

平成27年度

建設施工と建設機械シンポジウム
論文集・梗概集

平成27年12月1日～12月2日

東京・機械振興会館

一般社団法人 日本建設機械施工協会

平成27年度

建設施工と建設機械シンポジウム 論文集・梗概集

平成27年12月1日～12月2日

東京・機械振興会館

主催：一般社団法人 日本建設機械施工協会

後援：経済産業省、国土交通省

国立研究開発法人 土木研究所、公益社団法人 土木学会
公益社団法人 地盤工学会、一般社団法人 日本機械土工協
会、一般社団法人 日本機械学会、一般社団法人 日本建設
機械工業会、一般社団法人 日本測量機器工業会、日刊工
業新聞社、日刊建設工業新聞社、日刊建設通信新聞社、日
刊建設産業新聞社（順不同）

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5名の審査委員が審査を行う。

下記の審査基準に基づき、審査委員会が採択の判断を下した場合に採択される。

2. 審査基準

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

3. 審査委員名簿（委員五十音順・敬称略）

委員名	機関名	所属・役職
委員長 建山 和由	立命館大学	理工学部 教授
副委員長 高橋 弘	東北大学	大学院環境科学科 教授
委員 阿部 里視	コマツ	開発本部商品企画室 機種グループ 主幹技師
委員 小澤 学	日立建機（株）	戦略企画本部戦略企画室開発戦略部部长
委員 北山 孝	西尾レントオール（株）	通信測機営業部長
委員 木下 洋一	鹿島道路（株）	生産技術本部機械部 次長
委員 小林 真人	コベルコ建機（株）	技師長 企画管理部
委員 鈴木 嘉昌	西松建設（株）	土木事業本部 機材部長
委員 竹内 幸弘	(株) トプコンソキアポジショニングジャパン	営業企画部 白川トレーニングセンタ シニアエキスパート
委員 玉石 修介	(一社) 日本機械土工協会	技術委員長
委員 新田 恭士	国土交通省	総合政策局 公共事業企画調整課 企画専門官
委員 行川 恒弘	前田道路（株）	工事業本部 機械センター所長
委員 林 輝	国土交通省	関東地方整備局 企画部 施工企画課長
委員 隼 直毅	(株) レンタルのニッケン	執行役員 広域統括事業部部长 関東支社長
委員 藤野 健一	(国研) 土木研究所	技術推進本部 先端技術チーム 主席研究員
委員 竹之内 博行	(一社) 日本建設機械施工協会	施工技術総合研究所 技師長
委員 前原 信之	(一社) 日本建設機械施工協会	技術部長
委員 西脇 徹郎	(一社) 日本建設機械施工協会	標準部長

「建設施工と建設機械シンポジウム」論文集・梗概集

目 次

○印 口述発表者

I 論文集

1. 破砕及び高速搬送ベルトコンベヤ設備の設置～運転・維持管理 1
 清水建設(株) ○小野澤 龍介
 (株)エスシー・マシーナリ 加藤 秀樹
 古河産機システムズ(株) 片股 博美
2. 除染作業による除去土壌からの有機物の分別方法に関する検討 7
 安藤ハザマ ○木川田 一弥
 安藤ハザマ 武石 学
 東京電力(株) 川崎 一弘
3. 除染工事における情報化施工とマニュアル施工比較検証
 ー除染工事への情報化施工適用可能性の検証ー 11
 (株)トプコンソキアポジショニングジャパン ○竹内 幸弘
 福島県西郷村放射能対策課 菅野 一
 西松建設(株) 加田 文男
4. 薬液注入工法における長距離曲り削孔技術
 ーワイヤレス式軌道計測システムの開発ー 15
 東亜建設工業(株) ○大野 康年
 (株)ワイビーエム 財部 繁久
 九州大学大学院 水永 秀樹
5. ジャイアントブレーカ搭載油圧ショベルの自律割岩作業の実証
 ー次世代無人化施工システムの開発ー 19
 大成建設(株) 宮崎 裕道
 青木 浩章
 ○片山 三郎
6. 車両運行管理システムによる輸送・出来高管理の実現と安全性向上
 ー運行管理システム「スマートG-Safe®」の機能拡張ー 23
 鹿島建設(株) ○藤本 健治郎
7. 除雪機械稼働情報グラフ化機能の開発 27
 (国研)土木研究所 寒地土木研究所 ○小宮山 一重
 牧野 正敏
 佐藤 信吾
8. 小型メカナムホイール検査ロボットによる天井ふところ内の目視検査 31
 足利工業大学 ○仁田 佳宏
 戸田建設(株) 渡壁 守正
 稲井 慎介
9. 情報化施工におけるTS出来形計測の効率化 ー近傍点計測の実施ー 35
 国土交通省 関東地方整備局 ○服部 達也
 一本 秀樹
 山本 啓介

10. 情報化施工を用いた舗装の実験手法について			
	-MC施工と従来施工の比較モデル-	.....	4 1
	国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課	○坂本 鋼三 山口 崇	
	(一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所	竹本 憲充	
11. UAVマルチコプタの土工管理への適用性検討		.....	4 5
	安藤ハザマ	○澤 正樹 武石 学 黒台 昌弘	
12. 大水深対応型水中作業ロボットの開発		.....	4 9
	東亜建設工業(株)	○小川 和樹 泉 信也	
	東北大学大学院環境科学研究科	高橋 弘	
13. 疲労軽減ウェア職人 DARWING の開発		.....	5 5
	(株)竹中工務店	○永田 幸平	
14. 3次元計測機器を活用した出来形管理の技術拡大の取組みについて			
	- RTKGNSS、写真測量の出来形管理への活用手法の検討-	.....	5 9
	国土交通省 国土技術政策総合研究所	○近藤 弘嗣 長山 真一	
	(一社)日本建設機械施工協会	藤島 崇	
15. TSを用いた出来形管理の土留・擁壁工への適用に向けた検討			
	-土留工・場所打擁壁での計測手法立案及び現場試行による省力化効果等の検証-	.....	6 3
	国土交通省 国土技術政策総合研究所	近藤 弘嗣 ○長山 真一	
	(一社)日本建設機械施工協会	椎葉 祐士	
16. 中小零細建設業を対象にする映像を活用したCIMの開発		.....	6 7
	(株)環境風土テクノ	須田 清隆	
	可児建設(株)	○可児 憲生	
	トライポッドワークス(株)	渋谷 義博	
17. 6軸減揺棧橋の開発 -作業船の動揺安定台としての活用事例-		.....	7 1
	東亜建設工業(株)	○那須野 陽平 今村 一紀 田中 孝行	
18. 振動ローラの加速度計測を利用した地盤反力算定について		.....	7 7
	立命館大学	○横山 隆明 建山 和由	
	若築建設	藤村 貢	
19. IoTを取入れた次世代無人化施工システムの実現			
	-ICTを活用した赤松谷川11号床固工工事の無人化施工-	.....	8 1
	(株)熊谷組	北原 成郎 坂西 孝仁	
		○飛鳥馬 翼	
20. 観測測位データのカルマンフィルタ処理による法面適応評価		.....	8 7
	大成建設(株)	○近藤 高弘	

21. 狭小敷地における特殊運搬台車による大型 PC 床版の取付工事	・・・・・・・・	9 3
	東急建設(株)	○大峰 秀之 西尾 仁 渡邊 高朗
22. 小型多機能敷きならし機械による中小工事の合理化検討	・・・・・・・・	9 7
	(株)N I P P O 西尾レントオール(株)	○梶原 覚 浦田 公雄
23. 泥土圧シールドにおける掘削土の泥水輸送の有効性と高速施工設備について	・・・・・・・・	1 0 1
	清水建設(株)	○吉澤 尚志 西川 泰司
24. 定張力ウインチシステムと斜面舗装機械の開発	・・・・・・・・	1 0 5
	鹿島道路(株)	○伊藤 圭祐
25. ダムコンクリート搬送用インクライン式ベルトコンベヤの開発		
－五ヶ山ダム(巡航 RCD 工法)におけるコンクリート運搬打設設備－	・・・・・・・・	1 0 9
	鹿島建設(株)	○青野 隆 林 健二 大林 信彦
26. コンクリート舗装における施工方法合理化への取組み		
－オフレール式インナーバイブレータの導入－	・・・・・・・・	1 1 5
	大成ロテック(株)	○越村 聡介 田中 純 菅野 学
27. UHF 帯 RFID を用いたレンタル電気機器管理システムの開発		
－レンタル製品の個体管理と履歴データの利用－	・・・・・・・・	1 2 1
	(株)ヨコハマシステムズ (株)シンテクノ	○中川 健 庄野 雅治 秋山 道春
28. 道路施工機械の燃費低減の検討		
－スリップフォーム工法での燃費低減－	・・・・・・・・	1 2 5
	大成ロテック(株)	○田中 純 越村 聡介 三嶋 遼太
29. 消音器を用いたトンネル発破音対策技術	－ブラストサイレンサー	・・・・・・・・ 1 3 1
	(株)大林組	○荒川 晃士 杉本 隆志 石山 知伸
30. 電動技術によるハイブリッドホイールローダの開発	・・・・・・・・	1 3 3
	日立建機(株)	○石田 一雄 日暮 昌輝
31. タイヤ式多目的運搬台車について		
－急曲線・急勾配に対応した坑内運搬台車－	・・・・・・・・	1 3 7
	清水建設(株) 清水・東急 JV 首都高速道路(株)	○藤井 暁也 磯部 哲 溝口 孝夫

32. インバート支保工設置ロボットの開発と導入	・・・・・・・・	141
	清水建設(株)	○藤内 隆 藤井 攻
33. ドラグ・ショベルの斜面降下時および残土等乗り越え時の 機体の不安定化に関する基礎的検討	・・・・・・・・	147
	(独)労働安全衛生総合研究所	○堀 智仁 玉手 聡
34. 水中作業におけるコンクリートブロック据付支援システムの開発	・・・・・・・・	151
	(国研)土木研究所 寒地土木研究所	○平 伴斉 山口 和哉 岸 寛人
35. RFID方式を使用した舗装用建設機械の安全対策	・・・・・・・・	155
	(株)NIPPO	○宮本 多佳 相田 尚
36. 小口径・長距離シールドトンネルにおける同一立坑からの2方向同時施工	・・・・・・・・	159
	(株)奥村組	○犬飼 貴 辻 和宏 木下 茂樹
37. 予知保全技術による診断と適用事例	・・・・・・・・	163
	(株)IMC	○大平 匡史 柴田 勝規 宮崎 信弥
38. 土木機械設備のストックマネジメントに関する検討	・・・・・・・・	167
	(国研)土木研究所	藤野 健一
	国土交通省 東北地方整備局	山尾 昭
	(国研)土木研究所	○伊藤 圭
39. 斜張橋ケーブル調査ロボットにおける損傷箇所検出システムの開発	・・・・・・・・	173
	西松建設(株)	○原 久純 田中 勉 小栗 利夫

II 梗概集

II-1 ポスターセッション要旨

1. トータルステーションと携帯情報端末による杭打設管理システム
ー鋼管杭等の場所打ち杭・斜杭の位置、傾きをリアルタイムに数値管理ー 177
西尾レントオール(株) ○山口 秀樹
2. 鋼製支柱路面境界部腐食調査システム ーキズミー1ー 179
(株)リンク 酒井 信幸
MKエンジニアリング(株) 竹之内 博行
日進工業(株) ○中光 眞史
3. ICT現場管理ツール群 181
鹿島建設(株) ○水谷 亮
國近 京輔
岩井田 英昭
4. レーザースキャナによる道路有効幅員及び路肩堆雪形状の計測 183
(国研)土木研究所 寒地土木研究所 ○佐藤 信吾
住田 則行
三浦 豪
5. 画像情報を用いた土の水分量推定技術の開発研究 185
立命館大学 ○杉浦 俊充
横山 隆明
建山 和由
6. 岩盤切削機へのマシンコントロール技術の導入 187
奥村組土木興業(株) 川畑 雅樹
○丸山 健一
7. 放射性汚染廃棄物土のう用重機式放射能簡易計測装置
ーSiki～四季(きせつ)を感じる故郷(まち)に戻そうー 189
日立建機日本(株) ○竹内 豊
8. 中小零細建設業を対象にする映像を活用したCIMの開発
ー新しい情報化施工の実現に向けてー 191
(株)環境風土テクノ 須田 清隆
トライポッドワークス(株) ○渋谷 義博
立命館大学理工学部 建山 和由
9. 建設発生土を用いた液状化対策改良土の提案 193
立命館大学 石森 洋行
○岡本 晃尚
山崎砂利商店 釜本 英一
10. アスファルトプラント用ガス・バイオマス燃料混焼バーナの開発 195
前田道路(株) ○傳田 喜八郎
日工(株) 今田 雄司
11. 危険な災害現場で活躍する無人化施工技術
ー遠隔操作でおこなう最新施工技術と映像機器ー 197
建設無人化施工協会 ○川上 勝彦
北原 成郎
田口 毅

II - 2 施工技術総合研究所研究発表

1. 民間企業との連携による道路管理技術の開発・普及	.....	199
	研究第二部 研究課長	榎園 正義
2. 最近の橋梁補修技術に関わる大型実験	.....	220
	研究第二部 次長	小野 秀一
3. 研究所業務から見た情報化施工の最新動向	.....	235
	研究第三部 研究課長	藤島 崇
4. 油圧ショベルの省エネ施工	.....	241
	研究第四部 技術課長	稲葉 友喜人
5. 災害発生時に貢献可能な無人化施工技術	.....	249
	研究第三部 技術課長	篠原 雅人

I 論文集

1. 破碎及び高速搬送ベルトコンベヤ設備の設置～運転・維持管理

清水建設 株式会社

(株)エスシー・マシーナリ

古河産機システムズ(株)

○ 小野澤龍介

加藤 秀樹

片股 博美

1. はじめに

東日本大震災が発生し、東北東沿岸を中心に、地震と想定外の津波により甚大な被害を受けた。岩手県陸前高田市では、被災地における復興まちづくりとして、高台移転事業が進められ、住宅地となる山を切り崩し、掘削した土砂や岩石をかさ上げ地区に運搬する工事を行っている。大容量の土砂約 500 万 m³ を環境に配慮し、効率的に破碎搬送する本設備の概要、設計から稼動までの短納期対応諸施策及び運転・維持管理の取組みについて紹介する。

2. 全体のレイアウト

気仙川右岸の山を切り崩し掘削した土砂は、破碎設備にて 300mm 以下に砕かれ、気仙川を横断し気仙川左岸の被災した旧市街地側へ搬送される(写真-1)。本設備について、破碎設備、搬送設備、仮橋設備、電気設備に分類し詳述する。



写真-1 破碎・搬送設備全景

3. 設備概要

3.1 破碎設備 (8 系統)

掘削した土砂 (表-1) は重ダンプにより運搬され 8 基の原石ホツパに投入される。投入された土砂を、エプロンフィーダにより定量的に切出した

後、スカルパスクリーンにより篩分けを行なう。大きな原石はシングルトッグルクラッシャにより、盛土材 (300mm 以下) として使用可能な大きさに破碎する (図-1)。破碎機を 8 基設置することにより 8,000t/h の処理能力を備えている。破碎設備の 8 系統は 4 系統ずつ 2 つのブロックに分け、1 ブロックの基礎工事が完了した時点で据付工事を開始することで工期短縮を図った (図-2、写真-2)。

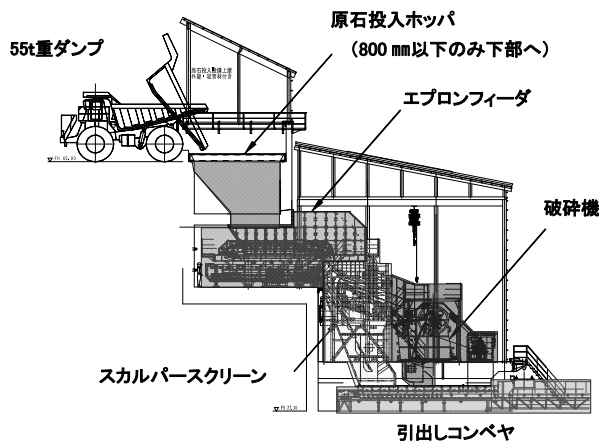


図-1 破碎設備断面図

表-1 ホツパ投入土砂

投入土砂	発破原石 (土砂・軟岩・中硬岩)	
粒径	最大 800×1000×1400	mm

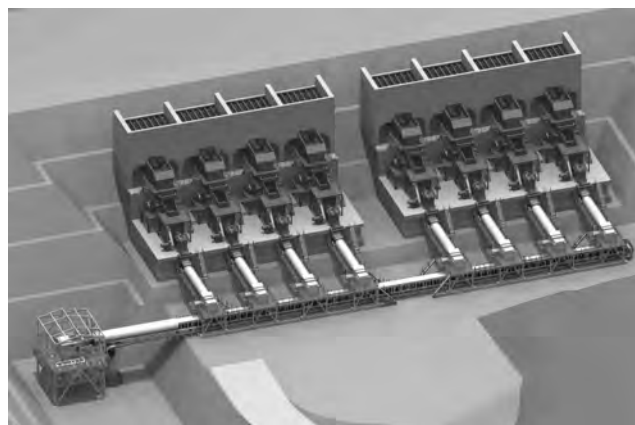


図-2 破碎設備 3D イメージ



写真-2 完成した破碎設備と引出しコンベヤ

3.1.1 原石投入ホッパ

原石投入ホッパはRC製で55t重ダンプ2~3台分の容量を確保した。投入口には目開き800mmの固定グリズリーバーを設置し、1m以上の大塊混入による破碎室の荷詰り等のトラブルを防ぐようにした。

3.1.2 エプロンフィーダ

原料の供給機には、泥分の多い土砂の投入に対しても詰りや居着きが少なく、定量で安定した供給ができ、大塊の落下による衝撃やホッパ内の大きな荷重に耐え得るエプロンフィーダを採用した。

3.1.3 スクリーン

盛土材として破碎の必要のない300mm以下の土砂や泥分と、クラッシャで破碎する岩石とに篩分を行う特重型のスカルパースクリーンをクラッシャの前工程に配置することで、クラッシャの破碎能力を高めるようにした。

3.1.4 クラッシャ

クラッシャは1m程度の大塊を破碎できる国内最大級の60インチシングルトルグルクラッシャを採用した。破碎産物の粒度を安定させるために必要な破碎隙間のセット調整作業を簡単に、短時間で行うことができる油圧セット調整機構を組み込んだ。

3.1.5 騒音、粉塵対策

破碎設備の廻りは騒音の低減、粉塵の飛散防止のため破碎設備全面を建屋で囲った。粉塵が発生する原石ホッパ投入口、クラッシャ破碎室、排出シュートには発塵防止の散水装置、集塵装置を設置した。

3.2 搬送設備

破碎設備から8系統の引出しコンベヤ(1000t/h×8系統)にて土砂を引出し、メインの1系統のコンベヤ(6000t/h×1系統)に合流し、10基のコンベヤにて、気仙川左岸の旧市街地へ土砂を搬送し、

5基の巡回コンベヤにて5箇所の払出しを行う。メイン及び巡回コンベヤは、ベルト幅1800mm、ベルト速度250m/min、6000t/hの搬送能力を備えている。巡回コンベヤ(写真-3)は、先端が(巡回半径64m)半円状に巡回することにより、土砂を大量に仮置きできる(表-2、図-3)。巡回は、根元の巡回中心を基点とし、巡回コンベヤの先端下部の2台の走行装置がレール上を移動することにより行われる。

表-2 搬送設備仕様

引出 コンベヤ	名称	BC1~8	
	運搬量	1,000	t/h
ベルト幅	1,200	mm	
ベルト速度	100	m/min	
機長	24	m	
電動機	30	kW	
数量	8基		
メイン コンベヤ	名称	BC9~19	
	運搬量	6,000	t/h
	ベルト幅	1,800	mm
	ベルト速度	250	m/min
	機長	96~817	m
	電動機	400~ 400×2	kW
数量	10基		
巡回 コンベヤ (払出設備)	名称	BC20~24	
	運搬量	6,000	t/h
	ベルト幅	1,800	mm
	ベルト速度	250	m/min
	機長	68	m
	巡回半径	64	m
	電動機	132	kW
数量	5基		
総機長	約3		km

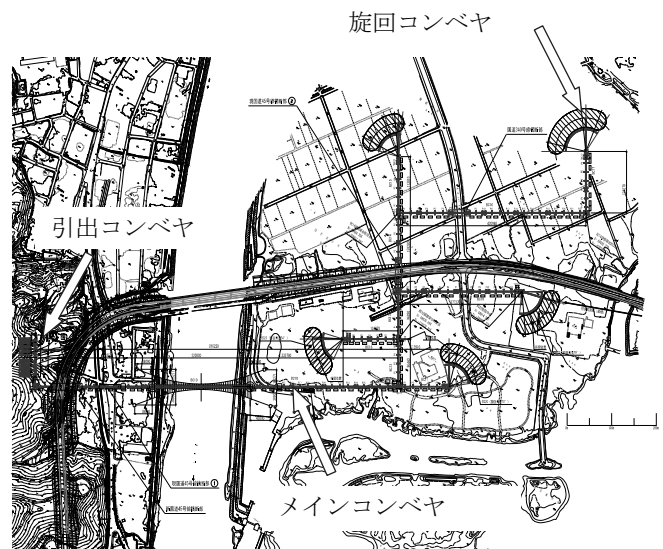


図-3 全体平面図



写真-3 旋回コンベヤ

3.3 仮橋設備

気仙川右岸の山を切り崩し、気仙川左岸の旧市街地側へ土砂を搬送するためには、気仙川を横断しなければならない。河川内に中間橋脚を設置する必要のない、ベルトコンベヤ専用の吊橋を設置した。本吊橋は、市内小学生の公募により「希望のかけ橋」と命名されている（表-3、写真-4）。

吊橋形式は、ケーブル構造がメイン部材であり、引張力には強く圧縮力に対しては抵抗がほとんどないため、載荷荷重や外力による影響を受けやすい、つまり部材が変形し揺れやすい構造である。

ベルトコンベヤ設備を気象条件に左右されずに安定して運転させるためには、大量の土砂等の積載物による荷重（以下、活荷重）と強風による風荷重に対する部材変形やたわみを抑制する必要があった。このため、橋全体の剛度を上げ、耐風安定性が増す補剛桁形式を採用した。補剛桁は、橋に載荷される活荷重や風荷重を補剛桁により広範囲に分散させ主索（メインケーブル）に力を伝達し、局所的な変形を防ぐ役割を担う。また、橋の全体剛性が上がるため、活荷重や風荷重等外力によるたわみを小さく抑えることができる。

表-3 仮橋設備仕様

(希望のかけ橋)	機種	ベルトコンベヤ専用	
	支間長	220	m
	幅員	6.4	m
	主塔高	28.6	m



写真-4 ベルトコンベヤ用吊橋「希望のかけ橋」

3.4 電気設備

66,000 ボルトで受電し、降圧後 6,600 ボルトで 9 箇所のカブクリに配電している（写真-5, 6）。カブクリの数量は、設備が広範囲にわたって配置されていることと、負荷容量が大きいため、配線コストの低減、工期の短縮を考えた結果である。

3.4.1 設備容量

破碎関係設備で 2,500kW、搬送関係設備で 6,200Kw、合計約 8,700kW の容量となっている。



写真-5 特別高圧受変電設備



写真-6 破碎機近傍の高圧キュービクル

3.4.2 重負荷における起動方式

クラッシャ 190kW, ベルトコンベヤ 400~800kW の主たる負荷は, 6,600 ボルト直入起動を採用している。かご型モータの採用及び起動制御装置の簡素化による製作期間の短縮を図った。直入起動を採用出来たのも, 得意先のご理解があったことと, 地元電力会社による特別高圧送電線路を, 本設備専用にて工期内で施工して頂いたことが主因である。

3.4.3 動力補機類

各所に配置した高圧キュービクルで, 400 ボルトに降圧し補機用動力電源を供給した。200 ボルトを採用しなかったのは, 配線コストを抑えるためである。

3.4.4 操作制御装置

通常の運転は, 破碎設備近傍に設置した中央操作室から連動運転で行う (写真-7)。

5 箇所の排出先があるので, 運転前に排出先を選択し, 連動運転ボタンを押すことにより順次下流側から自動起動していく。

中央操作室には, 6 台の操作制御モニタを設置しており, グラフィック画面で設備全体の状況, 機器単体の状況を隈無く確認出来る。

制御装置は, 中央操作室のメイン PLC (プログラマブルロジックコントローラ) と設備各所に配置された現場制御盤の PLC を光ケーブルで繋ぎ, ネットワーク化している。

スクリーンやエプロンフィーダでは, 負荷変動に対応するためインバータを使用し可変速とした。インバータには PWM コンバータを付帯させることにより, 高調波抑制及びモータ減速時回生エネルギーの電源側への戻しを図った (写真-8)。



写真-8 スクリーン用インバータと PWM コンバータ

3.4.5 監視カメラ

原石投入ホッパ, クラッシャ, コンベヤ乗り継ぎ部, 最下流コンベヤストックヤードなど計 50 台のカメラを配置した。

破碎搬送の土質状態は, 積込場所・天候などにより左右されるが, これらのカメラにて監視することにより不具合の予測, 異常の早期発見に大きく寄与した。

碎石の受け入れ状況, 破碎状況, 搬送状況, 排出先のストック状況が, 中央操作室に設置した 5 台の大型モニタで容易に確認出来るため, 重ダンプ投入受け入れ・機器の調整などを中央操作室から即座に指示出来る。現場配置人員の削減にも繋がった。

カメラはネットワーク型を採用。光ケーブルにて中央操作室 PC と接続しているため, カメラ増設にも容易に対応が可能である。



写真-7 中央操作室での制御状況

4. 短納期対応諸施策

4.1 ルートを湾岸部から陸上部へ

当初は、コンベヤ脚の基礎部が水際の湾岸沿いに設置される計画であったが、環境面で海洋に与える影響が大きいこと、基礎施工が困難で施工の時間を要することから、より工程短縮が図れるよう、コンベヤルートを水際部から陸上部に変更した。

4.2 乗継部を直進または直角に

当初は、コンベヤの平面乗継角度が任意の角度で計画されていたが、乗継部の設計、施工、据付が繁雑となることから、コンベヤの乗継角度を直進または直角として平易化を図り、工程の短縮を図った。

4.3 フレーム構造をトラス形式から桁形式に

従来のコンベヤフレームは図-4のトラス形式が一般的であった。トラス形式は軽量化を図れるが、部材点数が多いのが特徴的である。今回は、図-5の桁形式を採用することにより、部材点数をトラス形式より極端に減らし、製作及び現地組立、据付期間の削減を図った。



図-4 トラス形式のフレーム



図-5 桁形式のフレーム

4.4 脚断面の形状を統一

コンベヤ脚断面の傾斜角度を一定にして、脚を3分割構造とした。コンベヤ脚高さ確定前に、製作着手可能な上部及び下部を先行製作し、コンベヤ脚高さ確定後、中間部の製作を着手し製作時間を削減した(図-6)。

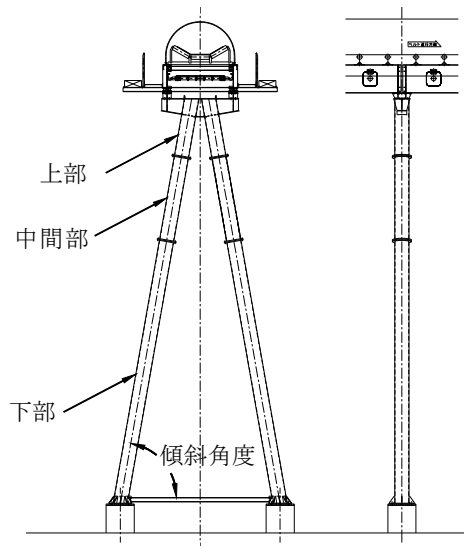


図-6 コンベヤ脚

4.5 乗継架台の共通化

乗継架台への出入りするコンベヤの傾斜角度、コンベヤ設置レベルを同一として、架台の共通化を図り設計・施工の容易化を図った。

5. 運転・維持管理の課題と対応

5.1 破碎機歯板厚の摩耗量計測管理による搬送設備部品の損耗度軽減化

岩石の半分以上は発破作業を必要とする非常に堅硬で緻密な礫岩であり、破碎搬送工程に大きな影響を与える。破碎、搬送作業を中断させないための効率的な部品交換、メンテナンスが課題である。

破碎機の歯板の摩耗(写真-9)が進行すると破碎能力が落ちるだけでなく、搬送設備のベルト・シュートラライナ・ローラの早期摩耗・破損の原因となる。定期的に各機の歯板厚を計測し、摩耗量と搬送量から交換・予備品追加の納期を早期に予想し、効率的な歯板の管理・交換を行っている(図-7)。歯板の寿命延長化のため、材質の変更・表面硬化等を検討したが、工程及びコスト面から総合的に判断し、現状品を継続した。

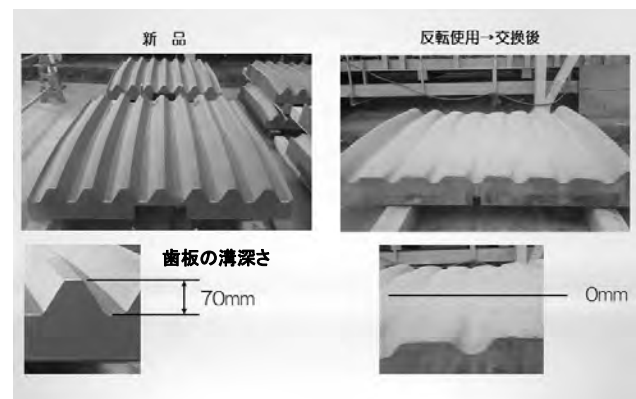
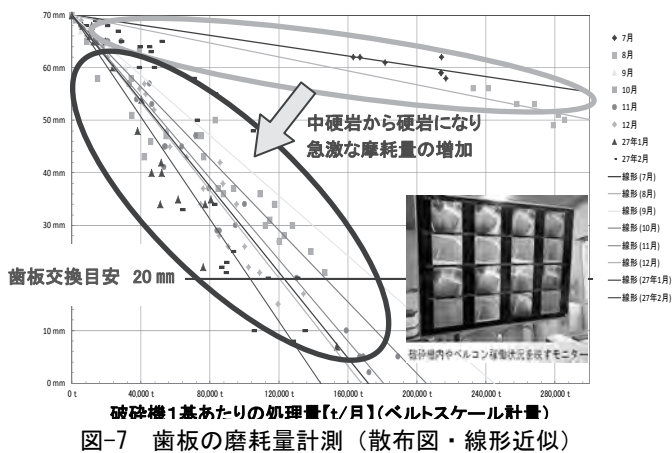
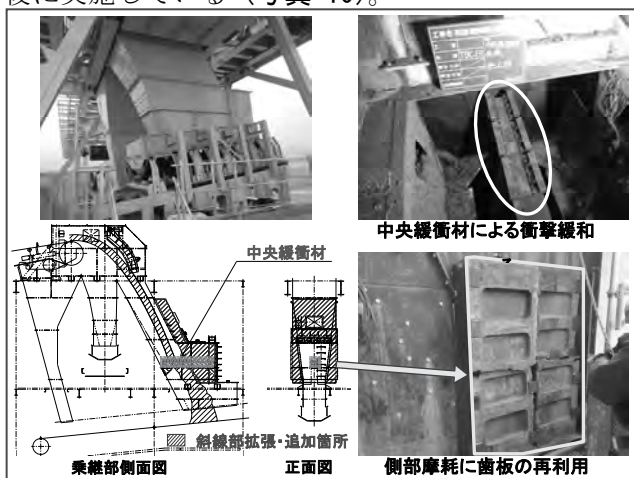


写真-9 硬岩による歯板の摩耗状況



5.2 粘性土砂と硬岩に対応可能なシュート乗継部の改良

コンベヤを分岐させるシュート乗継部は、土砂に落差を与えてしまう。特に硬岩は、シュート内壁やコンベヤベルトに衝撃を与え、破損や摩耗の原因となる。当初、搬送土砂の中心は表土・中硬岩であったが、硬岩が急遽出現してからは、シュート内部に中央緩衝材やデッド、シュート側部には中古歯板の有効活用、ゴム製ノレンを追加し、同時に閉塞を防ぐためシュートを拡幅し、乗継部の衝撃を緩和した(図-8)。部品交換、補修等のメンテナンスは、夜勤体制を導入し土砂搬送終了後に実施している(写真-10)。



5.3 コンベヤベルトの定期点検・早期交換工程の確立

コンベヤベルトの寿命は、搬送物の粒径・形状、衝撃力、衝撃数、総搬送量、ベルト仕様により変化し、搬送工程に大きな影響を与える。搬送作業を中断させないための効率的な部品交換、メンテナンスが課題である。

定期的にコンベヤベルトを点検し、損傷度と搬送量から交換・予備品追加の納期を早期に予想し、効率的なコンベヤベルトの管理・交換を行っている。

6. おわりに

本設備は、早期復興のために短納期施工が求められる、破碎・搬送・橋梁・電気のそれぞれの技術力を融合、結集し、関係各社と共に、設備の据付、運転まで完成させた。

平成26年3月から本格稼働を開始し、現在、大規模な土砂搬送が進み、最終段階に至っている。引き続き本設備の運転・維持管理に取組み早期復興につなげていく所存である。

参考文献

- 1) 小野澤龍介ほか：陸前高田市震災復興事業「希望のかけ橋」の設計・施工 巨大ベルトコンベヤ搬送設備用吊橋，建設機械施工，通巻785号，pp.61～65，Vol.67 No.7 July 2015

2. 除染作業による除去土壌からの有機物の分別方法に関する検討

安藤ハザマ
安藤ハザマ
東京電力株式会社

○ 木川田 一弥
武石 学
川崎 一弘

1. はじめに

除染等作業により発生した除去土壌のうち、有機物（植物の茎や根など）を多く含む土壌を保管した場合、有機物の経年腐食によるガスやアンモニウムイオンの発生により、長期的・安定的な保管に支障をきたす恐れがあると考えられる¹⁾。そのため、保管前に土壌中の有機物を取り除くことは安定的な保管に有効であり、取り除いた有機物を焼却処理すれば減容化を図ることもできる。本稿では、有機物の混入した非汚染の模擬除去土壌を用いて、乾式ふるい分別（以下、乾式分別）試験と湿式分別試験を行って分別性能等を評価したので報告する。

2. 有機物分別技術の概要

試験で用いた乾式分別装置は、トロンメル内部に解砕用の回転翼を装着したものであり、回転翼で土壌中の草木類に衝撃を与えて付着土壌を分離することにより、有機物と土壌の効率的な分別ができる特徴をもつ（写真-1～2）。

また、この乾式分別と比較するため、土壌を水中に浸してバックホウにより攪拌し、浮遊した有機物を回収する湿式分別も実施した。

3. 有機物分別試験

3.1 分別試験の概要

- ① 試験実施場所：安藤ハザマ技術研究所（茨城県つくば市）
- ② 試験実施期間：2014年1月～2月

3.2 分別試験ケース

分別試験では、上記試験場所敷地内の土壌を実際の除染作業と同様に表層5～10cmの厚さで、植生ごとはぎ取った模擬除去土壌（写真-3）を試験試料とした。表-1に示すように有機物を比較的多く含む土壌試料（試験Aグループ）と有機物の比較的少ない試料（試験Bグループ）の2種類の試料について、さらに含水量を変化させるため、A-1、B-1試験ケースの試料は天日乾燥、A-3、B-3試験ケースの試料は加水混合を行った上で、分別試験に供した。1試験ケースあたりの土壌量は3～4ト

ン程度（湿潤質量）である。



写真-1 乾式分別装置外観



写真-2 分別装置内部の回転翼



写真-3 模擬除去土壌の採取状況

表-1 試験ケースと模擬除去土壌の性状

ケース	有機物量	含水率(%)	土壌量(kg 湿)
A-1	比較的多い	29.4 (乾燥)	3,034.0
A-2	〃	36.8 (標準)	3,431.0
A-3	〃	39.1 (加水)	3,604.5
B-1	比較的少ない	35.3 (乾燥)	3,518.5
B-2	〃	36.4 (標準)	3,782.0
B-3	〃	38.6 (加水)	4,105.0

3.3 乾式方式による有機物分別

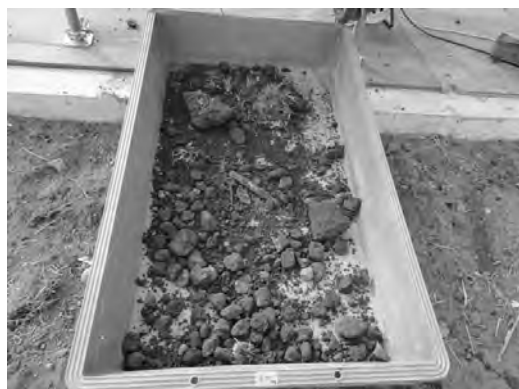
処理速度最大20m³/時間程度の分別能力を有する乾式分別装置を用いて乾式分別を行った。



(a) ふるいを通過した土壌



(b) ふるい上の有機物



(c) ふるい上の礫

写真-4 乾式分別の状況

分別前の原土を乾式分別装置に供給すると、ふるいを通過した土壌と、ふるい上に残った有機物および礫に分別され、さらに比重によって有機物と礫が分別される(写真-4)。なお、分別装置にセットされる網(メッシュ)サイズは40mm固定とした。

3.4 湿式方式による有機物分別

乾式分別と同じ模擬除去土壌を用い、容積3m³の水槽に試験1ケースあたり100kg程度の原土と500Lの水を投入してバックホウにて十分に攪拌した後、沈降と浮遊により土壌と有機物を分別した(写真-5)。



(a) 水槽へ投入した土壌をバックホウで攪拌



(b) 網により浮遊有機物を回収



(c) 回収された有機物

写真-5 湿式分別の状況

3.5 分別性能と周辺影響の評価

分別性能は土壌等への有機物の含有状況を指標として評価し、有機物の含有状況は強熱減量試験により求めた。強熱減量は、試料を110±5℃で炉乾燥させた後、750±50℃で1時間強熱したときの減少質量を求めて、炉乾燥試料の質量に対する割合(%)で表したものである。多くの有機物を含む場合には、減少質量が大きくなるため強熱減量の値が大きくなる。

強熱減量試験にあたっては、サイズの大きい有機物も含めて分析対象とすることから、試料の均一性を確保するため、有機物をカッター等で微細に細断したものを試料とした。

乾式分別、湿式分別ともに、分別前の土壌(原土)および分別後の土壌と有機物から試料を採取し、それぞれについて強熱減量を求めて分別性能を評価した。

周辺影響は分別作業時における周辺の空気中粉じん濃度で評価することとし、とくに粉じんの発生が懸念される乾式分別作業において粉じん濃度測定を行った。粉じん濃度はローボリウムエアサンプラ(柴田科学 NW-354 PM4 型)でろ紙に粉じんを捕集して直接的に質量濃度を求めた。粉じん濃度の測定状況を写真-6に示す。



写真-6 粉じん濃度測定の様子

4. 試験結果と考察

4.1 分別前後の質量収支(乾燥質量ベース)

(1) 乾式分別前後の質量収支

乾式分別による分別前後の質量収支を表-2に示す。分別前後の乾燥質量ベースの収支は94.0%~99.9%の範囲にあり、分別前後の質量収支がほぼ一致した。

(2) 湿式分別前後の質量収支

湿式分別による分別前後の質量収支を表-3に示す。乾式分別に比較して収支のバラツキが大きく、とくに濁水の質量(濁水を乾燥させて粒子分を計量)に差があることから、採取した濁水の濃度の均一性に起因するものと考えられる。

表-2 乾式分別の質量収支

ケース	分別前 ¹⁾		分別後 ¹⁾		収支 ²⁾ (%)
	原土	土壌	有機物	礫	
A-1	2,143.4	2,058.2	22.5	14.6	97.8
A-2	2,168.1	2,035.3	28.7	9.1	95.6
A-3	2,195.3	2,152.5	23.2	17.3	99.9
B-1	2,276.4	2,203.2	5.3	9.0	97.4
B-2	2,406.1	2,312.2	6.5	18.0	97.1
B-3	2,519.3	2,290.4	31.2	47.6	94.0

注1) 分別前後の質量単位は乾燥質量(kg 乾)

注2) 収支(%) = (分別後質量/分別前質量) × 100

表-3 湿式分別の質量収支

ケース	分別前 ¹⁾		分別後 ¹⁾		収支 ²⁾ (%)
	原土	土壌	有機物	濁水	
A-1	74.1	63.2	2.3	0.3	88.8
A-2	65.4	56.0	3.1	2.6	94.4
A-3	67.0	42.6	2.0	13.8	87.1
B-1	77.6	71.6	0.9	16.5	114.8
B-2	68.7	54.7	0.9	2.2	84.1
B-3	62.3	49.7	0.4	7.6	92.7

注1) 分別前後の質量単位は乾燥質量(kg 乾)

注2) 収支(%) = (分別後質量/分別前質量) × 100

4.2 強熱減量試験結果

(1) 土壌の強熱減量試験結果

分別前原土、乾式分別後の土壌、湿式分別後の土壌について強熱減量を求めたものを図-1に示す。

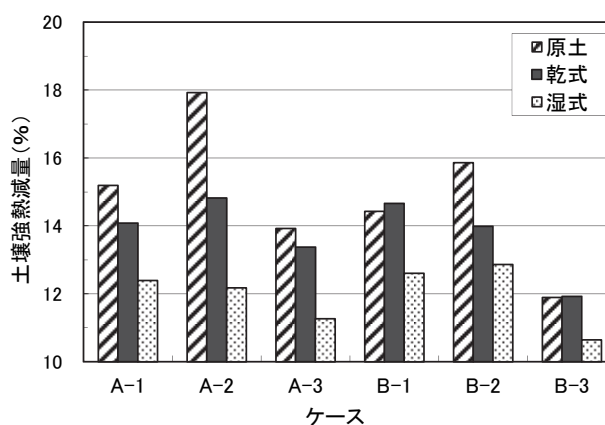


図-1 土壌の強熱減量結果

有機物含有量の多い試験Aグループでは、乾式分別後の強熱減量の値が、原土に比較して0.6~3ポイント程度低下しており、乾式分別による有機物の除去効果が認められる。一方、有機物の少ないBグループでは、ケースB-2を除き乾式分別後の強熱減量の値は原土に比較して低下していない。これは、多量の有機物を含むAグループ土壌でも、

分別した有機物は質量割合として1.1%程度（原土2,140～2,200kg 乾に対して分別有機物は25kg 乾程度）であり、有機物の含有量の少ないBグループ土壌では分別した有機物の質量割合が平均0.6%程度と小さいため、感度が小さくなったことが影響していると思われる。

一方、湿式分別ではすべての試験ケースで乾式分別よりも強熱減量が大きく低下しており、有機物の分別性能が優れていることを示している。乾式分別ではふるい（分別装置の網）により機械的な分別を行っているが、湿式分別で水に浮遊させた有機物を回収する方法が、より確実な分別手段であることが確認された。

なお、乾式・湿式分別とは別に、原土から目視により手作業で有機物を取り除いた後の土壌の強熱減量を求めたところ13.5%であったのに対し、乾式分別後の土壌の全ケースの平均強熱減量が13.8%であったことから、乾式分別により比較的良好な結果が得られたといえる。

ただし、湿式分別により有機物をもっとも除去できた後の土壌（図-1のB-3）でも、強熱減量が10.6%であったことから、試験に供したもともとの土壌中に、ふるいや浮遊分離では取り除くことのできない有機物が多く含まれていたものと思われる。

(2) 有機物の強熱減量試験結果

分別前原土、乾式分別後の有機物、湿式分別後の有機物について強熱減量を求めたものを図-2に示す。

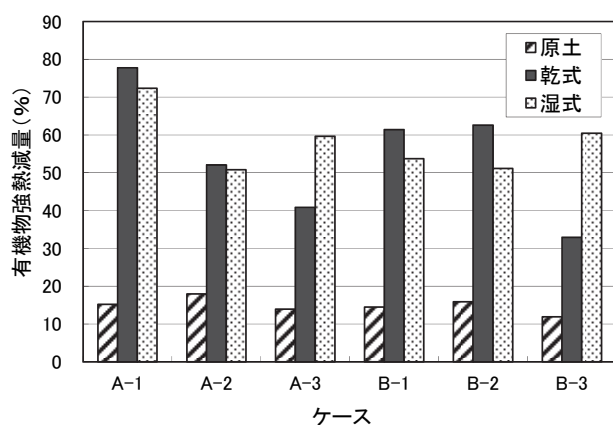


図-2 有機物の強熱減量結果

乾式分別の結果としては、有機物が多く含まれるAグループでは、含水率が大きくなるにしたがい（含水率はA-1<A-2<A-3）強熱減量が低下しており、有機物（とくに植物の根）に固着した土壌が十分に分離・除去できていないと考えられる。この傾向は有機物含有量の少ないBグループでも同様であり、高含水土壌での有機物と土壌の分離が課題であると考えられる。

湿式分別では土壌100kg 湿程度に対し、500Lの水を加えて分別するため、もともとの土壌の含水状態の影響は受けない分別方法となっている。図-2に示されるように、多少のばらつきはあるものの、すべての試験ケースで50～70%（平均58%）の強熱減量であり、安定した分別性能を有することがわかった。

なお、含水率の比較的大きい土壌（A-3, B-3）以外のケースでは、乾式分別後の有機物の強熱減量は湿式分別と同程度か、より大きくなっていることがわかる。これは、土壌の含水状態を乾式分別に適切な範囲にしてやれば、有機物と土壌が確実に分離されることを示している。減容化のために、分別した有機物を焼却処理するとすれば、乾式分別された有機物は、湿式と同等以上に「焼却しやすい」「主灰の発生が少ない」ものになっていると思われる。湿式分別に比較して簡易な分別方法である乾式方法による分別性能を評価することができる。

4.3 粉じん濃度の測定結果

乾式分別装置の運転中に粉じん濃度を測定した結果を表-4に示す。乾式分別作業時の総粉じん濃度の最大値は0.55 mg/m³程度であり、除染電離則で示される高濃度粉じん作業（10mg/m³超）²⁾には該当しないことを確認した。

表-4 粉じん濃度測定結果

測定対象作業	測定位置	総粉じん濃度
乾式分別試験 (ケース B-1)	有機物排出口	0.55 mg/m ³
	ふるい下土壌排出口	0.33 mg/m ³

5. おわりに

乾式分別および湿式分別により土壌中の有機物を分別し、強熱減量試験結果から両方法の基本的な分別性能を把握した。乾式分別については、本文で述べたふるい式の分別装置によって分別された土壌に対して、風力を利用してさらに二次的に分別する方法も試みたが、必ずしも効果的ではなかったため、紙数の都合で割愛した。

別途行ったコスト試算によれば、乾式分別は湿式分別と比較してコスト優位性があると考えられたため、今後はより効率的に乾式分別が行えるよう、施工条件等の検討を進めたいと考える。

参考文献

- 1) 環境省：中間貯蔵施設安全対策検討会及び環境保全対策検討会の結果とりまとめ，pp.7～12, 2013年
- 2) 平成23年厚生労働省令第152号：東日本大震災により生じた放射性物質により汚染された土壌等を除染するための業務等に係る電離放射線障害防止規則，第5条

3. 除染工事における情報化施工とマニュアル施工比較検証

－ 除染工事への情報化施工適用可能性の検証 －

株式会社トプコンソキアポジショニングジャパン ○竹内 幸弘
 福島県西郷村放射能対策課 菅野 一
 西松建設株式会社 加田文男

1. はじめに

福島県西郷村のトプコンソキアポジショニングジャパン白河トレーニングセンタ（以下白河 TC）で、2015年3月から3か月間で除染工事が実施された。今回、白河 TC の除染工事汚染土壌撤去作業で油圧ショベルとブルドーザによる情報化施工とマニュアル施工との比較施工を実施し、除染工事における情報化施工適用の可能性を検証したので報告する。

2. 除染業務について

除染業務は放射能で汚染された汚染土壌を約5cmの厚さで撤去し、新しい材料で覆土後の放射線量を基準値以下(0.23 μ SV/h 又は 50%低減)にする工事であり、以下の手順で実施される。

1. 除染範囲の確定
2. 放射線量の事前測定
3. 放射性物質の深度確定
4. 表土の鋤取り
5. 撤去した汚染土壌袋詰め。
6. ダンプに積み込み搬出。
7. 表土鋤取り後の放射線量中間検査。
8. 鋤取した部分の覆土
9. 土壌覆土後に最終線量検査。
10. 仮置場での据付作業

除染業務は汚染された土壌を確実に撤去し、新しい資材で覆土し放射線量を基準値以下に下げる事が最も重要な作業である。今回、西郷村の除染現場状況を見ると独立行政法人家畜改良センター等の敷地が広い場所ではブルドーザを使用しているが、ほとんどの除染業務は小型の油圧ショベルを使用して作業員の監視によるマニュアル施工で作業が行われている。

そこで今回、白河 TC の除染業務は、西郷村発注の請負業者の協力を得て白河 TC で所有している油圧ショベルとブルドーザの情報化施工機器を使用し、区画を分けて情報化施工とマニュアル施工の比較の検証を実施した。

3. 施工現場、使用機材、施工体制

3.1 除染業務施工現場

福島県西郷村、白河 TC サイト約 13,000 m² (130m \times 80m)の中央の芝生エリア内に A,B,C の 3 区画を設定した。それぞれを 2 つに区切りマニュアル施工と情報化施工を実施した。(図-1) (表-1)

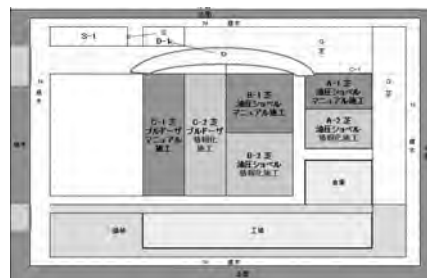


図-1 除染作業区画

表-1 除染工事区画、重機、施工方法

区画/施工日	縦 x 横(面積)	重機	施工
A-1 3/23	15m \times 35m (525 m ²)	油圧ショベル	マニュアル施工
A-2 3/24	15m \times 35m (525 m ²)	油圧ショベル	情報化施工
B-1 4/1	25m \times 30m (750 m ²)	油圧ショベル	マニュアル施工
B-2 3/25, 31	25m \times 30m (750 m ²)	油圧ショベル	情報化施工
C-1 3/31	50m \times 15m (750 m ²)	ブルドーザ	マニュアル施工
C-2 4/1	50m \times 15m (750 m ²)	ブルドーザ	情報化施工

3.2 使用機材

(1)重機

- ・コマツ PC-120 油圧ショベル
- ・コマツ D31-PX ブルドーザ

(2)情報化施工機器

- ・トプコン 3D-MG GNSS 油圧ショベル
- ・トプコン 3D-MC GNSS MC2 ブルドーザ

(3)測量機材(RTK-GNSS 測量セット)

- ・トプコン Hiper-V + Pocket-3D



図-2 使用機材、左からPC-120油圧ショベル、D31ドーザ、RTK-GNSS測量機器

3.3 除染業務体制と作業者

本除染業務の体制を(表-2)に示す。

表-2 除染業務体制

工事分担項目	施工業者
除染業務工程管理	西松建設(株)
施工担当および重機オペレータ	大国開発(株)
情報化施工機器管理及び測量	(株)トプコンソキアポジシヨニングジャパン

4. 情報化施工適用による除染業務作業内容

今回の除染業務への情報化施工適用に必要な作業内容を説明する。

4.1 現況測量と3次元設計データ作成

除染業務は、放射線量に応じ表土を5cm厚さで剥ぎ取る必要がある。情報化施工を適用するにあたりRTK-GNSS測量による現況測量を実施して情報化施工用3次元設計データを作成した。またマニュアル施工のエリアについても比較のため、情報化施工エリアと同様の現況測量を実施した。測量はRTK-GNSS (Hiper-V+Pocket-3D)を使用した。現況測量の測量密度は使用する重機(PC-120油圧ショベル、D31ブルドーザ)のバケット幅、ブレード幅と、施工前の地盤の凹凸の状況から2mメッシュ程度が必要と判断した。実際のRTK-GNSS測量は測量の効率と精度を考慮し、RTK-GNSS測量セット(Hiper-V+Pocket-3D)のGNSS測量機器を車の屋根に磁石で固定して走行しながらの連続測量(図-3)で行い、車両では測定が出来ない部分は通常のGNSS測量を併用して現況測量を実施した。車両を使用したGNSS連続測量の測量間隔は、移動距離1m毎に1回測定の設定で実施した。



図-3 車両によるGNSS連続測量機材

作成した3D設計データを(図-4)に示す。

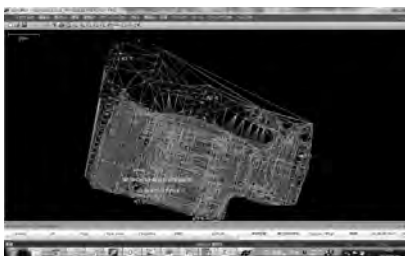


図-4 現況測量結果から作成した3D設計データ

4.2 汚染土壌剥ぎ取り作業

A, B区画を油圧ショベル、C区画をブルドーザを使用して汚染土壌剥ぎ取り作業を実施した。マニュアル施工の施工精度は油圧ショベル、ブルドーザ共にオペレータの技量に左右される。そこで、汚染土壌剥ぎ取り作業は、マニュアル施工、情報化施工共に1名の熟練オペレータで実施した。

除染業務のブルドーザ使用は、排土板の横から汚染土壌がこぼれてしまうため不向きであるとされていた。そこで10m剥ぎ取りのあと、ブレードを上げて抱えた土を作業エリアの外まで押し出すことを繰り返して汚染土壌を横にこぼすことを極力少なくして作業を行なった。



図-5 油圧ショベルとブルドーザー作業状況

5. 各エリアの施工結果

A, B, C各エリアのマニュアル施工と情報化施工の結果を以下に示す。汚染土壌剥ぎ取り作業後、RTK-GNSSで測量を実施し、施工前後の高さの比較を行った。施工後の測量の点をプロットした図を(図-6)に示す。

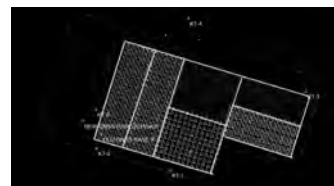


図-6 施工後の各エリアの測量点

5.1 A区画 油圧ショベル施工の結果

A区画、油圧ショベル施工の結果を(表-3)に示す。

表-3 A区画油圧ショベル施工の結果

区画/ 作業方法	A-1 マニュアル施工	A-2 情報化施工	A-2 /A-1(%)
使用重機	PC-120 油圧ショベル		
施工面積	15m×35m=525 m ²		
作業時間	2.9H	4H	138%
消費燃料	47L	35L	74%
排出土量	43袋	31袋	72%
GNSS測量から計算した施工体積と施工厚さ平均			
施工体積	37.89 m ³	28.31 m ³	75%
施工厚平均	7.2cm	5.4cm	75%
施工精度(設計値とのズレ)			
平均	-0.019m	-0.003m	
標準偏差	0.033	0.025	

5.2 B区画 油圧ショベル施工の結果

B区画、油圧ショベル施工の結果を(表-4)に示す。

表-4 B区画油圧ショベル施工の結果

区画/ 作業方法	B-1 マニュアル施工	B-2 情報化施工	B-2 /B-1 (%)
使用重機	PC-120 油圧ショベル		
施工面積	25m×30m=750 m ²		
作業時間	4.1H	4.65H	113%
消費燃料	34L	36L	106%
排出土量	62袋	60袋	97%
GNSS 測量から計算した施工体積と施工厚さ平均			
施工体積	47.08 m ³	46.56 m ³	99%
施工厚平均	6.3cm	6.2cm	99%
施工精度(設計値とのズレ)			
平均	-0.011m	-0.007m	
標準偏差	0.023	0.020	

5.3 C区画 ドーザ施工の結果

C区画, ドーザ施工の結果を(表-5)に示す。

表-5 C区画ドーザ施工の結果

区画/ 作業方法	C-1/ マニュアル施工	C-2/ 情報化施工	C-2 /C-1 (%)
使用重機	D31 ドーザ		
施工面積	50m×15m=750 m ²		
作業時間	1.9H	1.7H	89%
消費燃料	19L	20L	105%
排出土量	68袋	56袋	82%
GNSS 測量から計算した施工体積と施工厚さ平均			
施工体積	56.36 m ³	42.27 m ³	75%
施工厚平均	7.5cm	5.6cm	75%
施工精度(設計値とのズレ)			
平均	-0.023m	-0.006m	
標準偏差	0.024	0.015	

6. 施工結果まとめ

6.1 作業時間

油圧ショベル A,B 区画は情報化施工の方が時間が多くかかった。これは作業者が情報化施工の操作に慣れるのに手間取ったためと考えられる。一方ブルドーザについては、オート施工の情報化施工の方が作業時間が短い結果になった。また、同じ面積である B, C 区画を比較すると、油圧ショベルと比較してブルドーザの施工は半分以下の時間で作業を終了した。

6.2 消費燃料

B,C 区画においては、わずかにマニュアル施工の方が少ない結果になった、A 区画において作業時間と大きく異なる結果となったのは、A-2 の作業時間の中に、情報化施工機器の説明時間が含まれているためである。

6.3 施工精度

今回, A, B, C 全区画で施工精度は情報化施工の方が良い結果となり排出土量も減少した。油圧ショベルの A 区画, B 区画で比較すると除染開始

当初の A 区画のマニュアル施工は、施工厚さが 7.2cm とかなり厚めになったが、B 区画では剥ぎ取りの施工自体に慣れたためか、情報化施工とマニュアル施工の施工厚さにほとんど差が無い結果となった。

C 区画のブルドーザマニュアル施工で土壌を 5cm 程度の厚さで剥ぎ取る作業は非常に難しく、ドーザのマニュアル施工では施工厚さ平均は 7.5cm, 情報化施工は 5.6cm と 25% 排出土壌が減少する結果となった。マニュアル施工の施工精度が作業者の熟練度に大きく左右されるのに対し、情報化施工はオートでの施工が可能で、精度の良い安定した施工を行うことが可能である。今後熟練作業者の確保が困難になると、高い精度の施工が期待できる情報化施工が有効であると考えられる。

6.4 汚染土の排出土量から試算した施工費用

今回の除染業務の工事費用について以下の条件で工事費用を試算を行った。

- ① 今回の各 A, B, C 区画の排出土量を元に、
 - (1)汚染土の搬出運搬費(5km)
 - (2)覆土材料の材料費(砕石)
 - (3)汚染土を格納するフレコン(フレキシブルコンテナ, 1000L)の価格
 - (4)汚染土袋詰めめの価格
 - (5)汚染土据付の価格

を合計して試算した。計算単価は、運搬費 453 円/m³, 覆土材料費は、砕石 3,100 円/m³を排出した土量と同じ数量を戻すという仮定で計算を行った。フレコンの価格は一袋 12,900 円で計算し、汚染土袋詰めは一袋 1,949 円、仮置き場での据付一袋 1,278 円とした。なお、本試算は、材料費、運搬費のみで、工事費は含まれていない。

- ② また比較のため A, B, C 区画を同面積、100mX100m=10,000 m²の施工面積での費用を算出した。

6.4.1 フレコン一袋当たりの概算費用

試算の初めに、フレコン一袋当たりの概算費用を計算した。除染の費用は単価が公開されていない為、あくまで試算である。排出汚染土壌の処理費用はフレコン一袋当たり 2 万円程度と推測する。

表-6 フレコン一袋当たりの費用

フレコン(1000L=1 m ³) 当たりの試算費用	
(1)汚染土の搬出運搬費(5km)	453 円
(2)覆土材料資材費(砕石)	3,100 円
(3)フレコン代(EVA)	12,900 円
(4)汚染土袋詰	1,949 円
(5)汚染土据付	1,278 円
合計	約 19,680 円

6.4.2 今回のA, B, C各エリアの費用の試算

① 今回の各区画の費用試算

・A区画 525 m² 油圧ショベル施工費用試算

表-7 A区画 525m²油圧ショベル施工費用試算

区画/ 施工方法	A-1 マニュアル施工	A-2 情報化施工
面積	15m×35m=525 m ²	
土量体積	37.89 m ³	28.31 m ³
(1)搬出運搬	17,164 円	12,824 円
(2)覆土資材費	117,459 円	87,761 円
(3)フレコン代	554,700 円 (43 袋)	399,900 円 (31 袋)
(4)汚染土袋詰	83,807 円	60,419 円
(5)汚染土掘付	54,954 円	39,618 円
合計	828,084 円	600,522 円
費用比	100%	72.52%

・B区画 750 m² 油圧ショベル施工費用試算

表-8 B区画 750m²油圧ショベル施工費用試算

区画/ 施工方法	B-1 マニュアル施工	B-2 情報化施工
面積	25m×30m=750 m ²	
土量体積	47.08 m ³	46.56 m ³
(1)搬出運搬	21,327 円	21,092 円
(2)覆土資材費	145,948 円	144,336 円
(3)フレコン代	799,800 円 (62 袋)	774,000 円 (60 袋)
(4)汚染土袋詰	120,838 円	116,940 円
(5)汚染土掘付	79,235 円	76,680 円
合計	1,167,149 円	1,133,048 円
費用比	100%	97.08%

・C区画 750 m² ドーザ施工費用試算

表-9 C区画 750m²ドーザ施工費用試算

区画/ 施工方法	C-1 マニュアル施工	C-2 情報化施工
面積	50m×15m=750 m ²	
土量体積	56.36 m ³	42.27 m ³
(1)搬出運搬	25,531 円	19,148 円
(2)覆土資材費	174,716 円	131,037 円
(3)フレコン代	877,200 円 (68 袋)	722,400 円 (56 袋)
(4)汚染土袋詰	132,532 円	109,144 円
(5)汚染土掘付	86,904 円	71,568 円
合計	1,296,883 円	1,053,297 円
費用比	100%	81.22%

③ 区画の結果を 100mX100m=10,000 m²で試算した費用(参考)

表-10 各エリアの10,000m²あたりの施工費用試算

作業方法	マニュアル施工	情報化施工
面積	100m×100m=10,000 m ²	

土量体積(計算値)		
(A)油圧ショベル	721.71 m ³	539.24 m ³
(B)油圧ショベル	627.73 m ³	620.80 m ³
(C)ブルドーザ	751.47 m ³	563.60 m ³
(1)搬出運搬費(2)覆土材料費(3)フレコン代 (4)汚染土袋詰め(5)汚染土掘付		
(A)油圧ショベル	15,773,032 円	11,438,522 円
(B)油圧ショベル	15,561,990 円	15,107,302 円
(C)ブルドーザ	17,291,774 円	14,043,964 円

7. 排出汚染土減少への考察

除染業務は目標線量以下の放射線量低減が最優先される事から設計に比べ除去土壌発生土量は増加傾向にある。除去土壌の保管場所については、概ね3年程度市町村が設置した仮置場で保管し、その後、国が設置する中間貯蔵施設へ輸送する事となっているが膨大に排出される除去土壌の処理は報道等でも大きな問題になっている。実際、今回の白河 TC で排出された除去土壌は、フレコン(1,000L 袋)で1,300 袋にもなった。西郷村の除染で西松建設(株)工区から排出された除去土壌は2015年9月現在で約10万袋発生しており西郷村全体で、60万袋の除去土壌が発生すると見込まれている。

除染業務により汚染された土壌の剥取り厚さは、放射線量の高さや材料(土、芝生、草地、碎石など)により左右されるが、白河 TC の芝生エリアでは5cm 厚さで施工が実施された。この剥ぎ取り厚について情報化施工を採用し、かつ、試験施工で10%減の4.5cm 厚での施工で十分に線量低下が可能である結果が出たと仮定すると排出土量が10%減少することになる。

除去土壌量の増加は除染費用(国費=税金)の増加に繋がるばかりでは無く、仮置場の容量や中間貯蔵施設への運搬や貯蔵施設の増大に繋がることから除去土量が少しでも減少する事が出来れば、国費を縮減する事となり効果的な除染となる。今後、採用するには多くの検討課題が必要だが、情報化施工に費用が掛かっても除去土壌の発生量が削減すれば仮置場の容量削減や中間貯蔵施設への運搬、貯蔵施設保管等について費用の縮減に繋がる。情報化施工で施工精度の向上⇒排出土量の減少が実現する可能性があると考えます。

8. 謝辞

今回の除染工事への情報化施工の適用に関しましては、大変忙しい状況の中、福島県西郷村および西松建設(株)の皆様にご多大のお世話になりました。この場をお借りして、お礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 環境省 除染関係ガイドライン 平成25年5月 第2版(平成26年12月追補)

4. 薬液注入工法における長距離曲り削孔技術

— ワイヤレス式軌道計測システムの開発 —

東亜建設工業株式会社
株式会社ワイビーエム
九州大学大学院

○大野康年
財部繁久
水永秀樹

1. はじめに

近年、空港滑走路基礎地盤の液状化対策、コンビナート港湾の強靱化等、既存施設の耐震化が求められている。

既存施設の耐震化として施設の直下および周辺地盤の強化が挙げられるが、これらの施設は供用中であるとともに施設の周辺が狭隘であることが多いため、締め固め工法等の従来の地盤改良工法では適用が難しい。一方、恒久型薬液を用いた薬液注入工法は、施工設備がコンパクトであること、薬液を地盤に浸透注入することから施工時の地盤変位がほとんど無いことから既存施設および周辺地盤の改良に多く適用されているが、施設周辺に施工スペースが全くない場合や施設の稼働状況によっては、**図-1** および**図-2** に示すように曲り削孔による施工方法が求められる。

本文では、新たに開発したリアルタイムに削孔軌道の計測が可能な軌道計測システムについて報告する。

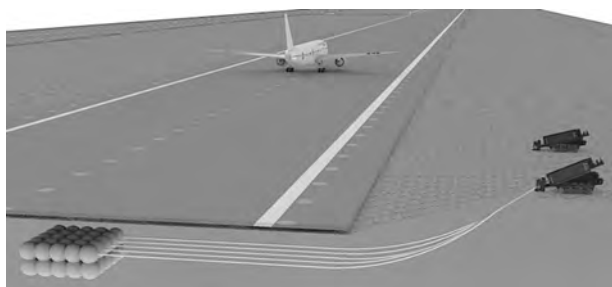


図-1 空港滑走路の液状化対策

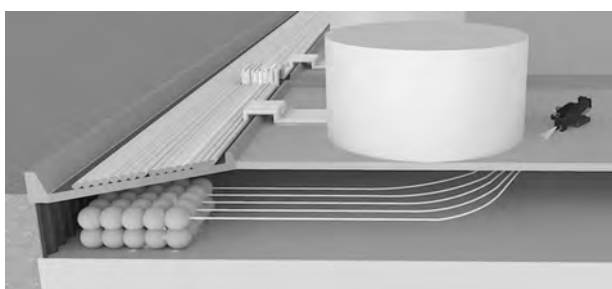


図-2 岸壁の側方流動対策

2. 曲り削孔を用いた薬液注入工法の概要¹⁾

本工法¹⁾は、地盤中を三次元的に曲げて削孔することにより、離れた場所から既存施設の直下まで削孔し、薬液を地盤に低圧にて注入することで地盤強度を高める地盤改良工法である。

削孔は、**図-3** に示すようにケーシングロッドを回転圧入することで直線削孔する。曲げる場合は、回転を止めてケーシングロッドを圧入することにより削孔ビッドの修正板（テーパ）が地山を反力として方法修正する。同曲り削孔技術は、200mの長距離削孔が可能である。**写真-1** に同工法にて使用する曲り削孔専用機を示す。



図-3 曲り削孔概要¹⁾



写真-1 曲り削孔機¹⁾

同工法は、2008年に開発されて以来、2015年7月末で49件の施工実績を有する。曲り削孔については、福岡空港、松山空港等の空港滑走路、誘導路基礎地盤の液状化対策、既存タンク基礎直下地盤の液状化対策等の施工実績がある。

3. ワイヤレス式軌道計測システムの開発

3.1 従来の軌道計測手法における課題

従来の曲り削孔における軌道計測は、(1)ビーコン型計測装置、(2)挿入式小型ジャイロセンサ、(3)固定式ジャイロセンサ等の計測手法が用いられている。しかしながら、各手法には、以下の(1)~(3)に示す課題があった。

(1) ビーコン型計測装置の課題

当該手法は、削孔ビットに装着したビーコンと呼ばれる発信機から電磁波を発生させ、地上のロケータと呼ばれる受信機で受信し、削孔ビットの位置を計測するものであるが、近傍に磁性体がある場合は計測が困難、地上に構造物がある場合は計測が困難等の課題がある。

(2) 挿入式ジャイロセンサの課題

当該手法は、削孔したロッド内に小型のジャイロセンサを挿入することで削孔軌道を計測するものであるが、計測精度は高い反面、削孔距離が長くなると計測時間を要するため作業効率が低下するという課題がある。

(3) 固定式ジャイロセンサの課題

当該手法は、削孔ビット内に装着した固定式ジャイロにより削孔ビット位置を計測するものであるが、直進削孔時の削孔ビット回転によるジャイロの回転、施工上の削孔休止等により測定誤差が大きくなる等の課題がある。

3.2 位置計測手法²⁾の概要

位置計測手法は、削孔ビットに内蔵した位置計測センサとデータ発信ユニットおよび削孔機側に装着されたデータ受信ユニットから構成される。位置計測センサは、三軸の加速度センサと地磁気センサにより構成され、加速度センサにて前後、左右、上下の三方向、地磁気センサにて東西南北を計測する。計測されたデータは、データ発信ユニットの超音波振動子にて弾性波に変換され、削孔ロッドを經由してデータ受信ユニットに伝送される。データ受信ユニットに伝送されたこれらのデータを演算することで削孔ビットの傾斜、方位および回転角を算定する。

位置計測手法の概念図を図-4に示す。

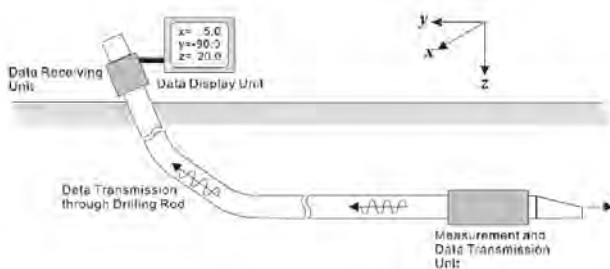


図-4 位置計測概念図²⁾

3.3 ワイヤレス式軌道計測システム

(1) システムの概要³⁾

本システムでは、図-5に示すように削孔ビット下部に位置計測センサとデータ送信ユニットを装着し、計測された位置データは、図-6に示す受信ユニットにて伝送され、図-7に示すモニター画面に削孔位置が表示される。モニター画面には、本システムにて計測された位置データの他、挿入式ジャイロシステムにより計測された削孔軌道もあわせて表示する。

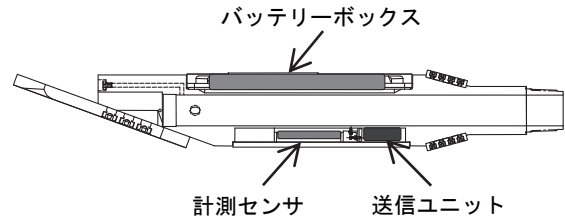


図-5 計測センサと送信ユニット³⁾

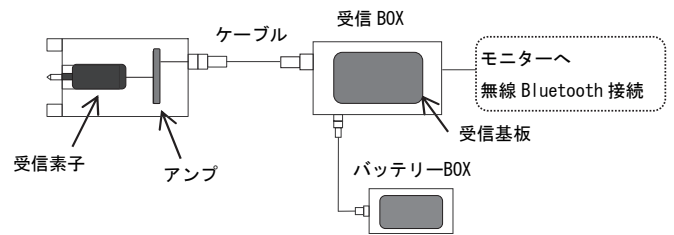


図-6 受信ユニット³⁾

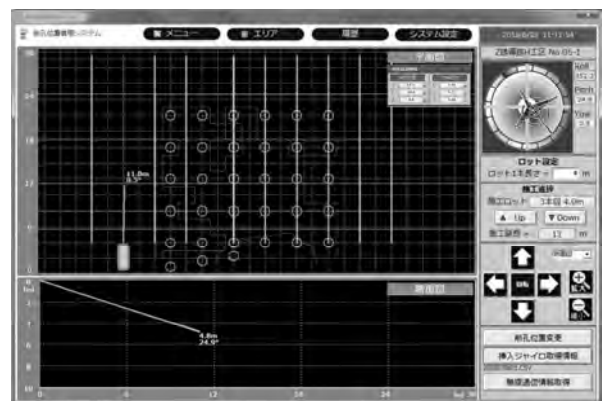


図-7 モニター画面³⁾

(2) 位置計測手法の高度化

本システムでは、本位置計測手法のデータ伝送距離の延長と計測時間の低減および計測精度の向上を図る目的で、以下の1)~3)に示す開発を行っている。

1) 削孔ロッド部ジョイント部のスペーサーの設置

本位置計測手法では、削孔ロッドを經由して弾性波を伝送することから、削孔ロッドが地盤に拘

束されると伝送距離が短くなる課題があった。本システムでは、写真-2 に示すように削孔ロッドジョイント部にスペーサーを設置し、ロッドを回転させることで削孔ロッド周りの地盤拘束を回避し、データ伝送を行っている。これにより、200m のデータ伝送が可能となる。



写真-2 ロッドジョイント部のスペーサー

2) マルチ周波数型弾性波伝送システム

本位置計測手法では、所定の周波数の弾性波をデータ伝送に使用していたが、地盤種別が異なるとデータ伝送に最適な周波数が異なる課題があった。

本システムでは、1,000~1,800Hz の範囲にて弾性波の周波数を変えてデータ伝送することでデータ伝送効率を向上させている。

3) 小型ジャイロ計測データによる補正

本位置計測手法にて使用している位置計測センサの精度向上のため、削孔距離 13m 毎に挿入式ジャイロによる軌道測定を行い、本位置計測手法の位置データの補正を行う。

4. 現地確認試験³⁾

本試験は、本システムの実地盤への適用性を確認する目的で、山口県下関市内および千葉県袖ヶ浦市内の埋立て地盤にて実施し、本システムの精度を確認した。

4.1 下関実証試験

(1) 試験サイトの概要

試験サイトの地層は、地表面から GL-2.0m まで盛土、その下部に N 値 5~10 の細砂層と粘土層が互層に分布する。地下水位は GL-2.10m である。図-8 に土質柱状図と N 値を示す。

(2) 試験内容

本試験では、本システムによる軌道計測結果と挿入式ジャイロによる軌道計測結果を比較することで本システムの精度を検証した。なお、本システムによる位置計測は、削孔距離 9~13m 毎に挿入式ジャイロシステムによる位置情報の補正を行っ

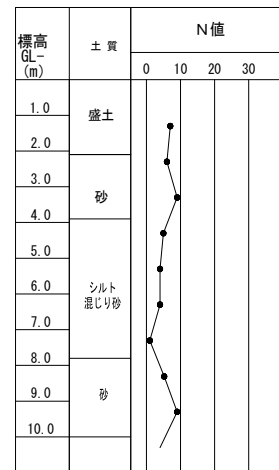


図-8 土質柱状図と N 値 (下関)



写真-3 現地試験全景 (下関)

た。また、曲り削孔は、削孔深度 GL-10m、削孔長 140m、曲り回数:1 回 (深度方向)、曲率半径 $R=60m$ とした。写真-3 に試験全景を示す。

(3) 試験結果

図-9 に本システムによる計測結果と挿入式ジャイロによる計測結果の比較図を示す。本システムによる計測結果は、挿入式ジャイロと同様な精度を有し、削孔延長 140m にて計画軌道との最大誤差は 30cm 程度 (水平方向) であった。

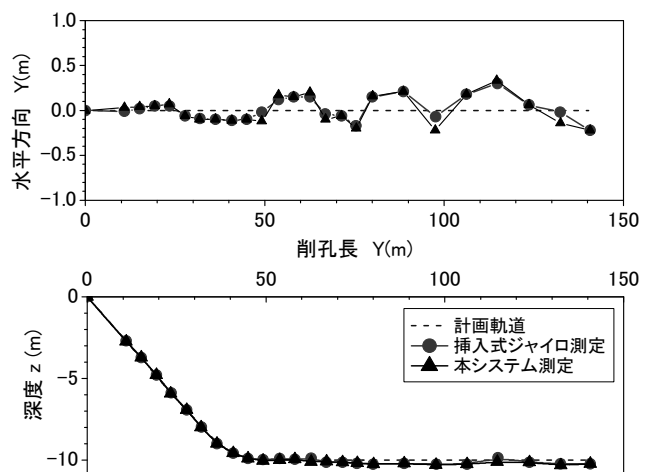


図-9 削孔軌道測定結果

4.2 袖ヶ浦実証試験

(1) 試験サイトの概要

試験サイトの地層は、地表面から GL-1.0m まで盛土、その下部に N 値 4~7 の砂を主体とした埋立て土、N 値 5~40 の砂質土が分布する。地下水位は GL-3.0m である。図-10 に土質柱状図と N 値を示す。

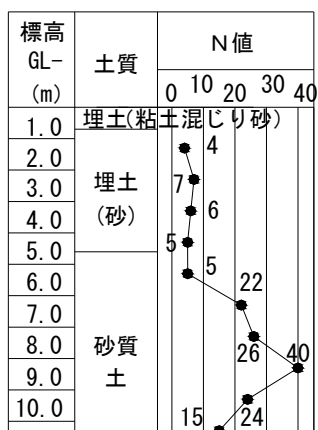


図-10 土質柱状図と N 値 (袖ヶ浦)

(2) 試験内容

本試験では、本システムによる軌道計測結果と挿入式ジャイロによる軌道計測結果を比較するとともに、削孔終了後、先端の削孔ビッドを発掘することで削孔位置の精度確認を行った。発掘後の削孔ビッド位置は、光波測距儀にて X, Y 方向、レベルにて Z 方向の位置を測定した。本システムによる位置計測は、削孔距離 13m 毎に挿入式ジャイロシステムによる位置情報の補正を行った。曲り削孔は、削孔深度 GL-3m, 削孔長 167m, 曲り回数: 2 回 (深度方向), 曲率半径 R=60m とした。

(3) 試験結果

図-11 に本システムによる計測結果と挿入式ジャイロによる計測結果の比較図を示す。本システムによる計測結果は、挿入式ジャイロと同等な精度を有していることがわかる。また、先端の削孔ビッド発掘位置の測量結果 (実測値) と比較すると、先端の削孔ビッド位置は、実測値: X=166.52m, Y=-0.10m, Z=-3.17m に対して本システムによる計測値は、X=166.58m, Y=-0.09m, Z=-3.10m であった。

5. おわりに

本報告では、新たに開発したリアルタイムに削孔軌道の計測が可能なワイヤレス式軌道計測システムの概要と精度確認のために実施した現地実証試験結果について記述した。

現地実証試験の結果、本システムは、挿入式ジャイロシステムと同等の測定精度を有しているこ

とがわかった。

本システムは、施設周辺に施工スペースが全くない場合等、遠隔地から曲げて削孔を行う際の軌道計測として有効なツールである。

今後は、曲り削孔を用いた薬液注入工法の適用等に本システムを提案していきたいと考えている。

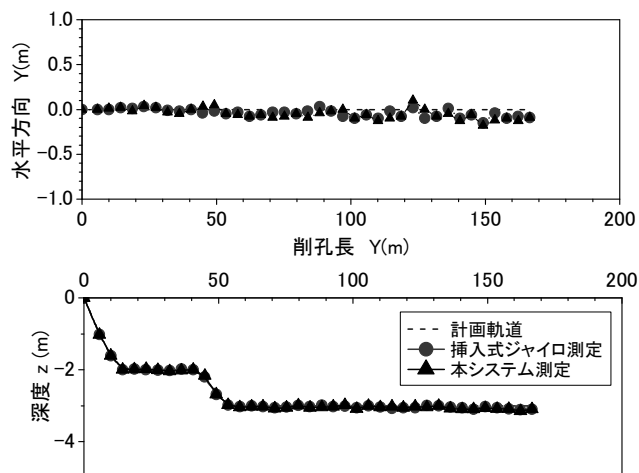


図-11 削孔軌道測定結果



写真-5 先端部削孔ビッドの発掘写真

参考文献

- 1) バルーングラウト工法研究会: バルーングラウト工法, 地盤工学会 地震時における地盤災害の課題と対策 2011 年東日本大震災の教訓と提言, 2011.
- 2) 水永秀樹, 田中俊昭, 財部繁久, 増本輝男: 地中掘削位置計測システムの開発, 物理探査学会, 第 131 回(平成 26 年度秋季)学術講演会.
- 3) 東亜建設工業株式会社: 社内技術資料, 2015.

(2015. 8. 31 受付)

5. ジャイアントブレイカ搭載油圧ショベルの自律割岩作業の実証

一次世代無人化施工システムの開発

大成建設株式会社技術センター
大成建設株式会社関西支店栗平地区砂防堰堤他工事
大成建設株式会社技術センター

宮崎 裕道
青木 浩章
〇片山 三郎

1. はじめに

雲仙普賢岳の災害復旧工事に代表される無人化施工技術は当初、火山災害に関する災害復旧工事への適用が主流であったが、近年では大雨による土砂災害、東京電力福島第一原子力発電所構内での作業など、人間が立ち入ることが危険な工事全般に使われ、適用範囲を拡大している。また火山災害など大規模災害だけでなく、無人化施工の最大の特徴である安全の確保という観点から小規模な土砂災害においても適用され、ごく短期間で施工する事例も出てきている。この様に工事件数こそ一般工事と比較して圧倒的に少ない無人化施工ではあるが、なくてはならない技術の一つであると言える。しかしながら無人化施工は自然災害に端を発する場合が多く、いつどこで必要か予測することは困難で、対応機械の確保やオペレータの育成といったハード面の課題を抱えているのが現状である。このため必要な時に、対応機械や運転操作できるオペレータがいないといった事態が発生することがあり得る。

こういった問題を解決する一つの手段として、作業開始命令のみを与えれば自ら判断して作業を行う常時操作不要の「自律制御」を適用した次世代型の無人化施工システムを開発した。本論は平成25年度に実証した振動ローラの自律走行に引き続き平成26年度に研究した油圧ショベルの割岩作業の自律制御の研究について述べる。なお本件は国土交通省の建設技術開発助成制度を活用し開発した技術である。

2. 自律型制御について

現行の無人化施工は、作業現場周辺に配置された複数台のカメラから送られてくる多角映像を見ながら常時、人間が操縦桿を握り遠隔操作をおこなう『常時操作型』の施工方法である(図-1)。これに対して、『自律制御型』とは建設機械に人間の五感に代わるセンサー類を搭載することで、機械自らが周辺状況を把握して自律的に作業をおこなう

ことを可能にしたもので、人間の操作はスタートボタンを押すだけの「次世代無人化施工システム」である。(図-2)



図-1 無人化施工イメージ



図-2 次世代無人化施工システム

3. 自律割岩対応ブレイカ搭載油圧ショベル

3.1 搭載センサ

ベースマシンである油圧ショベルを制御して割岩作業を実現するために搭載したセンサー一覧を表-1に、搭載状況を図-3に示す。センサは大きく2つに分類され、機械の姿勢やマニピュレータの位置を把握する機体状態把握センサと岩の位置等周辺状況を把握するセンサに分類できる。本自律制御は岩の位置をステレオカメラで検出することで機械と岩との相対位置を把握し、この岩認識を自動追尾しながら移動し、マニピュレータの届く作業範囲に達したら割岩作業を実施する。

表-1 搭載センサー一覧

分類	項目	適用センサ
機体状態	姿勢検出	MEMS3軸ジャイロ
	マニピュレータ位置検出	シリンダ長検出センサ
	旋回角検出	角度センサ
	割岩判定	油圧検出センサ
周辺状況	岩認識	ステレオカメラ
	車載カメラ	ネットワーク型カメラ



図-3 油圧ショベルへのセンサ搭載状況

カメラの設置角度や基線長を今回の作業に適合させる必要があるため様々な実験（図-4）を行い、0.45m³ 級油圧ショベルにおけるφ1000mm 程度の岩石に対する割岩作業の最適なステレオカメラの設置角度と基線長を求めた。実験は油圧ショベルキャビン上方にステレオカメラを設置し、模擬岩を使用して油圧ショベルとの距離とカメラの設置角・基線長との関係から好適な設置を選んだ。結果として設置角度 22.5°，基線長を 750mm となった。

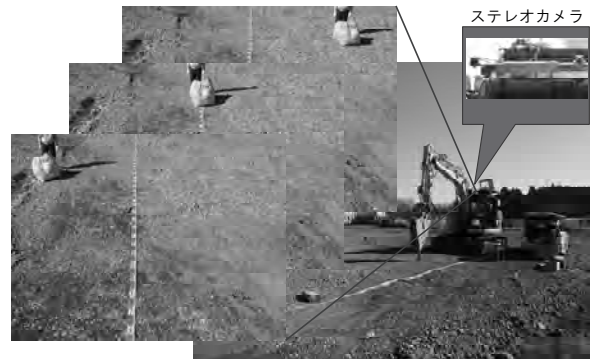


図-4 ステレオカメラ実験状況

3.2 ステレオカメラによる岩認識

自律制御する上で最重要な人間の五感部分である「視覚」情報の取得として、対物計測等に利用する距離画像センサであるステレオカメラを使用した。ステレオカメラは 2 台のカメラを使って対象物を異なる方向から撮影し、「視差」を利用して平面情報を立体化する技術である。近年では乗用車の追突防止用の距離検出センサとして活用されている。図-4 にステレオカメラ搭載状況を示す。今回このステレオカメラを利用して岩の認識をおこない、油圧ショベルと岩までの距離の把握と岩の打撃点検出をおこなった。



図-4 ステレオカメラ搭載状況

(1) 距離検出

ステレオカメラ設置で重要視されるのは「基線長」である。これは設置する 2 台のカメラの間隔であり、この間隔が検出精度と検出範囲等を決定するための重要な要素となる。そこで、ステレオ

(2) 打撃点算出

通常作業における割岩作業時にブレーカ先端を当てる位置について、ベテランオペレータにヒアリングした結果、「岩塊の中心を狙う」と言うのが最も多い回答であった。理由は

- ① 中心以外の他の部分を打撃しようとする、岩塊が回転して打撃が出来なくなる。
- ② 中心付近を狙った方が小割の回数が減る。

という回答であった。ただし、明らかに中心以外に大きな層目や凹凸が有る場合は、中心以外でもそこを打撃するという回答も有った。このようなベテランオペレータの作業方法を自律制御に反映するため打撃位置算出方法としてステレオカメラで計測した点群データから中心位置を演算し、直上の岩塊表面を打撃位置とすることとした(図-5)。



図-5 打撃点算出イメージ

3.3 割岩動作

割岩するためにステレオカメラで打撃点を算出した後は、油圧ショベルの旋回、ブーム、アーム、ブレーカの 4 つの関節を（図-6）制御することでブレーカを打撃点(x, y, z)まで移動制御する。

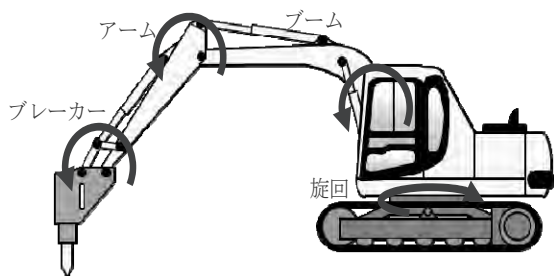


図-6 油圧ショベルの制御関節

ブレーカを打撃位置に移動させた後、通常作業においても実施するように、機体重量が岩に掛かるように、機体が浮き上がるまでブレーカを岩に当てながら地面に向けて更に圧接する。この動作によりブームシリンダに掛かる油圧が上昇するため、この油圧の上昇で割岩作業体制の判断をして、油圧変動を検知すれば割岩判定することができる。図-7に割岩判定イメージを図-8にブームシリンダの圧力変動を示す。



図-7 割岩判定イメージ

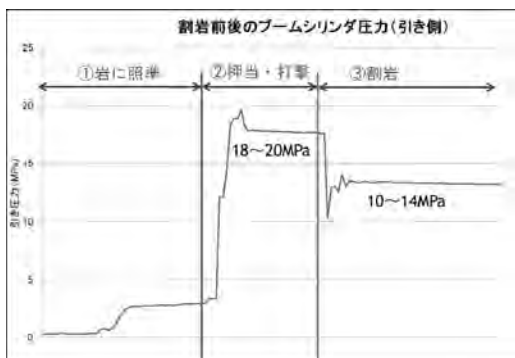


図-8 ブームシリンダの圧力変動

3.4 自律制御割岩フロー

本研究開発では、0.45m³級油圧ショベルにおいて前述までの個別動作を統合して、10m程度離れた場所から割岩対象の岩を決定し、機械の作業可能範囲に入るまで接近後、打撃位置にブレーカを圧接し割岩作業をする自律制御アルゴリズムとした。(図-9)なお一定時間で打撃しても岩が割れない場合は同一場所で打撃点を再計算し、打撃作業を継続できるようにした。図-10に自律制御により破碎した岩を示す。



Step1 対象物までの距離検出



Step2 対象物までの自律走行



Step3 打撃位置の決定



Step4 割岩作業と割岩判定

図-9 自律制御割岩フロー



図-10 破碎した岩 (φ700~1000mm)

4. 従来無人化施工との比較実験

従来の無人化施工では、作業機械に搭載したオペレータ目線のカメラ映像と作業場所が俯瞰できる数台のカメラ映像によって作業を行っている。しかしながら場所の狭隘さや立地や地形等の条件から作業場所を俯瞰できる位置に移動カメラ車が配置できない現場もあり、作業機械の車載カメラのみでは「奥行」が把握しにくいいため、作業効率が上がらないというケースもしばしば存在する。図-11 は同一の状況を別の角度から見た映像であるが、正面からの映像だけでは奥行が判断できないことがわかる。こういったとき、操作命令のみで一定の作業を実施できる本研究の利用が期待できる。



図-11 遠近感の把握

4.1 実験条件

本研究開発のアルゴリズムを着脱式遠隔操作方式 0.45m³ 級油圧ショベルに適用し

- ①無人化施工経験 20 年のベテランオペレータ
- ②一般施工経験 20 年の一般オペレータ
- ③本研究開発に従事した研究員

以上の三者にて自機から 10m の位置に設置した φ1,000mm 程度の割岩作業を、モニタのみを見て遠隔操作する作業時間を比較する実験をした(図-12)。なお、時間はノミを岩塊に圧接する「割岩体勢」迄としており、エンジン回転数は「低速」という条件とし、カメラ条件は下記の 2 パターンでおこなった。(図-13)

- ①俯瞰映像と車載カメラの 2 画面
- ②俯瞰映像が無い車載カメラのみの 1 画面

これらの結果と自律制御で行った場合における作業時間のまとめを表-2 に示す。



図-12 実験状況



図-13 遠隔操作状況 (左: 2画面, 右: 1画面)

表-2 実験結果

	ベテラン OP	一般Op	研究員	自律制御
2画面利用 【車載+ 横俯瞰】	35~ 45秒	40~ 50秒	50~ 60秒	/
1画面のみ 【車載のみ、 自律制御比較】	40~ 50秒	50~ 60秒	70~ 80秒	32~ 48秒

4.2 まとめ

表-2 の結果から、従来の無人化施工方式で実施した場合は、経験の差が如実に出る結果となった。一般施工経験 20 年のオペレータといえども、無人化施工経験オペレータと差が付く結果となっており、無人化施工が如何に特殊な技量を必要とするかが明白となった。

一方、本研究開発の自律制御式と比較したのが、俯瞰映像が無い車載カメラのみで作業した場合である。これも経験の差の順に時間がかかっていることと、俯瞰画面が無いことによる奥行感の不透明さが各オペレータの作業効率を低下させていることがわかる。それらに対し、自律制御式はベテランオペレータと同等の作業時間という結果が得られた。本実験では、俯瞰映像の重要性を改めて確認することとなったが、逆に俯瞰映像用機器が無くても、自律制御を用いればここまで出来るという可能性を示すものとなった。また、自律制御された場合はノミを正確に岩塊の中心に当て、地面に対して垂直に捉えているようであったが、オペレータ操作の場合の正確さについては、本実験では評価の対象としていなかったが、恐らく自律制御の場合と比較してばらつきが有ったものと考ええる。

謝辞

最後に、本テーマを建設技術開発助成制度へ採択頂いた国土交通省様ならびに、本技術開発にあたり技術的な支援を頂きました産官学委員会メンバーの皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 岡部信也, “油圧ショベル大全”, 日本工業出版 pp112. 2007.
- 2) 村木広和, 田中成典, 古田均, “デジカメ活用によるデジタル測量入門 POD 版”, 森北出版 pp43. 2012.

6. 車両運行管理システムによる輸送・出来高管理の実現と安全性向上

－ 運行管理システム「スマート G-Safe®」の機能拡張 －

鹿島建設株式会社

○ 藤本 健治郎

1. はじめに

2010年にGPS機能付き携帯電話を用いた工事車両の速度監視・注意喚起システム「モバイルG-Safe」を自社開発し現場導入を開始した。

これまでの導入実績は15現場、300台以上である。主な機能として、エリアごとに設定した制限速度を超過した工事車両オペレータへ注意喚起、制限速度を超えた場合に現場管理者へメールを送信して通知、通学エリアなどを走行する際に、工事車両オペレータへ注意喚起するものであった。

導入後もPDA端末やスマートフォン端末などの利用機器拡張、メッセージ送信機能追加などの改良を行い、また災害復旧現場への導入を機に「スマート G-Safe」と名称を改め、安全な工事車両運行に寄与するため、改良を続けている。

このたび「スマート G-Safe」の大幅な機能強化として、土砂などの積載物の輸送・出来高管理の自動化や山間部などの狭隘な道路における大型工事車両同士の『すれ違い管理』を実現し、大分川ダム堤体建設工事へ導入した。本システムにより、大型ダンプをはじめとする工事車両の作業効率向上と安全な運行を図っている。

2. 機能拡張の目的

フィルダムなどの掘削土の再利用が必要となる工事や、輸送物の厳格な管理が求められる事業においては、「何を」「いつ」「どこから」「どこへ」「どのくらい」運んだのか、といった積載物の種別に応じた確実なトレーサビリティが求められる。

また、図-1に示すように山間部のトンネルやダム工事では、大型車両がすれ違うことができない狭隘な道路や起伏に富んだ場所を工事車両が通行することがある。こうした状況においても、安全で円滑な施工を確保する必要があり、工事車両を適切な場所で待機させ、確実なすれ違い管理により、安全性及び生産性の向上が求められる。

そこで、積載物の輸送・出来高を自動管理できる機能に狭隘区間で対向する工事車両のすれ違い状況を管理する機能を併せた新たな「スマート G-Safe」を開発した。



図-1 すれ違い不可能な狭隘な道路

3. システムの概要

本システムでは、トレーサビリティに対応するため、積み込み場所や荷卸し場所を詳細なエリアに分割して管理する機能を追加した。図-2に示すように、設定されたエリアで車載端末から手動で作業状況を入力するか、設定エリアを通過した時に自動で作業状況を記録することで、運搬回数や出来高といった施工情報を集計・管理する機能を実現している。

また、情報処理のクラウド化と通信データの簡素化により、車両位置情報の更新頻度を従来の1分間隔から“5秒間隔”に短縮し、リアルタイム性を向上させている。加えて、車載端末で他車の位置情報を把握することによって、『すれ違い管理』機能も実現している。

拡張した新たな機能は次のとおりである。



図-2 システム概要

3.1 輸送・出来高管理

図-3 に示すようにトレーサビリティの確保及び輸送・出来高管理を実現した。

(1) トレーサビリティ管理

「何を」、「いつ」、「どこから」、「どこへ」、「どのくらい」運搬したかを自動記録、集計

(2) 詳細なエリア管理

記録する積み込み場所や荷卸し場所を詳細なエリア（大分川ダム の 堤体箇所は 100 分割以上）に分割した管理

(3) 出来高集計

記録されたデータから出来高を迅速かつ確実に集計可能

(4) 自由な出力フォーマット

集計されたデータから、同じ運搬ルートでの最短時間、最長時間を計算して出力するなど、さまざまなデータを計算し、自由にカスタマイズして出力可能

(5) 運行管理がスマートフォンでも可能

運行管理画面はクラウドサーバにて管理されているため、インターネットに接続可能であればパソコンやスマートフォンでも、ID パスワードを入力することで、いつでも、どこからでも全車両の走行位置と輸送状況が確認でき、運行指示の表示が可能

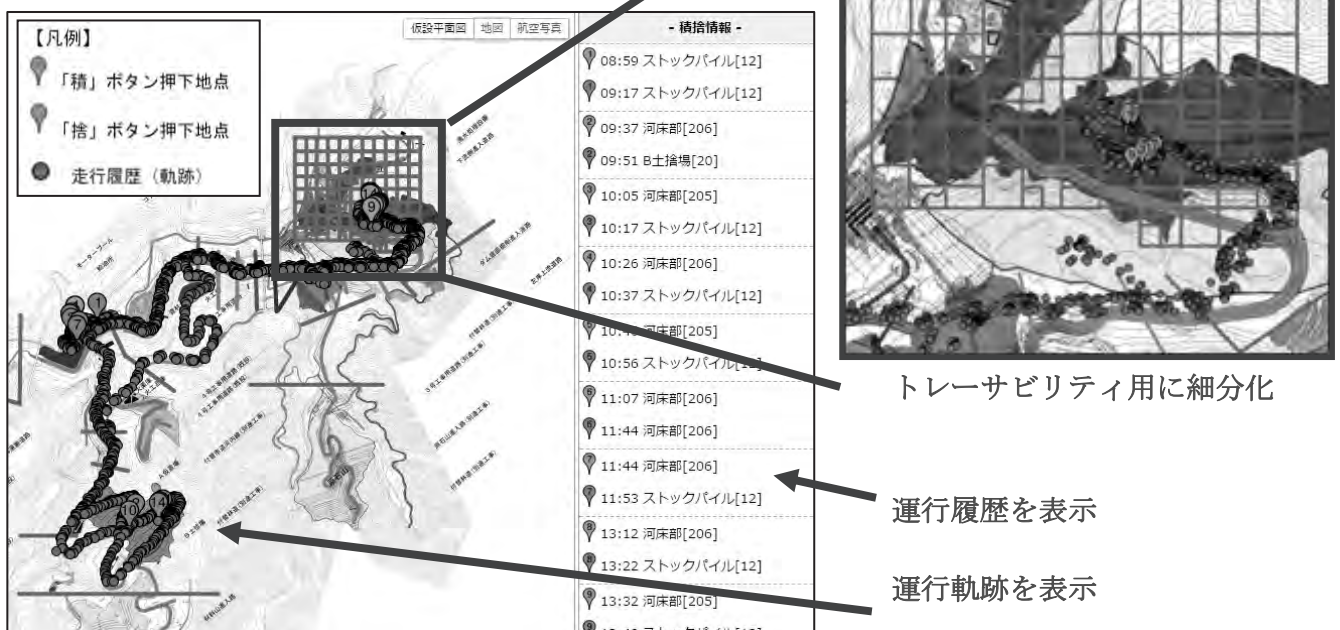


図-3 クラウド上の運行管理画面

3.2 運行管理日報の自動作成

表-1 運行管理日報イメージ

運行管理日報							
						日付	2015/02/27
						車両番号	15_15-15
						26 m ³ /台	
積込場	捨場	回数	数量(m ³)	平均運搬時間	最短運搬時間	最長運搬時間	
河床部	B土捨場	9	234	14分54秒	13分47秒	15分40秒	
河床部	材料山	1	26	18分35秒	18分35秒	18分35秒	
河床部	上流ロック敷	1	26	24分0秒	24分0秒	24分0秒	
河床部	A仮置場	5	130	14分53秒	13分51秒	17分18秒	
河床部	河床部	1	26	26分15秒	26分15秒	26分15秒	
ストックパイル	B土捨場	1	26	8分7秒	8分7秒	8分7秒	
A仮置場	A仮置場	1	26	2秒	2秒	2秒	
河床部	コア粗粒剤仮置場(上流)	1	26	18分17秒	18分17秒	18分17秒	

表-1 に示すような運行管理日報の自動作成を実現するために次の機能を持たせた。

(1) 日報作成自動化

これまで手書きだった日報の作成が不要となり、工事車両オペレータの負担が軽減

(2) リアルタイム確認・出力

データはリアルタイムにクラウドサーバへ集約され、いつでも走行履歴や日報の確認・出力が可能

3.3 運行効率管理

走行速度、待機時間等のデータをもとに、運搬ルートごとに運搬最短時間、最長時間などの情報を自動で算出することで、輸送作業の効率を低下させるボトルネックを抽出した。それにより、運行計画の改善検討が可能となり、運行状況の効率的な管理を可能とした。

3.4 すれ違い管理

狭隘な道路などで確実なすれ違い管理を実施するために次の機能を持たせた。

(1) 車載端末で全車両位置把握

現場事務所パソコンなどに加え、各車両に設置した端末で全工事車両の走行位置をリアルタイムに表示が可能（5秒間隔で更新）

(2) すれ違い用ゲート設定

すれ違いが困難な狭隘区間の前後に GPS の位置情報をもとにした仮想の車両検知ゲート（以下、仮想ゲート）と待機エリアを設定

(3) 待機指示

仮想ゲートで車両を検知し、先に車両有無判定区間に進入した車両を優先として対向する工事車両オペレータに警告音とメッセージで待機エリアでの待機を指示

(4) 待機車両数管理

待機車両数をカウントし、設定台数以上待機させないように管理する機能

(5) 通過指示

対向車の通過を検知し、待機車両へ通過を指示する機能

(6) 優先車両判定

実車、空車の識別と仮想ゲート位置の工夫により、実車を優先させる機能

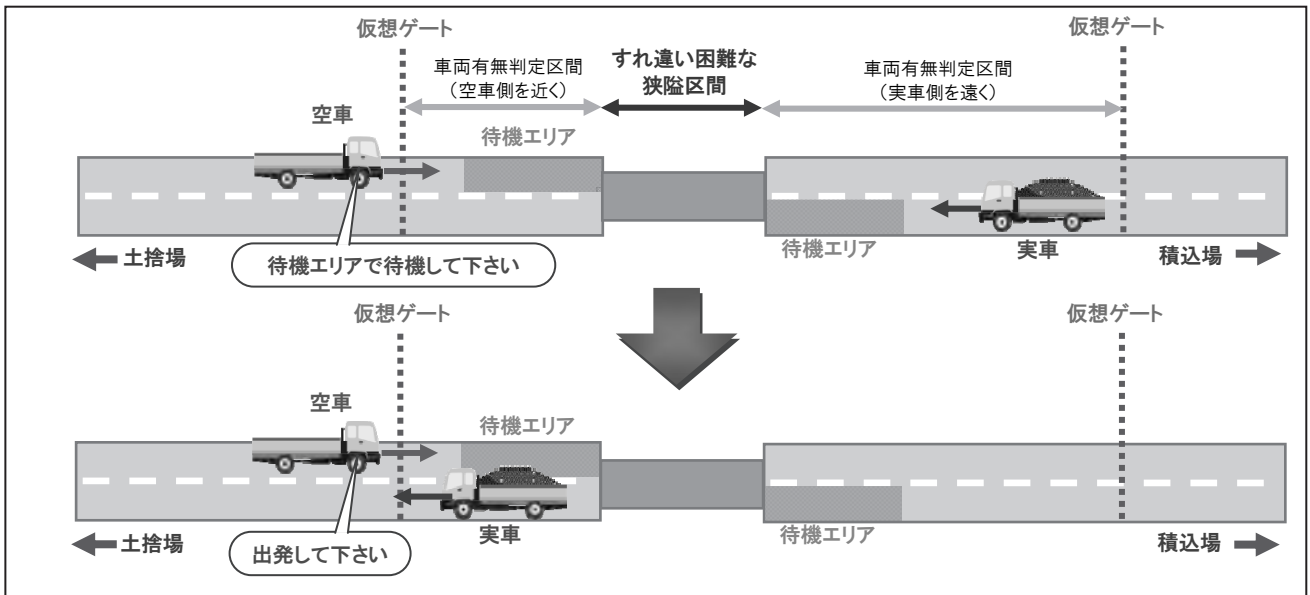


図-4 狭隘区間でのすれ違い管理イメージ

4. 現場での適用

本システムを大分川ダム堤体建設工事に導入し、現場実証を実施した。17台の大型ダンプトラックの運行管理に用い、狭隘区間での『すれ違い管理』が有効に機能するとともに、複数箇所の積込場・土捨場・仮置場における輸送・出来高の管理を確実かつ効率的に行えることを確認した。

また、導入後に工事車両オペレータへヒアリングした際にわかった導入メリットもあった。すなわち、大分川ダムでは地形の起伏が激しく、対向車を目視で確認できない場所が数箇所あり、導入以前は安全性を考慮し、かなりスピードを落として運行していた。『すれ違い管理』用に追加した全車両の位置が車載端末で確認できる機能により、目視できない箇所でも対向車の有無が容易に把握できるようになったため、無駄な減速が不要となった。これにより、運行サイクル短縮に大きく貢献し、生産性向上と安全性向上につながっている。

5. 今後の展開

近年、工事規模が大型化しており、より多くの工事車両の運行管理が求められる一方で、管理をする人材不足が深刻になっている。そこで本システムを積極的に適用することで様々な問題解決につながることを期待できる。

今後も引き続き現場ニーズに応じた機能強化を図ることで、工事車両のスムーズな運行と輸送管理をサポートし、安全性と生産性の向上と伴に環境負荷低減にも寄与していきたいと考えている。



図-5 現場事務所での管理イメージ

7. 除雪機械稼働情報グラフ化機能の開発

(国研)土木研究所 寒地土木研究所 ○小宮山 一重
(国研)土木研究所 寒地土木研究所 牧野 正敏
(国研)土木研究所 寒地土木研究所 佐藤 信吾

1. はじめに

日本は、国土の約51%(24道府県532市町村)が豪雪地帯及び特別豪雪地帯に指定されている(図-1)¹⁾。これらの地域における降雪は日常的であり、降雪の影響で旅行速度が低下するなど、道路交通への影響が大きい。また、鉄道の廃止により生活が100%自動車輸送に依存している地域では、道路交通は重要な生命線である。このことから、良好な路面管理及び異常気象時における迅速な除雪に対する住民ニーズは高い。

図表 1-1 豪雪地帯及び特別豪雪地帯指定地域



出典：内閣府資料

図-1 豪雪地帯及び特別豪雪地帯指定地域¹⁾

迅速な除雪を実施するためには、除雪のマネジメントが必要である。除雪マネジメントとは、除雪計画の策定(Plan)、実施(Do)、検証・評価(Check)、改善・処置(Act)といったPDCAサイクルを実現し、除雪作業効率及びサービスレベルの向上を図ることである。しかし、除雪作業は主に経験を頼りに行われており、検証・評価等はあまり行われていない。

近年、ICT(Information Communication Technology)の発展に伴い車両等の位置情報を共有・活用する技術が様々な事業で活用されている。除雪事業においても、除雪車位置の把握や作業時間の管理等に活用されている。

そこで、除雪作業における除雪車の出動判断や運用判断を支援するためのツールとして、除雪車

の位置情報を活用し、時間経過に伴う除雪車の動態をWebブラウザ上に折れ線グラフで表示し、作業状況を確認する「除雪機械稼働情報グラフ化機能(以下、グラフ化機能)」を開発した。

本稿では、グラフ化機能の概要、除雪事業への活用例について解説する。

2. 除雪作業

冬期道路の維持管理作業は、道路管理者が管轄路線を分割して設定した工区(以下、除雪工区)毎に、除雪工事受注業者(以下、除雪業者)が行っている。除雪作業は、主に数台の車両でグループを編成し、雁行体制で行われる(写真-1)。

除雪作業を効率的に実施するためには、降雪状況に応じた、出動タイミング、除雪車の編成や除雪ルート等の判断が必要である。しかし、作業の実施に関する判断は主に道路管理者や除雪業者の経験を頼りに行われており、除雪施工の実態も定量的には把握されていない。一方で、除雪事業においては、オペレータの確保や育成などが懸念されており²⁾、今後、経験豊富な熟練者の不足が想定される。

これらのことから、除雪作業は経験のみに拠らずに定量的なデータを加味して計画、実施することが必要である。



写真-1 雁行体制による除雪作業

3. 北海道の国道における除雪作業管理

北海道の国道を管理する国土交通省北海道開発

局(以下、開発局)では、約 6,700km の冬期道路を管理(除雪、排雪、凍結路面対策)するため、除雪車を約 1,000 台保有している。また、除雪作業を管理するため、除雪機械等情報管理システム³⁾(以下、システム)を導入している。このシステムでは、除雪車の位置等の各種作業データ(表-1)を収集・管理しており、地図上での除雪車位置の確認や作業履歴の確認を行うことができる。システムによる除雪作業位置及び履歴の確認例を図-2 に示す。

寒地土木研究所では、システム利用者が指定した地点までの除雪車の到着時刻を予測する機能など、除雪車の運用をマネジメントするための機能を開発し、開発局のシステムに提供している。

表-1 除雪機械等情報管理システムの作業データ

情報区分	データ
所属情報等	所属管轄, 機械種別, 機械管理番号
作業情報等	作業時刻, 作業内容(回送/待機/除雪), 作業装置の ON/OFF, 作業地点(緯度・経度), 作業箇所(路線), 作業箇所(KP ^{※1}) ^{※2} , 作業速度, 進行方位(16 方位)等 ^{※1} KP(キロポスト):道路距離標 ^{※2} 作業箇所(KP):緯度・経度情報を基にシステムが演算

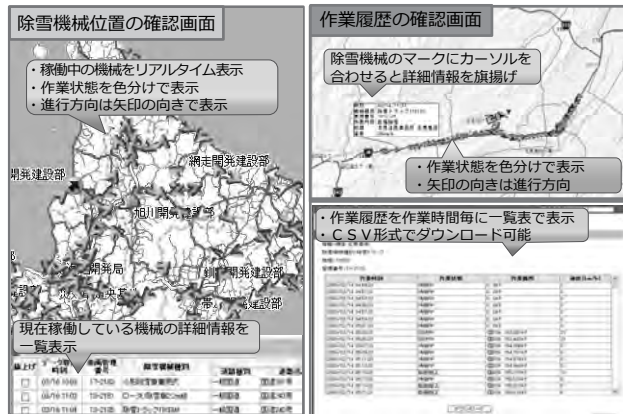


図-2 除雪機械等情報管理システム画面
(除雪機械位置(左)と作業履歴(右)の確認例)

4. 除雪機械稼働情報グラフ化機能の開発

除雪作業を検証・評価(Check)するためには、除雪作業に出動した除雪車、作業時刻、除雪車の編成、除雪ルート等の施工状況を詳細に把握する必要がある。施工状況を詳細に把握する方法として、除雪車の動態を折れ線グラフで表す、除雪作業グラフを活用する方法がある⁴⁾。

そこで、除雪担当者が除雪作業グラフを容易に作成できるよう、グラフ化機能の開発に向けて検討した。

以下、グラフ化機能の開発経緯、及び機能につ

いて解説する。

4.1 グラフ化機能の開発経緯

グラフ化機能の機能要件として、表-2 に示す情報が把握できる仕様とした。

表-2 グラフ化機能の機能要件

情報区分	詳細情報
除雪車情報	・機械種別 ・機械管理番号
作業情報	・作業路線番号 ・作業箇所(KP) ・作業時刻 ・除雪車の編成 ・除雪ルート
除雪工区情報	・除雪車車庫(除雪 ST) ・除雪工区境 ・除雪車転回地点

表-2 の機能要件を踏まえ、「除雪車情報」及び「作業情報」を表示するため、開発局のシステムに蓄積されている作業データ(表-1)を活用した。

「除雪車情報」と「作業情報」の表示では、除雪作業データを作業箇所(KP)と作業時刻を軸としたグラフにプロットする仕様とした。これにより、除雪車 1 台毎の動態が折れ線グラフで表示され、時間経過に伴う除雪車の編成の変化や除雪ルート等、除雪施工状況を視覚的に確認できる。

「除雪工区情報」の表示では、除雪 ST と除雪工区が自動で抽出、表示される仕様とした。また、除雪車転回地点等、利用者がグラフを確認するうえで把握したい地点は、グラフ表示設定時にユーザー毎に任意に登録できる仕様とした。これにより、除雪車の出動・帰着の確認、折り返し地点の確認が可能となる。なお、グラフ化機能の開発過程において、除雪機械等情報管理システムの利用者(道路管理者と除雪業者)から操作性や表示に関する意見を得るため、プロトタイプ(一部の除雪工区の一定期間のみ閲覧可能)を作成・公開してアンケートを実施した。

アンケートで得た操作性や表示画面に関する要望を考慮し、グラフ化機能を開発した。また、アンケートでは、グラフ化機能の有効性に関する意見が得られた。一例を以下に記す。

- ・「リアルタイムに表示できれば、豪雪時の対応に役立つ」(道路管理者)
- ・「他工区との兼ね合いや作業遅延による応援体制の指示に十分活用できる」(除雪業者)
- ・「グラフ化にする意味が不明」(除雪業者)

否定的な意見もあったが、多くはグラフ化機能に期待する意見であった。

4.2 グラフ化機能の解説

グラフ化機能の「設定登録」及び「表示設定」につ

いて解説する。

(1)設定登録

設定登録では、グラフに表示する「除雪車」、「路線」及び「任意の登録地点」等の情報をユーザ毎に登録できる。なお、設定操作を直感的に行えるよう、可能な限りプルダウン及びチェックボックスで設定する仕様とした。設定画面例を図-3に示す。



図-3 設定画面例

①除雪車の設定

同一グラフ上に表示できる除雪車は最大15台である。また、グラフ閲覧時に除雪車を混同しないよう、1台毎に線色(9色)・線種(3種)が設定できる。

②路線の設定

一つのグラフに表示できる路線は1路線で、最大4つのグラフが表示できる。また、それぞれの路線で表示範囲(KP)が設定できる。

③任意地点の設定

除雪工区における主要交差点や、除雪車の折り返し地点など、除雪作業における要所が登録できる。なお、除雪STや除雪工区境は、路線の設定で設定した表示範囲(KP)に応じて自動で抽出、表示される。

(2)表示設定

グラフ表示例を図-4に示す。

表示設定では、グラフに表示する「期間(日時)」を設定する。

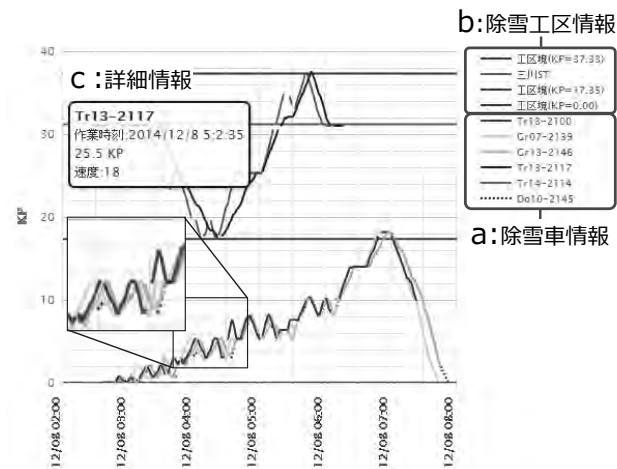


図-4 グラフ表示例

①除雪車情報及び除雪工区情報の表示

除雪車情報として、機械種別-機械管理番号が凡例に表示される(図-4のa)。

除雪工区情報として、グラフ表示範囲に含まれる除雪工区境と除雪STが自動で抽出、凡例に表示される(図-4のb)。また、グラフエリアにも水平線で表示される。

図-4の例では、除雪車情報として6台の除雪車が表示されている。また、除雪工区情報として、除雪工区境(KP0, KP17.35, KP37.33)が赤線で、除雪ST(三川ST)が緑線で表示されている。

②作業情報の表示

作業情報として、設定登録した路線毎に、指定した表示期間内に稼働していた除雪車が1台毎に1本の折れ線グラフで表示される。また、パソコンのマウスカースルを折れ線グラフに合わせると、その地点の除雪車情報、作業時刻、作業地点(KP)、速度(km/h)の詳細な情報がポップアップ表示される(図-4のc)。

5. グラフ化機能を活用した除雪作業の検証

除雪作業は、通常、除雪工区を担当している除雪業者がそれぞれの担当区間のみを実施する。このため、局地的な強い降雪時には、降雪区間の作業に時間を要し、除雪作業が遅延する場合があります。道路利用者の旅行速度が低下する。このような時には、隣接工区との担当区間を変更することで、作業遅延の抑制が可能である⁴⁾。これを具体的に実施するためには、大雪時でも効率的な除雪が実施できるよう、過去の大雪時における除雪状況(出動タイミング、除雪ルート、隣接除雪工区の状況など)を分析し、除雪作業を計画する必要がある。グラフ化機能を使うことで、過去の除雪作業の分析が可能である。

5.1 除雪作業分析・評価例

一般国道12号の除雪工区A, B, Cで実施された除雪作業を、グラフ化機能で分析した例について説明する。除雪工区概要図を図-5に、グラフ化した除雪作業を図-6に示す。

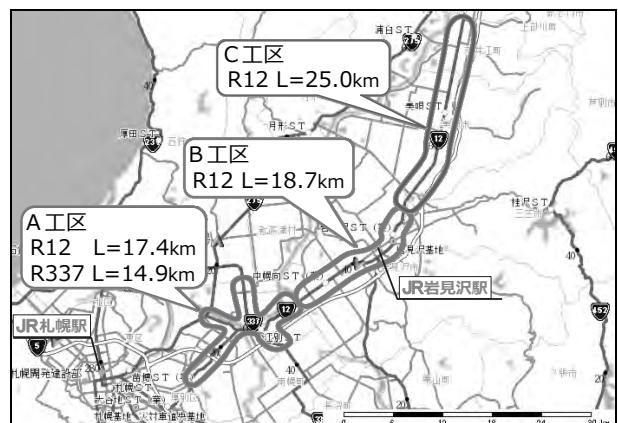


図-5 分析した除雪工区概要図

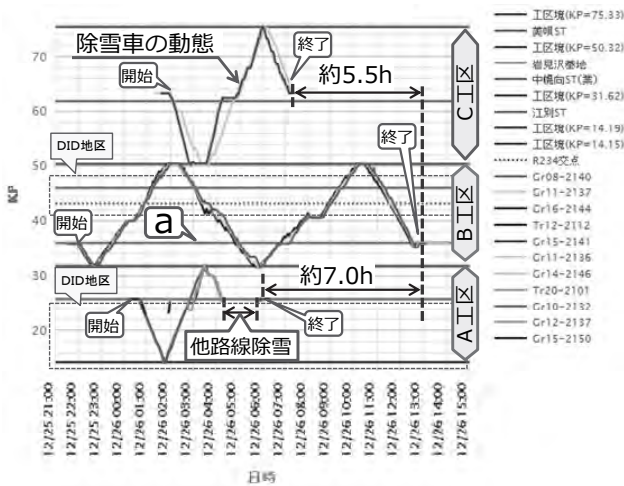


図-6 グラフ化した除雪作業

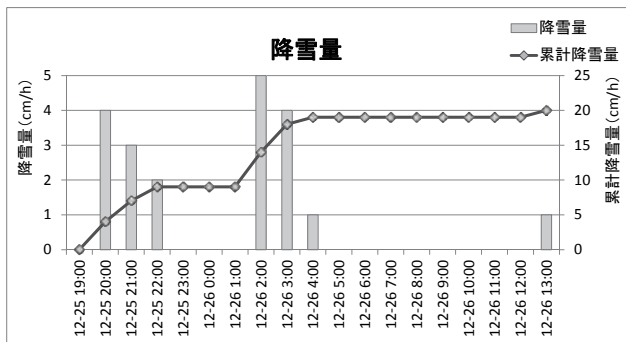


図-7 除雪作業中における降雪量

図-6 に示したグラフの除雪作業状況について解説する。

この時の降雪は、2012年12月25日20時から26日13時に掛けて降り続き、累計で20cmであった(図-7)。

それぞれの除雪出動時刻は、A工区は26日0時30分、B工区は25日22時、C工区は26日2時だったことが確認できる。また、それぞれの除雪終了時刻は、A工区は担当する隣接路線の除雪も行い26日6時頃、C工区は26日7時頃の概ね通勤通学時間帯前であった。しかし、B工区は、A工区終了から約7時間、C工区終了から約5.5時間経過の26日13時であり、作業が遅延していたことが確認できる。この時、B工区の区間を走行する道路利用者の旅行速度が低下していた可能性があり、除雪体制の検討が必要である。

今後、同様の降雪状況になった時の対策としては、A及びC工区の除雪車がB工区の除雪を応援することが考えられる。例えば、A工区の除雪車がB工区の図-6のaに示した位置まで4km(縦軸の1目盛りは2km)越境することで、B工区の除雪延長が往復で8km短縮される。B工区でこの8kmの除雪に要していた時間は除雪作業グラフ(図-6)を確認すると、2時間(横軸の1目盛りは1時間)であり、B工区の作業の遅延を2時間抑制できると推定する。

この様に、グラフ化機能を用いて除雪車の動態を詳細に把握・分析することで、近隣の除雪工区との連携判断が容易になる。また、降雪量や降雪エリアなどの違い毎に除雪状況を分析し、効果的な越境地点を確認しておくことで、降雪状況に応じた除雪体制を計画できる。

6. まとめ

実施された除雪作業を検証・評価するためのツールとして、除雪車の動態を折れ線グラフで表示するグラフ化機能を開発した。これにより、除雪作業の検証・評価が容易となり、作業の改善に向けた検討に寄与できる。また、大雪等の異常気象時は、降雪が集中しているエリアを担当する除雪業者の負担が大きい。グラフ化機能で各除雪工区の除雪進捗状況をリアルタイムに把握し、対応策を検討することで、より効率的な除雪の実施に寄与できる。

今後は、グラフ化機能をベースに、降雪量に応じて除雪終了時刻を予測する機能の開発など、除雪機械の運用を支援する技術の検討を進め、除雪事業に貢献していく所存である。

参考文献

- 1) 内閣府ホームページ(http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h26/honbun/1b_1s_04_05.html)：平成26年度防災白書，第1部第1章第4節4-5雪害対策
- 2) 一般社団法人日本建設機械施工協会北海道支部ホームページ(http://www.jcmahs.jp/html/17_questionnaire.html)：除雪機械施工に関するアンケート調査結果
- 3) 岸寛人，牧野正敏，佐々木憲弘：GPSを活用した除雪機械運用支援システムの開発，平成22年度建設施工と建設機械シンポジウム，2010年11月
- 4) 小宮山一重，大槻敏行，佐藤信吾：効果的な除雪を行うための除雪車位置情報を活用した除雪施工の検証，平成26年度建設施工と建設機械シンポジウム，平成26年11月

8. 小型メカナムホイール検査ロボットによる 天井ふところ内の目視検査

足利工業大学
戸田建設株式会社
戸田建設株式会社

○ 仁田 佳宏
渡壁 守正
稲井 慎介

1. はじめに

構造物の地震被害として、柱や梁、耐震壁などの構造部材とともに、天井部材や外壁、間仕切壁などの非構造部材の損傷についても、関心が高くなりつつある^{1),2)}。特に、天井部分については、地震被害だけではなく老朽化による天井部材や天井内設備の落下も相次ぎ、死傷者も生じていることから、安全確認の重要性や必要性が高まっている³⁾⁻⁴⁾。また、既存の天井や外壁などの非構造部材は、構造部材と比較して、耐震性能が低く、中小地震でも損傷が生じる可能性があるため、耐震改修が推奨されている。天井部分については、2013年に建築基準法の規定が改正され、2014年4月から施行されている⁵⁾。しかし、天井部分の点検は、(1)高所であり仮設足場などを必要とすること、(2)天井支持部材が大きな重量を支えられないことが多く内部に立入れないこと、(3)天井ふところ内は狭所であり立入が難しいこと、(4)構造部材ではないことなどから、損傷が視認されない限り、耐震診断や点検は頻繁に実施されていないのが現状である⁶⁾。また天井部分については、非構造部材であるため図面が保管されていない場合や天井ふところ内の配管や設備機器などのリニューアルに伴い保存されている図面と現状が異なっている場合なども多くみられる。このような現状を受け、文部科学省は常時は未成年者が利用し、災害時には避難所と成り得る文教施設を対象として、「地震による落下物や転倒物から子どもたちを守るために～学校施設の非構造部材の耐震化ガイドブック」⁷⁾を取り纏め、天井部材などの非構造部材の点検項目や点検手法などについて解説し、点検の実施や耐震化を推奨している。

建築・土木分野において、ICT化が進んでおり、BIM、CIM、無人化施工およびドローンによる測量などの新しい技術が活用されつつある。このような状況のもと、国土交通省および経済産業省は点検に多大なコストと労力を要する施設を対象に、「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討

会」を設置するとともに、次世代社会インフラ用ロボットシステムを公募し、2014年度より実証実験を開始している^{8),9)}。企業においても、マンションなどの外壁¹⁰⁾、住宅などの床下¹¹⁾、天井ふところ内の設備¹²⁾の老朽化などを点検する目的で、ロボットを使用しつつある。また、中部圏インフラ用ロボットコンソーシアム¹³⁾が立ち上がるなど、積極的な活用を目指して、産官学一体となった取り組みも増えつつある。

本研究では、天井ふところ内の部材や設備の点検を効率よく簡便に行うことを目的として、Wi-Fiカメラ搭載小型メカナムホイール検査ロボットによる目視検査を提案し、小型メカナムホイール検査ロボットを試作する。試作したWi-Fiカメラ搭載小型メカナムホイール検査ロボットの有用性は、大学構内の雨漏りのある天井ふところ内の目視検査に適用することで確認する。

2. 小型メカナムホイール検査ロボット

天井ふところ内の部材や設備を効率よく目視検査するために、Wi-Fiカメラ搭載小型検査ロボットを試作する。試作した小型検査ロボットをFig.1に示す。試作した小型メカナムホイール検査ロボットの寸法は、車長約280mm、車幅約260mm、車高約140mmで、重量は約2200gである。天井ふところ内は野縁と野縁受けが格子状に組み立てられており、障害物の多い狭所となることから、小型検査ロボットは、全方向に移動可能なように外径103mmのメカナムホイールを採用している。メカナムホイールは、車輪の表面が複数個のバレルで覆われた特殊な形状をしており、個々の車輪の回転方向を個別に制御することで、前後、左右および旋回と全方向に移動可能となる。また、天井ふところ内では、高さ約60mm、幅約10mmの野縁受けを乗り越えられる必要がある。一般的な車輪の場合、車輪直径の1/4が、乗り越えられる段差の限界の高さであり、試作した小型メカナムホイール検査ロボットは、メカナムホイールの外径が103mmであるた

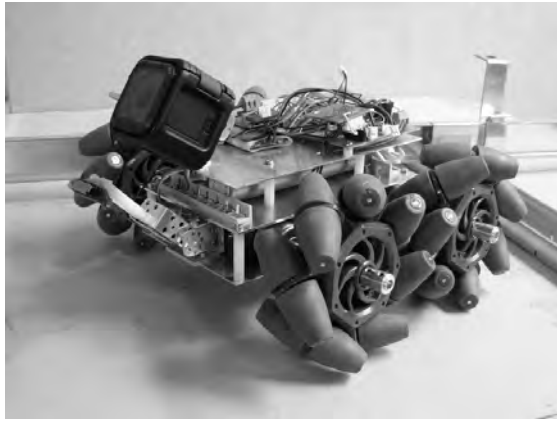


Fig.1 小型メカナムホイール検査ロボット

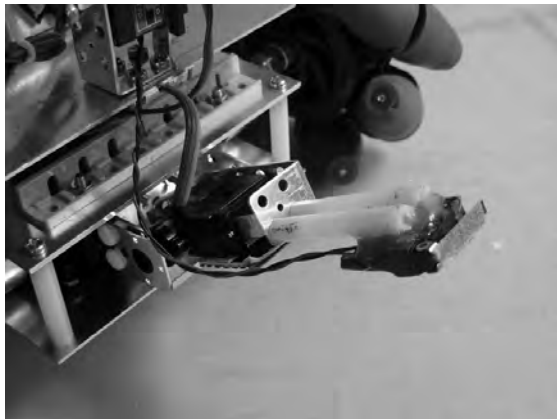


Fig.2 簡易なアーム



Fig.3 小型検査ロボットに搭載した Wi-Fi カメラ

め、車輻と見なせば、高さ 26mm 程度までが乗越えられる高さとなる。そこで、Fig.2 に示すように車体前方に、野縁受けを乗越えるための補助機構として簡易なアームを装備する。野縁受けを乗越える際には、装備した簡易なアームを野縁受けに引っ掛けることで、車体を持ち上げて乗越える。また、自動的に野縁受けを乗越えられるようにするため、野縁受けとの接触の判断用にマイクロスイッチを簡易アームに装備している。試作した小

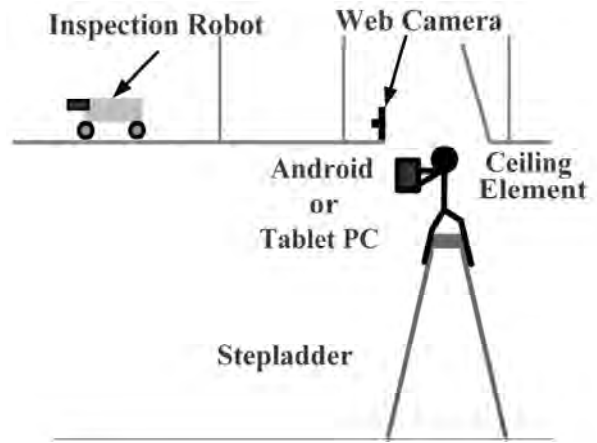


Fig.4 目視検査システムの概念図

型メカナムホイール検査ロボットは、最大で約 65mm の高さまでは乗越えられることを確認している。

搭載する Wi-Fi カメラは利便性を考慮して、スマートフォンなどで確認できるように、ウェアブルカメラを用いる。試作した小型検査ロボットは、Fig.3 に示すように GoPro Hero4 Session を搭載している。GoPro Hero4 Session は、最大 800 万画素の静止画および Full-HD の動画を約 1 時間半撮影でき、重量は約 90g である。Wi-Fi カメラの角度については、上下方向はカメラを設置したサーボモーターを制御し、左右方向は小型検査ロボットを旋回することで行う。また暗所でも鮮明な画像を撮影できるように、100 ルーメンの高輝度 LED を Wi-Fi カメラの側面に装備する。

試作した Wi-Fi カメラ搭載小型メカナムホイール検査ロボットの操作は、Bluetooth 通信により、タブレット PC もしくは Android 端末を用いて基本的にはマニュアル操作で行う。

天井ふところ内の目視検査は、点検口から Wi-Fi カメラ搭載小型メカナムホイール検査ロボットを挿入し、点検口においた Web カメラにより検査ロボットの位置を把握する。Wi-Fi カメラ搭載小型メカナムホイール検査ロボットを用いた天井ふところ内の目視検査の模式図を Fig.4 に示す。

3. 野縁受け自動乗越えアルゴリズム

Wi-Fi カメラ搭載小型検査ロボットが野縁受けを乗越える際には、補助機構として装備した簡易なアームを利用して乗越える必要がある。マニュアル操作で野縁受けを乗越えるためには、小型検査ロボットの状況が確認できる必要があり、点検口から離れた場所では小型検査ロボットの状況が把握できず、野縁受けを乗越えることが困難となる場合も考えられる。そのため、操縦者が小型検査ロボットの状況を確認できなくても野縁受けを乗越えられるよう、自動乗越えアルゴリズムを小

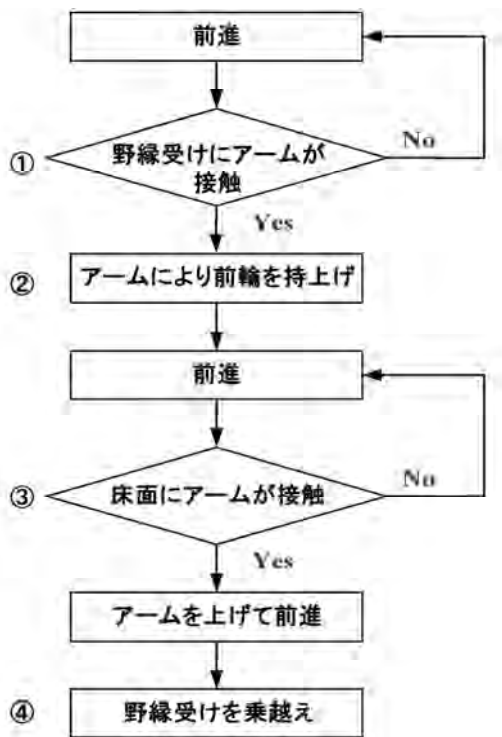


Fig.5 自動野縁受けアルゴリズム

型検査ロボットに実装する。野縁受けの乗り越えでは、野縁受けとの接触の判別が重要となる。そこで、アーム先端に、ロボット掃除機の接触センサーに用いられているマイクロスイッチを設置し、野縁受けと小型検査ロボットの接触の判別に用いることとする。乗り越えアルゴリズムでは、野縁受けに接触後、アームを野縁受けに引っ掛けながら押し下げることで前輪を持ち上げ、野縁を乗り越える。その際、下げたアームが床面に接触した時点でアームを上げる必要があるが、床面との接触判定についてもマイクロスイッチを用いている。野縁受けを乗り越えるためのアルゴリズムのフローチャートを Fig.5 に示す。

実装したアルゴリズムによる野縁受けの乗り越えを確認する目的で、天井ふところ内を模擬した試験体を用いて検証実験を行う。検証実験における小型メカナムホイール検査ロボットの様子を Fig.6 に示す。ただし、Fig.6 中に示した番号は、Fig.5 のフローチャートに記した番号の状態を表す。Fig.6 より、実装したアルゴリズムにより、野縁受けを自動的に乗り越えられることが確認できる。

4. 老朽化した天井への適用

Wi-Fi カメラ搭載小型メカナムホイール検査ロボットによる目視検査の有用性を検証する目的で、老朽化と東日本大震災の影響により雨漏りが生じている実天井の目視検査に適用する。検査対象部分の室内からの外観を Fig.7 に示す。室内からの目

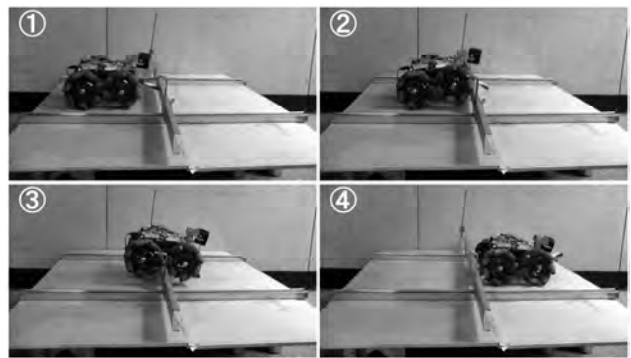


Fig.6 野縁受けの乗り越え



(a) 天井全体 (b) 損傷部詳細

Fig.7 対象とした雨漏りのある天井

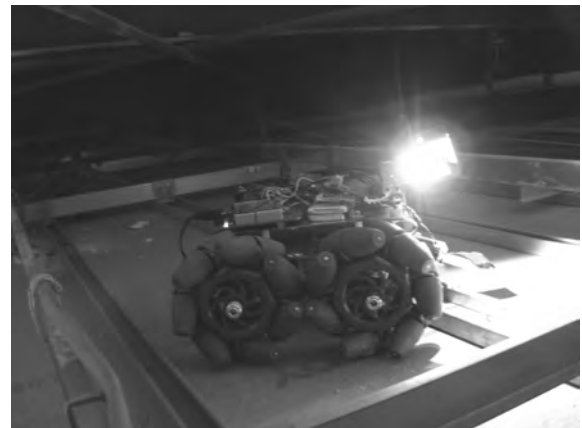


Fig.8 天井ふところ内での走行の様子

視からも天井板の損傷は明確に把握できるが、室内からでは天井ふところ内の状況や屋根の内側部分の状況把握は難しい。目視検査は、点検口がないため Fig.7(a)に示す天井板を外した箇所から Wi-Fi カメラ搭載小型メカナムホイール検査ロボットを挿入して実施する。小型メカナムホイール検査ロボットの位置については、脚立上からの視認により行う。天井ふところ内の小型メカナムホイール検査ロボットの走行の様子を Fig.8 に示す。小型メカナムホイール検査ロボットに搭載し



(a) 屋根面



(b) 天井板

Fig.9 天井ふところ内の損傷

た Wi-Fi カメラで撮影した屋根面および天井板の画像を Fig.9 に示す。Fig.9 から、室内からでは把握が難しい天井ふところ内の様子や屋根部分の損傷状況が、簡便にかつ詳細に把握できることが確認できる。また小型メカナムホイール検査ロボットは、補助アームの使用により、野縁受けを自在に乗越えられることも確認している。

以上の実天井に対する適用から、Wi-Fi カメラ搭載小型メカナムホイール検査ロボットにより、効率よく簡便に天井ふところ内の目視検査が可能となることが確認できる。

5. まとめ

本研究では、効率よく簡便に天井ふところ内の部材や設備の点検を行うために、Wi-Fi カメラ搭載小型メカナムホイール検査ロボットによる目視検査を提案し、小型メカナムホイール検査ロボットを試作した。試作した Wi-Fi カメラ搭載小型メカナムホイール検査ロボットの有用性は、雨漏りのある実天井を対象とした目視検査を行い、室内からでは、状況の把握が難しい天井ふところ内の状況を、簡便かつ詳細に把握できることを実証した。実証実験から、試作した Wi-Fi カメラ搭載小型メ

カナムホイール検査ロボットを用いた目視検査は、可搬式足場のみで天井ふところ内の点検を行えることから、実用性の高い方法と成り得ると考えられる。

今後の研究課題としては、天井ふところ内での検査ロボットの位置情報と損傷の位置情報を自動的に把握できるシステムの開発があげられる。

謝辞

本研究の一部は科学研究費基盤研究 (C) (課題番号 15K06304) の援助を受けました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 日経アーキテクチャ(編集): 東日本大震災の教訓 都市・建築編 覆る建築の常識, 日経BP社, 2011
- 2) 川口健一・大場康史・中楚洋介: 2011年東北地方太平洋沖地震による空港ターミナルビル内天井落下及び天井衝撃力の推定, 日本建築学会技術報告集, Vol.39, pp.789-793, 2012
- 3) 国土交通省: 中央自動車笹子トンネル天井板落下事故関連情報, http://www.mlit.go.jp/road/road_tkl_000033.html, 2012
- 4) 国土交通省: 報道発表資料 トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会 報告書について, http://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_000363.html, 2013
- 5) 国土交通省 国土技術政策総合研究所・(独) 建築研究所: 建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説, 国土技術政策総合研究所資料 No.751, 建築研究資料 No.146, 2013
- 6) 仁田佳宏・西谷章・渡壁守正・稲井慎介・岩崎充実: ワイヤレスカメラを用いた天井ふところ内の損傷目視検査, 計測自動制御学会論文集, Vol.49, No.7, pp.733-735, 2013
- 7) 文部科学省: 地震による落下物や転倒物から子供たちを守るために, ~学校施設の非構造部材の耐震化ガイドブック, 2010
- 8) 清水亨: 次世代社会インフラ用ロボットの開発と導入, 土木施工, Vol.55, No.8, pp.138-140, 2014
- 9) 稲垣孝: 次世代社会インフラ用ロボットの現場検証委員会と公募, 土木施工, Vol.55, No.8, pp.141-142, 2014
- 10) 土井暁, 井上文宏: 超高層集合住宅対応外壁検査システム「スカイクライマー™」, 大林組技術研究所報, Vol.76, CD-ROM, 2012
- 11) 竹内愛・村井孝司・北村禎章・南川達浩: 住宅の床下点検ロボットの開発, 第14回建設ロボットシンポジウム論文集, pp.183-188, 2014
- 12) 田中幸悦: What's New モニタリングロボット, 建築設備士, Vol. 43, No.2, pp.44-46, 2013
- 13) <http://www.cbr.mlit.go.jp/kensetsu-ict/robot/>

9. 情報化施工におけるTS出来形計測の効率化

～ 近傍点計測の実施 ～

国土交通省 関東地方整備局 ○ 服部 達也
 一本 秀樹
 山本 啓介

1. はじめに

国土交通省では、建設施工の生産性向上、品質確保、安全性向上、熟練労働者不足への対応など、建設施工が直面している諸課題に対応する情報化施工（ICT 施工）の普及を進めている。関東地方整備局でも、関東において先行して取組んだ出来形管理要領が全国版になるなど、情報化施工の活用拡大に向けた取組を推進している。

情報化施工とは、トータルステーション（以下、TS という。）や全地球測位システム（以下、GNSS という。）などの測位技術を用いて施工管理や機械施工を効率化する技術である。施工管理の効率化技術では「TS による出来形管理」「TS・GNSS による締固め管理」が行われている。機械施工の効率化技術では、モータグレーダ・ブルドーザのブレードやバックホウのバケットを自動制御するマシンコントロール（以下、MC という。）や、刃先の位置や自転車位置を表示するマシンガイダンス（以下、MG という。）が行われている。（図－1）

本稿は、MC や MG を用いた施工現場における、出来形管理手法の簡素化・省力化を目的とした、近傍点計測について、前報（参考文献2）に続き、複数の試行工事での機能検証を行い、施工者の意見をまとめたものである。また、近傍計測を行うために必要な TS の任意点計測機能についての確認

を行った。

2. 近傍点計測について

2.1 MC・MG施工の特徴

MC 施工では、施工中のブレードの位置・標高をリアルタイムに取得するとともに、施工用データ（設計データ）との差分を算出し、これに基づきブレードを設計形状に沿うように自動制御する。MG 施工では、同様の手順で算出された施工用データとの差分を運転席にあるモニターへ表示し、オペレータが手動制御を行う。MC や MG を使用した場合、均一かつ精度高く仕上げることが可能である。（図－2）

現在の TS を用いた出来形管理では、延長方向に 20m 毎の定められた管理断面上で、法肩・法尻・道路中心の基準高・幅及び法長（土工のみ）を計測することが求められている。（図－3）計測時には管理断面±10cm の範囲にプリズムを設置することとなっているため、プリズム誘導の微調整に時間がかかるという非効率が生じている。

■ 施工管理の効率化技術

技術	TSによる出来形管理 (出来形管理の効率化)	TS・GNSSによる締固め管理 (確実な品質管理)
<ul style="list-style-type: none"> ● 出来形管理は情報化施工の基幹技術 ● 両技術ともに「監督検査要領」を策定済み 		

MG: マシンガイダンス
 (位置表示: カーナビ的)
 MC: マシンコントロール
 (自動制御)

■ 機械施工の効率化技術(MC/MG技術)

技術	モータグレーダ	ブルドーザ	バックホウ
<ul style="list-style-type: none"> ● MC、MG技術は、施工者自らが採用し、導入現場数が増加している。 			

図－1 情報化施工技術の種類

2.2 近傍点計測手法の概要

効率的な出来形管理の方法として、管理断面に対して延長方向に1mまでのズレを許容する、近傍点計測手法を提案する。

(図-4)

近傍点計測では管理断面以外の点で計測を行うことから、任意点間の設計上の距離を適宜算出し出来形と比較することが必要となる。これには、現有の出来形管理用TSに用いられる

ソフトウェアの機能である、管理断面間を補完した任意箇所での出来形の設計座標を算出する機能を利用する。具体的には、計測値の座標から平面線形に直交する垂線から測点を求め、測点に応じた設計座標を算出する。この設計座標をもとに2カ所の点間距離を算出したものが設計値となり、計測点の点間距離を算出した出来形と計測値との差が出来形管理値となる。

(図-5)

ただし、近傍点計測を適用するためには、管理断面の前後1mの範囲においても、基準高や幅が管理断面と同等の出来形品質であることが必要である。そのため、MC・MGでの施工を前提とする。

2.3 近傍点計測手法のメリット

現行の定点管理と比較して、計測点のずれが許容されるため、逆打ち等によるプリズムを誘導する作業時間が短縮される。

現行の「土木工事施工管理基準および規格値(国土交通省各地方整備局)」(以下、現行基準という。)の計測頻度・出来形管理項目・規格値が同じであるため、計測時の運用通知により活用が可能である。

2.4 近傍点計測手法のデメリット

現行の出来形管理用TSのソフトウェアは幅・法長において斜距離算出に対応していない。また、帳票も従来と若干異なるため、ソフトウェアの改良や仕様変更が必要となることから、当面は施工者の希望により活用を図っている。

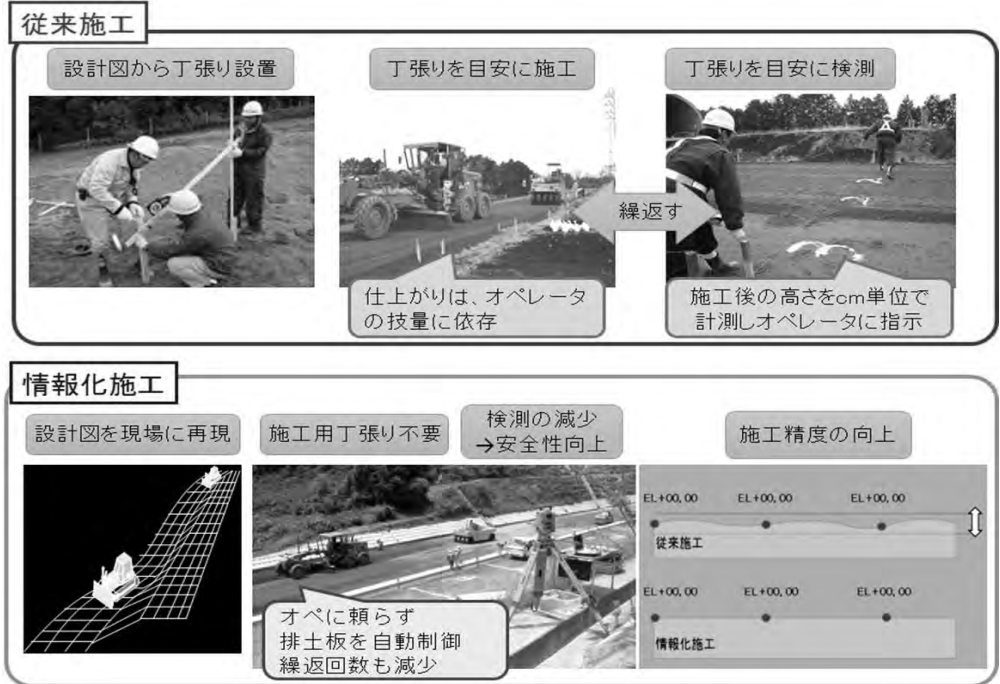


図-2 マシンコントロール(MC)施工

工種	測定項目	規格値(mm)	測定基準	測定箇所
路床盛土工 路床盛土工	基準高▽	±50	設計図書の測点毎、基準高は、道路中心線及び端部で測定。	
	法 法長<5m	-100		
	長 法長≥5m	法長-2%		
	幅 W1, W2	-100		

図-3 盛土における出来形測定箇所

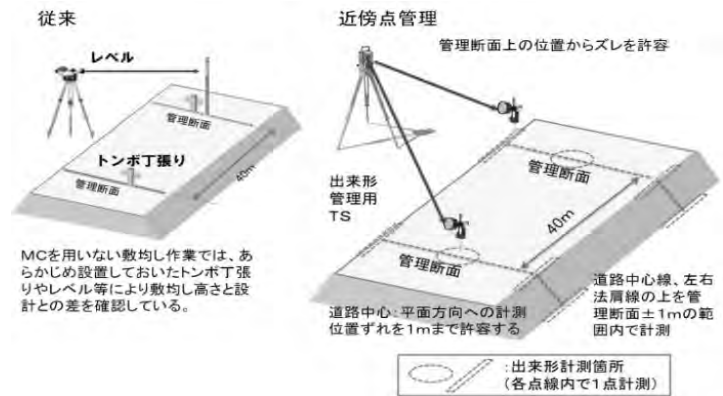


図-4 近傍点計測の計測箇所

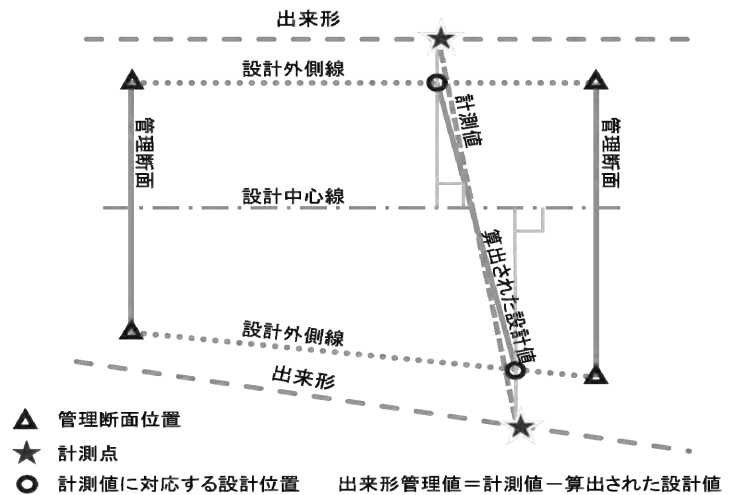


図-5 近傍点計測の算出方法

表-1 既存 TS の検証時の対応手法

近傍手管理に必要な機能	A社	B社	C社	D社
近傍計測点(=実測座標)を記録する機能	○ (任意点計測モードで対応)			
近傍計測点(法肩・法尻)付近の構成点(=設計座標)を算出・表示する機能	△ (追加距離と中心線離れを表示可)	○ (計測直後画面表示される)		
設計座標を記録する機能	△ (追加距離と中心線離れを手簿に記録し、別途3D-CAD等を用いて構成点の三次元座標を求める)	○ (ずれのリミットを10cmから緩和することで記録可能)	△ (手簿に記録する必要がある)	
幅員・法長の実測値を算出・表示・記録する機能	△ (エクセル等で別途算出)			
幅員・法長の設計値を算出・表示・記録する機能				

○ : 既存のTSソフトウェアの機能を利用して実現できる機能

△ : 既存のTSソフトウェアでは実現できないが、別途パソコンにより補完可能な機能

3. 既存 TS における対応可否確認

3.1 既存 TS の機能確認

近傍点計測の試行工事に先立ち、既存 TS ソフトウェアについて機能の確認を行い、主要各社いずれの TS ソフトウェアを用いても、別途パソコンや表計算ソフトを用いた補完作業を行うことで、近傍点計測を試行的に実施することが可能であることが確認された。

3.2 近傍点計測の計測精度検証

実現場における近傍点計測の試行を実施する前に、模擬道路を用いて、各社のソフトウェアによる出来形設計値の精度検証を行った。(図-6) 精度検証の方法は、あらかじめ近傍計測点(管理断面から1m縦断方向にずれた箇所)に杭を設置する。その上で、各社の TS で近傍計測点を計測し座標値を記録、パソコンで補完計算をして出来形設計値(法長、幅)を算出した。なお、設計値の真値は、近傍計測点の計測座標から CAD を利用して求めている。

精度検証の結果、幅については、いずれの会社、断面においても10mm以内であり、幅の規格値(-100mm)に対してわずかな値である。法長についても、1点(差11.5mm)を除き、10mm以内であり、法長の規格値(法長5m未満の場合-100m)に対してわずかな値である。以上より、既存の TS 出来形ソフトウェアを用いて画面表示された設計座標。及びこれらをもとにして算出した幅・法長の設計値算出ロジックが妥当であると考えられる。(図-6)

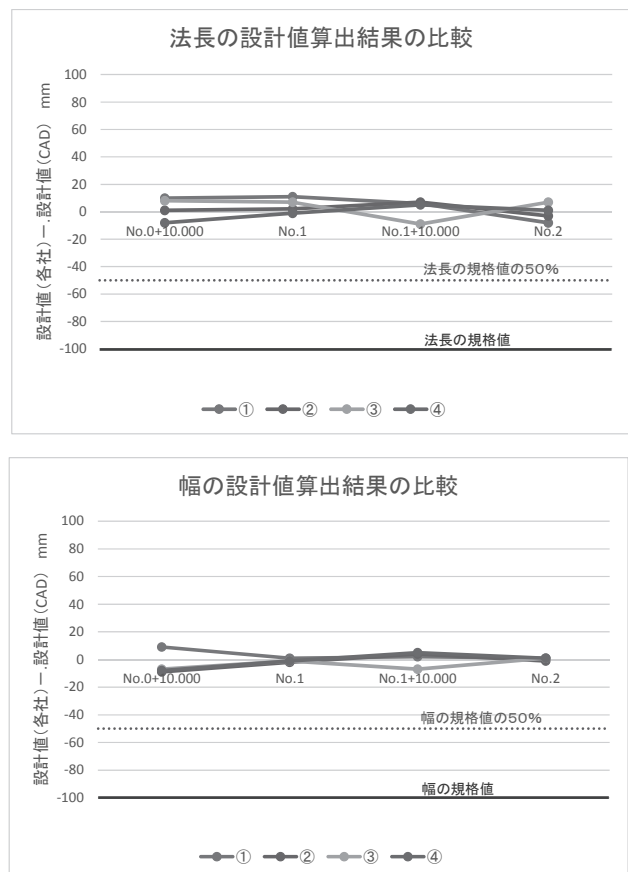


図-6 出来形設計値(幅・法長)算出結果の比較

4. 試行工事における効果の検証

4.1 試行現場の概要 (図-7・図-8)

(1) A現場

工事名 圏央道幸手地区側道舗装その4工事
 場所 埼玉県幸手市平須賀地先
 発注者 関東地方整備局 北首都国道事務所
 施工内容

- ・掘削工 15,00m³
- ・盛土工 50,00m³
- ・下層路盤 55,00m³
- ・上層路盤 55,00m³
- ・基層 55,00m³
- ・表層 55,00m³

施工手段として使用した情報化施工技術

- ・MC モーターグレーダ
- ・TS 出来形計測

試行実施日

- ・H26. 12. 22 (下層路盤)
- ・H27. 1. 24 (上層路盤)

(2) B現場

工事名 新4号古河地区改良舗装工事
 場所 茨城県猿島郡境町塚崎地先
 発注者 関東地方整備局 宇都宮国道事務所
 施工内容

- ・掘削工 850m³
- ・盛土工 2,000m³
- ・下層路盤 140,00m³
- ・上層路盤 140,00m³
- ・基層 140,000m³
- ・表層 140,000m³

施工手段として使用した情報化施工技術

- ・MC モーターグレーダ
- ・MC アスファルトフィニッシャ
- ・TS 出来形計測

試行実施日

- ・H27. 1. 7 (下層路盤)
- ・H27. 1. 14 (上層路盤)



図-8 現場状況 (上段: A現場、下段: B現場)

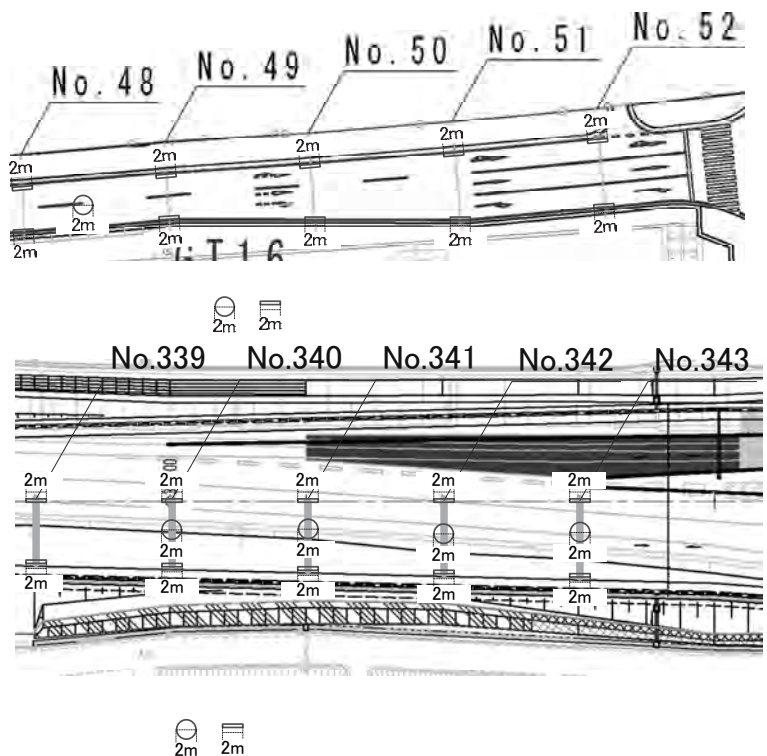


図-9 測定箇所 (上段: A現場、下段: B現場)

4.2 近傍点計測の試行

(1) 試行内容 (図-9)

A現場では、3社が、管理断面に10cmまで寄せて現行のTS出来形による出来形計測、1mまで寄せた近傍点計測、10cmまで寄せたワンマン計測の3種類で試行し、5側線11点を計測した。ここで、ワンマン計測とは、プリズムを自動追尾するTSと現位置を表示するプリズムにより、1人で出来形計測を行えるものである。

B現場では、1社が、通常の出来形計測と、近傍点計測の2種類で試行を行った。5側線14点を計測した。

なお、今回の集計に含まれる時間は、ミラーの設置、誘導時間、TSによる測距離時間、データ保存時間、ミラーマンの次測点への移動時間である。また、データコレクタに表示される設計データの手簿への記録に要する時間を計上していない。理由は、この作業は今回の試行でのみ必要となる作業で有り、将来的に近傍点計測に適応したソフトウェアが開発された段階では不要となる作業時間であると考えられるためである。

(2) 試行結果 (図-10、図-11)

1点あたりの計測時間では、現行のTS出来形計測に比較して、近傍点計測では45%の時間削減、ワンマン計測では53%の時間削減となった。ただし、4社の内訳をみると、③社のみ方式に寄らず同等の時間で計測を行っていた。

実施後にヒアリングをしたところ、以下のようなことが得られた。

- ・現行では、TS係から音声無線機でプリズム係へ前後左右の指示を出して測点へ誘導をしているが、近傍点計測では1m以内に寄せればよい



図-11 試行現場の状況

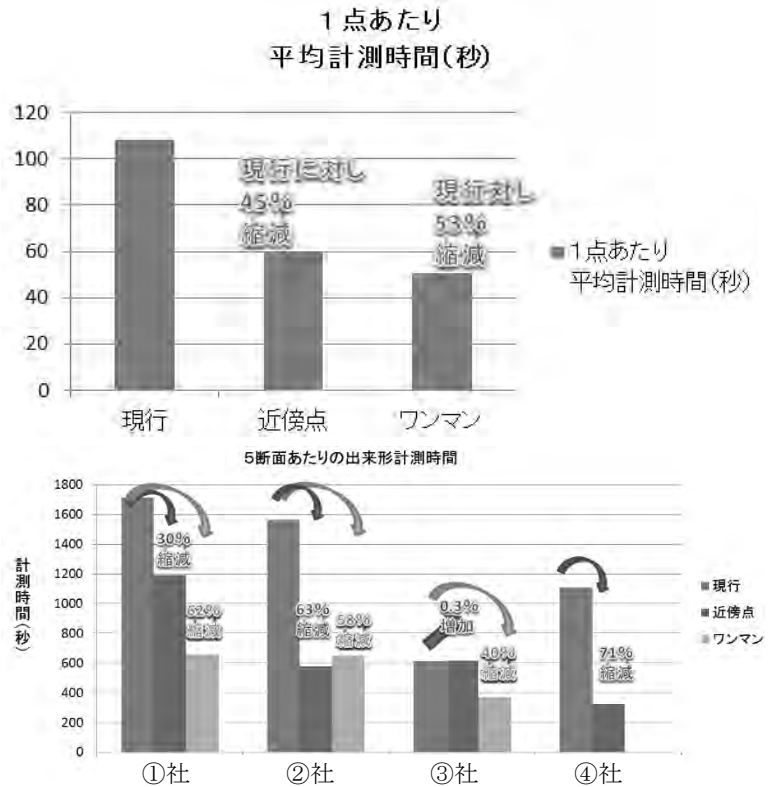


図-10 現行・近傍点・ワンマンの出来形時間の比較

誘導回数が少ない。

- ・このことから、未熟練者であっても近傍点計測を用いることにより、熟練者と同等の作業効率を得ることができると考えられる。
- ・ワンマン計測は、近傍点計測と同等の時間で可能であるが、自動追尾機能のあるTSや、原位置表示機能のあるプリズムなどが必要である。
- ・③社は担当者の計測経験が豊富であり、プリズムの誘導方法が工夫されていた。まずTSを逆打ちしたい方角へ向け、次にプリズムがTS正面へ移動し、前後のずれ量指示を出していた。他は、毎回、前後左右のずれ量で指示を出していた。

4.3 MC 区間の出来形確認 (図-12・図-13)

管理断面の前後 1 m の範囲において、基準高や幅が同等であることの確認として、MC モーターグレーダによる敷均しがなされた下層路盤において、右端部、左端部のライン上を、縦断方向に約 1 m のピッチで三次元座標を計測し、幅・高さの測定を行った。

その結果、幅・高さともに出来形のばらつきが規格値の 50%未満となっていることが得られた。これは、監督検査基準の考査項目「3. 出来形及び出来映え I 出来形」において、「a: 優れている」「a': b より優れている」といった高い評価に相当するものである。

以上より、MC や MG を導入している現場では、管理断面以外の区間においても管理断面と同等の出来形品質を実現できることから、出来形管理箇所を管理断面上の近傍箇所としても設計と出来形との差を適切に確認・評価することが可能と言える。

4.4 施工者へのヒアリング調査

現場 A、現場 B の施工者職員へ、近傍点計測およびワンマン計測について意見を伺った。

【近傍点計測について】

- ・ 出来形測量での計測点の誘導に要する時間の短縮に役立つので、導入への意欲はある。
- ・ ただし、監督職員の理解の徹底や、正確な出来形（真の幅・法長）が数値として得られないことへの不安が課題である。

【ワンマン計測について】

- ・ ワンマン計測を行うとしても、近傍点計測を採用できれば測量がさらに効率化できると期待されている。
- ・ ただし、自動追尾 TS は MC 施工で用いられるが、レンタル費用が従来機と比べて高額であるため、経済性を考えるとレンタル期間を延ばさず、従来機を選択するという考え方もある。

【近傍点計測の導入への懸念事項】

- ・ 監督職員や検査職員がこの方式をよく理解していないと、帳票への記入内容への疑問（例えば測点毎に幅・法長の設計値が異なる等）が発生し、説明に労力を要することが懸念される。
- ・ 測点毎に幅・法長の設計値が異なるため、工程能力図で施工のばらつきが大きいと誤解されたり、監督立会い時と実地検査時では計測点が異なる場合も想定される、その場合従来では確認結果を 2 段書きとしていたものが、計測主体毎の帳票となることで、現行手法での管理に比べて検査での評価が低くなることが懸念される。
- ・ 近傍点計測の場合、施工指示で用いた幅の設計値と、出来形計測時の断面幅の設計値が微妙に異なるので、照合できないことが気になる。
- ・ 懸念事項として確実な周知を求める意見が多い。

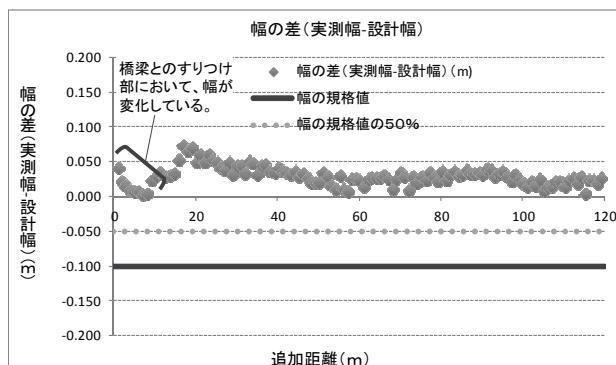


図-12 1mピッチで計測した施工幅 (B現場)

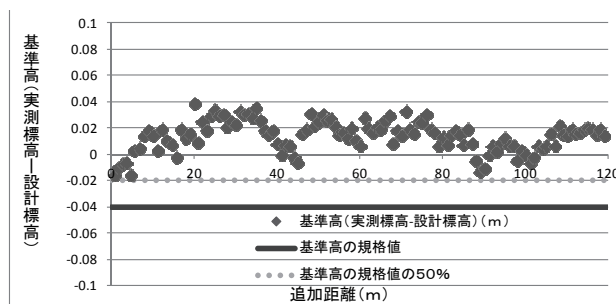


図-13 1mピッチで計測した施工高さ (A現場)

5. まとめ

今回の試行により、近傍点計測は、導入効果も大きく、施工者のニーズも高い技術であることが確認された。関東地整では、平成 27 年 2 月に「活用の手引き (試行案)」として通知を出し計測のルールを見直した。その一方で、現段階では、TS 出来形管理用ソフトウェアへの対応がされていない現状である。

今後も地方整備局職員・施工者への周知を図り、関係者との意見交換に努め、施工者ニーズを伝えていくことで、結果として TS 出来形管理用ソフトウェアの開発意欲が高まることを期待しており、管理要領の改訂に結びつけたいところである。

また、引き続きこのようなルールの見直しなど、官側の柔軟な対応も含めて ICT を活用しやすい環境整備に努め、施工現場の効率化に向けて「建設生産システムの抜本的な生産性向上」に取り組んでいく所存である。

最後に、日本測量機器工業会及び日本測量機器工業会会員には、多大な協力を頂きました。この場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 坂本鋼三:「MC施工を前提とした情報化施工技術の新たな施工管理への展開」、平成25年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集pp. 107~110、2013
- 2) 山本啓介:「MC施工を前提とした出来形計測 (計測許容範囲拡大) 手法の効果検証」、平成26年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集pp. 41~46、2014

10. 情報化施工を用いた舗装の実験手法について

－ MC施工と従来施工の比較モデル －

国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課 ○坂本 鋼三
 国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課 山口 崇
 (一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 竹本 憲充

1. はじめに

国土交通省はこれまで情報化施工の導入を促進するため、平成20年7月に「情報化施工推進戦略」として5年間の戦略的な普及方策をとりまとめ、この方針に則り情報化施工の試行工事を実施し、その導入に努めてきたところである。

平成25年3月に第2期の「情報化施工推進戦略」が策定され、経験するための「使う」から、より効率的あるいは確実な施工を実現するための「活かす」ことに目的をむけた導入促進が求められる段階になってきた。

現在一般化を目指している技術にマシンコントロール（以下、「MC」という。）技術がある。これは施工機械の位置情報をリアルタイムで把握し、施工用の3D設計データのとおり作業装置を制御するもので、オペレータの操作、作業負担を軽減し施工エリア全体で均一な施工を実現出来る技術である。

技術導入のメリットとして施工の効率化、施工品質の確実な確保に寄与するとして、技術の普及に努めているが、一方で情報化施工を用いて構築された土木構造物への均一な施工の効果について、定性的な有効性が期待されているが定量的な検証がなされていない。

本稿では、現状の課題となっている「定量的な効果の把握」を目指して行った「基礎実験」の試みについて、その実験手法と実験結果について報告する。

2. MC施工による目的物

MCによる施工は「情報化施工推進戦略」において一般化推進技術として導入を促進している技術である。モータグレーダのほかブルドーザなどの施工機械へ搭載し、土工や路盤工等において活用されている。従来施工とMC施工による路盤の仕上りの違いについてイメージを図-2に示す。

現状（従来施工）では、丁張りを目印に作業装置を操作し施工を行う、管理断面では設計値との差異を確認しながら施工をおこなうが管理断面間

の任意点ではオペレータの技量に依存することとなる。

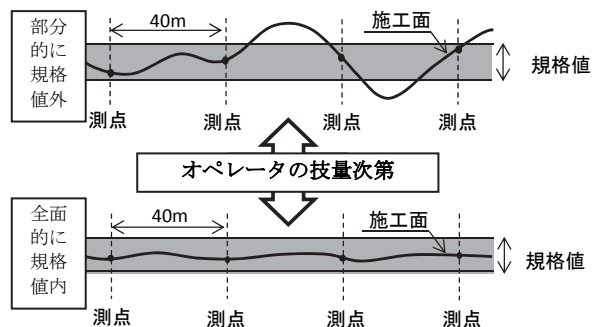


図-1 オペレータの技量による仕上りの差イメージ

一方、MC施工では、施工の目標となる3D設計データを施工機械に搭載し施工範囲全面で作業装置を制御して施工するため、管理断面間の任意点でも管理断面と同様の精度で施工出来る。これは路盤や表層などの施工厚が従来施工より均一な厚さで作り上げられることになる。

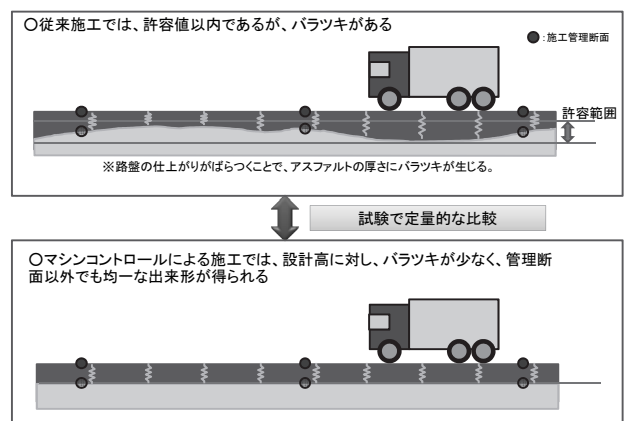


図-2 MC施工による均一な施工の比較イメージ

MC施工によって形作られた目的物の定量的評価を行うことは、均一に施工された目的物の構造物としての特性を把握することと考えられる。

そこで、今般の「基礎実験」においては、均一に施工された構造物の特性把握を行う一手法として、路盤を模した材料を用いて、仕上がり面に変化をつけた比較モデルを作成し、荷重試験機によ

る沈下や変形を観察することを試みた。

土木構造物は複数の要素からなるが、定量的な効果検証を行ううえで個別の要素毎に効果検証を行い、それらの結果を総合的に足し合わせることで評価出来ると想定した。その一部として、MC施工で実現される均一な路盤の効果を検証するため図-2のバラツキの差異を表すような要素モデルによる変状把握手法の成立性について検証した。

3. 「要素実験」を見据えた基礎実験概要

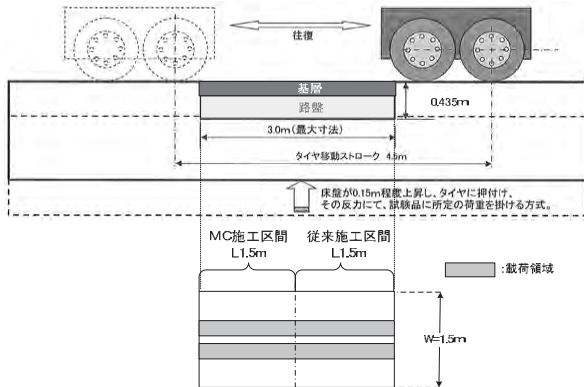


図-3 輪荷重移動載荷試験

3.1 基礎実験の目的

路盤の敷き均し作業に情報化施工を用いることにより路盤の平坦性が向上するが、このことが路盤・基層を含むアスファルト舗装の疲労耐久性に及ぼす影響を確認する手法として、実物大アスファルト舗装試験体を用いた輪荷重疲労試験を実施した。

3.2 輪荷重疲労試験装置の仕様

実験装置には株G&U技術研究センター内の室内輪荷重疲労試験機（図-3）を用いた実験の条件は表-1のとおり。

表-1 実験条件

項目	内容
載荷荷重	98 (KN)
移動距離	4.5 (m)
移動速度	最大 20 (往復/分)
載荷回数	22.4 (万輪) =0.7 万 (往復/12 時間) ×2 (昼夜) ×4 (輪) ×4 (日)
軸間距離	1.4 (m)
タイヤサイズ	11R22.5-16PR トラックタイヤ用ゴムタイヤ ダブルタイヤ 2 軸
試験体サイズ	L3.0 (m) × 1.5 (m) × t0.4 (m)

舗装試験法便覧では標準荷重を 49KNとされているが促進試験として 2 倍を設定する。このため荷重が 2 倍になると舗装の寿命に対する影響が 16 倍

になる 4 乗則を引用し、載荷輪数を算出した。

3.3 供試体

実験で使用した供試体は図-4のイメージを参考とし輪荷重疲労試験装置の供試体寸法を最大限利用し作成した。



図-4 基礎実験イメージ

3.4 供試体の形状等

実験期間などの制約により一つの供試体の中で従来施工のモデル部分とMC施工のモデル部分の二区間を設けた。

3.4.1 路盤の表面形状等

- ・従来区間：路盤表面へ波長 1.5m、振幅 1cm のサイン波状に凹凸をつけた。路盤を敷き均し、載荷範囲にサイン波の山部と谷部がそれぞれ 1 カ所ずつ含まれるようにした。
- ・MC 区間：可能な限り平坦に敷き均した。

3.4.2 路盤の密度

セメント安定処理を行い、密度・剛性を均一にした。転圧方法は、従来区間、MC 区間とも転圧にタンパ等を用いた人力施工にて実施した。部分的に締固め不足による密度低下箇所が生じないように、入念に締固めを行った。



図-5 路盤締固め



図-6 路盤締固め

3.4.3 表層の表面形状等

供試体を収めるカセット上端まで合材を打設し、表面をレーキ等で平坦に仕上げ、転圧方法はプレートコンパクタを用いて平坦に転圧した。

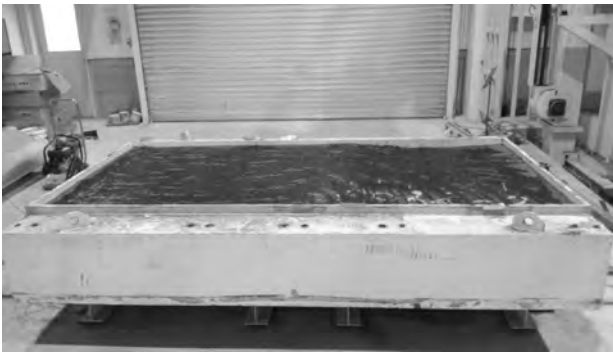


図-7 乳剤散布



図-8 合材投入



図-9 基層敷均し



図-10 基層締固め

4. 実験状況

実験状況の写真を図-11～14に示す。



図-11 輪荷重載荷試験機



図-12 載荷輪(ラジアルタイヤW2軸)

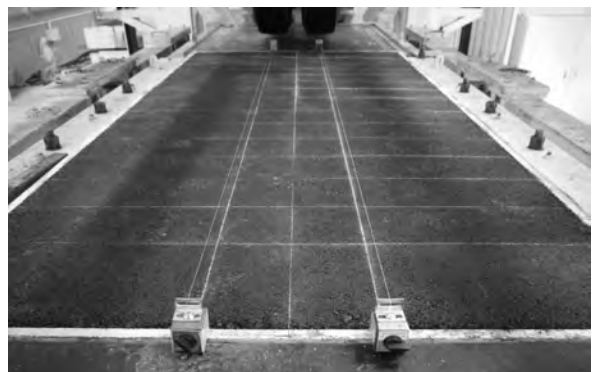


図-13 測線配置



図-14 沈下状況(2.8万回載荷後)

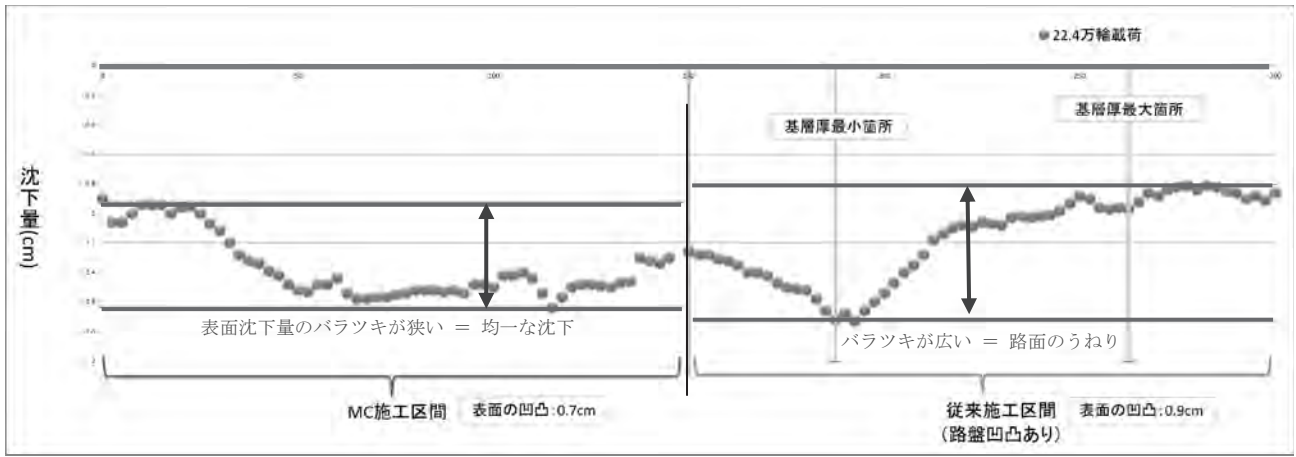


図-15 基層表面の沈下量(縦断方向)

5. 実験結果

実験の結果は以下のとおりであった。

5.1 沈下量確認(縦断方向)

MC区間(基層厚が均一、平均層厚5cm)では、ほぼ均一に沈下が進んだ。(路盤の平坦性向上(= 基層層厚の均一化)により沈下量が均一化)

従来区間では、基層が最も薄い区間では他区間より沈下が大きく、基層が最も厚い区間では、沈下が小さい傾向があった。

路盤の凹凸が基層厚のバラつきを生じ、その結果、MC施工より短期間で平坦性が低下したことになる。

5.2 沈下量確認(横断方向)

従来区間では、基層厚により沈下量の違いが出た。(厚い=沈下量少。薄い=沈下量多。)当初の層厚と厚さの変化量との間に明確な相関はなく、層厚のすり減り量は、当初の基層厚さに関係なく同程度であった。

5.3 密度試験結果

実験結果の裏づけとして、供試体(基層)の密度試験を実施し、「土木工事施工管理基準および規格値」の品質に関する規格値(基準密度の95%以上)を満足していた。

6. 実験結果と実験方法の考察

今般の基礎実験では、従来施工とMC施工の違いについて、5.2項で述べた基層のすり減りに差が無く、路盤の変状(変形)が原因となって沈下が発生する現象で違いが確認できた。しかし、実際の現場では、轍掘れは基層・表層面で発生し、路床・路盤面まで変形しないことが知られており実際の事象と異なる事象として結果が得られたこととなる。

原因として、今般の実験を行った条件が鋼製枠に納められたカセット状の供試体で行われたことが考えられる。また、路盤の仕上り精度について規格値を参考として極端に設定した。これは、要素実験で傾向判断が行えるかの確認も目的とした

ためであるが、極端な事例による実験のため、実現場との乖離が発生したと考えられる。今後「定量的な効果の把握」を行っていくためには、従来施工とMC施工の実現場での出来形形状を精緻に確認し要素実験に反映することが正しい評価に繋がると考えられる。

7. おわりに

今回の基礎実験では、構造物の均一性の違いによる変状発生の違いについて、かなり極端なモデルによる実験であるが違いを把握することが出来た。実験手法としては、要素実験による効果検証の可能性は確認できたと考えられる。しかし、実現場で構築される構造物の定量的評価に結びつけるには、その環境条件の違いが大きく影響すること、実構造物の性状を踏まえた要素実験モデルの造成など多くの課題が存在する。そのため実験による直接的評価は困難であることも指摘されている。

今後、道路土工と舗装工の実現場において、平坦性や均一性などの性状把握とその定量的評価を試みる事が予定されており、その進捗にともない、今回の基礎実験の結果を踏まえた要素実験の活用が期待できると考える。

8. 謝辞

本実験の結果考察にあたり、国立研究開発法人土木研究所 道路技術研究グループ 舗装チーム 久保上席研究員より、基礎試験方法や試験結果のとらえ方に対して指導及び助言を頂いた。この場をお借りして感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 情報化施工推進戦略会議：「情報化施工推進戦略」, 提言 pp. 91~96, 平成24年
- 2) 国土交通省関東地方整備局：「MC施工を前提とした情報化施工技術の新たな施工管理への展開」建設施工と建設機械シンポジウム 論文集・梗概集, pp. 107~110, 平成25年

11. UAV マルチコプタの土工管理への適用性検討

安藤ハザマ 情報システム部 ○ 澤 正樹
安藤ハザマ 技術研究所 武石 学
安藤ハザマ 技術研究所 黒台 昌弘

1. はじめに

国土交通省の先導により、建設プロセス全体における生産性の向上や品質の確保を図ることを目的に情報化施工や CIM (Construction Information Modeling/Management) への取組みが進められている。これらに共通するものとして 3 次元データがある。情報化施工では MC (マシンコントロール) や MG (マシンガイダンス) における 3 次元設計データとして、あるいは施工出来形データとして利用されている。CIM では、地形や構造物の形状を 3 次元で示し、ここに属性情報を加えた上で、建設プロセス全体に流通させ、生産性の向上を図ることが検討されている。

このように 3 次元データが様々な形で利用されている一方で、3 次元データを取得する技術については、計測技術そのものに加えてデータ処理技術までを含んだトータルな計測技術としての検討が必要とされている。

そこで、筆者らは、近年技術進歩が著しい UAV (Unmanned Aerial Vehicle) マルチコプタ (以下、UAV) に着目し、造成工事の出来形・土量管理への 3 次元計測技術の適用可能性を検討してきた。本稿では、地上レーザースキャナ (以下、LS) を用いた計測と対比することで、UAV による計測の性能を明らかにする。

2. UAV の活用方法

2.1 UAV に関する技術開発の取り組み

筆者らは、建設現場において UAV による空撮写真から 3 次元モデルを作成する手法を確立するため、飛行速度や撮影時の方向 (角度・高度)、シャッター速度の検討に加えて、カメラ機種やモデル作成ソフトウェアの検証を行っている。これは、3 次元モデルの精度に関する要望は現場ごとに異なり、要求精度にあわせた撮影方法とソフトウェアが必要であることがその理由である。また、今後、老朽化が一気に進む社会インフラの維持更新分野における UAV の適用を目指し、非 GPS 環境下や狭隘部での飛行が可能な機体や、構造物に一定距

離まで接近し離隔を保ちながら構造物全体を撮影できる機体の開発を進めている。

2.2 UAV 飛行事例

現在、5 機の UAV を所有しており、施工中の建設現場の施工管理や安全管理、供用中の構造物の状況把握のための空撮を行っている。

以下に飛行目的と事例を紹介する。

(1) 施工管理、安全管理のための飛行

建設現場からの要望が一番多いのが施工管理と安全管理のための飛行・空撮である。通常、地上から現場全体を把握することは難しく、UAV により 70~100m 程度の低高度から全体を俯瞰することで、現場全体だけではなく詳細部分も把握できる。セスナ機等による空撮ではタイムリーな対応が不可能であることも一つの要因となっている。



写真-1 施工管理の空撮写真例

(2) 構造物や施設点検のための飛行

容易には人が接近できないコンクリート構造物において、その表面のひび割れなどを把握することが目的である。例えばダム堤体などは対象面積が広く、足場も不要で接近して撮影できるため、初期点検における大幅な時間とコストを削減することが可能である。

表-1 使用した3次元計測技術

UAVによる写真測量				レーザースキャナ計測	
タイプ	6発マルチローター	カメラ	SONY α6000	装置	GLS-2000
大きさ	80cm×80cm	レンズ	16mm 固定焦点	測定距離	350m
飛行時間	5min	シャッタースピード	1/1250	位置精度	2.0mm
撮影高度	60m	絞り値	5.0	スキャンピッチ	12.5mm
飛行速度	3.0m/sec	インターバル	2sec	スキャン数	8 scan
撮影範囲	123×105m	有効画素数	2430 万画素	スキャン時間	22min/scan
解析範囲	45.6×59.8m	撮影枚数	87枚	計測点数	2560万点

また、老朽化した工場の屋根を歩行して目視点検する作業では、点検員が屋根を踏み抜き落下する恐れがあるため、屋根の上方から接近し撮影することで、危険を排除した安全な点検作業を可能にしている。

いずれの場合も、機体を目視しながらのマニュアル操縦が基本となるので、経験を積んだ操縦者の育成が今後の課題である。

2.3 安全飛行に向けての取り組み

当社では安全飛行マニュアルを作成し、その中で飛行前に必ず飛行計画書を作成するよう義務付けている。その一例として最低限守るべき主な項目を以下に示す。なお、これらの項目を厳守できない場合は、直ちに飛行を中止する措置を取っている。

(1)2人体制による飛行

UAVの操縦者（撮影含む）以外に、バッテリー残量や飛行中の周囲状況を監視する安全担当者を選任し配置する。

(2)現場敷地内での飛行

飛行前に当該建設現場の敷地境界線を確認し、この境界線の内側を飛行する。

(3)重要インフラの確認

飛行エリア近辺に空港、鉄道、高速道路、主要幹線道路などの重要インフラがないか確認する。

(4)電波障害の確認

飛行エリア近辺に鉄塔、高圧線、変電所、携帯電話基地局などの強力な電波などを発する施設がないか確認する。

(5)上下作業の禁止

飛行前に現場内の作業員、重機やクレーンの位置を確認し、上下作業となる場合は飛行を中断する、もしくは飛行ルートを変更する。

(6)チェックリストでの確認

機体整備や安全管理に関わるチェックリストを作成し、操縦者および安全担当者が確認する。

2.4 バッテリーの管理

機体の駆動バッテリーであるリチウムポリマーバッテリーは、衝撃や高温に弱く、また、管理を

誤ると水素ガスを発生し爆発する危険性があるため、過充電・過放電を避けるとともに、難燃性の袋に入れて保管、輸送するなど徹底した管理が必要である。そのため、当社では、専門の知識を有した技術者がチェックシートを活用し、一括してバッテリーの管理を行っている。

3. UAV性能評価のための3次元計測実験¹⁾

3.1 実験で使用した3次元計測技術とその特徴

表-1に本実験で使用した3次元計測技術を示す。UAVに搭載したデジタル一眼レフカメラによる写真測量とLS計測を採用した。前者ではUAVに搭載可能なペイロードを考慮して、カメラは軽量なミラーレスタイプとしている。また、写真測量の原理によって3次元モデルを作成することから、単焦点レンズを装着できインターバル撮影機能を具備するものを選定した。

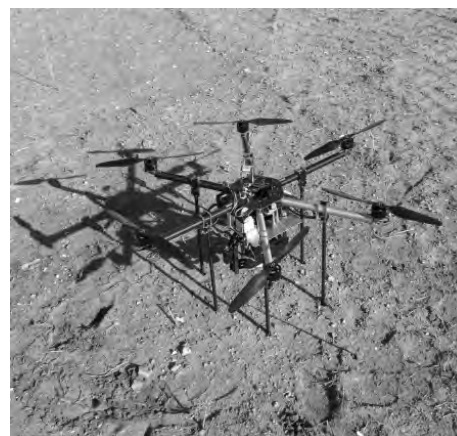


写真-2 UAVの概観

一方、後者のLS計測には実験ヤードのサイズから中距離タイプのLSを選定した。なお、撮影した多くの写真から3次元モデルを作成するために、専用のソフトウェアImage Master UAS(トプコン社製)を用いた。

3.2 実験概要

本実験は大規模造成工事の一角に造成された仮置き盛土(約120m×120m×高さ3m)において実施した。実験ヤードを図-1に示す。同じ盛土を表-1

の 2 種類の手法で計測し両者を比較する。比較項目は「計測サイクルタイム」「点精度」「面精度」「体積精度」の 4 項目である。



写真-3 LS 計測の様子



図-1 実験ヤード

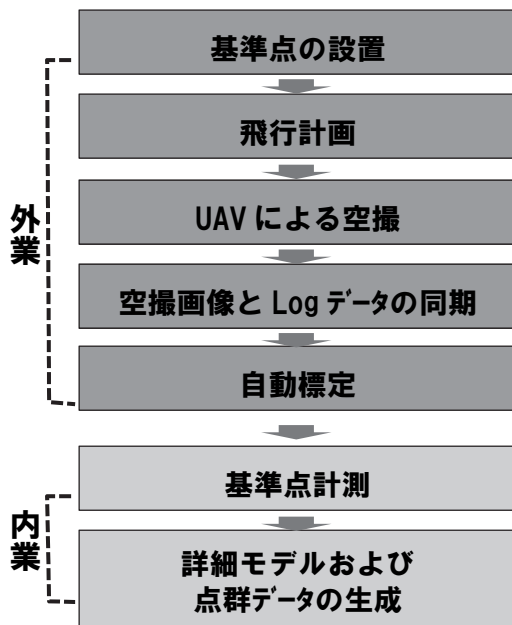


図-2 UAV による計測の流れ

3.3 UAV による盛土の計測

UAV による計測の流れを図-2 に示す。以下、順を追って作業の内容を示す。

(1) 基準点(標定点)の設置(図-1)

写真測量のための標定点を 6 点 (NO;1,2,3,4,10,11)、精度を検証するための比較検証点を 12 点 (No;5,6,7,8,9, 12,13, 16,17,18,19,20)、合計 18 点を実験ヤード内に設置した。なお、LS はこれらのうち 8 点(黄丸点 No;1,2,3,4,5,6,7,8)に設置した。

(2) 飛行計画

写真測量に必要なサイドラップ(75%)とオーバーラップ(90%)が確保できる飛行ルートを事前に計画した。

(3) UAV による空撮(写真-2)

飛行時間 5 分、自律航法にて約 90 枚の直下写真を撮影した。また、墜落等の事故の原因とされる電波障害やバッテリー低下については、小型軽量の UAV を実験直前に飛行させて電波障害の有無を確認するとともに、バッテリーの残量電圧を厳格にチェックする体制を取った。

(4) 空撮画像と LOG データの同期、自動標定²⁾

UAV のフライト LOG データには、GPS による位置情報と IMU (慣性計測装置: Inertial Measurement Unit) による傾きの情報が記録される。

この GPS と IMU のデータを同期結合させると同時に、GPS 時刻に基づいて空撮画像の撮影時刻を同期させ、Geo-Tag として撮影した各画像に位置と傾き情報を記録する。

次に、隣り合うステレオ画像毎に相対的な位置と傾きを求め、全ての画像を統一的な相対座標系に接続し、Geo-tag として記録された GPS 情報に基づきカメラの撮影位置を絶対座標系へ 3 次元変換する。

(5) 基準点計測

VRS 法により RTK 基準局(測点 NO;2)を設置し、この局を基準とした RTK-GPS 法により、図-1 に示した標定点および比較検証点を測量した。

(6) 詳細モデルおよび点群データの生成

上記(4)(5)の工程によって高精度な標定が完了するので、任意のメッシュ間隔で詳細な点群を生成する。

3.4 LS による盛土の計測

図-1 で確認できるように 2 段の低い盛土であるが、上空からの写真測量結果との対比において計測漏れを防止するために、スキャニング範囲の重なりが多くなるよう、盛土内の 8 箇所から計測した(写真-3)。

3.5 3次元計測技術の比較

LS および UAV 専用のソフトウェアを用いて点群データ処理を行った。そして、以降に示すよう

表-2 サイクルタイム比較

UAV写真測量			レーザーキャナ計測		
作業手順	所要時間		作業手順	所要時間	
① 基準点設置、機器準備	21		① 機器準備	15	
② 飛行計画	13		② スキャニング	15	
③ テスト飛行	5		③ 機器据え換え	6	
④ UAVによる空撮	5		④ ②③の繰り返し、7回	154	
1計測あたりの所要時間(分)	44		1計測あたりの所要時間(分)	190	
① 飛行データと写真との同期	15		① データ読み込み	27	
② 自動標定	18		② レジストレーション+カメラマッピング	77	
③ 基準点計測	24		③ 点群生成	17	
④ 詳細モデル・点群作成	72				
1計測あたりの所要時間(分)	129		1計測あたりの所要時間(分)	121	
合計	173		合計	311	

表-3 精度比較表

比較項目		UAV 写真測量	レーザーキャナ 計測
RTK-GPS測量との 座標比較 (検証点12点)	X座標(m)	-0.005	0.001
	Y座標(m)	0.006	0.006
	Z座標(m)	-0.019	-0.022
表面積(No:1,2,3,4で囲まれる範囲)(m ²)		2661.372	2718.412
スキャナとの対比(%)		-2.1	-
体積(No:1,2,3,4を底面とする範囲)(m ³)		5207.29	5253.95
スキャナとの対比(%)		-0.9	-

に、両者の比較検討を行った。

(1)計測サイクルタイム (表-2)

表-2に示すように、現地計測とデータ処理(点群作成まで)に要した時間を計測した。現地計測作業は、UAVの方がLSの1/4程度の時間で完了している。一方、データ処理については、大きな差は見られなかった。総所要時間は、UAVはLSの約1/2となっている。

(2)点精度の比較 (表-3)

RTK-GPSで得られた座標値と比較すると、UAVとLSともにXY平面座標で5mm前後、Z座標で20mm前後の較差となった。土量を把握するための測量精度としては問題のない値と考えられる。

(3)面精度の比較 (表-3)

No;1,2,3,4で囲まれる範囲における盛土の表面積を比較した。約2700m²の面積に対して、LSと比較してUAVでは約2%の較差で計測できていることが分かる。

(4)体積精度の比較 (表-3)

No;1,2,3,4で囲まれる矩形を底面にした場合の盛土体積(土量)を比較した。約5200m³の体積に対して、LSと比較してUAVでは約1%の較差で計測できていることが分かる。

(5)点群データの概観評価

図-3と図-4に取得できた点群データを示す。盛土上面の振動ローラの転圧跡(段差5cm程度、黄色四角枠)が明瞭に表現できていることが分かる。また、点群ピッチの差(粗密)が約10倍あるものの、むしろ、点群が粗いUAVによる点群データの方が現地を精度よく再現していることが分かる。

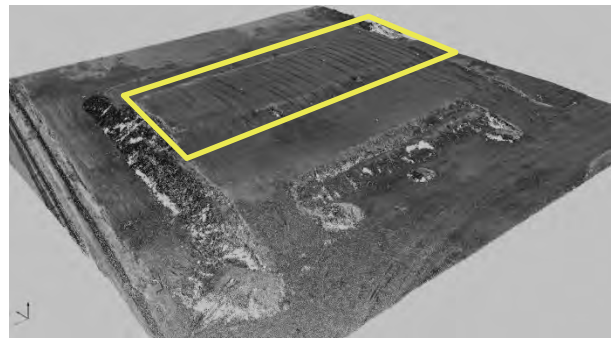


図-3 UAVによる点群データ(点群ピッチ130mm)

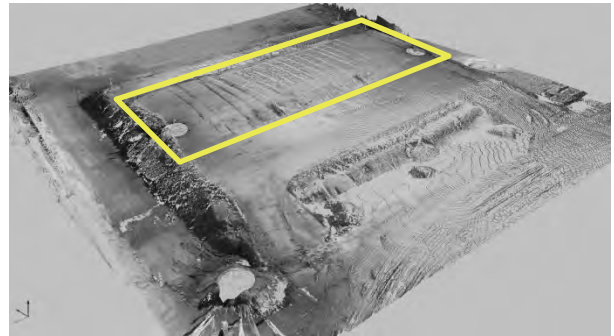


図-4 LSによる点群データ(点群ピッチ12.5mm)

4. まとめ

本稿では、UAVの適用事例とその飛行に関しての留意点を示した。さらに、UAVの適用方法として期待が大きい造成工事における出来形測量や土量管理への適用可能性を明確にした。

具体的には、比較的小規模な盛土を対象としてUAVを用いた写真測量とLSによる計測を比較し、UAVによる測量が同等の性能(所要時間、計測精度)を発揮できることを示した。

これまでホビー(趣味)の領域で飛行させてきたラジコン飛行機の類を業務利用する場合には、2.3項に示したような安全確認事項にも留意し、第三者災害を防止した作業が重要である。特に、UAVを用いた3次元計測の実用化のためには、精度管理方法等を定めた作業要領の作成や安全管理に重点を置いた飛行マニュアルの整備が必要であり、関係省庁の法整備の方向性も注視しながら、技術開発を進めていく所存である。

参考文献

- 1)黒台昌弘、澤正樹、小川満、大谷仁志：造成工事の出来形・土量管理に適用する3次元計測技術の比較検討、土木学会第70回年次学術講演会第VI部門、pp.15-26、2015
- 2)内山久雄：測量学、pp.167-188、コロナ社、2008

12. 大水深対応型水中作業ロボットの開発

東亜建設工業株式会社

○小川 和樹 泉 信也

東北大学大学院環境科学研究科

高橋 弘

1. はじめに

従来の水中土木工事においては、そのほとんどを潜水士による人力作業に頼っていたのが実情であり、潜水士の安全の確保・海中作業技術の伝承、施工能力の向上等の課題に常に直面していた。水中土木作業の効率化と安全性の向上に寄与するため潜水士搭乗型の中多機能作業機「水中バックホウ」が平成7年に開発・実用化され、捨石均し工事、水中掘削工事等々、現在に至るまで国内の様々な水中土木工事へ導入されている。

水中バックホウの水中土木工事での活躍が示されることで、大水深域や危険箇所等の過酷な環境での施工をはじめ、その適用範囲の拡大が求められるようになった。これに呼応して、このような施工条件においても、潜水士の安全性向上や施工能力の向上を実現していく必要があった。そのような課題を解決すべく遠隔操縦型水中バックホウ「イエローマジック7号」が新たに開発・建造されたり。それと同時に、重機の体感情報（視覚、聴覚、触覚）をオペレータへ提供する「水中バックホウ施工支援システム」も開発され、同機へ採用された。これにより潜水士作業では危険度が高いとされてきた条件下（暗渠、狭隘箇所等）での無人化施工も可能となった。

これらの水中バックホウは施工水深としては概ね30m以浅を対象としていたが、近年海洋資源開発などの機運も高まっており、水深数千mという過酷な水圧に対応可能な無人化施工システムが求められていること、またその一方で、従来の水中バックホウでは進入不可能な極めて狭隘な環境下での無人化施工システムも求められていることから、今回小型で大水深に対応可能な水中作業ロボット「DEEP CRAWLER（ディープクローラ）」を開発・実用化した。

本稿では DEEP CRAWLER の概要を紹介するとともに、その走行性能や耐圧性能の実証確認試験について述べる。また造船用ドックを使って水中走行試験や障害物の走破（乗り越え）試験、運転状況の可視化確認試験も行ったので、その結果についても報告する。

2. 大水深対応型水中作業ロボットの概要

2.1 4軸クローラによる高い走行性

今回開発した水中作業ロボット DEEP CRAWLER は、各種の地形・地盤での走行性を高めるため4軸のクローラ装置を装備していることが特徴となっている。（図-1）

このクローラ装置は任意の角度に変更可能であり、走行地形や、走路上の障害物に応じて機体姿勢を任意に調整可能である。走行性能確認試験については後述する。

2.2 水深3,000mに対応可能な耐水圧性能

DEEP CRAWLER は今後の海洋資源開発分野等への適用を想定し、水深3,000mという非常に高い水圧に対応可能としている。耐水圧性能確認試験についても後述する。

2.3 狭隘現場に適用可能なコンパクト設計

DEEP CRAWLER は、従来の水中バックホウによる作業が不可能な狭隘な現場にも適用可能とするため、図-1に示す通り、幅1.6m×長さ2.2m程度と非常にコンパクトな設計としている。

2.4 無人化施工可能な遠隔操縦システム

DEEP CRAWLER は、潜水士作業が不可能な現場にも適用可能とするため、光通信を活用した有線式遠隔操縦システムを採用している。

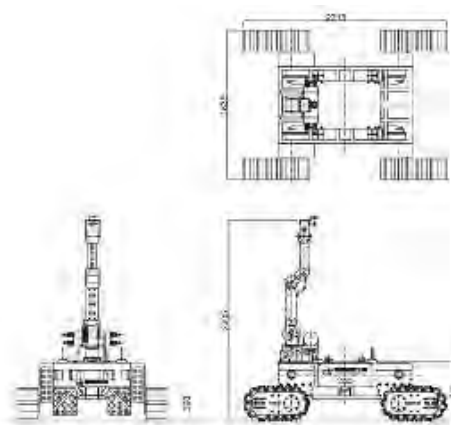


図-1 概略図

3. DEEP CRAWLER の走行性能試験

3.1 クローラ構成

写真-1 に示した通り DEEP CRAWLER は4軸式のクローラ構成となっている。不整地での走行性能を向上させるため、走行用のクローラを可動式としたフリッパ機構を採用しており、各クローラを単独で操作できる構造となっている。これにより、機体姿勢を自由変化させることができ、海底面の大きな岩などの乗越えが可能となる。また、フリッパは無限回転するため、障害物等により走行不能になった場合の回避性能が向上した。フリッパの姿勢は遠隔操縦システムのモニター画面で確認することが可能である。(図-2)

またクローラユニットは、クローラ用アクチュエータ、フリッパ用アクチュエータを構成するユニット単位で取外しが可能であり、メンテナンスが容易な構造となっている。(写真-2) またボディフレームの変更等にも対応が可能であり、拡張性が高くなっている。

3.2 各種走行試験

DEEP CRAWLER の実際の運転は水中での走行となるが、各種走行試験は、水中質量 800kg、ペイロード 700kg を想定し、気中質量 1.5t で陸上試験を行った。

(1) 走行性能

平坦な路面(傾斜 $\pm 3^\circ$ 以下)、気中質量 1.5t にて、以下の走行が可能であることを確認した。

① 走行速度約 0.35km/h

② 走行旋回及び超信地(その場)旋回

※旋回姿勢はフリッパを約 45 度とした。(写真-3)



写真-1 外観



図-2 遠隔操作システム 3D イメージ図

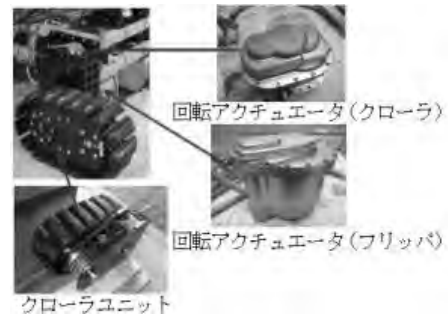


写真-2 クローラユニット



写真-3 旋回試験



写真-4 段差乗り越え試験



写真-5 リフトアップ試験

(2) 段差乗越え性能

写真-4 には段差乗越え試験状況を示す。気中質量 1.2t にて、約 120mm の段差乗越えが可能である。

また、動解析シミュレーションを用い確認した結果、200mm までの段差乗越えが可能であることを確認している。

(3) フリッパリフトアップ

写真-5 にはリフトアップ試験状況を示す。気中質量 1.5t にて、フリッパでの自重のリフトアップが可能である。これにより、本体姿勢を自由変化させることができるため海底面の大きな岩などに乗り上げた際の回避や乗越えが可能となる。

(4) マニピュレータ性能

DEEP CRAWLER には 4 軸の作業マニピュレータを搭載しており、マニピュレータ先端に作業ハンドやコアリング装置等を取り付けることにより各種作業が可能となる。マニピュレータ各軸の稼働範囲を図-3 に示す。第 1 軸は水平回転、第 2 軸は円直面回転、第 3 軸は円直面回転、第 4 軸は円直面回転としており、マニピュレータ各軸の移動範囲は、第 1 軸約 $\pm 30^\circ$ 、第 2 軸 約 $0\sim 80^\circ$ 、第 3 軸 約 $0\sim 120^\circ$ 、第 4 軸 約 $0\sim 60^\circ$ である。

図-4 にマニピュレータ取付図を示す。マニピュレータ取付角度を 5 段階 ($0\sim 90$ 度) に傾けて取付けが可能であり、使用目的により変更が可能である。

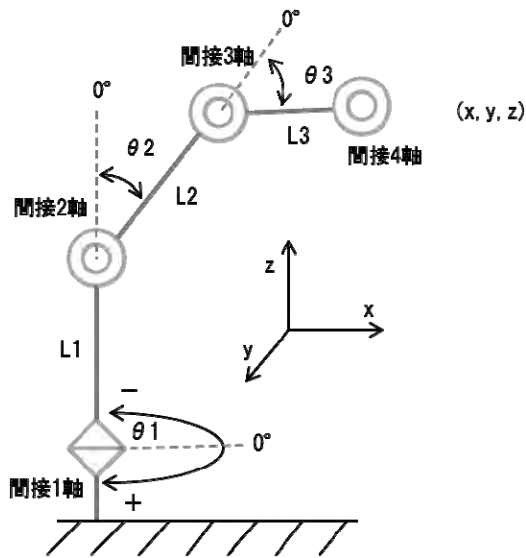


図-3 マニピュレータ稼働範囲

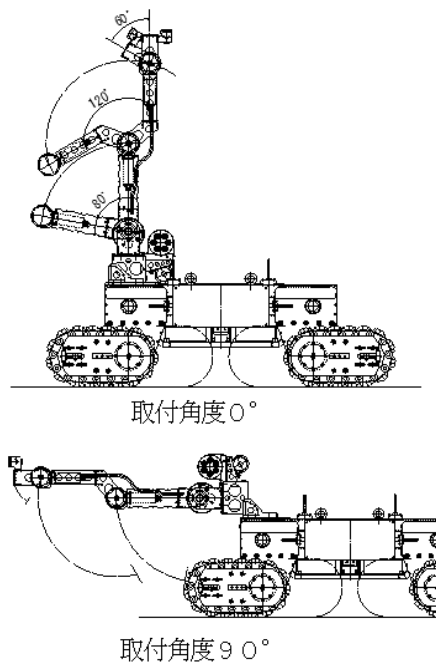


図-4 マニピュレータ取付図



写真-6 ロータリーアクチュエータ

4. DEEP CRAWLER の耐水圧性能試験

水中作業ロボット DEEP CRAWLER の開発にあたっては、技術的に可能な限り耐圧性能を高めている。

写真-6 に示す通り、クローラとフリッパにそれぞれ 4 軸、マニピュレータの根元と先端にそれぞれ 2 軸、耐水圧構造の回転アクチュエータを搭載しており、この耐水圧性能を高めることにより水深 3,000m (水圧 30MPa) にも耐えうる性能を確保している。

写真-7～写真-10 に今回開発したアクチュエータを示す。耐水圧構造のアクチュエータをモジュール化し、クローラからマニピュレータまで、組合せの自由度の高いアクチュエータとして開発した。

本アクチュエータは水深 3,000m(30MPa)の耐水圧を想定して設計されたが、実際の耐圧性能を確認するため写真-11 に示す耐圧試験を行った。各アクチュエータに 30MPa の圧力かけ、仕様通りの耐水圧性能を有していることを確認した。



写真-7 ロータリーアクチュエータ (クローラ)



写真-8 ロータリーアクチュエータ (フリッパ)



写真-9 ロータリーアクチュエータ
(マニピュレータ先端)



写真-10 ロータリーアクチュエータ
(マニピュレータ根元)



写真-11 アクチュエータ耐圧試験

5. DEEP CRAWLER の遠隔操作システム

大水深対応型水中作業ロボット DEEP CRAWLER には、遠隔操縦により無人化施工を可能とする有線式遠隔操縦システムを採用している。

5.1 姿勢センサ

写真-12 に遠隔操縦システムの操作画面を示す。ロボットの傾斜角度が把握できるように、ロボット本体に姿勢センサを搭載しており、機体が大きく傾いた時に動作を停止させ転倒防止としている。操作画面には、姿勢センサの情報及び機体やマニピュレータの状態を 3D で表示することにより、直感的な操作が可能である。写真-13 に傾斜させた DEEP CRAWLER 本体と、姿勢センサによって検知した 3D イメージ図を示す。



写真-12 操作画面

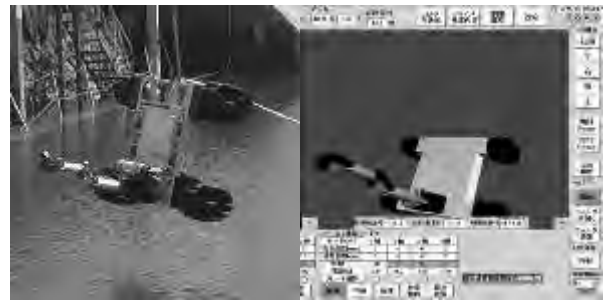


写真-13 姿勢センサ 傾斜確認

5.2 操作コンソール

写真-14 に遠隔操縦システムの操作コンソールを示す。12 個のアクチュエータ（クローラ 4 軸、フリッパ 4 軸、マニピュレータ 4 軸）は、すべて単独で稼働し、海底面によっては非常に複雑な操作が求められる。そのため操作用のコントローラ（ゲームパッド）をクローラとマニピュレータ操作用の 2 つに分けることで操作を簡略化し、作業性を向上させている。また、あらかじめフリッパやアームの角度を操作 PC 内で指定しておくことにより、自動で角度調整を行うことができる。

操作コントローラには、適正な手順以外の操作が安易に行えないよう、インターロック機能が取り付けられており、各アクチュエータの誤操作を防止している。



写真-14 操作コンソール

6. DEEP CRAWLER の水中実証実験

6.1 水中走行確認

前記した通り、動解析シミュレーションを用いた室内走行性能試験により、DEEP CRAWLERは200mmの段差乗り越えが可能であることが確認されている。今後、実際に多様な形状をもつ海底にて走行し作業を行っていくにあたり、障害物の走破は不可欠な要素であると考えられる。

今回、東亜建設工業安善ヤード（横浜市）内に既存する造船用ドライドック（写真-15）を用いて、平坦な路面、ならびにドック底盤に高さ200mm程度の障害物を設置し、DEEP CRAWLERの走行性能確認試験を行った。写真-16にはDEEP CRAWLERのドックへの投入状況を示す。

(1) 平坦路面での走行性能

平坦な路面では、水中でも以下の走行が可能であることを確認した。確認方法としては、DEEP CRAWLERに取り付けた球形の浮きを水面に浮かばせ、その動きを目視確認した。

①走行速度約0.35km/h

②走行旋回及び超信地（その場）旋回

(2) 段差乗越え性能

障害物は写真-17に示す通り、H200×200の型钢をコの字型に組み合わせたもので、外形寸法縦1m×横1mとして、水深約5mのドック底盤に設置し、これを乗り越える形で走行試験を行った。



写真-15 ドライドック（安善）



写真-16 着水状況

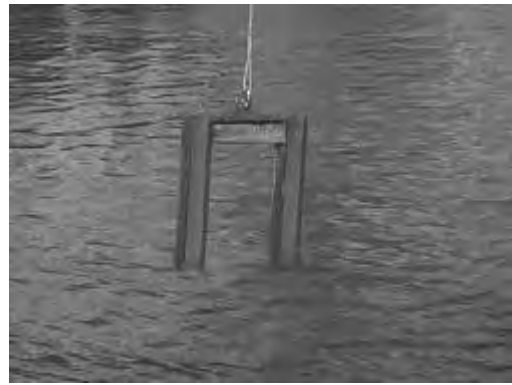


写真-17 障害物の形状



写真-18 Dual Freq. Identification SONar (DIDSON)

6.1 水中可視化確認

今回試験を行ったドック内の海水は透明度がそれほど高くなく、光学式TVカメラでは数十センチ程度の範囲でしか有効な映像を捉えることができなかつたため、水中でのDEEP CRAWLERの動きを可視化するために、水中音響カメラ Dual Frequency Identification SONar（以下 DIDSON、写真-18）を用いて水中における動作の確認を行った。

今回使用した水中音響カメラ（DIDSON）は、1.8MHz及び1.1MHzと極めて高い周波数の超音波を使用した音響ビデオカメラであり、音響ビームによる反射でターゲットを映像化するものとなっている。また1.1MHzの標準モードでは、約40m遠方のターゲットを撮影することができる。今回の試験では、DIDSONとDEEP CRAWLERの距離は約10m程度であり、図-5に示すような状況にて撮影が行われた。実際に撮影されたDEEP CRAWLERの作動状況を写真-19に示す。

DIDSONによって撮影された映像により、DEEP CRAWLERが障害物を乗り越えていく様子を視認することができた。

今回の試験ではDEEP CRAWLERの動きを確認するために、DIDSONをドライドック壁側に固定し撮影を行ったが、今後想定される実施工では、DEEP CRAWLER本体にDIDSONなどの視認装置を取り付け、作業対象物や周囲の状況を可視化確認する方法が考えられる。また、現状では3Dイメ

ージ図と水中音響カメラによって得られた情報によって水中での動作を確認しているが、「イエローマジック7号」に搭載する体感式遠隔操縦システム（写真-20）のように、装置の動きに応じた傾斜・揺れを操作コントローラーによって体感できる簡易的なシステムの導入が求められる。

今後ともドライドックや海域を使った試験により、これらの知見を高めていきたい。

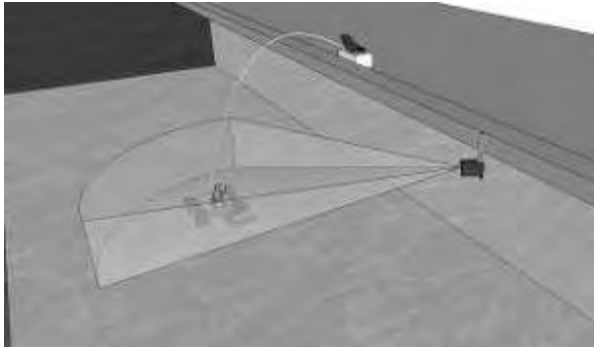


図-5 試験状況（イメージ図）



写真-19 DIDSON 画面



写真-20 体感式遠隔操縦システム

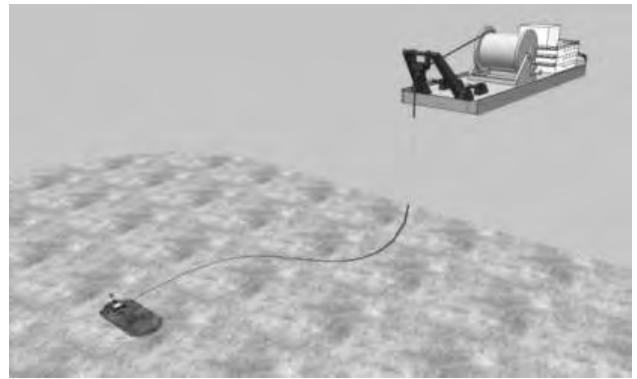


図-6 大水深での動作イメージ

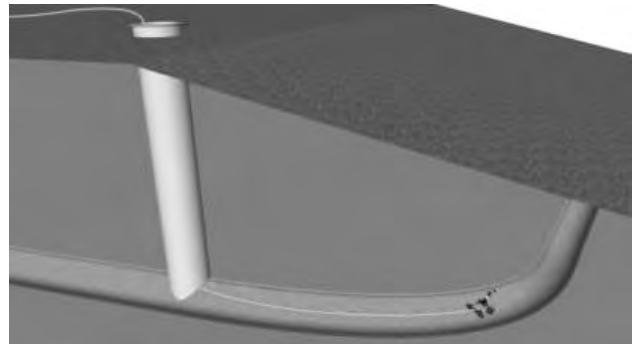


図-7 狭隘地での動作イメージ

7. おわりに

本稿では DEEP CRAWLER の概要を紹介するとともに、その走行性能や耐圧性能の実証確認試験について述べるとともに、造船用ドックを使った水中走行試験や障害物の乗り越え試験、運転状況の可視化確認試験の結果についても報告した。

水中作業ロボットは、今後の海洋開発（図-6）や、潜水士による作業が不可能な狭隘な現場（図-7）での活躍が期待されているが、図のような作業で求められる各種のアタッチメントを開発することによりその作業性や適応性を高めることができ、狭隘現場や大水深での各種調査・作業に活用できるものと考えている。

また対象とする海底などの地盤・土質と走行性能との関係、すなわちトラフィカビリティについても、今後各種実験や実証試験を行うことにより確認していきたい。

参考文献

- 1) 飯田宏, 森澤友博, 泉信也, “水中バックホウによる海底鉱物資源掘削に向けた開発”, 第 24 回海洋工学シンポジウム, OES24-061, pp.1-4. 2014.

13. 疲労軽減ウェア職人 DARWING の開発

株式会社竹中工務店 永田 幸平

1. はじめに

近年、建設業界では労務不足が課題となっており、その一因として、労務職の「きつい・汚い・危険」という、いわゆる 3K イメージがあり、若手の建設技能労働者が入職しない原因、離職する原因で多いのが「仕事のきつさ」である。また、腰痛を抱える建設技能工も多く、個人でコルセットなどのサポーターを購入、着用して作業しているのが一般的である。スポーツ分野では、筋肉の疲労を抑えるためにスポーツメーカーが様々なコンプレッションウェアを開発し、広く一般的に認知されてきた。建設現場においても、そのコンプレッションウェアを建設技能工が着用して作業する光景も増えてきている。

このような背景から、建設技能工の「きつさ」の低減を図ることを目的に、作業性、機能性を備えた専用疲労軽減ウェアを開発した。本稿では、疲労軽減ウェア「職人 DARWING」の概要及び疲労軽減効果について述べる。

2. 職人 DARWING (男性用) の概要

開発した疲労軽減ウェア「職人 DARWING」(図-1、図-2)は、主に整骨院用品などのサポーターメーカーであるダイヤ工業株式会社(岡山県岡山市)と共同で実施した研究開発成果である。当ウェアは、スポーツ用に普及の進むコンプレッションウェアの一種であり、建設作業員がおこなっている作業動作、日常的に疲労や痛みを感じる箇所を調査・分析し¹⁾、サポートすべき作業姿勢や筋肉部位を定めた。それらの分析結果を踏まえ、上半身用を3タイプ、下半身は1タイプを開発した。上半身の製品タイプは、腰・背中をサポートする土工や左官工向けの T タイプ、肩をサポートする鳶工や大工向けの X タイプ、同じく肩をサポートする軽鉄ボード工や塗装工向けの Xβ タイプの3種類。上半身のウェアに加え、脚全般をサポートする下半身タイプ1種類で構成される。上下セットで着用することで、全身をサポートできる構造としている。

部位	サポート機能	該当部位	ラインイメージ	商品名
上半身	《腰・背中をサポート》 前かがみ・中腰作業 床面施工などが楽になる			職人 DARWING- T
	《肩をサポート》 ものを持ち上げる・支 える動作・壁面施工 などが楽になる			職人 DARWING- X
	《肩をサポート》 作業内容に応じてX タイプのサポート力を 調整できる			職人 DARWING- Xβ
下半身	《脚全般をサポート》 長時間の立ち仕事、 歩行、階段昇降、膝 の屈伸などが楽になる			共通

図-1 職人 DARWING (男性用) タイプ



図-2 職人 DARWING (男性用) 背面

当ウェアは表層パーツと深層パーツの2種類のサポートパーツで構成されている。人間の筋肉は大きく分けて、動作をサポートする表層筋と姿勢やバランスをサポートする深層筋で構成されているが、当ウェアのサポートパーツは伸縮生地 of 収縮力を利用してそれぞれの筋肉の特徴を模した構造としている。表層パーツは、パーツの両端のみをウェアに縫合し(図-3)、サポート方向に沿った部分はウェアから浮いている。このことにより、発生する収縮力を無駄なくターゲット部位に伝

えられる。深層パーツはウェアに組み込まれるように縫製され装着すると肌に密着する。深層パーツの背部肌面には滑り止め素材が配置されており、動作を制限するテーピング効果が働く。装着した際に上半身と下半身のウェアが重なる部分には素材同士が密着すると高い摩擦力が得られる素材を縫製しており、装着すると上下が結合され腰部を中心に全身をサポートが可能な仕様とした。

下半身は3タイプ共通(図-4)としており、コルセット機能による腰部サポートに加え、膝から腰にかけてのクロスサポートベルトにより、ハムストリングへのアシスト力が働く構造とした。これにより腰痛対策ができると共に、屈伸運動や階段の昇り降りをサポートする。また、股間部を前開き構造にすることで、ウェアを脱ぐことなくスムーズにトイレに行くことができる。

ウェア生地は、通気性と保湿性に優れた素材を使用し、体温の放出・保持機能を高めた。夏場は汗をかいて濡れてもすぐに乾いて体温の上昇を防ぎ、冬場には自らの体温で暖かさを保つ機能を有する。



図-3 表層パーツ



図-4 下半身ウェア

3. 職人 DARWING (女性用) の概要

「職人 DARWING 小町」(図-5)は、男性用「職人 DARWING」をベースとしながら、建設業に従事する女性特有のニーズと魅力を付加するために女性技術者・技能者による企画会議を重ね、新たに開発したものである。

近年、建設業で活躍する女性技術者・技能者に注目が集まるなかで2014年の8月には、官民挙げた取り組みとして「もっと女性が活躍できる建築業行動計画」²⁾が策定された。この計画では「女性技術者・技能者の5年以内倍増」を目標に掲げており、それに向けた制度・環境整備に官民一体となって取り組んでいる。当社としても、女性活躍の議論を活性化させるきっかけを作ると共に、女性技術者・技能者が働きやすい環境整備の一環として、今般の女性用負担軽減ウェアの開発に取り組んできた。開発した「職人 DARWING 小町」は、建設現場で働く女性が着用することで、仕事をよりラクに、プライベートもより楽しく活躍できるウェアとして、作業特性に合わせて上半身は2タイプ、下半身は作業特性に関わりなく1タイプとした(表-1)。またオーダーシートからネック仕様や、ステッチカラー、肩や膝を保護するパッドなど、オプションを自由に選べるセミオーダー式とし、個人専用のオリジナルウェアを作成できるようにした。実際に作業所で働く女性の声を反映した企画開発により、女性が着たくなる機能性・デザイン性を実現した。



図-5 職人 DARWING 小町

表-1 女性用タイプ

製品タイプ	サポート機能	該当部位	ラインイメージ
職人 DARWING 小町 Tタイプ	《腰・背中をサポート》前かがみ・中腰作業、床面施工などが楽になる		
職人 DARWING 小町 Xタイプ	《肩をサポート》ものを持ち上げる・支える動作、壁面施工などが楽になる		
下半身タイプ	《脚全般をサポート》長時間の立ち仕事、歩行、階段昇降、膝の屈伸などが楽になる		

男性用と同じく、コンプレッションによるスパッツ機能の深層筋（インナーマッスル）サポートと、表層筋（アウターマッスル）サポートを最適に組み合わせたダブルサポート構造で負担軽減に寄与する。また、女性特有の機能として、材料運搬時に肩の痛みを和らげる着脱可能な肩パッドや、床作業の際に膝を保護する膝パッドを採用した。装着することにより足が楽になる設計をしており、それぞれの作業員の抱える悩みをサポートできる仕様となっている。

サポートタイプ、袖長さ、ベースカラー、肩パッド、膝パッド、ネック、ステッチカラーなどが自由に選べるセミオーダー式を採用し、デザインに加えて、建設業特有の悩みを解決するオプションが自由に組合せできる（図-6）

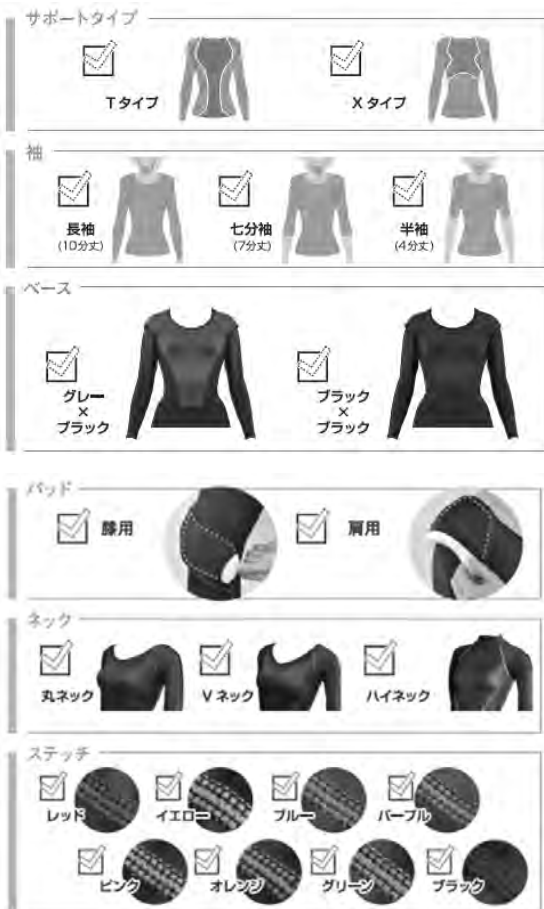


図-6 オーダー例

4. 効果検証

ダイヤ工業株式会社、岡山大学保健学研究科との共同研究において成人男性 15 名、年齢は 25 歳～61 歳（うち 11～14 名で有効なデータの取得）の被験者に本ウェア装着・未装着の 2 条件で、3 種類の建設作業（①床左官作業・②壁配筋作業（結束作業）・③壁左官模擬作業）を模した動作を行い（写真-5）、全身の複数の筋肉の筋電位を計測した。床左官作業時には T タイプ、壁配筋作業時には X タイプ、壁左官作業時には Xβ タイプを装着し、各種建設作業動作を行った際の EMG（表面筋電位信号）を身体的負担の指標として計測し、建設動作を補助するウェアの着用時と非着用時との IEMG（積分筋電位信号）を比較することでウェアのサポート機能の評価を行った。IEMG とは計測した EMG（表面筋電位信号）に全波整流処理と平滑化処理を行った積分筋電位信号であり、IEMG によりどの筋がどの時点でどの程度活動したのかを知ることができる。床左官作業時の被験筋は、左右の僧帽筋、脊柱起立筋、大殿筋、ハムストリングス、壁配筋作業時の被験筋は、左右の三角筋、僧帽筋、上腕二頭筋、脊柱起立筋、壁左官作業時の被験筋は、非利き手側の上腕二頭筋、左右の僧帽筋、大殿筋、ハムストリングスとした。また、実作業に近い動作を模擬するため、実際に使用する工具（ハッカー、鋺等）、を用いて検証作業を実施した。

ウェア着用による IEMG の減少に有意水準 5% で有意差が認められれば「筋電位が統計的に優位に低下した（楽になった）」とし、ウェア着用による IEMG の減少に有意差は認められないが、非着用時の値に対して着用時の値が相対的に 5% 以上減少していれば「筋電位が低下傾向にある（楽になる傾向にある）」として、解析を実施した。結果として本ウェアを装着する事で、未装着の時よりサポートする筋肉の筋電位が「筋電位が統計的に優位に低下した（楽になった）」被験者と「筋電位が低下傾向にある（楽になる傾向にある）」とを合わせた割合が約 54～79% となり、本ウェアによって疲労が軽減される傾向が認められた。

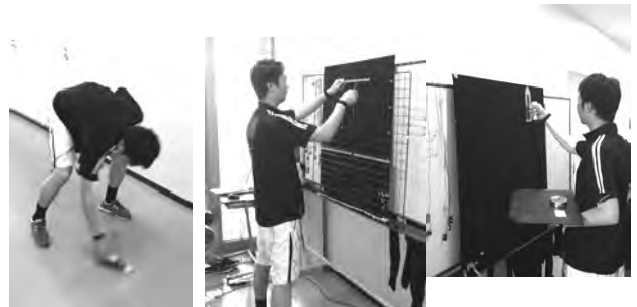


図-7 模擬作業実験

女性用ウェア職人 DARWING 小町についても男性用同様に、Tタイプでは床左官作業を模擬した検証（図-8）、Xタイプでは、壁配筋作業を模擬した検証（図-9）をそれぞれ実施した。その結果、筋電位データの解析により Tタイプでは、脊柱起立筋の使用量が15%減、Xタイプでは三角筋の使用量が16%減となり、疲労軽減傾向の効果が得られた。

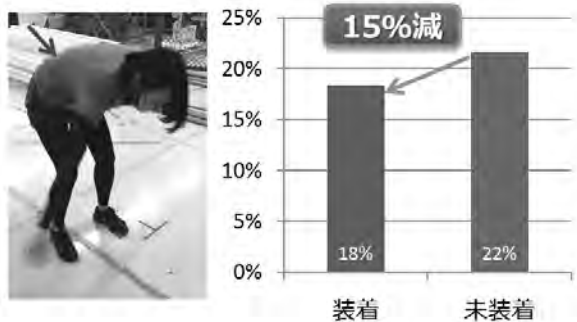


図-8 女性用Tタイプ検証結果

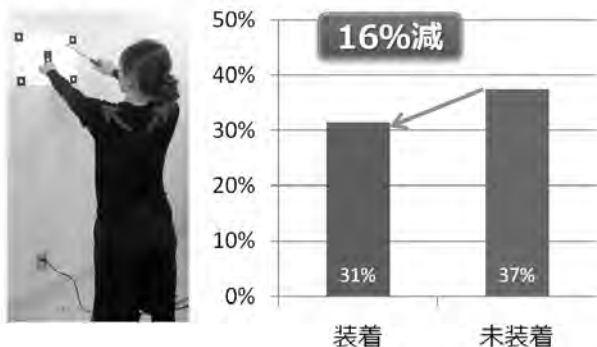


図-9 女性用Xタイプ検証結果

5. ヒアリング調査結果

建設技能工 23 歳～64 歳の被験者 150 名を対象に本ウェアを装着し作業現場において3週間通常作業を行い、その後ヒアリング調査を実施した。その結果、本ウェア着用により、「楽になった」と実感できた被験者が 43%～80%となった（図-10）。実感した理由として、「姿勢が良くなった」、「ふくらはぎの痛みが無くなった」、「階段の上り下りが楽になった」、「腕が引っ張られていて楽」などの回答を得た。なお、比較の実感効果の低かった Xタイプについては、表層パーツの生地を変えるなどの対策を施し、2015年1月製品化している。



図-10 ヒアリング結果

6. まとめ

男性用「職人 DARWING(ダークウイング)」は2015年1月に女性用「職人 DARWING 小町」は2015年3月に一般販売を開始し、様々なメディアに記載され、すでに1000着近く出荷している。現在は使用者からの改善や要望等を受け、生地の変更や製品レパートリーを増やすために様々な開発を実施しており、開発完了次第、随時リリースしていく予定である。

参考文献

- 1) 染谷俊介, 永田幸平, 福田克幸: 建設作業に伴う疲労箇所に関する研究, 2014年度日本建築学会大会
- 2) 国土交通省, もっと女性が活躍できる建設業へ向けた取組について, 平成26年8月22日

14. 3次元計測機器を活用した出来形管理の技術拡大の取組みについて

－ RTKGNSS、写真測量の出来形管理への活用手法の検討 －

国土交通省

国土技術政策総合研究所 ○ 近藤 弘嗣

国土技術政策総合研究所 長山 真一

(一社)日本建設機械施工協会 藤島 崇

1. はじめに

国土交通省の第二期情報化施工推進戦略上の課題の一つとして RTK-GNSS を用いた出来形管理の実現があげられる。GNSS の測位精度は特に高さ方向に課題があったが、別途、高さ補完技術を用いることで出来形管理への適用可能性が出てきた。本稿では、当該技術を利用した出来形管理手法について考案し、実現現場において測位の再現性、計測精度及び効率の評価を実施したので紹介したい。

一方、施工中に取得できる情報の維持管理での活用も推進戦略上の課題の一つであり、特に地下埋設物の位置情報については、後工事を施工する際に非常に有用な情報である。本稿では、占用企業者による道路埋設物工事における竣工形状取得にあたり、簡便な計測方法として写真測量を用いた手法を考案し、昼間・夜間の別で構内試験による計測精度の評価を実施したので紹介する。

2. RTKGNSS の出来形管理への活用手法の検討

2.1 高さ補完技術の概要

RTK-GNSS の出来形管理への適用に際して課題となる高さ方向の精度を改善する技術として今回利用したのは、既知点上の基準局から発射されるゾーンレーザを受光器付 GNSS 移動局で受信する仕組み(図-1)である。GNSS 移動局で得られた位置情報を受光器で計算された基準局との標高差の情報で補正することにより、mm 単位の高さ精度が期待できる。その一方で、ゾーンレーザが届く範囲が限られており、今回利用した機器においては、メーカーにおいて高さ方向で±5m、水平方向で 300m の範囲での受光を推奨している¹⁾。しかし TS (トータルステーション) を用いた出来形管理では本体から 150m の距離制限を設けていることから、それよりも広い範囲を少ない盛り変え回数で計測出来ることから、効率的な出来形管理の実現が期待される。

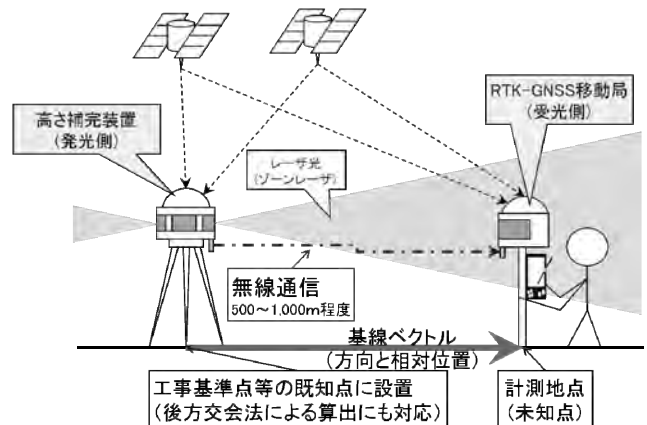


図-1 高さ補完技術のイメージ

2.2 精度確認手法立案及び計測ルールの構築

RTK-GNSS を用いた出来形管理は、計測項目の両単点の座標を計測した上で座標間斜距離を算出するという基本的な計測手法において、TS を用いた出来形管理と同様である。しかし、計測誤差が発生する要因が RTK-GNSS と TS とでは全く異なること、また、測量法に基づく機器の校正方法が高さ補完技術を用いた RTK-GNSS 計測には存在しないことから、TS 出来形管理にはなかった精度確認手法が新たに必要となる。具体的には、①高さ補完技術を有する装置自体の性能、②測定時点において機器の校正が十分なされていることの二点の確認方法である。

(1) 高さ補完装置自体の性能確認手法

RTK-GNSS 本体の計測性能は、国土地理院認定 1 級 (2 周波) であれば、公称精度として、 $\pm(20\text{mm} + 2 \times 10^{-6} \times D)$ が確保されるが、TS 並の出来形管理の実現には、それに加えて鉛直精度 $\pm 10\text{mm}$ の確保が必要である。この鉛直精度については、第三者機関等が係わる検証データで整理されていることを要件とした。なお、今回の実験で使用した機材についても第三者機関による検証

がなされている²⁾。追加的に課す鉛直精度の要件以外の部分については、TSを用いた出来形管理要領同様にメーカーカタログ等での確認とした³⁾。

(2) 測定時点における精度確認手法

使用現場において高さ補完機能が有効に機能する計測可能範囲を確定すること、また機器の校正状況の確認を兼ねて、実際の計測に先立ち計測精度を確認する手順については、当研究所より既出の「高さ補完機能付き RTK-GNSS 測量機の精度確認ガイドライン（試行案）⁴⁾」に準拠した。基本的な考え方は、最も条件の厳しい（即ち高さ補完装置からの高低差、距離が遠い）既知点を移動局で測定し、標高差が±10mm 以内であれば、当該箇所より装置寄りの範囲で精度が担保されるとみなすものである。（図-2 における計測可能範囲）

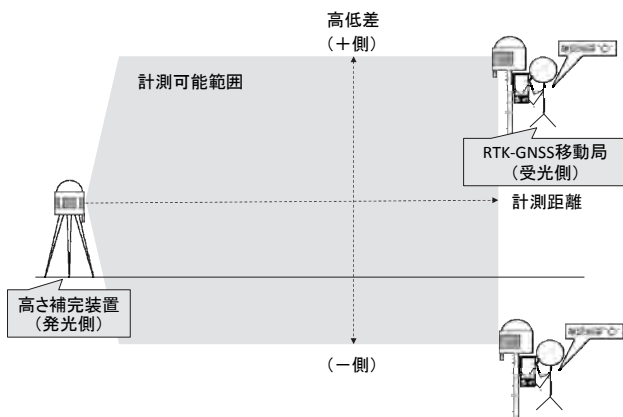


図-2 精度確認箇所による利用可能範囲のイメージ

事前の精度確認及び計測可能範囲確定後の実際の計測作業については、①工事基準点上での初期化及び既知点確認、②出来形計測（各箇所 FIX 解を得てから 10epoch 以上計測）、③既知点確認（誤差が水平±20mm 以内かつ鉛直±10mm 以内であることの確認）の手順で行い、誤差が既定値を超えていれば、計測のやり直しを行うというものである（図-3）。

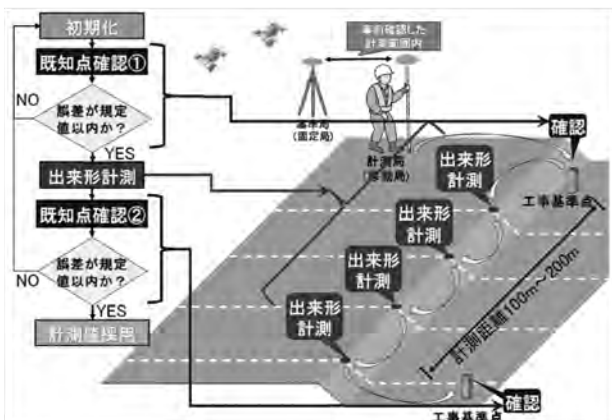


図-3 現地計測の手順

2.3 計測精度及び効果検証

(1) 工事概要及び試行条件

- ① 工事の概要は表-1 のとおり
- ② TSを用いた出来形管理に係る作業及び従来施工の現地作業は共同研究者が実施
- ③ 事前の精度確認により、基準局（発光器）からの計測可能範囲を水平 200m、垂直±5m と設定

表-1 試行工事の概要

工事名	工事概要	備考
腹帯地区道路改良工事 (三陸国道事務所)	施工延長:1,000m 工期:H26.6.23~ H27.3.27	試行断面数:3断面 管理項目:基準高×4 :法長×1

(2) 計測結果の比較と計測精度評価

各断面の基準高 4 箇所について、TS、高さ補完技術を利用した RTK-GNSS、高さ補完技術を利用したネットワーク型 RTK-GNSS と従来の計測手法（レベル）との計測結果の差分について、比較したのが以下の図-4 である。最大で 15mm の差があったが、概ね±10mm 以内に収まる結果が得られた。

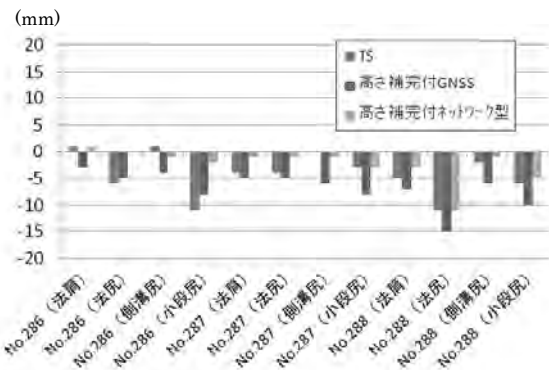


図-4 基準高計測結果のレベルとの差分比較

この結果について、試行現場の監督職員にヒアリングをしたところ、出来形管理には十分活用出来る性能であるという意見であった。

(3) 時間短縮効果

TSの出来形管理との作業上の違いは現地作業だけなので、事前精度確認以降、出来形計測までの時間（人・分）を比較したところ、TSでは56分、高さ補完技術を利用したRTK-GNSSで44分と約20%強の作業時間削減が見られた。これは、RTK-GNSSがワンマン測量で実施できることに因るが、本技術の時間短縮効果はTSと比べて盛り変え回数が少ないところにあるので、より広い現場であればさらなる時間短縮効果が期待できる。

2.4 出来形管理の手引きについて

今回の検証により、精度面、効率面においても実用化の目途が立ったものと考えられるため、当研究所としては、今回考案した手法をRTK-GNSSを用いた出来形管理の手引き（土工編）（案）として、研究成果として公表するとともに、国土交通本省と連携し、直轄工事で従来手法やTSに代わる出来形管理手法として選択し得るように、取り組みを加速する所存である。

3. 道路埋設物管理への写真測量の適用検討

3.1 業務プロセス案と要求精度の整理

占用企業者が敷設した道路埋設物に関する線形等の竣工状況の情報については、後工事における埋設管切断事故防止の観点からニーズが高い。その一方で、占用工事は夜間工事や現道上の交通を維持したままの工事を強いられることも多く、埋設物の形状や線形を計測する時間的、ヤード的な制約も多いことから、図面と違う現地切りまわしが行われていてもその記録が残らないのが実態である。そこで、以下に示す業務プロセスについて、占用企業者及び施工者に対してヒアリングを実施し、適用可能性及び計測精度への要求ニーズを整理した。

(1) 想定する業務プロセス（図-5）

- ①道路埋設物敷設に関する道路占用許可の際に、占用条件として、占用企業者に対して3次元的な竣工形状の計測及び提出を課す
- ②占用企業者は、何らかの方法（TS、写真測量等）で竣工形状を記録して道路管理者に提出
- ③次の占用工事あるいは道路管理者による直轄工事において施工者に対して参考資料として前工事で取得した竣工形状のデータを受領し活用（マシンガイダンス技術による切断防止等）

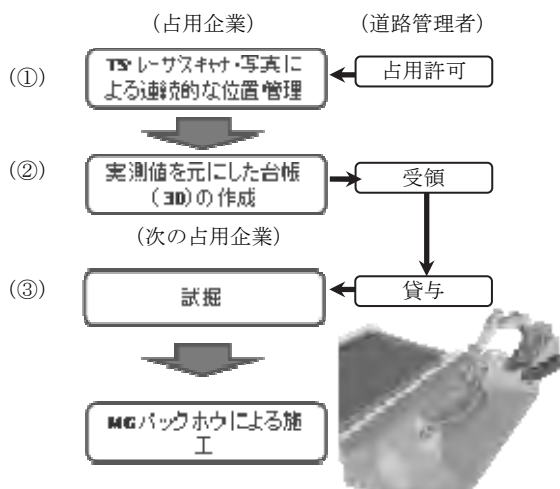


図-5 埋設管切断事故防止につながる業務プロセス

(2) ヒアリング実施概要

- ① 工事の概要は表-2のとおり
- ② 当該工事は、占用企業者の埋設物の移設が伴うため、想定する業務プロセスを現場に即してモデル的に再現（図-6）した上でのヒアリング

表-2 試行工事の概要

工事名	工事概要	備考
国道24号金尾交差点改良工事（京都国道事務所）	施工延長:751.7m 工期:H26.3.29～ H26.11.23	現道の付替工事であり、受注者による直轄の情報BOXの移設他、占用企業者（電力、NTT）の移設も工期内に実施

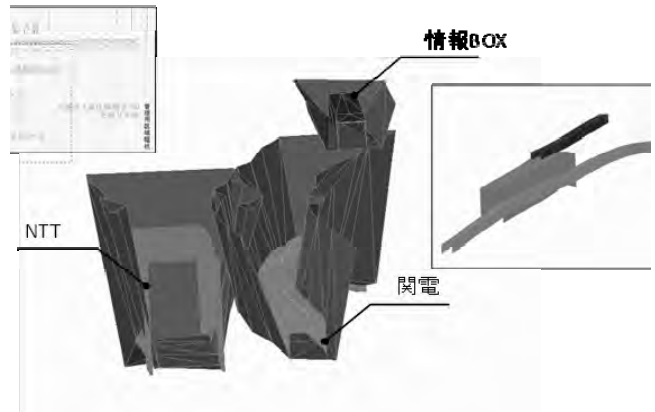


図-6 現地で実測した上で得られた3Dデータ

(3) ヒアリング結果及び要求精度

①次工事でのニーズについて

- ・試掘を併用する場合であれば、精度30cm程度でよい。それでもメリットはある。
- ・試掘無しであれば、10cmくらいの精度は必要
- ・管路、管種の情報の明示やデータの網羅性、信頼性が重要

②占用企業者としての実施可能性

- ・TSの設置場所の確保や、計測待ち等が発生するため、TSで計測するのは難しい。
- ・写真測量なら対応しやすい。

以上のことから、占用工事の条件で、写真測量による道路埋設物の竣工形状取得を、精度30cmで実現することを研究開発目標と整理した。

3.2 構内試験による適用可能性調査

(1) 構内試験条件

- ①施工技術総合研究所構内ヤードに塩ビ管を敷設
- ②埋設管の延長は6mで、座標を抽出する評価点は4箇所。
- ③位置座標を現場座標に関連づけるため、既知点K1～K3を設置した（図-7）
- ④精度の評価は、写真測量で求めた座標とTSで計測した座標を比較した。
- ⑤基準点の形状や、昼夜等の条件を変えて、表-3

の4ケースによる計測を実施した。
⑥写真測量の各諸元等は表-4のとおり。

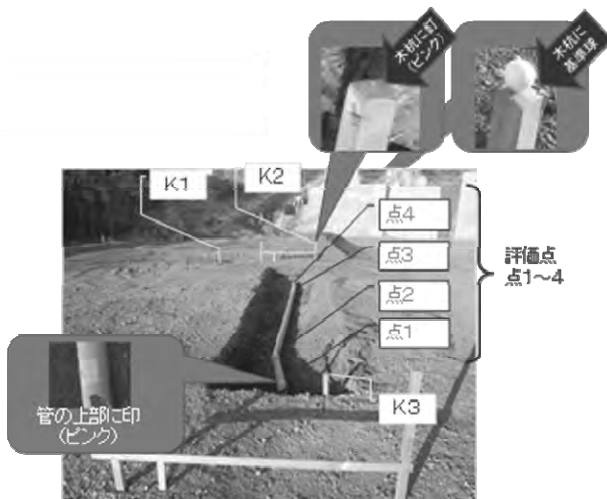


図-7 構内試験の状況写真

表-3 構内試験の試行ケース

ケース	基準点の種類	計測条件
ケース1	基準杭	昼(晴天)
ケース2	基準球	昼(晴天)
ケース3	基準球	夜間(照明有り(重機2台による照明)・フラッシュなし)
ケース4	基準球	夜間(照明有り(重機2台による照明)・フラッシュ有り)

表-4 写真測量の諸元

項目	諸元
画素数・撮影モード	画素数：約200万画素(1600×1200) 撮影モード：オート、絞り F3.9、焦点距離 28mm
被写体距離	1m～3m
点群化ソフトウェア	PhotoScan (Agisoft 社製)

(2) 計測精度評価

評価点1～4について写真測量で求めた座標の標高とTSで計測した座標の標高を比較した結果が図-8である。このうちケース3については暗すぎて写真から評価点の座標を抽出することが出来ず、ケース4についても、一部の評価点の座標を抽出することが出来なかった。

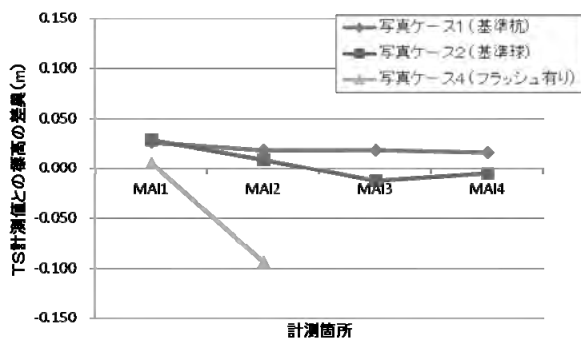


図-8 TSと写真測量との計測結果の較差

それでも、被写体を撮影できれば夜間でも±10cm程度には収まっており、要求水準である±30cmには十分達する結果となった。同様に平面の精度についても、±10cm程度という結果であった。

今回使用した夜間照明が、重機の照明ということで、十分な明るさが確保出来なかったが、通常夜間工事で使用されるバルーン照明等を用いれば、より夜間の計測精度が良くなるものと考えられる。

(3) 作業時間の比較結果

TSと従来施工(巻き尺による端部からの離れ測定)、写真測量による作業時間の比較結果が、図-9のとおりである。なお、100m当たり6測点、24箇所での作業時間に換算して比較した。従来手法並の作業時間で済む一方で、従来手法と違って絶対座標の取得が可能である。したがって、作業手間の面では適用可能性が確認された。

(人・分)

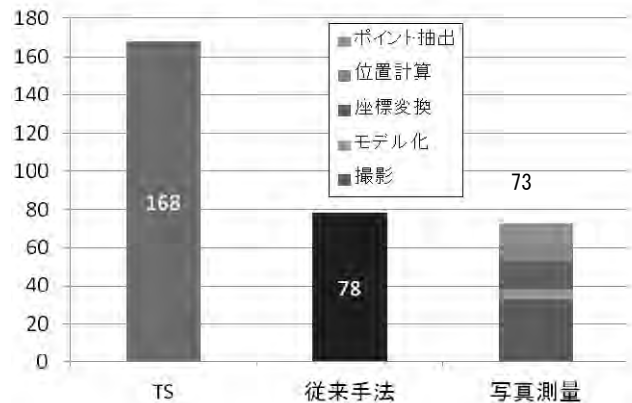


図-9 写真測量の時間短縮効果

4. おわりに

情報化施工推進戦略の目指す方向の一つは、適用可能な技術を次々に施策の俎上に乗せていくことにある。国土技術総合研究所では、さらなる現場試行を通じて、効率化に資する新たな情報化施工技術の実用化につなげていきたいと考える。

参考文献

- 1) (株)トプコンHP : http://www.topcon.co.jp/positioning/products/product/gnss/Z-Plus_J.html
- 2) 藤島・椎葉：高さ補完機能付RTK-GNSSによる高さ精度の検証報告，建設機械施工，Vol.67，pp.110～112，
- 3) 国土交通省：TSを用いた出来形管理要領(土工編)平成24年
- 4) 国土技術政策総合研究所HP : http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/ts/download/zplus_tebiki_140313.pdf

15. TS を用いた出来形管理の土留・擁壁工への適用に向けた検討

－ 土留工・場所打擁壁での計測手法立案及び現場試行による省力化効果等の検証 －

国土交通省

国土技術政策総合研究所 近藤 弘嗣

国土技術政策総合研究所 ○長山 真一

(一社)日本建設機械施工協会 椎葉 祐士

1. はじめに

国土交通省の第二期情報化施工推進戦略上の課題の一つとして TS を用いた出来形管理の工種拡大があげられる。国土技術政策総合研究所では、既に TS を用いた出来形管理が実用化している土工の周辺工種である護岸工・土留・擁壁工を拡大ターゲットとして、昨年度の護岸工（コンクリートブロック張）に続き、土留工（鋼矢板）及び擁壁工（場所打擁壁工の）出来形管理への適用可能性を検証した。本稿では土留工・擁壁工について、TS による計測方法の立案、工事現場における試行、計測精度の検証、及び効率面での効果検証を行ったので紹介する。

2. 計測方法の立案

2.1 土留工（鋼矢板）の対象とする施工管理基準

土留工（鋼矢板）で、検討の対象とする施工管理基準（出来形管理）は土留・仮締切工の鋼矢板（図-1）である。

鋼矢板の測定項目は、基準高、根入れ長、変位となっているおり、本設と仮設では測定項目が異なり、仮設では変位の項目がなくなる。¹⁾

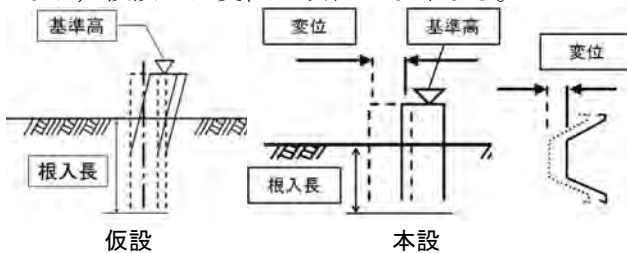


図-1 鋼矢板の出来形管理項目

2.2 擁壁工の対象とする施工管理基準

擁壁工で検討の対象とする施工管理基準（出来形管理）は擁壁工の場所打擁壁工（図-2）である。

場所打擁壁工の測定項目は、基準高、厚さ、裏込め厚さ、幅、高さ、延長となっている。¹⁾

2.3 土留工（鋼矢板）の計測点及び算出方法

TS により 2.1 の出来形計測項目の測定方法として、図-3 のとおり可視部分の計測点①、計測点②を計測し、材料検査で全長の実測寸法を計測し

たうえで、基準高については計測点①の標高値、根入れ長については全長の実測寸法から計測点①から計測点②の寸法を減することで算出することにした。

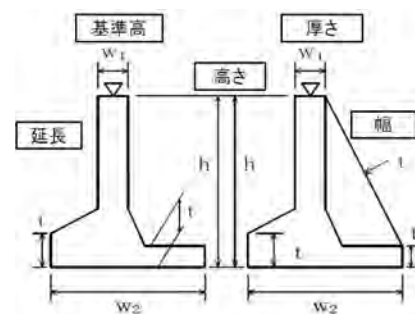


図-2 場所打擁壁工

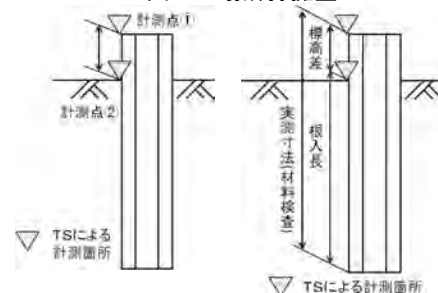


図-3 計測点及び算出方法

2.4 擁壁工の計測点及び算出方法

TS により 2.2 の出来形計測項目の測定を行う場合として2つの計測案を作成した。案1ではTS計測結果を用いて必要な計測項目をすべて算する方法（図-4）と、案2ではコントロールポイントとなる計測項目のみTS計測結果を用いて算し、そのほかは従来手法による計測結果をデータとして手入力する方法とした。

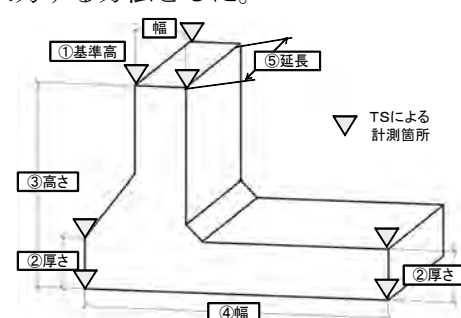


図-4 計測方法及び算出方法（案1）

本検討においては、TSを用いて計測項目を算する方法（案1）で従来方法との作業時間の比較を行った。

3. 工事現場における試行

土留工及び擁壁工の工事を対象に、TSを用いた出来形管理を導入した場合の計測精度及び時間短縮効果を検証するため、各工事で現場試行を実施した。

3-1 土留工（鋼矢板）の試行条件

- ① TSを用いた出来形管理に係る作業及び従来施工の出来形管理を実施
- ② 土留工（鋼矢板）に対応した出来形管理用TSソフトウェアは存在しないが、特別な計算式は使用しないため現状のソフトを流用しての計測を行った。帳票についてはエクセルで別途作成した。（作業時間については、ソフトウェアが存在するものと仮定）
- ③ 施工延長によらず3測点分の延べ作業時間（人・分）で比較（TSでの測定も3測点）

3-2 擁壁工の試行条件

- ① TSを用いた出来形管理に係る作業及び従来施工の出来形管理を実施
- ② 擁壁工に対応した出来形管理用TSソフトウェアは存在しないが、特別な計算式は使用しないため現状のソフトを流用しての計測を行った。帳票についてはエクセルで別途作成した。（作業時間については、ソフトウェアが存在するものと仮定）
- ③ 施工延長によらず5測点分の延べ作業時間（人・分）で比較（TSでの測定も5測点）

3.3 時間短縮効果の検証

(1) 検証する作業項目について

土留工及び擁壁工における内業から出来形計測に要する作業時間・人員を記録する。すべてを従来手法で行った場合と、すべてTSを用いた出来形管理を適用した場合で比較した。比較対象とする作業の流れの詳細は図-5のとおりである。

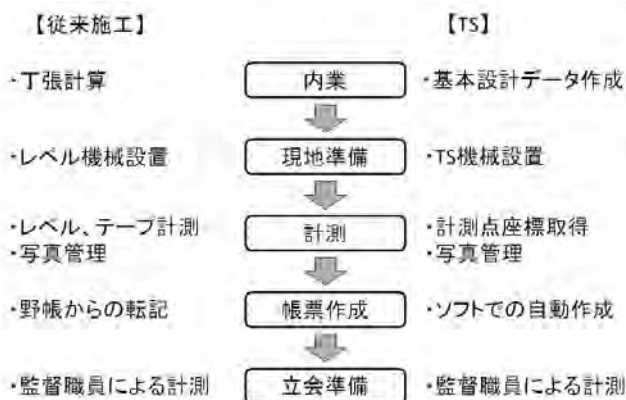


図-5 作業時間を比較する作業項目

(2) 土留工（鋼矢板）の作業時間の比較結果

従来施工とTSによる作業時間の比較結果は、図-6のとおりである。なお、本試行工事では土工に関する出来形管理を行わない工事であったため、土工と土留工の一連での作業時間の比較を行わなかった。結果としては、機械設置を含めた計測全体での作業時間がほぼ同じであるという結果が得られた。また、計測時間だけを比較すると、従来手法35分、TS手法24分であり、TS手法の方が3割程度効率化している。

計測計測作業全体において作業時間が変わらなかった理由として、試行工事では施工規模が30m程度と小規模であり、また仮設で管理項目が少なかったため、効果が出なかったと思われる、本設工事で施工規模が大きく一度に多くの計測が可能なら現場であれば、効果があると推察される。

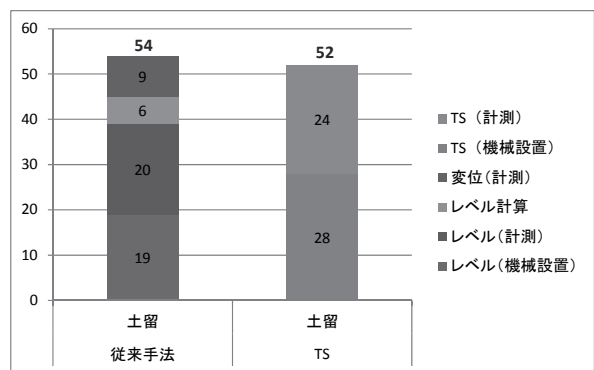


図-6 土留工における作業時間比較

(3) 擁壁工の作業時間の比較結果

従来施工とTSによる作業時間の比較結果は、図-7のとおりである。結果としては、ほぼ同等の作業時間であった。

この理由として考えられるのは、TS手法の計測頻度自体は、減ったものの（従来はレベル・テープで1断面あたり7計測、TSは1断面あたり4計測）、シールプリズムの設置や、足場からの視通の確保など、計測上の手間が生じる場合があるためと思われる。

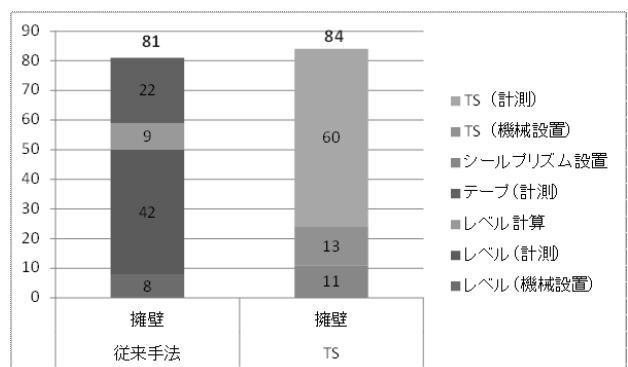


図-7 擁壁工における作業時間比較

3.5 土留工（鋼矢板）の計測精度の検証

(1) 検証する測定項目について

基準高（天端）、変位置、根入れ長について精度検証を行った。また、本工事の土留工（鋼矢板）は仮設ではあったが、そのまま埋設する工事となっていたため、変位にても計測を行った（写真-1）。



写真-1 TSによる計測点（土留工（鋼矢板））

(2) 計測結果の比較

比較の結果、基準高（天端）および（床付）の計測結果について、従来手法とTS手法の差異が10mm以内であった（図-8）。

変位置（天端）の計測結果について、従来手法とTS手法の差異が10mm程度であった。最大で14mmの差異があったが、従来手法の計測も水糸に対して離れ量をスケールで計測しているため、計測時の誤差を含むことが推察される（図-9）。

根入れ長の計測結果については、従来手法とTS手法の差異が10mm以内であった。

以上から10mm以内の計測精度が得られることが分かった。

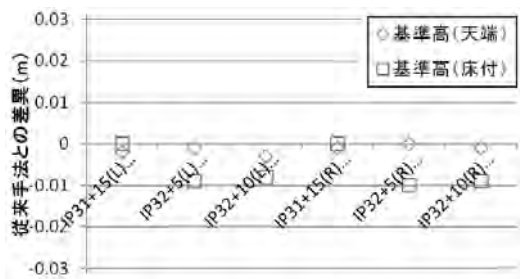


図-8 基準高の精度比較

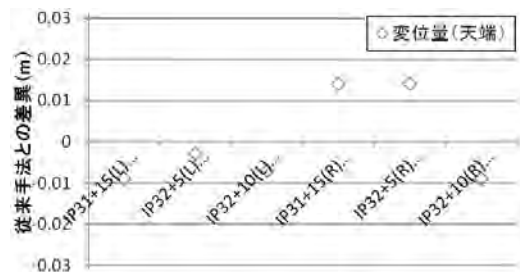


図-9 変位置の精度比較

3.6 擁壁工の計測精度の検証

(1) 検証する測定項目について

基準高、幅員、高さについて精度検証を行った（写真-2）。



写真-2 TSによる計測点（擁壁工）

(2) 計測結果の比較

TSによる算出結果を、従来の測定手法と計測結果と比較したのが以下の図-10である。



図-10 計測結果比較

基準高の計測結果について、従来手法とTS手法の差異が10mm程度（最大29mm）であった。幅員の計測結果について、従来手法とTS手法の差異が20mm程度（最大40mm）であった。

高さの計測結果については、従来手法とTS手法の差異が20mm程度であった。

(3) 誤差要因の考察

TSと従来手法の計測結果の差異が基準高で最大29mmと幅員で40mmとなったことについて、その要因を考察する。基準高と幅員での誤差要因は、施工のための足場で視通が確保できず、計測箇所をずらして計測した箇所もあったため、従来手法と計測箇所が一致していないことが推察される（写真-3）。

高さの誤差要因は、高さの算出は2点の標高値の差で算出しているため、各点の計測誤差が最大で10mm×2箇所=20mm程度は発生する可能性があることが推察される。



写真-3 TSで計測する際の足場との見通状況

4. 基本設計データの作成手法

TSを用いた出来形管理では、設計形状を3次元データ化した「基本設計データ」を作成する必要があり、土留工と擁壁工への適用にあたって3次元データの作成手法を考案した。

4.1 土留工（鋼矢板）の標準的なデータ作成の流れ

土留工（鋼矢板）の基本設計データ作成にあたっては、中心線形は、矢板天端部の折れ線を利用し、横断形状は、矢板の形状を表現するのではなく出来形管理上必要な基準高さ、根入れ長を表現する形状とした（図-11）。また、現場試行のヒアリングの結果、隣接工事の矢板を接合させるため端部の位置座標があると活用できるとの意見があった。

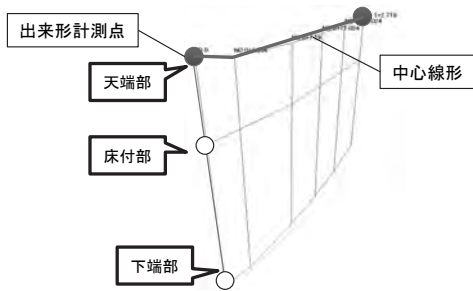


図-11 土留工のデータ案

4.2 擁壁工の標準的なデータ作成の流れ

擁壁工の基本設計データ作成に当たっては、道路中心線形を設定して作成ができる。また曲線区間は、道路中心線形と擁壁の横断方向が90°でないため、舗装修繕工事で使用する線形を使用しないデータ作成により対応することが出来る（図-12）。

また、現場試行のヒアリングでは、維持管理は実際の位置の出来形データがあれば変状時の確認として使用できるとして、形状については特に必要が無いとの意見があった。

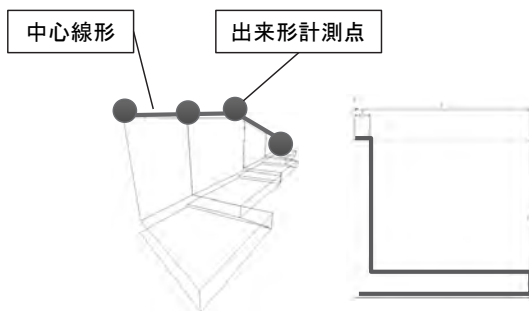


図-12 擁壁工のデータ案

4.3 土留工（鋼矢板）に関する手法の提案

土留工（鋼矢板）を対象に、TSを用いた出来形管理手法を整理した。新たな出来形管理項目である根入れ長については、下端部が不可視部分となるため、天端と床付の標高値の差異（高さ）を全

長から減じる手法を提案した。

TSを用いての根入れ長の計測については、現行の場合も、TSの計測手法と同様に天端と床付の標高差を全長から引き算して算出しているため、施工者も違和感のない計測方法であった。

天端の基準高さでは、矢板の接合部で計測しているが、設計データで指定した管理断面で計測出来ない場合もある。

根入れ長については、全長から天端と床付の差異を減じる方法とするが、その際、矢板の全長は、設計よりも数cm長い場合があるため、全長の実測寸法を計測結果に反映して、長さを算出する必要がある。

4.4 擁壁工に関する手法の提案

擁壁工の現場打擁壁工を対象に、TSを用いた出来形管理手法を整理した。出来形管理項目は、従来と同様に幅、基準高、高さであるため、それらを管理する手法を提案した。

擁壁工において、TSを用いて出来形計測を行うことは可能であるが、構造物における面取り部分や壁面に近い場所については治具やシールブリズム等の使用の工夫も必要である。

試行工事ではTSで全ての点を計測したが、計測時間の短縮のためには、極小な寸法等はテープで計測するなど併用できる仕組みが必要である。

また、面取りの計測に治具を活用したが、重力壁擁壁など直角ではない擁壁もあるので、さまざまな構造物への計測上の配慮が必要である。

擁壁工の出来形管理断面は、ジョイント部で管理しているため擁壁が連続している場合に、ある構造物が設計より大きく出来てしまうと隣接する構造物が小さくなる場合がある。管理基準の延長は-20cm以上であるため、擁壁の誤差が蓄積すると、設計データの計測断面から10cm以上離れる場合があり、出来形管理断面がずれる場合がある。

5. おわりに

本稿では、TSを用いた出来形管理の土留工、擁壁工への適用拡大の可能性とそれによる省力化の可能性について論じた。今回試行の対象としたのは、土留工（鋼矢板）と擁壁工の現場打擁壁の一部工種に留まる。国土技術総合研究所では、さらなる現場試行を通じて、土留工、擁壁工の別工種への適用拡大や、土工に係わる類似工種（矢板工）への適用拡大についてもその可能性を明らかにした上で、順次実用化につなげていきたいと考える。

参考文献

- 1) 国土交通省：土木工事施工管理基準及び規格値（案）平成23年

16. 中小零細建設業を対象にする映像を活用した CIM の開発

株式会社環境風土テクノ 須田清隆
可児建設株式会社 ○可児憲生
トライポッドワークス(株) 渋谷義博
立命館大学理工学部 建山和由

1. はじめに

中小零細建設業では、小規模な工事が多く、短期間の工事完成や IT 系の人材確保などの要件もあり、CIM の取り組み、特に 3 次元モデルベースによる CIM への対応を難しくしている。また、中小零細建設業の特性として、高齢化（退職、転職）に伴い、個人に集約している建設ノウハウ（知財）の流出が進んでいる。そのため、企業への技術知財情報の収集蓄積などの情報化の推進が、事業継続上の緊急な課題にもなっている。

2. 研究目的

技術者の施工現場で求められる意思決定や判断は、リスク、品質、コスト、効率性など多岐にわたっているが、現場空間では技術者の持つ能力である探知能力、視認能力で、施工現場から問題要因を探知し対応しているものと考えられる。

本来、技術者は、人間固有の能力として、空間（映像、画像）から問題や課題を探知、認識する能力は高く、その能力から問題対応を行っている。特に職人的な技術者ほど、その経験知を伴う視覚認識（直観力）は優れており、‘百聞は一見に非ず’や‘理屈じゃない’と断言する技術者も少なくない。しかし、そのような技術者が保有する施工ノウハウは、感覚的であり、論理的に形状や品質、構造として表すことを難しくしていると考えられる。

また、本来の CIM の目的は、現場の工事情報をデータモデルに体系づけて集積し、施工情報の共有化、共通化、資産化するための情報化と考えるが、個人に委ねる現場が多い小規模工事では、短期間で、現場の変化も大きく、施工情報をデータモデルに体系化し集積することはスキルのにもコスト的にも容易ではなく、情報化や CIM 化を進めることが出来ない課題も抱えている。

本研究の目的は、中小零細建設業の特性を踏まえて IT スキルの・コスト的に負担の少ない方法で、施工情報を効果的に集積する CIM 化と共に企業内の知財化する情報として感覚的に理解しやすい映像の有効性を確認し、中小零細建設業で

の利用可能な’映像を活用した CIM ‘を開発することである。本報告は、映像を活用した CIM（試作版）の検証から映像を活用した CIM 開発の有効性を報告するものである。

3. イメージ補完による映像利用

感性工学では、人間の記憶の分類を、感情、意識、知識に分類して、簡単に思い出せる状態を感情と、なかなか思い出せないが時間が経つと思い出せる状態を意識と、自分では思い出せない状態を知識と定義している。通常現場のリスク対応は、感情力がないと、どんなに知識があっても緊急時に活用できない状態になることが指摘されている。現場技術者の現場にあるリスクに対する感情力を測る上で、短時間（2分間）で‘現場リスク’から発想するリスク要因や原因などの発想数を測定する感性テスト^{※1}からは、図1に示すように高齢になるに従い、イメージ発想能力が低下する傾向が見られ、高齢技術者のリスク管理面の課題が抽出されている。

（※1財団法人東京都中小企業振興公社平成23年度 新製品・新技術開発助成事業「リスク感度を高める教育研修プログラム開発」）

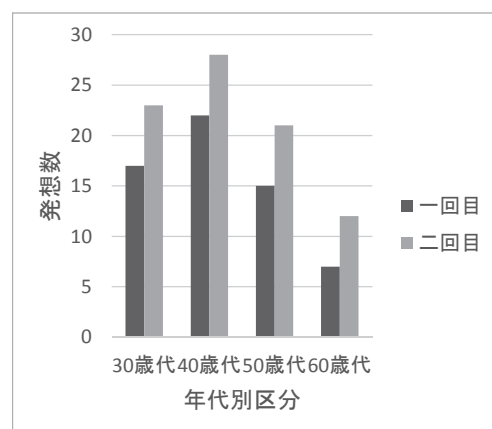


図1 現場技術者感性テスト（2分間発想）

特に、中小零細建設業の課題は高齢化対応であり CIM 開発では、現場のリスク情報など施工情報の伝達で、高齢化に伴い低下するリスク対応力や判断力の低下を、扱いやすい映像で補完することを期待できる。

4. 映像を活用した CIM の基本構成

映像を活用した CIM (試作版) について、既存河川堤防の一部を掘削し、新規に築堤で実施した河川工事 (国土交通省中部地方整備局庄内川河川事務所平成 26 年度庄内川大治築堤工事) で適用した事例¹⁾ から基本機能を検証する。

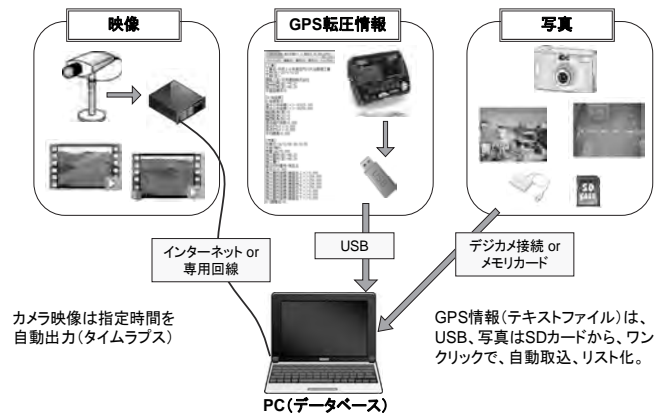


図3 データ自動取り込みの仕組み

4.1 ネットワークカメラと WEB 確認

施工状況の確認および記録のため、4 台の定点ネットワークカメラを設置した (図 2 参照) 定点カメラにより、空間量が一定の中で、重機や人間の占有時間や発現頻度などで施工状況を確認している。また、WEB 情報として遠隔からも映像を確認できることが、祝休日、夜間などの天候や地震時の状況を遠隔での確認を可能にしており、現場のリスク対応性が早め、リスク確認のために現地への移動時間の縮小を実現している。

システム構成

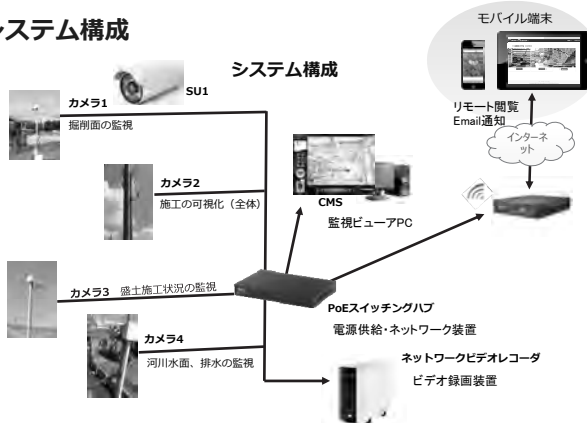


図2 ネットワークカメラのシステム構成

4.2 情報収集システム

過去の実施事例の情報活用分析から小規模現場における情報システムの利用は、現場担当者のスキルと意識に依存するところが多く、現実には高齢化する現場技術者にそのスキルや意識を求めることは難しいところもある。そのため、本事業では現場で発生する情報については現場担当者の負担を少なくするための図 3 に示す通り自動取り込みまたは取り込み作業の単純化の仕組み作りを行っている

4.3 映像を集積した CIM データベース

集積した施工情報を有効に活用するために現実の映像や写真と施工情報を関係づけて図 4 に示すようにデータベースに集積している。

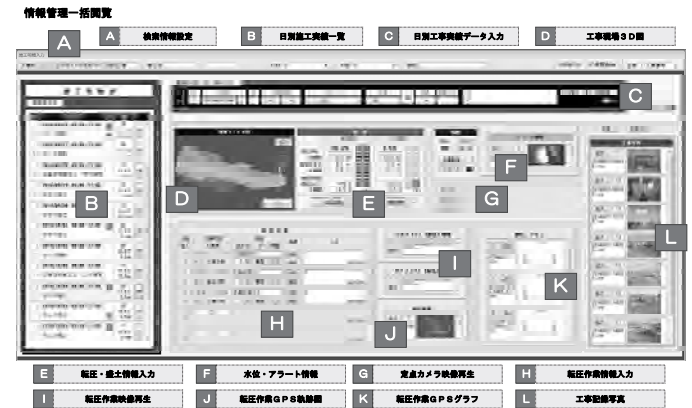


図4 CIM データベース

データベースでは、施工現場のイベントやトラブルなどの日報に含まれるキーワードを検索ワードによって、時間経過で整理された 4 方向のカメラより撮影されたタイムラプス映像 (図 5 参照) の検索を容易にしている。



図5 4カメラタイムラプス映像表示

5. 映像による施工情報の数値化

事例検証を通じて映像利用による施工判断など

の迅速性などの適用効果とともに、実際に設計や維持管理に使用する場合の映像の属性化や数値化が課題として指摘されている。ここでは、映像を活用したCIMの実用化のために映像による施工情報の数値化に関する基礎的な検討を行っている。

5.1 タイムラプス映像

タイムラプス映像は、インターバル撮影、微速度撮影とも言われ、長時間撮影された映像を短い時間に圧縮している。例えば8時間の映像を5秒のタイムラプス映像に生成すると、864,000フレームが5,760フレームとなり、3分程度で再生できる。(図6参照) また、固定カメラで撮影するタイムラプス映像は、連続する時間のストリーム映像(1秒30コマ)から設定時間刻み(Δt)にスライス画像を切り出したのを、タイムラプス化しており、CIM情報としては、時間情報を持つスライス映像の活用を可能にしている。

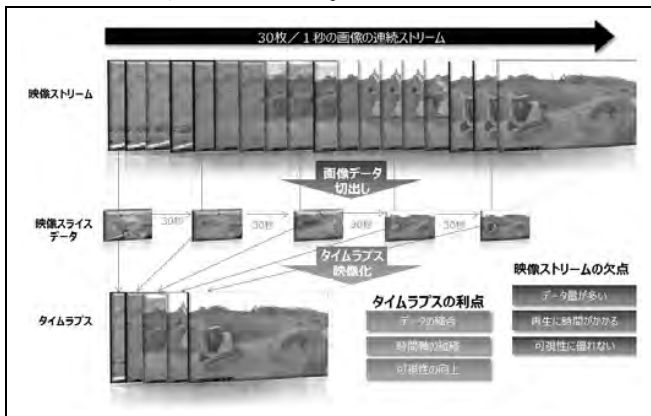


図6 タイムラプス映像解説

そのため、タイムラプス映像(図7参照)は時間情報として映像で施工状況など背景状況を含むため特定の被写体に着目すれば、被写体が映されている映像の枚数Nに、設定時間刻み(Δt)を掛け合わせると、機械稼働時間や労務歩掛りの算定を手計算でも簡単にできるなど取り扱いが容易にしている。



図7 タイムラプス映像スライス画像

5.2 背景分析法による分別認識

映像情報で現場の状況管理を行っているので、作業員や他の重機の分別も背景差分法による数値化することで、測定などに頼らない重機や作業員などの作業実態など施工実績の自動算定が可能になる。(図8参照)



図8 背景差分法による物体検出(人には緑色の投影方形、重機には赤色の矩形表示をして分別表示)

背景差分法³⁾は、定点カメラのように固定環境における物体検出法として有効な手法で、事前に取得した背景画像と対象とする入力画像を比較計算することにより、背景画像に存在しない物体(前景領域)を検出する手法である。背景差分法では、光の変化や影の影響、風や振動による背景物体の変化など、環境ノイズが課題として挙げられる。検出した前景領域は個体にラベリングを施し、前フレームの検出結果と特徴点ベースのマッチングを行うことにより物体検知を可能としている。(図9参照)



図9 物体検出フロー

5.3 オプティカルフローによるモーション検知

オプティカルフロー^{※2}を用いたモーション検知⁴⁾では、フレーム情報から物体の速度ベクトル情報を求め、軌跡情報や移動量が確認できる(図10参照)

映像上の施工機械や人間の特定対象の検知機能を応用することで、施工実績の収集により、歩掛り評価への展開が期待される。

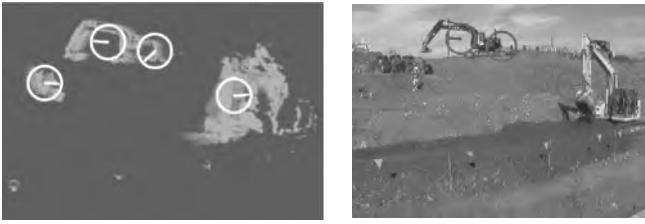


図10 物体検知と運動方向計測

(※2 オプティカルフロー：、ブロックマッチング法を用いてタイムラプス映像の中で物体の動きをベクトルで表したものである。)

5.4 フラクタル次元による現場状況の数値化

形の複雑さを表す指標のひとつとしてフラクタル次元⁵⁾を適用した。フラクタル次元には多くの定義があるが、ここでは濃淡分布を扱うことができ、図形の通常の次元とも一致する、一般次元の定義(式(a))を用いた。

$$D_q = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{1}{q-1} \frac{\log \sum_{i=1}^N p_i^q}{\log r} \quad \dots\dots \text{式(a)}$$

ここで、 D_q は一般次元、 r は被覆領域サイズ、 q は確率次数モーメント、 p は確率、 N は被覆領域の数である。ここでは $q=2$ とした。この式を用い、確率 p として正規化した輝度値分布をあてはめ、白黒画像のフラクタル次元を推定した。

画像1の度数分布(図11参照)は、エッジが少なく現場の複雑性が表れているのに対して、画像2では、構造物のエッジが強く表れておりフラクタル次元の低い要素が含まれている分、単純化していることが評価できる。

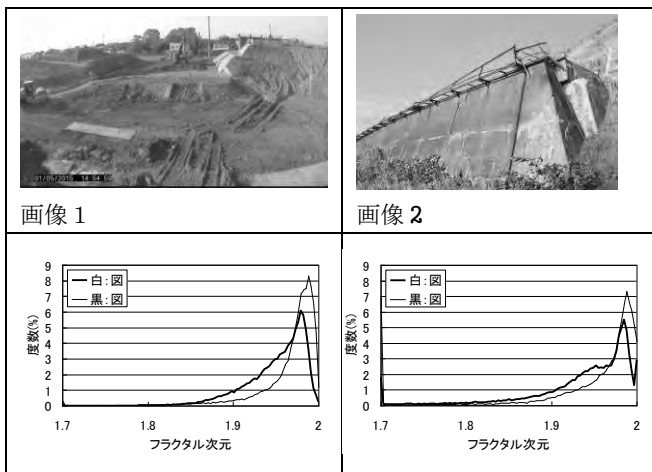


図11 フラクタル次元計算例

6. まとめ

以上の検討結果から‘映像を活用したCIM’が時空間情報として施工状況を集積でき、且つ映像から施工情報の数値化などCIMとしての可能性が確認できたと考える。ここでは、実用化へ向けた課題も含めて‘映像を活用したCIM’の成果を

まとめている。

- ① 毎日の現場の状況を数分程度で確認できるタイムラプス映像をデータベース化したことで、時間や気象条件や作業区分で検索確認できることが、施工手順や施工計画などの施工ノウハウの知財化を可能にした。
- ② 映像分析技法を活用して映像から空間背景情報を自律的に抽出し定量化・統計化することで、映像情報から施工の効率性や不具合などの原因抽出も可能にしている。
- ③ 映像を活用した安全教育は、映像にある現場の危険要因や作業員の危険行動の指摘は具体的であり、元請から下請けまでの高齢技術者や作業員の現場リスクに対する共通理解を可能にしている。
- ④ 映像分析によりGPS等の装置を付けていない資機材や人の動きなど施工性要因などの背景情報の分析が可能となり、小規模工事でも低コストでの情報化施工への取組に繋げている。
- ⑤ 画像の面的特性をフラクタルで定量的に評価することで、施工現場の複雑さなど状態分析を始め、コンクリートの品質劣化や土質材料の判別への展開が期待される。

7. 最後に

映像は、工事の時間経過で変化する空間的リスク、地震、降雨などにより発生する環境リスクおよび現場技術者の不安定行動など人間的リスク等が施工の背景情報として表れており、施工の統合情報として活用する意義は大きいと考える。一方、映像の見方や判断に主観が入る余地もあり、適正な判断を妨げるリスクも否定できない。今後、より事例を増やし、映像による施工判断の手続きなど、映像活用のガイドラインの策定を行い、映像を活用したCIMの実用化を図っていく予定である。

参考文献

- 1) 可児憲生他「中小建設業における知財集約を目的とする建設CIMの展開に関する報告」土木学会中部支部発表会VI-002 463-464 2015
- 2) 須田清隆『可視化情報を利用した生産管理技術』土木施工Vol.39 No.1, pp.17-21, 1998
- 3) Z. Zivkovic, Improved adaptive Gaussian mixture model for background subtraction, International Conference Pattern Recognition, UK, August, 2004.
- 4) Z. Zivkovic, F. van der Heijden, Efficient Adaptive Density Estimation per Image Pixel for the Task of Background Subtraction, Pattern Recognition Letters, vol. 27, no. 7, pages 773-780, 2006.
- 5) 須田清隆他「フラクタル次元による景観性質の指標化に関する研究」土木学会北海道支部報告集Vol.60 2004

17. 6 軸減揺棧橋の開発

～作業船の動揺安定台としての活用事例～

東亜建設工業株式会社
東亜建設工業株式会社
東亜建設工業株式会社

○ 那須野 陽平
今村 一紀
田中 孝行

1. はじめに

日本のエネルギーをめぐる環境は、化石燃料から再生可能エネルギーへの転換を図るべく、石油等に代わるクリーンなエネルギーとして、さらなる導入・普及への取り組みが進められている。その中で近年、脚光を浴びているのが洋上風力発電である。日本は四面を海に囲まれた島国であり、日本の領海と排他的経済水域を合わせた海の広さは、世界第 6 位である。風況の良い広大な海を利用して風力発電を設置することができれば、そのエネルギー量は極めて大きいと言われている¹⁾。

洋上風力発電設備の建設、運用、管理、保守メンテナンスにあたり、発電設備へのアクセス手段の確保は重要課題である。アクセスシステムは、安全性、経済性、海象等の環境条件、稼働率改善の必要性等の要素を考慮して検討されており、様々な方法が試みられている。現在採用されている一般的な洋上風力発電設備へのアクセス方法としては、小型船舶の船首からの移乗などが挙げられているが、気象・海象条件によってはアクセスが困難となることも多く、作業員の海中転落・挟まれ事故のリスクが高まることから、解決すべき課題の 1 つとして提起されている²⁾。

現在、船舶の動揺を抑制する装置として、アンチローリングタンクやフィンスタビライザーなどの減揺装置が開発・実用化されている。しかしながら、前者は船舶の横揺れ固有周期の変化に追従することが困難であり、後者は高速航行時のみに効果を発揮するため、作業船のように投錨して定点保持状態で作業を行う船舶に対しては効果的ではない。これらの技術は、船舶自身の動揺を抑制するためのものであるが、これに対し、何らかの制御機構を用いて動揺する作業船の任意の地点を水平に保持することにより、船舶の動揺を考慮せずに安全な移乗が実現できる可能性に着目した。この観点に基づき、当社は 6 軸モーションベースを作業船の動揺安定台として活用する手法を採用すると共に、洋上の構造物に対する作業員の安全

な移乗を目的として、「6 軸減揺棧橋」の開発を行っている。そして現在、平成 27 年度の実機完成を目指し、産学共同で開発を進めている³⁾。

2. 6 軸減揺棧橋の概要^{5), 6)}

2. 1 構造

モーションベースとは、機構学的には、出力となるリンクを複数の駆動用リンク列により並列に駆動する機構の総称であり⁴⁾、スチュアートプラットフォーム型、Hexa 型、直動固定型などの種類がある。また、モーションベースは、大型フライトシミュレータやアミューズメント機器の揺動装置として実用化され、長い歴史と多くの開発実績がある技術として知られている。

現在開発を進めている「6 軸減揺棧橋」は、上下 2 枚のプレート（トップ/ベースプレート）が 6 本のシリンダーで接続されたスチュアートプラットフォーム型モーションベースを採用している。当該装置は「モーションベース部」の他、作業員が乗降する場所となる「プラットフォーム部」、作業員の通路となる「棧橋部」から構成される（図-1 参照）。作業船に固定された「モーションベース部」は、上下 2 枚のプレートを連結する 6 本のシリンダーを伸縮させることにより、6 自由度の運動が可能となる。別途搭載するセンサーによって計測される船舶の動揺を打ち消すように、各々のシリンダーを適切に制御することにより、波浪で船舶が動揺した場合でも、プラットフォームを常に水平に保つことが可能となる。また、棧橋部分にテレスコピック機構を採用することにより、棧橋の伸縮が自在になり、現場条件に合わせて棧橋の長さを調整することができる。

このように、モーションベースと可動式棧橋を組み合わせることで、小型船舶を使用したアクセスが不要となり、作業船や台船上から直接、洋上の構造物への移乗が可能となるため、洋上作業に従事する作業員の安全と作業効率の向上への寄与が期待される。

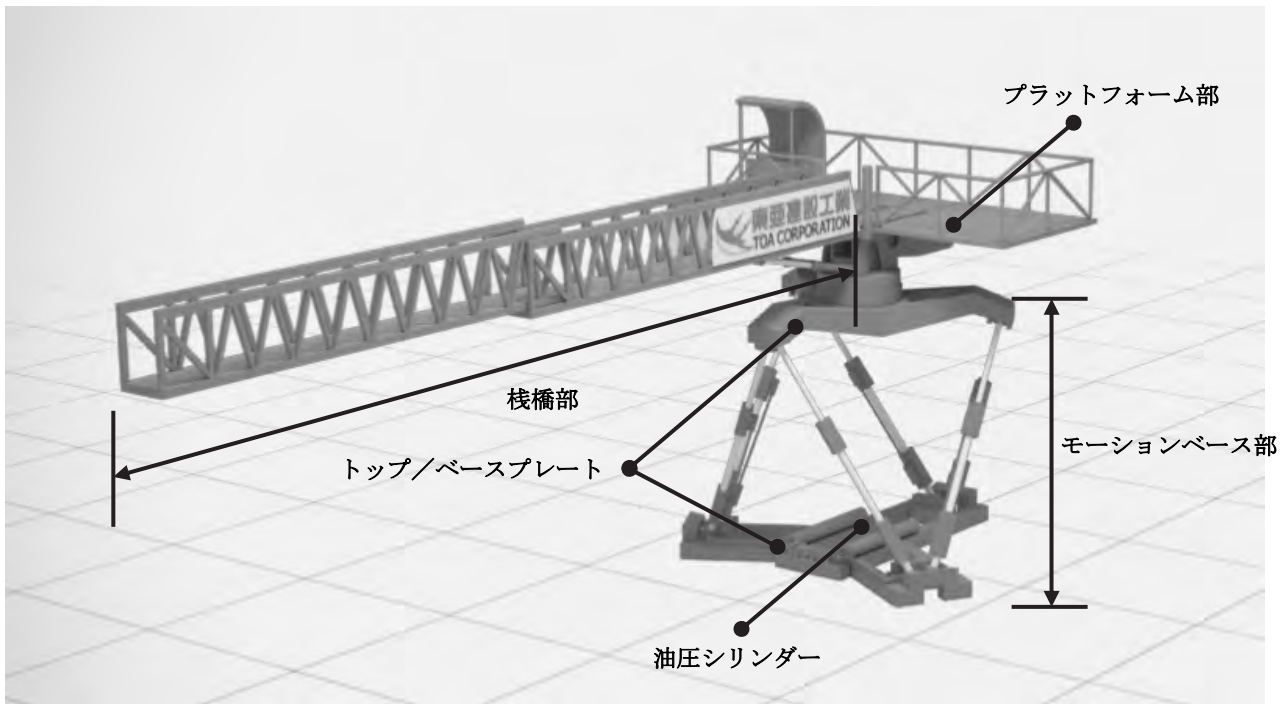


図-1 6軸減揺栈橋 構造図

2.2 モーションベースプロトタイプ機構

実機製作の前に、基本動特性の確認をはじめ、モーションベースの機構や可動域の決定、制御手法の検討などを行うため、モーションベースのプロトタイプを製作した。本装置は、水平保持性能を検証する海域試験でも使用し、実機製作を想定した制御手法の検討に有効活用した。

モーションベースプロトタイプ、油圧ユニット、制御装置を写真-1に、教示装置を写真-2に示す。後述するが、教示装置を操作することにより、モーションベースプロトタイプを遠隔操作することも可能であり、マスタースレーブの環境を構築している。

モーションベースプロトタイプでは、栈橋を組み合わせた実機を想定し、高い出力と応答性が比較的容易に得られる油圧サーボ機構を採用した。また、油圧シリンダー内部には、シリンダーの伸縮量を計測するための磁歪式センサーが内蔵されている。

油圧シリンダーの可動範囲は、中立地点から $\pm 250[\text{mm}]$ を確保している。また、総重量は約 $450[\text{kg}]$ 、最大持ち上げ可能重量は約 $100[\text{kgf}]$ である。油圧シリンダーとトップ/ベースプレート接続部にはユニバーサルジョイントを配置し、最大振れ角 $\pm 15[\text{deg}]$ （安全設計）に対応できるようにしている。モーションベースプロトタイプの基本仕様を表-1に示す。



写真-1 モーションベースプロトタイプ（左端より制御装置、モーションベース、油圧ユニット）

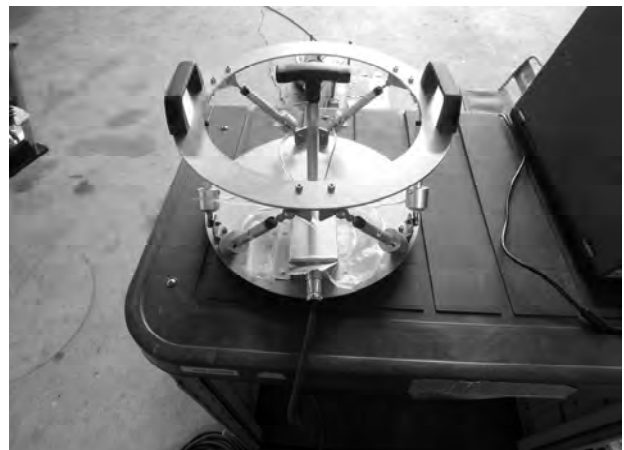


写真-2 教示装置

表-1 モーションベースプロトタイプ 基本仕様

機器名称	項目	仕様
6軸モーションベース	構造	スチーフプラットフォーム型/パレルメカニズム
	油圧シリンダ	①寸法 : $\phi 50[\text{mm}] \times \phi 35[\text{mm}] \times \text{St500}$ ②最大使用圧量 : 14[Mpa] (耐圧圧力: 21[Mpa]) ③受圧面積(押し) : 27.44[cm ²] ④受圧面積(戻し) : 18.90[cm ²] ⑤ストローク検出 : シリンダ内蔵型変位計
	ユニバーサルジョイント	①最大振れ角 : 30° ②限界負荷荷重 : 1,000[kgf] (9.8[N])
	ベースプレート	①寸法 : 1,687[mm] × 1,463[mm] × 100[mm] (W × D × H) ②重量 : 95[kg]
	トッププレート	①寸法 : 1,488[mm] × 1,290[mm] × 90[mm] (W × D × H) ②重量 : 91[kg]
	油圧ユニット	①寸法 : 2,000[mm] × 1,000[mm] × 1,000[mm] (W × D × H) ②モータ出力 : 15kW程度
制御装置	制御装置機器	①寸法 : 1,000[mm] × 400[mm] × 2,000[mm] (W × D × H) ②電源 : 三相AC200V
	上位データ変換制御装置	PLC方式
その他	可動範囲	①Heave : 500[mm] ②Serge : 150[mm] ③Sway : 150[mm] ④Roll : ±15° ⑤Pitch : ±15° ⑥Yaw : ±15°
	ペイロード	100[kg]
	最大加速度	0.1[G]程度
	重量	450[kg]程度 (油圧ユニット、制御盤は含まず)

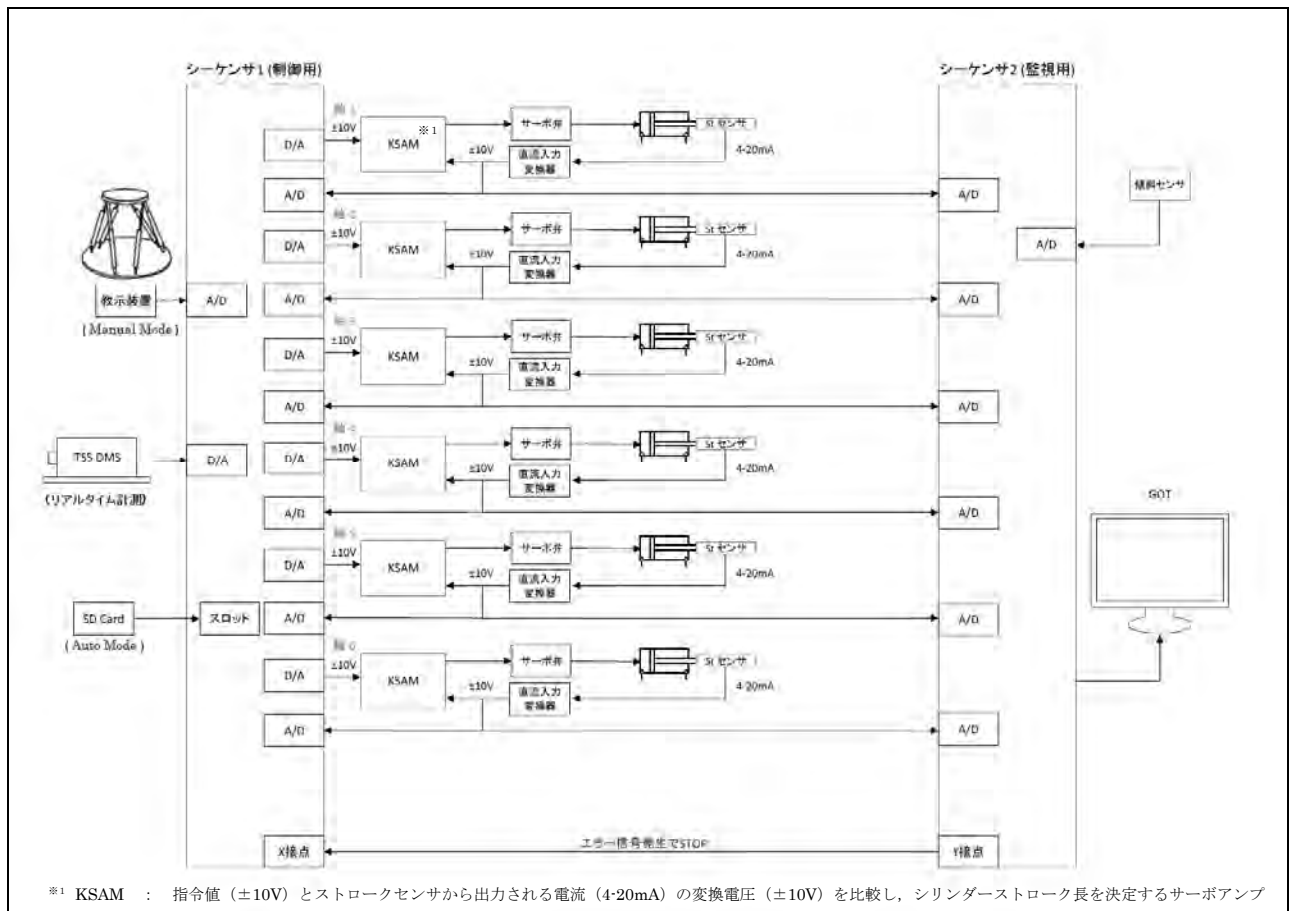
2.3 制御系の構成

モーションベースプロトタイプの駆動方式には、教示装置による手動操作モード、予め決められた運動をSDカードから読み込み再現する自動再生モード、そして、動揺センサーの挙動

を再現するリアルタイムモードの3種類がある。今回の海域試験では、リアルタイムモードで船体動揺の低減効果を検証した。

一般的に、パラレルリンクに対する逆運動学、すなわちベースプレートに対するトッププレートの位置及び姿勢を指定し、アクチュエータの長さを求める問題は、解析的に解くことができるため、比較的容易に求めることが可能である。今回のケースでは、船体に固定されたモーションベースが揺動した際、任意のベースプレート姿勢に対し、トッププレートが常に水平となるような各油圧シリンダのストローク長を求めるといふ問題に相当する。本稿では、動揺センサーにより計測されたロール、ピッチ、ヒープを打ち消すように、仮想三次元空間に配置した幾何学モデルを回転移動させ、ある瞬間の船体動揺に対して理想となるシリンダストローク長を代数的に算出する手法を採用した。

図-2に制御フローを示す。油圧シリンダの変位は、シリンダに内蔵された磁歪式ストロークセンサによってセンシングされており、代数的に得られた6本のシリンダ長(制御入力)と比較し、その差が小さくなるような制御を行



*1 KSAM : 指令値 (±10V) とストロークセンサから出力される電流 (4-20mA) の変換電圧 (±10V) を比較し、シリンダストローク長を決定するサーボアンプ

図-2 モーションベースプロトタイプの制御フロー

っている。また、実際のシリンダストローク長を使用してトッププレートの位置及び角度を演算すると共に、ユニバーサルジョイント部の角度も演算している。機械的に負荷がかかるトッププレート角度を閾値として設定し、その値に演算結果が近づいた際にアラートを出すようにしている。

なお、当該試験はモーションベースプロトタイプの水平保持性能を検証するための試験として実施したものである。そのため、栈橋を組み合わせた際の振動の影響などは考慮していない。

3. 実海域試験におけるモーションベースプロトタイプの水平保持性能検証

3.1 艀装作業

平成27年3月、山口県響灘周辺において、モーションベースプロトタイプの海域試験を実施した。当該試験では、動揺下における作業船上にモーションベースプロトタイプを搭載し、センシングされた船体動揺を打ち消すような制御を施すことにより、トッププレートの水平保持性能を検証することを目的として実施した。船体動揺及びトッププレートの挙動は、動揺セン



写真-5 油圧ユニット 艀装状況

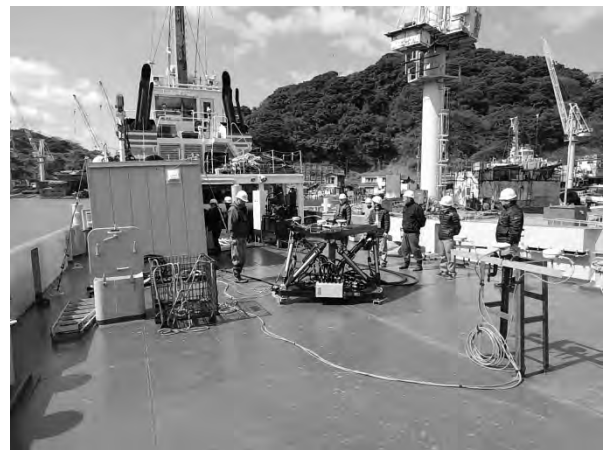


写真-6 機器配置状況



写真-3 タグボート「つばさ」



写真-7 計測室内機器配置状況

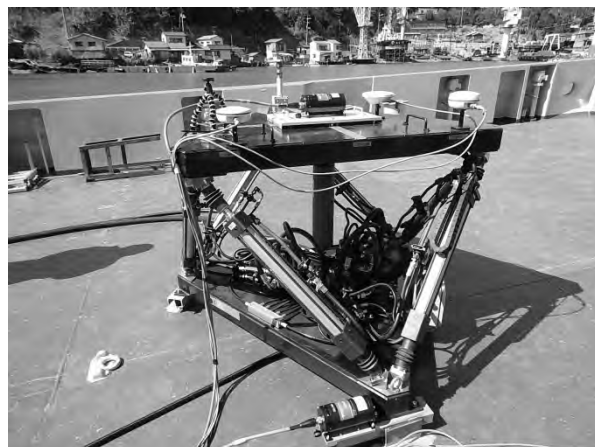


写真-4 モーションベースプロトタイプ 艀装状況

サー「TSS DMS-05」を使用して計測した³⁾。また、今回の試験は洞海マリンシステムズ株式会社所有のタグボート「つばさ」を使用して実施した。使用した船舶と、各種装置の艀装状況を写真-3～写真-7に示し、各種計測機器の一覧を表-2に示す。

表-2 計測機器一覧

機器名	型式(メーカー)	用途	設置場所
GPS	MS750 (Trimble)	船位置計測	船尾甲板
		モーションベース位置計測	トッププレート上
補正情報受信機	GS-1401A (古野電気)	RTK-GPSとしての位置計測	計測室内 ※受信アンテナは屋外
GPS方位計	VS110 (Hemisphere)	船方位計測	船尾甲板
		モーションベース方位計測	トッププレート上
動揺センサー	TSS DMS-05 (Teledyne)	船体動揺計測	ベースプレート上
		モーションベーストッププレート挙動計測	トッププレート上

3. 2 水平保持性能検証結果

当該試験では、モーションベースプロトタイプで再現可能な6自由度の運動のうち、船体動揺の主要素であるロール、ピッチ、ヒープについて動揺低減効果を検証した。2台のTSS DMS-05を使用して得られた結果を、図-3～図-5に示す。細いラインが船体動揺、太いラインが制御後のトッププレートの挙動を示しており、横軸に時間、縦軸に角度(Roll, Pitch)と上下の変位量(Heave)を取っている。ヒープ方向に対するモーションベースの可動範囲が±250[mm]であるため、試験海域に制約があったものの、船体動揺が大きく低減されていることが確認された。計測中に発生する大小の波を総合的に評価するため、各波がゼロラインをクロスする部分の面積をサンプリング時間ごとに求め、標準偏差に基づく統計処理を行った結果、動揺低減率はロールで約85%、ピッチ及びヒープで約73%と高い水平保持性能が示されることを確認した。

その後、トッププレート上に乗り、動揺低減効果の体感試験を実施した。試験状況を写真-8に示す。体感者からは、揺れをほとんど感じないというコメントをいただくことができ、数値解析による結果と併せ、水平保持に関しては十分制御できたと言える。

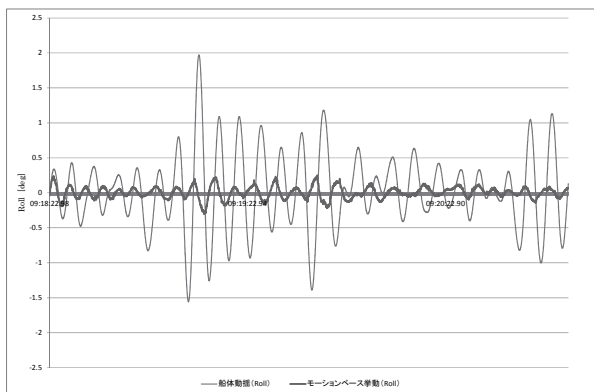


図-3 水平保持制御結果 (Roll)

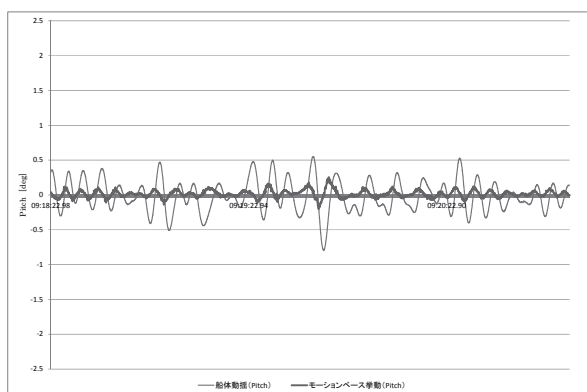


図-4 水平保持制御結果 (Pitch)

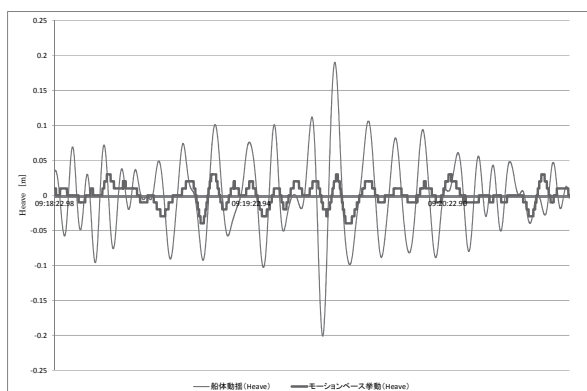


図-5 水平保持制御結果 (Heave)



写真-8 動揺低減効果体感試験

4. おわりに

本稿では、6軸モーションベースを用いた減揺栈橋の開発として、モーションベースプロトタイプを用いた実海域試験を実施し、トッププレートの水平保持性能について報告した。

ハードウェア上の可動域制限があるものの、船体動揺の主要素であるロール、ピッチ、ヒープを70～80%程度低減可能であることを確認した。また、動揺低減効果の体感試験でも、揺れをほとんど感じさせない高い水平保持性能を示すこ

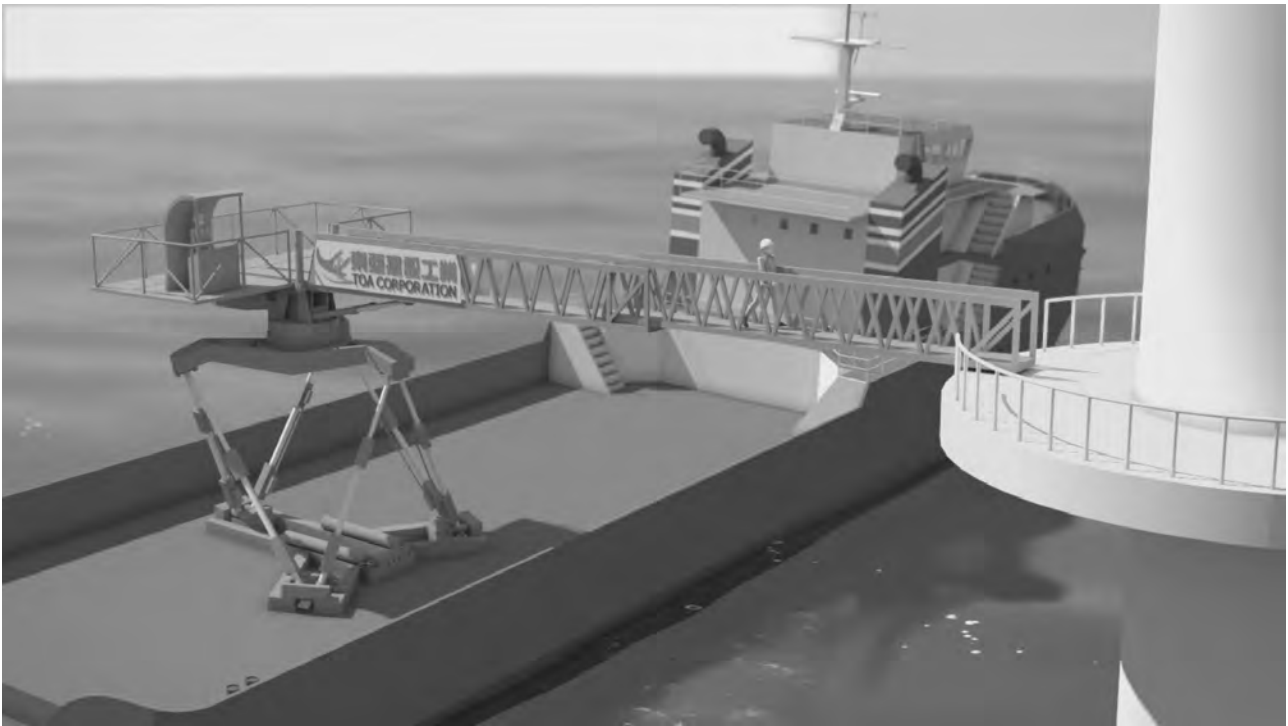


図-6 6軸減揺棧橋のタグボートへの搭載イメージ

とを確認した。

船体動揺を完全に打ち消すことができなかつた要因としては、モーションベースが予期しない挙動を示した際の安全対策として、シリンダーの伸縮速度に制限を設けていたが、実際の船体動揺がこの速度を超えていたため、シリンダーが追従しきれなかったことが考えられる。また、高圧窒素ガスを封入したアキュムレータにより確保される油圧量に対し、当初想定された波高よりも大きな波の連続出現に伴い、油圧不足となったことも影響していた。

これら以外にも得られた知見は多く、今後の実機製作の足掛かりとして活用していく予定である。特に、当該装置には人間が介在するため、モーションベースのみならず、棧橋部分も含めた装置全体としての機械安全設計及び安全対策を講じることが重要となる。実際の運用で緊急事態が発生した際、例えば、移乗設備と連結された棧橋を短縮・起伏させ、迅速な離脱を行う機能を付加するなど、人間が介在する設備として、安全対策にも注力した開発を進めていく。

最後に、当該装置開発にご賛同・ご支援いただいている関係者各位に、この場をお借りして深く謝意を表す。

参考文献

- 1) 洋上風力発電ナビ <http://www.o-wp.net/>
- 2) 原子力安全・保安院：平成23年度 洋上風力発電に係る安全規則を中心とした動向調査 成果報告書，pp.49～52，2012
- 3) 今村一紀，田中孝行，那須野陽平，岡山健次，立野圭祐：6軸モーションベースを用いた動揺吸収型可動式棧橋の開発（第一報 作業限界条件の検討と動揺計測実験），第14回建設ロボットシンポジウム論文集，pp.119～128，2014
- 4) 五嶋裕之：パラレルメカニズムと建設施工技術への応用，建設機械施工 Vol.66，No.8，pp.19～22，August，2014
- 5) 那須野陽平：パラレルメカニズムを用いた動揺吸収棧橋，油空圧技術，Vol.54，No.4，pp.53～57，2015
- 6) 今村一紀，田中孝行，那須野陽平：6軸モーションベースを用いた動揺吸収型可動式棧橋の開発，電力土木，No.377，pp.67～69，2015

18. 振動ローラの加速度計測を利用した地盤反力算定について

立命館大学
若築建設
立命館大学

○ 横山 隆明
藤村 貢
建山 和由

1. はじめに

GNSSやTSの普及とともに道路や空港などの盛土の締固め施工においては、転圧機の走行軌跡を用いて締固め施工管理を行う管理手法が導入されるようになったが、転圧時にリアルタイムで地盤の剛性を評価することができれば、併せて盛土の品質を直接評価することが可能となる。

リアルタイムで地盤剛性を評価する手法としては、振動ローラの加速度応答を利用する方法が一般的である。この手法は、地盤剛性に依存して変化する振動ローラの挙動から逆に地盤剛性を評価する手法であり、振動加速度の周波数特性か加速度応答から地盤反力～変位関係を計測しこれを利用する場合が多い。

後者の手法では、その計測原理から加速度の応答信号の計測と同時に起振機の回転角度の計測を行う必要があり、既存の振動ローラへ後付けでそのような計測システムを搭載することは困難であった。本研究では振動ローラの振動輪とフレームに取り付けた加速度計から得られる応答信号の情報だけから地盤反力を直接算定し、地盤反力～変位関係を求めることができる手法の開発を行い、その適用性を現場実験で検証した。

2. 振動ローラの加速度計測値による地盤反力～変位関係算定及び地盤反力係数の取得方法

図-1に振動ローラ-地盤系のモデル化を示す¹⁾。振動ローラはフレームと振動輪の2質点系にモデル化され、フレーム-振動輪-地盤間はバネとダッシュポットで結ばれる。

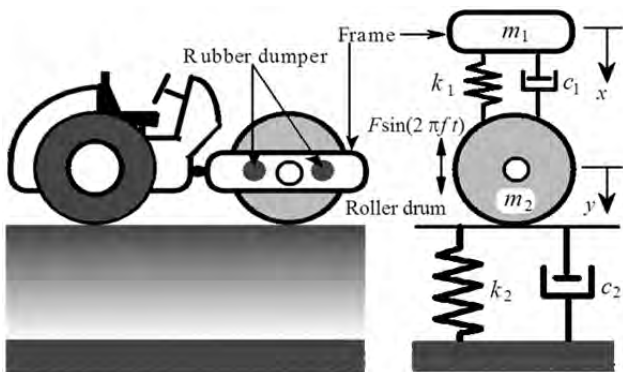


図-1 振動ローラ-地盤系のモデル化

モデル化した2質点系の強制振動は一般的に以下の式で表される。

$$m_1 \ddot{x} + k_1(x - y) + c_1(\dot{x} - \dot{y}) = m_1 g \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$m_2 \ddot{y} + R(t) - k_1(x - y) - c_1(\dot{x} - \dot{y}) = m_2 g + F_0 \sin(2\pi f_0 t - \delta) \quad \dots\dots\dots(2)$$

式(2)のδは振動輪と起振機の位相差を表す。またR(t)は振動輪が地盤から受ける地盤反力であり、式(3)のように表される。地盤反力Rが負値をとるときにはk₂ = c₂ = 0とすることにより振動輪が地盤から飛び上がる現象を表現することができる。

$$R(t) = k_2 y + c_2 \dot{y} \quad \dots\dots\dots(3)$$

式(1)～(3)を用いれば地盤反力Rを求めることができるが、その際には振動輪と起振機の位相差δが必要になる。位相差δについては、起振機内にタイミングセンサーを設置して直接求める方法、振動輪に特定の角度を持った加速度ピックアップを2つ取り付けて求める方法²⁾などがある。位相差δが求めれば地盤反力Rと振動輪の変位関係を求めることができる。図2,3にその一例を示す³⁾。

図-2は振動輪の跳躍が無い場合、図-3は振動輪が跳躍する場合を表す。これらの図からグラフの傾きKsを求めることで締固めている地盤の地盤剛性が推定できるとされている。

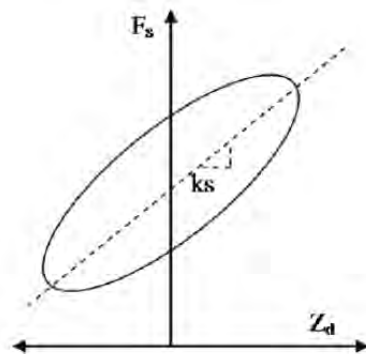


図-2 地盤反力Rと振動輪の変位の関係³⁾
(跳躍が無い場合)

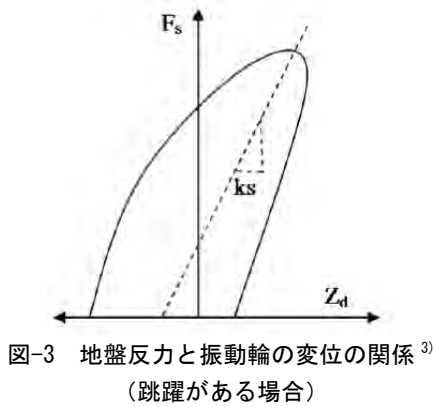


図-3 地盤反力と振動輪の変位の関係³⁾
(跳躍がある場合)

上記の方法では振動輪の加速度のみを計測しフレームの加速度は計測しないのが一般的であるが、フレームの加速度を計測することでより正確に地盤反力 R を評価することができる。その場合、地盤反力を表す式(3)と共に、式(1)と(2)を用いて導いた以下の式(4)も地盤反力 R を評価する式として利用することができる。

$$R(t) = m_1(g - \ddot{x}) + m_2(g - \ddot{y}) + F_0 \sin(2\pi f_0 t - \delta) \dots\dots\dots(4)$$

式(4)においてフレームの加速度 \ddot{x} と、振動輪の加速度 \ddot{y} を計測し、計測値を累積誤差を排除しながら積分することでフレームと振動輪の速度及び変位が求められる。また式(3)と(4)に含まれる振動輪と起振機の位相差 δ についてはフレームと振動輪の加速度を計測し式(3)と(4)式を用いることで推定することが可能になる。

これらの式の妥当性の検証のため、実験用盛土地盤作成し振動ローラでの締固め試験を行った。締固め時の振動ローラの加速度波形と締固め後に IR と小型 FWD 試験機を用いて盛土の地盤情報を取得し、得られたデータから算出された地盤剛性比較した。

3. 現場実験の概要

建設現場の一角に盛土地盤を作成し転圧実験を行った(図-4)。各地盤は、粘性土、礫混じり土および粒度調整碎石の3種類の材料を用い、まき出し厚さは60cmとした。

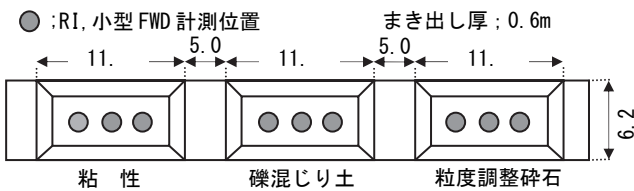


図-4 現場試験地盤と計測位置

図-4に示す計測位置において RI による密度試験と小型 FWD 試験を行った。RI 試験は透過型の計

測器を用いた。盛り土材料の粒土分布を図-5に、材料諸元を表-1に示す。

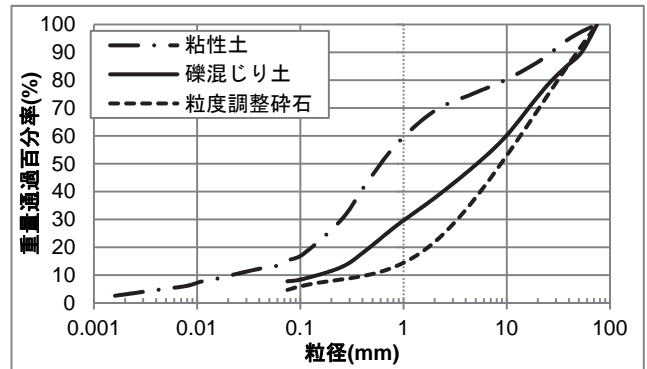


図-5 盛土材料の粒土分布

表-1 盛り土材料諸元

項目	粘性土	礫混じり土	粒度調整碎石
自然含水比 (%)	15.2	4.3	6.4
最適含水比 (%)	13.7	6.8	8.9
均等係数	50.5	70.3	—
曲率係数	2.8	0.8	—
分類名	殺粒分質礫質砂	細粒分混じり砂質礫	—
土粒子密度 (g/cm ³)	2.653	2.652	2.667

表-1 から、本実験では3種類(粘性土、礫混じり土、粒度調整碎石)の土質材料で試験盛り土を造成したが、当初粘性土と評価していた材料は最大粒径が75mmの礫を含む材料であり砂質土と分類される材料であることがわかった(混乱を避けるため以後も粘性土と表記)。粘性土の含水比は15.2%で最適含水比より若干大きい状態であり、礫混じり土および粒度調整碎石は最適含水比よりやや小さい値であった。

表-2 に使用した振動ローラの諸元を示す。振動ローラは酒井重工業製 11t 級 Sv512D-1 を用いた。

表-2 振動ローラの諸元

機種名	SV512D-1 11t 級	
質量 (t)	フレーム (m ₁)	1865
	振動輪 (m ₂)	6350
寸法 (mm)	ロール径/ロール幅	1544/2130
起振力 F ₀ (kN)	Low/High モード	181/260
振動数 f ₀ (Hz)	Low/High モード	33/26

盛土地盤に8回の締固めを行い、走行前、1、4、8回目の締固め終了後に IR と小型 FWD 試験機による計測を行った。締固め時の走行速度はすべて低速度で行い、締固めの振動については、1回目は Low モード、2回目以降は High モードで締固めた。

4. 実験結果及び考察

4.1 IRによる密度試験結果

図-6にIRによる密度計測結果及び締固め実験後に行った各試験盛土の締固め試験から得られた最大乾燥密度を用いて算出した締固め度を示す。図-6より、いずれの試験盛土においても締固め回数が増加するにつれて締固め度が増加しており、粘性土については締固めを行わない時点から締固め度が大きく、締固め1回目で90%以上の締固め度を示している。また礫混じり土と粒土調整碎石は転圧前の締固め度は若干異なるが転圧4回目以降ではほぼ同じ締固め度になっていることがわかる。

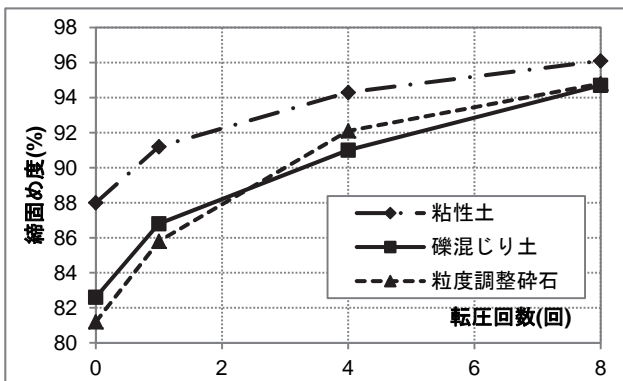


図-6 試験盛り土の転圧回数と締固め度の関係

4.2 小型 FWD 試験による地盤反力係数計測結果

図-7に小型 FWD 試験による地盤反力係数 (K30相当値) の計測結果を示す。

粘性土は、RIによる密度試験結果と異なり転圧回数が増加するにつれて地盤反力係数が低下している。礫混じり土と粒土調整碎石はRIによる密度試験結果と同様に地盤反力係数が増加する結果となった。粘性土については転圧によって盛り土の締固めがあまり進まず、練り返しの状態になっている可能性がある。

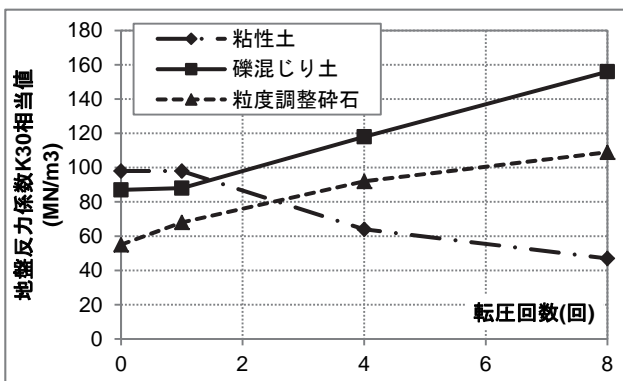


図-7 転圧回数と地盤反力係数 (K30 相当) の関係

4.3 加速度計測値からの地盤反力の算定

振動ローラのフレームと振動輪の加速度計測結果を積分し式(4)を用いて起振機と振動輪の位相差 δ を求めることにより、地盤反力-変位関係が得られる。各試験盛り土での転圧回数による地盤反力-変位関係の変化を図-8~10に示す。各グラフにおいて変位の方向は図-1に示したモデル化と同じく鉛直方向を正方向として描いている。

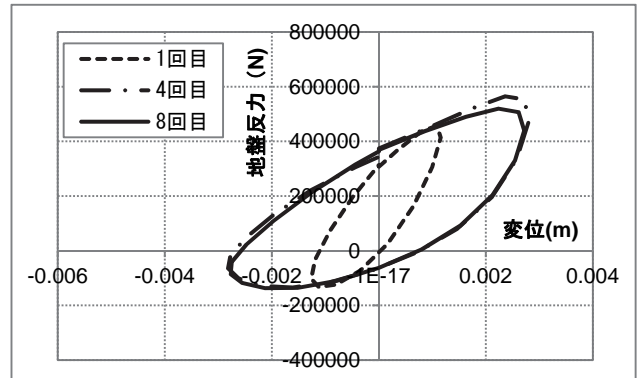


図-8 地盤反力-変位関係 (粘性土)

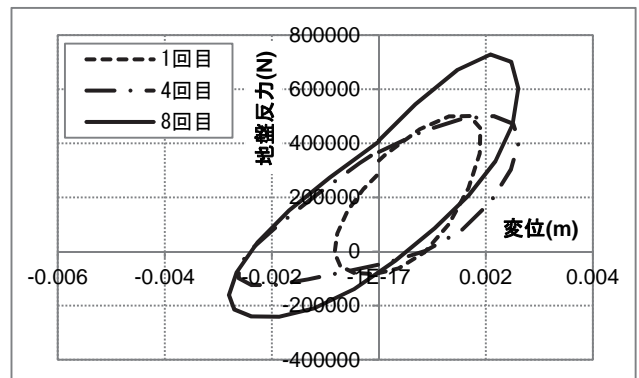


図-9 地盤反力-変位関係 (礫混じり土)

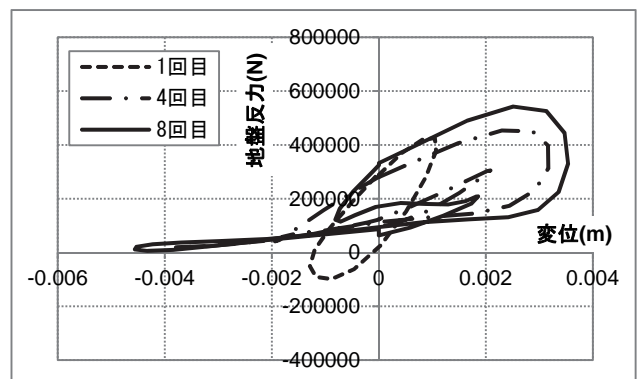


図-10 地盤反力-変位関係 (粒土調整碎石)

図-8~10から各試験盛り土の1回目については振動ローラのLowモードで締固めを行っているため4回目と8回目とは傾向が異なっているのがわかる。また、粘性土の4回目と8回目では小型FWDによる地盤反力係数 (K30相当値) が減少し

ているが、図-8に示す地盤反力-変位関係においてもグラフの面積が減少しその傾向が現れている。逆に礫混じり土及び粒土調整砕石では小型 FWD による地盤反力計測値が増加しているが、図-9, 10に示されているようにグラフの面積が増加しており、この場合もその傾向が示されている。

図-8の粒度調整砕石では4回目以降のグラフを見ると変位のマイナスエリアに直線部分が現れているが、これは地盤反力の増加無しに変位が上方向に増加している事を示し、跳躍状態を表していることがわかる。

地盤反力-変位関係のグラフは地盤剛性値と密接に関係していると思われるが、これらのグラフは地盤と振動輪の相対的な位置関係によって刻々と変化する振動輪の接地面積の影響を含んでいる。地盤反力-変位関係のグラフから地盤剛性を評価するためには、何らかの方法でこの接地面積の影響を考慮する必要がある。

今回は各グラフの地盤反力と変位それぞれの最大値と最小値を結んだ直線を求め、その直線の傾きを各グラフから得られる変位幅から算出した接地面積で除することで地盤剛性を評価することとした。図-11, 12にその原理を示す。

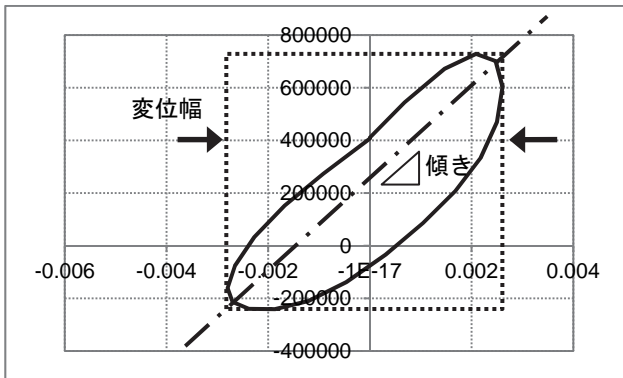


図-11 地盤剛性の評価方法（粘性土：8回目）

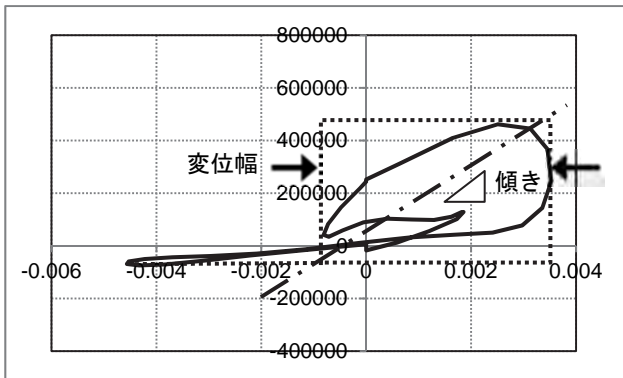


図-12 地盤剛性の評価方法（粒土調整砕石：8回目）

図-12に示すように、振動輪が跳躍している場合の変位については跳躍部分を除いて評価するこ

ととした。このような方法で各試験盛り土での地盤剛性値を算出した。算出した地盤剛性値と小型 FWD を用いて計測した地盤剛性（K30相当値）との比較を図-11に示す。

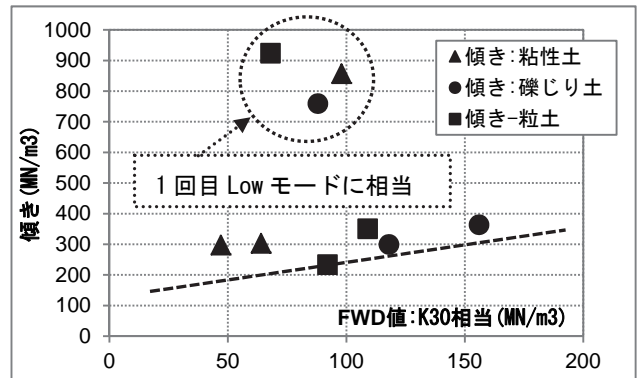


図-13 算出した傾きと地盤剛性（K30相当値）との比較

図-13をみると1回目 Low モード時の傾きを除けば、各地盤反力-変位関係から導いた傾きと、小型 FWD 試験で求めた地盤剛性（K30相当値）は直線関係にあり良い対応を示していることがわかる。

5. まとめと今後の課題

振動ローラのフレームと振動輪に加速度ピックアップを取り付けそれらの振動を計測し、フレームの振動の影響も考慮することで振動輪と起振機の位相差 δ を推定し、地盤反力 R を算定する手法を開発した。開発した手法を検証するため、粘性土、礫混じり土、粒度調整石の試験地盤を作成し、実際に振動ローラで8回の転圧を行い、転圧時のフレームと振動ローラの加速度を計測し、地盤反力-変位関係を導き、変位幅から算出した接地面積を考慮することで得られる傾きの値が、小型 FWD 試験から導かれる地盤剛性（k30相当値）と良い関係があることが確かめられた。

本方法は振動ローラに後付けで設置することが可能であり適用範囲が広いと思われる。今後は本手法の他の地質の地盤での適応性について検証し、現場での適用性の向上につとめる必要がある。

参考文献

- 1) 建山和由：振動ローラの振動挙動計測による土の締固め度評価手法，土と基礎，48(7)，pp.1-4，2000年7月
- 2) NCHRP 21-09. Intelligent soil compaction systems, pp.21-26, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, 2010.
- 3) Anderegg, D.A., and Kaufmann, K., Intelligent compaction with vibratory rollers-feedback control systems in automatic compaction and compaction control, pp.24-134, Transportation Research Record No. 1868, Journal of the Transportation Research Board, 2004.

19. IoT を取入れた次世代無人化施工システムの実現

ー ICT を活用した赤松谷川 11 号床固工工事の無人化施工 ー

株式会社熊谷組 北原 成郎
坂西 孝仁
○ 飛鳥馬 翼

1. はじめに

IoT(Internet of Things = モノのインターネット)とは、日常生活における身の回りのあらゆるモノがインターネットを介して情報をやり取りする能力を備えていくという概念である。1990年代には「ユビキタスコンピューティング」、2010年代前半には「M2M(Machine to Machine)」などと呼ばれ、機械同士の自律的な制御や連携を表す世界観として認知されてきた概念であり¹⁾、今日では、ICT(Information and Communications Technology = 情報通信技術)の発展に伴い、注目を集めている。

近年、土木業界においても IoT 導入への取り組みが行われ始めた。

自然災害の多い日本では、台風や集中豪雨、地震によって生じた土砂災害の復旧、火山の噴火に伴って生じる火砕流や土石流の緊急復旧作業に当たり、2次災害の危険性があることから無人化施工が採用されることが多い。平成23年に発生した東日本大震災や、近年の局地的な豪雨や火山の噴火の増加によって無人化施工は注目されるようになった。平成23年には超長距離遠隔操作実証実験²⁾が行われ、光ファイバケーブルや無線LANを使用することにより、施工箇所から遠隔操作室までの距離の制限がなくなり、オペレータは施工箇所より離れた安全な場所から施工可能となった。

一方で、少子化や若者の建設業界離れを背景として、土木業界において従事者の高齢化、減少による人員不足の問題から、ICTを活用した施工管理の効率化、生産性の向上が図られている。国土交通省が普及推進するCIM(Construction Information Modeling)は、計画から維持管理までを3次元モデルを中心に管理するシステムであるが、施工時のCIMの活用が課題とされている。維持管理をしていく中での施工時の情報は重要視されており、施工過程の情報を可視化し、共有・活用していく必要がある。

当社では、次世代無人化施工としてネットワーク対応型無人化施工に情報化施工、CIMを取入れ

た最新の施工技術の現場への適応を進めている。赤松谷川11号床固工工事(以下、本工事)では高度化する無人化施工に対応するため、この次世代無人化施工技術を総合的に取入れ実施し、平成27年3月に施工を完了した。

多様化する施工工法や利用する装置に柔軟に対応するため、光ファイバケーブルや無線LANを使用したネットワーク対応型の無人化施工システムを構築し、20台の建設機械の運用・施工を実現した。この技術をベースとして現場では、ICTを活用した施工支援システムを構築し、施工過程を可視化したリアルタイムモニタリングシステムを実現した。

本報告では、これまでに例のない大規模次世代無人化施工技術の実工事での成果を報告する。

2. 本工事概要

本工事は水無川砂防基本構想に基づき、雲仙普賢岳からの土石流災害から地域の安全安心な生活を確保することを目的とした砂防施設を建設するものである。本工事施工箇所は土石流や溶岩ドーム崩落が発生する恐れのある警戒区域内であるため、作業員の安全を確保するため、施工は遠隔操作による大型建設機械を駆使した無人化施工で実施した。工事概要を表-1に、工事位置を図-1に示す。

表-1 工事概要

工事名	赤松谷川 11 号床固工工事
発注者	国土交通省 九州地方整備局
工事場所	長崎県南島原市深江町上大野木場地先
工期	平成 24 年 12 月 11 日～平成 27 年 3 月 30 日
主要工事	砂防土工 = 249,199m ³
	作業土工(床掘) = 一式
	RCC コンクリート = 48,592m ³
	無人仮設備工 = 一式
	仮設工 = 一式



図-1 工事位置

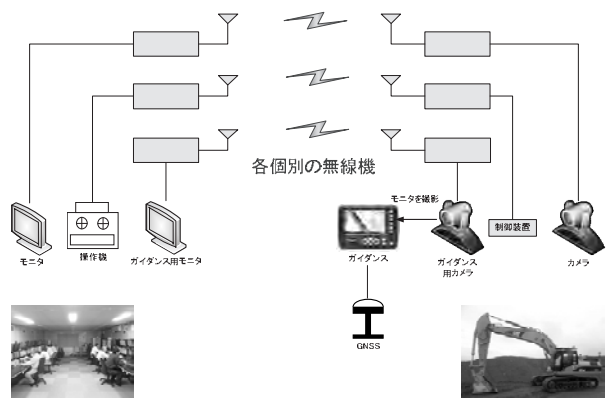


図-2 従来の無人化施工システム

3. 無人化施工の概要

3.1 ネットワーク対応型無人化施工システムの概要

従来の無人化施工のデータ伝送は、特定小電力無線、建設無線といった専用の無線機で伝送を行っていた。そのため、建設機械の操作情報、車載カメラ情報は個別の無線機が必要であった(図-2)。今日では、超長距離遠隔操作実証実験の成果により、IoTを取入れたネットワーク対応型無人化施工システムが主流となり(図-3)、これにより通信手段として光ファイバケーブルや無線LAN等の選択肢が増えた。

無線LANは、現場に適した無線機やアンテナを自由に選定でき、ローミング機能^{※付録1)}があるため、無線基地局を複数用意し長距離無人化施工にも対応できることが挙げられる。また、1つの無線親機で複数の建設機械を遠隔操作可能であるため、本工事のように多くの建設機械を使用する工事においては、無線周波数の干渉回避やコスト削減といった面でも有効なシステムである。

3.2 本工事におけるネットワーク対応型無人化施工システム

建設機械の操作データ、車載カメラデータ、情報化施工データを全てIP(Internet Protocol = インターネット・プロトコル)化して伝送した。遠隔操作室から無線基地局までの400m間は光ファイバケーブルを使用して伝送した。無線基地局から施工箇所までは最大400m程度距離があるため、無線の確実な配信のためクローラダンプをベースとした移動式無線中継局(以下、無線中継局)を設置し、無線親機を無線基地局に4台、無線中継局には3台設置した。無線基地局と無線中継局の間は、指向性は強いが、伝送量も大きく、長距離伝送が可能である、25GHz帯の高速無線アクセスシステムを使用した。無線親機と無線子機には5GHz帯の無線機を使用し、合計20台の建設機械を稼動させた(図-4、図-5、表2)。

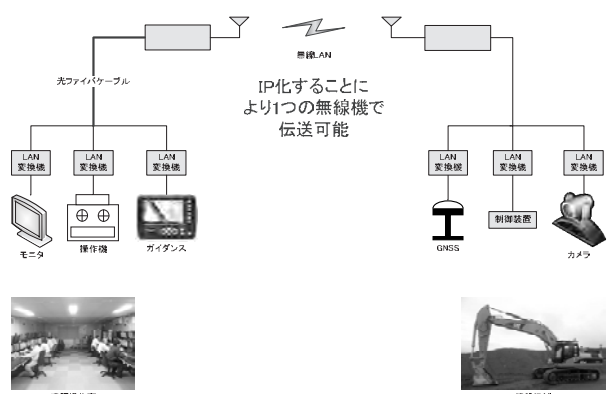


図-3 今日の無人化施工システム

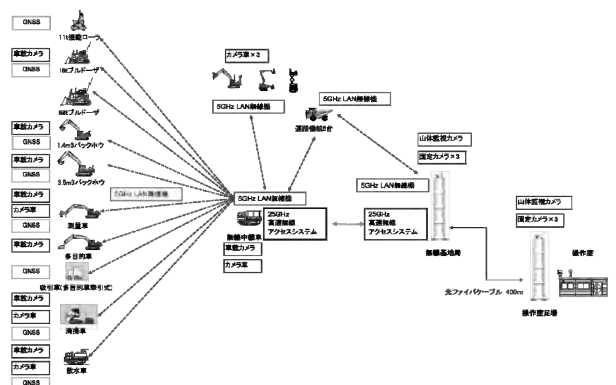


図-4 ネットワーク系統図

複数建設機械を制御するという事は、データの増加分だけ伝送経路に負荷がかかるということであり、無線機のデータ伝送の限界が懸念された。本工事においては初期においては単純な通信接続だけではカメラ画像が乱れるトラブルが頻繁に生じた。そこで、日々の施工時には、稼動している建設機械のデータ伝送量を均すように、無線親機への通信接続を変更した。トラブルが生じた際にはその都度データ伝送量を確認し対処した。その結果、トラブルを少なくして画像データ等を安定して伝送することができた。

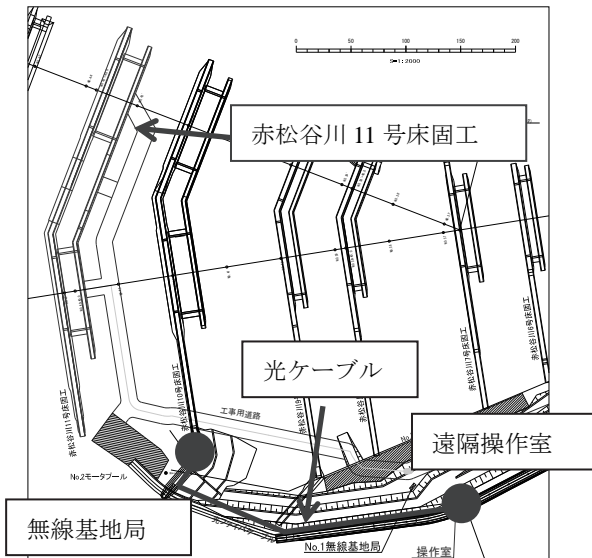


図-5 無人化施工設備平面図

表-2 使用機械一覧

使用機械	用途
16t 級ブルドーザ	コンクリート敷均し
68t 級ブルドーザ	土砂掘削・敷均し
0.45m ³ バックホウ	測量車
0.8m ³ 級バックホウ	多目的車
1.4m ³ 級バックホウ	施工盛土・土砂整形
1.4m ³ 級バックホウ	コンクリートはつり
3.5m ³ 級バックホウ	土砂掘削
45t 積ダンプトラック×3	土砂運搬
36t 積ダンプトラック×2	コンクリート運搬
11t 級振動ローラ	コンクリート締固め
0.45m ³ 級トラックローダ	コンクリート打継面清掃
10t 積クローラダンプ	散水車
10t 積クローラダンプ	移動無線中継車
路面清掃車	コンクリート打継面 レイタンス吸引
0.45m ³ 級バックホウ	カメラ車
9.9m 級高所作業車	カメラ車
6m 級高所作業車	カメラ車

4. 情報化施工の概要

警戒区域内においては人の立入りが禁じられているため、施工管理も無人化施工で行う必要があり、本工事では無人化施工の支援を行うツールとして情報化施工を取入れた。

4.1 MG・MC

バックホウとブルドーザには測量作業不要で掘削・敷均し施工が可能となる、GNSS を活用した MG(Machine Guidance = マシンガイダンス)と MC(Machine Control = マシンコントロール)を導入した。特に MC は自動的にブルドーザの排土板が動作するため、オペレータは前後進操作のみで設計の高さに敷均すことが可能となり、RCC コンクリート※付録 2)の出来形向上へと繋がった。



図-6 MG 施工状況

MG・MC は、通常は建設機械の運転席で使用されるシステムであるが、当社ではネットワーク対応型無人化施工システムに適用するために、MG・MC の制御モニタ装置だけを操作室へ設置することに成功した(図-6)。MG・MC には CAN(Controller Area Network) ※付録 3)が使用されており、CAN を LAN へ変換することによって制御モニタ装置だけを建設機械から切り離して操作室へ設置し、本工事のネットワークへ適用させることができた。これにより、建設機械の運転席で行わなければならないなかった MG・MC の操作が、操作室からいつでも操作可能となった。

4.2 無人測量システム

測量には無人測量システムを導入した。測量装置本体はバックホウのアタッチメントとして使用した。計測装置には GNSS 受信機を搭載し、その真下部に測量位置を確認するカメラ、測量高さを計測する距離センサ、測量した箇所の位置出しを行うマーキング装置を搭載している(図-7、図-8)。これらを使用することで、無人化施工にて出来形管理を実施した。



図-7 測量装置



図-8 スプレーマーキング操作画面

4.3 締固め管理システム

振動ローラには GNSS を活用した締固め管理システム(SiteCompactor)を導入した。GNSS により車両位置を高精度に測位することで、転圧工事をリアルタイムに管理することが可能である。RCC 工法^{※付録 2)}では工法規定として振動ローラで10回締固めることが定められており、このシステムを使用することにより、転圧不足や過転圧を防止することができ、RCC コンクリートの品質向上へと繋がった。さらに、本工事よりローラ部に加速度計を搭載し(図-9)、CCV(Compaction Control Value = 加速度応答値)を締固め指標として相対的な締固め状況を管理した(図-10)。

5. CIMの概要

CIMとは、調査から維持管理までを3次元モデルを軸に管理するシステムである。現場においては施工部分が当てはまり、着工前・施工中・完了時に分けることができる(図-11)。

5.1 着工前

航空測量から現況の3次元モデル、設計図面から掘削面や構造物の3次元モデルを作成した。3次元モデルにより任意の側線での断面表示が可能となり、現況と設計図面とを照合することにより工事数量の算出をした(図-12)。設計図面の3次元モデルは先に記述した情報化施工での施工図面として展開した。

5.2 施工中

CIIM(Civil Infrastructure Information Management)という計画から設計、施工、維持・管理までの情報共有・活用することを目的に提唱された概念³⁾を使用して、当社ではIoTを取入れることによって施工管理におけるシステムを構築した。

各建設機械に計測機器として加速度計、GNSS受信機、ICタグを搭載し、ICTを活用して情報の取得を行うことで、施工過程の情報を可視化

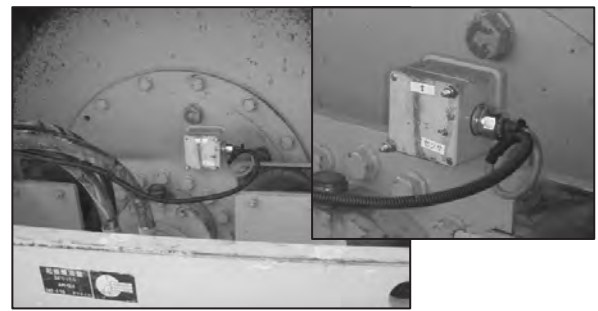


図-9 加速度計取付状況



図-10 CCV管理

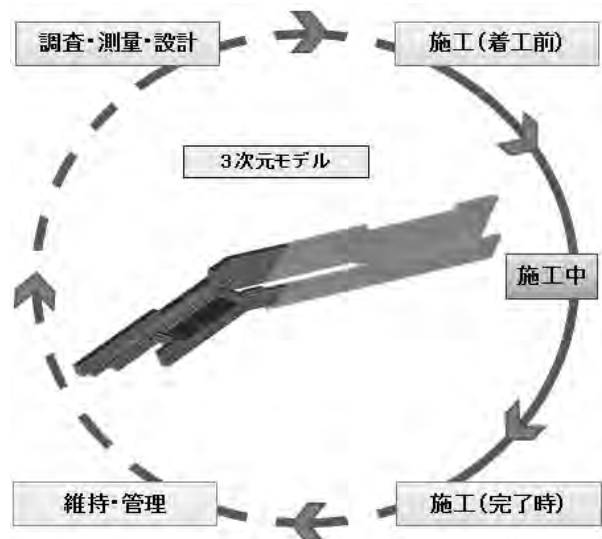


図-11 CIM概念図

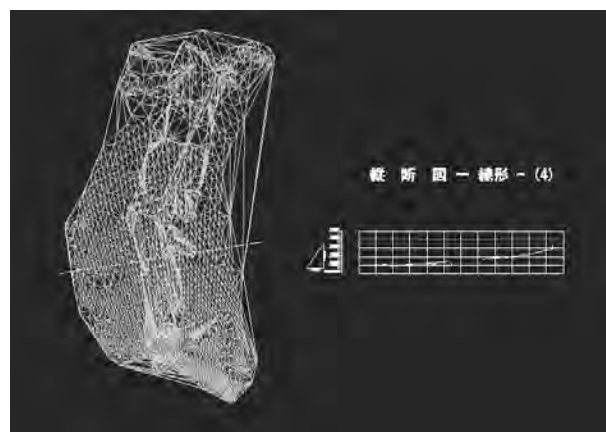


図-12 現況、設計との照合及び断面表示

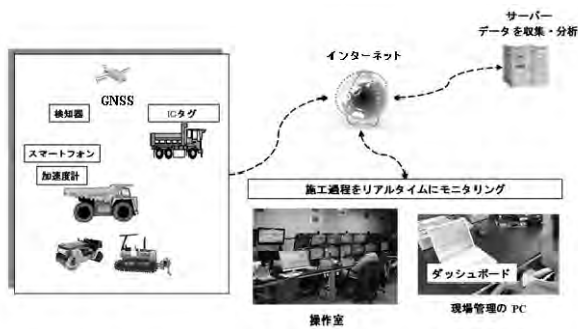


図-13 CIIMシステムの構成イメージ

し、リアルタイムで一元管理し、情報の共有・活用を可能にするシステムを構築した(図-13)。ICTとしてインターネット、サーバを使用して情報の収集・分析を行うことから、インターネット環境が整備されている場所であれば、施工情報をリアルタイムで把握することを可能にした。このシステムを使用することにより、現場と本社・支店や発注者とのリアルタイムによる施工情報の共有が可能である。

5.2.1 土工事の運行管理システム

ダンプトラックにGNSS受信機を搭載していることから、積み込み場所から荷卸し場所までを1台1台管理することができる。どの場所からの位置にどれだけの土量が荷卸しされたかの詳細なデータも集約しており、測量作業することなくトレーサビリティを定量的かつ明確にすることを可能にした(図-14、図-15)。また、その情報をリアルタイムで得られることから、進捗状況に合わせた指示や施工条件の相違による土運搬量の評価をした。

5.2.2 RCCコンクリート打設管理システム

現場とコンクリート工場間をコンクリート運搬するダンプトラックに搭載したICタグと現場及びコンクリート工場に設置された受信機により、リアルタイムで進捗状況を把握すると共に、コンクリートの練混ぜ開始から締固め完了までの時間管理(トレーサビリティ)を行うことで品質管理を行った(図-16)。このシステムにより、設計図書では4時間以内にコンクリート打設を完了しなければならないところ、このシステムにより3.5時間以内でのコンクリート打設を可能にした。

5.2.3 安全管理システム

加速度計を使用しての工事用道路の評価をしたハザードマップの導入を行い、安全管理の向上を図った。ハザードマップを図-18に示す。xyzの3軸の加速度を解析することで、縦滑り、横滑り、不陸のハザードを検出する。この数値は道路の損傷の状態を表しており、同じ場所に連続して発生することにより道路補修の時期を示す1つの指標となった。特に無人化施工におい

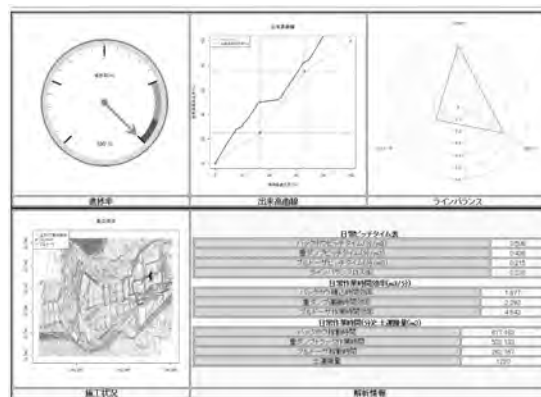


図-14 土工事の運行管理システム

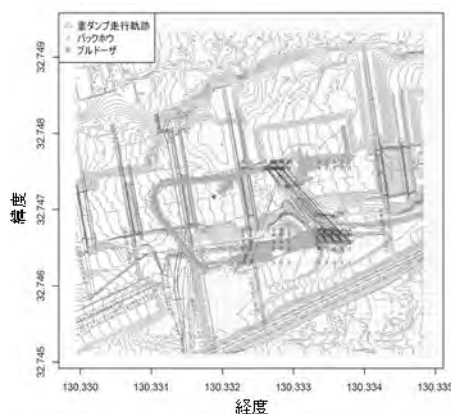


図-15 各建設機械の走行軌跡、土量

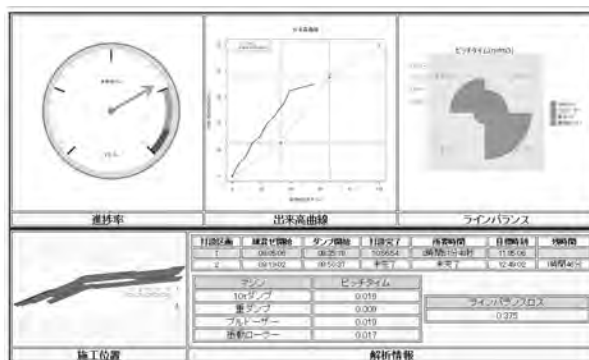


図-16 RCCコンクリート打設管理システム

ては、カメラ画像では工事用道路の状態を把握することが困難なため、危険である箇所をリアルタイムに把握しながら建設機械を操作できることは、オペレータ支援として非常に有効であった。

5.3 完了時

既存ソフトを使用し、構造物の3次元モデルに品質・出来形・写真等の施工データを集約することで、データの一元管理を行った。3次元モデルの打設ブロックをクリックすることで、施工管理記録を瞬時に表示することができ、工事完了後のデータ維持管理を容易にできる(図-19、図-20)。また、竣工図書として発注者に提出することにより書類の削減にもなる。

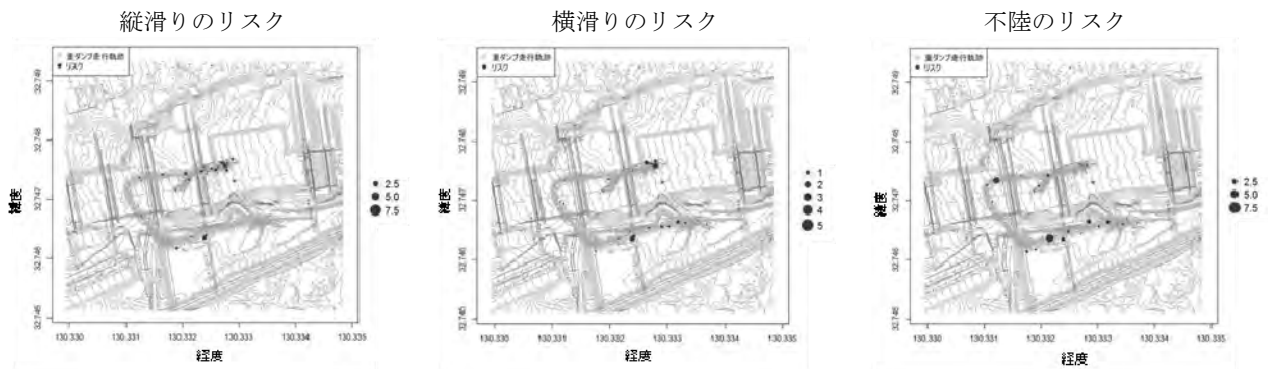


図-18 ハザードマップ

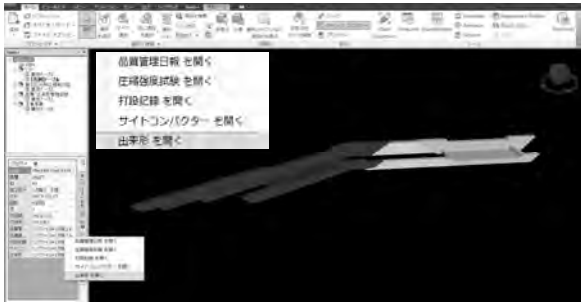


図-19 構造物3次元モデル

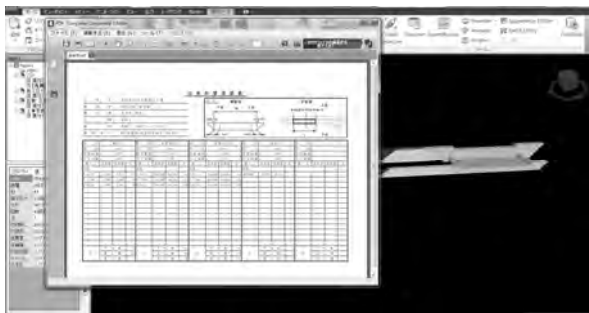


図-20 出来形管理データの呼出し

6. 本工事の成果のまとめ

IoT を取入れたことによる本工事の成果を以下に示す。

- ・無線 LAN を計画的に使用することにより、20 台の建設機械を運用した。
- ・情報化施工を取入れることにより、オペレータの施工支援となり、品質向上にも繋がった。
- ・MG・MC において、CAN を本工事のネットワークに適用させることにより、制御モニタ装置を操作室へ設置させることができ、施工性の向上へ繋がった。
- ・3次元モデルを作成することにより、計画・施工管理・工事記録を容易にした。
- ・3次元モデルへ工事記録を集約することで、竣工検査時の説明を容易にし、書類の削減にも繋がった。
- ・各種計測機器を建設機械に搭載することにより、インターネット上からリアルタイムに施工管理を行うことを可能にした。
- ・土工事では運行管理と土運搬量を、測量作業

をすることなくトレーサビリティを明確にした。

- ・コンクリート打設管理では、設計図書では 4 時間以内に打設完了すればいいところ、3.5 時間以内での打設精度による品質管理を行った。
- ・ハザードマップを導入することにより、建設機械の故障を未然に防ぎ、無人化施工におけるオペレータの施工支援に貢献した。

多様化する工法や装置、無人化施工の精度向上、施工管理の効率化に対応するために IoT を取入れることは非常に有効であり、当社における次世代無人化施工システムを確立した。

6. おわりに

本工事では、IoT を取入れることにより、2 年以上にも渡る大規模無人化施工工事を安全かつ精度よく工事を完了することができた。

益々 ICT が発展していく中で、本報告での成果が多種多様な工事へ適用されるように、現場支援や技術開発をしていく所存である。

最後に、本工事の施工においてご指導いただいた国土交通省九州地方整備局雲仙復興事務所の方々を始め、関係者各位に深く謝意を表す。

付録

- 1) 無線子機が移動した時に接続する無線親機を自動的に切替える機能
- 2) RCC(Roller Compacted Concrete)工法で使用される固練りのコンクリート。RCC工法とはRCCコンクリートをダンプトラックで運搬、ブルドーザで敷均し、振動ローラで転圧して締固める工法である。
- 3) 車両などの装置の通信として利用される双方向のネットワーク

参考文献

- 1) 國塚篤郎：モノのインターネットによる建設現場の施工支援，建設機械施工，Vol.67・No.5，pp.46～49，2015
- 2) 新田恭士・松尾修・北原成郎・黒田昇・田村圭司・下田孝徳：超長距離無人化施工技術の適用性に関する考察，第13回ロボットシンポジウム，2012
- 3) 佐藤直良・矢吹信喜：対談「CIMの歴史と可能性」，土木学会誌，Vol100・No.6，pp.10～13，2015

20. 観測測位データのカルマンフィルタ処理による法面適応評価

－ 設楽原 PA における GPS 測位データ処理の事例 －

大成建設株式会社 技術センター ○近藤 高弘

1. はじめに

広域で橋やトンネル等の構造物の変位や、災害地域の地表面の変位等をモニタリング監視する事は防災対策として有意義である。

一般に変位・変形を測定する手段として、層別式沈下計・多段式傾斜計・挿入式傾斜計・トータルステーション等を用いた測定が実施されてきた。

これらの測定機器は測定対象にセンサを設置しその後配線や電力供給を行い、データ収集装置など大掛かりな装置を必要とする。またはトータルステーションのように見通しが必要であったりして、システムへの電力供給およびデータ収集に問題があり簡易に測定できない場合が多い。

広域を無線センサでかつ自立給電できるシステムで、観測器設置のために特別な工事を行わずに設置し測定できるワイヤレスセンサシステムが望まれる。

簡易に設置できる変位計測手段としてGPSの利用が考えられる。

GPSを用いて連続測位観測すると、受信時の衛星配置の変化等の影響を受けて安定した測位データを取得する事が困難である。

本報告は太陽光発電による自立給電を用いたGPS無線センサによる変位観測データを予測型フィルタ(カルマンフィルタ)を用いた変位計測の実施事例を紹介する。

2. 観測対象と観測機器

新東名高速道路設楽原パーキングエリア工事において、標高差約90m(13段)の長大切土の施工にあたり動態観測の対象とした。この切土斜面の地質はマサ状に風化した石英閃緑岩からなり、路線にやや斜交する数条のリニアメントや低速帯が認められることから工事中および長期的な切土の安定性が懸念されていた。

そこで施工に伴う切土前後における法面挙動を監視するため地表面と地中の動態観測を行う事とした。以下に測定項目と観測機器を示す。

- ・自動追尾トータルステーションによる地表面変位測定30箇所(1時間毎の自動測定)
- ・パイプ歪計1箇所・挿入式傾斜計6箇所による地中変位測定(2週間に1度の手動測定)

これらの観測機器は現場法面監視の機器として採用された。

本報告の検証事例として正式に採用された観測機器とは別に新たに開発したGPS無線センサを3箇所設置(1時間毎の自動測定)しその有効性の確認を行った。

観測機器の配置を図-1に示す。

GPS無線センサは1周波のGPS受信機(GT8032)を採用し、アンテナは一般カーナビに用いられているパッチアンテナ(au-15)を採用、(無線モジュール(MU-1 1252MHz)とマイクロコントローラ(PIC16F877A)により制御されている。電力供給はソーラパネルにより自立給電されノーメンテナンスで観測測位が可能である。

基地局のGPS受信データとGPS無線センサで毎時5分間連続のGPS受信データを基地局に転送し干渉測位を行った。

法面切土施工は上段部の13段目より下段に向け施工を実施。

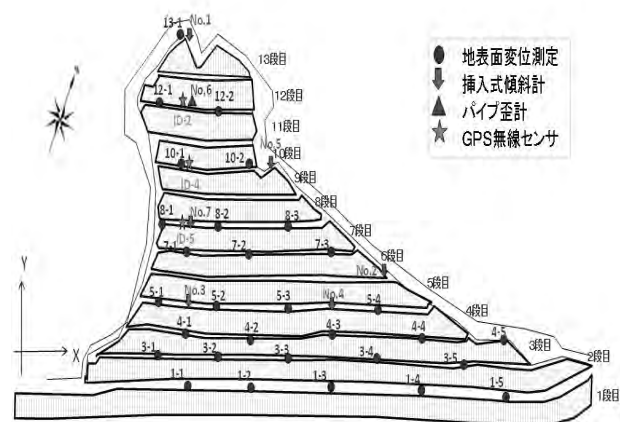


図-1 法面の動態監視計測機器の配置



写真-1 法面の動態監視計測機器の状況

3. GPS無線センサシステムの概要

GPS無線センサシステムはGPS無線センサ本体とその測位データを伝送する無線中継機から構成されている。

各装置への電力供給システムは、太陽光発電（ソーラパネル）による発電とバッテリー充電、および無線センサ機器の電力を制御するコントローラで構成されている。図-2に電力供給システムの概要を示す。

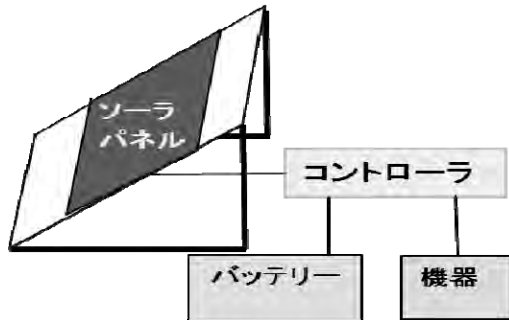


図-2 電力供給システム

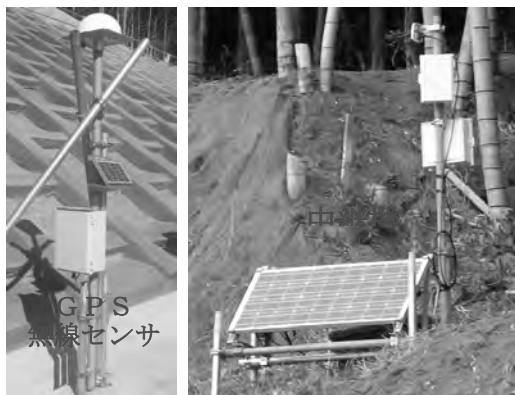


写真-3 GPS無線センサと中継機の設置状況

写真-3にGPS無線センサおよび中継機の設置状況を示す。ソーラパネル・バッテリー・機器の

消費電力（電圧・電流）を約1年間モニターし、有効な太陽光発電の試算を行った。また、情報伝達の中継機に関しては通信状況およびノード間の通信遮断等に対応できる自律式ルーティングのネットワーク試験を行った。図-3に示す様に現状のネットワークに何らかの障害が発生した場合、自律的にネットワーク構成を変更することが可能なシステムである。

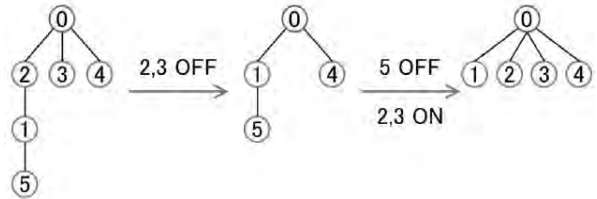


図-3 無線中継機の自律ルーティングイメージ

太陽光発電を用いた自立給電システムは、ソーラパネルの発電量とバッテリー容量の最適選定の問題がある。ソーラパネル設置角の選定として冬至の太陽高度 $=90^\circ - (\text{設置緯度}) - 23.5^\circ$ を南中最高高度としてパネル面に垂直に太陽光が当たる角度で設置した。冬至におけるソーラパネルの発電電力量を測定し、図-4のグラフを得た。この結果を基に、図-5にソーラパネル発電電力量とバッテリー充電時間の関係を示す。グラフに示す機器1日当たり消費電力とパネルの発電容量の違いによる充電時間の関係から、機器毎に最適なソーラパネルの組合せをシミュレーションできる。

例えば、消費電力2.03whの機器では、ソーラパネル40whを組合せると日の出から約3時間で夜間消費した電力をバッテリー充電できることがわかる。また、発電量の日変化を1年間通じて観察した結果、バッテリー容量は約3日分の消費電力容量があれば十分であることが確認できた。

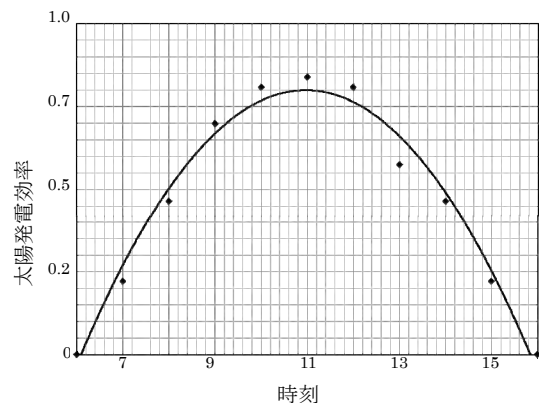


図-4 冬至における太陽発電量の日変化

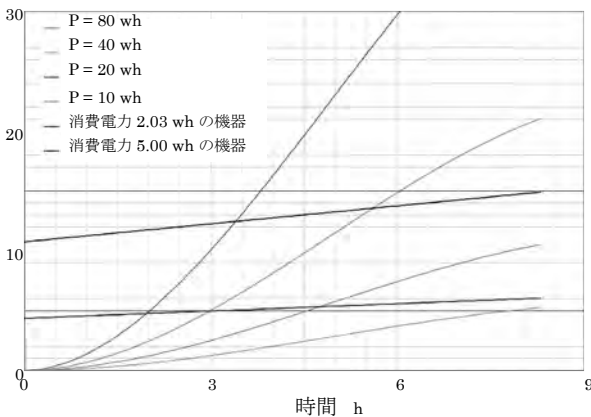


図-5 ソーラパネル発電電力量と充電時間

3. GPS無線センサの変位観測解析手法

GPS無線センサシステムは、GPS干渉測位方式を採用した計測システムである。純静的な変位を対象とした。日々の変位量は数mm以下と極めて小さいものとし、短時間の観測データを精度よく変位を推定する解析手法を用いた。

GPS衛星kから送信された電波を受信機iで時刻tに受信した場合の搬送波の位相を $\phi_i^k(t)$ とする。

対流圏遅延や電離層遅延のノイズを無視すると、搬送波位相の二重差 $\phi_{ij}^{kl}(t)$ は以下式になる。

$$\phi_{ij}^{kl}(t) = \rho_{ij}^{kl}(X, t) + \lambda N_{ij}^{kl} + \Delta_{ij}^{kl}(t) + \varepsilon_{ij}^{kl}(t) \quad \text{--- (1)}$$

ここで ϕ_{ij}^{kl} の二重差は以下のように計算される

$$\phi_{ij}^{kl} = \phi_i^k - \phi_j^k - (\phi_i^l - \phi_j^l) \quad \text{---- (2)}$$

$\rho_{ij}^{kl}(X, t)$ は衛星と受信機間の真の距離の二重差

N_{ij}^{kl} は整数値バイアスの二重差

$\Delta_{ij}^{kl}(t)$ はアンテナ誤差の二重差

$\varepsilon_{ij}^{kl}(t)$ は種々のノイズの二重差

λ はL1帯の搬送の波長である。

静的な変位モニタリングを想定し、受信機の初期位置を何らかの方法で決めれば、その後の位置は数cm精度で把握できる。

その場合、(1)式の右辺の整数値バイアスの二重差は既知とすることが可能となる。

ここで受信機の初期位置を X_0 、ある時刻にお

ける変位を ΔX 、その時の受信機の位置を X とすると(3)式を得る。

$$X = X_0 + \Delta X \quad \text{--- (3)}$$

これを式(1)の $\rho_{ij}^{kl}(X, t)$ に代入し、 ΔX について線形化した後に計算可能な量を左辺へ移項する。

$$\begin{aligned} & \phi_{ij}^{kl}(t) - \rho_{ij}^{kl}(X_0, t) \\ &= \frac{\partial \rho_{ij}^{kl}}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial \rho_{ij}^{kl}}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial \rho_{ij}^{kl}}{\partial z} \Delta z + \varepsilon_{ij}^{kl}(t) \quad \text{--- (4)} \end{aligned}$$

幾つかの衛星について(4)式を取得し、これを解けば変位ベクトル $\Delta X = (\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ を推定する事ができる。

4. 観測データの改善方法の検討

GPS無線センサの干渉測位解析手法により観測結果の大幅な改善が認められた。

実際に定時的に観測すると、観測時刻による衛星の配置の違いなどから観測結果に変動が発生する。その改善方法として観測データの平滑化を以下の条件で検討した。

- ・変位は緩慢に変化して発生する。
 - ・急激な変位(段差)は発生しない。
- 以上の条件での有効な平滑化を検討。

一般的に考えられる平滑手法として移動平均法がある。移動平均による平滑化は現在値から過去のある時点までの値を平均化し処理する方法である。そのため平滑化した時点で過去からの結果に大きく影響を受けることになる。

信頼ある改善処理として、カルマンフィルタ処理がある。カルマンフィルタは、系統誤差とシステム誤差の分散量を過去の測定値からバイズ推定し現在値を推定する方法である。

一見この2つの処理は同じ結果を齎すかのイメージを与えるが、移動平均は過去の観測値のみで結果を得る方法である。それに対してカルマンフィルタは観測値の誤差分散を推定して確からしい値を得る方法である。

- ・単純に過去の観測値を平均化処理する方法(移動平均)
- ・観測値の誤差分散を推定処理する方法(カルマンフィルタ)

カルマンフィルタの有効性を移動平均処理との比較でシミュレーションする。

比較データは、三次関数を真値とし真値の中心に乱数を発生しその値を観測値として処理する。

- ・関数(三次関数)により真値を定義する。(この

値を仮の真値とする)

- ・真値を中心に±30mmの幅で乱数を分散発生させ、これを観測値として取り扱う。
- ・カルマン処理後の波形比較がほぼ同じになるように移動平均処理は過去50データの処理とした。

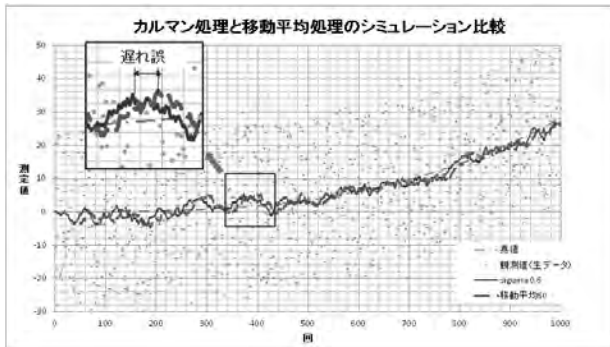


図-6 移動平均処理とカルマン処理の比較結果

図-6にシミュレーション結果を示す。カルマンフィルタは、誤差はあるが真値の変化に即応した計測値を示している。それに対し移動平均処理では、真値と現在値との遅れが発生する。

当然ながら移動平均量を大きくすればさらに遅れは大きくなる。

以上の結果よりカルマンフィルタの適応を考える。

5. カルマンフィルタの概要

カルマンフィルタは1960年代米国で宇宙開発における人工衛星の軌道推定に成功し広く知れわたるようになった。現在では観測値をカルマンフィルタ処理することで広く応用され普及している。

その多くが観測値の誤差分散の大きな観測データを確率推定する事で信頼性と安定性を確保するものである。

カルマンフィルタは確率的な枠組みで状態推定を検討する手法である。状態とはある時刻における信号に含まれる不確定な要素（ノイズ）を除いた量を指す。

ある時刻においてノイズ（雑音）の混入した時系列信号を観測した時、その背景にある量を、その時刻における測定可能な観測信号（ $y_i, i = 1, 2, \dots, k$ ）と時系列の状態空間モデルを用いて推定することがカルマンフィルタの目的である。

カルマンフィルタは以下の状態方程式と観測方程式から定義される。

$$x_{k+1} = Fx_k + Gw_k \quad \text{-----状態方程式}$$

$$y_k = Hx_k + v_k \quad \text{-----観測方程式}$$

上式の状態空間モデルを図-7に示す。

x_k は n 次元状態ベクトルで、 F は $n \times n$ 行列、 G, H は n 次元列ベクトルである。 w_k は平均値0、分散 σ_w^2 の正規分布の白色雑音として、システム雑音と呼ばれる。 v_k は平均値0、分散 σ_v^2 の正規分布の白色雑音として、観測雑音と呼ばれる。 w_k, v_k は互いに独立であると仮定する。また G, H, F の確率変数ベクトルは既知であると仮定する。以上の条件で状態空間モデルを設定した。

以上のモデルから、設定されたシステム雑音および観測雑音と観測結果 y_k の値から x_k を推定するものである。

カルマンフィルタは観測信号から状態を推定するため移動平均処理の様な現在値の遅れは発生しない。また明らかに観測値が推定結果と大きく異なっている場合にも、観測値の結果が大きく変動する事は無く誤差の推定範囲内として処理される。

カルマンフィルタは観測雑音の設定を適正に選択する事で目的の安定性を得る事ができる。この観測雑音の設定値の大きさでどれだけ深く過去の測定結果を参照し推定を行うかが決定される。

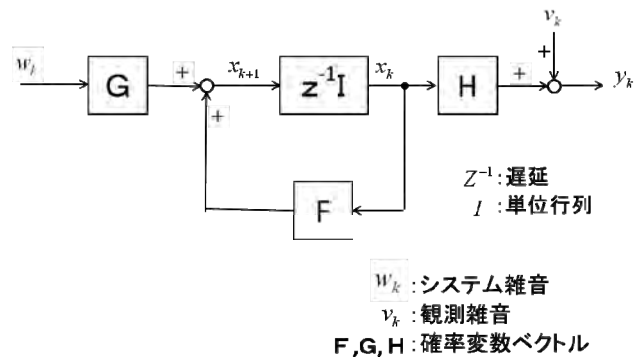


図-7 カルマンフィルタの状態空間モデル

6. 観測法面の変位計測結果

新東名高速道路設楽原パーキングエリア工事における法面切土施工で当初懸念された安定性において、現場法面動態観測の結果以下の変位を観測する事ができた。

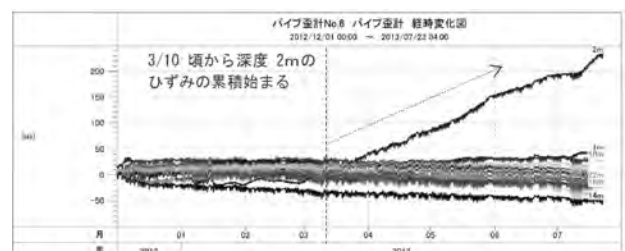


図-8 No.6 のパイプ歪計の計測値の変化

図-8に示すように3月上旬に切土掘削作業による影響と考えられる、No.6のパイプひずみ計の深度2m付近で微量な累積ひずみを検知。その後6月上旬には図-9に示すNo.7の挿入式傾斜計の測定結果から初期の明らかな動きの兆候として累積合成変位5mm程度を観測した。さらに7月上旬には図-10に示す地表面変位計測として観測点8-1でX方向に数mmの変位を観測した。同様の時期にNo.7の挿入式傾斜計では深度15～16.5m付近で明瞭なせん断変位が現れ最大変位速度は0.33mm/日を示した。7月中旬に5段目切土面に大きく変位が発生した。No.7の累積合成変位量は10.6mmを観測した。

同様に地表面変位計測の観測点8-1は最大12mm程度の変位量を観測した。

その後、押さえ盛土の施工を行い8月下旬以降は変位の収束を確認した。

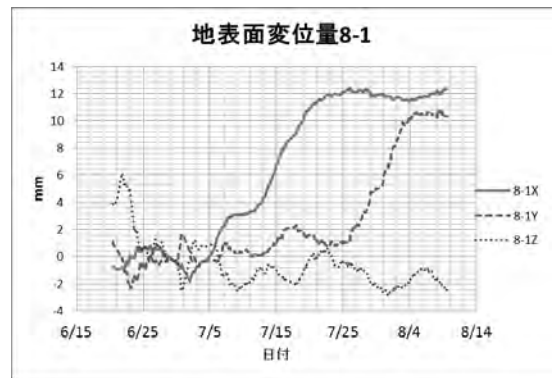


図-10 測点 8-1 の地表面変位量

7. GPS測位データのカルマンフィルタ適応

法面計測機器配置図 (図-1) にあるように、GPS無線センサ (ID-5) と地表面変位計測 (8-1) および挿入式傾斜計No.7とがほぼ同一箇所であり、各観測値の比較対応が可能となった。写真-1に示す。



写真-4 法面の動態監視計測機器の配置状況

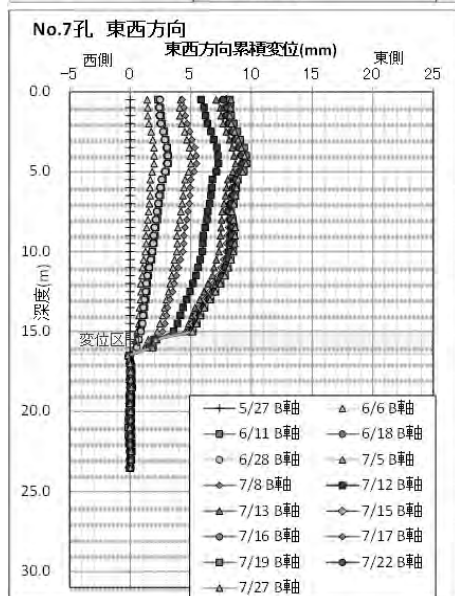
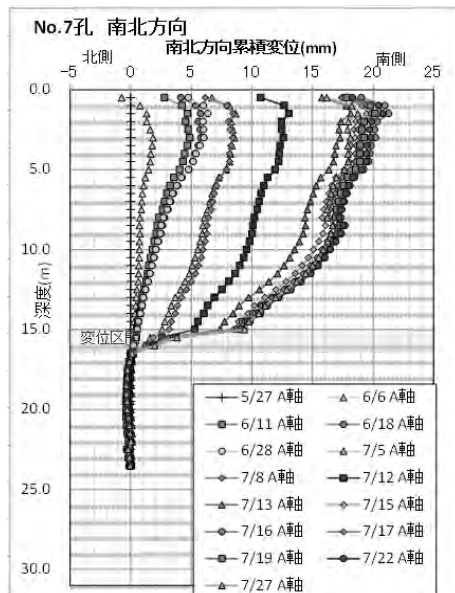


図-9 No.7 傾斜計の累積変位量

観測法面の変位計測結果からNo.7の傾斜計と8-1の地表面変位観測結果は同様な結果を得る事ができた。対してGPS無線センサでの観測結果は従来予想された様に測位観測時の衛星配列の違いや、衛星仰角の違いによる差異から大きなバラつきが観測された。図-11に観測点ID-5のGPS測位結果を示す。



図-11 GPS 測位結果

このバラつきのある測位データをカルマンフィルタ処理を行い地表面変位と比較した。図-12にGPS測位値とフィルタ処理結果およびTSによる地表面変位監視結果の比較を示す。バラつきのあるGPS測位値にカルマンフィルタ処理を行う事で安定値が得られている事が確認できる。

GPS測位結果の三次元座標値は南北方向がY軸方向、東西方向がX軸方向となる。しかし現場のX軸方向は法面に平行にX軸を設定しているため、本結果のY軸とは20度程度傾きがあり測位データに20度の回転補正を行い比較した。

従来のGPS測位データでは観測値のバラつきが大きく全体的な傾向を把握する事は出来ても動態観測には不向きであった。しかし本手法を用いる事で、動態観測の利用が可能になった。また、通常TS等の観測では見通し範囲内で観測されるが、GPS測位では見通しできない広い範囲の観測が可能となる。

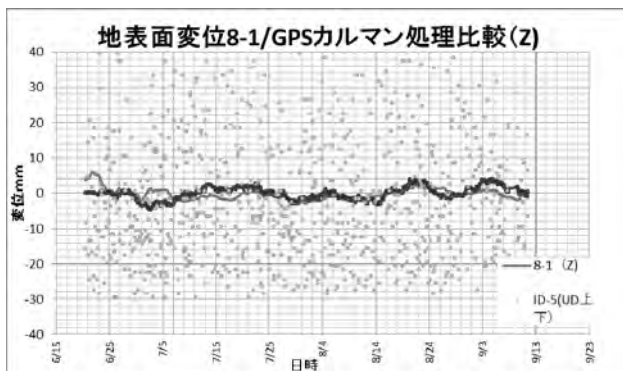
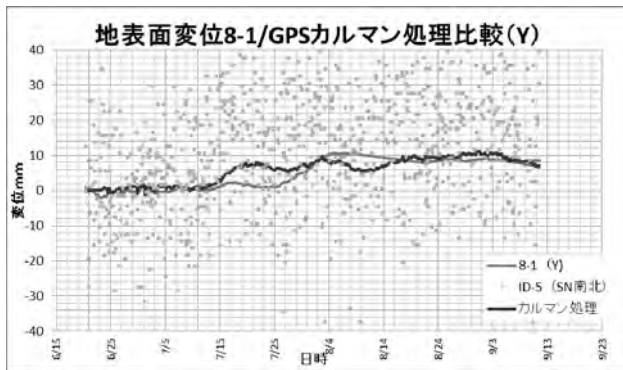
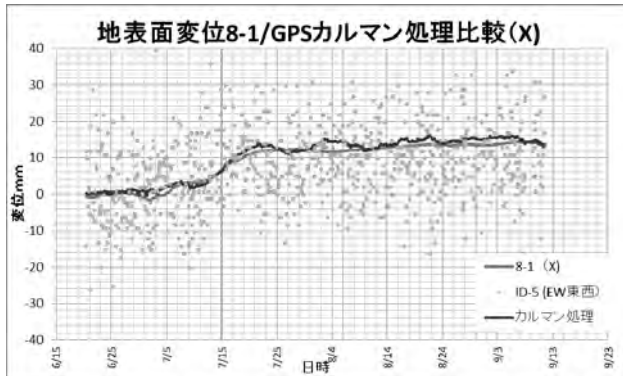


図-12 地表面変位・GPS・カルマン処理の比較結果

8. おわりに

本手法により、観測値を確率的に状態推定を行うカルマンフィルタを用いる事で観測値の安定性と信頼性を確保しより実用に向けた手法として検証する事ができた。

今後はこの手法を他の計測値へ応用する事で、より信頼性を向上できるものとする。

しかしこれらの平滑化処理の問題点として観測結果に急激な異常値が発生した場合を推定する事は次の重要な研究テーマであると考えている。

近年では大型プロジェクトの施工に伴い、観測データの大量化が進みそれらの扱いにも何らかの確率的なフィルタリング手法の必要性を強く感じている。

次世代の計測手法として、単に測定する時代から測定値に含まれる真値とノイズを含め、どのように理解し表現するか、この事が非常に重要であると考えます。

参考文献

- 1) 佐伯昌之, 澤田菜伊, 志波由紀夫, 小國健二: 準静的変位モニタリングのためのGPS無線センサネットワーク, 土木学会論文集A2 (応用力学), Vol. 67, No. 1, 25-38, 2011.
- 2) 新見孝之, 近藤高弘, 志波由紀夫: 太陽光発電による自律式ネットローティングの開発, 日本建設機械施工協会, 平成25年度, 建設施工と建設機械シンポジウム, pp82-86, 2013
- 3) 近藤高弘, 川手伸哉: 観測測位データのカルマンフィルタ処理による適応評価, 土木学会第70回年次技術講演会, IV-073, 2015

21. 狭小敷地における特殊運搬台車による大型 PC 床版の取付工事

東急建設株式会社

○ 大峰 秀之
西尾 仁
渡邊 高朗

1. はじめに

川崎市内の区役所庁舎改築工事において、全長約 15m、重量約 153kN の大型 PC 床版の設置工事を、2014 年 5 月から 9 月に掛けて実施した。本工事場所は住宅街に位置し、隣接する旧庁舎を使用しながら新庁舎を建て替えるため敷地に余裕がなく、PC 床版の搬入も制約が大きい。最大の懸案事項は PC 床版の揚重であった。大型の定置式クレーンを設置する場所はなく、クローラクレーンではすべての範囲をカバーすることは困難であった。そこで当社が保有する特殊運搬台車を活用し、大型 PC 床版の設置工事を実施することとした。

当社では大型 PC 床版設置工事の安全と省力化向上をめざし 2008 年から PC 床版運搬取付装置の開発を進め、現場導入を実施している。本装置は PC 床版を把持しながら走行させ、昇降する機能を搭載し、PC 床版を任意の位置に設置が可能なものである。本論文では本装置の採用経緯、装置の仕様、実施工の結果について報告を行う。写真-1 に装置全景を示す。



写真-1 装置全景

表-1 に建物概要を、図-1 に完成予想図を示す。

表-1 建物概要

工事場所	: 神奈川県川崎市
建物用途	: 区役所庁舎
建物規模	: RC 造 (一部 S 造 SRC 造) 免震構造 地上 4 階塔屋 1 階
建築面積	: 2,424.98 m ²
延床面積	: 8,444.41 m ²
敷地面積	: 9,177.74 m ²



図-1 完成予想図

2.2 建物の配置条件

敷地は概ね南北に細長い形状を呈している。建物は南北に 77.1m、東西に 32.8m の全長を有し、敷地境界との距離が少なく狭小な条件といえる。また建物は大きく二つのエリアに分けられる。一つは PC 床版工法エリアであり、他方は在来工法エリアである。PC 床版工法エリアは在来工法エリアと比較すると全長が長く、揚重クレーンからも遠い位置にある。

図-2 に建物配置図を示す。

2. 建物工事概要と工法の選定

2.1 建物概要

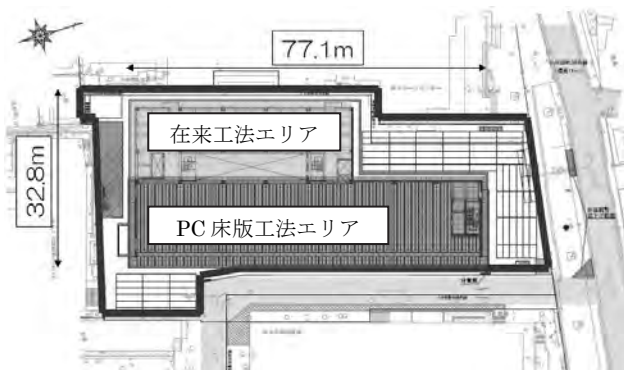


図-2 建物配置図

2.3 PC床版

PC床版は全長が15.6m若しくは15.9m、幅が1.6m、高さが1.15mであり、あらかじめ工場製作の段階でPC鋼線を配しプレストレスト緊張力を与えられている。現場の所定位置に配置されるとスラブ配筋を行い、トップコンクリートを厚さ100mm打設し完成する。PC床版の重量は152.9kNであり、設置階は2、3、4、R階の4層である。図-3にPC床版を示す。

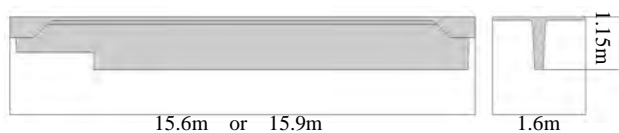


図-3 PC床版

2.4 工法の選定

本建物は免震構造となっている。当初計画では基礎部分の施工後、在来工法エリアをあと施工とし、基礎部分に構台を設置してクローラクレーンにてPC床版を設置する予定であった。図-4に当初架設計画図を示す。

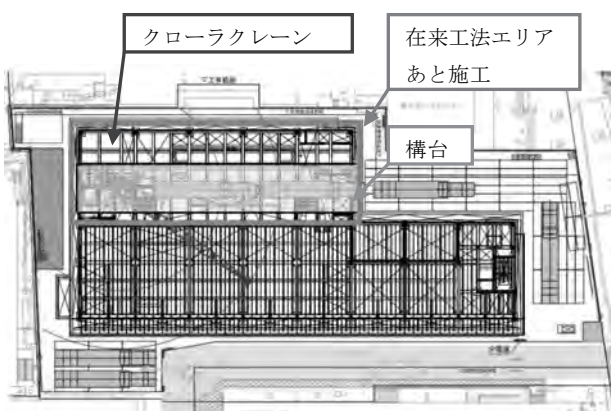


図-4 当初架設計画図

しかし、在来工法エリアには電気室、受水槽室、中央監視室等、内装工事に時間が掛かるものが多

く、工期厳守が困難であった。また、PC床版設置後、次階のPC床版設置までの間、待ち時間があり、クローラクレーンの稼働率が良くない状況であった。図-5に建物断面図を示す。

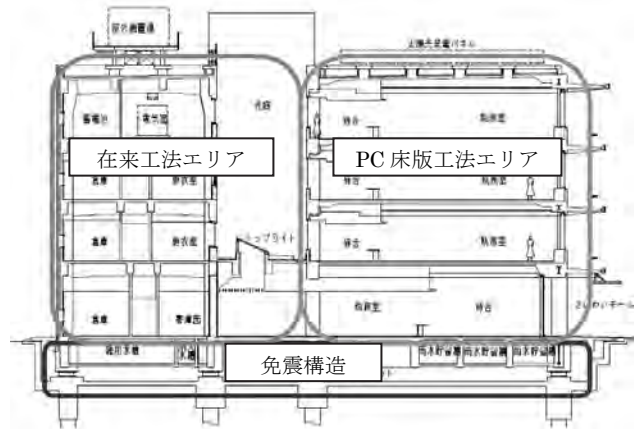


図-5 建物断面図

定置式クレーンでの検討を行ったが、作業半径60m、定格荷重156.8kNと大型クレーンが必要となり非常に不経済となってしまった。以上の検討結果からPC床版の施工にはクローラクレーンと特殊運搬台車の併用として計画を実施した。

揚重機械は1,176kN(120tf)クローラクレーン(タワー仕様)を選定した。図-6に修正仮設計画図を示す。

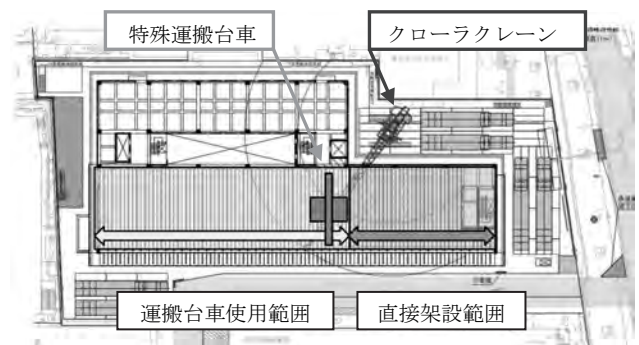


図-6 修正仮設計画図

3. 特殊運搬台車の製作

3.1 これまでの実績と要求性能

表-2 要求性能

PC床版長：15.6m
重量：152.9kN
施工階高変更：4,100~5,000mm
壁際に設置が可能
積載したPC床版は上下、左右、前後、回転位置制度が±3mmで据付可能なこと

当社では2006年より、数本の硬質ゴムタイヤを

同一軸で固定される「重負荷車輪」を開発している。これにより小型で経済的な運搬台車の製作が可能となり、鉄骨運搬台車や軌陸式運搬台車等を製作し現場へ導入している。また、東京都内の中学校新築工事にてPC床版運搬台車の導入実績もある。

今回は3本のタイヤを接合し一体型車輪とした。2個の一体車輪で台車ブロックを構成する。タイヤ総数は24個となり、タイヤ1本当たりの許容荷重は14.7kNであるので、352.8kNまで載荷可能である。表-2に今回の要求性能を、写真-3に重荷重車輪を示す。

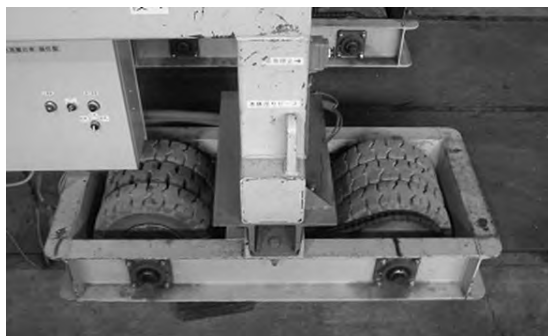


写真-2 重荷重車輪

3.2 特殊運搬台車

前述の通り、中学校新築工事にて導入実績があるが、当時と比較すると床版長が約1.5倍、質量が約2倍であったため大幅な見直しを実施した。今回区役所庁舎改築工事へ導入した運搬台車の性能は表-3、図-7の通りである。

表-3 運搬台車性能

全長：9,500 mm、全幅：2,400 mm、全高：2,870 mm
装置重量：132.3kN
昇降ストローク：650 mm
前後スライド：1,050 mm+300 mm
左右スライド：±80 mm
テーブル回転角度：±120°
走行速度：低速 3m/min、中速 7m/min、高速 10m/min

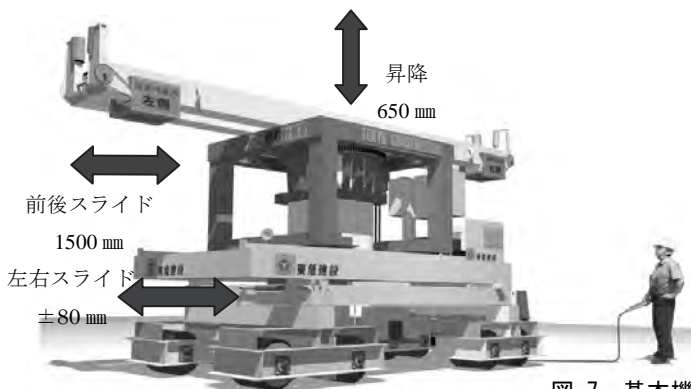


図-7 基本機能説明図

今回装置の見直し（改良）を実施したが、特筆すべき点は2点ある。1点目は昇降ジャッキの追加である。前はセンタージャッキのみでの昇降であったが、今回は補助ジャッキを4台追加して能力向上を果たした。またこれにより、PC床版を乗せる回転テーブルがピッチング、ローリングさせることが可能となった。写真-3に補助ジャッキ追加状況を示す。



写真-3 補助ジャッキ追加

もう1点は、今回の区役所庁舎では壁際にPC床版を設置する必要があったため、把持装置を300mmスライドする機能を追加した。写真-4にスライド機構追加状況を示す。

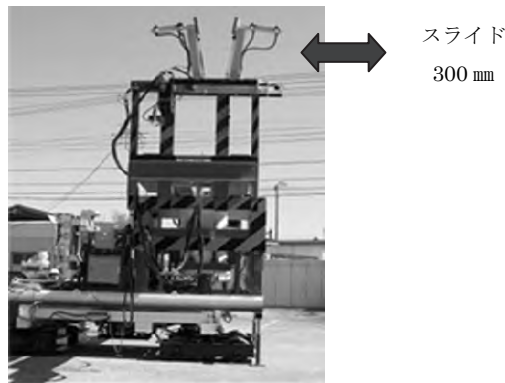
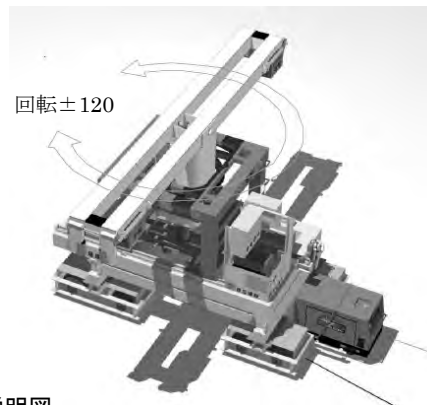


写真-4 スライド機能追加



4. 施工順序

PC 床版設置順序を図-8 に示す。

4.1 PC 床版仮置

クローラクレーンにて揚重された PC 床版は事前に組み立てた支保工上に仮置く。写真-5 に仮置状況を示す。



写真-5 PC 床版仮置状況

4.2 PC 床版受取・運搬

仮置された PC 床版を特殊運搬台車にて受取・把持し、架設場所まで運搬を行う。走行は低速（3m/min）にて行う。写真-6 に受取・運搬状況を示す。



写真-6 受取・運搬状況

4.3 PC 床版据え付け

据え付け場所まで運搬が完了したら、前後左右の微調整を行いながら据え付けを行う。据え付け位置の確認はmm単位でレベル、トランシット、レーザーポイントを使用しながら行う。写真-7 に据え付け状況を示す。



写真-7 据え付け状況

5. おわりに

区役所庁舎における大型 PC 床版据え付け工事においてクローラクレーンと特殊運搬台車を併用することにより、当初計画の在来工法エリアをあと施工とすることなく同時に施工することができた。その結果躯体工程を約 2 ヶ月短縮することができた。

特殊運搬台車に把持装置を搭載した施工は当社独自のものである。2008 年の第一回の導入と比較すると PC 床版が大型化した、装置を進化させることにより取付精度、安全性を向上することができた。本装置は今後も施工性の向上に寄与するものと期待する。

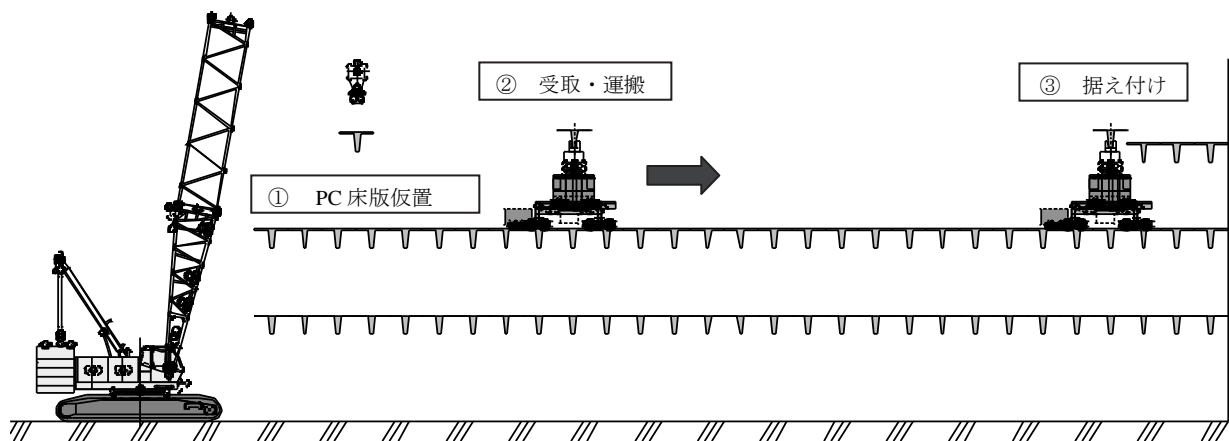


図-8 PC 床版設置順序図

22. 小型多機能敷きならし機械による中小工事の合理化検討

(株)NIPPPO
西尾レントオール(株)

○ 梶原 覚
浦田 公雄

1. はじめに

近年、建設業界における就業者は減少し続けており、特に技能労働者不足が顕在化している。全産業の平均と比べても高齢者の割合が高く、さらに入職率も低下していることから、今後の就業者数減少は不可避であると明言されている¹⁾。このような環境の下、時間および予算ともに余裕がない現代の現場環境から、重機オペレータのような技能労働者の育成は難しい状況にある。

また、国内建設機械メーカー間では、3.1m級モータグレーダや4t級ブルドーザなどの小型敷きならし機械が排ガス規制強化などの影響を受け、相次いで生産を中止している。今般これらの問題に対応すべく、従来の機械よりも操作が容易であり、欧米で普及が拡大しているコンパクトトラックローダに着目し、導入した。ここでは、導入後の課題と対策、および導入結果について報告する。

2. コンパクトトラックローダの概要

コンパクトトラックローダ（以下、CTL）とは、車体下部に配置された左右の履体（クローラ）の回転差および回転方向を変化させることにより走行・旋回し、車体後方から伸びたアームによる積み込み機構を備えた小型の建設機械である。作業装置はアタッチメント化しており、多種・多様な作業に対応することが出来る。

日本国内においてはこのCTLの前身である、走行部がホイール式のスキッドステアローダが主に畜産、農業の分野で多く使用されているが、CTL自体の建設業への普及は殆どない。今回導入したCTLの外観写真を写真-1に、主要諸元を表-1に示す。

2.1 既存機械との比較

4t級ブルドーザ（以下、ブルドーザ）との比較写真を写真-2に示す。機体の大きさはほぼ同等であるが、倍以上の出力があるエンジンを搭載している。操作は基本的に左右2本のジョイスティック

クの傾倒動作で行い、左側が走行操作、右側が作業装置操作となっている。

表-1 CTL主要諸元

走行制御方式	HST
機械質量	4,520kg
定格出力	61.9kw
総排気量	3,319cc
全長	3,740mm
全幅（本体）	1,770mm
全高	2,270mm
ブレード幅	2,450mm
ブレード高	584mm



写真-1 CTL外観

2.2 作業時における操作

敷きならしアタッチメントを取り付けて作業を実施する場合、ブレードの上下動作は、右側ジョイスティックの左右傾倒動作にて行う。チルトおよびアングル動作は、アタッチメント自体にその機構が設けてあるため、ジョイスティックに設置してあるボタンやトリガーを操作することにより行う。ブルドーザと比較して、作業装置上下動作の回転中心が車体の前方にあり、且つその回転

半径も短いため、過敏に反応する傾向があり、操作方法を含め、ブルドーザに慣熟しているものにとっては、扱いに若干時間を要すると思われる。

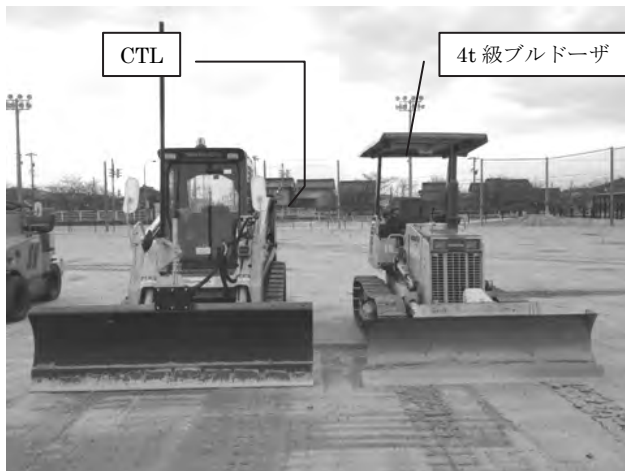


写真-2 4t級ブルドーザとの機体比較

2.3 アタッチメント交換

CTL はアタッチメントを交換することにより、多種多様な作業に対応することができる。取り付け部近傍のアーム部分に、油圧出力ソケットや電源コネクタを備えており（写真-3）、それらを接続することにより油圧を動力源とするアタッチメントを動かすことができる。交換作業は CTL 本体に備わっている油圧ロック機構により、簡単・迅速に行うことができる。油圧や電源を必要としないアタッチメントであれば、オペレータは運転席を離れることなく交換作業が出来る。



写真-3 アタッチメント接続コネクタ

2.4 動作の特徴と周辺視認性

CTL はその走行体の機構から小回りが非常に効き、履体もゴムであることから動きが俊敏である。またその独特な構造上、アームやアームの支点部分により視界が遮られるため、比較的后方周辺の視認性が悪い。

3. アタッチメント（敷きならし作業用）の課題

この CTL に敷きならし作業用アタッチメントを取り付けて作業し、ブルドーザのような敷きならし高さ精度を得るには、前述した操作性、動作の特徴から手動操作では困難であることが確認された。

自動制御について検討したところ、CTL 本体には自動制御機構が備わっていないため、自動制御機構を備えた敷きならし作業用アタッチメント（写真-4）にて対応している実状にあった。これらアタッチメントについて調査したところ、汎用敷きならし作業用アタッチメントはオプションとして CTL メーカーから入手することが出来るが、自動制御機構を備えた敷きならし作業用アタッチメントは、一部の CTL メーカーで扱っているがそのメーカーの専用品であり、汎用性がないことが確認された。

また、価格が非常に高価であり、スペックの詳細や精度が不明のまま導入するには、非常に困難な状況であった。



写真-4 自動制御機構を備えたアタッチメント例 (ATI社 LevelBest LASER GRADING BOX²)

4. 課題への対応

4.1 CTL本体油圧回路改造

前述の課題に対応するため、CTL 本体に改造を施し、汎用敷きならし作業用アタッチメントでの自動制御施工に対応することとした。

バケットやアームを動かす油圧シリンダ駆動部に電磁油圧バルブを組み入れ、アタッチメントには高さ、アタッチメントの取り付け部分には姿勢（勾配）を確認するためのセンサ類を設置し、CTL 車内にはそれらを制御するための制御装置を搭載した（写真-5）。



写真-5 制御装置とレーザ受光器

4.2 安全補機類の設置

上記の改造と同時に操作環境で問題となっている後方周辺の視認性改善対策として、安全補機類を設置した(写真-6)。バックミラーをアーム左右に設置して車体側方の後方視界を確保し、車体後部にカメラと車内にモニタを設置して車体後方が確認できるようにした。モニタには補助線(クローラ位置)を設けて、回送車両への積み込み作業が安全に行えるようにした。



写真-6 安全補機類 (バックミラーとバックモニタ)

5. 制御方法の違いと出来形精度

敷きならし高さの制御方法として、アームシリンダ制御(図-1)とバケットシリンダ制御(図-2)の2種類を検討した。前者はブルドーザ同様、支点からの回転半径が長いこと適切な制御が期待されたが、支点が車体後方となるためアーム上下動作が行われると、CTL本体が前のめりに傾き「やじろべえ」のような状態となり、それを補正しようと更にアームが上下動作するため、敷きならし面に不陸が発生する結果となった。結果として手動操作時と同様、後者のバケットシリンダ制御を採用することとした。支点からの回転半径が短く、センサの高さ認識と上下動作のバランスの悪さを懸念したが、敷きならし面への不陸発生もなく、制御状態も良好であることが確認された。

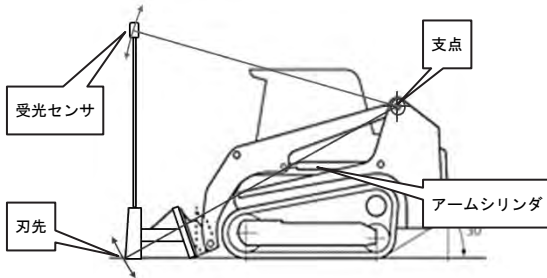


図-1 アームシリンダ制御

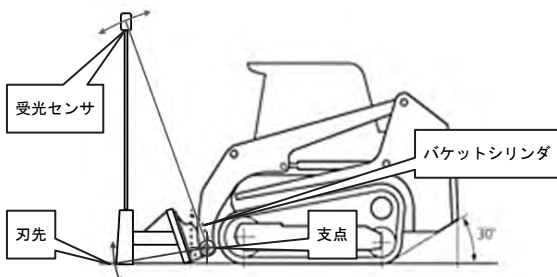


図-2 バケットシリンダ制御

6. 実施工現場(路盤工)への導入

関西の民間グラウンド工事現場の上層路盤工において、回転レーザを使用した当該機の自動制御施工を実施した(写真-7)。アタッチメントを容易に交換して作業が出来ることから、敷きならし作業だけでなく、補足材料の追加作業(写真-8)、埋め戻し材のふるい分け作業なども一台ですることができ、その機能性、有効性が確認された。



写真-7 施工状況 (2DMC)



写真-8 同一現場での材料配置作業状況

6.1 施工結果

施工の結果、計画値と実測値の差は標準偏差で4.7mmを取得した(表-2)。この結果は、モータグレーダの3DMC仕様による自動制御施工結果とほぼ同等であり、非常に良好であると言える。施工速度は7t級ブルドーザの3DMC仕様とほぼ同等であり、問題ないレベルと言える。

今回はブルドーザ同様の施工方法(転圧と敷きならしの分離施工)にて実施したが、クローラがブロックパターンを持ったゴム素材であるため施工時に施工面を痛めることが少なく(写真-10)、また後退速度も速いことから、モータグレーダ同

様の施工方法（転圧と敷きならしの同時施工）を適用し施工数量を伸ばすことも可能と思われる。

表-2 出来形結果

施工面積	約 1,000m ²
路盤材料	M-25
最小値 (min)	-13mm
最大値 (max)	+8mm
平均値 (ave)	+2.2mm
標準偏差 (σ)	4.7mm
データ個数 (n)	46 個



写真-10 敷きならし面におけるCTLのクローラ跡

6.2 CTLの有効性

(1)コスト

今回の改造にかかったコストは、自動制御機構を備えた敷きならし作業用アタッチメントを購入するより安く実施できた。

従来機械との施工コスト比較は、従来機械はレンタル等で安価に用意できるため、現時点では機械損料そのものは高額となる。しかし、今回の現場ではCTLを導入したことによって、本来必要だったショベルローダを削減することができた。また機械が削減できたことから、人員（機械オペレータ）、その他機械経費も削減することができた。その他にも多くのアタッチメントがあり、導入することにより更に機械を削減できる可能性がある。このことから、複数の用途で活用することができれば、機械、人、運搬費それぞれ大幅なコストダウンが可能と想定される。

ただし、並行して行う作業が多い現場であれば、時間的にロスとなる可能性がある。

(2)安全性の向上

複数の機械を現場で稼働させるのに比較して、機械が錯綜する環境がなくなることから、安全面でも貢献できると考える。

7. チルト動作への対応

本施工には間に合わなかったが、その後の改良によりチルト動作の自動制御に対応できるように

した（写真-11）。CTLにレーザ受光器を2個設置しデュアルマストによる上下、チルトの自動制御を確認した。2軸勾配の自動制御に対応できるようになったことから、今後3DMCへの対応も検討する予定である。



写真-11 デュアルマスト設置状況

8. 搭乗アンケートの実施

重機作業経験の異なる8人にこのCTLに試乗してもらい、その感想・評価を収集した。結論として、「操作が簡単であり且つ快適に作業ができ、自動制御により高い敷きならし精度が出せる」という意見が100%得られた。簡単な操作はもとより、エアコン装備の運転席や、ゴムクローラにより走行時の振動が少ないことなどが、快適性を感じさせているものと思われる。その反面この機械の特徴である、「後方の死角が多い」という意見も多くあがった。今後のCTLの普及を見据え、安全補機類の更なる充実化などにより、改善すべき項目である。

9. おわりに

今回の検証試験を通して、このCTLが舗装工事現場における敷きならし作業機械として、十分有効であることが確認された。また、建設業就業者の減少が謳われている時代において、1台が複数の作業ができるという点も魅力である。

現在当該機の後継機を導入準備中であり、研究・開発の対象もそちらへ移行する予定である。今後は積極的に小型工事に導入をはかり、その有効性について検証を実施し、施工の合理化を追求していく所存である。

【参考資料】

- 1) (一財)建設経済研究所
- 2) ATI社HP：<http://www.level-best.com>

23. 泥土圧シールドにおける掘削土の泥水輸送の有効性と 高速施工設備について

清水建設株式会社

○ 吉澤 尚志
西川 泰司

1. はじめに

通常、小断面シールド工事における排土設備は軌条設備による排土方法を主としており、軌条設備の排土運搬サイクルにより1リング当たりの施工時間に大きく影響を与える。そのため現場全体の工程に大きく影響を与える事に加え、軌条設備による事故のリスクにも多大な影響を与える。そこで高速施工及び安全性の向上を目指し、シールド掘削土の搬出方法に加水泥水輸送方式を採用した事例を報告する。

2. 現場概要および特徴

施工場所である1級河川の下流地域は、古来より米作を中心とした一大穀倉地帯を形成している。この農業を支える基幹的用水路は老朽化が進んでいるため、現在、開水路のパイプライン化が進められている。

本工事は、深さ30mの発進立坑から2工区同時にシールド掘進を行い、全長4.8kmのトンネルを築造した後、農業用水管路を布設するものである(図-1)

本シールド工事は以下の技術的特徴を有する。

- ① 小断面(トンネル外径2,450mm)かつ長距離(上流工区2,825m, 下流工区2,026m)のシールド工事である。
- ② 両工区とも河川横断箇所があり、横断時には渇水期での施工が求められ、工程上の制約がある。
- ③ 上記制約により、月進450mの高速施工が必要となる。

これらの現場の特徴から長距離での確実な高速施工を可能とするため、泥土圧式シールド工法を採用しながらも、泥水式シールド工法と同様に掘削

残土を流体輸送で搬出する方式である加水泥水輸送方式を採用した。

3. 排土方法の変更経緯

当初設計の排土方法は泥土圧式シールドでの軌条設備によるずり鋼車による排土となっていた。それに対し当社は技術提案にて圧送ポンプによる排土方法を提案し、採用された。

しかしながら、河川横断部は渇水期施工を求められおり、施工開始時期から算定すると渇水時期中に河川横断部まで到達する高速掘進が課題となった。また、詳細施工検討を行い、圧送対象となる地層や、圧送ポンプによる排土にて考えられる配管閉塞による工程遅延及び安全性低下のリスクが予想された。

その解決策として、圧送ポンプによる排土方法から加水泥水輸送による排土方法の提案を発注者に行い、協議を繰り返した結果、承認された。

加水泥水輸送方式は泥水処理設備を設置するため、泥土圧シールドより設備用地が大きく必要である。

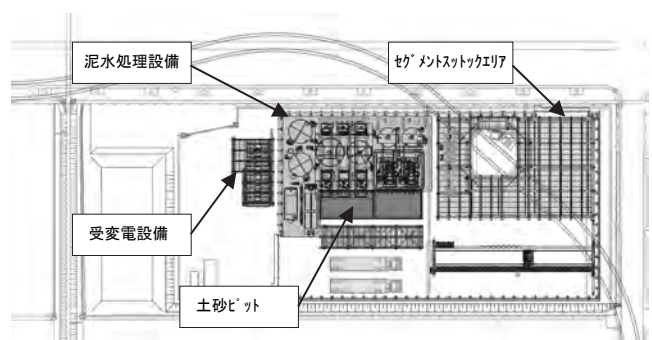


図-2 発進基地平面図

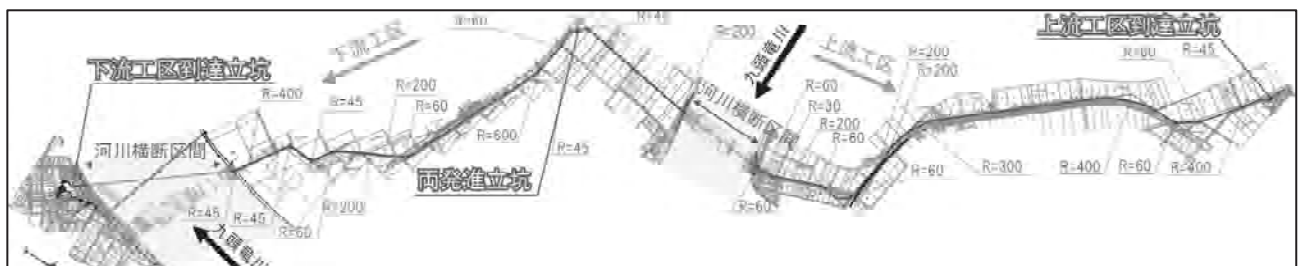


図-1 路面線形図

しかし、当現場では泥水処理設備を設置する用地がなかったため、設備を立体的に配置する事で泥水処理設備を設置することが可能となった。

発進基地ヤードの設備配置図を図-2に示す。

4. 加水泥水輸送方式の有効性について

加水泥水輸送方式の有効性について当初設計のずり鋼車による排土方式及び技術提案にて提案していた圧送ポンプによる圧送方式と比較して次項から示す。

4.1 工期短縮

当初設計のずり鋼車による排土方式では、掘進速度は30mm/minで設計されていた。

しかし、ずり鋼車による排土方式ではずり鋼車の入れ替えがサイクルタイムに影響する。また、立坑でのずり鋼車とセグメント等の資機材の揚重が重なり、排土に時間がかかることが予想された。

それに対し、加水泥水方式での排土方法では、ずり鋼車がないため、バッテリーロコによる搬送がセグメントや資機材の少量となり搬送回数の低減及び揚重回数の低減に繋がる。

その結果、両工区の連続掘進ができると判断した。

また、加水泥水方式では坑内に設置可能な流体輸送のポンプサイズから掘進速度60mm/minの高速掘削が可能であると考えられた。よって、他の設備計画は可能掘進速度である60mm/minを元に計画を行った。

圧送ポンプによる圧送方式の場合、配管閉塞トラブルが想定された。現象として一番考えられたのは配管閉塞である。ボーリングデータから液体分だけが先行して配管内を走り、砂分だけが配管内に残ってしまう砂締めという現象が起こると想定された。

その場合、配管全体が閉塞する恐れもあり、工程に与える影響が多大であると考えられた。

一方加水泥水輸送方式では、事象が異なり礫等の固形物が配管接続部等だけに残留し、閉塞する事が考えられた。その際は配管接続箇所だけの閉塞物だけを取り除けばよく、工程に与える影響は少ないと判断した。

掘削実績としては1リング1,000mmのセグメント幅で15min/Rでの掘削を平均とし、最大で100mm/minの掘削を行った。最も重要であった河川横断時には515m/月の高速掘進を記録した。

上流工区及び下流工区の施工実績を表-1に示す。

4.2 安全性

当初設計での排土方法はずり鋼車を用いた計画であったが、立坑下からずり鋼車を吊り上げるため揚重回数が多い。それに対し、加水泥水輸送方式の排土方法であれば資機材（セグメント、軌条

材、配管等）に限定されるため回数を少なく出来る。これにより吊荷落下による事故リスクの低減を図った。

またトンネル坑内を走行するバッテリーロコの搬送回数も低減出来るため安全性は飛躍的に向上する。

さらに、圧送方式による配管閉塞の場合は、配管内全体にて閉塞が起こっているため、閉塞解除を狭隘なトンネル坑内で配管交換をしなければならない。そのため、狭隘なトンネル内で重量かつ長尺物を扱う事による事故のリスクが増大すると考えられた。

これら上記理由から加水泥水輸送方式のほうがより安全性が高いと判断した。

4.3 環境負荷低減

ずり鋼車方式及び圧送ポンプ方式による排土方式での残土処分について、福井市では100%産業廃棄物（汚泥）による処分であった。それに対し、加水泥水輸送方式では、砂分と粘土分を泥水処理設備により分級できる。その結果、当現場の想定地層図から一次処理土（一般残土）と二次処理土（産業廃棄物）に分けられることで、約半分が再利用可能となった。

また、二次処理土に関しては、フィルタープレスでの処理により脱水減容化することで、下記の環境負荷低減に繋がった。

- ① 減容化により総排土量が減り、搬出車両であるダンプの総台数が減る。これにより二酸化炭素の排出軽減効果が見込める。
- ② ダンプの走行台数が減る事により周辺道路等における周辺環境負荷低減に繋がる。
- ③ 脱水した水分については流体輸送に再利用ができる。また、現場ヤードの清掃にも再利用可能とする設備とした。

5. 高速掘進対応設備について

高速掘進かつ安全性を向上させた設備とするため下記の設備を計画段階で検討した。

5.1 加水泥水輸送設備

加水泥水輸送設備は掘進速度60mm/minを目標とし、その速度を必達できる設備を計画した。

また、泥水処理設備については高速掘進かつ2工区同時施工を想定して設備を計画した。

主要な仕様について表-2に示す。

5.2 軌条設備

高速施工に対応するため、坑内走行速度を10km/hと設定し、セグメント等の資機材を搬送する計画とした。狭隘な空間での高速運転となるため、安全性向上の観点から、新たな人検知システムを搭載したバッテリーロコを採用した。

この人検知システムは、RFIDを坑内歩行者全員

に携帯させ、その RFID の信号を読み取り自動的にバッテリーロコの警報・減速を行うシステムである。

また、バッテリーロコの追加の安全対策として赤外線検知によりさらに減速し、最終的に接触バンパーにより停止するシステムとした。

これらのシステムにより安全運行システムを確立した。

人検知システムの概要を図-3に示す。

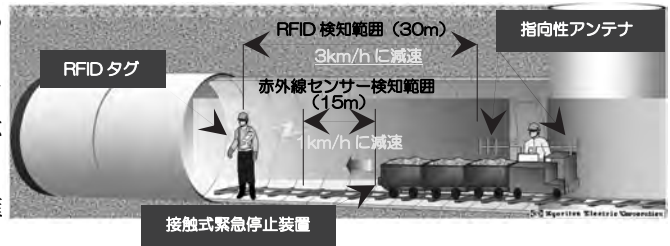


図-3 人検知システム概要図

表-1 全体掘進実績

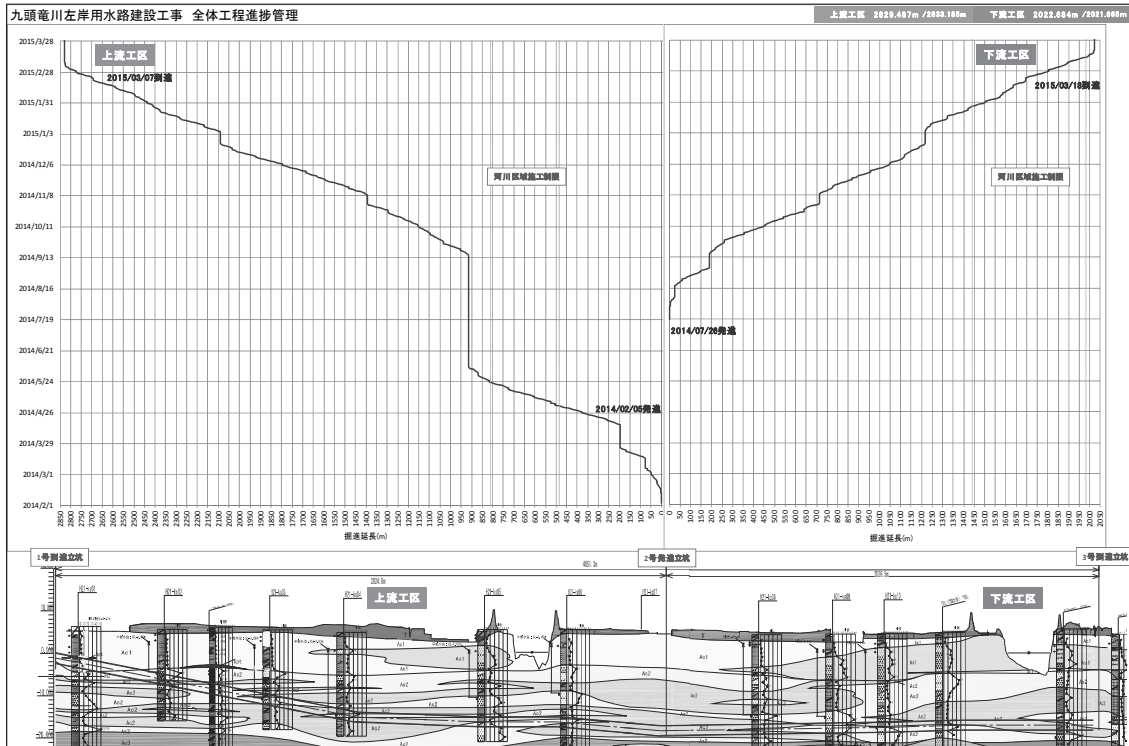


表-2 加水泥水輸送設備仕様

使用場所	区分	数量	仕様
上流	送泥ポンプ台数	2台	圧力制御 100~230kPa、合流管圧力伝送器0~500kPa
	排泥ポンプ台数	10台	流量制御 1.5m ³ /min、P2ポンプ揚程39m
	最大掘進速度		6cm/min対応、掘削流量0.179m ³ /min
	排土管理	一式	電磁流量計・γ線密度計、電磁流量計0~2m ³ /min 密度計1.0~1.5t/m ³
	中央監視操作システムPC	3台	MMI・EWS(Windows7)、流体自動操作・土量管理
下流	送泥ポンプ台数	2台	圧力制御 100~230kPa、合流管圧力伝送器0~500kPa
	排泥ポンプ台数	8台	流量制御 1.5m ³ /min、P2ポンプ揚程39m
	最大掘進速度		6cm/min対応、掘削流量0.179m ³ /min
	排土管理	一式	電磁流量計・γ線密度計、電磁流量計0~2m ³ /min 密度計1.0~1.5t/m ³
	中央監視操作システムPC	3台	MMI・EWS(Windows7)、流体自動操作・土量管理
地上 泥水処理設備	一次処理装置	一式	乾砂重量:50t、処理水量3.4? /min
	二次処理装置	一式	ケーキ排出量:7.3? /回、スラリーフィード圧力:0.59MPa、圧搾圧力:0.64MPa

5.3 揚重設備

揚重設備については搬入車両の積荷を降ろす揚重機と立坑内へ資機材を揚重するクレーンが同一ではサイクルタイムに影響するため、それぞれ別とした。

また、立坑内にも揚重機を設置し、立坑上と立坑下にそれぞれストックエリアを設け、各々の揚重機が独立して動けるように工夫した。

揚重機についてはスパン 30m×4.8t の異形門型クレーン及び 30m×2.8t 異形門型クレーンの2基を立坑上に設置した。立坑内には 6.3m×5.7m の架台を製作し、そこにテルハクレーンとして設置した。

5.4 セグメントストック設備

通常はバッテリーロコでのセグメント供給とセ

グメントの組立は同時に行う。その場合、バッテリーロコでのセグメント運搬に時間がかかると組立に待ちが生じ、組立時間も長くなる。

長距離のシールドトンネルでは、組立待ちがおきないようにバッテリーロコを複数台に増やしてセグメントの供給待ちが生じないようにする。

しかし、バッテリーロコを複数台にした場合は、退避離合する複線区間が必要であるが、当現場では小断面のため複線区間を設けることができなかった。

そこで、後続台車にセグメントストック装置を設け一回の運搬で大量のセグメントを供給することで供給待ちが生じないようにした。

これによりバッテリーロコは自由に入坑・退坑ができ、尚且つ坑内の単線化が図られ高速掘進が可能となった。

セグメントストック装置を写真-1に示す。



写真-1 セグメントストック装置

7. 施工状況

発進基地の状況について写真-2に示す。

掘進スピードとしては最大 100mm/min で高速掘進を行うことができた。

その要因として、合流管の送泥・排泥ラインの取付角度を直線から切羽→坑口のように流れやすくしたことにより、想定した地質での合流管での閉塞を防止したことであった（写真-3）。

しかし、礫優勢土層や硬質シルト層の掘進時において上流工区・下流工区ともに数回ではあるが写真-4のような塊が排土され合流管部で閉塞した。

その際は出来るだけ合流管部での作業を避けるため、流体輸送の流量や圧力調整をしながら閉塞解除を行った。それでも解除できない場合は、合流管部を解体して閉塞解除を行った。

閉塞をさけるため、合流管部での圧力が高くなり閉塞が起こる可能性が高いと予想される時は、合流管部の圧力低下を行った。

しかし、合流管部の圧力が低下しすぎると流体輸送の圧力も減少し、切羽土圧も安定しないため、適度な圧力管理が必要であった。

また、掘削する対象地質が変わる毎に圧力も変

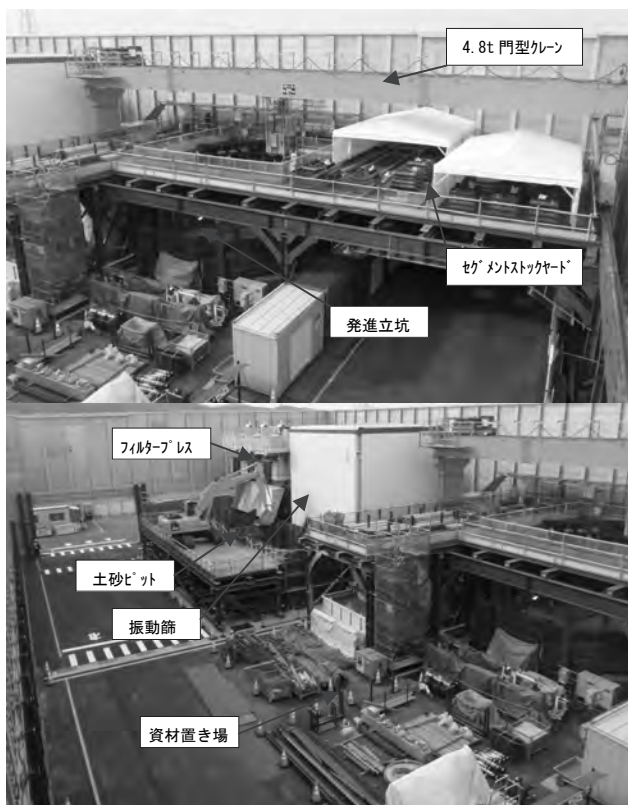


写真-2 発進基地状況

化するため、圧力管理には心労を費やした。

当現場では指示土圧に対し 10~20kpa 程度上乗せして圧力を管理し、閉塞もなく切羽土圧も安定して施工できた。

シールド工事において上流工区については平成 27 年 3 月 7 日、下流工区については平成 27 年 3 月 17 日にそれぞれ無事に到達した。上流側の最大月進 516m/月、下流側の最大月進 421m/月をそれぞれ達成した。



写真-3 合流管



写真-4 閉塞物

8. おわりに

本報告にあるように計画から施工まで無事掘進が完了した。御指導下さった発注者の方々、及び毎日現場にて必死に作業を進めてくれた関係各社の方々にこの場を借りて感謝の意を述べたい。これから工事は二次覆工に取り掛かる。今後も大きなトラブルなく施工を進める所存である。

24. 定張力ウインチシステムと斜面舗装機械の開発

鹿島道路(株)機械部 ○ 伊藤 圭祐

1. はじめに

本報は斜面舗装の為に、新たに開発した定張力ウインチシステムを取り付けた、定張力サブウインチポータ（以下、定張力SWP）及び、新規に開発した斜面舗装機械について紹介するものである。また、それらを導入した現場事例についても紹介する。

定張力ウインチシステムとは、斜面での切削や、清掃作業において、安全かつ円滑に作業を行う為の定張力油圧回路を備えたウインチの事である。

2. 概要

ここで述べる斜面舗装とは、ダムや調整池の表面遮水壁をアスファルトコンクリートで構築する舗装のことであり、アスファルトフェーシングとも称される。当社では、斜面舗装に関する技術は既に保有しており、過去に施工した実績も多数ある。しかしながら、補修を目的とした大規模な斜面切削の実績例は無かった。そのため、効率的に斜面切削を実施する為の機械開発が必要となった。

通常、斜面上で機械作業を行う場合、その機械の姿勢保持が重要となる。斜面勾配が緩く、施工機械が斜面を滑落する事が無い角度以内で、自走でも安全に作業ができる場合を除き、一般的には斜面上部からのサポートが必要となる。そのため、斜面勾配がきつくなるに従い、確実に施工機械を保持しなければならない。しかし、施工機械をワイヤロープやロッドで固定すると、施工機械の動きは制限を受け、自由に施工することを制約される。例えば、ウインチ等の巻き上げ装置を用いてワイヤロープで施工機械を保持すると、施工機械の移動はウインチの巻き上げと巻き下げ速度に拘束されるものとなり、施工機械自身が自由に移動作業することを制約する。そこで、斜面舗装工事に供用する施工機械のサポートシステムとして、定張力ウインチシステムを開発した。このシステムにより、斜面上の施工機械を安全に保持しつつ、且つ、自由に施工移動できる。また、新規に開発を行った斜面舗装機械は施工効率の向上と品質の確保を目的としたものである。

3. 定張力ウインチシステム

斜面施工機械にサポートが必要な場合、一般にはウインチ等のサポート機械を堤頂に配置し、そこからワイヤロープを斜面施工機械に接続し、ウインチの巻き上げ、巻き下げにより施工機械の移動を行う。しかし、通常のウインチの場合、斜面施工機械はウインチの巻き上げと巻き下げ速度に拘束されるものとなるため、施工機械の能力を最大限発揮する事が出来ないばかりか、無理なウインチ操作により施工機械を破損する恐れがある。

そこで図-1の概念図に示すように、施工機械重量の斜面分力 F と同じ力 F' で釣り合うように反力相当の力を滑車の先にウエイトで賄えば、施工機械の斜面分力はキャンセルされ、自力で自由に移動作業することが出来る。

この考えを油圧ウインチに応用して、常にワイヤロープを斜面分力相当 F' で緊張するシステムを開発した。施工機械が下へ移動する時は、ワイヤロープに F を超える張力が働き、ワイヤロープは巻き出される。逆に、施工機械が登板する時はワイヤロープが緩もうとするので、ウインチによりワイヤロープは巻き取られる。また、施工機械は斜面上の任意の位置で停止する事も出来る。この働きを担う「油圧回路」を組み込んだ定張力ウインチシステムを開発し、斜面補修工事に用いるSWPに搭載した。

- A : ウインチ B : 斜面施工機械
- W : 施工機械重量
- W' : 施工機械重量の斜面垂直方向の分力
- F : 施工機械重量の斜面谷方向の分力
- F' : 施工機械重量の斜面谷方向の分力に相当する荷重

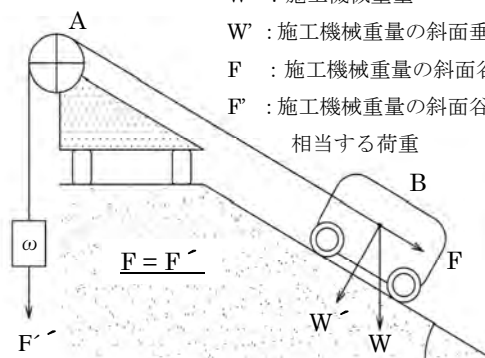


図-1 「定張力油圧回路」概念

このシステムを備えた定張力 SWP は、斜面舗装工事の安全作業、品質向上及び、工期短縮に貢献した。(写真-1)



写真-1 定張力 SWP 全景

表-1 定張力 SWP 仕様表

機械名		定張力サブウインチポータ(定張力SWP)	
使用目的		小型切削機等の牽引及び運搬	
主要寸法	全長	7,570mm	
	全幅	3,000mm	
	全高	3,000mm	
車体重量		14,100kg	
エンジン出力		110kW	
ウインチ能力	定格荷重	20kN	
	動作速度	0~70m/min	
その他特徴		・定張力ウインチ機構搭載 ・デッキ旋回移動可能	

3.1 定張力ウインチシステムを用いた斜面切削

斜面での切削作業を行う為には、斜面下側から上側に向かって作業を行うか、斜面上側から下側に向かい作業を行う方法がある。後者の方が切削層の処理等の点から、作業には効率的である。

切削作業を斜面上側から下側に向かって行う場合、滑落しない勾配上では、切削機は自走での施工が可能ではあるが、安全を考慮して切削機をサ



写真-2 切削機使用状況

ポートする必要がある。しかし、切削機は切削深さによる抵抗の差や、滑りにより、施工速度に差が生じる。そのため、ウインチを一定速度で回転させるだけの従来の施工方法では、ワイヤロープの弛みや張り過ぎに繋がり、作業効率も悪く仕上がり面が不揃いになり、機器の破損に繋がる恐れも有る。定張力ウインチシステムにより、斜面上においても水平自立走行での作業と同様の感覚での切削作業が可能となったことにより、切削精度の向上や施工の効率化に寄与する事ができた。

3.2 定張力ウインチシステムを用いた斜面清掃

切削作業後、油圧ショベルで切削材の撤去を行うが、切削面には切削材の一部やダスト分が多く残るので入念に清掃する必要がある。この清掃作業には小型の搭乗型スイーパーを使用して、小型切削機と同様に、斜面の上側から下側に向かって作業を行うのが有効である。この際、自走での施工は困難であり、安全な作業を行う事と作業の効率化を図るために、定張力ウインチシステムを使用した。結果、安定した清掃作業が行え、人力清掃に比べはるかに短期間で清掃作業を終了した。



写真-3 スイーパーによる清掃作業状況

4. 斜面舗装機械

斜面舗装については、多様な現場状況に応じて特殊機械を開発し、現場導入を行ってきた。しかし、短期間で完了させなければならない補修工事という現場条件に合わせ、従来機よりも機能と品質の向上が求められ、新たに開発を行った。

この度、斜面舗装に関して新規に開発を行った機械はメインウインチポータ(以下、MWP)及び、斜面舗装用アスファルトフィニッシャ(斜面用AF)である。

4.1 メインウインチポータ

MWPは主に斜面用AFを牽引するための施工機械である。SWPとは牽引する機械が異なるため、より大きな能力のウインチが必要であり、且つ、低速で巻き上げを行う安定性が求められた。

斜面における舗装作業は、アスファルト合材（以下、アス合材）の供給と抱えの点から、切削作業とは異なり斜面下側から上側に向かって作業を行っていく。そのため、アス合材を抱えたAFが自力で斜面を上り、斜面舗装作業を行うことは困難であり、MWPのからのワイヤロープ巻き上げにより斜面舗装作業を行う必要がある。そのため、MWPのウインチには定張力ウインチシステムは取り付けず、オペレータ同士が作業状況の確認をしながらワイヤロープを巻き上げ、舗装を行っていく。また、MWPには現場条件に応じて、斜面上にて合材供給を行う為のダンプ車を牽引するウインチを搭載する事が可能であり、これはAF用ウインチとは独立して巻き上げ・巻き下げを行う事が出来る。

斜面舗装のスタート時は、細かな敷き均し調整が必要である。この為、斜面用AFの巻き上げには超低速で巻き上げが行える様、微速巻き上げシステムを搭載した。これにより、安定したアス合材の敷き均しが可能となり舗装の品質が向上した。



写真-4 MWP 全景

表-2 MWP仕様表

機械名		メインウインチポータ(MWP)	
使用目的		法面アスファルトフィニッシャの牽引及び運搬	
主要寸法	全長	9,200mm	
	全幅	3,100mm	
	全高	4,300mm	
車体重量		18,600kg	
エンジン出力		80kW	
ウインチ能力	定格荷重	69kN	
	動作速度	0~20m/min	
その他特徴		<ul style="list-style-type: none"> ・施工規模に応じてダンプ車用ウインチ搭載可能 ・AF施工スタート時に有効な微速巻き上げシステム搭載 ・AF&タンパ車搭載可能な回転移動デッキ ・回送時には運転席収納可能でコンパクト化 	

4.2 斜面用アスファルトフィニッシャ

この機械を新規に開発するに当たり、高い締固めで安定したアス合材を敷き均すためのスクリード機能を検討した。斜面用AFは、母体となる小型AFの伸縮スクリードを取り外し、タンパ・バイブレータ(TV)方式のリジッド(固定式)スクリードに交換した。一般に用いられる伸縮スクリードは、舗装幅員に合わせて任意にスクリード幅を変えられるので、舗装幅員の調整には便利であるが、伸縮式機構であるがゆえに、スクリードが前後に配置されている。一般の舗装では問題とはならないが、ダム、調整池等の斜面舗装においては、底面(水平面)から斜面に向かって勾配が変化する部分での敷き均し調整は非常に難しい。そこで、今回はリジッドスクリードを採用し、仕上がり面の向上を計った。また、このクラスのAFでは、バイブレータ(V)方式のスクリードが一般的であるが、アスファルト量の多い特殊アス合材の敷き均し密度向上のため、TV方式のスクリードを採用した。

同時に、合材の飲み込み角度の変更や、オペレータの安全確保としてステップの角度を斜面勾配に合わせて設けた。他には、搭載する発電機が、AFの傾きに関わらず常に水平を保てる機構や、施工ジョイント部を加熱するジョイントヒータが任意の高さ、角度に調整できる機構を設けた事が特徴である。



写真-5 斜面用AF全景

表-3 斜面用AF仕様表

機械名		斜面用アスファルトフィニッシャ(斜面用AF)	
使用目的		斜面アスファルト施工	
主要寸法	全長	5,000mm	
	全幅	3,400mm	
	全高	1,980mm	
車体重量		8,000kg	
エンジン出力		40kW	
その他特徴		<ul style="list-style-type: none"> ・ホイール式 ・舗装幅3.0m(+ エクステンション 0.4m×2) ・タンパ・バイブ方式のリジッドスクリード採用 ・ホッパの大型化により合材抱え量向上 	

5. 現場活用事例

ここで、新規開発を行った機械を導入した施工現場を紹介する。

5.1 現場概要

場所：山梨県内

概要：発電農水・飲料水用調整池

概要：遮水壁補修面積 約 9000 m²

当現場は、既存の傷んだ舗装を切削して新規の特殊アス合材で舗装を行う現場であり、斜面傾斜が約 22°であった。

夏場の用水供用に向け、舗装作業は冬期施工となり、アス合材の温度管理が難しかったが、合材供給専用ホッパを保温するなどして温度低下を防ぐ事に努めた。また、施工機械が多数導入され、それらが錯綜する現場であったが、大きなトラブルもなく、特に切削作業は単位時間当たりの施工量を予定よりも大幅に上回り全体工期の短縮に貢献した。斜面舗装作業は、微速度巻き上げシステムと TV 方式のリジッドスクリードの効果もあって、舗装面の良好な仕上がりが得られた。

5.2 施工状況

当現場では、以下の図に示すような施工体制で作業を行った。

本現場においては施工の規模と作業の効率を重視して、合材供給専用ホッパとクローラクレーンを組み合わせて特殊アス合材の供給を行い、施工を行った。

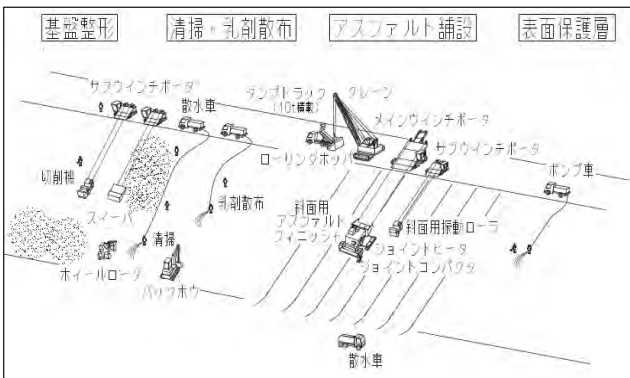


図-2 一般的斜面舗装施工体制概略

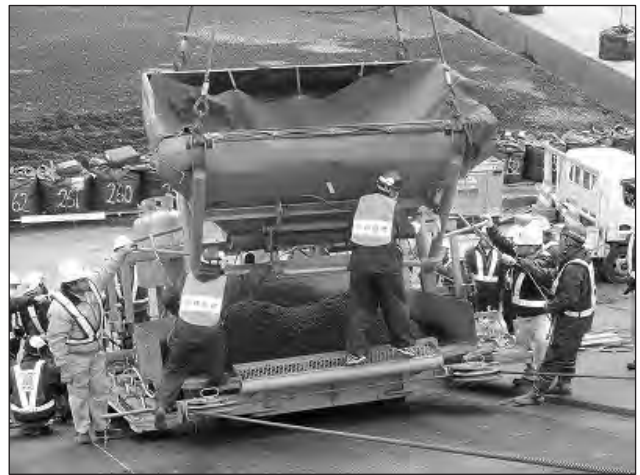


写真-6 合材供給専用ホッパによるアス合材供給状況



写真-7 斜面舗装施工状況全景

6. おわりに

本報では、定張力ウインチシステムと、新規に開発を行った斜面舗装機械に関して報告を行った。斜面での機械施工の難しさを少しでも緩和する、斜面特殊機械の開発により、斜面切削技術を確立すると共に、斜面舗装の施工効率と品質の向上に繋げる事が出来た。

今後も、「品質向上」、「安全確保」、「工期短縮」、「コスト縮減」に貢献できる機械開発を行っていく所存である。



写真-8 現場完成写真

25. ダムコンクリート搬送用インクライン式ベルトコンベヤの開発

ー五ヶ山ダム（巡航 RCD 工法）におけるコンクリート運搬打設設備ー

鹿島建設株式会社
鹿島建設株式会社
鹿島建設株式会社

○ 青野 隆
林 健二
大林信彦

1. はじめに

重力式コンクリートダムの高速施工に対応するため、当社は嘉瀬川ダム（発注者：国交省）や湯西川ダム（発注者：国交省）等の堤体コンクリート運搬打設設備に、パイプを用いてコンクリートを高所から低所へ運搬する SP-TOM（Special pipe Transportation Method）を実用化し様々な知見を得た。五ヶ山ダム（図-1 参照）では、最新技術である「巡航 RCD 工法¹⁾」により堤体を建設中である。本稿では主コンクリート運搬打設設備の SP-TOM に新規開発、導入した「インクライン式ベルトコンベヤ」を組合せて平成 26 年 2 月から平成 27 年 7 月までに堤体コンクリート約 52 万 m³ を運搬（17 ヶ月の累計打設量は約 85 万 m³）し、良好な結果を得たので開発内容について報告する。



図-1 五ヶ山ダム完成イメージ

2. 導入工事概要

インクライン式ベルトコンベヤを開発、導入した五ヶ山ダムの工事概要とダム諸元を以下に示す。

工事名：五ヶ山ダム堤体建設工事
企業者：福岡県五ヶ山ダム建設事務所
工期：自：平成 24 年 6 月 27 日
至：平成 30 年 3 月 15 日（69 ヶ月）
請負者：鹿島・飛島・松本特定建設工事共同企業体

堤体形式：重力式コンクリートダム
堤体積：935,000m³（減勢工含む）
堤高：102.5m，堤頂長：556.0m

2.1 五ヶ山ダム堤体工の概要

堤体積 93.5 万 m³ の大規模な重力式コンクリ

ートダムで、堤体コンクリートは 2015 年 7 月 9 日に終了した RCD 工法（河床～EL398.5m）と拡張レヤー工法（EL398.5m～EL417.5m）で打設中である。五ヶ山ダムは従来の RCD 工法でなく、ダムコンクリートの品質確保対策を目的とした、リフトの打上がり速度のコントロールが容易な巡航 RCD 工法（巡航 RCD 工法は RCD コンクリートの先行打設、外部コンクリートの独立・後行打設、型枠を用いない RCD 用コンクリートの打止めという特徴を有する 1 リフトを分割なしで連続打設可能な施工法¹⁾）を採用した。

3. SP-TOM のコンクリート供給設備の問題点

SP-TOM をコンクリート運搬打設設備として採用した嘉瀬川ダムや湯西川ダムでは、SP-TOM による RCD 用コンクリート搬送能力を最大限生かすことができなかった。主な原因として、SP-TOM 下方のコンクリート受取・供給方法に課題があり各現場において様々な工夫を試みたが、結果として RCD 用コンクリートを連続搬送できないという問題点が抽出された。問題点と開発内容（解決策）の詳細について以下に示す。

3.1 問題点その 1（進入制限）

(1) SP-TOM 搬送中止の原因

RCD 用コンクリートを連続搬送できない最大の原因は、写真-1 に示す嘉瀬川ダムでは SP-TOM 先端に自走式ベルトコンベヤ（以下、自走式ベルコン、表-1 参照）を配置し、重ダンプトラック（以下、重ダンプ）へコンクリートを供給するが

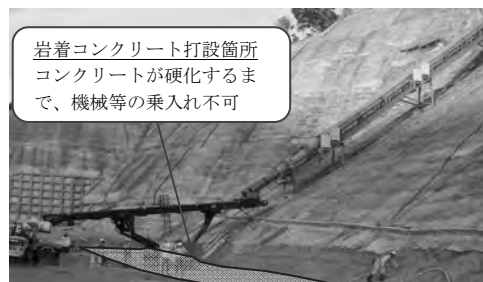



写真-1 SP-TOM 先端に自走式ベルコンを配置（嘉瀬川ダム）

表-1 自走式ベルコンの仕様と特徴

コンクリート供給設備	特徴
自走式ベルトコンベヤ 	機長:20m, ベルト幅:900mm, 質量:12 t 能力:200 m ³ /h ・自走式なので設置, 撤去が容易 ・機長が長いため堤体上下流幅が狭いと設置箇所が限定される ・ベルトコンベヤの傾斜角は油圧シリンダ駆動で 0~20 度まで対応可

SP-TOM 先端直下の岩着コンクリート打設直後は、当該コンクリートが硬化するまで、自走式ベルトコンベヤを配置できず、SP-TOM によるコンクリート搬送を停止しなければならなかった。

一方、写真-2 に示す湯西川ダムでは SP-TOM 先端まで重ダンプが進入し、コンクリートを直接受取る方式を採用したが、岩着コンクリート打設直後は当該コンクリートが硬化するまで重ダンプは進入できず、SP-TOM によるコンクリート搬送を停止しなければならなかった。したがって、最大で 24 時間（岩着コンクリート硬化時間）の進入制限によって、SP-TOM によるコンクリート搬送が中止され、搬送能力低下を引き起こした。



写真-2 SP-TOM 先端直下に重ダンプ配置(湯西川ダム)

(2)SP-TOM 搬送中止による搬送能力低下

上述の原因による搬送能力低下を算出する。

- ・ SP-TOM 搬送能力：180m³/h
- ・ 岩着コンクリート硬化までの進入制限時間：24h
- ・ 効率：0.8 と設定
- ・ 搬送低下量 = 180m³/h × 24h × 0.8 ≒ 3,400m³/日
- ・ SP-TOM 搬送中止日：6 日(回)/月（打設速度を 6 リフト/月と設定し、SP-TOM 先端直下の岩着コンクリート打設直後の搬送中止は 6 回発生）
- ・ 1 ヶ月当り打設低下量：
3,400m³/日 × 6 日 = 20,400m³

3.2 問題点その 2（重ダンプ入替え）

(1)重ダンプ入替え中の SP-TOM 搬送停止

自走式ベルトコンベヤあるいは SP-TOM から重ダンプへ直接供給する方式を採用しても、重ダンプの入替え中は SP-TOM の運転を停止する必要がある。この入替え時間（約 90 秒）の SP-TOM

搬送停止が搬送能力低下を引き起こし、更にコンクリート製造設備も停止しなければならないケースがあった。このような場合、SP-TOM が搬送再開してもコンクリート製造・出荷が遅れるため、SP-TOM へのコンクリート供給が滞り更なる搬送能力低下を引き起こすことがあった。重ダンプ入替え時間中に発生する搬送能力低下イメージを図-2 に示す。

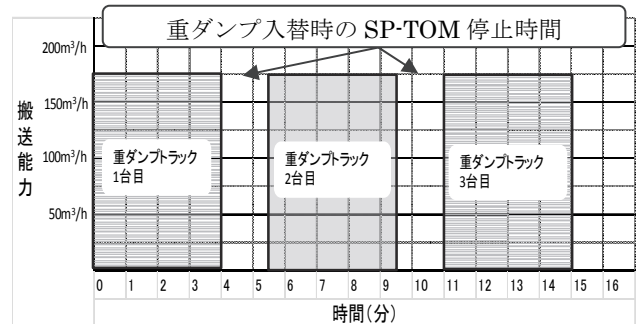


図-2 重ダンプ入替え時の SP-TOM 搬送能力低下イメージ

(2)重ダンプ入替え時間中の搬送能力低下

重ダンプ入替え時間中に発生する SP-TOM 搬送停止が原因による搬送能力低下量を以下に示す。

- ・ SP-TOM 搬送能力：180m³/h = 0.05m³/秒
- ・ 重ダンプへの供給時間：240 秒と設定
- ・ 重ダンプ入替え時間中のロス：90 秒と設定
- ・ 1 時間当りの搬送回数：3600 ÷ 330 ≒ 11 回
- ・ 1 時間当りの停止時間：11 回 × 90 秒 = 990 秒
- ・ 1 時間当りの能力低下量：
0.05m³/秒 × 990 秒 ≒ 50m³/h
- ・ 効率：0.8 と設定
- ・ 搬送低下量 = 50m³/h × 24h × 0.8 ≒ 960m³/日
- ・ SP-TOM 稼働日数：18 日間（打設速度を 6 リフト/月と設定時の月当り SP-TOM 稼働日）
- ・ 1 ヶ月当り打設低下量：
960m³/日 × 18 日 = 17,280m³

3.3 問題点その 3（障害物）

(1)障害物回避のための追加設備

特定の標高において堤体上の監査廊が SP-TOM 正面に位置し、重ダンプが SP-TOM 先端直下に進入できないケースや自走式ベルトコンベヤの配置も困難な場面がある。障害物があっても SP-TOM によるコンクリート搬送を継続するためには、障害物を回避可能な写真-3 に示す固定式ベルトコンベヤ（以下、固定式ベルコン）を新たに設置する必要がある。追加の製作コストおよび設置、撤去作業が発生する。

また、SP-TOM 近傍にクレーンを配置する場合は、写真-4 に示すようにクレーンが障害物となり、重ダンプが SP-TOM 先端直下へ進入できないケースが発生する。このような場合、固定

式ベルコンをずらした位置に盛替えが必要で、撤去・再設置の追加作業が発生し打設工程に影響を与えることがあった。



写真-3 監査廊回避 固定式ベルコン設置 (湯西川ダム)




写真-4 固定式ベルコンをずらして配置 (湯西川ダム)

(2)追加発生設備と作業量

SP-TOM 正面の障害物に対応するために自走式ベルコンの他に、別途追加が必要となった設備と盛替え作業量を表-2に示す。

表-2 追加の固定式ベルコンと盛替え作業量

コンクリート供給設備	特徴
固定式ベルトコンベヤ 	機長:14m, ベルト幅:900mm, 質量:7.6 t 能力:200 m ³ /h ・ベルトコンベヤ脚部堤体内埋込方式の採用 ・打設標高に応じて都度、盛替え発生 ・ベルトコンベヤ平面位置は固定のため、移動毎に撤去、設置が必要 ・盛替え作業量 (打設高 3m 毎に発生) ・50t ラフター使用, 作業員 1 班 (5 名) ・撤去 4h + 設置 6h が必要

3.4 問題点その4 (自走式ベルコンが障害物)

SP-TOM 先端直下周辺部のコンクリートを打設する場合、打設面上に設置している自走式ベルコン自体が障害となり打設できないエリアが発生する。また、写真-3 に示す固定式ベルコンの場合、堤体コンクリートに埋め込んだ固定式ベルコンの脚高が打設進捗に応じて低くなり、打設高 3m の進捗毎に撤去と再設置が必要である。したがって撤去、再設置作業中は 18t 級ケーブルクレーン (以下、18tCC) の使用による拘束と SP-TOM 搬送停止により、打設工程に影響を与えることがあった。

4. インクライン式ベルトコンベヤの開発

SP-TOM は左右岸どちらか一方のダム堤敷斜面に設置しなければならず、岩着コンクリート打設部の進入制限は必ず発生するため、SP-TOM 搬送中止は致命的な欠点であった。また、重ダンプ入替え中も SP-TOM を連続運転するためには、入替

え中も搬送されるコンクリートを貯蔵する必要があるが、90 秒間の入替え中に搬送されるコンクリート量は 4.5m³ (180 m³/h ÷ 3600 秒 × 90 秒 = 4.5m³) となり、大型のホッパをダム堤敷斜面に設置することが困難であった。従来の問題点を克服できる新たなコンクリート受取り・供給装置を開発できれば、SP-TOM による連続搬送が可能となり、コンクリート運搬打設速度が飛躍的に向上することが期待できた。そこで、高い打設能力を必要とする巡航 RCD 工法を採用した五ヶ山ダムでは、SP-TOM 1 条で 18tCC 2 基分相当の能力を確保するため、インクライン式ベルトコンベヤ (以下、インクライン BC) を開発し「SP-TOM + インクライン BC」を主コンクリート運搬設備とした。

4.1 具体的な開発内容

(1)開発内容その1 (問題点1の解決)

SP-TOM 先端直下に位置する硬化前の岩着コンクリート部を飛び越えて、重ダンプにコンクリートを供給可能なベルトコンベヤを配置すれば SP-TOM を連続運転できるため、脚が不要なトラス構造の片持ち梁式のベルトコンベヤを開発することとした。片持ち梁式のベルトコンベヤ機長は、岩着部のコンクリート硬化前でも RCD (内部) コンクリート部に停止した重ダンプへ供給可能な長さ (L=14.6m) とすることで、SP-TOM 先端直下の岩着コンクリート硬化前でも SP-TOM + インクライン BC を用いて RCD 用コンクリートを連続して搬送することが可能となった。しかも、片持ち梁式のベルトコンベヤは、下述の(2)で示すベルトフィーダから供給される大量のコンクリートを搬送可能な搬送能力 300m³/h を有する仕様とした。

(2)開発内容その2 (問題点2の解決)

重ダンプの入替え時間中も SP-TOM から供給され続ける 4.5m³ のコンクリートを貯蔵可能な有効貯蔵容量 6m³ のホッパを常に SP-TOM 最先端に設置する方式を考案した。さらに入替え後の重 DT には、一時的に貯蔵したコンクリートと SP-TOM から追加供給されるコンクリートを合算したコンクリートを大量供給する必要があり、供給能力 300m³/h のベルトフィーダも採用することとした。なお、ホッパとベルトフィーダは片持ち梁式のベルトコンベヤのカウンターウエイトとなる重芯位置を考慮した配置設計を行った。

(3)開発内容その3 (問題点3の解決)

障害物を回避して重ダンプへコンクリートを供給するために、片持ち梁式のベルトコンベヤに旋回機能を付加した設計を行った。様々な旋回装置の検討を実施した結果、高額であるがジブクレーン等で採用されている旋回環と減速機

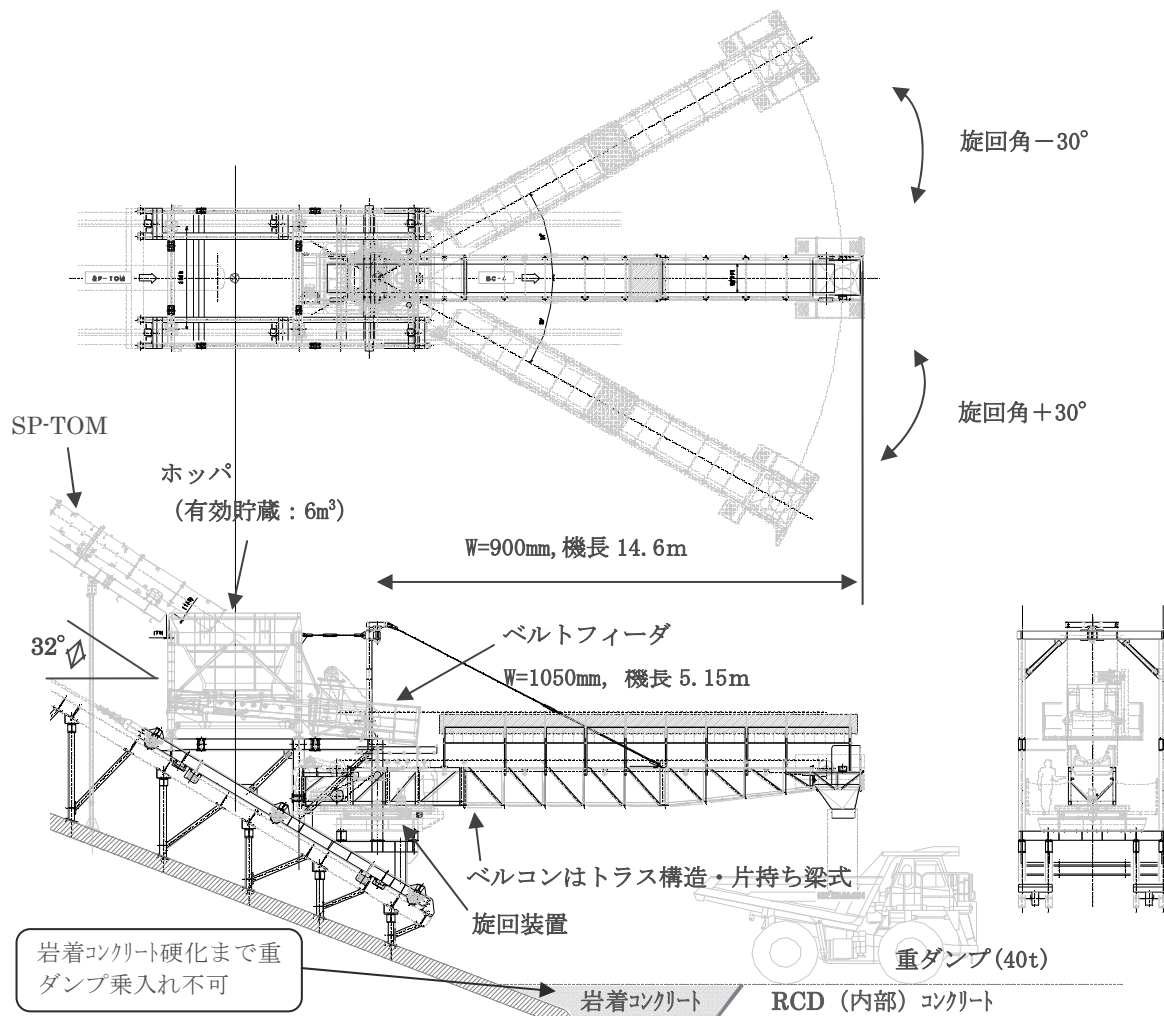


図-3 インクライン式ベルトコンベヤ側面・平面・正面図

付旋回油圧モータを採用した。

(4)開発内容その4 (問題点4の解決)

図-3に示すホッパ、ベルトフィーダおよび旋回機能付き片持ち梁構造のベルトコンベヤからなる設備は打設標高に応じて移動が必要である。移動に18tCCを使用すると打設工程に影響を与えるため、18tCCを使用しないで移動できる方法として、インクライン方式を採用した。ただし、頻繁に移動しない、移動は上方のみ、移動速度も重要でないことから大型の巻上ウインチでなく、ワイヤと油圧チルホールを組合わせた簡便な牽引方法を考案した。

4.2 インクラインBCの概要

(1)トラス構造・片持ち梁式のベルトコンベヤ

岩着コンクリート打設範囲を考慮し、RCD(内部)コンクリート上に停止した重ダンプへ供給可能なトラス構造・片持ち梁式ベルトコンベヤ機長は最少限必要な14.6mとして詳細設計を行った(写真-5参照)。

(2)一時貯蔵ホッパ

- コンクリートを貯蔵可能なホッパは、
- ・重ダンプ入替時間：90秒=1.5分
 - ・SP-TOM搬送能力：180m³/h=3m³/分

- ・貯蔵必要容量：3m³/分×1.5分=4.5m³から「有効貯蔵6.0m³ホッパ」を採用した(写真-5参照)。

(3)ベルトフィーダ

大量のコンクリート定量供給装置としてベルトフィーダを採用し供給能力は、

- ・貯蔵量：3m³/分×1.5分(90秒)=4.5m³
- ・重ダンプ積込時間：240秒=4分
- ・4分間のSP-TOM

からの搬送量：3m³/分×4分=12m³

- ・4分間の必要供給量：4.5m³+12m³=16.5m³

- ・必要供給能力：16.5m³/4分≒250m³/h

から、「供給能力は最大300m³/hのベルトフィーダ」を採用した。なお、片持ち梁構造のベルトコンベヤの搬送能力も最大300m³/hで計画した(写真-5参照)。

(4)旋回機能

旋回機能を持たせるため、「旋回環」、「フレーム」および「減速機付旋回油圧モータ」を改造し、インクラインBC旋回装置とした。旋回して使用した状況を写真-6に示す。

(5)牽引装置

上述の各設備から構成されるインクライン

BC の総質量は 32,000kg (無負荷時) であり、設置勾配 32° で引上げに必要な牽引力は約 17,000kgf であった。大型の巻上ウインチで牽引する場合は、ウインチの導入費用が高額で納期も長期間であり、基礎も大型化するため、汎用の油圧チルホールを用いた牽引方法を検討した。その結果、油圧チルホール 1 基あたりのワイヤを 5 本掛けとし、全体で 20 本掛けとすることでインクライン BC を牽引可能であった。更に牽引装置の滑車部にはイコライザを用い油圧チルホールの牽引力が左右均等になるような工夫を行った (図-4 参照)。

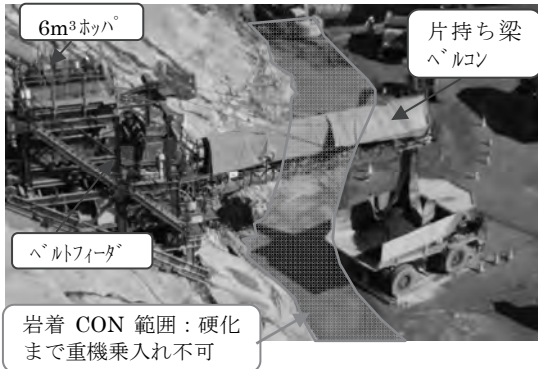


写真-5 インクライン BC 全景

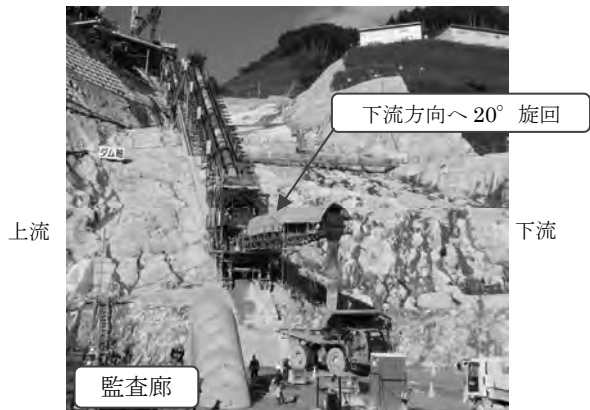


写真-6 インクライン BC 障害物回避状況

4.3 インクライン式ベルトコンベヤ詳細仕様

インクライン BC の詳細設計にあたり、三次元化を行うことで完成イメージを具現化でき、安全設備や機能面での修正事項が明確となると同時に組立工事の検討に大いに役に立った。詳細仕様を表-4 に示す。

5. インクライン式ベルトコンベヤの導入実績

五ヶ山ダムにおける 2014 年 2 月 17 日から 2015 年 7 月 31 日までの総打設量は、852,614m³ で打設実績を図-5 に示す。18tCC 1 基と「SP-TOM 1 条 + インクライン BC」の組合せで打設した結果、60,000m³/月以上の達成は 6 回あり、一ヶ月当りの最大打設量は 2014 年 10 月の 76,000m³ であった。

5.1 「SP-TOM+インクライン BC」の実績

図-5 に示す打設実績のうち、「SP-TOM+インクライン BC」にて運搬した実績のみ抜粋したものを表-5 に示す。従来の問題点であった SP-TOM の搬送停止は、開発したインクライン BC 導入により大幅に改善された。その結果、巡航 RCD 工法の RCD 用コンクリートは「SP-TOM+インクライン BC」のみで運搬可能となり、一ヶ月当り 40,000m³ 以上運搬打設した月の平均運搬速度は約 164.1m³/h (表-5 網掛け部の平均) に達し、18tCC 2 基相当の運搬打設能力であった。一方、18tCC 1 基は外部コンクリートの独立・後行打設や堤内で使用する資機材の揚重運搬に専念でき、理想的な施工を実現した。

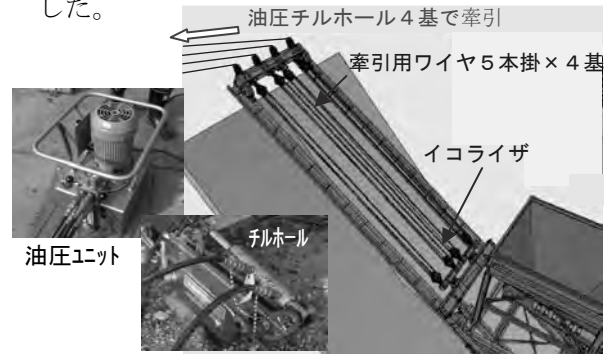


図-4 牽引装置の配置と油圧チルホール

表-4 インクライン式ベルトコンベヤ仕様一覧

各設備	用途	仕様
1. ホップ	40tDT 入替時間中に SP-TOM から 180m³/h で供給されるコンクリートを貯蔵	投入口寸法: 3.75m×3.25m ホップ高さ: 2.4m 有効貯蔵量: 6.0m³
2. ベルトフィーダ	ホップ内のコンクリートを先端ベルトコンベヤに定量供給	ベルト幅: 1050mm, 機長: 5.15m 電動機: 11.0kW 供給能力: 300m³/h
3. 先端ベルトコンベヤ	ベルトコンベヤ脚の無い片持ち梁構造のベルトコンベヤで 40tDT へ積込が可能	ベルト幅: 900mm, 機長: 14.6m 電動機: 11.0kW 供給能力: 300m³/h
4. 旋回装置	無負荷状態の先端ベルコンを左右に旋回し積込位置の変更が可能	旋回環 外環: PCD 1975mm 内環: PCD 1750mm 旋回可能角: ±30°
5. 走行台車フレーム	ホップ, ベルトフィーダ, 旋回装置, 先端ベルコンのベースフレームでレール面を走行し移動	寸法: L10.0m×W4.2m×H2.8m 走行輪: 6輪 サイドローラ: 4輪(浮上り防止がト付き)
6. 牽引装置	インクラインベルコン本体を打設進捗に合わせて 4 基の油圧チルホールで牽引	油圧チルホール牽引力: 1,600kgf×4 基 引上ワイヤ: φ11.7m, ワイヤ巻掛数: 4 基×5 本=20 本掛け

5.2 岩着部と次層 RCD 部の同時打設の実現

SP-TOM 先端直下の岩着コンクリート打設中および打設完了後は、最大で 24 時間はコンクリートが硬化するまで重ダンプの乗入れができず、SP-TOM による搬送を停止していたが、インクライン BC の開発により写真-7 に示すように SP-TOM 先端直下の岩着コンクリートを 18tCC にて分離独立して後行打設しながら、次層の RCD

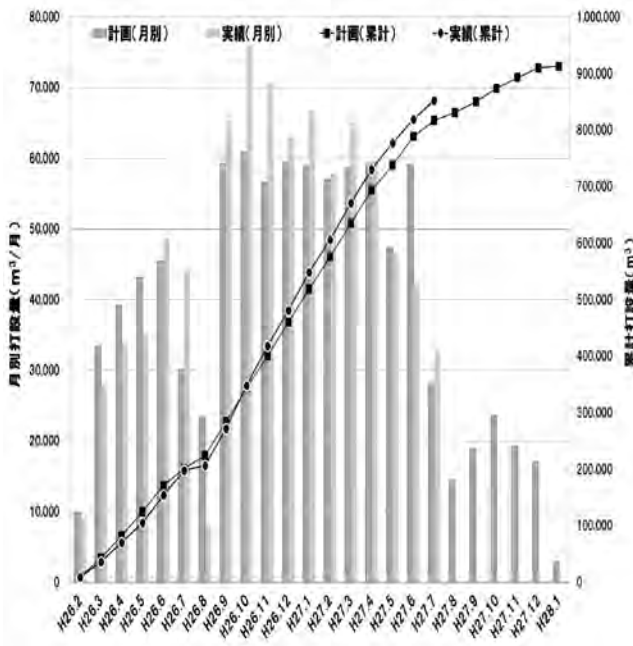


図-5 五ヶ山ダムでのコンクリート打設実績

表-5 SP-TOM+インクライン BC 運搬量、平均運搬速度実績

年	月	種類	運搬量	平均運搬	最大運搬速	
			(m³)	速度(m³/h)	度(m³/h)	
2015	3~5	有スラング	28,952	91.1	171.3	
	6	巡航RCD	31,723	132.9	200	
	7	巡航RCD	27,012	142.3	203.3	
	8	巡航RCDハープ	5,133	129.8	178.5	
	9	巡航RCD	53,329	171.1	237.2	
	10	巡航RCD	53,672	155.2	228.8	
	11	巡航RCD	52,539	169.8	232	
	12	巡航RCD	46,657	162.6	224.3	
	2016	1	巡航RCD	50,179	167	226.9
		2	巡航RCD	41,693	175.5	228
		3	巡航RCD	42,217	147.4	227
		4	巡航RCD	38,343	119.8	214
5		巡航RCD	21,999	92.7	151.2	
6		巡航RCD	21,254	77.1	144.1	
7		巡航RCD*	6,292	58.4	128.3	
計			520,993	-	-	

※2015年7月9日でRCD施工終了

用コンクリートを「SP-TOM+インクライン BC」を用いて重 DT に供給することが可能となった。



写真-7 岩着コンクリートと次層 RCD の同時施工

6. まとめ

標高369.5mにおいて2015年2月2日から2月4日までの32.8時間、巡航RCD工法で打設した時の打設速度データを図-6に示す。5,924m³の総打設量のうち「SP-TOM+インクラインBC」による打設量は5,014m³で、最大瞬間打設速度は240m³/hを示しており、コンクリート製造設備能力(240m³/h)と同一であった。また、「SP-TOM+インクラインBC」は、平均打設速度は181m³/h(28時間連続稼働)と高い打設速度を達成した。

SP-TOM 1条+18tCC 1基で堤体積100万m³級のダムを施工した例は無く、今後も工夫改善を図り、コンクリート主運搬打設設備として高い生産性向上を目指す予定である。

参考文献

- 財団法人ダム技術センター：改訂版 巡航RCD工法施工技術資料，pp.1～10，平成24年2月

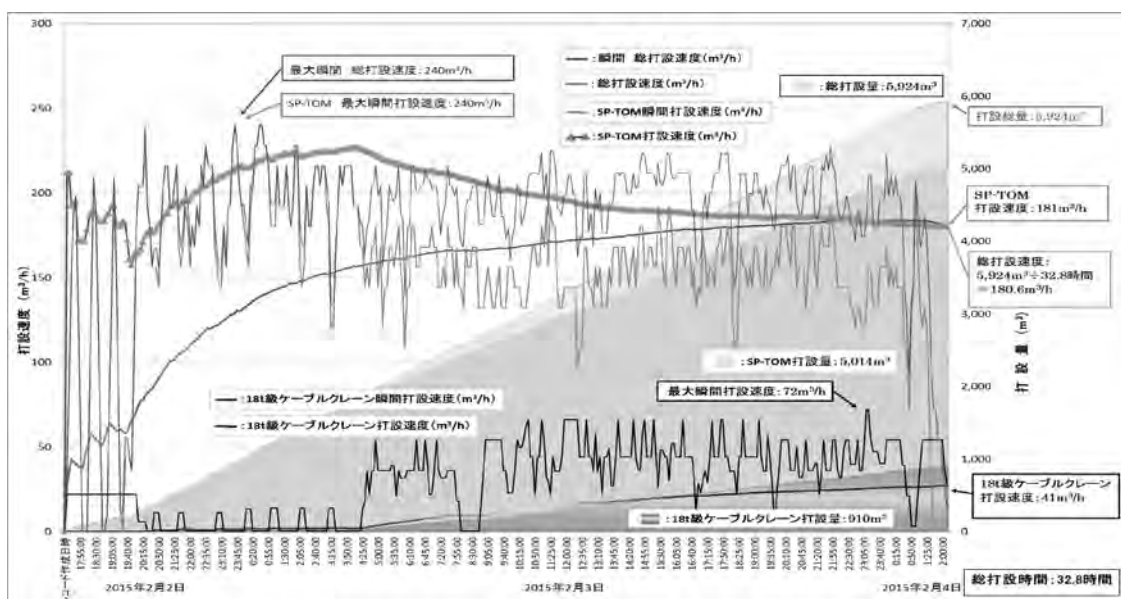


図-6 巡航RCD工法で堤体コンクリート(標高369.5m)を打設した時の打設速度

26. コンクリート舗装における施工方法合理化への取組み

－ オフレール式インナーバイブレータの導入 －

大成ロテック株式会社
大成ロテック株式会社
大成ロテック株式会社

○ 越村 聡介
田中 純
菅野 学

1. はじめに

2010年に発生した東日本大震災による港湾施設等の被害は、甚大であり、早期復旧が望まれている。復旧・復興の整備が進む中、耐久性に優れるコンクリート舗装が見直されている。港湾施設等のコンクリート舗装では、複雑な目地割が要求され、従来のセットフォーム工法では施工機械の幅員変更等が必要となり、費用と期間を必要とする。また、人力によるコンクリート舗装では、施工コストは、縮減可能であるが、セットフォーム工法等の機械施工と比較すると、品質の均一性を得にくいことや、大規模工事においては、施工効率の問題等いくつかの課題がある。これらの背景を踏まえ、機械施工と人力施工の中間位置とも言える、簡易的な機械編成によるコンクリート舗装の適用を検討した。

大成ロテック(株)では、走行装置及びコンクリートの敷均し・表面仕上げ機能を有したシリンダファイニッシャを使用した施工方法を検討してきた。そして検討の結果、人力による締固め作業を機械化し、さらなる施工の効率化を目的として開発した「オフレール式インナーバイブレータ」を組み合わせた、簡易的な機械編成の適用を提案し、実現場にてその導入効果の検証を行った。

本稿では、コンクリート舗装における現状の課題を整理し、簡易的な機械編成によるコンクリート舗装の特長を示すとともに、現場施工への活用事例とその導入効果の検証結果を示すものである。

2. 従来工法における課題

2.1 セットフォーム工法

セットフォーム工法は、全ての施工機械が同一の軌道上を走行するため、仕上がり良好であり、空港や重交通道路等に多く適用される。

セットフォーム工法における課題を以下に示す。

1) 複数の施工機械を使用して施工を実施するため、施工規模によっては、輸送費や機械運転費等の

機械経費が増加し、施工条件や施工規模を勘案し、導入する必要がある。

2) 複雑な目地割によりレーン替えや、組立・幅員変更等の作業が必要となった場合は、クレーン作業が必須となり、作業安全性の低下、仮設コストの増加が懸念される。施工状況及びクレーン作業の状況を写真-1に示す。

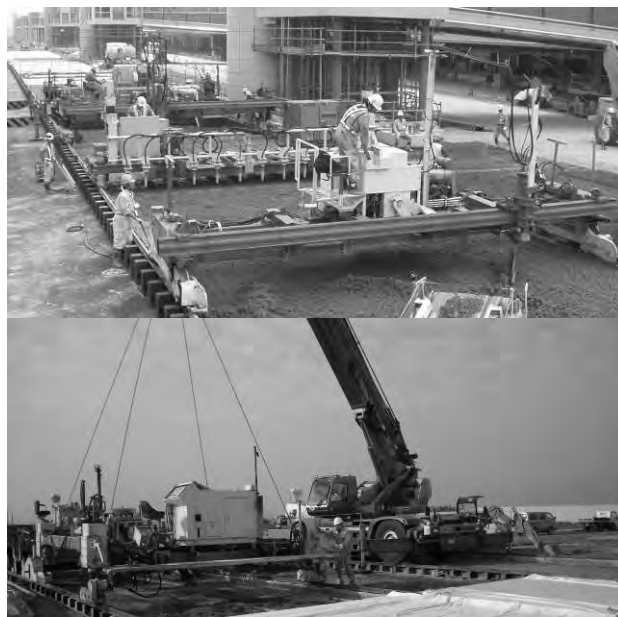


写真-1 セットフォーム工法の施工状況

2.2 人力施工

人力施工では、鋼製フレームに起振装置を搭載した装置を用いるのが主流であり、フレーム本体を振動させながら人力で型枠の上を滑らせ表面仕上げを行う。材料供給にはコンクリートポンプ車等を使用し、棒状バイブレータにより人力にて締固めを行う。装置が軽量であり、幅員変更等の調整も容易に行うことが可能であることから、車道路肩部や街路、機械施工では難しい複雑なレーンの仕上げ用機械として幅広く使用されている。

人力施工における課題を以下に示す。

- 1) 施工能力は機械施工には大幅に劣り、大規模な施工には不適である。
- 2) 人力による作業のため、機械施工と比較し、品質の均一性に劣る。
人力施工の施工状況を写真-2に示す。



写真-2 鋼製フレームを用いた人力施工の状況

3. 従来工法の課題への対応技術

前章で示したコンクリート舗装の課題への対応策として、走行装置及びコンクリートの敷均し、表面仕上げ機能を有したシリンダフィニッシャを適用した施工方法を現場へ導入した。

3.1 シリンダフィニッシャ

対象機は、欧米諸国において既に実績のある米国 GOMACO 社製「C-650」を適用した。

施工機械の主要諸元を表-1に、全景を写真-3に示す。

表-1 シリンダフィニッシャの主要諸元

エンジン	メーカー	キャタピラー
	定格出力	33(KW)
	冷却方式	水冷式
寸法	幅	2,300(mm)
	長さ	打設幅員+2,000(mm)
	高さ	最小 2,520(mm)
走行装置	クローラ式	
走行速度	0~5.88(m/min)	



写真-3 シリンダフィニッシャ

シリンダフィニッシャは、機械フレーム下部に表面仕上げ装置が搭載されており、前方に余剰コンクリートを押し出すスクリーが2本、後方に仕上げ用のドラムが2本設置されている。施工時は、走行中にこれらを回転させながら往行させることで、平坦な表面仕上げを行うことが可能である。

また、セットフォーム工法では、施工幅員変更の都度、機械の組替や調整が必要であったが、当該編成による舗装では、シリンダフィニッシャの走行位置の調整や、センサ取付け位置の変更など、軽微な調整で連続施工が可能となる。

当該編成による施工の機械編成を図-1に、施工状況を写真-4、写真-5に示す。また、施工の問題点を以下に示す。

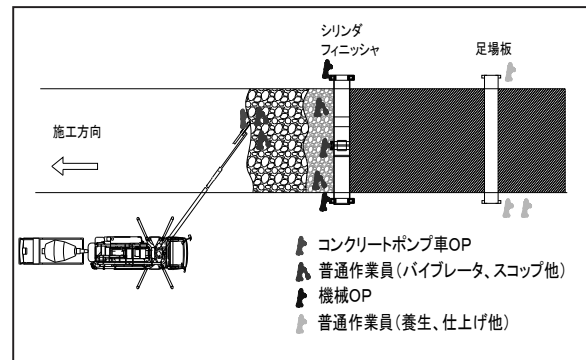


図-1 舗装機械編成図



写真-4 施工状況①



写真-5 施工状況②

3.1.1 問題点

1) 人力での締固めによる品質への影響

写真-4、写真-5より、シリンダフィニッシャ前方に締固め作業員、及び補助作業員で2名、材料供給量の調整に3名の計5名の作業員が配置された編成となっている。

当該編成による舗装の問題点として、棒状バイブレータによる人力での締固め作業のため、均一な締固めを得ることが難しく、クラックや表面性状の斑の原因となる事があげられる。

2) 舗装表面への影響

写真-5より、コンクリート舗装面上に3名の作業員が足を踏み入れているのが分かる。この場合、表面仕上げの際、作業員の足跡等の窪みにモルタル分が集中する可能性があり、クラック発生等の原因となる。

3.2 オフレール式インナーバイブレータ

3.2.1 開発の経緯

前述した簡易機械編成によるコンクリート舗装（以下、簡易編成による舗装）において、一定の品質を確保するには、締固め作業の均一化が要求される。しかし、人力でのコンクリートの締固めにおいて均一な品質を得るには、作業員の技量に大きく依存するため、対応策を検討した。

そこで、「コンクリートの締固め均一化」、及び、「施工性向上によるコスト縮減」を目的とし、人力による締固め作業の機械化を可能にする、オフレール式インナーバイブレータ（以下、当該機械）の開発・導入に至った。

3.2.2 開発目標

前項で示した簡易編成による舗装の問題解決のため、下記に示すコンセプトにより開発を実施した。

- ① 品質向上のため、施工断面において所定の深さまで、均一な締固めが可能な構造とする。
- ② コスト縮減のため、シリンダフィニッシャ前方作業員の省力化を可能とする構造とする。
- ③ 自送回送時は高速走行が可能な構造とし、段取り替えや移動時に要する時間を削減し、工程短縮を図る。
- ④ 電気回路、及び油圧装置の改造により現在使用している60KVAの発電機を小型化する。
- ⑤ 施工機械の運搬形状は、10tトラック1台で運搬可能な構造とする。
- ⑥ 複雑な電気回路は見直し、簡単なスイッチ操作とすることで、初めて機械を運転する作業員にも容易に操作可能な構造とする。

3.3 当該機械の概要

ベースマシンは、セットフォーム工法で使用する軌道式インナーバイブレータを使用した。コンクリートの締固めには舗装横断方向に直線状に配置された12本の高周波棒状バイブレータを使用する。ベースマシンの全景を写真-6に示す。



写真-6 ベースマシン

当該機械は、ベースマシンの走行装置をレール走行式から脱着可能なタイヤ駆動式に変更した。また、駆動装置の変更に伴い、油圧装置・電気回路の変更を行った。

当該機械の主要諸元を表-2、機械全景を写真-7に示す。

表-2 主要諸元

寸法	幅	2,350(mm)
	長さ	打設幅員+2,000(mm)
	高さ	2,200(mm)
機械質量		6.5(t)
バイブレータ本数		12(本)
発電機		45(KVA)



写真-7 オフレール式インナーバイブレータ

当該機械の特徴を下記に示す。

1) オートステア機能付タイヤ式走行装置

走行装置は油圧によるタイヤ駆動式を採用し、操舵機構は、ステアリングセンサによる自動制御方式を採用し、オペレータへの負担軽減を図った。また、タイヤ駆動式とすることで、移動時における機動性を向上させた。さらに、電氣的に左右の車輪を逆回転させることによる旋回機能を搭載し、狭い箇所での移動など様々な施工条件にも対応可能とした。

2) 本体昇降装置

従来はレール上の走行であり、本体の昇降装置は不要であったが、オフレール仕様への変更に伴い、追加した4本の走行装置にストローク 500mm のシリンダを新規設置し、施工時の高さの微調整、及び段差の乗り越えを対応可能とした。また、施工時はグレードセンサを使用し、自動制御を可能とした。

3) コンクリート供給量調整ブレード

シリンダフィニッシャの施工性は、コンクリートポンプ車からの供給量が著しく影響する。そのため、当該機械の後方に、コンクリート供給量調整ブレードを配置し、後方のシリンダフィニッシャへの供給量を調整可能とした。調整ブレードの機構は、センター中折式とし、中折角度及び、ブレード両端部に延長ブレードを設置することで施工幅員の変化に対応可能な構造とした。使用状況を写真-8に示す。

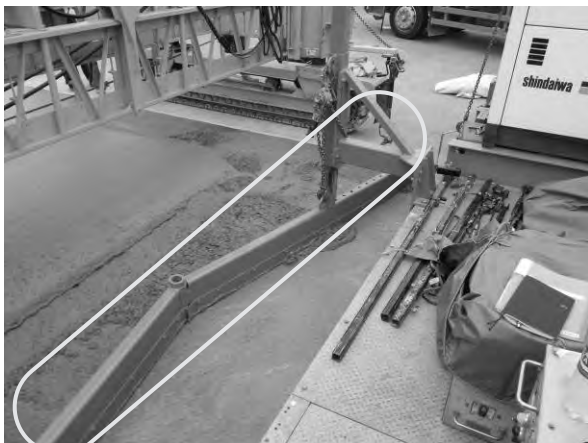


写真-8 コンクリート供給量調整ブレード

4) 可変ポンプの採用による発電機の小型化

従来は定量ポンプにより油圧システムを作動させていたため、エネルギー損失が見受けられた。そこで、可変ポンプを導入し、作動装置で使用する油量を電磁比例制御とすることで、バイブレータを使用しない高速移動時は、走行装置に最大限の油量を使用し、施工時等の低速走行時には走行に使用する油量を抑え、インバータの電力を確保した。

5) 運搬形状

機械前後の幅を 2,350mm としたことで、施工時の状態で 10t トラック 1 台で運搬可能とした。

4. 現場への導入

4.1 施工事例

簡易編成による舗装に当該機械を追加した編成により、東北管内の現場へ導入し、その効果の検証を行った。当該現場は、狭隘部（起終点など）が多く、現場内における長距離移動も多いことから、当該機械の機動性が求められた。

当該現場の工事概要を表-3に示す。

表-3 工事概要

施工期間	平成26年6月～平成26年12月
施工場所	東北管内
工事内容	コンクリート舗装復旧工事
施工幅員	W=3.6～5.0(m)
施工厚	t=250～350(mm)

導入効果を、施工品質及び、作業効率、施工コストについて検証した。

4.1.1 従来編成による施工との比較

当該機械を導入した施工の機械編成を図-2に、実際の施工状況を写真-9に示す。

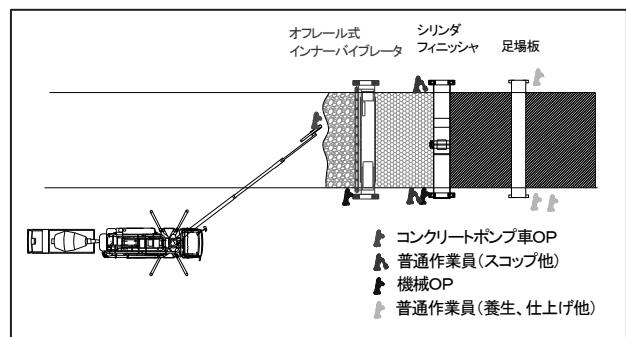


図-2 機械編成



写真-9 施工状況

当該機械を導入した編成の採用により、打設面上に供給されたコンクリートを速やかに締固める事が可能となった。また、自動制御によりパイプレータの「下降」、「上昇」、「車両前進」、「下降」のサイクルを一定間隔で繰り返せることで、コンクリートを機械的且つ、連続的に締固めることが可能となった。

さらに、機械周辺における作業が簡素化され、作業安全性が向上した。

4.1.2 施工品質の検証

当該機械を導入することにより、均等に配置されたパイプレータでコンクリートを均一に締固めることが可能となった。また、供給量調整ブレードの導入により、余剰な材料供給を防止することが可能となり、シリンダフィニッシャ前方の作業が簡素化され、作業効率の向上を図るとともに、均一な品質を確保することができた。

粗面仕上げの作業時においても、コンクリート表面全体が均一な性状であることが確認でき、斑のない粗面性状を確保することが可能となった。粗面仕上げ作業の状況を写真-10 に示す。

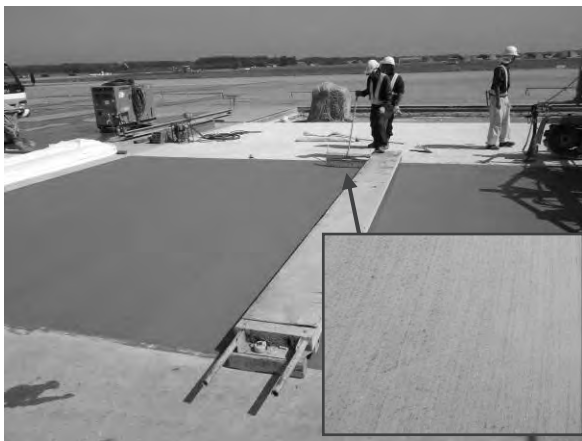


写真-10 粗面仕上げ状況、及び表面性状

4.1.3 施工コストの検証

1) 施工体制の省力化

当該機械の導入により、シリンダフィニッシャ前方の締固め、及び材料調整作業員を5名から2名に削減することができた。また、省力化された施工体制を確立することで、更なるコスト縮減が期待できる。

2) 日施工量の増加による工程短縮

従来の簡易編成によるコンクリート舗装と、当該機械を導入した編成による舗装の日施工量の平均をまとめたものを図-3 に示す。当該機械を導入することで、人力で行っていた締固め作業が機械化され、従来編成と比較し、約1.5倍の施工能力を発揮することが確認できた。

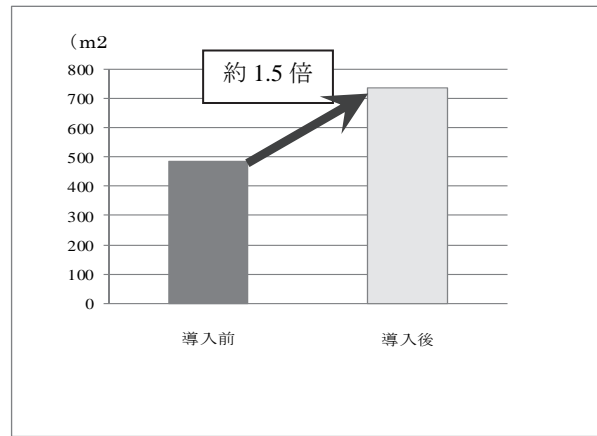


図-3 日施工量比較

次に、導入コストの試算結果を図-4 に示す。導入コストは、施工現場を弊社より300km圏内とし、全施工面積を5,000m²、施工厚さを30cmとして、当該機械の導入前後における施工コストを試算した。導入初期は、当該機械の出入庫費用、輸送費が計上されるために、従来舗装の施工コストを上回る結果となった。しかし前述した通り、人力作業を機械化することで、人件費の削減や、工程が短縮されることにより、2,000m²以上の現場においては、当該機械の採用によるコスト縮減が期待できる。

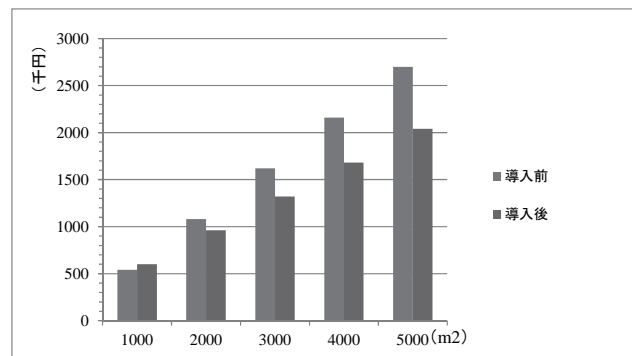


図-4 導入コスト比較

4-2 施工結果、まとめ

オフルール式インナーパイプレータの現場導入により、得られた所見を以下に示す。

- ① 当該機械を導入し機械的な締固めを実施することで、作業員の技量に左右されない均一なコンクリート品質を確保することが可能である。
- ② 当該機械を導入することで、従来よりも作業人員の削減が図れ、省力化に伴う施工コストの縮減が可能である。
- ③ 従来方式で人力で行っていた締固め作業を機械化することで、日施工量が増加し、約1.5倍の工程短縮が可能である。また、施工機械の直近での作業が簡素化され、作業安全性も向上した。

- ④ 施工コストは、施工条件を指定した試算の結果、導入初期においては従来編成の舗装の費用を上回るが、日施工量の増加、及び人件費の削減により、2,000m²以上の現場においては、従来編成と比較し、コスト縮減が可能である。

5. 今後の課題

当該機械の現場導入に対する今後の課題を下記に示す。

1) 安全対策

当該機械の運転席は、一部死角となりやすい構造となっている。接触による重大事故防止のため、死角の少ない構造とする必要がある。

2) 施工データの蓄積

当該機械を使用した施工に関しては、現在のところ導入事例が少ない。今後とも積極的に現場への導入を図り、品質や歩係り等、詳細な施工データを蓄積をする必要がある。

6. おわりに

現場における施工業者に対するニーズは多種多様である。舗装業者である我々は、施工条件に応じた様々な舗装方法を検討し、高品質かつ低コストで実施可能な、新しい施工方法を追及していくことが不変の課題である。

今回紹介した簡易機械編成によるコンクリート舗装を含め、今後とも品質の向上及び、コスト縮減可能な施工方法、機械編成を検討し、幅広く普及させるために、更なる研究・改善に努めていく所存である。

27. UHF 帯 RFID を用いたレンタル電気機器管理システムの開発

－ レンタル製品の個体管理と履歴データの利用 －

株式会社ヨコハマシステムズ ○ 中川 健
株式会社シンテクノ 庄野 雅治
秋山 道春

1. はじめに

無線波を利用してデータを送受信できる RFID (Radio Frequency Identification) タグは、個体認識の技術として各種の業界で様々な利用されており、その有効性は既に多くの事例報告により明らかにされている。例えば、IC タグによる現場労務管理システム¹⁾では、IC タグ (RFID) を用いて建設現場の就労者の識別を行う入退場管理を実現した。また、伊藤、田口、原田は IC タグを使用してトンネル坑内安全管理システム²⁾を開発した。彼らは、タグの識別情報をトンネル内の位置情報へ対応付けて利用した。

我々は、RFID タグを活用したレンタル電気機器の運用管理を支援するシステムを開発した。本システムは、様々な環境で使用される機器の安全性をこれまで以上に高めるために、機器の品質管理を目指したものである。正確に個体認識できることを重視し RFID タグを利用することとし、また、利便性を考慮して通信範囲を容易に制御できる UHF 帯 (920 MHz 帯) の RFID タグを採用した。

1.1 開発の背景

従来は組織内部で行っていた業務を、独立した外部組織に委託するいわゆるアウトソーシングに移行する傾向が増加し、我々の取り扱うレンタル電気設備機器が建設現場をはじめとして、多くのお客様に採用されている。中でも分電盤は、動力、電灯を使用する際に、機械・照明に直接電力を行い、配線用遮断器や漏電遮断器を内蔵するもので、作業者の安全確保、対象機器の保護等、電力使用上の安全設備として数多く採用されている。また、この分電盤は、仕様、使用環境や使用期間が様々であり、的確な品質管理が求められる。こうした中で、我々の運用数量はその必要性から多量であり、さらに分電盤 1 面に多くの電気機器を内蔵しており、お客様に安心して使用いただくために、効率的な品質管理手法の導入が求められてきた。

そこで、このような背景を基に、分電盤を構

成する電気機器の履歴管理に加え、出庫検査記録の出力・保存、お客様への配置状況のリアルタイム管理等により、運用業務の合理化を図るために本システムの開発を行った。

1.2 分電盤の品質

通常、分電盤はレンタル前にブレーカーと漏電遮断器の電氣的検査を行い、正常な動作の確認し、品質を維持する。建設現場へレンタルされるものは、過酷な環境で長期間に渡り使用される。そこで、運用管理の要点として、破損や動作に支障がある製品等の物理的な劣化製品の排除に加え、出荷時にリアルタイムで製造年月の管理を徹底し評価する。この情報を利用して、我々はチェック品質をより高水準に引き上げることを目指す。

1.3 目的

レンタル電気機器に対する製品管理システムでは、製品を構成する部品に関しては、製造年月、検査情報、破損情報、破損部位の写真、修理情報などを管理し、流通に関してはレンタル先や返却元などの管理を行う。

これらの管理機能は、RFID タグのトレーサビリティを利用して、すべての製品個体を識別することによって実現する。

2. 製品の個体管理システム

2.1 システム概要

本システムは、製品に貼付した RFID タグ (写真-1) 利用して製品個体の管理を行う。このタグにはユニークな ID 情報が書き込まれており、それをタグリーダーで読み込むと製品個体を識別することができる。タブレット端末でその個体 ID を自動的に受け取り、それに対する業務情報を入力することにより製品個体毎の情報管理を行う。これらの情報はサーバーへ集約し集中管理し、サーバーでは集計した多量の製品管理情報の閲覧機能や帳票出力機能を提供する。

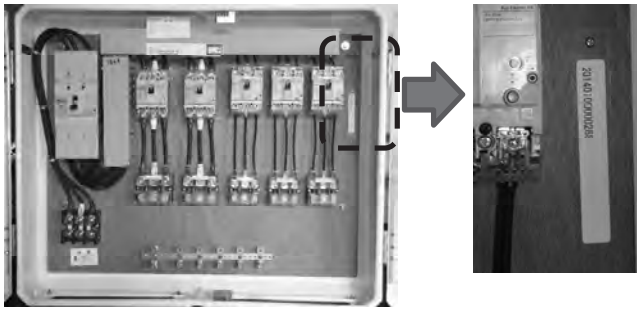


写真-1 RFID タグ（破線の枠内）を固定した分電盤内部の写真。右側は、破線枠内のタグの部分を拡大した写真。

表-1 製品の管理のための状態と説明

状態	説明
完成	製品に含まれる部品の検査が終了し、製品検査証が印刷発行済み。製品の出庫前状態。
稼働中	製品は出庫されており、お客様先で稼働中。
要修理	返却された製品が破損、もしくは電気的な不具合がある状態。品質規定を満たさない場合。
要検査	製品検査を行う前の状態。

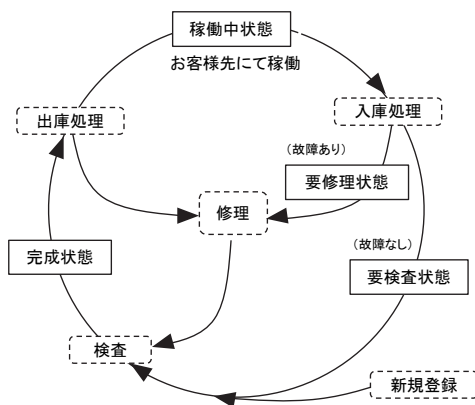


図-1 製品状態のフロー図。実線の枠は状態、破線の枠は、業務を示す。

表-2 製品管理システムの機能とその説明

機能	内容
製品の個体識別支援機能	分電盤製品に貼付されたタグ読取時に、製品情報と状態を表示する。
製品情報の入力支援機能	製品状態に対応するデータをタブレットから簡便な操作でデータ入力できる。
使用電気機器の製造年月検査機能	タグ読取時に部品の製造年月を確認し、交換が必要な部品の修理を促す。
製品破損写真の撮影機能	破損製品の写真をタブレットで撮影する。写真は、修理見積書作成に使用する。
検査証の出力機能	検査データを出力した検査証シールを、携帯プリンターよりラベル印刷する。

2.2 製品管理のための状態

本システムでは、業務上の管理対象とする製品の状態（表-1）を定義し、これに紐付ける形で情報を記録する。製品状態のフローを図-1に示す。サイクル上になっているのは、業務がレンタル業であることに由来する。

RFID タグを貼付して新規登録を行った製品は、システムのサイクルへ組み入れられ「要検査」状態となる。工場で整備し検査を実施した後は、ラベルプリンターより検査証（図-2）を印刷し、検査証が貼付された製品は「完成」状態となり出庫を待つ。返却された製品は入庫処理を行い、故障の有無によって「要修理」状態、もしくは「要検査」状態へ遷移する。修理が完了した製品は、「要検査」状態へ遷移する。

2.2 システムの機能

本システムは、製品状態を管理し、製品検査データ等の入力の省力化を支援し、煩雑な情報管理を効率的に実行する。主な機能は、表-2へ示す。

(1) タブレットの機能

タブレットは、製品個体に対する業務情報の処理を一手に担う（図-3）。タグリーダーを通じて RFID 内の ID 情報を読み出し、図-1のフローに従い、製品状態の確認、検査データの入力、検査証の発行、破損写真の撮影、状態の変更（登録、整備、検査、出庫、入庫、及び修理）等の処理を行う。

(2) サーバーの機能

サーバーは、タブレットで入力した情報を集約し、すべての情報の管理を行う。集計した情報の帳票出力や、製品履歴の閲覧ができる。管理している情報は、製品状態、製品に内蔵する部品の製造年月、部品の検査データ、出庫情報、返却情報、破損情報と破損部位の写真などである。また、帳票の出力や製品の出庫予約などを行うことができる。

(3) 品質向上のための機能

分電盤のレンタル品は、長期間使用される電気設備であるため、部品状態の管理は特に重要である。図-3 (b) に示す画面では、電気的な不具合や、使用電気機器の製造年月が品質基準を満たさないことを警告し出庫を防止する。また、図-4 に示す画面では、基準を満たさず交換が必要な部品を内蔵する製品一覧を確認することができる。

これらの機能により、業務の支援や効率化を行うとともに、特に、電気的な不具合や、使用電気機器の製造年月が品質基準を満たさない製品の出庫を防止する。このように、本システムはレンタル業務と製品の品質を向上させることができる。

漏電遮断器検査証		20140100000916					
P-125-C		シンテクノ管理ユーズ		2014/09/24			
遮断器No.	1	2	3	4	5	6	再点検
感度電流(mA)	20	21					
動作時間(ms)	50	51					
遮断器No.	7	8	9	10	11	12	備考
感度電流(mA)							
動作時間(ms)							

図-2 ラベル印刷の例。図は、タブレットへ入力した検査データより印刷した漏電遮断器の検査証である。



図-3 タブレットの画面の例。(a) 整備された製品を一覧表示している。(b) 分電盤の検査データを入力する画面。矢印の行は、この部品が品質基準を満たしていないことを強調表示している。

No.	タグID	型式・仕様	データ更新日	状態	部品状態															
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	2014062500001	LLE-100-F	2014/06/25	完成	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
2	2014062500002	LLE-100-F	2014/05/20	搬出済	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
3	2014062500003	LLE-100-F	2014/06/20	搬出済	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
4	2014062500004	LLE-100-F	2014/05/15	稼働中	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

図-4 製品の部品状態一覧を示すサーバーの閲覧画面。表右側は各部品状態に対する判断を示しており、×印は電気的な品質判定が不合格であることを意味する。



図-5 システムで使用する携帯端末。(a) タブレット (Google 社製 Nexus7), (b) タグリーダー (D.O.TEL 社製 DOTR-910J), (c) ラベルプリンター (ブラザー社製 RJ-4030)。

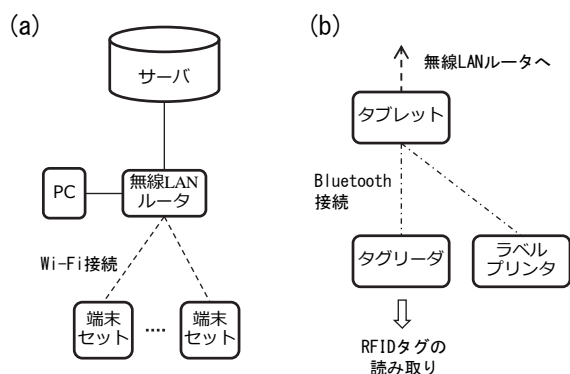


図-6 (a) 特定拠点で運用する際の最小システム構成図。(b) (a) の端末セットの詳細図。

2.2 システム構成

本システムは、端末機器とサーバーで構成される。端末機器は、タグリーダー、タブレット、ラベルプリンターである(図-5)。製品の個別情報の収集は、すべて携帯機器で行い、柔軟に運用できるようにしている。システムは、最小構成のとき図-6 のようになる。タブレットはサーバーとネットワーク接続しており、タグリーダーとラベルプリンターは、タブレットからBluetooth 接続を通して制御している。

(1) UHF 帯 RFID タグ、タグリーダー

RFID タグとリーダーには、UHF 帯のものを採用した。タグリーダーの送信出力を調整することにより、リーダーからタグまでの読み取り距離を数 cm～数 m まで調整することができる。このことを利用し、製品内部のタグへの筐体外側からアクセスや、保管している製品の情報をまとめて読み出し調べることが可能となる。

(2) タブレット

タブレットは、カメラ、Wi-Fi 接続及び Bluetooth 接続をサポートする標準的な Android タブレットを使用する。大きさは、工場などの製品に対する作業の現場で柔軟に運用できるように7インチを採用した。

(3) サーバー

複数拠点のデータを集約する場合には、図-7 に示すシステム構成にする。このときは、拠点間でデータを共有できるため、拠点横断的に情報を閲覧することができ、1 拠点からは得られなかった情報を引き出すことも可能となる。

3. 製品個体データの利用

本システムは2014年9月より本格運用を開始し、分電盤製品の運用データを蓄積している。これらのデータは、以下のように利用している。

3.1 データ登録実績

まず、現在のシステムへの製品登録実績を示

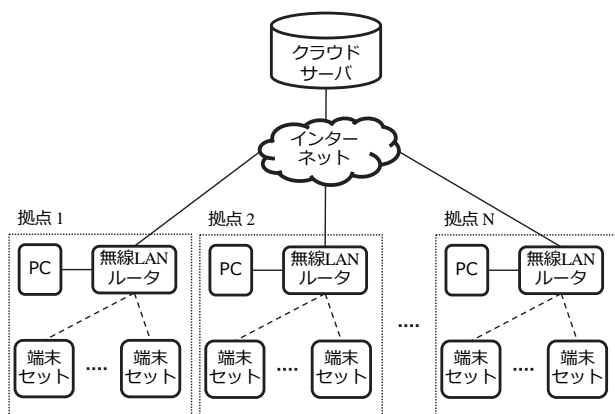


図-7 複数拠点データを集約する際のシステム構成図。

表-3 システムでのシンテクノにおける製品管理実績数

拠点	厚木工場	埼玉工場
稼働期間	1.5年	1年
管理製品数量	約1,000	約2,000
登録部品数	約5,000	約10,000

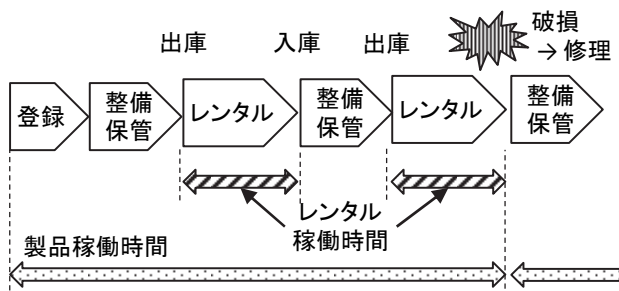


図-9 製品ライフ管理の図。製品が登録から破損するまでの期間の例を示している。

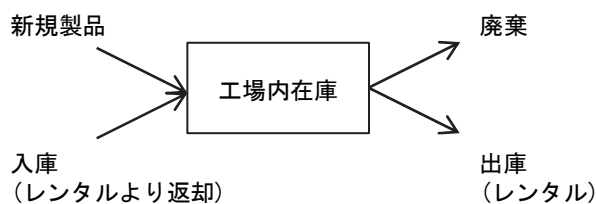


図-9 工場内在庫に影響を与える主要素。

す。管理対象のレンタル製品は、大半はお客様先で稼働しているために、新規に製造した製品や、返却により入庫した製品にタグを貼付システム登録を進めている。表-3 に示す登録数量で管理データを蓄積し、データ利用の評価をしている。

3.2 取得データ

本システムは製品個別別に業務履歴を保存する。履歴取得は、これまでに述べたように、図-8 に示す各業務のタイミングで実施する。製品の履歴データからは、各業務の記録だけでなく、

製品個体が特定の状態にある時間を引き出すことができる。例えば、図-8 のような新規登録後に破損するまでの時間（製品稼働時間）や、これに対してレンタルされて製品が稼働している時間（レンタル稼働時間）である。また、製品に含まれる部品毎に破損するまでの期間を求めることもできる。

3.3 データ利用

製品個体毎の履歴データは、製品別に集計することによりレンタル業務の運用に有効なデータとなる。

(1) 製品個体の運用性能評価

分電盤製品個別別に履歴を参照することにより、製品別のデータを集計し生産量、整備もしくは修理の履歴から、運用性能を評価することができる。

(2) 製品別および部品別の製品稼働時間やレンタル稼働時間

図-8 に示した稼働時間からは、製品別の稼働率を求めることができる。また、レンタルの履歴と合わせて、レンタル先の建設現場環境（例えば、建築、土木、設備工事など）に依存した製品に対する、稼働率という観点からの負荷を推定することができる。

(3) レンタル製品の適正在庫

図-9 に示すように、レンタル業務における出荷量（出庫量）は、製造した新規製品だけでなく、レンタル先より返却された入庫量にも依存する。製品個別別の収支傾向や稼働率は、そのレンタル製品の適正在庫を求めるためのデータとなり、業務の効率化が期待できる。

4. おわりに

本システムは、レンタル電気設備機器を対象にした多量資産の運用管理の効率化支援や製品の品質向上を目的として開発を行った。情報の蓄積が進むことにより、今以上に有意義なデータが引き出せることが期待できる。

最後に、ご協力いただいた関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 西松建設, 戸田建設, ヨコハマシステムズ: ICタグによる現場労務管理システム, 建設機械施工, No. 657, pp. 53, 2004.11
- 2) 伊藤耕一, 田口 毅, 原田和男: ICタグおよびPHSを使用したトンネル坑内安全管理システム, 建設機械施工, No.675, pp. 28-33, 2006.05

28. 道路施工機械の燃費低減の検討

－ スリップフォーム工法での燃費低減 －

大成ロテック株式会社
大成ロテック株式会社
大成ロテック株式会社

○ 田中 純
越村 聡介
三嶋 遼太

1. はじめに

近年、建設業界における舗装技術への要求事項は多種多様化している。特に、環境負荷低減技術への関心は高く、我国においても2020年度までにCO₂排出量を2005年度比で3.8%削減する目標を掲げており¹⁾、建設機械のCO₂排出量削減を目的とした環境負荷低減への取組みがなされている。

大成ロテック(株)では、施工機械の環境負荷低減を目的として、燃料消費量が比較的多いスリップフォームペーバでの燃費低減を可能とするシステムの検討を実施し、従来施工同様の品質を確保しながら燃料消費量を削減する施工システムを開発した。

本稿では、開発した『稼動状況監視システム』の概要を示すと共に、施工現場への導入事例、及び導入効果について報告する。

2. 燃費低減を可能にするシステムの検討

2.1 スリップフォームペーバの概要

対象機として選定した機械は、米国ゴメコ社製のスリップフォームペーバ『コマンダーⅢ』である。スリップフォームペーバは、①コンクリートの供給・②敷き均し・③締固め・④成型・⑤表面仕上げの機能を備え、コンクリート版やコンクリート構造物を連続的に打設する機械である。

使用機械の主要諸元を表-1に示す。

表-1 スリップフォームペーバ主要諸元

機械名称		コマンダーⅢ ニュージェネレーション	
エンジン型式		CAT/C7	
エンジン出力		165.5(kW)/1,900(rpm)	
機械重量	本体	17,500	(kg)
	モールド	5,000	(kg)
バイブレータ本数		最大 16	(本)
バイブレータ回転数		0~10,500	(rpm)
最大施工幅員		6.0	(m)

機械装置は、原動機となるディーゼルエンジン及び作業装置を稼働させる油圧装置から構成される。作業装置の大きな特徴は、締固め装置として油圧により回転する『油圧バイブレータ』を搭載していることである。

スリップフォームペーバを使用した施工サイクルを図-1、及び施工状況を写真-1に示す。

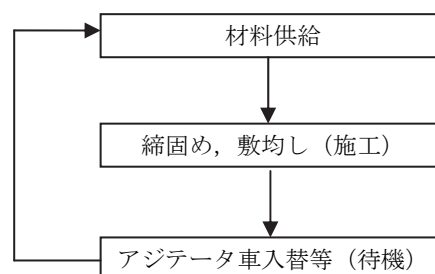


図-1 施工サイクル



写真-1 施工状況

スリップフォーム工法では、アジテータ車からコンクリートを供給する『材料供給』と、機械を走行しながら締固め、敷均しを行う『施工』及びアジテータ車の入れ替え等の『待機』の施工サイクルを繰り返して、施工を行う。

2.2 燃費低減方法の検討

燃費低減方法を検討するにあたり、前述したスリップフォーム工法の『材料供給』・『施工』・『待機』の3工程に着目し、実施工時の各作業に要する時間配分の調査を行った。調査対象とした現場での各作業における時間配分及び燃料消費量の調査結果を図-2に示す。

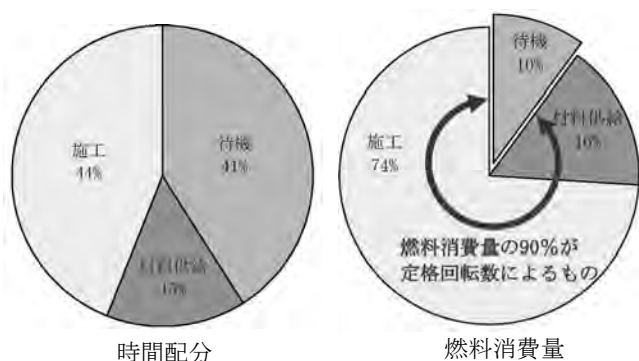


図-2 各作業の時間配分及び燃料消費量

図-2より、スリップフォームペーパーの稼働時間は、材料待ちや暖機運転などアイドリング状態である『待機』の時間が1日の41%を占めているが、エンジン回転数が低速であるため、燃料消費量の占める割合は、全体の10%程度である。それに対し、エンジン回転数を定格回転で稼働する『施工』及び『材料供給』の作業状態は、1日の稼働時間の59%であるが、燃料消費量は、全体の90%を占めていることが確認できた。

また、施工中におけるエンジン回転数及びその負荷が時間当りの燃料消費量に与える影響の調査を行った。その結果を図-3に示す。

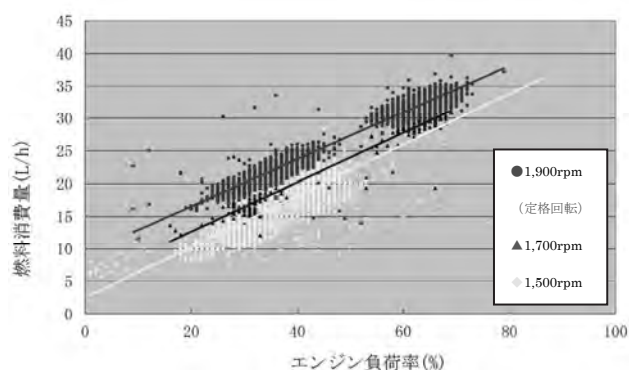


図-3 エンジン回転数による負荷と燃料消費量の関係

図-3より燃料消費量は、同一負荷条件においてエンジン回転数と比例して増加し、同一回転数では、エンジン負荷率と比例して増加することが確認できた。

2.3 検討結果

2.2での検討の結果、燃料消費量の90%を占める『材料供給』・『施工』の工程に着目し、同工程において、施工品質に影響を与えることなく、必要最小限のエンジン回転数を確保することで燃料消費量を大きく削減可能であると判断した。そこで、施工機械の稼働状況を監視し、必要最小限のエンジン回転数で施工する『低燃費運転』を可能とする『稼働状況監視システム』の開発を実施した。

3. 稼働状況監視システムの開発

3.1 開発コンセプト

下記2点を目標とし、システムの開発を行った。

① 施工能力低下の回避

低燃費運転時においても、走行装置、各シリンダ、材料供給装置等の作業装置は、従来の施工状況と同等の能力を発揮する事

② 施工品質への影響の排除

施工条件及びコンクリート性状に適したバイブレータ回転数に必要な作動油量を確保する事

(エンジン回転数を低下させた低燃費運転を実施した場合、油圧ポンプからの作動油吐出量が減少する。対象機の締固め装置は、油圧バイブレータを使用しているため、回転に必要な作動油量が確保できず、回転不足となり、コンクリートの締固め不足が懸念される。)

3.2 システム概要

3.2.1 システムの特徴

前述した開発コンセプトを基に、『稼働状況監視システム』の試作機を開発した。システムの特徴を以下に示す。また、システム構成図を図-4に示す。

① 燃料消費量，エンジン負荷率

エンジン ECU より CAN 通信モニタリング装置を介して、エンジン負荷率、燃料消費量のデータを PC へ出力表示する。

② エンジン回転数

オルターネータからのパルス出力を取得し、エンジン回転数として入力する。

③ バイブレータ回転数

油圧バイブレータの回転数を各バイブレータに取り付けたセンサーからの出力信号によりリアルタイムに測定表示する。

④ 走行速度，走行距離

走行装置に取り付けたロータリーエンコーダからの出力により走行速度、施工距離を計算する。

- ⑤ 操作スイッチによる作業状態の判別
ログデータ解析時に、『施工』・『待機』・『材料供給』の作業状態を判別する為、各操作スイッチからの信号を取得する。
- ⑥ データログ装置
上記①～⑤の信号を記録、計算し画面に表示及びデータを保存する。

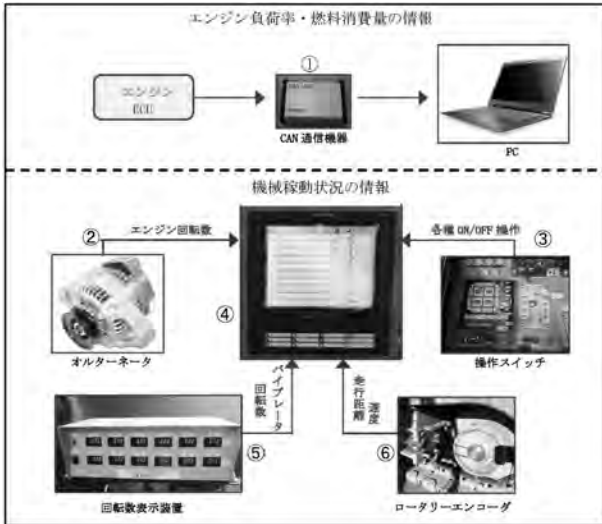


図-4 システム構成図

3.2.2 システム概念

稼働状況監視システムでは、3.2.1 に記した装置の機械情報をもとに稼働状況を監視する。その監視項目を下記に示す

① エンジン負荷率

エンジン ECU より CAN データによりエンジンの負荷率を取得する。

負荷率が 100%を超えるとエンジンが停止してしまうため、施工中は、90%以下のエンジン負荷率を保つように監視する。(連続施工中のエンジン負荷率の増減は、5%程度であるため、施工中のエンジン停止を回避する為、上限 90%と設定した。)

② バイブレータ油圧使用率 (C)

低燃費運転を実施することで、重要な点は、油圧バイブレータの油量の確保である。

当該機は、油圧バイブレータを最大 16 本装備可能で、2 系統の定量ポンプから作動油が供給される。従って、各系統の定量ポンプで、8 本のバイブレータの稼働に必要な吐出量を確保する必要がある、(1)式を満たすことが必須条件となる。

$$Q_p > \sum (Q_{pv}) \dots \dots (1)$$

$$Q_p = \frac{(q \cdot N \cdot \eta_v)}{1000}$$

- Q_p : ポンプ吐出量 (L/min)
- q : ポンプ押しわけ容量 (cm³/rev)
- N : 回転数 (min⁻¹)
- η_v : ポンプ容積効率

$$Q_{pv} = q_v \cdot V_m$$

- Q_{pv} : バイブレータの作動油所要量
- Q_v : 油圧モータ押しわけ容量 (cm³/rev)
- V_m : バイブレータ回転数 (min⁻¹)

バイブレータ油圧使用率 (C) を、それぞれの油圧ポンプに対して 90%以下に保つように監視する。(連続施工中の油圧バイブレータ回転数調整範囲に柔軟に対応する為、油圧使用率を 90%と設定した。)

$$C = \frac{\sum(Q_{pv})}{Q_p} < 0.9$$

3.3 導入事例

『稼働状況監視システム』を東北管内のトンネル舗装現場に導入し、その効果の検証を行った。当該工事は、施工延長 L:953m、幅員 W:8.39m の連続鉄筋コンクリート舗装工事である。工事概要及び施工状況写真を表-2、写真-2、3 に示す。

表-2 工事概要

施工期間	平成 25 年 8 月～平成 26 年 3 月
施工場所	東北管内
工種	連続鉄筋コンクリート舗装 (トンネル内)
施工幅員	① 4.095(m) ② 4.295(m)
施工延長	953 (m)
施工厚	25 (cm)



写真-2 各装置配置状況



写真-3 施工状況

3.4 導入結果

『稼働状況監視システム』の導入効果として、以下に示す4項目について検証した。

- ① エンジン回転数
- ② 燃料消費量
- ③ 施工品質への影響
- ④ 作業環境の改善効果

3.4.1 エンジン回転数

当該工事においては、施工幅員が4.2mとなり、油圧バイブレータを合計10本使用する仕様で機械セットを行った。従来の『施工』・『材料供給』は、定格回転数の1,900rpmで施工を実施しているが、今回、エンジン回転数を低下させた低燃費施工を実施するにあたり、以下の要領により、材料供給時、施工時のエンジン回転数の初期値を決定した。油圧ポンプ1系統及び2系統で使用するバイブレータの配置及び初期設定回転数を表-3に示す。(バイブレータの初期設定回転数は、メーカーの推奨値を採用)

表-3 油圧バイブレータ使用状況

【油圧ポンプ1系統】

番号	使用条件	回転数 min ⁻¹
1	油圧バイブレータ	7,000
2	油圧バイブレータ	7,000
3	油圧バイブレータ	7,000
4	油圧バイブレータ	7,000
5	油圧バイブレータ	7,000
6	タンパ	10,500
7	未使用	0
8	未使用	0

【油圧ポンプ2系統】

番号	使用条件	回転数 min ⁻¹
9	油圧バイブレータ	7,000
10	油圧バイブレータ	7,000
11	油圧バイブレータ	7,000
12	油圧バイブレータ	7,000
13	油圧バイブレータ	7,000
14	タンパ	10,500
15	未使用	0
16	未使用	0

表-3の条件において、油圧バイブレータを稼働させる必要作動油量 Q_{pv} は、

【油圧バイブレータ使用時の油量計算】

$$\begin{aligned} \Sigma(Q_{pv}) &= \Sigma(qv \cdot Vm) \\ &= (1.48(\text{cm}^3/\text{rev}) \cdot 7,000(\text{rev}) \cdot 5 \text{本}) / 1,000 \\ &= 51.8(\text{L}/\text{min}) \end{aligned}$$

また、タンパ使用の際は、最大油量を必要とする為、バイブレータの回転数に換算し10,500(rpm)とし、

【タンパ使用時の油量計算】

$$\begin{aligned} Q_{pvt} &= (1.48(\text{cm}^3/\text{rev}) \cdot 10,500(\text{rev})) / 1000 \\ &= 15.54(\text{L}/\text{min}) \end{aligned}$$

【バイブレータ1系統の合計】

$$\Sigma(Q_{pv} + Q_{pvt}) = 67.34(\text{L}/\text{min})$$

バイブレータ油圧使用率 $C < 90\%$ より必要な油圧ポンプからの最低吐出量 Q_p は、

$$Q_p = 67.34(\text{L}/\text{min}) / 0.9$$

$$Q_p = 74.82(\text{L}/\text{min})$$

となる。

エンジンと同回転数で駆動する油圧バイブレータ用定量油圧ポンプの必要回転数は、

$$Q_p = (q \cdot N \cdot \eta v) / 1000 \quad \text{より}$$

$$N = 1,396 \quad (\text{rpm})$$

よって、今回の施工初期条件における材料供給時、施工時の必要最小限のエンジン回転数は、1,396rpmと算出した。しかし、算出したエンジン回転数では、施工開始時の機械の挙動が不安定になるため、機械の挙動が安定する1,500rpmに修正した。また、それ以外の『待機』時においては、アイドル状態の900rpmとした。

3.4.2 燃料消費量

燃料消費量の削減効果を検証する為、低燃費施工と従来施工(定格回転数1,900rpmでの施工)時の燃料消費量の比較を行った。

燃料消費量の算出は、低燃費施工では、エンジンECUから取得した燃料消費量のログデータの総和から算出し、従来施工では、エンジン回転数を定格として、負荷条件を同一と仮定した場合の燃料消費量を図-3より算出した。

燃料消費量を比較した結果を図-5に示す。

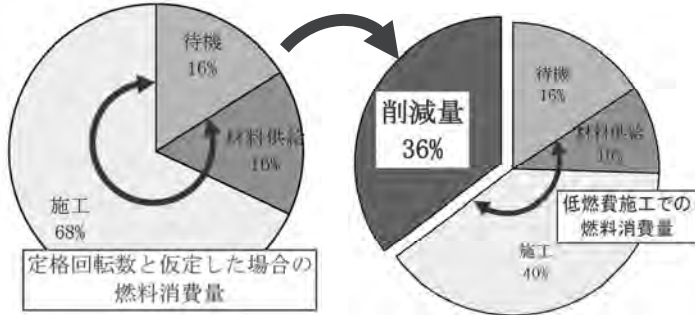


図-5 燃料消費量削減量

定格回転数における燃料消費量を100%とした場合、『材料供給』と『施工』工程のエンジン回転数を1,500rpmに設定することで、従来施工と比較して36%の燃料消費量削減結果が得られた。

3.4.3 施工品質への影響

施工品質への影響は、エンジン回転数を低下させることで、走行及び高さの制御系統への影響が懸念された。そこで、走行及び高さ制御に関して、制御の追従性の検証を実施した。

走行制御に関しては、施工状態での指示圧力及び目視での走行制御追従性の確認を実施し、ハンチング等発生することなく、安定した走行制御の追従性が確認できた。

高さ及びステアリング制御の追従性は、シリンダチャージ圧力の指示値及び、目視での制御追従性の確認を実施した。チャージ圧力の設定値は、13.7MPaである。施工時の各種シリンダ作動時に発生するチャージ圧の降下は無く、安定した圧力の確保が確認できた。また、当該施工では、情報化施工を適用して機械制御を実施していたので、制御の追従性に関しては、3DMC用モニターにて、設計値に対してmm単位で制御しており、安定した制御が確認できた。

3.4.4 作業環境の改善効果

作業環境の改善効果を検証するため、普通騒音計を用い、低燃費施工及び従来施工における各作業場所の騒音測定を実施した。図-6に測定位置、表-4に測定結果を示す。

従来施工と比較し、運転席付近で7dB、仕上げ作業付近で3dBの騒音低減効果が得られた。当該現場のようなトンネル内施工では、施工機械のエ

ンジン音が障害となり、オペレータや作業員間の連絡・指示伝達が困難な状況が多いが、低燃費施工を実施することで、エンジンから発生する騒音を低減することができ、作業効率や安全性が向上すると考えられる。

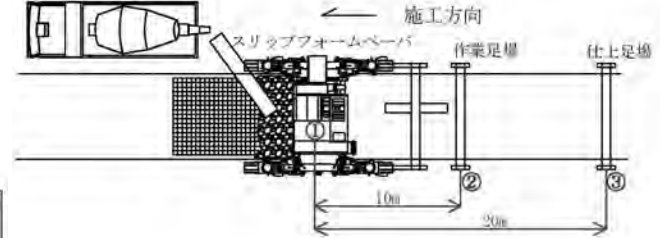


図-6 騒音測定位置

表-4 騒音測定結果

測定場所	低減量
① 運転席	7.3dB
② 作業足場	4.3dB
③ 仕上足場	3.0dB

3.5 システムの改良

3.5.1 新システムの特徴

試作したシステムを用いて、スリップフォームペーパーにおける低燃費施工を実施することでシステムの有効性が確認できた。しかし、それぞれ独立した測定機器を組み合わせたシステムであったため、現場運用にあたっては、システムを統合し、簡素化することが課題として残った。そこで、現場運用に即した見直しを実施した新システムを導入した。

『新稼働状況監視システム』のシステム構成図を図-7に示す。

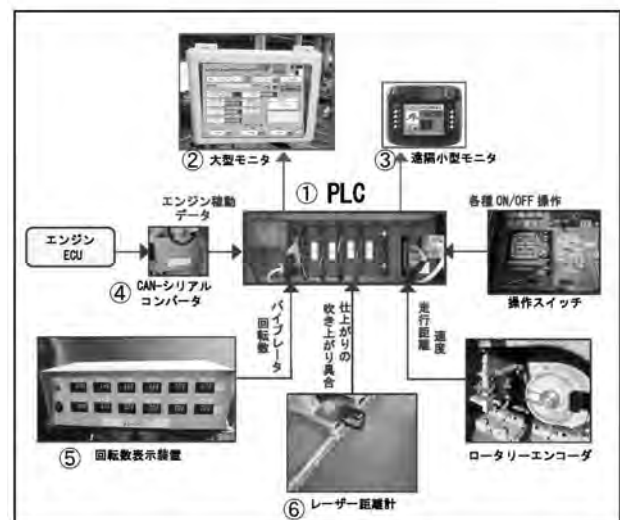


図-7 新システム構成図

新システムの特徴は、システムを簡素化するために各種データ収集に用いた測定機器からの信号をアナログ信号及びシリアル信号に変換し、PLCに取り込み一括管理する形式を採用した点である。主な装置を以下に示す。

- ① PLC 本体
各種計測機器からデータを入力し、演算機能を使用して稼働状況を監視する。また、所定の設定値から外れると警報を発する機能を装備する。
- ② 大型モニタ
オペレータが操作する運転席付近に配置し、各種設定及び稼働状況を表示する。
- ③ 遠隔小型モニタ
スリップフォームペーバのモールド付近に配置し、各種設定及び稼働状況を表示する。
- ④ CAN-シリアルコンバータ
ECU から出力されるエンジン稼働データをCAN→シリアルに変換し、PLCへ出力する。
- ⑤ バイブレータ回転計
油圧バイブレータの回転数を計測し、0-10,000rpmを0-1Vの出力値に変換する。
- ⑥ レーザー距離計
モールド後端から成型されるコンクリートの吹き上がり量を測定し、測定値をモニタで監視する。

4. まとめ

本検討では、『稼働状況監視システム』をスリップフォームペーバに導入し、その効果の検証を実施した。

その結果を以下にまとめて示す。

- ① 施工時のエンジン回転数を定格回転数から1,500rpmに下げた低燃費運転を実施することで、燃料消費量36%の削減が図れ、環境負荷低減効果が確認できた。
- ② エンジン回転数を下げたことによる機械トラブルや施工不良等がなく、従来施工同様の良好な施工結果が得られた。
- ③ 従来施工方法と比較し、低燃費施工を実施した場合、エンジンからの騒音が抑制され、騒音低減効果が確認できた。また、エンジン騒音低減効果として、作業員の意思の伝達が円滑となり、作業環境が改善され、安全性の向上が確認できた。

5. 今後の課題

今回、対象機としたスリップフォームペーバの低燃費運転におけるエンジン回転数設定の基準は、バイブレータで使用する作動油量に依存する。

当検討におけるトンネル内の半断面スリップフォーム工法では、施工幅員が機械の最大スペックに対し狭く、バイブレータの使用本数を制限（今回の条件では16本中10本使用）して施工することが可能であった為、油圧ポンプからの作動油吐出量を低減させても品質に問題なく稼働させることができた。

しかし、広い施工幅員の際は、バイブレータを全本数使用することが必要となり、エンジン回転数を低減させることが困難な状況も想定できる。今後は、様々な施工条件における環境負荷低減を実現させるためにも、同システムを使用した施工データの蓄積が必要である。

また、新システムで採用したPLCのデータ収集機能を活用して、さらに付加価値を付けた施工方法の検討、及び更なる環境負荷低減及び施工品質の向上、安全性の向上を検討していく必要がある。

6. おわりに

建設業界においては、今後も、環境負荷低減に関わる機械・材料・施工方法の開発は必須となり、使命であると考えます。

今後も、施工業者の立場として、環境負荷低減に対し、積極的に取り組み、導入を検討していく所存である。

参考文献

- 1) 環境省：平成26年度環境白書

29. 消音器を用いたトンネル発破音対策技術

－ ブラストサイレンサー －

株式会社 大林組
株式会社 大林組
株式会社 大林組

○荒川 晃士
杉本 隆志
石山 知伸

1. はじめに

トンネル工事の発破音は、衝撃的で非常に大きなエネルギーを発生し、可聴音から低周波音まで広範囲に及ぶ特徴がある。従来の発破騒音対策にはコンクリート製や砂充填式等の防音扉があり、これらは可聴音の対策には有効であるが、低周波音を低減するには扉を複数枚設置したり、重量を大きくする等が必要で、コストや工程面に課題がある。既報の通り、低周波音を約 15dB 以上低減する音響管を用いたトンネル発破低周波音消音器¹⁾を開発した。本研究では、低周波音消音器と併用する従来の防音扉に替えて、低周波音から低周波音以外の騒音（ここでは簡単のため 100Hz 以上の音を普通騒音と称する）まで低減出来る発破音消音器を開発した。以下に新技術の概要および山岳トンネル現場での適用事例と低減効果について述べる。

2. 広帯域型トンネル発破消音器の概要

低周波音消音器と併用する普通騒音消音器として、低周波音消音器の開口部 (4m×4m) 前面に、ダクトの内側に吸音材を貼ったスプリッター型消音器を設置した。長さ 1.8m のダクト (幅 0.4m×高さ 0.8m、左右壁面に厚さ 100mm の吸音材を貼付) を 60 本重ねた構造とした。写真-1 に広帯域型トンネル発破消音器の設置状況、写真-2 に普通騒音消音器を示す。図-1 のように普通騒音が消音器を通過する際、壁面の吸音材 (グラスウール、以下 GW と記す) に吸音され、普通騒音を低減する仕組みである。従来の防音扉は全断面を塞いで音を封じ込める必要があるため、爆風によるガタツキによる二次発生音が生じるという問題があったが、本消音器は爆風を通しながらも低減効果が得られることからガタツキによる二次発生音も抑えられる上、設置面積も低周波音消音器の開口部分 (全断面の約 25%) のみで対応できる。また、現場での主な作業はクレーンでの設置作業のみであり、数時間での設置が可能である。なお、開閉は人力

で行い、発破時以外は引き戸の様に左右に開放する。

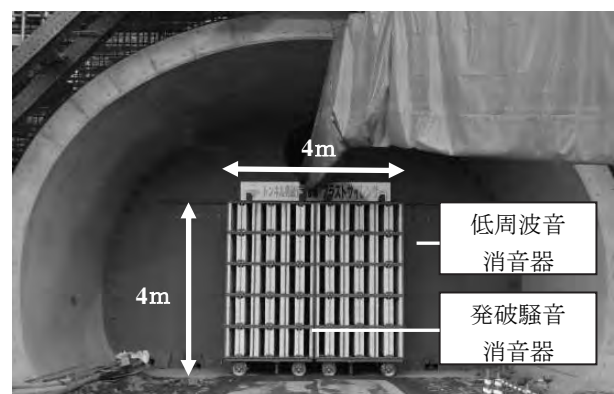


写真-1 広帯域型トンネル発破消音器

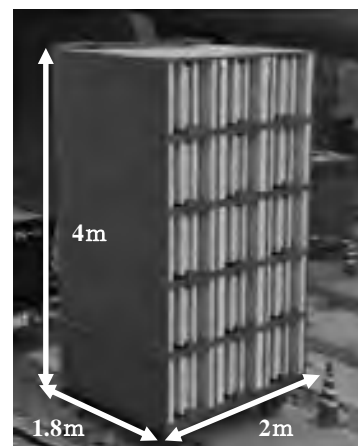


写真-2 普通騒音消音器 (片側)

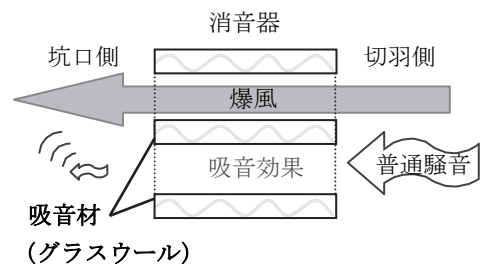


図-1 消音原理イメージ

3. 適用現場の概要

発破掘削を実施している山岳トンネルで消音器の効果を検証した。適用現場は、熊本3号湯浦トンネル新設工事で、南九州西回り自動車道芦北から津奈木間に延長1166mのトンネルを新設する。工事概要を表-1に示す。消音器はトンネル坑口より5mの地点に設置した(写真-3)。

表-1 工事概要

工事名称	熊本3号 湯浦トンネル新設工事
工期	平成24年1月28日～平成26年3月10日
工事場所	熊本県葦北郡芦北町花岡地先～ 熊本県葦北町湯浦地先
発注者	国土交通省 九州地方整備局
工事管理	八代河川国道事務所 工務第二課
用途	2車線道路トンネル
工事内容	トンネル延長1,166m (掘削断面積74.5～96.5㎡),坑門工2基



写真-3 坑口部の状況

4. 消音器の効果の検証

消音器の設置前後の騒音測定により、消音器による低減効果の検証を行った。図-2に測定時の切羽、音源と測定点の位置関係を示す。測定箇所は、発破音が消音器を通過して放射される坑外30m点とした。音源はトンネル発破音と、発破音を模した広帯域の衝撃性疑似音源の2種類を用い、消音器の設置前後で測定を行った。表-2に測定時の発破諸元を示す。切羽の状況により各発破の火薬量、発破条件が異なるため、消音器の設置前後で計4回測定し、バラツキの影響を排除して低減量をもとめた。

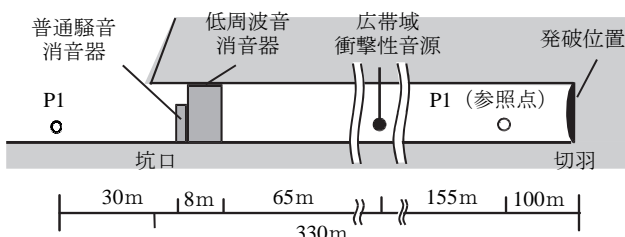


図-2 測定時の切羽、音源と測定点の位置関係

表-2 騒音測定時の発破諸元

	切羽位置	岩盤等級	雷管	全装薬量
消音器設置前	坑口～ 約330m	D I	DS 電気雷管	約6kg 約5kg
消音器設置後	坑口～ 約330m	D I	DS 電気雷管	約7kg 約7kg

5. 測定結果

図-3に騒音測定から得られた消音器の騒音低減効果を示す。低減効果は、消音器設置前後の音圧レベルの差(挿入損失)として算出した。発破音と疑似音源による測定を行い、暗騒音の影響を受けた周波数帯域を除いて低減効果とした。点線の○は1/3オクターブバンド分析結果を、実線の●はオクターブバンド分析結果を示す。1/3オクターブバンド分析結果では100Hz帯域を除く16Hz～5kHz帯域で約10～30dB、オクターブバンド分析結果では16Hz～4kHz帯域で約10～25dBの低減効果が得られた。参考として図-3に防音扉の挿入損失測定結果²⁾を実線の×で示す。消音器の低減効果は16Hz～4kHz帯域で防音扉よりも同等もしくは大きく、騒音レベルの低減効果も防音扉より2dBほど大きい。

6. まとめ

トンネル発破音対策の新技术として広帯域型トンネル発破消音器を開発し、現場に適用して、一部の帯域を除く16Hz～4kHzオクターブバンドで約10～25dBの低減効果を確認した。

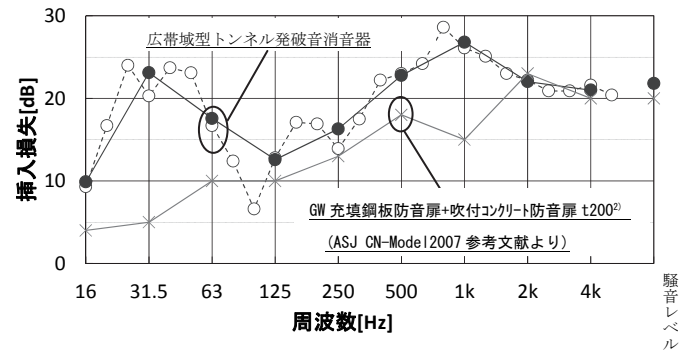


図-3 広帯域型トンネル発破音消音器による低減効果測定結果(100Hz未満は発破音による測定結果、100Hz以上は疑似音源による測定結果)

参考文献

- 1) 諏訪菌和彦・本田泰大・西野俊論・松野徹・伊藤哲・三村聡:音響管を用いた発破消音器の開発と現場適用事例, 土木学会全国大会講演論文, pp.123～124, 2012年9月
- 2) 日本音響学会建設工事騒音予測調査研究委員会:建設工事騒音の予測モデル ASJ CN-Model2007, 音響学会誌, 64, pp.229～260, 2008年

30. 電動技術によるハイブリッドホイールローダの開発

日立建機（株） ○ 石田 一雄
日立建機（株） 日暮 昌輝

1. はじめに

エンジンの排出ガスによる地球温暖化などの環境影響や石油の枯渇の問題から、化石燃料を使用する自動車などの移動体に対する省エネルギー技術が注目されている。自動車業界では、エンジンと電動技術を組み合わせたハイブリッド車の優れた省エネルギー技術が認知されて広く普及しており、さらに電気自動車や燃料電池自動車の量産段階に入っている。

建設機械業界では、油圧ショベルの旋回機構に電動モータを配したハイブリッド機が普及しつつある。一方、ホイールローダにおいては、一部の大型機の走行系に電動技術を適用した製品があるものの、一般的な建設現場で使用される普及モデルでの量産化が遅れているのが現状である。

日立建機（株）では、過去にハイブリッドホイールローダのコンセプト機や限定発売機を開発した経緯があり、それらの技術蓄積を基盤として2014年に普及モデルのハイブリッドホイールローダの開発を完了した。本論文ではハイブリッドホイールローダのシステム概要と、燃費低減効果などの環境性能、ならびにハイブリッド化にともなう従来機からの改良点を述べる。

2. 開発の経緯

ホイールローダは、タイヤ式のトラクタ系建設機械に分類される。作業装置としてバケットとリフトアームを有しており、主に土砂、砂利、岩石などを掘削し、バケットに積載した土砂などを自走で運搬してダンプトラックなどの運搬機械に積込む作業に用いられる。

ホイールローダは、タイヤ式のため40km/h程度の高速移動が可能である。その機動性の高さゆえに掘削現場間の移動や、積載物の運搬を頻繁に行うため走行頻度の高い建設機械である。また、掘削作業はタイヤに発生する駆動力でバケットを掘削対象物に押し付けることで作業が成立するため、走行系に消費されるエネルギーの割合が非常に大きい。したがって走行系の動力伝達効率の向上などによるエネルギーロスの排除は燃費低減に大きく寄与すると考えられる。

2.1 従来機の走行系駆動方式

従来機のホイールローダの走行系の駆動方式は、HST (Hydraulic Static Transmission) 方式とトルクコンバータ方式に大別される。

ホイールローダの車格は、装備されるバケットの容量（定格積載質量）にて決定され、基本的にバケット容量が大きくなるにつれて運転質量やエンジン出力が大きくなる。現在、当社では標準バケット容量0.3～6.1m³（運転質量1.9～46t）の製品群を量産機としてラインアップしており、3.0m³未満の中小型機にはHST方式を、3.0m³以上の中大型機にはトルクコンバータ方式を採用している。

中大型機に採用されるトルクコンバータ方式はエンジンの動力がトルクコンバータとトランスミッション、車軸を介してタイヤに伝達（四輪駆動）される構造となっており、その構造は自動車と酷似している。

2.2 ハイブリッド機の開発経緯

自動車に酷似した駆動方式を有するホイールローダは、自動車と同様にエンジンと電動技術を組み合わせたハイブリッドシステムを適用することで大きな燃費低減効果が期待できる。そのため当社はハイブリッド機の製品化を目指し研究を進めてきた。（図-1）



図-1 ハイブリッド機の開発経緯

2003年にコンセプト機として、バケット容量1.3m³の中型ハイブリッドホイールローダ（機種名LX70）を開発し、ハイブリッドシステム制御や燃

費低減効果の実証試験などの基礎研究を行った。

その後 2008 年にバケット容量 13m³ の大型ハイブリッドホイールローダ（機種名 L130）を開発し限定発売した。当該機は現在も顧客現場で稼働しておりデータの収集を継続しているが、従来システムと比較して約 25%の燃費低減効果が立証されている。ただし、燃費低減効果はハイブリッド化による走行系の省エネルギー効果のみではなく、油圧系などのロスエネルギーの低減効果も含まれていることを付け加えておく。

大型ハイブリッドホイールローダ L130 の主要機器の搭載図を（図-2）に示す。エンジンで発電機を駆動し、動力を電力に変換しインバータを経由して走行電動モータを駆動する方式で、一般的にシリーズ方式とよばれるシステムで構成されている。4 輪に各 1 個の走行電動モータを配置しており、各モータは差動機とプロペラシャフトにて機械的に連結されていることが特徴である。ホイールローダは掘削中に後軸の荷重が低下して車輪が空転を起しやすく、4 個のモータに機械的な接続が無いと空転した車輪の走行電動モータの駆動トルクを有効に利用できない問題があるため、その対策として考案されたものである¹⁾。

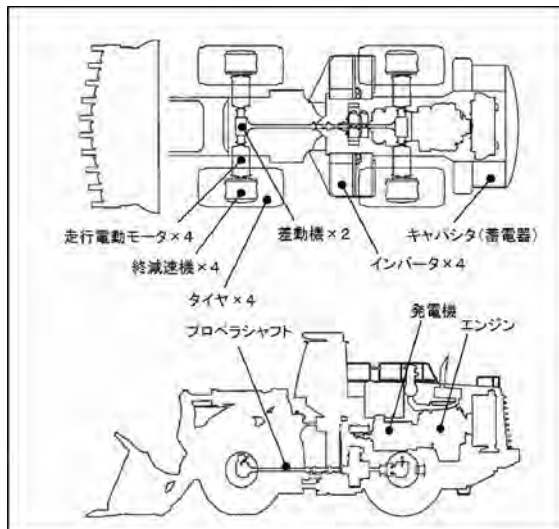


図-2 L130 主要機器の搭載図

3. 普及モデルのハイブリッド機開発

過去のハイブリッド機の開発経緯で蓄積した技術を基盤として、普及モデルであるバケット容量 3.4m³（運転質量 18t）の中型ハイブリッドホイールローダ（機種名 ZW220HYB-5B）を開発した。

3.1 開発課題

ハイブリッド機開発の課題は以下が挙げられる。

(1) システムの費用対効果

自動車に比べて需要台数が少ない建設機械では電気部品がコスト高となり、製品価格が従来機よ

り高額になる。燃費低減効果によるランニングコスト差により、従来機との価格差を短期間で回収できる燃費性能が求められる。

(2) 電動機器の搭載性

従来機よりも車体寸法が大きくなるとホイールローダとしての作業性を損なうとともに、従来機との部品の共通性も低下してコスト高になる。したがって電動機器は従来機の車台に搭載可能な形状・容積にする必要がある。

(3) 電動機器の信頼性・耐久性・安全性

建設機械の稼働現場特有の過酷な環境下に耐え得る電動機器の設計と、暴走などの危険状態に遷移しにくい制御システムの構築が必要。

3.2 ハイブリッドシステムの方式

前述の課題をクリアするために、まずは最適なハイブリッド方式の検討を行った。

自動車におけるエンジンと電動技術を組み合わせたハイブリッド技術は、一般的にシリーズ方式、パラレル方式、シリーズ・パラレル（トルクスプリット）方式に大別される。シミュレーションによる各方式の燃費低減効果の推定結果や、機器の車台への搭載性、メンテナンス性、コストなどを総合的に検討した結果、シリーズ方式がホイールローダに最も適していると判断した。

シリーズ方式ハイブリッドの概念を（図-3）に示す。シリーズ方式では、エンジンは発電機を駆動するのみに使用され、発電機で発電された電力で走行電動モータを駆動するため、エンジンと車軸の間に機械的な動力伝達が存在しないことが大きな特徴である。

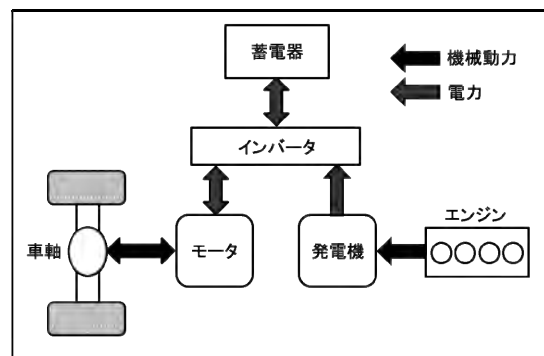


図-3 シリーズ方式ハイブリッドの概念

3.3 ハイブリッドシステムの構成

ZW220HYB-5B のハイブリッドシステムの概略構成図を（図-4）に示す。構成としては、従来のトルクコンバータおよびトランスミッションを発電機と走行電動モータに置き換え、インバータやキャパシタ（蓄電器）を組み合わせている。

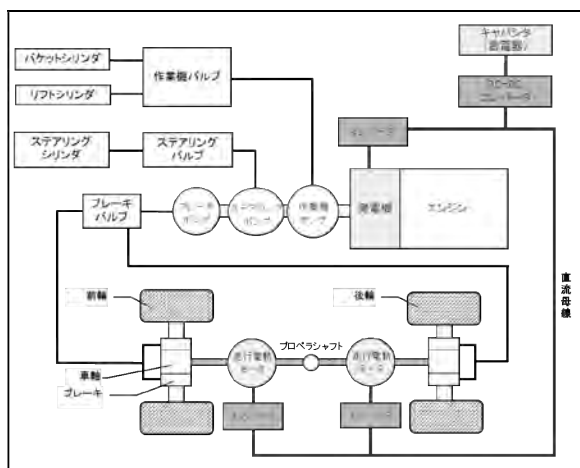


図-4 ZW220HYB-5B ハイブリッドシステム構成

(1) 走行電動モータ

L130では4輪に各1個の走行電動モータを配置した4モータ方式であったが、車軸に動力を伝達するプロペラシャフトの軸線上に走行電動モータを2個配置した2モータ方式に改めた。走行電動モータとモータを制御するインバータの個数が減り、また走行電動モータを機械的に連結する構造も単純化されることからコスト低減に寄与する。

走行電動モータは車軸の差動機を直接駆動する構造としたためトランスミッションなどが存在しない。その結果、クラッチやギヤなどの機械的な摩耗部品が排除され、走行系の信頼性、耐久性、メンテナンス性が向上される。

2個の走行電動モータは、おのおの「低トルク・高回転型」、「高トルク・低回転型」という異なる特性を有しており、高速走行時や掘削作業時などの運転状況に応じて各モータを常に最適な効率で動作させる制御を盛り込んでいる。

ホイールロードは、車体を高速移動させる走行性能と、掘削作業ではバケットを掘削対象物に押し付けるための大きな駆動力の発生を両立させなければならない。走行電動モータを1個で構成すると、掘削時の駆動力を得るためには外径の大きな電動モータが必要となり、同時にそれを制御する高出力のインバータが必要になる。汎用部品が流用できないためコスト高になる点と、車台に搭載するには容積が大き過ぎて不向きであったことから、部品点数は増えるものの2モータ方式はコストと搭載性のバランスと、さらには走行電動モータの動力効率を考慮して考案した。

(2) キャパシタ

蓄電器としてキャパシタをDC (Direct Current) -DC コンバータを介して直流母線に接続している。減速時は走行電動モータに発電動作をさせることで車体の慣性エネルギーを回生電気エネルギーに変換してキャパシタに蓄電し、加速時はその

エネルギーを再利用することが可能である。回生エネルギーを有効利用することで、従来よりも低回転数域でのトルクの小さいエンジン、すなわち小排気量エンジンを採用することが可能となった。その結果、副産物としてエンジン騒音の大幅な低減を実現し、国土交通省の超低騒音型建設機械指定基準を満足する低騒音化を達成した。

(3) 油圧系統

油圧系統は従来機と同様にエンジンによって機械的に油圧ポンプを駆動している。ステアリング系統とブレーキ系統は信頼性の高い従来の油圧システムを踏襲することで、万一、ハイブリッドシステムに異常が発生した場合でもステアリング機能とブレーキ機能を喪失しないシステムとして安全を担保している。併せて油圧系のロスエネルギー低減のためシステムの見直しも行った。

(4) システム制御

各電動機器は、ハイブリッドコントローラによって統括制御される。シリーズ方式は動力伝達が電気のみで行われるため、安全性については重点的に配慮した。制御系の入力デバイス信号の多重化や、コントローラの相互監視、監視マイコンの搭載などの対処を行い、異常を検知した場合は速やかに駆動力を遮断することで不正な駆動力を発生させない、すなわち危険状態に遷移しない制御として構成している。

3.4 ハイブリッド化による燃費低減要因

ハイブリッド化による燃費低減要因を以下に述べる。

(1) 動力伝達効率の向上

エンジンと車軸の間に機械的な動力伝達装置が存在しないため、従来のトルクコンバータやクラッチ、ギヤなどの機械的な伝達ロスが低減される。

(2) エンジンの最適制御

従来機はトルクコンバータやトランスミッションを介して走行動力を伝達するため、必要な走行速度や駆動力を得るためにはエンジン回転数の制約があった。しかし、シリーズ方式ハイブリッドでは走行速度とエンジン回転数の制約が緩和され、コントローラによる自動制御によってエンジンの燃費効率の悪い回転数域を避け、かつ可能な限り低回転数で動作させることができるため燃費向上が図れる。

(3) 回生エネルギーの有効利用

キャパシタに減速時の回生電気エネルギーを蓄電し、加速時に再利用することでエンジンの負荷を軽減できる。

4. 燃費低減効果と従来機からの改良点

前述のハイブリッドシステムを搭載したホイールローダ ZW220HYB-5B (図-5) の燃費低減効果と、従来機からの改良点を以下に述べる。



図-5 ZW220HYB-5B のパートレイン透視図 (イメージ図)

4.1 燃費低減効果

当社の社内評価基準における従来機 (2010年モデル) との燃費比較結果を (図-6) に示す。時間あたり燃料消費量は従来機と比較して約 31% の燃費低減効果が確認された。

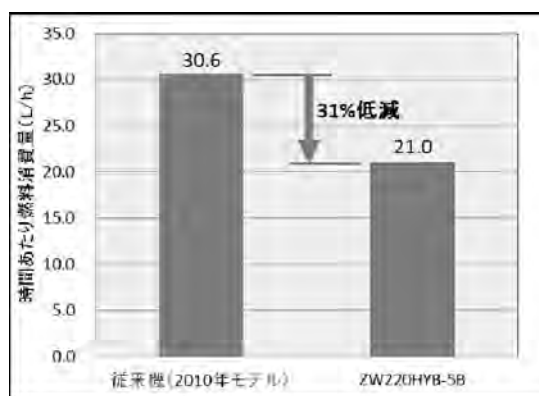


図-6 従来機とハイブリッド機の燃費比較

試験結果では、9.6L/h の燃費低減効果となっているが、社内評価基準は高負荷作業条件での評価であるため実際の稼働現場に比べて燃料消費量が大きく評価されていることに注意願いたい。当社の調査による市場稼働機の平均燃料消費量は社内試験結果の概ね半分程度である。また、アイドリング時間が長いとハイブリッド化の効果が目減りするため、時間あたりの燃料消費量の低減効果は社内試験結果の半分以下と想定される。

仮に 4.0L/h の低減効果とし、軽油単価 117¥/L (2015年8月17日現在²⁾) と想定した場合、稼働時間 10,000 時間において、4,680k¥ の燃料コストを削減できる試算結果となる。

ホイールローダは、その汎用性から碎石、農畜産、産廃処理、除雪、港湾荷役など、さまざまな業種で使われるため、作業形態によって燃料消費量の差が大きい。ハイブリッド化による燃費低減

効果は走行頻度が多いほど大きいため、走行頻度が少ない場合やアイドリング時間が長い場合は効果が十分に発揮できない場合がある。したがって、ハイブリッド機の燃費特性を發揮できる作業形態の現場への導入を提案することが重要であると考えられる。

4.2 従来機からの改良点

燃費低減と騒音低減に加えて、ハイブリッド化にともない従来機から改良した点を述べる。

(1) 無段変速

トランスミッションを廃止し、電動モータによる無段変速を実現した。掘削作業や登坂作業などで変速操作が不要となり走行操作性が改良された。

(2) 走行・作業の独立制御

従来機は、アクセルペダル操作でエンジン回転数を増減することで、走行速度と作業機速度が連動して増減していた。ハイブリッド機はコントローラでエンジン回転数が自動制御されるため、アクセルペダルは走行速度を、作業機レバーは作業機速度を指令するデバイスとし、独立制御が可能なシステムに改めた。ダンプトラックへの積み込み動作を一例とすると、作業機 (バケット) は速く上げたいがダンプトラックに接近するため走行速度は遅くしたいという場面がある。従来機は、作業機を速く上げるためにフルアクセル操作が必要になり、連動して走行速度も速くなってしまうので、走行速度を減速するためにブレーキ操作を同時に行わなければならない、ここに動力ロスが発生していた。ハイブリッド機は走行速度と作業機速度を独立で操作できるため、必要な作業機速度は維持したままアクセルペダルを緩めることで走行速度を減速できる。したがって最小限のブレーキ操作で積み込み作業ができ、動力ロスを低減するとともにオペレータの疲労軽減にも寄与する。

5. おわりに

化石燃料を使用する移動体の省エネルギー化技術は、自動車業界に代表されるように電動化が大きな流れとなっており、電動技術の進歩により今後さらに燃費低減効果の拡大が期待される。当社は今後も研究を継続し、さらなる省エネルギー化を実現した建設機械を提供していく所存である。

参考文献

- 1) 伊藤徳孝：ハイブリッド式大型ホイールローダの開発、建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集、平成22年度版、pp.75～78、2010年
- 2) 経済産業省 資源エネルギー庁：給油所小売価格調査結果、2015年8月19日公表

31. タイヤ式多目的運搬台車について

－ 急曲線・急勾配に対応した坑内運搬台車 －

清水建設(株)土木技術本部機械技術部 ○藤井暁也
清水・東急特定建設工事共同企業体 磯部哲
首都高速道路株式会社 溝口孝夫

1. はじめに

泥土圧シールドトンネルの掘削土搬出や資材の搬送は、一般的にはトンネル内に軌条（レール）を敷設し、軌条上に充電式運搬台車を走行させている。それに対し今回馬場出入口工事においては、タイヤ式多目的運搬台車を採用した。

以下、タイヤ式多目的運搬台車の採用理由、台車の特徴、現場導入効果について報告する。

2. 横浜環状北線馬場出入口工事概要

横浜環状北線（以下、北線）は、横浜市の交通ネットワークの骨格を形成する横浜環状道路の北側区間、第三京浜道路「港北インターチェンジ」から首都高横羽線「生麦ジャンクション」をつなぐ延長約 8.2km の自動車専用道路である（図-1）。

馬場出入口は、横浜環状北線のほぼ中央に位置し、地表の現道と北線の本線トンネルを接続する馬場出入口および馬場換気所を構築し、現道の大田神奈川線を整備・拡幅する工事である。このうち馬場出入口のシールド工事は、泥土圧シールド（外径φ10.13m～11.13m）工法により、地上発進立坑から既設の北線本線トンネルに接続するランプトンネルを構築するものである。工事の特徴として、次の項目が挙げられる。



図-1 横浜環状北線馬場出入口位置図

(1) 急曲線施工

最小曲線半径 50m で掘進する区間が存在する。

(2) 急勾配施工

最急 7.4%～8.1% という下り勾配で掘進する。

3. 急勾配に対応した坑内搬送台車の検討

本工事では、急曲線、急勾配施工となることを考慮して、坑内搬送について、

- ・ 軌条（レール）式工法
- ・ タイヤ式工法

の 2 案を比較検討した。

5%以上の勾配で施工する場合は、安衛則202条の「軌道のこう配」より、逸走防止対策を設ける必要があり、主に下記の搬送方式が検討採用される。

- ・ ラック&ピニオン方式
- ・ リンクチェーン方式
- ・ タイヤ方式
- ・ ウィンチ方式
- ・ ホイスト方式

3. 1 軌条（レール）式工法の検討

軌条（レール）式工法を採用するにあたり、以下（1）～（3）の課題を検討する必要があった。

(1) 機関車の走行車輪

機関車が安全に走行するためには、レールと車輪間の摩擦抵抗が必要である。レールの摩擦抵抗は一定であるため、車輪側で摩擦抵抗を増やさなければならない。機関車の車輪の勾配別材質、対応方法は一般的に次のとおりである。

- ・ 0～30%…………… 鋳鋼車輪
- ・ 30～50%…………… アルキャン※車輪
- ・ 50%以上…………… 車輪と他の逸走防止装置併用（ピンラック式、アプト式）

また摩擦係数は下記の値を用いる。

- ・ 鋳鋼車輪…………… 0.2程度
- ・ アルキャン車輪…………… 0.4程度

※アルキャン：セラミック粒子を混合したアルミニウム合金で高粘着性を有する材料

(2) 制動装置

機関車が安全に走行するためには、確実なブレーキ性能を有していなければならない。坑内機関車の制動装置には一般的に以下のような種類があり、これらの制動装置を単独または組み合わせ装備されている。

- ・ サーボモーターによるサーボブレーキ
- ・ 油圧ディスクブレーキ
- ・ 無励磁作動（負作動）電磁ブレーキ

サーボモーターは指令速度に応じたモーターのトルク制御により上り下りの勾配、牽引負荷の大小にかかわらず、常に機関車の一定速度走行を可能にする。従来の運転員の経験と勘による熟練操作と異なり、速度および停止指令のみの容易な運転、制動操作が可能である。

ディスクブレーキは、車軸と共に回転する円盤状の金属ローターを、その両側から2枚の摩擦材（ディスクパッド）で挟み、圧着することで制動力を生み出すものである。

無励磁作動（負作動）電磁ブレーキは、通電オフあるいは停電時にバネにより制動力が働くスプリングクローズ式の無励磁作動（負作動）電磁ブレーキである。スプリングを複数個使用しているため信頼性が高く保持用ブレーキ、非常停止用ブレーキに適している。

(3) レール（第3軌条）

通常の軌条（レール）式工法では、レール2条の上を走行する。5%以上の急こう配の条件でレール工法を採用する場合、ラック式（歯軌条）と呼ばれる第3軌条を追加する。この方式はラック式（歯軌条）と呼ばれ、2本のレールの中央に歯型のレール（歯軌条、ラックレール）を敷設し、機関車の床下に設置された歯車（ピニオン）とかみ合わせることで、急勾配を登り下りするための推進力と制動力を補助する方式である（図-2）。

以上のように軌条式（レール）を採用する場合は、追加の対策が必要となる。



図-2 第3軌条（ラック式レール）

3. 2 タイヤ式工法検討

タイヤ式工法は、車輪がタイヤで構成される車両で坑内運搬する方式である（図-3）。この車両の車輪はゴムタイヤで、ディーゼルエンジンで走行するタイプなどがあり、軌条を必要としない。

また、軌条（レール）式は、単線の場合、分岐点の退避車線で逆行の車両の通過を待機する必要があり、その場合サイクルタイムに遅れが発生する。

さらに、本工事では5%以上の急勾配がある為、第3軌条の設置、撤去工事を行うことで、段取り替えの日数、工費が別途必要となるが、タイヤ方式では不要となる。これらを勘案して今回のシールド工事では、タイヤ式工法を採用した。



図-3 タイヤ式工法で使用する車両の例

3. 3 タイヤ式工法採用の問題点および対策

タイヤ式工法を採用するにあたり、坑内で車両後進時に発生する災害は重篤災害に繋がる可能性があるため、特に以下の災害の発生防止対策を検討した。

- ・ 後進運行の距離を極力短くする事
- ・ 坑内すれ違い場所の設置

上記について検討した結果、本工事では、前後2方向に運転席が配置された坑内搬送台車を採用し（図-4）、常に運転手が前向きに走行できることで死角を減らし、災害の抑制を図った。更にこの車両の走行時の安全性を向上させるため、路面については全線H鋼枕木を敷き詰め、滑り止め防止用の鉄筋を配置した。さらにH鋼枕木を採用することにより、全線においてすれ違ふことが可能となった（図-5）。



図-4 前後に運転席が配置された坑内搬送台車

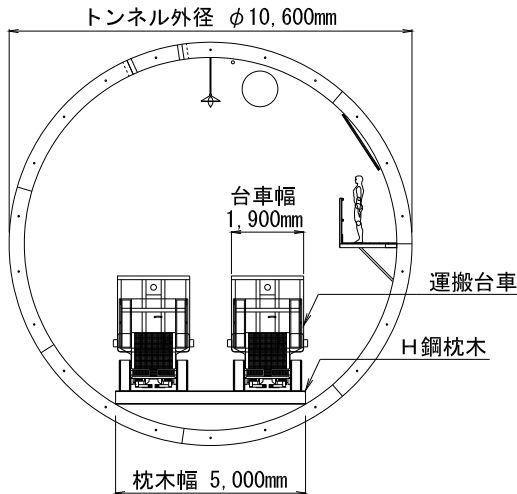


図-5 坑内走行状況図(運搬台車×2台)

4. タイヤ式坑内搬送台車の特徴

4.1 積載重量, 走行速度

タイヤ式の坑内搬送台車では、積載物は用途に応じてブリ函、クレーン、アジテーターなど多様な用途に対応が可能である。多目的に運搬する台車という意味で、MSV (Multi service vehicles) と呼称する。MSVは、積載重量については、10t~200tまでの対応が可能で、また、装備可能な空車での最大走行速度は20 km/h (表-1) である。なお15tの積載車両をMSV15、50t積載車両をMSV50と呼ぶ。

表-1 レール式とタイヤ式 (MSV) の走行制限速度比較

レール式	「トンネル工事における運搬設備による危害防止に関する技術基準」	
	動力車のみ	15[km/h]
	牽引運転	10[km/h]
	後押し運転	8[km/h]
	急曲線、分岐器区間	3[km/h]
タイヤ式	MSV装備能力	
	MSV15(セグメント搬送)	
	空車, 水平走行	20[km/h]
	空車, 上り7%勾配	16[km/h]
	実車, 水平走行	15[km/h]
	実車, 上り7%勾配	7[km/h]
	MSV50(掘削土運搬)	
	空車, 水平走行	18[km/h]
	空車, 上り7%勾配	16[km/h]
	実車, 水平走行	9[km/h]
	実車, 上り7%勾配	6[km/h]
本工事における制限速度		
上り勾配	5[km/h]	
下り勾配	7[km/h]	

4.2 勾配, 転倒に対する安全装置

MSVの設計は、空車走行時最大登坂能力25%まで可能であるが、本工事のトンネル勾配は7.4%~8.1%であることより、今回は最大積載重量載荷時10%対応車を採用した(図-6)。

その他安全装置として、転倒を防止するため転倒傾斜センサーを装備しており、車体に組み込まれた傾斜計により、車体の転倒傾斜角度4°で警告、転倒傾斜角度6~7°で緊急自動停止するようにした。

また前述の通り車体の前後には運転席を装備し、運転者は常に進行方向側の運転席で運転を行うことで、後退時の坑内作業員の巻き込まれ災害を抑制できるようにした。



図-6 MSV 急勾配走行状況

4.3 制動装置(ブレーキ)

逸走の危険性を排除するため、MSVには5種類の制動装置を装備した。

- ① 静止ブレーキ (パーキングブレーキ)
パーキングピストンが多層ディスクを押さえる。
- ② ダイナミックブレーキ
サービスピストンが多層ディスクを押さえる。
- ③ 油圧ブレーキ (HST=Hydro Static Transmission : 静油圧駆動装置)
油圧ポンプへの吐き出し量を減少し、モーター回転を減らす。
- ④ 緊急ブレーキ
パーキングピストンが多層ディスクを押さえる。
- ⑤ セーフティーブレーキ
エンジン回転数の過回転を判断し、コンピュータが自動判断し停止させる。

特に③油圧ブレーキ (HST) に使用されている駆動方式は、可変容量形ポンプと定容量形モーターを組み合わせた動力伝達機構である。駆動軸と被駆動軸の回転比率を無段階に変えることやその逆転も可能である。ポンプで一度油圧動力に変換

してから、油圧モーターにより再度機械的な回転に変換することにより大出力の安定したトルクが得られる。この油圧ブレーキは油圧が発生しない限り機械的に駆動しない、即ちブレーキがかかったままになる。

またステアリングモードは2輪駆動・4輪駆動・カニ走行があり、小回りが利き、幅寄せもスムーズに行うことができる。さらに車体幅は1.0m～1.9m、車高は1.5m～3.2mで多種にわたるシールドマシン後続設備の区間走行にも安全に対応することができる。

4. 4 環境対策

環境に関しては、ディーゼル特定特殊自動車の排出ガス規制を順守することが重要である。

本工事で採用した MSV15（エンジン定格出力110kw）は、エンジンから排出される PM を捕集、低減するために DPF（Diesel Particulate Filter：PM 捕集装置）を採用し、MSV50（エンジン定格出力235kw）は尿素による排出ガス浄化技術を搭載し、排出ガス規制値（2011年規制）をクリアした（表-2）。

表-2 排出ガス規制値（2011年規制）

	エンジン定格出力	
	75kw以上 130kw未満	130kw以上 560w未満
CO(g/kWh)	5	3.5
一酸化炭素	(6.5)	(4.6)
NWHC(g/kWh)	0.19	0.19
非メタン炭化水素	(0.25)	(0.25)
Nox(g/kWh)	3.3	2.0
窒素酸化物	(4.4)	(2.7)
PM(g/kWh)	0.02	0.02
粒子状物質	(0.03)	(0.03)

※括弧内の値は上限値を表す。

5. 導入効果

本工事でのタイヤ式多目的運搬台車（MSV）の走行状況は良好であり、発進、停止時もスムーズに動作している。現場では、発進時の合図、後続台車進入時の表示、走行前のブレーキの確認などを、さらなる安全対策として実施し、衝突事故、逸走事故防止に努めている。

また MSV は、環境に配慮したエンジンを搭載しているため、坑内環境も良好である。

6. おわりに

本工事のような急勾配、急曲線トンネルにおいて、タイヤ式多目的運搬台車により、安全に坑内搬送を行うことができた（図-7）。この台車は最大積載 200t まで対応できるため、今後の国内の大型シールド工事で有効な選択肢の一つとなると考えられる。



図-7 坑内急曲線走行状況

参考文献

- 1) トンネル工事標準示方書「山岳工法編」・同解説，土木学会，pp.156～158，平成18年
- 2) トンネル工事標準示方書「シールド工法編」・同解説，土木学会，pp.192～193，平成18年
- 3) 現場関係者必携 トンネル工事の安全「運搬編」，日本トンネル技術協会，pp.50～73，平成3年1月
- 4) トンネル工事における運搬設備による危害防止に関する技術基準，日本トンネル技術協会，pp.45～158，昭和51年3月

32. インバート支保工設置ロボットの開発と導入

清水建設(株)土木技術本部機械技術部 ○藤内 隆
清水建設(株)土木技術本部機械技術部 藤井 攻

1. はじめに

NATM 工法において不良地山に遭遇した場合、地山の安定を図るため、切羽近傍でインバート支保工を設置してトンネルを早期に閉合することが有効となる。

このインバート支保工の設置作業は、切羽面から深部を掘削した所での作業となるため、安全の確保が課題となっている。

この度、このインバート支保工の設置を人が立ち入ることなく施工できる機械を開発したので、機械の開発目的、設計上の課題、開発の効果について報告する。

2. 開発の目的

従来のインバート支保工の設置作業では、2分割したインバート支保工をバックホウで揚重し、左右の下半支保工と接合する。(写真-1)



写真-1 インバート支保工と
下半支保工接合作業状況

その後、左右のインバート支保工をほぼ中央で接合する。

この作業では、揚重した支保工を下半支保工と接合する際に、人力で接合面を調整するため非常に労力のいる作業となっている。

また、揚重機の揚重能力の関係から作業半径を小さくする必要がある。

そのため、深く掘削したインバート部近傍の地盤の不安定な場所に揚重機を設置しなければなら

ず地山の崩壊や揚重機の転倒の恐れがあった。

さらに、深く掘削したインバート部に人が立入り接合作業を行うため、切羽崩壊の恐れのある危険な作業となっていた。(写真-2)



写真-2 インバート支保工接合状況

そこで本技術開発では、左右2分割したインバート支保工を地上で組立一本化し、インバート支保工設置ロボットのアームでインバート支保工を把持し、インバート底部に設置、その後、下半の支保工と接合する施工するシステムを考案した。(図-1)



図-1 インバート支保工組立施工イメージ

この施工システムでは、2分割したインバート支保工を地上で組立を行うことで、従来のインバート底部での人が立ち入って接合する作業がなく

なるため安全性が向上する。

また、揚重機を使用せず、作業能力に余裕のある専用のロボットでインバート支保工を把持して作業を行うため、安全かつ省力化を図ることができる。

3. 設計上の課題

従来の上半用エレクタと兼用したインバート支保工設置ロボットの開発にあたり、以下項目が設計時の課題となった。

- ①深く掘削したインバート底部まで到達可能なエレクターブームの開発
- ②インバート支保工を一括化するための把持機構
- ③一括化したインバート支保工と下半支保工との接合を容易にする機構

3. 1 垂直伸縮エレクターブームの開発

本開発では、従来の上半用エレクタにインバート支保工の設置が可能な兼用型とした。

そのため、上半支保工建込み用のブームでインバート支保工の設置をするとブームが斜めに伸縮するため、ブームと地盤が干渉して建込みができない。(図-2)

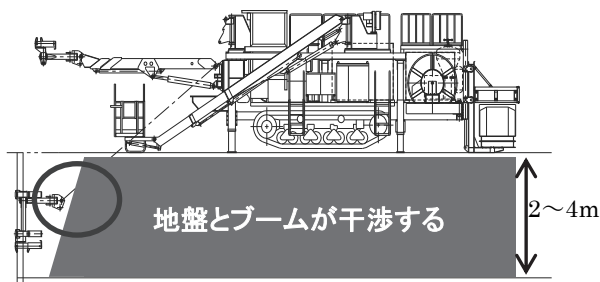


図-2 上半用ブームを使用した建込図
(ブームと地盤の干渉により建込みできない)

そこで、左右の2ブームに中ブームを加えた3ブーム構造とした。(図-3)

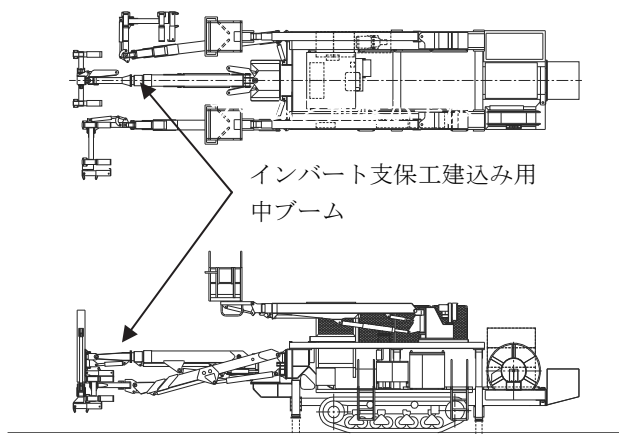


図-3 3ブームインバート支保工建込兼用エレクタ

そして中ブームには垂直に伸縮する機構を加えることにより、深さ2~4mあるインバート底部に地盤と干渉することなくブームが届くようにした。(図-4)

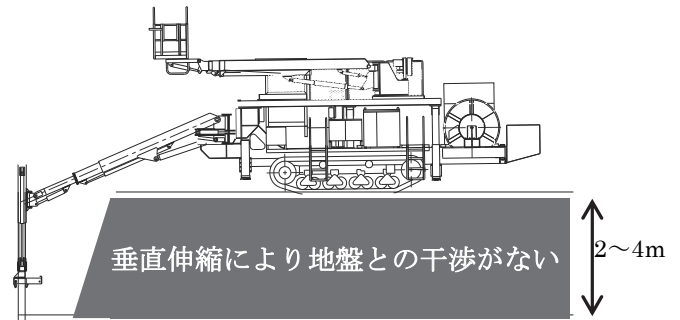


図-4 中ブーム垂直伸縮による建込図

また、垂直に伸縮することで斜め伸縮する場合と比較して作業範囲が大きくとれるため、地盤の悪いインバート掘削箇所より離れた場所にエレクタの設置が可能となる。

3. 2 インバート支保工把持機構

分割したインバート支保工を地上で組立てするには、左右のブームでインバート支保工を各々掴み、ほぼ中央の部分でボルト連結を行う必要がある。

そのためには、インバート支保工を回転させ中央の接合面を合わせることが必要となる。

しかし、左右の上半支保工建込用ブームについている把持機構では、下方向に回転できないため、インバート支保工の接合ができない。

そのため、分割支保工の地上接合方法が課題となった。(図-5)

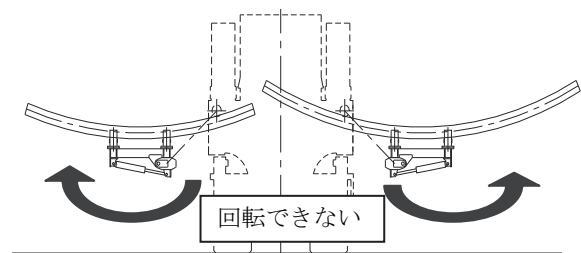


図-5 上半用キャッチング作動範囲

そこで、左右のブームに下向きインバート支保工把持装置を追加することで、インバート支保工の接合を可能にした。

(図-6)

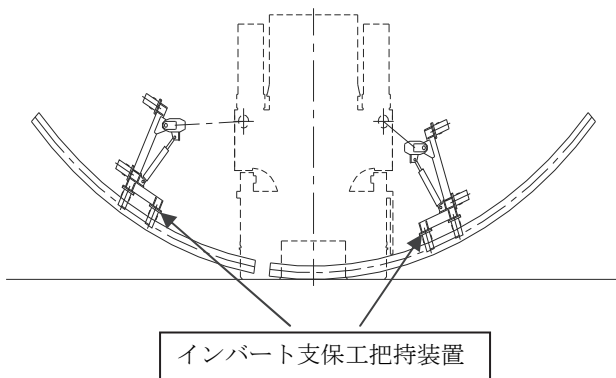


図-6 インバート支保工把持用装置による接合

3. 3 下半支保工との接合容易な機構

インバート支保工を一括化した後、下半支保工と接合する。

この下半支保工と接合する際は、ボルト接合となるため、精度よくインバート支保工の設置および調整が必要となる。

そのため、中ブームおよび把持装置には位置調整が容易にできるように、左右、前後、回転ができる機構とした。

さらに、その把持装置には2本のツメを装備して長く湾曲したインバート支保工を確実に把持できる構造とした。(図-7)

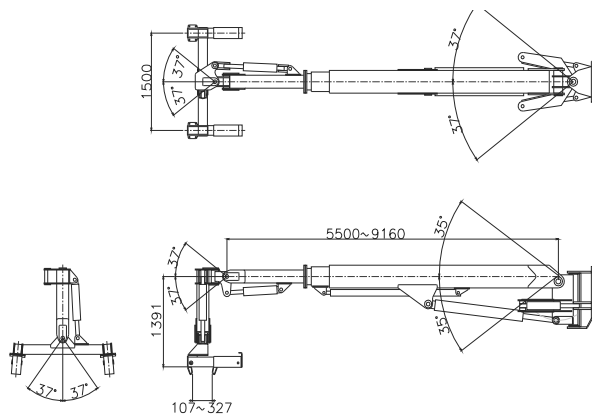


図-7 中ブーム動作機構

表-1 に中ブームの仕様を示す。

表-1 中ブーム仕様

装置名称	仕様
ブームリフト角	上 35度 下 35度
ブームスイング角	右 37度 左 37度
アーム伸縮長	1200mm
アーム最長(垂直最伸長時)	2791mm
アームスイング角	上 37度 下 37度
キャッチャー スイング角	右 37度 左 37度
キャッチャー 回転角	74度
キャッチャーエクステンション	107~327mm
最大把持荷重	1000kg

4. 実証実験

(1)インバート支保工一括化実験

インバート支保工把持装置を取り付けた左右のブームにより、分割したインバート支保工の接合実験を行い、問題なく一括化できることを確認した。(写真-3)



写真-3 インバート支保工接合実験

(2)アーム伸縮動作実験

地上で組み立てた一括化したインバート支保工を把持した状態でブームを最大に伸ばし、アームを垂直に1.2m 降下させて、アームの動作、機体の安定性に問題ないことを確認した。(写真-4)





写真-4 アーム伸縮実験

また、把持装置の位置調整が可能な左右、前後、回転機構の動作を確認し、問題なく下半支保工との接合ができることを確認した。

5. 現場適用

5.1 施工状況

前述のインバート支保工設置ロボットを現在稼働している山岳トンネル現場に導入し、実際のインバート建込作業を行った。

以下に建込作業のフロー図を示す。

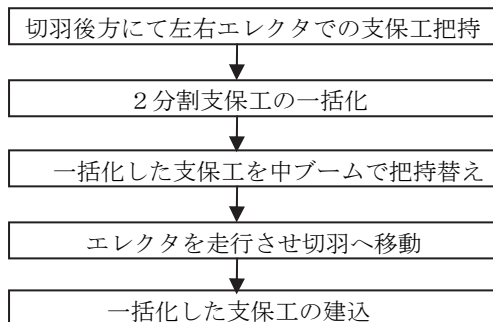


図-8 建込作業フロー

切羽後方にて左右のブームで2分割したインバート支保工を各々把持し、キャッチングの回転機構及びスイング機構を使用して一括化する。(写真-5)。



写真-5 支保工仮組

その後、インバート建込み専用の中ブームに把持替えを行う。(写真-6)



写真-6 支保工把持

そして、切羽までエレクタを前進させ一括化したインバート支保工を下半支保工の接合を行った。(写真-7)



写真-7 支保工建込

現場での適用結果からインバート底部まで人が立ち入ることなくインバート支保工の設置が可能となり安全性が向上した。

また、建込に必要な作業員は従来5人必要であったが、エレクタでの建込作業ではオペレータ1人と組立作業員2名の合計3名での建込作業が可能となり、建込作業の省力化も可能となった。

5.2 作業サイクル

実際に建込作業を行ったときのサイクルタイムを計測し、従来方式(バックホウを使用しての建込)との比較を行った結果を次に示す。

支保工の仮組立から建込の完了までの時間を比較し、従来の方式では1基当たりの平均組立時間は約11分、エレクタを使用しての建込については約14分という結果になった。

これは、一括化した長尺の支保工を設置する際に下半支保工との干渉があるため、位置決めする時間がかかっているのが要因の一つである。

表-2 建込サイクル時間比較表

従来方式	1.左支保工仮取付	2基	2基	2基	合計66分 11分/基				
	2.右支保工仮取付								
3.調整ピースの取付									
4.ストラッド高さ確認									
5.インバート支保工本組									
		21分		21分		24分			
エレクタでの一括建込	1.支保工を仮組立	1基	1基	1基	1基	合計56分 14分/基			
	2.建込位置へ移動								
3.支保工建込									
		15分		16分		12分		13分	

5.3 調整ピース取付工程の短縮

従来方式での建込手順を次に示す。(図-9)

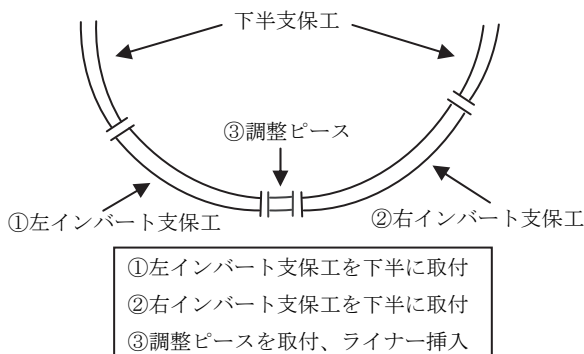


図-9 従来方式での建込手順

従来は左右の支保工の隙間を調整する調整ピース取付けを組立工程の最後で行っていたため調整が容易であった。

一方、エレクタでの設置方法では、一括化した支保工を建込み、下半支保工との接合部に、調整ピース・調整ライナーの取付けを行っていた。

(図-10) しかし、作業足場が悪い中での、調整ピース・調整プレートの設置作業は、従来の方法にくらべて、作業時間がかかった。

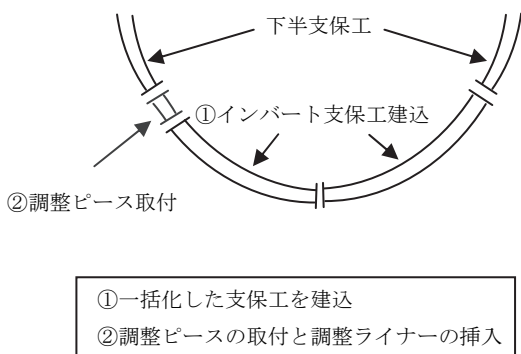


図-10 調整ピース取付位置と建込順序

そこで、建込前に下半支保工の左右接合面の幅を計測し、一括化する支保工の周長を把握することによって調整ピースの大きさを決定することにした。(図-11) 計測には利便性を考慮し、市販のレーザーポインター型の距離計を使用した。

その後、一括化した支保工にあらかじめ大きさを決めた調整ピースを取付けた結果、支保工の建込時間を短縮することができた。(図-12)

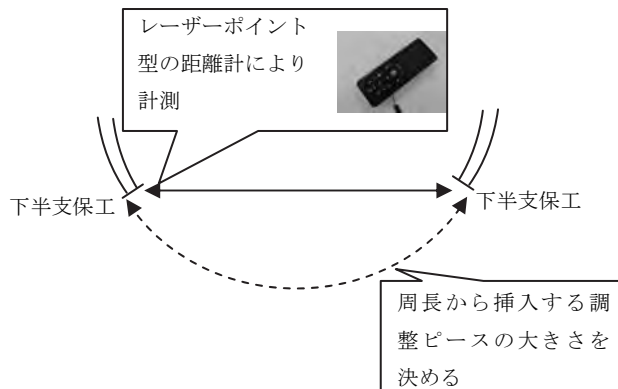


図-11 計測方法

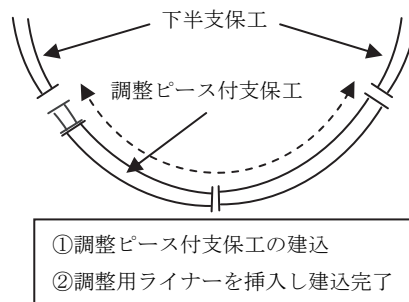


図-12 建込手順

6. おわりに

インバート支保工設置ロボットの導入により、人が立ち入らないことによる安全性の向上、専用の把持装置を装備したロボットによる省力化や省人化が可能となった。

以上に示したような切羽に近い位置でのインバート支保工の設置を行うことにより、安全性と地山の安定化に貢献するより効果的な早期閉合が可能となった。

今後は施工を重ね更なる改善を行い、安全性の向上および生産性の向上に努めていきたい。

33. ドラグ・ショベルの斜面降下時および残土等乗り越え時の機体の不安定化に関する基礎的検討

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

1. はじめに

掘削用機械は、建設機械の中でも労働災害が最も多く発生しており、事故の型別の災害発生状況は、「はさまれ、巻き込まれ」、「激突され」、「墜落、転落」の順となっている。

同建設機械については、機械メーカーをはじめ関係業界の尽力により、転倒時保護構造（ROPS）を国際規格として制定し、それによって運転席の強化が図られ、機械の転倒による運転者の死亡事故を防止するためのハード面の対策がなされてきた。しかしながら、当該機械の転倒災害は依然として発生しており、斜面上を移動中に転倒する災害や、建設工事に伴い副次的に発生する建設発生土（以下、残土という。）等を乗り越える際に転倒した事例が多く見受けられる。転倒時に ROPS 等により運転者が保護され、労働災害に至らなかった事例も考慮すると相当数の転倒災害が発生していると考えられる。このような建設機械の転倒災害は、周囲で作業している作業者を巻き込む可能性があり、安全に作業するための条件を明らかにする必要がある。

筆者らはこれまで、ドラグ・ショベルの小型模型を作製して、斜面降下時の不安定性を明らかにするための実験を行ってきた。その結果、機体の安定度（限界傾斜角）よりも緩い傾斜で機械が転

倒することや、斜面を降下する際には前進で降下するよりも後進で降下する方が安定することが明らかになった¹⁾。

残土等の乗り越え時にドラグ・ショベルが転倒する災害も多く発生しているため、本研究ではドラグ・ショベル模型を用いて、斜面降下時と残土等の乗り越え時の機械の不安定性について比較を行った。

2. 遠心実験用小型模型の概要

ドラグ・ショベルによる労働災害の分析結果から、バケット容量 0.2m³ 未満の小型の機種で災害が多く発生していることがわかった²⁾。そのため、本研究では、小型の機種の模型を作製した。作製したドラグ・ショベル模型を図-1 に示し、表-1 に実機と模型の諸元の比較を示す。模型の詳細については既報を参照されたい¹⁾。

3. 実験の概要

3.1 遠心模型実験装置

本実験では当研究所が所有する遠心模型実験装置 NIIS Mark-II Centrifuge（最大遠心加速度 100G、有効半径 2.3m）を使用した。遠心模型実験とは、遠心加速度を付与できる実験装置に幾何学的に縮小された（1/N）小型模型を取り付け、Ng の遠心

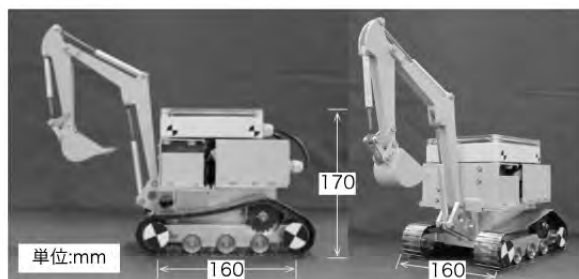


図-1 ドラグ・ショベル模型

表-1 実機と模型の主要諸元の比較

	実機		模型	
	水平 x(m)	鉛直 y(m)	水平 x(m)	鉛直 y(m)
重心距離	0.24	0.81	0.01	0.06
合計重量	46.16kN		38.56N (10G 場では 385.76N)	
平均接地圧	40.4kPa		40.2kPa(10G 場)	
安定度	前方	後方	前方	後方
	42.2 度	57.3 度	49.4 度	56.3 度

※水平方向の重心位置は旋回中心を基準にして前方を（+）で示している。

加速度が作用している場で小型模型の挙動を調べる実験のことである³⁾。図-2に遠心模実験の概要を示す。模型の操作は無線通信により操作する。模型を操作する送信機はコントローラと分離した構造となっており、コントローラと送信機はスリッパリングを介して接続されている。

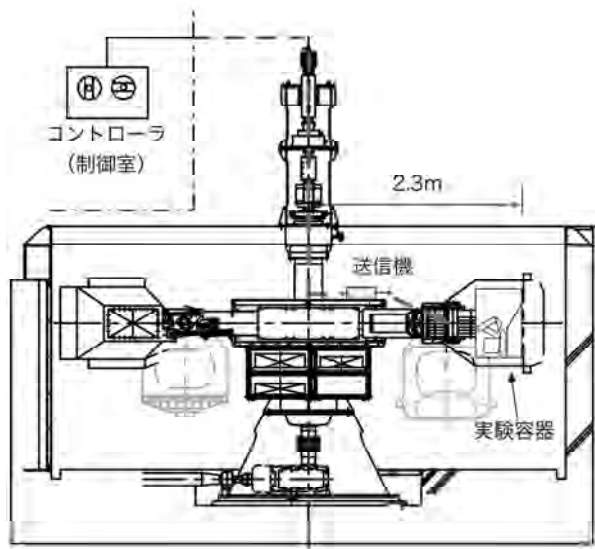


図-2 遠心模型実験の概要



図-3 実験の概要

3.1 実験条件

機械が斜面を降下する実験と、残土等を乗り越える実験を実施した。本研究では、それぞれを「斜面降下実験」、「乗り越え実験」と呼ぶこととする。斜面降下実験は、模型を天端（盛土の上面）より走行開始して斜面を降下させるものであり、乗り越え実験は斜面上から走行を開始して残土を模擬した山を乗り越える実験である。

図-3に実験の概要を示す。斜面降下実験における斜面の勾配 α は3種類（20度、25度、30度）であり、乗り越え実験における勾配は4種類（15度、20度、25度、30度）である。高さはそれぞれ200mm（実大換算2m）である。模型の走行速度 V は0.03m/s（実大換算0.108km/h）とした。

計測については、走行挙動を高速カメラ（nac社製）で撮影し、動画解析により模型の揺動を求めた。解析では、壁面に設置した2つのターゲットマーカを結ぶ側線 $A-A'$ と、模型の車軸部分に設置した2つのターゲットマーカを結ぶ側線 $B-B'$ とのなす角 θ を求めた。本研究では θ を機体傾斜角と定義した。

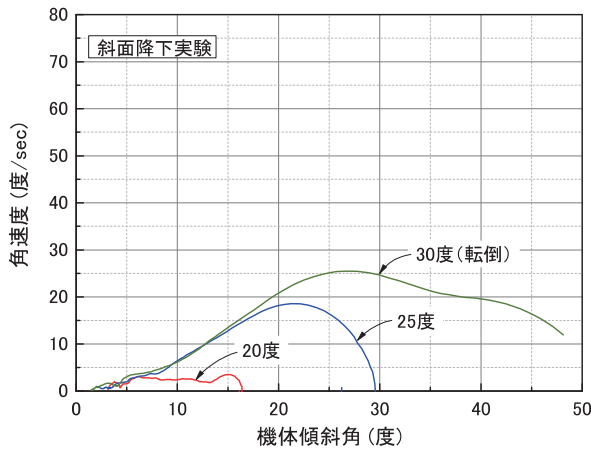
高速カメラの解像度は 512×512 であり、撮影速度は500コマ/秒である。

模型地盤は関東ロームにより作製した。締固め圧が50kPaとなるよう静的に締固めた後、所定の形状に成形した。なお、実際の盛土の表面部分は締固めを行っていない場合が多く、表面部分の強度は低いと考えられる。それに比べて、本研究で作製した模型地盤は静的に締固めた地盤であり、実地盤に比べ、強度がやや高いと考えられる。この点については、実際の盛土と条件は異なる。

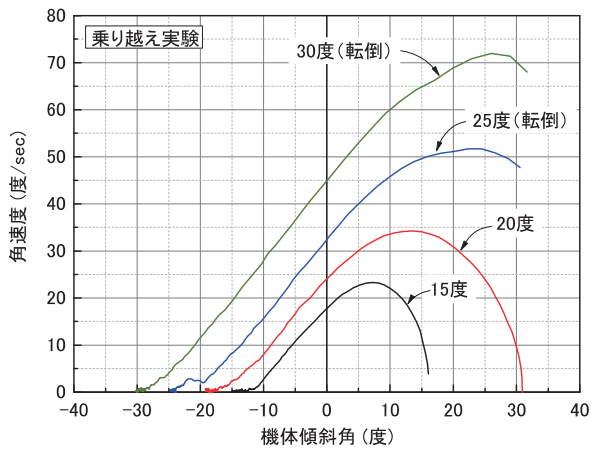
4. 実験結果

高速カメラで撮影した動画を解析して求めた機体傾斜角 θ と角速度 ω の関係を図-4に示す。この図は、同じ θ で ω を比較した場合 ω が大きい方が回転運動エネルギーは大きく、より不安定であることを意味している。図より、斜面傾斜の増加とともに角速度 ω は大きくなっており、機体はより不安定化している。また、斜面降下実験と乗り越え実験の結果を比較すると、乗り越え実験の ω が全体的に大きい。すなわち、残土等を乗り越える方が機体はより不安定であることがわかった。なお、本実験で走行中に模型が転倒した条件は、斜面降下実験においては $\alpha=30$ 度、乗り越え実験では、 $\alpha=25$ 度および $\alpha=30$ 度であった。

斜面降下実験と乗り越え実験の結果を比較すると、斜面降下実験の $\alpha=30$ 度と乗り越え実験の $\alpha=15$ 度では、角速度の最大値 ω_{max} はほぼ等しいにもかかわらず、斜面降下実験（ $\alpha=30$ 度）では模型が転倒し、乗り越え実験（ $\alpha=15$ 度）では模型は転倒しなかった。このように、走行中に生じる角速度（回



(a) 斜面降下実験



(b) 乗り越え実験

図-4 機体傾斜角 θ と角速度 ω の関係

転運動エネルギー) が同じでも安定性に差があることがわかった。この原因は、斜面降下後および乗り越え後の機体の安定性が異なることが考えられる。次に転倒の条件に関する検討を行う。

図-5 に斜面降下実験と乗り越え実験における模型の重心位置の移動を示す。

斜面降下実験における重心の移動量 Δh は式(1)で表される。

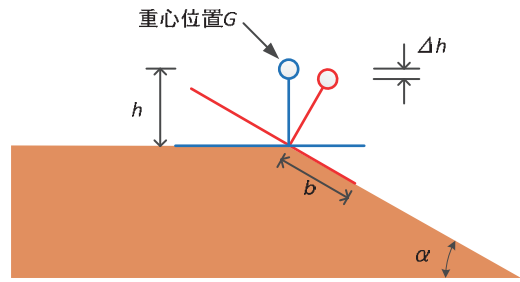
$$\Delta h = h - h \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

ここで、 h は模型の重心高さである。

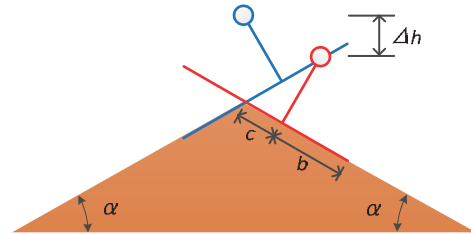
一方、乗り越え実験の際の重心位置の移動量 Δh は式(2)で表される。

$$\Delta h = h / \cos \alpha + c \cdot \cos \alpha - h \cdot \cos \alpha \quad (2)$$

エネルギー保存則に基づき、重心位置の変化量(位置エネルギーの変化量)が回転エネルギーに変換されると仮定すると、重心の移動量 Δh と角速度 ω_{cal} の関係は式(3)で表される。



(a) 斜面降下実験



(b) 乗り越え実験

図-5 実験時の重心位置の移動量

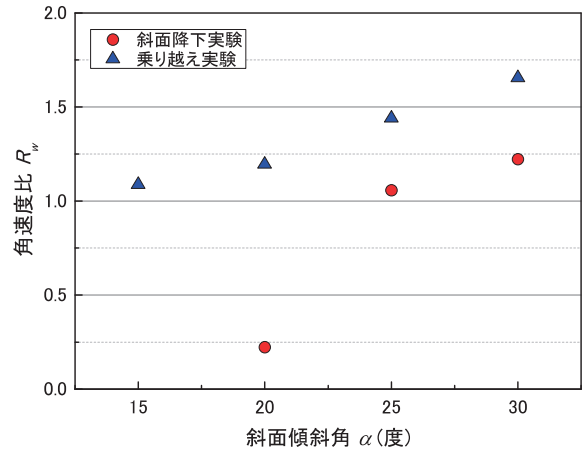


図-6 斜面傾斜と角速度比の関係

$$\omega_{cal} = \sqrt{2 \cdot g \cdot \frac{\Delta h}{h^2}} \quad (3)$$

ここで、 g は重力加速度である。

図-6 に角速度比 R_ω と斜面傾斜角 α の関係を示す。ここで、角速度比とは、実験で得られた角速度の最大値 ω_{max} を計算で求めた角速度 ω_{cal} で除した値である。

R_ω は概ね 1 以上となっており、実験値が理論値よりもやや大きな値であった。この原因は、理論値ではある点を中心に機体が回転すると仮定して Δh を求めているのに対して、実験では機体の回転中も模型は移動し続けているため、結果的に Δh が多くなり、 ω_{max} が理論値よりも大きくなったことが考えられる。

次に、転倒の条件について、検討を行う。図-7 に転倒時の重心位置の移動を示す。

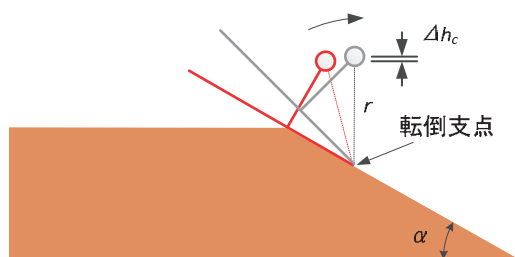


図-7 転倒時の重心の移動

表-2 転倒に必要な条件

斜面傾斜 α (度)	Δh_c (mm)	限界角速度 ω_c (度/sec)
15	13.68	27.29
20	9.85	23.15
25	6.61	18.97
30	4.00	14.75

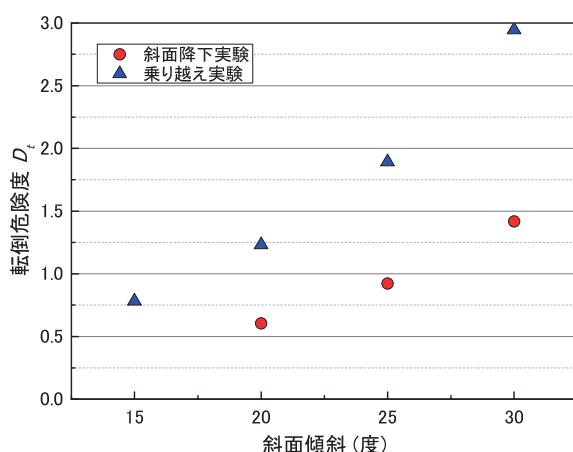


図-8 斜面傾斜と転倒危険度 D_t の関係

模型の転倒する条件は、履帯の前方を回転の支点（転倒支点）として回転し、機械の重心位置が転倒支点よりも前方に移動した際に転倒する。すなわち、転倒に必要な運動エネルギーは Δh_c となる。 Δh_c については式(4)で表される。

$$\Delta h_c = r - (b \sin \alpha + h \cos \alpha) \quad (4)$$

表-2 に各斜面傾斜での Δh_c と限界角速度 ω_c を示す。ここで、式(1)および式(2)の Δh から算出した ω を、限界角速度 ω_c で除した値を転倒危険度 D_t と定義した。

図-8に斜面傾斜と D_t の関係を示す。斜面降下実験（○印）と乗り越え実験の結果（△印）を比較すると、斜面降下実験に比べ、乗り越え実験の転倒危険度が約2倍となっている。

履帯を走行装置とする機械は、重心位置が法肩（法面の上端）や残土の頂部を通過した際に機体が回転し始める。図-5(b)に示す通り、乗り越え実験では、重心の水平位置が残土の頂部を通過した

際に機体が回転を始めるため、斜面降下実験に比べ Δh が大きくなり、結果的に角速度 ω が大きくなったと考えられる。また、転倒危険度 D_t と模型実験の結果を比較すると、乗り越え実験における $\alpha=20$ 度の D_t は1以上であるが実験の結果、模型は転倒しなかった。この実験条件については、実験と理論的検討で違いがみられたが、それ以外は理論的な検討の結果と実験結果は良く対応していることがわかった。

以上の結果から、斜面降下時に比べ、残土等を乗り越える際に機械が不安定になることや、理論的な検討と実験結果はよく対応していることが確認された。このことから、理論的な検討である程度機械の安定性を推定することが可能であると考えられる。

5. まとめ

ドラグ・ショベルの小型模型を用いて、斜面を降下する実験と残土等を乗り越える実験を行った。実験により得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 斜面降下実験と乗り越え実験の角速度 ω について同じ斜面傾斜角で値を比較すると、乗り越え実験の方が生じる角速度が大きく、機体がより不安定化することが明らかになった。
- 2) 模型の転倒条件から転倒危険度 D_t を求め、斜面降下実験と乗り越え実験を比較した。その結果、残土等を乗り越える際の D_t は斜面降下実験の約2倍であることがわかった。
- 3) 理論的な検討の結果と実験で得られた値を比較した結果、両者はよく対応していることが確認された。そのため、理論的な検討で機体の不安定性を推定することが可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 堀智仁・玉手聡：ドラグ・ショベルの斜面降下走行に関する基礎的検討，平成26年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集，pp.111-114，2014。
- 2) 吉川直孝・伊藤和也・堀智仁・清水尚憲・梅崎重夫・濱島京子：ドラグ・ショベルに係る死亡災害の調査分析，安全工学シンポジウム2013年講演予稿集，pp.396～399，2013。
- 3) 岡村未対・竹村次朗・上野勝利：遠心模型実験—実験技術と実務への適用—2，遠心模型の相似則，実験技術—利点と限界，土と基礎，No.52，vol.10，pp.37-44，2004。

34. 水中作業におけるコンクリートブロック据付支援システムの開発

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 道北支所 ○平 伴齊
国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム 山口 和哉
国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム 岸 寛人

1. はじめに

積雪寒冷地である北海道の港湾におけるコンクリートブロック据付工事は、波浪や海水温の低下などの影響により、施工可能期間が短い。

また、少子高齢化などによる起重機船の船員や潜水従事者の不足、さらにクレーン作業中における潜水士の事故が問題となっている。

このため、施工の効率化・省人化・安全性向上を目的に、GNSS(グローバル衛星測位システム)を活用した据付位置誘導と、サイドスキャン機能付魚群探知機を活用した水中可視化による、コンクリートブロック据付支援システムを開発した。

本稿では、システムの開発経緯、コンクリートブロックの誘導試験、消波ブロック据付作業の水中部可視化試験について述べる。

2. システム開発要件

上記の課題の対応策を検討するため、コンクリートブロック据付作業を行っている潜水士、クレーンオペレータ、現場代理人を対象にヒアリングを行った。結果を以下に示す。

- ①直轄港湾・漁港工事の消波ブロック据付工事は、乱積みである。
- ②水面付近と法尻の位置合わせに時間がかかる。
- ③水中ブロックの据付位置は、潜水士からクレーンオペレータに有線電話を用いて伝えるが、水中の視界が不良の場合には待機時間の発生もしくは作業中止となる。
- ④水中施工状況写真は撮影するが、透明度の低い海域では、施工状態の確認ができない。
- ⑤危険であるため、潜水士は大きなブロックに近づけない。

この結果をもとに、システム開発要件を以下のとおり整理した。

1) ①より、消波ブロック据付工事は乱積みであり、正積みのような高精度システムは必要ないため、簡易的なシステムを構築する。

2) ②より、マシンガイダンスによってブロッ

クを誘導する機能が必要である。マシンガイダンスとは、GNSSなどの位置情報を用いて、次に設置する位置情報などの情報をオペレータに提供し、ブロック据付をサポートする技術である。

3) ③④⑤より、透明度の低い水中での施工状況確認のため、音響計測技術等を用いた水中の可視化が必要である。

以上より、消波ブロック据付位置をマシンガイダンス機能によって誘導し、水中部の施工状況を可視化できるシステムについて検討することとした。

3. システムの概要

システムは、図-1の構成とした。GNSS基準局より補正信号を受けて、ブームトップに設置されたアンテナ位置の補正を行い、正確なクレーンブームトップの位置を決定するものとした。また、ブロックの高さ位置はワイヤーロープを巻き取るドラム等に取り付けたポテンショメータの電圧値より算出したワイヤー移動量から求めるものとした。

クレーンジブ角度は、起重機船のジブ角度が変動式のものもあることから、傾斜計を用いた自動入力とした。

水中部可視化装置はサイドスキャン機能付魚群探知機と回転計測送受波器を選定した。選定理由は、超音波を用いた水中計測機器の多くが2000万円以上と高額であるのに対し、サイドスキャン機能付魚群探知機は面的な画像での可視化に必要な回転計測送受波器を含めても70万円程度と安価なためである。

この魚群探知機の信号をビデオ信号として出力して、クレーンオペレータ室のPCに表示するものとした。

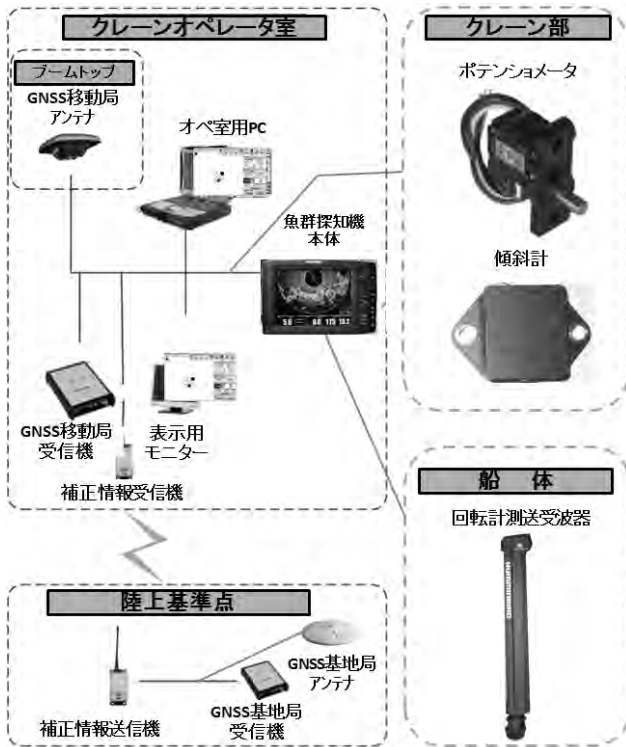


図-1 システム系統図

4. システムの機能

システムの機能は、以下のとおりである。

4.1 コンクリートブロック規格登録機能

消波ブロックの縦幅、横幅、高さ、ブロックの名称などを入力する機能である。これにより、システム上に消波ブロックの大きさを登録できるものとした。

4.2 配置計画機能

配置計画機能は、基点の座標より縦横に任意のブロック設置個数、ブロックの設置間隔、深度などを入力する機能である。

4.3 コンクリートブロック誘導機能

コンクリートブロックの誘導機能は、ブロック配置計画機能で登録したデータを読み出し、据付誘導を行う機能である（図-2）。

図中央の赤い円が据付目標位置であり、青丸はクレーンブームトップの現在位置を表している。コンクリートブロック誘導の画面左下の「一覧から選択」ボタンまたは「マウス選択」ボタンを押して次の誘導ブロックを選択すると、画面左のシステム情報欄にブームトップの現在位置よりどちらの方角へ移動するのが表示される。

図の表示例ではブームトップ位置（青丸）より↑（前方）へ1.05m、←（左方）へ2.42m移動した位置が、予定の据付位置であることを示している。また、現在の衛星捕捉数や測位状態も表示しており、位置データ精度を常時確認することができる。画面右の鉛直表示機能は、ポテンシオメータに

より得られた電圧値を深度に換算し表示する。

さらに、コンクリートブロック誘導画面上に水中部可視化装置より送られてきた水中の画像を表示する（図-2中央下）。この画像は画面上の任意の位置に表示が可能で、必要に応じて拡大も出来る。

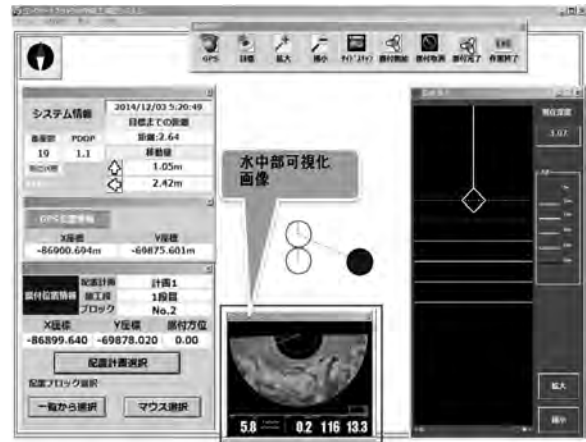


図-2 コンクリートブロック誘導画面例

5. コンクリートブロック誘導試験

5.1 試験概要

マシンガイダンスによる誘導機能を検証するため、陸上においてコンクリートブロック誘導試験を実施した。本試験では模擬クレーンとしてクレーン付きトラックを使用した。

コンクリートブロック（W1000×D1000×H200）を地上2mまで吊り上げ、任意の場所まで誘導後、地上0mまで降下させ、表示される深度（鉛直方向位置）や水平方向位置を記録し、誤差を算出した。

センサー等の設置方法は以下のとおりとした（写真-1）。

- ・クレーンブーム先端にGNSS移動局アンテナ、クレーン第一ブームにポテンシオメータ、アウトリガーにオペレータに誘導画面を表示するモニターを設置した。
- ・GNSS基準局を設置し、RTK-GNSSにて計測した。
- ・クレーンブーム角度は30°固定とした。



写真-1 コンクリートブロック誘導試験

5.2 鉛直方向精度

鉛直方向は、ポテンショメータの電圧値によって算出する。このポテンショメータにφ150のローラーをセットし、回転角度とローラー径からワイヤー移動量を算出する。例えば、2回転する場合のワイヤー移動量は942mmとなる。

図-3に鉛直方向表示結果例を示す。図中の現在深度は数値が大きいほど深い（低い）位置にあることを表す。

図の例では地上2mにおける現在深度の表示が5.16m、地上0mへ降下したときの表示は12.94mとなっているが、これはクレーンフックのワイヤーロープが4条掛けとなっているため、ワイヤーの移動量が4倍となったものである。故に深度差の1/4が実際の鉛直方向移動量となる。

計測の結果、鉛直方向移動量の誤差は3回の平均で0.05mとなった（図-4）。

なお、その後、システムを改良し、ワイヤーロープの掛数を考慮した鉛直方向移動量の表示を可能とした。

5.3 水平方向精度

任意の点にブロックを設置するときの目標位置と実際の設置位置のずれを計測した（表-1）。

東西方向の+は目標位置の中心より東方向、-は西を表し、南北方向の+は目標位置の中心より北、-は南を表す。3回の計測のうち、東西方向には平均で西に0.02m、南北方向には北に0.20mの誤差があることがわかった。これは消波ブロック乱積み据付作業の誘導に使用可能な精度であると考えられる。

さらに、クレーンオペレータにヒアリングを行ったところ、大まかな移動は、ブロックを見ながら行っているが、最後の位置合わせはシステムの画面を見ながら行っていることがわかった。実際の消波ブロック据付作業現場において、クレーンオペレータは水上の消波ブロックを目視によって大まかな位置までブロックを移動する。その後、水中の位置合わせは誘導員または潜水士の指示に従っている。

これらのことから本システムの誘導機能が実際の据付作業における誘導作業を補完できると考える。さらに、水中の施工状況をクレーンオペレータが画面上で確認できることにより、効率的な据付が期待される。

表-1 設置位置試験結果

	東西方向	南北方向
1回目	-0.02m	0.19m
2回目	-0.06m	0.19m
3回目	0.02m	0.21m
平均	-0.02m	-0.20m

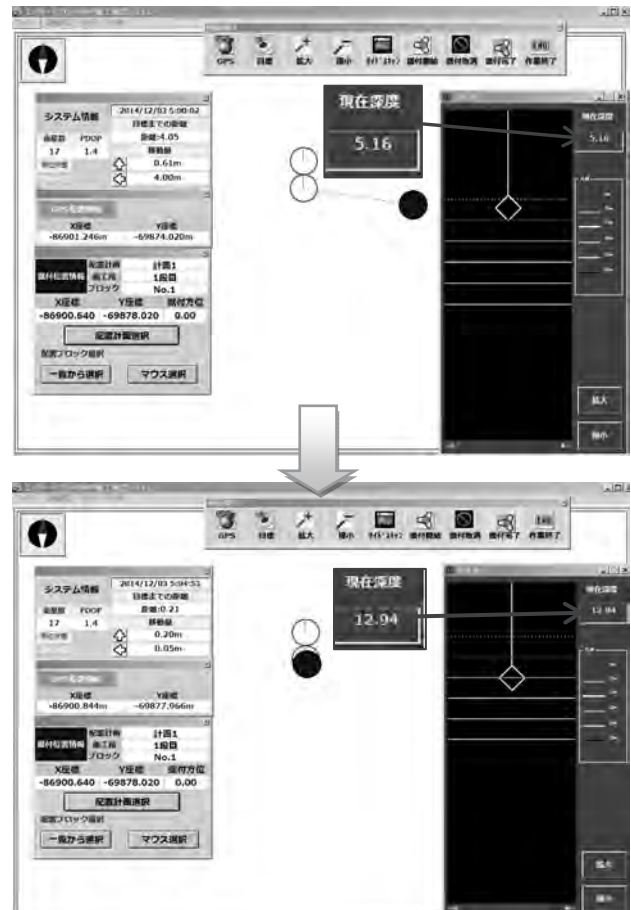


図-3 コンクリートブロック誘導画面例
(上：ブロック位置地上2m、下：ブロック位置地上0m)

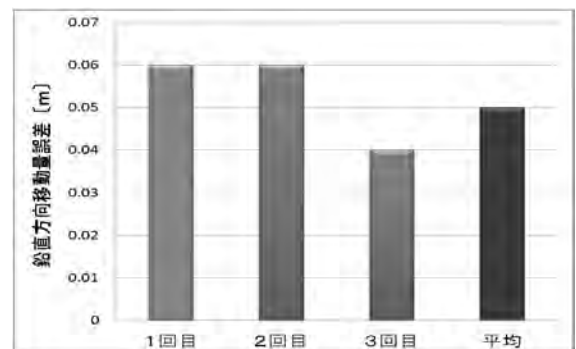


図-4 鉛直方向移動量計測誤差

6. 水中部可視化試験

6.1 試験概要

水中部可視化装置（魚群探知機本体+回転計測送受波器）による可視化機能を確認するため、実海域における消波ブロック据付工事で試験を行った。工事に使用された消波ブロックは50t型、据付方法は乱積みであった（写真-2）。

回転計測送受波器を船側に架装し、船上にてモニタリングした（写真-3）。

水中部可視化装置は、扇状の超音波ビームを回転しながら発射し、戻ってきた超音波の強弱によ

り、明暗の画像として表示する装置である。

計測範囲は任意の回転角度に変更することができる。

今回の試験では、起重機船より岸壁側のみ可視化するため、計測範囲を岸壁側の180°とした。



写真-2 試験海域・使用船舶・据付作業



写真-3 水中部可視化装置

6.2 可視化試験結果

水中部可視化装置を用いて、消波ブロック据付作業中の状況を計測した結果を図-5に示す。

中央上部の■(船)マークが回転計測送受波器の位置である。そこを中心に伸びている白い線が水中を走査している超音波ビームを表している。受信した超音波が強い部分は明るく、弱い部分は暗く表示される。

図-5上は消波ブロック据付前であり、赤枠の位置にブロックはないが、図-5下のブロック据付後ではブロックが確認できる。ただし、波浪や船体の荷重移動などによって送受器が動揺したため、画像が若干引き延ばされて見える。

現状の誘導員による作業では、クレーンオペレータは、ブロックを水中に投下するまでしか確認できていないが、本システムを使用することにより水中の様子を確認できる。

以上より、画像の見方に慣れが必要ではあるが、

水中部可視化装置を用いることにより水中部の施工状況確認が可能である。

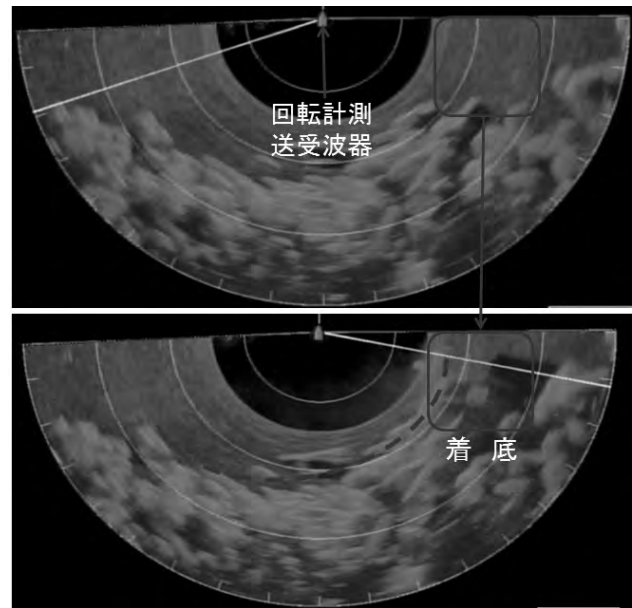


図-5 消波ブロックの可視化試験結果
(上：消波ブロック据付前、下：消波ブロック据付後)

7. まとめ

据付位置の誘導及び水中部の可視化が可能なコンクリートブロック据付支援システムを開発し、試験を行った結果、以下のことがわかった。

- 1) 陸上におけるコンクリートブロック誘導試験において、本システムを用いた場合の設置目標地点と実際の設置位置のずれは、水平方向で最大0.2m程度、鉛直方向で最大0.05m程度であった。これは消波ブロック乱積み据付作業の誘導に使用可能な精度である。
- 2) 画像の見方に慣れが必要ではあるが、水中部可視化装置を用いることにより水中部の施工状況確認が可能である。

今後、本システムを実際の工事で試行し、作業効率などを検証する必要があるが、本システムの使用により、潜水士によって行われている水中施工状況確認を補助あるいは代替することで、作業の負担軽減や安全性向上が図られる。

また、水中部の可視化データにより、監督員が水中施工状況を画像確認するなど、今までできなかった水中施工状況の施工管理にも寄与できる。

35. RFID方式を使用した舗装用建設機械の安全対策

(株) NIPPO 総合技術部 ○ 宮本 多佳
(株) NIPPO 総合技術部 相田 尚

1. はじめに

建設業における労働災害は、「墜落・転落」、「重機災害」、「倒壊・崩落」といった三大災害による死亡者数が依然として多く、全体の63%を占めている¹⁾。道路舗装工事においては、重機による災害が特に多く、その中でも常に前後進しながら作業をする転圧ローラの死角に入った作業員が轢かれるといった事故も少ない。また、こういった重大事故は殆どがヒューマンエラーに起因していることが多いと言われている。

そこで、近年普及している「予防的安全対策技術」の検討を重ね、RFID（磁界個体識別）方式を利用したローラの自動停止装置を開発した。本稿では、その開発概要と、同様のシステムによる応用技術について述べる。

2. 従来の安全対策の課題

建設現場においては、様々な重機が使用されている。多くの建設機械は過去の事故の経験から教訓を得て安全装置が装着されており、特に音による警報装置が多く装着されている。それらの装置についての課題を調査した。結果を整理すると以下のとおりであった。

- ①警報が鳴る頻度が多いと慣れによる認知度合いの低下
- ②夜間工事では近隣の住民に対する騒音対策として、警報装置を切ってしまう
- ③振動体で知らせる等、音に変わる警告装置もあるが、頻繁な充電作業が煩わしい。

以上のような課題について対応を検討する必要があるということが分かった。

3. 開発コンセプト

近年、自動車の分野では、予防安全技術が各社より紹介されている。予防安全技術とは、事故を未然に防ぐ、あるいは被害を軽減させる支援を行うものであり、代表的なものが自動ブレーキと言われる衝突軽減ブレーキである。これは、ヒューマンエラーが起きたとしても車両側のセンサにより、ブレーキを効かせる、さらには停止させるという技術である。

舗装工事において、自動車のように自動で止め

る考え方は、平坦性を求める路面に対する影響、オペレータに対する安全性等を考え、実現してこなかった。さらに、汎用機械であるタイヤローラのほとんどがレンタルやリース車両であり、制動装置の大幅な改造は難しいといった課題がある。

また、社内調査では、死角の多い大型のローラ、中でも比較的作業速度の速いタイヤローラによる事故が最も多く、発生状況の半分以上が転圧時となっている（図-1）。さらに殆どが後退時であり、その被災者の約5割は死亡事故に繋がっている。

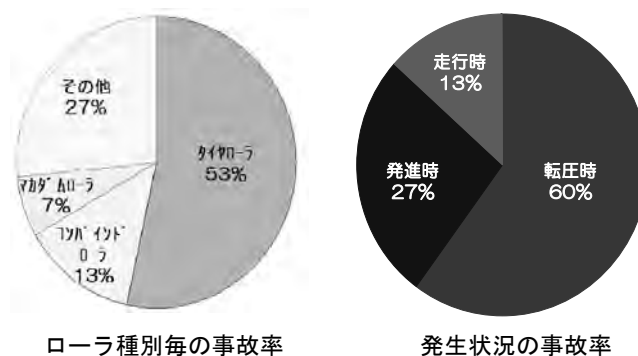


図-1 ローラ種別毎の事故発生率と発生状況
(当社内調べ)

このような背景から、重大災害をなくすためには本質的な安全対策技術が必要と考え、対象を15tクラスタイヤローラとし、開発コンセプトは以下の2点として着手した。

- ①後進時に作業者を検知した場合、ローラを自動的に停止させる。
- ②大幅な改造をせず、レンタルあるいはリース機に容易に取り付けが可能とする。

4. タイヤローラ自動停止装置の概要

(1) 人物の検知方法

従来の技術で多いのが、超音波反射方式、赤外線反射方式、トランスポンダ方式（超音波、赤外線）である。このうち、トランスポンダ方式はレスポンスを装着した人物のみを検出できるが、前述した受信機の充電等の課題もある。

そこで、様々な用途で活用が広がっているRFID（Radio Frequency Identifier）を採用した。RFID

とは磁界を利用した固体識別方式であり、この RFID 方式には色々な種類があるが、特定の磁界に侵入したときのみ送受信できるセミアクティブ型 IC タグ (写真-1) を採用し、これをヘルメットなどに装着させて人物のみ検知させる方法とした。常に電波を発信しているアクティブ型に比べて電池が数年単位と長いことが特徴である。また、超音波や赤外線方式と比べ、金属に多少影響を受けるものの、雨や視界、ほこり等の使用環境に対する信頼性が高く、誤作動もほとんどないのも特徴である。



写真-1 セミアクティブ型 IC タグ

(2) ローラの停止方法

前述したとおり、タイヤローラはレンタルやリースがほとんどであり、どのような機構にするかが課題であった。そこで数種類のローラを準備し、制動方法と制動距離について比較試験を行った (図-2)。

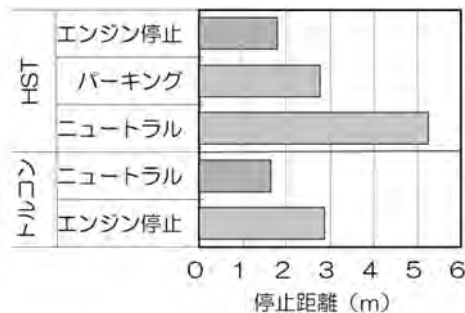


図-2 制動距離の比較 (時速 8km/h, 後進時)

現在主流となっている油圧式動力伝達装置 (HST) を搭載したローラでは、エンジンが停止すると作動するネガティブブレーキも標準装備されている。およそ 8km/h で走行している場合に、もっとも安全で、かつ早く停止させる方法として、エンジンを止める方法を選択した。

この方式では、スタータキーを強制的に回転させる装置 (写真-2) をキーシリンダ部分に取り付けるだけで良いので、油圧回路の改造が不要となり、ローラメーカーや



写真-2 キー回転装置の装着状況

機種を問わない。

(3) システムの概要

タイヤローラに取り付けた 2 台の磁界発生装置により、合成された立体的な磁界エリアを形成する (図-3)。これにより、ローラの後進方向以外にいる作業員には反応することがない (図-4)。

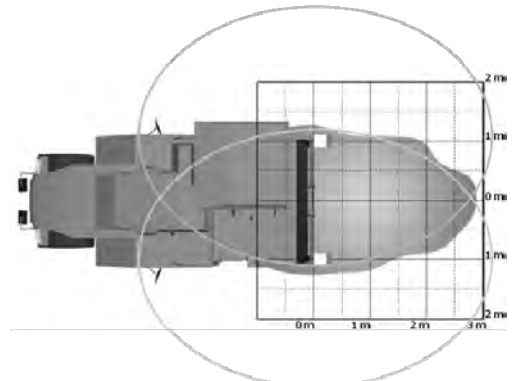


図-3 磁界の合成エリア

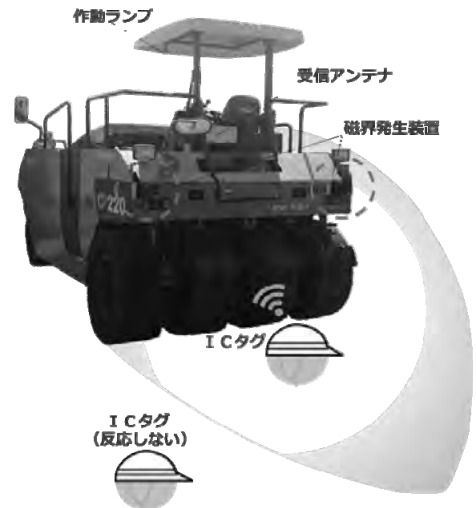


図-4 ローラ自動停止システムの概要

磁界エリア内に IC タグが検出されると、IC タグから電波が発信され、キー回転装置へと信号が伝わり、エンジンが停止するとともにネガティブブレーキが作動してローラも停止する。当装置が確実にセットされているかは、キー回転装置内のセンサにより検知され、タイヤローラに設置された作動ランプを点灯させることで、外部からでも確認できる。なお、磁界は後進時のみ発生するため、不必要な自動停止はしない。

(4) 実証試験

ヘルメット内に IC タグを格納したマネキンにより、あらゆる姿勢での検証を行った (写真-3)。磁界の大きさを調整することで、タイヤローラ側面で作業する人物がいる場合はそのまま通過し、タイヤローラの後方にいる場合は、時速 8km/h 以

下であれば直前に停止することを確認した。



写真-3 マネキンを利用した実証実験

(5) 現場への導入

現在まで、複数の現場にて稼働中であるが、これまで誤作動などの不具合は発生していない。

このような安全装置は自動車のエアバッグのようなものと同様で、危険な状況時のみ作動する。そのため、導入時の教育やデモンストレーションが最も重要である（写真-4）。



写真-4 現場での稼働状況

また、バンパー付きのタイヤローラ（写真-5）に装着し、2重の安全対策を取っている例もある。



写真-5 バンパー付きタイヤローラへの装着状況

5. RFID を利用したアスファルトプラントでの安全対策

(1) ホイールローダの自動停止システム

アスファルトプラント（以下 AP）内で材料の供給用に稼働するホイールローダは、狭い敷地内で頻繁に動き回るため、ローラ同様事故が多い機械の一つである。したがって、従来より反射式赤外

線センサ又は反射式超音波センサ、バックアラーム、バックカメラを使用している。しかし、ホイールローダは、ローラに比べ後進時の速度が速く、警報で鳴ってから停止までの空走距離と制動距離が大きいため、間に合わないケースが想定される。まずは、前述したタイヤローラ同様に RFID による停止システムを追加し、エンジン停止によるネガティブブレーキを作動させる方法で試験を実施した（写真-6）。



写真-6 ホイールローダ自動停止試験状況

その結果、速度が速いうえに、サスペンションや大きなタイヤによりクッション性が良いので、停止時の衝撃が大きいことが判った。そこで、ICタグからの信号で、フットブレーキを押し込む「ブレーキアシスト」機構にした（写真-7）。通常、大型のホイールローダの場合、フットブレーキは左右2つ装備されており、この内左側のフットブレーキ側にパワーシリンダを増設し、チェーンにて引っ張る。パワーシリンダの場合、ある程度ゆっくりとした速度が得られ、急制動にならない利点がある。また、チェーンで引っ張る構造なため、通常の足で踏むブレーキ操作は全く影響を受けない。また、これらは全て外付けであるため、複雑な改造を必要としない。

磁界の範囲は、制動距離が長いことから、約4m程度とローラに比べ大きくとることとした（写真-8）。

現在、実用化に向けて試験運用中である。



写真-7 パワーシリンダを使用したブレーキアシスト装置



写真-8 ホイールローダの磁界有効範囲

(2) 危険エリア侵入通知システム

APでは特にメンテナンス時の非定常時作業での事故が発生している。監視カメラで確認できない位置での作業では、無線機や携帯電話で作業者の位置を確認するしかない。またAP稼働中ではAP内での騒音が大きく無線機等が聞き取れず応答できないことが多い。そこでローラ、ホイールローダで使用したRFIDによる従事者の位置情報監視システムを開発した(図-5)。

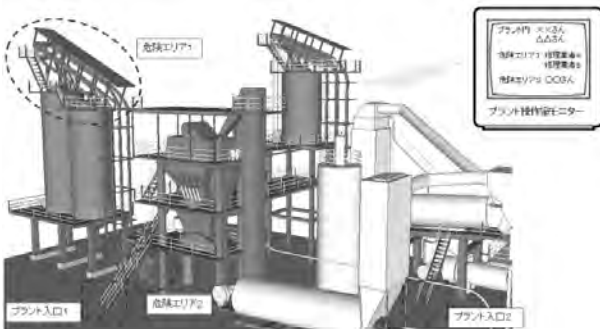


図-5 位置情報監視システム概要

ICタグは個別にIDが付与されているため、危険エリア(写真-9)やAPの各出入口(写真-10)に磁界発生装置を設置しておけば、作業者等がどこにいるかが操作室内から確認でき(写真-11)、作業者が危険エリアに侵入した場合に注意喚起することが可能である。



写真-9 危険エリアに設置した磁界発生装置(合材サイロ内)

また、工場従事者以外の修理業者や、資材納入業者にも、入場時に必ずICタグを貸し出すことで、事務所にいながら居場所を把握できる。現在、1工場で検証中である。



写真-10 出入口に設置された磁界発生装置



写真-11 危険エリア侵入監視システム表示画面

6. おわりに

安全に対する技術は年々進歩しており、特に自動ブレーキに代表される最近の自動車に関する安全対策技術の進歩はめざましいものがある。建設業界においては、長年3K、5Kといわれる業界であり、少なくとも危険な作業が多いというイメージを払拭するためにも予防安全技術はさらに追求していく必要があると考える。

今回開発したシステムは、WSシステム(Worker Safety System)と命名し、全国に普及させる予定である。しかし、あくまでも補助的なツールであり、基本的なルールを徹底することや従事者の意識を向上させることが大前提であることには変わらない。こうした技術が1件でも多くの重大災害の削減に寄与できれば幸いである。

参考文献

- 1) 建設業労働災害防止協会, 建設機械施工 Vol67 No.5 May 2015, pp4-7

36. 小口径・長距離シールドトンネルにおける 同一立坑からの2方向同時施工

株式会社 奥村組
株式会社 奥村組
株式会社 奥村組

○ 犬飼 貴
辻 和宏
木下 茂樹

1. はじめに

河合春近用水路は、十郷大堰の下流約 3km ほどにある坪内水閘から取水し、森田、河合、春江など 42 の村、約 1,300ha を潤す大用水として、宝暦 3 年 (1753 年) 頃に開削で施工されている。本工事は、国営九頭竜川下流農業水利事業計画に基づき、老朽化した河合春近用水路をパイプライン化する事業のうち、延長 7.1km をシールド工法で施工するものである。工事の特徴として、発進立坑から上流工区は泥土圧シールドで 2,775m、下流工区は泥水式シールドで 4,314m を 2 方向同時に掘進することや、 $\phi 600$ を超える巨礫を含む地山を外径 2.5m の小口径のシールド機で掘削することが挙げられる。

本稿では、小口径、2 方向同時および長距離施工となるシールド工事において、安全に施工するための工夫について報告する。

2. 工事施工概要

2.1 工事概要

工事名称：九頭竜川下流（二期）農業水利事業河合春近用水路建設工事

工事場所：福井県坂井市丸岡町四郎丸、福井市漆原町及び川合鷲塚町地内

工期：2010 年 3 月 19 日～2015 年 3 月

工事内容：農業水路シールド工事

- ①上流工区 泥土圧シールド $\phi 2,480\text{mm}$
延長 $L=2,775.1\text{m}$
一次覆工 鋼製セグメント (内径 2,100mm)
二次覆工 FRPM管 呼び径 1,800mm
- ②下流工区 泥水式シールド $\phi 2,480\text{mm}$
延長 $L=4,314.6\text{m}$
一次覆工 鋼製セグメント (内径 2,100mm)
二次覆工 FRPM管 呼び径 1,800mm
- ③立坑工 7ヶ所
- ④付帯施設 分土工 3箇所、制水弁室工 2箇所、排泥工 3箇所
他一式

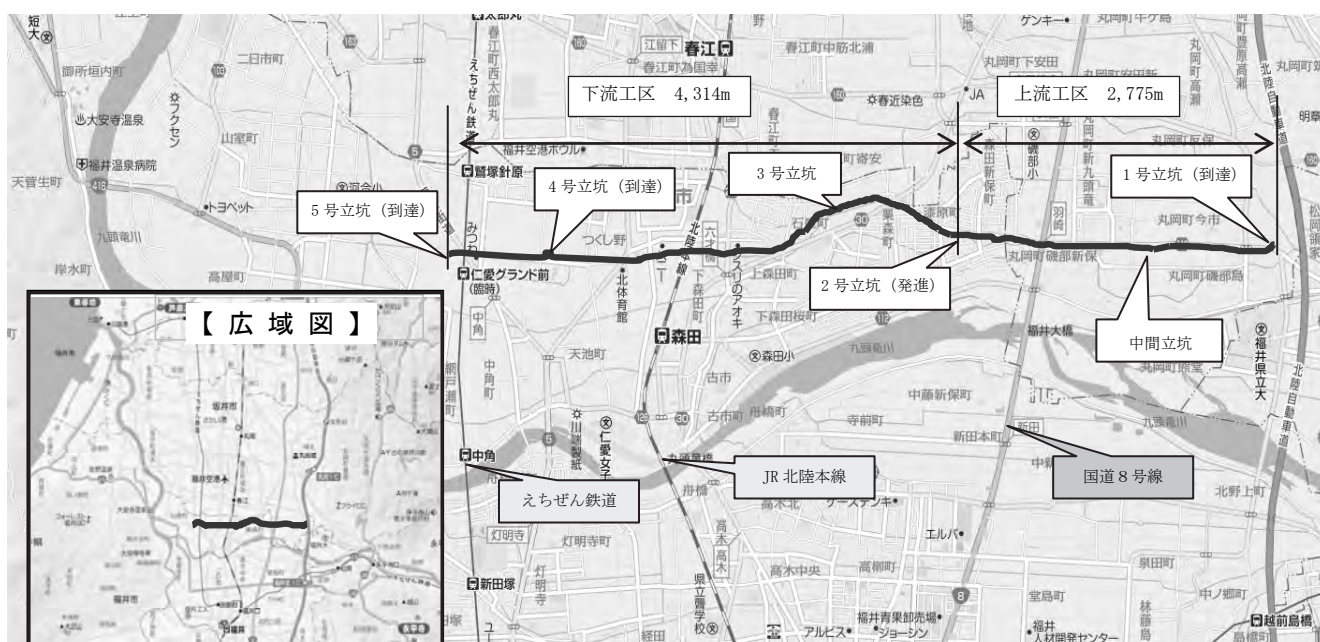


図-1 工事平面図

2.2 地質条件

地質縦断図を以下に示す。

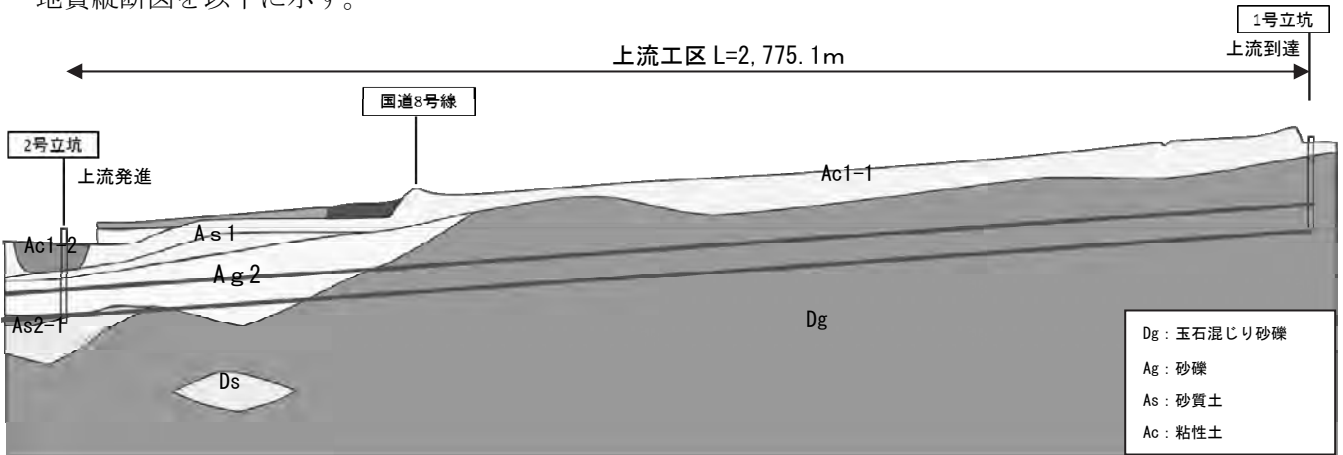


図-2 上流工区地質縦断図

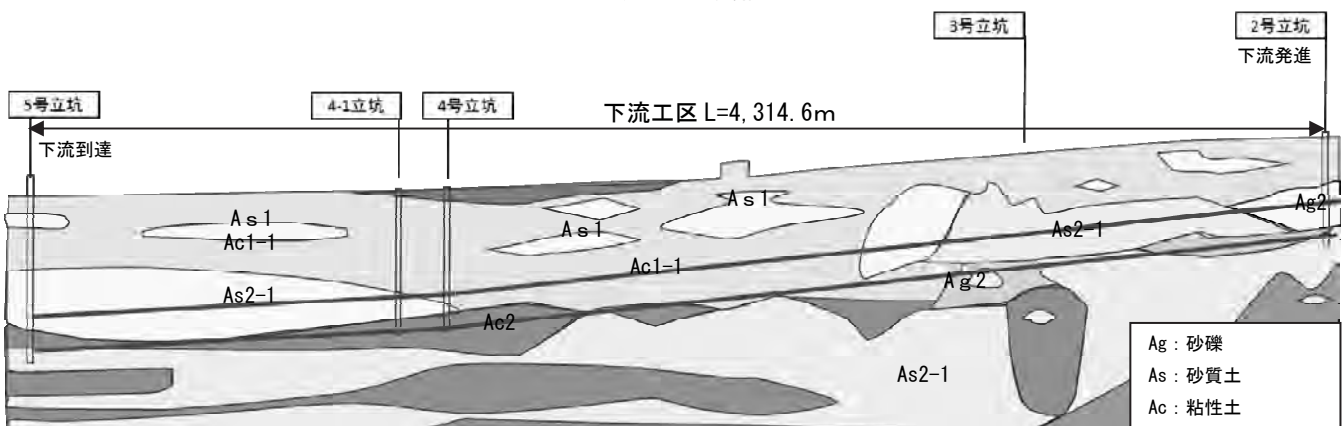


図-3 下流工区地質縦断図

3. 工事の特徴

3.1 上・下流同時掘進

発進基地は土地区画整理地内の公園予定地に位置し、民家に囲まれていることから周辺環境に配慮し発進基地における工事の騒音・振動を低減するために防音ハウス内での作業とした。

さらに、搬入出車両の通行時間帯は9時～17時にすることが周辺住民との取り決めであった。

また、上流工区は泥土圧シールドで掘進するのに対して、下流工区は泥水式シールドで掘進する。トンネルを工期内に竣工するためには、上・下流工区を2つの異なった工法で同時に掘進する必要があり、立坑及び地上設備が複雑になることが予想された。

3.2 小口径・長距離掘進

掘進延長が7.1km（上流工区約2.8km、下流工区約4.3km）であり、特に下流工区は4kmを超える長距離施工であること、カーブが46か所（上流工区15か所、下流工区31箇所、最小半径R=60m）と多いこと、掘削断面がφ2.5m（セグメント有効断面φ2.1m）と小口径であることが特徴であった。

3.3 上流工区では巨礫が確認

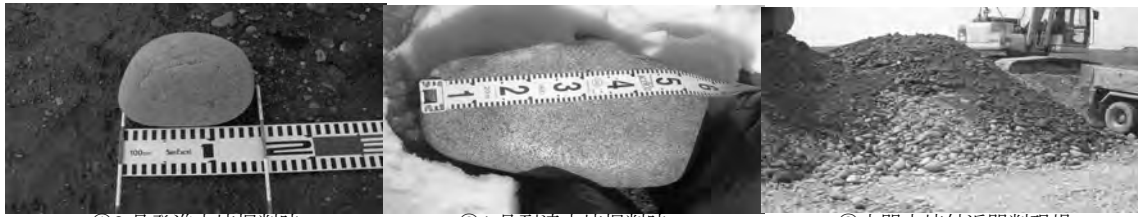
上流工区の地質は、上記の様にほぼ全線が砂礫層であった。事前のボーリング結果では、発進立坑から約600mはN値30前後の砂礫層（Ag2層）が主体で粗砂に2～30mm程度の小礫が混入し、残りの約2,200mは非常に締まった状態（N値50以上）の玉石混じりの砂礫層（Dg層）で、玉石の最大礫径200mmとなっていた。

しかし、発進立坑の掘削時に100～150mmの玉石が出てきたことや周辺の開削現場の聞き取り調査により、中間立坑から到達立坑の間ではΦ600mmを超える巨礫の出現の可能性が高かった（写真-1参照）。小口径のシールド機で巨礫を含む地山を掘削するため、シールドマシンの設計と掘削土砂の搬出に留意が必要であった。

以上のことから、限られた条件の中で安全に施工するために、

- ① 発進基地の防音ハウス内のシールド設備に関する工夫
- ② 坑内作業の安全確保を考慮した坑内設備
- ③ 巨礫対応の設備

が課題であった。



①2号発進立坑掘削時

②1号到達立坑掘削時

③中間立坑付近開削現場

写真-1 各所での玉石確認状況

4. 防音ハウス内のシールド設備に関する工夫

4.1 排土機構に泥水循環方式を採用

1つの発進立坑から泥土圧シールドと泥水式シールドの2つの異なる工法で上・下流の掘進を同時に行うため、立坑上に「泥土圧の掘削土砂搬出設備」と「泥水の処理設備」を設置する必要があった。泥土圧の掘削土砂搬出設備としては、土砂ピット、ズリ鋼車の転倒設備、バックホウの作業架台等が必要になる。また、泥水の処理設備としては、泥水の処理設備（一次ふるい・二次処理）、泥水を貯留するための泥水槽（調整槽・貯泥槽・余剰泥水槽・スラリー槽）等が必要になる。

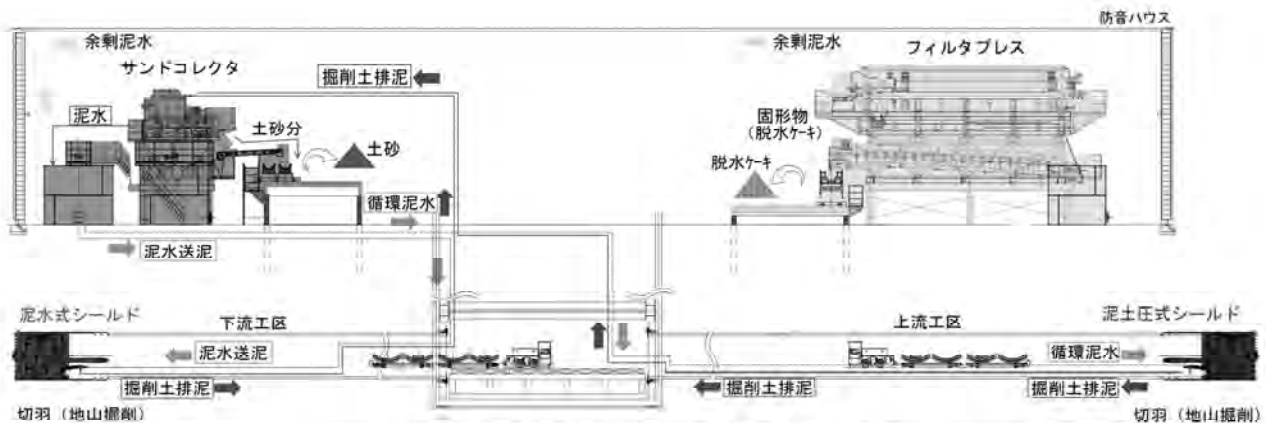
限られたスペースに全ての設備を設置すると場内が繁雑になり、セグメント等の資材置き場が不足し、安全な施工に支障をきたす恐れがあ

った。そこで、泥土圧シールドの排土機構に泥水循環方式を採用した。

泥水循環方式は、排泥ポンプを用いて地上の泥水処理設備に掘削土砂を送る方式であり、通常、泥水式シールドの場合に用いられ、泥土圧シールドでの適用は少ない。

その理由として、掘削土の塑性流動化が難しくなることや、当工事のように巨礫を含む地山を掘削する場合、配管の閉塞など土砂搬出が困難となることが挙げられる。

そこで当工事では、巨礫に対応したシールドマシンを採用することと、機内に巨礫を破碎するためのクラッシャ設備を設置する（6.1参照）ことで泥土圧シールドでの流体輸送を実現した。



一般的にはズリ鋼車により掘削土の輸送を行うが、本工事においては、泥水循環方式を採用して掘削土を流体輸送している。

図-4 泥水循環状況図

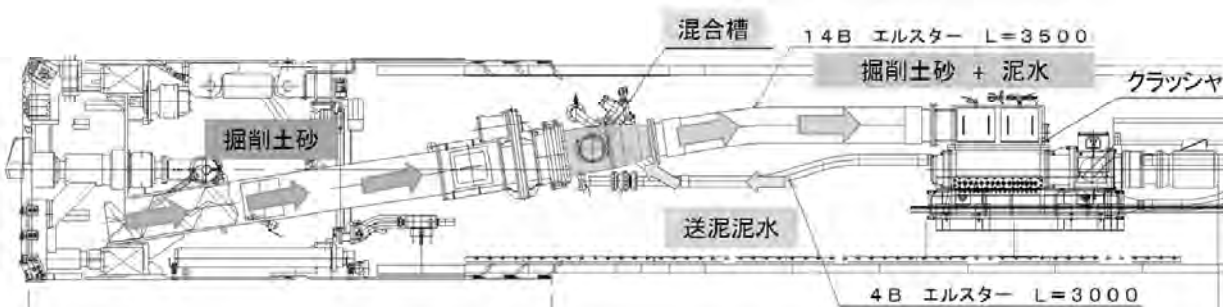


図-5 泥水循環概要図

4.2 上・下流の天井クレーン設備に距離設定反射型ビームセンサーを設置

上・下流同時に掘進作業を行う上で、上・下流にそれぞれ天井クレーン設備を配置した。1つの立坑で2台の天井クレーンを使用することから、天井クレーンの接触防止対策として、距離設定反射型ビームセンサーを設置し、クレーン同士の距離が1.5m以内になると自動停止する設備とした。

5. 小口径・長距離施工における対策

5.1 排土機構に泥水循環方式を採用

ハウス内のシールド設備に記載した様に、排土機構に泥水循環方式を採用した。泥水循環方式を採用することで、掘削土砂を運搬するブリトロが坑内を走行する必要がなくなり、坑内の安全性が大幅に向上した。

5.2 段差枕木の採用

1次覆工の仕上がり内径が約2.1mと小口径のため、通常のトンネル現場で使用するH鋼枕木を使用すると下図のように屈む必要があり、通常の歩行は困難であった。そこで、使用する枕木を段差枕木として、坑内で屈まずに歩行できるようにし、坑内での移動の安全性を確保し、作業環境を確保した。

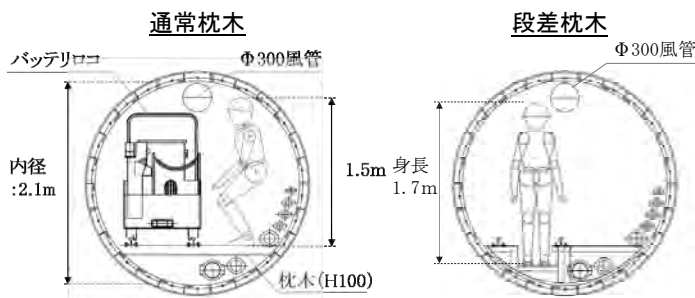


図-6 坑内断面

5.3 接近センサーの採用

セグメント内径2.1mと小断面のため、軌条と安全通路を分離できない。入坑者の安全確保を目的に、入坑者は発信機を常時携帯することとし、電車に設置した受信機（接近センサー）で入坑者の接近を事前に確認できるようにした。また坑内には、100m毎に待避所を設置し、電車と人が安全に離合できるようにした。

5.4 LED照明の採用

坑内照明設備に使用電力が少なく、耐久性に優れたLED照明を採用した。これにより、坑内低圧幹線のサイズダウンが出来るため、配線・撤去作業時の作業性・安全性が向上する。さらに、長期に及ぶ使用でも照明の球切れが無いので、交換作業が不要である。

6. 巨礫地山における対策

6.1 クラッシャー設備の採用

上流工区および下流工区の切羽直後で礫を破碎するインラインのクラッシャー設備を設置した。

下流工区では、礫区間を通過後にクラッシャーを撤去する計画であったが、以後の掘進におけるリスク対策として坑内に残置した。その後、砂地盤内において流体閉塞の原因となる木片（昔の九頭竜川氾濫時の流木と思われる）が出現したが、クラッシャー設備の活用で流体管路の閉塞を防止することができ、施工の安全性向上が図れた。



写真-2 使用したクラッシャー

7. おわりに

本工事は着手段階から、上述した以外にも様々な課題が予想され、安全な施工のため、入念な施工計画を立案することが重要であった。特に、小口径、長距離のシールド坑内をバッテリーロコが10往復/日で走行するため、坑内災害防止に細心の注意を払い無事に施工を完了できた。施工は本掘進の平均月進量で上流工区150m/月（ビット交換5回含む）、下流工区240m/月となっている。なお下流工区では、事業計画の見直しにより約6ヶ月の掘進停止期間があったが、その後の再掘進でも順調な掘進速度を維持し、855mを3ヶ月で掘進完了できた。

本報告が今後の小口径・長距離シールドにおける施工計画および施工の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) トンネル標準示方書、シールド工法・同解説、pp.211、2006年制定
- 2) トンネルと地下第46巻第1号、pp.23-29、2015年

37. 予知保全技術による診断と適用事例

株式会社 IMC
株式会社 IMC
株式会社 IHI

○ 大平 匡史
柴田 勝規
宮崎 信弥

1. はじめに

日本国内の景気後退を背景に、老朽化が進行している設備等の維持管理に十分なリソースを投入できていない事例が見られる。また、熟練技術者の高齢化に伴う技術ノウハウなどの伝承不足により、長年の経験や勘に裏打ちされたメンテナンス手法などが失われつつある。低コストで安全に設備の維持管理を行うためには、設備の異常を早期に発見し故障を未然に防ぐ必要がある。設備が重大な損傷を受ける前に、有効なメンテナンスを実施することができれば、設備の修理費用を削減できることのみならず、停機による生産機会が失われることの防止に繋がるため、生産性も向上する。また、設備や機器に優先度を付け、重要な機器からメンテナンスを実施することで、メンテナンスコストの適正化も可能になる。

ここでは、メンテナンスコストの適正化を目的とした RBM(リスクベースメンテナンス)と、構造物の設備や健全性を担保するための SI-F 法疲労劣化検知技術について、技術紹介と適用事例の紹介を行う。

2. 診断技術

2.1 RBM(リスクベースメンテナンス)

高齢化による熟練技術者の減少を背景に、熟練技術者に代わってメンテナンス計画を作成するための基準が必要になる。また、限られた予算内で適切なメンテナンスを実施するためには、設備や機器の状態を把握し、優先度を付けることが重要になる。

そこで、近年 RBM によるメンテナンス手法に注目が集まっている。RBM では、破損確率（破損の起こりやすさ）及び影響度（被害の大きさ）により定義されるリスクの評価結果に基づき、評価対象となる設備全体のリスクが許容範囲内に入るように、合理的な検査およびメンテナンス計画を策定する手法である。リスクの評価結果は一般的に図-1 のリスクマトリックス上にプロットされる。リスクマトリックスでは破損確率を縦軸、影響度を横軸としているため、プロットされる位置により評価の対象となる機器などのリスクの状態（高低）を表現することができる。

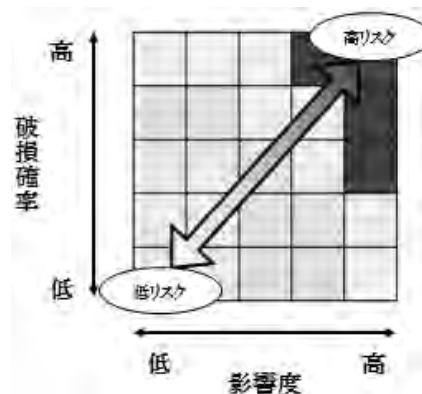


図-1 リスクマトリックス

RBM によるリスクは、直ちに対策が必要な「受容不可（高リスク）」、次回の検査では対策が必要な「要計画変更（高-中リスク）」、現状の検査が次回も適用できる「条件付受容（中リスク）」、現状の検査で問題のない「受容可能（低リスク）」の4段階に評価される。高リスクと評価された機器に対し保全費用を集中してメンテナンスを行う一方で、低リスクと評価された機器では検査の頻度を減らしたり、簡略化したりすることができる。このように全体を受容できるリスク(受容可能～条件付受容)の範囲に納め、リスクをコントロールすることでメンテナンスコストの適正化が可能になる。リスクコントロールの概念を図-2 に示す。

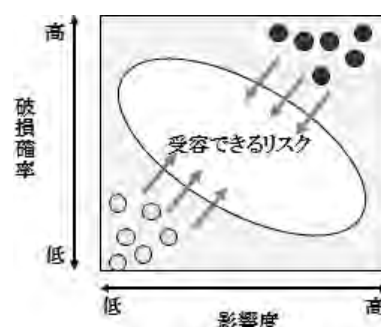


図-2 リスクのコントロール

2.2 SI-F 法疲労劣化検知技術

SI-F 法とは、東京工業大学の轟研究室により提案された、統計的手法により異常発生の有無を検知する技術である。

図-3 に示す従来の異常検知では、個々のセンサデータにしきい値を設け、個々にしきい値を越えたか否かで良否判定を行っていた。この方法では外乱（温度変化、荷重変化など）によって、特に問題が無くてもしきい値を超える場合があり、誤った診断を行うことが多かった。また、誤診断を防ぐためにしきい値を緩めに設定すると異常検知精度が下がり、真の異常発生を見逃してしまう危険性がある。

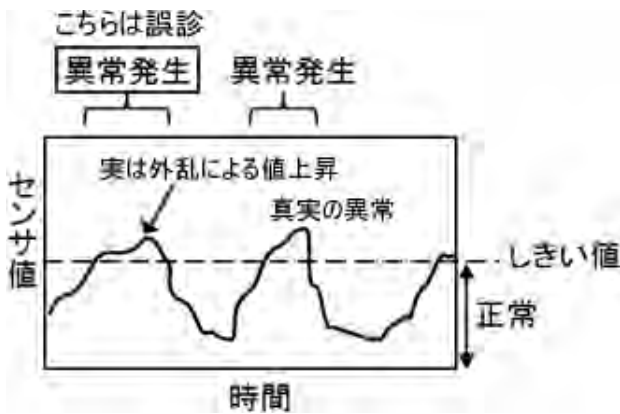


図-3 従来の異常検知技術

これを防ぐためには、図-4 に示す通り、複数のセンサデータの相関関係に着目して、その変化により異常発生を判定することが有効である。複数のセンサデータの相関関係は、温度変化や荷重変化といった外乱の影響を受けにくいいため、誤診断の回避と高精度化の両立が可能になる。

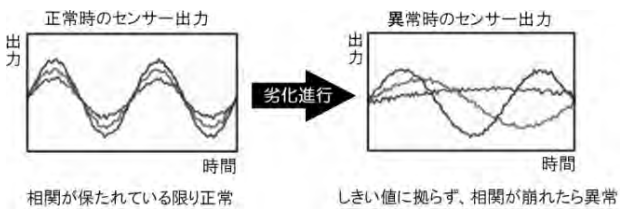


図-4 SI-F 法 異常検知技術

SI-F 法では、正常な時の相関関係に対して、診断時の相関関係が同一とみなせるか否かを判定し、同一とみなせない場合に異常発生と診断する。その判定には、データ同士の同等性を検定する統計的手法である、F 検定を用いる。算出された F 値は外乱の影響を受けにくく、値が大きいほど異常度が高いことを示す単一の数値であるため、しきい値を設けて自動診断が可能である。

3. 適用事例

3.1 練習船 広島丸における RBM 適用実験

設備を低コストで安全に維持管理することの必要性は、老朽船が増加傾向にある海運業界もその

例外ではない。RBM によるメンテナンス手法は化学プラントや石油精製プラントで普及しており、調査する限りにおいて船舶に適用された例は少ない。そこで、船舶向け RBM の構築に向け、独立行政法人国立高等専門学校機構 広島商船高等専門学校との共同研究を実施した。なお、RBM によるリスクの評価方法については、評価対象(機器や設備)により関係者が検討する必要がある。今回は予知保全の観点から、経年による劣化傾向を把握する必要があるため、故障率曲線から破損確率を求める手法を用いた。

(1) 船舶向け RBM の検討項目

① 破損確率の算出方法

RBM では、時間経過に伴う破損確率を機器毎に求める必要があるが、故障データが十分に集まらないことが多々あるため、初期の故障率曲線は主観的に決まる。この初期故障率曲線はデータ数が少ないことで、経年により実際の故障率と異なる可能性がある。ここでベイズ推論を用いることにした。ベイズ推論の説明は省略するが、事前確率に事象を与えることで事後確率を求め、求めた事後確率を新たに事前確率として扱い、さらに事象を与える。これを繰り返すことで、初期の状態と比較して客観性を向上させる手法である。ベイズ推論による故障率曲線の補正を図-5 に示す。船舶向け RBM では、メンテナンスの結果と処置を事象とし、ベイズ推論によって機器が良好な状態であれば故障率が低くなり、悪い状態であれば故障率が高くなることで、初期の故障率曲線の客観性を向上させている。

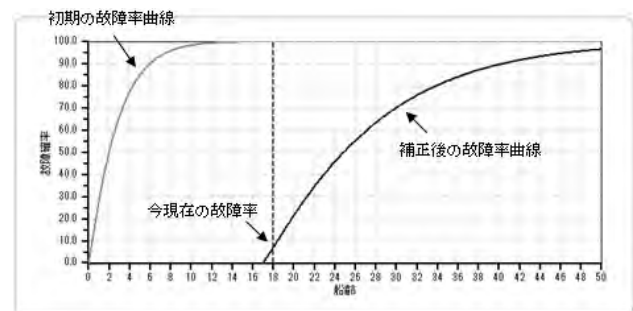


図-5 ベイズ推論による故障率曲線の補正

② 影響度の算出方法

機器の破損に伴う船舶への影響度については、安全性、環境保全、経済損失の観点から、下記 4 つの設問により求まる係数を掛け合わせることで算出することにした。各設問は、4 つの回答が準備された単一選択形式としており、1~4 の点数が与えられる。

(A)運航影響度係数

減速航行など運航に対する影響度合

(B)修復工数係数

修理時間による損傷の度合

(C)不稼働損失係数

船舶が停止している間の不稼働損失や環境汚染の度合

(D)人身災害係数

人体への影響度合

(2)検証と結果

①破損確率

熟練技術者の協力の下、まずは各機器の初期故障率曲線を作成した。次に広島丸の過去17年分のメンテナンス記録(結果と処置)を用い、初期故障率曲線をベイズ推論で補正した。補正後の故障率曲線が、熟練技術者の考える現在の機器の状態と一致するかについての検証を行い、両者が乖離している場合には故障率曲線の補正幅を調整した。これを繰り返すことで、適切な補正幅が決まり、両者が一致する故障率曲線に変化することが確認できた。

②影響度

各設問の係数をそのまま使用した場合、例えば修理に多大な時間を要する損傷であった場合の4点と、死亡事故に繋がる場合の4点を同列に扱うことになり、熟練技術者の感覚と一致しないことが判明した。各設問の重要度は異なるため、これらを表現するために、AHP法(Analytic Hierarchy Process:階層的意決定法)を用いた。AHP法とは複数要素間の優劣を、人間の主観的な評価により決定する手法である。この手法から求まる重み係数を各設問の点数に掛け合わせることで、重要度を決定することができた。

(3)まとめ

ベイズ推論による補正は、少ない情報から将来の劣化予測が行える優れた手法であり、船舶、陸上を問わずに適用可能である。しかし、情報が少ない状況下では、機械的に妥当な初期故障率曲線を求めることが困難で主観的に求める必要があるため、補正後に客観的な故障率曲線に収束するという保証がない。

これを克服するためには、業界全体や国家レベルでのより正確かつ多くの関係者が納得できる基準作りが必要である。将来に各機器や設備の一般的な初期信頼性曲線の基準がJISとして定められるようになれば、ベイズ推論に基づくRBMにより、インフラの維持管理の品質は大きく向上するものと考えている。

3.2 浚渫船 若鷲丸へのSI-F法の適用

波浪状態や運転条件によりひずみ量の変動する浚渫船を対象として、SI-F法による疲労劣化の検知システムを導入し、長期モニタリングの実証試験を開始した。システムの概要とこれまで得られた成果について紹介する。

(1)疲労劣化モニタリング対象

疲労劣化モニタリングの対象は、浚渫船「若鷲丸」とした。若鷲丸の概観写真を図6に示す。本船は浚渫作業時に船体の揺動を抑えるため、船体を支持するスパッドを3本備えている。うち台船の長手方向中央付近の2本は、上下動のみ可能で角度が変わらない「固定式」であり、船尾側の残り1本は、上下動に加えて前後に傾斜して船体を動かす機能を持つ「歩行式」である。

船体の揺動を抑える際や、スパッドが傾斜して船体を移動させる際に大きな応力が発生し、スパッドや支持部に損傷が起こる事例が報告されており、損傷確率が高いと言える。スパッドが損傷した場合、浚渫船の稼働に支障が生じるため、極めて影響度の高い部材である。このような情報から、モニタリング対象としてスパッド付近を選定した。本実証試験では、固定式スパッド1本(左舷側)と、船尾の歩行式スパッド1本をモニタリング対象とした。



出典：Marine Voice, Vol.287, No.21 (2014)

図-6 浚渫船「若鷲丸」全景写真

(2)ひずみゲージおよびモニタリング機器設置

スパッド本体は上下動するため計測は不可能であり、計測可能な支持部のひずみ計測を実施する方針とした。支持部のローラ保持機構の概観写真を図7に示す。



図-7 スパッド支持ローラ 概観写真

ローラ軸受付近や、ローラ保持機構の据え付け溶接部付近にひずみゲージを設置した。ひずみゲージの位置と方向は、浚渫作業やスパッドの前後傾斜、および波浪などの外力によるひずみが検出できるように、マグネット圧着式の簡易式ひずみゲージを用いて予備計測を行い、決定した。

ひずみデータは無線通信により、運転室付近に設置したデータ収集装置に集約した。これにより数十 m のセンサーケーブルを省略でき、低コスト化、長期耐久性向上を実現した。

データは収集装置付属の解析用 PC に取り込まれ、所定の時間間隔で SI-F 法による異常検知が実施される。

(3)SI-F 法解析結果

解析結果の一例として、船尾の歩行式スパッドの支持ローラ軸受付近のひずみデータを用いた、SI-F 法解析結果を図 8 に示す。横軸は日付で、縦軸は SI-F 法の算出結果である平均 F_0 値である。平均 F_0 値が大きいくほど異常が大きいくことを意味する。1 日に 1 回の診断を行っており（注：システムの都合によりデータ欠損がある）、この期間内で平均 F_0 値の明確な上昇は認められず、実機で疲労き裂が生じていない現象と対応した、適切な解析結果が得られることが確認できた。

異常発生を検知するための平均 F_0 値のしきい値として、正常な状態で生じるばらつき範囲を超える値を設定する方針とした。図 8 の計算結果に基づき、しきい値は 3σ より大き目の値として「35」と決定した。

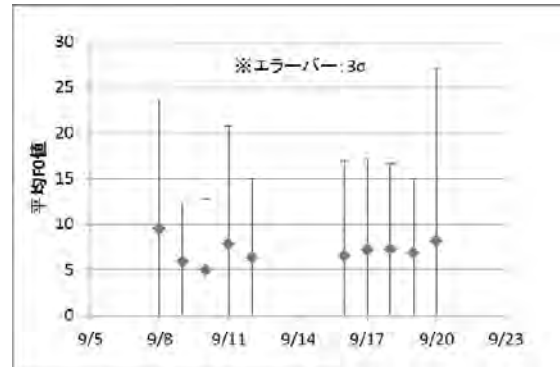


図-8 ローラ軸受付近 SI-F 法計算結果

(4)今後の取組み

浚渫船を対象として、実稼働で得られたひずみデータを SI-F 法により処理することで、損傷が生じていない実現象に対応する、安定した平均 F_0 値を算出することができた。

今後はき裂発生を検知精度についての検証に進むが、実機では数十年間にわたってき裂が発生しないと考えられ、検証は困難である。FEM 応力解析により種々の大きさのき裂を再現して、所定のき裂発生に相当する変化を与えることでき裂発生時の模擬データを作成することを検討している。この模擬データを用いることで、実機運用条件でのき裂発生を検知精度を検証することができる。

4. おわりに

今回紹介した予知保全技術は船舶に特化したものではなく、鉄鋼構造物やコンクリート構造物にも適用できる技術である。今後は老朽化が進むインフラの健全性を維持するために、普及する技術だと考えている。

最後に、独立行政法人国立高等専門学校機構 広島商船高等専門学校の先生方と、若築建設株式会社様には運用者としての貴重なご意見をいただきました。心から感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 柴田勝規・宮崎信弥・戸村雅一：作業船における予知保全技術と適用事例紹介，建設機械施工 Vol.66, No.8 August 2014
- 2) 宮崎信弥：老朽化インフラの声なき悲鳴をキャッチ, IHI 技報, Vol.54, No.2, 2014
- 3) 木原重光・富士彰夫：リスク評価によりメンテナンス RBI/RBM入門

38. 土木機械設備のストックマネジメントに関する検討

国立研究開発法人土木研究所 藤野 健一
 (現)国土交通省東北地方整備局 山尾 昭
 国立研究開発法人土木研究所 ○伊藤 圭

1. はじめに

土木機械設備数の増大、機械設備の老朽化の進行、減少する維持管理予算といった状況において、効果的に土木機械設備の整備や更新を実施する必要がある。

特に、今後の維持管理予算の増加が見込まれない状況において、老朽化施設が増加していった場合、設備全体の中でメリハリのある優先度付けを図った維持管理が必要となってくる。

このため、維持管理対象を個々の設備ではなく施設群として捉え、ライフサイクルコストの低減や、整備・更新に係る費用の発生時期の集中緩和を図ることを目的としたストックマネジメントが必要と考える。

このストックマネジメントの実施にあたって、図-1 に示すイメージのとおり、個々の土木機械設備に関する維持管理手法を確立するとともに、個々の施設の評価だけでなく、関連する複数の施設における社会的な影響度と設備のコンディションを総合評価し、効果的に更新や整備を行っていく維持管理計画策定手法を検討したので報告するものである。

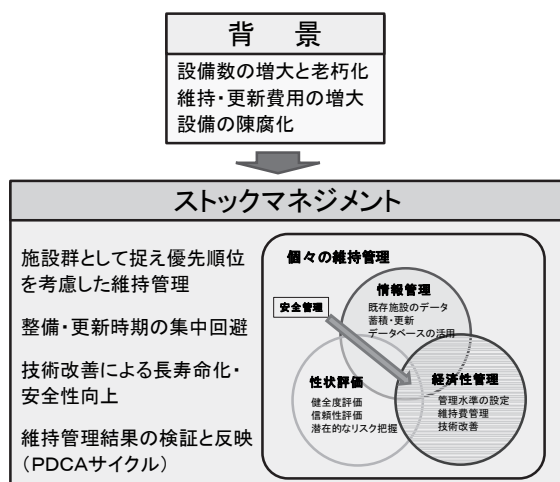


図-1 土木機械設備のストックマネジメントイメージ

2. 機械設備維持管理におけるPDCAサイクル

土木機械設備の維持管理を経済的かつ効果的に実施していくためには、各々の機械設備の状況・

状態を適切に評価し、それを維持管理の方法や内容に生かしていくことが重要となってくる。このため、図-2 のような「PDCAサイクル」により維持管理を実施することが必要となる。



図-2 土木機械設備の維持管理PDCAサイクル

このPDCAサイクルを計画的に実施するにあたっては、機械設備の故障・整備履歴のデータベースを基とした信頼性評価による故障分析・故障率、部品の更新年数を把握する必要がある。また複数設備を計画的に整備する優先度決定を図るため、補完性を考慮した社会影響度を求める必要がある。

3. 信頼性評価の検討

土木研究所では、土木機械設備の信頼性評価手法として、FMEA (Failure Mode Effects Analysis) 及びFTA (Fault Tree Analysis) の併用を提案している。

信頼性評価を行うには、過去の運転・故障・更新・修繕・整備の維持管理情報が重要となる。この維持管理情報より、各設備毎にそれぞれ実際に発生している具体の故障内容や構成機器の故障率、更新年数などの実態を的確に抽出し解析する必要があるため、データベース化しておくことが有用となる。

1) 土木機械設備におけるFMEA

FMEAは、システムを構成する機器・部品が故障した場合にシステムにどのような影響があるかを解析し、重大な故障となるような部品・機器

を抽出し、致命度を評価することにより、その重要性を相対的に定量評価できる手法である。

土木機械設備では、作動不良、能力低下などの「故障内容」を明確にすることによりシステム全体への影響度を定性的に把握することができ、また摩耗、変形などの「故障モード」を明確にすることで、どのような物理・化学的変化に対して対策をとるべきかという技術改善検討に役立てる事ができる。

評価は、部品毎の「程度：故障モードがシステムに与える影響度」、「潜在性：故障モード発見の難易度」及び「頻度：故障発生頻度」について、評価者による相対的な差異が生じにくい4段階評価を採用し、故障等級として危険指数（R I：Risk Index）を求める。

$$R I = \sqrt[3]{\text{程度} \times \text{潜在性} \times \text{頻度}}$$

危険指数の大きい部品が、システムにおける危険度が高いことを表し、信頼性を考慮する上で重要視する部品となる。

河川ポンプ設備のFMEAの実施例を表-1に示す。部品ごとに危険指数を求めることにより、信頼性を定量評価でき整備の優先順位決定の指標となり得る。

表-1 河川ポンプ設備FMEA例（抜粋）

機器区分	部品	故障内容	故障モード	原因	程度	潜在性	頻度	危険指数
主ポンプ	インペラ	排水能力の低下	腐食	経年変化	4	3	4	3.6
		停止	摩耗	異物混入				
	回転不良	欠損	水質					
		振動	キセーション発生					
主軸及び軸受	主軸	回転不良	変形	想定外の外力	4	3	1	2.3
		停止	振動	芯ずれ				
			腐食	水質				
			腐食	設計・施工の誤り				
原動機	シリンダヘッド	圧縮ガス漏れ	変形	経年変化	4	2	3	2.9
		冷却水漏れ	ひび	バルブ調整不良				
		潤滑油漏れ	欠損					
			欠損					

また表-2のように故障等級別の対応を設定することにより、整備計画立案に寄与できる。

表-2 故障等級の設定例

等級	RI	評価結果
I	3.5~4	追加対策が必要
II	2.5~3.5	等級を下げる工夫等を必要に応じて実施
III	1.5~2.5	影響度に応じ保全方法を定める
IV	1~1.5	一般的な維持管理

2) 土木機械設備におけるFTA¹⁾

FTAは、システムに発生することが望ましくない事象を「トップ事象」として設定し、「FT図（故障木）」を用い、その発生要因となる個々の「基本事象」を求める手法である。

システム全体の信頼度評価のほか、個別システ

ムの信頼度及びミニマルカットセット（トップ事象を引き起こす基本事象の最小組合せ）を把握することができ、時間計画保全の精度向上や保全予防（更新時の仕様改善）に資することができる。

評価は、設備の故障率を用いるが、故障率と信頼度の関係は以下のとおり表される。

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad \text{ここに} \quad R(t): \text{信頼度}$$

$$t: \text{供用時間}$$

$$\lambda: \text{故障率}$$

故障率は、設備の故障実績データから求めることができるが、十分な実績データがない場合は標準的な取替更新年数より供用時間 t を求め用いる。

供用時間 t が経過したときに全体の10%が更新を迎えるとする機器の信頼度 R(t) は 0.9 とできるため、故障率は次式で表せる。

$$\lambda = -(1/t) \cdot \ln 0.9$$

例として、国土交通省の「ダム用ゲート設備点検・整備・更新検討マニュアル（案）（H24.4）」における「信頼性による取替更新年数」を構成機器の寿命とし、下式より故障率を求めた結果を表-3に示す。ここに条件として、待機系のワイヤロープウインチ式を対象とし、頂上現象を「ゲート操作不能」とする。

表-3 信頼性による取替更新年数による故障率（ダム用ゲート設備の例）

構成機器・部品	信頼性による取替更新年数	機器信頼度	故障率(1/h)
扉体構造部	52	0.9	2.31297E-07
主ローラ	34	0.9	3.53749E-07
ローラ軸	34	0.9	3.53749E-07
軸受メタル	22	0.9	5.46703E-07
補助ローラ	28	0.9	4.29552E-07
扉体シーブ	39	0.9	3.08396E-07
開閉装置全体	33	0.9	3.64468E-07
主電動機	16	0.9	7.51716E-07
電動機	24	0.9	5.01144E-07
（一部省略）			
軸受			
軸継ぎ手	21	0.9	5.72736E-07
ワイヤロープ	10	0.9	1.20275E-06
同上端末調整装置	23	0.9	5.22933E-07
油圧シリンダ本体	32	0.9	3.75858E-07
油圧ユニット本体	15	0.9	8.01830E-07
制限開閉機	22	0.9	5.46703E-07

表-3の結果を用いてFTAを行った結果、頂上現象「ゲート操作不能」の故障率は、 $8.04407 \times 10^{-6} (1/h)$ となり、約 14.2 年に1回発生する割合となった。

このときのミニマルカットセットは、基本事象「ワイヤロープの不具合/切断」→「開閉装置の故障」に至るセットであるが、このような評価による点検作業の重み付けも可能となる。

また現場における整備・更新の判断は予算と信頼性を総合的に判断して行わなければならないが、

F T Aを用いることにより更新時期を迎える構成機器の優先度の指標となり得る。

5. 社会影響度評価手法の検討

5.1 道路管理用機械設備の社会影響度

1) 道路管理用機械設備の故障による影響事例

道路管理用機械設備のうち、道路排水設備、トンネル換気設備、消融雪設備の3設備を対象として、日本国内の過去15年程度における設備の機能停止・能力不足等が道路交通または地域社会生活に対し影響を与えた主な通行止め等の事例に関し、公表資料を元に調査した結果は以下のとおりであった。

道路排水設備：17事例(集中豪雨、ゲリラ豪雨)

トンネル換気設備：9事例(交通事故)

消融雪設備：23事例(積雪・凍結、スリップ事故)

2) 道路管理用機械設備が沿道及び地域社会生活に対して与える影響

前述の事例では、通行止め等の措置を行ったものであるが、明確に「機械設備の故障または機能不足等によるもの」とは確認できなかった。

しかし、道路管理用機械設備が故障した場合の最も大きな影響は、「道路の通行止め」と同等と考えられるため、調査事例を基にして沿道及び地域社会生活に対して与える影響について検討した。

以下に道路排水設備の例を示す。

表-4 道路排水設備の故障による影響

事象	影響項目	指標
冠水による通行止め	自動車交通の途絶による迂回	時間損失
	歩行者の途絶による迂回	
	迂回交通による周辺道路の混雑	
	物流交通(トラック)の途絶による迂回	時間損失
	渋滞による環境負荷	生産活動の停滞
	緊急搬送時の迂回	環境負荷軽減
	緊急対応車(警察・消防等)の迂回	人的損害額
	送迎車両(企業送迎等)の迂回	人的損害額
	送迎車両(スクールバス等)の迂回	車両等の物的被害額
	生産活動の停滞	時間損失
消費活動の停滞(世帯の孤立)	生産活動の停滞	
冠水による車両の水没	車両の故障	生産活動の停滞
	死傷事故の発生	消費活動の停滞
排水対応	排水コストの発生	車両等の物的被害額
被害発生に対する不安	冠水発生やそれによる道路遮断への不安	人的損害額
		車両等の物的被害額
		作業経費の軽減
		不安感の増加

表-4に示す影響について、計測可能性、定量評価の可能性、定性的な評価の別を以下のとおり整理した。

表-5 影響と評価内容

発信する効果	受益・定量・定性的評価の別	評価項目
1.時間損失	受益評価	1-1 自動車の時間損失の軽減効果
		1-2 自動車の走行経費の軽減効果
		1-3 歩行者・自転車等の時間損失の軽減効果
2.人的損害額	受益評価	2-1 死亡事故人的損害額・負傷損害額の軽減効果
		2-2 救急搬送の遅延による死亡・負傷等の人的損失の軽減効果
3.車両等の物的被害	受益評価	3 故障・事故による物的損失額の軽減効果
4.環境負荷軽減	受益評価	4 環境負荷軽減の軽減効果
5.不安感の増加	受益評価	5 周辺住民の不安感の解消
6.作業経費の発生	受益評価	6 作業経費の軽減
		・設備を整備しない場合、冠水や積雪の除去費用が発生するが、設備整備によりこれら費用が必要なくなるため、この費用の減少を代替財として評価する。
7.生産活動の停滞	定量評価	・受益測定方法は確立されていない。
8.消費活動の停滞	定量評価	・定量的な評価方法として、被害額の積み上げによる効果の計測、経済波及効果の計測等の方法が考えられ得るが、規程の方法が確立されていない。

3) 社会影響度の試算

道路管理用機械設備の故障による影響を表す評価項目として適切な項目を選定するため、道路排水設備の調査事例を対象として、発現する効果として最も影響が大きいと考えられる「時間損失(=時間便益)」を対象に試算した結果の例を表-6に示す。

表-6 社会影響度の試算結果(例)

便益額		百万円		
項目	事例①	事例②	事例③	
自動車	時間便益	30.5	17.0	75.8
	走行経費便益	1.9	1.6	3.9
歩行者	歩行者の迂回便益	0.03	0.1	0.04
自転車	自転車の迂回便益	0.01	0.11	0.03
合計		32.4	18.8	79.8

便益構成比		%		
項目	事例①	事例②	事例③	
自動車	時間便益	94.0%	90.4%	95.0%
	走行経費便益	5.9%	8.5%	4.9%
歩行者	歩行者の迂回便益	0.09%	0.53%	0.05%
自転車	自転車の迂回便益	0.03%	0.58%	0.04%
合計		100.0%	100.0%	100.0%

影響評価項目の内訳をみると、自動車の迂回による移動時間便益が9割以上を占め高いシェアを占める結果となった。

一方、歩行者、自転車交通量の迂回便益については、迂回路の設定として自動車利用と同様の条件を設定して試算を行ったが、結果、便益のオーダーとしてはシェア1%にも満たず、大きなものとはならなかった。

これは、対象道路の交通量が冠水により迂回道路に転換することになるが、対象道路の交通量が多い場合、迂回路の交通量が大幅に増加することにより混雑度が大幅に上昇し、旅行速度が低下することが大きく関係している。

以上の結果より、道路管理用設備における社会影響度検討にあたっては、その影響の大きさから、自動車の迂回による時間便益を代表値として評価を行っていくことが考えられる。

5.2 河川管理用機械設備

1) ネットワーク型河川GISモデルの構築²⁾

過年度研究において、流域でネットワークを構成している水路に複数の排水機場が設置されているケースをモデルとした「ネットワーク型河川GISモデル」を構築した。

構築にあたっては、機械設備を実際に管理している現場事務所等において容易に活用できるようにするため、ソフトウェアの改良自由度が高く他の施設群への応用が可能であることなどからCommonMP(Common Modeling Platform for water-material circulation analysis)を採用した。

この「ネットワーク型河川GISモデル」は、表

-7に示す機能を有し、各々の施設が機能を失った場合の内水側湛水状況を予測可能なものとしている。

あわせて、河川 GIS に地域の資産情報を重ねさせて、出水事例毎に施設がカバーした内水側湛水域の被害総額を積み上げ可能なものとしている。

さらに、排水機場については、当該プログラムを用いて他の排水機場が機能しない場合の補完機能があるかどうかを模擬的に検証することができるものとし、被害総額と合わせて補完機能の大小などの評価から、施設群の中における社会的な影響度の評価に資することができるものとしている。

表-7 各要素モデルの主な機能

要素モデル名	主な機能
一次元不定流	①河道内の水面形(水位・流量)の追跡が可能 ②上下流の区別の区分が無く河道内の流向が1方向に限定されない機能 ③複数河川の分派と合流が可能 ④設備要素モデル(水門、排水機場、堰)と接続接続 ⑤越水・破堤モデルと接続可能
Nilim氾濫解析	①氾濫原における浸水心の追跡 ②河道破堤地点と氾濫原の接続関係の指示 ③氾濫原の接続地点の水位の出力
越水・破堤	①越水と破堤の選択 ②横越流時及び正面越流時の越流量の算出 ③破堤開始と破堤幅 ④破堤開始水位及び破堤敷高の設定 ⑤戻り流量の考慮
排水機場	①一定量の排水の設定 ②内水位・外水位によって排水開始と停止を制御する設定
水門	①水門からの流量を算出(潜り流量、中間流出、自由流出) ②上流側水位・下流側水位によって水門の開閉を制御する設定 ③水門の河床高の設定
可動堰	①越流公式による越流量の算出 ②上流側及び下流側水位によって敷高を制御する設定

図-3 にネットワーク型の流域におけるシミュレーションモデル例、図-4 に同モデルの排水機能喪失時における氾濫計算結果の例を示す。

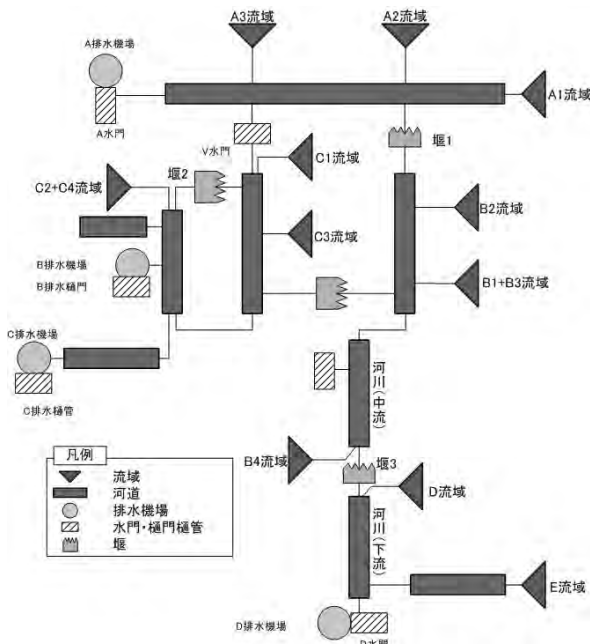


図-3 モデル施設群の排水系統図

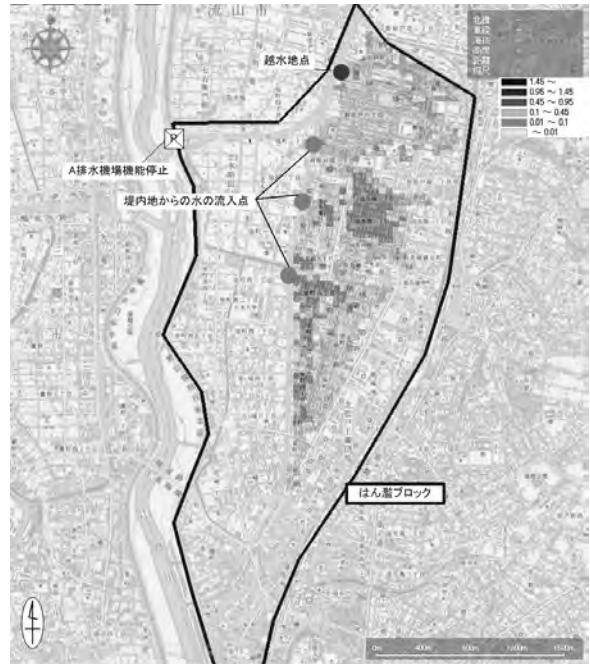


図-4 はん濫計算結果 (A排水機場機能停止の場合)

2) 既往モデルへの追加機能

前述の既往モデルに、CommonMP 上で表現できる以下の要素を改良・追加した。これにより操作性、汎用性が増加し、他流域で容易にかつ速やかに応用できるようになったものとする。

(1) 雨量観測所が欠測した場合の雨量の設定

既往モデルでは、「いずれかの雨量観測所において欠測となっている場合は、再度ティーセン分割を行って降雨を作成する」としていたが、個々にティーセン分割をすることは作業の支障となるため、観測所雨量を入力データとして、CommonMP プロジェクト内で観測所雨量の欠測処理、流域平均雨量の作成、流域平均雨量を用いた演算を一括で行うことができるように以下の二つのモデルを作成した。

- ①欠測補完モデル：いずれかの観測所が欠測となった場合に、近傍観測所雨量で補完。
- ②流域平均雨量算出モデル：観測所雨量をもとに、ティーセン法により流域平均雨量を算出する。

(2) 引き上げ式の堰モデルの追加

引き上げ式の堰の動作は図-5 のとおりとし、要素モデルの機能を図-6 に示す。

- ①平水時は堰が存在することにより上流側の堰上げが発生する。
- ②洪水時は堰が引き上げられることにより自由水面で流下する。

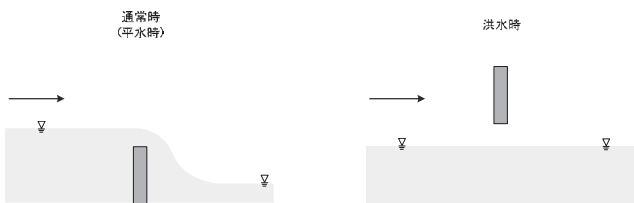


図-5 引き上げ式堰の動作のイメージ

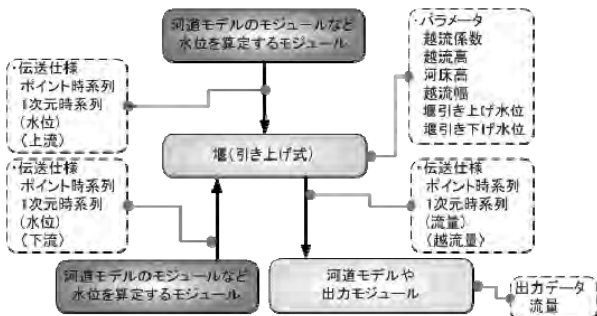


図-6 引き上げ式堰モデルの機能

(3) ポンプ (可変排水量型) モデルの追加
排水ポンプ (可変排水量型) の動作は図-7 のとおりとし要素モデルの機能を図-8 に示す。

- ①内水位がポンプ稼働開始水位を超過した場合、内外水位差に応じて排水を行う。
- ②内水位あるいは外水位がポンプ停止水位に到達した場合、ポンプの運転を停止する。
- ③水門あるいは樋門・樋管と連動している箇所においては、水門あるいは樋門・樋管が閉じている状態においてのみ稼働を行う。
- ④可変翼排水機の場合については、翼角や回転数に応じて複数のポンプ性能曲線が存在する。

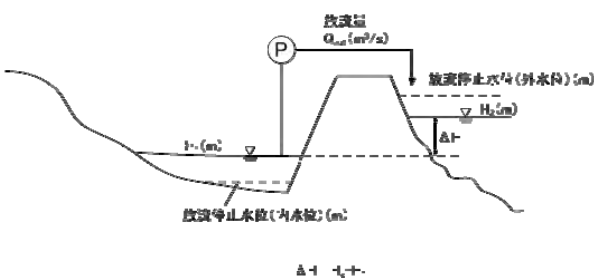


図-7 排水ポンプ (可変排水量型) の動作のイメージ

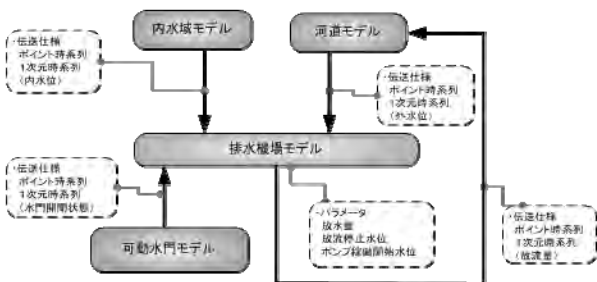


図-8 ポンプ (可変排水量型) モデルの機能

6. 維持管理計画策定手法の検討

1) 維持管理計画策定における指標

機械設備の維持管理計画を検討するにあたり、勘案する要素は以下の①～⑤が考えられる。

- ①設備の状態
- ②設備の故障しやすさ
- ③設備が故障した場合の影響
- ④設備機能を維持するための費用
- ⑤機能を補完可能な設備の有無

2) 各要素の内容

各要素は以下のとおり整理できる。

①設備の状態：点検結果に基づく健全度

設備の状態は、毎年 (または毎月) 実施する点検によって目視または振動等の計測を行うことによって把握され、その結果を基に各設備ごとに「健全度」を判定するので、その指標を活用する。

特に、計測値がある場合には、これまでの計測値の傾向から今後の設備状態の予測が可能な場合がある。

②設備の故障しやすさ：故障率 (信頼性)

設備の故障しやすさ (または故障しにくさ) は、当該設備または同形式・同機器構成の他設備におけるこれまでの故障・不具合事例により算定する。

また、河川ポンプ設備、河川用ゲート設備またはダム用ゲート設備においては、各設備の「点検・整備・更新マニュアル (案)」に、標準的な寿命の記載がある機器・部品があるため、その寿命を参考に故障率を算定することも可能である。

③設備が故障した場合の影響：社会的影響度

設備が故障した場合の社会的影響度は、設備が故障した場合の被害想定額を指標とする。

河川ポンプ設備や河川ゲート設備では、本研究で作成した河川 GIS モデルを使用して、道路管理用設備では自動車の時間便益・走行便益で代表させることが可能である。

④設備機能を維持するための費用：維持修繕費

設備の維持修繕費は、これまでの点検・整備・修繕実績または見積等により把握する。

⑤機能を補完可能な設備の有無：補完性

複数の機械設備が存在し、それらが互いに関連する場合、(たとえば、ある設備の機能が減少したり喪失したりした場合に、他の設備によってその機能の一部が補われるような場合) には、複数の機械設備間の代替機能の有無とその程度 (= 相互補完性) を指標化することにより、当該設備の重要性を表す指標となり得る。

3) 優先順位の検討

各設備の「点検・整備・更新マニュアル (案)」に

において、「整備・更新の優先順位は装置・機器特性を考慮したうえで、健全度の評価、設置条件による重み付けを指標化し、定量的な優先度を算出することを標準とする」とある。

前述の各指標は、定量化することが可能であるため、これらを基に優先順位を検討することができる。特に複数施設の比較検討にあたっては、設備機能を損失した場合の社会影響度を有効に活用することで、優先すべき設備の抽出に寄与できるものと考ええる。

なお、各指標を算定するにあたっては、故障事例や必要となる維持修繕費額等のデータを的確に把握する必要があるため、データベース化を図りデータの集約・解析を図ることが必要である。

国土交通省においては、機械設備維持管理データベースの運用を進めているため、全国の実績データの集積が進み活用すれば、より精度の高い維持管理計画の検討に資することができるものと考ええる。

7. まとめ

1) 信頼性評価

FMEA・FTAを用いた土木機械設備の信頼性評価は、各部品・機器ごとの致命度の評価、故障率の算定、時間計画保全の精度向上、保全予防（更新時の仕様改善）に資することができ、維持管理計画を検討するにあたって有効な手段である。

しかしながら、これらの評価のベースとなるデータは過去事例から主に求められることになるため、機械設備維持管理データベースの活用が必須といえる。

2) 社会影響度評価

本研究において、土木機械設備の機能喪失した場合の社会影響度（被害総定額）について、道路管理用機械設備の機能喪失の場合には自動車の迂回による時間損失を、河川管理用機械設備の機能喪失の場合についてはCommonMPを用いた河川GISモデルによるシミュレーションに基づく被害額を、それぞれ求める手法を提示した。

複数の機械設備を管理するうえで、社会的影響度を考慮した優先度付けは、限られた予算のなかでの管理において、非常に有効なものと思われる。

特に河川GISモデルについては、対象の雨量観測所が欠測した場合の雨量の設定方法、堰要素モデル・ポンプ要素モデルの改良などを行ったことにより本モデルの活用性・汎用性が増したものと考ええる。

なお、各要素モデルについては、CommonMPのHP (<http://framework.nilim.go.jp/>)での公開を予定しており、他の流域でも本モデルの活用が可能となる。

3) 今後の課題

道路管理用機械設備の社会的影響度評価方法及びネットワーク型河川GISモデルを用いた土木機械設備の社会的影響度評価算定手法として、本研究成果を積極的に発信することとしている。

しかしながら、ネットワーク型河川GISモデルの構築においては、地形等の多種のデータが必要となり複雑な面もあるため、より使いやすいようにデータの簡略化などを図る必要がある。

また、各土木機械設備の健全度評価、故障率の解析等もあわせて維持修繕の優先順位の考え方の精度を高めていく必要がある。

このため、これらの課題に取り組み、土木機械設備を総合評価する手法を確立することにより、複数施設を考慮した維持管理計画の立案手法の検討を進めることとしている。

最後に本研究に携わった関係各位への感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 藤野健一、田中義光、上野仁士、石松豊：土木機械設備のストックマネジメントに関する研究、土木研究所研究成果報告書、2010
- 2) 藤野健一、竹田英之、山尾昭：ネットワーク型GISモデルを用いたシミュレーションによる土木機械設備の社会影響度評価手法の検討、平成25年度建設施工と建設機械シンポジウム、2012.11

39. 斜張橋ケーブル調査ロボットにおける 損傷箇所検出システムの開発

西松建設株式会社 技術研究所 ○ 原 久純
西松建設株式会社 技術研究所 田中 勉
西松建設株式会社 技術研究所 小栗 利夫

1. はじめに

斜張橋の斜材（保護管）の点検・調査は、斜張橋の維持管理において重要な項目の一つである。斜材を点検・調査する方法として、高所作業車や双眼鏡を利用した目視点検が一般的であるが、高所作業車を利用する場合は車両の通行規制を行わなければならないことや、移動の制限により目視で確認できない箇所が出てくるのが課題となっている。この問題点に対応するため、安全で効率良く精度の高い点検・調査ができる斜張橋ケーブル調査ロボット^{1),2)}を開発した。

しかし、斜張橋ケーブル調査ロボットで調査後の損傷箇所の特定などといった分析作業は、撮影した動画を再生しながら目視で損傷状況を確認するため、目視による解析作業の負担や効率化が課題であった。

そこで、目視による解析作業を大幅に軽減し、損傷と推測される箇所を検出可能な「損傷箇所検出システム」を開発した。本稿では、システムの概要について報告する。

2. 損傷箇所検出システムの概要

本システムは、斜張橋ケーブル調査ロボットで撮影した画像データから損傷と推測される箇所を検出することで、解析作業を迅速に行うためのシステムである。

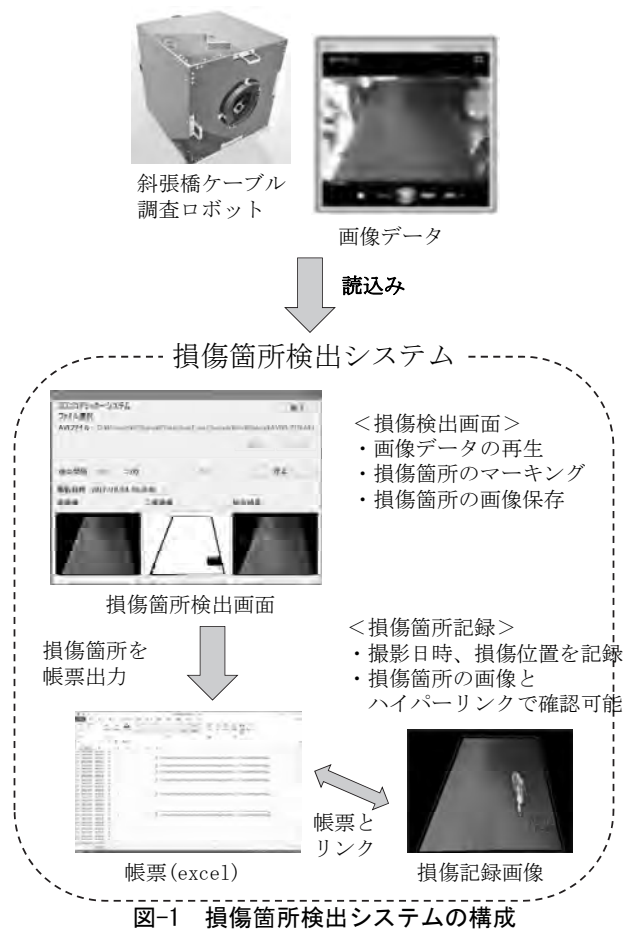
2.1 本システムの構成

本システムの構成は、以下の通りである。

- ① 損傷箇所検出
- ② 損傷記録管理

次に、本システムの特徴を述べる。

- ・調査時に撮影した動画から保護管の損傷状況を短時間で抽出・分析
- ・画像解析時、損傷箇所をマーキングするため画像から損傷箇所の判別が容易
- ・システム上で画像解析を行うため、目視での画



像解析作業を大幅に軽減

- ・複数のカメラ画像を同時に画像解析が可能
 - ・データベースに解析結果を蓄積し、帳票出力することで損傷記録の管理が容易
- 開発したシステム構成を図-1に示す。

2.2 本システムの開発目的

目視による損傷箇所の検出フローは、図-2の通りである。動画を再生し、目視により損傷箇所を判別・損傷箇所の大きさを画像処理ソフトから算

定後、excel などの表計算ソフトへ記録する。

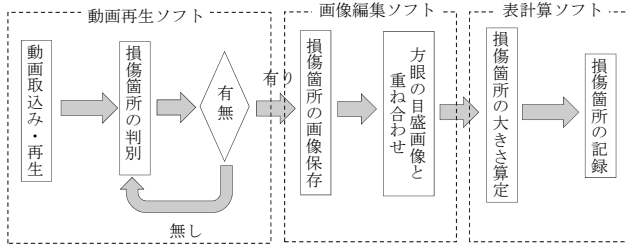


図-2 目視による損傷箇所 検出フロー

しかし、動画再生中は常に目視で損傷箇所の有無を判断する必要があるなどの課題が挙げられる。次に、本システムによる判別フローを図-3に示す。

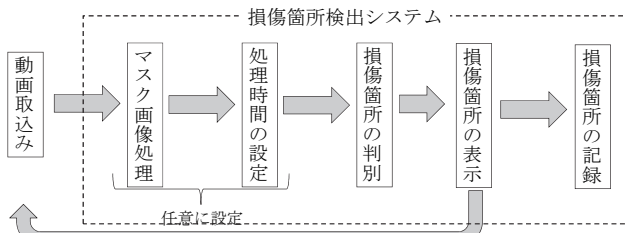


図-3 損傷箇所検出システムの処理フロー

本システムは、画像解析する範囲としてマスク画像を作成・処理時間を任意に設定し、損傷箇所の判別から記録までをシステム化とすることで、目視での画像解析作業を大幅に軽減し、分析及びデータ管理作業を簡易化した。

2.3 本システムの保有機能

本開発システムは、次の機能を有する。

- ・マスク画像処理機能
- ・損傷箇所検出機能
- ・帳票出力機能

各機能は、図-4 のように機能別でメニューを構築している。



図-4 損傷箇所検出システム 操作メニュー

(1) マスク画像処理機能

任意の範囲を画像処理する手順として、図-5 の処理範囲を指定するマスク画像作成がある。撮影カメラの設置位置により、撮影される斜材の範囲が異なるため、図-5 の赤枠のようにカメラの向きに応じた処理範囲を指定する。



図-5 マスク画像処理画面

(2) 損傷箇所検出機能

動画から解析に用いる静止画像の作成時間を設定し、各静止画の画像解析後に損傷箇所をマーキングする。解析時は、図-6 の損傷箇所検出画面に解析元の原画像、白黒表示の二値化画像、マーキングした抽出画像の3種類が表示される。図-7 のマーキングした画像は、JPEG などの画像ファイルとしてデータベースに保存される。



図-6 損傷箇所検出画面

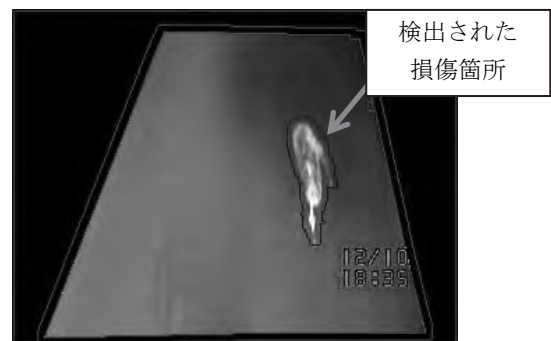


図-7 損傷箇所 検出画像例

(3) 帳票出力機能

損傷箇所の検出記録（動画撮影日、撮影時刻、損傷位置、マーキング画像のハイパーリンクなど）をデータベース上に格納する。また、格納したデータベースを図-8の excel ファイルとして帳票出力し、ハイパーリンク機能により損傷箇所の記録画像から斜材の損傷位置や損傷の程度を照合できる。

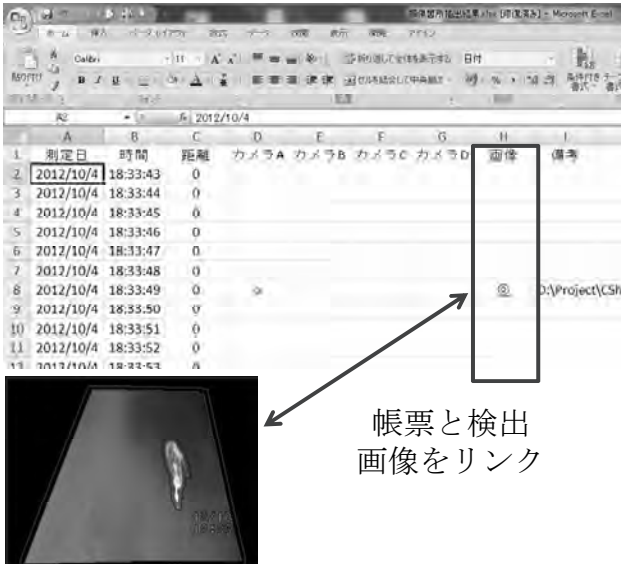


図-8 帳票出力例

2.4 本システムにおける画像解析手順

本システムによる解析フローを図-9に示す。解析手順として、動画像から静止画像を作成・静止画像を画像解析するため、静止画像の抽出時間を設ける。次に静止画像をグレースケール化し、白黒画像へ変換するため、閾値を設けて二値化処理する。二値化処理後、白色の損傷箇所の輪郭を抽出し、抽出した輪郭の面積を求め、閾値以上の面積と検出した損傷箇所をデータベースに記録する。

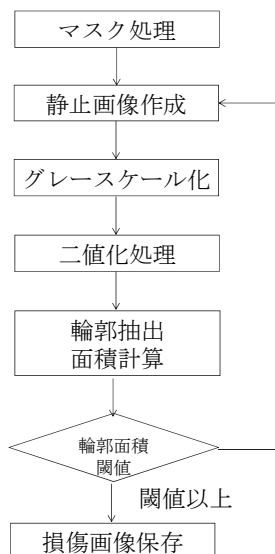


図-9 損傷箇所検出システムの解析フロー

二値化処理は、閾値により白黒画像へ変換するSauvolaの手法³⁾を用いる。閾値の算出方法は、下記の式(1)に示す。

$$T(x, y) = m(x, y) \times \left(1 + k \times \left(\frac{s(x, y)}{R} - 1\right)\right) \quad \dots(1)$$

$T(x, y)$: 画素 (x, y) における閾値
 $m(x, y)$: 局所領域における画素の平均値
 $s(x, y)$: 局所領域における画素の標準偏差
 k, R : 閾値 $T(x, y)$ の係数 (任意で設定)

また、輪郭面積は二値化後に抽出した白色の範囲を画素から面積として算出する。

3. 損傷箇所の画像解析結果

開発した本システムの損傷箇所の検出精度を検証するため、目視による画像解析結果と比較する。本システムの解析は、ある橋梁現場の斜材 40 本（斜材番号は L01～L40）を対象とし、予め撮影した動画像から検証する。本稿では、代表的な結果として斜材番号 L30 の検証結果を報告する。また、本システムでの解析条件として、静止画像の作成時間を下記の条件で設定する。

3.1 解析条件

解析条件として、静止画像作成時間を 250(ms)、に設定し、目視の画像解析結果と比較する。

3.2 画像解析結果

(1) 目視とシステムの検出比較

表-1 に目視及び本システムにより検出した損傷箇所を撮影したカメラ番号毎で示す。

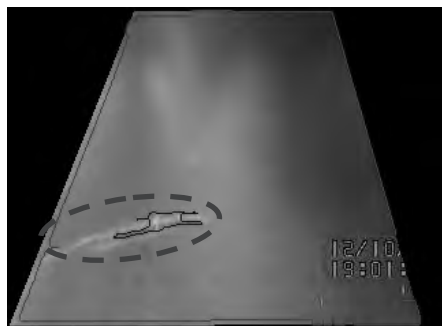
表-1 より、本システムで検出した損傷箇所は目視の検出数と比較して 10 倍以上検出されているため、誤検出が多いことがわかる。また、カメラ B よりシステムでは検出できない損傷箇所が確認された。

表-1 斜材ケーブルの損傷検出数

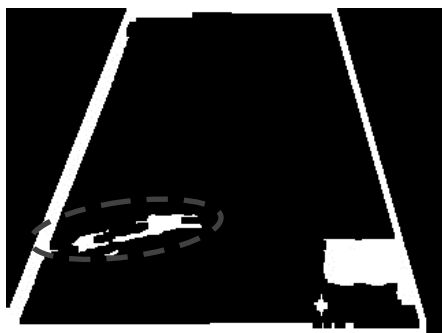
	L30		
カメラNo	目視	システム	目視同一
A	1	15	1
B	2	0	0
C	1	18	1
D	2	2	1

図-10(a), (b)に良好な検出結果としてカメラ A の損傷検出画像と二値化画像を比較した結果、図-11(a), (b)にカメラ D の原画像と二値化画像を比較した結果を示す。図-10 より、(a)の赤丸で示された損傷箇所として検出された画像は、(b)の二値化

画像では周辺との明暗差が確認された。しかし、図-11 より、(a)の原画像は全体的に影が多く、(b)の二値化画像では明暗差が小さいことが、不検出の原因と考えられる。今後は、画像の輝度を補正し、より明暗差を明確にする処理することで解析精度を向上させる必要がある。



(a) 損傷検出画像



(b) 二値化画像

図-10 検出画像結果(カメラA)



(a) 原画像



(b) 二値化画像

図-11 不検出画像結果(カメラD)

(2) 同一の条件による再現性

同一の斜材で検出数の再現性を確認するため、システムの解析 2 回分の結果を表-2 に示す。表-2 より、同一条件での解析結果はカメラ全体で 100% の再現性を確認した。

表-2 システム解析の再現性結果

カメラNo	L30		
	1回目	2回目	再現率
A	15	15	100.0
B	0	0	100.0
C	18	18	100.0
D	2	2	100.0

4. おわりに

斜張橋ケーブル調査ロボットに本システムを用いることで、解析作業を大幅に軽減することが可能となるが、本システムにおいて次のような課題がある。

例えば、損傷箇所が影により明暗差が少なくなり、不検出となる画像があるため、輝度を考慮した解析精度の向上を要する。

最後に、本システムの開発にあたり、御協力頂いた株式会社ハイパーエンジニアリングをはじめ、関係各位に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 原田耕司, 迫綾子, 盛重知也, 伊藤幸広, 志岐和久: 斜張橋の斜材点検ロボットの性能について(その1), 土木学会第68回年次学術講演会論文集, pp.127~128,2013
- 2) 迫綾子, 原田耕司, 盛重知也, 伊藤幸広, 志岐和久: 斜張橋の斜材点検ロボットの性能について(その2), 土木学会第68回年次学術講演会論文集, pp.129~130,2013
- 3) J.Sauvola,M.Pietikainen: Adaptive document image binarization, PATTERN RECOGNITION, vol.33, pp.225~236,2000

II 梗概集

II-1 ポスターセッション要旨

1. トータルステーションと携帯情報端末による杭打設管理システム

鋼管杭等の場所打ち杭・斜杭の位置、傾きをリアルタイムに数値管理

西尾レントオール株式会社 山口 秀樹

概要

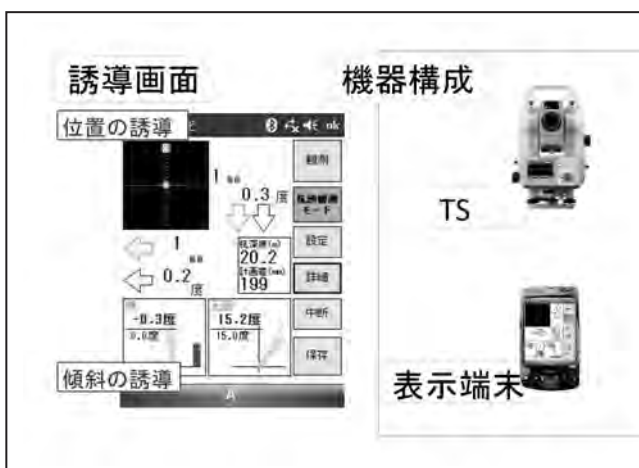
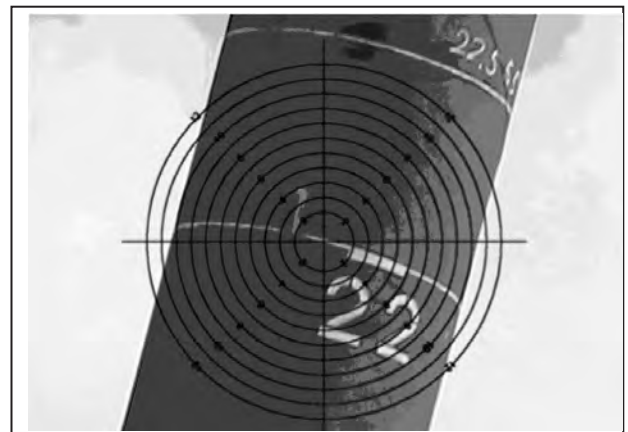
本システムは、独自の焦点鏡を備えたトータルステーション（以下TSとする）を使用し、円柱構造物の中心軸の位置を測ることが出来る計測システムである。TS1台で対象物の中心線上2点の座標値を取得し、計算によって構造物の中心軸を計測することが可能となり、オペレーターに杭の平面情報や傾きの補正量などを案内することが出来る。

従来工法との違い

従来では、一本の杭を打設する際に、2方向からトランシット等で測定をする必要があった。それを独自の焦点鏡を搭載したTS1台を用いて、左右の傾きは独自の焦点鏡で、前後方向の傾きは設計値と現況値との差分距離で計測し、3次元解析し確認できるシステムである。

中心を捕らえる独自の焦点鏡

独自の焦点鏡を搭載したTSとは、従来のトランシット等に刻まれている十字線の焦点鏡に同心円状の目盛りを加えることで、対象物の中心を目印がなくても計測できる事が可能となったTSである。



特徴

標準的な、鉛直杭はもちろん管理できるが、本システムは斜杭も同様に管理できる事が特徴となる。斜めの杭であっても、独自の焦点鏡で、左右の空白部分を均等にしてやれば、杭の真ん中を視準できる事を利用して、杭の状態を3次元化でき、設計データと照らし合わせ、必要な調整量を、その場で判断することが出来る。

2. 鋼製支柱路面境界部腐食調査システム

「キズミー1」

株式会社リンク 酒井 信幸

MKエンジニアリング株式会社 竹之内 博行

日進工業株式会社 ○中光 眞史

1. はじめに

平成22年の国土交通省の通達により、道路標識や照明等の道路付属物の健全性に関する調査業務が継続的に行われている。

調査業務は主に目視検査で行う。目視検査の結果、路面境界部に錆や腐食などの異常がみられた場合、掘削し、板厚測定や浸透探傷試験等の非破壊検査を行う事とされている。

実際の調査現場では、掘削対象が膨大な数量であること、インターロッキングやモルタル等で埋設処理されていること、埋設場所が狭い歩道や車道等で通行に支障をきたす場合があることなどから、工期面、コスト面、安全面において厳しい場合が少なくない。

国土交通省でも問題視されており、技術公募等を行い、技術促進を図っている。

2. システムの概要

鋼製支柱路面境界部腐食調査システム「キズミー1」は国土交通省が主催する技術公募に応募し、評価された装置で、NETISにV登録されている。



【装置写真 (タブレットでの使用も可能)】

超音波を利用した調査システムで、超音波の反射エコーの状態から腐食を推定する。

特徴は次の通り。

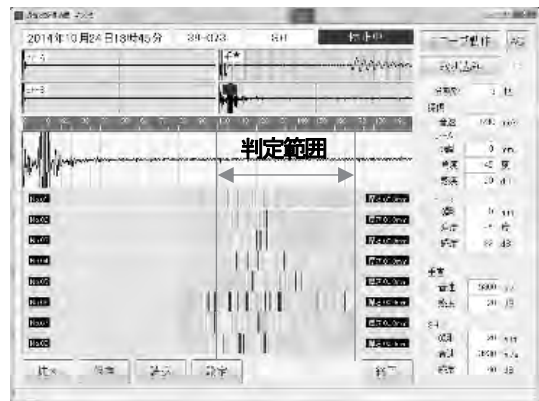
- ① 掘削することなく対象物の側面から調査可能。
- ② 調査は可搬式の装置を用い、調査技術員2名程度で可能なため交通規制が不要。
- ③ 調査結果をリアルタイムで表示可能。
(解析が必要な場合あり)
- ④ 調査データをSD等に保存し、報告書作成に使用可能。



【測定の様子】

3. 調査データ

「キズミー1」は、腐食を検知した場合に腐食の位置情報(センサーからの距離、鋼管の周方向の位置)を検出し、超音波の反射エコーの状態により腐食の深さ方向の推定できる。



【測定データ例】

- ① センサーから腐食までの距離（深さ方向）
センサーから発信された超音波が腐食の端面に反射しセンサーに受信される間の時間を、距離に換算する。

音速調整等を行う事により、測定範囲を200mmとした場合5mm程度の誤差で検出が可能となる。

- ② 鋼管の周方向の位置

センサーを周方向にスライドさせて走査し、超音波の反射を捉えることで、測定範囲を200mmとした場合5mm程度の誤差で検出が可能となる。

- ③ 腐食深さ

腐食深さは、反射エコーの強さや形状から推測する。

腐食の形状や方向などにより、過小評価や過大評価をする可能性がある。装置の画面では減肉の割合を暫定的に段階評価（任意に3～4段階）し、カラーバーで表示する。最終的には、測定技能者が現場の状態や波形を確認し、減肉率の推測を行う。

4. まとめ

「キズミー1」では腐食の位置情報は高精度で得られるが腐食深さや残板厚は推測となる。したがって、このシステムは、掘削調査する前段階のスクリーニング用として威力を発揮できる。反射エコーの形状から腐食の程度を推定し、下記4つに分類するものである。

- ① 健全なもの
- ② 表面に多少の腐食は発生しているが、掘削せずに経過観察を行うもの
- ③ 腐食の可能性があり、掘削調査が必要なもの
- ④ 明らかに腐食があると推定され、その程度も強風などにより倒壊の危険性が高いもの

よって、目視検査によるスクリーニングに比べ、掘削対象を削減することができる。

また、装置が小型で軽量な為、狭い歩道、車道等でも通行への支障を抑えられる。

道路付属物の健全性に関する調査業務において、工期面、費用面、安全面での作業改善を実現したシステ

ムが「キズミー1」である。

今後も品質、安全性、環境、コストを改善できるよう、技術の研究、普及に努め、社会に貢献してきたい。

3. ICT現場管理ツール群

○鹿島建設 機械部 水谷 亮
 鹿島建設 建築管理本部 建築工務部 國近 京輔
 鹿島建設 ITソリューション部 岩井田 英昭

1. はじめに

昨今の建設需要の拡大に伴い、建設作業員の不足のみならず、元請けや協力業者の現場社員も不足してきている。

社員の繁忙は、長時間労働の拡大につながるだけでなく、十分に計画する時間がない中で施工を進め、結果として、手戻り工事や、その他 QC/SE への影響も考えられる。

一方、昨今の ICT においては多くの要素技術やツールの開発が日進月歩で進んでおり、今後これらの利用が現場社員の煩雑な管理業務の効率化に寄与していくことは、異論の無いところである。

このような背景のもと、いくつかの ICT 現場管理ツール群をこれまでに開発・展開してきた。

2. ICT現場管理ツール群

現在使用している ICT 現場管理ツール群のイメージを図1に示す。

建築現場では既に様々な ICT ツールの導入が進んでおり、現場管理業務の大幅な効率化が可能となった。特にクラウドによる図面共有や、作業間連絡調整会議システムによる作業間調整・予定管理、検査システムなど、関係者が情報を共有しながら現場運営を行える環境が整備されつつある。

本報では、「現場把握」「計画支援」「検査」「インフラ」などの各用途に向けて開発・適用を進めてきた中から、以下のツールを中心に紹介する。

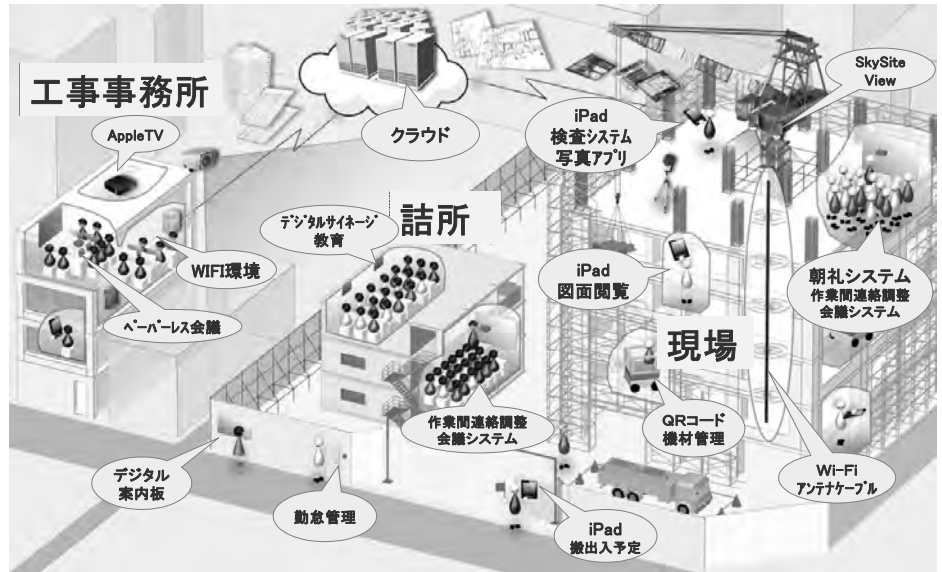


図1 ICT現場管理ツール群全体イメージ

- ・現場俯瞰映像システム (Sky Site View[®])
 複数のカメラの映像をリアルタイムで加工、合成する、現場を真上から俯瞰する映像システム
- ・資機材所在・稼動管理システム
 資機材に加速度タグを取り付けることで、資機材の所在及び稼動状況をリアルタイムで把握
- ・Wi-Fi アンテナケーブル
 ケーブルの周囲一帯がWi-Fi スポットとなる漏洩同軸ケーブル方式の外部アンテナ
- ・レンタル品管理システム
 QR タグとクラウドにより、複数のレンタル会社と現場内のレンタル品を管理するシステム
- ・クラウド型現場情報データベース
 設計情報・図面・作業間調整など、各社をまたいで情報共有するクラウド型現場データベース
- ・スマートデバイス、遠隔監視ツールの活用
 可搬型ネットワークカメラ、スマートデバイスアプリによる遠隔監視・管理ツール

3. 各ツールの概要（抜粋）

(1) 現場俯瞰映像システム（Sky Site View[®]）

複数のカメラ映像を合成して平面化し、建設現場の広域リアルタイム映像をパソコンやスマートデバイスに出力する「Sky Site View[®]」を開発・適用した。

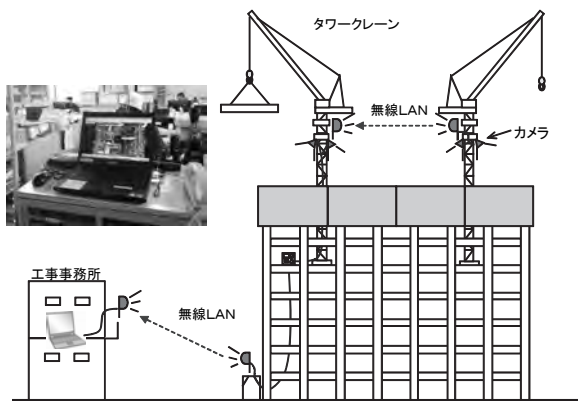


図2 Sky Site View[®]

通常のウェブカメラでは見られない、現場全体を真上からのアングルで捉えることができる。現場の平面図（総合仮設計画図等）を実写で見るイメージとなり、建て方階や外周ヤードはもとより、建物内の荷捌きヤードや構台下など、通常では真上から見ることでできない場所を平面映像化することも可能になる。

(2) 資機材所在・稼働管理システム

現場における資機材の遊休は、無駄なコストを発生させるだけでなく、現場を周って探す・使用状態をチェックする、「使う」「使わない」という水掛け論の無駄な時間にも繋がる。

本システムは、加速度タグを資機材や重機に取り付けることにより、無線LANの配備された現場内で、それらの所在と稼働状況を定量的に把握する。

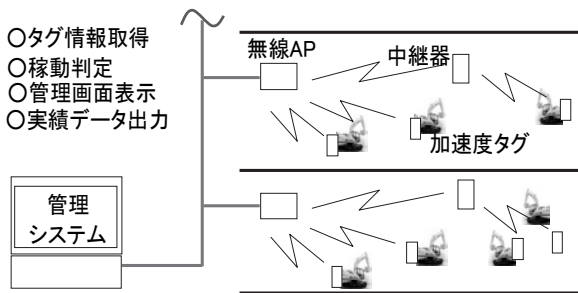


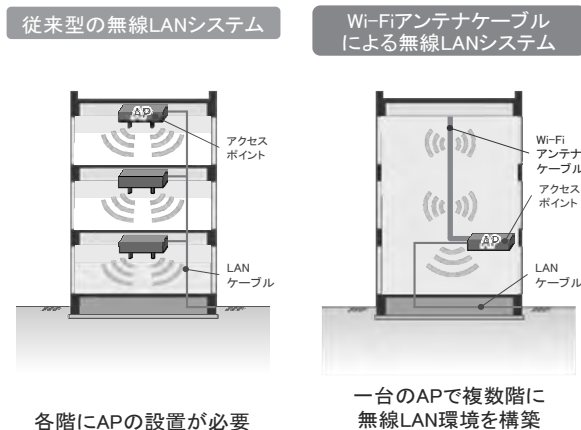
図3 資機材所在・稼働管理システム

加速度タグの取り付け方やアルゴリズムの工夫により、多数の資機材と間欠的に通信をしながら、止まった高所作業車の稼働状況も把握できる。

(3) Wi-Fi アンテナケーブル

スマートデバイスの活用が一般化してきているが、建築工事現場においては以下の課題がある。

- ・高層部では携帯電話の電波が届かない
- ・キャリア契約 iPad ではデータ通信料金が多額
- ・各階 Wi-Fi アクセスポイント (AP) は費用が多額 (RC の床や壁は電波を通しにくい)



各階にAPの設置が必要

一台のAPで複数階に無線LAN環境を構築

図4 Wi-Fi アンテナケーブル設置比較

開発・現場適用を進めてきた「Wi-Fi アンテナケーブル」は、無線LANのAPに取り付ける漏洩同軸ケーブル (WBLCX[®]:フジクラ) 方式の長距離外部アンテナである。信号を伝送しながら周囲に輻射するため、配線したケーブルの周囲一帯がWi-Fi スポットとなる。

スラブ貫通して設置することでAPを大幅に減らせるため、現場のWi-Fi 導入コストや通信コストの削減、Wi-Fi の早期利用が可能となる。

4. 終わりに

今回、ICT を用いた現場管理の将来像を模索するべく開発・展開している、各種のツールを紹介した。

今後は、現場のニーズを取り入れてこれらのツールを改良しながら普及を図っていくとともに、他のメニューも拡大させ、現場管理の効率化に寄与していく所存である。

4. レーザースキャナによる道路有効幅員及び路肩堆雪形状の計測

(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 ○佐藤 信吾
 同 住田 則行
 同 三浦 豪

1. はじめに

積雪寒冷地では、降雪や積雪が道路交通に与える影響は大きく、道路の維持管理（除雪・防雪等）に対するニーズは非常に高い。その一方で、近年の経済状況から、コスト削減が強く求められており、効率的な維持管理の計画・実施が必要である。

効率的に冬期道路の交通を確保するためには、道路状況を把握し、その道路状況が交通に与える影響を勘案しながら除雪などを行う必要がある。この道路状況のうち道路の有効幅員は、路肩堆雪の成長によって減少し、渋滞の原因になるなど、冬期交通（旅行速度）に大きく影響する要因の一つであり、有効幅員と旅行速度との関係を把握することにより、旅行速度に著しく影響する前に必要な幅員を確保するなど、効率的な維持管理計画の策定が可能となる。

しかし、現状の道路有効幅員の確認は、パトロール等による目視が主であり、定量的な把握は行われていない。このことから、本研究では効率的な道路有効幅員の計測手法について検討した。

2. 道路有効幅員計測システムの概要

測定手法の検討にあたっては、定量的な計測結果が

得られるほか、安全性、効率性及び経済性についても考慮した。具体的には、①計測員による車道上もしくは車道脇での計測は行わない（安全性）、②計測員以外の機器等による車道上もしくは車道脇での計測であっても、一般交通に対する影響を最小限に抑える（安全性）、③計測対象である路肩堆雪形状は、日々の降雪や除雪により刻々と変化するため、計測及び解析が速やかに行える（効率性、経済性）、という3つの必要条件を設定した。

これらの必要条件を基に、道路有効幅員計測システム（以下、計測システム）を試作した。道路有効幅員

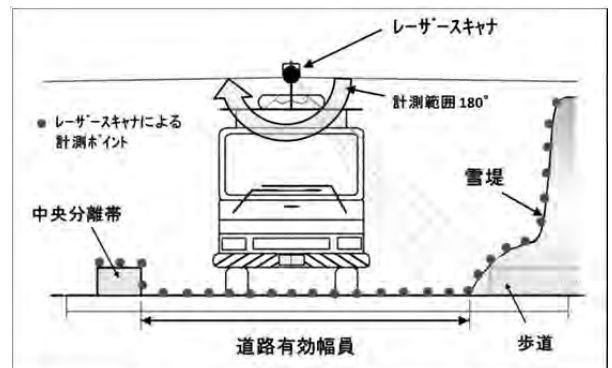


図-2 計測イメージ



図-1 道路有効幅員と路肩の堆雪

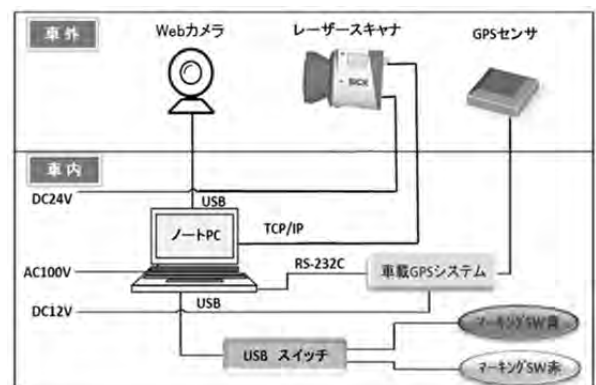


図-3 計測システムの構成

の計測イメージを図-2に、計測システムの構成を図-3に示す。

計測センサには、雪の計測実績があり比較的安価でシンプルなシステム構成が可能な「レーザースキャナ」を採用し、これにより道路横断方向の路面及び路肩堆雪形状を計測する。また、「GPS センサ」を用いて計測位置、時間及び走行速度を取得し、「Web カメラ」により計測箇所の道路状況を撮影する。これらの機器を、計測機能を搭載したノート PC に接続し、走行しながら連続して計測することにより、一般交通に対する影響を最小限に抑え、安全で効率的な計測を可能とした。

道路有効幅員は、計測した道路横断方向の路面及び路肩堆雪形状から、計測後に解析機能で出力する。解析機能は、計測区間毎の道路条件（車線数、幅員、歩道及び中央分離帯の有無）などを入力することにより、路肩堆雪や道路構造物と路面の境界を自動で判別し、道路有効幅員を出力する。

また、Web カメラで撮影した計測箇所の道路状況を表示する機能により、計測結果の妥当性を視覚的に検証することが可能である。

3. 路上計測試験

計測システムの現場適応性を確認するため、試験車両に搭載し、通常の走行速度による路上計測試験を行った。

計測箇所は、一般国道の同一路線で、都市部・郊外部・山間部の3区間を設定した。計測結果の一例を表-1に、計測データ表示画面の一例を図-4に示す。

計測の結果は、都市部・郊外部・山間部のいずれも、計測データのばらつきは少なく、Web カメラ画像と計測で得られた歩道及び路肩堆雪形状が概ね一致した。

なお、過年度に行った模擬堆雪を使用した構内試験で、有効幅員計測の最大誤差は0.5%程度であったことから、計測システムにより有効な結果が得られているといえる。

一方、取得した幅員データの有効、無効を自動で判別する自動解析機能では、都市部において、右左折レーンなどの幅員変化により、有効データを無効データとする場合があった。これについては、解析に用いる

表-1 路上計測試験結果の一例（郊外部）

データ No.	KP	計測速度 (km/h)	道路有効幅員 (mm)	データ No.	KP	計測速度 (km/h)	道路有効幅員 (mm)
1	18.190	39.2	9.618	26	18.212	41.5	9.909
2			9.657	27			9.955
3			9.646	28	18.224	42.1	9.974
4			9.695	29			9.965
5			9.728	30			9.946
6			9.760	31			9.917
7			9.781	32			9.974
8			9.775	33			9.968
9			9.748	34			9.896
10	18.201	40	9.843	35	18.236	42.7	9.907
11			9.858	36			9.914
12			9.839	37			9.965
13			9.895	38			9.941
14			9.953	39			9.918
15			9.881	40			9.939
16			9.521	41			9.944
17			9.924	42			9.876
18	18.212	41.5	9.992	43			9.870
19			9.947	44	18.248	43.4	9.952
20			9.917	45			9.883
21			9.925	46			9.904
22			9.967	47			9.866
23			9.901	48			9.868
24			9.926	49			9.819
25			9.937	50			9.913

* KP及び速度計測は1秒毎、道路有効幅員計測は0.1秒毎であるため、表記方法が異なる

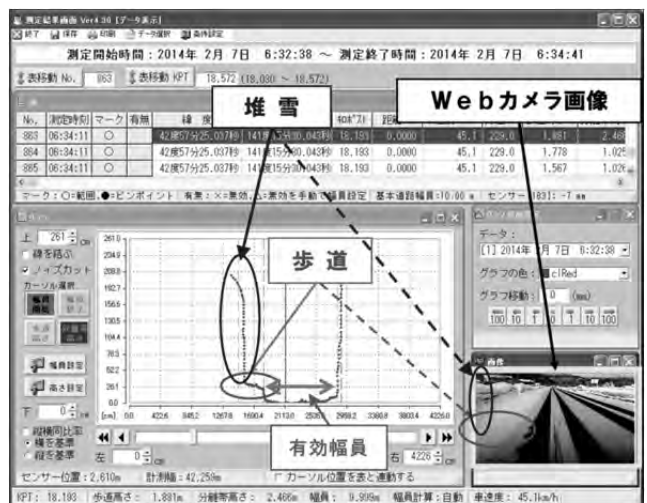


図-4 計測データ表示画面（路上計測試験）

条件設定の項目を追加するなどの対策方法を検討中である。

4. まとめ

効率的な維持管理の計画・実施に寄与することを目的に、道路有効幅員の計測手法について検討し、レーザースキャナを用いた道路有効幅員計測システムを試作した。この計測システムを使用した路上計測試験で現場適用性を確認した。

今後は、自動解析の精度向上を図るなど、更なる実用化・効率化をめざし、検討を進めて行く予定である。

5. 画像情報を用いた土の水分量推定技術の開発研究

○立命館大学 杉浦俊充
立命館大学 横山隆明
立命館大学 建山和由

1. はじめに

近年、無人化施工技術が導入される現場が増えつつあるが、施工効率や安全性の向上という点からは技術的に検討すべき課題も多い。例えば、建設機械を遠隔地から操作する場合、現場の地盤状況を把握することが難しいという課題がある。遠隔地からでも現場の地盤情報（例えば、土の水分量等）を把握することができると、建設機械の運転中に軟弱地盤を判断して回避することや、地盤に適した機械の操作を行うことができ、施工効率や安全性の向上をすることができる。遠隔地から地盤の情報を手に入れるために考えられる方法の中には、土の色などの画像情報について解析する方法がある。

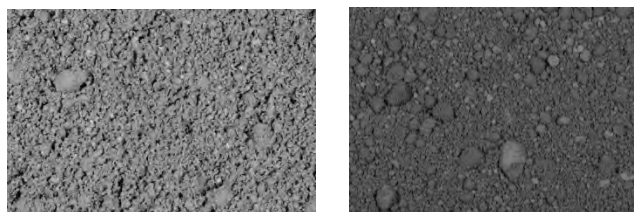
土の色は、土の持つ重要な特性であり、土の種類の分類や同定のために使用されることがある。その識別には、土の視覚特性の一つである土壌の色を利用する。一般的に土の色は、湿潤時には乾燥時に比べて色が暗くなるといわれている。

画像は、明るさや色についての情報を持った各画素が大きなデータの行列となっていると考えることができる。画像解析は、デジタル画像処理技術を用いて画像から様々な情報を取り出すことが可能である。現在、画像解析技術は医療分野や宇宙分野、工業分野などの幅広い分野で利用されている。

本研究では、土の水分量を土の物理特性との関係を推定し易い飽和度にした。また、より精度の良い飽和度の推定方法を確立するために複数の色空間による画像処理を行い、最頻値および輝度値の高い領域の画素数を用いた推定を試みた。

2. 実験概要

土試料は、まさ土および笠岡粘土の2種類を利用し、まさ土は粒径の乱れを考慮して2mmふるいを使い、粒径の大きなものは予め取り除いた。これら2つの土試料を恒温乾燥炉に入れ、予め完全乾燥を行った後に、乾燥させたそれぞれの土試料に加水をした。水分量は飽和度で管理をして、0、20、40、60、80、100%の6段階に変化させ、それぞれの飽和度の試料に対して撮影を行った。撮影した画像は3000×2000pixelの大きさにトリミングをして、サンプル画像とした。サンプル画像の一例を図1に示す。得られたサンプル画像（RGB色空間）をHSV色空間およびCIELUV色空間の2種類の色空間に変換処理し、合計3種類の色空間のサンプル画像を準備した。そして、3種類の画像をグレースケール画像に変換した後、画像の濃淡（輝度値）について着目をした。RGBとHSV、CIELUV色空間の各グレースケール画像より輝度値のヒストグラムを出力し、輝度値の最頻値を求めた。



(a) (b)
図1 サンプル画像の一例
(a)まさ土 [飽和度 40%], (b)笠岡粘土 [飽和度 40%]

3. 実験結果

まさ土と笠岡粘土それぞれの RGB と HSV, CIELUV 色空間の各グレースケール画像より輝度値の最頻値を求めた。結果を図 2~4 に示す。

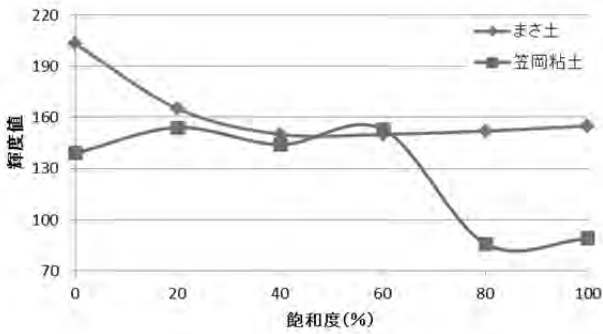


図 2 RGB 画像 (グレースケール) の最頻値

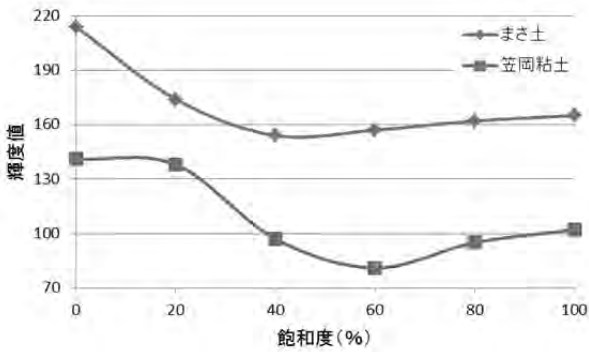


図 3 HSV 画像 (グレースケール) の最頻値

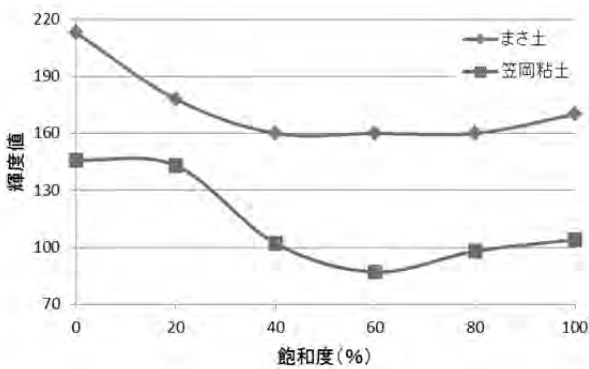


図 4 Luv 画像 (グレースケール) の最頻値

図 2 の笠岡粘土を除く、全てで飽和度が大きくなるにつれて輝度値が減少、その後再び輝度値が大きくなることが分かった。これは土試料の色が水分を含むにつれて暗くなり、そして再び土の色が明るくなっていることを示している。しかし、以上の実験結果では飽和度の推定は難しいと考

えられる。そこで、飽和度を推定するためにまさ土と笠岡粘土の輝度値の高い領域 (輝度値 200~255) に着目した。これは、飽和度が大きくなるにつれて、土の表面を水が覆い土の色が明るくなり、輝度値の高い領域の画素数が増加すると考えられるからである。結果を図 5~6 に示す。

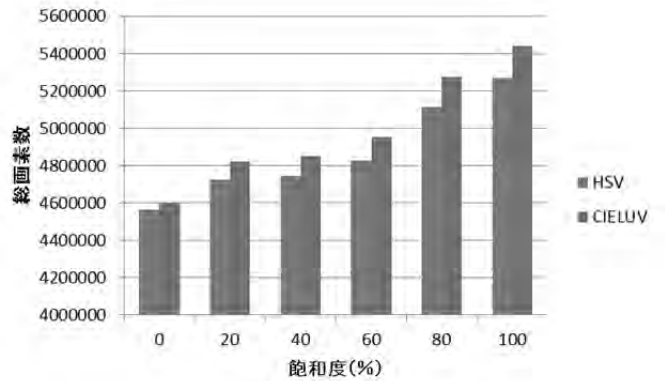


図 5 まさ土の輝度値の高い領域の画素数

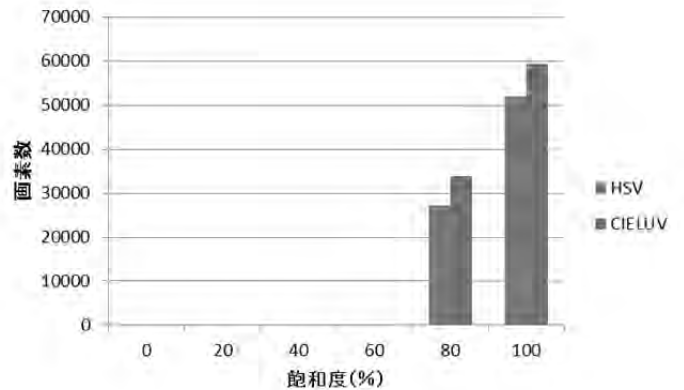


図 6 笠岡粘土の輝度値の高い領域の画素数

図 5~6 より、飽和度の上昇に伴って二つの土試料において輝度値の高い領域での画素数の増加することが明らかとなった。

4. まとめ

- ・ 2 つの土試料において飽和度の上昇に伴って、土の画像の色が暗くなり、再び明るくなることを輝度値の最頻値を利用することで確認することができた。

- ・ 輝度値の高い領域 (205~255) について着目することで、まさ土と笠岡粘土の一部で飽和度の上昇に伴って、その領域の画素数が上昇することが明らかとなった。

6. 岩盤切削機へのマシンコントロール技術の導入

奥村組土木興業(株) 川畑 雅樹

奥村組土木興業(株) ○丸山 健一

1. はじめに

道路土工における硬岩や中硬岩の掘削には、一般的に発破工法が用いられるが、民家等に近接して施工するような現場条件では、より低騒音で低振動な掘削工法が求められる。このような場合には、静的破碎工法や割岩工法等が採用される事例が増加しているが、発破工法に比べて作業効率(掘削能力)が悪いことが課題となっている。以上のことから、当社では、岩盤切削機(サーフィスマイナー)を使用した「低騒音・低振動・低粉塵岩盤切削工法」を開発し、実施工に適用しながら改良を加えてきた。

本報は、岩盤切削工法の施工精度および施工効率を向上させるため、岩盤切削機にマシンコントロールシステムを導入し、その適用性を試験施工において検証したものである。

2. 岩盤切削工法

(1) 工法概要

「低騒音・低振動・低粉塵 岩盤切削工法」は、ヴィルトゲン社と共同開発した岩盤切削機を用いた硬岩(中硬岩)掘削工法である。

騒音・振動・粉塵を低減する岩盤掘削工法として、国土交通省の発注工事を中心に施工実績を積み重ね、2009年から2015年11月(規約による掲載期間)までNETISの「少実績優良技術」に指定されていた。

(2) 岩盤切削機

岩盤切削機(2500SM)は、ビットを螺旋状に取り付けた掘削用回転ドラム(切削ドラム)を胴体中央部に配置し、自重を反力にして、切削ドラムを手前から前方へ掻き上げる方向に回転させることによって連続的に岩盤を掘削するものである。

岩盤切削機の主な仕様は表-1に示すとおりであり、掘削幅は2.5 m、最大掘削深さは35 cmである。標準

的な条件での掘削能力は、中硬岩の場合が200~250 m³/日、硬岩の場合が50~100 m³/日である。直近の施工事例によれば、切削箇所から30 m離れた地点で、騒音値が78 dB以下、振動値が42 dB以下となっている。

表-1 岩盤切削機の仕様

項目		単位	2500SM
機械 寸法	全長	mm	12,920
	全幅	mm	3,710
	全高	mm	4,090
	重量(作業時)	kg	133,000
切削 ドラム	切削幅	mm	2,500
	最大切削深	mm	350
	直径	mm	1,400
	回転数	rpm	47
	ビット本数	本	114
走行 性能	定格出力	kw(PS)	895(1,217)
	作業速度	m/min	0~25
	走行速度	km/h	0~3.9
	登坂能力	度(%)	20(36)
	最小回転半径	m	15

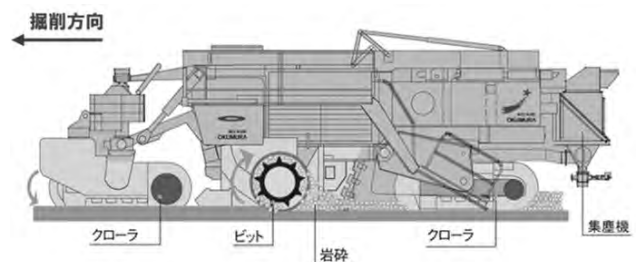


図-1 岩盤切削機(2500SM)の構造概要図

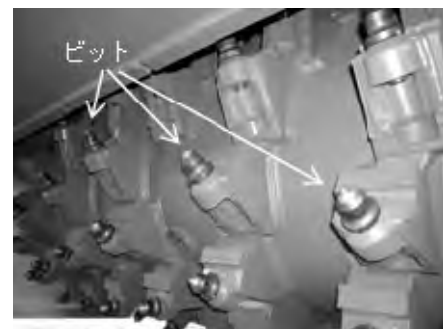


写真-1 切削ドラム

3. マシンコントロール技術

岩盤切削機に搭載するマシンコントロールシステムは、機械制御の機構が類似した「3D-MC アスファルトフィニッシャシステム」(株トプコン)に改良を加えたものである。システムの概要は次のとおりである。岩盤切削機の位置情報を自動追尾式TSで取得し、これを機械側のコントロールボックスに送信して、設計面との差分を算出する。この値を基に、機械後方側のシリンダ長を自動調整することで掘削深さを制御する。



写真-2 自動追尾式TS



写真-3 機械搭載機器



写真-4 コントロールボックス

4. 試験施工

(1) 試験概要

高速道路建設工事で試験施工を実施し、マシンコントロール技術の適用性を検証した。施工対象の岩盤は、砂岩系堆積岩の中硬岩(シュミットハンマー反発度:40~50)であった。比較対象とする通常施工方法は、掘削する面の高さを丁張から測定し、この測定値を基に掘削深さを手動調整する方法である。試験施工の延長は100mとし、通常施工、情報化施工ともに各2回ずつ掘削を行った。掘削後、施工精度(出来形精度)を確認するため、延長10mごとに仕上り面(掘削面)の高さを測定し、設計値との差を確認した。

(2) 試験結果

仕上り面高さの出来形精度(設計値との差)は、図-2のように、通常施工が最大32mm、情報化施工が最大10mmとなり、情報化施工の導入によって施工精度が向上することが確認できた。一方、情報化施工による施工時間の短縮効果はわずかであった。しかし、施工精度の向上による手直し作業の減少や、機器設置作業の慣れ等による時間短縮効果が期待できるため、今後は、施工効率も向上すると判断している。

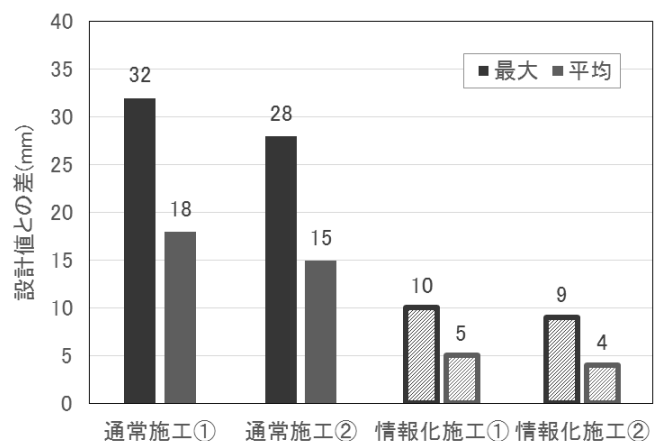


図-2 試験施工結果(仕上り面高さの出来形精度)

5. 今後の課題

今回は、対象となる岩種が中硬岩であったことから、掘削時の機械振動はそれほど大きなものとならず、プリズムの揺れも小さかった(コントロールボックスの表示値で5~10mm程度)。このため、大きな振動が予想される硬岩掘削時についても試験施工を実施して、マシンコントロール技術の適用性を確認する必要がある。

7. 放射性汚染廃棄物土のう用重機式放射能簡易計測装置

Siki～^{きせつ}四季を感じる故郷^{まち}に戻そう～

日立建機日本株式会社 竹内 豊

重機式放射能簡易計測装置 S i k i



2011年3月11日の東日本大震災による福島第一原子力発電所の水素爆発事故からまもなく5年目を迎え、原子力発電所の廃炉事業とセシウムの飛散により汚染された周辺地域の除染事業が国の総力を挙げて行われているところであります。

かかる状況下、中間貯蔵施設の計画が本格化してきており、放射能汚染廃棄物のパイロット輸送も2期工事までが発注されました。

そこで、この未曾有の事態に対して、日立グループでは、日立パワーソリューションズ、日立アロカメディカルと共同で、油圧ショベルを使って何か除染事業で使える、新しいものが出来ないかと考えました。

先ず、除染作業が実際にどの様に実施されているかを調べた所、いくつかの改善点が見えてきました。

除染作業では、除染した放射能汚染廃棄物を土のうに詰めて仮置場に保管しています。

その際に土のうが何処の場所から発生した廃棄

物なのか、土のうの表面線量が何 μ Sv/hなのか、質量は何kgなのかを計測し、それらの数値からBq/kgに換算し、タグ付けをして管理している事がわかりました。

また土のうの移動にはラフタークレーンや移動式クレーン付きの油圧ショベルを利用している事もわかりました。

土のうの移動現場を見学した所、ラフタークレーンで吊り作業をする際に多数の玉掛者が混在しておりました。

玉掛者は土のうに常に接近していることが多く、被ばくリスクが非常に高い事がわかりました。

また、表面線量を測定する際にも、シンチレーター（放射能測定器）をフレコンバッグに人の手で密着させなければならず、ここでも被ばくリスクが高い事がわかりました。



除染用の専用の装置が存在しない為、殆どの作業は人の手で行われていました。

今回は除染現場で必ず使用する油圧ショベルに着目し、様々な機能を付加する事で被ばくリスク

の低減や事故リスクの低減、更には省力化を目指し、開発をスタートさせました。

日立アロカメディカルは放射能測定器を開発・販売しており、除染現場では日立アロカメディカル製のシンチレータが多数、採用されています。日立建機グループの得意とする油圧ショベルに日立アロカメディカル製のシンチレータを搭載させ、日立パワーソリューションズの放射能管理技術及びソフト開発技術を組み合わせ、除染現場での専用重機を開発することが可能となりました。

それが重機式放射能簡易測定装置 Siki です。油圧ショベルと放射線計測装置、ロードセル（荷重計）を一体化し、被ばくりスク・事故リスクの低減、省力化を実現させました。

今回、土のうの専用つり具（クローバーフック）を開発するにあたり、福島労働局に相談に伺いました。

その際に、本体はクレーン仕様にする事。土のうをつる際には、なるべく玉掛者を置かないこと等のご指導を頂きました。

そこで、土のうの紐を自立させる専用治具（クローバースタンド）を開発致しました。



Siki という名前は四季を感じる故郷に帰そうとの思いから命名されました。

その他に、4つの機能を併せ持つ所も名前の由来であります。

4つの機能とは以下の通りとなります。

- ① 取扱機能：土のうの取扱
- ② 計測機能：質量・放射線計測
- ③ 判別：判定機能：放射能密度判別・判定
- ④ 運搬機能：土のうの移動

更に、1台で指揮をするとうい意味合いもあります。

今迄、重機と作業員が混在していた作業を油圧ショベル1台で行えようにしたことから、作業時の事故リスクの低減が期待出来ます。

また、土のうへの作業員の接近頻度が少ない為、玉掛作業や線量測定作業時の被ばくりスクの低減も期待出来ます。

また、従来人が行っていた作業を油圧ショベルに移行した為、省力化も期待出来ます。

更に、質量や表面線量を人の手で記載していたものを、機械化により自動で記録・管理可能になりましたので、人為的なミス低減も期待出来ます。

人が行っていた作業の大部分を機械化する事が出来たことから、様々な利便性が期待されます。

8. 中小零細建設業を対象にする映像を活用したCIMの開発

～ 新しい情報化施工の実現に向けて ～

株式会社環境風土テクノ 須田清隆

トライポッドワークス株式会社 ○渋谷義博

立命館大学理工学部 建山和由

映像を活用したCIM

映像を活用したCIM (Construction Information Modeling / Management) は、中小零細建設業でも実現可能なCIMの取組みとして、国土交通省中部地方整備局平成26年度庄内川大治築堤工事を河川築堤工事モデルとして可児建設により試行検証を行った。

(1) ネットワークカメラとWEB確認

施工状況の見える化および記録のため、4台の定点ネットワークカメラを設置した(図1参照)。定点カメラにより、空間量が一定の中で、重機や人間の占有時間や発現頻度などで施工状況を確認している。また、WEB情報として遠隔からも映像を確認できることが、祝休日、夜間などの天候や地震時の状況を遠隔での確認を可能にしており、現場のリスク対応性を早め、リスク確認のために現地への移動時間の縮小を実現している。

システム構成

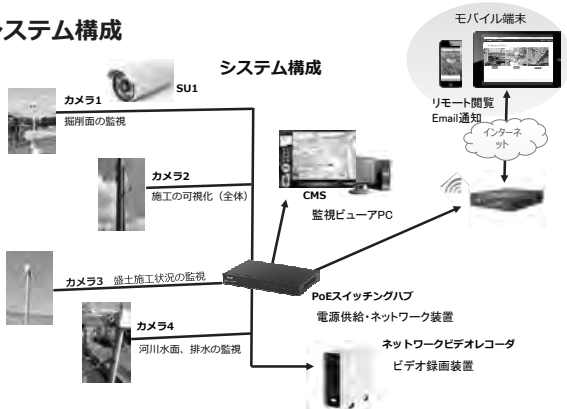


図1 ネットワークカメラのシステム構成

(2) 映像を集積したCIMデータベース

集積した施工情報を有効に活用するために現実の映像や写真と施工情報を関係づけて図2に示すようにデータベースに集積している。

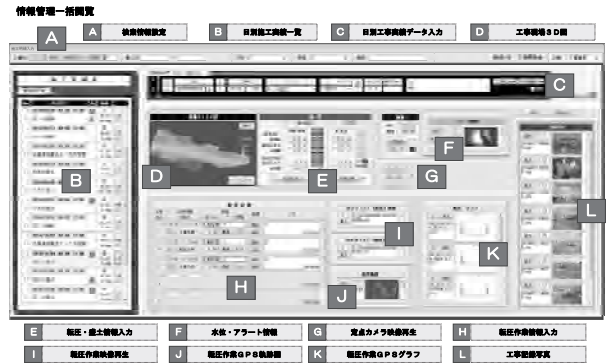


図2 CIMデータベース

データベースでは、施工現場のイベントやトラブルなどの日報に含まれるキーワードを検索ワードによって、時間経過で整理された4方向のカメラより撮影されたタイムラプス映像(図3参照)の検索を容易にしている。



図3 4カメラタイムラプス映像表示

(3) タイムラプス映像

タイムラプス映像は、インターバル撮影、微速度撮影とも言われ、長時間撮影された映像を短い時間に圧縮している(図4参照)。また、固定カメラで撮影するタイムラプス映像は、連続する時間のストリーム映像(1秒30コマ)から設定時間刻み(Δt)にスライス画像を切り出したものを、タイムラプス化しており、CIM情報としては、時間情報を持つスライス映像の活用を可能にしている。



図4 タイムラプス映像解説

(4) 背景差分法による物体検出

映像情報で現場の状況管理を行っているので、作業員や他の重機の分別も背景差分法によって分別認識することで、測定などに頼らない重機や人の作業実態等の施工実績の自動算定が可能になる。(図5 参照)



図5 背景差分法による物体検出

背景差分法は、定点カメラのように固定環境における物体検出法として有効な手法で、事前に取得したフレーム画像と対象とするフレーム画像を比較計算することにより、背景画像に存在しない物体（前景領域）を検出する手法である。(図6 参照)



図6 物体検出フロー

(5) オプティカルフローによるモーション検知

オプティカルフローを用いたモーション検知では、フレーム情報から物体の速度ベクトル情報を求め、軌跡情報や移動量が確認できる(図7 参照)映像上の施工機械や人間の特定対象の検知機能を応用することで、施工実績の収集により、歩掛り評価への展開が期待される。



図7 物体検知と運動方向計測

(6) 映像を活用した統合型データモデル

工事現場での危険な場所や行為などのリスクの捉え方は、工事現場の時間経過で変化する空間的な特徴とともに、降雨などの環境的要因や現場の技術者や作業員の未熟度など人間的要因に、輻輳する作業や露出している地盤状況や湧水状況などの背景情報などの統合的な情報で判断されている。統合的な情報を集約して観察できるタイムラプス映像の活用性は大きい。また、各種 ICT やクラウドシステムとの連携で長期間保管に対応させることによって映像をビックデータ化し、日報や作業メモ等のテキスト情報や施工情報とタグ付け(関連付け)することにより、永続的なトレーサビリティ性を備えた検索性の高い映像データベースの構築が可能となる。(図8 参照)

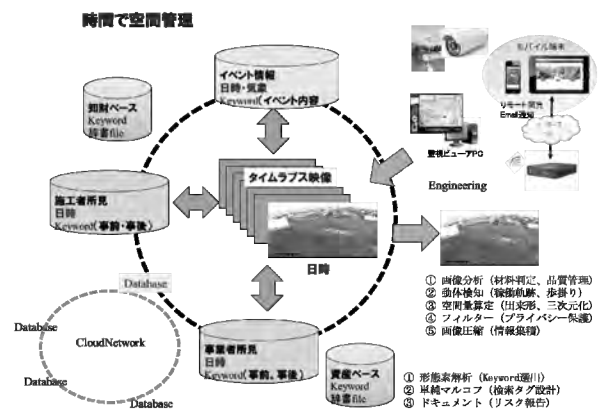


図8 映像を活用した統合型データモデル

9. 建設発生土を用いた液状化対策改良土の提案

立命館大学 石森洋行
 山崎砂利商店 釜本英一
 立命館大学 ○岡本晃尚

1. はじめに

本研究は、管路埋戻し材に利用される砂に粘土を混ぜることで液状化対策に効果のある改良土を開発することが目的である。また、廃棄物の有効利用を意識し、埋戻し材として天然の砂を用いるのではなく粒径の大きな廃棄物として鉋さい（砂状の鋳物廃砂）を使用し、粒径の小さな粘土には建設汚泥を用いて検討を行った。

2. 実験内容・方法

2.1 使用した試料

本研究で使用した鉋さいと汚泥は、土粒子密度がそれぞれ 2.703 g/cm^3 、 2.697 g/cm^3 、強熱減量が 5.9%、11.3% である。鉋さいの粒径は砂分（ $75 \mu\text{m} \sim 2 \text{ mm}$ ）が 100% であり、汚泥では砂分が 50.6%、シルト分（ $5 \mu\text{m} \sim 75 \mu\text{m}$ ）が 42.1%、粘土分（ $5 \mu\text{m}$ 以下）が 7.3% であった。

2.2 突固めによる締固め試験

JIS A 1210 に従い突固めによる締固め試験¹⁾を行った。鉋さいと汚泥の全土量に対して汚泥配合率を、質量ベースで 0%、10%、15%、20%、25%、30% の 6 種類を作製しそれぞれの締固め曲線を求め、最大乾燥密度と最適含水比を求めた。試験方法には B 法を採用し、ランマーの重さは 2.5 kg、落下高さは 30 cm、落下回数は 55 回として突固めた。

2.3 修正 CBR の貫入試験

上記の汚泥配合率 6 種類の試料において、最大乾燥密度時の強度特性を明らかにするために JIS A 1211 に従い、貫入試験¹⁾から修正 CBR を求めた。荷重装置を用いてピストンの貫入速度を 1 mm/min として貫入し、所定の貫入量を得るための荷重荷重の関係性を求めた。荷重荷重と貫入量曲線を作製し、貫入量 2.5 mm または 5.0 mm となる荷重荷重を求め、CBR 値を $\text{CBR}(\%) = (\text{荷重}/\text{標準荷重}) \times 100$ として求めた。ここで標準荷重は貫入量 2.5 mm のとき 13.4 kN で、貫入量 5.0 mm のとき 19.9 kN である。

2.4 振動実験

上記 2 つの試験結果から高い最大乾燥密度と CBR 値をもつ汚泥配合率を見つけ、その条件で作製した試料に対して振動実験²⁾を行った。

加速度センサーを振動台に、また間隙水圧計をアクリル製容器（縦 27 cm、横 42 cm、高さ 29 cm）の下部に設置した後、容器に試料を高さ 7.5 cm まで入れて約 5 kPa の上載応力を 1 分間作用させて締固める。その後、試料を高さ 15 cm まで入れて、同様に約 5 kPa の上載応力を 1 分間作用させて締固めて層厚 15 cm の実験土槽を作製した。締固めた土槽の上から水を少しずつ流し飽和条件を模した。飽和させた実験土槽を振動台に設置し、上載応力 1 kPa が作用した条件で振動開始した。振動開始から 60 秒毎に加速度を徐々に大きくし、その際に土槽中に埋設した間隙水圧計の読みを記録した。目視で地盤が液状化していると判断できた時点で実験を終了した。

3. 実験結果と考察

3.1 締め固め特性

図 1 に締め固め試験の結果を示す。鉋さい-汚泥混合試料において、汚泥配合率 0% の試料よりも汚泥を配合した試料のほうが最大乾燥密度は大きく、特に汚泥配合率が 10% と 20% のとき著しく高い値を示した。一方で、汚泥配合率 25%、30% の試料では最大乾燥密度はそれよりも減少した。また汚泥配合率 10%、15%、および 20% では最適含水比時以外の含水比において乾燥密度は鉋さいのみの場合と比べて同等もしくはそれ以上の値を維持できた。

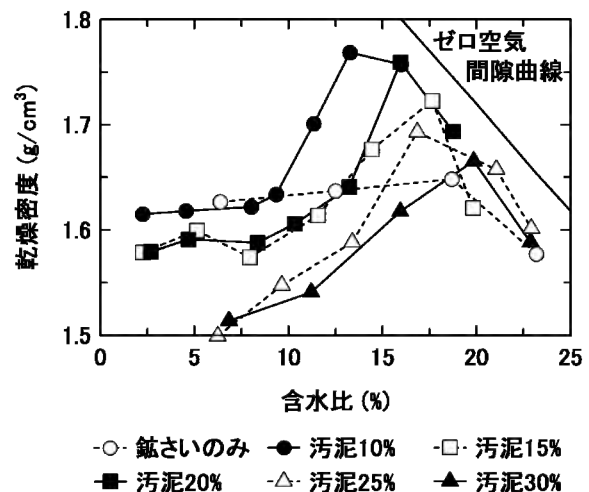


図 1 締め固め曲線に及ぼす汚泥添加率の影響

3.2 強度特性

修正 CBR 貫入試験から得た荷重—貫入量曲線より、汚泥配合率 20%の試料が他の試料と比べて著しく高い強度を示した。汚泥配合率 20%より高い汚泥配合率の試料は粘土分が相対的に多くなるので締固めが弱く強度は低下した。同様に、鉦さいのみの場合でも砂分が相対的に多くなるので締固めが弱く強度は低下した。汚泥配合率 10-20%の試料は砂分と粘土分が混ざり合い、粒度が改善されることで、その強度は鉦さいのみの場合のそれよりも大きくなると考えられる。鉦さいのみに比べて高い CBR 値を示しているのは、汚泥配合率 10%と 20%の試料であった。汚泥配合率 15%では強度が下がってしまったが試料の混ぜ合わせに原因があると考えられる。本研究で用いた鉦さいでは汚泥を 20%加えることで、強度に関しては日本道路協会が定める一般道路における路盤下層部の材料規定を満たすことができた。

3.3 液状化特性

図 2 と図 3 は振動実験における土槽底部の間隙水圧の経時変化である。締固め試験と CBR 試験の結果から汚泥配合率 20%の試料が最も強度に優れた配合条件と考え、汚泥配合率 20%の試料と、汚泥配合率 0%の試料に対して振動実験を行った。なお図中の過剰間隙水圧(破線)とは、理論上有効応力がゼロとなる時の間隙水圧の値を表わし、間隙水圧計の読みがこの過剰間隙水圧を超えると液状化が生じた目安となる。加速度を 60 秒ごとに 1 段階ずつ上げた結果、汚泥配合率 0%の試料の場合では、経過時間 960 秒(加速度 16 段階目)で徐々に土槽が緩くなり始め、経過時間 1020 秒(加速度 17 段階目)で完全に液状化したのを目視で確認した。図 2 に示す間隙水圧のデータを見ると、経過時間が経つにつれ、間隙水圧も徐々に増加し、液状化が起き始めた 16 段階から急激な間隙水圧の増加が生じた。このとき、理論上有効応力がゼロとなる間隙水圧値を超えたことから液状化がおきたことがわかる。これは目視での液状化したタイミングと一致する。一方で汚泥配合率 20%の試料では、経過時間 1080 秒(加速度 18 段階目)で土槽が緩くなったが、経過時間 1380 秒(加速度 23 段階目)まで状態は変わらず、23 段階目を超えてから液状化が始まり、完全に液状化したのは 25 段階目であった。図 3 をみると算出した理論上有効応力がゼロとなる間隙水圧値を超えたが、目視ではしばらくの間、液状化は起きなかった。以上より汚泥

配合率 20%の試料が鉦さいのみの試料と比較

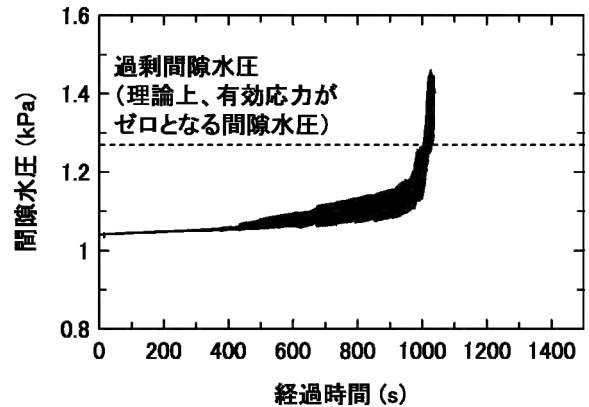


図 2 鉦さいのみの地盤における土槽底部での
間隙水圧の経時変化

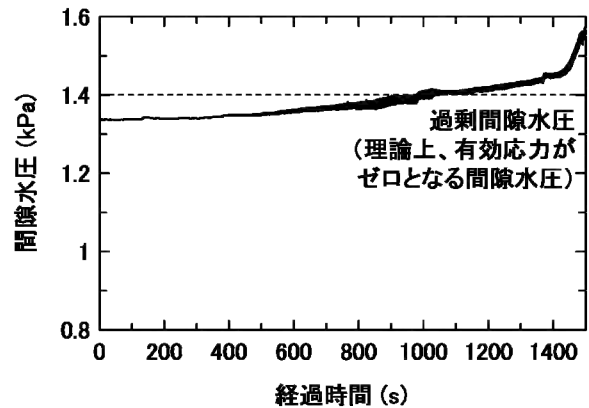


図 3 汚泥配合率 20%の地盤における土槽底部での
間隙水圧の経時変化

して液状化に対して粘り強い抵抗をもつ試料であることがわかった。

4. 結論

本研究では、次の知見を得た。(1) 汚泥配合率を 0~30%として 6 水準変化させた試料を用いて突固め試験と修正 CBR 貫入試験を行ったところ、汚泥配合率 20%の試料を最適含水比で締固めた場合で $CBR_{5.0} = 34\%$ を得た。(2) 汚泥配合率 20%の試料と鉦さいのみの試料の 2 つを用いて、液状化を模した振動実験を行ったところ、鉦さいのみの試料よりも汚泥配合率 20%の試料の方が約 1.7 倍液状化しにくくなった。(3) 理論上の有効応力がゼロになる間隙水圧値を超えてから液状化に至るまでに、しばらくのタイムラグが認められたことから、汚泥配合率 20%の試料のほうがより液状化に対して粘り強い抵抗をもつことがわかった。

10. アスファルトプラント用ガス・バイオマス燃料混焼バーナの開発

前田道路株式会社 ○傳 田 喜八郎
日工株式会社 今 田 雄 司

1. はじめに

アスファルトプラントにおける CO₂ の排出は、骨材加熱に使用するバーナの燃料燃焼に起因するものが大半であり、CO₂ 排出量は約 135 万 t と依然として高いものとなっている。この CO₂ 排出量を削減する目的で、CO₂ 排出量にカウントされないカーボンニュートラルなるバイオマス燃料と A 重油の化石燃料とを混焼するバーナを開発し実用化に至っている。さらに都市部では CO₂ 原単位が小さい都市ガスを使用しているところが多いことから、この気体燃料と液体であるバイオマス燃料の混焼バーナの開発が求められ実用機での燃焼テストを経て、実用化が図られたのでここに紹介する。

2. バイオマス燃料

バイオマス燃料としては、木質タールとグリセリンである。木質タールは森林に近い山間部に設置してある木質バイオマスコージェネレーションプラントで可燃ガスと一緒に生成される。一方、グリセリンは都市部で発生する廃食用油を原料とするバイオディーゼル燃料化プラントの製造過程で生成される。両燃料とも植物由来の燃料となるのでカーボンニュートラルとなり、CO₂ 排出量にはカウントされない。代表的な物理性状を表-1 に示す。

表-1 木質タールとグリセリン物理性状

	密度 (15℃) g/cm ³	動粘度 (50℃) mm ² /S	水分 %	真発熱量 kcal/リットル	A重油比 %
木質タール	1.13	36.4	7.1	7,440	84
グリセリン	1.01	33.9	1.1	5,960	67
A重油	0.84	2.1	0.0	8,900	100

両燃料は粘度が 30~40mm²/S と高く、水溶性のため若干の水分を含む。このような不安定な燃料であるので従来のアスファルトプラントバーナでの使用は難しい

ため新規バーナの開発となった。

3. 燃油・バイオマス燃料混焼バーナ

従来のバーナは、図-1 に示すように高压噴霧の拡散燃焼方式である。このバーナ単独でバイオマス燃料の

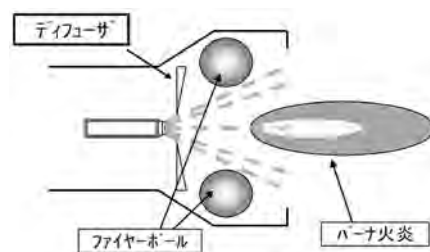


図-1 従来の高压噴霧バーナ

燃焼を試みたが、粘度が高く、水分を含んでいるため頻繁に失火してしまった。そこで、この条件下で対応できる方式として、燃料と圧縮空気をともに供給し霧状にした2流体噴霧方式に切り替えた。さらに、失火しても連続で燃焼を確保できる従来バーナを組合せた

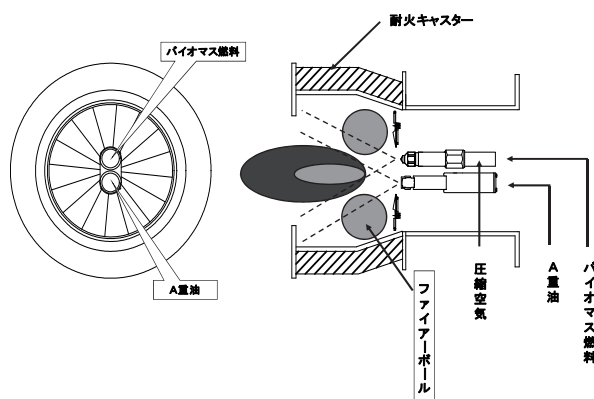


図-2 燃油・バイオマス燃料混焼バーナ

燃油・バイオマス燃料バーナを開発した。図-2 に示す。各燃料の供給量を任意に設定できるので、従来の制御方式を採用することができ、バイオマス燃料の供給状態、品質に影響されない安定した燃焼が得られた。また、アスファルトプラントの特徴である間欠稼働、瞬

発力、臭気対策となる完全燃焼および少量燃焼に対応することができた。大気汚染防止法の規制値は、A 重油を燃料とした場合と同等であった。

4. ガス・バイオマス燃料混焼バーナ

4.1 概要

代表的はガス燃料としての都市ガスのCO₂排出量は、発熱量換算で A 重油 0.0189Kg-C/MJ に対して 0.0138Kg-C/MJ であるので約 27%の削減になる。このガス燃料とバイオマス燃料混焼バーナの開発をおこなった(以下、開発バーナ)。この開発バーナもバイオマス燃料噴霧は2流体噴霧方式ノズルを採用した。しかしながら、バイオマス燃料の燃焼状態を良好にするためには、燃焼用空気の静圧は3.0kPa以上に上げ、微粒化したバイオマス燃料と燃焼用空気を高速に攪拌し、ガス化を促進しなければならない。一方、ガスは静圧が1.0kPa以下の低圧な燃焼用空気ですむので、静圧を上げて燃焼すると燃焼振動が発生する。したがって、双方のバランスを良い状態に保ち、炎が短くシャープにするためスロート、ディフューザ、ガスノズルの形状を変え、さらにバイオマス燃料ノズルとガス燃料ノズルの位置関係を調整した。図-3に示す。

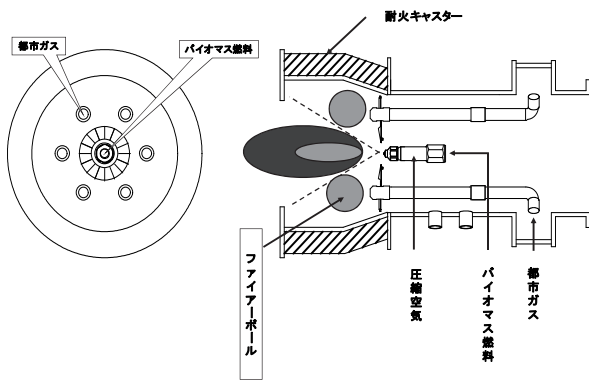


図-3 都市ガス・バイオマス燃焼混焼バーナ

都市ガスに限らず、燃焼効率を高めると高温領域が1,000℃以上になり、窒素酸化物(以下NO_x)が発生しやすくなる。そこで低NO_x化にするためには、分割火炎による火炎温度の低下、2段燃焼による酸素濃度低下、排ガス再循環(以下、EGR)による高温領域での滞留時間の短縮等が考えられる。この開発バーナに関してはEGRを装備することで酸素濃度を下げ、燃焼速度

を低下させることにより火炎の局所的な高温部を少なくしNO_x低減につなげた。

4.2 燃焼試験

燃焼試験は実機のリサイクルプラント用の開発バーナを使用した。バイオマス燃料はグリセリンとし、ガスは都市ガスとした。ガスとバイオマス燃料の燃焼消費量比は10:1に設定したため、発熱量比は16:1となる。測定は目視による混焼状態とEGR装備によるNO_x排出量他である。

表-2 都市ガスとグリセリンの混焼結果

EGR 使用	ガス 開度 (%)	ガス 燃料量 (Nm ³ /h)	グリセリン 燃焼量 (kg/h)	排ガス O ₂ (%)	排ガスCO ₂ (16%換算) (ppm)	排ガスNO _x (16%換算) (ppm)	排ガス SO _x (ppm)	EGR O ₂ (%)
無	0	87	10	4.7	210	9	8	
	50	224	23	4.8	0	17	9	
	80	374	39	3.4	0	17	16	
有	0	88	9	7.8	350	7	7	18.6
	50	218	24	3.7	50	7	6	17.8
	80	394	40	1.2	0	13	6	19.8

燃焼試験結果は表-2に示す。これよりEGRを装備することでNO_x排出量は減少する。また、ガス開度が低い場合は不完全燃焼が見受けられるが、開度を上げると解消される。写真-1は混焼中のものである。この開発バーナは一般的に採用されている拡散燃焼方式であり、火炎はオレンジ色を示している。これは赤外線、遠赤外線を含んでいるため、効率よく骨材等が加熱されていることを表している。これらのことによりアスファルトプラントの燃焼範囲では安定した燃焼状態になり、アスファルトプラントの特徴である間欠稼働、瞬発力、少量燃焼に適用することを意味している。

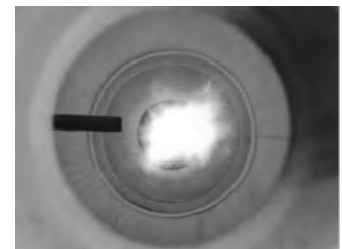


写真-1 混焼状況

5. おわりに

食用油が大量消費される都市部ではバイオディーゼル燃料化プラントが多く、グリセリンの供給は十分に見込まれる。都市ガスとの組合せをしたこの開発バーナの活用は、都市部のアスファルトプラントのCO₂排出量削減に最適であり、地産地消の燃料消費につながってくる。

11. 危険な災害現場で活躍する無人化施工技術

－ 遠隔操作でおこなう最新施工技術と映像機器 －

所属 建設無人化施工協会 ○川上 勝彦
建設無人化施工協会 北原 成郎
建設無人化施工協会 田口 毅

1. 無人化施工

無人化施工は、災害地等においてラジコン装置等を取り付けた建設機械群を安全な場所からオペレータが遠隔操作することで工事を行うものである。基本的な無人化施工の機器配置事例を図1に、建設機械の遠隔操作状況を写真1に示す。

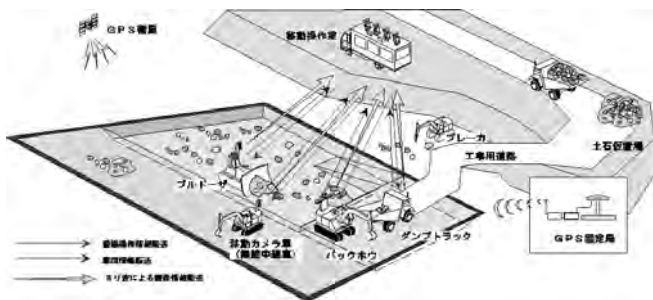


図1 無人化施工の機器配置例



写真1 建設機械の遠隔操作状況例

雲仙・普賢岳において、除石工事(写真2)、構造物の解体、砂防堰堤築造(写真3)や構造物設置(写真4)に採用されたことを始め、有珠山、三宅島の噴火災害や各地の土砂災害、原子力発電所などの立入り困難な場所での事故などに多数対応してきている。

協会では、これらの経験から工事支援システムや新工法の開発を続け、各種災害への対応能力や施工性の向上に努めている。



写真2 除石工事



写真3 砂防堰堤(RCC工法)築造



写真4 構造物(鋼製リット)設置

本セッションでは、建設技術研究開発助成制度を受け、(一財)先端建設技術センター、(国研)土木研究所と共同開発した工法技術と支援機器について紹介する。

2. 連続式土嚢を用いた高速築堤技術

土砂災害では、応急復旧やその工事の安全性確保のために大型土嚢により堰堤の構築をすることが多いが、搬入路が十分でなかったり、設置に時間を要したり、迅速な設置が困難な状況であった。

そこで、図2および写真3のように無人化施工で高速に築堤できる技術を開発した。特徴は、土を詰めた土嚢を小運搬する代わりに、遠隔操作によるバックホウ1台で容易に展開・自立する連続式土嚢枠に土嚢設置場所で土砂等を充填することにより、高速化する技術（従来比2倍速以上、60m/日以上）で、構造的にも連続性のある頑強な築堤が施工可能となった。

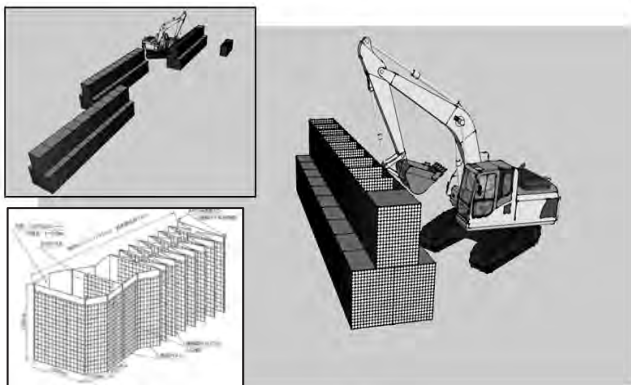


図2 連続式土嚢と設置イメージ



写真5 試験施工状況写真

3. 無人化施工による地盤改良技術

土砂災害の応急復旧工事は、山間部や河川流域で実施することが多いため、災害現地までの重機の進入路確保に時間を要することが多い。特に、地盤が豪雨や河道閉塞によりあふれ出た河川水等により泥濘化している場合は、重機の走行や作業が困難で復旧工事着手

が遅れる原因のひとつとなっている。

そこで、図3のように、固化剤散布と攪拌混合を無人化施工で容易におこなう技術を開発した。



図3 無人化施工による地盤改良イメージ

4. 無人化施工に不可欠な低容量・低遅延画像圧縮技術

無人化施工において施工の効率や精度に最も影響が大きい工事支援機器が映像関連機器である。出来るだけ高精細な画像を遅延無くオペレータに提供することが望ましいが、映像性能と比例して伝送容量が増大することが課題となっていた。

特に、大規模な無人化施工では、建設機械が広い範囲で多数稼動するため、伝送容量の大きい映像情報を多数無線伝送する必要があり、無線資源（CH・帯域）が不足する場合が多い。

そこで、低遅延(70msec以下)、高画質(フルハイビジョン、30フレーム/秒)の画像を低容量(3Mbps)で送信可能で、無人化施工の苛酷な環境に耐える構造を持つ無線伝送用の映像信号圧縮装置(エンコーダ・デコーダ)を開発した。(図4、赤丸部分)

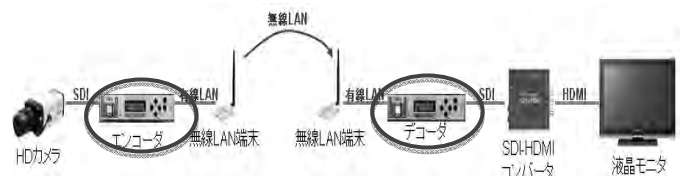


図4 開発装置

この結果、映像品質の向上や、伝送容量削減に伴う無線資源に余裕が生じ、多角的な映像や情報化施工用信号を多数伝送が可能となることから、施工性の向上や新たな工種への対応が期待できる。

Ⅱ－２ 施工技術総合研究所研究発表

民間企業との連携による 道路管理技術の開発・普及

- 1 透明度復元技術(クリアスカイ工法)
- 2 小径微破壊コンクリート内部調査技術
(Singlei工法)
- 3 エア一遮断機の開発と最近の動向

平成27年12月2日
施工技術総合研究所

一般社団法人 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所
Japan Construction Method and Machinery Research Institute

透光性遮音壁の透明度復元技術 (クリアスカイ工法)





1. 透光性遮音壁対策の現状

- 高速道路や自専道等の高架橋では景観対策や日照の確保の観点、周辺住民の居住性や道路利用者の快適性の向上に有効であることから、透光性の遮音壁が数多く導入されてきた。
- 近年、この透光性遮音壁が紫外線および経年劣化によりコーティング材が剥がれ、白化状態（透過率の減少）や変色した箇所が各所に出現し、この対策としては、取り替えが余儀なくされている。

透光性遮音壁の種類と特徴

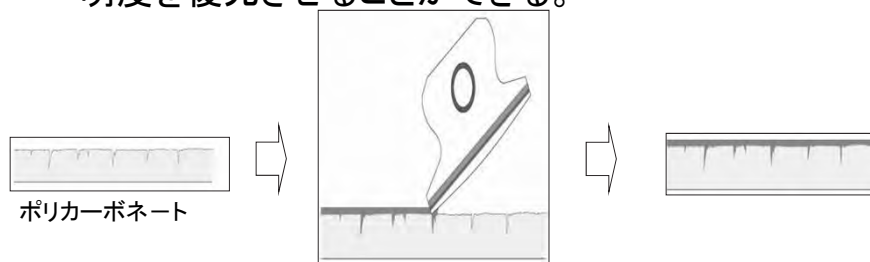
項目	種類	ポリカーボネート	アクリル	(強化)ガラス
①燃焼性(%)		自己消火性	可燃性	不燃性
②透過率(%)		89~90	93	90~91
③鉛筆硬度		2B~4B	H~2H	9H以上
④曲げ強度(Mpa)		88~94	120	39~78
⑤引張り強度(Mpa)		59~69	75	32~79
⑥比重		1.20	1.19	2.54
⑦シャルピー衝撃(kJ/m ²)		843	17	アクリルの約 1/10

2. 新材料による改善対策

- クリアスカイ工法は、劣化等により曇化した透光板の表面に塗布(コーティング処理)することで透明度を復元・維持することができる新しい技術である。

3. クリアスカイ工法の原理

- クリアスカイ工法の原理、下図は無色・透明で含浸性能の高いストレートシリコンを原料とする液材を、小傷やハードコートの割れ・剥離部にコーティングすることによって、透光板表面の凹凸を減らし、透明度を復元させることができる。



(a)劣化透明板断面 (b)コート剤塗布 (c)復元

図 クリアスカイ工法の原理(断面観察のイメージ)

4. 適用事例

- 国道の陸橋の透光板や高速道路等の透光性遮音壁を対象とした試験施工を実施しており、追跡調査の結果、十分な補修効果を維持している。

①試験施工前・施工後の比較（下地処理無しの場合）

北海道 国道5号森町上台横断歩道橋コーティング ポリカーボネート板の復元



②試験施工前・施工後の比較

(下地処理無しの場合)



(a)施工前



(b)施工後

③試験施工 (下地処理有りの場合)

伊勢自動車道



ハードコートが剥がれて、透光性が悪い。
対象数量; 約17,000枚 約8万m²

対策

新品に交換
或いは
塗布系新材料を開発

下地処理方法の検討



写真 WJによる下地処理実験



写真 CABによる下地処理実験

コーティング方法の検討



フローコート（品質の向上） 材料回収トレイ



左：ダイヤフラムポンプ、右：コンプレッサー

(a)従来のコーティング方法

(b)新コーティング方法

(吹き付け機械を応用)

評価項目と暫定基準

評価項目と評価方法

測定項目	測定方法	主な仕様	メーカー(型式)
透光性能	目視	近景、遠景	—
	透過率	測定域; 平行光線 標準光源A	光明理化学工業社 (PT-50)
表面性状観察	光学顕微鏡	倍率: 10~230 画素数: 1,300,000	サンコー社 (Dino-Lite Pro)



写真 平行光線透過率測定器

暫定基準

基準項目	暫定基準値
全光線透過率(%) (NEXCO設計要領基準)	75%以上
平行光線透過率(%)	72%以上

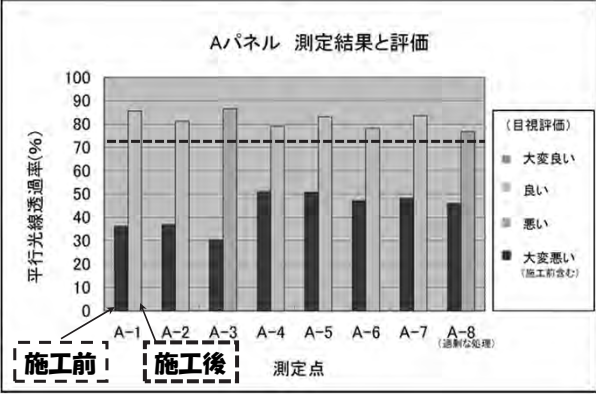
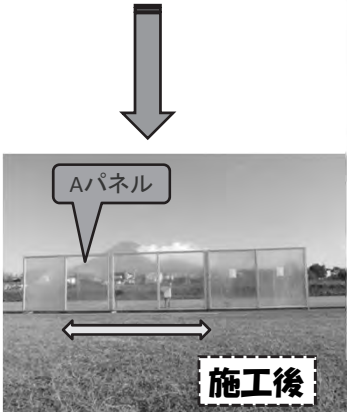
予備試験結果の例



施工前拡大
Aパネル



予備試験結果



現地試験施工; 伊勢湾岸線 上り線 (17.4Kp) 付近の約30m区間




平成26年11月11,12日
 NEXCO中日本、豊田保全センター管理
 NEXCO中日本ハイウェイメンテナンス




伊勢湾岸線上り線(17.4Kp)付近 の約30m区間

施工前



施工後



目視評価結果

片面施工 ○: 景色が良く見えるまで透明度が回復
◎: 新品のガラスのような透明度

目視評価	A	B	C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
評価	○	×	×	○	△	○	○	○	○	○	◎	◎	◎	◎	×

下地処理のみ

伊勢湾岸線上り線(17.4Kp)付近 の約30m区間



伊勢湾岸線上り線(17.4Kp)付近 の約30m区間



(次へ)

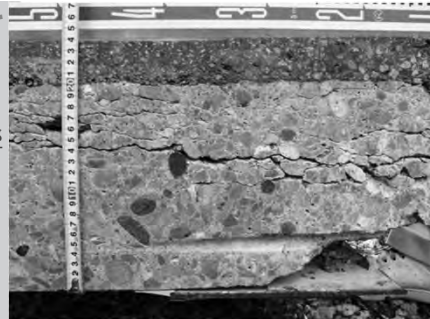
小径微破壊コンクリート内部調査技術 (Single i 工法)

コンクリート内部に発生した微細な水平ひび割れの位置や幅について現場で簡易に可視化することができます。

内部にひび割れの発生する理由として

- ・凍結融解作用による影響
- ・アルカリシリカ反応(ASR)による影響
- ・外力による影響
- ・施工不良

などからコンクリート内部に微細なひび割れや水平ひび割れが発生。

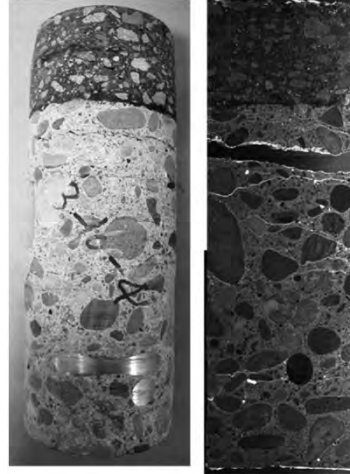


既存調査技術の問題点

- コンクリート構造物からコア試験体を採取 (Φ50mm-100mm)
- 試験室で蛍光エポキシ含浸法によるひび割れ調査(期間:2週間程度)

- 調査結果を得るまでに時間を要する
- コア径が大きく、構造物への影響大

Single i 工法はこれを改善



新調査技術の提案 (Single i 工法)

本技術は、既存技術と比較して、的確な成果を現場で示すことができる。

削孔径も小さいことから、構造物への損傷がほとんどない。

①φ5mmでコンクリートに削孔

②特殊樹脂を注入

硬化後(20分程度)

③φ9mmでコンクリートに削孔
(同一箇所にて)

④工業用内視鏡で調査

⑤削孔箇所を補修

新調査技術のフロー

新しい調査技術のフロー

① 小口径削孔(φ5mm)

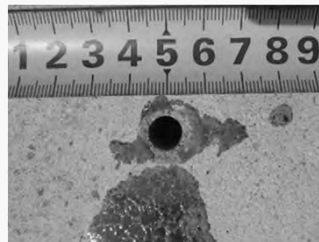


② 特殊樹脂注入
(20分で硬化)



新しい調査技術のフロー

③ 再度、小口径削孔(φ9mm)

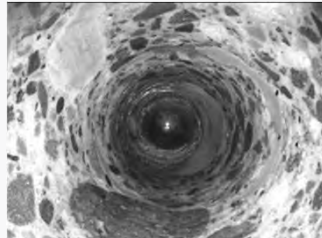


④ 内視鏡による観察
(エンコーダ装置)



新しい調査技術のフロー

⑤ 観察結果(動画で撮影)



⑥ 補修(床版部:特殊モルタル、
アルファルト部:特殊乳剤)



← アスファルト部

← アスファルトと床版の界面

床版に発生した水平ひび割れ(凍害)

最大300mmまで調査が可能

⑦ 動画の合成

調査方法について

(1) 床版上面側からの調査

アスファルト合材にもコンクリートと同様に削孔することができる。



(2) 床版下面側からの調査

下面からの削孔や特殊樹脂の注入が可能であり、上面側からと同様に実施可能。



まとめとその他の適用事例

コンクリート構造物の内部に発生した、微細な水平ひび割れの調査技術につて開発を行った。その結果、
 (1) 構造物に与える影響や調査結果を得るまでの時間を短縮でき、効率の良い調査が可能である。
 (2) 内視鏡調査では、各種のレンズとの組み合わせが可能で、ひび割れの有無やひび割れ幅の測定も可能である。

鋼板接着補強がなされたRC床版調査



PC箱桁に発生した互板調査



エア－遮断機の開発と適用事例

<開発目的>

- (1) 風水害、地震、道路災害等の緊急時に迅速な通行止めを可能にし、交通の安全を確保する。
- (2) 災害発生時（通行止め）に、無人で緊急車両等の通過を可能とする。

当面、既設遮断機を機能させるまでの緊急対策とする。



既設遮断機(降雨量制限箇所)



一般社団法人 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所
 Japan Construction Method and Machinery Research Institute

＜エア遮断機の特徴＞

- (1) カメラでモニターしながら安全を確認し、出張所等からの遠隔操作により開閉できる制御システムとする。
- (2) 遮断状態においても、緊急車両や維持車両が低速で通過できる（車両や遮断機が損傷しない）。
- (3) 遮断バー本体が破損した場合でも材料の交換が容易。
- (4) 昼間・夜間の視認性は、従来と同等以上。
- (5) 豪雨、強風等に対する耐候性を有する。



基本的な作動システム

＜基本仕様＞

- ・軽量の布生地
- ・直径φ600mm×全長4m
- ・ブローア（送風機2台）による膨張
- ・バルーンの収納用に自動巻き取り装置を開発
- ・バルーン内部にLED内蔵

- ・常設型は、100V電源（バッテリー（12V）によるバックアップ2時間可能）
- ・可搬型は、100V電源、バッテリー（12V）および車両のシガーライター電源
- ・車両からのリモコン操作で自動制御が可能

＜常設型遮断機の作動状況＞



バルーン膨張中



バルーン膨張終了



エア遮断機の適用が想定されるケース

- ① 雨量規制を設けている箇所(山間部等)
- ② 土砂崩れ等の災害発生箇所
- ③ トンネル入口（交通事故、火災時）
- ④ IC入口ランプ部
- ⑤ IC出口ランプ部
- ⑥ 冠水道路（アンダーパス部）

試験的に導入された事例

使用目的	基数
①冠水事故対策 (アンダーパス)	44
②出口、入口ランプ仮封鎖	18
③新東名のSA,PA仮封鎖	14
合計(H27.10.1)	76

H26年度にNETIS認定

従来型の冠水事故対策について

- 排水ポンプ
- 警報機器、警報表示板
- 監視カメラ、その他

雨で車水没、女性救助 島田(2011. 7/27)



水没した市道には、冠水5センチで「冠水注意」、冠水10センチで「通行止」を知らせる電光表示板がある

1時間で73ミリの雨量があった。同市道は2007年度に完成。「排水ポンプは動作していたが、追いつかなかった」

冠水事故対策(さいたま市; H21.11)



冠水事故対策 (島根県 江津市;H26.9)



<冠水道路;全国に2903箇所>

平成20年12月20日15時1分配信、毎日新聞記事から

- 「夏のゲリラ豪雨の対策」・・・危険箇所
- (国90、都道府県・政令都市951、市町村1862)

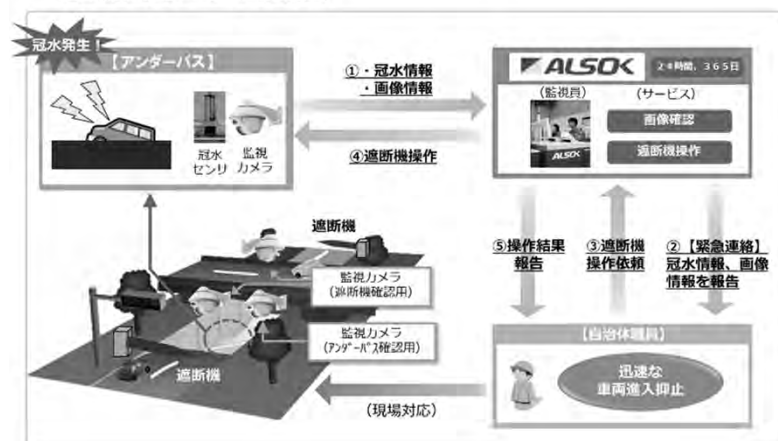
■ 道路の冠水 危険箇所数

北海道	46(43)
東北	218(216)
関東	666(619)
北陸	374(370)
中部	495(487)
近畿	525(515)
中国	211(205)
四国	105(99)
九州・沖縄	263(259)

()内は、地方自治体管理(国土交通省調べ)

ゲリラ豪雨で冠水した道路での車両水没事故を未然防止 「アンダーパス監視サービス」の提供開始について

遮断機操作サービス（概要）



<セキュリティサービスのALSOK：遮断機操作サービス HPから>

冠水発生時、「緊急連絡サービス」を利用する自治体等の職員からの要請により、ALSOKがバルーン製の遮断機の遠隔操作を行い、アンダーパスへの車両の進入を抑制します。

入口仮封鎖(仙台河川国道、三陸道)



本州四国連絡高速道路(株)
(島民ゲート入口仮封鎖; H27.3)



熱海ビーチラインの入口仮封鎖



エア

な対応



本的に交差してい
に低くなっている
に雨水が集中し

の大雨や局地的
敷に集中し、ポン
、一時的に道路

エア一式遮断機の説明会の状況 (国、県、市にて)

アンダーパスに試験的に導入した自治体では、その後、冠水による水没事故は発生していない

ご静聴有り難う御座いました

以上

平成27年度 建設施工と建設機械シンポジウム

最近の橋梁補修技術に関わる 大型実験

施工技術総合研究所

研究第二部 次長 小野 秀一

 施工技術総合研究所

各種実験設備

 施工技術総合研究所

150,000m²の広大な敷地を活用して、各種大型実験を実施している



詳しくはこちら⇒ <http://www.cmi.or.jp/>

4MN大型疲労試験機



- 最大動的荷重: 4MN
- 最大試験体サイズ:
 - 長さ12m、幅2.5m、高さ5.5m

2

各種疲労試験装置(1)



汎用500kN疲労試験装置



汎用200kN疲労試験装置



汎用1,000kN疲労試験装置



汎用100kN疲労試験装置

3

各種疲労試験装置(2)



50 kN 疲労試験装置



300 kN 疲労試験装置



1,000 kN 疲労試験装置



500 kN 移動載荷疲労試験装置

株式会社高速道路総合技術研究所所有

屋外タイプの移動載荷疲労試験



総重量 28 トン



総重量 20 トン

大型トラックの走行を模擬した荷重の繰り返し試験
温度変化、降雨、日照(紫外線劣化)なども耐久性に影響する

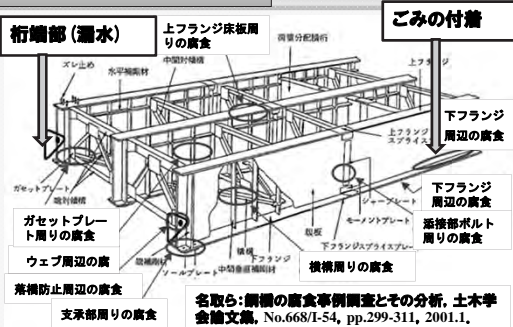
○大型構造実験 事例1

鋼橋プレートガーダーの残存せん断強度試験



琉球大学、沖縄しまて協会との共同研究として実施
 「実腐食減厚分布を有する鋼プレートガーダー腹板のせん断強度特性に関する実験的研究」 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) Vol. 70, No. 3, pp. 359-376、平成26年度土木学会田中賞 (論文部門) 受賞

1.1 研究の背景



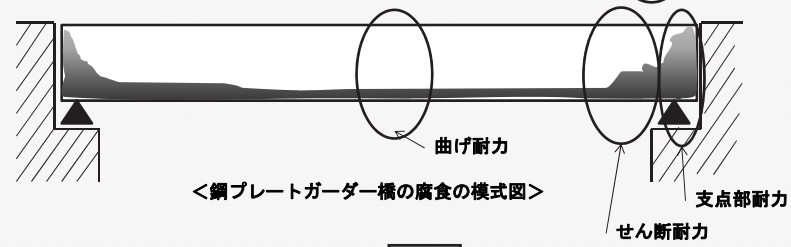
名取ら: 鋼橋の腐食事例調査とその分析, 土木学会論文集, No.668/I-54, pp.299-311, 2001.1.



腐食事例の蓄積が損傷の早期発見に寄与

1.1 研究の背景

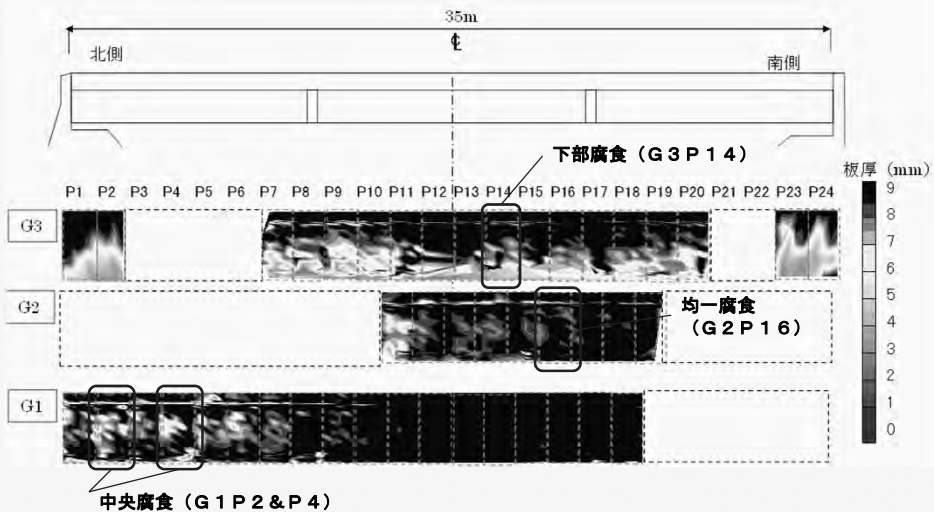
○鋼橋は一般的に、支間中央部に比べ桁端部の腐食劣化が早い



○桁端部はせん断耐力が卓越⇒ 残存せん断耐力に関する研究に着目

3.3 実験概要

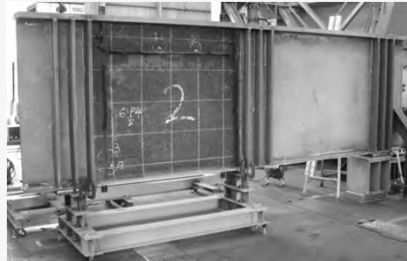
(1) 試験桁の製作、載荷方法



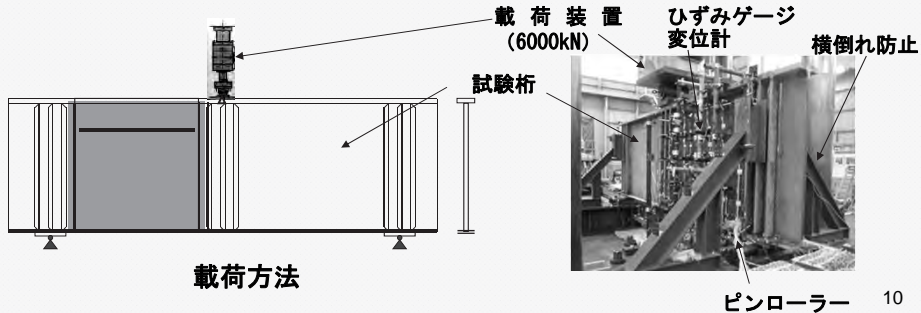
<超音波厚さ計による腐食腹板の板厚調査結果>

3.3 実験概要

(1) 試験桁の製作, 載荷方法

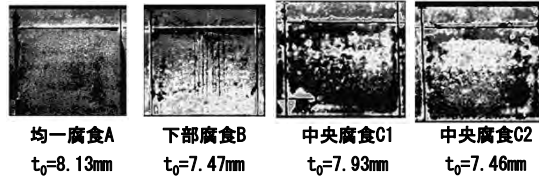


実大試験桁



載荷方法

(1) せん断強度特性 (V_{ult})

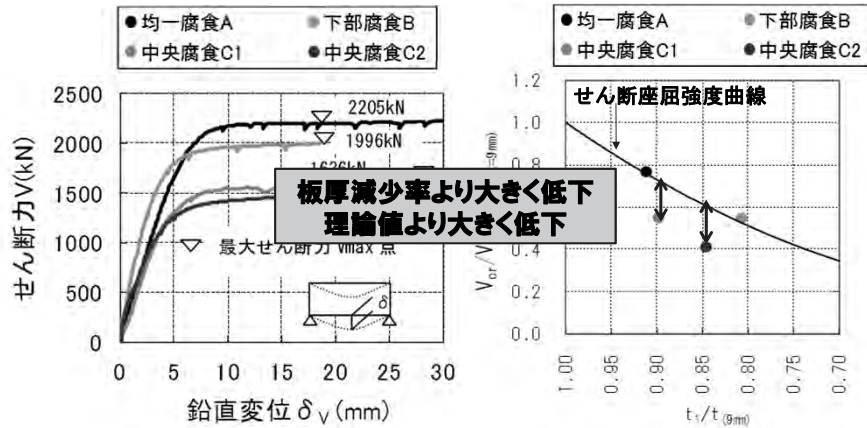


均一腐食A
 $t_0=8.13\text{mm}$

下部腐食B
 $t_0=7.47\text{mm}$

中央腐食C1
 $t_0=7.93\text{mm}$

中央腐食C2
 $t_0=7.46\text{mm}$



- 均一腐食Aと下部腐食Bの V_{ult} は、 $V_{ult, FEM}$ と同様に板厚減少に応じて低下
- 中央腐食C1, C2の V_{ult} は、 $V_{ult, FEM}$ よりも約2割低下した値

3.6 まとめ

○腐食減厚分布が鋼プレートガーダー腹板のせん断強度特性に与える影響の特定と要因の考察

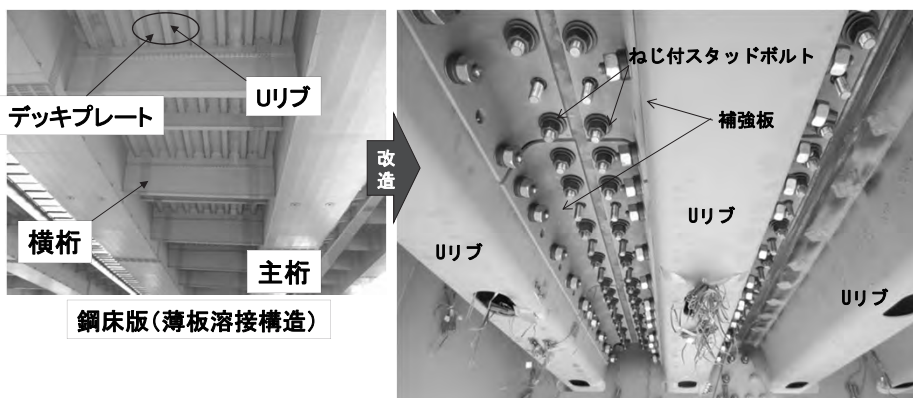
(1) 均一腐食腹板と下部腐食腹板のせん断耐荷力は、4辺単純支持で算出したせん断座屈強度理論値と同様の耐力低下特性を示した。

(2) 中央腐食腹板のせん断座屈強度は、4辺単純支持で算出したせん断座屈強度理論値よりも低くなる特性を示した。

(3) 中央腐食腹板の後座屈強度は、斜め張力場領域内の著しい腐食減厚部位の早期塑性化の影響を受けて、大きく低下する特性を示した。

○大型構造実験 事例2

既設鋼床版の構造改善による疲労耐久性向上効果検証試験



阪神高速道路株式会社、大阪市立大学との共同研究として実施

はじめに

- Uリブ鋼床版で疲労き裂が顕在化
 - ・デッキプレートとUリブ溶接ビードのき裂・・・補修溶接
 - ・デッキプレート貫通き裂・・・SFRC舗装
- 補修溶接：補修後の疲労耐久性は既存の溶接部相当
- SFRC舗装：長時間の交通規制、施工が天候に左右される
- 交通規制を最低限に抑えられる鋼床版下面から施工可能な対策工法が望まれる

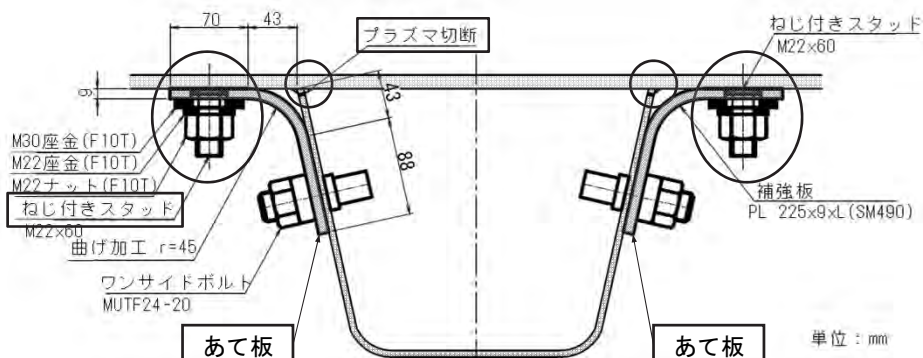
【報告】

- スタッドボルトを用いてあて板した鋼床版下面補強工法
- あて板による構造改造前後の応力性状の確認
- 輪荷重疲労試験による疲労耐久性の確認



鋼床版下面から施工可能な工法

き裂発生の原因となる溶接部を取り除く
→溶接接合をボルト接合へ構造改造



下面補強工法の検討概要

①要素実験

スタッドの引張強度及び軸力導入したスタッド溶接鋼板の疲労強度の確認

②鋼床版試験体の静的載荷試験

構造改造前後の応力性状の確認

③輪荷重疲労試験

疲労耐久性の確認

④施工性の検討

施工法、施工品質管理方法、施工効率化、品質向上の検討

【既報告】土木学会第69回年次学術講演会

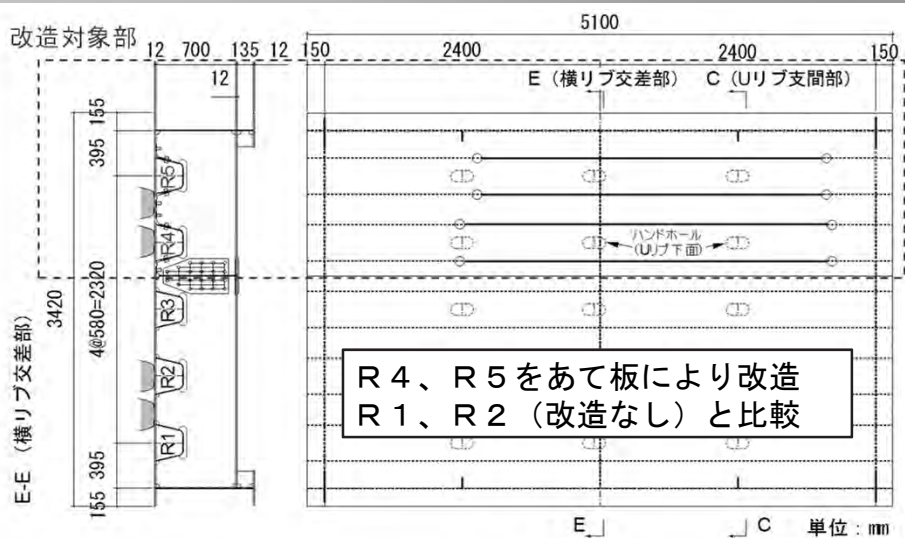
田畑他：Uリブ鋼床版のスタッドボルトを用いた補強方法の提案

馬場他：上向きに溶接した高強度スタッドボルトの開発と疲労強度

青木他：スタッドボルトを用いてあて板したUリブ鋼床版の載荷試験

16

試験体概要



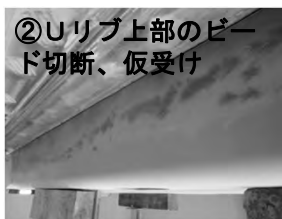
○板厚：デッキ12mm、Uリブ6mm、あて板9mm

○スタッドボルトの締付軸力：122kN、締付間隔200mm

17

試験体製作

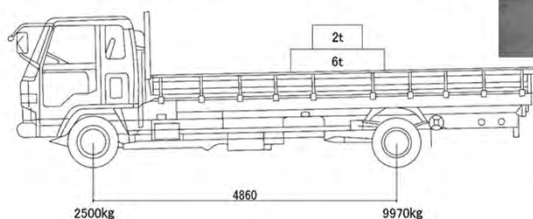
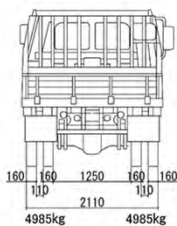
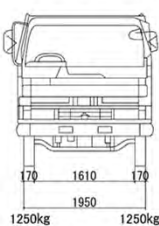
実際の施工を想定し製作



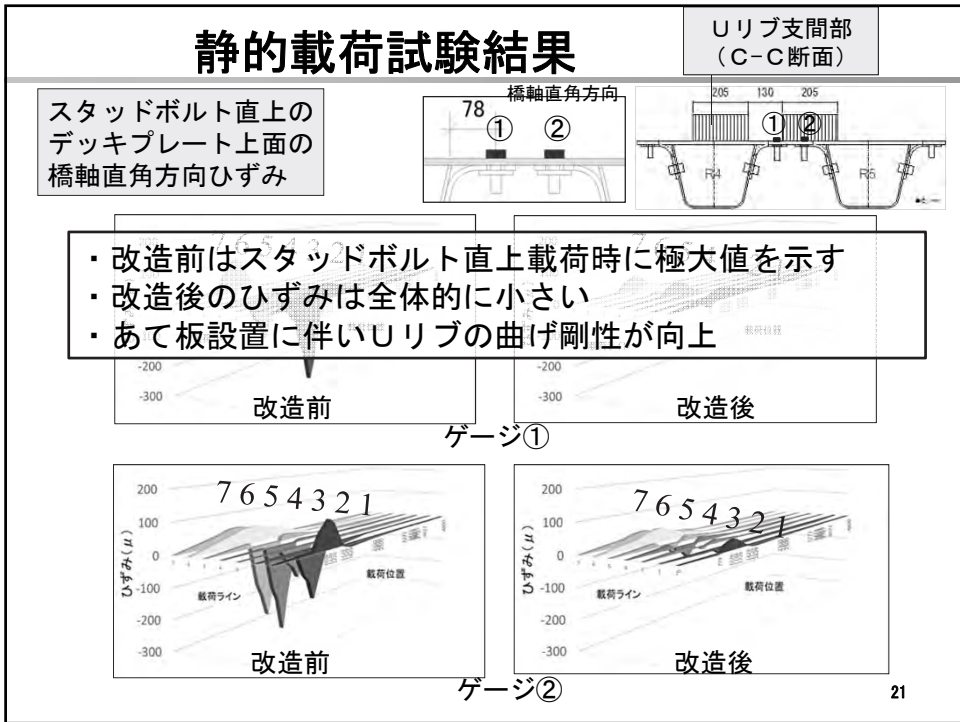
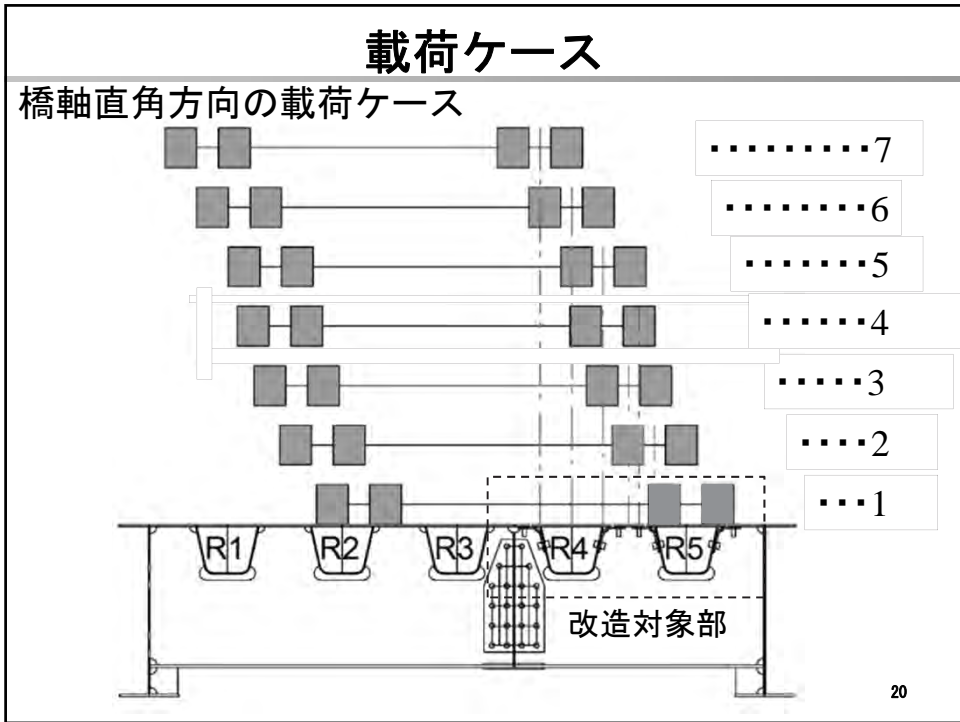
18

実トラック静的載荷試験

- トラックの後軸重を100kNに調整
- 改造前後の応力性状比較のため、改造側と無改造側について同位置相当に載荷



19



静的載荷試験結果

改造前後のUリブ及びデッキプレート下面のたわみ

種類	Uリブのたわみ (mm)	デッキのたわみ (mm)
改造前	1.44 ↓	2.12 ↓
改造後	0.91	2.95

構造改造により
剛性が向上

支点間距離の
拡大により増加

22

輪荷重疲労試験による耐久性の検討

【試験体及び疲労試験機】

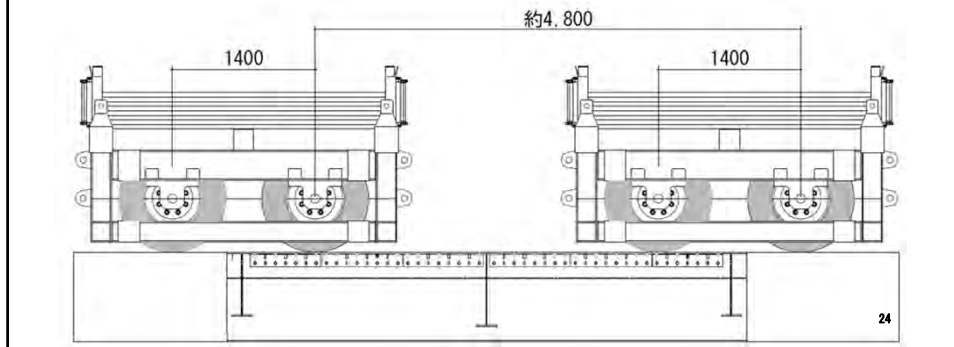


- ✓ 供試体: Uリブ4本で構成される実物大鋼床版(中央部には横リブを設置)
- ✓ 板厚: デッキ12mm, Uリブ6mm
- ✓ 溶け込み量: き裂発生橋梁と同等のUリブ板厚の30%程度
- ✓ 試験装置: 前後に2軸2輪のトラックタイヤ(ダブルタイヤ)を配置した走行台車を前後に移動載荷する輪荷重疲労試験機
- ✓ 輪荷重: 8t(78.5kN)

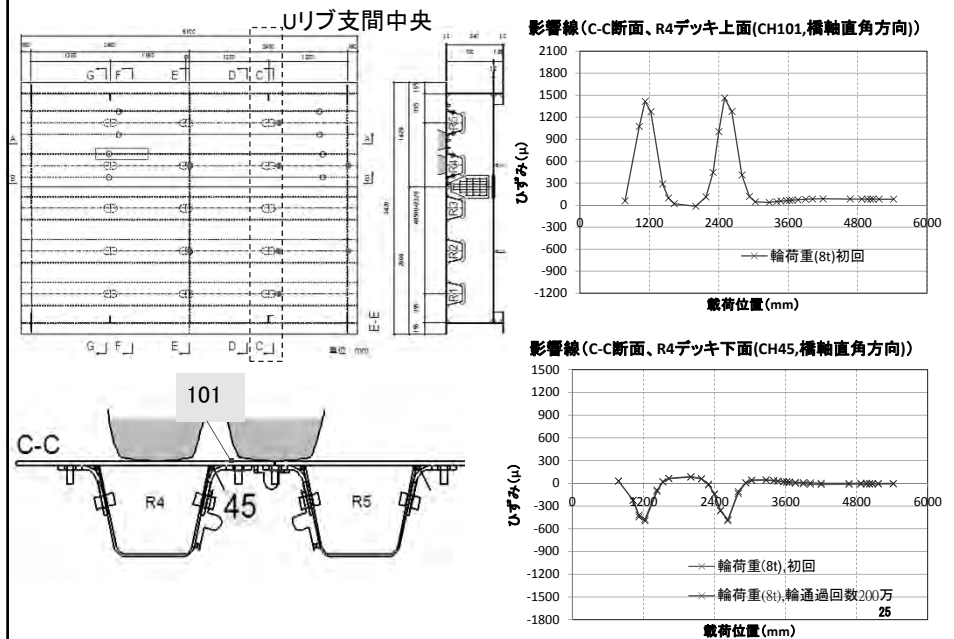
23

輪荷重疲労試験 概要

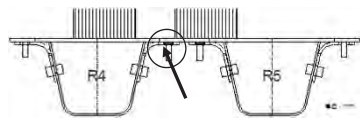
- 輪荷重疲労試験：計50万往復(2軸往復＝計200万回)
- (移動速度4rpm(約0.57万往復/日))
- 疲労試験中は約10万往復毎に、目視によるき裂調査を実施、必要に応じてき裂調査(MT、UT)を実施
- 調査対象は載荷輪直下の、デッキプレート-Uリブ溶接部およびデッキプレート上面、横リブ交差部
- 試験終了後は、補強板を取り外してき裂調査(MT、UT)を実施



輪荷重疲労試験結果(経時変化)

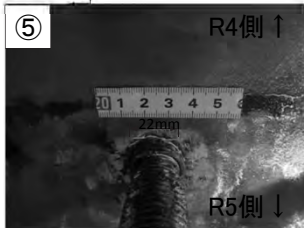
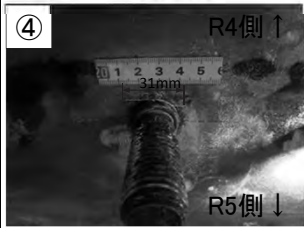
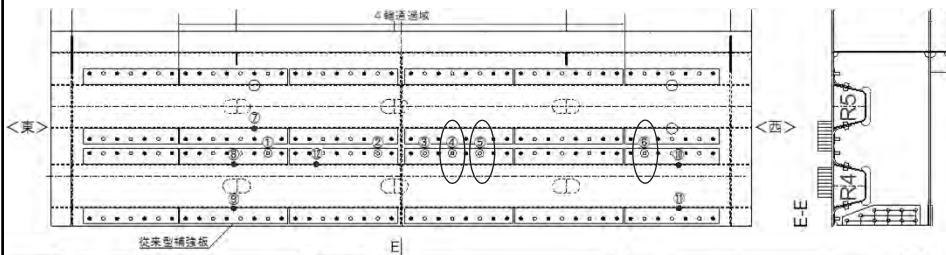


締め付けていないスタッドボルト溶接部のき裂

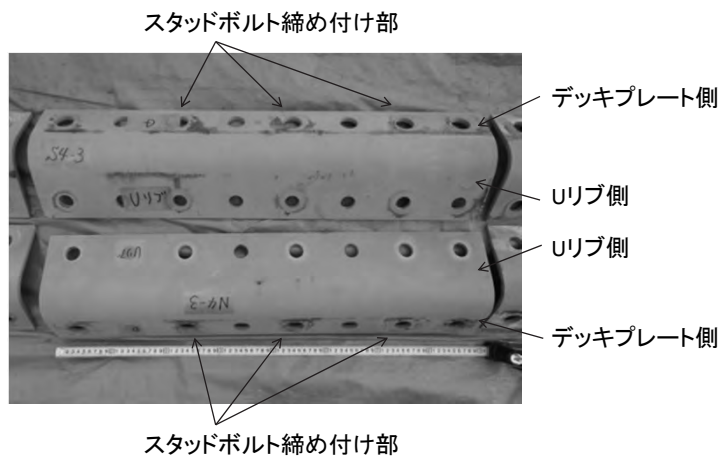


き裂は○部に発生

※締め付けたスタッドボルト部にき裂無し



補強板の状況



部分的な接触痕は見られるが、割れや変形、ズレ跡は無かった。

本研究のまとめ

1. 実物大鋼床版試験体による静的載荷試験
 - ・デッキとあて板の間にずれは発生せず、スタッドボルトの軸力変動も小さい。
→設計軸力、間隔に問題がないことを確認。
 - ・デッキプレートのたわみ、局部的にひずみが増加するケースがあることが分かった。
→抑制対策（今後の課題）
2. 同試験体による輪荷重疲労試験
 - ・締め付けスタッド溶接止端部、補強板、横リブ交差部、ボルト孔周辺に、き裂は発生しなかった。
 - ・締め付けスタッドの軸力変動は殆ど発生せず、試験終了時まで安定していた。
→疲労耐久性が確認された

28

まとめ(大型構造実験の効果)

小型試験体では再現できない要素がある

- 板厚(寸法)効果の影響(疲労)
- 実際と同じサイズ、同条件での施工の再現
 - 実際の施工条件の確認
 - 残留応力、溶接欠陥など
- 実際と同じ応力分布、応力・変形挙動の再現
 - 耐荷力や疲労上の弱点部の確認
 - 実際の変形や損傷を再現
 - 補修や補強技術の効果の検証

実物大相当の試験体を用いた実験が必要

29

研究所業務からみた情報化施工 の最新動向

—研究第三部 藤島 崇—

1

情報化施工(用語)の変遷

【用語の変遷】

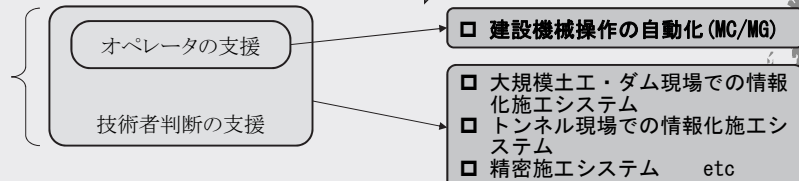
1970年代	現場での観測施工法を「情報化施工」と称する。
1990年代	センサや通信などのITを利用する技術を活用した事例も「情報化施工」と呼ばれる。
1990年代後半以降	建設機械の自動化や情報技術の統合利用（品質確保・技術者判断支援など）技術の総称として「情報化施工」が使われる。

【現状の解釈】

情報化施工とは、“ICT”の活用で得られる建設事業の各プロセスの電子情報を、「施工」に活用することで、高効率で高精度な施工を実現し、「施工」で得られた電子情報を他のプロセスに活用することによって、建設事業全体の生産性を向上し、品質の確保を図ることを目的としたシステムである。・・・情報化施工推進戦略より

利用者に応じて実現の姿が異なる

技術に応じて達成度も異なる



2

情報化施工に関する施策(その1)

I. 情報化施工のビジョン(2001.3)

「情報化施工委員会」委員長 大林成行

- 情報化施工に関する技術動向の整理
- 6工種(土工・舗装・ダム・トンネル・基礎・橋梁上部)別の将来像をビジョンとして作成
- 要素技術のリスト化

II. 情報化施工推進戦略(第I期 2008.7)

「情報化施工推進会議」委員長 建山和由

- 情報化施工の必要性・意義を確認
- 情報化施工の普及に向けた課題と対応方針
- 汎用化が期待できるMC/MGの普及促進に向けた3つの重点目標を設定

3

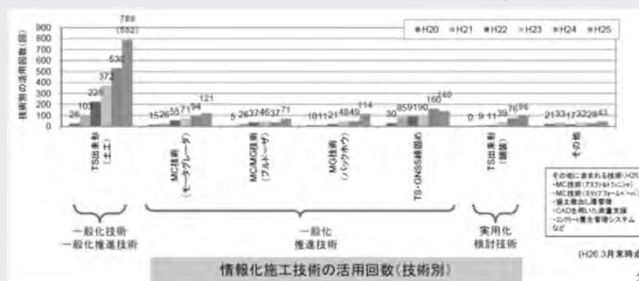
情報化施工に関する施策(その2)

III. 情報化施工推進戦略(第II期 2013.3)

「情報化施工推進会議」委員長 建山和由

～「使う」から「活かす」へ、新たな建設生産の段階へ挑む！！～

- 情報化施工の促進と生産性向上の関連を確認
- 情報化施工の活用促進体制の構築
- 技術の定着に向けた5つの重点目標を設定

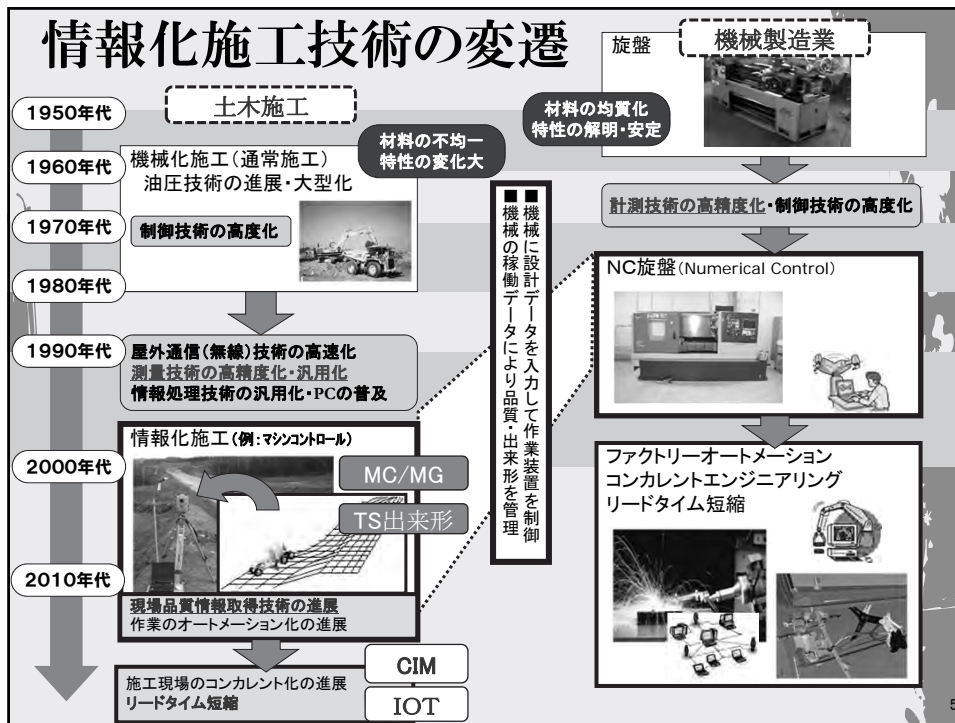


3

IV. CIMへの取り組みのはじまり(2013)

CIM制度検討会・技術検討会・CIM試行業務・試行工事の実施

4



実現場における情報化施工の効果事例

本報告はJCMA情報化施工委員会の復興支援WGが支援した“チャレンジ工事”（情報化施工技術の活用経験が無い施工者を対象に情報化施工技術の活用を支援する）において、その活用前後の比較を行った。

工種: 道路盛土工

検証技術: MCブルドーザ・MGバックホウ

検証内容:

- ①ポテンシャルの検証
作業経験と作業時間の違い
- ②現場の日あたり施工量の変化





JCMA 情報化施工委員会
復興支援ワーキンググループ

6

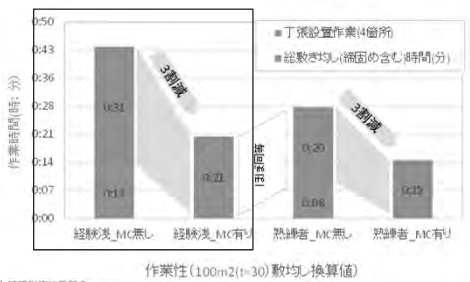
ポテンシャルの検証(作業経験の違いと作業時間)

検証条件

対象技術:MCブドーザ(21t級)
 検証対象者:
 ①熟練者(20年以上の実務経験)
 ②経験の浅い技能者
 (冬季の除雪作業で1ヶ月程度の実務経験)
 検証区間:
 約180m²(6m×30m)



作業時間の違い



施工精度の違い



※経験の浅い技能者の施工結果

JCMA 情報化施工委員会
 復旧支援ワーキンググループ

7

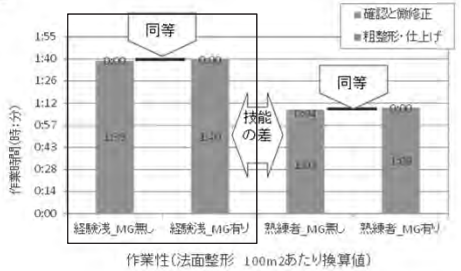
ポテンシャルの検証(作業経験の違いと作業時間)

検証条件

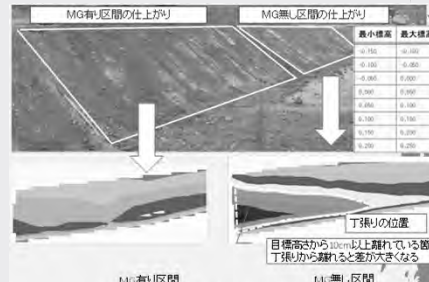
対象技術:MGバックホウ(0.8m³)
 検証対象者:
 ①熟練者(20年以上の実務経験)
 ②経験の浅い技能者
 (掘削・積込み程度の実務経験、法面整形は未経験)
 検証区間:
 約45m²(3m×15m)

検証区間

作業時間の違い



施工精度の違い



※経験の浅い技能者の施工結果

JCMA 情報化施工委員会
 復旧支援ワーキンググループ

8

ポテンシャルの検証結果

MCブルドーザ

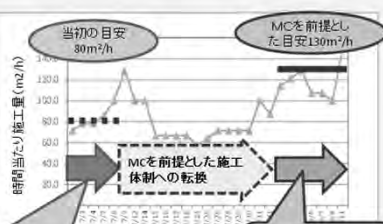
- 経験の浅い技能者がMCを利用することで、従来手法の熟練者相当の作業性を発揮できるポテンシャルを有している。
- 熟練者がMCを使った場合でも、更に作業性が向上することが期待できる。
- 作業性向上の要因は、丁張り設置作業の縮減の他、仕上げまでに要するパス回数の削減が主な要因である。
- 熟練技能者は各パスでブルドーザの履帯位置を変更しており、ブルドーザによる締固めが行われている。

MGバックホウ

- MGを利用することで、丁張り設置作業の効率化は期待できる。
- MGバックホウの場合、仕上げまでの作業時間は技能者の技能差の影響を大きく受ける。MGを利用しても操作技術は変化しない。
- 以上より、同一人物が実施した場合は、MGの有無に関係なく同等の作業時間であるが、仕上がりの精度はMGを利用した方がばらつきが少ない。
- オペレータが作業時に逐次設計との差を定量的に判断できるため、操作の良否が明確で早期の習熟に寄与する可能性がある。

実際の作業能力の変化(ポテンシャルを活かす)

盛土工の日あたり施工量



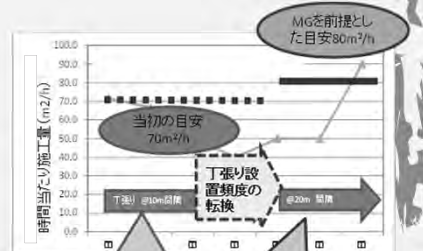
導入初期(見極め)

- MC無しを前提とした作業計画(※土質改良を行いつながらの運搬・敷均しとなるため敷均し作業も非連続であることを考慮した施工量を設定)
- MCの利用で想定以上の作業が実施可能ことが確認できた。

本格運用～現在

- 改良土の作成・運搬体制を強化

法面整形工の日あたり施工量



導入初期(見極め)

- 従来と同程度の作業計画からスタート(※丁張りを@10mで設置)
- MGがあれば、丁張りを削減できることを確認

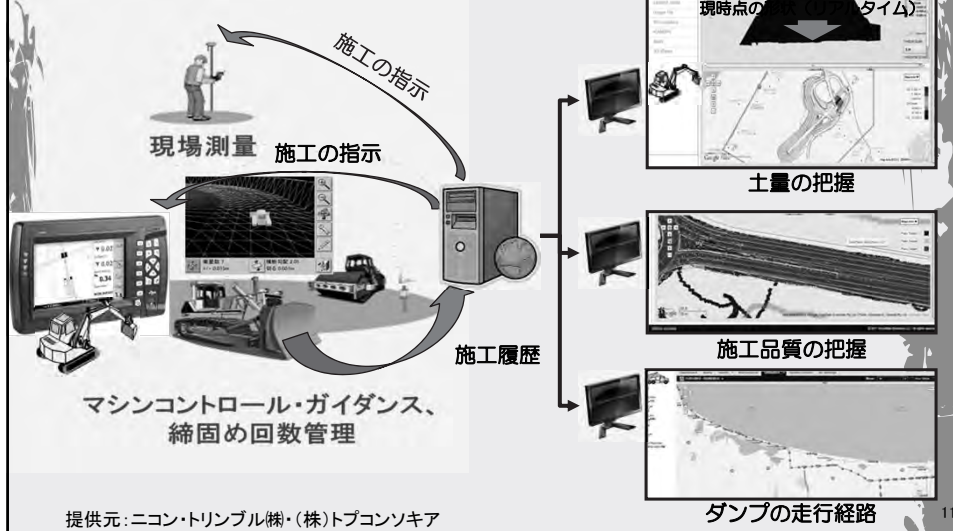
本格運用～現在

- 丁張りの本数を削減(※丁張りを@20mで設置)
- 操作に慣れてくると、作業速度の向上も期待できる

— 情報化施工技術のポテンシャルを発揮するためには—
現場条件や制約の範囲内で最大限の能力を発揮させるためのマネジメントが重要。
当初計画や情報化施工技術導入後の実績などを正確に把握して体制をマネジメント。

これからの情報化施工(MC/MGシステムの履歴活用)

施工CIMの成功のポイント:施工計画の信頼性向上。
不確定要素の多い施工現場では、実現場の進捗や
状況をフィードバックすることが重要。



11

— さいごに —

情報化施工の今後の方向性

◆ 個別技術による現場作業の改善と生産性向上

新技術の開発(特に品質や材質に関する情報取得技術の開発に期待)
技術の汎用化
技術を利用する技術者のスキルアップ(応用)

◆ 正確な現場情報を活用したマネジメントの実現

※無理・無駄・ロスの排除に向けて、現場進捗、機械稼働状況等を正確に把握する
必要がある。→情報化施工で取得

<施工CIM>
現場内のマネジメント
工区や事業全体のマネジメント

12

油圧ショベルの省エネ施工 － 省エネ効果の検証試験 －

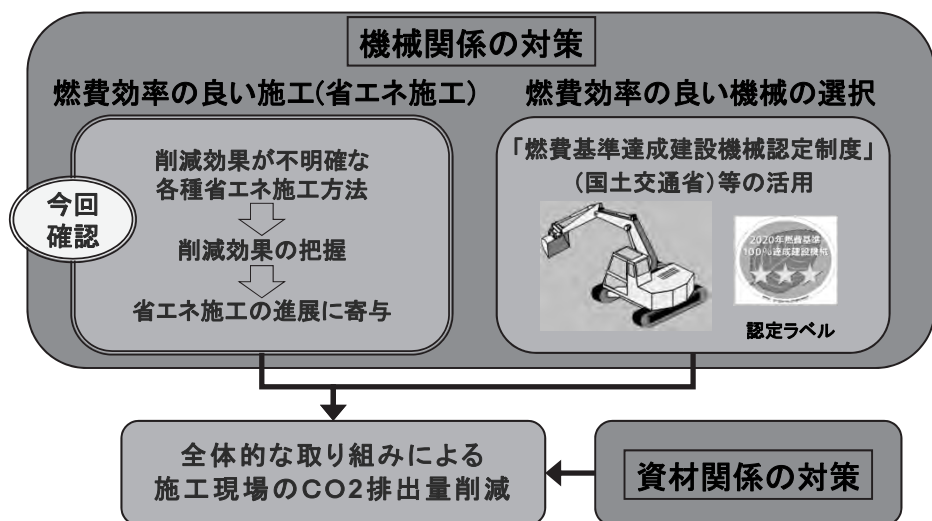
本稿の検証試験結果は、主に「平成26年度 建設機械施工における低炭素化・低燃費化技術に関する調査検討業務」(発注者:国土交通省 総合政策局)によるものである。

(一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 ○ 稲葉友喜人
(一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 佐藤充弘
国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課
環境・リサイクル企画室 坂本鋼三

2015年12月 2日

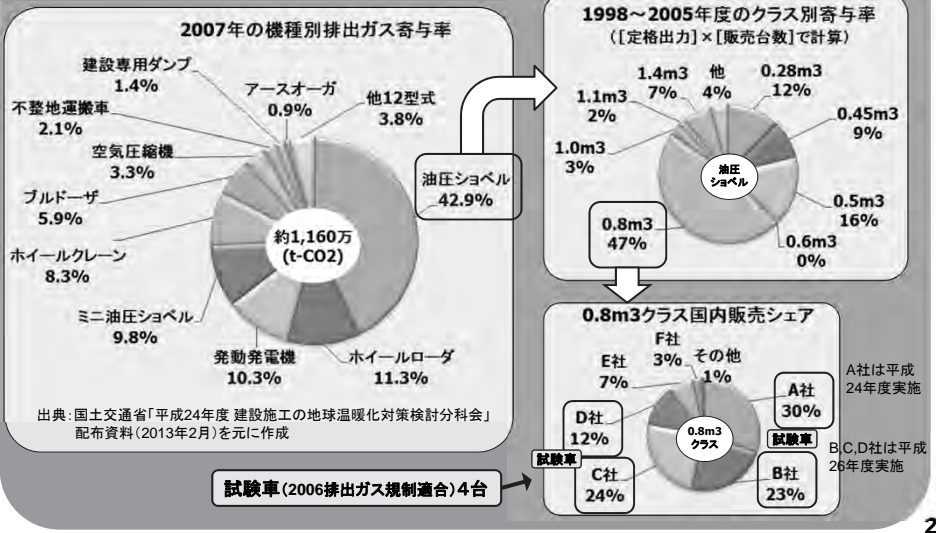
1. はじめに

① 建設施工におけるCO₂排出量の削減



2. 試験油圧ショベル

CO2排出量寄与率の高い油圧ショベル 4台で試験



2

3. 検証した省エネ施工方法

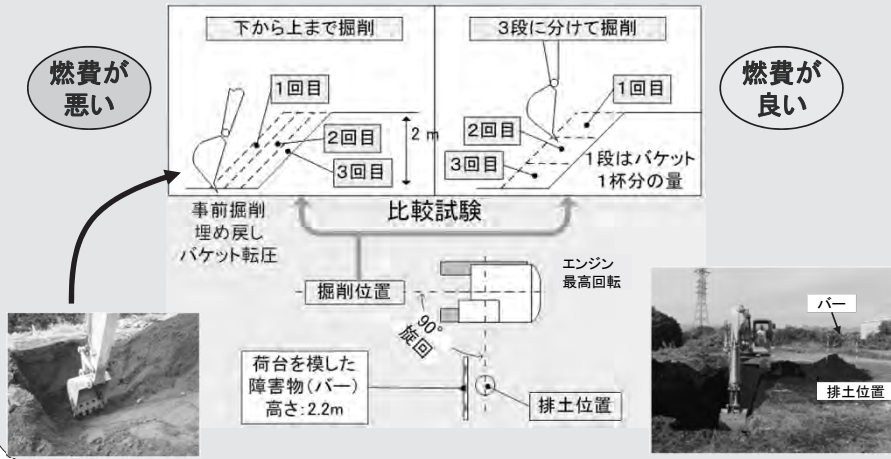
分類	試験方法	燃費の良い動作 ¹⁾
① 掘削方法	サイクル 掘削	深掘りするときは何段かに分けて掘削
② 旋回角度	旋回 排土	旋回角度は、できるだけ小さく
③ 積み高さ	旋回(戻り)	油圧ショベルをダンプトラックの荷台高さ程度に配置して積み
④ 走行方法	走行	高速度段にしてエンジン回転を抑える

出典1) : (社)日本建設機械化協会「地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル」(2003年6月)

3

① 掘削方法に関する省エネ施工の検証

“深掘りするときは、何段かに分けて掘削の方が効率的”とされている¹⁾。

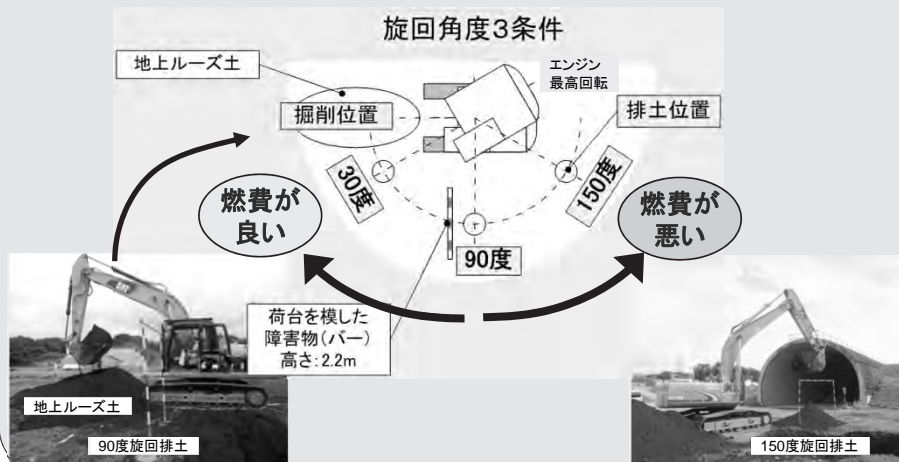


出典1) : (社)日本建設機械化協会「地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル」(2003年6月)

4

② 旋回角度に関する省エネ施工の検証

“ダンプトラックは、油圧ショベルの旋回角度ができるだけ小さくなるように配置する”とされている¹⁾。

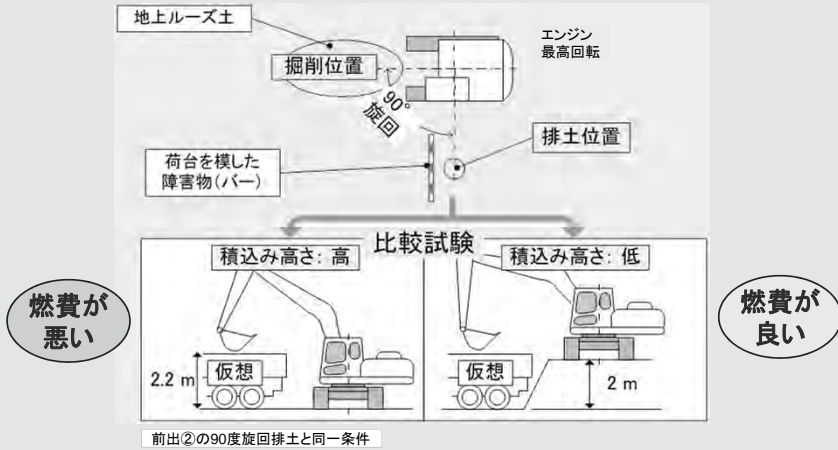


出典1) : (社)日本建設機械化協会「地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル」(2003年6月)

5

③ 積み高さに関する省エネ施工の検証

“ベンチカット工法等では、掘削切羽の高さをダンプトラックの荷台高さ程度に設定して上段から積み込む”とされている¹⁾。

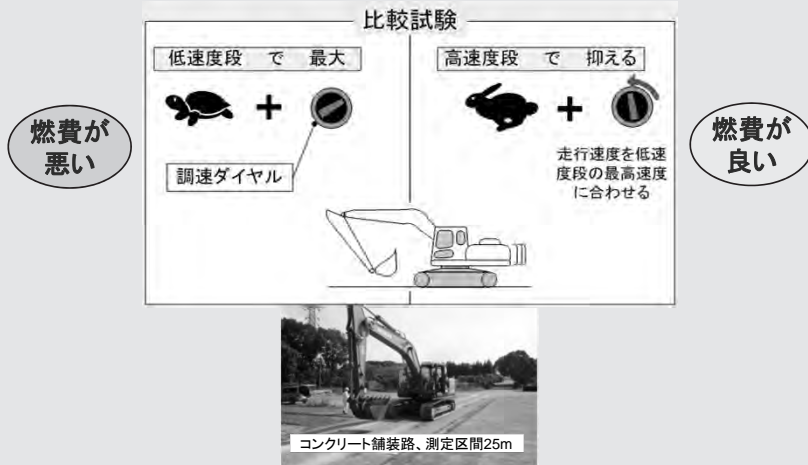


出典1) : (社)日本建設機械化協会「地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル」(2003年6月)

6

④ 走行に関する省エネ施工の検証

“待機場から作業場所への移動など、長距離走行を行う場合は、走行変速段を高速段にして、エンジン回転を抑える”とされている¹⁾。



出典1) : (社)日本建設機械化協会「地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル」(2003年6月)

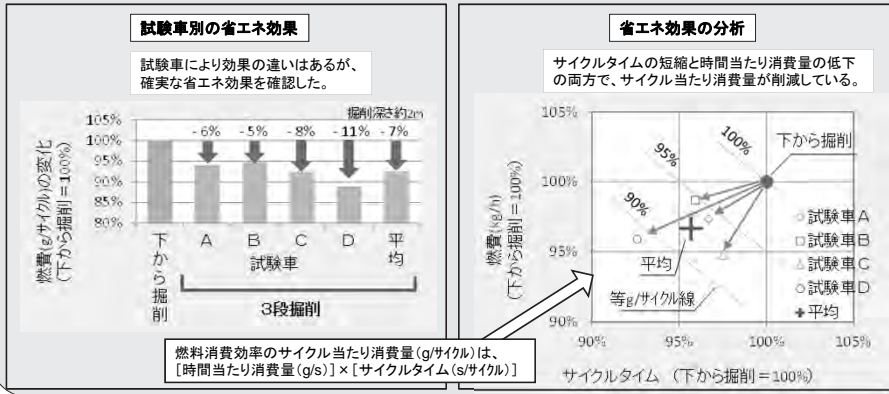
7

4. 検証結果

<評価燃費単位>
同じ仕事を行ったときの燃料消費効率として、作業はサイクル当たり消費量(g/サイクル)で評価。走行は走行距離当たり消費量(g/m)で評価。

① 掘削手順の改善による省エネ効果

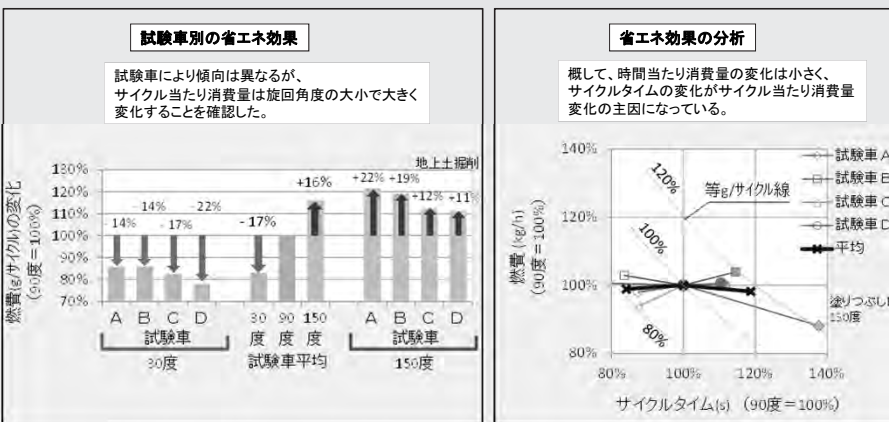
深さ2mを掘削した事例として、3段に分けて掘削した場合、下から上まで掘削した場合と比較して平均 7% 燃費(g/サイクル)が削減した。



8

② 旋回角度を小さくしたときの省エネ効果

30度旋回の場合、90度旋回と比較して平均 17% 燃費(g/サイクル)が削減し、150度旋回の場合、90度旋回と比較して平均 16% 燃費(g/サイクル)が増加した。



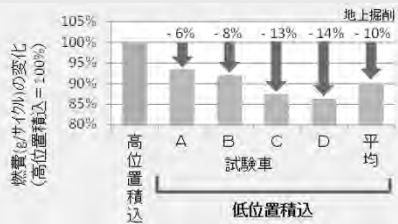
9

③ 積み高さを低くしたときの省エネ効果

油圧ショベルをダンプトラックの荷台高さ程度に配置して積み高さを低くした場合、ダンプトラックを油圧ショベルと同一面に配置したときと比較して平均 10% 燃費(g/サイクル)が削減した。

試験車別の省エネ効果

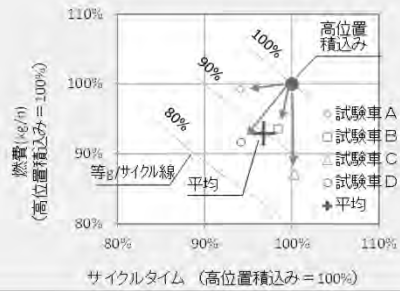
試験車により効果の違いはあるが、確実な省エネ効果を確認した。



省エネ効果の分析

サイクル当たり消費量の削減には3パターンがある。

- ① サイクルタイム短縮の効果により削減する機械
- ② 時間当たり消費量の低下により削減する機械
- ③ 上記①②の両方により削減する機械



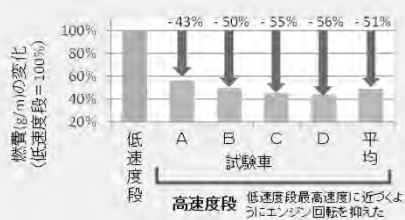
10

④ 高速度段にしてエンジン回転を抑えたときの省エネ効果

高速度段にして低速度段の最高速度までエンジン回転を抑えた場合、低速度段最高速度で走行したときと比較して平均 51% 燃費(g/m)が削減した。

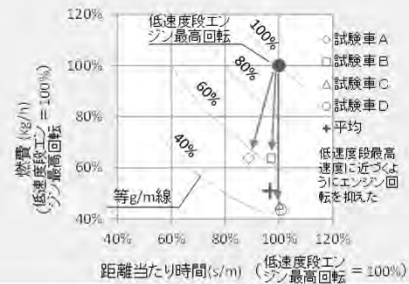
試験車別の省エネ効果

試験車により効果の違いはあるが、極めて大きな省エネ効果を確認した。



省エネ効果の分析

走行距離当たり消費量の削減効果は、走行速度を合わせるように比較しているので時間当たり消費量の低下による効果となる。



11

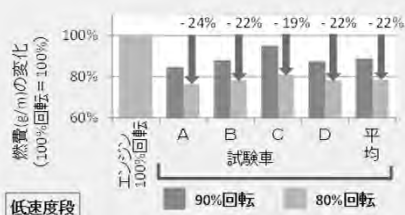
④-2 低速度段のままでエンジン回転を下げたときの省エネ効果（追加試験）

作業中は低速度段の使用が多いことから、低速度段でエンジン回転を抑えた場合の省エネ効果を調べた。

低速度段でエンジン回転を80%に抑えた場合、エンジン回転100%で走行したときと比較して平均 22% 燃費(g/m)が削減した。

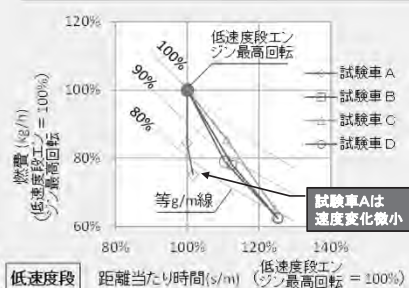
試験車別の省エネ効果

90%回転では試験車で効果に違いが見られるが、80%回転では全ての試験車が20%程度の省エネ効果を示した。



省エネ効果の分析

走行距離当たり消費量の削減効果は、走行速度の低下(燃費効率低下方向)を打ち消す大幅な時間当たり消費量の低下による。



12

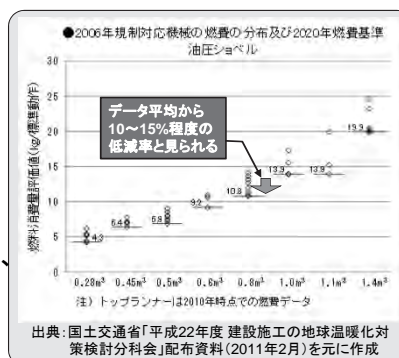
5. おわりに

今回の検証試験は2006年排出ガス規制車で実施したものであるが、これまでの各種燃費調査結果から、2次基準車に適用しても大きな違いは生じないと推察される。

今後、“燃費基準達成建設機械”認定車の使用により0.8m³クラスで10～15%程度の燃費低減が見込めるが、認定車の使用に止まらず、更なるCO₂排出量の削減を図るため、積極的な省エネ施工の取り組みに期待する。

今後は、“燃費基準達成建設機械”認定車の普及が進むと予想される。

認定車は燃費基準値を達成するため、従来とは異なる技術や制御方法等を採用することも考えられる。その場合には、今回確認した削減効果が適用できない可能性もあることを付記する。



13

ご静聴ありがとうございました

施工技術総合研究所

災害発生時に貢献可能な無人化施工技術

無人化施工技術の発展に向けて

(一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 ○篠原 雅人

1. はじめに

昨今、集中豪雨、巨大地震、火山噴火といった災害発生時の危険性は高まっており、これら災害発生時の応急復旧工事等で活躍する無人化施工技術の適用範囲・場面の拡大が社会的に求められると考える。

無人化施工では、人間の判断支援に必要な映像やセンサ情報、遠隔操作技術、通信設備等が組合せられ、適用範囲の拡大に向けては、さらに核技術の組合せ・融合が必要と考える。

2. 目的

本稿の目的は、無人化施工技術の技術革新に向け、災害発生時の問題点・課題をまとめるとともに、現時点でこれら問題点・課題の解決に貢献出来ると想定される具体的な既存技術の組合せについて提案を行ったものである。

3. 方法

3.1 現状の災害発生時における問題点・課題

まず、現状での災害発生時の問題点・課題は、

次に示す文献・雑誌等（平成 22 年度～平成 26 年度）から収集した内容に、過去の無人化施工関連の業務経験を加えた。

- ・ 建設施工と建設機械シホジウム
- ・ 建設機械
- ・ 建設の施工企画

3.2 問題点・課題解決に貢献する技術の提案

想定した問題点・課題の解決に貢献可能な具体的な既存技術の組合せ等を提案する。

3.3 提案技術の実用化に向けた問題点

提案した既存技術の組合せ等を災害発生時に利用するため、実用化上で生じる問題点を想定する。

4. 結果

4.1 現状の災害発生時における問題点・課題

文献・雑誌等及び過去の業務経験を加え災害発生時に無人化施工を使用する場合に想定される現状の問題点・課題（11 件）を表一 1 にまとめた。

表一 1 想定した問題点・課題想定一覧

利用場面の分類	問題点・課題番号	対象作業項目	無人化施工導入時の技術的課題
設計・積算	事前調査	1 被災後における地形形状の把握 ^{*1}	災害箇所近郊に基準・水準杭が存在するとは限らないため、普段使用する測量技術が利用出来ず、被災後の地形形状を安全かつ早期に実施困難である。
		2 要救護者の探索 ^{*1}	災害復旧箇所において、広い範囲の生体反応(要救護者)を効率的に調査可能な技術がなく、要救護者の有無判断に時間を要する。(中・小規模災害を除く)
	無人化施工の適用性検討	3 応急復旧時における現場形状の把握 ^{*2} (被災後における地形形状の把握)	応急復旧箇所近郊に基準・水準杭が存在するとは限らないため、普段使用する測量技術が利用出来ず、被災後の地形形状を安全かつ早期に実施困難である。
		4 災害現場の地盤強度取得 ^{*2}	計画搬入出路・応急復旧工事箇所におけるトラフィカビリティの判定値を効率的に調査・収集可能な技術がなく、この調査に時間を要する。
		5 無人化適用工事・工種の選定 ^{*2}	地元請負業者が、無人化建機・設備を扱った経験が少なく、無人化建機・設備に適用可能な工事・工種に制限があることを知らず、選定に時間を要する。
		6 計画工程の立案 ^{*2}	地元請負業者が、その経験不足から無人化施工の作業効率が操作者個人の空間認知能力に依存することを知らず、計画工程立案に時間を要する。
	概略検討	7 無人化建機・設備の選定 ^{*2}	応急復旧工事周辺が狭隘・狭小の場合があるため、既存無人化建機・設備等の機材搬入が困難である。
施工	8 道路啓開	道路啓開用建機・設備の選定 ^{*2} (無人化建機・設備の選定)	道路啓開箇所周辺が狭隘・狭小の場合があるため、既存無人化建機・設備等の機材搬入が困難である。
	応急復旧工事復興工事	9 無人化建機の遠隔操作 ^{*2} (無人化シミュレータによる訓練)	操作者が、普段の工事において無人化建機を遠隔操作しておらず操作に不慣れなため、遠隔操作が必要な時に対応困難である。
		10 無人化付属設備・関連設備の操作訓練 ^{*2} (無人化シミュレータによる訓練)	施工者が、普段の工事で無人化付属設備・関連設備(照明車、カメラ車等)を扱っておらず、これらの操作に不慣れなため、操作が必要な時に対応困難である。
平時	11 無人化施工の日常教育	無人化シミュレータによる訓練 ^{*2}	施工者・操作者が、普段の工事で無人化建機・付属/関連設備を扱っておらず、これらの操作に不慣れで、これら操作方法を日常的に訓練出来ない。
適用		^{*1} 主に発注者が行う作業 ^{*2} 主に施工者が行う作業	

4.2 問題点・課題を解決可能な技術の提案

前述した問題点・課題（11件）の解決に貢献出来ると期待する既存技術の組合せ等を表一2に提案する。また、これら提案技術の検討に際し、想定した理想像と提案技術を以下に示す。

(1) 被災後における現場形状の把握

基準・水準杭がない被災地において地形測量を行うためには、電子基準点を利用し空中から地形測量を行うことが理想的と想定した。この対応には、ネットワーク型 RTK-GPS を用いた UAV (Unmanned Aerial Vehicle; 無人航空機) 測量を提案する。

(2) 要救護者の探索

短時間で広範囲の要救護者を発見するためには、短時間で広範囲に渡って調査可能な生体反応センサと、収集したデータで要救護者の分析・判断を防災拠点等で一括して行えるシステムの適用が理想的と想定した。この対応には、災害地での人命救助で利用可能なセンサには、電磁波探査装置や二酸化炭素探査装置、バイタルセンサ等があるが、比較的広範囲の空間検索が可能で、災害地における適用実績がある電磁波探査装置¹⁾を提案すると共に、収集したデータから要救護者の位置・人材等の投入判断を行うために必要な情報を防災拠点へ一括提供可能な PDA と携帯電話の組合せを提案する。

(3) 応急復旧時における現場形状の把握

基準・水準杭がない応急復旧工事や復興工事において地形測量を行うためには、電子基準点を利用し空中から地形測量を行うことが理想的と想定した。この対応には、上記(1)と同じ技術を提案する。

(4) 災害現場の地盤強度取得

短時間で必要範囲のトリアクビリティ判定値を判断するためには、計測環境に制限の少なく連続的にトリアクビリティ判定値を収集可能なセンサと、トリアクビリティを一括判断する防災拠点等に収集データを集積するシステム適用が理想的と想定した。

この対応には、道路啓開箇所や応急復旧箇所のトリアクビリティを判定可能なセンサには電気探査装置²⁾を提案すると共に、収集データからトリアクビリティの判断や必要な対策検討を行うために必要な情報を防災拠点等へ一括提供可能な技術は上記(2)と同じである。

(5) 無人化適用工事・工種の選定

施工者が無人化施工の対応工事・工種を理解するためには、現状の応急復旧・復興工事において不足する工事・工種の新たな無人化施工建機等の技術開発が必要と想定した。本稿では開発例として土砂崩れ時等で設置する大型土のうの遠隔操縦式設置装置³⁾を紹介する。

(6) 計画工程の設定

操作者個人の空間認知能力に依存せず安定した作業効率を得るためには、遠隔操縦であっても建機搭乗した感覚で操作が行える新たな技術の適用が理想的と想定した。この対応には、空間認知能力に依存せず、遠隔操縦が可能となるよう3次元映像と体感型操作環境を活用した遠隔操作支援システムを提案する。

(7) 無人化建機・設備の選定

狭隘・狭小箇所の応急復旧工事に小型無人化施工建機・設備の適用を想定した。この対応には、無人化施工と情報化施工に対応可能な小型ブルドーザ(0.008t, 0.01t級)を提案する。

(8) 道路啓開用建機・設備の選定

狭隘・狭小箇所の道路啓開用に、小型無人化施工建機・設備の適用が理想的と想定した。この対応には上記(7)と同じ技術を提案する。

(9) 無人化建機の遠隔操作

無人化建機の遠隔操作支援として無人化施工建機(車載カメラ映像、俯瞰カメラ映像等含む)の操作シミュレータの適用が理想的と想定した。この対応には、カメラ映像と組み合わせ可能な VR(Virtual Reality; 仮想現実)を提案する。

(10) 無人化付属設備・関連設備の操作

無人化施工建機設備操作支援として操作シミュレータの適用が理想的と想定した。この対応には実空間と組み合わせ可能な AR(Augmented Reality; 拡張現実)を提案する。

(11) 無人化施工の日常教育

日常教育支援技術として無人化施工設備等の操作シミュレータ適用が必要と想定した。この対応には上記(10)と同じ技術を提案する。

4.3 提案技術における実用化上の課題

提案技術における実用化に向けた課題を表一3にまとめる。この詳細を以下に示す。

(1) ネットワーク型 RTK-GPS を用いた UAV 測量

災害復旧・復興工事におけるネットワーク型 RTK-GPS 測量を用いた UAV 測量の実績は現時点では少ない。⁴⁾

(2) 生体反応センサ+データ集約・提供装置

防災拠点等へ一括提供可能な技術やセンサとしての実績や装置の配備計画、運用体制等の整備が課題である。²⁾

(3) トリアクビリティ判定センサ+データ集約・提供装置

上記(3)と同様な課題がある。

(4) 無人化建機・設備の対応工事・工種拡大

紹介した大型土のう設置装置は、現時点で様々な適用性検証が課題である。

(5) 空間認知能力に依存しない遠隔操作支援

既に開発された「次世代無人化施工システム」⁵⁾では、構成機器が誰もが利用可能、個人差のないような運用面での支援が課題である。

表 2 問題点・課題解決に貢献する技術（提案）の一覧

問題点・課題 番号	問題点・課題の解決に貢献できる技術（提案）			解決貢献技術 番号
	(仮)システム名	概要	提案技術イメージ	
1 3	ネットワーク型 RTK-GNSS を用いた UAV 測量システム	<ol style="list-style-type: none"> ネットワーク型 RTK-GNSS を 3 次元基準点とする UAV UAV に搭載した 3 次元測量装置 	<p>GNSS 衛星 (GPS, GLONASS)</p> <p>既知点の GNSS 観測データ</p> <p>レーザスキャナ、デジタルカメラ、通信端末</p> <p>ネットワーク型 RTK-GNSS 受信機</p> <p>ネットワーク型 RTK-GNSS 新点の GNSS 観測データ</p> <p>情報配信サービス会社</p> <p>電子基準点 (既知点)</p> <p>被災地</p> <p>UAV (無人飛行体)</p> <p>3 次元測量装置 (ネットワーク型 RTK-GNSS 対応) を搭載した UAV 測量 (案)</p>	No.1
2	防災拠点一括管理・提供型人命救助支援システム	<ol style="list-style-type: none"> 短時間で広範囲の生体反応を調査可能な電磁探査装置 個別に収集したデータを集約し、防災拠点に一括提供可能な装置 	<p>被災地</p> <p>被災地</p> <p>被災地</p> <p>電磁探査装置</p> <p>データ集約管理装置</p> <p>防災拠点</p> <p>防災拠点一括管理・提供型人命救助支援システム (案)</p>	No.2
4	防災拠点一括管理・提供型トリアクビリティ判断支援システム	<ol style="list-style-type: none"> 連続的にトリアクビリティ判定値を収集する電気探査装置 個別に収集したデータを集約し、防災拠点に一括提供可能な装置 	<p>被災地</p> <p>被災地</p> <p>被災地</p> <p>電気探査装置</p> <p>データ集約管理装置</p> <p>防災拠点</p> <p>防災拠点一括管理・提供型トリアクビリティ判断支援システム (案)</p>	No.3
5	(例) 無人化施工対応式大型土のう設置装置 土のう設置装置 玉掛け・玉外し支援装置	<ol style="list-style-type: none"> 土のう設置装置 先端カメラ (遠隔操作支援) 磁気吸着装置・土のう袋体用磁石 (玉掛け支援) 傾斜センサ (作業上の安全対策) 3次元マシンガイダンス 	<p>設置装置傾斜センサ</p> <p>先端カメラ</p> <p>土のう設置装置</p> <p>3次元マシンガイダンス</p> <p>磁気吸着装置</p> <p>土のう袋体用磁石</p> <p>(例) 大型土のう設置装置</p>	No.4
6	建機搭乗環境感型遠隔操作支援システム	<ol style="list-style-type: none"> 3次元カメラ (運転室視認再現用) 先端カメラ (運転室視認再現用) 振動計 (運転席振動再現用) 全方位カメラ (建機周辺安全対策用) 3次元マシンガイダンス 	<p>3次元カメラ</p> <p>先端カメラ</p> <p>ワイヤレスマイク</p> <p>振動計 (運転席)</p> <p>通信機器 (遠隔操縦室へ)</p> <p>3次元マシンガイダンス</p> <p>遠隔操縦室</p> <p>全方位映像</p> <p>3次元映像</p> <p>先端映像</p> <p>運転席音</p> <p>運転席振動</p> <p>3D映像と体感型操作環境を活用した無人化施工システム (案)</p>	No.5
7 8	小型無人化建機 (仮設道路整備用・応急復旧工事用) / 小型無人化設備	<ol style="list-style-type: none"> ミニ油圧ショベル (狭隘・狭所箇所での道路啓開等作業支援 / 人手による作業軽減) 3次元マシンコントロール 	<p>0.01t 級ブルドーザ</p> <p>3次元マシンコントロール</p> <p>仮設道路整備用・応急復旧工事用ブルドーザ (案)</p>	No.6
9 10 11	遠隔操作支援システム / 遠隔操作シミュレータシステム 複数俯瞰カメラ操作支援システム / 複数俯瞰カメラシミュレータシステム 照明装置等操作支援システム / 照明装置等シミュレータシステム	<ol style="list-style-type: none"> 車載カメラ/俯瞰カメラ等を用いた遠隔操作支援システム 無人化設備のシミュレータ技術 	<p>災害復旧現場</p> <p>マーカ (既知点)</p> <p>ウェアラブル端末を介した操縦者の目視映像</p> <p>位置・向き特定装置</p> <p>映像記録装置</p> <p>音声記録装置</p> <p>ウェアラブルカメラ</p> <p>ウェアラブル装置</p> <p>情報記録端末に接続</p> <p>ウェアラブル端末に接続</p> <p>情報記録装置</p> <p>VR 技術</p> <p>カメラ映像</p> <p>操縦者が見るカメラ映像</p> <p>1cm 不足</p> <p>最初の操作</p> <p>30cm 不足</p> <p>遠隔操作室</p> <p>実空間</p> <p>車載カメラ/俯瞰カメラ等を用いた遠隔操作支援システム (案)</p> <p>無人化設備のシミュレータ技術 (案)</p> <p>ノートパソコン (情報記録用)</p> <p>情報記録端末</p>	No.7

(6) 小型建機

提案した小型油圧ショベルは、現時点では災害現場への適用実績が乏しく、この導入に要する費用負担に問題がある。

(7) 無人化シミュレータ技術の開発

VRとカメラ映像の組合せ⁶⁾は実装可能と考えるが、遠隔操作支援システムとして技術開発は進んでおらず、同様にARと実空間と組合せは実装可能^{7),8)}と考えるが、無人化設備用シミュレータとして技術開発は進んでない。

表一 3 問題点・課題の解決に貢献可能な無人化施工技術の実用化に向けた課題

解決貢献技術番号	提案技術を実用化する上で想定される課題
No.1	・現時点で提案される UAV+ネットワーク型 RTK-GNSS は後処理方式 ⁴⁾ であり、測量結果入手までにタイムラグ(1 日程度)がある上、実験段階である。 ・ UAV 飛行に関する免許制度等の安全対策は、現時点まで開発メーカー等の各社に委ねられている。
No.2	・探索範囲の土中水分が高いと適用出来ない場合があり、適用範囲の検討や適用範囲拡大に向けた開発が必要である。 ・複数の場所で収集されたデータを集約・提供する方法について詳細な検討が必要である。
No.3	・電気探査装置利用に要する人手を軽減・削減できるよう、車載式とするといった研究・開発が必要である。 ・複数の装置で収集されたデータを集約・提供する方法について詳細な検討が必要である。
No.4	・大型土のう設置装置は、実工事での実績、操作者の育成が必要である。 ・大型土のう設置工以外で、早急に対応すべき無人化施工技術が不足する工事・工種を明確にする必要がある。
No.5	・本技術及び構成機器類が日常的に使えるよう、汎用性を高めるための利用場面拡大が必要である。
No.6	・現時点では、提案したブルドーザが応急復旧・災害復興工事への適用実績が少ない段階である。 ・提案したブルドーザを無人化施工専用にするには、その経済負担を考慮する必要がある。
No.7	・現時点では、無人化施工建機に関するモニタ映像と VR を組合せた技術開発が進んでいない。 ・現時点では、実空間と AR を組合せたシミュレータの開発が進んでいない。 ・利用場面ごと、実空間と AR を組合せ時に必要となるウェアラブル技術の検討・選定を行う必要がある。

5. おわりに

本稿では、これまでの知見等を踏まえ、現状での無人化施工活用時の課題と対応策の提案をまとめた。しかし、提案の実用化にあたっては、前掲表一 3 に示すように課題も多い。

このため、今後発生が懸念される大規模災害への対応を考えると、早期に対応策の検討を行い、技術を確認することが望まれる。

最後に、無人化施工では必要とされる情報が多数に渡り、多分野の技術融合が必要であり、現場条件も多様である。さらに、技術革新も著しいことから、本稿提案以外の解決策等も検討する必要があると考える。

このため、今後も無人化施工の知見を整理するとともに、災害現場の課題や技術発展への期待を取りまとめ、情報発信を行っていきたい。

参考文献

- 1) 消防庁国民保護・防災部：土砂災害時の救助活動のあり方について、平成26年度 救助技術の高度化等検討会報告書、pp.2～33、平成27年3月
- 2) 松野 浩嗣：災害情報と被災情報を共有する自律的な無線ネットワークシステム、信学技報、SIS2011-43・2011-12、pp19～24、平成23年
- 3) 布宮 明道・伊藤 秀樹：遠隔操縦式バックホウ用大型土のう設置装置の開発、建設マネジメント技術、2015年6月号、pp.55～60、平成27年6月
- 4) 名草 一成・島田 徹・桜井 亘・酒井 良・奥山 悠木・富井 隆治：2周波GPSシフト撮影システムを搭載したUAV撮影の精度検証、日本写真測量学会年次講演会東京

- 大学生産技術研究所、A-4、pp11～14、平成27年5月
- 5) 上條 宏明・古屋 弘・清水 千春：三次元映像技術等を活用した「次世代無人化施工システム」の開発、建設機械、2013.5.9号、pp.8～13、平成25年
- 6) 栃尾 篤志・山下 竜太・吉村 宏紀・松村 寿枝・清水 忠昭：Kinect とHMD によるVR ユーザ・インタフェースの試み、第12回情報科学技術フォーラム、FIT2013・K-002、pp. 523～526、平成26年
- 7) 和田 和美：360 度全方位動画コンテンツ作成と再生配信及びアプリケーションの模索、静岡文化芸術大学研究紀要、VOL.14・2013、pp. 151～157、平成26年
- 8) 望月宏史・岩田満・三木健司：協調的3D 位置検出アーキテクチャUbic3D の基本アルゴリズムの実現と適用、映像情報メディア学会技術報告、3DIT2014-28・HI2014-55、pp41～44、平成24年

平成27年度 シンポジウム実行委員会 名簿

(委員五十音順・敬称略)

委員名	機関名	所属・役職
委員長	建山 和由	立命館大学 理工学部 教授
副委員長	高橋 弘	東北大学 大学院環境科学科 教授
委員	阿部 里視	コマツ 開発本部商品企画室 機種グループ 主幹技師
委員	小澤 学	日立建機(株) 戦略企画本部戦略企画室開発戦略部部長
委員	北山 孝	西尾レントオール(株) 通信測機営業部長
委員	木下 洋一	鹿島道路(株) 生産技術本部機械部 次長
委員	小林 真人	コベルコ建機(株) 技師長 企画管理部
委員	鈴木 嘉昌	西松建設(株) 土木事業本部 機材部長
委員	竹内 幸弘	(株) トプコンソキアポジショニングジャパン 営業企画部 白川トレーニングセンタ シニアエキスパート
委員	玉石 修介	(一社) 日本機械土工協会 技術委員長
委員	新田 恭士	国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課 企画専門官
委員	行川 恒弘	前田道路(株) 工事事業本部 機械センター所長
委員	林 輝	国土交通省 関東地方整備局 企画部 施工企画課長
委員	隼 直毅	(株) レンタルのニッケン 執行役員 広域統括事業部部長 関東支社長
委員	藤野 健一	(国研) 土木研究所 技術推進本部 先端技術チーム 主席研究員
委員	竹之内 博行	(一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 技師長
委員	前原 信之	(一社) 日本建設機械施工協会 技術部長
委員	西脇 徹郎	(一社) 日本建設機械施工協会 標準部長

建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集（平成27年度版）

平成 27 年 11 月 25 日 印刷

平成 27 年 11 月 25 日 発行

編 集 一般社団法人 日本建設機械施工協会
発行所

〒105-0011 東京都港区芝公園 3 - 5 - 8
(機械振興会館内)

T E L (03)3433-1 5 0 1

F A X (03)3432-0 2 8 9

複製厳禁

印刷所 (株)アクセス