

平成23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23年11月30日～12月1日

東京・機械振興会館

社団法人 日本建設機械化協会

平成 23 年度

「建設施工と建設機械シンポジウム」論文集・梗概集
目次

○印 口述発表者

I 論文集

1. バックホウ遠隔操作性向の定量的評価指標に関する研究 1
(株)熊谷組 ○北原成郎
土木研究所 藤野健一
(株)キック 西垣重臣
2. バックホウを母機としたフリート・マネジメントに関する研究 7
(株)キック ○西垣重臣、才原勝敏
3. 災害応復旧工事を支援する施工プロファイル 13
(株)キック ○西垣重臣、才原勝敏
4. 災害対策機械の被災地派遣について 19
国土交通省関東地方整備局 ○稲垣 孝
5. 無人化施工における自動平板載荷試験機の開発 23
(株)熊谷組機材部 ○坂西孝仁、北原成郎
6. 4脚クローラ式不整地移動機構の開発 29
日立建機(株) ○石井啓範
7. 強降雨による斜面崩壊調査と安定解析に基づく施工法についての考察 33
呉工業高等専門学校 ○岡本有希加、重松尚久、小堀慈久
8. TS (トータルステーション) を用いた出来形管理技術の舗装工事への適用について 37
国土交通省関東地方整備局関東技術事務所 ○古川伸一
9. ICT技術を利用した盛土の品質管理システムデータの利用について 41
国土交通省近畿地方整備局近畿技術事務所 ○能登眞澄
国土交通省総合政策局公共事業企画調整課 山元 弘
国土交通省近畿地方整備局和歌山河川国道事務所 菊池 弘
10. 転圧折り返し点指示機能を搭載した「GNSS 転圧管理システム」の開発 45
鹿島道路(株) ○大竹元志
(株)トライテック 梶原泰樹

11.	路床・路盤整正機へのICT施工技術の適用（路盤整正への適用事例）	49
	大成ロテック(株) ○関口 峰、平野 晃、小泉慎太郎	
12.	情報化施工技術の試験施工調査結果について	55
	国土交通省 ○山口 崇、渡邊賢一 茨城県（前国土交通省）小野寺誠一	
13.	衛星測位技術「RTK-GNSS」の施工管理への適用に関する検討	59
	国土交通省国土技術政策総合研究所 情報基盤研究室 ○梶田洋規、北川 順 情報基盤研究室長 重高浩一	
14.	TSを用いた出来形管理に関するソフトウェアの機能確認ガイドライン（案）	65
	策定について」 (社)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 ○椎葉祐士 国土交通省国土技術政策総合研究所 梶田洋規、北川 順	
15.	無人化施工における無人測量システムの開発（開発経緯と改良型システムの開発）	69
	(株)フジタ 九州支店土木部 ○橋詰 亮 (株)フジタ 土木エンジニアリングセンター機械部 浅沼廉樹、三鬼尚臣	
16.	ロータリ除雪車を通年活用するアタッチメント式路面清掃装置の開発	75
	(独) 土木研究所寒地土木研究所 ○中村隆一、住田則行 国土交通省北海道開発局 佐々木憲弘	
17.	トンネル覆工の浸水養生における各種設備と施工方法	81
	(株)間組 機電部 ○副島幸也 (株)間組 九州支店 古川幸則 (株)間組 技術第三部 白井孝昌	
18.	情報化施工技術を活用した工事の総合評価方式における	85
	技術評価と工事成績の分析 国土交通省国土技術政策総合研究所 ○工藤匡貴 国土交通省総合政策局 宮武一郎 国土交通省関東地方整備局 坂本俊英	
19.	都市道路工事におけるプレートコンパクタの低騒音化への実証	89
	酒井重工業(株)事業推進部 ○木村公俊 酒井重工業(株)技術研究所 伏見哲行	
20.	狭隘部に用いる小型締固め機械の締固め特性の分析	91
	(独) 土木研究所 ○橋本 毅、藤野健一、小橋秀俊	

21.	盛土工事における締固め機械の土の締固め特性の分析	・・・・・・・・	95
	(独) 土木研究所 ○岩谷隆文、藤野健一、小橋秀俊		
22.	連続・高速・大量CSG製造設備の開発と合理化施工システム		
	(世界初となる台形CSGダム)	・・・・・・・・	101
	鹿島建設(株)機械部 ○青野 隆		
	鹿島建設(株)北海道支店 山村法男		
	鹿島建設(株)関西支店 船迫俊雄		
23.	ディスクカッタビット摩耗検知システムの開発のための基礎的研究	・・・・・・・・	107
	呉工業高等専門学校 ○河村倫太郎、重松尚久		
	(株)スターロイ 小田 登		
24.	ECO運転指導を支援するダンプトラック運行管理システム	・・・・・・・・	111
	(株)キック ○才原勝敏、西垣重臣		
25.	電気加熱式アスファルトクッカー車の開発と施工効果の検証	・・・・・・・・	117
	大成ロテック(株) ○島田 拓、平野 晃		
	成和リニューアルワークス(株) 左右田泰裕		
26.	バッテリー駆動式油圧ショベルの開発	・・・・・・・・	123
	(株)日立ティエラ ○湯上誠之、栗熊 甫		
	鹿島道路(株) 木下洋一		
27.	ハイブリッドシステムを搭載するロータリ除雪車の開発	・・・・・・・・	127
	(株)日本除雪機製作所 ○林 千尋、平山英樹、西田佳緒理		
28.	実作業燃費との比較による JCMAS 油圧ショベル燃費試験規格の検証	・・・・・・・・	131
	(社)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 ○稲葉友喜人		
	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 前羽利治		
	(社)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 佐藤充弘		
29.	省燃費型電動リックドライブブルドーザの開発		
	(世界初 電動ブルドーザ「CAT D7E」)	・・・・・・・・	135
	キャタピラージャパン(株) ○富永安生、鎌田康生		
30.	地盤の支持力調査における簡易試験法の運用に関する実験的考察	・・・・・・・・	139
	(独)労働安全衛生総合研究所 ○玉手 聡、堀 智仁		
31.	敷板の形状および偏心荷重が接地圧分散に与える影響		
	(積載形トラッククレーンの転倒防止に関する研究)	・・・・・・・・	143
	(独)労働安全衛生総合研究所 ○堀 智仁、玉手 聡、吉川直孝		

32.	大規模災害に対応するサイフォン排水技術の開発		
	一河道閉塞（天然ダム）の緊急排水対策一	・・・・・・・・	147
	国土交通省関東地方整備局関東技術事務所		○武田直人
33.	軌道レール温度上昇抑制工法の開発	・・・・・・・・	151
	(株)NIPPO 技術開発部		○片岡直之、相田 尚
34.	新型二軸攪拌混合機の開発とフィルダム堤体改修工事への導入	・・・・・・・・	157
	(株)フジタ建設本部土木エンジニアリングセンター機械部		○三鬼尚臣
	(株)フジタ建設本部土木エンジニアリングセンター設計部		福島伸二
	(株)フジタ建設本部土木エンジニアリングセンター機械部		渋谷光男
35.	自走装置を用いた樋門函体の3次元変位計測技術の開発	・・・・・・・・	163
	(独) 土木研究所寒地土木研究所		○小宮山一重、牧野正敏、山崎貴志
36.	凍結防止剤散布作業時の連続路面すべり抵抗値計測試験について	・・・・・・・・	169
	(独) 土木研究所寒地土木研究所		○岸 寛人、牧野正敏、小宮山一重
37.	道路改良工事における切削オーバーレイ工法への		
	モバイルマッピングシステムの適用	・・・・・・・・	173
	大阪大学大学院		矢吹信喜
	関西工事測量(株)		○中庭和秀、木寺浩紀
38.	車載型移動体3次元計測データを用いたIRI値算定について	・・・・・・・・	179
	立命館大学		○横山隆明
	(株)アスコ		番上勝久
	立命館大学		建山和由

II 梗概集

II-1 ポスターセッション要旨

1.	3Dレーザースキャンを組み合わせる情報化施工技術	・・・・・・・・	183
	(株)コイシ 小原文男、○神矢教子		
2.	土砂と金属材料の接触における静電気帯電特性の追求と摩擦支配則の解明	・・・・・・・・	184
	明石工業高等専門学校 都市システム工学科		江口忠臣
	明石工業高等専門学校 専攻科建築・都市システム工学専攻		○清水光治
3.	形状効果によるビット応力低減法	・・・・・・・・	186
	明石工業高等専門学校 都市システム工学科		江口忠臣
	明石工業高等専門学校 専攻科建築・都市システム工学専攻		○小田和也

4. アスファルトフィニッシャの敷均し制御システム「ラインリーダー」 188
 鹿島道路(株) ○木下洋一
 (株)トライテック 柴崎秀一
5. 東日本大震災の復興と情報化施工 189
 情報化施工による震災復興貢献、除染作業の効率化とスピードアップ、品質と安全性向上の提案
 (株)トプコン 竹内幸弘、○野村延啓
6. 情報化施工と情報処理支援の事例（高精度な出来形管理を実現するために） 191
 福井コンピュータ(株) ○大島勝利
7. 省燃費型エレクトリックドライブブルドーザの開発 193
 （世界初電動ブルドーザ「CAT D7E」）
 キャタピラージャパン(株) ○山元茂太
8. 加熱アスファルト表面処理工法（リフレッシュシールM i x） 194
 日本道路(株) ○久下晴巳、荒尾慶文
9. 空輸対応型油圧ショベルの開発 195
 ～岩手・宮城内陸地震より学ぶ作業効率の向上～
 国土交通省東北地方整備局東北技術事務所 ○鹿野安彦、伊藤 圭、増田陽介

II-2 施工技術総合研究所研究発表

- S1. 曲線鋼管による既設トンネル補強工法の研究 196
 施工技術総合研究所研究第一部 横井圭一郎
 安井成豊
 藤田一宏
 ○近藤 亮
- S2. 塩害環境におけるPC桁の脱塩工法に関する研究 196
 —プレテンションPCT桁の載荷試験におけるAE法および超音波法の適用性研究—
 施工技術総合研究所研究第二部 ○榎園正義
 施工技術総合研究所研究第二部 谷倉 泉
 電気化学工業(株) 松久保博敬
 (株)高速道路総合研究所 野島昭二

S3.	掘削工事の概略設計への立方体地盤モデルの適用	・・・・・・・・	196
	施工技術総合研究所研究第三部	○竹本 憲充	
S4.	遠隔操作型バックホウの運転技能評価に関する試験研究	・・・・・・・・	196
	施工技術総合研究所研究第四部	○飯盛 洋	

II-3 研究開発助成成果報告

1. 「汎用建設機械を用いた土の強度に関する実務的簡易推定手法の開発」・・・・・・・・

長崎大学大学院 杉本知史

2. 「電波送受信技術を活用した建設機械位置測定システムの開発」・・・・・・・・

京都大学大学院 工学研究科 都市社会工学専攻 西山 哲

II-4 試験施工中間報告

- 試験施工報告:津波堆積物(ヘドロ)再資源化による人工地盤造成 ・・・・・・・・
- 東北大学大学院環境科学研究科 ○高橋 弘
(株)森環境技術研究所 森 雅人

I 論文集

1. バックホウ遠隔操作性向の定量的評価指標に関する研究

(株) 熊谷組 ○北原 成郎
(独) 土木研究所 藤野 健一
(株) キック 西垣 重臣

1. はじめに

バックホウの遠隔操作性に関して、建設機械の遠隔操作容易性とオペレータの遠隔操作性向という2つの視点から評価できる。本論文では、オペレータの遠隔操作性向を定量的に表現する評価指標とその活用例について報告する。ここで、遠隔操作性向とは、遠隔操作の振る舞いであり、オペレータの操作態度やスキルを示す。

2. 定量的評価指標

本研究を進めるうえでの基本的な考え方、定量的評価指標の定義とその意義について述べる。

2.1 基本的な考え方

本研究では、つぎに示す条件を満足するとき、オペレータの遠隔操作性向は優れていると仮定する。

- ①バックホウの振る舞い
 - 1) 加減速回数が少ない。
 - 2) 等速性が高い。
 - 3) エネルギー効率が良い。
 - 4) 衝撃が少ない。

②安定した意図形成

- 1) 高い学習能力
- 2) 作業環境の変化への素早い対応

この仮定に基づいて、遠隔操作性向の定量的評価指標とその活用方法を研究する。

2.2 定量的評価指標の定義

(1) 等速性評価指標

安定した動作においては、加速度計測データがその平均値を跨ぐ回数は少ないであろう。平均値交叉回数のサンプル数に対する比率を等速性評価指標とする。平均値交叉率を次式で求める。

$$mcr = \frac{1}{3(n-1)} \sum_{d=1}^3 \sum_{i=1}^{n-1} \frac{|\text{sgn}(x_i - \bar{x}) - \text{sgn}(x_{i-1} - \bar{x})|}{2} \quad (1)$$

ここで、 mcr : 平均値交叉率、 x_i : 速度の i 番目の観測値、 n : サンプル数、 d : 方向(左右1, 前後2, 上下3)、 \bar{x} : 平均値、 sgn : 符号関数である。

平均値交叉率が小さい場合はその動作は安定

していることを示す。反対に、その値が大きい場合は、加速と減速の動作が交互に繰り返されることが多く、動作の不安定性を示す。

(2) エネルギー性評価指標

計測した加速度応答から速度ベクトルを算出し、次式より最大速度応答値の平均を計算する。

$$K = \frac{1}{3} \sum_{d=1}^3 \max V_d \quad (2)$$

ここで K : 速度応答、 d : 方向(左右1, 前後2, 上下3)、 V_d : d 軸の速度集合である。

この速度応答の値が小さいとき、エネルギー効率が良い、とする。

(3) 衝撃性評価指標

躍度自乗和の平均値により衝撃性を評価する。躍度自乗和平均値を次式より求める。

$$\text{Ave}J^2 = \frac{1}{3n} \sum_{d=1}^3 \sum_{t=1}^n J_{dt}^2 \quad (3)$$

ここで、 $\text{Ave}J^2$: 躍度自乗和平均値、 $J_{dt} = \alpha_t - \alpha_{t-1}$ 、 d : 方向(左右1, 前後2, 上下3)、 t : サンプル時刻である。

躍度自乗和平均値が小さいとき、その動作は衝撃が少ないと評価する。

(4) 加減速性評価指標

①加速度応答分布の歪度

歪度を次式から求める。

$$\text{Skewness} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 / \hat{\sigma}^3 \quad (4)$$

ここで、 Skewness : 歪度、 x_i : 速度の i 番

目の観測値、 n : サンプル数、 \bar{x} : 平均値、 $\hat{\sigma}$: 標本標準偏差である。

②尖度

尖度はデータが平均の周辺に集中している度合いを表す尺度である。尖度を次式より求める。正規分布の尖度は3である。

$$\text{Kurtosis} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 / \sigma^4 - 3 \quad (5)$$

ここで、*Kurtosis* : 尖度, x_i : 速度の i 番目の観測値, n : サンプル数, \bar{x} : 平均値, $\hat{\sigma}$: 標本標準偏差である。

歪度や尖り度は、分布の歪み(偏り)や尖りを示す尺度である。歪度や尖り度から、加減速発生傾向が読みとれる。

(5) 走行方位制御と車体姿勢制動に関する能力評価指標

加速度応答ベクトルと速度応答ベクトルに基づいて曲率と振率を計算する。曲率を走行方位制御能力の、振率を車体姿勢制動能力の評価尺度として活用する。それぞれの第1・第3四分位数の差である四分位数範囲 (IQR: interquartile range) をバックホウの車体姿勢制動の評価尺度として採用する。四分位数範囲を採用する理由は異常値の影響を避けるためである。

四分位数範囲の値が小さい場合は、走行方位制御や車体姿勢制動に優れ、その値が大きい場合はそれが劣っていると評価する。

(6) 学習能力

オペレータは、作業回数が増えるにつれて、作業環境に慣れる。そこで、作業所要時間と試行回数の関係を次式で表現する。

$$MT = \alpha_0 + \alpha_1 Trial \quad (6)$$

ここで、 MT : 作業所要時間, $Trial$: 作業回数である。

回帰分析では、必要に応じて、目的変数と説明変数を対数化する。回帰係数の推定値は学習能力を示す。

(7) 対処能力

遠隔操作は、システムの利用者が、マウスを使用して、メニューやボタンを指示し押下する操作に類似している。そこで、システムのユーザ・インタフェース操作の困難性評価方法²⁾を参考にして、つぎに示す評価尺度により遠隔操作の困難性を表現する。

目標物が大きいほど、移動距離が長くなるほど難しくなると仮定し、次式のように、困難性指標(ID: Index of Difficulty)を、目的物の大きさと作業回数、そして目的物までの距離により表現する。

$$ID = \frac{D}{W * L * H * trial} \quad (7)$$

ここで、 W : 目標物の幅, L : 目標物の奥行き, H : 目標物の高さ, $trial$: 作業回数, D : 移動開始地点から目標物の中心までの距離を示す。

作業所要時間と困難性指標の関係を次式で表現する。

$$MT = \beta_0 + \beta_1 ID \quad (8)$$

ここで、 MT は作業所要時間を示す。

回帰分析では、必要に応じて、目的変数と説明変数を対数化する。回帰係数の推定値はオペレータの困難性に対する対処能力を示す。

3. 学習データの取得

(独) 土木研究所で実施された「遠隔操作時における操作性検証実験」において、バックホウの振る舞いに伴う加速度応答を計測した。この検証実験では、障害物を乗り越え、目標堆積土砂まで走行して、その土砂を掘削盛替えするという実験を複数回実施した。その実施状況を写真1に、検証実験実施概要を以下にそれぞれ示す。

- ① 計測場所：(独) 土木研究所実験場
- ② 実施日：2010年11月16日～2010年11月18日
- ③ 被験者：熟練オペレータ2名(高齢者と中年者)、便宜上、中年者をAと高齢者をBで表記する。
- ④ 走行距離：36m
- ⑤ 走行障害物の大きさ：2m*3m*1
- ⑥ 掘削盛替え対象物の大きさ：2m*3m*1.5m 土量 9m³
- ⑦ 実験順序と回数：A, Bの順に繰り返し実施。A：9回, B：8回。
- ⑧ 計測機器類の取り付け位置を図1に示す。



写真-1 検証実験実施状況



図-1 計測機器類の取り付け位置

4. 定量的評価指標の学習データへの適用

4.1 走行障害物乗り越え実験

(1) 走行障害物乗り越え状況

走行障害物乗り越え実験1回目において、Aは、

作業環境を把握できていないため、バックホウの走行方位を定めることが難しかったようである。そのため、切り替えしや前進・後退を繰り返しながら、登坂を繰り返した。一方、Bは、Aの遠隔操作状況をみていたため、大きな戸惑いはみられなかった。

いずれのオペレータも実験回数を重ねると、作業環境を把握でき、且つバックホウ履帯跡をモニタ上ではっきりと識別できるようになったため、バックホウの走行方位制御が容易になったようである。さらに、走行障害物は、バックホウ履帯によりかなり締め固められるとともに、法肩は崩れきた(写真2)。そのため、登降坂は容易になったが、降坂時に、つぎの事象が発生した。

- ①左方向にジョルティング。
- ②車体が落ち込む。



写真-2 複数回実験後の走行障害物

(2) 相関関係

走行障害物乗り越え実験の初回と最終回、それぞれの加速度応答の相関行列図とヒストグラムを図2と図3にそれぞれ示す。

AとBともに、Y軸(前後方向)とZ軸(上下方向)の加速度応答間には弱い相関関係($R \approx 0.64$)がみられる。

(3) 走行障害物乗り越え実験の定量的評価指標値

走行障害物乗り越え実験の初回と最終回の定量的評価指標の値を表1に示す。

表1の初回と最終回のそれぞれの値を比較すると、つぎのことが分かる。

- ① エネルギー性評価指標値
Aの値は小さくなったが、Bの値は大きくなっている。
- ② 等速性評価指標値
Aの値は大きくなったが、Bの値は小さくなっている。
- ③ 衝撃性評価指標値
AとBのいずれの値も小さくなっている。
- ④ 走行方位制御能力の評価指標値である曲率の値
Aの値が変化したとはいえない。Bの値は小さくなっている。
- ⑤ 車体姿勢制動能力の評価指標値である振率

の値

AとBのいずれの値も大きくなっている。

⑥ 歪度の値

AとBのx軸(左右方向)の加速度応答分布は、ほぼ左右対称の釣鐘形から右へ偏った形に変化している。

Aのy軸(前後方向)のいずれの加速度応答分布もほぼ左右対称である。加減速の傾向に大きな変化はみられない。

一方、Bのy軸(前後方向)の加速度応答分布は、右から左への偏りに変化している。

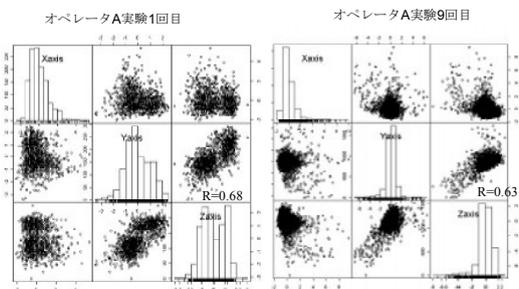


図-2 Aの相関行列図とヒストグラム

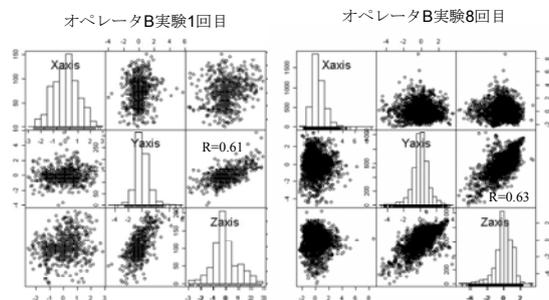


図-3 Bの相関行列図とヒストグラム

表-1 走行障害物乗り越え実験

定量的評価指標	オペレータ A		オペレータ B	
	第1回	第9回	第1回	第8回
エネルギー性	6.226	5.097	6.295	7.181
等速性	0.114	0.125	0.207	0.118
衝撃性	0.226	0.147	0.423	0.158
曲率	0.802	0.81	1.092	0.973
振率	0.018	0.158	0.06	0.085
加速度歪度	第1回	第9回	第1回	第8回
Xaxis	0.295	1.202	0.009	0.965
Yaxis	0.197	0.059	0.678	-0.538
Zaxis	-0.094	-0.02	0.144	-0.949
加速度尖り度	第1回	第9回	第1回	第8回
Xaxis	-0.39	2.243	-0.405	2.589
Yaxis	3.323	-0.25	3.124	2.382
Zaxis	0.875	-1.059	0.472	2.084

A の z 軸（上下方向）の初回の加速度応答分布には二峰性がみられる。しかし、A と B の最終回の加速度応答分布は、いずれも左への偏った形に変化している。

⑦ 尖り度の値

A と B の x 軸（左右方向）の初回の加速度応答分布は正規分布に比べてやや扁平なのに対し、最終回では非常に尖っている。

A の y 軸（前後方向）の加速度応答分布は、初回では非常に尖っていたが、最終回では正規分布に比べてやや扁平になっている。一方、B の場合は、いずれ分布も非常に尖っている。

A の z 軸（上下方向）の初回の加速度応答分布は、初回ではやや尖っていたが、最終回では非常に扁平になっている。一方、オペレータ B の場合は、やや尖りのある形が非常に尖った形に変化している。

(4) 学習能力

作業所要時間と実験回数の散布図、並びに両変数を対数化した散布図と(6)式の両辺を対数化した式を用いて求めた回帰直線を図4に示す。

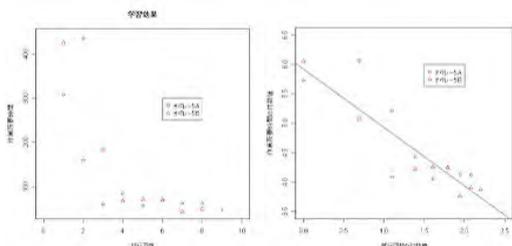


図-4 学習能力

A と B の回帰係数の推定値は有意であったが、両者には差が認められなかった。言い換えれば、A と B について学習効果はみられたが、両者の学習能力には差がみられなかった。

(5) 対処能力

作業所要時間の対数値を目的変数に、困難性指標を説明変数にした回帰分析を行った結果を図5に示す。

実験回数に比例して、走行障害物の大きさが小さくなるとともに、締め固め度も増し、登降坂が容易になる。

B の回帰直線の傾きは A のそれより大きい。これは、作業の困難性が増すにつれて、B は A より作業時間が長くなる傾向がある、ことを示す。言い換えれば、A の作業の対処能力は B のそれより優れている、といえる。

4.2 掘削盛替実験

(1) 掘削盛替実験の実施状況

掘削盛替実験の実施状況を写真3に示す。

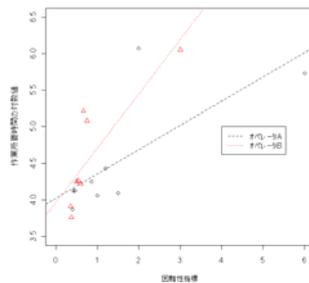


図-5 対処能力



写真-3 掘削盛替実験実施状況

前述したように、掘削盛替対象物の大きさは2m*3m*1.5m、土量は9m³である。

掘削盛替実験の初回において、Aは無理なく作業に着手したが、Bは、車体とバケットの位置決め、そして旋回角度に戸惑いがみられた。

(2) 相関関係

掘削盛替実験の初回と最終回、それぞれの加速度応答の相関行列図とヒストグラムを図6と図7にそれぞれ示す。

掘削盛替実験の初回においては、A と B ともに、Y 軸（前後方向）と Z 軸（上下方向）の加速度応答間には弱い相関関係(R≒0.55)がみられるが、最終回の実験において相関関係はみられない。

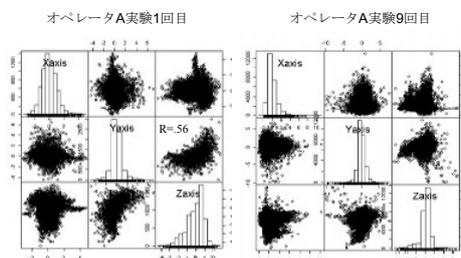


図-6 Aの相関行列図とヒストグラム

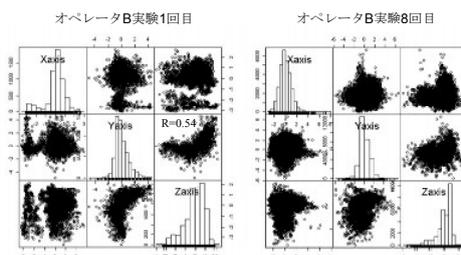


図-7 Bの相関行列図とヒストグラム

(3) 掘削盛替実験の定量的評価指標値

掘削盛替実験の初回と最終回の定量的評価指標の値を表2に示す。

表-2 掘削盛替実験

定量的 評価指標	オペレータ A		オペレータ B	
	第1回	第9回	第1回	第8回
エネルギー性	7.108	12,152	49,748	7.541
等速性	0.086	0.045	0.073	0.04
衝撃性	0.171	0.063	0.091	0.041
曲率	0.91	0.983	1.075	0.945
振率	0.043	0.043	0.008	0.056
加速度歪度	第1回	第9回	第1回	第8回
Xaxis	0.494	1.379	-1.241	0.965
Yaxis	0.65	-0.321	0.962	-0.538
Zaxis	-0.724	-1.621	-0.857	-0.949
加速度尖り度	第1回	第9回	第1回	第8回
Xaxis	0.503	3.252	1.628	2.589
Yaxis	1.568	6.503	1.863	2.382
Zaxis	-0.164	4.661	0.419	2.084

表2の初回と最終回のそれぞれの値を比較すると、つぎのことが分かる。

① エネルギー性評価指標値

いずれの値も走行障害物乗り越えのときの値より大きい。特にBの初回の値が非常に大きい。Aの値は大きくなったが、Bの値は小さくなっている。

② 等速性評価指標値

AとBのいずれの値も小さくなっている。

③ 衝撃性評価指標値

AとBのいずれの値も小さくなっている。

④ 車体制動評価指標値である曲率の値

AとBのいずれの値も大きな変化はみられない。

⑤ 車体制動評価指標値である振率の値

Aの値に変化はみられない。Bの値は小さくなっている。

⑥ 歪度の値

Aのx軸(左右方向)の加速度応答分布は、ほぼ左右対称の釣鐘形から右へ偏った形に変化している。一方、Bのそれは、二峰性の左に偏って形から右に偏った形に変化している。

AとBのy軸(前後方向)のいずれの加速度応答分布もやや右に偏った形からやや左に偏った形に変化している。

AとBのz軸(上下方向)においては、いずれも左に偏っている。オペレータAのそれは、初回に比べて最終回では左への偏りが大きくなっている。

⑦ 尖り度の値

Aのz軸(上下方向)の加速度分布は、やや扁平であった形から大きく尖った形に変化している。最終回では、AとBのいずれの方向の加速度分布も大きく尖っている。さらに、初回に比べ最終回の分布の尖りは大きくなっている。

(4) 学習能力

作業所要時間と試行回数の散布図と回帰直線を図8に示す。

AとBの回帰係数の推定値は有意であったが、両者には差が認められなかった。言い換えれば、AとBについて学習効果はみられたが、両者の学習能力には差がみられなかった。

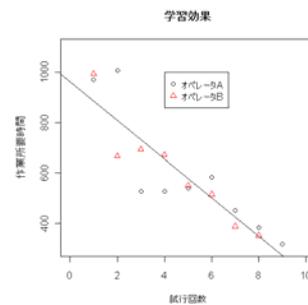


図-8 掘削盛替実験学習能力

(5) 対処能力

作業所要時間の対数値を目的変数に、困難性指標を説明変数にした回帰分析を行った結果を図9に示す。

実験回数に比例して、掘削盛替対象物の土量は減少し、作業が容易になる。

オペレータAの回帰直線は有意であったがオペレータBのそれは有意にならなかった。図9の散布状況を見ると、困難性指標と作業所要時間の対数値に相関関係がみられる、とはいえない。

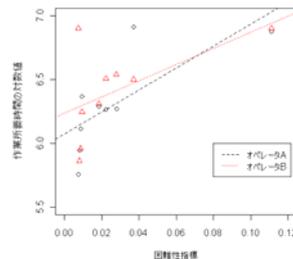


図-9 掘削盛替実験対処能力

4.3 遠隔操作性向変化の要約

これまでに述べた定量的評価値に基づいて、「AとBの遠隔操作性向が実験を通じてどのよ

うに変化したか」に関する要約を以下に示す。

- ① A (中年齢者) と B (高年齢者) には学習能力の差は無かった。
- ② A は B より対処能力が優れている。
- ③ 実験を重ねると、A と B の遠隔操作は、衝撃性は低くなった。

- ④ 左右方向の加速度に関して、実験を重ねると、A と B の操作には、小刻みな減速が多くなり、時に急加速する傾向がみられる。

掘削盛替え実験において、B の操作には、初回に二峰性がみられた。これは、車体の位置決め、旋回角度に対する戸惑いの影響を推察される。しかし、最終回では無くなっている。実験を重ねることで、旋回に慣れたものと推定される。

- ⑤ 前後方向の加速度に関して、実験を重ねると、A と B の操作には、小刻みな減速が多く、時に急加速する傾向から、小刻みな加速が多くなり、時に急減速する傾向に変化した。

- ⑥ 上下方向加速度に関して、実験を重ねると、A と B の操作には、小刻みな加速が多くなり、時に急減速する傾向がみられる。

走行障害物乗り越え実験において、A の操作には、初回に二峰性がみられた。これは、作業環境不慣れのため、バックホウの走行方位を定めることが難しかったことが影響している、と推察される。しかし、最終回では無くなっている。実験を重ねることで、作業環境に慣れ、登坂が容易になったものと推定される。

⑦ A の特徴

- 1) エネルギー性は、走行障害物乗り越え実験においては良くなったが、掘削盛替え実験においては悪くなった。
- 2) 走行障害物乗り越え実験においては、急加減速が多くなり、等速性が悪くなった。一方、掘削盛替え実験においては、急加減速はやや多くなったが、等速性は良くなった。
- 3) 走行障害物乗り越え実験においては、車体姿勢制動能力が低下した。掘削盛替え実験においては変化がみられなかった。

⑧ B の特徴

- 1) エネルギー性は、走行障害物乗り越え実験では悪くなったが、掘削盛替え実験では良くなった。
- 2) 両実験において等速性は良くなった。
- 3) 走行障害物乗り越え実験では、実験を重ねると走行方位能力は向上した。ここでは、A の後に B という実験順序の影響を

無視できない。

- 2) 掘削盛替え実験では、実験を重ねると、走行方位制御能力と車体姿勢制動能力が低下した。ここでは、B は高年齢者であることを考慮すると、疲労の影響を無視できない。

5. まとめ

本論文で提案したオペレータ遠隔操作性向の定量的評価指標は、オペレータの遠隔操作性向を理解するうえで、貴重な情報を提供する。

今後の課題をつぎに示す。

- ① 登坂路・作業床形成、除石、転石小割、排土などの作業を対象とし、遠隔操作の熟練者と未経験者、並びに高年齢者、中年齢者、若年齢者などを被験者とした操作性検証実験の実施
- ② 遠隔操作性向定量的評価指標と評価者の主観的な重みを取り入れた総合評価方法の構築
- ③ オペレータの遠隔操作技能評価、遠隔操作システムのユーザ・インタフェースの有効性評価などへの遠隔操作性向定量的評価指標の活用

本研究は、土木学会建設用ロボット委員会土木技術小委員会の活動の一つとして行ったものである。

参考文献

- 1) 北原成郎, 吉田貴, 猪原幸司, 西垣重臣: 災害応急・復旧工事での遠隔操作式建設用ロボットの作業性に関する研究, 第12回建設ロボットシンポジウム論文集, pp. 47-56, 2010.
- 2) S. Zhai, J. Accot, R. Woltjer: "Human Action Laws in Electronic Virtual Worlds – An Empirical Study of Path Steering Performance in VR," Teleoperators and Virtual Environments, Vol. 13, No.2, pp. 113-127, 2004.

2. バックホウを母機としたフリート・マネジメントに関する研究

(株) キック
(株) キック

○ 西垣 重臣
才原 勝敏

1. 問題意識

災害応急復旧工事の作業環境は、作業の進捗に応じて変化する。さらに、作業箇所は広域に分散している。今まで行ってきた、現在行っている、またはこれから行う作業の内容と作業全体の位置づけを理解することは非常に重要である。

災害応急復旧工事において、多種多様な建設機械、ダンプトラック、作業員、その他の機器類などが活用される。それぞれの役割と稼働状況、並びに作業箇所ごとの作業状況と進捗度を把握するために、データ収集と管理情報生成に係る編集加工・解析作業には多くの工数を必要とする。これらの工数削減と臨場感を持った実時間性の高い作業状況把握のために情報通信技術の活用が期待される。

災害応急復旧工事の作業箇所において、移動体はバックホウに接近してくる、またはその周辺で

稼働/作業することが多い。作業箇所におけるフリートの中心はバックホウである。ここで、フリートとは、日々の施工のために協働する建設機械、ダンプトラック、作業員などの移動体の編隊をいう。一方、風雨に晒されること、電源確保が難しいことなどから、作業箇所における情報技術の活用が難しい。そこで、情報機器類の維持管理と電源確保が容易なバックホウのキャビン室内に作業現場ネットワークの基地局を設置する

バックホウが搭載する基地局は、作業箇所において発生・収集されたデータの収集と一次保存、他の端末機器や施工情報管理システムとのデータ交換などの役割を担う。バックホウは、作業箇所においてフリートの母機としての役割を担い、情報の収集と配信の効率化を図る。バックホウを母機としたフリート・マネジメントの河川土工への適用イメージを図1に示す。

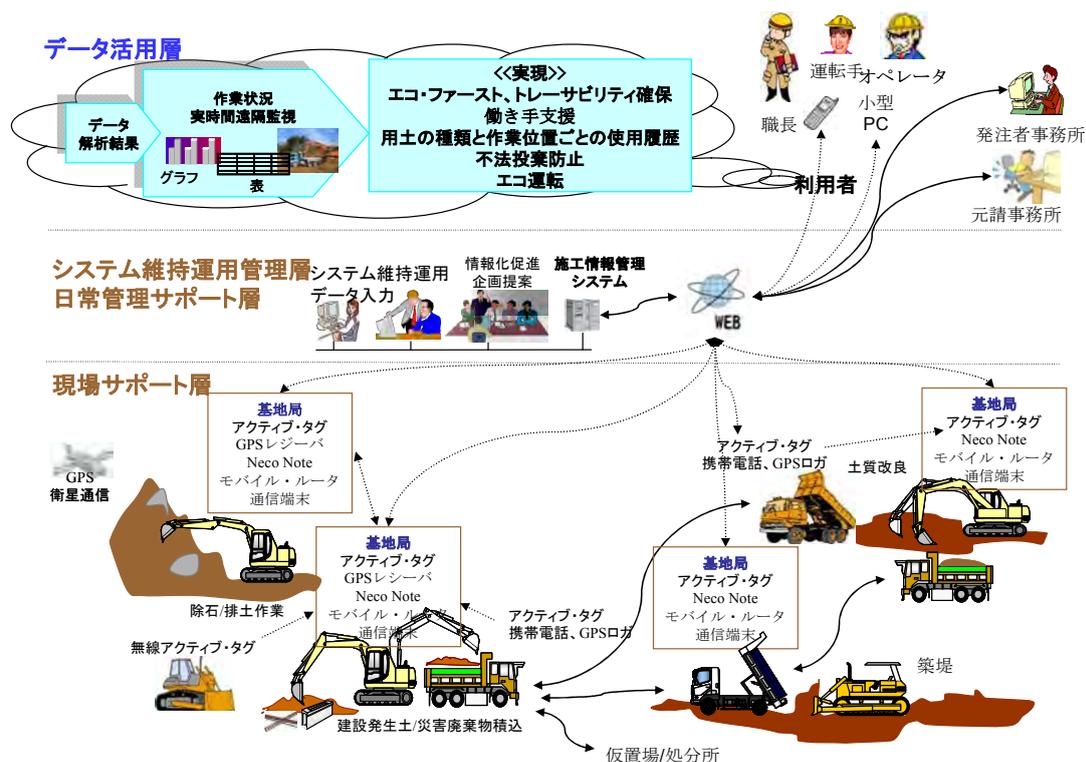


図-1 バックホウを母機としたフリート・マネジメントの河川土工への適用イメージ

2. 作業時点情報管理

作業時点情報管理(POC: Points On Construction)とは、

- ① 作業時点で移動体に係る事象生起を検知する、
 - ② 動態計測データを収集し、施工情報管理システムに自動送信する、あるいは、
 - ③ 施工情報管理システムからマスターデータや作業指示データなどを自動受信する
- 仕組みである^{1), 2)}。

POC の概念データモデルを図 1 に示す。概念データモデルは、対象とする領域で使用される語彙と語彙の構造を示し、それらの名称と意味を規定する。

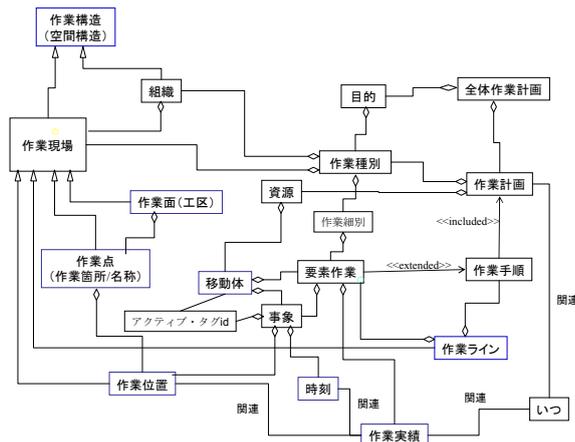


図-2 POC の概念データモデル

要素作業に係る事象、例えば、アクティブ・タグ id、作業位置 (タグ検知位置、GPS データなど)、時刻 (検知時刻、受信時刻など) などをキー要素として、作業実績情報が自動生成される。

2.1 移動体の振る舞い検知方法

POC は、図 2 に示す事象に注目して、作業現場で発生するその生起を検知することで、移動体の振る舞いを検知する。移動体の振る舞い検知方法は、センサー方式と人間介入方式、そしてストア&フォワード方式の 3 つ方式で構成される。移動体の振る舞い検知方法のイメージを図 3 に示す。

(1) センサー方式

事象の開始と終了を可能な限り自動的に検知・収集したい。そこで、アクティブ・タグ検知器が、通信可能領域内に存在する移動体が保持するアクティブ・タグを自動検知する方法を取る。アクティブ・タグの検知データ状態監視機能の振る舞いを図 4 に示す。

ここでのアクティビティ・シーケンスをつぎに示す。

- ① 移動体はアクティブ・タグを保持する。このアクティブ・タグは 1 回/1 秒の頻度で電波を

信する。

- ② 基地局をバックホウに設置する。
- ③ 基地局が通信可能領域 (約 100m 半径内) に存在するアクティブ・タグの電波を連続的に受信する。
- ④ アクティブ・タグからの電波の初回受信を事象の開始とし、最終受信を終了とする。
- ⑤ アクティブ・タグの ID、初回受信時刻、最終受信時刻などのデータを基地局が一時保存する。
- ⑥ 基地局は、データ交換機能を利用して、これらのデータを施工情報管理システムに自動送信する。

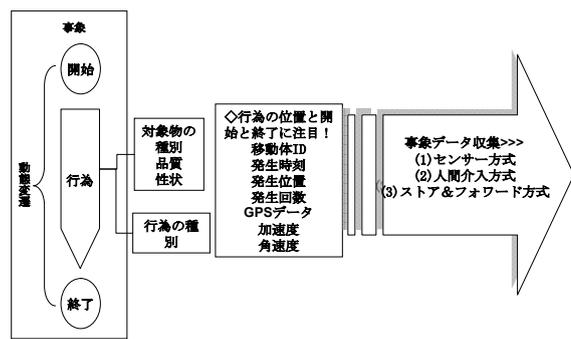


図-3 移動体の振る舞い検知方法のイメージ

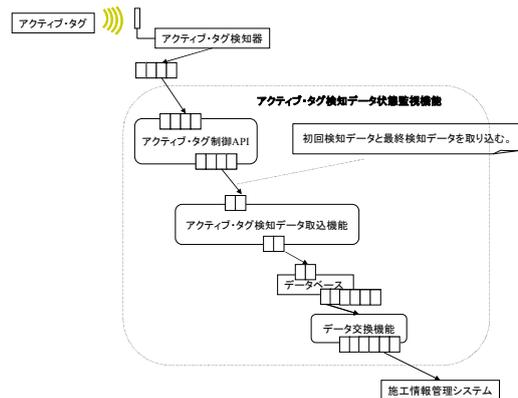


図-4 アクティブ・タグの検知データ状態監視機能の振る舞い

移動体は、アクティブ・タグ信号の初回検知器時刻に検知器通信可能領域に進入し、最終検知時刻にその領域から退場した、と判断される。移動体の検知器通信可能領域入退場 (初回検知と最終検知) 時刻の同定方法を図 5 に示す。

図 6 に示すように、この同定方法によって、つぎに示す指標値が算出される。

- ① 作業 (積込/荷下ろし) 箇所内滞留時間
- ② 積込/荷下ろしにおける待機台数
- ③ 管理区画内走行時間

- ④ 往路走行台数
- ⑤ 復路走行台数
- ⑥ 荷積み（往路）運行時間
- ⑦ 空荷（復路）運行時間
- ⑧ 積込/荷下ろし延べ台数
- ⑨ 運搬回数
- ⑩ 積込/荷下ろし間隔（到着時間間隔）
- ⑪ 運行サイクルタイム
- ⑫ バックホウ稼働時間
- ⑬ バックホウ時間当たり積込量
- ⑭ 積込/荷下ろし量の合計
- ⑮ 積込、荷下ろし、運搬などに関するピッチタイム
- ⑯ 積込、荷下ろし、運搬などに関する作業速度
- ⑰ 作業経過時間と作業許容残時間

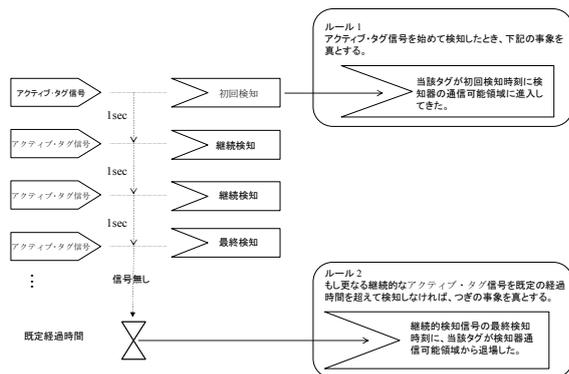


図-5 移動体の検知器通信可能領域入退場（初回検知と最終検知）時刻の同定方法

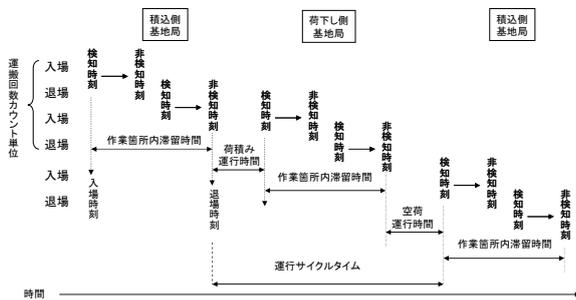


図-6 タグ検知時刻から算出される指標値

(2)人間介入方式

つぎに示すように場面では、人間介入方式を採用する。

- ① アクティブ・タグ検知器の設置が困難ため自動検知ができない。
 - ② 事象の識別に人間の判断が必要である。
- 人間介入方式には、つぎに示す2つの方式がある。
- ① 事象生起の開始と終了を、人間が PC の該当するファンクション・キーを押下することで

検知する。

- ② 事象種別を該当するボタンを押下することで、その識別を把握する。

(3)ストア&フォワード方式

作業箇所において、つぎの場面にしばしば直面する。

- ① インタネットに接続できない。
- ② 通信遅延または途絶が時々発生する。

このようなときストア&フォワード方式を採用する。ここでは、つぎに示す2つの方式を採用する。

①アクティブ・タグによるデータ運搬

アクティブ・タグによるデータ運搬のイメージを図7に示す。インタネットに直接接続できないとき、アクティブ・タグが、基地局から基地局 ID を受信し、受信時刻とともに一時保存する。そして、このアクティブ・タグがインタネット接続可能エリアに設置してある基地局に接近したときに、この基地局とデータの送受信を行う。この基地局はアクティブ・タグから受信したデータを一時保存し、施工情報管理システムに自動送信する。

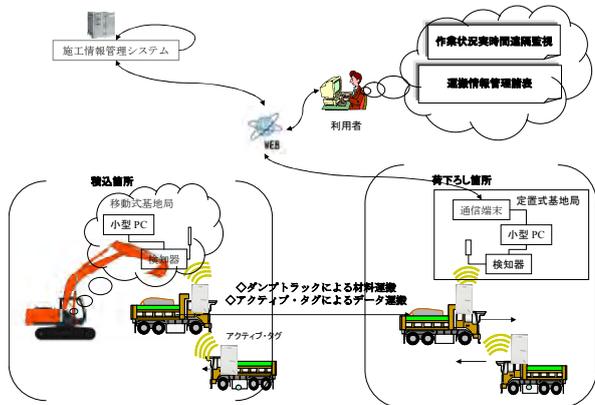


図-7 アクティブ・タグによるデータ運搬のイメージ

② 小型 PC によるデータ運搬

つぎに示す2つのデータ運搬が可能である。

- a) 管理者は携帯する小型 PC を使って、バックホウ基地局の小型 PC に無線 LAN 接続することにより、バックホウの作業実績を取得する。そして、その小型 PC を現場事務所まで持ち帰る。
- b) オペレータが基地局のコンポーネントである小型 PC を作業終了後に現場事務所まで持ち帰る。

③データの一時保存と再送信方式

3G データ通信端末、衛星通信、長距離無線 LAN などを使用するとき、しばしば遅延または途絶する。そこで、つぎの対策をとる。

- a) 基地局は検知データを一時保存する。そして再接続時に検知データを自動送信する。
- b) 施工情報管理システムは多方面に分散している基地局から検知データを受信する。そして、施工管理に必要な管理情報を自動生成される。
- c) 基地局は、情報処理に必要なマスタ・データ、作業指示データなどを、施工情報管理システムとの通信が確立した時に、当該データを自動取得する。

2.2 情報装備と主要な情報

作業時点情報管理の情報装備のイメージを図 8 に示す。作業時点情報管理では市販されているハードウェアとソフトウェア、そして自主開発した作業現場ノート（NeCo Note: Network Communication Note）を使用している。NeCo Note はオペレータ支援を目的としたソフトウェアである。

図 8 に示した情報通信機器類を使用して取り扱う主要な情報をつぎに示す。

- ① 主要な配信情報
 - a) マスタ・データ
 - b) 作業計画指示情報
 - ・重機作業能力、重機作業計画
 - c) 施工図、豆図
- ② 主要な収集情報
 - a) 機械稼働情報
 - 時刻、3 軸加速度、3 軸角速度
 - b) 作業位置データ
 - c) 始業点検結果
 - d) オペレータ作業日報
 - e) 運行 GPS データ
 - f) アクティブ・タグデータ
 - 検知時刻、タグ ID、検知器 ID
 - g) 運転日報
 - h) 作業状況写真

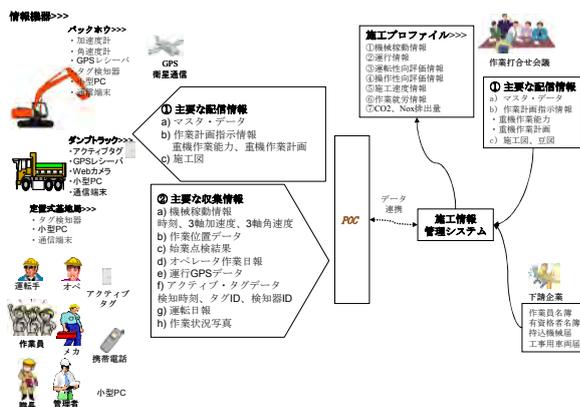


図-8 作業時点情報管理の情報装備のイメージ

これらの情報はデータ交換機能を使用して施工情報管理システムに自動送受信される。施工情報管理システムは、受信したこれらの情報を一元管理するとともに、施工プロファイル情報を自動生成して利用者に提供する。

3. バックホウの母機としての役割

3.1 バックホウに搭載する基地局

前述したように、バックホウは、作業箇所においてフリートの母機としての役割を担い、情報の収集と配信の効率化を図る。母機となるバックホウが搭載する基地局は、作業箇所において発生・収集されたデータの収集と一次保存、他の端末機器や施工情報管理システムとのデータ交換などの役割を担う。基地局の構成、並びにバックホウとダンプトラック間のデータ交換のイメージを図 9 に示す。

この基地局はつぎに示す情報通信機器で構成される。

- ① Web カメラ
 - 掘削・積込対象物監視用
- ② GPS レシーバ
 - 作業位置(GPS データ)の取得
- ③ アクティブ・タグ検知器
 - アクティブ・タグ電波の検知、タグ ID と受信時刻の取得
- ④ 通信端末
 - 無線 LAN アクセス・ポイント、無指向性アンテナ、3G 通信など
- ⑤ 作業現場ノート（NeCo Note）
 - タグ検知データや録画データの一時保存、通信遅延/途絶耐性、周辺で作業する、または接近してくる移動体の存在通知、作業状況モニタリングなどの諸機能を持つソフトウェア・システム

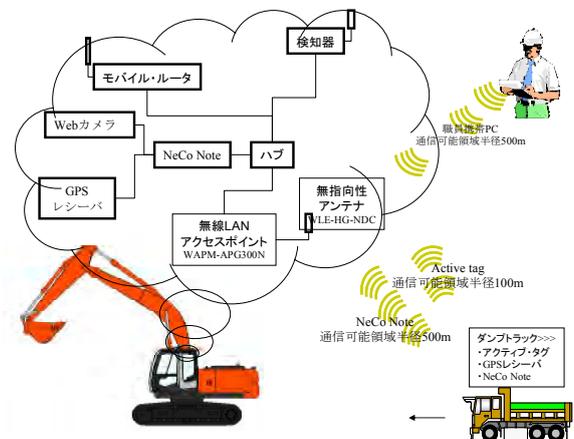


図-9 基地局の構成、並びにバックホウとダンプトラック間のデータ交換のイメージ

アクティブ・タグは1回/1secの頻度で電波を発信する。アクティブ・タグ検知器は半径100m以内に存在するアクティブ・タグの電波を受信する。移動体がこの通信可能領域に進入すると、検知器は移動体が保持するアクティブ・タグのIDと検知時刻を自動取得する。これらの検知データはNeCo Noteに一時保存され、通信可能時に施工情報管理システムに自動送信される。このように、建設機械に設置した基地局は、POCと施工情報管理システム間のデータ交換を促進するために、作業現場ネットワークのゲートウェイの役割を担う。

3.2 作業現場ノート(NeCo Note)

NeCo Noteは、データ収集と作業実績情報生成などの作業負担を低減し、作業実績状況の理解を容易にすることで、働き手を支援する。以下に、NeCo Noteの状態遷移と情報の流れ、そして作業状況モニタリングの概要を示す。

(1) NeCo Noteの状態遷移と情報の流れ

バックホウに搭載するNeCo Noteの状態遷移図を図10に、NeCo Noteに関わるアクティビティ・シーケンスを図11に、それぞれ示す。

利用者に求める手操作は、つぎの3つである。

- ① 管理者は、施工情報管理システムにアクセスして、ダンプトラックの配車情報を入力する。
- ② オペレータは、バックホウを稼働させた後に、NeCo Noteを起動し、配車情報確認要求ボタンを押下する。
- ③ 積込材料画像是作業状況モニタリング画面に常時表示されている。オペレータは、その静止画像を保存したいときは該当するボタンを押下する。
つぎに示す動作はすべて自動的に行われる。
- ④ NeCo Noteは施工情報管理システムに配車情報の送信要求を発信する。
- ⑤ 施工情報管理システムは該当する配車情報をNeCo Noteに送信する。
- ⑥ NeCo Noteは受信した配車情報をデータベースに保存する。
- ⑦ ダンプトラックがバックホウに接近すると、稼働しているアクティブ・タグを検知して、そのIDと検知開始時刻をNeCo Noteのデータベースに保存する。
- ⑧ NeCo Noteは、検知したIDとその検知開始時刻を保存する。
- ⑨ NeCo Noteは、検知IDと配車情報を突合する。もし検知IDが配車情報に含まれていないとき、不許可車両として作業状況モニタリング画面に警告を表示する。
- ⑩ 静止画像を撮影時点の位置(GPSデータ)とともにPOI(Point Of Interest)として保存する。

- ⑪ 検知ID、作業位置、検知時刻などに基づいて、作業実績情報を生成する。
- ⑫ 指定した時間間隔で、作業状況モニタリング画面表示データを更新する。
- ⑬ 一定の時間間隔ごとに、作業実績情報を施工情報管理システムに送信する。

図11では、荷下ろし場ゲートに基地局を設置している。積込場と同様に、荷下ろし場において稼働するバックホウに基地局を搭載することができる。

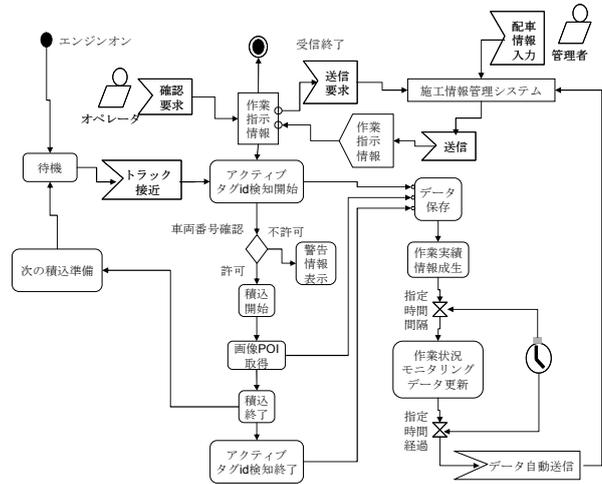


図-10 バックホウに搭載する NeCo Note の状態遷移図

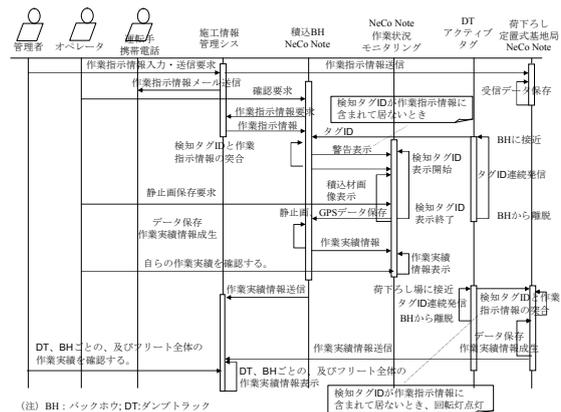


図-11 NeCo Noteのアクティビティ・シーケンス

(2) 作業状況モニタリング

バックホウのオペレータ向け作業状況モニタリングの画面例を図12に示す。本機能はつぎに示す事項を可能にする。

① 積荷種別情報管理

除石作業や排土作業に伴う建設発生土、災害廃棄物、築堤用土などの種類ごとに、その作業実績を管理することができる。

② オペレータは自らの作業状況とその実績情報をキャビン室内で確認することができる。こ

これらの具体例を以下に示す。

- a) 検知トラック情報は、タグを検知している間、検知トラックの情報が表示される。
- b) 運行状況と作業状況に関する項目は、一定時間間隔ごとに自動更新表示される。この時間間隔は事前に設定できる。
- c) 接近して来たダンプトラックのタグ ID と車両番号がモニタリング画面に表示される。このダンプトラックに対する積込可否を警告情報により容易に確認できる。さらに、画面に表示された車両番号とダンプトラックのプレート上の車両番号を目視確認することで、積込可否を判断できる。
- d) 自らの作業位置 (GPS データ) をいつも確認できる。NeCo Note がインターネットに接続できるとき、この作業位置を GIS 上で確認できる。
- e) 積込材のカメラ映像を画面上に表示し、必要に応じて静止画をその撮影位置 (GPS データ) とともに取得し、POI として保存できる。
- f) モニタリング画面に表示される作業実績情報
 - ・ 開始時間
 - ・ 経過時間
 - ・ 積込台数 (累計)
 - ・ 積込間隔 (平均到着間隔時間)
 - ・ 積込量 (累計)
 - ・ 時間量 (時間当たり積込量)

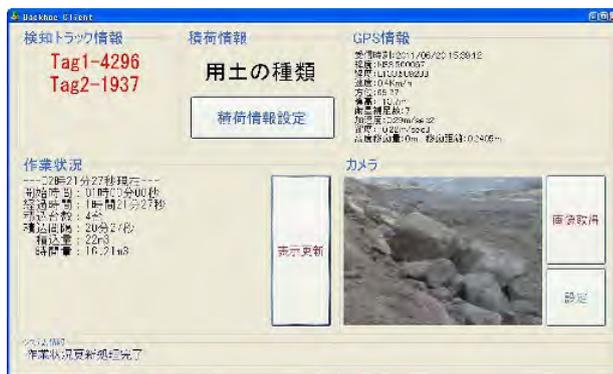


図-12 作業状況実時間監視画面例

4. まとめ

除石作業、排土作業、災害廃棄物の分別処理作業などでは、多くの作業箇所が広域に分散するとともに、多くの建設機械が稼動し、ダンプトラックが作業箇所間を行き交いする。ここでは、ダンプトラックは、積み込むまたは荷下ろしするために、建設機械に接近してくる。

これらの作業において、バックホウを母機とし

たフリート・マネジメントを活用することにより、つぎに示す効果が期待される。

- ① 作業現場ネットワーク構築の容易化
- ② 通信遅延/途絶が発生しても耐えるデータ交換機能の提供
- ③ データの収集と配信の容易化
- ④ 作業状況実時間遠隔モニタリングの実現と作業状況/実績の把握の容易化

管理者は、手元の PC また携帯電話を使用して施工情報管理システムにアクセスすることで、前述した指標値を作業状況実時間遠隔モニタリング画面にて確認できる。

そして、これらの情報を利用して、つぎに示すことが可能になる。

- a) 初期状態から目標状態に到達するまでの作業遂行状況の定量的評価尺度による表現と作業進捗度の把握
 - b) 作業間の生産性ラインバランス不均衡の把握と早期アラームによる初動対策のタイムリーな喚起
- ⑤ トレーサビリティ確保と不法行為抑止効果の向上
- 除石作業や排土作業に伴う建設発生土、築堤用土、災害廃棄物などの種類ごとの積込/荷下ろし位置と時刻の把握が容易になる。そのため、不法投棄のような不法行為を抑止する効果が向上する。
- ⑥ 成り行き管理から目標管理へ

NeCo Noteは、働き手 (オペレータ、運転手) に、自らの作業状況・実績を適時確認し、今後の作業の見込を立てる機会を与える。そのため、働き手に、成り行き任せの作業ではなく、目標を持った作業を促す。

- ⑦ ソリューションのイージ・オーダ方式組み立てとクラウド型サービスにより TCO を削減する。

参考文献

- 1) S. Nishigaki, K. Saibara, F. Matsuda, H. Ogura: "Points On Construction, " 25th ISARC, Vilnius, Lithuania, pp. 796-803, 2008.
- 2) S. Nishigaki, K. Saibara, S. Kitahara, H. Satoh, M. Hasegawa, H. Ogura, F. Matsuda: LHD Remote Monitoring and Management based on Delay/Disruption Tolerant Network, 27th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, pp. 326-335, ISARC 2010.

3. 災害応急復旧工事を支援する施工プロファイル

(株)キック ○西垣 重臣
(株)キック 才原 勝敏

1. はじめに

本論文では、災害応急復旧工事を支援するための、協働的な、情報可用性の高い施工と施工プロファイルのマネジメントの枠組みについて論述する。ここで、この枠組みを C4IM (Collaboratively, Communicative Construction and Collective Intelligence Management)と呼ぶ。施工プロファイルは、施工に伴って発生する事象の特徴、その特徴のパターンを示す指標などに関するデータ項目の集合であり、施工情報の集約を示す¹⁾。

まず、本研究の問題意識と C4IM の枠組みについて述べる。つぎに、本研究に関連する研究開発活動について報告する。そして、施工プロファイルの提供方法と考察視点について述べる。さらに、施工プロファイルの活用方法として、作業状況実時間遠隔モニタリング、作業速度の現状把握、作業間の生産ラインバランスの把握、施工資源配置の評価、管理状態の把握などについて説明する。最後に、本論文のまとめを示す。

2. 問題意識

災害応急・復旧工事の作業環境は作業に応じて変化し、作業箇所は屋外に分散している。今まで行ってきた、現在行っている、またはこれから行う作業の内容と作業全体の位置づけを理解することは非常に重要である。ここでの主なキーポイントはつぎのようである^{1), 2)}。

- ①目標管理
- ②指揮命令系統の確立
- ③優先順位、目的、戦略、戦術などが明確な作業命令
- ④コントロールの範囲と報告体系の明確化
- ⑤資源の総合管理と適時・的確な資源供給
- ⑥情報処理管理
- ⑦災害対応施設とその配備
- ⑧説明責任

しかし、災害応急・復旧工事の従事者たちは、被害拡大を防ぐための昼夜を問わない迅速な対応に迫られ、情報が錯綜し、混乱状態にしばしば陥る。そのため、彼らが前述したキーポイントを満足する活動を行うことは難しい。ここで直面する主要

な問題は、つぎのようである^{3), 4)}。

- (1) トレーサビリティ確保の難しさ
土石、流/倒木、廃棄物などの仮置き場と処分場を確保し、これらの処分状況を追跡し確認することが難しい。
- (2) 施工状況の把握と問題追跡調査の難しさ
 - 1) 作業土工量を把握し、清算業務への反映させることが難しい。
 - 2) 工程進捗状況を把握し、工程を調整することが難しい。
 - 3) 情報の多様性と分散により、関係者間の連絡調整と情報共有が難しい。
 - 4) 情報の信頼性と新鮮度を確保することが難しい。
 - 5) 建設機械の作業能力の把握、並びに生産ラインの構成と建設機械とダンプトラックの配置数量を決定することが難しい。

そこで、施工プロファイルの活用を図り、協働的な、情報可用性の高い施工を実現する仕組みの構築を目指す。そして、上記の問題を少しでも多く解決することで、働き手(管理者、オペレータ、運転手、作業員など)を支援したい。

3. C4IM の枠組み

3.1 働き手行動の3次元的考察

本研究において、図1に示すように、働き手の行動を主体特性と空間特性、そして時間的特性の3次元に分類して考察する。

それぞれの特性において注目するカテゴリをつぎに示す。

- ①主体特性：行動経験や知識、認知処理能力、自己調整能力などの処理能力
- ②空間特性：位置情報(重要管理区域、作業箇所、積込位置、荷下ろし位置、走行ルート、現在位置など)
- ③時間的特性：行動情報(デバイス、センサーの情報、事象生起検知データ、積荷運搬情報など)

本研究において、つぎに示す関係を仮定する。

- ① 主体は位置情報に空間的な見越しや先行手がかりを求め、フィードフォワード的行動をとる。

- ② 主体は、センサーの情報、事象生起検知データ、積荷運搬情報などの行動情報から、目的値と現状値の差を認識し、時間的な見越しによるフィードバック的行動をとる。
- ③ 位置情報と行動情報を組み合わせることで施工プロファイルを生成できる。前述したように、施工プロファイルは、施工に伴って発生する事象の特徴、その特徴のパターンを示す指標などに関するデータ項目の集合であり、施工情報の集約を示す。
- ④ 情報処理能力と情報の組み合わせ
主体は、施工プロファイルを活用して課題の検索と意図形成、そして仮想リハーサルを行う。

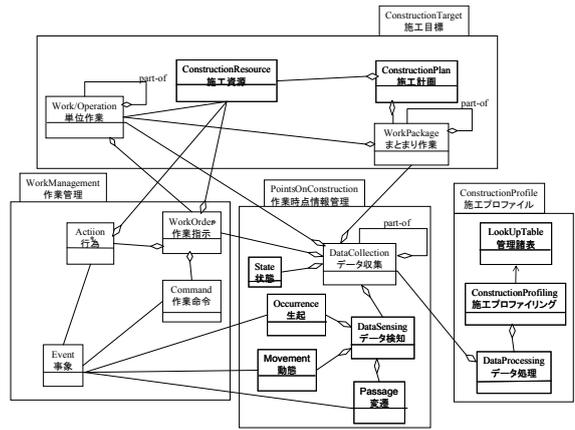


図-2 C4IM が想定する施工プロセスのデータモデル

この施工プロセス・モデルは、施工目標、作業管理、作業時点情報管理 (POC: Points On Construction), 施工プロファイルなどのクラスで構成される。POC とは、

- ①作業時点で移動体に係る事象生起を検知する、または
- ②動態計測データを収集し、施工情報管理システムに自動送信する、
- ③あるいは施工情報管理システムからマスターデータや作業指示データなどを自動受信する仕組みである^{8), 9)}。

この施工プロセスの PDCA サイクル・イメージを図3に示す。

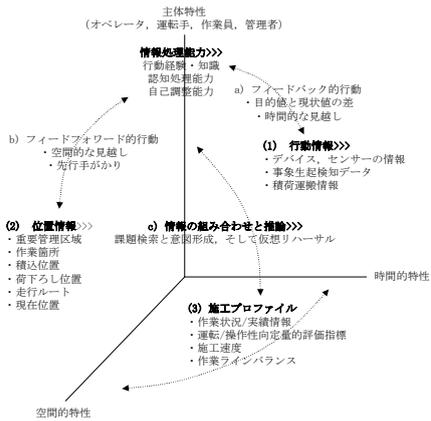


図-1 働き手行動の3次元的分類

作業現場では、天候、地震、土砂崩壊、土石流、津波、想定外の作業変更などの外部攪乱要因の影響を受ける。そのため、フィードフォワード的行動、フィードバック的行動、課題の検索と意図形成、そして仮想リハーサルなどの過程において、つぎのような人的過誤が起きるかもしれない。

- ①知覚: 情報不足、複雑さなどによる見落とし、聞き落とし、聞き間違い
- ②記憶: 混同、忘却 (ラプス)
- ③思考・判断: ミステイク
- ④行動: スリップ、省略、初動対策の遅れ

C4IM は、行動情報と位置情報、そして施工プロファイルなどの提供により、人的過誤発生の低減と初動対策のタイムリーな喚起などを図る。そして、前述した「直面する具体的な問題」を一つでも多く解決することを狙う。

3.2 C4IM が想定する施工プロセスのデータモデル

C4IM が想定する施工プロセスのデータモデルを図2に示す。

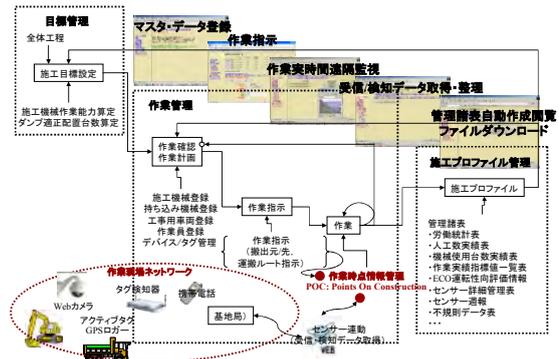


図-3 施工プロセスのPDCA サイクル・イメージ

4. 関連する研究開発

行動情報と位置情報を、可能な限り実時間で提供し、働き手のフィードバック的及びフィードフォワード的行動を支援するために、つぎの研究を行っている。

- (1) バックホウを母機としたフリート・マネジメントに関する研究⁵⁾

災害応急・復旧工事の作業箇所において、移動体はバックホウに接近してくる、またはその周辺

で稼働/作業することが多い。作業箇所におけるフリートの中心はバックホウである。ここで、フリートとは、日々の施工のために協働する建設機械、ダンプトラック、作業員などの移動体の編隊をいう。一方、風雨に晒されること、電源確保が難しいことなどから、作業箇所における情報技術の活用は難しい。そこで、情報機器類の養生と電源確保が容易なバックホウのキャビン室内に作業現場ネットワークの基地局を設置する。そして、バックホウが作業箇所において発生・収集されたデータの収集と一次保存、他の端末機器や施工情報管理システムとのデータ交換などの役割を担う研究を行っている。ここでは、バックホウは、作業箇所においてフリートの母機としての役割を担い、情報の収集と配信の効率化を図る。

(2) ECO 安全運転指導を支援するダンプトラック運行管理システム⁶⁾

ダンプトラックの ECO 運転を励行するために、急発進と急加速の回避、一定速度の走行、点検整備の充実などの定性的な指導が運転手に対して行われる。しかし、運転手の運転性向を定量的に把握して、ECO 安全運転の励行を指導する事例は希薄である。運転性向とは運転の振る舞いであり、運転手の運転態度やスキルを示す。そこで、ダンプトラック運転手の運転性向に関する定量的な指標とその評価方法を提供し、ECO 安全運転指導を支援するための、ダンプトラック運行管理システムの研究を行っている。

(3) バックホウ遠隔操作性向の定量的評価指標に関する研究⁷⁾

バックホウの遠隔操作性向を定量的に表現する評価指標の研究を行っている。ここで、遠隔操作性向とは、遠隔操作によるバックホウの振る舞いと、オペレータの操作態度やスキルを示す。これらの定量的評価指標は、オペレータの遠隔操作技能評価や遠隔操作システムのユーザ・インタフェースの有効性評価に活用できる、と期待される。

5. 施工プロファイルの提供方法

施工プロファイルの提供方法は、つぎの2つに大きく分かれる。

(1) 作業状況情報を実時間で提供する。

利用者は、手元の PC または携帯電話を利用して、施工情報管理システムにアクセスすることで、実時間ベースの作業状況情報を、いつでも、どこからでもモニタリングすることができる。

(2) 作業実績に関する指標を管理表に整理して提供する。

作業実績に関する指標値は、POC により収集されたデータに基づいて、自動生成されるとともに、管理表 (Excel ファイル) として保存される。こ

で想定している指標値を以下に示す。

- ① 作業 (積込/荷下ろし) 箇所内滞留時間
- ② 積込/荷下ろしにおける待機台数
- ③ 管理区画内走行時間
- ④ 往路走行台数
- ⑤ 復路走行台数
- ⑥ 荷積み (往路) 運行時間
- ⑦ 空荷 (復路) 運行時間
- ⑧ 積込/荷下ろし延べ台数
- ⑨ 運搬回数
- ⑩ 積込/荷下ろし間隔 (到着時間間隔)
- ⑪ 運行サイクルタイム
- ⑫ バックホウ稼働時間
- ⑬ バックホウ時間当たり積込量
- ⑭ 積込/荷下ろし量の合計
- ⑮ 積込、荷下ろし、運搬などに関するピッチタイム
- ⑯ 積込、荷下ろし、運搬などに関する作業速度
- ⑰ 作業経過時間と作業許容残時間

利用者は、手元 PC を利用して施工情報管理システムにアクセスすることで、管理表を閲覧する、または手元 PC にダウンロードすることができる。

施工プロファイルの提供は、トレーサビリティの確保と問題追跡調査能力の向上を図る。そして施工状況の把握を容易にする。

6. 施工プロファイルの考察視点

施工プロファイルの考察視点を図 4 に示す。施工プロファイルを空間、時間、生産性、価値、環境・法律などの軸で分類・整理する。そして、図 5 に示すように、横断的に、または時系列的に考察することで、利用者は前述した諸問題の解決に役立つ不具合事象や問題の原因に関する情報を得る、と期待される。

ここで想定される考察視点をつぎに示す。

考察視点 1: 作業状況を見る。

例えば、移動体 (建設機械、ダンプトラックや生コン車、作業員、建設資材など) の動向をみるとともに、早期アラーム表示有無を確認する。

考察視点 2: 作業速度を見る。

作業細別 (積込、運搬、荷下ろしなど) ごとの作業速度ベースラインを設定する。そして、作業速度ベースラインと現実の作業速度を比較し、両者の乖離をみて、現状を把握する。

考察視点 3: 生産ラインバランス

例えば、作業細別 (積込、運搬、荷下ろしなど) ごとの作業実績を把握し、これらの作業能力不均衡をみる。そして、施工資源配置の適正性を評価する。

考察視点 4: 施工資源配置状況を見る。

施工資源 (建設機械、ダンプトラック、作業員

など)の配置数量と配置位置を生産性の視点からみる。

考察視点5:管理状態をみる。

例えば、指標値の中にアウトライヤ(異常値)はないか、また、指標値のバラツキが拡大傾向にあるか、それとも縮小傾向にあるかをみる。さらに、各作業の作業速度や作業位置に関して、それぞれの先行後行関係とその干渉性をみる。

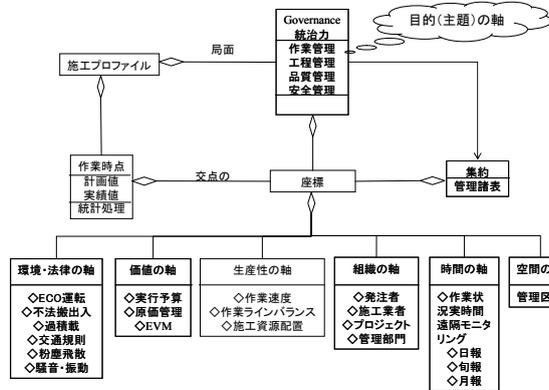


図-4 施工プロファイルの評価軸

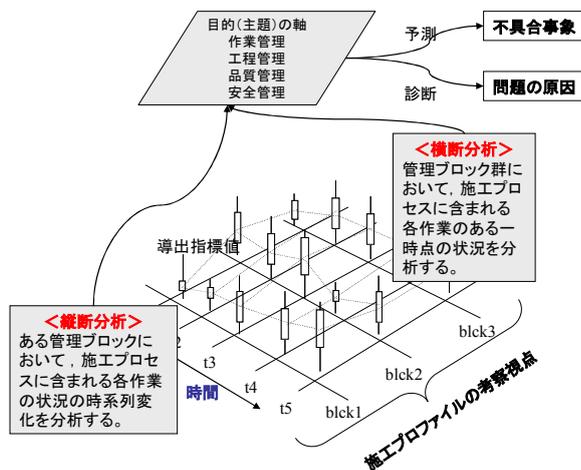


図-5 施工プロファイルの横断的・時系列的考察

7. 施工プロファイルの活用方法

以下に施工プロファイルの活用方法を示す。

7.1 作業状況実時間遠隔モニタリング

作業状況実時間遠隔モニタリングのPC画面例を図6に、携帯電話画面例を図7に、コンクリート打設速度管理PC画面例を図8にそれぞれ示す。

コンクリート打設速度管理例では、各打設エリアの打設所要時間と色別早期警告現示情報を表示する。打設が完了した区画の行を青色表示する。打設残時間が1時間以上あれば無着色、60分を切ると黄色、30分を切ると赤色で表示する。色別早

期警告現示情報は、タイムリーな初動対策のタイムリーを促す。



図-6 作業状況実時間遠隔モニタリングのPC画面例



図-7 作業状況実時間遠隔モニタリングの携帯電話画面例



図-8 作業状況実時間遠隔モニタリングのコンクリート打設速度管理PC画面例

それぞれのモニタリング画面情報は、POCで収集されたフィールドデータに基づいて1分間隔で自動更新され、作業状況情報の信頼性と新鮮度は確保される。

作業状況実時間遠隔モニタリングの目的を下記に示す。

- ① 初期状態から目標状態に到達するまでの作業遂行状況の定量的評価尺度による表現と作

業進捗度の把握

② 早期アラームによる初動対策のタイムリーな喚起

利用者は、手元のPCまた携帯電話を使用して施工情報管理システムにアクセスすることで、作業状況に関する情報を確認できる。そして作業状況の情報を関係者間で共有することで、お互いに連絡調整が容易になる。

7.2 作業速度の現状把握

積込、運搬、荷下ろしなどの作業速度の実績値とベースラインとを比較し、その乖離をみて現状を把握する。作業速度とは作業量を作業時間で除して得られる生産性指標である。

45度線（黒破線）とベースライン（赤破線）、そして作業実績（青破線）の比較イメージを図9に示す。

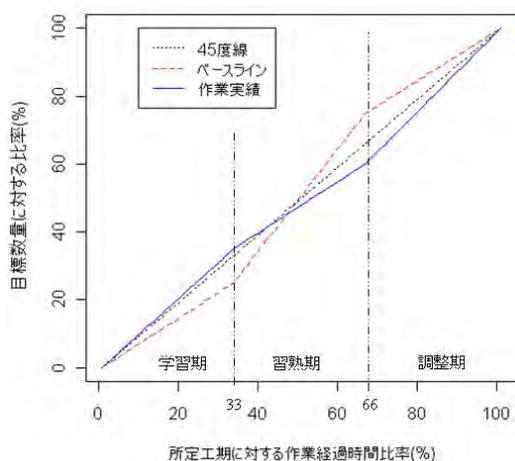


図-9 ベースラインと作業実績の比較イメージ

ここでは、目標数量の25%と75%のポイント、並びに所定工期に対する作業経過時間比率33%と66%のポイントを評価のマイルストーンとしている。作業開始から作業経過時間比率33%までを学習期、33%のポイントから66%のポイントまでを習熟期、66%のポイントから作業終了までを調整期とする。図9では、学習期で目標作業速度以上の実績を示し、習熟期に伸び悩み、調整期に突貫状態に陥った作業の例を示している。

このベースラインを次式で求める。

$$y = \alpha x + (\beta - \alpha)(x - a) + (\gamma - \beta)(x - b) \quad (1)$$

ここで、 $0 \leq x \leq 100$ かつ

$$\alpha = 25/a, \quad \beta = 50/(b-a), \quad \gamma = 25/(100-b),$$

但し、 $x \leq a$ のとき(1)式を

$$y = \alpha x \quad (2)$$

とおく。 $a < x \leq b$ のとき $\beta = \gamma$, このとき(1)式を、

$$y = \alpha x + \beta(x - a) \quad (3)$$

とおく。 $b \leq x$ のとき(1)を適用する。

前述したように、作業速度は、作業箇所、作業細別ごとに自動計算される。そのため、作業速度の現状とベースラインの比較を作業箇所、作業細別ごとに容易に行える。

さらに、所定工期の暦日スケジュールに対して、各作業の作業速度グラフを描くと、各作業間の先行後行関係の同調性や干渉性、並びに作業の残余余裕時間などを確認することができる¹⁰⁾。

作業速度現状把握の容易化は、作業土工量の把握、清算業務への反映、工程進捗状況の把握、工程調整などの難しさを低減する。

7.3 作業間の生産ラインバランスの把握

(1) 作業間の生産性ラインバランスの把握

作業生産性指標としてピッチタイムを用いる。ピッチタイムは作業所要時間を作業実績量で除して得られる生産性指標であり、作業速度の逆数である。

目標とするピッチタイムを(4)式より求める。

$$PT = \frac{wrkTime}{wrkVolume} \quad (4)$$

ここで、 PT : ピッチタイム, $wrkTime$: 作業所要時間, $wrkVolume$: 作業実績量である。

ピッチタイムが大きいほど作業速度は遅い。最大ピッチタイムを持つ作業をボトルネック作業と呼ぶ。ライン全体の作業速度はボトルネック作業のピッチタイムに制約される。他の作業はボトルネック作業のピッチタイムとの差に相当するロスが発生している。

生産性ラインバランスの不均衡は、ライン編成効率とバランスロス率をみることで把握できる。

ライン編成効率を次式より求める。

$$LFEfficiency = \frac{totalWrkTime}{nbrWrkcl \times \max PT} \quad (5)$$

ここで、 $LFEfficiency$: ライン編成効率, $totalWrkTime$: 各工程の総作業時間, $nbrWrkcl$: 作業数, $\max PT$: ボトルネック作業のピッチタイムである。

バランスロス率は次式より求まる。

$$balanceLss = \frac{nbrWrkcl \times \max PT - \sum PT}{nbrWrkcl \times \max PT} \quad (6)$$

ここで、 $balanceLss$: バランスロス率, $nbrWrkcl$: 作業数, $\max PT$: ボトルネック作業のピッチタイム, $\sum PT$: 各作業の総ピッチタイムである。

生産ラインバランスに関するこれらの指標値から、不均衡の程度、ボトルネックであるワークセル（作業箇所、建設機械など）などを把握するこ

とで、生産ライン構成の問題点と改善策に関する知見が得られる。

7.4 施工資源（バックホウ、ダンプトラック）の配置評価

平均運行サイクルタイムを平均積込時間で除すと、最大積込量または最大運搬量を得るダンプトラック台数が求まる。

作業（積込）箇所内平均滞留時間の逆数を平均サービス率、平均積込間隔（平均到着時間間隔）の逆数を平均到着率、積込における平均待機台数を平均待ち行列の長さとする。これらの指標値を待ち行列モデルに適用すると、待ち行列にダンプトラックが存在しない定常確率、バックホウの積込能力、バックホウの1時間当たり期待積込量、ダンプトラック k 台数のときの1時間当たり期待積込量などの指標値が求まる^{11), 12)}。

これらの指標値から、施工資源（バックホウ、ダンプトラック）の配置問題点とその改善策に関する知見が得られる。

7.5 管理状態の把握

指標値の経時的変化や横断的变化をみることで、アウトライヤ（異常値）の有無、その日次、週間、月間などの変動（周期性）、趨勢定常（トレンド）、自己相関、エルドード性などの作業特質を把握することができる。

8. まとめ

収集されたデータの編集加工と指標値算出は、退屈な、時間を浪費する作業である。C4IMは、指標値算出業務を自動化し、これらの指標値を実時間で提示する。さらに、空間、時間、生産性、価値、環境・法律などの軸で分類・整理した管理諸表を提供する。

施工プロファイルをみることで、作業速度、作業余裕時間、先行後行関係の同調性や干渉性、作業間の生産ラインバランス、施工資源配置の評価、周期性とトレンドなどの作業特質を容易に把握できる。これらの作業特質を作業箇所の現状や施工資源の配置状況と照らし合わせることで、作業の不具合事象の把握やその原因に関する知見が得られる。そして、フィードフォワード的行動、フィードバック的行動、課題の検索と意図形成、そして仮想リハーサルなどの過程における人的過誤発生の低減と初動対策のタイムリーな喚起などを図られる。

結果として、C4IMは、災害応急復旧工事において直面する作業状況と作業速度の把握、情報共有、施工資源配置、情報機器類活用などに関わる難しさを低減する、と期待される。

参考文献

- 1) S. Nishigaki et al: "Study on Framework of Construction Profile for Collaborative and Intelligent Construction," Journal of Applied Computing in Civil Engineering Vol.14, pp. 287-298, 2005.
- 2) 西垣重臣：災害応急・復旧工事を支援するICT施工管理システム，ロボット，No.198, pp. 56-62, 2011.
- 3) FEMA Emergency Management Institute: Course: IS-200 b: Introduction to Incident Command System, <http://training.fema.gov/EMIWeb/IS/is200blst.asp>
- 4) 岐阜社会基盤研究所，(社)岐阜県建設業協会：平成19年度災害時の緊急工事，応急復旧工事における技能承継事業報告書，2008，
<http://www.gifu.crcr.or.jp/kibanken/kenkyu/H19seika/11ginou.pdf>
- 5) 西垣重臣，才原勝敏：バックホウを母機としたフリート・マネジメントに関する研究，平成23年度「建設施工と建設機械シンポジウム」投稿中。
- 6) 才原勝敏，西垣重臣：ECO安全運転指導を支援するダンプトラック運行管理システム，平成23年度「建設施工と建設機械シンポジウム」投稿中。
- 7) 西垣重臣，才原勝敏：バックホウ遠隔操作性向の定量的評価指標に関する研究，平成23年度「建設施工と建設機械シンポジウム」投稿中。
- 8) S. Nishigaki, K. Saibara, F. Matsuda, H. Ogura: "Points On Construction, " 25th ISARC, Vilnius, Lithuania, pp. 796-803, 2008.
- 9) S. Nishigaki, K. Saibara, S. Kitahara, H. Satoh, M. Hasegawa, H. Ogura, F. Matsuda: "LHD Remote Monitoring and Management based on Delay/Disruption Tolerant Network, " 27th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, pp. 326-335, ISARC 2010.
- 10) M. Soini, I. Leskela, O. Seppanen, "Implementation of Line-of-Balance based Scheduling and Project Control System in a Large Construction Company," http://www.iglc2004.dk/_root/media/13060_043-soini-leskel-a-seppanen-final.pdf
- 11) A. H-S Ang, W. H. Tang: Probability Concepts in Engineering Planning and Design, Vol. 2, Decision, Risk and Reliability, John Wiley & Sons, Inc., 1984
- 12) D. Gross, C. M. Harris: Fundamentals of Queueing Theory, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1985.

4. 災害対策機械の被災地派遣について

国土交通省関東地方整備局 稲垣 孝

1. はじめに

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の対応で、関東地方整備局は被災地整でありながらも津波被災地へ排水ポンプ車を始めとする災害対策用機械の派遣を行い、現地で活動を行った。

本報告は、現地におけるTEC-FORCEの活動状況及び派遣にあたっての課題や今後の取り組みについて報告する。

2. 派遣状況について

今回の震災における災害対策用機械の派遣は、発災翌日の平成23年3月12日から平成23年5月28日までの78日間で延べ人員で職員305人、作業員787人の計1,092人となった。

2.1 東北地方への派遣

東北地整管内への派遣は、排水ポンプ車8台、散水車9台、待機支援車1台、作業車3台、パトロールカー1台の計25台を派遣した。

2.2 関東地整管内への派遣

関東地整管内への派遣は、照明車7台、対策本部車2台、待機支援車3台、排水ポンプ車1台、橋梁点検車1台の計14台を直轄での使用及び自治体への派遣を行った。



写真-1 排水作業状況（宮城県名取市）



写真-2 排水作業状況（宮城県仙台市若林区）

3. 震災当初の対応と現地の概要

震災当日の3月11日、本省より被災地への災害対策機械の派遣が指示され、給水のための散水車、待機支援車、パトロールカー、津波による浸水除去のために排水ポンプ車の派遣を実施した。

被災地の状況は悲惨なものであり、水、食料、宿泊先が確保できず、すべてこちらで準備して向かった。

最も問題があったのが燃料の確保であり、東北では燃料が調達できない状況であり、関東においても燃料の調達が出来ない状態が続いた。

4. 震災から解った課題

(1) 燃料備蓄基地の必要性

近畿や中部からの支援として、燃料を20tローリー車で輸送するとの申し出があったが、受け取る施設の安全性等の確認ができず、燃料を確保することが大きな課題となった。

ガソリンスタンドを借りる案も浮上したが、一般の方々とのお付き合いが出来ずスタンド自体の協力が得られない事とスタンドのタンクでは、ローリー車1台分程度の受け入れしか出来ない状況であった。

特に被災地の東北ではガソリンスタンド自

体も被災しており、受け取る事が出来ない状況であった。

関東地整では、備蓄基地を探していたところに、群馬県にある「山田重機リース(株)」から、自社の230kLのタンクを提供するとの申し出を頂き、関東地整備蓄基地として活用させて貰えることができた。

これで西日本からの燃料の受け入れも可能となり、政府調達に燃料を確保することができた。

(2) 災害対策機械への燃料供給

次に、各災害対策機械への分配をどうするかが課題となった。

各車両に燃料を供給するために、4kL ローリー車から直接給油できる車両の確保に苦慮したが、建設会社等の協力により数台確保できたので燃料分配車として活用した。

東北地整への燃料供給として、関東地整備蓄基地から140kLの軽油を4kL ローリー車にて各地に分配した。



写真-3 分配状況(4tローリー車にて)

(3) ガソリン車からディーゼル車への移行

今回の災害対応で燃料の重要性を身に染みて感じた。

ガソリンは輸送が困難であること、輸送量では200リットル以下と少量であり保管量も少なく取り扱いがとても難しいこと。

それに対して軽油は、ドラム缶で輸送可能でありトラックに5本分約1,000リットル輸送でき取り扱いもガソリンに比べ簡単であった。

現地での燃料調達が可能であったので、こちらからドラム缶持参で行くことで被災地の東北地整の面倒を無くした。

関東地整で保有しているほとんどのパトロールカーがガソリン車でディーゼル車は8台と少なかったため、支援できる車両も限られてしまった。

これは、排ガス規制の影響でディーゼル車自体が少なくなってきているものである。

関東地整備保有の1台を東北地整に支援として派遣した。

5. 現地での対応と本部の役割

(1) 職員の役割

浸水地域の排水作業は、行方不明者の捜索に必要な不可欠な作業であり一刻一秒を争う業務である。

派遣した職員としては、自らも作業員として手伝いたいとの思いはあるが、本当に必要な業務は現地状況の把握、排水が可能かどうかの位置の確認、排水計画の見通しである。

また、現地には各地整からの応援も来ており排水計画を含め、現地での役割分担を考えなければならない。

関東地整では、現地応援班5名の内、班長として本局課長補佐、専門官クラスを派遣し、現地リエゾン(自治体との情報連絡員)との対応、本部への報告、各地整との連絡調整を行わせた。

(2) 本部の役割

現地においては、派遣員が作業だけに集中できるように水、食事、宿泊先の確保などロジスティックス(戦略的物流)はすべて本部で実施した。

また、余震による津波の危険性もあるので、安否確保、連絡先の準備、パソコン、防臭マスク、ゴーグルなどの手配も行った。

特に宿泊先の確保が難しく、当初は待機支援車で寝泊まりだったが長期化している状況では、車両の中での宿泊では疲れが取れないため、宿泊先の確保が重要である。

(3) 被災地本部と現地との情報が錯綜

被災地本部の混乱は十分理解をしているが、浸水現場と本部との情報に大きな差異が見られ、また各地整の車両をバラバラに配置するなど非効率な運営を行っている。

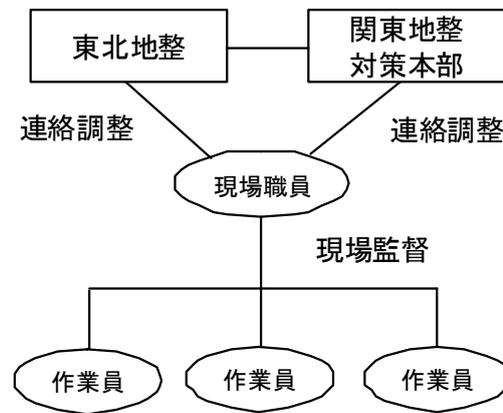


図-1 今回の派遣体制

6. 今回の教訓を踏まえた今後の対応

関東地整では、首都圏直下型地震を想定して以下の対応について検討する。

(1) 燃料の確保

首都圏直下型地震の想定範囲を外れた地域に備蓄基地を確保する。

具体的には、群馬県にある民間の施設と災害協定を結び、政府調達燃料や西日本からの調達に対応出来る燃料タンクを確保する。

(2) 災害対策機械の高度化

今回の経験を踏まえ、軽油での車両、長期宿泊が可能となる待機支援車の改良、7人乗りダブルキャブトラックの導入など震災における課題をクリアする、より使いやすく故障等の起きにくい災害対策機械を保有する。

例えば

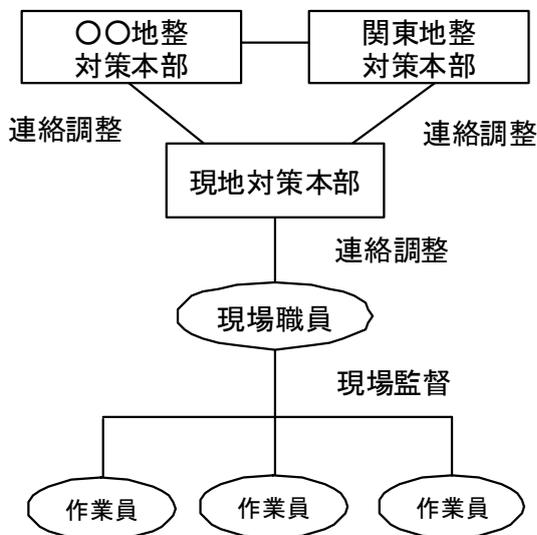
- i) 車両燃料とその他機械を稼働させる発動発電機の燃料を軽油に統一する。

排水ポンプ車には、軽量型ポンプを用いることで現地での重機等が不要となる。

(3) 現地対策本部の設置

他地整へ派遣する場合、現地作業を行う要員の他に対外的な調整やロジスティクス（戦略的物流）を実施する部隊を現地対策本部に置き、作業負担の軽減、情報伝達及び連絡調整の効率化、危機管理等が図られる。

また、各地整の代表が一同に介して、現地対策本部会議を開催し、各地整の実情（交替要員や作業員の確保）派遣先（自治体）リエゾンとの連携、災害対策機械のメンテナンスや交換用品の発注など、支援活動を効率的に実施するための組織が必要である。



図－2 今後の派遣体制（案）

(4) 応援地整からの TEC-FORCE 受け入れ体制の整備

今回の震災では東北地整災害対策本部の混乱ぶりから、命令系統の統一化、情報収集の重要性、自治体との連携が重要な業務であり、国土交通省の業務として、①道路啓開、②河川堤防、津波への対応、③自治体への支援、と業務が多岐に災害対策本部だけでは対応仕切れないので、応援調整の体制を整備する。

首都圏直下型地震を想定すると、全国からのアクセス、地震の影響を受けず、ライフラインが確保でき、宿泊施設も準備してある東松山の武蔵丘陵森林公園を拠点にすべての災害対策機械を集結させ、また、メンテナンスチームも設置し、応援チームの現地本部を設置する。

各現地本部では、地整の代表を決定し情報の共有化、一本化を図り関東地整災害対策本部への支援、判断、対応を各現地本部が判断し実施できるような体制を構築しておくべきである。

災害対策機械現地本部は独立で動けるようにしておくことで、東日本大震災の時のような指示待ちによる非効率な対応を削減することができる。

(5) 技術事務所の役割

関東技術事務所は大規模災害が発生した際に応急復旧活動に使用する資機材が配備されており、大規模災害が発生した際には所管事務所等と協力し、災害復旧活動を行うとともに、関東地整の資機材の運用拠点として活動する。

また、関東技術事務所は、関東地整（さいたま市）の災害対策本部の機能が麻痺してしまうような被害を受けた場合には、バックアップ本部として位置づけられており、非常時には災害対応の中核施設としての役割を担うことになっている。

今回の震災では、技術事務所の活躍は大きかったが、その分の負担も大きく技術事務所自体への人的バックアップの無かったことが残念であった。

首都圏直下型地震を想定した場合、技術事務所の重要性が高まる上、活動範囲も広がるので、応援地整からの人的なバックアップ、作業内容のマニュアル化を早急に検討しておかなければならない。

現在、技術事務所では、全職員を対象に月毎に訓練内容を変更して災害に備えて訓練を実施している。

7月下旬にあった7月29日新潟・福島豪雨では、土・日であったにも関わらず北陸地整に対して迅速な災害支援が行われた。

これも職員の日頃の訓練の成果であると思われる。

7. おわりに

今回の震災では、大規模災害発生時における教訓を得ると共に、様々な課題が浮き彫りになった。

関東地整では、首都直下地震の発生が懸念されている中で、今回の教訓の反映と課題については出来る限り早く解決し、来るべき災害に備えることが重要である。

また、現在、地方整備局として何が出来るのか、どのように支援していくことが、被災地の皆様にとって有意義であり、本当に困っておられることを理解することが、今後の復興支援に活かせることだと考えています。

国、地方、市町村としての支援のあり方、また縦割りと言われるが、国土交通省として、厚生労働省として、経済産業省として、環境省として所掌の範囲の中で最大限できることは何か、どうすれば他省庁の出先機関と連携して支援することが出来るのかを早急に検討すべきであると考えます。

今、この時にこそできることを実施することが、将来の災害への対応策であると考えます。

5. 無人化施工における自動平板載荷試験機の開発

雲仙普賢岳火山砂防事業・無人化施工工事における技術開発

(株)熊谷組機材部
(株)熊谷組機材部

○坂西 孝仁
北原 成郎

1. はじめに

雲仙普賢岳における砂防事業においては、立ち入り禁止区域での砂防施設（砂防堰堤・床固工）の施工に無人化施工によるRCCコンクリートの打設を実施している。その打設前の地盤支持力判定には簡易支持力測定器を使用してきたが衝撃加速度の最大地盤反力係数の相関より地盤支持力を算定することから、ばらつきが大きく全ての地盤において使用が出来るものではなく信頼性が低かった。また重機一体載荷型も見受けられるが一体型の扱い易さがある一方、重機の振動や油圧の影響を受けることがあった。こうしたことから遠隔操作で確実に地盤の平板載荷試験する本格的な試験機の開発が望まれていたが当社の無人化施工現場の赤松谷川6号床固工工事、おしが谷床固工工事（いずれも九州地方整備局雲仙復興事務所発注）の現場に合わせて実験機を開発し使用したのでその概要と実験状況等について報告する。

工事名	おしが谷床固工工事		
工事場所	長崎県島原市北上木場地先		
工期	平成22年 10月8日 ～平成23年3月30日		
工事内容	掘削工	7,148m ³	
	床固工 1号	1,458m ³	
	2号	2,428m ³	
	3号	2,057m ³	
	無人化施工設備	1式	



写真-2 おしが谷床固工全景

2. 工事概要

工事名	赤松谷川6号床固工工事		
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22年 6月22日 ～平成23年3月15日		
工事内容	掘削工	12,300m ³	
	床固工 本堤	5,199m ³	
	垂直壁工	1,377m ³	
	側壁水叩工	875m ³	
	無人化施工設備	1式	



写真-1 赤松谷川6号床固工コンクリート打設状況

3. 試験機の仕様

3.1 試験機開発目標

これまでの測定器に対しての課題から以下の開発目標を決めた

(1) 実験の完全自動化

試験中は操作室で試験担当者は載荷、除荷の操作をするが、手動であると油圧の調整が難しくバラツキが生じ精度が落ちるので、パソコンにより試験実行プログラムで実験をして負担軽減と精度の向上を図りたい。

(2) 地盤工学会仕様に準拠

無人化施工に合わせて遠隔操作で地盤工学会基準「地盤の平板載荷試験（JGS1521）」による試験方法に準拠する試験機を製作したい。

(3) 独立型の採用

油圧ショベルのアタッチメントタイプにすれば油圧や電源の確保が容易であるが、試験中も振動

の影響を受け試験に影響があるので試験機を独立型にして信頼性が高いシステムにしたい。

(4) 安定した無線システム

実験状況の確認のためWebカメラ等を装備して安定した無線システムを使用したい。

3.2 試験機開発の課題

次に開発目標から推定される課題について検討をした。

(1) 自動化の課題

簡単な設定と操作で確実に動作する試験機にはどのようなインターフェイスにするかが重要なので

- ①使用するソフトの決定、安定的に自動化で試験実行するしくみ
- ②容易な設定で試験の自動化、地盤工学会仕様の帳票が可能である仕様の検討をすることにした。

(2) 地盤工学会仕様の試験機製作の課題

地盤工学会平板载荷試験の仕様に合わせて遠隔操作による試験機を製作するには

- ①反力にする物体
- ②2m以上になる変位計を固定する基準ばりの構造
- ③変位計の仕様

等の検討が必要になった。

(3) 独立型の課題

試験機を独立型にすると電源、油圧の確保の方式が問題になる。その対応としてバッテリーの採用が考えられるが、バッテリーで駆動できるか慎重に検討する必要がある。また運搬して分離回収を遠隔操作で実施する必要があるので

- ①バッテリー容量と機器のバランス
- ②確実な試験機の運搬回収方法

等の検討が必要になった。

(4) 通信の課題

Webカメラ搭載を考えると無線LAN方式が適切である。無線LAN方式には一般市販されているIEEE802.11aや11n等があるが、距離が200m以上や起伏のある地形では通信が安定しない場合が考えられる。特に平板载荷試験箇所はRCCコンクリートの底部となるので位置的にも市販の無線LANでは届かない。

この対策として普賢岳の現場で重機の制御、操作、画像伝送に実績のあるIEEE802.11jメッシュLANの導入があるが、使用頻度を考慮するとコストパフォーマンスが悪い等の問題があり

- ①どの様にすれば距離があっても安定した無線システムに出来るのか
- ②コストパフォーマンスの良いシステムの構築の検討が必要になった。

3.3 試験機基本仕様の決定

問題点を考慮して以下の仕様とすることにした。

表-1 試験機仕様

機器	規格
タイプ	試験機独立型
反力	1m ³ 以上のバックホウ
ポンプユニット	常時圧力 72MPa 電磁バルブ付
油圧ジャッキ	200kN ストローク 500mm
変位計	リニアエンコーダ有効長 1000mm 精度 0.01mm
通信方法	重機中継式 11n⇔11j無線 LAN 使用
電源	蓄電池(12V)×4ヶ

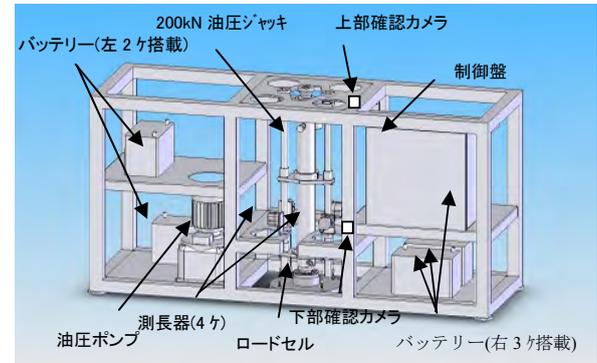


図-1 試験機全体図

(1) 試験機独立型

重機の影響を無くするため独立型とし、油圧ショベルのバケットに専用運搬治具を取付けて試験箇所まで運搬設置回収する。設置した後油圧ショベルを180度回転させて反力ウエイト代わりに試験で利用するので1m³クラス以上の油圧ショベルが必要となる。

基準ばりの門型形状は試験機を箱形フレーム構造にすることにより載荷板を含めた横幅2300mmを確保し上部は機器類を搭載する設計とした。たわみが生じないように□60mm肉厚6mm角パイプを使用している。変位計は有効長1000mm、精度0.01mmリニアエンコーダを使用することにした。これにより遠隔操作で地盤工学会基準「地盤の平板载荷試験(JGS1521)」の仕様に合わせた試験機の製作が可能になった。

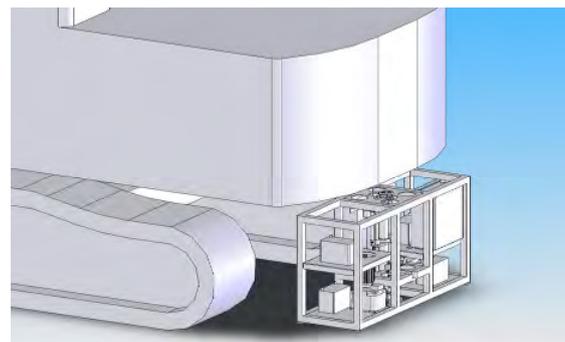


図-2 試験機試験イメージ図

(2) バッテリー駆動

振動の問題などからバッテリー方式を採用して油圧ポンプも搭載した。バッテリーで稼動のため油圧ジャッキ、油圧ポンプの仕様を必要十分で極力低出力の機器を選択し、制御プログラムにより綿密にインバータ制御して電力消費を抑え、稼動推定時間の倍程度を考慮した容量のバッテリーを搭載した。

(3) 重機の中継式無線LANの採用

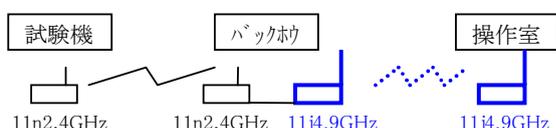


図-3 無線LAN中継イメージ図

バックホウ重機と操作室には出力が高くメッシュLANタイプのIEEE802.11j LAN無線機(4.9GHz帯)を使用して安定したデータの送受信を可能にした。

試験機と油圧ショベル間を市販されている低コストなIEEE802.11n LANを使用してコストを抑えたと共に安定した送受信が可能になりWebカメラを使用しても遅延の少ない画像や、ズーム機能、首振り操作がスムーズにできるようになる。試験機の運搬分離設置、試験状況を把握でき遠隔操作での試験が確実なものになる。

(4) 試験機にシーケンサ内蔵

試験を自動で操作するには操作室側のパソコンのプログラムにより無線を介して制御するのが通常であるが、前述した無線システムでも試験箇所によっては無線が安定しない場合も想定される。自動での試験中はこれにより、試験が止まってしまうことが想定される。そこで試験機側にシーケンサを内蔵して、操作室側からプログラムデータを送信、メモリしてから試験が始まるようにした。これにより通信が途絶えても試験は継続されると共に、データはメモリに蓄積されるのでデータの復旧も容易になる。

(5) Excel を使用した入出力

図-4はExcelの入力シートを示している。シート名は「平板載荷試験プログラム」である。表の列は「サイクル」「重量」「工程時間」「工程回数」である。表の内容は以下の通りである。

サイクル	重量	工程時間	工程回数
1	63.5	10	10
2	63.5	10	10
3	63.5	10	10
4	107	10	10
5	107	10	10
6	107	10	10
7	254	10	10

図-4 パソコン入力シート

試験プログラムの入力データはExcelシートで入力し出力データはこの上に書き込まれる。提出用の出力帳票は、市販の平板載荷ソフトにこの

EXCELファイルを読み込むだけで帳票が完成する仕様とした。これにより試験結果のまとめと沈下量曲線なども素早く終了し、作業時間低減が図れる。試験中の画面出力は、荷重と変位量の試験データを秒単位でパソコン画面に表示するし、グラフ表示し、試験の経過の観察も容易にする。

4. 試験機の詳細

4.1 機械構成

(1) 油圧ジャッキ、測長器、ロードセル

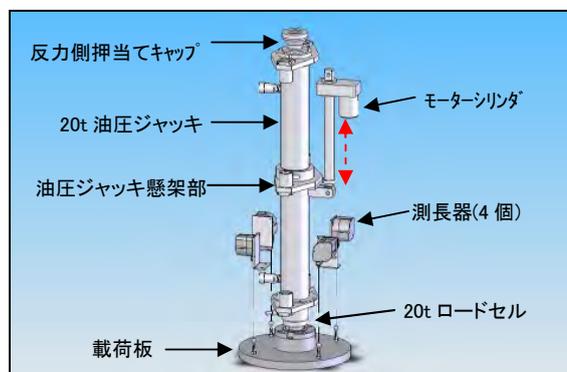


図-5 試験機油圧ジャッキ部詳細図

油圧ジャッキは200kNの揚力、ストロークは500mmである。収納時、試験機フレームに取り付けてあるモーターシリンダのロッドから油圧ジャッキ懸架部を介して吊り下げられている。この状態で試験機のフレームの中に収まり固定されて運搬が可能である。試験時にはモーターシリンダが伸びて(点線矢印)油圧ジャッキ懸架部が下がり載荷板が地面に着地する。この状態から油圧ジャッキを伸ばす。載荷板と油圧ジャッキはロードセルを介してダイレクトに接続されており、荷重時の測定が直接に可能である。載荷板取付部は球状の受け皿で載荷板下が水平でない場合でも角度調整が効く。

試験中油圧ジャッキは地盤と重機に挟まり独立している形になる。そして載荷板と基準ばりの代役となっている試験機フレームと測長器で4か所繋がっている状態である。従って油圧ジャッキに荷重をかけると沈下量が測れることになる。

ロードセルは油圧ジャッキに対応した定格容量200kNであり、デジタル指示計と組み合わせで制御される。

(2) 試験機運搬治具

油圧ショベルにて運搬する際にバケットに取り付けた運搬治具はあらかじめバケットにねじ穴の切ったプレート溶接し、ねじ止めするので容易に取り外しが可能である。

運搬治具は上部のL字懸架部で試験機上部フレームを持上げる。試験機縦方向フレーム部の内側に差し込む構造でありクリアランスは5mm程度で

あるが、運搬時の振動の影響を抑えるために少なくした。そして治具の下部にはロックピンガイドがあり、試験機側にある油圧制御のロックピンで固定される。一連の操作は操作室からWebカメラを確認しながら行う。

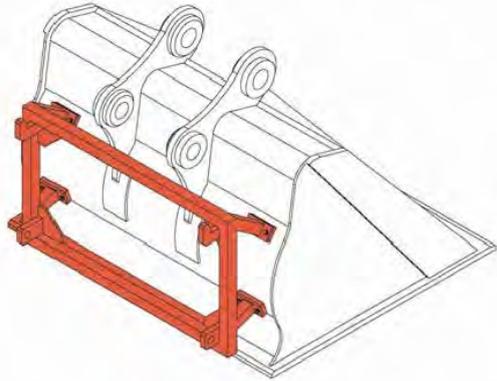


図-6 試験機運搬治具

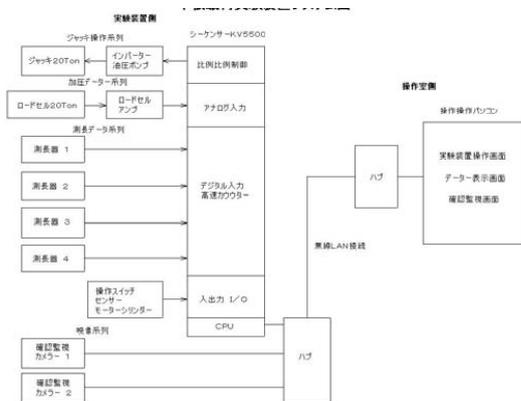


図-7 平板載荷試験機制御システム図

4.2 試験機側システム制御フロー

試験機側のシステムの中核であるシーケンサにはジャッキ操作系列、加圧データ系列、測長データ系列とその他から構成されていて最終的にはハブに集約されて無線LANにより操作室のパソコンとデータの送受信を行う。シーケンサにはメモリーカードが内蔵され操作室側から送られた制御プログラムを記憶して通信が途絶えても試験を継続し、測定データを蓄積する機能を有している。

画像データはWebカメラの画像データと制御データがハブを介してLANにて操作室と送受信される。

4.3 操作室側パソコン操作フロー

操作室側は試験機への操作プログラムの送信と試験機からのデータの受信、Webカメラの画像受信とカメラの首振り、ズームの操作の送信などをパソコンにより行う。その設定内容と操作順序について述べる。

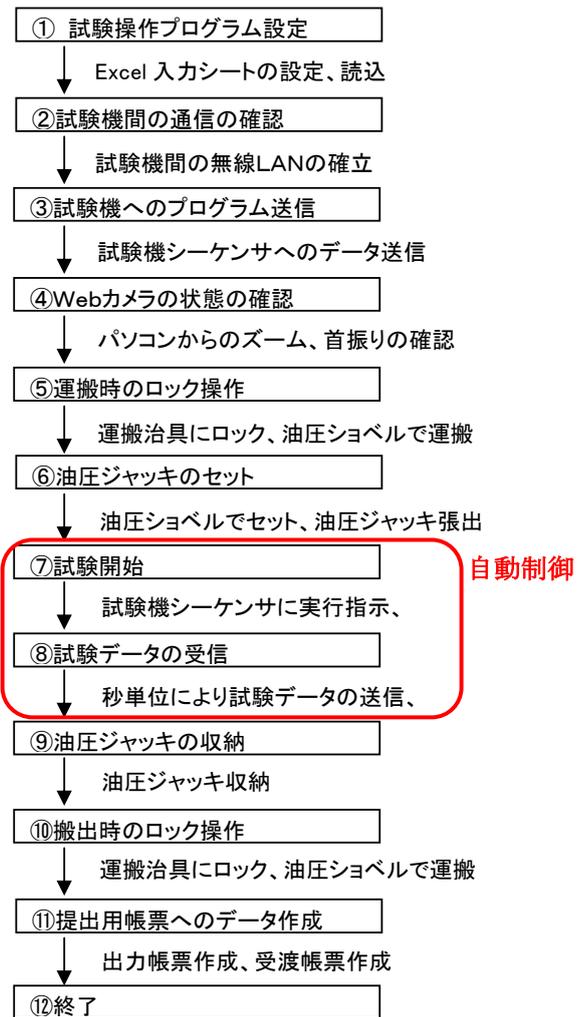


図-8 操作室側パソコン指示フロー図

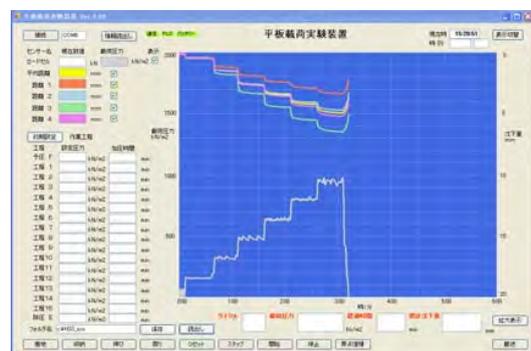


図-9 試験状況画面

5. 試験機の使用

実際の試験機使用を赤松谷川6号床固工とおし谷床固工にて使用したので試験内容と結果について述べる。

5.1 試験内容

(1) 施工箇所

平板載荷試験の実施箇所については本堤部支川センター、と本川センター2箇所で行う。

(2) 試験実施日時

①赤松谷川 6 号床固工工事

2010 年 10 月 22 日 10:00(左岸)

2010 年 12 月 2 日 10:00(右岸)

②おしが谷床固工工事

2010 年 12 月 9 日 10:00(1 号堤)

2010 年 12 月 17 日 10:00(3 号堤)

2011 年 1 月 12 日 10:00(2 号堤)

(3) 使用機械

表-2 使用機械一覧表

名称	用途	数量
バックホウ(1.2m ³)	装置の移動および反力	1 台
平板載荷試験装置	油圧ジャッキ制御、計測データ収集	1 式
カメラ車	走路などの確認用映像	4 台
中継車	重機操作、計測データの中継	1 台

(4) 試験方法

地盤工学会基準「地盤の平板載荷試験 (JGS1521)」による試験方法に準拠する。

(5) 計画最大荷重

設計地盤反力の 3 倍とする。

設計地盤反力は 234.7kN/m² (特記仕様書より)

計画最大荷重 234.7 kN/m² × 3 倍 = 704.1kN/m²

載荷板は、φ300mm (面積 0.07069m²) であるので、必要ジャッキ荷重は

704.1 kN/m² × 0.07069 m² = 49.772kN となる。

(6) 荷重段階

JGS1521 の規定から計画最大荷重を 5 ~ 8 段階以上に等分割する。今回の平板載荷試験では 6 段階に分けて載荷を行う。

1 段階の計測時間は 30 分であるので、30 分 × 6 段階 = 180 分、準備 30 分、撤収 30 分として、トータル 4 時間程度を計画している。

計画最大荷重 704.1kN/m² を 6 段階に等分割すると荷重ステップは 704.1 ÷ 6 = 117.6 ÷ 120 kN/m²

ジャッキ荷重ステップは

120kN/m² × 0.07069 m² ≒ 9 kN

(7) 平板載荷試験のスケジュール

表-3 試験スケジュール表

作業	ジャッキ荷重(地盤反力)	時間
セッティング		30 分
予備載荷		5 分
1 段階	9kN (127kN/m ²)	30 分
2 段階	18kN (254kN/m ²)	30 分
3 段階	27kN (381kN/m ²)	30 分
4 段階	36kN (508kN/m ²)	30 分
5 段階	45kN (635kN/m ²)	30 分
6 段階	54kN (762kN/m ²)	30 分
除 荷		5 分
撤 収		30 分
合計		

5.2 事前試験結果

2010 年 10 月 15 日 13:00 から事前試験を開始したが以下の問題点があった。

(1) 通信の確立

当初試験機と油圧ショベル間は 11nLAN 無線の 2.4GHz 帯を採用したが、周囲で 2.4GHz 帯を使用して混信しているため通信が確立しなかったため、急遽 5GHz 帯に変更した。また重機の陰になるように無線 LAN を設置すると通信が安定しなかったため可視範囲に親機、子機を設置した。但しこれでも Web カメラ画像が途切れることが数回あった。

(2) 運搬治具

油圧ショベルに取り付けた運搬治具にて試験機を遠隔操作で吊り下げなければならないが、最初はなかなかピックアップ出来なかった。クリアランスが 5mm 程度と少ないことや油圧ショベルの車載カメラでは位置が分かり辛かったことが原因である。試験機に目印のマーキングを実施すると共に、懸架部フックにはグリスを塗布して滑りを良くした。これによりほぼ解決した。

(3) 油圧ジャッキと電磁バルブ

油圧ジャッキの荷重には問題なかったが、油圧ポンプと電磁バルブのタイミングが悪く、加圧の際、電磁バルブが開くのが早い一時的に油圧が逃げて試験荷重値から乱高下してしまったことである。各段階の調整が必要でなかなか難しい調整であった。そこで逆支弁を取付け、電磁バルブが開閉したときの油量の逃げを抑えたところ変動が落ち着き、制御が問題なくいくようになった。

(4) その他

試験機が三点支持になる恐れがあったので当初は数種類の方法を検討したが、実際は隅四点に 10cm の円錐の突起物を取付け様子を見た。しかし地盤が適度に沈み込み隅四点はしっかりと設置したので試験には全く問題はなかった。

5.3 本試験

5 回本試験を実施したが、以下の通りであった

(1) 赤松谷川 6 号床固工(2 回試験)

①回収の際油圧制御のロックピンが片側入らなかったがピンのクリアランスの問題であった。

②試験の 1 段階の 9kN (127kN/m²)、5 段階 45 kN (635kN/m²) で油圧の調整の変動が大きくなり、遠隔操作でプログラムの修正をした。

(2) おしが谷床固工(3 回試験)

① 1 号堤で通信の途切れが発生した。通信状況が悪い場所なので 1m 程度場所をずらして試験をした。

② Web カメラ画像が地形の関係で途切れることがあった。

全体として試験機の回収に手間取ることや無線

が不安定になることはあったが、試験自体は大きな問題もなく終了した。当初あった試験荷重の変動も逆支弁の取付により次第に収まり、バッテリーの容量も当初予想した消費量が少なかったため、十分容量があり支障なく試験が完了出来た。

今後の試験においては自動化で実用に入るものと確信した。

6. まとめ

(1) 完全自動で平板載荷試験が可能

事前に予備試験を実施してその地質に合わせた調整を実施しなければならぬが、試験機を設置すれば基本的にパソコンのボタンを押すだけで試験が可能になった。操作室のパソコン操作者の負担は大幅に軽減され精度良く工程通りに完了した。またシーケンサに実験プログラムを送信し動作する方式であったので、通信状態が悪くても確実に試験を終了することができた。油圧電磁バルブの動作レスポンスが若干遅かったため調整に手間取ったが逆支弁を取付け調整し試験荷重の変動も5%以内に収まりまずまずの結果だと思う。

(2) 安定した無線システムの構築

無線システムも活用して安価に必要な十分な通信システムの構築が出来た。5GHz帯に変更後はおしが谷で一度通信が不安定になるケースがあったがその他は問題なく送受信ができ、試験の自動化に貢献した。

(3) バッテリー駆動で機器動作

油圧ジャッキと油圧モータのバランスを考慮しながら低出力の機器を選択したことやインバータと細密な制御パターンで省エネに努めた結果、搭載バッテリーで二回以上の試験ができることがわかった。次回からはバッテリーの数量を減らして試験する予定である。

(4) 地盤工学会仕様に準拠

試験機を独立させ箱型にして基準通りの代わりにさせたので端点の距離が十分確保でき、省スペースで無理なく機器の搭載が可能になった。またリニアエンコーダを使用して精度よく計測が可能になり地盤工学会仕様に準拠した試験機の製作が出来た。入力を一般的な Excel シートで入力しこれに上書きするシステムであったのでその後の出力帳票も市販平板載荷ソフトで容易に作成出来るので書類作成時間は半減した。

以上より当初の開発目標はクリア出来た。

7. おわりに

今回の開発には発注者、現場職員、協力業者の方々に多大な協力して頂いた。特に開発製作したイーメック谷口氏には詳細部に渡って指導受け、最終的に試験日まで完成することが出来た。今

後もこの開発で得たノウハウを活用して無人化機器の開発をしていきたいと思う。



写真-4 試験機運搬状況

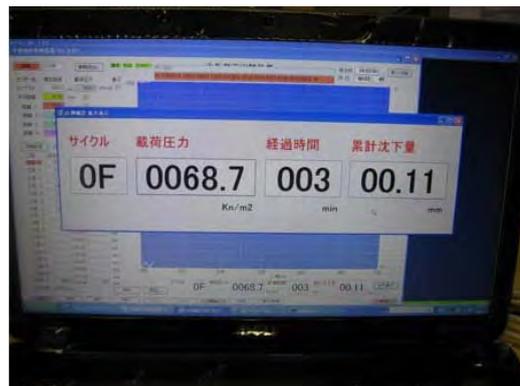


写真-5 パソコン試験画面



写真-6 試験状況

6. 4脚クローラ式不整地移動機構の開発

○日立建機 石井 啓範

1. はじめに

掘削機械として開発されてきた油圧ショベルをベースとして、ビル等の各種解体や、産業廃棄物処理などの様々な作業に対応した特殊な作業機械が開発されてきている。さらに近年、林業分野において、倒木・造材・集材作業用に専用アタッチメント搭載した“高性能林業機械”の普及が進んでいる(写真-1)。図-1は高性能林業機械の稼働台数を表すグラフであり、1990年代からその稼働台数が着実に増加していることがわかる。これらの林業機械は山岳部での作業となるため、今後、林業機械の活動範囲をさらに広げることが求められると考えられる。しかし、既存の油圧ショベルの足回り(固定2クローラ)では不整地への対応に限界がある。また林業以外で、例えば、地震等の災害復旧作業においても、不整地路面への対応能力が求められている。そこで作業機械の適用範囲のさらなる拡大を目指し、不整地対応をターゲットとした新しい移動機構を開発することとした。

2. 4脚クローラ式不整地移動機構

不整地に対応した移動機構として、様々な方式が考えられた。そこで、各種方式に対し、不整地移動に要求される項目を用いて、比較評価を実施した。その結果、移動機構として4脚クローラ方式を採用した。開発した4脚クローラ式不整地移動機構の外観写真

を写真-2に、外形寸法図を図-2に、作業範囲図を図-3に、移動機構部の構造図を図-4にそれぞれ示す。以下、移動機構の詳細について述べる。

2.1 脚クローラ機構

移動機構のセンタフレームには、前後左右端部にそれぞれ脚ユニットが設けてある。脚ユニットとは、脚根元ブラケットから先端のクローラユニットまでの部位の総称であり、大別して、脚根元ブラケット、脚フレーム、クローラユニットから構成されている。脚ユニットは、センタフレームに対し上下揺動自在に設けられており、脚ユニットとセンタフレームを繋ぐ脚上下シリンダによって駆動する。各脚ユニットを上下に揺動することにより、上部旋回体の姿勢を変化させることが可能となる。脚上下ユニットの可動角は60[deg]であり、最大脚上げ高さは750[mm]である。その結果、前後左右約20[deg]の傾斜地においても上部旋回体の姿勢を水平に保つことができる。

脚フレームは脚根元ブラケットを中心に左右揺動自在に設けられており、脚根元ブラケットと脚フレームを繋ぐ脚左右シリンダによって駆動する。ここで、前左右脚を左(右)側に、後左右脚を同じく左(右)側に駆動することによって、本移動機構を中折れ型のステアリング姿勢とし、旋回動作を行うことができる(図-5a)。本姿勢による旋回動作では、通常の2クローラが行う左右クローラの速度差による(超)信地旋回のようにクローラを横方向に滑らせることが無いため、路



写真-1 高性能林業機械
(プロセッサ)

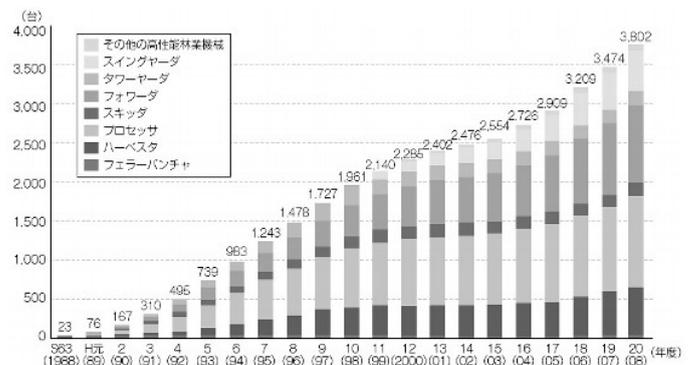


図-1 高性能林業機械の稼働数

面に与えるダメージを軽減することが可能となる。また、前後右脚を右側に、前後左脚を左側に駆動することによって、作業姿勢とすることができる(図-5b)。本姿勢では、クローラを左右外側に張り出すことによって、特に横方向の支持多角形を拡大することが可能となり、作業時の安定性の向上を図ることができる。

脚フレームの先端には、クローラユニットが設けられている。クローラユニットは脚フレームに対し受動的に揺動する構造となっており、クローラユニットの揺動に

より不整地への倣い動作を実現している。

最後に自由度について述べる(図-6)。本移動機構は各脚ユニットが上下左右の能動2自由度脚(J1, J2)を有し、各クローラユニットが脚フレームに対する受動1自由度(J3)と、走行用の自由度(J4)を有している。したがって、1脚当たり能動3自由度、受動1自由度となり、移動機構全体で能動12自由度、受動4自由度の構成となっている。

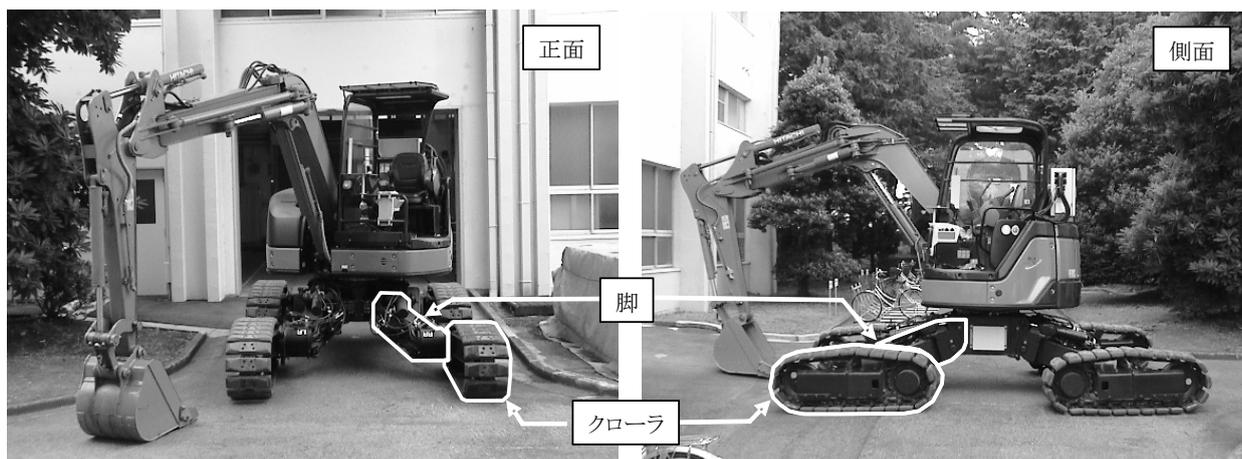


写真-2 4脚クローラ移動機構外観写真

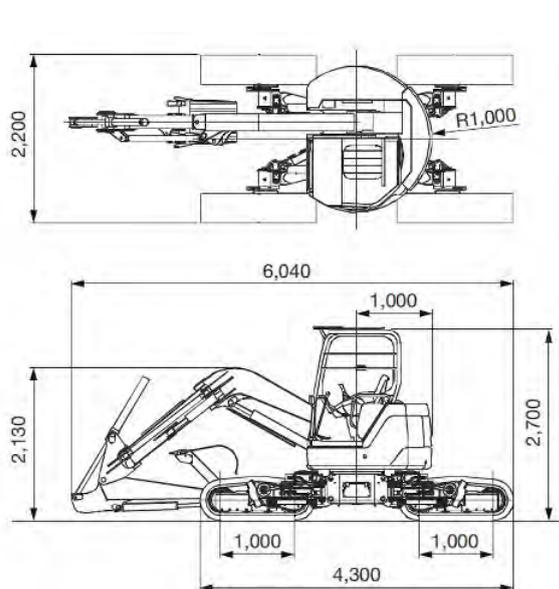


図-2 外形寸法図

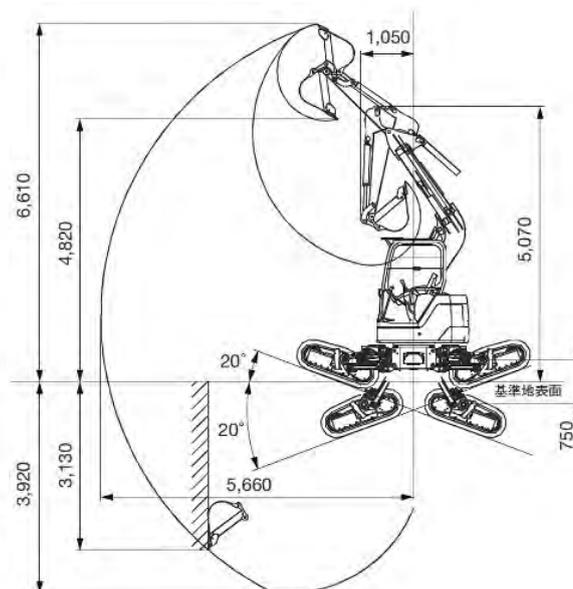


図-3 作業範囲図

2.2 全体システム

次に本機のシステム関係について説明する。図-7に本機システムの概略図を示す。

まず、本実験機のシステム全体について述べる。本機の油圧システムはロードセンシングシステムを採用している。原動機(ディーゼルエンジン)によって駆動される油圧ポンプは上部旋回体用コントロールバルブに接続され、上部旋回体用コントロールバルブには上部旋回体用のアクチュエータが接続されている。さらに、上部旋回体用コントロールバルブの出力ポートの一部が、センタジョイントを経由して移動機構用コントロールバルブに接続されている。さらに、移動機構用コントロールバルブの各セクションが移動機構用の各アクチュエータに接続されている。

また、移動機構用コントロールバルブはソレノイドによる電磁駆動方式を採用しており、この電磁弁を駆動するためのバルブ用コントローラもまた、移動機構に設けてある。本コントローラは上部旋回体からスリップリングを経由して給電されている。また、上部旋回体に移動機構の制御用コントローラを配置しており、上下のコントローラはスリップリングを介してCAN(Controller Area Network)で接続されている。上部コントローラには上部旋回体の運転席に設けてある操作装置が接続されており、操作装置からの信号を基に上部コントローラが演算した移動機構各アクチュエータの駆動信号は、CAN を経由して下部コントローラに伝達される。また、下部移動機構の姿勢角や負荷圧を計測するセンサは下部コントローラに接続されており、これらのセンサ情報は CAN を経由して上部コントローラに伝達される。

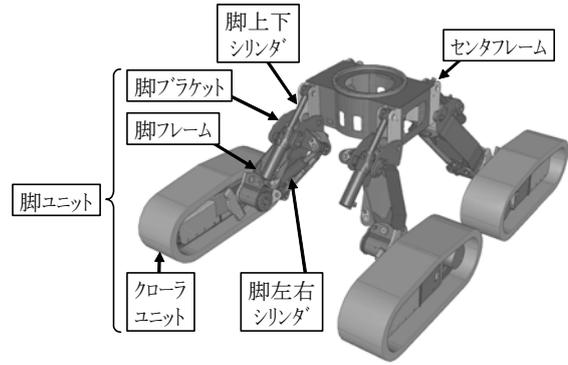


図-4 移動機構構成図

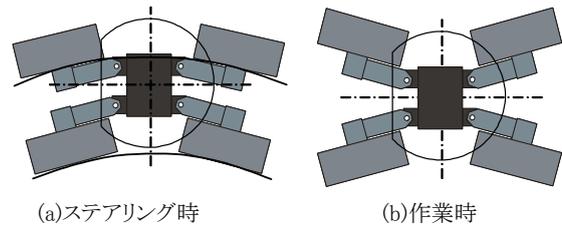


図-5 脚姿勢

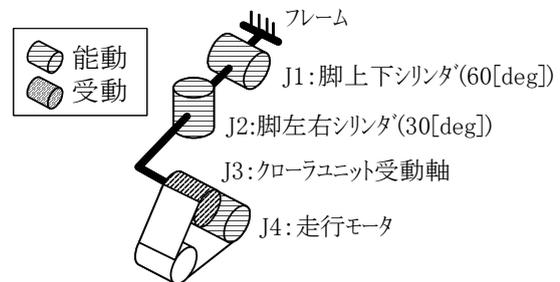


図-6 自由度配置図

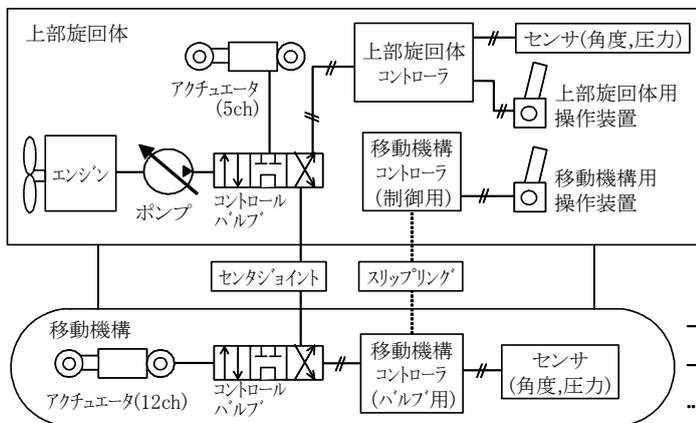


図-7 システム概略図

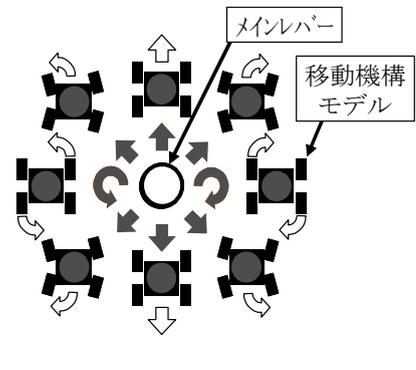


図-8 操作方式

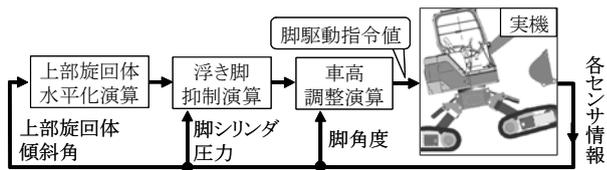


図-9 姿勢水平制御ブロック線図

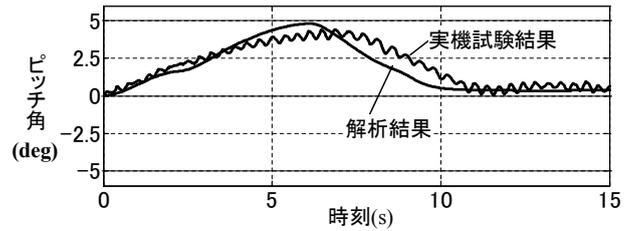


図-10 姿勢水平制御実験結果



写真-3 姿勢水平制御実験

2.3 操作装置

2.2 で述べたように、移動機構の操作装置は上部旋回体に配置された制御用コントローラに接続されている。操作装置本体は、上部旋回体の運転席内の前方部中央付近に配置している。本移動機構の操作方式は、フロントとの複合動作による瓦礫の乗越え動作等を考慮し、1本のレバーにより指示する方法としている(図-8)。3自由度のジョイスティックの前後自由度によってクローラの前後進速度を指令し、左右自由度によって脚左右シリンダのステアリング角を指し、さらに、ジョイスティック自体の回転自由度によって、左右のクローラに対し逆方向の速度指令を与える構成としている。

3. 姿勢水平制御

本機は不整地における作業を想定している。通常の油圧ショベルの場合、傾斜地等で作業を行う際に、上回りが傾斜した姿勢で作業せざるを得ず、作業性や安全性の低下に繋がっていた。そこで本機は、作業性の向上を目的として、上回りの姿勢を自動的に水平に保つ“姿勢水平制御機能”を有している。

3.1 姿勢水平制御の構成

本制御の主要な構成を図-9のブロック線図に示す。

まず上部旋回体水平化演算部にて、上部旋回体の傾斜角から上部旋回体を水平化するための各脚への駆動指令値を演算する。次に浮き脚抑制演算部にて、脚上下シリンダの圧力から判別した接地力

が弱い脚について、脚駆動指令値を調整する。さらに、車高調整制御部にて、車高を不必要に変化させないように、駆動する脚の優先順位を設け脚指令値を調整する。

3.2 実機実験

制御手法の実証実験として、上部旋回体の姿勢水平制御を実機実装し、17[deg]斜面の登坂実験を行った。

この時の機体の様子を写真-3に、上部傾斜角度の推移を図-10に示す。これらの図から、上部傾斜角に応じて脚を駆動させ、上部傾斜角を不感帯の1[deg]まで水平化していることがわかり、本制御方法の有効性を確認した。

4. おわりに

本報告では、林業や災害復旧作業等、不整地における作業を対象として開発した4脚クローラ式不整地移動機構および、考案した上部旋回体姿勢水平制御方式について述べた。

今後は実用化に向けて、実現場でのフィールドテスト等を行って行くのと同時に、本業機の開発を通して得られた技術を他の作業機械に展開し、将来の製品開発に結び付けていく予定である。

参考文献

- 1) 林野庁, 平成 21 年度森林・林業白書, (社) 全国林業改良普及協会, P16, 2010

7. 強降雨による斜面崩壊調査と安定解析に 基づく施工法についての考察

呉工業高等専門学校
呉工業高等専門学校
呉工業高等専門学校

○ 岡本 有希加
重松 尚久
小堀 慈久

1. はじめに

瀬戸内海沿岸部では「風化花崗岩」、通常「まさ土」と言われる特殊土が広く分布している。広島県の沿岸部も大部分が花崗岩地帯であり、雨量が比較的少ないために、深層風化を受けたまま浸食されずに堆積残留したところが多い。¹⁾このようなまさ土地盤では、梅雨の長雨、台風時の集中豪雨により、地滑りや崖崩れが毎年多数発生している。近年、集中豪雨の頻度や降水量が変化してきており、降雨時の土砂災害が多く、予測も難しいことが現状である。

本研究では、2010年7月豪雨による大規模な表層斜面崩壊が発生した広島県庄原市の場合と、2010年3月降雨による広島県坂町小屋浦地区斜面の岩盤崩壊について現場調査及び、物理的試験、力学的試験から降雨時の崩壊地の力学的特性を検討することで、近年のまさ土斜面崩壊の特性とその土質性状を比較検討し、今後の地盤災害防止対策と施工法を考察する。

2. 斜面崩壊のメカニズム

表層に降雨が浸透し、地表面は乾燥地盤から湿潤地盤に変化していく。この時土中に土粒子間力が働き、いわゆるサクシオン（負圧）が発生し、降雨量とともに一時的にサクシオンは上昇する。さらに降雨が増すと不飽和土からの飽和状態へと移り、サクシオン（負圧）は減少する。このサクシオンは土質の強度定数の粘着力の働きを示す。これは飽和度により増減するため見掛けの粘着力とも言われる。さらに降雨浸透が続くとサクシオンは減少し、地盤は飽和土となる。また、降雨浸透が進むと地下水位が上昇し、間隙水圧が発生する。傾斜面の土粒中を移動し細粒分を流下させながらさらに真の粘着力 c を奪う。地下水位が上昇し土粒子に浮力が働き、土粒子のかみ合わせによる摩擦力を低下させる。したがってせん断抵抗力が消失し、有効応力が低下し、粘着力 c 、内部摩擦

角 ϕ の強度がなくなり同時に斜面の地盤の自重が降雨により増加し、斜面におけるせん断力のつり合いが崩れ、斜面崩壊が発生する。これが斜面崩壊のメカニズムである。

3. 調査対象地域

3.1 広島県庄原市の場合

(1) 災害状況

写真-1 は庄原市の表層災害の状況である。2010年7月16日の夕方、広島県庄原市の川北町篠堂地区において3時間で173mm(広島県大戸雨量計)の集中豪雨によって大規模な土砂災害が発生し、住宅、道路、河川、農地に甚大な被害をもたらした。5km四方の範囲で200箇所以上の斜面がほぼ同時に崩壊するという過去に例をみない集中的な土砂災害であった。

3.2 広島県坂町小屋浦地区の場合

(1) 災害状況

写真-2 は坂町小屋浦地区の岩盤風化状況である。2010年2月24日から3月2日の7日間総降雨量は72mmであった。3月3日トンネル上部の岩盤が崩壊した。なお2日、3日の降雨は測定されていない。崩壊の原因として風化を受けやすい花崗岩であること、岩盤亀裂部の粘土化した細粒土に降



写真-1 庄原市災害状況

雨が浸透し岩盤自重等のせん断力が働き崩壊に至ったと考えられる。また現場調査で過去の防災工跡が見られた。

4. 現場調査と試料採取及び試料形成

三軸圧縮試験に用いるまさ土の不攪乱試料の採取方法は、表面の腐蝕土の部分を取り除きまさ土層を露出させ、シンウォール・チューブを利用したサンプリング・リングで採取した。採取寸法は径7cm、高さ15cmで一つの現場で3本ハンドトリミング法により採取した。持ち帰った試料は冷凍庫(-30℃)に12~24時間凍結保存した。成形時には特に端面の成形は注意深く行った。成形は径5cm、高さ10cmの標準試料寸法とした。室内一面せん断試験の試料は同様に不攪乱試料としてトリミングリングを静かに押し込みながら径6cm、高さ2cmの成形試料が取れるような土塊を採取した。

5. 室内試験方法

基本的にはJIS規格に基づき試験を行ったが、条件を設定した試験については詳細を明記する。²⁾

5.1 物理的試験

(1) 粒度分析試験

JIS A 1204に基づき行った。

(2) 密度試験

JIS A 1202に基づき行ったが、設定として各試料5つずつ行い土粒子密度の平均値を測定した。また、煮沸時間は1時間とした。

(3) 細粒分含有率試験

JIS A 1223に基づき行った。

(4) 透水試験

JIS A 1218に基づき変水位透水試験を行った。

5.2 力学的試験

(1) 三軸圧縮試験

JGS 0520~JGS 0524に基づき行ったが、採取試料や設定した拘束圧飽和時間について以下に記す。現場で採取した攪乱土、不攪乱土を用いる。攪乱土は、広島県庄原市上部、下部と坂町小屋浦上部、

下部で採取した試料を用いる。不攪乱土は広島県庄原市上部、下部と坂町小屋浦上部で採取した試料を用いる。攪乱土は締め固め法を用いて試料作成する。不攪乱土は現場で採取した試料を冷凍保存後、試料作成する。拘束圧は、まさ土の表層厚により、40kN/m²,80kN/m²,120kN/m²とし坂町小屋浦下部では拘束圧100kN/m²,200kN/m²,300kN/m²とした。なお、飽和試料とする場合は6時間排水を行い、不飽和試料とする場合は20分の給排水を行った。また、試料内の間隙水圧を荷重として作用させないために、軸速度は0.16mm/minとしひずみが15%になるまで、圧縮を続けた。

6. 結果と考察

6.1 物理的試験

(1) 粒度分析試験

図-1に庄原上部下部の粒度分布加積曲線を示す。上部下部ともに大きな相違は見られなかった。50%粒径は0.1~0.2mm径に見られた。

図-2は坂町小屋浦上部下部の粒度分布加積曲線を示す。坂町小屋浦上部は、平均的な粒径であり、50%粒径は0.7mm、下部は、50%粒径は3mmであり、礫土となったことがわかる。

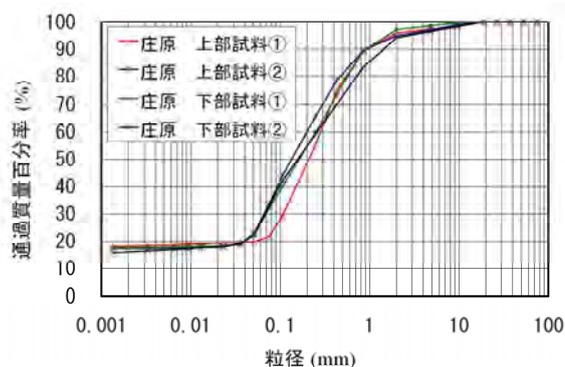


図-1 粒径加積曲線 庄原市

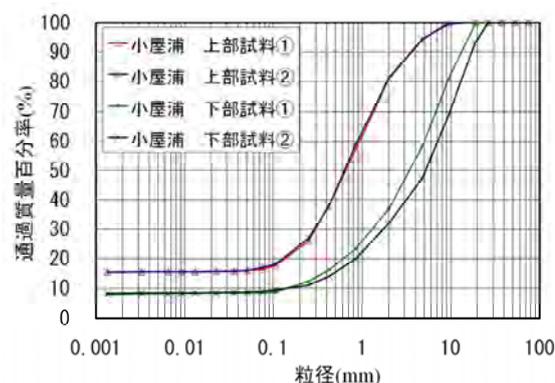


図-2 粒径加積曲線 坂町小屋浦



写真-2 坂町小屋浦地区災害状況

(2) 密度試験

表-1 に各現場のまさ土の密度を比較する。一般的に砂質土の ρ_s は 2.65g/cm^3 である。坂町小屋浦上部下部は 2.6g/cm^3 前後である。一方、庄原上部下部は、 2.5g/cm^3 で低い密度で細粒分が多いことがわかった。地質的に風化を受けやすい地層と考えられる。

(3) 細粒分含有率試験

表-2 に細粒分含有率試験の結果を示す。庄原下部の試料が 16~23%の低い値となった。庄原上部は、55%の細粒分が含まれており、シルト質に近い土であるとわかる。坂町小屋浦上部は 60%となり、風化堆積物が多いことがわかる。また、値が若干大きいのは採取時のバラツキが考えられる。坂町小屋浦下部は、粗骨材を破碎し、粗砂としたため細粒分が 4%と低い値となった。

(4) 透水試験

表-3 に透水試験の結果を示す。全ての値で微細砂であることを示している。

6.2 力学的試験

(1) 三軸圧縮試験

供試体は不攪乱土の間隙比に調整し突き固め法で成形した。飽和度は $S_r=90\sim93\%$ 程度となった。これを飽和土とし、他の試料についても同様に行った。図-3、図-4 にモール円から幾何学的に破壊式を得た。図-3 の庄原市上部の攪乱土では、内部摩擦角 $\phi=29^\circ$ 、粘着力 $c=14\text{kN/m}^2$ を得た。同様に図-4 の庄原市上部の不攪乱土では内部摩擦角 $\phi=18.5^\circ$ 、粘着力 $c=26\text{kN/m}^2$ となり、 ϕ は低い値となり c が増加している。この攪乱土と不攪乱土の相違として、不攪乱土は土粒子間の構造に乱れがないが風化が進行していると構造自体がもろくなっている事がある。この庄原市の場合も不攪乱土の

表-1 密度比較表

試料名	標準砂	庄原上部	庄原下部	小屋浦上部	小屋浦下部
密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.645	2.522	2.532	2.656	2.589

表-2 細粒分含有率試験

試料名	庄原上部	庄原下部	小屋浦上部	小屋浦下部
細粒分含有率 P(%)	55.12	23.19	60.76	4.21

表-3 透水試験

現場名称	透水係数
	$k_{15}(\text{cm/s})$
庄原市上部	7.97×10^{-4}
庄原市下部	5.48×10^{-4}
坂町小屋浦上部	5.83×10^{-4}

粘着力 c が大きいことから、強風化まさ土と言える。表-4 の内部摩擦角と粘着力の比較表より、庄原市の下部試料の ϕ と c でも同様に強風化を受け、攪乱土で $\phi=26^\circ$ 、 $c=18\text{kN/m}^2$ 、不攪乱土で $\phi=17.5^\circ$ 、 $c=30\text{kN/m}^2$ となった。一方、坂町小屋浦岩盤崩壊地では攪乱土は $\phi=35^\circ$ 、 $c=1\text{kN/m}^2$ 、不攪乱土は $\phi=31^\circ$ 、 $c=0\text{kN/m}^2$ となり弱風化まさ土である事がわかる。崩壊した岩石を物理的に破碎した粗粒土でせん断試験を行った。結果、 $\phi=38^\circ$ 、 $c=5\text{kN/m}^2$ となり大きな強度定数を得た。未風化試料の強度と言える。坂町小屋浦岩盤崩壊の現地調査で深層に風化進行が推測されるのは次の知見を得たからである。①崩壊地上部の岩盤調査で、岩壁に縦長の亀裂が多数見られたこと。②亀裂幅が $1\sim2\text{mm}$ あり、細粒土及びシルト質土が間隙を埋め、植物根が見られた。③斜面下部の岩盤に亀裂が多数見られ強風化により容易に剥離欠落した。

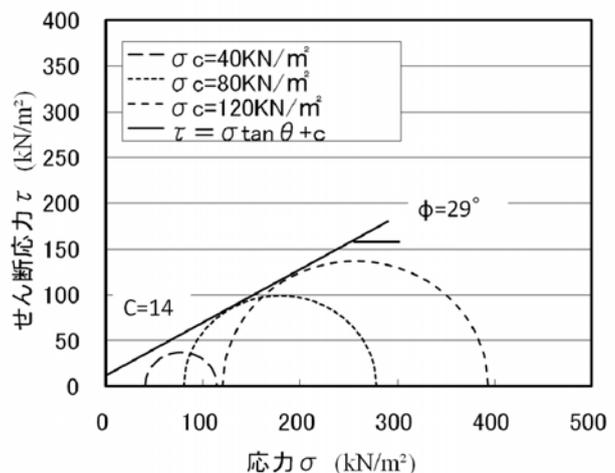


図-3 庄原市上部攪乱飽和のモール円による破壊線

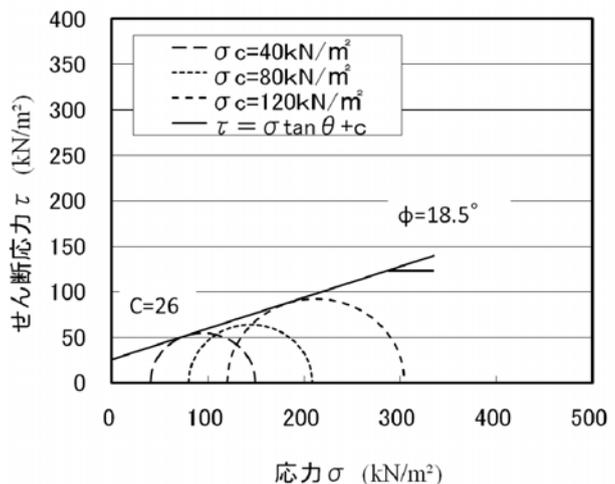


図-4 庄原市上部不攪乱飽和のモール円による破壊線

7. 安全率の検討

今回の研究と施工法の関係として、降雨による斜面崩壊現場の調査と試料採集を行い、現地状況と室内土質試験により土の現在の強度を調べる。強度が不足であれば、地盤改良等により安全率が十分得られるように設計及び施工する事となる。設計で用いる内部摩擦角 ϕ や粘着力 c は現場試料を力学的試験及び物理的試験により求める。表-5は三軸圧縮試験の数値を用いた不飽和土斜面の安全率と飽和土斜面の安全率である。式(1)は、無限斜面の飽和土の安全率 F_s を示す。

$$F_s = \frac{\gamma_{sub}}{\gamma_{sat}} \cdot \frac{\tan \phi}{\tan \alpha} \dots \dots \dots (1)$$

ϕ : 土の内部摩擦角(°)

α : 斜面勾配(°)

γ_{sub} 土の水中単位体積重量

γ_{sat} : 土の飽和単位体積重量

表-4を基に計算した各現場の安全率を表-5に示す。全ての現場において安全側の値を示している。しかしながら、安全率が十分であっても崩壊が起きた。崩壊が発生した原因として、異常な降雨量とかなりの風化進行が考えられる。これは、表-1の密度比較表からも言える。坂町小屋浦は岩盤崩壊で表層も薄く、長期に渡り岩盤亀裂部に雨水が浸透し深い所まで亀裂に沿った風化が進行していたと考えられる。また過去に取り付けられた防災

ネットのアンカーが残っていたが、これは以前から崩壊しやすい脆い岩質であったと考えられる。

8. 斜面安定施工における防災対策

- (1) 土構造物は降雨等の水による崩壊が多い。斜面上部(法肩)、斜面下部(法尻)に排水路、雨水弁を設ける。また、施工した斜面表面には排水パイプを各高さに数ヶ所設ける。パイプロが草類で詰まらないよう管理や排水パイプの裏めに碎石による集水部を設けるなど排水を十分行う事を考慮する必要がある。
- (2) アンカーによる安定施工として、急傾斜地で地山の基岩に強度があれば、アースアンカーで表層部鉄筋コンクリート井桁を打ち止める。また排水パイプも施工する。
- (3) 地盤の不安定な斜面の施工として、シルト質等で地滑り防止を考慮する場合には、斜面下部(法尻)に鋼矢板(シートパイル)を砂礫層まで打ち、地滑りに対し抑止工を施工する。また、斜面内に数ヶ所に集水層及び集水井戸を設け排水し、地下水位を低下させるために抑制工を施工する。
- (4) 基岩の強度の確保として、近年、岩盤の深層崩壊が課題となっている。長期間の地殻変動、今日の降雨強度の上昇等が考えられる。今後、岩盤深層部の強度を考慮して、斜面の安定設計、施工をしていく必要がある。

9. まとめ

本研究では2010年3月、7月の集中豪雨災害から庄原市川北町篠堂地区斜面崩壊と、坂町小屋浦地区岩盤斜面の調査と室内土質試験から次の事柄が得られた。

- (1) 庄原市表層斜面崩壊土は、細粒分の多い強風化まさ土であること、またシルト分が多く風化が進行していると見られる。
- (2) 坂町小屋浦岩盤崩壊調査で岩盤が物理的、化学的、地質学的に強風化が見られると同時に深層に風化進行が見られた。岩盤中の亀裂に残る細粒土の雨水浸透が崩壊原因と見られる。
- (3) 近年の異常な降雨により、安全率が十分であっても崩壊が起きることがあると思われる。
- (4) 斜面施工には、斜面内外の排水の管理を十分行う必要がある。

参考文献

- 1) 小堀慈久: まさ土地盤における原位置力学試験と降雨による斜面災害の時系列特性に関する研究, 愛媛大学学位請求論文, pp43-59, 1997
- 2) 社団法人地盤工学会: 土質試験の方法と解説(第一回改訂版), pp54-60, 61-68, 69-92, 334-347, 441-562, 563-600, 2000

表-4 内部摩擦力と粘着力の比較表

現場名称	三軸圧縮試験	
	内部摩擦角 $\phi(^{\circ})$	粘着力 $c(kN/m^2)$
庄原上部 攪乱飽和	29	14
庄原上部 攪乱不飽和	26	27
庄原上部 不攪乱飽和	18.5	26
庄原下部 攪乱飽和	26	18
庄原下部 攪乱不飽和	27.5	12
庄原下部 不攪乱飽和	17.5	30
坂町小屋浦上部 攪乱飽和	35	1
坂町小屋浦上部 攪乱不飽和	32.5	0
坂町小屋浦上部 不攪乱飽和	31	0
坂町小屋浦下部 攪乱飽和	38	5

表-5 各現場における安全率

現場名称	安全率 F_s
庄原上 攪乱飽和	1.73
庄原上 攪乱不飽和	6.52
庄原上 不攪乱飽和	1.21
庄原下 攪乱飽和	1.57
庄原下 攪乱不飽和	6.69
庄原下 不攪乱飽和	1.16
坂町小屋浦上 攪乱飽和	1.56
坂町小屋浦上 攪乱不飽和	1.02
坂町小屋浦上 不攪乱飽和	1.40
坂町小屋浦下 攪乱飽和	1.69

8. TS（トータルステーション）を用いた 出来形管理技術の舗装工事への適用について

国土交通省関東地方整備局関東技術事務所 古川 伸一

1. はじめに

ICT技術を建設工事に活用する「情報化施工」は、施工の生産性の向上・品質確保・安全性向上等を図る有効な技術として期待され、各工種において開発・整備が進められている。

関東技術事務所では、舗装工事において品質の確保・安全性の向上・作業時間の短縮・作業の効率化等の多くの効果が見込まれる「トータルステーション（TS）を用いた出来形管理技術」の適用について、管内において試行工事を実施し、妥当性及び効果について検証を行い、「施工管理データを搭載したトータルステーション（TS）を用いた出来形管理要領（案）」を作成した。

2. 検討経緯

関東技術事務所では、情報化施工推進戦略が策定される前から全国に先駆けて、情報化施工技術の一つである「施工管理データを搭載したトータルステーション（TS）による出来形管理」を舗装工事に適用を図るための現場実証及び管理要領（案）策定等を以下のとおり実施してきた。またその内容について、「舗装の情報化施工検討委員会」（委員長：建山和由 立命館大学教授）※を開催し、審議いただいた。

○平成19年度

- ・プリズム方式TSを用いた新設舗装工事の出来形管理の現場実証（新設舗装工事：7現場）
- ・検証項目：プリズム方式TSの新設舗装工事の幅・高さ・層厚管理への適用性

○平成20年度

- ・ノンプリズム方式TSを用いた舗装修繕工事の出来形管理の現場実証（舗装修繕工事：3現場）
- ・検証項目：舗装修繕工事への適用性検証、必要機能の確認

○平成21年度

- ・平成21年8月「施工管理データを搭載したトータルステーション（TS）を用いた出来形管理要領（案）舗装工事編 関東地方整備局」¹⁾を策定

- ・TSを用いた舗装工の出来形管理の現場実証（舗装修繕工事：2現場 新設舗装工事：5現場）
- ・検証項目：舗装修繕工事への適用性、効果等の検証

平成22年度には、要領（案）の適用対象工種の拡大を目指し、試行工事（6現場）において、舗装工、縁石工及び排水構造物工の出来形管理について、適用性の確認及び管理要領（案）の妥当性検証を行い、縁石工及び排水構造物工まで含んだ出来形管理要領（案）の改訂を行った。

3. 調査概要

3.1 出来形管理用TSの概要

出来形管理用TSとは、測量器（TS）とTSに接続または内蔵された情報機器に搭載されたソフトウェアにより、現場での出来形計測と出来形の良否判定を同時に行なうものである。従来は、水系、巻尺、レベル等の方法を用いて計測していた計測項目について、計測点の3次元座標値から基準高、幅、厚さ、延長を算出する。

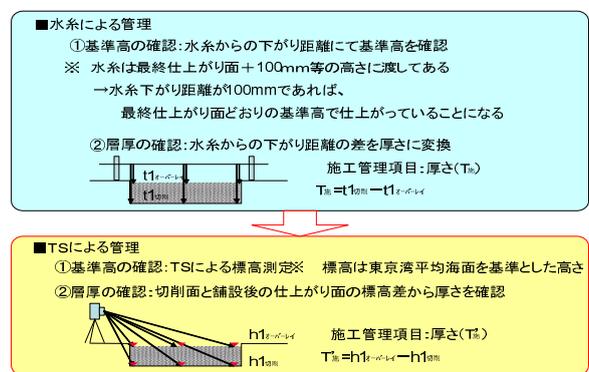


図-1 現行手法とTS手法の出来形算出方法の違い

TSの計測方法は2つの方式があり、計測点に反射プリズムを設置し計測するプリズム方式と、レーザー光で直接計測点を計測するノンプリズム方式がある。

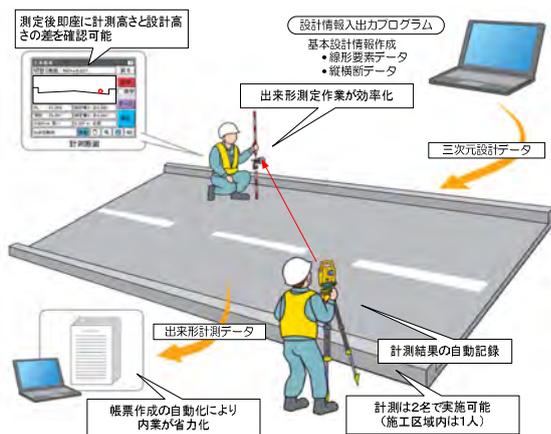


図-2 プリズム方式

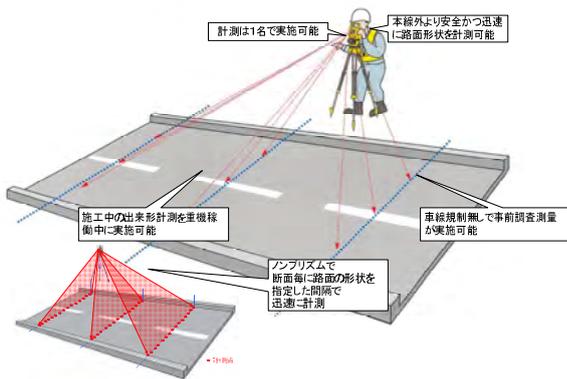


図-3 ノンプリズム方式

ノンプリズム方式では、歩道等にTSを設置してレーザ光にて路面の高さを計測可能であり、本線に立ち入ることなく工事測量や出来形管理が可能である。そのため、工事測量に伴う車線規制の省略や、施工中の出来形計測の際に重機に近接しての作業が不要となり安全性が向上する等のメリットもある。しかし、舗装工事における出来形管理では、凸凹である舗装面を計測することから、測距光の反射が不均一となり、計測精度が低下する可能性があるため、プリズム方式と比べ現場条件に対する影響が大きく事前確認等を必要としている。

3.2 試行工事実施内容

出来形管理用TSを用いた出来形管理の試行工事を関東地方整備局管内の6現場において、プリズム方式、ノンプリズム方式のそれぞれについて実施した。

TSによる出来形管理（以下「TS手法」という。）と現行の出来形管理（以下「現行手法」という。）との2重管理にて実施し、その作業性や安全性、出来形計測結果を比較することによりTSの

導入効果・適用性を検証した。なお、試行工事の実施にあたり、出来形管理用TSの用途拡大が目的であることから、縁石工及び排水構造物工のみではなく、実施工にあわせ舗装工も含め、下記内容について実施・検証を行った。

(1) 縁石工・排水構造物工への出来形管理へのTSの適応性検証

現行手法（レベル・メジャによる出来形計測）とTS手法による出来形計測結果の比較により、TSの縁石工・排水構造物工への適用性を、計測精度の観点から検証した。

(2) TS出来形管理の実施方法、手順の確認

平成21年度に策定した、舗装工のみの要領（案）【舗装工事編】に、縁石工・排水構造物工の出来形管理要領を追記したもの（以下、要領（案）（追記版）と記載）について、試行工事で運用し、記載された手順等についての妥当性検証を行った。

(3) 出来形管理用TSの導入効果の検証

現行の「出来形管理要領（案）舗装工事編」を用いた出来形管理作業を行う上で、現場で生じている問題点を作業手順毎に抽出した。

次に、個々の問題点について、出来形管理用TSを活用することによる4つの解決策を下表のとおり提案した。以下の4つの解決策を実際に試行工事にて実施し、その効果を検証した。

○出来形計測作業

出来形管理用TSを用い、出来形計測点を自動的に視準・計測し、作業効率を向上させる。

○出来形管理資料作成

出来形管理用TSで記録される出来形計測データを用いて出来形管理資料作成作業を自動化し、内業の労力を軽減する。

○丁張り設置作業

出来形管理用TSと、入力した基本設計データを用いて丁張り・水系設置を行い、準備計算を省略する。また出来形管理用TSのレーザポイントにて丁張り設置位置を現地に位置だしする手法で、丁張り設置作業の迅速化を実現する。

○道路工事完成平面図の作成

出来形管理用TSで計測した縁石・排水構造物の出来形計測データは道路台帳付図に記載する地物の平面位置座標としてそのまま利用することで、別途完成平面図作成のための測量作業を省略する。また、施工者が出来形管理用TSを用いて、道路台帳付図を施工業者による作成を実現する。

4. 調査結果

(1) 縁石工・排水構造物工への出来形管理へのTSの適応性検証

新たにTSを適用する縁石工・道路付属物工について、下図に示すようにTSおよびレベル・メジ

ヤにより基準高・延長の出来形計測を行い、両計測結果の比較により、TSの計測精度を確認した。なお、測定には国土地理院登録の2級Aトータルステーション、3級レベル、JIS1級メジャを用いた。

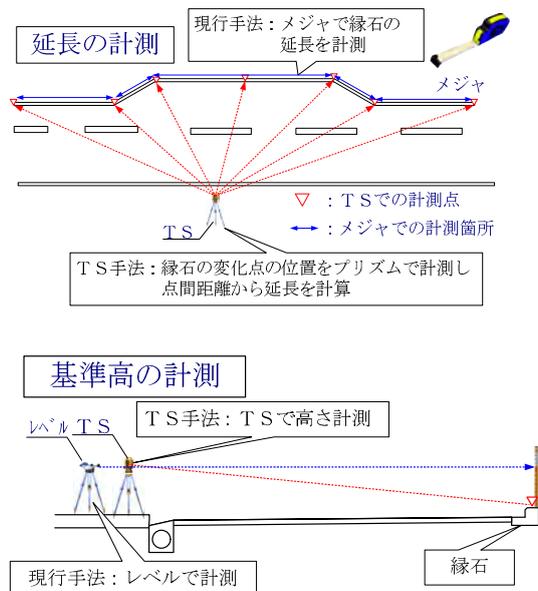


図-4 TS手法と現行手法による出来形計測値の比較

計測結果の比較結果を下図に示す。道路付属物（縁石・縦断管）の基準高については、両者の差最大 2mm 程度であった。また道路付属物（縦断管）の延長については、現行手法とTS手法の計測値の差は1%未満であった。

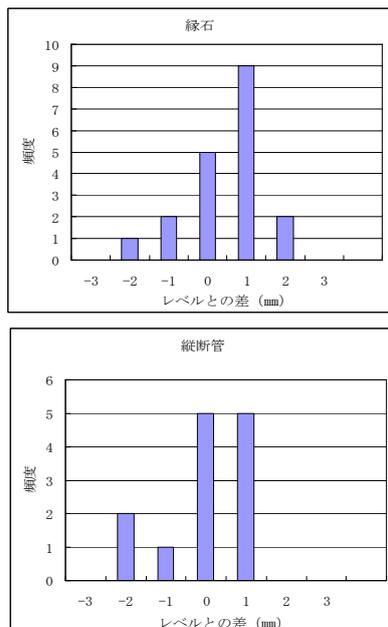


図-5 レベル測定値に対するTS測定値の誤差

表-2 メジャ測定値に対するTS測定値の誤差

TSによる縦断管の延長測定結果	
	縦断管延長(m)
設計値 No.226+19.8~	107.000
メジャによる測定値	107.015
TSによる測定値	106.993
TSとメジャーの差	-0.022
誤差(%)	0.02

TSによる植栽縁石の延長測定結果	
	縁石延長(m)
設計値 (No.9+20~No.10)	173.500
メジャによる測定値	173.550
TSによる測定値	173.531
TSとメジャーの差	-0.019
誤差(%)	0.01

以上より、TS手法と現行手法による出来形計測結果は基準高・延長ともに合致しているため、TSを縁石工・排水構造物工の出来形管理に適用することは可能である。

(2) TS出来形管理の実施方法、手順の確認

○ノンプリズム方式の縁石工・排水構造物工への適用性確認結果

要領(案)(追記版)に記載した内容にて試行工事を実施したが、段差のある縁石工・排水構造物工の計測には、レーザー光が段差部の測定点をピンポイントで認識できず、ノンプリズム方式による出来形計測が困難であることが判明した。この結果より縁石工や排水構造物工にはプリズム方式を用いる事を要領に記載した。

○ノンプリズム方式の舗装工への適用性確認結果

ノンプリズム方式では、凸凹のある舗装面に対しレーザー光をあて計測することから、計測精度において現場条件に対する影響がプリズム方式と比べ大きい。

○出来形管理用TSに追加すべき機能の有無の確認

縁石工・排水構造物工の出来形を計測するに当たり、出来形管理用TSに舗装工の機能に対し、追加が必要な機能を試行工事で確認した結果、舗装工の出来形管理と同じ機能で縁石・排水構造物工の出来形管理も実施可能であることが確認できた。ただし、縁石・排水構造物工の出来形計測の作業性を向上させるためには、プリズム自動視準機能が有効であることが確認されたため、実装を推奨する機能として要領(案)解説編に追記した。

また施工者より、縁石工・道路付属物工の出来形計測点のコントロールポイントの配置がわかりにくいとの意見が寄せられたため、縁石工・道路付属物工の出来形計測点の配置についての解説を要領(案)に追記した。

(3) 出来形管理用T Sの導入効果の検証

試行工事において、出来形管理用T Sを用いた工事測量、基本設計データの作成(舗装計画図の作成)、出来形計測、出来形管理帳票の作成、丁張り設置、道路工事完成平面図作成のための測量作業を実施し、出来形計測作業の作業性、安全性、計測精度について検証した。

試行工事で検証した結果の概要を以下に示す。実証された導入効果は、「T Sの導入メリット」として要領(案)解説編に記載した。

○出来形管理(外業)の効率化

- ・出来形計測にプリズム方式(自動追尾)の採用により計測が簡易になることから、作業時間、工数が約50%低減した。(区間延長120~145mの試行工事3現場での実績による)

○出来形管理(内業)の効率化

- ・出来形管理用T Sから出力される出来形計測データを用いた帳票作成時の手入力作業の省略、ソフトウェアによる帳票作成の自動化により、内業にかかる労力が約40%低減した。

○工事測量作業の効率化・安全性向上

- ・縁石等の計測には、プリズム方式(自動追尾)を用いることにより、プリズムの視準が不要となり作業時間が約20%向上した。

○丁張り設置作業の効率化

- ・出来形管理用T Sを縁石等の丁張り設置に適用が可能である。
- ・基本設計データをそのまま使って丁張りができるので、準備計算が不要になり、丁張り設置における内業の作業効率が約10%程度向上したが、外業作業は位置出し以降の作業は、同じであることから現行手法とほぼ同等である。

○道路工事完成平面図作成作業の効率化

- ・出来形管理用T Sを道路工事完成平面図作成の測量に適用が可能。また習熟度によっては、請負業者直営にて平面図の作成が可能となる。

○出来形計測作業の安全性向上

- ・ノンプリズム方式では、車道上での作業が無いため、現行手法と比較して作業の安全性が非常に高く、特に通行量の多い都市部の現場において大きな安全性の向上が期待できる。

5. まとめ

試行工事にてT Sを用いて出来形管理を実施した結果、舗装工事に付随する縁石工及び排水構造物工に対し適用が可能であることが実証できた。

また、出来形計測作業の効率も、現場条件により差は生じるがある程度の効率向上を図ることができた。なお、更なる適用拡大策として、丁張り設置作業時の使用や工事完成平面図の作成作業への適用も試行工事内で検証し、適用可能であった。

上記の結果より、「施工管理データを搭載したトータルステーション(T S)を用いた出来形管理要領(案)」「舗装工事編」を、要領本編及び解説編としてとりまとめた。なお、要領(案)の内容の妥当性については、「舗装の情報化施工検討委員会」にてご審議でいただいた。

なお、ノンプリズム方式については、更なる精度検証が必要であることから、上記出来形管理要領(案)は、プリズム方式のみについての記載とした。

6. 今後の計画

「施工管理データを搭載したトータルステーション(T S)を用いた出来形管理要領(案)舗装工事編」は、平成23年度内に公表を行うため現在検討中である。また、国土技術政策総合研究所より、出来形管理用T Sの必要な機能を規定した「出来形管理用トータルステーション 機能要求仕様書(案)」「舗装工事編」及び左記機能要求仕様書に対応したT Sと基本設計データ・帳票作成ソフトとの間で交換されるデータの形式等を規定した「T Sによる出来形管理に用いる施工管理データ交換標準(案)」についても公表を行うため現在検討中である。

これらの要領類が公表されることで、メーカー等による出来形管理用T Sの開発及び販売の促進が期待される。それにより施工者が機器を調達できる環境が整い、直轄工事への本格導入が進むことで、舗装工事の施工管理等の合理化に寄与することができるものと考えられる。

建設工事の合理化に役立つ情報化施工技術について、今後も関東技術事務所として現場への導入・実用化に向け取り組みを進めていきたいと考える。

※「舗装の情報化施工検討委員会」:舗装工事に情報化技術を適用し、施工管理等の効率化、品質の確保を目的に関東地方整備局で設立している。

参考文献

- 1) 関東地方整備局:「施工管理データを搭載したトータルステーション(T S)を用いた出来形管理要領(案)舗装工事編 関東地方整備局」,平成21年8月,
<http://www.ktr.mlit.go.jp/gijyutu/gijyutu00000021.html>

9. ICT技術を利用した盛土の品質管理システムにおける活用方法について

国土交通省 近畿地方整備局近畿技術事務所 ○能登 眞澄
 国土交通省 総合政策局公共事業企画調整課 山元 弘
 国土交通省 近畿地方整備局和歌山河川国道事務所 菊池 弘

1. はじめに

ICT を建設施工に利用して施工を行う情報化施工は、施工品質の向上や熟練度に左右されない均質で高品質な施工が行うことができることから、一部技術は現場にて実用段階にある。

国土交通省では「トータルステーション(TS)による出来形管理技術」及び「マシンコントロール(MC) (モータグレーダ) 技術」を H25 に一般化として、本報告を行う「TS/GNSS による締固め管理技術」を含む3技術を早期実現化として、公共事業において積極的に一般化・実用化を推進している¹⁾。

本報告は盛土締固め管理技術について ICT を利用して品質管理, 維持管理における活用方法の検討の報告である。

2. 盛土の締固め管理技術による情報化施工の現況

現在の盛土の締固め管理は、実施工にて締固めた施工面積に応じて測定箇所数を決定し、砂置換法もしくはRI法で、その測定箇所の土の密度や含水比などを測定していた。これは実際に締固めた土の物性を直接測定する品質管理方式であるが施工面において点的な管理しか行えないものであった。

ICTを利用することによりTS, GNSSを用いて取得する締固め機械の走行軌跡の座標データをもとに、走行履歴管理を行い、締固め回数について施工面の全体を把握する。(図-1) これは直接測定を行わず締固め回数管理を行い、品質を確保する工法規定方式である。これにより、施工面全体に面点に管理することができ、全体的に均質な品質を確保することができる。

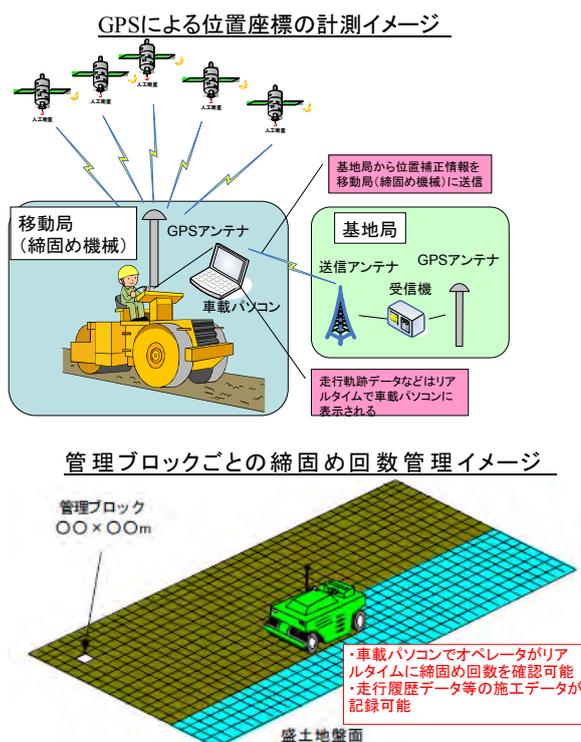


図-1 TS/GNSSによる締固め管理技術概要図

一方、締固め回数や走行履歴等の施工データは、標準化されたデータフォーマット(以下、「データ交換標準」という。)が整備されておらず、各施工業者が独自システム、独自フォーマットで、データを利用している。オペレータが、自身の施工状況を視覚的に確認するために用いるだけであれば問題は無いが、発注者にて監督・検査及び今後の維持管理において施工データを活用するためには、データ交換標準の整備が不可欠である。(図-2)

そこで、施工データの活用を目的としたデータ交換標準(案)の検討、データ活用方法の検討を行うものである。(図-3)

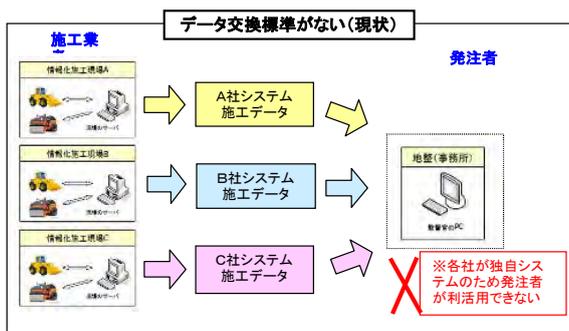


図-2 データ交換標準がある状況

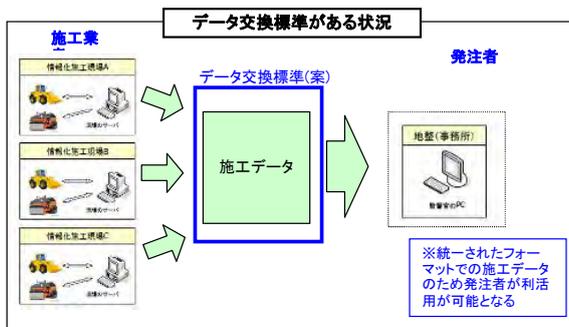


図-3 データ交換標準がある状況

3. データ交換標準(案)の検討

盛土の締固め施工データの活用を目的として、受発注者間でのデータ交換時の共通ルールであるファイル形式、データの構造、属性、型などの標準フォーマット等を規定したデータ交換標準(案)を検討した。

3.1 データ交換標準(案)の適用範囲

データ交換標準(案)の適用対象範囲としては、監督・検査及び維持管理に活用を行うこと、既に施工業者、メーカーが独自のシステムを開発していること、現行の盛土締固め施工管理要領である「TS・GPSを用いた盛り土の締固め情報化施工管理要領(案)」²⁾により施工データは検査時に発注者に提出することから、施工者から発注者への提出段階における施工データの標準化を適用範囲とした。(図-4)

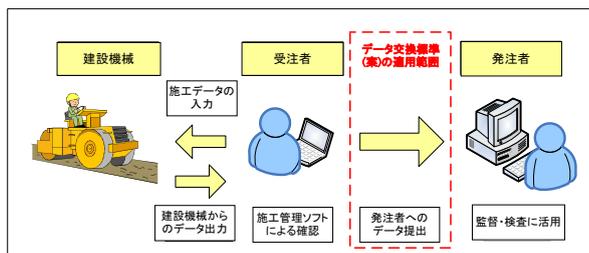


図-4 データ交換標準(案)の適用範囲

3.2 データ交換標準(案)の検討方針

データ交換標準の(案)の検討方針として、現行の関連基準類¹⁾³⁾⁴⁾、施工業者・メーカー等によって開発・利用されている既存フォーマット等に留意し、特定システムに依存しないデータフォーマットであるとともに各社からのデータ交換を容易し汎用性の高いものとした。

また、今後の監督・要領の改訂、維持管理の高度化に伴い活用可能なように拡張性が高いフォーマット構造とした。

3.3 データ交換標準(案)の作成

(1) データ要素の検討

独立行政法人土木研究所ではISO 15143⁵⁾(表-1)で規定する情報モデル(クラス図)に基づき、施工業者の使用するシステムの調査結果等からデータ辞書素案を作成している。また、関東地方整備局において盛土締固め情報化施工における監督・検査に必要なデータ項目について検討している。これらのデータ要素に加えて監督職員へのヒアリング等を行った。これらのことから各社システムが対応可能であり監督・検査において必要なデータ要素について抽出・整理を行った。

表-1 ISO 15143について

<p>ISO15143 とは</p> <p>土工機械、道路工事機械を対象に、建設現場作業における電子交換に関する基本的なルールを定めた国際標準</p> <p>名称：Earth-moving machinery and mobile road construction machinery Worksite data exchange -</p> <p>概要：施工現場のデータ交換の環境構築を容易にするために、明確なデータ定義手段として不可欠なデータ辞書とスキーマを提供</p>

(2) クラス図 データ辞書の作成

抽出・整理したデータ要素をISO15143に準拠してクラス図、データ辞書を作成した。

(3) スキーマの作成

上記で検討したクラス図、データ辞書を基に、スキーマ設計を行った。

スキーマ言語としては、DTD (Document Type Definition), XML Schema 等があり、データ量が多くなるという欠点があるが、各システムが対応しやすい(汎用性が高い)、

システム構造の変更が簡易である（拡張性が高い）XML Schemaを採用した。

なお、先行するデータ交換標準である「TSによる出来形管理に用いる施工管理データ交換標準（案）」⁶⁾はXML Schemaが採用されている。

4. データの活用方法の検討

4.1 ビューソフトの作成

データ交換標準(案)の検証及び、施工データ活用方法の可能性の検討を目的として、標準フォーマットデータの可視化・確認するためのビューソフトを作成した。データ交換標準(案)は今後、様々な検証・確認を行い修正する事が考えられるため、ビューソフトは現行基準により出力が必要な盛土管理図、走行軌跡図、締固回数分布図を表示・出力できる最低限の機能を保有したプロトタイプソフトとした。

4.2 実証試験による確認

実際に施工を行った施工データによりデータ交換標準(案)の確認を行った。

施工者のシステムで出力した盛土管理図、走行軌跡図、締固回数分布図と、作成したビューソフトで出力した各図(図-5)を比較により確認を行った。盛土管理図において表示上一部対応ができていない部分があったが、データの内容上についても問題がなくデータ交換が実施できている事が確認できた。なお、盛土管理図の対応できていない部分については対応を行った。⁷⁾

4.3 ビューソフトによる活用方法の検討

(1) 監督・検査時の活用方法の検討

施工データの監督・検査時における活用方法の可能性について検討を行った。

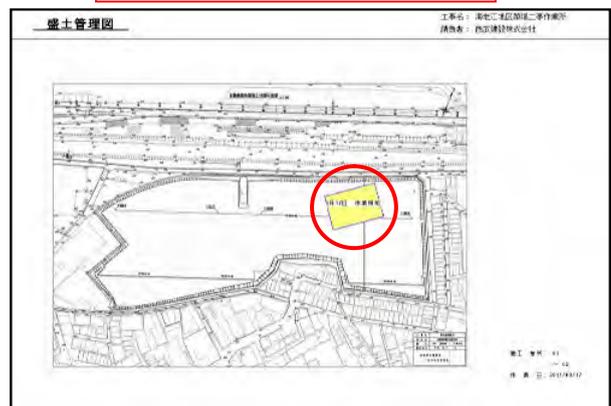
施工データの可視化が確認されたことから、今までは施工業者からの図を確認し監督・検査を行ってきたが、監督職員が直接施工データを確認できることにより、確実に品質管理を確認できる。

また、巻き出し厚さ（層厚）、土量のデータ要素を加えることにより、施工土量の出来高管理も可能となり、より高度な監督・検査が可能になると考えられる。

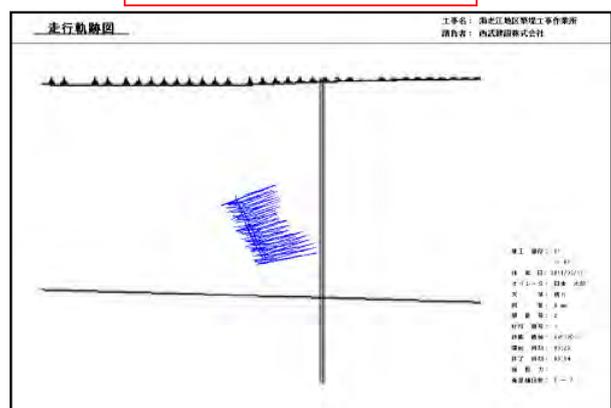
(2) 維持管理時の活用方法の検討

施工データの維持管理における活用方法の可能性について検討を行った。

盛土管理図(ビューソフト)



走行軌跡図(ビューソフト)



締固め回数分布図(ビューソフト)

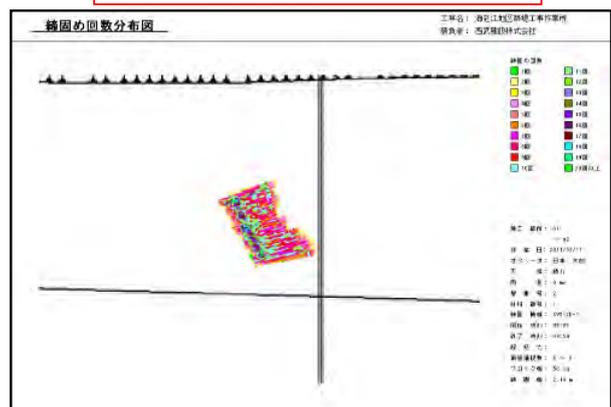


図-5 ビューソフトの出力図

各層について施工データから可視化が確認できることから、各層を積み重ねることにより3次元での可視化が可能であるかの検討を行った。

各締固め機械の位置情報（X, Y, Z）、転圧回数、土質材質の項目は既にデータ要素に含まれていること、データ交換標準は1ファイルに1つの土質を記述する仕様となっていることから、ビューソフトの改良で3次元の可視化が可能であることが確認できた。(図-6)(図-7)

3次元表示により維持管理時において盛土の破損時にどの部分にどの土質材料が使用されているか、締固め度はどの程度かが確認が可能となり迅速な原因究明及び復旧の活用が可能となる。

また、位置情報 (X, Y, Z) により各層の高さが把握できることから、任意断面での盛土の沈下量を経年的に把握する際の基礎データとしての活用が考えられる。(図-8)

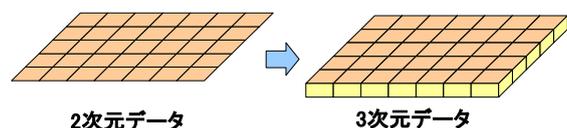


図-6 施工データの3次元化イメージ

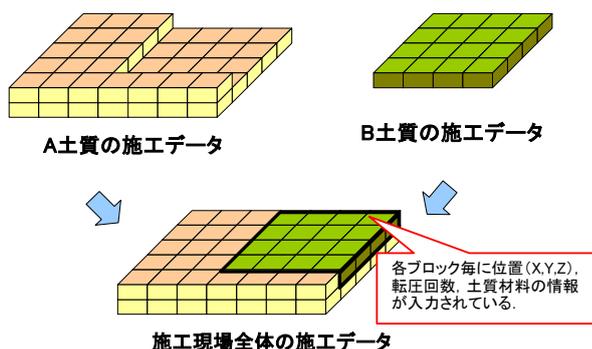


図-7 土質毎に作成されるデータ交換標準

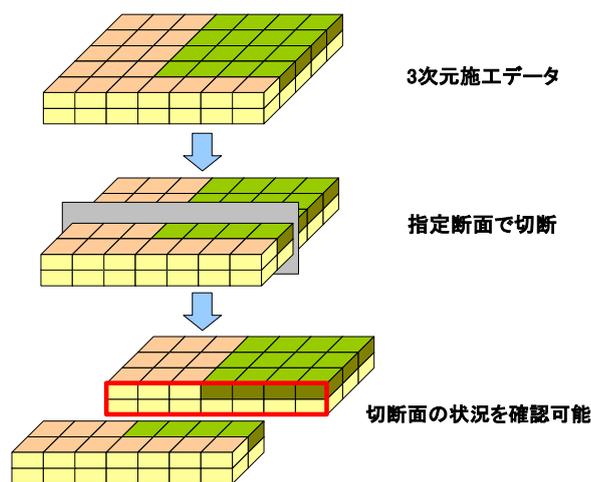


図-8 施工データの3次元表示の出カイメージ

5. まとめ

ICT を利用した盛土の締固め技術について、施工にとどまらず、監督・検査、今後の維持管理における活用方法の可能性について検討を行った。

現行の基準等及び各社システム対応が可

能なデータ交換標準(案)を検討し、そのデータ交換標準(案)に準拠した施工データが3次元の表示が可能であること、さらにデータ要素を加えることにより、高度な維持管理ができる可能性があることを確認した。

今後は施工データを最大限利用した監督・検査手法及び維持管理手法を確立することにより、さらなる施工品質の向上、維持管理の高度化が可能と考えられる。

また、盛土締固め技術にだけでなく先行してデータ交換標準(案)を公表している「トータルステーション(TS)による出来形管理技術」や、「マシンコントロール(MC), マシンガイダンス(MG)技術」及び関係業団体規格である JCMAS G007 (Eagle JCMA)⁸⁾ 等とのデータ交換標準に連携によりさらなる活用の幅が広がると考える。

参考文献

- 1) 国土交通省：情報化施工の一般化・実用化の推進について，2010年8月．
- 2) 国土交通省：TS・GPSを用いた盛土の締固め情報化施工管理要領(案)，2003年12月．
- 3) 国土交通省：トータルステーションを用いた出来形管理の監督・検査要領(案)(河川土工編)，2010年3月．
- 4) 国土交通省：トータルステーションを用いた出来形管理の監督・検査要領(案)(道路土工編)，2010年3月．
- 5) International Organization for Standardization：ISO15143:Earth-moving machinery and mobile road construction machinery - Worksite data exchange, 2010.7.
- 6) 国土交通省国土技術政策総合研究所：TSによる出来形管理に用いる施工管理データ交換標準(案)，2008年3月．
- 7) 菊池弘・山元弘：ICT技術を活用した盛土の品質管理システムの開発について，近畿地方整備局研究発表会，2011年7月．
- 8) (社)日本建設機械化協会：JCMAS建設機械-稼働データ-遠隔配信フォーマット(JCMAS G007)，2007年9月．

10. 転圧折り返し点指示機能を搭載した「GNSS 転圧管理システム」の開発

鹿島道路株式会社
株式会社トライテック

○ 大竹 元志
梶原 泰樹

1. はじめに

近年、コンピュータの小型高性能化や無線通信技術、GNSS（全地球航法衛星システム）など位置特定技術の発展など目を見張るものがある。これら技術は様々な分野で有効に活用されている。

道路建設業界においても、高効率・高精度・電子データ化など様々なメリットのあるこれら技術を、情報化施工や各種センサなどに応用し普及を進めている。中でも情報化施工「TSによる出来形管理技術」、「マシンコントロール（モータグレーダ）技術」の導入は高い効果が認められ、急速に普及している。それ以外にも、「TS/GNSSによる締固め管理技術」、「マシンコントロール（ブルドーザ）技術」、「マシンガイダンス技術」などの技術が、実用化に向けて有効性の検討が進められている。

「TS/GNSSによる締固め管理技術」とは、TS（自動追尾式トータルステーション）やGNSSを用いて締固め機械の位置情報をリアルタイムに取得し、車載PCに記録することで、舗装体の品質を締固め回数で面的管理する手法であり、舗装品質の均一化を図るシステムである。

本報では、独自機能である「転圧折り返し点を指示する」機能（以下「転圧回数ガイド機能」）を盛り込んだ転圧管理システムを開発したので紹介する。また、当転圧管理システムを社内工事に適用したので、その結果を報告する。

2. 締固め管理とは

通常、締固め管理は転圧回数で管理しているが、平坦性を確保する観点から単に所定の回数以上の転圧をすれば良いということではなく、均一でムラのない転圧作業が要求される。ローラの転圧作業は、ある一定の区間で前後進を繰り返しながら施工幅員分だけレーン移動し、徐々に次の区間に移動していく。この作業を繰り返しながら、所定の回数まで転圧を行っていく（図-1）。

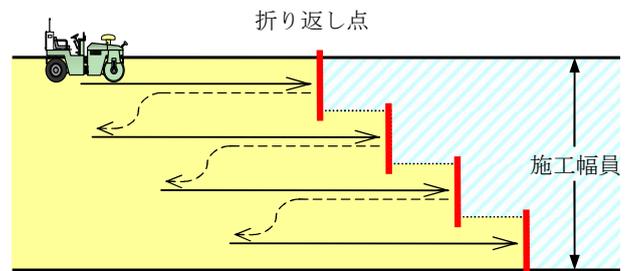


図-1 転圧作業イメージ図

転圧折り返し点と同じ箇所に集中するとその箇所だけ過転圧となり、転圧面が変形し平坦性を確保できなくなる。そのため、折り返し点をレーン毎にズラさなければならず、オペレータは目標物を決めそれを目印に折り返し点を決めていく。つまり、転圧作業は折り返し点を分散させ、レーン移動と前後進を繰り返して、均一なパターンを描かなければならない。

しかし、幅員の広い道路や空港のような広い現場や、転圧回数の多い現場においては、オペレータの力量に左右される上に、転圧ムラの少ない施工を実施することが困難である。

3. 転圧管理システム

転圧管理システムとは、TSやGNSSを用いてローラの座標位置情報を取得し、ローラの軌跡や転圧回数を車載PCに色分けして表示するシステムである。

転圧作業は折り返し点を分散させるために均一なパターンを描きながら、あらかじめ決められた転圧回数で転圧する必要がある。従来では、この作業をオペレータ自身が目見当で折り返し点を設定し、転圧回数を数えながら行っており、転圧内面の転圧ムラが発生する原因の一つとなっていた。

転圧管理システムでは、PC画面上でリアルタイムに転圧状況を確認できるため、オペレータの作業負担や転圧ムラの軽減が期待できる。

4. 開発背景

現在、新技術提供システム（NETIS）に登録された転圧管理システムが各社から提供されている。しかし、このような転圧管理システムは、導入コストが高く、必ずしも社内現場で求められる仕様に整合したものではない。

このような状況を踏まえ、独自のソフトウェアを自社開発することと NAVCOM 社の GNSS 受信機を採用することにより、システムの導入コストを安く抑え、さらに、現場の使い勝手と施主が求める仕様を考慮した転圧管理システムを完成させた。独自のソフトウェアを採用することで、今後の動向や現場の状況に応じ、機能の追加や仕様の変更など柔軟に対応できるメリットがある。

また、均一な品質確保に着目し、折り返し点を分散させるための補助機能として転圧回数ガイド機能を盛り込んだ。

5. 当転圧管理システムの概要

5.1 転圧管理システムの特徴

当転圧管理システムの特徴を以下に挙げる。

- 転圧状況をリアルタイムに把握することができ、踏み残しや過転圧を解消し、品質確保や効率的な転圧が可能である。
- オペレータ自身が転圧回数を数える必要がなくなり、オペレータの作業負担が軽減される。
- 転圧記録は、事務所に電子データとして持ち帰り、パソコンで保存・管理することが可能である。

また、当システムは様々な衛星測位方式に対応しており、現場に応じた使いわけが可能である。

【RTK-GNSS（干渉測位方式）】

現場内の既知点上に据えられた基地局から補正データを受信することで、高精度な位置座標データの取得が可能である（誤差±15mm）。RTK-GNSSのシステム構成を図-2に示す。

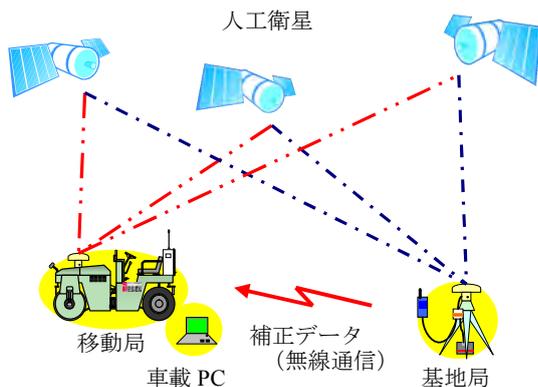


図 - 2 RTK-GNSS システム構成

【VRS-RTK（仮想基準点方式）】

VRS-RTK は、RTK-GNSS のように基地局を必要とはせずに高精度な測位を可能にしたシステムである。通信端末を用いて、移動局で取得した位置情報を配信局に送信し、配信局は送られてきたデータと電子基準点データを元に移動局付近に仮想基準点（仮想の基地局）を構築する。これによって、あたかも近くに基地局があるかのように補正データを取得するシステムである。このように基地局を設置する必要がないため現場装置を簡略化することができる上に、RTK-GNSS と同等の精度を得ることが可能である。概念図を図-3に示す。

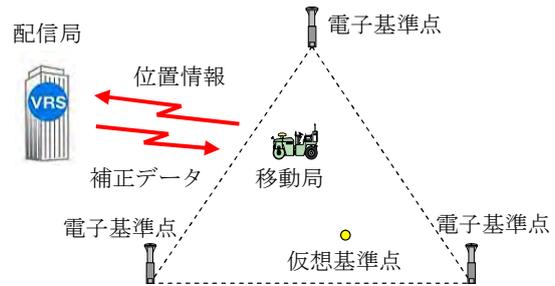


図 - 3 VRS-RTK 概念図

5.2 機器構成

当システムでは、主に RTK-GNSS と VRS-RTK の衛星測位システムを用いた転圧管理システムを採用している。機器構成を写真-1、2に示す。

RTK-GNSS 機器構成として、移動局（ローラ）は、転圧状況を表示・記録するための車載 PC、受信装置（基地局からの補正データを受信するための無線受信機、GNSS 受信機、GNSS アンテナ）、基地局は補正データを送信する無線送信機、GNSS アンテナで構成される。



写真-1 RTK-GNSS の機器構成
移動局（左上）、基地局（右上）



写真-2 VRS-RTK の機器構成

対して、VRS-RTK では移動局単独となり、無線受信機の代わりに仮想基準点補正データを受信するための通信端末が組み込まれる。

車載 PC 表示画面を写真 - 3 に示す。

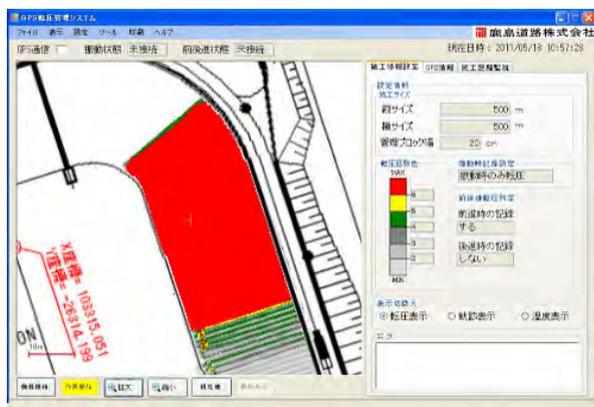


写真-3 車載 PC 転圧回数表示画面

5.3 転圧回数ガイド機能

当転圧管理システムの独自機能として、転圧回数ガイド機能を盛り込んだ。転圧回数ガイド機能とは、転圧移動距離を管理することで、転圧回数の均一化を図り、転圧内面の転圧ムラを少なくするためのシステムである。

均一な転圧パターンを得るために、あらかじめ決められた転圧作業区域内の転圧折り返し地点を表示し、警告音で知らせるといった機能である。

転圧回数ガイド機能の基本的な考えとしては、ローラは1車線を1往復だけ走行することとし、車線変更のたびに転圧面を進行方向に ΔL 、横方向にレーン1つ分だけシフトさせていき、平行四辺形の転圧エリアを形成していく。この平行四辺形を巧みに重ねるように転圧作業を進めていき、

規定の転圧回数を得るものである(図-4)。

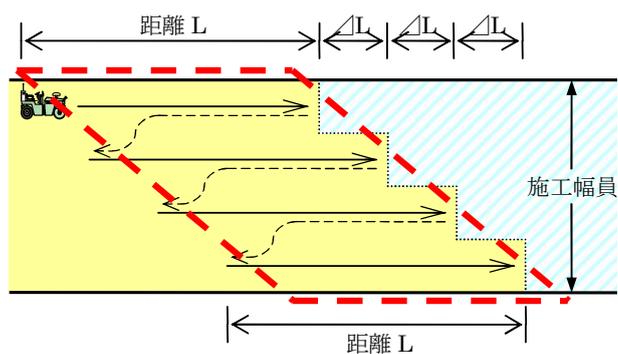


図-4 転圧エリアの形成

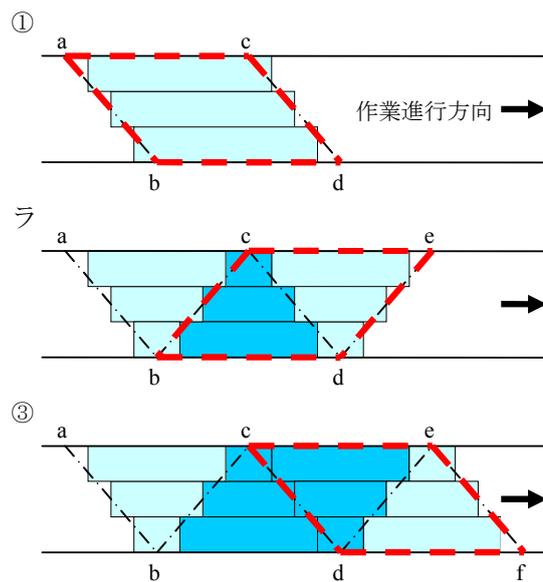


図-5 三つの転圧区域の重なり

図-5は平行四辺形の均一な転圧エリアを重ねていったものである。①では地点 a から地点 d までを転圧し平行四辺形を形成している。②で地点 b から地点 e までを転圧することで、転圧区域が重なる Δbcd が4回転圧されたことになる。同様に、③では地点 c から地点 f までを転圧することで Δcde が4回転圧されたことになる。このように転圧パターンを順々に繰り返すことで、転圧折り返し点を分散させ、あらかじめ決められた転圧回数を確保していく。

このシステムの導入により、転圧ムラが少なくなり、転圧品質がオペレータの力量に左右されにくくなる。しかし、ローラマークを消すことが目的だったり、他の重機や人が邪魔になって進めないなど、パターン通りの軌道をとることができないため、臨機応変な対応が求められる。これらの点が今後の改善課題である。

6. 施工現場の紹介

当転圧管理システムを実際の社内現場へ導入したので紹介する。写真 - 4は貯水池フェーシング工事に RTK-GNSS を用いた際のものである。

期待通りの位置座標精度で、問題なく使用できることを確認した。また、長期間に渡り使用したが、目的別転圧データの取り扱いや、ソフトウェア上のデータ管理も良好であった。



写真 - 4 施工現場（フェーシング工事）

写真 - 5は高速道路のジャンクション部の工事に VRS-RTK を用いた際のものである。VRS-RTK では、基地局を日々設置する手間がなくなるので、現地での段取作業が簡略化された。通信センタとのデータ通信も途切れる事なく、終始安定して施工できた。



写真 - 5 施工現場（高速道路ジャンクション）

7. 問題点

写真 - 6 の○印部分では橋下の転圧（写真 - 7）のため、GNSS 電波が遮断されうまく届かず、実際の軌道の転圧記録をとることができなかった。

衛星測位システムを使用している以上は避けることができない問題であり、現場で使用するには天空の開けた場所であるか注意することが不可欠である。



写真 - 6 施工現場表示（高速道路ジャンクション）



写真 - 7 橋下の施工（○印部分）

8. おわりに

本報では、独自開発した転圧折り返し点を指示する機能「転圧回数ガイド機能」を盛り込んだ転圧管理システムの紹介を行ってきた。今回、現場での当転圧管理システムの運用を行い、担当者の意見をもとに、機器の調整やソフトウェアの改善など操作性の向上を図ってきた。それにより、より現場での使い勝手を考慮したものになったと確信している。今後も、情報化施工技術の動向や現場の状況に応じ、機能の追加や仕様の変更など柔軟に対応していく考えである。

参考文献

- 1) 福川光男：舗装技術者のための建設機械の知識，舗装，Vol42 No.8, pp.29～34, 2007
- 2) 福川光男：舗装技術者のための建設機械の知識，舗装，Vol42 No.9, pp.28～36, 2007

1 1. 路床・路盤整正機へのICT施工技術の適用

路盤整正への適用事例

大成ロテック株式会社 ○ 関口 峰
大成ロテック株式会社 平野 晃
大成ロテック株式会社 小泉 慎太郎

1. はじめに

路床・路盤の仕上げ整正には、ブルドーザやモータグレーダを用いるのが一般的である。それらの運転作業には、熟練オペレータを必要とするが、高齢化による熟練オペレータの減少など、いくつかの課題がある。また、建設事業においては、①作業安全性の確保、②作業効率の向上によるコスト縮減、③技術の高度化による品質向上、などが求められるが、近年は、さらに、環境負荷低減への要求が一層高まる傾向にあり、舗装技術へのニーズも多種多様化していると言える。

それら背景を踏まえ、路床・路盤の仕上げ整正の施工技術に着目し、モータグレーダやブルドーザを用いる従来工法と比較して、高度な技術を有する熟練オペレータを必要とせず仕上げ整正が容易な路床・路盤整正機（以下、地盤整正機）の適用を考え、実現場にて、その導入効果の検証を行った。さらに、地盤整正機の現場導入にあたっては、情報化施工を適用し、さらなる効果の向上を目指した。

本文は、路床・路盤の仕上げ整正における現状の課題を整理し、情報化施工を適用した地盤整正機を用いることによる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. 路床・路盤の仕上げ整正における従来工法の課題

路床・路盤の仕上げ整正作業は、従来、ダンプトラックなどにより所定の場所に運搬された材料をブルドーザやモータグレーダにより敷きならし、さらに作業員により仕上げ高さを検測しながら行う。このブルドーザやモータグレーダにより路床・路盤を仕上げる従来工法は、以下に示すような課題がある。

- 1) 施工精度と作業効率を確保するためには、高度な技術を持つ熟練オペレータへの依存度が高い。
- 2) 仕上げ整正作業が、機械の前進・後進の繰り返し作業により行われ、作業員による仕上げ高さを検測作業の頻度が高いため、誘導員の配置や注意喚起など、作業安全性の確保が重要課題となる。

上記 1)については、少子高齢化の影響により、熟練オペレータが減少傾向にあるなどの課題がある。また、建設工事においては、2)に示す作業安全性の確保は不可欠であり、作業上の危険性を少しでも排除することが重要課題であるといえる。さらに近年は、作業効率の向上などによるCO₂排出量の削減等、地球環境に配慮した施工技術の開発も課題の1つに挙げられる。

3. 従来工法の課題への対応技術

前章で示した路床・路盤の仕上げ整正の課題への対応技術として、欧米諸国における路盤整正工などで既に実績のある地盤整正機の適用を検討した。

地盤整正機は、モータグレーダやブルドーザにより材料を荒ならしした路床や路盤の表面をトリミング（鋤取り）することにより、地盤の表面整正を行う施工機械である。（その特長については、後述）、この地盤整正機を適用することにより、以下に示す効果が期待できる。

- 1) 仕上げ整正作業が、前進のみのワンパス施工を基本とするため、施工の簡素化が可能となり、作業員の検測作業など、施工機械との近接作業を軽減することで、作業安全性が向上する。
- 2) ブルドーザやモータグレーダの操作と比較して、熟練オペレータへの依存度が低い。
- 3) 施工の簡素化により、作業効率が向上し、

機械の作業時間が短縮できることから、機械の稼働に伴う CO₂ 排出量を抑制することが可能となる。

- 4) 情報化施工を適用することで、施工精度の確保、作業効率の一層の向上が期待できる。

4. 地盤整正機

4.1 地盤整正機の概要

本検討で使用した地盤整正機は、米国 GOMACO 社製の「トリマー9000」である。

地盤整正機は、従来のブルドーザやモータグレーダに代わり、トリミング方式（鋤取り式）により、路盤等の表面整正を行う施工機械である。

施工機械は、①動力装置や走行装置を有する機械ベースマシン、②トリミング装置であるトリマーヘッド、③材料排出用のベルトコンベア、④運転席及び操作盤で構成されている。

施工方法の概要として、荒仕上げされた路盤面の整正を最大施工幅 W:4.5m で、ワンパス施工により、トリミングし、余剰となった材料は、付帯のベルトコンベアで、ダンプトラックや未施工レーンに排出（リチャージ）する。

当該機は、トリマーヘッドを材料チャージングホップに変更する事で、コンクリート舗装等の材料横取り機としても、使用することが可能である。

地盤整正機の主な適用工事としては、高規格道路、高速道路、空港、コンテナヤード、駐車場、オートレース場、サーキット場等の比較的施工規模の大きな現場に適している。

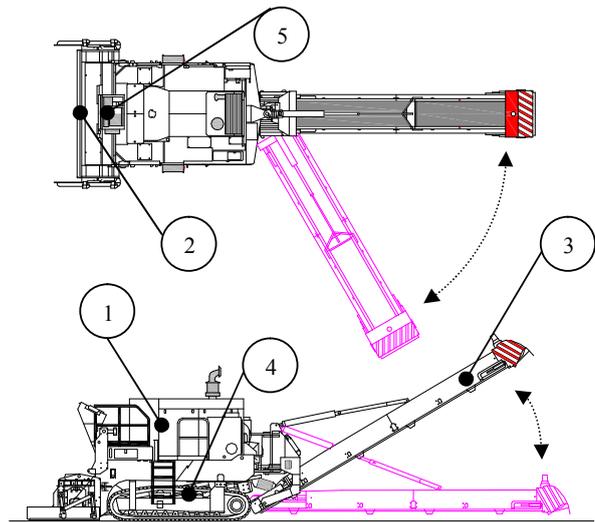
地盤整正機の全景を写真-1 に、主要諸元を表-1 に、機構図を図-1 に示す。



写真-1 地盤整正機全景

表-1 地盤整正機の主要諸元

項目	諸元
本体高さ	3,000 mm
本体幅	2,970 mm
本体長	5,620 mm
総重量	24,600 kg
機関出力	287.2 kw
施工幅	3.25m 3.86m 4.47m
ベルトコンベア	760 mm × 7,600mm (スイング式)
走行装置	ホワイトゴムクローラ



地盤整正機主要装置構成

- ①：機械ベースマシン（走行装置・動力装置）
- ②：トリマーヘッド（トリミング装置）
- ③：第2ベルトコンベア（材料排出用）
- ④：第1ベルトコンベア（材料排出用）
- ⑤：運転席・操作盤

図-1 地盤整正機機構図

4.2 地盤整正機の特長

地盤整正機主要装置の特長を以下に示す。

4.2.1 トリマーヘッド

トリマーヘッドを写真-2 に示す。

- 1) 施工幅員は、トリマーヘッドの幅を 3.25m, 3.86m, 4.47m に組み替える事で幅員を変更する事が可能である。
- 2) トリミング用のロード装置は、アップカッティング方式を採用しているので、固い地盤での施工においても施工機械が浮き上がることなく正確なトリミングを行う事が可能である。
- 3) トリミング深さは、施工対象となる材料

により異なるが、路盤材（RC-40）のトリミング作業においては、最大 150mm の深さまで施工が可能である。



写真-2 トリマーヘッド

4.2.2 走行装置

走行装置は、2脚のクローラを有し、シュー幅が 350mm と広がっているため、接地圧が 0.1MPa と小さく、軟弱地盤での施工にも十分対応する事ができる。

クローラが左右独立駆動のため、その場で、360° の方向転換や曲線部施工時の走行においても、スムーズな走行を行う事が可能である。

4.2.3 制御方法

作業操作系統は、オペレータ運転席より、作業状況を把握しながら集中操作する事が可能である。また、電気、油圧式センサーシステムを採用しているため、作業装置、走行ステアリングは、以下の方法により、自動制御する事が可能である。

- 1) 現場内にセンサーラインを設置し、作業装置及び走行ステアリングを接触式センサーにて制御する方法。
- 2) 情報化施工を適用し、作業装置及び走行ステアリングを設計データ通りに制御する方法。

5. 情報化施工の適用

情報化施工とは、ICT（Information and Communication Technology）の活用により得られる電子情報を活用して生産性向上と高効率、高精度な施工を行うことであり、施工管理や施工の合理化に活かす技術のことである。我が国においては、産学官による情報化施工の戦略的な普及方策が推し進められている。

その中でもここ数年、三次元マシンコントロールシステム（3DMC）は、舗装業界においても実用化され、飛躍的な進歩を遂げ急速に普及している。近年の 3DMC の代表例としては、①「GNSS（Global Navigation Satellite System）」とレーザ技術を融合し、mm 単位の制御を可能にした「高精度 GNSS システム」と、②測量機器の 1 つである「自動追尾式のトータルステーション」（以下 TS という）を利用した制御システムがある。

これらのシステムは、三次元の位置情報をリアルタイムに測位、測定しながら施工を行うため、一般的に以下のようなメリットが知られている。

- 1) 計画した設計データ通りに施工を行うため、経験の少ないオペレータでも高精度の施工が可能となり省熟練化を図ることができる。
- 2) 計画設計高に対する現況の把握が容易になることや従来の丁張りを使用した「点の管理」から連続した「面の管理」が可能となり、生産性の向上が期待できる。
- 3) 設計データを基準として、機械制御から施工後のデータ管理まで一元化できるので施工の合理化を期待できる。

5.1 地盤整正機への情報化施工適用の概念

地盤整正機に自動追尾式 TS による 3DMC システムを適用した場合のシステム概念を以下に示す。

- 1) 地盤整正機のマシンフレームにマストを立て、その先端部に TS 追尾用のプリズムターゲットを設置し、そのプリズムを 1 台の自動追尾式 TS で、1 秒間に 20 回測定する。
- 2) これらの測定値は無線モデムによってマシンに搭載されたマシン PC に送信される。
- 3) トリマーヘッドに取り付けられた勾配センサによって、トリマーヘッドの横断勾配に関する情報もコントロール BOX に提供する。
- 4) 継続的にトリマーヘッドの位置、高さ、勾配情報を使用して、現時点でのトリマーヘッド位置、高さ、勾配および進行方向が算出される。
- 5) トリマーヘッドの実位置情報（位置、高さ、勾配）は、コントロール BOX 内で 3 次元設計モデルと瞬時に比較される。実際値と設計値の比較差（偏差）は補正值

として、機械本体のマシンコントローラ（油圧制御用）へ送信され、油圧制御により施工中の整正高さや横断方向の傾き補正を全て自動制御で行う。

自動追尾式 TS による 3DMC システムの概念を図-2 に、情報化施工適用事例を写真-3 に示す。

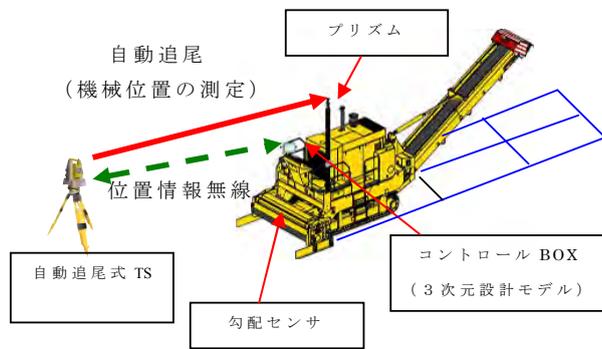


図-2 自動追尾 TS による 3DMC システムの概念



写真-3 情報化施工を適用した施工事例

6. 施工活用事例

愛知県内の大規模駐車場における路盤施工に地盤整正機を導入し、その効果の検証を行った。

当該施工においては、地盤整正機に情報化施工を適用し、より一層の施工効率化を図った。

以下に工事概要、および導入効果の検証結果を示す。

6.1 工事概要

工事概要を表-2 に示す。

表-2 工事概要

施工期間	2010年6月～2010年7月
施工場所	愛知県内の大規模駐車場
施工数量	約10,900m ² (約47m × 約230m)
施工厚	150mm
使用材料	RC-40

表-2 に示すように、当該現場は、施工面積が約 10,900 m² の大規模駐車場である。当初モータグレーダを使用した従来工法での施工を計画していたが、施工の効率化を図るために、情報化施工を適用した地盤整正機の導入を試みた。

6.2 施工

TS による 3DMC を適用した地盤整正機の路盤施工の作業手順を以下に示す。

- 1) ダンプトラックで搬入した路盤材の荒均し作業をモータグレーダで行う。地盤整正機で整正するため、計画高さより 2～5cm 程度高く敷き均す。
- 2) 地盤整正機により、計画高さまでトリミング作業を行う。地盤整正機の作業装置の制御は、自動追尾式 TS による 3DMC システムを適用する。
- 3) トリミング作業により余剰となった路盤材は、地盤整正機に付属するベルトコンベアでダンプトラックに排出し、排出された路盤材は、後続の荒均し作業箇所へ荷下ろしする。
- 4) トリミング作業終了後、転圧機械にて転圧作業を行い、路盤を仕上げる。

施工状況を写真-4 に示す。



写真-4 施工状況

6.3 導入効果の検証

TS による 3DMC を適用した地盤整正機の導入効果として、以下に示す 3 項目について検証した。なお、今回の検証結果は、類

似した規模の現場条件の路盤施工を経験 25 年の熟練オペレータがモータグレーダを用いて施工した従来工法のデータ例を比較対象としたものである。

- 1) 施工精度：設計高さとの誤差
- 2) 作業効率：施工日数
- 3) 環境負荷低減効果：燃料消費量と CO₂ 排出量

6.3.1 施工精度

図-3 および図-4 に、地盤整正機および従来工法の設計高さとの差のヒストグラムを示し、表-3 に施工精度の比較表を示す。

表-3 に示すように、地盤整正機による施工の場合、最終仕上がり高さの設計高さに対する誤差の頻度は、誤差±5mm 以内に 70%、±10mm 以内に 96%、±15mm 以内に 100%となる。これに対し、従来工法では、±5mm 以内に 44%、±10mm 以内に 73%、±15mm 以内に 94%、±20mm 以内に 100%であった。また、誤差の標準偏差は、地盤整正機が 4.88mm、従来工法が 6.59mm であり、地盤整正機を用いた工法の施工精度が従来工法と比較して高いことが確認できる。

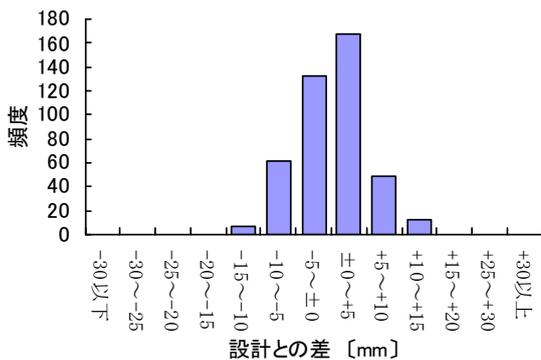


図-3 地盤整正機の施工精度

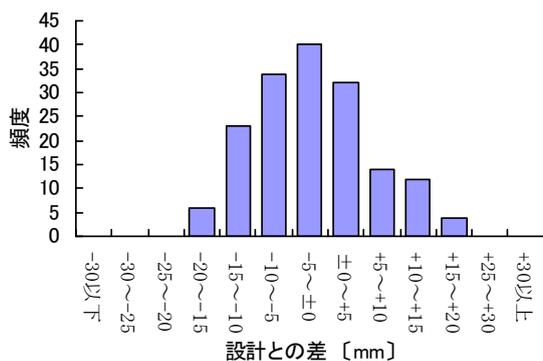


図-4 従来工法の施工精度

表-3 施工精度の比較

項目		地盤整正機 適用工法	従来工法
度 各 誤 差 の 頻 度 (%)	±5mm	70	44
	±10mm	96	73
	±15mm	100	94
	±20mm	100	100
最大値 [mm]		14	19
最小値 [mm]		-12	-18
平均値 [mm]		-0.28	-0.86
標準偏差 [mm]		4.88	6.59
データ数		390	165

6.3.2 作業効率

表-4 にモータグレーダを使用した従来工法との施工数量、施工日数の比較を示す。

3DMC システムを適用した地盤整正機を当該現場の路盤施工へ導入した結果、従来工法と比較して約 2.4 倍の作業効率の向上が得られた。

工期短縮効果としては、10,000 m²の路盤工を施工する場合、従来工法で予定していた当初の計画より、3 日間の工期短縮効果が得られた。

表-4 施工日数量、施工日数の比較

項目	地盤整正機 適用工法	従来工法
平均施工数量	3,630 m ² /日	1,500 m ² /日
作業効率向上効果	2.42 倍	
施工日数	4 日	7 日
工期短縮効果	3 日間	

6.3.3 環境負荷低減効果

環境負荷低減効果を検証するため、当該現場における地盤整正機を含む施工機械の燃料消費量、CO₂ 排出量を算出し、従来工法と比較した。

表-5 に燃料消費量と CO₂ 排出量の比較結果を示す。

表-5 燃料消費量および CO₂ 排出量の比較

項目	燃料消費量 ¹⁾	CO ₂ 排出量 ²⁾
地盤整正機適用工法	1,196L	3092.22 kg-CO ₂
従来工法	1,903 L	4919.31 kg-CO ₂
削減量	707L	1827.09 kg-CO ₂
削減効果	37.1%	

表-5 より、モータグレーダを使用した従

来工法と比較して、燃料消費量は、約 707 [L] の削減が見られた。また、CO₂ 排出削減量は、約 1,827 [kg-CO₂] であった。以上の算定結果より、燃料消費量および CO₂ 排出量において、従来工法と比較して、約 37 [%] の削減効果が得られた。

これら環境負荷低減効果の要因としては、モータグレーダを使用した従来工法では、機械の前後進を複数回行い、整正作業を行うのに対し、TS を適用した地盤整正機の施工では、整正するレーンをワンパスで、効率的に仕上げるため、施工面積当たりの稼働量が少ない点等が挙げられる。また、施工規模が大きいほど、作業効率に対する地盤整正機の優位性が増し、環境負荷低減効果が大きくなるものと考えられる。

6.3.4 安全性の向上

地盤整正機での施工は、荒ならしされた路盤面の整正をワンパスでトリミングするため、施工方向は、常時同一方向となる。また、当該現場では、TS による 3DMC システムを適用した情報化施工を実施しているため、施工高さの検測作業も従来工法と比較して頻度が低く、簡素化されている。そのため、仕上げ作業に前後進を繰り返す従来工法と比較して施工機械との近接作業が減少するので、作業安全性が向上するものとする。

3DMC システムを適用した地盤整正機の検測状況を図-5 に示す。

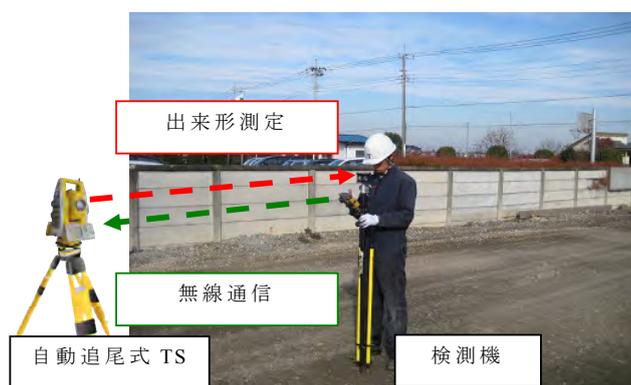


図-5 検測状況

7. まとめ

本検討では、情報化施工を適用した地盤整正機を路盤施工に導入し、その効果検証を行った。

結果を以下にまとめて示す。

- 1) 設計高さに対する仕上がり高さの誤差や仕上がり高さのバラツキが、従来工法

と比較して小さく、施工精度の向上が確認できた。

- 2) 日施工量が従来工法と比較して約 2 倍であり、作業効率の向上が確認できた。
- 3) 燃料消費量および CO₂ 排出量の低減が図れ、環境負荷低減効果が確認できた。
- 4) 従来工法と比較して、省人化が図れると共に、機械周囲での検測作業が減少し、作業安全性が向上するものとする。

8. 今後の課題

地盤整正機的主要な課題点を以下に示す。

- 1) 施工コストと現場規模の選定
地盤整正機を導入した場合、従来工法比で、輸送費等の機械経費がコスト増となる。輸送条件や施工規模を考慮し、導入を検討する必要がある。
- 2) その他制御システムの適応検討
本検討では、TS による 3DMC システムを導入した。今後は、様々な測位方法に対応すべく、システムの互換性及び、制御精度について、検証する。
- 3) 施工データの蓄積
今後、更に施工実績を積み重ね、施工精度と施工出来形の関係より、システム制御及び、操作性の向上を図る。

9. おわりに

路床・路盤における従来工法に対する施工の効率化、省人化、作業安全性の確保、環境負荷低減効果等を期待して、地盤整正機を実現現場での施工に導入し、その導入効果を確認する事ができた。

今回の効果検証は、従来工法の一例との比較に基づくものであり、また、いくつかの課題も残された。今後も積極的な現場への導入を図るとともに、同一条件下における従来工法との比較データの集積を継続し、地盤整正機の優位性を検証していく所存である。

参考文献

- 1) (社)日本建設機械化協会：平成 22 年度版 建設機械等損料表，2010. 4
- 2) 環境省・経済産業省：温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル
<http://www.env.go.jp/earth/ghg-santeikohyo/manual/index.html>,
<http://www.env.go.jp/earth/ghg-santeikohyo/material/itiran.pdf>,

1 2. 情報化施工技術の試験施工調査結果について

国土交通省
 国土交通省
 茨城県（前国土交通省）

○ 山口 崇
 渡邊 賢一
 小野寺 誠一

1. はじめに

国土交通省は、情報化施工推進会議(委員長：建山和由立命館大学教授)を設置して、平成 20 年 7 月に情報化施工推進戦略(以下、「推進戦略」という)を策定し、生産性の向上と品質の確保を実現する ICT (情報通信技術)を活用した施工システムである「情報化施工技術」の普及を積極的に推進している。直轄工事における試験施工などにより、活用件数も大幅に増えてきており、情報化施工の特性を活かした施工管理要領等の基準類も順次整備しているところである。

本稿は、情報化施工技術の効果検証や普及推進の課題把握を目的に、試験施工工事において施工者と発注者を実施しているアンケート調査の分析結果を報告するものである。

2. 試験施工の実施状況

推進戦略の策定・公表以降、工事現場における技術の検証、導入効果や課題および適用範囲の把握、技術の周知、人材育成等を目的に、全国の直轄工事で情報化施工技術を導入する試験施工を実施している。試験施工の工事件数を図-1 に、試験施工工事における情報化施工技術の活用件数を図-2 に示す(1 工事で複数技術を導入する場合があります、工事件数と技術件数が異なる)。

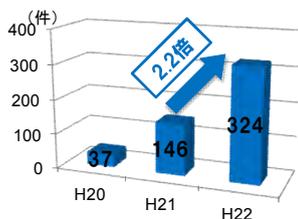


図-1 平成 20-22 年度 実施工事件数

工事件数は、平成 20 年度 37 件、平成 21 年度 146 件、平成 22 年度 324 件となっており、技術件数は、平成 20 年度 52 件、平成 21 年度 221 件、平成 22

年度 422 件となっている。平成 22 年度は工事件数の前年度比 2.2 倍、技術件数の前年度比 1.9 倍となっており、推進戦略策定以降、急速に増加している。

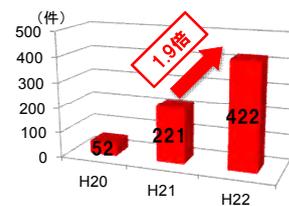


図-2 平成 20-22 年度 導入技術件数

試験施工工事の工種別件数を図-3 に示す。平成 22 年度の工種別の工事件数は、道路土工 184 件、河川土工 121 件、舗装工(路盤工) 62 件となっている。実用化の進んでいる TS 出来形管理技術(土工)などの土工に関する情報化施工技術の導入が多くなっている。

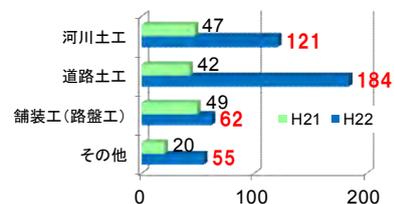


図-3 平成 21-22 年度 工種別件数

試験施工工事の技術活用は、発注者が発注段階で技術導入を指定する発注者指定方式と施工者が技術導入を提案する施工者提案方式があり、その割合を図-4 に示す。平成 21 年度は施工者提案が 39%、発注者指定が 61%であり、平成 22 年度は施工者提案が 49%、発注者指定が 51%である。平成 22 年度は施工者提案の割合は前年度比 10%増となり、情報化施工技術を導入した工事の約半数、工事件数で前年度比 3.6 倍の施工者が自らの判断で情報化施工を導入している。

地方整備局等や業界団体等における情報化施工の現場見学、講習会、シンポジウムなどによる情報化施工の様々なメリットに関する認識の広がりや情報化施工の導入に関して実施している工事成績評点などのインセンティブの効果と考えられる。

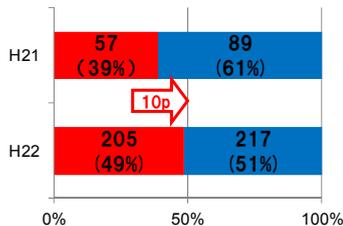


図-4 平成 21-22 年度 発注方式別割合

情報化施工技術毎の導入件数は、図-5（施工管理に活用する技術）、図-6（施工に活用する技術）に示すとおりである。施工に活用する技術は、MC（マシンコントロール）技術のモータグレーダとブルドーザが多く、MG（マシンガイダンス）技術のバックホウ（3D）も多くなっている。施工管理に活用する技術は、TS（トータルステーション）出来形管理技術（土工）が多く、TS・GNSS 締固め管理技術も多くなっている。平成 25 年度に一般化する情報化施工技術の実施件数は、MC（モータグレーダ）技術が 39 件、TS 出来形管理技術（土工）は 193 件となっている。平成 22 年度の目標件数は、TS 出来形管理技術（土工）を 150 件から 200 件、MC（モータグレーダ）技術を 30 件から 40 件に設定しており、目標件数を達成している。

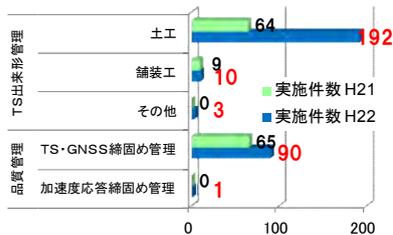


図-5 平成 21-22 年度 技術別の実施件数（施工管理に活用する技術）

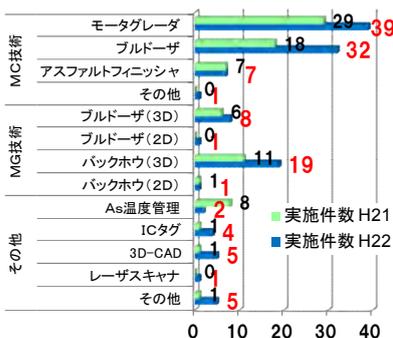


図-6 平成 21-22 年度 技術別の実施件数（施工に活用する技術）

平成 23 年度も引き続き、推進戦略等の方針に基づき、情報化施工技術を導入する工事の目標件数を定めて、積極的に情報化施工技術を導入する試験施工を実施している。

なお、ここで示す件数は、各年度の発注と施工を含めた件数であり、精査中のため変わる場合がある。

3. 試験施工のアンケート調査

情報化施工技術の効果検証や普及推進の課題把握を目的に、全国の直轄工事を実施している情報化施工技術を導入する試験施工においてアンケート調査を行っている。平成 22 年度に実施した調査内容を以下に示す。

3.1 調査対象

(1) 受注者

施工者提案の工事は全ての情報化施工技術に対して簡易アンケート、発注者指定の工事は MC, MG, TS 出来形管理技術、TS・GNSS 締固め管理技術に対しアンケートと詳細調査を実施した。

(2) 監督職員、検査職員

発注者指定の工事は TS 出来形管理技術、TS・GNSS 締固め管理技術に対しアンケートを実施した。

3.2 調査項目

(1) 簡易アンケート

導入技術、適用工種・作業、作業量、導入経緯・理由など

(2) アンケート

技術概要、導入環境、導入効果・課題、人材育成、普及促進など

(3) 詳細調査

施工概要、労務関係、機械関係、詳細データ（施工精度など）など

4. 試験施工のアンケート調査結果

平成 22 年度に実施した試験施工のアンケート調査の主な結果を以下に示す。なお、精査中のため変わる場合がある。

4.1 簡易アンケート

施工者提案の工事における技術導入理由（複数回答）を図-7 に示す。作業効率の向上 52 件（53.6%）、施工品質の向上 50 件（51.5%）、情報化施工の経験・人材育成 49 件（50.5%）の順に多くなっている。情報化施工技術の効果である施工効率の向上や品質の確保に着目して導入している一方で人材育成や経験を積むための導入も多いことが分かる。ここでは示していないが、中小規模の工事の場合に人材育成や経験を積むために導入している割合が大きくなっており、中小規模の工事の受注者に対する人材育成が今後の普及促進に重要であることが分かる。

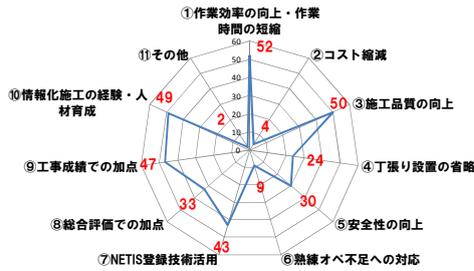


図-7 技術導入理由

4.2 アンケート

(1) 受注者

全体的な作業の効率化についてのアンケート結果を図-8に示す。「効率化した」という意見が70.4%、「効率化しなかった」が29.6%となっている。効率化した理由は、「丁張の有無に左右されないため（丁張待ちがない）」、「オペレーターとの打合せ時間の減少」、「重機を降りて法面を確認する回数の大幅減少」などであり、効率化しなかった理由は、「初めてのためソフト入力や現場計測に時間がかかった」、「設計図の照査段階での差異による図面との摺合わせ作業のため」となっている。

どの技術についても、概ね作業全体で効率化していることが分かった。また、効率化しなかった理由も不慣れに起因するものが主であり、改善していくことが期待できるものであった。なお、MC/MG技術は「効率化した」が前年度比11%増加しており、それ以外は前年度と同等であった。MC/MG技術は、出来高により定量的な効果を実感できる技術であり、昨年度の結果では他と比較して経験者が多い（リピータの多い）技術であった。

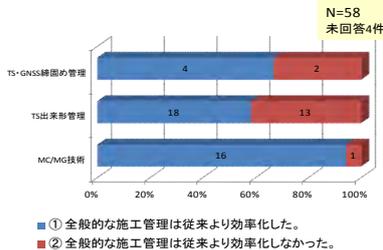


図-8 全体的な作業の効率化

補助作業員の削減効果についてのアンケート結果を図-9に示す。補助作業員の削減効果は、「従来と変わらない」という意見が52.6%、「減少した」が40.4%、「増加した」が7.0%となっている。減少した理由は、「オペがモニターに表示される数値で施工を行うことができた」、「幅員の写真撮影時の人員が不要となった」などであり、増加した理由は、「今回が初めてであるため」、「水中掘削による要員増加のため」などとなっている。

どの技術についても補助作業員を削減できる可能性があることが分かった。また、補助作業員が増加した理由も不慣れに起因するものが主であり、改善していくことが期待できるものであった。なお、「増加した」と回答（17.3%）のあったTS出来形管理技術は、活用件数が前年比約3.0倍になっており、初心者の割合が増えている技術である。

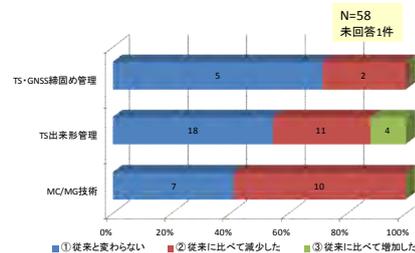


図-9 補助作業員の削減効果

安全性についてのアンケート結果を図-10に示す。「従来と変わらない」という意見が30.8%、「向上した」が57.7%、「低下した」が11.5%となっている。向上した理由は、「計測ポイントへの移動が楽になったため」、「検測作業の頻度は減少した」などであり、低下した理由は、「測定頻度が増加したため」、「ソフトの操作が難しいため」となっている。

MC、MGで特に安全性が向上していることが分かった。また、低下している理由も不慣れに起因するものは改善していくことが期待できる。測定頻度の増加は、詳細な内容を確認したい。

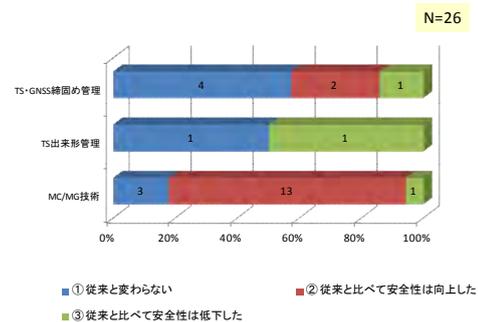


図-10 安全性

(2) 監督職員・検査職員

監督業務全体の効率化、検査業務の効率化についてのアンケート結果を図-11、図-12に示す。

監督検査のTS-GNSS締固め管理業務で特に作業が効率化していることが分かる。それ以外は、従来と比べて変化なしが多くなっている。なお、前年度は、両技術の監督業務、検査業務とも効率化している（時間短縮に寄与する）が約6割であり、本年は活用件数の増加に伴い、初心者が増えた影

響が出ていると考えられる。発注者が業務の効率化を実感できる取り組みを行うことが今後の普及促進に重要である。

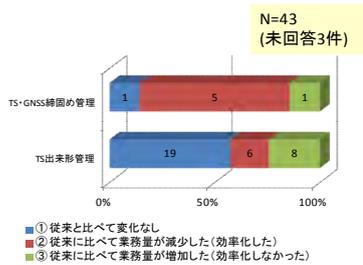


図-11 監督業務全体の効率化

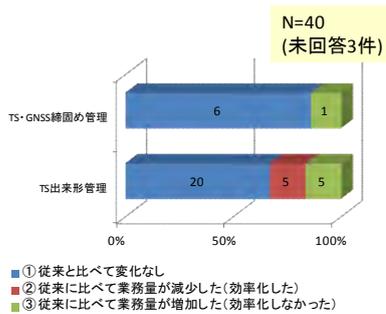


図-12 検査業務全体の効率化

4.3 詳細調査

詳細調査は、情報化施工技術の導入による施工効率や施工精度の変化を定量的に把握することを目的に実施している。ここでは、MC（モータグレーダ）技術の調査結果を紹介する。なお、平成22年度の調査結果は精査中のため、平成21年度までの調査結果である。

MC（モータグレーダ）技術による日当たり施工量を図-13に示す。標準歩掛で設定されている施工量（1,110 m²/日）に比べて平均で1.6倍程度となっており、飛躍的に施工効率が向上する結果となっている。



図-13 MC（モータグレーダ）技術による日当たり施工量

また、MC（モータグレーダ）技術による施工精度を図-14に示す。±20mm以下の施工精度となっ

ており、規格値（±40mm）と比べて高精度な施工品質を確保できる結果となっている。

MC（モータグレーダ）技術は、試験施工において、施工効率、精度ともに必要十分な結果となっており、平成25年度に一般化する情報化施工技術としてMC（モータグレーダ）技術とTS出来形管理技術（土工）を位置付けている。

なお、その他のMC、MG技術の結果も施工効率、精度とも技術的に問題のない結果となっている。

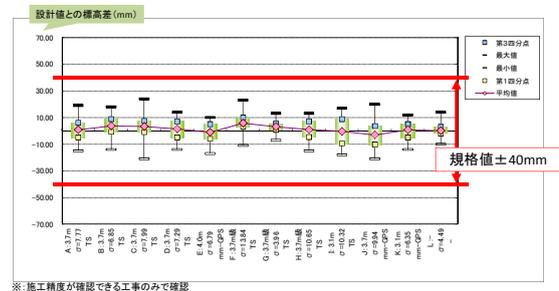


図-14 MC（モータグレーダ）技術による施工精度（下層路盤工）

5. おわりに

アンケート調査の結果からも情報化施工技術は、現場において受発注者ともに、まだ不慣れなところはありますが、ある程度の効果が明らかになってきており、直轄工事への導入に大きな技術的問題はないと考えている。引き続き受発注者ともに人材育成や普及推進に取り組むとともに、第8回情報化施工推進会議で示した重点的に実施すべき課題への対応を進め、設計データの取り扱いや情報化施工に対応した基準・要領の策定等の環境整備を行うこととしている。

また、情報化施工は施工の効率化を図るための単なるツールではなく、施工で得られる情報を活用して技術者判断の高度化・支援を行うとともに、調査・設計から施工、維持管理に至るまでの建設生産プロセス全体の効率化に寄与する技術と考えている。情報化施工を発注者自らの業務に活用し、直轄の技術力向上に活かしていくとともに、建設生産プロセス全体を踏まえ、社会資本整備の効率化・高度化に役立てていく取り組みを引き続き行うこととしている。

建設生産プロセスにイノベーションを起こすことを目指して、推進戦略等の方針に従い情報化施工の普及を積極的に推進していくので、関係各位のご協力をお願い申し上げます。

参考文献

- 国土交通省HP 情報化施工の本格普及に向けた取り組み <http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/kensetsusekou/kondankai/ICTsougou.htm>

13. 衛星測位技術「RTK-GNSS」の施工管理への適用に関する検討

情報化施工における出来形管理手法の利用技術の拡大に向けて

国土交通省 国土技術政策総合研究所 情報基盤研究室 ○ 梶田 洋規
同上 北川 順
同上 重高 浩一

1. はじめに

国土交通省（国交省）では、コスト削減、品質確保、及び熟練工不足などへの対応として、ICT（情報通信技術）を利用した情報化施工の導入・普及に取り組んでいる。その取り組みの一環として、国土技術政策総合研究所（国総研）では、CAD技術と3次元座標の測量技術を利用した「施工管理データを搭載したトータルステーションによる出来形管理」（以下、「TSによる出来形管理」という）の検討を行い、その結果、直轄工事における実用化が図られた。導入現場では、導入効果を得られたとの意見が多い一方、計測距離制限100mの3級TSよりも長距離の計測が可能な技術を要望する意見が出ている。

また、近年、広範囲の現場測量をトータルステーション（TS）より効率的に行える測量技術として衛星測位技術が確立され公共測量に利用される中、ICTを利用した情報化施工においても、衛星測位技術の1つである「RTK-GNSS」が重機の位置情報の取得に利用されており、基地局（固定局）が共用できることから、重機と共に出来形管理用の計測機器としても導入が望まれる。

そのため、国総研では、TSに代えRTK-GNSSを用いた出来形管理の検討や現場試行を行ってきたが、RTK-GNSSは衛星の移動等で計測値が変動し、その変動幅が土工の出来形管理基準の「高さ」の規格値に対して無視できない値であるため、施工や検査にそのまま導入・利用することが難しいことが分かった。

そこで、本稿では、RTK-GNSSの出来形管理への適用について、実験フィールドや直轄工事における現場試行を通じて取得したデータや知見を基に、検討した内容を紹介するものである。

2. RTK-GNSSによる出来形計測の現状と課題

2.1 RTK-GNSSの導入ニーズ

TSによる出来形管理は、計測距離制限が3級TSは100m（2級TSは150m）のため、施工延長が長い現場では、TSを移設する手間がかかる

ことから、より長距離の計測を行いたいという現場ニーズがある。これに対し、広範囲の計測が可能な衛星測位技術の出来形管理への導入が望まれている。

また、土工や舗装工といった一般的な土木工事において、重機を対象としたマシンコントロールやマシンガイダンス（以下、「MC/MG」といったICTを利用した情報化施工技術が導入されており、多くが「RTK-GNSS」を重機の位置情報の取得に利用しているが、RTK-GNSSは基地局と移動局から構成され、基地局は複数の移動局で共有できることから、重機と共に出来形管理用の計測機器としても導入が望まれる（図-1）。

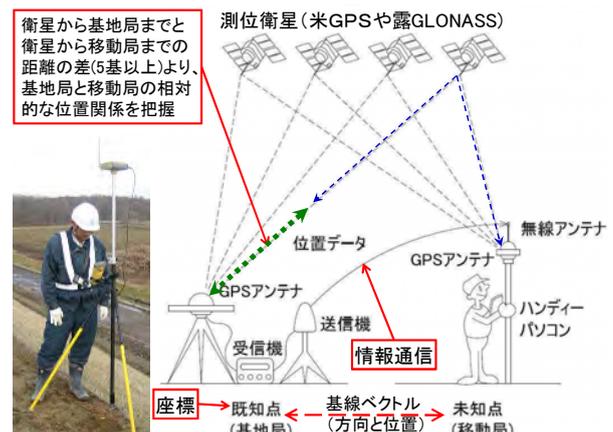


図-1 RTK-GNSSによる計測

2.2 RTK-GNSSの計測値の特徴

公共測量作業規程の基となる「作業規程の準則」では、例えば、「1～2級基準点測量」には、精度が高いスタティック法を用いることが示されているが、1点当たり60分間も固定した計測が必要となるため、出来形管理での利用は難しい。片や、RTK-GNSSはスタティック法ほど高精度では無いが、「3～4級基準点測量」に利用される計測精度を持ち、1点当たり10秒間の計測で済むことから、出来形管理への利用が期待される計測技術である。

しかし、RTK-GNSSでは、衛星が移動するため信号が取得可能な衛星数や配置が変化し、また、高度2万kmから信号が伝わる間の電離層や水蒸気などの影響を受けるため、刻々と計測値が変動する。平成21年度にRTK-GNSSを国総研構内の定位置に固定して3次元座標値を12時間連続取得した結果から、水平方向の精度は±2cm程度、鉛直方向の精度は±3cm程度と共に、約1～2時間周期の大きな振幅の波に小さな振幅の波が乗った形を示していることから、短時間での平均処理だけでは変動誤差を大幅に改善することは出来ないように見受けられる(図-2)1)。

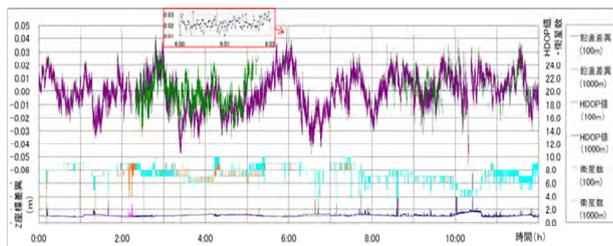


図-2 RTK-GNSSの長時間固定計測データの変動

2.3 出来形管理基準

公共土木工事においては、「土木工事施工管理基準」が定められ、工種毎に出来形管理の測定項目や規格値が決められており、監督・検査においても、その内容に沿って行われている(図-3)。

工種	測定項目	規格値(mm)	測定基準	測定箇所
道路 土工	基準高▽	±50	盛土の場合 施工延長40mにつき1箇所、延長40m以下のものは1施工箇所につき2箇所。 基準高は、道路中心線及び端部で測定。	
	法長	L<5m 掘削:-200 盛土:-100		
		L≥5m 掘削:法長の-4% 盛土:法長の-2%		
	幅(W1、W2)	-100		

図-3 出来形管理基準(道路土工)

利用する3次元測量機器は、この規格値の計測を行うに足る精度(規格値に対する再現性の確保)を保有している必要がある。

TSの計測誤差は、実験の結果、3級TSだと計測距離が100mの地点で、水平方向が±2cm以内、鉛直方向が±1cm以内であり、施工誤差を考慮しても「土工」の出来形管理に利用可能な精度である。

一方、RTK-GNSSの鉛直方向の誤差は±3cm程度であるため、精度不足の感がある。

2.4 懸念される問題

出来形検査は、施工者が行うと共に、発注者も確認する。

RTK-GNSSの場合、計測する度に真値に対し鉛直方向は±3cm程度の範囲で変動するため、施工中と検査では理屈上は最大6cmの変動と成り得るため、施工と検査で規格値に対する合否が異なっ

た値になる可能性がある(図-4)。

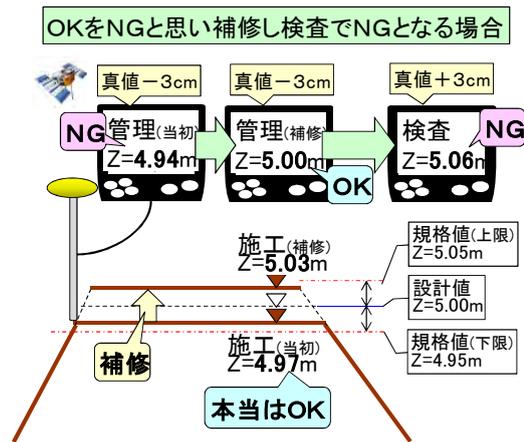


図-4 懸念される問題(一例)

しかも、前記の通り約1～2時間周期の大きな振幅の波のため、直ぐに再計測しても良好な結果が得られる可能性が高いとは言えない。

2.5 試行現場で発生した問題

RTK-GNSSによる公共測量が精度確認のため2度計測しているのに対し、RTK-GNSSによる出来形管理では計測効率を考慮し、定期的に既知点上で確認することとしている。(図-5)

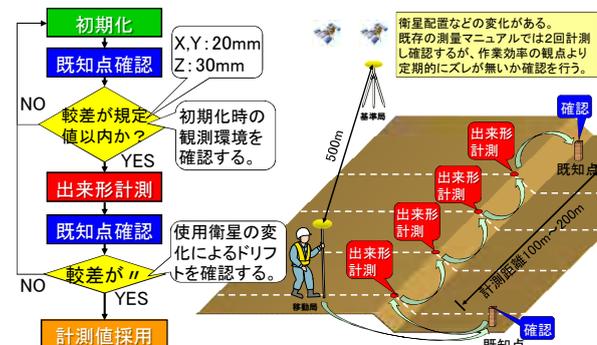


図-5 RTK-GNSSによる出来形管理の手順(案)

平成22年度の現場試行において、既知点確認で規定値内(水平20mm以内、鉛直30mm以内)に収まらない状態が1時間続き、別の日時にローカライゼーション(GNSS座標系を現場の座標系に変換すること)したローカライゼーションファイルを用いると規定値内に収まるという現象が起きた。これは、ローカライゼーション時の計測精度が原因と推察される。

3. 精度向上方策の検討

上記の問題を解決するには、抜本的にはハードウェアや計算処理プログラムの改良による計測精度の向上が望まれるが、当面実施できることとして、運用面の改良がある。その1つに、計測に適する(または、適さない)条件を抽出し、その条件で運用することである。

3.1 ローカライゼーション

前記2.5の通り、ローカライゼーションを計測精度が悪い状態（例：低い値の時間帯）で実施すると、座標系自体が低く計算されることとなる。この状態で出来形計測を実施すると、その誤差を加算してしまうことが考えられる。そのため、ローカライゼーション時に、中央値に近い値で計測できるように1点あたり5分程度計測（10～20mm程度の誤差）し、その平均値でローカライゼーションファイルを計算することが必要と考える（図-6）。

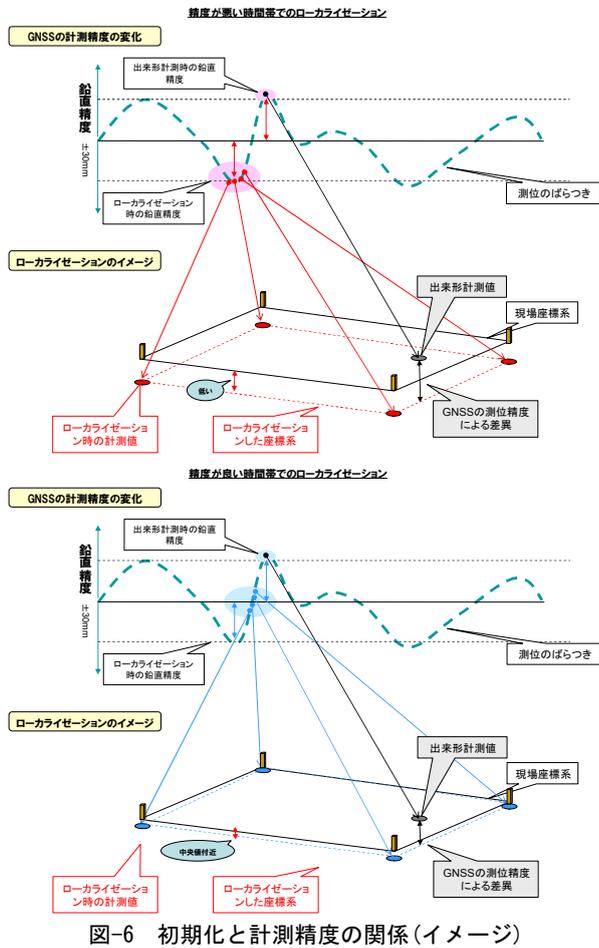


図-6 初期化と計測精度の関係（イメージ）

3.2 初期化と計測精度の関係

出来形管理を行う際の手順として、まず、初期化を実施するが、その初期化時の状況（衛星数や配置状況など）で、その後の計測精度が変わることが想定される。

そこで、RTK-GNSSの移動局を固定し、「初期化して5分間計測」を17回繰り返して実施し、初期化時の状況と計測精度の関係性を調査した。

(1) 衛星数

一般的に衛星数が多いと計測精度が良いと認識されているが、一定数以上の衛星数だと計測精度に大きな影響は無いと考えられる（図-7、図-8）。

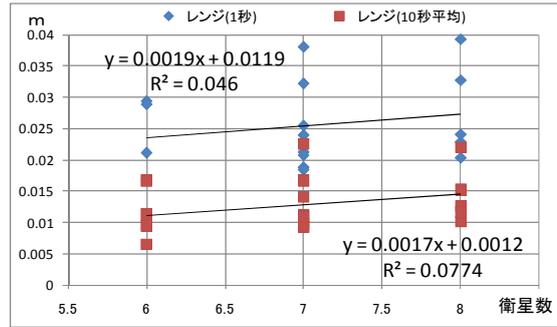


図-7 衛星数とレンジの関係

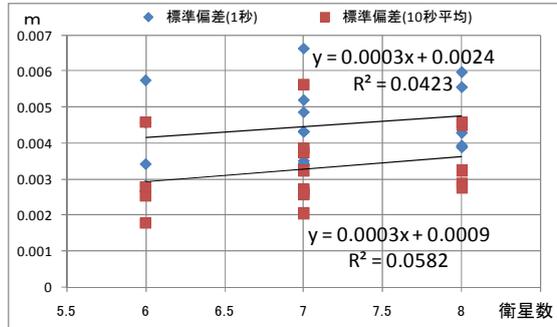


図-8 衛星数と標準偏差の関係

(2) VDOP値

小さな数値ほど計測に適した衛星の配置状況を示す指標「DOP値」があるが、鉛直方向のVDOP値に、計測精度に大きく影響している感は無い（図-9、図-10）。

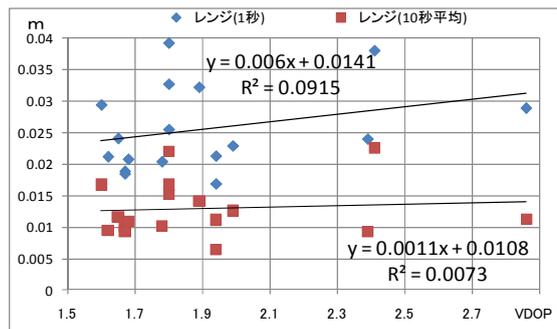


図-9 VDOPとレンジの関係

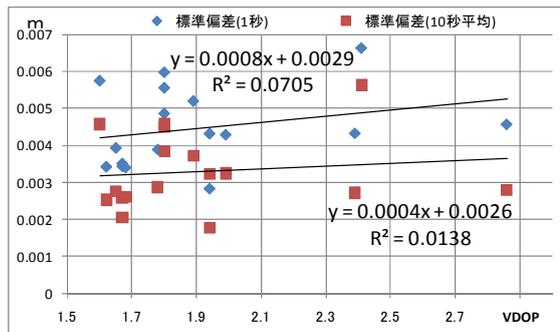


図-10 VDOPと標準偏差の関係

(3) 衛星数の変動

RTK-GNSS は、衛星数の変動が計測値の変動につながるなどの知見がある。そこで、初期化後の5分間の計測において衛星数の変動があった場合は、それ以降のデータを削除した。若干だが、VDOPと計測精度の関係が向上した(図-11, 図-12)。

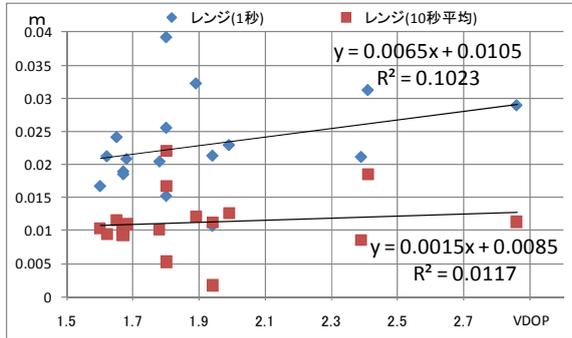


図-11 VDOPとレンジの関係

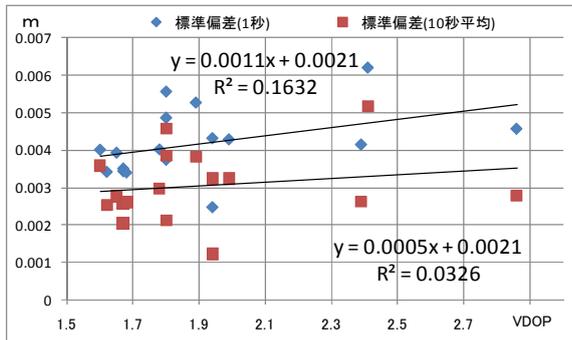


図-12 VDOPと標準偏差の関係

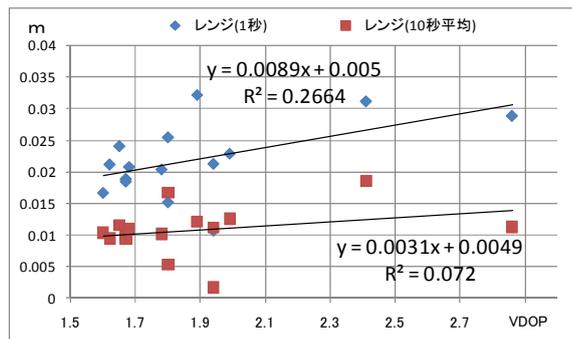


図-13 VDOPとレンジの関係

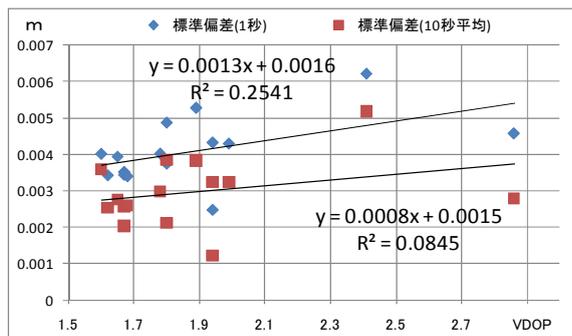


図-14 VDOPと標準偏差の関係

(4) 初期化直後の計測値

初期化直後の計測値は±0から始まり、衛星や気象の変化により徐々に変動することが自然な形と考えられるが、中には、初期化直後から大きな差異をもつ計測値で始まるものがある。そこで、初期化直後の計測値が±10mmを超えるものを削除した結果、低い値ではあるが、よりVDOPと計測精度の関係が向上した(図-13, 図-14)。

4. 精度向上方策の考察

前記の通り、ローカライゼーションに際しての計測は少し時間をかけ精度の高いローカライゼーションファイルを計算・作成することが、計測精度の確保には必要と考える。

また、データ数が少ないため今後の検証が必要であり、かつ、相関度合いが高いとは言えないが、「VDOP 値」と「衛星数の変動」と「初期化直後の異常値排除」を管理することにより、高い精度が確保出来る可能性がある。もし、この仮説が成り立つのであれば、初期化時にVDOP値を確認し、直後の計測値に異常がある場合は初期化を再度行い、そして、計測中に衛星数が変動した場合には、再度初期化を行うという手順とすることで、計測精度の向上を図ることが可能となる。それらが確立できれば、精度向上に効果的な運用方法として「RTK-GNSSによる出来形管理要領(案)」に反映させたり、参考情報として国総研ホームページ等で公表していきたい。²⁾

なお、VDOP 値や衛星の飛行軌跡を予測するソフトウェアを利用し、予め、計測に適した時間帯を把握することが可能であるが、今回の実験で無料ソフトウェアを利用したが、実態と合わない場面が何度かあった。計測に問題は無い程度だが、精度向上のために利用するには改良が望まれる。

5. おわりに

今回はデータ数が少ないため、計測実験によって検証すべき仮説が立てられたに過ぎない。今後、有望な要因が見つければ、今回の検討結果を踏まえ、更なる検証実験を行いたい。また、計測精度向上とは別に、現在の計測精度で利用可能な工種への適用や本技術に適した出来形管理手法の導入についても検討していきたい。

参考文献

- 1) 梶田ら:情報化施工に利用する衛星測量技術「RTK-GNSS」で取得したデータの特徴, 土木技術資料, 第53巻-第5号, pp.18~21, 2011.05
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所「TSを用いた出来形管理の情報提供サイト」
<http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/ts/index.html>, 2011.10現在

14. TSを用いた出来形管理に関するソフトウェアの機能確認ガイドライン（案）策定について

(社)日本建設機械化協会 ○ 椎葉 祐士
 国土交通省 国土技術政策総合研究所 梶田 洋規
 北川 順

1. はじめに

国土技術政策総合研究所（以下、国総研）では、情報化施工技術の1つである「施工管理データを搭載したトータルステーションによる出来形管理」（以下、「TSによる出来形管理」）の検討を行ってきており、現在、本技術は実用化され直轄工事において導入・普及が進められている。

TSによる出来形管理で利用するソフトウェアは、国総研が必要最低限の機能を定める「出来形管理用TSソフトウェア機能要求仕様書（案）」および「TSによる出来形管理に用いる施工管理データ作成・帳票作成ソフトウェアの機能要求仕様書（案）」（以下、「機能要求仕様書」）に従って開発することとしている。

H20年度以前のソフトウェアは、国総研における機能確認手法構築の研究や現場試行における適用性や作業効率調査に利用される中で機能確認されてきた。しかし、普及段階においては、ソフトウェア開発者が自主的に機能を確認することとなり、機能要求仕様書に定められた主な機能について、要件を満たしているかどうかを簡易に確認するための方法が必要となる。

そこで、開発者が自主的に機能確認を実施する方法を記載した「出来形管理用トータルステーション機能確認ガイドライン（案）」および「TSによる出来形管理に用いる施工管理データ作成・帳票作成ソフトウェアの機能確認ガイドライン（案）」（以下、機能確認ガイドライン）を作成した。本稿では、新たなソフトウェア確認方法の仕組みと

機能確認ガイドラインの内容を紹介する。

2. TSによる出来形管理の概要とシステム構成

2.1 TS出来形管理の特徴と効果

従来の出来形管理は、管理する断面に丁張を設置し、巻き尺やレベルを使用して高さや長さを計測しており、丁張設置や出来形計測に人員や時間を要していた。

TSによる出来形管理では、3次元の設計形状を搭載しており、現場での出来形値と設計値との差異の確認や出来形管理箇所へのミラーの誘導が可能であるため、効率的な出来形計測により現場計測作業時間の削減が図られる。

また、出来形管理帳票は、従来では、現場において計測した出来形結果を野帳に記載し、事務所内の管理ソフトウェアに転記することで作成していたが、TSによる出来形管理では、現場計測と帳票作成のソフトウェア間で交換するデータ形式を標準化することで、自動で帳票作成することが可能であり、作成時間の短縮と転記ミス防止が図られる。

2.2 機器構成

図-1にTSによる出来形管理で使用する機器を示す。使用機器は、「基本設計データ作成ソフトウェア」、「出来形管理用TSソフトウェア」、「出来形帳票作成ソフトウェア」の3つのソフトウェアによって構成される。「基本設計データ作成ソフトウェア」はTSへ搭載する3次元設計データを作成するためのソフトウェア、「出来形管理用TSソフトウェア」は、TS本体とTSの計測結果から出来形管理基準および規格値の測定項目に合わせて出来形値を算出するためのソフトウェア、「出来形帳票作成ソフトウェア」は、計測した出来形結果から自動で定められた様式の帳票を作成するソフトウェアである。

3. ソフトウェアの機能確認

3.1 機能確認の必要性

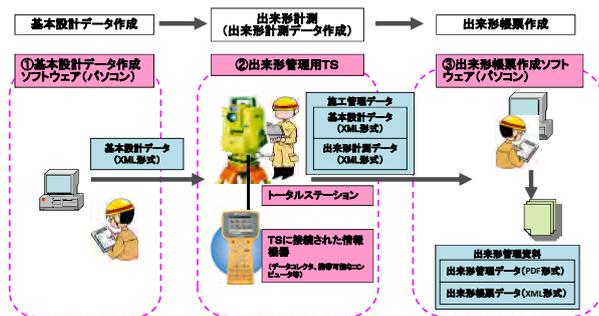


図-1 TSによる出来形管理のシステム構成

ソフトウェアの機能確認は、計測データの信頼性やソフトウェア間の互換性を確保するために必要である。

(1) 計測データの信頼性

機能要求仕様書に準拠したソフトウェアを用いた計測により、データの改ざんのない信頼性の高い計測結果を取得することが可能である。そのため、TSを用いた出来形管理では、監督検査における写真管理や実地検査の頻度を減じており、計測データの信頼性を確保するためにソフトウェアの機能確認を実施する必要がある。

(2) ソフトウェア間の互換性

国総研では、図-1 に示す3つのソフトウェアに対して、各ソフトウェアの標準機能を示した機能要求仕様書を策定するとともに、ソフトウェア間でデータの互換性を確保するために「TSによる出来形管理に用いる施工管理データ交換標準（案）」（以下、データ交換標準）を策定している。

しかし、機能要求仕様書は、ソフトウェアの具体的な実装方法や操作手順、表示画面の構成等、詳細な機能については示しておらず、TSによる出来形管理の要領の実施に必要な機能や、最低限の算出方法や表示する情報項目を示したものとなっている。これは、開発に参加するソフトウェア開発者間の競争により、利用者が使いやすい操作性やインターフェースの開発を促すためである。

そのため、機能要求仕様書に対する各開発者の解釈の違いによってデータの入出力項目や出来形結果の算出方法が異なることで、結果の相違が出現する可能性があり、そのような解釈の違いによる間違った出来形管理結果の出力やソフトウェア間のデータ交換の不備を防止する必要がある。

また、出来形計測後の施工管理データは、出来形管理要領において、電子納品成果品に格納することが定められており、数量算出や維持管理等の将来のデータ利活用を目指すためには、定められたデータ交換標準に準拠したデータで納品される必要がある。

3.2 試行段階の機能確認

(1) 試行段階の機能確認の状況

TSによる出来形管理はH20年3月に要領として公表されているが、H20年度までは、運用開始直後であることから、初めて策定した機能要求仕様書自体に不明確で誤解を招く点や記載不足の点がある可能性があった。そのため、国総研はソフトウェアの機能確認を通じてその抽出を行っており、その結果、国総研が立ち会う評価試験の形でソフトウェアの機能確認が実施された¹⁾。

(2) 試行段階の機能確認の実施内容

評価試験の実施内容は、国総研の立ち会いのもと、「出来形管理用トータルステーション検定要領

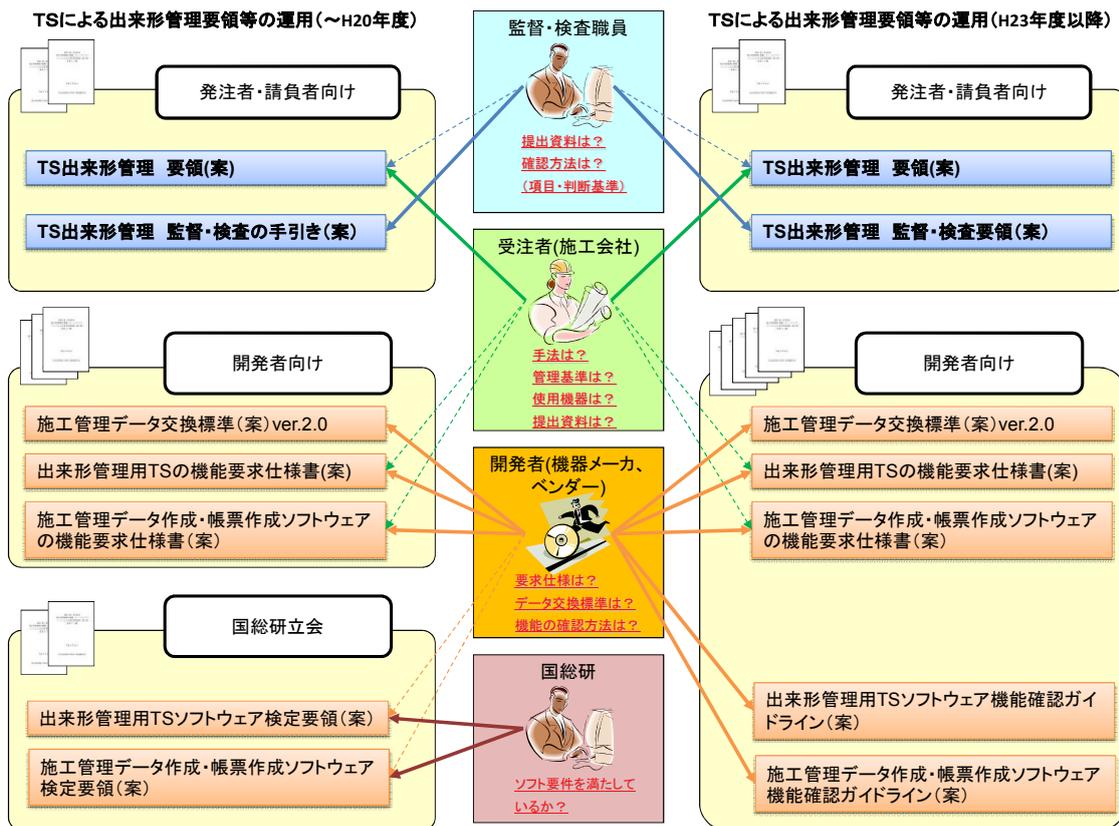


図-2 試行段階と普及段階の機能確認方法の違い

(案)」および「TS による出来形管理に用いる施工管理データ作成・帳票作成ソフトウェア検定要領 (案)」に従ったサンプルデータによる入出力の確認や試験場での模擬試験による確認を実施し、ソフトウェアの評価を行った。

- ① サンプルデータによる入出力の確認は、評価用の施工管理データを読み込み、ソフトウェアに表示される画面等を確認し、機能の評価を行った。
- ② 試験場での模擬試験は、試験場に設置された模擬道路を対象に出来形計測や監督検査を実施し、出来形計測機能やデータ処理精度を確認した。

3.3 普及段階の機能確認

図-2 に試行段階と普及段階の機能確認の運用方法の違いを示す。H20 年度以前は、国総研が立ち会う形で評価試験を実施していたが、普及段階においては、各社が自主的にソフトウェアの機能を確認する必要がある。機能要求仕様書に定められた主要な機能について要件を満たしているかを簡易に確認するための仕組みが必要となる。そこで、ソフトウェア開発者が自主的に機能確認を実施するための方法を示した機能確認ガイドラインを策定した。

4. 機能確認ガイドライン

4.1 機能確認ガイドラインの概要

機能確認ガイドラインは、ソフトウェア開発者を対象にした資料であり、機能要求仕様書やデータ交換標準に準拠して開発したソフトウェアの機能を要求どおり開発できているかをチェックするためのものである。

ソフトウェア開発者は、機能要求仕様書やデータ交換標準に準拠したソフトウェアを開発した後、ソフトウェアが定められた仕様どおり動作するかを機能確認ガイドラインのチェック項目に従って確認する。機能確認ガイドラインに沿わない機能が判明した場合は、その部分についてソフトウェアを修正することとなる。

4.2 機能確認ガイドラインの記載内容

機能確認ガイドラインには、機能要求内容、機能要求内容に対するチェック内容、確認方法、確認方法の解説が記載されており、サンプルデータによる確認方法に必要な数種類のサンプルデータが付属している。

(1) 機能要求内容

機能要求内容は、機能要求仕様書に記載されたソフトウェア機能の要件を示している。

(2) チェック内容

機能要求内容に対するチェック内容は、機能要求内容に対して確認すべき機能および表示項目や

表示桁数を示している。

(3) 確認方法

本ガイドラインでは、機能要求内容の確認方法として、「サンプルデータによる確認」と「実機を用いた確認」の2通りの方法がある。「サンプルデータによる確認」は、本ガイドラインに付属した機能確認用のサンプルデータを用いた確認方法であり、「実機を用いた確認」は機能確認の実施者が必要なデータ等を適宜用意し、機能確認を行うものであり、この確認は机上および実施者の用意した試験場のどちらで実施してもよいこととしている。

(4) 確認方法の解説

確認方法の解説では、確認方法と評価基準を示し、確認方法には、使用するサンプルデータの種類および確認に必要な数値の入力やその確認手順を示し、評価基準は、確認方法に沿って入力した結果、表示される形状や表示項目、ソフトウェアの表示結果や算出結果の合格基準を記載している。

(5) サンプルデータ

出来形管理用TSソフトウェアおよび設計帳票作成ソフトウェアの機能確認ガイドラインには、I群からIII群の3種類のサンプルデータが付属している(表-1)。

表-1 サンプルデータの内容

	出来形管理用TSソフトウェア	設計帳票作成ソフトウェア
I群	ソフトウェアへ入力するための施工管理データ	ソフトウェアへ入力するための施工管理データ
II群	ソフトウェアへ入力するための出来形計測点座標と入力後の算出結果の確認シート	算出される出来形管理結果や帳票様式の確認のための設計値と出来形値とその差が記載された出来形管理帳票
III群	施工管理データの入力後、表示すべき設計情報の確認シート	設計情報の入力用のシートおよび施工管理データの入力後、表示すべき設計情報の確認シート

また、図-3に機能確認ガイドラインの記載例と機能確認の運用例を示す。

4.3 機能確認したソフトウェア情報の公開

国総研の「TSを用いた出来形管理の情報提供サイト」²⁾(以下、情報提供サイト)では、TSを用いた出来形管理で利用できるソフトウェアの情報を工事受注者や監督職員に提供するために、ソフトウェア一覧を公開している。掲載されるソフトウェアの条件は、本ガイドラインにより「機能要求仕様書」に準じて開発されていることをソフトウェア開発者が自主確認し、本サイトへの情報掲載の申請があったソフトウェアである。

また、機能確認の保証は、あくまでソフトウェア開発者が自主確認で実施することとしているため、この掲載によって国総研がソフトウェア開発者の機能確認の内容を保証するものではないこととしており、稀に想定外の原因によりデータ交換できない等の問題が発生した場合は、「ソフト間の

接続確認情報」を掲載している企業が主体で原因究明し問題解決を図ることとしている。

情報提供サイトに記載されているソフトウェア以外にも機能要求仕様書に準拠して開発されているソフトウェアがあり、どのソフトウェアを利用するかは、カタログあるいはソフトウェア仕様書でTSによる出来形管理の要領に準拠しているかを確認し、受注者の判断で決定することとなる。

5. おわりに

TSによる出来形管理技術は、これまでの試験施工の実績や技術の普及状況等を踏まえ、既に技術的に確立し平成25年度の一般化に向けて普及措

置を講じる技術として挙げられている。今後は、TSによる出来形管理に関するQ&Aの充実や出来形管理以外の利用場面での便利な使い方等の情報公開によって、技術に対する習熟度の向上や利用場面拡大によるさらなる普及促進に期待したい。

参考文献

- 1) 田中ら：出来形管理用トータルステーションの評価試験について、2007年度土木情報利用技術論文集，Vol.16，pp.127～136，2007.10
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所：「TSを用いた出来形管理の情報提供サイト」
<http://www.gis.nilim.go.jp/ts/index.html>，2011.8現在

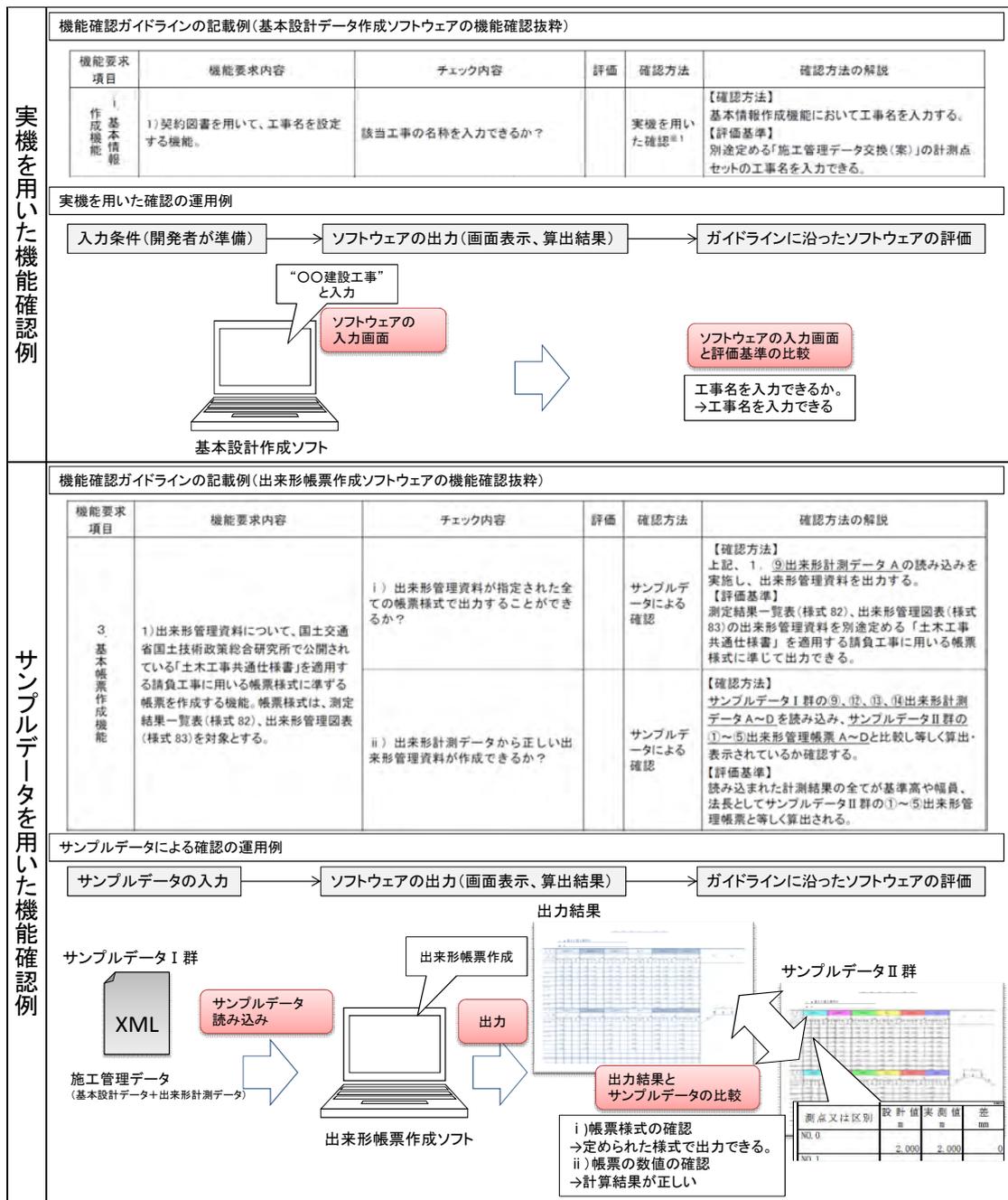


図-3 機能確認ガイドラインの記載例と機能確認方法例

15. 無人化施工における無人測量システムの開発

開発経緯と改良型システムの導入結果

(株) フジタ 九州支店土木部 ○橋詰 亮
(株) フジタ 土木エンジニアリングセンター機械部 浅沼 廉樹
(株) フジタ 土木エンジニアリングセンター機械部 三鬼 尚臣

1. 序論

平成2年11月、198年ぶりの噴火活動によって島原市を中心に大きな被害を与えた雲仙・普賢岳。復興が進んだ現在もなお、溶岩ドームの崩落や土石流による被害が想定される水無川流域では立ち入りが禁止された警戒区域が設定されている。

警戒区域内での災害復旧工事は、安全な場所から建設機械を遠隔操作し、施工を行う無人化施工で行われている。

雲仙・普賢岳における無人化施工は、平成5年の試験フィールド制度として採用されて以来、除石や砂防ダムの工事を経て改良、発展してきた。

無人化施工が開始された当初、測量作業については、無人化が難しく人が警戒区域内に立ち入り行っていた。株式会社フジタでは、遠隔にて測量を行い、位置出しを可能とする無人測量システムの開発、導入を行った。

本稿では、雲仙・普賢岳における無人化施工に導入されてきた無人測量システムの開発経緯とその改良型システムの導入結果を述べるものである。

2. 無人測量システム開発経緯

無人測量システムが導入された水無川2号砂防ダム工事でのダムの構築は、CSG工法、RCC工法を用い無人化施工にて実施された。水無川2号砂防ダム工事での測量作業は、1) 掘削管理用丁張り出しと測点位置だし、2) 盛土・切土管理用丁張り出し測点位置だし、3) 土砂型枠施工位置管理、4) 出来形管理などがある。これらの測量作業を無人化施工で行う必要があり、安全な位置に設置されたコントロールルームより遠隔にて行うために無人測量システムは開発された。特に、砂防ダム工事の土砂型枠施工時に必要なRCCコンクリート上の測点の位置出しを遠隔にて行う技術、出来形の高さを計測する技術に重点を置いて開発された。

3. 無人測量システム概要

当社では、現在までに3台の無人測量システムを開発し現場に導入してきた。(写真-1)水無川2号砂防堰堤工事において1号機による実証実験を実施し、その後、測量精度の向上や測量時間の短縮を計るため、微小位置決め操作が容易に出来るXYテーブル機構を搭載した2号機を、赤松谷川2号砂防ダム工事に導入・運用を行った。



写真-1 無人測量システム

そしてマーキング方式を新たにした 3 号機が 5 号床固工事に導入され、現在稼働中である。

3. 無人測量システム (1号機, 2号機) 概要

無人測量システムは、マーキング機構を有し、警戒区域内での出来形測量、土砂型枠やブロックなどの据付を行うため位置だし作業を遠隔にて行うシステムである。構成図を図 1 に示す。主な構成は、①マーキング機構、②トータルステーションシステム、③制御ユニットの 3 つの部分で構成されている。無人測量システムの概要図を図-1 に示す。計測は追尾式トータルステーションにて行い、現地にマーキングを残す。無人測量システムの操作は、他の遠隔施工重機と同様にコントロールルームにて行われる。

3.1 マーキング機構

マーキング機構は、無人操縦可能なバックホウアタッチメント部分取り付けられている。その制御ユニットは重機運転席後部に設置してある。2号機では、微小位置決め操作が可能な XY テーブル機構を採用した。

マーキング方式は、逆さに噴射が可能なスプレー缶を用いて行われる。写真-2 にマーキング機構を示す。スプレーの搭載されるマーキング機構 (Z 軸) の最上部には全周プリズムを搭載し、ユニバーサル機構により鉛直を保つ構造となっている。Z 軸を下降させ地面と接地させ、φ100mm のマーキングを行う。

3.2 トータルステーションシステム

トータルステーションシステムは、マーキング機構に取付けられた全周プリズムを自動追尾することで目標マーキング点に誘導を行うシステムである。自動追尾中は、プリズムがアームなどで隠れた場合にも、自動でサーチを行うため、警戒区域内での無人測量が可能となっている。本システムでは、無線による測定命令とデータ取得機能により、遠隔にてトータルステーションの制御を行うことができる。また 2 号機では、トータルステーションに代わり、GPS を使用しての測量も可能となり、トータルステーションの追尾の届かない場所での作業も可能となった。



写真-2 マーキング機構

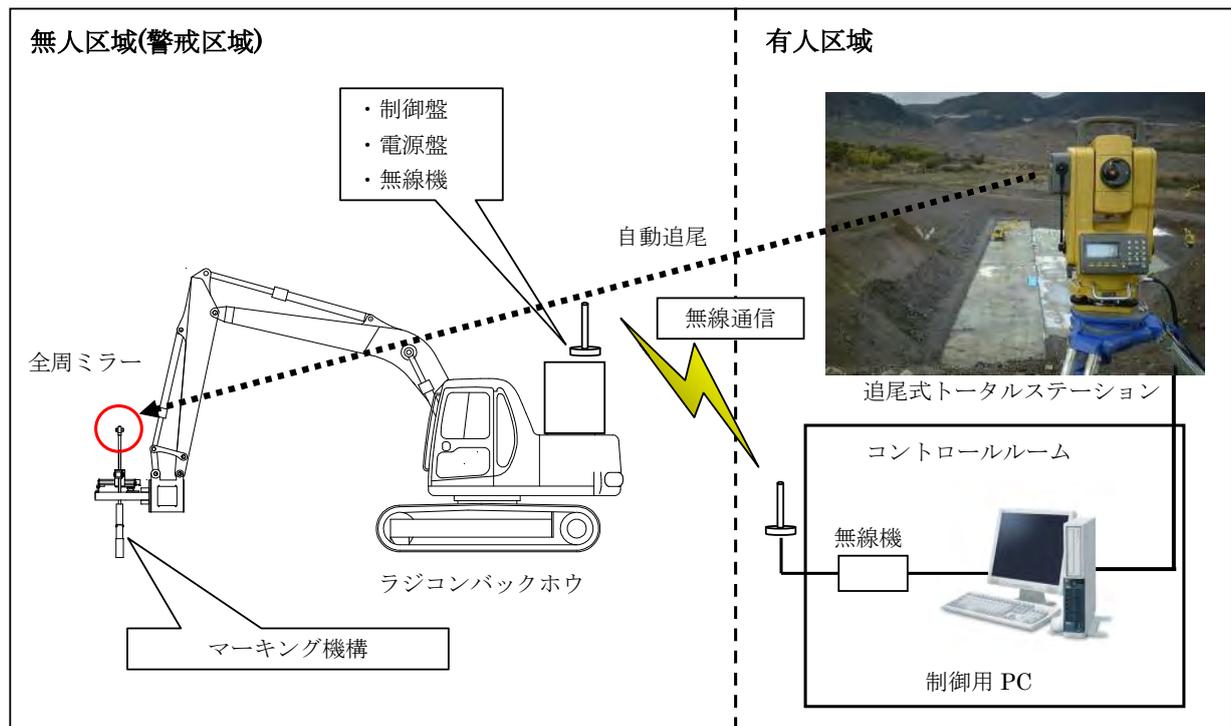


写真-1 無人測量システム概要図

3.3 制御ユニット

制御ユニットでは、トータルステーションシステムからの測量データをパソコンモニター上に表示させることで、目標マーキング点へ誘導を行う。また、2号機では、バックホウでの大まかな誘導後、微小位置決めデータの計算を行い、XYテーブルによって目標マーキング点へ自動誘導を行う。



写真-3 XYテーブル機構



図-2 誘導画面

4. 改良型無人測量システム（3号機）の開発

無人測量システム2号機は、長年にわたり現場に導入・運用され、トータルステーションとGPSとのハイブリット化や、使用無線機器の変更などのマイナーチェンジが行われてきた。しかし、経年劣化により動作が不安定になってきたこともあり、新規リニューアルを行った。リニューアルを行うにあたり、

- 1) ベースマシンの占有回避
- 2) システム簡略化による安定動作
- 3) マーキング方式の変更
- 4) 測量精度の向上

を目指した。

無人測量システムは、着工前測量から完成検査での出来形測量までの工事期間中ベースマシンを占有していた。測量時以外には施工機として使用するために、バケットと測量システムの付替えが容易なものとする。

4.1 改良型無人測量システムの概要

改良型無人測量システム概要図を写真-4に示す。ベースマシンは従来までの0.45m³級バックホウから、無人化施工で一般的に使用される0.8m³級バックホウとし、施工機械としての汎用性を高めた。アタッチメントは、ベースマシンから取り外した時に自立する形状とし、制御ユニットもアタッチメントに全て集約している。また2号機では、誘導を自動制御にて行っていたが、新システムでは、自動制御から、ON-OFF制御とした。ON-OFF制御とすることで、プログラムを軽く、簡略化することができ、より速く誘導を行えることが可能となった。

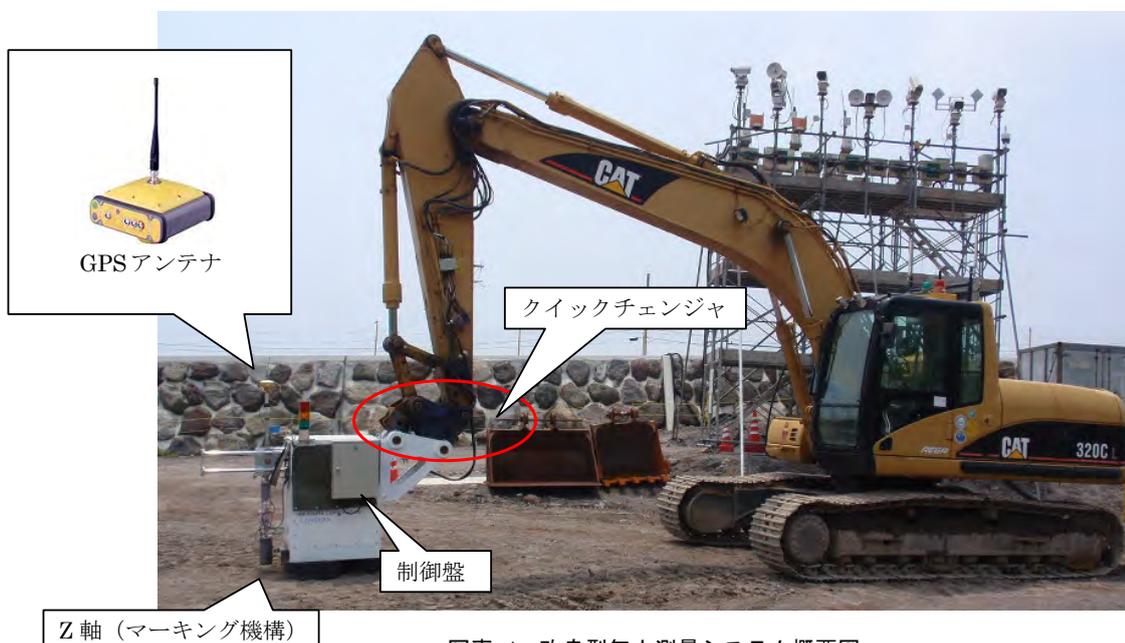


写真-4 改良型無人測量システム概要図

アタッチメント部には油圧駆動のクイックチェンジャシステムを搭載しており、バケットと無人測量システムの迅速な交換を可能にしている。

マーキング機構もこれまでの XY テーブル方式から、回転するアーム上を Z 軸がスライドし、目標まで移動する rθ 方式とし、マーキング方式も新たにコンプレッサを搭載し、自動スプレーガンによるマーキング方式となった。

写真-5 に改良型無人測量システムを、表-1 に改良型システム仕様を示す。計測は GPS と追尾式トータルステーションのどちらでも可能となっている。



写真-5 改良型システム

表-1 改良型システム仕様

ベースマシン	0.8m ³ 級バックホウ
無人測量システム	rθ 方式
寸法	800×800×1100
アームストローク長	400mm
回転角度	90°
アーム送り速度	25mm/s
回転速度	0.5° /s
供給電源	100V
マーキング方式	自動スプレーガン
マーキング径	φ100mm
搭載コンプレッサ	最大 0.7MPa
塗料容量	600cc
計測システム 1	自動追尾式 TS
計測システム 2	GPS GR2100

4.2 誘導機構

3号機の誘導機構は、従来の XY テーブル方式から rθ 方式に変更している。従来方式では、自動誘

導を行っていたため、XY スライダによって位置決めを行っていたが、改良型システムの簡略化に伴って rθ 方式とした。図-3 に示すように、rθ 方式では、稼働範囲を広く取ることが出来る。また構造物の際の測量を行う場合にフレームが邪魔にならないといったメリットが挙げられる。

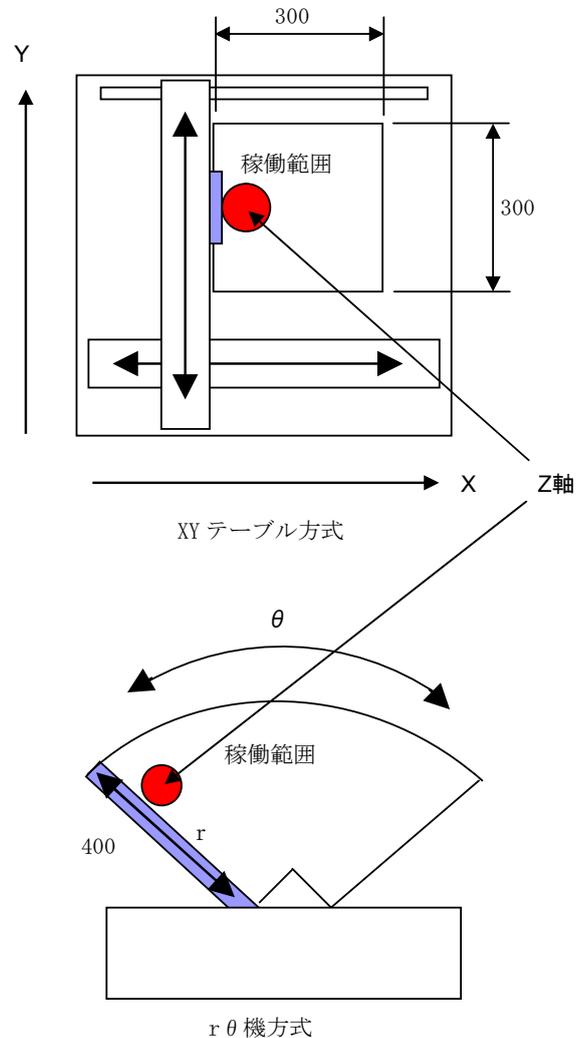


図-3 マーキング機構方式

4.3 マーキング方式

従来の缶スプレーを使用するマーキング方式では、液ダレによって噴出口に塗料が付着し、長時間放置するとスプレーが出来なくなる問題があった。そこで改良型システムでは、新たにコンプレッサを搭載し、自動スプレーガン(噴射ノズル)を用いる方法を採用した。

マーキング機構(Z 軸)には、自動スプレーガン、塗料容器、昇降モータ、ユニバーサル機構から構成されている。Z 軸頂部には、GPS アンテナもし

くは全周プリズムが搭載される。図-4 にマーキング機構(Z軸)の構成図を示す。本体側に収納されているコンプレッサからのエアによって、スプレーガンへ塗料を導き噴射を行う。スプレーガンのノズルは広角丸型で、φ0.5mmのノズル径でありながら、φ100mmのマーキングを可能としている。

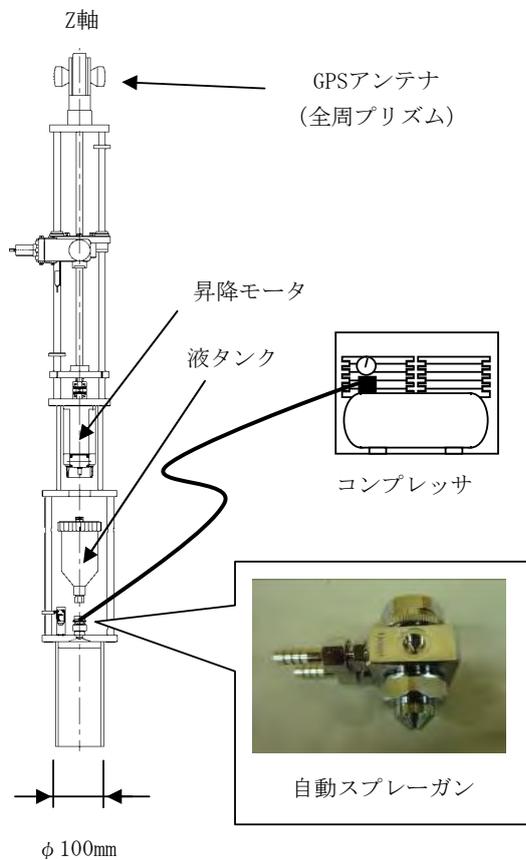


図-4 マーキング機構

4.3.1 使用塗料の決定

使用塗料は試験施工より決定した。試験は、①フェノールフタレイン、②溶剤系着色剤、③多目的水性塗料、④多目的油性塗料の4種類の塗料(溶液)で行った。フェノールフタレイン溶液は、アルカリ性を紅色で示す指示薬で、コンクリートのアルカリ性に反応させ着色させる。溶剤系着色剤は、シンナーで薄め使用した。

それぞれの塗料(溶液)でコンクリート試料にマーキングを行い、評価を行った。評価は、塗料の発色、経時変化、濡れたコンクリート上へのスプレー、取扱性、コストを総合して行った。結果を表-2に示す。

発色が最もよかったのは、水性塗料と、着色剤であった。フェノールフタレインのみ噴射した翌日には、全体的に薄くなっていた。濡れたコンクリート面への噴射では、油性塗料と溶剤系着色剤が優れていた。油性塗料と溶剤系着色剤でシンナーが必要となり、取扱いに注意が必要である。

上記した結果より、発色に優れ水にも強かった溶剤系着色剤を採用とした。また、スプレー缶での問題であった、長時間放置した後のマーキングでも、自動スプレーガンと溶剤系着色剤での組み合わせでは、噴射が可能であることを確認した。

4.4 改良システム導入結果

(1) マーキング精度検証

マーキング精度の検証は、事前に有人測量にて目標点(釘)を打ち、無人測量システムにて誘導、マーキングを行い、目標点とマーキング芯位置との誤差を計測し行った。無人測量システムにはGPS(GR2100)を使用し計測を行った。

表-2 塗料試験結果

塗料	フェノール溶液	水性塗料	油性塗料	溶剤系着色剤
噴射高さ	250mm	250mm	250mm	250mm
噴射時間	3秒	3秒	3秒	3秒
発色	△	◎	○	◎
経時変化	×	○	○	○
濡れたコンクリート	△	×	○	○
取扱性	○	○	△	△
コスト	×	◎	○	○
総合評価	×	△	○	◎

平面誤差分布を図-5に示す。有人にて計測を行った目標点を原点(0,0)とし、無人測量システムによるマーキング点の誤差成分($\Delta x, \Delta y$)を示したものである。分布図の結果より、無人測量システムの平面誤差は15mm以内の範囲に入っていることが確認できた。高さは最大で14mm、平均11mmと良好な結果が得られた。2号機の平面誤差は20mm以内であったが、新システムでは15mm以内と更に精度が向上した。これは、これまでZ軸上方に取付けられていたZ軸昇降モータを、改良型システムでは、Z軸下方に取り付けたことで重心が低くなり、鉛直性が増したことに起因すると考えられる。

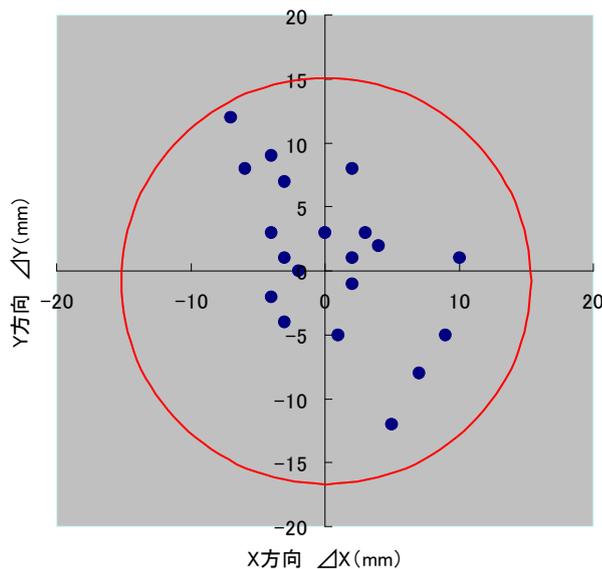


図-5 平面誤差分布図



写真-6 マーキング状況

(2) サイクルタイム

測量時間については、実際に赤松5号床固工事でのマーキング測量結果より、1点のマーキングを行うのに、重機移動時間を含め平均1分23秒であった。2号機のマーキング時間が4分23秒であ

ったことから、大幅な施工スピードの向上を図ることができた。これはコンプレッサを用いることで、塗料噴射時間を短くすることができたこと、rθ方式のON-OFF制御としたことによると考えられる。

5. まとめ

無人測量システム1号機から2号機では、XYテーブル機構を付加することで、微小位置決めが可能となり、自動制御により高精度のマーキングを行えるようになった。しかし、3号機である改良型無人測量システムでは、自動制御を行っていたXYテーブル機構を廃止し、新たにON-OFF制御のrθ方式へと大きく機構を変えた。これにより、マーキング精度は維持したまま、施工スピードを大きく向上することが出来た。また、マーキング方式も缶スプレーからコンプレッサを搭載し、自動スプレーガン方式を採用することで、2号機までにあったスプレーノズルの詰まりを回避することが可能となった。

改良型システムの自立する形状や、制御システムの一体化によって、アタッチメントの付け替えが迅速に行うことができ、目標である、ベースマシンの占有を防ぐことも実現した。

現在、雲仙・普賢岳の無人化施工において、位置出し測量や、出来形確認測量は無人測量システムを用いて完全に遠隔で行われている。測量精度はGPS自身の精度に依存する部分が多いが、Z軸の鉛直性の向上により、目標通りの高い精度となっている。

今後は、本システムを更に改良発展させ、測量サイクルの更なる短縮と、雨などの悪条件下での確実なマーキングの実施を目指す。

また、この無人測量システムで蓄積した無人化技術を、今後の無人化施工の品質確保、出来形管理、安全対策などに応用していきたいと考える。



写真-7 施工状況

16. ロータリ除雪車を通年活用する アタッチメント式路面清掃装置の開発

(独)土木研究所寒地土木研究所 ○中村 隆一
(独)土木研究所寒地土木研究所 住田 則行
国土交通省北海道開発局 佐々木憲弘

1. はじめに

積雪寒冷地では、路面清掃車等の道路維持機械及び除雪機械の専用車は各々半年程度しか稼働できない実態にある。また、道路の管理は全国統一の管理基準が設定され、より一層のコスト削減が求められている。そこで、近年の予算削減など喫緊の課題に対応すべく、既存の機械をオールシーズン有効活用することに着目し、ロータリ除雪車をベース車両にしたアタッチメント式路面清掃装置の開発を行った。

本報は、過年度に本シンポジウムで報告した性能試験の結果¹⁾に基づき、試作機の改良、国道での試行、仕様のとりまとめを行ったので報告するものである。

2. 検討概要

2.1 検討方針

積雪寒冷地における道路維持機械及び除雪機械の配置状況、稼働実績から複合化によるコスト削減の試算を行った。その結果、導入台数が多く、コスト削減率が大きい路面清掃車とロータリ除雪車の複合化について検討を行い、以下の基本条件を設定した。

- 1) 既存のロータリ除雪車をオールシーズン有効活用すること。
- 2) 1台のベース車両で、冬期作業の拡幅除雪(ロータリ除雪装置)と、夏期作業の路面清掃(路面清掃装置)の機能を兼用可能とすること。
- 3) 路面清掃装置はアタッチメント式とし、ベース車両(ロータリ除雪車)の機能・性能に悪影響を及ぼさないこと。

2.2 仕様検討

開発する路面清掃装置は、コスト削減の観点から現在運用されている路面清掃専用車(以下、専用車という。)の代用として使用するため、既存の専用車と同程度の機能及び性能を確保する必要がある。

路面清掃装置の仕様は、4輪ブラシ式、3輪ブ

ラシ式、4輪操舵ブラシ式のブラシ式路面清掃車の各専用車の主要諸元から採用した。

また、ベース車両とするロータリ除雪車は、国や地方自治体などが保有する一般的な規格にすることで、導入先を限定しない仕様とした。

試作した路面清掃装置(以下、試作機という。)を写真-1に示す。



写真-1 ロータリ除雪車をベース車両にした
アタッチメント式路面清掃装置(試作機)

3. 性能試験

試作機の性能試験は、試験道路に設定したテストコースで実施した。試験は、ブラシ式および真空吸込み式ロードスウィーパー性能試験方法²⁾を参考に、走行試験(道路線形追従走行試験)、作業装置試験(主ブラシ・側ブラシ及びホップ、散水機能作動試験)、作業試験(標準土砂及び異形物の清掃能力試験、最大塵埃収納容量確認、最適掃き込み構造の検討)、その他(視野試験、ダンプトラックへの積込み試験、一般ドライバーからの視認等)の基本性能の確認を行った。

過年度の試験結果より、機械の性能・機能は良好であったが運転操作性に課題が残った。これを解決するため、以下の要点で試作機の改良を行い、過年度と同様の性能試験を行った。

ブラシ式清掃タイプの場合、作業途中で集積した塵埃の積込みを可能とするため、ホップ収納容

量を重視しないとのことから、運転操作性向上を目的に全長短縮化に伴う、ホップ形状や機構の配置を検討改良した。

性能試験の状況を写真-2に示し、代表的な結果を以下に記す。



写真-2 性能試験状況

左：道路線形追従走行試験

中：清掃能力試験

右：ダンプトラックへの積み込み試験

テストコースは、直線路、回転半径及びバスベイ構造の道路線形を作製し、各種試験を行った。

道路線形に対する追従は、車両ステアリング（車両旋回）及び装置アングリング機構（装置旋回）を併用することで可能とした（写真-2 左、図-1）。

清掃能力試験は、春先清掃作業及び道路維持清掃作業の塵埃量を想定して、2種類（ $0.4\text{m}^3/\text{km}$ ・ $0.8\text{m}^3/\text{km}$ ）の塵埃条件と3種類（低速3~5km/h・中速6~8km/h・高速10km/h）の作業速度で、砂及び異形物を対象に、清掃後の掃き残し量を計測して収納能力（収納率=（塵埃量-掃き残し量）/塵埃量）を確認した（写真-2 中）。その結果、作業速度が速くなるに伴い、収納率が低下する傾向にあったが、塵埃の量にさほど影響なく、どの速度でも土砂・異形物ともに収納率90%程度の清掃能力が確認できた。

試作機の掃き込み構造は、専用車における主ブラシで掃き込んだ塵埃をベルトコンベアで持ち上げ、上から落として入れる上開き箱形状の機構と異なり、主ブラシで横から直接掃き込む横開き箱形状とした。そのため、より多くの塵埃収納容量を確保するには掃き込み構造やホップ構造を工夫する必要がある。ホップ内構造は、より多くの塵埃収納容量を確保するのはもちろん、塵埃のこぼれ防止、ダンプトラックへの積み込み作業を円滑に行える構造を検討した。

試作機の塵埃収納容量は、各専用車のホップ内容量にホップ係数³⁾を乗じた換算値（表-1）と最大塵埃収納容量の確認試験で得られた結果（表-2）を比較すると、試作機は専用車の収納容量と同程度の能力があることが確認できた。

視野試験は、試作機及びロータリ除雪装置を取り付けた作業姿勢と回送姿勢で比較した結果、各々の姿勢とも同等の視野であることが確認できた（図-2）。また、専用車とも比較した結果、トラ

ックベースである4輪ブラシ式を除き、視野範囲は同程度であった。

オペレータのヒアリングや試験から、試作機の機能及び性能は、専用車と比べ遜色ない結果となった。

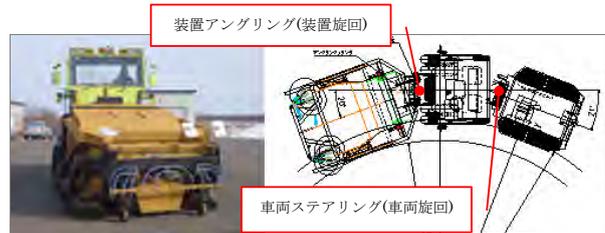


図-1 旋回機構（車両+装置）

表-1 各種ホップ収納容量比較表

	ブラシ式			真空式	適用
	3輪ブラシ式	4輪操舵ブラシ式	4輪ブラシ式	片・面ブラシ式	
	700リットルタンク式	700リットルタンク式	リットルタンク式	リットルタンク式	
ホップ内容積	2.2m ³	2.0m ³	2.5m ³	6.0m ³	仕様書（メーカー値）
ホップ係数	0.55	0.55	0.48	0.50	土木工事標準積算基準書（国土交通省）
換算値	1.21m ³	1.1m ³	1.2m ³	3.0m ³	

表-2 試作機最大塵埃収納容量の試験結果

	試験No.	砂比重	ホップ内実収納容量	
			容量(m ³)	重量(kg)
試作機	1	1.56	1.08	1,685
	2	1.33	1.07	1,423

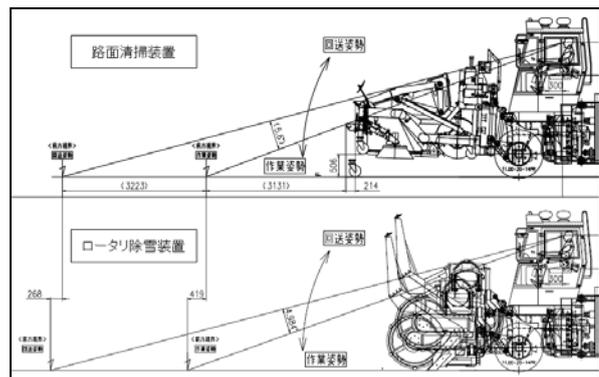


図-2 作業及び回送姿勢の視野範囲

（上：路面清掃装置、下：ロータリ除雪装置）

4. 国道での路面清掃作業の試行

国土交通省北海道開発局の協力を得て試作機による清掃確認を国道の道路維持工事で試行する機会を得た。

試行目的は、試作機の作業性能の確認を主に、試作機と専用車の作業能力の比較である。方法は、交通量、道路構造、道路上の塵埃量等の作業条件を合わせるため、同工区・同区間において、専用車と試作機で作業を実施し、道路管理者と道路維

持工事請負者、オペレータから運転操作性、作業能力、導入可能性等についてヒアリングを実施した（写真-3～5）。



写真-3 路面清掃車(左)と試行した試作機(右)



写真-4 試作機の清掃状況



写真-5 積み込み作業の状況(比較)

左：試作機
右：路面清掃車

また、専用車と試作機の清掃状況、オペレータの作業及び清掃機械と一般車両の挙動を確認するため、ドライブレコーダーを取り付け、映像での比較確認を実施した（図-3～5）。

試行の結果、試作機のベース車両の特性である中折れ操舵に伴う機械の車線逸脱や機械の全長の増大に伴う追い越し困難など一般車両に危険を与えるような状況、挙動は確認されなかった。

さらに、専用車と試作機の作業騒音について計測した結果、差異がなかった（図-6）。

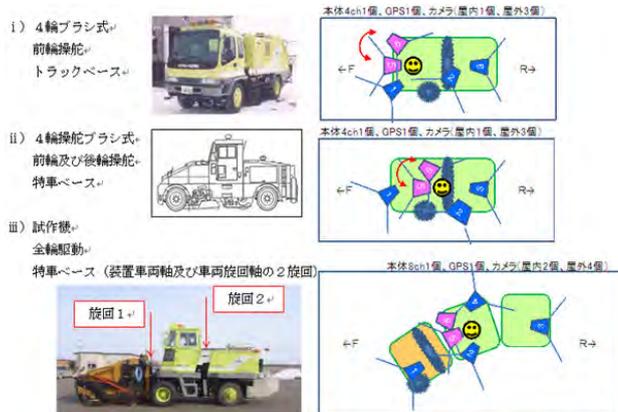
試行に関する主な意見は以下のとおりであった。

- ・機械の操作に違和感がない。実用化の可能性があると思う。
- ・どんな機械でも初めは運転修得期間が必要である。
- ・ブラシ式専用車は、定期的にホップ内の塵埃をダンプトラックに空けるため、ホップ容量は必要以上に大きくする必要はない。また、散水車で事前散水するため、散水タンクも同様に必要以上に大きくなくても問題ない。
- ・専用機械と異なる兼用式の導入に対する否定的

考えはない。それより、道路の維持管理費の縮減により路面清掃機械を保有できなくなる状況に懸念がある。

・コスト縮減対策は急務であり導入検討したい。

以上のように、現場から細かな要望はあったものの、試作機に対し否定的な意見や専用車との作業能力の比較で大きな差異がないことが確認できた。



＜カメラの設置場所及び映像範囲＞

- ①左前方：路面清掃前の路面状況及び前方の映像（清掃前）
- ②左側方：側ブラシと歩道縁石及び路面の映像（追従性）
- ③左後方：路面清掃後の路面状況及び後方の映像（清掃後）
- ④右側方：近接車両との位置関係の映像（追い越し車両、後続車）
- ⑤運転席：オペレータからの前方視界の映像（視界性）
- ⑥運転席：オペレータの視線及び作業状況の映像（運転操作性、安全性）

図-3 ドライブレコーダーカメラ取付位置



図-4 ドライブレコーダー映像(試作機)

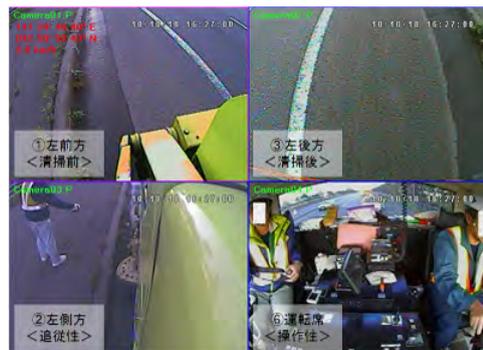
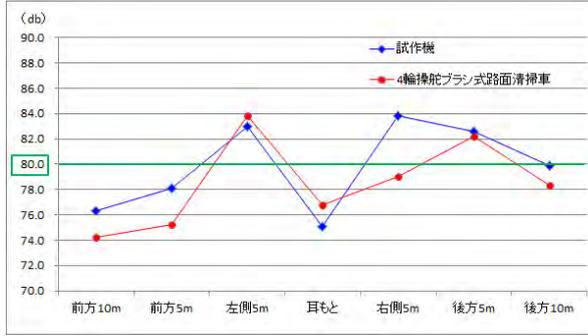


図-5 ドライブレコーダー映像(4輪操舵ブラシ式)



騒音レベルの代表例

騒音測定結果

図-6 騒音測定結果

5. 仕様のとりのまとめ

テストコース及び国道での試行結果から、以下に示す主要諸元で仕様のとりのまとめを行った。

ロータリ除雪車

形式 ツーステージ 2.2m 級対応

路面清掃装置

形式 ブラシ式、フロントリフトダンプ式、
両ガッタ、散水機能付

最大清掃幅 3,000mm

ホッパ内標準塵埃収納容量 1.0m³

水タンク容量 900L

最大積載量 2,400kg

6. 導入検討

6.1 通年活用による運転費

ロータリ除雪装置及び路面清掃装置の兼用化によるメリット、デメリットを以下にまとめる。

(1) (冬期)ロータリ除雪車の運転費が下がるメリット

ベース車両を路面清掃作業でも使用することにより、年間標準運転時間⁴⁾の増加が、運転日数、供用日数の増加よりも比率が大きくなり、供用日当り運転時間、運転日当り運転時間が増加する。そのため、運転1時間当り労務工数及び機械損料が下がり、運転1時

間当り単価が減少する。

(2) (夏期)路面清掃車の運転費が上がるデメリット

ベース車両がロータリ除雪車になることで、運転日数、供用日数の増加が、年間標準運転時間⁴⁾の増加よりも比率が大きくなり、供用日当り運転時間、運転日当り運転時間が減少する。そのため、運転1時間当り労務工数及び機械損料が上がり、運転1時間当り単価が増加する(上項(1)と逆転現象)。

6.2 導入効果の試算

ロータリ除雪車(冬期)と専用車(夏期)の組み合わせと、ロータリ除雪車(夏期・冬期)と試作機(夏期)の組み合わせでコストに関する比較を行った。

過年度の平均稼働実績を基にしたライフサイクルコストの比較を図-7、年間当たりの専用車に対する運転費の比率を表-3に示す。



図-7 ライフサイクルコスト比較表(機械単体)

(注記)

- ①、②、④は現行機械のライフサイクルコスト
- ③は試作機とベース車両(ロータリ除雪車)の夏期分のライフサイクルコスト
- ⑤は夏期に試作機を利用した場合の冬期分のライフサイクルコスト

表-3 運転費比較表

	新規	現行	運転費 現行比率(%)	
			単体	夏冬・組合せ
夏期	路面清掃装置 アタッチメント式 ブラシ式	路面清掃車 3輪ブラシ式	137%	93%
		路面清掃車 4輪ブラシ式	133%	92%
		路面清掃車 4輪操舵ブラシ式	125%	90%
冬期	ロータリ除雪車 180kW級(3次排対)	ロータリ除雪車 180kW級(3次排対)	76%	-

試算は、ベース車両となるロータリ除雪車の標準使用年数15年⁴⁾でライフサイクルコストの比較をしたもので、図中の棒グラフ①~③が夏期使用

の路面清掃車 2 機種及び試作機、④～⑤が冬期使用のロータリ除雪車の 15 年間のライフサイクルコストを示す。なお、赤線で囲った棒グラフ③、⑤は本報告で提案する機械の組み合わせで、それぞれを 100%とした場合の比率を棒上の赤文字に示す。

冬期にロータリ除雪車（装置）⑤を使用する場合は、イニシャルコスト（購入費）、整備費及び管理費は現状どおりとなるが、先に述べたメリットにより、運転費が現行の④に対して大幅に削減される。

夏期の路面清掃装置③を使用する場合は、現状の専用車①又は② 1 台の購入の代わりにアタッチメント装置の購入となることから、イニシャルコスト（購入費）、整備費及び管理費は大幅に削減されるが、先に述べたデメリットにより、運転費が増加する。

その結果、夏期の路面清掃装置③の運転費を見ると、コスト高となるが、冬期のロータリ除雪車の運転費が大幅に削減されるため、1年を通して比較するとコスト縮減が可能である。

また、道路管理者が工事受注者へ機械を無償貸与する場合で 1 組当たりのライフサイクルコストを試算した。

試算対象機種は保有台数の多い 4 輪ブラシ式とし、結果を図-8 に示す。路面清掃車（装置）とロータリ除雪車を組み合わせた年間当たり総額で積み上げ方式とした。0 年目は購入費のみとし、1 年目以降は整備費、管理費、運転費を計上した。

損料表⁴⁾における過去 3 ヶ年の変化として、路面清掃車の標準使用年数が 8.0 年から 9.0 年または 9.5 年、ロータリ除雪車の標準使用年数が 13.5 年から 15.0 年と使用年数が伸びていることから、ここでは比較を行うため、ベース車両であるロータリ除雪車に準拠した使用年数 15 年で試算した。

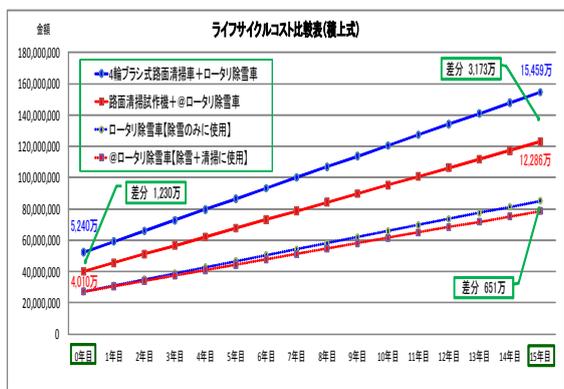


図-8 ライフサイクルコスト比較表（積上式）

（注記）

青線：従来の運用（各々専用車を使用した場合）

赤線：提案の運用（ロータリ除雪車を通年利用した場合）

6.3 効果的な配置提案

より多くの導入効果を期待するには、専用車と試作機の運転費の差から稼働時間比が有利な配置を行うことが望ましい。

表-4 は、専用車から置き換えた場合、従来の組み合わせ運転費と同等になる稼働時間の比率について試算結果を示している。

燃料単価の変動によって、比率は若干異なるものの、どの規格も路面清掃車よりロータリ除雪車の数値が低いことから、ロータリ除雪車の稼働が多い地域に有利であり、燃料単価が安価なほど削減効果は大きくなる。

このことから、除雪機械の稼働が年間標準運転時間⁴⁾より高く、維持機械の稼働が低い傾向にある地域は、コスト削減効果が高いと考えられる。

表-4 導入効果が得られる稼働時間比

		路面清掃車		
		3輪ブラシ式	4輪ブラシ式	4輪操舵ブラシ式
ロータリ除雪車	180kW級（3次排対）	0.416 : 0.584	0.395 : 0.605	0.344 : 0.656

（注記）

1.（左）ロータリ除雪車：（右）路面清掃車

2.（左）ロータリ除雪装置の値が表中よりも大きいほど運転費が減少、小さいほど増加する。

6.4 国土交通省の事業概要

路面清掃作業の目的は、道路及び沿道環境の保全と道路の美観を保持することを含めた道路の機能維持と保安、交通災害の予防、人体の保護など⁵⁾としている。

国道の維持管理は、各地域によって気象条件や沿道状況等が異なることから路面清掃などの各維持作業は地域の状況を踏まえ、適切な道路維持管理がされてきた。

しかし、冒頭で記した近年の道路予算縮減に加え、平成21年11月の行政刷新会議「事業仕分け」での結果から、今般、通行の安全性等に配慮しつつ、全国統一の考え方を設定し実施されることになった。

このことから、道路の清掃などは全国統一の管理基準により運用するとともに、地域の特性を考慮した適切な道路サービスを提供とあり、表-5に示す基準が設定された。

また、除雪作業についても先の行政刷新会議から全国統一基準が設定され、コスト縮減が求められている。

表-5 路面清掃管理基準

項目	H21実施基準	H22実施基準
車道(DID区間)	1~28回/年	6回/年 以内
車道(郊外部)	1~7回/年	1回/年 以内

6.5 路面清掃車のブラシ式と真空式の比較

路面清掃車の機種を選定するにあたり、表-6⁵⁾に示す路面清掃車の作業条件と適用性を参考にした。

表-6 路面清掃車の作業条件と適用性

走行装置による分類	3輪式		4輪式	
	ブラシ式		真空式	
塵埃回収方式による分類	ブラシ式		真空式	
塵埃排出方式による分類	カントリダンプ式	カントリダンプ式	リトラダンプ式	リトラダンプ式
(作業条件)				
屈曲の多い狭い道路で使用する場合	○	△	△	△
回送距離が長い場合	△	○	○	○
土砂の堆積が多い場合	○	○	○	△
塵埃が大きく、多量に堆積している場合	○	○	○	△
塵埃の比重が軽く、堆積量が少ない場合	△	△	△	○
橋清掃作業時を兼用したい場合	x	x	△	○
騒音を特に避けたい場合	○	○	○	△
塵埃を作業路上で積み替たい場合	○	○	○	○
塵埃を直接処分場へ持ち込み場合	x	x	△	△
(道路構造)				
路面の不陸が多い場合	△	△	△	○

注) ○印:良 △印:普通 x:適さない

ブラシ式・真空式ともに、今後、道路清掃回数の抑制から1回当たりの作業負担が増加することを想定すると、表-6の色付き箇所⁶⁾の作業条件“土砂の堆積が多い場合”、“塵埃が大きく、多量に堆積している場合”、及び市街地を考慮し、“騒音を特に避けたい場合”に注目した。その結果、地域条件にも左右されるが、路面清掃車が少数保有になった場合、今後ブラシ式の有用性が高くなると思われる。

また、ブラシ式と真空式のコストを試算した。各々異なる特徴を持っているが、作業形態として大きな違いがある。

路面清掃における塵埃処分の作業形態について、真空式は処分場まで自走しなければならないのに対し、ブラシ式は処分場まで自走を必要としない分ダンプトラックを拘束する必要がある。

道路清掃の基準³⁾によると、工区毎の清掃延長、清掃速度、移動距離、移動速度、塵埃量の実績などから路面清掃費を求めるため、地域事情が異なる工区毎の比較が必要になるが、路面清掃車のホッパに収集した塵埃を処分場まで運ぶ距離が近いと真空式が安価であり、遠い程ブラシ式が安価になる傾向がある。

これは工区毎の清掃延長や塵埃量の違いに加え、“真空式の塵埃処分場までの移動に要する費用”

と“ブラシ式のダンプトラックの拘束に要する費用”のどちらがコスト的に有利であるかが比較のキーポイントになる。

清掃延長のどの位置でホッパが満載になるか確定できないため、コストに対して単純な比較はできないが、路面清掃車性能試験²⁾を実施する場合の塵埃量0.4m³/kmと仮定した場合、移動距離が清掃延長の4~5倍以上になるとブラシ式が有利になる傾向にある。また、塵埃量が増すにつれブラシ式が有利になる。

7. まとめ

本開発では、道路維持管理のコスト削減に向けた技術開発を行った。その結果を以下のとおりまとめる。

- 1) 国道での試行により試作機は、機械の性能・機能、ヒアリングで良好な結果だった。
- 2) ロータリ除雪車を通年活用することで、ロータリ除雪車自体の運転単価を削減でき、アタッチメント式路面清掃装置は、路面清掃専用車に比べ、経済的である。更に、よりコスト削減を期待するには稼働時間比が有利な配置をすることが望ましい。

今後は、寒地土木研究所が開発したアタッチメント式路面清掃装置を用いたロータリ除雪車を通年活用する提案を国や地方自治体の道路管理者などを中心に広く普及活動を行い、道路維持管理費のコスト削減に貢献したいと考えている。

8. 今後の課題

喫緊の課題として、コスト削減対策は急務であり、冒頭の予算縮小によるロータリ除雪車などの道路維持除雪機械の整備充実度や、更新遅れによる長期使用の機械疲労度、更に通年活用によるロータリ除雪車の維持修理費など机上では試算できない部分について追跡調査していく必要があると考える。

参考文献

- 1) 中村隆一・佐々木憲弘・坂口勝利：ロータリ除雪車対応型路面清掃装置の開発，建設施工と建設機械シンポジウム論文集，pp.161~166，平成21年度
- 2) 社団法人日本建設機械化協会・施工技術部会道路維持委員会：ブラシ式および真空吸込み式ロードスーパ性能試験方法，1968.8.1
- 3) 財団法人建設物価調査会：国土交通省土木工事標準積算基準書，平成22年度
- 4) 社団法人日本建設機械化協会：建設機械等損料表北海道補正版，平成22年度
- 5) 社団法人日本建設機械化協会：道路清掃作業の手引き，平成7年11月

17. トンネル覆工の浸水養生における各種設備と施工方法

(株)間組 機電部 ○副島 幸也
 (株)間組 九州支店 古川 幸則
 (株)間組 技術第三部 白井 孝昌

1. はじめに

コンクリートの品質向上を図る上で、コンクリート工事における養生工程は極めて重要な作業のひとつである。

コンクリートの養生では、給水養生により、セメントの水和反応に必要な水分を十分供給することで、コンクリート表層部が緻密化し品質向上を図ることができる。

型枠を使用しないコンクリートスラブ上面では、打込みの翌日から湛水や水を含んだ養生マットを敷設する給水養生が広く行われているが、覆工コンクリートにおいては、型枠を取りはずした後の給水養生は難しい。そこで、型枠取りはずし後の覆工コンクリートに対して、給水を行いコンクリート表面に常に水膜を形成させる浸水養生システム（アクアカーテン）を開発した。

本稿では、浸水養生システムの概要、各種設備の考え方、および道路2車線断面トンネルにおける施工事例について紹介する。

2. 浸水養生システムの概要

2.1 システム概要

本システムは、図-1 に示すように、浸水養生シート、吸引装置、給水装置から構成される。

吸引装置によりコンクリートと浸水養生シート間の空気を吸引し、負圧にすることでコンクリ

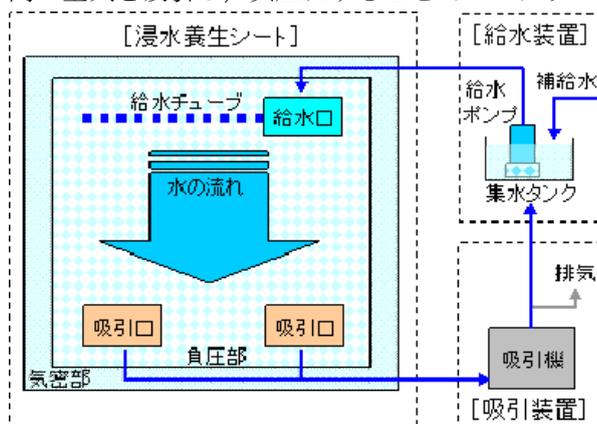


図-1 浸水養生システム概要図

ト面に浸水養生シートを密着させる。さらに、上部から給水を行うことでコンクリート表面に水膜を形成することが可能となる。

養生水は常時運転する吸引装置により空気とともに吸引され、再利用も可能な循環システムとなっている。

2.2 主要設備

(1) 浸水養生シート

本システムでは、養生シート表面に凹凸をもつ負圧部と、表面が滑らかな気密部からなる浸水養生シートを使用する。写真-1 に浸水養生シートの負圧部と気密部の形状を示す。

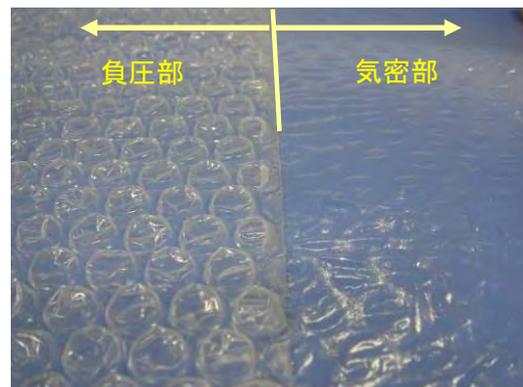


写真-1 浸水養生シートの負圧部と気密部の形状

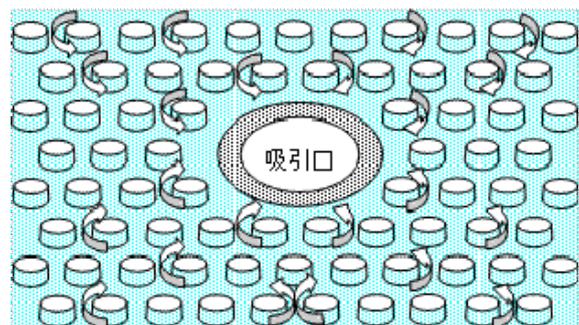


図-2 浸水養生シート内部の空気の流路

流路としての空間を持たない、平坦な形状の養

生シートを吸引した場合、吸引箇所付近だけが負圧になり、その周りには吸引力が伝わらない吸引ムラが発生する。しかし、凹凸形状の浸水養生シートを採用することで、図-2 に示すように空気の流路が広範囲に確保され、浸水養生シート全体を負圧にできる。

(2) 吸引装置および給水装置

吸引装置としては、安定した吸引力、浸水養生シートを壁面に吸着する静圧、また長時間運転の耐久性などが求められる。遠心ファンの中で、静圧効率が高いターボファンを採用した。

給水装置には、所定の水量と揚程の確保、また連続運転に対する耐久性の確保が求められる。工事現場において一般的に用いられる水中ポンプから、これらの条件に見合ったものを選定した。写真-2 に吸引装置、給水装置の設置例を示す。



写真-2 吸引装置・給水装置

2.3 浸水養生の位置付け

コンクリート養生において、外部から積極的に水を供給する給水養生は、コンクリートの品質および耐久性の向上に及ぼす効果が非常に高い。

浸水養生システムは、外部への水分の逸散を防止する保水養生とは異なり、外部から水を積極的に供給する給水養生を可能としている。養生方法の区分を図-3 に示す。

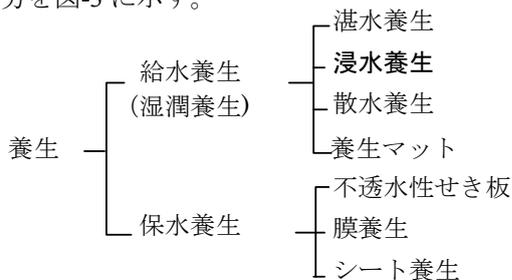


図-3 養生方法の区分

2.4 浸水養生の効果

浸水養生の効果については、高炉セメントB種

を用いた配合による大型試験体を用いて養生期間を変化させた圧縮強度試験⁴⁾により確認がされている。

図-4 に大型試験体のテストハンマー試験結果を示す。7日間型枠養生後、半年間気中放置した場合のテストハンマーの反発度比率を100%とすると、15時間脱型では86%、浸水養生では104%であり約20%反発度が向上している。

また、大型試験体作製時に採取した円柱供試体(φ10×20cm)の圧縮強度試験結果を図-5 に示す。15時間で脱型し気中放置した試験体は、材齢7日以降圧縮強度は増加していないが、脱型後1ヶ月以上浸水養生した試験体は標準養生(水中)した供試体と同等の圧縮強度を確保(15時間脱型気中の2.0~2.5倍)している。

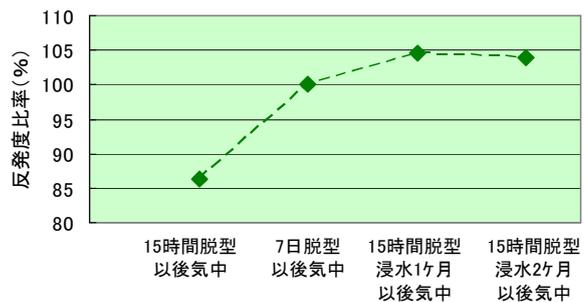


図-4 テストハンマー反発度

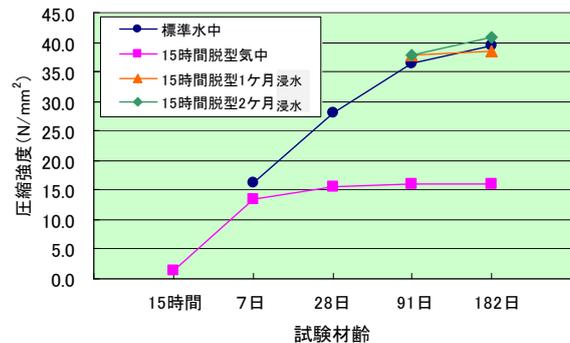


図-5 材齢と圧縮強度(円柱供試体)

3. トンネル構造物での適用について

3.1 システム構成

トンネルの覆工コンクリートは、打込み後15~20時間程度の早期に脱型される。そのため、脱型後の覆工コンクリート表面は急激に乾燥し、セメントの水和反応の十分な進行が妨げられている。

覆工コンクリート表面に給水を行い、水膜を形成させることが、覆工コンクリートの品質向上に有効である。トンネルに本システムを適用する場合の構成を図-6 に示す。基本的には図-1 で示したものと同様であるが、トンネル工事の特殊性を考慮し以下の対策を行っている。

- ・ 天端から供給される養生水は覆工左右両脚部

へ流下する。養生水回収のため両脚部に一定間隔で吸引口を設ける。

- ・ 浸水養生シート落下防止対策として、塩ビパイプを用いたマルチフレームを設置する。なお、本フレームには給水チューブを固定するための支持材としても利用する。
- ・ 浸水養生シートの展張に際しては、トンネル通行車両に影響を与えないよう専用の浸水養生シート展張台車を利用する。

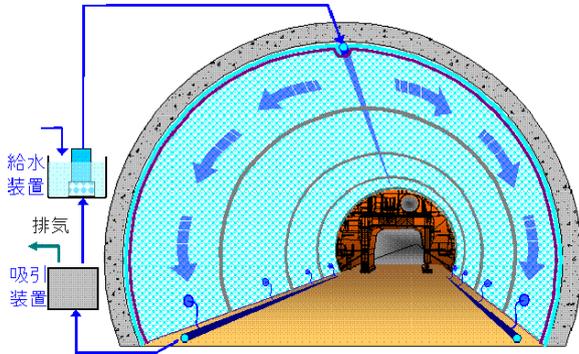


図-6 トンネルでの浸水養生システム構成

3.2 浸水養生シート展張台車

道路2車線断面トンネルの浸水養生シート展張台車は、トンネル工事で一般的に使用されている防水シート台車に袋体による養生シート押付け機能を追加する構造とした。

浸水養生シート及び給水チューブを台車上に広げ、展張台車上の袋体により壁面へ押し付け、マルチフレームにて仮固定する。所定のピッチ(2m程度)で浸水養生シートを仮固定した後、各部材の設置を行い、ジャッキアップにより本締め固定する。台車を移動し、同様の作業を繰り返すことで浸水養生シートを展張する。

図-7 に浸水養生シート展張台車の配置図を、図-8 に浸水養生シート展張台車の概要図を、写真-3 に台車のA部およびB部の詳細設備を示す。

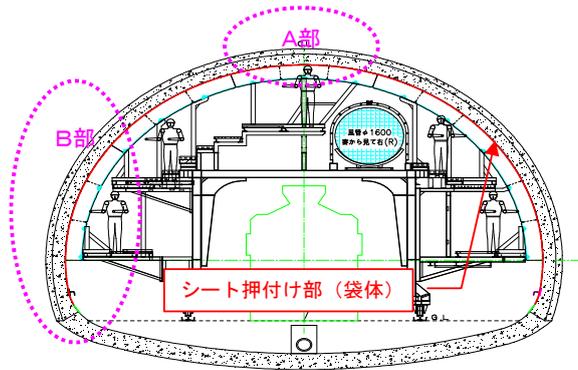


図-8 浸水養生シート展張台車概要図

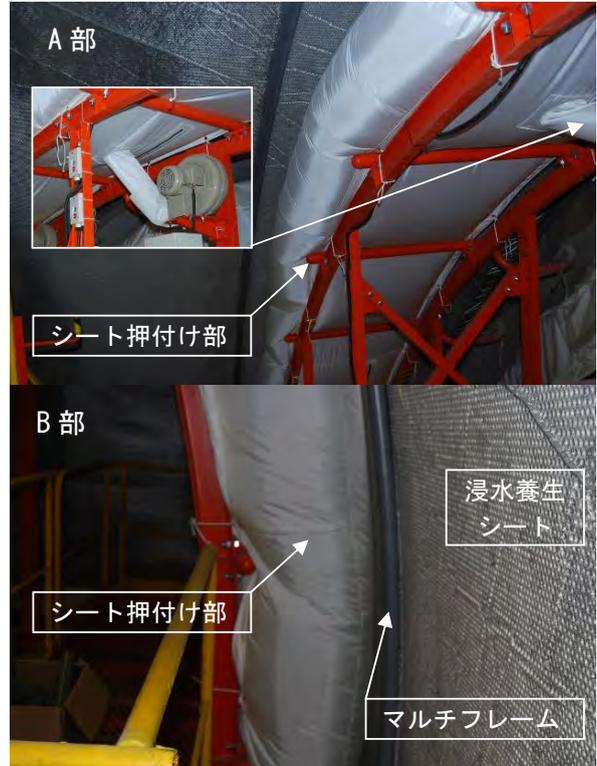


写真-5 展張台車各部詳細

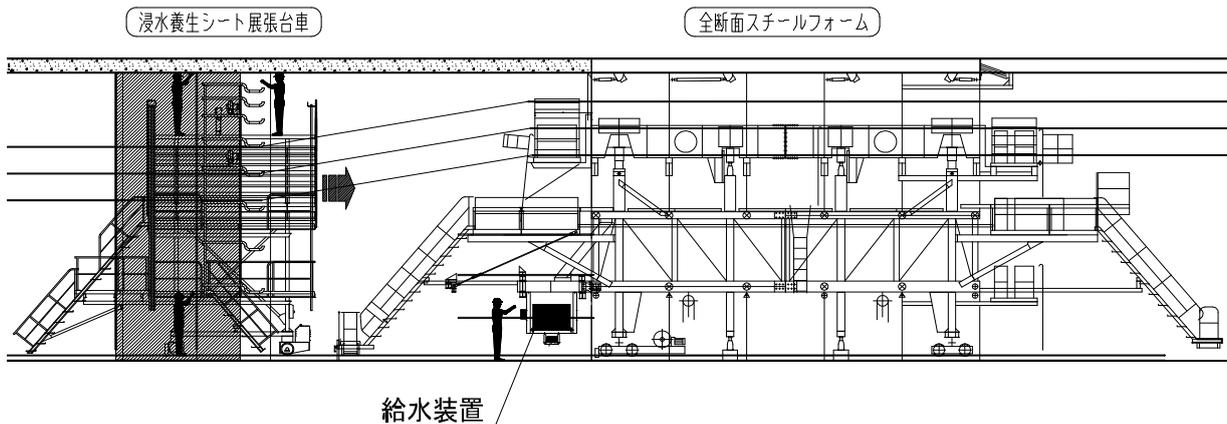


図-7 浸水養生シート展張台車配置

3.3 道路2車線断面トンネルでの適用事例

写真-6 にトンネルでの水膜形成状況を、写真-7

に浸水養生シート展張完了状況を示す。1スパンの養生面積は約 250m²であり、左右に設置した2台のファンにて吸引を行った結果、給水開始後30分程度で水膜が形成された。これにより、道路2車線断面トンネルにおいても十分な浸水養生ができたと判断している。



写真-6 トンネルでの水膜形成状況



写真-7 浸水養生シート展張完了状況

4. 明り構造物での適用について

浸水養生システムは、覆工コンクリート以外にもあらゆる構造物に適用することができる。

明り構造物では、フォームタイ等を利用し、浸水養生シートを仮固定する。下端部に設けた吸引口に吸引機を接続し、シート内を吸引する。そして浸水養生シートが壁面に密着したことを確認した後、給水を開始する。なお、必要に応じて浸水養生シートの落下および飛散防止対策を、テープや仮設材等を利用して行う。

これまでの養生状況例を写真-8に示す。



写真-8 浄水場工事の例

5. おわりに

社会資本のライフサイクルコスト削減に取り組む中で、コンクリート構造物の長寿命化は重要課題である。

浸水養生システムは、あらゆる構造物の壁面でコンクリート表面に均一な水膜を形成させることができるため、コンクリートの品質向上・長寿命化には最適な養生方法のひとつであるといえる。

トンネル現場での覆工コンクリートは、設備の盛替と打設を日々行う。本システムの展張作業時間は、工事の進捗に大きな影響を与える要素でもある。

今後は適用現場を増やしていきながら、実施工で得られた各種データを整理し、本システムの性能向上と施工性向上のため、更なる改良を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書【施工編】，pp.126～129, 2007
- 2) 古川幸則・白井孝昌：アクアカーテンを用いた覆工コンクリート養生について，2011トンネル技術研究発表会論文集，pp.83～92, 2011
- 3) 古川幸則：コンクリート壁面で水中養生を再現できる浸水養生システム [アクアカーテン]，土地改良，271号，pp.52～54, 2010
- 4) 古川幸則・塩崎修男・白井孝昌：シート吸引方式による覆工コンクリート養生システムの開発，土木学会第65回年次学術講演会論文集，pp33～34, 2010

18. 情報報化施工技術を活用した工事の 総合評価方式における技術評価と工事成績の分析

国土交通省 国土技術政策総合研究所 ○ 工藤 匡貴
 国土交通省 総合政策局 宮武 一郎*
 国土交通省 関東地方整備局 坂本 俊英*

1. はじめに

国土交通省では、平成20年7月に「情報化施工推進戦略」を策定し、ICTを建設施工に活用して高い生産性と施工品質を確保する情報化施工技術の普及促進に取り組んでいる。同戦略では、情報化施工技術の普及に向けた課題と対応方針の1つとして、「総合評価方式における技術提案に対する適正な評価」¹⁾をあげており、提案技術の成立性や導入効果などに関する情報の収集・検証を行うとしている。本稿では、国土交通省直轄工事の総合評価方式における入札時の技術評価と完成時の工事成績について、情報化施工技術を提案・活用した工事とそれ以外の工事を集計・比較した結果を報告するものである。

2. 分析方法

2.1 対象工事

(1) 総合評価方式における技術評価点（入札時）

情報化施工技術を活用した工事は、発注者が情報化施工技術の活用を指定している発注者指定型と、施工者が情報化施工技術の活用を技術提案する施工者希望型の二つのタイプに分かれている。ここでは入札時の技術評価点について分析するため、平成21年度に情報化施工技術を活用した工事のうち、施工者希望型の工事を分析対象としている。比較対象とする情報化施工技術を提案していない工事については、平成21年度発注工事から情報化施工技術を活用した工事を除外し、分析対象としている。

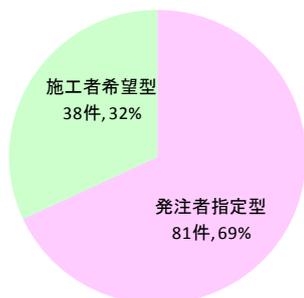


図-1 情報化施工技術活用工事のタイプ（平成21年度）

*前 国土技術政策総合研究所

(2) 工事成績評定点（完成時）

完成時の工事成績評定点を分析するため、平成21年度に情報化施工技術を活用した工事のうち、平成22年の11月時点で工事成績評定点が確認できた工事を分析対象としている。比較対象とする情報化施工技術を活用していない工事については、平成21年度発注工事のうち、平成22年の11月時点で工事成績評定点が確認できた工事を分析対象としている。

2.2 対象工種

分析対象とした工種は、情報化施工技術の活用件数が多い土工工事とアスファルト舗装工事とし、工種の判別には工事実績情報システム（CORINS）と工事技術的難易度評価の工事区分を使用している。



図-2 情報化施工技術活用工事の工種（平成21年度）

2.3 対象技術

分析対象とした情報化施工技術は、国土交通省直轄工事において一般化・実用化を推進している以下の技術としている。

- ① トータルステーション（TS）による出来形管理
- ② マシンコントロール（モータグレーダ）技術
- ③ トータルステーション（TS）／衛星測位システム（GNSS）による締固め管理技術
- ④ マシンコントロール／マシンガイダンス（ブルドーザ）技術
- ⑤ マシンガイダンス（バックホウ）技術

2.4 分析方法

(1) 総合評価方式における技術評価点（入札時）

分析は、情報化施工技術を活用した工事のうち、入札時に情報化施工技術に関する技術提案がなされている施工者希望型の工事と、情報化施工技術が活用されていない工事について、入札時の総合評価の技術評価点（加算点および施工体制評価点の得点に標準点を加えたもの）をそれぞれ集計し、比較を行っている。また、技術評価点の他、施工者希望型の中で件数が多い総合評価方式の標準型を対象に、加算点全体と内訳となる項目別の得点について集計し、比較を行っている。

(2) 工事成績評定点（完成時）

分析は、情報化施工技術が活用された工事と情報化施工が活用されていない工事について、工事成績評定点をそれぞれで集計し、全体と内訳となる項目別で比較を行っている。また、対象とした情報化施工技術別についても比較を行っている。

3. 分析結果

3.1 総合評価方式における技術評価点（入札時）

技術評価点の得点率の分布および平均を、土工工事については図-3に、アスファルト舗装工事については図-4に示す。

得点率の分布を見ると、件数割合が最も高いのは、情報化施工技術が提案された土工工事では0.85~0.90、提案されていない土工工事とアスファルト舗装工事では0.90~0.95となっているが、得点率の平均をみると、情報化施工技術が提案された土工工事では0.90、提案されていない土工工事とアスファルト舗装工事では0.91となっており、情報化施工技術に関する技術提案の有無や工種による大きな違いはみられない。

次に、技術評価点のうち、加算点の得点率の分布および平均を、土工工事については図-5に、アスファルト舗装工事については図-6に示す。

得点率の分布を見ると、件数割合が最も高いのは情報化施工技術の有無に関わらず、土工工事では0.60~0.80、アスファルト舗装工事では0.40~0.60となっている。得点率の平均をみると、情報化施工技術が提案された土工工事では0.58、提案なしでは0.59、情報化施工技術が提案されたアスファルト舗装工事では0.64、提案なしでは0.55となっており、得点率の分布や平均に大きな違いはみられない。

続いて、加算点の項目別の得点率と情報化施工技術の有無による得点率の差を、土工工事については図-7に、アスファルト舗装工事については図-

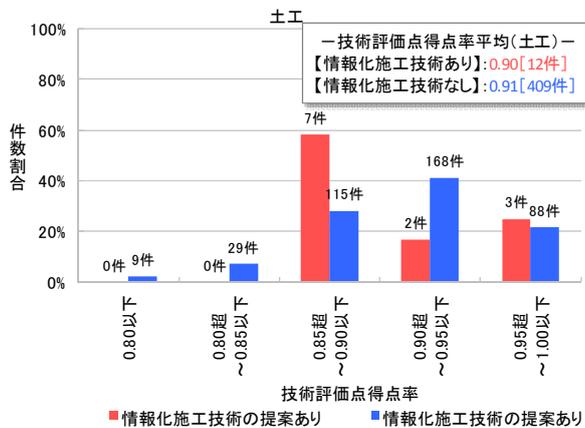


図-3 技術評価点得点率の分布と平均(土工)

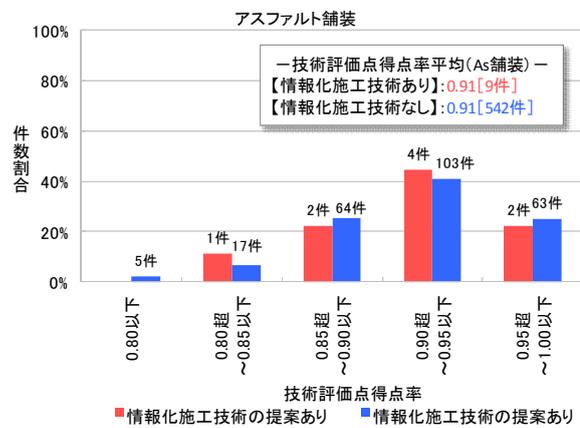


図-4 技術評価点得点率の分布と平均(As舗装)

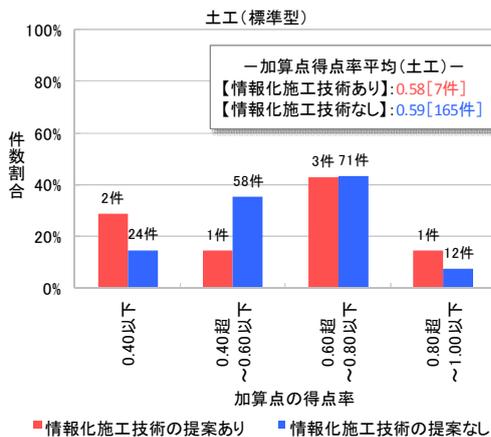


図-5 加算点得点率の分布と平均(土工)

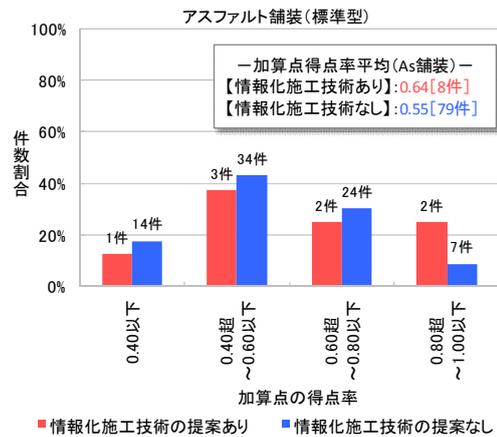


図-6 加算点得点率の分布と平均(As舗装)

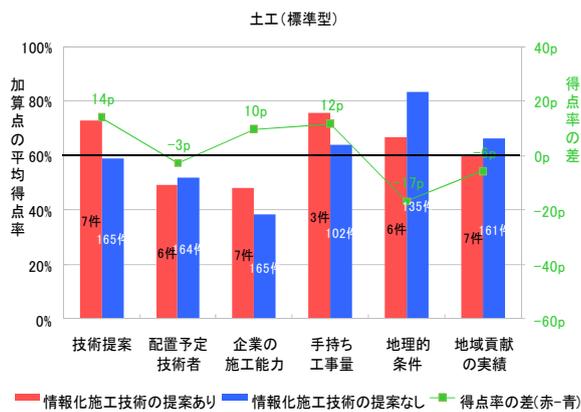


図-7 加算点の項目別得点率(土工)

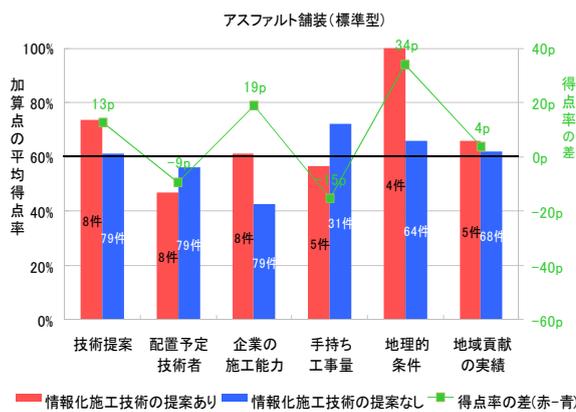


図-8 加算点の項目別得点率(As舗装)

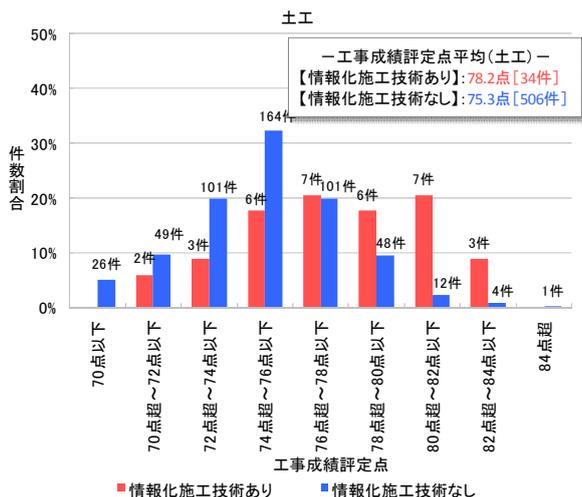


図-9 工事成績評定点の分布と平均(土工)

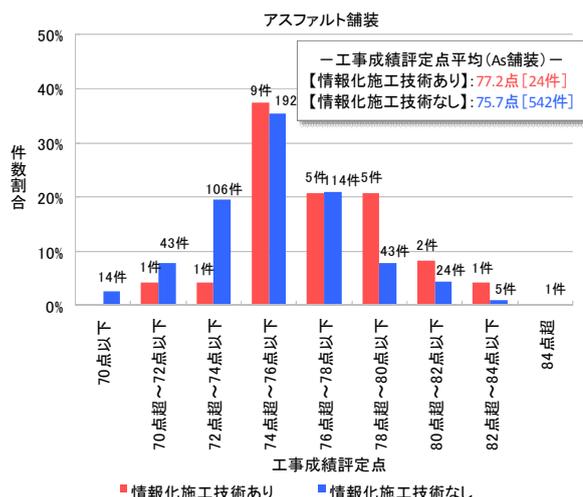


図-10 工事成績評定点の分布と平均(As舗装)

—8に示す。

土工工事、アスファルト舗装工事ともに、「技術提案」と「企業の施工能力」の項目で情報化施工技術が提案された工事の得点率が、情報化施工技術なしの工事を上回っており、土工工事の「技術提案」で14ポイント、「企業の施工能力」で10ポイント、アスファルト舗装工事の「技術提案」で13ポイント、「企業の施工能力」で19ポイント上回る結果となっている。「技術提案」については、具体的な技術提案の内容は確認できないものの、情報化施工技術に関する技術提案がなされることにより加点され、得点率が上がっていると考え。「企業の施工能力」については、得点の細目を確認したところ、情報化施工技術に関する「当該工事への新技術の適用」や「当該工事における新技術活用の取り組みの有無」等の項目で加点されている工事が少ないことから、情報化施工技術の技術提案による得点率の差ではないと考える。

3.2 工事成績評定点 (完成時)

工事成績評定点の分布および平均を、土工工事については図-9に、アスファルト舗装工事につい

ては図-10に示す。

工事成績評定点の分布をみると、件数割合が最も高いのは、情報化施工技術が活用された土工工事では76点超~78点以下と80点超~82点以下、情報化施工技術が活用されていない土工工事とアスファルト舗装工事では74点超~76点以下となっており、情報化施工技術が活用された土工工事は、他に比べ高得点に分布している結果となっている。工事成績評定点の平均をみると、土工工事においては情報化施工技術が活用された工事(78.2点)が、情報化施工技術なしの工事(75.3点)を2.9点上回る結果となっている。アスファルト舗装工事においても、情報化施工技術が活用された工事(77.2点)が情報化施工技術なしの工事(75.7点)を1.5点上回る結果となっている。このことから、情報化施工技術が活用された工事は、情報化施工技術なしの工事よりも工事成績評定点が高い傾向にあると言える。

次に、工事成績評定点のどの項目で点差がついているのかを確認する。項目別に分類した工事成績評定点と情報化施工技術の有無による項目別評定点の差を、土工工事については図-11に、アス

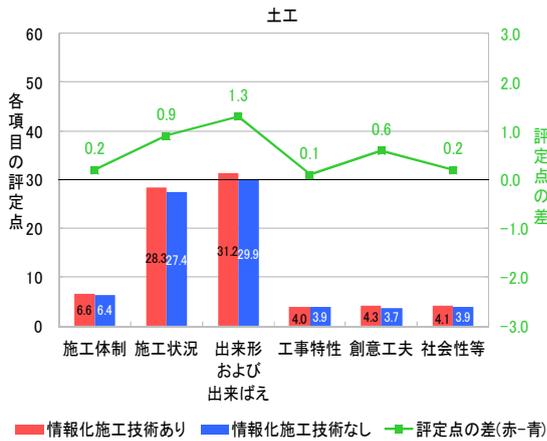


図-11 項目別の工事成績評定点と点差(土工)

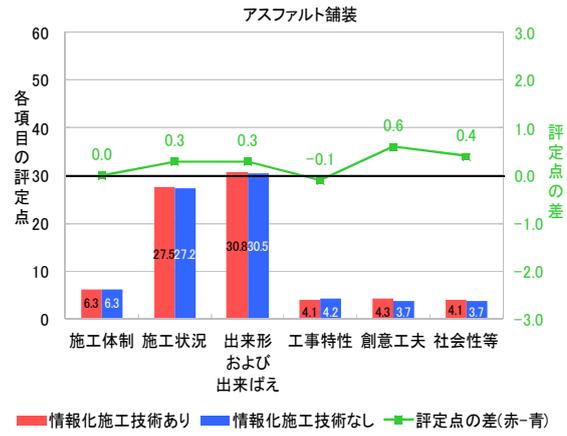


図-12 項目別の工事成績評定点と点差(As舗装)

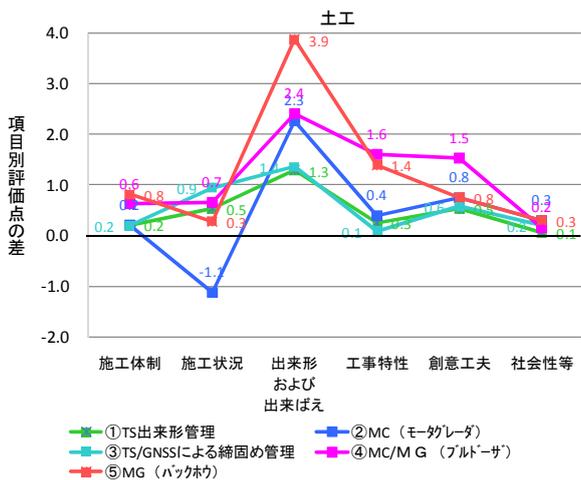


図-13 各技術の項目別工事成績評定点の差(土工)

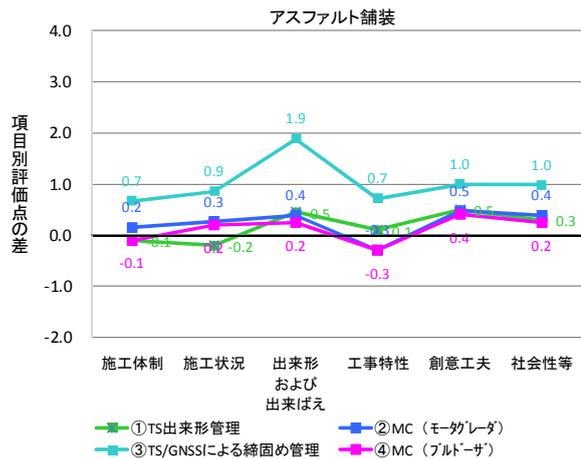


図-14 各技術の項目別工事成績評定点の差(As舗装)

ファルト舗装工事については図-12に示す。

項目別に点差をみると、土工工事では全ての項目で情報化施工技術が活用された工事が情報化施工技術なしの工事を上回っており、特に「出来形および出来ばえ」で1.3点、「施工状況」で0.9点、「創意工夫」で0.6点上回る結果となっている。同様にアスファルト舗装でも、「工事特性」以外の全ての項目で上回っており、特に「創意工夫」で0.6点、「出来形および出来ばえ」で0.3点上回る結果となっている。「創意工夫」については、細目である「新技術活用」と「施工」の項目で情報化施工技術が加点されていると考えられ、「出来形および出来ばえ」については、情報化施工技術により盛土や切土等の出来形精度が向上し、工事成績評定点に加点されるためであると考えられる。

また、情報化施工の技術別に評価点の差を集計したものを土工工事については図-13に、アスファルト舗装工事については図-14に示す。

特にバックホウのマシンガイダンス技術を活用した土工工事は、「出来形および出来ばえ」で3.9点高くなっており、出来形の精度向上等が成績に反映されていると考える。

4. おわりに

本稿では、入札時の技術評価と完成時の工事成績について、情報化施工技術を活用した工事とそれ以外の工事を集計・比較し、分析した結果を報告した。その結果、情報化施工技術を活用した工事は、入札時の技術評価においては、総合評価の「技術提案」の項目で高く評価されている傾向にあり、完成時の工事成績においては、工事成績評定点が高い傾向にあることを確認した。

なお、今回の分析では情報化施工技術だけに着目しており、他の要素を考慮していないことについては留意が必要である。また、情報化施工技術の一般化・実用化の推進に向けては、総合評価方式や工事成績評定において必要な措置を講ずることとされており²⁾、それらを踏まえたフォローアップ調査が今後も必要である。

参考文献

- 1) 情報化施工推進会議：情報化施工推進戦略，2008年7月31日
- 2) 情報化施工技術の一般化・実用化の推進について：国官技第113号，国総施第31号，平成22年8月2日

19. 都市道路工事におけるプレートコンパクタの低騒音化への実証

酒井重工業(株) 事業推進部 ○木村 公俊
技術研究所 伏見 哲行

1.はじめに

都市部の道路においては、日中の交通量が多いため、夜間に集中して工事が行われることが多い。車道の打ち換え工や切削オーバーレイ工など夜間の維持修繕工事においては、工事現場周辺に対する配慮が非常に重要である。特に、騒音・振動においてはその影響する範囲が広く、それらへの対策が最重要課題になっている。近年、様々な技術革新により建設機械の低騒音化が図られている。プレートコンパクタにおいては、転圧板が転圧面を蹴りながら前進し、推進力と転圧力を両立させているため、転圧面との接触音が主たる騒音の発生源となっている。この度、騒音未対策型プレートコンパクタ（以下、従来型）と低騒音対策型プレートコンパクタ（以下、低騒音型）において低騒音化の実証実験を行ったのでここに報告する。

2.低騒音型プレートの概要

機械の主要諸元を表-1 に示し、機械外観を写真-1 に示す。プレートコンパクタは、エンジン、Vベルト、振動装置、転圧板から構成されている。本機は転圧板に制振材を付加し低騒音化を図った技術である。

表-1 機種概要

規格	40~60kg	70~80kg
項目		
機種名	PC41SL	PC61SL
運転質量(kg)	51	76
振動数(Hz)	97	97
起振力 (kN)	6.4	10.8



写真-1 機械外観

3.制振材

転圧板の中央空洞部分と上面左右端部に高耐久性ウレタンゴムを採用した。中央空洞部分は、内部上面まで制振が必要のため、製造時は完全充填にて製造されている。(図-1、写真-2) 高耐久性ウレタンゴムは耐油性に優れ、経年劣化に対しても転圧板との接着性を維持するものを採用した。また、転圧板は施工時にアスファルト混合物が付着するのを防止するため、加熱することがある。このため、加熱時にゴムの収縮率が最小となるものを採用した。

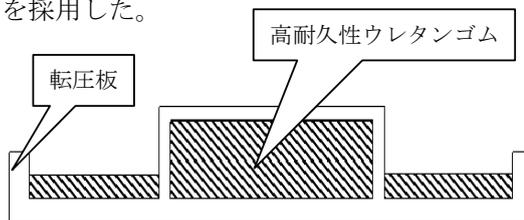


図-1 転圧板断面図



写真-2 制振材充填状況

4.試験概要

試験方法は JIS Z 8731 に規定される「環境騒音の表示・測定方法」に則り、時間率騒音レベル L5 にて評価した。また、オペレータへ伝わる耳元騒音についても測定を行った。測定場所は土上と既設アスファルト舗装上で運転した時に発生する騒音レベルを測定し、その値より時間率騒音レベルを算出した。マイクロフォンの設置位置は音源から 7.0m とし、測定高さは 1.5m とした。そして、従来型と低騒音型で評価を行った。(写真-3)



写真-3 測定状況

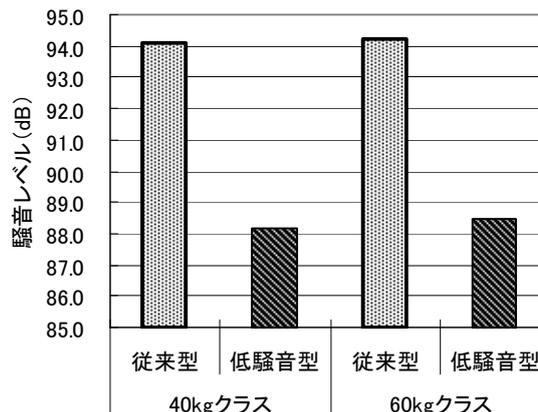


図-2 既設アスファルト上での測定値

5.測定結果

5.1 騒音測定結果

土上と既設アスファルト舗装上における時間率騒音レベルの測定結果を表-2 と図-2 に示す。

低騒音型が従来型に比べて、40~60kg 級では 2.1~2.5 (dB) 低減し、70~80kg 級では 5.7~5.9 (dB) 低減している。特に既設アスファルト舗装上での低騒音化が著しく、従来型で発生していた転圧板と転圧面とで反発していた金属音が低減された。

表-2 時間率騒音レベル L5 測定結果(dB)

項目	40~60kg		70~80kg	
	従来型	低騒音型	従来型	低騒音型
土	76.6	74.1	78.4	76.3
既設 As	94.1	88.2	94.2	88.5

5.2.耳元騒音測定結果

土上、既設アスファルト舗装上における耳元騒音レベルの測定値結果を表-3 に示す。

その結果、低騒音型は従来型に比べて、40~60kg 級では 3.0~4.1 (dB)、70~80kg 級では 0.8~2.4 (dB) 低減している。

表-3 耳元騒音測定結果(dB)

規格	40~60kg		70~80kg	
	従来型	低騒音型	従来型	低騒音型
土	93.7	90.7	92.7	91.9
既設 As	110.0	105.9	109.6	107.2

6.まとめ

低騒音対策型プレートは騒音未対策型プレートよりも騒音値が小さく、作業時の騒音抑制に寄与できることを確認した。建設機械の低騒音化により得られるメリットは、現場環境の改善の他、作業者の聴覚確保等、多岐にわたる。現場環境の改善が要請される中で、より工夫された機材の使用により、現場近隣住民との調和が図れる施工に貢献出来れば幸いである。

20. 狭隘部に用いる小型締固め機械の締固め特性の分析

(独) 土木研究所
(独) 土木研究所
(独) 土木研究所

○ 橋本 毅
藤野 健一
小橋 秀俊

1. はじめに

構造物近傍の裏込め部や地中埋設物の埋め戻し工などの狭隘部の締固めには小型の締固め機械が用いられる。これら狭隘部は、構造物や既存地盤との接合部であり、締固め不足により段差が生じやすい特徴がある。そのため狭隘部はより一層慎重に締固める必要がある。

現在日本国内で一般的に使用されている小型締固め機械は4種類有り、重量クラスも50kg~700kgと幅広い。当然締固め能力や施工の容易さ等も機種毎、重量クラス毎に異なっており、施工条件などにより、適切な機械、施工手法、品質管理手法を選択することは、非常に重要である。

しかしながら、小型機械の締固め特性については一般的によく知られておらず、機種を選定や施工方法、品質管理手法などに関する明確なガイドラインなどが現在存在していない。一部、高速道路施工現場にて、小型機械の比較実験を行った事例はあるが¹⁾、体系立てられた十分なデータ数が得られていないのが現状である。

そこで本研究では、高速道路の他に一般道路、河川堤防での盛土施工も視野に入れ、狭隘部の盛土締固め施工時における、施工機械の最適な選定手法、締固め品質管理手法を明確にすることを目的として、狭隘部締固めに使用される小型締固め機械特性に関する基礎データ収集のための土槽実験を実施した。

2. 実験概要

2.1 実験フィールド

実験は土木研究所構内の土工実験棟実験ピットにて行った。まず十分に締固めた実験地盤をピット内に製作し、その片側の壁を構造物に見立て、壁際を幅600~700mm(締固め機械による)、深さ300mm、長さ25mにわたり掘削し、そこへ仕上がり厚さ300mm相当の実験地盤と同じ材料を盛り立てて実験フィールドを製作した。(写真-1)

2.2 実験土質

本実験で使用する土質としては、砂質系の土質

を使用した。使用した土の粒径加積曲線を図-1に、物理特性を表-1に示す。



写真-1 実験フィールド

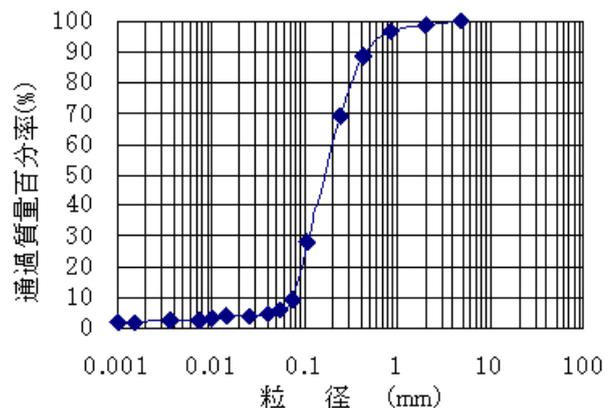


図-1 粒径加積曲線

表-1 土質材料の物理特性

実験項目	実験地盤
土粒子密度 ρ_s (Mg/m ³)	2.675
細粒分含有率 F_c (%)	10
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (Mg/m ³)	1.674
最適含水比 W_{opt} (%)	16.0

実験中の含水比は最適含水比付近になるよう調整した。

また、初期締固め条件(締固め0回)は、ラン

マ・プレートコンパクタ使用時は、材料盛り立て後、人員にて踏み固めた状態を、また前後進コンパクタ・ハンドガイドローラ使用時は、材料盛り立て後、0.1m³クラス油圧ショベル（自重2.7ton）にてクローラ締固めを2回（往復）行った状態を初期締固め条件とした。

2.3 締固め機械

本実験に使用した締固め機械の仕様を表-2に示す。小型締固め機械4種類について、それぞれ最も広く普及していると思われる機械を選択した。

現場での状況を再現するため、機械はすべて定格状態にて運転するものとし、速度調整が可能な機械である前後進コンパクタ・ハンドガイドローラは最高速度に設定した。（走行レバーFull状態）

表-2 締固め機械仕様

	プレートコンパクタ	ランマ	前後進コンパクタ	ハンドガイドローラ
機械質量(kg)	66	62	330	600
締固め幅(mm)	350	265	445	650

2.4 計測項目

計測項目の一覧を表-3に、主な計測項目の概要を以下に示す。

(1) 密度・含水比（コアサンプリング）

内径100mm、高さ100mmの円筒形コアサンプラーを用い、1測定ポイント毎に深さ0mm～100mm、深さ100mm～200mm、深さ200mm～300mmの3サンプルを採取し、密度・含水比を測定した。

(2) 機械走行速度

機械走行速度は、実験フィールド中の10m区間を通過する時間をストップウォッチにて測定し速度を算出した。

(3) 可搬性・操作性

可搬性とはトラックなどの輸送機器から施工現場までの移動の容易さであり、操作性とは施工時のハンドリングの容易さである。実際の運用・運転などを通して、評価を行った。

表-3 計測項目一覧

計測項目	測点数	計測回数
密度・含水比 コアサンプリング	3	締固め0, 2, 4, 6, 8, 12, 16後
沈下量	3	締固め0, 2, 4, 6, 8, 12, 16後
機械走行速度	-	各締固め時
可搬性・操作性	-	各締固め時

3. 実験結果および考察

3.1 密度・含水比（コアサンプリング）

コアサンプリングによる、深さ0～100mmの乾燥密度を図-2に、深さ100mm～200mmの値を図-3に、深さ200mm～300mmの値を図-4に示す。いずれも3測定点の平均で表している。

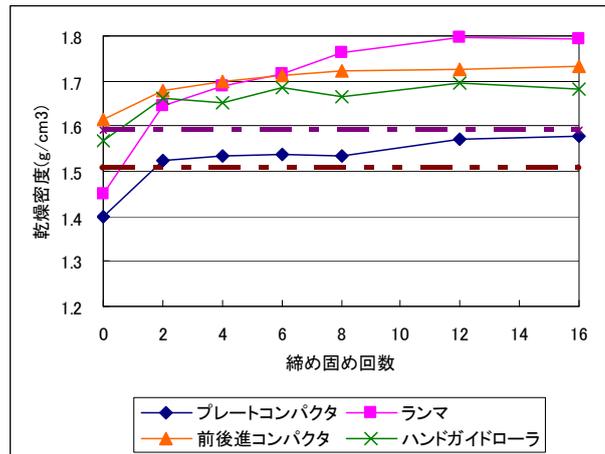


図-2 締固め回数－乾燥密度（深さ0～100mm）

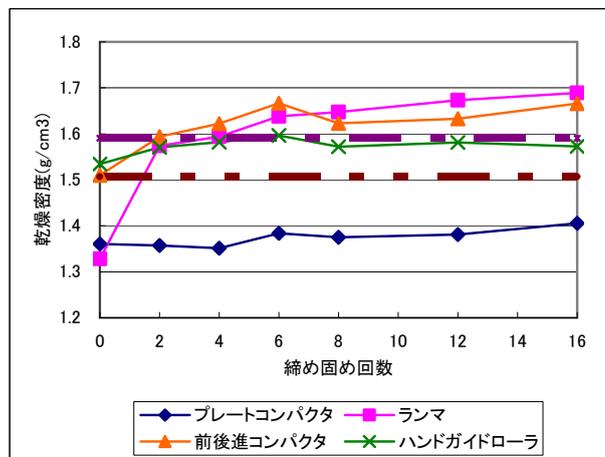


図-3 締固め回数－乾燥密度（深さ100～200mm）

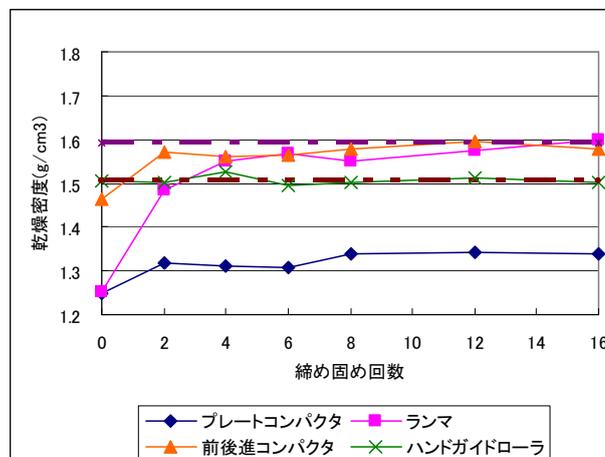


図-4 締固め回数－乾燥密度（深さ200～300mm）

図-2、図-3、図-4より、すべての機械において、

締固め回数が増加するとともに密度も増加している。特に締固め初期（2～4回）で急速に密度が増加し、概ね締固め回数 8 回程度で密度増加が収束へ向かっている。

ただしハンドガイドローラにおける、深さ 200～300mm では締固めによる密度増加が認められない。これは、ハンドガイドローラではこの深度へ、初期状態(0.1m³クラス油圧ショベル(自重2.7ton)による締固め)以上の締固め効果を与えることが出来ない、ということを示している。

「道路土工—盛土工指針」²⁾による締固め日常管理基準値の目安は、路体で締固め度 90%以上、構造物取付部で同 95%以上（いずれも A 法）となっている。図-2、図-3、図-4 に本土質の締固め度 90%を 1 点波線で、95%を 2 点波線にて記載している。これによると、ランマ・前後進コンパクタでは、すべての深さで締固め度 90%以上、200mm までで 95%以上を達成している。ハンドガイドローラでは、200mm までで 90%以上、100mm までで 95%以上を達成している。プレートコンパクタでは 100mm までで 90%以上を達成しているが、95%以上を達成することはできなかった。

以上の結果より、本土質における締固め能力を比較すると、ランマ≧前後進コンパクタ>ハンドガイドローラ>プレートコンパクタの順になっている。施工厚さを厚くしたい場合は、ランマか前後進コンパクタを選択するべきといえる。

3.2 沈下量

沈下量の測定結果を図-5 に示す。いずれも 3 測定点の平均で表している。

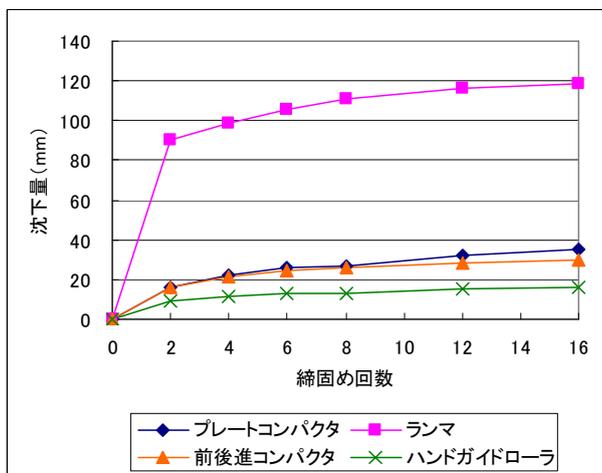


図-5 締固め回数—沈下量

図-5 より、すべての機械において、締固め回数が増加するとともに沈下量も増加している。

乾燥密度 0～300mm の平均との相関図を図-6 に示す。

図-6 より、乾燥密度と沈下量には 1 次正の相関があり、沈下量を品質管理の指標とすることが可能であるといえる。

また、グラフの傾きおよび切片は、プレートとランマ、前後進コンパクタとハンドガイドローラでそれぞれほぼ一致している。これは初期締固め条件（締固め 0 回）のグループ分けに等しい。

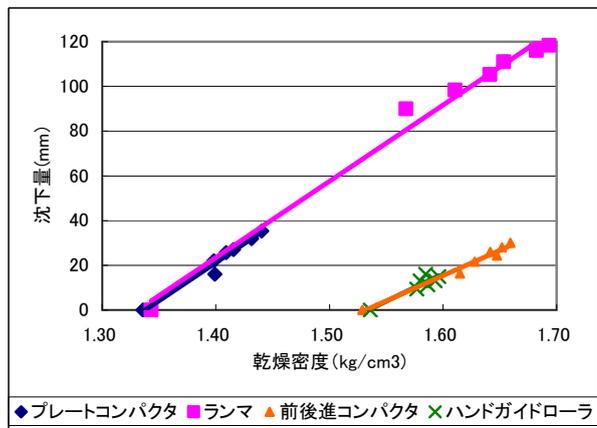


図-6 乾燥密度—沈下量

3.3 機械走行速度

機械走行速度を図-7 に示す。

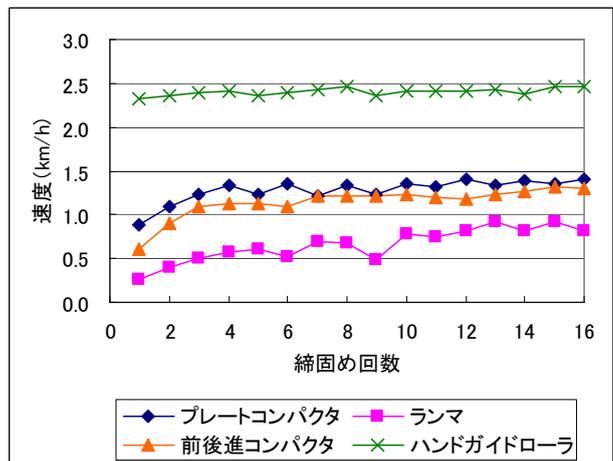


図-7 機械走行速度

図-7 より、プレートコンパクタ・ランマ・前後進コンパクタにおいては、締固め回数が増加するとともに走行速度も増加している。特に締固め初期（1～4回）で急速に速度が増加している。それに対し、ハンドガイドローラにおいては、締固め回数が増加しても、走行速度はほとんど変化しない。これは、プレートコンパクタ・ランマ・前後進コンパクタは平板式締固め機械であり、走行速度は地盤状況に影響を受けるためと考えられる。特に締固め初期の地盤は非常に軟らかく、平板式締固め機械の速度に著しい影響を与えているとい

える。対してハンドガイドローラは鉄輪式締固め機械であり、走行速度は地盤状況に比較的影響を受けないと考えられる。

各機械の平均速度と締固め幅から算出した、単位時間当たりの締固め面積を表-4に示す。

これによると、ランマは同じ時間内にハンドガイドローラの約1/9、前後進コンパクタ約1/3の面積しか締固めすることができないことがわかり、ランマは比較的小さい施工面積向きの機械であるといえる。

表-4 単位時間当たり締固め面積

プレート コンパクタ	ランマ	前後進 コンパクタ	ハンドガイド ローラ
448 m ² /h	175 m ² /h	508 m ² /h	1563 m ² /h

3.4 可搬性・操作性

実験時において、可搬性・操作性について検証を行い、結果を以下に述べる。

(1) 可搬性（輸送車から施工現場までの移動）

ハンドガイドローラは振動を切って自走できるため、トラックなどの輸送用車両から施工現場への移動は容易である。これに対し、ランマ・プレートコンパクタは平板式締固め機械であるため、コンクリート上などを自走することはできない。しかし両者は重量が60kg程度と比較的軽量であり、また移動用オプションも用意されているため、比較的可搬性は良好であるといえる。同様な平板式締固め機械である前後進コンパクタは重量が300kg程度あり、また前述のような移動用オプションは用意されていないため、可搬性は良好とはいえない。

(2) 操作性（施工現場でのハンドリング性能）

ランマ・プレートコンパクタ・前後進コンパクタは平板式締固め機であり、小さくジャンプしながら締固めを行っているため、ハンドリングは容易である。ただし、ランマは他に比べて反力が大きく、取り扱いには注意が必要である。また、前後進コンパクタは重量が重く、全長も長いので、構造物近傍での操作には同じく注意が必要である。ハンドガイドローラは重量が600kgと重く、操舵するためにはハンドルを押し引きしてローラを引きずるため、操作性は良好とはいえない。

以上の結果より、施工現場の状況（広さや形状など）、クレーンやフォークリフトなどの設備の有無なども、機種を選択する際に十分考慮しなくてはならないといえる。

4. まとめ

以上の実験結果から、下記の点がいえる。

- ① 施工条件に応じた機種・施工厚さ選定の際には、表-5を参照することができる。

表-5 施工適用案

		プレート コンパクタ	ランマ	前後進 コンパクタ	ハンドガイ ドローラ
深 さ	0-100mm	○	◎	◎	◎
	100-200mm	—	◎	◎	○
	200-300mm	—	○	○	—
単位時間当り 締固め可能面積		448 m ² /h	175 m ² /h	508 m ² /h	1563 m ² /h
可搬性		良	良	可	優
操作性		優	良	良	可

◎ : 締固め度 95%達成

○ : 締固め度 90%達成

注：本表は、本実験条件における結果であり、各種締固め機械の性能を保証するものではない。

- ② すべての機械において締固め回数の増加とともに密度が増加していることから小型締固め機械による狭隘部締固めに際して、(大型機械と同様な)締固め回数による品質管理手法が使用できる。
- ③ すべての機械において沈下量は締固めの指標である密度と1次の強い正の相関関係があることから、小型締固め機械による狭隘部締固めに際して、沈下量による品質管理手法が使用できる。

本報告は、1種類の土質条件にて、各代表的な機械を用いた結果である。今後の課題としては、細粒分の多い土質や様々な含水比でのデータ計測・収集を行い、同様の傾向が得られるか実験を進めたい。また、締固め機械の重量クラス差による締固め性能にどれほどの差異があるものか、併せて実験等で明らかにし、より詳細な機種・施工手法選定のためのガイドライン作成を行いたい。

品質管理手法の提案においては、締固め回数の代わりに締固め時間を用いる手法や、沈下量による指標について、さらなる検証を行いたい。さらに加速度応答システムを小型締固め機械に搭載して活用する手法などの可能性についても検証を行いたい。

参考文献

- 1) 横田、中村：高速道路における小型施工機械を用いた締固め特性、建設の施工企画、No. 717、pp14-19、2009
- 2) (社)日本道路協会：道路土工 盛土工指針、(社)日本道路協会、pp219-220、2010

2 1. 盛土工事における締固め機械の土の締固め特性の分析

(独) 土木研究所 ○岩谷 隆文
 (独) 土木研究所 藤野 健一
 (独) 土木研究所 小橋 秀俊

1. はじめに

近年、未曾有の豪雨・地震による盛土の崩壊が発生している。盛土における被災調査結果や模型実験によれば、盛土内の排水不良とともに締固め不良が被災の主要因であることがわかってきた。

従来、道路盛土の締固めにおいて最も広く用いられている品質管理方法は、施工方法を想定し、設計上要求すべき強度、変形抵抗を満足するような締固め度を規定することにより、締め固めた土の性質の恒久性と設計から要求される力学特性の両者を確保しているとみなすものである。しかし、盛土に求められる品質の要求（豪雨・地震に対する安全性）を達成するためには、締固め度の設定だけでなく、それを確実に達成するための適切な締固め機械の選定法、施工手法及び品質管理手法を確立していく必要がある。

本研究では、盛土施工時の盛土品質を確保するために、最適な施工機械の選定及び最適な締固め施工手法・品質管理手法の提案を目的とし、以下の検証を進める。

- ① 施工・土質条件に応じた最適な締固め機械の選定に関する検証
- ② 機種や施工・土質条件による施工手法（施工厚さ）の検証
- ③ 締固め品質における品質管理手法の検証

上記①～③の検討を進めるために、土木研究所内の試験ピット内に盛土工事と同等の試験フィールドを作成し、砂質土の最適含水比において、各締固め機械の締固め特性等の検証のため各締固め機械による締固め回数試験を行うものである。

2. 締固め回数試験概要

2.1 試験条件

試験で使用する土質条件として、現場の盛土にも利用されている砂質土（山砂）を使用した。使用土の物理特性を図-1、表-1 に示す。但し、 ρ_{dmax} 、 w_{opt} は突き固め試験（JIS A 1210）のc-A法で算出したものである。また、本研究で使用した試験フィールドは土木研究所構内の土工実験棟試験ピットを用いており、その詳細を図-2 に示す。試験ピットは幅5m、長さ44.8m、深さ5mのコンクリー

トピットである。このピット底面より高さ2.8mまで試験土を十分締固め盛り立てた地盤（今後単に基礎地盤と呼ぶ）上を用いて締固め回数試験を行った。

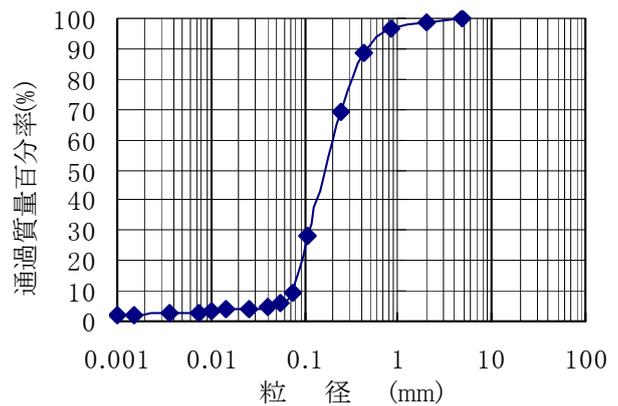


図-1. 粒径加積曲線

表-1. 土質材料の物理特性

試験項目	試験結果
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.675
細流分含有率 F_c (%)	10
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.674
最適含水比 w_{opt} (%)	16.0

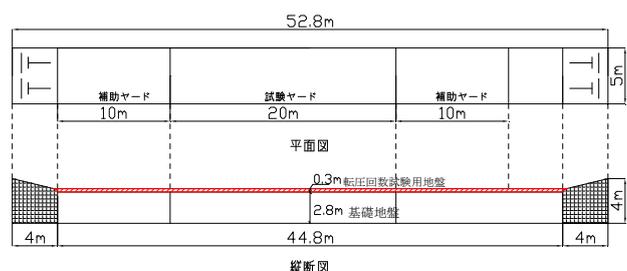


図-2. 試験ピット詳細図

2.2 締固め機械の選定

締固め回数試験に使用する締固め機械としては、道路土工施工指針に基づいて盛土工事に広く利用されているものを選定した。使用する機械の規格については各機種 of 機械重量が同程度であるものとした（表-2）。

表-2. 使用締固め機械仕様

使用締固め機械	機械重量（機種）
タイヤローラ	11t 級 (CP210)
ブルドーザ	11t 級 (D5k 湿地タイプ)
振動ローラ	11t 級 (SV512D)



写真-1 タイヤローラ



写真-2 ブルドーザ



写真-3 振動ローラ

2.3 締固め回数試験及び品質管理試験

締固め機械における土の締固め能力を検証するために締固め回数試験を行った（写真-4）。締固め回数試験は、図-2 のハッチングエリアで示すように基礎地盤上に仕上がり厚 300mm となるように試験土を敷均し、各締固め機械の前後進により締固めを行った。試験ケースとしては、タイヤローラ、ブルドーザ、振動ローラ（振動なし）、振動ローラ（振動あり）の計4パターンについて行った。また、締固め特性を検証するための各計測項目及び計測する締固め回数については表-3 に示す。密度・含水比計測のためのコアサンプラーは、内径 100mm、高さ 100mm の円筒形のものを使用した（写真 5）。測定は、測定地盤地表面から $h=0\sim 100\text{mm}$ 、 $100\sim 200\text{mm}$ 、 $200\sim 300\text{mm}$ の深さごとの 3 サンプルを各 3 測点にて行った。また、図-3 に試験ピット内の計測平面図を示す。土の締固めにおいては初期締固め条件（締固め 0 回）は人力敷均し後、 0.1m^3 級の油圧ショベルのクローラにて 2 回締固めた状態を初期締固め条件とした。使用土の含水比は、最適含水比領域内で調整を行った。また、締固め機械の運転速度も締固めに影響を及ぼすことから、本試験では各機械の走行速度については概ね $3\sim 4\text{km/h}$ に固定し試験を行った。



写真-4. 締固め回数試験状況

表-3. 計測項目一覧

計測項目	測定点	計測回数
密度・含水比 (コアサンプル)	3	0,2,4,6,8,12,16 回後
沈下量 (レベル測量)	3	0,2,4,6,8,12,16 回後
地盤反力係数 (小型 FWD 試験)	3	0,2,4,6,8,12,16 回後

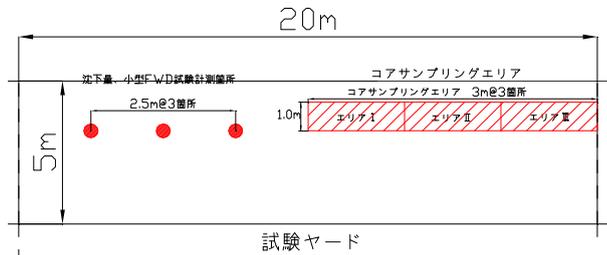


図-3. 締固め回数試験計測箇所平面図



写真-5. コアサンプリング状況



写真-6. 小型 FWD 試験状況

3. 試験結果

3.1 コアサンプリング結果

本試験では、含水比を w =最適含水比領域の約 15% に調整し行った (以後 w =最適含水比領域を単に w =最適と呼ぶ)。 w =15% 時のコアサンプリングによって得られた乾燥密度-締固め回数の結果を深さ $h=0\sim 100\text{mm}$ 、 $100\sim 200\text{mm}$ 、 $200\sim 300\text{mm}$ ごとに図-4、5、6 に示す。また、締固め回数試験により得られた最大乾燥密度と地盤深さの関係を図-7 に示す。各グラフに示されている締固め度 $D_c=90\%$ 、 95% とは、「道路土工-盛土工指針」に記載されている現場盛土工事の路体、路床工事における日常管理基準値である。以下、コアサンプリングによって得られた結果を示す。但し、計測結果はいずれも図-3 に示す計測点で計測された 3 測点の平均値である。

- (1) すべての締固め機械において締固め回数の増加とともに密度の増加し、締固め初期 (2~4 回) で急速に密度増加が起こり、その後概ね 8 回で密度増加の収束を向かえている。
- (2) 振動ローラ (振動あり) ではすべての深さにおいて締固め回数 4 回で $D_c=95\%$ を達成した。
- (3) タイヤローラ、振動ローラ (振動なし) は $h=0\sim 200\text{mm}$ で優に $D_c=95\%$ を達成したが $h=200\sim 300\text{mm}$ ではかろうじて達成しただけであった。
- (4) ブルドーザについては、締固め回数の増加による密度増加が若干みて取れる程度であり、乾燥密度からでは初期締固め状態以上の締固めを達成したとはいえなかった。
- (5) 振動ローラ (振動有り) は、他の締固め機械、試験条件に比べると、深さ方向の密度減少が小さいことがわかった。
- (6) 16 回の締固めまでに計測された最大乾燥密度は、振動ローラ (振動あり) > タイヤローラ \approx 振動ローラ (振動なし) > ブルドーザの順となった。

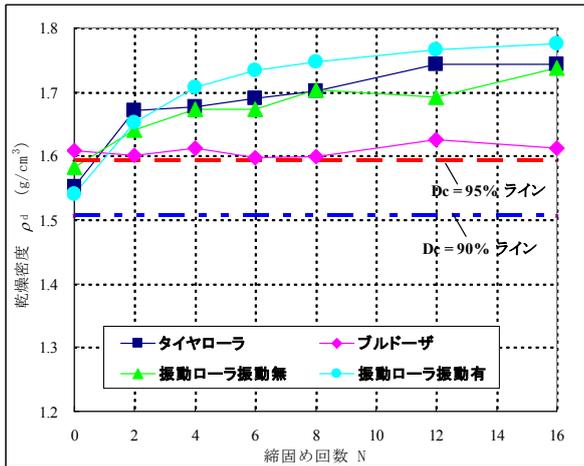


図-4. 乾燥密度—締固め回数 (h=0-100mm)

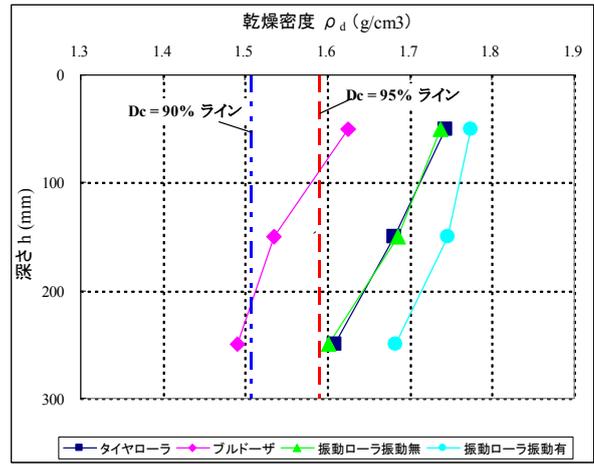


図-7. 測定深さ—乾燥密度

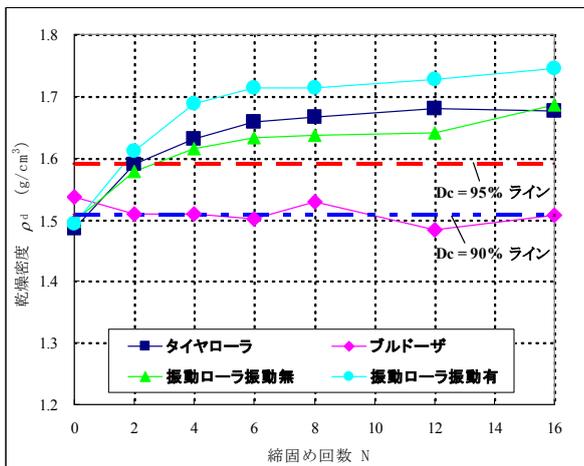


図-5. 乾燥密度—締固め回数 (h=100-200mm)

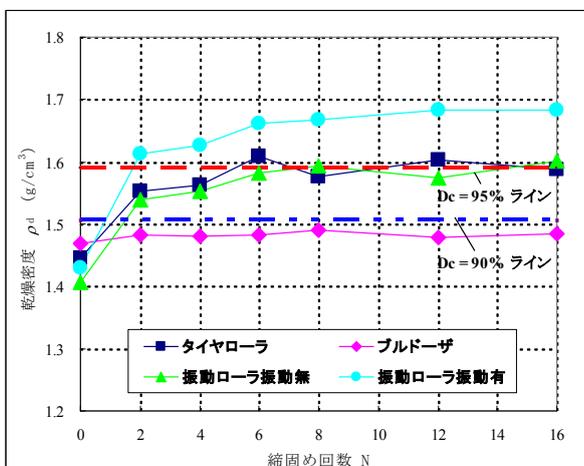


図-6. 乾燥密度—締固め回数 (h=200-300mm)

3.2 沈下量計測結果

次に、締固め機械の締固め回数の沈下量計測結果を図-8、9に示す。グラフの沈下量は、いずれも図-3に示す計測点で計測された3測点の平均値である。

全ての締固め機械について締固め回数の増加に伴い沈下量も増加していることがわかった。また、締固め回数の初期段階(締固め回数2~4回)で急激に沈下量が増大し、その後は収束に向かっており、乾燥密度—締固め回数の関係と同様な傾向が見られた。そこで、各締固め回数時の乾燥密度と沈下量について図示すると、1次関数にて近似することがわかった。さらに、乾燥密度と沈下量について相関係数を算出した結果を表-4に示す。

結果より、ブルドーザについては相関係数0.129と非常に低い値となり結果的に比較の対象から除外することとした。しかし、その他締固め機械については相関係数0.9以上と強い1次の正の相関があるといえる。

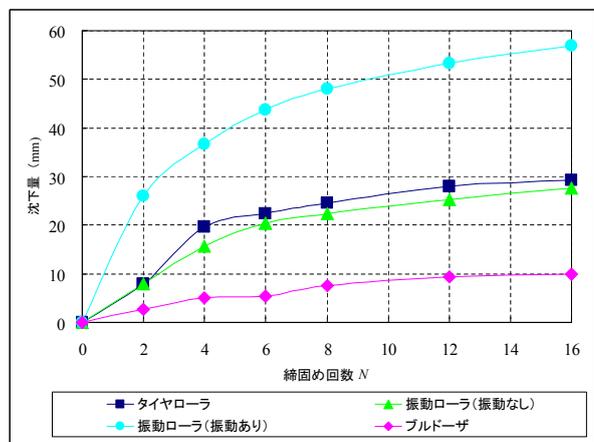


図-8. 沈下量—締固め回数

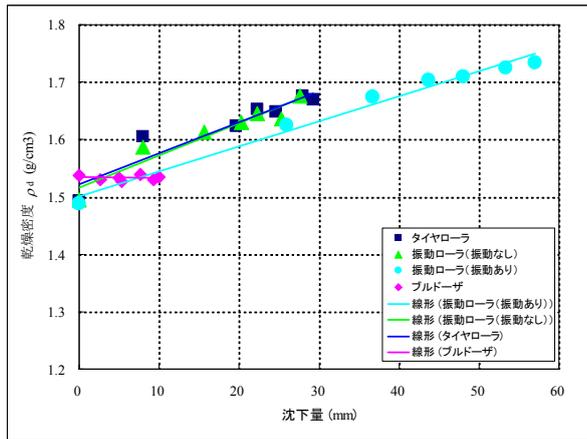


図-9. 沈下量－締固め回数

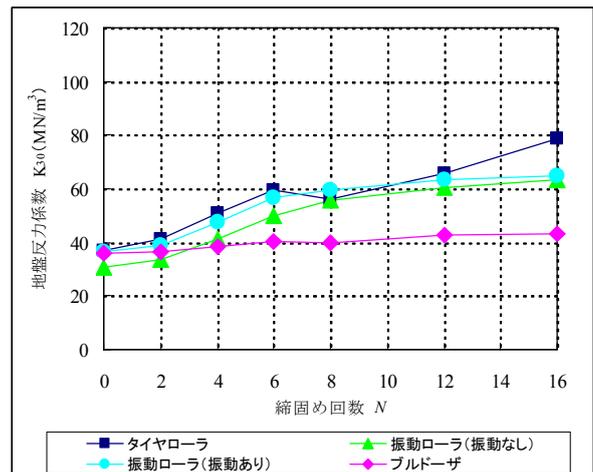


図-10. 地盤反力係数－締固め回数

表-4. 乾燥密度－沈下量 相関係数

使用締固め機械	相関係数
タイヤローラ	0.942
ブルドーザ	0.129
振動ローラ (振動なし)	0.957
振動ローラ (振動あり)	0.990

3.3 小型 FWD 試験結果

小型 FWD 試験によって得られた地盤反力係数 K_{30} の計測結果と締固め回数の関係を図-10 に示す。図に示す地盤反力係数値は小型 FWD 値を平板載荷試験 (JIS A 1215) によって得られる地盤反力係数 K_{30} に換算した値である。また計測された値はいずれも図-3 に示す 3 測点で計測した平均値である。

計測された地盤反力係数は締固め回数の増加に伴い増加していることがわかった。締固め回数 16 回の間に得られた最大地盤反力係数値 K_{30} は、タイヤローラ > 振動ローラ (振動なし) ≒ 振動ローラ (振動あり) の順となった。

次に、乾燥密度と地盤反力係数 K_{30} の平方根をとった $\sqrt{K_{30}}$ の関係を図-11 に示し、さらにその相関係数について算出したものを表-5 に示す。結果より、ブルドーザについては相関係数 0.040 と非常に低い値となり結果的に比較の対象から除外することとした。しかし、その他締固め機械については相関係数 0.9 以上と地盤反力係数の平方根との間には強い 1 次の正の相関があることがいえた。

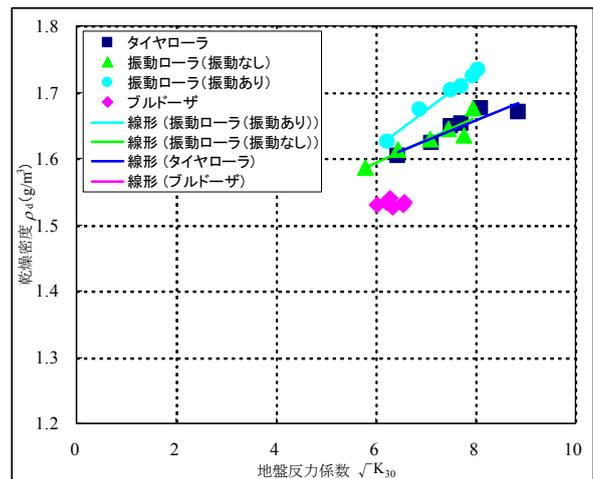


図-11. 乾燥密度－地盤反力係数

表-5. 乾燥密度－ $\sqrt{K_{30}}$ 相関係数

使用締固め機械	相関係数
タイヤローラ	0.919
ブルドーザ	0.040
振動ローラ (振動なし)	0.932
振動ローラ (振動あり)	0.993

4. 結論

本実験によって得られた密度計測データより、各締固め機械が実験地盤に与える締固め特性の確認を行った。締固め機械については、振動ローラ (振動あり) が最大乾燥密度を達成しており、深さ方向の密度に関しても他の締固め条件より減少傾向が小さいことから、他の締固め機械、試験条件に比べ土の締固めに優れている可能性がある。

また、ブルドーザに関しては締固め用機械として用いることは現データからは難しいものと考えられる。実施工の品質管理手法としては本研究では、密度計測の他に沈下量計測及び小型 FWD 試験による地盤反力係数 K_{30} の計測し評価を行った。

- (1) 沈下量計測については、密度結果と非常に相関の強い結果を示していることから現場施工における品質管理方法としては有効である可能性が考えられる。しかし、沈下量自体は初期締固め条件に強く依存するため沈下量を絶対値で管理するのではなく、その収束性に着目し品質管理手法に組み込むことが有効である可能性が考えられる。
- (2) 地盤反力係数計測（地盤支持力）については、小型 FWD 試験によって得られた地盤反力係数の平方根 $\sqrt{K_{30}}$ 値は乾燥密度と正の相関があるため、品質管理指標として使用できる可能性があるといえる。しかし、品質管理指標に使用する際は多点計測による、より均質なデータ採取を行うなどの未確定な点を考慮する必要があると考えられる。

4. 今後の課題

本研究では、土質、締固め機械の走行速度を固定した実験データに基づき土の締固め特性について整理を行った。しかし、土の締固めには様々な要因がありその要因を抽出するうえで、できるだけ多くの土質条件、実施工機械条件について土の締固め特性の試験を今後行う必要がある。また、現在多くの盛土工事では、品質管理において突き固め試験の結果が反映されている。しかし、実施工機械による土の締固めと突き固め試験には一致しない箇所があることも指摘されている。そのため、一致しない箇所を関連付けるために締固め回数試験等によるデータ収集・分析を行い、高い品質が確保された盛土をつくることが今後の課題となった。

参考文献

- 1) 土の締固めと管理, 土質工学会編, 土質工学会
- 2) 道路土工施工指針, 社団法人日本道路協会
- 3) 久野悟郎: 転圧実験データのとりかた, 土と基礎 Vol. 3, No. 8, pp20-26, 1955
- 4) 益村公人: 密度勾配を考慮した道路盛土の安定評価と品質管理基準に関する研究, 土木学会論文集 No.714, VI-56, pp141-154, 2009.09

2.2. 連続・高速・大量CSG製造設備の開発と合理化システム

-世界初となる台形CSGダム-

鹿島建設(株) 機械部 ○ 青野 隆
鹿島建設(株) 北海道支店 長谷 弘行
鹿島建設(株) 関西支店 船迫 俊雄

1. はじめに

当別ダム建設事業本體工工事（北海道）は世界で初めて本格的な台形CSG (Cemented Sand and Gravel) ダムを施工する工事である。CSGはダムサイト近傍で入手が容易な河床砂礫や掘削ずりにセメント・水を加え攪拌・混合したものである。当別ダムでは、堤体基礎掘削敷並びに堤体直上流に賦存する河床砂礫を使用して約 690,000m³ のCSG打設を11.5ヶ月で完了した。

本編では施工の合理化策として開発した「連続・高速・大量CSG製造設備システム」並びに本システムの他工事への応用例について報告する。

2. CSG製造設備システムの開発

当別ダムのCSG打設のリフトスケジュールから、月最大打設計画量は約124,000m³、日最大打設計画量は7,250m³であり、CSG混合設備には計画上450m³/h以上の製造能力が必要不可欠である。

2.1 CSG

CSGについて以下に用語の定義を示す。

CSG母材：CSGに用いる岩石質の原材料

CSG材：原材料である母材を必要に応じてオーバーサイズの除去等によって所定の最大粒径以下に調整した材料

CSG：CSG材にセメント、水を添加し混合したもの

2.2 CSG製造設備

CSG製造設備は、CSG材・セメント・水の各材料を貯蔵・供給輸送及び計量する設備、それらを混合するCSG混合装置、製造したCSGを輸送・貯蔵・積込する設備で構成されている。

CSG製造設備の主要装置であるCSG混合装置には、当社で実績を有し当工事向けに開発を進めてきたSPミキサ(φ1,200mm)を採用している。

2.3 SPミキサ

SPミキサは、当社を含めた8社（独立行政法人水資源機構他）による共同特許技術であり、CSG工法混合用に開発した簡易な装置である。また、本装置は「CSG工法用混合設備小委員会（財

団法人日本ダム協会）」で承認された14機種中の「DK系ミキサ」の一つであり、DK系CSG混合装置の区分では、「重力・動力併用型で形状がパイプ系」に分類される。

(1) SPミキサ使用実績

当別ダム工事以前の当社におけるSPミキサを用いたのCSG等の製造実績を表-1に示す。

表-1に示す各現場で採用したSPミキサは、混合筒径がφ500mm又はφ700mmの3連式である。CSG材、セメント、水を正転・逆転・正転の順に回転する混合筒を通過させ、攪拌・混合製造し、いずれも良好な結果を得ている。

表-1 SPミキサの施工実績

工事名	製造量	混合筒径	能力
滝沢ダム	17,600m ³	φ500mm	50m ³ /h
稲葉ダム	49,200m ³	φ700mm	80m ³ /h
湯西川ダム	19,500m ³	φ700mm	80m ³ /h

(2) φ1,200mmSPミキサの開発経緯

当別ダムのCSG製造には、450m³/h以上の製造能力が必要なことから、表-1に示す従来設備のφ700mmSPミキサでは製造能力が80m³/h程度であるため、6基以上の設備が必要と想定された。

したがって、連続・高速・大量製造への対応と、設備コストや製造手順などを勘案し、1基当たり250m³/h以上の製造能力を有するφ1,200mmSPミキサを開発した。

(3) 混合方法の開発

CSG材は、建設現場周辺で容易に得られる材料を分級・粒度調整・洗浄を基本的に行うことなく、必要に応じてオーバーサイズの除去や破碎を行う程度であることから、粒度は同一採取地の材料であっても変動する。したがって、CSG混合装置の開発目標は、「所定範囲内で粒度変化がある材料でも品質を確保できる混合方法」と「CSG材の粒度変化があっても250m³/h以上の製造能力を安定して確保できる混合方法」とし、これらの実現可能な設備を開発した。

① 製造能力・品質の確保

SPミキサの使用実績からφ500mm⇒φ1,200mmとすることで断面積が6倍で製造能力は約5倍(50m³/h×5倍=250m³/h)になると推定された。また、ある程度の粒度のばらつきがあっても品質を満足し、均一に混合できるしくみも併せて必要であるため、新たな混合方法を考案し試験機を製作し確認実験を行うこととした。

考案した混合方法は「セメントとCSG材の均一な混合」「給水タイミングと均一な給水」上部2連の混合筒はCSG材とセメントをドライミックスする工程、下部3連の混合筒はウエットミックスする工程とし、それらを組合せた新混合方式を開発した(図-1, 写真-1参照)。

実証試験し製造したCSGから試料を採取して大型供試体を作製し、強度を確認した結果、製造能力は最大で250m³/h以上であることが確認された。

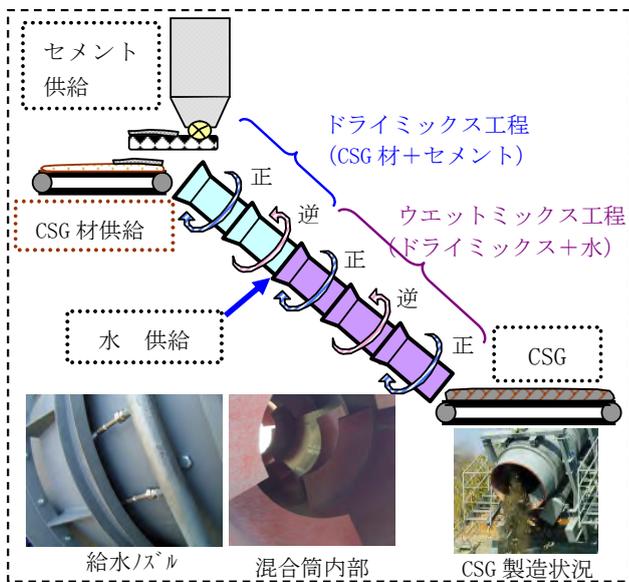


図-1 混合筒5連方式と各種設備内容

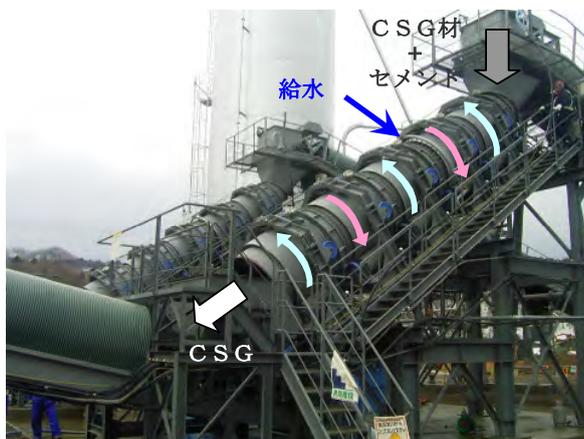


写真-1 混合筒5連方式のSPミキサ

② 混合性能向上策

a. 5連混合筒の回転

実験によって正転・逆転・正転・逆転・正転方式の有効性を確認し採用

b. 二種類のミキシング工程

実験によってドライミックス+ウエットミックス方式の有効性を確認し採用

c. 混合羽根の形状

実験によって最適な羽根高さ、幅、据付角度を検証し設計

d. 円周式給水ノズル

ドライミックス+ウエットミックス方式の実現のため筒隙間からの給水と均等な水供給方法として円周式給水ノズル方式を考案

③ 付着防止策

a. ホップ、ライナ、羽根

コンクリート付着軽減ゴムの採用

b. 混合筒内部

エアノックによる付着物剥離

(4) 二種類のミキシング工程方式の有効性

ドライミックス有無の効果を確認するため、実証試験で製造したCSGから試料を採取して大型供試体(写真-2参照)を作製、強度を確認することとした。なお、使用したCSG材は購入した模擬CSG材に砂(細粒材)をブレンドし、当別ダムCSG材粒度に近い状態とした(図-2参照)。

試験結果は、表-2に示すとおりドライミックスありの大型供試体によるσ28強度が、ドライミックス無しの結果より約12%向上する結果となりドライミックスの効果を確認された。

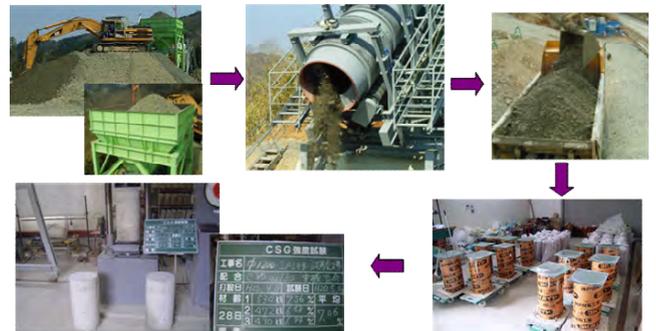


写真-2 CSG試験製造と大型供試体作製

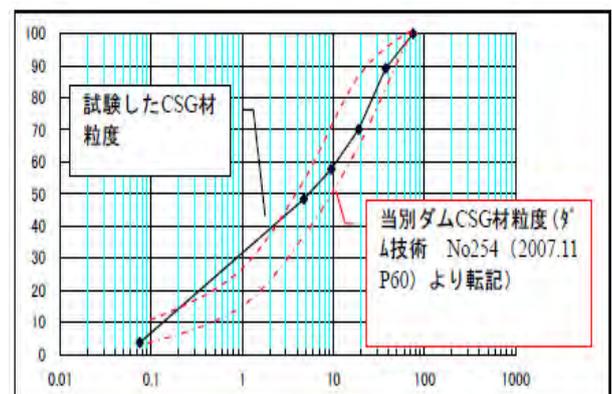


図-2 試験に使用したCSG材の粒径加積曲線

表-2 ドライミックス有/無の σ_{28} 強度結果
単位 (N/mm²)

試験数	ドライミックス無し	ドライミックス有り
1	4.27	4.90
2	4.53	4.84
3	4.25	5.15
4	4.78	5.55
5	4.53	5.35
平均	4.47	5.16

2.4 連続・高速・大量製造設備の特徴

(1) CSG製造設備の製造フロー

4m³級油圧ショベルで投入ホッパに投入されたCSG材は、投入ホッパ下部のベルトフィーダで引き抜かれ、ベルトコンベアを経由してSPミキサへ搬送される。一方、セメントは30tサイロからロータリフィーダで切り出され、ベルトコンベア経由でCSG材上に供給される。

CSG材とセメントはSPミキサ上部2連でドライミックスされた後、途中給水され下部3連でウエットミックスという工程を経てCSGとなる。SPミキサから吐出したCSGは、更にベルトコンベアで移送されスライドコンベアを経由して積込ホッパに一時貯蔵された後、最終的に重ダンプに積込まれる(図-3、写真-5参照)。

(2) セメント安定供給手法の確立

30tサイロ底部には、気密性に優れたロータリフィーダをセメント切出し装置として採用し、切出したセメント量が常時一定になるようロータリフィーダの回転数を制御している。

①セメント供給の不安定要因

30tサイロ下部では、すり鉢形状によるセメントのブリッジ現象の発生や、800tサイロからのセメント圧送による衝撃力の伝搬などによりロータリフィーダ内へ降下するセメント密度や供給量が不安定な状態になっていると考えられる。

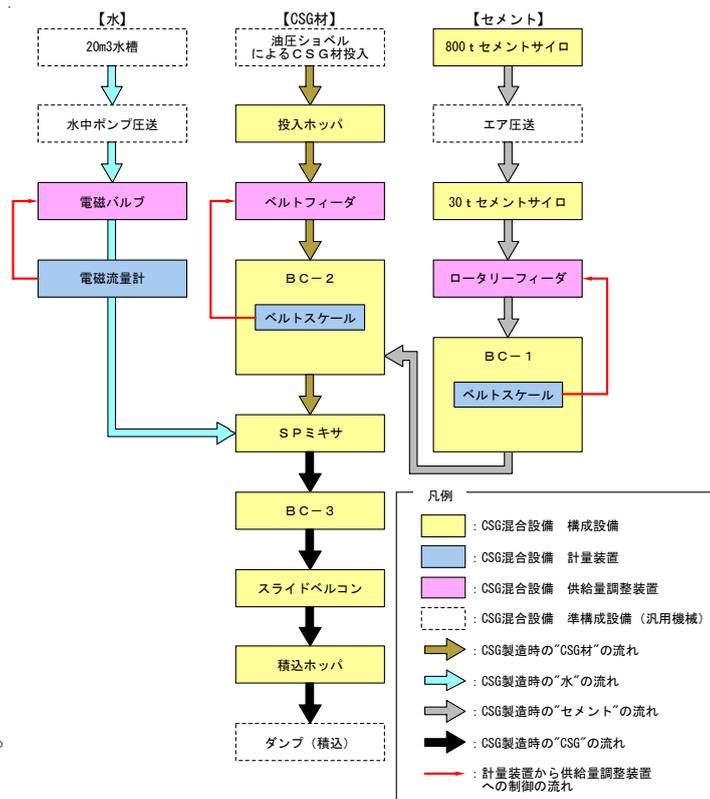


図-3 CSG製造設備の製造フロー

写真-3の供給量監視グラフはその時の3分間のセメント供給状態を示したもので現在値(緑線)が上下に振れて不安定になっているのがわかる。



写真-3 セメント供給量監視グラフ(不安定時)

②対策方法

ロータリフィーダによるセメント切出し量を安



写真-5 当別ダムCSG製造設備(全景)

定させるためには、30t サイロ内で常に一様な密度のセメントになることが理想的である。したがって、セメントサイロに装着したエアレーション装置の作動時間、間隔やエアレーション圧などの最適パラメータ設定を行うことで、セメント残量に応じてセメント密度を定常的に安定する手法を見つけ、設定供給量に対する変動誤差 1%以内を可能とした（特許申請中）。安定時のセメント供給量監視グラフを写真-4 に示す。



写真-4 セメント供給量監視グラフ（安定時）

(3) CSG 製造総合監視システムの開発

CSG 製造・搬送・一時貯蔵・ダンプ積込を監視する総合監視操作室を設置した(写真-6 参照)。各 CSG 製造設備の操作だけでなくセメント輸送設備、CSG 材供給量、セメント供給量、給水量、CSG ホッパへの投入量などすべての監視、操作をタッチパネル式のコントローラ上で行うことができる。

また、CSG 材の水分量確認ができる R I 水分計モニタリングシステムやデジタルカメラ画像解析技術による CSG 材粒度モニタリングシステムを開発導入している。本システムによって、施工当日の CSG 材の計測値が基準値に対してどのような状態にあるかリアルタイムに監視できるようになった。



写真-6 CSG 製造総合監視システム

3. 合理化された設備・ICT の導入

連続・高速・大量製造された CSG を効率よく供給し、施工する機械的な工夫を施し合理化された設備を紹介する。

3.1 CSG 積込設備の合理化

(1) 確実な CSG 積込設備

CSG 運搬機械には 55 t 級重ダンプトラック

を採用して投入台数を削減している。その際に、積込ホッパに貯蔵された CSG を重ダンプのベッセルへ確実に 55t 積荷できる工夫が必要であった。ホッパによる積込では、油圧ショベルによる積込のように積込んだ後、荷こぼれ防止やベッセル内の均一性確保のためバケットによる「荷押しえ」ができない。したがって、三次元 CAD でベッセル上の積荷形状をシミュレーションし、最適なホッパゲート数、ゲート間隔の設計を行うことで荷こぼれなく（写真-7 荷姿参照）確実に 55 t 積荷可能なホッパを導入した。



写真-7 55t 重ダンプベッセル荷姿

(2) CSG 一時貯蔵・積込設備の工夫

1 基あたり 250m³/h の速度で連続製造する SP ミキサを停止することなく安定運転するためには、SP ミキサで製造された CSG の搬送設備と積込ホッパ及び重ダンプへの積込手順が連続大量製造と連動したシステムとなっていなければならない。

図-4 に示すように 2 台の CSG ホッパを設けて CSG を交互に一時貯蔵、ダンプ積込を行うシステムを導入した。

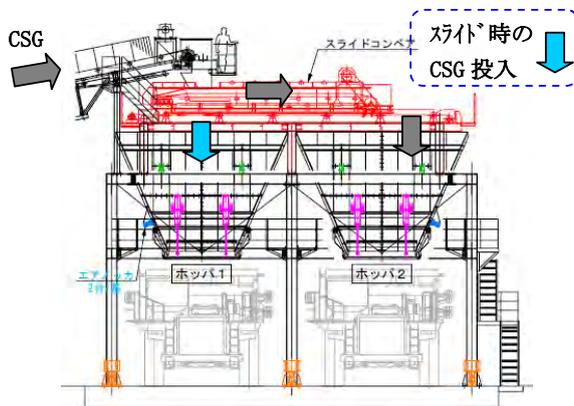


図-4 スライドベルトコン式積込ホッパ

各 CSG ホッパへの投入振分けを担うのがスライド式のベルトコンベアで、一方のホッパが設定量に達すると自動的に移動し、他方のホッパへ CSG を投入する。なお、ホッパにはロードセルを取り付けホッパ貯蔵量を管理して

いる。

3.2 ICT(情報通信技術)の導入

(1) 3D-MCブルドーザ

堤体上のCSG敷均しには三次元マシンコントロールを搭載したブルドーザを採用した。オペレータは粗均しを手動モードで行った後、自動制御モードで前後進の操作を行うだけで、設定された高さで確実に敷均しができて、効率的で高精度な作業が可能である(写真-8 参照)。



写真-8 3D-MCブルドーザ施工状況

(2) 無線LANを活用した転圧管理システム

CSGの転圧管理には、振動ローラにGNSS受信機を搭載した転圧管理システムを採用した。運転室内のモニタには作業範囲の図面上で転圧回数に応じて色が変化するので、オペレータは効率良く、過不足なく締固め作業できる。

さらに、本システムに無線LANを組み合わせて、複数台の振動ローラが相互に転圧軌跡を共有化(図-5 参照)することで、効率よく転圧漏れがないように施工することが可能となった。また、施工管理者モニタシステムを採用することで運転手だけでなく、施工管理者及び現場事務所においてもリアルタイムに転圧回数を管理できる体制を構築した(写真-9 参照)。

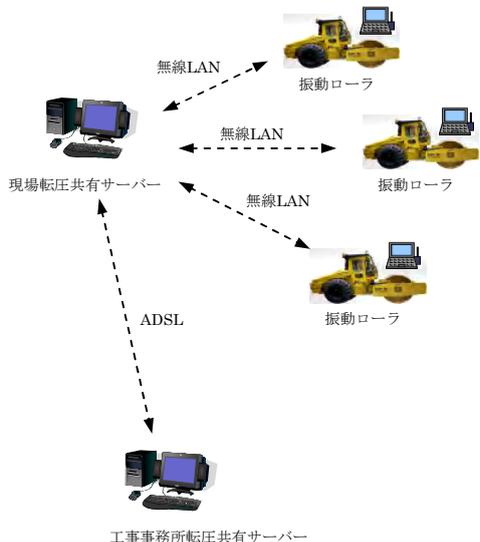


図-5 無線LANを活用した転圧情報共有化システム



写真-9 施工管理者モニタシステム

4. 押え盛土材製造設備(大滝地区地すべり対策工事)

大滝地区地すべり対策工事(国土交通省近畿地方整備局)は、大滝ダムに貯水した場合の斜面の安定性低下を防止するための工事である。

対策工は抑止工と抑制工に分類され、抑制工はダム湖浚渫・水中不分離性コンクリートにて置換え並びに押え盛土工(CSG盛土)を行うものである(図-6,7 参照)。



図-6 抑制工平面図

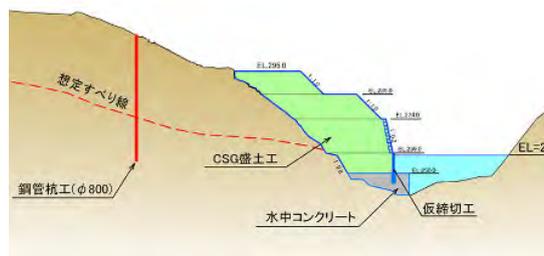


図-7 抑制工断面図

4.1 CSG製造設備

仮締切内部(図-7 参照)に約22.9万m³の押え盛土工として使用するCSGの製造には、当別ダムで実績のあるφ1,200mmSPミキサ5連式を1基採

用した（写真-10 参照）。



写真-10 CSG製造設備



写真-11 CSG盛土 施工状況

(1) CSG製造

CSG材には複数個所の建設発生土並びに購入材の使用を計画しており、粒度の異なるCSG材を用いてもSPミキサ内で材料は十分に攪拌・混合され品質は良好であった。

当工事では2010年9月から製造開始し2011年7月までの11ヶ月間で約20万 m^3 のCSG製造量を確保し工事は順調に進捗している。

(2) CSG盛土

SPミキサで製造されたCSGは、斜面に配置したベルトコンベア及びSP-TOM (Special Pipe Transportation Method) で約250m搬送され（図-8参照）、クローラダンプトラックで所定エリアまで移送後ブルドーザにて均一に敷均しされ振動ローラで締固められる（写真-11参照）。なお、当工事でも当別ダム工事同様ICT（情報通信技術）を導入し、施工の合理化を行っている。

5. まとめ

当別ダムで稼働した2基のSPミキサ（ ϕ 1,200mm \times 5連）を中核としたCSG製造設備は、不具合も無く順調に製造を継続した。本格製造は2009年6月から2010年9月の製造完了までで、堤体工と雑工（押え盛土工など）を合わせると11.5ヵ月（実働稼働日数271日）で約69.3万 m^3 のCSGを製造した。日最大8,500 m^3 、月間最大120,000 m^3 の製造を成し遂げ、その能力を実証することができた。また、大滝地区地すべり対策工事のCSG製造設備にも1基のSPミキサ（ ϕ 1,200mm \times 5連）が導入され、順調に製造している。

6. 参考文献

- 1) (財)ダム技術センター；台形CSGダム施工・品質管理技術資料
- 2) (財)ダム技術センター；ダム技術 No254, 2007年11月

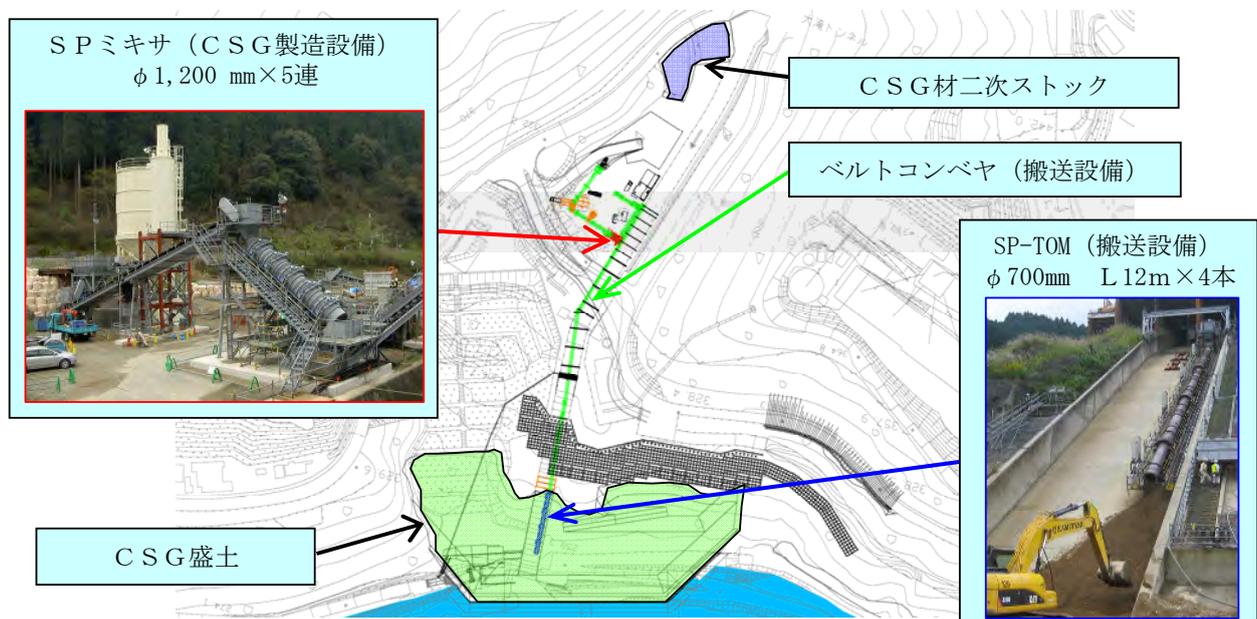


図-8 CSG盛土製造設備・搬送設備

23. ディスクカッタビット摩耗検知

システムの開発のための基礎的研究

呉工業高等専門学校
呉工業高等専門学校
(株)スターロイ

○河村 倫太郎
重松 尚久
小田 登

1. はじめに

硬質岩盤の掘削に当たり、TBM 工法やシールド工法においては、掘削の進行に伴う掘削機のカッタヘッドにおけるビットの摩耗およびそれに伴う掘削効率の低下が問題となる。ビットの摩耗を低減させるためには、過去の実験により平面掘削との比較実験において、掘削時に必要なエネルギーが約1/10に減少することが明らかとなっている端面掘削方式¹⁾を利用する方法がある。切削ビットにディスクカッタビットを用い、端面掘削方式を利用することで、効率のよい掘削が可能であると考えられる。

しかし端面掘削方式を利用したとしても、硬質岩盤の掘削においてはディスクカッタビットの摩耗を完全に避けることは不可能である。したがって、ディスクカッタビットの摩耗進行を検知する

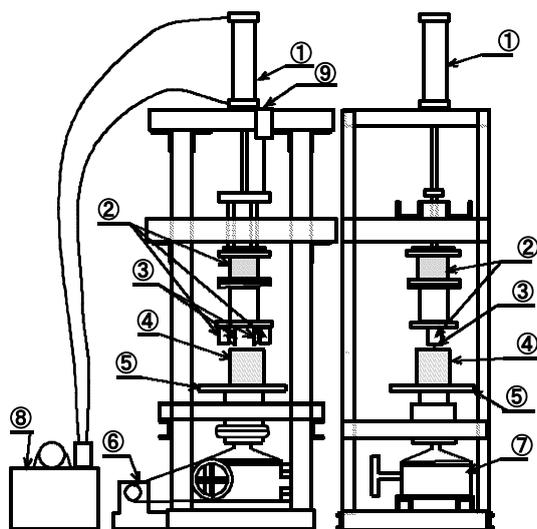
ことができれば、ディスクカッタビットの交換を効率的に行うことができ、掘削にかかわる施工ロスが低減されることが予想される。現在用いられている摩耗検出の方法としては、カッタビット内に油圧パイプを通し、ビットの破損による油圧の減少によって検出するものや、超音波を用いてビットのすり減りを検出するものなどが知られている。

本研究を実施するに当たっては、過去に行ったディスクカッタビットの摩耗度を変化させて掘削を行う変位制御実験²⁾において、ディスクカッタビットの摩耗度の変化によって各方向への作用力が異なっていたことに着目した。本研究では、より実機に即した油圧による荷重制御実験を行い、ディスクカッタビットの摩耗が、ディスクカッタビットに作用する横方向力 F_y 、転がり抵抗力 F_x および掘削速度 V に及ぼす影響を検討し、ディスクカッタビット摩耗検知システムの開発のための基礎的データを得ることを目的とする。

2. 実験概要

2.1 実験方法

図-1 に実験装置概略図を示す。2r.p.m.で回転する擬似岩盤（円柱形供試体、高さ 270mm、直径 200mm、水結合材比 W/B17%の高強度モルタルであり、一軸圧縮強度 120N/mm^2 以上）の端部に2つのディスクカッタビットを油圧による荷重制御によって押し付けることで掘削を行う。上部に設置したロードセルよりディスクカッタビットに作用する垂直力 F_z 、トルク T 、掘削深さ z を測定し、トルク T より転がり抵抗力 F_x を算定する。また、ディスクカッタビットに取り付けられたロードセルより、横方向力 F_y を測定する。データの利用の際、横方向力 F_y は、2つのロードセルから得られる値を平均したものをを用いる。また、供試体端部からの切込幅 S を 15mm、20mm、25mm の3種類、貫入力 P を 7.5kN、10.0kN、12.5kN の3種類として実験を行う。



- | | |
|--------------|---------------|
| ① 油圧シリンダー | ⑥ モータ (1.5kw) |
| ② ロードセル | ⑦ 減速機 |
| ③ ディスクカッタビット | ⑧ 油圧ポンプ |
| ④ 供試体 | ⑨ 変位計 |
| ⑤ ターンテーブル | |

図-1 実験機概略図

2.2 ディスクカッタビット

写真-1 に本研究で使用するディスクカッタビットを示す。ディスクカッタビットは直径 80mm, 刃物角 55°, 逃げ角 4° であり, 刃先の曲率半径のみ 1mm(刃 B), 3mm(刃 C), 5mm(刃 D)の 3 種類に変化させた。曲率半径が大きくなるにつれて, 摩耗が進行していることを示す。

3. 実験結果および考察

3.1 実測値

図-2 に刃 D, 切込幅 15mm, 垂直力 10.0kN における横方向力 F_y と時間 t の関係を, 図-3 に転がり抵抗 F_x と時間 t の関係を示す。掘削開始時から約 120 秒までの間は初期端面掘削時に相当し, それ以降が定常端面掘削に相当する。初期端面掘削とは, 大きな剥離を起こしながら掘削が進行していく区間で, 定常端面掘削とは, 小さな剥離を引き起こしながら掘削が進行する区間である。横方向力 F_y および転がり抵抗 F_x は, 初期端面掘削時には供試体の破壊が著しく一定に定まらないが, 定常端面掘削時には時間経過とともにほぼ一定の値を中心にして小さな増減を繰り返しながら掘削が進行していくという傾向が見られた。

3.2 データの整理法

実測値を示すだけでは設定条件の違いによる傾向を読み取りにくいいため, 15 秒を 1 区間として定め, その区間内の横方向力 F_y および転がり抵抗 F_x の平均値を該当区間における横方向力 f_y および転がり抵抗 f_x とする。また, 区間内の掘削深さ z の平均をその区間での掘削深さ z とし, 横軸を掘削深さ z として比較を行う。一例として, 図-4 に刃 D, 切込幅 15mm, 垂直力 10.0kN における横方向力 f_y と掘削深さ z の関係を, 図-5 に転がり抵抗 f_x と掘削深さ z の関係を示す。このうち, 定常端面掘削時に生じた横方向力 f_y および転がり抵抗 f_x の平均値を, 設定条件下における横方向力 f_{yr} および転がり抵抗 f_{xr} とし, 定常端面掘削時の掘削速度を V とし, 各掘削条件における作用力および掘削速度 V の比較検討を行った。

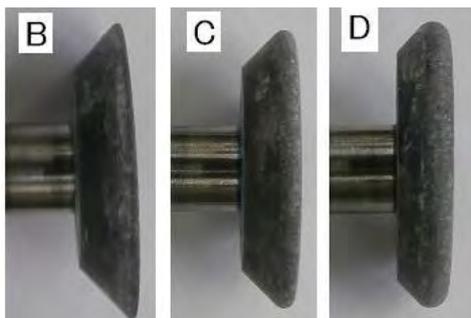


写真-1 ディスクカッタビット

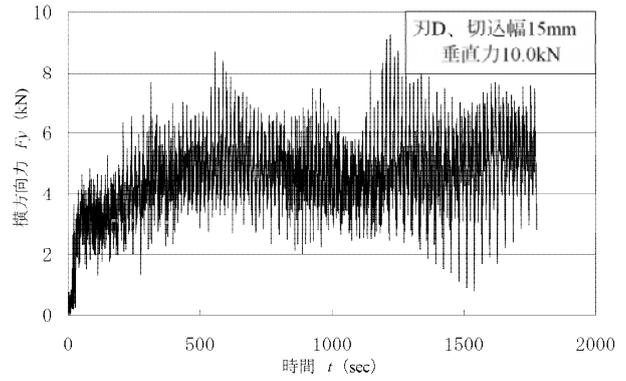


図-2 横方向力 F_y と時間 t の関係

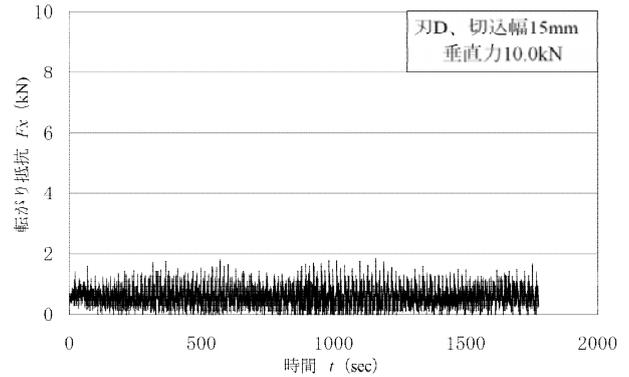


図-3 転がり抵抗 F_x と時間 t の関係

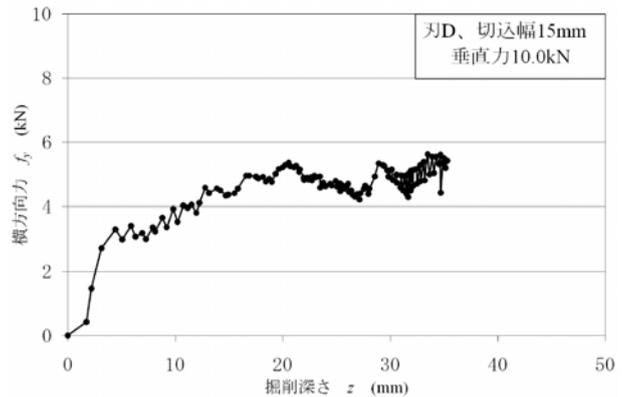


図-4 横方向力 f_y と掘削深さ z の関係

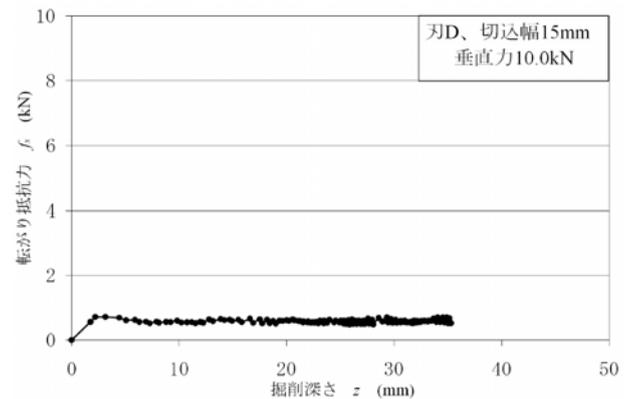


図-5 転がり抵抗 f_x と掘削深さ z の関係

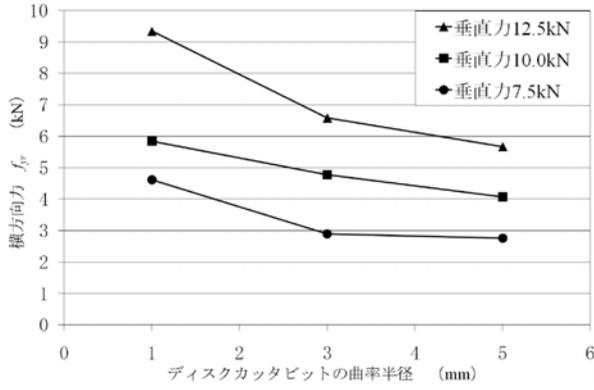


図-6 横方向力 f_{yr} と
ディスクカッタビットの曲率半径の関係

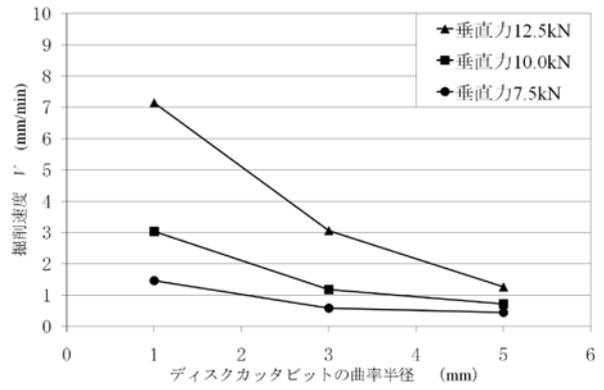


図-8 掘削速度 V と
ディスクカッタビットの曲率半径の関係

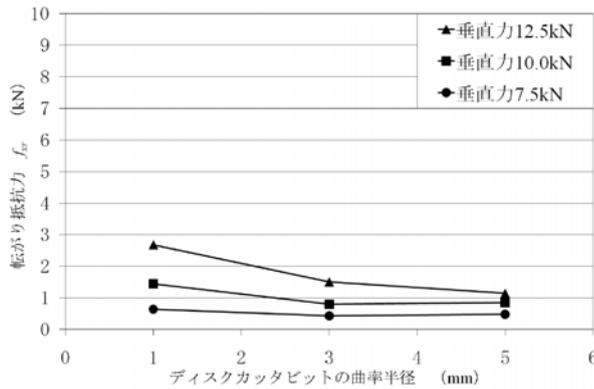


図-7 転がり抵抗 f_{xr} と
ディスクカッタビットの曲率半径の関係

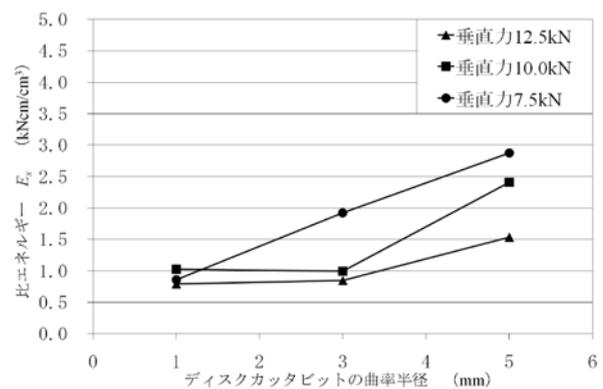


図-9 比エネルギー E_s と
ディスクカッタビットの曲率半径の関係

3.3 作用力への影響

図-6 に切り込み幅 20mm における横方向力 f_{yr} とディスクカッタビットの曲率半径の関係を、図-7 に転がり抵抗 f_{xr} とディスクカッタビットの曲率半径の関係を示す。ここで、横方向力 F_y は供試体外側方向を正として測定を行っている。ディスクカッタビットの摩耗進行に伴い、横方向力 f_{yr} および転がり抵抗 f_{xr} は減少する傾向が見られる。また、転がり抵抗 f_{xr} は横方向力 f_{yr} に比べて小さな値を示し、減少幅も小さい。ディスクカッタビットの摩耗進行によって横方向力 f_{yr} が減少するという事は、ディスクカッタビットの摩耗の進行に伴い、ディスクカッタビットが供試体中央へ向かおうとする力が増加していることを示している。

3.4 掘削速度への影響

図-8 に切り込み幅 25mm における掘削速度 V とディスクカッタビットの曲率半径の関係を示す。ディスクカッタビットの摩耗進行に伴い、掘削速度 V が減少する傾向が見られる。また、垂直力 F_z が大きくなるにつれて、掘削速度 V の減少幅は大きくなり、掘削速度 V が低下する傾向をより明確に確認することができる。

3.5 比エネルギーへの影響

図-9 に切り込み幅 20mm における比エネルギー E_s とディスクカッタビットの曲率半径の関係を示す。ここで、比エネルギー E_s とは、実験機の効率的な掘削性能を表す指標であり、式(1)より求められる³⁾。

$$E_s = \frac{P_A}{V_E} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 E_s は比エネルギー、 P_A は掘削に要する全動力、 V_E は単位時間掘削土量のことである。掘削に要する全動力 P_A は式(2)より求められる。

$$P_A = \frac{2\pi NT}{60} + F_z V \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 N (r.p.m.)はターンテーブルの回転数、 T (kJ/cm)は回転トルク、 F_z (kN)は垂直力、 V (cm/s)は掘削速度である。前半部が回転動力、後半部が推進動力とみなすことができる。また、単位時間掘削土量 V_E は、式(3)より求められる。

$$V_E = (r_0^2 - r_1^2)\pi z + \frac{\pi h(r_0^2 + r_0 r_1 + r_1^2)}{3} \dots (3)$$

ここで、 $r_0(\text{cm})$ は供試体の半径、 $r_1(\text{cm})$ は供試体の中心から掘削面までの距離、 $z(\text{cm})$ は供試体上端から掘削面までの距離、 $h(\text{cm})$ は掘削面から掘削終了面までの距離である。写真-2に、実際の掘削終了時の供試体を、図-10に、仮定する掘削終了時の供試体の図を示す。

上記の式で算出した比エネルギー E_s が小さいほど掘削性能が良いことを示している。ディスクカッタビットの摩耗進行によって比エネルギー E_s は増加する傾向が見られる。比エネルギー E_s が増加するということは掘削効率が低下することと同義であるので、ディスクカッタビットの摩耗が掘削性能を低下させる原因であることを示している。

3.6 考察

以上の本研究で得た結果より、ディスクカッタビット摩耗検知システムの構築に重要な要素は、横方向力 F_y および掘削速度 V である。掘削を行う際にそれらを測定することによって、ディスクカッタビットの摩耗度を検知することが可能である。横方向力 F_y および掘削速度 V は貫入力 P によって変動するため、将来的には、横方向力 F_y および掘削速度 V に、貫入力 P を加味して検討する必要がある。また、横方向力 F_y は、ディスクカッタビットの形状や配置に依存される値である。本研究では、ディスクカッタビットの摩耗により横方向力 F_y が減少する傾向が見られたが、一般的な掘削機においてはディスクカッタビットの摩耗により横方向力 F_y の変化量が顕著になると考えられる。

また、変位制御による過去の実験²⁾においては、ディスクカッタビットの曲率半径の増加に伴い作用力が増加する傾向が見られたが、本研究ではディスクカッタビットの曲率半径の増加に伴い横方向力 F_y および転がり抵抗 F_x は減少した。これは、変位制御実験においてはディスクカッタビットの曲率半径の増加に伴い垂直力 F_z を含む全ての作用力が増加していたのに対して、本研究では垂直力 F_z が一定となるように貫入力 P を制御していたため、このような結果になったものと考えられる。

4. 結論

- (1) ディスクカッタビットの摩耗が進行することによる転がり抵抗 F_x への影響は小さいが、横方向力 F_y および掘削速度 V は減少し、比エネルギー E_s は増加する。
- (2) 荷重制御で掘削を行う場合、掘削中に横方向力 F_y もしくは掘削速度 V の変化を測定することで、ディスクカッタビットの摩耗を検知することが可能である。



写真-2 掘削終了時の供試体
(刃D, 切込幅 20mm, 垂直力 12.5kN, 1 回目)

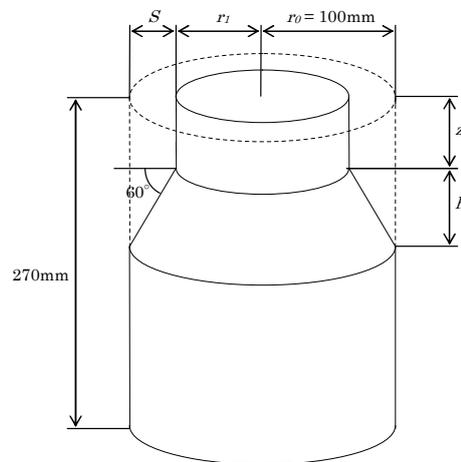


図-10 仮定する供試体の掘削断面

参考文献

- 1) 室達朗, 土屋清, 河野幸一, 若林優輔: ディスクカッタビットによるモルタル端面の定常掘削特性に関する実験的考察, 土木学会論文集, No.687, pp.37-47, 2001.9
- 2) 重松尚久・花岡尚・高垣夏輝: 硬質岩盤におけるディスクカッタビットを用いた掘削機の開発について, 建設施工と建設機械シンポジウム, pp.128-129, 2009.11
- 3) Snowdon R.A., Ryley M.D., Temporal J.: A study of disc cutting in selected British rocks, Int. J. of Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. pp.107-121, 1982.

24. ECO安全運転指導を支援するダンプトラック運行管理システム

(株)キック
(株)キック

○才原 勝敏
西垣 重臣

1. はじめに

ダンプトラックのECO運転を励行するために、急発進と急加速の回避、一定速度の走行、点検整備の充実などの定性的な指導が運転手に対して行われる。しかし、運転手の運転性向を定量的に把握して、ECO安全運転の励行を指導する事例は希薄である。運転性向とは運転の振る舞いであり、運転手の運転態度やスキルを示す。そこで、ダンプトラック運転手の運転性向に関する定量的な指標とその評価方法を提供する研究開発を行ってきた¹⁾。

本論文では、この研究成果を活かして開発したECO安全運転指導を支援するダンプトラック運行管理システムについて報告する。まず、本研究の問題意識と開発方針について述べる。つぎに、本システムの枠組みと主要な機能を説明する。最後に、本論文のまとめを示す。

2. 問題意識

本研究開発の問題意識と関連する研究開発について述べる。

安全運転とエコ運転の励行を図るためには、働き手のコンストラクタビリティ(constructability)とヒューマンウェア(humanware)の向上が重要である。コンストラクタビリティとは、プロジェクト全体の目的を達成するために、計画、エンジニアリング、調達、建設作業に係る施工知識と経験を最適に活用することである²⁾。ヒューマンウェアとは、リーダーシップ(leadership)機能とフォロワシップ(followership)機能、そして両者の相互作用を集合的に示す用語である³⁾。

一般に考えられる車両運行管理システムが想定するワークフローを図1に示す。

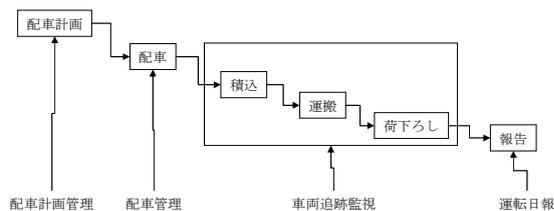


図-1 一般に考えられる車両運行管理システムが想定するワークフロー

ここでは、管理者の視点から、配置計画管理、配車管理、車両追跡監視、運転日報管理などに焦点が当てられ、運転手の視点は希薄であろう。

ECO安全運転指導を支援するダンプトラック運行管理システムは、個々の運転手及び運行クルー全体の運転性向評価、早期アラーム、運行状況、生産ラインバランスなどの情報を、運転手と管理者に提供することにより、働き手の業務を直接支援することを目指す。ここでは、つぎの事が可能になる。

- ① 運転手が自らの運転性向と作業実績をモニタリングし、追跡・監視できる。
- ② 注意の狭隘によるハザードの見落とし、勘違いや思い込みによる目標の取り違いなどの人的過誤を未然防止するための早期アラームを可能とする。
- ③ 管理者は、運行クルー全体の運転性向評価、運行管理、生産ラインバランスなどの運行状況情報を随時確認できる。

これらの情報は、安全性の向上と環境に優しい作業の励行を目的とした指導・指示を行う元請職員や職長のリーダーシップ、並びに安全で環境に優しい運転を励行する運転手のフォロワシップの向上に役立つと期待される。

3. 開発方針

本システムの開発方針をつぎに示す。

- ① 働き手支援
本研究では運転手を直接支援することを目指す。
- ② 今まで行ってきた研究開発成果の活用
つぎに示研究開発成果を活かす。
 - a) ECO運転性向定量的評価方法¹⁾
 - b) バックホウを母機としたフリート・マネジメント⁴⁾
 - c) 災害応急復旧工事を支援する施工プロファイル⁵⁾
- ③ 疎結合

市販されているハードウェアとソフトウェアを活用する。これらのツールと本システムは疎結合として、技術の進展と利用者の要求ニーズに対応できるようにする。

④ イージー・オーダ方式

建設現場ごとに要求ニーズは異なる。異なった要求ニーズに容易に対応するために、レディ・メイドの完成したシステムではなく、イージー・オーダ方式で組みたえられるシステムとする。そのため、本システムの一部の機能だけを使用することができる。

⑤ クラウド型のシステム利用

利用者の運用コストを削減するために、クラウド型のシステム利用を可能とする。

4. システムの枠組み

本システムの枠組みを図 1 に示す。本システムは、運行管理システムと運転手支援システム、そしてオペレータ支援システムで構成される。運行管理システムは、データセンタのサーバで稼動する。運転手支援システムは、ダンプトラックの運転席に搭載される。オペレータ支援システムは、バックハウのキャビン室に搭載される⁴⁾。

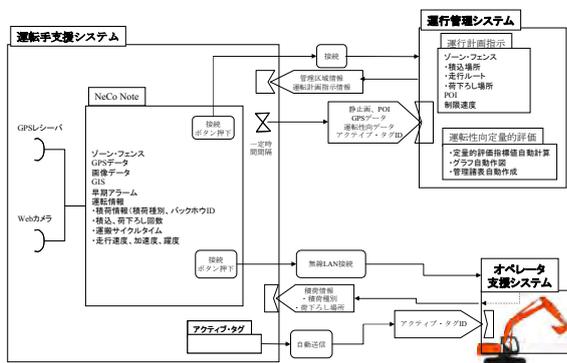


図-1 ECO 運転指導を支援するダンプトラック運行管理システムの枠組み

運転手支援システムは、GPS レシーバ、アクティブ・タグ、Web カメラ、小型 PC、通信端末などのコンポーネントで構成される。これらのコンポーネントは疎結合で連携され、利用者の要求ニーズに応じて搭載される。

最も簡易な使い方の例をつぎに示す。

- ① GPS レシーバとアクティブ・タグだけを運転席に搭載する。
- ② 運転終了後にパソコン経由で運行管理システムに GPS データをアップロードする。
- ③ バックハウに接近してきたダンプトラックのアクティブ・タグは、オペレータ支援システムにより自動検知される。そして、オペレータ支援システムが検知データを運行管理システムに自動送信する。
- ④ 運行管理システムが、GPS データを編集加工して、運行管理情報などを自動生成する。

⑤ 利用者は、パソコンまたは携帯電話を使用し、運行管理システムにアクセスすることで、運行管理情報などを閲覧する。

5. 運行管理システム

前述したように、データセンタで管理されるサーバで、運行管理システムは稼動する。運行管理システムの主要な機能を以下に示す。

5.1 ゾーンフェンス

積込箇所、走行ルート、荷下ろし箇所、道路幅員、車線数、カーブ、交差点、通学路、人口集中地区 (DID: Densely Inhabited District)、待機場所などの道路周辺環境を考慮して、走行ルートを区画割りし、重要管理区域として設定できる。本研究では、この重要管理区域をゾーンフェンスと呼ぶ。

ゾーンフェンスの設定画面例を図 2 に示す。カーソルを GIS 上に置くと、その地点の位置情報(緯度経度)が自動表示される。位置情報を確認しながら東西南北の四隅を特定し、名称、区域内規定走行速度などを入力することでゾーンフェンスが登録される。



図-2 重要管理区域を設定

ゾーンフェンスは、積込/荷下ろし箇所や走行ルートを中心として、ダンプトラック待機場所、昼食やトイレ休憩などを考慮して、ある程度の余裕を持って設定される。

GPS データに基づいて、移動体(建設機械、ダンプトラック、作業員など)が設定されたゾーンフェンス内に存在するかを自動判定する。さらに、ゾーンフェンスへの入出時刻、管理区域内滞留時間を自動算出する。移動体が、既定の時間以上、既定の速度以下で走行しているときは、停車しているとみなす。

5.1 運行管理情報

運行管理情報の特長をつぎに示す。

- ① 運行指図情報は、運行管理システムから利用者の携帯電話にメール配信される。後述するように、運転手支援システムから、運行管理シス

テムにアクセスすることで、運行指図情報を取
得することもできる。

- ③ ダンプトラック走行履歴は GIS 上に表示される。
- ④ ダンプトラック運行データはゾーンフェンスごとに整理されて、一覧表として表示される。
- ⑤ 運転性向評価指標として、速度、加速度、加減速回数、躍度(Jerk)などのデータを算出する。また、速度違反の有無も検出する。
- ④ 運行情報はゾーンフェンスごとに編集加工され、評価指標値の算出と運行管理諸表の作成が自動的に行われる。自動算出される評価指標値を、つぎに示す。
 - a) 作業（積込/荷下ろし）箇所内滞留時間
 - b) 積込/荷下ろしにおける待機台数
 - c) 管理区画（ゾーンフェンス）内走行時間
 - d) 往路走行台数
 - e) 復路走行台数
 - f) 荷積み（往路）運行時間
 - g) 空荷（復路）運行時間
 - h) 積込/荷下ろし延べ台数
 - i) 運搬回数
 - j) 積込/荷下ろし間隔（到着時間間隔）
 - k) 運行サイクルタイム
 - l) バックホウ稼働時間
 - m) バックホウ時間当たり積込量
 - o) 積込/荷下ろし量の合計
 - p) 積込、荷下ろし、運搬などに関するピッチタイム
 - q) 積込、荷下ろし、運搬などに関する作業速度
 - r) 作業経過時間と作業許容残時間

運行情報の出力例を図 3 に示す。さらに、運転手ごと及びクルー全体の運転性向評価情報をグラフ表示することができる。加速度のヒストグラム例を図 4 に、加速度と躍度の推移グラフ例を図 5 に、それぞれ示す。

エリア名	進入時刻	離脱時刻	滞留時間	運行時間
積込場	19:06:26	19:07:28	1分02秒	
空路	19:11:15	19:13:02	1分47秒	4分56秒
積込場	19:16:05	19:17:44	1分39秒	4分50秒
空路	19:20:44	19:22:49	2分05秒	4分56秒
積込場	19:25:40	19:27:21	1分41秒	4分56秒

エリア別	進入時刻	離脱時刻	滞留時間	最低速度	最高速度	平均速度	最低加速度	最高加速度	最低躍度	最高躍度	走行距離	速度制限速度
積込場	19:06:26	19:07:28	1分02秒	0	27	2.9	-1.5	3.4	-2.5	4	50	無
空路	19:07:20	19:09:30	2分10秒	0	42.6	27.5	-7.8	5.7	-8.7	4	1006	無
積込場	19:09:40	19:11:14	1分34秒	0	42.2	23	-7.9	6.2	-9.7	4.1	630	無

図 3 運行管理情報の出力例

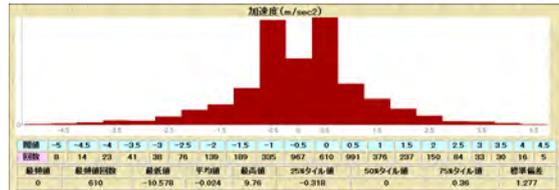


図-4 加速度のヒストグラム例

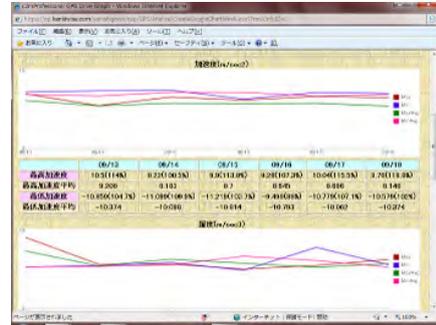


図-5 加速度と躍度の推移グラフ例

5.2 運行状況実時間遠隔モニタリング

運行状況実時間遠隔監視画面例を図 6 に示す。

項目	値	単位	説明
稼働時間	10時04分00秒	現在	
稼働率	100%		

図 6 運行状況実時間遠隔監視画面例

運行状況実時間遠隔監視画面に表示されるデータは、オペレータ支援システムから一定間隔で自動送信されてきたアクティブ・タグ検知データに基づいて、特定の時間間隔で更新される。利用者は、送信時間間隔とモニタ表示データの更新時間間隔を指定できる。今までの事例ではこの時間間隔を1分とすることが多い。

もし、録画と GPS データが運転手支援システムから送信されれば、録画を GIS 上の POI として検索することができる。

5.2 バックホウの配置とダンプトラックの配車台数の評価

平均運行サイクルタイムを平均積込時間で除すと、最大積込量または最大運搬量を得るダンプトラック台数が求まる。

作業（積込）箇所内平均滞留時間の逆数を平均サービス率、平均積込間隔（平均到着時間間隔）の逆数を平均到着率、積込における平均待機台数

を平均待ち行列の長さとする。これらの指標値を待ち行列モデルに適用すると、つぎに示す指標値が求まる^{6), 7)}。

- ① 待ち行列にダンプトラックが存在しない定常確率
- ② バックホウの1時間あたり期待積込量
- ③ ダンプトラック k 台数のときの1時間あたり期待積込量

これらの指標値から、バックホウの配置とダンプトラックの配車台数の問題点と改善策に関する知見が得られる。

5.3 運転性向評価カード

運転性向の総合評価として、グリーンカード、イエローカード、そしてレッドカードなどの運転性向評価カードを提示する¹⁾。運転性向評価カードの出力例を図7に示す。

本機能はつぎに示す特長を持つ。

- ① 運転手ごとに運転性向評価カードを発行できる。
- ② 運転手全体の運転性向評価カードを発行できる。
- ③ 運転手は携帯電話でみずからの運転性向評価内容を確認できる。



図-7 運転性向評価カードの出力例

6. 運転手支援システム

運転手支援システムは、運行状況に関する情報を、運転手に運転席で提供することにより、運転手を直接支援することを目的とする。運転手支援システムの諸機能を以下に示す。

6.1 データ交換機能

このデータ交換機能はプッシュ配信とプル配信を担う。その概要を以下に示す

- ① プッシュ配信
 - a) 運行管理システムへのデータ送信
Webサービスを利用したデータ交換機能である。一定時間間隔ごとに自動接続し、取得した積荷情報、GPSデータ、録画とPOIのデータなどの情報素片を運行管理システム

に送信する。通信が確保されないときは、再接続したときに自動的に再送信される。

- b) タグIDのバックホウ基地局への送信
ダンプトラック運転席に搭載されるアクティブ・タグは1回/秒の頻度で自らのタグIDを自動発信する。バックホウ車載基地局は半径100m以内に存在するアクティブ・タグのIDを受信し保存する。

- ② プル配信

当該ボタンを押下することで、自動的に接続し、既定の情報を取得する。既定の情報とは、例えば、重要管理区域、速度走行制限、運搬すべき積荷種別などの運行指図情報をいう。

- a) 運行管理システムからデータ取得
- b) オペレータ支援システムからデータ取得
該当ボタンを押下することで、オペレータ支援システムと無線LAN接続する。そして、積み込もうとする積荷の情報を取得する。

6.2 NeCo Note (Network Communication Note)

NeCo Noteは運転手に運行状況に関する情報を実時間ベースにて提供する。

NeCo Noteの主要な機能は、つぎのとおりである。

- ① 走行位置の画面表示
- ② 早期アラーム

注意喚起の情報を提供する機能である。

- a) 重要管理区域（通学路、DIDなど）に接近した既定位置に到達したとき、注意を喚起する情報を画面に表示する。例えば、減速指示と制限速度を画面に表示する。

- b) 誤積込/荷下ろし未然防止
積み込もうとしている積荷の種別情報をバックホウ基地局から取得する。この積荷種別情報を積み込み予定積荷種別情報と突合し、不一致の場合、アラームを画面に表示する。

- ③ 録画とPOI

画像データを録画し、POIとして登録する。画像取得ボタンを押下すると、静止画が自動的に取得され、既定フォルダに格納される。同時に、GPSデータを取得し、物理ファイル名とリンクさせ、データベースに格納する。

- ④ 運転状況実時間モニタリング

運転状況実時間モニタリングのサンプル画面を図8に示す。GPSレシーバから実時間受信したGPSデータを解析して得た運転状況情報を実時間で画面に更新表示する。この運転状況情報は作業実績と運転性向評価指標で構成される。作業実績は一定の時間間隔ごとに算出し、画面に表示する。運転性向評価指標は、重要管理区域、往路と復路、全走行区間などの単位で算出し、画面に表示する。

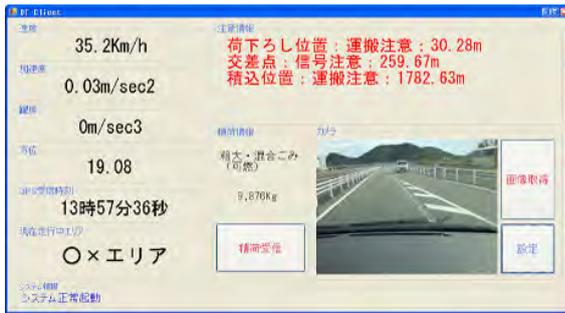


図-8 NeCo Note のサンプル画面

作業実績と運転性向評価指標の情報素片をつぎに示す。

a) 作業実績

積荷種別、積込位置、荷下ろし位置、積込回数、荷下ろし回数、運搬回数、サイクルタイム、運搬累積量など。

b) 運転性向評価指標

平均速度、最高速度、最大加速度、最大減速度、躍度自乗和平均値、加減速回数（平均値交叉率）など。

6.3 運転手向け運行状況実時間モニタリングと運転性向評価カード

運行指図情報、運転手支援システムにより取得される情報素片、自動生成された運行管理情報などは運行管理システムにより一元管理される。手元のPCまたは携帯電話を使用して、運行管理システムにアクセスすることで、これらの情報を閲覧できる。携帯電話によるこれらの情報の閲覧例を図9～図13にそれぞれ示す。



図-9 ある運転手の運行情報

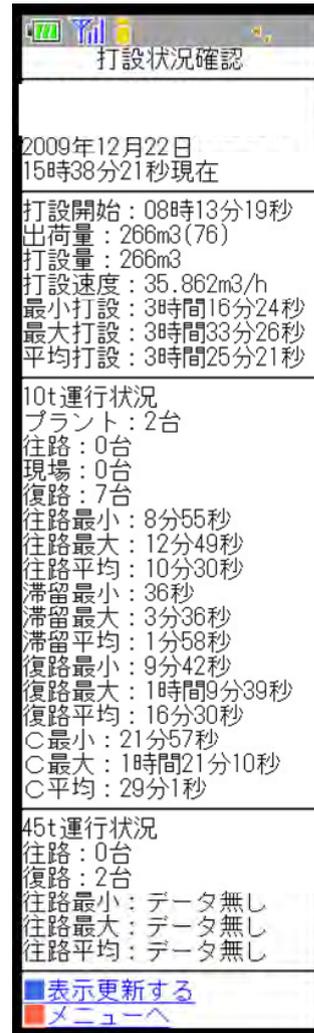


図-10 運行状況実時間遠隔監視情報

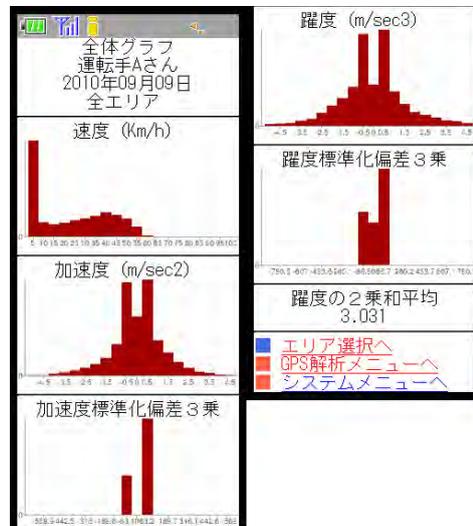


図-11 ある運転手の運転性向評価情報のヒストグラム

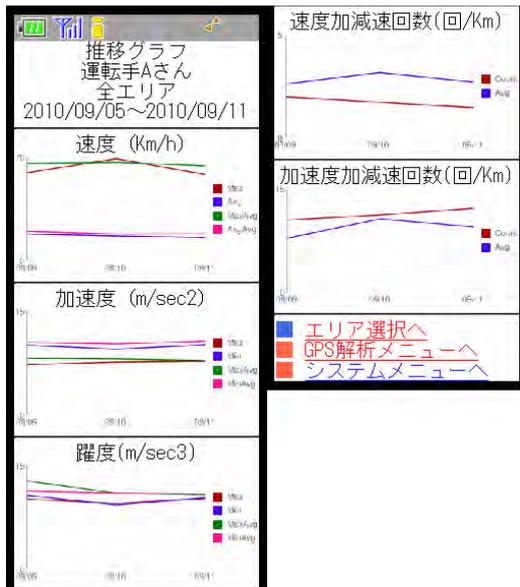


図-12 ある運転手の運転性向評価情報の推移グラフ

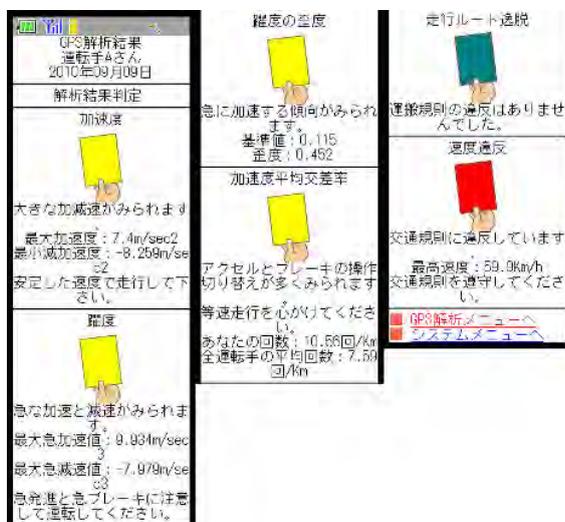


図-13 ある運転手の運転性向評価カード

本論文で述べたECO安全運転指導を支援するダンプトラック運行管理システムは、これらの要求ニーズに応える。

参考文献

- 1) 才原勝敏・西垣重臣：エコ運転指導を支援するダンプトラックICT運行管理システムに関する研究開発，平成22年度建設施工と建設機械シンポジウム論文・梗概集，pp. 101-106, 2010
- 2) Construction Industry Institute Publication Nos.: 3-1 - Constructability: A Primer, July 1986.
- 3) Nishigaki, S., Vavrin, J., Kano, N., Haga, T., Kunz, J. and Law, K.: "Human ware, Human Error, and Hiyari-hat: a Template of Unsafe Symptoms," Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 120, No. 2, pp. 421-442, 1994.
- 4) 才原勝敏・西垣重臣：バックホウを母機としたフリート・マネジメントに関する研究，平成23年度建設施工と建設機械シンポジウム，2011，投稿中
- 5) 西垣重臣・才原勝敏：災害応急復旧工事を支援する施工プロファイル，平成23年度建設施工と建設機械シンポジウム，2011，投稿中
- 6) A. H-S Ang, W. H. Tang: Probability Concepts in Engineering Planning and Design, Vol. 2, Decision, Risk and Reliability, John Wiley & Sons, Inc., 1984
- 7) D. Gross, C. M. Harris: Fundamentals of Queueing Theory, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1985.

7. まとめ

災害応急復旧工事の作業環境は、作業に応じて変化し、作業箇所は広域に分散している。これらの作業箇所間を多くのダンプトラックが行き交う。今まで行ってきた、現在行っている、またはこれから行う作業の内容と作業全体の位置づけを理解することは非常に重要である。

ここでは、ダンプトラックの運行を管理するとともに、除石作業や排土作業に伴う建設発生土、災害廃棄物、築堤用土などの種類、並びに搬出元、搬出先ごとに作業の予実績を把握したい。さらに、運行状況を実時間ベースでモニタリングするとともに、定量的な評価指標に基づいて、ECO運転励行を具体的に指導したい。

25. 電気加熱式アスファルトクッカー車の開発と施工効果の検証

大成ロテック株式会社 ○ 島田 拓
平野 晃
成和リニューアルワークス(株) 左右田 泰裕

1. はじめに

鋼床版アスファルト舗装の防水層に用いられるグースアスファルト混合物の運搬、供給には、その流動性を保つために、加熱攪拌装置を搭載したアスファルトクッカー車が使用される。従来のアスファルトクッカー車の加熱装置は、液化石油ガス（以下、LPG とする）を燃料とするガスバーナを用いた直火による加熱方式が一般的である。しかしながら、グースアスファルト混合物及びLPG燃料への引火の危険性から、運搬時の加熱は極力控えなければならない。そのため、混合物の昇温のために、施工現場やアスファルトプラントでの加熱時間を十分に確保する必要があった。また、直火による局所加熱のため、アスファルト混合物の劣化による品質の低下も懸念される。これらの安全性および作業性の課題を解決するため、電気加熱式アスファルトクッカー車の開発を行い、現場施工での導入効果を検証した。

本文は、電気加熱式アスファルトクッカー車の概要および特徴を示し、現場施工へ導入事例とその効果の検証結果を報告するものである。

2. LPG 加熱式アスファルトクッカー車の課題

従来型のLPG加熱式アスファルトクッカー車の構造と課題について以下に示す。

2.1 LPG 加熱式アスファルトクッカー車の構造

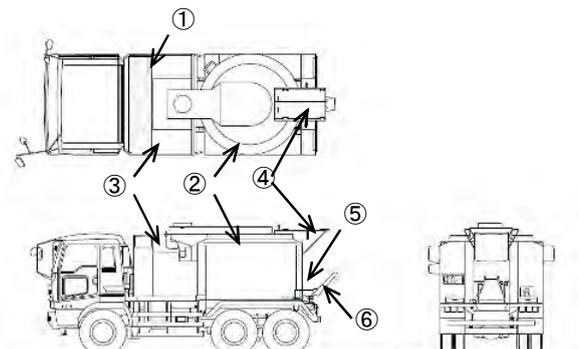
LPG 加熱式アスファルトクッカー車の構造を以下に示す。

- 1) 主要装置は、グースアスファルト混合物を加熱保温及び、攪拌混合するクッキング釜と攪拌装置用動力ユニット、加熱源となるLPGボンベ搭載ユニットから成り、車輛本体と一体になって構成されている。
- 2) 混合物加熱装置は、リング状のガスバーナをクッキング釜底部に設置し、底板を間接加熱することで、材料加熱を行う。点火方式は、運転席に設置した自動温調機能を備えた制御盤によ

る自動着火及び、直火による手動着火方式により行う。

- 3) 混合物の加熱温度制御は、クッキング釜に設置した接触式温度計を用いて、混合物温度を計測し、ガスバーナの開閉を自動制御することで、材料を所定温度に加熱及び保温する。
- 4) 攪拌装置は、クッキング釜の中央部に縦型攪拌羽根を備え、油圧駆動により、羽根を回転させることで、材料混合を行う。攪拌制御は、低速、高速の2段階切替が可能であり、羽根の正逆転機構も備える。油圧動力は、外付けの小型ディーゼルエンジンを駆動源とする。

標準的なLPG加熱式アスファルトクッカー車概要図を図-1、仕様を表-1に示す。



LPG 加熱式アスファルトクッカー車主要装置構成

- ① : LPG ボンベ 50kg × 4 本
- ② : クッキング釜
- ③ : 攪拌ユニット
- ④ : 材料投入口
- ⑤ : 材料排出ゲート
- ⑥ : 材料排出シュート

図-1 LPG 加熱式アスファルトクッカー車概要図

表-1 LPG 加熱式アスファルトクッカー車仕様

項目	仕様
最大積載量	7,500[kg]
車輛重量	12,040[kg]
車輛総重量	19,705[kg]
全長	7,130[mm]
全幅	2,490[mm]
全高	3,160[mm]
クッキング釜容量	4.0[m ³]
LPG 消費量	16[kg/h]
昇温性能	20~35[°C/h]

2.2 LPG 加熱式アスファルトクッカー車の課題

LPG 加熱式アスファルトクッカー車の課題を以下に示す。

- 1) 加熱装置のガスバーナ火気による車両燃料及び、加熱用燃料（LPG ボンベ）への引火。
- 2) 加熱装置の空焚きによるクッキング釜内残材への引火及び出火。
- 3) 混合物運搬走行時の振動・走行風等が起因するガスバーナ失火によるガス漏れ。
- 4) 高カロリーガスバーナの過加熱によるグースアスファルト混合物の品質劣化。
- 5) 化石燃料（LPG）使用による CO₂ 等の温室効果ガス排出による地球環境への負荷。
- 6) クッキング釜からの材料排出に時間を要す。また、材料の排出性が起因し、材料が釜内に残留することにより、メンテナンス性が悪い。
- 7) 加熱用燃料である LPG ボンベ（50kg×4 本）の人力による積み下ろし作業が必要であり、作業性が悪い。

これらの課題を解決するための手段として、加熱方式に着目し、化石燃料を熱源とせず、火気を使用しない地球環境に優しい電気加熱式アスファルトクッカー車の開発を行った。

3. 電気加熱式アスファルトクッカー車の開発目標

電気加熱式アスファルトクッカー車の開発コンセプトを以下に示す。

- 1) 混合物の品質確保
材料運搬時に於いても、材料の加熱保温を継続し、品質安定した材料を現場へ供給する。
- 2) 加熱装置の安全性向上
加熱装置の取り扱いを簡便化することで、人為的操作ミスによる火災事故等の発生を防止する。また、クッキング釜内容量の有無を監視することにより、過加熱による引火火災を防止す

る。

3) 混合物加熱性能の確保

LPG 加熱式アスファルトクッカー車と同等の加熱性能（20°C/h 以上）を確保する。

4) アスファルト混合物運搬量の確保

LPG 加熱式アスファルトクッカー車と同等の運搬能力（積載重量 6.0[t]以上）を確保する。

5) 環境負荷の低減

CO₂ 等の温室効果ガス排出量を削減し、環境負荷低減を図る。

6) 施工性の向上

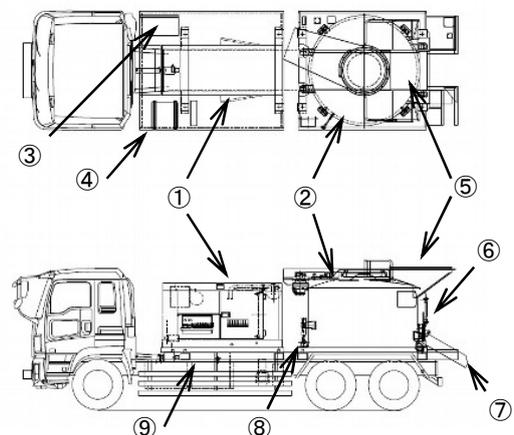
クッキング釜を傾斜させるチルト機能を付加することで、材料の排出性を促進し、材料供給時間を短縮すると共に材料の完全排出により、材料ロスを軽減する。また、釜内の残留混合物を軽減することで、釜内部の清掃等のメンテナンス性を向上させる。

4. 開発結果

4.1 電気加熱式アスファルトクッカー車の概要

当該車両は、汎用の 22t トラックシャーシをベース車両とし、電気加熱ヒータを備えた混合物クッキングユニット及び、ヒータ電源用発電機ユニットを架装搭載する。

主要装置構成図を図-2、主要諸元を表-2 に示す。また、新旧アスファルトクッカー車の外観比較を写真-1 および写真-2 に示す。



- | | |
|---------------|-------------|
| ① 発電機（100kVA） | ② クッキング釜 |
| ③ 制御盤 | ④ 作動油タンク |
| ⑤ 材料投入口 | ⑥ 材料排出ゲート |
| ⑦ 材料排出シュート | ⑧ チルト機構シリンダ |
| ⑨ 燃料タンク | |

図-2 電気加熱式アスファルトクッカー車装置構成図

表-2 電気加熱式アスファルトクッカー車仕様

項目	仕様
最大積載量	8,610[kg]
車輛重量	13,200[kg]
車輛総重量	21,920[kg]
全長	9,010[mm]
全幅	2,490[mm]
全高	3,150[mm]
クッキング釜容量	3.5[m ³]
ヒータ電力	75[kW]
発電機容量	100[kVA]
発電機燃料消費量	17[L/h]



写真-1 LPG 加熱式アスファルトクッカー車外観写真



写真-2 電気加熱式アスファルトクッカー車外観写真

4.2 主要装置の特徴

主要装置の特徴及び概要を以下に示す。

① ベース車両

ベース車両は、ポスト新長期排出ガス規制適合・平成 27 年度燃費基準適合・九都府市低公害指定制度適合の PTO 付き 22tトラックシャーシである。主要装置であるクッキング釜ユニット及び、ヒータ電源用発電機ユニットは、各ユ

ニット毎に脱着可能であり、ユニットを取り外せば、一般貨物トラックとして、運行可能である。

② 混合物加熱装置

加熱装置は、クッキング釜底板の裏面に、アルミ鋳込み式電気ヒータをセグメント化して設置し、それらを数ブロック回路に分け、輪番加熱制御する。

ヒータの加熱制御は、クッキング釜に設置した接触式温度計により、自動温調制御し、材料を所定温度に加熱及び保温する。制御操作は、車外及び車内運転席にて操作可能である。

ヒータ回路をブロック毎に輪番加熱制御することで、加熱時の瞬発的な起電力をセーブし、省電力化が図れる。また、ヒータ及び、回路配線の断線等により、いずれかのブロック回路に異常が生じた際も、それ以外のヒータ回路によって、均等加熱が可能であり、材料の加熱ムラが無い。

ヒータの安全保護措置として、過加熱検出回路を備え、ヒータの焼き付き等を防止する。

ヒータ用電源は、ヒータ専用 100[kVA]の汎用型発電機を搭載した。ベース車両の PTO 装置を介して、発電機の駆動源とする手段も考えられるが、発電出力に伴う負荷変動により、エンジン出力が不安定となり、走行性に影響を及ぼすこと等が懸念された。よって、走行性能を確保する上で、上述の装置構成とした。写真-3 に加熱装置を示す。



写真-3 加熱装置

③ クッキング釜

攪拌装置は、従来と同様に縦型攪拌羽根を採用し、ベース車両の PTO 装置を介して、油圧駆動する。攪拌作業は、低速、高速の 2 段階切替が可能であり、羽根の正逆転機構も備える。また、攪拌装置の油圧回路に圧力センサを設置し、材料攪拌時の油圧トルクの変化を検出することにより、クッキング釜内の材料の有無を認識し、加熱装置による空焚きを防止する。

油圧シリンダによるチルト機能により、クッキング釜を10°傾斜させて、ダンプアップすることが可能であり、材料の排出性を促進し、材料供給時間を短縮すると共に、材料の完全排出により、材料ロスを軽減する。また、釜内の残留混合物を軽減することで、釜内部の清掃等のメンテナンス性を向上させた。

写真-4 および、写真-5 にチルト装置を示す。



写真-4 クッキング釜チルト装置(傾斜前)



写真-5 クッキング釜チルト装置(傾斜後)

5. 実用性の検証

開発した電気加熱式アスファルトクッカー車を実際の施工現場に導入し、実用性の評価及び、その導入効果を検証した。

施工現場は、東京都江東区及び、山口県宇部市での鋼床版上グースアスファルト工事にて、同車両を導入し、検証を行った。

山口県宇部市での施工状況写真を写真-6 に示す。



写真-6 施工状況

5.1 昇温性能の確認

電気加熱式アスファルトクッカー車の昇温性能を確認するため、グースアスファルト混合物をクッキング釜に投入し、従来のLPG加熱式アスファルトクッカー車と昇温性能を比較した。

試験条件として、試験開始から60分経過後にプラントを出発し、現場へ移動した。電気加熱式アスファルトクッカー車は、移動運搬中も加熱混合を継続するものとした。温度測定方法は、試験開始から現場到着までについて、30分間隔で、材料加熱温度の変化を測定した。ここで、温度測定は、接触式温度計を使用し、クッキング釜の材料投入口近傍にて測定を行った。

昇温性能の比較結果を表-3及び、図-3に示す。表-3より、電気加熱式アスファルトクッカー車の昇温性能は、19[°C/h]であった。これは、LPG加熱式アスファルトクッカー車と比較して、平均20[%]低い結果となった。

表-3 グースアスファルト混合物加熱性能確認結果

試験車両	開発機 (電気式)	従来機1 (LPG式)	従来機2 (LPG式)	従来機3 (LPG式)
試験開始	209[°C]	205[°C]	207[°C]	204[°C]
30分後	217[°C]	217[°C]	221[°C]	215[°C]
60分後	227[°C]	229[°C]	232[°C]	226[°C]
120分後	247[°C]			
昇温性能	19[°C/h]	24[°C/h]	25[°C/h]	22[°C/h]
昇温性能比	1.00[-]	1.25[-]	1.31[-]	1.13[-]

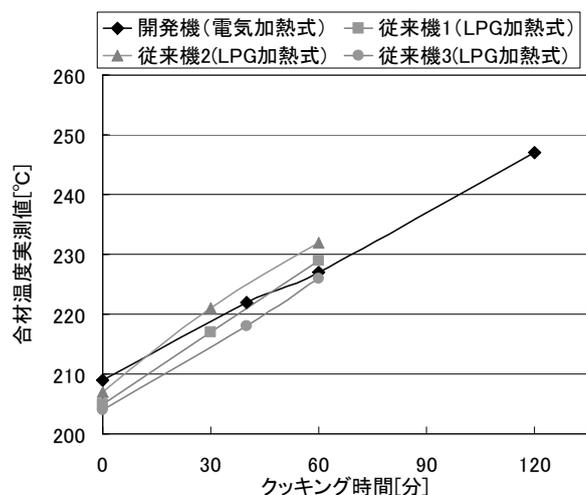


図-3 グースアスファルト混合物加熱性能確認結果

要因として、LPG 加熱式アスファルトクッカー車の発熱量は、700~800[MJ/h]に対し、電気加熱式アスファルトクッカー車の発熱量は、270[MJ/h]であり、発熱量で36[%]程度低いと推定される。

昇温性能の評価として、電気加熱式アスファルトクッカー車は、LPG 加熱式アスファルトクッカー車の昇温性能に対して、単位時間当たりの昇温性能は、20[%]低い結果となったが、運搬移動中も混合物の加熱昇温が可能であり、温度低下が無いため、現場到着後、直ちに施工を開始する事が可能であった。LPG 加熱式アスファルトクッカー車は、運搬移動中における加熱装置の停止により、現場到着時に混合物の温度が施工可能温度に到達していない場合が多く、再加熱に時間を要すことより、遠距離な現場（長時間の運搬）ほど、電気加熱式アスファルトクッカー車の導入効果の優位性は高くなる。

5.2 グースアスファルト混合物性状確認試験

グースアスファルト混合物の加熱方式の違いによる材料性状に与える影響を確認するため、LPG 加熱方式と電気加熱方式による加熱混合後の材料性状を比較した。

実施した性状確認試験は、貫入試験¹⁾、流動性試験¹⁾、曲げ試験の3種類である。

各性状確認試験の結果を表-4、曲げ試験の状況を写真-7に示す。

性状試験を実施した結果は、どちらの加熱方式においても、規格値を満足し、加熱方式の違いによるグースアスファルト混合物の品質への影響はないと考えられる。

表-4 グースアスファルト混合物性状確認結果

試験名	規格値等	電気加熱式	LPG 加熱式
貫入試験 (40[°C])	貫入量 (40[°C],30[min] 52.5[kg]/5[cm ²]) 1~4[mm]	1.87[mm]	1.90[mm]
流動性試験 (240[°C])	リュエル流動性 (240[°C]) 20[sec]以下	(236[°C]) 10.86[sec]	(235[°C]) 11.13[sec]
曲げ試験	破断ひずみ (-10[°C], 50[mm/min]) 8.0×10 ⁻³ 以上	10.5×10 ⁻³ [-]	10.7×10 ⁻³ [-]



写真-7 供試体曲げ試験状況

5.3 環境負荷低減効果

環境負荷低減効果を検証するため、現場における電気加熱式アスファルトクッカー車の燃料消費量、CO₂ 排出量を算出し、LPG 加熱式アスファルトクッカー車と比較した。

表-5 に CO₂ 排出量の比較結果を示す。

表-5 グースアスファルト混合物加熱による CO₂ 排出量

試験車輛	開発機 (電気加熱式)	従来機 (LPG 加熱式)
加熱装置燃料	軽油	LPG
加熱装置 燃料消費量	170[L]	150[kg]
攪拌装置燃料	軽油	軽油
攪拌装置 燃料消費量	15.4[L]	13.6[L]
ベースマシン 燃料消費量	69.1[L]	65.9[L]
燃料消費量合計	254.5[L]	軽油 79.5[L] LPG150[kg]
CO ₂ 排出量合計	666.7[kg- CO ₂]	683.3[kg- CO ₂]
削減効果	2.43[%]	

※軽油の CO₂ 排出量換算係数には 2.62、LPG の CO₂ 排出量換算係数には 3.00 を用いた。²⁾

表-5 より、電気加熱式アスファルトクッカー車の CO₂ 排出量は、LPG 加熱式アスファルトクッカー車と比較して、約 16.6[kg-CO₂]の削減効果があった。以上の算定結果より、CO₂ 排出量において、LPG 加熱式アスファルトクッカー車と比較して、2.43[%]の削減効果が得られた。

6. まとめ

電気加熱式アスファルトクッカー車の開発によって得られた所見を以下に示す。

- ① 加熱能力は、LPG 加熱式アスファルトクッカー車との発熱量比で、36[%]程度であるため、単位時間当たりの昇温性能は、LPG 加熱式アスファルトクッカー車と比較して、20[%]低い結果になった。
- ② 昇温性能の評価として、電気加熱式アスファルトクッカー車は、運搬移動中も混合物の加熱昇温が可能であり、温度低下が無いため、現場到着後、直ちに施工を開始する事が可能である。現場到着後に再加熱を必要とする LPG 加熱式アスファルトクッカー車に対して、遠距離である現場（長時間の運搬）ほど、電気加熱式アスファルトクッカー車の導入効果の優位性は高くなる。
- ③ LPG 加熱式アスファルトクッカー車に必要であった LPG ボンベの積み下ろし作業の必要が無く、給油による燃料の補給のみで、運用可能であるため、電気加熱式アスファルトクッカー車の取り扱い上での作業性が大きく改善された。
- ④ 加熱したグースアスファルト混合物は、性状規格値を満足しており、加熱方式の違いによる混合物の性状への影響はない。
- ⑤ グースアスファルト混合物加熱による CO₂ 排出量は、LPG 加熱式アスファルトクッカー車と比較して、2.43[%]の低減効果が確認された。

7. 今後の課題

今回開発した電気加熱式アスファルトクッカー車の今後の課題を以下に示す。

1)グースフィニッシャとの接合

22 t シャーシトラックをベースマシンとしたことにより、従来の LPG 加熱式アスファルトクッカー車に比べリアオーバーハングが延長し、施工時のグースアスファルトフィニッシャとの接合時に、施工機械との接触等が懸念される。車両後部装置の配置を検討する必要がある。

2)更なる環境負荷低減への対応

LPG 加熱式アスファルトクッカー車と比較して、CO₂ 排出量の低減効果は、2.43[%]であった。地球環境へ配慮し、施工における更なる CO₂ 排出量の削減を実現するために、発電機の燃費改善、BDF (Bio Diesel Fuel) 等のバイオマス燃料の使用などを検討する必要がある。

8. おわりに

開発した電気加熱式アスファルトクッカー車は、現場施工での導入効果を確認する事ができた。しかし、今回の現場施工で抽出された課題や改善点を解決し、機械の利便性を向上させる必要があり、今後は、想定される施工現場において、更なる施工の効率化、環境負荷の低減を推し進めていく所

存である。

また、この場を借りて、電気加熱式アスファルトクッカー車の現場導入に御協力いただいた現場およびプラント関係者の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 財団法人日本道路協会：舗装調査・試験法便覧、第3分冊、pp.315～323、平成19年6月
- 2) 環境省地球環境局：温室効果ガス総排出量算定ガイドライン、pp.9～11、平成19年3月

26. バッテリー駆動式油圧ショベルの開発

(株) 日立建機ティエラ ○ 湯上 誠之
 (株) 日立建機ティエラ 栗熊 甫
 鹿島道路(株) 木下 洋一

1. はじめに

建設施工分野では、地球環境を改善するという視点で、建設機械から排出される排気ガスや低騒音・低振動等の課題を中心に取り組んできた。1997年にはCOP3で採択された京都議定書を契機に「地球温暖化対策推進法」が施工され、建設機械業界も燃費低減、クリーンエネルギー建機の開発・普及が求められている。

自動車業界では、すでにハイブリッド車が実用化され、電気自動車(EV)も量産を開始する段階に来ている。建設機械も同様の流れになっており、各メーカーでハイブリッド建機の量産を始めている。我々も、2006年に5t・7tクラスのバッテリー駆動による油圧ショベル(以下バッテリーショベルとする)を開発・市場投入して現在も稼働中である。

バッテリーショベルの最大のメリットである「排出ガス“ゼロ”」「超低騒音」を活かせる現場は都市土木であり、住宅密集域・人通りの多い道路等で稼働できるミニショベル(車体重量6t未満)が適していると考えられる。

そのような背景の中、更に地球環境改善に貢献すべく、バッテリーショベルのシリーズ化として普及率の高い3.5tクラスのバッテリーショベルを開発したので、本報において報告する。

2. バッテリーショベルの外観及びシステム構成

2.1 外観

図1に本開発のバッテリーショベルの外観を示す。近年、ミニショベルの分野においては車体後方が車幅内旋回可能な後方小旋回型が主流だが、本バッテリーショベルでは、バッテリーを車体後方に搭載する為、後端半径を標準機レベルまで伸ばした。



図1 バッテリーショベルの外観

リアビューミラーを搭載し、後方視界の改善を計った。

周りの作業者にバッテリーショベルが稼働している事を認知させる為、車体後方に回転灯を設け安全対策を行っている。

2.2 システム構成

バッテリーショベルの主要ブロック図を図2に示す。

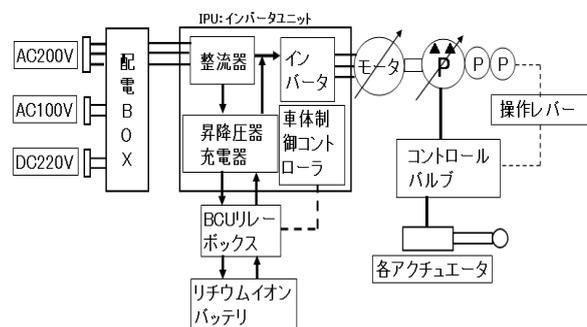


図2 主要ブロック図

入力電源は、AC200V・AC100V・DC220Vの三種類に対応しており、どのような充電環境においても充電が可能である。AC200V・DC220Vでは、充電しながらのモータ駆動も可能である。

配電ボックスには、前出の3電源の入力毎に開閉器を設置しており、入力電源の種類を自動的に認識して制御している。また、AC200V電源には漏電遮断機月開閉器を設け、供給元の電源を保護し

ている。

配電ボックスを通して供給された電源は IPU に入力され、充電時は BCU からの情報に基づき充電電流を制御してリチウムイオンバッテリーの充電を行い、モータ駆動時は、インバータにてモータ電流を制御し駆動している。

3. バッテリシステム用電動デバイス

3.1 IPU (インバータユニット)

IPU (インバータユニット) には、整流器・インバータ部・昇降圧チョッパ・12V 補機用電源・車体制御コントローラを効率よく一つの筐体に配置し、小型化を図っている。また、防水・防塵を達成する為、冷却方式は水冷式を採用している。

電動モータを駆動させる為の IPU への入力電源は、内部搭載リチウムイオンバッテリー、外部からの三相 AC200V 電源、DC220V 電源のいずれかを選択できる。

各々からの入力電源は、IPU 内の昇圧用チョッパで 300V まで昇圧され、インバータを介して電動モータを制御している。

内蔵されている 12V 補器用電源は、作業灯・モニタ・ホーン・回転灯・冷却ファン等の電源として使用される。

車体制御用コントローラでは、BCU からのリチウムイオンバッテリーの情報 (電流・電圧・温度)、油圧センサからの情報を元に、最適なモータ制御・冷却ファン制御を行っている。

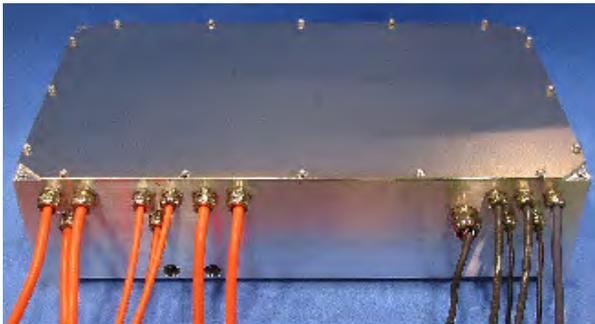


図3 IPU (インバータユニット)

本 IPU は充電機能も備えている。充電電源は、三相 AC200V、单相 AC100V、DC220V の三種類の電源に対応している。上記電源のいずれかを車体の給電コネクタに挿すだけで充電が可能である。

また、三種類の電源は自動に識別され、各電源に相応した適切な充電制御を行っている。

充放電電流・電圧を常に監視しており、過放電・過充電になる前に IPU にて出力制限をかける制御を行っている。

3.2 電動モータ

電動モータは、永久磁石同期モータを採用し、一般的に使われている誘導モータに対して小型化を図っている。また、IPU 同様に冷却方式を水冷式にする事により、同出力クラスのディーゼルエンジンに対し、容量で約 1/4 までコンパクト化でき、ミニショベルという狭い機械の中に搭載する事を可能にしている。



図4 電動モータ (永久磁石同期モータ)

3.3 リチウムイオンバッテリー

本機は、公称容量 90Ah、公称電圧 29.6V のリチウムイオンバッテリーを搭載している。

各バッテリーには、内臓セルの電圧・電流・温度を監視しているセルコントローラを搭載しており、BCU を介して IPU に情報を出している。

また、バッテリー間のケーブル短絡時の対応として、即断ヒューズを搭載し、バッテリーを保護している。

4. バッテリ搭載量の検討

ユーザの要求は、1 回の充電で一日の作業が出来る事を望まれている。従って、まず一日の作業 (ここでは休車も含めて 6 時間とする) をする為に、どれほどの容量のバッテリーが必要か検討を行った。

今回 3.5t クラスのバッテリーショベルを開発するにあたり、リチウムイオンバッテリーが 22 モジュール必要である。

しかし、そのバッテリーの個数で本体搭載を検討した結果、車体の重量バランス及び性能が確保できない為、最終的に 18 モジュールのリチウムイオンバッテリーを搭載する事とした。

また、そのバッテリーモジュール数での連続掘削稼働時間は 4.5 時間と推測した。

5. 主要機器レイアウト

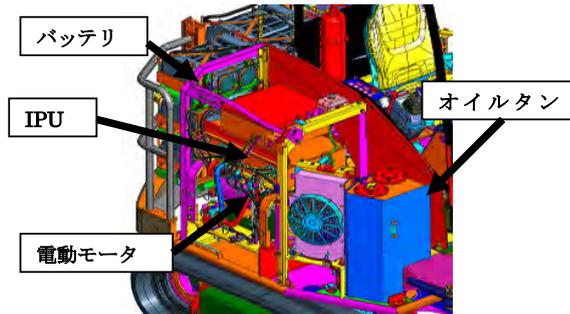


図5 主要機器レイアウト

図5に主要機器レイアウトを示す。車体後方にリチウムイオンバッテリー、車体右方向に電動モータ・IPU・油圧ポンプ・冷却系・オイルタンクを搭載した。

重量物であるリチウムイオンバッテリーを車体後方に配置する事により、従来のカウンタウェイトの役目も果たす事により、車体の安定性向上を担っている。

また、車体の右方向に電動モータ・IPU等の電動デバイスを纏めて配置した事により、集中的に点検する事が可能である。

バッテリー・IPU・電動モータはいずれも防振支持しており、振動が大きい現場においても各電動デバイスを保護できるようにしている。

6. 制御システム

本機では、リチウムイオンバッテリーでの稼働時間を延長させる為、以下の制御を行っている。

① モータ回転制御

回転制御用コントロールダイヤルにて、任意の電動モータ回転数に設定できる。軽負荷作業時は電動モータの回転数を低めに設定して作業する事が出来る。

② オートアイドル制御

操作レバー（フロント作業機・走行等）を動かさない場合、1秒後に電動モータ回転数を 300min^{-1} まで下げる制御であり、例えば作業待ち等に消費電力を抑える効果がある。

操作レバーを動かすと瞬時に電動モータ回転数が復帰するので、使い勝手はいいものになっている。

③ ゲートロックレバー連動モータ制御

ゲートロックレバーを上げると、電動モータも停止させる。運転席から離れる際、キーOFFするまでも無く電動モータを停止させられる。

再度ゲートロックレバーを下ろすと電動モータ

も回転し、作業可能となる。

長時間機械を待機させる時に、キーOFF等の煩わしい操作をさせる事無く電動モータを停止させ、消費電力を抑える事が出来る。

④ Eモード制御

電動モータの回転数の最大値を下げたモード。本機は、標準の電動モータ回転数が $1600\text{min}^{-1}\sim 2400\text{min}^{-1}$ に対して、Eモードでは $1000\text{min}^{-1}\sim 1800\text{min}^{-1}$ としている。

比較的負荷がかからない作業において、電力消費を抑える効果がある。

⑤ 電動ファン制御

本機は、オイルクーラ等の冷却系及び、リチウムイオンバッテリーを冷却する為に、電動ファンを有している。

電動ファンの消費電流を出来るだけ抑える為に、冷却対象（冷却水温度・作動油温度・バッテリー温度）に温度のしきい値を設け、その温度に達するまで電動ファンを回さないような制御を行っている。

7. 電氣的信頼性の考慮

本開発にあたり、電気システムの機能と安全性及び、環境への配慮事項を説明する。

① 配線短絡に対し、遮断機及びヒューズを取り付けて保護している。

② 強電系の電源切換は、リレーと配線によるハードウェアにて行う。

③ 非常停止スイッチを設ける。

④ BCU（バッテリーコントローラ）及び、IPU内臓の制御コントローラより、バッテリー・IPU他各機器の状況を監視し、出力の制限、非常停止を行えるようにしている。

⑤ 感電防止の為、絶縁・接地を実施した。

⑥ IPU・電動モータについて、冷却は水冷式とし、防水コネクタを使用する事で筐体を密閉構造とすることが出来、防水及び防塵、放熱に考慮している。

⑦ リチウムイオンバッテリー搭載部は、防水シート覆う事により防水に配慮している。

⑧ 筐体の接地化、シールド線を採用し、EMC対策を実施している。

8. バッテリー駆動式電動ショベルの効果

8.1 バッテリー駆動における稼働時間

90° 旋回放土モード連続掘削で、約4時間の稼働時間を実現した。これは当初検討した稼働時間とほぼ同等の結果となった



図6 掘削実験

実現場作業においては、常に掘削をし続ける作業はほとんど無く、ほぼ一日の作業を満足できる。

オートアイドル制御、ゲートロック連動モータ制御を合わせて使う事より、効果的にバッテリー消費を抑える事が出来る。

8.2 CO₂削減効果

バッテリーショベル稼働中のCO₂排出は“ゼロ”であるが、充電時に必要になる電力について、発電所にて排出するCO₂排出に換算して検証を行った。

軽油のCO₂排出係数を2.64kg-CO₂/L、電気のCO₂排出係数を0.339kg-CO₂/Kwhで算出した結果、1時間あたりのCO₂排出量はエンジン機に対して約65%の削減が見込める。

バッテリー駆動による電動式油圧ショベルは、地球環境改善を考える上で、非常に効果的な対応と考える。

8.3 騒音

エンジン機と異なり電動モータで駆動する本機は、機械が発する騒音を低く抑える事ができる。

本機ではエンジン機に対し約12dBの騒音低減を可能にした。

都市地域での夜間工事に有効に使う事が出来る。

9. おわりに

本バッテリー駆動式油圧ショベルを開発するにあたり、本論文に記載した以外にも様々な問題を解決し、技術の蓄積を図る事が出来た。

今後は、リチウムイオンバッテリーの性能向上、低コスト化が見込まれ、バッテリー駆動式油圧ショベルの要求が上がってくる事を期待している。

我々は、今回蓄積した技術を更に深め、それに答えられるように努力していく次第である。

参考文献

- 1) 瀧下芳彦：電動機駆動式ショベルの紹介，機械化林業，No.661，P25～29，2008年

- 2) 瀧下芳彦：日立電動機駆動ショベル，港湾荷受，P100～104，2009年
- 3) バッテリー式油圧ショベル，月刊建設機械，2010年
- 4) 湯上誠之：バッテリー駆動による電動式ショベル，フルードパワーシステム誌，Vol.42 No.3，P23～25，2011年

27. ハイブリッドシステムを搭載するロータリ除雪車の開発

(株)日本除雪機製作所

○ 林 千尋
平山 英樹
西田 佳緒理

1. はじめに

近年、世界的に環境意識が高まっており、地球温暖化の防止、CO₂の排出量削減、さらには燃料価格の高騰を背景とし、ハイブリッド車や電気自動車などの低燃費、環境性能を特徴とした乗用車が相次いで実用化されている。

産業用車両においても例外でなく、車両台数の多い油圧ショベルやフォークリフトなどではハイブリッド仕様が既に市場に投入されている。¹⁾²⁾³⁾

これらの状況をふまえ、ロータリ除雪車の燃費向上を主目的とし、ハイブリッドシステムを搭載したロータリ除雪車の開発を行い一定の効果を得ることができたため、本稿にて報告する。

2. ロータリ除雪車の運転モード

2-1 除雪作業時

ロータリ除雪車の除雪作業は、車両前方に取付けたオーガによって雪塊を崩して掻き込み、その後方のブロワの遠心力によって他の場所やダンプトラックに投雪することにより行う。

150馬力クラスの小型ロータリ除雪車の除雪作業時の負荷変動と回転数の一例を図-1に示す。エンジンの出力は5~90%の間で大きく変動しているが、平均では35%程度である。

作業時の車速は1~5km/hとごく低速のため、エンジンの出力は除雪による負荷が大半を占める。

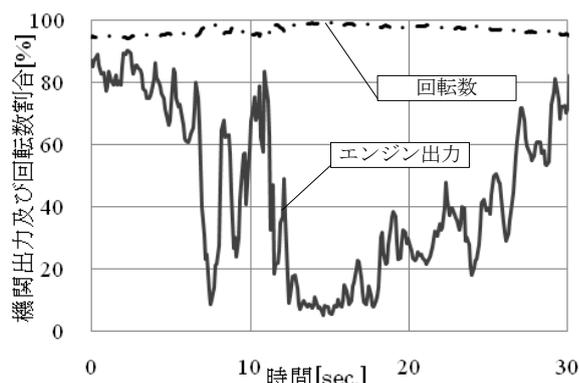


図-1 除雪作業時の負荷変動の例

また掻き込む雪の量によりその負荷が大きく変動するため、通常は最大負荷に対応できるようエンジンをフルスロットル付近に固定して作業を行っている。

2-2 回送時

図-2に回送時の負荷変動の例を示す。図は、停止状態から最高速度まで加速して定常走行に移行したときを表している。

加速時に一時的に最大出力を必要とするものの、定常走行に移るとエンジンの出力は30%程度まで減少している。また、小型ロータリ除雪車では最高速が低く高回転域を多用する事になるため、回送走行時はほとんどの時間エンジンを軽負荷・最高回転数で使用するようになる。

以上より小型ロータリ除雪車は、作業時、回送時ともに最大出力が必要になるのは一時的であり高回転・軽負荷で運転する時間が非常に長いといえる。

3. 燃費の向上

前述のとおり、小型ロータリ除雪車の平均的なエンジンの負荷は、定格の30~35%程度にとどまる。一般的にディーゼルエンジンの効率は高負荷のほうが高いため、通常の運転状態では燃費の悪い領域を多用しているといえる。

また、最大出力が必要な状況が一時的であるこ

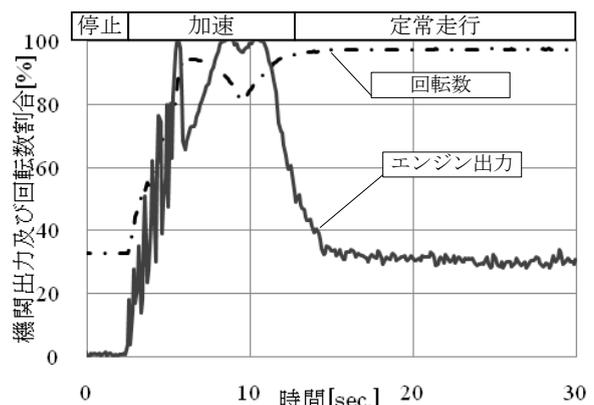


図-2 回送時の負荷変動の例

とに着目し、車両クラスよりも小型のエンジンを使用し、不足する出力を大容量バッテリーで補うことで、従来車両と同等の最大出力を確保しつつ燃費を向上させることが可能となる。

以上のことをふまえて、次のことを主眼におき、燃費の大幅改善を目的としたハイブリッドシステムの開発を行った。

- ・エンジンの負荷制御による高効率運転
- ・エンジンの小型化による低燃費化
- ・回生機能による減速エネルギーの回収

4. 開発車両の概要

図-3に開発車両の外観、図-4に機器レイアウト、表-1に主要諸元を示す。

150馬力クラスの小型車両をベースとし、インバータや電動機、大容量バッテリーなどのハイブリッド機器を車両後部の機関室内に搭載した。

また従来車両のエンジンを駆動電動機に置き換えた構成とし、この電動機によって除雪装置の駆動と車両の走行はもとより、ステアリングやブ



図-3 開発車両外観

表-1 開発車両主要諸元

		開発車両	ベース車両
全長	mm	6,070	5,680
全幅(除雪幅)	mm	1,800	
全高	mm	2,640	2,620
車両重量	kg	8,640	6,510
定員	名	2	
機関	定格出力 kW	70.1※1	112.1
駆動電動機	最大出力 kW	110	-
	定格出力 kW	55	-
	種別	IPMSM※2	-
発電電動機	定格出力 kW	75	-
	種別	IPMSM※2	-
バッテリー	エネルギー容量 kWh	16.2	-
	種別	ニッケル水素	-

※1.発電専用
※2.埋込磁石同期電動機

レーキの油圧も発生させている。エンジン以外の車両機器構成を従来通りとしたことにより、ベース車両からの変更を最小限にとどめ、開発期間とコストを抑えることができた。

電動機、インバータやバッテリーなどの機器は空冷仕様であるが、これらは電子機器のため雨や雪は故障の原因となる。そのため、機関室は密閉構造とし、前面の冷却空気の吸気口にはフィルターを設置して、雨や雪をシャットアウトする構造とした。発電用エンジンのファンによる空気流が、駆動・発電電動機、各インバータを冷却したあと機関室最後部のラジエータを通過して外部に放出される。

バッテリー室については熱のこもりを防止するため、吸気口近くの電動ファンからダクトを通して冷却風を送り込む構造とした。

5. ハイブリッドシステムの概要

5.1 機器構成

図-5に開発車両の機器構成を示す。

開発車両では、エンジンの動力と駆動電動機の動力が機械的に分離されたシリーズハイブリッド方式を採用した。この方式ではエンジンは発電専用であり、駆動用電動機の状態に関わらずエンジンの回転数と負荷を意図的に自由に設定できるた

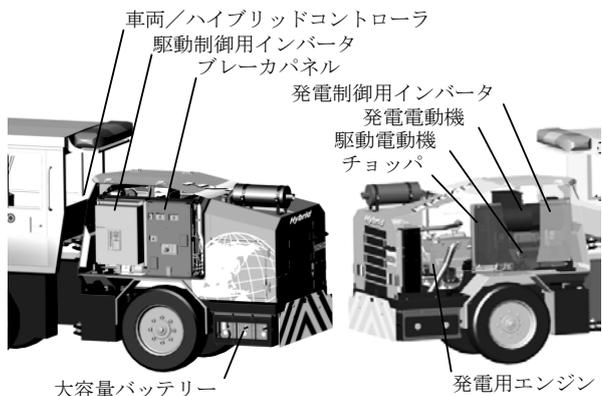


図-4 機器レイアウト

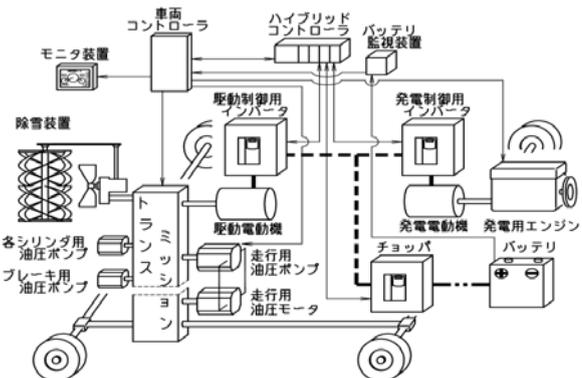


図-5 ハイブリッドシステムの構成

め、高効率領域での運転時間を飛躍的に延ばすことが可能となる。

さらに、発電用エンジンは従来の 112kW のディーゼルエンジンに替えて 70kW のものを採用し、約 37%の小型化を行った。

また、駆動電動機と発電電動機には埋込磁石同期電動機を採用し、インバータと組み合わせて制御することで高効率運転を実現した。駆動電動機においては、最大出力の必要な時間は短時間であることに着目し、定格 55kW の電動機を最大 200% 運転することで、寸法、重量、価格の低減を図った。

車両全体の制御は従来通り車両コントローラが行い、回転数指令を受け取ったハイブリッドコントローラが各インバータとエンジンを制御する。ハイブリッドコントローラは、回転数指令、必要駆動電力、バッテリー電力、充電量（以下 SOC）、インバータの状態、モータ温度、エンジンの状況などの情報を複合的に判断し、各機器を制御する。

5-2 システムの動作

5-2-1 車両停止時

SOC が規定値以下の場合、発電した電力をバッテリーに充電する。図-6(a)

5-2-2 負荷<最大発電量の時

SOC が規定値以下の場合、発電電力を駆動電動機の出力よりも多くなるよう制御し、余剰分をバッテリーに充電する。図-6(b)

逆に SOC が既定値以上の場合、発電電力を下げてバッテリーから放電を行う。これにより燃料消費を低減する。図-6(c)

5-2-3 負荷>最大発電量の時

発電電力を最大にし、不足分をバッテリーからの放電で補う。図-6(c)

バッテリーの放電が続き SOC が制限値以下になった場合、過放電をしないよう駆動電動機の出力を制御する。

5-2-4 エンジン停止時

開発車両では、SOC が十分なときオペレータが任意にエンジンを停止させ電気自動車として運用することが可能になっている。このとき駆動電動機の出力上限値は、バッテリーの許容出力に基づき制御される。図 6(d)

5-2-5 車両減速時

駆動用電動機に逆トルクを発生させて運動エネルギーを回生し、バッテリーに充電する。図 6(e)

本システムはシリーズハイブリッドを採用しているため駆動用インバータの容量が大きいことと、バッテリーの許容充電電力が高いため、強力な回生ブレーキが利用できる。よって、フットブレーキをほとんど使わずに減速できるため、従来捨てていたエネルギーの大部分を回収可能である。

また、従来車両と同等なフィーリングを得ながら最大限回生できるよう、走行用油圧ポンプ流量と回生トルクの協調制御を行っている。この制御を行うことで、さらに約 5%回生電力をアップすることができた。

5-3 エンジンの制御

図-7に、車両搭載状態で実測したエンジンの効率マップを示す。この図より、開発車両では 50~60kW、負荷率 100%（全負荷）に近い領域がもっとも高効率なことがわかった。

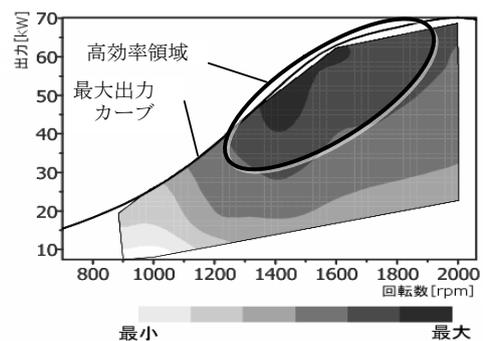


図-7 車両搭載状態での効率マップ

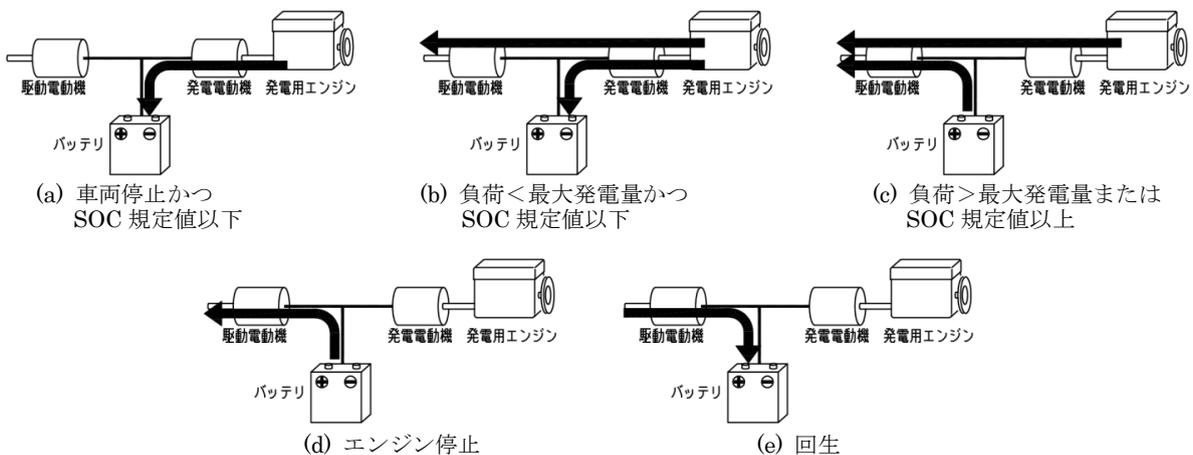


図-6 エネルギーの流れ

以上をもとに、必要な発電量から最適なエンジンの回転数を求め、発電電動機のトルク制御によりエンジンの負荷率を変えて、常に全負荷運転になるよう制御している。

4-4 モニタリングシステム

開発車両では、従来の機械式メータに代えて大型タッチパネル式モニターを採用した。表示内容を切替えることで、必要な情報を的確に把握できるようにした。

図-8 に表示画面の例を示す。画面上には、回転数、走行速度など従来の内容に加え、電動機の出力、バッテリー残量のほか、電力の流れをリアルタイムに確認できるエネルギーモニターや、エラー表示を可能とすることで、車両の状態をいち早く正確に確認することができる。

6. 燃費低減効果

燃費削減効果を確認するため、市街地と郊外の回送を想定した走行試験を行った。

6-1 エンジンの高効率運転による効果

図-9 に、従来車両を 100 としたときの燃料消費率（燃料使用量÷放出エネルギー量）の比較を示す。開発車両では、エンジンの小型化と高効率運転により、従来車両よりも約 37%の燃料消費率削減を達成することができた。

なお、2 項で述べたとおり回送時と除雪作業時



図-8 モニター表示画面

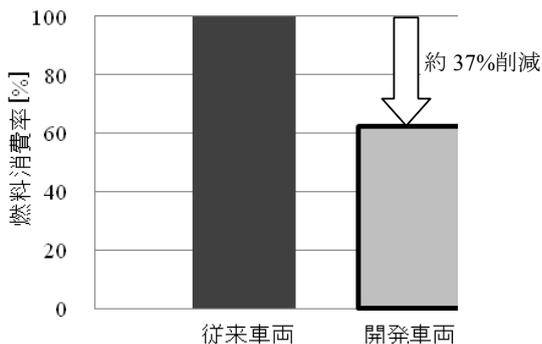


図-9 燃料消費率の比較

の平均出力が大きく変わらないことから、除雪作業時も同様の傾向になるものと考えられる。

6-2 減速エネルギーの回生による効果

表-2 に、走行試験を行ったときの回生率（回生エネルギー量÷放出エネルギー量）を示す。

市街地パターンでは発進停止の回数が多く回生の機会が多いため、約 8%のエネルギーを回生出来ている。市街地パターンと郊外パターンを同等の割合で走行した場合は、約 6%のエネルギーを回生できることがわかる。

表-2 回生率

	回生率[%]
市街地	8.3
郊外	4.0
平均	6.3

6-3 アイドリングストップ

走行試験の結果を元に開発車両のエンジンがアイドリングの時間を算出したところ、市街地では約 40%、郊外では約 25%であった。

この間の燃料消費量を算出すると、全体の約 1 割に達し、アイドリングストップ機能によりさらに大幅に燃料消費を抑えられる可能性がある。

現時点では、自動でアイドリングストップを行ってはいないが、条件等の詳細を検討中である。

7. おわりに

今回開発した小型ハイブリッドロータリ除雪車では、従来機と同等の最大出力を確保しつつ大幅な燃費向上を達成することができた。

アイドリングストップ機能の詳細や最適な SOC 管理方法の策定など、まだまだ改善点も多いため、今後基本技術を完成させるとともに、さらなる燃費向上に向け開発を続けたい。

参考文献

- 1) 鹿兒島昌之：ハイブリッドショベルSK80H, 建設の施工企画, '11.1, pp.39~43, 2011
- 2) 小川清光, 二橋謙介ほか：世界初のエンジン式ハイブリッドフォークリフトの開発, 産業車両, '10.4, pp.1~5, 2010
- 3) 内田喜康, 長坂一郎ほか：3.5トン積みエンジン式ハイブリッドフォークリフトの開発, 産業車両, '10.4, pp.6~10, 2010

28. 実作業燃費との比較による JCMAS 油圧ショベル 燃費試験規格の検証

(社)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 ○稲葉 友喜人
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 前羽 利治
(社)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 佐藤 充弘

1. はじめに

建設機械の低燃費化は、建設施工の地球温暖化対策に欠くことのできない対策である。2000年、国土交通省と建設機械製造各社は、建設機械の低燃費化に向けて主要3機種について燃費試験方法の規格化に着手し、2004年世界で初めてとなる建設機械の燃費試験方法を(社)日本建設機械化協会規格として規格化(油圧ショベル: JCMAS H020, ブルドーザ: JCMAS H021, ホイールローダ: JCMAS H022, 以下これらを「JCMAS 燃費試験」という。)した。そして、2011年4月「低炭素型建設機械の認定に関する規程」(国土交通省)が改正され、JCMAS 燃費試験に基づく燃費基準値が盛り込まれた。

JCMAS 燃費試験は、代表的な作業を模擬する動作の試験項目で構成されているが、必ずしも実際の作業燃費と一致するとは限らない。

そこで、建設機械を代表する油圧ショベルについて、JCMAS 燃費試験の燃費データと、実際の工事で稼働しているときの燃費データを比較し、その違いを検証した。

本稿は、主に「平成22年度建設機械施工における低炭素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, 受注者: (社)日本建設機械化協会)によるものである。

2. JCMAS 燃費試験による燃費

2.1 JCMAS 燃費試験の概要

油圧ショベルの JCMAS 燃費試験は、“掘削・積み込み動作試験”, “ならし動作試験”, “走行試験”, “待機(アイドル)試験”の4種類の試験項目で構成されている。4種類の試験項目には、それぞれの試験項目ごとの結果を一つにまとめるためそれぞれに重み係数が定められており、試験結果を一つにまとめた燃料消費量を「評価値」(kg/標準動作)という。この評価値は、標準動作速度の機械の場合に1時間の消費量を表し、動作が速いほど、時間当たり消費量が少ないほど数値が小さくなる。表-1に検討に用いた JCMAS 燃費試験データ数を示す。

2.2 JCMAS 燃費試験評価値の傾向

(1) 評価値の傾向

油圧ショベルの評価値は、図-1に示すようにクラスが大きくなるとそれに伴い大きくなる。この傾向は、0.28m³クラス以上では概ねバケット容量に比例している。(図-3参照)

(2) 評価値のばらつき

排出ガス対策次数別に試験データが複数あるクラスについて、評価値のばらつきを変動係数(標準偏差/平均値)でみると、図-2に示すように0.1程度となっている。

表-1 燃費試験データ数

クラス (m ³)	標準バケットの定格(山積)容量範囲	排出ガス対策次数	
		2次	3次
0.044	0.03m ³ 以上~0.055m ³ 未満	1	1
0.066	0.055m ³ 以上~0.07m ³ 未満	1	1
0.08	0.07m ³ 以上~0.085m ³ 未満	1	1
0.09	0.085m ³ 以上~0.105m ³ 未満	2	2
0.11	0.105m ³ 以上~0.13m ³ 未満	1	1
0.14	0.13m ³ 以上~0.15m ³ 未満	1	1
0.16	0.15m ³ 以上~0.25m ³ 未満	1	1
0.28	0.25m ³ 以上~0.36m ³ 未満	7	10
0.45	0.36m ³ 以上~0.47m ³ 未満	3	5
0.5	0.47m ³ 以上~0.55m ³ 未満	6	7
0.6	0.55m ³ 以上~0.7m ³ 未満	0	3
0.8	0.7m ³ 以上~0.9m ³ 未満	6	11
1.0	0.9m ³ 以上~1.05m ³ 未満	1	4
1.1	1.05m ³ 以上~1.3m ³ 未満	0	3
1.4	1.3m ³ 以上~1.7m ³ 未満	3	6
計		34	57

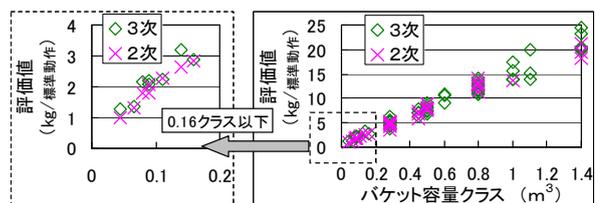


図-1 評価値の傾向

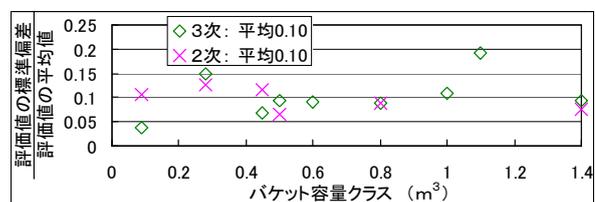


図-2 評価値のばらつき

図-2 で示す評価値のばらつきは、次の理由により“型式の違い”が主因と推察される。

- ・試験データは、基本的に異なる型式の試験機械で構成されている。(ただし、試験データの多い3次基準 0.28m³ クラスと3次基準 0.8m³ クラスには、2台の同型式データが各3型式含まれている。)
- ・上記ただし書きの同一型式6型式の評価値の変動係数は、運転員や稼働時間等の違いで平均0.041となっており、図-2 と比べ小さい。
- ・JCMAS 燃費試験検討時に実施した“掘削・積込み動作試験”の元になった模擬動作試験における運転員違いの変動係数は、次のとおりであり、図-2 と比べ小さい。
 0.5m³：平均0.042 (2~3人/型式×6型式)
 0.8m³：平均0.046 (3~4人/型式×6型式)
 上記の“掘削・積込み動作試験”部分の変動係数は評価値の変動係数とは異なるが、評価値における当該試験項目の燃料消費量寄与率が高い(7割弱)ことから、評価値の変動係数に近いと推察される。

(3) 2つの指標による評価値の傾向

評価値を“バケット容量当たり”と“定格出力当たり”で表したときの傾向を図-3、図-4 に示す。後者の表し方は、「国土交通省土木工事積算基準」と同様である。図は、複数の試験データがあるクラスは平均値で、試験データが1台しかないクラスは1台でクラスを代表している。

それぞれの傾向は、次のようになっている。

- ◆バケット容量当たり評価値は、0.28m³ クラス以上とそれ未満の小型(0.16m³クラス以下)のクラスでは傾向が大きく異なっている。0.28m³クラス以上では、概ね一定であるが大型化に伴う若干の燃費低減がみられる。それに対し、小

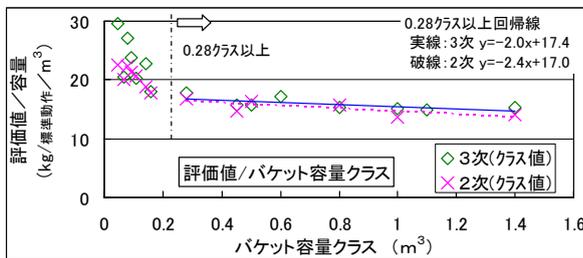


図-3 バケット容量当たり評価値の傾向

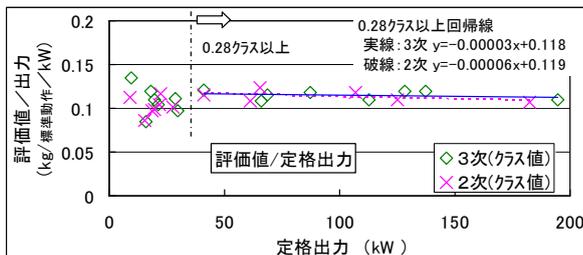


図-4 定格出力当たり評価値の傾向

型のクラスでは、クラスが小さくなるに従い燃費増加の傾向がみられる。

- ◆定格出力当たり評価値は、小型を含めて概ね一定となっている。

3. 実作業時の燃費

3.1 実作業燃費調査の概要

実作業時の燃費は、国土交通省が実施した直轄工事で稼働する油圧ショベルを対象とした調査結果を用いた。

調査期間：2010年10月中旬～11月下旬

調査工種：道路改良工事及び河川工事

調査地域：北海道、東北、関東、北陸、近畿、中国、四国、九州

燃費は、調査期間中の総給油量を、消費した稼働時間で除算した値である。給油量は、次の燃料密度を用いて容積から質量に換算した。

燃料密度：0.8247 g/cm³ (15℃)

各社で実施(2008年3月～2009年8月)

したJCMAS 燃費試験時の燃料63サンプルの平均値。

表-2 に検討に用いた実作業燃費データ数を示す。JCMAS 燃費試験との整合を図るため、省エネモードを使用している機械は検討対象から除外した。

調査期間中の稼働時間は、図-5 で示すように多くの機械が十分に長い。したがって、多くの機械の燃費は、その現場条件における平均的な値を表していると推察される。

表-2 実作業燃費データ数

クラス (m ³)	標準バケットの定格(山積)容量範囲	排出ガス対策回数		
		1次	2次	3次
0.09	0.085m ³ 以上～0.105m ³ 未満	0	0	2
0.11	0.105m ³ 以上～0.13m ³ 未満	0	1	0
0.14	0.13m ³ 以上～0.15m ³ 未満	0	1	0
0.16	0.15m ³ 以上～0.25m ³ 未満	0	1	1
0.28	0.25m ³ 以上～0.36m ³ 未満	1	6	3
0.45	0.36m ³ 以上～0.47m ³ 未満	1	3	0
0.5	0.47m ³ 以上～0.55m ³ 未満	1	8	3
0.6	0.55m ³ 以上～0.7m ³ 未満	0	0	0
0.8	0.7m ³ 以上～0.9m ³ 未満	2	20	23
1.0	0.9m ³ 以上～1.05m ³ 未満	0	0	0
1.1	1.05m ³ 以上～1.3m ³ 未満	0	0	0
1.4	1.3m ³ 以上～1.7m ³ 未満	0	1	1
1.9	1.7m ³ 以上～2.4m ³ 未満	1	2	0
計		6	43	33

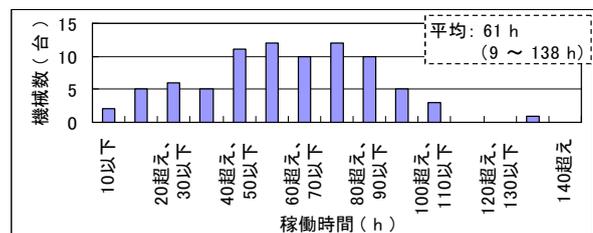


図-5 実作業燃費調査期間中の稼働時間

3.2 実作業燃費の傾向

(1) 実作業燃費の傾向

油圧ショベルの実作業燃費は、評価値同様図-6に示すようにクラスが大きくなるとそれに伴い大きくなる。ばらつきは大きいが大まかな傾向としては、評価値と似ている。しかし、クラス平均で見ると傾向に違いがある。評価値との違いについては、(3)で記述する。

(2) 実作業燃費のばらつき

排出ガス対策次数別に燃費データが複数あるクラスについて、燃費のばらつきを変動係数で見ると、図-7に示すように平均0.25となる。この値は、評価値におけるばらつきの2.5倍になる。

(3) 2つの指標による実作業燃費の傾向

評価値と同様に実作業燃費を“バケット容量当たり”と“定格出力当たり”で表したときの傾向

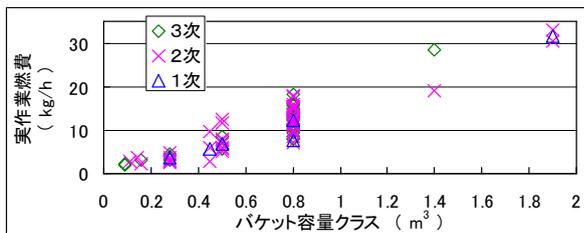


図-6 実作業燃費の傾向

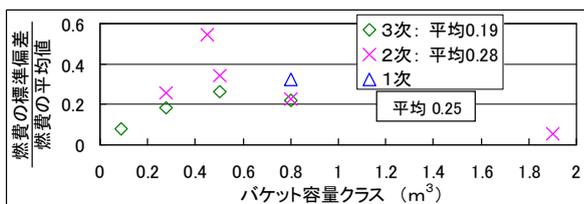


図-7 実作業燃費のばらつき

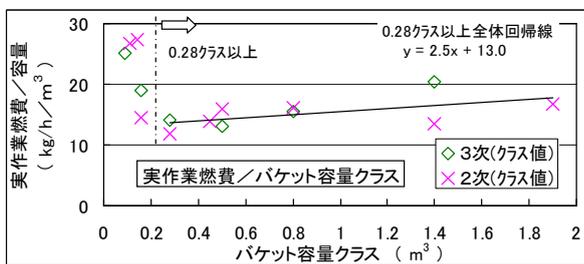


図-8 バケット容量当たり実作業燃費の傾向

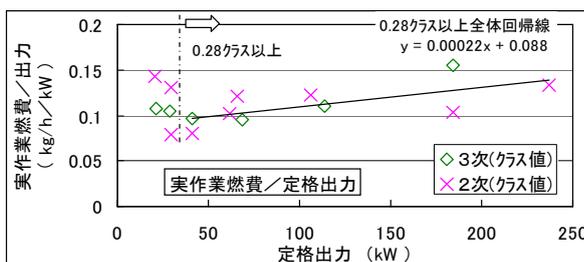


図-9 定格出力当たり実作業燃費の傾向

を図-8、図-9に示す。図は、複数の燃費データがあるクラスは平均値で、燃費データが1台しかないクラスは1台で代表している。排出ガス対策1次機械は、データが少ないので除外した。

それぞれの傾向は、評価値の傾向との違いとして、次の特徴がある。

- ◆バケット容量当たり燃費、定格出力当たり燃費、共に評価値の傾向とは異なり0.28m³クラス以上で大型化に伴う増加がみられる。

(4) 実作業における動作時間割合

前述の実作業燃費と評価値の違いに影響していると考えられることの一つに、図-10に示す実作業とJCMAS燃費試験の各動作の時間割合の違いがあげられる。

図は、実作業とJCMAS燃費試験における掘削・積込、ならし、走行等の動作の時間割合を比較したものである。

JCMAS燃費試験における各動作の試験項目の重み係数は時間割合に相当するもので、全クラス共通の値として設定されている。しかし、実作業ではクラスごとの動作時間割合は一律ではない。図が示す実作業におけるクラスごとの動作時間割合は、次のような特徴がある。

- ◆掘削・積込は、0.45 m³、0.5m³クラス以上で大型化に伴う時間割合の増加傾向がある。
- ◆ならしと走行は、0.45 m³、0.5m³クラス以上で大型化に伴う時間割合の減少傾向がある。

なお、JCMAS燃費試験のアイドル割合が実作業と比べ大きくなっているのは、JCMAS燃費試験の重み係数は待ち等のアイドルの他、作業中に含まれる多数の瞬間的な操作レバー中立状態等を含んでいるためである。

4. JCMAS燃費試験評価値と実作業燃費の関係

図-11は、評価値と実作業燃費の両方のデータがあるクラスについて、評価値と実作業燃費を対比して示したものである。また、図-12は、評価値に対する実作業燃費の比(図-11のデータを用いて算出。)を表したものである。

図-11における横軸の評価値の範囲(図中横線)の縦軸位置は当該クラスの実作業燃費の平均値を示し、縦軸の実作業燃費(図中マーク)の横軸位置は当該クラスの評価値の平均値を示している。

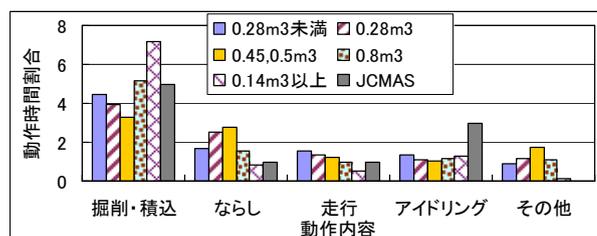


図-10 実作業におけるクラスごとの動作時間割合

図-12 で示す評価値に対する実作業燃費の比は、データのばらつきとデータ数等を考慮して排出ガス対策2次機械と3次機械をまとめると共に、0.16m³クラス以下の機械、0.45m³クラスと0.5m³クラスの機械をまとめたものである。

平均化した評価値と実作業燃費には、次の関係がみられる。

- ◆油圧ショベルを代表する0.8m³クラスは、良く一致している。
- ◆0.28m³クラス以上では、0.8m³クラス付近を中心に大きいクラスでは実作業燃費の方が大きく、小さいクラスでは実作業燃費の方が小さくなる傾向がある。

5. 油圧ショベル全体としての燃費

今回の検討に用いた実作業燃費と評価値を、次の既存資料の燃費と比較することで、その妥当性を確認した。

建設機械の燃費を示す既存資料として「国土交通省土木工事積算基準」(以下、「積算基準」という。)があり、そこで示される燃費は工事費の積算だけでなく排出ガス量の算出にも活用されている。

積算基準では燃費を“定格出力当たり”として油圧ショベル全体を一つの値で示していることから、積算基準に合わせ燃費の指標を“定格出力当たり”とすると共に、クラスごとの燃費を下式により油圧ショベル全体の燃費にまとめた。

計算に用いた各クラスの二酸化炭素(以下、「CO₂」とする。)排出量寄与率を図-13に示す。

$$F_{EX} = \sum (F_i \cdot W_{fi}) / \sum W_{fi} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 F_{EX} : 油圧ショベル全体の燃費
 F_i : クラス i の平均燃費
 W_{fi} : クラス i の CO₂ 排出量寄与率
 F_i が無い場合: $W_{fi} = 0$

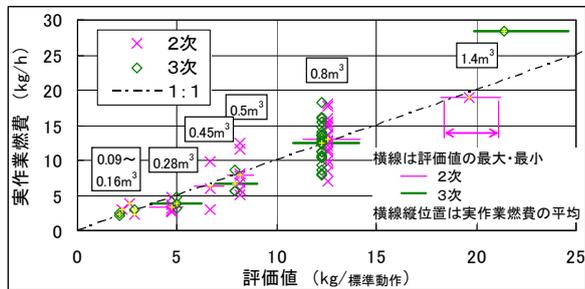


図-11 評価値と実作業燃費の対比

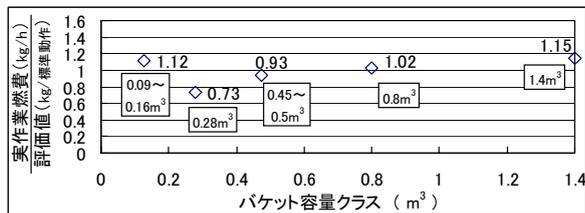


図-12 評価値に対する実作業燃費の比

各クラスの CO₂ 排出量寄与率は、既存資料¹⁾で示された3区分の寄与率を、各クラスの“型式ごとの総販売台数と定格出力の積(排出ガス対策2次機械)”の和で按分することで求めた。

積算基準燃費との比較結果を、図-14に示す。

図が示すように比較結果に大差はなく、検討に用いた実作業燃費と評価値は概ね妥当なものと推察する。

なお、積算基準燃費は、次のとおり処理した。

- ・積算基準掲載燃費に含まれる“油脂費等”は、軽油費の20%²⁾と仮定して軽油量(掲載燃費/1.2)に換算した。
- ・積算基準見直し年は、見直しに要する期間を見込み改正年の2年前とした。
- ・容積から質量への換算には、実作業燃費に適用した燃料密度を用いた。

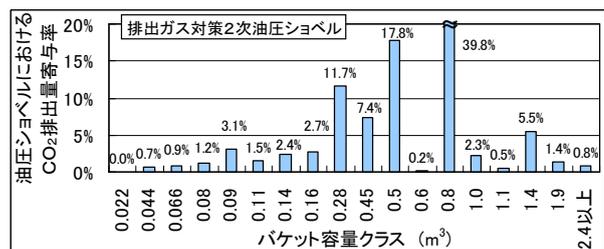


図-13 各クラスのCO₂排出量寄与率

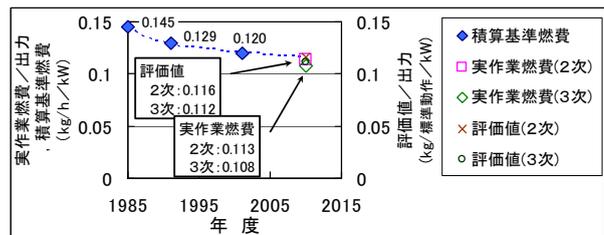


図-14 積算基準燃費と評価値および実作業燃費の比較

6. おわりに

0.28m³~0.8m³クラスに関しては、データの数があるのでそれなりの確かさで検証できたが、0.16m³クラス以下と1.4m³クラス以上についてはデータを増やして今回の結果を再確認する必要がある。特に、0.16m³クラス以下については、JCMAS 燃費試験データそのものが少なく、今後のデータ収集を必要とする。

また、評価値のばらつき要因については、まだ調査検討すべき事項が残っており、今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 国土交通省：平成22年度 建設施工の地球温暖化対策検討分科会 配布資料，pp.4, 2011年2月
- 2) 建設省土木研究所：道路環境影響評価の技術手法，土木研究所資料，第3742号，pp.151, 2000年10月

29. 省燃費型エレクトリックドライブブルドーザの開発

世界初 電動ブルドーザ「CAT D7E」

キャタピラージャパン(株) ○ 富永 安生
鎌田 康生

1. はじめに

社会環境の変化と共に、建設機械に求められる要求は年々厳しくなっており、

社会的要求として、

(1) 地球環境保護

大気環境汚染防止、温暖化防止、省エネルギー

(2) 安全性の向上

オペレータと周辺環境の安全確保

経済的要求として、

(3) 燃料消費量の削減

(4) 運転経費の削減

などが求められており、建設機械メーカーとして、これらの要求に応えるべく、日々技術開発に努めている。これらの要求を満たすために、世界初のディーゼレクトリック駆動のブルドーザ CAT D7Eを開発したので、ここに報告する。

2. 建設機械の省燃費技術

建設機械メーカーでは、省燃費技術として、ハイブリッド油圧ショベルや電動駆動の建設機械の技術開発に取り組んでおり、既に実用化されている。以下にその特長を簡単に紹介しつつ、ブルドーザにディーゼレクトリック駆動を選択した理由を述べる。

(1) ハイブリッド駆動

ハイブリッド駆動は既に油圧ショベル⁽¹⁾で実用化されている。旋回電気モータ、発電機モータ、インバータ、キャパシタ等から構成され、旋回電気モータが旋回減速時に発生するエネルギーを電気エネルギーとして回収し、蓄電器（キャパシタ等）に蓄える。これを旋回時のエネルギーとして回生利用すると共に、発電機モータを通じて高負荷時のエンジンをアシストするもので、待機状態を始め、エンジン負荷を低く抑え、燃料消費量の低減が可能である。但し、回生しにくい機械もあり、そのような機械では省エネ効果が低い。

(2) 電動駆動

電動駆動は、①エンジンの代わりに電動モータを搭載し、油圧ポンプを駆動する商用電源を動力

源としているものと、②バッテリータイプのものに分かれる。商用電力の発電効率、電動機の効率の良さを利用することで消費エネルギーの低減を図れること、排気ガスが出ないこと、騒音・振動も少ないことにより、地下工事、自動車解体などの屋内作業現場には有効である。しかし、商用電源を用いるタイプは、電源ケーブルが必要であり、電源設備の整った、限られた場所でのみ使用できないことや、現場間の移動や搬出入に難点がある。また、バッテリータイプはコストと連続稼働の観点から普及にはまだ時間がかかりそうである。

(3) ディーゼレクトリック駆動

ブルドーザは作業の性質上、ブレーキを多用したり、ブレードを大きく上下しないため、十分なエネルギーを回収することができない。そのため、ハイブリッド駆動での大きな省エネ効果は期待できない。また、電源ケーブルを必要とする電動駆動も適していない。そこで、ブルドーザの省燃費技術としてディーゼレクトリック駆動方式を採用した。ディーゼレクトリック駆動とは、ディーゼルエンジンで発電機を駆動し、その発生電力で電動機を回し、駆動する方式である。1930年代頃より、ディーゼル機関車等に利用されてきた技術であるが、パワーエレクトロニクスが発展していなかった当時は、高出力・高効率の電力変換、制御技術がなく、省エネ効果は乏しかった。しかし、パワーエレクトロニクスの発展に伴い、高出力・高効率の電力変換、制御することが可能となり、メンテナンスが容易な交流電動機を使用する、可変電圧可変周波数制御により省エネ化が可能となった。ディーゼレクトリック駆動方式のメリットは以下の通り。

- (1) エンジンの最も効率の良い回転域で運転でき、燃料消費量を低減することが可能。
- (2) エンジンをほぼ一定回転で使えるため、騒音、振動対策や排出ガス浄化が、比較的容易。
- (3) 動力部レイアウトの自由度が高く、エンジンに直接負荷が伝わらないため、エンジン寿命を延長することが可能。
- (4) 無段階変速により、作業に最適な車速が得られる。

3. ディーゼルエレクトリックドライブ

中型ブルドーザの動力伝達装置は、トルクコンバータとパワーシフトトランスミッションを組み合わせたメカニカル駆動方式が主流である。現在では、ロックアップ機能付のトルクコンバータにより燃料消費量を低減する方法などが開発されているが、D7E では動力伝達部でのパワーロスをさらに低減し、伝達効率を上げるために、トルクコンバータやトランスミッションに代えて、ディーゼルエンジンで駆動された発電機からの電気をインバータやモータ等の制御装置を利用し、動力伝達するディーゼルエレクトリック駆動方式を採用した。以下にディーゼルエレクトリック駆動について説明する。図 1 にディーゼルエレクトリックドライブを搭載した CAT D7E ブルドーザの外観を示す。図 2 にディーゼルエレクトリックドライブ構成図を示す。

(1) ディーゼルエンジン

オフロード法（2006 年基準）に適合したエンジンを搭載。また、ディーゼルエレクトリック駆動方式の採用により、ディーゼルエンジンの効率の良い回転域（低速）での運転ができ、従来のメカニカル駆動方式と比べて排気量が約 1L 少ない、ひと回り小さいエンジンの搭載を可能にし、燃費低減を実現した。表 1 に各駆動方式のエンジン比較表を示す。

表-1 各駆動方式のエンジン比較表

	D7E	D7R2
駆動方式	ディーゼル エレクトリック	メカニカル
定格出力 (kW)	175	179
定格回転数 (rpm)	1,700	2,100
排気量 (L)	9.3	10.2

(2) 交流発電機

永久磁石型の発電機（図 3）でエンジン後部に直結されており、連続定格出力は、1,600 rpm で 175kW である。エンジンが始動すると、発電機は三相交流（AC480V）を発生させ、パワーインバータへ送る。

(3) パワーインバータ

パワーインバータ（図 4）は、内部に整流器が組み込まれており、発電機からの 480V の交流を整流器により 650V の直流に変換後、インバータによって任意の周波数、電圧の交流に変換（可変周波数制御）し、ファイナルドライブを駆動させる交流モータに電力を供給する。また、変換された直流電流の一部をアクセサリ用パワーコンバータに供給する。



図 - 1 D7E ブルドーザ外観

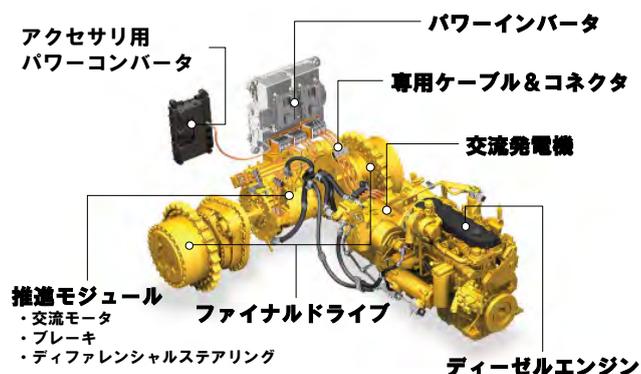


図 - 2 ディーゼルエレクトリックドライブ構成図



図 - 3 交流発電機

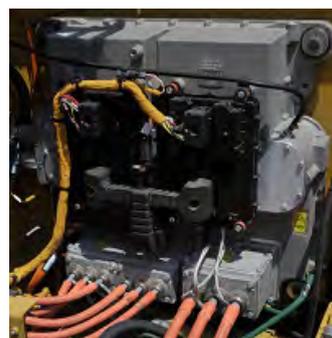


図 - 4 パワーインバータ

(4) 交流モータ

交流モータ(図5)は、前後進切り替えおよび無段階での車速調整を電氣的に行うことができ、トルコン車に見られるシフトショックやトルクの落ち込みがなく、スムーズな作業を可能にしている。また、従来のトルクコンバータやトランスミッション等の機械装置が不要になったことにより、エネルギー変換および伝達ロスの低減により、燃費を低減するとともに、可動部品の削減により、メンテナンスにかかる稼働経費の削減も実現した。

(5) アクセサリ用パワーコンバータ

パワーインバータで変換された直流電流は、アクセサリ用パワーコンバータ(図6)にも送られ、車両用電源(DC24V)を供給すると共に、電動化したエアコンコンプレッサの駆動、ラジエータやパワートレーンオイルを冷却するウォータポンプの駆動(DC320V)に電力を供給する。これにより、従来エンジンからベルト駆動で行っていたものが完全にベルトレスとなり、燃費低減、サービス性の向上に大きく寄与する。



図 - 5 交流モータ



図 - 6 アクセサリ用パワーコンバータ

4. 省燃費効果の検証

ディーゼルエレクトリック駆動の省燃費効果を検証するため、2つの方法で試験を実施した。

4.1 スロットドージングによる燃費試験

従来のメカニカル駆動方式を採用したCAT D7R2とディーゼルエレクトリック駆動方式を採用したCAT D7Eを用いて、比較試験を行った結果、メカニカル駆動方式と比較して、約20%の燃費低減効果が確認でき、ディーゼルエレクトリック駆動の有効性を確認した。試験結果を図7に示す。

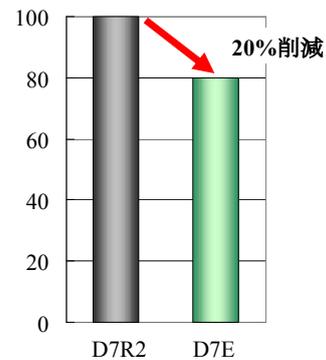


図 - 7 試験結果 (燃料消費量) /-フルード'使用時

4.2 JACMAS に基づいた燃費試験

日本建設機械化協会では、ブルドーザにおける燃費試験標準 JCMAS H021「土工機械-燃料消費量試験方法-ブルドーザ」を制定しており⁽²⁾、この燃費試験方法に基づいて、燃費試験を実施した。

その結果、燃料消費量評価値は、425g/kWhであった。この数値は、国土交通省がCO2排出低減効果の高い低炭素型建設機械の普及を促進するために、認定している低炭素型建設機械の認定基準値を約20%上回るものであり、エレクトリック駆動の有効性を確認できた。表2に低炭素型建設機械の燃費基準値を示す。尚、D7Eは170-300kWの区分に該当する。

表-2 ブルドーザの燃費基準値

区分 定格出力 (kW)	燃費基準値 (g/kWh)
19 以上 75 未満	568
75 以上 170 未満	530
170 以上 300 未満	508

5. 安全性の向上

建設業における労働災害は、様々な取り組みにより減少傾向となっているが、依然として、全業種に対する建設業の割合は高い。建設機械に対して、オペレータや周囲の作業員に対する安全性の向上が強く求められており、D7Eにおいても安全を考慮した開発を行った。

(1) 視界性向上

ブレードを動作させる油圧シリンダを一本としたシングルリフトシリンダと、運転席の窓枠を正面に一本としたセンターポストキャブの採用により、センターポスト、プレクリーナ、マフラ、リフトシリンダが運転席から見て一直線上に配置し（図8）、かつてないワイドな作業視界を確保することで、大幅な安全性向上を図った（図9）。



図-8 コンポーネントの直列配置



図-9 作業視界

(2) オペレータ着座感知システム

オペレータが運転席に座っていないと、車両の走行システムや作業装置制御システムの操作を無効にするオペレータ着座感知システムを採用している。これにより、オペレータが車両から降りる際など、誤ってレバーに触れた場合でも車両が動いたり、作業装置が動いたりすることがなく、巻き込まれ事故を防ぐことができる。

(3) リアビューカメラ

切り欠き付き燃料タンクの採用などにより、後方視界性を向上させているが、より安全性を向上

させるため、リアビューカメラを装着できるように設計した。

(4) 高電圧部の隔離構造

発電機を初めとした高電圧部分は個々に完全な密閉構造となっており、各コンポーネントを繋ぐケーブルやコネクタは米軍規格を満たした、極めて絶縁性の高い部品を使用し、安全性を確保した。

また、故障等で高電圧部にアクセスする場合は、システム内に電気が残っていないことを確認するための警告ランプ（危険電圧表示ランプ）を装備し、高電圧ケーブルはオレンジ色のケーブルで分かりやすく区別することで安全性を確保した。

(5) 作業機ロックスイッチ

作業装置の油圧回路をロックすることにより、オペレータが不意にレバーに触れてしまった場合の誤動作を防止することができる。

(6) ROPS/FOPSキャブ

現在では一般的である、ROPS（転倒時運転者保護構造）及びFOPS（落下物保護構造）キャブを備えており、車両転倒時や落下物からオペレータの安全を守る。

6. おわりに

ブルドーザの作業と機構の特長から、ディーゼルエンジンで駆動された発電機からの電気をインバータやモータ等の制御装置を利用し、動力伝達するディーゼルエレクトリック駆動のブルドーザを開発した。この方法により、エネルギー回生なしに大幅な燃費改善を実現した。今回開発したディーゼルエレクトリックドライブ方式は、エネルギー回生のしにくい機械の省燃費技術として有効であり、ニーズによって他の建設機械への展開が可能である。今後も省エネルギーに対するニーズは益々高まると考えられ、ユーザの要望、期待に応えるべく、技術開発を行っていく所存である。

参考文献

- 1) 井上：PC200-8 ハイブリッド油圧ショベルの紹介，コマツ技報，Vol.54 No.161，pp.26～31，2009
- 2) ブルドーザにおける燃費試験標準JCMAS H021「土工機械－燃料消費量試験方法－ブルドーザ」，改正第3版，pp.2～10，2010

30. 地盤の支持力調査における簡易試験法の適用に関する実験的考察

(独)労働安全衛生総合研究所 ○玉手 聡
同 上 堀 智仁

1 はじめに

移動式クレーンや建設機械の転倒防止には支持地盤の安定確保が不可欠であるが、現場の支持力は目視や踏査により経験的に判断される場合も多く写真1に示すような支持力不足による転倒事故がたびたび発生している¹⁾。本研究ではこのような転倒災害の防止を目的に、施工現場における簡易な地耐力評価の方法を検討している。地盤の支持力を直接的に調査する方法には平板載荷試験があるがその実施には時間を要し、必ずしも簡易でないという問題がある。

本研究ではドラグ・ショベル(重機)を反力に利用した現場支持力試験²⁾(以下、BC試験と言う)による簡易評価を検討している。本論文ではこの試験における載荷速度の違いが支持力計測に与える影響について、現場試験の結果を報告するとともに併せて実施した平板載荷試験とキャスポル試験の比較から、地盤の支持力評価における簡易試験の適用について考察する。



写真1 移動式クレーンの転倒事故

2 平板載荷試験と現場支持力試験の比較

2.1 載荷装置の構造

BC試験の方法は平板載荷試験²⁾(以下PL試験と言う)のそれと基本的に同じであるが、荷重の載荷方法が変位制御である点異なる(表1参照)。PL試験では計画最大荷重を5から8段階に分割し、段階的に荷重を載荷する(荷重制御)。載荷荷重は各段階で30分間の保持が標準とされるため、一カ所の試験には約4時間を要する。一方、BC試験は載荷速度(v)を5mm/分に設定した場合、所要時間は

10分程度に短縮できる。

当研究所で試作したBC試験の装置を図1に示す。同装置は長さ855mm幅400mmの架台に載荷装置がユニット化して搭載されている。架台の4隅には車輪が備わり手押しにより現場内を自在に移動できる。この試験装置には図2に示す載荷ジャッキが備わり、AC電源により電動モータで駆動する。このジャッキは同心円状に3段の重複構造を有しておりシリンダーA、シリンダーB、シリンダーCが備わる。モータからの動力は減速機を介してウォームギヤに伝達され、ホイールギヤを回転させる。

表1 平板載荷試験と現場支持力試験の比較

	平板載荷試験 (JGS 1521-1995)	現場支持力試験 (今回検討)
載荷板	直径30cmの円形	
載荷方法	荷重制御 (計画最大荷重を5から8段階で載荷)	変位制御 (5mm/分)
反力装置	実荷重、アンカー、重機	重機
沈下量	基準よりから載荷板上の沈下4点を計測	載荷装置の伸張量から重機の浮き上がり量を引いた値
所要時間 (1箇所)	3時間~4時間	約10分

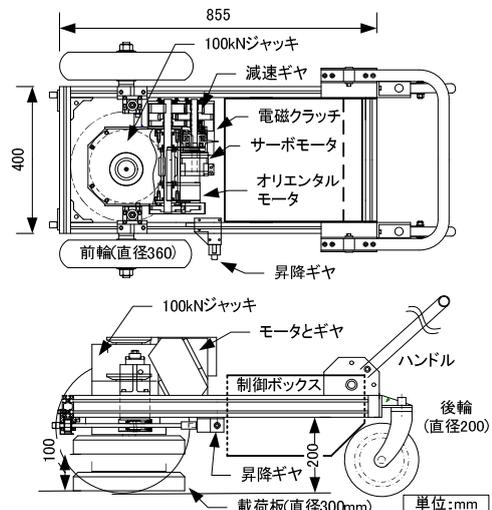


図1 現場支持力試験装置の概要

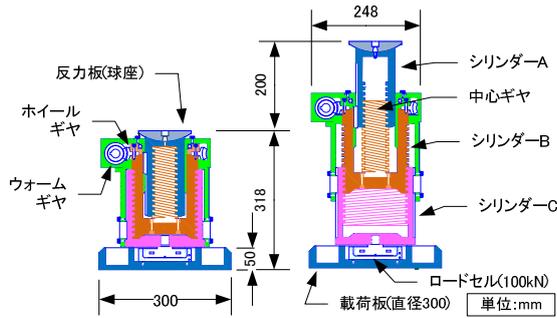


図2 荷重ジャッキの構造(左: 収縮時, 右: 伸張時)

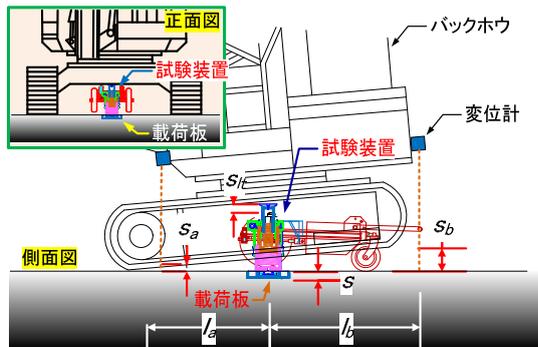


図3 機体の浮き上がり補正の方法

ホイールギヤはシリンダーBに結合しており、一体となって回転する。またシリンダーBの中心軸には円柱状のギヤ(以後、中心ギヤと呼ぶ)がありこれも結合している。中心ギヤ(外溝)はシリンダーAのギヤ(内溝)と係合する。一方、シリンダーBの外溝はシリンダーCの内溝と係合する。シリンダーAとCの内溝は逆向きとなっており、シリンダーBの回転によってAとCは同調して伸張したり収縮したりする。

このジャッキは収縮時で318mmとコンパクトであるが伸張時には518mmとなる。このコンパクトかつロングストローク可能な構造により、ドラグ・ショベルの下部に架台ごと挿入でき、容易で迅速な試験を可能とした。またジャッキは昇降ギヤによりさらに全体が100mm上下可能であり、これにより車載時や移動時には載荷板と地面の離隔も確保することができる。

ジャッキの下側には100kNロードセルと直径300mmの円形載荷板がシリンダーに剛結しており、載荷荷重を実測できる。上側には直径100mmの反力板がシリンダーにヒンジ結合(球座)しており、この部分が重機の下部構造体と接触して載荷反力を得る。

2.2 沈下量の計測方法

ジャッキのストローク量(\$s_c\$)は変位計により直接測定する。なお、載荷板の沈下量(\$s\$)の値については図3に示すように、反力として用いた重機の

浮き上がりを式(1)のように補正する必要がある。ジャッキ位置における理論浮き上がり量(\$s_{it}\$)を別に計測した前部と後部における機体の浮き上がり量 \$s_a\$ と \$s_b\$ 及び計測間隔 \$l_a\$ と \$l_b\$ を用いて式(2)のように換算する。なお \$l_a\$ と \$l_b\$ はPL試験の変位計測に定められた「載荷板と基準点の離隔1m以上」の基準を満足させている。\$s_a\$ と \$s_b\$ の計測には写真2のようにマグネットホルダーに取り付けたワイヤ式変位計を用いると、重機への設置も容易であり簡単に計測することができる。

$$s = s_c - s_{it} \quad (1), \quad s_{it} = \frac{s_b \cdot l_a + s_a \cdot l_b}{l_a + l_b} \quad (2)$$



写真2 重機を反力とした支持力試験の様子

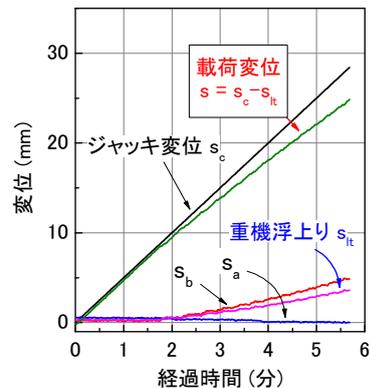


図4 各変位の時刻歴変化(BC_2)

図4は現場支持力試験における測定変位の時刻歴を示す。\$v\$ は \$s_c\$ に対する設定値であり、5mm/分の一定した変位を確認できる。機体前方と後方の \$s_a\$ と \$s_b\$ については経過時間が3分付近から \$s_b\$ に増加が見られ、式(1)で換算した \$s_{it}\$ は5.5分の試験終了時に3.6mmまで増加している。その結果、式(2)から得られた \$s\$ の実速度は4.5mm/分となっており、浮き上がりにより約10%の減少が生じている。

3 現場試験

3.1 平板載荷試験と支持力試験の比較

図5は現場GB_1におけるBC試験の結果とPL試験の結果を示す。表2は両試験の条件と結果を

示す。同現場では表土が0.5m程度の深さ掘削して取り除かれており、軟らかなシルトが載荷面に観察された。図5右に示す土質分布は地表から-2mまでがシルト質細砂でありそれ-1.3m付近に水位がある。深さ2mまでのN値は5であった。同図左の横軸は沈下量(s)を載荷板の直径(D)で除して無次元化して示す。3つの試験は約2mの離隔で実施したが、土質は見かけ上同じであった。載荷速度はBC_1が1mm/分であり、BC_2は5mm/分である。BC_1とBC_2では載荷速度が5倍異なるが両曲線はほぼ一致しており、比較した条件では差がほとんど見られない。s/D=0.05付近では曲線が屈曲しており、その前後のから交点の q_u 値を求め、その値を極限支持力(q_u)と定義した。

またs/D<0.05の載荷初期に見られる直線的な関係からその傾きを求め、その値を載荷応力係数(K_i)と定義した。3つの試験から求めた q_u と K_i の値はほぼ一致しており、載荷方法が応力制御と変位制御で異なることによる影響、ならびに変位速度が異なることによる影響はほとんど確認されなかった。

表2 現場支持力試験の実施条件と結果

名称	位置	変位速度 (mm/分)	所要時間 (分)	q_u (kPa)	K_i (MPa)
BC_1	GB_1	5	8	192	4.1
BC_2	GB_1	1	40	204	4.3
PL_1	GB_1	7段階応力	140	204	5.0
PL_2	GB_2	8段階	248	223	14.8

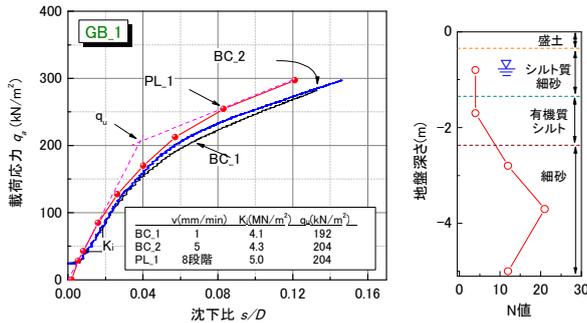


図5 GB_1における載荷応力と沈下比の関係(左)と土質分布(右)

3.2 平板載荷試験とキャスポール試験の比較

図6は今回の試験とは別に当研究所の敷地内にて行った平板載荷試験(PL_2)の結果を示す。試験は表面から約2m掘削した支持面において実施し、土質は均質な関東ロームであった。第1段階の載荷ではs/D増分に対する q_u 増分が第2段階のそれに比べて幾分か大きい、これは予備載荷による影響と見られる。s/D=0.015付近では曲線に屈曲が見られる。第2から第3段階載荷における q_u -s/D関係から K_i を求め、さらに先と同様に q_u も求めた。得られた値は後述するキャスポール試験の結果と比較した。

キャスポール試験はランマーを所定の高さから落下させることによって行う簡易支持力試験³⁾であり、地面と衝突した際の衝撃加速度がインパクト値(I_a)で得られる。国土交通省近畿地方整備局近畿技術事務所はキャスポールの利用手引き³⁾を示しており、その中で I_a と粘着力(c)と地盤反力係数(K_{30-C})及びコーン指数(q_c)との関係をそれぞれ式(3)と(4)のように示している。

$$c(\text{kN/m}^2) = 0.785 + 7.073 \cdot I_a \quad (3)$$

$$K_{30-C}(\text{MN/m}^3) = -37.580 + 8.55 \cdot I_a \quad (4)$$

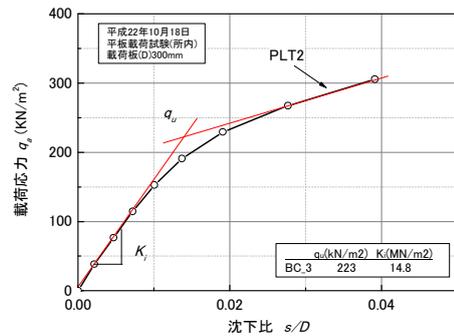


図6 GB_2で行った平板載荷試験の結果(PL2)

表3は試験から得られた I_a の平均値(μI)と標準偏差(σI)ならびに、 I_a から換算して求めた地盤反力係数と極限支持力を示す。また同表には現場支持力試験と平板載荷試験で実測した地盤反力係数と極限支持力も示した。

表3 キャスポール試験からの換算値と実測値の比較

位置	キャスポール試験							現場支持力試験		平板載荷試験	
	試験数	I_a 値		K_{30-C} (MN/m ³)		q_u-C (KN/m ²)		K_{30-B} (MN/m ³)	q_u-B (KN/m ²)	K_{30} (MN/m ³)	q_u (KN/m ²)
		n	μI	σI	μK	σK	μq				
GB1	14	8.55	1.68	35.56	14.41	375	73	14.0	198	16.7	204
GB2	101	9.54	1.07	44.06	9.18	418	46			49.3	223

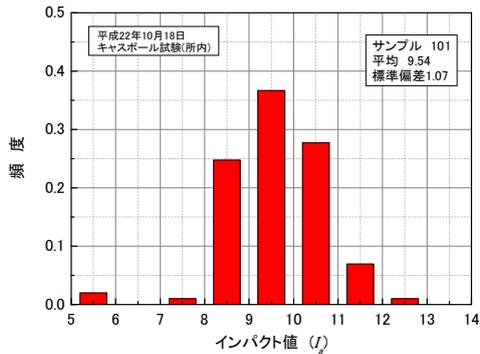


図8 キャスポール試験によるインパクト値の頻度分布

図8は所内で行ったキャスポール試験(GB_2)によるインパクト値(I_a)の頻度分布を示す。試験場所は地表から約2m掘削された地盤面であり、状態はほぼ均質な関東ロームであった。

頻度分布は I_a に対してほぼ標準正規分布を示し変動係数(標準偏差に対する平均値の比)は約0.11であった。地盤側の均質性は高く見られる一方で I_a 値にはバラツキが見られ、キャスポール試験から求まる値に潜在する不確実性が改めて確認された。

図9は地盤反力係数(K_{30})と極限支持力(q_u)の実測値とキャスポール換算値の比較を示す。 K_{30} について地盤が軟弱なGB_1では、キャスポールによる換算値(K_{30-C})は実測値(K_{30})よりも大きめに評価されておりこの場合、換算値から安全側の評価を導くためには、例えば式(5)のように平均値(μ_K)から標準偏差(σ_K)の1.4倍以上の値を減じる必要がある。一方、均質な関東ローム地盤のGB_2では K_{30-C} と μ_K がほぼ一致しており評価の精度は地盤条件にも左右されることがわかった。

$$\mu_K - 1.4\sigma_K < K_{30} \quad (5)$$

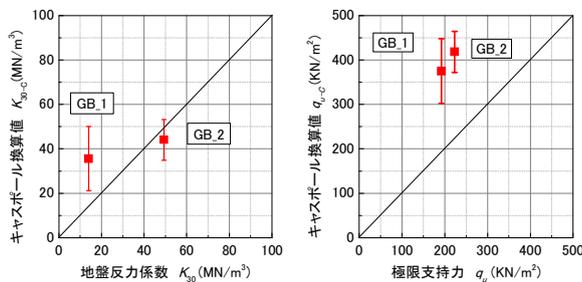


図9 地盤反力係数と極限支持力のキャスポール換算値と実測値の関係

q_u の換算値(q_{u-C})は式(3)から得られた c の値を式(6)に代入して簡易に求めたものである。

$$q_{u-C} = \alpha \cdot c \cdot N_c \quad (6)$$

ここで、 α は形状係数でありここでは1.2、 N_c は

支持力係数であり5.1とした。なお現場の土質は粘性土を仮定し、内部摩擦角は無視した。

q_{u-C} の平均値(μ_q)はGB_1とGB_2に共通して実測値(q_u)よりも大きい。両ケースにおいて換算値と実測値の関係から極限支持力を安全に推定するためには、式(7)のように平均値(μ_q)から標準偏差(σ_q)の4.3倍以上を減じることとなる。

$$\mu_q - 4.3\sigma_q < q_u \quad (7)$$

以上より、キャスポール試験から求めた地盤反力係数と極限支持力の両換算値には実測値との差やその分布による不確実性が確認された。変動係数については現場毎に異なるものと思われるがほぼ均質な状態の地盤においても0.11程度認められた。 I_a の信頼性は地盤条件や計測条件によっても大きく左右される。安全側に評価するためには安全の余裕がある程度大きく設定する必要があるものと考えられる。

4 まとめ

地下水位が載荷面下約1.3mに位置し土質が軟弱なシルトの地盤条件において現場支持力試験と平板載荷試験を行った。載荷速度を1mm/分と5mm/分で比較した試験から得られた載荷圧力と沈下比関係には明確な差が見られず、また別に実施した平板載荷試験による関係ともほとんど一致することが確認された。載荷速度を5mm/分にすると試験時間は10分程度となり、従来の平板載荷試験に比べて時間を大きく短縮できることがわかった。引き続き現場実験によるデータの収集を行い現場支持力試験の適用性を検証したいと考えている。

また簡易支持力測定器(キャスポール)から得られるインパクト値(I_a)から地盤反力係数と極限支持力の換算値を求め実測値と比較した。 I_a の分布はほぼ標準正規分布的であり、換算値には一定の不確実性を生ずることが確認された。この不確実性を考慮して安全側に支持力を評価するためにはある程度の余裕を考慮する必要があるが、その指標値については今後さらに検討する必要がある。

謝辞

今回の茨城県美浦村における現場実験は株式会社地盤試験所の協力により実施されたものであり、ご協力頂いた各位に深くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 玉手聡, 堀智仁: 大型建設機械の不安定性と転倒防止のための安全要件, 労働安全衛生総合研究所安全資料, JNIOSSH-SD-NO.28(2010), pp.5-18, 2011.
- 2) 玉手聡, 堀智仁: 重機を反力とした簡易な支持力試験の検討, 第45回地盤工学研究発表会, 平成22年度発表講演集, pp.33-34, 2010.
- 3) 国土交通省近畿地方整備局近畿技術事務所: 簡易支持力測定器(キャスポール)の利用手引き, pp.3-12, 2005.

3 1. 敷板の形状および偏心荷重が接地圧分散に与える影響

積載形トラッククレーンの転倒防止に関する研究

(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
 (独)労働安全衛生総合研究所 吉川 直孝

1. はじめに

積載形トラッククレーンは、荷下ろし用のクレーンと荷台を備えている移動式クレーンである。運搬に加えて、荷の積み下ろしが可能であり、その利便性の高さから多業種で使用されている。一方で、当該クレーンによる転倒災害が多く発生している。その原因には支持地盤の破壊に起因するものも見られ、アウトリガーの沈下防止対策を講じていない事例がほとんどであった。したがって、地盤破壊に起因する転倒災害を防止するためには、敷板を用いて接地圧を低減させる必要がある。

そこで本研究では、アウトリガー接地圧を低減させるために有効な敷板の形状および偏心荷重が荷重分散に与える影響について実験的に明らかにすることを目的としている。

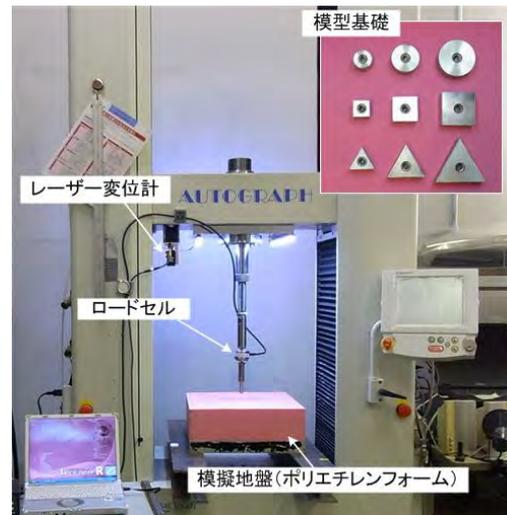


図1 実験の様子

2. 実験方法および実験条件

2.1 敷板形状が支持力に与える影響

本実験では、島津製作所製の万能精密載荷装置 (AG-100kNIS) を用いて、変位制御 (1mm/min) で荷重を与えた。

模型地盤は、強度と密度のバラツキが少なく、実験データの再現性が良いポリエチレンフォーム ($\rho=30\text{kg/m}^3$) を用いて作製した。

作製した模型基礎は同じ面積を有する3種類の形状 (円形, 正方形, 三角形) であり, 大きさの異なる3組 (全9種類) である。本研究では, 円形 (Circle), 正方形 (Square), 三角形 (Triangle) の英単語の頭文字から, それぞれを C, S, T と呼ぶことにする。また, 直径 2cm, 3cm, 4cm の円形基礎に対応する, 正方形基礎を S2, S3, S4 とし, 三角形基礎を T2, T3, T4 とそれぞれ定義した。表1に作製した模型の寸法を示し, 図1に実験の様子を示す。

2.2 偏心荷重が支持力に与える影響

荷重の偏心に伴う支持力低下の影響を調べる実験では, 3種類 (円形, 正方形, 三角形) の形状を有するアルミ製の敷板模型を作製し, 敷板中央部

表1 模型基礎の寸法

形状	円形	正方形	三角形	面積 (cm ²)			
	a (cm)	b (cm)	c (cm)				
寸法	C2	2.00	S2	1.77	T2	2.69	3.14
	C3	3.00	S3	2.66	T3	4.04	7.07
	C4	4.00	S4	3.55	T4	5.39	12.57

より偏心量 e を 5mm ずつ増加させて載荷実験を行った。敷板模型は, 直径 50mm の円形と, それと同一面積を有する, 正方形, 三角形である。敷板の厚さは 1mm とした。図2に載荷位置を示す。正方形および三角形に関しては, 中央より長軸方向と短軸方向にそれぞれ載荷実験を行った。本研究では, 長軸方向の偏心量を e_L , 短軸方向の偏心量を e_S と定義した。表2に実験条件および実験名称を示す。

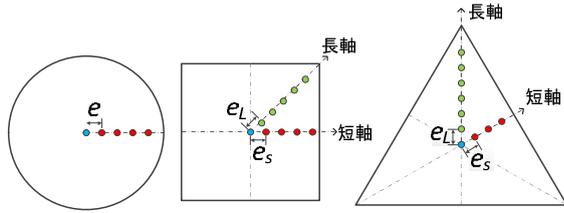


図2 敷板模型の荷重位置

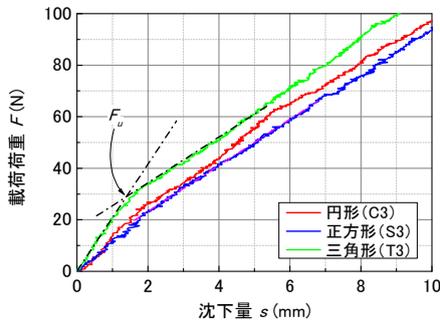


図3 荷重荷重と沈下量の関係

表2 実験条件および実験名称

偏心量 (mm)	円形	正方形		三角形	
		短軸	長軸	短軸	長軸
0	CC	SC	SC	TC	TC
5	C05	SS05	SL05	TS05	TL05
10	C10	SS10	SL10	TS10	TL10
15	C15	SS15	SL15	TS15	TL15
20	C20	SS20	SL20	—	TL20
25	—	—	SL25	—	TL25
30	—	—	—	—	TL30

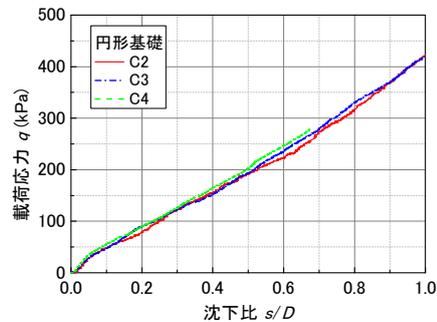


図4 基礎寸法が支持力特性に与える影響

3. 実験結果

3.1 敷板形状が支持力に与える影響

図3にC3, S3およびT3の荷重荷重 F と沈下量 s の関係を示す。荷重の増加に伴い、沈下量も増加し、その傾きは次第に緩くなるものの、荷重-沈下量関係に明確なピークは見られない。本研究では、屈曲点前後の接線の交点を極限荷重 F_u と定義した。

図4は、模型基礎の寸法の違いが試験結果に与える影響を調べるため、大きさの異なる円形基礎の荷重応力 q と沈下比 s/D の関係を比較した図である。沈下比とは、沈下量 s を基礎の直径 D で除した値である。図より、3つの曲線はほぼ一致していることがわかる。すなわち、本研究で作製した模型基礎は、寸法の違いにかかわらず $q-s/D$ 関係が等しいことがわかった。なお、この傾向は、正方形基礎および三角形基礎においても同様の結果であった。

図5に極限荷重 F_u と基礎面積の関係を示す。円形基礎と正方形基礎については明確な差は見られない。それに対して、三角形基礎は、その他の基礎に比べて高い値を示している。作製した3組の模型基礎の面積はそれぞれ等しいため、理論的な接地圧は等しいと考えられる。このように、基礎形状の違いにより結果に差が生じた原因として、基礎の周長の影響が考えられる。表3に模型基礎の周長を示す。面積が同じであっても、基礎の形状の違いにより周長 L_p が異なることがわかる。すなわち、円形基礎の周長に比べ、正方形は1.13倍、三角形では1.29倍である。図6に F_u と L_p の関係を示す。図より、 F_u と L_p には強い正の相関関係が

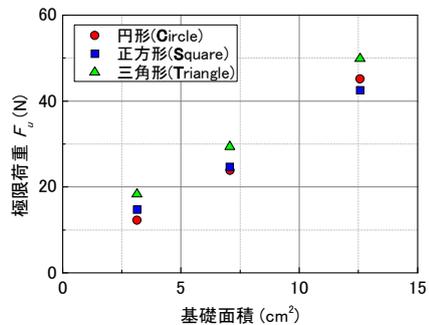


図5 極限荷重と基礎面積の関係

見られ、その相関係数は $R^2=0.91$ であった。以上の結果から、同一面積であっても基礎の周長が大きい場合、極限荷重が大きくなることがわかった。この原因として、周長の増大に伴い地盤と接する部分が大きくなり、荷重が広い範囲に影響したと考えられる。

図7にC2(円形基礎)を基準とした極限荷重比 R_{Fu} と基礎面積比 R_A を示す。ここで、 R_{Fu} は、各極限荷重 F_u をC2の F_u で除した値であり、 R_A も同様に、各基礎面積 A をC2の A で除した値である。なお、同一接地圧条件では、荷重と面積は反比例の関係にあるため、理論値として図中に示した。

C2をアウトリガーフロートと仮定した場合、基礎形状の違いによりやや差はみられるものの、 R_A が大きくなるに従い実験値と理論値はおおむね一

表 3 模型基礎の周長

基礎の形状	円形		正方形		三角形	
周長 L_p (cm)	C2	6.283	S2	7.090	T2	8.081
	C3	9.425	S3	10.635	T3	12.121
	C4	12.566	S4	14.180	T4	16.161

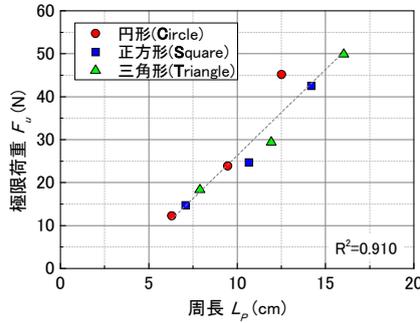


図 6 極限荷重と基礎周長の関係

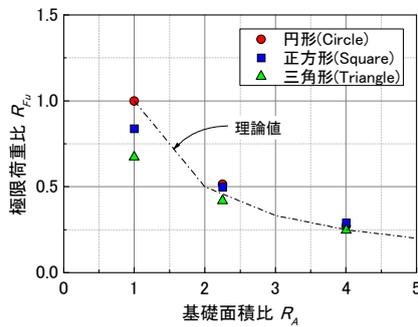


図 7 極限荷重比と基礎面積比の関係

致していることがわかる。このことから、アウトリガーフロートと敷板の面積比から荷重の分散効果を予測可能であることがわかった。

3.2 偏心荷重が支持力に与える影響

円形の敷板模型に対して、偏心荷重を与えた実験結果を図 8 に示す。偏心量の増加とともに、載荷荷重が小さくなっており、偏心量の増加とともに荷重の分散効果が低下している。

各載荷条件での極限荷重 F_u と偏心量 (e_s, e_L) の関係を図 9 に示す。全ての結果において、偏心量の増加とともに極限荷重が一樣に低下している。各形状の結果を比較すると、円形が最も小さく三角形が最も大きいことがわかる。この傾向は、図 6 に示す結果と同じである。また、正方形および三角形における、短軸方向と長軸方向の同一偏心量の F_u を比較すると、正方形については大きな差が見られないのに対して、三角形では $e < 10\text{mm}$ の範囲で、長軸方向の結果がやや高くなっているものの、その他についてはほぼ一致している。

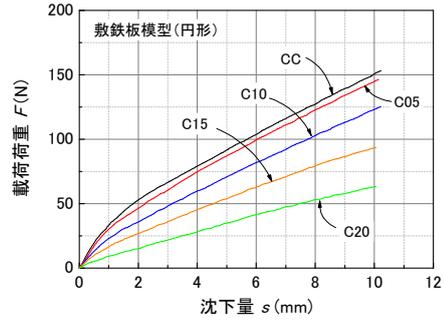


図 8 偏心量が荷重沈下特性に与える影響

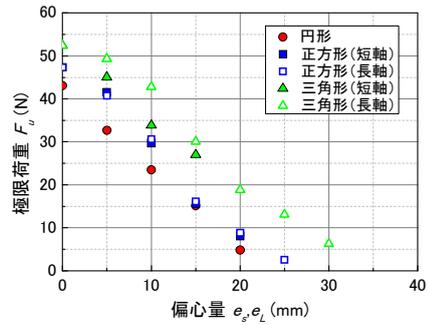


図 9 極限荷重と偏心量の関係

敷板中央からの偏心量が同じであっても、敷板の端部からの相対的な距離が異なるため、一概に評価することはできない。そこで本研究では、荷重偏心の程度を示す指標として、偏心度 R_e を定義した。関係式を式(1)に示す。

$$R_e = \frac{e}{e_{\max}} \quad (1)$$

ここで、 e は偏心量であり、 e_{\max} は敷板模型の中心から端部までの距離を意味している。

図 10 に荷重低減率 R_{Fr} と偏心度 R_e の関係を示す。ここで、荷重低減率 R_{Fr} とは、各極限荷重 F_u を中央載荷条件での極限荷重 F_u で除した値である。図より、結果にはややバラツキがみられるものの、偏心度 $R_e = 0.8$ では、敷板の中央部に載荷した場合に比べ、約 1 割程度にまで減少している。すなわち、敷板の端部にアウトリガーを設置した際には、荷重分散効果が著しく低下することを意味する。それに対して、図中の破線の中のデータは、敷板の中央 1/3 のエリアに載荷した条件の結果を示している。この結果から、中央 1/3 のエリアに載荷した場合には、荷重低減率は 0.8 程度であり、このエリアにアウトリガーを設置した際には、十分な荷重分散効果が期待できることがわかった。

道路橋示方書¹⁾では、偏心荷重を受ける基礎の地盤が破壊状態に達した際に、荷重合力の作用点を中心とする仮想の基礎幅を考え、この部分に荷

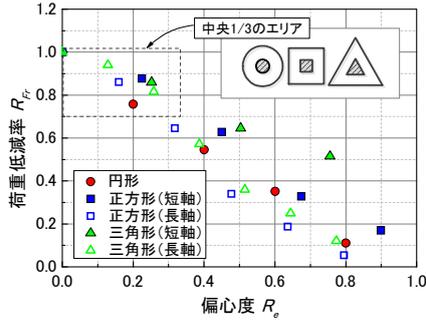


図 10 荷重低減率と偏心率の関係

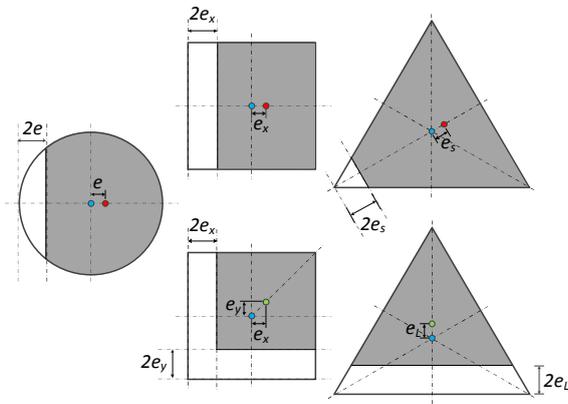


図 11 有効面積の算出方法の概念図

重が一樣に有効に働くとする Meyerhof²⁾の考え方を採用している。本研究においても、同手法により有効面積 A_e を算出し、敷板の面積 A で除して、有効面積比 R_{Ae} を算出した。図 11 に各载荷条件での有効面積の算出方法の概念図を示す。なお、有効面積の算出方法の詳細については、道路橋示方書¹⁾を参照されたい。

図 12 に荷重低減率 R_{Fr} と有効面積比 R_{Ae} の比較を示す。図より、円形については、 R_{Fr} と R_{Ae} はよく対応している。正方形に関しては、ラインより上に分布しており、 R_{Ae} に比べ R_{Fr} はやや高い傾向が見られる。一方、三角形では、結果にバラツキが見られ、長軸方向に载荷した場合はラインの上に位置し、短軸方向に载荷した際には、ラインの下に位置している。 R_{Ae} から R_{Fr} を推定する場合、ラインの上に位置している場合には安全側の評価である。そのため、荷重の偏心率から R_{Ae} を求め、 R_{Fr} を推定することが可能と考えられる。

以上の結果から、アウトリガーフロートの面積と敷板の面積比から R_A を求め、さらにアウトリガー設置位置(偏心率)から有効面積比 R_{Ae} を算出することで、荷重分散を考慮した推定値を算出することが可能と考えられる。

本研究結果から、荷重分散効果の高い敷板の形状は三角形であることが明らかになった。しかし、

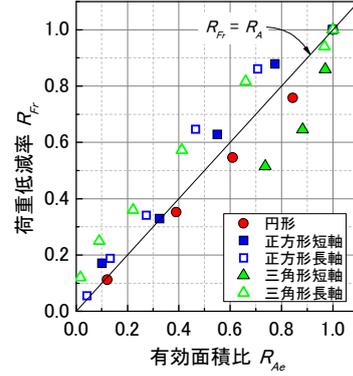


図 12 荷重低減率と有効面積比の比較

正方形と三角形の荷重分散効果の差は 1 割程度であるため、実務で使用する際には、携帯性および移動時の固定のしやすさ等を考慮して、形状を決定する必要があると考える。

4. まとめ

積載形トラッククレーンのアウトリガー接地圧を効果的に分散させるための敷板の形状および荷重の偏心率による分散効果の低減に関する実験を行い、以下の知見を得た。

- 1) 同一面積を有する 3 種類の形状の基礎を作製し、大きさの異なる 3 組の基礎について载荷実験を行った。その結果、同一面積であっても周長の大きな三角形基礎の荷重分散効果が高いことがわかった。
- 2) 荷重の偏心率の増加に伴い、荷重の分散効果が著しく低下することが明らかになった。また、十分な分散効果を期待するためには、敷板の中央 1/3 のエリアにアウトリガーを設置する必要がある。
- 3) 荷重低減率 R_{Fr} と有効面積比 R_A はよく対応していることがわかった。また、アウトリガーフロートの面積および設置位置、敷板の面積から荷重分散効果を推定することが可能と考えられる。

参考文献

- 1) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説，pp.269～294，2002
- 2) Meyerhof, G. G. : The bearing capacity of foundations under eccentric and inclined loads, *Proceedings of the 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, pp.440～445, 1953

3.2. 大規模災害に対応するサイフォン排水技術の開発

—河道閉塞部の緊急排水対策—

国土交通省 関東地方整備局 関東技術事務所 武田 直人

1. はじめに

2004年（平成16年）新潟県中越地震、2008年（平成20年）岩手・宮城内陸地震などでみられたように、地震により生じた大規模な土砂崩落で河道閉塞が発生した場合（図-1¹⁾）は、湛水部の水位が上昇し決壊などによる被害が想定されるため、仮排水路を設置するまでの間の緊急排水対策が必要となる。

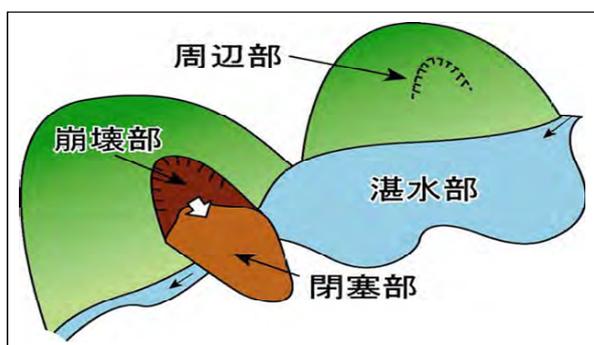


図-1 河道閉塞状況の例

2. 開発の背景と目的

仮排水路設置までの緊急排水は、これまでポンプ排水で行ってきたが、排水ポンプ運転には大量の燃料が必要となり、燃料輸送には大きな手間とそのコストがかかり、被災現場では輸送路確保が困難な場合も多いことから、これを軽減する新たな排水方式が求められている。

これを受けて、2009年（平成21年）3月に公表された「大規模な河道閉塞（天然ダム）の危機管理のあり方（提言）」²⁾においても、大容量排水技術（サイフォン等）について開発・検討を進め、実用化の際には適用範囲を明確化すべきであるという考え方が組み込まれた。

そこで、これまでの事例から災害現地の状況などを調査・検討するとともに、河道閉塞における湛水部の水の位置エネルギーを利用するサイフォン排水（図-2）の適用性の判断のため大口径（φ400mm）の実験管路によるモデル実験を行った。

3. サイフォン排水技術の導入検討

3.1 サイフォン排水技術の特徴と導入課題

ポンプ排水は、排水運転の間に継続して発電機の燃料補給を必要とするが、サイフォン排水は、サイフォン起動時に真空ポンプを短時間運転するのみで、それ以降は動力を必要としないことから燃料輸送の手間はかからないため、燃料輸送に苦慮したと言われているポンプ排水での課題を解消できるといえる。

これまでサイフォン排水は、河道閉塞が発生した場合に実施要望はあったが、実際の設置・排水運転の知見がなく、まだ現場導入の実績はなかった。

3.2 サイフォン排水技術の適用限界

サイフォン配管内の圧力は、配管頂部で最低

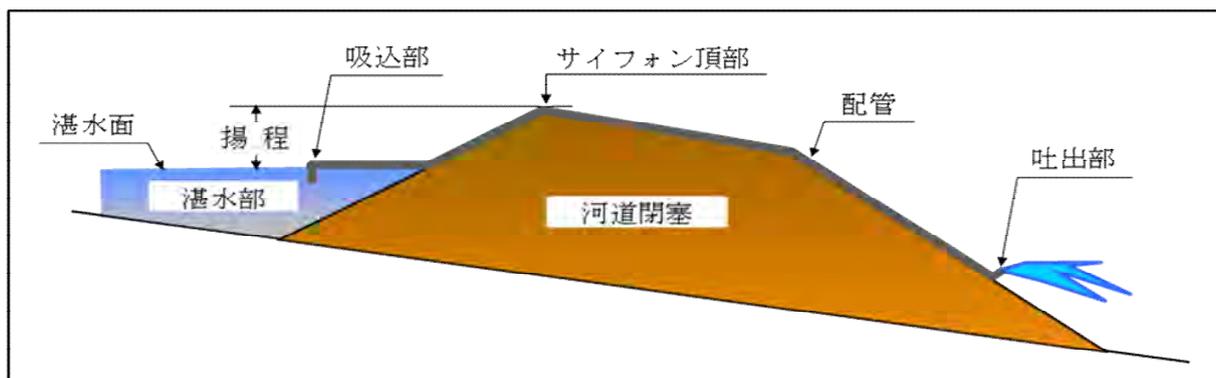


図-2 サイフォン排水のイメージ図

(最大負圧)となり、その限度は理論上-10.3mまでとされるが、実際には、圧力が下がると、水中から気泡が発生し頂部に溜まってしまうので、サイフォン頂部の限界圧力水頭は-7m~-8.5mにとるのが実用的とされている³⁾。

しかし、これまで河道閉塞での実績がないことから、前述のサイフォン形成の実用的な限界を適用することが可能であるかを確認する必要があった。そこで、揚程に対する圧力水頭を計算し、水理計算上で限界圧力水頭-8.5mを越え十分な負圧を得られる条件として、圧力水頭

-8.9mが得られる揚程7mを適用限界の条件として設定した。

4. サイフォン排水モデル実験の内容

4.1 モデル実験の目的

前述のとおりサイフォン排水技術の導入課題を解消するため、サイフォン排水の適用条件を確認する必要がある。そこで、サイフォン排水の限界条件が正しいかどうか、実大規模のモデル実験で確かめてみることにした。

4.2 モデル実験設備

実験設備(図-3・写真-1)は、多摩川の二

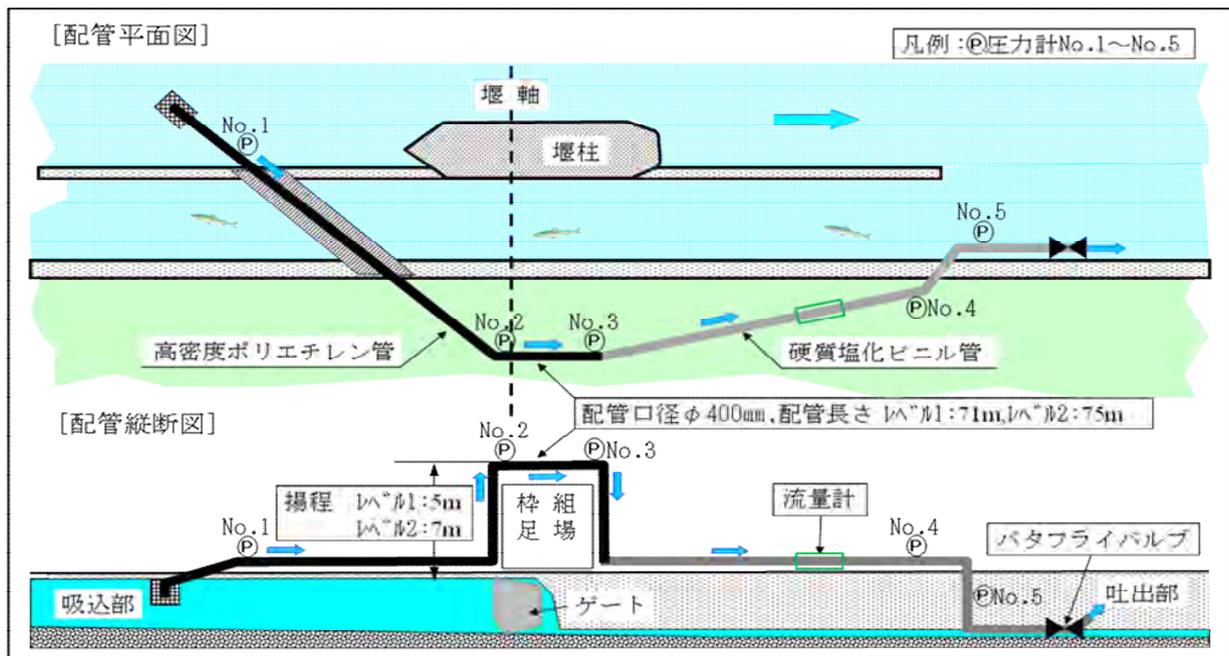


図-3 モデル実験の配管図



写真-1 モデル実験設備

ヶ領宿河原堰の湛水を河道閉塞で生じた湛水部に
見立て、枠組足場で河道閉塞部を模擬し、こ
れを乗り越えて下流側の河床に排水するものとし
た。河道閉塞部を乗り越える配管の水面から
の高さは 5m (レベル 1 : 配管長 71m) と 7m
(レベル 2 : 配管長 75m) の 2 条件を設定した。
配管の 5 箇所 (No.1~No.5) に圧力計を設
置し、吐出部にバタフライバルブ (以下バルブ
とする。) を設置した。また、配管材料は現場
条件などにより選択することを考慮して、今回
の実験では、吸込部から枠組足場を乗り越える
間には高密度ポリエチレン管とし、それ以降吐
出部までは硬質塩化ビニル管を用いた
(図-3)。

5. サイフォン排水モデル実験の結果

5.1 サイフォン形成試験 (レベル 1)

この試験は、サイフォンを形成する手順の習
得及び排水時の流量と配管各部圧力の関係を把
握するために行った。サイフォン排水は、まず
吐出側バタフライバルブを閉じて真空ポンプ
(排気能力 $1\text{m}^3/\text{min}$) により配管内の空気を排
出して管内を充水した後、バタフライバルブを
段階的に開放することでなめらかに排水が始ま
ることを確認した。

真空ポンプで充水作業を行いサイフォンを形
成させた後、バルブを段階的に開けて排水しな
がら計測した各部 (No.1~No.5) 圧力と流量
の記録を図-4 に示す。バルブを開き流量の増
加につれて配管内の各部圧力は低下し、最大流
量時点で各部の圧力は最小 (最大負圧) となる。
配管頂部の No.3 の圧力は約-63kPa となった。

最小圧力となる配管頂部の No.3 の圧力を水

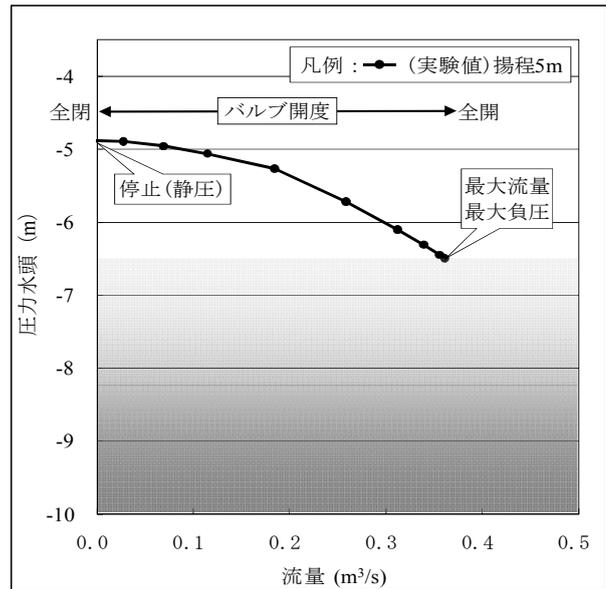


図-5 流量と配管頂部の圧力水頭 (レベル 1)

柱換算でメートル表示した数値とバルブを段階
的に開いた際の流量との関係を図-5 に示す。
最大流量時点で最小圧力水頭が約-6.5m とな
った。このとき、配管頂部の透明管において気泡
の発生は確認されてなかった。

このような排水までの操作手順を習得してか
ら次に示す試験を実施した。

5.2 サイフォン適用限界試験 (レベル 2)

この試験は、前述のとおりサイフォン排水で
は配管頂部で負圧となりサイフォン排水を形成
できる圧力水頭の限界があると考えられること
から、水理計算上で限界と考えられる条件 (揚
程 7m) での試験を行い、気泡の発生や配管挙
動について確認したものである。

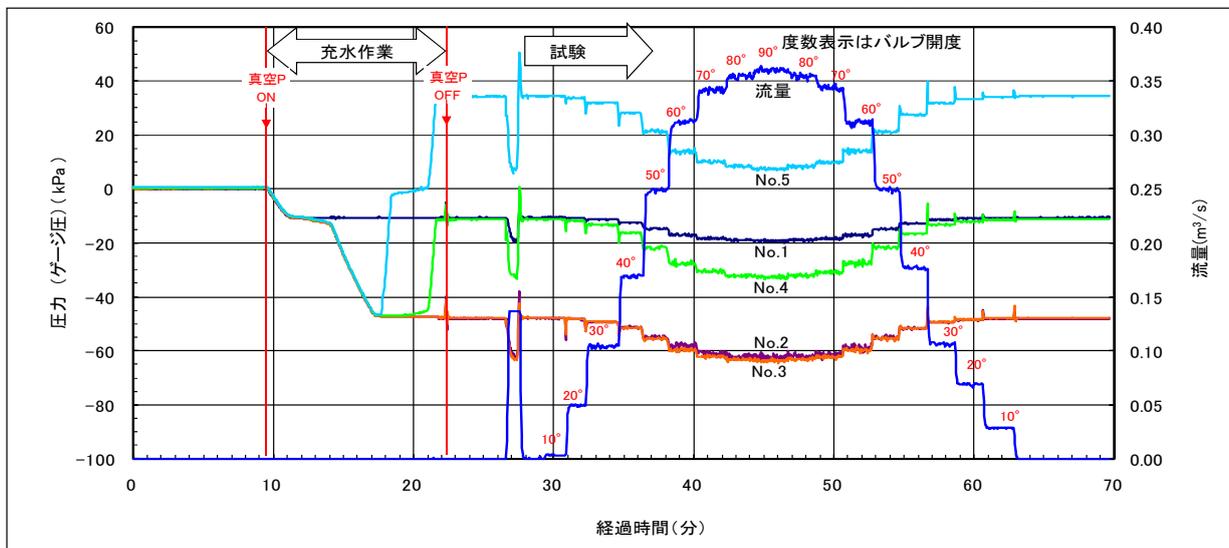


図-4 時間経過による各部圧力と流量 (レベル 1)

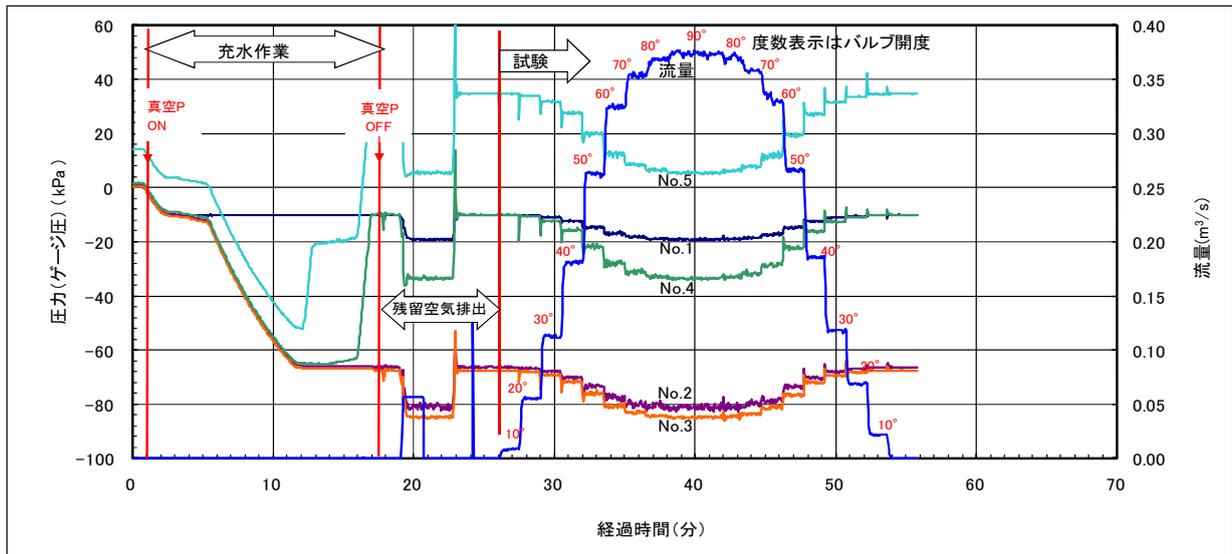


図-6 時間経過による各部圧力と流量（レベル2）

レベル1と同様な操作を行い各部圧力と流量を計測した関係を図-6に示す。残留空気を排出し管路を満水状態とした後、バルブを開き流量の増加につれて配管内の各部圧力は低下し、No.3の最小圧力は約-85kPaとなった。

レベル1と同様に水柱換算した圧力を図-7に示す。最大流量時点で最小圧力水頭が約-8.7mとなった。このとき配管頂部の透明管において気泡の発生が確認されたが、空気の滞留や配管への異常な振動などの影響が認められなかったことから、適用限界として設定した揚程7m程度が安定的な排水の限度と考えた。なお、

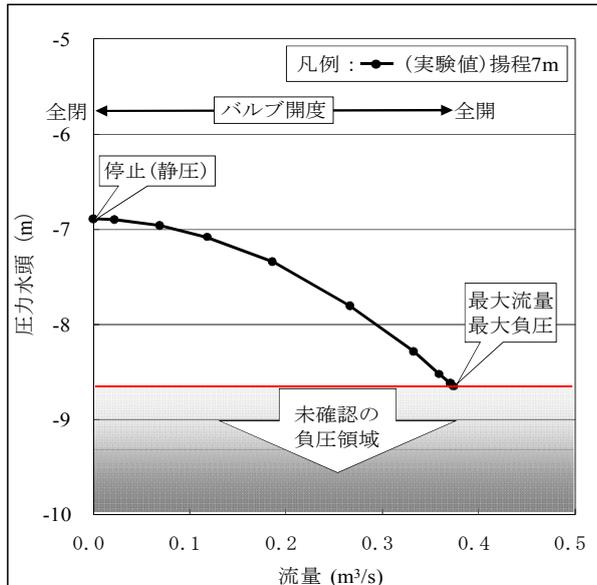


図-7 流量と配管頂部の圧力水頭（レベル2）

参考にバルブ開度の各段階毎のNo.3の水柱換算値を表-1に示す。

5.3 滞留空気の排出試験（レベル2）

配管頂部が負圧となるサイフォン配管では、気泡が発生し空気の滞留があると流れが分断されることが懸念されている。その配管頂部に空気が滞留する原因としては、サイフォン形成する際、配管内を満水にする操作で空気排出が不十分であった場合や、配管にわずかに空気漏れがあるため排水停止状態で放置している間に溜まる場合などが想定される。

しかしながらこの試験では、圧力水頭が約-6.9mのとき、配管頂部に空気が滞留している状態でも、排水を開始すれば空気塊は流れに乗って排出されることを確認した（写真-2）。また、試験では管断面の半分程度まで空気が溜まった状態においても排水できることを確認している。

5.4 モデル実験結果の考察

(1) 揚程7mを越える場合の排水方法

河道閉塞では、その規模・形態が様々であることから、モデル実験で得た安定的な排水限度である揚程7mを越えないように設定すること

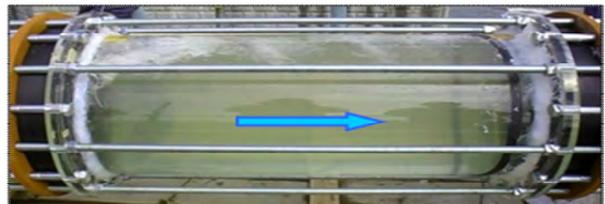


写真-2 滞留した空気が流される状況

表-1 (実験値) バルブ開度による流量と配管頂部の圧力水頭

バルブ開度 (°)	0(全閉)	10	20	30	40	50	60	70	80	90(全開)
圧力水頭 (m)	-6.89	-6.90	-6.96	-7.08	-7.34	-7.81	-8.28	-8.52	-8.62	-8.65
流量 (m³/s)	0.00	0.02	0.07	0.12	0.19	0.27	0.33	0.36	0.37	0.37

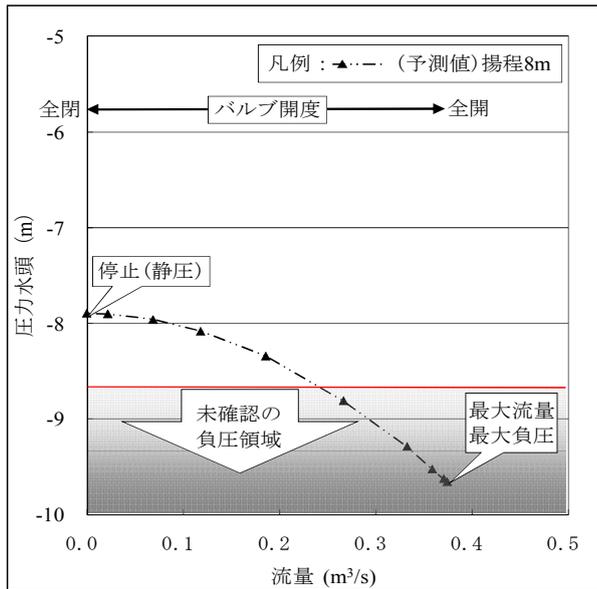


図-8 予測値 流量と配管頂部の圧力水頭（レベル2）

が難しい場合もある。

そこで図-8 は、仮に揚程 8m として、配管の流量と配管頂部の圧力水頭の関係を示す。

これによれば、バルブ全開時の最大圧力が、サイフォン適用限界の理論値-10.3m 付近まで達することから気泡の発生はさらに激しくなるものと予想される。このとき、排水に不都合を生じるようであればバルブ開度を閉じ加減にして流量 0.25m³/s 程度を維持すれば、圧力水頭は適用限界試験で確認した値（約-8.7m）まで回復し、流量は減少するものの安定して排水できることが推測される。

(2) 配管条件の変更による計算結果

河道閉塞は、その規模・形態が様々であり、その数だけ配管条件が無数に存在することから、モデル実験に用いた配管の口径や長さを仮に変更した場合について、圧力水頭・流量を計算すると次のようになる（表-2）。

- ① 配管口径を大きく（φ 600mm）した場合は、流量（流速）が増加し、圧力水頭が低下（-8.97m）する。
- ② 配管長を長く（L=250m）した場合は、流量（流速）が減少し、圧力水頭が上昇

表-2 モデル実験の配管条件を変更したときの計算結果

配管条件	圧力水頭 (m)	流量 (m ³ /s)	備考
①揚程7m, φ 600mm ^{*1} , L=75m	-8.97	0.97	*1国内入手可能最大口径(調査結果)
②揚程7m, φ 400mm, L=250m ^{*2}	-8.57	0.26	*2中越地震東竹沢地区のホース長
揚程7m, φ 400mm, L=75m	-8.65	0.37	モデル実験設備

（-8.57m）する。

災害現場においては、河道閉塞の規模・形態が異なることから、その都度現場に合わせて配管ルートと配管条件（口径・長さ）を決めて、配管頂部圧力や流量などの計算チェックをすることが必要になる。

6. 配管継手の要素試験の内容と結果

災害現場に配置される配管は、通常の配管と異なり不整地に設置することから、地表の凹凸に追従可能な特性を備えていることが求められる。そこで、モデル実験で取り上げた2種類の樹脂製の管について、曲げやすさと継手部の性能を把握するため曲げ試験を行った。試験体は、継ぎ手部を含む長さ 20m の管断面の 90%を水で満たした後に管の両端を閉塞させて-80kPaまで残留空気を排出した状態とし、両端をクレーンで段階的に吊り上げて、管体と継ぎ手部の状態を観察した。

6.1 高密度ポリエチレン管（HDPE管）の要素試験

高密度ポリエチレン管の要素試験状況を写真-3に示す。管端の吊り上げ高さは3.5mである。写真-3の状態における曲率半径を求めるとR=19.6mであった。



写真-3 高密度ポリエチレン管の継手要素試験

さらに4mまで吊り上げた結果、管の座屈が生じた（写真-4）。このときの曲率半径はR=8.9mであった。



写真-4 高密度ポリエチレン管の変形状況

6.2 硬質塩化ビニル管（VU管）の要素試験

硬質塩化ビニル管の要素試験状況を写真-5



写真-5 硬質塩化ビニル管の継手要素試験

に示す。管端の吊り上げ高さは 2.5m である。塩化ビニル管は管自体の変形は僅かであり、継手の変形が著しい。

写真-6に示すように継手の下側は5cm抜け出し、上側はめくれるように変形した。このときの曲率半径は $R=13.9\text{m}$ であった。接着式は強制変位を受けたとき継手として十分でなく、吊り上げを止めたときには当該箇所水漏れが確認された。



写真-6 硬質塩化ビニル管の変形状況

6.3 要素試験結果の考察

高密度ポリエチレン管の継手に用いたフランジ継手は、管本体に座屈が生じても支障がなかったことから、管本体に比べて堅固であることが解った。

硬質塩化ビニル管の継手に用いた接着式継手は、管本体より先に変形を生じて気密保持が困難となった。災害現場での使用には可とう性継手を用いる必要があることが解った。

7. 結論

これまで河道閉塞でサイフォン排水の導入実績はなかったが、今回、実大規模のモデル実験を行った結果、サイフォン排水技術が適用可能であることが解り、サイフォン排水手法を確立することができた。

このことから、河道閉塞の緊急排水対策の新たな選択肢として位置付けられるものと思料する。

7.1 モデル実験の条件

- (1) 適用条件は、揚程7m、配管口径 $\phi 400\text{mm}$ 、配管長75m
- (2) 適用システムは、実験設備の機器構成である樹脂製配管、サイフォン形成時に必要な真空ポンプおよびバタフライバルブ

7.2 サイフォン排水適用性の判断

災害現場を想定し一例として、表-2の①と②の条件を組み合わせた場合には、表-3に示すとおり、圧力水頭はモデル実験で確認したサイフォン排水の実用的な限界値に達しない値であり、流量は口径を大きくしたことで増加することが分かり、サイフォン排水が適用できると判断される。

このように、災害現場でモデル実験に用いた

表-3 配管条件を組合せたときの計算結果

配管条件	圧力水頭 (m)	流量 (m^3/s)	備考
揚程7m, $\phi 600\text{mm}$, L=250m	-8.63	0.69	表-2の①と②の 組合せ
揚程7m, $\phi 400\text{mm}$, L=75m	-8.65	0.37	モデル実験設備

条件を変更して適用する場合でも、配管の口径や長さなどの要素から、水理計算により圧力水頭を求めて検討を行うことにより、サイフォン排水適用性の判断ができると考える。

7.3 樹脂製の管の選定

災害現場の条件によりやむを得ず極端な不陸に配管を設置しなければならない場合は、曲率半径が小さくとれる配管材料を用いて曲げに対して強い継ぎ手構造を選択する必要がある。また、ある程度の整地がなされているような現場であれば配管材料の選択肢は多くなるといえる。

8. おわりに

サイフォン排水技術は、まだ現場に導入された実績はないが、大規模な河道閉塞が発生した際には、本技術を適用することで、災害現場において燃料輸送を行うことなく排水作業が可能になると考えられる。特に長期に渡る排水作業が必要となる現場では、その効果が大きくなるものと期待される。

今回は実大規模のモデル実験を行った結果、サイフォン排水技術が適用可能であることを報告することができた。今後は、災害現場の悪条件に対して、機動的に設置することが必要であるため、機材の備蓄方法の検討や機材の改良設計の検討を進めて、災害の実例を反映して設置方法の習得をしていきたいと考えている。

謝辞：本論文の作成にあたり、関東地方整備局京浜河川事務所の方々にはモデル実験の現場提供に御協力頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所:天然ダム監視技術マニュアル(案), 土木研究所資料第4121号, p.2, 2008.12
- 2) 国土交通省 大規模な河道閉塞(天然ダム)の危機管理に関する検討委員会:大規模な河道閉塞(天然ダム)の危機管理のあり方について(提言), 3.天然ダムの危機管理のあり方 3-5対策工事(2)排水対策, 2009.3
- 3) 社団法人土木学会:土木工学ハンドブック第四版 I, p491, 1989.11

3 3. 軌道レール温度上昇抑制工法の開発

(株)NIPPO 技術開発部 ○片岡 直之
同上 相田 尚

1. はじめに

鉄を主成分とするレールは、温度の変化により伸縮する。夏季に発生するレール張り出し現象は、レール温度の上昇による延伸が要因の一つと考えられ、脱線事故にも繋がりがねない重大な問題である。これに対し、レールの温度管理や道床の座屈防止板等の構造的対策（写真-1）など、日々の保線作業により未然に予防されている。



写真-1 レール張り出し対策例¹⁾

しかし、近年の酷暑によりレール温度が広域にわたって許容範囲を超えるような場合、最優先で緊急保線作業が実施されるものの、危険箇所の特定は難しく、また構造的対策の大半は営業中の軌道への適用には向かない。酷暑日が続けば、その対応が通常業務を逼迫することとなる。従って、夏季におけるレール温度の上昇を抑制できる対策が求められていた。

一方、舗装や建物の屋根などでは、夏季の温度上昇抑制対策の一つとして遮熱技術が適用されている。遮熱技術とは、太陽光のうち物質を温める作用のある赤外線域を効率的に反射する塗料（図-1）を塗布することで温度が上昇するのを抑制する技術である。

この遮熱技術をレールに応用すべく検討を行い、専用の遮熱性塗料、塗布機および洗浄システムを開発し、軌道レール温度上昇抑制工法として実用化した。

本文では、開発の経緯とともに施工例とその効果などについて報告する。

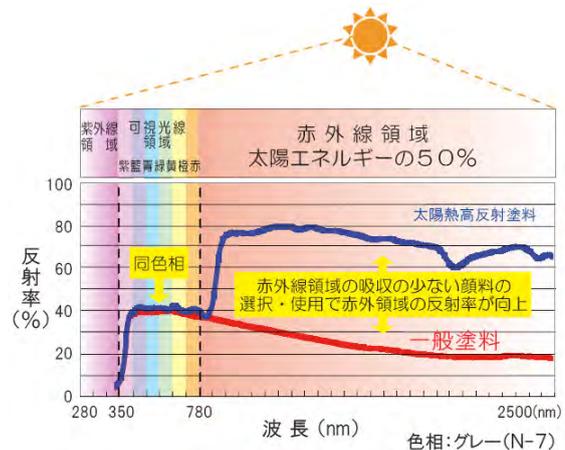


図-1 遮熱塗料の反射率の一例²⁾

2. 軌道レール温度上昇抑制工法の概要

当該工法は、レール側面に専用の遮熱塗料を塗布することでレールの温度上昇を抑制するもので、長距離にわたり適用する場合には、施工性に優れた専用塗布機により効率的に施工可能である。また、供用によって塗料面に付着するレール特有の汚れは温度上昇抑制効果の低下原因となるため、洗浄性の高い専用塗料に加え、年1回程度の洗浄により効果を維持・回復し運用する。長距離にわたる洗浄には、新たに開発した洗浄システムを適用することができる。



3. 開発の経緯および課題

実際の現場においてレールの温度上昇抑制効果が求められる個所、範囲および対応の早さなどを勘案し、既設レールを対象とした対策として工法開発を進めることとした。

まず、他の分野でも実績のある一般的な水性の遮熱性塗料を用いた試験を実施した結果、実用化に向けてレール特有の汚れへの対応や施工性に課題があることがわかった。

3.1 汚れによる影響

既設レールの表面には、錆、オイルおよび金属摩耗粉³⁾などによる複合的な汚れが発生する。供用箇所や周辺環境などによってその汚れの質や進行具合などは大きく異なぐ、こういった汚れが塗料面に付着することで赤外線域の反射効率が低下し、温度上昇抑制効果を低下させる原因となる。

そこで、塗料面の汚れ具合がどの程度、レールの温度上昇抑制効果に影響するかを確認するために室内試験を実施した。

(1)室内照射試験

長さ 20cm に切り取ったレールを供試体とし、垂直、水平の 2 方向から等距離でランプ照射し加温することで、汚れ具合による温度上昇抑制効果への影響を相対的に評価した。図-2 は、汚れ具合毎のレール温度の推移を示したものである。

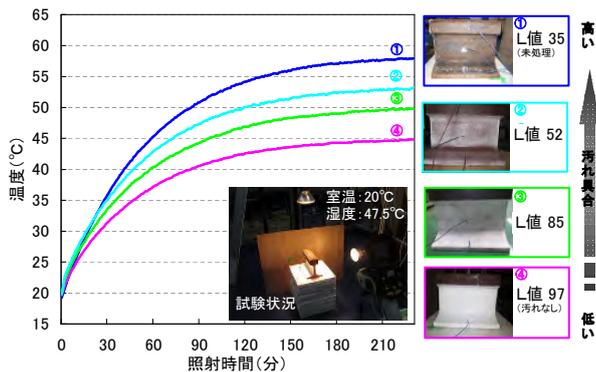


図-2 汚れ具合 (L 値) 毎の温度上昇抑制効果比較

汚れ具合の再現としては、錆に近い色として茶色のラッカースプレーを遮熱塗料面上に徐々に重ね塗りし、その具合を明度 (L 値) で確認することとした。L 値が小さいほど汚れ具合が高いことを示している。

試験結果としては、汚れ具合が高くなるとともに温度低減効果が低下することがわかった。

(2)汚れの除去について

汚れにより効果は低下するものの、それを除去

することにより塗料面が露出され、効果は回復すると考えられた。

しかし、一般の水性遮熱塗料を用いた場合、塗料表面に汚れが固着し半年程度の経過ではほぼ除去できない状態となった。

供用による汚れの付着は不可避であり、塗装面の自浄作用あるいは、簡単に汚れを除去できるといった塗料の開発が重要であると考えられた。

3.2 施工性

試験施工として、人力による塗布 (ハケあるいはスプレーヤーによる) を実施したが (写真-3)、バラスト上という不安定な状態での中腰作業となり、ある程度の距離を施工するとなると施工性や安全性に問題が残った。



写真-3 人力による塗布施工例

また、軌道内での作業は営業時間外の夜間作業となる場合が多く、時間的制限を受けることが想定された。

従って、限られた時間内に安全かつ効率的に施工できる機械が必要であると考えた。

4. 軌道レール温度上昇抑制工法の開発

以上の課題について検討し、専用の塗料、塗布機および洗浄システムを開発することとした。

4.1 専用塗料

供用により塗料面に付着するレール特有の汚れに対して、洗浄性の高い専用の遮熱性塗料を日本ペイント (株) と共同開発した。

(1)洗浄性

洗浄性の向上には、自浄作用や親水性等の機能を塗料に付加する手法があり、実軌道にて表-1 に示す5手法の試作塗料を用いて比較評価を行った。写真-4 は、4 ヶ月間供用した後、ウエスにて汚れを拭き取った状態の写真である。

表-1 試作塗料の概要

試作塗料	効果の概要
A	従来の遮熱性塗料を透明の高親水層で覆う2層仕上げ
B	光触媒活性機能により塗膜表面を分解し汚れを除去する
C	特殊機能により汚れに因らず温度上昇抑制効果を維持する
D	フッ素樹脂を配合した表面の硬度、平滑性が高い塗料
E	親水性を高め雨水により汚れを除去する

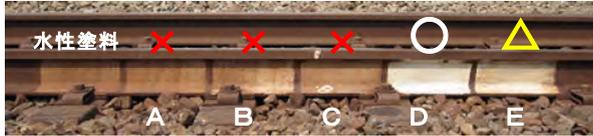


写真-4 4か月供用後の洗浄性試験結果

その結果、自浄作用は殆ど効果がなく、塗料面の硬度、平滑性、親水性を高めるために樹脂を添加した塗料が最も洗浄性が高いことが確認できた。

(2)密着性

通常の塗装工程の場合、塗装前に塗装する面に付着している錆汚れ等を除去するが、当該工法では時間的制約やコスト面を考慮し、工程を増やすことは難しいと判断した。

レール汚れの大半が錆であることを踏まえ、下地からの影響を最小限にすべく、ぬれ性や表面張力などを調整した。

(3)経済性

試験結果より、フッ素樹脂を配合した塗料が最も洗浄性が高いことが分かったが、非常にコストが掛かることが懸念された。

そこで経済性を考慮し、今回の試験に基づいて表面硬度、密着性、親水性を高めた樹脂の配合を行い、ポリウレタン系をベースとしたレール専用の遮熱性塗料を開発した。

4.2 専用塗布機

軌道上を走行しながら、レールの側面に塗料を塗布する専用の塗布機械の開発にあたり、以下の3点に主眼を置いた。

(1)人力による搬入、搬出可能

軌道周辺での機械使用には、架線や電気施設等の破損といったリスクが伴う。また軌道上での作業中、緊急的に軌道外へ退去する場合などを考慮し、人力にて搬入、搬出ができるようにした。

(2)レール側面（4面）を同時に塗布可能

レール頭部を除くレール側面を一層仕上げで塗装するために、ノズル、ポンプおよび施工速度な

どについて試験を行い選定した。レール塗布の概念図を図-3に示す。

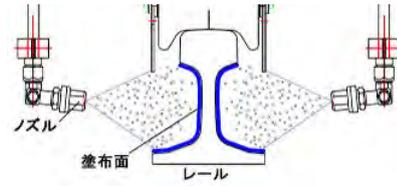


図-3 レール塗布の概念図

各ノズルは、それぞれ独立したバルブで操作可能であり、1～4面塗装は任意で選択可能である。

(3)3 軌間に対応

国内には3種類の軌間があり、それぞれに対応できるように車軸にスペーサを脱着することで、車輪間幅を可変できる構造とした（写真-5）。



以上を織り込み完成した専用塗布機を写真-6に、機械の主要緒元を表-2に示す。



写真-6 専用塗布機

表-2 塗布機の主要緒元

全台車荷台寸法	1,322mm×1,200mm
速度	0～100m/min
作業速度	10～20m/min
動力	発電機 EF5500SDE
	騒音レベル (58～64dB) 7m
軌間距離	1067,1372,1435mm可変式

4.3 洗浄システム

長距離にわたり洗浄作業を人力で行うことは容易ではなく、機械施工が必要と考えた。そこでライフサイクルコスト等を勘案し、装置本体は専用塗布機をベースとする安価なシステムとして開発を進めた。

洗浄手法や洗剤に関して実軌道で様々な要素試験を実施した。その結果、「洗剤発泡散布→特殊形状ブラシによる汚れ掻き出し→スポンジによる拭き取り→すすぎ」の一連の洗浄方法を連続的に行う洗浄システムとし完成させた（図-4）。



図-4 洗浄ユニットのイメージ

当該システムは、専用塗布機に洗浄ユニットを載せ替えた搭乗式であり、洗剤発泡ユニット、ブラッシングユニットおよびすすぎユニットで構成され、それぞれ人力で搬入、搬出可能である。

洗剤の散布は、油污れの堆積した箇所にて有効であり、錆び汚れ程度では省くこともできる。

4.4 本工法の特長

(1) レール温度上昇抑制効果

レール温度上昇抑制効果を確認するために、切り取りレールの照射試験（写真-7）を行い、表面および内部温度を測定した（図-5）。



写真-7 室内照射試験一例

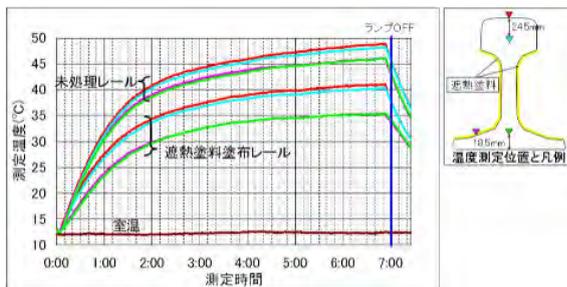


図-5 照射試験のレール温度測定結果例

その結果、未処理のレールに比べ、表面、内部温度ともに10℃程度低減することを確認した。

(2) 保線作業の軽減

鉄道事業者は、営業路線のレール温度を管理し保線作業に反映している。夏季においては、45℃あるいは50℃を基準とする場合が多く、その温度を越えた段階で、緊急の保線点検を最優先で実施することとなっている。

従って、レール温度を下げることで緊急の保線点検回数の低減が期待できるものと考えられる。

(3) 効率的な施工

専用塗布機を適用することで均一かつ効率的に塗布可能である。

(4) 洗浄性に優れる

塗料が洗浄性に優れるため汚れを除去しやすく、それにより継続的に効果を維持することができる。

4.5 適用箇所

以下のような箇所を抽出し適用することが効果的と考えられる。

- ① レールの張り出しが多い区間
- ② 保線点検回数が多い区間
- ③ ポイント部（可動部）周辺

5. 実施例と効果

平成21年度から現在まで、8箇所の実軌道で実施し、そのうち4箇所が機械施工（写真-8）であり、塗布機に関して所定の施工能力があることを確認した⁴⁾。また、それぞれの箇所で温度測定や洗浄性などについて追跡調査を行っている。



写真-8 塗布機による施工状況

5.1 レール温度上昇抑制効果

全ての適用箇所で温度上昇抑制効果が得られたものの、施工箇所毎で効果にバラツキが生じた。これは、日照条件や軌道・周辺環境などの影響によるものと思われる。その一例として、異なる2箇所の測定結果を図-6、7に示す。

なお、温度測定は熱電対を遮熱処理レールと未処理レールに設置し行った。設置位置は互いの温度影響がない範囲で、供用環境が同じとなるようできるだけ近くにした。

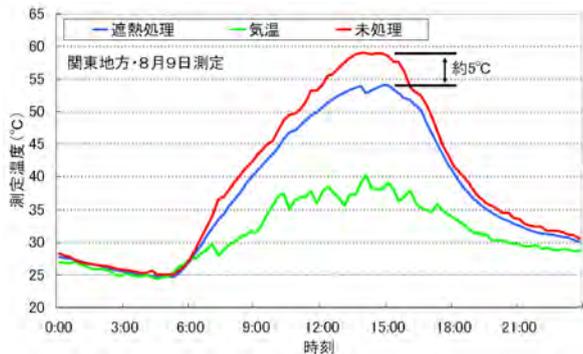


図-6 実軌道レールの温度測定例①

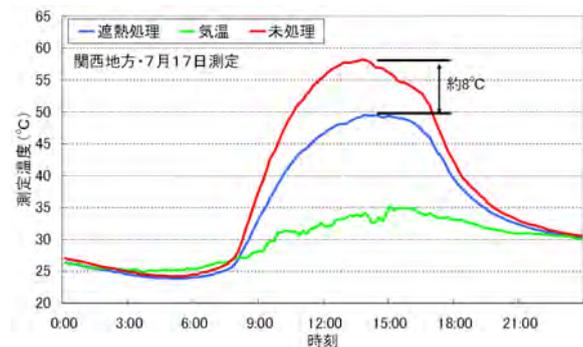


図-7 実軌道レールの温度測定例②

平成 23 年 7 月 1～31 日までの期間で、レール最高温度の日数を比較した結果を図-8 に示す。これより、45℃以上の日数が 21 日→12 日と半減されていることが確認できた。

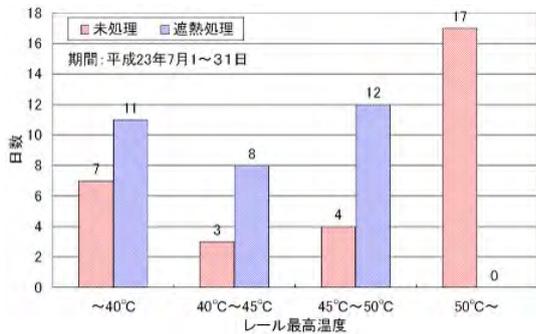


図-8 実軌道でのレール最高温度毎の日数比較

5.2 洗浄性

洗浄性に関して、あえてオイルが混在する汚れの状態が厳しい区間を選定し、昨年度から継続して追跡調査を実施している。平成 23 年 7 月で供用 10 ヶ月となった状態で未洗浄部分の洗浄を行い、どの程度汚れを除去できるかを、その前後の明度を測定し比較を行った (写真-9)。

その結果、4 ヶ月間未洗浄の場合と比較すると若干値は低くなるものの、初期値に対しては 90%程度回復することが確認できた (図-9)。



写真-9 洗浄性確認試験結果 (オイル汚れ)

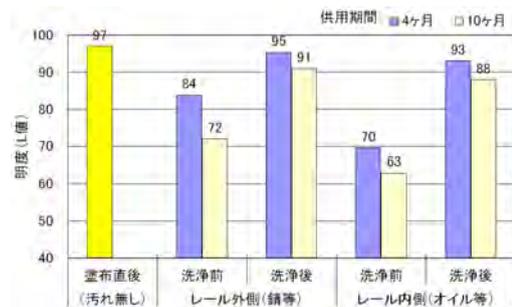


図-9 実軌道における洗浄性確認結果

さらに、洗浄によってどの程度温度上昇抑制効果が回復するかを確認するため、洗浄の前後の同じような気温となる 2 日のレール温度変化を比較した (図-10)。

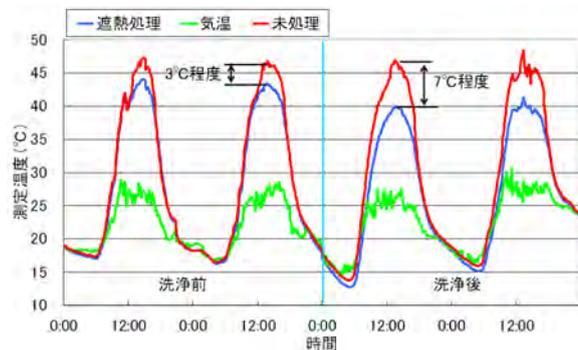


図-10 洗浄による効果の回復

結果としては、洗浄前で 3℃程度だった効果が、洗浄後に 7℃程度となった。塗布直後で 7～10℃程度の効果が得られていたことから、初期段階に近い状態まで回復したと思われる。

これらの結果から、汚れの質や進行具合にもよるが、洗浄頻度は年 1 回あるいはオイルなどが混在する汚れの状態が厳しい箇所では年 2 回程度で効果を維持・回復するといった運用が可能と考えられる。

また、表面性状に関しては供用約1年を経過し、目視による確認ではあるが、大きな変化は見られない。

5.3 レール洗浄の実施例と効果

施工から約1年が経過した施工箇所（約300m）において、洗浄システムを用いたレール洗浄を実施した。

(1)施工性

搬入や搬出などの時間を除き、1.5時間で約300mの区間を洗浄完了したことから、施工能力としては時間あたり200m程度であった。

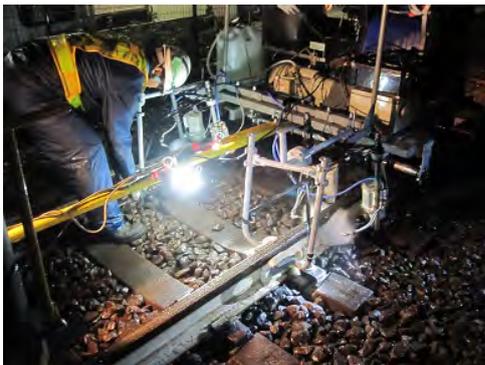


写真-10 洗浄状況（ブラッシングユニット）

(2)洗浄効果

洗浄後の明度を測定し結果、初期値97に対して85（約88%）まで回復した。



写真-11 洗浄前後の状況

6. まとめと今後の課題

(1)当該工法の評価

これまでの施工実績から、実軌道において以下のことが確認できた。

- ① レールの温度上昇抑制に効果があること
 - ・温度上昇抑制効果は、3～8℃程度
- ② 供用による汚れに対する洗浄性

- ・供用後1年経過時でも汚れが落ちる
- ③ 洗浄によって効果を維持・回復できること
 - ・洗浄後、温度上昇抑制効果が3℃→7℃に回復
- 当該工法の最大の目的であるレールの温度上昇抑制効果は、施工箇所により差があった。施工地域の日射角度、湿度等の環境による影響、また、バラスト、枕木等軌道全体からの輻射熱による影響との関連も検討の余地がある。
- しかし、いずれの施工箇所においても、レール温度上昇時の緊急出動回数は温度低減効果により大幅に減る結果となった。

(2)施工方法

専用塗布機および洗浄システムにより、長い適用箇所において人力施工に比べ安全で効率的な連続施工が可能になった。今後、夜間の限られた規制時間内の施工に対応するため、機械のシンプル化や準備・撤去作業の簡素化について更に改善する必要がある。

7. おわりに

遮熱塗料は、節電・省エネへの関心の高まりから省エネ塗料などとも呼ばれホームセンターなどでも手軽に購入できるほど一般に普及している。こうした塗料の普及はその利便性から、環境ビジネスに新しい方向性を見出すこととなり、当該工法を開発するきっかけの一つともなった。

レールの張り出しという重大事故に繋がる事象の防止策の中で、現位置で任意の箇所に塗料を塗ることで効果があるとすれば、その機動性と利便性は様々な箇所に適応する可能性を秘めていると考える。

今回、当該工法の開発にあたって、鉄道保線業務の実態の一部に触れることができたが、昼夜問わず公共交通の安全を管理する努力に敬意を表すとともに、当該工法がその一助となれば幸いである。

最後に、実軌道での試験施工および追跡調査に御協力頂いた鉄道事業者の皆様にご誌面を借りて御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 櫻井一樹, 山田啓介, 柳沼謙一: 工事作業直後の軌道状態を再現した軌道変状防止対策の効果確認試験, 第15回鉄道技術・政策連合シンポジウム, pp.567～570, 2008年
- 2) 日本ペイント(株)HP: <http://www.nipponpaint.co.jp/>
- 3) 伴巧: 車輪とレールの間に介在する物質が起す現象, RRR, pp.10～13, 2008年8月
- 4) 相田尚, 片岡直之: 軌道レール温度上昇抑制工法の開発と実施例, 建設の施工企画, pp.58～62, 2011年6月

3.4. 新型二軸攪拌混合機の開発とフィルダム堤体改修工事への導入

(株)フジタ建設本部土木エンジニアリングセンター機械部 ○ 三鬼 尚臣
 (株)フジタ建設本部土木エンジニアリングセンター設計部 福島 伸二
 (株)フジタ建設本部土木エンジニアリングセンター機械部 渋谷 光男

1. はじめに

築造年代が古いフィルダムやため池は老朽化に加えて、大規模地震の逼迫性や気候変動などの新たなリスクの顕在化によって早急な改修を必要とするものが多い。しかしながら、最近では堤体改修に必要となる良質な築堤土を現場近郊で入手することが困難になっており、また貯水池内に堆積した底泥土の外部廃棄処分も困難な状況にある。

砕・転圧盛土工法はこの問題を解決すべく開発されたもので、底泥土をセメント系固化材により固化改良して築堤土に活用し、堤体改修と底泥土の除去処分を両立させた環境負荷の少ない工法として注目されている。

従来方法では、トレンチャー型攪拌混合機を使用して底泥土の初期固化改良を行っているが、トレンチャー型の課題として、施工能力と耐久性の向上が求められていた。そこで新たに二軸回転型攪拌混合機：DAM(DoubleAxialMixing)機の開発を行い、大原ダム堤体改修工事（滋賀県）において、砕・転圧盛土工法の初期固化工程となる攪拌混合作業をDAM機によって実施した。

本稿では、DAM機の攪拌混合性能と耐久性について施工実績を示し、今後の展望について報告する。

2. 砕・転圧盛土工法の概要

砕・転圧盛土工法の概念図を図-1に示す。貯水池に堆積している底泥土とセメント系固化材を攪拌混合して「初期固化土」を生成する。一定の初期固化日数 t_s を経過させた固化途上にある初期固化土を規定の最大粒径 D_{max} に解砕して「解砕土」を生成する。解砕土を一定層厚 35cm 程度に敷均し転圧（この状態を「砕・転圧土」という）して築堤を行う。 t_s と D_{max} を適切に管理することで所要の強度と遮水性を有する築堤土を人工的に製造することが可能である。ダムサイト近傍での材料調達を可能にしたことで、経済的にも環境面においても優れた工法である。

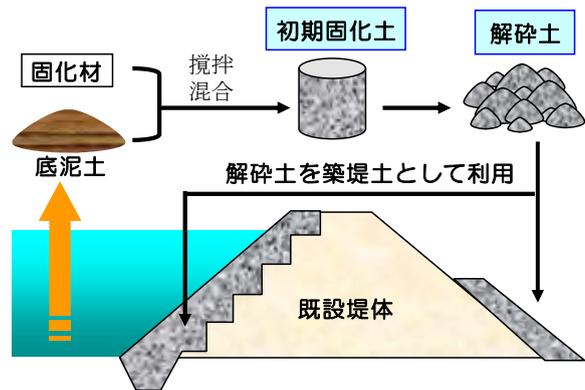


図-1 砕・転圧盛土工法の概念図

3. 砕・転圧盛土工法の施工方法

大原ダムの堤体改修工事では、池内の貯水を空にした後に、仮設工として工事用進入道路、固化ピットヤード、スラリープラントヤードを造成し、準備工として基礎トレンチと既設堤体の掘削を済ませてから、砕・転圧盛土工法による築堤を実施した。砕・転圧土の原料土には、底泥土に堤体掘削土を加えた混合泥土を用いた。図-2に仮設配置図を示す。

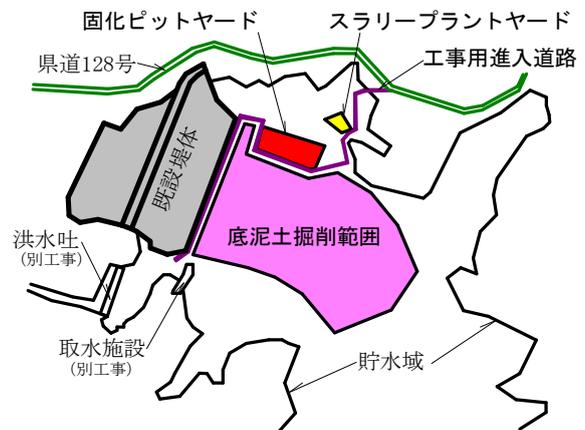


図-2 大原ダムにおける仮設配置図

砕・転圧盛土工法の施工は混合泥土の初期固化、解砕、築堤の各工程からなる。

(1) 初期固化工程

混合泥土の初期固化は、固化ピット内に底泥土、掘削土の順で原料土を投入し、固化材をスラリー化して添加しながら、DAM 機で攪拌混合を行う。目標強度や施工性に応じて、 $t_s=2\sim4$ 日間の初期固化を行う。写真-1 は固化材スラリープラントで施工規模から 2 組を準備した。写真-2 は DAM 機による初期固化状況である。

(2) 解砕工程

解砕工程は初期固化期間 t_s だけ経過した初期固化土をバケット式解砕機により掘削して最大粒径 $D_{max}=200\text{mm}$ で解砕しながら不整地運搬車に積込みを行うものである。

解砕機は、 0.8m^3 級バックホウをベースマシンとして、写真-3 に示す最大力 200kN の押土プレート装着した格子バケットをアタッチメントとしたもので、 D_{max} に合わせた寸法をもつ格子バケットで掘削した初期固化土を押土プレートにより格子間から押し出して解砕・積込みを行うものである。写真-4 にバケット式解砕機による不整地運搬車への初期固化土の解砕・積込み状況を示す。

(3) 築堤工程

築堤工程は解砕土をバックホウで一層毎に撒出し、ブルドーザで一定層厚 $\Delta H=35\text{cm}$ 程度に敷均してから、 15t 級振動ローラにより、 $N=8$ 回転圧して 1 層ごとに築堤するものである。写真-5 に敷均し状況を写真-6 に転圧状況を示す。



写真-3 バケット式解砕機



写真-4 初期固化土の解砕・積込状況



写真-1 固化材スラリープラント (2組)



写真-2 DAM機による初期固化状況



写真-5 解砕土の敷均し状況



写真-6 振動ローラによる転圧状況

4. 新型二軸攪拌混合機（DAM 機）の開発

(1) 従来機の課題

底泥土の初期固化にはこれまでトレンチャー式攪拌混合機（攪拌翼をチェーンでつなぎ環状にして取り付け、これを上下に動かしながら回転して掘削攪拌する機械）を使用することが多かったが、施工能力およびメンテナンス上の課題があった。

施工能力については、日施工量が $200\sim 250\text{m}^3/\text{日}$ と施工規模の小さいため池の改修には十分であっても、施工規模の大きいフィルダムの堤体改修には攪拌能力が不足することがある。

摺動部が多いため、攪拌翼の磨耗だけでなく、チェーン、スプロケット、ガイドローラなど磨耗による交換費用がかさむ、入り組んだ構造のため日々の清掃メンテナンスに時間が掛かるなど、メンテナンス上の課題もあった。

(2) 開発目標

攪拌性能を向上するためトレンチャー型機をそのまま大型化する方法も考えられるが、ベースマシンが大型化し通常のトレーラーによる運搬が不可能になり汎用性が損なわれてしまう問題がある。また、トレンチャー型機は、もともとヘドロのような超軟弱土の固化を目的に開発されてきた経緯からわかるように、底泥土に掘削土を混合したような砂礫分の多い混合泥土を固化するには攪拌トルクが不足する場合もある。そこで新型攪拌機はまったく新しい構造で、以下に示す 4 つの項目を開発目標とした。

- ①ベースマシンは 1.4m^3 級バックホウを使用する。
- ②攪拌能力は $400\sim 450\text{m}^3/\text{日}$ とする。
- ③攪拌部が構造的に頑丈である。
- ④メンテナンス作業を簡素化する。

(3) DAM 機の概要

DAM 機による攪拌混合は深さ $2.5\text{m}\times$ 幅 5.0m 程度の固化ピット内で行う。ベースマシン 1.4m^3 級のバックホウに装着し、攪拌部分を鉛直方向および前後方向に繰返し移動させながら、混合泥土とスラリー化した固化材を混合する。そのため図-3 に示す可動域を確保した。

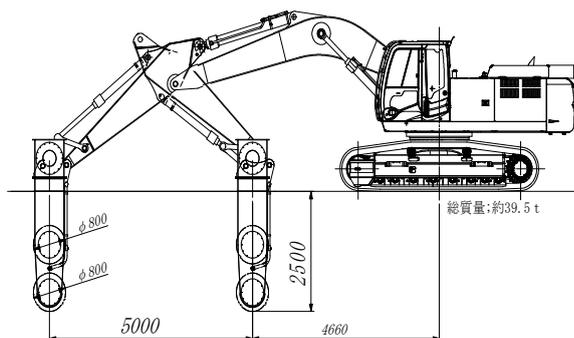


図-3 DAM 機を装着した固化改良機

DAM 機の攪拌部は、図-4 に示すような門型のフレーム構造となっており、攪拌用の回転軸を上・下 2 段に配置している。駆動モータは門型フレームの上部に取り付けており、2 本の回転軸に対して 2 つの駆動モータで個別に駆動する方式とした。固化材の噴射口は下段の回転軸付近に 2 箇所設けており、均質な混合攪拌が可能な構造となっている。（写真-7）

攪拌翼は耐久性に優れたパドル型と、攪拌の均一性に優れたチョッパー型の 2 種類とし、上・下段の回転軸で使い分けることとした。下段軸は攪拌部を底泥土中に押し込むため、パドル型のみを使用することにした。上段軸には混合泥土の性状に応じてパドル型あるいはチョッパー型のうちから選択するものとし、砂礫分のような粗粒子を含む底泥土、あるいは掘削土等を加えた混合泥土のように攪拌抵抗が大きい場合にはパドル型を、高含水比な底泥土のように攪拌抵抗が低い場合にはチョッパー型を選択できるようにした。

攪拌軸の回転方向は、攪拌中の抵抗を少なくするためや、多様な攪拌パターンが達成できるように、上・下軸がそれぞれ独立に正・逆回転できるようにした。また、回転速度は掘削攪拌を伴う下段軸を低速回転（最大 56rpm ）、攪拌抵抗が小さい上段軸を下段軸の約 1.3 倍の高速回転（最大 71rpm ）とした。

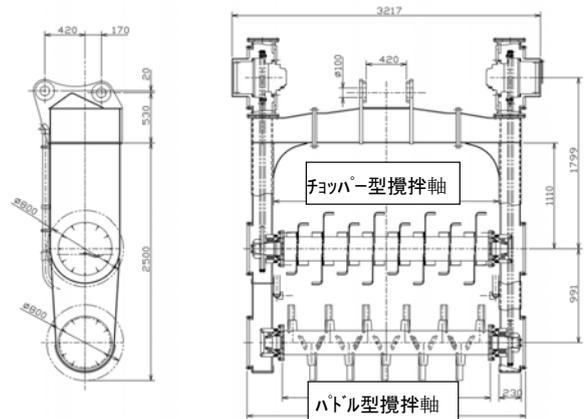


図-4 DAM 機攪拌部構造図

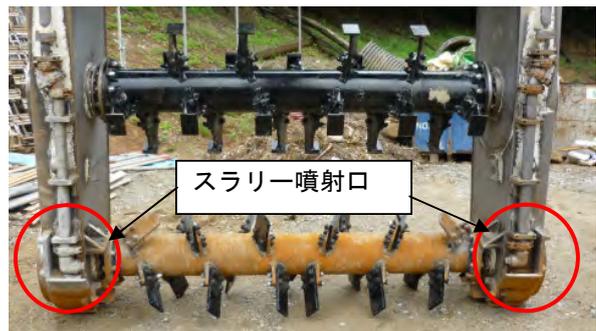


写真-7 攪拌軸およびスラリー噴射口

写真-8 に DAM 機を施工重機に取付けた状況を示す。



写真-8 DAM 機取付状況

5. DAM 機の攪拌性能確認試験

(1) 攪拌速度の影響

DAM 機に要求される性能として、均一な初期固化が可能であることを確認するため、攪拌速度を変えた試験施工を実施した。試験施工は図-5 に示した幅 5m×長さ 10m×深さ 2.5m の固化ピットを準備し、長さ 2m 毎に 5 列に区分した P1~P5 のエリアでそれぞれ攪拌時間を変更して攪拌混合した。

固化材の添加量は室内配合試験を事前に行い、目標とする一軸圧縮強度を 706kN/m² とし、このときの固化材添加量 126kg/m³ が得られた。現場配合強度は、室内試験時の混合条件と現場での混合条件の相違を補正するため、室内配合試験の 1.5 倍の割増し強度 1059kN/m²、このときの固化材添加量から 168kg/m³ を現場配合量として決定した。

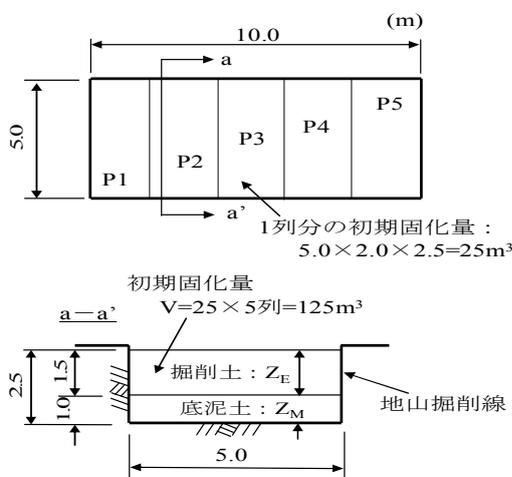


図-5 攪拌性能試験、固化ピットの形状

固化ピットの区画 P1~P5 において攪拌時間を $t=12\sim 40$ 分として攪拌速度を $150\sim 37.5\text{m}^3/\text{h}$ の範

囲で変化させた。固化材添加流量も攪拌時間に合わせて変化させ、配合量がトータルで一定になるように攪拌混合を実施した。（表-1）

表-1 固化ピット内各区画の攪拌時間

ピット区分	攪拌時間 t (min)	攪拌速度 (m ³ /h)	固化材添加流量 (l/min)
P1	12	150	462
P2	15	100	370
P3	20	75	277
P4	30	50	185
P5	40	37.5	139

ピット内の各列の強度を調べるために、固化材を添加した直後のまだ固まらない状態にあるうちに、ピット内各列の深さ約 50cm に内径 $D=75\text{mm}$ 長さ $H=150\text{mm}$ の真鍮製シンウォールチューブを4箇所埋設、翌日掘り出して採取し、上・下端面を整形して供試体を準備した。供試体は試験室に保管し、10日目に一軸圧縮試験を実施した。

試験から得られた強度 q_u と攪拌時間 t の関係を図-6 に示す。図中には目標強度と現場室内強度比に相当する割増し強度の範囲を示してある。図から、攪拌時間が増加するほど、強度のばらつきが少なくなり、平均強度がやや増加する傾向にある。攪拌速度が $100\text{m}^3/\text{h}$ をこえると目標強度を下回る箇所が発生していることが分かった。この結果から実施工では10%の余裕を考慮して、攪拌速度の最大値を $90\text{m}^3/\text{h}$ で管理することとした。

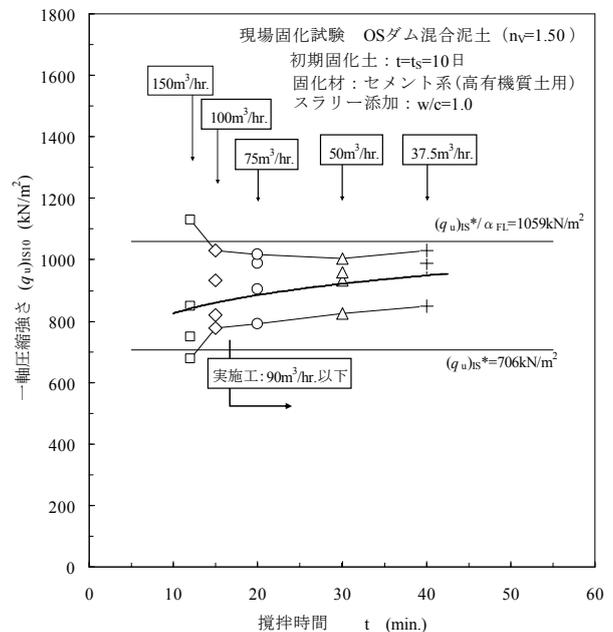


図-6 攪拌時間と初期固化強度の関係

(2) ピット内の固化強度の均一性

固化ピット内の各位置で均一な初期固化ができることを確認するため、平面内の各位置と、深さ方向の強度分布を調査した。

図-7に示す幅5m×長さ16m×深さ2.5mのピット内で一定の攪拌速度75m³/hにより攪拌混合し、ピット平面内の各位置A1～A8と、ピット中央部の位置Bから供試体を採取して一軸圧縮試験を行った。

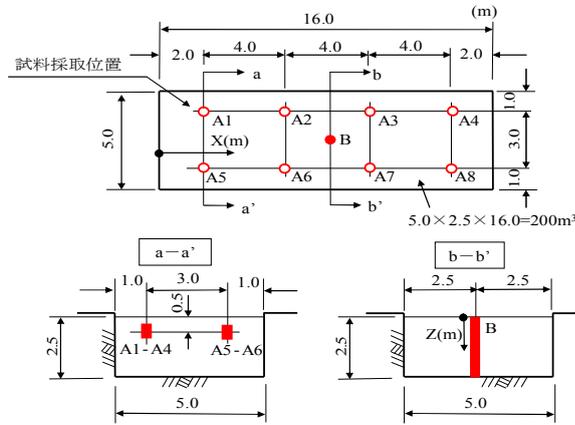


図-7 ピット内の固化強度の均一性比較

図-8にピット内の平面的な強度の変動を調べた試験結果を示す。試料採取位置A1～A4の結果を白抜き記号(□◇○△)により、A5～A8の結果を黒塗り記号(■◆●▲)によりそれぞれ表示している。各位置の強度分布は、目標範囲内にあることがわかる。また、図-9に深さ方向の強度分布を示す。こちらも強度はすべて目標強度範囲であることが確認できた。

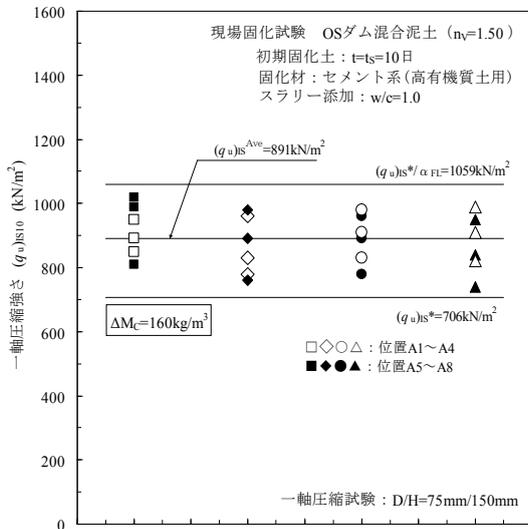


図-8 固化ピット内の平面的な強度の分布

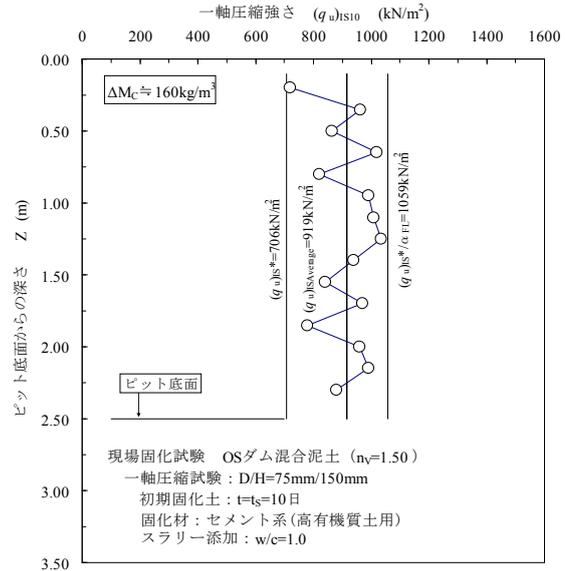


図-9 固化ピット内深さ方向の強度分布

6. DAM機の施工実績

試験施工によってDAM機の攪拌性能を確認し、初期固化工程に導入した。実施工で用いた固化ピットは幅5m×長さ20m×深さ2.5mとし(図-10)、1列分の改良幅を2mとして25m³毎に初期固化を行う。攪拌速度90m³/hを目安に1列毎の攪拌時間を17分以上と規定し、スラリー供給流量を設定して配合管理を行った。1日の施工量は固化ピット2つ分に相当する500m³を目安とした。

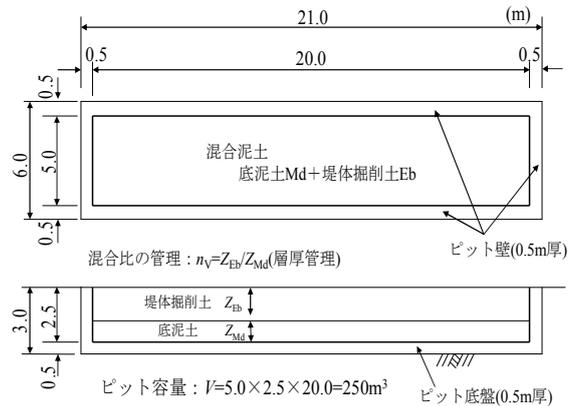


図-10 固化ピットの形状

月別の固化処理量を表-2に示す。施工中に攪拌羽根の交換を1回実施しており、第1セットの施工量は10,651m³、第2セットの施工量は27,464m³、トータル38,115m³の初期固化改良をDAM機によって実施した。

表-2 月別固化処理量

稼動月	攪拌羽根第1セット		攪拌羽根第2セット	
	月計 (m ³)	累計 (m ³)	月計 (m ³)	累計 (m ³)
4月	2,285	2,285		
5月	4,942	7,227		
6月	3,424	10,651		
6月			2,086	2,086
7月			9,720	11,806
8月			12,836	24,642
9月			2,822	27,464

写真-9 に羽根交換時の状況を示す。攪拌羽根の交換作業は羽根 1 枚につき 4 箇所のボルトを取外して、取り替えるだけの作業であるため、容易に交換作業が行える。交換作業は羽根総数 37 枚を 2 名で半日程度であった。攪拌軸やフレーム部材の損耗箇所はほとんど認められなかった。損耗部材としては、攪拌翼と回転軸取付部の土砂シールのみで済むため、メンテナンス工程はトレンチャー型と比較して簡素化が図れている。



写真-9 DAM機の攪拌羽根交換状況

羽根磨耗量は 1000m³あたり 2mm 程度であった。表-3 に磨耗量の実績を示す。

表-3 DAM機の羽根磨耗量実績

	施工量	磨耗量	磨耗率
	m ³	mm	mm/1000m ³
第1セット	10,651	26	2.44
第2セット	27,464	46	1.67
合計	38,115	平均 36	平均 2.06

稼働時間の平均は 6.5 時間で、従来のトレンチャー方式と比較すると施工後の清掃作業に要する時間が 0.5 時間短縮されたため、施工量の日平均は 500m³/日以上以上の結果が得られた。表-4 に施工実績を示す。

表-4 施工実績（日平均および時間平均）

月	月別 施工量	稼働日	日平均 m ³ /日	時間平均 m ³ /h
4月	2,285	5	457.0	76.2
5月	4,942	10	494.2	82.4
6月	5,510	11	500.9	83.5
7月	9,720	18	540.0	83.1
8月	12,836	23	558.1	85.9
9月	2,822	5	564.3	86.8

DAM 機の開発目標として掲げた攪拌能力を上回る結果を得ることができ、品質においても十分な攪拌性能を有することが確認できた。耐久性およびメンテナンス性も向上し、砂礫分を多く含む混合土の固化処理にも対応できることが実施工において確認できた。

7. おわりに

二軸攪拌混合機 (DAM 機) の開発経緯と大原ダム堤体改修工事における施工実績を報告した。開発目標とした攪拌性能を有し、品質においても均質な攪拌混合が可能であることが確認できた。

耐久性やメンテナンス性の向上を図るため、従来とはまったく異なる構造を採用し、構造の簡素化によって清掃時間を短縮できたことは結果的には大きなメリットであった。特に大規模なフィルダムの改修工事になるほど施工期間も長くなるため施工性、経済性の面で優れた攪拌混合装置であると考えられる。

DAM 機は砕・転圧盛土工法の初期固化工程に使用する目的で開発されたものであるが、砕・転圧盛土工法に限定されるものではなく一般の土壌改良工事への適用も可能である。今後の展望としてガソリンスタンド跡地におけるベンゼン除去工事など汚染土壌改良への適用など、適用範囲の拡大を図っていきたいと考える。

- 1) (社) 農業農村整備情報総合センター：ため池改修工事の効率化—砕・転圧盛土工法によるため池堤体改修—, 設計・施工指針(案) (2006)
- 2) (社) 農業農村整備情報総合センター：砕・転圧盛土工法によるフィルダム堤体改修—堆積土・発生土を有効活用したフィルダムのリニューアル技術—, 設計・施工・積算指針(案) (2009)

2. 変位計測システム概要

測定鈎の座標を3次元(X,Y,Z)で計測する方法として、TSを函体の外（吐き口側または呑み口側）に設置し、測定鈎を直接視準する方法がある。しかし、連結している函体では、撓みや継手部のゴムが大きく変形している場合があるなど、測定鈎をTSで直接視準することが困難であるため、函体内で計測する技術が必要である。併せて、小規模函体内における人力作業の軽減を図るために、小型機械をベースにした函体内の測定鈎を計測するシステムとした。

システム構成は、変位計測装置を搭載して函体内を走行する「自走装置」、自走装置に搭載する計測部の「変位計測装置」、変位計測装置の操作、座標の算出を行う「変位計測ソフト」、計測したデータを管理する「帳票管理ソフト」とした（図-3、図-4）。

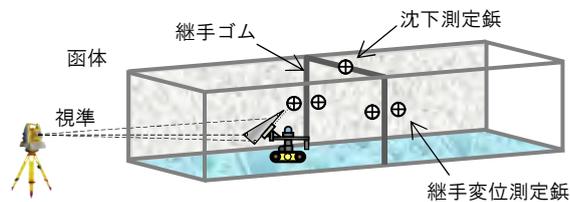


図-3 変位計測システムによる計測イメージ図

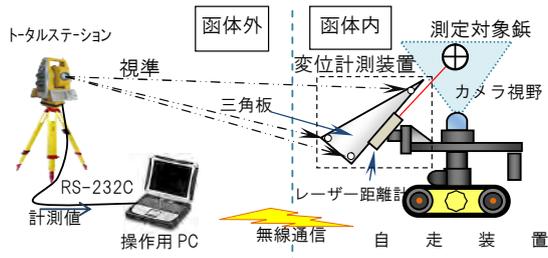


図-4 変位計測システム機器構成図

2.1 自走装置

変位計測システムのベースとなる自走装置は、次の条件を満たす自走装置（写真-2）を用いて、小規模函体内での計測作業を効率的に行うための改造を施した（写真-3、表-1）。

選定条件

- ①防水性を有すること。
- ②無線通信による遠隔操作が可能であること。
- ③カメラ画像で函体内の状況を確認できること。

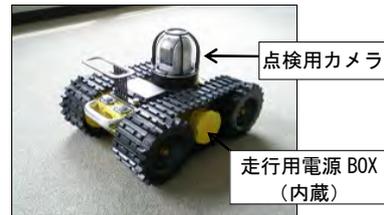


写真-2 自走装置（改造前）

改造箇所

- ①計測装置搭載用キャリアの取付（伸縮式）
- ②点検用カメラの移設
- ③走行用カメラの増設
- ④照明装置の増設
- ⑤計測・照明装置用電源BOXの増設

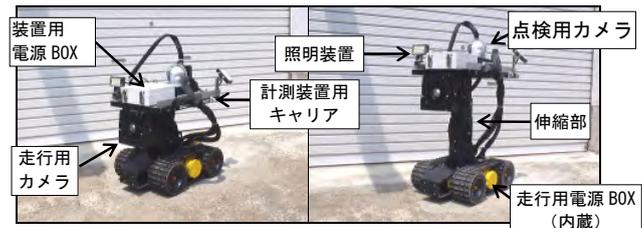


写真-3 自走装置（改造後）

表-1 自走装置主要諸元

本 体	
寸 法	W350×D452×H588～838mm（伸縮式）
質 量	25.7kg
積載質量	20.0kg以下
動力源	ニッケル水素バッテリー（7.2V）×4本
駆動方式	電気モータ×2個
走行速度	最高 1.49km/h（24.8m/min）
走行用カメラ	カラー 32万画素
点検用カメラ	カラー 32万画素
照 明	LED 6.4W×3灯
計測装置・照明用電源	ニッケル水素バッテリー（7.2V）×4本（計測装置用2本、照明用2本）
保護等級	IP67（クローラ部）
乗越え可能最高段差	80mm
操作装置	
操作装置	防水型ノートパソコン コントローラ
通信方法	
無線LAN	IEEE. 802.11g

2.2 変位計測装置

変位計測装置は、電動雲台、レーザー距離計等を用いて構成した（写真-4）。また、測定鈎の座標を計測するには、変位計測装置の向き、傾きを把握する必要があることから、三角測量の原理を応用し、レーザー距離計に取付けた三角板を用いて端部3点を計測して測定鈎の座標を求めるシステムとした（図-4）。

三角板には、端部 3 点の視準点として、測量で用いられている反射シールを貼り付けた（写真-5）。また、端部 3 点間の距離は極力離れた方が計測精度の向上に繋がるが、大きすぎると小規模函体内での計測に対応することができなくなってしまうため、函体断面サイズに応じて三角板を使い分けることができるように、3 サイズ(200mm×300mm, 200mm×400mm, 200mm×700mm) を製作した。

なお、変位計測装置の動作制御及び座標算出は、変位計測ソフトで行う。



写真-4 変位計測装置

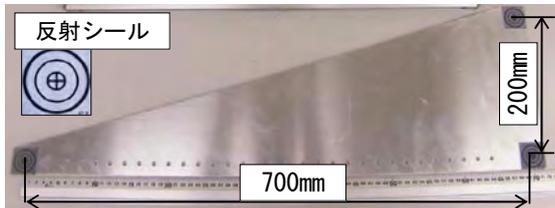


写真-5 三角板 (200mm×700mm)

2.3 変位計測ソフト

変位計測ソフトは、電動雲台とレーザー距離計の制御、座標の算出を行う。測定鉤の座標は、函体の外（吐き口または呑み口側）に設置した TS 器械点の座標 (X,Y,Z) を基に、次の①～③の計測値を用いて算出する。

- ① TS と変位計測装置間の距離
- ② 変位計測装置の方向角
- ③ 変位計測装置と測定鉤間の距離

2.4 帳票管理ソフト

変位計測ソフトで算出した座標値を取込み、沈下測定鉤と継手変位測定鉤の座標値を一つの帳票

で管理することができる。

3. 変位計測システム計測試験（動作確認試験）

変位計測システムの自走装置の操作性及び計測精度を検証するため、寒地土木研究所構内で、断面形状 1.2m×1.2m、延長 50m の樋門を想定し、0～50m 地点まで 10m 間隔で測定鉤を各 3 箇所ずつ設置して、計測試験を行った（図-5）。

測定鉤を TS で直接視準した計測値を真値として計測値の差を検証した結果を表-2 に示す。

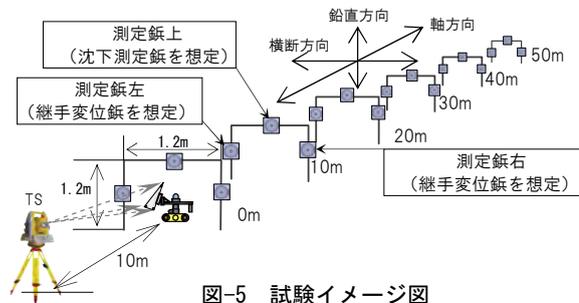


図-5 試験イメージ図

試験結果から、自走装置の無線通信による遠隔操作及び点検用カメラ画像で測定鉤におけるレーザー光の照射状況を確認する方法で、50m 地点（自走装置操作場所からは 60m 程度）までの計測を行えることを確認した。

計測精度は 0～40m 地点の平均値が約 3～4mm、50m 地点の平均値が約 6mm となった。この計測精度は、一般的に土木工事の GNSS 測量に用いられている RTK 法の公称測定精度（ $\pm 20\text{mm} + 2 \times 10^{-6} \times \text{測定距離}$ ）⁵⁾、スタティック法の公称測定精度（2 周波： $\pm 5\text{mm} + 1 \times 10^{-6} \times \text{測定距離}$ 、1 周波： $\pm 10\text{mm} + 2 \times 10^{-6} \times \text{測定距離}$ ）⁵⁾と同等の精度であるといえる。

4. 変位計測システム計測試験（現場適用性試験）

変位計測システムの現場適用性試験を実樋門 4 箇所（表-3）で実施した。

表-2 変位計測システム計測精度

地点	0m			10m			20m			30m			40m			50m			平均 (0-50m)
	左	上	右	左	上	右	左	上	右	左	上	右	左	上	右	左	上	右	
軸 方向	5.00	0.40	2.30	4.25	1.00	1.15	3.85	1.75	3.25	7.20	2.25	3.05	4.45	1.55	3.05	7.20	4.45	2.80	3.28
断面 方向	0.20	2.20	6.95	6.20	5.60	5.15	5.65	2.60	10.40	3.60	4.15	7.85	5.55	1.90	10.50	12.10	3.70	9.05	5.74
鉛直 方向	2.00	4.00	1.50	3.50	5.00	3.50	2.00	4.00	1.50	1.50	3.00	1.00	0.50	4.50	2.00	4.00	7.00	3.50	3.00
平均	2.40	2.20	3.58	4.65	3.87	3.27	3.83	2.78	5.05	4.10	3.13	3.97	3.50	2.65	5.18	7.77	5.05	5.12	4.01
平均	2.73			3.93			3.89			3.73			3.78			5.98			4.01

※TS 直接視準による計測値を真値とした場合の差

計測精度を検証するため、計測は次の3種類による方法で実施した。

- ①変位計測システムによる計測
- ②TS 直接視準による計測
(TS で測定鉞を直接視準)
- ③従来手法による計測
(レベルとスタッフ及び金尺を用いる)

ただし、②において TS から測定鉞が直接視準できない場合は、測量道具（ピンポールとプリズム）を測定鉞にあてて計測を行った。

表-3 試験実施場所

管理事務所名	樋門名	断面形状	水深 (cm)
			堆砂厚 (cm)
札幌河川事務所	小沼川樋門	Φ1.6×24.5m ～1連	1～10
			7
岩見沢河川事務所	昭栄樋門	1.5×1.5×92.0m ～1連	11～17
			0
千歳川河川事務所	志文別樋門	3.0×3.0×47.0m ～2連	3～14
			0
	南8号樋門	1.5×1.5×62.5m ～1連	6～22
			0



写真-7 函体内の変位計測装置を TS で視準している状況



写真-8 樋門函体内 (H=1.5m) 計測状況 (遠くに見えるのが函体外の TS)

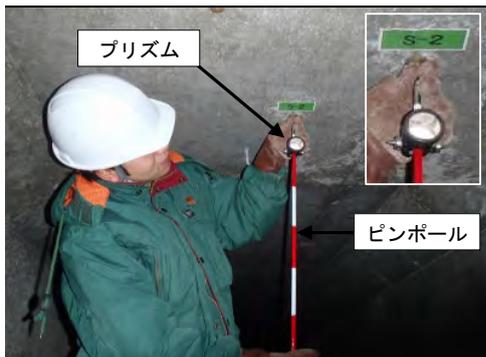


写真-6 ピンポールとプリズムを用いた計測状況



写真-9 樋管函体内 (内径 1.6m) 計測状況

試験状況を写真-7～11 に、「変位計測システムによる計測値」と「TS 直接視準による計測値」との差を表-4 に、「変位計測システムによる計測値」及び「TS 直接視準による計測値」と「従来手法による計測値」との差を表-5 に示す。

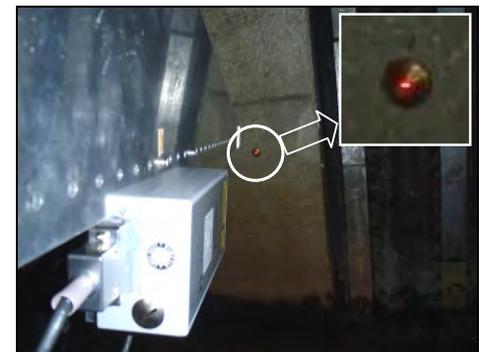


写真-10 測定鉞にレーザー光を照射している状況 (左)

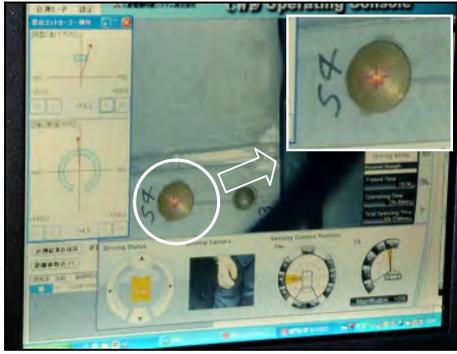


写真-11 操作用PCによる測定鉆確認状況

表-4 TS 直接視準による計測値との差

(単位: mm)

樋門名	沈下測定鉆と継手変位測定鉆				
	測定 点数	計測差			
		軸 方向	横断 方向	鉛直 方向	平均
小沼川樋門 (延長 24.5m)	18	0.1	2.9	3.1	2.0
昭栄樋門 (延長 92m)	57	0.6	4.6	5.0	3.4
志文別樋門 (延長 47m)	44	1.2	3.9	3.1	2.7
南8号樋門 (延長 62.5m)	32	0.1	5.2	6.3	3.9
平均 値	—	0.5	4.2	4.4	3.0

※TS 直接視準による計測値を真値とした場合の差の平均値

表-5 従来手法による計測値との差

(単位: mm)

樋門名	沈下測定鉆				継手変位測定鉆			
	変位計測 システム		TS 直接視準		変位計測 システム		TS 直接視準	
	測定 点数	計測 差	測定 点数	計測 差	測定 点数	計測 差	測定 点数	計測 差
小沼川樋門 (延長 24.5m)	6	3.2	6	4.2	6	1.7	6	2.5
昭栄樋門 (延長 92m)	12	2.3	10	5.8	21	5.6	20	4.6
志文別樋門 (延長 47m)	14	3.4	10	0.6	15	5.5	11	1.7
南8号樋門 (延長 62.5m)	8	9.4	8	1.9	12	4.6	12	5.6
平均 値	—	4.6	—	3.1	—	4.4	—	3.6

※従来手法の計測値を真値とした場合の差の平均値

※継手変位測定鉆は、二対で1点とした

試験結果から、自走装置を用いて、延長 90m 程度の狭い函体内においても、無線通信による遠隔操作及び点検用カメラ画像で測定鉆におけるレーザー光の照射状況を確認する方法で計測を行えることを確認したが、走行性等に関する課題が判明した。課題については次項で述べる。

計測精度については、「TS 直接視準による計測値」との差(表-4)は、横断方向が 4.2mm、鉛直方向が 4.4mm と軸方向の 0.5mm に比べ、大きい結果となった。

樋門別にみると、昭栄樋門及び南 8 号樋門での差が横断方向と鉛直方向で大きくなっている。この要因は、TS 直接視準による計測時に用いた測量道具(ピンポールとプリズム)での計測は、ピンポールを手で持ち(写真-6)、鉛直及び水平調整を目視で行ったため、計測誤差が大きくなったと推定される。

よって、計測距離が 90m 未満程度であれば、計測距離と誤差の相関関係は無いものと判断する。

また、従来手法による計測値との差(表-5)では、計測手法の違いによる明確な差は現れなかった。

実樋門における変位計測システムの計測誤差は次の要因で生じると考えられるが、GNSS 測量(RTK 法、スタティック法)の公称測定精度と同等であるため、変位量の管理には有効な精度といえる。

- ①変位計測システムの計測誤差
(TS、レーザー距離計の機器の計測精度を含む)
- ②TS による三角板計測時の視準誤差
- ③レーザー距離計のレーザー光を測定鉆中心に合わせる時の誤差
- ④測定鉆表面の凹凸等によるレーザー距離計の誤差
- ⑤水流に起因する自走装置の振動による誤差

5. 課題及び対応策

現場適用性試験から、次の課題が判明した。

- ①函体内における自走装置の走破性及び防水性
自走装置は 80mm 程度の段差を乗り越えることが可能だが、函体継手ゴムの変形により函体底版の段差が大きい箇所(写真-12)や土砂が堆積した箇所では、人力による走行の補助が必要であった。また、クローラ部は防水性能(IP67)を有しているが、2 時間程度水没した状態では、走行用電源 BOX キャップの取付部から、自走装置内に水が侵入したことがあった。



写真-12 函体継手ゴムの変形で生じた段差 (H=120mm)

②高い位置に設置されている測定鉞の計測誤差
翼壁など、函体の外の高い位置に設置されている測定鉞（写真-13）の計測は、レーザー距離計との距離が遠くなるため、点検用カメラの画像では測定鉞の中心に照準を合わせる事が難しくなり、計測誤差が大きくなる可能性があることがわかった。

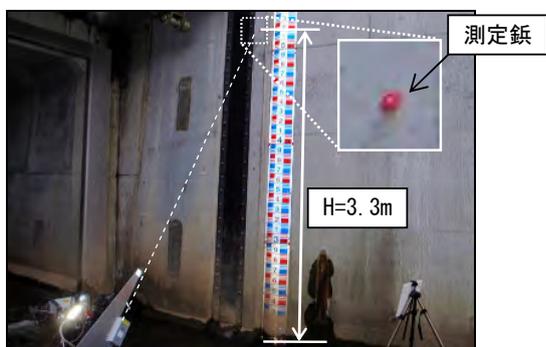


写真-13 高い位置に設置されている測定鉞

③測定鉞の形状による影響

実樋門に設置されている測定鉞は、樋門毎に「大きさ」や「形状」が異なっており（写真-14）、中心に凹凸がある測定鉞の計測では、レーザー距離計のレーザー光が影響を受けて反射光を受光できず、計測できない場合があります、自走装置の位置をずらし、再計測を行った。

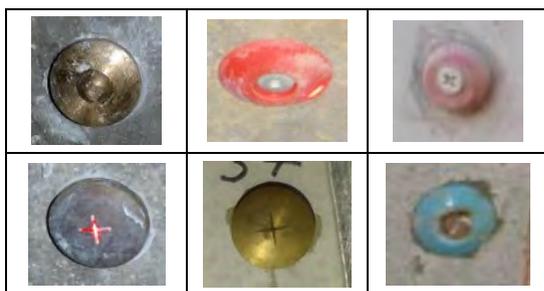


写真-14 実樋門に設置されている測定鉞

これらの課題の対応策として、次のことが考えられる。

①に対しては、本研究で用いた自走装置よりも走破性、防水性が高い機種を用いることで、対応が可能と考える。

②に対しては、測定鉞が函体の外に設置されているため、レーザー光の位置を直接目視で確認することで、計測精度を維持できる。

③に対しては、測定鉞の設置時に、表面に凹凸が無い形状を選定することで回避できる。

6. おわりに

柔構造樋門・樋管の動態観測において、沈下量と継手部の開きの計測は人力で行われ、計測値（変位量）は1次元で管理されている。また、小規模な函体内での作業は、苦渋性を伴っている。

本技術の開発により、測定鉞の座標を3次元（X,Y,Z）で計測することが可能となり、函体の動態を詳細に把握することができる。また、自走装置を用いることで、函体内における人力作業の軽減に寄与できるものである。さらに、河川工事における情報化施工技術の一般化に向けた普及推進が図られている⁶⁾ことから、河川構造物の維持管理においても3次元座標での管理が求められることも想定され、本技術の活用が期待できる。

今後は、実樋門で計測を試行することにより、樋門・樋管の維持管理に貢献していきたい。

参考文献

- 1) (独) 土木研究所寒地土木研究所：泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル，pp.3～7，2011
- 2) 佐藤厚子・西本聡：柔構造樋門の圧密沈下挙動について，北海道開発土木研究所月報，632号，p.13，2006
- 3) (社) 日本河川協会：改定 解説・河川管理施設構造令，pp.420～422，2000
- 4) 国土交通省北海道開発局：河川管理施設一覧，ホームページ，http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z_kasen/saigai/pdf/kasensisetsu.pdf
- 5) 国土交通省国土地理院：測量機器性能基準，ホームページ，<http://psgsv.gsi.go.jp/koukyou/kihon/seino/index.htm>
- 6) 国土交通省：情報化施工推進会議（第8回），資料3情報化施工技術の一般化・実用化の方針，<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/kensetsusekou/kondankai/ICTsekou/8siryo/3.pdf>

36. 凍結防止剤散布作業時の連続路面すべり抵抗値計測試験について

(独)土木研究所寒地土木研究所 ○岸 寛人
 (独)土木研究所寒地土木研究所 牧野 正敏
 (独)土木研究所寒地土木研究所 小宮山 一重

1. はじめに

積雪寒冷地では冬期の凍結路面对策として、凍結防止剤散布車等を用いた凍結防止剤と防滑材の散布が行われている。散布の実施形態には、凍結箇所を事前に予測して散布する「事前散布」と、凍結が発生している箇所へ散布する「事後散布」がある。このうち、事後散布の実施判断は、道路巡回や凍結防止剤散布車オペレータの目視による路面状態判別に基いているが、「凍結しているのか濡れているだけなのか」など判別が難しい路面状態や個人差があるため、凍結箇所の見落としや凍結していない箇所への過剰散布の可能性がある。また、道路巡回等による路面状態判別から出動、散布までに時間を要するため、すべりやすい路面状態が続くことがある。

そこで、当研究所では路面のすべり抵抗値を計測することにより凍結路面を客観的に判別し、散布が必要な箇所へ的確に凍結防止剤等を散布する技術の開発を行っている。本稿では、凍結防止剤散布車に「連続路面すべり抵抗値測定装置（以下、CFT-UT: Continuous Friction Tester - Under Truck）」を取り付け、試験道路にて実施した5種類の路面のすべり抵抗値計測試験の結果および、実際の凍結防止剤散布作業中の路面のすべり抵抗値を計測した結果について報告する。

2. 連続路面すべり抵抗値測定装置の概要

路面のすべり摩擦係数の標準的な測定装置として利用されている「すべり試験車」や「加速度計」は、測定輪や測定装置を搭載した車両に制動をかけて計測を行うため、断続的な地点での計測となる¹⁾。一方、凍結防止剤散布車による散布作業は、走行しながら実施するため、路面のすべり摩擦係数を測定する度に制動をかける必要がある測定装置を凍結防止剤散布車に適用することは現実的ではない。そこで当研究所では連続的に路面のすべり抵抗値を計測できるCFT-UTの凍結防止剤散布車への導入について検討を行っている。

CFT-UTとそれを搭載した凍結防止剤散布車を図-1に示す。図-1中央下がCFT-UT本体であり、

測定輪とセンサが組み込まれたハブ、鋼製フレーム、装置の昇降と衝撃を緩衝する油圧ユニットにより構成されている。凍結防止剤散布車へは図-1上のように、後前軸の直前の位置に取り付けた。



図-1 CFT-UTとCFT-UTを搭載した凍結防止剤散布車および計測原理

表-1 CFT-UT 主要仕様

寸法	(長さ)1.2m×(幅)1.3m×(高さ)1.2m
重量	約230kg(油圧ユニット約30kg)
測定タイヤ	205/65R15
測定可能温度範囲	-54°C~121°C
出力データ	計測開始からの走行距離, すべり抵抗値, ステアリング角, 速度
データ出力間隔	0.1s, 1s, 2s, 5s, 10sから選択

CFT-UTの計測原理を図-1右下に示す。CFT-UTの測定輪は車両進行方向に対して傾きをもたせて取り付けられている。そのため、走行中は常に斜めに引きずられながら回転することになり、測定輪の軸方向には横力が発生する。この横力をハブ内のセンサにより計測し、すべり抵抗値（以下、HFN: Halliday Friction Number）に換算する。HFN

は路面温度 0°Cの乾燥路面を 90、無負荷状態を 0 とし、その間を 90 等分して路面のすべりを数値化するもので、すべりやすい路面ほど小さい値を示す。HFN は運転室内に取り付けられた CFT-UT 制御・表示部 (図-1 左上) に表示される。CFT-UT はステアリング角 (操舵角) の計測も行っている。これは CFT の構造および計測原理上、ステアリング角の絶対値が 16 度以上では HFN が正しい値を示さないため、この範囲の計測値を除外する必要があるためである。なお、ステアリング角の除外範囲は車両ごとに異なるため、キャリブレーション時に設定する必要がある。表-1 に示す HFN 以外の出力データも CFT-UT 制御器に収集され、パソコン等と接続することにより、記録およびリアルタイム表示ができる。

3. すべり抵抗値による路面状態分類試験

平成 22 年 1 月、苫小牧寒地試験道路にて、乾燥、湿潤、圧雪、氷膜、氷板の 5 種類の路面を作成し、CFT-UT を凍結防止剤散布車に取り付け HFN の計測を行った。図-2 は乾燥-氷膜-乾燥と路面状態が変わる試験区間を時速 20km で走行した場合の計測結果である。乾燥路面から氷膜路面へ入ると HFN が約 50 程度低下していることがわかる。また同図で、ステアリング角が大きく下がっている部分では HFN が変化していないが、これはステアリング角が-16 度を下回り、HFN を除外したためである。

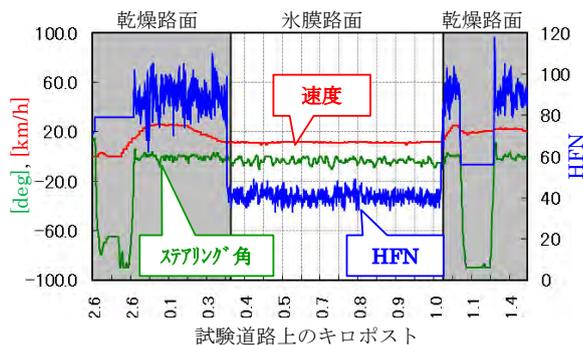


図-2 乾燥と氷膜路面における計測結果の一例 (データ記録間隔: 10Hz)

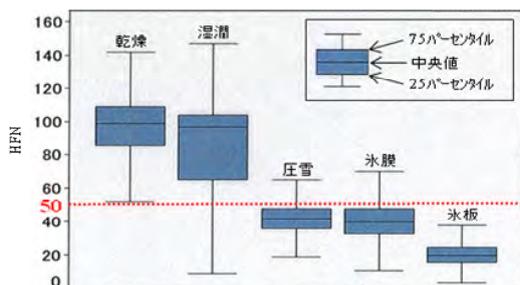


図-3 路面状態別すべり抵抗値

また、前述の 5 種類の路面について、すべり抵抗値の計測試験を行い、路面別に集計した結果を図-3 に示す。この図から、HFN=50 付近を境に乾燥や湿潤などの比較的すべりにくい路面と、圧雪や氷膜、氷板などのすべりやすい路面を区別することができる可能性がある。

4. 凍結防止剤散布作業時のすべり抵抗値計測試験

4.1 試験概要

路面のすべりやすさと散布作業の関係の実態調査を行うことを目的として、北海道深川市の一般国道 12 号と 233 号で実際の凍結防止剤散布作業を行う凍結防止剤散布車に CFT-UT を取り付け、平成 23 年 1 月~3 月にすべり抵抗値計測試験を行った。主な計測項目は表-2 のとおりであり、これらを計測するセンサ及び記録装置を凍結防止剤散布車に取り付けた。凍結防止剤散布車のオペレータには、HFN とは無関係に通常の散布作業を行ってもらい、その内、散布スイッチ ON/OFF 信号等を記録装置に記録した。

表-2 主な計測項目

計測項目	検出方法
位置座標	GPSによる
すべり抵抗値(HFN)	CFTによる
散布スイッチ ON/OFF信号	オペレータが散布スイッチを押したタイミングを検出
散布材放出信号	散布剤放出部に取り付けた光電センサにより、散布材がセンサ前を通過したタイミングを検出
路面温度	路面温度計による

本稿では、HFN と散布スイッチ ON/OFF 信号を比較することで、路面のすべりやすさとオペレータの目視判別により散布した位置との関係について調査を行った結果について述べる。

4.2 解析手法

散布作業は毎回、一般国道 12 号 (往復約 34km) および 233 号 (往復約 40km) の決まった範囲で行われる (図-4) が、GPS が計測する凍結防止剤散布車の走行軌跡は少しずつ異なる。そこで、図-4 の地図上の範囲を格子状に区切り、各格子内の中心座標 (緯度・経度) をその格子の位置座標として与え、同一格子内に含まれるデータは同一位置のデータとして扱った。本解析では、地図の経度方向距離を約 30km、緯度方向距離を約 20km、格子幅を 40m に設定した。

次に、HFN と散布スイッチ ON/OFF 信号の比較手法について述べる。3 章で述べた、5 種類の路面状態におけるすべり抵抗値計測試験の結果から、すべりやすい路面とすべりにくい路面の閾値を

HFN=50 とした。しかし、既出の図-2 に見られるように HFN は 1 秒に 10 回記録しており、小刻みに変動する。そこで、HFN の閾値に下限値 (HFN=45) と上限値 (HFN=55) を設け、その間は本比較の対象外とし、さらに HFN データの 10 個毎の移動平均を取り、データを平滑化した。そして、これらの閾値を用いて、表-3 のようにデータを 5 つのパターンに分類した。表-3 の 1~5 のパターンそれぞれの出現回数を前述の格子内毎に集計し、出現率として表すことで、「すべりやすくなりやすい箇所 (HFN<45 の出現率が高い箇所)」や「すべりやすい箇所と散布している箇所は一致しているのか」などについて調査した。結果については 4.4 節で述べる。

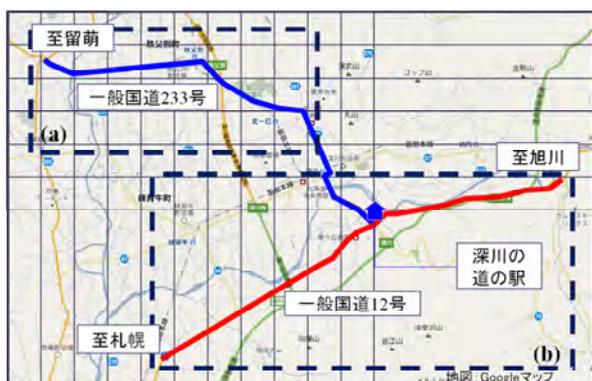


図-4 対象凍結防止剤散布車の作業工区と解析に用いた地図範囲および格子化イメージ (黒い実線)。破線枠および枠内の (a), (b) は 4.3 節の図-5 に対応

表-3 すべり抵抗値と目視判別による散布箇所の比較のためのパターン分類

呼称	パターン
パターン1	HFN \geq 55 かつ 散布している
パターン2	HFN \geq 55 かつ 散布していない
パターン3	45 \leq HFN<55
パターン4	HFN<45 かつ 散布している
パターン5	HFN<45 かつ 散布していない

4.3 散布指定箇所調査

当該工区の凍結防止剤の散布作業は、工区全体に渡り、一様に連続的に散布するのではなく、道路管理者により指定された区間に散布する「スポット散布」という手法で行われている。指定されている散布箇所は、表-4 のように「散布箇所名、起点 (散布開始位置) と終点 (散布終了位置)」などが記載された凍結防止剤・防滑材散布記録用紙に一覧表となっており、実際の散布作業もこれに基づき実施されている。当該工区内で指定されている散布箇所数は、一般国道 12 号で 35 箇所、233

号で 65 箇所 (両国道とも一部重複区間あり) であり、1 箇所当たりの延長も最短 40m から最長 2300m までとまちまちである。

表-4 凍結防止剤・防滑剤散布記録用紙記載内容

No	散布箇所名	散布KP(km)		延長 m	...
		起点	終点		
1	道の駅	0.01	0.11	100	...
2	〇〇横断歩道	0.53	0.69	160	...
3

この散布指定箇所を 4.1 節の計測試験結果に取り入れるためには、表-4 の散布 KP に対応する緯度・経度情報を与える必要がある。そこで GPS データロガーとマーキングスイッチを用いて、走行しながら、散布箇所の起点/終点に到達したらマーキングスイッチを ON/OFF するという手法で現地調査を実施した。結果は 4.2 節の調査結果と合わせて、次節で述べる。

4.4 結果と考察

平成 23 年 3 月 4 日~28 日の期間で計測したデータを用いて、HFN と目視判別により凍結防止剤を散布した位置を比較した結果を図-5 に示す。図-5 は、図-4 の地図を寝かせ、鉛直方向にデータを表示し、これを斜め上方向から見た図とした。図中の凡例は表-3 の呼称と対応しており、水平面の 2 つの軸は経度と緯度を表している。鉛直軸は、表-3 のパターン 1~5 が各グリッド内で現れた出現率をパーセント表示したものである。出現率データは、図-4 の国道上工区の経路に乗るようにした。

また、出現率データの下側に断続的に現れている線は、4.3 節で述べた散布指定箇所調査の結果で特定した箇所である。

まず、図-5 の左上側の破線で囲われた範囲 (a) について述べる。HFN だけに着目してみると、HFN \geq 55 (パターン 1 と 2) の割合と HFN<45 (パターン 4 と 5) の割合がほぼ同じくらいになっている。次に散布を行った位置 (パターン 1 と 4) について着目すると、範囲 (a) では、非常にまばらになっていることがわかる。これは 4.3 節で述べたスポット散布を行っているためであり、散布指定箇所調査の結果と比較すると、おおそ一致している。また、範囲 (a) 左端の橋梁や中央付近のカーブ区間などパターン 1 と 4 (およびパターン 3) のみで占められている区間は、HFN が高い場合でもほぼ毎回散布が行われており、逆に、範囲 (a) の左半分にある平坦な直線路などパターン 2 と 5 (およびパターン 3) で占められる箇所は、HFN が低い場合であっても散布をすることがない区間であることがわかった (図-5 では、パターン 3 に含まれる散布の有無は判別できないため、HFN 上限=下限=50 の図を作成し、別途確認した)。その他の細か

く分かれている箇所は、主に信号がある交差点である。このように散布実態と指定箇所調査の結果がほぼ一致している一方で、範囲 (a) の右側 2 箇所のように、指定されていない区間であるが散布している箇所もあることがわかる。このようなケースについては今後、実態について聞き取り調査を行う予定である。

次に範囲 (b) について見てみると、 $HFN \geq 55$ の出現率 (パターン 1 と 2) は 50~60% くらいであり、一般国道 233 号よりもすべりにくい状態が多いという結果になっている。また、範囲 (a) では HFN によらず散布する橋梁やカーブ区間が存在したが、範囲 (b) では少なくなっている。次に道の駅から旭川側に 2 つの長い散布区間があるが、道の駅から 1 つ目の区間は道路の南側に擁壁がある区間で、日中でも日陰になる区間であり、2 つ目の区間はこの工区の中では急勾配となっている箇所である。この 2 つの長い散布箇所に含まれた区間は、指定された箇所ではないが、パターン 1~5 までの全パターンが現れていることがわかる。この区間のように全パターンが現れている箇所は、オペレータの経験などの主観に基づき散布を行っている箇所と考えられるが、CFT-UT を用いて HFN を常時オペレータに提供し、散布の判断材料として活用することで、パターン 1 や 5 を減らし、より適切な散布作業を行える可能性がある。

5. まとめ

凍結防止剤散布車へ CFT-UT を取り付け、一般国道で実作業中に HFN の計測を行い、オペレータの目視判別に基づく散布作業との比較・集計を行い、全体像を把握した。その結果、基本的には指定された散布箇所にスポット散布を行っているが、経験等に基づき散布を行っていると思われる箇所もあり、散布していても HFN が高い場合や、散布していないが HFN が低い場合があることがわかった。このような箇所についての実態調査を行い、その結果と合わせて、CFT-UT を用いてオペレータの散布判断支援を行うことで、より適切な散布作業を行える可能性がある。また、除雪期間を通して HFN を集計し、路線の各地点におけるすべりやすさを定量的に把握することにより、すべりやすい箇所の抽出や散布箇所の再検討にも活用できると考える。

今後は、個別のデータの解析を行うとともに、上記の活用についても検討を行っていきたい。

参考文献

- 1) 舟橋誠・徳永ロベルト・浅野基樹：連続路面すべり抵抗値測定装置 (RT3) の導入について、寒地土木研究所月報, No.651, pp.40~47, 2007

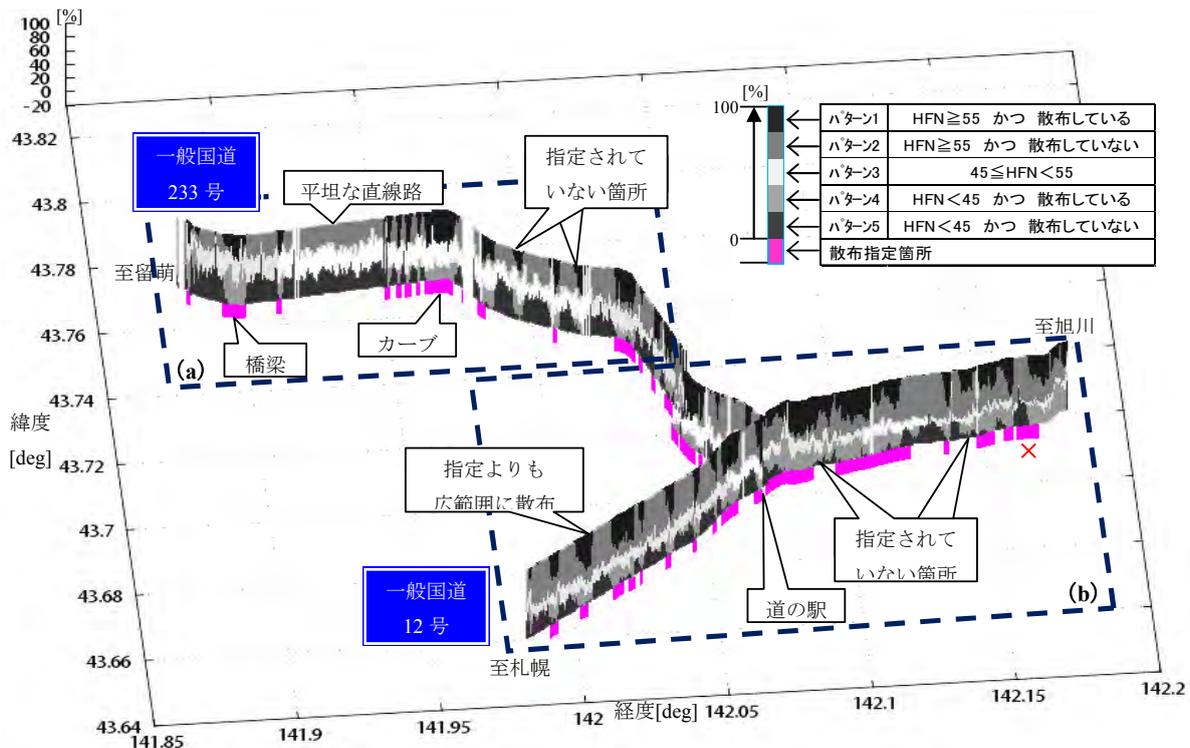


図-5 HFNと目視判別による散布箇所の比較 (一般国道12号を旭川方向に、233号を留萌方向に走行した場合。なお、図右下の範囲 (b) の右端の×印の箇所は、散布指定箇所調査時の計測ミスにより大きなずれが生じた箇所であり、考察には含めていない)

3 7. 道路改良工事における切削オーバーレイ工法への モバイルマッピングシステムの適用

大阪大学
関西工事測量株式会社
関西工事測量株式会社

矢吹 信喜
○ 中庭 和秀
木寺 浩紀

1. はじめに

道路の舗装面は経年に伴い、摩耗によるわだち掘れ、隆起や沈下あるいはひび割れなどが生じる。そのため劣化した舗装などを修繕する道路改良工事が必要に応じて行われる。道路改良工事には、その目的により種々の工法がある。劣化し不陸などが生じた舗装面をある程度切削し、厚さ数 cm～10cm 程度の舗装を行い道路を修繕する方法は、切削オーバーレイ工法と呼ばれており、広く一般的に使用されている。

切削オーバーレイ工法では、図-1 に示すように、まず事前に通常 20m おきの各断面において 1m ピッチに路面にマーキングを行い、一点ずつ水準測量器を用いた手作業により、標高を計測する。本来の道路舗装標高と実際の各点の標高との間には差が生じているから、その差と切削すべき古い舗装厚から実際の切削厚を定める。断面データは 20m おきであるから、断面と断面の間の切削厚はオペレータが線形補間により調整しながら、路面切削機により古い舗装面を切削する。

この方法のうち、特に路面の高さを計測する作業は、時間と労力がかかる上に、交通規制が必要なため、自然な交通流を大きく妨げてしまうという問題がある。また、測量において高さを誤って高く計測した点があると、切削厚が必要以上に大きくなり、そのため切削量のみならず、舗装工の数量も必要量よりも多くなってしまいう問題もある。

また、交通規制をせずに路面の高さを計測する方法としてノンプリズムトータルステーションや固定式レーザースキャナを用いて計測を行う方法も開発されているが、通行車両等によって光線が度々遮断されるため交通量の多い道路での適用は困難である。また、遠距離では路面と光線との角度が浅くなるため誤差が大きくなる。そのため、機器の移動回数が増えることにより、時間やコストの優位性を得ることは難しいと考えられる。

一方、近年、モバイルマッピングシステム（以下、MMS と記す）が注目され、普及し始めている。MMS は、3 次元レーザースキャナ、GPS（全地球測位システム）、加速度計とジャイロスコップからなる IMU（慣性姿勢計測装置）、タイヤの回転から移動距離を計測するオドメトリ、およびデジタルカメラを同軸上に装備した移動体（車両）測量器で、走行しながら周囲の 3 次元点群データを効率的に収集できるシステムである。写真-1～写真-4 に MMS の一例を示すこのシステムは、公共測量規定における 1/500 の精度を持ち、30 以上の自治体で公共測量として採用している。MMS は、絶対精度（移動体測量による座標取得の正確度）は 10 cm 以下であるが、相対精度（座標取得の安定度）は 1cm 以下と高いことから、道路の各横断面の形状を相対的に精度よく計測できる。また、デジタルカメラによる画像と 3 次元点群データを重ね合わせて表示することにより、画像上の物体表面の任意の位置の座標を周辺の点群データから内挿することにより求めることができる。

そこで、本研究では、MMS を用いて路面上の標高値を計測することにより切削厚を自動的に求め、これを情報化施工における路面切削機のマシンコ

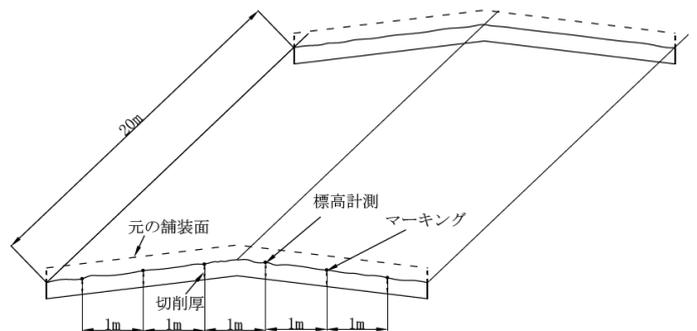


図-1 切削オーバーレイ工法の概念図

ントロールのデータとして利用する新しい方法を提案する。また、大阪大学吹田キャンパスの道路上において、従来の水準測量器を用いた手作業による計測値と本手法による計測値の差を求める実験を行い、本提案手法の実務への適用性を検討する。

2. MMS を用いた提案手法の概要

本研究で提案する手法では、まず、図-2 に示すように事前に道路の側溝付近の路面上に約 10m 毎に白ペイントなどで小さくマーキングする。このマークは、MMS のデジタルカメラによって撮影されることを前提とするため、撮影できないような場所にマークをしないようにする。次に、MMS を走行させながら、道路面上の点群データを得る。点群データが取得できたら、デジタル写真画像と点群データを重ね合わせることにより、白ペイントを施した約 10m 毎の横断面における点群データを取り出し、白ペイント上に人間が点をプロットし、端点とする。白ペイントは左右両側に施してあるので、両端点を結ぶことにより横断面が決定される。

次に、図-3 に示すように、横断面周辺の点群データから TIN (不整三角網: Triangulated Irregular Network) ¹⁾ を発生させ、TIN と横断面の交線を計算することにより、道路表面の横断形状が求まり、1m ピッチの標高を求めることができる (図-4)。しかし、ここで問題となるのは、MMS は鉛直方向の絶対精度がやや低いために、これらの標高値には数 cm 程度の誤差が含まれているということである。一方で、MMS は横断方向の相対精度は高く、その誤差は数 mm と小さいという性質がある。そこで、本研究では、白ペイント上の標高値を水準測量器による方法で正確に計測しておき、両端点における MMS により求めた標高値との差分を横断面内で端点からの距離に応じて比例配分することにより、横断形状を補正することとした。白ペイントは道路の側溝付近であるから、水準測量器による測量を行う際、交通規制を行う必要はない。図-5 に示すように、両端点の距離を d 、左端点および右端点の MMS による求めた標高値と水準測量器により求めた正確な標高値との間の差を各々、 E_L 、 E_R とすると、左端点から p の距離にある点における MMS の標高の補正值 E_p は、

$$E_p = \frac{(d-p)E_L + pE_R}{d} \quad (1)$$

となる。

これにより求めた 1m ピッチの補正された路面標高から切削厚を決定する。



写真-1 MMS の側方からの外観



写真-2 MMS の車外搭載機器の上方からの外観



写真-3 MMS の車内搭載機器



写真-4 MMS の車内搭載機器

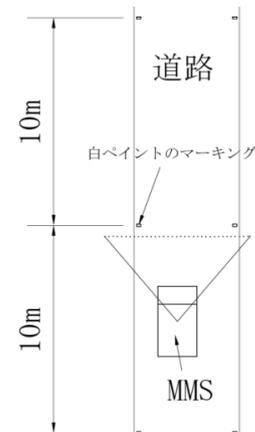


図-2 白ペイントでマーキングした道路と MMS

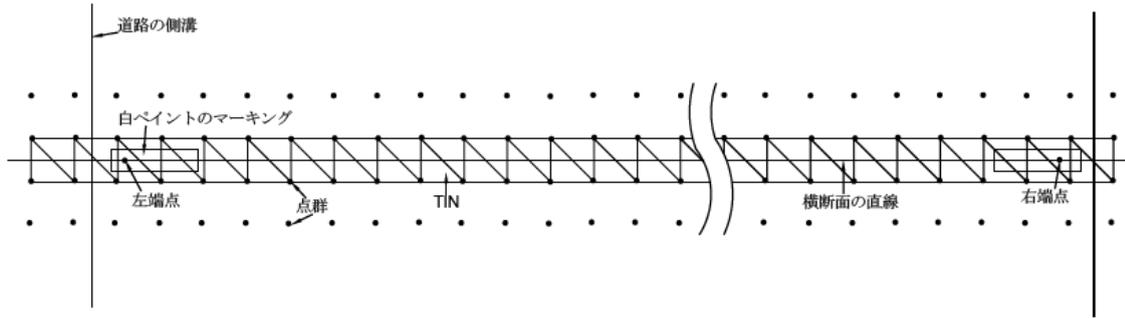


図-3 点群データから発生させた TIN と端点

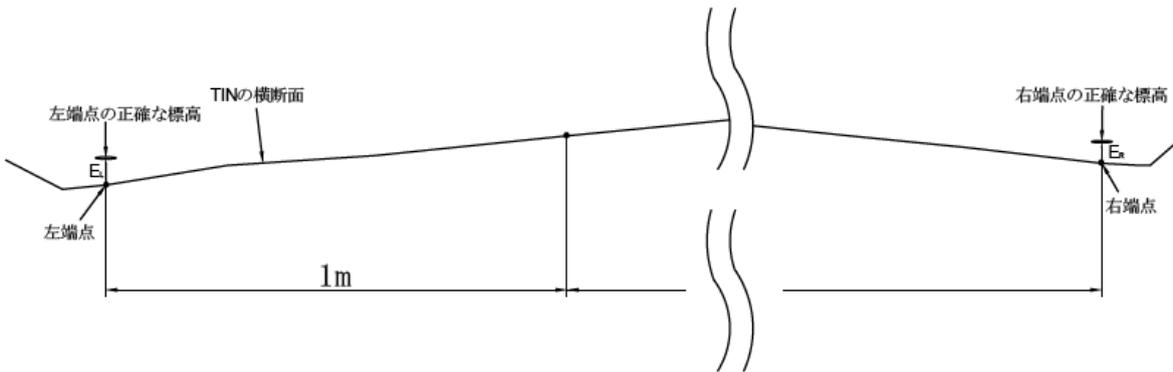


図-4 TINの横断面と端点の正確な標高

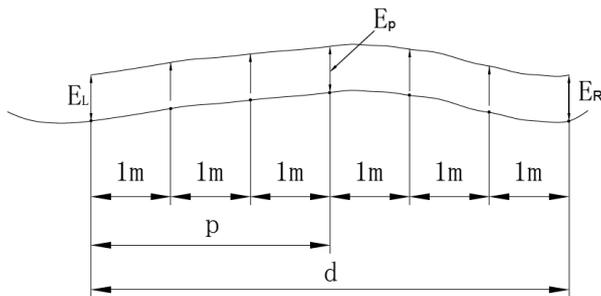


図-5 左端点から p の距離にある点の補正值を求める方法

本手法の長所は、従来の手法で必要だった交通規制を行わなくて済む点である。次に、端点での水準測量器による計測はあるものの、1mピッチの横断方向の計測がなく、MMSで計測走行するだけで良いので、短時間で効率的に行える点である。従来の方法では、野帳に記入したデータをパソコンなどに入力する際にミスが頻発するが、本手法ではそうしたリスクが少なくなり、ほぼ自動的に路面形状を計測でき、切削厚を決定できることである。

3. 計測実験

本手法によって得られる横断面上の標高データの精度は数 mm と予測されるが、実際に計測したことがなかったため、実験により計測し、検証することとした。

実験対象は、大阪大学吹田キャンパスの S4 棟の南側に位置し、歩道および街路樹、植込みなどを有する片側 1 車線の道路とした (図-6, 写真-5~写真-7)。計測距離は、180m で、東側の起点から 100m の区間は直線で、その後、南にカーブしながら登っており、車道の幅は 5.2~7.3m であった。測点番号としては、起点を No.0 とし、10m 毎に No.1, 2, ... とし、終点を No.18 とした。また、1m ピッチの点は、左端点からの距離 (整数) を測点番号にハイフンを介して付した。例えば、No.1 の測点で、左端点から 3m の距離の点は、1-3 となる (図-7)。

従来の水準測量器による手法では、Auto Level (Topcon AT-G3) と巻尺、スタッフを用いた (写真-8, 写真-9)。MMS による提案手法については、三菱電機の MMS-X 220²⁾ を用いた。本機器は、プログレッシブスキャンデジタルカメラ 2 台 (500 万画素, 水平方向視野角 80°, 垂直方向視野角

64°), レーザースキャナ2台(前方向上向き25°および前方向下向き25°)などをフォルクスワーゲン Golf Touran に搭載したものである。

実験ケースとしては、MMSの走行速度を20km/hと40km/hの2ケース、MMSに搭載しているGPSが5基以上の人工衛星を捕捉している場合をOK、

ビルディング等の障害物によって捕捉衛星が5基未満をNGとする2ケース、起点から終点までの方向を走行した場合を往路a、逆を復路bとした2ケースを設け、2×2×2の総計8個のケースについて実験を行った。

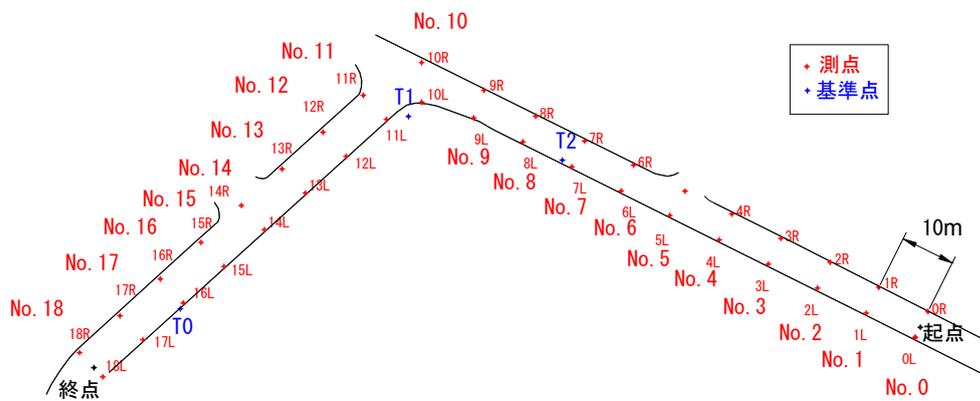


図-6 実験の対象とした道路の平面図



写真-5 測点 No. 6 付近から起点方向を望む



写真-6 測点 10R 付近から測点 10L 方向を望む



写真-7 測点 No. 12 付近から終点方向を望む

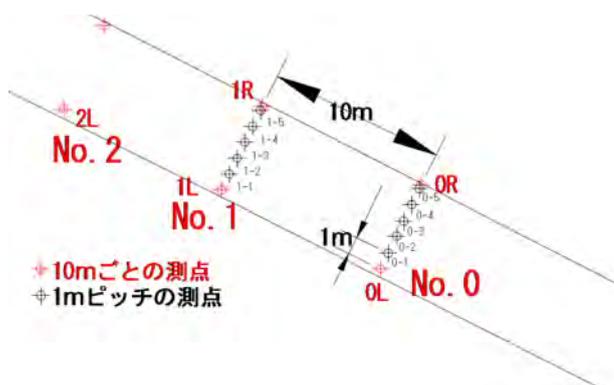


図-7 測点位置の概略図(起点付近)



写真-8 1m毎の測点の設置状況（白ペイントが見える）



写真-9 Auto Levelによる1m毎の測点の標高計測

表-1 実験結果

測点No.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	平均
OK20a	2.8	7.0	2.8	18.4	8.8	2.6	4.2	3.8	5.2	3.4	2.7	5.8	5.2	5.2	3.3	3.2	3.2	4.2	5.8	5.1
OK20b	3.4	4.2	6.6	14.2	6.0	3.8	4.0	5.6	4.6	6.0	12.0	5.2	3.2	6.3	4.5	5.7	2.3	5.3	9.5	5.9
OK40a	4.6	7.8	1.8	24.0	10.2	5.4	2.2	5.2	7.0	4.6	7.0	8.5	6.8	3.2	3.0	2.5	2.2	8.8	9.5	6.5
OK40b	6.6	3.2	5.8	20.2	6.0	4.2	1.4	8.2	5.6	9.2	23.3	3.5	4.7	3.0	5.0	1.3	3.8	4.0	2.5	6.4
NG20a	5.0	6.2	3.6	10.8	11.0	3.4	5.4	5.8	18.4	5.8	3.9	8.5	3.2	3.7	3.0	5.8	9.7	11.0	6.5	6.9
NG20b	3.0	8.2	6.2	5.4	5.2	3.8	2.6	3.2	3.8	4.2	9.9	3.8	5.0	4.2	4.2	4.2	3.0	5.3	4.2	4.7
NG40a	6.4	9.6	5.2	5.4	16.2	3.2	2.0	6.4	5.0	6.2	3.9	5.5	3.2	2.0	2.3	2.8	5.3	3.7	6.5	5.3
NG40b	6.4	5.6	5.4	6.4	5.2	4.6	4.0	4.4	4.8	8.0	22.4	6.3	5.5	3.5	7.0	5.8	3.8	3.0	10.3	6.5

4. 実験結果と考察

従来方法を正の値と仮定し、MMS による提案手法による標高値との差を誤差とし、その誤差の絶対値の平均を各測点の横断面毎に計算して整理したものを表-1 に示す。

実験結果を見ると、絶対値の誤差の平均は数 mm であることがわかる。次に、GPS で人工衛星を 5 個以上捕捉している OK とそうでない NG との差はあまりないことがわかる。これは、GPS の絶対誤差は、本手法ではあまり影響がないことが原因だと考えられる。また、MMS の速度が 20km/h と 40km/h の場合の違いもあまりないことがわかる。これも GPS の絶対誤差の影響が小さいことによると考えられる。

しかし、測点 No.10 の往路 a と復路 b のデータを比較すると、復路 b の誤差の方が大きい。これは、図-8 に示すように、No.10 が往路から見れば、ちょうど左カーブに入る場所であり、往路では車体がまだ傾く前であるのに対し、復路では、カーブの終わりに近い場所であるので、車体が大きく傾いたままの状態であることが原因と推測される。

また、測点 No.3 の誤差が他の測点よりも大きいことがわかる。これは、図-9 に示すように、No.3

の白ペイントを塗った部分に段差があったため、実際の高さと周辺の点群データから内挿して求めた白ペイントの位置の標高値に大きな違いが生じてしまったからである。こうした誤差が生じないようにするためには、白ペイントを段差のある位置に塗るのではなく、図-10 に示すように、端点となる位置から最低でも 10~15cm は離すことが必要であることがわかった。

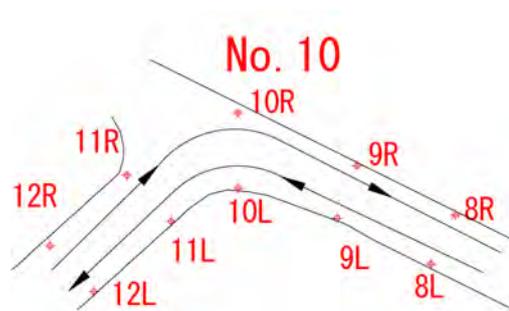


図-8 測点 No. 10 における往復のルートの違い

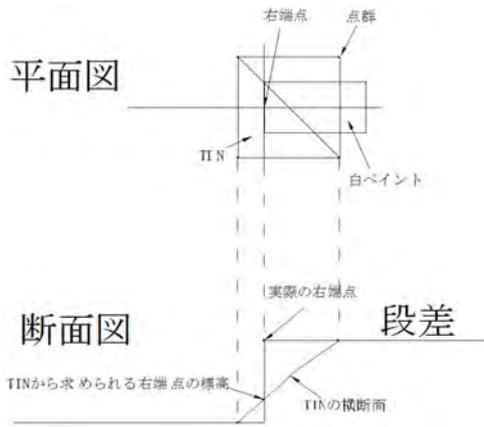


図-9 測点 No. 3 の右端点の段差と誤差の関係

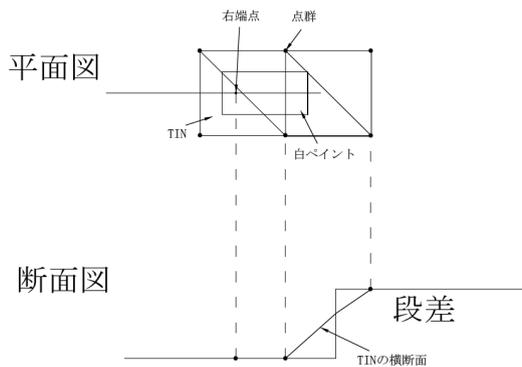


図-10 段差付近で白ペイントを塗布する位置

5. 結論

本論文では、道路改良工事の工法の一つである切削オーバーレイ工法を用いる場合、従来の水準測量器を用いた手作業では、交通規制が必要であり、時間と労力がかかることを指摘し、10m 毎に白ペイントを路肩付近に塗った上で MMS を用いて路面上のデータを計測し、処理を施すことにより切削厚を決定できる新しい手法を提案した。この方法を用いることにより、ほぼ自動的に切削機のマシンコントロールに必要なデータを作成することができ、情報化施工に資するものと考えられる。誤差を評価するために、大阪大学内の道路で計測実験を実施したところ、絶対値で誤差が数 mm であることなどがわかった。

今後の課題としては、さらに、種々の異なる条件を持つ道路で計測実験を行い、誤差評価を実施していくことが挙げられる。さらに、従来方法では、10m 毎の測点の横断面のデータしか得られなかったが、MMS を用いた本手法では、測点の数をもっと増やしても効率はあまり変わらないことから、より精度の高い切削厚を決定する手法になり得ると期待される。

参考文献

- 1) 矢吹信喜・蒔苗耕司・三浦憲二郎：工業情報学の基礎，理工図書，2011.
- 2) 三菱モービルマッピングシステム，<<http://www.mitsubishielectric.co.jp/pas/mms/>>，(入手 2011.7.27).

38. 車載型移動体3次元計測データを用いた IRI 値の算定について

立命館大学
(株)アスコ
立命館大学

○ 横山 隆明
番上 勝久
建山 和由

1. はじめに

効率的で高精度な道路施設の位置把握手法として、三次元レーザスキャナと GPS 等を搭載した車両の走行による車載型移動体三次元測量技術が注目されている¹⁾。この手法は、高精度で高密度のデータを供用中の道路において車両走行の規制などを行わず測量が可能であるなど多くの利点を持つ。本論文ではこの測定手法により得られた道路の三次元測量結果を用いて、道路の平坦性を評価するための世界共通指標として導入されつつある国際ラフネス指数 (IRI) の算出を試みた。三次元測量結果は精度の面から見ると IRI 算定において規定されているクラス I と同等のレベルとみなすことができるため、極めて信頼性が高い IRI 値を簡便で廉価に得られることが期待される。また本手法の特徴として、1 回の走行で路面だけでなく周囲の構造物の三次元情報も同時に計測されるため、それらの三次元位置情報を利用した複合的な調査/補修計画の立案が可能になるという特徴がある。

本論文では、実際の路面において行われた三次元測量結果を元に路面走行位置に相当する計測データを抽出し、抽出されたデータから導いた IRI 値の有効性の検討を行った。

2. 移動体による空間情報の計測技術

2.1 概要

本技術の計測システムは GPS で車両の位置を 0.5s 間で算出し、IMU で車両の傾きやスピード、方向を計算して、レーザスキャナデータで三次元の座標を与えるとともに写真による画像データと重ね合わせ現在の状況を把握するものである。使用機材はレーザスキャナ・カメラ・IMU およびこれらを搭載する車両である、その概要を図-1 に、計測状況を図-2 に示す。

2.2 計測技術の特徴

一般車両と同様に走行しながら計測を行うことが可能で次のような特徴を備えている²⁾。

- ① 通行止めや規制の必要が無く、また作業員が通路に立ち入る必要が無い。
- ② 車両に機器を搭載し走行するだけで視認範囲の全ての情報が取得できる。

- ③ 一度データ取得を行えば、必要な時に必要な情報を、現地に赴くこと無くコンピュータにより観測したり図化することが容易にできる。
- ④ 計測車両は、計測中も時速 60km 以上での走行が可能であり、交通の流れに沿って計測を行うことができる。
- ⑤ 航空測量では計測が困難であった道路沿線の標識内容を認識するための地上からの写真も同時に取得できる。
- ⑥ 高密度点群により、任意の箇所での高精度な三次元形状の把握と同時に、前方・広報・速報の写真を短観核にて撮影することにより、点群だけでは把握できない道路表面の状況変化などを認識することができる。
- ⑦ 取得写真は全て GPS/IMU により高度な幾何情報を持つので、写真計測による精密計測が可能である。
- ⑧ 高レンジ・スキャナ (最大 300m) により、道路沿線法面・周辺建物および送電線などの形状を、高密度・高精度三次元点群として取得できるので、これらに対し道路施設同様の計測が可能となる。



図-1 計測システムの概要



図-2 移動体による計測状況

2.3 他の計測手法との比較

平面図を作成する測量手法として従来から行われているのは「現地測量」および「航空測量」が一般的である。供用中の高速道路等において、従来手法を用いる場合、前者は現地立ち入りが非常に困難であり、後者においても精度を求めるならば、現地補測が必要となる。また、トンネル部分があると「航空測量」では図面化できない箇所も多い。本システムでは、トンネルを含んだ路線計測においても高精度の計測が可能である。

図-3に計測された三次元点群データを示す。各点群データはX, Y, Z各座標および輝度で構成されている。輝度についてはたとえば路面上の白線等レーザの反射率が高い値となりディスプレイ上で輝度に応じた表示をすることにより判別が可能になる。これらの点群データから路面だけでなく沿線の状況も同時に取得でき、計測後には計画～維持管理まで広範囲に利用が可能になる。計測自体は1回で済むため、これらの作業を複合的に組み合わせる事でコスト削減効果も期待できる。図-4に三次元空間情報の利用のイメージを示す。

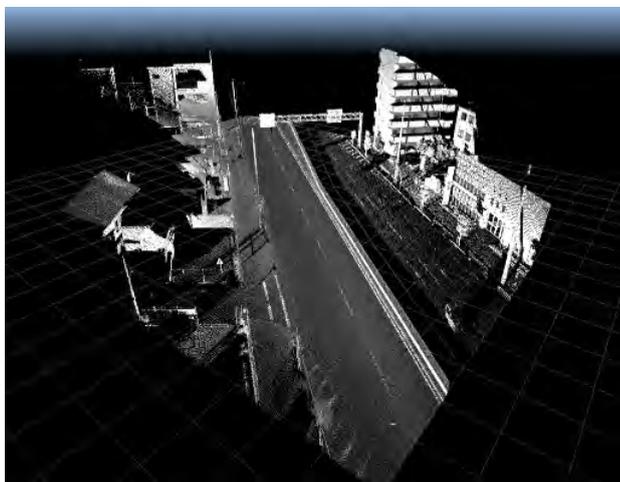


図-3 計測された三次元点群データ



図-4 三次元空間情報の活用

2.4 計測精度の検証

三次元計測に先立ち本計測システムの精度の検証を行った。検証方法は一般の路面を使用し、50mを10mピッチに分け本システムで路面を3次元計測し、得られた値を実測値と比較した。実測値と計測値の照合は白線に反射テープを貼り付けることで輝度の変化により点群から容易に照合点を抽出できるようにして行った。照合ポイントは50m区間に計14ポイント設けた(図-5)。

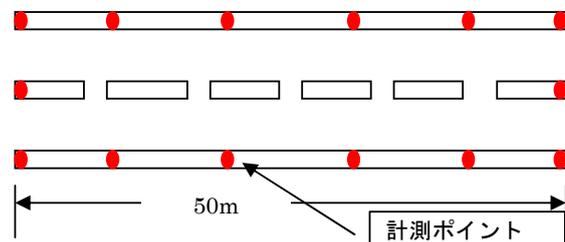


図-5 精度検証のための計測ポイントの設置

検証の結果、実測値との差は鉛直方向に対して3mm以内に収まることが確認された。

2.5 IRI値の算出

IRI(International Roughness Index)は図-6に示すような車両の仮想振動モデルを想定した指数である。このモデルがあるプロファイルを持つ路面を走行したときの上下動の積算値を走行距離で除することによって求められる。

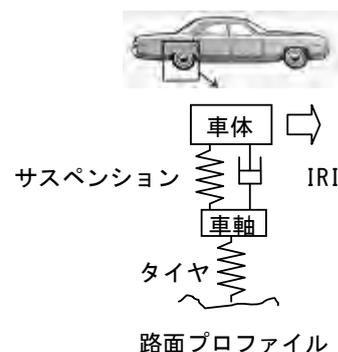


図-6 クォーターカーモデル

このため、従来の路面の平坦性を表す指数より

ドライバーの乗り心地に近似の指数でユーザー視点であり、測定が簡単で、経年変化が把握しやすく、橋梁接手、マンホールなども含めた乗り心地の評価が可能であるなどの利点を持つ。

IRI 値算定においてはその算出方法の違いによって表-1 に示すようなクラス分けが示されているが、移動体三次元測量による計測精度としては表-1 に示すクラス 1 に相当する。

表-1 IRI の算出法によるクラス分け

クラス	算出方法
1	間隔 250mm 以下の水準測量で縦断プロフィールを測定し QC シミュレーションにより IRI を算出する
2	任意の測定装置で縦断プロフィールを測定し QC シミュレーションにより IRI を算出する
3	RTRRMS(レスポンス型ラフネス測定システム)でラフネス指数を測定し、創刊式により IRI に変換する
4	パトロールカーに乗車した調査員の体感や目視により IRI を推測する

表-2 に IRI 値によるラフネス尺度を示す。IRI を用いることで、全く維持管理がされていない未舗装路までの縦断方向のラフネスを同一尺度で表現することが可能になる。

表-2 IRI 値によるラフネス尺度

IRI 値	路面の状況
0~2	滑走路および高速道路
0.8~3.5	新しい舗装
2.0~6.0	古い舗装
3.5~10.0	維持された非舗装道路
4.0~11.0	損傷を受けた舗装道路
8.0~	荒い非舗装道路

3. 三次元計測データからの IRI 値算出方法

IRI 値を算定するためには、計測の結果得られる三次元点群データから IRI 算定に必要な路面のプロファイルの作成を行う必要がある。そのためには座標データである三次元点群データを走行距離をパラメータとして持つ路面のプロファイルデータに変換する必要がある。

路面のプロファイルの作成手法を図-7 に示す。

図-8 に三次元データから抽出した路面の座標データから走行軌跡およびタイヤ位置を設定している様子を示す。設定が終了したら設定されたタイヤ位置に相当する点群データの抽出を行う。図-3 に示したように点群データはタイヤ位置のみだけでなく広範囲のデータが含まれているので、一度の走行だけでたとえば複数車線のデータを抽出することが可能になり大幅なコストダウンが可能に

なる。タイヤ位置に関しては、今回は左タイヤに相当する点群を抽出した。

次に抽出されたタイヤ位置の点群データを設定区間で分割する。区間長は IRI 値に指定されている最大のサンプリング区間 0.25m³とした。そして各区間の中心点を導き、その中心からある範囲に位置する点群データを抽出する。今回は半径 0.1m の円を描き、その円の中に存在する点群を抽出することとした。抽出した点群を平均しその区間の路面の高さとし区間数に応じた距離をパラメータとして持つ路面のプロファイルデータを作成した。

図-9 にタイヤ軌跡の点群データから各区間の路面高さの抽出状況を示す。図-7 ではタイヤ軌跡の点群は赤で、区間毎に抽出した範囲を青い円で示している。抽出する座標の数は、計測時の速度によって点群データの密度が異なるため変化する。

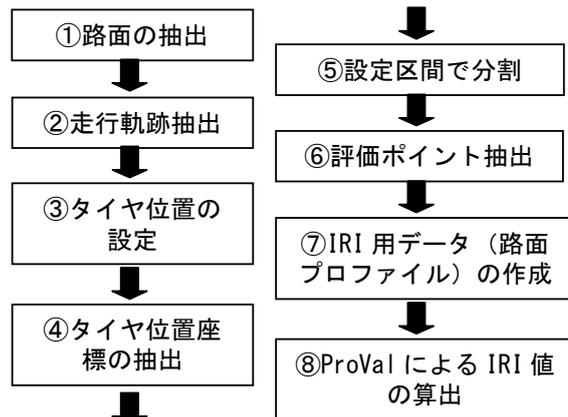


図-7 IRI の算出方法

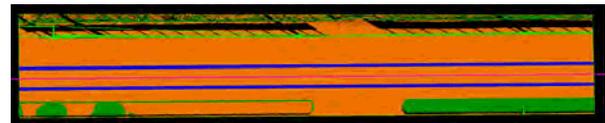


図-8 タイヤ位置の抽出 (赤線: 走行軌跡, 青線: タイヤ位置)

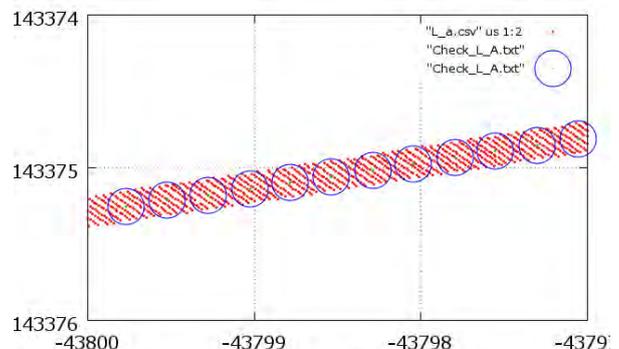


図-9 タイヤ軌跡からの路面プロファイルの抽出

今回のデータでは 1 区画毎に 15~40 個程度の座標を抽出し区間の路面高さを算出している。

このようにして作成した路面のプロファイルデータを ProVal 3.1⁴⁾を用いて IRI 値を算出した。

4. 三次元計測データからの IRI 値算定

実際に路面を走行して取得された三次元計測データからの IRI 値算定を行った。算定に用いたのは以下の3路線である。

路面 A: 郊外の工業地帯に位置する路面。路面の状況を図-8 に示す。図-10 に示すように路面に多くのひび割れが生じており、荒れた路面に属すると思われる。計測距離は 66m である。計測時の速度は 30~40km であった。



図-10 路面 A

路面 B: 古い街道筋の生活道路である。図-11 に路面の状況を示す。車線は狭いが路面は維持管理が行き届いており路面状況は良好だと思われる。生活道路のため、排水施設関連のマンホール等が散在している。計測距離は 50m である。計測時の速度は 10~20km であった。



図-11 路面 B

路面 C: 郊外の高速道路。高速道路のため路面の状況は路面 A, B に比べると良好であると思われる。図-12 に路面の状況を示す。計測距離は 112m である。計測時の速度は 60~70km であった。

表-2 に各路線の IRI 値を示す。IRI 値については各路面の全長における値を示している。

表-2 を見ると路面にひび割れが多く高めの IRI 値が予想された路面 A において 4.3 という最も高い IRI 値が計測され、最も路面状態が良いと思わ

れる路面 C では 2.66 という低い IRI 値が計測されていることがわかり、概ね路面状況を的確に捉えているものと考えられる。またそれぞれの IRI 値としても概ね妥当な値が得られていると考えている。



図-12 路面 C

表-2 各路線の IRI 値

路面	距離	IRI 値 (m/km)
路面 A	66m	4.3
路面 B	50m	3.3
路面 C	61m	2.66

5. まとめと今後の課題

移動体による三次元計測データからタイヤ走行部分に相当する座標のデータの抽出を行い、路面のプロファイルを作成し ProVal を用いて IRI 値を算定した。その結果、概ね路面の性状にきいた妥当な値を得ることが示された。

今後は、MCI 等の既存の路面性状を表す指標との相関や、レスポンス型路面プロファイラーなどの既存の IRI 値算定システムで得られた値との比較検討を行い、三次元計測データからの IRI 値算定についての妥当性の検討を行う予定である。また三次元空間情報と組み合わせた IRI の活用法についても検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 番上勝久・西野克明: 道路施設の位置情報把握における車載型移動体3次元計測技術の適用, 日本写真測量学会 学術講演発表講演集, 巻2010, pp.29~32, 2010年10月
- 2) 下田順也・岩槻晃右: 道路施設の位置情報把握における空間情報計測技術の試験適用, 阪神高速道路第42回技術研究発表会論文集
- 3) 路面のプロファイリング入門(舗装工学ライブラリー), PP.16~17
- 4) <http://www.roadprofile.com/>

II 梗概集

1. 3Dレーザスキャナを組み合わせた情報化施工技術

株式会社コイシ 小原 文男
株式会社コイシ ○神矢 教子

はじめに

現在、情報化施工が普及しつつある中、弊社で取り組んでいる3次元データの活用方法についてご紹介させていただきます。

弊社では、平成16年に3Dレーザスキャナを導入しました。導入当初は、3次元計測についてほとんど知られていませんでしたので、まず現場で認めてもらうために計測デモを行ってききました。ようやくここ1、2年で工事測量業務における3次元計測の割合も増え浸透しつつある状況です。

3次元データの活用例としては、身近なところでは地域住民の方への情報公開（地元説明会）、施工現場完成イメージ等に使用されております。以前は、丁張を掛けて説明をしていましたが、地形データに計画を入れて初めて地元説明会に使用しました。また、施工面においては、発注図や数量の確認に使用しております。



特徴 ～3Dレーザスキャナのメリット～

1. 施工範囲全域の詳細形状を把握
2. 作業環境の向上（高所作業・法面作業を回避）

このメリットを生かすことで、図面では分かり得ない点を着工前に知ることができ、施工に重要な工期や予算に関係する部分について早めの対策ができます。

3Dレーザ計測と計画モデルの合成による確認



また、設計図面より作成した設計3Dモデル（施工対象物の3Dモデル）から設計形状・寸法照査を行い、工事の完成形や現況との擦り付け、施工問題点を可視化することができます。

施工エリア算出を各施工ステップに合わせた施工管理モデルを作成することにより詳細な施工数量の算出ができます。

施工内容に合わせた施工管理データの取り出しが可能となりますので、情報化施工の転圧管理システムのデータ、設備プラント等において計画時に工程毎の干渉確認やマシンコントロールにも反映されます。

まとめ

3Dモデルは、用途の幅が広く、また効率の良い施工現場に役立っていると思います。

現在、3Dモデルで数量を拾った場合でも数量計算書は必要となります。

数量はソフト上での結果となりますので、各ソフトの評価を求める意見もあります。

ただ、評価だけに頼らず、数量をボクセル等の表示で見える化で信憑性を持ったデータに仕上げる方法が今後の3Dモデル活用の更なる発展に繋がっていくと思います。

2. 土砂と金属材料の接触における静電気帯電特性の追究と摩耗支配則の解明

明石工業高等専門学校 都市システム工学科

江口 忠臣

明石工業高等専門学校 専攻科 建築・都市システム工学専攻

○ 清水 光治

1, 背景

本研究は、日本建設機械化協会関西支部摩耗委員会で新たな摩耗予測手法の可能性として、摩耗と静電気帯電の関連性について指摘されたことから、建設機械の安定した掘削性能維持を実現させるため、既往の研究では解明しきれていない摩耗支配則について、静電気帯電特性の面から解明を試みたものである。

掘削ツールの性能維持は、現場の土砂と接触することで起こる摩耗と密接に関係しており、摩耗支配則を解明することは安定した掘削作業を行うことができ、さらには不測の事態を未然に防ぐ重要な手段となる。

しかし、現代の技術進歩においても、作業部分の金属に対し、土砂や岩石を構成する硬い鉱物粒子には摩耗を起してしまうのが現状である。

現在までに多くの研究者によって摩耗関連データの蓄積が進められてきているが、従来の手法においては

- ◆ 対地盤、対岩盤摩耗性は一律の予測が難しい
- ◆ 耐摩耗性向上のために材料硬さだけでは対応できない
- ◆ 一般的摩耗試験において精度を高めるためには長時間、試験することが必要
- ◆ 掘削時のリアルタイム耐摩耗性の把握は困難などの問題点も存在する^{1) 2)}。

物体同士の摺動場面において静電気の発生は常態であり、大きな摩耗が生じる掘削ツールと対象地盤・岩盤との接触においても、同様の現象があるものと推測される。

以上の背景を念頭に、本研究では、物体同士の摺動場面において発生する静電気を、摩耗支配則解明に利用するための計測対象とする。

2, 実験方法

実験では、静電気分野において以前から用いられている³⁾、カスケード法・ファラデーゲージ法を組み合わせることにより、金属側の帯電量を計測することを可能にした。図-1は今回作成した、静電気帯電量計測システムの概略図である。静電気実験の流れとしては、適量の標準砂をホッパから落下させ、傾斜板と接触・摩擦しながら、ファラデーゲージの内側容器に捕集していく。この場合は、標準砂と傾斜金属板との接触・摩擦帯電を測定していることになる。適量の標準砂を滑落させた後、標準砂の供給を停止し、帯電量の経時変化をみる。

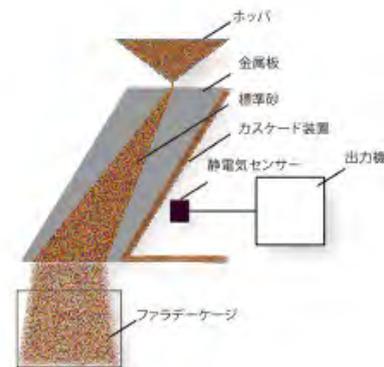


図-1 静電気帯電量計測システム

3, 試験材料の基本特性

1) 標準砂

今回用いた標準砂は、JIS規格であるセメントの物理試験方法(JIS-R5201)によって定められた砂、豊浦標準砂を使用した。

2) アルミニウム, ステンレス鋼

表-1 は, 今回用いた金属板の基本特性である. ステンレス鋼はオーステナイト系 (18Cr-8Ni 系) SUS304 を使用. また, アルミニウムは, 純アルミニウム板を採用している.

表-1 金属材料の基本特性

金属の種類	弾性係数 (KN/mm ²)	ビッカース硬度 (HV)
オーステナイト系 (18Cr-8Ni系) SUS304	193	68.3
純アルミニウム (99.0%) の性質	162	51.7

4, 実験結果と考察

標準砂と金属が接触した際の静電気帯電傾向について検証する.

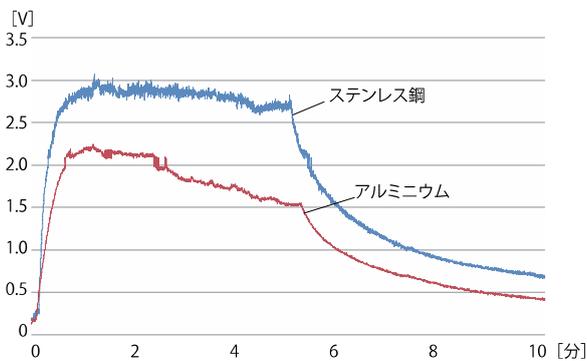


図-2 アルミニウム・ステンレス鋼 帯電結果

図-2 に今回の実験で得られたデータの一例を示す. アルミニウム・ステンレス鋼の帯電結果から, 金属の物性が異なることにより, その帯電量に違いが生じることが確認できた.

また, 金属の帯電傾向は接触を繰り返すことで飽和状態となるが, 実験回数を重ねるごとに, この飽和値が低下していくことが両金属で確認された. これは回数を重ねるごとに新生面が標準砂によって少しずつ摩擦され, 繰り返し接触した面では, 新たな摩擦が起こりにくく, 帯電量が低下していくということが考えられる. 接触によって帯電量が多くなる理由としては,

以下の要因が考えられる.

- 1) 物体同士の摩擦による有効接触面積の増大.
- 2) 発熱によって表面の電子を励起し, 表面の電子の分布を変化させる.
- 3) 表面にストレスがかかると, 物質によっては圧電効果(物体に力を加えると, 力に比例して電圧が生じる現象)が起こる. これによって電界が形成され, 電子の移動に影響を及ぼす.
- 4) 表面層の削り落としによる新生面の露出.
- 5) 表面の破壊による電荷の放出.

以上のことが考えられ, 接触時には金属表面が摩擦することで電荷を持った物質が移動するため, その帯電量も大きくなっていくことは, 当然考えられる事象であり, 実際に金属側の帯電で大きく影響しているのは, 摩擦現象であると考えられる.

5, 結論

- 1) 標準砂と金属材料(アルミニウム, ステンレス鋼)が接触した際の, 金属側の帯電特性が確認され, 静電気による帯電量は金属側において飽和することがわかった.
- 2) 土砂と金属板との接触を再現し, 静電気帯電量を計測する実験手法は, 本研究で用いた静電気帯電量計測法が有効であることがわかった.
- 3) 金属材料は土砂との接触を繰り返すことで, 帯電量が減少していくことから, 標準砂と金属間における静電気帯電量に最も起因するのは, 接触によって発生する金属側の摩擦であり, 表面層の削り落としによる新生面の露出と, 表面の破壊による電荷の放出が帯電量に影響する大きな要因だと考えられる.

6, 参考文献

- 1) テラメカニクス研究会土砂摩擦対策委員会編: 土砂摩擦の話-建設機械作業部品-, 2000.
- 2) 社団法人日本トライボロジー学会編: 摩擦・摩擦試験機とその活用, p. p6-16, 2007
- 3) 静電気学会編: 静電気ハンドブック, p417, 2006.

3. 形状効果によるビット応力低減法

明石工業高等専門学校 都市システム工学科 江口忠臣

明石工業高等専門学校 専攻科 建築・都市システム工学専攻 ○小田和也

1. はじめに

ここ数年の自然災害において土砂災害が多発しており、災害時の復旧作業に供する建設機械の掘削ツールの性能は時間的制約の大きな緊急状況下で作業の成否を左右する要因となる。作業時の掘削性維持は掘削ツールの摩耗と密接に関係しており、摩耗支配則を解明することは不測の事態を未然に防ぐ重要な手段となる。

工期中、予想される悪条件下においても安定を保ち得て、さらに所定の掘削性能を持ち続ける掘削工を実現するためには、その要求に合致する掘削ツールの開発が必要である。掘削ツールの強度設計には材料工学的アプローチによる高強度素材開発、掘削対象とツールの力学的相互問題解決および摩耗試験による摩耗予測手法を基本としている。

本研究では、破壊強度に着目した応力分散手法に加え、摩耗に影響を与える応力成分を対象とし、形状効果による破壊強度増大と摩耗進行抑止を同時に実現する理論の構築を図る。ここでは室内実験用プロトタイプビットの最適形状設計のためビットの特徴的な形状を抽出し、それらを変化させる事によって数値実験により応力状態を解析した。

2. 解析方法

図1はポイントアタックビットが装着された岩盤切削機の切削ドラムである¹⁾。ビットの摩耗機構の解明のためには、ビット表面の基礎的な応力分布状態を把握しておく必要がある。本研究では、室内におけるビット実負荷実験を行うためのプロトタイプを設計するため、摩耗要因として想定される応力について把握し、最適形状を追究することを上位目的としている。ここでは変量模型実験としていくつかの変量因子を取り上げ、数値実験により最適形状決定に寄与する効果を検

討する。数値実験は有限要素法 (ANSYS Workbench10.0) による解析によって行った。

ビットの応力状態の解析のために、ビットの特徴的な形状を抽出する。ここでは図2に示すビット先端角 α 、フィレット部半径 R 、ボディ幅 $2B$ を抽出した。数値実験におけるビットの拘束条件はホルダーに支持されたビット下端、ホルダー円筒部とシャンク下面は単純支持と、ビット先端の円錐面に分布荷重を作用させて各要素の組み合わせにより125パターン基礎数値実験を行い、効果を詳細に分析するための追加実験も行った。



図1 岩盤切削機の切削ドラム¹⁾

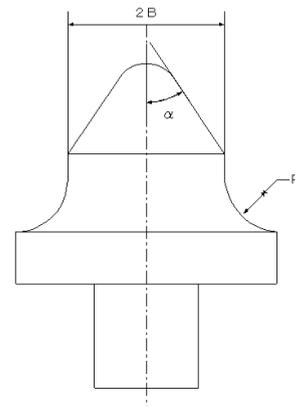


図2 ビット形状と抽出要素

3. 結果と考察

最大主応力の応力分布例を図3に示す。最大主応力においては、ビット先端で高い値を示し、斜面に沿って応力は減少していく。そして一度上昇した後、再び減少してビット先端部とボディの接続部付近で最大主応力は0となる。その後負の値となり、フィレット部で負の最大値を示す。最大せん断応力では先端部からボディへと応力は上昇し、フィレット部で最大値を示す。

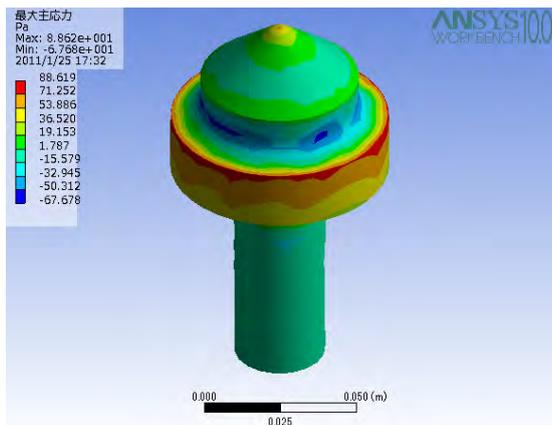


図3 最大主応力の分布状況例

フィレット部半径R, ボディ幅2Bの比であるB/Rの変化によるフィレット部最大主応力を図4に示す。解析結果における応力はホルダー部に発生する応力との比(無次元)を用いて表している。図より最大主応力はB/Rの指数関数で表され、非常に相関の高いものになっていることが読み取れる。つまり応力の減少傾向は、大幅な減少から緩やかな減少へと変化している。これはフィレット半径Rが減少することによって応力集中が発生しやすい状況になっており²⁾、ボディ幅Bの増加による応力低減効果が相殺されているといえる。従って、フィレット部の応力分散効果は制約された形状においては合理的なB/Rが存在する。

次に、ビット先端角 α を変化させた場合の円錐面最大主応力を検討する。ビット先端位置を0とし、円錐面下端を1とした時の先端角ごとの結果が図5である。この図から主応力0となる位置がビット先端角 α の設定によってコントロールできることがわかる。さらに、設定されたビット先端角によっては主応力が0付近の

範囲が拡大しており、形状効果によって結果的に強度増加をもたらす設計が可能となることがわかる。

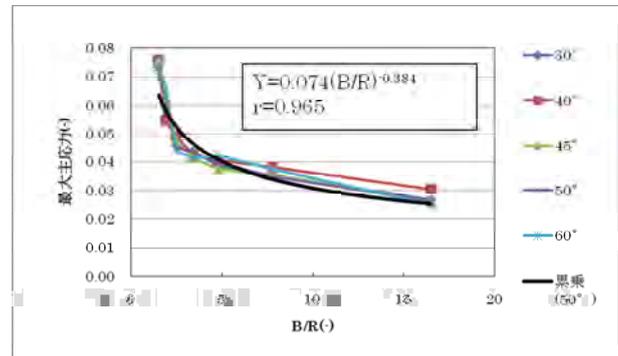


図4 B/Rの変化によるフィレット部最大主応力

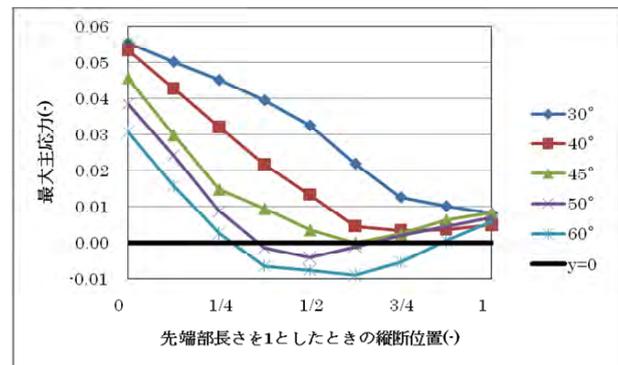


図5 ビット先端部最大主応力発生状況

4. まとめ

- ・シャンク部形状が固定される場合、発生する応力はボディ幅Bの影響が大きく、応力分散効果は制約された形状においては合理的なB/Rが存在する。
- ・先端角 α 、フィレット半径R、ボディ幅Bの組み合わせによりビット先端部最大主応力が0となる領域が発生する。

参考文献

- 1) 奥村組土木興業, 低騒音・低振動・低粉塵岩盤切削工法/岩盤切削機サーフィスマイナー, 日本建設機械化協会関西支部摩耗対策委員会第233回委員会資料, 2011
- 2) 応力集中, 西田正孝, 森北出版, 1967

4. アスファルトフィニッシャの敷均し制御システム「ラインリーダ」

○鹿島道路 (株) 木下洋一
 (株)トライテック 柴崎秀一

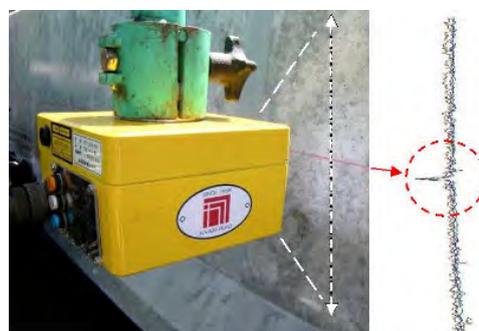
概要

舗装工事において舗装面の高さを一定に保つための基準となるもの、たとえばワイヤ、角材、構造物などを利用しこれに倣って施工する（写真－1）。橋梁部など高欄が迫っていて基準が取れない場合など施工が難しくなる。このようなとき側壁などに基準チョークラインを引き、これを光学センサで読み取って高さの基準としてトレースできるシステム「ラインリーダ」を開発し、橋梁部舗装工事に採用した（図－1）。

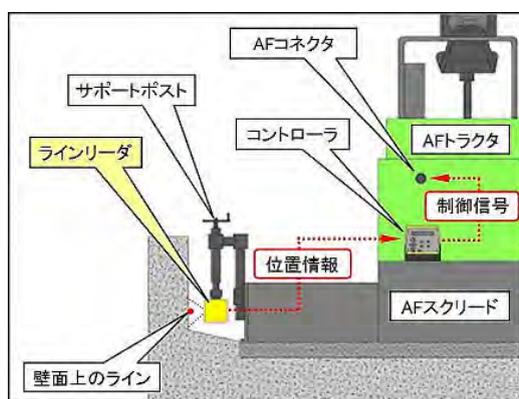


写真－1 従来の施工

カメラから見てラインが上昇する傾向にあれば、敷均し機械に高さ上げの信号を、下降すれば下げ信号を出す仕組みである。ラインリーダは基本的には壁面がある施工エリアへの導入という目的で開発され、高欄がある橋梁やトンネル内の舗装施工など現場内に十分な作業スペースが確保出来ない所で、簡単に高さラインを引くだけで手間を掛けず、基準設置作業の煩わしさから開放されるシステムである。



写真－2 原理



図－1 システム図

原理

カメラセンサが、上下に一回スキャンすると壁面に描かれた赤色系のライン部分がピークとして検知される。これを進行方向に連続的にトレースしていくことで高さの基準として認識していく。（写真－2）

特徴

- ①ワイヤや治具などの基準設置や撤去の手間が省ける
- ②非接触でチョークラインを読み取って基準とする
- ③壁沿いの狭い所でも使え、作業エリアが確保できる
- ④従来の接触センサの代わりに同じ感覚で使用出来る
- ⑤位置合わせに便利なレーザポインタとLED照明を備え、夜間でも使用可能である



写真－3 施工状況

5. 東日本大震災の復興と情報化施工

情報化施工による震災復興貢献、除染作業の効率化とスピードアップ、品質と安全性向上の提案

(株)トプコン 竹内 幸弘
○野村 延啓

1. はじめに

東日本大震災の復興に関して8月26日、内閣府・原子力災害対策本部で決定された「除染に関する緊急実施基本方針」で福島県の原子力発電所事故について「今後2年間で福島県内の学校、公園など子どもの生活環境を徹底的に除染」と記述された。震災の復興に貢献する技術・工法として、学校等グラウンドの放射能物質の除染作業への情報化施工の活用による、除染作業の効率化、施工スピードアップによる工期短縮、品質と施工精度向上、安全性向上の提案を行う。

2. 情報化施工と3D-MCシステム

情報化施工・3D-MC（3次元マシンコントロール）は、3次元設計データを使用して建設重機の排土板の高さ・傾斜を直接制御することにより建設現場における施工の効率化、品質向上、安全性向上、省資源化を実現する施工システムである。



図-1 情報化施工イメージ

3. 情報化施工対応土木用測量システム

● Pocket-3D

3次元設計データを取り込み、トータルステーション、RTK-GPS、mmGPSで測量作業を行う土木作業に特化したデータコレクタ用ソフトウェア。

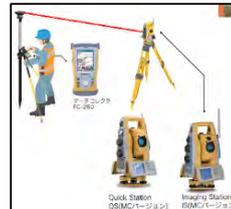


図-2 Pocket-3D (TS)



図-3 Pocket-3D (mm-GPS)

4. 高精度と高効率な施工を両立するmmGPS

ポジショニング技術の発展により、10mの高低幅をもったレーザー発光器（ゾーンレーザー）を使用してGPSの高さ精度を補完し、高精度かつ複数機器の高効率な運用を可能にしたmmGPSが実用化。



図-4 mmGPS 高精度かつ複数重機と測量の併用が可能。

5. 3D-MC²（スクウェア）

3D-MC²（スクウェア）は、新開発のMC²センサーから得られた「加速度と機体回転率」とGNSS測位データを結合させ、重機のブレードを高速・高精度で制御を行うシステムである。従来3D-MCでは、ドーザーの最終仕上げを2速ハーフ以下の速度で行っていたが、3D-MC²は3速での施工が可能で、仕上がりはグレーダに匹敵する滑らかさを実現する。

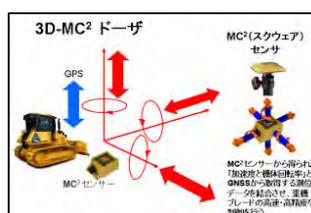


図-5 3D-MC²（スクウェア）ドーザー



6. 情報化施工 3D-MC/MG機器の構成

● 3D-MC LPSシステム構成

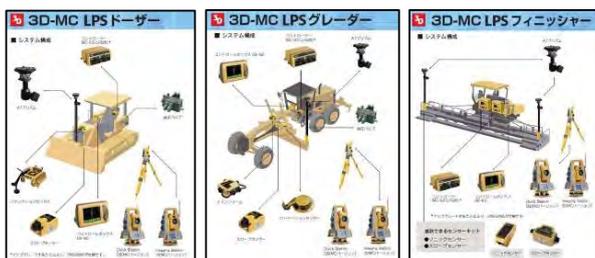


図-6 3D-MC LPS構成（ドーザー、グレーダー、ペーパー）

● 3D-MC GNSS・mmGPSシステム構成

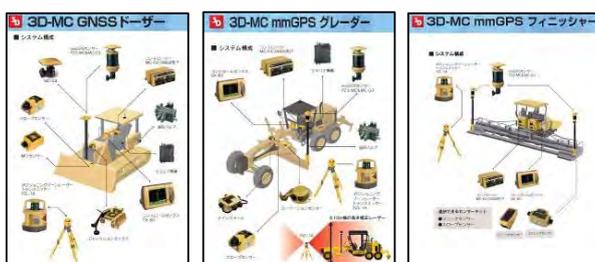


図-7 3D-MC GNSS構成（ドーザー、グレーダー、ペーパー）

● 3D-MGショベル / 転圧管理システム構成



図-8 3D-MGショベル / 転圧管理システム構成

6. 情報化施工による除染作業の効率化の提案

除染の作業は、施工の前後の測量を確実に実施し、決められた範囲・深さの土壌を正確に確実に撤去する必要がある。3D-MCドーザー、グレーダーによる施工は、3次元設計データを基準に自由に施工高さを決めることが可能であり、また丁張り無しでブレード

高さの自動制御により高精度な施工を効率よく、正確に、安全に行うことが可能である。

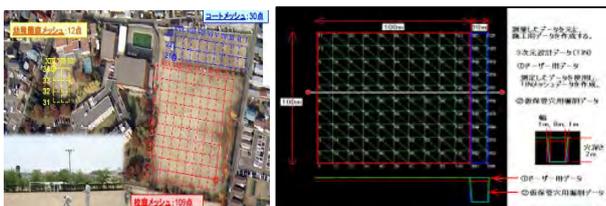


図-9 除染する学校グラウンドのイメージと情報化施工用データ

(1) 使用する情報化施工機材

- ・ 測量機器 (Pocket-3D)、TS、またはmmGPS
- ・ 3D-MCドーザー、グレーダー
LPS、またはmmGPS

(2) 作業内容説明

①Pocket-3D (TS, mmGPS) 現況測量

Pocket-3D を使用し現場を 10mメッシュで測量

②現況測量から施工用3次元データ作成

測量データより施工用3次元設計データを作成

- (1) ドーザ用データ、(2) 掘削穴用データ。

③撤去土壌の仮保管範囲の掘削

- ・ 3D-MC ドーザ/グレーダー

保管用穴 100mX10m 地表 0.1m の汚染されている土壌を撤去。分別して保管。

- ・ 3D-Xi GPS 油圧ショベルで 2m 深さ穴を掘削
掘削土壌は、0.1m 土壌撤去後の盛立てに使用。

3D-Xi GPS ショベルで、丁張り無しの施工可能。

④汚染土壌を撤去、仮保管場所に埋めて保管。

- ・ 3D-MC ドーザ/グレーダー

撤去範囲 100m X 100m の深さ 0.1m の土壌を 3D-MC ドーザ、グレーダで撤去。

LPS またはmmGPS のシステムを使用。

特に汚染濃度が高い地表 2cm の土壌のみを

先に撤去して分別保管することも容易に可能。

施工と同時に Pocket-3D で施工高さを確認しながらの作業が可能。

⑤測量後、汚染されていない土壌盛り立て

⑥施工後の出来形測量。

7. まとめ

除染作業は通常の施工以上に、確実に正確な作業が要求される。正確な事前測量、計画、汚染土壌撤去、埋め戻し、施工後の出来形測量、撤去した汚染土壌の保管状況と範囲の記録が必要であり、情報化施工は、これらの施工の効率化、品質・精度の向上、省力化、安全性の向上を実現する。震災復興は非常に広い範囲を短期間に施工する必要があるが、情報化施工による施工のスピードアップと、精度向上は、震災の復興計画の短縮に大きく貢献する。以上

6. 情報化施工と情報処理支援の事例

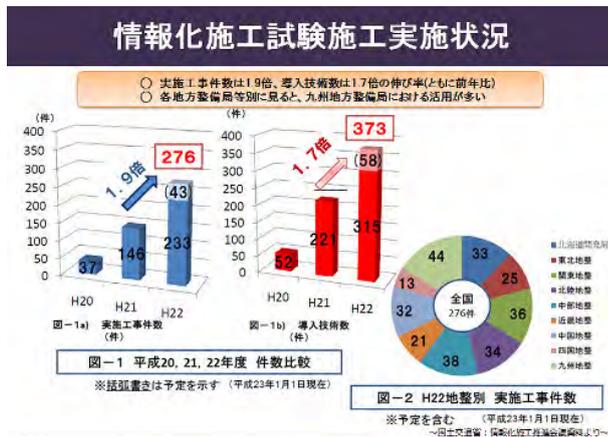
高精度な出来形管理を実現するために

福井コンピュータ株式会社

土木測量事業推進室 大島 勝利

■はじめに

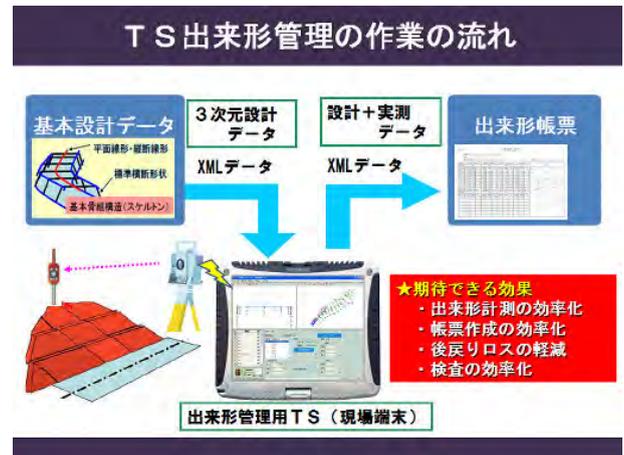
工事に関連する電子情報を活用し、作業の横断的な連携により、施工全体の生産性および品質の向上を図ることを目的とした「情報化施工」の実施状況は、下記のような右肩上がりの伸び率を示しています。



現在、全国で「情報化施工」を実施している現場では、「マシンガイダンス」「マシンコントロール」「トータルステーション(以下、TS)による締固め管理」「TS出来形管理」という、代表的な4つの技術が使われていますが、このコーナーでは、「TS出来形管理」に着目し、その事例を紹介させていただきます。

■「TS出来形管理」の概要とメリット

「TS出来形管理」は3次元の座標値を使用することで、実測と設計の値の比較ができ、施工管理・検査に用いる施工管理データを瞬時に得ることができます。これにより「計測作業の効率化」「帳票作成の効率化」「計測時に設計値を参照し出来形不足を迅速に発見」「検査の効率化」などのメリットが期待できます。



次に、それぞれの工程の作業内容について説明します。

■基本設計データ作成

発注者から貸与された設計図書や線形計算書から設計要素を抜粋し、X、Y、Z座標で構成される3次元モデルいわゆる「基本設計データ」を作成します。

具体的には次の6つの工程となります。

(1) 設計図書(CAD図面)の取込・照査

設計図面に表示されている、寸法や勾配、標高などの記載内容が合致しているかどうかの確認を行います。

(2) 主要座標入力(線形主要点、基準点等)

TSを設置する基準点の座標や、平面線形を構成する主要点座標を座標リスト、線形計算書などから取得します。基本設計データ作成後、座標の追加はできませんので、近辺の座標なども漏れなく入力してください。

(3) 路線線形入力(曲線要素)

線形計算書や図面を参照し、路線名、主要座標、曲線要素、計算するべき始終点の測点位置を入力し、センター測点の線形を入力します。この段階では高さを持たない平坦な平面線形が構築されます。

(4) 縦断計画入力(勾配変化点)

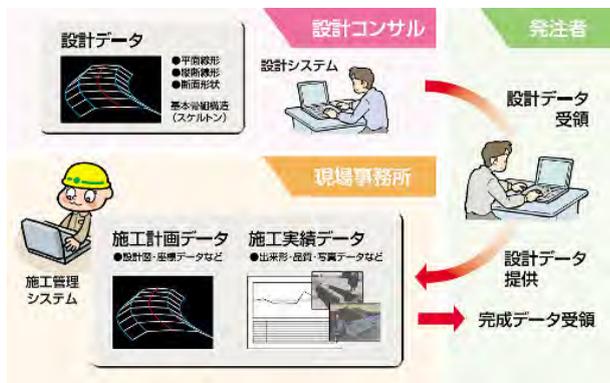
縦断図を参照し、主要点の高さや勾配などの要素を入力します。なお道路土工の場合、路床(路盤)の位置で出来形観測が行われますので、縦断図の「最終計画高さ」ではなく、表層や路盤の厚みの分を差し引いた位置を計画高として設定する必要があります。

(5) 横断計画入力(図面より取得)

CAD 横断図を参照し横断面の変化位置を取得します。センターの位置からの距離や高低差を判別し3次元座標化します。また同時に各ポイントに「幅」「基準高」「法長」という「出来形管理項目」を設定します。

(6) 基本設計データ出力

座標、平面線形、縦断計画、横断計画のデータを統合します。これにより立体的なイメージで確認することが可能となります。この段階では、出来形計測を行う測点のそれぞれのポイントに設計値が書きこまれた「基本設計データ(XML)」となります。



■現場端末による出来形計測

従来はレベルや巻尺を使用して「高さ」あるいは「長さ」を計測していました。「情報化施工」では、この計測にTSを使用し、3次元化された測定ポイントの座標値を組み合わせることで、標高(高低差)や長さ(法長)などを算出し、出来形管理の数値として運用します。具体的には次の5つの工程となります。

(1) 基本設計データ取込み

設計値が書きこまれた基本設計データ(XML)を読み込みます。現場端末の画面上では、平面、縦断、横断の2次元表示にそれぞれ切り替えて表示します。

(2) 計測機械の設置

既知点への設置または、複数の既知点を視準する「後

方交会法」による設置のいずれかでを行います。なお「後方交会法」では夾角制限(30~150度)、距離制限(100m以内)を考慮した器械の設置が要求されます。

(3) 計測断面・計測箇所を選択

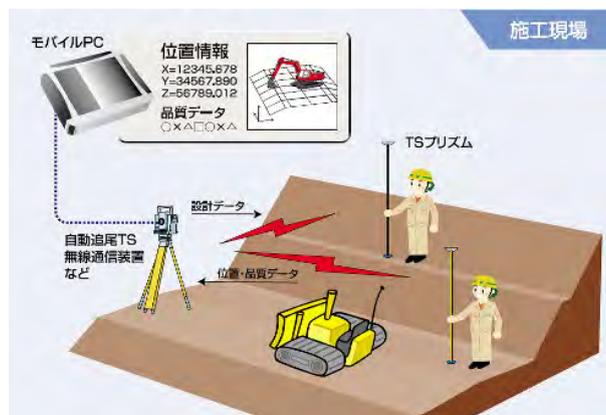
基本設計データ内の計測箇所を指定します。なお、出来形管理を行う場所が既に計測済の箇所は入力済みとして識別できるため重複や計測漏れがなくなります。

(4) 出来形計測・記録

出来形管理を行う測点には、3次元座標を持っているため、観測の際にその場所へ誘導できます。また、計測した瞬間に設計値と実測値との差異を表示することで、計測点の間違いを確認できます。また、発注者に対する「検査」も出来形管理用TSを用いて検測できます。

(5) 出来形計測データ出力

出来形計測が完了後、施工管理データ(基本設計データ+出来形計測データ)をXML形式で保存します。そのデータを元に出来形帳票作成を行います。



■出来形帳票作成

情報化施工では、上述の施工管理データを取り込むだけで、出来形帳票が瞬時に完成します。豆図も自動作成され、手入力も不要な為、入力ミスもなく、大幅な作業効率アップにつながります。

■最後に

福井コンピュータでは、「TS 出来形管理」の入口である、基本設計データ(XML)の作成を始め、現場端末による出来形計測、出来形帳票作成まで、情報化施工の一連の業務をトータルでサポートします。

7. 省燃費型エレクトリックドライブブルドーザの開発

世界初 電動ブルドーザ「CAT D7E」

所属 キヤタピラー・ジャパン株式会社

○山本 茂太

エレクトリックドライブブルドーザの開発

ブルドーザとしては世界で初めてエレクトリックドライブを採用した中型ブルドーザ「CAT D7E」を開発した。このブルドーザは、ディーゼルエンジンで発電機を駆動し、稼働に必要な電力を供給するエレクトリックドライブを採用しており、パワーロスの少ない高効率かつ省燃費の駆動が可能となったため、従来機と比較して燃料消費量が20%低減され、燃料1リットル当たりの作業量である燃料生産性は25%向上した。

発電された電力は車両用電源へ供給されると共に、エアコンのコンプレッサ駆動、ラジエータやパワートレインオイルを冷却するウォータポンプの駆動にも供給される。このように補機類が全て電機駆動となり、従来はエンジンからベルト駆動で行っていたものが完全にベルトレスとなり、燃費低減、サービス性の向上に大きく寄与している。

またトルクコンバータ/トランスミッションといった可動部品の削減により、パワートレインの寿命を50%延長することで運転/保有経費を抑制すると共に、油脂、オイルフィルタの長寿命化によるメンテナンスサイクルの長期化で、環境負荷も低減させた環境に優しいブルドーザとなっている。

安全性の追求

ブレードを作動させる油圧シリンダを一本としたシングルリフトシリンダと、運転席の窓枠を正面に一本としたセンターポストキャブの採用により、センターポスト、プレクリーナマフラ、リフトシリンダが運転席から見て一直線上に配置され、かつてないワイドな作業視界を確保することで、大幅な安全性向上を実現している。

更に、オペレータが運転席に不在の場合、車両の走行システムまたは作業装置制御システムの操作を無効にするオペレータ着座感知システムを新規採用。安全に細心の配慮がなされていることも特徴である。

燃料生産性に優れた本製品が広く建設工事で活用されることにより、施工効率の向上が実現するため、工期の短縮と環境負荷の低減が達成されると考えられる。また、運転席からの視界が広く、各種安全装備が附属していること、運転者の疲労軽減に配慮した設計により、労働災害の低減にも寄与すると確信している。



正面



左側面



後方



右側面

8. 加熱アスファルト表面処理工法

リフレッシュシールMix

日本道路株式会社 ○久下 晴巳

日本道路株式会社 荒尾 慶文

技術の概要

加熱アスファルト混合物に特殊改質剤を添加することで、いたんだ舗装路面を舗装厚さ1~2cmの薄層で効率的に補修でき、既設舗装の延命、工期短縮と工事コスト縮減が可能な表面処理工法である。

技術の特徴

- (1) 従来技術は切削と舗装という2工程を要したが、リフレッシュシールMixは1~2cmの薄層で施工することにより切削工程が不要となる。その結果、工期の短縮と切削廃材の抑制が図れる。施工は通常の加熱アスファルト舗装と同様に行うことができる。
- (2) 特殊改質剤中の改質剤と植物繊維の効果により、既設舗装のリフレクションクラックの発生を低減すると共にすべり抵抗性が確保できる。
- (3) 中温化効果により最小施工厚さ5mm、平均施工厚さ15mmの薄層でも、施工時の混合物の温度低下に伴う表面の粗面化や混合物の引きずりが発生することなく施工が可能である。



特殊添加剤 (リフレッシュサポートM)



特殊添加剤の荷姿

期待される効果

- (1) 薄層のため切削工程が不要であり、工期短縮と工事費の低減が図れ経済的である。
- (2) リフレクションクラックの発生低減が2年間の調査で確認できた。
- (3) すべり抵抗性を確保できる。
- (4) 施工前路面の凹凸を修正するため車の乗り心地と騒音を改善する。
- (5) 騒音低減効果により沿道の環境を改善する。
- (6) 切削オーバーレイ工法と比較しCO2排出量を低減する。
- (7) 予防的維持工法として適用することにより、ライフサイクルコストを低減する。



施工前の状況 (ひび割れ率60%)



1年後の状況 (ひび割れ率16%)

9. 空輸対応型油圧ショベルの開発

～岩手・宮城内陸地震より学ぶ作業効率の向上～

国土交通省 東北地方整備局 東北技術事務所 副所長 ○ 鹿野 安彦
 同 施工調査課長 伊藤 圭
 同 施工調査課 施工調査係 増田 陽介

1. 開発概要

平成20年6月14日に発生した岩手・宮城内陸地震において、重機の陸路輸送が不可能な箇所(天然ダム等)で応急復旧作業を実施しました。

しかし、既存の空輸対応型ショベル(最大能力:0.5m³)だと能力不足の課題が発生したことから、より効率的・効果的な応急復旧作業の実現のため、既存の空輸技術で空輸可能な大型の空輸対応型油圧ショベル(1.0m³級)の開発を実施しました。

2. 本機の特徴

- ① 3 t吊ヘリコプターで空輸することを想定し、1ブロックあたり2.7 t未満とし、15ブロックに分割
- ② 分解組立には特種な工具を使用せず、現地作業において分解・組立にそれぞれ2日ずつで作業可能(工場での分解作業の場合1日で作業可能)
- ③ 危険な作業環境下にある災害現場での作業を想定し、遠隔操縦装置を搭載
- ④ 多種多様な作業に対応可能なように、アタッチメントとして油圧ブレーカ、グラブソーを保有



空輸対応型油圧ショベル(1.0m³級) 全景写真

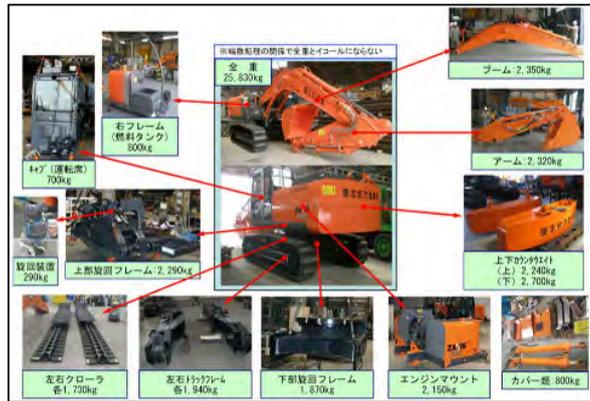
3. 従来機と本機の比較

- ① 施工能力について、従来機(0.5m³級:分解型):110m³/日に対し、本機(1.0m³級:分解型):260m³/日であり、作業能力の向上を実現
- ② 従来機(0.5m³級:非分解型)と本機(1.0m³級:分解型)との分解・組立日数の比較について、従来機の10日間に対し6日間と、ワンタッチカプラを用いた分解・組立作業の簡略化により4日間の工期短縮を実現し早期の作業着手が可能

日数	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日
従来型(0.5m ³ 級) ※非分解型	分解(工場)					空輸	組立		
本機(1.0m ³ 級) ※分解型	分解	空輸	組立	← 4日間の短縮 →					

※日あたり8時間として

分解・組立日数の比較



空輸対応型油圧ショベル(1.0m³級)分割図

4. 今後の運用

本機を有効に活用するため「災害時の空輸対応マニュアル」を策定し災害対応に備えています。また、本機を活用した遠隔操作訓練を実施し、オペレータの人材育成及び確保を図っています。

S 1. 曲線鋼管による既設トンネル補強工法の研究

(社)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 横澤圭一郎
 (社)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 安井 成豊
 (社)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 藤田 一宏
 (社)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 ○近藤 亮

1. はじめに

近年、供用中の高速道路のトンネルにおいて、舗装版が隆起する変状現象が報告されている。これらの変状はいずれもインバートが設置されていない箇所が生じていることから、新たにインバートを設置して断面閉合を行うことが最も効果的な対策であると考えられる。

しかし、インバートを設置するために供用中の高速道路を長期間通行止めにする事は、現実的には困難である。

以上を背景として、トンネルの通行を確保しながらインバートを設置する施工方法を開発することを目的に、首都大学東京、高速道路総合技術研究所、施工技術総合研究所の三者による共同研究を平成 21 年度から開始した。

共同研究の主な役割分担は、表-1 に示すとおりである。このうち本稿では施工技術総合研究所が担当した施工方法の検討について報告する。

表-1 共同研究の役割分担

	役割分担
首都大学東京	解析手法の検討 解析による構造検討
高速道路総合技術研究所	実現場への適用性検討 経済性の評価 研究成果の総まとめ
施工技術総合研究所	施工法検討 施工計画検討

2. 検討対象条件

本研究が対象とするトンネル断面を図-1 に示し、施工時の交通規制条件を表-2 に示す。

表-2 施工時の交通規制条件

項目	内容
車道幅員	3.5m
路肩幅員	左 0.5m、右 0.5m+0.25m
全 幅	4.75m
規制速度	50km/h
建築限界	高さ：4.5m
道路規格	第1種 第3級相当
規制延長	トンネル全線（工事箇所は、仮設防護柵を設置）
規制期間	GW 明け～お盆、お盆明け～雪氷時期

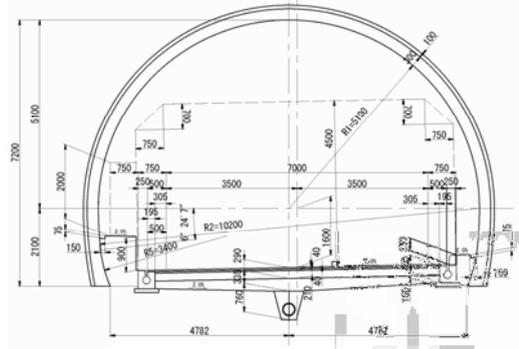


図-1 検討の対象とするトンネル断面

3. 施工方法の検討

前述の条件のとおり、既設トンネルにおいて片側（一車線）の交通を確保したまま、インバートの設置が可能と考えられる3種類の施工方法を立案し、その適用性について検討を行った。以下にその概要を示す。

3.1 曲線ボーリング方式

曲線ボーリング方式は、インバート部分に曲線の鋼管をボーリングマシンにより打設して補強する方法である。本方式は既存の工法を組み合わせたものであり、技術的に大きな課題は特にないため、本研究が対象とする施工条件への適用性は比較的高いものと考えられる。

本方式の施工イメージを図-2 に示す。

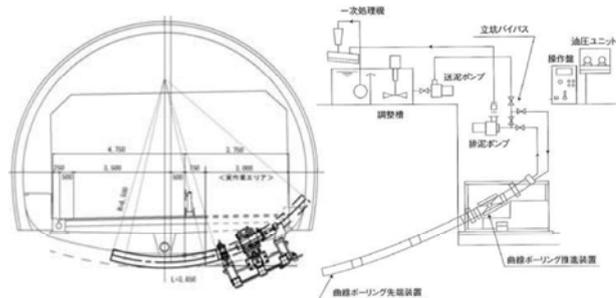


図-2 曲線ボーリング方式
(施工イメージとシステム)

3.2 チェーンカッタ方式

都市部のトンネル施工法として、チェーンカッタによりトンネル外周部を切削し、コンクリートを打設した後、切羽を切削する「NEW PLS 工法」がある。チェーンカッタ方式は、この工法を応用してインバート部分をチェーンカッタで切削後、インバートコンクリートを打設する方法である（写真-1 参照）。

本方式の課題としては、チェーンカッタ機は軟岩程度までの切削は可能であるが、硬岩の場合には切削が困難であることや、現存する機械が無いため、新たに機械を製作しなければならないことなどが挙げられる。



写真-1 チェーンカッタ

3.3 パイプフロア方式

パイプフロア方式は、トンネルの先受け工法として天端部に鋼管を打設するパイプルーフ工法を応用して、図-3 に示すように、インバート部に直線鋼管を打設して、底版部の補強を計るものである。本方式は、特殊な機械を必要とせず、汎用の機械で施工が可能である。ただし、課題としては、覆工コンクリートと閉合しないため、構造系として成立するか解析的な検討が必要である。

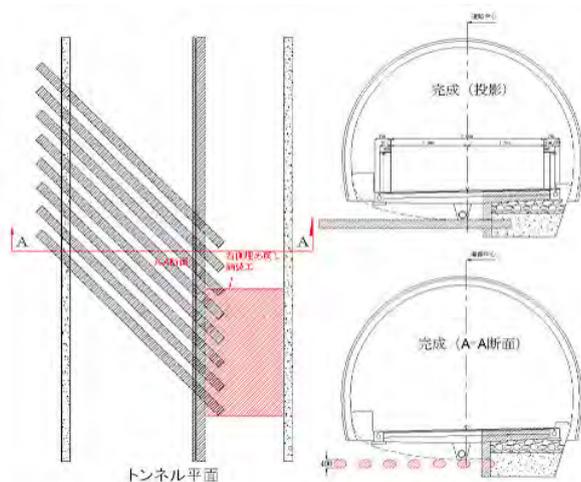


図-3 パイプフロア方式 (完成模式図)

3.4 施工方法の選定

上記3つの施工方式について、交通規制条件等を踏まえて、実現場に対する適用性評価を行った。その結果、曲線ボーリング方式を本研究の基本的な施工方法として選定した。表-3 に適用性評価一覧を示す。

表-3 施工方式の適用性評価一覧

接続方法	溶接	ネジ	圧着
作業時間(分)	30	10	15
作業性	×鋼管のセッティングに時間がかかる。	○容易	○容易
剛性・強度	○脆も壊れる	×現状ではゆるみが生じる	○問題なし
検討事項	・光り、塵が発生するため、使用させながらのトンネル現場に適用可能か	・鋼管をぶつけたりして、ねじ山がつぶれると接続が出来なくなる。	・圧着機が重い。コンパクト化が望ましい。
経済性	○鋼管の加工は特に不要	△鋼管の加工が必要	○鋼管の加工は軽微
総合評価	△	△	○

4. 施工性の検討

4.1 曲線鋼管による補強工法の構造と施工手順

本工法は、交通規制が困難で掘削が行えない道路中央部は、曲線鋼管を挿入し、側壁部については、底盤を掘削してコンクリートを打設して鋼管と一体化させる複合構造である。

本工法の構造イメージを図-4 に示し、施工手順を図-5 に示す。

なお、本工法の複合構造については、構造解析により従来のコンクリートによるインバートと同等程度の抑止効果を有することを確認している。

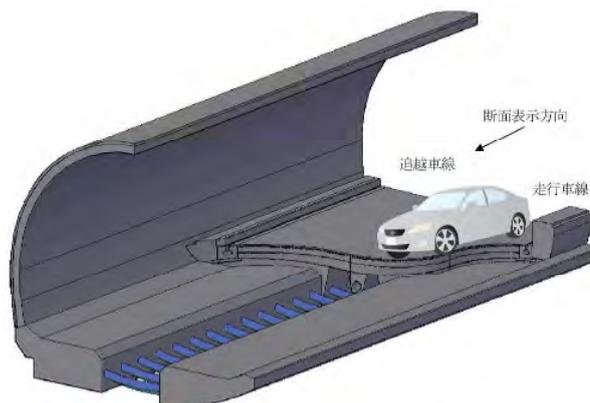


図-4 曲線鋼管による補強工法の構造イメージ

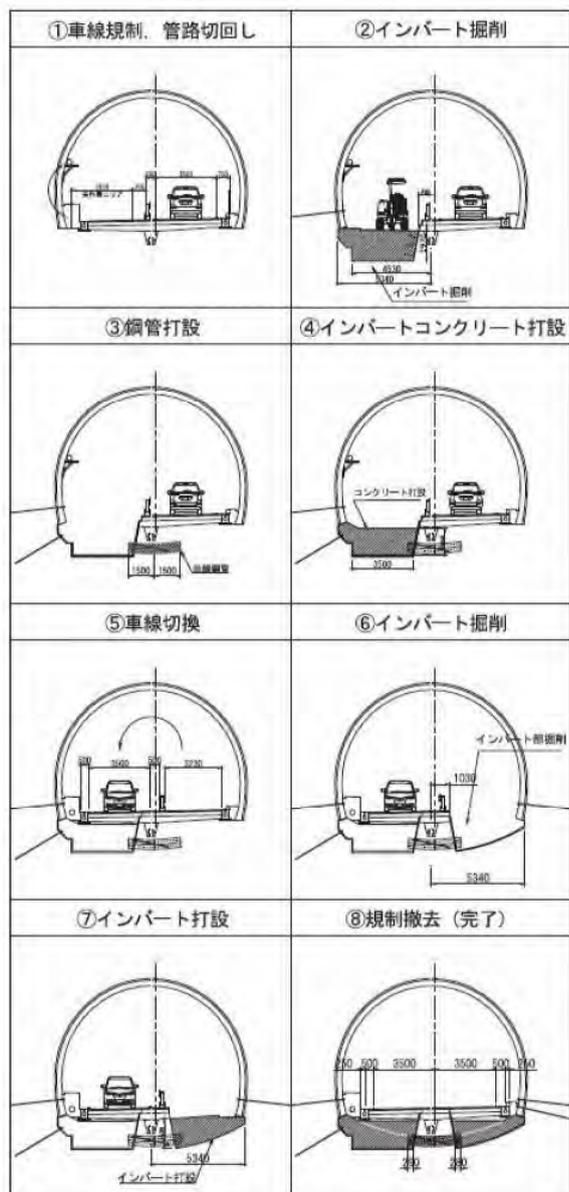


図-5 施工手順図

4.2 地山条件

変状現象が報告されているトンネルは、昭和60年の設計要領で建設されたトンネルに多く見られている。これらのトンネルでは当時、長期耐久性に問題が生じる場合があると考えられている泥岩、凝灰岩、蛇紋岩等の地質でも、当時は地山等級がC級と判定されていれば、インバートが施工されていない事例があり、変状が生ずる要因のひとつとされた。

以上のように、現在問題が生じているトンネルは、施工時に地山等級C級と判断されたトンネルでも生じている。したがって、本工法で想定する地山等級はC級～D級とした。

4.3 施工条件

インバートの力学的機能、実現場の作業スペースなどを踏まえた本工法の施工条件を以下に示す。

(1) 曲線鋼管のサイズ

曲線鋼管のサイズは、力学的には太い径の方が有利になるが、施工時の作業性、削孔機械の能力等を総合的に考慮して、 $\phi 216\text{mm}$ の鋼管を施工可能な最大径であると判断した。また、鋼管の曲率半径は、既往のインバート対象事例を踏まえて10mを施工条件に設定した。なお、この鋼管径216mmおよび曲率半径10mについては、構造解析によりその補強効果を確認している。

(2) 作業スペース

想定するトンネル断面で、片側の交通確保を考慮すると、掘削出来る作業スペースは、幅3mである。

4.4 曲線鋼管削孔実験

前記までの条件を踏まえ、本工法の施工性を確認するため、削孔実験を行った。

(1) 実験の概要と目的

本実験は、2車線断面相当のトンネルのインバート中央部に約3mの長さの曲線鋼管を打設することを想定し、打設箇所の地山を模擬した供試体を作製した。この模擬地盤に実際に曲線鋼管を打設し、削孔機械の能力、作業性を確認するとともに、技術的な課題を抽出し、実現場への適用性について確認することを目的とした。本実験で確認した主な項目は以下の通りである。

- ① 施工ヤード内での施工性の確認
- ② 鋼管接続方法の確認
- ③ 作業サイクルタイムの確認
- ④ 削孔精度の確認

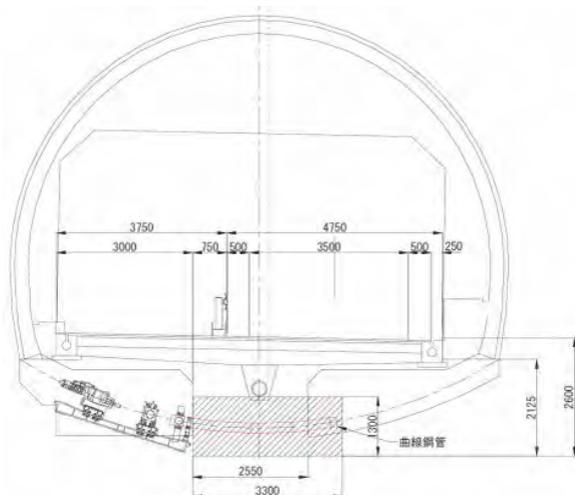


図-6 曲線鋼管の打設イメージ

(2) 削孔機械

削孔機械は、トンネル工事で使用するドリルジヤンボに搭載されているドリフタを改造して使用した。削孔機械の主な仕様を表-4に示す。

表-4 使用した削孔機械の仕様

ロータリーパーカッション用ドリフタ	
型式	NS-2020-30
全長(mm)	799
全幅(mm)	390
全高(mm)	381
打撃数(bpm)	2200
出力(kW)	30
打撃力(kg-m)	23
回転数(rpm)	30/60
回転トルク(kg-m)	125/250

(3) 模擬地盤の製作

模擬地盤には、軟岩、脆弱層、軟岩+脆弱層の地山状況を想定して3つの実験ケースを設定した。なお、試験体は6本の鋼管打設が行える寸法で製作した。

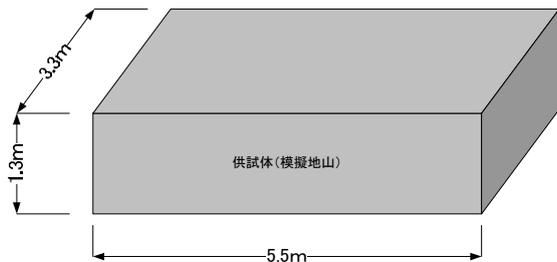


図-7 供試体(模擬地山)

(4) 鋼管の接続方法

作業スペース等の制約から、曲線鋼管は約1mの長さの鋼管を接続しながら施工する必要がある。接続方法は、溶接、ネジ、圧着の3種類について実施し、それぞれの作業性等について確認した。

(5) 実験ケース

実験は当初6本の鋼管を削孔する計画を立案したが、実験中に様々な課題が生じたため、これらを解決するために再実験、追加実験などを実施し最終的には8本の削孔実験を行った。

実際に実施した実験ケースを表-5 および図-8に示す。

表-5 実施した実験ケース

実験ケース	想定地山	供試体(実際の強度)	継手の形式	打設延長(m)	実施日
ケース1	軟岩	コンクリート(24N/mm ²)	溶接	1.8	4月25日
ケース2	脆弱層	エアモルタル(10N/mm ²)	溶接	3.3	4月22日
			圧着	1.3	4月27日
ケース2'(再実験)	脆弱層	エアモルタル(1N/mm ²)	圧着	3.3	6月8日
			ネジ	3.3	6月7日
ケース3	軟岩+脆弱層	コンクリート(24N/mm ²)、 エアモルタル(10N/mm ²) +円礫(Gmax50)	ネジ	1.9	4月26日
ケース4(追加実験)	脆弱岩	エアモルタル(10N/mm ²)	〈直結鋼管-ネジ〉 アトラスハンマ	3.3	5月13日
			〈直結鋼管-ネジ〉 ユビロンハンマ	1.7	5月14日

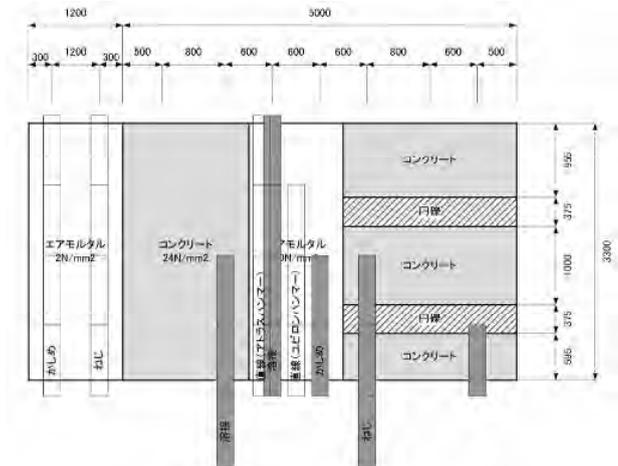


図-8 実施した実験ケースの概要図

(6) 実験結果

① 施工ヤード

写真-2に示すように、3m幅の作業スペースに機械を設置して削孔することができ、概ね制約条件の施工ヤードで作業が可能であることを確認した。



写真-2 削孔作業の状況

②鋼管接続方法

鋼管の接続は作業時間的には、ネジによる接続が最も早かったが、削孔時にゆるみが生じる状況であった。結果的には圧着による接続が適用性が高いと判断した。表-6 に接続方式の評価一覧を示し、写真-3 に圧着による鋼管接続の状況を示す。

表-6 接続方式の評価一覧

接続方法	溶接	ネジ	圧着
作業時間(分)	30	10	15
作業性	×鋼管のセットに時間がかかる。	○容易	○容易
剛性・強度	○最も優れる	×現状ではゆるみが生じる	○剛性なし
検討事項	・光り、煙が発生するため、換気させながらのトンネル現場に適用可能か	・鋼管をぶついたりして、ぬじ山がつぶれると接続が出来なくなる。	・圧着音が重いため、コンパクト化が望ましい。
経済性	○鋼管の加工は特に不要	△鋼管の加工が必要	○鋼管の加工は軽微
総合評価	△	△	○



写真-3 圧着による曲線鋼管の接続

③作業時間

作業時間の大半は削孔時間であり、その削孔時間は地山の強度に大きく影響される。脆弱岩を想定した一軸圧縮強度 1N/mm^2 の箇所では3mの鋼管の純削孔時間は30分程度であるのに対して、軟岩を想定した 24N/mm^2 の強度の箇所では、約200分の削孔時間を要している。

1本当たりの削孔サイクルタイムについて整理したものを表-7に示す。

表-7 1本当たりの削孔サイクルタイム

	想定地山			備考	
	脆弱層				
	1N/mm^2	10N/mm^2	24N/mm^2		
① 平均削孔速度(m/分)	0.10	0.03	0.02		
② 削孔長(m)	3.3	3.3	3.3		
③ 継足し回数(回)	3	3	3		
④ 1回当たり継足し時間(分)	15	15	15		
サイクルタイム(分)	削孔時間	32.8	126.9	214.3	②÷①
	継足し時間	45	45	45	③×④
	計	77.8	171.9	259.3	

④打設精度

打設精度の確認は模擬地盤を貫通した箇所の鋼管の位置を測定して、計画の位置からのずれで評価することにした。

本実験で、幅約3.3mの模擬地盤を貫通することができたケースは脆弱地山を想定した箇所の3本であった。このうち目標到達位置と最もずれが生じたケースを図-9、写真-4に示す。このケースでは鋼管のセンターが目標よりも右に165mmのずれが生じ、鉛直方向はほぼ計画どおりの位置であった。

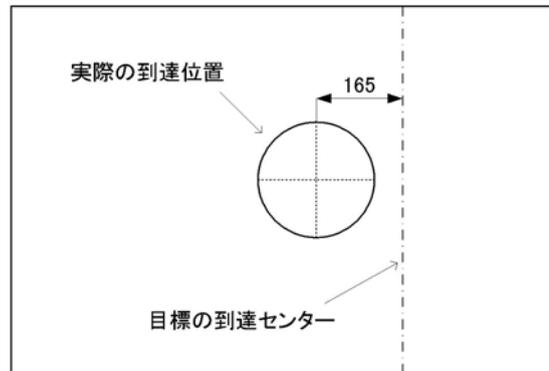


図-9 削孔精度の測定 (脆弱層 10N/mm^2)



写真-4 鋼管貫通の状況

5. まとめ

5.1 実験で得られた知見

今回の削孔実験により得られた知見を以下に示す。

- 削孔時の機械データを分析した結果、効率的な削孔を行うためには、最適な回転およびトルクがあると考えられる。ただし、これらの設定は地山の状況によっても異なる可能性がある。
- 実験当初の段階では曲線鋼管のため、インナービットを引き抜くことが困難であったが、その後のビットの改造などにより、引き抜きを可能にすることが出来るようになり、曲率半径10m程度の鋼管であれば、十分に削孔可能である。

ことを確認した。

- ③鋼管の設置，ロッドの継ぎ足し，鋼管の継ぎ足しの一連の削孔作業は当初想定した幅 3 m の作業空間で支障なく作業が可能であることを確認した。
- ④鋼管の接続方法については，作業性，剛性・強度，経済性で圧着が有利であるが，現状の圧着機は大きく，ハンドリングが悪いため，コンパクト化するのが望ましい。
- ⑤ 1 本当りのサイクルタイムは，圧着継手の場合，模擬地盤強度 1 N/mm² で約 80 分，10N/mm² で約 170 分，24N/mm² で約 260 分であった。
- ⑥削孔機械の据付・移動時間を加えると模擬地盤強度が 1 N/mm² の場合には，1 本当たり 2 時間程度で施工可能であり，1 方=8 時間とすると，1 方当たり 4 本となり，昨年度の検討結果である 5.1 本/方の約 80% の速度となる。
- ⑦削孔精度は，貫通した 3 ケースでは，右へ 165mm，右へ 114mm，左へ 65mm という結果であり，1 D 程度未満であった。
- ⑧鋼管の削孔作業は想定した作業スペースで行えることが確認出来た。
- ⑨以上より，選定した曲線鋼管によるインバート補強工法は，実現場へ十分に適用できるものと考ええる。

5.2 今後の課題

本実験により，以下に示す改善項目，課題が判明した。本共同研究は今後も継続して行い，これらの改善項目，課題の解決を図り，本工法の確立を目指す予定である。

- ①削孔能力の向上
 - ・インナービット形状を回転打撃による破砕効果が上がる形状とする。
 - ・破砕した地山の取り込みをより容易にする形状とする。
 - ・削孔速度を上げるためにドリフタの仕様を見直す。
 - ・効率の良い排泥方法を検討する。
- ②サイクルタイムの短縮
 - ・鋼管の接続回数を減らす。
 - ・圧着機とセンタライザーの配置を再検討する。
 - ・削孔機の位置合わせの精度を向上させる。
- ③コストの低減
 - ・より安価な捨てビットを検討する。
- ④作業ヤードの施工性向上
 - ・削孔機の高さを低くする。
- ⑤作業ヤードの施工安全性向上
 - ・土留工の必要性および構造を検討する。

S 2. 塩害環境における PC 桁の脱塩工法に関する研究

－プレテンション PCT 桁の載荷試験における AE 法および超音波法の適用性研究－

(社)日本建設機械化協会 ○榎園 正義
(社)日本建設機械化協会 谷倉 泉
電気化学工業(株) 松久保博敬
(株)高速道路総合研究所 野島 昭二

1. はじめに

既存の橋梁では、交通量の増加や車両の大型化による荷重の増大による繰返し荷重および塩害の影響等によって、コンクリート構造体に損傷、劣化が見られるようになり、最適な補修・補強工法の選定と同時にその構造物の診断手法の確立が重要となっている。

コンクリート構造物を対象とした現行の計測手法としては、一般的には変位や応力等によるモニタリングが実施されているが、この他に実構造物への非破壊試験の一例として AE 法や超音波法が挙げられる。これまでも AE 法や超音波法に関する研究が各方面で進められているが、形状・寸法が大きい構造物の場合には非破壊検査手法としての適用性が実用レベルまで至っていないのが現状である。そのため、実務的で高精度な非破壊検査技術による診断手法の確立が求められている。

本研究は、塩害環境下にあるプレストレストコンクリート構造物に脱塩工法を適用するにあたり、実橋から撤去したプレテンション PCT 桁を用いて載荷試験を行い、その電気化学的影響を各種非破壊試験により評価するため、簡易 AE 計測システムおよび超音波計測システムを独自に構築し、長期載荷試験および静的破壊試験を実施し、その適用性等の研究を行ったものである。

2. 試験概要

供試体、載荷試験および計測システム等について以下に説明する。

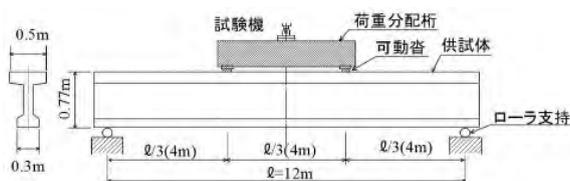


図-1 載荷試験方法

2.1 プレテン桁供試体

供試体は、北陸自動車道金沢西 IC～小松 IC 間で塩害劣化により架替を行ったスパン 14m の単純桁であり、これに端部処理・整形等を行っている。主な諸元は次に示すとおりである。

<主な諸元>

- 1) 型式；プレテンション PC 単純桁
- 2) 桁長；14,100mm (切断整形前)→13,100mm (整形後)
- 3) コンクリート設計基準強度；49N/mm²
- 4) PC 鋼材；PC 鋼より線 7 本より 9.7mm
- 5) 脱塩工法の通電条件 (ウエブと下フランジを対象)
 - ・連続通電方式
 - ・電流密度 (最外部 PC 鋼材表面積当たり 5A/m²)
 - ・ファイバー方式 (ほう酸と炭酸カルシウムの混合液)

2.2 載荷試験方法

載荷試験は、脱塩工法の通電期間に渡って静的曲げ載荷を行う定荷重での載荷試験、および静的曲げ破壊試験を行った。載荷試験方法は、電気油圧サーボ式試験機を用い、図-1、写真-1 に示すように荷重分配桁(鋼桁；長さ 5m×幅 0.5m×高さ 0.7m)を用いた 3 等分点での 2 点集中載荷とした。

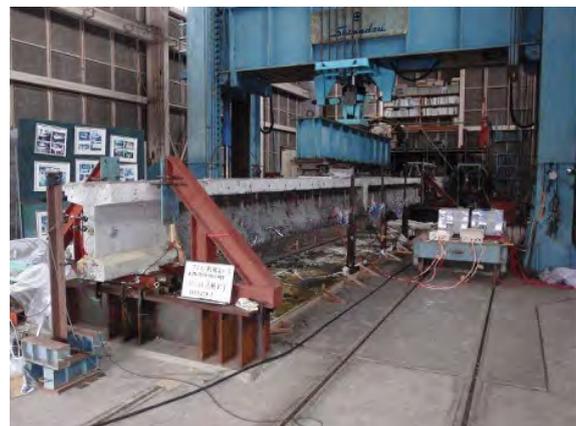


写真-1 プレテン桁の載荷試験状況

2.3 荷重試験条件

図-2に示す脱塩工法の通電期間において、荷重荷重の最大値は、当初設計の最大設計荷重相当192kN(PC鋼材の $\sigma_{py} \times 0.65$)とした。また、192kN荷重試験後、徐々にクリープ現象と考えられるひずみやたわみの増加が認められたため、荷重(通電)10日後からは荷重荷重を150kNに低減し、約2ヶ月間(合計57日間)の荷重制御による静的曲げ荷重試験を行った。

脱塩後の静的曲げ破壊試験は、プレテン桁の変形によって荷重が増加しなくなった最大荷重559kNまで荷重試験を実施した。なお、この最大荷重は、当初設計の曲げ耐力(500kN)以上であった。

2.4 測定項目と測定方法

本試験の測定項目と測定方法は、次のとおりとした。

(1) ひずみ・たわみ(図-3(a)参照)

桁下面コンクリート表面のひずみ測定は絶縁低下防止、長期安定性を有するメタルベースの防水型ひずみゲージを、桁たわみ測定は長期間の安定性を考慮したひずみゲージ式変位計を用いて行った。

(2) AE(アコースティック・エミッション)

荷重試験(連続通電)中に発生する可能性のあるPC鋼材の破断検知等を行うため、たわみ型振動子(圧電素子 $\phi 27\text{mm}$, 厚さ0.5mm)を利用して試作したAEセンサと簡易的なAE計測システムを構築し、常時監視による連続的なモニタリングを行った。

AEセンサの取付け位置は、図-3(b)に示すように超音波計測を考慮し、プレテン桁下面(10箇所)と桁端部(2箇所)の合計12箇所とした。なお、荷重試験中のAEによる破断検知等の連続的なモニタリングは、プレテン桁下面のAEセンサ(R0~R9)を用いて行った。

(3) 超音波(伝播時間・速度・波形)

現状では桁中のPC鋼材(より線)の付着強度の低下やコンクリート中の変状を計測する手法として、適切な非破壊試験方法が見当たらないため、事前にノイズ対策等の基礎実験を行い、新たな超音波計測システムを構築した。

この超音波計測の特徴は、超音波送受信装置から試作したAEセンサに超音波パルスを入力して超音波を発生させ、他のAEセンサでコンクリート中を伝播してきた超音波の伝播時間(伝播速度)や伝播波形(受信波形)等の特性から、プレテン桁内部の変状の有無を推定するものである。

2.5 計測システムの検討

(1) AE計測システム

1) ハイパスフィルタの設定

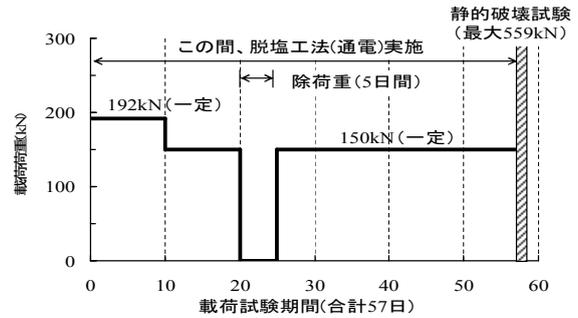
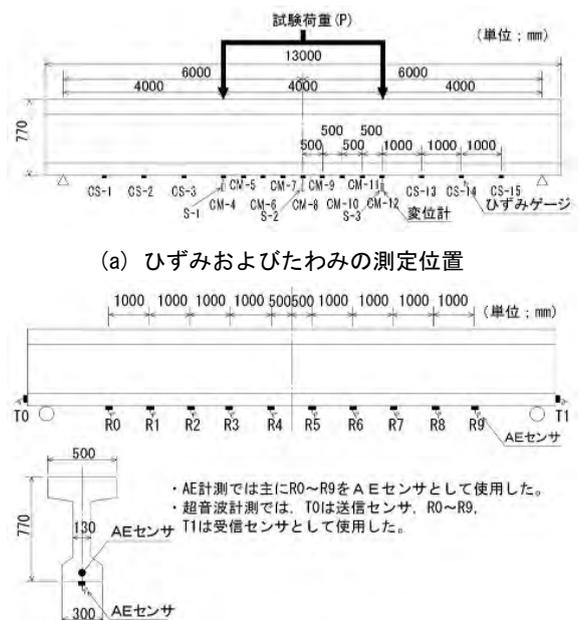


図-2 荷重試験の条件



(a) ひずみおよびたわみの測定位置

(b) AE計測・超音波計測の測定位置

図-3 測定位置

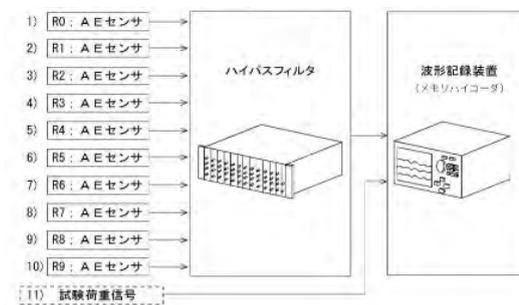


図-4 AE計測システムの構成

フィルタの設定は、より正確に現象を把握するための基礎実験を通じ、最終的に15kHzのハイパスとした。

2) 簡易型AE計測システムの構築

プレテン桁下面に設置した10個(R0~R9)のAEセンサのどれか1つが、しきい値(20mV/div)を超えた場合にトリガを開始し、自動的に収録す

る図-4 に示すシステムとした。

3) AE 発生位置の位置標定

AE の位置標定については、AE 波形の伝播時間差と伝播速度から算出することとした。

例えば、図-5 に示すような AE 波形が受信され、計算によって 2 次元位置標定を行う場合は、AE センサ 1) と 2) との伝播時間差を $\Delta T1$ 、伝播速度を V とすると、標定位置 X は下式(1)によって求める。

$$X = V \cdot \Delta T1 \times 1/2 \quad (1)$$

ここに、 $\Delta T1$; 伝播時間差

V ; AE 波のコンクリート伝播速度

(2) 超音波計測システム

1) 超音波計測システムの構築

脱塩工法の通電等の影響と考えられるプレテン桁内部に生じたノイズ対策として、超音波装置からの受信信号にバンドパスフィルタを挿入し、図-6 に示すような計測システムを構築した。

2) 計測方法 (透過法、並列法)

図-7 に示すように透過法および並列法による超音波計測を実施した。

3) 受信波形の評価方法

デジタルオシロスコプの画面では、図-8 に見られるような受信波形が観測される。ここで、 X 軸方向は時間軸 (sec) を、 Y 軸方向は受信波の電圧 (V) を示す。

伝播速度(L/T)は、受信波形の伝播時間 (T) と伝播距離 (センサ間の距離; L) から算出し評価する。

受信波形は、図-8 に示すようにコンクリート部材の劣化程度が超音波の伝播エネルギーの損失度 (受信振幅の減衰) によって表現できるものと考え、その損失度を受信波形の面積を計算することで評価する方法とした。単位は $V \cdot \text{sec}$ となる。

3. 試験結果および考察

一定荷重での載荷試験中および静的曲げ破壊試験時の AE・超音波およびひずみ・たわみ計測結果について述べる。

3.1 載荷試験 (一定荷重下での脱塩工法期間中)

(1) AE 計測

約 2 ヶ月間の載荷試験期間中および静的破壊試験の最大荷重時にプレテン桁から発生した AE 波の受信記録の例を図-9 に示す。AE の検知結果の特徴は、次のとおりであった。

1) AE の発生位置

AE センサ $R0 \sim R8$ の範囲で図-9(a), (b) に示す AE の発生が認められた。

2) AE の発生状況

載荷試験の経過日数と AE 発生事象との関係を

図-10 に示す。この図からもわかるように、コン

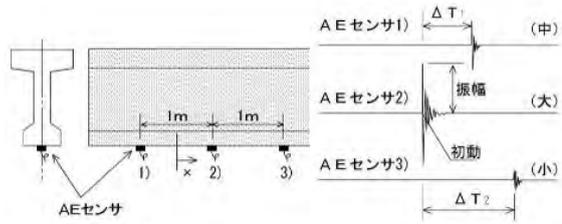
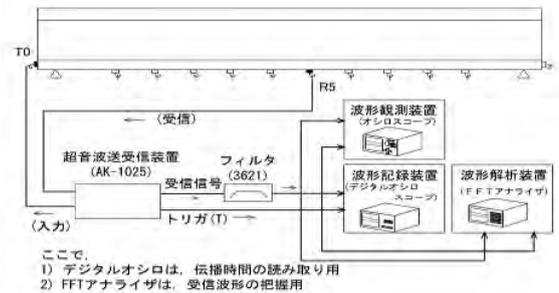
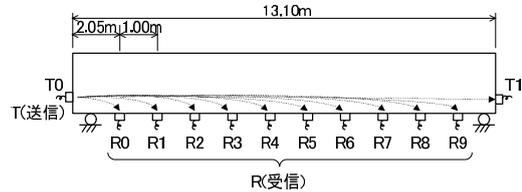


図-5 AE 発生位置の位置標定

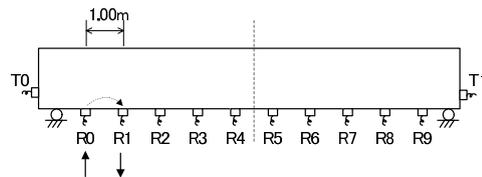


ここで、
1) デジタルオシロは、伝播時間の読み取り用
2) FFTアナライザは、受信波形の把握用

図-6 超音波計測システムの構成



(a) 透過法による計測方法



(b) 並列法による計測方法

図-7 超音波の計測方法

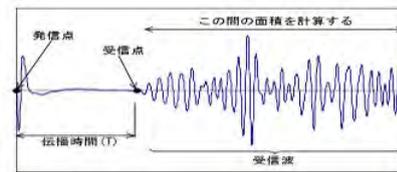
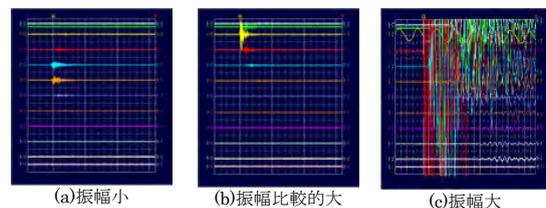


図-8 受信波形の例



(a) 振幅小

(b) 振幅比較的大

(c) 振幅大

図-9 AE波の受信記録の例

クリートの微小割れと推定される AE が試験経過日数と共に増加し、累計30回の事象が検知された。

以上の一定荷重の載荷試験後、脱塩工仮設材を全て撤去して AE 発生（累計）の多い位置付近を目視調査した結果、新たに桁軸方向に微細なひび割れの発生があり、AE の位置標定結果とほぼ一致することがわかった。

(2) 超音波計測

1) 透過法

a. 図-11 に示す走時曲線から、試験前では距離と時間との関係にほぼ比例関係が成り立つが、経過（経時）と共に R3~T1 のセンサ間で伝播時間が長くなる傾向を示しており、コンクリート部材内部で何らかの劣化が進行しているものと考えられる。

b. 図-12 に示す T0 と T1 間 (L=13.10m) での受信波形（面積）の比率によると、コンクリート部材内に AE で検知された微細なひび割れの発生やたわみの増加によって、受信波形が徐々に減衰（約 60%の減少）していく傾向が認められた。これは試験荷重および脱塩工法の通電等の影響によるものと推定される。

以上のように、透過法による走時曲線および受信波形の変化から、コンクリート部材内部に微細な何らかの変化、例えば、超音波を減衰させるマイクロクラックの発生¹⁾や剛性の低下等が発生しているものと考えられる。

2) 並列法

a. 図-13 に示すように各センサ間（1m 間隔）での超音波の伝播速度は 4566m/s~4762m/s であり、各区間で若干のバラツキを有することが判明した。また、経時変化によると各センサ間の超音波の伝播速度が 2~6%とわずかに低下する傾向が見られた。

b. 各受信波形には、桁断面方向のひび割れ発生等による急激な振幅の減衰（大きな変化）は認められなかった。

以上より、並列法による超音波の伝播速度や受信波形に大きな変化が見られなかったことから、桁下面での曲げひび割れ（桁断面方向）の発生はないものと判断される。

(3) ひずみ・たわみ

図-14 に示すように、荷重 192kN を載荷した直後からひずみ・たわみの増加（クリープ現象）が認められた。その後、荷重を 150kN に低減すると、ひずみ・たわみ共にほぼ安定した値となり、大きな変化は見られなかった。

3.2 静的曲げ破壊試験

静的破壊試験では、桁断面方向への目視によるひび割れの発生荷重は 275kN で確認し、その後、

荷重の増大とともに曲げひび割れの本数が増加し、

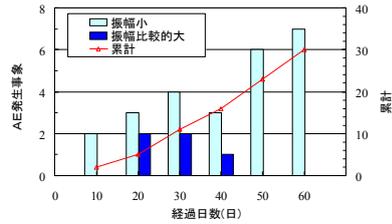


図-10 AE発生事象と経過日数との関係

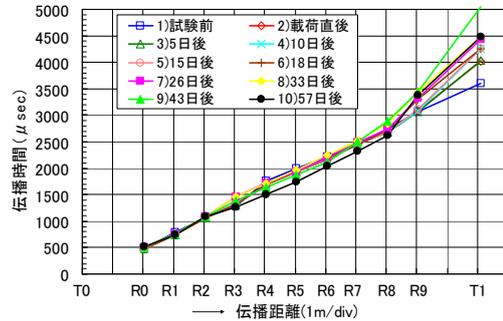


図-11 伝播距離と伝播時間の関係

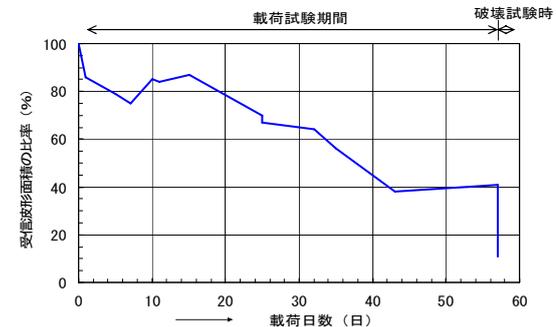


図-12 受信波形面積の経時変化 (T0-T1 間)

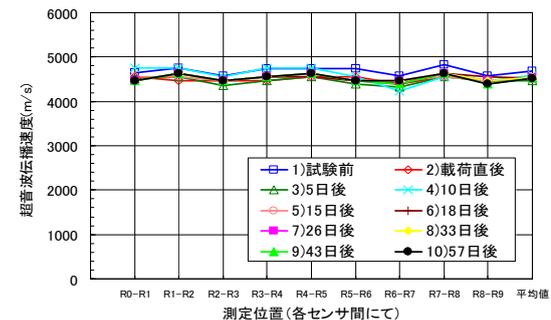
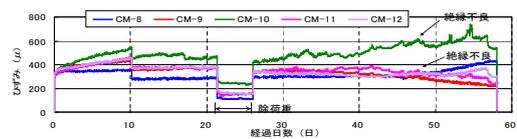
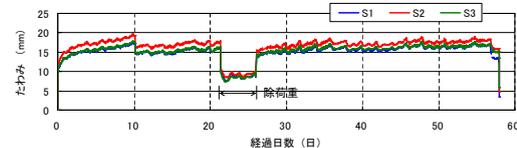


図-13 各センサ間の超音波伝播速度の変化



(a) ひずみ経時変化



(b) たわみ経時変化

図-14 ひずみ・たわみの経時変化

最大荷重 559kN で PC 鋼材の破断と思われる音が発生し、変形量の増大を確認した。

(1) AE 計測

1) AE の発生状況

- ・ 図-15 に示すように、各試験荷重に対してしきい値を超えて検知された AE の累計は 150 回以上となった。
- ・ 図-16 に示すように、試験荷重 550kN では R6 センサ付近で、最大荷重 559kN では R2 センサ付近で振幅が大きく、持続時間の長い AE を検知した。特に、図-16(b)の AE 波形は、PC 鋼材の破断による AE 波の特徴と考えられる。

2) AE 発生位置の標定 (559kN 時; 図-17 参照)

R1 センサのフィルタ故障のため、正確な位置標定は困難であるが、AE の発生箇所を含む AE センサ (R0 と R3) から概略の位置を試算した結果は、 $V=4000\text{m/s}$ とした場合には、 $X=4000\text{m/s} \times 80\mu\text{s} \times 1/2=0.16\text{m}$ と推定される。

この位置標定結果は、後述する PC 鋼材のはつり出し調査結果に示すように、PC 鋼材の破断推定位置付近でより線の 1 本に破断が確認され、ほぼ一致することが判明した。

(2) 超音波計測

1) 透過法

<走時曲線>

- ・ 図-18 に示す走時曲線から、ひび割れ発生荷重 275kN 時には、R4~T1 の区間で超音波の伝播時間が増大する傾向を示し、AE 発生事象の急増した現象とも一致する。
- ・ 最大荷重 559kN では、曲げひび割れが発生していない T0-R0 間を除き、R1~R9, T1 センサの全区間で伝播時間の大幅な増加が認められた。
- ・ 特に、R2, R6 センサ付近では傾きの変化が大きく、この位置では曲げひび割れの増加や開口、PC 鋼線の破断等による変形量の増大等の影響が現れたのではないかと考えられる。

<受信波形>

- ・ 図-19 に示すように、ひび割れ発生位置の前後 (T0-R3, T0-R4) で比較すると、伝播経路にひび割れを含む T0-T4 間に受信波形の大幅な減衰 (面積比率が 45%) が認められた。
- ・ また、最大荷重 559kN では、多数の曲げおよびせん断ひび割れ等の発生により、T0-R3 および T0-R4 センサ共に、受信波形が大幅に減衰した。

2) 並列法

<伝播速度>

- ・ 図-20(a) に示すように、載荷試験(57日)後の伝播速度は 4386~4630m/s で、ほとんど変化は認められなかった。
- ・ また、275kN (ひび割れ発生)時には、曲げ区間(R3~R7)で伝播速度の低下を生じ、目視でひび割れ

の発生が確認された R3-R4 間では、伝播速度

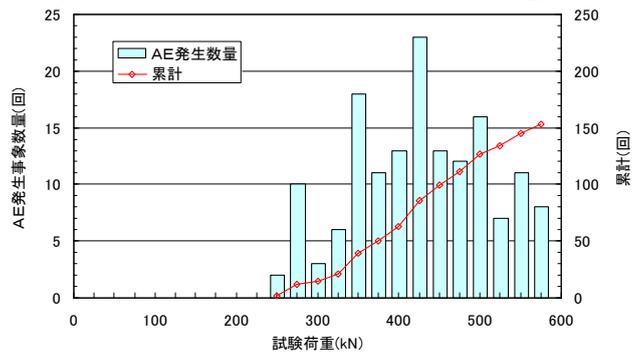
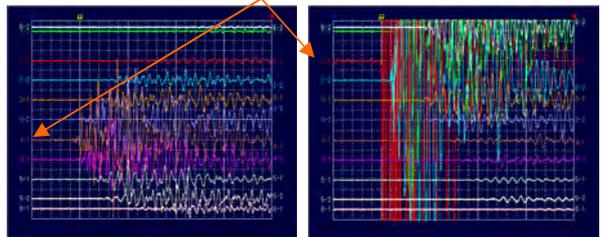
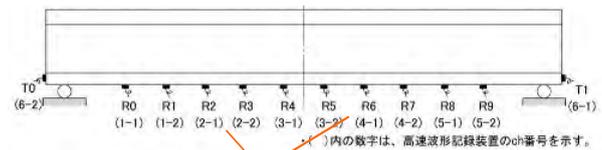


図-15 破壊試験時の AE 検知結果



(a) 550kN 時 (b) 559kN 時 (PC 鋼材破断)

図-16 プレテン桁から発生した AE 波形の例

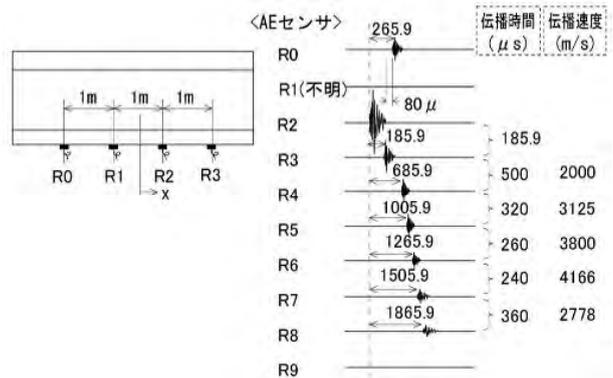


図-17 AE 発生位置の標定 (559kN 時)

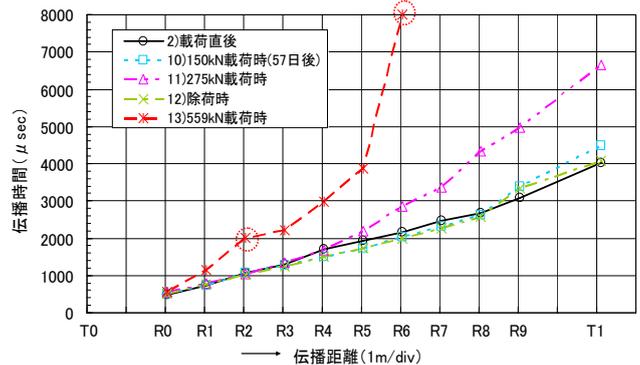


図-18 走時曲線(透過法による)

2941m/s と大幅な速度低下が認められた。ただし、プレテン桁の除荷重時には、導入されているプレストレストによってひび割れが完全に閉じることから、伝播速度に変化は生じなかった。

- ・最大荷重 559kN 時の伝播速度は、桁全長に渡り 1087~2252m/s(23~50%)と大幅な速度低下が認められた。

＜受信波形＞

- ・受信波形の比率は、図-20(b)に示すように、最大荷重 559kN 時には、センサ区間(R1~R8)で 29~58%へ大幅な波形振幅の減衰が認められた。

以上のことから、プレテン桁に曲げひび割れが発生した場合には、超音波の伝播速度や受信波形に大きな影響を及ぼすことが確認できた。すなわち、桁を伝播する超音波(弾性波)の伝播速度や受信波形の変化に着目することで、プレテン桁のひび割れ発生等の異常箇所の検出が可能であると考える。

(3) たわみ

- ・図-21 に示すように、試験荷重 275kN でのたわみは約 25mm (約 11.0kN/mm) となり、試験荷重とたわみとの関係はほぼ比例関係を示した。
- ・試験荷重 300kN を超えたあたりから曲げ破壊荷重の 559kN までの範囲は、たわみは約 140mm (1.85kN/mm) となり、荷重とたわみとの関係は約 5.9 倍に急増した。

3.3 PC 鋼材のはつり出し調査

PC 鋼材の破断が AE で推定されたプレテン桁(切断片)を用いて、下フランジコンクリートのはつり調査を行った。その結果、R1-R2 センサ間から約 22cm の位置で、PC 鋼材(より線の 1 本)の破断が確認され、本 AE 計測システムの有効性が検証された。

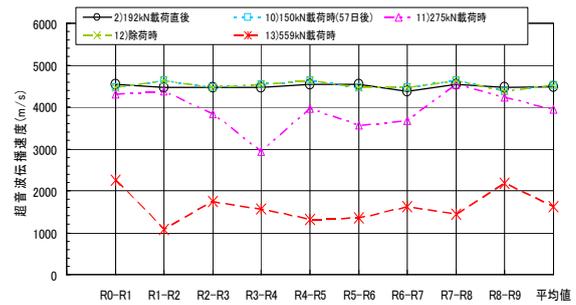
4. まとめ

本研究では、独自に考案した簡易 AE 計測システムおよび超音波計測システムを用いて PC コンクリート部材の劣化進行過程での適用性検討を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 簡易 AE 法を用いた場合、静的曲げ破壊試験の最大荷重付近でのみ PC 鋼材の破断が確認され、システムの有効性が検証された。なお、この PC 鋼材の破断は脱塩工法が影響したものではなかった。
- (2) 超音波法では、伝播速度、受信波形は、曲げひび割れの影響を大きく受けることから、プレテン桁の劣化進行(健全性)の評価に、有効な手法になりうると考えられる。ただし、プレテン桁の除荷時に、導入されているプレストレストによってひび割れが完全に閉じる場合には、伝播速度に変化は生じない。

载荷条件 センサ位置	(a)150kN载荷時 (ひび割れ無し)	(b)275kN载荷時 (ひび割れ発生荷重)	(c)559kN载荷時 (曲げ破壊荷重)
T0-R3間 (L=5.05m)			
1)伝播速度	3976m/s(100%)	3769m/s(95%)	2275m/s(57%)
2)受信波形の面積比率	100%	107%	11%
T0-R4間 (L=6.05m)			
1)伝播速度	4033m/s(100%)	3580m/s(89%)	2030m/s(50%)
2)受信波形の面積比率	100%	45%	6%
備考	・図中の縦目盛(V)は100mV/div, 横目盛(H)は、500μs/divを示す。		

図-19 受信波形の例(透過法による)

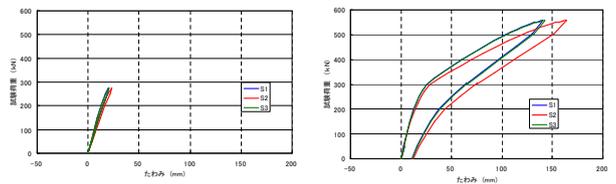


(a) 超音波伝播速度の変化(並列法による)



(b) 超音波受信波形の変化(並列法による)

図-20 超音波の伝播速度および受信波形の変化



(a) 荷重-たわみ (275kN 時) (b) 荷重-たわみ (559kN 時)

図-21 荷重とたわみの関係

参考文献

- 1) 鎌田敏郎他, コンクリートのひび割れ方向性と超音波伝播特性に関する基礎的研究, 日本非破壊検査協会, 資料 No.009-153, pp.159-162, 1999.10

S 3. 掘削工事の概略設計への立方体地盤モデルの適用

(社)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 ○竹本 憲充

1. 掘削工事における概略設計の概要と新手法の提案

(1) 地形設計の概要

景観デザインの普及に伴い、河川の多自然設計をはじめ、地形デザインの可能性が追求されている。しかし、3次元的に変化する地形の改変を設計として取り扱うのは容易ではない。図-1は従来から多用される等高線によって切り出された積層模型である。このような模型をベースに自由にあるいは、ある工学的意図に沿って、地形を変えることは模型の制作・修正等、多大な労力を要する。

また、分水路の景観設計には図-2に示す3D-CADのサーフェスモデルが用いられる。サーフェスモデルとは、境界で閉じられた面の集合によって、地形を表現するモデルである。サーフェスモデルを用いる利点は、改変した地形データから解析用の入力データが容易に得られる、土工量が算出できる、等であるが、形状の変更は、容易ではない。

サーフェスモデルを用いた地形設計(従来法)の概要を、図-3に示す。幾つかのデザイン案(たとえばA,B,C案)を検討し、その中から詳細設計の対象となる案(ここではB案)を選び、景観性、機能性、経済性等を配慮した検討を行い、最終案に至る。

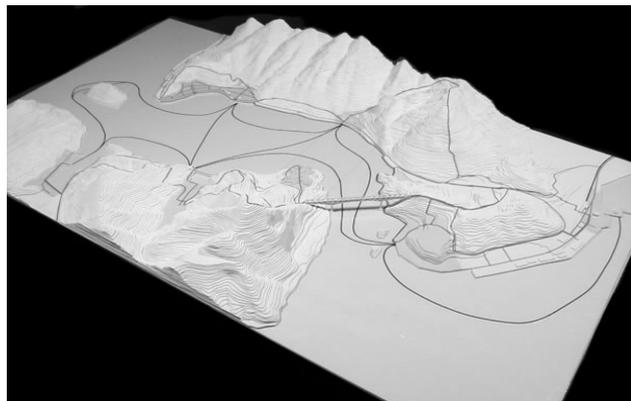


図-1 積層模型

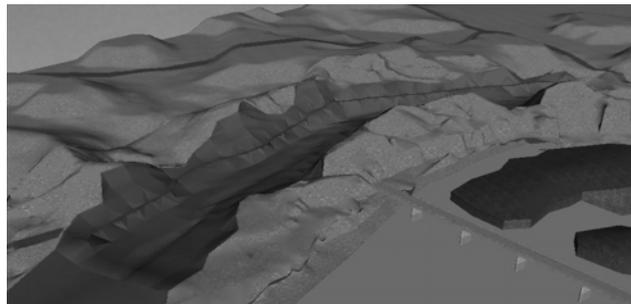


図-2 サーフェスモデル

(2) 新手法の提案

従来法の問題点は、図-3にも示したように、各案に、概略設計の段階でもサーフェスモデルを用いるため、データ作成に多大な労力を要し、迅速に多くの案の比較検討ができず、3案を検討するだけでも容易ではない。このため、本来、より多くの時間を費やして検討すべき、詳細設計の時間が削られ、細部の検討が十分にされない恐れがある。

そこで、筆者等は概略設計段階でサーフェスモデルの代わりに図-4に示す立体地盤モデルを用いる手法(提案

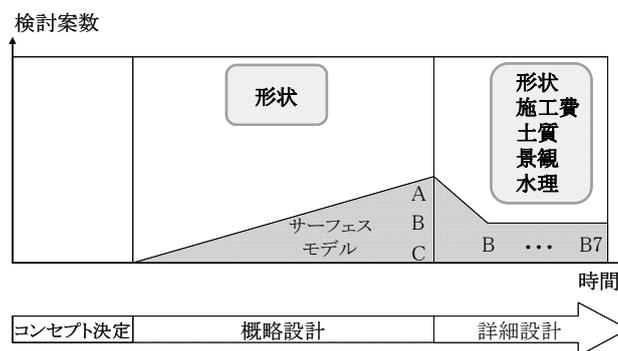


図-3 従来法による設計の流れ

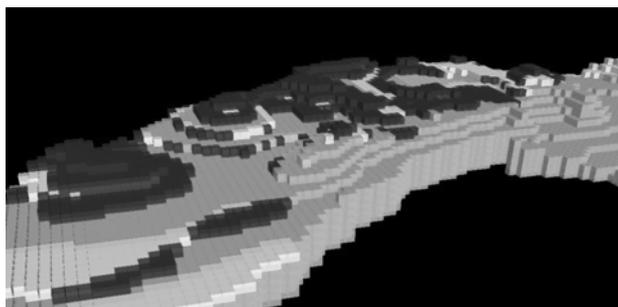


図-4 立方体地盤モデル

法)を考えた(図-7)。3章で後述するように、地形を離散的な立方体に置き換え、各要素に土質情報を付加することによって、次のような利点があることが判る。

a) 迅速な3次元可視化

不要な立方体を取り除くことで、容易に施工後の表面形状の概要が理解できる。さらに、土質の種類を色分けしておけば、掘削面の土質の概要も理解できる。

b) 土工量算出

取り除いた立方体の個数に1個の立方体の体積を掛けることで土工量の概要が把握できる。

c) 施工費算出

各立方体の土質に施工単価を掛ければ、施工費の概算

が算出できる。

ここで、強調したいのは、提案法において概略設計にのみ立方体地盤モデルを用いる点である。これにより図-5に示したように、施工性や施工費を勘案しつつ、より迅速の多くの案(たとえば、 α , β , γ ...)を検討できるだけでなく、検討時間を大幅に短縮できる。仮に β 案(立方体モデル案)が採用されれば、概略設計の2段階目として、概略設計の範疇で詳細な案($\beta 1$ 案から $\beta 5$ 案)の設計検討を行う。詳細設計に移ると、従来法(図-3)と同様に、サーフェスモデルを用い、サーフェスモデル案(B案)の検討を行う。重要なのは、図-5では、詳細設計に残された時間が十分にあるだけでなく、従来法のB案では景観的な検討しか行われていないのに対し、提案法で採用されたB案は同じ案であっても、大まかな施工上の担保がすでに得られている点にある。

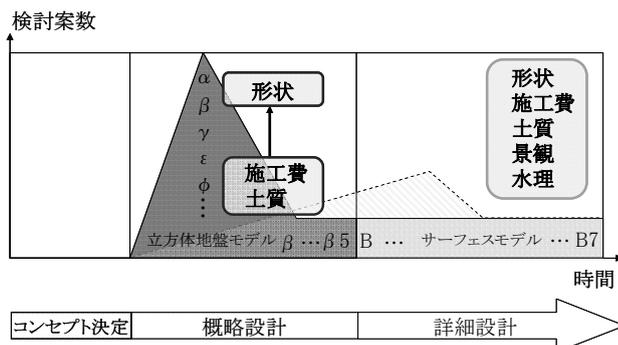


図-5 提案法による設計の流れ

3. 立方体地盤モデルの作成手順

(1) 立方体地盤モデルの概要

本モデルは固有のID、重心の3次元座標値(X,Y,Z)、土質情報Sを保持する立方体の集合で地形形状を表現する。立方体の辺長は作成時に任意の大きさを指定でき、使用目的に合わせて変更できる。立方体の保持している土質情報ごとに色を割り振り、土質分布を色情報によって表現する。立方体の持つ各種の情報はIDを同期させた外部データベースによって管理されている。データベースの情報を書き換えることでモデル上の立方体に対して土質以外にも任意の属性を追加することが可能である。

(2) 機能

立方体地盤モデルは下記の機能を有する(図-6)。

a) 掘削形状表示機能

立方体地盤モデルで表現された現況地形と、3D-CAD上に描いた3次元的な掘削範囲を重ね合わせることで、両者が重なる範囲にある立方体を消去し、掘削後の形状を表現できる。

b) 土工量表示機能

モデル上での掘削形状の作成の際に、自動で消去した立方体の個数を表示させる。立方体ひとつの体積は一律なので、消去した立方体の個数より、概算の土工量が算出可能である。また、掘削個数の表示と同時に掘削した立方体のID、重心の3次元座標値(X,Y,Z)、土質情報SをCSVファイル形式で出力する。このデータより、土質別の掘削量等を把握できる。

イル形式で出力する。このデータより、土質別の掘削量等を把握できる。

c) 土質分布表示機能

土質情報ごとに立方体に色を割り振ることで、掘削面の土質分布を視覚的に把握できる。また、任意の縦断面・水平断面で表示することで、地表面だけでなく内部の土質分布も確認可能である。

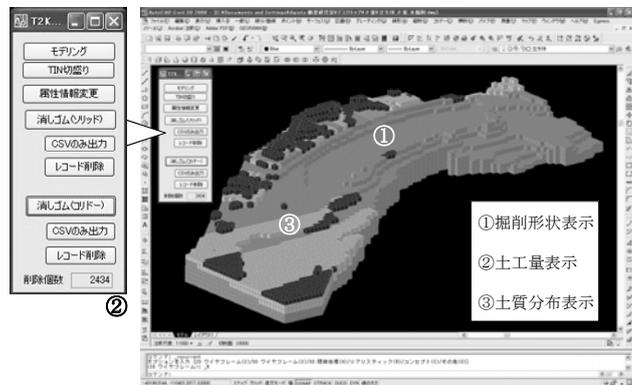


図-6 システム画面

(2) 立方体地盤モデルの運用

b) 立方体地盤モデルを用いた設計方法

モデルの色分布より取得できる土質情報を参考にしながら、3D-CAD上に中心線形を作成する。中心線形の作成後、設計形状の作成を行う。作成した中心線形に沿って、標準横断を入力し、設計形状のサーフェスを作成する(図-7)。作成した設計形状と、工事着手前の地形を立方体モデル化したものを重ね合わせ、設計形状のサーフェスの上にあるブロックを自動的に削除し、設計案の立方体地盤モデルを作成する。各案共通の縦断勾配、横断形状を用いているため設計案の違いは中心線形の違いだけである。そこで、中心線形だけを変えて、複数の設計案を迅速に作成できる。モデル作成後、前掲の掘削形状表示機能や土工量表示機能を用いて、形状、土工量、土質分布等の観点から設計案の比較・選定を行う。

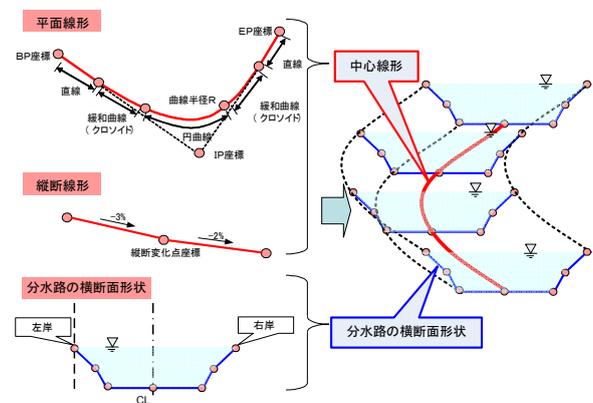


図-7 設計形状の作成

4. 適用事例

(1) 目的

本適用では、立方体地盤モデルで設計案の作成を行い、案の比較を行うことで設計へ適用した際の立方体地盤モデルの効果の確認を行う。設計案の検討を進め、立方体地盤モデルでの検討の可能性を確認する。

(2) 適用対象地の概要

九州で行われている分水路工事業(図-8)に対し、立方体地盤モデルを適用し設計検討を行う。対象とする分水路工事計画は当初、河床幅 60m, 延長 700m の大規模な地形改変を伴う事業であった。計画当初の案である 1 次案に対し、周辺に存在する観光地からの分水路の眺望が問題となったため、機能性以外のことも考慮した設計を行う必要がある。



図-8 現場写真

(3) 適用方法

立方体地盤モデルで複数の案を設計し、設計案の比較検討を行った。設計案が満足する必要がある要件は、流入口の高さは当初設計どおりとする、縦断勾配=1/120 とする、横断面は単一形状(河床幅 20m, 法面勾配 1:0.5, 小段幅 2m)を用いる、の 3 点である。立方体は地形の概略が把握できる大きさとし、一辺を 5m とした。土質に関しては、既存の地質調査結果をもとに、土砂(シルス, シルト質), 軟岩(軟岩 I, 軟岩 II)に分類した。

設計案の検討は、平面図, 鳥瞰図による形状の確認, 景観性の検討, 土工量, 施工費による比較を行う。土工量, 施工費は以下の式により算出される。

$$(\text{土工量})=(\text{掘削個数})$$

$$(\text{施工費})=(\text{土砂の掘削個数})+(\text{軟岩の掘削個数})\times 10^{**}$$

※軟岩の施工費用を土砂の施工費用の約 10 倍と設定

景観性は、対岸からの分水路法面の露出によって検討を行う。法面の露出は中ノ島の掘削量により判断する。中ノ島が多く残っていれば、法面の露出が少なく、掘削量が多くなるほど、露出が増加する。

(4) 設計案の比較検討

a) α , β , γ 案の設計

設計対象として 1 次案をもとに α ・ β ・ γ の 3 案を作成し、比較検討を行った。 α , β , γ 案の中心線形の特徴を表-1, 図-9 に示す。

表-2 に各案の平面図, 鳥瞰図, 土工量, 施工費, 景観

表-1 α , β , γ 案の中心線形

名称	特徴
α 案	1 次案に対し、川から遠い山側に大きな弧を描くように線形を設定
β 案	標高が低い箇所をたどる様に線形を設定 (α 案と γ 案の中間の線形)
γ 案	1 次案より川側を通り、分水路の入り口と出口をほぼ直線で結ぶ

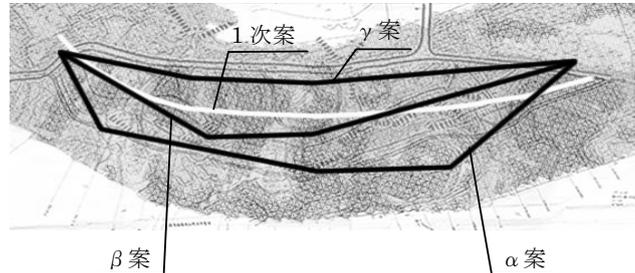


図-9 線形比較

性を示す。土工量に着目すると、中心線形が本線から大きく遠ざかり、大きく弧を描いているため、延長も長く、かつ比較的高地を掘削範囲に含む α 案が最大となった。一方、 γ 案は本川に近い位置をほぼ直線の中心線形で作成しているため、1 次案に対して土工量が大幅に減少している。 β 案は 2 案の中間的な結果となっている。

鳥瞰図では法面形状と土質分布に着目した。 α 案では図の中央にシルトを表現する立方体が 2 個垂直に並んでいる。1 つのモデルで高さが 5m であるためこの勾配は 1:0.25 と急な可能性があり安定性に問題があることがわかる。これは β 案にもみられ、それぞれ 2 箇所を確認した。つまり、法面に対して他よりも特別な補強が必要であることがわかる。また、 β 案の右上にシルスを表現する立方体が分布しており、平常時は安定しているが水を含むと極端に弱くなるため、法面の崩壊が懸念される。これに対し、 γ 案では中心線形の違いから、 β 案で問題となったシルスの露出がわずかであり、また、法面の地質は軟岩が主であること、分水路全区間で立方体が階段状に積み重なっていることから、法面の安定性が高いと考えられる。

表-2 より土工量, 施工費の観点からは γ 案が優れている。対象地が観光地であるということから、本川対岸からの法面の見え方を考慮する必要がある。 γ 案は川側の標高が山側よりはるかに低いいため、法面の大部分が本川の対岸から見えてしまう。したがって、景観的な観点から γ 案は不適となる。 α 案と β 案は中ノ島が残されているため、 γ 案と比較して対岸側から見える法面が少なく、より現況に近い景観が保存される。景観的に優れている α 案と β 案の比較では、法面の露出は α 案の方が少ない。しかし、土工量の観点から 2 案を比較すると、 α 案は β 案に比べ、土工量が非常に大きい。したがって、土工量の観点からの比較により、 β 案を選定した。

(5) 考察

立方体地盤モデルの概略設計への活用効果は以下のとお

りである。

a) モデル作成時間の大幅短縮

サーフェスモデルを用いた設計では、中心線形の決定は等高線トレースを用いたスタディにより行う。等高線トレースの作成は手作業で行うため、1~2日の時間を要する。また、3D-CADによる形状の3次元可視化も1案の作成に2日程度の時間がかかるため、設計案の作成に多くの時間が必要となる。これに対し、立方体地盤モデルでは詳細な地形サーフェスは不要であり、等高線トレース作業が省略できるため、作業時間が短縮される。さらに、立方体地盤モデルでの形状の3次元可視化に必要なデータは中心線形と縦断、横断形状の3つのデータであるため、中心線形の決定から掘削形状の作成まで10分程度で行うことができ、作業時間が飛躍的に短縮された。

c) 設計形状等のイメージ共有

議論の場において立方体地盤モデルを使用しながら検討を行い、検討の結果をその場で3次元可視化を行うことで迅速に完成イメージを共有することが可能となると考える。

d) 鳥瞰図表示による簡易的な景観検討

本モデルで作成した3次元地形を様々な視点から表示することにより、各設計案の景観性を簡易的に確認できる。

e) 土工量等算出の迅速化・容易化

掘削個数を自動的に表示する機能により、容易に概算の土工量が算出でき、概略設計の段階で土工量の把握が可能となった。また、岩の割合や施工費、土質ごとの掘削量等も算出でき、それらによる案の比較も行える。

f) 法面の安定性確認

立方体の色情報より土質分布からの案の比較、検討が行える。法面の立方体の色および積み方を見ることで、 α 、 β 案の鳥瞰図にあるような構造的に問題がある断面を見つけることが出来る。この情報をもとに、地質に応じた法面勾配となるよう、断面形状をきめ細かく変更するといった対応が可能となる。

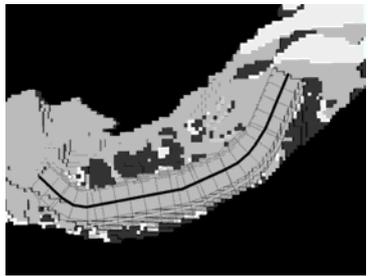
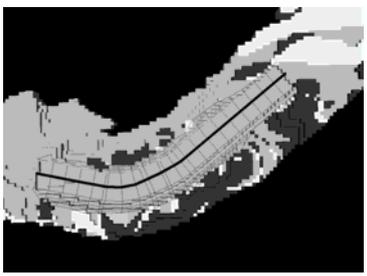
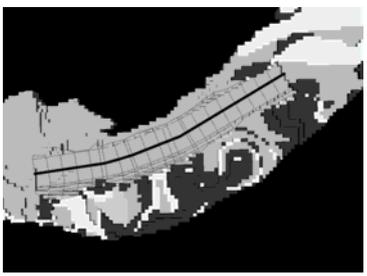
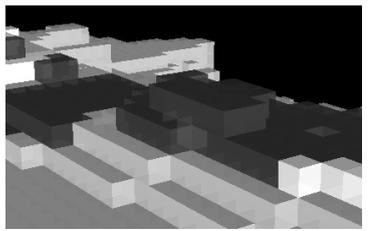
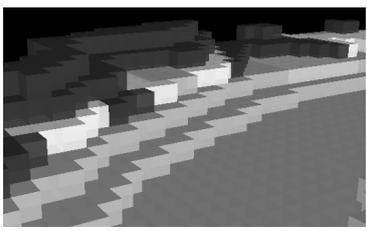
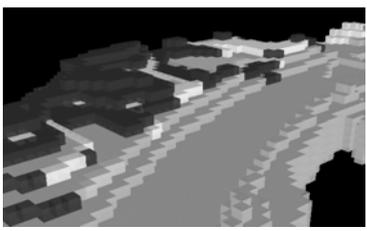
g) 比較検討できる設計案の多数化・評価の迅速化

立方体地盤モデルを用いることで1つの案を短時間で作成でき、概略検討において、多数の案を検討することが可能になる。また、設計案の作成と同時に概算の土工量が算出され、視覚的に土質分布を確認できることから、各設計案の比較・評価を、土工量、施工費、景観性、法面の安定性等、様々な観点から実施できる。詳細設計に移行するまでに、複数の評価項目により最適な設計案が絞り込まれているため、詳細設計の質が高まるとともに、詳細設計段階での設計案の件数が減少し、全体的なコストを削減できる。

参考文献

- 1) 朝重亜紀子, 小林一郎, 松尾健二, 竹本憲充 : 3D-CADを用いた分水路設計検討に関する実証的研究, 土木情報利用技術論文集, Vol.17, pp.161-170, 2008年11月
- 2) Autodesk 株式会社 HP : <http://www.autodesk.co.jp/adsk/servlet/home?siteID=1169823&id=3551938>,
- 3) 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社 HP : <http://www.etc-g.co.jp/>,

表-2 α, β, γ 案比較表

名称	α 案	β 案	γ 案
平面図			
鳥瞰図			
土工量	2610	2061	1667
施工費	19575	15732	13439
景観性	◎	○	×

S 4. 遠隔操作型バックホウの操作技能評価に関する試験研究

(社) 日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 飯盛 洋

1. はじめに

遠隔操作が可能な建設機械を使用して人間が立ち入ることなく作業を行う無人化施工は、これまで雲仙普賢岳や有珠山の噴火災害を始めとする災害復旧現場等の危険地域における工事で数々の実績を上げてきた。また、近年、これまで想定していなかったような大規模災害の発生が増大しており、その復旧のために無人化施工の重要性はますます高まっている。

もし、このような事態が起きた場合に迅速に対処するためには、無人化施工機械システムを直ちに調達できる体制を整備しておくとともに、これらの機械を操作できる技能者を平時から育成・確保しておくことが重要である。しかしながら、現状では無人化施工機械の操作技能に習熟しているかどうかを評価する明確な指標はまだない。

本研究は、無人化施工機械の操作技能習熟度を評価する指標を検討することを目的として、遠隔操作型バックホウを用いた模擬作業試験を行い、オペレータの無人化施工の経験の違いによる技能の差すなわち作業効率や施工品質の違いを明らかにしようとしたものである。なお、本試験研究は国土交通省総合政策局より受託した「平成22年度高度な技術を有する技能者の活用・育成推進に係る検討業務」の一部として実施したものである。

2. 模擬作業試験の内容

2.1 概要

遠隔操作による模擬作業試験は、施工技術総合研究所構内の作業試験場にて、施工機械から約100m離れた場所に遠隔操作室を設置し、そこから直接機械を見ることなく、車載カメラおよび外部固定カメラのモニタ画面のみを見て所定の作業を行うという方法で実施した。また、遠隔操作（無人化施工）と搭乗運転（有人施工）との差を見るために同じ模擬作業を搭乗運転でも行った。そして、試験時の作業効率（時間、作業能力）や施工品質を測定し、オペレータの技能の差を評価した。

2.2 使用機器

試験に使用した施工機械は、無人化施工で最も多く適用されている遠隔操作型バックホウ（特定

小電力無線使用、搭乗運転可能）とし、バケット容量0.9m³のものを使用した（写真-1）。

カメラは車載カメラ2台（足元用と前方用）と外部固定カメラ2台（施工機械をほぼ直角の2方向から見る）の計4台を使用した。画像伝送用機器は、車載カメラの画像伝送用無線には小電力データ通信システム（2.4GHz）を使用し、外部固定カメラの画像伝送は有線式を使用した。

遠隔操作室内にはモニタディスプレイを3台設置し、中央の1台は車載カメラ2台の画像を切替えていずれか1画面を表示し、左右のモニタには外部固定カメラの画像を常時表示した（写真-2）。

2.3 被験オペレータ

オペレータは無人化施工の経験の異なる3名で、搭乗運転に関してはいずれも10年以上の経験を持つベテランである。3名の無人化施工の経験年数は以下のとおりである。

- ・オペレータA：無人化施工経験年数10年
- ・オペレータB：無人化施工経験年数3ヵ月
- ・オペレータC：無人化施工経験なし（練習30分）



写真-1 試験に供した遠隔操作型バックホウ



写真-2 遠隔操作室内のモニタおよび操作装置

2.4 試験方法

模擬作業試験の種類はバックホウの基本的動作である①掘削積込作業試験、②均し作業試験、③走行試験の3種類とした。それぞれの試験方法は以下のとおりで、搭乗運転、遠隔操作ともこれらを3回ずつ行った。

(1) 掘削積込作業試験

図-1に示した掘削範囲（一度掘り返した後、埋め戻した地盤）を掘削し、左90°の位置に配置した10tダンプトラックに掘削土を積み込み、元の位置に戻るといったパターンを5サイクル繰り返す。測定項目は以下のとおりである。

① 所要時間（サイクルタイム）

5サイクルの掘削積込動作（掘削、旋回、排土、旋回）の所要時間を測定する。

② 作業量（積込土量）

空車状態および積込後のダンプトラックの質量を測定し、5サイクルの積込量を求め、①と合わせて作業効率（t/h）を求める。

③ 施工品質（掘削位置決め安定性）

掘削範囲に対するバケットの左右方向のズレを測定し、位置決め安定性を評価する。

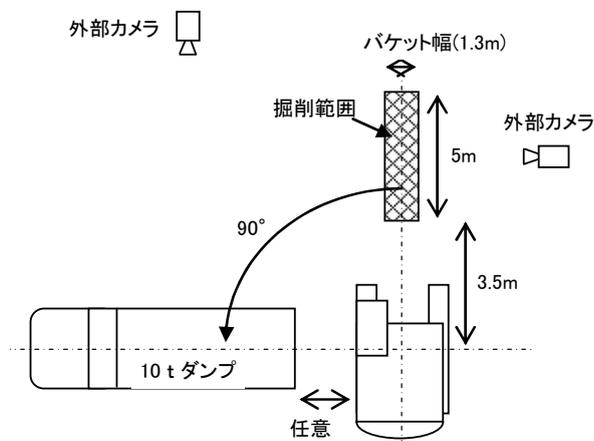


図-1 掘削積込作業試験のパターン

(2) 均し作業試験

図-2に示すような放射状に設定した5本の目標線にバケット中心位置を合わせ、バケットを立てて水平引きを行う（爪で地面を均す）。なお、この試験のみ外部カメラは1台とし、作業装置を側方（左右いずれか一方）から見る位置に設置した。測定項目は以下のとおりである。

① 所要時間（サイクルタイム）

5本分の均し動作（助走、均し、戻し）の所要時間を測定する。

② 施工品質（均し跡の平坦性）

均し跡を目標線の方に50cm間隔でレベルで測量し、平坦性を評価する。

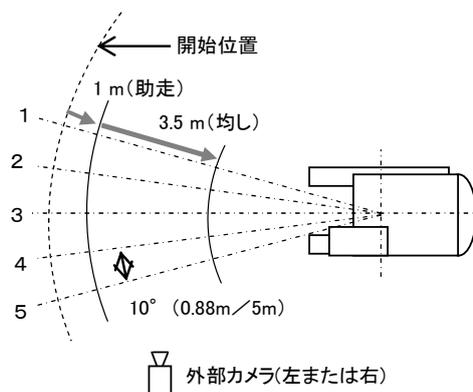


図-2 均し作業試験のパターン

(3) 走行試験

速度段は低速とし、図-3に示す走行コースを目標線に沿って直進、左90°旋回、再び直進するパターンとした。測定項目は以下のとおりである。

① 所要時間

一連の走行（最初の直進走行、左旋回走行、旋回後の直進走行）に要した時間を測定し、走行速度を求める。

② 施工品質（操舵の安定性）

目標線に対する走行跡（左側履帯の左端跡）のズレ量を1m間隔で測定し、操舵の安定性を評価する。

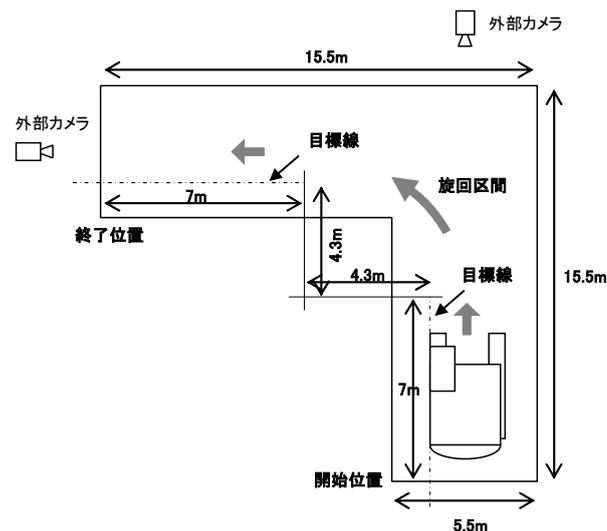


図-3 走行試験のコース

3. 試験結果および考察

3.1 掘削積込作業試験

(1) 作業効率（時間当たり作業量）

図-4は、横軸にサイクルタイムを、縦軸に1サイクル当たりの積込土量を取り、それぞれ5サイクルの平均値をプロットしたもので、一次回帰式の傾きが作業効率（時間当たり作業量）を表す。

これによると、搭乗運転では3名とも熟練オペレータであるため、サイクルタイム、積込量ともオペレータによる差はあまりない。これに対し、遠隔操作では経験のないオペレータCはサイクルタイムが4倍程度に増えており、経験のあるオペレータA、Bと比較して作業効率は明らかに低い(B, A, Cの順)。

また、表-1の搭乗運転に対する遠隔操作の作業効率の比を見ると、経験のあるオペレータでも30~50%程度とかなり低く、経験のないオペレータでは24%で効率低下の度合いはより大きい。

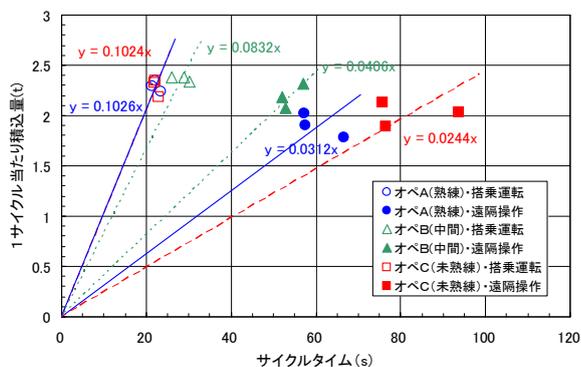


図-4 掘削積込作業試験におけるサイクルタイムと積込量

表-1 掘削積込作業試験における作業効率の比

オペレータ	作業効率の比 (遠隔操作/搭乗運転)
A(熟練)	0.31
B(中間)	0.48
C(未熟練)	0.24

(2) 施工品質 (掘削位置決めの安定性)

図-5 は掘削時の掘削範囲 (予定位置) に対するバケットの左右方向のズレ量の5サイクルの平均値および振幅 (変動範囲) を示したものである。この振幅の小さい方が掘削位置決めが安定しているといえる。また、各オペレータについて、搭乗運転、遠隔操作各3回の試験のバケットの振幅の平均値を比較したものが表-2である。

これより、全体として搭乗運転より遠隔操作の方が掘削時のバケット位置の振幅 (ズレ量の変動範囲) が大きいことがわかる (1.5~4倍程度)。また、遠隔操作の経験のないオペレータCは、搭乗運転ではバケットの振幅が最も小さかったが、遠隔操作では最も大きくなっている (B, A, Cの順)。

(3) 技能習熟度の違い

遠隔操作による掘削積込作業試験では、遠隔操作の経験のないオペレータは、経験のあるオペ

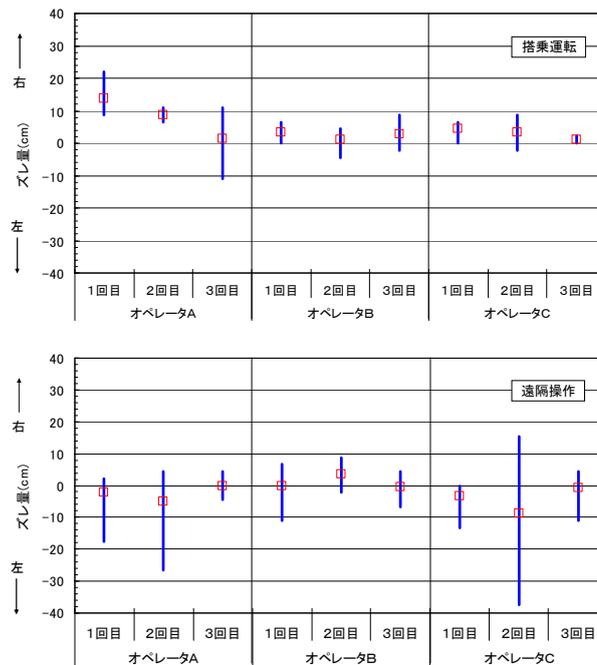


図-5 掘削時のバケットの左右方向ズレ量

表-2 掘削時のバケット位置の安定性 (左右方向の振幅の平均値)

オペレータ	搭乗運転	遠隔操作
A(熟練)	13 cm	20 cm
B(中間)	9 cm	13 cm
C(未熟練)	7 cm	27 cm

レータと比較して、作業効率 (時間当たり積込量) および施工品質 (掘削位置決めの安定性) のいずれの面においても、やや低いことがわかる。

また、ともに遠隔操作の経験のあるオペレータの比較では、経験年数の短いオペレータの方が経験年数の長いオペレータより作業効率、施工品質の両面で上回っていた。これだけで結論づけることはできないが、これは搭乗運転の経験が十分な場合は、比較的短期間で遠隔操作技能を習得できる可能性があることを示唆しているともいえる。

3.2 均し作業試験

(1) 作業効率 (サイクルタイム)

搭乗運転および遠隔操作による均し作業試験の平均サイクルタイムを図-6に示す。遠隔操作時の作業効率のオペレータによる差は搭乗運転時と同じ傾向で、オペAとオペCが同等、オペBのみサイクルタイムが長いという結果になり、遠隔操作の経験量には比例していない。

また、搭乗運転と遠隔操作のサイクルタイムの比 (所要時間比) および作業効率比を表-3に示す。搭乗運転に対する遠隔操作の作業効率の比は所要

時間比の逆数であり、これは3人のオペレータとも40%前後で、掘削積込作業試験と同様、非常に低い値となった。

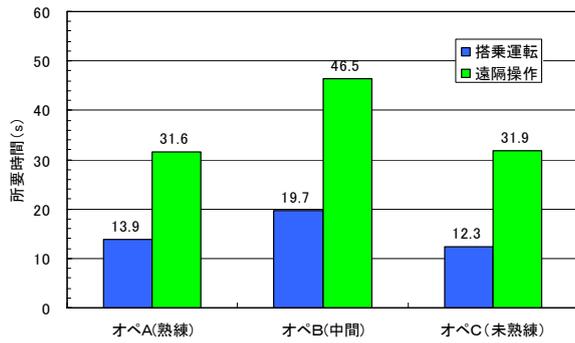


図-6 均し作業試験の平均サイクルタイム

表-3 均し作業試験のサイクルタイム、作業効率比

オペレータ	搭乗運転	遠隔操作	所要時間比 (遠隔/搭乗)	作業効率比 (時間比の逆数)
A(熟練)	13.9 s	31.6 s	2.27	0.44
B(中間)	19.7 s	46.5 s	2.36	0.42
C(未熟練)	12.3 s	31.9 s	2.59	0.39

(2) 施工品質 (均し跡の平坦性)

均し跡のレベル測量結果から直線回帰を行い、回帰式からの差の標準偏差を示したものが図-7である。これは、均し跡の平坦性(凹凸の程度)を示すものである。これより各均し跡の標準偏差の全体の平均値を求め、オペレータ毎に比較したものが表-4である。

これによると、程度の差はあるが、いずれのオペレータも搭乗運転より遠隔操作の方が数値が大きくなっており、平坦性は低下している。また、遠隔操作による均し作業試験の平坦性は、オペレータAとBは同等で、経験のないオペレータCがやや劣るという結果になっている。

表-4 均し跡の平坦性 (標準偏差の平均値)

オペレータ	搭乗運転	遠隔操作
A(熟練)	5.7 mm	8.3 mm
B(中間)	8.0 mm	8.2 mm
C(未熟練)	6.4 mm	10.8 mm

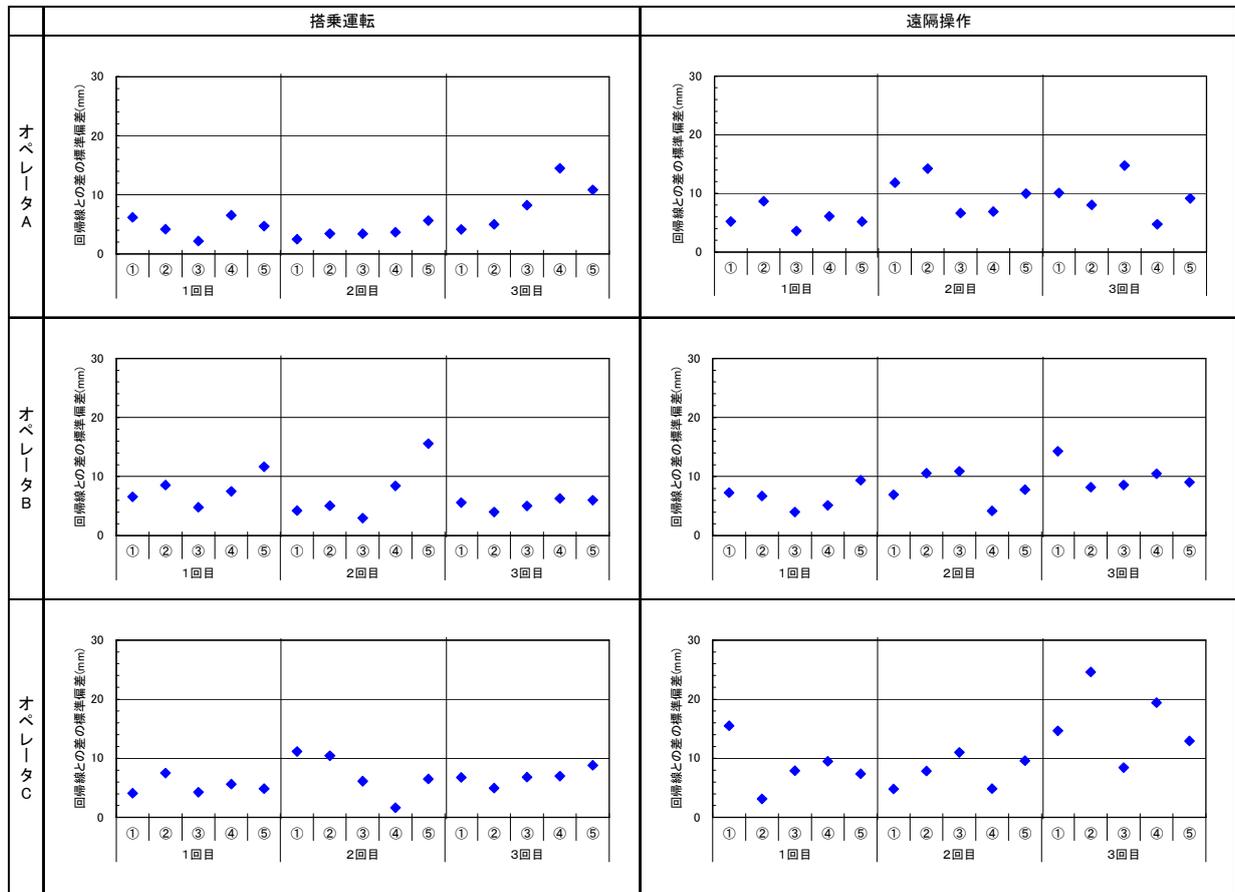


図-7 均し跡の平坦性 (均し跡の一次回帰式からのバラツキ)

(3) 技能習熟度の違い

遠隔操作による均し作業試験では、作業効率（サイクルタイム）はオペレータの遠隔操作の経験の有無とは比例しなかったが、施工品質（均し跡の平坦性）については遠隔操作の経験のないオペレータは経験のあるオペレータに比べて低いことがわかる。

3.3 走行試験

(1) 作業効率（走行速度）

走行速度はエンジン回転数が支配的になるので、搭乗運転と遠隔操作でエンジン回転数が同じ条件における走行速度を比較した。その結果を図-8 および表-5 に示す。これによると遠隔操作時の走行速度は搭乗運転時の走行速度の70~90%程度となり、掘削積込作業や均し作業に比べると、効率低下はかなり少ない。

遠隔操作時の走行速度はオペレータ B だけがやや低く、オペレータ A と C は同等で、遠隔操作の経験の有無には比例していない。

なお、供試機械の最高速度（速度段：低速）の仕様値は 3.5km/h であるが、旋回区間を始めとする操舵操作により全区間の平均では 3km/h 以下となったものである。

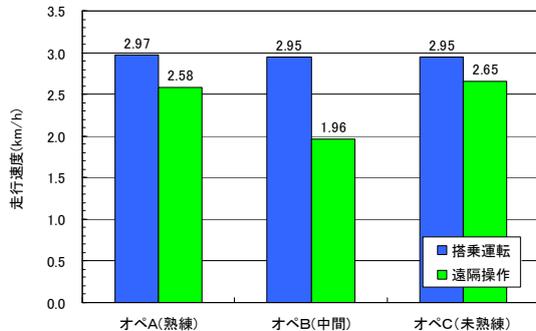


図-8 走行試験時の走行速度

表-5 走行試験時の走行速度および比率

オペレータ	搭乗運転	遠隔操作	遠隔/搭乗
A (熟練)	2.97 km/h	2.58 km/h	0.87
B (中間)	2.95 km/h	1.96 km/h	0.66
C (未熟練)	2.95 km/h	2.65 km/h	0.90

(2) 施工品質（操舵の安定性）

各試験毎の走行目標線からのズレ量の平均値および標準偏差を示したものが図-9 である。また、これよりオペレータ別に搭乗運転、遠隔操作それぞれの標準偏差の平均を求め、比較したものが表-6 である。標準偏差は走行目標線からのズレ量のバラツキの大きさ、すなわち操舵の安定性を表している。

これより、いずれのオペレータも搭乗運転に比べて遠隔操作の方がズレ量のバラツキが大きい（1.5~2.5 倍程度）ことがわかる。また、遠隔操作におけるオペレータによる差は、A, B, C の順でズレ量のバラツキが少なく、操舵の安定性は遠隔操作の経験量に比例している。

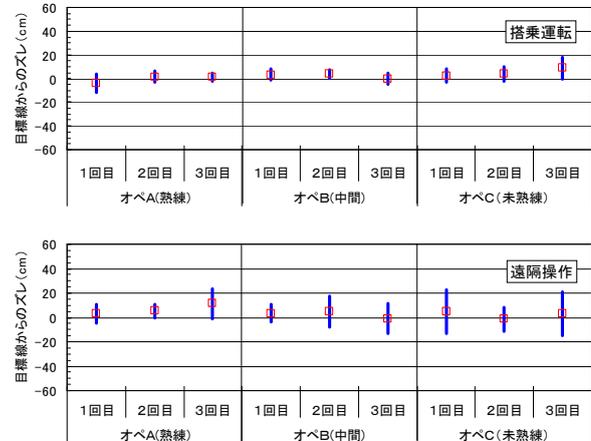


図-9 走行目標線からのズレ

表-6 操舵の安定性（標準偏差の平均値）

オペレータ	搭乗運転	遠隔操作
A (熟練)	5.5 cm	8.5 cm
B (中間)	4.2 cm	10.8 cm
C (未熟練)	6.8 cm	15.1 cm

(3) 技能習熟度の違い

遠隔操作による走行試験では、遠隔操作の経験量の違いは走行速度には表れなかったが、施工品質（操舵の安定性）は経験量に比例した結果となった。

3.4 遠隔操作時のオペレータの注視画面

遠隔操作により作業（走行）試験を行っているときに各オペレータが中央と左右の3台のモニタのどの画面を見て遠隔操作を行っていたかについても調査を行った。調査方法は遠隔操作室でオペレータを正面から撮影したビデオ映像をモニタ映像と同期させて録画し、これを読み取って各モニタを見ていた時間率を求めた。この例として掘削作業試験の掘削時および走行試験の旋回時のモニタ注視時間率を図-10 に示す。また、そのときのモニタ画面の例（掘削積込作業試験：オペ A, 走行試験：オペ C）を写真-3 に示した。

例示したのは一部であるが、全体を総合すると、オペレータ A はどれか1台のモニタ画面（走行試験以外は車載カメラ映像）を集中して見る傾向が強い。オペレータ B は最もよく見るモニタが中央

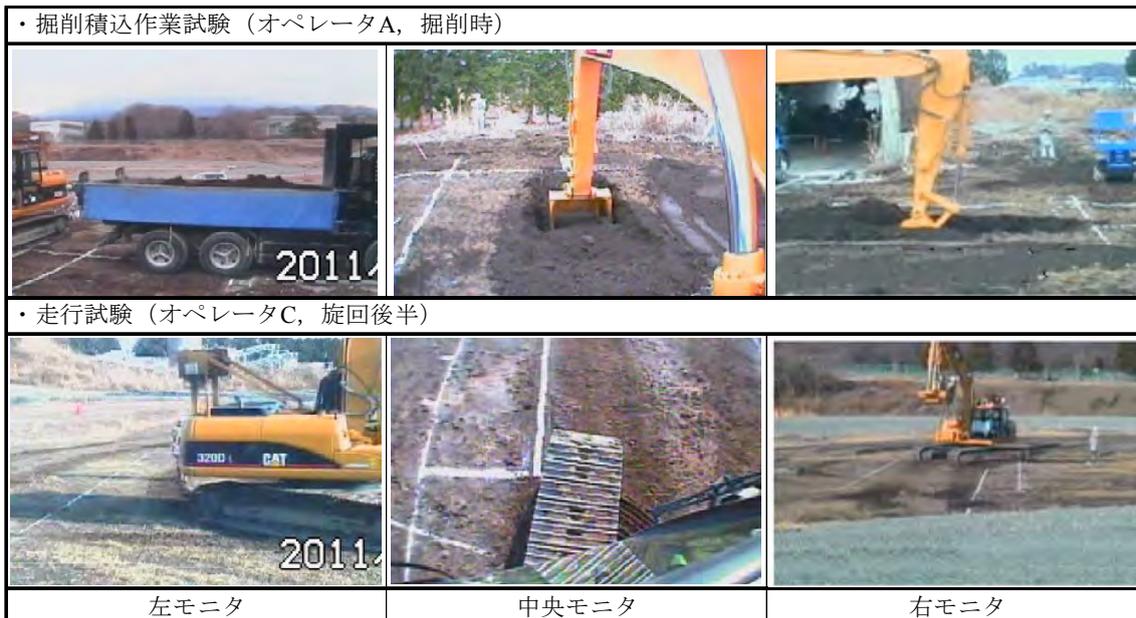


写真-3 遠隔操作時のモニタ画面の例

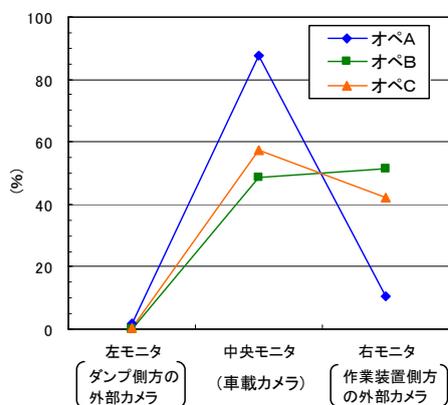


図-10 掘削積込作業試験時（掘削時）のモニタ注視率

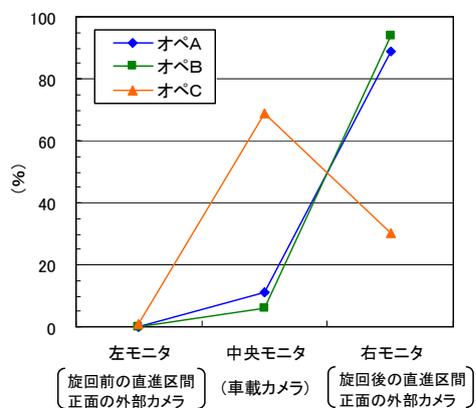


図-11 走行試験時（旋回後半）のモニタ注視率

モニタ（車載カメラ映像）ではなく、左右のモニタ（外部固定カメラ映像）である場合が比較的多く、その時々でモニタ画面を使い分けているとい

える。オペレータCは均し作業試験以外はどの場合も中央モニタ（車載カメラ映像）を見ている率が最も高かった。これは自車を運転席以外の方向から見る外部カメラの映像に慣れていない（有効に活用していない）ことが理由として考えられる。

5. おわりに

遠隔操作型バックホウの操作について、遠隔操作の経験の違いによる技能の差を明らかにすべく、模擬作業試験を行い、作業効率や施工品質について測定・分析した。その結果、作業効率は必ずしも経験の有無、年数に比例する結果とはならなかったが、施工品質については掘削積込作業、均し作業、走行のいずれの試験においても、遠隔操作の経験がない場合は熟練オペレータとは差があることがわかった。

この技能の差がモニタからの視覚情報の活用に習熟していないことに起因するものなのか、運転席の操作レバー類とは寸法もストロークも異なる遠隔操作器に慣れていないことによるものかは今回の試験からは判断できないが、今後、無人化施工の技能者を効率的に育成していくためには、視覚情報の的確な活用を含めた遠隔操作技能の習熟方法について検討することが必要になると思われる。

参考文献

- 1) 藤野・茂木：建設機械の遠隔操作時における操作者の視点，建設機械，47巻，9号，pp.28～33，2011年

平成23年度 建設施工と建設機械シンポジウム

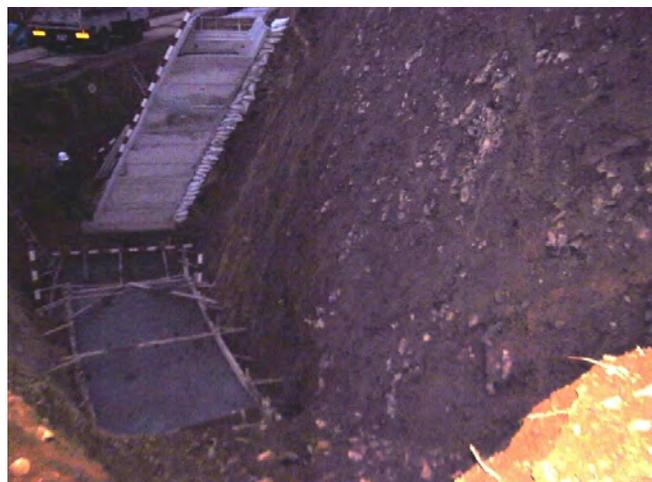
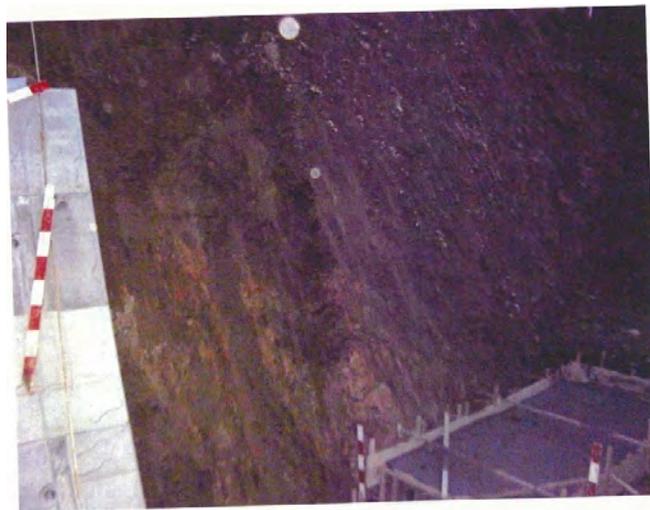
汎用建設機械を用いた 土の強度に関する実務的簡易推定手法の開発

～社団法人日本建設機械化協会研究開発助成 成果報告～

長崎大学大学院 杉本 知史

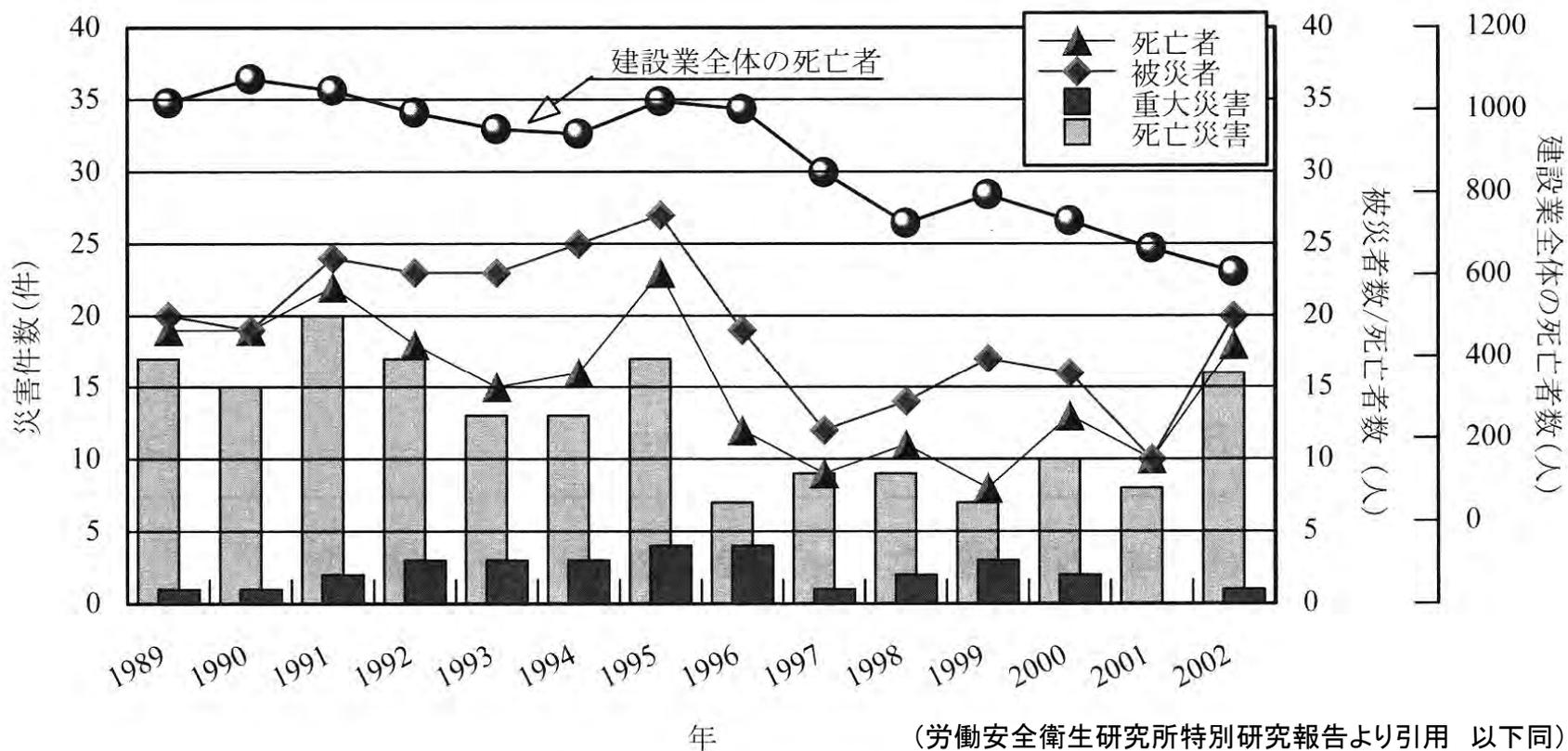
研究の背景

切土・擁壁構築工事における法面の崩壊事例



切土工事における労働災害の現状

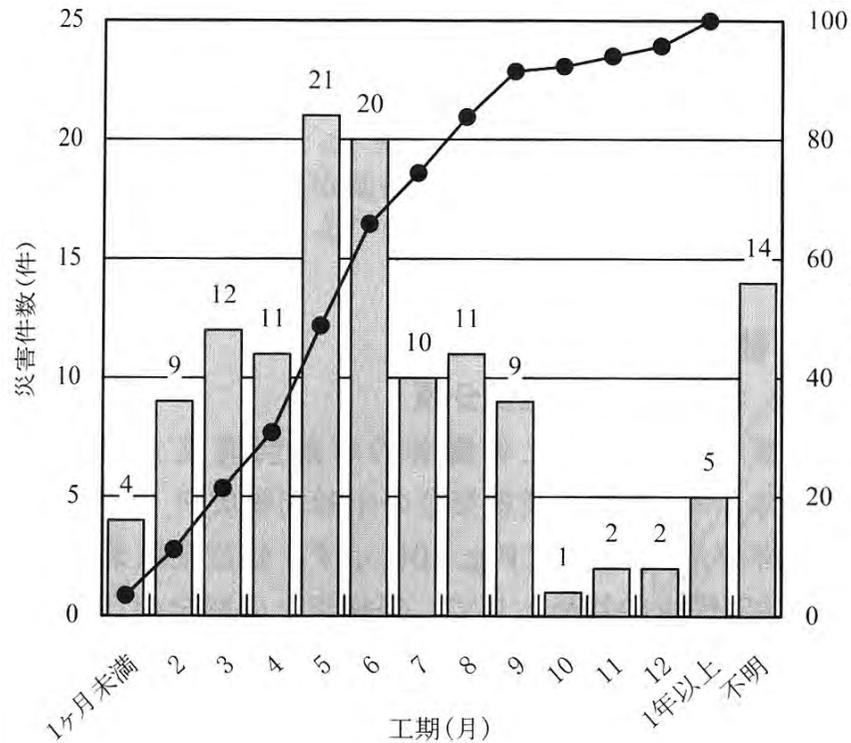
建設工事中の斜面崩壊による労働災害の年度別発生件数



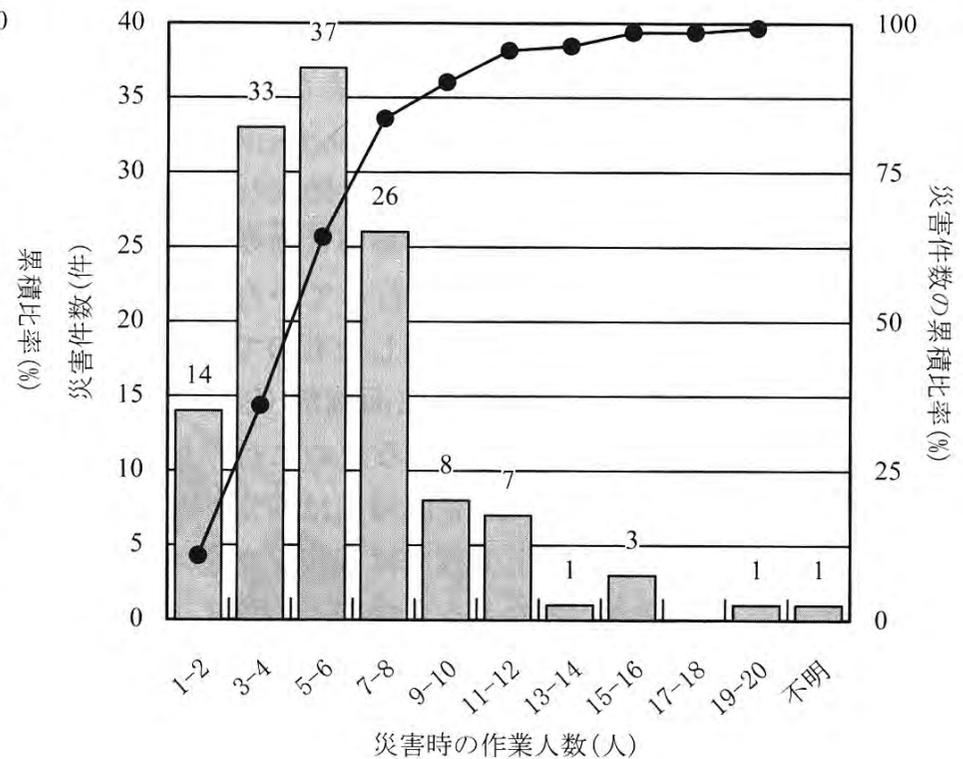
- 建設業全体 → 1996年以降は減少傾向
- 斜面関連 → 引き続き増減を繰り返す傾向にある

切土工事における労働災害の現状

工期別災害件数(1989~2002)



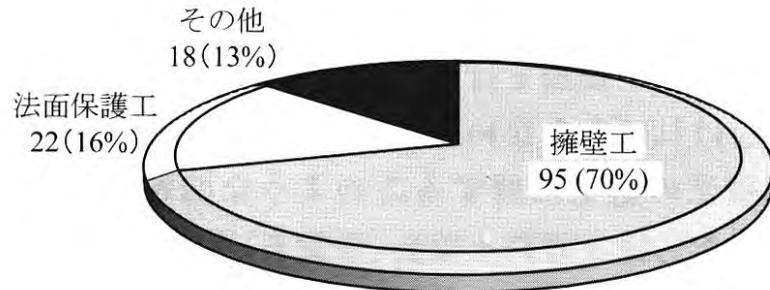
作業人数別災害件数(1989~2002)



- ・短期の工事での災害件数が多い
- ・作業人数が少ないほど災害件数が多い

切土工事における労働災害の現状

災害の工事種別分類(1989～2002)

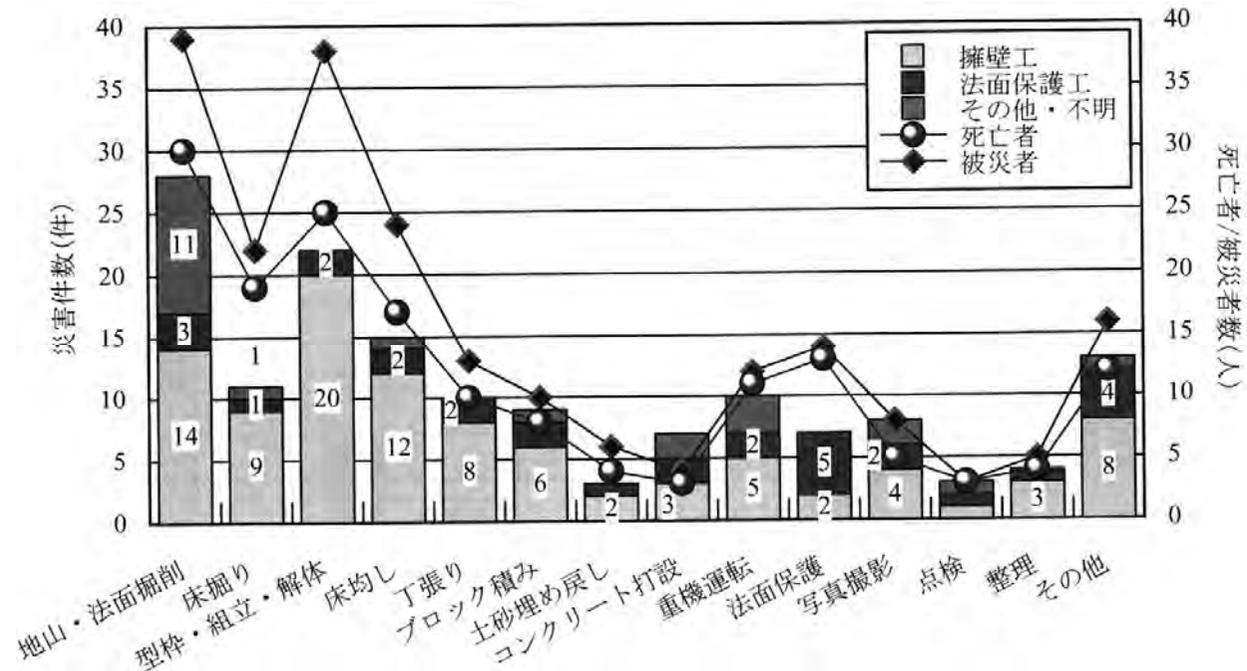


擁壁工が圧倒的に多い

掘削・床掘り: 直接の掘削作業

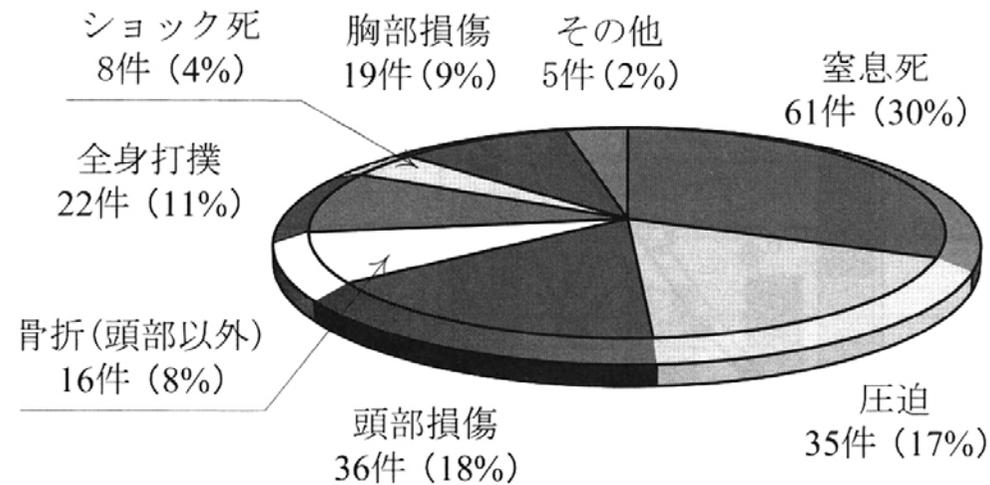
型枠組立・解体 } 掘削後の不安定な
床均し・丁張り } 地山付近での作業

災害発生時に被災者が行っていた作業(1989～2002)

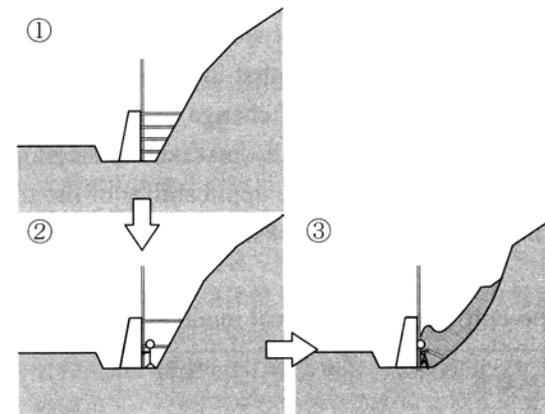


切土工事における労働災害の現状

被災者の死亡原因 (1989～2002)

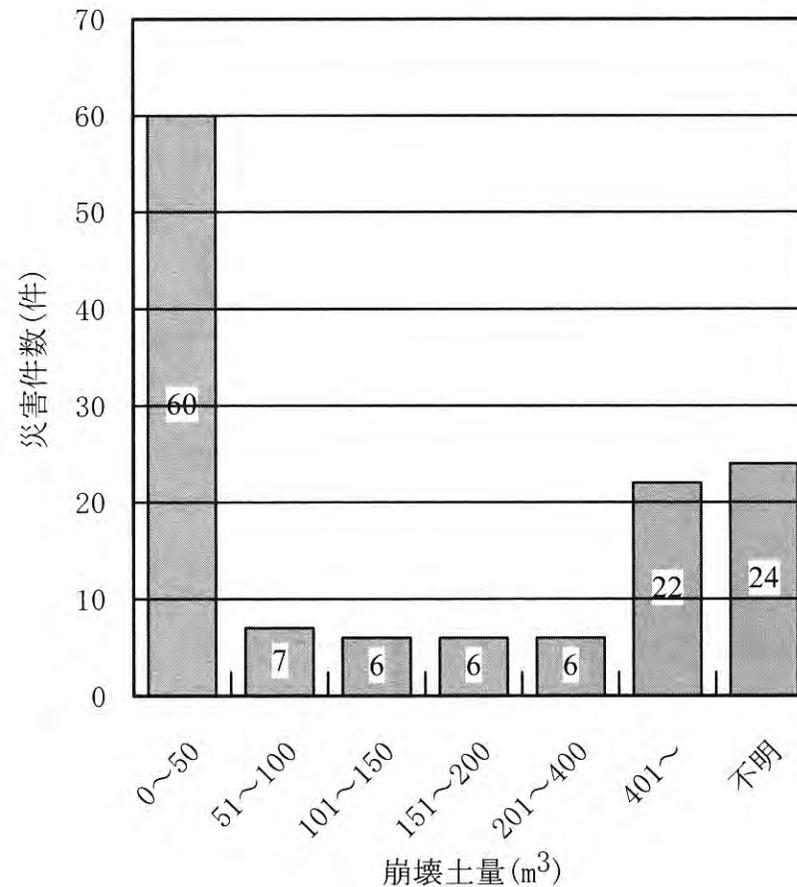


死亡原因: 約3割が窒息／約2割が圧迫 → 土砂崩壊による生き埋め



切土工事における労働災害の現状

崩壊土量別の災害件数(1989～2002)

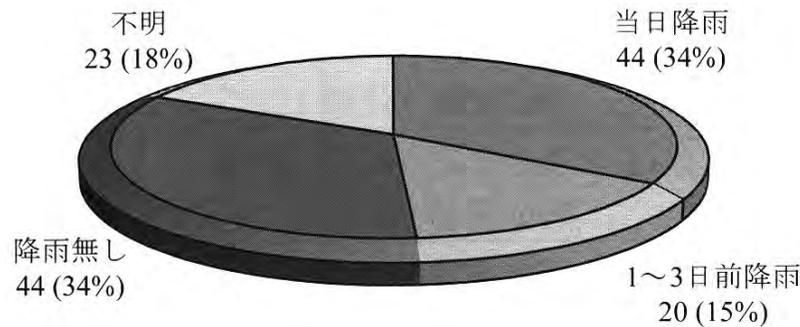


小規模な斜面の崩壊は、大規模なものに比べ瞬時に起こることが多い

➡ 退避等に時間的余裕が少ない

切土工事における労働災害の現状

災害発生時の降雨状況(1989～2002)

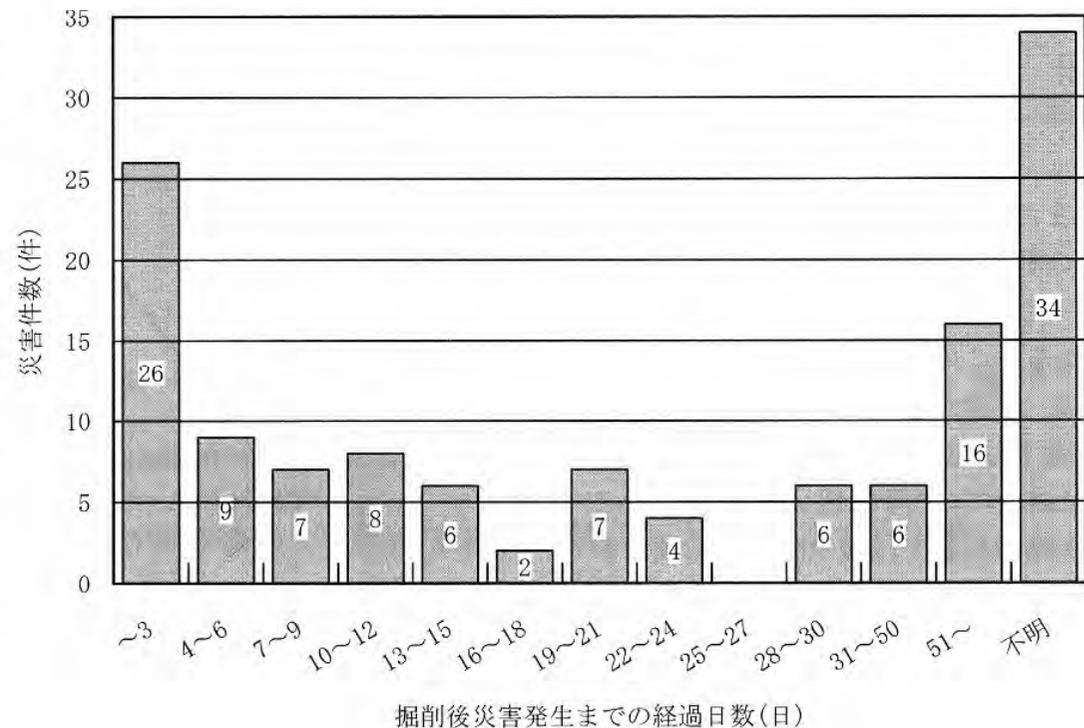


降雨を伴う災害が約半数を占める

→ 土のせん断強度低下・ γ_t の増加・ ΔU の発生

降雨なしのケースも多い → σ_h 低下に伴う崩壊

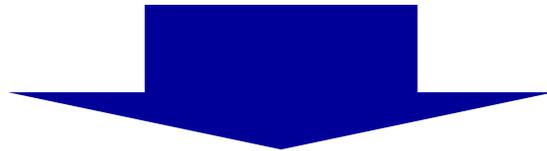
法面掘削後災害発生までの経過日数(1989～2002)



掘削直後の災害が多いが、崩壊まで2ヶ月近く要する場合もあり素因・誘因に大きく影響していると考えられる

研究の目的

- 施工箇所に孔内傾斜計を設置するには高額
- 伸縮計は変位が発生してから設置するので、それでは遅い
- 施工中に崩壊の危険性がある地山の特性を知る必要がある



身近にある**建設機械**で危険性の判定ができないか？

表層地盤の強度推定の必要性

- 切土掘削斜面における表層崩壊 ➡ 概ね数mオーダーの範囲
- 多くの切土掘削工事の現場に配置している機材を使用できないか？
- 将来的に現地作業員が各自で判断できる仕組につなげる



バックホーを利用した表層掘削による
表層地盤の強度推定手法の開発

上記手法開発のため原位置で精度のよい土の強度評価を行う手法の開発

➡ 原位置一面せん断試験機の開発と性能の評価

表層地盤の強度推定の提案



運転席モニターによる
油圧観測

→土の抵抗値を数値化
(将来的には、重機オペレータにも判断できるようなメッセージの表示も検討)

一定条件下でトレンチ側壁を
バケットのみで掘削



バケットシリンダー内の油圧
を圧力計・動ひずみ測定器
を介して計測。



表層地盤の強度推定の必要性

- ▶ 切土掘削斜面における表層崩壊 → 概ね数mオーダーの範囲
- ▶ 多くの切土掘削工事の現場に配置している機材を使用できないか？
- ▶ 将来的に現地作業員が各自で判断できる仕組につなげる



バックホーを利用した表層掘削による
表層地盤の強度推定手法の開発

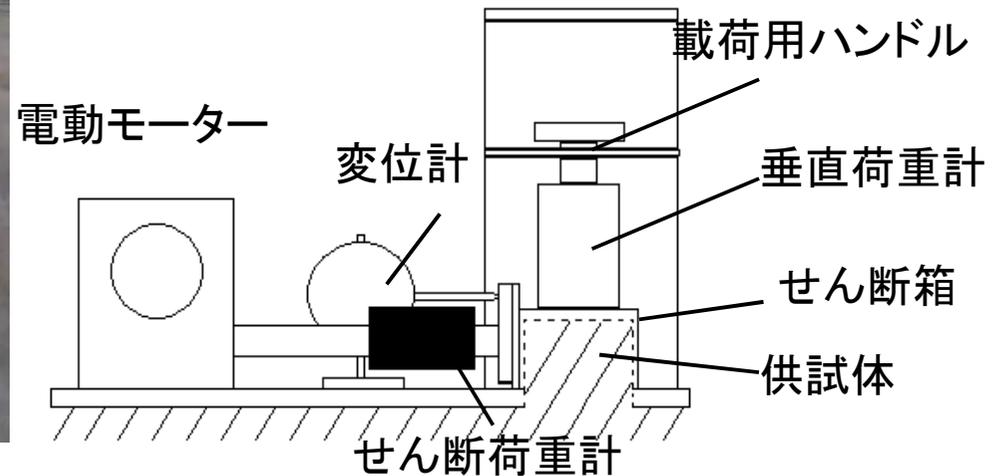
上記手法開発のため原位置で精度のよい土の強度評価を行う手法の開発

→ 原位置一面せん断試験機の開発と性能の評価

改良型原位置一面せん断試験の開発



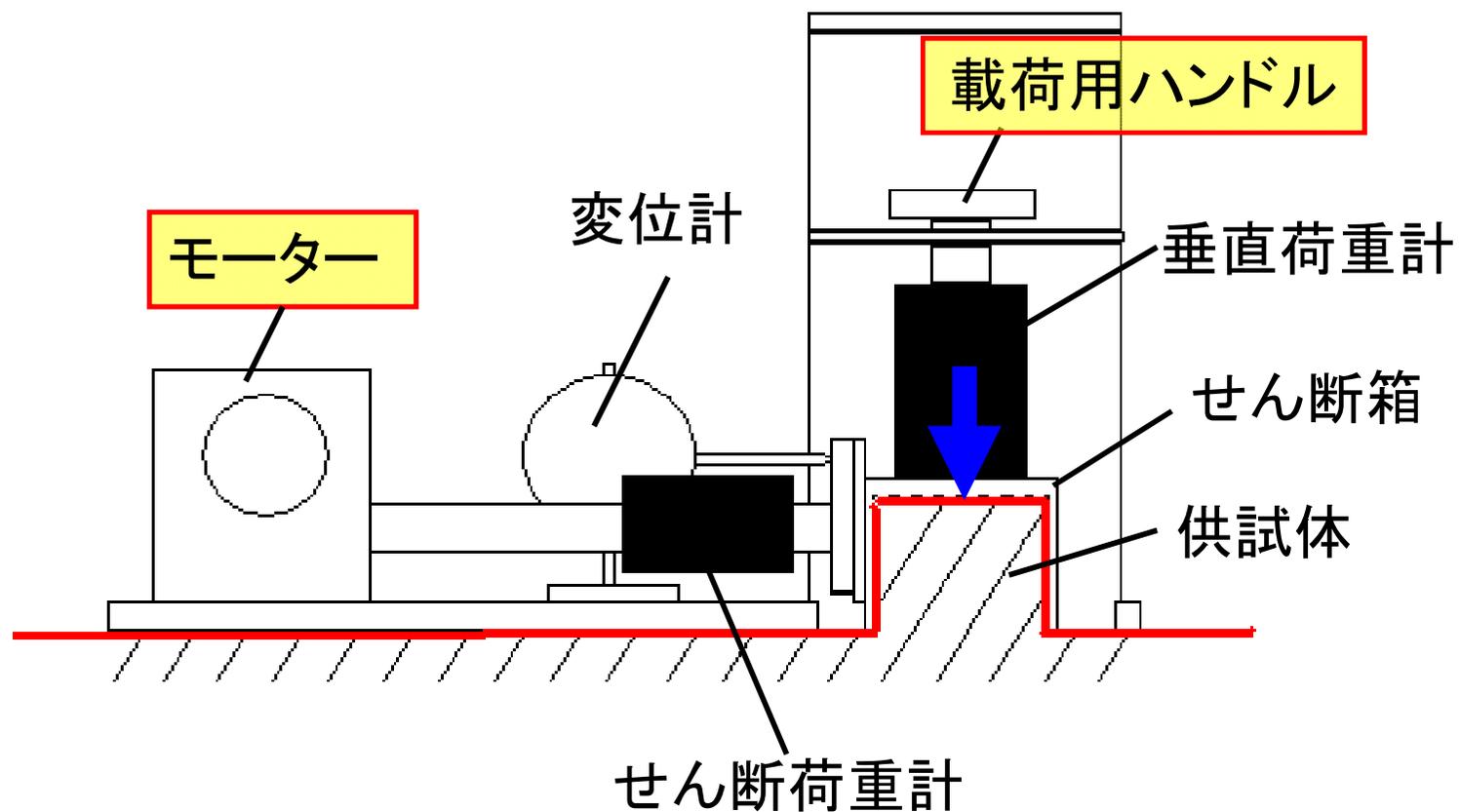
供試体寸法: 20 × 20 × 5 (cm)



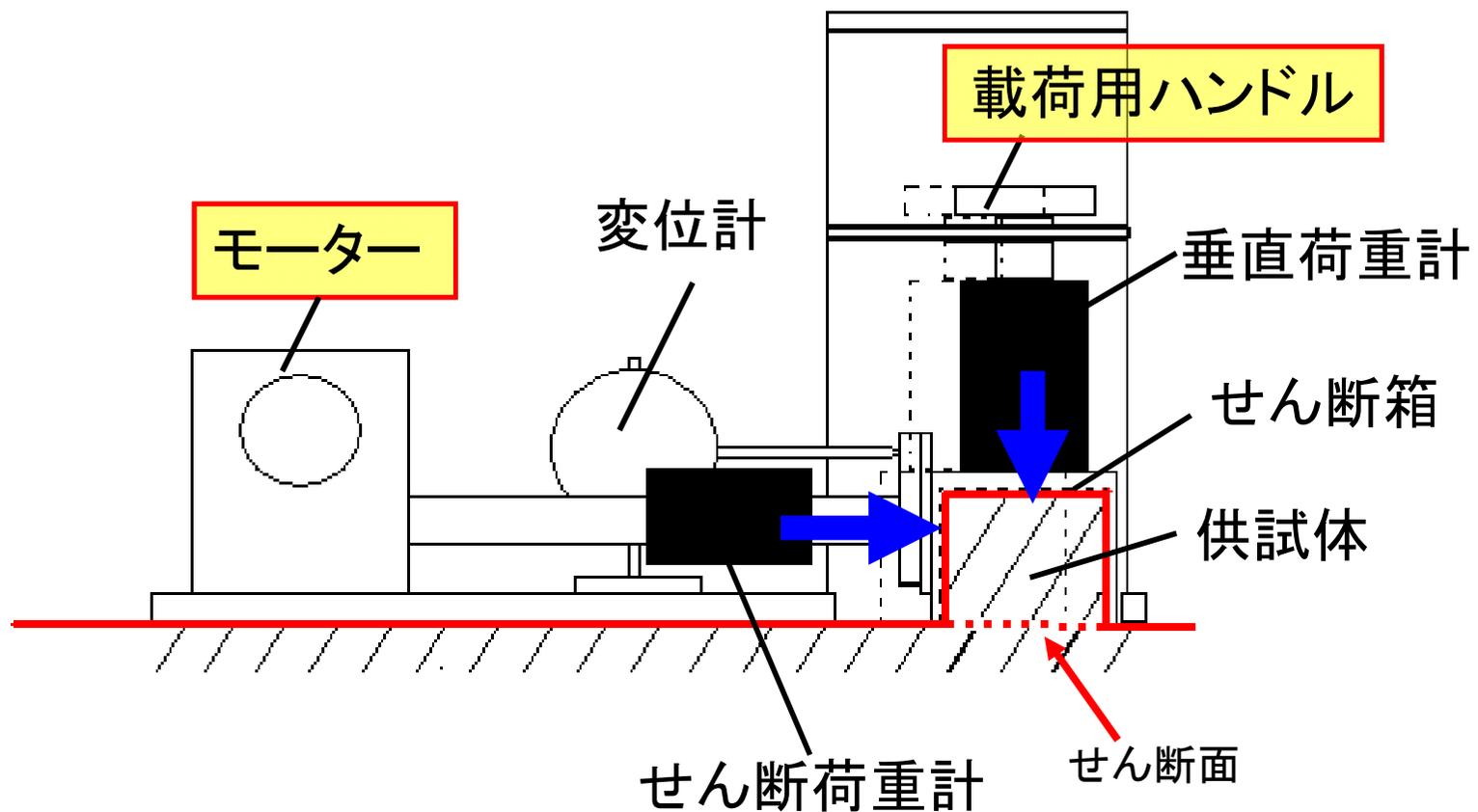
●主な改良点

- ・礫混じりの地盤において、供試体寸法の影響を減らすようせん断箱を拡大
- ・大きな強度を有する土質に対して安定したせん断変位を与えられるようモーター駆動とした

改良型原位置一面せん断試験の概要



改良型原位置一面せん断試験の概要



対象試料

風化土の土質試験結果

土粒子の密度	ρ_s	(g/cm ³)	2.84
最適含水比	w_{opt}	(%)	35.5
最大乾燥密度	ρ_{dmax}	(g/cm ³)	1.306



対象試料(風化土)

対象試料

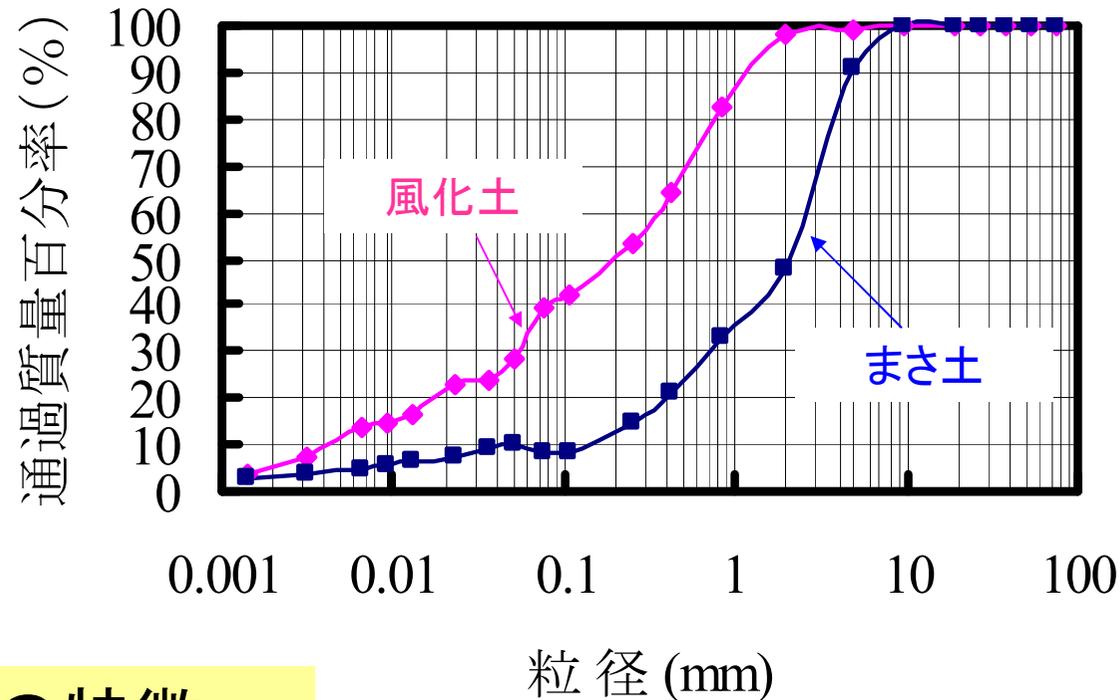
まさ土の土質試験結果

土粒子の密度	ρ_s	(g/cm ³)	2.52
最適含水比	w_{opt}	(%)	12.0
最大乾燥密度	ρ_{dmax}	(g/cm ³)	1.913



対象試料(まさ土)

対象試料の粒度分布

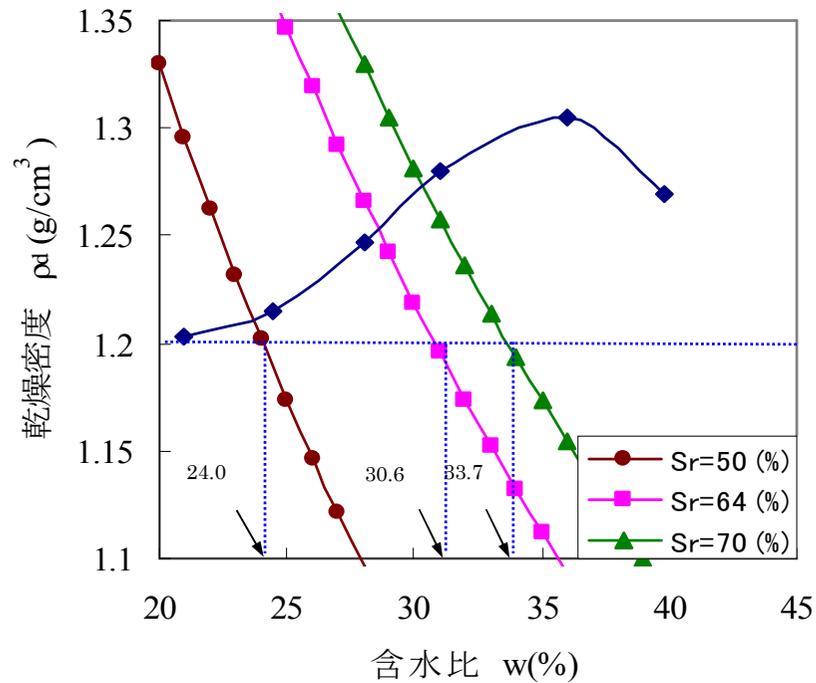


両者の特徴

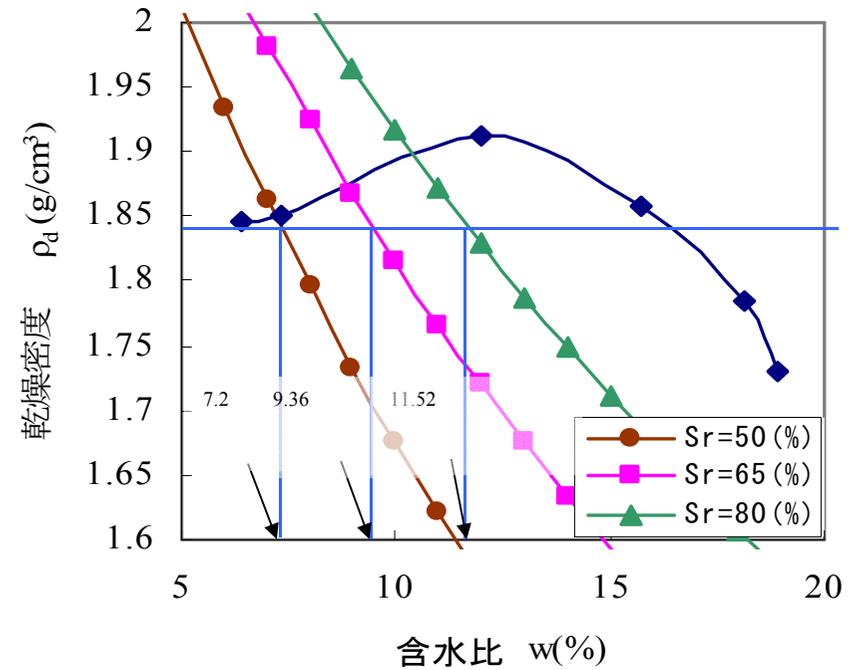
- 粒径の含有幅が広い
- 水分を過度に含むと粘土のような性質を示す

攪乱試料の締固め条件

風化土



まさ土



実験ケース

風化土

飽和度 (%)	含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)	上載圧に相当する土被り深さ (m)
50	24.0	1.2	0.5 , 1.0 , 1.5
64	30.6		
70	33.7		

まさ土

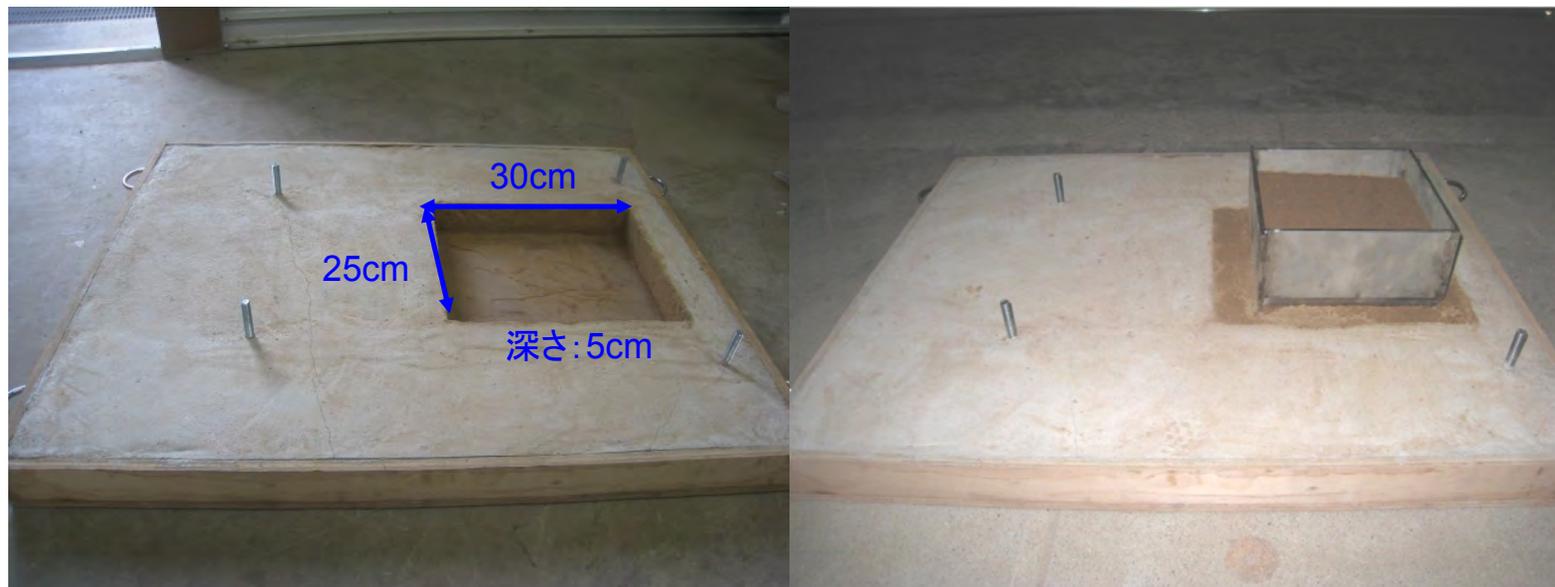
飽和度 (%)	含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)	上載圧に相当する土被り深さ (m)
50	7.2	1.85	0.5 , 1.0 , 1.5
65	9.36		
80	11.52		

供試体作成方法

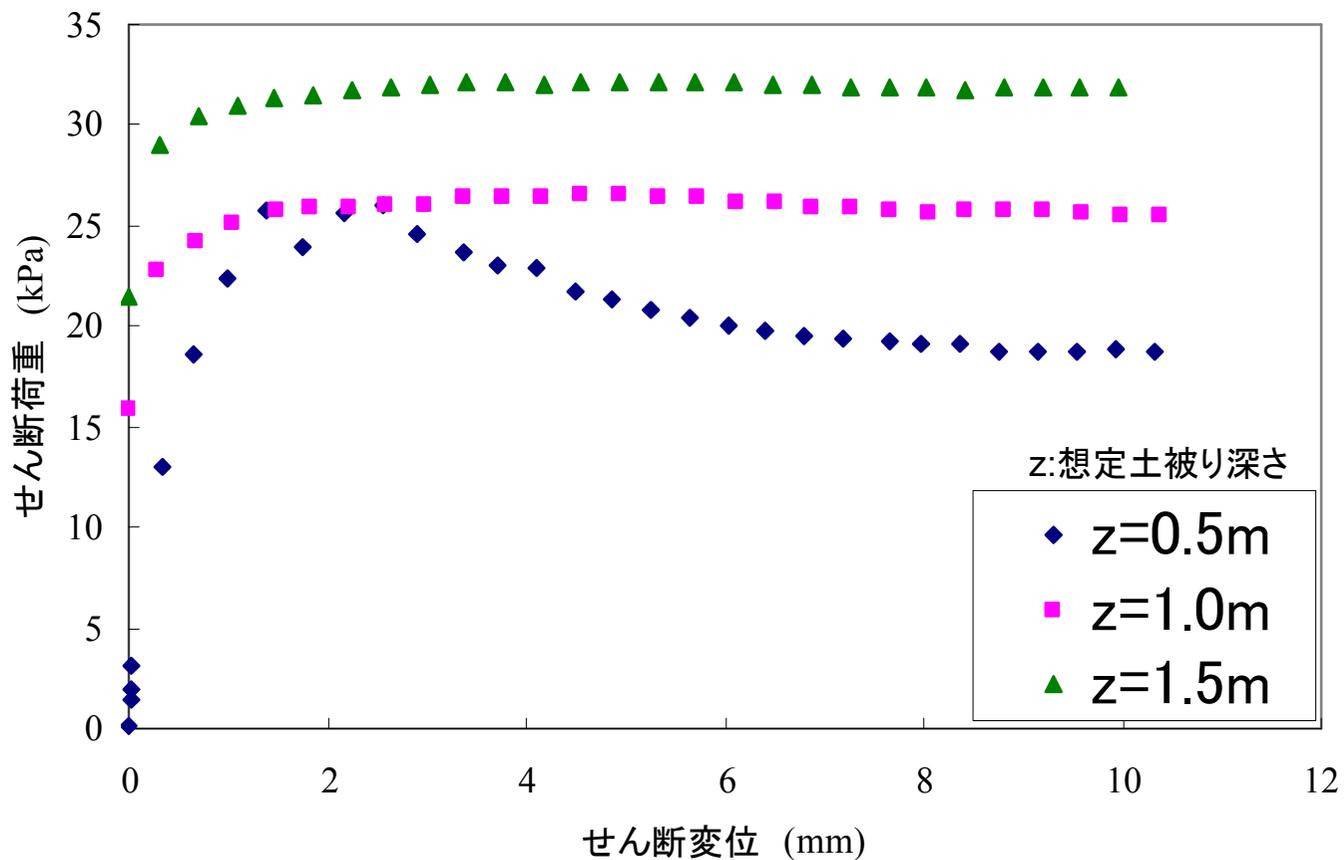
原位置一面せん断試験の精度評価のための実験



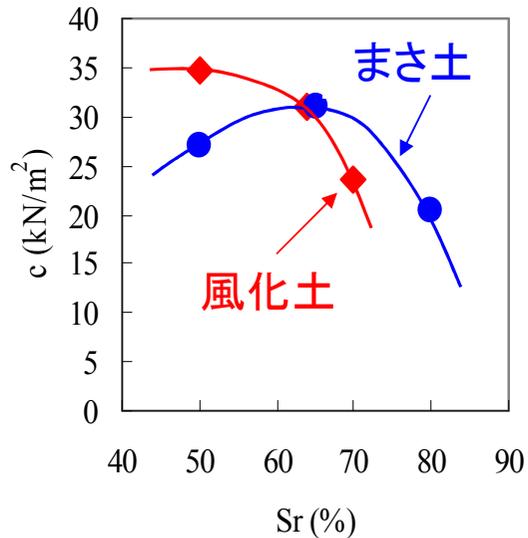
室内試験の結果と比較を行うため
締固め条件を統一した



せん断変位とせん断荷重の関係

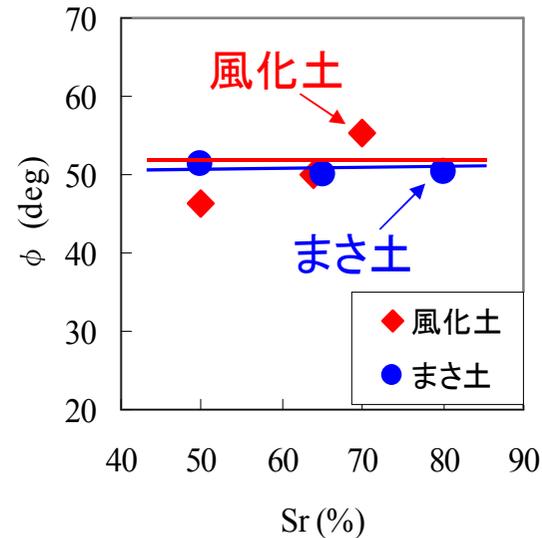


試験結果



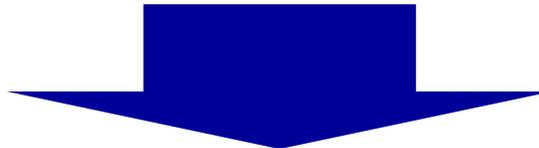
飽和度Srと粘着力cの関係

飽和度の増加に伴い粘着力に減少傾向が見られる



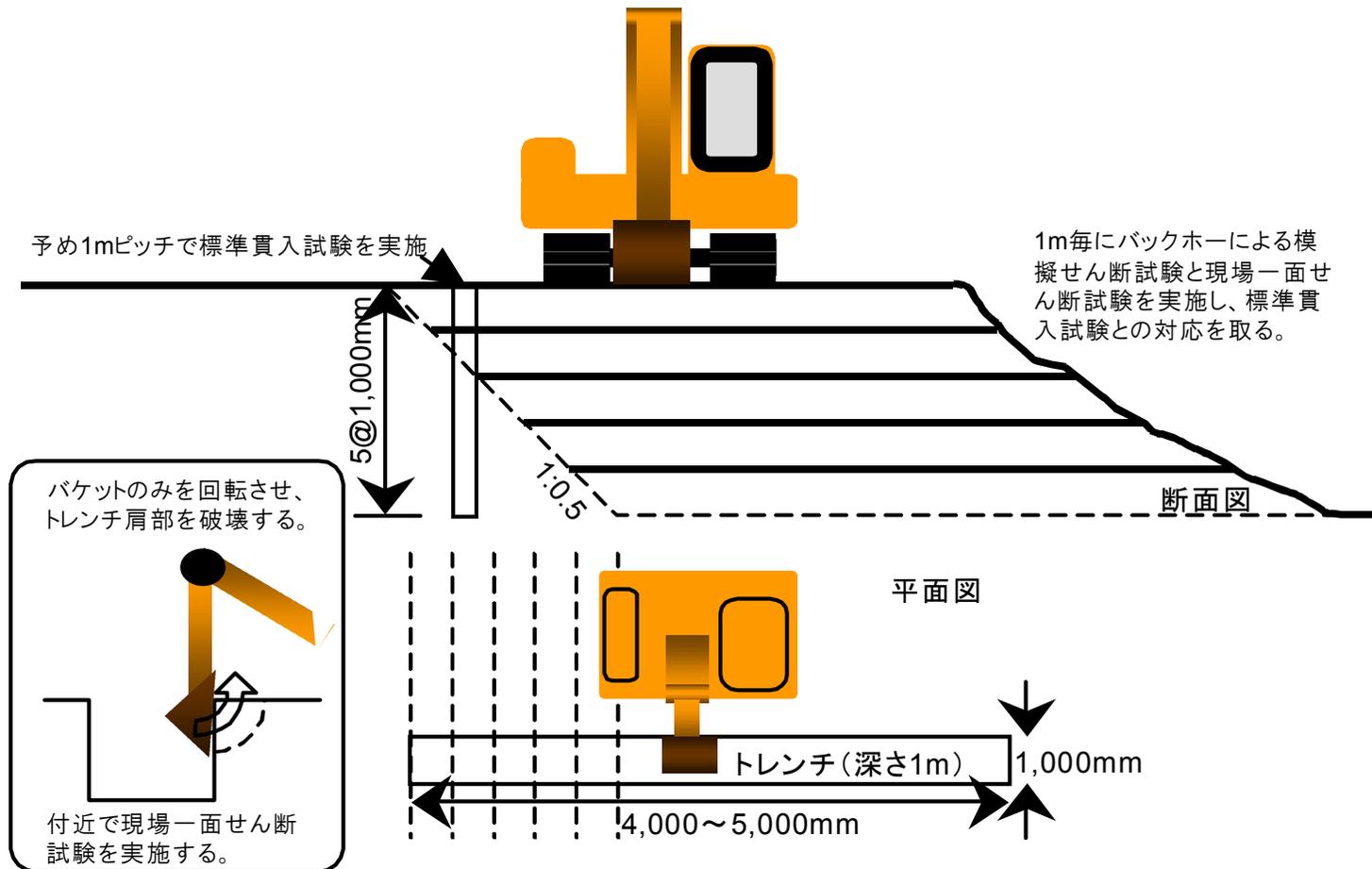
飽和度Srと内部摩擦角φの関係

50° 付近でほぼ一定である



粘着力に着目した表層地盤の強度評価を行う

バックホウによる地盤の掘削方法

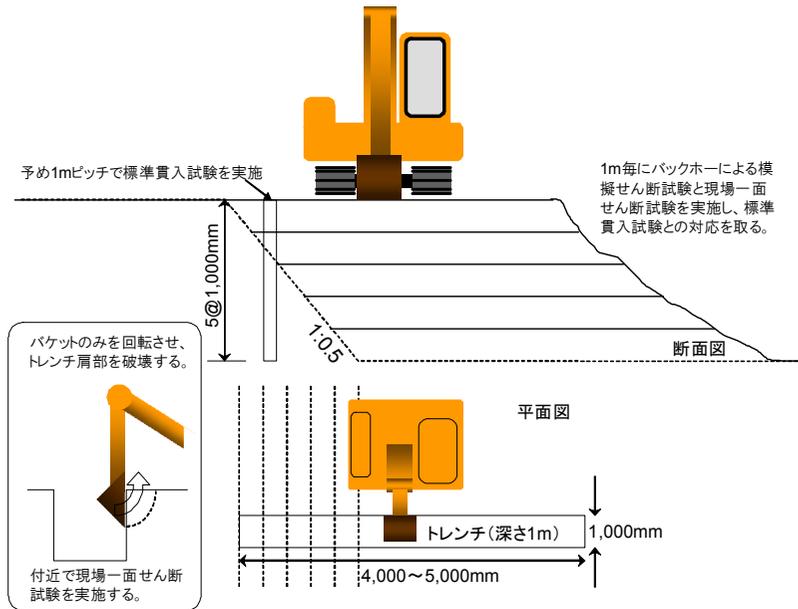


溝掘り箇所において6~8回の掘削実験を行う

同時にバックホウの油圧変動を測定

建設機械を用いた地山の強度推定に関する研究

原位置一面せん断試験 バックホー掘削実験 (標準貫入試験)



バックホーによる掘削実験の様子



原位置一面せん断試験機による検証

バックホーによる地盤の掘削方法



- ・Eモード(軽負荷作業モード)
- ・アイドルリング(ミニマムな回転数)
- ・フルレバー(バケット油圧全開)
- ・ブームとバケットの垂直性
- ・使用機械の最大油圧34.8MPa

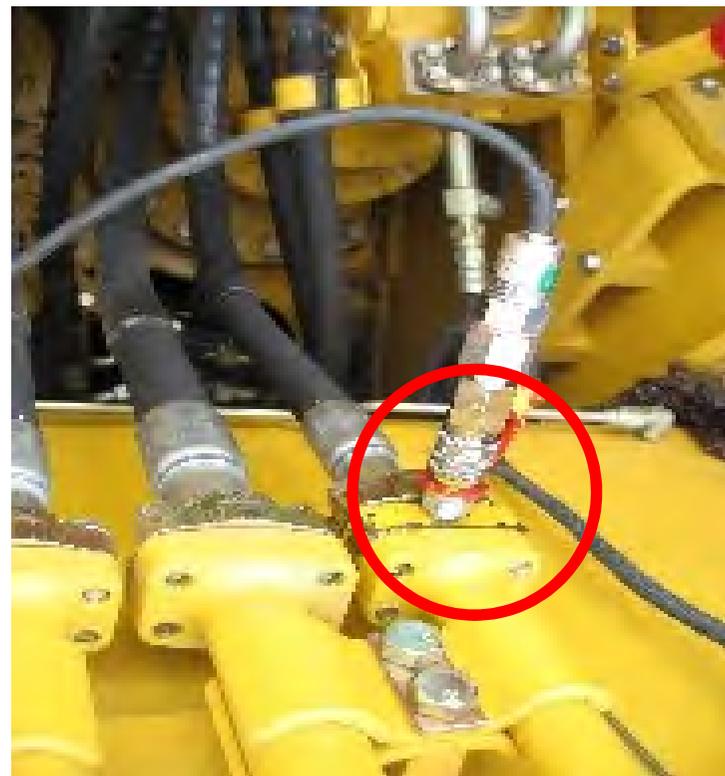


掘削状況

油圧モニタの信頼性確認のための油圧計測



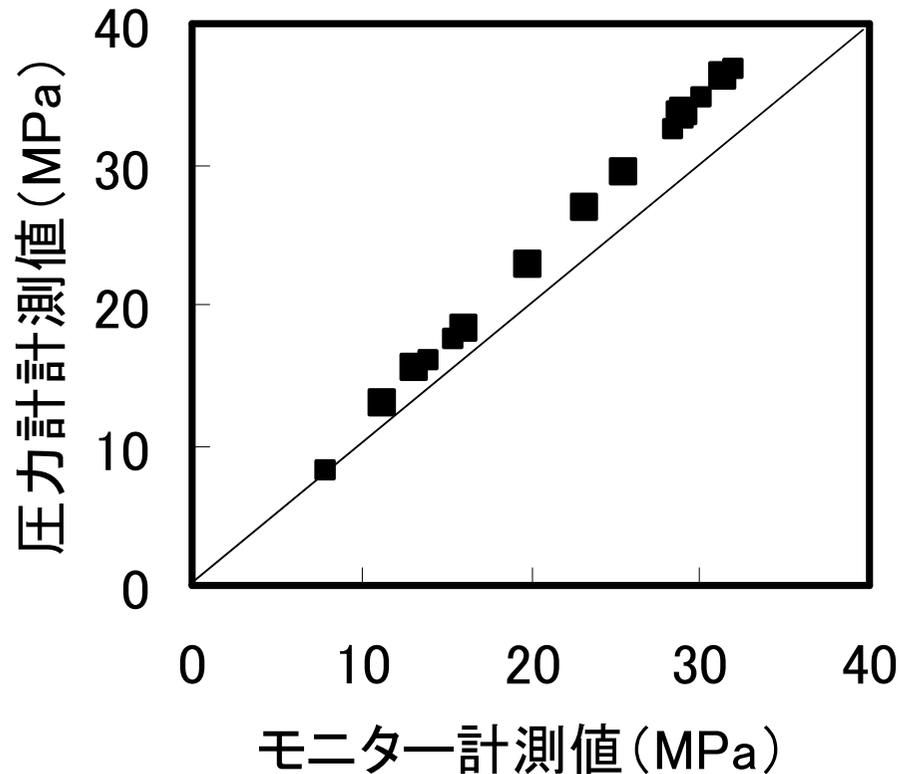
アタッチメント



取付け状況

油圧配管継手部にアタッチメントを挿入
圧力計により直接油圧を計測

油圧モニターとシリンダーの油圧ゲージの関係



圧力計と運転席モニターの油圧表示値との関係

油圧の相関は概ね1対1の値

モニタに表示される値の利用は可能

バックホーによる掘削状況

H=0.5m



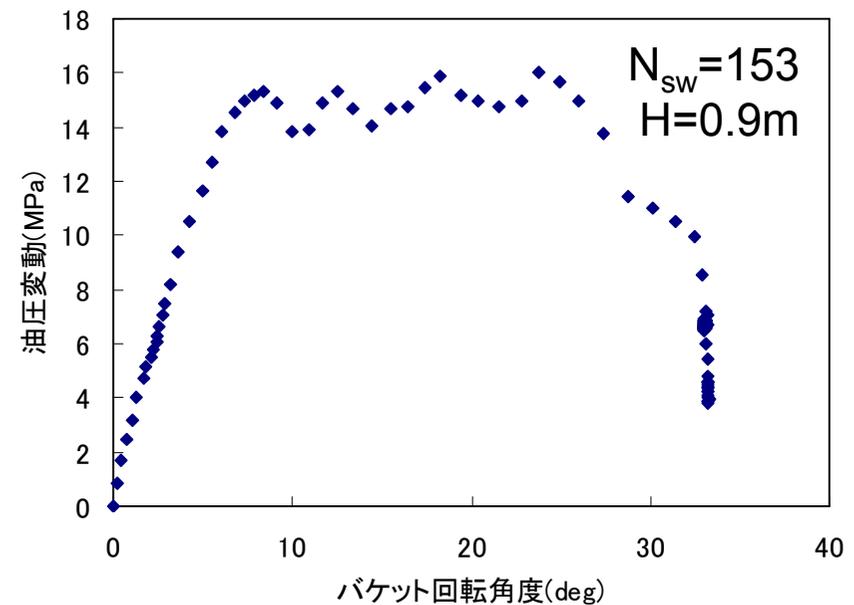
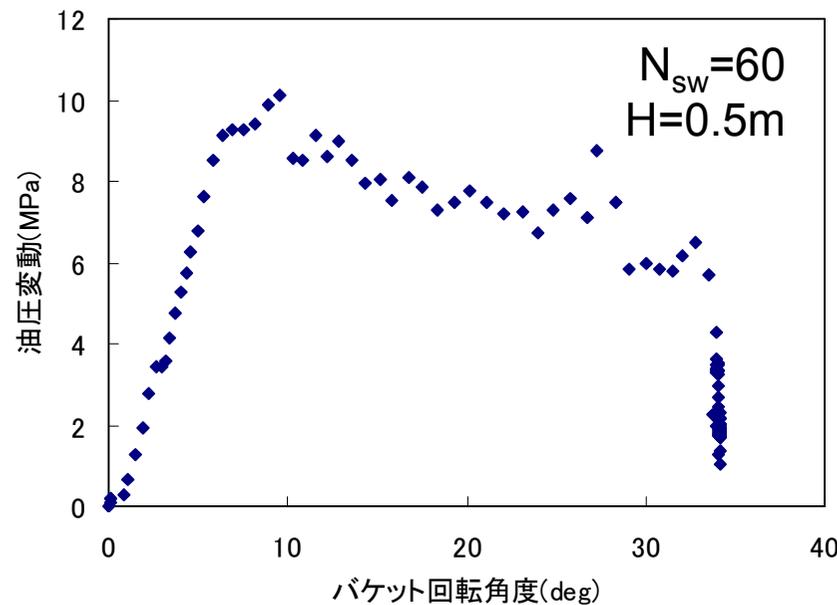
H=0.9m



0.5mに対し0.9mの方が土塊の破壊領域が大きく、
毎回の掘削でばらつきが見られる

バックホーの油圧変動とバケット回転角の関係

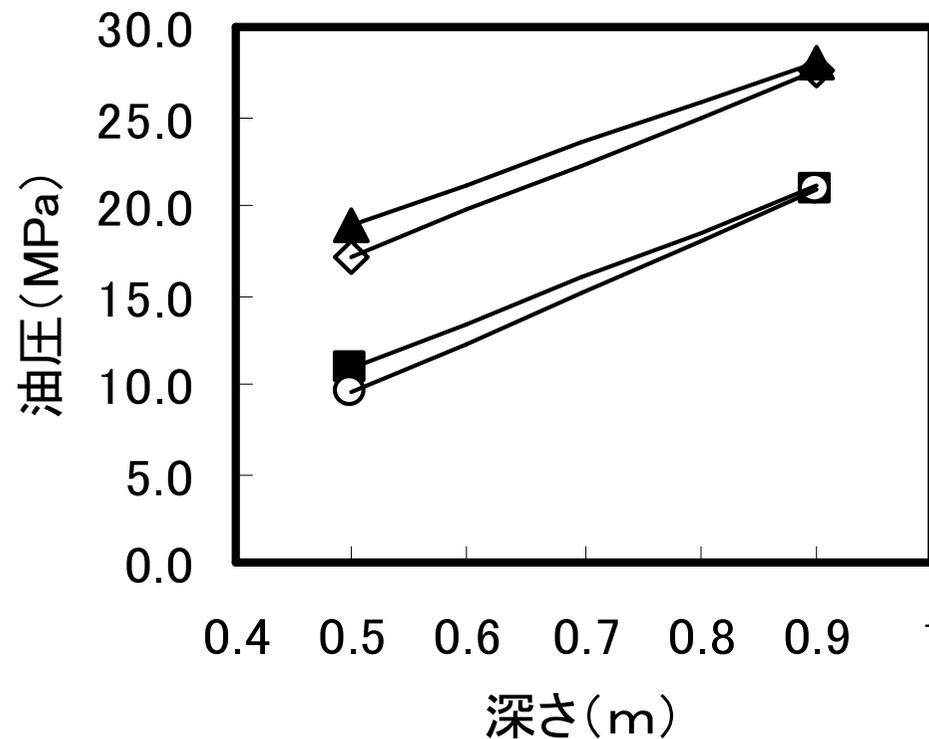
バックホーの油圧変動の一例



- ・回転角が概ね5~20°程度で最初のピーク値が現れる
- ・最初のピーク値を以って掘削部全体が破壊したとみなす

掘削深さと油圧の関係

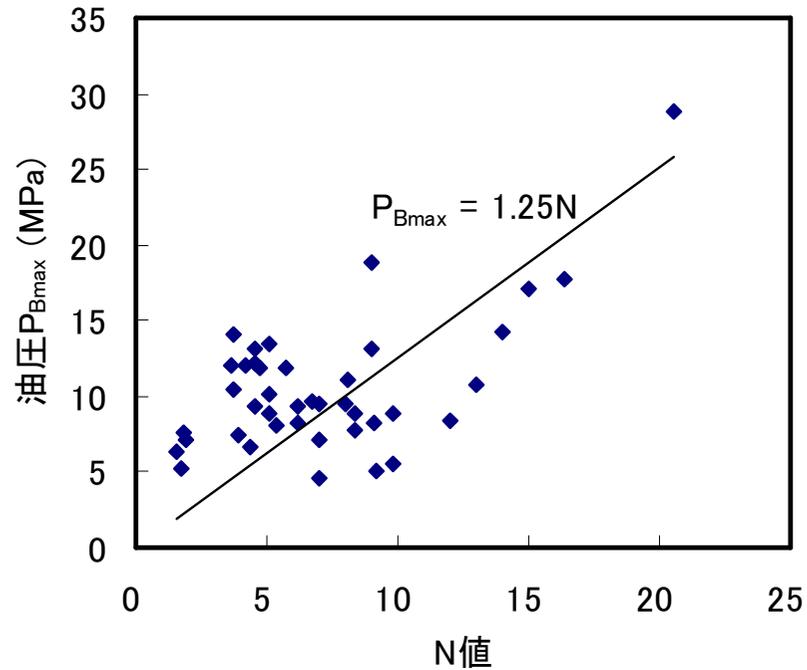
バケット掘削深さとバックホーの油圧との関係の一例



深さが増すにつれて油圧はほぼ一定の割合で増加

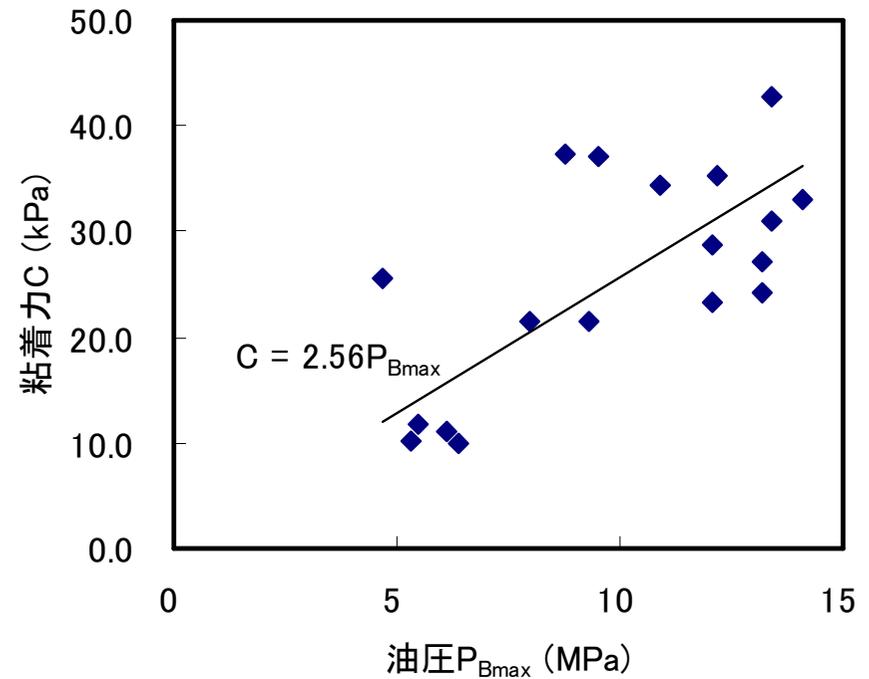
掘削深さと油圧の関係

油圧 P_{Bmax} —N値の関係



・標準貫入試験の結果もしくはスウェーデン式サウンディング試験から得られた値を換算したN値に基づく

粘着力C—油圧 P_{Bmax} の関係



・原位置一面せん断試験から得られた粘着力Cに対し油圧 P_{Bmax} が正の相関を示した。

今後の展開

➤ 性質の異なる土質におけるバックホーによる実験の実施

➡ 大分類の土質間で生ずる油圧変動の傾向の把握
軟弱地盤の支持力評価への応用

➤ メーカー・機種・バケットサイズ間の適用範囲・取得データの検証

➡ 簡単な換算で汎用性のある評価法の検討

➤ 建機メーカーの協力に基づくシステムの構築

➡ モニター上での警告表示等、作業員も判断が可能なツール

電波送受信技術を活用した 建設機械位置測定システムの開発

京都大学大学院 工学研究科
都市社会工学専攻
西山 哲

【研究目的】 “IT情報化施工” を高度化する技術の構築

<現状>

GPS等の各種測量機器を建設機械に設置することにより
効率的な建設機械の配置の適正化，仕上げ作業の高効率化
が実現している。



<課題>

使用している測量機器には次の問題点がある。

- ・コストと座標計測精度が相反する関係にある。
- ・GPSを使用する場合、現場の位置によっては衛星情報が取得できない。

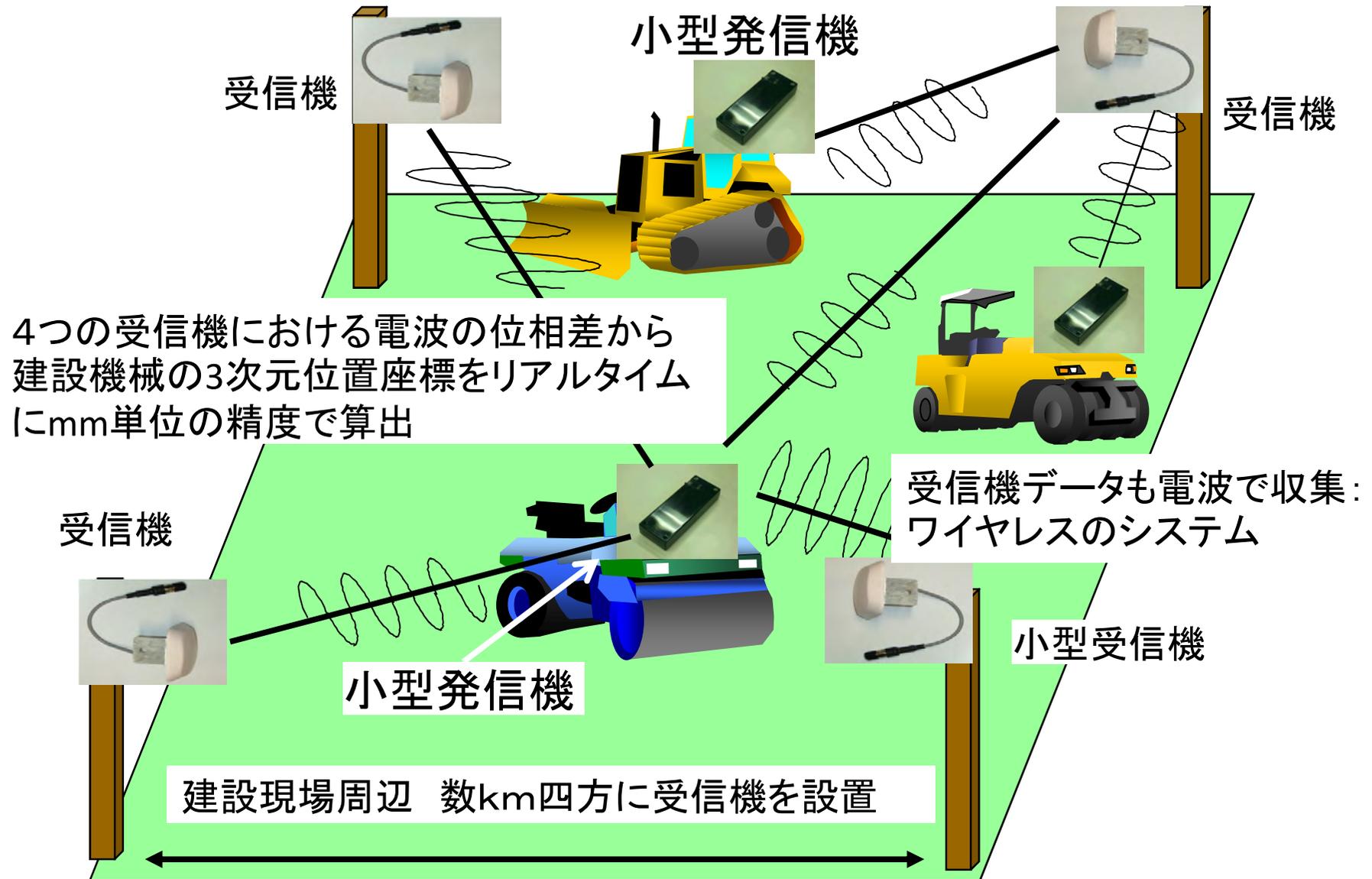
<本研究の狙い>

安価で高精度の建設機械用測量システムの開発を行い、IT施工技術の広範囲な普及を図る。

情報化施工導入のメリット

1. 作業に人為差が生じない
2. 品質のバラツキを低減
3. 熟練者不足に対応
4. 安全性の向上
5. 合理的な施工が可能
6. 公共工事の品質確保や技術力の評価となる
7. 公共投資の減少に対応できる効率的な生産が可能となる

本研究による建設機械座標計測システムの概念



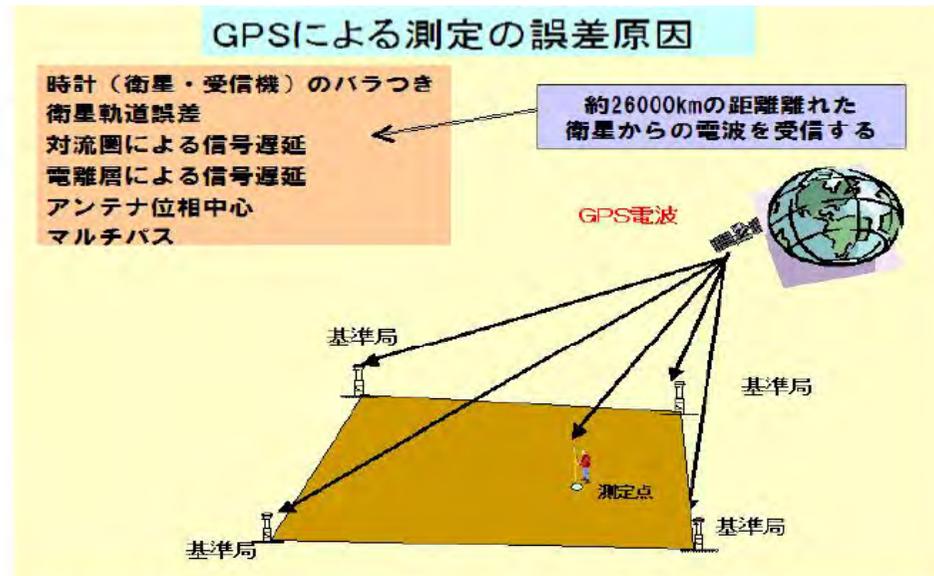
本研究による建設機械座標計測システムの概念

- ・小型の発信機を建設機械に搭載する.
- ・現場周囲に設置した受信機で電波を受信し, 建設機械の位置を求める.

: 発信機の3次元座標を算出する原理はGPSと同じ.

- ・GPSは衛星と受信機間のさまざまな擾乱によって高精度化が困難.
- ・本研究では発信機と受信機が共に地上にある.

電波の擾乱を受けないため, 3次元座標を高精度に計測可能.
携帯電話に見られる小型で安価な機器でシステムが構築できる.

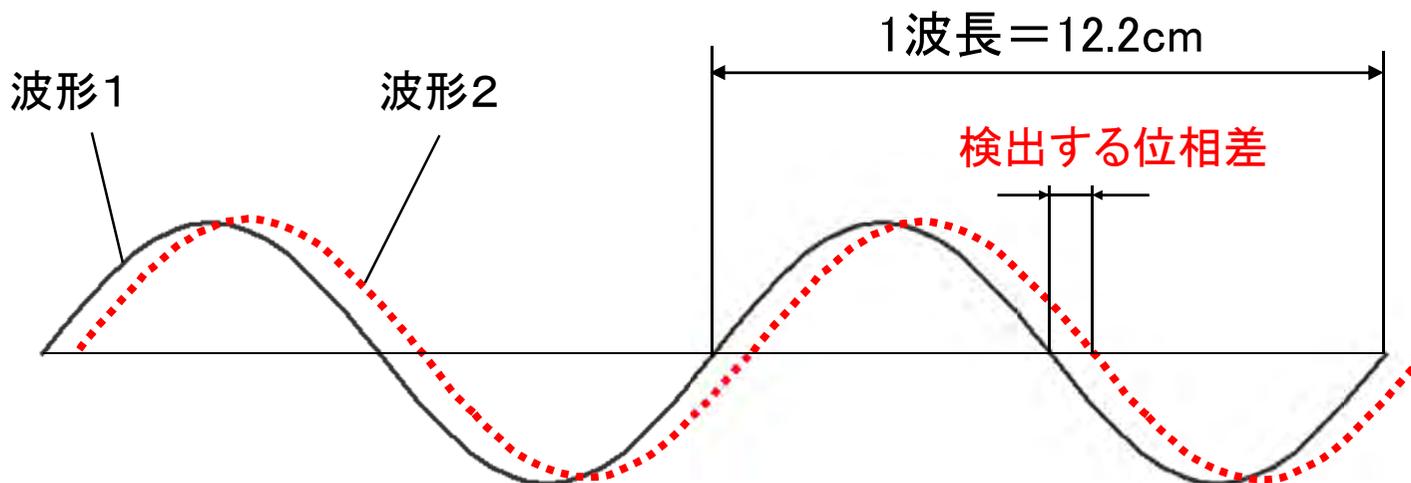


本計測システムの原理 : GPSのような26000kmではなく, 数km間を伝わる電波を測れば, 位置測定は高精度になる

本研究による建設機械座標計測システムの概念

周波数2.45GHzの電波の位相差を観測して変位を測る。

$$\text{波長} = \frac{\text{光速}}{\text{周波数}} = \frac{30\text{万km/s}}{2.45\text{GHz}} = 12.2\text{cm}$$



$$\text{位相差 } 1^\circ = \frac{\text{波長 } 12.2\text{cm}}{360^\circ} = 0.34\text{mm}$$

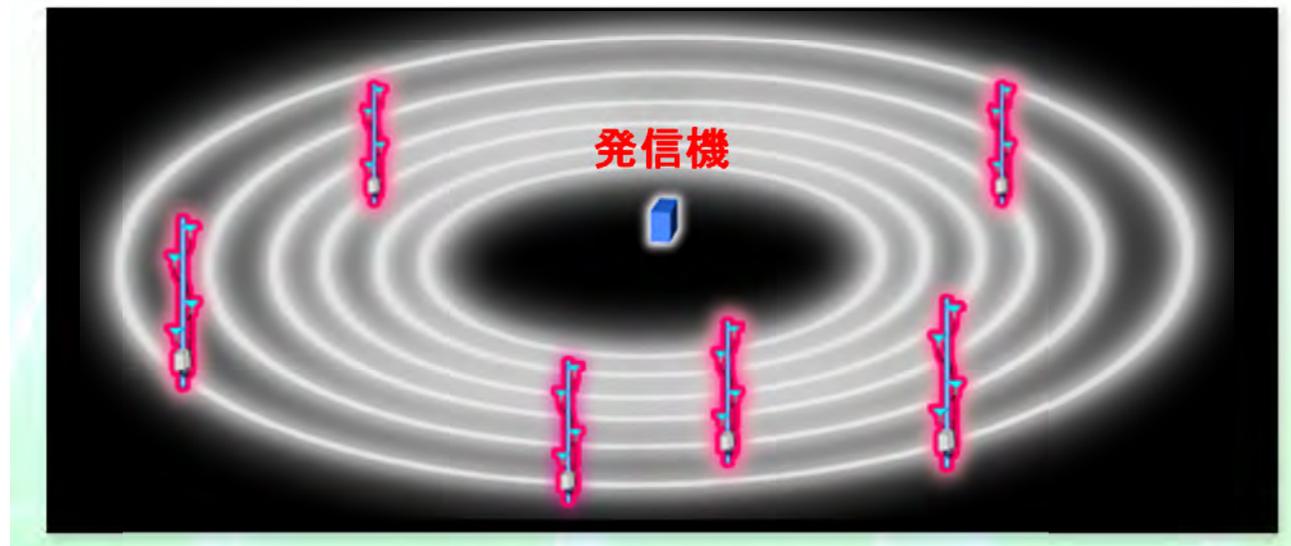
ミリメートル・オーダーの変位計測を実現

本研究による建設機械座標計測システムの概念

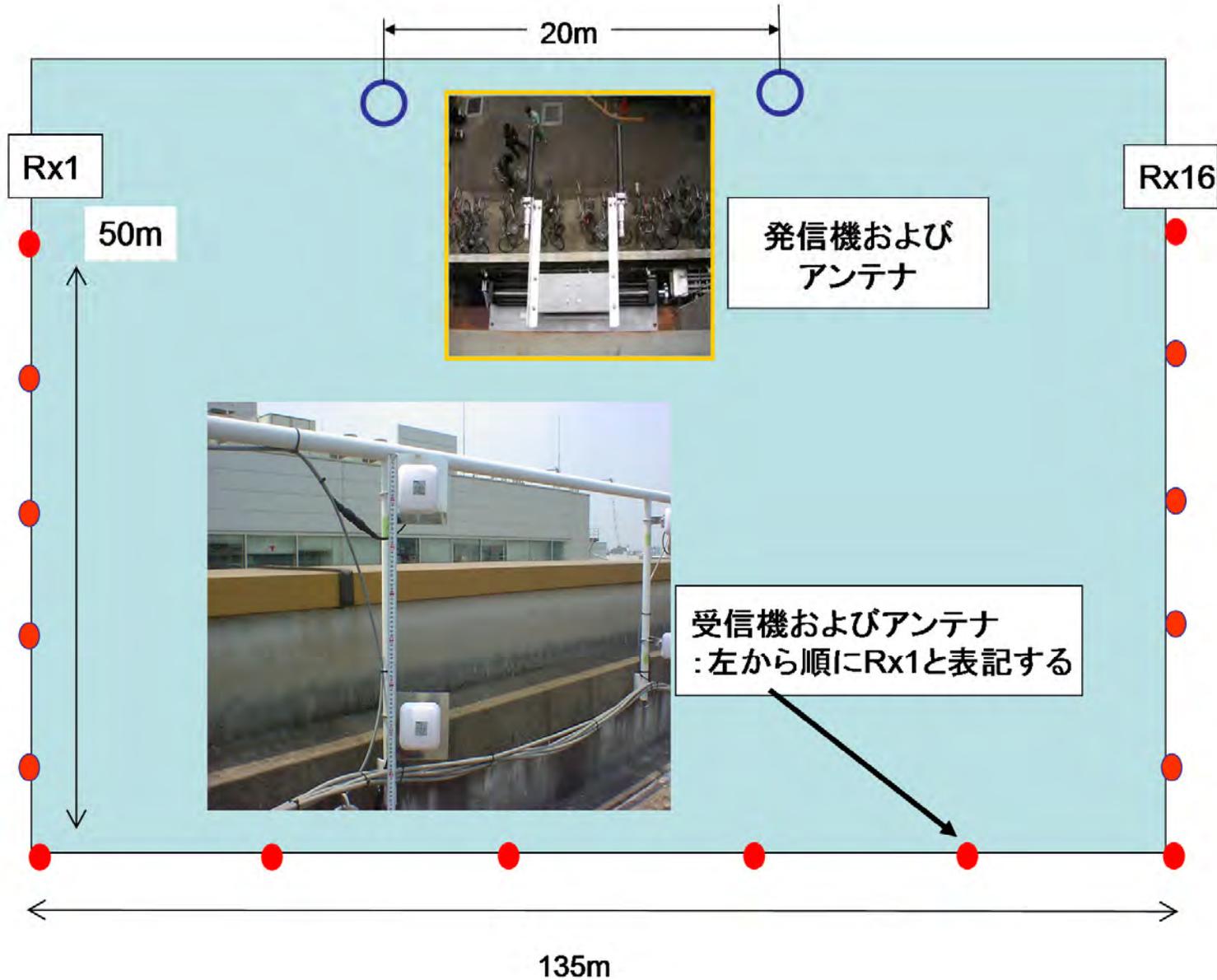
- 1つの発信機から発信された電波を、最低4つの受信機を使って計測する.



- 受信機から等しい距離となる等位相差面を描き、その交点を算出することで発信機の位置を正確に決定する.



計測検証実験の概要



構成装置

■ 発信機

寸法：約W:34mm × H:96mm × D:20mm
発信機単体で技適を取得(免許不要)



■ 発信機収容箱

寸法：約W:120mm × H:160mm × D:92mm



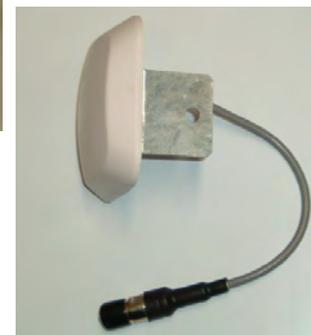
■ 受信機

寸法：約W:380mm × H:450mm × D:240mm



■ 受信アンテナ

アンテナ部の寸法：約W:104mm × 104mm



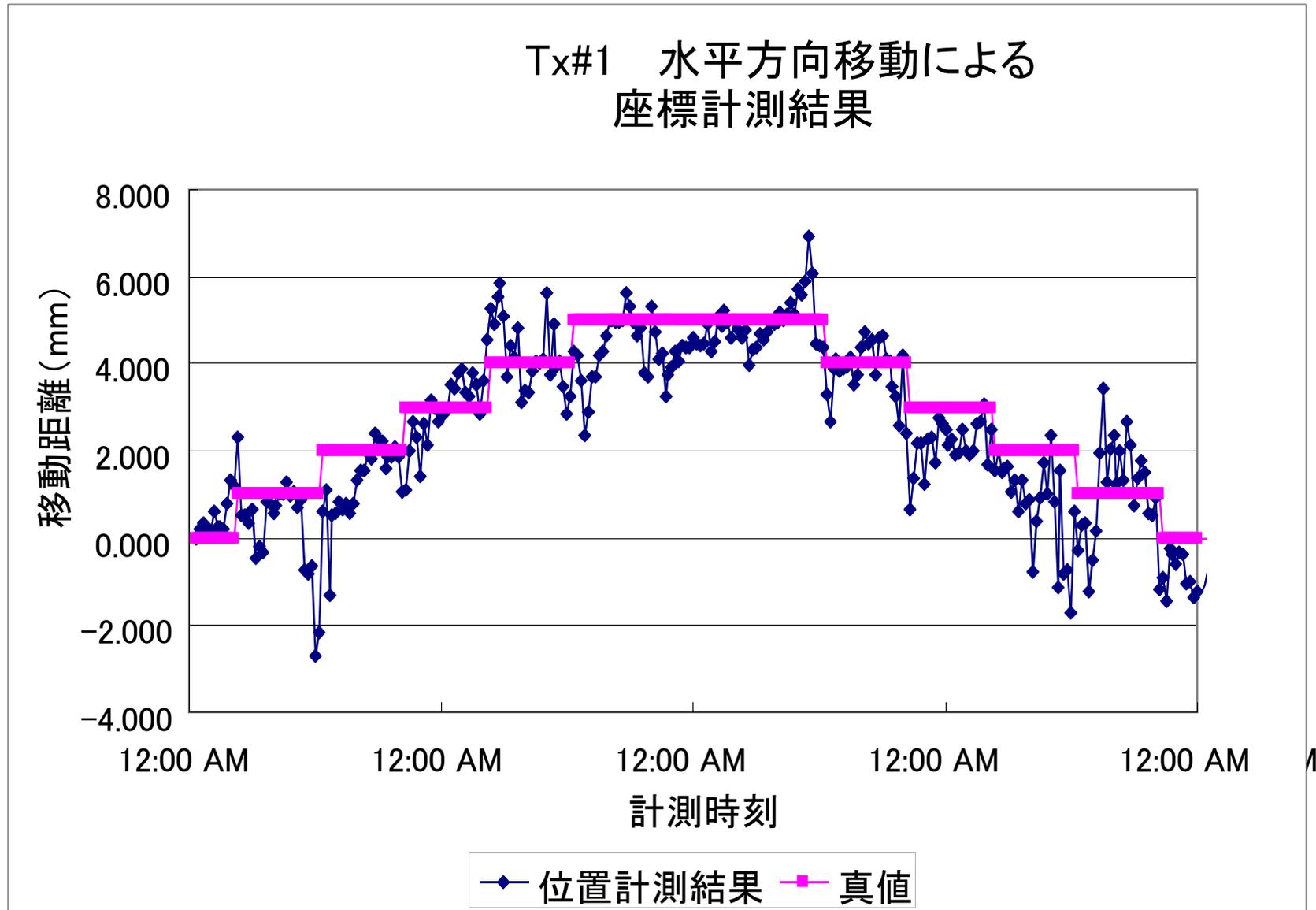
■ 計測装置

寸法：約W:680mm × H:650mm × D:290mm



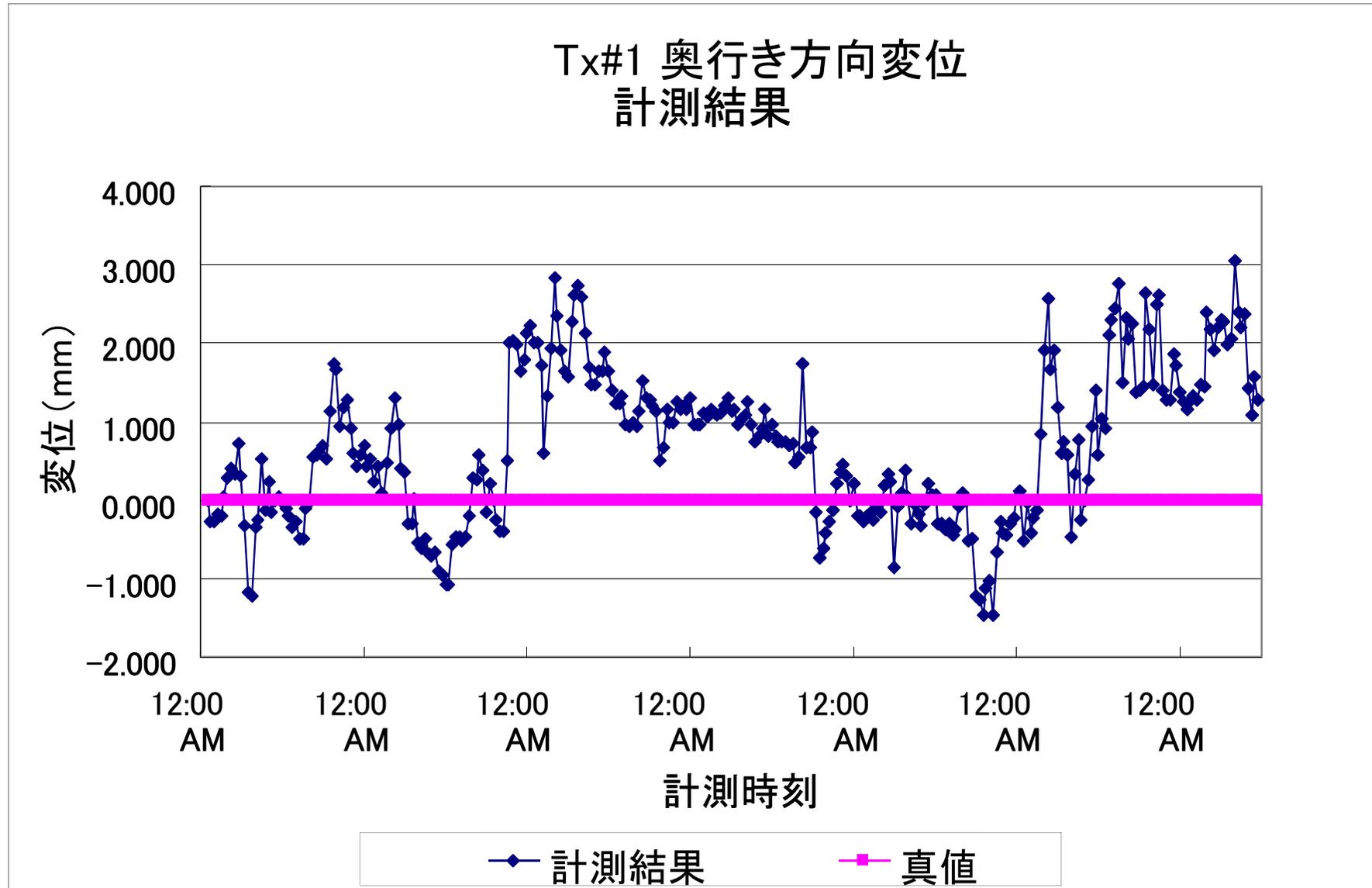
実験結果の概要

: 発信機を水平移動させて位置を計測



実験結果の概要

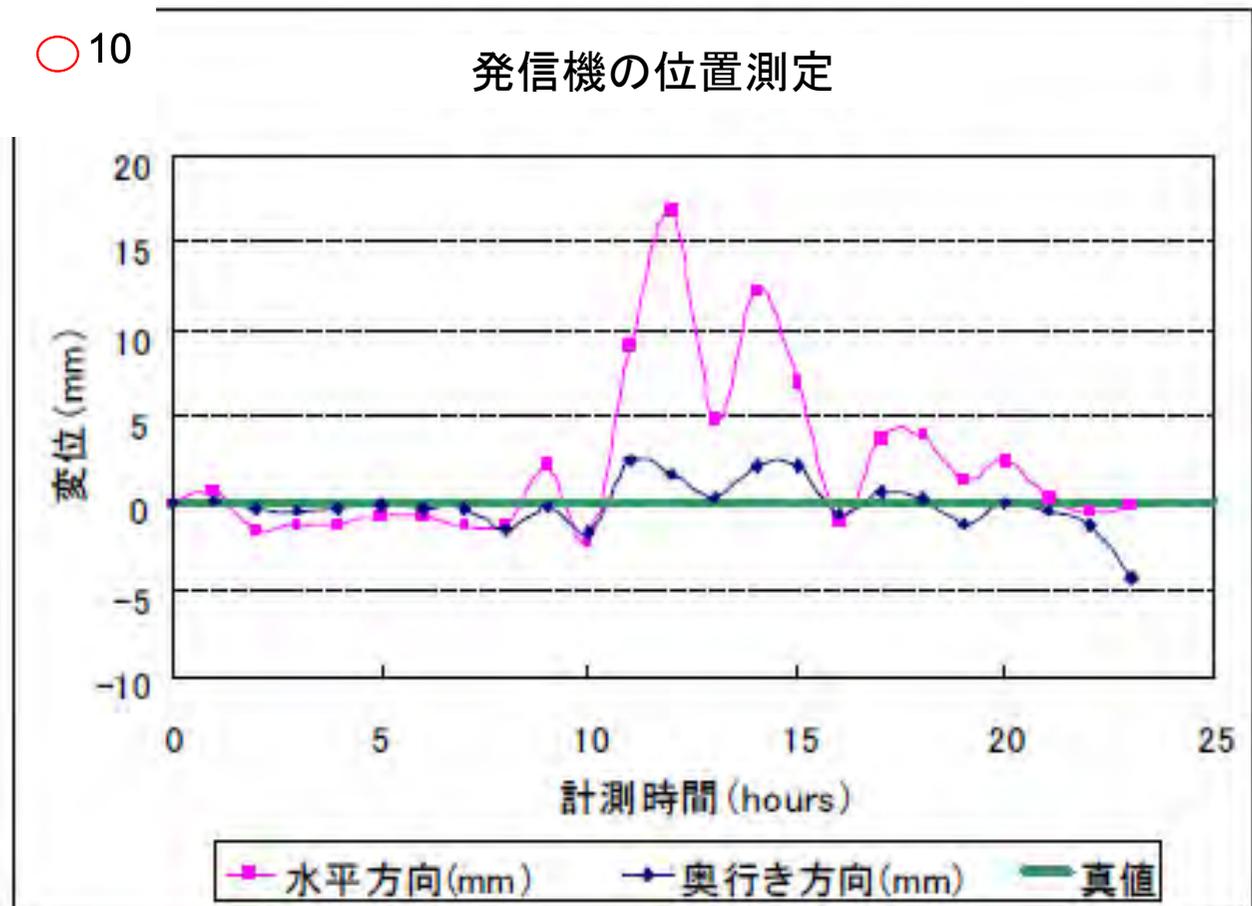
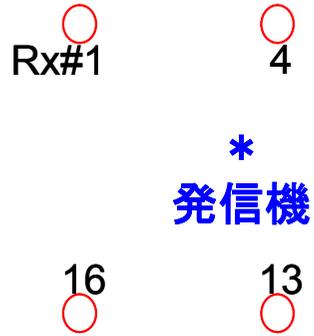
: 発信の位置の長期的変化を計測



実験結果の概要

: システム配置の影響

受信機の配置と精度の関係



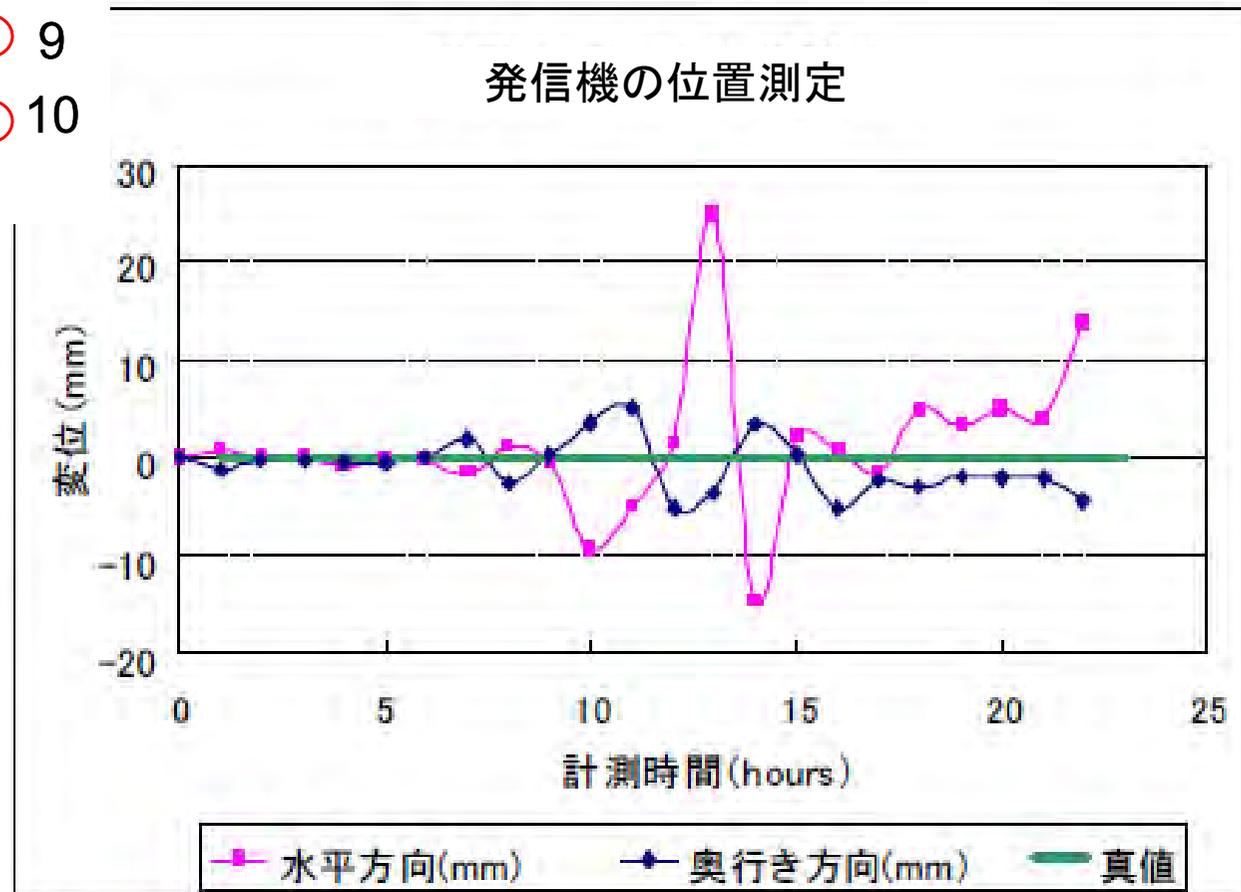
実験結果の概要

: システム配置の影響

受信機の配置と精度の関係

*
発信機

- Rx#6 ○ 7
- 8
- 9
- 10
- 11



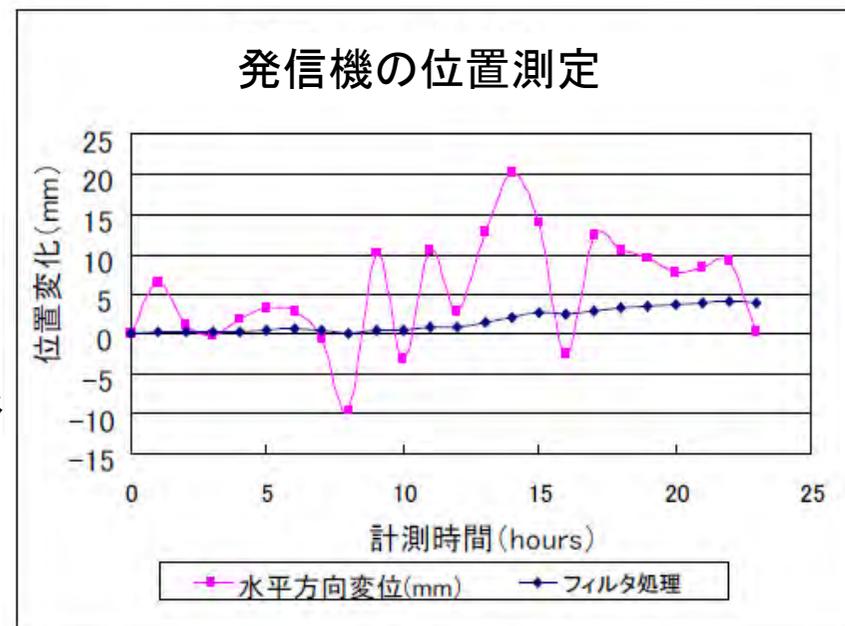
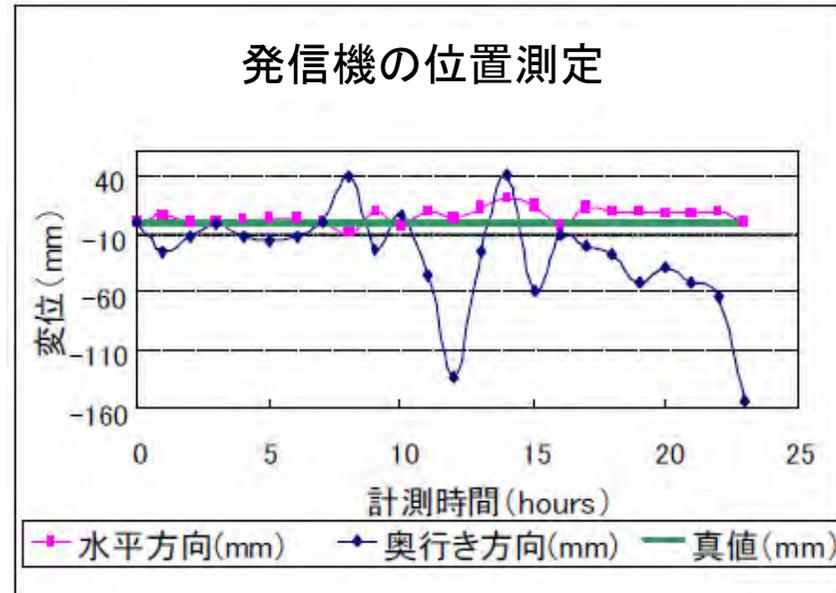
実験結果の概要

*
発信機

16 15 14 13 12 Rx#11
○ ○ ○ ○ ○ ○

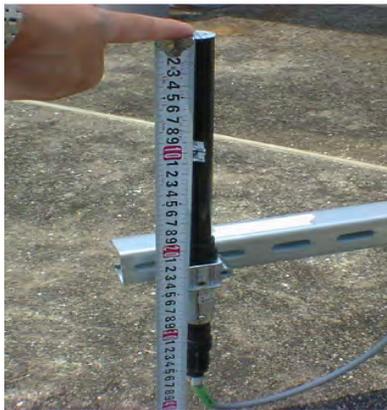
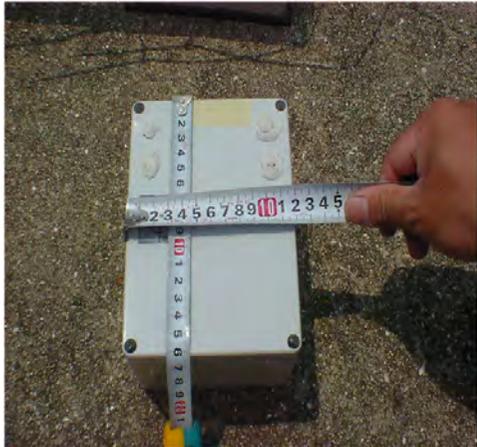


機器配置が制限される場合
: フィルターを導入することで
計測精度を向上させる

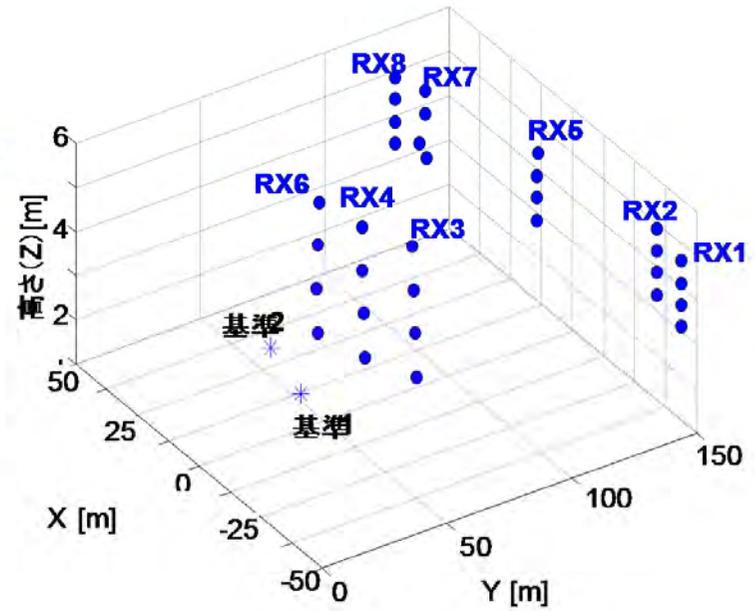
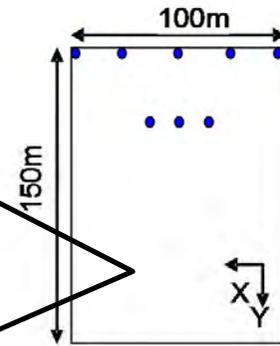


計測検証実験2の概要

発信機

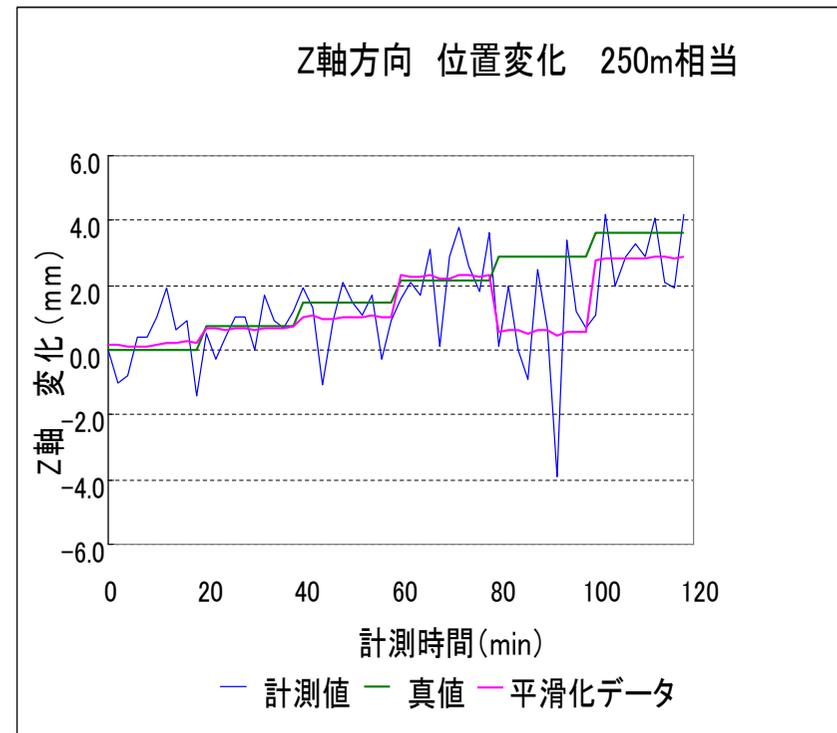
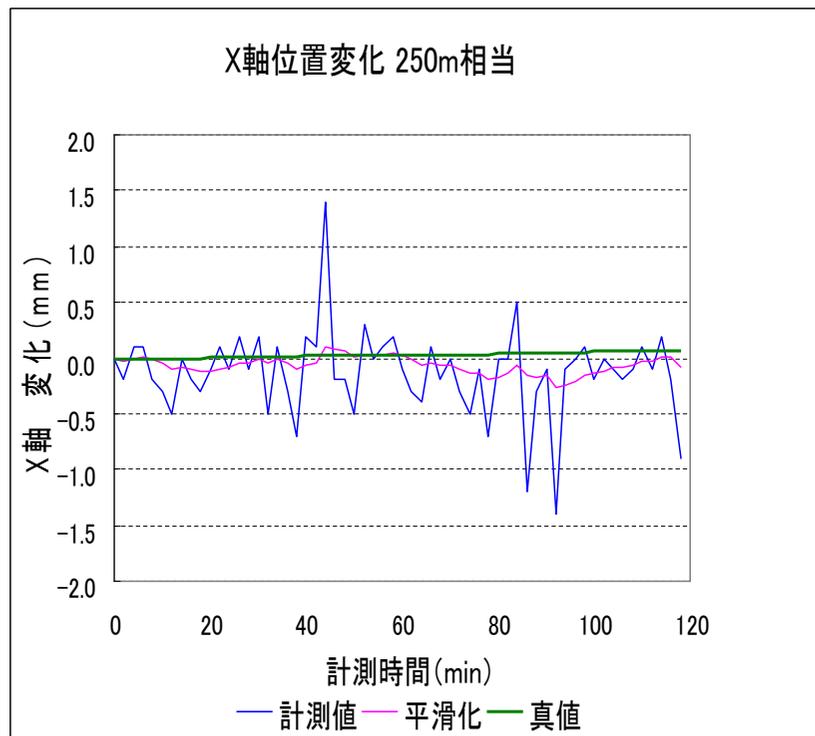


受信機

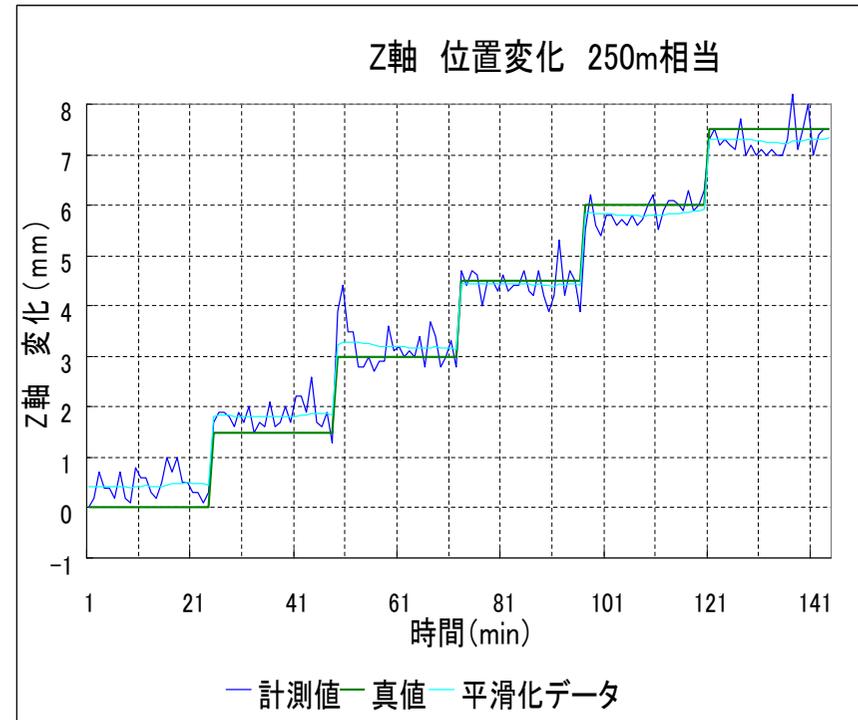
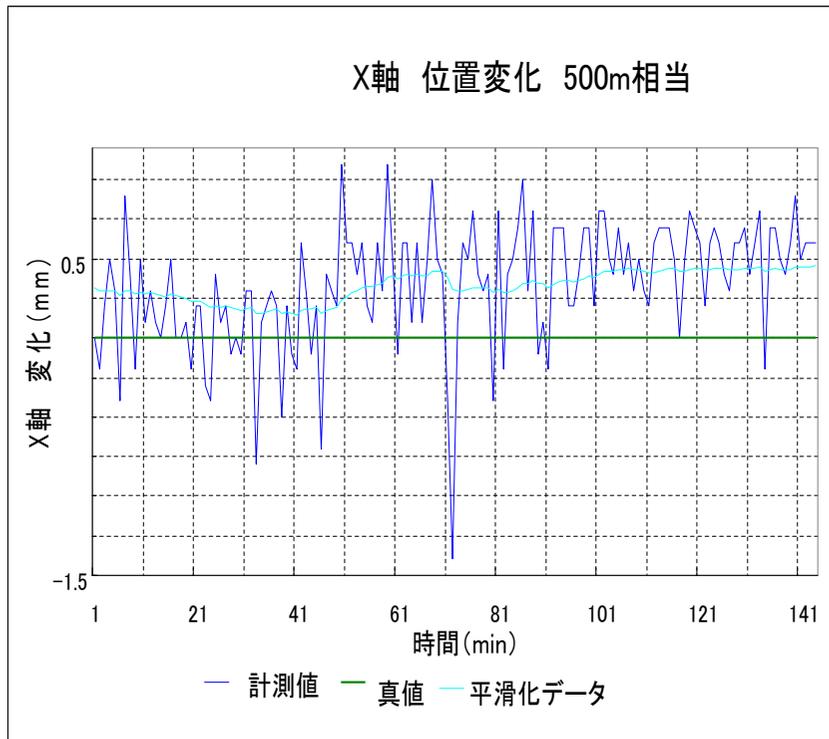


計測検証実験2の結果

<受信機直線配置>



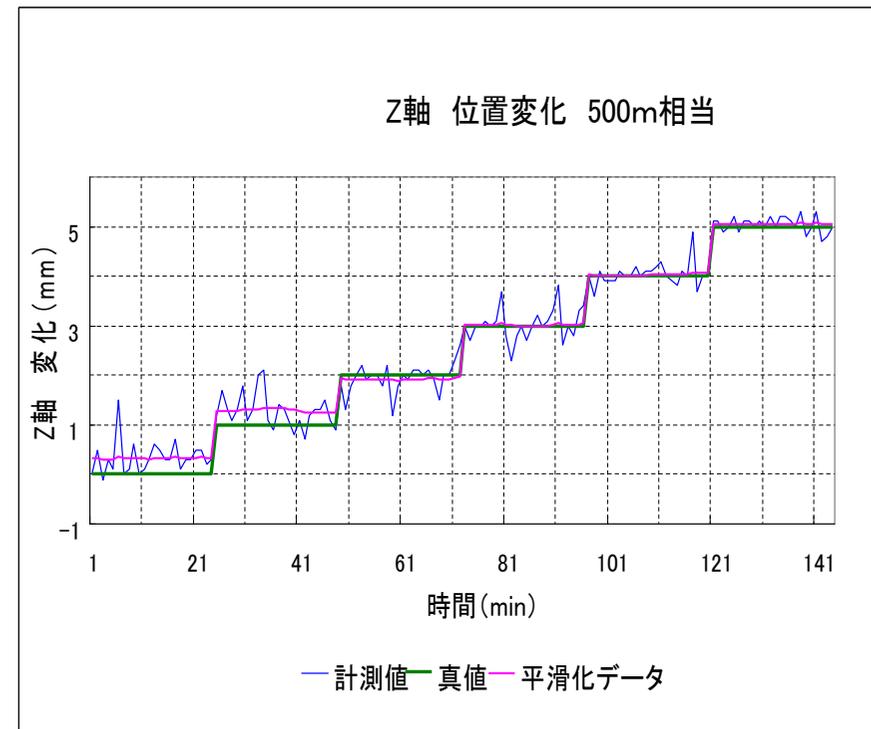
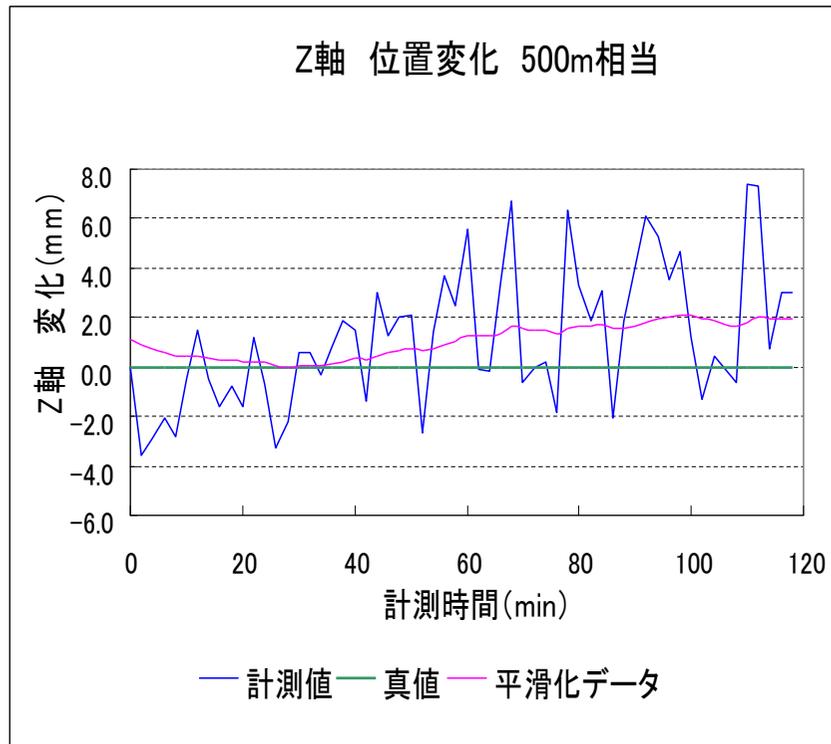
計測検証実験2の結果 ＜受信機L字配置＞



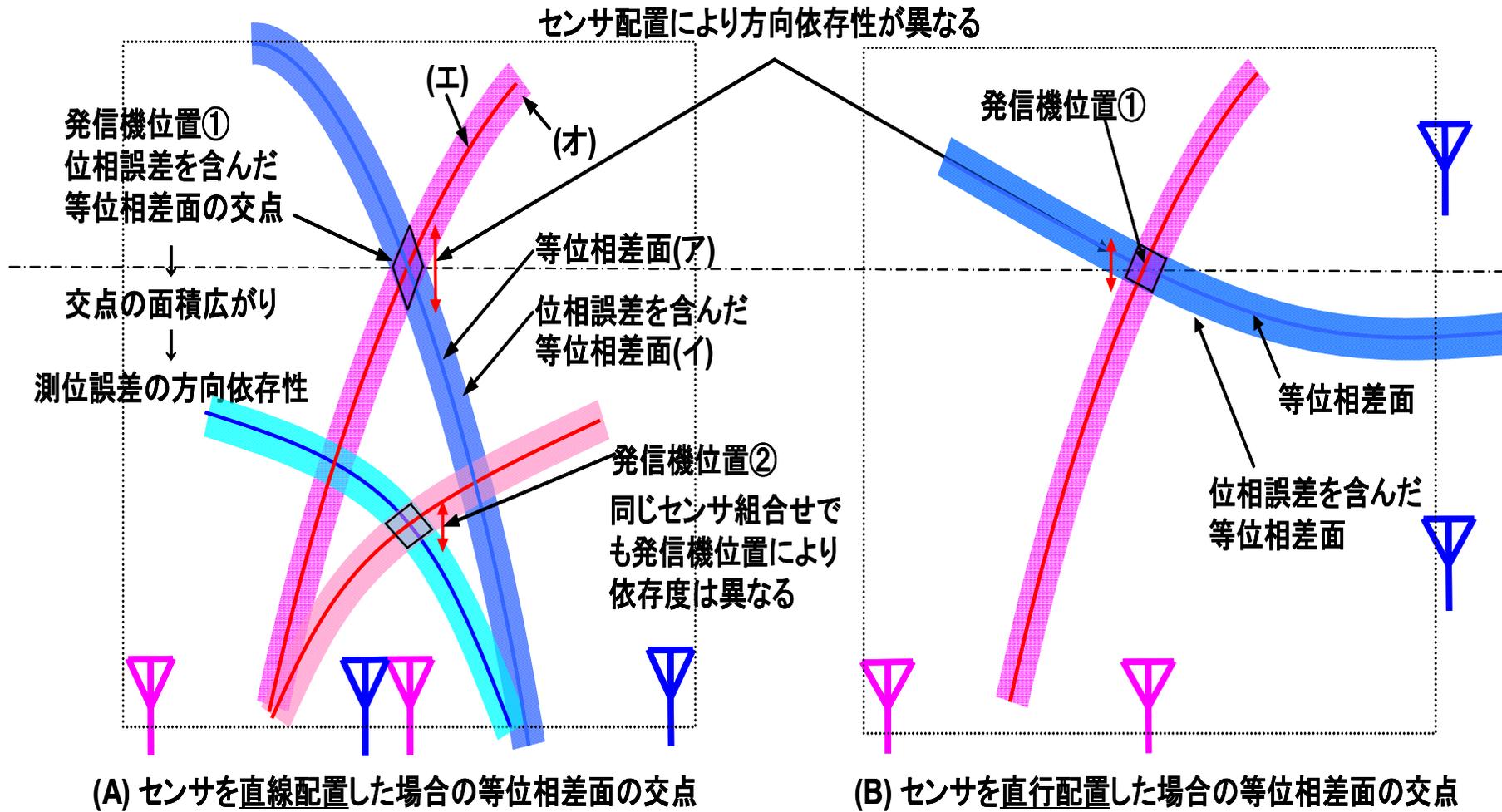
計測検証実験2の結果

<左:受信機直線配置>

<右:受信機L字配置>

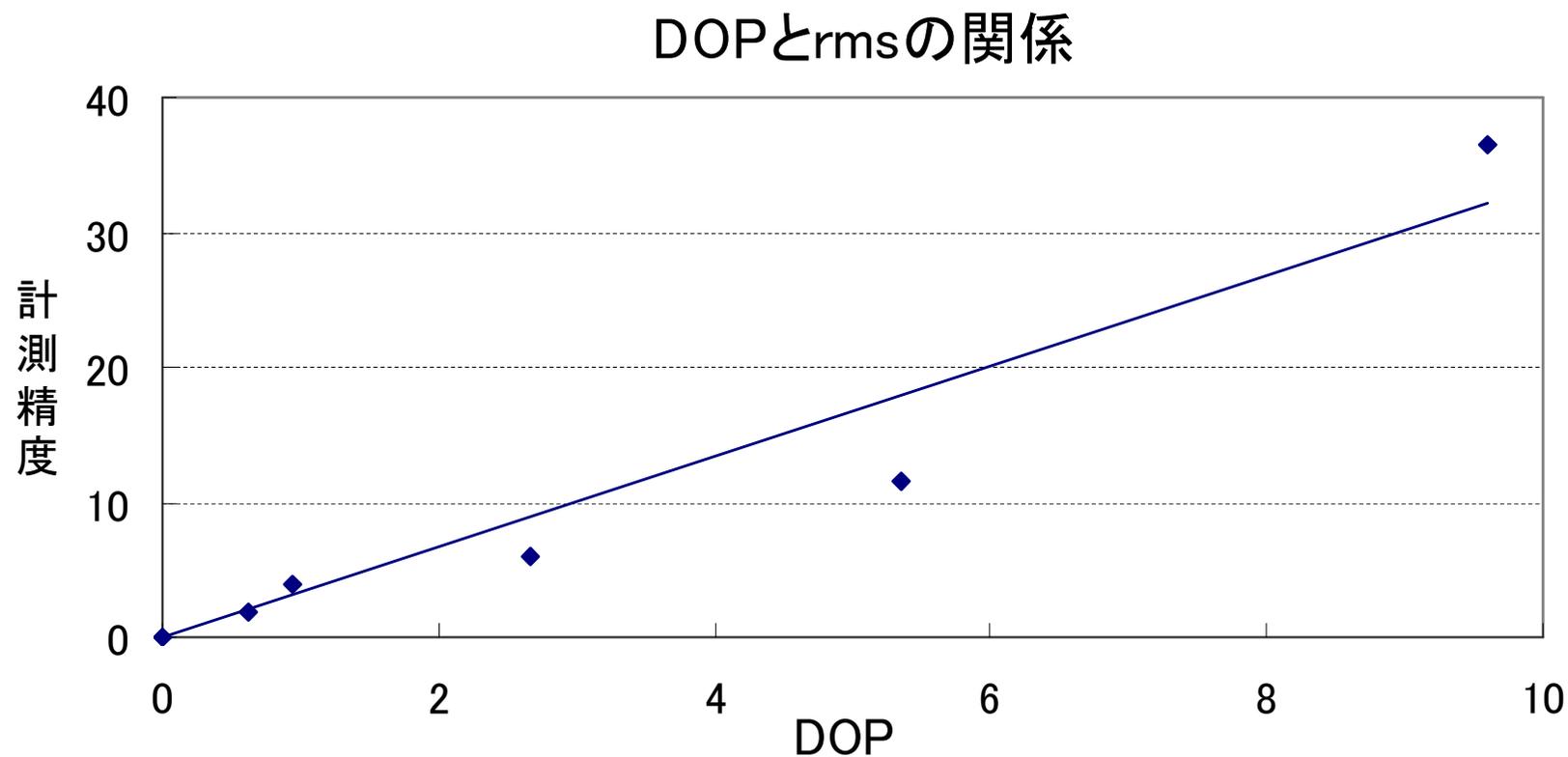


計測検証実験の結果



計測検証実験の結果

: 機器の配置の定量的な指標 = DOP

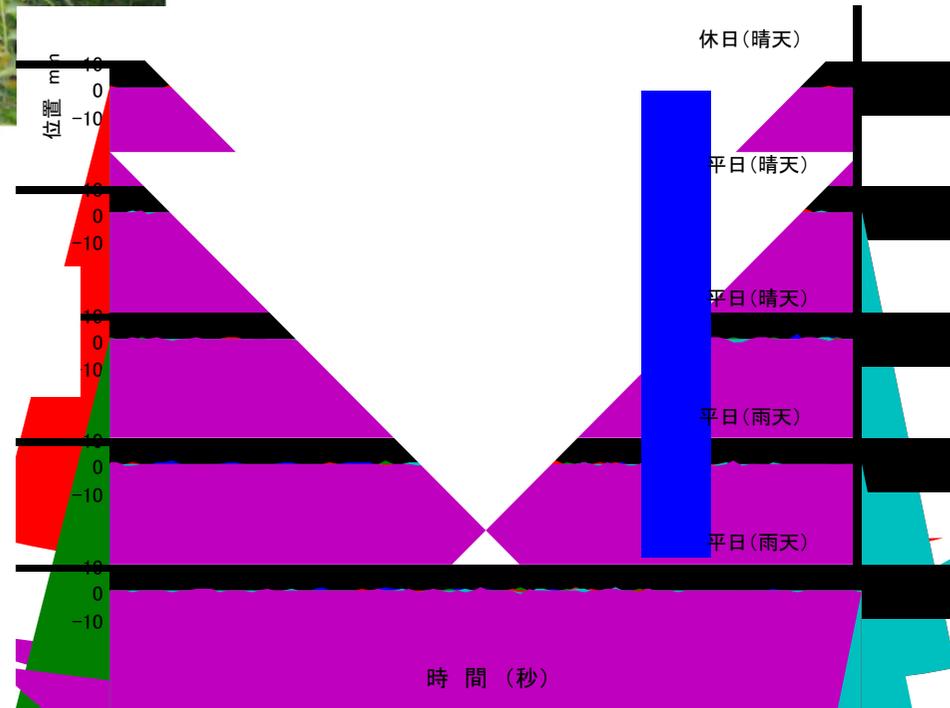


あらかじめ計測精度を見積もることが可能



屋外長期試験結果

天候に左右されず
安定して稼働



開発の成果

簡易な市販の無線機器にて、高精度の位置座標測定を可能にする計測手法を構築できた。

- ・計測原理の妥当性を実証。
- ・要求精度に対して機器配置を設計できる指標を構築
- ・耐環境性, 安定性を確認

今後の課題

- ・実務用システムの開発: 計測結果のモニター法の構築
- ・実務における実用性の検討

謝 辞

社団法人日本建設機械化協会の研究開発助成制度により本研究開発を実施できましたこと心より感謝致します。

試験施工報告：津波堆積物(ヘドロ)再資源化による人工地盤造成

東北大学大学院環境科学研究科 ○ 高橋 弘
(株)森環境技術研究所 森 雅人

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、日本における観測史上最大のマグニチュード9.0を記録した。この地震により場所によっては波高10m以上の大津波が発生し、沿岸部に未曾有の被害をもたらした。大震災により発生したガレキは、宮城県、岩手県および福島県の3県合計で約2,500万トンと推定され、これとほぼ同程度の津波堆積物(ヘドロ)が宮城県内で生じていると言われている¹⁾。現在、可燃物は焼却処分し、金属類などは分別してリサイクルに回すなどの処理が行われているが、津波堆積物については処理がほとんど行われていない。約2,500万トンと推定される津波堆積物を埋め立て処分することはほぼ不可能であり、有効活用せざるを得ない状況にある。仙台市では、被災した東部地域の復興ビジョンとして、海岸に防潮堤や海岸防災林などによる防災公園緑地を整備し、その内側に高盛土の幹線道路を建設する骨子を発表しているが²⁾、高盛土の幹線道路建設などに津波堆積物を利用するなど、津波堆積物の積極的な再利用が期待される。ただし、津波堆積物を再利用するにしても、国土交通省「高速道路のあり方検討委員会」による緊急提言³⁾に見られるように盛土の耐震性は必要不可欠であると考えられる。

ところで、申請者らは建設汚泥やヘドロなどの高含水比泥土のリサイクル率の向上を目指し、泥土に古紙破砕物と高分子系改良剤を混合して良質な土砂を生成する「繊維質固化処理土工法」を開発した⁴⁾。本工法は、既に780件、48万m³を超える実績を有しており、2004年に発生した中越地震の際にも、芋川河道閉塞により発生した大量の軟弱泥土を原位置で処理し、迅速な災害復旧に貢献した実績がある⁵⁾。

今回、三井物産環境基金「東日本大震災復興活動支援」を受け、塩釜市の中倉最終処分場および仙台市若林区の農地で津波堆積物の再資源化に関する試験施工を実施した。本報ではその内容について報告する。

2. 塩釜市中倉処分場における津波堆積物の処理

塩釜市の中倉処分場は、2011年7月末を持って

計画の容量に達するため閉鎖の予定であった。しかし、今回の大震災を受け、津波によるガレキの一次集積所として現在も稼働せざるを得ない状況になり、2011年9月現在でも可燃物や金属類、コンクリート、ガラスなどに分別する作業が行われている。大量の津波堆積物も同様に運び込まれており、今回、約400m³の津波堆積物を用いて再資源化のための試験施工を2011年8月22日～9月2日に実施した。

2.1 室内試験

室内試験の目的は、試験施工の際の古紙破砕物およびセメント系固化材の配合量を決定することである。配合量決定のための室内試験は一軸圧縮試験とし、ここでは改良土の強度および破壊ひずみについて改良目標を設定した。

強度については以下のように目標値を設定した。まず建設機械の走行に必要なトラフィカビリティを確保し、かつ第2種処理土を満足するため、コーン指数を $q_c=800\text{kN/m}^2$ 以上とした⁶⁾。さらに現場施工と室内試験の強度比を考慮して室内試験で満足すべき強度を算出した。この強度比とは室内試験と現場施工における条件の違いを調整するもので、施工機械と室内試験用混合機械の攪拌性能による混合程度の相違、養生温度の相違に起因する強度の差および改良区域での土質のバラツキや含水比の相違による現場強度の変動をも含めて経験的にカバーするものである。ここでは、強度比を0.65とし、コーン指数を $q_c=800\div 0.65=1231\text{kN/m}^2$ 以上とした。さらに、コーン指数 q_c と一軸圧縮強さ q_u との関係を示す次式⁷⁾を用いて、一軸圧縮試験における強度の目標値を 123kN/m^2 と決定した。

$$q_c = 10q_u \quad (1)$$

また破壊ひずみは従来の研究⁸⁾にならい、5%以上とした。

ところで、今回の津波堆積物が、これまで本工法で扱ってきた泥土と大きく異なるのは、様々な大量のガレキ(木くず、ガラス、ビニールなど)が混入していることである(図-1参照)。特にレジ袋のようなビニール類が顕著であった。そこで、初めに篩いを用いてガレキの除去を行った。ガレキ除去

後の津波堆積物の含水比，湿潤密度，塩分濃度およびpHを表-1に示す。



図-1 津波堆積物に含まれる種々のガレキ

表-1 津波堆積物の物理特性測定結果

含水比 [%]	湿潤密度 [g/cm ³]	塩分濃度 [%]	pH [-]
68.0	1.48	0.3	8.5

試験施工における古紙破砕物およびセメント系固化材の最適配合量を決定するため，古紙破砕物の添加量を 25kg/m³ および 45kg/m³ の 2 種類とし，それぞれの添加量に対してセメント系固化材の添加量を 50, 100 および 150kg/m³ として試料を作成し，一軸圧縮試験を実施した．試料の作成には直径 5cm×高さ 10cm のモールドを用いたが，紙面の関係上，試料作成手順は割愛する。

図-2 に一軸圧縮試験結果を示す．強度の目標値をクリアするセメント系固化材の最小添加量は，古紙の添加量が 25kg/m³ の場合は 81kg/m³，45kg/m³ の場合は 75kg/m³ であった．いずれの場合も破壊ひずみは 5%を超えることが確認された．経済性を考慮し，本施工では古紙破砕物の添加量を 25kg/m³，セメント系固化材の添加量を 81kg/m³ と決定した。

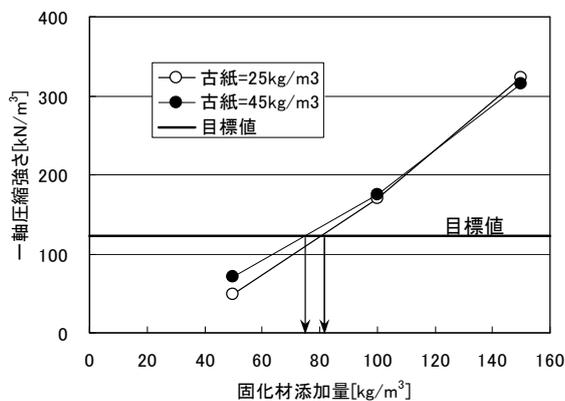


図-2 一軸圧縮試験結果（塩釜市中倉処分場）

2.2 試験施工概要

試験施工では，室内実験と同様に，初めに津波堆積物に含まれる種々のガレキを除去する作業から行った．本施工では，日立建機(株)の協力を得て自走式スクリーン VR408 をお借りし，ガレキの分級作業を行った．作業の外観および分級の様子を図-3 および図-4 に示す．ビニールの破片などに付着した津波堆積物が団子状になりやすいため，少量ずつ投入し，分級を行った．ガレキは図-3 の右のコンベアからダンプトラックのベッセルに直接投入した．スクリーンを通過したヘドロは，図-3 左のコンベアから排出し，地表面に堆積させた．

ところで，この現場の津波堆積物は，ガレキの量とヘドロの量がほぼ同程度であったため，約 400m³ の津波堆積物を分級した結果，ガレキが除去されたスクリーン下のヘドロの量は約 200m³ であった．

次に，この約 200m³ のヘドロを繊維質固化処理土工法により改良した．改良は 9 月 1 日および 2 日の 2 日間で実施した．



図-3 作業の外観（日立建機 VR408(左)，右のパワーショベルは ZAIS200)



図-4 スクリーン上の様子

まず水槽に所定量(12.3m³)の津波堆積物を投入した。次に投入した津波堆積物に対して、25kg/m³の添加量になるように古紙破砕物を添加し、攪拌・混合を行った(図-5)。古紙破砕物と津波堆積物がほぼ均一に攪拌・混合された後、室内実験で決定した添加量(81kg/m³)になるように、セメント系固化材を添加した(図-6)。一連の攪拌時間は、おおよそ40分程度であった。改良土は、処分場における廃棄物の覆土として全量再利用される予定であ



図-5 古紙破砕物を攪拌・混合



図-6 セメント系固化材の添加



図-7 ショベルによる改良土の転圧

るが、改良終了時には廃棄物の厚さが所定の厚さにまで達していないため、後日、覆土として再利用されることになった。そのため、改良土はパワーショベルにより水槽から取り出され、ショベル脇に仮置きすることにした。図-7は改良土をパワーショベルで転圧している様子を示す。

中倉処分場は最終処分場であるため、法的な受入れ時の有害物質の含有や溶出試験の義務付けは無いが、確認のため中倉処分場の津波堆積物を用いて土壌環境分析を実施した。土壌環境基準27項目のうち、フッ素のみがやや高い値(0.8mg/L以下という基準に対して1.0mg/L)を示した。そこで、改良後の土壌をサンプリングし、現在、フッ素のみ再度分析中である。

ところで、中倉処分場の津波堆積物は濃い黒色を呈していた。一般に泥土が黒色を呈する場合、硫化鉄を含む有機物による影響と考えられる。そこで、XGT分析(X線分析顕微鏡)を実施した結果、最も多く含まれる元素はSiであり、次いでFe、3番目がSであった。このことより、中倉処分場の津波堆積物は硫化鉄を多く含むことによる黒色であると推察される。

3. 仙台市若林区藤塚における津波堆積物の処理

仙台市若林区は太平洋に面し、約6kmの海岸線を有する。名取川を境に北が仙台市若林区、南が名取市である。平坦な土地が多く、周辺で高台と言え、海岸線から約2km内陸を海岸線とほぼ平行に走る仙台東部道路(高速道路)程度である。3月11日の大津波は仙台東部道路まで達したが、仙台東部道路が高盛土の高速道路であったため、ここで津波が止められ、被害の拡大を防ぐ防波堤の役目を果たすことになった。仙台東部道路の東側は水田や農地が広がっていたが、その多くが津波をかぶる被害を受け、農地の上に大量のガレキや津波堆積物が残される大災害となった(図-8)。



図-8 大量のガレキが堆積した水田(仙台東部道路仙台東IC付近)



図-9 水田の土壌に堆積した津波堆積物（仙台市若林区）

この地域の津波堆積物の特徴は、図-9に見られるように津波によって巻き上げられたと考えられる海岸砂が農地表面を数 cm 程度覆い、その上に粘土層が数 mm 堆積しているという点である。著者らの調査では、砂質系堆積物の厚さは7~10cm程度であり、粘土質系の堆積物の厚さは5mm程度であった。

ところで、硫化物を含む海底の泥土が、津波によって巻き上げられ、大気さらされると空気中の酸素によって酸化され、様々な反応の末に最終的に硫酸を生成すると言われている⁹⁾。硫酸が生成されると土壌が酸性化し、また硫化鉄と硫酸が反応すると、硫化水素の発生も懸念されるため⁹⁾、迅速な津波堆積物の除去が農地の復元のためにも極めて重要であった。

さらに、上述したように仙台市の復興ビジョンでは、高盛土の幹線道路を建設する計画案も示されていることから、筆者らは、農地に堆積した津波堆積物を除去し、その津波堆積物を繊維質固化処理土工法で改良し、高盛土の幹線道路建設のための地盤材料として再利用することを提案する。

震災から約5ヶ月が経過すると、ガレキの撤去もある程度進んで来たことから、仙台市若林区藤塚の農地をお借りし、津波堆積物の剥ぎ取り→繊維質固化処理土工法で改良→改良土を用いて人工地盤を造成する一連の施工を確認する試験施工を仙台市若林区藤塚の農地において2011年9月5日～9日に実施した。

3.1 室内試験

室内試験の目的は2.1で上述した内容と同じであるので割愛する。また目標値としては、建設機械の走行に必要なトラフィカビリティーを確保し、かつ第2種処理土を満足するため、コーン指数を $qc=800\text{kN/m}^2$ 以上としたが、津波堆積物の堆積状況を考慮し、強度比は0.8とした。従って、コーン指数は $qc=800\div 0.8=1000\text{ kN/m}^2$ 以上となり、さらに



図-10 津波堆積物サンプリングの様子

コーン指数 qc と一軸圧縮強さ qu との関係を示す(1)式を用いて、一軸圧縮試験における強度の目標値を 100kN/m^2 と決定した。

図-10に津波堆積物サンプリングの様子を示す。8月上旬のサンプリングの時点で、自動車などの大型のガレキはほぼ撤去されているものの、図-10に示されるように、木くず、ビニール、瓦の破片、トタンなど様々なガレキ類が撤去されずに残っている状態であった。

仙台市若林区藤塚における津波堆積物の含水比、湿潤密度、塩分濃度およびpHを表-2に示す。

表-2 津波堆積物の物理特性測定結果

含水比 [%]	湿潤密度 [g/cm^3]	塩分濃度 [%]	pH [-]
8.8	1.44	0	7.8

津波堆積物のサンプリングは梅雨明けの8月に行ったため、津波堆積物の表面は乾燥し、図-10に示されるようにひび割れた状態であった。そのため、サンプリング時の含水比は8.8%と非常に低い値であった。また懸念された塩分濃度であるが、堆積した当初は海水の塩分濃度に近い値を示したと考えられる。実際、地権者の話では、震災直後の晴れの日には地表面が塩分で白くなっていたとのことである。しかし、今回、懸念された塩分は検出されず、塩分濃度は0であった。これは、梅雨のシーズンを経て8月にサンプリングした結果、ほとんどの塩分が梅雨の降雨により洗い流された結果であると推察される。

次に試験施工における古紙破砕物およびセメント系固化材の最適配合量を決定するため、古紙破砕物の添加量を 25kg/m^3 および 50kg/m^3 の2種類とし、それぞれの添加量に対してセメント系固化材の添加量を50、100および 150kg/m^3 として試料

を作成し、一軸圧縮試験を実施した。含水比が8.8%と非常に低い値であるため、本室内試験では含水比が40%になるように加水調製して試料を作成した。試料の作成には直径5cm×高さ10cmのモールドを用いたが、紙面の関係上、試料作成手順は割愛する。

図-11に一軸圧縮試験結果を示す。強度の目標値をクリアするセメント系固化材の最小添加量は、古紙の添加量が25kg/m³の場合は64kg/m³、50kg/m³の場合は52kg/m³であった。いずれの場合も破壊ひずみは5%を超えることが確認された。経済性を考慮し、本施工では古紙破砕物の添加量を25kg/m³、セメント系固化材の添加量を64kg/m³と決定した。

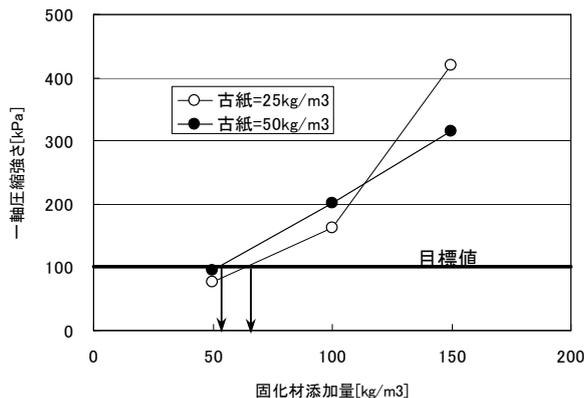


図-11 一軸圧縮試験結果（仙台市若林区藤塚）

3.2 試験施工概要

本試験施工では、若林区藤塚の農地に堆積した津波堆積物をブルドーザのブレードを制御した情報化施工で剥ぎ取り、剥ぎ取った津波堆積物を繊維質固化処理土工法で再資源化し、改良土を用いて小規模の模擬堤防を原位置で造成する一連の工程を確認することを目的とした。ここでは、キャタピラージャパン社の協力を得て、情報化施工のためのブルドーザおよびトロンメル(分級機)をお借りし、施工を行った。

施工場所は仙台市若林区藤塚の農地であり、施工前は図-12に示すように津波堆積物の上に雑草が覆い茂っている状態であった。そのため、初めに除草作業を実施し、その後、ブルドーザを用いて津波堆積物の剥ぎ取り作業を実施した。図-13に使用したブルドーザを示す。

本試験施工の面積は約3,000m²であり、約15cmの厚さで津波堆積物の剥ぎ取りを行った。従って、剥ぎ取った津波堆積物の量は約450m³である。剥ぎ取った津波堆積物の中には、木くず、瓦の破片など様々なガレキ(ゴミ)が含まれていたため、次に図-14に示すトロンメルを用いて分級作業を行った。図-14の左のベルトコンベアからガレキが除去



図-12 施工前の現場の様子（仙台市若林区藤塚）



図-13 津波堆積物の剥ぎ取りに用いたブルドーザ（キャタピラージャパン社 D3K）



図-14 ガレキの除去に用いたトロンメル

された津波堆積物が排出され、右のベルトコンベアからガレキ(ゴミ)が排出される。分級の結果、ガレキの混合割合は約2割であり、450m³の8割に相当する約360m³の津波堆積物を繊維質固化処理土工法により改良した。

上述したように、若林区の農地に堆積した津波堆積物の厚さは約10cm程度であり、また8月の好天により津波堆積物はかなり乾燥状態であった。そこで、効率良く古紙を攪拌・混合するために、

初めに加水調整を行った。バキュームカーで現場に水を搬入し、ピット(水槽)に所定の水量の水を入れた後、所定の量の津波堆積物を水槽に投入して水と混合した。含水比は室内試験と同じ40%になるように調整した。その後、室内試験で決定した配合量に元に、古紙破砕物の添加量が 25kg/m^3 になるように、またセメント固化材の添加量が 64kg/m^3 になるように添加し、攪拌・混合を行った。全体の攪拌時間は約30分であった。

改良が終了した土砂はパワーショベルによりピットから排出され、直ちにブルドーザーにより敷地の境界まで運ばれ、小規模の模擬堤防造成が行われた。小規模の模擬堤防は、底面の幅3m、天端の幅1.5m、高さ1mの台形状である。図-15に施工後の農地の様子を示す。津波堆積物が約10cmの厚さで堆積し、雑草が覆い茂っていた農地は海岸側にミニ堤防を有する農地に復元された。



図-15 施工後の現場の様子（仙台市若林区藤塚）

4. むすび

2カ所の試験施工を通して、津波堆積物に繊維質固化処理土工法を適用し、生成された改良土を用いて人工地盤を造成できることが確認できた。本試験施工の結果を広く情報発信し、迅速な復旧・復興に貢献したいと考えている。

なお今後、気仙沼市でも試験施工を実施する予定である。詳細については別途報告したいと考えている。

謝辞

仙台市若林区藤塚の施工は、三井物産環境基金 東日本大震災復興活動助成を受けて実施した試験施工であることを付記し、謝意を表す。

また分級機やブルドーザーなどの建設機械の使用に対して多大なるご協力を頂いた日立建機株式会社およびキャタピラージャパン株式会社に厚くお礼申し上げる。

参考文献

- 1) 6月1日付け環境新聞, 2011
- 2) 仙台市: 仙台市震災復興ビジョン(案)骨子, http://www.city.sendai.jp/311jishin/_icsFiles/afieldfile/2011/05/23/vison_kossi.pdf.
- 3) 高速道路のあり方検討委員会: 東日本大震災を踏まえた緊急提言, http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/hw_arikata/teigen/t01.pdf.
- 4) 森 雅人・高橋 弘他: 故紙破砕物と高分子系改良剤を用いた新しい高含水比泥土リサイクル工法の提案と繊維質固化処理土の強度特性, J. of MMIJ, Vol.119, No.4-5, pp.155-160, 2003.
- 5) 高橋 弘・森 雅人・柴田 聡・佐々木 和則: 繊維質固化処理土工法を用いた芋川河道閉塞緊急対策工事について, 第3回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.19-24, 2006.
- 6) (独)土木研究所: 建設汚泥再利用マニュアル, p.58, 2008.
- 7) 同上, p.186.
- 8) 森 雅人・高橋 弘・熊倉 宏治: ペーパースラッジを用いた繊維質固化処理土の強度特性および乾湿繰り返し試験における耐久性に関する実験的研究, J. of MMIJ, Vol.122, No.6-7, pp.353-361, 2006.
- 9) 宮城県農産園芸環境課: 東日本大震災に伴う農作物の技術情報(第2報), <http://www.pref.miyagi.jp/noenkan/nousansyokuryou/gijyutu-2.pdf>.