

平成20年度

# 建設施工と建設機械シンポジウム

## 論 文 集

平成20年10月16日～17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：国土交通省  
経済産業省

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

## 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（順不同・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	吉田正	国土交通省	総合政策局 建設施工企画課 施工環境技術推進室長
〃	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開発環境分野 教授 工学博士
委員	山元弘	(独)土木研究所	技術推進本部 先端技術チーム 主席研究員
〃	小栗賢一	前田道路(株)	工務部（つくばテクノセンター）担当部長
〃	篠原慶二	前田建設工業(株)	土木本部 機械グループ 担当部長
〃	星野春夫	(株)竹中工務店	技術研究所 先端研究開発部 アドバンストコンストラクション部門 主任研究員
〃	大塚和夫	コマツ	開発本部 商品企画室 担当部長
〃	有光秀雄	コベルコ建機(株)	カスタマーサポート部 サービス技術グループ シニアマネージャー
〃	村上誠	キャタピラー・ジャパン(株)	直販部長
〃	田中利昌	日立建機(株)	建設システム事業部 技術部 部長
〃	高見俊光	サコス(株)	営業推進部 部長
〃	川本正之	(社)日本機械土工協会	技術委員長
〃	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
〃	大谷悟	(社)日本建設機械化協会	技師長
〃	浅野邦彦	(社)日本建設機械化協会	技術部長
〃	西脇徹郎	(社)日本建設機械化協会	標準部長

平成20年度  
「建設施工と建設機械シンポジウム」論文集  
目次

○印 口述発表者

1. 「建設施工における3次元データの有効活用」  
施工プロセスにおける生産性向上と効果  
株式会社トプコン販売 開発営業部：○平岡茂樹 … 1
2. 「油圧ショベルによるIT施工システムに関する研究」  
独立行政法人土木研究所： 山元 弘、○邵 輝、茂木 正晴、大槻 崇、柳沢 雄二  
株式会社フジタ： 野末 晃  
理化学研究所： 境田 右軌  
環境省： 山口 崇 … 5
3. 「作業船投錨位置管理システムの開発」  
東亜建設工業株式会社 土木事業本部 機電部： 増田 稔、水川達也、○藤山 映、勝野 孝志 1 1
4. 「覆工設計厚管理システム（3D-TLIMAS）の現場適用事例」  
三井住友建設株式会社 技術研究所：○塩崎 正人  
三井住友建設株式会社 大阪支店： 安藤 文彦  
近畿地方整備局 福井河川国道事務所： 岡本 隆 … 1 5
5. 「ITCを活用した各種自動制御機器に関する施工性能評価」  
前田道路株式会社： 菊地 重徳、○宇田川 健治、上野 健司 … 2 1
6. 「河川工事におけるICTバックホウを用いた掘削工の出来形要領・施工管理要領(北海道開発局案)について」  
北海道開発局 事業振興部：○竹内 清二  
社団法人日本建設機械化協会 施工技術総合研究所： 篠原 雅人、竹本 憲充 … 2 5
7. 「河川土工におけるトータルステーションを用いた出来形管理手法」  
国土交通省 国土技術政策総合研究所 高度情報化研究センター 情報基盤研究室：  
○神原明宏、田中洋一、金澤文彦 … 3 1
8. 「ITを活用した建設機械のサポート」  
—建設機械遠隔管理システム—  
コマツ： 小野 豊一 … 3 7
9. 「道路トンネル無人調査ユニットの開発」  
北陸技術事務所 施工調査課長： 宮島 実  
施工調査係長：○小林 弘朗  
施工調査係主任： 畑山 啓 … 4 1
10. 「土砂災害現場における地形計測」  
株式会社フジタ 土木本部：○三鬼尚臣  
株式会社フジタ 九州支店： 池内俊裕 … 4 5

11. 「フレキシブルホース排水の設置状態に起因する損失特性について」  
 国土交通省関東地方整備局川崎国道事務所： 平 忠弘  
 国土交通省関東地方整備局企画部： 佐々木 一之  
 社団法人河川ポンプ施設技術協会：○梅村 隆久 … 5 1
12. 「自動車交通用自動遮断機の開発」  
 国土交通省 近畿地方整備局 福井河川国道事務所 工務課： 河合源悟  
 国土交通省 近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所 防災課： 宇田康久  
 社団法人 日本建設機械化協会 施工技術総合研究所：○榎園正義、谷倉 泉 … 5 5
13. 「高周波誘導加熱を利用した除去式アンカーの開発」  
 IH 除去式アンカーの開発  
 飛鳥建設株式会社：○岡 利博  
 大学共同利用機関法人 K E K： 竹田 繁  
 日本基礎技術株式会社： 鈴木 武志 … 6 1
14. 「スプリングハンマー急速載荷試験および同試験を組み込んだ杭の施工方法」  
 丸紅建材リース株式会社：○松澤 一行、中嶋 義雄  
 金沢大学： 松本 樹典 … 6 7
15. 「横引き式遮水シートによる地下遮水壁構築工法」  
 ーラテナビウォール工法ー  
 清水建設株式会社 ○横山 勝彦、西村 晋一 … 7 3
16. 「『U桁リフティング架設工法』を採用した大規模P C高架橋の施工」  
 ー第二京阪道路 茄子作地区 P C上部工事ー  
 国土交通省 近畿地方整備局 浪速国道事務所： 大國喜郎  
 三井住友建設株式会社 機電部：○落合博幸  
 三井住友建設株式会社大阪支店土木部： 河野信介 … 7 7
17. 「トンネルテンションバルンサ取付作業車の効率的運用について」  
 独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構： 谷口 俊彦、板谷登起雄  
 北海道旅客鉄道株式会社： 佐伯 吾一、○千葉 洋平 … 8 1
18. 「鋼製函体締切工法「R U P工法」」  
 大豊建設株式会社 土木技術設計部 総合技術営業課： 麻生 克、○佐々木 洋  
 東京支店 土木工事課： 瀧口 英彦 … 8 5
19. 「道路盛土における段差抑制対策工の試験施工」  
 西日本高速道路： 殿垣内 正人  
 前田工織：○関口 陽高  
 東京工業大学： 太田 秀樹 … 8 9
20. 「車輛運行管理システムの開発」  
 西松建設株式会社： 大里 正博、佐々木 善直、○吉田 貴 … 9 3

21. 「狭小型ハンドガイド式歩道除雪機の開発」  
 国土交通省 東北地方整備局 東北技術事務所 施工調査課長： 大沢 昭弘  
 施工調査課 施工調査係長： 柿崎 憲勝  
 施工調査課 施工調査係：○三浦 敏子 … 97
22. 「運搬排雪施工管理システムの開発」  
 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所：○佐々木憲弘、中村 隆一  
 国土交通省中国地方整備局： 今岡 大輔 … 101
23. 「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： 重松 尚久、○花岡 尚  
 愛媛大学： 室 達朗 … 107
24. 「振動ローラの加速度応答による舗装工事の品質管理手法の合理化の検討」  
 大林道路株式会社：○根本 司、高倉 拓  
 株式会社大林組： 古屋 弘 … 111
25. 「小規模現場対応型モバイル式フォームドプラントの開発」  
 -フォームド + アスミック製造の機能を備えた小型移動式プラント-  
 鹿島道路株式会社 機械センター開発・設計課：○平藤 雅也 … 117
26. 「縦型回転混合攪拌方式による矩形中層改良工法の概要と施工事例」  
 小野田ケミコ株式会社： 鈴木 孝一、西尾 経、○伊藤 達也 … 121
27. 「大規模免震レトロフィットへ適用した機械化・情報化施工事例」  
 大林組 技術研究所 ○池田 雄一  
 大林組 特殊工法部 坂井 利光  
 大林組 東京建築事業部 谷口 英武 … 125
28. 「転倒ベッセル式大容量揚土システムの開発」  
 山崎建設株式会社：○川村 誠司、松岡 芳朗 … 131
29. 「振動攪拌機構による中層混合処理工法」  
 …スラリー振動攪拌工 (WILL 工法)…  
 WILL 工法協会 技術委員長：○市坪 天士  
 技術委員： 中馬 忠司、島野 嵐 … 137
30. 「鉄道営業線連続立体交差化工事における機械化施工事例の紹介」  
 東急建設株式会社：○児玉 和彦、早川 正、井藤 幹雄 … 141
31. 「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」  
 中央大学理工学部： 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： 原 満生、○高倉功樹 … 147
32. 「くい打機の走行挙動と履帯圧力分布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 … 151
33. 「建設機械の稼動に係る環境影響評価の研究現況について」  
 独立行政法人土木研究所 先端技術チーム 主席研究員： 山元 弘、○杉谷 康弘  
 国土交通省国土技術政策総合研究所 建設システム課 主任研究官： 吉田 潔 … 157

34. 「大深度海底下での没水型立坑とシールドとの接合」  
 -台湾龍門原子力発電所放水路トンネルの施工-  
 鹿島建設株式会社機械部：石丸 裕 … 161
35. 「粘性土地盤の有機酸浸透による無公害改良法の開発」  
 -コーン a 工法-  
 大崎建設株式会社：○清野昭博 … 167
36. 「機内から障害物を撤去する推進工法の開発と下水道工事の施工例」  
 -着脱・再掘進型管路築造 (DAPPI) 工法-  
 大豊建設株式会社 東京支店土木部：○萩野淳三  
 東京支店千住特殊推進作業所：大和田剛  
 エンジニアリング本部技術開発部：近藤紀夫 … 171
37. 「キャビテーション噴流技術を用いた高速清掃装置の開発」  
 株式会社高速道路総合技術研究所 施設研究部 施設研究室：○時枝 寛之 … 177
38. 「横衝撃を受ける梁のたわみと動的荷重の関係」  
 東海大学大学院：○難波 達郎、長田 健吾  
 東海大学工学部：近藤 博 … 183
39. 「昇降ステージの開発と大規模リニューアル工事への導入」  
 東急建設株式会社 土木総本部 機械技術部：西尾 仁、大野 浩正、○小林 貞夫 … 187
40. 「乾式系吹付けアスベスト除去ロボットの開発・実証」  
 大成建設株式会社 技術センター：○森 直樹、長瀬 公一  
 大成建設株式会社 建築本部：久保木 久仁彦 … 191
41. 「地下鉄営業線における石綿含有吹付け材の除去」  
 トンネル部、換気口部の石綿除去用保守台車の開発と実用化  
 大成建設株式会社 寺田正人：○萩原純一  
 東京地下鉄株式会社：奈須秀人 … 195
42. 「セメントスラリーマシンを用いた路上路盤再生工法」  
 鹿島道路株式会社 機械センター開発・設計課：○桑田 直人 … 199
43. 「除雪機械等情報管理システムの展望」  
 除雪機械等管理運用マネジメントシステムの開発  
 独立行政法人 土木研究所寒地土木研究所：○中村 隆一、佐々木憲弘  
 国土交通省北海道開発局：小野寺敬太 … 203

# 1. 建設施工における3次元データの有効活用

## 施工プロセスにおける生産性向上と効果

○ 株式会社トプコン販売 開発営業部 平岡茂樹

### 1. はじめに

近年CALS/EC(公共支援統合情報システム)をはじめe-JAPAN戦略、電子入札、電子納品そしてアクションプログラム2005と建設業界もこれまでの紙ベースの情報から電子データ化、デジタル化が急速に進んでいる。

また、ICT技術(情報通信技術)を用いた施工合理化や品質向上のため、公共工事にもトータルステーション(以下TSという)を用いた出来形管理要領の普及促進が進められている。既に道路土工においては、3次元のデジタル設計データを使用した出来形管理は、実用段階に入ってきている。

一方で、GPS(全地球測位システム)や自動追尾TSといったポジショニング技術も急速に発達してきており、高精度なリアルタイム位置計測が可能となってきた。そして、この3次元設計データをポジショニング計測技術と、油圧制御技術に結びつけることにより、重機施工の自動化が出来るようになってきた。このことは、調査・設計、施工、検査、維持管理の建設施工プロセス全体の合理化を図る情報化施工システムとして欧米では急速に普及している。本稿では各プロセス毎の3次元データの有効活用による建設施工の生産性向上や効果について説明する。

### 2. 3次元データ活用効果

各施工プロセスごとに3次元データのメリットについて見てみたい。

#### 2-1 施工プロセス全体

現在、工事発注者側から3次元設計データは、供給されておらず、施工現場では設計図面から3次元データを作成する必要がある。しかし、一度この3次元データを作成してしまえば起工測量や設計変更などで発生した計画の変更や追加に迅速に対応

できるだけではなく、建設機械各種に搭載したマシンコントロールシステムに使用すると、丁張りなしで撒きだし作業や、敷き均し整地作業、法面整形作業を行うことが出来る。また、振動ローラの転圧管理システムのデータとしても活用できる。施工中の検査として仕上がり高のチェックから出来形管理まで一貫して同じ3次元データで運用することにより施工プロセス全体の合理化が図れるばかりでなく、デジタルデータの送受信による情報伝達となるため、計算ミスや転記ミス、丁張りの設置ミスなどの人為的ミスも大幅に軽減できる。また、竣工後も3次元データを維持管理用にも活用でき、この3次元データを補修・維持管理に活用したり、次の工事計画にフィードバックできれば図-1のように更に合理化が図れる可能性がある。



図-1 3次元データの流れ

#### 2-2 設計・施工プロセス

設計施工プロセスでの3次元データを利用する事の利点は、測量用フィールドコンピュータなどを用いて基準杭の設置や起工測量、構造物などの丁張りを設置でき、設計変更があってもデータの修正もしくは追加作業ですぐ対応が可能な点が上げられる。既設の構造物など既にあり現場合わせが必要な場合でも起工測量で取得したデータを転送することで迅速に対応できる。



図-2 準備工での3次元データの流れ

### 2-3 施工作业における効果

株式会社トプコンでは前述した3次元設計データと油圧制御機器、GPS、自動追尾TSを組み合わせた3次元マシンコントロールシステム「3D-MC」を製造販売している。この3D-MC用コントロールボックスに3次元データを取り込むことにより設計データを元にした自動施工が実現できる。この「3D-MC」は、ブルドーザー、モータグレーダー、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ーン、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、レーザー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て、仕上げ面に対して掘削運搬装置を自動制御できるようにするものである。(但し油圧ショベルは掘削装置の位置及び形状表示機能のみ) これによりオペレータは進行方向へのステアリング操作のみで、設計データどおりの施工が可能となる。



図-3 情報化施工イメージ

また、この3次元設計データは、面データとして

利用できるため、施工面を従来の測点部分だけの管理ではなく面で管理できるようになる。このため、施工面に対し均一な精度での施工が実現し現場の品質が向上する。

(図2-3)



図-4 3D-MCの仕上がり精度

次に施工における3次元計測機器の概要を説明する。

#### 2-3-1 RTK (リアルタイムキネマティック) - GPS

RTK-GPSとは、現在、カーナビなどで利用されているGPS衛星を利用し、固定局GPS受信機から無線で配信された補正情報を各移動局GPS受信機が受信することにより、リアルタイムに精度よく現在位置がわかる技術である。

計測条件として、確実に5個以上の衛星情報を受信することが必須となるため、山間部や市街地などでは極端に衛星の受信状態が悪くなることから、現在では、米国GPSだけでなくロシアのGLONASS衛星も利用し、安定した位置情報を確保している。

このRTK-GPSを情報化施工に利用する場合、複数台数の建設機械を同時に運用でき、天候に左右されないなどの利点がある。また、写真-1のブルドーザーシステムを使った撒きだし作業の場合、写真-2や図-5のような運転席に設置されたディスプレイで設計データ上の位置関係や設計値との差も確認しながら施工ができるため、粗均しから仕上げまで設計値との高さの差が確認でき、検測作業員によるチェックも不要、確認のため重機から

降りる必要も無くなり、生産性と安全性の向上が図ることができる。



写真-1 ブルドーザーシステム



写真-2 ブルドーザー用コントロールボックス

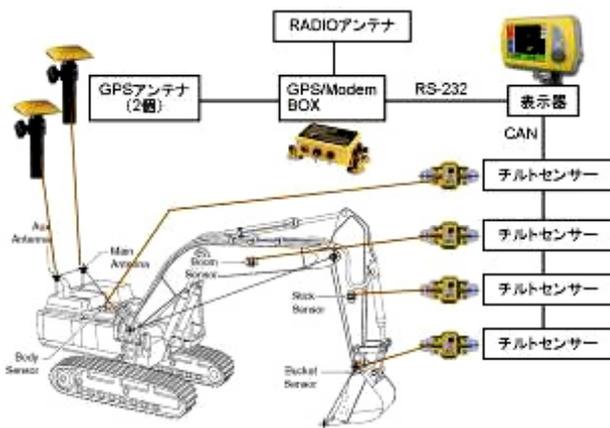


写真-3 油圧ショベルシステム



図-5 油圧ショベル用誘導画面

転圧管理システムにもこの3次元データをインプットし利用する事が出来る。GPSは転圧後の高さも計測できることから、一部ではこの施工データを面管理だけでなく、施工管理データとして活用していこうとする動きも出てきている。

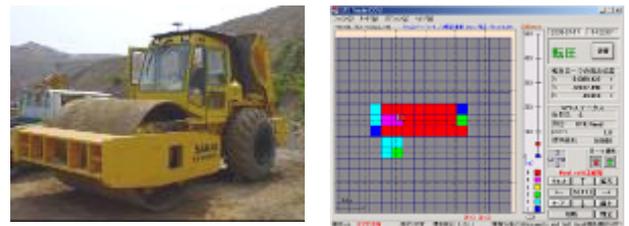


写真-4 転圧管理システム

### 2-3-2 自動追尾トータルステーション (LPS)

LPSは、中小規模現場に有効なセンサーである。基本原理は測量で使用するトータルステーションが反射プリズムを追尾し3次元座標をリアルタイムに計測する。トータルステーションを使用することで手軽に高精度な位置計測が可能となるシステムである。RTK-GPSとの違いは、自動追尾トータルステーションと反射プリズムは1対1でしか使用できず、また雨天や視通を遮るものがある場合は使用できないというデメリットもある。

舗装工事の路盤仕上げ作業において、従来では測点の杭毎に主にグレーダーで整地作業実施後作業員3名で仕上がり高さ計測、路盤面上に石灰やスプレーで差を表示しオペレーターがその表示を見て修正するという作業が行われている。この路盤の仕上げ精度が道路の平坦性にも影響してくることが

らかなり高い精度を要求される。

この作業も、3次元設計データを使ったLPSシステムにより、GPSシステムと同様、オペレーターが設計との高さの差が、コントロールボックスのディスプレイ上で常に確認でき、(写真-2)、検測作業も頻繁に実施しなくても良いことから、検測作業が止まることもなく連続的に作業ができるため、大幅に合理化が図れる。

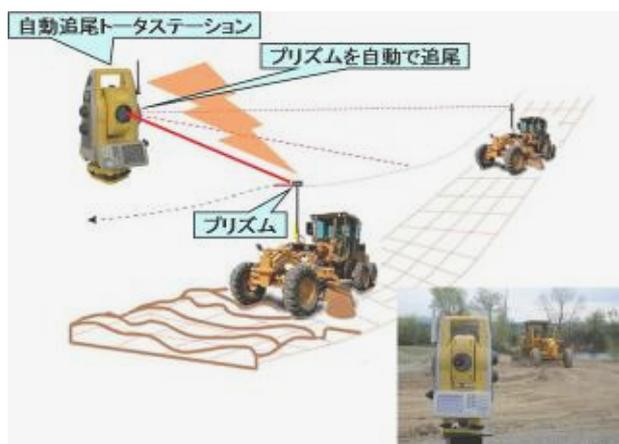


写真-5 LPSシステム図

### 2-3-3 mmGPS (ミリメートルジーピース)

このシステムは、RTK-GPSの弱点である高さ方向の精度弱さをレーザー技術を組み合わせることによって、mmまで向上させるシステムである。

mmGPSに利用するレーザー機器は、従来から利用されている水平方向のみの高さ方法を検出するものではなく、新たに開発された10mの高低幅をもったレーザー発光器(ゾーンレーザー発光器)を使用することにより、GPSの高さ精度を補完し、舗装工事でも充分使える精度まで向上する事を可能にした。これにより、グレーダーやアスファルトフィニッシャーといった高さ精度を重要とする大規模現場でのマシンコントロールシステムに非常に有効である。



図-5 mmGPSシステムイメージ図

現在日本の工事現場(特に舗装業界)において「3D-MC」は、大手舗装会社を中心に普及が進み始めており、施工現場の効率化に貢献している。

### 3. おわりに

3次元データの有効活用により、建設施工の生産性や安全性の向上、維持管理の効率化まで図れることは間違いないと考えられる。

また、ペーパーレスが叫ばれている昨今において、3次元データ化は、時流にのった流れであり、データ管理の面でも効果が得られる。

現在国土交通省が中心となり、情報化施工推進会議の中で、普及促進の問題点が議論されている。情報化施工を推進していくためには、3次元設計データでの発注や3次元施工データ、3次元出来形データを工事計画や維持管理に活用されるような仕組みができることが必要と考える。

また、各3D-CADソフトの標準化やTSを用いた出来形管理要領のデータフォーマット互換性の強化も重要であり、情報化施工機器メーカーとして、今後、データコンバータ機能の向上や同一フォーマットの整備にも注力し、3次元データの有効性を向上させるとともに情報化施工の推進に欠かす事のできない計測機器の更なる技術開発を行い市場に提供することで、日本の建設業界の生産性の向上に貢献したいと考える次第である。

## 2. 油圧ショベルによる IT 施工システムに関する研究

(独) 土木研究所 山元 弘、○邵 輝、茂木 正晴、大槻 崇、柳沢 雄二  
(株) フジタ 野末 晃  
理化学研究所 境田 右軌  
環境省 山口 崇

### 1. はじめに

土木工事には、危険・苦渋作業がいまだに多く、作業環境を改善し、安全を確保することが課題となっている。また、今後の少子高齢化社会の進展により建設就業者の高齢化、若年者・熟練者の不足に備え着実に対処方策を講じておく必要がある。

そこで、ロボット等による IT 施工システムを実用化し、危険・苦渋作業の解消と作業の迅速化・効率化を目標として、その基礎技術の1つである油圧ショベルの自動制御技術に関する研究を行ったので報告する。<sup>1)</sup>

本研究では、油圧ショベル自動制御のための動作計画の指針とすべく、熟練オペレータに対して掘削作業に関するヒアリング調査を行った。その結果に基づき掘削効率優先作業の粗掘削と、作業終了後の出来形精度優先作業の仕上げ掘削の、2つの作業を切り替えた動作計画を構築した。粗掘削は事象駆動型の動作計画、仕上げ掘削は軌跡追従型の動作計画とした。

また、事象駆動型動作計画の改良、掘削環境を3次元で計測するシステムとの連携作業に伴う軌跡追従型動作計画の改良開発を行い、動作シナリオに基づく全体的な動作の流れ(掘削～積込)を実作業によって自動制御技術の検証を行った。

### 2. IT 施工システムの概要

開発した油圧ショベルにIT施工システムを搭載したプロトタイプ(以下「プロトタイプ」)は、施工状況の3次元情報計測システム、IT 施工の操作システム、ロボット建設機械の自動制御システムの3つのシステムから構成される。(図-1参照)<sup>1)2)3)4)</sup>

#### 1) 施工状況の3次元情報計測システム

GPS、ジャイロ、レーザ等を利用し、掘削作業などに伴い変化する地形の3次元情報とベースマシンの自己位置、方位、傾きなどを計測し、リアルタイムにIT施工の操作システムやロボット建設機械の自動制御システムに情報を提供するものである。

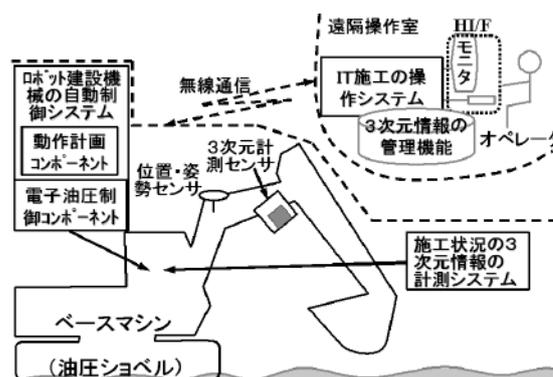


図-1 IT 施工システムのプロトタイプ概要図

#### 2) IT 施工の操作システム (マンマシンインターフェイス)

ベースマシンのオペレータ(遠隔操縦等)に、作業の目標と現況の3次元情報と自機の位置などを提示して、作業を支援するシステムであり、自動制御時は監視支援システムとなる。

遠隔操作室内のIT操作システムとベースマシンに搭載されている施工状況の3次元情報計測システム、ロボット建設機械の自動制御システムの間は、様々なデータを無線で伝送している。実験で利用している無線伝送は、帯域により2種類がある。<sup>2)</sup>

##### ① 特定小電力無線(429MHz帯)

油圧ショベルとクローラダンプを遠隔で操作するラジコンの2波と油圧ショベルの緊急停止装置用の1波、RTK-GPSの基地局から位置補正情

報の1波（ブロードキャスト）の4波に使用している。

## ② 無線LAN (2.4GHz帯)

ビデオカメラの映像データ、ベースマシンとクローラダンプの位置、方位、レーザスキャナやステレオカメラで計測した地形情報を無線で伝送することに使用している。

## 3) ロボット建設機械の自動制御システム

遠隔でオペレータが作業位置などの簡単な作業指示を行うと、作業の目的（設計）と現況の3次元情報を基に、ベースマシンのバケット、アーム、ブーム等の油圧シリンダを自動制御し、掘削・積込・出来形計測の一連の繰り返し作業を自動化したシステムである。

ベースマシンは油圧ショベル12トン級（バケット容量0.5 m<sup>3</sup>）であり、遠隔操作及びPC制御ができるように改造したものである。また、以下に示す計測用の各種センサを取り付けている。（図-2 参照）

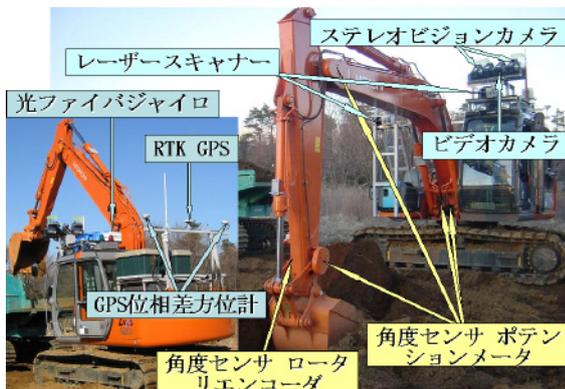


図-2 センサ取り付け図

- ①各関節の回転角度：ポテンシオンメータ、ロータリエンコーダ
- ②建機の傾き：光ファイバージャイロ
- ③建機の位置：RTK-GPS
- ④建機の方位：光ファイバージャイロ、GPS位相差方位計
- ⑤地形計測：レーザスキャナ、ステレオカメラ
- ⑥前方映像：ビデオカメラ

## 3. 連携実験における条件と全体動作シナリオ

プロトタイプによる実験は、掘削とクローラダンプへの積込・放土作業を、遠隔操作及び自動制御で

行うものである。一連の施工作业は、設計の3次元情報（3D-CADデータ交換形式DXF又は国総研XML形式<sup>7)</sup>）に基づいて行われる。実験は、土木研究所内の屋外実験場（50×50 m）、掘削対象の条件はこの実験場の既存土質（関東ローム）で行った。

実験の動作シナリオは以下のように設定した。なお、オペレータは、車載カメラの他、自動切替の複数のCG画像を用いるが、一例を図-3に示す。<sup>3)</sup>

- 1) オペレータは、ベースマシンを遠隔操作で移動して、適切な位置（旋回中心から掘削箇所までが7.5 m～5.5 mに入る）に停止する。
- 2) 遠隔操作により、ベースマシンの上部旋回体を360 deg 回転させ、レーザスキャナによって周辺の3次元情報を計測する。
- 3) オペレータは、クローラダンプを遠隔操作で移動して、積込可能位置で停止する。
- 4) ベースマシンを自動モードに切り替える。
- 5) 自動制御によりベースマシンは、掘削・積込を行う。作業が終わると自動的に遠隔操作状態に戻る。
- 6) オペレータは、クローラダンプを遠隔操作して、放土する。

以上、1)～6)作業を繰り返す。

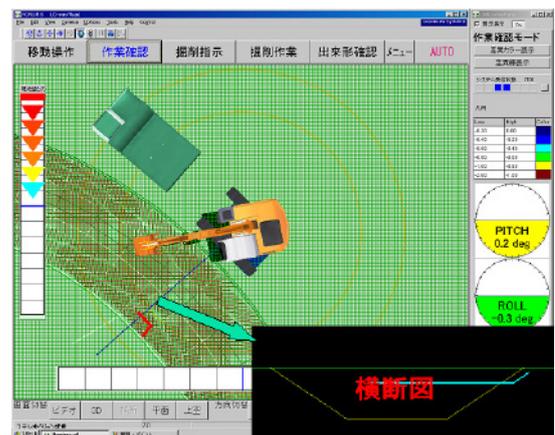


図-3 IT 操作システムの画面

## 4. 事象駆動型動作計画

事象駆動型動作計画を、粗掘削用の動作計画として開発した。粗掘削では、作業速度、すなわち高い掘削効率が求められる。制御をかけることによって細かい動作の補正が入ると、作業速度が低下してし

まう。そのため、事象駆動型動作計画では、精度を求めずに、作業効率を向上させるために、Point-to-Point の指定による動作計画とした。

事象駆動型の動作計画は、ある事象が発生した時にある動作を駆動する動作計画である。いくつかの事象駆動のルールを組み合わせ、階層化したネットワークを作成することで、目的とする作業を実現する動作計画を作成した。図-4 にイメージを示す。

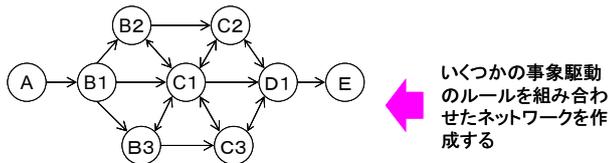


図-4 事象駆動ネットワーク

○が状態、矢印が事象を示し、○状態 A~E の各状態に設定、選択され状況に応じて動作が切り替わる (B1→B2、B1→B3 のように) ことで、作業目的を達成することとした。

#### 4. 1 事象駆動型動作計画の有用性

設計した事象駆動型動作計画は、検証実験を行い、おおむね良好なものであったが、想定していない条件での作業、例えば掘削時の掘削負荷が大きいなどの作業では、掘削が止まってしまう問題があった。

そこで、4.2 で述べるように、熟練オペレータによる掘削作業の操作計測実験の際に収集したデータを解析して、上述した問題を修正することを目指し、有用な掘削方法を探ることとした。

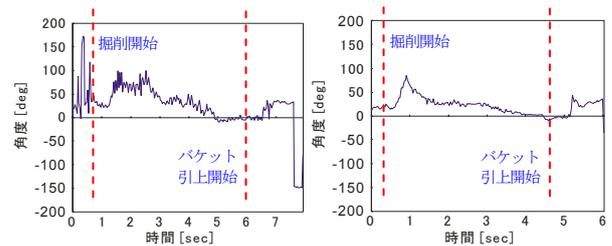
#### 4. 2 熟練オペレータの作業解析

実験は、熟練オペレータ 2 人に、それぞれ掘削に最適だと判断する位置からの掘削(最適位置掘削)と、ブーム、アームおよびバケットを油圧ショベルの前方に最大限伸張した位置からの掘削(最遠位置掘削)の 2 ケースとし、幅はバケット幅、深さは 1.2 m と設定して行った。

掘削時における、アーム動作とバケット動作の関連を調べるために、ブーム-アーム角度(アーム角)とアーム-バケット角度(バケット角)の相関値を算出した。(表-1 参照、四回粗掘削の相関値)。各相関値の平均をとると、おおむね 0.94 以上であり、アームとバケットの動きには高い相関があることが確認できた。

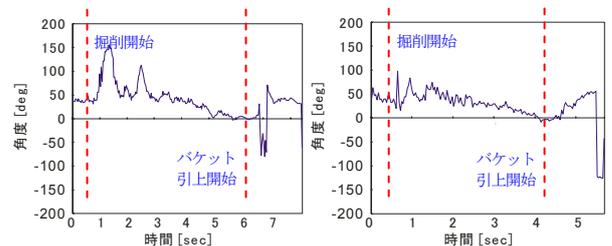
表-1 アーム角とバケット角の相関値

	最適位置掘削		最遠位置掘削	
	オペA	オペB	オペA	オペB
1 掘削目	0.955	0.988	0.969	0.938
2 掘削目	0.959	0.864	0.959	0.929
3 掘削目	0.964	0.995	0.953	0.963
4 掘削目	0.939	0.997	0.982	0.939
平均	0.95	0.96	0.97	0.94



(a) 最遠位置掘削 (b) 最適位置掘削

図-5 掘削方向とバケット底面のなす角度 (オペレータ 1)



(a) 最遠位置掘削 (b) 最適位置掘削

図-6 掘削方向とバケット底面のなす角度 (オペレータ 2)

また、掘削時における、掘削方向に対するバケットの姿勢を調べるために、バケット底面と掘削方向のなす角度を求めたグラフを作成した。グラフ枚数が膨大となるため、例として 1 試行目の 1 掘削目についてのみ図-5 および図-6 に示す。掘削開始時のバケット入射から、直線掘削への移行時に大きくなり、そこから掘削終了時までゆるやかに小さくなっており、バケット引上開始時にはほぼ 0 deg になっている。すなわち、掘削開始時はバケット口側から掘削して徐々にバケットを抱えこむように動かしていることがわかる。これは、掘削開始時はバケットに多く土を入れるためにバケット口側から掘削

し、バケットを引き上げる際にはできるだけ抵抗が少なくなるようにバケットを移動させるためであると推察できる。

以上から、掘削時はアームとバケットの角度を協調して動作させ、バケットの姿勢は掘削の進捗に応じて徐々に抱え込むように動かしていることが判明した。これは、掘削の段階に応じてバケットの姿勢を変化させ、掘削抵抗とバケットに入る土量を巧みに調節することで作業効率の向上を図っているものと推察できる。

#### 4. 3 事象駆動型動作計画の改良と評価

4. 2で解析したデータを用いて、事象駆動型動作計画を改良した。解析して得た目標値を、表-2にまとめた。掘削以外の作業においては、動作計画が良好に動作しているため、そのまま使用することとする。また、事象駆動ルールネットワークの掘削作業について、図-7のように改良した。

表-2 事象駆動型動作計画の目標値

項目	目標値
掘削開始時 バケット接地角度	70 deg
掘削時 掘削距離	4 m
掘削時 掘削深さ	0.250 m
引き上げ開始時 バケット水平角	10 deg

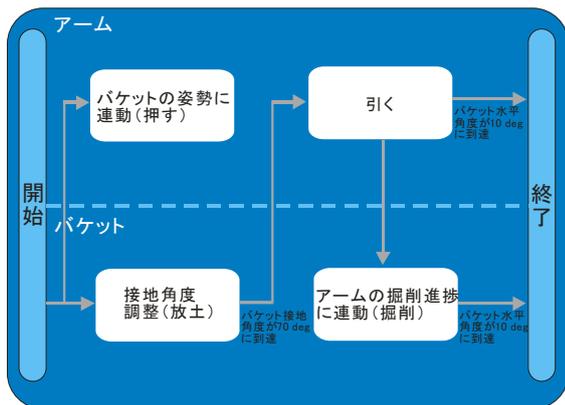


図-7 掘削作業時の事象駆動ルールネットワークの改良

この事象駆動型動作計画をベースマシンに実装し、実環境での掘削実験を実施して性能の検証を行った。実験条件は、ベースマシンの旋回中心から前方に7mの位置から3mの位置までを、深さを0.25

mずつ増加させながら3回掘削することとした。掘削幅はバケット幅とした。

実験の結果、熟練オペレータの作業解析に基づく、事象駆動型動作計画により、繰り返し掘削を行い、掘削抵抗により作業が止まることもなく、おおむね良好といえる結果を確認した。

### 5. 軌跡追従型動作計画

掘削・積込作業の1サイクルに限定した動作計画を設計した。その成果に基づいて、連続掘削動作への対応、円滑な動作の実現、サイクルタイムの短縮を目的として軌跡追従型動作計画を作成した。さらに現況を計測する3次元計測システム等との連携から得られる3次元情報を利用した自律的な掘削・積込作業を計画した。

#### 5. 1 基本となる軌跡追従型動作計画

図-8に、実線は、掘削の基本となる台形軌跡であり、点線は目標溝の辺に沿って連続掘削設計のイメージである。予定掘削土量とバケット容量により、斜面長さ  $w_1$ 、掘削長さ  $w_2$  と深さ  $h$  を算出でき、連続掘削の台形軌跡を設定した。基本となる計画軌跡の設定にあたっては、熟練オペレータの操作計測データを参考とした。<sup>4)5)6)8)</sup> 目標とする設計形状に応じて、掘削回数、掘削開始点、深さ、底面の距離および勾配を任意に設定可能とする。1サイクルの目標時間を短く設定したものを粗掘削、長く設定したものを仕上げ掘削として分けて設定し、作業効率の向上を図った。

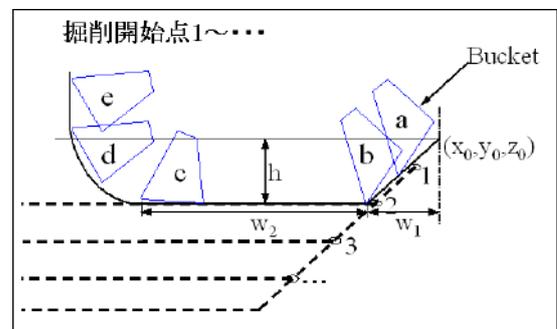


図-8 連続掘削イメージ

本研究では、斜面勾配 1:1.5、深さ 1 m、底面の距離 2 m を目標とした出来形設計 CAD 図面を利用した。この場合、出来形の土量は約  $3 \text{ m}^3$  であり、掘削

中にある程度ほぐれるものと考え、 $3.5 \text{ m}^3$ 程度となる。オペレータ操作データでは、バケットが掘削対象を通過する体積は、すくい取る量よりも多くなっており、効率よくほぐしなから満杯にすくい取っていることが想定される。1掘削の土量がバケット容量 $0.5 \text{ m}^3$ の1.6倍程度で満杯になると想定すると、粗掘削は満杯用に計画し、掘削回数は設計と地形情報により自動的に生成する。実際の自律掘削では、土の堅さにより毎回粗掘削の深さが設計より違いがあることから、そこで、毎回計画の掘削開始点、深さと長さを3次元計測データにより調整することとした。

## 5.2 動作計画での3次元情報の活用

### 5.2.1 3次元情報の受信

自律掘削動作にともなう3次元情報の授受は、以下の流れで行うように設定した。<sup>2)4)</sup>

- 1) 初期位置で自動制御に切替
  - (a) 設計(目標掘削形状)情報受信
- 2) 掘削方向へ旋回
  - (b) 掘削範囲の地表面現況形状情報受信
- 3) 掘削開始点へバケットを下げ掘削、引き上げ
  - (c) クローラダンプのベッセル情報受信
- 4) クローラダンプ方向へ旋回、放土
  - (d) 設計情報受信

以上、2)~4)作業を繰り返す

一連の掘削積込作業の終了は、計測結果により判断され、終了後は遠隔操作状態に戻る。

### 5.2.2 掘削軌跡での3次元情報の活用

現況形状の3次元計測データは、粗掘削から仕上げ掘削へ、掘削終了の切り替え、および掘削開始点等を動的に判断するために用いている。計測データは、図-9に示すように、掘削溝の中心(バケット中心)のラインと左右等分に振り分けた1ラインずつ

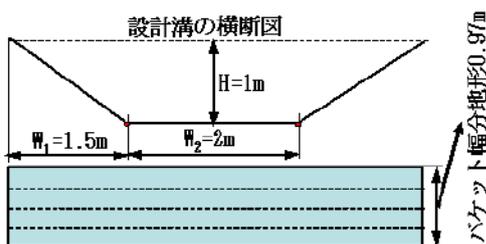


図-9 地形断面情報

の、計3ラインを代表値として用いている。この計測データと、設計(目標掘削形状)の標高差を比較して判断を行うものとしている。

### 5.2.3 放土軌跡での3次元情報の活用

放土前に受け取るクローラダンプの情報は、ベッセルの中心と、中心から左右0.5mの3直線をレーザスキャナで計測した高さである。受信したベッセル情報を現場座標系から建機座標系に変換して、図-10に示すようにダンプのベッセルの長さにより放土点1、2...を算出する。なお、バケットとベッセルの接触を確実に避けるように、ベッセルのあおり側より0.2~0.3mの安全距離と移動の余裕時間を設定した。

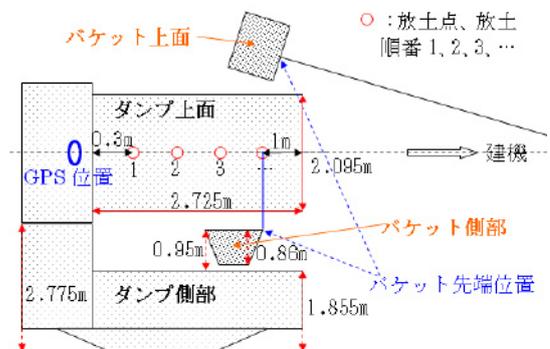


図-10 放土計画イメージ

## 5.3 軌跡追従型動作計画の検証

検証実験の結果、現況地形と設計の掘削形を比較しながら、仕上げ掘削への切り替え、掘削終了を判断することや、状況により掘削位置を変更することを実験により検証した。図-11に計画した軌跡と、実際に動作したバケット先端の軌跡を示す。

ここでは、ダンプへ安全・確実に放土するため、引き上げ、旋回及び積込放土動作の時間に余裕を見ることとして、粗掘削における1サイクルを約31sec~33sec、仕上げ掘削における1サイクルを約37sec~39secに設定した。

図-12に作業終了後の出来形を示す。設計や現況地形の3次元情報を活用し、設計した台形軌跡により指定された掘削溝に関して粗掘削から仕上げ掘削までの自律連続動作を実証、実現することが出来た。また、粗掘削から仕上げ掘削までの掘削動作を検証した結果、0.1m以内の精度が確保できたことを確認した。また、クローラダンプへの自律積込作

業を実現することが出来た。

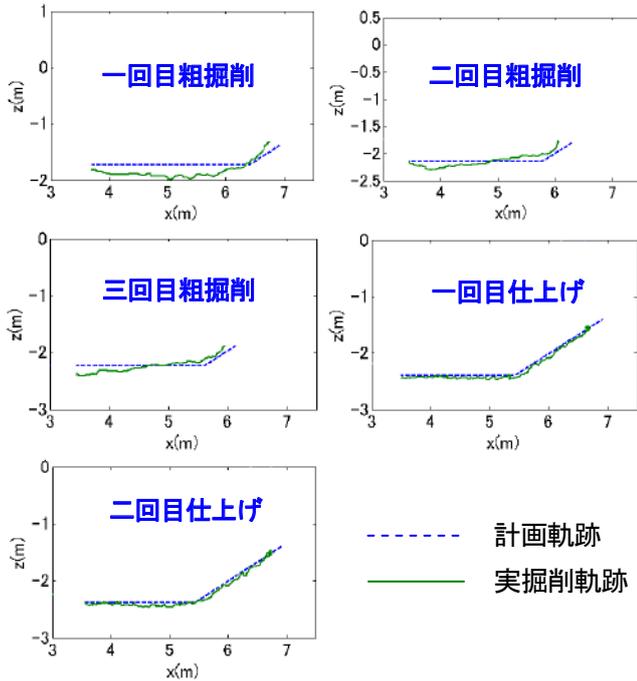


図-11 掘削時の計画軌跡と実掘削軌跡



図-12 自動掘削作業終了後の出来形

## 6. 終わりに

本研究において、事象駆動型動作計画として熟練オペレータの作業解析に基づく動作計画の確認（作業効率は通常の作業と同等）、軌跡追従型動作計画として3次元計測システムとの連携による施工精度の向上（作業効率は同等）を図り、IT施工システム全体としての有用性を検証した。

その結果として、動作計画、掘削精度の確保（0.1 m 以内）を確認することが出来た。また設計や現況地形の3次元情報を活用し、状況に応じた動的対応可能な自律化掘削・積込作業を実現できた。

今後、多様な土質、掘削条件を想定した動作計画、クローラダンプへの積込情報を活用した、動的な自律計画を進めて行く必要がある。

最後に国土交通省、ロボット等によるIT施工システム研究委員会（委員長：筑波大学油田教授）、東京大学人工物工学研究センター浅間研究室、建設無人化施工協会など多くの方々のご協力により本研究を進めることが出来たことを記し、謝意を申し上げます。

## 参考文献

- 1) 山元弘, 柳沢雄二, 野末晃, 邵輝, 境田右軌, 山口崇: “油圧ショベルの自律化に向けた基盤技術について”, 第11回建設ロボットシンポジウム, 2008.9
- 2) 野末晃, 山元弘, 境田右軌, 邵輝, 柳沢雄二: “油圧ショベルのIT施工技術の開発における通信情報システムの適用について”, 第11回建設ロボットシンポジウム, 2008.9
- 3) 柳沢雄二, 山元弘, 邵輝, 境田右軌, 野末晃, 山口崇: “作業機械の遠隔操作におけるマンマシンインターフェイスに関する研究”, 第11回建設ロボットシンポジウム, 2008.9
- 4) 邵輝, 山元弘, 柳沢雄二, 境田右軌, 野末晃: “油圧掘削機の自律掘削と積み込み動作計画に関する研究”, 第11回建設ロボットシンポ, 2008.9
- 5) H. Shao, T. Yamaguchi, H. Yamamoto: Bucket Trajectory Planning of Hydraulic Excavator, 12<sup>th</sup> Robotics Symposia, 2007.
- 6) H. Shao, H. Yamamoto, Y. Yanagisawa, A. Nozue, The 25<sup>th</sup> Annual Conference of the Robotics Society of Japan, 2007.
- 7) 田中洋一 他: 施工現場で利用する施工管理データの構築, 第11回建設ロボットシンポジウム, 日本ロボット工業会, 2008.9
- 8) 境田右軌, 山元弘, 邵輝, 柳沢雄二, 野末晃: “熟練オペレータによる油圧ショベルの掘削操作解析”, 第11回建設ロボットシンポジウム, 2008.9

### 3. 作業船投錨位置管理システムの開発

—羽田再拡張工事での適用—

東亜建設工業株式会社 土木事業本部 機電部

増田 稔 水川達也 ○藤山 映 勝野 孝志

近年の海洋土木工事では、複数の作業船を同時に工事へ就役させる事例が増えており、この場合、作業船を固定するための錨(アンカー)やワイヤーが輻輳し、投錨・転錨作業の混乱を招くため、施工能率や安全性の低下が懸念されている。「作業船投錨位置管理システム」は、作業船(本船)と揚錨船とを無線LANにより接続し、GPS による投錨位置への誘導、投錨位置の保存、他船舶との情報共有を行うために開発されたものであり、アンカーの打ち掛け状況がリアルタイムに把握可能となる。本稿は、システムの概要紹介および羽田再拡張工事での適用結果について述べるものである。

#### はじめに

一般に海洋土木工事へ就役する大型作業船は、本船の周囲に係船ワイヤーに繋がれた錨(アンカー)を複数投入し本船を固定しているが、作業船を密集させ工事を行う場合は係船ワイヤーが、隣接する作業船の係船ワイヤーと輻輳(交差)し、投錨・転錨作業に混乱を招くため、施工能率や安全性の低下が懸念される。そのため、自船の投錨位置・日時や係船ワイヤーの繰り出し方向を明確化し、隣接する作業船の投錨情報をも共有可能な「作業船投錨位置管理システム」を開発した。羽田再拡張D滑走路建設工事において本システムを導入し安全性の向上と工期短縮に大きく貢献することができた。

#### 2. システム概要

##### 2-1. 概要

「作業船投錨位置管理システム」は、揚錨船側設備(GPS、表示用PC、無線LAN設備)、と本船設備(GPS、表示用PC、無線LAN設備)で構成され、無線LANを利用したネットワークにより揚錨船の表示用PC、本船の表示用PCとの双方で現在の自船位置や投錨位置への誘導距離、方位等をリアルタイムに画面へ表示するシステムである。また、隣接する船団に本システムを装備することにより、本船側の表示用PCは、無線LANを通してお互いの投錨情報を送受信し合い、係船ワイヤーの打ち掛け状況を把握することが可能である。

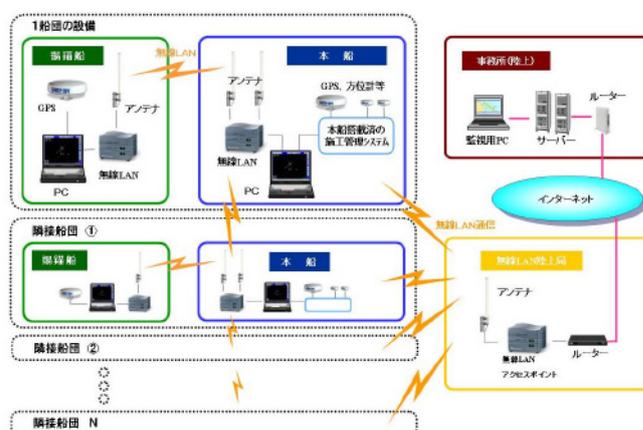


図-1 システム構成

##### 2-2. 特長

- ①投錨位置・時間を管理・自動記録が可能
- ②投錨位置への誘導指示が明確
- ③自船団と他船団の位置関係および投錨状況の把握
- ④自他船団間で投錨ワイヤーが交錯した場合でも、双方の上下関係が一目で確認可能
- ⑤船舶間通信にはメッシュ型無線LANを用い、複数の船舶間でネットワークを構築しているため、障害物による電波の遮断にも対応可能
- ⑥既設施工管理システムからの位置・方位情報はデジタル通信にて入力されるため、導入コストを最小限に抑えることが可能。

### 2-3. 本船側

本船側のモニタ上には、本船を中心とした自船や他船の投錨状況や揚錨船の現在位置を表示している。本船の位置・方位情報は本船に設置した GPS や方位計の計測情報を採用しているが、既設の施工管理システム用に装備された RTK-GPS やジャイロコンパスなどからのデジタル出力信号にも対応している。

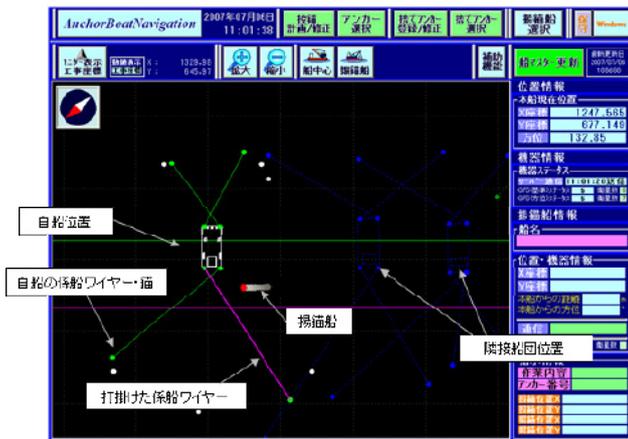


図-2 本船側システム画面例

隣接船団との係船ワイヤーの打掛け状況は、ワイヤーの表示色や画面上でマウスを近づけることによって確認することができる。

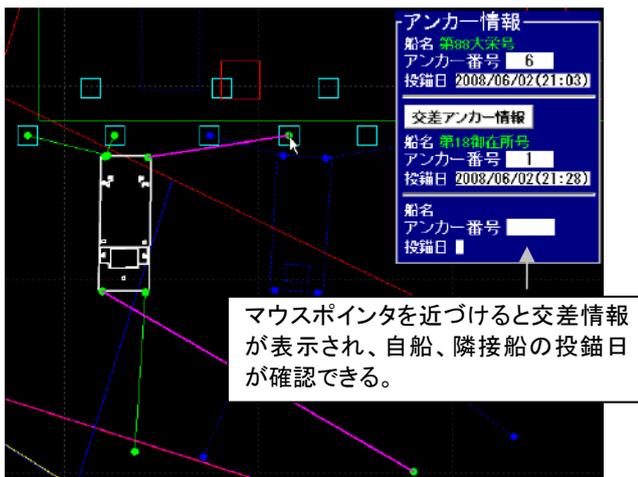


図-3 係船ワイヤー交差時の詳細表示例

本システムによる投錨(転錨)作業フローを以下に示す。

#### (1) 投錨計画

目標となる投錨位置座標を数値またはマウスクリックにて入力する。

#### (2) 揚錨船へ目標投錨位置の転送

係船ワイヤー出口番号を選択(クリック)すると目標投錨位置情報が転送され、揚錨船モニタ上へ表示される(写真-3 参照)。

#### (3) 投錨作業

目標投錨位置を目指して揚錨船オペレータは錨の移動・投入作業をおこなう。移動時の揚錨船位置は常時本船側モニタへ転送表示され、本船側からの誘導指示を行うことも可能である。

#### (4) 投錨完了

投錨完了の情報が揚錨船から本船へ送られる。これと同時に本船モニタ上で投錨位置が保存され本船の係船ワイヤー出口と投錨位置が線で結ばれ係船ワイヤーが画面上に実線表示される。

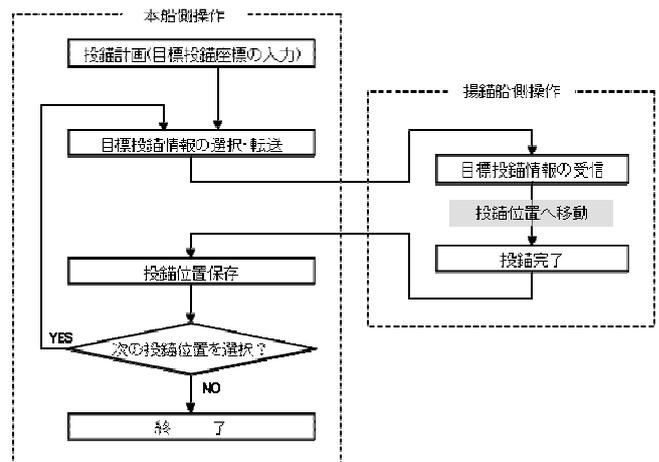


図-4 投錨作業時のシステム操作フロー図

### 2-4. 揚錨船側

揚錨船側のモニタ上には、揚錨船の現在位置と本船から転送された目標投錨位置が主に表示される。揚錨船オペレータはモニタ上に表示される目標投錨位置と DGPS で計測される自船の位置表示を目視しながら錨の移動・投入作業をおこなう。また、揚錨船PCでは任意位置への誘導オペレーション機能を持っており、単独での投錨作業や、揚錨船を使用したブイや旗などの設置作業時の誘導システムとして使用することができる。



図-5 : 揚錨船側表示用PC画面例

の錨(アンカー)や係船ワイヤーの位置情報を他船団とリアルタイムに共有管理することで、転船作業の効率化と夜間作業における安全性の向上を図った。



写真-2 : 夜間施工状況



GPS 設置例

写真-1 : 揚錨船の操船状況

### 3-2. 工事概要

事業者・・・国土交通省関東地方整備局

工事名・・・東京国際空港 D 滑走路建設外工事

工事期間・・・2004/3/29～2009/3/31

施工場所・・・東京都羽田空港沖

### 3-3. 運用事例

羽田D滑走路工事では、前述の本船側設備、揚錨船側設備に加えて、事務所で投錨位置を閲覧可能な事務所側設備を設置した。図-6 は事務所側監視用PCの画面例である。同画面は地盤改良施工の最盛期の状況(夜間施工状況は写真-2 を参照のこと)であるが、夜間作業時は制限表面区域に多数の地盤改良船を配備し、係船ワイヤーが交差(黄色表示)している状況が窺える。

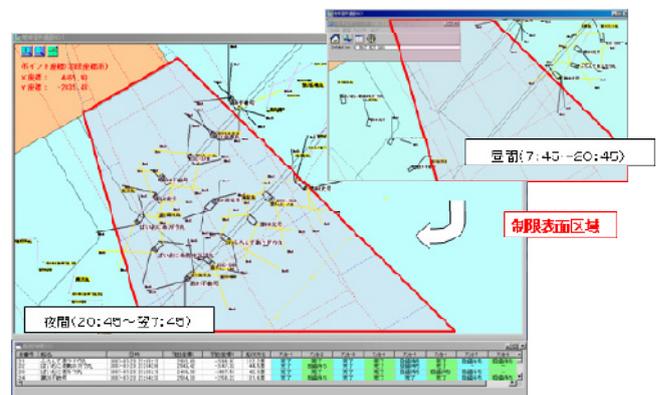


図-6 : 監視用PC画面例(地盤改良船配備状況)

## 3. 羽田再拡張D滑走路建設工事における本システムの運用

### 3-1. 本システムの導入経緯

羽田再拡張D滑走路建設工事(以下、羽田D滑走路工事)では、工事区域の一部が供用中空港の制限表面<sup>(※)</sup>区域となるため、水面上からの頂頭部までの高さが60mを超えるサンドコンパクション船(SCP船)やサンドドレーン船(SD船)などの作業船は、この区域に夜間作業可能時間帯(20時45分～翌7時45分の11時間)の限られた時間の中で多数の船を毎日入域させ施工を行わなければならない。そのため、本船移動に費やす時間を極力抑えるため、投錨作業の迅速化・効率化を命題とした。また作業船が密集して施工を行う(作業船の配備距離は約100m)ため、お互いの係船ワイヤーの打ち掛け(交差)に対する混乱を防ぐ必要があった。

そこで、作業船を所有する関係各社の御協力のもと、投錨位置管理システムを提案・導入し、作業船

### 3-4. 投錨禁止区域情報の統合管理

本工事では本システムの情報共有技術を生かし、埋立工事部で設置する沈下板や水圧式沈下計、その他埋設物の位置情報を投錨禁止区域としてサーバー上に登録し各船でその情報が自動的に表示される機能を付加した。

事務所に設置した投錨禁止区域の入力端末で投錨禁止エリアの座標や名称を入力し、その情報が管理サーバーに登録される。本船や揚錨船ではこの情報を定期取得し、モニタ画面以上に描画表示される。



図-7 : 投錨禁止区域表示例

### 3-5. 適用効果

本システムの導入による効果は以下の通りである。

#### ① 転錨作業の効率化

- ・従来は投錨位置へ事前に旗やブイを入れ、投錨作業を行っていたが、これを無くした。
- ・従来の投錨指示は本船・揚錨船間の無線通話によって行っていたが、本システムではGPSからの座標情報をもとにモニタ画面で自船位置や目標投錨位置を視覚的に表示するため、揚錨船オペレータへの指示が具体化・迅速化した。
- ・精度の高い投錨位置への誘導が可能となり、手戻りが無くなった。

- ・自船団と他船団の係船ワイヤーが交錯した場合でも、双方の上下関係が一目で確認可能であるため、転錨順序が明確化し、船団間の意思も図ることができた。

#### ② 安全性の向上

- ・自船団と他船団の投錨関係が同じような画面で双方が確認できるため、係船ワイヤーの交錯状況をいち早く察知し、作業船の接触事故を防止することができた。
- ・夜間投錨作業時は周囲の状況把握が困難なため、GPSによる自船表示や目標投錨位置表示が夜間の誘導作業を手助けし、浮標物への衝突を回避できた。
- ・投錨禁止区域情報の共有により、沈下板や水圧式沈下計、その他埋設物の損傷や亡失を防ぐことができた。

## 4. おわりに

複数の船団が稼動する難しい条件下においては、施工情報の共有化により安全かつ効率的に進めることが重要となる。今回開発した作業船投錨位置管理システムは複数船団の位置情報を共有化したことにより、現場での的確な判断を早期に導く材料の一端となった。

携帯電話や無線LAN等による無線情報通信技術は今後、さらなる高速化、長距離化が進み、映像など大容量の無線通信が可能となるであろう。この無線通信技術を利用した作業船の施工管理や遠隔地からのメンテナンスを支援する高度な情報管理・共有システムを具現化し、施工能率や安全性の向上に努める所存である。

## 4. 覆工設計厚管理システム（3D-TLIMAS）の現場適用事例

三井住友建設（株）技術研究所

○塩崎 正人

三井住友建設（株）大阪支店

安藤 文彦

近畿地方整備局 福井河川国道事務所

岡本 隆

### 1. はじめに

山岳トンネルの施工において、覆工コンクリートの設計厚を正確に管理することは、施工品質確保の観点から重要な項目といえる。しかし、山岳トンネルにおいては発破掘削が主たる掘削工法であるため、掘削形状に大小の凹凸が発生し形状が一様とはならない。

現状の覆工設計厚管理は、断面の特定箇所について覆工設計厚の過不足を判定している<sup>1)2)</sup>。すなわち2次元での管理であり、壁面形状を離散的な断面で捉えることはできても、連続的な立体として捉えることは困難である。

今回、短時間で360°全周の形状計測が可能な2次元レーザースキャナーを用いて、山岳トンネルにおける3次元形状計測を行った。また、覆工設計厚管理ソフトウェアの開発し、施工全線に亘っての連続的な覆工設計厚管理を行った。

先の発表<sup>3)</sup>においてトンネル施工における3次元レーザースキャナーの有用性を確認したが、計測時間の短縮方法に関する新たな知見を加え、以下に報告する。



写真-1 RIEGL社製LMS-Z360i



写真-2 3次元レーザースキャナーでの計測状況

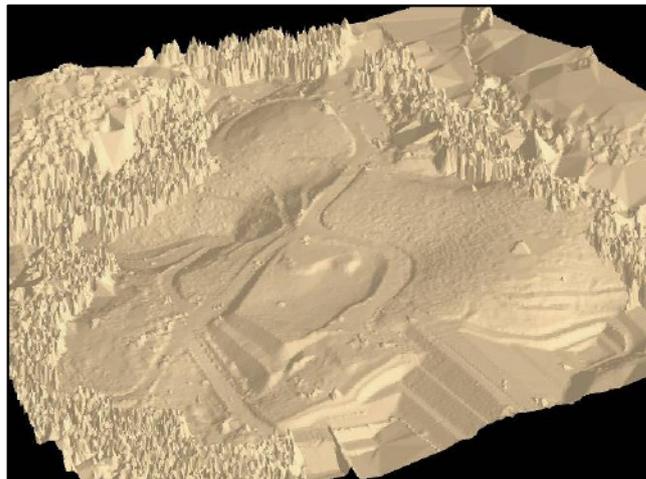


図-1 3次元レーザースキャナーでの計測例

### 2. 計測機器

今回の計測に使用した3次元レーザースキャナーは、オーストリアRIEGL社製LMS-Z360iである（写真-1）。この計測機器は水平360° 上下90° の範囲を1回で計測することができ、塔体が回転しながら12,000点/秒、最長200mまでの3次元形状計測を行う。また、レーザ光の反射を利用するため暗所

での計測も可能である。

3次元レーザースキャナーは、その特徴から大規模造成工事における土量計測<sup>4)</sup>（写真-2、図-1）や、形状が複雑な石垣・崖面形状計測に活用されている。また、交通量の少ない夜間に交差点等で計測を実施し、道路区画線の抽出を行い、施工前の道路現況図を作成する業務にも活用されている。山岳トンネルでの壁面形状計測は、凹凸が多く表面形状が複雑であることから、3次元レーザースキャナーの特長を活かせる対象物であるといえる。

### 3. 計測方法

計測は、壁面に貼った5cm四方の反射シート（写真-3）を利用した基準点ターゲット測量から始める。基準点ターゲット測量は、レーザー計測での座標系（機械中心を原点とする座標系）から現地座標系（公共座標系等）へ座標変換するために行うものである。この際、反射シートは、レーザー計測時の計測範囲内に設置し、このシート



写真-3 画像合成・測量用反射ターゲット



写真-4 3次元レーザースキャナー設置状況  
(横向き配置)

を基準として隣り合うレーザータの合成への変換にも利用する。

次に3次元レーザースキャナーを設置する。設置の際には、3次元レーザースキャナーの回転軸方向とトンネル軸方向を合わせる形で、トンネル中心に機材を据える（写真-4）。3次元レーザースキャナーを横向きに固定することで、壁面までの距離が一定となり、データの集散を最小限に抑えることができる。この状態で壁面を計測し、メッシュ化処理を行う。2車線道路トンネルの場合、上下に90°計測できることから、1回の計測で約10m区間の計測が可能である。

また、3次元レーザースキャナーでの測定誤差には、「機械誤差」と「距離に比例するビーム径の広がりによる誤差」があるが、レーザー計測では、点群データからメッシュ化処理を行うことが一般的であるため、平均化した値で精度を表す場合が多い。今回使用したLMS-Z360iの場合は精度6mm（1σ：メッシュ処理後）である。

### 4. 覆工設計厚管理方法

3次元レーザースキャナーによる壁面形状計測の後、覆工設計厚の過不足判定を行う。覆工設計厚の判定は以下の要領で行う（図-2）。

「設計断面と重ね合わせ」とは、現地座標系で計画されたトンネル線形に対して、機械中心を原点とする座標系を有する3次元レーザースキャナーで取得した形状データとの座標系を統一する工程にあ

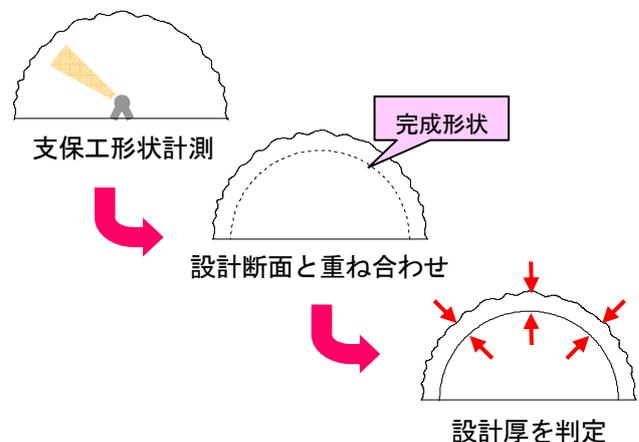
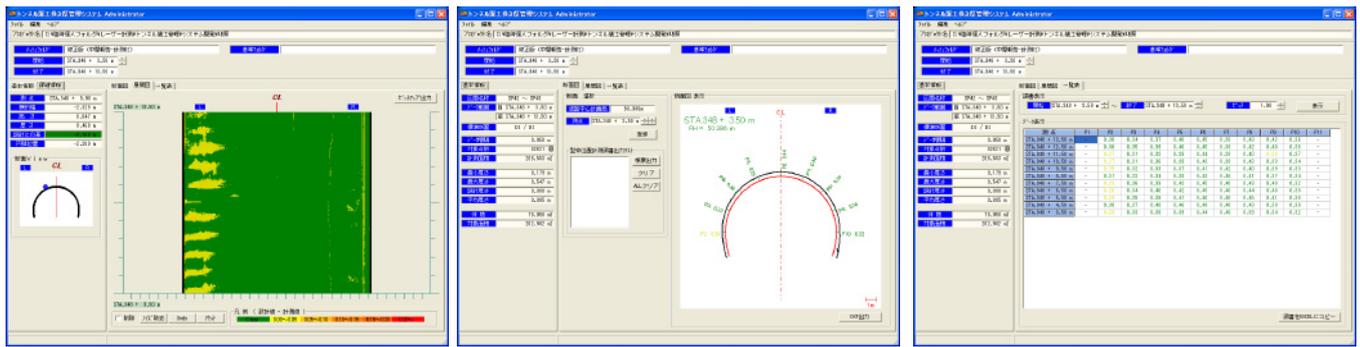


図-2 設計厚計測・判定の模式図



コンター図表示

断面図表示

一覧表表示

図-3 管理ソフトウェアでの覆工巻き厚判定の表示・出力方法

たり、この合成のため基準点ターゲット測量を実施する。この測量精度は、覆工設計厚判定の精度に直結するため留意が必要である。

「設計厚を判定」とは、座標変換を行った計測データと設計データ（完成形状）との差分を求めるもので、この差分が覆工コンクリートの設計厚となる。

### 5. 設計厚管理ソフトウェアの開発

覆工設計厚の過不足については、計測（断面形状）と設計データ（完成形状）との差分から求めることが可能であるが、設計厚判定を数値による確認だけでなく可視化するため設計厚管理ソフトウェア【3D-TLIMAS】を開発した。このソフトウェアの最大の特徴は、設計厚判定を3種類の方法で表示・出力ができることにある(図-3)。

コンター図は、壁面を平面展開した表示方法で、視覚的に優れている。また、断面図と一覧表は、計測管理規定に従い、トンネル中心より左右22.5°ごとに計11箇所的设计厚について表示しているため、報告書等への転用が容易である。

ソフトウェア開発上で問題になったのは、坑内支障物の処理である。覆工設計厚管理は、壁面の形状を計測するものであるが、実際のトンネル坑内には風管等の資機材が設置されており、壁面だけを計測することは不可能といえる。このため、管理ソフトウェアでは、坑内の各種配管や設置機材を計測した3次元点群データ上で把握したのち、突出物を消去し、周辺データから補完する機能を設けている。

また、坑内の3次元形状データの利用により、正確な打設コンクリート量の算出が可能である。従来、数ヶ所の断面のデータから打設量を算出していたが、レーザー計測では5cm間隔で断面データを取得できるため、より正確な打設コンクリート量を算出することが可能となる。

トンネルにおいては、凹凸を考慮してあらかじめ打設コンクリート量を多めに注文するケースが一般的であることから、正確な打設コンクリート量を算出することは、逸失利益の防止という意味からも有効であるといえる。

### 6. 現地計測

今回、敦賀バイパス鳩原トンネル工事にて覆工コンクリート設計厚管理計測を実施した。工事概要を以下に示す。

トンネル名：小河トンネル

工事名：敦賀BP鳩原トンネル工事

工事場所：福井県敦賀市鳩原地先-小河口地先

延長：768m

工法：NATM工法

全幅：10.0m

有効幅員：7.0m (3.5m×2車線)

構造規格：第3種第1級

本トンネルは、国道8号線と国道27号線との交差によって発生する敦賀市内の渋滞を解消するため、国道8号線バイパス道路建設工事の一環として施工された<sup>5)</sup>(図-4)。

計測は、まず10mピッチで壁面に反射シートを貼り付け、基準点ターゲット測量を実施した。反射シ



図-4 小河トンネル位置図

ートは、1回のレーザー計測範囲につき、端部に最低3枚以上認識されるよう貼り付け、座標変換および隣り合う計測データの合成に利用した。

3次元レーザースキャナーは、筒体中心を原点としたローカル座標系で動作しているため、施工管理に利用するグローバル座標系へと座標変換を行う必要がある。反射シートの測量に続いて、3次元レーザースキャナーを用いて壁面の形状計測を行った。

ここで、機械設置の際、3次元レーザースキャナーを水平かつトンネル軸に対して平行に据えることが重要である。この設置精度が高い場合、レーザー光が壁面に均一に照射されるため、一様

なデータを取得することができる。この精度は後のデータ合成の処理精度に繋がるため、機械設置には留意を払う必要がある。

なお、反射シート貼り付けからレーザー計測までの所要時間は、延長 200m を計測した場合、約 1.5 日であった。

## 7. 計測結果

3次元レーザースキャナーで計測したデータは、個々のデータを合成することから処理を始める。また、坑内支障物を抽出しデータ補完を行う。これらの処理は施工全線について実施するが、結果から 50m 区間分を抜粋したものが図-5 のコンター図となる。緑色の部分は設計厚が確保されていることを表す。ここで、棒状の黄色や橙色の部分は支保工（H型鋼）設置箇所での測定結果である。図-6 に示すように、C II - b、D I - b パターンでは、支保工が覆工コンクリートの中に入っているためこのように表示されるが、設計厚は確保されている。表示方法は、今後改良する予定である。

コンター図に表示されている区間は、C II - b パターンから D I - b パターンへ変化する境目であるため、支保工が長さが異なり、D I - b パターンでは下半まで伸びていることが判る。また、天端付近は余裕のある掘削のある施工がなされていることもコンター図から読み取ることができる。

コンター図および一覧表から、設計厚が確保されており、掘削精度が確保されていることを確認した。

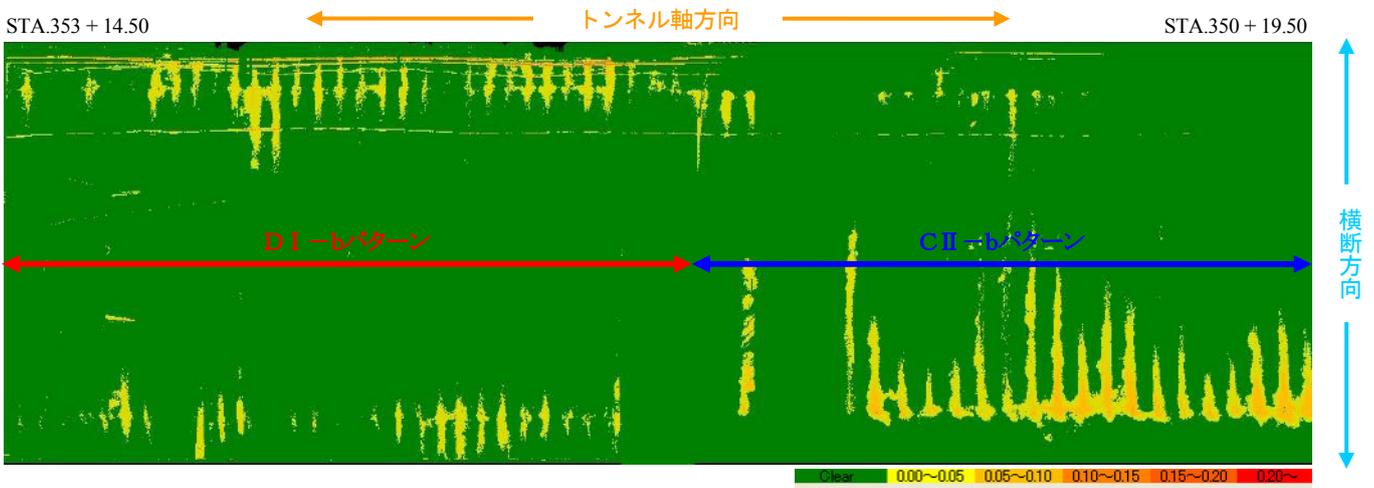


図-5 覆工設計厚解析結果（抜粋）

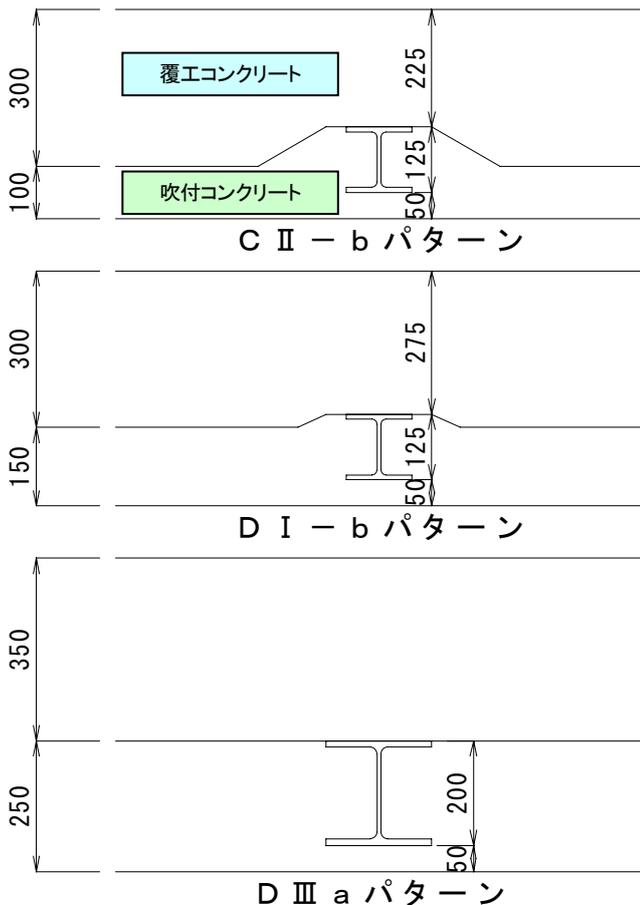


図-6 支保パターンの概略図

また、実際の打設コンクリート量 $6188.8\text{m}^3$ に対して、解析によって算出した必要コンクリート量は $6057.8\text{m}^3$ であり誤差は2.2%となる。実打設量の方が多いため、打設不良を防ぐため多めに打設するためであり、ほぼ正確な数量を算出できたものと考えている。

なお、解析の所要時間は、基準点ターゲット測量データの座標変換からコンター図作成まで2日を要した。

## 8. 成果

今回、3次元レーザースキャナーを現場での覆工設計厚管理に用いたことで、以下の知見を得ることができた。

- ①高速でトンネル形状を把握することが可能
- ②暗所においても精度良く形状計測が可能
- ③連続的な立体として形状を捉えるため、覆工設計厚の不足箇所の把握が容易

④覆工設計厚の可視化が可能

⑤高精度な打設コンクリート量管理が可能

まず、計測工程については、高速で形状計測が可能であるため、休工期等を利用して長大範囲を計測することで施工工程に影響を与えずに覆工設計厚管理が可能となる。掘進状況に合わせて計測を行うことで効率的な覆工設計厚管理が行えるものと期待する。

反面、施工中に計測を行う場合は、トンネルの中心に機材を据える必要があるため、工事車両の通行を阻害することとなる。計測方法については今後も検討して行く必要がある。

次に、ソフトウェア開発に関しては、開発者側のニーズだけでなく、運用者側のニーズにも応えられるため機能の開発を進める必要がある。鳩原トンネル工事での運用を進めるにつれて、機能の追加修正について現場側から多くの要望があった。実際に運用してみることで、課題や不足している機能について確認することができたため、ソフトウェアの改良に大いに役立った。

3番目として、打設コンクリート量の管理であるが、今回はトンネル全線のレーザー計測を実施したため、多くのデータを取得できた。覆工設計厚管理を主体としてシステム開発を進めてきたが、正確な打設コンクリート量を把握することは、逸失利益の防止に繋がることは明白である。鳩原トンネル工事の場合、誤差が2.2%であったことから、ほとんどロスのないコンクリートの打設が可能となる。

## 9. 今後の展開

覆工巻き厚管理では、基準ターゲット測量を実施した後、レーザー計測を繰り返していく(図-7)。鳩原トンネル工事では、1回の計測区間200mに対して所要時間は約1.5日(12時間)であった。レーザースキャナー1回当たりの計測距離が10mとすると、20回の計測を行ったこととなる。LMS-Z360iの標準精度での計測時間が5分/回であり、移動・設置に各10分要したとして、レーザー計測に要した時間は5時間(300分)となる。つまり、作業全体の半分以上の時間が基準ターゲット測量という

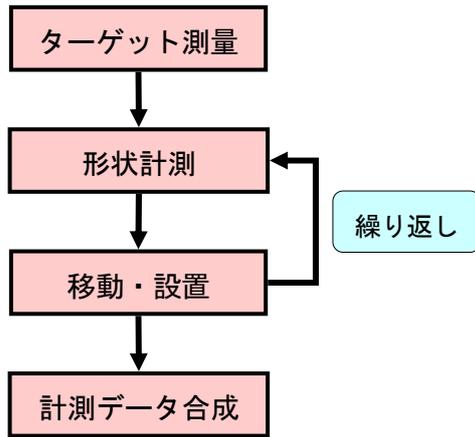


図-7 覆工巻き厚計測の流れ

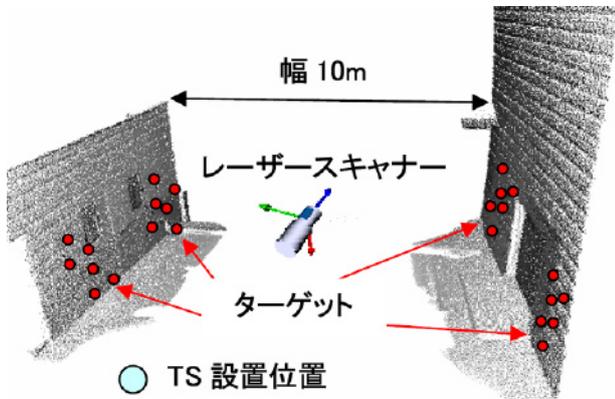


図-8 車載型計測の自己位置の特定方法

ことになる。

この計測時間短縮を考えた場合、レーザー計測の時間を短縮することは困難であるため、基準点ターゲット測量について実験を行った<sup>6)</sup>。

基準ターゲット測量は、トンネル壁面に貼り付けた反射シートを測量する。200mの計測区間では200~250枚の反射シートを設置するため、測量に時間を要していた。

今回の実験では、レーザー扫描仪を車両の屋根上に固定することで機器を車載化し、この車両に反射シートを設置した。この反射シートを測量することで、レーザー扫描仪の位置を特定し、その座標データを元にトンネル壁面の反射シートの座標を求める方法である。この測量に要する時間と基準点ターゲット測量の精度を検証した。

この方法では計測車両が移動した場合に、車両に設置した反射シートのみを測量するため、測量

時間が従来手法の1/2~2/3に短縮できることが判明した。しかし、計測精度については5~10mmとなり、従来測量方法と比較した場合、誤差が大きくなった。基準点ターゲット測量の誤差は、そのまま覆工設計厚管理システムの誤差に繋がるため、今後は計測精度の向上を測りたい。

また、解析時間の更なる短縮を進める予定である。特に、打設コンクリート量算出など、利益に直結する数量算出について支援体制を強化していきたいと考えている。

最後に、従来の2次元断面から3次元立体での施工品質管理の可能性に関して、本稿が参考となれば幸いである。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省：近畿地方整備局 土木工事施工管理基準及び規格値(平成17年4月改訂), p.1-211, 2005年4月。
- 2) 日本道路公団：トンネル施工管理要領(平成9年12月), pp.54-55, 1997年12月
- 3) 小西昭裕, 織田重和, 櫻井雄二郎, 塩崎正人, 佐田達典：3次元レーザー扫描仪を用いたトンネル覆工巻き厚管理の現場適用, 第31回情報利用技術シンポジウム講演集, pp.61-63, 2006年10月
- 4) 佐田達典, 大津槇一：地上型レーザー扫描仪を用いた地形計測システム, 建設の機械化, No.625, pp.35-41, 2002年3月
- 5) 岡本隆：3次元レーザー扫描仪を用いた覆工巻き厚管理, 近畿技報「繫」, vol.22, pp.10-12, 2008年3月
- 6) 村山盛行, 塩崎正人, 清水哲也, 佐田達典：トンネルなどの閉空間に特化した三次元計測の効率化の検討, 土木学会第62回年次学術講演会, 2007年9月

## 5. ICT を活用した各種自動制御機器に関する施工性能評価

前田道路(株)：菊地 重徳、○宇田川 健治、上野 健司

### 1. はじめに

我が国では従来から、アスファルトフィニッシャによる舗装工、及び路盤工において、接触式のセンサや、ロングスキーなどの自動制御機器を利活用してきた。

また、近年においては、2次元回転レーザ式、超音波多連式、レーザスキャン式、TS（トータルステーション）式・GNSS（汎地球測位航法衛星システム）式等による非接触式マシンコントロール技術等も、舗装工事に適用され始め、施工条件により最適な自動制御機器を選択することができるようになった。

しかし、これらの機器は高精度であるにも係わらず、普及が進んでいないのが現状である。初期導入コストが高いこともあり、一部の大手建設業者や、舗装業者での利用にとどまっている。

弊社では、高速自動車国道の新設現場において、各種自動制御機器(GNSS 式、レーザスキャン式、超音波多連式等)を同時に使用し、作業性、難易度、及び精度を確認し、それぞれの特徴を検証した。

ここでは、情報化施工機器の幅広い普及、利活用の促進、建設業の労働生産性向上の一助となるべくその概要と結果について述べる。

### 2. 目的と概要

#### (1) 目的

アスファルトフィニッシャに、各種敷きならし自動制御機器を取り付け施工し、特徴・精度を確認し、その適用の方向性を見極める。

#### (2) 各自動制御機器の概要

##### (a) GNSS（汎地球測位航法衛星システム）式

GNSS 式は、近年舗装工、路盤工等に適用され始めている三次元マシンコントロール技術の1つである。

重機制御のための、計測技術に GPS（アメリカ合衆

国製）及び、GRONASS（ロシア連邦製）などの人工衛星を使用している。測位方式にはリアルタイムキネマティック測位方式（RTK 測位方式）を採用し、水平位置精度±数 cm を確保している。また、高さ方向に幅を持つ回転レーザを併用することにより、高さ精度を mm 単位で設定することができる。GNSS 式のシステム概要を、図-1 に、主要諸元を表-1 に示す。

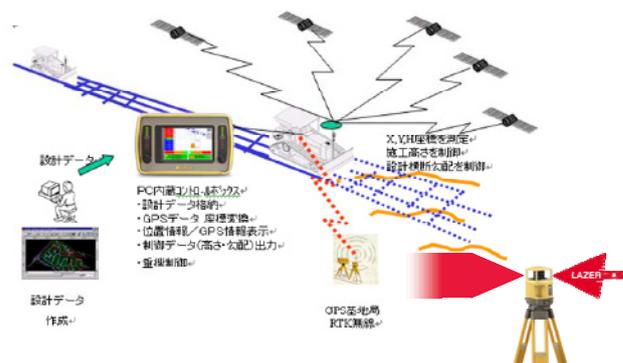


図-1 GNSS 式概要

表-1 GNSS 式主要諸元（カタログ値）

RTK 観測	受信衛星	GPS (24 衛星) アメリカ GLONASS (現在 14 衛星) ロシア
	受信衛星数	最大 20 個
	データ出力	10Hz
	水平精度	±(10mm+1.5ppm×D)m. s. e.
レ ー ザ	使用範囲	±10° (5~30m) ±5m (30~300m)
	高さ精度	分解能 1”
	回転数	600min <sup>-1</sup>
	チャンネル	4ch
	設定単位	1mm

また、GNSS 式には次のような特徴（長所・短所）

がある。

[長所]

- ① 3次元設計データに基づき、作業装置を制御。
- ② 丁張りやセンサーワイヤ不要。
- ③ 既設路面、既設構造物及び、出来型が任意の位置、リアルタイムで確認出来る。

[短所]

- ① 初期導入コストが高い。
- ② システムの設置に、1～2日必要。
- ③ システム構成の点数が多い。
- ④ 人工衛星からの電波受信のために、上空視界が必要。

GNSS 式受光器部のアスファルトフィニッシャへの取り付け状況を、写真-1に示す。



写真-1 フィニッシャへの、GNSS 式取付状況

(b) レーザスキャン式

レーザスキャン式は、3次元設計データに基づいた制御ではなく、ポールに取り付けられたレーザスキャナから、路面にパルス・レーザ・ビームが扇形（前後方向）に発射され、現況路面までの距離を測定する。測定したデータは、コントロールボックスへ送られ平均化処理することにより、小さな凸凹やうねりの影響を低減し平坦性を向上させる。

レーザスキャン式の模式図を、図-2に、主要諸元を表-2に示す。また、レーザスキャン式には次のような特徴（長所・短所）がある。

[長所]

- ① 制御機器の取り付けが容易。
- ② センサーワイヤ不要

- ③ 大きな障害物は計算から除外。

[短所]

- ① 3次元設計データによる制御ではない。
- ② レーザの乱反射等で、計測できないことがある。

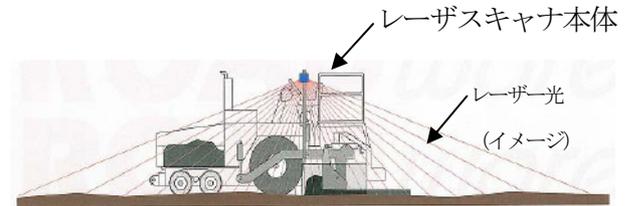


図-2 レーザスキャン式模式図

表-2 レーザスキャン式主要諸元（カタログ値）

最大スキャン角度	180°
最大測定距離	16m
角度分解能	1°
応答時間	13ms(毎秒75回スキャン)
設定単位	1mm

レーザスキャン式の、アスファルトフィニッシャへの取り付け状況を、写真-2に示す。

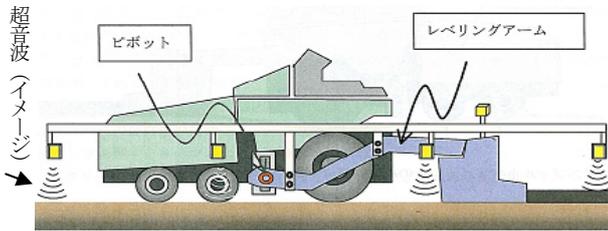


写真-2 フィニッシャへの、レーザスキャン式取付状況

(c) 超音波多連式

超音波多連式は、3次元設計データに基づいた制御ではなく、ロングビームに取り付けられた複数の超音波センサにより路面までの距離を測定する。測定したデータは、コントロールボックスへ送られ平均化処理

することにより、小さな凸凹やうねりの影響を低減し平坦性を向上させる。超音波多連式の模式図を、**図-3**に、主要諸元を**表-3**に示す。



**図-3 超音波多連式模式図**

**表-3 超音波多連式主要諸元 (カタログ値)**

検出範囲	0.4m~1.0m	
検出分解能	0.7mm	
超音波	発信音の広がり	直径 15cm at60cm 直径 25cm at90cm
	温度補正	温度センサ、温度補正金具
	反射面寸法	φ=3mm 以上
	反射面角度	± 4° 以内(鏡面) ±10° 以内(散乱面)
	制御範囲	±3cm(標準)
設定単位	1mm	

また、超音波多連式には次のような特徴 (長所・短所) がある。

**【長所】**

- ① センサーワイヤ不要

**【短所】**

- ① 3次元設計データによる制御ではない。
- ② 初期導入コストが高い。

超音波多連式の、アスファルトフィニッシャへの取り付け状況を、**写真-3**に示す。



**写真-3 フィニッシャへの、超音波多連式取付状況**

**3. 施工性能評価方法**

**(1) 工事概要**

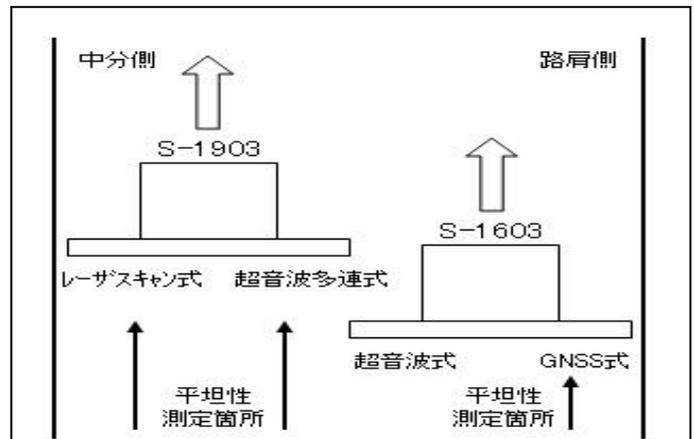
本検証は、北関東自動車道上三川舗装工事で実証した。工事概要を**表-5**に示す。

**表-5 工事概要**

工事件名	北関東自動車道上三川舗装工事
施工場所	自：栃木県河内郡上三川町 至：栃木県真岡市
発注機関	東日本高速道路 (株) 関東支社
工期	平成18年10月 5日 平成20年 3月27日
作業所名	北関東自動車道上三川舗装工事業所

**(2) 施工編制**

アスファルトフィニッシャは、独・フェーゲル社の、SUPER1603-1 及び、SUPER1903 を使用した。また、自動制御装置は、GNSS 式、レーザスキャン式、超音波多連式を使用した。施工編制を**図-4**に示す。



**図-4 施工編制**

**(3) 施工性能評価方法**

今回の施工性能評価方法は、施工前の各レーンの平坦性 (3mプロフィールメータによる方法) 測定値と、施工後の平坦性測定値を比較し、精度を評価する。施工概要を、**表-6**に示す。

**表-6 施工概要**

工種	基層工
施工延長	L=550m
施工幅員	W=11.05m
施工厚さ	t=6cm

## 4. 結果と考察

### (1) 検証施工の実施

検証施工は、本線施工時に、L=550m、W=11.05mを舗設した。施工状況を、写真-4に示す。各制御機器により舗設された路面は、良好な仕上がりであった。



写真-4 施工状況

### (2) 平坦性試験結果

翌日、マルチロード・プロファイヤ (MRP-2000) を使用し、舗設路面の平坦性測定を実施した。平坦性測定結果を、表-7に示す。

表-7 平坦性測定結果  $\sigma$  (mm)

使用機器	施工前(A)	施工後(B)	減衰率(B/A)
GNSS式	2.84	1.09	38.3%
レーザー式	1.59	0.82	51.6%
超音波多連式	1.47	0.69	46.9%

### (3) 考察

- ① GNSS式は、減衰率が高く、性能が高いように見えるが、施工前の路面が碎石による路盤であり、平坦性が他の2レーンと比較すると悪かったため、良好な減衰率が得られたと思われる。
  - ② レーザ式は、減衰率では今回最も悪かったが、平坦性測定結果 $\sigma=0.82\text{mm}$ は、基層としては良好な結果である。
  - ③ 超音波多連式は、平坦性測定結果 $\sigma=0.69\text{mm}$ で良い結果がでている。
  - ④ 今回使用した、どの自動制御機器も、良好な平坦性を確保することができた。
- 又、弊社の施工実績では、良好な路盤からの各機器

を用いた施工であれば、 $\sigma=1.00\text{mm}$ 前後が得られ、さらに層を重ねるごとに $\sigma=0.1\sim 0.3\text{mm}$ ずつ減衰し、概ね $\sigma=0.6\text{mm}$ 程度の結果が得られている。

今回の検証結果から得た、各自動制御機器の特徴比較を表-4に示す。

表-4 各自動制御機器特徴比較

	GNSS式	レーザー式	超音波多連式
施工性	○	○	△
設置労力	×	○	△
導入コスト	×	△	△
仕上り高さ	○	△	△

### (4) 今後の課題

今回使用した、どの自動制御機器も高精度であるが、次のような課題もある。

- ① 初期導入コストが高い。
- ② システムを取り扱う、専門知識を有した技術者が必要。

### (5) まとめ

各機器を用いた検証結果は、お互いに遜色ないものと判断する。各機器の選定は、現場の規模、構造、施工環境等により選択し、より良い結果を得られる方式を採用することを考えていく。

## 5. おわりに

近年、地球温暖化問題が大きく取り上げられ、情報化施工による施工効率の向上が、CO<sub>2</sub>の発生低減につながると、期待されている。また、少子高齢化による、熟練オペレータ不足の適応策としても、期待されている。しかし、情報化施工を構成する主要技術は、機械制御技術、油圧制御技術、TS・GNSSによる測量・測位技術、3次元設計データを扱う情報利用技術など、多岐にわたる。そのため、システムを取り扱う技術者の育成が急務である。弊社では、生産性の向上、高精度な施工を実現する情報化施工を、様々な現場で活用していきたいと考えている。

最後に、今回の検証施工に多大なご協力を頂いた発注者、現場担当者、(株)トプコン販売、(株)トキメック自動建機、及び(株)クマタカエンジニアリング殿に深く感謝申し上げます。

## 6. 河川工事における ICT バックホウを用いた掘削工の出来形要領・施工管理要領（北海道開発局案）について

北海道開発局 事業振興部 ○竹内 清二  
社団法人日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 篠原 雅人  
社団法人日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 竹本 憲充

### 1. はじめに

国土交通省では、「情報化施工のビジョン（平成13年3月）」<sup>1)</sup>や「国土交通分野イノベーション推進大綱（平成19年5月）」<sup>2)</sup>に示されるように、社会資本整備と管理の効率化や生産性の向上が期待でき、情報の利活用による施工の高度化が可能な情報化施工を推進している。

これを受け、北海道開発局では、河川土工における施工の高度化を目指し、平成18年度よりバックホウ掘削工の情報化施工に着目した検討を進めている。バックホウ掘削工の情報化施工とは、発注者から請負者に提供される設計図面（電子データ）に基づきバックホウを操作するシステムである。本システムを以下、「ICTバックホウ」という（ICT：Information Communication Technology・情報通信技術）。この手法では、現行手法では必要となる「丁張り」設置が原則必要なくなる（写真－1参照）。



写真－1 ICTバックホウによる施工状況

これまで、現行施工との比較検証を含む実証実験などにより、作業能力や出来形品質の向上といった導入効果や運用上の留意点等を検証し<sup>3)</sup>、

北海道開発局内に設置した「河川工事における施工の高度化に関するワーキング会議」での審議を経て、河川工事の掘削工にICTバックホウを適用するための「施工管理・出来形管理要領（北海道開発局案）」（以下、本要領と記す）を策定した。

本稿では、当局が計画するICTバックホウの試行導入に資することを目的に、本要領の規定内容とその意図を実証実験成果を交えて説明し、本格的導入に向けた課題とその解決策について考察する。

なお、本要領は、平成14年度からバックホウ掘削工の情報化施工の検討を進める中部地方整備局と連携して検討した成果である<sup>4)</sup>。

### 2. 施工管理・出来形管理要領

#### 2.1 目的

本要領は、ICTバックホウによる河川土工の施工・施工管理と、丁張りなしの施工現場に対応した出来形管理が効率的かつ正確に実施されることを目的に、各作業において管理あるいは留意すべき内容を規定したものである。本要領の対象とする作業は、準備工、掘削工、出来形管理、現地検査である。

#### 2.2 対象とするICT

本要領で対象とするICT構成を図－1に示す。

##### (1) 3次元設計データ作成ソフトウェア

3次元設計データ作成ソフトウェアは、発注者から提示された設計図書等を基に、バックホウに設置したバックホウ3次元操作支援システム（以下、「操作支援システム」と記す）に入力する3次元設計データ（基本設計データおよび現況地形デ

ータ)を作成するソフトウェアである。

本要領では、実証実験で行った3次元設計データ作成の作業内容に基づき、ソフトウェアに必要な機能を表-1のとおり規定した。

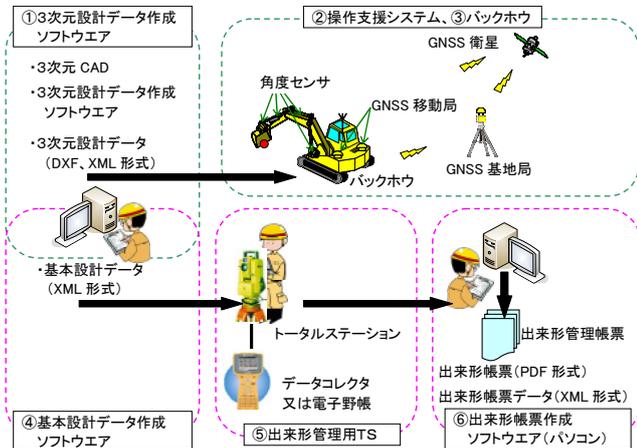


図-1 バックホウ掘削工に適用する ICT

表-1 ソフトウェアの機能要件

項目	要件
①基本設計データの読込・確認機能	座標系および設計の平面・縦断線形、横断形状を入力でき、現況地形データとの位置関係を比較表示できること
②設計面および現況地形面のデータ作成機能	入力した基本設計データおよび現況地形データを幾何要素とする TIN データを作成できること
③3次元設計データ作成機能	上記②で作成した TIN データを元に掘削エリアの3次元設計データを作成できること
④法肩・法尻ラインデータ作成機能	上記①で入力した横断形状の幾何要素をもとに、法肩・法尻・小段等のラインをポリラインデータ化ができること

## (2) バックホウ3次元操作支援システム

操作支援システムは、事前に作成した3次元設計データを用いて、①掘削工の設計、②バケット位置の良否判定が可能な設計との差分等を表示するシステムである。本システムは、測量機器メーカー、建設機械メーカー、総合建設業者の各社が開発しているが、標準的な機器構成は、図-2、表-2に示すように集約される。

本要領では3次元操作支援システムが満たすべき機能要件を表-3のとおり規定している。測量機器メーカーから提供されるシステムについてはこの規定を満足することを確認している。

## (3) バックホウ

バックホウは、操作支援システムを設置するベースマシンである。本要領では、バケット位置の計測精度確保を目的に、機械の「ガタ」の少ない、上部旋回体と作業機械装置（アーム部、ブーム部、バケット部）へのブラケット溶接が可能なもの、等に留意してバックホウを選定するよう規定している。

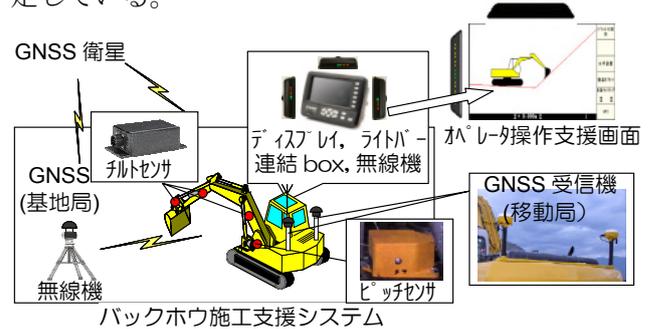


図-2 操作支援システムの機器構成図 (標準)

表-2 操作支援システムの機器構成 (標準)

機器	計測データ	台数	摘要
GNSS 受信機	本体位置 (3次元座標)	1台	堅牢タイプ(耐衝撃・防滴防塵)
	本体向き (機軸に対する回転角)	1台	
	GNSS 補正情報【基地局】	1台	標準タイプ (防滴防塵)
傾斜センサ	本体ピッチング、ローリング	1台	
変位センサ	シリンダストローク(作業機装置支点角度に変換)	3台	
傾斜センサ	作業機装置支点角度		
コントロールユニット+モータ	設計とバケット位置との差異等	1式	

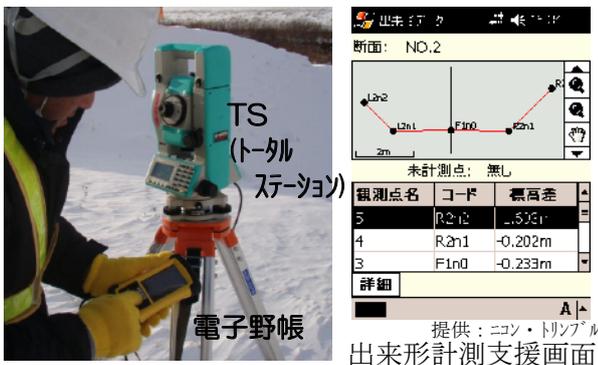
表-3 3次元操作支援システムの機能要件

項目	要件
①3次元設計データ読込機能	法尻・法肩のラインデータを読み込めること
②バケット位置演算機能	バックホウ本体位置・姿勢、バケット位置をGNSS等の出力値から演算できること
③設計データ表示機能	バックホウ本体が位置する付近の設計形状、測点、既設構造物を平面図で表示できること
④操作支援データ表示機能	次の操作支援情報をオペレータに提供できること 1) 法面法線とバックホウ掘削断面のズレ角 2) 法肩・法尻ラインとバケット位置の差 3) 設計面とバケット位置の差
⑤バケット位置データ提供機能+精度低下警告機能	バケットの3次元座標、バックホウの姿勢をオペレータに提供し、GNSSの測位精度が低下した際には警告を出せること

#### (4) 出来形管理用 TS

出来形管理用トータルステーション（以下「TS」と記す）は、設計データを搭載したソフトウェアおよび測量機器であり、現地に杭や丁張りがなくても、任意の断面や位置への誘導が可能で、取得した3次元座標を、現行の出来形管理項目（基準高、法長さ）に即座に変換・提供できる機能を有する（写真－2参照）。

本要領では、平成20年4月に国土交通省より通達され、道路土工における出来形管理の標準として認められている「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）」<sup>5)</sup>に準ずるソフトウェアおよび測量機器を使用するよう規定している。



写真－2 出来形管理用 TS

### 2.3 適用工種

本要領では、ICT バックホウを、河川工事の掘削工に適用するよう規定している。

これは、北海道における河川工事は、下記の2点により掘削工程の短縮、丁張り設置作業の軽減が求められており、情報化施工の適用が有効であると判断したためである。

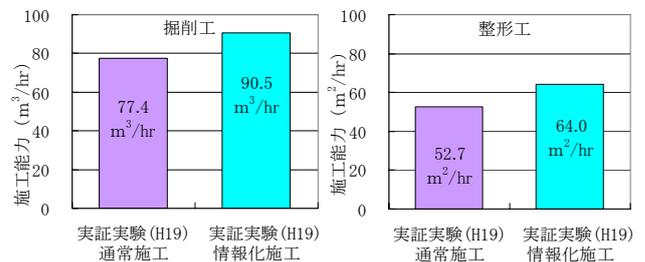
- ① 工事期間は、非出水期に限定される上、積雪地域においては降雪により制約を受ける。
- ② 河川工事は、一般に法線線形や標準断面が比較的単純で設計図面が少なく、現地とのすりあわせを考慮した設計変更が生じる場合がある。

以下に、情報化施工の適用が必要であるとの判断した実証実験成果を示す。

#### (1) 掘削工程の短縮

情報化施工による掘削・整形作業では、オペレ

ータが施工に必要とする情報を車載モニタから適宜得られるため、降車しての出来形途中確認と、これに伴う施工中断が省略でき、施工能力が向上する。実証実験で掘削・整形作業能力を比較した結果を図－3に示す。掘削・整形作業とも情報化施工は現行施工より1.2倍程度作業能力が向上した。また、掘削・整形作業のトータル作業時間については2割程度の削減が確認されたことから、河川工事において期待した工程短縮効果が得られることが確認できた。



図－3 施工能力（掘削工・法面整形工）

#### (2) 丁張り等設置時間の短縮

情報化施工では、幅杭、法線杭の設置作業が不要となるため、現行施工と比べ、準備工の現地作業時間が4割程度削減した。一方、内業時間を比較すると、杭・丁張り計算は1時間程度を要するのに対し、3次元設計データ作成は約2時間半を要し、若干作業増となった。ただし、丁張り設置時間は施工延長に比例して増加するのに対し、3次元設計データ作成時間は、施工延長が増えても作業増分はわずかであるため、実験対象現場（管理断面：6断面）以上の規模の現場ではトータルの作業時間は情報化施工で短縮されることが考えられる。以上より、丁張り省略による準備時間短縮効果が実証できた。なお、実験により、丁張りなしの施工でも現行と同等以上の出来形品質が得られることを確認している（図－4、5参照）。

### 2.4 導入時に確認すべき性能

#### (1) バケット位置精度

ICT バックホウを用いた掘削工では施工精度を保つため、バケット位置計測精度を掘削工着手前に確認する必要がある。施工精度の確保の面から

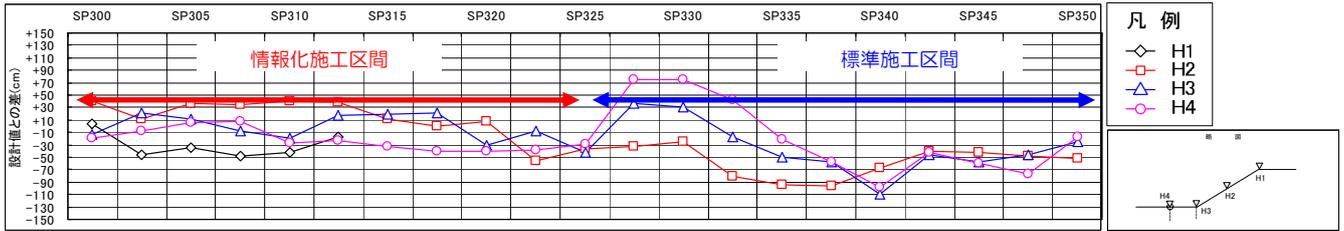


図-4 出来形の精度比較（管理断面毎の計測）

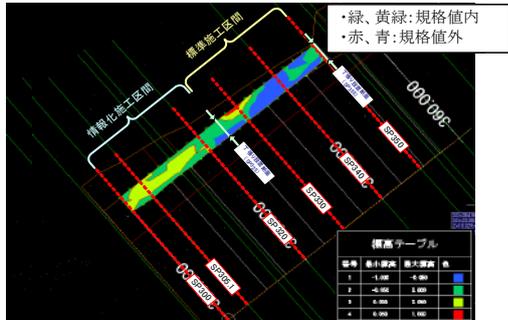


図-5 平面的な出来形精度（設計との比較差）

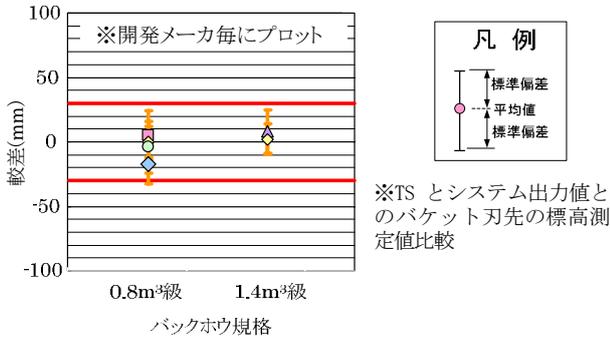


図-6 刃先位置位置計測値の比高差

表-4 バケット位置精度の確認条件

作業形態	確認条件	詳細			その他	確認数
		バケット標高位置	バケット角度	バックホウ姿勢		
床堀	バケット角度	Case1: 0m	0度	0度	5m	掘削時の主な方位を含む2方向
		Case3: 0m	60度	0度		
		Case4: 0m	0度	5度		
	バケット姿勢	Case5: 0m	0度	10度		
		Case6: 0m	0度	15度		
	試験条件数	5条件				
切土	バケット角度	Case1: 0m	0度	0度	7m	掘削時の主な方位を含む2方向
		Case2: 0m	-60度	0度		
		Case4: 0m	0度	5度		
	バケット高さ	Case7: 1m	0度	0度		
		Case8: 2m	0度	0度		
	試験条件数	5条件				
両方	試験条件数	上記 Case1~Case8 (8条件)		7m	掘削時の主な方位を含む2方向	20データ以上

※バケット距離とは、ベースマシンの旋回中心とバケット刃先との水平距離

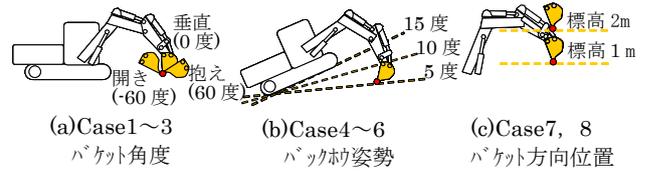


図-7 バケット位置の計測性能確認方法

最も重要な計測値は、「設計とバケット位置との標高差分」である。TS 計測による 3次元座標とバケット位置座標の標高差を実測した結果、精度管理が適切であれば、較差を概ね±30mm 以内に収めることが可能であることが確認された(図-6 参照)。そこで、本要領ではバケット位置の標高計測精度(真値との較差)を複数回計測し、計測データの7割が±30mm 以内であることを管理規格値とした。

また、掘削着手前に図-7、表-4に示す条件でバケット位置を計測し、全データの較差が±50mm 以下であることを確認することで、前述の管理規格値を満足する精度が得られることが実験により確認されたため、本要領ではこれを精度確認条件として規定した。

## (2) 基準点の精度確認

本要領では、TS および GNSS の基地局設置に用

いる基準点は、施工精度、計測精度を確保する観点から「国土交通省公共測量作業規程」の規定に準じ、監督職員から指示された4級基準点と3級水準点、もしくはこれと同程度以上の精度を確保するよう規定した。

また、基準点に大きな残差を含む場合、出来形管理用 TS の計測値と GNSS を用いる ICT バックホウの計測値(バケット位置)とに不一致が生じて、所定の出来形を満足できなくなる。実証実験では GNSS 初期設定時のローカライゼーションにより対応可能なことを確認したため、本要領では、基準点残差の確認と GNSS ローカライゼーションの必要性を規定することとした。

## (3) GNSS の通信状況確認

実証実験では、衛星の配置やマルチパスの影響で GNSS の受信状況が悪化する例が見られた。

本要領では、工事着手前の GNSS 受信状況の確認を必須事項として規定した。

## 2.5 掘削方法について

ICT バックホウによる掘削工・法面整形工では、操作中に画面を通じて様々な操作支援情報が提供される(図-8参照)。しかし画面を常時注視すると安全上問題があり、また現行施工と比べ作業効率が低下することを実験により確認した。

本要領では、切り出し位置の確認時・法面整形時の勾配確認時等、必要な時のみ操作支援情報を確認するようオペレータに指示する旨を規定した。

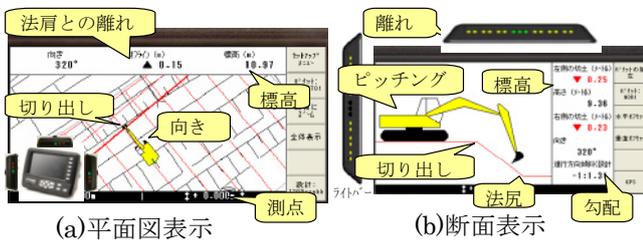


図-8 オペレータ操作支援画面

## 2.6 出来形管理

本要領では出来形計測に TS を用いることを規定したが、出来形管理基準および規格値は、現行の土木工事施工管理基準に定められたものと同様に規定した(表-5参照)。なお、出来形管理用 TS には3次元的な設計形状が入力されているため、出来形管理以外にも、施工途中段階にも活用できることも本要領に記載した。

表-5 出来形管理基準および規格値

工種	測定項目	規格値 (mm)	測定基準	測定箇所	
掘削工	基準高▽	±50	施工延長40m(測点間隔25mの場合は50m)につき1箇所、延長40m(または50m)以下のものは1施工箇所につき2箇所。基準高は掘削部の両端で測定		
	法長	L<5m			-200
	法長	L≥5m			法長-4%

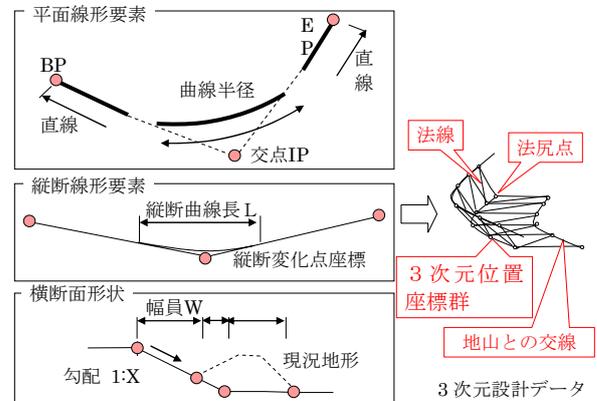
## 3. 本格的導入に向けた課題と解決策

### (1) 3次元設計データの作成

本要領にしたがった情報化施工を導入した場合、

現状ではICTバックホウと出来形管理用TSそれぞれに設計データを作成する必要があり、これが施工現場への普及を遅らせている要因の一つと考えられる。そのため、両装置で同じ設計データを併用できるよう、関係機関と連携しながら次の対応を進めている。

- 標準化が進む出来形管理 TS 用施工管理データ(図-9参照)から両装置の設計データが作成できるよう、データ交換標準のとりまとめを管轄する国土技術政策総合研究所情報化研究センター情報基盤研究室に対し、ICT バックホウの設計データとして不足する地形データ等の追加を要望し、次期バージョン以降で対応されることを確認した。
- 出来形管理 TS に入力する施工管理データから、ICT バックホウの設計データを作成できる変換ソフトウェアが必要となるため、早期開発に向け、開発会社等との意見交換を進めている。



基本設計データ  
(出来形管理用 TS に入力する設計形状)

図-9 基本設計データと3次元設計データ

### (2) ICT バックホウ掘削工のノウハウ蓄積

本要領に沿って ICT バックホウ(操作支援情報)を適切に利用することで、出来形の均一化等の効果が得られることが実証された。今後、一層本技術の導入効果を発揮するために、現場試行を進め、ICT バックホウ特有の機能を活かした施工ノウハウの蓄積や、技術的課題の抽出を行い、本要領に適宜反映することとしている。

### (3) 施工管理、監督・検査手法の最適化

本要領では、情報化施工を導入した場合においても、出来形計測項目（基準高、法長さ）および計測頻度（40mあるいは50m）は、現行の出来形管理基準と同じであり、出来形の均一化が図られる ICT バックホウの導入効果を反映していない。出来形管理用 TS は、任意位置の出来形管理を効率的に行うことができるため、本質的に確認すべき内容はずさないことに留意すれば、現行の出来形管理基準に従う必要はなく、情報化施工に対応した基準を規定することで、より一掃の施工管理、監督・検査の合理化・省力化が図られるものと考えられる。

そのためには、本要領に従って ICT バックホウを様々な施工条件に適用し、出来形の均一化が常に図られることを実証する必要があるため、今後、試行工事において検証していく計画である。

### (4) ICT 調達環境の確保

ICT バックホウが一般に普及していない現状では、調達コストがネックとなり、大規模土工でない限り、費用対効果は得ることが難しい。中小規模の工事において費用対効果を得るためには、実証実験実績に基づく費用対効果の試算によると、前述（1）に示す3次元設計データの流通確保によるデータ作成コストの低減に加えて、現状の4割程度まで調達コストを低減する必要がある。

このコスト低減を達成するためには、まずは本システムが一般に広く普及することが必要条件になる。普及促進方策としては、ICT バックホウの導入効果を、総合評価落札方式における評価項目や、工事成績評定における評価項目に関連づけることが考えられる。これにより ICT バックホウに対する請負者の導入意義が明確化するため、導入意欲が向上することが期待される。

評価項目に関連づけるためには ICT バックホウの導入による出来形品質の向上や、供用後の維持補修頻度の低下など、発注者にとってのメリットを、施工後の追跡調査等により定量的・定性的に評価する必要がある。

## 4. おわりに

本稿では、今後現場試行に資することを目的に本要領の規定内容とその意図を解説した。さらに、本格的導入に向けた課題とその解決策について考察した。

河川工事における情報化施工は、バックホウ掘削工に限るものではない。情報化施工の目指すところは、築堤工など一連の工事・工種への ICT の導入による、施工プロセスおよび建設事業全体の生産性向上である<sup>6),7)</sup>。これを実現する手始めとして、今後も継続して ICT バックホウの現場試行を進めていく予定である。

**謝辞：**実証実験の実施にあたり、ご協力いただいた工事関係者ならびに情報化施工機器メーカーの関係各位に深い感謝の意をここに表す。

## 参考文献

- 1) 情報化施工のビジョン：情報化施工促進検討委員会、2001年3月
- 2) 国土交通分野イノベーション推進大綱：国土交通省総合政策局政策課、  
<[http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha07/01/01052\\_5\\_3\\_.html](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha07/01/01052_5_3_.html)>
- 3) 河川土工における施工の高度化・情報の利活用に向けて：第33回情報利用技術シンポジウム、2008年11月（投稿中）
- 4) バックホウ掘削工への情報化施工の導入と普及に向けた検討～機械土工の ICT 施工に向けて～、建設施工と建設機械シンポジウム論文集、（社）日本建設機械化協会、平成19年度、pp.65-70、2007年10月
- 5) 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\\_.html](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha08/01/010415_2_.html)>、2008年3月
- 6) 情報化施工推進戦略：情報化施工推進会議、2008年7月、  
<[http://www.mlit.go.jp/report/press/sogol15\\_hh\\_000009.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/sogol15_hh_000009.html)>
- 7) 情報化施工を支援する施工情報管理システムに関する研究開発、2006年度土木情報利用技術講演集 Vol.31、pp65-68、2006年10月

# 7. 河川土工におけるトータルステーションを用いた出来形管理手法

国土交通省 国土技術政策総合研究所 高度情報化研究センター 情報基盤研究室  
 ○神原明宏・田中洋一・金澤文彦

## 1. はじめに

測量分野で利用されているトータルステーション（以下、TS という）は、計測点の3次元座標を即座に得られるため、測量以外の分野でも利用されつつある<sup>1) 2)</sup>。国土交通省では、TS を施工管理で利用した事例として、TS を用いた出来形管理に取り組んでいる。平成 18 年度に施工管理データを搭載したトータルステーションによる出来形管理要領（案）（道路土工編）<sup>3)</sup>（以下、道路土工要領という）を策定し、平成 19 年度より道路土工において TS を用いた出来形管理手法（以下、TS 手法という）が運用されている。また、舗装工などの他工種においても TS 手法の運用に向けて研究されている<sup>4) 5)</sup>。しかしながら、河川における工種に関しては、TS 手法の研究がなされているものの運用には至っていない<sup>6)</sup>。そのため、道路土工と同じ土工である河川土工において TS 手法における適用性を確認し、運用することを目指した。

本稿では、出来形管理における道路土工と河川土工において、河川土工における TS 手法について道路土工と比較し適用性を確認した上で、TS 手法による河川土工の試行工事を実施した。試行工事結果より、河川土工における TS 手法の利用効果及び問題点として確認し、運用を実現するための手法について報告する。

## 2. TS 手法の概要

TS 手法は、巻尺・レベルを用いた出来形管理手法（以下、従来手法という）に代わり行うものである（図-1 参照）。TS 手法は、計測点の座標を元に、高さ・幅・長さが即座に得られるため出来形管理作業の効率化などが期待できる。TS 手法は、基本設計データ作成、出来形計測、出来形帳票作

成という一連の流れを実施するためのシステム（以下、TS システムという）を構築する必要がある（図-2 参照）。そのため、道路土工における TS システムの機能要件を記載した基準を作成した。

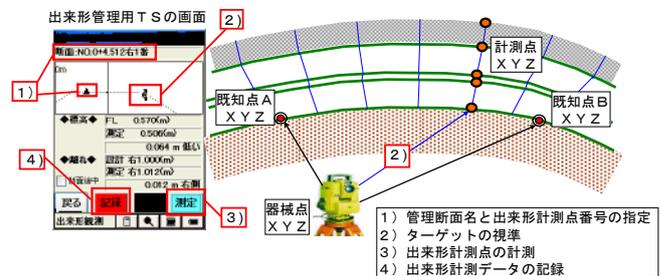


図-1 TS 手法のイメージ

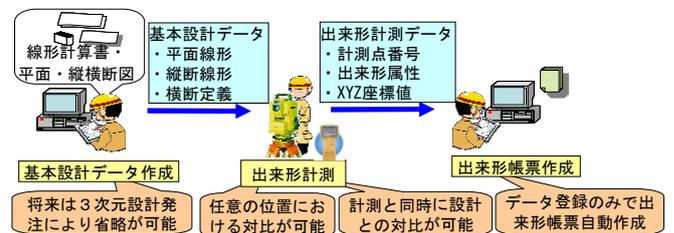


図-2 TS システムのイメージ

## 3. 河川土工における TS 手法の適用性

道路土工における TS 手法は、運用に関する基準及びシステムの基準が整備されている。道路土工における TS 手法を河川土工に適用する場合の問題点を抽出し、河川土工における TS 手法の試行工事実施方針を決定した。

### (1) 基準線形の比較

施工における基準となる線形は、道路の場合は道路中心線形であるが、河川の場合は堤防法線となる。そのため、河川土工の基準線形は、堤防法線とした。道路中心線形と堤防法線との関係を図-3 に示す。

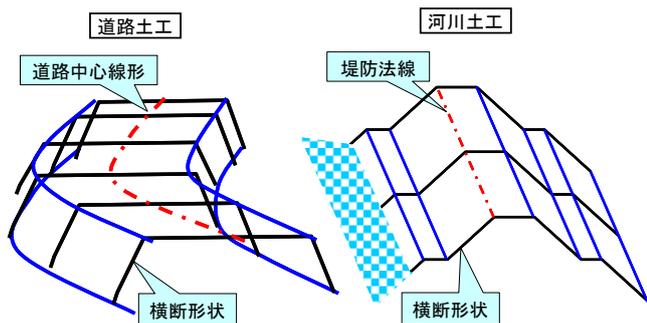


図-3 道路中心線形と堤防法線との関係

## (2) 出来形管理基準の比較

道路土工と河川土工の土木工事施工管理基準及び規格値<sup>7)</sup>を比較した。規格値の比較を表-1、出来形計測点の比較を図-4に示す。比較結果により、TSシステムは、道路土工の出来形管理基準及び規格値を満たしていれば河川土工でも対応することが可能であることを確認できた。

表-1 規格値の比較

工種	測定項目	規格値 (mm)	
道路土工	基準高▽	±50	
	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	
河川・海岸・砂防土工	基準高▽	掘削：±50 <b>盛土：-50</b>	
	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 ( <b>盛土のみ</b> )	

※太字が道路土工と河川・海岸・砂防土工とで異なる箇所

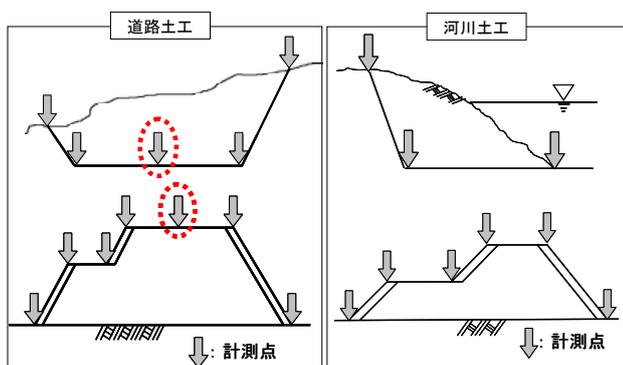


図-4 出来形計測点の比較

## (3) 試行工事実施方針

道路土工と河川土工における出来形管理手法を比較した結果、大きな違いはなく、道路土工のTSシステムを利用できると判断した。そのため、河川土工の試行工事においては、道路土工におけるTSシステムを利用することとした。

道路土工と河川土工における基準線形の違いは、道路土工要領を参考に、施工管理データを搭載したトータルステーションによる出来形管理要領（試行案）（河川土工編）（以下、河川土工要領という）を作成し記載することとした。

## 4. 試行工事実施

TS手法が河川土工においても運用可能か確認するために、河川土工要領に基づき試行工事を実施した。なお、試行工事は、作業効率などを比較するために従来手法もあわせて実施した。

### (1) 河川土工試行工事現場概要

河川土工要領に基づき、道路土工で得られた知見を基に河川土工工事を対象として、全国3現場で実施した。現場概要を表-2に示す。

表-2 試行工事現場概要

地整名	北海道	関東	九州
工期	平成19年9月20日～平成20年2月26日	平成19年10月16日～平成20年8月6日	平成19年9月25日～平成20年3月28日
掘削量	—	—	21,000 m <sup>3</sup>
掘削最大高さ	—	—	3m
盛土量	45,000 m <sup>3</sup>	67,000 m <sup>3</sup>	3,600 m <sup>3</sup>
盛土最大高さ	3m	8m	1.5m
施工総延長	3800m	550m	500m
試行実施区間	400m (9断面)	60m (3断面)	75m (4断面)
立地条件	水田地帯	市街地	山間地
備考		模擬立会	模擬検査

### (2) 試行工事実施内容

はじめに、試行工事の対象者である請負者、監

督・検査職員に、TS 手法及び TS システムに関する説明を実施した。また、請負者、監督・検査職員に対してアンケートまたはヒアリングにより、TS 手法における効果や課題を抽出した。

試行工事現場のうち、平成 19 年度に TS 手法にて検査又は模擬検査を行った北海道及び九州の試行工事現場について実施内容を述べる。

#### a) 北海道現場

北海道現場は、水田地帯における腹付け盛土による堤防整備工事である。降雪地帯であるため、積雪時に出来形管理及び検査を行うこととなった。

現場の平面図を図-5、現場計測状況を写真-1、横断図を図-6 に示す。

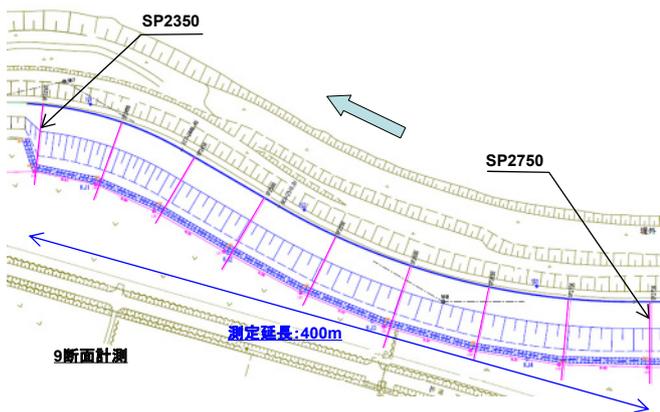


図-5 現場平面図（北海道）



写真-1 現場計測状況（北海道）

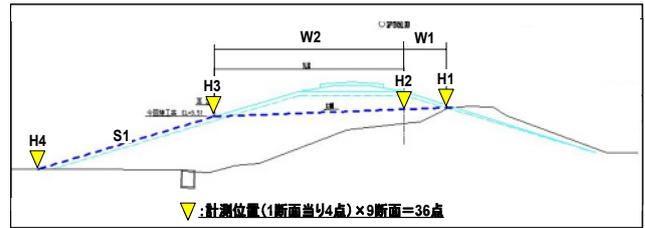


図-6 現場横断図（北海道）

本現場は、現況堤防高さ付近までの腹付盛土である。堤防法線の平面位置は完成形状である表法肩の位置で設計されていた。基本設計データ作成では、堤防法線の平面線形と縦断線形が必要となる。そのため、本現場で定義する堤防法線の平面線形位置は、完成形状である堤防法線の平面線形位置と同じとした。また、本現場で定義する堤防法線の縦断線形は、本現場で定義されている裏法肩の箇所の縦断線形から算出することとした。（図-7 参照）。

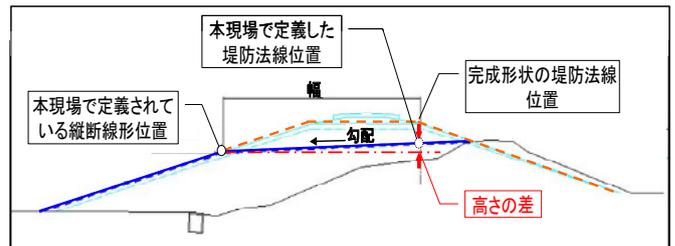


図-7 本工事での堤防法線位置

現場意見で得られた TS 手法の有効活用方法は以下のとおりであった。

- ・北海道では雪解け後の検査に、TS システムによる測点の復帰が容易にできるのではないかと。
- ・軟弱地盤の場合は、施工後の沈下量の計測が TS システムで活用できそうである。

#### b) 九州現場

九州現場は、山間地における掘削・盛土の河川整備工事である。河道を含めた河川の両岸を管理する必要があった。

現場の平面図を図-8、現場計測状況を写真-2、横断図を図-9 に示す。

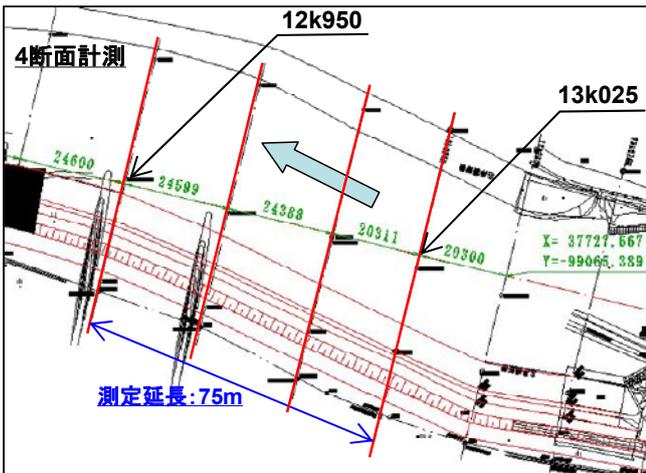


図-8 現場平面図（九州）



写真-2 現場計測状況（九州）

本現場は、河川中心付近の線形を基準に横断面図が作成されているため、堤防法線の設計が存在しなかった。そのため、基本設計データに必要な堤防法線の平面線形及び縦断線形を貸与された図面から読み取って作成した。なお、本現場は、両

岸の施工を行うが、TS手法は左岸のみ行うこととした。

現場意見で得られたTS手法を利用したの問題点は以下のとおりであった。

- ・貸与された横断面図が河川中心付近の線形を基準に作成されていた。しかしながら、TS手法を利用するため、堤防法線を定義する必要があった。
- ・堤防法線の設計がなかったため、基本設計データの作成が手間であった。

### 5. 試行工事実施結果

TS手法において出来形検査を行った北海道現場において、TS手法と従来手法との出来形計測値を整理した。図-6に示した測定箇所における、基準高、法長、幅の測定項目に対する設計値と計測値との差を図-10～図-12に示す。測定箇所については、幅については2箇所、法長が1箇所、基準高は4箇所計測しており、上記箇所においてTS手法と従来手法との両方を計測した。

幅については、W1、W2とも設計値と実測値の差が同じような傾向である。また、同一の測定箇所における設計値と実測値の差の値は、TS手法と従来手法と比較すると、規格値に対してほぼ同じ傾向であると判断できる。

法長について設計値と実測値の差の値は、TS手法と従来手法と比較すると、規格値に対してほぼ同じ傾向であると判断できる。

基準高については、H1～H4で設計値と実測値の差の傾向は異なっている。しかしながら、同一の測定箇所における設計値と実測値の差の値は、TS手法と従来手法と比較すると、規格値に対してほ

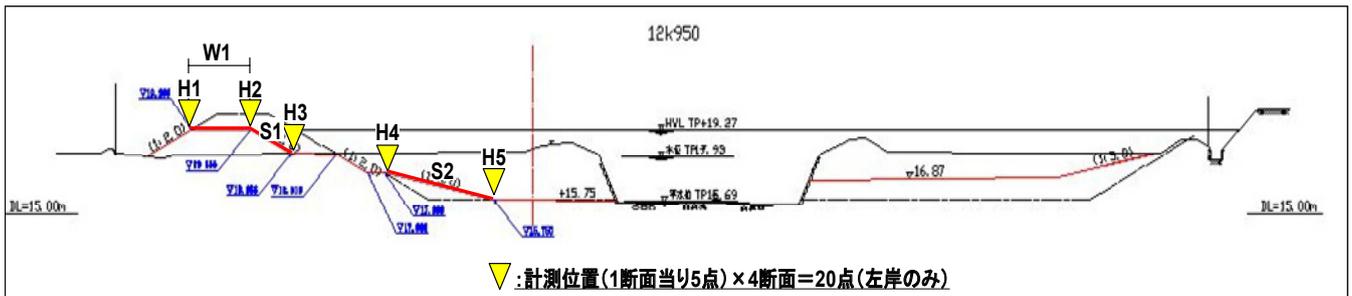


図-9 現場横断面図（九州）

ば同じ傾向であると判断できる。

以上の結果により、TS手法であっても規格値を満たしており、かつ従来手法とも比較しても出来形計測結果として同じような傾向が得られた。

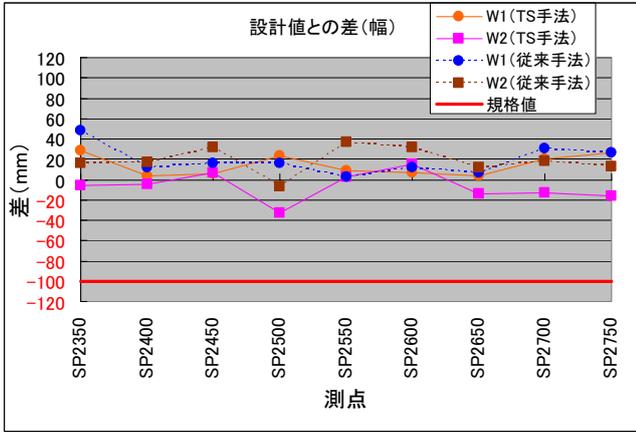


図- 10 設計値と実測値との差（幅）

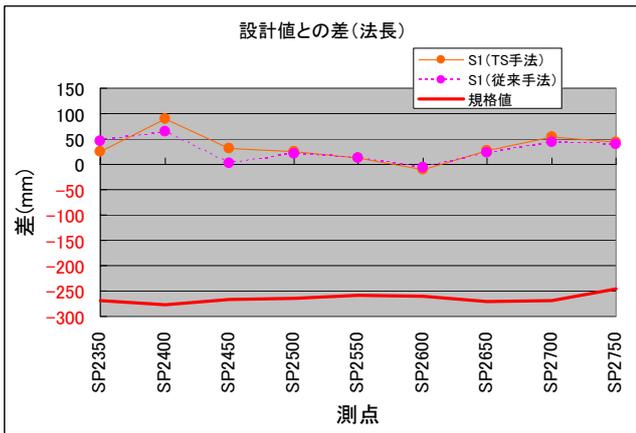


図- 11 設計値と実測値との差（法長）

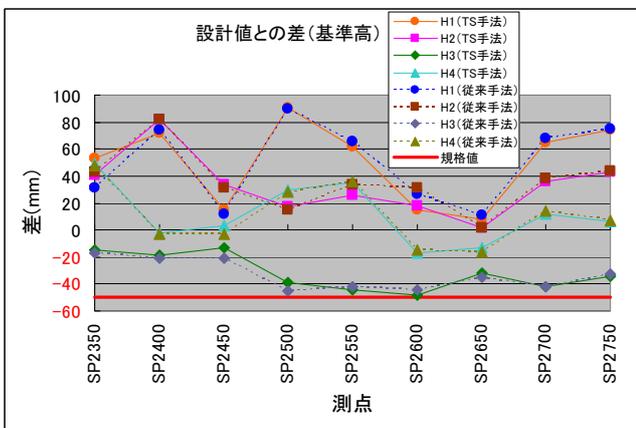


図- 12 設計値と実測値との差（基準高）

そのため、河川土工における TS 手法は現場適用が可能であることを確認できた。

さらに、試行工事でのヒアリングより以下のような意見が得られ、従来手法と比較して TS 手法による利用効果が確認できた。

- ・従来手法では3名体制で行っていた出来形管理を2名体制にできるため人員削減につながる。
- ・出来形計測データ取得から出来形帳票作成における作業が省力化される。
- ・日々の施工管理で設計値との差を確認することができるため、次段階の手配や手直しの迅速化が可能となる。
- ・任意の断面で設計値との差を容易に確認できる。
- ・積雪している場合、出来形を確認する為に除雪する必要があるが、選択した点にTSを誘導(逆打ち誘導)する機能によって目串を発見することが容易であった。

## 6. 考察

### (1) TS手法を応用した沈下量の確認

河川土工の盛土工は、軟弱地盤上で施工されることが多く、そのため沈下量の確認が重要となる。TS手法を応用することで、河川堤防の沈下量の確認に有効に活用できるものと考えられる。沈下量の確認方法イメージを図- 13 に示す。

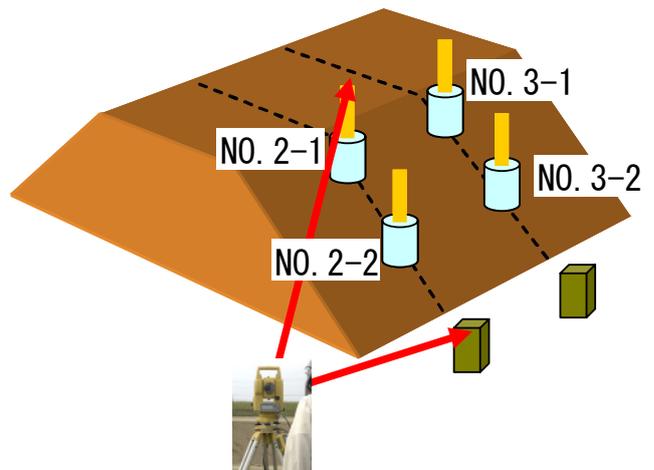


図- 13 沈下量の確認方法イメージ

### (2) 基本設計データ作成の留意事項

基本設計データの作成は、出来形計測をする断

面（管理断面という）で横断面を作成する必要がある。道路土工では、測点の昇順方向である起点から終点に向かって一定の間隔の測点毎に横断面図を作成する。河川土工では、測点の降順方向である上流から下流に向かって一定の間隔の測点毎に横断面図を作成する（図-14 参照）。そのため、河川土工においては、横断面図の基本設計データ作成に留意する必要がある。

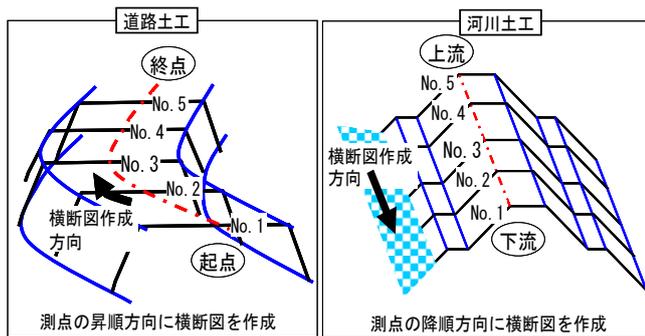


図-14 横断面図作成方向の考え方

## 7. まとめ

試行工事結果より、道路土工及び河川土工にて TS 手法が適用できることを確認した。そのため、試行工事で利用した河川土工要領及び道路土工要領を編集し、施工管理データを搭載したトータルステーションによる出来形管理要領（案）（以下、要領という）を作成し、要領は平成 20 年 4 月に公開した。TS 手法が道路土工及び河川・海岸・砂防土工を対象に運用できることとなった。

要領の作成により、TS 手法による請負者及び監督・検査職員の作業内容が明確となった。また、TS 手法による施工作業の迅速化、品質向上、監督・検査業務の迅速化が期待できる。

河川土工の TS 手法に必要となる設計データが流通する体制を整備することで、TS 手法が効率的に利用することが可能となる。まだ、河川土工に対応した TS システムは開発されていない。今後、河川土工に対応した TS システムの機能要求仕様書を作成することによって、河川土工における TS 手法が普及することを期待している。

謝辞：本研究を実施するにあたり、国土交通省建

設施工企画課及び北海道、関東、九州の各地方整備局の関係者皆様には、現場試行の実施にあたって施工現場の提供にご協力頂いた。また、(社)日本建設機械化協会施工技術総合研究所の皆様には資料作成にご協力を頂いた。ここに記して深い感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 樋口佳意，藤澤和範，藤平大，大川滋，下村博之，坂田岳生：地すべり地末端の崩壊斜面における地盤変位の計測手法の開発，日本地すべり学会誌，No. 182，pp. 385-392，2008 年 3 月。
- 2) 山口博義：新 3D カメラによる地形計測への応用，建設の施工企画，No. 680，pp. 47-52，2006 年 10 月。
- 3) 国土交通省：施工管理データを搭載したトータルステーションによる出来形管理要領（案）（道路土工編），2007 年 3 月。
- 4) 川俣 裕行，坂本 鋼三：トータルステーションを用いた舗装の出来形管理の効率化，建設の施工企画，No. 693，pp. 9-13，2007 年 11 月。
- 5) 二瓶正康，山元弘：出来形管理効率化を目的とした情報処理技術による計測技術の有効性，建設機械，No. 515，pp. 45-49，2008 年 1 月。
- 6) 柿本亮大，野間卓志，小林一郎：河川土工の出来形検査における 3 次元データ利用へ向けた実証実験，土木情報利用技術論文集，Vol. 16，pp. 253-260，2007。
- 7) 国土交通省 関東地方整備局：土木工事施工管理基準及び規格値，2007 年 4 月。

## 8. IT を活用した建設機械のサポート

### － 建設機械遠隔管理システム －

コマツ 小野 豊一

建設機械遠隔管理システムは、建設機械に装備された制御装置や通信装置を使って、機械が今どこで稼働しているか、どのように使われているか、また機械の状態はどうかなどの機械情報を提供する仕組みである。この仕組みにより、お客様の保有機械の稼働率向上や運用・維持費用の低減など、建設機械のサポートへの活用を進めている。本報は、ITを活用したサポートによるコスト削減に焦点を当てて紹介する。

#### 1. はじめに

近年における情報通信技術の発展、普及にはめざましいものがある。例えば、移動体通信技術は、軽量で小型の携帯電話を実現し、「いつ、どこでも、簡単に」コミュニケーションがとれるようになってきている。また、地球を周回する衛星を使用して、コミュニケーションやデータ伝送等を行う衛星通信だけでなく、移動体の位置測定を行うGPS等の衛星測位を実現している。さらに、ネットワークやコンピュータ応用技術によりインターネットを実現し、全世界の人々と電子メールや種々の情報交換が可能となっている。

このような情報通信技術の発展および普及は、我々の生活やビジネスにおいて、革新的な変化をもたらしている。すなわち、日常生活で外出先でも携帯電話ですぐに連絡をとりあえるし、GPSで相手の居る場所もすぐわかる。見知らぬ場所に出かけ、車を運転していても、GPSカーナビゲーションが目的地まで案内してくれるので安心である。その他、様々な利便性や向上をもたらしている。また、ビジネスでも同様に、全世界とのコミュニケーションや迅速且つ正確な情報交換が容易に行えるようになった。インターネットの急速な普及は、業務効率化だけでなく、業務プロセスやビジネス自体を変えている。そこで、建設機械業界でも、この情報通信技術を利用し、商品性能や信頼性向上だけでなく、さらに、ライフサイクルサポートへの活用に取り組んでいる。

#### 2. 従来の問題点とITの活用

建設機械業界においても、以前から情報通信技術（以下、ITと呼ぶ）を活用して、お客様の省力化や操作性向上をはかる商品性能向上に取り組んでいる。しかしながら、お客様の生産性向上や問題解決には、良い性能でかつ品質の高い商品の提供だけでは不十分であり、運用に関わるサポートの提供も要求される。

##### 1) 従来サポートの問題点

従来、建設機械のサポートには、まず機械がどこで稼働しているかを確認し、お客様に連絡をとって現場を訪問し、実際に機械を見るのが最低限必要であった。定期的な保守・点検実施に必要な稼働時間累計（以下、サービスマータと呼ぶ）も上記動作が必要で、従来はこれを十分に把握できなかった。また、建設機械には内部状態の自己診断機能があり、エンジン系や油圧系、電気系の異常を検知すると、警報を発生しオペレータに注意を喚起する。しかし、オペレータの通報がないとすぐこれを把握することができなかった。

##### 2) IT活用のねらい

前述の従来サポートの問題を解決する手段として、GPS測位、移動体通信やインターネットをベースにしたIT（車両遠隔管理技術）活用が考えられた。当初のねらいは、次の基本情報の取得である。

- ①機械の稼働位置を定期的に把握する。
- ②機械のサービスマータを定期的に把握する。
- ③機械で発生した警報を逐次把握する。

図2.1のように、遠隔で情報参照することである。

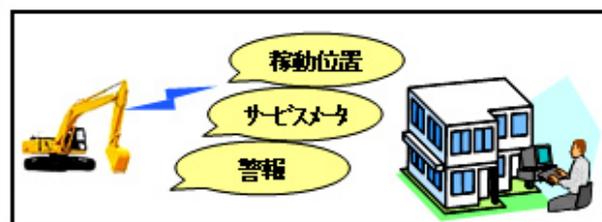


図2.1 IT活用のねらい

### 3. 建設機械遠隔管理システム

I T活用ツールとして、建設機械遠隔管理システムの構成と基本機能、提供情報について説明する。

#### 1) システムの基本構成

建設機械遠隔管理システムは、図 3.1 に示す通り、一般的に機械搭載部分、地上装置部分とこれをつなぐ通信インフラの3つで構成される。機械搭載部分は、機械内蔵の各種制御コントローラから稼働、状態情報を読み込むと共に、GPS衛星の位置情報を取得して、この機械情報を通信衛星または携帯電話回線を介して地上装置に送信する。地上装置では、この機械情報をデータサーバに蓄積し、この蓄積されたデータを内部処理した上で、インターネットなどで情報配信する。さらに、緊急対応が必要な重要情報等を検知した場合、携帯電話等にメールで通知する機能も備えている。

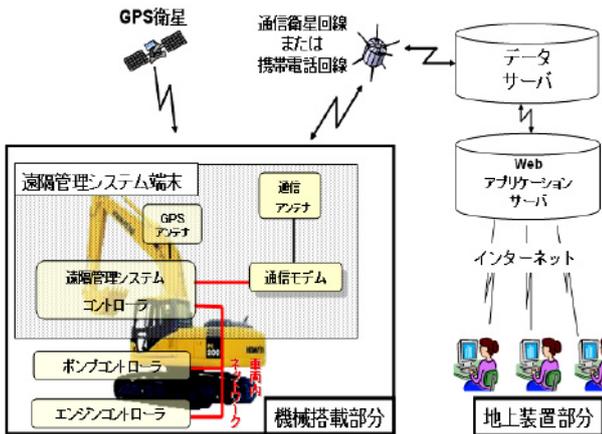


図3.1 建設機械遠隔管理システムの基本構成

#### 2) 基本的な取得・表示情報

建設機械側で取得し、Web画面上に情報配信する機械情報は、稼働状況と内部状態の2つに区分される。なお、基本的な取得・表示情報は表 4.1 の通りである。すなわち、次に示す3項目の稼働状況となる。

- ① 稼働位置 ② サービスメータ ③ 機械の稼働履歴

表4.1 基本的な取得・表示情報

取得情報	Web画面表示の例	備考
サービスメータ		毎日、累積稼働時間
車両位置		現在位置、過去移動履歴
稼働履歴		日々エンジンON/OFF時間と過去稼働履歴

#### 3) 取得・表示情報の拡張

さらに、表 4.2 に示す機械情報を拡張している。

- ④機械の警報（コーション） ⑤機械の使われ方  
⑥燃料消費関連 ⑦保守履歴、その他

表4.2 取得・表示情報の拡張

取得情報	Web画面表示の例	備考
コーション		車両メータ表示と同じ警告
作業時間	(各作業の運転時間)	作業内容の分析
使われ方、(燃料消費量)		作業負荷の把握
燃料残量、ラジエータ水温		前日の燃料残量、前日のラジエータ水温
メンテナンス状態	(メンテナンス実施状況)	履歴と次回交換時期

#### 4. I Tを活用した合理化、コスト縮減

##### 1) ライフサイクルと生産コスト

建設機械のサポートは、お客様にとって機械の選定、購入から運用、定期保守、さらに下取り、売却までの期間全体となるライフサイクルを通して必要である。図 4.1 は、お客様にとっての機械のライフサイクルでどれだけの費用がかかるか、ライフサイクルコストの目安を表している。地域や機種により差があるものの、一般的に、運用コストはイニシャルコスト（購入価）の2-3倍かかると言われている。

さらに、お客様の生産性向上をサポートするには、次次に示す生産コストを下げる支援が要望されている。

$$[\text{生産コスト (円/Ton)}] = \frac{[\text{O\&Oコスト (円/Hr)}]}{[\text{生産量 (Ton/Hr)}]}$$

O&O : Operating & Owning 保有・運用

すなわち、生産コスト低減は、いかにお客様が保有・運用コストを下げる（コスト縮減）支援ができるか、また、いかに稼働率を上げ生産量を高める（合理化）支援ができるかがサポートの鍵となる。

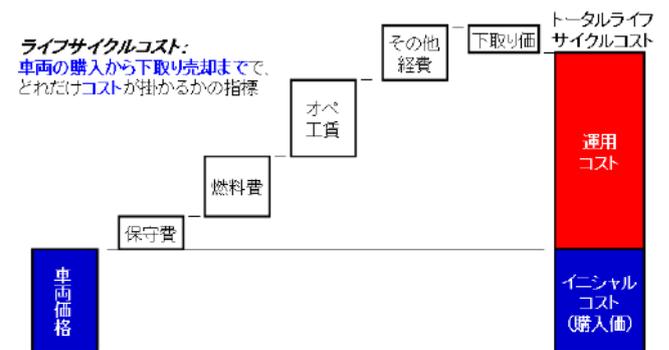


図4.1 建設機械遠隔管理システムの基本構成

前述の視点に基づき、このITを活用したサポートによる合理化、コスト縮減の方策について紹介する。

## 2) 合理化の支援

建設機械の稼働率を上げ生産量を高める合理化支援の方策として、お客様の保有機械全体のフリート管理による全体稼働率の向上と、個別機械の休車時間短縮による個別稼働率の向上がある。以下、活用例を示す。

### ①全体稼働率の向上

お客様の保有機械全体について、最新の稼働位置、サービスマータ、稼働履歴の基本情報を把握することにより、お客様にフリート管理機能を提供している。すなわち、図4.2に示すように、各保有機械が今の現場で稼働しているか、日々の稼働状況はどうかなど各現場におけるフリートの運用状態が一目でわかる。

例えば、日々各現場の機械の稼働状況をモニタしてある現場で稼働が低い機械があれば、他の忙しい現場に移動配車させることもできる。また、現場工事日程の変更や新規現場の工事計画にも、迅速な対応・立案を行い、稼働率を確保することができる。



図4.2 フリート管理による合理化

### ②個別稼働率の向上

機械の稼働率は、一般に次の式で算出、管理する。

[稼働率] =

[実稼働時間 (Hr)] / [計画作業時間 (Hr)]

ここで、実稼働時間は計画作業時間から定期保守時間や故障修理時間などの休車時間を引いたものである。そこで、いかに休車時間を短縮して実稼働時間を確保するかが、稼働率向上のためのお客様支援となる。

定期保守時間の短縮には、図4.2のフリート管理で保有機械全体の保守計画を立て、実施状況を把握管理すれば、部品手配を含めて時間短縮が可能となる。

また、故障修理時間の短縮は、図4.3に示すように、お客様の修理依頼を受けると、すぐ稼働場所を確認し、最寄りのサービスマンを急行させて迅速に修理を行う。これにより、故障修理時間の大幅な短縮も可能となる。



図4.3 個別機械の稼働率向上

## 3) コスト縮減

お客様が保有・運用コストを下げるコスト縮減支援の方策として、適時的確なサービス提供による保守費の低減、省エネ運転支援による燃料費等の低減と保有機械の管理による保険料等その他経費の低減がある。以下、これらの方策について活用例を示す。

### ①保守費の低減

機械の定期保守実施はサービスマータを基準とする。お客様の保有機械のサービスマータと保守履歴を把握することにより、適切なタイミングで的確な保守内容の実施が可能となり、結果として保守費低減になる。すなわち、図4.4に示すように、各機械の保守状況がわかり、いつどの現場のどの機械でどの保守が必要か計画を立て、効率良いサポートが可能となる。



図4.4 保守費の低減

## ②燃料費の低減

お客様の保有機械の燃料費低減のために、各機械の稼働履歴、使われ方、燃料消費関連情報を把握して、省エネ運転に関する支援情報を提供する。燃料消費増の要因は、むだなアイドリング（無作業）や過大負荷による油圧リリーフ等である。また、最近では燃料消費を抑える省エネ運転モードも設定されている。そこで、図4.5に示すように、各機械の運転でアイドリングや油圧リリーフが多くないか、省エネ運転モードを使用しているかなど、お客様が画面、レポートを参照し、オペレータに運転指導することが可能である。



図4.5 燃料費の低減

## ③その他経費の低減

お客様の保有機械は、各機械の稼働位置や稼働履歴情報により、盗難のための夜間エンジン始動や突然の機械移動等をモニタし、盗難抑制を図ることができる。そこで、図4.6に示すように、資産である機械の盗難リスクが低減され、その他費用となる保険関係も良い条件で契約が可能となる。



図4.5 その他経費の低減

## 5. まとめ

以上、本報告ではITを活用した建設機械の合理化、コスト縮減について、述べてきた。この建設機械遠隔管理システムを実施に活用する上で、お客様の要望に基づき、継続的な改善、機能向上を行っている。

今後とも、本紹介システムの建設機械のサポートへの活用について、改善と進化を目指していく。

## 9. 道路トンネル無人調査ユニットの開発

北陸技術事務所 施工調査課長 宮島 実  
 施工調査係長 ○小林 弘朗  
 施工調査係主任 畑山 啓

### 1 はじめに

新潟県中越地震では震源に近い国道17号線の和南津トンネル（延長300m）が被災し、覆工コンクリートのクラウン部で長さ約20m、幅約2m、重量約50tが剥落し、側壁は内側へ押し出され、路側排水溝が変状し、全面通行止を余儀なくされた。また、近くを通る県道も被災したことから交通網が寸断され、災害の復旧・支援に大きな障害となった（写真-1）。



写真-1 コンクリートの剥落

トンネル被害の早期復旧のためには、被災状況を速やかに把握し、適確な復旧活動を実施する必要があります。しかし、本震後にも大きな余震が多発する場合には、更に崩落・崩壊の危険性が高まり、入坑調査は二次災害の恐れがあるため、余震が落ち着くまでは調査に入らず、迅速な被災状況把握や災害復旧活動が困難な状況となる。

本開発は、被災後に二次災害の危険のあるトンネルにおいて、無人で坑内の状況を確認できる映像情報の収集を可能とする装置を開発し、安全で迅速な復旧活動の支援に資することを目的として取り組んだものである。

### 2 開発機が装備すべき機能の調査

道路トンネル無人調査ユニット（以下「本ユニット」という）の開発に当たり、本ユニットが装備すべき機能の抽出を目的として、和南津トンネルの被災後の初動点検から復旧工事までの点検及び調査に関して道路管理者、施工業者にヒヤリング調査を実施した。

2004年10月23日（土）17：56の地震発生後の余震（震度5弱以上）の発生状況は表-1のとおり。また、復旧工事着手に至るまでの点検及び調査の実施者と目的については表-2のとおりである。

表-1 余震発生回数

	7	6強	6弱	5強	5弱
10月23日	1	2	1	4	3
10月24日				1	
10月25日				1	1
10月27日			1		
11月4日				1	
11月8日				1	
11月10日					1
12月28日					1

表-2 地震発生後の点検及び調査

点検調査	10月											11月		実施者	目的		
	23 土	24 日	25 月	26 火	27 水	28 木	29 金	30 土	31 日	1 日	2 日	火					
被災	●															(17:56 地震発生)	
パトロール	◎															道路管理者	通行可否の判断 被災状況の把握
第1回調査			◎													道路管理者 専門家 (土木研究所)	被災状況把握 復旧可能か否かの判断 大まかな復旧工法の選定
第2回調査				◎												施工業者	被災範囲と重度の把握 復旧箇所と範囲の設定 復旧工法の選定
第3回調査					◎											施工業者	工事数量の把握 工法の適正性確認
復旧工事																	(11/2:片側交互通行開始) (11/26:2車線開通)

#### 1) パトロール

〔目的〕 通行可否の判断、被災状況の把握。

〔実施内容〕 目視確認、写真撮影。

※地震発生の当日は、被災した和南津トンネルには

19:30に到着し、入坑による目視での被災状況の確認を試みたが余震が続いたため入坑を断念した。そのため、トンネル坑外より目視確認のみ実施した。

## 2) 第1回調査

〔目的〕 被災状況の把握、復旧可能か否かの判断、大まかな復旧工法の選定。

〔実施内容〕 目視確認、写真撮影。

※地震発生の当日、翌日と入坑出来ず、この調査で初めて入坑し、被災状況の把握、復旧可能か否かの判断、大まかな復旧工法の選定を行うための目視判断、映像情報の収集を行った。

## 3) 第2回調査

〔目的〕 被災範囲と重度の把握、復旧位置と範囲の設定、復旧工法の選定。

〔実施内容〕 写真撮影、被災位置と範囲の作図。

※復旧工事の位置と範囲の設定、工法選定の判断材料となる映像情報の収集を行った。また、この調査結果を基に復旧工事に着手した。

## 4) 第3回調査

〔目的〕 工事数量の把握、復旧工法の妥当性確認。

〔実施内容〕 被災箇所の寸法把握、亀裂の詳細調査、打音検査、背面目視確認

※復旧工事と並行して、選定した工法が適切に実施できるかを判断するために、寸法計測や打音検査、覆工背面目視確認等を実施した。

## 3 装備すべき機能の抽出

調査の結果より、復旧工法の検討を行うためには最低限第2回調査の内容が必要と判断した。

第2回調査で実施した「写真撮影、被災位置と範囲の作図」であれば動画撮影など既存技術を使い比較的容易に無人化が可能であり、また、「写真撮影」など映像情報取得が可能となれば専門家による「復旧可能か否かの判断、大まかな復旧工法の選定」が行え、更に映像情報を活用した展開写真を作成することで「被災範囲と重度の把握、復旧位置と範囲の設定、復旧工法の選定」が可能となり、復旧工事に着手できるため、本ユニットが装備すべき機能は映像情報取得までとした。

なお、装備すべき機能を満たす機器は、全て既存技術より選定し、技術が陳腐化した場合はその機器だけ

を入れ替えられるようユニット化する構造とした。

各機能と選定した既存技術は以下のとおり。

### 1) 無人走行機能（台車ユニット）

無人での映像情報取得には、遠隔操縦式走行台車に映像情報取得機器を搭載しなければならないが、災害時における迅速な手配、搬入路が被災した場合の輸送の容易性を考慮し、ヘリコプターや道路巡回用パトロールカーに積載可能なサイズで市販されている小型遠隔操縦ロボットを台車として採用。

### 2) 遠隔操縦機能（通信ユニット）

遠隔操縦の方式は、見通しが効く範囲であれば落下物等に操作ケーブルを絡ませる危険が無い無線LAN（2.4GHz帯）を使った無線操縦と、見通しが効かない範囲での確実なデータ送受信が行える光ファイバーケーブル（φ2.5mm）による有線操縦の2系統を装備。

### 3) 映像情報取得機能（撮影ユニット）

映像情報の取得は動画とし、トンネル内全景の様子を見るカメラと、壁面（アーチ、側壁）のひび割れや剥離などの状況と範囲を見るカメラの2種類を装備することとし、カメラはバッテリーと記憶媒体を個別に装備しているデジタルハイビジョンハンディカム（200万画素）を搭載。

### 4) 照明機能（照明ユニット）

災害で照明がダウンした場合でも撮影が可能ないように照明にHIDランプ（4300K）を装備。

### 5) 位置把握機能（位置計測ユニット）

トンネル内における映像情報取得の位置を把握するため、距離を測るロータリーエンコーダーと方角を計る磁気方位計を装備。

## 4 道路トンネル無人調査ユニットの概要

本ユニットは、トンネル坑内の全景及び壁面の映像情報をリアルタイムに基地局に伝送する「移動局」（写真-2参照）と、坑口付近において移動局の操作と伝送された映像を表示し記録する「基地局」からなり、基地局は、移動局の操作、トンネル内全景の映像の表示と記録、壁面映像の記録を行う「移動局コントローラ」、壁面の映像を表示する「壁面調査モニタ」、無線操縦用のアンテナで構成される（写真-3参照）。

移動局、基地局の様子は表-3、表-4のとおり。



写真-2 移動局



写真-3 基地局

表-3 移動局の仕様

<b>【台車ユニット】</b>
寸法 L975mm×H680mm×W500mm
バッテリー リチウムイオン電池(2時間)
走行速度 計測時0.96km/h、帰還時1.2km/h
<b>【通信ユニット】</b>
[光ファイバーケーブル] L=300m、φ2.5mm
[無線] 2.4GHz帯、コーリニア型アンテナ×2本
<b>【撮影ユニット】</b>
デジタルハイビジョンカメラ 200万画素
[走行用(全景)×1台] [壁面調査用×4台]
記録容量 8GB(メモリースティック)
記録時間 2時間55分
<b>【照明ユニット】</b>
HIDランプ(メタルハライド 4300K)
[走行用×1灯] [壁面調査用×2灯]

表-4 基地局の仕様

<b>【移送局コントローラ】</b>
外形寸法 L464mm×H442mm×W477mm
バッテリー リチウムイオン電池(2時間)
モニタ 12.1インチ(80万ドット)
記録容量 160GB(ハードディスク)
記録時間 約40時間
[無線] 2.4GHz帯、パッチ型4素子アンテナ×1本
<b>【壁面調査用モニタ】</b>
外形寸法 L350mm×H165mm×W450mm
モニタ 12.1インチ(80万ドット)

## 5 道路トンネル無人調査ユニットとしての機能

主な機能は以下のとおり。

- ・トンネル内全景と壁面(アーチ、側壁)の状況がリアルタイムに確認でき、映像の録画が可能
- ・遠隔操作は、無線で500m(見通しが効く範囲に有効)、有線で300m(見通しが効かない範囲に有効)での操作が可能
- ・操作可能延長は500m、両坑口からの入坑で延長1kmのトンネル調査が可能(北陸地方整備局管内のトンネルの9割をカバーできる)
- ・走行速度は約1km/h、稼働限界は2時間(片道500mの往復を2回分)
- ・走行走破性は段差10cm程度
- ・防水性能は、降雨程度の中で使用可能
- ・動画映像から展開写真の作成が可能(別途発注)

## 6 展開写真作成

冬期閉鎖トンネルにおいて取得した壁面調査用カメラの映像データ(50m分)を使い、2社のデータ解析会社へ展開写真作成を依頼した(写真-4、写真-5参照)。

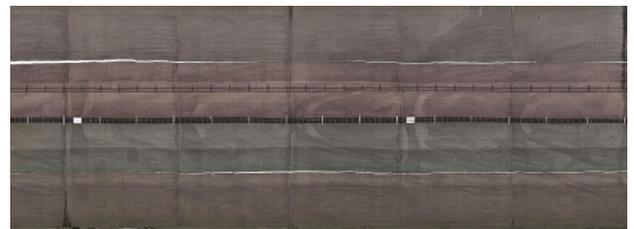


写真-4 A社の展開図

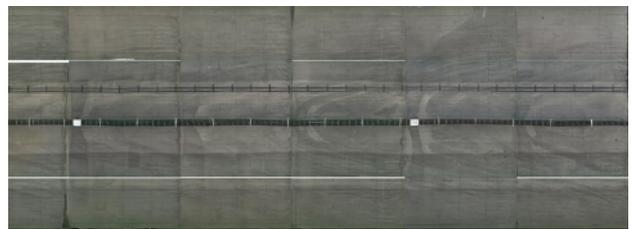


写真-5 B社の展開図

データ送付後の展開写真作成に要した時間は、A社がデータ変換1日+展開写真作成15時間、B社がデータ変換1日+展開写真作成8時間であったが、展開写真作成用の連続静止画作成ソフトに合った動画記録形式のカメラを使うことで、データ変換時間は省くことができる。

作成の結果、トンネルの壁面が綺麗であったこともあるが、コンクリートの打ち継ぎ目が判別できる展開写真が出来上がり、被災後の覆工コンクリートの状況も判別できると判断した。

トンネル1km分の映像情報から展開写真作成を想定した場合、壁面調査用カメラ1台のデータ量は約4GB（4台分で約16GB）になるため、インターネットでのデータ送信は不可能である。また、何らかの記憶媒体による郵送では1日か2日を要してしまう。よって、最短での展開写真作成を行う必要がある場合には、本ユニットの出動が決定した時点で、データ解析会社に出向いてもらうなどの事前準備が必要となる。

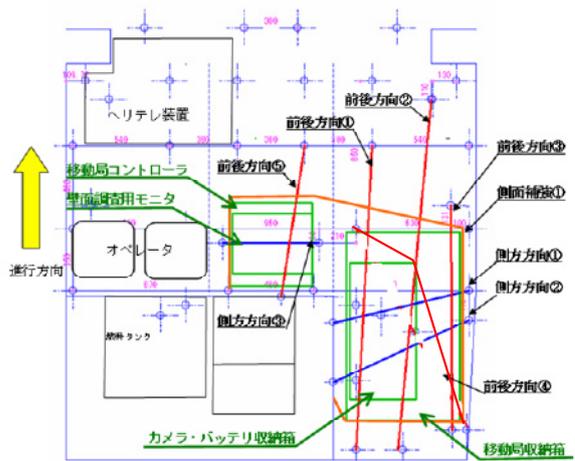


図-1 積載位置と固縛リング位置

### 7 ヘリコプターとパトロールカーへの積載の検証

北陸技術事務所から全国各地への迅速な輸送を考慮して、北陸地方整備局で保有するヘリコプター「ほくりく号」の搭乗スペースに格納できるか検証を行った。検証は床の積載物固定用の固縛用リング位置、積載方法、固縛方法、固縛ベルト本数の検討を行い問題ないことを確認した（写真-6、図-1参照）。

また、道路巡回に使用しているパトロールカーへの積載の検証も行い問題がないことを確認した（写真-7参照）。



写真-7 ユニットの積載状況



写真-6 ユニットの固縛状況

### 8 まとめ

災害時における初動調査に活用できる仕様での試作機は完成したが、今後、共同溝や導水路などトンネル以外の現場において適応性試験を実施し、使い勝手や機能面での不具合を抽出し必要な改造を行い、被災した施設の緊急点検・調査に使用できる機械としての完成度を高める予定である。また、本ユニットは、今後、災害対策用機械としての位置付けを計画して行くことから、出動要請、輸送、点検方法、展開写真作成などの運用のとりまとめも行う予定である。

## 10. 土砂災害現場における地形計測

株式会社フジタ 土木本部 ○三鬼尚臣  
株式会社フジタ 九州支店 池内俊裕

### 1. はじめに

雲仙復興事務所は平成5年以降、復興基本計画に基づき水無川流域の砂防施設の整備事業を進め、平成20年となる現在では、下流域の危険性は大きく改善されてきた。しかし、水無川水系の上流域では、未だ土石流が発生し、地震による溶岩ドーム崩落等の危険性にも警戒が必要である。

国土交通省では、このような危険を伴う区域（以下警戒区域という）での砂防事業を対象とし、平成6年度より遠隔操作重機による「無人化施工」を導入してきた。普賢岳における無人化施工は、警戒区域内での砂防事業に適用される一方で、今後の緊急災害への対応を視野に入れ、様々な新技術への取組を行う試験フィールドとしての役割も担っている。

単純な土工事から始まった無人化施工は、現在では遠隔計測技術と情報化施工技術の発達に伴い、より複雑な遠隔施工が可能になった。

このような計測技術の発達によって、取り扱うデータは旧来の2Dデータでは不十分となり、3Dデータによる施工管理が求められつつある。設計データの3D化はCADソフト等の発達によって、比較的容易に取り扱えるようになった。丁張りレス施工など施工者にとって与えるメリットも大きいため3D化への抵抗は小さい。しかし、現況地形データの3D化は計測範囲、計測精度、計測手法、コストの面で複雑な問題を解決する必要があるため、積極的に3D化されたデータを利用した事例は少ない。

本工事では、雲仙復興事務所の協力の下、有人ヘリコプターおよびラジコンヘリコプターを使った航空レーザー測量を実施し、地形形状の3Dデータ化と精度検証を行った。本稿では3D化された地形データを基に情報化施工技術の適用事例を紹介し、今後の災害復旧工事の施工モデルについて述べる。



図一 平成新山と水無川流域の砂防施設

## 2. 危険区域における現況地形測量

着工前測量による現況地形データは設計図書との差異を検証すると共に土工量の確定や仮設工の計画など工事全体を計画するための重要な情報である。特に緊急災害現場においては被害規模を早期にかつ定量的に把握することが迅速な復旧工事への第一歩であると考えられる。しかし、既存の遠隔測量技術を利用して従来通りの着工前測量を行う場合、以下に示す2つの問題点が挙げられる。



図-2 無人測量システム

### 1) 接触方式による測量方法の限界

無人測量システムとは自動追尾式トータルステーション（以下TS）やGPSによるワンマン測量技術を利用し、本来人が手にしていたミラーやGPSをラジコン重機に搭載したものである。微小位置決め機構などを付加させて、作業効率を向上させる改善がなされてきた（図-2 無人測量システム）。

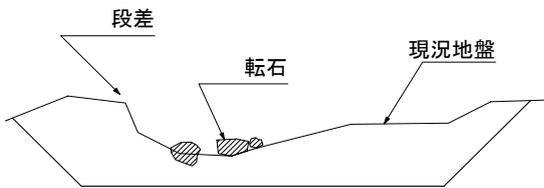
無人測量システムを利用する場合、測量重機の移動や測定時の安定性を確保するため、事前に粗整地を行わなければならない。火山堆積物が長年の風雨によってガリ侵食し、切り立った地形になっている場合や、巨礫や流木が多数点在しているような場所では大掛かりな事前整地作業が必要となる（図-3 着工前測量フロー図）。

地震や大雨による地すべり災害現場においても急峻で足場崩壊の危険性が常につきまとうことから同様の問題が発生すると考えられる。

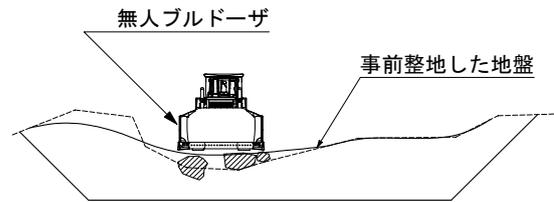
### 2) 縦横断測量の柔軟性と課題

従来の縦横断図表現は3次元情報を手軽に表現でき、測量の作業性と表現性の面で非常に合理的な表現方法である。しかし、災害現場などの緊急性と危険性回避の両方が求められる場合、従来の測量方法では時間的な制約が大きな弊害となって発生する。

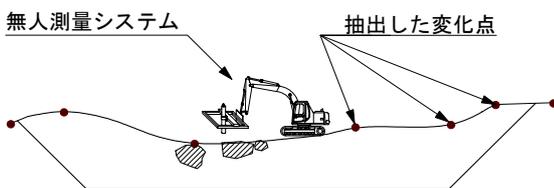
#### ①現況地盤



#### ②大型ラジコン重機による事前整地



#### ④無人測量システムによる計測とマーキング



#### ③GPS計測による変化点の抽出

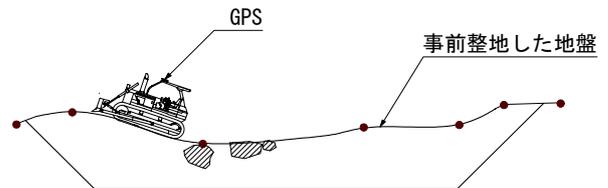


図-3 無人測量システムによる着工前測量フロー図

工事の途中段階で計画が変更された場合、通常はその都度変更された線形に対する縦横断測量を実施する必要がある。また、工事範囲が広がるほど測量作業に要する時間が膨大になるため、緊急性と測量成果の品質の両立が困難となってくる。

つまり緊急災害工事においては任意の線形に対して、縦断図・横断図をすばやく抽出できることが重要となる。

### 3) 航空測量と3D処理による解決策

上空の飛行体からノンプリ計測を行うことで地形形状をスキャンし、取得した3Dデータをすばやく柔軟に処理することで、上記2つの問題を解決できる。また、緊急災害工事以外にも情報化施工に取り組む上で大きなメリットをもたらす技術と考え、航空レーザー測量による地形形状の3Dデータ化を実施することとした。

### 3. 航空レーザー測量と測定精度の検証

ノンプリレーザーによる遠隔地からの非接触計測として、航空レーザー測量と地上レーザー測量の2つに大別できる。本工事においては計測範囲の大きさおよび今後の災害復旧現場への適用性を考慮して航空レーザー測量を選択した。航空レーザー測量システムは、飛行体の姿勢や向きを検出する「モーションセンサー」とGPSによる絶対位置測定システムおよび毎秒数8千点以上の座標データを計測できるレーザーสキャナを組み合わせた3次元計測システムである。スキャナヘッドを高速で回転させることで平地だけではなく、急傾斜地や断崖等の形状を精度良く計測することが可能である。

#### 1) 作業要領

測定箇所：長崎県南島原市深江町～島原市  
測定範囲：約180,000m<sup>2</sup>  
測定ピッチ：30cmメッシュ以下の分解能  
測定精度：±50mm以内  
測定者：デベロソリューションズ(株)

有人ヘリコプターに3Dレーザースキャナを搭載し、対地高度150mの上空から測定を行う。測定範囲に計測漏れのないようナビゲーションシステムで飛行軌跡を記録する。以下に飛行・計測緒元計画と3Dレーザースキャナのスペックを示す。

対地高度：500ft (152m)  
対地速度：20～40kt (37～74km/h)  
スキャン角：80deg  
ビーム径：0.25mrad  
測距精度：±10mm  
パルスレート：8333点/秒

#### 2) 測定精度の検証

測定範囲の付近(安全区域)に精度検証用の測定モデルを2箇所設置し、航空レーザー測量によって計測した座標データと従来の光波測量の結果を比較する。図-4に検証用測定モデルの外観と図-5に計測データの3D分布図を示す。



図-4 精度検証用の測定モデル

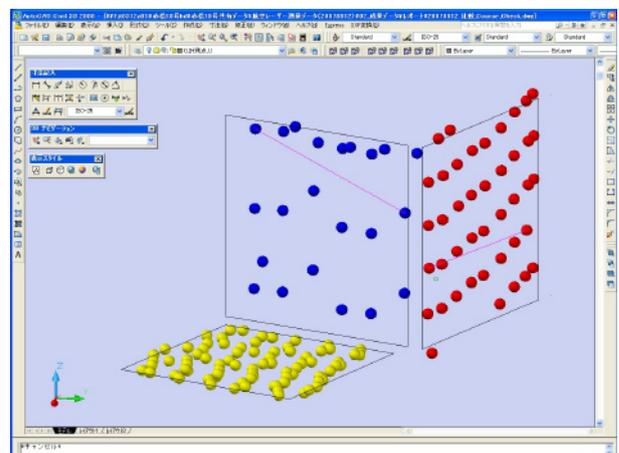


図-5 計測データの3D分布図

検証の結果±50mm以内の精度で計測できていることが確認できた。図-5の分布モデルのようにAutoCAD上に従来測量の結果を基に基準平面を描きその上に航空レーザー測量の点群データを重ね合わせると、誤差の分布状況が容易に確認できる。

#### 4) 測定データの運用

採取した地形データは30cm間隔の点群データである。専用の解析ソフト(EVE)を使ってTINデータを生成し、設計図書に示された河川中心線や構造物の中心線を基に縦横断の断面図を作成する。土量の算定方法は従来の平均断面法で行い、設計土量との差異を協議した。航空レーザー測量による測量精度の信頼性が認められ、このデータを基に工事土量の変更・確定が認められた。

地形形状を3次元情報として認識することで、中心線の路線変更や横断ピッチの変更があった場合でも縦横断図の再作成に柔軟に対応できる。さらに工事用道路や転流仮締切りの切り回しにおいて土量バランスを考慮しながら路線変更を検討したい場合などにも利用できる。

#### 5) ラジコンヘリコプターとの比較

産業用ラジコンヘリを用いた場合の測量についても検証を行った。有人ヘリとの大きな相違点は、飛行高度が150m以下、プログラミング飛行を使用してあらかじめ指示されたコースをトレース飛行する点である。使用した機体はYAMAHA製の自立航行型無人ヘリ「RMAX-G1」、以下にその特徴を示す。

- 対地高度：500ft (152m) 以下
- 対地速度：10km/h
- スキャン角：90deg
- ビーム径：3.0mrad
- 測距精度：±25mm
- パルスレート：12,000点/秒

対地高度を低くし、移動速度を遅くすることで緻密なデータを採取できる。ビーム径が大きいため測距精度が落ちるがデータの緻密さでカバーできるのではないかと考えた。

図-6にRMAX-G1を図-7に自立航行時の操縦画面を示す。



図-6 自立航行型無人ヘリRMAX-G1



図-7 自立航行時の操縦画面

検証結果は高さ方向の誤差で±50mm以内を満足できたが、水平方向では±50mmを若干オーバーしてしまっただけでなく、ビーム光径の大きさが測距精度に大きく影響するためと考えられる(図-8)。また、鉛直方向の誤差についてはRTKGPSの測位誤差に依存するところが大きいと考える。

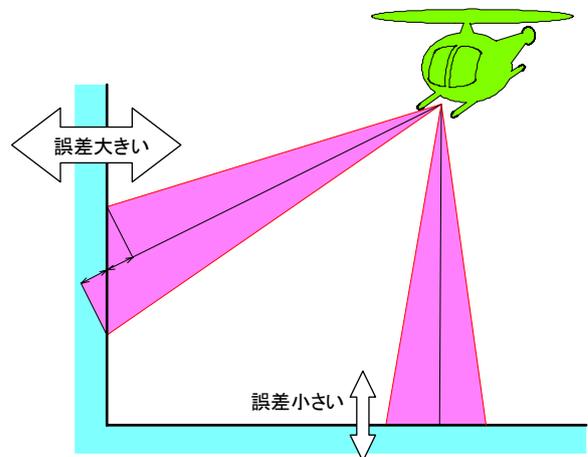


図-8 ビーム光径の影響

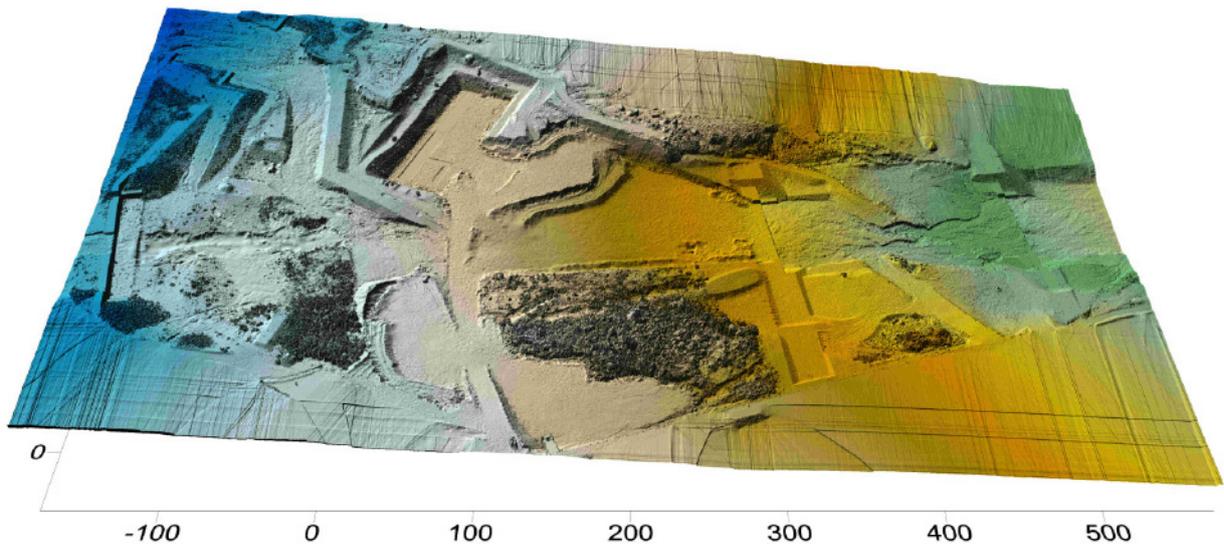


図-9 現場全景T I Nデータ

#### 4. 情報化施工の取り組み

情報化施工技術を用いた施工管理の合理化手法として、道路土工を対象に出来型管理要領(以下「T S要領」)が公開され、平成19年度から運用が開始された。平成20年度からは適用範囲を広げ、河川土工の出来型管理についても運用が予定されている。無人化施工においては、はやくから重機の位置情報取得に関する技術開発に取り組んできた。今回の赤松10号床固工工事では表-1に示す4つの重機にI Tシステムを搭載している。特にバックホウのガイダンスシステムは施工の途中段階で法面掘削や計画河床勾配をリアルタイムで把握できるため、土砂の取り過ぎや取り残しを施工と同時に確認することができる。

さらに今回は着工前の地形情報を3Dデータ化することで非常に大きなメリットが得ることができた。施工の初期段階では、工事用道路や転流工などの仮設物を考慮しながら本体掘削の切り出しラインを容易に把握できる。切盛り土量バランスを考

慮しながら仮設線形の変更検討も容易に行える。工事エリアにアプローチするための伐採範囲についても丁張りレスで施工に着手することができる。

今回の航空レーザー測量は従来の無人測量とは異なり、カメラ映像設備や操作室準備と平行作業で測量を実施することができる。計測範囲の大きさに依存するが、1~2ヶ月単位で早期に無人化施工に着手することが可能になると考える。

無人化施工においては従来のような測量作業が容易にできないことから情報化施工の導入に抵抗感は少ない。しかし、工事の規模によっては地形データの3D化までを一施工業者が現場毎に行うのはコスト的に過大な負担となる。事業全体のスケールメリットを考慮しながら、工事の設計から施工、完成検査、維持管理にまで一貫した3Dデータの活用が望まれる。3D化のメリットを最大限に享受できる仕組み作りと技術開発に取り組む必要がある。図-11に今回使用したニコントリプル製のバックホウガイダンスシステムを示す。

表-1 情報化施工システム搭載重機の導入実績

重機	規格	搭載システム	用途
バックホウ	4.0m <sup>3</sup>	G P Sガイダンスシステム	掘削・積込作業
バックホウ	1.2m <sup>3</sup>	G P Sガイダンスシステム	掘削・整形作業
ブルドーザ	16t級	G P S敷き均し管理システム	コンクリートの敷き均し作業
		T S排土板管理システム	
振動ローラ	11t級	G P S転圧回数管理システム	コンクリートの転圧作業

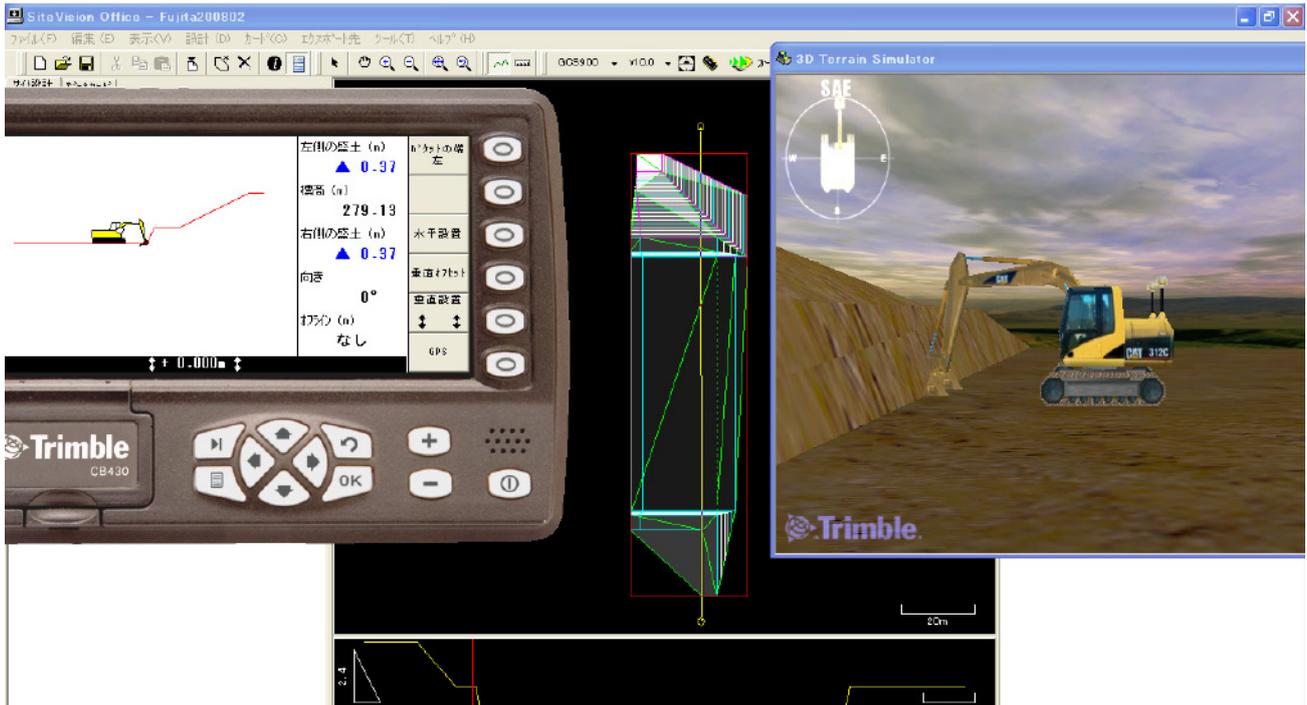


図-10 バックホウガイダンスシステム

## 5. おわりに

平成 20 年 6 月 14 日に発生した岩手・宮城内陸地震において国土交通省では 6 月 16 日に緊急災害対策派遣隊（TEC-FORCE）を現地に派遣し、翌 17 日には河道閉塞（天然ダム）箇所における直轄砂防災害関連緊急事業の実施を決定、3 箇所での河道掘削、護岸工事に着手した。国土交通省 HP（<http://www.mlit.go.jp/river/saigai/200806iwate-miyagi/index.html>）上で航空レーザー計測の活用事例（河道閉塞状況の把握）が公開され、被災箇所の早期把握と工事規模や仮排水路の検討に役立てられた事例が紹介されている。GIS（Geographic Information Sys）上にハザードマップを設ける等、緊急工事に活用するためには、流域を定期的に 3D 計測し、データを共有していく仕組み作りが必要になると考えられる。

今回は評価モデルの計測を同時に行って精度の検証を実施したが、計測メッシュの分解能や許容精度に関しては更に多くの事例を基に標準化を図る必要がある。評価モデルの形状についても検証の余地がある。幅広い工事分野で 3D 情報化施工による合理化が進むことを期待したい。

## 筆者紹介



三鬼 尚臣  
（みき ひさおみ）  
株式会社フジタ  
土木本部 機械部



池内 俊裕  
（いけうち としひろ）  
株式会社フジタ  
九州支店 土木部

## <参考文献>

- 1) 田中洋一：トータルステーションを用いた出来型管理要領（道路土工）の紹介、建設の施工企画 '07.11
- 2) 事業の全段階で三次元データを活用、改革には発注者の努力が欠かせない、日経コンストラクション、2008.6-27

# 11. フレキシブルホース排水の設置状態に起因する損失特性について

国土交通省関東地方整備局川崎国道事務所 平 忠弘  
 国土交通省関東地方整備局企画部 佐々木 一之  
 社団法人河川ポンプ施設技術協会 ○梅村 隆久

## 1. はじめに

現場で仮設的に行われる排水作業に、フレキシブルホース（以下、ホースとする）を用いる場合がある。ホースは柔らかい材質であることから自在なルートで布設することができ、また折たたむことで収納・運搬性も良いことから、現場では頻繁に使用されている。

しかしホースを用いて仮設排水を行うと、鋼管などの固形配管を用いたときに比べ、排水量が減少する場合があることが経験上知られていた。

本稿では、ホースの損失が大きくなる要因と傾向を実験により求め数値化したので、ここに報告する。

## 2. 背景と目的

ホースは柔らかいというメリットの反面、折れ曲がる、つぶれる、またホース内の圧力が低下すると円形断面を保持できなくなり扁平状になるなど、結果として排水量が減じられてしまう「負の特性」を持っている。

しかし、ホースの「負の特性」による損失度合を、定量的に把握できる公の技術資料等がほとんどなく、実際の排水量を事前に予測することはできなかった。

本稿では実験的手法によって、代表的な次の損失の大きさと圧力の相関関係を明らかにするものとする。

- ・摩擦損失として：直管損失
- ・形状損失として：屈曲（折れ曲がったもの）
  - 90° 曲がり
  - つぶれ（押しつぶされた形状）

## 3. 実験方法

### 3.1 基本式

流体圧力の損失は一般に次の式で表される。

#### ①管水路の摩擦損失

$$Hf_1 = 10.666 \cdot C^{-1.85} \cdot D^{-4.87} \cdot Q^{1.85} \cdot L$$

ここに、 $Hf_1$ ：摩擦損失水頭(m)、 $C$ ：流速係数、

$D$ ：管径(0.207m：ホース断面形状は圧力により変化するが、ここでは真円とみなす)、 $Q$ ：流量 (m<sup>3</sup>/s)、  
 $L$ ：管長 (75m：実験に用いたホース延長長さ)。

#### ②形状損失

$$Hf_2 = f \cdot V^2 / 2g$$

ここに、 $Hf_2$ ：形状損失水頭(m)、 $f$ ：損失係数、  
 $V$ ：管内平均流速(m/s)、 $g$ ：自由落下の加速度 (m/s<sup>2</sup>)。

今回の実験では見かけの  $C$  値及び  $f$  値を求め、圧力との関連づけを行い簡易に  $Hf$  を算出しようとするものである。

### 3.2 実験施設概要

実験施設の配置図を図-1に示す。

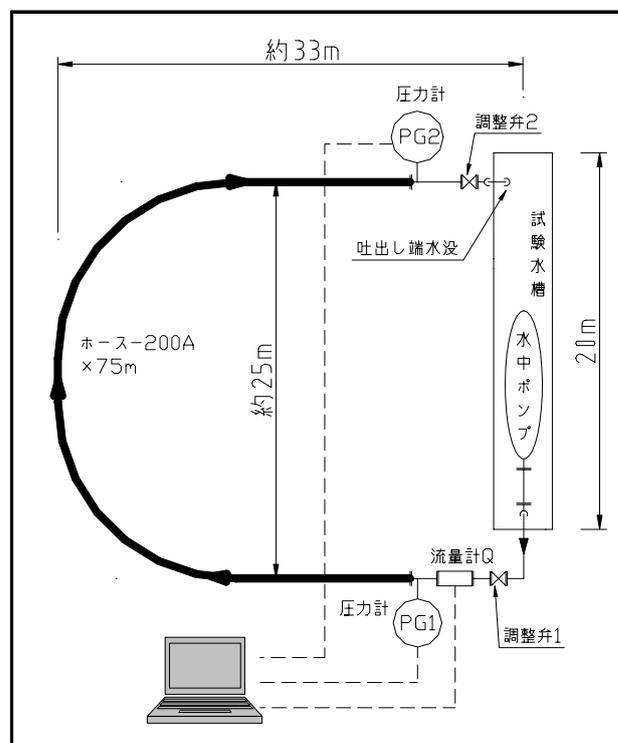


図-1 実験施設配置図

### 3. 3 使用資機材仕様

水中ポンプ : 口径 200mm×出力 15kW  
吐出量 6.5m<sup>3</sup>/min、揚程 10m  
流量・圧力調整弁 : 口径 200mm バタフライ弁×2 個  
計測器 : 超音波流量計、圧力計×2 台

### 3. 4 実験方法

水中ポンプを用いて通水し、ホース入口側・出口側に設けた調整弁の開度を調節することにより、圧力や流量を設定した。

設定するとき、入口側調整弁 1 を絞ればホース内圧力が下がり、出口側調整弁 2 を絞ればホース内圧力が上がる。この両バルブの調整により多様な状況を設定し、測定を行った。

#### ①摩擦損失

損失の大きさは、ホース入口と出口の圧力低下量により損失水頭を求めた。配置状況を写真-1 に示す。

ホースは試験水槽に戻すため弧を描いているが、直径を約 25m とし曲がりの損失としては無視できる半径の大きさとした。



写真-1 摩擦損失実験施設の配置状況

#### ②形状損失

形状損失の測定は、このホースの中間位置に各損失となる形状を設け、①摩擦損失から増加した損失量を各形状の損失とした。配置状況例を写真-2 に示す。

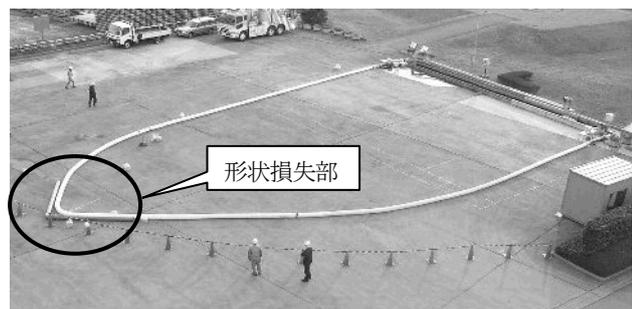


写真-2 形状部をホース中間位置に配置した状況  
各形状損失の布設状況を写真-3～5に示す。

屈曲: 折れ曲がってホースが内側に大きく食い込んでしまい、断面を著しく阻害している状態。



写真-3 屈曲

90° 曲がり: 排水の方向を変える場合、緩やかなカーブを描き曲がっていく状態。内側に浅く折れ曲がっている。



写真-4 90° 曲がり

つぶれ: 現場で多数のホースが錯綜していると、他のホースと交錯する場合があります。下敷きになったホースはつぶされてしまうことがあり、その状態を表したものです。

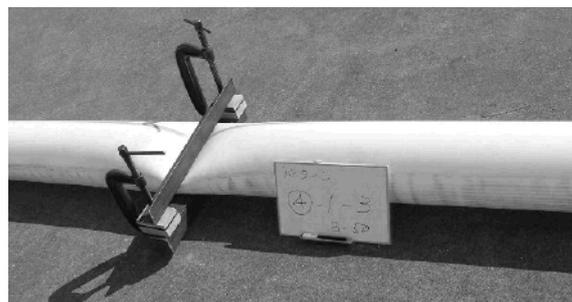


写真-5 つぶれ

## 4. 実験結果

### 4. 1 摩擦損失の係数と圧力の相関

損失水頭から算出された流速係数: C と、ホース入口部での圧力の関連性を示すグラフを図-2 に示す。

なお、ここでは圧力を水頭(m)の意味として用いる。

C 値は約 100~150 に広がっている。C 値は小さいほど損失が増加することを意味している。一般的に使われている C 値と比較すると、高压側では新しい 鋳鉄管と遜色ないものの、低压側では損失が大きくなることが見て取れる。代表的な C 値の一例を表-1 に示す。

#### 4. 2 形状損失の係数と圧力の相関

次の①~③の形状における損失水頭から算出された損失係数：f と、ホース入口部での圧力の関連性を示すグラフを図-3 に示す。f 値は大きいほど損失が増加することを意味している。

##### ①屈曲

圧力が下がるにつれ f 値が大きくなり、損失が増していく傾向が認められる。

f 値は、約 3~8 に広がっている。市販されている塩ビ製エルボ (内径 0.202m、半径 0.115m) の f 値を計算すると 1.3 となり<sup>2)</sup>、屈曲における損失の大きさは際だっている。

##### ②90° 曲がり

f 値は、約 0.7~2.5 に広がっている。

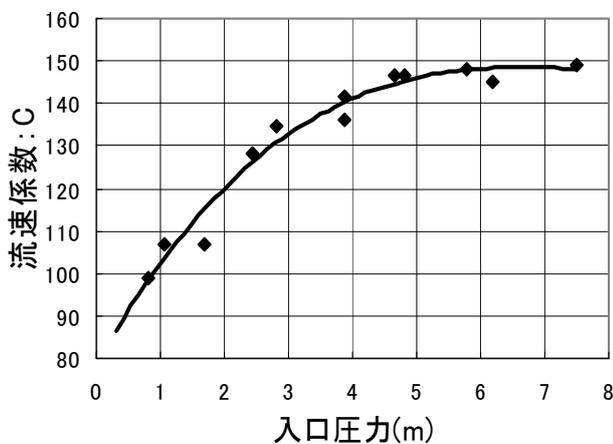


図-2 C 値と入口圧力(m)の関係

表-1 代表的な C 値<sup>1)</sup>

管種	C 値
新しい 鋳鉄管	130~140
鋼 管	100
ヒューム管	120~140
レンガ造り暗渠	100~130

圧力が下がるにつれ f 値が大きくなり、損失が増していく傾向が認められる。しかし数値的には小さく、損失への影響は比較的少ない。

##### ③つぶれ

f 値は、約 2~4.3 に広がっている。圧力が下がるにつれ f 値が大きくなり、損失が増していく傾向が認められる。やや数値的に大きくなり、損失への影響が大きい。

#### 4. 3 圧力によるホースの変化

ホース外観上の変化として、圧力が 2m を下回るとホースに「しわ」が寄り始めることが認められた。圧力が十分に高い (高压) 状態と、「しわ」が見られる (低压) 状態を写真-6、7 に示す。さらに、圧力が低下し張りが失われた結果、その円形断面が徐々に扁平状につぶれていく状態を図-4 に示した。扁平の状態は扁平比とし、(高さ/幅) として表した。圧力の低下に伴い、急激に扁平化が進んで行くことが分かる。

また圧力 2.3m 程度では、外観上は高压状態と変わらないが、押せば回みホースの張りが失われている状態が感触として認められた。

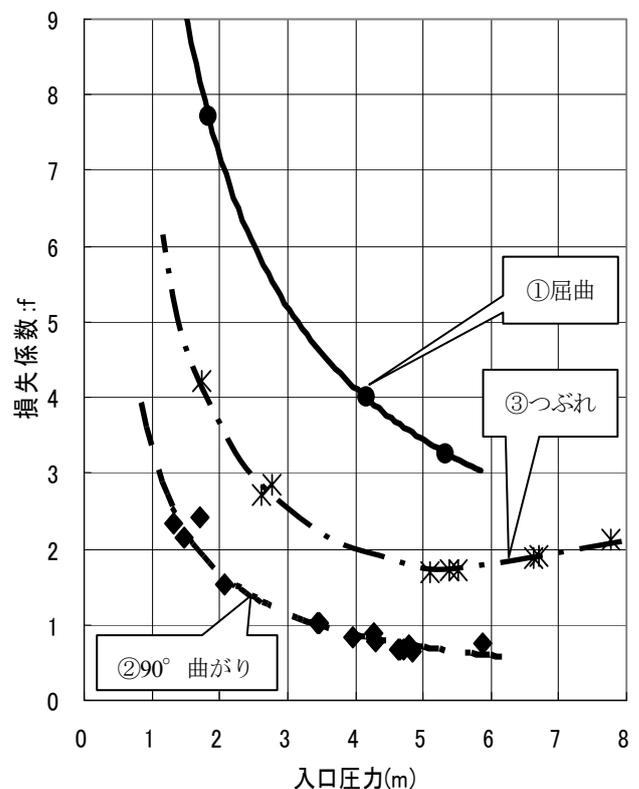


図-3 各損失の f 値と入口圧力(m)の関係

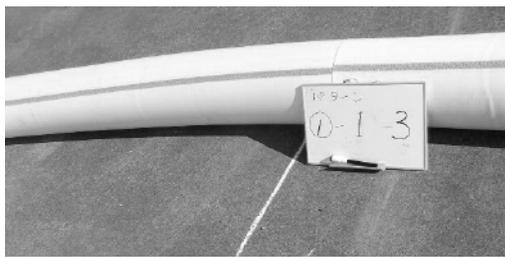


写真-6 高压状態のホース

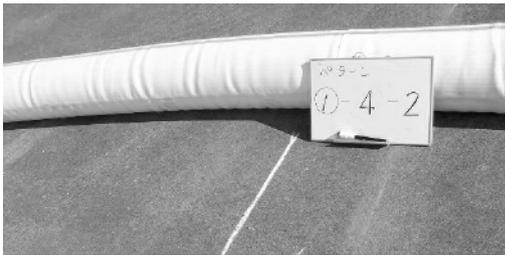


写真-7 低压状態のホース

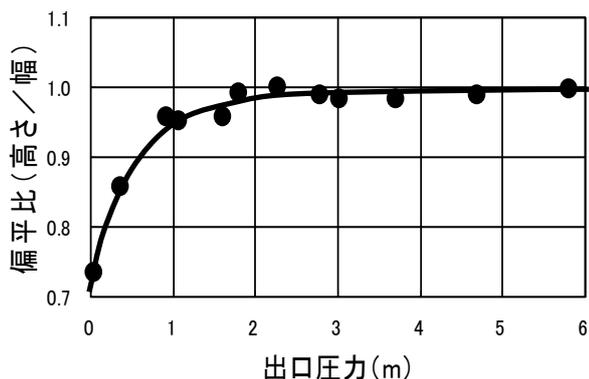


図-4 ホース偏平比と圧力の関係

## 5. 考察

### 5.1 損失係数を使い分ける必要性

ホースにおける損失計算に際し、損失係数が圧力により大きく変動する場合があります、係数を固定化すると計算結果と実状に著しい差が生じてしまう恐れがある。損失係数を圧力によって使い分けることができれば、大きな差を生じることない。しかし排水現場では、圧力計などの計測器類が具備されていない場合がほとんどであり、その場で圧力を求めることはできない。

そこで現場で対処できる実用的な方法として、ホースの状態で低圧側か高圧側か判断し、係数を使い分けることができるよう、基準を示すこととした。

### 5.2 使い分けの判断基準

ホースの低圧側、高圧側は外観と感触から判断できる。外観上「しわ」が見える状態では低圧側とし、このときの圧力は2m以下と判断できる。また、感触として張りが弱くなっているようであれば低圧側とし、このときの圧力は2.3m以下と判断できる。

ホース外観に「しわ」がなく、また感触上も十分な張りがあり、押しても固く凹まないようであれば高圧側と判断できる。

### 5.3 求められた低圧側、高圧側の係数

ホースの摩擦損失と3種類の形状損失について、図-2、図-3より圧力2mを目安に低圧側と高圧側の実用的な係数を得た。表-2に求めた係数を一覧にして示す。

表-2 損失係数一覧表

損失種類	低圧側	高圧側
流速係数:C	90	120
損失係数:f		
・ 屈曲	8	5
・ 90° 曲がり	2.5	1
・ つぶれ	5	2

## 6. おわりに

求められた係数を用いて損失計算を行えば、従来に比べより実際に近い排水量を求めることができる。今後さらに実用性を向上させるためには、簡易計算ソフトや損失早見表などの運用上の支援を充実させていくことが望ましい。

また損失を軽減し、排水量を回復させるのであれば、損失係数が著しく大きな「屈曲」や「つぶれ」に対策の重点を置くことが有効であると分かる。さらに、ホースの終端側が低圧状態になっているようであればホースを外し、配管に取り替える、水路に放流するなどの対策を行えば排水量の回復に効果的である。

## 参考文献

- 1) 社団法人日本機械学会、技術資料「管路・ダクトの流体抵抗」、p.51、1993/05/30
- 2) 社団法人日本建設機械化協会、道路管理施設等設計指針(案)、p.59、2003/07/20

## 12. 自動車交通用自動遮断機の開発

国土交通省 近畿地方整備局 福井河川国道事務所 工務課 河合源悟  
国土交通省 近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所 防災課 宇田康久  
社団法人 日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 ○榎園正義、谷倉泉

### 1. はじめに

供用中の道路において、事故や大雨・雪・台風・地震等の災害時に、車やドライバーを危険から守るための通行止めは、現地に設置された遮断機を手動操作で開閉して行うのが一般的であり、複数箇所のI.Cを同時に閉鎖・解放する場合には、多くの人手と時間を要するため、迅速な対応に課題がある。さらに、緊急対応の面で、道路管理車両、警察・消防の緊急車両および災害対策用の建設機械等が、遮断機の閉鎖に関わらず安全に通過できるような構造・システムとすることができれば、保安要員や作業者が不要となり遮断機の機能は一段と向上する。

以上のことから、緊急時に迅速に交通の遮断を行って安全を確保するとともに、無人でも緊急車両等の通過を可能とする次のような自動車交通用自動遮断機（以下、新遮断機と呼ぶ）の開発を行ったものである。

- ① 道路を管理する事務所等からの遠隔操作によって自動で開閉・収納し、交通規制の迅速化が図れる。（車両からのリモコン操作によっても同様の制御を可能とする。）
- ② 遮断状態においても、緊急車両や維持車両が約40km/h程度の走行速度でも、車両や遮断機を損傷せずに通過ができる。
- ③ 任意の箇所での迅速な交通規制を可能とするため、パトロール車のトランクに積載できるコンパクトで軽量の可搬型も合わせて開発する。

なお、この新遮断機は道路を管理する者が現地まで出向き、既設遮断機を機能させるまでの緊急対策として作動させることを前提としたものである。（写真－1参照）



(a) 常設型の遮断機 (b) 可搬型の遮断機

写真－1 試作した新遮断機

### 2. 開発機のコネプト

従来の既設遮断機と比較して、次のような機能を有することを新遮断機の開発コンセプトとした。また、新遮断機の全体システム構成イメージを図－1に、基本システム構成を図－2に示す。

- ① 新遮断機は、手動操作ではなく、事務所等のカメラでモニターしながら、遠隔操作で安全に自動伸縮（開閉）、収納できる制御システムとする。また同様に、車両からのリモコン操作も可能とする。
- ② 新遮断機は、従来の鋼製タイプに対して、エアで膨張させるバルーン方式とする。
- ③ 遮断機作動状態（閉鎖状態）においても、維持車両や緊急車両が40km/h程度で、安全に通行できる構造・材質とする。
- ④ 万一、車両が衝突した場合でも、車両への損傷・破損が生じにくい柔軟な構造とする。
- ⑤ 本体が劣化、破損した場合でも、交換を容易とする。
- ⑥ 昼間・夜間の視認性は、従来と同等以上とする。
- ⑦ 豪雨、強風等に対する耐候性を有している。
- ⑧ 新遮断機は常設型の他に、車両のトランク等に収納可能な軽量、コンパクトな可搬型も開発する。

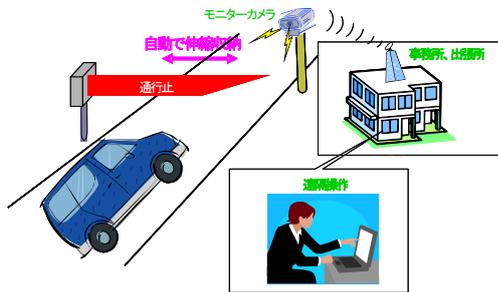


図-1 新遮断機の全体システム構成イメージ

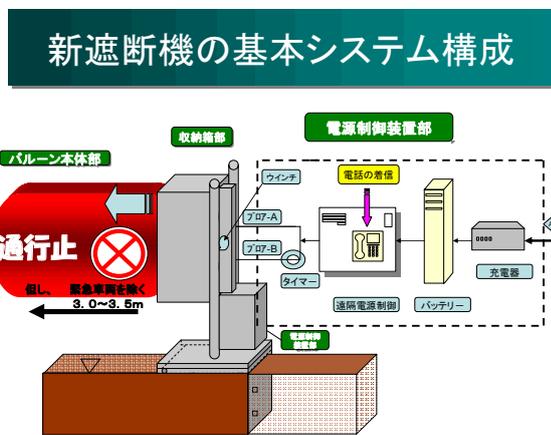


図-2 新遮断機の基本システム構成イメージ

### 3. 作動システムおよび使用材料

新遮断機の基本システムの実現に向けては、遮断機に求められる性能を明確にし、これを満足する本体の材料選定や作動システムの確立が最も重要となる。このため、要求性能を図-3のように分類して既往の要素技術や素材についての調査を行うとともに、予備実験等を通じて改良を重ね、バルーン式の試作機を製作した。また、新遮断機の開発イメージを図-4に示す。

なお、新遮断機を構成する本体の作動方法および使用材料は次のとおりとした。

#### (1) バルーン本体

- ・ 素材は軽量、柔軟でテント地等に用いられている布材を選定し、視認性の良い蛍光色とした。

- ・ 表面には撥水性を高めるための防水加工を施した。
- ・ 本体はプロア（送風機）2台によって常時空気を送り続けることにより膨張し、長さ約4m、直径60cmでも形状を保持出来る構造とした。
- ・ 夜間の視認性を確保するため、内部にはLED（発光ダイオード）を取付けて点滅するようにした。

#### (2) 巻き取り装置

- ・ リモコン操作や手動操作による伸縮・収納時に、バルーン本体のスムーズな送り出しと巻き取りが出来るように、紐の強度やバルーン内部へのガイドの取付け方法を工夫し、自動制御でコンパクトに収納できる巻き取り装置を開発した。

#### (3) 収納箱

- ・ 収納箱は丈夫で耐候性に優れたアルミ製とし、前面にはバルーンの延伸時に開閉するマグネット付きの蓋を取り付けた。
- ・ 可搬式は道路パトロールカーの荷台に積載し、1人で運搬、設置できる程度の軽量でコンパクトなものとした。

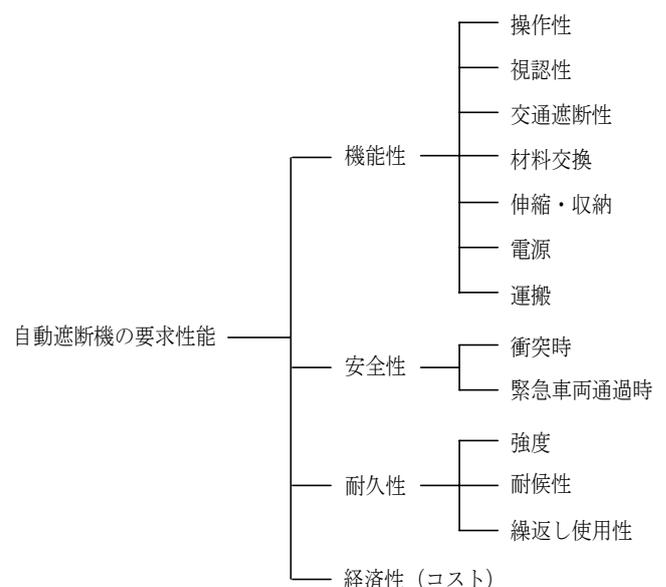


図-3 新遮断機に要求される性能

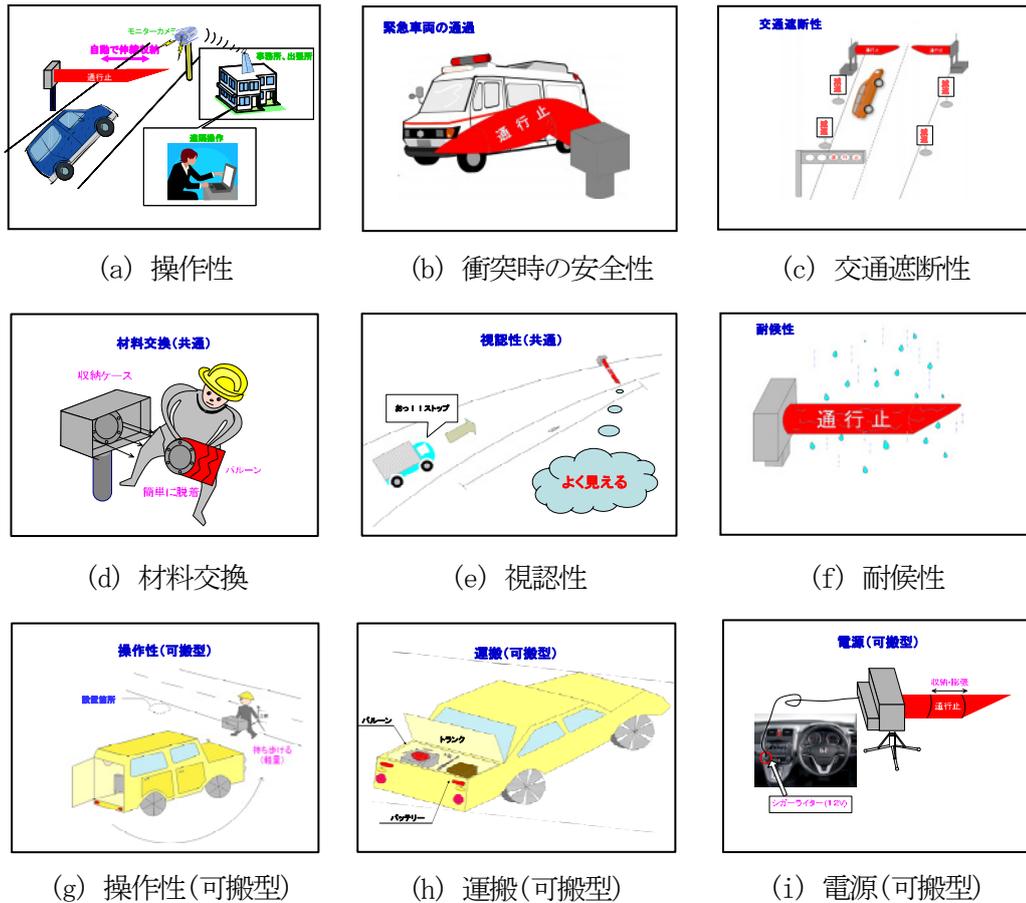


図-4 遮断機の開発イメージ

#### 4. 試作機での実験結果

##### (1) 構内実験

自動遮断機に求められる性能は、前述したように機能性、安全性、耐久性に分類されるが、さらにこれを操作性や視認性などの具体的な性能に区分し、それぞれについての性能を各種実験で確認した(写真-2参照)。一連の構内実験の結果、表-1に示すように要求性能を満足する成果を得ることが出来た。また、衝突実験ではバルーン内の圧力および消費電力等の計測を併せて行った。

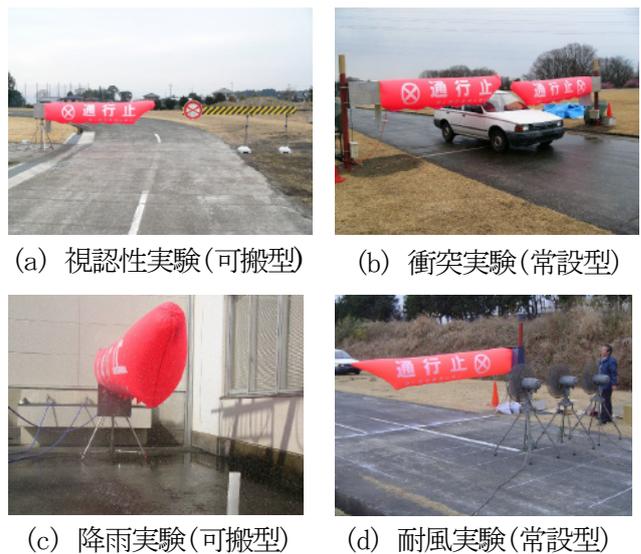


写真-2 構内での試作機を用いた  
性能確認実験状況

表-1 自動遮断機に要求される性能と実験結果

要求性能	確認項目	装置の型式	試作機の目標性能	実験結果
機能性	操作性	常設型	リモコン操作での制御	リモコン操作で自動制御可能。
		可搬型	運搬、組立て、設置、撤去の簡便さ	運搬、組立て、設置、撤去が簡便。
	視認性	共通	様々な供用条件下での視認性(昼夜)	昼夜共に視認性が良好で、車両衝突後も視認性保持。
	交通遮断性	共通	一般車両の進入防止機能および緊急車両の進入機能	車両接触時の破損がなく、復元性を有し、形状保持が可能。
	材料交換	共通	劣化、破損時の交換の容易さ	バルーンの交換は容易(5分以内)。
	伸縮・収納	常設型	迅速な伸縮・収納性 自動での伸縮・収納	風速 10m/s 以下では、自動で伸縮・収納が可能。膨張 15 秒、収納 25 秒。
		可搬型	迅速な伸縮・収納性 三脚等を利用した設置	手動スイッチによるスムーズな作動性を有し、簡便に収納が可能。
	電源	常設型	停電時のバッテリー電源によるバックアップ	停電時に1時間程度バックアップ可能。
可搬型		小型かつ長時間の使用性 車のシガーライターの利用	バッテリー、車のシガーライターが利用可能。	
運搬	可搬型	コンパクトで運搬が容易 管理車両への積載と運搬	手で運び、車両に積んで運搬可能。 1人で持ち運べ軽量でコンパクト。	
安全性	衝突時	共通	衝突時の衝撃が少なく、バルーンや車に損傷が生じない(常時;約 0.38kPa)	時速 40 km/h以下であれば、バルーンや車に損傷は生じない。
	緊急車両の通過	共通	救急車やパトロールカーの通過が可能	時速 40 km/h以下では、接触しても損傷無く通過が可能。
耐久性	強度	共通	衝突、接触時に破損しない素材強度	時速 60 km/hで衝突してもバルーンは破損しない。
	耐候性	共通	風雨・降雪下での使用性	風速 10m/sでも使用可能、降雨 240 mm/hでも直立。降雪は未確認。
	繰返し使用性	共通	想定する使用期間における耐久性	伸縮・収納 100 回の繰返し使用で支障なし。

(2) 現地実験

構内実験に引続き、実用化に向けた性能確認を行うため、自動車専用道路の I.C 入口 (未供用部分) に試作機を設置し、リモコンによる遠隔操作で作動状況を確認した。

その結果、可搬型、常設型いずれもスムーズな膨張・収納の繰返しが可能であった。現地での実験中は隣接する道路を一般車が走行していたが、ノイズ障害等による誤動作は生じなかった。その実験状況を写真-3に示す。

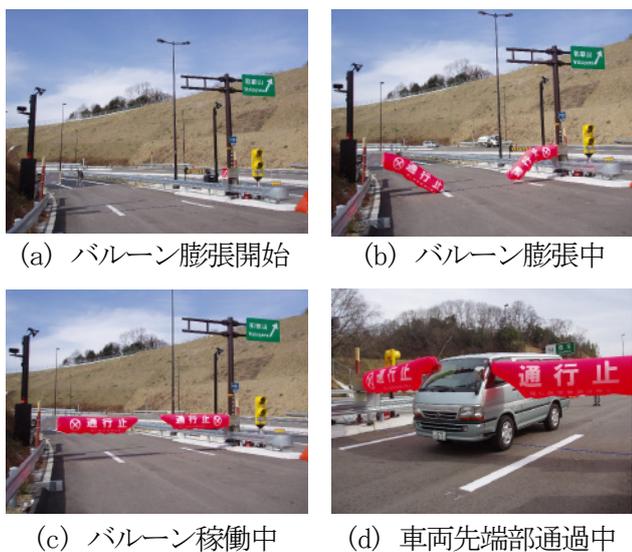


写真-3 自動車専用道路の I.C 入口 (未供用部分) における作動状況の確認実験 (常設型)

5. VRシミュレーション

新遮断機の適用性、設置イメージ、車輛からの視認性および交通遮断性をより具体的に把握するため、

新遮断機の設置が想定されるケースについて、パソコン上で動画再生が可能な三次元バーチャルリアリティ (VR ; 仮想現実) によるドライブシミュレーションを行い、新遮断機を設置した道路状況を可視化した。

その結果、新遮断機の利用状況に応じて、バーチャルリアリティソフトを利用した1分程度の動画を5ケース作成し、これによって実際の利用状況と適用条件等がより現実に近い状況で確認できた。このような動画の利用は、遮断機のみならず、各種道路管理設備の開発、設置に向けて、その効果、印象、景観等の評価に非常に有効な手段になると考えられる。

今回作成した5ケースの設置箇所は、次のとおりとした。また、VRシミュレーション構成の主な内容は、図-5に示すとおりである。

- ケース① ; 本線上の出口ランプ部(常設型)
- ケース② ; 本線への入口(ランプ部 ; 常設型)
- ケース③ ; 本線上のトンネル入口(常設型)
- ケース④ ; 斜面崩壊等の災害発生箇所(可搬型)
- ケース⑤ ; 降雨量制限箇所(常設型)

(1) ケース①；ランプ部出口（交通事故、自然災害）

- ・道路延長「800m」
- ・標識手前 100m程度
- ・標識から遮断機 500m程度
- ・遮断機 100m程度
- ・ランプ 100m程度
- ・本線に遮断機を設置
- ・一般車両はオフランプより回避し、緊急車両は本線を走行



(a) ランプ部出口での交通規制

(2) ケース②；ランプ部入口（交通事故、自然災害）

- ・道路延長「800m」
- ・一般道 300m程度
- ・本線 300m程度
- ・ランプ 200m程度
- ・オンランプ部に遮断機を設置
- ・一般車両は一般道を走行、緊急車両はオンランプより本線へ走行



(b) ランプ部入口での交通規制

(3) ケース③；トンネル部（事故）

- ・道路延長「800m」
- ・標識手前 100m程度
- ・標識から遮断機（トンネル前）500m程度
- ・トンネル 200m程度
- ・一般車両は停止、緊急車両はそのまま走行



(c) トンネル部での交通規制

(4) ケース④；斜面崩壊部（災害発生箇所）

- ・道路延長「800m」
- ・本線 600m程度
- ・迂回路 200m程度
- ・本線に遮断機（可搬型）を設置
- ・一般車両は迂回路へ、緊急車両は土砂崩れ箇所へ走行
- ・崖崩れはモデルで表現



(d) 可搬型遮断機による交通規制（斜面崩壊部）

(5) ケース⑤；山岳部（降雨量制限、積雪制限）

- ・道路延長「800m」
- ・本線 600m程度
- ・迂回路 200m程度
- ・本線に遮断機を設置
- ・一般車両は迂回路を走行、緊急車両はそのまま走行



(e) 警報表示板と遮断機（山岳部）

図-5 VRシミュレーションの例

## 6. まとめ

試作機を用いた各種の実験の結果、以下に述べるように、当初の目的を概ね満足する自動遮断機を開発することが出来た。

- ① 交通規制（通行止め）の迅速化を図ることを主な目的として、既設の鋼製遮断機に代え、遠隔操作により自動で伸縮・収納するバルーン式遮断機を開発できた。
- ② 非常事態で遮断機が閉鎖状態であっても、緊急車両等は通常（40km/h）で遮断機を壊すことなく通過することが可能である。
- ③ 車両のトランク等に格納して現地へ携行し、簡便、迅速に設置出来るコンパクトで軽量な可搬型の遮断機も開発した。この可搬型の遮断機を利用して、任意の箇所への交通規制が可能である。
- ④ 新遮断機の遠隔制御方式については、リモコン操作でのみ確認しているが、携帯電話や既設の光ファイバー等の配線を利用すれば、工事費もさほど必要なく、事務所からの遠隔操作でも支障は生じない。
- ⑤ 遮断機設置箇所を監視カメラでモニターしながら、道路情報板での表示と合わせて作動させれば、複数の I.C での同時通行止が必要な非常事態にも緊急対応が可能と思われる。事前に交通の危険を防止して、一般交通への支障を減少させるだけでなく、災害発生時の警戒体制、非常体制下での要員配置等に対する省人化、省力化にも寄与できると考えられる。

## 7. おわりに

今後、ここで説明した新遮断機を実用化するためには、実際の現場に配置した際の課題について検討するとともに、適宜改良も加えながら実用性を高めていく必要があると考えている。また、適用範囲に応じてバルーンの長さを変えたり、エアーの風量を変えるなどの構造改良は比較的簡単に行えるため、利便性は高いと思われる。

近年は地震をはじめとして、豪雨や洪水、土砂崩

れ等の自然災害の発生頻度が増してきており、そのような災害発生時に二次災害を生じさせないためにも、本遮断機のような自動遮断機の活用が望まれるところである。

なお、本遮断機は、国土交通省近畿地方整備局和歌山河川国道事務所からの受託研究により開発したものであり、平成 19 年度の近畿地方整備局研究発表会にて奨励賞を受賞したことを付記しておきたい。

# 13. 高周波誘導加熱を利用した除去式アンカーの開発

## IH 除去式アンカーの開発

飛鳥建設(株) ○岡 利博

大学共同利用機関法人 K E K 竹田 繁

日本基礎技術(株) 鈴木 武志

### 1. はじめに

大規模コンクリート構造物の構築等に際し、土留め仮設工法のひとつとしてグラウンドアンカー（以後アンカーと呼ぶ、図-1）が採用される。

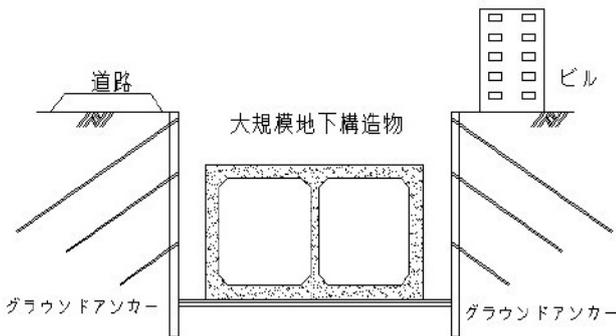


図-1 グラウンドアンカー概念図

これら仮設アンカーは構造物構築後速やかに撤去されるべきものであるが、撤去費用・構築物とのクリアランス不足・工程等により、構築後残置される場合が多い。そのためその後別途施工される地中壁やシールド工事などで残置された仮設アンカーに遭遇し、施工困難となる事例も報告されている。

特に都市部においては隣接する第三者所有の権利区域や道路面に仮設アンカーを施工するケースが多く、除去式アンカーの施工が増えてきている。このニーズに対応して各種の除去式アンカー工法が提案されているが、解決すべき諸課題があった。

我々は高周波誘導加熱技術を、建設工事に応用することで、簡単で低コストの新たな除去式アンカー工法を開発したので、それについて報告する。

### 2. 従来技術と本開発の目的

#### 2.1 従来技術

現在、代表的な除去式アンカー工法として、以下の3タイプが使われている。

①アンカー先端部の耐荷体でアンボンドPC鋼

より線（以後PC鋼線と呼ぶ）を往復させ、撤去時にPC鋼線のみを引抜き、除去する方法<sup>1)</sup>（以後往復工法と呼ぶ）。概念図を図-2に示す。

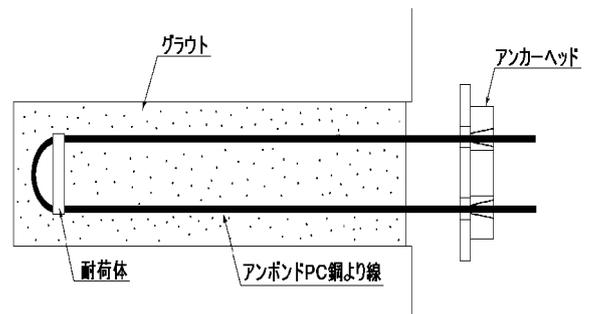


図-2 PC鋼線往復工法概念図

②PC鋼線の中心部分に引抜き用部材を組み込んでおき、これを撤去することでPC鋼線の拘束を解放し除去する方法<sup>1)</sup>。

③アンカー定着部にグラウト破砕用部材を組み込み、グラウトを破壊することで拘束力を低減し引き抜く方法<sup>1)</sup>。

これら工法の中で、①の往復工法が現在最も一般的に採用されている工法である。

#### 2.2 開発目的

本工法の開発目的は、従来の除去式アンカーが有するコスト・施工性等の諸課題を解決するため、高周波誘導加熱を利用した簡単な構成で、PC鋼線を安全確実に短時間で切断、除去できる低コストの工法を確立することにある。

### 3. 除去装置の原理

本装置の概略を図-3に示す。金属導電体である被加熱物に絶縁被覆導線のコイルを巻き、このコイルに高周波電流を流すと、金属導電体内には誘導磁界によって高密度の渦電流が流れる。この金属導電体中を流

れる渦電流により発生するジュール熱で、金属導電体であるPC鋼線が発熱する。

高周波電流を使う誘導加熱は被加熱物自体が発熱するので輻射熱を利用するヒータ加熱方式に比べ熱効率が良く、短時間で高温加熱することを可能にする。

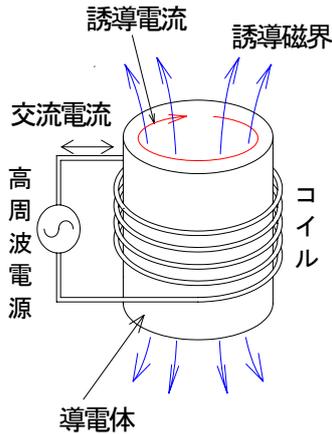


図-3 高周波誘導加熱の概略図



写真-1 PC鋼線加熱状況

### 3.1 共振周波数と電流

コイルに交流電流を流すとインピーダンスが大きくなり、電流が流れにくくなる。そこでコイルにコンデンサーを付加して直列共振回路を形成し、大電流が流れるようにした。

LCR直列回路のインピーダンスは次式で表される。

$$Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (1)$$

$$= R + jX$$

$Z$  = インピーダンス

$L$  = インダクタンス

$C$  = 静電容量  $R$  = 抵抗  $\omega$  = 角周波数

$jX=0$  の時  $Z=R$  となり最大電流が流れる。この共振周波数  $f_0$  は次式で示される。

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2)$$

従って、印加交流電圧の周波数を  $f_0$  とした時、インピーダンスは最小となり、回路を流れる電流は最大となる。

### 3.2 PC鋼線高温引張り強さ

PC鋼線の引張り強さは温度に依存する<sup>2)</sup>。

図-4に示すように常温から100°C程度まではほとんど変化しないが、200°C以上になると急激に低下し、400°Cで引張り強さがほぼ50%にまで低下する。

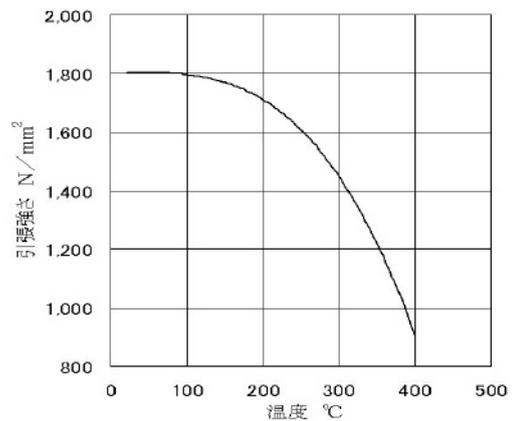


図-4 PC鋼線高温引張り強さ

緊張状態にあるPC鋼線に設置した加熱コイルに共振周波数と一致する高周波電流を加えると、PC鋼線は急激に発熱するため、加熱コイルが輻射熱で焼損する前にPC鋼線の引張り強度が低下し、破断させることが可能となる。

## 4. 加熱破断と温度上昇評価

### 4.1 周波数をパラメーターとした加熱実験

加熱コイルに共振電流を加えるとPC鋼線を短時間に加熱することができることを確認するため、周波数をパラメーターとした加熱実験を行い、各ケースの温度上昇を確認した。実験条件を表-1に示す

表-1 誘導加熱の条件

PC鋼より線	φ12.7 1本
加熱コイル	KIV 14.0 mm <sup>2</sup>
印加電力	0.8 kW
周波数 1	15kHz
周波数 2	22kHz
周波数 3	30kHz

その結果を図-5に示す。共振周波数に対応する22kHzでは加熱開始後110秒程度で700℃に達するが、共振点から外れた15kHzと30kHzではそれぞれ140秒および170秒を要した。

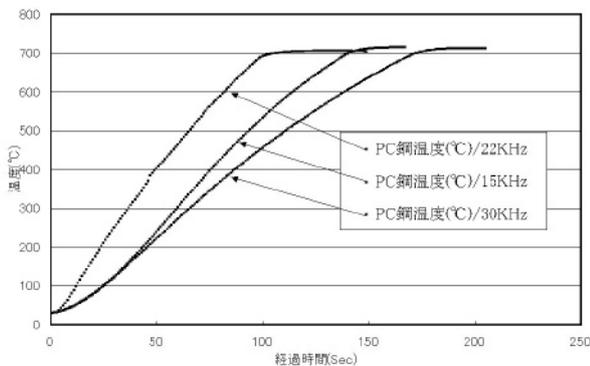


図-5 周波数別温度上昇実験

即ち切断のために印加する電力の周波数は共振周波数にマッチングさせることが重要になる。

#### 4.2 緊張力を導入した加熱切断実験

油圧ジャッキで単線PC鋼線に50kNの緊張力を導入後、加熱コイルに高周波電流を流し、PC鋼線の切断実験を行った。実験条件を表-2に示す。

表-2 誘導加熱切断の条件

PC鋼より線	φ12.7 1本
加熱コイル	KIV 5.5 mm <sup>2</sup>
印加電力	0.8 kW
周波数	20 kHz
緊張力	50 kN

荷重・温度-時間の変化を図-6に示す。50kNの緊張力を与えたφ12.7mm PC鋼線の場合、23秒、約420℃で切断可能であることを確認した。

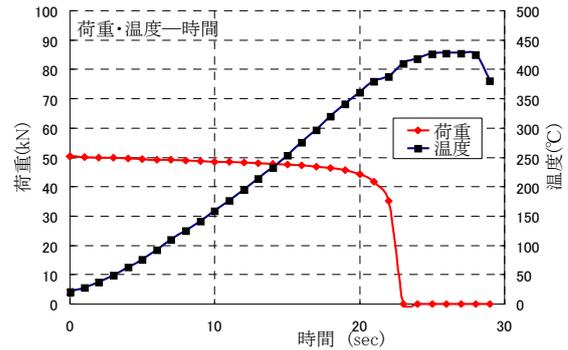


図-6 荷重・温度-時間

#### 4.3 耐荷体モデルでの加熱実験

加熱実験に用いた耐荷体モデルを写真-2に示す。本ケースでは緊張力を与えず、PC鋼線3本、摩擦棒等の誘導加熱温度上昇を確認した。

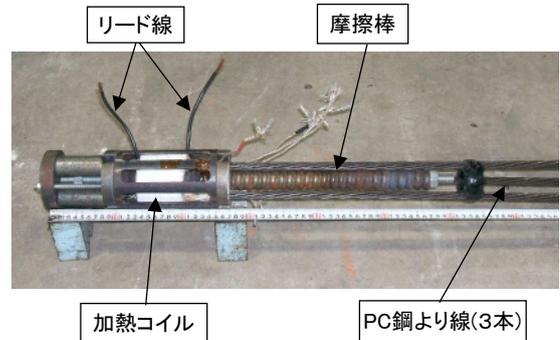


写真-2 耐荷体モデル

表-3 誘導加熱の条件

PC鋼より線	φ12.7 3本
加熱コイル	KIV 8.0 mm <sup>2</sup>
印加電力	1.6 kW
周波数	21 kHz

3本のPC鋼線と摩擦棒の表面温度計測結果を図-7に示す。

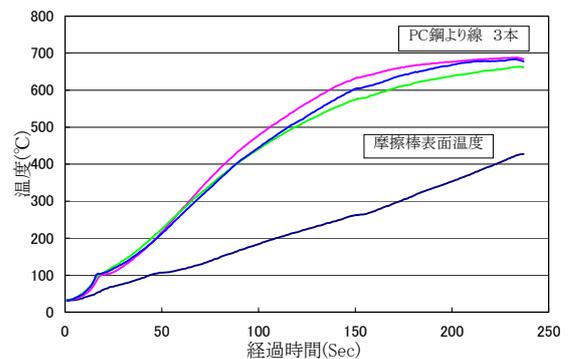


図-7 部材別温度上昇結果

PC鋼線温度は3本ともほとんどばらつきが無く550℃近傍まで急激に温度上昇している。

耐荷体モデルでは、PC鋼線その他、摩擦棒の温度上昇にも電力が消費される。前述の単線PC鋼線加熱切断実験で得られた切断温度420℃までの到達時間は約90秒と延びてはいるが、コイル損傷はなかった。

#### 4.4 モルタル内における加熱切断実験

実際のアンカー体はグラウト材の注入により地中で造成される。そのため加熱切断装置の内部や周辺にもグラウト材が充填される。

確認のため実アンカーに模し、写真-3に示すように、加熱切断部をモルタル内に埋設後、PC鋼線4本の一括切断実験を実施した。実験結果は大気中と同様良好な切断結果を得た。

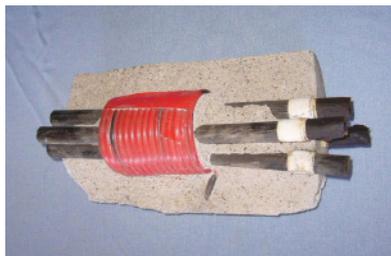


写真-3 モルタル内での切断実験

### 5. 試験施工

#### 5.1 試験施工その1

実施目的：アンカー施工性及び長期信頼性確認

実施時期：平成18年11月13日（施工性確認）

平成20年4月25日（長期信頼性確認）

試験施工現場名：中日本高速道路(株)

東名阪自動車道 植田南工事

試験施工本数：3セット（施工性確認）

4セット（長期信頼性確認）

表-4 除去式アンカー概要

PC鋼より線	φ12.7 3本/セット
アンカー長	14m
耐荷体	鋼製1段 7セット
緊張力	311kN

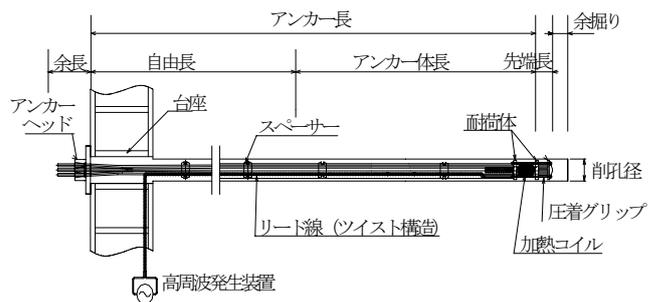


図-8 鋼製耐荷体アンカー

#### 5.2 その1 試験施工結果

アンカー体は従来と同様の施工法で設置、養生し、多サイクル確認試験等、引抜き試験で所定のアンカー性能確認後、高周波誘導加熱切断を行った。

##### (1) 切断加熱コイルへの通電

切断前に加熱コイル及びリード線全体の絶縁・導通計測を行い、異常が無いことを確認後、切断装置に共振周波数の高周波電流を通電した。

##### (2) アンカー切断

30～40秒で3セットすべてのPC鋼線が切断できた。図-4に通電状況を示す。



写真-4 通電状況

##### (3) PC鋼線除去

図-5に人力による引抜き状況を示す。



写真-5 人力による引抜き状況

(4) PC鋼線切断ヶ所状況

引抜き後の確認でPC鋼線切断ヶ所は直線的に切断されており、引抜き作業も容易であった。



写真-6 PC鋼線切断状況

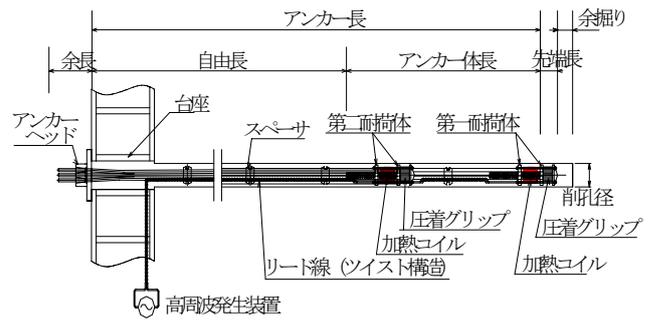


図-9 鋼製2段耐荷体アンカー

(5) 長期信頼性確認試験施工

本施工の目的は、除去装置設置後1年2ヶ月後でも確実に切断可能であり長期信頼性を有することを確認するために実施した。

結果は、高周波電流通電後4セット全て1～2分で切断できた。高周波切断装置が長期信頼性を有することを実証した。



写真-7 鋼製第1耐荷体



写真-8 鋼製第2耐荷体

5.3 試験施工その2

実施目的：2段式耐荷体、コンクリート製耐荷体の有効性及び長期信頼性の確認

実施時期：平成19年9月21日(各種耐荷体試験)

平成20年7月31日(長期信頼性確認)

施工現場名：高エネルギー加速器研究機構

高エネ研ニュートリノT2K作業所

施工本数：3セット(2段・コンクリート耐荷体確認)

2セット(長期信頼性確認)

(1) 鋼製耐荷体(1段耐荷体、2段耐荷体)

表-5 鋼製除去式アンカー概要

PC鋼より線	φ12.7 2本組/セット
アンカー長	12m
耐荷体	鋼製1段1セット、2段2セット
緊張力	200kN

(2) コンクリート製耐荷体(単段、2段耐荷体)

アンカー除去後、地中に残存させる鋼材の量を最小限化するために、耐荷体の管体部をコンクリート製とした。コンクリート強度としては70N/mm<sup>2</sup>を目標として製作した。

表-6 コンクリート製耐荷体除去式アンカー概要

PC鋼より線	φ12.7 2本組/セット
アンカー長	12m
耐荷体	コンクリート1段、2段各1セット
緊張力	200kN



写真-9 コンクリート製第1耐荷体



写真-10 コンクリート製第2耐荷体

#### 5.4 その2試験施工結果

##### (1) アンカー切断

その1同様、PC鋼線間のばらつきはほとんど無く、以下の高周波電力の通電時間で各アンカーを切断できた。

- |               |     |
|---------------|-----|
| 1) 鋼製1段式      | 72秒 |
| 2) 鋼製2段式      | 66秒 |
| 3) コンクリート製2段式 | 66秒 |

##### (2) PC鋼線除去

写真-11に人力による引抜き状況を示す。



写真-11 人力による引抜き状況

#### 5.5 長期信頼性試験

長期信頼性確認のため、鋼製2段耐荷体、コンクリート製1段耐荷体各1セットを残置し、アンカー設置11ヶ月後、切断・撤去した。鋼製2段耐荷体(PC鋼線4本)は72~79秒で切断できた。コンクリート製耐荷体(PC鋼線3本)は72~78秒

できた。本施工により当該形式の耐荷体が長期信頼性を有することを実証した。尚、切断装置の耐久性中間確認として定期的に導通・絶縁測定を行い、全数が線間0Ω、大地間が100MΩ以上の数値であり、加熱コイル、リード線とも良好な状態で有った。

#### 6. 本研究開発のまとめ

室内試験により本除去式アンカーの基本特性を確認し、更にフィールド試験施工により十分に実用性、耐久性を有していることが証明できたので、今後本工法展開に努めたい。

以下に本工法の特徴をまとめる。

- ①従来の往復式除去アンカーはPC鋼線が偶数本の構成に限定されるが、本方式では奇数本にも対応でき、最適経済設計が可能。
- ②往復式除去アンカーは耐荷体でループ加工が必要で、しかもPC鋼線許容荷重の低減(ループ加工すると10%減)がある。これに対し、本方式では経済設計が可能。
- ③PC鋼線の引き抜き時に、従来は特殊ウインチあるいは移動式クレーン等が必要であったが、本方式では人力での引抜き除去も可能。
- ④従来方式では除去したPC鋼線に螺旋状の癖がつき、引抜き後の処理に問題が有った。本方式ではPC鋼線が直線的に切断されるので処理が容易。
- ⑤ノングリスタイプのアンボンド鋼線が採用可能なので除去後の処理が容易で、環境負荷が小さい。
- ⑥コイルは安価であり、処理費用も含めたトータルコストの低減が可能。

謝辞：高周波除去式アンカーのフィールド試験施工を行うにあたり、中日本高速道路株式会社名古屋工事事務所殿、高エネルギー加速器研究機構殿には試験施工のご許可を頂きました。ここに感謝の意を表します。

#### 【参考文献】

- 1) グラウンドアンカー施工のための手引き書 P. 119, (社)日本アンカー協会, 2004
- 2) 神鋼のPC鋼線, No. 44, P. 56, 神鋼鋼線工業(株)

# 14. スプリングハンマー急速載荷試験および同試験を組み込んだ杭の施工方法

丸紅建材リース株式会社 ○松澤 一行  
 中嶋 義雄  
 金沢大学 松本 樹典

## 1 はじめに

従来、先端支持力を期待する杭では、支持層となる比較的深い地層で杭先端を支持するのが通例である。例えば仮設構台等に使用される仮設支持杭において、その設計荷重は概ね 500~1000 kN 程度であるが、杭先端はN値 50 程度の支持層まで貫入させるのが一般的となっている。しかしながら実際の地盤では、深い支持層の上部に、ある程度の支持力を期待できる中間層が存在するケースもしばしばあり、このような中間層で杭を支持させることができれば、杭工事にかかる手間を削減し、費用、工期等を含めて大きな経済効果をもたらす。

著者らは、要求された杭の安全性を損なうことなく杭長を短くし、いわゆる中間層と呼ばれていた地層で安全に支持できる杭の構築方法を研究してきた。

機動性に優れたスプリングハンマー急速載荷試験<sup>1)</sup>を採用することで、載荷試験による杭工事への時間的な損失を最小限に抑え、全杭に対する載荷試験を実施することで、支持力に対する安全性を確保しつつ、杭の短尺化を実現することが可能となった。

本論文では、スプリングハンマーによる急速載荷試験の詳細と、同試験を組み込んだ杭の施工方法について実際に設計施工された仮設構台での事例を併せて紹介する。

表-1 相対載荷時間 ( $T_r$ ) による分類

区分	載荷方法の定義	相対載荷時間
静的載荷	杭体と地盤の速度および加速度に依存する抵抗を無視することができる載荷	$500 < T_r$
急速載荷	杭体の波動現象は無視できるが、杭体と地盤の速度および加速度に依存する抵抗を無視することができない載荷時間を持つ載荷	$5 \leq T_r < 500$
衝撃載荷	杭体の波動現象や杭体と地盤の速度および加速度に依存する抵抗が顕著な載荷	$5 < T_r$

## 2 スプリングハンマー急速載荷試験

### 2.1 急速載荷試験の概要

杭の鉛直載荷試験については地盤工学会により 2002 年に基準化されている<sup>2)</sup>。同基準では表-1 に示されるように、相対載荷時間： $T_r$ によって試験を分類している。 $T_r$ は、試験時の載荷時間内に杭体内を伝わる波が何往復するかを示しており、(1)式で与えられる。

$$T_r = t_L / (2L/c) \tag{1}$$

ここに、 $t_L$ : 載荷時間、 $L$ : 杭長、 $c$ : 杭体を伝わる波の速度である。

静的載荷試験はもっとも結果の信頼性が高いとされているが、反力装置や反力杭などの設備が大がかりになり、実施の手間と費用が膨大となる。これに対して衝撃載荷試験は、試験の実施は短時間であり、杭打ち機をそのまま使用できることから容易に実施できるが、波動を考慮した解析の難しさもあり、即時の支持力把握は困難である。

急速載荷試験は、衝撃試験と同様に大がかりな反力装置を必要とせず容易に実施できる上に、載荷時間が衝撃載荷試験よりも長いので困難な波動解析をほとんど必要とせず、静的載荷試験とほぼ同等の結果を得られる試験方法として有効である。

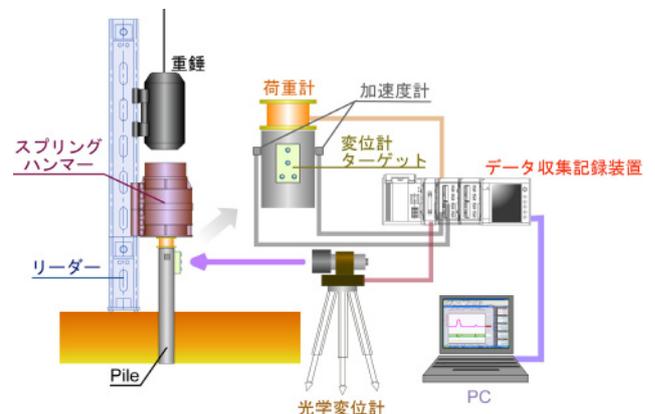


図-1 スプリングハンマー急速載荷試験のシステム

## 2.2 スプリングハンマー試験装置

図-1 はスプリングハンマー急速荷重試験装置のシステムである。本試験は重錘落下式の急速荷重試験であり、自由落下させる重錘と杭頭との間にばねを介することで荷重時間を延ばすことが可能である。試験時には重錘の質量、落下高さおよびばねの硬さを調整できるので、荷重時間と最大荷重を容易に制御することができる。

測定に用いられるセンサー類は、杭頭に設置される荷重計、加速度計および光学式もしくはレーザー式の変位計用のターゲットであり、これらの信号はデータ収集記録装置によって 1 kHz 程度のサンプリング間隔で測定される。

荷重には杭を施工した杭打ち機がそのまま使用され、ロードセル上に置かれたスプリングハンマー上に質量 2~3 ton の重錘を自由落下させる。スプリングユニットおよび重錘は杭打ち機のリーダーをガイドとしているため、杭との鉛直軸が一致し、精度の高い鉛直荷重が可能である。

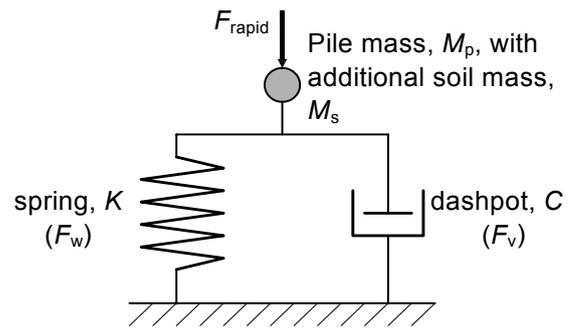


図-2 急速荷重試験での杭と地盤のモデル

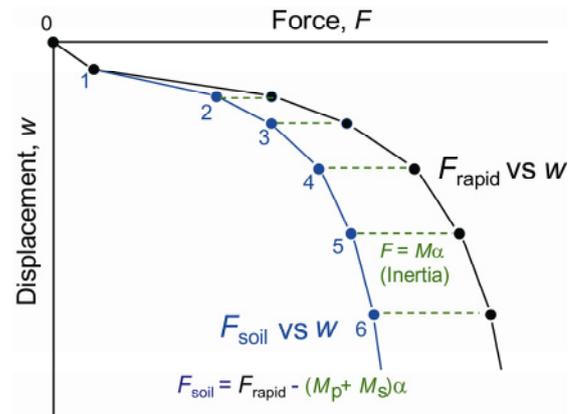


図-3 慣性力の補正

## 2.3 動的シグナルの解析方法

急速荷重試験の最も有利な点は、図-2 に示すようなモデル<sup>3)</sup>を用いた単純な解析が可能である点である。杭および杭底面の土の付加質量は一質点として扱われ、静的なばねが地盤の静的抵抗力  $F_w$  である。また、ダッシュポットは非線形な定数  $C$  と杭の速度  $V$  の積で表されるダッシュポット抵抗力  $F_v$  を表わしている。

動的な測定シグナルから静的な荷重-沈下関係を求めるために、非線形ダンピング法<sup>4)5)</sup>を用いる。

荷重試験における急速な荷重シグナル  $F_{rapid}$  には杭の慣性力が含まれているため、解析の第一段階として杭の慣性力を補正した地盤抵抗力  $F_{soil}$  を求める (図-3)。

地盤抵抗力  $F_{soil}$  には静的な抵抗力  $F_w$  の他にダッシュポットの動的抵抗成分  $F_v$  が含まれている。非線形な地盤ばね定数  $K$  とダッシュポットの定数  $C$  を荷重試験で測定したシグナルを利用して決定することで、 $K$ 、 $C$  両者の非線形性を考慮に入れた静的な荷重-沈下関係を得ることができる (図-4)。非線形ダンピング法の詳細については文献 4) 5) を参照されたい。

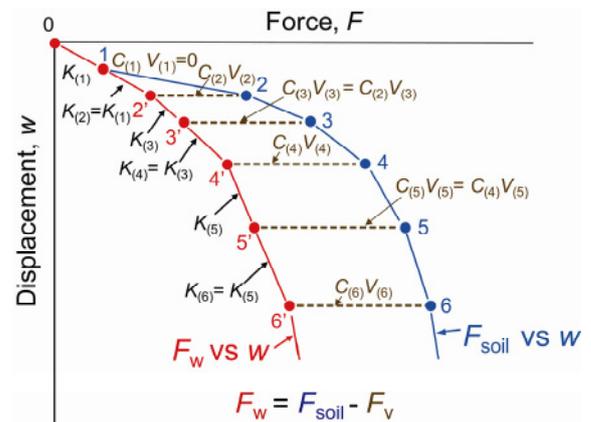


図-4 非線形ダンピング法による解析方法

## 2.4 静的荷重試験との整合性

スプリングハンマー急速荷重試験結果の妥当性を検証するために、同一の杭に対して静的荷重試験と急速荷重試験の両者を連続して行い、両試験結果の比較検証を行った<sup>6)7)</sup>。

図-5 に示されるように、試験ではまず、静的荷重試験が実施され、それに引き続いて複数回の打撃による

る急速載荷試験を実施した。急速載荷試験の荷重-沈下関係は前述の非線形ダンピング法によって得られた静的な荷重-沈下関係である。また急速載荷試験時の変位量は事前に行われた静的載荷試験での最終沈下量を考慮した累積変位量で示している。

図から明らかなように、静的試験およびスプリングハンマー急速載荷試験からの荷重-沈下関係はともに一本の包絡線を描くものであり、このことから非線形ダンピング法による解析を含めたスプリングハンマー急速載荷試験方法が静的載荷試験と同等の結果を示しているものと判断できる。

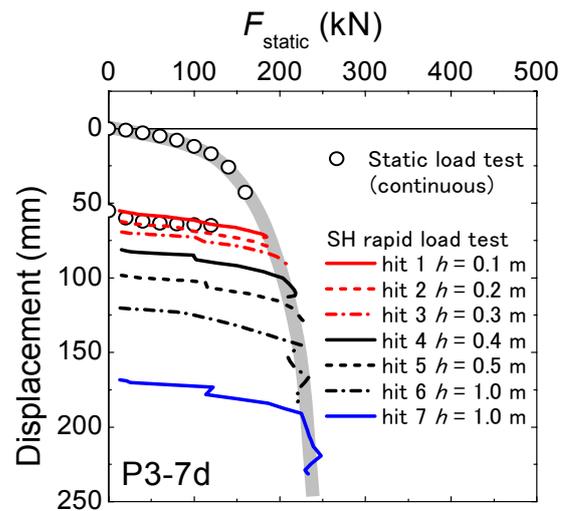


図-5 同一の杭に連続して行われた静的および急速載荷試験からの荷重-沈下関係

### 3 急速載荷試験を組み込んだ杭の施工方法

#### 3.1 工法概要

本工法は仮設構台等の支持を目的としたH形鋼杭において、その先端にプレートを施すことにより、より浅い地層で杭を支持させる工法であり、杭の施工はプレボーリング根固め最終打撃工法によって行う。図-6に本工法で用いる杭の先端形状を示す。杭の先端支持力を効果的に発現させるために、杭先端には掘削孔とほぼ同径の鋼製円板を取り付ける。最終打撃時の杭の捻れを防ぐためにスタビライザーが取り付けられている。

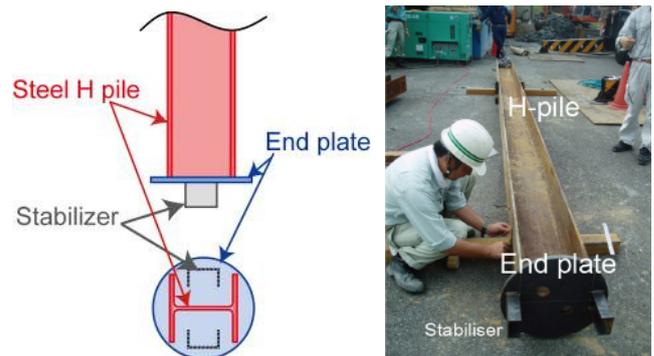


図-6 MSSP 工法で使用される杭の先端形状

過去の実験結果から砂質地盤で先端支持される杭においては、打撃による先端支持力の向上が期待できると考えられる<sup>6)</sup>。図-7は先端プレート付きH形鋼杭をシルト層から細砂層へと打撃により貫入させた際の先端支持力の測定結果を示している。図から判るようにシルト層ではその支持力は打撃を加えても一定であるのに対し、細砂層に貫入している部分では支持力は打撃回数を加えるごとに増加している。

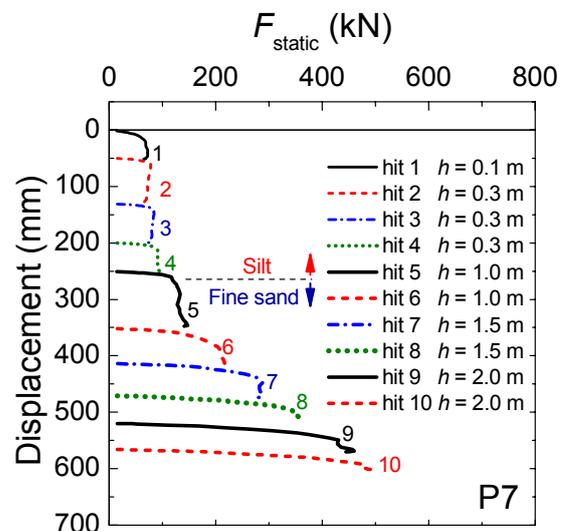


図-7 打撃による先端支持力の改善効果

このような利点を活かすことで、ある程度の支持力を持つ中間層の支持力特性を改善し、要求される先端支持力を得ることができれば、従来の設計に比べて大幅に杭長を減ずることも可能である。もちろん支持力改善効果はそれぞれの杭について確認されることが必須であり、ここにスプリングハンマー急速載荷試験を組み込むことで、施工中の杭の先端支持力の把握が可能となる。

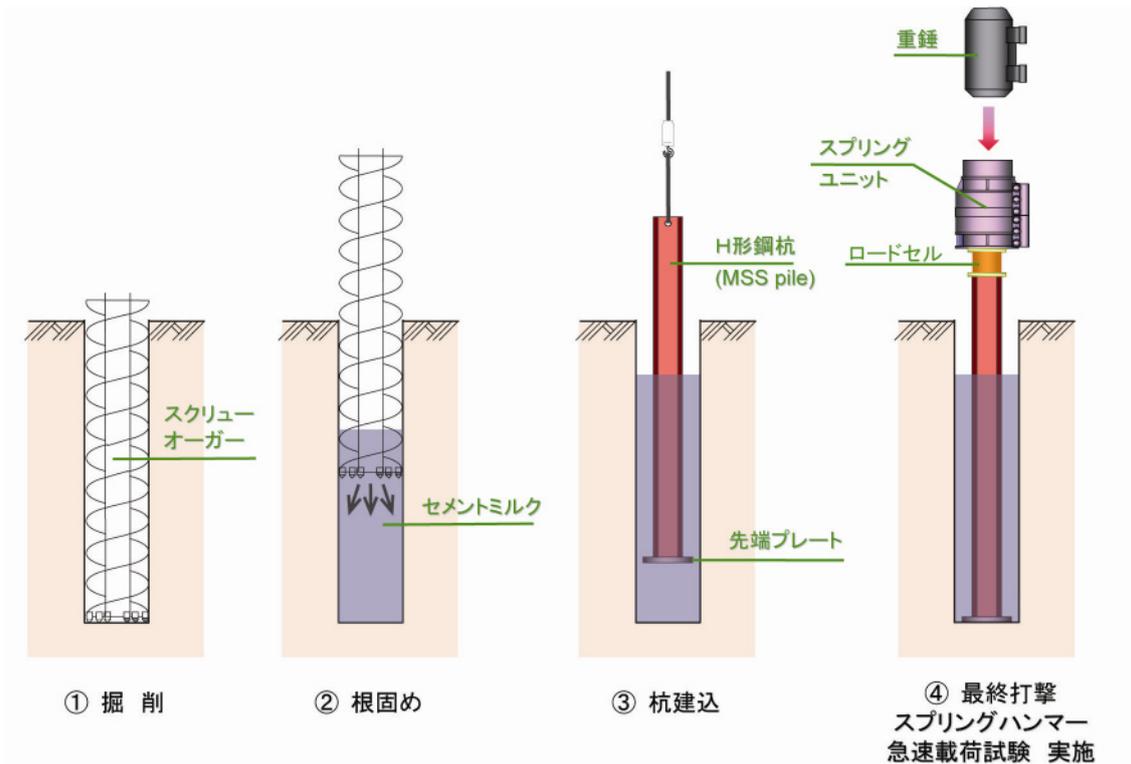


図-8 杭の施工手順

### 3.2 施工手順

図-8 は本工法の施工の手順である。所定の深度までスクリーオーガーによる掘削を行い(①)、根固めのセメントミルクの注入終了後に(②)、前述の先端プレートを取り付けたH形鋼杭を吊り込む(③)。通常のプレボーリング最終打撃工法で行われるように、重錘による打撃によって杭先端を所定の根入れ深さに定着させる(④)。このとき、杭頭にロードセルおよび加速度計を設置し、スプリングユニットを介して重錘落下による打撃を行うことで急速載荷試験を実施する。急速載荷試験のための準備はロードセルと加速度計を設置するための僅か数分である。

打撃ごとに杭の先端支持力が測定でき、要求される先端支持力が確認されたところで施工を完了する。

### 4 実現場への適用

本工法の実際の現場への適用事例として、さいたま(2006)、船橋(2007)、川崎(2008)の3件の例を紹介する。現場はいずれも仮設構台の支持杭であり、図-9に示されるような地盤である。同図にはこれらの現場で従来工法により計画されていた杭(B)と、本

工法で実際に短尺化され施工された杭(A)も併せて示している。

表-3 は各現場で採用した最終打撃時の急速載荷試験で確認した先端支持力を示している。表中の要求性能は支持杭に要求されていた極限支持力であり、設計支持力に短期の安全率1.5をかけたものである。周面摩擦は学会基準<sup>8)</sup>にしたがって求めた極限の周面摩擦力である。周面摩擦力についてはさらに安全側に余裕を持たせるためにその80%を見込むものとして、要求性能から摩擦力の80%を減じた荷重を確認する先端支持力とした。

表-3 現場確認荷重の設定

現場名	要求性能 $P$ (kN)	周面摩擦 $Q_s$ (kN)	確認 先端支持力 (kN) $P - 0.8 \times Q_s$
さいたま	1175	958	409
船橋	903	396	586
川崎	1344	1041	511

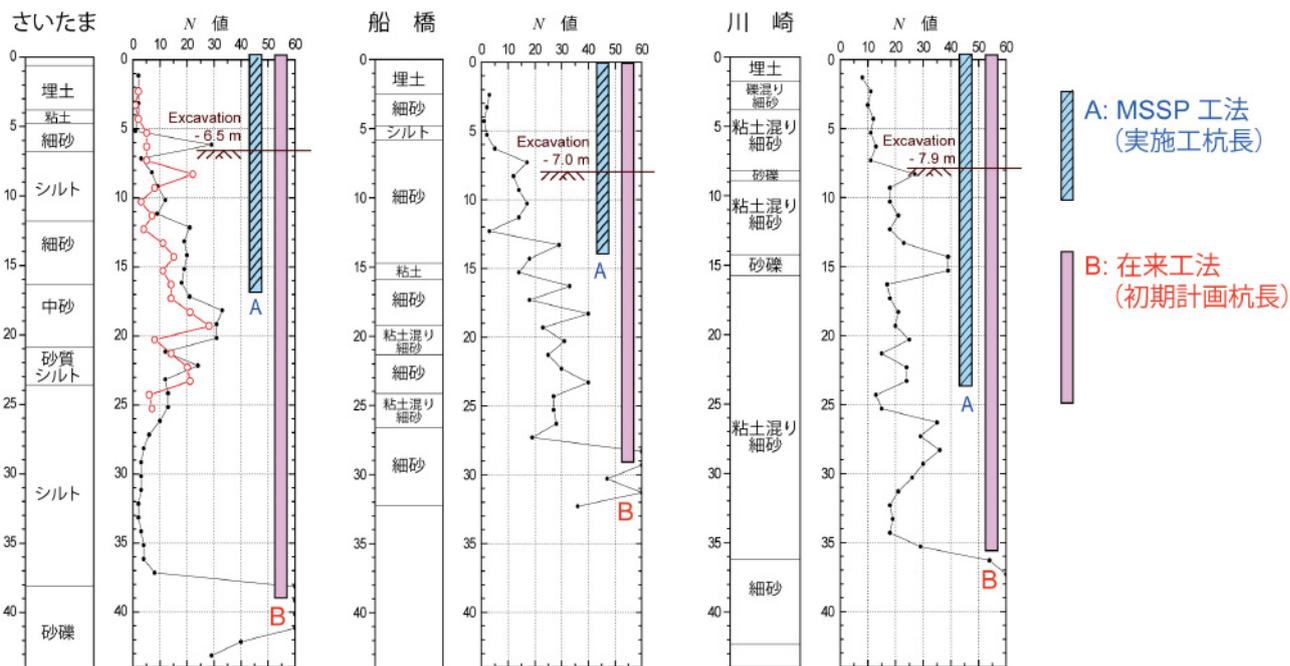


図-9 現場の地盤と杭の状況

### 5 施工結果

前章で述べたように各現場での確認先端支持力を設定した。ただし、仮設構台の使用条件を考慮して、許容沈下量を 30mm に抑えた。つまり実施工では杭の載荷試験における荷重-沈下関係を確認し、沈下量 30 mm 以内での先端支持力が所定の値となった時点で施工完了とした。

図-10 はさいたま現場での全杭の載荷試験の結果である。すべての杭が要求された 409 kN を許容沈下量の範囲内でクリアしている。また、図中の破線は根

固めセメントミルクが固化した後に行われた試験の結果であり、杭全体（先端+周面摩擦）に要求された支持力 1175 kN を余裕を持ってクリアしていることが見て取れる。図-11 には現場全体の支持力の分布状況が示されている。ここでは星形のマークが根固め固化後の杭の支持力を示している。

同様に図-12 では船橋現場、図-13 では川崎の現場の試験結果を示す。いずれの現場においても、短尺化された杭であっても当初要求された杭の支持力を確保できていることが確認された。

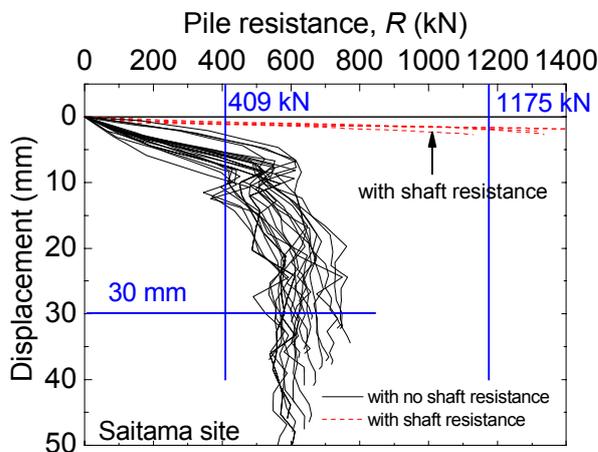


図-10 さいたま現場での各杭の支持力

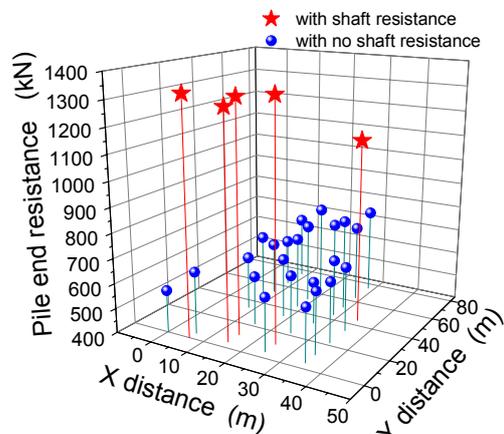


図-11 さいたま現場での先端支持力の分布

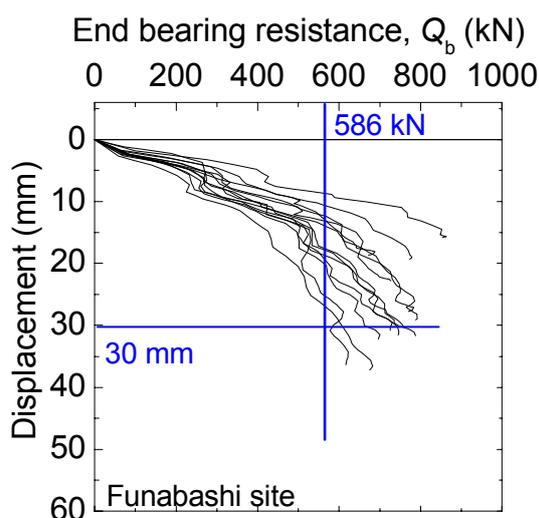


図-12 船橋現場での急速載荷試験結果

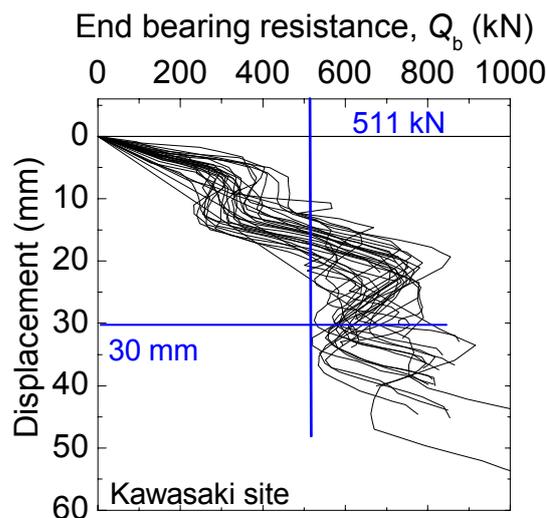


図-12 川崎現場での急速載荷試験結果

表-4 杭の短尺化に伴う低減効果の例

現場名	要求性能 (kN)	杭本数	杭長 (m)			低減杭延長 (m)	低減杭質量 (ton)	費用効果			杭施工日数	
			A	B	A/B			材料費率	工事費率	材&工		
			A/B	A/B	A/B			A	B			
さいたま	1175	27	17.0	39.0	0.44	594.0	80.2	0.44	0.66	0.37	7	11
船橋	903	13	14.0	29.0	0.48	195.0	26.3	0.48	0.60	0.38	3	5
川崎	1344	30	24.0	36.5	0.66	375.0	34.9	0.66	0.75	0.63	9	12

表-4 は各現場での杭の短尺化に伴うコスト・工期の比較を示したものである。いずれの現場でも、要求された杭の性能を損なうことなく40~60%の費用削減効果が得られた。

## 6 おわりに

スプリングハンマー急速載荷試験の機動性を活かして、施工中の全杭に対する載荷試験を実施することができた。これにより構造物の安全性を損なうことなく杭を短尺化することが可能であった。

今後より本工法の汎用性が向上するよう、試験装置の改良や、適用可能な地盤の判定手法など一層の研究を続けたい。

## 参考文献

1) Matsumoto, T., Wakisaka, T., Wang, F.W., Takeda, K. and Yabuuchi, N. : *Development of a rapid pile load test method using a falling mass attached with spring and damper*, Proc. 7th Int. Conf. on the Appl. of Stress-Wave Theory to Piles, Selangor, Malaysia, pp.

351-358. (2004).  
 2) 地盤工学会 : 杭の鉛直載荷試験方法・同解説, pp.1-17, 175-222. (2002).  
 3) Kusakabe, O. and Matsumoto, T. : *Statnamic tests of Shonan test program with review of signal interpretation*, Proc. of 1st Int. Statnamic Seminar, Vancouver, Canada, pp. 113-122. (1995)  
 4) Matsumoto, T., Tsuzuki, M. and Michi, Y.: *Comparative study of static loading test and statnamic on a steel pipe pile driven in a soft rock*, Proc. 5th Int. conf. and Exhibition on Piling and Deep Foundations, Bruges, Belgium, pp.5.3.1 - 5.3.7. (1994).  
 5) 松本樹典, Middendorp, P., Bermingham, P., 続誠 : 珪藻泥岩に打設された鋼管杭の急速載荷試験, 土木学会論文集, No.517/III-31 pp.13 - 24. (1995).  
 6) 清水茂, 中嶋義雄, 磯部幸夫, 松澤一行, 松本樹典 : 先端支持力H形鋼杭の鉛直載荷試験, 日本建築学会 2006 年度大会. (2006).  
 7) Matsuzawa, K., Nakashima, Y., and Matsumoto, T. : *Spring Hammer rapid load test method and its validations*. Proc. of 2nd Int. Conf. on Foundations, Dundee, Scotland, pp. 223-234. (2008).  
 8) 日本建築学会 : 期限付き構造物の設計・施工マニュアル・同解説—乗入れ構台—, 「2.3 支柱の許容支持力」(1986).

# 15. 横引き式遮水シートによる地下遮水壁構築工法

## — ラテナビウォール工法 —

清水建設株式会社 ○横山 勝彦  
清水建設株式会社 西村 晋一

### 1. はじめに

横引き式遮水シートによる地下遮水壁構築工法（ラテナビウォール工法：Laterally Navigated Sheet Wall Method）は、トレンチャー式地盤改良機で攪拌混合して造成したソイルセメント壁中にロール状に巻いた遮水シートを挿入し、巻きほぐしながら横引きして地下遮水壁を構築する工法である。

本工法については、これまで雑誌「基礎工」2008年3月号などで工法概要や適用例を発表済みであるが、本論文では、既発表の内容に施工システムについての新たな説明を加えて本工法を紹介する。

### 2. 工法概要

本工法は、図-1に示すように、トレンチャー式地盤改良機で攪拌混合して造成したソイルセメント壁（壁厚60cm）にロール状に巻いた遮水シートを挿入し、巻きほぐしながら横引き展開して地下遮水壁を構築する工法である。遮水シート同士は、シート展開装置をソイルセメント部に挿入する際に、簡易な継手をかみ合わせて繋ぎ合わせる。

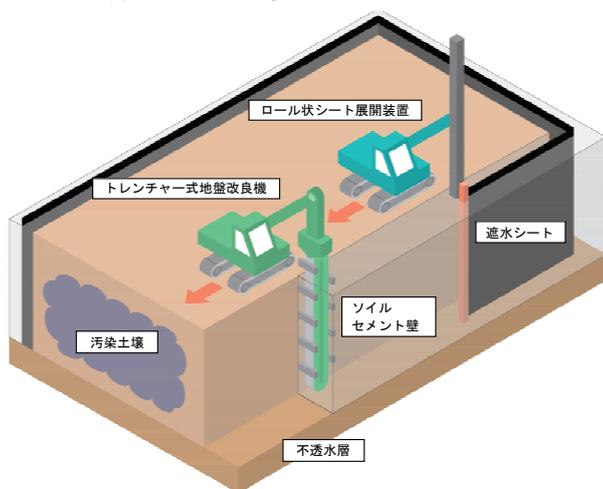


図-1 工法概念図

#### 2.1 工法開発の目的

従来の遮水壁工法はシートパイルや遮水シートなど

を鉛直に打ち込み、これらを順次繋ぎ合わせていくもので、継手部が数多く発生するため、工期・工費が大きくなるという課題があった。また、施工機械も大型であり、山間部の処分場鉛直遮水壁工事などの現場では、施工性に問題があった。

本工法は、このような課題を解決すべく開発された、横引き式遮水シートによる継手の少ない地下遮水壁構築工法である。

#### 2.2 工法の特徴

本工法の3つの主な特徴を以下に示す。

##### ①遮水性能の向上

遮水壁全体で見た場合の遮水性能は、遮水シートの連続性が途切れる継手部の遮水性能に支配されるが、本工法は従来工法に比べ継手の数を減らすことができるため、壁全体としての遮水性能を向上させることができる。

##### ②工期短縮と工費削減

シート1枚当たり展開長を20mとした場合、従来工法（ソイルセメント壁+鉛直挿入式シート工法）に比べて継手数を1/10以下にできるため、工期を40%短縮し、工費を25%削減することができる。

##### ③優れた機動性

バックホウ程度の軽便なベースマシンを用いており、施工エリアの狭い現場、軟弱地盤や傾斜地等、大型重機を使用する従来工法では対応困難な施工条件下においても優れた機動性を発揮することができる。

#### 2.3 適用地盤と用途

本工法の適用地盤は、トレンチャー式地盤改良機で施工可能な地盤である。ただし、相当固い地盤（粘性土でN=15、砂質土でN=20程度）でも施工速度は若干低下するが施工可能である。一方、トレンチャー式地盤改良機で施工が困難な玉石混じり地盤や粗大廃棄

物混入の地盤などは適用が難しい（こぶし大程度の礫であれば適用可能）。

適用深度は現在のところ10m程度までであるが、最終的に深度15m程度まで適用可能とすることを目標としている。深度15mは、バックホウベースの機械で施工可能な限界深度である。

本工法の用途としては、不適正処分場の適正化や汚染土壌の封じ込めの他、地下ダムのような一般の止水壁や護岸の吸い出し防止、補助的な背面遮水工等が考えられる。また、水より軽い油分等の流出防止壁としても有効である。

## 2.4 遮水構造

本工法はソイルセメントと遮水シートの複合構造である。継手部の遮水性能を確保するため、ソイルセメント部は単独で法規制上必要な透水係数 $10^{-6}$  cm/s以下を確保することを前提としている。

本工法の継手部断面を 図-2 に示す。継手は施工性を考慮した簡易な構造である。終点側継手はシートで鋼管を巻き込んだ構造であり、シートロールの巻き芯となっている。始点側継手はシートでスリット付き鋼管を巻き込み、その内側にシート面保護のための保護管を挿入した構造となっている。遮水シート同士は、新規シートロールを装填したシート展開装置をソイルセメント部に挿入する際に、継手をかみ合わせて繋ぎ合わせる。

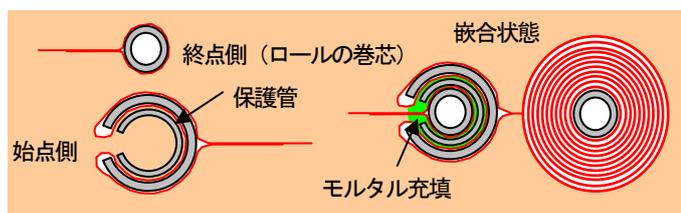


図-2 継手部断面

## 2.5 施工機械と施工手順

本工法に使用されるソイルセメント壁造成用機械は、 $0.8\text{m}^3 \sim 1.9\text{m}^3$ クラスの改造型バックホウをベースマシンとし、アタッチメントとして油圧駆動構造のトレンチャー式攪拌混合機を装着している（写真-1）。トレンチャーの攪拌翼で原

位置土をきめ細かに切削し改良材と攪拌混合することで、均一なソイルセメント壁を造成する。このメカニズムを 図-3 に示す。ロール状シート展開装置は $1.0\text{m}^3$ クラスの改造型杭打機をベースマシンとし、シートを装填、横引き作業ができるように、エアーシリンダー等の空圧機器とウインチ等を装備している（写真-2）。



写真-1 トレンチャー式攪拌混合機

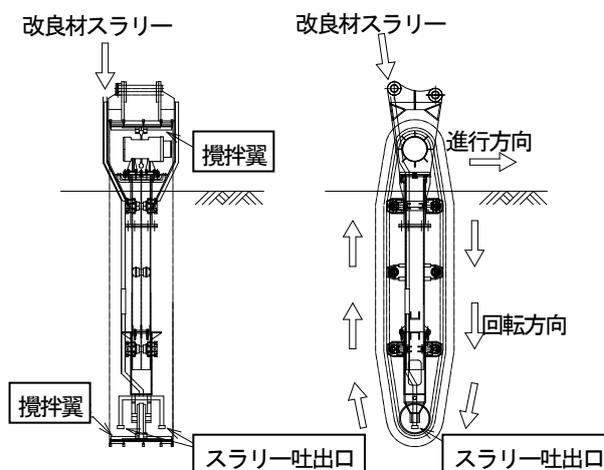


図-3 ソイルセメント造成メカニズム



写真-2 シート展開装置

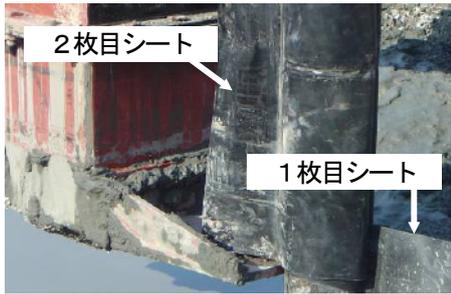
本工法の施工手順を写真-3に示す。



手順1：攪拌混合



手順2：シート横引き（1枚目）



手順3：継手施工



手順4：シート横引き（2枚目）

写真-3 施工手順

### 3. 隅角部施工技術の開発

遮水壁は敷地境界に沿って設置することが求められることが多い。施工時において敷地境界外のヤードを十分に借地することができれば、敷地境界に沿った遮水壁の設置は容易であるが、必ずしも借地が可能でない場合も有り得る。本工法の施工機は、トレンチャー式攪拌混合機、シート展開装置とも、設置する遮水壁計画線に正対し、横行しながら遮水壁を造成するため、敷地内側から境界に沿った遮水壁の設置が可能である。

敷地隅角部での施工では、これまでのバックホウをベースとするシート展開装置では、ブームの旋回と履帯の動きによって、ある程度の曲率で曲線状にシートを設置することは可能である。しかし、その場合、曲線状の遮水壁より外側の部分が残ってしまうため、敷地境界に沿ってシートを角付けする必要がある。そこで、シート展開装置に以下の2点の改良を加えた。

改良1：リーダーの首振り動作を行うためのジャッキを取り付け、角付け部のシート展開を可能とした(写真-4)。

改良2：ベースマシンの車体を浮かすためのジャッキを取り付け、キャタピラの90度方向転換を可能とした(写真-5)。



写真-4 リーダー首振り用ジャッキ



写真-5 キャタピラ方向転換用ジャッキ

改良したシート展開装置を用いた隅角部の具体的な施工手順を図-3に、シートの角付け作業状況を写真-6に、シート設置完了状況を写真-7に示す。



写真-6 シートの角付け作業状況



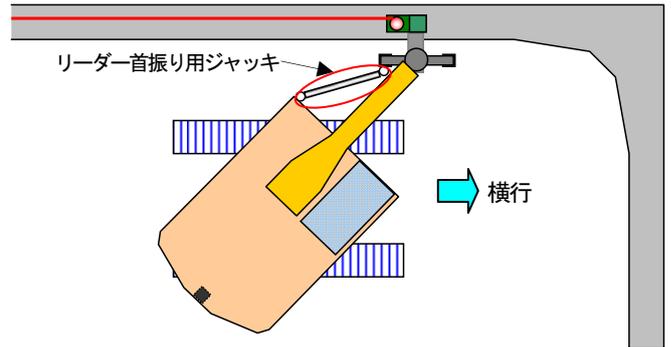
写真-7 角付け施工完了状況

#### 4. おわりに

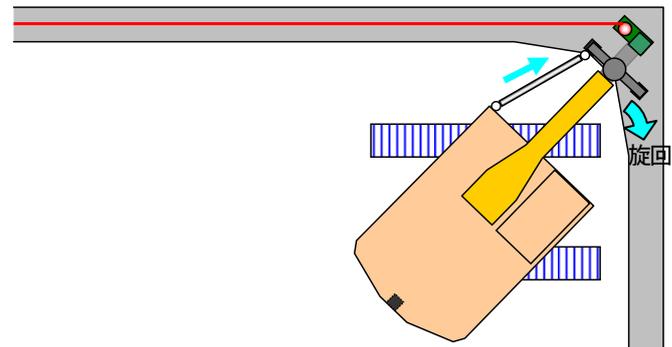
本論文では、横引き式遮水シートによる鉛直遮水壁構築工法について、その概要を説明し、普及・展開における改良事例を紹介した。

本工法は隅角部施工技術などの改善を進めながら、現在、施工延長約920m、遮水シート面積約7,500㎡もの実績を上げつつある。今後もさらに改良を重ねながら、施工可能深度を深くすることを目指すとともに、低コストで高品質な地下遮水壁構築工法として本工法の普及・展開を図っていきたいと考えている。

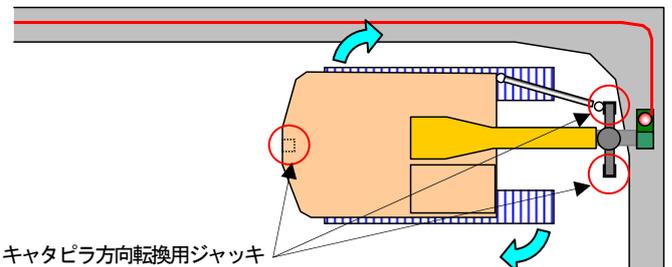
なお、本技術は清水建設(株)、(株)加藤建設、太陽工業(株)で共同開発した特許出願中の技術である。



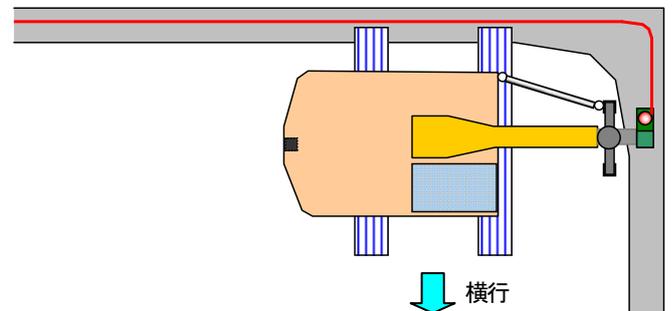
① リーダー首振り用ジャッキを縮めて、遮水壁設置ラインに対して展開装置を45度程度斜めに保持した状態で横行する。



② コーナー部では、リーダー首振り用ジャッキを伸ばしながら展開装置を旋回させ、角付け操作を行う。



③ リーダー首振り用ジャッキの伸縮と旋回操作により角付けを終え、直交する遮水壁ラインに正対したら、キャタピラ方向転換用ジャッキで車体を浮かせ、キャタピラを90度方向転換する。



④ キャタピラの方向転換が完了したら、キャタピラ方向転換用ジャッキを収納し、シートの展開作業を継続する。

図-3 隅角部施工手順

# 16. 『U桁リフティング架設工法』を採用した大規模PC高架橋の施工

## — 第二京阪道路 茄子作地区 PC上部工事 —

国土交通省 近畿地方整備局 浪速国道事務所 大國喜郎  
 三井住友建設(株) 機電部 ○落合博幸  
 三井住友建設(株) 大阪支店土木部 河野信介

### 1. はじめに

第二京阪道路茄子作地区 PC 上部工事の専用部は、大阪府枚方市～交野市の市街地に位置する橋長790mのPC20径間連続箱桁橋である。主桁断面を図-1に示す。桁高は2.8m一定で、第二京阪道路の標準的な断面である4主箱桁である。

桁高や支間が比較的均一に計画された大規模高架橋では、工場製セグメントを用いたスパン・バイ・スパン工法が一般的であるが、下部工事が完了している本工事では、桁下空間が比較的自由に使用できるという現場条件を生かし、大型プレキャスト桁を現場内ヤードで製作し、一括架設する新工法『U桁リフティング架設工法』が採用され、現在施工中である。

本工法では、セグメントを全て現場内で製作することから、大型トレーラーによる一般道のセグメント運搬が不要となり、環境負荷が軽減されるとともに、リフティング架設により架設機材重量を大幅に低減し、コスト縮減を図っている。本稿では、『U桁リフティング架設工法』について、その概要を報告する。

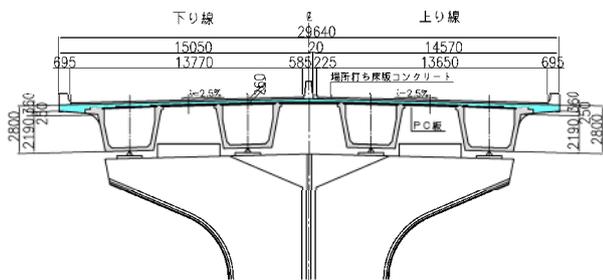


図-1 主桁断面 (標準部)

### 2. U桁リフティング架設工法の概要

U桁リフティング架設工法とは、下床版とウェブのみのU形断面プレキャスト桁 (以下、U桁) 1支間分を現場内ヤードで製作し、場内運搬後、一括架設し、橋体を構築するものである。架設イメージを図-2に、施工順序を図-3に示す。

最大重量240tfのU桁の架設は、柱頭部セグメント上に設置したリフティングガーダーにて吊上げ後、間詰めコンクリートの施工、1次外ケーブルの緊張により自立させる。その後、PC板の敷設、現場打ち床版コンクリートを打設して橋体を構築する。

表-1にU桁リフティング架設工法と一般的なスパン・バイ・スパン工法の比較を示す。断面を分割し、上床版を後打ち施工することで吊上げ重量を軽減できるとともに、U桁を一括架設することで、ガーダーに作用するモーメントをスパン・バイ・スパン工法に比べ20%以下に低減でき、ガーダー重量を大幅に軽減することが可能となる。

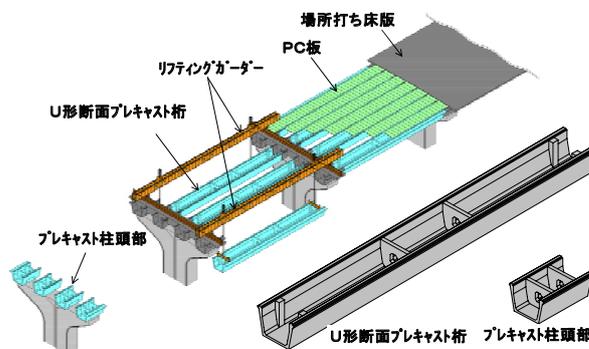


図-2 U桁リフティング架設工法

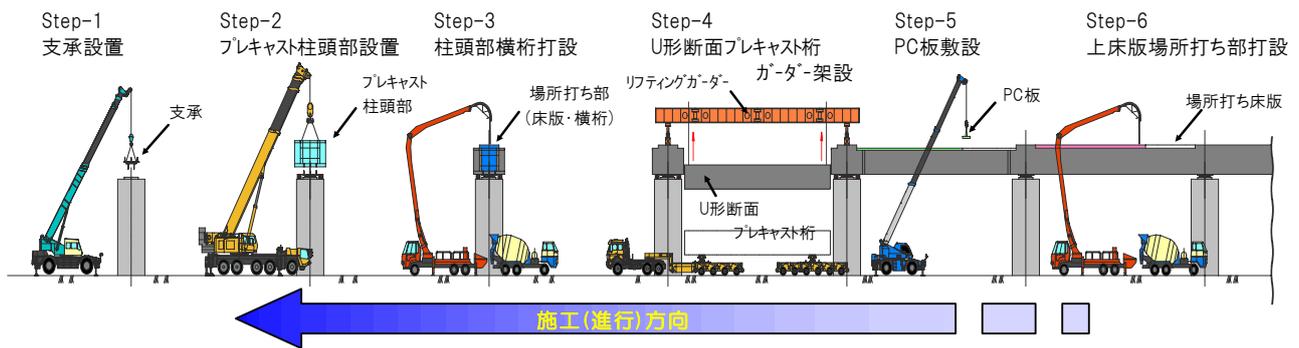


図-3 施工順序図

表-1 U桁リフティング架設工法と一般的なスパン・バイ・スパン工法の比較

架設工法	U桁リフティング架設工法	一括吊り上げ工法	一般的なスパン・バイ・スパン工法
架橋地点の条件	プレキャストの製作ヤードが確保できる		プレキャストの製作ヤードが確保できない
工法イメージ図			
主桁断面の構築方法	合成断面 (U桁架設後に床版を場所打ち)	箱形断面	箱形断面
ガーダーに作用する最大モーメント	4100 kN・m	6800 kN・m	23000 kN・m
	18%	30%	100%

### 3. 施工

#### 3.1 主桁の製作・運搬

主桁の製作は、前述のように現場内ヤードで行う。限られた敷地内で、4本(1径間分)/2週間の製作サイクルを実現するため、以下の要領で製作ヤードの縮小を図っている。

- ①桁側面からの資材調達を可能とし、場内側道部分をヤードとして有効に活用するため、製作ベッドは、柱頭部で4ベッド、U桁部で縦列に4ベッド配置した。
- ②U桁部では、底枠の4ベッドに対して側枠、内枠は2ベッド分とし、1次施工側(2ベッド)の側枠、内枠は脱型後に隣接ベッド(2次施工側)に設置するという方式で転用効率を高めた。

③施工効率を高めるために、鉄筋やPC鋼材を極力セミプレファブ化した。

上記②、③により、異なる作業工種が集中することなく、サイクル性を持って行えるため、サイクル工程の短縮が可能となった。また、屋根設備を設置し、天候に影響されない作業を可能とした。

U桁製作後、横移動装置により製作ベッドから前後2台の大型トレーラーに積込み、架設地点まで場内運搬を行う。(写真-1、2)

トレーラーによる運搬では、最大重量240tfの大型プレキャスト桁を運搬することから、タイヤ通過面に対して敷き鉄板を敷設して、運搬時の安定を図った。



写真-1 U桁積み込み状況



写真-3 実物大模型載荷実験状況



写真-2 U桁場内運搬状況

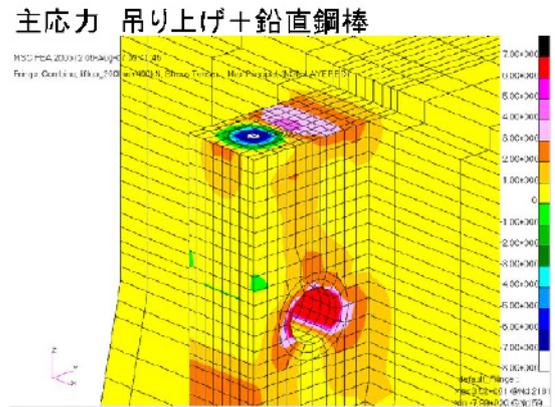


図-4 FEMによる吊点近傍の応力照査

### 3.2 U桁の吊り上げ

U桁の吊り上げにあたっては、架設中のU桁全体をモデル化した3次元 FEM 解析を実施し、全体解析および局所的な応力検討を行うとともに（図-4）、実物大の模型載荷実験を実施し、その安全性を確認した（写真-3）。

写真-4にU桁吊り上げ状況を示す。U桁リフティングはセグメントをゲビンデ鋼棒で吊り上げて行う方式を採用した。採用にあたっては、ワイヤーロープ方式、鋼線方式等と比較を行い、施工性や経済性等を総合的に判断して決定した。また、リフティングガーダーは高さ1.8mのBH断面2列で構成された軽量ガーダーを用いている。

吊り上げに要した時間は、約12mの吊り上げ高さで1.5時間程度であった。



写真-4 U桁吊り上げ状況

### 3.3 U桁の横取り

リフティングガーダーは柱頭部上に敷設された横取り装置に支持されている。リフティング装置で吊り上げられたU桁は所定位置までゲビンデ鋼棒を用いて横取りした。写真-5に横取りレール配置状況を示す。



写真-5 横取りレール配置状況

### 3.4 U桁の高さ調整

所定高さに吊上げた後、U桁の設置位置の最終調整を行う。この際、桁両端の勾配調整が同期されない場合、U桁にねじり応力が発生し、0.3%の僅かな勾配差でも中間隔壁部にひび割れを生じる。このため、本工事では、最終調整時のU桁のねじりに対して、ロードセルにより吊り荷重の変動をモニタリングし、所定の許容範囲以内になるように集中管理を実施している。写真-6にU桁荷重モニタリング状況を示す。

### 3.5 施工サイクル

U桁の製作サイクルは、U桁架設サイクルと同一日数とすることで、製作したプレキャスト桁の仮置・ストックを不要とし、最も効率的となる。

本橋では、U桁製作ヤードを4ベッド、リフティングガーダーを2基使用し、2週間サイクルでの架設を実現している。

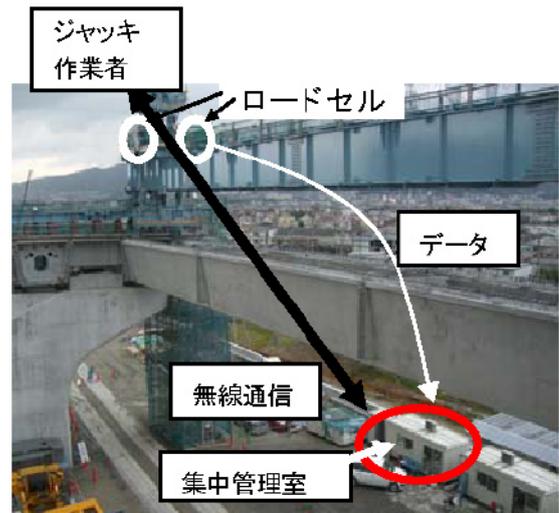


写真-6 U桁荷重モニタリング状況

## 4. おわりに

『U桁リフティング架設工法』により施工中の最大重量240tfの大型プレキャスト桁の施工について、架設機械を中心に記述した。

今後、本施工において得られた改善点を踏まえ、安全施工、省力化等を考慮した架設機械のさらなる発展に貢献できれば幸いである。

なお、本工事は現在進捗中であるが、平成21年3月竣工に向け、品質管理、安全管理に細心の注意を払い、努力する所存である。

# 17. トンネルテンションバランス取付作業車の効率的運用について

独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 谷口 俊彦  
板谷登起雄  
北海道旅客鉄道株式会社 佐伯 吾一  
○千葉 洋平

## 1. はじめに

北海道旅客鉄道株式会社では、北海道新幹線新青森・新函館(仮称)間の共用区間における新幹線建設工事を鉄道建設・運輸施設整備支援機構より受託し施工している。共用区間(図1)とは世界最長の青函トンネルを含めた海峡線約82km(青森県新中小国～木古内)をいい、新幹線と在来線が三線式軌道上を共用して走行する過去に例のない運行形態をとる区間のことである。現在、受託工事の一つとして青函トンネル内のトンネルテンションバランス(以下、「TTB」という。)の新設工事を施工中である。TTBとは架線の伸縮をバネにより吸収し、架線張力を一定に保つ装置であり、電車へ安定した電気供給を行う上で欠くことのできない重要設備である。その工事施工に当たっては、限られた夜間作業時間帯でいかに効率的に施工を進めていくかが重要な課題であり、工事の安全、施工効率の向上を図ることを目的に施工方法を検討してきた。

本論文では、今回考案した機械施工による方法について報告する。

## 2. TTB 新設工事の概要

現在、在来線対応としての青函トンネル架線引留構造はトンネル内の気温がほぼ20℃と一定で架線の伸縮が微少であることから、トンネルの出入り口を除き、下束への直留方式がとられている。しかし、新幹線の高速走行への対応を可能とするため、架線張力を一定に保つことができるTTB(写真1)146台の新設を新幹線電車線設備工事の一つとして実施している。



写真1 新設したTTB(青函トンネル内)  
TTBは、軌道上約7mのトンネル中心部の天井に

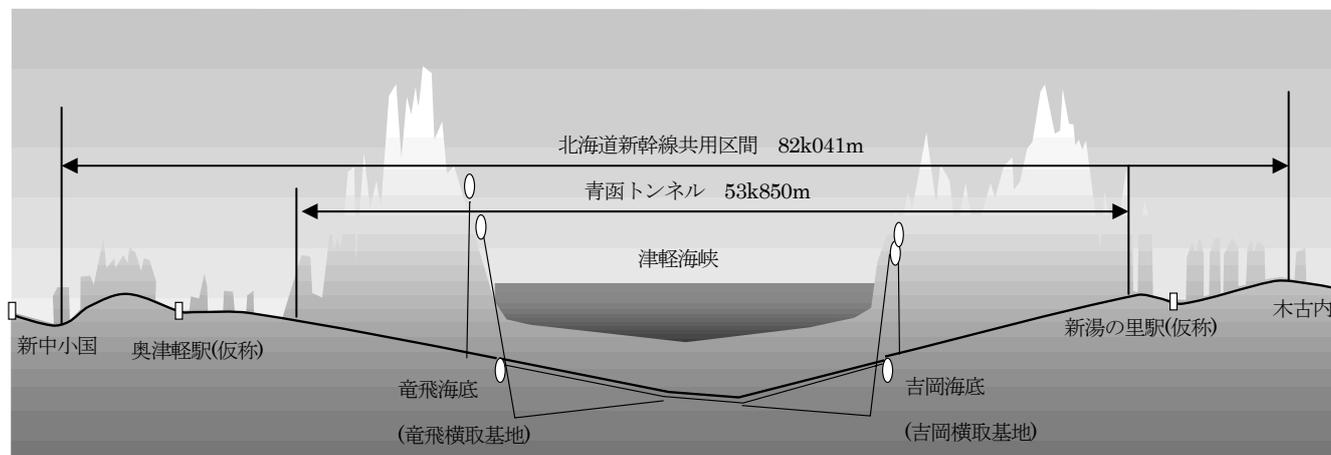


図1 北海道新幹線共用区間概略図

設置され、かつ重さが1台約500kgであり、機械を使用せずにハシゴ等を用いた人力のみでトンネル天井に取り付けるには、列車間合いの夜間作業時間帯約160分(1日の作業時間)という制約があることと、施工上の安全面から多くの課題があった。

そこで工事に当たっては、鉄道建設・運輸施設整備支援機構が開発したTTB取付作業車と軌陸車(図2、写真2)を用いた機械施工を実施することとした。

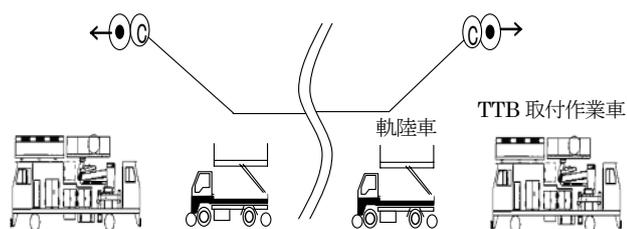


図2 機械施工体制イメージ図



写真2 TTB取付作業車(吉岡横取基地)

### 3. TTB取付作業車の仕様

TTB取付作業車は、狭軌レール面上を走行し、機器を格納した状態で在来線の車両限界に支障しないものとし、その他主な仕様は、表1に示す。

表1 TTB取付作業車の主な仕様

項目		寸法・重量	
外形寸法	長さ(連結面間)	mm	14,550
	幅	mm	2,900
	高さ(レール面上)	mm	3,980
軌間	mm		1,067
軸間距離	mm		7,000
車輪直径	mm		762
積載量	ton		2
重量	ton		33

作業性能としては、TTB取付作業を主目的とし、旋回昇降作業台、作業台、クレーン及びTTB設置装置機能を備えたものである。TTB設置装置(写真3)には、TTBをトンネル天井まで昇降させるリフトと架線の張力5.5tを仮受けする仮受ロッドが装備されている。架線を仮受ロッドで仮受けし、TTB取付スペースをあけ、リフトによりTTB本体をトンネル天井まで持ち上げるにより容易な取り付けを可能とした。

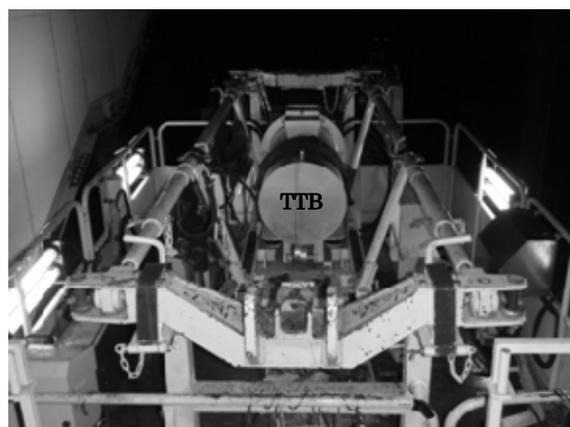


写真3 作業台にTTBを設置した様子

### 4. TTB新設工事の施工方法

青函トンネルは、現在在来線として営業されているが、将来の新幹線との共用走行に備えて、海峡線開業当初から設備されているものがある。その一つとしてTTB取付用のアンカーボルト(写真4)が既に設置されており、そのアンカーボルトを利用して今回のTTBを取り付ける。

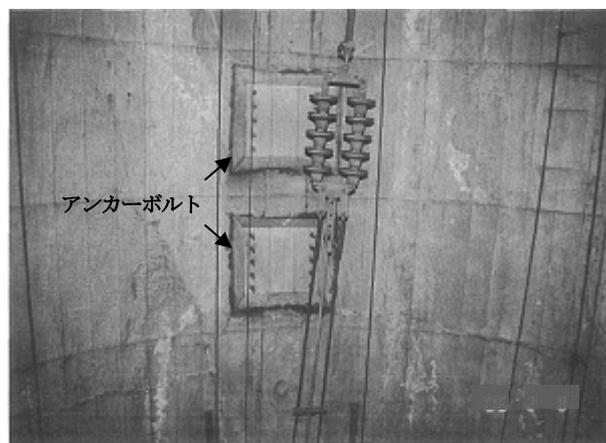


写真4 TTB取付用アンカーボルト

ここで既存のアンカーボルトに TTB を取り付けることになるが、下束とアンカーボルト位置が場所ごとに異なっていたために、TTB を取り付ける前段の作業として架線系の調整を行う必要があった。これらを考慮し、TTB 取付作業車を用いて施工されている TTB 新設工法の一例を以下に示す。

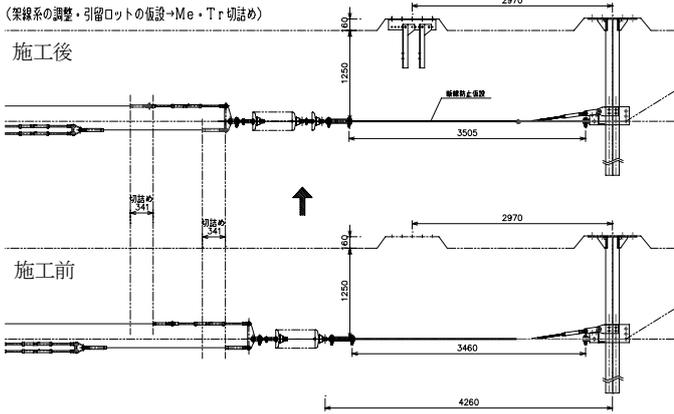


図 3-1 架線系の調整(step1)

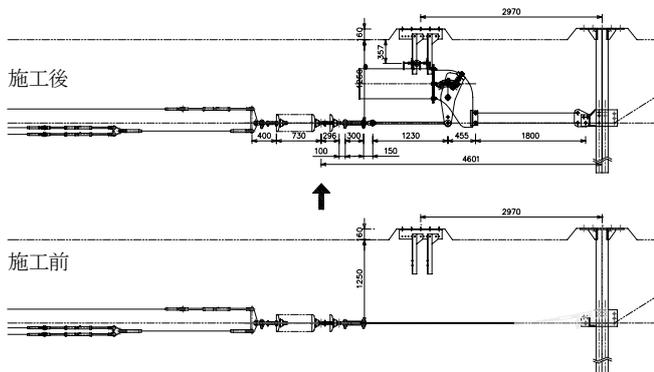


図 3-2 TTB 新設(step2)

表 2-1 機械施工フロー (step1)

項目	工事種別	数量	作業日数	使用車両	記事
1	作業車作業台設置準備	1箇所	1日	TTB作業車 軌陸車	
2	引留装置仮設	1箇所		TTB作業車 軌陸車	断線防止仮設含む
	(がいし取替)	1箇所		TTB作業車	
	(吊架線切り詰め)	1箇所		TTB作業車 軌陸車	張力調整、圧縮 含む
	(代用トロリ線切り詰め)	1箇所		TTB作業車 軌陸車	張力調整、圧縮 含む
3	TTB吊架金具取付	1箇所	TTB作業車		
4	Wチェック 作業車作業台格納	1箇所	TTB作業車 軌陸車		

※基地から現地までの往復移動時間は除く  
※作業時間は160分/日

表 2-2 機械施工フロー (step2)

項目	工事種別	数量	作業日数	使用車両	記事
1	作業車作業台設置準備	1箇所	1日	TTB作業車 軌陸車	
2	引留装置仮受	1箇所		TTB作業車	
3	TTB取付	1箇所		TTB作業車	
4	引留変更	1箇所		TTB作業車 軌陸車	
5	架線調整・Wチェック 作業車作業台格納	1箇所		TTB作業車 軌陸車	

※基地から現地までの往復移動時間は除く  
※作業時間は160分/日



写真 5 TTB 新設施工中

図 3-1 に示す、step1 の架線系の調整では、下束毎に異なる架線長約 1,500m の張力を 5.5 t に調整し、下束と TTB 取り付け用アンカーとの離れを考慮して、TTB が設置できるような代用トロリ線、ちよう架線の長さを切り詰めることにより調整を行っている。切詰寸法については、それぞれ異なるためその場所毎に調査・設計を実施した。また、TTB 取付用の吊架金具についても、き電線等との離隔を考慮して、その場所毎の金具を調査・設計し取り付ける必要があった。架線系の調整が終了後、図 3-2 に示す step2 の中で TTB 取付作業車の TTB 設置装置を用いて、引留用がいしから下束までの張力を仮受ロッドに移し替え(写真 6)、TTB 取付方向の上方をあけた状態にし、リフタを使って吊架金具まで持ち上げ(写真 7)、設置する。各ステップの工程を表 2-1、2-2 に示すが、先に述べた夜間作業時間帯で基地からの作業車の移動時間を含めて検討した結果、1 間合いの中での作業内容を 2 ステップに分け、1 台の TTB を新設するために必要な時間を約 320 分(作業日数で 2 日間)と定めた。



写真6 仮受ロッドによる張力移し替えの様子



写真7 リフトによるTTB取り付けの様子

## 5. 人力施工と機械施工の比較

本工事施工に当たっては、機械化による効率的な施工を行っているところであるが、ここで、人力施工時のTTB取付フローと比較して、機械施工がどの程度、効率的になったのか検証してみる。

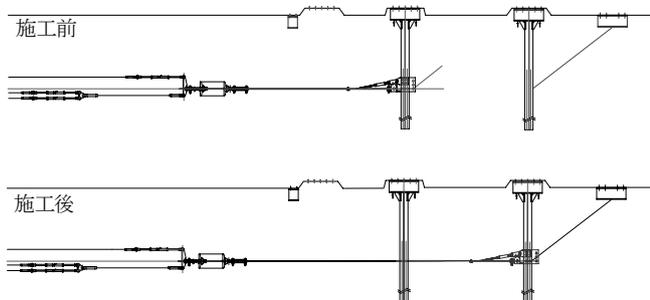


図5 人力施工時の仮引留への架線系移転

図5では、TTBを取り付けるため、現在直留めされた架線を移転することにより、TTB取り付けのス

表3 人力施工フロー

項目	工事種別	数量	作業日数	記事
1	仮支線仮設	1箇所	1日	
2	可動ブラケット仮設	1箇所		
3	TTBつり上げ用フック取付	1箇所		
4	引留変更	1箇所	1日	仮引留へ
5	張力調整	1箇所	1日	
6	TTB吊架金具取付	1箇所	1日	
7	TTB取付	1箇所	1日	
8	引留変更	1箇所		仮引留→TTB
9	仮支線撤去	1箇所		
10	可動ブラケット撤去	1箇所	1日	
11	架線調整	1箇所		

※作業時間は160分/日ペースを確保するものである。この作業は、TTB取付作業車を使用すると、TTB設置装置の仮受ロッドにて行うことができる。また、表3に示すように、1台のTTBを取り付けるまでに、機械施工に比べ多くのステップを踏むことになる。さらに、TTB新設に当たっては、トンネル中央部約7mの箇所に取り付けるため、ハシゴ等での高所作業は困難であることから、足場組立設置、TTB吊上用のアンカー設置、そして、仮引留等の仮設物撤去作業も増えるため、作業人員についても機械施工に比べ大幅に増加することとなる。TTB取付作業車は、これらの仮設等に用いる作業全般をまかなうことができるため、大幅な人員の削減と人力施工では、1台のTTB取り付けに約960分（作業日数で6日間）必要と予想されていた工程が、約320分（作業日数で2日間）に短縮できるなど、146台の新設を行っていく上で、工期が短縮化となるだけでなく、工事費についても大きな節減が期待されている。

## 6. おわりに

本論文では、TTB取付作業車使用による効率的な運用について述べた。

現在、H27年度の北海道新幹線新青森・新函館（仮称）間の開業に向けて電気工事以外にも三線式軌道化に伴う、ロングレール輸送車を用いたロングレール輸送及び敷設等、様々な作業が競合した中で工事を進めている。

今後も、営業線での限られた作業時間帯の中で、機械施工による安全で効率的な作業方法を確立するとともに、さらなる施工方法の検討を行っていく。

## 18. 鋼製函体締切工法「RUP工法」

大豊建設株式会社 土木技術設計部 総合技術営業課

麻生 克  
○佐々木 洋  
瀧口 英彦

東京支店 土木工事課

### 1. はじめに

現在、全国各地の河川で水域内橋脚の耐震補強工事が行われている。耐震補強工事は、従来では橋脚を鋼矢板で仮締切し、ドライ状態で行うのが一般的である。しかし、仮締切に伴う水面占有や橋脚の狭隘な空頭による作業制限など施工が難しい場合も多く、1 濁水期内での作業工程に問題があるため計画通りに進んでいないのが現状である。そこで、従来の鋼矢板締切工法に代わり、これらの問題を解決する目的で開発されたのが鋼製函体締切工法「RUP (Reinforce & Repair UnderWater Pier) 工法」である。

本文では、従来工法(鋼矢板締切工法)の問題点とともに、RUP工法の概要及び特長、有効性を適用現場での施工例を交えて報告する。

### 2. 従来工法(鋼矢板締切工法)の課題

従来の鋼矢板締切工法は、

- ① 仮締切鋼矢板の打設、撤去期間が長く、1 濁水期内での耐震補強に費やされる期間が制限される。
- ② 仮締切のための栈橋やクレーン船により、航行船舶の通行を長期間制限する。
- ③ 橋脚の空頭が狭隘な場合、鋼矢板の打継施工が必要となり、一層工期が長く、工費が高くなる。さらに桁下が低い場合には、施工が困難となる。
- ④ 鋼矢板の継手部や締切内底部の地盤改良部からの漏水により、耐震補強工事の施工に支障が生じる。

などの課題があった。

### 3. RUP工法

#### (1) 概要

RUP工法は、複数の区画を有する2分割の浮力調整可能な鋼製函体を橋脚に外装してフーチング上に着座し、函体内側を排水してドライ状態で橋脚の耐震補強工事を行うための仮締切工法である。

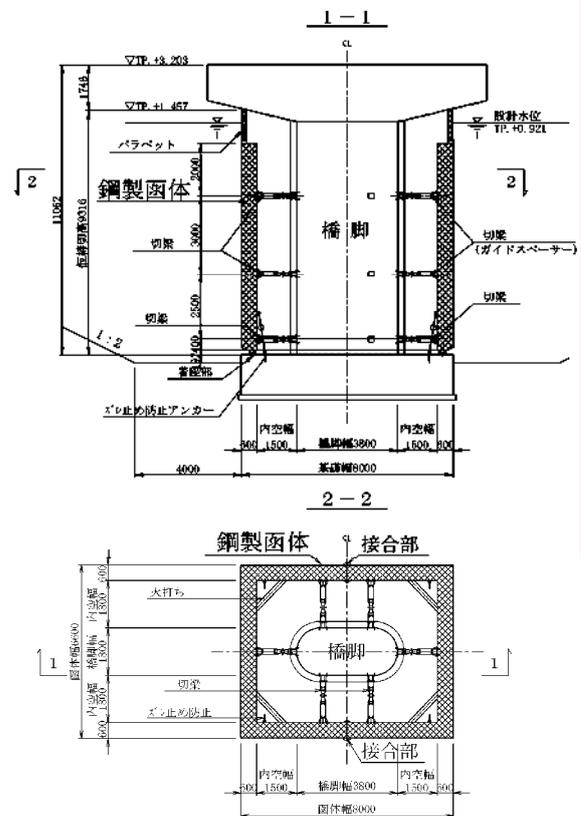


図-1 鋼製函体図面

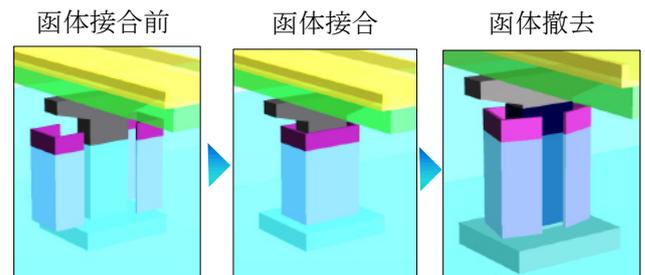


図-2 イメージ図

## (2) 特長

RUP工法は以下の特長を有している。

### ① 仮締切のための期間が短い。

仮締切部材である函体は、予め工場で作成して現地まで運搬(えい航)し、即座に据付を行う。

函体は一方側が開閉自在なピン構造のヒンジで連結されているため、ピンを挿入するだけで簡単に結合できる。また、函体の内側には、橋脚と一定距離を保持して係合可能な複数のガイドスペーサーを突設しているため、現地での据付、撤去が容易であり、仮締切を短期間に行うことができる。



写真-1 ピン構造

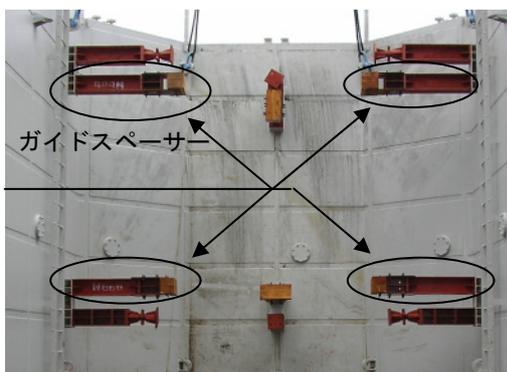


写真-2 ガイドスペーサー

実施工での函体の据付は、準備を含めても3日間(実沈設時間は10時間)、撤去期間も同様に2日間(実浮上時間は6時間)であり、鋼矢板締切工法と比較して大幅な工期短縮となった。この施工事例では、当初困難であった1渇水期2橋脚の施工を1函体で順次行い、計画通りに施工することができた。



写真-3 函体据付状況

### ② 仮締切のための航行制限を大幅に緩和する。

鋼製函体は浮体構造物であり、函体内の水量を調節することで浮力調整を行い、函体の沈設、撤去を行う。そのため、鋼製函体の据付、撤去に原則的にクレーン船を必要とせず、クレーン船の配置により航行船舶の通行を長期間制限することがない。

実施工では鋼製函体の固縛にクレーン船を2隻配置したが、鋼製函体の設置、撤去に要した日数は実質2日間であり、航行する船舶の通行を長期間制限することは無かった。



写真-4 沈設完了

### ③ 低空頭での施工が可能。

函体内部は仕切り壁で複数に分割されており、分割された各区画に給排水のための吸排水管、及び給排気管が配管されている。

函体への給水は、別途、台船上に設置した自給式ポンプから連結された分水器とサクションホースで行い、水量をバルブ調節することで函体の動きを制御する。そのため、函体は低空頭の橋脚においても安定性に優れ、自在に据付、撤去が可能である。



写真-5 函体内部分割構造



写真-6 加圧試験

函体内の排水は圧縮空気による加圧方式によるため、函体は製作時に外部水压+排水圧に耐えられる構造としている。

函体に作用する圧力は、  
水深  $h=6.0\text{m}$  より、静水压  $p=0.06\text{MPa}$   
気圧試験圧力 (Pa) は最高使用圧力の 1.25 倍より  
 $P_a=0.06 \times 1.25=0.08\text{MPa}$   
排水時、 $0.01\text{MPa}$  を加圧するため  
 $P_b=0.08+0.01=0.09\text{MPa}$   
上記の計算により、 $0.09\text{MPa}$  の加圧試験を行い、  
函体の耐圧を確認した。

実施工においては、函体の設置、撤去は給排水設備のみで行い、低空頭の橋脚においても、函体を自在に制御することができることを実証した。



写真-7 給排水設備

#### ④ 止水性が高い

分割函体の接合面には連続した止水用のパッキン、函体底部着座面は緩衝シール材と、場合によりモルタル、水中コンクリート、又は発泡ウレタンの充填による協働で短時間に確実な止水ができる。

緩衝シール材は、硬質のCRゴムのPパッキン(高さ:80mm、幅170mm)と軟質の独立気泡スポンジゴム(高さ:20mm、幅100mm)を併用し、フーチングの不陸に対してフレキシブルに対応して止水する構造とし、止水性を高めた。また、支持脚でフーチングと函体底部との距離を一定にし、函体を安定した状態に保持した。

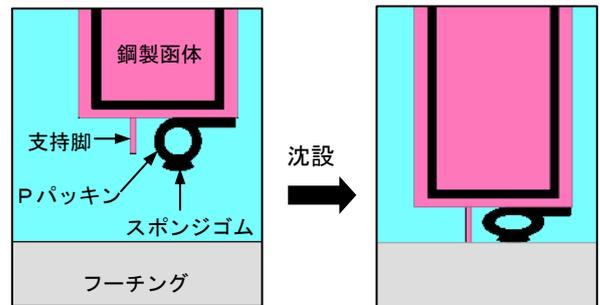


図-3 緩衝シール材圧接図

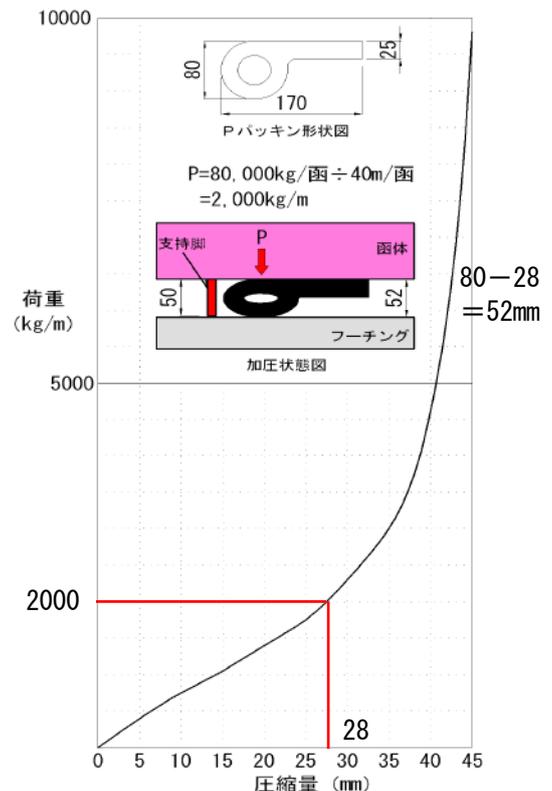


図-4 Pパッキン圧縮荷重曲線

実施工ではモルタル、水中コンクリート、又は発泡ウレタンの充填を行わなかったが、函体内の残水ポンプを夜間停止しても漏水位は 80mm(約 5 m<sup>3</sup>)程度であり、施工に影響を与えることなく、止水性の高さを証明することができた。

#### ⑤ どのような形状の橋脚にも対応できる。

函体は橋脚、フーチングの形状に合わせて製作、または組合せを行うこととし、橋脚の形状が円形や矩形、楕円形の場合など多様な形状の橋脚に対応が可能である。また、函体が着座するフーチングの断面形状についても、平面な場合は勿論のこと、傾斜した場合や井筒状に打設された鋼管矢板がある場合にも函体下部に別途、着座用ユニットを取り付けることで対応できる構造である。



写真-8 張り出しタイプ着座ユニット

実施工においても、井筒状に打設された鋼管井筒矢板基礎構造の橋脚に対して、張り出しタイプの着座用ユニット(写真-8)を取り付けることで対応し、施工上の問題がないことを実証できた。



写真-9 鋼管井筒矢板基礎での設置状況

#### ⑥ 周辺環境への影響を軽減する。

RUP工法は、バイブロハンマー等を使用しないため、騒音や振動、水面汚濁を発生することがなく、周辺環境への影響を大幅に軽減できる。

#### 4. 適応箇所

RUP工法の適用箇所は、以下の施工環境にある場合に有効となる。

- ① 施工水深が3~15mの範囲にある。
- ② フーチング構造の橋脚である。
- ③ 桁下空間が低く、鋼矢板での仮締切が困難である。
- ④ 長期の水面占用が困難である。
- ⑤ 短期間での施工が必要である。
- ⑥ 同形状の橋脚が複数で、転用が可能である。

#### 5. 今後の課題

RUP工法は、橋脚のフーチング上に着座させるため、フーチングを露出させる必要がある。フーチング上の覆土が多い場合や、極めて覆土が軟弱な場合は覆土の掘削量が多くなり、経済的に不利となる。そのため、覆土が多い場合の対策が今後の課題である。

また、対象となる橋脚数が限られて函体の転用が少ない場合にも経済的に不利となる。そのため、函体の軽量化を図って経済性を高めていくことも今後の課題である。

#### 6. おわりに

RUP工法は、従来の締切工法(鋼矢板締切工法)に代わる新しい工法として、既に数件の施工実績を得ることができ、その安全性と有効性を実証することができた。しかし、河川内橋脚の仮締切には、様々な異なる条件下での対応が求められる。今後、このような多様な条件にも対応できるよう改良を加えていきたいと考えている

最後に、当工法の開発、施工に尽力を頂いた方々に感謝の意を表します。

## 19. 道路盛土における段差抑制対策工の試験施工

西日本高速道路  
前田工織  
東京工業大学

殿垣内 正人  
○関口 陽高  
太田 秀樹

### 1. はじめに

筆者らは、道路盛土の構造物取付部や土工切盛境部等における①供用後の盛土天端（舗装路面）の不同沈下の軽減と②大規模地震時における段差被害の軽減を目的に、経済的かつ既設道路への適用も可能な道路盛土の段差抑制対策工法に関する検討を行ってきている<sup>1)</sup>。図-1にC-Box上への設置を想定した本工法の構造概要を示す。本工法は路体部、路床部または路盤部にジオシンセティックスを敷設し、拘束材により盛土材または路盤材にプレストレス力を付与するものであり、盛土層または路盤層の「曲げ剛性」を飛躍的に向上させることを目的としている。つまり、盛土の沈下・変形に伴う舗装路面の変形に対して、ジオシンセティックスと拘束材を用いることで、土または路盤材といった安価な締固め材料に「構造部材としての性能」を発揮させ、変形抵抗性と強度を確保しようとするものである。新設時での適用に加えて、既設道路への適用についても従来実施されてきている舗装打換工の延長線上で施工可能と考えている。本報告では、新名神高速道路において試験施工を実施した結果と供用後の性状について報告する。

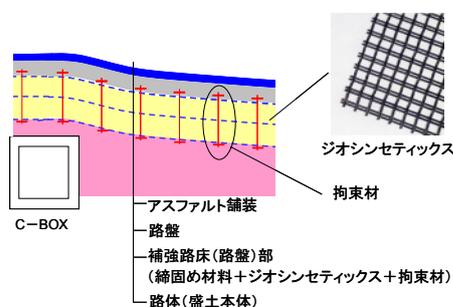


図-1 ジオシンセティックを用いた道路盛土の段差抑制対策工法

### 2. 本工法における試験施工概要

図-2に新名神高速道路（滋賀県甲賀市内）において2007年10月中旬に実施された段差抑制対策工法の試験施工概要を示す。試験施工では軟弱地盤上の盛土内のC-Box上に段差抑制対策工法を上下線本線部の上部・下部路床部（補強層厚：60cm）に適用した。補強層の施工延長は踏掛版延長を参考に、C-Boxの端部から8mを補強するものとし、総延長28mとした。拘束材の設置間隔はC-Boxの端部を□50cm間隔、その他部分を□100cm間隔とした。ジオシンセティックス（敷設枚数：3枚）、拘束材および締固め土（締固め度95%以上）により施工を実施した。試験施工終了後、舗装工（ $t=45\text{cm}$ ）が実施された。

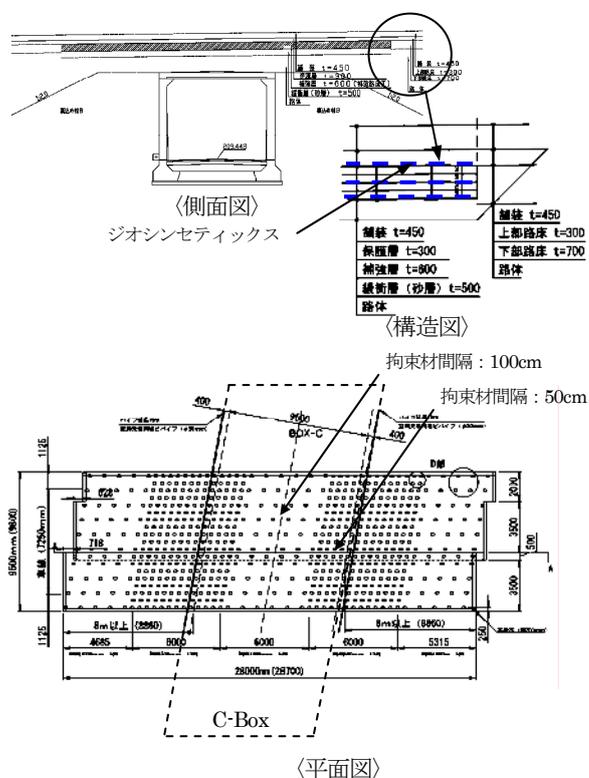


図-2 試験施工工

### 3. 施工方法と改良

本工法は高盛土において、ジオシンセティックスを盛土に敷設し、軽量鋼矢板と鉄筋ロッド等の拘束材により盛土材にプレストレス力を与える補強盛土工法<sup>2)</sup>と拘束材に高強度の繊維性ベルト（以下、拘束ベルト）を用いた補強盛土工法のために開発された専用機械（写真-1）を用いる方法を参考に、比較的簡易な施工材料を用いた拘束材設置方法を開発した。本試験施工は拘束材を 1340 箇所/日の打設した。



写真-1 プレストレス補強工専用機械

下記に新たに開発した専用治具とジャッキを用いた施工方法を示す。使用材料は写真-2 に示す。

- ①盛土材を 30cm 毎に敷均し、転圧を行う。ジオシンセティックスを 30cm 間隔で 3 枚層状に敷設する。
- ②削孔機により  $\phi 70\text{mm}$  の孔を地面に垂直に深さ 1100mm 削孔する。
- ③特殊治具を用いて、反力ピン付きの拘束ベルトを孔に挿入する（写真-3）。挿入したピンを最下層のジオシンセティックスに反力が取れるように、ジャッキを用いて反力ピンを回転させる（図-3）。
- ④削孔した穴の空洞部に単粒度砕石を投入する。
- ⑤反力版に拘束ベルトを通した後、特殊ジャッキにより 10kN 以上の引張力を与える（写真-4）。
- ⑥引張力を与えた状態で、くさびにより拘束ベルトと反力版を固定する（写真-5）。

本施工は、工期が短かったことから、写真-1 に示す専用機械と上記の方法と併用した。本施工方法では 200 箇所/日の施工が可能となり、その結果、施工スピードが向上し、工期の短縮が可能となった。本施工方法は拘束材の設置長さが比較的短い場合、人力施工に適した現場において有用と考えられる。この作業分担式による方法は熟練した技術と多く

の作業員を必要とするため、今後、路床・路盤補強工の専用機械の開発を行っていく次第である。



写真-2 使用材料

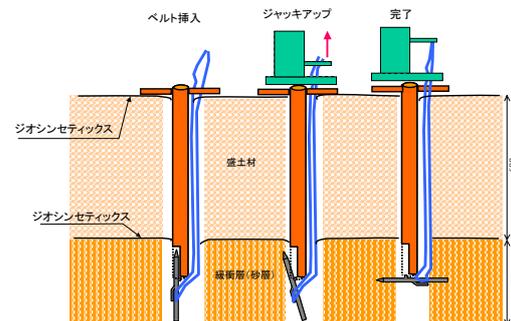


図-3 反力ピンセット



写真-3 拘束ベルト挿入



写真-4 プレストレス工



写真-5 完成状況

### 4. 供用性状

本工法における供用後の性状を確認するため、各種計測方法を用いて追跡調査を実施した。本計測で

は、構造物（道路）の安全性を確認すると共に、供用後の道路維持管理に寄与させることを目的として段差抑制対策工（補強路床）の施工後と供用後における各部の挙動を計測し、変位の傾向を把握することとした。

計測項目を下記の表-1に示す。光ファイバーセンサー機能付ジオグリッドにより、BOTDR方式を用いてジオシンセティックスに発生するひずみを計測管理した。BOTDR方式とは、ガラスの屈曲や密度の微妙なゆらぎにより散乱光が発生し、この一部が反射光として後方に戻ってくる性質を利用している。この特徴を活かして、対象箇所を連続して計測することができ、また切断されない限り半永久的に使用することが出来る。最近では、補強土壁の安全管理の手法として用いられており、その有効性が確認されている<sup>3)</sup>。設置箇所はC-boxの端部より1m内側から盛土側に10m（敷設長11m）に敷設した。沈下量の測定はC-boxと盛土部の境界に地中変位計を設置した。軟弱地盤上の盛土においてはC-boxと盛土の境界に沈下が発生し、その結果、コンクリートの踏掛版の下部に空洞が発生する可能性がある。よって本施工では、層別の沈下量の計測によって空洞を確認できるように、図-5に示す層別沈下計を設置した。なお、空洞の発生が確認された場合、補強層の下部に予め設置した空洞充填パイプから樹脂モルタルを注入し、空洞部が路面に影響を与えないような対策を施した。

計測位置は輪荷重によるジオシンセティックスへの影響が大きいと予測されるC-boxの車両が乗り上げる側に敷設した（図-4）また幅員方向は、走行車線の中央に設置した。設置深度は補強層の底版とその50cm下（緩衝層底版）に設置した（図-5）。

計測作業は、交通規制を実施しなくてもよいように、受信部を道路盛土の小段で計測を行うことができるように設置した。

計測日は供用直前、供用1ヵ月後、供用3ヵ月後に実施した。設置状況を写真-6、計測状況を写真-7に示す。

表-1 計測項目

計測項目	計測箇所	計測効果	計測器
ひずみ	ジオシンセティックス	ジオシンセティックスに作用する応力の把握と、応力分布の推定	光ファイバーオグリッド BOTDR
沈下量	C-boxと盛土境界部	沈下量の推定	地中変位計

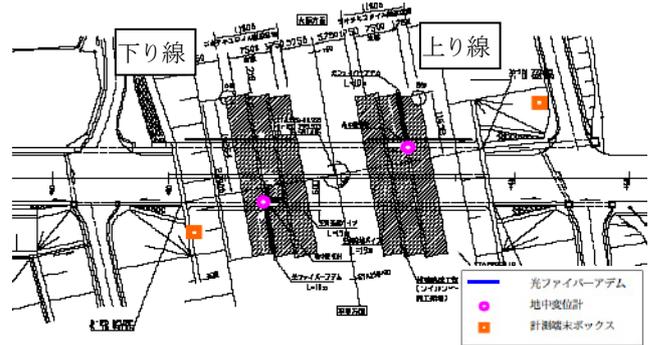


図-4 計測計画平面図

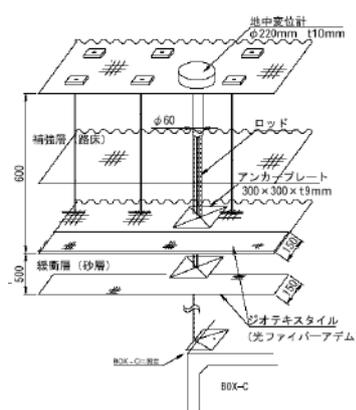


図-5 計測計画断面図



写真-6 光ファイバーセンサー入りジオグリッド



写真-7 計測状況

## 5. 計測結果

図-6に下り線のジオシンセティックスに設置した光ファイバーのひずみ分布を示す。図中の敷設長2m～11mは補強領域であり、その間10m～11mまではC-boxの上部に位置する。ひずみの(+)側は引張を示し、(-)側は圧縮の力が作用していることを示す。ジオシンセティックスに発生しているひずみ分布の供用3ヵ月後までの計測結果から、上下線ともに±0.2%以内に収まっている。これは、設計引張強度に対するひずみ5%に対して十分小さく、現時点ではジオシンセティックスの破断の可能性は低いと考えられる。

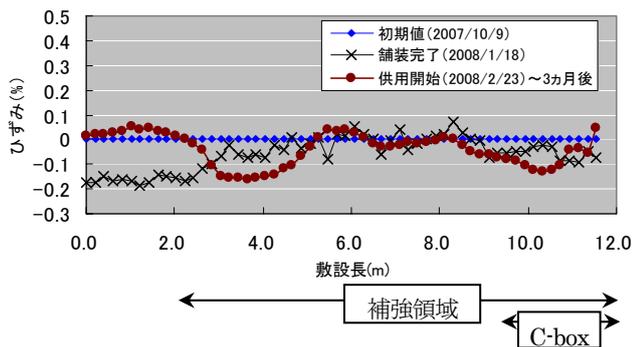


図-6 光ファイバーによるひずみ計測

図-7 に層別の沈下量の計測結果を示す。供用直前までは盛土の圧縮に伴う沈下が確認されたが、それ以降は沈下が収束に向かっている。また補強した層とその下部で沈下量がほぼ等しいことから、補強層とその下部に空洞が発生していない。

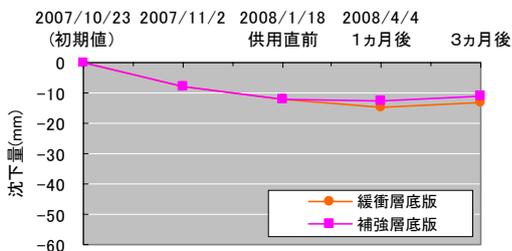


図-7 沈下量の時系列変化

段差抑制対策として一般的に用いられている踏掛版と異なり、本工法では盛土の変形に対して滑らかに追随する補強土の効果が確認されたといえよう。なお、図-8 に示すように路面の沈下量の結果から、補強を行っていない路肩部との比較では、いずれも沈下に発生しているものの、段差の発生はかなり軽減している。本工法による補強効果については、今後更なる追跡調査を実施するとともに、その設計方法を検討していきたい。

供用直前までは地盤の沈下による路面の沈下が進行していたが、計測により補強層で使用したジオシンセティックスへの損傷がなく、性能にも問題がないことを判断することが出来た。供用後の管理も交通規制せずに実施し、道路管理者に対して段差抑制対策工の安全性を証明することが出来た。

今回の計測方法により段差抑制対策工の盛土内の計測が可能となったが、BOTDR 方式による光ファイバー入りジオシンセティックスの計測は、時間的

に連続して計測することが困難である。そのため、リアルタイムで補強層の状態を知ることが出来るような計測方法に改良することが課題となる。

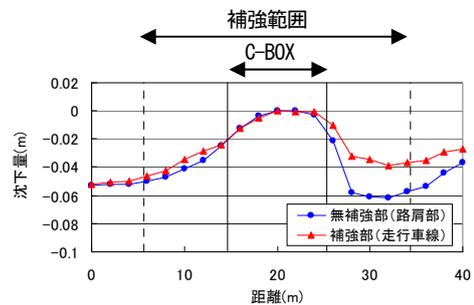


図-8 路面の沈下量

## 6. まとめ

本報告では、ジオシンセティックスを用いた段差抑制対策工法において、施工方法と試験施工の追跡調査結果を示した。比較的簡易な施工機械を用いた施工方法でも工期の短縮を図ることが出来たが、今後施工性と信頼性の高い専用機械の開発を行っていききたい。また、光ファイバーセンサー入りジオグリッド等を用いた新たな計測方法を試みた。今後、更なる検討を行い、本工法との兼用化を図っていききたい。

## 謝辞

試験施工現場を提供して頂いた西日本高速道路株式会社大津工事事務所、本工法の施工をして頂いた吉村建設工業(株)・ケイコン(株)共同企業体、共同研究者の(株)NIPPO コーポレーションの職員皆様をはじめ多くの多大なるご協力を頂いた。末尾ではありますが、ここに関係者各位に謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 殿垣内、奥隅、大窪、石垣、関口、荒井、太田：ジオシンセティックスを用いた道路盛土の段差抑制対策工法に関する実大実験，土木学会論文集，投稿中，2008.
- 2) 横田善弘：ジオテキスタイル補強土工法の新たな適用事例，ジオシンセティックス技術情報誌 11 月号，pp22-27，2002.
- 3) 吉田浩一，新正行，辻慎一郎，吉田幸弘，八嶋厚：光ファイバーセンサー機能付きジオグリッドによる補強土壁の安定性評価，ジオシンセティックス論文集 第 21 巻，pp73-76，2006.

## 20. 車両運行管理システムの開発

西松建設株式会社：大里 正博、佐々木 善直、○吉田 貴

### 1. はじめに

従来、車両運行状況の把握は、施工ヤード内に管理ゲート、センサを設置して行う必要があった。さらに、詳細な把握には、複数のゲート設置を必要とし、運行ルートの変更など、現場の変化に対応が難しいこと、費用が増加するなどの問題があった。また、車両誘導や接近情報は、トランシーバによる無線連絡や目視確認により行われているのが現状である。この方法は、人的ミスの発生が懸念されること、人件費が増えるなどの問題があった。

西松建設㈱では、これらの問題点を解決すべく開発を行った。本システムは、管理ゲートの設置を不要として、GPSを用いて各車両の位置情報を把握し、リアルタイムに車両運行状況を管理する。また、交差点・危険地点などの位置を仮想ゲートとして、その位置情報をあらかじめ設定することによって、運搬車両を安全に誘導する。各車両の運行状況を事務所の管理者に与えることのできるシステムを開発した。

本報告は、胆沢ダム洪水吐き打設工事で導入した車両運行管理システムについて概要と運用状況について報告する。

### 2. 工事概要

胆沢ダムは、北上川水系胆沢川に建設する堤体積1,350万 $m^3$ の中央コア型ロックフィルダムであり、完成すれば東北では最大、日本で最大級のロックフィルダムとなる。

洪水吐き工事の特徴として、全長約650m、水路幅20~40m、壁高26m(最高)である。この洪水吐きを3箇所(流入部・シュート部・減勢部)の打設ブロックに分けてそれぞれのブロックでクローラクレーンを用いて、コンクリート打設を行い、構築する工事である。

- (1) 工事名 胆沢ダム洪水吐き打設(第1期)工事
- (2) 発注者 国土交通省 東北地方整備局  
胆沢ダム工事事務所
- (3) 施工場所 岩手県奥州市胆沢区若柳地 内
- (4) 工期 平成18年3月16日~平成22年3月10日
- (5) 工事内容  
洪水吐き工：1式  
岩盤面処理：A=36,100 $m^2$   
コンクリート打設：V=228,320 $m^3$   
(全体：232,000 $m^3$ )  
ボーリンググラウチング工 他

### 3. 車両運行管理システム開発経緯

バッチャープラント(以下BP)で製造したコンクリート運搬・打設において、最大で3箇所同時に10ブロック打設を行うことが想定された。約23万 $m^3$ のコンクリートを10tダンプトラックで運搬し、4.5 $m^3$ 水平バケットにて打設することに関して下記の検討を行った。

- (1) 流入部・シュート部・減勢部の打設を同時に行うため、配合の異なるコンクリートを指定の打設場所に間違えずに運搬管理する。
- (2) 1日最大延べ335台のダンプトラックで打設を行うため、BPの混雑を回避してスムーズにコンクリートを出荷する。
- (3) 運搬車両が、胆沢ダム内の他工区も使用する場内工事用道路、一般国道を安全に運行する。

以上の事から、従来方式とは違ったダンプトラックの位置をリアルタイムに把握できるように、位置取得にGPS、演算機能にPDA、通信手段としてモバイルアークの組み合わせを用いたダンプ運行管理システムを開発した。

## 4 車両運行管理システム概要

### 4-1 システムの機能・使用機器

このシステムは、以下の機能を有している。

- (1) 全運搬車両の現在位置表示機能
- (2) 打設場所および配合別ごとの出荷管理およびサイクルタイム管理機能
- (3) ダンプトラックのBP到着順序および予想時間をBPの管理者に教える機能
- (4) ダンプトラック運転手への音声によるナビゲーション機能
- (5) 行き先違いに対する警告機能（ヒューマンエラー対策）

システムに使用している機器リストは、表-1に示す。車載機器は、各車両に1台ずつ搭載しており、最大で15台の車両を管理している。

表-1 使用機器一覧表

	機器名	仕様	数量	備考
車載機器	GPS	i-logis	1	ダンプトラック1台当たり
	PDA	HP iPAQ2490B	1	
	モバイルアーク	U-ADPD	1	
	電源装置	AT-MC008-B3	1	
	スピーカー	SP-A550-A	1	
	収納ケース	-	1	
管理機器	コンピュータ	管理システムプログラム内蔵	2	BP・事務所

### 4-2 システムの特徴

従来システムと本システムの比較を表-2に示す。GPSよりリアルタイムでの位置情報を取得し、デー

表-2 従来システムとの比較

	本システム (GPS&PDA)	従来システム (ゲート型)
設置機器	GPSでの位置把握、データ通信（すべて車載）による双方向通信機能を持つため、位置情報把握のためのゲート設置は不要である。また、施工条件の変化についても、ソフトの設定変更で対応可能。	位置情報把握のため、各所に管理ゲートが必要である。また、施工条件の変化に伴い、ゲートの移設等もあろう。
ナビゲーション	車載のスピーカーにより目的地までの誘導を行う。	別システムで構築となる。
材料把握	BP室からデータ通信にて材料情報を伝送し、車載のPDAに表示および記録。	別システムで構築となる。
誘導機能	PDAおよびスピーカーにより随時誘導または指示可能。	別途機能（トランシーバ）等で誘導または指示を行う。
可搬性	可搬可能であるため、車両が変わったときも対応可能である。	機能なし。
リアルタイム性	より細かい（1分間隔）位置表示が可能。	ゲート間の位置表示となる。
警告他	双方向通信またはナビ機能より警告発信が可能。	機能なし。従来は片方向通信であるため、別システムを構築する必要がある。

タ通信を使ってサーバーへ情報を送信し処理される。処理された各車両の位置情報を、管理システム用のコンピュータと各車両に搭載したPDAに返送される。

コンピュータでは、各車両の位置が把握でき、各車両では、ナビゲーションが行われる。

従来システムでは、今までほとんど使われていないナビゲーションシステムや、別構築となっている部分を一つのシステムの中に組み入れることができた。

ダンプトラックの管理や運転手のヒューマンエラーの防止になり、サイクルタイムの向上が期待できるものである。

### 4-3 システムの稼働方法

システムの概略を図-1に示す。ダンプトラックがBPと指定した打設場所を往復する。

各ダンプトラックに車載器（写真-1）を乗せて、

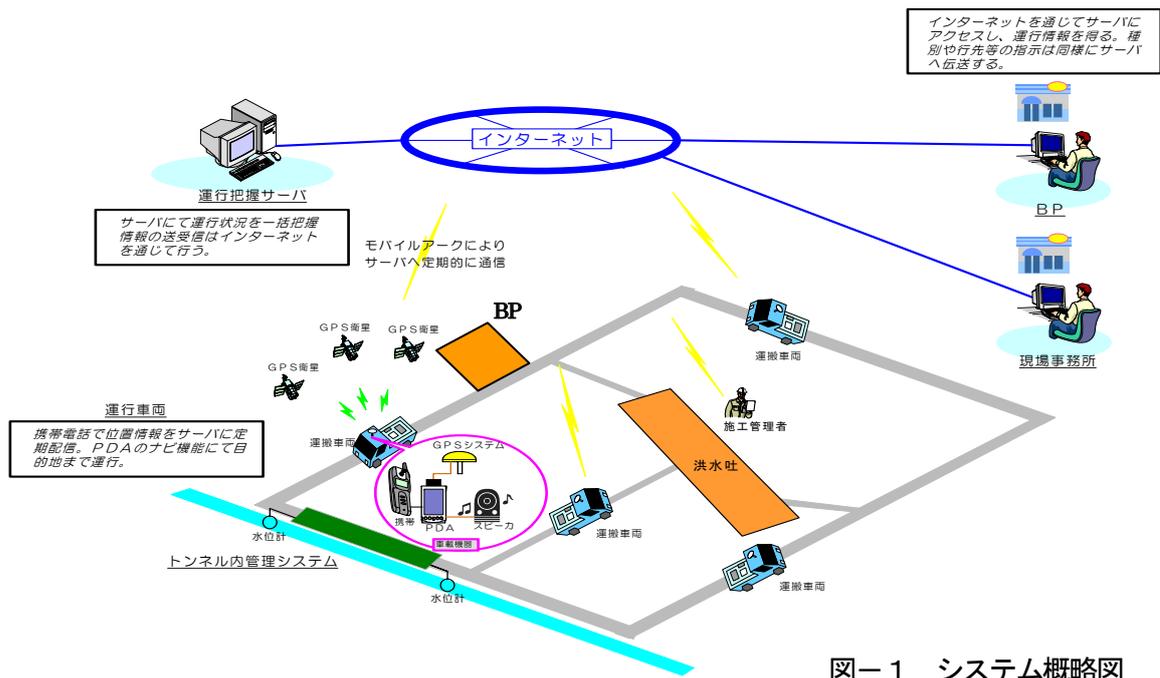


図-1 システム概略図

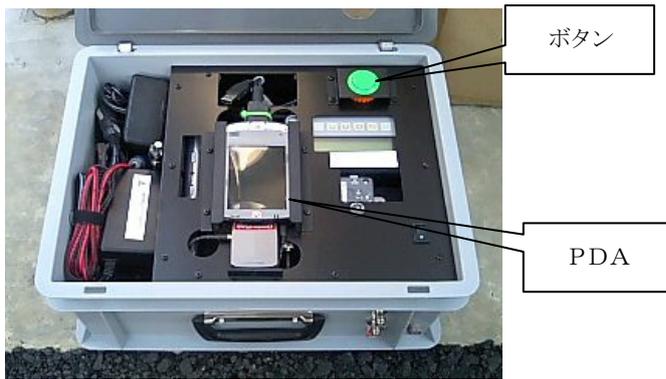


写真-1 車載器 機器内部状況



写真-2 外部配線機器

外部アンテナ等(写真-2)の配線を行い、装置を起動させる。

各車両は、自車の位置を1秒間隔で取得し、その情報は1分間隔でモバイルアークを通じてサーバーとして使用しているコンピューター(PC)に送信され、サーバーからBP操作室内の車両運行管理システム用PC(写真-3)へとデータが送られる。

BP操作室では車両運行管理システム用PCに、当日のダンプトラックが予定されている情報(配合、行き先)を入力する。その情報は、サーバーへ送られた後に、各車両に乗せたPDAに情報が伝送される。

ダンプトラックの運搬順位は、BPに取り付けた電光掲示盤に表示し、運転手に知らせる。

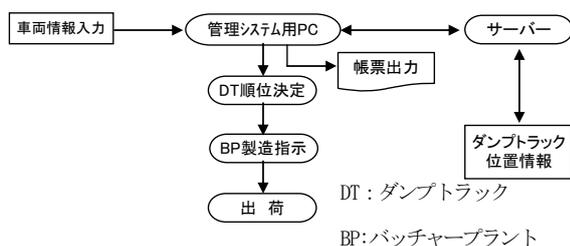


図-2 稼働フロー



写真-3 車両運行管理システム用PC

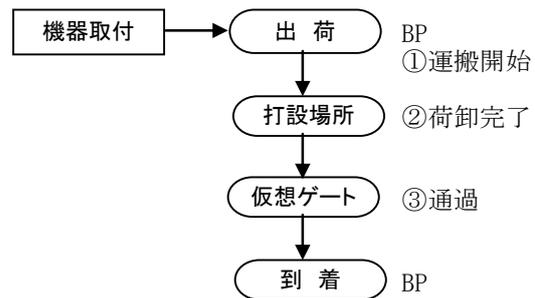


図-3 ダンプトラック運搬フロー

①コンクリートを積んだダンプトラックは、車載器のボタンを押し運搬を始める。PDAとGPSにより事前に登録したチェックポイントや危険箇所付近と音声によりガイダンスが流れ、指定打設場所までナビゲーションを行う。この時、運搬ルートから外れた場合や一定時間経過した場合は警告を表示すると共に、車両運行管理システム用PC(BP操作室内)にも警告を通知する。

②指定打設場所で荷卸し後、車載器のボタンを押すことで、出荷完了となり、再びBPに戻るルートのナビゲーションを始める。

③ダンプトラックがBPに近づき、BP到着順位判定エリア(仮想ゲート)に入ると、ダンプトラック到着順位・到着時間を予想し、車両運行管理システム用PC(BP操作室内)に表示させる。

この情報からBP管理者が、次にどの配合のコンクリートを練るか判断ができ、ダンプトラックのBPでの待ち時間を減らすことができ、サイクルタイム向上に繋がる。

運搬ルートに仮想ゲートを設けており、経路間のサイクルタイム管理、全体の運行管理を行っている。

車両運行管理システムの情報は全てインターネットを介しサーバーへ集められている。車両運行管理システムのプログラムを内蔵したPCであれば、インターネットにアクセスすればどこでも閲覧可能である。

車両番号・配合・時間・出荷量・実打設数量等の管理を行っている。

### 5. 車両運行管理システム運用状況

昨年の10月から運用を開始し、冬季休止期間を経て4月から3箇所打設を本格的に開始している。

システムでは、画面に打設日の計画打設数量、出荷数量、残打設数量をリアルタイムに表示している。

また、出荷時の配合・数量・時間等のデータを蓄積・集計を行い、帳票として出力できる。この帳票により

表-2 出力帳票一例

車載番号	配合	出発時間	到着時間	運搬時間	出荷量	備考
17M		13:35	13:51	00:15	1.25	
2A		13:38	13:58	00:19	4	
3A		13:39	14:01	00:21	4	
1A		13:47	14:05	00:08	4	
2A		13:59	14:09	00:10	4	
3A		14:05	14:12	00:09	4	
1A		14:09	14:21	00:12	4	
2A		14:14	14:28	00:14	4	
3A		14:20	14:31	00:11	4	
1A		14:28	14:38	00:09	4	
2A		14:30	14:39	00:09	4	
3A		14:35	14:47	00:12	4	
1A		14:40	14:51	00:10	4	
2A		14:52	15:00	00:08	4	
3A		14:53	15:04	00:11	4	
3A		14:55	15:08	00:12	4	
1A		14:57	15:23	00:25	4	
17M		15:15	15:34	00:19	1.12	
9A		15:09	15:38	00:30	4	
3A		15:12	15:48	00:36	4	
1A		15:27	15:42	00:15	4	
2A		15:43	15:58	00:15	4	
9A		15:48	15:59	00:10	4	
3A		15:50	16:03	00:13	4	
1A		16:00	16:10	00:10	4	
2A		16:02	16:13	00:11	4	
3A		16:04	16:17	00:12	4	
1A		16:12	16:21	00:09	4	
1A		16:14	16:23	00:09	4	
2A		16:17	16:27	00:09	4	
9A		16:22	16:30	00:08	4	
3A		16:24	16:34	00:09	4	
1A		16:27	16:37	00:09	4	
2A		16:31	16:40	00:09	4	
9A		16:32	16:44	00:09	4	
3A		16:37	16:47	00:09	4	
1A		16:41	16:52	00:09	4	
2A		16:44	16:53	00:09	4	
3A		16:55	17:05	00:10	4	
1A		17:09	17:17	00:07	4	
3A		17:21	17:37	00:16	3.5	

配合	計画量(m3)	出荷量(m3)	合計(m3)	平均運搬時間
A	147.1	155.9		00:13
B	0	0		
C	0	0	155.9	
D1	0	0		
D2	0	0		
M	9.1	3.25	3.25	

### 6. おわりに

車両運行管理システムを導入したことにより、ダンプトラックの運行状況や打設状況がリアルタイムにBPの管理者が把握できると共に、建設企業体の事務所にも同じ画面(図-2)を表示できることにより、事務所側からも管理ができる。

BPの管理者は、出荷予定が把握できるためサイクルタイムの向上に繋がっている。

ナビゲーションシステムと行先間違い警告機能によりヒューマンエラーの対策になる等の利点が得られている。警報システムが作動した場合は、事務所からの対応もすぐにできるので安全管理に繋がっている。

当現場は、7月末現在の打設数量 68,680m<sup>3</sup>、進捗率にして30%である。今後また打設量は多くあるので、このシステムをよりよいものに改善し、品質の確保、サイクルタイムの向上、効率化、安全性の向上を目指していく所存である。

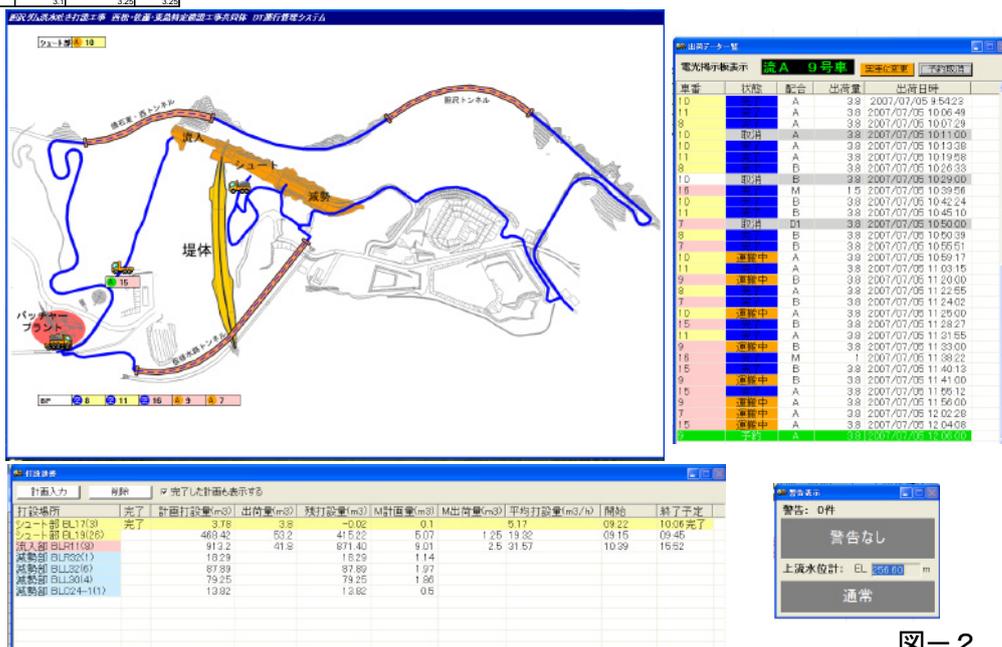


図-2 管理用PC画面

## 21. 狭小型ハンドガイド式歩道除雪機の開発

国土交通省 東北地方整備局 東北技術事務所 施工調査課長 大沢 昭弘  
 施工調査課 施工調査係長 柿崎 憲勝  
 施工調査課 施工調査係 ○三浦 敏子

### 1. はじめに

平成18年12月に「高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律（平成18年法律第91号）」（通称：バリアフリー新法）が施行により、道路管理者として交通バリアフリーは重要な課題である。東北地方においては、ほぼ全域が積雪寒冷地域のため、特に、冬期におけるバリアフリーは強く望まれている。現在、歩道除雪は搭乗式小形除雪車により行っているが、1m未満の歩道においては、市販機械ではシュートの雪詰まり、踏み固められた雪に対応が困難なために作業性が悪いことや安全対策が十分に施されていないため事故が多発していることから、人力で除雪を行っている箇所が大半を占めている。

以上の背景をもとに作業効率の悪い1m未満歩道の機械化施工を可能とし、更に安全性の向上を図ったハンドガイド式歩道除雪機を開発を、平成17年度から19年度までの3ヶ年において行ったので、ここに報告するものである。

### 2. 歩道除雪の現状

開発を進めるにあたり、歩道除雪における現状の整理を行った。

- ①狭小箇所は、搭乗式の除雪車では対応できないため、歩行者は車道に出るか雪の中を歩くことになり危険である。
- ②除雪幅員の狭い市販除雪機での対応は、除雪能力及び作業性が劣り、シュートの雪詰まりが発生しやすいなど、効率的な作業が困難である。
- ③市販除雪機による事故が多発していることから、安全機構の装備、機能の改善が必要である。
- ④機械除雪ができない箇所では、踏み固められ圧雪状態となった雪を人力により行うことから、作業員にとっては苦渋作業であり、また、作業

時間もかかるため除雪費用が多大となる。

### 3. 実態調査

#### 3.1 除雪機による事故事例調査

開発機の安全対策の資料とするため、東北管内における平成15年度から16年度までのハンドガイド式除雪機による除雪作業に係わる事故事例（新聞記事）の整理及び事故防止対策の検討を行った。

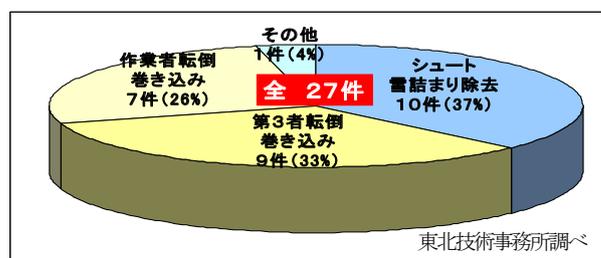


図1 事故事例比率

図2のとおり、作業者だけでなく第三者が転倒してロータリー部へ接触又は巻き込まれる事故が合わせて59%と高い割合を占めている。このことから、開発にあたっては巻き込み対策に重点を置いて安全対策の検討を行うこととした。

#### 3.2 歩道狭小部（1m未満）実態調査

開発機の仕様及び現場に導入した場合の経済性等の検討の参考とするため、東北管内31出張所を対象としアンケート調査を実施した。

表1のとおり、人力での歩道除雪延長が29.6km、年間総除雪回数も延べ226回にも及んでおり非常に効率が悪い実態となっている。

さらに、開発機に要望する規格については、作業幅員0.8m、除雪作業高さ0.3m程度が多かった。

表1 狭小歩道（1m未満）除雪実態

① 人力又はハンドガイドでの歩道除雪延長	34.8 km
② ①のうち人力での歩道除雪延長	29.6 km
③ 人力での年間総除雪回数	延べ226回
④ ハンドガイド式小形除雪機の利用実態	4.4～9.5kW 利用

### 3. 3 市販機種実態調査

既存技術の活用などにより開発経費の削減を図るため、国内で製造販売されている除雪機8社全134機種を対象として各メーカーへ調査を行った。

性能評価では、前項3. 2において、要望が多かった作業幅員0. 8mでは最大出力が9. 6 kW以下と小さいため、踏み固められた雪や車道から寄せられた固い雪の影響によりシュート詰まりや投雪能力の低下が予想される。

さらに、安全装置装備状況について「国土交通省歩道除雪機安全対策指針(案)」に記載されている項目について比較を行った。

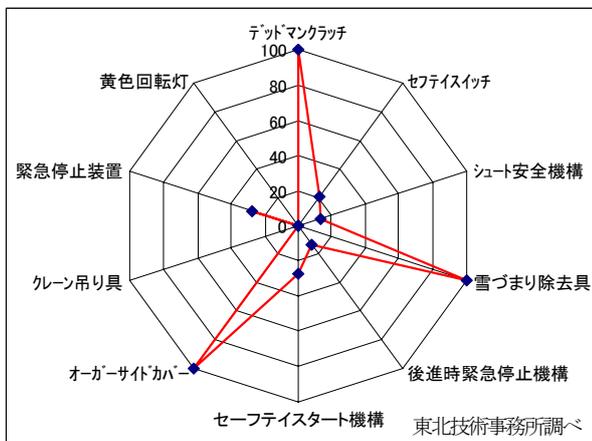


図2 安全装置装備状況

図3のとおり、デッドマンクラッチ、オーガサイドカバー、雪詰まり除去具については100%装備されているが、それ以外についてはオプション設定若しくは設定されていない機種が多い。

## 4. 開発機

### 4. 1 開発コンセプト

前項の実態調査等から、開発コンセプトを以下のとおりとした。

「ハイスペック型 0.8m級 歩道除雪機の開発」

- ① 高出力エンジンの搭載
- ② 巻き込み防止用オーガ安全カバーの装備
- ③ 操作機構の簡易化
- ④ 運搬排雪を可能とするシュート搭載

なお、本機の開発効果として次のことが考えられる。

- ① 現行機械による対応が不可能な狭小部での歩行空間の確保による歩道の安全性向上

② 巻き込み対策等を行うことによる作業中の安全性向上

③ 機械化による苦渋作業の解消

④ 作業時間短縮による除雪コスト縮減

### 4. 2 開発機仕様

実態調査及び実験機による性能試験により導き出した開発機の仕様は以下のとおりである。

作業性向上については、最大除雪幅を実態調査で

表2 開発機主要仕様

1. 能力	
最大除雪量	100 t/h以上
最大投雪距離	20 m
最大除雪幅	800 mm
最大除雪高	700 mm
走行速度	前進 0~4 km/h 後進 0~3 km/h
最小回転半径	その場旋回
2. 諸元	
全長	2350 mm
全幅	800 mm
全高	2220 mm
車両総質量	710 kg
機関最大出力	17.7 kW(24PS)
除雪装置	ツーステージ式
駆動方式	油圧無段変速式

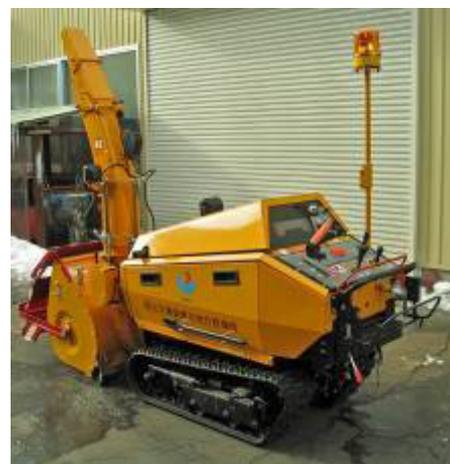


写真1 開発機全景

最も要望が多かった800mmとし、踏み固められた雪にも対応できるようにエンジンを最大出力17.7kW(24PS)とし高出力化を図った。

さらに、狭小歩道では投雪スペースが少ないことから、運搬排雪を考慮し、4tダンプへの積み込みが可能となるように、300mm伸縮可能なシュートを搭載した。なお、シュートはコスト面を考慮し、手動式とした。



写真2 伸縮型シュート

安全性向上については、国土交通省歩道除雪機安全対策指針（案）の10項目を全て網羅し、さらに、事故事例調査で最も多かったオーガへの巻き込み事故防止を目的とした「オーガ安全カバー」の考案及び設計を新たに行った。

「オーガ安全カバー」の考案にあたっては、これまで考案されているものは殆どが動力を要するものがあつたため、今回はコスト面を考慮し、無動力で積雪に追従し、除雪能力を低下させずに、確実に前方からの巻き込みを防止するような構造とした。

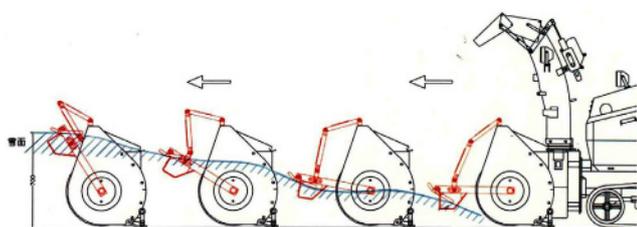


図3 オーガ安全カバーの動き

操作性向上については、近年事例が増加しているボランティア・サポート・プログラムにも対応可能なように、運転操作の省力化、操作レバーの簡易化、パワーアシスト機能の充実、シュート部の雪詰まり防止機能等を新たに取り入れた。



写真3 操作レバーの簡易化

#### 4. 3 性能確認試験

性能・諸元及び直轄歩道の作業条件における適応性を検証し、改良項目の整理・抽出・検討を行う目

的として、山形河川国道事務所管内において性能確認試験を行った。試験結果を表3に示す。

表3 開発機性能試験結果

測定項目	試作機	市販機	
最大値	除雪量 (t/h)	108	65
	雪密度 (t/m <sup>3</sup> )	0.33	0.25
	作業速度 (km/h)	1.88	1.48
	除雪深 (cm)	22	21
	投雪距離 (m)	23.2	—
積雪状況	自然積雪		
平均値	除雪量 (t/h)	79	48
	雪密度 (t/m <sup>3</sup> )	0.39	0.3
	作業速度 (km/h)	1.27	1.00
	除雪深 (cm)	22	20
雪質	上層新雪+下層ザラメ雪		

作業能力については、最大除雪量において開発目標である100 t/hを達成した。

また、積み込み試験については、シュート高さを300mm変更可能なことによって、4 tダンプに余裕ある高さでの積み込みが可能となったため、運搬排雪も効率的に行えると思われる。



写真4 積み込み試験状況

安全装置については、すべて問題なく機能し、安全性向上を実証できた。特に、新開発したオーガ安全カバーに関しては、前方からの飛び込みに対し、非常に有効的なものとなった。（写真5）



写真5 オーガ安全カバー機能確認

#### 4. 4 現場適応性試験

試験の結果については、路面直近部の積雪がほぼ氷に近い状態であったにも関わらず、歩行可能な状態まで除雪することができたことから、作業性が良好であることが実証された。



写真6 現場適応性試験状況

さらに、オペレータへの聞き込みからも、操作性については多少慣れが必要であるが、1, 2時間程度練習すれば支障なく操作でき、レバー類についても軽い力で操作できるので問題ないとの回答が得られた。また、作業性については雪に乗り上げることなくしっかり除雪することができ、非常によいとの回答が得られた。

しかし、現場への投入が遅れ、試験期間が短期間となり、実際に供用区間で使用したオペレータが少数であったことから、今後もフォローアップ調査を行う必要がある。

#### 4. 5 導入効果

開発機を導入した場合の効果を以下のとおり整理した。

現状の運搬排雪時においては、100mを5人で2時間程度かけて作業しているが、開発機で行った場合、20分で完了することが可能となり、さらに、通常の除雪作業のみでは、6分で完了することが可能となる。

また、通常の除雪作業において、作業距離1km、積雪深さ0.5m、1シーズンの除雪回数を20回と想定した場合、表4のとおり、導入初年度においては約30%、さらに耐用年数を10年とすると約90%縮減することが可能となる。

表4 コスト比較表 (単位:千円)

	人 力	開 発 機
購入費	0	2, 160
除雪費	3, 275	135
合計	3, 275	2, 295
導入初年度		▲980
導入後10年		▲29, 240

#### 5. まとめ

性能面では、除雪量及び作業速度など非常に満足のいく結果となった。

また、安全性向上のために考案したオーガ安全カバーは、除雪能力が低下することなく、無動力で巻き込み防止対策が可能なことから、過去に開発されたものと比較しても、優れた技術となった。

オーガ安全カバーは、既に導入済みの市販機械への改造による取り付けも可能なほか、搭乗式小形除雪車への技術活用も図れるものと考えられる。

今回開発した機械は、安全性・作業性・操作性について実用化には問題ないものと考え、フォローアップ調査を継続しながら、直轄のみならず、ボランティア・サポート・プログラムや自治体への導入促進に向けた取り組みを実施していきたい。

## 22. 運搬排雪施工管理システムの開発

(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 中村隆一  
国土交通省中国地方整備局 今岡大輔

### 1. はじめに

積雪寒冷地域における、市街地や幅員の狭い道路では、堆雪余裕幅が狭く、降雪と除雪作業の繰り返しによって路側の雪堤が成長し、車道が狭く、見通しが悪くなり、交通障害等が発生する。このため、路側に堆積した雪を排除し、車道幅員を広くするとともに、次の除雪に備えて堆雪スペースを確保することを目的に、運搬排雪作業を実施している。

運搬排雪作業は、路肩に堆積した雪をロータリ除雪車でダンプトラックに積込み(写真-1)、雪堆積場等へ運搬している。北海道開発局における運搬排雪作業の施工管理は、ダンプトラックに積込された雪量と、ダンプトラック台数の計測により行っているが、その作業は人力に頼らざるを得ない状況であり、正確性や監督員・作業員の負担を改善する必要がある。

本開発は、施工管理のうち出来形管理を対象として、人力で行っている運搬排雪作業における雪量計測及びダンプトラック台数の把握を自動化する運搬排雪施工管理システム(以下、システムという。)を構築することにより、施工管理の高度化、効率化を図るものである。



写真-1 運搬排雪作業状況(並列・縦列)

### 2. 運搬排雪施工管理の実態<sup>1)、2)</sup>

北海道開発局における運搬排雪作業の施工管理は、ダンプトラックに備えている検数表への捺印(写真-2)や、タコグラフの排雪カウンター(チャート紙に

印字、写真-3)の読み取りで運搬回数を把握するとともに、雪堆積場等で積込量(14m<sup>3</sup>以上/台)の検量(写真-4)を行い、全体作業量(運搬排雪量)の管理を行っている。



写真-2 検数表への捺印



写真-3 チャート紙

写真-4 検量

システムの構築に向けて、運搬排雪作業の施工管理の現状及び問題点の調査を行った結果を以下に整理する。

①運搬回数を把握するための検数表への捺印は、施工業者が実施するため、監督員の立会時以外は確認が出来ず、信頼性が低い。

②排雪カウンターは、チャート紙に記録されるが、装備されているダンプトラックを確保するのが難しい。

③運搬排雪量を把握するための検量作業は、雪堆積場等で人力により行うため、1台当たり20~30分を要し、作業効率が悪い。また、検量の頻度がダンプトラック100台に1台程度の割合で実施しているため、信頼性が低い。

### 3. システムの基本構想<sup>1)、2)</sup>

本システムは、前述の施工管理を一連で実施するもので、ダンプトラックへの積込雪量を、自動計測技術を用いて検量すると同時に、ダンプトラックの車両毎の運搬回数を、通信機器による車両認証技術を用いて把握し、施工管理及び積算で用いる運搬排雪量、作業日時等をデータとして出力するものである。

本システムに必要な機能要件を設定するポイントとして、運搬排雪作業の施工管理は、外部条件により多様に变化する雪という物質を扱う性質上、一般的な土木工事のように後から出来形を計測することが困難なことがあげられる。従って運搬排雪作業の工程の中で、作業量をリアルタイムで出来形として記録・管理しておく必要がある。これにより運搬排雪作業における積算精度の向上、及び社会的透明性の確保を図るとともに、人力による作業員の負担改善等の効果を期待するものである。

本システムに必要な機能要件を次のように設定した。

#### (1) 本システムによる管理の範囲

「①どの車両が」「②いつ」「③どこの雪を」「④どれだけ積んで」「⑤どこに運搬したか」すなわち、ダンプトラックの一連の作業行動を1台単位で把握・記録することで全体作業量をデータ管理する。

#### (2) 雪量の計測

現在、人力で100台中1台程度行われている雪量の計測を、システムで全量計測し、管理基準である14m<sup>3</sup>以上の積込がされているか確認を行う。ただし、一連の運搬排雪作業効率に影響を与えない計測手法とする。

#### (3) ダンプトラックの運搬回数の計測

現在、人力等で行われているダンプトラックの運搬回数の計測を自動化し、雪量の計測と合わせた一連管理を行う。

#### (4) アウトプット

(1)で示した①～⑤の出力結果を基に作業日報を作成し、管理基準に対する適否の判断、積算数量の算出、集計を行う。

### 4. 雪量の計測技術

運搬排雪作業は、①オーガで雪堤の雪をかき込む。②ブロワによりシュートを通して投雪する。(縦列積込の場合はベルトコンベアにて後方に投雪する。)③ダンプトラックへ積込する。④雪堆積場等へ運搬する。⑤雪堆積場等でダンプアップにより雪を排雪する。などの工程がある。

雪量の計測はこれらの工程の中で、一連の運搬排雪作業効率に影響を与えず、技術的に計測出来る可能性が高い、①のオーガで雪をかき込む直前の雪堤状態の計測を検討した。

#### (1) 雪量計測に関する技術選定

運搬排雪作業において、ロータリ除雪車のオーガで、雪をかき込む直前の雪堤状態を計測出来る可能性がある技術について調査を行った(ステレオカメラによる画像解析、レーザスキャナ等)。その結果、近距離計測が可能で、データ処理が比較的容易な「レーザスキャナ」について詳細な検討を行うこととした。

#### (2) 雪量計測システムの試作

レーザスキャナを用いた雪量計測システムの試作を行った。

#### ①レーザスキャナ仕様

レーザスキャナについては、機器と計測対象物(雪堤)間の距離が短いこと、計測結果はmm単位の精度を求めないこと、機器単体のコストを安価に抑えることから、地形測量等に用いられるハイスpekクな機器ではなく、産業用に一般的に用いられる機器を選定した。(表-1)

表-1 レーザスキャナ仕様

項目	内容
測定距離	最大50m
スキャン角度	100°
角度分解能	0.5°
測定分解能	50mm
スキャン回数	25回/秒
レーザ保護クラス	1アイ・セーフ
使用温度	-20°C～+50°C
寸法(W×H×D)	352mm×266mm×202mm
重量	9kg

#### ②計測方法

積込まれる雪の体積の計測方法は、ロータリ除雪車のオーガで雪をかき込む直前の雪堤断面を計測するものとした。計測イメージを図-1に示す。

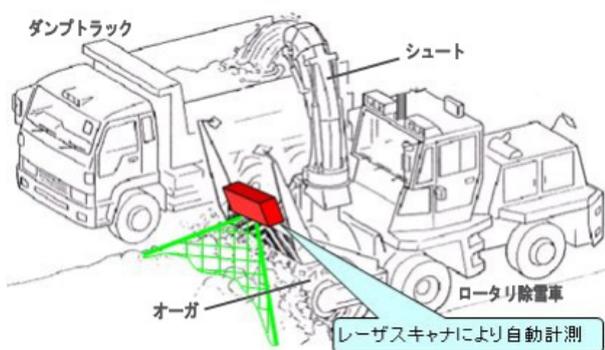


図 - 1 雪量計測イメージ

### ③体積計算プログラム仕様

体積計算プログラムは、雪堤の断面形状をリアルタイムに把握し、走行延長毎に体積を計算することとしたが、試験では一定距離を等速度で走行し、断面形状の平均を求め、計測延長を乗じて体積を算出するプログラムとした。

### (3) 静止状態での計測試験

レーザスキャナをロータリ除雪車に装着し、静止した状態で計測試験を行った。計測対象物は段ボール箱や脚立等を組合せて設置し、レーザスキャナでの計測形状を確認した。計測した断面形状は、実際の形状と比較して良好な結果となった(図 - 2)。ただし、レーザスキャナが1点からの放射計測であるため、計測対象物の位置や形状によって計測の死角が発生することがわかった(図 - 3)。

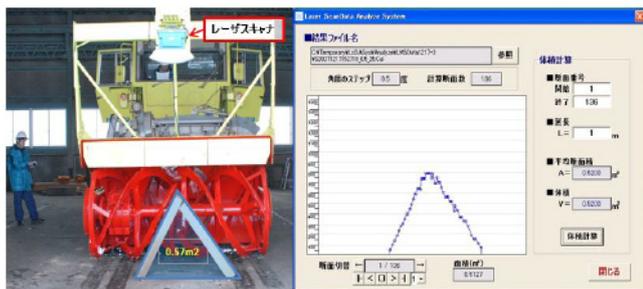


図 - 2 計測試験 (静止)

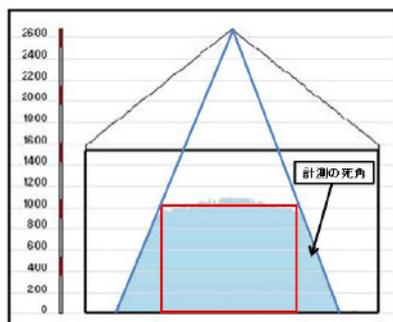


図 - 3 計測の死角

### (4) 作業状態での計測試験

実際の除雪作業を想定し、北海道開発局(旧)防災・技術センター構内において、ロータリ除雪車からダンプトラックへの積込作業を実施し、計測試験を行った。(写真 - 5)



写真 - 5 計測試験

試験はロータリ除雪車に装着したレーザスキャナにより、雪堤断面の座標データを取得する。取得したデータについては体積計算プログラムを用いて解析し、雪堤の体積を求めた。計測した雪堤の体積は、下記の2種類のデータと比較した。

- ・雪堤形状を矩形断面・三角形状等に成形し、予め計測した雪堤の体積。
- ・実際の運搬排雪と同様に目視で $14\text{m}^3$ 以上をダンプトラックへ積込み、検量箱を使用して計測した雪の体積。

試験の結果、レーザスキャナ計測データと上記方法で計測した雪の体積との間に誤差が生じる結果となった。計測誤差の内容と主な要因について、以下にまとめる。

#### ①レーザスキャナの死角

雪堤の形状が矩形断面の場合、図 - 3 に示したように、実際の雪堤形状は矩形断面(赤枠)であるのに対し、体積計算プログラムでは左右の死角に雪が存在するものと認識して計算を実行しているため、実際の体積より30%程度、雪量を多く計算することになる( $1\text{m} \times 1\text{m}$ の矩形断面の場合)。

また、雪堤形状による計測誤差を比較すると、死角の出来やすい矩形断面に比べ、死角の出来にくい三角形状断面の雪堤は、比較的計測精度が高い結果が得られた(表 - 2)。

表 - 2 雪堤形状による計測誤差の比較

雪堤の形状	断面計測状況	①検量値 (基準値) m <sup>3</sup>	②計測値 m <sup>3</sup>	計測誤差②-① m <sup>3</sup> (基準値に対する割合)
【矩形-1】		11.5	16.7	5.2 (45%)
【矩形-2】		14.8	22.3	7.5 (51%)
【三角状-1】		14.4	16.9	2.5 (17%)
【三角状-2】		13.2	14.3	1.1 (8%)

②オーガ回転の影響による計測形状の変化

ロータリ除雪車のオーガの回転力により、一度オーガケース内にかき込まれた雪塊が前方に飛び出したり、オーガが雪堤を圧迫して雪堤が崩れるなどした場合、それらの雪塊をスキャンしてしまうことになる(写真 - 6)。

今回の試験では、これらによる誤差が大きいものと判断されたため、レーザスキャナ本体を前方に傾け(写真 - 7)、形状変化の少ないオーガの前方を計測した場合について調査した。雪堤形状が類似している「傾きなし」パターンと比較した結果を表-3に示す。オーガ前方約1m(直下から約0.5m)の計測は、レーザスキャナ直下の計測に比べ、計測精度が向上した。よってレーザスキャナはオーガから1m程度前方を計測するのが望ましいと判断した。



写真 - 6 雪の飛出し 写真 - 7 レーザ角度

表 - 3 レーザ角度変更による計測誤差の比較

雪堤形状	レーザ角度	①雪堤体積 (基準値) m <sup>3</sup>	②計測値 m <sup>3</sup>	計測誤差②-① m <sup>3</sup> (基準値に対する割合)
台形	傾きなし (直下を測定)	16.2	22.3	6.1 (38%)
		17.6	20.4	2.8 (16%)

③検量時の締め固めによる体積変化

通常の検量は、ダンプトラックに積込した雪を一定の形状に成形して計測を行うため、積込時と比較して雪が締め固まる傾向がある。気温や雪の密度等により多少異なるが、これを起因とした体積変化が考えられる。

5. ダンプトラック運搬回数の計測技術

運搬回数の計測を実施する場面としては、積込現場又は雪堆積場等が想定され、無線通信機器等を用いて、どのダンプトラックが、いつ、どこへ運搬を行ったか管理する必要がある。

無線通信等を用いて車両を認証する技術を調査し、現時点で市場性が高く、車両管理等の類似実績のあるRFID(アクティブ型)について、詳細検討を行った。

(1) RFIDの選定

RFIDは、数百kHzの長波から数GHzのマイクロ波まで、様々な周波数が使われている。周波数によって通信距離、指向性、通信速度、ノイズや電波障害等の特性が異なることから、利用目的や周辺環境に合わせた選択が必要になる。

①RFID選定条件

- ・通信エリアは狭域で指向性が必要なこと、双方向通信が望ましいこと等から、周波数は2.4GHz帯(マイクロ波)とする。
- ・使用環境条件(温度、保護構造)が運搬排雪現場に適合していること。
- ・アンテナとコントローラは一体型・分離型を問わない。

②システム仕様

- ・通信周波数帯: マイクロ波帯(2.4GHz 狭帯域方式)
- ・タグデータ容量: 50byte(英数50文字)以上
- ・通信距離: 最大読取距離3m以上
- ・使用温度範囲:  
タグ、アンテナ -20°C以下~+50°C以上
- ・保護構造: タグ、アンテナ IP65以上
- ・プログラム設定:  
連続通信設定(オートリードライト)、  
二度読み禁止設定、CSVファイル保存、等

### ③試験に使用するRFID

本試験で使用するRFIDとして、上記仕様を満たし、国内の車両管理や駐車場管理の分野で実績のある2機種を選定した。

選定したRFID機器を表-4、写真-8、9に示す。

表-4 RFID仕様

項目	RFID1	RFID2
機器形態	アンテナ・コントローラ分離型	アンテナ・コントローラ一体型
タグデータ容量	256byte	71byte
通信距離	最大4m	読取0.5m
タグ電池寿命	3000万回アクセス (10byte通信時)	最大8年
タグ・アンテナ使用温度	-40~85℃	-20~70℃



写真-8 RFID1

写真-9 RFID2

#### (2) 予備試験

選定した2機種のRFID機器を用いて、通信エリアの確認及び運搬排雪作業を考慮した車両間通信の確認試験を行った。

##### ①通信エリアの確認

ロータリ除雪車とダンプトラックの作業位置関係を考慮し、ロータリ除雪車にRFIDコントローラ・アンテナを設置した

(写真-10)。ロータリ除雪車は静止状態でタグを移動させ、通信試験を行い、通信可能エリアを調査した。



写真-10 RFIDアンテナ

2機種の通信可能エリアは図-4に示すとおり、最大通信距離4.5~6mが確保でき、2機種とも当該目的に合致した基本性能を有することが確認できた。

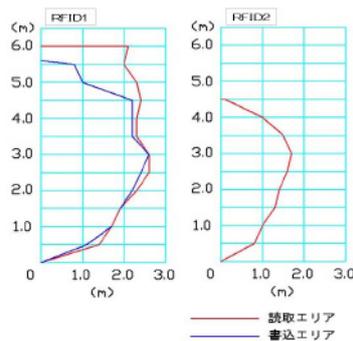


図-4 通信エリア

### ②運搬排雪作業を考慮した車両通信試験

実際の運搬排雪作業を想定し、RFIDコントローラ・アンテナを設置したロータリ除雪車と、タグを設置したダンプトラック間の通信状況の確認試験を行った(写真-11)。試験パターンは雪積込時(縦列・並列)と、雪堆積場等での排雪を想定し、ダンプトラックはロータリ除雪車の側方を通過させた。

試験の結果、2機種とも全てのパターンにおいて良好な通信が確認され、目的に合致した性能を有することが確認できた。



写真-11 車両間通信試験

#### (3) 施工現場における運用試験

選定したRFIDを使用し、施工現場における運用試験を行った。試験は札幌道路事務所管内の運搬排雪作業において、札幌建設運送(株)の協力により、ダンプトラック20台にタグを設置し、ダンプトラック運搬の全数調査を実施した。

##### ①日時・場所

平成20年1月下旬~2月中旬のうち、4日間  
 一般国道5号 札幌市手稲区星置~宮の沢 8.2km  
 一般国道274号札幌市東区東雁来~  
 北広島市共栄 16.9km

##### ②試験内容

予備試験で使用した2機種のRFIDを使用し、通信状況及び車両認証の記録を行った。また、積込作業全数の目視確認を行い、通信記録との比較を行った。

##### ③試験結果

4日間における試験結果を以下に示す。

##### ・1日目

開始後約15分以降のデータが取得できなかった。(取得台数は全328台中11台)原因は一時的な電流遮断あるいは電圧降下により、コントローラの電源が切れたためである。

・ 2 日目

全210台中201台の通信が確認出来た。通信不可だった9台については、雪を積込した直後のダンプトラックが、交差点付近でUターン路へ入るために大きくハンドルを切ったことから、アンテナ（ロータリ除雪車）とタグ（ダンプトラック）間の距離が大きくなり、通信可能エリアを外れたためと判断した。

・ 3 日目

全323台中全ての通信が確認され、データの欠損は無かった。これはダンプトラックがUターンをする箇所が無かったとともに、ロータリ除雪車のアンテナ設置位置変更（ロータリ除雪車の後方側面へ移設）の効果があつたものと判断した（図 - 5）。

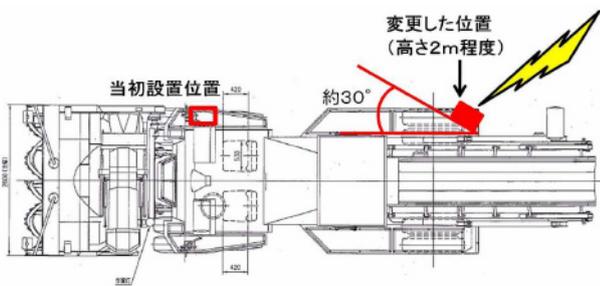


図 - 5 RFID アンテナ設置位置

・ 4 日目

全244台中243台の通信が確認出来た。通信不可だった1台については原因を特定することは出来なかったが、タグが何らかに遮られる等、人為的なものであつた可能性も考えられる。

2機種とも、運搬排雪作業の形態を考慮し、コントローラを最も適した位置に設置し、交差点での右折時や、Uターン時におけるダンプトラックの誘導方法等の運用面に留意すれば、本システムは十分に活用出来ると考える。

## 6. まとめ

試験の成果として、以下のとおりまとめる。

(1) 雪量計測技術は、ロータリ除雪車のオーガで雪をかき込む時点で計測することとし、レーザスキャナを使用したシステムを試作した。本システムで使用したレーザスキャナは、リアルタイムに座標データが取得可能であり、データ処理も容易なことから、雪量計測技術として有効であると考えられる。しかし、試験の結

果、レーザスキャナの死角、オーガからの雪の飛出し等による計測形状の変化、吹雪等による誤認識などの要因による計測誤差が生じた。

(2) ダンプトラック運搬回数計測技術は、RFID（アクティブ型）による車両認証技術を用いて、通信試験及び施工現場での運用試験を行った。本技術は他分野での実績もあり、本試験においても良好な結果が得られている。一部通信が出来ず、車両認証がされないケースもあつたが、機器の設置方法やダンプトラックの誘導方法の指導を行うことで対応可能と考える。

## 7. 今後の計画

雪量計測技術は、計測データの信頼性を高めるために、様々な雪堤形状の雪量計測試験を実施し、データを分析することで、レーザスキャナ等機器の調整や、体積計算ロジックの検討を行っていく必要がある。また、試験では一定距離を等速度で走行することを条件としたプログラムであつたが、より正確な位置での座標データを取得するために、移動距離と計測を同期させた計算プログラムを構築する予定である。

「2. 運搬排雪施工管理の実態」にも記述したとおり、工事費の積算に反映される運搬排雪量の把握方法の現状は、必ずしも十分とは言えない状況である。本システムは、運搬排雪量の全量自動管理が目標であり、アウトプットとして管理帳票を作成するために、今後は雪量計測と運搬回数計測（車両認証）の2システムのデータの信頼性を向上させ、両システムを統合した、運搬排雪施工管理システムの構築を目指すものである。

## 参考文献

- 1) 今岡大輔、佐々木憲弘、中村隆一：運搬排雪施工管理システムの調査検討、第20回ふゆトピア研究発表会論文集（平成19年度）
- 2) 今岡大輔、佐々木憲弘、中村隆一：運搬排雪施工管理システムの調査検討（中間報告）、北海道開発局技術研究発表会論文集、第51回（平成19年度）

## 23. 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 重松 尚久、○花岡 尚  
愛媛大学 室 達朗

### 1. はじめに

従来、硬質岩盤を掘削するにあたっては、発破工法が主流であったが、近年では騒音、振動問題や周囲環境への影響が懸念されている。そのため、機械式掘削工法への移行が注目されている。奥村組土木興業株式会社は、低騒音、低振動で掘削のでき、規制の厳しい環境問題を十分にクリアできる岩盤掘削機（サーフェスマイナ）を開発した。これは、切削ビットを用いてチップング効果を利用した硬質岩盤剥離掘削技術であり、道路建設における環境に優しい新しい硬質岩盤剥離技術として用いられるようになってきている。しかしながら、固い岩盤においては、ビットの摩耗が激しくなりコストが高くなってしまいう問題点がある。そこで、本研究では、ディスクカッタビットを用いた端面掘削方式によって、騒音や振動などの規制の厳しい環境問題を十分にクリアでき、硬質岩盤掘削を効率的に行うことができる新しい硬質岩盤剥離掘削技術を開発することを目的とする。今回の実験では、高強度モルタル供試体を掘削する際の、ディスクカッタビットに作用する垂直力  $F_z$ 、横方向力  $F_y$ 、転がり抵抗  $F_x$  を測定し、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、ディスクカッタビットの刃先アールの違いによる影響、供試体の一軸圧縮強度の違いによる影響を明らかにする。また、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における剥離破碎方式の力学的なメカニズムを明らかにし、新しい掘削機的设计開発に資するための基礎となるデータ得ることを目的としている。

### 2. 実験概要

#### 2.1 端面掘削

図-1 に平面掘削と端面掘削の概略図を示す。従来の平面掘削方式（圧壊方式）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。岩盤に多くの亀裂を発生させて岩盤の連続性を遮断し、多数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。この技術を用いることにより、掘削効率の向上とディスクカッタビットの摩耗量の低減が期待できる。また、2自由面の端面にディスクカッタビットを押し付けつつ削孔する方法は、水平方向に削孔するセミシールドマシンのみでなく、垂直方向の縦坑削孔に水平方向と同様の構造で用いることができ応用範囲も多い。特に垂直削孔の場合では、従来の機械掘削の課題であった騒音や振動が少なく効率が高いことから新たな

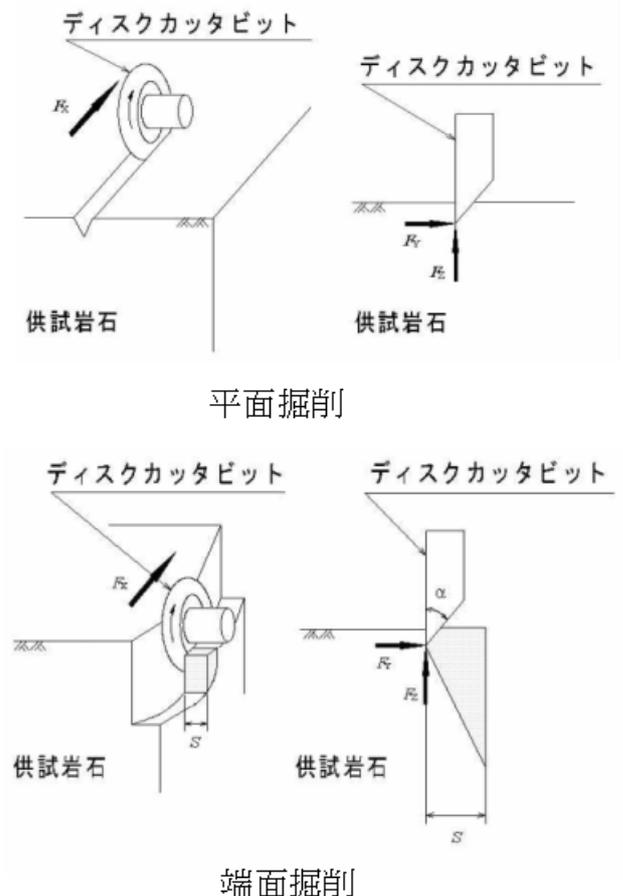


図-1 平面掘削と端面掘削の概略図

削孔工法となりうる。過去の実験<sup>1)</sup>により、端面掘削は、平面掘削との比較実験では、比エネルギーが約1/10に減少することがわかっており、極めて効率的な掘削が可能なが明らかになっている。

## 2.2 実験方法

図-2 にディスクカッタビットを取り付けた実験装置の概略図を示す。ディスクカッタビットを供試体の端部から切り込み幅 15、20、25、30mm の位置に向かい合わせに 2 個取り付け、掘削速度をそれぞれ、0.028、0.058、0.087mm/s の 3 通りに設定し、回転する供試体にディスクカッタビットを押し付けることにより、掘削を行う。ディスクカッタビットに作用する垂直力  $F_z$ 、回転トルク  $T$ 、横方向力  $F_y$  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  $F_y$  は、ベアリングの摩擦抵抗を考慮し、補正を行い、2 つのロードセルから得られる値を平均する。

## 2.3 ディスクカッタビット

図-3 にディスクカッタビットの形状を示す。ディスクカッタビットは刃先アール 1mm の刃 A および刃 B、刃先アール 3mm の刃 C、刃先アール 5mm の刃 D の 4 種類を用いた。刃先アールが大きいほどより摩擦が進

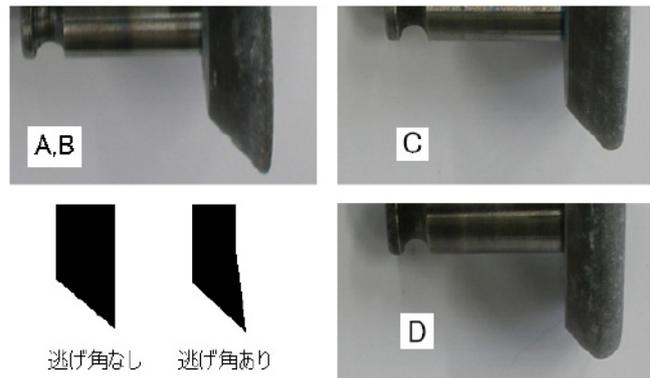


図-3 ディスクカッタビットの形状

行したディスクカッタビットと見立てることができる。なお、刃 A のみ逃げ角  $0^\circ$  であり、刃 B、刃 C、刃 D は逃げ角  $4^\circ$  である。

## 2.3 供試体

本研究では、3 種類のモルタル供試体を擬似岩盤として用いた。材齢 14 日で一軸圧縮強度  $100\text{N/mm}^2$  程度のものを高強度モルタル A<sup>2)</sup>、 $80\text{N/mm}^2$  程度のものを高強度モルタル B<sup>2)</sup>、 $40\text{N/mm}^2$  程度のものを普通モルタルと定義する。表-1 に配合表を示す。なお形状は直径 200mm、高さ 230mm の円柱形である。

表-1 それぞれのモルタルの配合設計

	水 ( $\text{kg/m}^3$ )	セメント ( $\text{kg/m}^3$ )	シリカフェーム ( $\text{kg/m}^3$ )	細骨材 ( $\text{kg/m}^3$ )	混和剤 ( $\text{g/m}^3$ )
高強度モルタルA	222	966	96.6	981	19320
高強度モルタルB	290	966	96.6	981	16905
普通モルタル	298	595	-	1333	-

## 3. 実験結果と考察

### 3.1 実測データ

図-4 に、刃 B による掘削速度  $0.087\text{mm/sec}$  における垂直力  $F_z$  と掘削深さ  $z$  の関係を示す。垂直力  $F_z$  は掘削深さ  $z$  が大きくなるにしたがって、上下に振幅しながら増加している。小さな周期は、ディスクカッタビットにより供試体を掘削する際、供試体内部にクラックが入ることにより、供試体は小さな破壊を起こすため生じ、大きな周期は、掘削を行うことでクラックが入り、供試体が大きく剥離することによって力が解放されるため生じている。垂直力  $F_z$  が、掘削深さ  $z$  が大きくなるに従い徐々に増加する要因として、掘削をする際に、ディスクカッタビットと供試体との接地点部分が増加するため、周面摩擦が増加したためと考えられる。

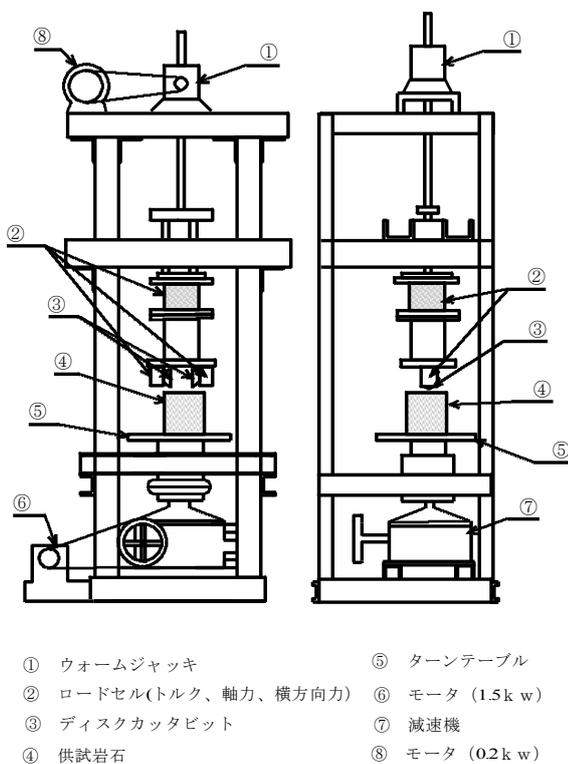


図-2 実験装置概略図

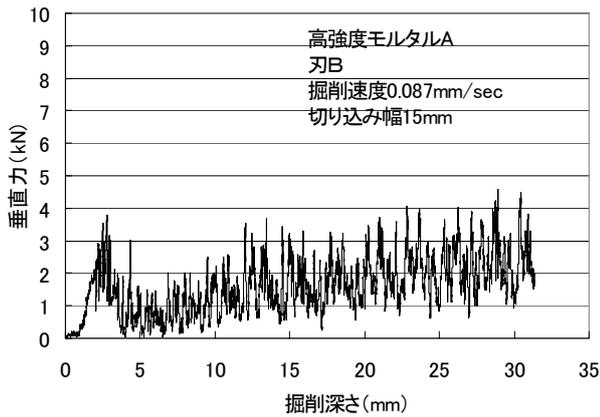


図-4 垂直力と掘削深さの関係

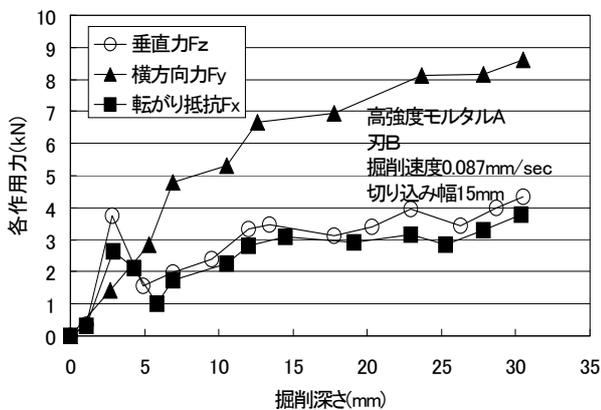


図-5 各作用力と掘削深さの関係

図-5 に、高強度モルタルA、刃B、掘削速度 0.087mm/sec、切り込み幅 15mm における各作用力と掘削深さの関係を示す。垂直力  $F_z$  は掘削深さが大きくなるにつれ、掘削深さが約 3mm に達するまでは上昇し、その後急激に減少する。これは、円柱形の供試体から大きな剥離片が生じ、作用する力が解放されたためである。これを初期端面掘削という。その後、定常端面掘削に移行し、掘削深さが大きくなるにつれ、徐々に増加していく。定常端面掘削において、徐々に増加する要因はディスクカッタービットに作用する周面摩擦によるものである。転がり抵抗  $F_x$  も同様の傾向にある。それに対して、横方向力  $F_y$  は初期端面掘削時に力は解放されず、常時掘削深さが大きくなるにつれ増加する。3つの作用力を比較すると、初期端面掘削時では垂直力  $F_z$  に対する横方向力  $F_y$  は、最大 80% の力、垂直力  $F_z$  に対する転がり抵抗  $F_x$  は最大 140% の力で作用しており、定常端面掘削時では垂直力  $F_z$  に対する横方向力  $F_y$  は、最大 230% の力、垂直

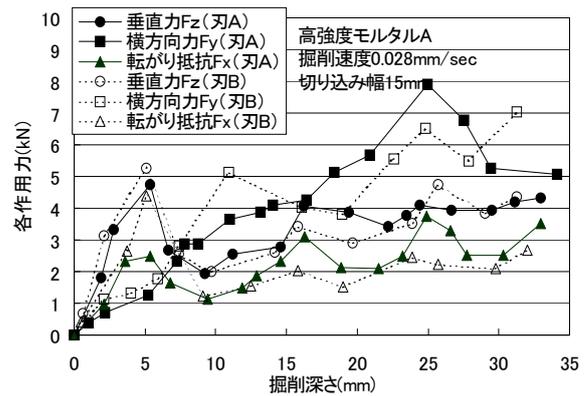


図-6 逃げ角効果

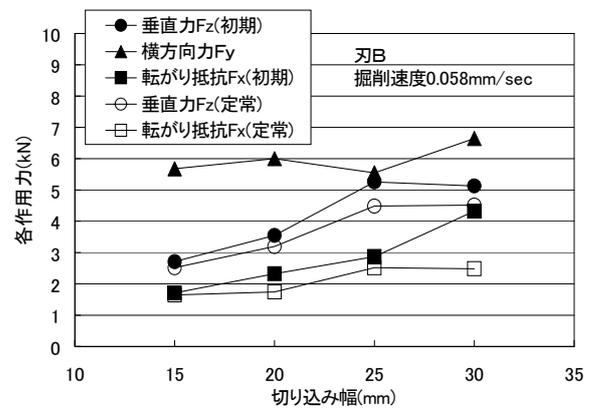


図-7 切り込み幅による影響

力  $F_z$  に対する転がり抵抗  $F_x$  は最大 80% の力で作用している。

### 3.2 逃げ角効果

図-6 に高強度モルタルA、刃Aおよび刃B、掘削速度 0.028mm/s、切り込み幅 25mm における各作用力と掘削深さの関係を示す。すべての作用力は、逃げ角を設けた刃Bの方が、逃げ角を設けていない刃Aに対して約 10% 低減している。なお、他のモルタル供試体、切り込み幅、掘削速度でも同様の結果となった。

### 3.3 切り込み幅による影響

図-7 に高強度モルタルA、刃B、掘削速度 0.058mm/s における初期端面掘削時および定常端面掘削時の各作用力の最大値と切り込み幅の関係を示す。横方向力は初期端面掘削の影響を受けないため、初期端面掘削と定常端面掘削の区別はしない。垂直力および転がり抵抗は切り込み幅が大きくなるにつれ、増加傾向にあり、横方向力は切り込み幅の影響を受けないことがわかる。他のモルタル供試体、ディスクカッタービット、掘削速度でも同様の結果となった。

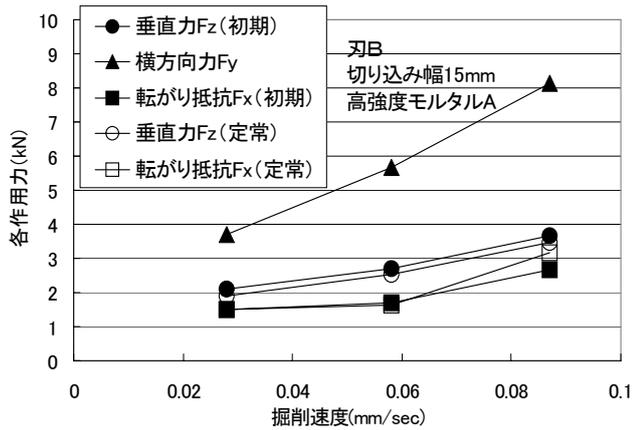


図-8 掘削速度による影響

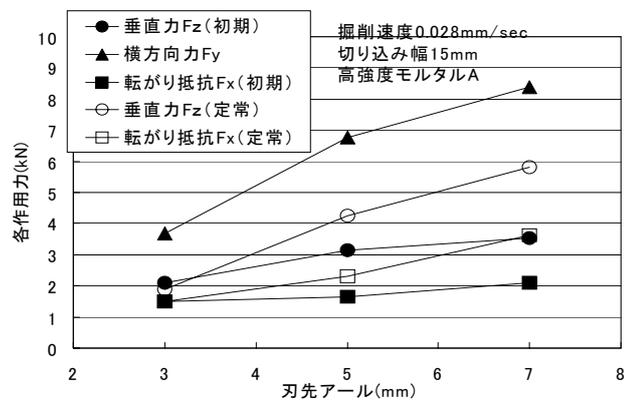


図-9 刃先アールによる影響

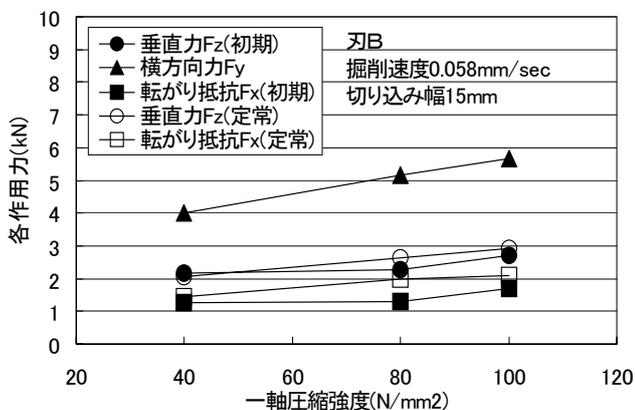


図-10 一軸圧縮強度による影響

### 3.4 掘削速度、刃先アールによる影響

図-8に高強度モルタルA、切り込み幅15mmにおける初期端面掘削時および定常端面掘削時の各種作用力の最大値と掘削速度の関係を、図-9に高強度モルタルA、切り込み幅15mmにおける初期端面掘削時および定常端面掘削時の各種作用力の最大値と刃先アールの関係を示す。垂直力 $F_z$ は、掘削速度が大きくなるにつれ、また刃先アールが大きくなるにつれ大きくな

ることがわかる。他の切り込み幅、ディスクカッタービット、掘削速度、モルタル供試体においても同様の結果となった。なお、横方向力 $F_y$ および転がり抵抗 $F_x$ についても同様の結果となった。

### 3.5 一軸圧縮強度による影響

図-10に刃B、掘削速度0.058 mm/s、切り込み幅15mmにおける初期端面掘削時および定常端面掘削時の各種作用力の最大値と掘削速度の関係を示す。すべての作用力は、一軸圧縮強度が大きくなるにつれ大きくなる。他のディスクカッタービット、掘削速度、切り込み幅においても同様の結果になった。

## 4. 結論

- (1) 垂直力 $F_z$ および転がり抵抗 $F_x$ は、初期端面掘削時において力が解放されるが、横方向力 $F_y$ は初期端面掘削の影響を受けない。
- (2) すべての掘削条件において、初期端面掘削時に垂直力 $F_z$ に対する横方向力 $F_y$ は最大80%の力、垂直力 $F_z$ に対する転がり抵抗 $F_x$ は最大140%の力が作用した。また、定常端面掘削時に垂直力 $F_z$ に対する横方向力 $F_y$ は最大230%の力、垂直力に対する転がり抵抗 $F_x$ は最大80%の力が作用した。
- (3) ディスクカッタービットに逃げ角を設けることにより、すべての作用力を約10%低減させる効果がある。
- (4) 垂直力 $F_z$ および転がり抵抗 $F_x$ は、初期端面掘削時、定常端面掘削時ともに、切り込み幅が増加するにつれ、増加する傾向にあり、横方向力 $F_y$ は切り込み幅による影響を受けない。
- (5) すべての作用力は、定常端面掘削時において、掘削速度、刃先アールおよび一軸圧縮強度が増加するにつれ、増加する傾向にある。

今後は、岩石供試体において同様の実験を行い、道路建設に適応する機械の設計を行っていく予定である。

謝辞 本研究は、(社)日本建設機械化協会の平成19年度研究開発助成を受けて実施しています。

### 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,464,Vol.39,pp.23-28.
- 2)竹村和夫, 米倉亜州夫, 田中敏嗣：シリカフュームを用いたコンクリートの乾燥収縮特性,コンクリート工学年次論文報告集9-1, p.69-74,1987.

## 24. 振動ローラの加速度応答による

### 舗装工事の品質管理手法の合理化の検討

大林道路(株) ○根本 司  
 同上 高倉 拡  
 (株)大林組 古屋 弘

#### 1. はじめに

現在、舗装工事における路床・路盤の締固め管理手法は、主にプルーフローリング、砂置換法または RI による密度測定、転圧回数により行われている。しかし、これらの管理手法は間接管理、局所管理であるため、測定箇所以外の品質の信頼性は低く、広い地盤面を効率的、客観的に判定することが困難である。また、測定に際し別途計測員が必要であり、多大な計測時間も要する。従って、効率的で合理的な品質管理手法が望まれている。

一方で、近年性能規定にもとづく「技術基準」をもとに総合評価落札方式や VE 提案、今後制度化される新しい発注方式などの様々な制度を活用した付加価値の高い工事が要請されている。また、将来的に舗装設計が理論設計法に移行した場合、地盤の変形係数 E を直接評価する必要もある。

本文は、振動ローラの加速度応答による施工管理技術を、舗装の施工管理に適用することを目的とした試験施工から得た結果をもとに、合理的な締固め品質管理手法の構築の可能性を述べるものである。



図 - 1 機器構成

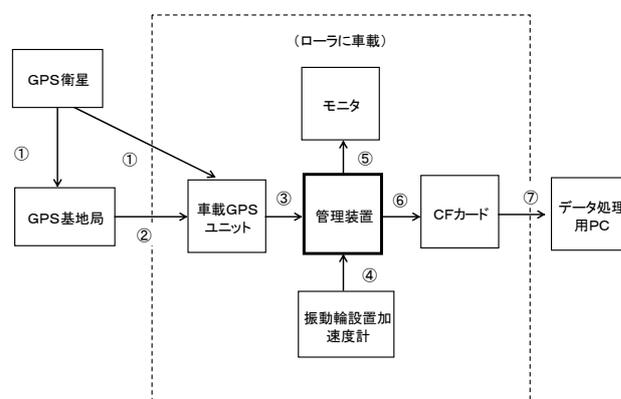


図 - 2 データの流れ

#### 2. 振動ローラ加速度応答による地盤剛性評価<sup>1)</sup>

##### 2-1 評価手法の概要

振動ローラの加速度応答は地盤の締固めの進行に伴って変化する。したがって、振動ローラの振動輪の加速度を計測することによって、地盤の剛性や密度を判定することができる。また、施工を行いながらリアルタイムに、かつ施工面全体にわたって品質を判定することが可能である。

機器構成は、加速度計、加速度解析装置、GPS、ノートパソコンで構成される。図 - 1 に機器構成、図 - 2 にデータの流れを示す。

図 - 2 のデータの流れは次の通りである。

- ① GPS からの位置信号。
- ② GPS からの位置信号を受けて位置修正信号を車載 GPS ユニットに送信。
- ③ GPS からの位置信号と基地局からの修正信号により現在位置を確定し、管理装置に位置データを送信。
- ④ 振動輪に設置した加速度計からの信号を管理装置に送信。
- ⑤ 管理装置においてリンクされた位置データと加

速度データを表示。

- ⑥ リンクされた位置データと加速度データを受信して時系列に記録。
- ⑦ データを記録したCFカードを解析プログラム内蔵のPCに接続し、種々の解析を行う。

## 2 - 2 測定原理

本検討では、藤山・建山による理論式<sup>2)</sup>を採用し、地盤剛性評価を行った。これは、加速度応答を定量的に表す「乱れ率」なる指標から力学指標である地盤変形係数Eに換算するものであり、以下に概要を述べる。

図 - 3に加速度計測例および周波数分析結果の一例を示す。図 - 3より、転圧の進行による地盤剛性の増加に伴い、振動ローラの加速度波形が乱れ、その周波数解析において振動ローラの振動数以外の成分(高周波スペクトル  $S_1, S_2, \dots$ , ならびに  $1/2$  分数調波スペクトル  $S_1', S_2', \dots$ ) が卓越する。この性質を利用して「乱れ率」を定義する。式 - 1に乱れ率の算出式を示す。乱れ率が大きいほど地盤が締固まっていることを表す。

また振動ローラの挙動を数値計算モデルを用いて解析し、乱れ率から地盤変形係数Eを算出する。図 - 4に振動ローラの挙動を数値計算するためにモデル化したもの、式 - 2に地盤変形係数の算出式を示す。

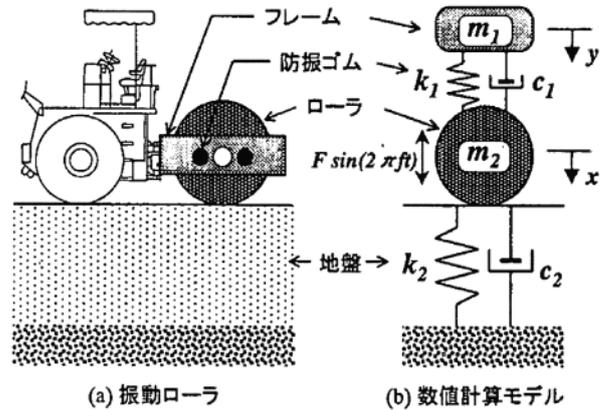


図 - 4 振動ローラ～数値計算モデル

$$\text{乱れ率} = \frac{\sum_{i=1}^3 S_i + \sum_{i=1}^3 S_i'}{S_0 + S_0'} \cdot \frac{F/(m_1 + m_2)g}{F/(m_1 + m_2)g} \quad \dots \text{式 - 1}$$

$$E = \frac{2 \cdot (1 - \nu^2)}{B \cdot \pi} \cdot \frac{\left(\frac{4}{3} \text{乱れ率} + 1\right)^2 \cdot (2\pi f_0)^2 \cdot m_2}{1 - 0.32\alpha + \sqrt{0.1024\alpha^2 - 1.64\alpha + 1}} \quad \dots$$

$$\alpha = 1 - \left(\frac{F}{(m_1 + m_2)g}\right)^2 \quad \text{式 - 2}$$

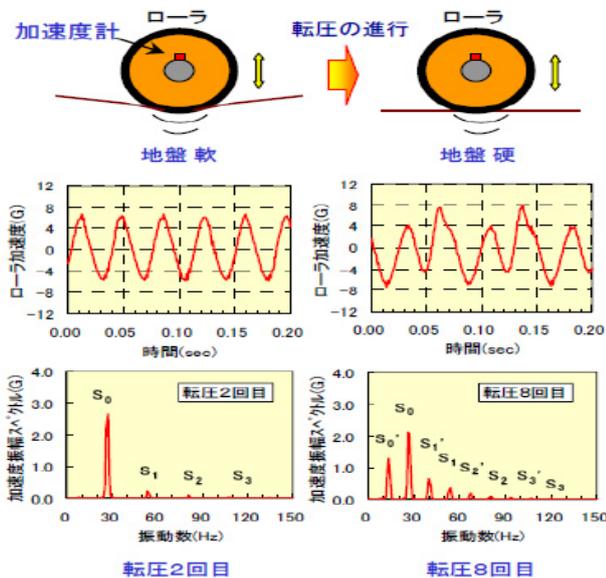


図 - 3 加速度計測および周波数分析例

## 3. 舗装施工管理手法

土木工事における盛土施工では、層厚も大きく全体を一様な地盤として管理ができるが、舗装においては、1層の厚さが30cm以下で、各層で材料物性も異なる。

10t級の振動ローラの場合、その影響は深さ方向に60cm程度であり、転圧層ごとに物性の違う舗装体の施工管理においては、下層の影響を受けるため、適用方法は盛土と同様とはならないと考える。

そこで本検討では、実際に行われた工事の一部分を利用して、以下の事項を確認した。

### 1) 4t 振動ローラの適用性の確認

盛土工事で使用される10t以上の振動ローラは、舗装工事では使用されない。そのため、舗装工事で一般的に使用される振動ローラの適用性を確認した。

### 2) 舗装工事における加速度応答データの妥当性の確認

路盤およびアスファルト混合物に適用した場合に、

どのようなデータが得られるか確認した。

### 3) 舗装工事の品質管理に対する有効性の確認

現在行われている測点管理に対し、面的な管理の有効性を確認した。

## 4. 舗装の適用試験施工

### 4 - 1 工事概要

1) 工事名：山陽自動車道宮島サービスエリア改良 工事  
(スマートI.C 設置工事)

2) 工事場所：広島県廿日市市山陽自動車道宮島  
S.A 敷地内  
今回は上り線の約 140 m<sup>2</sup>で実施。

3) 使用機械：4t コンバインドローラ

外観を写真 - 1 に示す。

仕様を以下に示す。

- ①質量 機械質量：3,230 kg  
前輪質量：1,990 kg
- ②性能 起振力(低振幅/高振幅)：26.5kN(2,700kgf)/  
34.3kN(3,500kgf)  
振動数(低振幅/高振幅)：55Hz(3,300vpm)/  
55Hz(3,300vpm)
- ③寸法 締固め幅：1,300 mm  
前輪(径×幅)：800 mm×1,300 mm
- ④起振装置 起振機：一軸偏心  
装着位置：前輪



写真 - 1 4 t コンバインドローラ

4) 舗装構造(上り線のみ)：図 - 5 に示す。

表層(密粒度 As13)	t =40
基層(粗粒度 As20)	t =60
上層路盤(粒度調整砕石・M-30)	t =100
下層路盤(再生砕石・RC-40)	t =150
路 床 (路盤準備工・切土部)	

図 - 5 舗装構成

### 4 - 2 調査試験

試験対象は路床面から路盤各層・基層までとした。測定レーンは2レーン設け、RIによる密度の測定箇所は各車線ごとに5箇所、計10箇所設けた。なお、加速度応答データは2秒ごとに記録される。試験ヤードを写真 - 2、図 - 6 に示す。測定頻度は以下の通りである。

1) 路床

仕上がった状態で測定。

2) 下層路盤・上層路盤

転圧回数2,4,6,8回ごとに路床と同位置で測定。

3) 基層

転圧時にすべて測定。転圧開始温度は、1レーンは120℃、2レーンは140℃とした。

アスファルト混合物で構成される基層については、混合物温度により物性値が大きく変化するため、温度も同時に測定した。



写真 - 2 試験ヤード

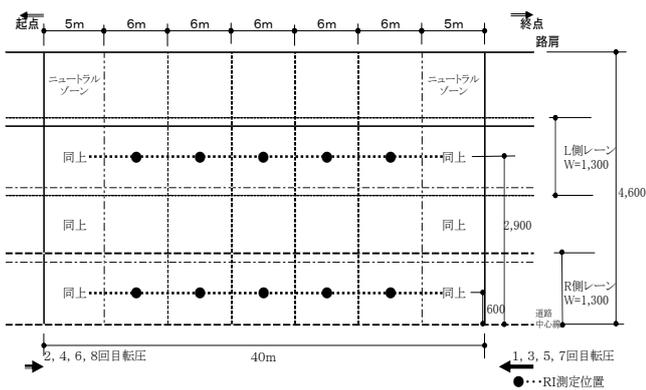


図 - 6 試験ヤード

### 5. 試験結果及び考察

各層で測定した加速度測定データから地盤変形係数(Eroller)を求めた結果を以下に示す。

#### 5 - 1 仕上がり面における試験結果

仕上がり面をローラで連続測定した Eroller の結果を図 - 7, 8, 9, 10 に示す。なお、基層面では、路面温度が 20°C 程度まで下がった時に測定した値である。

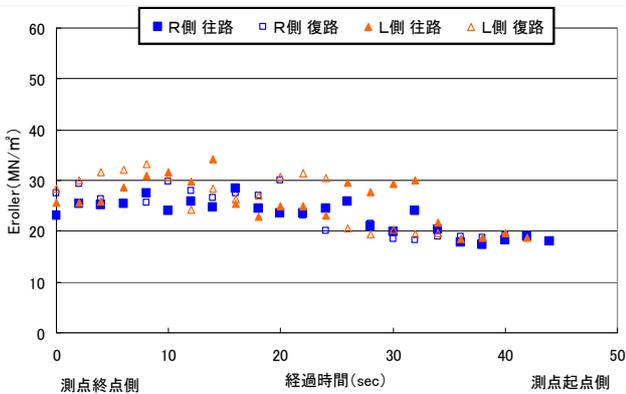


図 - 7 Eroller 分布(路床)

る。

図 - 7 より、路床面では、L 側の Eroller が若干大きな値を示している。

図 - 8 より、下層路盤面では、L 側の Eroller が若干大きな値を示しており、路床の影響を受けている。

図 - 9 より、上層路盤面では、L 側の Eroller が大きい傾向が顕著になった。

図 - 10 より、基層面では、L 側が大きな値を示すが、往路・復路において値に差があり、変動幅が大きい。

以上より、次のような傾向が見受けられる。

- 1) 各層の R 側 L 側、往路復路における Eroller は、基層を除いてほとんど同様な値を示している。
- 2) 各層において若干 L 側の値が大きいことから、路床の影響を受けていることを示している。
- 3) 基層面での Eroller は値にばらつきが見られ、仕上がり面での管理は難しいと判断できる。

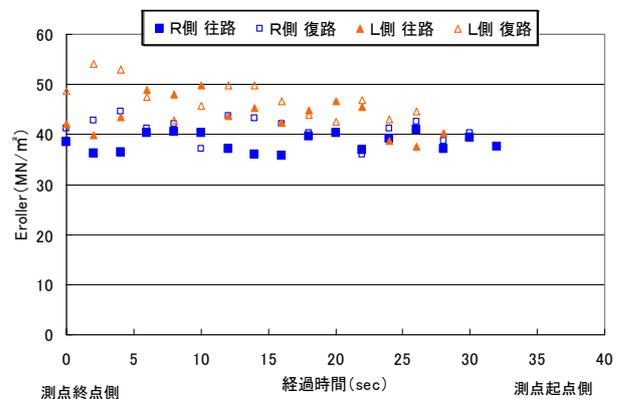


図 - 9 Eroller 分布(上層路盤)

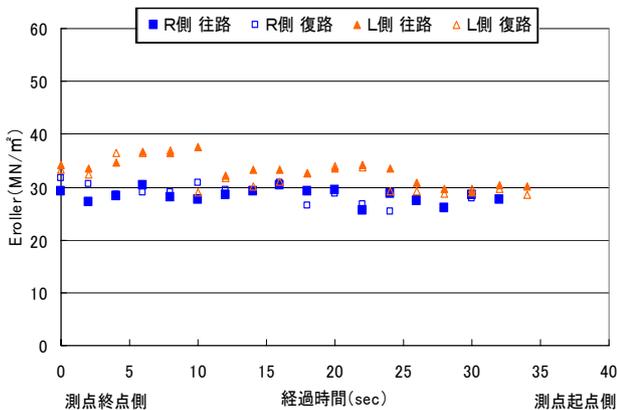


図 - 8 Eroller 分布(下層路盤)

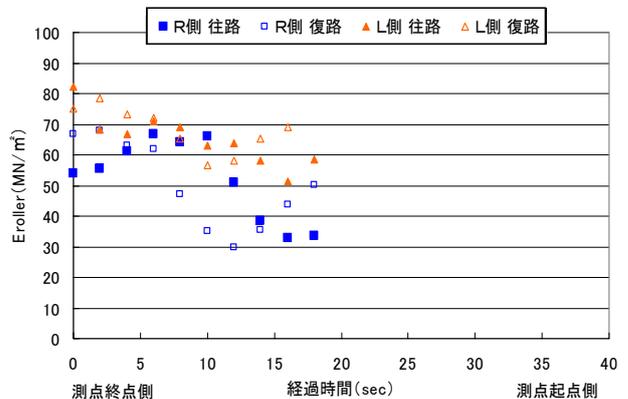


図 - 10 Eroller 分布(基層)

## 5-2 転圧回数ごとの試験結果

転圧回数ごとに測定した **Eroller** の結果を図 - 1 1, 1 2 に示す

図 - 1 1 より、下層路盤面では、転圧回数ごとの **Eroller** の差はほとんど見られないが、データの変動幅が転圧回数によって小さくなる傾向が窺える。

図 - 1 2 より、上層路盤面では、転圧回数ごとに **Eroller** の増加が明確に見られる。

以上より、下層路盤面・上層路盤面ともに **Eroller** に変化が見られ、転圧による路盤の強度変化を感知していると認められる。

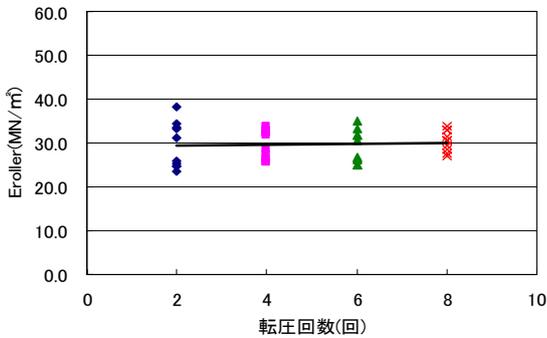


図 - 1 1 転圧回数ごとの **Eroller**(下層路盤)

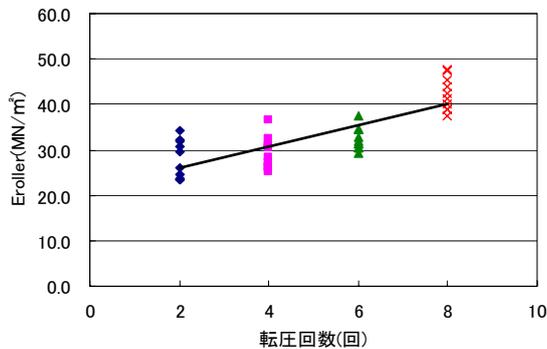


図 - 1 2 転圧回数ごとの **Eroller**(上層路盤)

## 5-3 締固め度と地盤変形係数(**Eroller**)

締固め度と **Eroller** の関係を図 - 1 3, 1 4 に示す。

図 - 1 3 より、下層路盤面では、測定面が締固まる程 **Eroller** も増加傾向にある。

図 - 1 4 より、下層路盤面と同様に、上層路盤面でも測定面が締固まる程 **Eroller** も増加傾向にあるが、値にばらつきが見られる。

以上より、締固め度と **Eroller** の関係にはある程度

の相関が見られる。

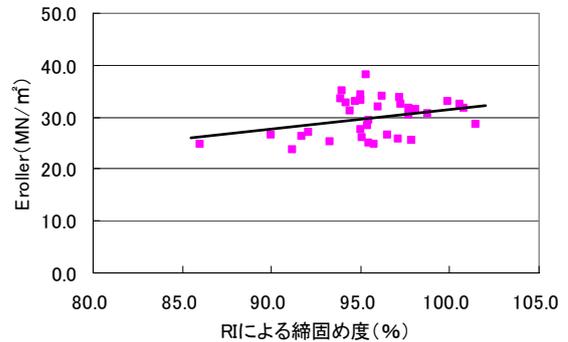


図 - 1 3 締固め度との関係(下層路盤)

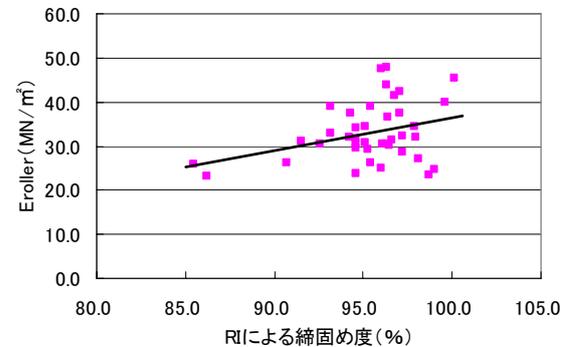


図 - 1 4 締固め度との関係(上層路盤)

## 5-4 混合物温度と地盤変形係数の関係

混合物温度と測定した **Eroller** の関係を図 - 1 5 に示す。

図 - 1 5 より、**Eroller** は、混合物温度の低下とともに、増加する傾向を示している。従って、**Eroller** は、混合物の温度変化による強度の増加を感知していると認められる。

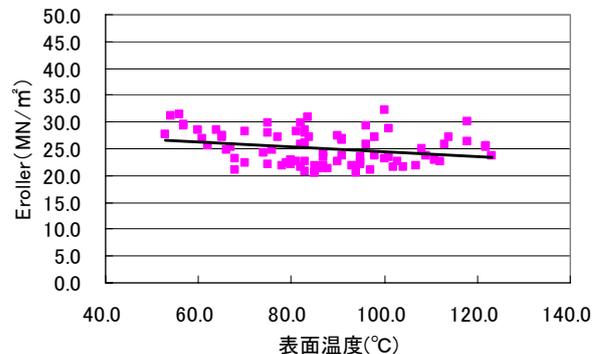


図 - 1 5 混合物温度との関係(基層)

### 5 - 5 走行位置における試験結果

仕上がり面における走行位置と各層 Eroller の比較を 図 - 16 に示す。

図 - 16 より、強度の大きい層が重なるごとに Eroller の値も増加する傾向が見受けられる。しかし、基層面での値はばらつきが大きく、温度が 20°C 程度まで下がった仕上がり面での評価は困難である。

### 6. まとめ

今回の調査を以下にまとめる。

- 1) Eroller と載荷面層の締固め度との間には相関性が認められる。
- 2) Eroller は、転圧を重ね、強度の大きい層を重ねた際の増加変動を感知している。
- 3) 基層面の Eroller は、温度低下(アスファルトの粘度増加)による混合物の強度変化を感知している。ただし、温度が 20°C 程度まで下がると変動が大きくなるため、評価は困難である。

以上のことより、本検討は、振動ローラの加速度応答から得られた変形係数の変動状態を把握できる可能性を窺えた。従って、舗装の品質管理手法として加速度応答データを適用できる可能性が確認できた。ただし、今回のデータだけでは不明確なことがあるため、今後更にデータを収集し、検討を進める必要がある。

最後に、厳しい工程の中で今回の試験のために施工ヤードを提供していただいた、西日本高速道路(株)中国支社広島高速道路事務所および西日本高速道路メンテナンス中国(株)広島事務所の関係者の方々に厚く御礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 藤山哲雄、古屋弘：振動ローラ加速度応答を利用した地盤剛性評価装置の開発, 平成 16 年度管内技術研究発表会(近畿地方整備局),2004
- 2) 藤山哲雄、建山和由：振動ローラの加速度応答法を利用した転圧地盤の剛性評価手法, 土木学会論文誌 No.652/III-51,pp.115~123,2000

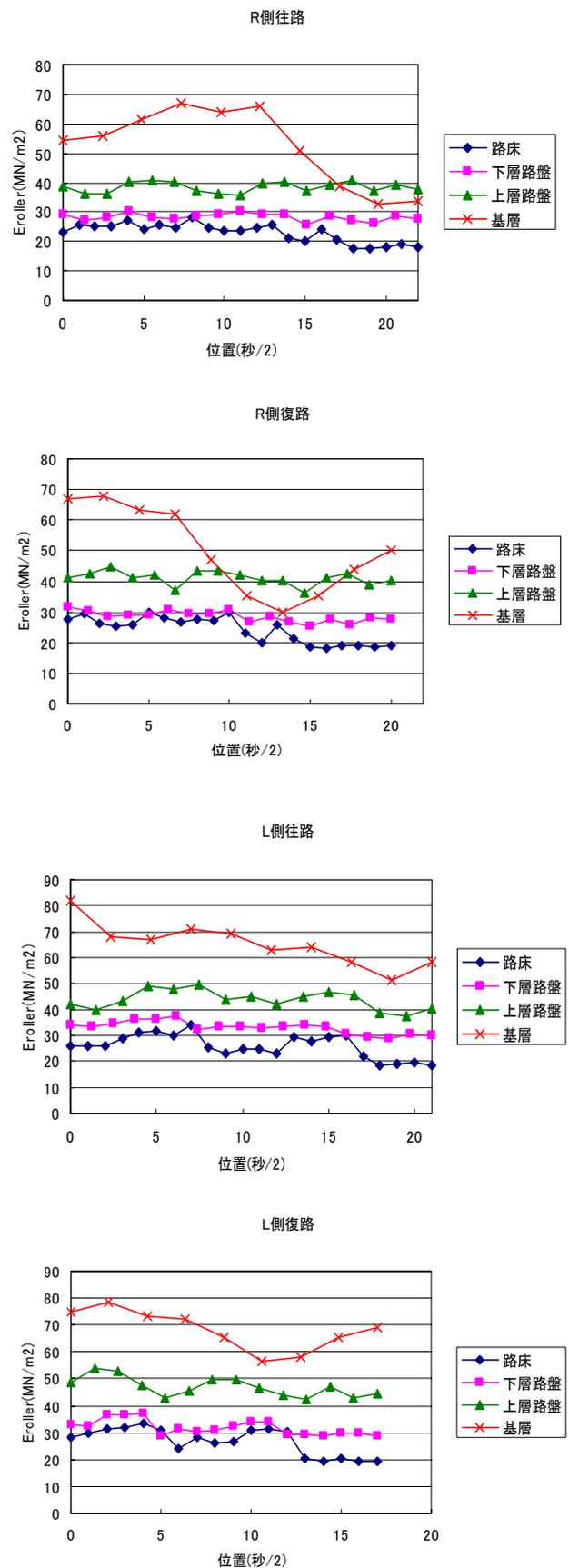


図 - 16 走行位置と各層 Eroller の比較

## 25. 小規模現場対応型モービル式フォームドプラントの開発 ーフォームド + アスミック製造の機能を備えた小型移動式プラントー

鹿島道路株式会社 機械センター開発・設計課  
○ 平藤 雅也

### 1. はじめに

近年、地球環境問題に国際的な関心が高まり、建設分野においてもその意識が広く浸透し、新技術、新工法の開発・活用が行われている。

舗装に関しては、このような技術の1つに常温型混合物があり、従来の加熱アスファルト混合物に比べてエネルギー消費量及びCO<sub>2</sub>排出量の大幅な削減が可能なものとして注目されている。常温型混合物を製造するにはさまざまな方法があるが、鹿島道路では中でもフォームドアスファルト工法（SKS工法）に着目し、工法の導入、普及の促進に積極的に取り組んできた。

本報では、省エネルギー、省資源、リサイクル、コスト削減といった社会的なニーズに合致したSKS工法について紹介するとともに、小規模工事等への柔軟な対応を図るために開発したモービル式フォームドプラントについて述べる。

### 2. SKS工法

SKS工法とは、セメント・瀝青安定処理の一種で、瀝青材料としてフォームドアスファルトを使用した路上路盤再生工法である。

#### 2-1. フォームドアスファルト

フォームドアスファルトは、高温（150～160℃程度）のストレートアスファルトに少量の水（アスファルトに対して1.5～2.5%程度）と空気を添加することで製造される泡状のアスファルトである（写真-1参照）。フォームド（泡状）化することでアスファルトの体積が増え、それと同時に粘性が大幅に減少するため、常温での湿潤状態の骨材との混合が容易になり、分散性の良い安定処理混合物を製造することができる。



写真-1 フォームドアスファルト

#### 2-2. SKS混合物の機構

骨材との混合時には、フォームドアスファルトが混合物内部に細粒分を含んだアスファルトモルタル分として混在した状態になる。このアスファルトモルタル分が、転圧時に接着剤として粗骨材同士を結合させる（図-1）。アスファルトモルタル分が粗骨材を把握するため、加熱アスファルト混合物のようにアスファルト被膜が剥離し、そこに水分が浸入して強度が極端に落ちるといった現象が生じない。

ストレートアスファルト  
(150～160℃)

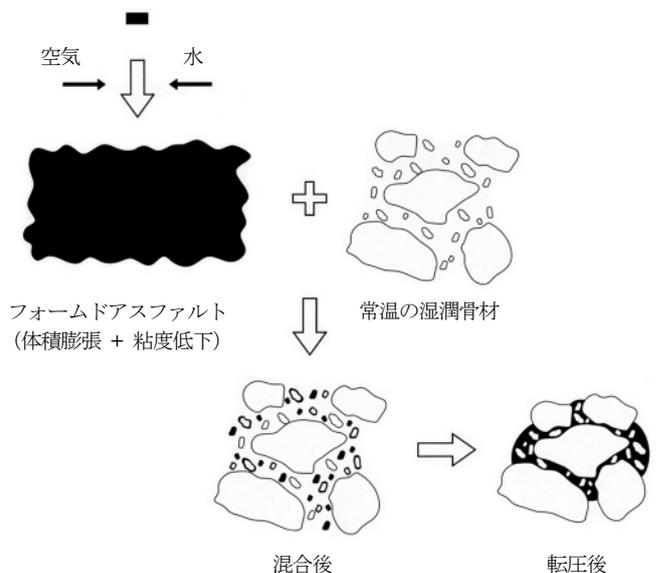


図-1 フォームド混合物生成のプロセス

また、セメントを添加していない混合物であれば、常温で1ヶ月程度の貯蔵が可能である。したがって、混合してから施工するまでに時間的な制約を受けないため、広範囲多目的な用途に適用可能となる。さらに必要に応じてセメントを後添加することで、強度増加を図ることも可能となる。

また、工事用仮設道路、農道、機械置き場などでは、表面を乳剤シールなどで強化することで表層として使用できる。ただし、車両が旋回する箇所などでは表面の骨材等が飛散してしまう可能性があるため注意が必要である。

フォームドアスファルトの特徴は、以下のとおりである。

- ・ 常温で湿潤状態の骨材と混合が可能。
- ・ たわみ性を有しており、耐久性に優れる。
- ・ 強度発現が早く、施工後養生を必要としないため、早期の交通開放が可能である。
- ・ 作業性に関しては、粒状材料と同等である。
- ・ 工事用仮設道路や農道等の軽交通道路では表層として供用することも可能である。

### 3. フォームドアスファルト混合物の製造方式

フォームドアスファルトによる常温混合物の製造方法には、スタビライザによる「路上混合方式」と、プラントによる「中央混合方式」がある。

路上混合方式は傷んだアスファルト舗装を砕石路盤とともに現位置で破碎混合し、より強固な路盤に再生する強化路盤工法である。現地発生材料をそのまま有効活用するため、路盤材の搬入や切削材等の搬出を抑制することができ、工事車両を減らすことができる。これにより、省資源およびCO<sub>2</sub>発生量の抑制に寄与できる。写真-2にアスファルトタンク内蔵型のフォームドスタビライザを示す。

一方、中央混合方式は、目的に合った任意の材料を使用し常温混合物を大量に製造することができる。大規模な新規路盤の施工、廃材利用等で土捨て場で混合する場合に有効である。写真-3に当社従来のフォームドアスファルトプラント（生産能力150～200t/h）を示す。



写真-2 フォームドスタビライザ



写真-3 フォームドアスファルトプラント

## 4. プラント概要

フォームドプラントの特徴として、骨材を加熱する必要がないため、ドライヤーが不要になる。これにより、燃料消費量を抑えることができ、CO<sub>2</sub>削減に寄与できる。また、プラントの規模を縮小することも可能となる。

これまでの当社のフォームドアスファルトプラントは生産能力が大きく(150～300 t/h)、必然的に機械設備も大掛かりなものだった。その為、運搬・組立て・設置に手間と費用が掛かり、小規模な現場には適さないという難点があった。

今回この難点を解消すべく、小規模工事に対応したモービル（移動）式フォームドプラントの開発を行った。写真-4にプラントの外観を示す。



写真-4 プラント外観

#### 4-1 特徴

従来のプラントにおいて、材料投入にはホイールローダーを使用していた。本機では、材料投入にバックホウの使用を前提とすることで、ホッパを小型化することができた。また、各装置の選定、及び配置を見直すことによって、排出ベルコン以外の装置を1つのユニットに集約化させることができ、トラック1台での運搬を可能とした（写真-5 参照）。



写真-5 トラック1台での運搬が可能

設置・組立てに関しては、強固な基礎等は必要とせず、敷き鉄板の上に本体を降ろし（配置には50 tonクレーンを使用）、本体上部のスペースに収められた排出ベルコン、小物をセットし、配線関係を繋ぐだけである。これらの特徴から、小規模現場だけでなく、災害時の緊急復旧工事等にも迅速に対応することが可能と考える。

当該プラントは2つのコールドビンとセメントチャージビン、アスファルトタンクを備えた連続ミキシング方式の可搬式プラントである。各材料の制御は、モーターの周波数等で設定し装着された流量計で管理を行う。なお、フォームド水の制御は、アスファルトポンプと連動しているため、常に一定の水アスファルト比を保つことが可能である。

フォームドユニットに関しては、3つ装着されたノズルのチャンバ内で製造されるフォームドアスファルトを、路盤材に直接噴射するため均質な混合性を確保することが可能である（図-2）。

また、このフォームドユニットは、アスファルトタンク、チャンバおよび配管に電気ヒーターを装備するとともに、圧縮空気でもノズル内を常に清掃する構造となっているため、アスファルトが詰まることによる不具合を回避する構造となっている。

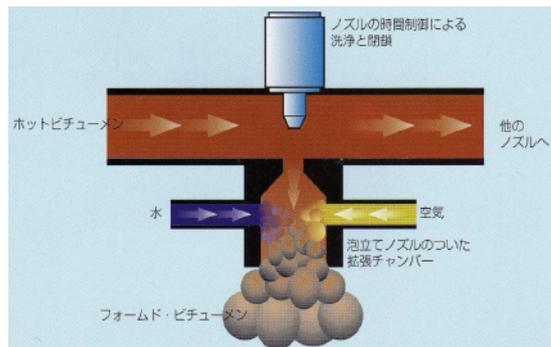


図-2 フォームドアスファルト製造方法

本体に制御盤・運転モニタが装備されているため、即座に各装置の運転状況を把握することができる。

図-3 に運転モニタを示す。

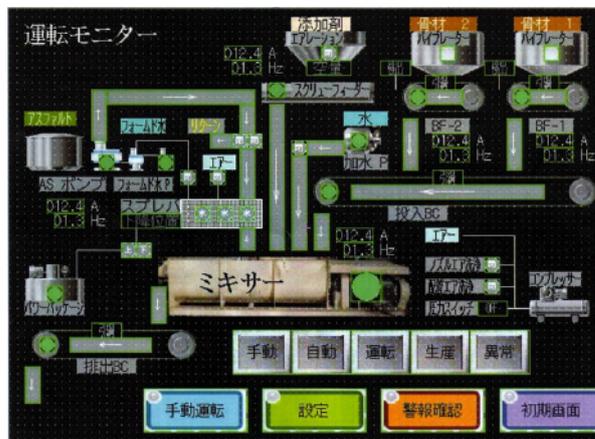


図-3 運転モニタ

#### 4-2 能力・仕様

表-1 に本機の主要諸元を示す。

表-1 主要諸元

主要諸元	
能力	最大50 t/h
全長	14,000mm（作業時）
	9,010mm（回送時）
全幅	2,300mm（作業時）
	2,300mm（回送時）
全高	4,255mm（作業時）
	2,700mm（回送時）
重量	10,000kg
ホッパ(2ビン)	1 m <sup>3</sup> × 2
水タンク	0.5 m <sup>3</sup> （加水用）
	0.1 m <sup>3</sup> （フォームド用）
アスファルトタンク	1.0 m <sup>3</sup> × 1
セメントビン	1.45 m <sup>3</sup> × 1
総動力	200V3相 50kW(100KVA)

### 4-3 多機能性

当該プラントは、通常のソイルプラントとしての使用は勿論のこと、アスミックユニット（写真-6 参照）を装着することにより、バッチ式アスミック製造プラントへ転換できる構造となっている。



写真-6 アスミックユニット

### 5. アスミックとは

アスミックとは、ストレートアスファルトを加熱し、霧状の微粒子にして常温の砂質土中に少量(3～6%程度)添加、混合する安定処理工法である。この工法の目的としては、アスファルト自体を微粒子として土粒子間に均一に分散させることによって、土の安定性を高め土そのものが有している色調を出るだけそのまま生かすことにある。写真-7の左に湿潤状態の表面、右にバーナーで加熱した時の表面を示す。右写真を見ると、混合物中のアスファルトが均一に分散しているのがわかる。



写真-7 アスミック表面状態

アスミックの特徴は以下のとおりである。

- ・自然色に近い色合いを有しているため、周辺景観と調和する。
- ・降雨によるぬかるみが減少する。
- ・土埃の発生を抑制する。
- ・混合後も貯蔵が可能である。

### 6. 施工

当該、プラントを使用した土系車道用舗装の試験施工を行ったので、ここに紹介する（写真-9 参照）。



写真-9 混合物出荷状況

使用した骨材は、土系の風合いを得るためにC-40とマサ土を使用した。

施工は、TV式アスファルトフィニッシャで敷均し、初期転圧に振動ローラ（インテリジェントローラ）、二次転圧にタイヤローラを使用した。

施工結果は、写真-11に示すとおり十分な土の風合いが得られ、良好なものと判断できた。



写真-11 車道用土系舗装表面

### 7. おわりに

フォームドアスファルト混合物は、骨材を加熱する必要がないため、低公害・省エネルギーであるため時代のニーズに合致している工法と考える。

また、当該プラントはトラック1台で運搬できるため、小規模工事や災害復旧工事等の幅広いニーズに応えることが可能と考える。

当社では、路上路盤再生工法、中央プラント混合方式および新規に開発したモービル式プラントを活用し、様々なニーズに対応した積極的なSKS工法の施工を進めていきたいと考える。

## 26. 縦型回転混合攪拌方式による矩形中層改良工法の概要と施工事例

小野田ケミコ株式会社 鈴木 孝一

西尾 経

○伊藤 達也

### 1. はじめに

縦型回転混合攪拌方式である中層混合処理工法（ツイン・ブレードミキシング工法：以下TB工法と略記する）は、3m～11mの浅・中層改良域の改良深度を直径  $\phi 1.5\text{m}$ ×幅 1.5mの縦型回転式の大径攪拌翼（ツインブレード）で断面形状が矩形状の杭式改良体を造成するものである。また、本工法はバックホウをベースマシンとすることで機動性が増し、また、改良体の品質に欠かすことのできない施工の鉛直性、攪拌深度、回転翼回転数等を管理するシステムを装備している。

本文では、縦型回転攪拌混合方式による攪拌混合の概要と工法仕様ならびに本工法の適用事例について報告する。

### 2. 矩形浅・中層攪拌処理工法の概要

#### 2.1 工法の開発とその特徴

TB工法<sup>2)3)</sup>は、深度 11mまでの領域を縦型回転攪拌混合方式により改良体を造成する機械混合処理工法の一つである。写真-1は、本施工機械の概要を示す。駆動形式は、攪拌装置ケーシングの先端部に装備した左右両側に鉛直回転する2つの大径攪拌翼（ $\phi 1.5\text{m}$ ）により、攪拌翼幅 $B=1.0\text{m}\sim 1.5\text{m}$ の柱状改良体を地中に形成する。施工機は、高トルク仕様の攪拌装置の採用により、大径攪拌翼で改良対象土と固化材スラリーとを強制的に攪拌混合する。このため、攪拌効率が高く、ばらつきの少ない品質の改良体が得られる。改良断面は $1.5\text{m}\times 1.5\text{m}$ の正形状から $1.0\text{m}\times 1.5\text{m}$ の長形状の形状まで、目的に応じ選択することが可能である。従来施工機では、改良深度 11m程度の場合でも、約 21mの機械高が必要とされる。しかし、TB工法では、攪拌装置ケーシングにはほぼ等しい約 12mの機械高に収められる。これは、従来施工機の機械高の約 1/2であり、空頭の制約を受けにくい。また、駆動装置は、攪拌装置の下部に設けられていることから、機械の安

定性が高いことも特徴の一つである。

#### 2.2 攪拌混合機構

TB工法では、攪拌駆動装置を攪拌翼に直結させることで、回転トルクを効率高く伝達することができる。貫入・引抜き工程において、縦型回転する攪拌翼により、鉛直方向に定速度で回転する攪拌翼と改良速度の関係から、細やかな攪拌軌跡が得られることになる。つまり、この攪拌翼の軌跡は、4つの攪拌翼に取り付けられた複数の攪拌ブレードが他の攪拌ブレードの軌跡に重ならないように工夫されている。

### 3. 縦型回転攪拌混合方式による施工仕様

#### 3.1 適用土質

TB工法の適用地盤を表-1に示すが、粘性土地盤では $N\leq 5$ 、砂地盤では $N\leq 10$ としている。ただし、表層部あるいは空打ち部にコンクリートがら、廃棄物、碎石、玉石等の障害物がある場合には、あらかじめ、これらを除去することが必要である。



写真-1 縦型回転攪拌混合 (TB) 工法施工機

### 3.2 施工機の適用範囲

TB工法においては、表-2に示すように、6~11mの改良深度に応じて、3機種が用意されている。いずれの機種も攪拌翼形状は、標準的にはφ1.5m×B1.5mの矩形形状である。この場合の攪拌面積  $A=2.25\text{m}^2$  であり、改良断面が円形状である一般的な工法（改良径φ1.0m×2軸方式）の改良面積  $A=1.5\text{m}^2$  と比べ、1.5倍の改良面積となり、小型でありながら施工能力、施工効率が高い特徴を有している。

### 3.3 施工機械構成

TB工法の施工機械構成は、図-1に示すように大きく施工機部とプラント設備部に区分される。

前述のようにTB施工機はバックホウをベースマシンとし、アーム部分に取り付けた攪拌ケーシング先端に大口径の縦型ツイングレード攪拌装置が装備されている。改良の施工精度ならびに品質を確保するため、深度、ブレード回転数、固化材スラリー流量および施工の鉛直性等が一括計測可能な管理システムを新たに導入した。写真-2には、深度ならびに鉛直性検出装置の取り付け状況を示す。改良深度は、独自に開発した差圧式の計測器により、±1cmの精度で検出が可能である。また、鉛直性の管理には、検出精度が±0.5°の傾斜検出器を採用した。

写真-3は、オペレータ席に配置された各種データの表示状況であり、施工状態を的確に把握することができる。

プラント設備部の機能は、所定の水セメント比に調整した固化材スラリーを施工機の攪拌装置に圧送する

ことである。図-1(b)がTBプラント設備の配置例で、セメントサイロに貯蔵され固化材は、スラリープラントで所定の水セメント比となるよう水と混合される。さらにグラウトポンプによって施工仕様に定められた流量の下で、固化材スラリーが回転ブレードの吐出口より吐出される。

### 3.4 施工方法

TB工法の標準的な施工手順は、次の通りである。

- ①所定の位置に施工機を移動させ、大径攪拌装置をセットする。
- ②攪拌装置の垂直性を確認した後、先端の大径攪拌翼

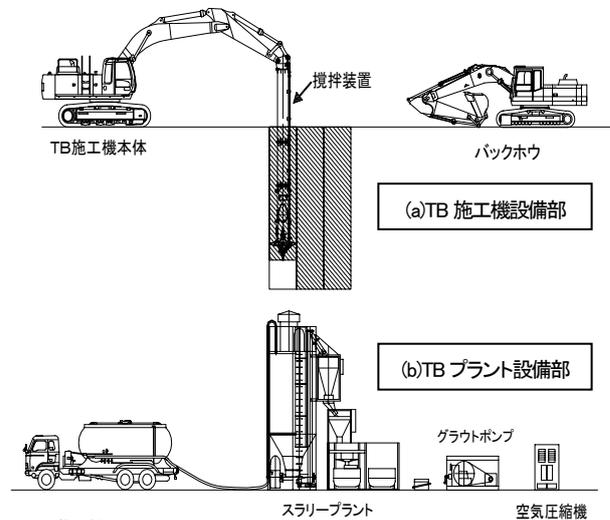


図-1 施工機械構成図



写真-2 深度・鉛直性管理検出装置



写真-3 オペレータ席内管理モニター

表-1 適用地盤

砂質土	$N \leq 10$
粘性土	$N \leq 5$ ( $C \leq 50\text{kN/m}^2$ )
腐植土	$w \leq 1000\%$

表-2 施工機種の適用範囲

形式	TB7M	TB9M	TB12M
適用深度	6m	8m	11m
施工機クラス	35t級	45t級	45t級特殊仕様

を回転させ、下部吐出口から配合試験により決定された固化材スラリーを  $q=100\text{l}\sim 200\text{l}/\text{分}$  で吐出させ、エアも同時に併用しながら攪拌・貫入する。

③下端に達した後に固化材スラリーを上部吐出口に切り替え、TB攪拌装置を引き抜きながら、攪拌混合を行い、以降同様な施工手順を繰り返す。

管理方法は、一般的な機械攪拌工法とほとんど同一の杭式改良の手法による管理ができ、管理上の煩雑さがない。

### 3.5 改良配置形式

TB工法の改良配置の形式は、前述のとおり杭式改良で、かつ改良体は矩形柱体を基本としている。改良形式では、写真-4に全面改良の事例を、また、写真-5に帯状の格子状改良の事例を示す。全面改良、杭式改良および格子状改良等、目的に応じた配置が可能である。特に全面改良の場合では、従来の円形状改良方式はラップ面積が大きいのに対し、TB工法は矩形形状改良であるため、ラップロスが避けられ、配置に無駄がない。

## 4. 縦型回転攪拌混合方式による改良土の特性

### 4.1 改良土の室内強度と現場強度の関係

TB工法により改良された改良土の室内改良強さ  $q_{ul}$  と現場改良強さ  $q_{uf}$  の関係を図-2に示す。この関係によると、おおよそ砂質土は  $q_{uf}/q_{ul} \geq 1$ 、また、粘性土では  $0.5 \leq q_{uf}/q_{ul} \leq 1$  となる。

この関係から、施工仕様上  $q_{ul}$  と  $q_{uf}$  の比は、 $\overline{q_{uf}} \doteq 1/2 \overline{q_{ul}}$  程度が推奨される。なお、杭式改良あるいは格子状改良の場合には、 $\overline{q_{uf}} \doteq 1/3 \overline{q_{ul}}$  としている<sup>4)</sup>。

### 4.2 攪拌回数と改良強度の変動係数

改良土の品質を表す指標として、攪拌ブレードの回転数  $n$ 、ケーシングの貫入速度  $V_d$  ならびに引き抜き速度  $V_u$  から、先ず攪拌回数  $N$  (回/m) を求めた。

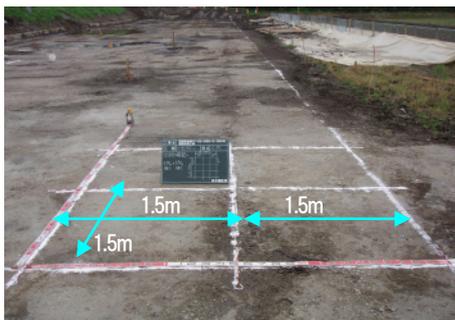


写真-4 全面改良状況

$$N = 4n \left( \frac{1}{V_u} + \frac{1}{V_d} \right) \quad (1)$$

これと現場改良強度  $q_{uf}$  の変動係数  $V$  との関係性を求めた結果が図-3である。同図より、現場改良強度の変動係数  $V$  は、攪拌回数  $N$  の増大に対して、漸減する傾向が窺われる。すなわち、攪拌回数  $N$  の大きさは、単位深さ当りの攪拌密度であり、原土と固化材の混ざり具合と関連し、 $N \rightarrow$  大となると、改良強度のばらつきは縮小すると考えられる。しかしながら、図-3のデータより判断する限り、対象土の種類と変動係数  $V$

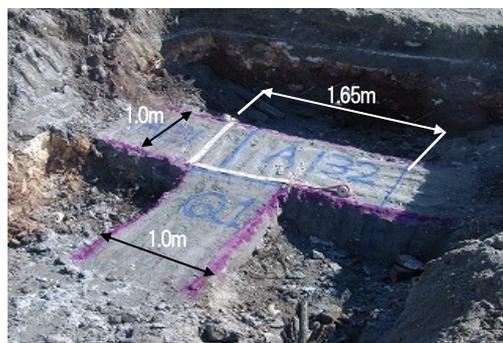


写真-5 格子状改良一部掘削状況

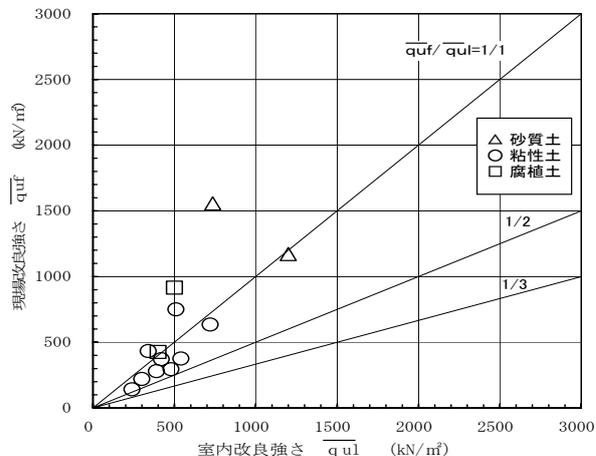


図-2 改良土の室内～現場強さの関係

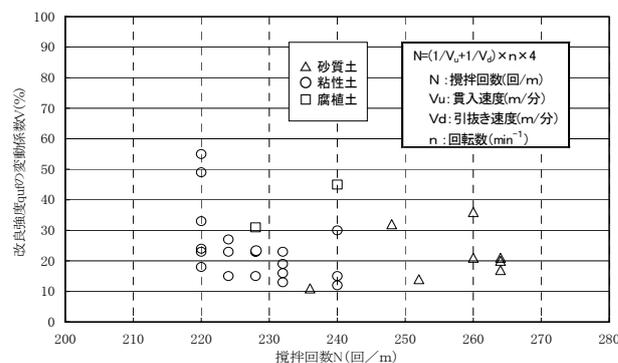


図-3 攪拌回数と改良土の変動係数の関係

の関係は、砂質土では $10\% < V < 30\%$ 、粘性土では $10\% < V < 50\%$ となった。ただし、 $N \geq 230$  (回/m) のときの変動係数は、概ね $10\% < V < 30\%$ となるのが認められる。

## 5. 縦型回転攪拌混合方式を用いた地盤変位測定事例

### 5.1 工事概要

本工事は、既設雨水排水路を撤去後にボックスカルバートを敷設するための沈下防止、支持力増加を目的として地盤改良工が計画された。施工域には図-4に示すように改良側面から離隔距離  $x=1\text{m}$  の位置に  $\phi 900\text{mm}$  の既設下水管が敷設されている。

地盤条件は、上層部に含水比  $w=170\%$  の腐植土層、下層部には含水比  $w=60\%$  の粘性土層で構成されている。固化材配合量は腐植土層では  $a_w=190\text{kg/m}^3$ 、粘性土層では  $a_w=182\text{kg/m}^3$  である。ここでは、施工時の地盤変位の影響を検証するため、地中傾斜計を最も改良深度の深い改良長 5.9m の改良タイプ1のエリアにおいて、既設下水管との反対側に設置し、施工時の地盤変位を測定して既設下水管の変位を予測した。

### 5.2 施工時の地盤変位測定結果

挿入式傾斜計の設置位置は、図-4に示すように、改良側面から離隔距離  $X=0.5\text{m}$  の位置とした。施工順序は、傾斜計の位置に最も近接する杭 NO.1 から杭 NO.15 まで順に施工を行った。地盤変位の測定方法は、杭番号1～3については、杭の施工完了直後に測定した。その後は杭 NO.6 および NO.15 の施工完了直後に測定した。それぞれの施工時の地盤変位量を測定した結果が図-5である。改良域と直行方向にある A 方向では、測点順序①で1cm程度、また、測点順序②の施工完了時に最大2cm程度の押し出しの変位が生じた。また、改良域との並行する B 方向では、15本の施工杭を施工したが、最大0.5cm程度の変位となった。以上の計測結果より、既設下水管へ与える影響を推測すると、埋設管は高さ2.9mの盛土下にあり、A方向の最大2cmの変位量は地表部であり、その後の累積変位量はなく、最終の地盤変位は0.5cmと戻る方向に収束しており、変位の影響はないもの考えられる。

## 6. まとめ

TB工法は鉛直方向に回転する縦型回転攪拌混合方式による攪拌駆動装置を装備し、回転トルクを効率よ

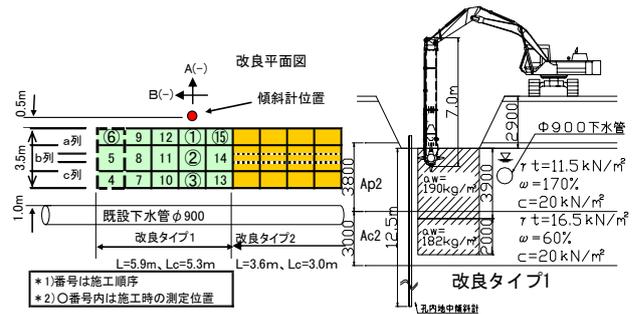


図-4 施工時の地盤変位測定位置

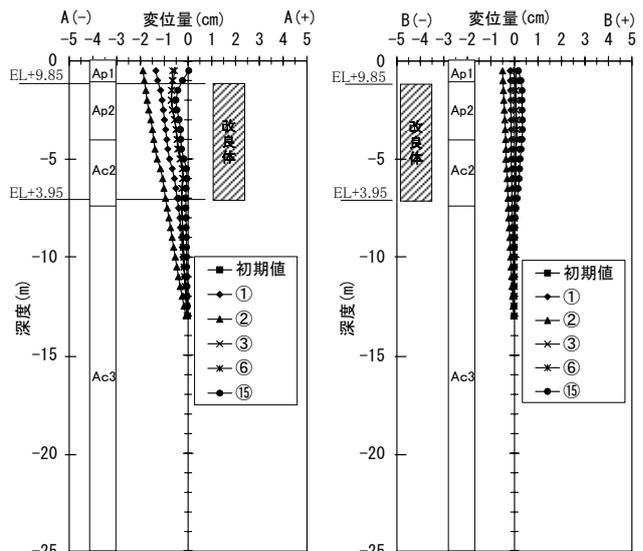


図-5 施工時の地盤変位測定結果

く伝達させ、鉛直方向に固化材スラリーと改良対象土を強制的に攪拌することが特徴である。また、改良形状は、矩形断面状の改良形式のため、全面改良、杭式改良、格子状改良等の配置ができる。施工管理手法として、攪拌回数  $N=230$  回/m以上で改良土の変動係数は、 $V=10\sim 30\%$  が確保されることを確認した。また、実施工において、施工時の地盤変位を測定した結果、低変位な施工が可能であることが確認された。謝辞：本論文を執筆するに当たり、中央大学大学院斎藤邦夫教授の多大なご助言・ご指導を賜り、末筆ながら謝意を表します。

【参考文献】1)松岡他：ロータリー式攪拌工法の開発と施工事例，第4回技術報告会，北海道土木技術会，2006.1、2)ツイン・ブレードミキシング工法：NETIS 新技術情報提供システム，2006.1、3)鈴木、斎藤他：縦型回転攪拌混合方式を用いた矩形中層改良工法の改良機構と施工事例，第8回地盤改良シンポジウム，2008.11 投稿中、4) (財)土木研究センター編：陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル改訂版，2004.3

## 27. 大規模免震レトロフィットへ適用した機械化・情報化施工事例

大林組 技術研究所 ○池田 雄一  
同 特殊工法部 坂井 利光  
同 東京建築事業部 谷口 英武

### 1. はじめに

官庁施設は、地震災害時において、災害応急対策や救難・救護の活動拠点として機能することが求められている。経済産業省総合庁舎別館においては、耐震診断の結果、防災拠点として必要とされる耐震性能を満足していないことが明らかになったため、耐震改修工法の技術的検討および工法の選定が進められた。その結果、改修後の耐震性能および執務機能、工事費、工期、施工性などを総合的に評価して、基礎下免震工法が採用されることとなった。多くの耐震改修工事（レトロフィット）で採用されている基礎下免震構法は、耐震壁や鉄骨ブレースなどの増設が基本的に不要であるため、執務機能は改修工事前とほとんど変わらない利点がある。本報では、大規模な建物を対象とした免震レトロフィットにおいて、各種機械化・情報化施工を適用した事例について得られた知見を報告する。

### 2. 工事概要と施工条件

#### 2. 1 工事概要

建物を使用しながらレトロフィットを進め、執務空間内での工事を一切伴わないという基本方針で耐震改修工法の選定が行われ、基礎下免震構法が採用された。対象建物は図-1のように竣工後35年以上が経過した地上11階建て、3スパン×17スパンの延床面積が約6万㎡の大規模なビルであり、地下掘削深さが非常に深いという特徴がある。深礎杭の負担軸力は、場所によって20MNを越えるため、国内最大級の免震装置を使用し、免震装置の最大重量は49kNを越える。

#### 2. 2 施工手順と施工条件

地下が深い建物に基礎下免震構法を採用する場合、基礎下の掘削深さをできるだけ抑え、施工全体費用の縮減を図る設計手法が一般的である。一方、建物下の作業空間を高く確保できれば、大型の建設機械を使用

できるため、免震レトロフィットの施工効率は大きく向上する。これらの相反する条件を考慮した設計がなされ、免震装置を設置する段階での作業高さは2.5mとなった。その高さは、深礎杭解体・解体ガラ搬出や免震装置の運搬・設置作業において、小型の建設機械が稼働するための最低限の作業高さである。また、地下への資材の荷降ろしおよび解体ガラ搬出用の開口を建物の妻面に限定して設置したため、地下作業空間での水平運搬距離は最大70mに達した。

建物を使用しながら深礎杭の解体工事を行うため、構造体へ与える振動レベルを抑え、かつ、低騒音タイプの解体工法を選択しなければならない。また、コンクリートの解体数量が2,000m<sup>3</sup>を越えるため、同時に施工効率を重視した解体工法を採用する必要がある。

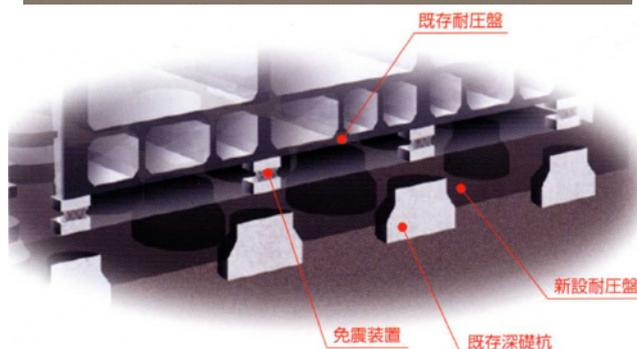


図-1 大規模免震レトロフィット概要

### 3. 機械化・情報化施工法の適用計画

#### 3. 1 深礎杭の解体計画

深礎杭の解体手順計画を図-2に示す。既設の深礎杭は、比較的大きな径(2.6~4.6m)だったことから、中長期の柱軸力を地盤に伝達できることを確認し、同図のように3工程に分けた解体計画とした。なお、躯体に対して影響の少ない解体工法として、低騒音・低振動のワイヤーソーおよびロックジャッキを利用する計画とした。解体手順は、まず、深礎杭中心部の必要となる断面を残しながら周辺を2方向から解体し(第1工程、第2工程)、解体した部分に仮設ジャッキを設置して柱軸力を受け替え、最後に中心部を解体する(第3工程)。準備工事として、先行削孔を行い、ワイヤーソーで杭との縁を切る。深礎杭は無筋コンクリートであるため、ロックジャッキにて亀裂を生じさせて大き

なコンクリート塊にする。最後にブレーカ付バックホウでコンクリート塊をコンクリートガラに小分割する。ワイヤーソーは、第1および第2工程では施工効率の高い通常の有水タイプのワイヤーソーを利用することとしたが、第3工程では、解体部分近傍に設置した仮受設備にコンクリートノロが飛散しないように完全無水タイプのワイヤーソーを利用する計画とした。

#### 3. 2 免震装置の運搬・据付計画

##### 3. 2. 1 免震装置の設置工事

上部および下部免震基礎の構築および免震装置の設置に関する施工手順を検討した結果、以下に示す施工手順で工事を進める計画とした。

- ①下部免震基礎の構築、下部ベースプレート(以下、B-PL)の設置
- ②上部差筋アンカー工事、上部B-PLの仮固定
- ③免震装置の設置
- ④上部免震基礎の構築

上記施工手順では、上部B-PLをコンクリートのかぶり厚さ分持ち上げて仮固定できるため、免震装置設置時の上下方向のクリアランスを約30mm確保できる。すなわち、免震装置を下部免震基礎上で水平移動させる際の上下方向の余裕は30mm程度である。

表-1 深礎杭の解体手順と解体工法

	第1工程	第2工程	第3工程
手順1	コア削孔	コア削孔	ワイヤーソー(無水)
手順2	ワイヤーソー	ワイヤーソー	ロックジャッキ
手順3	ロックジャッキ	ロックジャッキ	ブレーカ付バックホウ
手順4	ブレーカ付バックホウ	ブレーカ付バックホウ	

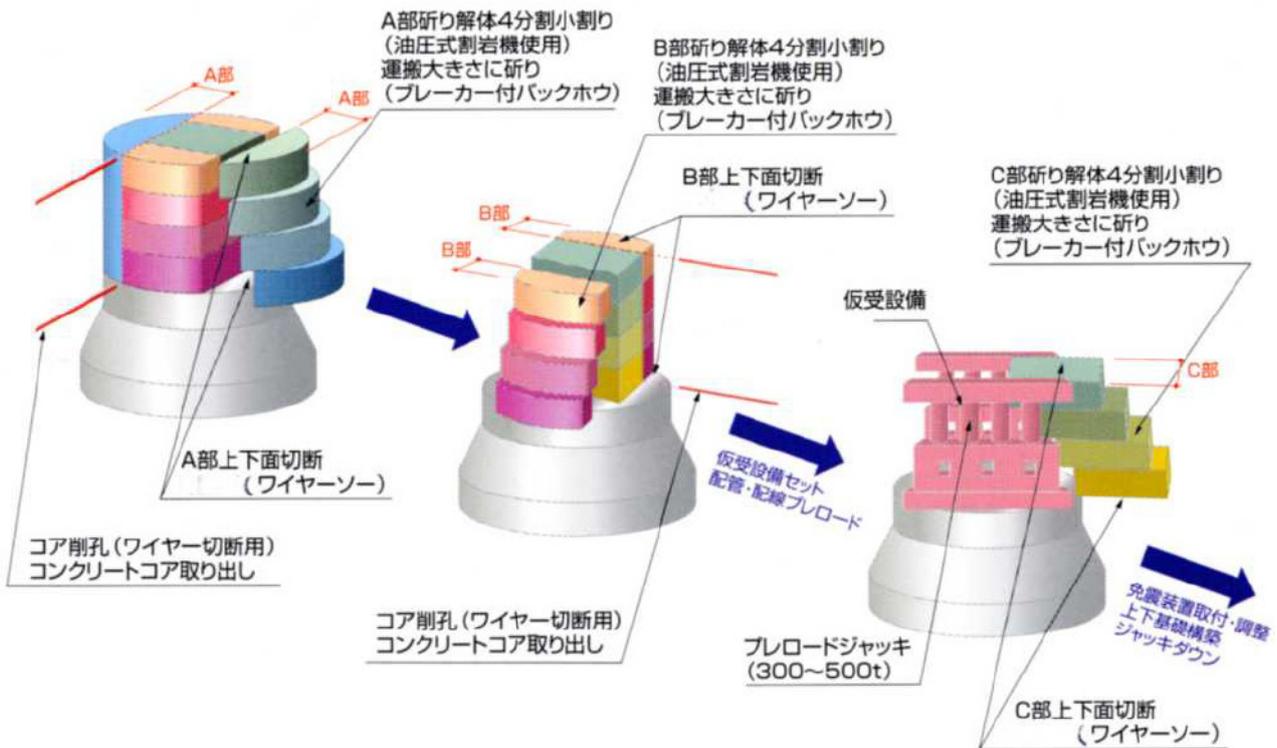


図-2 深礎杭の解体手順

### 3. 2. 2 制約条件の整理

免震装置の運搬・据付に関する施工上の制約条件を以下に示す。

- ・図-3に示すように作業高さが2.5mであることから、大型フォークリフトは利用できない
- ・上記に伴い、自走式または牽引式の運搬台車が必要となる
- ・運搬台車には図-4に示すように最大荷重53.9kNの免震装置を高さ約1,500mmの下部免震基礎上まで上昇させるリフター機構が必要である
- ・上下方向のクリアランスが非常に小さいため、チルローラなどのスライド装置は、装置自体の高さの制約から利用できない

### 3. 2. 3 専用機械・装置の開発

免震装置の運搬・据付に関する作業内容を事前に分析した結果、1台ですべての関連作業を実施できる専用機械を開発すると多くの機能が必要になる。このため、機構が複雑化し、コストアップの要因となる。そこで、リフター機構を備えた運搬台車および免震装置を水平方向に移動させるスライド装置に分割して検討した。運搬台車は機能分散・コスト削減の観点から、自走式ではなく牽引式とした。作業高さが2.5mの制約から、マスト高さを低く抑えられるフルフリーマスト仕様のフォークリフトを利用しなければならない。フォークリフトは他の運搬作業にも転用が可能であるため、費用対効果が高い。リフター付運搬台車の要求仕様を表-2に示す。

一方、スライド装置については、高さのクリアランスが約30mmしかない空間で利用するため、以下に示す3種類の方法について、各種検討を進めた。

- ・MCナイロンとステンレス鋼板
- ・鋼棒状のコロ
- ・鋼球を利用した転動装置

写真-1に示す転動装置は、免震支承の一つである球体転がり支承を参考に考案した。写真のように鋼球を2枚の鋼板で挟み込んだ簡便な装置である。

### 3. 3 ジャッキダウン時の計測管理計画

免震装置を設置し、上部免震基礎を構築した後、仮受設備で受けていた建物荷重を免震装置に徐々に移行させるジャッキダウン作業を行う。同作業時における

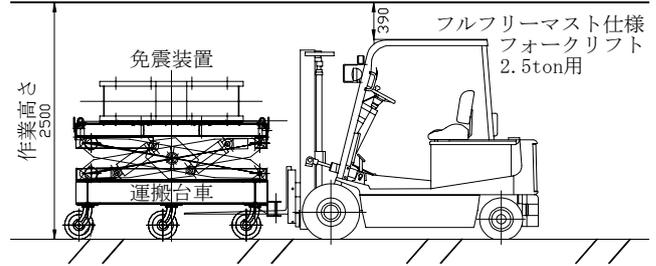


図-3 免震装置運搬計画

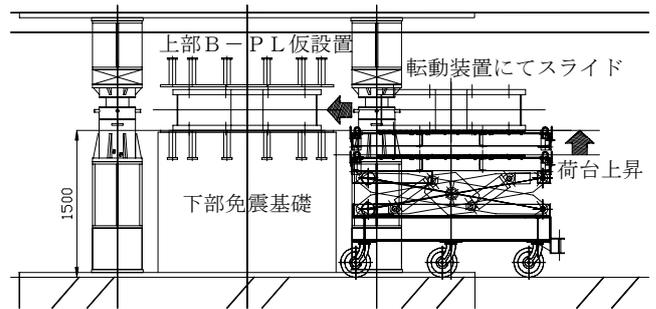


図-4 免震装置据付計画

表-2 運搬台車の要求仕様

寸法	W2,000×D2,000×H1,200~2,200mm
キャスター数	6輪 (すべて自在式)
リフター機構	油圧シリンダー
リフターストローク	1,000mm
最大積載荷重	59.8kN
作業時の固定方式	アウトリガー4点
備考	フォークリフトとの連結装置付



写真-1 転動装置

施工条件を以下に示す。

- ・各柱近傍で鉛直変位を1/100mm単位まで計測する必要がある
- ・関連作業中、隣合う柱間の相対鉛直変位を1mm以内にしなければならない

上記を満足するため、計測管理システムを構築し、図-5に示すように各柱の鉛直変位と負担荷重をモニタリングする計画とした。なお、負担過重については油圧ポンプに配管を接続した柱(28本、7通り分)のみモニタリングできる。1/100mm単位で鉛直変位の

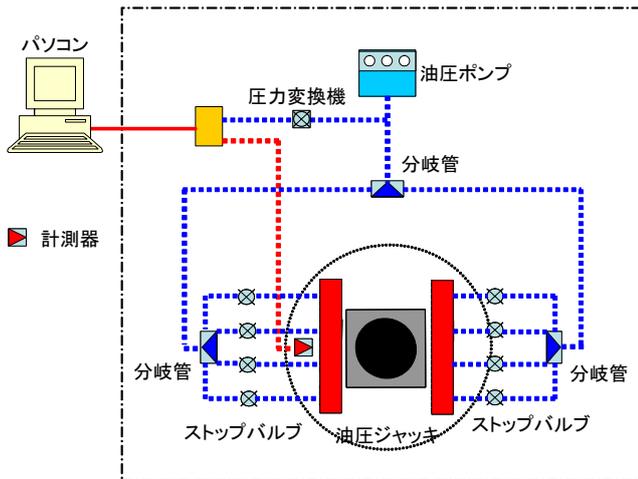
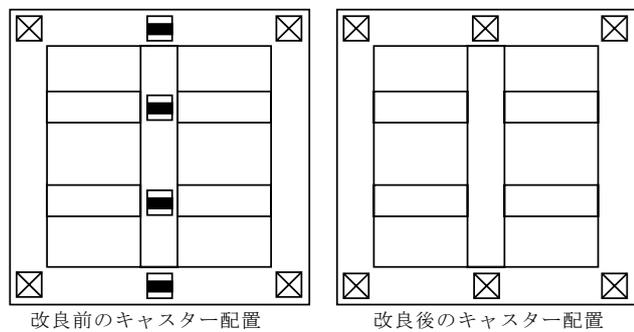


図-5 計測管理システム



☒ : 自在キャスター      ■ : 固定キャスター

図-6 キャスター配置詳細

計測値を得るため、計測器として 1/1000mm 単位まで計測可能なリニアエンコーダを使用した。なお、リニアエンコーダのストロークは 50mm であるため、高さの不足分を支柱で補う計画とした。計測機器は、各深礎杭近傍の工事の妨げにならない場所に設置した。

#### 4. 検証実験

計画時に検討課題となった項目について、検証実験を行い、最終の施工法に反映させた。

##### 4. 1 運搬台車

運搬台車の検証項目を以下に示す。

- ・キャスター配置・個数と自在/固定の選択
- ・牽引方式（押す/引く）の違いによる位置決め性能および運転制御性能の確認

運搬台車のキャスター配置を図-6に示す。同図は、運搬台車を下から見た図で、左が当初計画案、右が改良した配置である。計画当初、直進性および前方視認性を重視して、同図左のキャスター配置でフォークリ

表-3 スライド方式の検証

	MCナイロンとステンレス鋼板	鋼棒状のコロ	鋼球を利用した転動装置
摩擦係数	0.15～0.2程度	0.1程度	0.01程度
スライドに要する力（計算値）	10,780N	5,390N	539N
スライド作業性	前後左右ともスライドには大きな力が必要	前後方向はスライドさせやすい	前後左右の方向制御が工具なしで可能
工器具の利用	レバーブロックなどが必要	レバーブロックなどが必要	特に必要なし
備考	大重量物のスライドには不向き	動かしやすい反面、位置を微調整しにくい	表面に付着したゴミや埃を定期的に除去する必要有

フトによって引っ張る方式としていたが、走行試験を繰返したところ、小回り性能が低く位置決めが難しいことが判明した。これらの理由により、キャスターの配置を変更して小回り性能を高めた。さらに、位置決めしやすくするために、フォークリフトで運搬台車を押す方式へ変更した<sup>2)</sup>。

#### 4. 2 スライド方式

前章で示した3種類のスライド方式（MCナイロンとステンレス鋼板、鋼棒状のコロ、鋼球を利用した転動装置）について検証実験を行った。免震装置を大きくスライドさせ、大まかな位置まで移動させる際は、直進性が重視される。一方、ボルトで固定する際は、前後左右の細かい位置決めのため微調整機能が重視される。検証実験の結果を表-3に示す。同表に示すように摩擦係数の違いがそのまま作業性に表れ、最も摩擦係数の低い転動装置が工具なしの状態でも前後左右すべての動きに優れていたため、実工事においては、転動装置を採用した<sup>2)</sup>。

### 5. 工事適用結果

#### 5. 1 深礎杭の解体

深礎杭の解体状況を写真-2～4に示す。ワイヤーを通す穴を先行削孔した後、ワイヤーソーにて深礎杭の外側部分の解体を行った。ワイヤーソーで解体作業を行っている杭周辺には立入禁止措置を行った。続いて、ロックジャッキの先端部を挿入する穴を先行削孔し、杭と縁の切れた無筋コンクリートにロックジャッキで大きなひび割れを生じさせる。先行してガイドホールを削孔することによって、ひび割れの方向をコントロールできた。最後に大きなコンクリート塊をバックホウに取付けた油圧ブレーカにより細かく破碎し、ガラを集積した後、地上へ搬出した。



写真-2 ワイヤーソーによる解体



写真-5 免震装置運搬



写真-3 ロックジャッキによる解体



写真-6 免震装置据付



写真-4 油圧ブレーカによる解体

## 5. 2 免震装置の運搬・据付

### 5. 2. 1 免震装置の運搬

免震装置運搬時の状況を写真-5に示す。引っ張る方式から押す方式に変更したことで、フォークリフトと一体で運搬できるため、狭い地下空間を長距離にわたり、スムーズに短時間で運搬することができた。設

置場所近傍に台車を寄せ付けた後、アウトリガーを張り出し、運搬台車の荷台をリフター機構で下部免震基礎よりも少し高いレベルまで上昇させた。なお、あらかじめ荷台上面に転動装置をセットし、免震装置が動かないよう荷台へ固定した。

### 5. 2. 2 免震装置の据付

免震装置の固定を解き、荷台から下部免震基礎上の下部プレート上へ免震装置をスライドさせる。転動装置を固定せずに使用した場合、免震装置のスライドとともに転動装置は後方へ移動する。このため、免震装置の前方には常に転動装置を十分にセットしておく必要がある。直線移動、前後左右への微調整・位置決めなどを簡単に手作業で実施できたため、他のスライド方式に比べ作業時間を短縮できた。

## 5. 3 ジャッキダウン時の計測管理

1台の油圧ポンプと柱4本（1通り）分のジャッキを配管で接続した。油圧ポンプを7台（7通り分）準

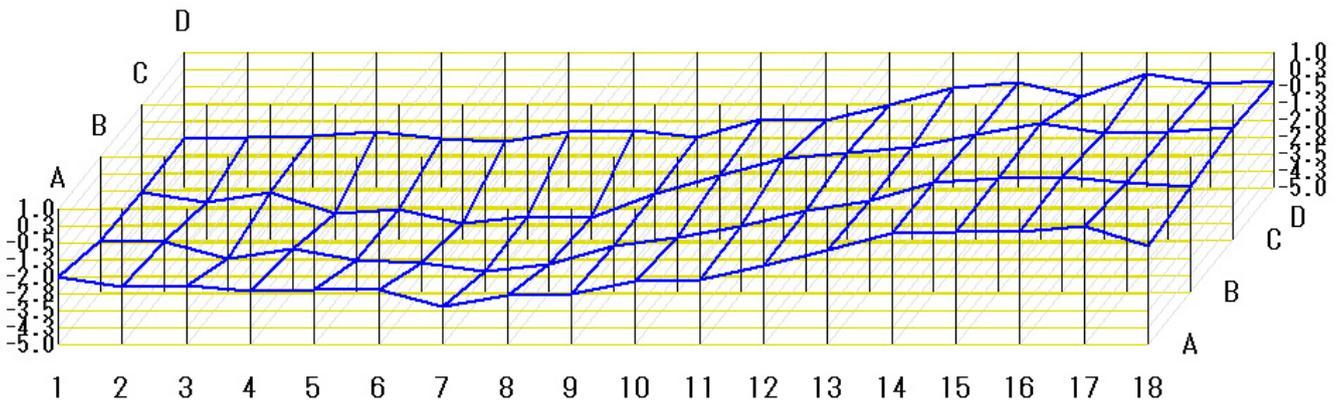


図-7 計測管理画面 (10 通りまでジャッキダウン完了)

	1 通り 4 柱	2 通り 4 柱	3 通り 4 柱	4 通り 4 柱	5 通り 4 柱	6 通り 4 柱	7 通り 4 柱
STEP- 1	1mm						
STEP- 2		1mm					
STEP- 3	1mm						
STEP- 4			1mm				
STEP- 5		1mm					
STEP- 6	1mm						
STEP- 7				1mm			
STEP- 8			1mm				
STEP- 9		1mm					
STEP-10	1mm						
STEP-11					1mm		
STEP-12				1mm			
STEP-13			1mm				
STEP-14		1mm					
STEP-15	1mm(完了)						
STEP-16						1mm	
STEP-17					1mm		
STEP-18				1mm			
STEP-19			1mm				
STEP-20		1mm(完了)					

図-8 ジャッキダウンの作業手順 (第1日目)

備し、配管が完了した柱では、油圧から換算して得られた荷重値をモニタリングした。ジャッキダウン時の制約 (隣合う柱の相対鉛直変位は1mm 以内) から、図-8の作業手順に示すステップを踏んで1通りずつジャッキダウンを進める施工方針とした。実工事では、各ステップ内で柱1本ずつ0.5mm 程度の細かいジャッキダウンを繰り返し行い、1日あたり2通り (柱8本) 分のジャッキダウン作業を完了させた。5日目終了時点での変位計測画面を図-7に示す。同図は、10通りまでジャッキダウンが完了した図であるが、11~13通りも相対変位1mm 以内の制約を守りつつ、少しずつレベルを下げている状況がわかる。すべての柱の変位およびジャッキダウン作業に関連する柱のジャッキで仮受けしている荷重をモニタリングできる専用の計測管理システムを開発し、対象の柱や周辺の柱の変位および荷重を確認しながら作業を進められたため、きめ細かい油圧ポンプの操作が可能になり、ジャッキダウン時の制約を守りつつスムーズな作業が実現した。

## 6. おわりに

本報では、大規模建物の免震レトロフィットにおける各種機械化・情報化施工について各種検証を行い、以下の知見を得た。

- ・深礎杭の解体において、ワイヤーソー、ロックジャッキ、油圧ブレーカの組合せで解体したことにより、振動・騒音レベルを抑えた施工効率の高い解体作業が実現した
- ・作業高さ 2.5m の作業空間で免震装置を運搬するため、リフター機構付運搬台車を開発し、フォークリフトで押した。装置重量を低減でき、狭い空間を長距離に渡り、スムーズに運搬できた
- ・上下のクリアランスが 30mm しかない空間で免震装置の据付を行うため、鋼球を使った転動装置を開発した。この結果、作業性が大きく向上し、作業時間の短縮に貢献した
- ・専用の計測管理システムを開発し、ジャッキダウン作業を行ったところ、各柱の変位および負担荷重を把握して的確に作業を進めることができた

最後に発注者の国土交通省大臣官房官庁営繕部をはじめ、御協力頂いた工事関係者に感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 三宅伸幸：経済産業省総合庁舎別館耐震改修工事，Re, (財)建築保全センター，No. 152, pp. 81-84, 2006
- 2) 池田雄一，坂井利光，谷口英武：大規模免震レトロフィットにおける機械化施工法の開発，2008 年度建築学会大会学術講演梗概集 A-1 材料施工，pp. 283-284, 2008

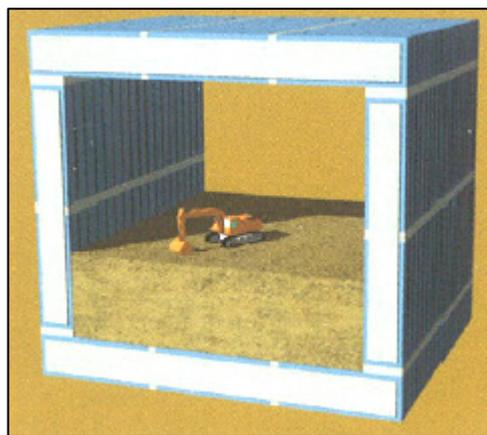
## 28. 転倒ベッセル式大容量揚土システムの開発

山崎建設株式会社 ○川村 誠司  
山崎建設株式会社 松岡 芳朗

### 1. はじめに

当工事はMMS T（マルチマイクロシールドトンネル）工法で施工中の首都高速川崎縦貫線（大師 JCT～殿町）において、外殻部をマルチマイクロシールドで掘進して外殻躯体を構築後、両端の立坑より内部掘削土を揚土する工事である。

当工事ではトンネル内部掘削で大幅に工程を短縮する必要にせまられ、クリティカルとなる立坑からの揚土の急速施工を可能とする「転倒ベッセル式大容量揚土システム」を開発し、施工した。以下にその概要を報告する。



（図－1）

マルチマイクロシールドトンネル（MMST）工事において内部土砂の掘削・搬出を担当。

### 2. 施工法の決定までの経緯

#### （1）施工法の検討

当工事においては、図－1 に示すようなトンネル内部掘削（掘削断面：高さ 18m、幅 22m の長方形、トンネル延長 540m）の施工に当たり、下記の条件が示された。

- ・ 施工期間 7ヶ月（実稼働 175日）
- ・ 日当たり最大施工量 1,120m<sup>3</sup>（14.5時間稼働）、時間当たり 80m<sup>3</sup>
- ・ 地元対策の実施（周辺住民に不快な振動・騒音を極力抑える）

通常の揚土においては、テレスコ式クラムシェルやワイヤークラムなどの建設機械を中心に選定するが、上記の条件をクリアする為には「大量揚土システム」を検討する必要があった。そこで揚土の各工法について当工事への適用性を比較検討した。

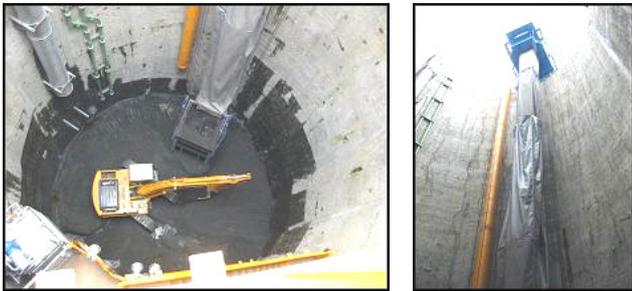
#### （ベルトコンベア工法）

通常、深さ 30m 程度の立坑で施工量を確保し、振動・騒音をクリアする工法には、垂直ベルトコンベアや傾斜ベルトコンベアがある。

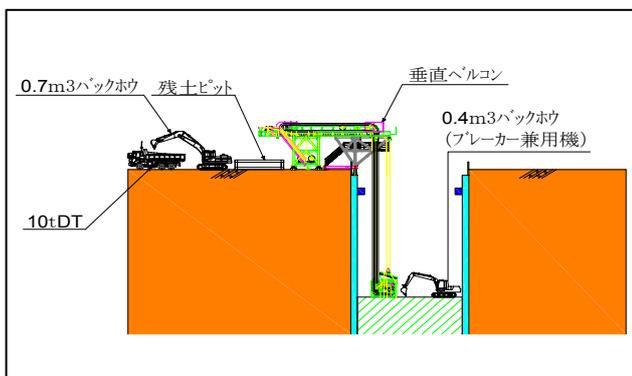
写真－1 及び図－2 に示す様な垂直ベルトコンベアはコストがかかるが、確実に騒音を抑えられる。

しかし内部掘削の対象土が図－3 にあるように有楽町層の粘性土である為、ベルトコンベアへの付着が予想され、80m<sup>3</sup>/H の作業量を保証できない。

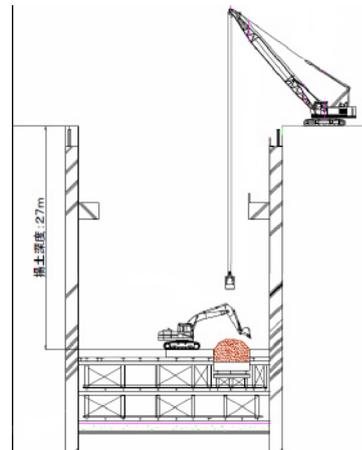
傾斜ベルトコンベアは粘性土に対する運搬性は垂直ベルトコンベアより高いが、設置撤去時間が長くなり、設備投資がかかる上、設備が立坑を占有する為、資機材の搬入が制約される等の問題が予想された。



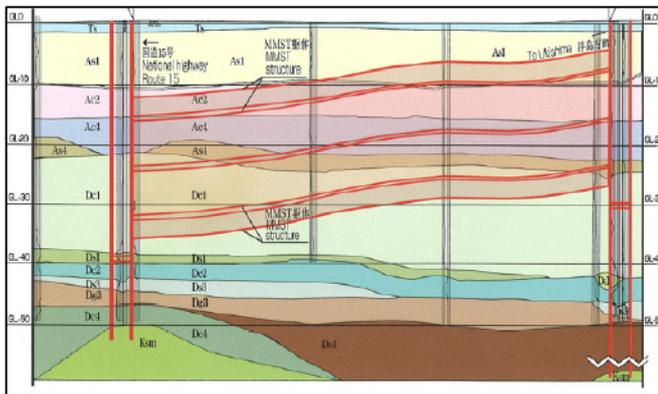
(写真-1) 垂直バルコン使用現場の例



(図-2) 垂直バルコン使用現場の例



(図-4) ワイヤークラム工法イメージ



地質層序表 Soil layer					
地質名 Geological name	層相 Facies	記号 Symbol	地質名 Geological name	層相 Facies	記号 Symbol
埋土 盛土 embankment	砂質土 Sandy	Ts	七号地層 相当層 No.7 and equivalent Tachikawa and equivalent	粘性土 Clayey	Dc1
		As1		砂質土 Sandy	Ds1
有楽町層 相当層 Yurakucho and equivalent	粘性土 Clayey	Ac1	相模層群 相当層 Sagami group and equivalent	粘性土 Clayey	Dc2
		Ac2		粘性土 Clayey	Dc3
		Ac3		粘性土 Clayey	Dc4
		Ac4		砂質土 Sandy	Ds3
	砂質土 Sandy	As1	上総層群 Kazusa	砂質土 Sandy	Ds1
		As2		礫質土 Gravel	Dg3
		As3		固結シルト層 砂質土 Sandy	Ksm
		As4		固結シルト層 砂質土 Sandy	Ksm

(図-3) 地質図

### (ワイヤークラム工法)

工程面及び揚土能力より2セットによる揚土が必要となる。

その場合、作業半径・敷地面積から作業としては可能であるが、地上における2台のワイヤークラムの旋回時の接触、坑内におけるクラムバケットと積込バックホウとの接触の恐れ等安全上のリスクは非常に大きいものとなる。施工のイメージを図-4に示す。

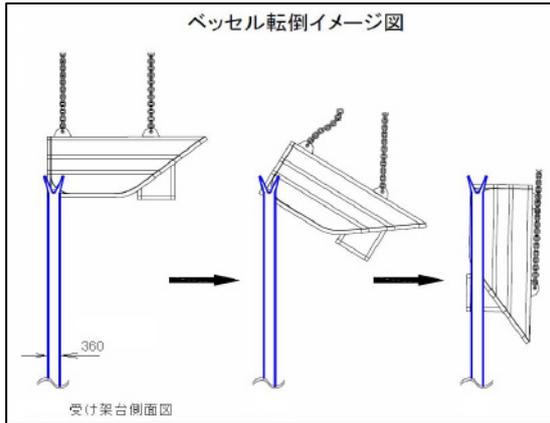
### (ベッセル工法)

ベッセル揚土はクレーンでベッセルを揚げ下げする為、設備がシンプルでベッセルの容量を大きくすることにより、作業量を確保できる。しかし、ベッセルを下ろす時の衝撃や振動が大きく、立坑内部にワイヤとベッセルを玉掛け外しする作業員が入り、作業上危険を伴うリスクが大きい。

### (転倒ベッセル工法)

転倒ベッセル工法はベッセルと揚土した土砂を排土する土砂ピットに工夫を加えた工法である。さらにベッセルの大型化により、試算上時間当たり揚土作業量80m³を可能にするとともに、立坑内部の玉掛け外し作業を省略化することができる。

転倒ベッセル式揚土システムのイメージは図-5に示す。



(図-5) 転倒ベッセル使用イメージ

## (2) 施工法の決定

各揚土工法について土質、作業能力、コスト、安全性の面からそれぞれの工法について長短を検討した上で、「転倒ベッセル工法」を採用することにした。

ベッセルは揚土作業量  $80 \text{ m}^3/\text{H}$  を目標に  $19 \text{ m}^3$  の容量のベッセルを製作した。

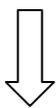
ベッセルにより地上に揚重された掘削土は、通常土と産廃土と分別してそれぞれ一旦ピットに仮置きし、再度バックホウによって積込する。運搬先は通常土で  $10 \text{ km}$  以上あり、地上での積込ヤドの広さを考慮して、 $10 \text{ t}$  ダンプによる運搬とした。

## (3) 施工の流れ

当該工事について、坑内掘削から地上における仮置土の積込みまで実際の施工の流れを写真-2に示す。

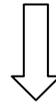
### ① 内部掘削及び積込 (一次)

$0.8 \text{ m}^3$  級バックホウ及び  $0.5 \text{ m}^3$  級バックホウ



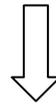
### ② 運搬荷降ろし

$10 \text{ t}$  級クローラダンプ



### ③ 二次積込

$1.4 \text{ m}^3$  級バックホウ



### ④ ベッセルによる揚土

$250 \text{ t}$  クローラクレーン



### ⑤ ベッセルからの荷降ろし

$19 \text{ m}^3$  転倒ベッセル



### ⑥ 地上における積込 (三次)

$0.8 \text{ m}^3$  級バックホウ



(写真-2) 内部掘削工一連の流れ

### 3. 施工時における改良

#### (1) 転倒設備の改良

転倒ベッセルの使用に当たっては、揚土作業量の確保だけでなく安全性、近隣住宅への環境対策等も考慮して、設備・備品の細かい部分について写真-3に示すような様々な改良を施工中に施した。

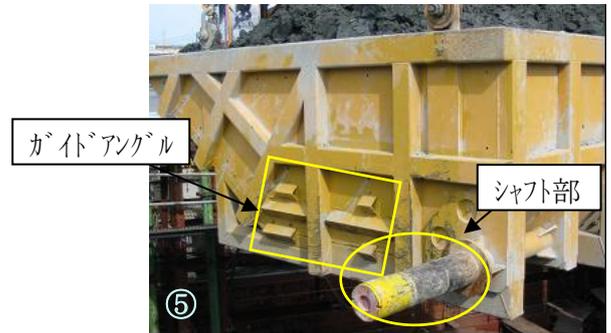
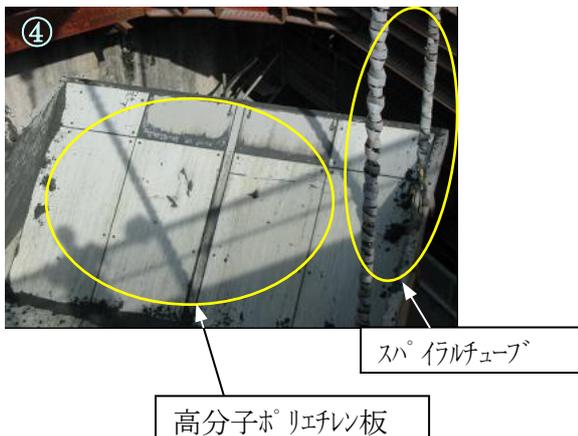
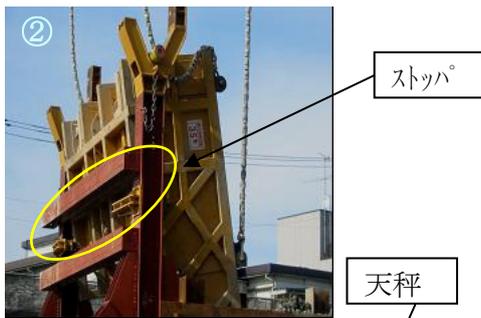
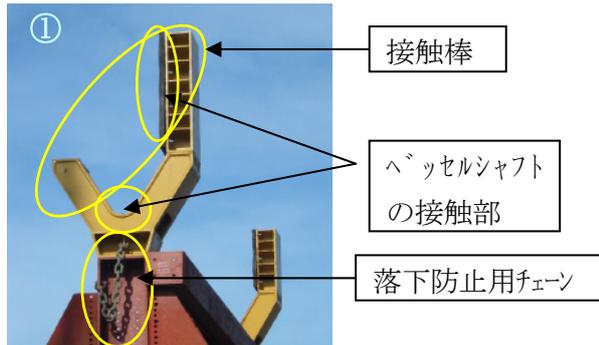


写真-3 各所における改善箇所  
 ①～② ベッセル受け架台の改善  
 ③～⑤ 吊り具 及び  
 ベッセルの改善

①： 土砂ピット受架台からベッセルシャフトの接触部に「衝撃吸収ゴムパット」を設置した。これにより作業音を小さくすることができた。

また、接触棒の長さを変えることで、クレーンのオペレータによる回転操作をスムーズにできるようにした。ベッセルの荷下ろし作業がより容易になり生産性向上にも繋がった。

さらに荷下ろしの際、万が一ボルトが折れ込み国道側に落下することを防止する為、「落下防止用チェーン」を取り付けた。安全対策としても充分効果があった。

②： ベッセル荷下ろし時の衝撃及び騒音防止の為にベッセル回転防止の「ストッパ」を設置した。

③： 専用吊り具の金具を当初計画のワイヤからチェーンへ変更した(5m、17t用)。実作業においてはワイヤのより戻しで積込作業の邪魔になるのを防止でき、積込作業の効率の向上に繋がった。

さらに専用吊り具天秤を積込BHと反対側に寄せることで、玉掛け玉はずし

作業を省き、ベッセル直下の無人化が可能となりコスト面で効果があった。

- ④： チェーンには「スパイラルチューブ」を巻付け、チェーン同士がぶつかる時の音を消すことができ防音対策になった。

また、ベッセル内部の排土がスムーズになるように、土離れのよい「高分子ポリエチレン板」を表面に装着した。粘性土である当現場では効果があった。

- ⑤： ベッセル横壁部と受架台の接触がスムーズになるよう「ガイドアングル」を取り付けた。

さらに、ベッセルシャフト部がベッセルの転倒とともに回転するように、「ベアリング構造」にし、転倒時の金属摩擦音とベッセルが受ける衝撃を軽減する防音処理を施した。

## (2) ケレン作業の改良

内部掘削後の鋼殻内部のケレン作業についても、工程上影響を及ぼす恐れが生じた。当初20m高所作業車による人力作業を計画していたが、実作業を開始したところあまりにも非効率で工事完成までに多大な労力とコストが判明した。そこでアタッチメントを作製し、機械化により人力作業の部分を削減させることにした。

写真-4①に示すような木製の回転盤に平鋼線を植え込んだアタッチメント及び②の廃棄ワイヤを再利用し、バックホウの平爪に付けた物を使用した。

内部掘削終了後、①のアタッチメントは主に天井用で、②は主に側壁用として使用した。

③は回転盤のアタッチメントの装着状況、④は同アタッチメントを使用した時の天井部におけるケレン作業の状況である。これらにより⑤のような人力作業が激減し、大幅に生産性を上げ、安全作業を実施することができた。



写真-4 ケレン作業におけるアタッチメントとケレン作業状況

#### 4. 揚土の実績

250tクローラクレーンによる転倒ベッセル揚重のサイクルタイムは、オペレータの操作技術の熟練度合いの向上や坑内積込機械の大型化（0.8m<sup>3</sup>級バックホウから1.4m<sup>3</sup>級バックホウへの変更）により、当初の計画14分/回に対し、最小時9分/回まで短縮することができ、平均揚土作業量は80m<sup>3</sup>/H以上を確保することができた。

#### 5. まとめ

弊社ではさまざまな揚土工法を経験しているが、当工事は工程的に大きな揚土能力を要求され、狭隘なエリアでの都市土木なので、揚重機の台数的な制限、振動・騒音等の環境面での制約があり、さらに土質は粘性土で扱いにくいという悪条件下の工事であった。

しかし、空頭制限はない点を利用し、経済性、安全面を考慮して転倒ベッセル工法を採用した。

実際の施工に当たっては、さまざまな改良を施して、環境面、安全性、生産性の改善を随時図って工事を進めた。その結果、厳しい所期の工程を達成し、無事故でトンネル内部掘削と揚土工事を終えることができた。

今後、類似の条件下での工事においては、本「転倒ベッセル式大容量揚土システム」は充分有効であるものと考えられる。大きなクローラクレーンが使用できる条件であればさらに大型化も可能と思われる。



写真－5 工事現場全景

## 29. 揺動攪拌機構による中層混合処理工法

・・・スラリー揺動攪拌工（WILL 工法）・・・

WILL 工法協会 技術委員長

○市坪 天士

技術委員

中馬 忠司、島野 嵐

### 1. はじめに

国土面積のわずか1割程度の平野部に社会・経済活動の大半が集中する我が国にとって、軟弱地盤に対する技術力向上は不可欠である。このような背景の中、基礎地盤の強化を図る中層混合処理工法の一つとして、より効率的かつ高品質な改良体構築を目指し、スラリー揺動攪拌工（WILL 工法）が開発された。

本工法の特徴は以下のとおりである。

- ① 攪拌効率の高い揺動式リボンスクリュー型ロータリー攪拌翼を持つ。
- ② 高トルク仕様と特殊掘削補助装置（ブーメランププレート）の装着とにより、N値30を超える締まった砂質地盤の掘削が可能。
- ③ 深度、瞬時流量、積算流量、回転数、積算回転数、傾斜角度など高度な施工管理が可能。
- ④ 施工機本体がバックホウ型ベースマシンであるため、機動性に優れる。
- ⑤ 中層（深度8.0m）までの改良が可能。

本稿においては、上記のうち特に新規性が高い①、②、③についての構造の概要と検証実験結果について報告する。

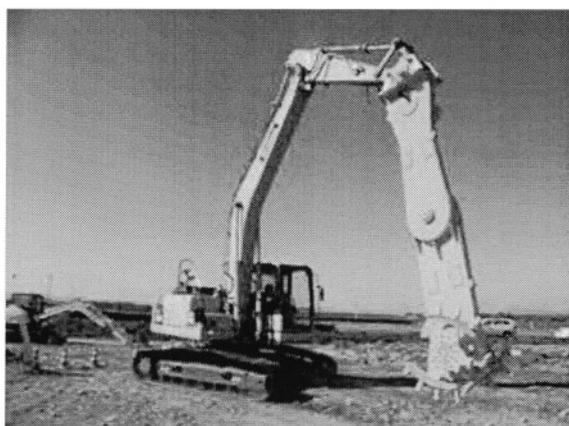


図1. WILL 工法施工機械全景

### 2. 掘削・攪拌混合の機構と品質の向上

本工法の攪拌機は攪拌機下部に設置された攪拌翼をチェーン駆動により、深度方向に対して上下方向回転で攪拌混合するロータリー攪拌機である。この点については、同様の攪拌機構を持つ工法も複数開発されている。

しかし、縦回転型の攪拌機の欠点として、改良対象土の移動方向が上下方向に支配されやすいことが挙げられる。そこで攪拌翼の形状を工夫し、改良対象土を上下方向だけでなく、左右方向に揺動させることで攪拌効率向上を図った。

#### 2.1. 揺動攪拌機構の概要

図2.1(A)に示す斜めのリボンスクリュー型攪拌翼によって、攪拌翼の回転に伴い土は外側から内側へ強制的に移動させられる。逆に、攪拌翼が図2.2(B)に示す状態で回転すると、土は内側から外側へ強制的に移動させられる。

これらの動作が攪拌翼の回転によって連続的に発生し、改良対象土を左右交互に動かす（揺動運動）ことにより、高い攪拌効率を得られる。

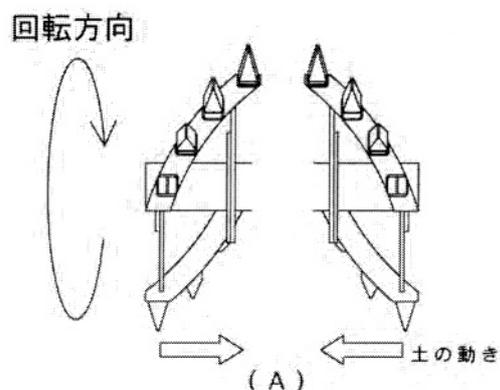


図2.1. 揺動攪拌の仕組み (1)

回転方向

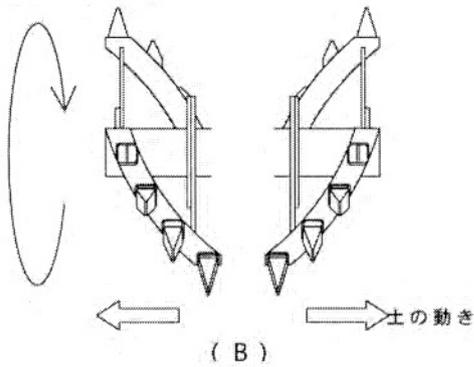


図 2.2. 揺動攪拌の仕組み (2)

## 2.2. 攪拌翼の種類

本工法においては、2タイプのリボンスクリュー型攪拌翼を使い分けることとした。

図 2.3 に示す T 型リボンスクリュー攪拌翼は主に粘性土地盤の供廻り現象防止に適しており、図 2.4 箱型スクリー攪拌翼はブーメランプレートを併用することで、締った砂質地盤・砂礫地盤の掘削に適している。これらの攪拌翼を土質毎に使い分けることで、幅広い土質に対しての改良が可能となった。

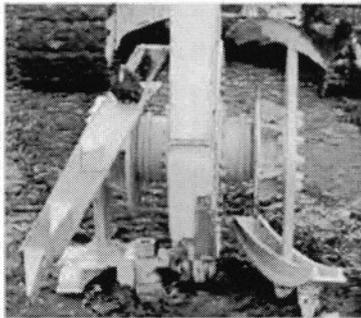


図 2.3. T 型リボンスクリュー攪拌翼

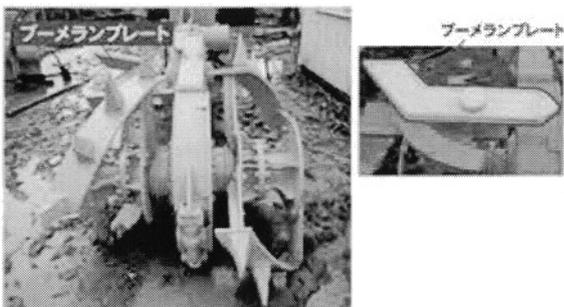


図 2.3. 箱型リボンスクリュー攪拌翼

## 2.3. 掘削能力の向上

本工法の特徴の一つとして、N 値 30 を超える締まった砂質地盤の掘削が可能であることが挙げられる。この理由としては、高性能油圧モーターと 2 段式ギア変換により高トルク仕様としたことおよび特殊掘削装置（ブーメランプレート）を装着したことの 2 つが挙げられる。

開発段階において、攪拌翼により掘削できない部分（チェーン駆動部直下）が存在したため、その部分が障害となって高い N 値を示す地盤の掘削に苦慮した。これを解消するために、攪拌装置のチェーン駆動直下部を掘削するための補助装置（ブーメランプレート）を攪拌翼に装着することによって、掘削能力を格段に向上させることができた。

## 2.3. 専用管理装置の改善

専用の管理装置を用いることで、信頼性の高い改良体品質の確保を図った。

専用管理装置は、施工マシンの運転席内に設置・表示することとした。これにより、WILL マシンのオペレータはリアルタイムな管理が可能となった。管理項目は、深度・瞬時流量・積算流量・瞬時回転数・積算回転数・時間・攪拌機掘削角度であり、これらが管理装置画面上に表示されるシステムである。また、操作性の向上を図るため、管理装置の操作はタッチパネル方式を採用した。



図 2.5. WILL 施工管理装置画面例 (1)



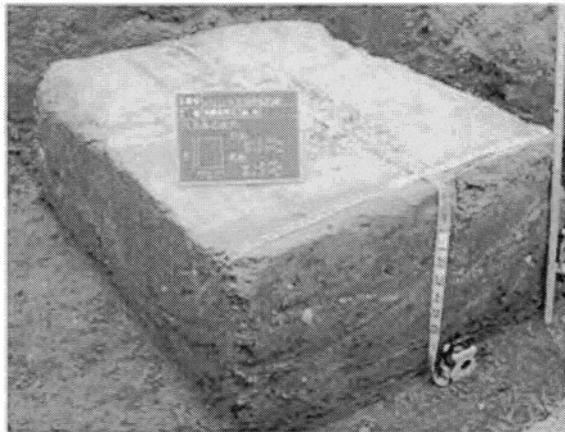


図 3.2. 改良体掘削確認状況

### 3.2. 掘削能力の検証

前述のとおり、WILL 工法では土質毎に攪拌翼を使い分けることによる幅広い土質への対応を開発目標の一つとして位置付けていたことから、2タイプのリボンスクリュー型攪拌翼、ブーメランプレートの有無、リボンスクリュー以外の縦回転型攪拌翼等さまざまな仕様の攪拌翼を用いて、掘削能力の検証試験を実施した。

■WILL工法の掘削能力比較【掘削時間－掘削深度相関】

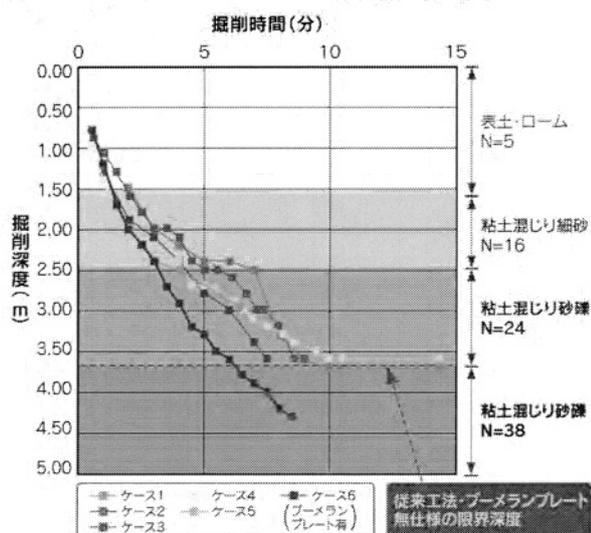


図 3.3. 掘削能力比較実験結果

攪拌翼仕様毎に複数のケースについて試験を行ったが、ブーメランプレートを装着した場合のみ、N=38の砂礫層の掘削が可能であった（図 3.3 参照）。これ

により、バックホウ型ベースマシン（0.8 m<sup>3</sup>クラス）の小型改良機を用いてN値30以上の掘削が可能とする上で、ブーメランプレートによる先行掘削の効果を検証することができた。

これら現場実証試験および施工実績等から、本工法の適用範囲を表 3.2 に示すとおりとした。

表 3.2. WILL 工法の適用範囲

ベースマシン	最大改良深度	適応土質(N値)	
		粘性土	砂質土・砂礫
0.8 m <sup>3</sup> クラス	5.0m	N<10	N<30
1.0 m <sup>3</sup> クラス	6.0m	N<10	N<30
1.4 m <sup>3</sup> クラス	8.0m	N<15	N<40

\* 礫径はφ100mm以下を標準とするが、礫率等を考慮する必要有り。



図 3.4. 施工実験状況

### 4. おわりに

スラリー揺動攪拌工（WILL 工法）の攪拌混合性能、掘削性能および専用管理装置について、実証実験および施工実績を重ねることにより、改良対象の範囲が広がった。

今後は、礫径・礫率と攪拌混合能力・掘削能力との相関性の把握や管理装置のさらなる改善等を進めることで、より精度の高い施工を目指したい。

## 30. 鉄道営業線連続立体交差化工事における機械化施工事例の紹介

東急建設㈱ ○児玉 和彦、早川 正、井藤 幹雄

### 1. はじめに

都市交通網の改善を目的として整備される鉄道の連続立体交差化工事は、列車の安全運行を確保することはもちろん、限られた時間・限られた用地のもとで行われる。また、騒音・振動など周辺環境に配慮して工事を行なう必要がある。

現在、東急建設共同企業体が施工している京浜急行電鉄㈱発注の〔京急蒲田駅付近連続立体交差事業〕第2工区においても、狭隘な作業空間で効率良く、かつ安全な作業が求められており、これらの要求を満足すべく営業線直上に高架橋を構築する「直接高架工法」を採用している。本工法での施工にあたり、東急建設㈱と京浜急行電鉄㈱、㈱タダノと共同で、鉄道営業線を跨いでクレーン作業を行うことのできる「直接高架施工機」を開発し、用地の取得を最小限にとどめることによる事業期間の短縮と、騒音などの周辺環境に配慮した施工を行なっている。また、柱や梁などの部材を安全に効率良く運搬し、狭隘な箇所でもクレーンを使用せずに重量物を軌道内に搬入・運搬することのできる「軌陸式重量物運搬台車」を開発し、平成 18 年 3 月から使用している。今回、更に PCa 柱の架設開始に合わせ、工期短縮と安全性の向上を目的とした「PCa 柱建起し装置」を開発し、平成 20 年 2 月より導入している。

本報文では、鉄道営業線工事における作業可能時間拡大と工期短縮、作業の安全性向上を目的とした、これら「直接高架施工機」<sup>1)</sup>「軌陸式重量物運搬台車」<sup>2)</sup>の現場導入事例及び効果について、更に今回開発した「PCa 柱建起し装置」の開発経緯と現場導入事例及び効果について報告する。

### 2. 工事概要

本事業は交通の円滑化、安全性の向上、地域の発展、利便性の向上を目的とし、都市高速鉄道京浜急行

電鉄本線の平和島駅から六郷土手までの延長約 5.4km(事業区間約 4.7km)の区間、および同空港線の京急蒲田駅から大鳥居駅までの延長約 2.1km(事業区間約 1.3km)の区間を連続的に立体交差化する「京急蒲田駅付近連続立体交差事業」である。この立体交差化により環状8号線、第一京浜など計28箇所の踏切道が解消される。

本事業では、用地買収による工期の遅れを防ぐため「直接高架工法」を約半分の区間で採用している。東急建設共同企業体は事業区間約 6.0km のうち第2工区である工事延長 893.5m を担当し、工区内の全てにおいて直接高架工法で施工を行なっている。全体事業の概要を図-1に、第2工区工事概要を表-1に示す。

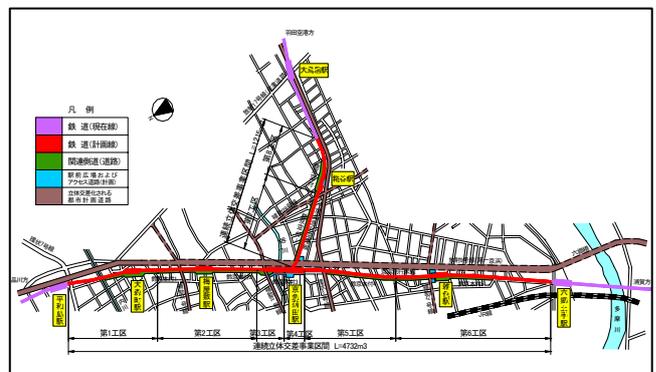


図-1 事業全体の概要

表-1 第2工区工事概要

工 事 件 名	京急蒲田駅付近連続立体交差事業 第2工区
工 事 場 所	京浜急行電鉄本線 6k820m500~7k714m000
発 注 者	京浜急行電鉄㈱
工 期	平成 14 年 1 月~平成 27 年 3 月
工 事 内 容	工事延長:893.5m 工法:直接高架工法 基礎杭築造数:162本 高架橋構築数:26 踏切撤去数:5箇所

### 3. 高架橋構築の施工手順

第2工区における高架橋の構築では、基礎杭の施工を行う「杭施工用高架施工機」(以下、杭施工機という)と柱や梁などの部材の架設を行う「柱梁架設用高架施工機」(以下、柱梁架設施工機という)の2基の「直接高架施工機」(図-2)を使用している。基礎杭工事では基礎杭の施工位置まで「杭施工機」を移動させ、作業床上に装備されたクレーンを使用して掘削機を設置し基礎杭の掘削を行う。その後、クレーンを使用して鉄筋籠の建込み作業を行い、コンクリートを打設し基礎杭の築造を行う。

「柱梁架設施工機」は、「モーターカー及び軌陸式重量物運搬台車で運搬された柱・梁・スラブなどを、装備されたクレーンを使用し建込みおよび組立を行い、ラーメン高架橋を構築する。高架橋構築の施工フローを図-3に示す。



図-2 直接高架施工機による施工イメージ図

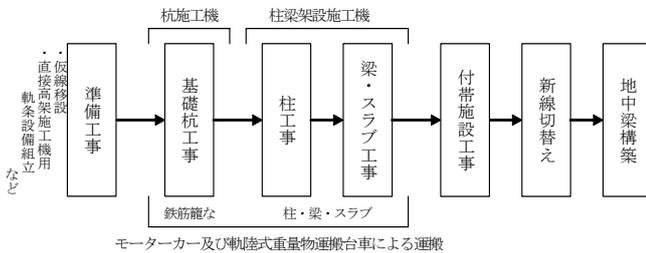


図-3 高架橋構築の施工フロー

## 4. 直接高架施工機の概要

### 4-1. 杭施工機

高架橋の基礎杭を施工するにあたり、掘削機の移動及び基礎杭用の鉄筋籠建込み作業を行うクレーンを

装備し、基礎杭施工の作業床を設けた「杭施工機」である(写真-1)。表-2に杭施工機の仕様を示す。



写真-1 杭施工機導入状況

表-2 杭施工機の仕様

クレーン	クレーン能力	25t × 10m
	最大揚程	25m
	最大作業半径	22m
	ブーム長さ	10.6m~25.0m
架台	作業床寸法	長さ21m 幅10.55m~13.2m
	ジャッキアップ量	500mm
	走行速度	13.4m/30min
	作業床搭載	掘削機25t 鉄筋籠2.5t×5本
	質量	190t(積載物含まず)

### 4-2. 柱梁架設施工機

工場で製作されたプレキャスト部材の柱や梁を装備されたクレーンにて建込み及び組立を行う「柱梁架設施工機」である(写真-2)。表-3に柱梁架設施工機の仕様を示す。



写真-2 柱梁架設施工機導入状況

表-3 柱梁架設施工機の仕様

クレーン	クレーン能力	30t × 8m
	最大揚程	25m
	最大作業半径	22m
	ブーム長さ	10.6m~25.0m
架台	作業床寸法	長さ 19.5m 幅 10.55m~13.2m
	ジャッキアップ量	500mm
	走行速度	13.4m/30min
	質量	205t(積載物含まず)

## 5. 軌陸式重量物運搬台車の概要

軌陸式重量物運搬台車(写真-3)は、作業ヤードから容易に軌道内へ入線出来る台車であり、従来のモーターカーによる部材の運搬に比べ、運行経路の短縮、運行経路上での保線作業等の問題解消が可能である。また、作業ヤード内(軌道外)で事前に部材の積み込み作業が行えるため、き電停止を待たずに部材の積み込みができ、線路閉鎖直後に軌道内運搬が開始できる。

構造としては、自走式軌道走行台車の前後に、地上走行用車輪切替ユニットが取り付けられ油圧シリンダの操作により、地上走行用車輪が張出し・格納する構造となっている。



写真-3 軌陸式重量物運搬台車

### 5-1. 軌陸式重量物運搬台車の特長

軌陸式重量物運搬台車の特長を以下に、仕様を表-4に示す。

- ・レールに対して直角方向に走行できるため、回転や切返しを必要とせず、省スペースでの入線が可能
- ・軌道短絡防止のため、軌道走行車輪に絶縁車輪を使用

- ・地上走行車輪に絶縁と、軌道防護を目的としたゴム製のソリッドタイヤを使用
- ・動力源は、発電機と商用電源の2種類から供給可能
- ・緊急時の対策として台車の前後に連結装置を装備し、故障時の他車両による牽引が可能
- ・荷台スライド機構により、直上の架線の影響を受けずに荷取りが可能

表-4 軌陸式重量物運搬台車の仕様(内は荷台スライド型)

最大積載量	25t(20t)
台車自重	14.3t(17.8t)
台車長	7,460mm(7,230mm)
台車幅	2,730mm
台車高さ	2,600mm(2,640mm)
軌道走行速度	0.9km/h~1.8km/h
地上走行速度	0.08km/h~0.4km/h
電源	200V 10Kw

## 6. PCa柱建起し装置の概要

### 6-1. PCa柱建起し装置開発の経緯

高架橋工事のPCa柱架設作業に限らず、建築工事の鉄骨柱架設などにおいても、通常柱部材は作業ヤードに水平仮置され、建方に補助クレーンを用いる相吊り方式が主流であり、クレーン設置のスペースの問題やクレーン間の合図やバランス保持に注意が必要であるなどの問題がある。これらの問題を解決する手段として当社では以前より、補助クレーンを必要とせず省スペースで鉄骨柱の建起しが可能な「鉄骨建起し装置」<sup>3)</sup>の開発を行っており、建築現場における鉄骨部材の建起し作業に使用している(写真-4)。今回のPCa柱建起し作業においても同様に、限られたスペースで効率よく作業を行うことの出来る装置の開発が求められ、これまでの鉄骨建起し装置の技術を応用し、さらに以下の特殊条件を考慮し開発を行った(写真-5)。

- ・建起し時、PCa柱下端部のジョイント鉄筋に荷重がかからない構造とする
- ・近隣に密接した場所での夜間作業となるため、建起し時の衝撃を極力低減できる構造とする

・直接高架施工機上の狭隘なスペースに設置するため、走行フレームの走行速度、走行範囲の制限ができる構造とする



写真-4 鉄骨建起し装置



写真-5 PCa 柱建起し装置

## 6-2. PCa 柱建起し装置の構造

本装置は回転架台、走行フレーム、走行レールユニットの 3 つの主要構造部により構成される。図-4に全体図、表-5に仕様、図-5に建起しイメージ図を示す。

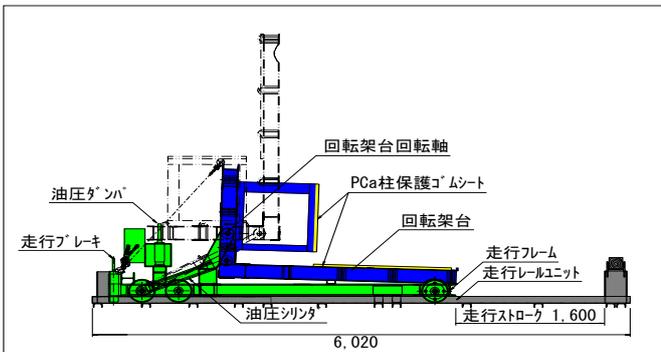


図-4 PCa 柱建起し装置全体図

表-5 PCa 柱建起し装置の仕様

定格荷重	25 ton
本体寸法(走行レールユニット含)	L 6,020mm × W 2,000mm × H 1,900mm
本体質量	2950 kg
回転架台高さ	650mm
建起し時走行	鉄車輪 6輪滑走追従方式(速度調整ブレーキ付)
回転架台復帰機構	油圧ガンパ(自重復帰方式)

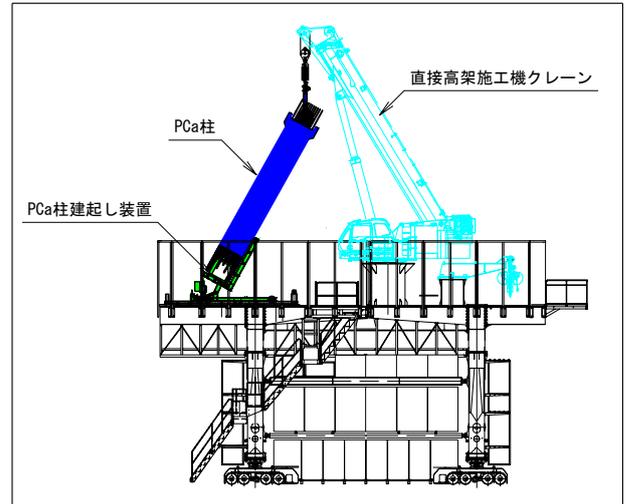


図-5 PCa 柱建起しイメージ図

### 1) 回転架台

PCa 柱下端部を支持し、建起し終了直後には全垂直荷重が作用する構造上重要な部位である。今回、走行フレーム回転軸受けを偏心させ、回転架台回転軸を変更することにより建起し終了直前の鉛直落下衝撃を大幅に軽減した(図-6)。

建起し作業終了後の回転架台リセットは、回転架台の自重を利用することにより、油圧回路のバルブ開閉のみでリセットが可能な無動力方式とした。

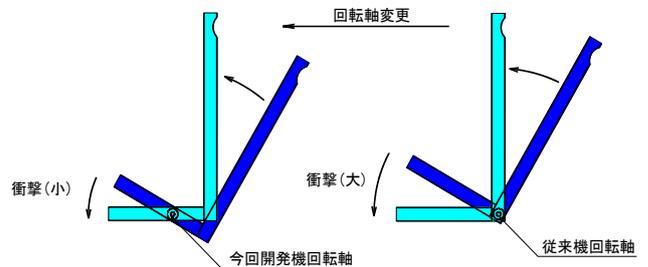


図-6 回転軸位置変更

### 2) 走行フレーム

PCa 柱建起し時に PCa 柱の荷重を受けながら直線滑走する機構である。滑走時の速度を制限するため走

行ブレーキを装備した。また、回転架台の回転軸変更と合せ、油圧ダンパを設置することにより(図-3)建起し終了直前の鉛直方向の衝撃をほぼ皆無にすることが可能となっている。

### 3) 走行レールユニット

今回、直接高架施工機上での狭隘なスペースでの建起し作業となるため走行レールユニットを装備し、走行範囲と走行速度の制限を可能とした。また本体の浮上がりによる脱線を防止するため、浮上がり防止装置を装備した。

### 6-3. PCa 柱建起し順序

本装置を用いた作業フローを図-7に示す。

- 1) 仮置き架台上に置かれた PCa 柱に建起し装置を移動させセットする。
- 2) PCa 柱下部を治具にて固定し、上端部へ吊り治具を取り付ける。
- 3) PCa 柱上端部をクレーンにて吊上げる。
- 4) クレーンにて PCa 柱を吊上げることにより、本装置が吊り芯方向へ移動する、回転架台は吊り芯方向へ移動しながら回転し PCa 柱が直立するまで追従し建起し完了となる。

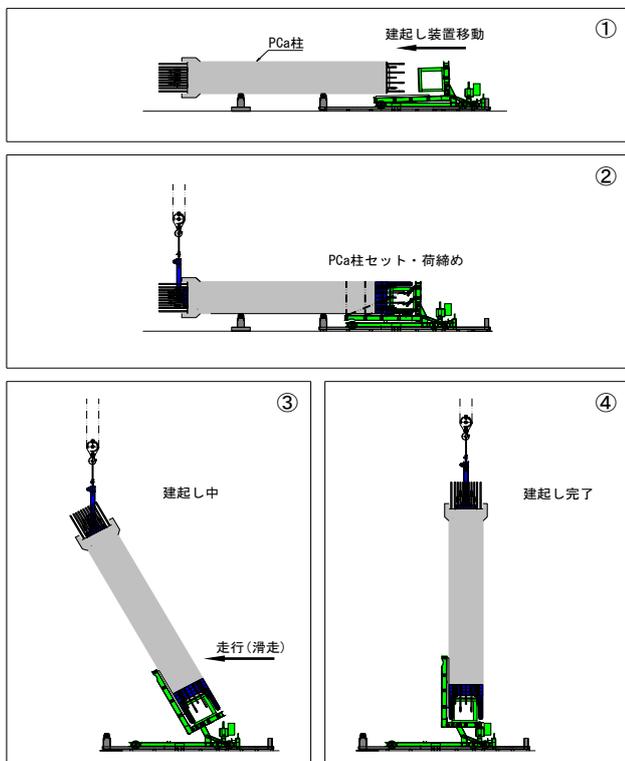


図-7 作業フロー

## 7. 現場導入事例と効果

### 7-1. 直接高架施工機

〔京急蒲田駅付近連続立体交差化事業〕第2工区において、用地の取得を最小限にとどめることによる事業期間の短縮と、周辺環境への配慮を目的とし直接高架工法を採用している。

本工事では、基礎杭の施工を行う「杭施工機」と、柱・梁の架設を行う「柱梁架設施工機」の2基の「直接高架施工機」を使用することにより、以下の効果を確認している。

- ・営業線を跨ぐ形で作業床を設置し、作業を行うことにより、線路敷地内での高架化工事が可能となった
- ・基礎杭の施工においては、営業線に影響を与えることなく昼間での作業が一部可能となった
- ・「直接高架施工機」に搭載のクレーンに電動モータを採用することで騒音が抑制できた



写真-6 基礎杭施工状況



写真-7 PCa 柱架設状況



写真-8 PCa 部材架設箇所

### 7-2. 軌陸式重量物運搬台車

軌陸式重量物運搬台車を使用し、部材の運搬を行うことにより、以下の効果を確認している。

- ・き電停止を待たずに部材の積込み、架設箇所への運搬が可能となった
- ・運搬距離、運搬時間の短縮による架設作業時間の拡大が可能となった
- ・モーターカーによる運搬に比べ、保線作業や他工区での作業の影響を受けず、計画的な運搬が可能となった

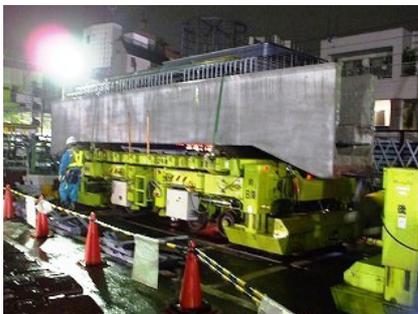


写真-9 軌道内搬入状況



写真-10 軌道内運搬状況

### 7-3. PCa 柱建起し装置

PCa 柱建起し装置を使用し、柱部材の建起しを行うことにより、以下の効果を確認している。

- ・相番機、補助クレーンを必要とせず、PCa 柱の建起しが可能となった

・「柱梁架設施工機」上に設置することにより、き電停止を待たずに建起し作業ができ、架設作業時間の拡大が可能になった

・「柱梁架設施工機」上での建起し作業であり、クレーンオペレータが直接目視しながらの作業であるため、作業性が大幅に改善された



写真-11 PCa 柱建起し状況

## 8. おわりに

〔京急蒲田駅付近連続立体交差化業〕第2工区において、平成16年度の「直接高架施工機」の導入に始まり、「軌陸式重量物運搬台車」「PCa 柱建起し装置」の導入を行うことにより、作業時間の大幅な拡大と施工の生産性向上による工期短縮に効果があることを確認した。得られた知見などを今後に活かし、更なる効率の向上、安全性の向上に貢献する機械へと発展をさせていく所存である。

最後に本装置の開発・製作・導入にあたり、ご協力いただいた京浜急行電鉄㈱の関係各位に心から感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 井藤幹雄, 荻原克巳, 平井幸雄: 鉄道営業線上に高架橋を構築する移動式直接高架施工機, 平成16年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集, pp.219-222, 2004
- 2) 中村聡, 荻原克巳, 安藤喜敏: 軌陸式重量物運搬台車の開発と鉄道営業線高架化工事への適用, 平成18年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集, pp.107-110, 2006
- 3) 西尾仁, 福地良介: 鉄骨柱建起し装置の開発, 建設機械, pp.46-52, 1998-11

# 31. 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

中央大学理工学部 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 原 満生  
エポコラム協会 ○高倉功樹

## 1. はじめに

本工法は、籠状の複合相対攪拌翼を使用し、原土と吐出させた固化材スラリーを練り込むように混合攪拌するもので、機械攪拌式の深層混合処理工法に区分される。以下に、複合相対攪拌翼による混合特性を概観すると共に、建て替え工事等でしばしば遭遇する残置された既設杭が混在する特殊地盤における施工性能に関し、実測データに基づいて検討した結果を報告する。

## 2. 複合相対攪拌工法の概要と特徴

深層混合処理工法に一般に多用される水平攪拌翼を図-1 に示す。

水平攪拌翼は一方方向に回転し、これに貫入および引上げ時の上下方向の運動が加えられ、連続した螺旋状の攪拌軌跡を描く。その軌跡に沿って土壌がせん断され、固化材スラリーと原土が攪拌混合される。

そのため、羽根切り回数が重要視され、回転駆動機は高速回転・低トルク型の仕様となる。

それに対し、複合相対攪拌翼は、図-2 に示すように籠形状で、外翼(A)3枚及び中翼(B)・芯翼(C)の各2枚から構成され、外翼(A)及び芯翼(C)は同一方向に回転し、中翼(B)と削孔ヘッド(D)がそれらとは逆方向に回転する複合相対攪拌を行う機構である。土壌の共廻りが防止できると共に、各々交錯する翼体が土壌を立体的に解砕し、練り込みながら固化材スラリーと原土とを攪拌混合するため、回転駆動機は低速回転・高トルク型仕様になり、水平攪拌翼における回転駆動機と比較して4~5倍の掘削トルクを保持している。

以上のような回転駆動機仕様と回転軸の上下に固定された剛性の高い籠状の攪拌翼との組合せが、攪拌翼に強力な削孔能力を発揮させ、N値=40~50

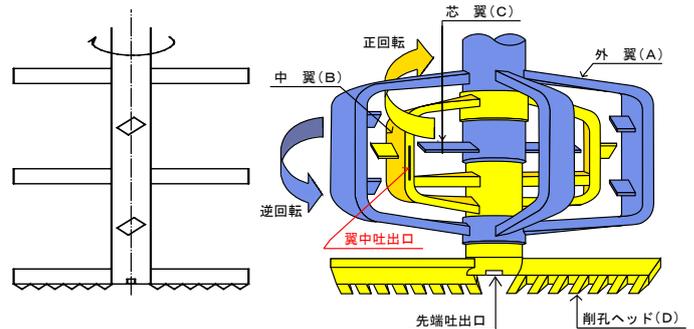


図-1 従来の水平翼

図-2 複合相対攪拌翼

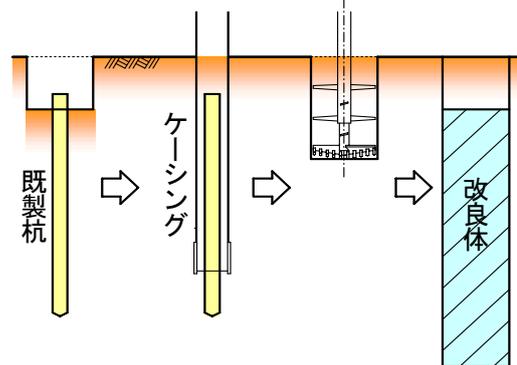


図-3 従来工法

の砂礫層や玉石混じり層の削孔・攪拌までも可能となった。また、通常の沖積地盤に対しては、大口径改良コラム(φ2,500mm)の造成も可能である。

## 3. 既存杭を有する特殊地盤施工

建替え工事等で遭遇する既存杭等の地中障害物が混在する地盤では、これまで地盤改良に先立ち、既存杭の引抜き等の除去工が実施される。その方法を、図-3 に示す。すなわち、事前掘削により既存杭の頭出しを行い、オールケーシング工法等で既存杭を除去した後、地盤改良施工が行われていた。

複合相対攪拌工法は、低速回転・高トルク型の機械仕様であるため、図-4 に示すように、補助工法無しで既存杭の頭出しを行うこと無く、既存杭の破碎

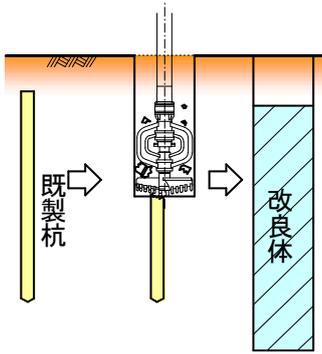


図-4 複合相対攪拌工法

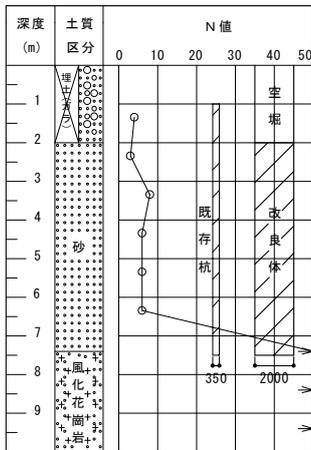


図-5 土質柱状図

改良対象とした地盤の柱状図を図-5に示す。土質はGL±0.0m～-2.0mまでがコンクリートガラ混じりの埋土、-2.0m～-7.40mまでがN=3～8の砂層、それ以深はN≥50の風化花崗岩である。改良体は、この風化花崗岩層を支持層とし、改良径φ2,000mmで施工した。表-1は、既存杭破碎と攪拌混合を同時に行って造成した改良体A、Cと既存杭が無く通常の施工により造成した改良体B、Dの施工仕様である。改良体A、Cには、残置された既製杭(PC杭φ350mm)の位置を併記した。また、両改良体のセメント系固化材添加量は280kg/m<sup>3</sup>である。

### 3.2 施工結果

残置された既製杭を破碎しながら造成した改良体と通常施工の改良体について、回転駆動機の電流値により施工中に受ける抵抗の比較及び一軸圧縮強さを比較検証した。

#### (1) 電流値

図-6は、既存杭の破碎を伴いながら攪拌翼が施工中に受ける抵抗と通常の地盤を施工した場合で掘

削抵抗を電流値で表し、深度方向にプロットしたグラフである。

と攪拌混合を同時進行させながら改良施工を行うことが可能である。以下に、同一地盤内において既製杭が残置された場合と、そうでない場合の各2箇所、複合相対攪拌翼を用いて計4本の改良体を造成することを試みた。そして、造成中の攪拌翼の回転挙動ならびに改良体の強度試験結果を比較し、本工法の適用性を検証した。

#### 3.1 施工概要

改良対象とした地盤の柱状図を図-5に

表-1 施工仕様と既存杭の位置

番号	A	B	C	D
形状				
改良径(mm)	2,000	2,000	2,000	2,000
既存杭	有り	なし	有り	なし
施工長(m)	7.60	7.80	9.20	8.90
空堀長(m)	2.05	2.05	2.05	2.05
改良長(m)	5.55	5.75	7.15	6.85

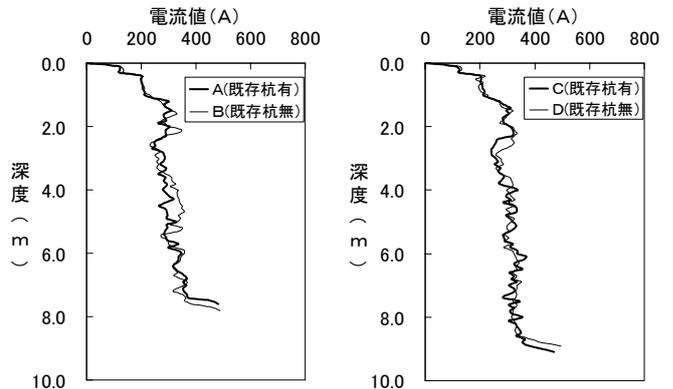


図-6 既存杭の有無と回転駆動機の電流値比較

削抵抗を電流値で表し、深度方向にプロットしたグラフである。

施工長が近似している改良体AとB及び改良体CとDとに区分して比較してある。

全体的な傾向として、表層より2.0m付近までは空堀であるため、固化材スラリーの吐出が無く、電流値から、掘削抵抗は深さに対して漸増する傾向が認められる。4つの改良例において、何れの電流値も概ね300A程度まで上昇している。

それ以深は、固化材スラリーの吐出に伴い、一旦220A程度まで下降するが、施工深度が深くなるのに伴い、徐々に350A程度まで増大している。N≥50の着底部付近の地盤では、急激な電流値の上昇が見られ、電流値が地盤の掘削抵抗の指標となることが判る。また、改良体AとB、改良体CとDとでは、共にほとんど同程度の電流値の推移を示すことが確認された。

このことより、既存杭を破碎しながら施工する場合についても、攪拌翼が受ける抵抗は通常施工時の抵抗と特段の差異が無いものと判断される。

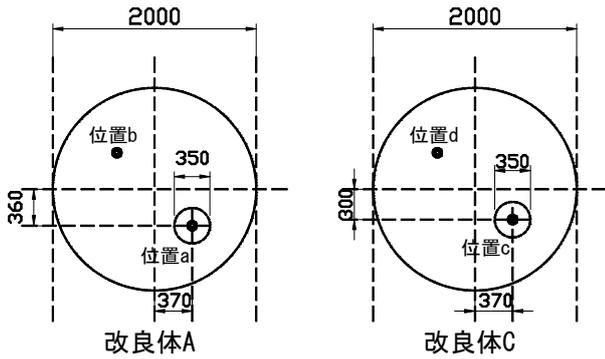


図-7 ボーリングコアの採取位置

表-2 一軸圧縮強度試験結果

	改良体A		改良体C	
	位置a	位置b	位置c	位置d
	qu(kN/m <sup>2</sup> )			
上層 2.5~3.5m	6,795	5,750	5,935	6,172
	6,169	5,917	5,837	5,585
	5,219	6,852	6,643	6,985
中層 4.0~5.0m	6,888	6,959	5,590	6,235
	6,626	6,330	6,510	6,330
	5,206	5,761	6,790	6,778
下層 5.5~6.5m	6,494	6,071	6,182	641
	6,146	6,556	6,388	7,464
	7,253	6,856	6,458	6,483
平均値	6,314	6,339	6,259	6,519
全平均値	6,358 kN/m <sup>2</sup>			
標準偏差	524 kN/m <sup>2</sup>			
変動係数	8.24%			

(2) 一軸圧縮強度試験結果及び出来形

既存杭の破碎を伴う改良体Aと改良体Cの各々について、図-7に示す既存杭の残置されていた位置a及びcとその改良体中心点に対して対称となる位置b及びdの4箇所異なる深さからコアを採取し、その一軸圧縮強さを調べた。表-2は、改良体A及び改良体Cからそれぞれ2本採取したコアの試験結果である。改良体Aのa、b及び改良体Cのc、dの位置のそれぞれのコアの平均強度は  $\bar{q}_u = 6,259\text{kN/m}^2 \sim 6,519\text{kN/m}^2$  であり、全平均値が  $\bar{q}_u = 6,358\text{kN/m}^2$  となった。また、変動係数は  $V_d = 8.24\%$  である。同一施工域内の通常施工の変動係数  $V_d = 7.29\%$  と比較すると、いずれの変動係数も同程度でバラツキに大きな差がないことが確認された。この結果より、既存杭を破碎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。

また、写真-1は改良体Aについて改良体の天端ま



写真-1 出来形状況



写真-2 供試体(破碎片)

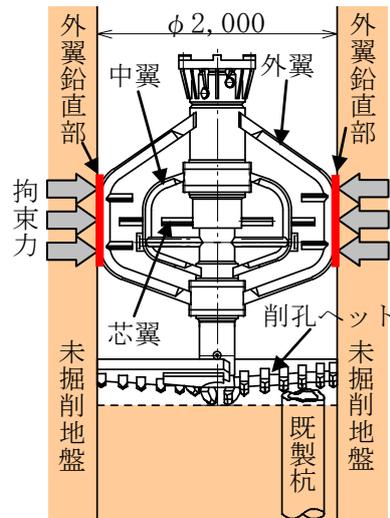


図-8 杭の破碎状況模式図

で掘削し、出来形の確認を行ったものである。10~40mm程度の既存杭破砕片が改良体全体に均一に分散されていることが見て取れる。

写真-2は、改良体Aの位置bにおけるボーリングコアより採取した中層部の供試体の写真である。内部に既存杭破砕片の混合が確認できる。

表-2の一軸圧縮試験結果を合わせるとその混合度の均一性が判る。

3.3 考察

既存杭が混在した地盤での改良施工の結果を基に、複合相対攪拌翼の施工性能について考察する。

(1) 既存杭の破碎施工メカニズム

図-8は、複合相対攪拌翼が地盤中において既存杭を破碎する状況を示している。解体工事等によりフ

ーキングが除去された後に、建替え工事等を行うため、既存杭の杭頭部は深さ 1~3m 付近に残置されていることが多い。複合相対攪拌翼を地盤中に掘削・貫入していくと、削孔ヘッドに既存杭が接触する。この時、攪拌翼も地中に貫入されており、3 枚の外翼の鉛直部分が改良範囲の外周にある地盤の拘束を受けている状態となる。

その地盤の拘束力は、芯ずれを抑制し、回転駆動機が保持する掘削力が減衰されること無く、攪拌翼から既存杭へ伝達される。

前述したように、既存杭が有る場合と無い場合とで電流値の比較を行っても特段の差異がみられない。また既存杭の頭出しをせずに改良体のどの位置に杭があっても施工が可能である。

以上より、これらの特長は複合相対攪拌翼の形状と高トルク駆動に大きく起因していると判断する。

## (2) 改良体の均一性

改良体出来形の写真-1 から、改良体の内部に既存杭の破砕片が均一に混合されていること、コア供試体の写真-2 より既存杭と離れた場所で採取したコアに既存杭の破砕片が確認されたことから、既存杭の破砕片が改良体全体に対して均一に分散されていると判断できる。

図-9 は、複合相対攪拌翼の攪拌機構を水平断面方向から見た概念図<sup>2)</sup>である。

外翼と中翼の鉛直翼部が回転接近すると、その付近は狭窄による土塊圧砕あるいは土粒子の再配列を伴う圧搾と強制せん断が行われる。

外翼と中翼の交差後は、攪拌翼の通過に伴う引張作用により、破砕片を含む土塊は再度の再配列を伴う土塊移動が生じる練り込み攪拌が繰り返される。

また、攪拌翼のテーパ化した羽根断面より、羽根に付着した土塊の剥離を促進させると同時に籠状の翼中に取り込む。

これらの練り込み攪拌メカニズムは、外翼籠と中翼籠の相対攪拌部の全域で行われるため、均一で良好な攪拌となる。よって、既存杭の破砕片は改良体全体に均一分散されたものと考えられる。

なお、既存杭の PC 鋼線は削孔ヘッドに巻きついて引上げられた。

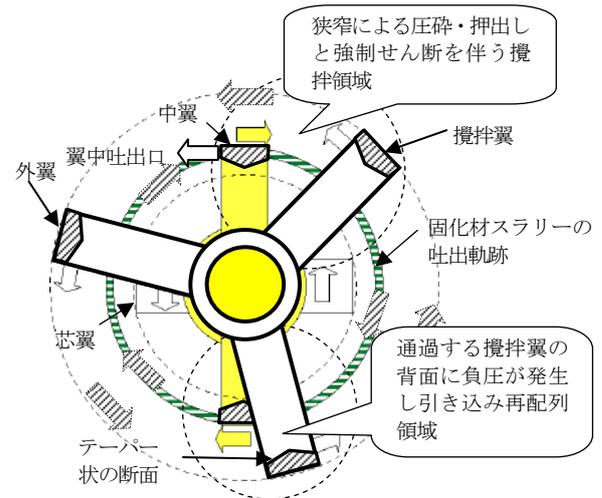


図-9 複合相対攪拌翼の攪拌機構

## 4. まとめ

実施工の結果より、既存杭が混在した地盤での改良施工について以下の知見を得た。

- 1) 複合相対攪拌翼で地中に既存杭が存在している場合でも、事前にこれを除去することなく改良施工が可能である。
- 2) 複合相対攪拌翼が受ける既存杭(PC 杭;350mm)の破砕抵抗は、通常施工の施工と同程度である。
- 3) 既存杭の破砕片が混在する改良体の強度は、通常施工における改良体の強度と同等であり、破砕片が混入した供試体についても同様である。
- 4) 既存杭が改良体直径内のどの位置に在っても、施工が可能である。
- 5) 細片化された既存杭の破砕片は、改良体の内部に均一に分散する。

以上、特殊な地盤条件下においても複合相対攪拌工法の施工性・品質が確保できることが判明した。

### 【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φ2,500 地盤改良工法)」：pp5~11, 2006.3
- 2) 齋藤邦夫, 鈴木孝一, 原満生, 佐藤篤哉, 高倉功樹他：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, 日本材料学会, 第8回地盤改良シンポジウム, 2008.10 (投稿中)

## 32. くい打機の走行挙動と履帯圧力分布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  
独立行政法人 労働安全衛生総合研究所 玉手 聡

### 1. はじめに

くい打機械は地盤改良工事や基礎工事に用いられる大型の車両系建設機械であり、主に軟弱地盤の対策工事に用いられる。従って、この機械は潜在的に不安定な地盤上に設置され、作業に用いられる。一方でこの機械による転倒災害も多く報告されている。写真1は現場内を走行中に発生した転倒災害の様子を示す。くい打機械はアースオーガーをリーダーの上部に位置させており、トップヘビーな状態で自走していたことがわかる。

くい打機械の転倒を防止するためには、地盤が有すべき支持力要件について検討する必要がある。しかし、くい打機械の設置時の安定性に関する研究は非常に少なく、機械の設置要件の検討は急務であると考えられる。本研究では、実大走行実験によるくい打機械の挙動解析と、くい打機械模型を作製し遠心場走行実験を行った。遠心場走行実験では、走行時挙動に伴う接地圧力変化について計測を行った。本報告では実大走行実験の概要と模型実験で得られた結果を述べる。

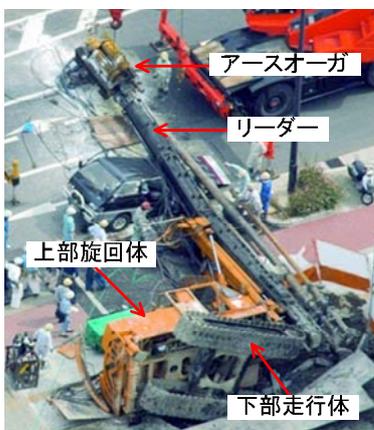


写真1 自走式くい打機械の転倒災害

### 2. 転倒防止に関する法令規則

労働安全衛生規則<sup>1)</sup>では自走式くい打機械の転倒防止を述べており、敷鉄板等の使用等による沈下防止措置が義務付けられている。しかしながら、安定設置に必要な地盤の支持力条件については詳細が述べられておらず、安定設置の判断は事業者者に委ねられているのが現状である。また、車両系建設機械構造規格<sup>2)</sup>では機械が備えるべき安定度を表1の通り定めており、くい打機械は限界傾斜角が5度以上を有しなければならない。この値はブルドーザのそれに比べて小さく設定されており、構造的に不安定なことが示されている。ただし、設置地盤は水平堅固が前提とされており、沈下により生じる機体傾斜は想定されていない。

表2は事業者が独自に定めた基準の一例である<sup>3)</sup>。作業時と走行時の安定度について異なる値を設定するとともに、構造規格の基準値に比べ1.4~1.8倍の値が用いられている。また地表の勾配については、1/100以内の平坦性と支持力安全率1.5以上が使用基準に用いられている。

表1 機種と安定度の関係

機種	くい打機	ブルドーザ
安定度	5度	35度

表2 事業者の定めた基準の例

安定度	作業時 7度
	走行時 9度
地盤の勾配	傾斜 1/100 以下 整地し平坦化
支持力照査	安全率 1.5

### 3. 実大走行実験

#### 3.1 実験現場

実大走行実験は、東京国際空港国際線地区エプロン等整備等事業が行われているエリアの南西部にて実施した。本実験では走行路の地盤条件と機体に生じる挙動の関係を明らかにするために、水準測量と平板載荷試験をはじめに実施した。次いで走行路に敷鉄板を敷設し、その後にくい打機械を自走させた。機体に生じた加速度応答を後述する3箇所で計測した。

#### 3.2 水準測量

水準測量では1.8m間隔の格子状に測点を設定し128地点を計測した。図1は走行路の高低差を示したものであり緩やかな起伏が見られる。走行路の高低差は最大値が約10cmと非常に小さく、ほぼ平坦な地盤であった。

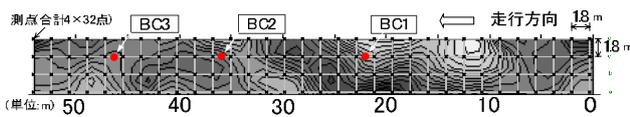


図1 水準測量の結果

#### 3.3 地盤の支持力

走行路の地盤支持力を調べるために平板載荷試験を行った。試験はひずみ制御（変位速度5mm/min）により、図1に示す3箇所（BC1～BC3）で実施した。図2は載荷応力（ $q_u$ ）と、沈下量（ $s$ ）を載荷板の直径（ $D$ ）で除した沈下比（ $s/D$ ）との関係を示す。3つの曲線に共通して  $s/D=0.1$  付近で屈曲点を示した後、ほぼ単調

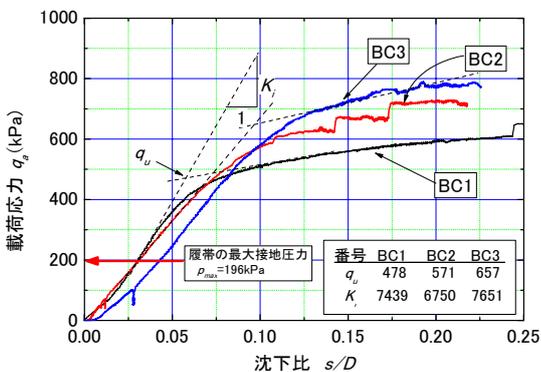


図2 載荷応力（ $q_u$ ）-沈下比（ $s/D$ ）関係

に増加し明確なピークを示さない。ここで、屈曲点前後の2つの接線の交点における  $q_u$  値を極限支持力（ $q_u$ ）と定義し、求めた値は478～623kPaであった。本実験で使用したくい打機械の最大接地圧  $p_{max}$  は194kPaであり、 $q_u > 2.4p_{max}$  であった。このことから、走行路は機械の接地圧力に比べて十分に高い支持力を有することがわかった。

#### 3.4 動揺の計測

実験に使用したくい打機械は写真2に示すサンドコンパクション用のものであり、全高27m、総重量980kN、安定度17(deg)、最大接地圧194kPaである。走行中の挙動を計測するために、機体の3箇所に加速度計を設置した。Acc1はリーダー上部、Acc2はリーダー下部、Acc3は履帯支持枠の中央に設置した加速度計である。応答加速度は各箇所において進行方向成分（ $A_x$ ）と、これと直交する左右方向成分（ $A_y$ ）をサンプリング周波数100Hzで計測した。走行速度は1km/h（=28cm/sec）であり、計測開始から約15秒後に前進させた。

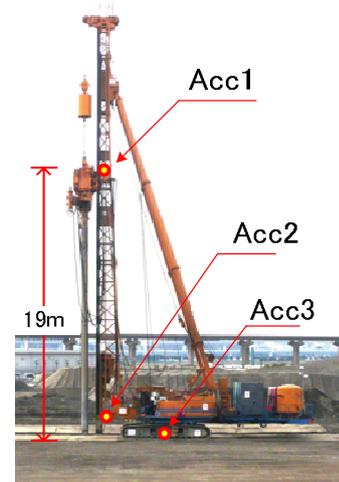


写真2 加速度計の設置位置

### 4. 応答加速度の解析

#### 4.1 高さ方向の増幅

3箇所で計測した  $A_x$  と経過時間の関係を図3に示す。なお、計測値には5Hzのローパスフィルターが施されている。3地点における応答を比較すると、Acc1がAcc2とAcc3に比べて幾分か大きく、機体の動揺は上方で増幅している。Acc1の最大値は約0.1Gである。

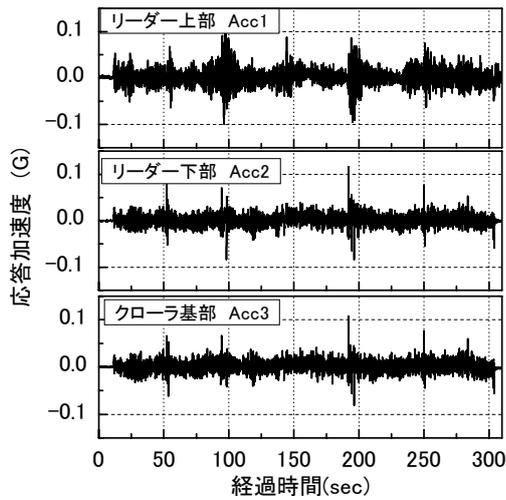


図 3 応答加速度の進行方向成分 ( $A_y$ ) と経過時間の関係

#### 4.2 動揺方向と周波数特性

リーダー上部における応答加速度について  $A_x$  と  $A_y$  の比較を図 4 および図 5 に示す。

図 4 に平面上に投影した加速度の軌跡を示す。加速度の軌跡は原点に対してほぼ対称であり、その形状は楕円である。また、加速度の最大振幅は  $A_x$  が 0.1G,  $A_y$  は 0.15G であった。走行方向に比べて左右方向に幾分大きな応答が見られた。

図 5 は  $A_x$  と  $A_y$  の周波数特性の比較を示す。周波数分布を見ると、 $A_x$  と  $A_y$  にはそれぞれ 0.4Hz と 0.3Hz にピークが見られる。これは本実験におけるくい打機の動揺特性を示すものと考えられる。なお、1.1Hz にみ

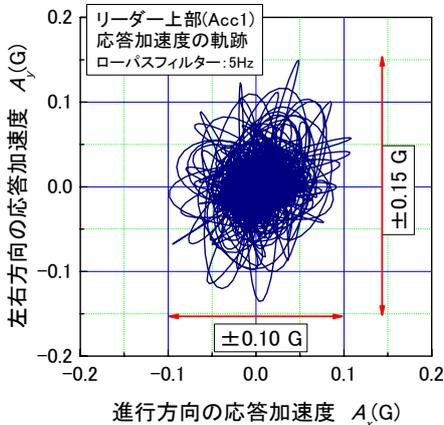


図 4 加速度の軌跡

られるもう一つの  $A_x$  のピークは、つり下げられた装備の振動や風による影響と見られるが、詳細を明らかにするには至っていない。

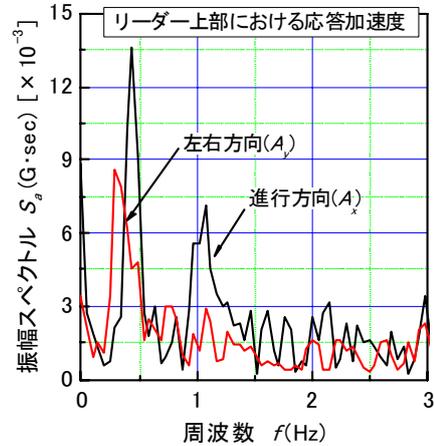


図 5 周波数特性

#### 4.3 加速度の度数分布解析

3 箇所で計測された 2 つの応答加速度成分  $A_x$  と  $A_y$  について、度数分布解析を行った。図 6 は相対度数 ( $I_d$ ) と応答加速度の関係を示す。 $I_d$  は各応答加速度の発生数を全計測データ数で除した値である。各  $A_x$  と  $A_y$  の分布は原点に対してほぼ対称である。標準偏差 (SD) は進行方向と左右方向に共通してリーダー上部の Acc1 が最も大きく、その値は約 0.03G である。

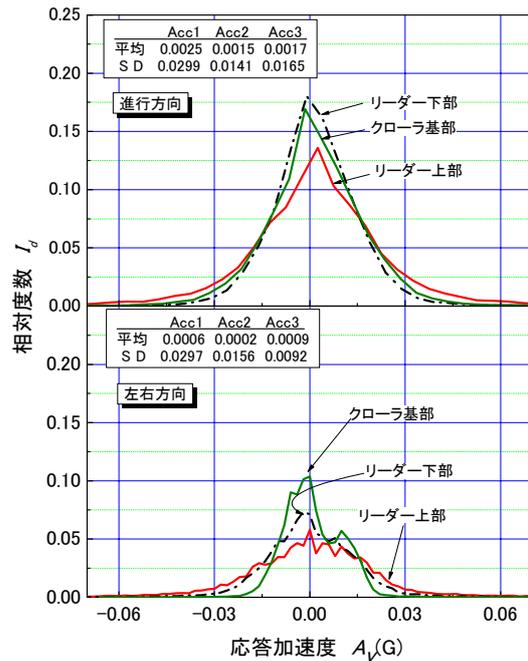


図 6 応答加速度の度数分布の比較

## 5. くい打機模型の作製

くい打機械の小型模型は25gの遠心場で走行実験を行うことを想定し、実機の1/25スケールで設計した。その際、モーターや減速機、およびバッテリーの位置は実機の重心位置と相対的に等しくなるよう配置した。模型の前後の車軸とその間に備わる補助輪は、アームで支持された片持ち梁構造をしており、これらのアーム部分にひずみゲージを貼り、履帯面に働く接地圧分布を測定することが可能となっている。また、リーダー上部に加速度計を設置して、走行中の機体の揺れを測定することが可能である。写真3に作製したくい打機械模型を示す。

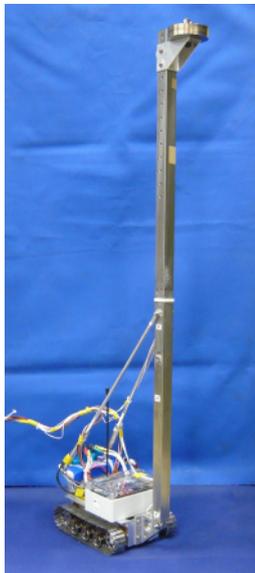


写真3 作製したくい打機械模型

## 6. 遠心場走行実験

### 6.1 地盤のモデル化

走行実験では強度の異なる2種類の発砲ポリウレタンフォーム（Urethane Foam）を用いて模型地盤を作製した。一つは硬いUF-1であり、もう一つは柔らかいUF-2である。2種類のウレタンフォームに対して支持力実験を行った結果、UF-1では極限支持力（ $q_u$ ）と模型の接地圧（ $p_{max}$ ）は等しく、UF-2の極限支持力は模型の接地圧よりも低く、 $q_u=0.4P_{max}$ であった。

### 6.2 実験方法および実験条件

実験に使用した遠心模型実験は（独）労働安全衛生総合研究所が保有するNIIS MARK-II Centrifugeである。

実験の概要を図7に示した。実験時の風の影響を除くために全体を風防カウルで覆っている。模型地盤は図8に示すように、強度の異なる地盤を模擬した条件と、履帯の長さの1/2の凹凸を模擬した条件の2種類の模擬地盤で実験を行った。模型の安定度は実大走行実験の条件とほぼ等しい、安定度19度である。

走行実験は25gまで遠心加速度を増加させた後、模型を走行させた。その際の走行速度は、30cm/secとした。走行速度の測定はワイヤー式変位計を図に示すように設置して行った。なお、本研究では車軸の名称を前輪からFS（Front Sprocket）、FR（Front Roller）、CR（Center Roller）、RR（Rear Roller）、RS（Rear Sprocket）と定義した。

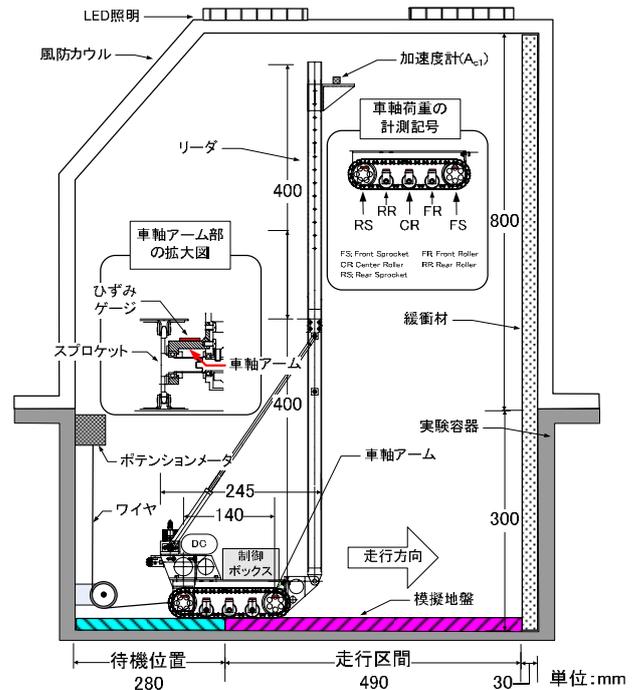
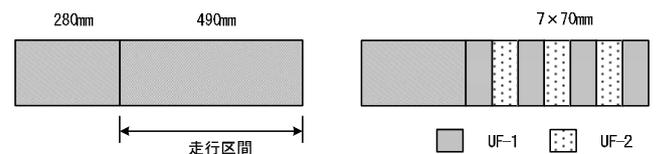


図7 遠心模型実験の概要図



(a)一様地盤

(b)交互地盤

図8 走行路の条件

## 7. 遠心場走行実験の結果

### 7.1 解析対象区間

一様地盤での走行実験の結果を図9に示す。待機位置から加速させた模型は経過時間 ( $t_m$ ) が約0.3秒の時に走行距離が150mmとなる。この時に履帯全体が走行区間上に位置するとともに所定の速度に達している。その後、模型は定常走行に移り、 $t_m=1.1\text{sec}$ の時に容器端へ達している。計測した応答加速度には走行中の機体の揺れによる振動が現れている。また、車軸荷重はFSが最大を示し、RSはほぼゼロで推移している。本研究では、走行速度が一定である  $t_m=0.3\sim 1.1\text{sec}$  を解析対象区間とした。

### 7.2 実大走行実験と模型実験の比較

図10は実大走行実験と遠心場走行実験においてリーダー上部で計測した加速度応答の比較を示す。遠心実験のデータは動的相似則に基づいて実大スケールに換算した値である。実大実験と遠心実験に共通して0.5Hz付近にピークが見られることから、くい打機械固有の挙動が再現されている。実大実験に見られる1Hzのピークは先述したとおり、実機のつり荷や風による影響と考えられる。一方、遠心実験に見られる2Hz付近の卓越周波数は履帯の凹凸による構造的な影響で生じたものである。

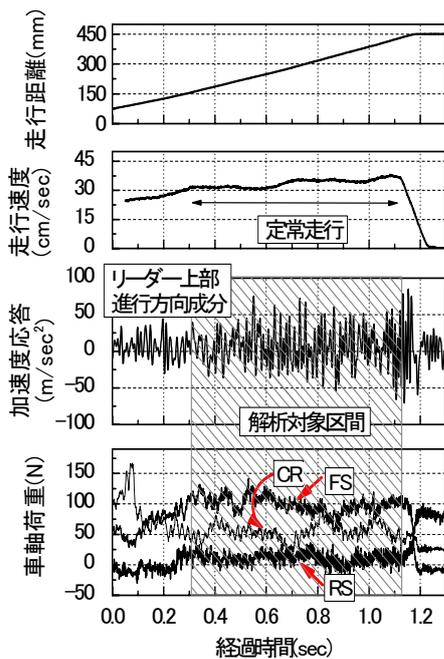


図9 実験結果 (一様地盤)

### 7.3 車軸荷重の頻度分布

図11は地盤条件の違いが車軸の荷重分布に与える影響を調べるために、車軸荷重を度数分布解析した結果である。ここで、各車輪に作用する荷重を車体の重量で除した値を荷重分布割合  $R$  と定義した。縦軸は相対度数 ( $I_d$ )、横軸は荷重分布割合の実験値 ( $R_e$ ) である。一様地盤では、 $q_i/p_{max}$  は約1であるため履帯直下に生じる沈下は小さい。そのため、各車軸の最大相対度数  $I_d$  には大きな違いが見られず、類似した分布形状を示している。ピーク  $I_d$  に対応する  $R_e$  の値をみると前

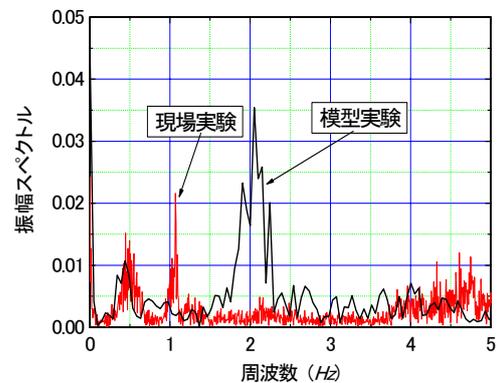


図10 周波数-振幅スペクトル関係

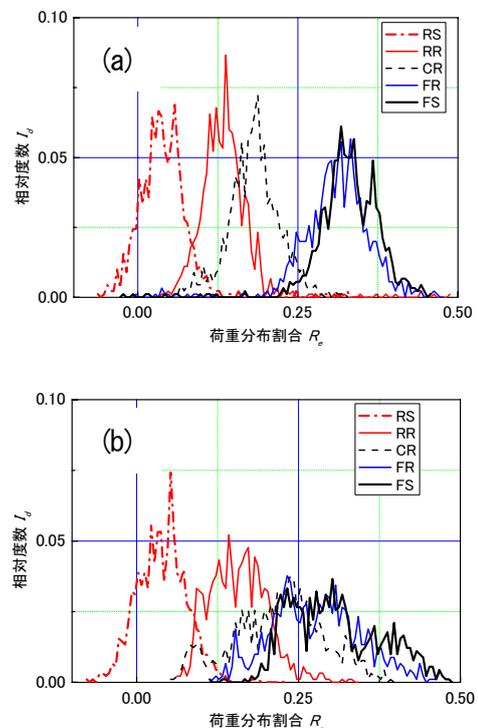


図11 相対度数と荷重分布割合の関係  
(a) 一様地盤 (b) 交互地盤

軸のFSが最大であり、後軸のRSは最小となっている。一方、交互地盤の各車軸を比較すると  $I_d$  の分布形状には違いが見られ、RS では  $I_d$  が鋭いピークを示しその分布はほぼ山形である。一方、FS では最大  $I_d$  が RS のそれに比べて小さく、 $R_e$  は広い範囲に分布している。 $I_d$  には大きく2つのピークが見られるため、FS には周期的に変化する地盤上を走行したことによる影響が現れている。

#### 7.4 理論値と実験値の比較

図12は車軸荷重の理論値( $R_t$ )と実験値( $R_e$ )の比較を示す。 $R_t$ はJIS基準に基づく式<sup>4)</sup>で得られた値から算出したものである。 $R_e$ には平均値と標準偏差を示した。地盤条件の違いにかかわらず  $R_e$  の平均値は  $R_t$  にほぼ一致している。しかしながら、履帯に最大荷重を与えるFSの値に着目すると、一様地盤では変動係数(=標準偏差/平均値)が0.121であるのに対して、交互地盤では0.235に増加している。従って、支持力が不均一な地盤ではFSの変動が大きくなることが明らかになった。

図中には、FSの標準偏差の3倍の値( $3\sigma$ )と直接基礎の短期的な安全率1.5の値を破線で示している。それぞれを比較すると、一様地盤では  $3\sigma$  と安全率1.5の値はほぼ等しいのに対して、交互地盤の  $3\sigma$  は安全率1.5よりも大きい。このことから、くい打機械の安定設置に必要な設計荷重の安全率は少なくとも1.7~2程度必要であると考えられる。

#### 8. 結論

(1) 実大走行実験では、機体の安定度が17度、地盤は平坦で接地圧力に比べて十分に高い支持力を有する条件において、自走時における機体の動揺を計測した。その結果、応答加速度はリーダー上部で増幅することが明らかになった。平面上に投影した加速度の軌跡はほぼ楕円状に分布し、0.3から0.4Hz付近に振幅スペクトルのピークが見られた。

(2) 1/25のくい打機械模型を作製し、遠心場走行実験を行った結果、自走時におけるくい打機の特徴的な挙動を再現することができた。また、履帯車軸に生じる変動荷重は支持地盤の硬軟に影響を受けることが明らかになり、全ての車軸荷重は正規分布的に変動する

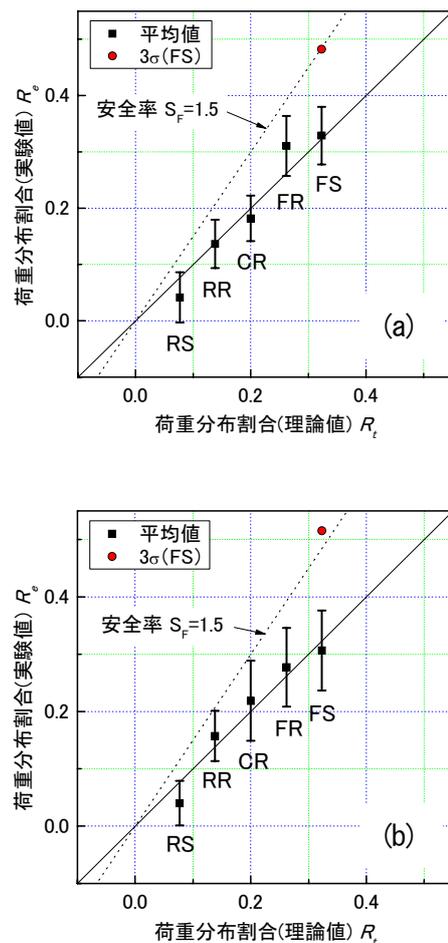


図12 荷重分布割合の理論値と実験値の比較  
(a) 一様地盤 (b) 交互地盤

ことがわかった。ことから、確率的検討に基づいた支持力安全率の導入が必要であると考えられる。

謝辞：実大走行を行うにあたり、羽田国際線エプロンJV上地章夫氏に多大なるご協力をいただきました。末筆ながら、感謝の意を表します。なお、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平成19年度版，p.967.
- 2) 労働調査会：安衛法便覧Ⅱ平成19年度版，p.512.
- 3) 日本材料学会：ソイルミキシングウォール設計施工指針，p.78，2002.
- 4) 日本規格協会：基礎工事機械—安全—第1部：くい打機の要求事項，JIS A 8509-1，p.25，2007.

### 33. 建設機械の稼動に係る環境影響評価の研究現況について

独立行政法人土木研究所 先端技術チーム 主席研究員 山元 弘  
主任研究員 ○杉谷 康弘  
国土交通省国土技術政策総合研究所 建設システム課 主任研究官 吉田 潔

#### 1. はじめに

独立行政法人土木研究所（旧建設省土木研究所含む。）では、建設工事中に発生する騒音や振動等の影響を、事業の計画段階で評価する一般的な手法を検討し、「道路環境影響評価の技術手法」（以下、「技術手法」という。）として平成13年から公表している。その後、技術手法は道路事業の環境影響評価を行う際のツールとして広く使用されている。建設騒音については、平成16年に評価手法の改正を実施しているが、その後得られた知見や関連する法令等の改正を反映させるため、昨年、平成19年6月に建設騒音を含むその他の項目についても改正を行っている。前半部では、その内容を報告する。

また、後半部では、技術手法にはまだ反映されていないが、現在検討を進めている内容について、その一部を報告する。

#### 2. 建設工事による環境影響予測の課題

技術手法は調査から評価までの一連の作業について網羅されているが、評価する物理的な量が決まっているとすれば（環境基準や規制基準等）、特に技術的な調査研究が必要な部分は予測の方法に関するものである。

予測の基本は、騒音等の発生量がどの程度で、それが予測点までどのように変化（通常は減少。）するかを求めることである。建設工事では工事内容により様々な工種が存在し、発生量も異なることから、工種毎にパラメータを用意する必要がある。また、発生する物理量の質的なもの（騒音や振動においては周波数、粉じんにおいては粒径分布等。）や現場条件（地盤の種類等。）、予測条件（発生源や予測点の高さ、保全措置の有無等。）、によって予測点までの変化の量も異なるといわれており、それらを考慮しておく必要がある。

#### 3. 技術手法の改正

##### (1) 建設機械の稼動に係る騒音

音の伝播理論に基づく予測式は(社)日本音響学会のASJ CN-Model2002によるものとしており、この点については改正していない。ただし、平成20年4月にASJ CN-Model2007が公表されており、近々これによるものとする時点修正を行う予定である。基本的な予測式は下記のとおりである。

$$L_{A5} = L_{Aeff} + \Delta L$$

$$L_{Aeff} = L_{WAeff} - 20 \log_{10} r - 8$$

$L_{A5}$  : エット中心から $r(m)$ における5%時間率騒音レベル(dB)

$L_{Aeff}$  : エット中心から $r(m)$ における実効騒音レベル(dB)

$\Delta L$  : 補正值(dB)

$L_{WAeff}$  : A特性実効音響パワーレベル(dB)

騒音源の発生量については、新たに得られた現場実測調査データの結果を反映させ、精度を高めている（例えば「土砂掘削」においては3現場から7現場へ解析データを増やしている。）とともに、新たな工種（ユニット）のパラメータを5ユニット追加し、全49ユニットとなっている。事例を表-1に示す。

表-1 騒音予測パラメータ

ユニット	評価量	$L_{WAeff}$ (dB)	$\Delta L$ (dB)
ディーゼルパイルハンマ	$L_{A,Fmax,5}$	134	9
油圧パイルハンマ	$L_{A,Fmax,5}$	121	8
鋼橋架設	$L_{A,Fmax,5}$	118	8
コンクリート橋架設	$L_{A5}$	100	5
構造物取り壊し(火薬類、圧碎機除く)	$L_{A,Fmax,5}$	119	8
構造物取り壊し(圧碎機)	$L_{A5}$	105	5

なお、騒音の現場測定については複数の測定点を配置し、同一の現場で複数の測定を行っているとともに、

同種のユニットについて複数の現場で測定を行っていることから、パラメータを解析するに当たり、これらの測定値について dB 値をそのまま平均するか、エネルギー平均するかについてルールを定めておく必要があった。今回の解析では計測量から物理量を算出する段階（同一現場での当該ユニットの音響パワーレベルの算出するまで。）はエネルギー平均を行い、それぞれの現場の平均については統計的な代表値を決めるという観点から dB 値の算術平均を行うこととした。

## (2) 建設機械の稼動に係る振動

予測の基本式は下記の Bornitz の式のまま変更はない。なお、技術手法においては  $n$  の値を 0.75(実体波  $n=1$  とレイリー波  $n=0.5$  の中間値。)として予測することとしているが、現場実測データの解析結果によれば  $n=0.5$  として解析した結果と  $n=0.75$  として解析した結果において精度的な差は小さい。<sup>1)</sup>

$$L(r) = L(r_0) - 20n \log_{10}(r/r_0) - 8.68\alpha(r - r_0)$$

$L(r)$ : 振動源から  $r(m)$  における振動レベル(dB)

$L(r_0)$ : 基準点(振動源から  $r_0(m)$ )における振動レベル(dB)

$r_0 = 5m$      $\alpha$ : 内部減衰係数

振動源の発生量については、新たな調査データにより精度の向上や、新たに 19 ユニットのパラメータの追加を行い、全 42 ユニットとし、パラメータの充実を図っている。事例を表-2 に示す。

表-2 振動予測パラメータ

ユニット	地盤の種類	評価量	内部減衰係数 $\alpha$	基準点振動レベル (dB)
硬岩掘削	固結	$L_{10}$	0.001	48
硬質地盤ホールディング	未固結	$L_{10}$	0.01	61
	固結	$L_{10}$	0.001	56
鋼矢板 (パイロハンマ工)	未固結	$L_{10}$	0.01	77
鋼矢板 (超高周波パイロハンマ工)	未固結	$L_{10}$	0.14	81
鋼矢板 (油圧圧入引抜工)	未固結	$L_{10}$	0.01	62

基準点振動レベルには適用する地盤の種類（固結地盤、未固結地盤の別。）を明示することとし、未固結地盤の基準点振動レベルを適用し固結地盤の振動を予測

すると予測値が大きめになることに留意する旨を記載した。

内部減衰係数  $\alpha$  については、ユニット毎に解析した場合に異常値をとることが多いため、固結地盤と未固結地盤それぞれで全ユニットの平均値を採用した。ただし、超高周波パイロハンマ工については内部減衰係数を意図的に高めて振動対策をした工法であるため、他のユニットと比較して周波数スペクトルの高周波成分が卓越していることを確認し、他のユニットとは異なる値とした。

## (3) 建設機械の稼動に係る粉じん等

予測の基本式は下記の式のまま変更はない。

$$C_d(x) = a \times u^{-1} \times x^{-c}$$

$C_d(x)$ : 1ユニットから発生し拡散する粉じん等のうち発生源からの距離  $x(m)$  の地上 1.5m に堆積する旧当たりの降下ばいじん量 ( $t/km^2/日/ユニット$ )

$a$ : 基準降下ばいじん量 ( $t/km^2/日/ユニット$ )

$u$ : 平均風速 (m/s)     $c$ : 降下ばいじんの拡散を表す係数

降下ばいじんの発生量については、新たな調査データにより精度の向上や、新たに 6 ユニットのパラメータの追加を行い、全 27 ユニットとした。事例を表-3 に示す。

表-3 降下ばいじん予測パラメータ

ユニット	基準降下ばいじん量 $a$	拡散係数 $c$	ユニット近傍での降下ばいじん量 ( $t/km^2/8h$ )
土砂掘削	17,000	2.0	—
軟岩掘削	20,000	2.0	—
硬岩掘削	110,000	2.0	—
硬岩掘削 (散水)	30,000	2.0	—
高圧噴射攪拌	—	—	0.04

これまでは現場測定データを  $a$  と  $c$  の 2 パラメータで解析していたが、粉じん発生量のユニット間の相対的な違いがわかりにくくなっていた。そのため、降下ばいじんの拡散を表す係数  $c$  については、測定値の分布および重力沈降を考慮した拡散による計算値の双方から判断し、 $c=2.0$  で統一し、 $a$  のみの 1 パラメータで解析している。

なお、粉じんの発生量が小さく距離減衰傾向が見られないユニットについては測定値の平均値を記載することとした。予測においては、その値に工事日数分を掛けることで算出する。

#### (4) 建設機械の稼動に係る NO<sub>2</sub>・SPM

予測を正規型プルーム式及び積分型簡易パフ式で行うことに変更はない。パラメータについては二次排出ガス対策型の値を追加している。

#### (5) その他の改正点

関係法令等の改正により、整合を図る基準について、「工事の実施に当たって長期間にわたり影響を受けるおそれのある環境要素であって、当該環境要素に係る環境基準が定められているものについては、当該環境基準と調査及び予測の結果との間に整合が図られているかどうかを検討する」ことが求められることとなり、該当する項目について当該内容を追加している。

また、資材及び機械の運搬に用いる車両の運行に係る騒音、振動、粉じん等、NO<sub>2</sub>・SPM についても同時に改正を行っている。パラメータの更新や関係法令等の変更に合わせて修正を実施しているが、基本的な予測手法に変更はない。

### 4. トンネル発破騒音予測手法の検討

トンネル発破騒音について現場実測データの調査・解析を継続的に実施しており、それらの結果は ASJ CN-Model2007 で新たに提案された予測手法の検討の土台となっている。予測精度の向上や、多様な現場条件で適用できるようにするには更にデータの蓄積が必要であるが、これまで得られた結果を報告する。

#### (1) トンネル坑内における音響伝搬特性

- ・ 25Hz 程度以下の周波数については、覆工状況によらず坑口までほとんど減衰せずに伝搬する。
- ・ 1 次覆工区間において切羽から離れた位置で過剰減衰が生じる場合と生じない場合がある。過剰減衰が生じる場合、概ね 100Hz 以上の周波数で生じ、高音域になるほど切羽に近い位置から生じる。
- ・ 2 次覆工区間においては、200Hz 程度以下の周波数では、ほとんど距離減衰しない。それ以上の周波数においても徐々に減衰するが、5kHz 帯域においても倍距離-6dB 程度である。

#### (2) 発破音の音響エネルギーレベル

- ・ 5 現場において計測した結果（発破回数は合計 8 回）から算出された発破音の音響エネルギーレベルと総薬量の関係を図-1 に示す。音響エネルギーレベルの算出は、音響エネルギーレベルが既知な模擬音源を切羽位置において音を発生させ、発破音測定と同一地点にて測定を行い、その差を用いた。
- ・ A 特性では、総薬量の違いにより音響エネルギーレベルに差が生じる傾向にあるが、データの更なる追加が望まれる。C 特性においては薬量による差は少ない結果となった。

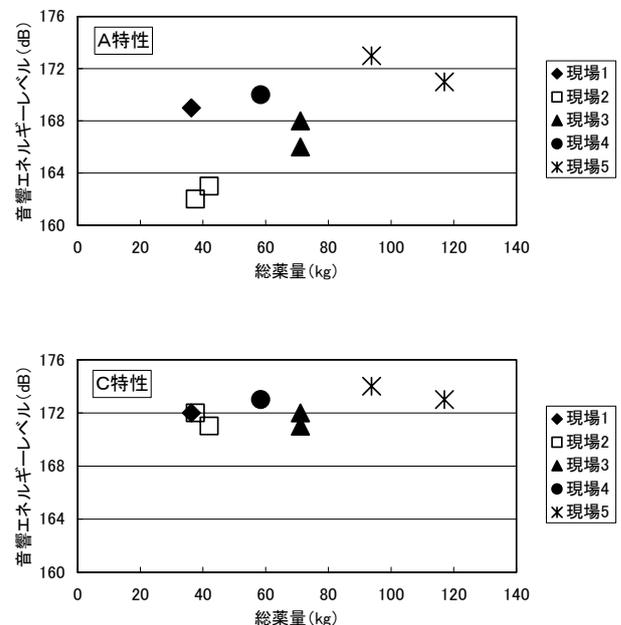


図-1 総薬量と音響エネルギーレベルの関係

#### (3) 単発音圧暴露レベルと音圧レベルの最大値の関係

トンネル坑外において、各種の時間重み付き音圧レベルの最大値 ( $L_{A,Fmax}$ ,  $L_{C,Fmax}$ ,  $L_{A,Smax}$ ,  $L_{C,Smax}$ ) について単発音圧暴露レベル ( $L_{AE}$ ,  $L_{CE}$ ) との関係調べた。いずれの評価量も単発音圧暴露レベルと線形の関係が見られた。また、傾き 1 の回帰式としても相関が高いことから、 $L_{A,Fmax}=L_{AE}+\Delta L$  のように簡易な式として計算が可能である。

#### (4) 今後の課題

防音扉の遮音性能の評価、トンネル坑外における長距離伝搬特性の把握などが主な課題であるが、音響エネルギーレベルについてもこれまで測定していない条件下でのデータを充実させ、総薬量との関係などを明

確にすることが必要である。

### 5. プルーム式による降下ばいじん予測手法の検討

技術手法に掲載している降下ばいじんの予測式は3.(3)に示したとおりであるが、発生源が高所であったり（高架上での工事など）、予測点が高所（マンション高層階など）である場合や、仮囲いの効果（高さとの関係など）を予測する場合に、高さ方向に対するパラメータがないため、そういった条件に柔軟に対応することができない。そのため、現在、重力沈降を考慮したプルーム式（下記に示す。）を適用した予測手法を検討している。

$$C(x, y, z) =$$

$$\frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H+V_g \cdot x/u}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$

$C$  : 粉じん濃度 (mg/m<sup>3</sup>)       $Q$  : 粉じん発生強度 (mg/s)

$\sigma_y, \sigma_z$  :  $y, z$ 方向の拡散幅 (m)       $u$  : 風速 (m/s)

$H$  : 発生源の高さ (m)       $V_g$  : 沈降速度 (m/s)

降下ばいじん量は、粉じん濃度  $C$  に沈降速度  $V_g$  を掛けることにより求めることができるが、沈降速度についての検討状況を報告する。

#### (1) 降下ばいじん粒径による沈降速度

沈降速度については降下ばいじんの粒径から推測することができるが、現場で採取した降下ばいじんを粒径分析した例を図-2に示す。

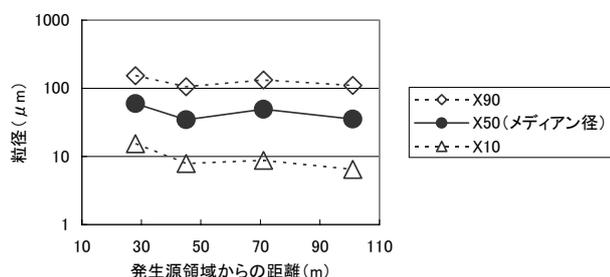


図-2 降下ばいじん粒径分布

メディアン径では50μm前後であり、概ね10~100μmの範囲にある。また、粒径の大きいものほど早く沈降し、遠方ではピークが小さい粒径にシフトする傾向は顕著には見られない結果となっている。これらの粒径に対応する沈降速度 Stokes または Allen の重力

沈降速度式（図-3に試算した結果を示す。）により求めることができる。粒径10~100μmの場合、沈降速度は概ね0.01~1m/sであり、メディアン径の50μmでは約0.2m/sとなる。実際に予測を行う際には粒径区分を幾つか設定し、その区分毎の代表沈降速度により計算を行うことなどが想定される。

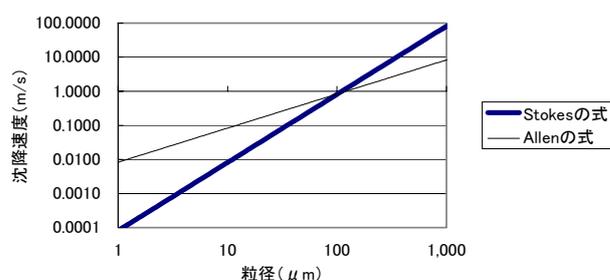


図-3 沈降速度

#### (2) 粉じん濃度と降下ばいじん量による沈降速度

図-2の現場では粉じん濃度を同時に計測し、降下ばいじん量を粉じん濃度で割ることにより平均的な沈降速度を算出することを試みた。その結果は、0.069~0.269m/sであったが、これは粒径では概ね30~60μmに相当し、降下ばいじんの粒径分析の結果からも概ね妥当な範囲となった。

#### (3) 今後の課題

沈降速度以外のパラメータについても調査解析を実施し、各パラメータの値を確定していく必要がある。また、重力沈降により煙軸が地表面に到達した後の取り扱いや反射の影響の取り扱いなど、予測モデルの全体の精度を高めることとしている。

### 6. おわりに

環境影響評価に関する項目のうち、建設機械の稼動に係る項目の検討状況を今回報告した。アセスメントの実施時期や実務を考慮すると、予測式の詳細すぎる条件設定や、精度向上に見合わない膨大な計算は避ける必要がある。予測精度の向上に関する検討を今後も進めるに当たっては、これらとのバランスを考えながら、完成度を高めていきたいと考えている。

#### 参考文献

- 1) 吉永弘志、吉田正、林輝：工事振動の発生と伝搬、(社)日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集、2004.9

## 34. 大深度海底下での没水型立坑とシールドとの接合

### —台湾龍門原子力発電所放水路トンネルの施工—

鹿島建設（株）機械部 ；石丸 裕

#### 1. はじめに

台湾龍門（核四）原子力発電所は、台湾電力会社が台湾の将来の電力需要増加に対応するために、台湾東北部に出力 135 万 kW の改良型沸騰水型原子炉 2 基を建設するものである。このうち、本稿で紹介する循環冷却水放水路トンネル工事は、温排水の放水による周辺海域環境への影響を極力小さくするために、海岸線から沖合 700m の地点に海中放水口を構築し、陸上立坑から海中放水口まで延長約 1.3km の放水路シールドトンネル 2 本を建設するものである。

#### 2. 計画時の問題点

当初の設計では海上に大規模な作業構台を設け、ニューマチックケーソン工法により立坑を構築して放水管を設置し、放水路トンネルとの接続はこの作業構台並びに立坑側から地盤改良（凍結）をした上でシールド機の到達接合を行う計画であったが、この工法では以下の問題があった。

- ① この海域が外洋に面し、季節風の影響で作業期間が短く、工期的に厳しい。
- ② 海上作業台並びにケーソン施工区域は、台風の通過域にあり、高波による被害が予想される。
- ③ 建設区域付近には国立公園が位置し、また周辺海域近くに海水浴場があることから、大規模な作業構台を海上に建設する工法では水域環境や景観への影響が大きく、地域住民の同意が得にくい。

#### 3. 計画の変更

このことから計画を変更し、海上に仮設構造物を一切設けずに水中で施工する「没水型鋼管矢板井筒立坑」を採用した。これにより、放水路シールドトンネルと海上立坑との接合は、大水深下においてシールド機側からのみの施工で、没水型到達立坑と接合するという極めて特殊な施工となった。本稿では、没水型到達立坑並びにシールドトンネルと到達立坑との接合部の施工について紹介する。

#### 4. 工事概要

工事は表-1 工事諸元に示すようにシールド発進立坑、陸上放水路との接続部分である接続暗渠、放水路トンネル並びに海中放水口で構成される。

表-1 工事諸元

発進立坑	φ20m×H53m 2基 山岳工法 吹付け、ロックボルト
接続暗渠	□-4.25m×4.2m×90m
放水路トンネル	φ8.3m×L1,330m×2基 泥水加圧式シールド工法 セグメント外径 8.1m 内径 7.3m (二次覆工仕上り内径 6.7m)
海中放水口 (到達立坑)	φ20m×H26.3m 2基 鋼管矢板井筒工法 (写真-1) J管 (写真-5) マルチノズル (写真-7) 各2基

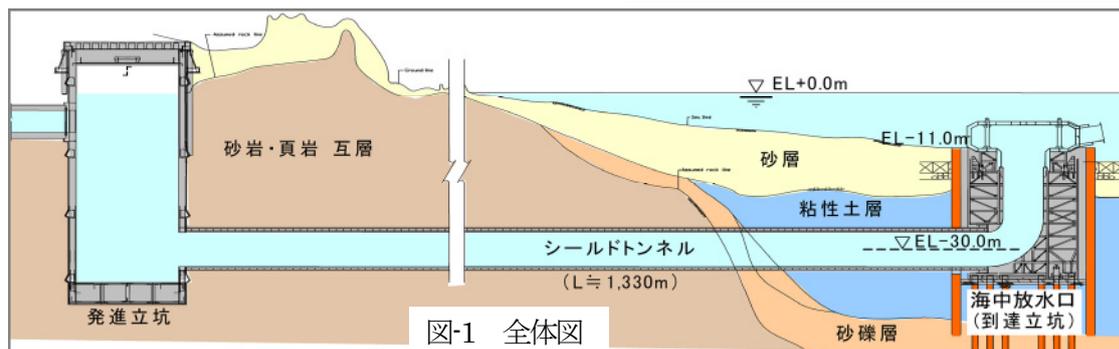


図-1 全体図

## 5. 没水型立坑の施工

シールト機の到達立坑となる没水型立坑（水中放水口）は SEP（自己昇降式作業台船）並びに起重機船を使って構築した。その施工フローを示す。

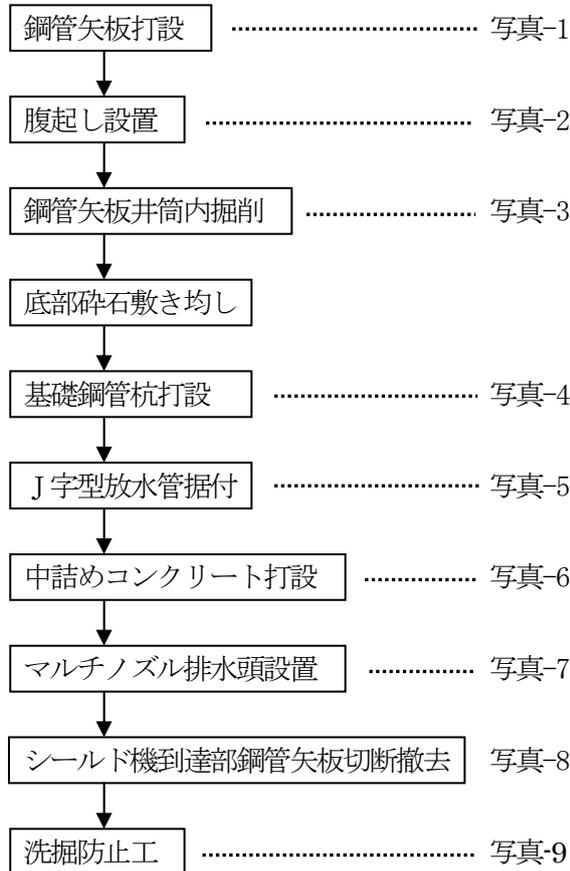


図-2 施工フロー



写真-2 腹起し設置

起重機船を使って、円形の腹起しを打設した鋼管矢板杭頭部に一括で据付した。



写真-3 鋼管矢板井筒内掘削

井筒内部を 7m<sup>3</sup> グラブ浚渫船にて、水深-36m まで掘削、写真では海域汚濁防止として浮体枠形式の汚濁防止膜を使用



写真-1 鋼管矢板打設

SEP（自己昇降式作業台）と搭載したクローラークレーンを用いて鋼管矢板φ1,600mm 40本×2基を円形井筒状に打設した。



写真-4 基礎鋼管杭打設

井筒内部の底面に海中放水口の支持杭となる鋼管杭φ1,000mm、30本×2基を43mの長尺ヤットコ（水中杭打ち補助鋼管）を使用し打設した。



写真-5 J字型放水管（J字管）据付  
J字管（重量約530t×2基）を1,600t吊全旋回起重機船により井筒内の鋼管支持杭上に一括据付した。



写真-6 中詰めコンクリート打設  
井筒内部に中詰めコンクリート（水中不分離コンクリート、約17,000m<sup>3</sup>）を連続打設。コンクリートミキサー車ごと台船輸送し、台船上のコンクリートポンプ車でトレミー管を使用して打設した。



写真-7 マルチノズル排水頭設置  
放水口となるマルチノズル式排水頭（本体の直径

17.3m、放水筒φ3.5m×4連×2基）を1,600t吊全旋回起重機船で一括据付した。



写真-8 シールド機到達部鋼管矢板切断撤去  
シールド機が到達する部分にある鋼管矢板7本を水中で切断し撤去した。（抜きながら、CB注入）



写真-9 洗掘防止工  
写真は海中放水口の基礎周囲の洗掘防止用の被覆ブロック設置状況。

## 6. シールドトンネル

### 6. 1 シールド工法

放水路トンネルは陸上発進立坑から到達側没水型立坑まで延長1,330mあり、土被りは発進側で約38m、到達部で海底地盤面下約15mとなっており、水圧はシールド中心部で0.3MPaと高水圧であった。

地層は発進側900mが岩盤層（砂岩、頁岩とその互層）であり、到達側は砂礫層と軟弱粘性土層からなる。

特に到達部は微細砂で、到達作業は最も気を遣わなければならない土質で、立坑との接合部は充填コンクリートを3m掘進する必要があった。こういった複雑な地質並びに高水圧に対応するために、岩盤対応型泥

水加圧式シールド工法を採用した。

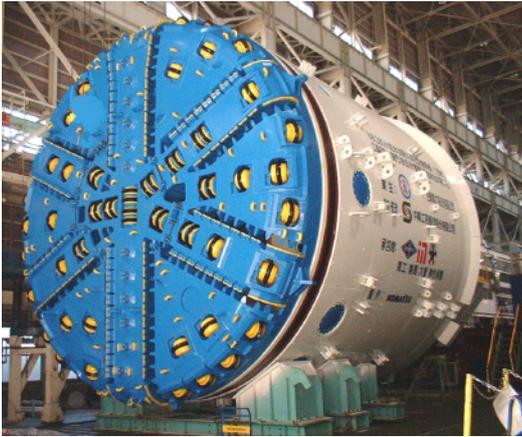


写真-10 泥水加圧式シールド機

### 6. 2 没水型立坑との接合

通常シールド機の到達は到達立坑側地上から地盤改良し、到達作業も立坑・シールド機両側からの作業となる場合が多い。しかし、今回の立坑は水中に没しており、海上に地盤改良するための作業構台もないことから、すべてシールド機側からの作業となる。

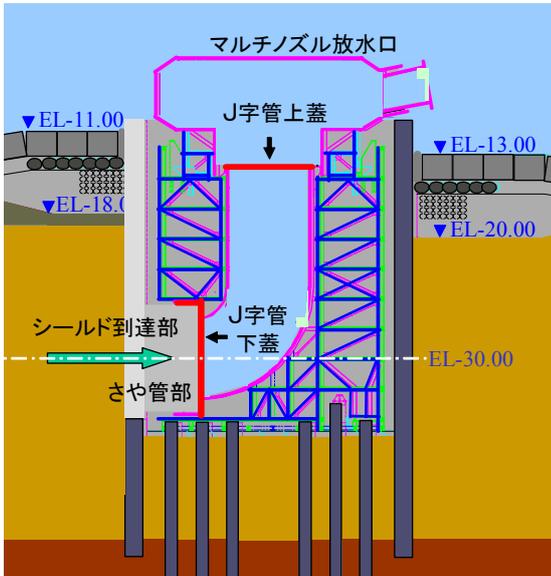


図-3 到達立坑（没水型立坑）

### 6. 3 シールド機立坑到達部

到達立坑は図-3に示すようにマルチノズル放水口と井筒内部のJ字管からなり、外周をコンクリートで充填されている。このJ字管には上蓋と下蓋が設置されており、J字管内部は海水が満たされている。下蓋はシールド到達後に撤去するが、発電所完成後の通水開始まで、水圧は上蓋で受けるように設計されている。

シールド機は図のように、中詰めコンクリートを掘

削し、さや管端部のJ字管下蓋位置まで掘進し、到達する。



写真-11 J字型放水管（J字管）受口（さや管部）

写真-11はシールド到達部のさや管で、図-5にシールド機と到達立坑（J字管）との接合模式図を示す。以下到達から接合までの施工フローを示す。

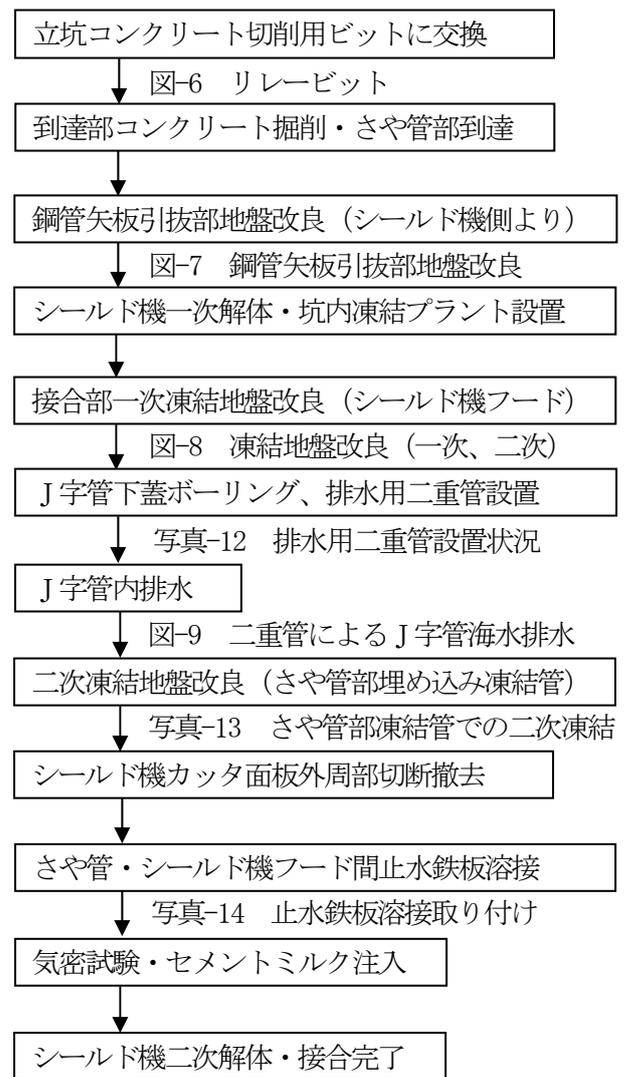


図-4 到達・接合施工フロー

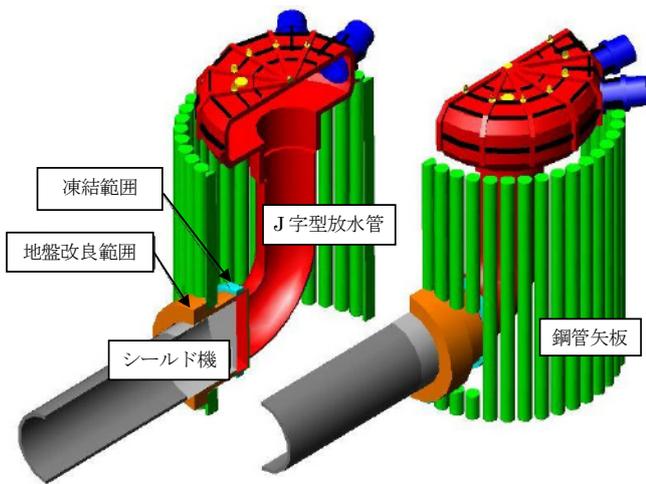


図-5 接合部模式図 (J字型放水管とシールド機)

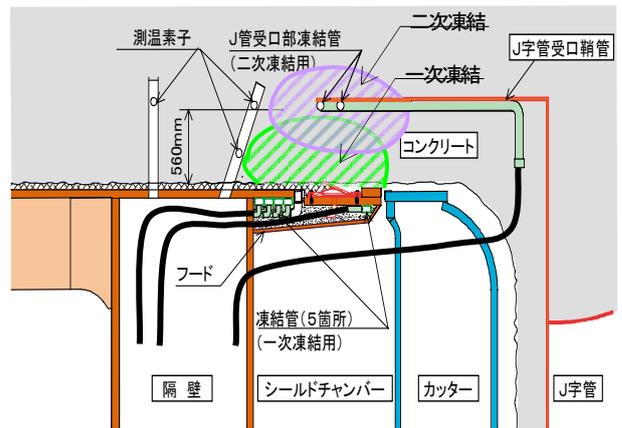


図-8 凍結地盤改良 (一次、二次)

凍結地盤改良は予めシールド機フード部に設置しておいた凍結管5列を使う予定であったが、1号機では凍結管5列のうち先端の1列が損傷していたことと立坑コンクリートの残留硬化熱が予想より高かった等の原因で、凍土温度が下がりにくく、途中からブライン温度を $-25^{\circ}\text{C}$ → $34^{\circ}\text{C}$ に変更することで対応した。

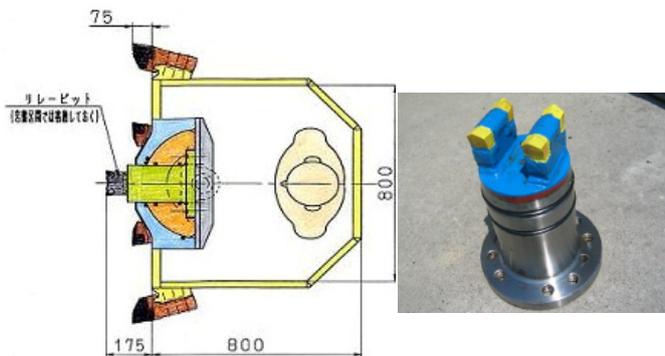


図-6 リレービット (シールドスポーク内交換)

シールド機が立坑到達前に、シールド機スポークに装備しておいたリレービットを交換後、到達掘進した。  
※リレービットとはシールド機スポーク内から地盤改良等をせずにカッタービットを交換できる装置

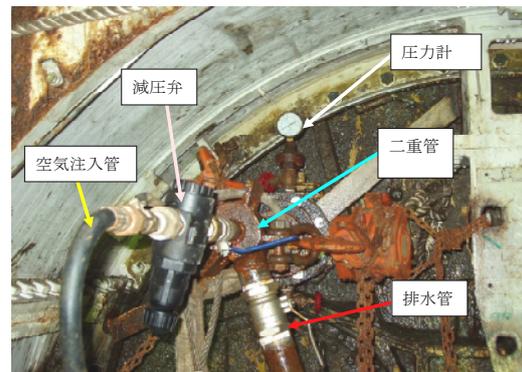


写真-12 排水用二重管設置状況

シールド機側からJ字管下蓋貫通ボーリングを行い、J字管内の海水排水用の二重管を設置した。

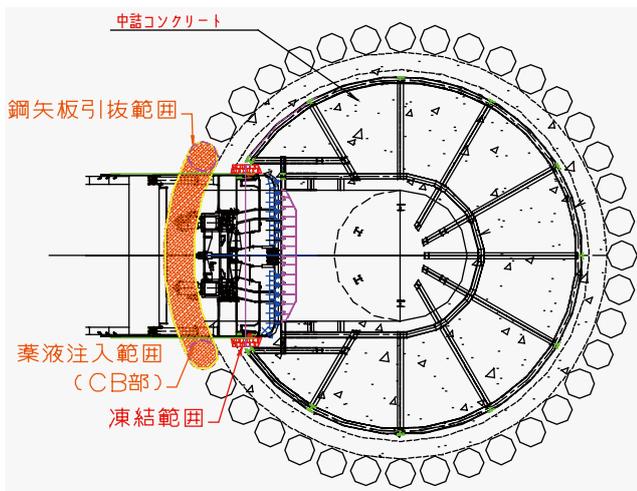


図-7 鋼管矢板引抜部地盤改良

シールド機到達後、シールド機内側から鋼管矢板引抜部の地盤改良 (CB注入) を行った。

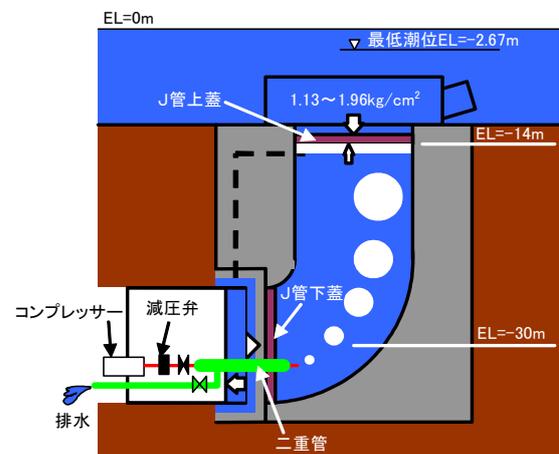


図-9 二重管によるJ字管海水排水

凍土温度が $-10^{\circ}\text{C}$ まで下がった時点で二重管により、J字管内の海水とシールドチャンバー内の泥水を排水した。二重管にした理由はJ字管内が負圧とならないように空気を送り込み圧力制御するためと、J字管内の海水を直接排水することにより、暖かい海水がシールド機チャンバー内に入り、チャンバー内泥水の温度上昇による凍土への悪影響を防止するためである。



写真-13 さや管部凍結管での二次凍結

排水完了後、さや管部埋め込み凍結管位置のシールド機カッタ面板並びにコンクリートを撤去し、機内ブライン管を接続してシールド機解体による熱で凍土への悪影響を防止するための二次凍結を行った。

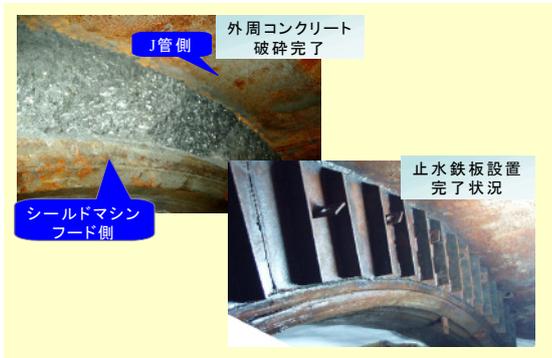


写真-14 止水鉄板溶接取り付け

二次凍結開始後にシールド機カッタ面板外周部並びに外周のコンクリートを撤去し、さや管とシールド機のフード間を全周、止水鉄板を溶接し、気密試験を行った上で鉄板背面にCBを注入した。その後シールド機の二次解体を行い接合完了した。

## 7. まとめ

海上に構台を設けることなく、海中放水口（没水型立坑）並びにシールド機と没水型立坑との接合を無事完成させることができた。トンネル二次覆工、水中放水口洗掘防止工も無事に完了し、今年6月、#1号機

のJ字管上蓋撤去が完了し（写真-19）、現在原子力発電所の運用開始待ちである。



写真-15 接合完了（J字管側から撮影）



写真-16 J字管上蓋撤去完了



写真-17 完成後の海中放水口に集まる熱帯魚

《参考文献》

- 1) 新原雄二、相河清美：台湾龍門（核四）原子力発電所放水口立坑の設計・施工、土木学会誌Vol. 88, No. 9, pp53-56, 2003. 9月
- 2) 松村夏樹：台湾龍門原子力発電所の海底放水口工事、電力土木、No. 307, pp. 134-136, 2003. 9月
- 3) 石丸 裕、新原雄二：大水深海底下でシールドトンネルを鋼管矢板立坑に接合、土木学会誌Vol. 90, No. 9, pp62-65, 2005. 9月
- 4) 石丸 裕：外洋における没水型鋼管矢板井筒工法による水中放水口並びに放水路トンネルの建設、建設の施工企画 2008.8月

## 35. 粘性土地盤の有機酸浸透による無公害改良法の開発

### コーン $\alpha$ 工法

大崎建設株式会社 ○清野昭博

#### 1. はじめに

近年、地球環境保全、土壌汚染関連の法規制の流れと共に、建設発生土の利用促進についても無公害での改良を必要とされはじめています。

コーン指数  $q_c=200 \text{ kN/m}^2$  以下の対象では従来、セメント系・石灰系固化材が主流であったが、植生配慮では、砂混合などの無公害での改良法がありました。砂の購入を伴いコストが問題であった。無公害はコスト高となっていた。混合し難いシルト粘土を対象として、既存改良剤 有機酸液を利用し、改良機開発により改良法を考え、無公害でありながら従来改良法と変わらない施工費用となる様、開発に着手した。

着手後、我々を取り巻く環境は、厳しい機械施工費、燃料の高騰により、より厳しくなっている。

新たに改良機本体を開発する費用は高額であった。

そこで、厳しい施工価格にある土工事で良く使用されている油圧ショベルをベースマシンとして使えないか検討、改良作業費用の軽減と用途拡大による、機械費用の改善、稼働効率の改善を考え、油圧ショベル用貫入機を開発製造し、本工法を開発した。

#### 2. 本工法の説明

本工法は、非常にシンプルな考えの基、乱すと扱い、難く混ざり難くなる対象に対して、鋼棒により穴を空け、有機酸液を注入浸透させ、改良する、攪拌も混合もしない、浸透後掘削し利用する、土質改良です。

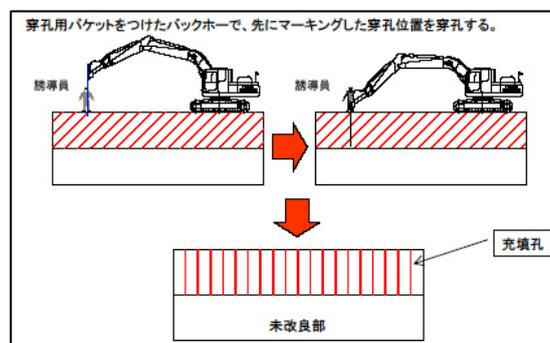
コーン指数  $q_c=200 \text{ kN/m}^2$  以下の凝灰質粘土・シルト粘土地盤を対象とし、改良剤は有機酸を利用し、写真1の油圧ショベルをベースマシンとして利用、そのバケット部に開発した貫入機を取り付け貫入した穴に有機酸液を注入する事で、掘削し乱した後も  $q_c=400 \text{ kN/m}^2$  以上を確保、転用可能な改良土とする改良法である。

(図1 施工フロー図参照)

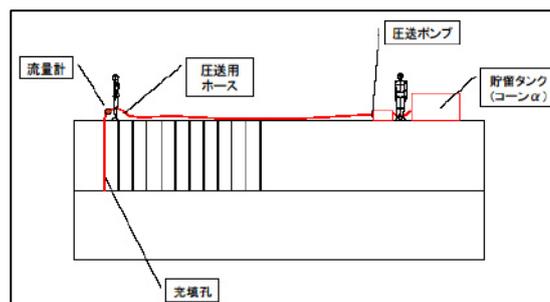


写真1 貫入機装着機械

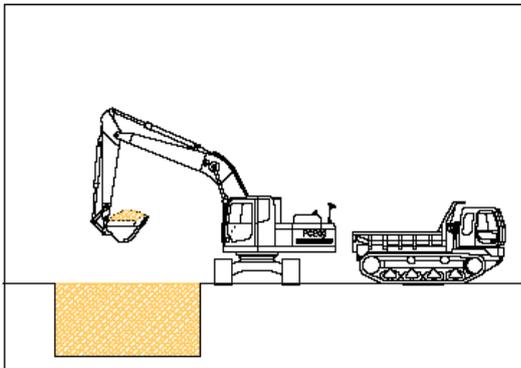
#### 貫入作業



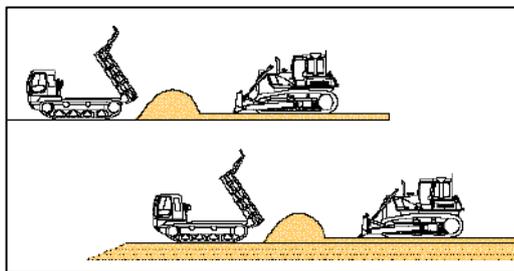
#### 有機酸液注入



試験施工結果による浸透期間15日間養生改良は完了



盛土地へ運搬 ↓コーン指数確認  $q_c=400\text{kN/m}^2$ 以上



敷き均し転圧（土工事作業となる）

図1 施工フロー図

た場合最大2,500mm×3本であった。貫入鋼棒（ジゼル）写真3の強度により左右される事を付け加える。



写真2 貫入作業の状況



写真3 貫入鋼棒（ジゼル）

### 3. 本工法の特徴

①改良に使用するベースマシンは写真1の油圧ショベルでバケット部の交換で簡単に貫入機となり、大きな設備投資は必要ない。貫入機と垂直監視カメラ用配線と運転席モニターが必要。

②貫入作業後はバケット交換により掘削作業へ利用でき、経済的でトータルコスト軽減に貢献出来る。

③本工法は粘性土地盤（乱されていない地盤）に限定した工法であり、砂質地盤等貫入穴変形の恐れのある対象には利用出来ない。この場合は従来の混合攪拌方式により施工する。又、浸透期間決定については対象地の地盤で試験施工により、図2 浸透確認試験要領図の通り決定する必要がある。

④写真4と、図1施工フロー図の通り、改良養生後掘削により改めて改良する事で改良厚さを調整出来る。1回当たりの貫入改良深さは  $q_c=200\text{kN/m}^2$ 以下の凝灰質粘土層で油圧ショベル0.7m<sup>3</sup>写真2を利用し

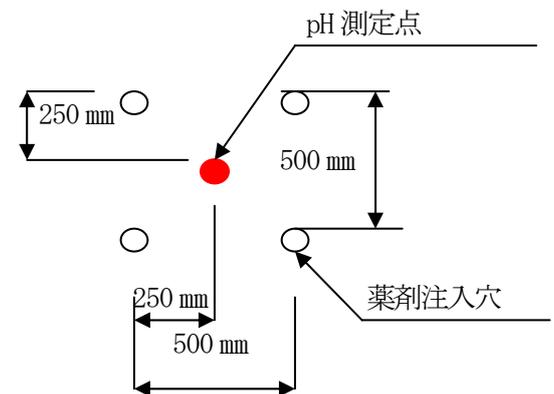


図2 浸透確認試験要領図

⑤有機酸による改良により植生を脅かさない無公害の改良で改良後も産廃とならず、運用できる。

⑥貫入機本体は軽量でコンパクトです。未使用時の保管もモーター等が無く、監視カメラを外せば維持管理費用もあまりかからない。



写真4 改良対象範囲

#### 4. 従来の無公害改良法との比較

従来法には砂混合改良が主に採用されていた、対象粘土に  $q_c=400\text{kN/m}^2$ 以上を確保出来る量の砂を混合する方法である、これは均一な混合が難しく、混合機械併用の必要もあった。粘土が細かく砕けない事が弊害となっていた。粘土地盤は乱す事で扱い難くなる事が原因である。本改良は有機酸液を浸透させる事で混合攪拌した状態とした。これにより、改良作業中の降雨の影響も受けず施工出来、改良後の盛土作業でも作業に併せ改良師板を掘削敷き均し転圧により、天候の影響を受けずに施工する事を可能とした。容積の変化も少なく管理しやすい利点がある。品質の確認では現土を乱したコーン指数  $q_c=200\text{ kN/m}^2$  に対して、写真5改良土の乱したコーン指数  $q_c=500\text{ kN/m}^2$ 平均（盛土試験3層900mm内平均）の結果で、これより写真6 10日経過時に実施した載荷試験では長期許容支持力度  $129.6\text{kN/m}^2$ を確認、造成の中を広げる結果を得た。



写真5 密度試験・コーン指数確認



写真6 載荷試験

砂混合改良法と本工法とのコスト面での比較では、下表1の通りである。

表1

	砂混合改良	本工法
直接工事費	材工共	材工共
1m <sup>3</sup> 当りの価格	3,000 円	1,600 円

参考として、従来改良材使用の場合も本工法と同等の価格である。

改良コストを抑えられた要因として、既存の機械を利用、ベースマシンとし鋼棒を押し込み穴を空ける方法により従来主流の削孔に比べ格段に効率が良くなり全体のコストを抑える結果となった。

#### 5. 問題点とその改善

貫入作業について、ベースマシンに油圧ショベルを採用しているため、アーム全ての動きが円運動となっている、貫入作業は垂直に押し込む運動でそのままでは鋼棒に負担が掛かり変形や破壊につながる事が判明。開発当初は、写真7のバケットに鋼棒を取り付けていた為、判明、改善案を多くもたらした。



写真7 試験貫入施工

## 改善点

- ① バケット用シリンダーが貫入途中と引抜き時鋼棒に曲げ応力をかけ、垂直行動を阻害する為、このシリンダーを使用しないこととした。
- ② 垂直運動を誘導員を配置しても短い鋼棒に対してハッキリした判断が出来ない為、貫入機内に垂直確認カメラを設置、運転席よりモニターにて確認出来るようにした。
- ③ 鋼棒ジゼルの強度不足も考えられるため焼き入れと先端処理により従来鋼棒の強度向上と曲げ応力に対応出来るようにした。
- ④ 有機酸液の注入について、その流量管理が必要となり、流量計とその記録システムを有機酸に対応出来るもので、メーカーに発注製造した。

写真7 → 写真1

## 6. 実績

①千葉県内区画整理事業において造成対象現場に凝灰質粘土層が6mの厚さに分布( $q_c=200\text{kN/m}^2$ 以下)で、改良の必要があった。

現場は湧水箇所を多く抱え、稀少種植物もあり、計画段階より改良はpH他湧水への影響の無いものとし、無公害改良にて $q_c=400\text{kN/m}^2$ 以上に改良し利用する事となった。各種の改良法が検討され、改良面を流れる雨水排水のpHの問題と植生により本工法による23,400 $\text{m}^3$ の改良が採用された。養生期間については事前試験施工により、図2 浸透確認試験要領図により測定点の測定管内のpH値が弱酸性(5以下)を確認、決定した。

今回浸透試験により決定した養生期間15日の時間的ロスも貫入注入作業後16日目より掘削作業を開始出来たため、問題とならなかった。23,400 $\text{m}^3$ の改良は4層に分割して改良した。1層の最大改良深さは2,500mmで、貫入作業は900本/機/日であった。これは1日当り562.5 $\text{m}^3$ の改良土量であり、養生期間を除けば、従来改良1日当りの施工量350 $\text{m}^3$ (平均)に比べ効率の良い改良法と判断できた。又、貫入作業後バケット交換によりベースマシンを掘削機として使用したため、効率の良い施工を可能に出来た。施工品質についても、全て合格判定となる、

コーン指数 $q_c=400\text{kN/m}^2$ 以上を確保し満足した。



写真8 実績現場での改良状況

②宅地造成工事において宅地造成完了地盤の不良層の改良についても実施し、サウンディングの結果より自沈不良層に本工法にて、有機酸液を注入養生後、再度試験を実施自沈不良層を改善出来た。写真9



写真9 実績宅地での補修改良状況

## 7. まとめ

専門工事業の大崎建設が新たな商品を設けるため実施した土質改良法を建設機械の改良を交え、改良品質結果とともに紹介した。次年度工事でも今回改良剤が設計採用となっており、施工機械の更なる改良が必要と考えている。シルト粘土の地域の開発が手付かずになっている場合が多く、本改良を広める為、活動して行く予定である。最後に、貫入機開発にあたり、コマツ東京(株)・新キャタピラー三菱(株)に協力いただいた事を付け加える。

## 36. 機内から障害物を撤去する推進工法の開発と下水道工事の施工例

### －着脱・再掘進型管路築造（DAPPI）工法－

大豊建設株式会社 東京支店土木部 ○萩野淳三  
東京支店千住特殊推進作業所 大和田剛  
エンジニアリング本部技術開発部 近藤紀夫

#### 1. はじめに

近年、大都市における下水道などの管路建設において、計画路線上に既設構造物築造時の鋼矢板などの仮設物が残置されている場合があり、これらが工事の大きな障害になる事例が増えている。このような事例の中で周辺の条件などから、この障害物を撤去するための立坑設置が困難な場合も多く、事業の実施が遅れる状況も発生している。これらを解決する工法として、泥土圧推進工法をベースに、掘進機内から障害物を安全確実に撤去し、再掘進を可能にした着脱・再掘進型管路築造工法（DAPPI工法）を開発した。本工法の名称は、外殻から掘進装置を引き抜くところが、昆虫などが殻から脱皮する様子にイメージを重ね合わせてダッピ工法とした。本工法は東京都下水道局発注の足立区千住寿町、千住四丁目付近再構築工事の仕上り内径φ1350mmの推進工事において初めて採用され、坑内から残置鋼矢板の撤去が完了したので、工法および工事の概要について報告するものである。

#### 2. DAPPI工法の概要

DAPPI工法は、掘進途中に地中障害物が存置されている場合に、管渠内から障害物を撤去し、再掘進して所定の管渠を築造する工法である。本工法に用いる掘進機は、写真-1および図-1に示すようにカッターヘッド及びカッター駆動部からなる切羽掘進装置が外殻部と着脱可能であり、カッターヘッドはスポーク型で固定式カッターと伸縮できる可動式カッターから構成されている。可動式カッタースポークは、駆動軸から偏心して配置しているため、スポーク内に長いストロークのジャッキが挿入できる。そのためカッター

の伸縮量を大きくでき、カッターを推進管の内径より小さく縮径することができる。可動式カッターは機内からの遠隔操作で伸縮自在であり、確実にカッターを縮径、拡径でき、切羽掘進装置を安全に引き抜き、搬出、搬入、再装着することができる。



写真-1 φ1600mm DAPPI 掘進機

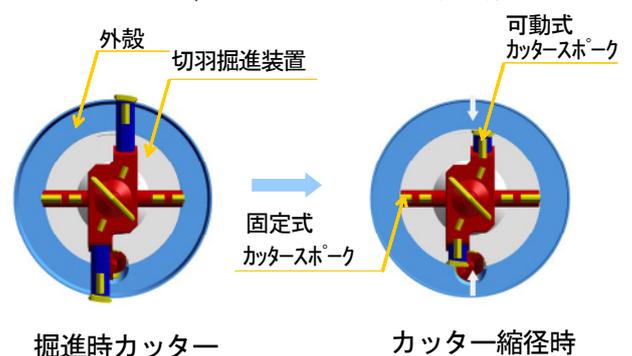


図-1 カッター伸縮状況図

DAPPI工法の切羽の安定は、掘削土砂に添加材を注入するとともに、カッター背面の攪拌翼で攪拌し塑性流動性と不透水性を有する泥土に変換し、泥土圧で切羽を保持する泥土圧方式を採用している。

またDAPPI工法の発展と普及を図るために、建設会社10社、メーカー3社でDAPPI工法技術研究会を設立している。

### 3. 工法採用の利点

本工法の採用により以下の利点が考えられる。

- ①障害物撤去を坑内からできるため周辺地域への環境負荷が小さい。
- ②工事実施にあたり交通規制や道路占有期間が短い。
- ③地元住民との交渉などが少なくなるため、事業計画の立案と実行が容易で事業の遅延が発生しない。
- ④撤去の立坑を設けないため、交通事故などの第三者災害の要因が少なく、安全である。
- ⑤事業全体の工期短縮・コストの低減が可能。

### 4. 工法の特長

#### 1) 安全確実な障害物撤去が可能

障害物撤去時には、切羽掘進装置を引き抜き搬出し、広い作業空間を確保できるため安全確実な障害物撤去が可能である。

#### 2) 機内からのカッター伸縮操作が可能

切羽へ出ることなく機内から遠隔操作でカッターを伸縮できるため、切羽掘進装置の引き抜き、再装着が可能である。

#### 3) 大きなカッター伸縮により、引き抜き・装着が容易

可動式カッターは、回転駆動軸に偏心して取り付けられているため、カッター伸縮量が大きく、カッターを推進管内径より小さくできることから管内の搬送が容易である。

#### 4) 既設の人孔・管渠への接続・回収が可能

既設の人孔や管渠へ到達し、掘進機を到達部から回収できない場合でも、切羽掘進装置を発進立坑へ回収し、別の路線へ転用できる。

#### 5) 異なる管径への転用が可能

カッター伸縮量が大きいいため、推進管の規格で1~2ランク程度異なる管径の掘進機に切羽掘進装置を再転用できるため、経済的である。

### 5. 適用範囲

DAPPI工法の適用範囲は、管内径1350mm~3000

mmのコンクリート推進管及び合成鋼管などや超大口径推進管を用いた推進工事や、これらと同程度の外径のシールド掘進機に適用できる。

### 6. 施工手順

発進立坑から掘進、障害物撤去、再掘進に至る施工フロー図および着脱再掘進手順図は図-2、図-3に示すとおりである。

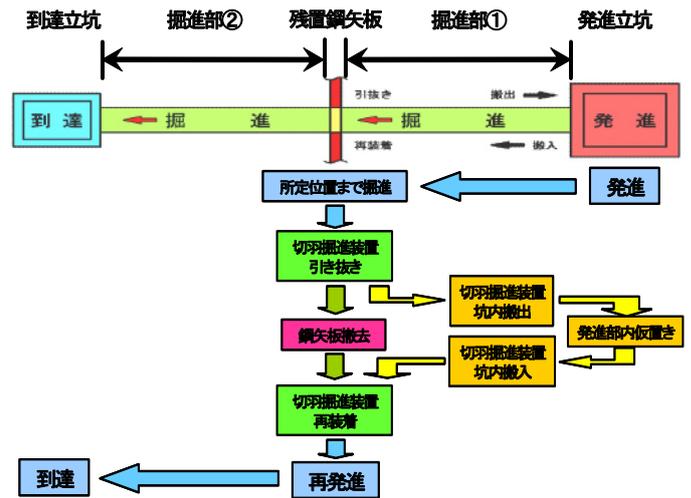


図-2 障害物撤去フロー図

#### ① 地中障害物位置まで掘進

あらかじめ地中障害物前後の地盤改良を地上から行い、掘進機を障害物位置の直前に到達させる

#### ② カッタースポーク縮径

機内からの遠隔操作で、流量計やストローク計で縮径量を確認しながら伸縮カッターを縮径する。

#### ③ 後続設備、スクリーコンベア、配管類を搬出

掘進機の操作盤、油圧ユニット、制御盤台車、土砂搬出設備、スクリーコンベア、油圧配管などを坑外へ搬出する。

#### ④ 切羽掘進装置引き抜き・搬出

けん引装置、バッテリー機関車などで切羽掘進装置を掘進機内から管渠内へ引き抜き、順次坑内を牽引して発進立坑まで搬出する。

#### ⑤ 障害物撤去

掘進機の外殻内の作業空間で、鋼矢板などの障害物を順次切断・撤去し、坑外へ搬出する。撤去時には、必要に応じ圧気工法を併用する。

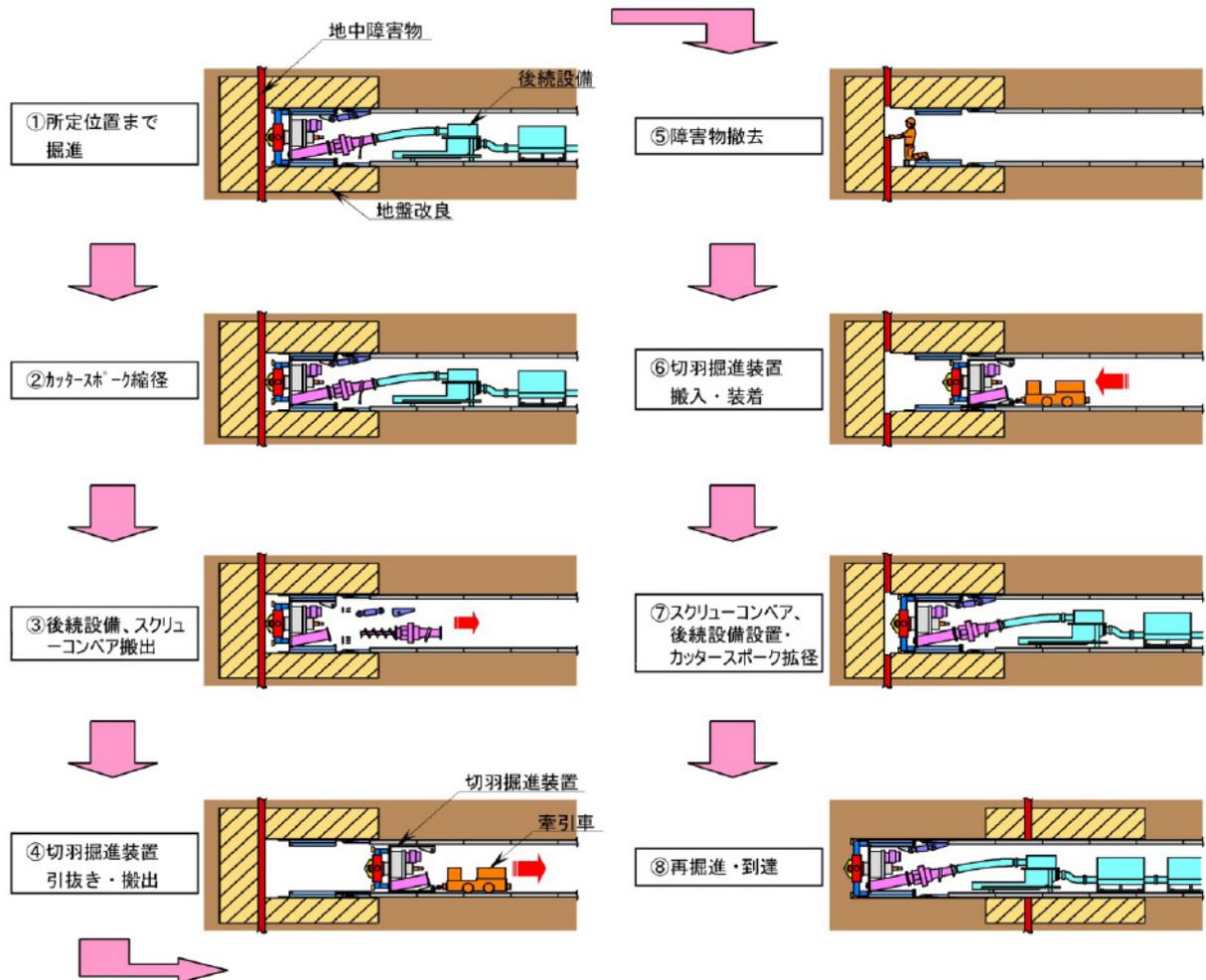


図 - 3 着脱再掘進手順図

⑥ 切羽掘進装置搬入・装着

障害物除去後、切羽掘進装置をバッテリー機関車で搬入し、掘進機の外殻内に装着する。

⑦ スクリューコンベア、後続設備などの設置・カッターの拡径

スクリューコンベア、方向修正ジャッキの取り付け、後続設備、土砂搬出設備の設置、配線、配管の接続後、カッタースポークを拡径させる。

⑧ 再掘進・到達

カッタートルク、回転数、チャンバー内土圧などを確認し、再掘進を開始し、到達立坑に到達させる。

7. 施工実績

7.1 工事概要

本工事は、泥土圧推進工法により国道4号線を横断して管路を築造する工事であり、この国道下に鋼

矢板が2か所残置されていた。国道4号線は、交通量が極めて多く、道路を占有して鋼矢板撤去用の立坑を築造することが困難であり、坑内から残置鋼矢板を切断・撤去できる本工法が採用された。また本路線は、周辺に民家の密集する狭隘な道路下であり、発進立坑の築造スペースもないことから、施工が完了している既設のシールドトンネル坑内に推進の発進設備、掘削土搬送設備を設けて掘進するきわめて厳しい条件の推進工事である。

工事名：足立区千住寿町、千住四丁目付近再構築工事  
発注者：東京都下水道局

施工者：大豊・ピーエス三菱建設共同企業体

管内径： φ1350mm

管外径： φ1600mm

管路延長： 542.35m

土質： 粘土質砂 (N=5~33)

粘土 (N=2~6)  
 土かぶり : 14.1m~21.6m  
 地下水位 : GL-2.0m  
 最少曲線半径 : R=200m  
 推進管 : 合成鋼管 (長さ 1.2mの半管)  
 鋼矢板撤去工 : 鋼矢板IV型 2か所  
 鋼矢板撤去部地盤改良工 : M J S, C J G

図-4 に掘進部の土質縦断面図、図-5 にDAPPI 掘進機の概要図を示す。

## 7.2 施工概要

発進部は図-6 に示すように、あらかじめ地上から発進部および反力部の地盤改良をC J G工法で実施した後、内径φ3000mmの鋼製セグメントで構築されているシールドトンネル内から掘進機・推進管を設置する発進横坑を構築した。この発進横坑は、ライナープレートと補強鋼材で支保を行い、発進坑口、エントランスを設置した。推進反力を受ける支圧壁はH型鋼をボックス状に加工してモルタルを充填した合成構造とし、かつ既設のセグメントと一体化した。元押しジャッキ架台は移動式とし、掘進機及び半管の推進管を設

置した後、元押しジャッキ架台を支圧壁に設置し推進を行った。推進管は半管2本を一度に設置し、2.4m推進する度に元押しジャッキ架台を移動し、管の設置、推進を順次行った。残置鋼矢板の位置まで推進し、先の手順図に示した要領で鋼矢板の切断、撤去を行った。掘削土砂の搬出は、掘進機から発進坑口まではバキューム方式を用い、発進坑口からシールドトンネル内および立坑上へは土砂圧送ポンプを用いた。

ジャッキ台の移動、推進管2本の設置、ジャッキ台の設置、配管接続、推進管2本掘進の1サイクルで、約4~5時間要した。障害物の撤去部への到達から、切羽掘進装置の引き抜き、鋼矢板の切断、撤去、切羽掘進装置の装着、再発進までの所要日数は、約1か月であった。

切羽掘進装置の引き抜き・再装着は、工場内での実験より、やや時間がかかったが大きなトラブルもなく順調に実施できた。推進時の元押しジャッキの推力は、約1か月の掘進停止後でも300tf程度で、装備した元押しのジャッキ(600tf)で到達付近まで推進できた。到達部の地盤改良区間は、中押しジャッキを併用して推進した。

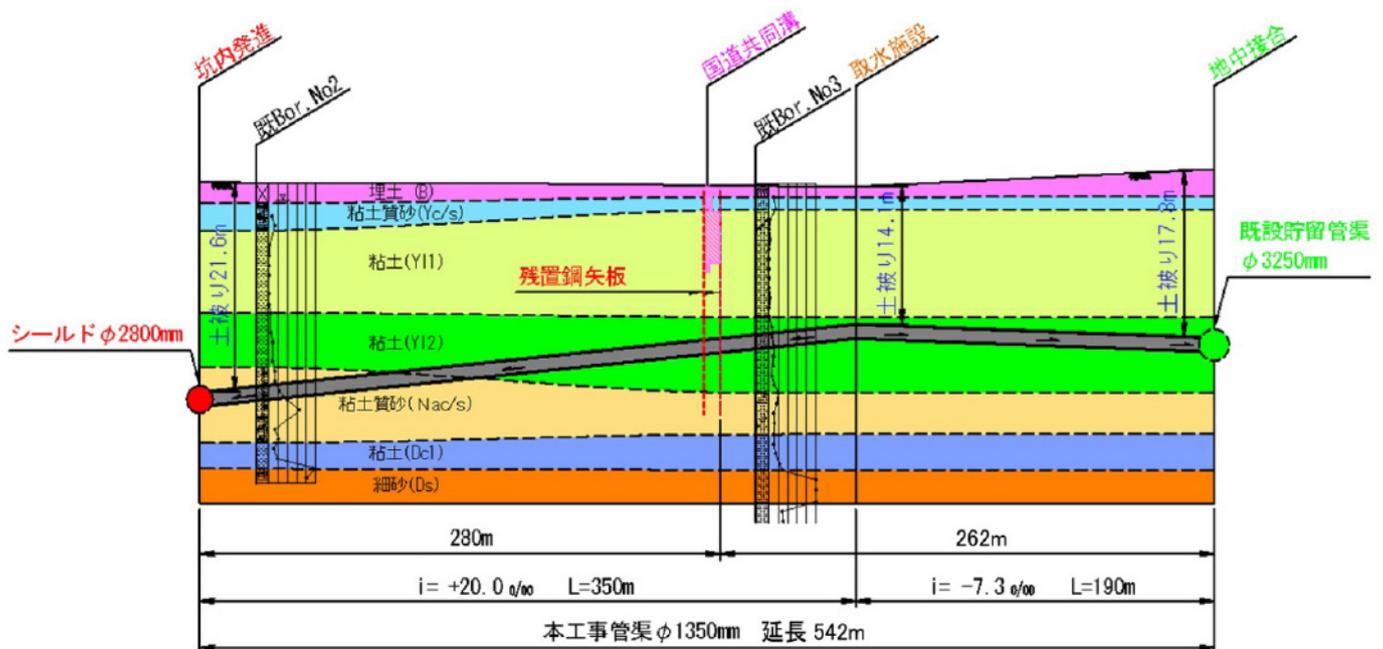


図-4 土質縦断面図

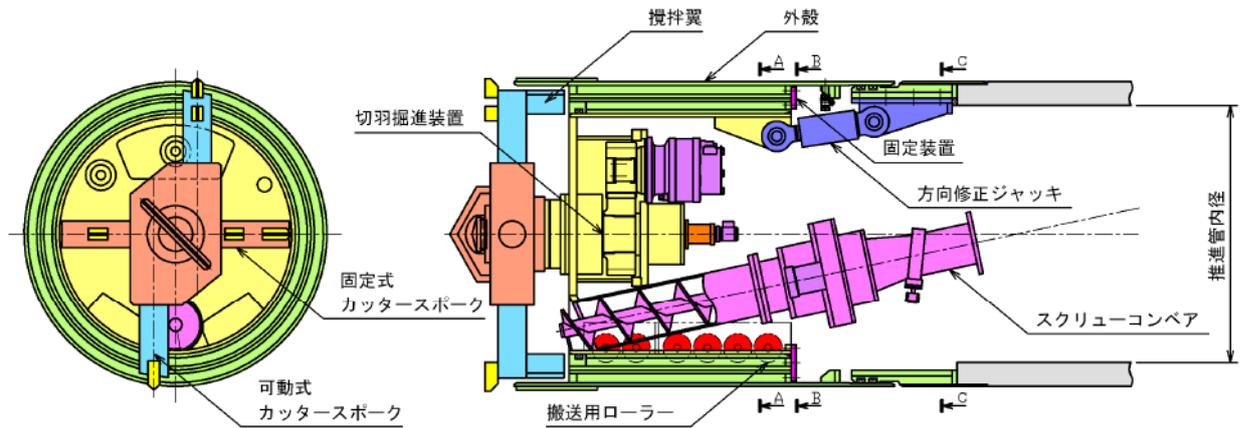


図-5 DAPPI掘進機概要図

発進部の仮設計画、反力壁、地盤改良状況を図-6に、  
発進部のジャッキ架台、坑口状況を写真-3に示す。

切羽掘進装置を引き抜いた後、掘進機の外殻内の広い  
スペースで、鋼矢板を切断している状況を写真-4に

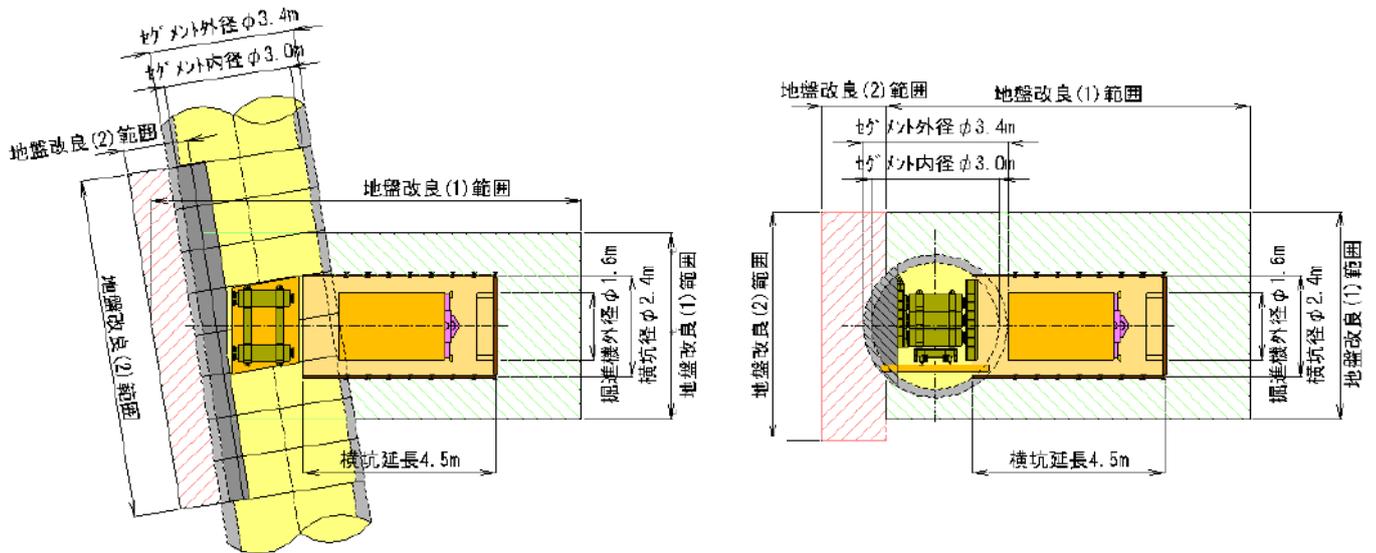


図-6 発進部の仮設計画



写真-3 元押しジャッキ・反力設備状況



写真-4 鋼矢板切断状況

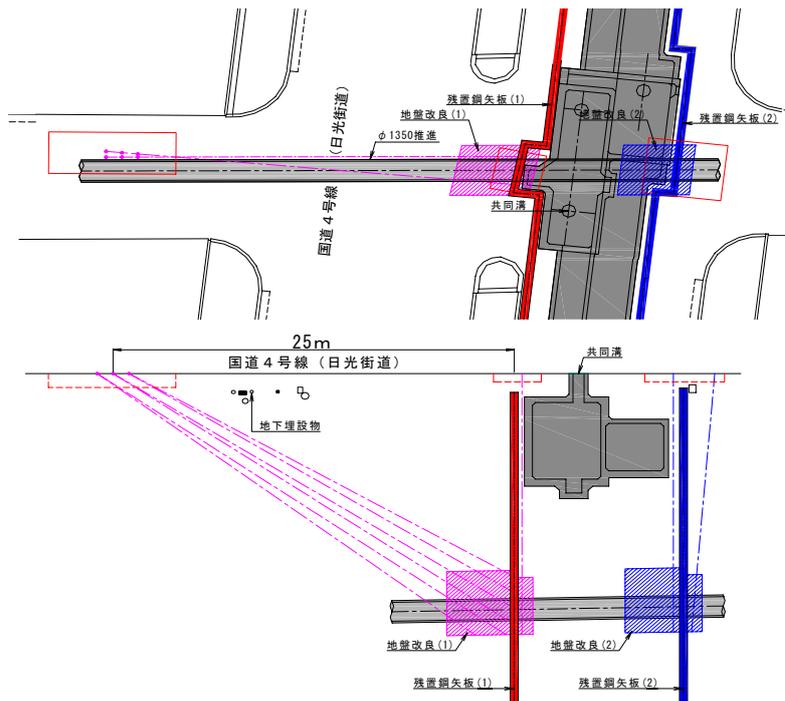


図 - 7 残置鋼矢板部地盤改良図



写真 - 5 鋼矢板撤去完了状況

写真 - 5 に鋼矢板撤去完了状況を、図-8 に推力変化図を示す。

#### 8. おわりに

都市部の管渠再構築工事などでは、既設の構造物構築時に仮設の地下埋設物が残置されている場合が今後も考えられ、これらを坑内から撤去して掘進する工法の必要性はさらに高くなると考えられる。本工事で得られた貴重な知見を踏まえ、さらに工法の改良、発展を図りたいと考える。本工法の計画、採用、施工にあたり、ご指導いただいた東京都下水道局はじめ関係各位に感謝と御礼を申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 近藤紀夫：外殻から掘進装置を引き抜く DAPPI 工法、月刊推進技術 Vol. 22 No.3 2008

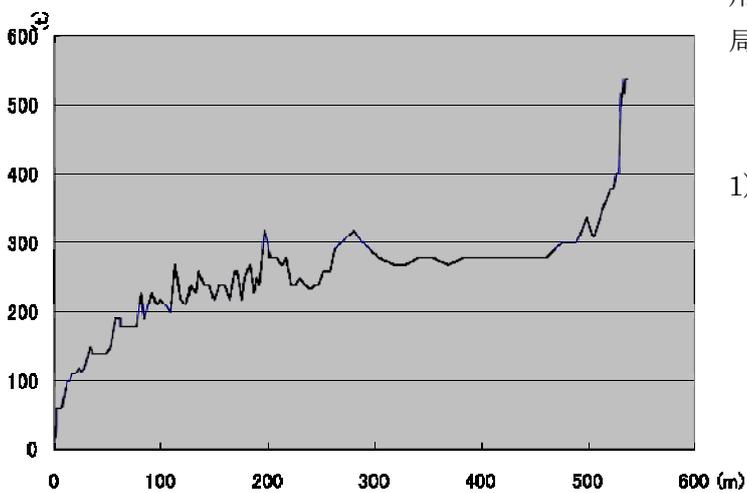


図 - 8 推進時推力・推進延長

# 37. キャビテーション噴流技術を用いた高速清掃装置の開発

(株)高速道路総合技術研究所 施設研究部 施設研究室 ○時枝 寛之

## 1. はじめに

トンネル内には安全で快適な走行を目的として照明設備が設置されており、これらの照明器具は排ガスの粉塵や雪氷作業による凍結防止剤の付着により明るさが低下していくため、定期的な清掃が必要である。



図-1 トンネル照明器具の清掃状況

現在トンネル照明器具の清掃は、回転ブラシで擦るようになっており(図-1)、灯具のガラス面とブラシ位置を正確に合わせながら進む必要があるため、清掃速度が1~2km/hと非常に遅い。このため渋滞や事故の要因ともなる交通規制が必要であり、サービスレベルの低下が懸念されている(図-2)。

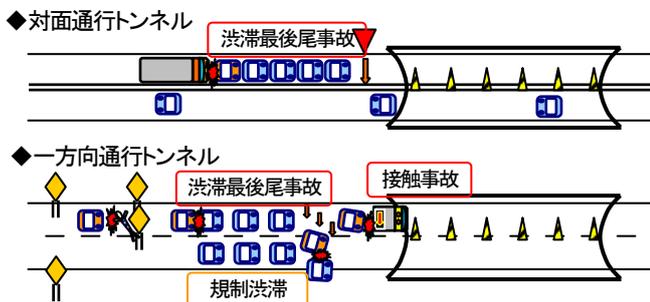


図-2 車線規制に伴う事故や渋滞

本開発は非常に清掃効果の高い気泡を含んだキャビテーション噴流技術を用いたトンネル照明器具の高速清掃に活用し、高速道路の最低走行速度である50km/hでの高速清掃を実現し、事故や渋滞等のお客様サー

ビスの低下原因となる車線規制を削減することが目的である。

本開発は平成16年度から始め、トンネル照明器具高速清掃装置は平成19年度に実用装置として完成した。その開発の状況を報告する。

## 2. 基礎検討

### 2.1 トンネル照明器具清掃の過去の検討

回転ブラシによるトンネル照明器具清掃の清掃速度の遅さ、非効率さは従前から問題となっており、過去にも様々な検討がなされてきた(表-1)。

表-1 過去の検討状況のまとめ

評価項目	高圧水噴射	水溶洗剤噴射	ドライイブラスト	重曹噴射(ワブラスト)	フォーム噴射
①高速清掃が可能	△	×	×	×	×
②清掃効果が高い	×	△	○	○	△
③照明器具等を損傷しない	○	○	×	×	△
④一般車へ影響がない(飛散)	×	×	○	×	○
⑤汚水廃棄物処理施設が不要	○	×	○	○	○
高速清掃実用化	×	×	×	×	×

トンネル照明器具に付着する汚れは、排気ガスに含まれる油脂分や凍結防止剤が照明の熱(130℃程度)により固着しており、単なる高圧洗浄や洗剤溶液をかける程度ではきれいに落とすことができない。また洗浄汚水の処理が必要な手法や、隣の車線には一般車両が通行しているので、周囲へ洗浄物が飛散するような手法も実用では使えない。それぞれの清掃方法にそれぞれの課題や問題があり、現在まで清掃速度の高速化はできなかった。

### 2.2 キャビテーション噴流技術について

水やお湯は流れ中での圧力が飽和蒸気圧より低くなったときに、液体が蒸発したり溶存気体の遊離で

気体が生じたりして気泡が生じる（図-3）。

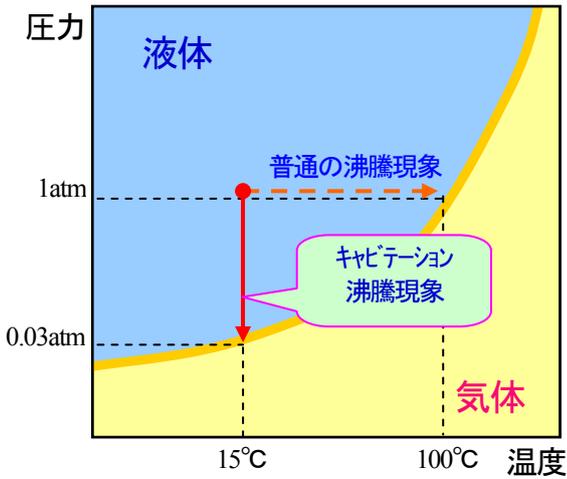


図-3 キャビテーションと飽和蒸気圧

気泡は間もなく周囲の圧力や物体に接触すると一瞬で潰れる（図-4）。このとき金属をも破壊する強い衝撃力が発生する。

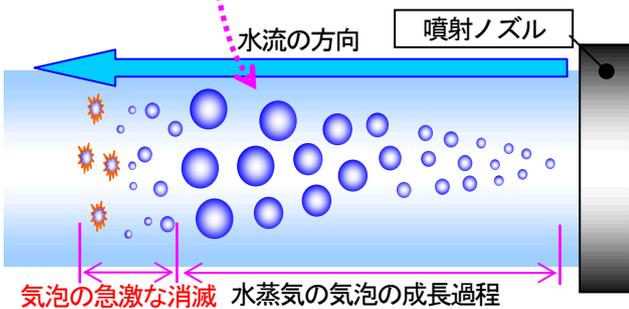
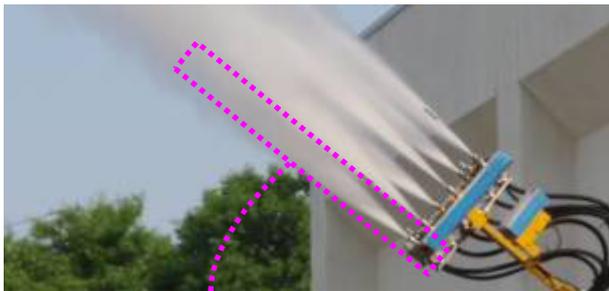


図-4 キャビテーションの気泡の発生と消滅

この気泡発生から消滅までの現象のことをキャビテーションという。

古くから船舶のスクリューやポンプ等が破壊され、また騒音や振動を引き起こす破壊現象として知られており、キャビテーションに関する研究は、主に発生を抑制することを目的として行われてきた。

しかし昨今では高圧ジェット噴流の圧力と温度を制御し噴流内にキャビテーションを効率よく発生さ

せて、大気中にキャビテーション噴流を噴射することが可能となり、ビル外壁の古くなった塗装の除去等に活用される等、有効に利用する研究がなされるようになった。

この「キャビテーション噴流」は非常に高い破壊力のある気泡を含んでいるため、従来のウォータージェットに比べるとポンプ圧力が1/5～1/6と少ないので設備規模が少なく済み、さらに水圧が低いメリットとして、設備や構造体の母体まで破壊せずに表面の劣化部だけを除去することが簡単にできる。また、使用する水量が少なく洗剤等環境汚染物質を含んでいないため、周辺への飛散も少なく洗浄後の汚水を処理する必要もないので環境にやさしい。なお、破壊力の強弱は噴射ノズルの遠近により容易に調整ができるため、扱いが簡単であるという特徴がある。

このキャビテーション噴流技術をトンネル照明器具清掃に活用し、従来成し得なかった清掃速度の高速化を実現した。

### 3. 要素試験

清掃装置の開発にあたり、キャビテーション噴流の清掃能力を調査する実験や、噴射ノズルの位置を制御するアクチュエーターの開発に必要な要素試験を行った。

#### 3.1 トンネル照明器具の汚れに対する清掃能力の確認試験

キャビテーション噴流のトンネル照明器具に対する清掃能力については未知数であったため、要素試験により清掃能力を調査した。

試験方法はトンネル内の粉塵を分析して製作した擬似汚れを試験片ガラスに付着させ、従来の回転ブラシによる清掃とキャビテーション噴流による清掃との比較を行った。なおキャビテーション噴流は噴射ノズルの移動速度、試験片との離隔を変化させて、清掃速度と噴射離隔と清掃効果の関係を調査した（図-5）。

計測方法は清掃前後に試験ガラス裏面に白紙をあてがって反射率計を用いて測定を行った。

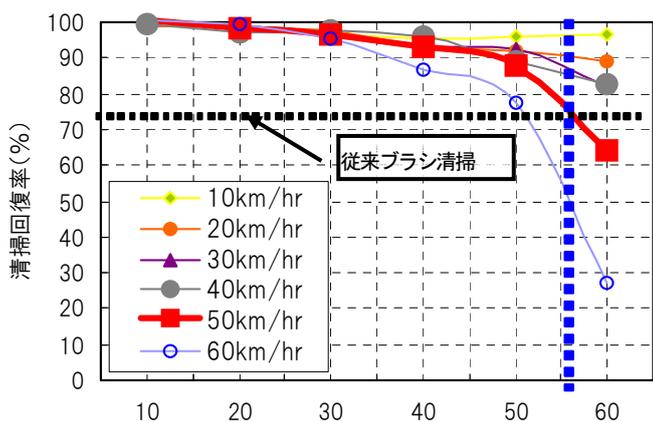


図5 洗浄ノズルと照明器具までの離隔(cm)

図-5の横軸がノズルと試験片の離隔距離 (cm) で縦軸が清掃回復率 (%) であり、手拭清掃によって完全に汚れを落した状態を100%としている。

従来の回転ブラシ (時速 1.5km/h 程度) による清掃回復率が 73.4%なのに対して、従来回転ブラシと同等以上の清掃効果を 50km/h で達成するためには、洗浄ノズルを 55cm 以内に近づければ良いことがわかった。

なお離隔が55cm以上になる場合や、速度が60km/h以上となると、急激に清掃能力が低下することがわかった。これは走行風が大きく影響しているためで、清掃能力向上のためにプロトタイプでは噴射ノズル付近に風防を設置している。

将来的には清掃速度を向上させたいが、このとき走行風への対策が大きな課題になると思われる。

### 3.2 キャビテーション噴流の破壊力の確認試験

清掃と破壊は紙一重であり、キャビテーションは金属をも破壊する現象として知られていることから、噴流が強すぎるとトンネル照明器具の表面や周辺設備も破壊してしまう恐れがある。よって、破壊力を把握し十分に安全対策を検討する必要がある。

基本的には時速 50km/h で清掃を行うため、1箇所を集中的に噴射することはないが、路面に障害物がある場合等、清掃速度低下や停止状態になることも考えられるので、キャビテーション噴流を1箇所に集中的に噴射させた破壊試験を行った。

図-6は厚さ8mmの強化ガラスであるが (トンネル内非常電話ボックスのガラス)、10cm程度の至近

距離から噴射させると50秒程度で破壊されてしまう。また図-7はトンネル照明器具やその他トンネル内に添架されているケーブルであるが、これも10cm程度の至近距離から噴射すると5秒程度で被覆がなくなってしまう。

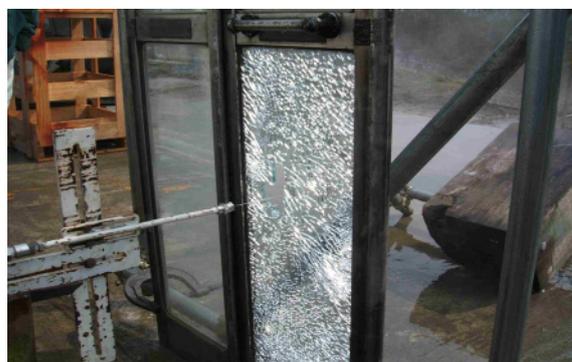


図-6 強化ガラス(8mm)の破壊試験



図-7 ケーブルの破壊試験

これら試験から装置を開発するにあたり近接時や速度低下時に噴流が1点に集中しないようにするために、自動噴射停止装置が必要となることがわかった。そこで噴射を停止させなければならない危険な速度や距離を調査するため試験装置を開発した (図-8、図-9)。



図-8 回転繰返し噴射試験機

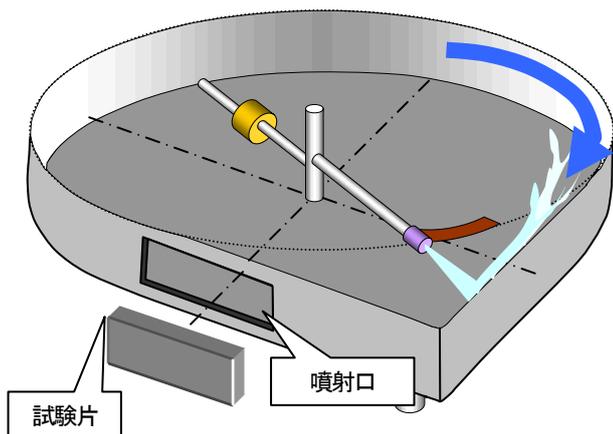


図-9 回転試験機の内部

この試験機は、スィベルジョイント機構により、回転しながらキャビテーション噴流を噴射することができる装置であり、ノズルの速度（角速度）と試験片との離隔を任意に設定することが可能である。

また噴射口はノズルが設定した速度に達すると自動的に開放し、設定した回数が噴射口より噴射されると自動で閉じる自動開閉制御装置を備えており、予め設定した速度、離隔及び回数で正確に試験片にキャビテーション噴流を噴射させることが可能である。

この試験により、離隔が 15cm 以内になると、清掃速度が 10km/h 以下になると急激に破壊力が高まることがわかった。プロトタイプには離隔や速度に応じて噴射を自動で停止する装置を備えることとした。

#### 4. キャビテーション高速清掃装置の開発

キャビテーション噴流の清掃能力等が要素実験によって明らかとなったので、トンネル照明器具を 50km/h で清掃することができるキャビテーション清掃装置の詳細設計とプロトタイプの製作を行った。

##### 4.1 装置構成

キャビテーションを発生させるための装置構成を図-10 に示す。ディーゼルエンジンから V ベルト等から取出した動力で高圧ポンプを運転させて水タンクからの洗浄水を加圧する。なお、このとき高圧ポンプ内や配管内等でキャビテーションが発生するのを抑えるため、洗浄水温度は低く保たれている。

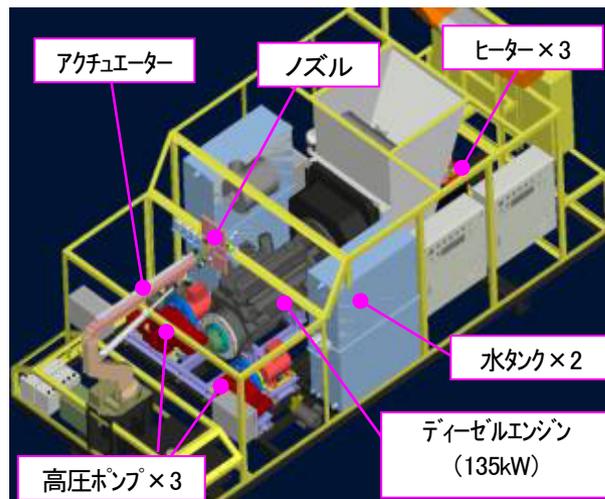


図-10 キャビテーション清掃装置の内部

高圧化された洗浄水は噴射ノズルの手前でヒーターによって 80℃程度の温水にされる。ヒーターは高圧水に耐えられる必要があるため特殊で高価なものとなるが、装置内部でキャビテーションを発生させないために加熱は噴射までの最後工程で行う必要がある。最後にこの高圧温水を特殊なノズルから噴射させると、高圧噴流の中にキャビテーションの気泡が発生する。

##### 4.2 アクチュエーターの開発

ノズルをトンネル照明器具の位置に合わせるためのアクチュエーターの開発を行った。アクチュエーターはロボットアームのような高精度なものも考えられるが、

- ①屋外で使用するため、耐久性が必要。構造がシンプルの方がよい。
- ②車両に搭載するため振動に強い。高所作業車やクレーン車等での実績がある。
- ③汎用性能高い油圧動力を活用したい。

これら条件を満たすものとして、油圧式のアクチュエーターを開発した（図-11）。

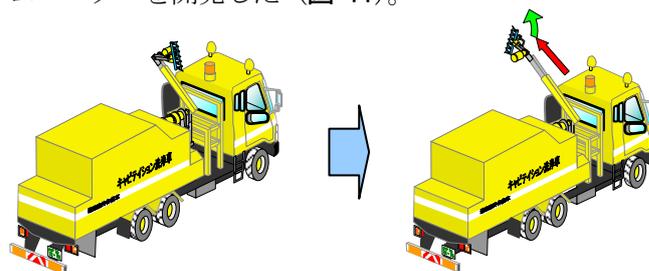


図-11 アクチュエーターの作動図

駆動軸は旋回、仰俯角、伸張、ノズル部仰俯角の4軸となっており、トンネル照明器具の様々な設置位置や取付け角度に対応できるようになっている。

#### 4.3 GPS連動自動位置合わせ制御装置の開発

トンネル内に進入しトンネル照明器具の清掃を行う前に、予めトンネル毎に設置位置が異なる器具位置にノズルを合わせておく必要がある。本装置は車線規制の削減を目標としているので、ノズル位置を照明器具に合わせる時も、50km/h以上で走行しながら行う必要がある。

この速度でオペレーターが目視とレバー操作によって位置を合わせることは困難であるため、GPSで現在地とトンネル入口までの距離を計測しながら、段階的にノズルを照明器具位置に自動で合わせる「GPS連動自動位置合わせ制御装置」を開発した(図-12)。

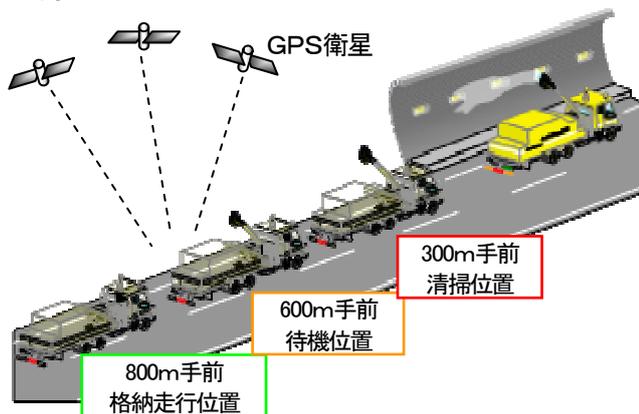


図-12 GPS連動自動位置合わせ制御装置

トンネル毎、走行車線側、追越車線側それぞれで、事前に入口の緯度経度データと器具位置の計測が必要であるが、このGPS連動制御装置により準備段階から清掃まで50km/h以上で実施することが可能である。

なお、待機位置になるとキャビン内の左右Aピラーに備え付けた警報ランプのうち、アクチュエーターが伸張した方向(走行または追越)のAピラーのランプが点灯する。オペレーターはそれを確認してから「確認ボタン」を押すと清掃を開始する。これによりヒューマンエラーを防止する。

実際の清掃は自走式標識車等の後尾警戒車を伴った移動規制で行うことになるが、各都道府県警高速

隊との協議等関係機関との調整が必要である。

またトンネル内に進入後もノズル位置の微調整が必要となる。これはトンネル内にカーブがあると装置にかかる遠心力や横断勾配によって装置全体が傾き、キャビテーション噴流が照明器具を外してしまうためである。このため助手席のオペレーターが監視カメラモニターを見ながらレバー操作でノズル位置を調整できるようにした(図-13)。



図-13 照明器具とノズルの位置関係モニターと操作レバー

この微調整作業は、あえて手動で行うこととしたが、これは開発当初から半自動をコンセプトに掲げており、過去に機械開発関係で無理に全自動を求めた結果、融通の利かない扱いにくい装置になったことがあり、特にこのような道路環境で使用する機械が精密過ぎると耐久性等実用機としての信頼性確保が困難となるからである。ただし手動作業をカバーするために、以下各種安全装置を備えることとした。

#### 4.4 安全装置の開発

周囲に一般車両が通行している高速道路で、安全に高速で清掃作業を行うために、以下の安全対策機能を開発した。

##### ①ノズル部分の路上設備等への接触回避機能

ノズル部付近のレーザーセンサーが近接を感知するか、またはリミットスイッチが障害物に接触すると自動でアクチュエーターが収縮して回避する機能を設けた(図-14)。回避動作時は作動油の油量を通常より増し速やかに回避する。

##### ②ノズル部が路上設備に接触した場合の被害軽減対策 上記回避機能で回避しきれずにノズル部が照明器

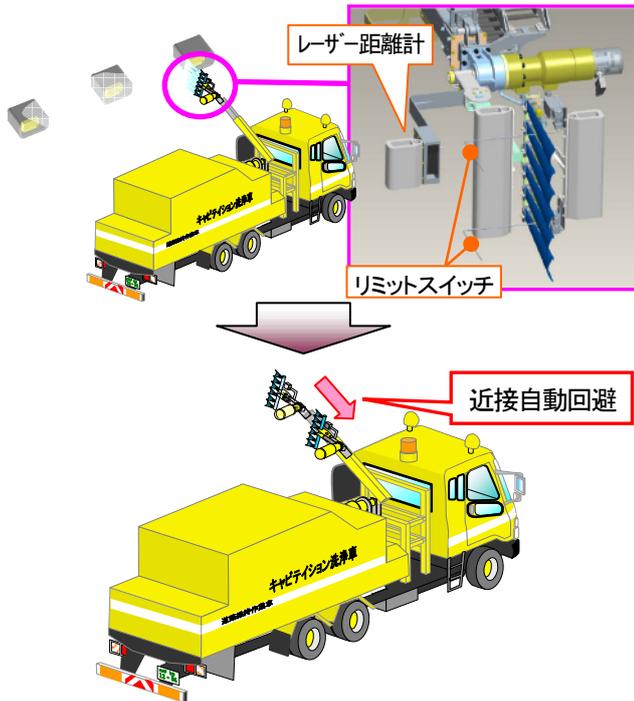


図-14 接触回避装置

具等に接触した場合に、設備破壊を軽減するためノズル部に各種衝撃緩和対策を行った（図-15）。

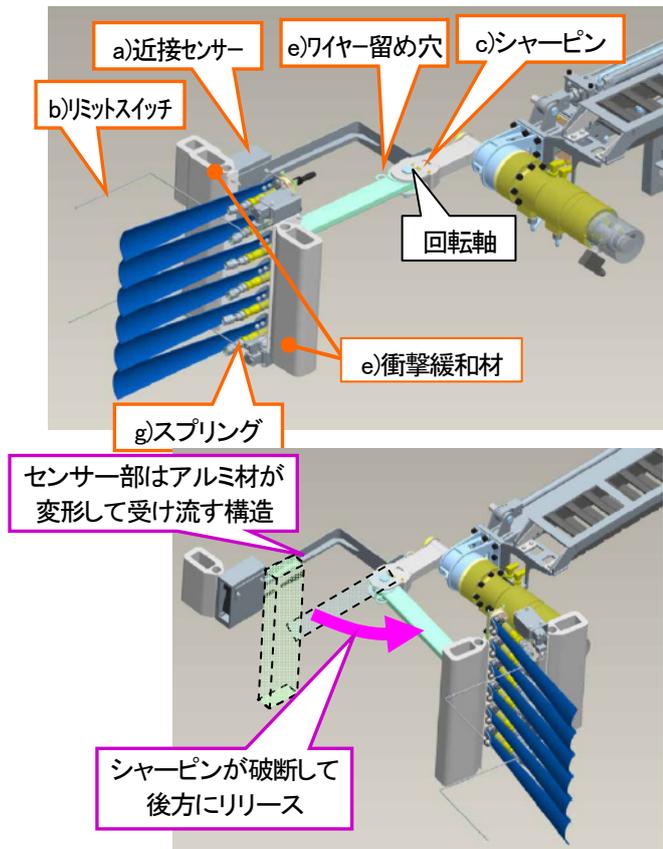


図-15 ノズル部付近の接触対策

設計思想としては、キャビテーション装置側は堅牢な構造とせず、軽量構造で破損して力を受け流す

ものとしている。また破損したノズル部が後方の一般車両に飛んでいかないようにするために脱落防止ステンレスワイヤーを取付けている。

### ③破壊力の強いキャビテーション噴流による路上設備の破壊防止対策

破壊力の強いキャビテーション噴流で路上設備を破壊してしまうことがないようにするため、近接時または低速時に自動でキャビテーション噴流を停止させる機能を開発した。これはノズル部付近のレーザー式距離計による近接監視及び車両本体から車速パルス信号を取り出して常に車速監視することで可能とした。これによりキャビテーション噴流が1箇所集中して設備を破壊するのを防ぐことができる。

### 5. フィールド試験と実用機としての完成

装置の性能確認のため、様々な条件でフィールド試験を行った（図-16）。試験は平成18年度から行い、途中で装置改良を行いながら、最終試験を平成19年10月に行い装置を完成させた。

最終試験時には関係会社関係者だけでなく、警察関係者にも作業の安全性に問題がないか確認をしていただいたが、安全性等に指摘や改善要望はなかった。ただし、雨天時湿度の高いときには、キャビテーション噴流が気化せずに、噴流の一部が周辺の車両にかかった。操作方法だけでなく、このようなキャビテーション噴流の特性を使用者に理解していただくことも必要であることがわかった。

今後は清掃だけでなく錆落とし等の応用技術に関して研究を行っていく予定である。



図-16 東海北陸道での試験状況

## 38. 横衝撃を受ける梁のたわみと動的荷重の関係

(動的載荷試験の静的設計への利用法に関する一考察)

東海大学大学院 ○難波 達郎

東海大学大学院 長田 健吾

東海大学工学部 近藤 博

### 1. はじめに

構造部材の設計は、静的力学を基礎としている。よって、構造部材が動的力を受ける場合でも、衝撃係数的なものを採用して、静的耐力計算を基礎とした計算法によって設計を進めている。この方法は、現状では妥当な手法と考えられる。たとえば、建設機械の転倒時保護構造等の設計法もその例である。

動的問題の合理的な設計法の確立のためには、構造部材の変形に与える、動的荷重と静的荷重の関係を明らかにすることが重要になる。しかし、両者の関係についての詳細な検討はなされていないようである。これは、動的荷重の測定に利用されてきたロードセルに一因があると考えられる<sup>1), 2)</sup>。

本報告は、動的荷重を定量的に評価するための一歩として、入力棒(図-3 参照)を採用した基礎的な桁の動的載荷実験を行い、動的荷重と静的荷重の関係について調べ、動的載荷試験の静的設計への適用法について考察したものである。

### 2. 動的ロードセルの問題点

現在、土木学会では、動的載荷試験の標準化の検討を進めている<sup>3)</sup>。図-1 は装置の一例を示したものである。すなわち、重錘にロードセルを設置し、梁に与える動的荷重を測定している。その標準化試験では、載荷部形状を変化させて実験を行っている。また、図-2 は、そのときの荷重波形を示したものであるが、載荷部の曲率が小さくなる(接触面積が大きくなる)と、測定荷重値が大きくなっている。しかし、この原因については、考察されていない。このように、ロードセルは、被衝突体との接触面積や、ロードセルの設置場所の剛性、ロードセルの寸法により、荷重計測システム内に生じる、多重反射応力波の影響により、計測荷重値が変化する<sup>2)</sup>。このことが、動的荷重と静的荷重の関係に関する

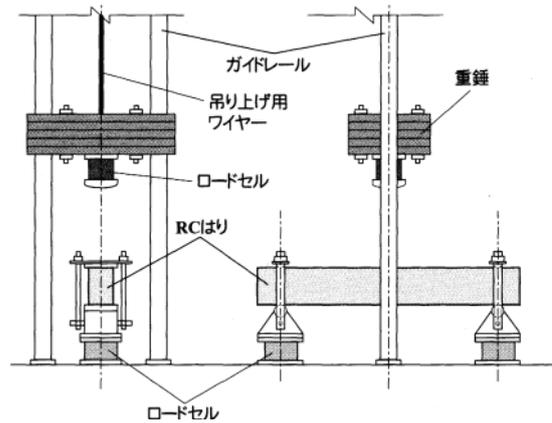


図-1 動的載荷実験装置の概要(土木学会)

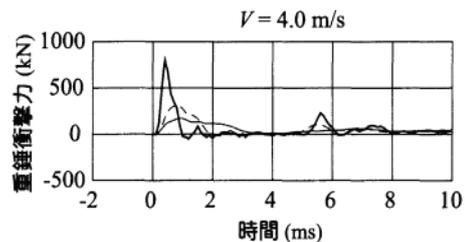


図-2 動的載荷実験の結果の一例  
衝突荷重-時間関係(土木学会)

研究が進んでいない一因と考えられる。

### 3. 実験装置と方法

#### 3.1 模型桁

表-1 は、実験に採用したアルミ製模型桁の寸法と呼び名を示したものである。桁長は 600 mm, 900 mm の 2 種類を用意した。桁の断面は、幅 25mm, 高さ 10 mm, 15 mm の 2 種類とした。また、桁長 600mm では、中央から 100 mm の位置に、桁長 900mm では、中央から 100 mm と 250 mm の位置に、桁の上下面の発生応力を測定する半導体ひずみゲージを貼付した。

#### 3.2 実験装置と方法

図-3 は、動的載荷実験装置の概要を示したものである。一般の動的載荷実験方法と異なるところは、

図に示したような、半導体ひずみゲージを貼付した長さ 300 mm、直径 25mm の入力棒を用いたことである。

入力棒の先端の形状は、線載荷させるために円弧になっている。入力棒で正確な動的荷重を測定するためには、入力棒の衝突面(上端)が自由端的に挙動する必要がある。そこで、入力棒の衝突端にゴム製緩衝材(以下、緩衝材と記す)を設置した。また、緩衝材を設置することで、入力棒が剛体的な挙動をすることになる。緩衝材の厚さは 2 mm、4 mm の 2 種類とした。

動的荷重は長さ 300mm の打撃棒を、50mm、100mm、200mm の高さから自由落下させて、入力棒を打撃し発生させた。そのときの、入力棒での荷重、模型桁の上下面での応力、さらに模型桁の中央部のたわみ(レーザ変位計を採用)を、サンプリングタイム  $2\mu\text{s}$  で計測・処理した。

## 4. 実験結果と検討

### 4.1 緩衝材厚さと入力荷重

図-4 は、桁 A60、打撃棒の落下の高さ 100mm、緩衝材厚さ 2mm と 4mm で実験したときの、入力荷重を並べて示したものである。図から、緩衝材厚さにより、入力荷重波形形状が大きく異なることがわかる。動的最大荷重は緩衝材厚さ 2 mm で約 3.1kN、厚さ 4 mm で約 1.3kN になった。このとき、入力棒は剛体的に挙動しているので、桁への載荷速度比は約 2.4(= 3.1/1.3)になる。また、荷重継続時間も緩衝材が無い場合には約 0.12ms になるので、それぞれ約 6 倍と約 13 倍になった。しかし、両荷重波形の力積は、緩衝材厚さ 2 mm で約 0.96Ns、緩衝材厚さ 4 mm で約 0.94Ns とほぼ同なった。

### 4.2 入力荷重形状と桁の曲げ応力

図-5 は、図-4 に示した実験での、桁の応力を示したものである。図から、両者はよく一致していることがわかる。従来、桁の応力は載荷速度に比例すると言われている<sup>4)</sup>が、桁の応力は動的最大荷重(載荷速度に関係)に直接影響を受けるのではなく、入力荷重の力積の影響が大きいことが推察できる。また、最大桁応力の生じる時間は、入力荷重よりかなり遅

表-1 模型桁の寸法と呼び名

桁長(mm)	幅(mm)	高さ(mm)	呼び名
600	25	10	A60
		15	B60
900	25	10	B90
		15	B90

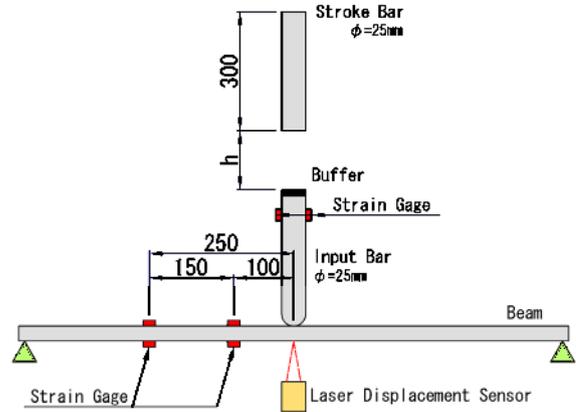


図-3 実験装置の概要

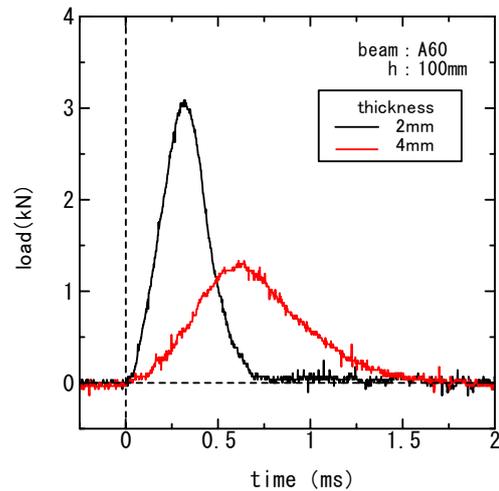


図-4 緩衝材の厚さと入力荷重

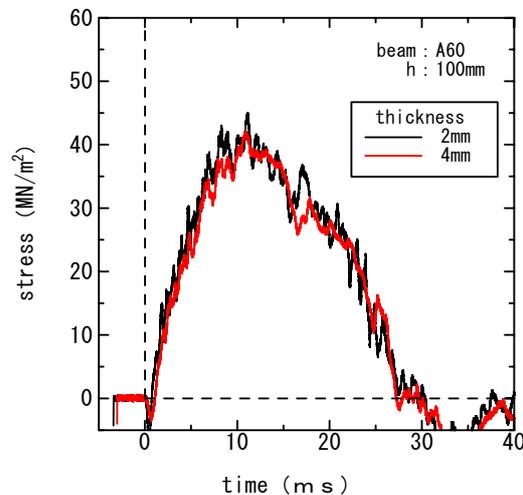


図-5 緩衝材の厚さと桁の曲げ応力

れることもわかる。

### 4.3 桁のたわみ

図-6は、桁 A60、緩衝材厚さ 2mm、打撃棒の落下の高さ 100mm で実験したときの、桁で測定した応力から求めた桁中央のたわみ(曲げモーメントの形状を静的荷重と同様になると仮定)ー時間関係と桁の中央部下方に設置したレーザ変位計で計測した、たわみー時間関係を並べて示したものである。図から、両者はよく一致することがわかる。よって、今回採用した実験方法では、桁のたわみ性状は静的荷重試験と同一として扱ってもよいことがわかる。また、桁の最大たわみは約 5.7 mm だった。

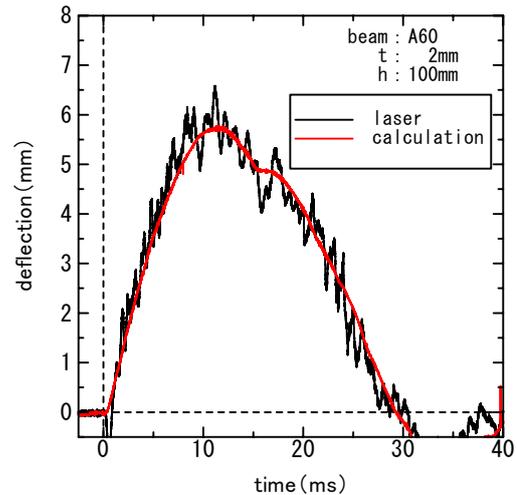


図-6 桁の変位挙動の比較

表-2 同一たわみでの静的荷重と動的荷重の比較

Static Load(kN)	Dynamic		
	Buffer(mm)	Load(kN)	Impulse (Ns)
0.19	2	3.1	0.96
	4	1.3	0.94

### 4.4 静的荷重と動的荷重の関係

桁の中央のたわみが 5.7 mm になる静的荷重を求めたところ約 0.19kN になった。同様なたわみを生じさせる動的最大荷重は、緩衝材厚さ 2 mm の場合、約 3.1kN、4 mm で約 1.3kN になり、静的荷重と大きな差が生じることがわかる(表-2)。以上の検討から、最大動的荷重を直接設計等に利用するのは問題があることがわかる。さらに、動的荷重の場合でもかなりの違いが生じる。よって、力積と静的荷重の関係を明らかにする必要があることがわかる。

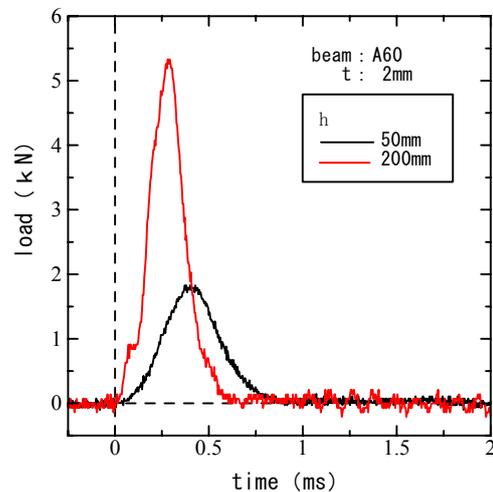


図-7 打撃棒の落下高さを入力荷重

### 4.5 打撃棒の衝突速度の影響

衝突速度の影響をみるために、打撃棒の落下高さを変えて実験を行った。

図-7は、桁 A60、緩衝材厚さ 2mm、打撃棒の落下高さ 50mm と 200mm で実験したときの、入力棒で計測した荷重を示している。今回の実験条件では、落下の高さ 50mm と 200mm での最大動的荷重比が約 3、荷重波形の力積比は約 2(それぞれの力積は、約 0.62Ns、約 1.24Ns)になった。

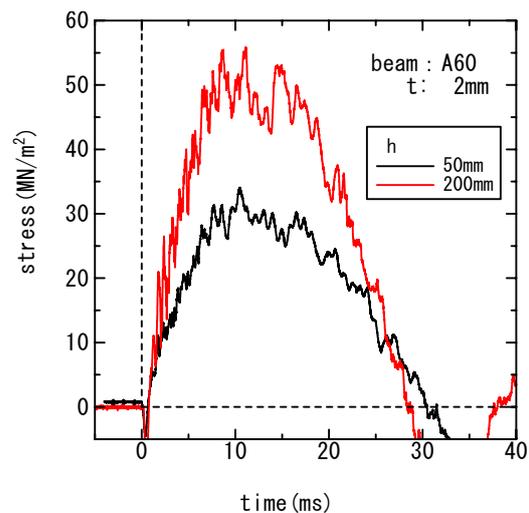


図-8 落下高さで桁の曲げ応力

図-8は、両者で計測された桁応力から算出した、たわみを示したものである。図から、桁のたわみ比は約 2 となり、動的荷重の力積に比例する様子がわかる。この結果からも、スパンが同一であれば、たわみは入力荷重の大きさではなく力積に比例する

ことがわかる。

#### 4.6 スパンの影響

図-9は、桁A60と桁A90を用いて、緩衝材厚さ2mm、打撃棒の落下の高さ200mmで実験したときの入力荷重の図である。図からスパンを変化させても入力荷重形状にほとんど差異が生じないことがわかる。入力荷重は、桁高さの大きい桁Bでは、桁Aより大きくなった。よって、入力荷重波形は载荷箇所の機械インピーダンスに影響することが推察される。また、図-10は、そのときの桁の応力を示したものである。図から、スパンが変化しても、载荷点から同一の距離での応力は同じになり、従来から言われていた結果<sup>4)</sup>と同じになった。

図-9と図-10の結果から、スパンが1.5倍になると、たわみが約2倍になることがわかる。静的の場合、同一荷重が作用するとたわみはスパンの3乗に比例するが、動的の場合はスパンの約1.7乗に比例することになる。

#### 4. まとめ

入力棒を採用した桁の動的载荷試験結果から次のことがわかった。

- (1) 桁のたわみは、動的最大荷重ではなく、動的载荷荷重の力積に比例する。よって、荷重の継続時間により注意する必要がある。
- (2) スパンが異なっても、入力荷重形状と桁の応力形状の両者が同じになる、興味ある結果が得られた。
- (3) 桁のたわみは、静的荷重の場合には、スパンの3乗に比例するが、動的荷重の場合には、約1.7乗に比例する。
- (4) 桁に同一たわみを表じさせる動的荷重は、静的荷重に比較して非常に大きくなる。
- (5) 以上から、動的設計を静的設計で行う場合には、動的桁応力を計測し、同一桁応力を生じさせる静的荷重を用いる方法で、より合理的な設計が可能と思料する。

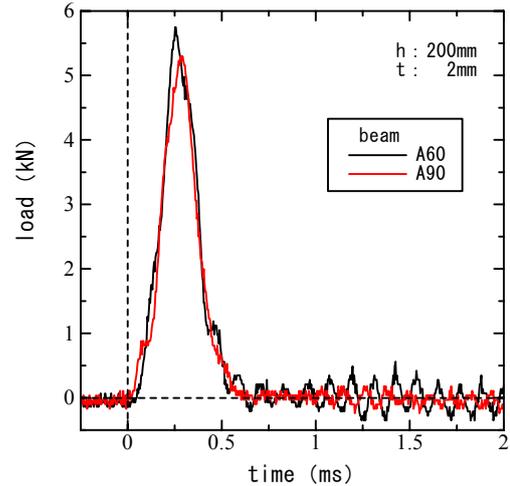


図-9 スパンと入力荷重

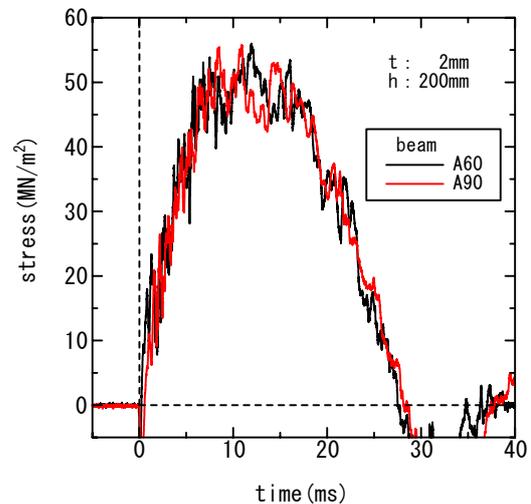


図-10 スパンと桁の曲げ応力

#### 参考文献

- 1) 近藤博, 木村修一, 本間重雄: 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.
- 2) 近藤博, 木村修一, 本間重雄: ロードセルの設置条件が出力値に及ぼす影響, 計測自動制御学会論文集, Vol.42, No.2, pp.111~114, 2006.
- 3) 土木学会構造工学委員会: 衝撃実験・解析の基礎と応用, 土木学会, 2003.
- 4) 日本機械学会編: 機械工学便覧, 材料力学, p.A4-39, 2001.

## 39. 昇降ステージの開発と大規模リニューアル工事への導入

東急建設株式会社 土木総本部 機械技術部 西尾 仁  
大野 浩正  
○小林 貞夫

### 1. はじめに

リニューアル工事とは、「建物の長寿命化」を目的に内装・間仕切りや設備などのインフィル部分を更新し機能性や快適性を向上させ建物を改修するものである。したがって、躯体スケルトン部分は壊さず再利用するため、新築工事と比較し省資源・環境負荷低減化が図れる。

近年は、インフィル部分の更新だけでなくスケルトン部をリニューアル時に補強し耐震性を高める工事の割合が増加している。高層ビル(S、SRC構造)の耐震補強はブレスやエネルギー吸収ダンパを鋼製の型枠に組込んだ耐震補強資材(写真・1)を既存躯体の間にモルタルを充填して一体化し、建物の耐震強度向上を図る工法が多く用いられている。これに伴い、リニューアル工事用搬入資材は大型化・重量化が進んでいる。



写真・1 耐震鋼製枠資材

本報文では、制約条件の多いリニューアル工事において、大型化する資材を迅速かつ安全に搬送するために、大型重量資材を垂直搬送し各階床面レベル上に着床可能な昇降ステージの開発経緯と現場導入事例を紹介する。

### 2. 工事概要と資材搬送計画

#### 2-1. 工事概要

本工事は都内南東部に位置する駅ビルのリニューアル

改修工事であり、工事中も地上1階と2階一部を鉄道乗降客が往来する。しがたって、ビル周辺に移動式クレーンのような搬入資材の揚重設備を設置するスペースの確保が困難であり、夜間の限られた時間に限定される等の制約条件があった。以下に、開発した昇降ステージ導入工事の概要を示す。

建物高さ	40m
建築面積	2,215㎡
延床面積	29,702㎡
建物構造	SRC構造
建物用途	百貨店 事務所 レストラン スポーツ施設 鉄道乗降客通路
改修工事	地下2階から10階および屋上の 外装、内装、電気空調衛生工事 耐震補強工事は1階から8階
工 期	平成19年8月から20年3月末 (耐震補強工事は19年9月末から10月末)



写真・2 リニューアル工事全景

## 2-2. 工事全体の資材搬送計画

本工事における資材の垂直搬送ルートとしては、以下の3系統を設定した。

間仕切り、壁面、床面、天井の仕上げや空調設備に使用する耐火ボード、ALC板、軽鉄、ダクトなどの一般資材の垂直搬送には計5台の常設エレベータ(地下2階から10階)を工事資材搬送用に使用した。

このほか工事用ロングスパンエレベータ(搬器長さ5m×巾1m)を建物外周足場に設置し、地上1階からRF階までの長尺資材の垂直搬送に使用した。

しかし、耐震補強資材は全長6.0m、巾1.6m、質量は最大1.6トンとなり、外周足場設置型の工事用エレベータでは対応できないことが明らかとなった。

そこで、地下1階から7階まで設置されているエスカレータの更新入替が計画されていたため、旧エスカレータ機器の撤去から新機器取付までの期間に大型資材の垂直搬送動線として、この開口空間を活用する事とした。



写真・3 エスカレータ撤去後の開口部

## 2-3. 耐震補強資材搬送計画

耐震補強資材は外部の工場からトラックで建物正面に搬送される。建物内部への搬入は当初、移動式クレーンを使用し、建物屋上から常設エスカレータの更新入替時に発生する開口空間内に資材を吊り下げ、内部へ搬入する計画であった。

しかし、移動式クレーンを設置する駅前広場の使用は、鉄道終電から始電までの深夜数時間に制限された。また、開口内部を通過時に吊荷の揺れや引っ掛かりの防止および各階開口での資材の引き込み作業の安全性の確保が困難ため、工事用エレベータを開口空間内に設置して各階の床面まで耐震補強資材を搬入することとした。

## 3. 昇降ステージの開発

### 3-1. 制約条件と課題

連層開口空間内に工事用エレベータを設置するための制約条件および課題は、以下の項目が挙げられた。

- ・連層開口空間の実質使用可能日数は40日と短期間であり、この期間内に耐震補強資材の搬入だけでなく、工事用エレベータの設置および撤去も完了させなければならない。
- ・この連層開口は開口部底盤に垂直荷重を受ける基礎架台の設置が困難である。
- ・運搬対象資材の形状と質量から搬器の所要寸法は巾2m×長さ7m、積載荷重は1,800kgとなり、エスカレータ撤去後の開口部に工事用エレベータ用ガイドレールを設置すると搬器の寸法が確保できない。

既存の工事用エレベータには上記制約条件を満たす機種はなかった。そこでエスカレータ用開口空間内に容易に設置ができ、長尺重量物を安全かつ迅速に搬入できる新規の揚重装置を開発することとした。

### 3-2. 昇降ステージの開発仕様

前項の制約条件を満足するため、昇降ステージの開発仕様を以下の通りに設定した。

- ・ガイドレールを使用せず、最上階に設置された2台の巻上げ装置から吊るされた4本のチェーンで搬器を昇降させることで搬器寸法を最大限に確保する。
- ・最上階に設置する巻上げ装置の組立設置、解体撤去の容易化、迅速化を図るため、巻上げ装置の組立・運搬は人力のみで可能とする構成とする。
- ・耐震補強資材の搬器への積込み作業を手押しの平台車に搭載した状態で実施可能とするため、各階に搬器の受け架台を設置し、各階フロアと搬器に段差が生じないようにする。

ガイドレールを用いないリフト形式の揚重装置は一般に製品化されていないので、装置の労働安全衛生法上の位置付けや安全対策などを所轄の監督署と協議し、設計、製作、確認実験を経て現場導入した。また、巻き上げ機構の4本のローラチェーンの同調制御技術や安全確保のための遠隔映像の集中モニタリングシステム技術を組み合わせて、装置を完成させた。

### 3-3. 昇降ステージの構成

本装置は荷物を載せるためのステージ(搬器)とそのステージを昇降させるための巻上げ装置、ステージを各階に停止固定させる受架台により構成される。表1に仕様を示す。

表・1 昇降ステージ仕様

ステージ(搬器)揚程		35m
昇降速度	高速	6.2 m/min
	低速	2.0 m/min
積載荷重		2.0Ton
ステージ(搬器)有効寸法		長さ7.0m×巾1.83m
昇降電動機		3.7kw×2台
ステージ渡し板開閉時間		12秒
ステージ渡し板開閉モータ		0.2kw
各階停止受け桁張出し		100Vポータブウインチを停止階床上に2基設置
安全装置		過荷重検出リミット 上限停止リミット ステージ受け桁着床時自動停止装置 ステージ渡し板水平・垂直検出装置 非常停止スイッチ 運転操作時監視モニタ(8画面表示)
操作方法		最上停止階に設置する操作盤にて集中制御
電源		3相動力200V 5.0kw
総重量		3.0Ton



写真・5 搬器各階停止状況と昇降状況

#### (1) 巻上げ装置

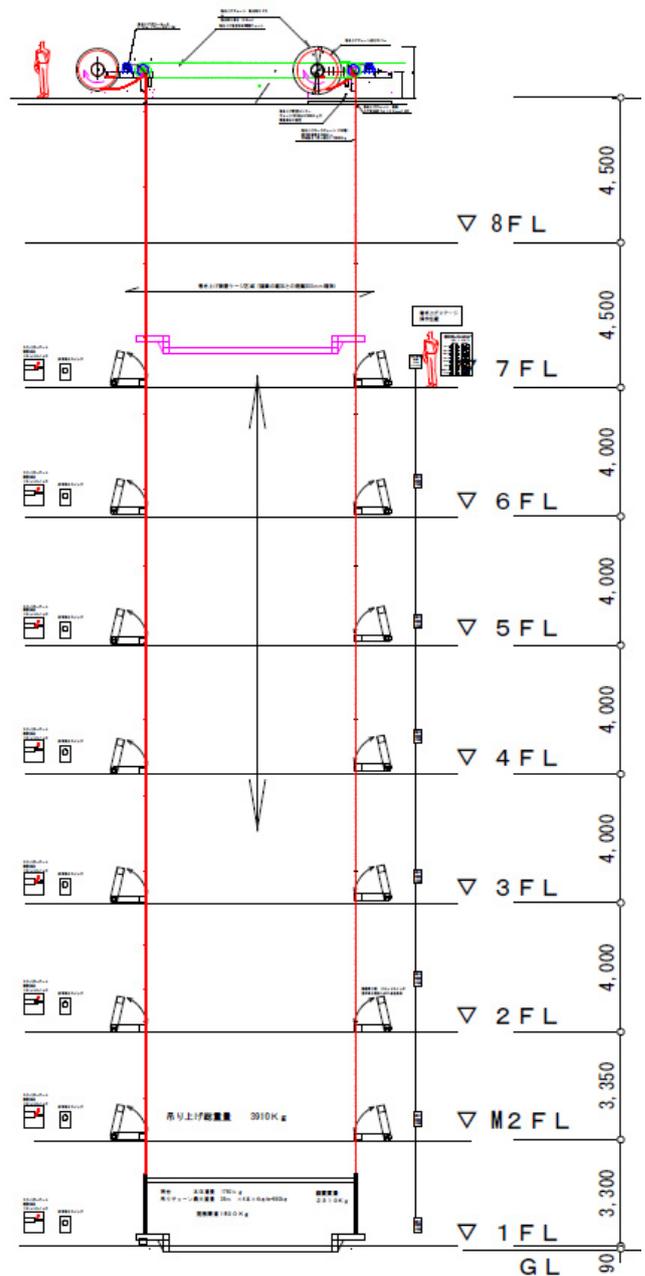
巻上げ装置は、組立解体時の軽量化を図るため、左右分割ユニット化した。また、左右のローラチェーン巻上げ速度の同調制御は左右回転位相検出スプロケットをローラチェーンで連結し、連結チェーンの微妙な弛みを接触型リミットで検出し、巻き上げモーター速度をインバータ電源周波数を変化させることによって修正し、位相を同調させる構造とした。



写真・4 機械室巻上げ装置設置状況と駆動部(9階)

#### (2) 搬器

本昇降ステージの搬器はガイドレールを設置しないため、開口平面を有効に使用でき、搬送資材のサイズに対し、ゆとりある対応が可能となった。また、装置全体として搬器の寸法を任意に設定可能な機構となっている。



図・1 昇降ステージ概要図

### (3) 搬器受架台および回転デッキ

本昇降ステージでは、各階に設置した搬器受架台およびステージ上に設置した回転デッキにより台車や車両が躯体床上から直接乗り入れが可能となり、荷物の搬出入の迅速化を実現した。



写真・6 搬器(ステージ)回転デッキ

### (4) 安全装置

搬器とローラチェーン連結部には搬器受け架台接触検出センサーおよび監視モニターカメラを設置した。運転操作器は地上7階の開口部横に設置し、9階の機械室、搬器および各階の映像を確認し、安全運行を実施した。



写真・7 監視モニターおよび操作盤

## 4. 巻上げ機と同調制御性能の確認

昇降ステージの現場導入後、昇降ステージ搬器に発生する回転角と加速度を計測し、同工事で使用した工事用ロングスパンエレベータ(以下、LSエレベータと称す)と比較することで、昇降ステージの同調制御性能を確認した。搬器の軸および軸回りの向きを図2に、昇降ステージおよびLSエレベータの計測結果を図3、図4に示す。

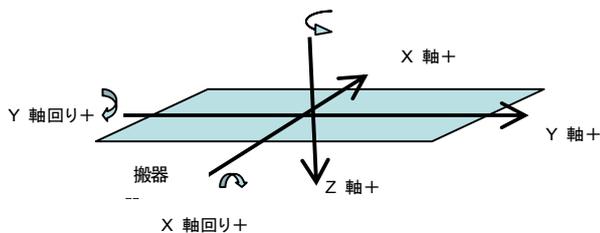


図2. 搬器の軸および軸回りの向き

昇降中の搬器のX軸回りの回転角は、LSエレベータの $-0.5^{\circ} \sim +1.5^{\circ}$ に対し、昇降ステージは $0^{\circ} \sim +$

$0.1^{\circ}$ と小さい。LSエレベータの波形がのこぎり形で大きいのは、エレベータ左右の昇降速度の差が累積し、角度リミットを超えると補正のため一方の昇降が停止するためである。昇降ステージは左右の昇降速度の差をインバータにより調整しているため変位が小さくなっている。

Y軸回りについては両者に差は認められなかった。

Z軸回りについては、昇降ステージは振り子運動のように周期的に角度が変化しており、ガイドのあるロングスパンエレベータよりは大きくなっているものの振幅は $0.3^{\circ}$ 以内に収まっている。

発生する加速度は、X,Y,Z軸とも昇降ステージの方が小さい。LSエレベータはラックアンドピニオンで昇降するため振動が大きいという結果となった。

以上のことから、ガイドレールのない昇降ステージにおいても、搬器の揺れはLSエレベータと同等程度に抑えることが可能であったといえる。

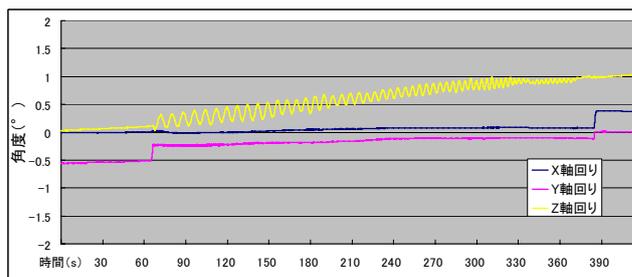


図3. 昇降ステージ姿勢(上昇時)

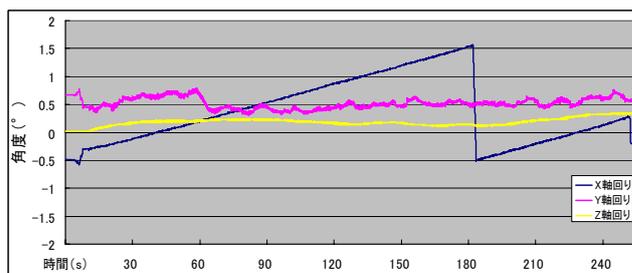


図4. LSエレベータ姿勢(上昇時)

## 5. 終わりに

本装置は、リニューアル工事において一時的に使用可能となった開口空間を利用して資材搬送を安全かつ効率的に行いたいという現場の要求に応え開発した。

今後も施工が多様化し、既存機械の選定だけでは対応が困難なケースが増加すると考えられる。今後とも関係する各方面の皆様方のご指導をいただきながら、更なる施工の効率化に新たな機械技術で挑戦していきたい所存である。

## 40. 乾式系吹付けアスベスト除去ロボットの開発・実証

大成建設株式会社 技術センター ○森 直樹・長瀬 公一  
同上 建築本部 久保木 久彦

### 1. はじめに

吹付けアスベストは、その耐火性や断熱性、吸音性などに優れていることから、過去において、建物の天井や壁、柱、梁などに吹付け施工等がなされてきた。しかしながら、その後の経年劣化などにより、その施工面からアスベスト繊維が空气中に浮遊飛散し、肺ガンや中皮腫、石綿肺といった人体の健康に悪影響を与える要因となることが指摘されており、有害な吹付けアスベスト等の除去を早急に行うことが緊急的な命題となっている。その除去方法は、防塵マスクや保護衣を着用した完全防備の専門の作業員が、密閉された室内に隔離されて、ケレン棒やワイヤーブラシなどを使って吹付けアスベストを剥離・除去しているのが現状である。これは有害なアスベストを取り除くという根本的な解決には繋がるものの、作業員が手作業で除去することは多大な手間を要し、工事費の高騰を招いてしまうとともに、作業員の健康被害を引き起こしてしまうことも懸念される。これは、今後のアスベスト問題の解決に対して大きな障害となる。

そこで、我々は主に建物解体時における乾式系吹付けアスベストの除去、及び回収作業を、遠隔操作によるアスベスト除去ロボットによって安全かつ効率的に行うことのできるシステムを開発し、模擬アスベストによる実験室での除去・回収実験を行ったので、そのシステム概要及び実験結果について以下に報告する。

また、本システムを実際のアスベスト除去工事現場に試験的に導入し、実アスベストによるシステム実証試験を行ったので、これらの結果もあわせて、以下に報告する。

### 2. システム概要

ロボットによる吹付けアスベスト無人化除去・回収システムの主な流れを図1に示す。

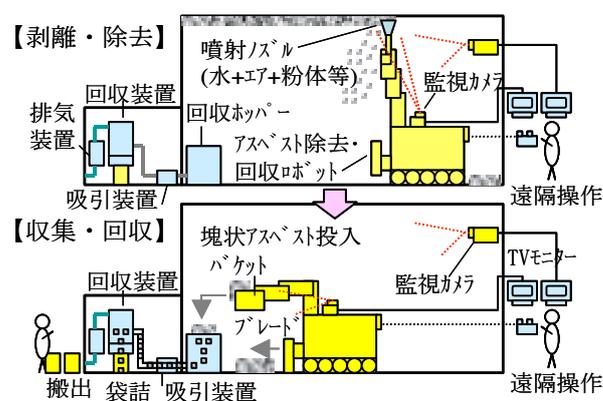


図1 アスベスト除去から回収までの流れ

#### 2.1 アスベスト除去ロボット

##### (1) ロボット本体

ロボット本体のベースマシンは、遠隔操作が標準装備され、3アーム構造となっており、吹付けアスベスト除去時の防汚対策として専用の養生カバーを取り付けている。

##### (2) 噴射ノズルスライド装置

建物の各部位に吹付けられているアスベストを剥離・除去するために、混気物（高圧水+圧縮空気+研削材+高分子吸収剤）を同時噴射（吐出圧 30～140kgf/cm<sup>2</sup>）することのできるノズル（平射型）をロボットアーム先端部に装着した。また、噴射ノズルはアスベスト吹付け面に対して鉛直方向に一定の斜行角度（20～30度）を持たせて往復移動できるようになっており、更に常時アスベスト面を削ぎ落とすように、ノズル噴射角度の向きを変えられるような可変機構を採用した。また、ロボット遠隔操作時の視界を確保するため、スライド装置近傍に粉塵排気用のダクトを取付け、更にコーナー一部等の除

去の難しい部位に対し、丸穴型のノズルも装備した。

### (3) 車載用モニターカメラ

吹付けアスベストの除去・回収を作業区域内で遠隔操作によるロボットで行うためのモニターカメラをロボット胴体部分に設置した。また作業区域内にはロボット作業を監視するためのモニターカメラも別に設置した。

## 2.2 アスベスト回収システム

アスベスト回収システムの概要を図2に示す。

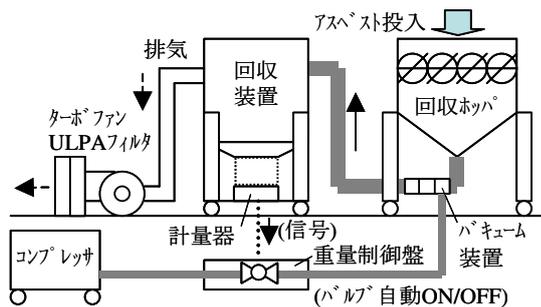


図2 アスベスト回収システム

### (1) 回収ホッパー

ロボット付属のブレードにより収集されたアスベストを、所定の回収袋に吸引・圧送するための回収ホッパーを設置した。回収ホッパーの投入口には、ロボットにより剥離・除去された塊状のアスベストを粉砕するための回転ロール式の破碎装置を組み込んだ。

### (2) バキューム装置

アスベストを回収ホッパーからホース吸引・圧送するためのバキューム装置を回収ホッパー排出部分に取り付けた。

### (3) 回収装置

圧送されたアスベストを所定の回収袋に重量制御によって一定量袋詰め(1重)するための装置を設置した。

## 3. 実験概要

アスベスト無人化除去・回収システムの除去・回収性能について、実験施設での実証実験を行った。

(実験期間：2006年10月～2007年2月)

### 3.1 実験施設

実験施設は6.7m×3.9m×3.4mの鉄骨造である。施設内のH鋼梁・柱部分：45mm厚、他の天井・壁部

分：15mm厚で模擬アスベスト(ロックウール)の吹付け工事を行い、約1ヶ月の養生期間を経た後に実験を行った。

### 3.2 実験結果、及び考察

#### (1) アスベスト除去・回収ロボットの除去性能

ロボットの遠隔操作による噴射ノズルの往復移動速度は、概ね5～6cm/secであり、壁面等の単純な模擬アスベスト(ロックウール)面(15mm厚)の場合は、噴射ノズルを0.5往復(片道移動)させただけで、瞬時に縦10cm程度の帯状の下地面が現れ、模擬アスベストを容易に除去できることが確認できた。これを単位時間当たりの除去面積に換算すると約18～22m<sup>2</sup>/hとなり、実際には板状に削ぎ剥がされる効果も期待できることから、凡そ20m<sup>2</sup>/h以上の除去性能が期待できるものとする。しかし、梁部等のH鋼面(45mm厚)の場合は、噴射ノズルを2往復以上横行させないと下地面が現れて来ず、また凹凸面であることから噴射ノズルスライド装置の位置を調整する必要があり、現状では約4～5m<sup>2</sup>/h程度になるものと推定される。ロボット遠隔操作によるH鋼面除去後の状況を写真1に示す。



写真1 除去後のH鋼梁面

#### (2) 高分子吸収剤の同時噴射による吸水性能

噴射ノズルから高分子吸収剤を同時噴射させることによって床面に水が溜まる現象等は確認されず、バキューム装置による吸引時においても、水と分離することなく、パサパサの状態ですぐ回収袋までホース吸引・圧送されることが確認できた。

#### (3) アスベスト回収システムの重量制御の信頼性

回収装置によってアスベストを10kg設定で袋詰めした場合の実際の回収袋重量との差異を図3に示す。図3より、設定値に対して-1.3kgから+4.5kgの誤差があることが判る。これは回収装置内部でのアスベスト滞積防止用として加圧ロックングをす

る際に、衝撃で計量器が感知してしまうことに起因しているものと推測され、加圧時のダンパー調整等の対策が今後必要であることが判った。

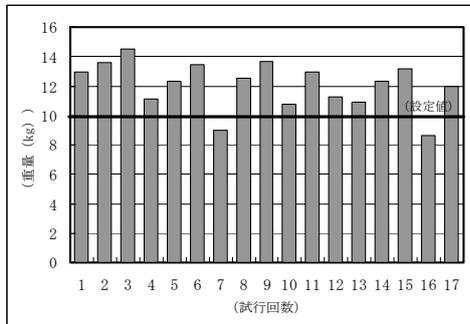


図3 アスベスト回収袋の重量制御の精度

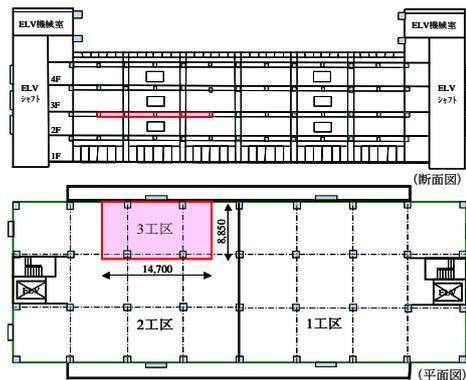


図4 ロボットによる除去施工範囲

アスベスト除去ロボットの外観を写真5に、遠隔操作状況を写真4に示す。

## 4. 建築現場への適用

### 4.1 適用現場の概要

#### (1) 工事名称

H倉庫解体に伴うアスベスト除去工事（仮称）

#### (2) 工事場所

東京都中央区晴海（写真2 参照）

#### (3) 工事期間

2007年10月1日～2007年10月31日

（準備及び片付け期間含む）

#### (4) 工事内容

既存建物（倉庫）の解体に伴い、アスベスト含有吹付け材の撤去を行った。（除去対象部位：天井・梁部分（写真3 参照））

#### (5) 施工範囲図

施工範囲図を図4に示す。（ロボット除去：2階3工区）

#### (6) アスベスト含有吹付け材除去数量

対象とした施工範囲におけるアスベスト除去数量は、天井、梁吹付け面：175m<sup>2</sup>（クリソタイル）であった。



写真2 適用現場外観



写真3 現場内観



写真4 遠隔操作状況



写真5 ロボット外観

### 4.2 施工結果、及び考察

#### (1) 遠隔操作によるアスベスト除去ロボットの除去性能

アスベスト除去後の天井面及び梁面の一部を、写真6及び写真7に示す。（写真上において、表面が薄緑になっているのは、塗装面の残痕であって、既にアスベストは剥がれ落ちており、濃いグレー部分は下地の塗装面をも剥がしている状態であることを示す。）

遠隔操作によるアスベスト除去ロボットを使った乾式系吹付けアスベストの除去速度は、実アスベスト吹付け材厚み：6～9cmの天井面に対して、概ね、約12m<sup>2</sup>/h（換算値）程度であった。これは、従来の作業員（人）による除去速度の2～3倍程度に相当するものと推測される。

#### (2) ロボットブレードによる床面アスベストの掻き寄せ作業

アスベスト除去ロボットのアーム先端部に取り

付けられた噴射ノズルからの混気物により剥離・除去され、床面に散乱した塊状アスベストは、ロボットに付属されているブレードによって、回収ホッパー近傍の所定の位置まで遠隔操作により円滑に掻き寄せられ、収集できることが実証できた。また、噴射ノズルからの高分子吸収剤による吸水効果によって、作業床面が水浸しになる現象は見られなかった。

### (3) ロボットバケットによる塊状アスベストの回収作業

アスベスト除去ロボットのアーム先端部に取り付けられていた噴射ノズルスライド装置をバケットに付け替えて、床面に収集された塊状アスベストを回収ホッパーの投入口まで掻き揚げ、遠隔操作によって円滑に投入できることが実証できた。

### (4) バキューム装置及び回収装置によるアスベストの袋詰作業

アスベスト除去ロボットにより回収ホッパーに投入された塊状アスベストは、破碎装置によって細かく砕かれ、ホースで連結されているバキューム装置によって、回収装置にセットされた所定の廃棄袋（1重目）に高速で吸引・袋詰めできることが実証できた。

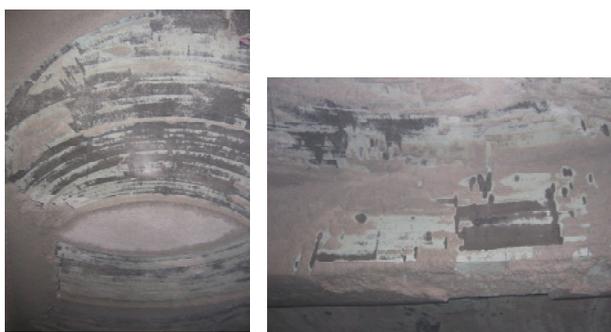


写真6 除去後の天井面 写真7 除去後の梁面

## 5. まとめ

建物解体時における乾式系吹付けアスベストの無人化除去・回収システムを開発し、実験施設での模擬アスベスト（ロックウール）によるアスベスト除去・回収ロボットの除去実験を行い、建物部位及び吹付け厚等により異なるものの、壁面の比較的アスベスト厚みの少ない場所においては、高速で剥

離・除去できることが実験的に立証できた。また、回収システム装置類も円滑に稼動できることを確認することができた。そして、これらの実験的な見地をもとにして、本システムを初めて実際のアスベスト除去工事現場に導入して実証試験を行い、アスベスト除去作業区域外からの遠隔操作によるロボットを使ったアスベスト除去性能を把握することができ、さらに、アスベスト回収システム装置類が実アスベストでも正常に稼動することを実証することができた。これによって、遠隔操作によるロボットを使って、アスベストを除去・回収できることが現場レベルで検証することができた。今後は、実際のアスベスト除去工事現場での適用を継続して行い、作業員（人）が危険な吹付けアスベスト除去作業区域内に入ることを極力少なくし、アスベスト除去コストや工期等を精査しながら、本格的な実用化に結び付けてゆく所存である。

## 6. おわりに

本研究開発は、平成18年度NEDO委託事業「緊急アスベスト削減実用化基盤技術開発」及び平成19年度同事業のNEDO継続研究の一部によるものである。また、本研究開発を進めるにあたり、多大なる御指導及び情報の提供を賜りました、「独立行政法人建築研究所 材料研究グループ長・建築生産研究グループ長 本橋健司様」「財団法人ベターリビング 筑波建築試験センター 環境・防耐火試験部長 遊佐秀逸様」「ニチアス株式会社 建材事業本部 常谷雅彦様」に深く感謝致します。

### 【参考文献】

- 1) 森直樹、長瀬公一、大山能永、村田勤、“乾式系吹付けアスベストの無人化除去・回収システムの開発（その1）システム概要、及び実証試験結果”日本建築学会大会学術講演梗概集、2007年8月
- 2) 大山能永、森直樹、長瀬公一、村田勤、“乾式系吹付けアスベストの無人化除去・回収システムの開発（その2）作業環境の検討”日本建築学会大会学術講演梗概集、2007年8月
- 3) 森直樹他“遠隔操作による乾式系吹付けアスベスト除去ロボットの開発”日本建築学会建築生産自動化小委員会、第17回建築施工ロボットシンポジウム予稿集、p9-14、2008年3月13日

# 41. 地下鉄営業線における石綿含有吹付け材の除去

## トンネル部、換気口部の石綿除去用保守台車の開発と実用化

大成建設株式会社 寺田正人 ○萩原純一  
東京地下鉄株式会社 奈須秀人

### 1. はじめに

東京地下鉄株式会社では昭和39年～49年に列車走行音緩和対策として銀座線の神田駅～末広町駅間のトンネル側壁部及び、丸ノ内線・日比谷線・東西線・千代田線の換気口部に石綿が吹付けられていた。国土交通省の指示に基づき石綿含有成分と大気中の石綿濃度調査を平成17年8月に実施した。その結果、アモサイト、クロシドライト、クリソタイトの含有が確認されたが石綿の大気への飛散は認められなかった。しかし、安全を最優先に考えこの石綿の恒久的なばく露防止対策として石綿の完全除去を行うこととした。

### 2. 開発の目的

従来の石綿除去方法では除去工事期間中の列車を終日運休する必要があるためその方法では社会的影響が大きい。そこで地下鉄営業を確保するため、日々終車以後～始発以前の時間帯で点検時間も考慮に入れ、トンネル部とそれに接続される換気口の内壁面に吹付けられた石綿を飛散させることなく除去作業を可能とした石綿除去用保守台車を開発した。

### 3. システムの概要

石綿除去用保守台車はトンネル部用（図-1）と換気口部用（図-2）の2編成の専用車両を製作した。各台車の機能と役割を以下に示す。

- a. トロ台車（除去した石綿を運搬）
- b. 遠隔操作車（モーターカーを遠隔から操作）
- c. セキュリティー台車（作業員の保護具等の着脱管理区域外部への石綿粉じん漏出防止）
- d. 下部作業台車（トンネル下半分の石綿除去用作業空間を電動油圧制御にて25cmスライド可能）
- e. 上部作業台車（トンネル上半分の石綿除去用作業空間を電動油圧にて27cm上昇、25cmスライド可能）
- f. モーターカー（車両全体をけん引する動力車）

g. 昇降設備台車（換気口に接続 石綿除去作業場所の前室で可変昇降設備を備える）



図-1 トンネル部用石綿除去用保守台車

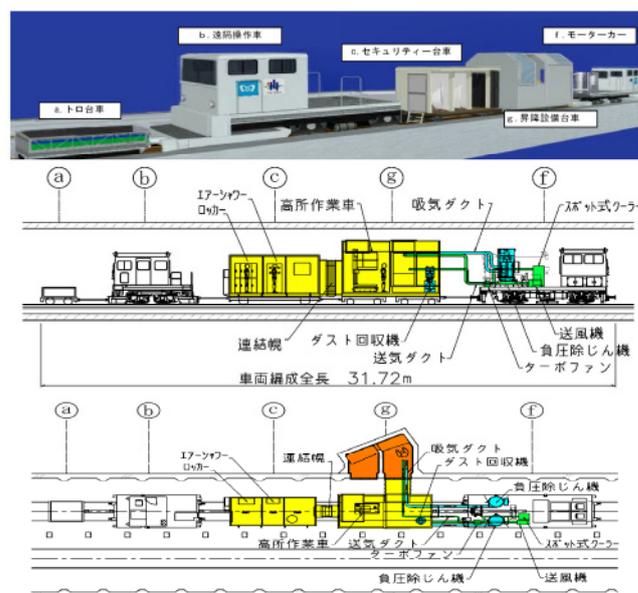


図-2 換気口部用石綿除去用保守台車

実際に石綿除去作業をする台車内管理区域の床と作業空間は3次元的に移動が可能であり、石綿吹付け

場所に接続・切り離しが容易である。また、管理区域である石綿汚染場所と非汚染場所の隔離養生と負圧管理を迅速に構築できる構造・機能を有し、各種計測機器を備えている。石綿除去用保守台車に搭載した各種環境機器は、特殊条件下で使用するため新規に開発した。各機器の性能と機能の確認は工場にて実機試験を行い全て環境基準等を達成している。写真-1にクイックブース（ブース型養生シート）と負圧除じん機及び石綿回収機の検査及び機能試験状況を示す。



写真-1 開発機器類性能検査及び機能試験状況

#### 4. トンネル部石綿除去工法

##### 4.1. 全体施工フロー

トンネル側壁部の石綿吹付部は、まず支柱及びパネルで一旦囲い込み、その後石綿除去用保守台車を用いて密閉された管理空間を確保しながら日々決められた場所の石綿除去作業を繰り返し行う。

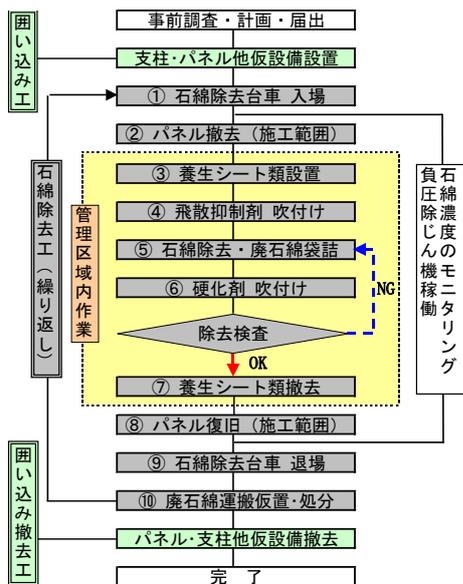


図-3 全体施工フロー（トンネル部）

##### 4.2. 石綿吹付け面の囲い込み工

図-4に示すように、支柱を骨組みとし脱着可能なパネルで吹付け石綿を囲い込むと共に、石綿を一定区画ごとの作業空間に分割する。密閉性を確保するため、パネル継目と端部はパッキンとコーキング処理を行った。その囲い込み状況写真を写真-2に示す。

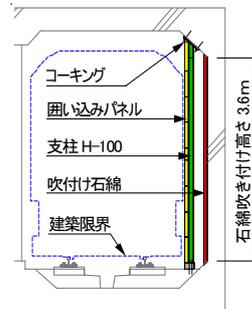


図-4 囲い込み断面図 写真-2 囲い込み状況

#### 4.3. 石綿除去工（図-3 参照）

##### ①石綿除去用保守台車入場

き電停止後（午前1：00頃）車両基地を出発し、作業現場の所定位置に合わせる。

##### ②囲い込みパネル撤去

1日の施工範囲（上部・下部共：7.2 m<sup>2</sup>）の囲い込みパネルを取り外す。

##### ③養生シート設置（クイックブース）（図-5 参照）

上部・下部作業台車を上昇、スライドさせ、開口部周辺のパネルに押し当てる。内側に数分で脱着可能なクイックブースを装着することで、除去作業を行う台車内作業空間とパネルで囲われたトンネル壁面空間とを一体化し密閉・隔離された管理区域を形成する。

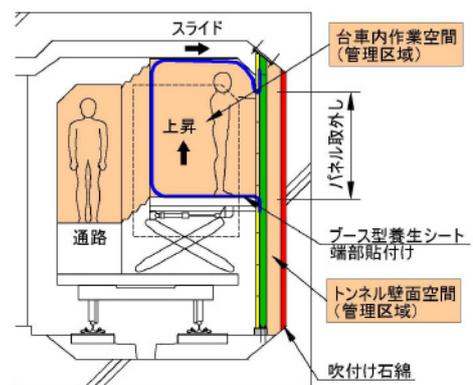


図-5 作業台車と除去場所の取合い断面図

④飛散抑制剤吹付け

エアレスタイプの噴霧器を用いて飛散抑制剤を散布し下地まで浸透させ、石綿を湿潤化させる。

⑤石綿除去・廃石綿袋詰

ヘラやケレン棒を用いて手作業で側壁から石綿を掻き落とし、仕上げにワイヤーブラシや研磨用電動工具を用いコンクリート面から削り落とす。廃石綿及び石綿汚染物は管理区域内で専用のプラスチック袋に詰め、その後セキュリティー台車内で2重目の袋で密封し、点検の後、トロ台車に積み込む。

⑥硬化剤吹付け

除去完了後、躯体表面および除去作業エリアの養生シート内面等に残存する微量の石綿は、硬化剤を散布して皮膜を形成し、粉じんの飛散を防止する。

⑦養生シート（クイックブース）撤去

養生シートは石綿で汚染されるため毎回交換する。

⑧パネル復旧

上記「②」で撤去したパネルを復旧する。

⑨石綿除去台車退場

現場を午前3:30頃出発し台車は車両基地に戻る。

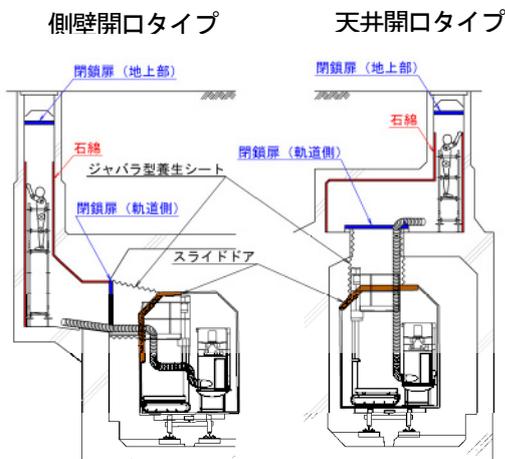
⑩廃石綿運搬・仮置・処分

廃石綿は車両基地内の一時保管倉庫に仮置きし後日、特別管理産業廃棄物として処分する。

5. 換気口部石綿除去工法

換気口部石綿除去

換気口部は囲い込みの方法、台車と換気口への接続方法を除いた石綿除去工法は基本的にトンネル



図ー6 昇降設備台車・換気口取合い断面図

部の施工管理方法と同様である。図ー6に示すように囲い込みは、地上部と軌道側に鋼製の閉鎖扉を設置した。また、換気口と台車の接続は昇降設備台車のダブルファスナー方式ジャバラ型養生シートの交換のみで全換気口の施工対応が可能である。

6. 石綿飛散濃度測定と管理

石綿ばく露災害を防止するため、石綿除去作業中は次の3項目について管理を行った。

- ・位相差顕微鏡による気中石綿繊維濃度測定 (PCM法)
- ・リアルタイムモニターによる気中石綿繊維濃度測定
- ・デジタル式差圧計による管理区域内負圧管理

6.1. 位相差顕微鏡による気中石綿繊維濃度測定

1) 測定方法

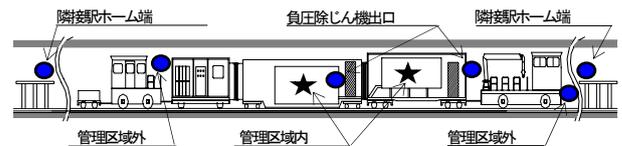
PCM法による気中石綿繊維濃度の測定は「石綿に係る特定粉じん濃度の測定法」に準じて、位相差顕微鏡を用いて石綿繊維を計測した。

2) 測定頻度

測定は施工前・施工中・施工後に行う。施工中は、東京都環境確保条例に定めるところにより当該期間中、6日ごとに1回測定を実施した。

3) 測定位置

図ー7にトンネル部石綿除去作業時の気中石綿濃度測定位置を示す。



図ー7 トンネル部石綿除去時測定位置図(8箇所)

4) 測定結果

表ー1にPCM法による気中石綿繊維濃度測定結果を示す。管理区域外の気中への石綿の飛散は認められなかった。

表ー1 PCM法による測定結果 (単位: 本/ℓ)

	記号	測定結果	基準値	備考
管理区域内	★	85~1713	7,500	※1
管理区域外	●	0.5未満	10	※2

※1: 管理区域内での気中石綿繊維濃度基準値: 7,500 本/ℓ以下 (管理区域内で使用した防じんマスクの基準値より)

※2: 敷地境界での大気中の気中石綿繊維濃度基準値: 10 本/ℓ以下 (大気汚染防止法 施行規則 第16条の2より)

## 6.2. リアルタイムモニターによる気中石綿繊維濃度

### 1) 測定方法

灰化装置付きリアルタイムモニターは採取した空気にレーザー光を当て気中石綿繊維濃度の概略値を直ちに計数化するものである。(PCM法は結果が出るまで最早で7日かかる)管理区域内及び管理区域外の気中石綿繊維濃度を常時測定管理した。

### 2) 測定結果

図-9にリアルタイムモニターによる管理区域内の気中石綿濃度結果を示す。本装置は鉱物繊維以外を灰化処理している為、測定された気中石綿繊維濃度はPCM測定法の結果と比較的よく一致した。本データは施工時の即時管理の手法とした。

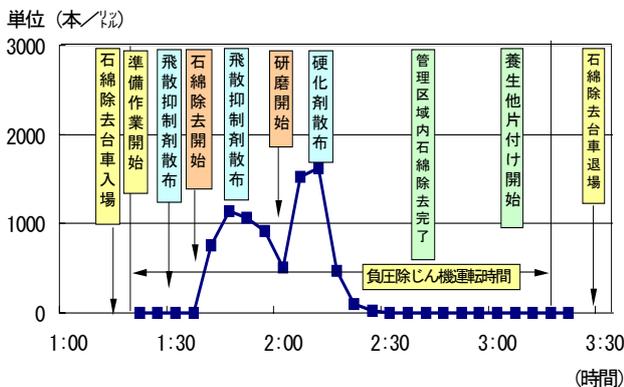


図-9 リアルタイムモニター測定結果

### 3) 施工管理方法

管理区域内の気中石綿繊維濃度が 3,000 本/μl以上になった場合は、管理区域内に飛散抑制剤を散布し、再湿潤化を図った。石綿の除去完了後、管理区域内の気中石綿繊維濃度が 5 本/μl以下になったことを確認後、作業台車内の養生シートの撤去を開始した。管理区域外の坑内では気中石綿繊維濃度が常に 10 本/μl以下であることを確認した。

## 6.3. 差圧計による負圧管理

石綿除去作業中は、台車に設置された超高性能微粒子フィルター付き負圧除じん機を稼働し、インバーター制御する事により管理区域内を常時 - 20 ~ - 30Pa 負圧に保ち換気し、坑内への石綿の飛散を防止した。写真-3にデジタル式差圧計と負圧除じん機を示す。除じん換気システムをはじめ各主要機器類は万一のトラブルに対処できるよう2系統の設備を備え二重の安全対策を講じた。また、管理区域内での作業員の

熱中症対策を含め作業環境の改善を図るため温度・湿度の常時計測とそのコントロールが可能な設備を備えた。

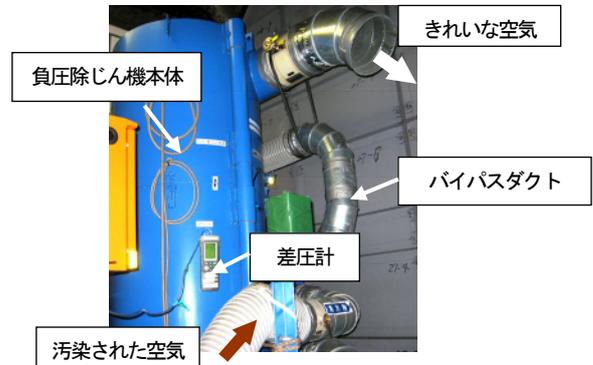


写真-3 負圧除じん機と計測機器

## 6.4 管理区域内外の連絡方法

管理区域外から管理区域内の状況を常時把握できるように、透明部材を使用した点検用窓を設けた。(写真-4参照)



写真-4 点検用窓

## 7. 施工サイクル

作業時間は、夜間き電停止中の午前1:00~4:00の限られた時間であり、更に移動や準備・片付け時間を差し引くと、1日当たりの実質石綿除去作業時間は60分程度であった。また、台車内はスペースが限られているため、石綿除去に14名・その他6名にて作業を行い1ブロック(18.6 m<sup>2</sup>)をコンスタントに除去した。

## 8. まとめ

今回開発した石綿除去用保守台車と除去工法により2007年3月末に無事故で工事が完了した。

本石綿除去工法は、トンネルに代表される作業空間が線状に絶えず移動する場所や大型施設等に最適であり幅広く利用が可能と考える。

謝辞：本工事の計画から施工にあたりご指導頂きました所轄労働基準監督署、東京都環境局及び所轄区役所の関係者各位にこの紙面をお借りして、厚く御礼申し上げます。

## 42. セメントスラリーマシンを用いた路上路盤再生工法

鹿島道路株式会社 機械センター開発・設計課  
○ 桑田 直人

### 1. はじめに

近年、地球環境保護・保全への意識の高まりから、より一層の再資源化や省エネルギーを社会全体で追及する動きが大きくなっている。道路舗装においても同様であり、資源の有効活用という観点から再生工法が多種多様に活用されている。

その中の一つとして路上路盤再生工法であるセメント・フォームドアスファルト（CFA）工法が近年注目を浴びており、当社においてはSKS工法として平成8年度頃からスタビライザを使用した路上路盤再生工法と、連続式のプラントを使用した中央プラント混合方式による施工を行っている。

従来のSKS工法では、必要な強度を確保するための添加剤として粉体セメントを使用している。しかし、セメントの使用に際しては、散布・混合時や突風の発生等により粉塵が巻き起こり、施工従事者や周辺環境に深刻な被害を及ぼす影響が懸念されている。

本論文では、SKS工法への適用を目的として開発した無粉塵セメントスラリーマシンを用いた施工方法について述べる。

### 2. SKS工法の概要

SKS工法は、セメント・瀝青安定処理工法の1つで、フォームドアスファルトを使用することにより、常温で施工することが可能である。

フォームドアスファルトとは、加熱したアスファルト（150～160℃程度）に微量の水とエアを添加することによって発生させた泡状のアスファルトをいう。

この泡状のフォームドアスファルトの体積は元のアスファルトの10～20倍にまで膨張し、アスファルトの体積が膨張することで、粘性が大幅に低下し、湿潤状態の骨材と常温での混合が可能になる。

さらに、セメントを使用することで、強化な路盤を構築することが可能となる。

SKS工法の主な特徴は、以下のとおりである。

- ① 常温混合であるため、CO<sub>2</sub>削減が可能である。
- ② 既設路盤材料を使用するため、省資源である。
- ③ 全断面打換え工法と比較した場合、安価であり施工速度が早く、早期交通開放が可能である。
- ④ たわみ性を有しているため、ひび割れが生じにくく耐久性に優れている。
- ⑤ ワークビリティは、粒状路盤と同等である。

ただし、本工法を路上路盤再生工法に用いる場合には、地下埋設物の有無、構造物の有無、かさ上げの可否等によって施工条件の制約を受けることがあるため、施工にあたっては十分な事前調査が必要となる。

### 3. スラリーの配合と混合物の強度特性

#### 3-1. スラリーの配合

スラリーの配合は、半たわみ性舗装用セメントミルクの実績を参考に、普通ポルトランドセメントを使用し、W/C:60%となるように設定した。

スラリーは、製造からの時間経過に伴い流動性が変化するため、Pロートによるフロー試験により流動性の評価を行った。図-1に経過時間とフロー値の関係を示す。フロー値は、4時間後に目標範囲の上限値である14秒を超えているため、4時間以内で使用することが望ましいと考える。

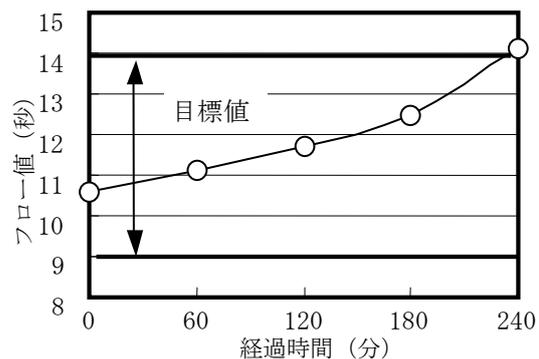


図-1 フローの経時変化

### 3-2. SKS 混合物の一軸圧縮強度

S K S 混合物の配合は、配合試験の結果、アスファルト量：4%、スラリー添加量：4%（セメント粉体換算で2.5%）と決定した。

前述したとおり、スラリーは時間の経過とともに流動性等の性状が変化することが予測されたため、配合試験時にはS K S 混合物の時間と強度の関係を調べた。

試験結果は、図-2に示すとおり時間の経過とともに強度低下を生じ、5時間後の強度は初期強度と比較すると70%程度となっているものの、基準値の範囲内であることが確認できた。

ただし、スラリーを使用するS K S 工法は、前述したスラリーの流動性およびS K S 混合物の強度特性から、スラリーの出荷から現場施工までのタイムサイクルを立案し、円滑な施工を行うことが望ましい。

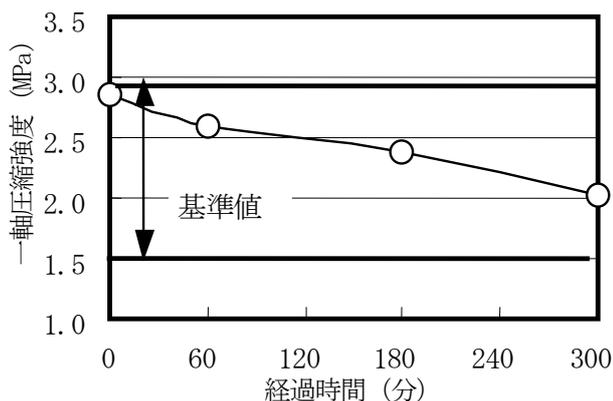


図-2 SKS 混合物強度の経時変化

### 4. スラリーマシンの開発

生コンプラントで製造したスラリーを現場で引き取り散布するスラリーマシンの外観を写真-1に、また仕様を表-1に示す。

スラリーマシンの前方にはスラリーを貯蔵するタンクが装着されており、プラントから材料を運搬するアジテータ車から、直接スラリーの受け入れが可能な構造となっている。タンク内部にはセメントの沈降を抑制するため、スラリーの攪拌・掻き上げが可能な回転羽根が装着されている。また、車体後方部には、スラリーを吐出するための4つのノズルが装着されている。

さらに、ノズルの下部には、路盤表面に溝切りをするスカリファイヤを取り付けている。このスカリファイヤは、散布したスラリーが低勾配側へ流れるのを抑

制することと、路盤内部まで浸透することを目的としている。

施工の流れは、アジテータ車からスラリーマシンタンクへスラリーを受け入れると同時に回転羽根を回し、タンク配管間で材料の循環を行う。スラリー散布前に、運転席にあるポンプ制御装置に単位メートルあたりのポンプの回転数を予め入力する。

施工中は入力した数値と走行速度を参照し、ポンプの実回転数が決定される。施工終了後は機体前方の水タンクにて機械の清掃を行う。



写真-1 スラリーマシンの外観

表-1 スラリーマシンの仕様

項目	単位	仕様
基本性能	車体全長	mm 7080
	車体全幅	mm 2500
	総重量	kg 10300
	エンジン出力	ps 60
	作業速度	m/min 最大7
スラリー装置	散布幅員	mm 1000~2000
	散布ノズル数	ヶ 4
	スラリー吐出制御	方式 速度同調
	ポンプ吐出能力	L/min 最大250
	スラリー供給量	L/min 51~123
タンク容量	m <sup>3</sup> 3.8	

### 5. 試験施工

#### 5-1. 試験施工の概要

試験施工は鹿島道路(株)テクノセンター構内のヤード(施工幅員2m)で実施した。施工前後の舗装断面は図-3に示すとおりである。

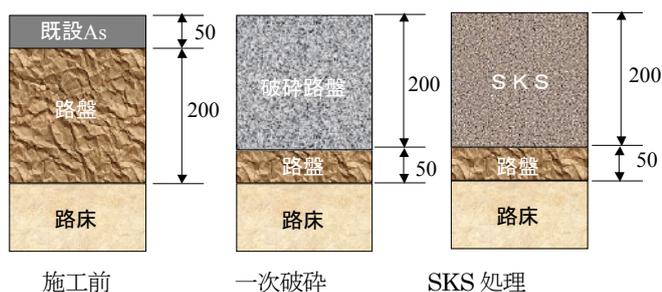


図-3 施工断面 (単位:mm)

写真-2に施工状況を示す。試験施工時は、スラリー散布時、スタビライザによる混合時、いずれも粉塵の発生は認められなかった。



写真-2 スラリー散布状況と散布面

### 5-2. SKS工法の支持力評価

スラリーを使用したSKS工法の支持力を把握するため、安定処理前後においてFWD調査と平板載荷試験を実施した。FWDによるたわみ曲線を図-4に示す。

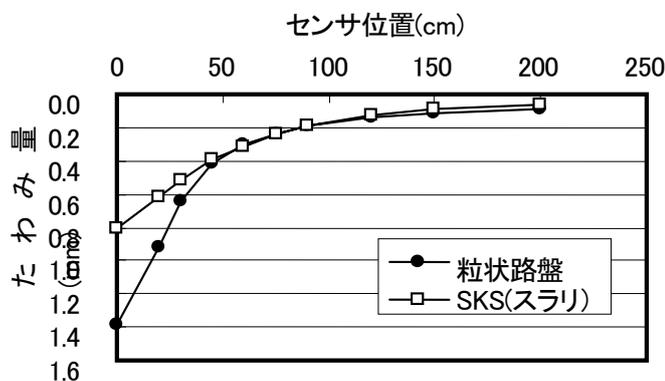


図-4 FWD たわみ量の変化 (安定処理前後)

SKS工法を適用することにより、載荷板中心付近のたわみ量が減少しており、路盤の支持力が増加していることがわかる。

また、平板載荷試験で得られたK値と、FWDたわみを逆解析して求めたSKS路盤の弾性係数から推定した等値換算係数を表-3に示す。SKS工法によりK値は1.6倍に増加している。また、等値換算係数は、安定処理前の締め固めた粒状路盤で0.39、SKS路盤で0.67と、ほぼ舗装設計施工指針に示されている値と一致することがわかった。

表-2 SKS工法による支持力変化

	平板載荷試験	FWD試験	
	K値 (MN/m <sup>3</sup> )	弾性係数 (MPa)	等値換算係数 (弾性係数から推定)
粒状路盤	303	239	0.39
SKSスラリー	499	675	0.67

### 5-3. 試験施工結果

本試験施工により、セメントをスラリー化して使用することにより防塵施工が可能となるとともに、品質面でも性状に問題が無く施工できることが確認できた。

## 6. 実施工

### 6-1. 施工概要

埼玉県内において防塵対策を目的として当該、マシンを適用したSKS工法について述べる。

SKS工法の施工概要は、以下のとおりである。

#### 【施工概要】

- 工事延長：380.0m
- 施工幅員：4.4m
- 施工面積：1671.0 m<sup>2</sup>
- 施工厚さ：30cm

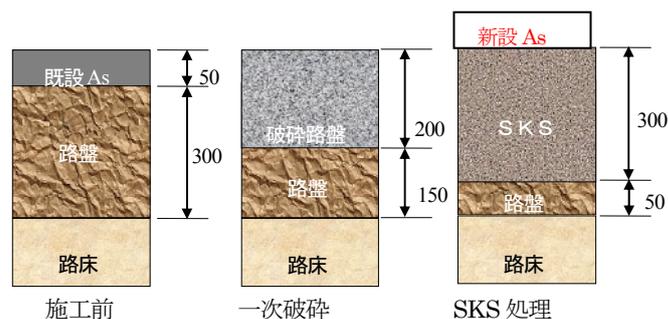


図-5 施工断面 (単位:mm)

本工事において混合深さは30cmであったため、スタビライザにて20cmの一次破碎・仮転圧・不陸整正を行った後、スラリーマシンでセメントスラリーを散布し、再度スタビライザで30cmの破碎・混合を行った。一次破碎状況を写真-3に、スラリー散布状況を写真-4に、破碎・混合状況を写真-5に示す。



写真-2 一次破碎状況



写真-3 スラリー散布状況



写真-4 破碎・混合状況

## 6-2. 施工結果

施工前後のFWD調査結果では、舗装全体の支持力を表すたわみ量D0は、SKSおよび表層打換えの実施により1/3に低減し、舗装計画交通量(100台未満/日・方向)の基準値1.2mm以下を満足していることが確認できた。

また、当該施工現場においても試験施工と同様に、粉塵の発生は認められず、現場周辺の農地や植木の栽培に影響を与えることなく、無事に施工を終了した。

この結果から、粉塵対策としてセメントスラリーマシンによる優位性は確認できたものとする。

## 7. おわりに

本施工法において、目標とするセメントの粉塵発生防止については達成することが出来た。しかし、セメントをスラリー状にすることで、新たな問題も浮上してきた。スラリー散布後は硬化時間が短く、できるだけ時間を置かず混合を行う必要があり、レーン替えなどがある場合には時間にゆとりが無い。また、スラリーをマシンタンク内へ受け入れる際(写真-5)には15分程度のタイムロスが生じてしまう。



写真-5 材料受け入れ状況

施工終了後には毎日清掃が必要であり、清掃場所を確保しなければならない。

今後はこれらの対策を検討し、現場状況に応じて使用していきたい。



作業情報を取得可能な車載器10台)とパトロールカー3台、災害対策用機械9台の稼働状況が本システムで把握できる。

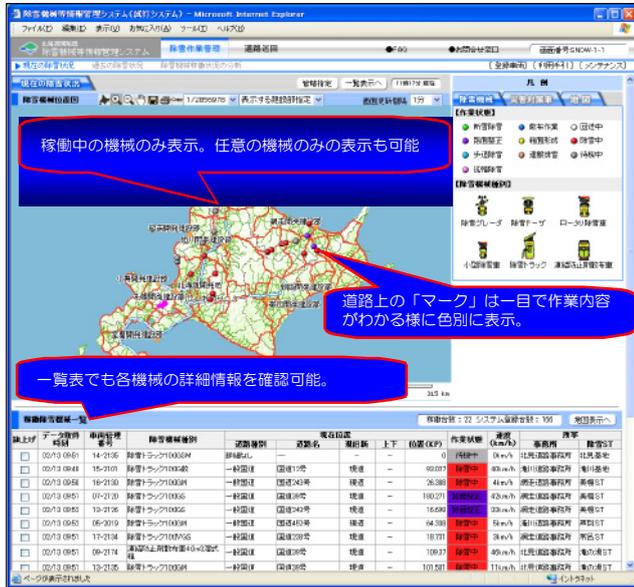


図-2 現在の除雪状況確認画面

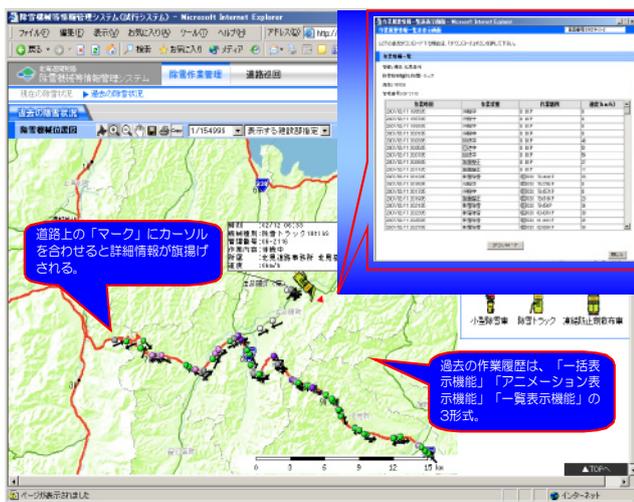


図-3 過去の除雪状況確認画面

#### 4. 除雪機械等管理運用マネジメントシステムの開発

除雪マネジメントとは、除雪作業を行う上で、除雪工区の設定や機械配置等の除雪計画を策定し、実施する必要があるが、基幹システムを除雪マネジメントシステムへ発展させることで、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」サイクルを実現させ、道路維持管理業務の効率化及び、より一層のサービスレベル向上を図ることを指す。ここでは、除雪マネジメントの基本構想について紹介する。

#### (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の検討には、過去の膨大な稼働データや気象データ等の資料及び整理に多くの時間を要するが、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が容易に検索可能となり、除雪計画をより効率的に作成することが可能となる。

#### (2) 出動判断支援

除雪機械の出動判断は、通勤通学前に除雪作業を終了することが目標とされており、その判断は経験によるところが多く、蓄積した位置・作業情報と気象データのデータベースを活用し、現在の気象状況により出動タイミングをガイダンスすることで、経験が少ない職員、現場代理人等でも、効率的な待機出動判断が可能となる。

#### (3) ダイナミック工区シフト支援

除雪作業は、契約上決められた工区内についてのみ行われ、隣接工区に遅れがあっても担当工区を優先せざるを得ない状況であり、異常気象時等は工区間の除雪格差が発生する場合がある。局所的な大雪が発生した場合、隣接工区の除雪状況をリアルタイムに確認することにより、隣接工区に応援可能な場合は、あらかじめ決められたシフト箇所まで工区を変更することで、道路機能を一定水準に確保可能となり、未然に渋滞等による経済損失を防げる可能性がある。

#### (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、電話等による確認のみで、状況確認に時間を要しているが、本システムにより応援可能な機械及び作業進捗状況をリアルタイムに確認することや、出動指示等をシステムで行い、時系列を自動作成することで、情報の共有化による災害対応の迅速化や対応結果の確認及び整理の効率化に繋がる。

#### (5) 散布日報(散布箇所・散布量)作成支援

凍結防止剤の種類・量は、道路管理者として、効率的・効果的な散布に努めなければならない。また、凍結防止剤の散布日報は、あらかじめ決められた様式に、手入力で散布車等の設定情報を記載しなければならない。本システムにより、凍結防止剤散布に使用している操作パネル

の設定情報と位置情報を入力し地図上に散布箇所及び散布量を機械毎に表示することで、散布情報の詳細な確認が可能になるほか、散布日報作成の自動化により、作業の効率化に繋がる。

以上のメニューを実現することで、道路維持管理業務の効率化に繋がり、結果的に道路利用者に対する旅行時間の短縮等といったサービスレベルの向上も期待できる。

なお、これらの除雪マネジメント基本構想を策定する上で、『除雪計画支援』、『出勤判断支援』といったメニューは、データの信頼性を確保するために複数年のデータ蓄積が必要となることから、早期にシステム化が可能な『ダイナミック工区シフト支援』、『豪雪災害対応支援』、『散布日報（散布箇所・散布量）作成支援』といったメニューを先行して取り組んでいく予定であり、この3つの構想について、具体的なサービス内容を以降にまとめる。

#### 4-1 ダイナミック工区シフト支援

ダイナミック工区シフトの構想図を図-4に示す。ダイナミック工区シフト支援は、あらかじめ転回場所を登録しておき、ユーザーが指定する転回場所で除雪機械が転回した場合に、出発地点（除雪ST等）に何時に戻ってくるか『作業終了予想時刻』を提供するものである。

作業終了予想時刻においては、通常時を想定し、過去の平均的な除雪速度から算出したものと、豪雪災害時や特定箇所の除雪を想定した直近10分程度の平均除雪速度から算出したもの2種類の提供を考えている。これにより、ユーザーは、場面に応じた工区シフトの判断が容易になると考える。図-5にサービス提供イメージを示す。

##### 4-1-1 導入効果の試算

現在の除雪作業は、除雪工区毎に委託契約が行われ、工区毎に除雪機械が貸与されているが、異常気象時に除雪工区を超えた請負業者間の作業連携により、更なる効率化の可能性を検討した。異常気象時の工区別稼働状況を図-6に示す。

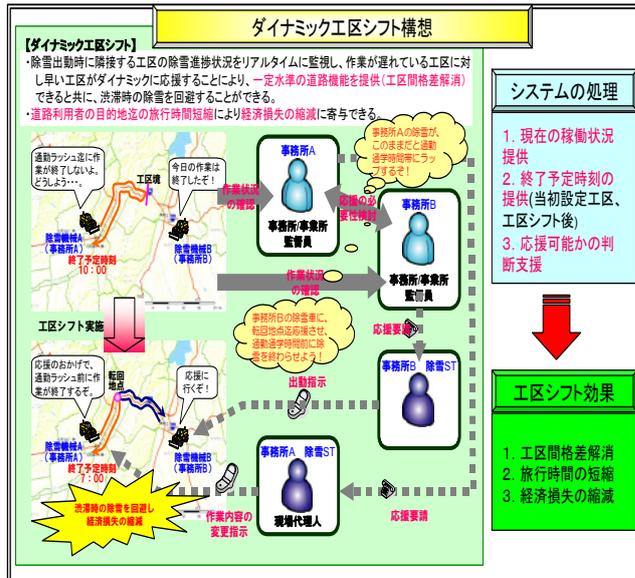


図-4 ダイナミック工区シフト構想図

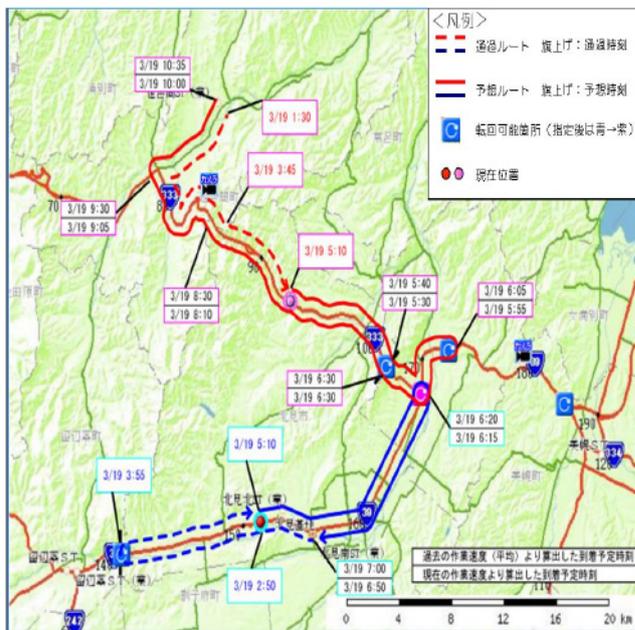


図-5 サービス提供イメージ

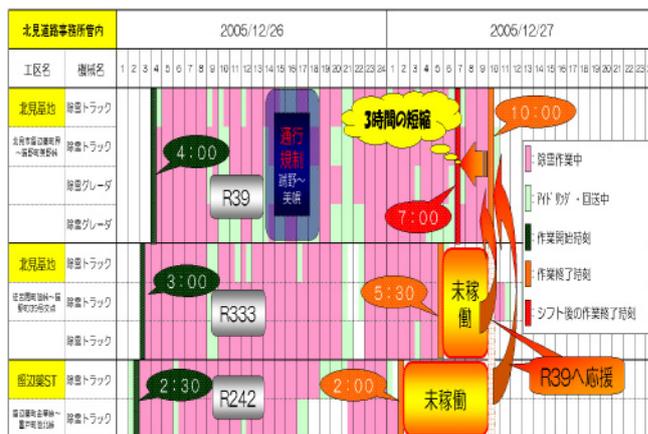


図-6 異常気象時の工区別稼働状況

平成17年12月26日～27日の異常気象があった北見道路事務所管内の相互に隣接する3工区の稼働状況を見ると、作業開始・終了時刻に差があり、特に、国道39号の工区は作業終了時刻が10時に対し、隣接工区は2時～5時半で作業を終了していることがわかる。

仮に作業が早く終了している工区から支援を行うことで、通勤通学時間帯（7時～10時）の3時間を縮減できた可能性があることから、除雪作業により発生する渋滞を「避けられた損失」として試算した。

1) 条件

- ①通常時の旅行速度 (50km/h)
- ②除雪機械の作業速度 (10km/h)
- ③交通量 (H17 交通センサス)
- ④車種別時間評価値 (H15 費用便益分析マニュアル)

2) 損失額の算出式

$$\{(\text{区間距離} / \text{低下速度}(10\text{km/h}) - (\text{区間距離} / \text{基準速度}(50\text{km/h}))\} \times \text{区間交通量} \times \text{車種別時間評価値} \dots (式-1)$$

表-1 除雪作業による渋滞損失額の試算結果

時間帯	渋滞損失額 (円)				合計
	乗用車	バス	小型貨物	普通貨物	
7:00~8:00	691,923	233,509	130,808	329,012	1,385,252
8:00~9:00	899,602	367,726	334,343	255,898	1,857,569
9:00~10:00	752,027	267,437	279,532	191,221	1,490,217
					4,733,038

以上の条件及び算出式(式-1)から試算した結果、ダイナミック工区シフト支援による効率的な除雪を行い、回避できた可能性のある渋滞損失額は、約4,700千円/日(3時間)であった。<sup>3)</sup>(表-1参照)

このように除雪機械の位置・作業情報を活用することで、損失の試算が年間を通して可能となり、除雪作業による費用対効果の算出といった、これまでに無い分析評価が可能となり、冬期道路管理の効果検証に取り組むことができる。

4-2 豪雪災害対応支援

豪雪災害対応支援は、災害対策本部の職員が、各開発建設部からの応援要請を基に、応援可能な機械を調査し、出動指示を出す事になる。本システムでは、災害対策本部の職員が応援要請内容(使用目的、使用場

所、必要な機械、人員等)をシステムに入力することで、応援要請された機械の稼働状況(出動時刻、現在位置、使用場所までの距離、到着予想時刻)を地図や一覧表でリアルタイムに表示し、豪雪災害時の情報共有を図ることが可能となる。また、一覧表を蓄積することで、時系列作成の効率化が図られる。

また、応援要請した開発建設部以外にも豪雪災害情報を知らせる目的で、通行止め情報と連携を図り、アラート表示機能を設ける予定である。

4-3 散布日報(散布箇所・散布量)作成支援

凍結防止剤を散布する際は、運転室に設けられた「操作パネル」にて、散布のON/OFF、散布剤の種類(砂類、塩類)、散布量(g/m<sup>2</sup>)、散布幅、散布方向、湿式割合を都度設定し、散布を行っている。これらの情報の内、いずれかの操作があった場合に位置情報とセットで送信することで「いつ、どこで、どれだけ散布したのか」が把握可能になる。また、走行距離もセットで送ることで、サーバ側で「日散布量」が算出可能になるほか、これらを一覧表示することで請負業者が作成していた散布日報の代わりとなり、日報作成作業の効率化を図ることが可能となる。図-7に散布箇所、散布量表示イメージを示す。

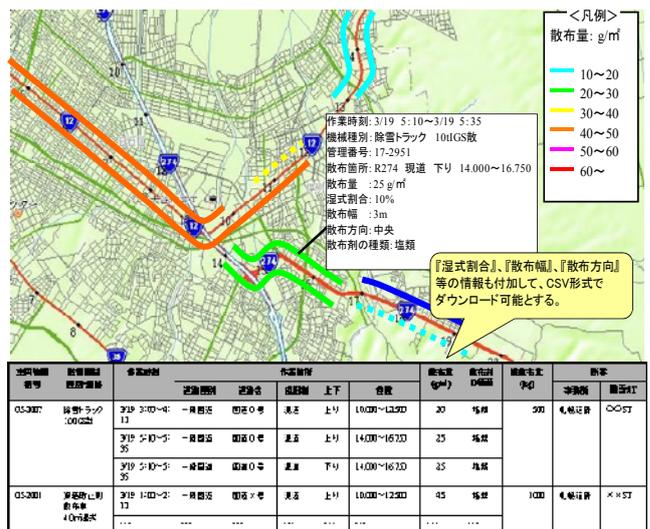


図-7 散布箇所、散布量表示イメージ

さらに、当研究所の別テーマで研究を進めている「連続路面すべり抵抗値測定装置」で測定した「すべり抵抗値」と連携を図ることで、散布前、散布直後、

散布から数時間後の「すべり抵抗値」を相互比較することにより、適正な散布箇所、散布量の指標を定める上での支援が可能と考える。

#### 4-3-1 実証試験

##### (1) 必要な要件の整理

前項で述べた基本構想、支援内容を目的に、必要な要件を整理し、散布日報を作成するソフトウェア基礎検討の為、平成19年度に実証試験を行った。

##### 1) 目的

①近年、凍結防止剤の散布量が増加傾向にある中で、道路管理者として、事業評価の手法を確立し、効率的・効果的な冬期路面管理に努める。

②散布日報は、請負業者が手入力で詳細な散布履歴を記録用紙に記載しているため、散布日報作成に係る作業を自動化する。

現在の散布日報を図-8に示す。

図-8 散布日報（散布記録用紙）

##### 2) 要件

- ①散布量は機械単位で集計できること
- ②散布履歴は1日単位で検索・参照できること

##### (2) 実証試験

- 1) 試験場所 札幌市
- 2) 試験期間 平成20年1月上旬  
～平成20年2月上旬の一ヶ月間
- 3) 試験車両 凍結防止剤散布車 4.0m<sup>3</sup>湿式  
シングルスクリュウ式
- 4) 試験内容 散布車の後部制御器より、操作パネルの設定情報を入手し、請負業者作成の

散布日報と使用量を比較する。

- 5) 取得情報
  - ①散布のON/OFF
  - ②散布量
  - ③湿式割合
  - ④散布幅
  - ⑤散布方向
  - ⑥走行距離
  - ⑦散布剤の種類（砂 or 塩）

##### 6) 試験結果

操作パネルの設定情報を入手し、その中から「散布量」、「散布幅」、「散布距離」を使用して、出動1回当り散布量を算出した。散布量算出式を式-2に示す。

$$Q = q \times B \times L \dots (式-2)$$

- Q：出動1回当り散布量 (kg)
- q：単位面積当り散布量 (kg/m<sup>2</sup>)  
「g/m<sup>2</sup>」を「kg/m<sup>2</sup>」に換算
- B：散布幅 (m)
- L：散布距離 (m)

表-2 計算上の散布量

散布日	散布日時		散布量 (平均) g/m <sup>2</sup>	散布幅 (平均) m	散布距離 km	算出 使用量 kg (CR020)	実使用量 kg (CR020)	誤差
	開始時刻	終了時刻						
1月30日	19:54	22:22	38.8	5.7	20.1	4,101.2		+3%
1月31日	3:16	6:59	32.3	8.0	22.4	5,590.7		+40%
1月31日	17:03	20:08	45.3	4.5	21.1	4,094.8		+2%
2月1日	3:50	6:40	32.4	7.9	21.9	5,258.0		+31%

実際の散布量が、1回の出動で4,000kgの散布剤（塩化ナトリウム・マグネシウム混合物）を散布した結果に対し、計算上の散布量（表-2参照）は、実際の使用量より2～3%増のものと、30%以上の誤差があるものとの2パターンの傾向が伺える。

この違いを精査すると、散布幅が5m前後だと誤差が少ないのに対し、8m前後になると誤差が大きくなることがわかった。

以下に誤差の要因と思われる要件を示す。

##### ①油圧ポンプの限界

散布車は、車速と同調し、設定した散布量を確保するようにスクリュウの回転数を調整する仕組みになっているが、同じ速度でも散布幅が広がると、より多くの散布剤を供給しようとするため、スクリュウを高速回転させなければならない。しかし、スクリュウを回転させる油圧ポンプの限界に達した時の散布量は設定値より少ない量しか散布できなくなる。そのた

め、出動1回当り散布量が見かけ上、多く出力されたことが考えられる。

## ②散布剤の流動性

散布車の積載構造は、ホップ形式であり、ホップに沿って自然落下した散布剤が、スクリーにより散布円盤へ供給される仕組みになっている。散布剤の流動性が悪いと、十分供給される前にスクリーが回転してしまい、設定値より少ない量しか散布できなくなる。そのため、出動1回当り散布量が多く出力される可能性がある。

## ③工場出荷時の比重、散布幅設定

工場出荷時の散布車の設定は、塩類の比重が「1.2」、散布幅は「2～3m」で設定されており、この条件で散布作業を行った場合に適正な散布量を確保できることになる。しかし、実験で使用した散布剤の比重は約「1.1」で散布幅は「4m or 8m」であり、工場出荷時の設定と異なることが、誤差要因の一つであると考えられる。

## 5. まとめ

基幹システムを除雪機械等管理運用マネジメントシステムの開発へ発展させることで、以下の効果や懸案事項が考えられる。

### (1) ダイナミック工区シフト支援

本システムにより、作業の遅れている工区に対し、支援を行うことで「除雪作業に必要なトータル時間の短縮」を図ると共に、早期に一定水準の道路機能が提供可能となり、未然に渋滞等による経済損失を防げる可能性があることを確認出来た。

懸案事項としては、契約当初より、除雪機械が巡回可能な場所をあらかじめ複数設けることや、隣接する工区の重複及び把握等、実施に向けては慎重な検討が必要である。

### (2) 散布日報（散布箇所・散布量）作成支援

本システムにより、散布箇所及び散布量を機種別に地図及び一覧表示することで、散布箇所等の詳細な確認が可能になるほか、散布日報作成の自動化により、作業の効率化に繋がる。

懸案事項としては、実証試験で得られた散布量の誤差を、どの程度まで縮められるかが課題であり、情報

の信頼性に係わる重要な部分である。また、当研究所の別テーマで研究を進めている「すべり抵抗値」と連携する構想があるが、散布箇所、散布量の指標を定める上で、道路管理者にとって、どの様な支援が必要なのか極めて重要な調整事項である。

## 6. あとがき

今後は、基本構想を充実させ、より現場のニーズに即したマネジメントメニューを設計していくとともに、蓄積情報が少なくてもメニューとして機能する『ダイナミック工区シフト支援』、『豪雪災害対応支援』、『散布日報（散布箇所・散布量）作成支援』を優先して設計・開発を進めていく予定である。

また、国土交通省では、少子高齢化に伴い、建設従事者や熟年オペレータが減少し、施工能力や品質に影響を与える等、現状の施工管理における建設施工を取り巻く課題の対応策として、情報通信技術（ICT）を活用した「情報化施工」を進めている。情報化施工は、施工に関する情報の効率的利用を図り、施工の効率性・安全性・品質の向上・省力化・環境保全等に関する施工の合理化を図ることが可能であることから、本システムも、施工の効率性や品質の向上等を目標とし、情報化施工の一つとして検討を進めているところである。

## 参考文献

- 1) 北海道庁ホームページ
- 2) 国土交通省北海道開発局ホームページ
- 3) 荒井一憲、三条光司、神尾一昭：除雪作業の実態把握及び高度・効率化に向けた除雪マネジメントの検討－除雪機械位置情報取得装置を用いた除雪作業の分析と評価－、北海道開発局技術研究発表会論文集、第50回（平成18年度）
- 4) 小野寺敬太、佐々木憲弘、中村隆一：除雪機械等情報管理システムの展望－除雪機械等情報管理システムの調査・試験－、北海道開発局技術研究発表会論文集、第51回（平成19年度）
- 5) 古賀修也、佐々木憲弘、小野寺敬太：除雪機械等情報管理システムについて、建設マネジメント技術、通巻356号、pp71－76、2008年1月

平成 20 年度 広報部 シンポジウム実行委員会 名簿

(順不同・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	吉田正	国土交通省	総合政策局 建設施工企画課 施工環境技術推進室長
〃	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開発環境分野 教授 工学博士
委員	山元弘	(独)土木研究所	技術推進本部 先端技術チーム 主席研究員
〃	小栗賢一	前田道路(株)	工務部 (つくばテクノセンター) 担当部長
〃	篠原慶二	前田建設工業(株)	土木本部 機械グループ 担当部長
〃	星野春夫	(株)竹中工務店	技術研究所 先端研究開発部 アドバンストコンストラクション部門 主任研究員
〃	大塚和夫	コマツ	開発本部 商品企画室 担当部長
〃	有光秀雄	コベルコ建機(株)	カスタマーサポート部 サービス技術グループ シニアマネージャー
〃	村上誠	キャタピラー・ジャパン(株)	直販部長
〃	田中利昌	日立建機(株)	建設システム事業部 技術部 部長
〃	高見俊光	サコス(株)	営業推進部 部長
〃	川本正之	(社)日本機械土工協会	技術委員長
〃	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
〃	大谷悟	(社)日本建設機械化協会	技師長
〃	浅野邦彦	(社)日本建設機械化協会	技術部長
〃	西脇徹郎	(社)日本建設機械化協会	標準部長

建設施工と建設機械シンポジウム論文集（平成20年度版）

---

平成20年10月8日 印刷

平成20年10月10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)

TEL (03)3433-1501

FAX (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