、この区間で最高速度が発生している。8月10日と8月11日の最高速度及び平均速度は特に減少している。

図-5に加速度の最大値と最小値の推移を、図-6に躍度の最大値と最小値の推移を示す。つぎに、加減速の平均交叉率の推移を図-7に示す。そして、平均躍度自乗和の推移を図-8に示す。

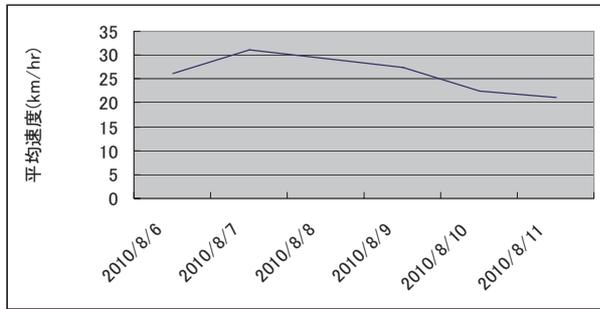


図-4 平均速度と最高速度の推移

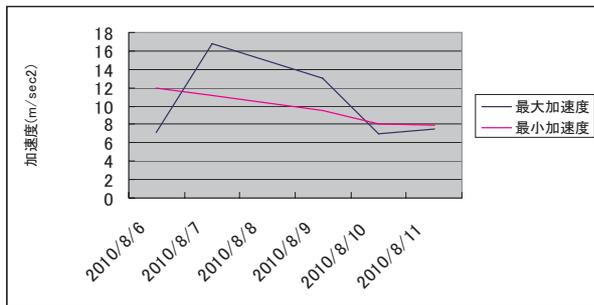


図-5 加速度の最大値と最小値の推移

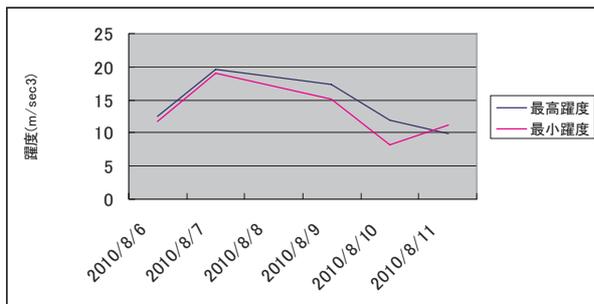


図-6 躍度の最大値と最小値の推移

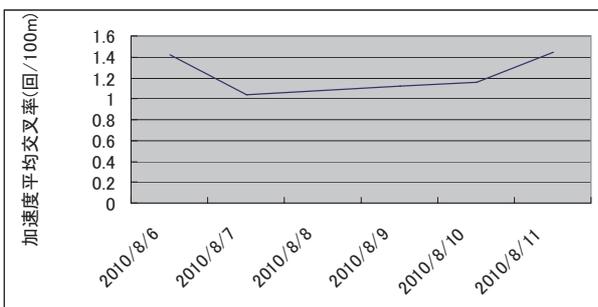


図-7 加減速の平均交叉率の推移

図-5 と図-6 においては、最小減速度と最小躍度を絶対値で描いている。加速度と躍度は減少傾向を示している。

加減速の平均交叉率の値は、100m 当たり 1.04 回から 1.45 回であり、交通量を考慮すると特に

多いとはいえない。ブレーキ操作の時間は短く、アクセル操作にて速度を調整しているとみられる。

平均躍度自乗和は減少傾向にある。特に 8 月 10 日と 11 日の減少が顕著である。前述したように、平均躍度自乗和は力の変化の大きさを示す一つの尺度である。最後の 2 日間はエネルギー効率のよい運転をしているといえる。

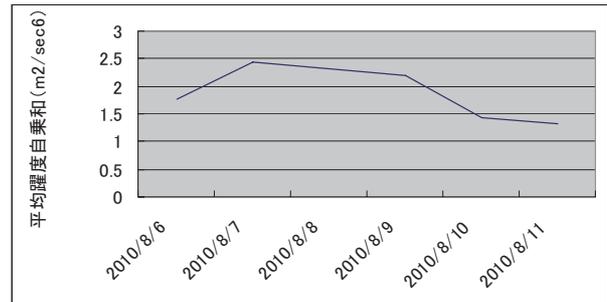


図-8 平均躍度自乗和の推移

これまでのことから、GPS データ解析結果を運転手に配布した後に、各特性値の値が減少していることが分かる。これは、運転性向指標を運転手にフィードバックすることで、自らの運転の仕方を振り返る機会を得て、彼らの運転性向が変化したことを示す。

個々の運転手の特性値が、運転手全員を対象とした特性値の第三・四分位数を超える観測値と、第一・四分位数を下回る観測値を数え上げ、それぞれのサンプル数に対する比率を算出する。個々の運転手の特性値が、運転手全員を対象とした特性値と同じように分布しているとき、第三・四分位数を超える割合と第一・四分位数を下回る割合は 25% 近傍の値になる。

躍度の第三・四分位数を超える割合を表-2 に、躍度の第一・四分位数を下回る割合表-3 に示す。速度と加速度の第三・四分位数を超える割合と第一・四分位数を下回る割合は、紙面の都合上割愛する。

この四分位数との比較分析から、つぎに示す運転性向が分かる。

- (1) 運転手 D の運転操作は、8 月 7 日を除き、走行速度、並びにアクセルとブレーキの操作が安定している。他の運転手と比較して、急加速と急減速は少ないとみられる。運転手 5 人の中で、運転手 D は最も安定した運転操作をしている。
- (2) 運転手 E の運転操作は最も粗暴である。運転手 E は、他の運転手と比較して速度が速いことが多く、アクセルを踏み込み過ぎる傾向がある。さらに、急発進すること、及び急ブレーキをかけることが多い。

(3) その他の運転手の運転操作は、走行速度が不安定であり、アクセルとブレーキの操作の切り替えが多い。そして、急発進することや急ブレーキをかけるときがある。

表-2 躍度の第三・四分位数を超える割合

運転手名	8/6	8/7	8/9	8/10	8/11
A	26.5	26.6	27.2	22.6	30.9
B	28.6	24.5	26.3	26.2	24.7
C	14.2	24.8	20.5	32.5	20.7
D	21.3	26.7	20.7	21.4	20.8
E	28.4	25.7	26.0	32.4	25.6

表-3 躍度の第一・四分位数を下回る割合

運転手名	8/6	8/7	8/9	8/10	8/11
A	24.2	23.5	25.9	19.5	28.8
B	31.7	26.3	28.9	27.6	27.1
C	17.3	27.0	21.9	33.5	20.1
D	23.6	27.8	23.6	23.4	21.9
E	31.4	28.1	27.8	33.8	27.8

これらの割合を考察することで、運転手の運転性向を把握することができる。

本システムの適用により運転性向がどのように変わったかをみるために、5日目の作業終了時に、運転手全員に対してアンケート調査を行った。その結果によると、運転手の意識につきのような変化がみられた。

- (1) 運転手全員が、アクセルとブレーキを強く踏みすぎないように注意し、急に加速しない、及び急に減速をしないように心がけている。
- (2) 車間距離、歩行者、駐車車両などに注意し、強気の運転をしなくなった。

## 7. まとめと今後の課題

本研究開発で示した特性値は、運転性向をよく表現する。そして、本システムは、職長や元請職員に、エネルギー消費の節減に努め、環境に優しい運転を指導することを目的とした定量的な指導指標を提供するとともに、各運転手に自らの運転を振り返る機会を与える。

今後の課題をつぎに示す。

(1) 運転性向評価を簡易に提示することを目的とした運転性向評価カード提示機能を開発する。運転性向評価カードのイメージを図-9に示す。図中に示した「作業効率のよいエコ運転」とは、

- ① 走行速度の標準偏差の値が小さい。
- ② 加速度と躍度の歪度の値は「0」近傍にある。
- ③ 平均躍度自乗和の値は小さい。

- ④ 速度と加速度の平均交叉率の値が小さい。
- ⑤ 交通規則及び建設現場が定めた運搬規則に違反しない。

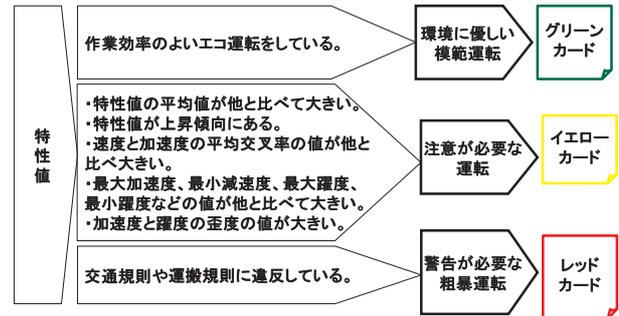


図-9 運転性向評価カードのイメージ

(2) 土運搬の前・後工程において使用される建設機械に関して、ポータブルな機械稼働管理方法とオペレータの操作性向の記述方法について研究し、必要な諸機能を開発する。

## 参考文献

- 1) S. Nishigaki, H. Sugiura, T. Takamura, H. Ogura and K. Hatori: "Study on Framework of Construction Profile for Collaboration and Intelligent Construction," Journal of Applied Computing in Civil Engineering, Vol.14, pp. 287-298, 2005.
- 2) S. Nishigaki, K. Saibara, F. Matsuda, H. Ogura: "Points on Construction," 25th ISARC 2008, Vilnius, Lithuania, pp. 796-803.
- 3) S. Nishigaki, K. Saibara, Y. Kaneda, T. Oka, M. Hasegwa, H. Ogura, F. Matsuda (2010): "Line Balance and Drive Bearing in Haulage Work," 27th ISARC 2010, Bratislava, Slovakia, pp. 316-325.
- 4) S. Nishigaki, K. Saibara, S. Kitahara, H. Satoh, M. Hasegwa, H. Ogura, F. Matsuda: "LHD Remote Monitoring and Management based on Delay/Disruption Tolerant Network," 27th ISARC 2010, Bratislava, Slovakia, pp. 326-335.
- 5) S. Nishigaki, K. Saibara, S. Kitahara, M. Moteki: "Work Efficiency Evaluation Model," 27th ISARC 2010, Bratislava, Slovakia, pp. 336-345.
- 6) Construction Industry Institute Publication Nos.: 3-1 - Constructability: A Primer, July 1986.
- 7) Nishigaki, S., Vavrin, J., Kano, N., Haga, T., Kunz, J. and Law, K.: "Human ware, Human Error, and Hiyari-hat: a Template of Unsafe Symptoms," Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 120, No. 2, pp. 421-442, 1994.

## 25. 情報化施工のレンタル対応と適応性

### 情報化施工の普及の鍵となるレンタル対応について

(株)トプコン

○ 竹内 幸弘

#### 1. はじめに

情報化施工は ICT(情報通信技術)の活用により、建設事業の調査、設計、施工、監督・検査、維持管理のうち建設生産の「施工」のプロセスにおいて建設現場での高効率・高精度な施工を実現し、さらに建設生産プロセス全体における生産性の向上や品質の確保を図ることを目的としたシステムである。(図-1 参照)国土交通省が設置した「情報化施工推進会議」は、2008年7月に「情報化施工推進戦略」を発表し、今後の情報化施工の普及目標として直轄の道路土工、舗装工、河川土工の各工事において、大規模工事は2010年度までに、中・小規模工事は2012年度までに、情報化施工を標準的な施工・施工管理方法として位置付けることを決定した。情報化施工の本格的な普及のためには、大規模工事への採用が主だった情報化施工を中・小規模工事へ普及することが必要かつ今後の大きな課題と考える。そこで建設機械のレンタル使用率の高い建設業界において、情報化施工のレンタル対応が普及の大きな鍵となると考え、”情報化施工のレンタル対応と適応性”を検証し、国内情報化施工の普及に繋がる提案を行う。



図-1 建設作業の生産性の向上を図る情報化施工

#### 2. 3次元マシンコントロール／ガイダンスと舗装業界への情報化施工の広がり

ブルドーザ、モータグレーダ、フィニッシャー、油圧ショベルなどの建設機械の排土板やスクリッド、バケットの刃先の3次元座標を、GPSや自

動追尾トータルステーション等の機器を用いてリアルタイムに計測し、入力された3次元データと照合し、仕上げ面に対して掘削運搬装置の自動制御または表示の補助を行う3次元マシンコントロール／ガイダンスは、3次元設計データを使用した面の管理で施工面全体の均一かつ高精度な施工が可能となり、現場全体の品質、施工効率、仕上がり精度の向上、施工直後の検測作業の省力化と安全性の向上を実現する。従来のRTK-GPSを使用した3次元マシンコントロールシステムは、複数機器での高効率な運用が可能であるがGNSS衛星情報を利用する特性から高さ精度の限界があり、道路施工などの高精度を要求される施工では自動追尾トータルステーションを使用したLPS3次元マシンコントロールシステムシステムが採用されていたが制御される建設機械と同数のトータルステーションが必要である。長年、高効率と高精度を両立するシステムが望まれていたが、ポジショニング技術の発展により、10mの高低幅をもったレーザー発光器(ゾーンレーザー)の使用でGPSの高さ精度を補完し、舗装工事で求められる高精度を可能にしたmmGPSが開発され、近年、舗装業界においても大手舗装会社を中心に情報化施工の普及が進んでいる状況である。

#### 3. 中・小規模工事への情報化施工の普及と情報化施工試験施工実施状況

情報化施工の3次元マシンコントロールシステムは2000年頃から大規模な水力発電所、ダム、道路工事、民間における造成工事、空港や港湾などの土木工事での採用が始まり、アルジェリア国高速道路建設プロジェクトにおいても採用された。今後重要な課題となる中・小規模工事への情報化施工の普及を検討する前に、国土交通省直轄工事等契約関係資料平成21年度版(平成20年度実績)より大規模／中・小規の土木工事比率を調べた結果を記載する。

##### 3.1 国土交通省直轄工事、地方整備局の割合

平成20年度国土交通省直轄工事のうち、(港湾空港を除く)地方整備局が占める割合は、件数で5

7%、当初契約金額で78%である。(図-2 参照)  
 そのうち、情報化施工の採用が可能な一般土木工事が件数で38%、金額で57%、アスファルト舗装工事が件数で7%、金額で8%を占める状況である。(図-3 参照)

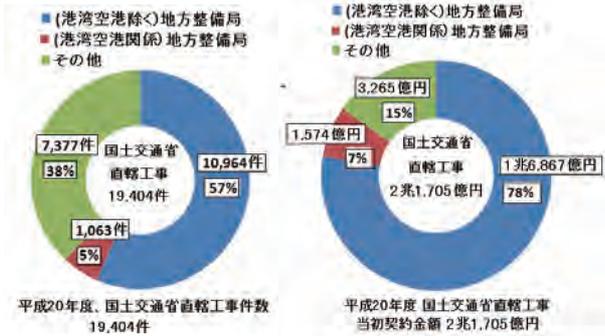


図-2 国土交通省直轄工事のうち地方整備局の割合

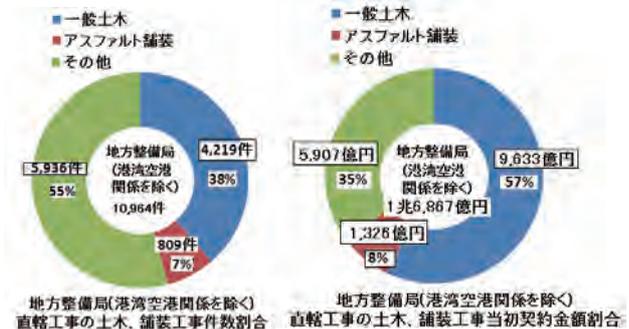


図-3 地方整備局直轄工事の一般土木とアスファルト舗装の割合

### 3.2 一般土木工事の大規模、中・小規模工事割合

地方整備局の一般土木工事(港湾空港を除く)の等級別契約割合より、工事等級A、B合計を大規模工事(3億円以上)と規定すると、件数で8%、当初契約金額で45%。工事等級C、Dを中・小規模工事と規定すると、件数で92%、当初契約金額で55%を占めることから情報化施工の中・小規模工事への普及推進が今後の課題と考えらる。(図-4 参照)



図-4 地方整備局の土木工事(港湾空港を除く)の等級別契約割合

### 3.3 情報化施工試験施工実施状況

国土交通省は、情報化施工普及のため、積極的に情報化施工試験を実施している。情報化施工試験実施状況について実施件数と導入技術のグラフを記載する。(図-5、図-6 参照)

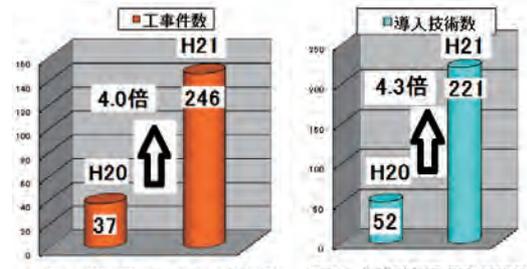


図-5 情報化施工試験施工試験施工件数



図-6 地域別試験施工件数と導入技術数

### 4. 建設機械のレンタル割合と、レンタル対応の情報化施工機器の提供

日本の建設業界は、建設機械の稼働していない期間のメンテナンス、保管費用などの経費節減の為、基本的に資産を所有しない体制を求められている。大規模工事は長期に渡って建設機械の稼働率が上がるため、自社所有の割合が多くなるが、中・短期工事では、運用面でレンタルの使用が有効となる。建設機械の購入業者比率は、建設業よりリース業等の方が高い比率となっている。(図-7 参照)

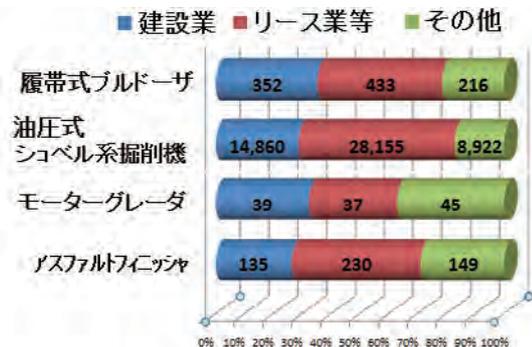


図-7 建設機械購入の業種比率 (H17年度) 経済産業省、建設機械動向調査より

レンタル会社の機械の貸出期間は、平均6カ月程度の期間が多い。これは国土交通省の発注工事の期間に合わせたレンタル利用が多い点と、建設機械の効率的な運用の点から、工事に必要な機器の

数量、種類に合わせてレンタルを利用するためである。

### 5. レンタル会社の情報化施工取組み

今後、情報化施工の普及と共に、建設機械と同様に情報化施工機器についてもレンタルが増える傾向となることが予想される。情報化施工の機器を取り扱う当社においても、近年レンタル会社への情報化施工機器の販売数および、情報化施工機器を新規に取り扱うレンタル会社の数も増加している。レンタル会社が情報化施工機器を貸し出す時には、他の重機の貸し出しと比較して以下の対応が必要となる。

- (1) 現場の下見、状況の確認。
- (2) 現場で使用する機械の提案。
- (3) 情報化施工、現場立ち上げ。
- (4) 3次元設計データの作成補助
- (5) 導入指導、データ入力・操作方法説明。
- (6) 現場管理者またはオペレータが慣れるまで必要なサポート実施。
- (7) 不具合発生時の対応。

特に、情報化施工を初めて導入するユーザに対しては、サポート業務が必須となっている状況である。レンタル会社の情報化施工サポートを利用する場合の費用は現場の規模など状況により変化するが、以下にレンタル会社の情報化施工サポート内容、人数、日数の例を記載する。(表-1 参照)

表-1 情報化施工のサポート指導の例

情報化施工機器設置およびシステム取扱指導	
事前現場調査	技術員 1名×1日
システム取付調整	技術員 2名×2日
システム取扱指導	技術員 1名×1日
3次元設計データ調査	技術員 1名×1日
設計データ作成指導	技術員 1名×2日
技術員合計 9人・日	

レンタル会社各社は、情報化施工のレンタル数量増加の為、サポート人員の増員と育成が最重要の課題となっている。

### 6. 情報化施工のレンタルによる生産性向上

#### 6.1 情報化施工機器のレンタルの例

レンタル費用は、現場の規模など、状況により変化するが、日経コンストラクション2010年6月25日号、「勝つための情報化施工」に掲載された砂子組（北海道奈井江町）の情報化施工導入例を引用し、考察を行う。

情報化施工を始めて導入したコスト成果は、従来施工と比較して全体で831万円増加の結果となった。情報化施工機器類に掛る費用、レンタル

料2400万円増加。機材費399万円減少。人件費は1170万円と大幅に減少した。(図-8 参照) 情報化施工による効率化は、1日の仕上げ面積で3D-MCブルドーザー2.6倍、3D-MG油圧ショベル1.3倍の施工効率向上の結果となった。(図-9 表-2 参照)

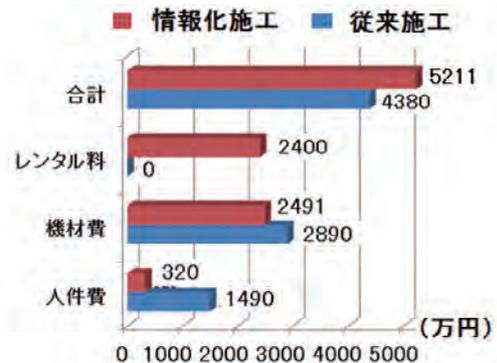
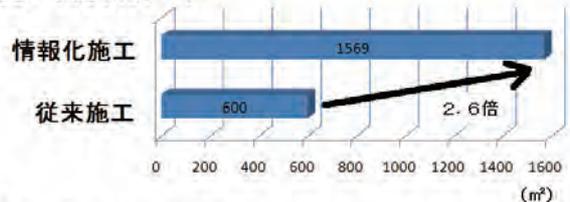


図-8 従来施工と情報化施工 コスト比較

出典：『日経コンストラクション』2010年6月25日号  
資料提供：砂子組

#### 3D-MCブルドーザー



#### 3D-MG油圧ショベル

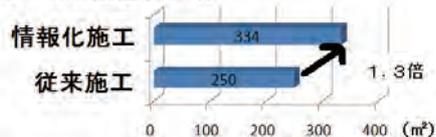


図-9 従来施工と情報化施工 仕上げ面積比較

出典：『日経コンストラクション』2010年6月25日号 資料提供：砂子組

表-2 情報化施工と従来施工比較

項目	1. 3D-MC 3tブルドーザー1台 路床仕上げ 面積2万9807m²	
	従来施工	情報化施工
施工日数および、 施工短縮日数	37~50日	19日 18~31日短縮
仕上げ面積/1日	600~800m²	1569m²
項目	2. 3D-MG 0.7m³油圧ショベル2台 法面整形 面積3万6137m²	
	従来施工	情報化施工
施工日数および、 施工短縮日数	144~180日	109日 35~71日短縮
仕上げ面積/1日	200~250m²	334m²

出典：『日経コンストラクション』2010年6月25日号 資料提供：砂子組

#### 6.2 コスト削減の方策

本例では、情報化機器を6か月レンタルした結

果、施工効率が向上したが、コスト合計が従来施工と比較し、831万円増加という結果となった。そこで本例でのコスト削減の方策について考察する。ただし条件として、継続的に情報化施工を導入した2回目以降のコスト削減について検討するものである。

#### (1) 初期導入費削減

情報化施工の2回目以降の導入時に同じ重機を継続的に使用する場合、重機取付け費用などの初期導入費用が不要となる。3D-MCドーザー2セット初期費用、3D-MG油圧ショベル2セット初期費用を削減できる。

#### (2) サポート費用削減

情報化施工の取扱いを継続的、計画的に習得する事が重要となる。日本建設機械化協会施工総合研究所主催の情報化施工研修会受講等により情報化施工に関する技術を建設業者自ら身につけ、サポート費用を必要最小限にする。受講費用、実務コース(88,000円/人)。2名で17,600円。初回はサポート費用が必要となるが、2回目、3回目で取り扱いを習得し、その後は、サポート費用の負担を軽減できる。

#### (3) 工期短縮による費用縮減

情報化施工採用と合わせ、建設現場作業の材料供給、運搬、施工重機工程、台数、人員の最適化を行い、建設工事全体の施工効率化を行う。本例は6ヶ月レンタルした場合の費用算出結果であるが、3DMCブルドーザによる施工日数短縮が18日~31日、3D-MG油圧ショベル2台による施工日数短縮が、35日~71日となっている。

(表-2参照) 情報化施工機器を使いこなすオペレータを2回目以降にも継続して採用することが条件となるが、施工の予備日も含め、情報化施工のレンタル期間を5ヶ月間に短縮可能と考え、1ヶ月間短縮した分のレンタル費用の削減ができる。

#### (4) VRS利用によるGNSS基地局コスト削減

VRSの利用によりGPS基地局のレンタル料を削減できる。また、インターネットを通じて補正データ配信を行う『Ntrip』方式では、インターネット環境が整った現場などで補正情報を取得し無線配信することも可能である。

#### (5) 所有建設機械のレンタル対応化

施工業者が所有する建設機械に比較的安価なバルブやブラケット、センサー類を取り付けておけば、コントロールボックスやGPS-BOX、トータルステーションなどのメイン機器のみレンタルすることにより、レンタル費の削減はもとより取付費用の削減や取付時間の短縮につながる。最近では建設機械メーカーでバルブやブラケットのビルトインタイプも既に発売されている。

### 6.3 検証結果

これらの方策により情報化施工機器のレンタル

対応でも従来施工との比較で、同等以上のコストに抑えることが可能と考えられる。(図-10参照)

なお、この試算はレンタル費用の圧縮のみで工期短縮に伴う人件費、その他の経費削減については、含まれていない。また、ICT施工は、3次元デジタル設計データを活用するため、設計→施工→現場管理→検査までのデータの一元管理が出来るため施工プロセス全体の最適化が図れるとともに安全性の向上やCO2削減にもつながり、人件費や機材費などの直接費用とは別に間接的な費用、目に見えない費用の削減にもつながると考えられる。

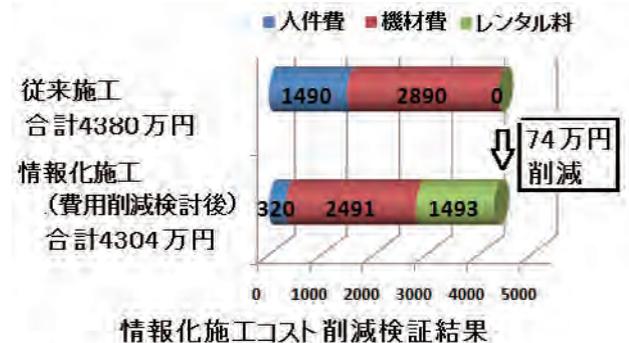


図-10 情報化施工コスト削減検証結果

## 7. まとめ

情報化施工導入においてレンタルの活用は、現場で使用される情報化施工機器の重機の種類、台数、種類の増減にも柔軟に対応可能で、実際に施工現場で使用する期間での費用負担で済むことから情報化施工が一般化するにつれ、情報化施工新規採用の建設会社においても、既に採用を行っている建設会社においても、レンタルの活用が増える方向になると考えられ、通常施工と情報化施工を比較したコストの面でも今回の検証から考えると削減方向に考えられる。また、情報化施工に必要な3次元設計データの工事発注者からの提供、配信が実施されると情報化施工が一般化し、レンタルの利用もますます増えると考えられる。情報化施工機器メーカーの立場からは、建機メーカーとのタイアップによる取り付けが容易な機器の開発や、レンタル会社の要望を取り入れた機器改良など、レンタル対応を考えた情報化施工機器を提供し、使用するお客様がより使いやすい対応を行うことで、日本の建設業界の生産性の向上と情報化施工の普及に貢献したいと考える。

本論文の作成にあたり、ご協力を頂きました関係者の皆様方に感謝をいたします。

### 参考文献

- 1) 日経コンストラクション 2010.6.25 第498号, 勝つための情報化施工, pp.46~49 資料提供: 砂子組

## 26. 遠隔操作重機によるプレキャストアーチカルバートの据付

株式会社フジタ

○ 中村 好典  
三鬼 尚臣  
野末 晃

### 1. はじめに

本工事では、遠隔操作重機と遠隔モニタリング技術および遠隔計測技術を駆使して、プレキャストアーチカルバートの据付作業を無人化施工で実施した。

雲仙普賢岳における災害復旧工事では、試験フィールド制度を利用した無人化施工が平成6年から導入され、平成7年からはRCC工法による砂防えん堤が、平成14年には鋼製スリットえん堤が無人化施工によって築堤されてきた<sup>1)</sup>。これまでに重さ2~4t程度のコンクリート製護床ブロックを遠隔操作で施工した事例は多数存在したが、総重量15tものコンクリート二次製品を遠隔操作によって設置した施工例は少ない。

本稿では、平成21年度赤松谷川2号床固工工事において実施したプレキャストアーチカルバートの遠隔施工について、課題とその対策事例を中心に紹介し、無人化施工の新たな成果と可能性について述べる。

### 2. 赤松谷川2号床固工工事の工事概要

赤松谷川2号床固工工事は、水無川砂防基本構想に基づき、流域を土石流被害から守り、安全な生活を確保することを目的に建設するものである。

当工事箇所は赤松谷川1号床固工上流に位置し、土石流や溶岩ドーム崩落等の被害を受ける可能性があることから、プレキャストアーチカルバート敷設工、床固工(RCC工法)並びに仮設工等の一連の工事を無人化施工により行う。

図-1に赤松谷川2号床固工工事の位置図を示す。



図-1 雲仙普賢岳と赤松谷川2号床固工工事位置

プレキャストアーチカルバートは床固工の上流側に隣接するように配置され、右岸側は9%の縦断勾配で警戒区域外から河床に向かって下降し、半径50mのカーブ区間を経て床固工上流に隣接する。左岸側は半径50mのカーブ区間を設けて床固工から1.5m程度離隔させて端部をとめる。延長180m、1.2m幅のプレキャストアーチカルバートを150基設置する。図-2に全体平面図を図-3に標準断面を示す。

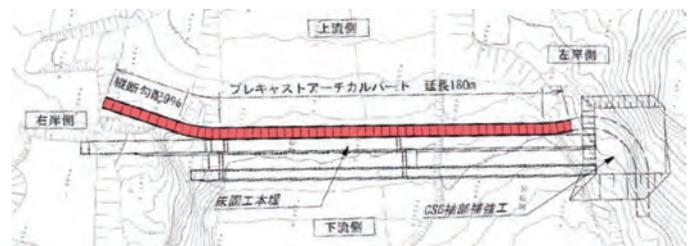


図-2 全体平面図

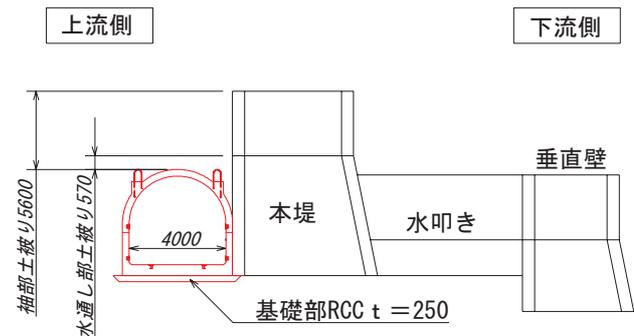


図-3 標準断面図

このプレキャストアーチカルバートは有効内空寸法を3m×3mとし、2tユニック車1台が十分通行可能な線形に設定した。

プレキャストアーチカルバートを河床内部に配置することで、土石流による影響を低減する事が可能であるとともに、景観を大きく変えることなく、緊急用の連絡通路を確保することが可能となる。また、通常のボックスカルバートは延長方向に緊張作業を行い、シーリング材を密着させることで止水性を確保するのが一般的であるが、本工事では止水性を考慮せず、6箇所連結ボルトによってカルバート同士を連滅することとし、シーリング材

等は設けていない。表-1 に主要緒元を図-4 にプレキャストアーチカルバート詳細図を示す。

表-1 プレキャストアーチカルバート主要緒元

主要寸法	4,000B×3,700H×1,200L
外形寸法	4,560B×4,430H×1,200L
製品重量	15,310kg
コンクリート	
設計基準強度	40.0 N/mm <sup>2</sup>
活荷重	T-25
想定土石流厚	1.90 m

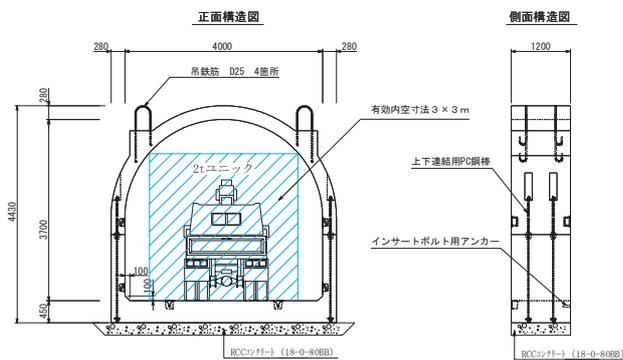


図-4 プレキャストアーチカルバート詳細図

### 3. アーチカルバート据付施工の課題と解決策

#### 【課題1】

アーチカルバートの設置は、高精度な据付をしなければ連結のボルトの穴がずれ、ボルトの締め付けが不可能になる。また、ボルト連結作業は有人作業になるため、簡易な方法ですばやく作業し、警戒区域内の有人作業時間を短縮する必要がある。

#### 【解決策】

6箇所ボルトボックスを工夫して、遠隔操作による据付、位置あわせ作業を容易にし、ボルト連結作業の時間短縮を図る。

- 底面2箇所のボルトボックスはロート形状に切り欠いた形状とし、据付と同時にインサートタイプのボルトがはめ合い構造で所定の位置に収まるように工夫した。  
この工夫によって、上下流方向のズレを拘束できるため、位置あわせ作業が容易になる。さらにあらかじめボルトをインサートしているため、連結作業を簡略化できる。
- 側面の4箇所は長孔がクロスする構造とした。  
これによって、ボルトの挿入作業が容易になるため、ボルト連結作業に要する時間を短縮することができる。図-5にボルトボックスの形状図を示す。

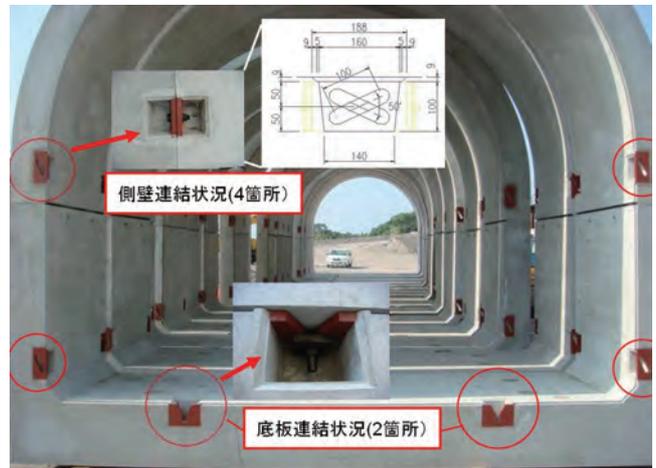


図-5 ボルトボックスの形状

把持装置は4箇所の吊鉄筋を4本のフックで吊り上げる構造とし、プレキャストアーチカルバートの自重バランスによって、垂直を保つ構造としている。さらに、垂直方向上下にスライドさせる機構によって、先に述べた底面部ボルトボックスのはめ合いを容易にできる構造とした。把持装置は、フックの開閉、上下スライド、旋回(0~90°)の自由度を有し、上下スライドはブレーカー油圧ラインを、フックの開閉と旋回はバケットシリンダー油圧ラインに切替えバルブを設けて駆動させる方式とした。図-6に把持装置拡大写真を示す。



図-6 把持装置拡大写真

#### 【課題2】

縦断勾配のない平坦区間は自重バランスによって、鉛直性を保持できるため、重機足場の不陸による影響を受けない。しかし、右岸部の9%勾配区間については、プレキャストアーチカルバートを強制的に5°傾けた状態で把持する必要がある。

据付作業用のベースマシンである4.0m<sup>3</sup>級バックホウの吊り上げ能力を考慮すると、大掛かりな傾斜機構を設けることは困難となる。図-7に縦断勾配変化部分の割付図を示す。

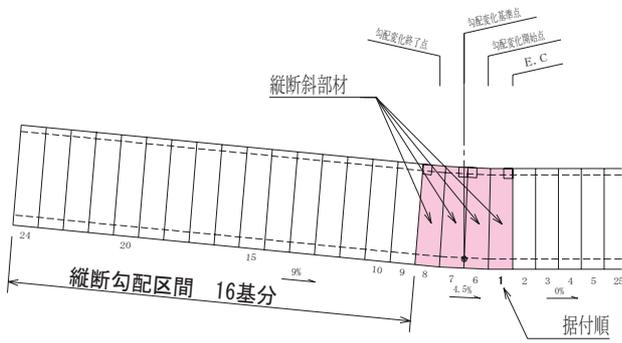


図-7 縦断勾配変化部分の割付図

【解決策】

縦断勾配に対応するため、4箇所のフックのうち2箇所を可動フックとし、残りの2箇所を固定フックとした。可動フックの開度を調整することで勾配角度を持たせた状態でプレキャストアーチカルバートを吊り上げることが出来る。

また、据付順序は勾配変化が発生するブロックから開始することとした。これによって、延長方向の据付誤差に依存することなく、正確に勾配開始地点を確定することが出来る。図-8 に把持装置拡大図、図-9 に据付フロー詳細図を示す。

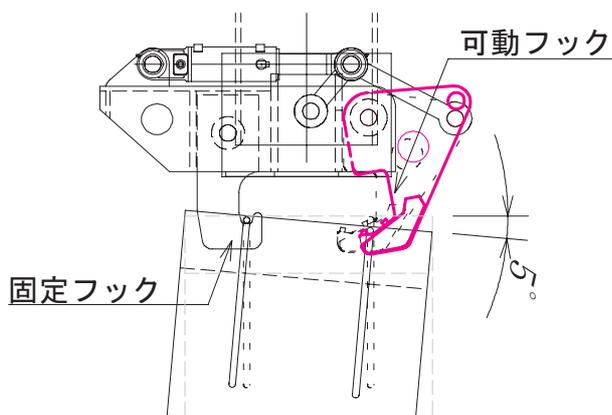


図-8 把持装置拡大

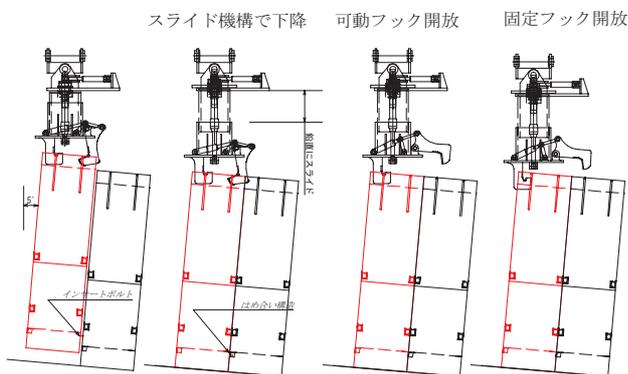


図-9 据付フロー詳細

【課題3】

映像情報の取得方法として、吊りフックの状態および、底盤ボルトボックスのはめ合い状況を如何にして確認するかが課題となった。

先に述べたように4箇所のフックが確実に鉄筋に掛かっていること、はめ合い構造部の切り欠き部にインサートボルトが誘導できているかことを確認する必要がある。

【解決策】

把持装置に2つの小型高角レンズカメラを設置し、4箇所のフックが同時に確認できる工夫を行った。上記のカメラを含め、据付作業用バックホウには、ブーム先端側に1箇所、ブーム根元側に1箇所、計4台のカメラを搭載し、4分割映像分配器を介して、1系統の映像信号を無線通信した。

さらに、プレキャストアーチカルバート内部には、移動式の有線カメラを配置し、底盤部のはめ合い状況を監視出来るよう工夫した。

以上のほかに4台の移動式カメラ車を使って、据付時の隙間を監視することで、既設のボックスに密着するように据付することが可能となる。

図-10 に遠隔操作時のモニター状況を、図-11 にアーチカルバート内部の監視状況を示す。



図-10 遠隔操作時のモニター状況



図-11 プレキャストアーチカルバート内部の監視状況

【課題4】

プレキャストアーチカルバートの出来形検測を遠隔操作で実施する必要がある。

【解決策】

- 1) 予め有人エリアで組立中に測量用反射シートを設置する。
- 2) TS（光波測距測角儀）を遠隔仕様に改造する。
  - a. 接眼部にビデオカメラを取り付け、遠隔操作室のモニターに表示する。
  - b. モニターを見ながらTSの制御コマンドをSS無線経路で送受信できるようにする。
- 3) 計測指示送信・測定データ受信用ソフトを作成する。
- 4) 計測結果をPCの記憶媒体に保存し、出来形表示・印刷ソフトを作成する。

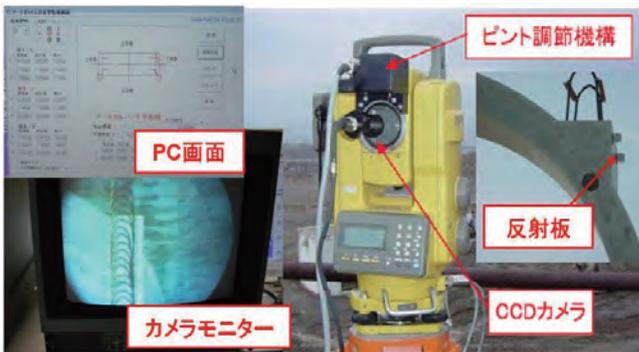


図-12 遠隔出来形測量装置概要図

図-12に遠隔出来形測量装置概要図を示す。写真の左上に計測指示や計測データの表示を行うPCの画面、左下が視準接眼部に取付けたカメラのモニター画面、中心部は改良したTS、右上がアーチカルバートに貼り付けた反射シートである。

5基毎に反射シートを取り付けたアーチカルバートを設置する。反射シートは1基あたり3箇所に取り付け、位置と向きを計測確認できる。

1日の施工量を最低5基程度と計画しており、施工日ごとに出来形を確認しながら、据付作業を行う。図-13に遠隔出来形計測方法を示す。

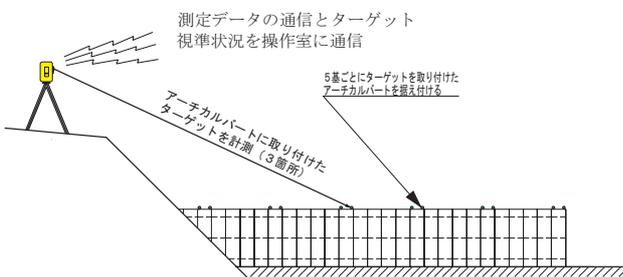


図-13 遠隔出来形計測方法

4. アーチカルバート据付精度と施工能力

1) 施工精度

遠隔無人出来形測量による測定値と計画座標値の施工誤差の度数分布図を図-14～図-16に示す。また、表-2に据付精度一覧表を示す。

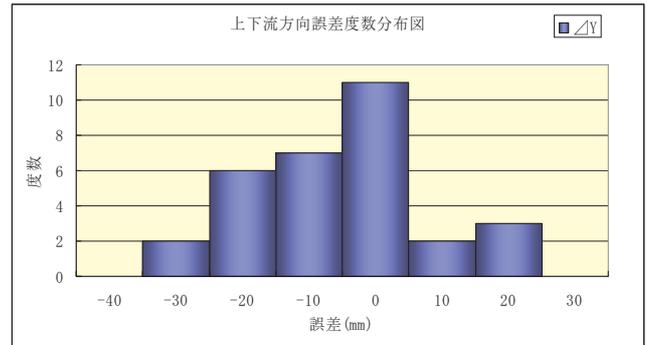


図-14 据付上下流方向誤差度数分布

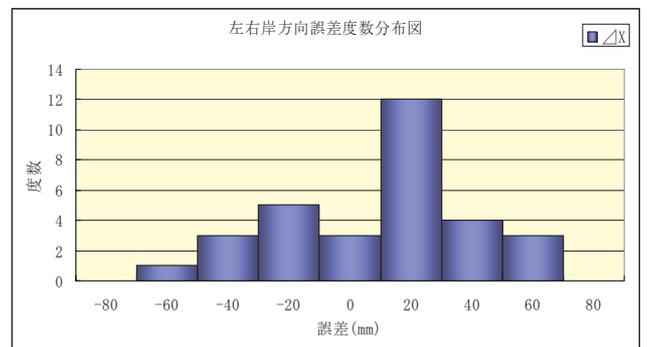


図-15 据付左右岸方向誤差度数分布

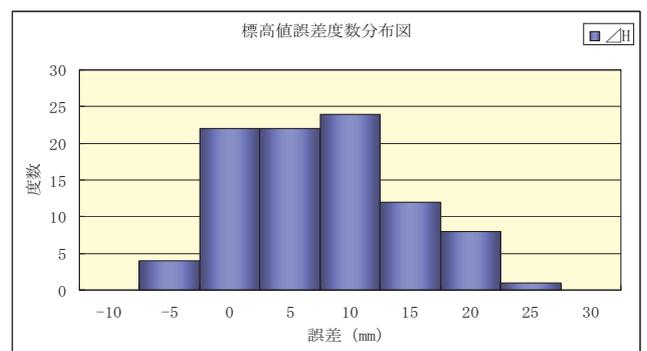


図-16 据付標高誤差度数分布

表-2 アーチカルバート据付精度一覧

測定項目		規格値	最大値	最小値	平均値
位置 (mm)	上下流	±50	-34	18	-11
	延長方向	-200	48	-68	0
基準高 (mm)		±30	21	-6	5

上下流方向は、計画線形に対して、下流側を+の蛇行量とし、延長方向は、左岸側を+の伸びとして表記した。

線形に対する蛇行については、全体の約 65%が 20mm 以内の据付誤差に収まっている。これはボルトボックスの工夫によって、上下流方向の拘束をできたことが要因に挙げられる。

延長方向はマイナス側の短くなる傾向が多くでている。これは、当初の割付計画において据え付けたアーチカルバート間の際間を 5mm ずつ考慮していたが、実際は 5mm 以下の隙間で密着させて据え付けることが出来たため、短くなる傾向が大きく出たと考える。

また、上記の精度が確保できたのは、アーチカルバート基礎部の平坦性に大きく依存する。RCC による基礎部の施工だけでは平坦性は確保できないため、その平坦性を確保するため、RCC 上に敷砂を実施し、ボックス内部から有人にて敷き均しを行い、不陸の除去を行った。図-17 に敷き砂施工による基礎部の不陸除去状況を示す。



図-17 敷き砂施工による基礎部の不陸除去状況

## 2) 施工能力

当初、アーチカルバートの据付能力は、積み込み、運搬、据付、ボルト連結を 1 サイクルとして、5 基/日として計画した。前述の対策を実施した事もさることながら事前の有人エリアでの据付け演習と実施中のオペレータの習熟もあって、実稼働日に対して以下の施工能力まで向上することができた。

施工能力:  $150 \text{ 基} \div 16 \text{ 実稼働日} = 9.4 \text{ 基/実稼働日}$   
図-18 に運搬・把持状況を、図-19 に据付状況を、図-20 に据付完了全景を示す。



図-18 運搬・把持状況



図-19 据付状況



図-20 据付完了全景

## 6. 有人作業中の安全対策

無人エリアでの有人作業のために安全対策として赤外カメラによる山体監視システムと緊急時避難連絡システムを導入した。

### 1) 山体監視システムの概要

遠隔操作室の隣室に監視室を設け、定点赤外カメラとして、500 万画素固定カメラとパン・チルト・ズーム・フォーカス・アイリス機構付きの 130 万画素カメラの 2 台で土石流・落石の可能性の高いエリアを監視した。500 万画素のカメラは約 1

回/秒、130万画素のカメラは約3回/秒の自動撮影を行い、直前の画面との差分やフローを算出して警報を出力するシステムとなっている。

図-21に監視画面を示す。

## 2) 緊急時避難連絡システム概要

ボルト締結の有人作業中は、常時監視中とし、非常時の連絡手段を2系統用意した。

1 系統目は、取回しに便利な電話線を利用したVDSL装置システムである。VDSL装置は電話線をネットワークに変換する装置で非常連絡ボタン信号を坑内の警報機に送信することが出来、坑内のネットワークカメラの映像を操作室のモニターに映すことも出来る。

2 系統目は、非常連絡ボタンを押すと2.4GHz無線を利用して作業員の手首に装着した腕時計型受信器に警報を伝達するシステムである。

図-22にシステム概要図を示す。



図-21 山体監視システム監視画面

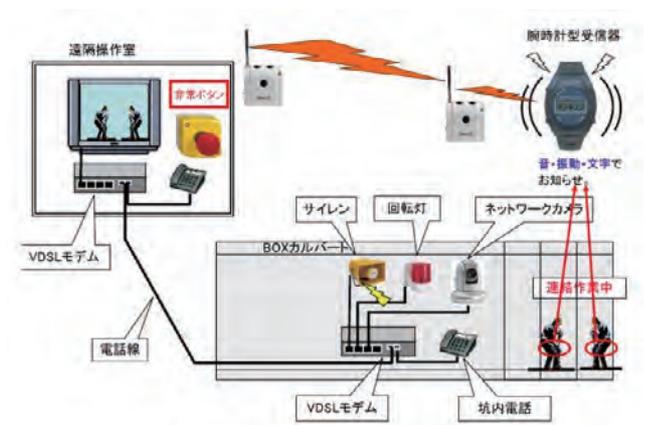


図-22 緊急時避難連絡システム概要

## 7. 今後の技術的課題

赤松谷川2号床固工工事において実施した現有の遠隔操作重機と遠隔モニタリング技術及び遠隔計測技術を駆使したコンクリート二次製品の連続構造物の無人化施工実績と課題への対策事例につ

いて報告をした。

本工事を通して明らかになった課題について以下に考察を述べる。

### 1) ボルト締結作業

無人化できなかった作業だが、シールド工事のセグメントで実用化されているボルトレス継ぎ手等を応用した継ぎ手の開発が納期的に問題なければ採用できた。今後、受注後の施工検討のスピードアップとコンクリート製品の工場との連携強化が必要と感じた。

### 2) 基礎部精度

前述の通り、アーチカルバートに限らず構造物の据付では、基礎地盤精度の確保が最重要である。現在のRCC工法では、RCC敷き均しに使用されるのは遠隔操作ブルドーザーであるが、本工事における基礎地盤整形やコンクリート天端仕上げ等、施工に精度を求められる場合、敷き均し機械に舗装用のフィニッシャーを適用すれば無人化施工においてもより精度の高い基礎地盤を施工することができると考える。

## 8. おわりに

平成2年の普賢岳噴火災害から20年が経過し、平成21年には世界ジオパークに島原半島が認定された。その中でも、噴火の傷跡が今なお現存している水無川流域は地質学的に貴重な遺産として注目されている。本工事のアーチカルバート敷設工はこれら世界ジオパーク構想に配慮し、景観を意識した計画に他ならない。火山との共生をテーマにした島原半島の活動の中で無人化工事固有の取り組みは他地域には例のない大きな特色になっており、今後の工事はより一層景観や施工方法に配慮した内容に代わっていくことだろう。現在の自然景観を維持しつつも防災上、必要な施設を築造していくためには、これまでに培ってきた技術を基に、近年発展するICT技術の導入によって、更なる無人化施工技術の向上、効率化が望まれるところである。

## 謝辞

本稿を作成するにあたり、国土交通省九州地方整備局雲仙復興事務所、赤松2号作業所等の方々にご協力を頂きました。記してお礼を申し上げます。

## 参考文献

- 1) 茶山・藤岡・岡野・森：無人化施工による雲仙普賢岳鋼製スリット砂防堰堤工事の実績，第10回建設ロボットシンポジウム論文集，p.p123-132，2004.9

## 2.7. 精密施工法を応用した汚染土掘削管理システムの適用

(株)間組 土木事業本部 ○ 石原 吉雄  
 (株)間組 技術研究所 黒台 昌弘  
 (株)間組 大阪支店 辻 俊次

### 1. はじめに

国土交通省は2008年度に「情報化施工推進戦略」を策定し、建設機械施工に関する様々な取り組みを始めている。この戦略では、さらなるコスト縮減、品質確保及び事業執行の効率化を図るため、CALIS/ECの考え方を参考に、データ連携などソフト的な対応による効果想出を目指している。

加えて、従前から取り組まれている高性能なセンサーを建設機械に取付けるといったハードウェアの導入により、現場技術者の意志決定の迅速化やそれに伴う施工効率化、CO<sub>2</sub>削減、あるいは建設機械の無人化・自動化という目的の達成も実現されつつある。

一方、環境省では、増加する土地再開発や民間企業の設備投資に絡んだ汚染土壌による人への健康被害を防止するため、土壌汚染対策法（以下、土対法）を施行し、安全安心な環境で土地を利用できるルールづくりを推進している。汚染土壌を掘削除去する場合には単位区画ごとに所定の深度で掘削を行なうことが必須であり、2009年施行の改正土対法においても、よりきめ細かな施工管理が要求されている。また、掘削した土壌の行き先や持ち込んだ埋戻材の履歴なども的確に管理する、いわゆるトレーサビリティも重要視されている。

このような背景から筆者らは、同戦略や土対法に対応したICT利用システムを開発して実工事に適用したので以下に報告する。

### 2. 工事概要と施工上の課題<sup>1)</sup>

#### 2.1 工事概要（表-1）

システムを適用した工事は、開発工事に先立ち土壌汚染対策工事を行うものである。浄化方法は主に現位置浄化技術の「土壌洗浄工」とし、洗浄に不適と判断された汚染土壌については「場外搬出」を行う計画となっている。

#### 2.2 本工事の特徴

本工事の特徴は次の4点である。

##### ①大規模な土工事

敷地面積が9.7haで、掘削対象土量が約56.3万m<sup>3</sup>と大規模な土工事である。

##### ②短期間での施工

土留や土壌洗浄設備などの仮設や仮設備の設置から浄化対策までの工期が14ヶ月間であり、実際に掘削・土壌洗浄が可能な期間は8.5ヶ月と対象土量の規模から考えると短い。

##### ③大型土壌洗浄設備の採用

8.5ヶ月間で約40万m<sup>3</sup>の土壌洗浄を行うため、日最大3,000m<sup>3</sup>の処理能力が必要である。

##### ④精密施工<sup>2)</sup>

土壌汚染対策工事であるため、事前の調査結果に基づいた100m<sup>2</sup>ごと深度1m単位の「精密な」掘削施工管理が必要である。

### 2.3 施工計画

掘削土の取扱いフローを図-1に示す。掘削した土壌の汚染成分を基準にして取扱い方法を設定している。表-2に示すように、洗浄対象汚染土は4区分、場外搬出汚染土は処理先が異なることや現場内での取扱い方法が異なるなどの理由で11区分としている。

洗浄処理した土壌は100m<sup>3</sup>ごと以下に1回の頻度で該当する汚染物質の分析を行い、指定基準に適合していることを確認後に埋戻しに使用し、土壌洗浄処理に不適なものは場外搬出処理とした。

また、対象地の地表面は起伏に富んだ形状を呈していた。土対法の規定では、この地表面を基準

表-1 工事概要

項目	内容
工事場所	大阪市内
敷地面積	9.7ha（敷地全体 21.5ha）
工事期間	2007年3月～2008年4月（14ヶ月）
浄化方法	掘削除去（現地土壌洗浄＋場外搬出）
汚染状況	重金属9物質による土壌汚染 主な物質は鉛・ひ素・ふっ素
対象土量	掘削土量： 約56.3万m <sup>3</sup> 土壌洗浄： 約40万m <sup>3</sup> 場外搬出： 約4.7万m <sup>3</sup>

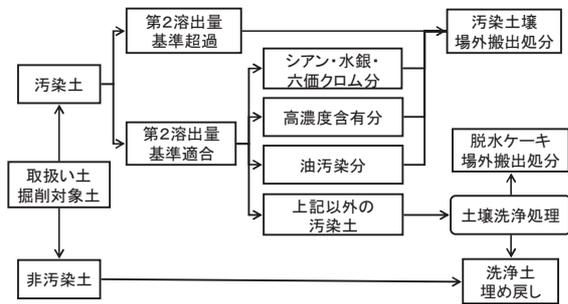


図-1 掘削土の取り扱いフロー

表-2 掘削した土壌の管理区分

区分	処理レベル	汚染内容
非汚染土	0	非汚染土
	1	汚染土扱い
汚染土 (土壌洗浄)	10	含有基準超過
	20	溶出基準超過
	30	含有基準超過 + 溶出基準超過
	40	油汚染のみ
汚染土 (場外搬出)	45	油汚染 + 重金類等による汚染土壌扱い
	50	油汚染 + 含有量基準超過
	55	油汚染 + 溶出量基準超過
	60	油汚染 + 含有量基準超過 + 溶出量基準超過
	70	カドミウム、鉛、フッ素の高濃度含有分
	75	カドミウム、鉛、フッ素の高濃度含有分 + 溶出量基準超過
	80	シアン、水銀、六価クロムの溶出量基準超過
	85	シアン、水銀、六価クロムの溶出量基準超過 + 含有量基準超過
	90	第2溶出量基準超過
	95	第2溶出量基準超過 + 含有量基準超過

※ 処理レベル：現場作業従事者が汚染内容を把握しやすいように設定した番号

に土壤調査が行われるため、すなわち、各調査区画の地表面をGL.0mとした相対的な標高管理となっているため、隣り合う区画ではGL.0mの位置が絶対高（標高値）として一致せず、掘削管理が煩雑になることが予想された。

## 2.4 施工上の課題と従来工法の限界

工期の制限と土壤洗浄設備の能力を最大限発揮させるため、日当り最大約 5,000m<sup>3</sup> 掘削する施工計画としたが、以下に示すような施工上の課題が想定された。

- ① 土壤洗浄設備の運転状況を考慮しながら、洗浄対象土と場外搬出土をバランスよく掘削するための掘削計画を毎日作成する必要がある。
- ② 事前の調査結果に基づいて 100m<sup>2</sup> ごとに深度 1m 単位での掘削作業となるため効率が悪い。
- ③ 上記に伴い、施工前・施工中・施工後に頻繁な位置出し作業（測量）が発生する。
- ④ 掘削した土壌を分別する区分が多く複雑で、作業員がその区分を取り違える可能性がある。
- ⑤ 掘削計画作成のため、掘削実績をリアルタイムに管理し、確認する必要がある。

このような条件下で従来工法を適用する場合には、以下のような面倒な作業が必要となる。

- ① 当日までの多量多量の施工実績に基づき、手作業により翌日の施工計画を作成する。
- ② 100m<sup>2</sup> ごとに深度 1m 単位での掘削作業のために、常駐の測量班による丁張り作業が必要不

可欠となる。

- ③ 建設機械のオペレータは掘削した土壌の管理区分に従って、運搬先や洗浄ヤードの指示を出す。自身が掘削している位置や当該土壌の管理区分がすばやく把握できない。
- ④ 後工程である施工計画に早々に着手するためには、毎日終業後に施工実績を迅速に集計する必要がある。

このような施工上の課題と従来工法での限界を鑑み、本工事では、汚染土の確実な処理、掘削計画・実績管理作業と測量作業の省力化を目的として、GIS（地理情報システム）とGPS（衛星測位システム）を組み合わせた掘削管理システムを開発適用した。

## 3. 汚染土壌掘削管理システムの概要

### 3.1 システム開発のコンセプト

土対法では、対象地盤を縦 10m×横 10m にブロック分割して、さらに深度方向にもブロック分割（例えば 1m 間隔）して汚染状況を把握することと規定している。また、各種の対策を行った場合には、対策の効果を証明することを義務づけている。したがって、広い敷地で深さ方向に汚染状況が異なる地盤を、確実にしかも経済的に掘削するには、「どこまで緻密な掘削計画を立てられるか。」「どれだけその計画通りに掘削できるか。」の2点がシステム開発の鍵となる。

本システムは、既開発の「3次元GISによる精密施工法<sup>2)・3)</sup>」の考え方を導入しており、GISとGPSを組み合わせた情報化施工技術（建設ICT）では他に例を見ないものとなっている。

### 3.2 システム構成

#### (1) 3次元GISによる掘削計画システム

##### ①GISの仕様

本システムは表-3のような仕様となっている。

図-2には地盤情報表示例（掘削計画メイン画面）を示す。施工ヤードを立体的に表現するのではなく、平面図に縦断図と横断図を並列表示させ、また、1つの平面ブロックに対する深度方向の断面図を同時に同一画面に表示することで擬似的な3次元表示を実現し、情報の見える化に対応している。

表-3 掘削計画システムの仕様

項目	内容
PC	汎用パソコン 1台 LAN非対応
OS	Windows XP
解析部	ハザマオリジナル
データベース	MS-Access
電子図面	現場平面図を番地化した10m区画図 全域：平面図・横断図・縦断図 各ブロック：断面図

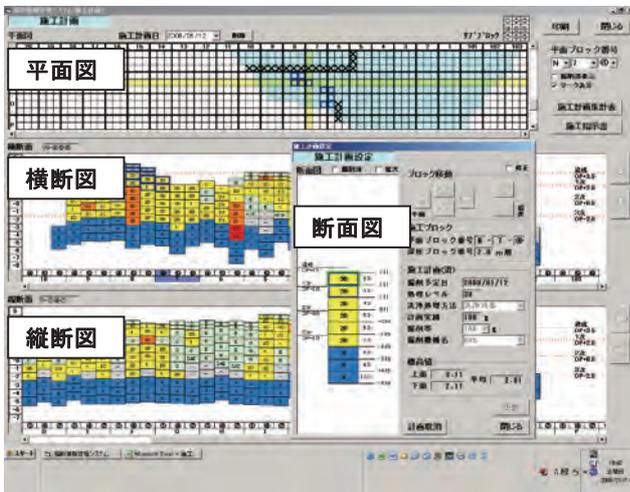


図-2(1) 地盤情報表示例

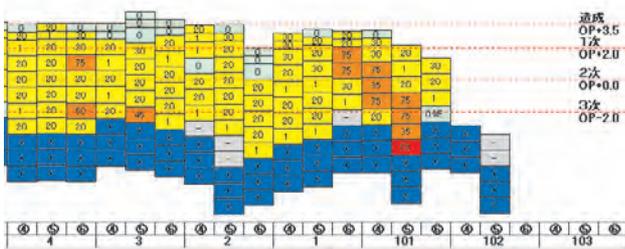


図-2(2) 地盤情報表示例(拡大)

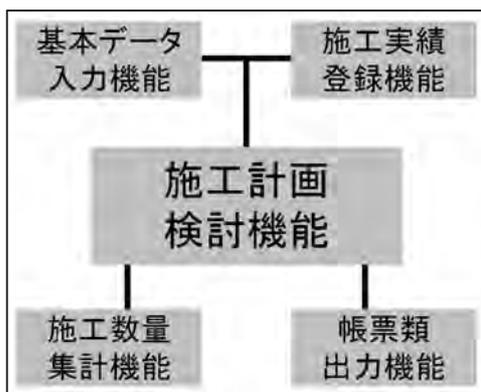


図-3 掘削計画システムの機能構成(概要)

このような視認性を高める方法により、現場技術者だけでなく掘削機械オペレータや測量担当者までもが地盤(地表面下)の様子を理解しながら施工を進めることができるようになってきている。

②システムに具備した機能(図-3)

本システムは、職員が当日の掘削作業完了後に実施する掘削計画作成や掘削実績管理業務を支援するもので、以下のような機能を具備している。

- i) 基本データ入力機能  
処理レベル、洗浄方法、掘削機械、埋戻機械、埋戻材料等を事前に登録する機能。
- ii) 施工実績登録機能  
当日の施工位置名、掘削機械、掘削量等



写真-1 掘削状況

を登録する機能。

iii) 施工計画検討機能

土壌洗浄設備の能力と掘削作業の進捗、使用可能な掘削機械等を勘案して、「ブロックくずしゲーム」のような要領で翌日の掘削ブロックを選択確定させる機能。

iv) 施工数量集計機能

iiiの機能で確定した複数の掘削予定ブロックが保有している情報を集計する機能。含有量や溶出量を特定有害物質ごとに集計し、洗浄設備の能力に見合った量であるかを判定する。

v) 帳票類出力機能

ivの結果を示す施工計画集計表や掘削機械のオペレータに掘削ブロック名を提示する作業指示書などを出力する機能。編集作業を容易にするために、excel形式の帳票としている。

(2)GPSによる掘削管理システム(表-4)

本システムは、掘削機械の施工支援を目的として開発したもので、マシンガイダンスシステムと位置づけることができる。

土対法にしたがい、対象地盤を縦10m×横10m、深度方向に1m間隔でブロック分割した調査結果に基づき、掘削施工を実施している。写真-1中央部の段差が1m、段の幅が10mとなっている。

このように汚染土壌を薄くはぎ取りながら、丁寧に施工するためには、掘削機械の3次元的位置をリアルタイムで把握しておく必要がある。そこで本システムでは、RTK-GPSを中核にしてシステムを開発した。当工事では、1箇所 GPS 基準局を設置し(写真-2)、6台のバックホウに移動体用GPSを搭載し(写真-3,4)、1人の作業員に測量用GPSを可搬させている(写真-5)。

基準局からのRTK位置補正データの送信には、RTK方式運用に多用されてきた特定小電力無線よりも送信出力の大きい小エリア無線を用いてより確実な無線伝送を行っている。

表-4 掘削管理システムの仕様

項目	内容
P C	Panasonic TOUGHBOOK CF-19
G P S	トプコン LEGACY-E+/GD (RTK 専用)
無線機	リットー 小エリア無線 出力1W 周波数 348.7~348.8MHz 付近
演算表示部	ハザマオリジナルソフトウェア



写真-2 GPS 基準局



写真-3 掘削機械に搭載した GPS



写真-4 掘削機械操作室の状況



写真-5 工事測量に利用した GPS

表-5 データベースに保管している情報一覧

設計情報	施工(土工)情報	施工(土工)情報
平面ブロック番号	掘削日	埋戻日
深度ブロック番号	掘削日の天候	埋戻日の天候
ブロック座標値	掘削日の雨量	埋戻日の雨量
ブロック標高値	掘削ブロック(平面)	埋戻ブロック(平面)
処理レベル	掘削ブロック(深度)	埋戻ブロック(深度)
汚染濃度	洗浄処理方法	埋戻材料
(化学物質ごと)	掘削率	転圧機械名
	掘削機械名	概算施工面積
	掘削機械稼働データ	施工基面高
		コンシ指数
		合否判定

(3)掘削計画システムで取り扱う情報(データ)

土対法に基づく土壌浄化工事を、効率的かつ経済的に遂行し、施工履歴をきちんと示すことができる情報を漏れなく記録するという観点から、本システムでは、表-5のような情報を保存し、閲覧できるデータベースを構築している。

(4)システムの導入効果

本システムを運用することにより、対象地盤の汚染状況把握や建設機械の最適配置などが迅速化され、掘削作業の最適化と施工管理の省力化が飛躍的に進むことが確認でき、その結果、品質向上と工程短縮において大きな効果を発揮できることが判明した。

さらに、汚染土壌の掘削履歴や処理土のトレーサビリティが自動的に確保できることとなるため、品質証明の点においても優れたシステムと言える。

具体的には、3次元 GIS による掘削計画では、作業終了後に、当日の施工実績(掘削完了ブロック名や掘削量など)を GIS に入力してその実績データに基づき翌日の計画を行うが、システムを使用しない場合と比較して、実績データや計画値の集計作業が格段に早くなるため、作業時間が6時間から2時間に削減できている。なお、掘削計画は一人の職員で実施している。

また、GPS による掘削管理では、当日の掘削機械の作業位置を現地で指示することや掘削を完了したブロックの底面高さの確認などの測量作業に

において、一般的な測量機を用いた方法に比べて、作業員を6名から2名に削減できている。

建設機械オペレータはGPSを用いることで3次元的自己位置把握が可能となったことにより、位置座標を基準に、事前に準備されたデータベースを参照することで、まさに今掘削している土壌の管理区分を瞬時に確認することができる。その区分はパソコン画面に表示されるため誤認することがなくなり、的確な次作業指示につながっている（どのヤードに運搬する土壌を掘削しているのかが一目瞭然となった）。

#### 4. 本システムを用いた施工の流れ

当工事では、前述した施工上の課題から、本システムの運用が確実な施工と品質の確保を実現させる上で非常に重要な鍵となっている。これまでの情報化施工では、従来の作業工程を情報化技術で代替補完することが多く見られたが、本工事の施工は本システムを運用することを前提にして綿密に組み立てられているという点で特徴的である。

以降に、本システムを活用した施工の流れについて掘削の計画段階から順に示す<sup>4)</sup>、<sup>5)</sup>。

##### ①掘削計画作成

本システムでは、土対法に基づく事前調査結果による地盤内部の汚染状況、およびそれに応じた処理パターンのデータを、あらかじめ格納しておくことができる。現場担当者は事務所で3次元GISの画面(図-2)を見ながら、この複雑な処理パターンを適切に組み合わせ、施工計画集計表を何度も try&error で作成し、掘削機械の施工能力を最大限に活かす掘削計画を作成する。

##### ②作業指示書作成

掘削計画を基に掘削機械ごとの作業指示書を作成する。指示書には平面ブロック名と深度ブロック名から成るブロック番号により、その日の掘削位置が示されている(図-4)。

##### ③作業指示

作業指示書は始業時に各オペレータに手渡し、オペレータは掘削に搭載されたコンピュータにそのブロック番号を登録する(図-5)。

##### ④掘削作業

掘削作業中は画面に表示されるブロック番号とGPSで取得した建設機械の現在座標を照合することにより、現在位置ばかりではなく、掘削している地盤の性状をも確認しながら掘削作業を確実に行うことができる(図-6)。

##### ⑤作業終了後

毎日の掘削作業終了後、掘削実績情報や埋戻実績情報をGISに登録する(図-7)。広い土地であっても掘削進行状況が瞬時に把握でき、翌日の掘削機械配置計画が容易になる。また、

土壌汚染対策という性格上、掘削や埋戻し工程の情報はトレーサビリティとしての役割を持つため、漏れなく正確に保存しておくことが重要である。

選別掘削工 作業予定表 1

掘削ブロック	深層	底層	掘削面	掘削率	体積	処理レベル	洗浄処理方法	掘削終了時の確認	掘削備考
H-1-①	2.0m層	-1.34m	-0.8m	10%	10.0	20	洗浄1次		
	3.0m層	-0.34m	-0.8m	100%	100.0	20	洗浄1次	○	
	4.0m層	-0.34m	-0.8m	100%	100.0	35	洗浄1次	○	
H-1-②	2.0m層	-1.50m	-0.9m	10%	10.0	20	洗浄1次		
	3.0m層	-0.50m	-0.9m	100%	100.0	20	洗浄1次		
	4.0m層	-0.50m	-0.9m	100%	100.0	30	洗浄1次		
H-1-③	2.0m層	-1.10m	-0.5m	10%	10.0	20	洗浄1次		
	3.0m層	-0.10m	-0.5m	100%	100.0	20	洗浄1次		
	4.0m層	-0.10m	-0.5m	100%	100.0	20	洗浄1次		
合計 (m³)					770.0				

選別掘削工 作業予定表 2

掘削ブロック	深層	底層	掘削面	掘削率	体積	処理レベル	洗浄処理方法	掘削終了時の確認	掘削備考
H-1-④	2.0m層	-1.30m	-0.8m	10%	10.0	20	洗浄1次		
	3.0m層	-0.30m	-0.8m	100%	100.0	20	洗浄1次		
	4.0m層	-0.30m	-0.8m	100%	100.0	30	洗浄1次		
H-1-⑤	2.0m層	-1.10m	-0.5m	10%	10.0	20	洗浄1次		
	3.0m層	-0.10m	-0.5m	100%	100.0	20	洗浄1次		
	4.0m層	-0.10m	-0.5m	100%	100.0	20	洗浄1次		
H-1-⑥	2.0m層	-0.80m	-0.3m	10%	10.0	1	洗浄1次		
	3.0m層	-0.80m	-0.3m	100%	100.0	20	洗浄1次		
	4.0m層	-0.80m	-0.3m	100%	100.0	20	洗浄1次		
合計 (m³)					700.0				

図-4 作業指示書の一例



図-5 ブロック番号登録画面



図-6 掘削機械に搭載したPC画面



図-7 施工実績情報登録画面



図-8 システムを用いた施工の流れ（建設機械部分）

## 5. まとめと今後の展開

本稿では、汚染された土壌の掘削管理に情報化施工技術を導入した事例を紹介した。第4章でも述べたように、これまでの多くの情報化施工技術が施工支援や部分的な情報化を目的としたことに対して、本工事は情報化施工技術を利用することを前提にして計画されたもので、施工方法の考え方を革新した好例であると考えている。図-8に改めて現地作業の流れを示した。情報化施工を中心とした作業となっており、これが日常的なルーチンワークとして定着し、工程短縮や労力削減に効果を発揮している。

ところで、本システムの運用においては、施工情報の記録や集計のような一律かつ定期的に行う仕事はICT（情報通信技術）であるGISやGPSを活用して思い切った自動化を図っているが、掘削機械の配置や浄化方法の選定など施工の要所については、現場技術者の意思決定（判断）を求める半自動化システムとなっている。

昨今、様々な工事に情報化施工技術が展開されている。その導入効果を上げていくためには、これまで職員や作業員が実施してきた作業をやみくもにシステム化するのではなく、本工事で示したように、情報化施工技術で施工を推進することが前提条件となる施工を計画するとともに、システムと人間の役割分担にも目を向けていく必要があると考える。

### 参考文献

- 1) 黒台ら：3次元GISとGPSを組み合わせた建設ICTによる「汚染土壌掘削管理システム」、土木学会第64回年次学術講演会第VI部門，pp.369-370，2009
- 2) 大前ら：GISを活用した精密施工支援システムの開発－開発コンセプトとシステムの全体構成－，土木学会第27回土木情報システムシンポジウム講演集，pp.41-44，2002
- 3) 奥村ら：大規模土工事における施工CALISの開発，電力土木，No.317，pp.92-97，2005
- 4) 石原ら：現位置浄化技術の取組みと情報化施工技術を活用した大規模浄化対策事例，基礎工，Vol.37，No.11，pp.68-70，2009
- 5) 黒台ら：3次元GISとGPSを組み合わせた「汚染土壌掘削管理システム」，建設の施工企画，No.721，pp.69-73，2010

## 28. 3次元計測／出来形管理システムの開発と建築工事への適用

大林組 技術研究所 ○ 池田 雄一  
 大林組 技術研究所 金子 智弥  
 大林組 技術研究所 浜田 耕史

### 1. はじめに

近年、建築工事においても鉄骨工事や PCa 工事などでトータルステーション（以下、TS）の利用機会が増えてきている。TSによる測量は1名で可能だが、建築工事特有の様々な理由により、必ずしも測量作業の工数削減、施工管理業務の省力化効果が得られていない。一方、最近、部材形状・配置が複雑な構造物が増えてきており、構造物全体や節・フロア単位での建入精度や収まりを従来より効率良く把握することが求められている。

そこで、著者らは、鉄骨工事や PCa 工事において、部材の建入精度をTSの利用により簡便に計測でき、その建入精度を含む出来形を簡単に管理できる3次元計測／出来形管理システムを開発した。システムは、3次元計測システムと出来形管理システムで構成される。前者は、TSを利用した計測・測量作業の工数削減、施工管理業務の省力化を図るためのシステムである。後者は、計測した部材の建入精度（設計座標に対する施工誤差）を3次元または2次元で表示するシステムである。

本報では、システム開発の背景、システム概要、工事適用結果や得られた知見について報告する。

### 2. システム開発の背景

#### 2.1 建築工事における情報化施工の現状

近年、土木工事では、電子化された設計データを施工時に有効利用する情報化施工が広く普及してきている。情報化施工では、設計データから竣工データまで一貫して、3次元モデルなどの電子データを取扱うことでコスト低減や施工品質の向上、透明化などの効果を得ている<sup>1)</sup>。一方、建築工事における情報化施工は、以下の3つの理由から部分的な適用に留まることが多い。

- ① 建築工事はほとんどが民間工事であるため、設計データの標準化が進んでいない
- ② 同理由により、電子納品を求められていない
- ③ 3次元CADを利用しなくても、設計や施工が可能な建築物の割合が高い

上記の理由から、建築工事で情報化施工を実施するには、情報化施工で利用できる専用の設計デ

ータを新たに準備するか、現状の設計データを利用しやすい形式に電子化する専用ソフトが必要になる。この結果、余分なコストや手間が発生し、情報化施工を導入したことによるコスト低減効果を得にくい背景がある。

建築工事で情報化施工を実現するためには、設計データを電子データの状態で施工まで効率的かつ継続的に扱うかが重要である。近年、建築工事においても、BIM（Building Information Modeling）の利用が少しずつ進められつつあるが、現状では、対象工事が限定的である。そこで、BIMを導入していない多くの建築工事でも情報化施工を簡易に実現できる汎用性の高いシステムを開発することで、土木工事と同等の効果を建築工事でも効率良く得られることが期待されている。

#### 2.2 専用システムの構築

鉄骨工事や PCa 工事では、部材全数の建入精度を計測し、その結果を帳票にまとめ、監理者へ節またはフロアごとに提出しなければならない。著者らは、これらの作業全体の業務の効率化およびコスト低減を実現するため、情報化施工の概念を導入した図-1のような全体システムを構築した。まず、計測する点の座標（設計座標）を部材ごとに抽出し、3次元計測システムに登録する。TS

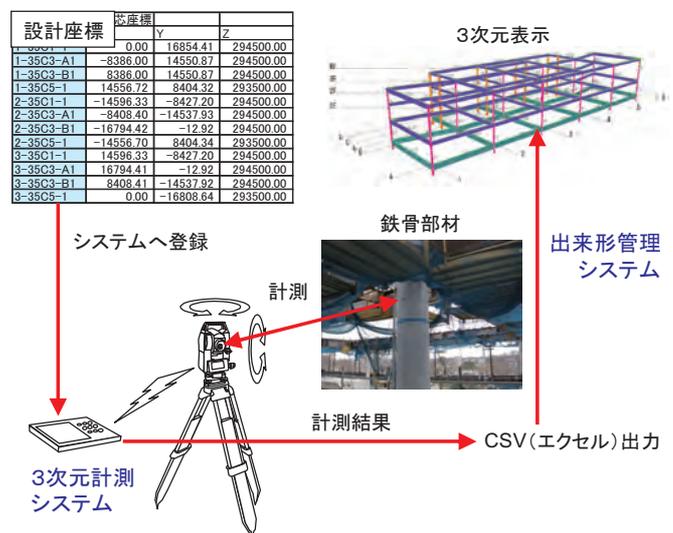


図-1 全体システム構成

で各部材の計測点を自動計測し、設計座標との誤差を電子データとして記録し、外部出力する。外部出力したデータを出来形管理システムに取り込み、出来形モデルを3次元または2次元で表示し、帳票などとして外部出力する。

### 3. 3次元計測／出来形管理システムの開発

#### 3.1 3次元計測システムの開発

##### 3.1.1 建築工事における計測作業の現状

建築工事では、図-2に示すようにトランシットやオートレベルなどの測量器を利用して現場内に設けた基準に対する相対値を計測することが多い。事前に多数の基準線（例えば、通り芯の返り墨や基準レベルなど）を準備し、基準線ごとに測量器を盛り替えしなければならない。基準線にスケールを当てて相対値を計測するため、2名1組での作業が普通であり、工数が多く掛かる。それに対して、TSを利用した測量は、座標が既知な基準点を2点以上準備し、対象部材にターゲットを取り付ければ、1名で計測作業が可能である。しかし、計測の主な作業が座標管理となったことで、各計測点の準備・登録や計測結果の整理など新たな作業項目が増えた。

##### 3.1.2 システム開発

鉄骨工事とPCa工事の計測対象や管理内容が大きく異なるため、ソフトウェア（以下、SW）は共通部分と個別工事対応部分に分割した。SWは、工事図面、設計座標などのデータベースと、座標計算、計測結果表示などの機能から構成される。共通部分の特徴を以下に示す。

- ・設計座標を専用フォーマットのエクセルにまとめてSWへ自動登録
- ・対象部材の形状は自由（何でも対応可能）
- ・通り芯や座標系を自由に設定可能
- ・目的に合わせてターゲット（プリズム、シール、ノンプリズム）を選定
- ・プリズム利用時に自動計測が可能
- ・計測結果をエクセル出力

ターゲットにシールまたはノンプリズムを選択すると計測時に事前に登録した設計座標に向かってTSが自動的に回転する（半自動計測）。プリズムを選択すると回転後、自動視準および追尾計測が可能である（自動計測）。

##### (1) 鉄骨工専用システム

鉄骨工事では、柱全数を計測し、その倒れをJASS6の限界許容差内（1/700かつ±15mm以下）に収めなければならない。鉄骨柱に設定した設計座標のうち、できるだけ少ない計測点で建入精度を効率良く的確に把握する必要がある。鉄骨工専用のSWには、以下のような特徴を持たせた。

- ・設計座標を柱1本あたり最大8点登録可能

- ・上記のうち、任意の2点を計測すると柱芯の誤差とねじれを計算・表示
- ・建入ナビゲーション機能として、前節の計測結果から柱の倒れを算出し、JASS6の倒れの管理許容差の範囲を表示

##### (2) PCa工専用システム

PCa部材の建方精度は、JASS5やJASS10、品確法などで細かく規定されており、柱・梁部材の建方精度を全数計測する必要がある<sup>2)</sup>。PCa工専用のSWには、以下のような特徴を持たせた。

- ・計測点を1部材あたり最大16点登録可能
- ・2点選択時、交互自動計測が可能

##### 3.1.3 システム構成

システムのハードウェア構成を図-3に示す。TS、ノートパソコン（以下、ノートPC）、ターゲットで構成される。ノートPCにSWを搭載し、TSを無線遠隔操作する。計測結果は、すべてノートPCに取り込まれる。TSには、ノートPCからの操作が可能で自動視準・追尾式の機種を選択した。ノートPCには、屋外での使用を考慮して、堅牢・防水タイプを選択した。操作が楽なタッチパネル式のモニタや無線通信機能付きで両手を自由にできる小型の首掛け可能な機種を選択した。ターゲットは、プリズム、シール、ノンプリズムの中から選択可能である。工事種、部材形状、計測目的に応じて使い分けできる。

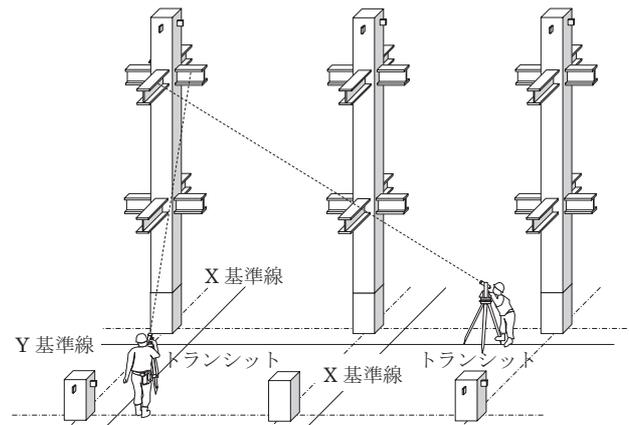


図-2 在来測量

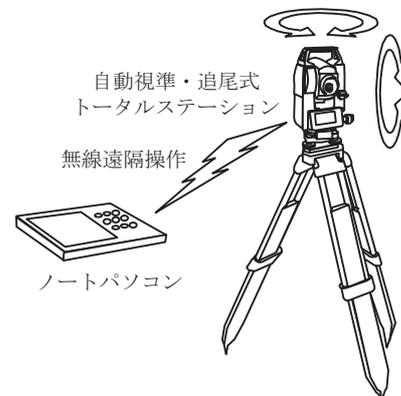


図-3 3次元計測システムの構成

### 3.2 出来形管理システムの開発

#### 3.2.1 開発の背景

3次元計測システムにより計測結果を得て、品質管理の帳票などにまとめ直すことで、節またはフロア全体の建入精度を把握できる。しかし、近年、形状や配置が複雑な工事も増加しつつあり、迅速に効率良く精度を把握する必要がある。鉄骨の場合、1節あたり3階などが普通であり、各階の建入精度を把握するには、多くの労力を要する。

#### 3.2.2 システム開発

対象は、柱、梁の区分が明確な鉄骨工事や PCa 工事である。システム上の構造設定（柱、梁の構成）は、各部材の端点（始点・終点）定義ファイルで構成される。端点の座標リストは、柱部材のみ必要であり、梁部材は不要で、柱に合わせて描画される。また、部材形状、断面サイズ、通り芯、階高情報などは別のファイルで設定する。システムの特徴を以下に示す。

- ・入力データはすべてエクセル形式で、3次元計測システムの入力データを利用可能
- ・3次元表示はポリゴン、線画、点から選択可能で、2次元表示は線画、点で管理値に応じた色別表示が可能
- ・3次元計測システムから得た日時データから施工実績の3次元アニメーションが可能

### 4. システム適用

#### 4.1 研究施設の鉄骨工事への適用

##### 4.1.1 工事概要

システムを表-1 に示す3階建て研究施設の鉄骨工事へ適用した。平面形状は約90×30mの長方形であり、桁行方向はスパン長18mの大スパン構造である。柱の節割は2節であり、柱符号により継手階が異なるため、建入精度管理が重要視された。

##### 4.1.2 システム適用計画

鉄骨建方時の玉掛け用ワイヤーや吊り足場との接触による破損を懸念して、高価なプリズムの代わりに鉄骨表面へ安価なターゲットシールを貼付した。事前に建物の3次元CADデータを用いて、ターゲットシールの貼付位置の計画を行った。ジョイント位置が極端に低い第1節の柱については、視認できない可能性もあったため、梁下にターゲットシールを貼付する計画とした。第2節の柱についても最上階の梁下にターゲットシールを貼付した(写真-1)。ターゲットシールの貼付位置には、鉄骨ファブで罫書きを入れ、現場搬入後、ターゲットシールを貼付した。外周柱の外周面を除き、柱1本あたり東西南北面の芯(4箇所)に貼付した。その他の柱は、柱頭付近に貼付する計画とした。なお、鋼管の溶接シームがある面は、シームを避けて水平に50mmずらして貼付した。

表-1 工事概要

建物用途	研究施設
階数	地上3階
構造	S造
建築面積	2,900m <sup>2</sup>
延床面積	5,600m <sup>2</sup>
最高高さ	16.7m
工期	2009.11～2010.8(10ヵ月)



写真-1 ターゲットシール貼付状況



写真-2 計測状況

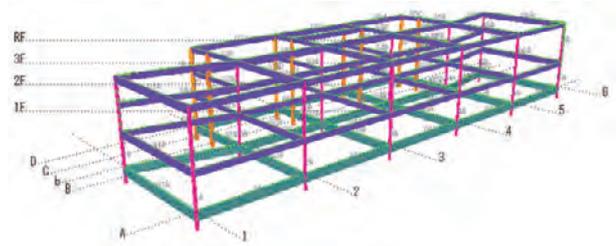


図-4 3次元表示

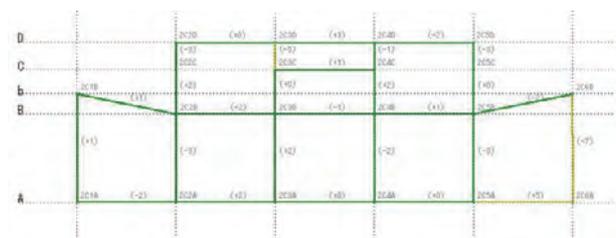


図-5 2次元表示

### 4.1.3 適用結果

鉄骨建入の計測作業は、1名で行った(写真-2)。システムの半自動計測機能を利用して、効率良く計測を実施できた。3次元計測システムの計測結果を出来形管理システムに読み込み、3次元表示したものを図-4に示す。柱、梁符号別に色を区別して表示できる。また、スパン間距離を2次元表示したものを図-5に示す。スパン間距離の長短に応じた管理値を設定し、その管理値区分によって色を変えて各スパンの梁を表示した(一次管理値以内:緑、一次管理値超:黄、二次管理値超:赤)。

## 4.2 大屋根トラス鉄骨工事への適用

### 4.2.1 工事概要

大都市ターミナル駅のホーム上に架設される大屋根トラスの鉄骨工事へシステムを適用した。工事概要を表-2に、大屋根トラス鉄骨工事の施工計画を図-6に示す。先に施工した橋上駅架構の上部を作業構台とし、その上に仮受けベントを2セット分構築して、東西に2分割した大屋根トラスをそれぞれ1列ずつ地組した。ベント上で溶接作業まで完了するとトラスをジャッキダウンさせ、隣のトラスとのつなぎ梁を建方した後、1スパン分約11mスライドさせる。東西ともに7回スライドを実施した。スライドの工程とともにトラス上面の仕上げ工事に着手する<sup>3)</sup>。仕上げ材はガラスと折板の2種類あるが、仕上げ工事の進捗により、隣同士のトラスのたわみ量が異なり、つなぎ梁を建方する際にレベル差を管理する必要があった。このため、3次元計測/出来形管理システムを利用して変位(主にたわみ)を管理した。

### 4.2.2 システム適用計画

大屋根トラスの変位計測計画を図-7に示す。トラスは1列あたり8ブロックに分割される。そこで、トラス1列につき、各ブロックの上端付近と最下ブロック下端の計9箇所を計測する計画とした。場所により計測しやすい点は異なり、スライドとともに徐々に変化するので、上弦材2本と下弦材1本の計3本の左右下それぞれ3箇所ずつ(図中、B、C、D点)計9箇所の計測点を計画した。すなわち、トラス1列あたり合計81点の計測点を準備した。トラス鉄骨は白色の重防食塗装仕上げであり、意匠的にターゲットシールを剥がす必要があった。線路・ホーム上ではターゲットシールを剥がせないため、多少計測精度が悪化するが、ターゲットシールを貼付しないノンプリズムを選択した。トラスの計測点にマジックで十字を罫書き、そのポイントを計測する計画とした。

トラスの3次元モデルは、弦材とブレース材を細かく分割して作成した。節点には各部材の端点のほか、計測点と構造解析に利用した節点を含めた。設計データは、トラスに仕上げ材の全荷重が

表-2 工事概要

用途	駅上屋根架構
構造	S造トラス構造
大きさ	176m×96m
重量	約20,000kN
工期	2009.12～2010.9(10ヵ月)

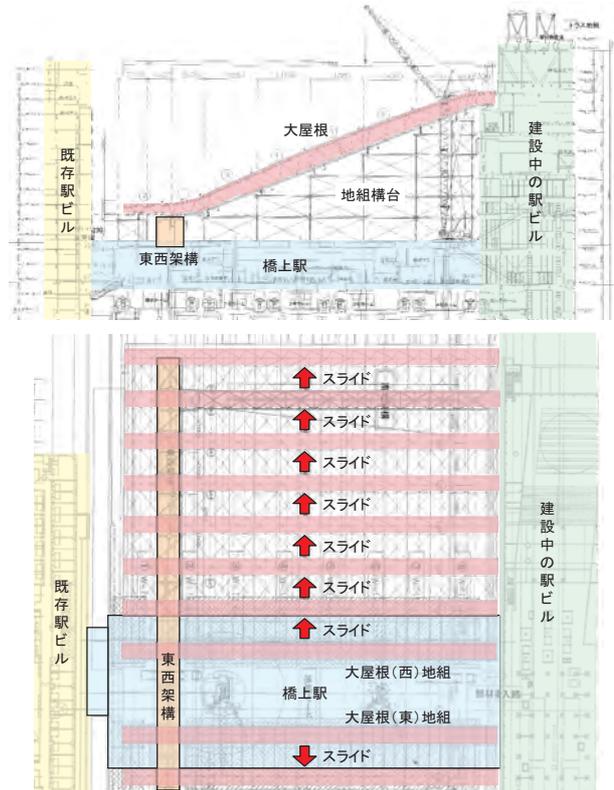


図-6 大屋根トラス鉄骨工事の施工計画

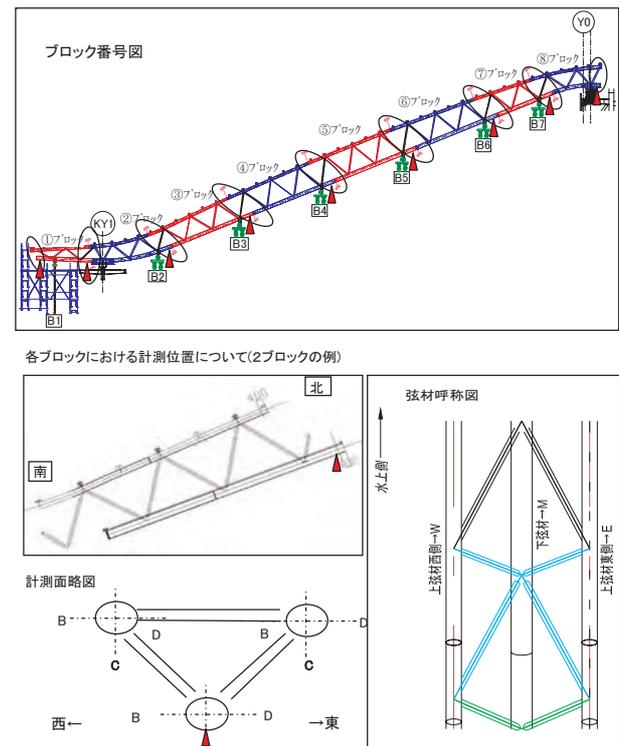


図-7 大屋根トラスの変位計測計画

掛かった最終状態のものであり、構造解析結果から逆算して、ベント上における地組時の鉄骨の設計データを施工者側で作成した。各施工ステップのトラスのたわみ状態（ジャッキダウン後の自重による変形、仕上げ材荷重半分による変形）のモデルは、構造解析結果を利用して表示用モデルのみを作成した。全部で4種類のモデルを作成した。

全長約100mのトラス1列のうち、9点しか計測せずにトラス全体の変位を効率良く表現するため、各モデル上の計測点と実測値の差を元にトラス全体の形状を描画した。計測点以外の各節点の変位量は、最も近い計測点2点からの距離に応じて線形配分した。なお、計測点の外側に位置する節点については、当該計測点の変位量と同一とした。

#### 4.2.3 適用結果

ベント上での地組完了後とジャッキダウン後、各回スライド工事後の大屋根トラスの変位を計測した。計測結果を読み込み、出来形管理システムでトラスの変位を3次元表示した。東西ともに7回のスライド工事が終了した時点でのトラス変位を3次元表示したものを図-8に示す。2次元でトラス断面の各節点の変位を表示したものを図-9に示す。設計座標または構造解析結果に対する管理値を設定し、図-5と同様に色別表示した。各節点の変位量は、設計座標または構造解析結果の概ね8割以内で収まったことを確認した。

システムでは、各スライド前後の大屋根トラスの変位を紙芝居のようにステップ表示できるため、スライド前後の変形量の差を簡単に確認することができた。本システムを利用したことにより、構造解析結果と実際のトラスの変位の差を確認しながら安心してスライド工事を進めることができた。

### 4.3 超高層集合住宅のPCa工事への適用

#### 4.3.1 工事概要

システムを表-3に示す55階建て超高層集合住宅のPCa工事へ適用した。平面形状はコーナー部にセットバックがある正方形で中央に吹抜部を有する。6階から55階の基準階および塔屋階において、柱梁接合部をPCa化したオールPCa化工法(LRV工法)が採用された(図-10)。約1,600m<sup>2</sup>の基準階に対して、柱48ピース、梁36ピースが割り付けられ、1フロアあたり3日のサイクル工程でPCa部材の建方が計画された<sup>4)</sup>。

従来のPCa部材の建入計測は、トランシットを利用して各通り芯の返り墨からの離れをx, yの2方向で行い、オートレベルを利用して高さを計測していた。計測およびPCa部材の位置調整作業に関する工数は、5名(墨出し工3名、位置調整工2名)であった(写真-3)。

#### 4.3.2 システム適用計画

TSを利用した計測作業には、基準点(座標が

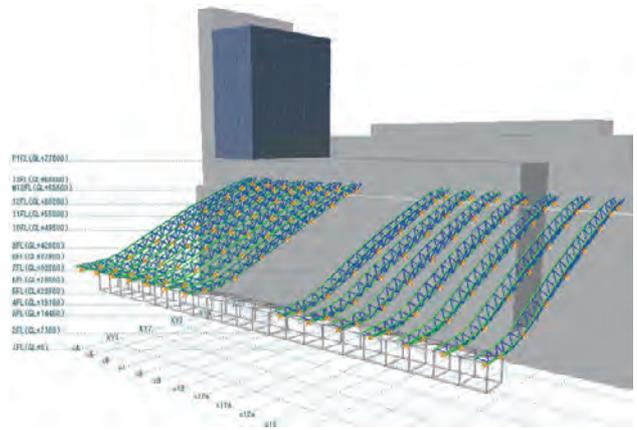


図-8 大屋根の3次元表示

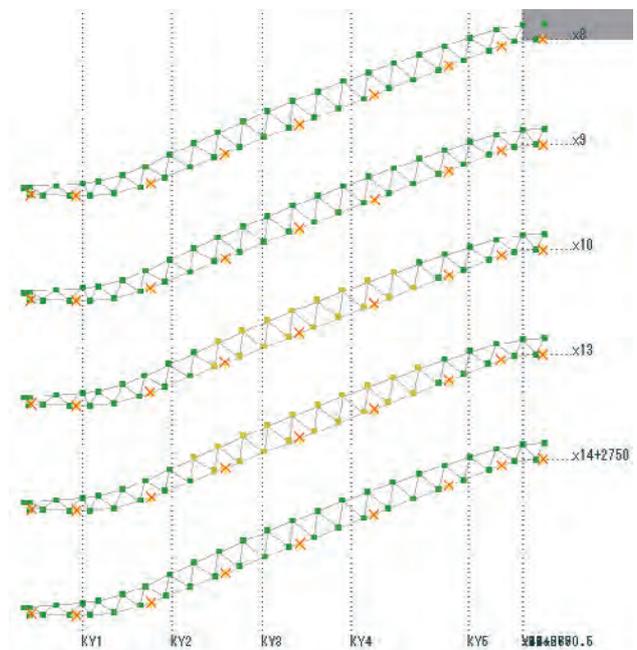


図-9 大屋根の2次元表示(断面)

表-3 工事概要

建物用途	主として集合住宅
階数	地下2階、地上55階
構造	RC造
建築面積	4,300m <sup>2</sup>
延床面積	87,600m <sup>2</sup>
最高高さ	192m
工期	2007.8~2010.8(36ヵ月)
基準階面積	1,600m <sup>2</sup>

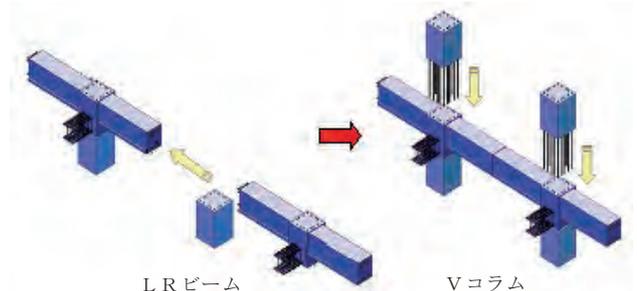


図-10 LRV工法



写真-3 従来の計測作業



写真-4 3次元計測システムによる計測作業

既知であるポイント)が作業階に数箇所必要である。PCa 部材の足元にターゲットシールを貼付し、基準点とした。TS を N+1 階 (グラウト充填の終了した柱部材や梁部材の上) にセットし、ノート PC から無線遠隔操作した。また、自動計測を実施するため、ターゲットにプリズムを選択した。PCa 部材のコーナーへプリズムを正確にセットするため、写真-4 に示す専用のアルミ製架台を製作した。この架台によって、PCa 部材のコーナー部より 50mm 高い位置へプリズムが確実にセットできるため、設計座標として、z 座標 (高さ) のみ 50mm オフセットした値を登録した。

#### 4.3.3 適用結果

操作端末の画面上には、各フロアの図面・部材形状や計測点の座標を表示できる。また、PCa 部材の位置調整時には、部材の動きに追従してリアルタイムに計測結果を表示できる。N階で行われるスラブ配筋やコンクリート打設作業との干渉がなくなり、測量器の盛替回数を最小限にすることができたため、計測精度の向上・安定化が実現した。本システムを利用したことで、位置調整に必要な工数を3名 (墨出し工1名、位置調整工2名) に削減することができた (写真-4)。これは、TS

1台でx, y, zのすべての座標が把握できるようになったことと自動計測機能を備えたことが大きな理由である。また、トランシットを利用した従来の計測では、通り芯の返り墨を直角平行にほぼ全数出す必要があった。これに対して、本システムでは、フロア内の数箇所に基準点を作成するだけで良いため、墨出し関連作業が大幅に削減できた。

また、3次元計測システムの計測結果を集計して建方精度管理の帳票 (エクセル) をフロアごとに自動作成する機能によって、担当職員の品質管理業務を大幅に効率化できた。

## 5. おわりに

本報では、3次元計測/出来形管理システムを開発し、鉄骨工事やPCa工事に適用した。その結果、以下に示す知見を得た。

- システム適用により、計測や墨出しに関する工数を50%程度削減でき、関連作業全体においてコスト低減効果を得た (3次元計測)
- 建入精度に関する帳票の自動作成機能により、担当職員の品質管理に関する業務を大幅に効率化できた (3次元計測)
- 建入精度を3次元または2次元で簡易に表示することで、構造物の建入精度を関係者間で共有することが容易になった (出来形管理)
- 3次元計測システムで得られた計測結果 (点データ) を線 (部材単位: 1次元)、面 (節、断面: 2次元)、立体 (3次元) へと容易に再構成できるため、計測していない点の計測値の補間や構造物全体の精度把握が容易になった (システム全体)
- アニメーション機能により、建方手順を後で再確認できるため、建方手順の改善などに寄与した (システム全体)

最後にシステム開発から工事適用まで御協力頂いた関係者全員に感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 古屋: 情報化施工に取り組む現場—事例紹介—, 建設マネジメント技術, No. 384, pp. 41-51, 2010. 05
- 2) 池田, 金子, 浜田, 森岡: 三次元計測システムの開発と工事適用 その3 機能追加とPCa工事への適用, 日本建築学会2010年度大会 (北陸) 学術講演梗概集, A-1 (材料施工), pp. 119-120, 2010. 07
- 3) 池田, 川上, 端山: スライド工法における計測・監視システムの開発, 第18回建築の自動化技術シンポジウム, 日本建築学会, pp. 9-14, 2010. 01
- 4) 大山, 栗田, 池田, 藤生: オールプレキャスト化工法を使用した超高層集合住宅の施工—地上55階超高層集合住宅建設における採用工法の紹介—, コンクリート工学, Vol. 48, No. 7, pp. 22-27, 2010. 07

## 2.9. 設計データを搭載した3次元測量機器による出来形管理手法の導入について

### 情報化施工における出来形管理手法の適用工種と利用技術の拡大

国土交通省 国土技術政策総合研究所 情報基盤研究室 ○ 梶田 洋規  
 同上 北川 順  
 国土交通省 関東地方整備局 千葉国道事務所 遠藤 和重

#### 1. はじめに

国土交通省（国交省）では、コスト削減や品質確保などへの対応の一つとして、情報化施工の導入・普及に取り組んでいる。設計～施工～維持管理の建設生産プロセスにおいて、個々に構築・利用している情報の有効活用を図るべく、施工段階で3次元座標の電子データを扱う測量機器を利用して効率的な出来形管理手法を構築し、将来、その情報を他フェーズと連携させることを考えた。先ず、土工を対象に設計データを搭載したトータルステーション（TS）による出来形管理手法を構築し、その後、ニーズに対応すべく情報化施工の適用工種・技術の拡大に取り組んでいる。

本稿では、3次元測量機器による出来形管理手法の適用拡大に関する取り組みを紹介する。

#### 2. TSによる出来形管理手法の構築

情報の有効利用による業務の合理化や建設生産システムの高度化に向けた業務分析を基に、出来形情報の流通サービスの構築を行った。

##### 2.1 出来形に関係する情報の流れ

出来形管理用TSの研究の契機は、情報の流れの観点から従前の施工プロセスを分析した結果である。施工プロセス上、土木構造物の長さや幅といった形状データや位置データが、帳票や図面を作成する際に何度も入力されていることが分かった。研究の焦点を施工（施工管理）段階にあて、重複するデータ入力作業の無駄を無くすと共に入力ミスも減らすため、3次元位置情報を情報流通に適した電子データとして取得できる3次元測量機器を出来形管理に利用することを検討することとした（図-1）。

##### 2.2 出来形管理基準

公共土木工事においては、「土木工事施工管理基準」が定められ、工種毎に出来形管理の測定項目や規格値が決められており、監督・検査においても、その内容に沿って行われている（図-2）。利用する3次元測量機器は、この規格値の計測を行う

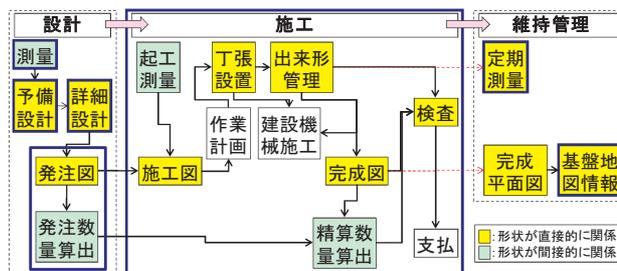


図-1 施工プロセスの分析

工種	測定項目	規格値 (mm)	測定基準	測定箇所
道路 土工	基準高 ▽	±50	施工延長40mにつき1箇所、延長40m以下のものは1施工箇所につき2箇所。基準高は、道路中心線及び端部で測定。	【盛土の場合】 
	法長	L < 5m	掘削：-200 盛土：-100	
		L ≥ 5m	掘削：法長の-4% 盛土：法長の-2%	
	幅 (W1, W2)	-100		

図-2 出来形管理基準（道路土工）

に足る精度（規格値に対する再現性の確保）を保有している必要がある。

3次元位置座標の電子データを扱う測量機器で、近年、広く用いられているTSの計測誤差は、実験の結果、3級TSだと計測距離が100mの地点で、水平方向が±20mm以内、鉛直方向が±10mm以内であり、「土工」の出来形管理に利用可能な精度が確認できた。

##### 2.3 3次元プロダクトモデル

3次元座標データを活用し、作業の効率化やデータの有効利用を考えると、製造業で利用され高い生産効率をあげている3次元CAD技術があげられる。3次元CADは部品などをモデル化し、単なる点の3次元座標値でなく、点の意味も含めてデータを流通することで、後処理の合理化を可能としている。同様に、土工の「法肩」など出来形管理の構成点を定義付けし、構造物の3次元形状を表すモデルを構築した。道路土工の場合、道路中心線形と各断面で定義した（図-3）。構成点の

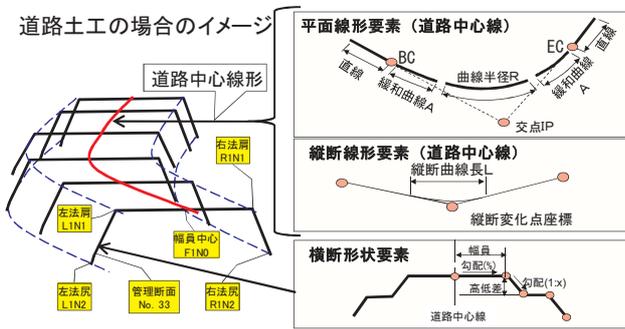


図-3 道路土工のモデルとその構成点の位置付け

定義付けにより、計測した座標が何の点かソフトウェアに認識させることが可能となり、例えば、法肩と法尻の3次元座標値から法長を自動算出、出来形管理帳票の自動作成などが行える。

## 2.4 出来形管理用TS

### (1) システム構成

出来形管理用TSは、出来形管理に用いる設計データを3次元座標値としてTSに搭載するものであり、「3次元設計データの作成ソフト」、「TSハード及び搭載ソフト」、「帳票の作成ソフト」により構成され、各ソフトに必要な最低限の標準機能を定めると共に、ソフト間でデータの互換性を確保するためにデータ交換標準を策定し、必要な性能の確保と互換性の確保を図った(図-4)。

### (2) 特徴と効果

従前の出来形管理は、計測する断面に丁張りを設置し、レベル・巻尺で長さ・高さを計測しており、丁張り設置や計測に手間・人数を要し、また、帳票類作成時には転記ミス懸念があった。

TSは、設計データを基に計測したい箇所へTSのミラーを誘導する機能を搭載することから丁張りが不要である。なお、丁張りの効率的な設置も可能である。また、断面毎に計測する必要はなく、計測は2名で行え(自動追尾機能搭載機種だと1名で行える)、自動帳票作成により労力削減と転記ミス防止が図られる(図-5)。他にも、3次元座標の設計データを搭載しているため、設計値との誤差を計測と同時に把握でき迅速な修正作業が

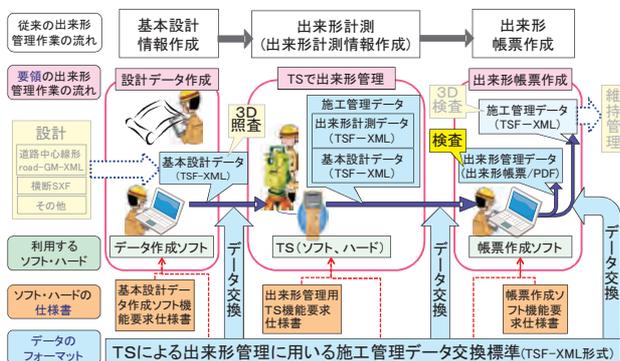
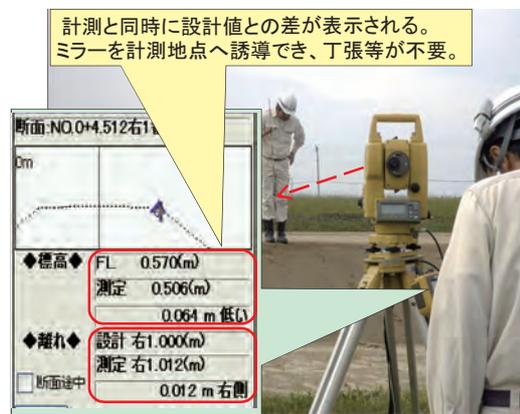


図-4 出来形管理用TSのシステム構成



**従来(巻き尺)**

丁張りや杭の設置  
断面毎に計測・移動

**出来形管理用TS**

TS

作業内容	従来	本手法	短縮効果	
出来形管理	測量準備	9日	2日	78%減
	測量	6日	4日	33%減
	帳票作成	3日	0.3日	90%減
2400m 合計	18日	6.3日	65%減	

①ミラーを計測箇所へ誘導可能(→丁張り設置が不要)  
②断面毎に計測する必要無し  
③計測と同時に出来形確認

図-5 出来形管理用TSによる計測状況と効果

行えると共に、監督・検査で利用すれば、施工者の計測箇所を特定、管理断面以外の任意断面で確認を行うこと等も可能である。

## 3. 適用拡大の方向性

TSによる土工の出来形管理にとどまらず、取り組みの発展を考えると、大きく分け、ニーズ(効果が期待される機会)とシーズ(利用する技術)があり、ニーズは工種と利用場面に細分できる。その3つが適用拡大要因となることから、その組合せによる3次元的な展開が考えられる(図-6)。その組合せの中から、効果や実現性が期待できる組合せを選定し、検討していくこととなる。

### 3.1 工種の拡大

1つの工事を全てTSで計測すれば、機器の利

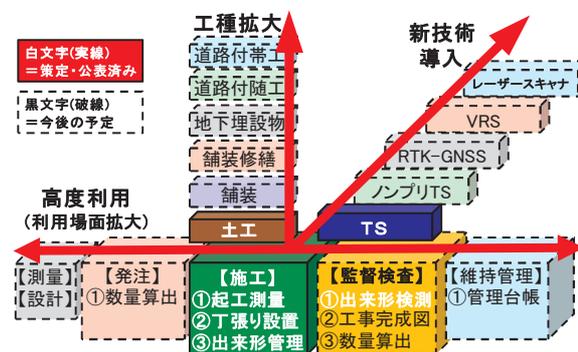


図-6 適用拡大の方向のイメージ

用効率が上がると共に、維持管理や修繕工事などの後工程での広い活用用途が期待できる。

例えば、道路工事に着目すると、既に完成している道路土工と同じ工事目的物という観点から「舗装（新設・修繕）、路盤工、地下埋設物、道路付属物（縁石、排水溝）、道路付随工（ブロック積、擁壁）」などへの展開が考えられる。

なお、ダムは大規模工事のため効果を得やすいが、直轄工事だけでは数が限られることから、データ交換標準の策定の必要性が低い。

### 3.2 新技術の導入

3次元座標を電子データで扱う測量機器には、TS以外にも様々な特徴を有する技術がある。例えば、プリズムを用いず非接触で計測が可能なノンプリズム方式TS（ノンプリTS）、測位衛星（米国GPS等）を利用し広域の計測が可能なRTK-GNSSやVRS、広範囲の大量な点データを遠隔地から非接触で取得可能なレーザースキャナ、TSとデジタルカメラが一体となり画像と3次元データを合成表示し視覚的に作業が行えるイメージングステーション等があげられる。

### 3.3 利用場面の拡大

出来形管理を行う場面として、受注者による施工管理と共に、発注者による監督検査があるが、出来形管理用TSは3次元設計データを作成することから、その作業における設計図書の照査の確実性・効率性の向上が期待される。

また、3次元座標データが得られることから、工事完成図や精算数量算出に利用したり、測量段階で利用し3次元座標データを得てCADソフトで設計を行うことで発注用数量を自動算出したり、維持管理の管理台帳のデータとして利用したりといった展開も考えられる。

## 4. 導入検討について

利用場面として「出来形管理」について、新たな工種・測量技術の導入対象として、「RTK-GNSS・土工」と「ノンプリTS・舗装修繕工」について前記視点で整理する。

### 4.1 RTK-GNSS【土工】の導入検討

#### (1) ニーズ

TSの場合、出来形計測に必要な精度確保のため、計測距離は3級TSの場合で100m以内（2級TSの場合は150m以内）の制限を設けており、それを超える場合、TSを移設し設定する必要がある。そのため、試行工事における意見として、計測距離の長距離化の要望が寄せられている。

#### (2) シーズ

1箇所に設置し広範囲の測量が可能な機器として、測位衛星を用いた測量機器の1つであるRTK-GNSSがある。座標が既知の点に基地局を設

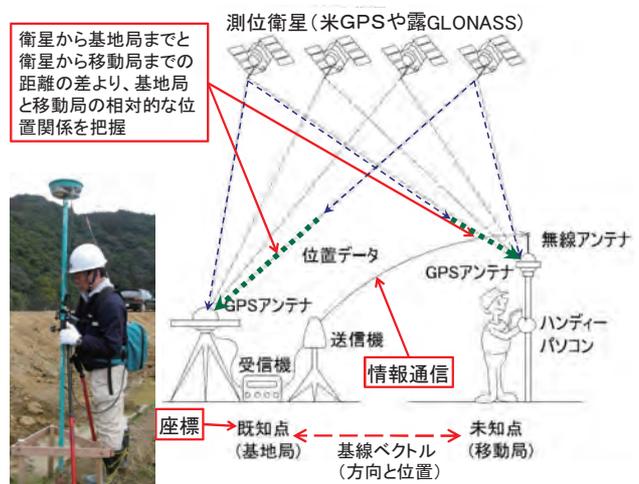


図-7 RTK-GNSSによる計測の概要

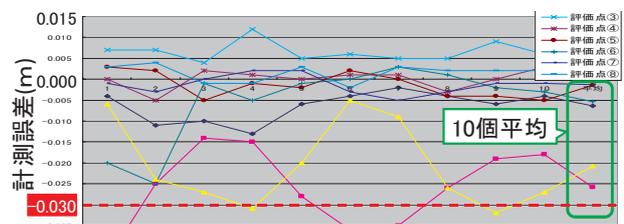


図-8 RTK-GNSSの計測誤差(個々のデータと平均値)

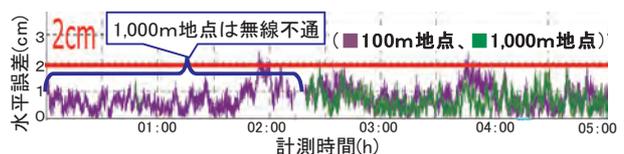


図-9 RTK-GNSSの計測精度検証(距離の影響)

置し、移動局と両方で位置計測し、その情報を無線通信することで、精度向上を図っている。(図-7)

計測精度は、実験や試行を通じ、1回の計測値では誤差が大きい場合があるが、10回平均値を取れば土工の出来形計測に利用可能な精度確保が可能なこと(図-8)、基地局から移動局の距離が1kmくらいであれば距離による精度の低下は無く無線通信性能が制約になること(図-9)を確認することができ、導入可能なことが明らかになった。

#### (3) 効果の検証

試行現場における出来形管理を、TSとRTK-GNSSで二重管理し比較検証した結果、延長が長くTSの移設が必要な現場ではRTK-GNSSの高い効率性が確認でき、逆に、延長が短くTSの移設が無い場所では効率が悪くなる場合があることも確認できた(図-10)。重機による情報化施工を行っている場合、重機の位置検出に利用している基地局と共用できること、施工後に重機に搭載された移動局を取り外して出来形管理を行える形が構築できる点からも大規模な現場での活用は有望である。

試行 延長 (m)	計測 点数 (点)	GNSS				TS				効率 向上 率 (%)
		計測 人数 (人)	計測時 間 (人・分)	機器 設置 (分)	ローカ ライズ (分)	計測 人数 (人)	計測時 間 (人・分)	機器 設置 (分)	設置 回数 (回)	
200	17	1	108	15	45	2	135.6	74	2	20
180	27	1	50	18	30	2	236.4	102	3	71
40	15	1	58	18	0	2	120	20	1	46
40	10	1	25	20	28	2	28	16	1	-66

図-10 RTK-GNSSの効果検証結果

作業項目	現行手法			TS手法		
	時間 (分)	作業 員 (人)	作業 人員 (人・日)	時間 (分)	作業 員 (人)	作業 人員 (人・日)
基準点設置	130.0	2,000	0.542	265.0	2,000	1.104
工事測量	396.0	2,000	1.650	363.0	1,494	1.130
出来形測量(表層)	134.2	4,000	1.118	161.8	1,240	0.418
計	660.2	-	3.310	789.8	-	2.652
TS手法による低減効果	-	-	-	-	-	20%

図-13 ノンプリTSの効果検証結果

## 4.2 ノンプリTS【舗装修繕工】の導入検討

### (1) ニーズ

舗装の打換え工事の特徴として、特に都市部で交通規制に対する社会的影響が大きく交通規制時間の短縮に対し強い発注者ニーズがある。また、短時間での輻輳作業による安全性への懸念も課題である。そのため、総合評価方式においても、その対策が技術提案テーマとして設定されることが見受けられる。

### (2) シーズ

舗装の現況・切削後・施工後の各段階の計測作業を歩道より行える機器として、非接触で計測可能なノンプリTSの利用が有効と考え、関東地方整備局 関東技術事務所が主体で検討している(図-11)。出来形管理基準の測定項目には「厚み」があるため(図-12)、切削面・基層・表層の同じ箇所の高さ座標の差より厚さを算出している。

測定機器に求められる精度は、現場ヒアリングや有識者の意見より±3mmであり、試験で利用したノンプリTSは計測距離30m以内であれば精度が確保できることが構内試験や試行現場で確認でき、導入可能なことが明らかになった。

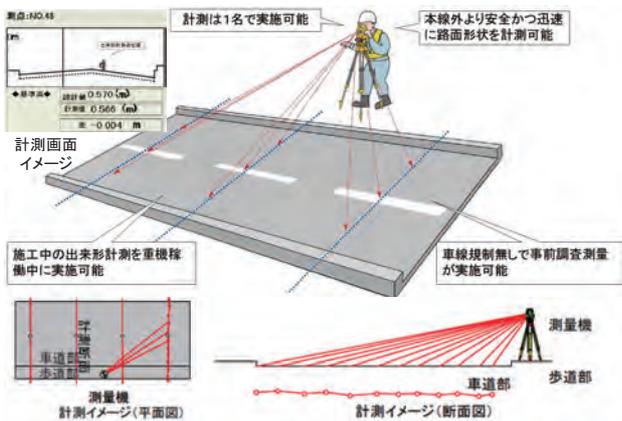


図-11 ノンプリTSによる出来形管理

工種	測定項目	規格値(mm)	測定基準	測定箇所
切削オーバーレイ工	厚さ t	-9	測定点は車道中心線、車道端及びその中心とする。幅は、延長80m毎に1箇所の計とし、延長40m未満の場合は、2箇所/施工箇所とする。断面状況で、間隔、測点数を要する項目を省略することができる。	
	幅 w	-25		
	延長 L	-100		
	平坦性	3mプロファイルメーター(σ) 2.4mm以下、直読式(足付き)(σ)1.75mm以下		

図-12 出来形管理基準(道路維持修繕)

しかし、舗装の種類(密粒、排水性)や現場条件(勾配など)の影響があり、全ての現場条件で精度を保証し得る根拠とデータ量が無く、また、ノンプリTSで舗装面へ斜光し計測する精度は、機種で差があることも確認できている。よって、各現場でノンプリTSを利用する際は、先ず、その現場で精度確認するルールを導入し要領に定める方向で検討している。

### (3) 効果の検証

試験的な工事においては、30mの距離制限であっても導入効果は得られた。夜間交通規制で舗装打換え工事を行った現場では、交通解放後の計測となるため、一般交通がレーザー光を遮断し計測時間は従来よりも長くなったが、作業人員(人・日)削減、交通規制時間の短縮、及び輻輳作業の解消という効果は満たされた(図-13)。

## 5. おわりに

利用場面を「出来形管理」に固定すれば、ニーズに対応する特徴を持ったシーズ(3次元測量機器)とマッチングを行うことで、適用拡大の候補は抽出できる。また、検討していく中で、要領などルールでフォローする内容、工事規模や地域性等の現場条件による制約条件も整理されてくる。

ただし、出来形管理用TSの構築に際しての役割分担として、国交省が出来形管理要領、機能要求仕様書、データ交換標準を策定・公表し、それに基づき民間企業が製品開発・販売を行っている。民間企業が開発・販売するには、利益の見込みが必要である。そのため、将来的に期待できる可能性のある効果では無く、発注者・受注者が直ぐに得られる範囲で効果を出す必要があり、また、「受・発注者の総利益>受注者の総導入費用>メーカーの開発・製造費用」が成り立つことが必須である。

そのためには、受・発注者の総利益を大きくすることが必要であり、維持・修繕での活用サービスの構築、測量・設計からの情報流通、自治体への普及が必要である。また、発注者側の積算では見え難くても、施工者にとっては大きな効果があるニーズや国民にとって重要なニーズを抽出することが必要である。

## 30. 情報化重機土工事の課題の整理

(社)日本機械土工協会 ○ 技術委員会

### 1. はじめに

情報化施工は、新たな技術を建設施工に導入するものであり、設計から施工、維持管理に至るまでの一連の流れとなる電子化情報活用構想に位置付けられた施工技術である。

国土交通省は、積極的な導入方針により 2008 年に情報化施工推進会議から「情報化施工推進戦略」を公表し、情報化施工技術を用いた試験施工を行っている。

導入の対象となる工事は、舗装工事と重機土工事であり、丁張りをを用いるような測量との連携施工である。舗装工事は、導入効果が確認され積極的に進められていることを聞き及ぶが、重機土工事でその事例は決して多くない状況である。

ここでは、主たる背景と本論の目的を明らかにする。

#### 1-1 背景 1：「情報化施工推進戦略」

情報化施工は国土交通省が積極的に国内への導入を進めているものであり、その誘導的組織は本省内に置かれた情報化施工推進会議である。同会議より、2008 年 7 月に「情報化施工推進戦略」としてその方向性が明らかにされている。

その序文で特に、「丁張りを大幅に削減して施工」「夜間作業も可能」「効率的に作業を進める」「稼働時間が短くなり、結果として工事に伴う CO<sub>2</sub> 排出量の抑制効果も期待」「熟練オペレータの不足への対応」「技術者の判断支援の役割」「建設施工のイメージを画期的に変え得る可能性」などが示されている。

「建設施工を取り巻く課題」として下記の要点が整理されている。

- ① 産効率の向上:ICT の活用により投入する資源を少なくする効率的な施工の実現
- ② 熟練技術者・技能者の不足：少子高齢化による熟練技術者・技能労働者の確保が困難
- ③ 発注環境の変化と品質確認の重要性の高まり：発注者責任の明確化と適切な監督・検査の実施
- ④ 施工現場の安全確保：人と建設機械の混在を極力少なくする
- ⑤ 地球温暖化問題：建設機械の効率的な稼働

による燃料消費量削減や資材使用量縮減

- ⑥ 国内外における競争：品質確保などの施工能力に関わる技術の国内外での共通利用
- ⑦ 社会資本整備の補修・維持管理費の増大：施工時のデータをカルテとして活用する補修・維持管理

「施工企業等のメリット」として、「情報化施工技術は、施工会社、機建設機械メーカー、測量機器メーカーなどの技術を組み合わせた複合技術であり、関連業界全般においても様々なメリットが考えられる」とあり、下記のように整理されている。

- ア 現場作業の効率化(工期短縮・省人化)を実現します
- イ 熟練者不足にも対応できます
- ウ 工事現場の安全性が向上します
- エ 建設現場のイメージが変わります
- オ 技術競争力が強化できます
- カ 高付加価値市場が拡大します

「情報化施工の普及に向けた課題と対応方針」として、発注者および施工企業等としての課題が整理されている。

「工事発注者の課題」として整理されているものは、下記のことが示されている。

- ① 施工管理手法および監督・検査の情報化施工への対応
- ② 施工データの受発注者間の共有
- ③ 総合評価方式における技術提案に対する適正な評価
- ④ 情報化施工を前提とした設計基準の見直し
- ⑤ 情報化施工に必要な 3 次元データ作成における設計業務との連携
- ⑥ 施工データの有効活用

「施工企業等の課題」として示されることは、

- ① 分かりやすい技術情報の提供
- ② ハード・ソフトの普及促進

であり、「共通課題」としても次のように整理されている。

- ① 技術者の育成
- ② 標準化の促進
- ③ 普及のための情報発信

## 1-2 背景2：通達「情報化施工技術の一般化・実用化の推進について」

平成22年8月2日の上述題目の通達目的は、「情報化施工技術はICTを工事の施工等に活用し、従来施工技術と比べ高い生産性と施工品質を実現する施工システムであり、建設業者等が海外において事業を展開していく上でも非常に重要であることから、公共事業において積極的に一般化・実用化を推進する。」としており、その内容を要約する。

- ① 一般化・実用化推進の情報化施工技術
  - ア 平成25年に一般化する情報化施工技術
    - ・トータルステーションによる出来形管理技術
    - ・モーターグレーダのマシンコントロール技術
  - イ 早期実用化に向けて検討を進める情報化施工技術
    - ・自動測位による締固め管理技術
    - ・ブルドーザのマシンコントロール/ガイダンス技術
    - ・バックホウのマシンガイダンス技術
- ② 実施体制
 

技術管理課・施工企画課・河川工事課、道路工事課等を中心とした体制を組織し、実用化が円滑に進むように対応する。
- ③ 一般化・実用化の推進を図るための措置
  - ア 発注者指定の場合は経費を計上するが、施工者希望型の提案では施工者負担とする。
  - イ 総合評価落札方式では積極的に評価を行う。
  - ウ 工事成績評定における評価では、創意工夫として評価する。
- ④ 情報化施工技術の普及推進のための環境整備
  - ア 監督・検査要領等の周知と対応
  - イ 情報化施工を実施するための設計データの流通環境整備
  - ウ 機械・機器調達に関する支援制度の周知
- ⑤ 状況の報告：情報化施工技術の実施状況の本省への報告

### 1-3 目的

情報化施工は、背景に示すとおり発注者主導で推進がなされている現状で、機械系施工に対して電子データ活用の施工実務の実現化・一般化にむけて積極的な導入を目指している。

これを受け入れる施工体制として、背景の中では「施工会社」として表現されているが、元請となる受注業者を単独で指しているのかは不明である。重機土工系での施工体制の実態は元請業者・専

門工事業者等による重層構造であり、施工実務関係は専門工事業者の分担となっていることが一般的である。

本論旨は、発注者から見れば間接的ではあるが、施工に直接関わる重機土工の専門工事業者の立場から情報化施工およびその体制について考察し、施工実務にかかる課題の整理を行うことを目的としている。

## 2. 情報化施工の仕組み

情報化施工の実施の仕組みを概略的に整理すると、設計から得られるデータの3Dデータ化されたものが供給され、情報化施工用重機にインプットされる。場合によっては施工順により段階的な到達目標が示されたデータが必要となることもある。例えば、層厚管理をする盛土工事では遙か上空にある施工目標線(設計表面)は、日々の撒き出し厚に対して参考になることはほとんど無いことから、施工段階毎の目標線の3Dデータを設定しなければ、要求された施工とはならない。

施工を行うときには、設計3Dデータだけではなく、工程や施工順を考慮した施工用3Dデータが必要となる。これが無ければ安全性や品質の不安定化にもつながる可能性も考えられる。

情報化施工は、図-1に示すように、設計3Dデータから作られる施工用3Dデータと、重機の位置・方向を測位と情報伝達無線システムによる測位データ、重機の傾き計測や作業装置の位置等を測定した姿勢計測データ、これらの情報による表示を的確に判断するオペレータによって施工作業が進められる。測位は、TS自動追尾測位か、衛星を用いたGNSS測位のいずれかである。施工にはこれらの付加機材が必要となる。

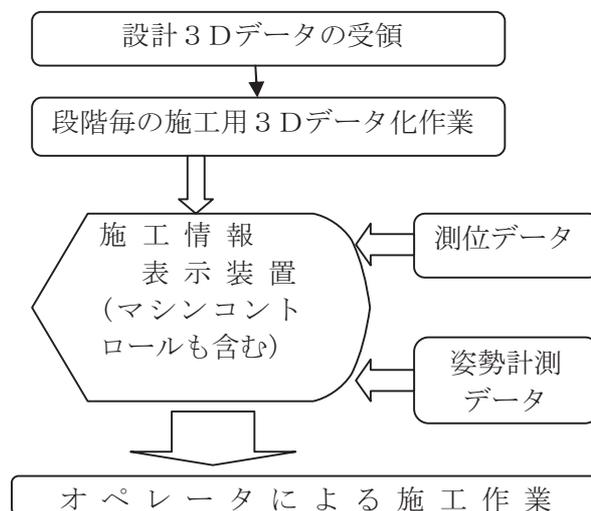


図-1 情報化施工のデータ関連性

### 3. 測量関係における情報化施工の特性

土工事における測量業務は、基準点、用地境、現地形計測、中心線などに始まり、施工段階毎の施工形状測量及び丁張り、構造物・小構造物等の基盤測量、検査対応測量・丁張りなど、施工の最初から最後まで必要な作業である。

情報化施工の実施で施工用丁張り関係の測量業務が無くなるとしても、GNSS 基地局の設置・管理、TS の設置・データ管理などの測量業務は発生する。また、情報化重機土工事に含まれない人力作業関係や小構造物施工に関する測量・丁張りなどの測量業務は残っている。

情報化施工の基礎となる設計3Dデータや施工段階毎の施工用3Dデータなどの生成や検証、施工状況データの段階毎取得及び保存に関わる作業は、従来と異なる技術レベルが必要となる。

また、設計3Dデータは、発注者・元請・専門工事業が共有し、変更や検査などに活用することこそが施工の短時間化となる。

### 4. 施工実務費(直接作業費)構造

表-1 重機土工事のコスト構造

(単位体積作業費用)

単価構造項目	従来	ガイダンス	コントロール
重機損料・消耗費 ・修理費等	○	○	○
燃料・油脂類	○	○	○
運転員人件費	○	○ 微減	○ 減?
重機修理等休止に よる損失経費	○ 小	○ 小	○ 小

(作業支援費用)

測量・丁張り費用	○	×	×
3Dデータの作成・管理	×	○	○
車載情報機器損料 ・修理費	×	○ 大	○ 大
マシンコントロール 装置損料・修理費	×	×	○
基地局・TS等外部機器 損料・修理費	×	○ 大	○ 大
情報化機器関係修理費 等休止の損失経費	×	○ 大	○ 大

情報化施工は効率が上がるとの示唆があり、それによりコストダウンが図られるとの見解であるが、実務レベルから見るコスト構造を表-1に現し、どの要素がコストダウンとなるかを検証する。

表中に「従来」「ガイダンス」「コントロール」と在るのは、情報化を用いない従来作業とマシンガイダンス型情報化施工とマシンコントロール型情報化施工をそれぞれ指しており、単価構造項目との関連を現している。

施工実務上では、情報化施工の方が使用機材も多くなるので機材コストの上昇は自明である。

情報化機器搭載重機では、総部品点数が多くなる事から、部品当たり故障確率が同じとしても発生頻度は高くなり、故障休止による稼働率の低下による人件費などの固定経費や修理費の増加は予定しなければならない。重機では、整備や障害予兆を経験的にある程度把握でき、修理による損失を軽減も可能であるが、情報化機器において同様の対応は現段階では困難である。

情報化施工を用いたときに施工速度の向上があれば、単位作業量当たりの運転員人件費は減になる可能性もあるとされるが、大規模土工の例では、「好条件下で1.5~2倍の作業能力の向上が見込まれる」とある。これは労働時間生産性の効率化であり単純に施工コストが1/1.5や1/2等になるものではない。人件費に関するコストのみが減となるがそれ以外は変えられない事が表-1のコスト構造から容易に判断できる事である。

### 6. 土工事工種と情報化施工

重機土工事の工種は、掘削・集土・積込・運搬・敷均し・転圧・法面等の整形・整地が一般的である。その内、情報化施工の関わり方は、集土・積込・運搬では特殊な場合を除けば情報化施工の対象とはならない。掘削では時々その範囲の確認を行う程度であると、敷均しの層厚管理と転圧確認、並びに整形・整地作業には、情報化施工手法が活用できる。

このような情報化施工の為に事前作業として、設計3Dデータから施工用3Dデータを作成する必要がある。この施工用3Dデータを基本に、全ての作業が進み、確認できることになる。

また、この施工時のデータを施工状況情報として蓄積をし、途中検査や竣工時の品質管理データとして用いられれば、発注者・元請共に管理負担の軽減となり間接的コストダウンになると考える。

### 7. 情報化施工とオペレータの技量

情報化施工を用いるメリットとして、施工技量を機械的に補完するとされており、将来的なオペレータ不足もしくは未熟達者への対応策との位置

付けがなされている。

重機土工事に情報化機器装備重機と施工用3Dデータがあれば未熟達者でも充分であり、従来より効率良く、精度良く作業ができ、ベテランでなくともよいという事が強調されているように思われる。しかし、情報化施工（ガイダンス型ブルドーザ）の試用経験から、未熟達者の状況を判断すると、情報化を用いないよりは有効と確認できるが、作業上に必要な力量とは安易に判断できない。ベテランは道具としての使いこなしが出来ることも判り、情報化施工手法の活用ができています。

また、重機施工は、そのオペレータに操作テクニックや機材特性の熟知、施工土質の見極め、施工段取り、リスクの想定と対応策など、情報化施工のみではない多くの要素がある。

例えば、マシンコントロール装着ブルドーザがあれば容易に整地作業が進むと思われており、施工指示データに対して排土板が追従する動作だけを見ればベテラン並みであるとも言える。指示高さより現地盤が高ければ容易に掘削しその高さになり、指示高さよりも地盤が低ければ排土板の前に在る土砂がその高さで調整される事になる。しかし、排土板の前にどの程度の土量を持っているのか、そこに必要な土砂は何所を掘削し対応するのかなどは、情報化機器の範疇外である。ベテランのオペレータは、地形や設計、現地条件などから作業の段取りを考え、何所を削り何所に盛り、土質の良否を見極め、場合によっては異なる場所の材料との混合、悪い土質の排除、降雨時を想定した雨水の流し方、作業場所の安定のためにブルドーザによる転圧を行うなど、全体の効率化も考えに入れた多くの気づかいをしている。このような作業であっても、他からは、設計通りの単純な整地作業にしか見えないのかもしれないが、施工実務には欠かせない力量であり、安定した施工品質の基本となっている。

情報化施工技術はオペレータ育成時間の短縮に寄与する可能性もある。

## 8. 直接施工と重層施工

舗装工事のように、受注から施工までを直接施工する場合は、情報化施工に関わる機材の購入・活用と人材の育成が投資戦略・企業戦略として組み立てることが出来る。

重機土工事の大半は重層化施工であり、受注者と専門工事業者の組合せとなり、情報化施工機材の導入・活用と人材の育成は、専門工事業者が行うことになると思われる。その場合には、専門工事業者が資機材への資金投入と関連技術者の育成に関わるリスクを負うことになる。従来施工に比べ、施工の為の実費用が多く発生する。受注者と

専門工事業者との間に、この対価が確実に支払われる仕組みについて、発注者の明確な示唆・行動が見受けられない。専門工事業者が情報化施工に踏み出すことへの躊躇の原因はここに在る。

発注者は、受注者に対しては施工評価としてインセンティブを与えることを表明している。しかし、実務を行う専門工事業者にはなんらのインセンティブの表明も無いまま現在に至っている。

建設業が重層構造であり、専門分化していることは周知の通りであり、対応する施工実務はその専門工事業者が行っている。その実務の実施者である専門工事業者に対しても、施工評価を導入するなど手法と評価点の上乗せというインセンティブが与えられ、それらの評価点が受注者の応札時加点となれば、重層構造の結束性が強くなり、より良い施工に繋がると思われる。

## 9. 測器メーカーごとの機器の操作および表示

測器メーカーも、国内では数社がしのぎを削る状態であり、その操作や表示・特徴も異なり、情報表示・操作などの共通化は進められる様子はないようで、施工現場での混乱が危惧される。特に、普及することで新機種や新機能が操作や表示に変更が行われることも予想される中で、多くの面での共通化が希望される。

受注者が専門工事業者へ機材の支給を行うことも想定されるが、専門工事業者としては、使い慣れた機材が施工上のリスクを減らすことに繋がるとの思いがあり、その機材選定は施工実務側で行われることが望ましい。

## 10. 変更および検査

情報化施工は、施工速度が上がり工期の短縮化が期待されている手法である。

発注者の工事への対応は、施行中や施工後の検査や設計変更など施工の進捗に直接影響を与えるものも多くあり、情報化施工の特徴そのものにも関係することになる。

発注者が情報化施工として得られるデータを活用し、検査の簡略化や設計変更の優先的かつ短期的な決定など従来通りでは無い対応を行っていただければ、工期短縮のメリットを発注者・受注者双方共にいかなることができると思われる。

## 11. まとめ

情報化技術は今後とも発展すると思われるが、現段階であっても実施工に適應できることは判っている。専門工事業者のリスク回避と本論に示す課題の対策がとられれば、国内の急速に普及し、海外レベル程度には容易に達すると思われる。

### 3 1. 情報化施工の工事価格と工事規模に関する一考察

国土交通省 国土技術政策総合研究所 宮武 一郎  
 〃 坂本 俊英  
 (社)日本建設機械化協会 ○藤島 崇

#### 1. はじめに

国土交通省では、ICTを建設施工に活用して高い生産性と施工品質を確保する情報化施工について、「情報化施工推進戦略(2008.7)」<sup>1)</sup>を策定してその普及促進に取り組んでいる。情報化施工推進戦略では、普及に向けた課題と対応方針が示されており、その中で情報化施工に適した条件(工事規模)の検討があげられている。

本稿では、情報化施工に要するコストを試算し、工事規模について検討を行った結果を報告する。

#### 2. 検討方法

##### 2.1 検討対象技術

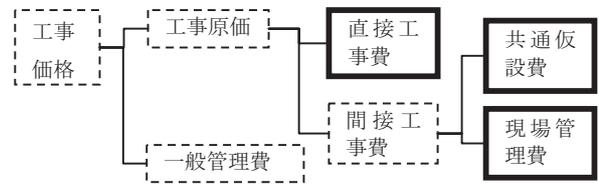
表-1に対象技術と適用工種を示す。これらの技術は、既に技術的に確立されており、国土交通省がH21年度の試験施工で普及促進を進めている技術である。

表-1 情報化施工技術と適用工種

情報化施工技術	適用工種
① プルトーサを用いたマシンコントロール	河川土工(盛土) 道路土工(盛土)
② TS-GNSSによる締固め(回数)管理	河川土工(切土法面整形) 道路土工(切土法面整形)
③ バックホを用いたマシンガイド	舗装工(路盤整形)
④ モータレダを用いたマシンコントロール	

##### 2.2 工事価格の試算方法

試算は、「国土交通省 土木工事積算基準 平成21年度版」に示す積算手法に従って算出した。図-1に積算体系を示す。



□: ICT導入時に変化する積算項目

図-1 積算基準とICT導入効果適用箇所

##### 2.3 試算条件

###### (1) 直接工事費の試算

直接工事費は施工単価と数量の積で算出される。施工単価では、a)作業能力の向上に伴う重機の稼働時間短縮、b)補助作業員の削減の他に、c)情報化施工に必要なICT機器の日々の点検・調整に要するICT技師の労務費の増加、d)ICT機器の損料(以下、「ICT損料」という)を考慮することが必要である。

a), b)を考慮するため、対象技術を適用作業に利用した場合の適用効果を表-2にまとめた。表-2は、H21年までに国土交通省が実施した試験施工結果を基に、試算に利用可能な施工能力向上および

表-2 各技術の適用工種と適用効果

工種	情報化施工対象技術	測位方式	導入効果の項目	効果の理由(要因)	効果の程度
土工	土の敷均し	マシンコントロール(プルトーサ) RTK-GNSS	施工能力向上(工期短縮)	施工目標高さへの自動制御(ホレダ支援)による作業の迅速化	1.35倍
			普通作業員削減	補助労務(施工途中の検測作業)の削減	軽微
			丁張りの削減	施工目標高さへの自動制御(ホレダ支援)による丁張りの省略	軽微
	土の締固め	締固め回数管理(タイロラ) RTK-GNSS	品質(密度)管理省略	所定の締固め回数の自動記録に伴う密度管理省略	削除
			施工能力向上(工期短縮)	ホレによる作業中の締固め回数確認の負担軽減による作業効率の向上	軽微
			法面整形	マシンガイド(バックホ) RTK-GNSS	施工能力向上(工期短縮)
舗装工	路盤整形	マシンコントロール(モータレダ) 自動追尾TS	普通作業員削減	補助労務(施工途中の検測作業)の削減	軽微
			丁張りの削減	施工目標位置への誘導(ホレダ支援)による丁張りの省略	軽微
			施工能力向上(工期短縮)	施工目標高さへ自動制御(ホレダ支援)による作業の迅速化	1.5倍
			普通作業員削減	施工目標高さ確認のための補助労務の削減	半減
			丁張りの削減	施工目標高さへの自動制御(ホレダ支援)による丁張りの省略	軽微

人力作業の削減値を抽出したものである。

ただし、表-2の導入効果で「軽微」とした項目については、従来手法に比べてコスト面での削減が期待できるが現時点では定量的な効果として明確化されていないことから、本試算では考慮しないこととした。

また、盛土工においては、従来施工、情報化施工ともに流用土を想定し、材料費は計上しない。路盤整形工においては、従来施工、情報化施工ともに再生粒調砕石(RM40~0, t=0.15)を想定する。とする。

## (2) 間接工事費の試算

実際の工事では、複数の工種が組合されているが、本試算においては当該技術を利用した工種のみを対象とした間接工事費、工事価格の試算を行うこととした。

### 1) 共通仮設費

ICT機器が標準的な手法でない現状において、ICT機器の導入までの準備費・運用までの試運転・調整・データ作成費用に要する人件費(以下、「ICT運用支援費」という)を共通仮設費として計上する(図-2参照)。ただし、1工事につき1回とする。

### 2) 現場管理費

本稿では、施工能力の向上により施工日数の短縮が実現できると仮定し、それに伴う現場管理費の縮減効果を計上する(図-2参照)。

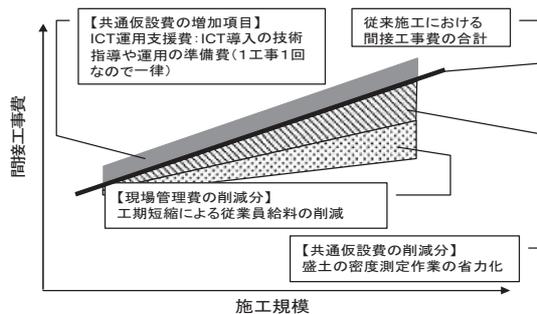


図-2 間接工事費の増減イメージ

## 2.4 直轄工事における適用可能な施工規模

平成19年度に国土交通省の直轄工事で発注された工事を対象に、表-1の適用工種の発注規模(数量)と発注件数を整理し、前述の工事価格の試算結果を重ねることでコスト面からみた情報化施工の導入に適した施工規模について検討を行った。

## 3. 試算結果

### 3.1 直接工事費の試算結果

図-3は、直接工事費の根拠となる施工単価の試算結果を示したものである。

### ①ブルドーザを用いたマシンコントロール

施工能力向上により、ブルドーザの運転時間短縮が可能だが、ICT損料の増加に起因して施工単価が従来施工の1.1倍となっている。

### ②TS・GNSSによる締固め管理

締固め管理技術では、施工能力に変化はない。したがって、ICT損料の増加分が施工単価を押し上げている。ただし、盛土の品質管理作業である密度測定作業の省力化(積算上は共通仮設費に含まれる)が期待できることを考慮すると、従来施工とほぼ同等の施工単価となる。

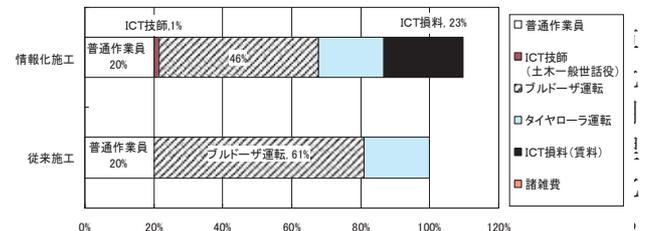
### ③バックホウを用いたマシンガイダンス

施工能力が少し向上するが、ICT損料の増加分がほぼ施工単価の増加分となっている。

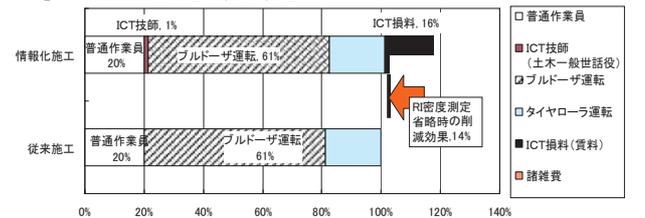
### ④モータグレーダを用いたマシンコントロール

検測作業の大幅な省力化による施工能力の向上、検測作業を行う普通作業員の削減が可能となり、現状のICT損料を加算しても従来工法のおよそ0.9倍の施工単価となった。

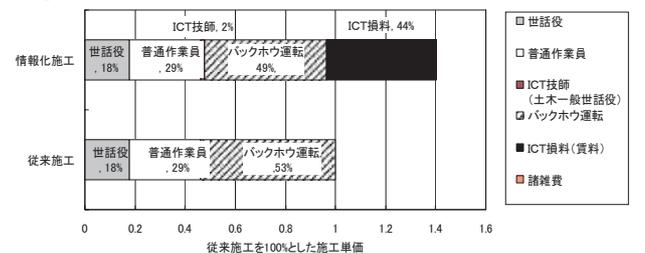
### ①ブルドーザを用いたマシンコントロール



### ②TS・GNSSによる締固め管理



### ③バックホウを用いたマシンガイダンス



### ④モータグレーダを用いたマシンコントロール

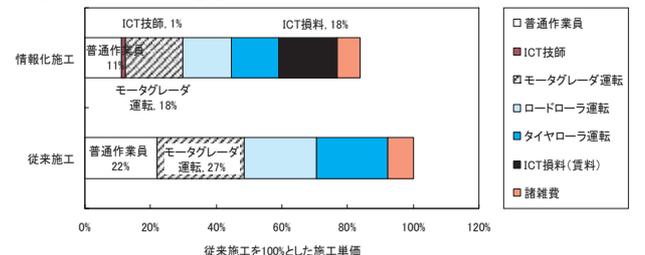


図-3 施工単価の試算結果

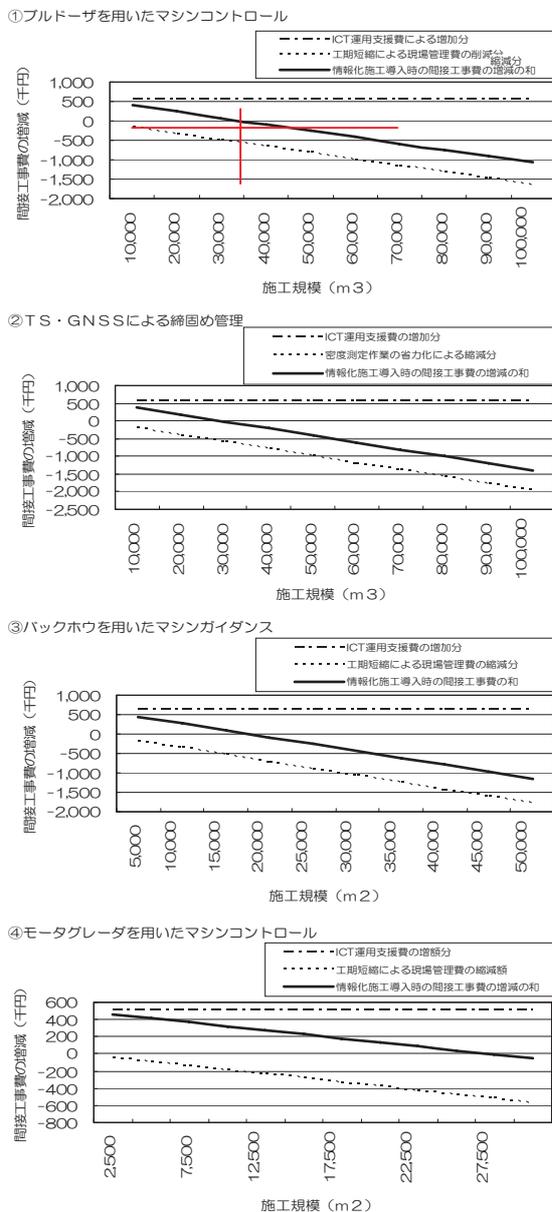


図-4 ICT導入時の間接工事費の変化

①ブルドーザを用いたマシンコントロール

35,000m<sup>3</sup>以下ではICT機器の導入準備に要するICT運用支援費の増加により、間接工事費が従来施工を上回る。35,000m<sup>3</sup>以上では工期短縮効果により、従来施工よりコスト面で有利となる。

②TS・GNSSによる締固め管理

30,000m<sup>3</sup>以下ではICT機器の導入準備に要するICT運用支援費の増加により、間接工事費が従来施工を上回る。30,000m<sup>3</sup>以上では密度管理作業の省力化（共通仮設費の低減）により、従来施工よりコスト面で有利となる。

③バックホウを用いたマシンガイダンス

18,000m<sup>2</sup>以下ではICT機器の導入準備に要するICT運用支援費の増加により、間接工事費が従来施工を上回る。18,000m<sup>2</sup>以上では工期短縮効果により、従来施工よりコスト面で有利となる。

④モータグレーダを用いたマシンコントロール

27,500m<sup>2</sup>以下ではICT機器の導入準備に要するICT運用支援費の増加により、間接工事費が従来施工を上回る。27,500m<sup>2</sup>以上では工期短縮効果により、従来施工よりコスト面で有利となる。

以上のように、従来施工に対する間接工事費の増減に着目すると、本試算の対象技術は全て、一定の施工規模以上の場合にコスト面で有利となる。

3.3 工事価格と施工規模の試算結果

図-5は、前述の直接工事費（施工単価）および間接工事費の試算結果を踏まえ、工事価格の算出を行ったものである。図中の実線は従来施工における概算工事価格、1点鎖線は現状のICT損料における情報化施工導入時の工事価格を示している。また、図中の破線は、情報化施工で、今後、ICT損料が低下およびICT運用支援費が削減（技術の普及により機器の準備やデータ作成手間が省力化）された場合の工事価格を示している。

図中の棒グラフは、平成19年度国土交通省直轄事業における発注工事について、1工事当たりの施工規模別の発注件数を示している。さらに、図中の矢印は、コスト面で有利となる施工規模の境界とコスト面で有利となる工事件数が占める割合を示している。

①ブルドーザを用いたマシンコントロール

工事価格では、50,000m<sup>3</sup>以上で従来施工の約1.1倍となる。工事価格では直接工事費の占める割合が大きく、直接工事費を押し上げているICT損料の増加が影響していると考えられる。

図中の破線は、ICT損料が従来比の70%、機器の普及によりICT運用支援費が従来比の50%（情報化施工技術の普及が進み、一般的な技術となることで、データ作成や調整などの準備が効率化すると想定）となった場合の試算結果である。この時、40,000m<sup>3</sup>以上で従来施工よりコスト面で有利となり、その施工規模は全体の1割である。

②TS・GNSSによる締固め管理

工事価格では、50,000m<sup>3</sup>以上で従来施工の約1.1倍程度となる。工事価格では直接工事費の占める割合が大きく、直接工事費を押し上げているICT損料の増加が影響していると考えられる。

図中の破線は、ICT損料が従来比の50%、機器の普及によりICT運用支援費が従来比の50%（情報化施工技術の普及が進み、一般的な技術となることで、データ作成や調整などの準備が効率化すると想定）となった場合の試算結果である。この時、70,000m<sup>3</sup>以上で従来施工よりコスト面で有利となり、その施工規模は、全体の0.5割となる。

③バックホウを用いたマシンガイダンス

工事価格では、従来施工の1.4倍程度となる。工事価格では、直接工事費の占める割合が大きく、

直接工事費を押し上げているICT損料の増加が影響していると考えられる。

図中の破線は、ICT損料が従来比の70%、機器の普及によりICT運用支援費が従来比の50%(情報化施工技術の普及が進み、一般的な技術となることで、データ作成や調整などの準備が効率化すると想定)となった場合の試算結果である。図より、従来手法に比べて以前1.2倍以上となる。バックホウを用いたガイダンス技術では、より安価な2Dシステムの利用など、更なるICT損料の低下が必要である。

#### ④モータグレーダを用いたマシンコントロール

工事価格では、12,500m<sup>2</sup>以上で従来施工よりコスト面で有利となる。図より、現状、本技術を導入し、コスト面で効果が得られる工事は、全体の約1割である。ここで、路盤整形工の規模は下層路盤および上層路盤の数量を加算した値とした。

図中の破線は、ICT損料が従来比の70%、機器の普及によりICT運用支援費が従来比の50%(情報化施工技術の普及が進み、一般的な技術となることで、データ作成や調整などの準備が効率化すると想定)となった場合の試算結果である。この時、2,500m<sup>3</sup>以上で従来施工よりコスト面で有利となり、その施工規模は、全体の4割となる。

### 4. おわりに

本稿では、情報化施工の効果の一つとして施工コストに着目し、施工単価を試算して従来工法との比較を行い、コスト面で有利となる施工規模に

ついて検討した結果を報告した。ただし、検討の結果は、単一工種の施工手法に着目した局所的なものであり、現場毎に異なる施工条件や施工形態を考慮していない。

検討の結果、情報化施工技術の一部は従来工法に比べコスト面からも効果があることが明らかになった。さらに、現状ではコスト面で有利とならない技術も、今後、ICT機器のコストダウンと技術の一般化が進むことで、コスト面で有利となる工事規模が広がることも明らかとなった。

情報化施工推進戦略には、本稿で対象としたコスト面から効果が得られる工事規模の検討以外にも多くの課題があげられている。今後、こうした課題にも積極的に取り組んで参りたい。

### 参考文献

- 1) 国土交通省 情報化施工推進会議:情報化施工推進戦略, 2008.7

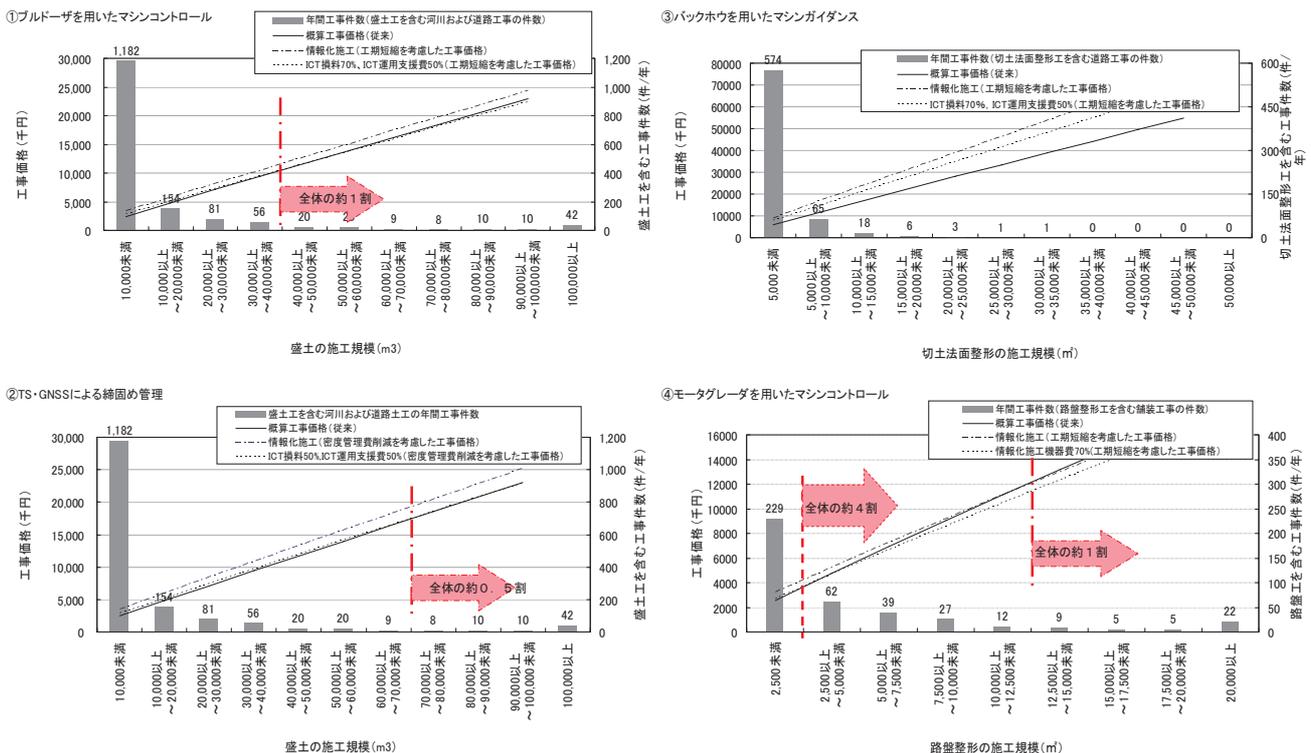


図-5 施工規模と工事価格の試算結果

## 3 2. GPS を活用した除雪機械運用支援システムの開発

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 ○岸 寛人  
 (独) 土木研究所 寒地土木研究所 佐々木 憲弘  
 (独) 土木研究所 寒地土木研究所 牧野 正敏

### 1. はじめに

北海道の国道を管理する北海道開発局は、1026 台の除雪機械を用いて、一般国道 6580km の除雪を行っている(平成 21 年度現在)。北海道における国道の除雪延長は年々増加しているが、除雪事業費は道路予算の縮減により、減少傾向にある。よって、効率的・効果的な除雪作業を行い、冬期道路利用者の旅行速度の安定化や信頼性の高い道路交通機能を確認するためには、積雪状況の変化や除雪作業状況をリアルタイムに把握し、臨機に除雪作業を支援するシステムが必要である。

このため北海道開発局では、GPS により除雪機械の動態を把握する基幹システムを平成 17 年度に導入した。これにより、地図上でリアルタイムな除雪進捗状況の把握や作業履歴の確認が可能となり、効率的な除雪作業、日々の施工結果の確認等、道路維持管理業務の様々な場面において、効率化や高度化が期待される。

本開発では、この基幹システムをベースに、種々の道路管理データ(気象観測、通行規制、道路カメラ画像等)を相互連携させ、除雪機械の弾力的な運用支援を行う除雪機械マネジメントシステムを構築することで、道路維持管理業務のより一層の効率化、高度化を目指している。

### 2. 基幹システムの概要

除雪機械には GPS アンテナ及び作業センサが設置されており、位置及び作業情報(除雪中、回送中等の作業状態)をリアルタイムに収集・送信する。基幹システムはこれらの情報を収集・管理することで、除雪進捗状況のリアルタイムな把握や、過去の詳細な除雪作業履歴の確認を行うことが可能となる。

各種情報の送受信は移動体通信サービスを利用している。基幹システムの全体構成

を図-1 に、基幹システムの基本機能である「除雪機械位置・作業履歴の確認」を図-2 に示す。

データの収集・送信を行う車載機は、札幌・網走開発建設部管内の除雪機械に取り付けられており、平成 21 年度末現在で 369 台の除雪作業状況が確認できる。また、平成 20 年度からは、札幌・網走開発建設部管内の除雪工事請負業者に対してもインターネットによる除雪情報の提供を開始した。

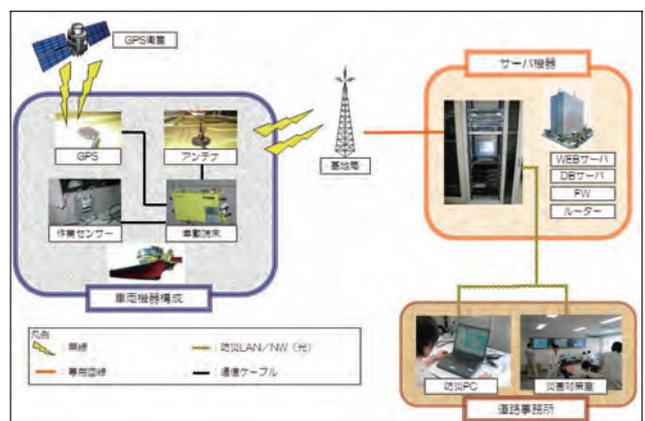


図-1 基幹システム構成図



図-2 除雪機械位置・作業履歴の確認

### 3. 除雪機械マネジメントシステムの基本構想

基幹システムで入手した除雪機械の位

置・作業情報と道路管理データ(気象観測, 通行規制, 道路カメラ画像等)を連携させ, 道路管理における除雪マネジメントが可能な機能の設計, 開発, 導入について検討を行った。除雪マネジメントとは, 除雪計画の策定(Plan), 計画の実施(Do), 評価(Check), 処置(Action)といったPDCAサイクルを実現し, 道路維持管理業務の効率化及びサービスレベルの向上を図ることを指す。ここでは, 除雪機械マネジメントシステムの基本構想である5つの支援機能について説明する。<sup>1), 2), 3)</sup>

### 3.1 除雪計画支援

除雪工区の見直しや除雪機械の適正配置を検討する場合, 過去の膨大な稼働データや気象データ等の整理に多くの時間を要する。位置・作業情報と気象データを蓄積し, データベース化することで必要なデータを容易に検索でき, 除雪計画をより効率的に作成することが可能となる。

### 3.2 出動判断支援

除雪作業は通勤通学時間前に終了することを目標としており, 除雪機械の出動判断は担当者の経験により決定されている。蓄積した除雪機械の作業履歴情報と気象データベースを活用し, 現在の気象情報により出動タイミングをガイダンスすることで, 経験が少ない監督職員, 除雪工事請負業者でも適切な待機出動判断が可能となる。

### 3.3 ダイナミック工区シフト支援

除雪作業は, 通常割り当てられた担当工区内のみ実施されるため, 局所的な大雪など異常気象時には隣接工区間で除雪終了時刻に大幅な差異が生じ, 路線全体として除雪の遅延が生じることがある。本システムにより隣接工区の除雪進捗状況をリアルタイムに確認し, 各工区における除雪終了時刻のシミュレーションを行い, 除雪の応援が可能であれば, 工区境(除雪機械の転回場所)をシフトすることで, 路線全体の除雪終了時刻を早めることが可能となる。

### 3.4 豪雪災害対応支援

豪雪災害時の除雪機械の位置や作業進捗状況の把握は, 無線や携帯電話等の通信手段を用いており, 情報把握や指示に時間を要している。本システムにより応援可能な機械や作業進捗状況をリアルタイムに確認し, 出動指示や時系列データの自動作成を行うことで, 情報の共有化による迅速な災害対応や, 対応結果の効率的な確認及び整理が可能となる。

### 3.5 散布情報収集・管理支援

凍結防止剤の散布は, 気象条件や路面状況により, 散布剤及び散布量を適切に決める必要がある。本システムにより, 散布車の操作パネルの設定情報と位置情報を自動で収集し, 地図上に散布箇所及び散布量を機械ごとに表示することで, 詳細な散布情報の確認や効率的な散布情報の管理が可能となる。

## 4. 除雪機械マネジメントシステムの開発

除雪機械マネジメントシステムの基本構想に基づき, 平成20年度は「ダイナミック工区シフト支援」, 「散布情報収集・管理支援」に関するシステムの開発, 試行を実施し, システムユーザである北海道開発局職員及び除雪工事請負業者の意見をとりまとめた。この調査結果に基づき, 平成21年度は, システムの改良及び機能追加を実施した。

### 4.1 ダイナミック工区シフト支援システム

(1)ダイナミック工区シフト支援システムの概要

ダイナミック工区シフト支援システムの機能を図-3に示す。



図-3 ダイナミック工区シフト画面

地図上に通常時の巡回場所（工区境）やそれ以外の複数の巡回可能地点を事前に登録する。監督職員が地図上で除雪機械を巡回させる地点を指定すると、システムは工区境を挟んで双方の除雪機械が出発地点（除雪ステーション）に戻る時刻（作業終了予想時刻）を算出する。監督職員はこの作業終了予想時刻を参考にして、工区境のシフト実施の判断を行う。

作業終了予想時刻の表示方法は、「通常時の除雪作業を想定した過去の平均作業速度から算出した時刻」及び「豪雪災害時や特定箇所の異常気象時の除雪作業を想定した現在の平均作業速度から算出した時刻」の2段表示とした。

### (2) ダイナミック工区シフトによる効果

北海道開発局網走開発建設部では、隣接工区間の除雪作業時間を平準化し、交通への影響を低減させるために、本システムを用いた工区シフトを試行している。

試行運用の一例を以下に示す。対象箇所は、網走工区・女満別工区・小清水工区の3つの工区であり、2つの工区シフトを同時に行った。試行運用では、まず交通量が多く除雪の作業時間が多い網走工区へ、隣接する女満別工区から応援を行い（シフト区間②、13.8km）、次に女満別工区の作業時間が多くなるため、隣接する小清水工区より応援を行った（シフト区間①、8.2km）。



図-4 網走開発建設部管内工区シフト位置図

試行運用の効果を確認するため、通常除雪時と工区シフト実施時について、除雪作業のために生じる渋滞損失額を算出した。渋滞損失額の算出には、除雪機械マネジメントシステムから得られる除雪機械の作業速度データ、最新（平成17年度）の交通センサに基づく区間交通量・旅行速度のデータ及び図-5に示す算出式を用いた。

渋滞損失額の比較を表-1に示す。小清水

工区から女満別工区への応援（シフト区間①）の場合、応援した小清水工区の増加額が1.9万円、応援された女満別工区の減少額が3.9万円となり、合計で2.0万円の減少となった。次に女満別工区から網走工区への応援（シフト区間②）は応援した女満別工区の増加額が7.0万円、応援された網走工区の減少額が70.2万円となり、合計で63.2万円の減少となった。シフト区間①、②を合計すると、渋滞損失額の値は、試行運用全体で65.2万円の減少となった。

$$\text{渋滞損失額} = (\text{除雪作業時の所要時間} - \text{基準所要時間}) \times \text{区間交通量} \times \text{車種別時間価値原単位}$$

$$= \left\{ \left( \frac{\text{区間距離}}{\text{除雪トラック平均速度}} \right) - \left( \frac{\text{区間距離}}{\text{基準速度}} \right) \right\} \times \text{区間交通量} \times \text{車種別時間価値原単位}$$

車種別の時間価値原単位(単位:円/分・台)

車種	時間価値原単位
乗用車	40.10
バス	374.27
小型貨物車	47.91
普通貨物車	64.18

※渋滞損失額(円/分)  
 ※除雪トラック平均速度(km/h)  
 ※除雪機械マネジメントシステムの速度データを使用  
 ※基準速度(km/h)・区間交通量(台/h)  
 ※最新の道路交通センサデータを使用  
 ※車種別時間価値原単位(円/分・台)  
 費用便益分析マニュアル(平成20年11月国土交通省道路局都市・地域整備局)を使用

図-5 渋滞損失額の算定式

表-1 渋滞損失額の比較

		シフト区間①		シフト区間②	
		小清水工区(応援側)	女満別工区(受け手側)	女満別工区(応援側)	網走工区(受け手側)
通常時	往復の道路延長(km)	47.5	57.4	41.0	82.9
	除雪作業速度(km/h)	32.0	33.0	33.0	23.2
	作業時間(h)※	1.5	1.7	1.2	3.6
	損失額(万円)	5.9	13.1	9.2	210.6
シフト時(応援時)	往復の道路延長(km)	63.9	41.0	68.6	55.3
	除雪作業速度(km/h)	32.0	33.0	33.0	23.2
	作業時間(h)※	2.0	1.2	2.1	2.4
	損失額(万円)	7.8	9.2	16.2	140.4
通常時とシフト時の損失時間の比較(h)※		0.5	-0.5	0.9	-1.2
通常時とシフト時の損失額の比較(万円)		1.9	-3.9	7.0	-70.2
シフト区間毎の差額の合計(万円)		-2.0		-63.2	
合計				-65.2	

※表中の作業時間は、除雪機械マネジメントシステムの速度データより試算した。

各工区の通常時の作業時間は、小清水工区が約1.5時間、女満別工区が約1.7時間、網走工区が約3.6時間である（待機時間を除く）。工区シフト後の作業時間は、小清水工区が約2.0時間、女満別工区が約2.1時間、網走工区が約2.4時間となり、各工区の除雪所要時間の平準化が確認された。

今回の工区シフトは通常除雪作業における試行であるが、異常気象等で除雪作業に遅れが生じた場合、ダイナミック工区シフトを行い、路線全体の除雪作業時間の短縮を図ることにより、渋滞損失額を低減できることが推測できる。

### 4.2 散布情報収集・管理支援システム

凍結防止剤の散布は、凍結防止剤散布車の運転席にある「操作パネル」にて、オペレータが散布のON/OFF、散布剤の種類（塩類、砂類）、散布量（g/m<sup>2</sup>）、散布幅、散布方向、水溶液混合割合を都度設定し行って

いる。このうち、いずれかの操作があった場合に、散布設定情報と位置情報を収集し、地図上に表示することで、いつ、どこで、どれだけ散布したのかが把握可能となる。また、詳細な散布情報を把握・蓄積することにより、適正な散布箇所や散布量の指標を定める上での基礎データとして活用できる。実際の凍結防止剤散布車から取得した散布情報データの提供画面を図-6に示す。

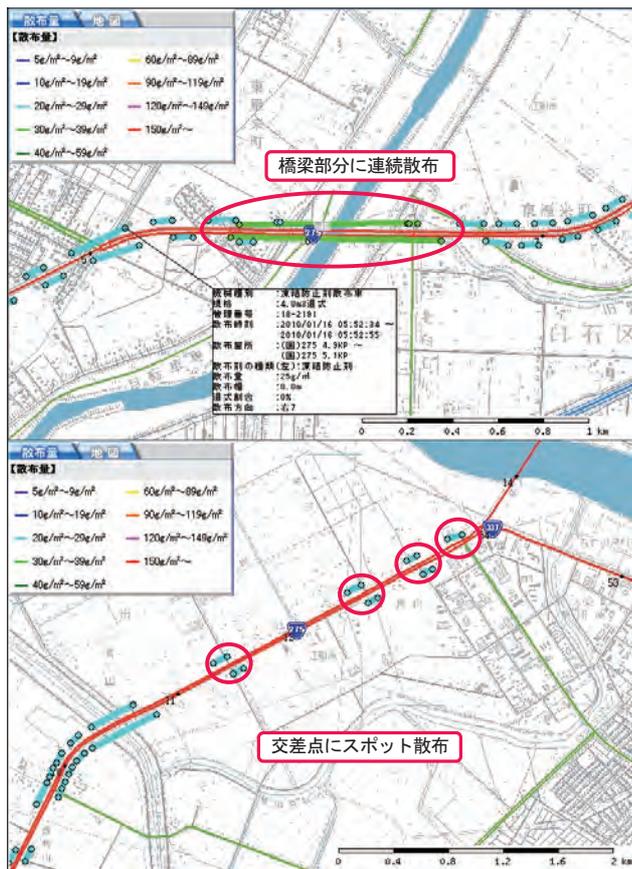


図-6 散布状況表示例

散布履歴情報一覧

警務:札幌開発建設部 札幌道路事務所  
 除雪機械種別:凍結防止剤散布車  
 規格:40m3置C  
 管理番号:14-

散布経緯(6):7659【凍結防止剤】 0【除雪機】 011【付帯装置】

散布時刻	散布箇所	散布機の種別	散布量 (g/m²)	散布幅 (m)
2009/01/05 05:04~2009/01/05 05:20	00036 10.481KP ~ 00036 10.292KP	凍結防止剤	10	3.6
2009/01/05 05:14~2009/01/06 01:10	00036 10.282KP ~ 00036 9.178KP	凍結防止剤	10	2.5
2009/01/06 01:10~2009/01/06 01:20	00036 9.178KP ~ 00036 9.043KP	凍結防止剤	10	2.6
2009/01/06 01:20~2009/01/06 01:29	00036 9.043KP ~ 00036 8.908KP	凍結防止剤	10	2.6
2009/01/06 01:29~2009/01/06 03:17	00036 8.908KP ~ 00036 7.928KP	凍結防止剤	20	3.5
2009/01/06 03:07~2009/01/06 04:45	00036 7.928KP ~ 00036 7.160KP	凍結防止剤	20	3.5
2009/01/06 04:45~2009/01/06 06:28	00036 7.160KP ~ 00036 6.888KP	凍結防止剤	20	4.8
2009/01/06 06:28~2009/01/06 07:00	00036 6.888KP ~ 00036 6.666KP	凍結防止剤	20	6.0
2009/01/06 07:29~2009/01/06 08:25	00036 6.666KP ~ 00036 6.020KP	凍結防止剤	20	6.0
2009/01/06 08:24~2009/01/06 08:47	00036 6.020KP ~ 00036 4.832KP	凍結防止剤	20	3.0
2009/01/06 08:16~2009/01/06 10:07	00036 4.799KP ~ 00036 4.229KP	凍結防止剤	20	3.0
2009/01/06 10:55~2009/01/06 11:27	00036 4.229KP ~ 00036 3.465KP	凍結防止剤	20	3.0
2009/01/06 13:07~2009/01/06 14:54	00036 3.465KP ~ 00036 2.351KP	凍結防止剤	25	6.0
2009/01/06 15:43~2009/01/06 16:00	00036 2.351KP ~ 00036 2.278KP	凍結防止剤	25	6.0
2009/01/06 16:00~2009/01/06 16:21	00036 2.278KP ~ 00036 2.127KP	凍結防止剤	20	6.0

図-7 散布履歴情報一覧

図-6上は連続散布の表示例である。○印は散布開始・終了地点であり、○印の間が

線で繋がっている箇所は連続的に散布したことを表している。設定散布量は凡例のように色分けして表示し、○印にカーソルを合わせるとその地点での散布時刻、位置、詳細な散布設定情報が表示される。

また、この図は橋梁部分での散布情報を示したものであるが、橋梁の前後より散布量を増やし、重点的に連続散布を行っていることがわかる。

一方、図-6下はスポット散布の表示例であり、交差点などの必要な箇所にスポット的に散布を行っていることが読み取れる。

さらに、図-7に示す散布履歴情報一覧をダウンロードすることで、詳細な散布情報をCSV形式で取得できるため、散布日報作成時に利用することができる。

当研究所では連続的な路面すべり抵抗値の計測も行っており、散布前後のすべり抵抗値を比較することで、路面状態の改善状況の確認などに活用できる。すべり抵抗値以外にも気象情報などと詳細な散布情報を合わせて分析することで、適正な散布箇所や散布量の指標を定める上での基礎データとして利用できると考えている。

### 4.3 システムの利用状況と改善要望

平成20年度、システムの利用状況及びシステムに関する改善点等を調査するために、札幌・網走開発建設部管内の北海道開発局職員及び除雪工事請負業者を対象に、WEBによるアンケート調査を実施し、58名から回答を得た。また網走開発建設部管内の各道路事務所職員、各除雪工事請負業者に対して、システムをどのように利用したか、システムに対する要望事項等のヒアリング調査を実施した。

#### (1) システム利用状況

除雪機械マネジメントシステムのアクセス数の推移について調査を行った結果を図-8に示す。

アクセス数と札幌・網走の降雪量との関係を見ると、降雪量の多い日にアクセス数が増加していることがわかる。特に平成20年12月26日、平成21年2月21日の豪雪では多くのアクセスがあったことが確認できる。また、アクセスログを詳細に調査した結果、最も利用が多かったのは「除雪機械位置の確認」画面であった。

利用目的・用途については、「担当工区の除雪機械位置・作業状況の確認」が最も多く、次に、北海道開発局職員では「道路利用者・警察からの問い合わせ対応」、除雪工事請負業者では「他工区除雪機械の位置・

作業状況の確認」が多かった。

また、システムの活用事例についてヒアリング調査した結果、除雪工事請負業者からは「担当工区の除雪進捗状況を確認しながら凍結防止剤散布車の出動タイミングを図る」、「指定した場所への散布がされているかの確認に利用した」等の回答があった。道路事務所職員からは「道路利用者からの問い合わせや警察からの散布要請に対し、システムで確認して現在の作業状況を説明した」、「豪雪時に除雪工事請負業者との連絡が取りにくくなったときの除雪進捗状況の確認に利用した」等の回答があった。また平成21年2月21日の豪雪時には「救急車の先導を行うため、近くで作業している除雪車をシステムで探した」という事例もあった。

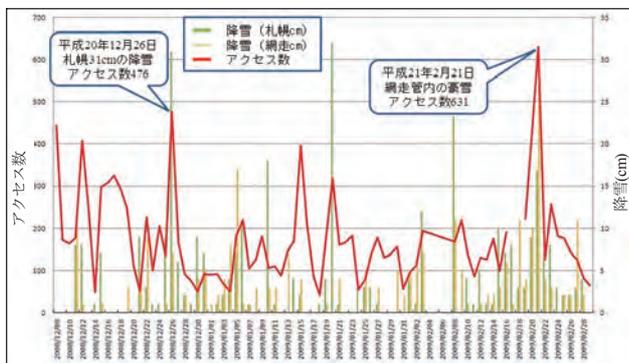


図-8 システムアクセス数の推移

## (2) システム改善要望

システムの改善点についてアンケート調査及びヒアリング調査を行った結果、気象観測情報、通行規制情報、道路カメラ画像情報等の関連情報の付加に関する要望が多く出された。これは、除雪機械の位置・作業情報と合わせて、現地の状況を把握する必要性が高いことを示している。

また、「ダイナミック工区シフト支援システム」については、以下の問題点を確認した。

- ・ 除雪機械が予め登録した除雪予定ルートから外れると、シミュレーションできない
- ・ 作業ルート（実績・予想）や到着予想時刻が表示されるまでに時間がかかる
- ・ 終了予想時刻の算出には、応援する機械、応援される機械を一对で指定する必要がある

上記の問題を解決するためには、除雪作業の進捗状況把握や予想時刻シミュレーションを、煩雑な操作をせず直感的に行える

システムの開発が必要である。

以下ではこれらの要望に対して実施した具体的な改善内容について述べる。

## 4.4 気象観測・道路カメラ画像の表示

リアルタイムな除雪機械の位置・作業情報と合わせて、現地の気象情報、カメラ画像をシステム画面上に表示させることにより、除雪作業がどのような気象状況・路面状況で行われているのか把握可能となる。そこで、道路テレメータ情報、道路カメラ情報をシステム画面上に表示する方法の検討を行い、北海道開発局で提供している「北海道地区道路情報」へリンクを張ることで対応することとした（図-9）。

リンク方法は、除雪機械マネジメントシステムの「除雪機械位置の確認」画面の地図上に表示されている、道路テレメータ・道路カメラのアイコンをクリックすることで、「北海道地区道路情報」の気象詳細情報及び道路画像情報がポップアップ表示されるものとした。

監督職員は、除雪作業を実施している現場状況が把握可能となり、除雪作業の妥当性や除雪作業の進捗が遅れている要因等を確認することができる。



図-9 気象観測情報・道路カメラ情報の表示例

## 4.5 除雪作業状況確認システム

前述 4.3 のとおり、「ダイナミック工区シフト支援システム」については、使い勝手における問題点が指摘された。そこで除雪進捗情報の共有と、ユーザが指定した地点における除雪機械到着予想時刻の提供に特化した、除雪作業状況確認システムの開発を行った。システムに求められる機能について検討を行い、必要な要件を以下のとおり整理した。

(1) 表示内容

- ・地図の縮尺を固定（ただし、札幌市内は拡大表示可）
- ・最新の除雪機械の位置を作業種別ごとに色分けし、矢印アイコン表示
- ・作業軌跡を作業種別ごとに色分けし、丸アイコン表示
- ・矢印アイコン、丸アイコンをマウスオーバーした場合、日時、機械種別、管理番号を旗揚げ表示

## (2) 必要機能

- ・ユーザが指定した作業内容（除雪中・散布中）の除雪作業実績を抽出し、地図上に表示
- ・除雪機械が、現在位置からユーザが指定する地点まで移動した場合の到着予想時刻を算出し、画面上に表示

以上の要件に基づき、システムの開発を行った。開発したシステム画面を図-10、11に示す。



図-10 除雪作業状況確認システム

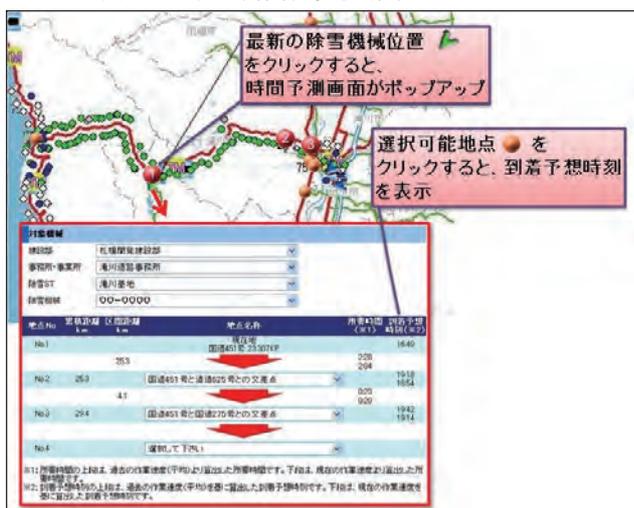


図-11 到着予想時刻の表示画面

このシステムにより、監督職員は除雪作業の進捗状況を容易に把握でき、工区境の臨機なシフトや、除雪機械の他工区への柔

軟な応援を行うことが可能となる。また、今後の除雪ルートがユーザが指定することにより、除雪終了予想時刻がシミュレーションできるので、除雪終了予想時刻に基づいた工区シフト判断を行うことが可能となる。

## 5. まとめ

本研究は、冬期道路利用者の旅行速度確保及び異常気象時における迅速な除雪作業への対応を目的として、除雪機械のリアルタイムな位置・作業情報を活用した除雪機械のマネジメント及び弾力的運用を支援するシステムの開発を行ってきた。

平成20年度は「ダイナミック工区シフト支援システム」及び「散布情報収集・管理支援システム」を開発・試行し、そこで得られた知見とニーズに基づき、平成21年度は除雪機械マネジメントシステムの改良及び機能追加を実施した。

今後は、より効率的な除雪機械の運用支援を行うためのシステムの活用方法や、気象情報等とのさらなる連携について検討を行い、冬期道路管理業務の効率化・高度化に取り組んでいく予定である。

## 参考文献

- 1) 中村隆一・佐々木憲弘・小野寺敬太：除雪機械等情報管理システムの展望，建設施工と建設機械シンポジウム論文集，pp.203～208，2008.
- 2) 牧野正敏・佐々木憲弘・中村隆一・小野寺敬太：除雪機械等管理運用マネジメントシステムの開発，第24回寒地技術シンポジウム寒地技術論文・報告集，pp.333～338，2008.
- 3) 牧野正敏・佐々木憲弘・中村隆一・小野寺敬太：除雪機械等管理運用マネジメントシステムの開発，第21回ゆきみらい研究発表会論文集，pp.218～223，2009.
- 4) 国土交通省道路局都市・地域整備局，費用便益分析マニュアル，pp.7，2008.11.

# 3.3. クラックスケール内蔵光波測量器とデジタル写真画像によるひび割れ抽出ソフトを用いた構造物のひび割れ計測

## 現場への適用とその効果について

関西工事測量株式会社  
関西工事測量株式会社

○ 交久瀬磨衣子  
中庭和秀

### 1. はじめに

コンクリート構造物に生じたひび割れは、構造物の機能を低下させる原因であり、その調査は全ての社会基盤を管理する上で必要不可欠である。現在多くの現場では、仮設足場や高所作業車等を用いて、直接ひび割れにクラックスケールを当てる方法で計測が行われている。しかし、この計測方法は、ひび割れを目視によってスケッチするため、個人差が生じることや経年変化が観察できない。さらに、計測者の安全確保が困難であるなど様々な問題を抱えている。

これらの問題を解決するために、写真画像処理によるひび割れ計測も行われ始めている。この方法は現場での作業時間が少ないという利点がある。しかし、デジタル写真画像によってひび割れを自動抽出するため、壁面の汚れ等をひび割れと誤認してしまうことやひび割れ幅の精度に対する信頼性が低いなどの問題がある。

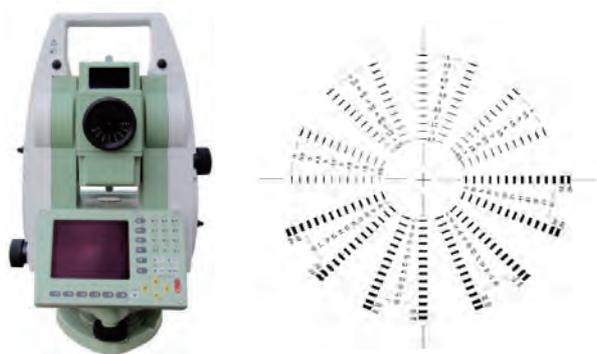


図-1 「KUMONOS」(左) 内蔵クラックスケール (右)

クラックスケール内蔵光波測量器 (以下、「KUMONOS」) は、光波測量器にオリジナルのクラックスケールを内蔵しており、非接触でひび割れ計測を行うことができる (図-1)。計測できるデータはひび割れの幅・長さ・形状・3次元位置座標であり、それらは専用アプリケーションソフトを介し、CAD 図面として瞬時に自動描画できる<sup>1)</sup>。

光波測量器を用いてひび割れ計測を行うため、全ての測点は3次元座標データとして記録され、橋梁・擁壁・堰堤などの展開図、およびトンネルなどのアーチ状構造物の展開図も高精度に作成できる。

本稿では、「KUMONOS」の概要、スケッチによる従来方法との比較、現場での計測方法、さらにデジタル写真画像との併用について検討を行った結果を紹介する。

### 2. 「KUMONOS」の概要

本システムを用いた計測では、「KUMONOS」の視野内で確認できるひび割れと内蔵クラックスケールを比較することで、ひび割れ幅を計測することができる。ひび割れの幅は「KUMONOS」と計測面との距離と角度によって補正される。

#### 2.1 内蔵クラックスケール

内蔵しているクラックスケールは、幅の異なる線 (ゲージ) に 0.5 番から 18 番までの番号がついており、これらが放射状に配置されている (図-1)。従来は様々な方向に生じているひび割れに対して、計測者がクラックスケールの向きを変えることでひび割れ幅を計測していた。しかし、光波測量器の焦点鏡は機能上、上下左右にしか動かすことができない。つまり、焦点鏡に組み込まれている内蔵クラックスケールは回転させることができないため、様々な方向に生じたひび割れを計測するために放射状にデザインされている。

#### 2.2 ひび割れ幅の計測方法

ひび割れ幅の計測は以下のようにして行う。

- ① 光波測量器の焦点鏡に組み込んだクラックスケールを使って、ひび割れ幅と一致するゲージ番号を選択する。
- ② 測量器からひび割れ計測箇所までの距離と角度を計算する。
- ③ 取得した距離・角度・ゲージ番号を用いて実際のひび割れ幅を測量器内の計算プログラムで自動計算した後、液晶画面に表示する。

## 2.3 長さ・形状・3次元位置座標の計測方法

長さ・形状・3次元位置座標の計測は、以下のように行う。

- ①器械から各測点（ひび割れの端点、および各変化点）の斜距離、鉛直角、水平角を順に計測する。
- ②各測点の3次元座標は専用アプリケーションソフトで自動計算する。
- ③各測点のデータを用いてスクリプトファイルを出力し、CAD上に自動描画する。

## 2.4 距離別最小計測幅および幅計測の補正

「KUMONOS」は42倍の望遠レンズを搭載しており、覗きながらひび割れ計測を行う。人の目によるチェックを行いながら計測するため、壁面の汚れをひび割れと誤認することはない。「KUMONOS」で計測できる距離別最小計測幅を表-1に示す。

表-1 距離別最小計測幅

器械からの距離(m)	1.5	5	10	15	20	25	30
最小計測幅(mm)	0.007	0.022	0.044	0.066	0.088	0.110	0.132
器械からの距離(m)	35	40	45	50	60	70	80
最小計測幅(mm)	0.155	0.177	0.199	0.221	0.265	0.309	0.353

ひび割れの幅は、正対して見た場合と斜めから見た場合では太さが異なって見える。実際のひび割れ計測では、常に測量器がひび割れと正対した状態に設置できる訳ではなく、限られた設置場所から上下左右方向を計測しなければならない。本システムは斜め方向からひび割れを計測した場合でも、補正計算プログラムによって正対した状態と同じひび割れ幅を計測することができる。

## 2.5 計測内容

本システムはひび割れ計測を行う対象物および計測内容によって計測モードを変えて計測する。計測モードおよび具体的な計測内容を表-2に示す。現況計測の壁面モードは、実際に距離を計測する測距計測以外に測角計測も行うことができる。これは、ひび割れ計測を開始する前に壁面上の任意の3点を計測することで器械点を含めた3次元の

仮想面を作り、距離を計測することなく壁面に対する入射角度のみを計測する方法である。この計測方法は測距計測と比べ短時間で計測でき、工期短縮が可能である。

## 3. スケッチによる従来方法との比較

本システムでは、従来方法で行っていた足場等の設置やスケッチ図面をCAD図面にトレースするという作業を簡略化できる。

### 3.1 計測状況

従来方法では、計画準備の後に足場や高所作業車等を手配しなければならず、コストがかかるとともに計測者の安全が確保できていなかった。図-2に従来方法との作業フロー比較を示す。

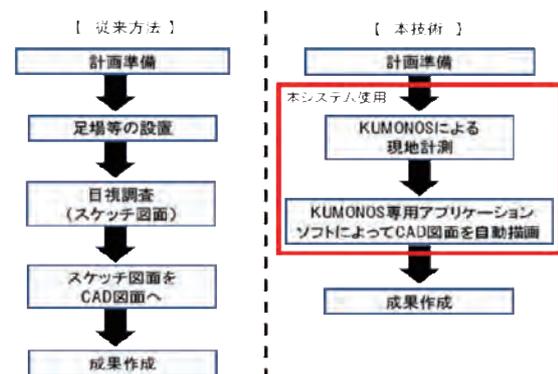


図-2 従来方法との作業フロー比較

### 3.2 コスト

現地での計測作業日数が12日の現場計測について、従来方法で計測した場合と本システムを使った場合を比較した結果、高所作業車のレンタル費用及び運転手の労務費の合計375,600円を削減できた。また、室内作業では、専用アプリケーションソフトの自動描画機能により、従来行っていた模倣図面からのトレース作業が不要となった。このことにより、24日かかっていた室内作業を5日間で行うことができ、19日間の工期短縮を行うことができた。すなわち、「KUMONOS」は従来方法と比べコスト面からも優位な計測手法であるといえる。

表-2 計測モードおよび計測内容

測定モード	簡易計測	視準角度補正計測	現況計測		
			壁面モード	平面モード	アーチモード
測定内容	ひび割れ幅のみ	変化点2点とひび割れ幅	ひび割れ幅・長さ・形状		
測定対象	器械に正対しているひび割れ	器械に正対していないひび割れ	橋脚 法面 擁壁など	床版 路面 天井など	トンネル 立坑 曲面のある構造物など
図化の種類	3次元図 展開図	3次元図 展開図	3次元図 展開図	3次元図 平面図	3次元図 展開図

### 3.3 計測機能

「KUMONOS」を用いると、計測データを3次元座標データ化することで、定量的な数値データとして計測結果を記録することができる。これにより、点検毎に前回点検時からのひび割れの成長等の変化を把握することが可能になるため、構造物のより高度な管理手法である定量データに基づく経年変化管理を行うことができる。

### 4. 現場での計測方法

本システムを用いたひび割れ計測は、計測者が「KUMONOS」を1台ずつ用いて、1箇所もしくは数箇所から計測を行う。また、複数名で同時に計測する場合は、合成用の基準点を設け、その基準点を共有し計測を行う。このことにより複数の計測データを同時にCAD上に自動描画することができる。設置場所は測量用三脚が設置できるスペースだけでよく、揺れや震動があるような不安定な場所を除き、設置場所の制限はほとんどない。計測データの正確性を確保できる計測限界は、水平角左右それぞれ60度、仰俯角60度であり、この角度を超える場合は「KUMONOS」を移動させ計測を行う。写真-2はダム堤体の計測状況、写真-3は擁壁の計測状況である。



写真-2 ダム堤体の計測状況



写真-3 擁壁の計測状況

### 5. 「KUMONOS」とデジタル写真画像との併用

「KUMONOS」を使用したひび割れ計測では、亀甲クラックが生じている場合やひび割れ本数が極端に多い場合、正確に計測することはできるが、時間とコストが必要となる。そこで、より効率化を行うためにデジタルカメラで撮影した写真画像を使ったひび割れ抽出ソフトとの併用を写真-4の現場を使って検討した。



写真-4 調査対象現場

#### 5.1 現況計測

デジタル写真画像を使ったひび割れ計測では、ひび割れ抽出ソフトを使用する前にデジタル写真画像の補正を行わなければならない。そこでまず現地で写真を撮影するとともに、「KUMONOS」を使って正確な調査対象壁面の形状を記録する。「KUMONOS」は光波測量器であり、構造物の距離や形を計測することができる。今回使用したひび割れ抽出ソフトの画像補正には、点間がわかる四角形が必要である。したがって、任意の四角形を「KUMONOS」で計測し、その正確な4点の距離を用いてデジタル写真画像の補正を行う(図-3)。

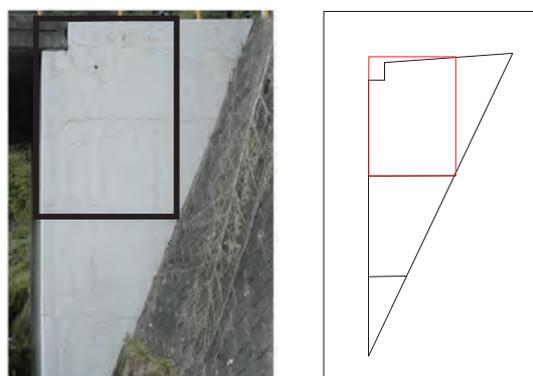


図-3 補正用の計測位置 (左) および「KUMONOS」を使って計測した図面 (右)

## 5.2 ひび割れの自動抽出および「KUMONOS」を使用した幅測定

「KUMONOS」で計測した距離をもとにデジタル写真画像を補正した後、ひび割れの自動抽出を行う。デジタル写真画像を用いたひび割れ計測では、ひび割れ幅の精度と汚れやツタをひび割れと誤認するという問題点が挙げられる。したがって、これらの問題を補うために自動抽出済みの図面を現場に持参し、「KUMONOS」を覗きながらひび割れが誤認されていないか確認を行う。さらに、形状はひび割れ抽出ソフトを用い、自動抽出ソフトで最も幅が大きいと判断された箇所の幅のみ「KUMONOS」を使って計測する。このことにより、デジタル写真画像の問題点とひび割れが多い場合に生じる「KUMONOS」を使ったひび割れ計測の問題点を解決することができる(図-4, 5, 6)。



図-4 デジタル写真画像(補正済)

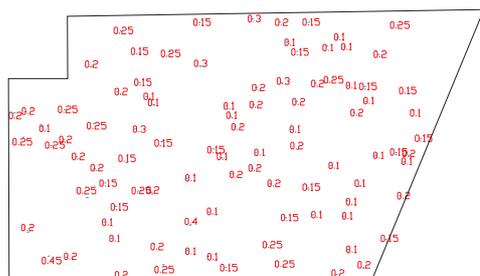


図-5 「KUMONOS」計測図面(ひび割れ幅)

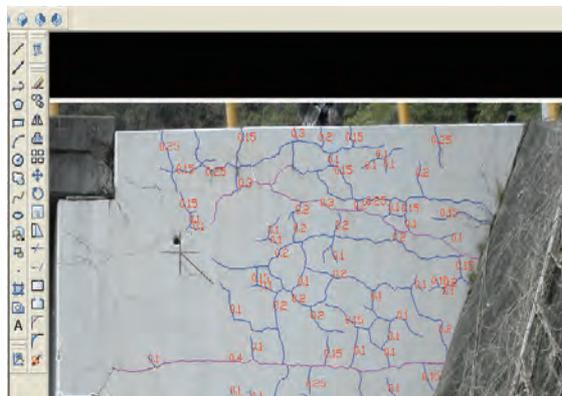


図-6 合成図面

## 5.3 併用の効果について

ひび割れが多い場合、デジタル写真画像と併用することにより、「KUMONOS」のみで形状と幅を計測した場合と比較して、現場作業で4人工、室内作業では1人工の省力化を行うことができた。つまり、形状は自動抽出ソフトを用い、幅のみを「KUMONOS」で計測することは有効であるといえる。また、データを図面だけでなく、デジタル写真画像で見ることができ、データの可視化を行える。今回の調査では、ひび割れの幅のみを「KUMONOS」で計測したが、ひび割れの端点も「KUMONOS」を使って計測しておくことで、ひび割れの成長の経時変化も計測することができる。と考える。

## 6. おわりに

本システムは従来のスケッチによる目視点検と比較して安全性、正確性、経済性の点で格段に進歩したものであり、社会資本の計画的な補修や維持管理に大きく貢献すると考えられる。

今回行ったデジタル写真画像との併用のように本システムは3Dレーザースキャナや赤外線サーモグラフィと併用することも可能である。赤外線サーモグラフィによる外壁調査は、計測時の気温、季節、時刻、方位などの環境要因が影響することから、様々な制約があるとされている<sup>2)</sup>。しかし、特殊建築物において、赤外線サーモグラフィによる全面「浮き」調査を行う前に本システムを使ったひび割れ調査を行い、あらかじめ外壁が落下する可能性がある箇所を厳選した後赤外線サーモグラフィによる調査を行うことで、赤外線サーモグラフィが抱える制約を最小限に抑えて計測することができる<sup>3)</sup>。また、本システムで取得したデータを使ってGISを構築することで、効率的な維持管理や経年変化管理のデータベース化を行うことができると考える。

## 参考文献

- 1) 前田穰・中庭和秀・石澤徹・小山幸則・朝倉俊弘：クラックスケール内蔵光波測量器を用いたひび割れ点検システムの開発と現場適用，2007年度土木情報利用技術論文集，VoL.16，pp.167～174，2007年10月
- 2) 天野勲・山川和夫・伊藤秀和：特殊建築物の外壁診断における赤外線調査ガイドライン，建設の施工企画，No.708，pp.70～76，2009年2月
- 3) 建山和由・中庭和秀・久瀬磨衣子：非接触型ひび割れ計測器と赤外線サーモグラフィの併用による外壁診断技術，近畿地方整備局研究発表会論文集，2010年7月

## 3 4. 自動ステアリングによるアスファルトフィニッシャの 制御に関する検討

前田道路㈱  
同

○菊地 重徳  
宇田川 健治

### 1. はじめに

2008年7月に策定・公表された情報化施工推進戦略で紹介されている情報化施工技術の事例として、グレーダやブルドーザ等のマシンコントロール技術がある。近年舗装分野においても、グレーダやブルドーザを用いた路盤材の敷均し作業に加えて、アスファルトフィニッシャによる舗設作業にマシンコントロール技術が積極的に導入されつつあり、施工条件により最適な自動制御機器が選択できるようになった。

具体的には、上層・下層路盤工で使用するベースペーパーやアスファルトフィニッシャのスクリード仕上げ面高さを三次元マシンコントロール（以下、3D-MC）技術を用いて制御している。位置情報の採取方法としては、Global Navigation Satellite System（GNSS）と高精度レーザを組み合わせることにより、ミリメートル単位での制御が可能なmmGPSシステムや、トンネル内等で上方視界の影響を受けずに施工可能な自動追尾式トータルステーション（以下、TS）があり、いずれの方法も従来の制御機器と同等以上の精度が得られることが確認されている。

本稿では、スクリード仕上げ面の高さ制御（以下、グレードコントロール）に限られていたアスファルトフィニッシャの3D-MCにおいて、走行操舵（以下、ステアリング）と施工幅員調整（以下、ワイドナ）の自動制御も可能としたシステムであ

るナビトロニックを国内で始めて導入し、TSによる試験施工を実施したので、その概要と結果について報告する。

### 2. 使用機械とシステム概要

#### 2.1 使用機械

このナビトロニックでステアリング制御を行うためには、フェーゲル社製レベリングシステムであるナビトロニックを搭載したクローラタイプのアスファルトフィニッシャの使用が条件となる。よって、本試験施工においては、フェーゲル社製SUPER 1600-2を使用した。概略の仕様を表-1、外観を写真-1に示す。

#### 2.2 システム概要

ナビトロニックは、アスファルトフィニッシャの左右スクリードアームのスクリュウ上部に取り付けたブラケットに、マスト、ターゲットプリズムをそれぞれ設置し、2台のTSで自動追尾する。TSにより測定されたデータは、無線モデムによりアスファルトフィニッシャに搭載されたPCに送信される。また、同時にマスト基部に取り付けられた2軸勾配センサにより検知されたマストの縦横断勾配での傾き情報と、スクリード伸縮部に取り付けられたスクリード伸縮センサからの情報と合わせてPCに提供される。機器の取り付け状況を写真-2に示す。

表-1 S1600-2 主要諸元

スクリード	AB500-2TV
舗装幅	2,550-8,000mm
舗装能力	600t/h
最大舗装厚	300mm
エンジン定格出力	100kW/2000rpm
重量	18.4t
クローラ設置面	2,830mm × 305mm
駆動方式	各クローラ独立電子コントロール駆動
ステアリング	左右のトラックの速度を変更



写真-1 アスファルトフィニッシャ S1600-2

PCに提供された情報は、ステアリング位置、スクリード仕上げ面の高さ、施工幅員として算出され、あらかじめ入力しておいた3D設計データと照合される。その結果、算出された偏差はアスファルトフィニッシャ側のインターフェイスを介して油圧システムに補正信号として送信され、油圧制御によって機械本体、及びスクリードを設計ライン上、及び基準高さに誘導するシステムである。

通常、メーカーの推奨する制御方法では、施工幅員7mまでであれば1本のマストとスロープセンサの組合せで、十分な精度が期待できるとされているが、今回使用したS1600-2は、アタッチメントの組立により8mまで施工可能であることから、大規模現場を想定し、2本のマストを使用してマシンコントロールを行い、その精度を検証することとした。

### 3. 試験施工概要及び検証項目

施工場所は弊社機械センターの構内で行い、施工延長80m、起点終点の施工幅員を3.5mとし、カーブに伴う幅員変化を0.5mに設定した。また、カーブの曲率半径は高速道路のランプ部を想定し、R=40mとした。

敷き均し材料は再生密粒度アスコン13mmを使用し、余盛量を見込んだ敷き均し厚さは48mmとした。

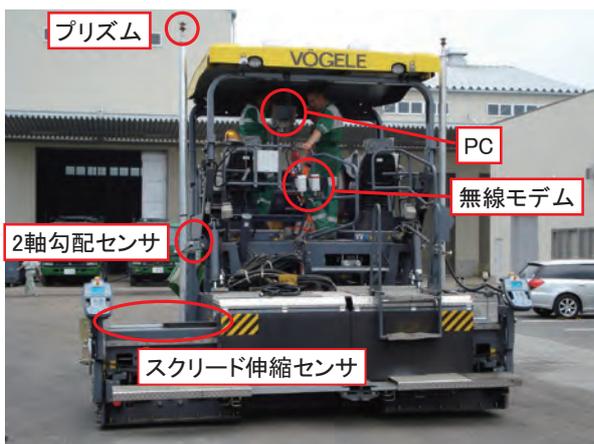


写真-2 機器取り付け状況

計画の平面図を図-1に示す。

検証項目及び内容は、以下の項目とした。

#### (1) ステアリング

ナビトロニックのステアリングコントロールは、左右マストを結んだラインの中心から直角に進行方向へ5~10mの位置をステアリングフロント値として設定し、このステアリングフロントを設計ライン上に誘導することで行われる(図-2参照)。アスファルトフィニッシャの構造的な特徴として、スクリードはトラクタ後部に位置するため、曲線部の施工において、スクリードはトラクタの走行軌跡よりもオーバーハングすることになる。ステアリングフロント値は、大きな値を設定することで直進性に優れた設定となるが、曲線部の施工では、ステアリングフロント値を小さくすることでカーブでの追従性に優れ、スクリードのオーバーハングを抑えることが可能となる(図-3参照)。R=40mを施工する今回の施工では、ステアリングフロント最小値5mを採用し、カーブでの追従性を確認した。

設計の走行ラインと、施工中のステアリングフロントの偏差は、施工中PCのログファイルとして連続的に保存される。このログファイルを用いて、設計ラインとステアリングフロントとの偏差を確認した。

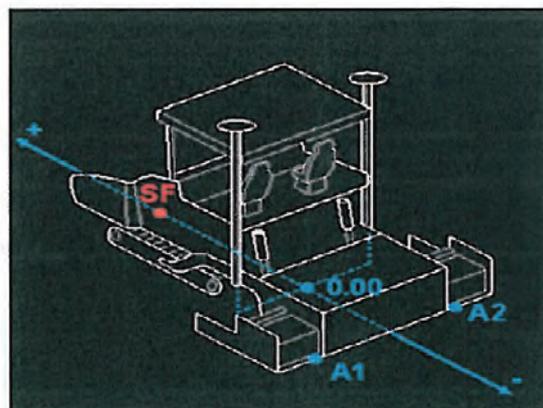


図-2 ステアリングフロント

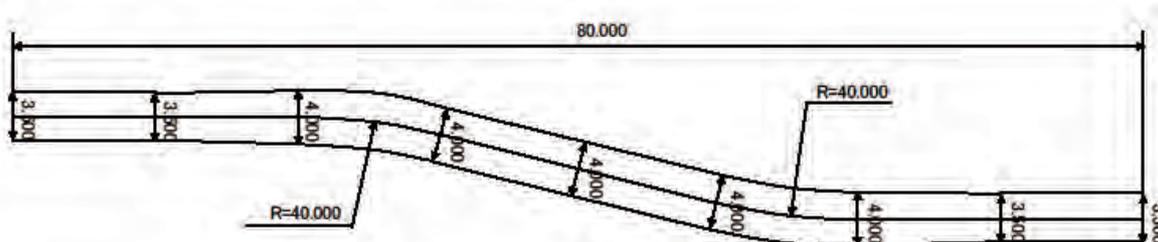


図-1 計画平面図

**(2) 施工幅員**

スクリード中心の軌跡を TS を用いて 10m 毎にプロットし、設計ラインとの偏差を計測した。また、設計ラインからの左右幅員及び全幅員を 10m 毎に計測し、設計幅員と比較した。

**(3) 高さ**

TS を用いて設計データと仕上り高さの比較を行った。また、今回の試験施工では、敷き均し高さの精度検証が目的のため、ローラによる転圧は行わないこととした。

**4. 試験施工及び結果**

2009 年 10 月 8 日試験施工を実施した。当日は強風であることと、施工延長が 80m と限られていること、また、転圧のためのローラがないことを踏まえ、マシンコントロール用の TS2 台、出来形確認用の TS 1 台を施工後方のテント内に設置した。TS 設置状況を写真-3 に、施工状況を写真-4 に示す。

施工結果は以下の通りである。

**(1) ステアリング**

PC に保存された設計の走行ラインとステアリングフロントの偏差、設計の幅員位置と左右スクリード端部の偏差を図-4 に示す。

ステアリングは右カーブでは左に、左カーブでは右に、最大 10cm 程度の偏差が発生する結果となった。これに対して、左右スクリード位置偏差は、ステアリングフロントを設計ライン上に誘導する動きに影響されながらも、設計の幅員位置を基準に、左右 2cm 程度の範囲で制御されている結果と

なった。左右トラックの速度を変更させてステアリングコントロールを行うクローラタイプのアスファルトフィニッシャでは、右カーブで左にずれたステアリングフロントを修正するために、右にステアリングを切ると、スクリードは左へずれ、左カーブではその逆の現象が起きるといった特性をスクリード伸縮制御により、施工幅員端部の位置を修正していることが確認できた。



写真-3 TS 設置状況



写真-4 試験施工状況

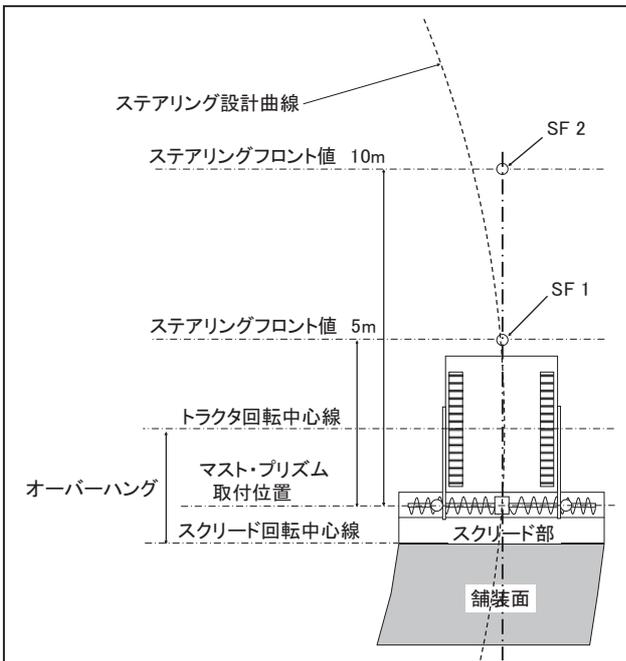


図-3 ステアリング設計曲線とスクリードのズレ

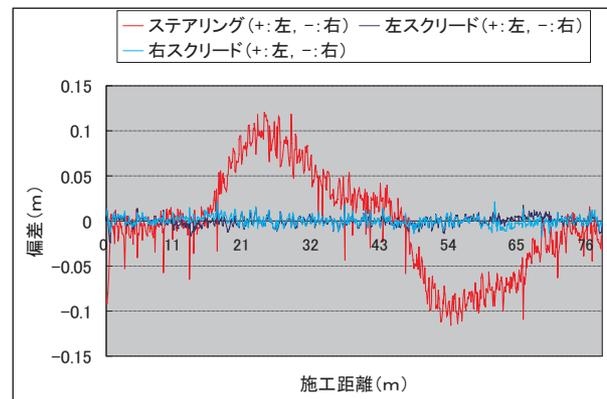


図-4 ステアリング・左右スクリード位置の偏差

## (2) 施工幅員

設計ラインから計測したスクリード中心軌跡までの偏差、左右幅員、及び全幅員の設計値との偏差を図-5に示す。

ステアリングと同様、スクリード中心の軌跡は、右カーブでは左に、左カーブでは右に最大 73mm の偏差が発生した。また、幅員の出来形は全幅員でマイナスの傾向となった。左右別に見ると、右カーブでの右幅員、左カーブでの左幅員、つまり内カーブでの幅員の出来形が-20~-30mm 程度の結果となった。今回、木製の型枠は設置せず、スクリードのサイドプレートを舗装の厚み分下げた状態で施工を行った。このため、内カーブでのサイドプレートの端部が、一旦形成された舗装端部の骨材を削り取る状態となった。ナビトロニックのワイドナコントロールには、幅員のオフセット機能がある。曲率半径の小さいカーブを舗装する場合には、このような幅員減少を生じる可能性があるため、40~50mm 程度のオフセットが必要になるかと考えられる。

## (3) 高さ

横断方向 3 箇所ずつ、5m 毎に仕上り高さの測定を行った。仕上り高さ与设计高さの差を図-6に示す。得られたデータは、最大値 5mm、最小値-6mm となり、全観測数 51 点の標準偏差では  $\sigma=2.4\text{mm}$  となり、高い施工精度を確認することができた。

翌日、舗装面の硬化を確認し、マルチロード・プロファイラ (MRP-2000) を使用して舗装路面の平坦性測定を実施した。平坦性測定結果は、右  $\sigma=0.68\text{mm}$ 、左  $\sigma=0.57\text{mm}$  であった。今回の試験施工では、施工延長 80m、ローラ未転圧という限られた条件での施工であったが、良好な平坦性が確保できたと思われる。

## 5. まとめ

ナビトロニックを用いたアスファルトフィニッシュのステアリング、ワイドナ、グレードの自動制御を行い、以下のような結果が得られた。

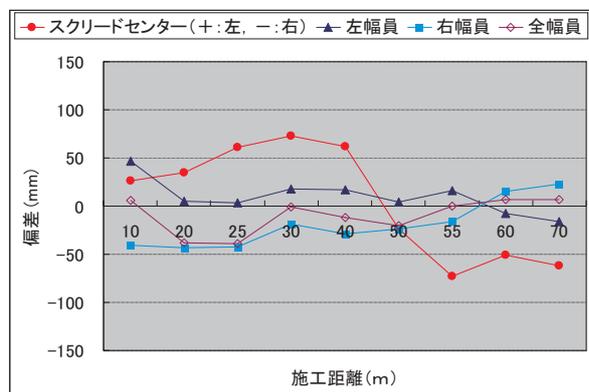


図-5 施工幅員出来形偏差

(1) 曲率半径 R=40m の施工において、ステアリングは右カーブでは左に、左カーブでは右に、最大 10cm 程度の偏差が発生する結果となったが、ワイドナの自動制御により、幅員は設計位置から左右 2cm 程度の範囲で制御されている結果となった。

(2) 施工幅員はカーブ内側において-20~-30mm の出来形となった。実施工時には、ナビトロニックのワイドナオフセット機能により、50mm 程度広めの設定が必要となる。

(3) 設計高さとし上り高さの差は、最大値 5mm、最小値-6mm、全観測数 51 点の標準偏差では  $\sigma=2.4\text{mm}$  となった。

以上のことから、ナビトロニックの使用により、位置精度、高さ精度とともに、実地適用の可能性を十分に期待できるシステムであると判断できる。

しかしながら、様々な施工条件により、最適な施工速度、ステアリングフロント値、その他アスファルトフィニッシャを自動制御するためのパラメータの組合せを模索することで、更なる施工精度の向上が期待できる。弊社では今後、北海道横断自動車道舗装工事にて、ナビトロニックを導入したフェーゲル社製アスファルトフィニッシャ 2 台を使用する施工を予定している。今回の施工を踏まえて、実施工での効果を引き続き検証していく所存である。

## 6. おわりに

ナビトロニックの導入により、施工精度の向上とともに、オペレータの作業負担軽減による周囲への配慮が可能となり、安全性の向上も期待できる。弊社では、今後も施工の効率化、施工精度向上、安全性向上を目的として、情報化施工の推進を図っていきたいと考えている。

最後に、本技術の導入及び試験施工に協力を頂いたヴィルトゲンジャパン(株)、マシンケアテック(株)、ライカジオシステムズ(株)の皆様がこの場を借りて深く感謝の意を表したい。

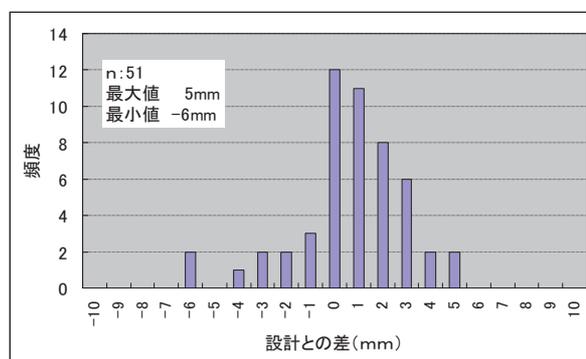


図-6 仕上り高さ与设计の差

## II 梗概集

## Ⅱ-1 ポスターセッション要旨

### 1. コンクリート表層部の健全性評価システム「健コン診断ポータブル」

佐藤工業株式会社技術研究所 ○歌川紀之  
佐藤工業株式会社土木事業本部 北川真也、鍋谷雅司

#### 1. 打音法

コンクリート構造物の点検では、目視検査と叩き検査が最初に実施され、その結果を元に詳細検査が実施される。目視検査については、これまでスケッチ作業を人が実施してきたが、CCD カメラなど光学的機器の進歩と画像処理能力の向上により、効率的かつ高精度かつ客観的な検査が可能となってきた。一方、叩き検査については、建築物の外壁タイルの浮きに対しては、赤外線法が使用されてきているものの、トンネルの覆工や橋脚の床版では、従来の検査者の耳で判断する叩き検査が中心である。

当社では、叩き検査の精度を向上するため、打音法に着目した。打音法<sup>1)</sup>とは、コンクリート表面を打撃又は加振し、その信号入力に対するコンクリートの応答を“音”として検出、信号処理をした後、客観的な基準に従ってコンクリート部材の健全性を判定するという、プロセスを具備する手法である。叩き検査では、人間の耳で、欠陥の有無を判断していたが、打音法では、マイクロフォンで音を収録し、コンピュータで解析を行い、欠陥を評価する。

健コン診断ポータブルにおける打音法の測定原理を以下に示す。ハンマーの打撃により、はく離が生じている箇所では、はく離片の板の曲げ振動が発生する。一方、健全な箇所では、構造物の厚さがあるため、板の曲げ振動は発生しにくい。さらに板の曲げ振動では、振動と同時に音波が発生する。本手法では、板の曲げ振動を音波で捉えることにより、コンクリートの表層に生じた欠陥を検知し、健全性評価を行うことになる。

また、本手法では、得られた音圧から、曲げ振動をする板の部材厚さを推定するため、例えば、対象とする欠陥がはく離であれば、測定点におけるはく離までの距離が把握され、さらにその周辺を調査することにより、はく離の広がりや深さが同時に測定

されることになる。結果をはく離厚さの等高線で表示させることにより、従来の叩き点検で得られる情報よりも、客観的かつ高精度な維持管理情報が得られ、その数値データの蓄積も可能となる。

#### 2. 健コン診断ポータブル

「1人の点検者が全ての機器を装着し調査することが可能となる機器」、「誰でも簡単に使用できる機器」というコンセプトの下に、従来の当社で開発した打音法システムの改良を進め、「健コン診断ポータブル」を開発した。写真-1に健コン診断ポータブル全体構成を、写真-2に健コン診断ポータブル装着状況を示す。健コン診断ポータブルで使用している機器を以下に説明する。

##### ① 打撃力測定

インパクトハンマーを用い、打撃力を測定する。周波数特性についてはヘッド部の材質および重量で調整が可能である。

##### ② 打撃音測定

フード付きマイクロフォンを用い、打撃音を収録する。フード付きマイクロフォンでは、マイクロフォン周囲にフードを取り付けることにより、聴診器（集音装置）としての機能を持つ。すなわち、フードは周囲の騒音を出来るだけ低減し、かつコンクリート内部からの放射音を効率よく測定でき、マイクロフォンとコンクリートの距離を垂直かつ一定（1cm以内）に保つことができる。

##### ③ 収録装置

測定現場（調査現場）にてパソコンに取り込まれた測定波形を解析し、厚さの計算結果を表示後、データを収録する。パソコンは、タッチパネル機能付きのウルトラモバイルパソコンを使用している。現場では、粉じん、水、衝撃等に強いものが求められ、本パソコンはその役割を十分に果たす仕様となっている。また、予備バッテリーへの途中交換が起動中にでき、バッテリー切れによるデータ消失を防ぐ

ことも可能である。

旧解析プログラムは複雑であり、初めて使用する人にとっては初期設定や操作方法が困難であった。そこで、誰でも使用できるよう健コン診断ポータブルでは初期設定および操作画面の簡易化を行い、操作ボタンを2～3回タッチするのみで、測定開始が可能になるよう改良を行った。



写真1 健コン診断ポータブル全体写真



写真2 健コン診断ポータブル装着状況

### 3. 適用事例

これまで試験体および実構造物へ適用した事例を表-1に示す。検査の詳細・結果は、備考に示した文献に示す。

表-1 打音法による適用事例一覧

調査面	調査構造物	調査対象	備考
無筋 コンクリート	試験体	厚さ,空洞,はく離, ジャンカ(内部), 斜めひび割れ	文献 <sup>2)</sup>

	トンネル覆工	はく離,覆工厚さ,コールドジョイント,(空洞)	文献 <sup>3)</sup>
鉄筋 コンクリート	橋梁基礎 橋梁床版 水路構造物 トンネル覆工 堤防護岸	鉄筋腐食,断面修復材,増し厚補修,凍害,打継ぎ目,コールドジョイントなどの劣化によるはく離調査	文献 <sup>2)</sup>
鋼	導水管 函体 合成床版	背面充填性 背面付着	文献 <sup>4)</sup>
アスファルト	橋梁床版	コンクリート劣化	文献 <sup>5)</sup>

### 4. まとめ

打音法を利用した測定手法は、ある程度の知識を必要としていたが、「1人の点検者がすべての機器を装着し、誰でも簡単に使用できる機器」というコンセプトの下で開発を行った結果、初心者でも測定することができる健コン診断ポータブルの開発に成功した。従来の叩き点検による調査では、経験的かつ主観的な評価となりがちであったが、本機器を利用することにより、デジタル値による客観的かつ定量的な管理が可能となった。

#### 参考文献

- 1) 社)日本非破壊検査協会：コンクリート構造物の弾性波による試験方法—第3部：打音法, NDIS 2426-3, 2009.
- 2) 伴 享, 歌川紀之, 市野大輔, 北川真也, 森濱和正：打音法のRC構造物への適用について, 佐藤工業技術研究所報, No. 30, 2004
- 3) 伴 享, 歌川紀之, 篠川俊夫, 中村英孝, 伊東良浩：打音法によるコンクリート構造物の非破壊検査手法の開発, 佐藤工業技術研究所報, No. 27, 2001
- 4) 磯光夫, 久保田和徳, 吉家賢吾, 畠中真一, 越後滋：打音法による合成床版の非破壊検査手法に関する研究, 川田技報, vol. 27, 2008
- 5) 大住圭太, 林成浩, 岡崎健一：床版上の層状ひび割れ検出手法に関する検討, 第64回土木学会全国大会年次学術講演会, V-144, 2009

## 2. 硬質岩盤掘削機の開発のための応力制御実験

呉工業高等専門学校

重松 尚久

呉工業高等専門学校

○河村 倫太郎

株式会社スターロイ

小田 登

### 1. はじめに

本研究では、バックホウなどの先端にアタッチメントとして取り付けられる硬質岩盤掘削機の開発に資するデータを得るための実験を行った。油圧による応力制御下で円錐形擬似岩盤をディスクカッタビットで掘削し、3種類に設定した垂直力  $F_z$  および3種類に設定したモルタル供試体の一軸圧縮強度が作用力および掘削速度に及ぼす影響をモデル実験により明らかにした。

### 2. 実験方法

図-1 のような、岩盤に対しディスクカッタビットを  $30^\circ$  に当て、岩盤を剥離させて掘削を行う装置をモデル化した。図-2 のように、モデル化にあたってはディスクカッタビットを鉛直に配置し、供試体に  $60^\circ$  の斜面を設けた。図-3 に、実験装置の概略図を示す。ディスクカッタビット（直径 80mm、刃物角  $55\pi/180\text{rad}$ 、逃げ角  $4^\circ$ 、刃先の曲率半径 1mm）を供試体の中心から 87mm の位置に向かい合わせに2個取り付け、設定貫入力 は 7.5、10.0、12.5kN の3通りとした。毎分2回転で回転するターンテーブル上に擬似岩盤を設置し、油圧ジャッキによりディスクカッタビットを押し付け掘削を行った。擬似岩盤として、W/B=17%、W/C=30、50%（それぞれ一軸圧縮強度 135、80、40N/mm<sup>2</sup>）の3種類の円錐形モルタル供試体を用意した。それぞれのディスクカッタビットに作用する垂直力  $F_z$ 、回転トルク  $T$ 、横方向力  $F_r$ 、掘削深さ  $z$  を測定し、転がり抵抗  $F_x$  は回転トルク  $T$  より、また横方向力  $F_r$  は、左右2つのロードセルから得られる値を平均し求めた。

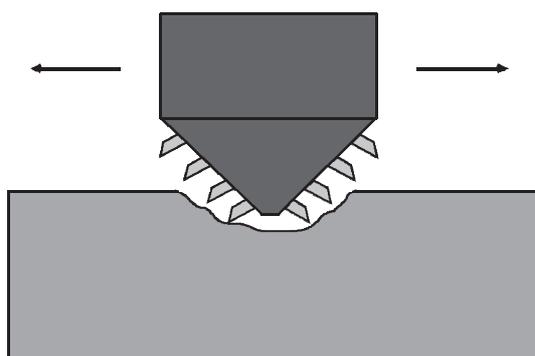


図-1 将来の実機のイメージ図



図-2 供試体とディスクカッタビット

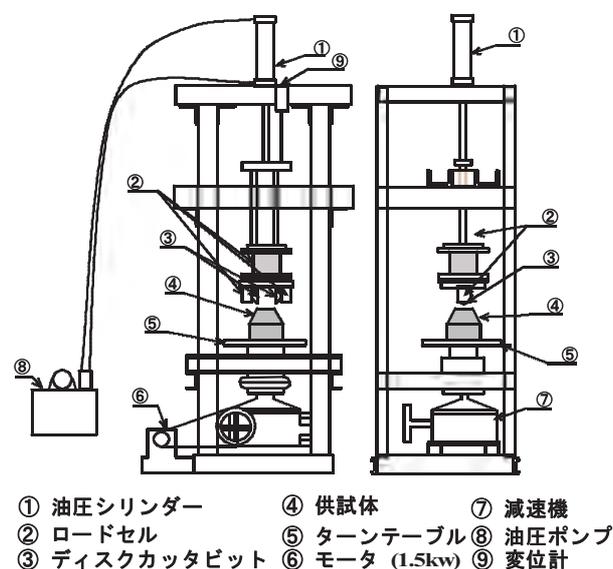


図-3 実験装置の概略図

### 3. 実験結果

図-4 に、設定垂直力 3.75kN における各供試体の垂直力  $F_z$  の範囲と平均を示す。垂直力  $F_z$  は、実験全体にわたって設定垂直力を中心に上下しているが、平均値は設定垂直力に近い値となり、実機のモデル実験として成立しているといえる。しかしながら、実機の設計においては、設定した垂直力  $F_z$  よりも最大で 45% 大きな力が作用していたことも考慮する必要がある。図-5 に、実験全体における、横方向力  $F_y$ 、転がり抵抗  $F_x$  のそれぞれの最大値、最小値と設定垂直力の関係を示す。全ての実験の最大作用力が 2 つの曲線の範囲内であった。横方向力  $F_y$ 、転がり抵抗  $F_x$  の最大値はどちらも、設定垂直力の増加に伴い増加することがわかる。図-6 に、一軸圧縮強度と横方向力比、転がり抵抗比の関係を示す。ここで横方向力比とは横方向力  $F_y$  を垂直力  $F_z$  で除したものの、転がり抵抗比とは転がり抵抗  $F_x$  を垂直力  $F_z$  で除したものである。また、ほぼすべての実験において掘削深さ  $z$  が 5~10mm の地点で供試体の上部が剥離しており、供試体上部が剥離する前後で作用力は異なっていた。実機への応用を考えた場合には供試体上部の剥離という現象は起きないので、実機の製作に当たっては供試体上部剥離前の作用力を考える必要がある。すべての実験において、横方向力比は約 200~270%、転がり抵抗比は約 30~50% の力で作用していた。実機においてディスクカッタービットを掘削面から保持するためには、それぞれの方向に上記の反力を確保する必要がある。図-7 に、一軸圧縮強度と掘削速度の関係を示す。一軸圧縮強度が低いほど、設定垂直力が大きいほど掘削速度が速くなる傾向が見られた。また、設定垂直力 3.75kN の場合には一軸圧縮強度による掘削速度の差が小さかった。さらに、設定垂直力が大きいほど一軸圧縮強度による掘削速度の増加が著しいことや、供試体の一軸圧縮強度が低いほど設定垂直力  $F_z$  の増加が掘削速度に与える影響が大きいことが明らかになった。

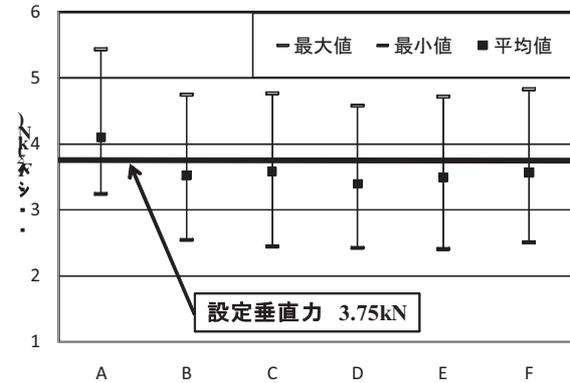


図-4 設定垂直力と実際の垂直力  $F_z$

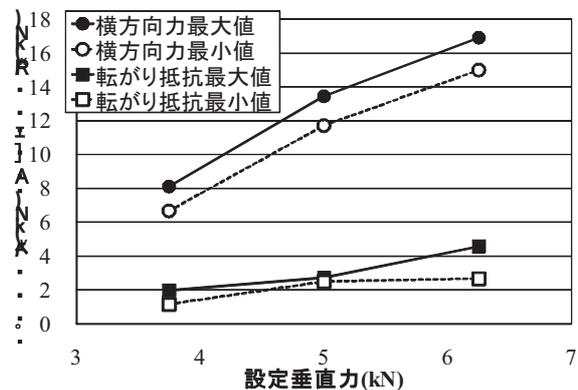


図-5 設定垂直力と各作用力最大値の関係

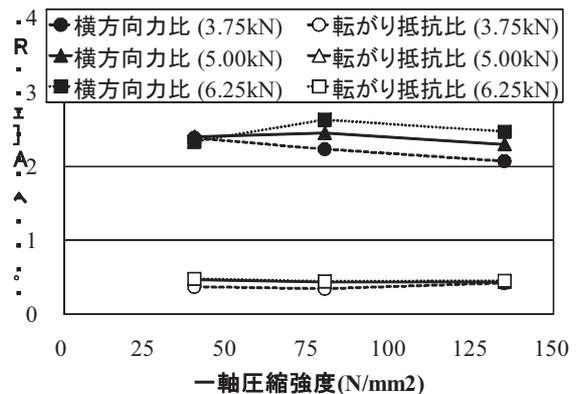


図-6 一軸圧縮強度と各作用力比の関係

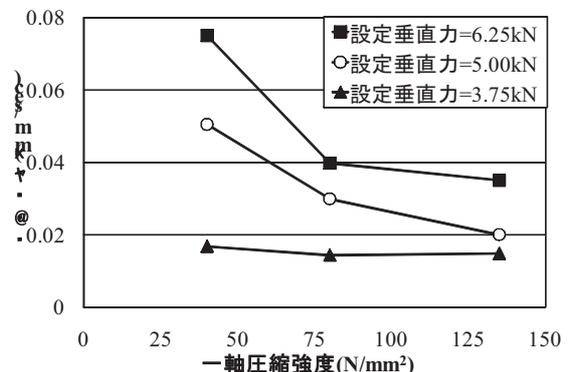


図-7 一軸圧縮強度と掘削速度の関係

### 3. 端面掘削方式を用いた硬質岩盤掘削機の開発に関する基礎的研究

呉工業高等専門学校 重松 尚久  
 呉工業高等専門学校 ○高垣 夏輝  
 愛媛大学 室 達朗

#### 1. はじめに

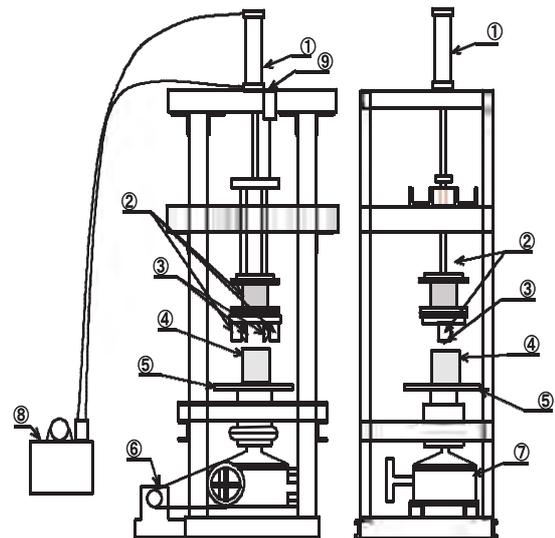
近年、都市部における地下工事においては、騒音や振動などの環境面への配慮が必須の課題になってきており、機械式掘削工法が多く行われるようになってきている。しかし、これらの方法では地山の弾性波速度が 3.0m/s を超える硬質岩盤では掘削能力が大幅に低下するため、環境面に配慮した効率的な新しい掘削技術の開発が必要となっている。そこで、本研究では、ディスクカッタビットを使用し硬質岩盤を効率的に掘削することのできる、端面掘削方式を用いた掘削機開発のための基礎となるデータを得ること目的としている。

#### 2. 実験方法

図-1 に実験装置の概略図を示す。実験は応力制御で行い、図-2 に示すような形状の 2 つのディスクカッタビット(直径 80mm、刃物角  $55\pi/180\text{rad}$ 、逃げ角  $4^\circ$ )を回転する供試体の端部に、ディスクカッタビットを押しつけて掘削を行う。ディスクカッタビットに作用する垂直力  $F_z$ 、横方向力  $F_y$ 、トルク  $T$  を測定し、トルク  $T$  より転がり抵抗  $F_x$  を算定する。また、供試体端部からの切り込み幅を 15、20、25mm の 3 種類、垂直力  $F_z$  を 7.5、10、12.5kN の 3 通り、擬似岩盤として一軸圧縮強度 135、80N/mm<sup>2</sup> 以上の 2 種類を(それぞれモルタル A、モルタル B と定義する)それぞれ条件として変化させて実験した。

#### 3. 端面掘削

従来の掘削工法の多くが、1 自由面を掘削する平面掘削を採用している。自由面とは、破碎の際に破碎を拘束しない面のことをいうが、端面掘削とは、掘削効率を向上させるための方策として、2 自由面



① 油圧シリンダー ④ 供試体 ⑦ 減速機  
 ② ロードセル ⑤ ターンテーブル ⑧ 油圧ポンプ  
 ③ ディスクカッタビット ⑥ モータ (1.5kw) ⑨ 変位計

図-1 実験装置概略図



図-2 ディスクカッタビットの形状

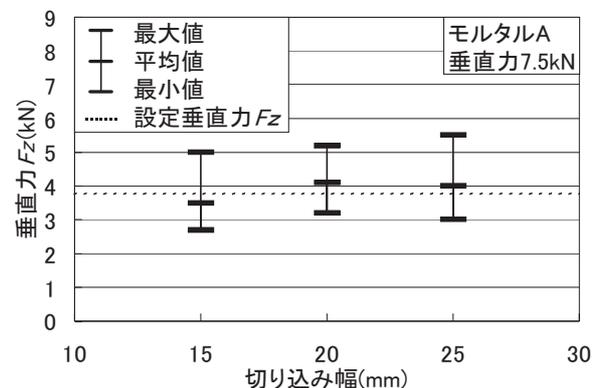


図-3 切り込み幅と垂直力  $F_z$  の振れ幅の関係

を持つ硬質岩盤の端面を剥離破砕刃でチップング効果を利用し剥離させ、掘削する方法である。2自由面を持つ岩石の端面を剥離破砕刃で掘削していく端面掘削は、平面掘削との比較実験ではエネルギー比が約 1/10 に減少し、端面掘削方式は極めて効率的な掘削が可能で、過去の研究で明らかになっている。この方式によると小さな押しつけ力で硬質岩盤を破砕することができ、結果としてビットの摩耗を軽減することが出来る。

#### 4. 実験結果と考察

図-3 に切り込み幅と垂直力  $F_z$  の振れ幅の最大値と平均値、及び最小値の関係を示す。応力制御で掘削を行っているため、常に一定の応力が供試体に作用するはずだった。しかし、供試体の表面の不均一さや、供試体を破壊したときの衝撃などの影響により、常時一定の応力を保つことが出来なかったが、設定した垂直力  $F_z$  に対し、実際の垂直力  $F_{zz}$  の平均値と近い値となったため、設定した実験条件を満足したといえる。図-4 に横方向力  $F_y$  と掘削深さ  $z$  の関係を示す。横方向力  $F_y$  は、多少の増減はあるが終始ほぼ一定の値を保っていた。また転がり抵抗  $F_x$  も同様の傾向が見られた。図-5、6 に垂直力  $F_z$  と横方向力  $F_y$ ・転がり抵抗  $F_x$  の関係を示す。図-5、6 では、一部掘削時の実験データが欠落しているが、これは一軸圧縮強度等の掘削条件に対し、作用させた垂直力  $F_z$  が大きすぎたために、端面掘削が起きず圧壊する形で掘削されたため、データが得られなかったことが原因である。横方向力  $F_y$  および転がり抵抗  $F_x$  は垂直力  $F_z$  が大きくなるにつれ、上昇する傾向が見られる。図-7 に垂直力  $F_z$  と掘削速度の関係を示す。垂直力  $F_z$  が大きくなるにつれ掘削速度が上昇している。また、一軸圧縮強度の小さいモルタル B は、モルタル A に比べて掘削速度が速くなり、切り込み幅が小さいほど掘削速度が速くなった。掘削速度は垂直力の増加に従って、モルタル A、切り込み幅 25mm において約 4 倍、モルタル B、切り込み幅 20mm において約 4.5 倍の速度で掘削が進行した。また、一軸圧縮強度が低いモルタル B の方が掘削速度が速くなることがわかった。

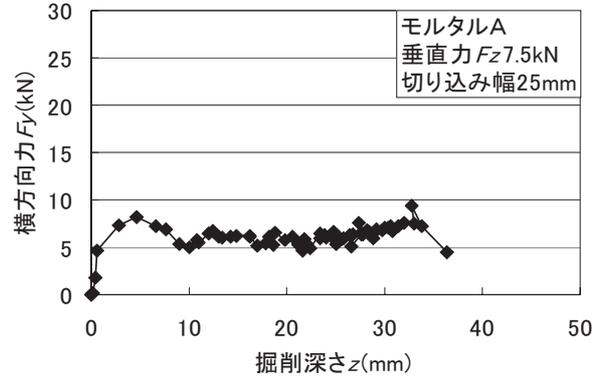


図-4 横方向力  $F_y$  と掘削深さ  $z$  の関係

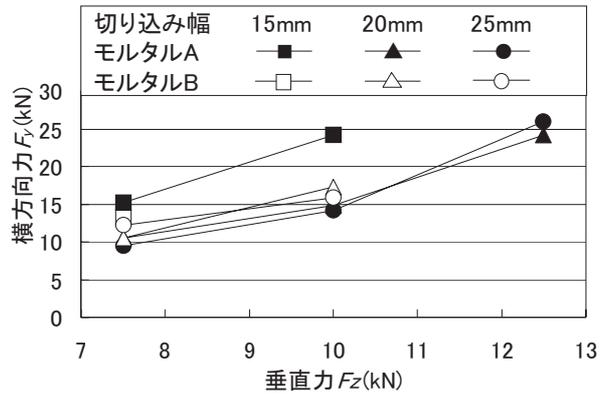


図-5 垂直力  $F_z$  と横方向力  $F_y$  の関係

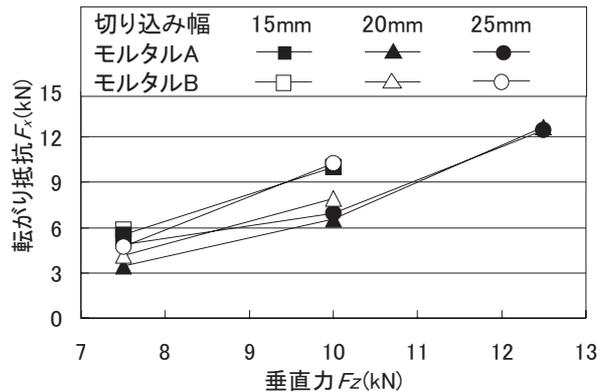


図-6 垂直力  $F_z$  と転がり抵抗  $F_x$  の関係

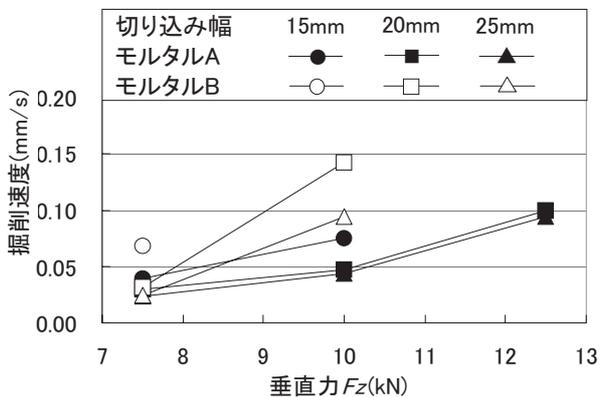


図-7 垂直力  $F_z$  と掘削速度の関係

## 4. モデルベース開発による制御ソフト開発の効率化と品質向上

### 開発工程短縮と機能安全対策に対応する新しい設計手法

dSPACE Japan 株式会社 営業部 製品応用グループ 森田 康

dSPACE Japan 株式会社 営業部 製品応用グループ ○金田 大介

#### モデルベース開発 (Model Based Development, MBD) とは

モデルベース開発 (以下 MBD) とは、設計対象となる制御システムの表現手段として数学的モデルという抽象化表現を用い、シミュレーション技術に応用したコンピュータ上の仮想空間における高効率開発手法である。今日では建設機械に搭載されるコントローラ向けの組み込み制御ソフトウェア設計においてもこの MBD という開発手法は広く応用されつつある。

制御ソフトウェアの開発に MBD を適用した場合、モデルは制御アルゴリズム (コントローラ) をあらかず部分と制御対象物 (プラント) を表す部分に大別され、これらが信号により接続されて制御系を形成する。数学モデルとして抽象表現することにより、制御系全体の構造を直感的に理解することができ、コンピュータシミュレーションにより、システムダイナミクスを仮想空間上で動作させることが可能となる。

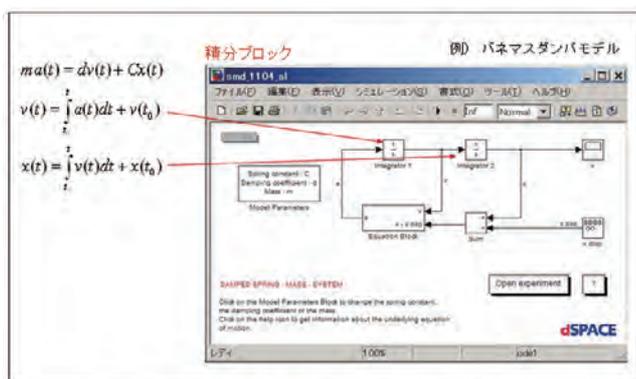
このような特徴から、数学的に抽象表現されたモデルは、実行可能な仕様書 (Executable Specification) と呼ばれることがある。MBD は専用の支援ツールが必要である。モデルの設計、シミュレーションには、米国 The MathWorks 社製数値計算アプリケーションである MATLAB<sup>®</sup> /Simulink<sup>®</sup> が事実上の標準ツールとして様々な産業分野で利用されている。Simulink というブロック線図シミュレーション環境により設計、シミュレーションされた制御アルゴリズムは、専用の C コード自動生成ツールと連携させることにより、量産用制御ボードに搭載されるマイコンに実装可能な高効率アプリケーションを生成する。

MBD という手法と支援ツールの効果的な応用によって、複雑・高度化するコントローラへの機能要求を実現するとともに、開発工数の大幅な圧縮が期待できる。

MBD のプロセスには、自動コード生成 (ACG) のほか、ラピッドコントロールプロトタイピング (RCP)、ハードウェア・イン・ザ・ループ・シミュレーション (HILS) がある。

RCP は制御アルゴリズム部分をリアルタイムハードウェアに実装し、実機を直接制御するプロセスで、量産制御ボードがない状態でも、ソフト開発の早期段階で設計されたアルゴリズムの妥当性をリアルタイムで確認できる。この手法の利用により、不具合による開発工程後半での大きな手戻りリスクを大幅に低減可能となる。

HILS は、リアルタイムハードウェアに実装さ



ダイナミクスを容易に表記、計算

れたプラントモデルを使って、仮想空間でさまざまな条件を作り出し、量産制御ボードを自動テストできる環境である。HILS は網羅性の高いテストを短期に実施することができるため、ソフトウェアの信頼性を大幅に向上させ、かつテストに関わる工数、費用の劇的な短縮が可能である。

### 建設機械のハイブリッド化と組み込み制御ソフトウェア開発の進化

近年、建設機械の性能要求に対して、低騒音、低振動に加えて対環境性能として、低燃費化、温暖化ガス排出の低減が求められている。この要求にこたえるため、建設機械を開発、製造する企業は機械のハイブリッド化を急速に進めている。

システムがハイブリッド化されると、制御ソフトウェアが担う性能向上への寄与は、急激に拡大し、コントローラに搭載されるソフトウェアの規模が増大し、従来の開発手法は近い将来破綻することが懸念されている。

このような背景から、MBD という新しい開発手法の導入と支援ツールの効率的な応用は、今後の制御ソフトウェア開発の品質確保やコスト縮減に大きな効果があると期待されている。

MBD の導入で、品質の高い製品を早期に開発することが可能となり、結果として製品の市場投入時期を早め、先行者利益を享受できるようになる。

### アプリケーションコードの自動生成と機能安全規格への展望

MBD の導入を成功させる要となる技術が、アプリケーションコードの自動生成プロセスである。このプロセスは既に、航空宇宙、自動車業界において広く応用されており、コードの生成効率については従来の人間の手によるコーディングと比較しても優位性を示すことが実証されている。

一方、近年のコード生成技術に対する要求は、機能安全に関わる内容が増えてきている。具体的に自動車業界においては、ISO26262 という規格

の正式発行が 2011 年に控えており、自動車メーカーはこの規格への準拠を ECU サプライヤに義務付ける動きも見えてきている。この規格に準拠し、一定のレベルの認証を得るためには、設計開発の各プロセス間で、双方向のトレーサビリティを整えることが非常に重要である。

MBD 支援ツールにおいても、この双方向トレーサビリティを担保する機能の提供が求められ、仕様書として扱われる原理モデルと、自動コード生成ツールにより生成された C コード、およびターゲットマイコン用コンパイラによりビルドされた実行オブジェクトとの等価性検証を行える機能は必須といえる。

dSPACE では MBD 支援ツールの提供のみならず、機能安全規格に準拠する設計プロセス構築を支援するために、その運用方法をまとめたガイドライン、リファレンスワークフローを提案し、既に TUV SUD から、「ISO26262、および IEC61508 機能安全規格に準拠したソフトウェア設計」に利用できるツールとして認証を得ている。

従来から、航空宇宙や自動車産業においては、品質確保やコスト縮減、環境保全、省エネルギー対策などの高度な要求を満たすために、MBD の導入と支援ツールの応用が大きな効果を挙げている。

近年、自動車業界と同様の課題を持つ建設機械の制御ソフトウェア設計においても、MBD の導入と支援ツールの応用は日々その浸透度を加速している。

---

ブランド名および製品名は、各社または各組織の商標または登録商標です。

## 5. 双腕型油圧ショベル

日立建機(株) ○江口隆幸  
日立建機(株) 石井啓範  
日立建機(株) 小俣貴之

はじめに

油圧ショベルは開発され約 60 年が経過し、その安全性、信頼性が認められ、とても人間では対応しきれない多くの用途に使われている。多くの油圧ショベルは掘る、支える、掴む、切る等の作業を一つこなすものであった。近年は生産設備のロボットにも多用途の機能が追求されているように、建設機械の多機能性、ロボット化の要求も高まっている。

### 7t 級双腕型油圧ショベル(ASTACO)

開発 1 号機は 7t 級標準油圧ショベルをベースに左右の腕の力配分を 4 対 6 としたもので、腕の長さも左右で若干異なり作業領域も異なっていた。

「一人で 2 つの腕を同時に動かす」機能を追及して作られていることである。この機械は、主に木造家屋や小規模解体および倒壊物の撤去などを目的に 5 年ほど前にコンセプト機として開発されたものである。多くのデモ現場を経て 2008 年消防庁の奨励賞を受賞し、東京消防庁殿で「消防レスキュー車」として採用されている。(写真 1)



写真 1 7t 級双腕型油圧ショベル 1 号機

2009 年、2010 年の「出初め式」でも一般公開されている。(写真 2)

レスキュー機としての要求をさらに高めた東京消防庁殿向け 2 号機を受注・製作しており、また、全国のハイパーレスキュー展開のスタートとなるべく川崎市消防局殿より 3 号機の受注をいただいた。



写真 2 7t 級双腕型油圧ショベル 1 号機  
(出初め式での 1 コマ)

### 13t 級双腕型油圧ショベル(シオマネキ型)

一方、解体・スクラップ現場での廃棄物分別リサイクル率の向上、作業の安全性アップを目的として(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託を受け、13t 級双腕型油圧ショベルの開発も進めている。

近年、高度成長期に建設されたビル等は耐用年数に近づいている。また、現在の耐震基準を満たしていないとの理由からの解体需要も多い。その中で建築物躯体の解体で発生するコンクリート塊などに含まれる鉄筋、アルミ、木材、廃プラスチックなどの複合廃棄物を現場で可能な限り分離選別を行う要求も多い。

しかし、現状の解体方法では複合廃棄物の分離・

選別を行うための機能が不足しており、破碎した後  
に人海戦術で仕分けをしている場合が多く、機械と  
人が混在しての作業となり、接触事故等の危険性が  
高く、高度な機械化による作業効率と安全性の向上  
が望まれている。



写真3 13t級双腕型油圧ショベル(08式)

これらの背景を踏まえて、本機は2本腕としての  
機能を満足すべく以下の操作性・安全性の追及を図  
っている。

#### ① 直感的な双腕用操作レバー

双腕機の2つの腕(フロント)を動かすためには  
標準油圧ショベルでの左右2本のレバーで1本の  
腕を動かす操作方法では対応出来ない。したがっ  
て、双腕機の場合は左右夫々のレバー1本で左右  
夫々の腕を動かすようにしている。操作レバーは  
「機械の使い易さ」に直結するものであり、「直  
感的に動作可能な」レバー方式とすることが不可  
欠である。

#### ② 干渉防止機能

双腕機の作業としては、(a)片方の腕で解体物を  
押えて他方の腕で剥がす、(b)長尺物を2本の腕  
で動かす、(c)片方の腕で持ち上げ、他方の腕で下  
のものを引き出すなど多様な動作を行う。そのた  
め腕の先端は相手の腕と干渉する領域に入るこ

ともあり、干渉領域への侵入時の警告表示を行っ  
ている。

#### ③ 分離・分別用双腕機としての機能

副腕による水平又は引き出しを行うために、副  
腕(左腕)のローリング機能を持っている。

#### ④ 将来のロボット化のための機能

##### (a) 荷重測定システム

遠隔操作時の把持物重量を把握し、作業速度制  
御を行う。

##### (b) 双方向での情報伝達システム

ロボット化(遠隔操作と自立化)のために必要な  
対象物情報、対象物位置認識、操作情報、周囲環  
境情報等を双方向で伝達認識する。

##### (c) 把持力制御システム

作業対象物の把持する際の破碎等を防ぐため  
の把持力を制御する。

初期の双腕機(08式)でのいくつかの現場作業の  
経験を基に、両腕をさらにパワーアップし微妙な作  
業を力強く行えるようにした双腕機(10式)の製作  
を行い、製品化へ向けて上記機能追求を行う実証試  
験を実施している。



写真4 13t級双腕型油圧ショベル(10式)

#### 今後の双腕型油圧ショベルの展開

双腕型油圧ショベルは、7t級の消防レスキュー機  
としての普及が始まった段階であり、13t級の製品  
化、さらにロボット化され人間が入ることができな  
い過酷な作業現場での重機として展開できること  
が期待される。

## 6. JENOBА 方式によるネットワーク型 RTK-GPS 配信サービス

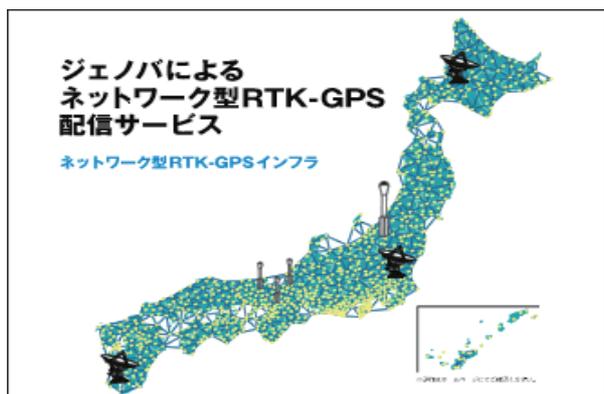
### 電子基準点網の活用

取締役営業部長 細谷 素之  
営業部 ○岩田 好正

#### 1. はじめに

国土地理院では、全国に配置する約 1,200 点の電子基準点 (GEONET) を運用し、地震や火山活動の監視を行なうとともに、電子基準点のリアルタイムデータを民間に開放しています。

ジェノバは、国土地理院が開放する電子基準点のリアルタイムデータの配信機関である日本測量協会を通じてジェノバ配信センターにてリアルタイムデータを受信し、24 時間 365 日の連続解析を行い、お客様へ測位補正データの配信サービスを行なっています。ジェノバでは、電子基準点リアルタイムデータを利用する独自の技術『JENOBА 方式』で“精度の向上”や“コストの削減”などの要望にこたえとともに、利用者にとって最適なネットワーク型 RTK-GPS 測位補正データの提供を行なっております。

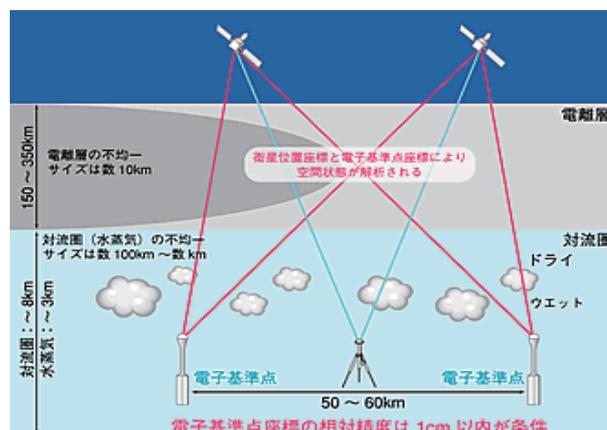


#### 2. 概要

##### (1) 24 時間連続で誤差要因の状況を監視

ジェノバ配信センターでは、国土地理院が数十 km 単位で配置している電子基準点のリアルタイム観測データを 24 時間連続受信し、解析処理を行ないます。これにより電子基準点で囲まれてい

るエリア上空の電離層、対流圏の状態や衛星の軌道に関する情報を把握しています。



##### (2) 測位する場所の概略位置をジェノバ配信センターへ送信

利用者は測位を行なう場所の単独測位の位置情報を携帯電話等の通信手段によりジェノバ配信センターに送信します。

##### (3) 仮想基準点又は FKP 基準局を使った相対測位の補正情報を配信

ジェノバ配信センターでは、解析した電離層などの情報に基づき利用者から送信された概略位置により補正情報等を計算し、利用者に配信します。

##### (4) 補正情報で高精度の位置情報を取得

利用者はジェノバ配信センターより送られてくる補正情報等を利用し、高精度な測位を行なうことができます。

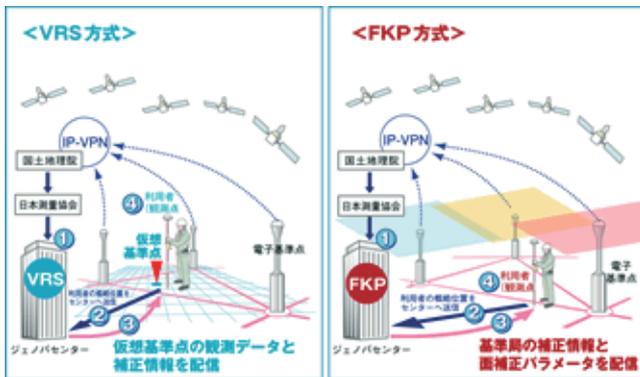
#### 3. VRS 方式と FKP 方式

ジェノバ方式によるネットワーク型 RTK-GPS 配信サービスには、測位エリア近傍に仮想基準点を設ける“VRS 方式”と、測位エリ

ア近傍の電子基準点を中心に計算された面補正パラメータを利用する“FKP方式”があります。

(1) VRS方式は仮想基準点の観測データと基準局の補正パラメータを受信し、仮想基準点のデータと受信機で観測したデータにより基線解析を行なってリアルタイムに高精度の測位を行なう方式です。

(2) FKP方式は基準局の補正データと面補正パラメータをジェノバ配信センターから受信し、受信機の観測データに、受信した補正情報を線形補間して誤差補正し、リアルタイムに高精度の測位を行なう方式です。



#### 4. ネットワーク型 RTK-GPS のメリット

##### (1) コスト削減

従来の RTK-GPS 測位では、固定点の選定、踏査及び測量が必要になり、その維持管理にも大きな労力を費やしましたが、ネットワーク型 RTK-GPS の場合、電子基準点をベースとした補正情報を利用しますので固定局に関する作業が全て不要となるため、コスト削減が可能となります。

##### (2) 工期短縮

固定局に関する作業が全て不要となるため、当日の現場状況によって作業スケジュールの変更が容易に行なえるため、工期の短縮に繋がります。

#### 5. ネットワーク型 RTK-GPS の課題

##### (1) 通信手段

ネットワーク型 RTK-GPS の補正データは、携

帯電話の通信回線を利用し、利用者に補正情報が提供されます。携帯電話の通信ができない地域では、衛星通信等の通信手段の確保が必要となります。

##### (2) 場座標との整合

ネットワーク型 RTK-GPS の補正データは、測位エリアを囲む近傍の電子基準点と整合の取れた補正情報が提供されますので、現場基準点とのキャリブレーションが必要となります。その手法としてアフィン変換又は、ヘルマート変換等の座標変換が採用されています。

##### (3) 電子基準点定期メンテナンスに伴う配信停止

国土地理院にて運営管理されている電子基準点は、定期的にメンテナンスが行われています。その際、電子基準点からのリアルタイムデータが停止しますので補正情報の提供も停止します。電子基準点の定期メンテナンス情報を利用者に提供し、観測計画にご利用いただいています。

#### 6. まとめ

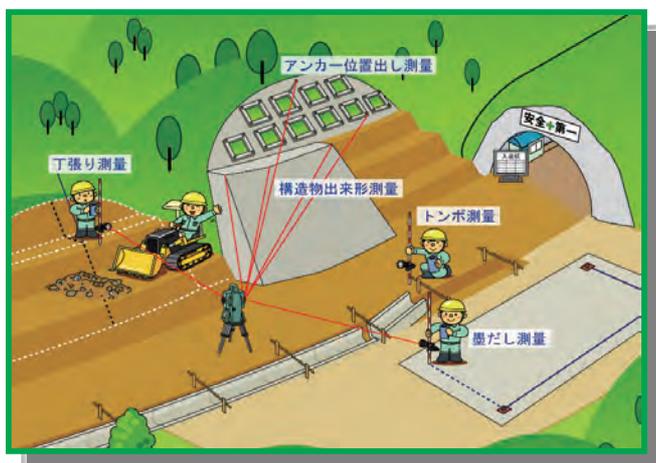
ネットワーク型 RTK-GPS 配信サービスを採用した、情報化施工への取組は欧米諸国ではスタンダードな技術となっており、出来形管理測量、マシンコントロール及びマシンガイダンス等に幅広く利用されています。現在、国内においても情報化施工にネットワーク型 RTK-GPS の技術を実作業に採用し、その精度検証作業等が始まっている状況に有ります。今後、国内においても同技術が幅広い範囲で利用されるよう、新商品の開発及び配信サービスの充実を図って参ります。

## 7. トータルステーションを用いた出来形管理

高精度モーター駆動トータルステーションと出来形管理ソフト TS Decky

ライカジオシステムズ株式会社 ○遠藤恒士  
演算工房株式会社 白坂紀彦

**トータルステーションで出来形管理を合理化!!**  
国土交通省では、ICT 技術を用いた施工合理化・品質向上の取組みを進めています。  
3次元データになった設計値を搭載したトータルステーションで出来形を計測すれば、瞬時に出来形が完了します。その実現に向けてトータルステーションを使った出来形測量の手法を本格的に採用しています。



[TS Decky]はトータルステーションを使用した出来形管理用のソフトです。出来形管理の自動化をより安価に簡便に、皆様にご提供致します。以下の4つの特長があります。

### 1.省力化

測量データの自動記録・パソコンへの移管により資料を自動作成することができます。従来のように煩雑な手書き・手入力によるミスがなくなります。

### 2.測量作業の迅速化

トータルステーションと制御用PCを利用することで三次元座標を瞬時に取得することができます。作業時間を大幅に短縮できます。今まで測量準備・測量作業・測量計算にかけていた多大な時間が不要になります。

### 3.品質確保・検査の効率化

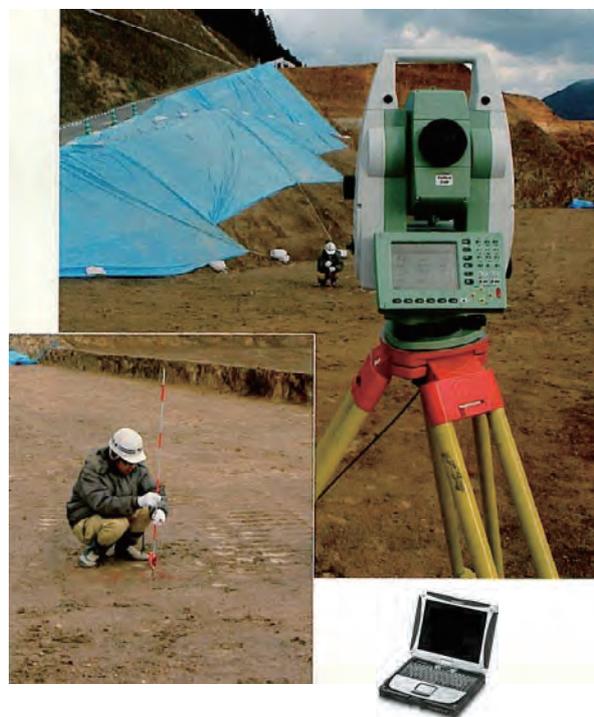
現状と同様の時間で測定頻度と回数を増やすことができます。そのため高品質な施工・検査を迅速に効率的に実施することができます。作業の手

間と時間と増やさず品質を十分に確保することができます。

### 4.電子データを残せる

今後のデータの電子化に対応できます。他のデータ・ソフトへの互換性があり便利です。

本システムは、国土交通省より提供される設計入力ソフトウェアと併せてお使いいただくことができます。また本ソフトウェア自体も国土交通省の認定を受けた出来形管理用ソフトウェアです。



製品構成：ノート PC+トータルステーション

#### 【ノート PC】

本ソフト[TS Decky]をノート型PCにインストールして使用します。

#### 【トータルステーション】

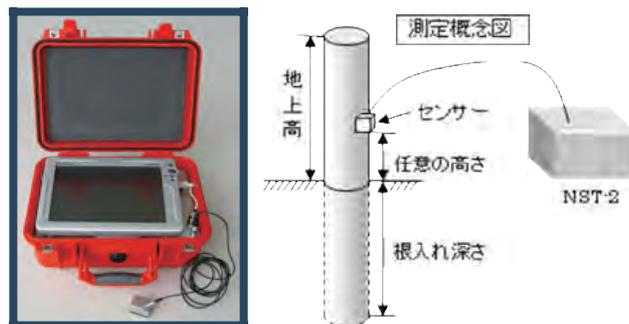
- ノンプリズム測距：1,000m を実現。
- 自動視準機能により人為的ミスを低減。マニュアル操作と比較し測定時間を半分から 1/3 に短縮。
- 移動するプリズムターゲットの動きを追い、常に測定可能にする自動追尾機能。
- 観測者に代わって自動的にプリズムターゲットを見つけ出すパワーサーチ機能。

## 8 . 埋設部根入れ深さ測定装置「NST-2」

### 超音波による埋設部根入れ深さ測定

日進工業株式会社 ○ 中光真史  
S W R 株式会社 山口英俊

1 . はじめに  
近年、ガードレールや  
横断防止柵等の健全性の  
評価のため、埋設部の根  
入れ深さを測定する需要  
が高まっている。測定要  
非破壊による測定装置  
に発した、根入



2 . 測定原理  
本装置は超音波を使用  
し、センサーから対象物  
の端面まで往復する時間  
を距離に換算し、表示す  
る装置である。特徴は  
①他の超音波より測定距  
離が長い。  
②対象物の側面から測定  
することが可能。  
③測定結果をリアルタイ  
ムで表示可能（解析が  
必要な場合あり）  
④測定データをSDカード  
に保存し、報告書作成  
に使用することが可能。

3 . 装置の構成  
① NST-2 本体  
② 超音波センサー  
③ パソコン

4 . 測定方法  
① 対象物の任意な位置へ  
センサーに接触媒質を  
塗布しセットする。  
② 測定を行い、データを  
保存する。  
③ データの解析、報告書  
の作成を行う。

5 . まとめ  
本装置は根入れ深さを  
測定に特化し、精度や作  
業性、認識性の良さが特  
徴で、迅速で簡便に測定  
Sにも登録されている。

今月3月に非破壊検査に  
よる施工管理方式の導入  
が明記された通達が出さ  
れたことから、今度も本  
のニーズも高まること考  
えられる。

## Ⅱ-2 施工技術総合研究所研究発表

### S 1. 施工情報の一元管理手法に対する取り組み

#### ～環境対策工事におけるCM（コンストラクションマネージメント）～

(社)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 ○鈴木 健之

#### 1. はじめに

本論文は、静岡県よりCM方式で発注され、当研究所が平成21年より実施している「元クレー射撃場環境対策工事に伴う施工監理技術支援業務」における施工情報の一元管理手法の取り組みについて報告するものである。

CM方式とは、「米国で多く用いられている建設生産・管理システムの一つであり、コンストラクション・マネージャー（以後CMrと称す）が技術的な中立性を保ちつつ発注者側に立って、設計・発注・施工の各段階において、設計の検討や工事の発注方式の検討、工程管理、品質管理、コスト管理などの各種マネジメント業務の全部もしくは一部を行うもの」である。近年では、我が国でもCM方式が採用される事例が増えてきているが、制度、文化、慣習の異なる米国の方式をそのまま導入することは困難であることから、米国のCM方式を採用しつつ、日本型のCM方式の検討を行っている状況である。

#### 2. 工事概要

本工事は、鉛による汚染土壌を汚染（鉛含有量・鉛溶出量）の程度に応じて適切に処理することを目的とした環境対策工事である。工事を実施する前に汚染土壌の分布状況を把握するために、図-1に示す施工対象範囲を30m×30mの格子状の区画に区分し、それぞれの区画で溶出量試験を実施する。その結果から、30m×30mの区画毎の平面および深度方向の土壌汚染範囲を確認する。各区画における鉛溶出量・鉛含有量に応じて掘削する汚染土壌を以下に示す用に分類することで、掘削深度と汚染土壌の処理方法を設定する。

- ・ 健全土（鉛含有量、溶出量とも基準値以内）
- ・ 不溶化対象外土（鉛溶出量は基準値以内で鉛含有量が基準値を超過）
- ・ 不溶化対象土（鉛溶出量が基準値を超過）
- ・ 場外搬出土（鉛溶出量が基準値を大きく超過）

当該工事の施工フローは図-2に示す通りである。以降にそれぞれの工種における作業内容を示す。

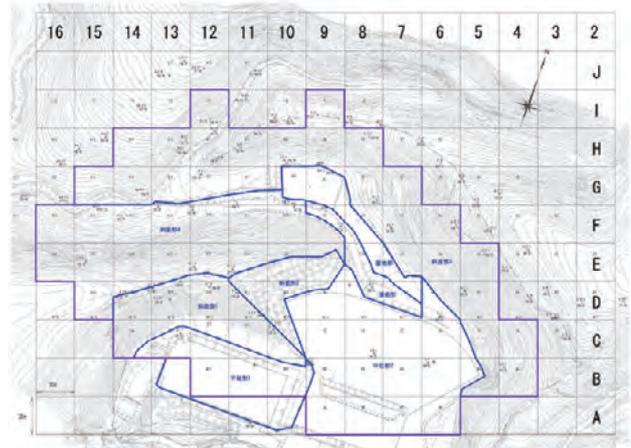


図-1 施工対象範囲

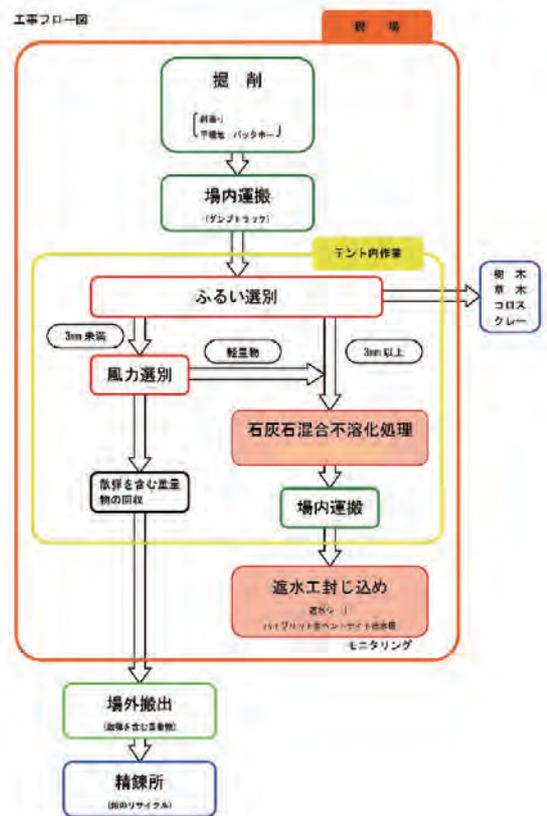


図-2 施工フロー図（不溶化対象土の場合）

### (1) 土壌掘削工

斜面部、平坦部および湿地部から鉛含有量または溶出量の基準値を超過した土壌を掘削することにより汚染土壌を取り除く。掘削土量は、36,800m<sup>3</sup>であり、その内、約50%の18,765m<sup>3</sup>が汚染土壌である。

### (2) 選別工

掘削土（汚染土壌）を乾燥させた後、3mmの振動式ふるいで汚染土壌と樹木、草木、クレー、コスを分別する。その後、汚染土壌と鉛弾等を風力選別機により分別する。

### (3) 不溶化処理工

汚染土壌（不溶化対象土）に不溶化材を混合し、鉛が水に溶出しないように性状を変更する。

### (4) 遮水封じ込め工

土砂の拡散防止や雨水・地下水の流入防止が図られるよう、底面部にベントナイト遮水工を行った後、不溶化した汚染土壌および不溶化対象外土を埋め戻し、埋め戻した土壌を締め固めた後、表面部に遮水シート工を実施する。

## 3. 業務概要

本業務は、前述したCM業務のうち設計、発注については取り扱わず、施工段階における各種管理を行うものである。具体的なCMrの役割・立場・体制および業務範囲は図-3に示す通りであり、発注者側の立場に立ち、質の高い技術支援を提供する役割を担っている。



図-3 CMrの役割

本業務におけるCMrの主な業務項目は以下に示す通りである。なお、発注者および施工業者との協議が必要な事項については、月1回開催される月例工程会議と必要に応じ打合せ協議を行い、施工および管理方針を決定している。

#### ○安全管理

- ・施工および試験計画書の照査
- ・現地確認時の安全対策の確認

#### ○品質管理

- ・施工および試験計画書の照査
- ・立会、現地確認による品質の確認
- ・情報共有システムによる調査・試験結果等の提供

#### ○工程管理

- ・施工および試験計画書の照査
- ・情報共有システムによる全体工程情報等の提供

#### ○技術的課題への対応

- ・技術提案の履行状況の確認
- ・掘削深度管理方法など技術的課題に対する助言・提案
- ・施工時に発生した技術的課題への対応

## 4. 施工情報の一元管理手法

本業務を行うにあたっては、汚染土壌の処理状況等の施工情報を確認できる環境を整備することと、施工状況、試験および調査結果から確認される技術的課題や問題点に対する対応策を即座に検討し、対処することが求められている。そのため、施工情報を一元管理し、情報を共有できる環境を整備することが重要であると考え、①工事エリアの3D図化、②情報共有システムの整備を行った。以下にその内容を示す。

### 4.1 工事エリアの3D図化

本工事は工事エリアの汚染土壌を環境基準値以内に処理することと、汚染土壌を排除することを目的としたものである。そのため、汚染土壌が適切に処理または排除されたか確認を行うために、汚染土壌の処理履歴の追跡可能性（以後、汚染土壌のトレーサビリティと称す）を確保することが重要となる。

本業務では、工事エリアの3Dモデルを作成し、そのモデルに設計・施工情報を付与することで汚染土壌の処理に関する情報の一元管理を行うこととした。

#### (1) 工事エリア3Dモデルの作成

3Dモデルを作成するために、5cm程度の間隔で座標情報を取得するレーザースキャナとTS（トータルステーション）を用いて測量を実施し、これらの測量結果を基に現場の地形を3Dモデル化する。3Dモデルは図-4に示すレーザースキャナの座標情報から図-5に示すように現況地形および造成計画形状の地中を表現するために、積み木のように細かいブロックを積み重ねたブロックモデルにより構築する。



図-4 レーザースキャナによる測量結果

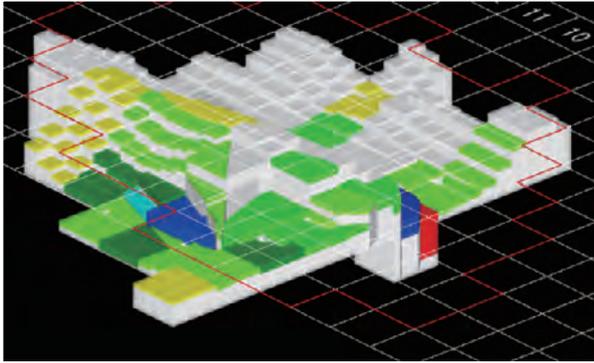


図-5 施工対象範囲の3Dモデル

(2) 設計・施工情報の付与

3Dモデル構築後、表-1に示す設計・施工情報を3Dモデルの各ブロックに付与することにより、任意のブロックを指定するだけで汚染土壌のエリア、掘削深度、処理区分、現在の処理状況などの各種情報が図-6に示すように表示することができる。

そのため、汚染土壌に関する情報を一元管理することが可能となるとともに、各種情報がブロックに属性として付与されているため、汚染土壌のトレーサビリティを確認することも可能となる。また、3Dモデルにおける管理以外にも図-7に示すトレーサビリティ管理帳票に各種施工情報を記載して管理を行う。

また、掘削深度などの施工情報をブロックに属性として付与することにより、施工進捗状況を表した3Dモデルや事前調査の汚染深度を表した3Dモデルを作成することが可能となる。地元住民など対外的に情報を公開するためのホームページを立ちあげ、このモデルを公開することにより、現在の施工状況や進捗率に対する理解してもらうためのツールになりうると考えている。

表-1 ブロックに付与する情報

・掘削エリア	・掘削土仮置きエリア
・調査時の鉛溶出量	・不溶化処理実施日
・汚染土壌対象区分	・処理後の鉛溶出量
・掘削土量	・封じ込め処理実施日
・掘削開始・完了日	等



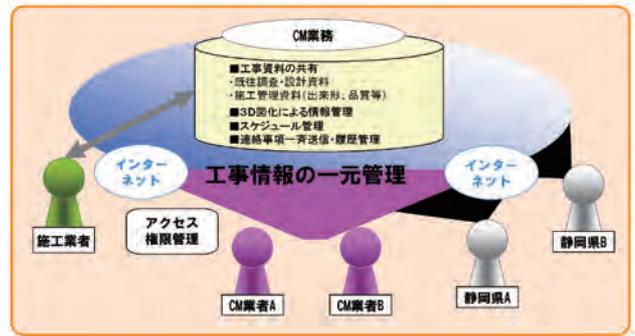
図-6 ブロックへの情報付与のイメージ

平成21年度 元静岡県クレーン射撃場環境対策事業工事(鉛除去・不溶化封じ込め工)			
掘削開始日	2010年6月21日	掘削エリア	D14
掘削完了日	2010年6月22日		
掘削予定深さ	20 cm		
掘削深さ	20 cm		
掘削土量	健全土 - m <sup>3</sup> 不溶化対象外土 - m <sup>3</sup> 不溶化対象土 180 m <sup>3</sup> 掘外搬出土 - m <sup>3</sup>		
選別作業実施日	2010年7月7日	仮置きエリア	B5
テント内仮置き場移動日	2010年7月7日		
不溶化処理実施日	2010年7月9日		
公定分析実施日	2010年7月9日		
公定分析判定日	2010年7月23日		
不溶化処理後	溶出量(<0.01mg/g) pH(6~9の範囲内)	0.002 mg/g 7.5	
封じ込め処理実施日	2010年7月25日	仮置き状況	

図-7 トレーサビリティ管理帳票(例)

4.2 情報共有システムの整備

本業務では、発注者、施工業者、CM業者間の施工中の円滑なコミュニケーションと情報共有を目的として情報共有システムを独自に開発した(図-8参照)。情報共有システムはシステム上に設計情報や施工情報、スケジュール、協議・報告事項等を3者が適宜アップロードすることにより、施工情報や連絡事項等の情報をインターネットを介して共有できるシステムである(図-9参照)。



情報共有システム

ホームページ

図-8 情報共有システムのイメージ



図-9 情報共有システム(例)

情報共有システムの機能・内容を以下に示す。

(1) ファイル機能

施工情報を付与した工事エリアの 3D モデルや試験・調査結果のファイルを情報共有システムにアップロードすることにより、現在の施工状況、汚染土壌のトレーサビリティ、各種試験、調査の結果等の情報を共有することが可能となる。それによって、技術的課題や試験・調査結果に問題が確認された場合、即時に対応することが可能となる。

(2) フォトアルバム機能

現地状況の写真を定期的に情報共有システムにアップロードすることによって、施工状況を確認することが可能となる。

(3) 工程表機能

工事工程を図-10 に示す工程表機能で管理することにより、工事進捗状況および今後の施工予定箇所が明確になる。



図-10 工程表機能イメージ

(4) 決裁機能

これまでは、発議者が紙書類を持って行って印鑑を押していた休日・夜間作業届等の提出作業が、

情報共有システムを使用することによりインターネット上で書類を作成し電子署名(顔写真)による決裁が可能となる(図-11 参照)。



図-11 決裁機能イメージ

(5) 掲示板機能

協議・報告・提出等の事項を掲示板に書き込むことで、これらの情報を一元管理することが可能となることに加え、書き込んだ内容が関係者に対し一斉にメール送信されるため、新たな情報を即時に確認することが可能となる。

上記の機能を有した情報共有システムを独自に開発し、整備したことにより、「施工情報、特に汚染土壌のトレーサビリティの状況をインターネットを介して、遠隔地でも確認すること」、「各種情報を関係者が即時に共有すること」、「技術的課題に対する即時の対応」などが可能となった。これらのことから本情報共有システムは、施工情報を一元管理するツールとして、有用なものであると考えている。

5. 今後の展望

当該工事は、現在施工中であるため、本システムも現在運用途中の段階である。今後、情報の一元管理手法、特に情報共有システムを運用することで、有用性を確認し、本システムによる施工監理を全国的に広めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 国土交通省：CM方式活用ガイドライン

## S 2. 橋梁伸縮装置の損傷原因に関する調査研究

施工技術総合研究所 研究第二部 ○小野 秀一

### 1. はじめに

施工技術総合研究所は約150,000m<sup>2</sup>の広大な敷地と様々な試験設備を有しており、これらを活用して実物大模型による載荷試験や繰り返し載荷、実地向けの施工試験等を行うとともに、耐荷性能や疲労耐久性、出来形の確認といった施工法の検証などの調査研究を行っている。このような構造物の耐久性や耐荷力に関する調査研究の経験を生かし、当研究所では、建設機械や公園遊具、橋梁部材など様々な実構造物の損傷状況の調査や原因の解明、さらにそれらの対策方法の検討や追跡調査などを行ってきた。

ここでは、これまでに検討を行った各種損傷原因調査研究業務のなかから、最近実施した、道路橋に設置されている鋼製の伸縮装置の損傷原因に関する調査研究について紹介する。

なお、本報告の内容は、平成22年7月に開催された International Association for Bridge Maintenance and Safety 主催の「Bridge Maintenance, Safety, Management and Life-Cycle Optimization」に投稿した論文「Fatigue evaluation of steel finger type expansion joints for highway bridges」(S.Ono, S.Sakai, T.Imamura) をもとに編集したものである。

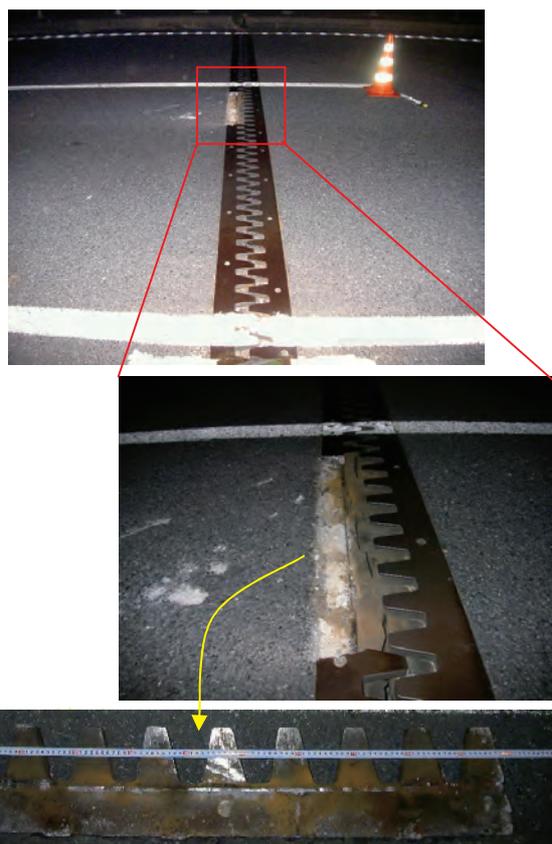
### 2. 損傷概要と検討方針

近年、東名高速道路の橋梁部に設置されている鋼製の伸縮装置の一つである、鋼製フィンガージョイントに疲労損傷が見つかった<sup>1)</sup>。東名高速道路は1969年に供用を開始し、当該道路には損傷が見つかったジョイントと同種のもので、およそ1,300基が取り付けられている。橋梁伸縮装置は、温度変化や活荷重による橋梁の伸縮やたわみによる角折れを吸収し、路面の平坦性を確保し、スムーズな車両走行のためには、欠くことのできない重要な部材である。

ここで対象とする鋼製フィンガージョイントの損傷事例を図-1に示す。これは、鋼製フィンガージョイン

トのフェースプレートが破断し、外れてしまった事例である。外れたフェースプレートは、図-1に示したように、長さ1m、厚さ30mmの鋼部材であり、重さは約340kN (35kgf) であった。また、この事例においては、走行車両が、フェースプレートが外れた伸縮装置部を走行したために、横転するという事故を引き起こしてしまった。さらには、この損傷を機に行われた緊急点検によって、他のフェースプレートにも損傷が見つかったことから、高速道路における安心・安全な通行を確保するために伸縮装置の適切な維持管理が重要であると再認識された事例である。

鋼製フィンガージョイントは図-2に示すように、路面に設置される楕形のフェースプレートと、フェース



Length:1m, Thickness:30mm, Width:200mm, Weight:35kgf

図-1 Damage case of finger type joint

プレートの裏面側には、橋梁本体と固定し、荷重を橋梁本体に伝達させるためのアンカープレート、リブプレート、ウェブプレートが溶接によって取り付けられた構造である。通行車両は鋼製フィンガージョイント上を直接走行することから、鋼製フィンガージョイントは通過車両ごとに繰り返しの荷重を受けるため、疲労条件としては厳しい環境にある。しかし、その一方で、これまでには鋼製フィンガージョイントの破壊メカニズムや疲労寿命に関する検討事例は少なく、適切な維持管理を行うためには、疲労に対するデータが必要であると考えられる。

このようなことから本研究では、今後の適切な維持管理を行う上で必要な疲労に関する基礎データを得る目的で、破損した鋼製フィンガージョイントを詳細に観察し、立体FEM解析によって、破壊に至る過程および損傷メカニズムを推定するとともに、疲労試験によってフェースプレートが破断に至るまでの疲労寿命について検討したものである。

### 3. 検討結果概要

#### 3.1 損傷ジョイント詳細調査

実橋から回収された鋼製フィンガージョイントに取り付けられていたアンカープレートを図-3に示す。アンカープレートの破断位置近傍の腐食が特に著しく、減肉している状況が確認された。また図-1に示した、回収されたフェースプレートの裏面においては、フェースプレートに接続されていたアンカープレート、リブプレート、ウェブプレートの破断が確認されるとともに、フェースプレートの裏面全体に腐食が認められた。特にアンカープレートおよびリブプレートの腐食が著しいことが確認された。

フェースプレートの破断面を図4に示す。フェースプレートの破断面には、疲労破面の特徴的な模様であるビーチマーク模様が観察され、繰り返しの力が作用することによって生じた疲労破断であることが判明した。またビーチマーク模様から、疲労き裂の起点は、ウェブプレートとの溶接部であることが分かった。

さらに別の事例として、フェースプレートにき裂が発生していることが確認されたために実橋から取り外された鋼製フィンガージョイントを図-5に示す。この事例においても、既にアンカープレートとリブプレートが破断しており、ウェブプレートにき裂は水平方向に長さ1m程度まで進展していた。またフェースプレ

ートのき裂は、ウェブプレートのき裂の両端部からフェースプレート方向に進展していることが分かった。

以上のことから推定した鋼製フィンガージョイントの破壊メカニズムおよび損傷過程を図-6に示す。最初

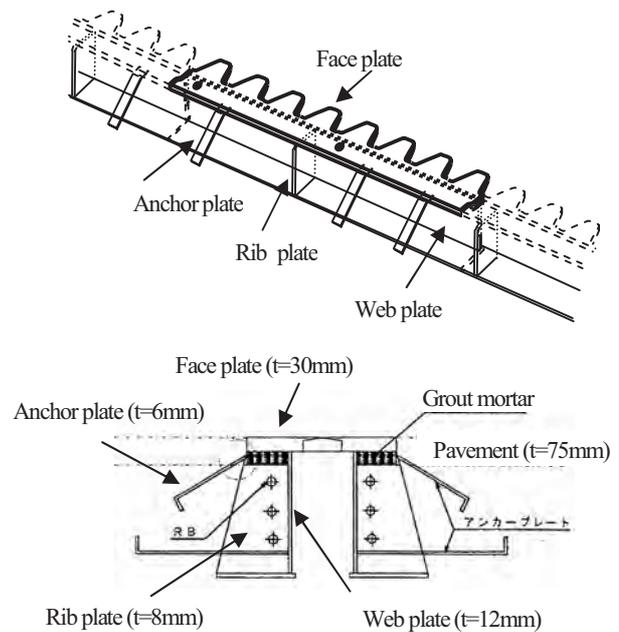


図-2 Steel finger type expansion joint

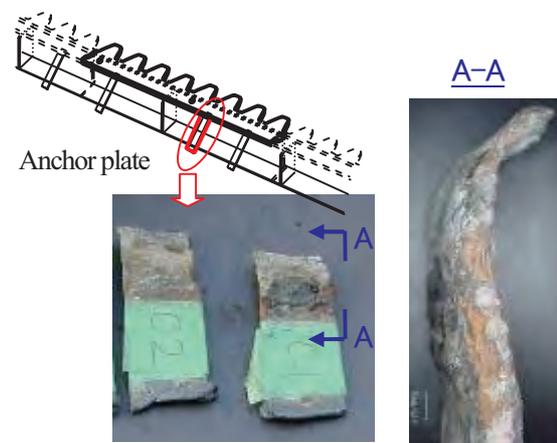


図-3 Fractured anchor plates

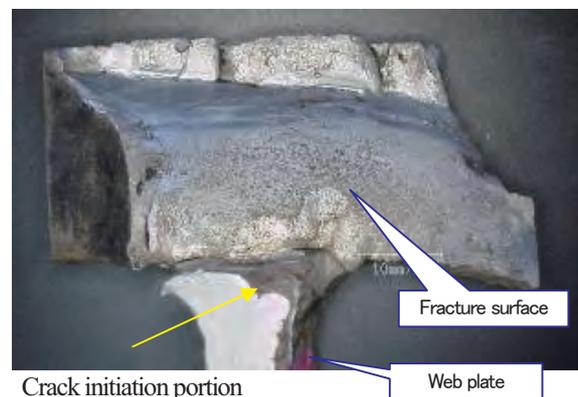


図-4 Fracture surface of face plate

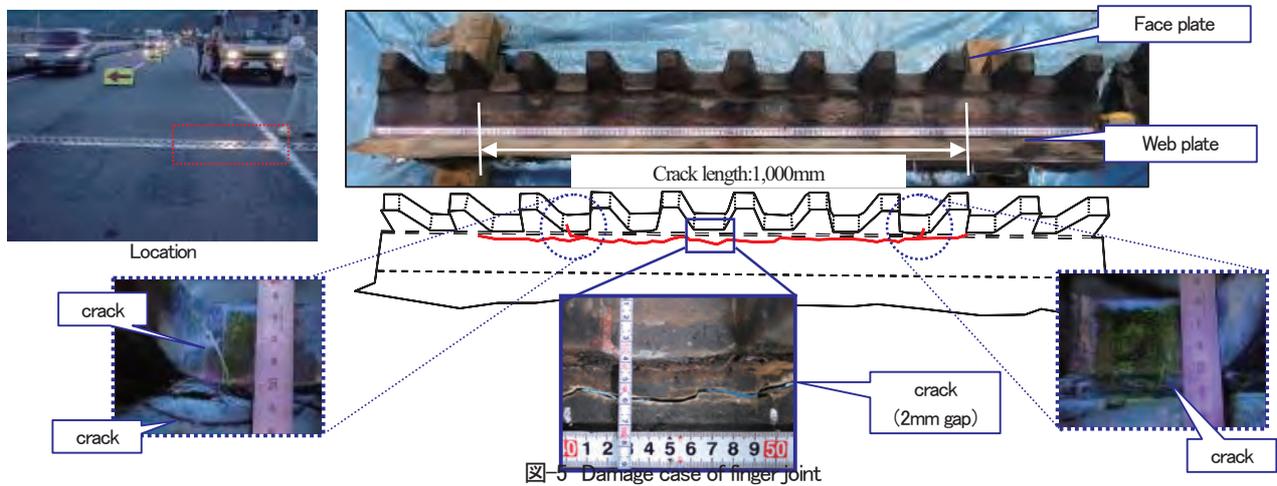


図-5 Damage case of finger joint

にアンカープレートが輪荷重の繰り返しによる疲労および腐食により破断し、次にリブプレートが疲労もしくは腐食によって破断する。その後、フェースプレートとのウェブプレートとの溶接部には、輪荷重による首振り現象によってウェブプレートにき裂が発生し、ウェブプレートのき裂は橋軸直角方向に進展する。さらにウェブプレートのき裂の進展にしたがい、輪荷重によるフェースプレートの変形挙動は橋軸直角方向の曲げが卓越するようになり、最終的にはフェースプレートの曲げの繰り返しにより、フェースプレートの橋軸方向にき裂が発生したのちに破断する、と推定した。

### 3.2 FEM解析による損傷メカニズムの検証

立体FEMは、損傷した鋼製フィンガージョイントの詳細観察で推定した破壊メカニズムと損傷過程を解析的に検証する目的で行った。以下に、解析の概要と結果を示す。

#### (1)FEMモデル

FEMモデルの概要を図-7に示す。モデルを構成する部材や部材寸法等は、損傷が見つかった実際のフィンガージョイントと同様とした。図に示すように、フェースプレートとウェブプレートはソリッド要素、それ以外の部材についてはシェル要素でモデル化した。

荷重条件は、図-8に示すように、実際の車両が通過する状況を再現できるように移動荷重とし、移動荷重はLoad case A,B,Cの3パターンで表した。ここで、Load case Aはフェースプレートの床版側に、Load case Cはフェースプレートの楕円部に荷重を載荷した場合であり、Load case Bはフェースプレート全面に荷重が載荷された場合である。載荷荷重はLoad case AおよびCは25kN、Load case Bは50kNとした。

#### (2)解析手順

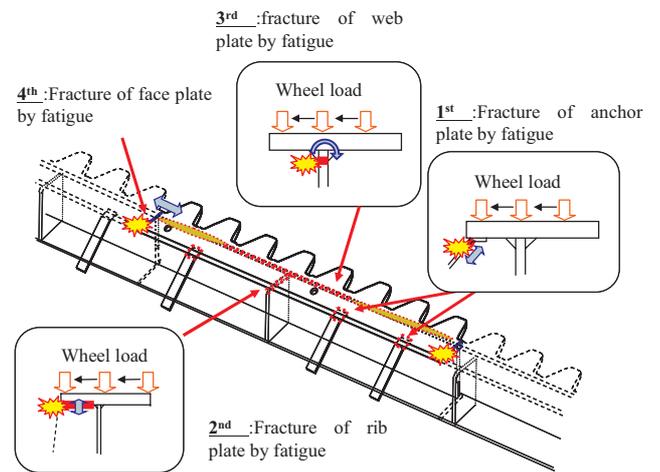


図-6 Fracture mechanism and procedure

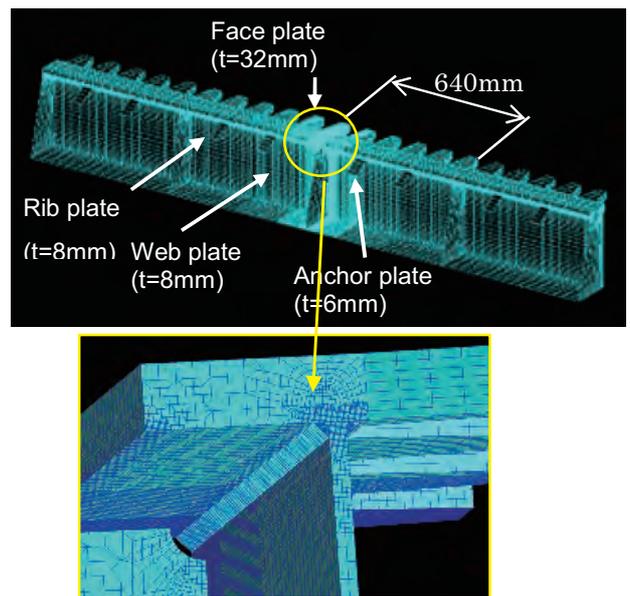


図-7 General view of the FEM model

解析では、図-6に示した損傷過程を検証する目的で、各損傷過程に対応する4つの解析モデル (Model Aは損傷のない健全モデル、Model Bはアンカープレー

ト破断モデル、Model Cはリブプレート破断モデル、Model Dはウェブプレート破断モデル) を用意した。

これらの4つのモデルを用いて、次の手順でFEM解析を行った。

- ①健全モデル (Model A) を用いたFEM解析により鋼製フィンガージョイント各部に生じる応力範囲を求め、溶接継手部の破断寿命を推定する。
- ②解析により、寿命が最も短いと推定された継手部材の破断モデルを選定する。
- ③選定されたFEMモデルを用いて再度、解析を行い、寿命が短いと推定される部材を抽出する。
- ④寿命の短い部材を取り外した解析モデルを再度、選定し、解析結果から寿命を求める。

### (3)解析結果

鋼製フィンガージョイント各部の疲労強度を図-10、寿命計算の基礎データとした東名高速道路の軸重頻度分布を図-11に示す。FEM解析結果の一例として、図-12に応力コンター図を示す。この結果では、アンカープレートおよびリブプレートに生じる応力範囲は、それぞれ34MPa、35MPaと算出されている。

表-1および表-2は、それぞれ各部の応力範囲と算出された疲労寿命を示す。健全モデルであるModel Aの解析の結果、アンカープレート、リブプレート、ウェブプレート、フェースプレートのそれぞれの応力は、34、35、28、4MPaとなり、各部の疲労寿命は4.7年、18.8年、37.8年、64,000年以上と算出された。よって、最初に破断すると考えられる部材は、アンカープレートとなる。次に、アンカープレートを破断させた解析モデル (Model B) を用いて解析を行ったところ、次に破断する部材は、リブプレートとなる結果が得られた。同様に順次、解析を進めたところ、次はウェブプレートの破断となり、先に実施した損傷ジョイントの詳細調査から推定した損傷過程と一致する。すなわち、図-6に示した破壊メカニズムおよび損傷過程は妥当であると考えられる。

### 3.3 疲労試験

鋼製フィンガージョイントの最終破壊形態であるフェースプレートの破断寿命について検討するために、実物大フェースプレート試験体による疲労試験を行った<sup>2)</sup>。フェースプレートの破断寿命を知ることは、図-1に示すような、フェースプレートの破断による事故を未然に防止するためには重要な検討課題である。

#### (1)試験方法

フェースプレート試験体を図-13に示す。試験体の形状寸法は、図-5で示した、実際に損傷が生じていた鋼製フィンガージョイントのフェースプレートを模擬したもので、フェースプレートの板厚32mm、ウェブ

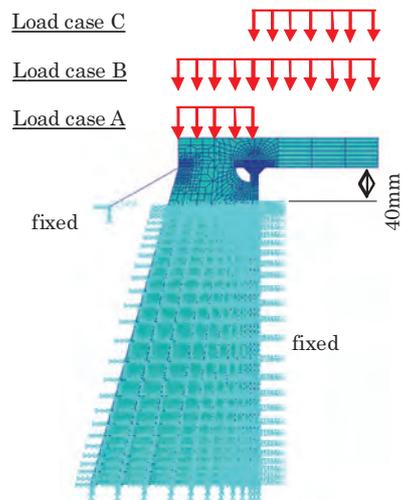
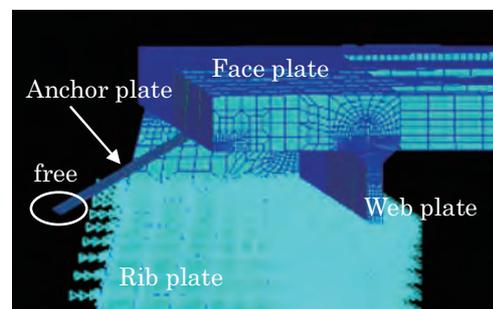
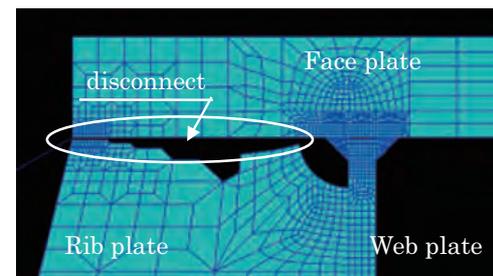


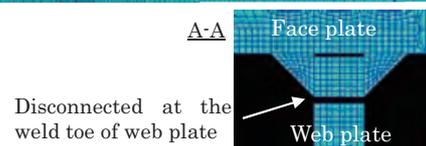
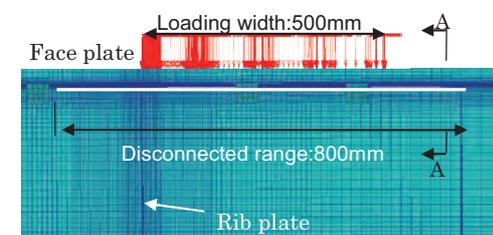
図-8 Loading and boundary conditions



(Model B) Rib plate fracture model



(Model C) Rib plate fracture model



(Model D) Web plate fracture model

図-9 Analysis models

プレート厚8mmである。長さは1.6mとした。また、試験体の両端には、疲労き裂を誘発させるべくV字型のノッチを入れた。

試験の载荷姿図を図-14に示す。試験体の両端は固定として、中央に32kNの繰り返し荷重を負荷した。疲労試験中は、磁粉探傷試験を併用した目視観察により、疲労き裂の発生および進展を観察した。また、疲労き裂の起点と進展状況を、疲労試験後に試験体の破断面から確認するために、負荷荷重を正規荷重の1/2にするピーチマーク操作を行った。

(2)試験結果

繰り返し载荷を473万回まで実施した時点で、試験体が破断した。図-15に試験後の試験体を示す。試験体の両端部に設けたV字型ノッチよりき裂が発生し、破断に至っている。疲労き裂の破面観察によると、き裂はウェブプレートとフェースプレートの溶接部を起点としていることが確認され、このき裂の起点および進展状況は、実際の破断したフェースプレートで観察されたものと同様であることが確認された。すなわち、本疲労試験は実際のフェースプレートの破断を再現しているものと考えられる。

(3)疲労寿命評価

疲労試験結果から、フェースプレートにき裂が発生し、破断に至までの疲労寿命を推定した。

疲労試験では、32kNの繰り返し载荷を473万回行った時点でフェースプレート試験体が破断した。図-11に示した東名高速道路の軸重分布を基に算出した疲労寿命は、およそ3.2年となった。すなわち、少なくとも

三年に一度は、フェースプレートに疲労き裂が生じていないかどうかを検査することで、フェースプレートの破断による事故を未然に防止することが出来ると考えられる。

3.4 まとめ

本試験研究では、高速道路橋に設置されている鋼製フィンガージョイントの破壊形態および疲労特性を明

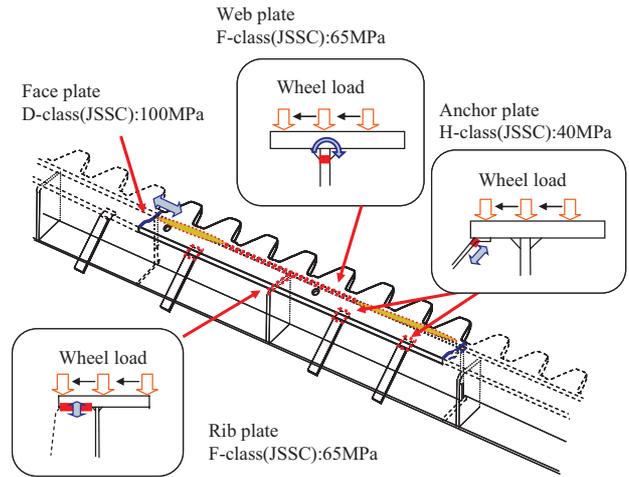


図-10 Fatigue strength of each weld joint

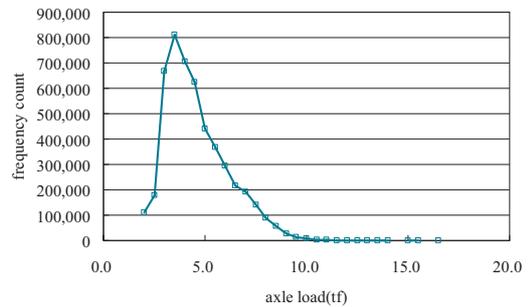


図-11 Frequency histogram of axle load

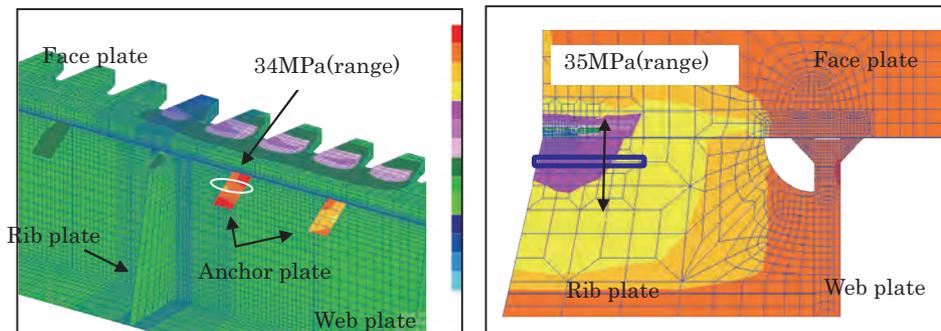


図-12 Results of FEM analysis

表-1 Stress range at each member

Member	Fracture procedure (MPa)			
	Model A	Model B	Model C	Model D
Anchor plate	34	-	-	-
Rib plate	35	53	-	-
Web plate	28	31	67	-
Face plate	4	5	9	154

表-2 Fatigue life of each member connection

Member	Fracture procedure (years)			
	Model A	Model B	Model C	Model D
Anchor plate	4.7	-	-	-
Rib plate	18.8	4.1	-	-
Web plate	37.8	24.4	0.7	-
Face plate	64172.1	27070.6	4874.1	0.8

らかにするために、損傷したジョイントの詳細調査、立体FEM解析、疲労試験などを行った。これらの検討結果を以下にまとめる。

- (1) 鋼製フィンガージョイントの破壊は、走行車両の輪荷重が直接、負荷したことによる疲労である。
- (2) 破壊過程は、アンカープレート、リッププレート、ウェブプレート、そして最終的にはフェースプレートが破断する。
- (3) フェースプレートの損傷メカニズムについては、ウェブプレートのき裂によってフェースプレートがたわむことで、橋軸直角方向の両端固定梁としての曲げ挙動を示し、その繰り返しによって疲労き裂が生じ、破断に至る。
- (4) フェースプレートにき裂が生じ破断に至るまでの疲労寿命は、疲労試験結果から約3.2年と推定された。したがって、少なくとも三年に一度は、疲労き裂の有無を点検する必要がある。

#### 4. おわりに

本報は、橋梁に取り付けられている伸縮装置の損傷事例を取り上げて、損傷メカニズムや損傷原因の推定を行った調査研究について報告したものである。

今日、我が国においては橋梁をはじめとする膨大な社会基盤ストックの老朽化が進み、より適切かつ効率的な維持管理が必要である。一方、そのためには対象物の損傷メカニズムや損傷過程、疲労寿命等を詳細に把握することが重要である。

当研究所では長年培った構造物の耐久性や耐荷力検討、各種構造物の損傷や事故原因調査等の経験を生かし、我が国のより良い社会基盤整備、そして維持管理技術の向上に貢献できるよう、さらに努力を重ねてい

く所存である。

#### 参考文献

- 1) 長尾、米川: 東名高速道路(沼津～富士間)における鋼製くし形伸縮装置の損傷に関する考察、第63回土木学会年次学術講演会、I-072、2008.9.
- 2) 荒本、酒井、小野: 鋼製フィンガージョイントの疲労試験、第63回土木学会年次学術講演会、I-073、2008.9.

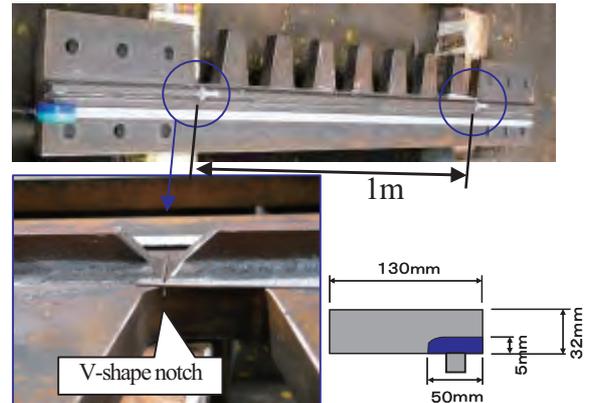


図-13 Face plate specimen

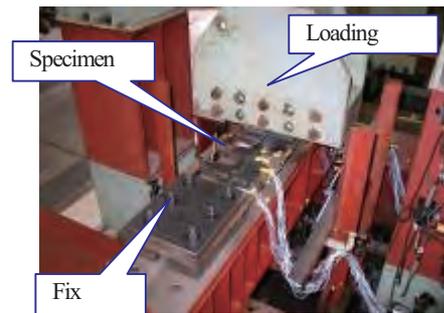
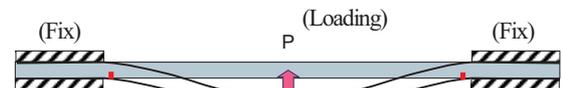


図-14 Fatigue test set-up



(specimen after fatigue test)

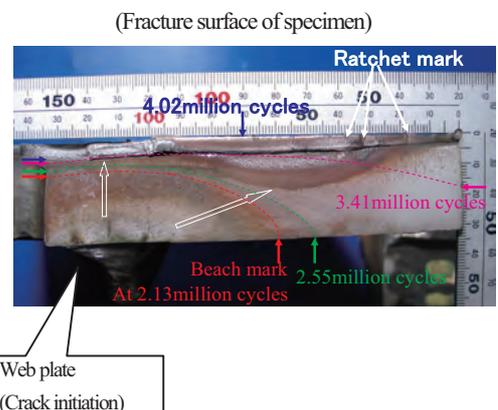
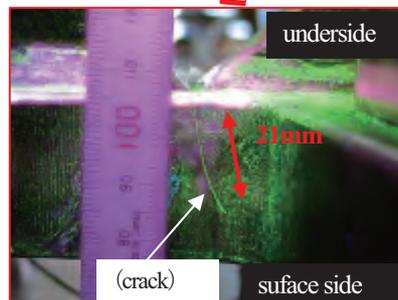
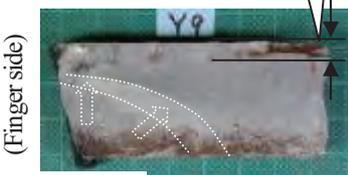
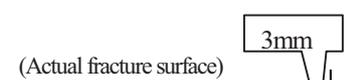


図-15 Result of fatigue test



図-2 に示す本技術は締固め作業中のローラの走行軌跡を記録し、締固め回数管理を行うシステムである。ダム堤体盛立工、大規模造成現場、道路土工を中心に多数の導入実績がみられる。国土交通省では、本技術を用いた締固め情報化施工管理要領（案）<sup>5)</sup>を取り纏められている。

### 2.3 情報化施工技術の監督業務に関する課題

情報化施工に関する監督・検査要領（案）は整備されつつある。しかし、これらの監督・検査要領（案）では、図-3 に示すように情報化施工で取得された情報は、従来施工と同様の管理帳票形式や目的別の管理資料として変換され監督職員が把握・確認することとしている。その結果、情報利用の観点において以下の課題があると考えられる。

#### (1) 有益なデータの破棄

情報化施工により面的な出来形や品質の情報を取得できるが、監督者へ提出する管理帳票を作成する段階でそれらの情報が選別され、従来の管理では把握できなかった有益な情報を監督業務にうまく活用できていない現状にある。

#### (2) データの分散によるチェック作業の増加

現在の情報化施工の監督業務は、出来形管理や品質管理の状況把握を行うために、従来施工と同様に、施工業者によって作成された目的別の管理帳票等の資料を見る必要がある。このため、情報化施工で得られた管理情報の把握は、従来施工と同様に人の介入が必要となり、膨大かつ分散された管理項目別の帳票を把握するといった視覚的にわかりにくく非効率なチェック作業となっている。

このため、情報化施工の取得データを利用して現場状況や出来形・出来高を監督職員に分かり易く表示・提供する技術の確立として全面的施工品質を効率良く確認可能なツールが必要である。

つまり、情報化施工で得られた連続的あるいは計測の生データを直接用いて 3 次元表示や詳細情報の閲覧等、監督業務時の不具合発生時の原因分析等の判断支援や施工時の面的な品質確保を支援できるツールが必要である。

### 3. 情報化施工に対応した監督業務支援ツールの開発

3 章では、2 章で整理した監督業務に関わる課題を踏まえ、①TS 出来形管理技術、②締固め管理技術の 2 つの情報化施工技術に対応した監督業務支援ツールの要件および開発した機能を説明する。

#### 3.1 支援ツールの概要

本ツールは、①TS 出来形管理技術、②締固め管理技術で取得された施工管理データ<sup>6)</sup>および施工履歴データをそのまま入力することが可能であり、従来管理で提出されている 2 次元の断面図や平面図の形状表現や長さや高さのみの数値管理では把握・確認できなかった問題にも新たに対応できるように 3 次元形状や管理情報を表示し情報提供できる。また、監督職員が自由に必要な情報を確認できるために、これまで管理帳票に記載していない位置座標の情報や任意の管理箇所等の詳細情報も閲覧できる。

#### 3.2 支援ツールの要件と利用手順

以下に、出来形管理および締固め管理に関する支援ツールの主な機能要件を説明する。また、図-4、図-5 に支援ツールの利用手順を示す。

##### (1) TS 出来形管理

①TS 出来形管理で扱われる施工管理データ（出来形計測値付き）を読込むことができ、画面上で設計形状のイメージと現場計測結果を一目瞭然と把握できる。

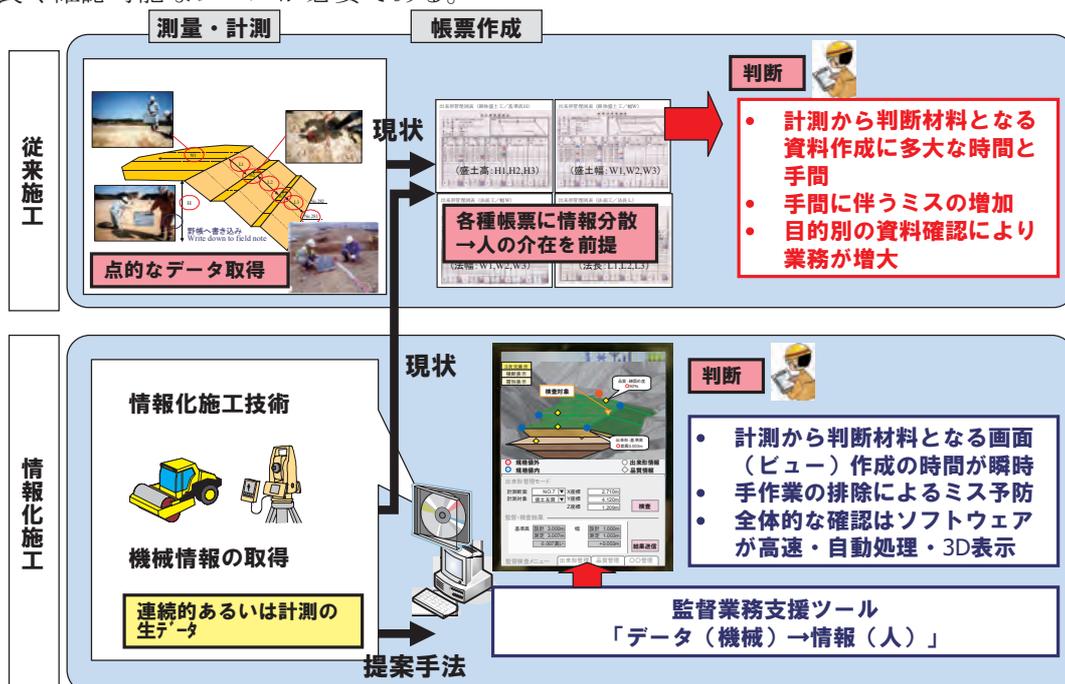


図-3 情報化施工と監督業務の課題

- ②個別の計測結果について詳しく確認することができる。
- ③現場計測立会時の結果を入力することで、設計との差分を自ら確認・検査でき、結果を登録できる。
- (2) 締固め管理（品質管理）
- ①TS・GNSS を用いた締固め管理で扱われる施工履歴データを読み込むことができる。
- ②読込んだデータから、画面上で施工指示範囲、施工日のイメージを一目瞭然で把握できる。また、施工範囲に対して、品質管理に必要なデータを関連づけて登録することができる。

#### 4. 考察

##### 4.1 情報化施工の取得データを直接利用する想定される効果

###### (1) 施工の不具合の早期改善

情報化施工の取得データを迅速に収集することで施工の不具合点（例：締固め回数の適否、層厚など）を早期かつ面的に把握することや、現場の任意の位置で出来形を確認することで不具合の早期発見を容易に実現し全体的な品質確保を支援する。

###### (2) 机上検査の省力化

情報化施工の取得データ（設計データ+3次元出来形データ等）を利用することで計測位置と結果を関連づけて管理・表示可能となり、監督職員

が把握、確認しやすい情報を提供することができる。また、発注者向けの帳票・図面は監督業務支援ツールが施工データを活用して自動作成することで、これまで作成していた測量手簿・出来形管理帳票・竣工出来形図等の複数の資料作成が不要となる。

##### (3) 維持管理での情報利用

法長、幅員等の長さや高さ等の相対的なデータは再利用性に乏しいが、取得されたデータは座標データとして保持しているため、道路基盤データ等との親和性が高いと考えられる。このように、情報化施工の取得データを点検時の初期データとして利用する等、維持管理段階において施工データを活用できる。

##### 4.2 本支援ツールの課題

###### ①監督業務に適した3次元表示方法の検討

TS 出来形管理の設計形状と計測値の比較時に3次元表示は見る角度により差の大小の見え方に差が出る。3次元表示のみでの管理は難しいため、3次元表示に適した規格値の設定と表示の基準を検討する必要がある。

また、締固め管理結果は、段階的に盛土施工する毎に取得されるため、支援ツール上に多数の層、範囲が表示された場合に、締固めエリアの締固め回数の不足がないか等を管理できないといった問題がある。



図-4 支援ツールの機能と利用手順（出来形管理）



図-5 支援ツールの機能と利用手順（品質管理）

## ②管理結果の標準化

締固め管理では、情報化施工で取得される生データは標準化されていないため、締固め管理結果のデータ交換形式や提出方法を標準化することで、一元的な管理とデータ閲覧が可能となる。

## 5. おわりに

3次元と聞くと立体的に表現でき情報もわかりやすいという先入観があり、「3D」というインパクトが先行しがちである。しかし、形を把握するための表現方法としては長けているが、結局は人間の目によって空間を把握しようとするため具体的な長さや奥行きの差異を表現することは苦手である。各業務段階におけるデータ流通は3次元データでの受け渡しが必要であると考え、全てを3次元で可視化する必要はなく業務段階に応じた見せ方を検討する必要がある。

今後の展開としては、研究開発した支援ツールを実際の現場で取得したデータを実際に利用して、監督業務の作業効率等の定量的な効果や使い勝手等の定量的な効果を検証し、さらなる課題抽出や効果の検証を行っていきたい。

## 謝辞

このソフトウェアの開発は、「平成20年度建設技術研究開発助成制度（政策課題解決型）」<sup>7)</sup>の支援を受けて行なった。ご協力いただいた関係各位に記して感謝の意をここに表す。

## 参考文献

- 1) 情報化施工推進戦略：情報化施工推進会議、2008年7月。
- 2) 施工管理データを搭載したTSを用いた出来形管理要領（案）（土工編）：国土交通省総合政策局政策課、[http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha08/01/010415\\_2\\_h.html](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha08/01/010415_2_h.html)、2008年4月。
- 3) トータルステーションを用いた出来形管理の監督・検査要領（案）河川土工編：国土交通省「技術調査関係」HP、<http://www.mlit.go.jp/tec/sekisan/sekou/pdf/220331totalstation02.pdf>、2010年3月。
- 4) トータルステーションを用いた出来形管理の監督・検査要領（案）道路土工編、国土交通省「技術調査関係」HP<http://www.mlit.go.jp/tec/sekisan/sekou/pdf/220331totalstation03.pdf>、2010年3月。
- 5) TS・GPSを用いた盛土の締固め情報化施工管理要領（案）、2003年12月。
- 6) 施工管理データ交換標準（案）：国土交通省国土技術政策総合研究所トータルステーションを用いた出来形管理情報提供サイト、2008年3月  
<http://www.mlit.go.jp/tec/gijutu/kaihatu/josei.html>
- 7) 建設技術研究開発助成制度：国土交通省  
<http://www.gis.nilim.go.jp/ts/index.html>

# S 4. 真空環流式路面清掃車の粉塵の巻き上がり防止技術の開発

(社)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 ○佐野 昌伴

## 1. はじめに

現在、市街地で使用されている真空環流式路面清掃車（以下、路面清掃車という）は、ガッター（歩車道境界）に堆積している塵埃を清掃する際に、塵埃を湿潤させて粉塵の巻き上がりを防止するため、事前散水を行う散水車との組み合わせ施工を実施しており、交通渋滞の原因の一つとなっている。

本稿では、この課題を解決することを目的として、要素試験や構内試験による粉塵対策技術の研究開発、およびその効果を確認するための現場実証試験を行ったので報告する。

## 2. 検討経緯

### 2.1 概要

開発フローを図-1 に示す。1年目は基礎調査、2年目は基礎研究、3年目は実用化のための現場実証実験を行った。

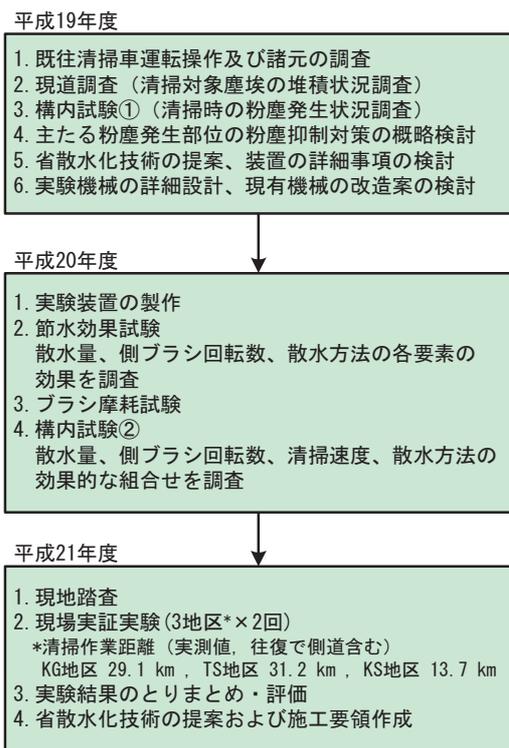


図-1 開発フロー

## 2.2 現道調査

路面清掃時の粉塵発生量は、清掃対象とする塵埃の堆積量および含まれる土砂の粒度分布等に影響されると考えられるため、九州地方整備局管内の一般国道の塵埃堆積量、土砂の粒度分布の調査を行った。現道の塵埃堆積量および粒度分布を図-2 に示す。

なお、この結果は構内試験の試験用砂（現道の塵埃の粒度分布に調整）として活用した。

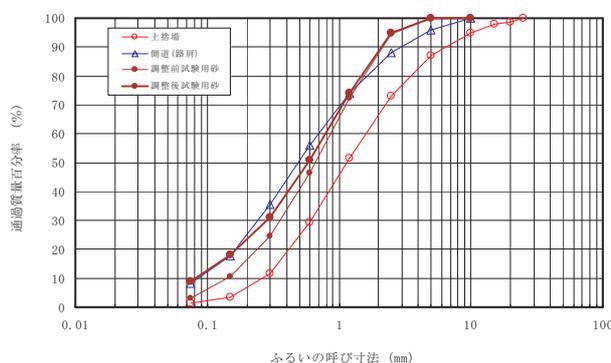


図-2 現道の塵埃と試験用砂の粒度分布

## 2.3 構内試験①

構内試験①では、模擬ガッターに試験用砂を堆積させ、路面清掃車による清掃を実施した。清掃時における粉塵発生箇所と粉塵発生量の関係を定量的に評価し、複数の対策技術の効果を確認した。計測位置を図-3、調査状況を写真-1、対策事例の一部を写真-2と写真-3に示す。

調査状況（写真-1参照）における条件1（散水無し）については、側ブラシから濃い粉塵を巻き上げながら、車体後方から風下側側面全体に濃い粉塵がまとわりつき、徐々に拡散しながら移動しているような状況であった。

また、条件2（前ノズルによる散水）を行っても、側ブラシ直近で巻き上げられる粉塵は少ないが、車体風下側側面全体にはやや濃い粉塵がまとわりついていた。

対策事例①（写真-3参照）は、側ブラシからサクションフードの上部をビニールシートでカバー、前方ゴムフラップ部の面積を拡大し、路面との隙

間を減少させた。しかし、対策したカバーの隙間から、粉塵が歩道側にオーバーフローし、条件2と同様に、側ブラシ上部カバーを付けても対策効果は見られなかった。

透光性遮音壁清掃機械やトンネル壁面清掃機械では、節水方法としてブラシに洗浄水を噴射する方式や、ブラシの回転軸中心から洗浄水をにじみ出す構造を採用している。そこで対策事例②（写真-3 参照）では、この技術を応用して、側ブラシに給水する方式で節水を試みた。結果は粉塵の発生が抑制され、ガッター部に薄い水跡だけが残りに、粉塵抑制対策の可能性を確認できた。

構内試験①の結果として、塵埃堆積量が多い(0.2 m<sup>3</sup>/km) ケースでは、現行の噴霧方式は散水車による事前散水がないため、側ブラシおよび車体の後方から粉塵の舞い上がりが見られた。また、側ブラシのカバーの対策効果はなかったが、側ブラシに直接噴霧した対策は粉塵の抑制効果が見られた。

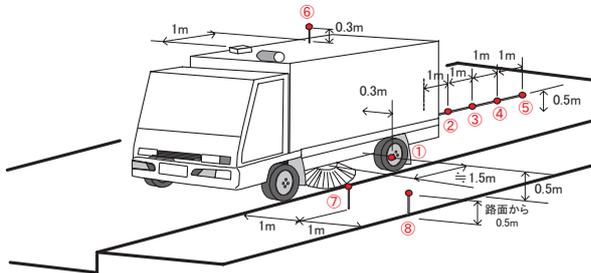


図-3 計測位置

条件1（散水なし）



条件2（側ブラシ散水あり）



写真-1 調査状況



写真-2 対策事例①（側ブラシカバー）



写真-3 対策事例②（ブラシ経路の給水）

## 2.4 省散水化技術の提案

粉塵発生状況調査の結果をもとに、主たる粉塵発生部位の粉塵抑制対策について、清掃方法、ブラシ構造、フィルター技術、省散水技術の側面から17技術について概略検討を行った。

また、それぞれの技術を適用した場合の必要動力、重量増加、費用等について概略検討し、実現性の高い次の3技術を抽出した。

### (1) 水タンク容量を増やし散水に活用

追加容量は、搭載場所のスペース、車両の保安基準(タイヤ負荷率、最大安定傾斜角度)などを検討した結果、350Lの増加が可能である。



図-4 水タンク容量の追加

### (2) 側ブラシの回転数調整

側ブラシの回転数を現在の固定式から調整式

(ブラシの駆動用油圧回路に圧力補償型可変バルブを挿入して油量を調整：90 min<sup>-1</sup> ~ 150 min<sup>-1</sup>) に変えることで、塵埃量や走行速度に対応した回転数の調整によって発塵抑制を図ることができる。

### (3) ブラシ経由給水方式

構内試験では、前記 2.3 の通り、前方散水、側ブラシ散水、フード内散水を行ったが効果が見られず、側ブラシに直接散水した場合は、濡れたブラシが土砂を確実に濡らして省散水化に寄与することが確認できた。

次の開発課題として、適正なブラシ回転数の制御に加えて、より散水効果を得るために、側ブラシに散水する角度、ノズルパターン(直射, 扇形)、ノズルの数量、ノズル位置などを 2.5 以降のように検証した。

## 2.5 節水効果試験

適正な噴霧量、ノズルの噴霧位置・方向、側ブラシ回転数の組合せについて、面的な水量分布を計測して定量的に評価した。水量計量台の概略図を図-5、水量計測台回収容器配置図を図-6、計測結果の一例を図-7 に示す。

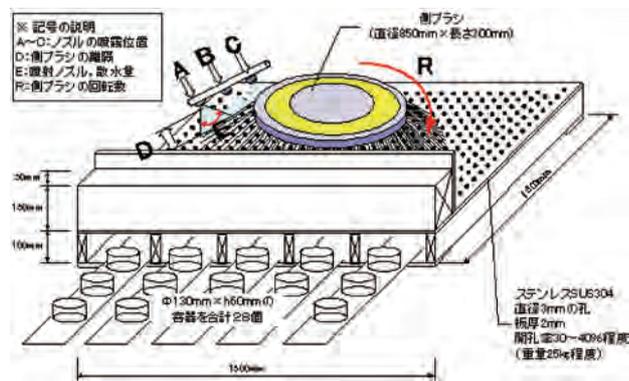


図-5 水量計量台の概略図

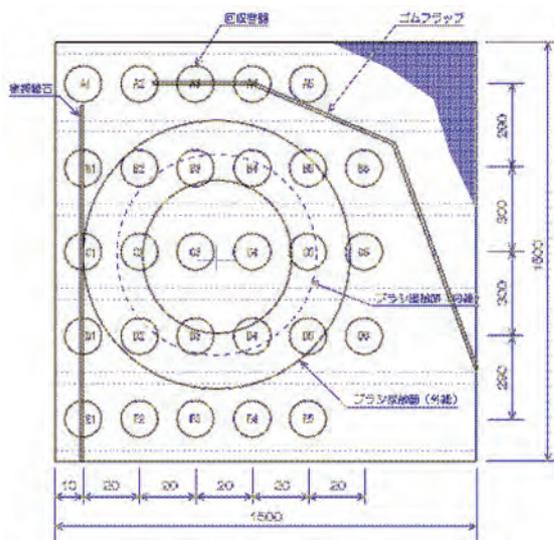


図-6 水量計測台回収容器配置図

計測結果の評価は、清掃の進行方向に対して、

側ブラシのガッター側前方散水量が多いほうが、塵埃に効率的に散水できると考え、最適な組合せを決定した。

図-7 は、ガッター側前方散水量に着目した検討結果であるが、高回転(側ブラシ回転数 150 min<sup>-1</sup>) の試験 No.3 は、実作業の際に縁石等に衝突する可能性があるため、実務では採用できない。

中回転(120 min<sup>-1</sup>) の試験 No.12 は、Bノズルが斜め進行方向であるため、直接路面に散水されるので、ブラシ経由の給水方式の効果が低減されると考える。

低回転(90 min<sup>-1</sup>) の試験 No.7 は、側ブラシのガッター側前方及び後方の散水量が多く、高回転や低回転でも同様な傾向が見られ、回転数が異なっても良いバランスを維持できている。このため、ブラシ経由の給水方式での最適な組合せは「45° 下向き and 120° 下向き」であると考える。

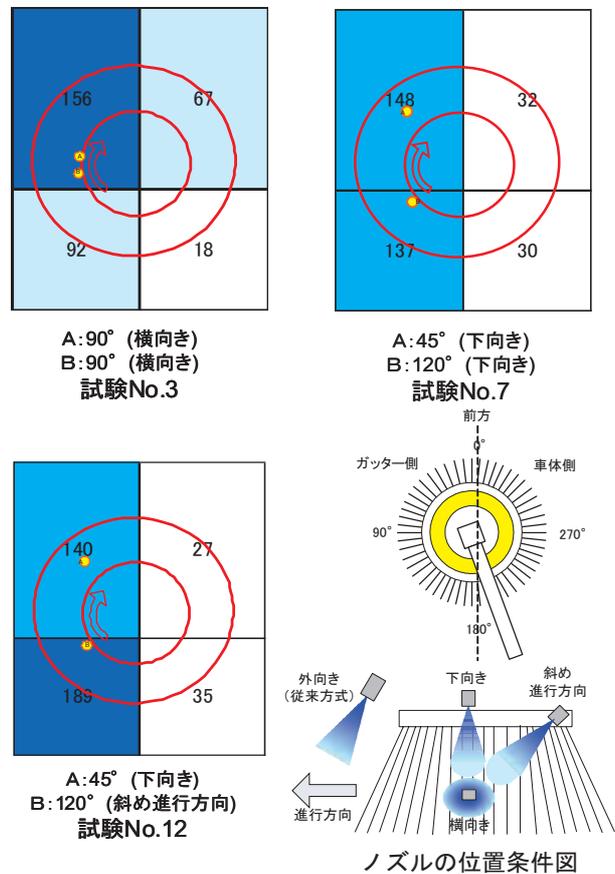


図-7 計測結果

## 2.6 ブラシの摩耗試験

現行の噴霧方式とブラシ経由給水方式のブラシ摩耗量および表面温度を計測して定量的に評価した。模擬側溝の概略を図-8、試験状況を写真-4 に示す。

試験結果のうち、時間当たりの摩耗量(平均)の比較では、ブラシ経由給水方式は現行の噴霧方式の 0.6 倍の摩耗量に抑制した。

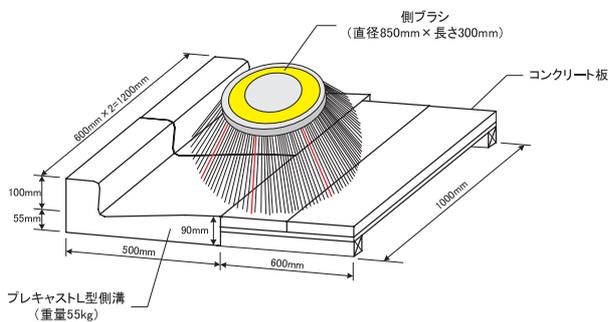


図-8 模擬側溝の概略



写真-4 試験状況

## 2.7 構内試験②

構内試験②の試験状況を写真-5、粉塵量の比較結果を図-9に示す。試験では模擬ガッターに試験用砂を堆積させ、路面清掃車の清掃を実施し、ブラシ経由給水方式について、塵埃堆積量、清掃速度、ブラシ回転数、噴霧量の組合せを、粉塵発生量を指標として定量的に評価し、最適な組合せを3章のように決定した。



ブラシ後方

車体後方

写真-5 構内試験状況

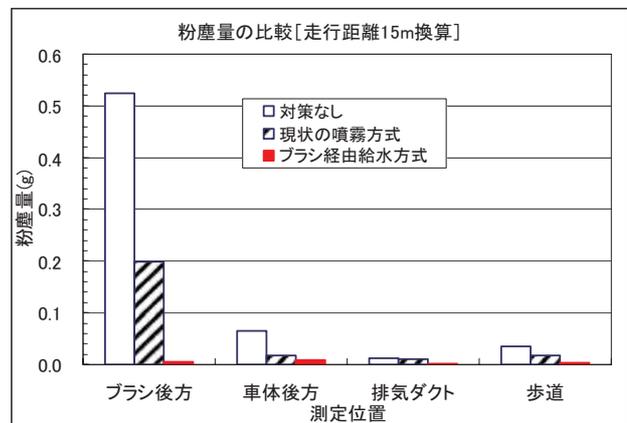


図-9 粉塵量の比較

## 3. 粉塵の巻き上がり防止技術の概要

前記の試験結果から、清掃時の粉塵の巻き上がりを防止するには、現行の噴霧方式より「ブラシ経由給水方式」のほうが、少量噴霧で粉塵対策に有効であることを確認した。側ブラシの噴霧方式の違いを表-1に示す。

側ブラシに水を直接噴霧することで、側ブラシ先端は絶えず湿潤状態となり、側ブラシと接触する土砂を確実に湿らせ、発塵の抑制と冷却効果によるブラシの延命を図ることができる。

また、側ブラシの回転数を現在の固定式から調整式（ブラシの駆動用油圧回路に圧力補償型可変バルブを挿入して油量を調整： $90 \text{ min}^{-1} \sim 150 \text{ min}^{-1}$ ）に変えることで、塵埃堆積量（清掃速度）に対応した回転数の調整によって粉塵を抑制できる。

- ◇ 噴霧方式：ブラシ経由給水方式（ノズル2方向から側ブラシに給水、表-1参照）
- ◇ 塵埃堆積量多（ $0.2 \text{ m}^3/\text{km}$ ）の最適な組合せ：側ブラシ回転数 90 rpm、噴霧量 4 L/min、清掃速度 6 km/h 以下

## 4. 現場実証実験

現場実証試験では、現行の噴霧方式に対してブラシ経由給水方式の効果を客観的に評価するために比較検討を行った。

実施回数は3地区×2回の合計6回で、清掃作業距離（実測値、往復で側道含む）は、KG地区 29 km、TS地区 31 km、KY地区 14 kmである。

現場実証試験結果の評価を表-2に示す。ブラシ経由給水方式は現行の噴霧方式に比べて、粉塵発生量の抑制、ガッターへの散水量・噴霧量の低減、清掃効果の向上、およびブラシ摩耗量の延命によるコスト削減を図ることが可能である。

これより、ブラシ経由給水方式による清掃方式は、散水車（事前散水）なしで路面清掃車の単独清掃が可能であると評価できる。

表-1 側ブラシの噴霧方式の違い

主項目	現行の噴霧方式	ブラシ経由給水方式
散水位置		
	進行方向のブラシ先端	ノズル2方向から側ブラシに給水
ブラシ回転数	150 rpm	90 rpm
清掃機械の組合せ	2t ダンプトラック（作業員2名）+路面清掃車（作業員1名）	
	散水車（作業員1名）	なし
水タンク容量	1,500 L (+散水車 6,500 L)	1,500 L (350 L の増加可能)

表-2 現場実証試験結果の評価

評価項目	評価方法	現行の噴霧方式	ブラシ経由給水方式
粉塵発生量	バットに水を張って粉塵を捕集（写真-6のA）、km当たりの乾燥質量で評価	1 (基準)	0.42 (1/2に抑制, 図-10)
	目視（ビデオ撮影, ブラシ直視・歩道, 写真-6のB）	散水車+ブラシ噴霧により粉塵発生を抑制	散水車なしでも粉塵発生を抑制
		一部に水しぶき・飛び石あり	水しぶき・飛び石は見られない
清掃後のガッターの塵埃残量	清掃前後に計測（採取範囲はガッターの1m幅）	11 g	4 g (60%減少, 図-11)
清掃能力（清掃前後の塵埃量）	回収率(%) = (清掃前 - 清掃後) ÷ 清掃前 × 100	95.2 %	98.0 % (約3%向上)
ブラシ摩耗量	清掃前後に計測	1 (基準)	0.65 (35%抑制, 図-12)
清掃速度	実測	8.8 km/h	9.8 km/h (1km/h UP)
路面清掃車のブラシ噴霧量	10秒間のノズル噴霧量をビニール袋に捕集して求めた	散水車 20.4 L/min 3.88 L/min	3.88 L/min
ブラシ回転数（路面に接触）	清掃前に計測	150 rpm (実測 152.6 rpm)	90 rpm (実測 91.5 rpm)
交通渋滞状況	目視（清掃車の後部からビデオ撮影）	高架等の片側1車線区間で20台程度の渋滞	左同
現行の噴霧方式に見られた傾向	清掃後のガッターに残る水量が多い ブラシ後方の捕集バットに粒径5mm超の塵埃が見られる		

注1) 太枠部分は、現行の噴霧方式とブラシ経由給水方式を比較した場合に、その効果に差がある結果である。

注2) 調査数量は、KG地区とKY地区が5データ/方式×2回、TS地区が3データ/方式×2回である。

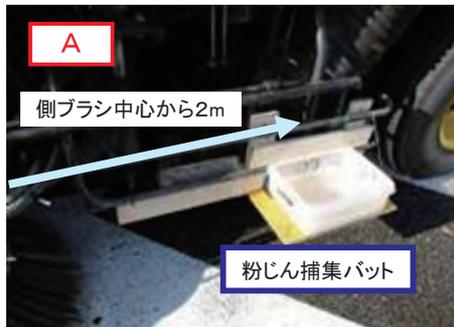


写真-6 現場実証試験の検証方法

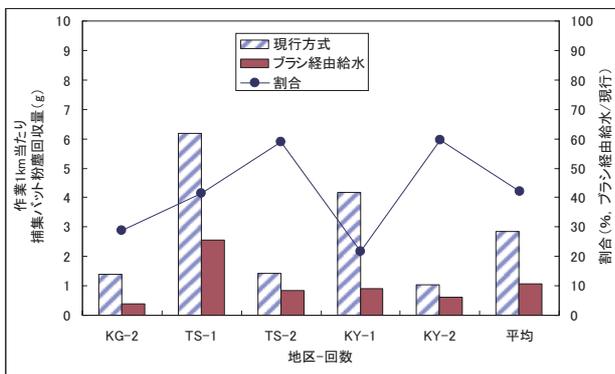


図-10 粉塵発生量の比較

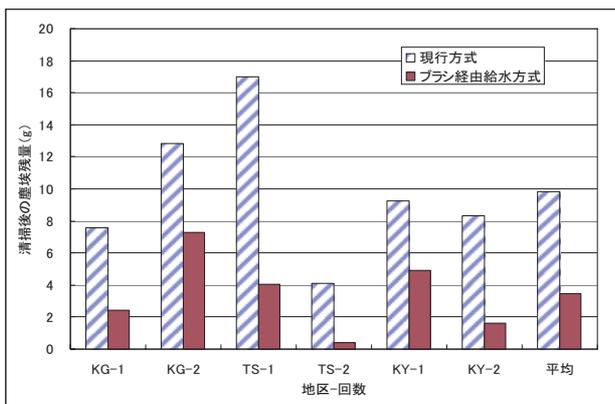


図-11 清掃後のガッターの塵埃残量

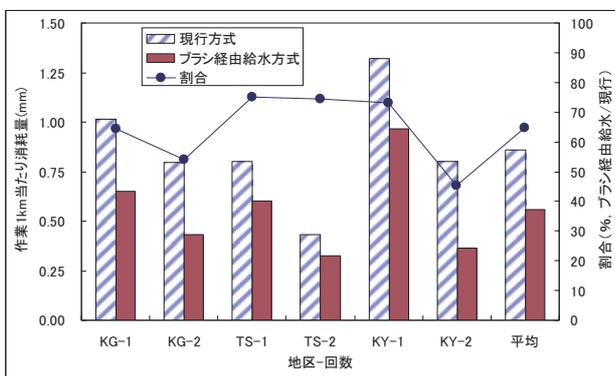


図-12 ブラシ摩耗量

## 5. まとめ

路面清掃車の清掃時における粉塵の巻き上がり防止技術として、ブラシ経由給水方式を提案し、現場実証試験結果から、現行の噴霧方式に対するブラシ経由給水方式の効果を確認した。

今後は、ブラシにより清掃を行う他の清掃機械に対して、ブラシ経由給水方式への取り組み（応用）が重要となる。

なお、本稿は九州地方整備局九州技術事務所からの受託業務として実施した研究の成果を取りまとめたものである。

## 参考文献

- 1) 長友久樹, 佐野昌伴: 真空環流式路面清掃車の粉塵の巻き上がり防止技術に関する検討, 社団法人土木学会第64回年次学術講演会, V-074, 2010.9

## Ⅱ-3 協会活動報告

作業燃費検討WG

### JCMA製造業部会・機械部会の地球温暖化対策

平成22年11月9日  
建設施工と建設機械シンポジウム

(社)日本建設機械化協会  
製造業部会・機械部会  
作業燃費検討WG

P1

作業燃費検討WG

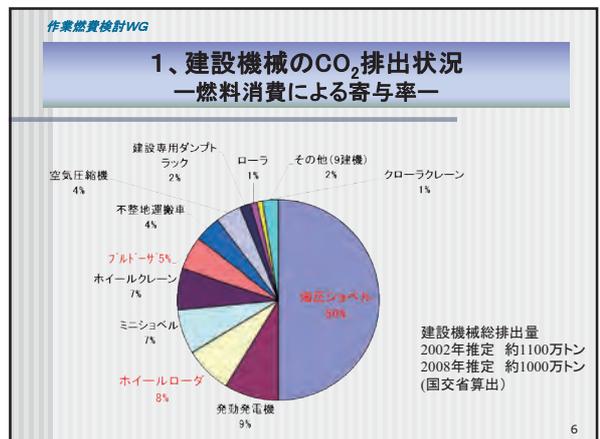
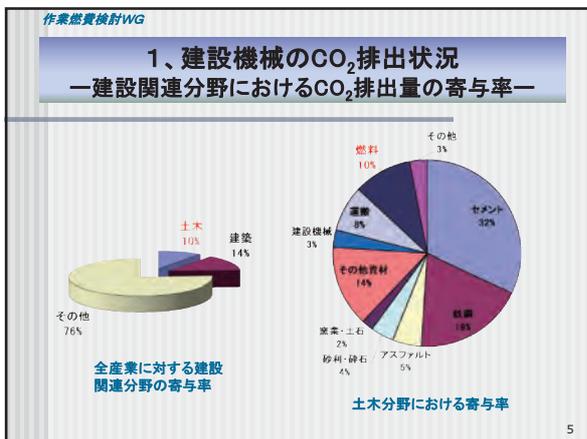
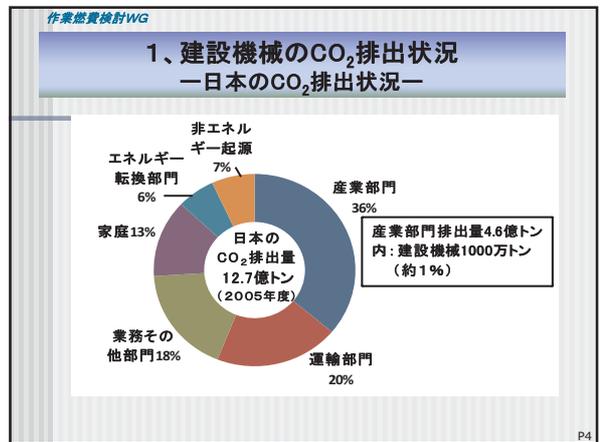
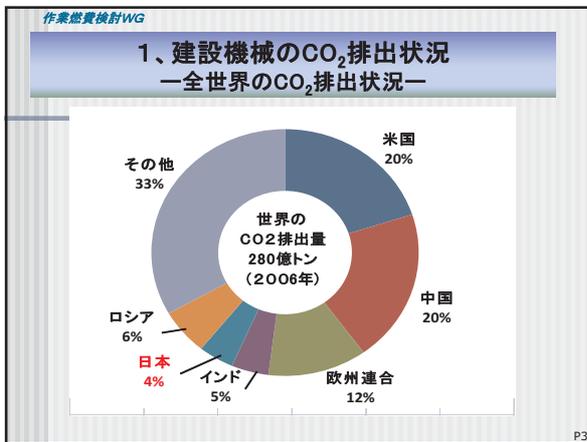
### 背景と本日の報告内容

- 1、地球温暖化対策として、温室効果ガスの排出量削減は喫緊の重要な課題である
- 2、建設機械に対しては、施工時の燃料消費量低減が求められている
- 3、JCMA製造業部会・機械部会では燃料消費低減を促進するため、「作業燃費検討WG」を立ち上げ活動を進めている
- 4、本日は、「作業燃費検討WG」の活動状況について報告する

報告内容

- 1、建設機械のCO<sub>2</sub>排出状況
- 2、建設機械の燃費低減（これまで実施してきたこと）
- 3、燃費低減推進のための方策
- 4、燃料消費量試験標準の制定
- 5、燃費低減の仕組みの検討
- 6、課題と今後の方針

P2



## 2、建設機械の燃費低減 (これまで実施してきたこと)

基本的な考え方

### 1、機械の改良による燃費改善

- ① 省エネ機構採用による燃費改善  
...省エネに関する研究開発を行い、商品化してきた
- ② 燃費低減推進のための活動（作業燃費検討WGの活動）  
...今後、燃費改善の目標値を決めて研究開発を行う

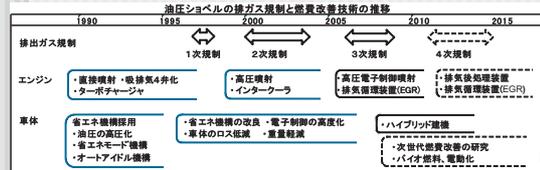
### 2、使用の改善による燃費改善

下記を取りまとめ、刊行物として発行した（平成15年）

- ① 「建設施工における地球温暖化対策の手引き」
- ② 「省エネ運転マニュアル」

## 省エネ機構採用による燃費改善 (これまで実施してきたこと)

建設機械は、従来から運転経費低減の観点から燃料消費低減の強い要望があり1990年前後に燃費低減に関する研究開発が進み商品化されてきた



## 省エネ機構採用による燃費改善率(試算)

1990年～排ガス2次規制の期間の改善率を試算

車両の改善率は、省エネ機構ごとの改善率を加重平均して算出する  
車両の改善率

= 省エネ機構の改善率  
× 有効時間割合  
× 燃料消費量割合

### 3機種での改善率

シヨベル	省エネ機構の採用時期				改善率 %
	1990	1995	2000	2005	
シヨベル	○	△	△	△	12.8
ローザ	○	△	△	△	7.9
アム	○	△	△	△	6.8
3機種平均					11.8

油圧ショベルの省エネ機構と改善率

機構分類	省エネ機構	改善率(%)		
		6t	12t	20t
アイドリング制御	1. アイドリング制御機構			
	1-1. 自動回転抑制	3.1	3.0	2.2
	1-2. 手元操作アイドリング	3.9	3.6	2.6
エンジン出力制御	2. 省エネモード機構	5.8	6.3	6.7
	3. 作業関係の機構			
	3-1. 作業モード切替	0.9	0.9	0.9
油圧系の改良	3-2. オートアケセル	1.5	2.1	1.9
	4-1. 可変容量ポンプ	2.2	0.7	0.9
	4-2. 油圧全周力制御機構	1.4	1.0	1.2
	4-3. 多連弁機構	0.3	0.3	0.7
	4-5. 油圧再生回路	0.5	0.6	0.6
	4-6. リリーフカット	0.0	0.0	0.1
	4-7. ニュートラルロス低減	0.5	0.2	0.3
改善率(%)	4-外. 油圧の高圧化	1.2	1.4	1.5
	クラス別加重平均値	12.5	14.7	15.3
	油圧ショベル全体に対する			12.8

## 3、燃費低減推進のための方策 (作業燃費検討WGが実施している事項)

燃料消費低減を促進するためには、

### 1、燃費低減の技術開発

- ① 燃費の評価基準を作る(燃料消費量試験標準の制定)
- ② 燃費低減の開発目標値と目標年度を決める

### 2、燃費の良い機械の普及促進

- ① 燃費情報を開示しユーザが燃費の良い機械の選択を容易にする
- ② 燃費の良い機械を普及させるための施策(認定制度など)を提案し、官の普及支援を期待する

## 4、燃料消費量試験標準の制定

### 1、燃料消費量試験方法の現状

当時、以下の規格が存在した

- 「JIS A 8402 油圧ショベル性能試験方法」
  - 「JIS A 8421-2 ホイールローダ性能試験方法」
  - 「JIS D 6507 履帯式ブルドーザ作業試験方法」
- (油圧ショベル・ブルドーザは現在廃止規格になっている)

この試験は、土砂や砂利を使って実際に掘削・積み・運搬作業を行い作業量と燃料消費量を測定する方法であるが

- ① 土質条件の違いにより結果に大きく差が生じる
  - ② オペレータの技量により結果に大きく差が生じる
- 土質条件やオペレータの技量による誤差の少ない燃費試験方法の確立が望まれていた

## 4、燃料消費量試験標準の制定

燃料消費量試験標準制定の基本的な考え方

- ① 土質条件の違いにより結果に大きく差が生じない
- ② オペレータの技量により結果に大きく差が生じない
- ③ 単位作業量当たりの燃料消費量(燃費効率)が評価できる
- ④ 車両としての総合評価ができる
- ⑤ 試験に要する設備・費用・時間が過大とならない

### 4、燃料消費量試験標準の制定

実物の土砂を使う試験には土質条件を同一にすることに限界があることから

- ① 実際の作業を想定した模擬動作試験を行う
- ② 車両としての総合評価するため、代表的な作業を想定した試験を行う
- ③ 実掘削試験と模擬動作試験を行い、相関があることを確認

代表的な作業

油圧ショベル	ホイールローダ	ブルドーザ
①掘削積み込み作業 ②均し作業 ③走行 ④待機(アイドリング)	①掘削積み込み作業 ②運搬作業 ③待機(アイドリング)	①掘削運土作業 ②待機(アイドリング)

### 油圧ショベルでの具体的検討内容について

#### ★油圧ショベル 模擬掘削のアイデア

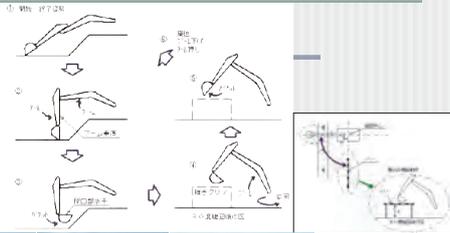
- ① 砕石を用いた模擬掘削
- ② 重量バケット\*を用いた模擬掘削  
重量バケット:バケット内に標準負荷相当の重りを固定
- ③ アーム掘削負荷装置を装着しての模擬掘削

#### ★模擬掘削と実掘削の相関性確認テストの実施

(H12.10月とH15.9月 建機協 富士 施工技術総合研究所(CMI)にて)



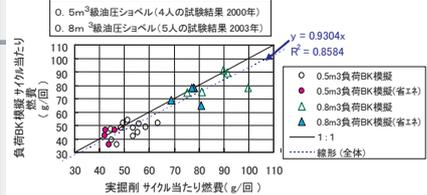
### 油圧ショベルの模擬掘削動作



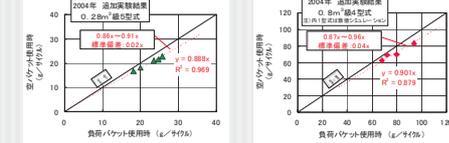
★軽作業の模擬動作…均し動作

### 油圧ショベル 最終案と実掘削・従来模擬掘削案との比較

#### ● 実掘削と模擬作業(負荷バケット付き)との相関



#### ● 負荷バケットと空バケットとの相関



### ホイールローダの燃費測定法

測定モード

#### i) V字掘削(負荷バケット付)



#### ii) ロード&キャリー

負荷バケット付で50m(100m)

#### iii) 待機(アイドリング)・・・結果を(kg/h)で表示

### 燃費試験標準で得られる値

油圧ショベル	ホイールローダ	ブルドーザ
①掘削積み込み動作試験 作業動作当りの燃料消費量 (g/サイクル) (g/m³)	①掘削積み込み動作試験 作業動作当りの燃料消費量 (g/t)	①牽引試験(掘削運土作業) 作業燃費 (g/kWh)
②ならし動作試験 ならし動作当りの燃料消費量 (g/サイクル) (g/m)	②運搬走行試験(ロード&キャリー) 作業動作当りの燃料消費量 (g/t) (g/m)	②待機試験(アイドリング) 燃料消費量 (kg/h)
③走行試験 走行距離当りの燃料消費量 (g/m)	③待機試験(アイドリング) 燃料消費量 (kg/h)	
④待機試験(アイドリング) 燃料消費量 (kg/h)		
解説に①～④項をまとめた燃料消費量評価値計算方法を記載 (Kg/標準動作)	解説に①～③項をまとめた燃料消費量評価値計算方法を記載 (g/t)	解説に①～②項をまとめた燃料消費量評価値計算方法を記載 (g/kWh)

2007年JCMAS改正版として制定、さらに油圧ショベルのハイブリッド型、電気駆動型が追加され2010年改正版が制定された(当協会のホームページで閲覧可能)

### 5、燃費低減の仕組みの検討

燃料消費低減を促進するためには、

#### 1、燃費低減の技術開発

- ① 燃費の評価基準を作る(燃料消費量試験標準の制定)
- ② 燃費低減の開発目標値と目標年度を決める

#### 2、燃費の良い機械の普及促進

- ① 燃費情報を開示しユーザが燃費の良い機械の選択を容易にする
- ② 燃費の良い機械を普及させるための施策(認定制度など)を提案し、官の普及支援を期待する

これらを含めた燃費低減に向けた仕組みの検討を行っている

### 燃費低減の目標値と目標年度

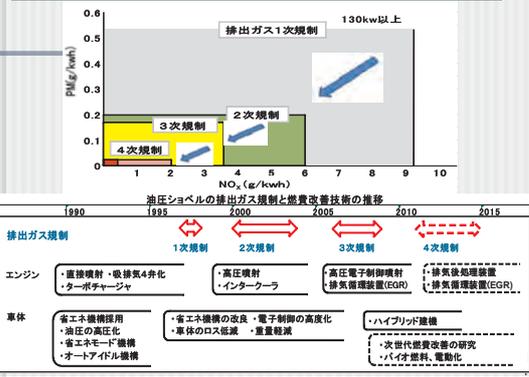
- 1、現行機の燃費レベル把握
- 2、排出ガス規制対応と将来の燃費改善技術予測に基づいて、目標値と目標年度を決める

現行機の燃費測定

油圧ショベル				ホイールローダ			
クラス (m <sup>3</sup> )	測定台数		測定時期	クラス (kw)	測定台数		測定時期
	排ガス2次	排ガス3次			排ガス2次	排ガス3次	
0.28	7	6	2009.6	40~110	5	9	2009.6
0.45		5		110~230	3	17	2008.7
0.5	6	7		ブルドーザ			
0.6		3		クラス	測定台数		測定時期
0.8	6	8	排ガス2次	排ガス3次			
1.0		4	2008.7	19~75	2	4	2009.6
1.1		3		75~170	2	5	2008.7
1.4		6		170~300		3	

合計111台    グループA: 2008.7までに測定: 54台    グループB: 2009.6まで測定: 57台  
 排ガス2次車: 31台    排ガス3次車: 80台

### 排ガス規制と燃費改善技術の推移



### 作業燃費WGの現在行っていること

現行機の燃費レベル、排出ガス規制対応、将来の燃費改善技術予測を基に

- 1、目標値と目標年度(開発の目標)
- 2、燃費情報の開示方法(カタログ類、車体に表示する)
- 3、燃費低減の仕組み(認定制度など)の検討を行っている

活動結果はほぼ纏まりつつあり、近々国土交通省に提案し、国土交通省が進めておられる「建設施工分野における地球温暖化対策」に協力していく予定である

### 6、課題と今後の計画

燃費低減は地球温暖化対策のためには優先的に取り組むべき事項であるとの認識の下、建設機械業界として積極的に取り組んでいる

- 1、「燃費低減の仕組み」発足に向けた活動を推進する
- 2、排ガス対応と燃費改善はトレードオフの関係にあり、次期排ガス4次規制のレベルを考慮すると、車両全体としての燃費改善は高い技術開発が要求される
- 3、建機業界では燃費改善の研究開発は強力に進める
- 4、ハイブリッド型、電気駆動型、バイオ燃料などの新技術の開発、普及を推進する
- 5、燃費は使用(工法)の改善による効果も大きいので、使用上の改善努力も期待する

引き続き関係各位のご協力を依頼する

ご静聴ありがとうございました

## 〈事業目標〉マテリアルハンドリング機の安全に係る 基準の検討と国際整合

### 1. 活動内容報告

- 取り組み経過
- ショベル応用機の例(マテハン機、解体・林業応用機)
- 安全確保のため「曖昧な応用機」の対応の明確化
- 運転資格・定期検査等の通知内容

### 2. マテハンWGの今後の対応

建機協シンポジウム  
 2010. 11. 10

## マテハンWGとしての取り組み経過

年度	経過	対応
2003	厚労省よりショベル用マグネットはクレーンとして指摘	建機協「マテハンWG」立上げ
2005	厚労省より1ピン吊下げグラップルはクレーンであるとの見解	業界統一安全規格の検討⇒新規格の作成推進
2006	マグネットはクレーンとの「最終見解」が出される。	ユーザ向けに「クレーン運転資格取得推進」を要請
2007	厚労省マグネット「通達」出される。	建機工定期検査WG立上げ 定期検査内容を検討
2008	クレーン協会「新規格」制定 併せてJCA定期検査指針等も決定	新規格で運用開始 アタッチメントメーカーに説明
	グラップルに関する輸入機対応を厚労省に相談(クレーン対応必須)	輸入機メーカーに回答
2009	JCA指針に基づく定期検査を開始	
	業界「日本鉄リサイクル協会」へ説明運用徹底を図る。併せてマグネットメーカー、架装メーカーにも説明	関連機械の運転資格・検査について整理を依頼される。⇒ドラグショベルの応用機について検討開始
	応用機に関する厚労省見解もらう	「日本鉄リサイクル協会」へ回答
2010	スクラップ応用機の運転資格・検査等に関して本体メーカーに見解を発信	建機協から質問・問合せが発生 また厚労省から確認事項発生
	建機協・厚労省と運転資格・検査等について再度調整打合せ実施	応用機全般に関する運転資格・検査等について見解発信予定

従来油圧ショベルのアタッチメントとして考えられていたマグネット仕様がクレーンであるとの判断出る

マグネット新規格策定による安全推進の取り組みは決着

スクラップ関連で使われる機械の資格・検査等は一定の方向付け

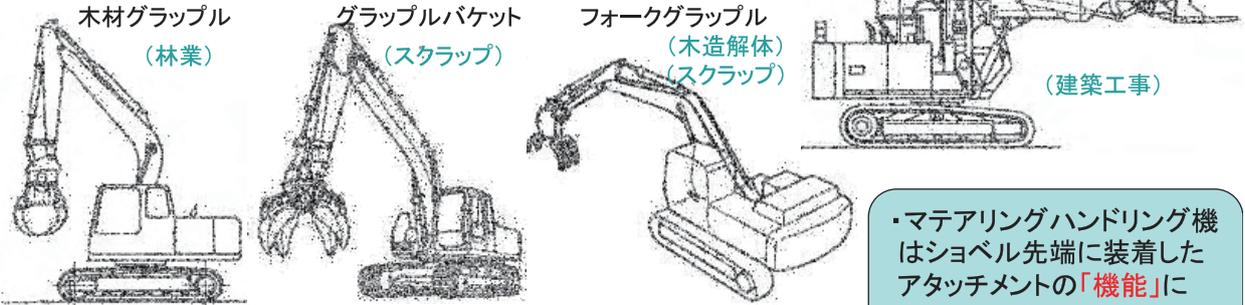
油圧ショベルなどをベースにした応用機の規格・運用等が不明確

# 応用機1: マテリアルハンドリング機 (JIS A8340-4)

油圧ショベルにおいて、任意の姿勢がとれるように2点で支持されたアタッチメントを装着し、対象物をつかみ、吸引吸着し又は保持して持ち上げ任意の位置に運搬及び/又は位置決めする作業に使用する機械

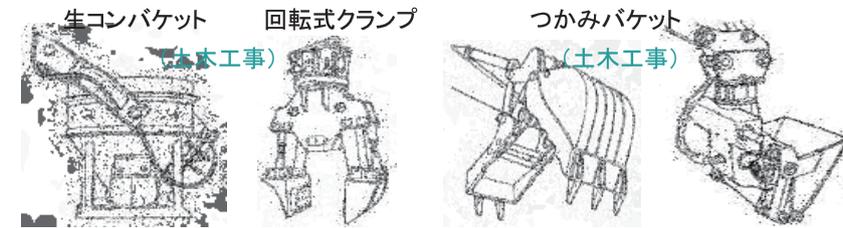
1点支持されたアタッチメントを用いた ①集材作業 ②吸着つり作業装置を用いたヒューム管、U字溝ブロックなどの位置決め位置決め作業

## マテリアルハンドリングの例 (JIS)



・マテリアルハンドリング機はショベル先端に装着したアタッチメントの「機能」により分類されている。  
 ・従って複数の業種で使用されている。

## 各種つかみ具及びつかみバケットの例 (JIS)



「建荷協」での見解は特定自主検査対象製品では無い  
 ⇒検査等の対応が不明確  
 安全面で見直しが必要

# 応用機2: 建設工事(解体)関連で使われる応用機

解体現場で使用される油圧ショベルの応用機と現状での運転資格・必要検査

解体ロングフロント専用機	マルチ型解体機	2ピースブーム型仕様	ブレイカ仕様機 (法的に明確)
運転資格	車両系建設機械(掘削)必要	運転資格	車両系建設機械(ブレイカ)必要
定期検査	特自検必要(掘削にも使用)	定期検査	特自検必要

ブレイカ以外は作業により使い分けが必要

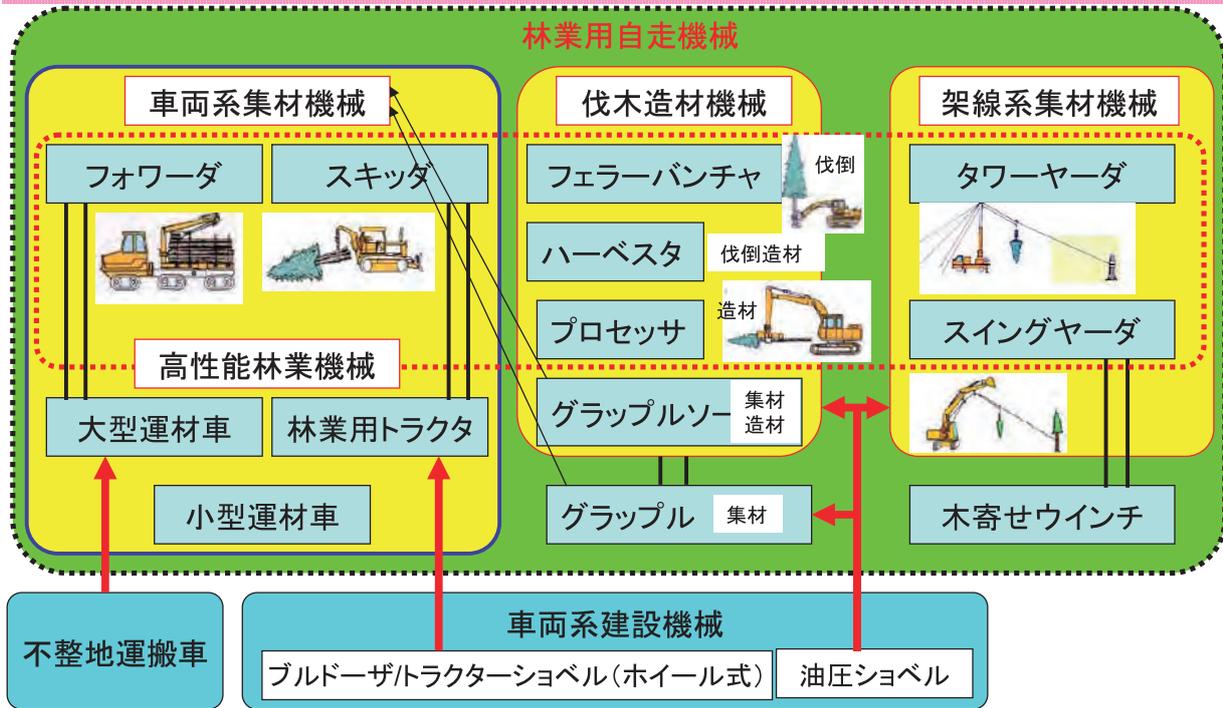
アタッチメント(作業に合せ付替え)

大割破砕機	小割破砕機	カッター	ブレイカ

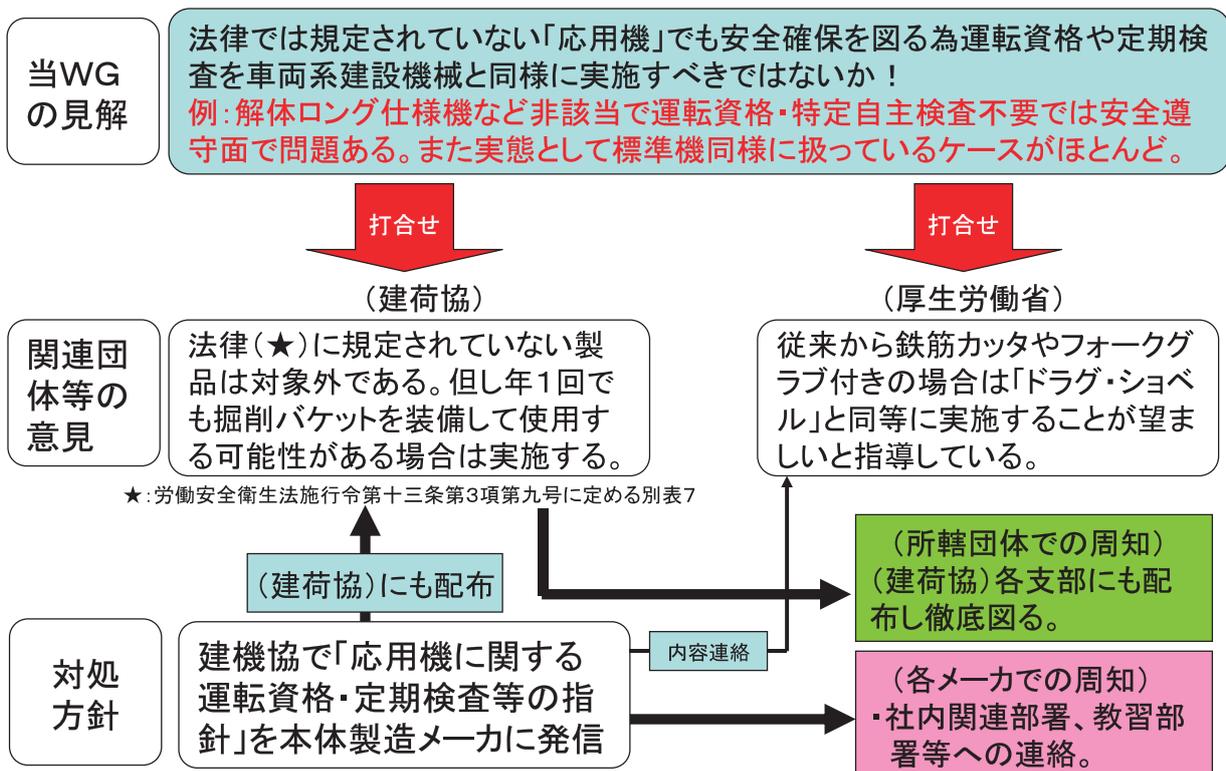
運転資格	該当免許無し	運転資格	車両系建設機械(掘削)必要
定期検査	特自検不要(掘削作業無し)	定期検査	特自検必要(掘削にも使用)

# 応用機3： 林業関連で使われる応用機

油圧ショベルベースが増加 林内使用時は車両系建設機械では無く、検査・運転資格など不明確  
但し、掘削に使用すると車両系建設機械(掘削)の適用となる。⇒作業により使い分けが必要



## 安全確保するため「曖昧な応用機」の対応の明確化





# マテハンWG今後の対応

## 残された課題

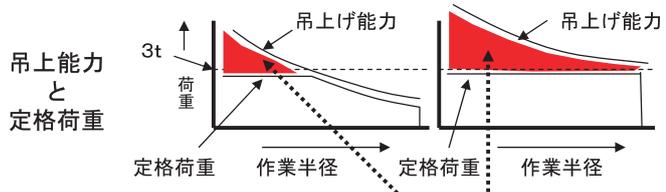


## 1本ピン仕様の吊下げ型グラップルの「技術規格」の明確化

アタッチメント	林業用	スクラップ用
使用場所	貯木場 材木市場	スクラップ工場 港湾
現状運用規格	JCA規格 (3t未満)	同左
Att重量	概ね1.0t以下	概ね1.8t位

●林業用は、ほとんど3t未満のクレーン仕様として対応している。

●スクラップ用は、一部の基準監督署で右図のように「もともと能力がある機械をあいて3t未満クレーンとして製造する」ことは問題ある」との見解ある



## 今後の取組み

- ・2～3県の基準監督署に意見を聞き、その結果を踏まえてその後の対応を検討する。
- ・林業仕様も含め「該当規格」を再確認する。

吊上げ能力が高いのに「3t未満仕様」として製造するのはおかしい！との意見あり。

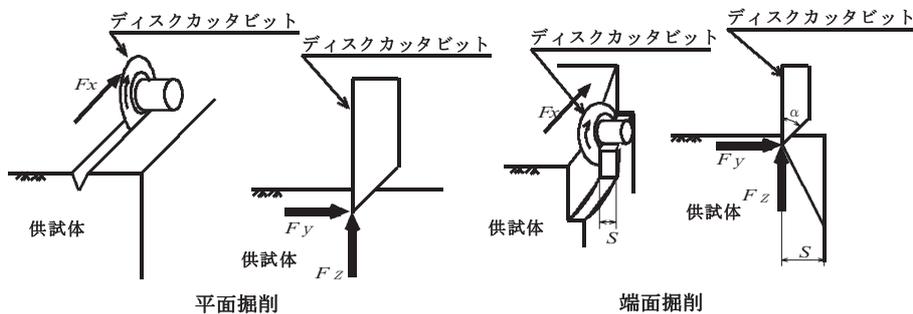
# Ⅱ－４ 平成 20 年度研究開発助成成果報告

様式－３②

## 成果報告書の要約

助成番号 第 号	助成研究名	研究者・所属
	道路建設における環境に優しい硬質岩盤剥離掘削技術の開発	重松 尚久 呉工業高等専門学校 環境都市工学科
キーワード	端面掘削方式、硬質岩盤剥離掘削、道路建設	

本研究の目的は、岩盤を端面掘削することによって摩耗する剥離破碎刃が作業能力に与える影響を明らかにすることである。硬質岩やコンクリート供試体における岩盤剥離掘削機を設計・開発するために基礎的な設計指針を提供するための実験を行う。逃げ角を変化させた剥離破碎刃について掘削初期状態である初期端面掘削過程と通常掘削状態である通常端面掘削過程を明確にし、剥離破碎方式の力学的なメカニズムを明らかにする。



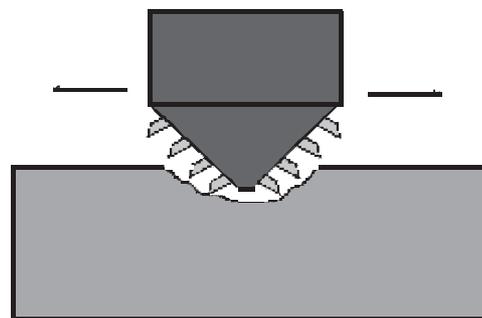
### 1. 端面掘削方式によるバックホウのアタッチメントとしてのローラヘッダーの開発

#### 研究方法

ディスクカッタービットを用いて平面硬質岩盤の掘削を行う掘削機やバックホウのアタッチメントとして位置づけられるローラヘッダーの設計開発に資するための基礎となるデータを得るために、岩盤剥離掘削機の掘削工程を変位制御型とした場合の推進力、作用トルクを実験により明らかにする。

#### 結論

垂直力  $F_z$  は、掘削深さ  $z$  が大きくなるにしたがって、切り込み幅が大きくなるので上昇する。横方向力  $F_y$  は、掘削深さ  $z$  がある程度大きくなったところで一定となる。転がり抵抗  $F_x$  は、掘削深さ  $z$  が大きくなるにしたがって、周面摩擦が大きくなるので上昇する。掘削速度が大きくなると、垂直力  $F_z$  と横方向力  $F_y$  は大きくなり、転がり抵抗  $F_x$  は一定である。曲率半径が大きくなると、すべての作用力は大きくなる。



平面硬質岩盤の掘削のイメージ図

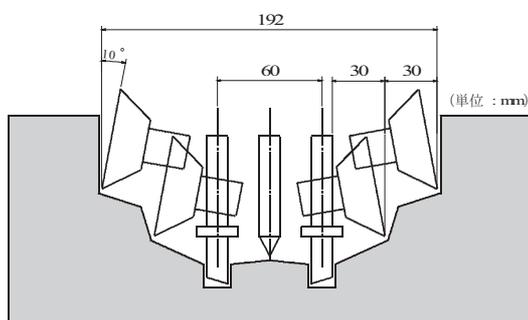
## 2. 多段型端面掘削方式を用いたモデル掘削機の開発

### 研究方法

コンクリート構造物の解体を行う際にバックホウなどの先端にアタッチメントとして取り付けて使用できるような、多段型端面掘削方式を用いたコンクリート掘削機のモデルを設計し、過去のモルタル掘削のデータから予測した作用力と今回の実験で得たモルタル掘削のデータの比較を行う。また、実際の使用を想定し、コンクリート掘削を行いモルタル掘削と比較を行う。

### 結論

モルタル掘削とコンクリート掘削ではポイントアタックビットの作用力には大きな差があった。しかし、掘削機全体においては差があまり見られなかった。モデル掘削機に作用する垂直力  $F_z$  はポイントアタックビットの値は妥当であったが、ディスクカッタビットの値は予測よりも大きな値が作用していた。モデル掘削機に作用するトルク  $T$  はポイントアタックビットの値を過大に予測していたが、ディスクカッタビットの値は妥当であった。段階的に端面掘削を行うことができることを確認できた。



モデル掘削機の構成図



段階的に掘削が出来た様子

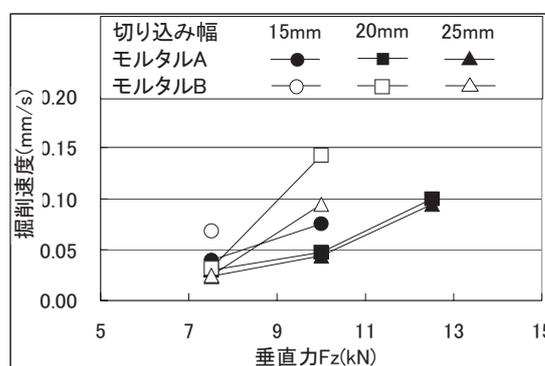
## 3. ディスクカッタビットを用いた硬質岩盤掘削機に関する基礎的研究

### 研究方法

油圧により垂直力を一定にし、掘削を行う応力制御で実験を行い、ディスクカッタビットに作用する垂直力、横方向力、転がり抵抗を測定し、垂直力の違いによる影響、切り込み幅の違いによる影響、貫入速度の違いによる影響を明らかにする。

### 結論

実際の垂直力  $F_z$  の振れ幅の平均値が設定した垂直力  $F_z$  と近い値となったため、実験条件を満たしたと言える。全ての掘削条件において、横方向力  $F_y$  と転がり抵抗  $F_x$  は掘削が進行してもほぼ一定を保っており、初期端面掘削の影響は見られなかった。作用する垂直力  $F_z$  を大きくすると、横方向力  $F_y$  および転がり抵抗  $F_x$  も増加する。掘削速度は、作用する垂直力  $F_z$  の増加、供試体の一軸圧縮強度および切り込み幅の低下に従って、速くなった。本実験中では、掘削速度は最大 4.5 倍で変化したが、更なる検討が必要である。



垂直力  $F_z$  と掘削速度の関係

## Ⅱ－５ 特別講演

### 南極での建設機械の利用と課題

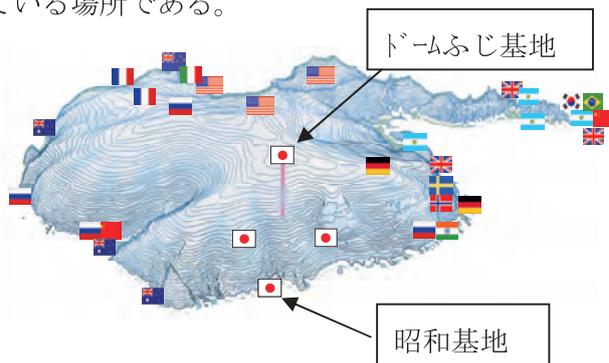
国立極地研究所 南極観測センター 設営担当マネージャー

石沢賢二

#### 1. はじめに

日本は、南極に4つの基地を持っている。そのうち、現在、観測活動を行っているのは、昭和基地とドームふじ観測拠点である。昭和基地は、南極大陸からオングル海峡を隔てて4 kmの東オングル島という小さな島にある、日本のメインベースである。この基地は、1957年に開設した基地で、それ以来、6次隊から7次隊までの3年間は、砕氷船「ふじ」の建造に時間を要したため、活動を休止したが、それ以外は、毎年隊員を常駐させて観測活動を継続してきた。現在は、約30人の越冬隊の規模で、オーロラやオゾン層などの上層部から、気象、雪氷、地質、生物、海洋の観測まで様々な分野の観測を行っている。

いっぽう、ドームふじ基地は、昭和基地から約1000km離れた大陸氷床上にある基地で、標高3810m、年平均気温-54.3℃、最低気温-79.7℃という極寒の地にある。周囲は雪と氷だけの世界で、かつては8人が越冬し、3035mまでの氷床ボーリングを行い、地球温暖化の研究をしている場所である。

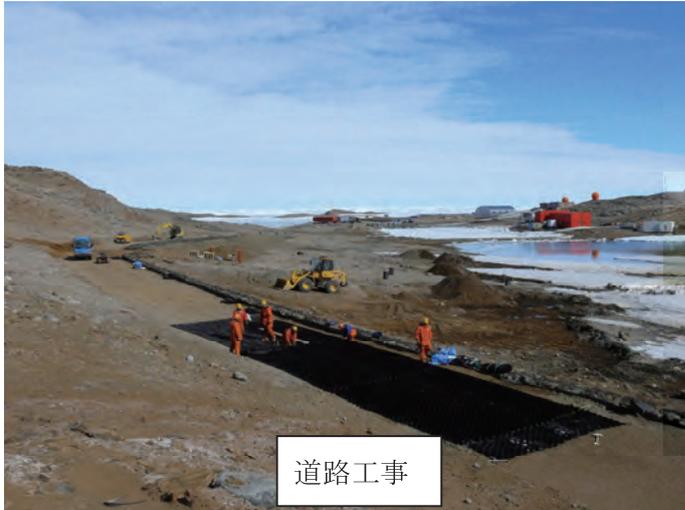


昭和基地

#### 2. 昭和基地での建設機械

昭和基地の植生は、苔が所々に見られるものの、草木がまったくなく、岩と凍土、砂利だけの世界である。基地の観測生活を支えるために、約17人の設営隊員が越冬し、夏期には、建物やアンテナなどの建設作業や、道路造りの土木工事が行われる。作業期間は、12月中旬から2月中旬までの2ヶ月間に限られる。南半球にある昭和基地では、12月初めから1月中旬まで、太陽が沈まない白夜となる。作業にはもってこいで、この期間は、毎日残業で10日に1日だけの休日を設けて働く。基地には、ブルドーザやラフテレーンクレーン、トラック、フォークリフト、高所作業車、掘削機など40台以上の様々な車両がある。夏期にはこれらを総動員して作業を行う。

夏期の気温は、0℃～-6℃と南極の中では温暖なので、日本で使われている標準的な仕様の車種を搬入する。ただし、低温性能を高めるため、バッテリーやスターター、オルタネータなどの電気系統を強化したり、若干の低温性能改修を行う。燃料は、北海道の冬季に使用する特



道路工事



ホワーショベルとコンクリートプラント

3号軽油である。これらの車両を運転する設営隊員は、日本で必要な免許を取得する。基地は、日本の領土ではないので、「道路交通法」や「建築基準法」は適用されないが、基本的なことは、日本の常識に沿って行動する。

### 3. 冬季に活躍する雪上車

3月には、夏も終わり、子育てに昭和基地周辺に訪れていたペンギンも北の海に帰っていく。風も強くなり、ブリザードが頻繁に襲来するようになる。ブリザードとは、**20m/s**ほどの雪を伴った強風が**2～3日**の続き、視界が悪く、外出もできないような大嵐のことを言い、年間約**25回**もやってく。こうなると、外出は禁止で、室内に籠もって、ただ終息を待つことになる。オングル島周囲の海氷の厚さも、**1m**以上になり、雪上車が自由に走れるようになる。

日本隊が使っている雪上車の種類は、表の通りである。

表 日本隊が使用している日本製雪上車

車種	SM100S	SM60S	SM40S	SM30S
用途	内陸調査、輸送	氷上輸送	沿岸調査	海氷上での調査
重量(kgf)	11,500	8,100	4,200	2,500
接地圧 (kPa)	14	14	14.7	11
最大速度 (km/h)	21	16	37	20
最大出力 (kW)/回転数 (rpm)	220/2,000	123/2,200	121/2,500	61.6/2,500
トランスミッション	オートマチック	オートマチック	マニュアル	HST
最低運用気温(°C)	-60	-30	-50	-30
燃費 (l/km)	4.4	3.5	1.23	1.2



SM30S 海水浮上型



SM40S 沿岸調査用



SM60S 氷上輸送用



SM100S 内陸輸送、調査用

#### 4. 内陸輸送用トラクター(ブルドーザ)

大量の物資を大陸の基地に輸送するため、雪上車の他に、ブルドーザも使用している。重量約 14 トンのブルドーザは、スピードは遅いが、約 29 トンの物資を牽引できる。要素部品を 2 トン以内に分解してヘリコプターで運び、現地で組み立てる。表にこのトラクターの要目を示す。南極の雪の表面は固いので、湿地用のシューを履けば、沈むことはない。ただ、内陸の奥地は軟雪なので苦勞する。

表 輸送用トラクターの要目

項目	
長さ,幅,高さ (mm)	5130, 3460, 3035
最大速度 (km/h)	8.7
出力 (kW/rpm)	69.9/2350
トランスミッション	機械式, 1-5 マニュアル
燃費 (l/km)	4.5-5
接地圧 (kPa)	20.6



大陸上で組み立て中のブルドーザ

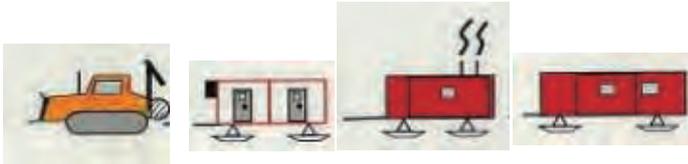


内陸輸送のブルドーザ

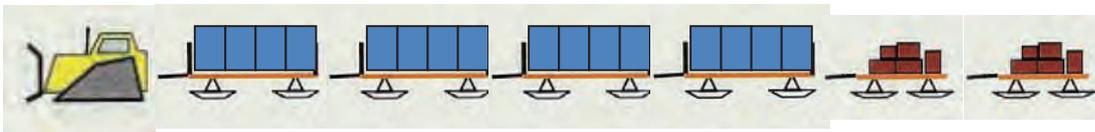
#### 5. 無人トラクターの構想

ブルドーザには、雪上車のように転輪の衝撃荷重を軽減するようなトーションバー等が無いので、運転中の震動は、相当激しい。風の強い場所の雪面は、ガタガタに荒れており、1m以上の凹凸を乗り越えて運転する必要がある。運転者は、ヘルメットを被ってキャビン天井に頭をぶつけながら、1日12時間も運転しなければならない。単調な重労働である。それを解消するため、無人トラクターを開発する計画を立てた。先導した有人雪上車を追跡して走る。エンジンの始動や燃料補給は、人間が行い、運転だけ無人走行させる方式である。

キャラバン形態は、図に示したように、多機能雪上車がルートを観測しながら先導する。雪上車は、観測橇や、居住施設、発電設備などの橇を牽引する。そのルートを無人トラクターが後続する。牽引するのは、燃料や貨物である。雪上車の位置情報は、雪上車が GPS を受信し、そのデータをトラクターに無線で刻々としらせる。トラクターの前部には、レーザー装置を取り付け、大きな障害物に衝突しないような工夫を施す予定である。



多機能雪上車



無人トラクター

## 6. 終わりに

建設機械や雪上車は、南極には無くてはならない物で、特に、内陸での雪上車は、砂漠の「らくだ」のようなものである。故障して動かなくなると、外部からの補給が無いと、命取りになることがある。そのため、始動前点検や、暖機運転などは入念に行い、大事に大事に使っている。しかし、厳しい環境のため、トラブルが絶えない。高性能な車両の開発を望むとともに、南極で働きたいという元気のある隊員を求めている。是非、南極観測隊に参加して下さい。

## Ⅱ－6 基調講演

羽田空港D滑走路建設工事における情報化施工の取り組みについて

国土交通省関東地方整備局港湾空港部港湾物流企画室 補佐

野口 孝俊

平成22年度 広報部会 シンポジウム実行委員会 名簿

(委員五十音順・敬称略)

	委員名	機関名	所属・役職
委員長	建山和由	立命館大学	理工学部 建築都市デザイン学科 教授 工学博士
副委員長	高橋 弘	東北大学	大学院環境科学研究科環境科学専攻 太陽地球システム・エネルギー学講座 地球環境開発環境分野 教授 工学博士
委員	川本伸司	前田建設工業(株)	土木事業本部 土木部 機械グループ マネージャー
委員	小栗賢一	西尾レントオール(株)	測器部 情報化施工推進室
委員	斉藤秀企	コマツ	開発本部 商品企画室 プロダクト・マネージャー
委員	白鳥昭浩	(社)日本建設機械化協会	技師長
委員	高見俊光	サコス(株)	営業推進部 部長
委員	竹之内博行	(社)日本建設機械化協会	施工技術総合研究所 技師長
委員	田中利昌	日立建機(株)	建設システム事業部 技術部 部長
委員	玉石修介	(社)日本機械土工協会	技術委員長
委員	西脇徹郎	(社)日本建設機械化協会	標準部長
委員	平岡茂樹	(株)トプコン	ポジション・ビジネスユニット アジア中東マーケティング部 コンストラクショングループ 課長
委員	藤野健一	(独)土木研究所	技術推進本部 先端技術チーム 主席研究員
委員	星野春夫	(株)竹中工務店	技術研究所 先端技術研究部新生産システム 部門 主任研究員 工学博士
委員	前原信之	(社)日本建設機械化協会	技術部長
委員	溝口孝遠	コベルコ建機(株)	顧問 工学博士
委員	宮野泰彰	キャタピラー・ジャパン(株)	市場開発部 マーケット営業支援課 課長

建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集（平成22年度版）

---

平成 22 年 11 月 2 日 印刷

平成 22 年 11 月 5 日 発行

編集 社団法人 日本建設機械化協会  
発行所

〒105-0011 東京都港区芝公園 3 - 5 - 8  
(機械振興会館内)

T E L (03)3433-1501

F A X (03)3432-0289

---

複製厳禁

印刷所 昭和情報プロセス(株)  
東京都港区三田5-14-3