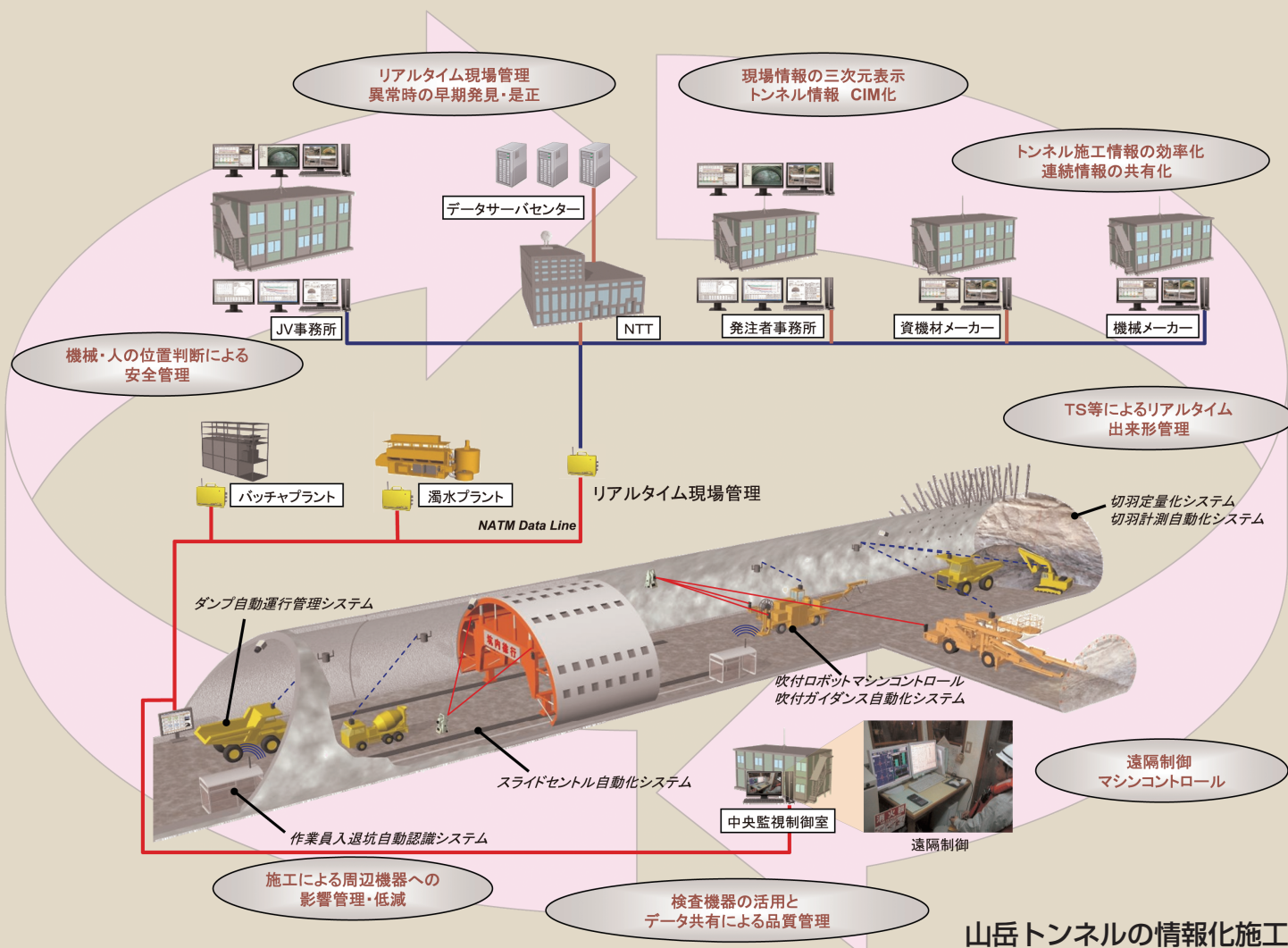


建設の施工企画 11

2012 NOVEMBER No.753 JCOMA



山岳トンネルの情報化施工

情報化施工, ICT技術, 自動化・ロボット化, 自動制御 特集

- 情報化施工の現状と今後の展開
- CIMの導入に向けて
- 「TSを用いた出来形管理」で規定した機能と今後の取り組み
- 災害対応ロボットのあるべき姿
- 多種多数機械を用いた無人化施工システムの開発
- 3次元設計データを用いた計測及び誘導システム
- 携帯電話を利用した移動体管理システム
- バックホウ2Dマシンガイダンスシステム
- 簡易VRを用いた「次世代無人化施工システム」の開発
- 可視光通信3次元位置計測システムを現場に適用し実用化
- 道路建設における情報化施工の現状とその効果
- 億首ダムのIT施工を“四次元”管理
- 山岳トンネルにおけるITコンストラクションの現状と新たな取り組み

一般社団法人 日本建設機械施工協会
(平成24年4月1日 団体名称を変更致しました)

平成25年度

一般社団法人日本建設機械施工協会会長賞の公募について

拝啓 時下ますますご清栄のこととお慶び申し上げます。

また、平素より、一般社団法人日本建設機械施工協会の事業につきまして格別のご理解、ご支援を賜り厚く御礼申し上げます。

本協会では、**一般社団法人日本建設機械施工協会会長賞**を創設し、平成元年度から、建設事業の高度化に関し顕著な功績をあげた業績について表彰して参りました。

平成25年度も下記により受賞候補者を公募致しますので、内容をご検討の上、ご応募いただきますようよろしくお願い申し上げます。

敬具

記

1. 表彰の目的

我が国の建設事業における**建設機械及び建設施工に関する技術等に関して、調査・研究、技術開発、実用化等**により、その高度化に顕著な功績をあげたと認められる業績を表彰し、もって**国土の利用、開発及び保全並びに経済及び産業の発展に寄与**することを目的とします。

2. 表彰対象

本協会の団体会員、支部団体会員、個人会員又は関係者のうち表彰目的に該当する業績のあった団体、団体に属する個人及びその他の個人を対象とします。

3. 表彰の種類

表彰は、本賞（**会長賞**）、**貢献賞**及び**奨励賞**とします。

受彰者には賞状及び副賞として1件につき下記の賞金を授与します。

副賞賞金 本 賞・・・50万円

貢献賞・・・20万円

奨励賞・・・10万円

4. 表彰式

本協会第2回通常総会（平成25年5月29日（水））終了後に行います。

5. 応募

別紙「**一般社団法人日本建設機械施工協会会長賞募集要領**」に基づく、**応募用紙**の提出により行われます。なお、**自薦、他薦を問いません**。応募の締め切りは、**平成25年1月31日（木）（必着）**です。

6. 選考

本協会が設置した「**一般社団法人日本建設機械施工協会会長賞選考委員会**」で選考致します。

なお、該当する業績が無い場合は表彰致しません。

7. その他

受賞業績は、本協会機関誌「**建設の施工企画**」及び本協会**ホームページ（HP）**に、応募業績は本協会**HP**に掲載致します。

以上

一般社団法人日本建設機械施工協会会長賞募集要領

1. 表彰対象 本協会の団体会員、支部団体会員、個人会員又は関係者のうち表彰目的に該当する業績のあった団体、団体に属する個人及びその他の個人。
2. 募集の方法 表彰候補の団体、団体に属する個人及びその他の個人の応募による。
3. 応募の方法 協会所定の応募用紙による。
応募用紙は、当協会のホームページ (<http://www.jcmanet.or.jp/>) からダウンロードし、必要事項を記載の上、Excel 形式で、電子メールにてお申し込み下さい。
応募締切 平成 25 年 1 月 31 日 (木)

4. 記載方法 ○「業績内容の概要」を記述する (1 ページ以内)

○「業績内容」(下記 a から j まで項目順に、簡潔に 10 ページ以内)
 - a. 業績の行われた背景
 - b. 業績の詳細な技術的説明
 - c. 技術的効果
 - d. 経済的効果
 - e. 開発コストおよび販売価格
 - f. 施工または生産・販売実績
 - g. 類似工法または機械との比較
 - h. 波及効果
 - i. 特許、実用新案のタイトル (出願、公開、登録、国内・国外を明記)
 - j. 他団体の表彰等に応募中か、すでに表彰を受けているかを記述
○参考資料として次のものを添付して下さい。
 - a. 特許関係 (公開または登録済みのものの写し)
 - b. カタログ
 - c. 学会、技術誌等への発表論文があれば、そのコピー
○提出物
応募用紙 (「推薦書」・「業績の内容」セットのもの)
参考資料

5. 申込・問合せ先

一般社団法人日本建設機械施工協会
阿部宛 E-mail: t-abe@jcmanet.or.jp
TEL 03-3433-1501 FAX 03-3432-0289

増刷出来 !!

建設施工における地球温暖化対策の手引き

当協会では地球温暖化問題を学び、建設施工における本問題を理解し、実践するための必携書として、これらを簡潔に分かりやすく纏めた「建設施工における地球温暖化対策の手引き」を発刊しておりましたが好評を頂き御要望を多く頂いているため、この度急遽コピー版で増刷致しました。本書によって地球温暖化と建設施工における地球温暖化対策を理解し、建設現場での実践に役立てて頂きたく思います。

◇主な内容

- ・建設施工における工法、資材、建設機械及びその運転方法等について、CO₂の排出を削減するための一般的な対策手法や留意事項を示した。
- ・各工種の標準的な工法におけるCO₂排出量を算出すると共に、その排出量の削減が可能な対策と削減量を対策効果例として示した。
- ・国土交通省の土木工事積算システムにアクセスが多く、地球温暖化対策に関連する8工種を選定した。

◇掲載工種

土工／法面工／擁壁工／基礎工／仮設工（鋼矢板工）／道路舗装／トンネル工／橋梁工（参考資料のみ）

◇体裁・定価

A4判, 85頁

定価 会員 1,470円（本体1,400円）、送料600円

非会員 1,575円（本体1,500円）、送料600円

官公庁（学校関係を含む）は会員価格です。

建設施工における地球温暖化対策の手引き

平成15年7月

一般社団法人 日本建設機械施工協会

（旧 社団法人 日本建設機械化協会）

「建設施工における地球温暖化対策の手引き」準拠 地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル

本書は「建設施工における地球温暖化対策の手引き」に準拠して作成・発行したもので、地球温暖化対策を実施する際に稼働する建設機械の省エネ運転のための操作方法を、具体的に簡便にイラストを使って分かりやすく記載したものです。是非とも上の「手引き」と併せて利用下さい。

◇主な内容

基本事項、油圧ショベル、ブルドーザ、ホイールローダ、ローラ、ホイールクレーン、クローラクレーン、ダンプトラック、点検整備

◇体裁・定価

B5判, 50頁

定価 会員・非会員共 525円（本体500円）



発 売 中

平成24年度版 建設機械等損料表

- 発刊 : 平成24年4月
- 体裁 : B5判 モノクロ 684ページ
- 価格(税込) : 7,700円(一般) 6,600円(会員等)
- 送料(単価) : 600円(沖縄県を除く日本国内)

※ 複数発注の場合は送料単価を減額します。

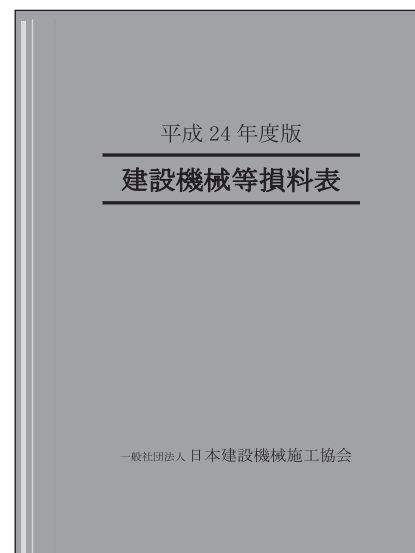
※ 沖縄県の方は一般社団法人 沖縄しまたて協会(TEL:098-879-2097)にお申込み下さい。
(沖縄県内送料単価:450円)

■内容

- ・国土交通省制定「建設機械等損料算定表」に基づき編集
- ・機械経費・損料等に関する通達・告示類を掲載
- ・損料表の構成・用語や損料積算例を解説
- ・燃料・電力消費量(率)を掲載
- ・主要建設機械は写真・図で概要を紹介
- ・主要建設機械は「日本建設機械要覧」
の関連ページを紹介

★参考(平成24年度版の主要改正点)

- ・損料諸数値を全面改正
- ・バックホウの形式名称と分類コードを変更
- ・空気圧縮機(低圧・定置式・レシプロ型)等を削除
- ・かにクレーン、乳剤スタビライザ、多機能型ロータリ除雪車等を追加掲載
- ・その他



一般社団法人 日本建設機械施工協会

◆ 日本建設機械施工協会『個人会員』のご案内 ◆

会 費 : 年間 9,000円

個人会員は、日本建設機械施工協会の定款に明記されている正式な会員で、本協会の目的に賛同され、建設機械・施工技術に関心のある方であればどなたでも入会頂けます。

★個人会員の特典

- 「建設の施工企画」を機関誌として毎月お届け致します。(一般購入価格 1冊840円/送料別途)。
「建設の施工企画」では、建設施工や建設機械に関わる最新の技術情報や研究論文、本協会の行事案内・実施報告などのほか、新工法・新機種の紹介や統計情報等の豊富な情報を掲載しています。
- 協会発行の出版図書を会員価格(割引価格)で購入できます。
- シンポジウム、講習会、講演会、見学会等、最新の建設機械・建設機械施工の動向にふれることができる協会行事をご案内するとともに、会員価格(割引価格)で参加できます。

今後、続々と個人会員の特典を準備中です。この機会に是非入会下さい!!

◆ 一般社団法人 日本建設機械施工協会について ◆

一般社団法人 日本建設機械施工協会は、建設事業の機械化を推進し、国土の開発と経済の発展に寄与することを目的として、昭和25年に設立された公益法人です。国土交通省および経済産業省の指導監督のもと、建設の機械化に係わる各分野において調査・研究、普及・啓蒙活動を行い、建設の機械化や施工の安全、環境問題、情報化施工、規格の標準化案の作成などの事業のほか、災害応急対策の支援等による社会貢献などを行っております。今後の建設分野における技術革新の時代の中で、より先導的な役割を果たし、わが国の発展に寄与してまいります。

一般社団法人 日本建設機械施工協会とは…

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

■会員構成

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

■主な事業活動

- ・学術研究、技術開発、情報化施工、規格標準化等の各種委員会活動。
- ・建設機械施工技術検定試験の実施。
- ・機関誌「建設の施工企画」をはじめ各種技術図書・専門図書の発行。
- ・建設機械と施工技術展示会“CONET”の開催。除雪機械展示会の開催。
- ・シンポジウム、講習会、講演会、見学会等の開催。海外視察団の派遣。 etc.

■主な出版図書

- ・建設の施工企画(月刊誌)
- ・日本建設機械要覧
- ・建設機械等損料表
- ・建設機械図鑑
- ・建設機械用語集
- ・地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル
- ・建設施工における地球温暖化対策の手引き
- ・建設機械施工安全技術指針本文とその解説 etc.

その他、日本建設機械施工協会の活動内容はホームページでもご覧いただけます！

<http://www.jcmanet.or.jp/>

※お申し込みには次頁の申込用紙を使用してください。

【お問い合わせ・申込書の送付先】

一般社団法人 日本建設機械施工協会 個人会員係

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 機械振興会館

TEL:(03)3433-1501 FAX:(03)3433-0401

一般社団法人 日本建設機械施工協会会長 殿

下記のとおり、日本建設機械施工協会個人会員に入会します。

平成 年 月 日

個人会員入会申込書		
ふりがな		生年月日
氏名 (自署)		大正 昭和 平成 年 月 日
機関誌の送付先	A. 勤務先 B. 自宅 (ご希望の送付先に○印で囲んで下さい。) ※「勤務先」に送付の場合は下記(A)の項目に、「自宅」に送付の場合は下記(B)の項目にご記入下さい。	
(A) 勤務先名		
(A) 所属部課名		
(A) 勤務先住所	〒 TEL _____ E-mail _____	
(B) 自宅住所	〒 TEL _____ E-mail _____	
その他 連絡事項	平成 年 月より入会	

【会費について】年間 9,000円

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

【その他ご入会に際しての留意事項】

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

【個人情報の取扱いについて】

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

建設の施工企画

2012 年 11 月号 No. 753

目 次

情報化施工, ICT 技術, 自動化・ロボット化, 自動制御 特集

3	巻頭言 なぜ, ロボットは日本人の仲間なのか	竹村公太郎
4	情報化施工の現状と今後の展開	山口 崇
10	CIM の導入に向けて	石川 雄一
16	「TS を用いた出来形管理」で規定した機能と今後の取り組み ICT を利用した作業性・信頼性向上及び判断支援に資する機能	梶田 洋規・北川 順
23	災害対応ロボットのあるべき姿	田所 諭
32	多種多数機械を用いた無人化施工システムの開発 福島第一原子力発電所災害復旧工事における遠隔操作	領木 紀夫・田中 敬二・石川 利行
38	3 次元設計データを用いた計測及び誘導システム	星野 真吾
43	携帯電話を利用した移動体管理システム 船舶や工事車両の安全監視等に活用	石田 仁
49	バックホウ 2D マシンガイダンスシステム	小林 一年
53	簡易 VR を用いた「次世代無人化施工システム」の開発 建機の遠隔操作に VR を導入し, 作業効率を改善したシステム	古屋 弘・清水 千春
60	可視光通信 3 次元位置計測システムを現場に適用し実用化	三上 博
65	道路建設における情報化施工の現状とその効果	山口 達也
71	億首ダムの IT 施工を“四次元”管理 ダム ICT 施工総合管理システム「4D-DIS」適用事例	江田 正敏・片山 三郎・武本隆太郎
77	山岳トンネルにおける IT コンストラクションの現状と新たな取り組み	鈴木 裕彦・林 稔
83	交流の広場 高設栽培に対応したイチゴ収穫ロボット	林 茂彦・山本 聡史・齋藤 貞文
87	ずいそう 心をこめて海とつき合う	渋谷 正信
88	ずいそう 一秒の重み	野口健太郎
89	平成 24 年度 一般社団法人日本建設機械施工協会会長賞 受賞業績 (その 3)	
95	CMI 報告 トータルステーションを用いた路盤工の出来形の多点管理手法の検討	竹本 憲充
99	新工法紹介	機関誌編集委員会
100	新機種紹介	機関誌編集委員会
102	統 計 平成 24 年 建設業の業況	機関誌編集委員会
104	統 計 建設工事受注額・建設機械受注額の推移	機関誌編集委員会
105	行 事 一 覧 (2012 年 9 月)	
108	編 集 後 記	(篠原・野元)

◇表紙写真説明◇

山岳トンネルの情報化施工

写真提供: (株)演算工房

近年, 情報技術分野における急速な技術革新により, コンピュータの低価格化, 各種センサー, 計測機器, 測

量機器の精度の向上, 情報処理技術やソフトの発展, 各種解析方法の高度化などが進んでいる。このような周辺技術に支えられ, 山岳トンネルにおいては坑内外におけるインタラクティブな情報通信ネットワークにより, 作業の安全性確保, 周辺環境の保全, 施工技術の継承や水平展開, 作業の効率化, および経済性の向上といった合理化施工を目指している。

情報化施工により東日本大震災の復興を支援

施工部会情報化施工委員会(委員長: 植木陸央 鹿島建設株式会社機械部)は、情報化施工を通じ災害に強く信頼性の高い復興事業を実現できるよう被災3県の施工者や発注者などを支援することとしました。

まずは、一般社団法人日本建設機械

施工協会のサイトに復興支援のためのホームページを立ち上げ、情報化施工に対する疑問や現場での困りごとについての相談にに応じていくこととしました。次に、復興事業において情報化施工を取り入れ、自社のレベルアップを図ろうと考える施工者を、被災3県の

中から募り、業務受注後から竣工までをトータルサポートしていくこととしています。

<http://www.jcmanet.or.jp/sekou/hukkou/index.html>

増刷出来!! 「建設施工における地球温暖化対策の手引き」

■主要内容:

- ・建設施工における工法、資材、建設機械及びその運転方法等について、CO₂の排出を削減するための一般的な対策手法や留意事項を示した。
- ・各工種の標準的な工法におけるCO₂排出量を算出すると共に、その排出量の削減が可能な対策と削減量に対

策効果例として示した。

- ・国土交通省の土木工事積算システムにアクセスが多く、地球温暖化対策に関連する8工種を選定した。

■掲載工種:

土工/法面工/擁壁工/基礎工/仮設工(鋼矢板工)/道路舗装/トンネル工/橋梁工(参考資料のみ)

■体裁: A4判, 85頁

■価格: (税込, 送料600円)

会員1,470円, 非会員1,575円

■問い合わせ先:

一般社団法人日本建設機械施工協会

TEL: 03-3433-1501

FAX: 03-3432-0289

<http://www.jcmanet.or.jp/>

第6回 日本建設機械施工協会 研究開発助成

建設機械・施工に関する試験・調査・研究・技術開発であって、以下のいずれかに該当する新規性、必要性又は発展性が高いと判断されるものを対象とします。

- ①建設機械施工の合理化
- ②建設機械施工の品質確保
- ③建設機械施工における安全対策
- ④建設機械施工における環境保全
- ⑤建設機械による防災・災害復旧に関する技術の開発

⑥建設機械施工に関連した社会資本保全技術の開発

1. 助成対象者

大学、高等専門学校及びその附属機関、もしくは法人格を有する民間企業等に所属する研究者及び研究グループ

2. 公募期間

8月1日(水)～10月31日(水); 終了

3. 助成決定

平成24年12月中旬

4. 助成期間

助成決定の翌日～平成26年3月31日

詳細問い合わせ先:

一般社団法人日本建設機械施工協会
研究開発助成事務局 鈴木

TEL: 03-3433-1501

FAX: 03-3432-0289

<http://www.jcmanet.or.jp/>

平成24年度建設機械施工技術検定試験

ー 1・2級建設機械施工技士ー

平成24年度1・2級建設機械施工技術検定試験を次の通り実施いたします。

この資格は、建設事業の建設機械施工に係る技術力や知識を検定します。(以下の記載内容は概略ですので、詳細は当協会ホームページを参照又は電話による問合せをしてください。)

1. 申込み方法

所定の受検申込み用紙に必要事項を

記載し、添付書類とともに郵送。

平成24年2月1日から3月30日まで、受検申込み用紙等を含む「受検の手引」一式を当協会等で販売しました。

2. 申込み受付

4月6日; 終了

3. 試験日

学科試験: 平成24年6月17日; 終了

実地試験: 平成24年8月22日から9

月9日; 終了

4. 合格発表

11月下旬

詳細問い合わせ先:

一般社団法人日本建設機械施工協会
試験部

TEL: 03-3433-1575

<http://www.jcmanet.or.jp/>

巻頭言

なぜ、ロボットは日本人の仲間なのか

竹 村 公太郎



水掛けロボット

日本の産業用工作機械の開発と設置数は、欧米諸国と比較して桁違いに多い。特に、外国の人々が奇異に思うのが、日本人はそれらを「太郎」や「花子」と家族のように呼んでいることだ。欧米人は機械に名前を付けたりはしない。本当に日本人は機械、いやロボットが大好きなのだ。

記録に残されている世界最古のロボットも日本であった。

高梨生馬著「からくり人形文化誌」によると、平安京へ遷都した桓武天皇の皇子が、日照り続きで人々が苦しんでいるのを見て、ある水掛け人形を考案した。

その人形は胸の前に洗面器のような器を持っている。人々が川から水を汲んで、その器に水を入れると、人形はその器の水をバシャと自分の顔に掛ける。人形の顔にかかった水は、足もとの田んぼに流れる仕掛けになっていた。その人形の仕草が面白いので、人々は川から水を汲んで、その人形の器に入れ、人形の水をかぶる様子を笑って楽しんだ。そのため、田んぼに水がいっぱいになったという。

共同体の喜び

21世紀の日本でも、苛酷な労働現場でロボットが次々誕生している。

一千年前、水掛け人形は農民たちの労働を助けた。21世紀のロボットたちも、苛酷な現場で人々を救っている。

その集団が同じ共同体かどうかを見分けるのは簡単だ。集団の皆が喜びを共有しているかどうかである。

一千年前の農民を助けた水掛け人形は、農民たちの喜びであった。21世紀の過酷な建設現場の建設機械は、作業員たちの喜びである。日本人はロボットを喜び、人間の名前で呼び、自分たちの仲間に行っている。

一方、欧米の人々とロボットの関係は様相が異なる。欧米人とロボットは共同体を形成していない。

侵略と奴隷

世界史はユーラシア大陸を舞台に動いた。その歴史は暴力による侵略の繰り返しであった。暴力は大陸を疾走し、侵略するとその土地の言語を圧殺し、女性たちを犯し、男性たちの目を潰し、過酷な労働現場に迫りやっただけ。絶対的な奴隷制度を固めたのだ。

なぜ、支配した者たちは、それほど激しい圧政を敷いたのか。それは奴隷たちの反逆を恐れたからだ。

事実、支配層は豊かになり、教養の衣をまとい、肉体は軟弱になり、いつしか強靱な肉体の奴隷たちの反逆を受けていった。

支配者層にとって、奴隷の苦しみは自分たちの安全を意味した。逆に、奴隷の喜びは、自分たちの不安の種となった。そのため、奴隷はいつも支配層から過酷な労働を強いられた。

侵略を繰り返す社会では、支配層と奴隷が喜びを共有することはなかった。

ところが、この世界史の中で侵略されなかった文明があった。

それが日本文明であった。

侵略されなかった文明

ユーラシア大陸の極東に浮かぶ日本は、一度も異民族の侵略を受けなかった。侵略されなかった日本人は、奴隷になった経験がなく、奴隷制度を作ることもしなかった。

奴隷がいない日本社会では、苛酷な労働は仲間が担っていた。仲間が労働を担っているのなら、仲間を助けるのは当然であった。労働を助ける機械やロボットの登場は、みんなの喜びであった。

それに対して、欧米人はロボットに対して、根強い不信感を抱いている。

彼らにとって、ロボットは奴隷だ。奴隷はいつか自分たちに歯向かう。だから、ロボットもいつかは反逆する、という恐怖心を抱いている。

欧米のロボット映画では、ロボットの反逆のストーリーが圧倒的に多い。ハリウッド映画の「ターミネーター」も、人間が造ったロボットが反逆し、人間と激しい戦いを繰り広げていく。

日本の総人口は、一億二千万人をピークにして、減少に向かった。

人口が減りこの社会を支える人がいなくなる、との声があるがそのような心配は不要である。

日本社会では、私たちの労働を引き受けるロボットたちが次々誕生していく。日本人と限りなく良い関係を築いてきたこのロボットたちが、未来の日本人を支えてくれる。

ユーラシア大陸の極東に浮かび、侵略されなかった日本はなんと幸運だったことか。

——たけむら こうたろう

公益財団法人 リバーフロント研究所 代表理事——

情報化施工の現状と今後の展開

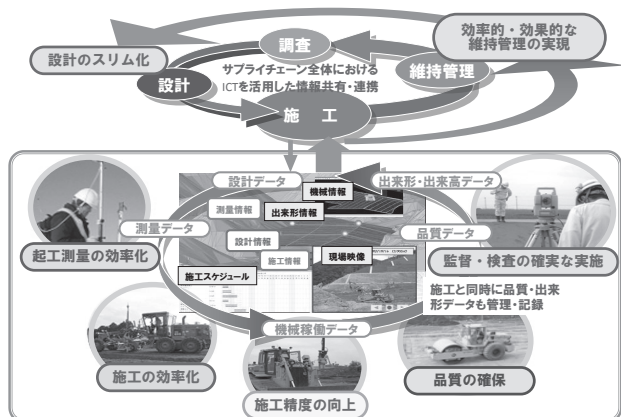
山口 崇

国土交通省は、産学官による「情報化施工推進会議」を設置し、情報化施工の戦略的な推進の指針となる「情報化施工推進戦略」を平成 20 年 7 月に策定・公表した。さらに、新たな普及方針をとりまとめた「情報化施工技術の一般化・実用化の推進について」を平成 22 年 8 月に各地方整備局等に通知・公表し、情報化施工の普及を積極的に推進している。本稿では、直轄工事における情報化施工の実施状況と試験施工のアンケート調査から情報化施工の効果および平成 23 年度に策定または改訂した情報化施工に対応した施工管理要領と監督・検査要領について報告するとともに、今後の展開として次期の情報化施工推進戦略の方向性について紹介する。

キーワード：情報化施工, 情報化施工推進会議, 情報化施工推進戦略, ICT, TS, GNSS, MC, MG

1. はじめに

情報化施工とは、調査、設計、施工、維持管理という建設生産プロセスのうち「施工」に注目して、ICT（情報通信技術）の活用により各プロセスから得られる情報を活用して高効率・高精度な施工を実現し、さらに施工で得られる電子情報を他のプロセスに活用することによって、建設生産プロセス全体における生産性の向上とともに、透明性の向上や品質の確保が期待されているシステムである。



図一 1 情報化施工のイメージ

情報化施工は大きく分類すると、ICT を用いて建設機械の作業装置を自動制御するなどの「施工に活用する技術」と施工の状況や結果の 3 次元座標情報などを計測・処理して「施工管理に活用する技術」に分け

ることができ、代表的なものとして、次の技術がある。

(1) 施工に活用する技術

- ① MC（マシンコントロール）技術（モータグレーダ、ブルドーザ等）
- ② MG（マシンガイダンス）技術（ブルドーザ、バックホウ等）

(2) 施工管理に活用する技術

- ① TS（トータルステーション）による出来形管理技術（以下、「TS 出来形」という）
- ② TS・GNSS（衛星測位システム）による締固め管理技術（以下、「TS・GNSS 締固め」という）

「施工に活用する技術」は施工の効率化、施工精度の向上、安全性の向上など、「施工管理に活用する技術」は作業の効率化、品質の確保などが期待されている。また、これら技術から得られる情報の活用により、施工現場における技術的な判断の高度化・迅速化、施工の見える化が期待されており、施工現場の仕事のやり方を大きく変革する可能性のあるシステムである。

国土交通省では、情報化施工の本格的普及を目指し、産学官による「情報化施工推進会議（委員長：建山和由 立命館大学教授）」（以下、「推進会議」という）を設置して、情報化施工の戦略的な推進の指針となる「情報化施工推進戦略」（以下、「推進戦略」という）を平成 20 年 7 月に策定・公表した。さらに、技術毎の普及状況等を勘案し、新たな普及方針をとりまとめた「情

報化施工技術の一般化・実用化の推進について」(平成 22 年 8 月 2 日付け国官技第 113 号, 国総施第 31 号)(以下, 「通達文書」という)を平成 22 年 8 月には各地方整備局等に通知・公表し, 情報化施工の普及を積極的に推進している。この通達文書では, MC 技術(モータグレーダ)と TS 出来形(土工)を平成 25 年度に一般化する技術(以下, 「一般化推進技術」という)に, MC/MG 技術(ブルドーザ)と MG 技術(バックホウ)と TS・GNSS 締固めを早期実用化に向けて検討を進める技術(以下, 「実用化検討技術」という)に位置付けて一般化・実用化を推進している。

本稿では, 直轄工事における情報化施工の実施状況と試験施工のアンケート調査から情報化施工の効果および平成 23 年度に策定または改訂した情報化施工の施工管理要領と監督・検査要領について報告するとともに, 今後の展開として次期の推進戦略の方向性について紹介する。

2. 情報化施工の実施状況

推進戦略の策定以降, 技術の検証, 効果や課題, 適用範囲の把握, 技術の周知, 人材育成等を目的に, 直轄工事で情報化施工を活用する試験施工工事を実施している。情報化施工技術の活用工事事件数を図一 2(工種別), 図一 3(競争参加資格別)に示す。なお, 工事件数は, 契約年度別に整理している。平成 23 年度は平成 24 年 6 月末現在で把握している件数である。

平成 23 年度の情報化施工技術の活用工事事件数は 568 件であり, 平成 20 年度と比べて 7.6 倍, 平成 22 年度に比べて 1.6 倍となっており, 推進戦略の策定以降, 年々増加している。情報化施工技術の活用工事事件数の工種別では土工(河川土工, 道路土工)と舗装工が全体の約 9 割であり, 競争参加資格別では一般土木 C に該当する施工者が約 6 割である。これは通達文書で位置付けた一般化推進技術(MC 技術(モータグレーダ), TS 出来形(土工))の活用が多いためと考えられる。

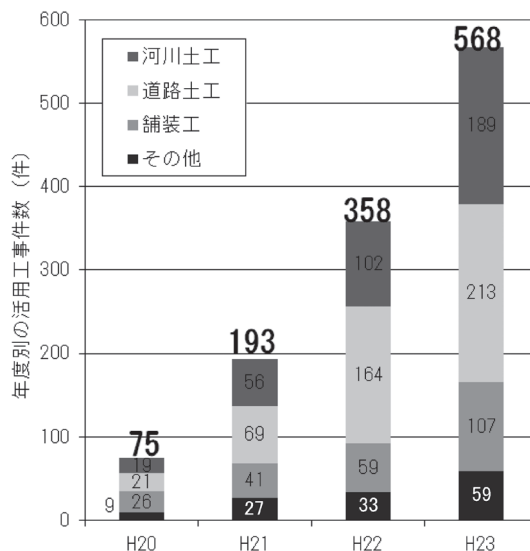
また, 情報化施工技術の総活用回数を図一 4(施工者希望型と発注者指定型の推移), 図一 5(施工者希望型と発注者指定型の割合)に示す。なお, 1 工事で複数技術を活用する場合もあるため, 工事件数と回数は同数にならない。

平成 23 年度の情報化施工技術の総活用回数は 689 回であり, 平成 22 年度に比べて 1.5 倍に増加している。施工者希望型と発注者指定型の割合は, 施工者希望型が約 6 割であり, 施工者が自らの判断で情報化施工を

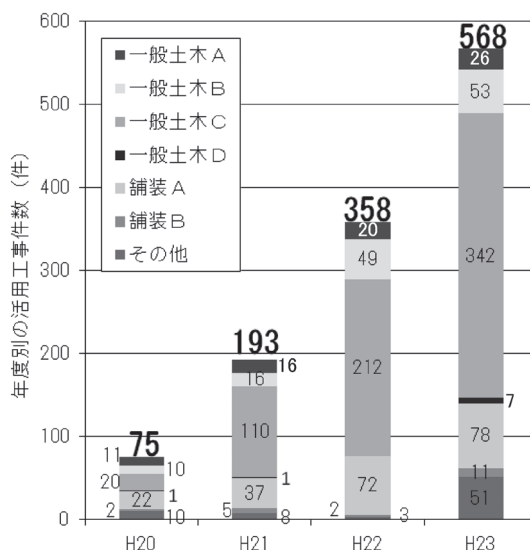
導入している割合が半数以上となっている。これは地方整備局等や業界団体等における情報化施工の現場見学, 講習会, シンポジウムなどによる情報化施工に関する認識の広がりや情報化施工の導入に関して実施している総合評価や工事成績評定のインセンティブの効果と考えられる。

主な情報化施工技術の総活用回数を図一 6 に示す。

平成 23 年度の情報化施工技術別の活用回数については, 平成 22 年度と比較し, 一般化推進技術である MC 技術(モータグレーダ)が 55 回から 71 回, TS 出来形(土工)が 225 回から 372 回となっている。実用化検討技術である MC 技術(ブルドーザ)が 36 回から 45 回, MG 技術(バックホウ)が 20 回から 40 回, TS・GNSS 締固めが 91 回から 90 回となっている。なお, 一般化推進技術は, 対象となる工事において

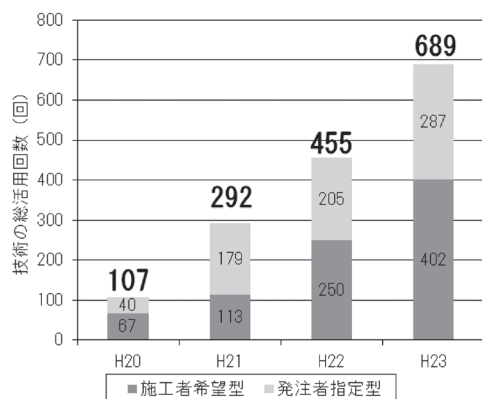


図一 2 情報化施工技術の活用工事事件数 (工種別)

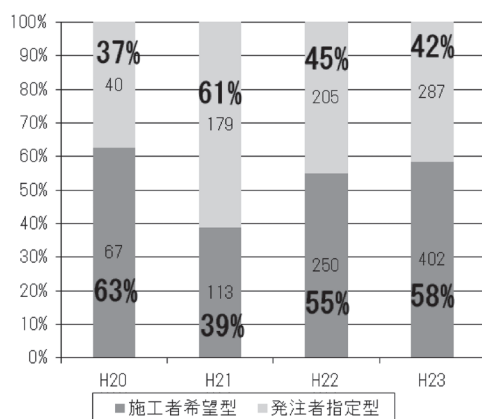


図一 3 情報化施工技術の活用工事事件数 (競争参加資格別)

MC 技術（モータグレーダ）が 44.1%, TS 出来形（土工）が 38.8%の活用率となっている。



図一 4 情報化施工技術の総活用回数(施工者希望型と発注者指定型の推移)



図一 5 情報化施工技術の総活用回数(施工者希望型と発注者指定型の割合)

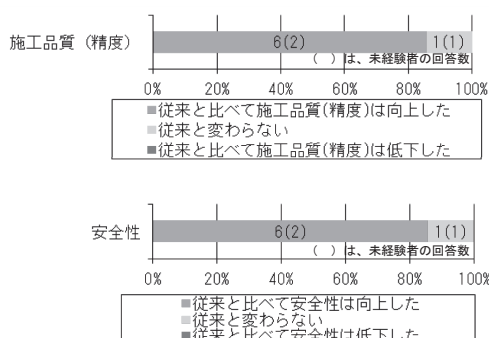
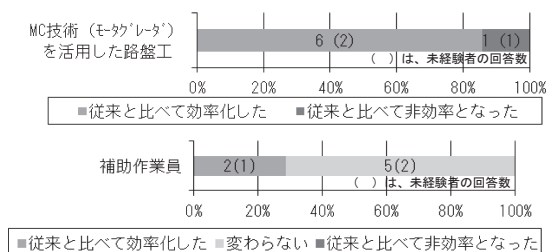
3. 情報化施工の効果

平成 23 年度に実施した試験施工のアンケート調査から、施工者を対象に実施した効果に関する調査結果

を報告する。

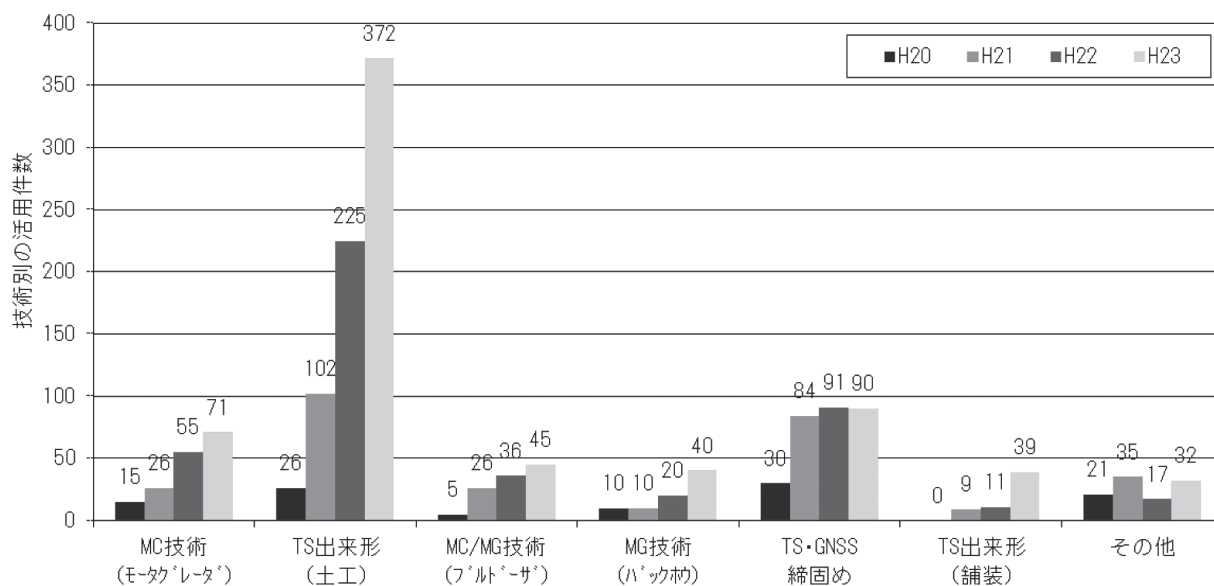
(1) MC 技術（モータグレーダ）

MC 技術（モータグレーダ）を活用した場合の効果に関する調査結果を図一 7 に示す。



図一 7 効果に関する調査結果 (MC 技術（モータグレーダ）)

MC 技術（モータグレーダ）を活用した路盤工について、施工者の 7 者中 6 者が「従来と比べて効率化した」と回答している。補助作業員は 2 者が「従来と比べて減少した」と回答している。施工品質（精度）は 6 者が「従来と比べて施工品質（精度）は向上した」と回答している。安全性は 6 者が「従来と比べて安全性は向上した」と回答している。

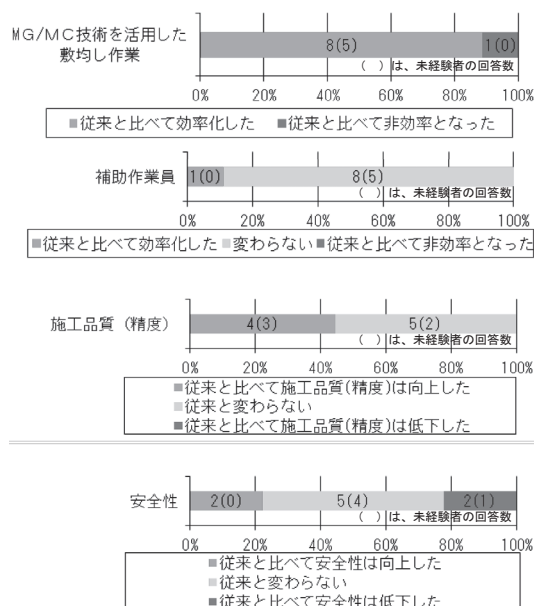


図一 6 主な情報化施工技術の総活用回数

(2) MC/MG 技術（ブルドーザ）

MC/MG 技術（ブルドーザ）を活用した場合の効果に関する調査結果を図—8 に示す。

MC/MG 技術（ブルドーザ）を活用した敷均し作業について、施工者の 9 者中 8 者が「従来と比べて効率化した」と回答している。補助作業員は 1 者が「従



図—8 効果に関する調査結果（MC/MG 技術（ブルドーザ））

来と比べて効率化した」と回答している。施工品質(精度)は 4 者が「従来と比べて施工精度は向上した」と回答している。安全性は 7 者が「従来と変わらない」あるいは「従来と比べて安全性が向上した」と回答しているが、「従来と比べて安全性が低下した」との回答も 2 者存在する。これは、画面を注視することで安全確認が疎かになることを懸念した意見である。

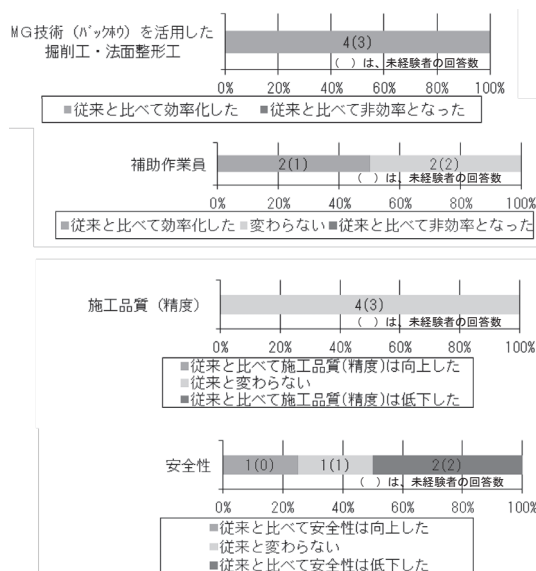
(3) MG 技術（バックホウ）

MG 技術（バックホウ）を活用した場合の効果に関する調査結果を図—9 に示す。

MG 技術（バックホウ）を活用した掘削工・法面整形工は、施工者の全て（4 者中 4 者）が「従来と比べて効率化した」と回答している。補助作業員は 2 者が「従来と比べて効率化した」と回答している。施工品質（精度）は施工者の全て（4 者中 4 者）が「従来と変わらない」と回答している。安全性は 2 者が「従来と変わらない」あるいは「従来と比べて安全性が向上した」と回答しているが、「従来と比べて安全性が低下した」回答も 2 者存在する。

(4) TS 出来形（土工）

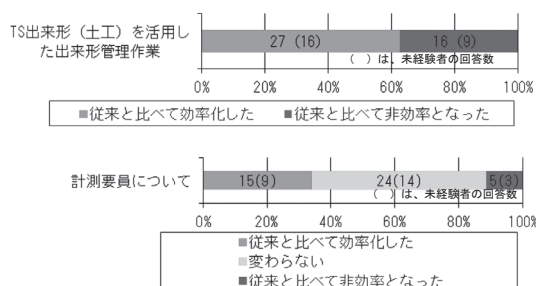
TS 出来形（土工）を活用した場合の効果に関する



図—9 効果に関する調査結果（MG 技術（バックホウ））

調査結果を図—10 に示す。

TS 出来形（土工）を活用した出来形管理作業について、施工者の 63%（43 者中 27 者）が「従来と比べ



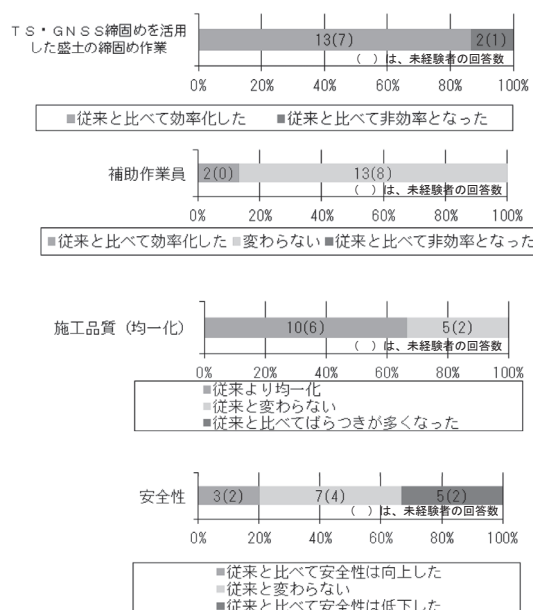
図—10 効果に関する調査結果（TS 出来形（土工））

て効率化した」と回答している。「従来と比べて非効率となった」との回答の半数以上は未経験者であり、経験を積むことで作業に習熟することにより改善していくことが期待できる。計測要員については 35%（15 者）が「従来と比べて効率化した」と回答している。

(5) TS・GNSS 締固め

TS・GNSS 締固めを活用した場合の効果に関する調査結果を図—11 に示す。

TS・GNSS 締固めを活用した盛土の締固め作業について、施工者の 15 者中 13 者が「従来と比べて効率化した」と回答している。補助作業員は 2 者が「従来と比べて効率化した」と回答している。施工品質（均質化）は 10 者が「品質の均一化に寄与する」と回答している。安全性は 10 者が「従来と変わらない」あるいは「従来と比べて安全性が向上した」と回答しているが、「従来と比べて安全性が低下した」との回答



図—11 効果に関する調査結果 (TS・GNSS 締固め)

も5者存在する。これは、MC/MG 技術(ブルドーザ)と同様に画面を注視することで安全確認が疎かになることを懸念した意見である。

4. 施工管理要領、監督・検査要領

情報化施工技術を標準的な施工・施工管理手法として位置付けるため、情報化施工に対応した施工管理手法(取り扱いに関する共通ルール)として、施工管理要領と監督・検査要領の整備を進めている。

平成23年度に策定または改定し、平成24年4月より使用を開始した要領は、TS 出来形管理の土工編及び舗装工事編と TS・GNSS 締固めに関する施工管理要領と監督・検査要領である。施工管理要領は、主に

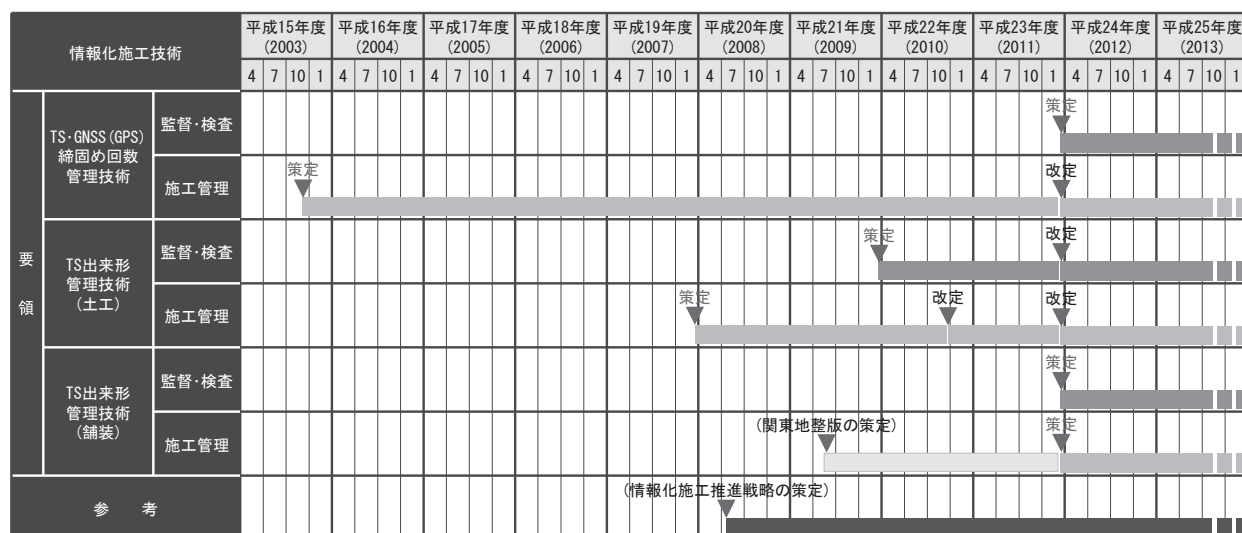
施工者向けに基本的な機器類の取り扱い方法や計測方法、手順を示しており、監督・検査要領は、監督・検査職員向けに監督・検査の実施項目を明確に示している。

なお、これまでに TS 出来形の土工編は、施工管理要領を平成20年3月に策定し、その後、平成22年12月に改定している。また、監督・検査要領を平成22年3月に策定している。TS・GNSS 締固めは、施工管理要領を平成15年12月に策定している。これら要領の試験施工で得た知見や要素技術の進展等を踏まえて、今回、施工管理要領と監督・検査要領の策定・改定を行っている。また、TS 出来形の舗装工事編は、関東地方整備局版の施工管理要領を平成21年8月に策定しており、関東地方整備局の試行運用結果を踏まえて、今回、全国展開を図るため施工管理要領と監督・検査要領を策定している(図—12)。これら施工管理要領と監督・検査要領は、国土交通省ホームページや各地方整備局等のホームページで公表している。

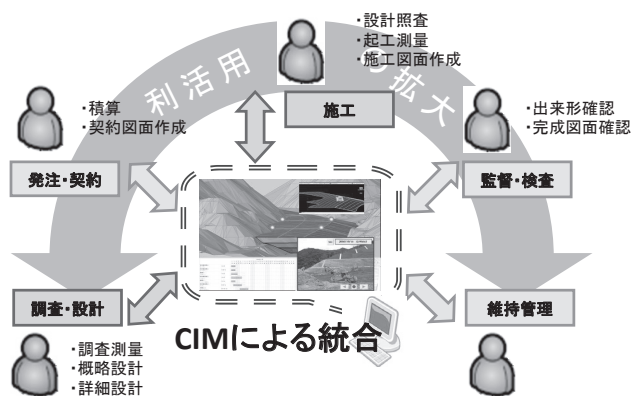
5. 今後の展開

平成20年7月に策定した現在の推進戦略の期間は、平成24年度までの5ヵ年となっており、平成24年2月1日に開催した第9回推進会議において、今後の展開として、次期の推進戦略の検討を開始した。

次期の推進戦略としては、情報化施工の対象工種・技術の拡大の検討と、情報化施工により得られるデータの活用等その利活用場面の拡大の検討、及び情報化施工の活用を進めるための環境整備を考えており、現在の推進戦略の重点目標の達成状況、普及推進における課題、情報化施工の周辺環境の変化、情報化施工技



図—12 情報化施工技術に対応した要領のとりまとめ経緯



建設生産プロセス全般に渡り、異なる多様な組織間で、情報を効率的に利活用

単一モデルから各図面、数量表を出力
図面の変更を全ての関係者が把握
可視化による検討・打合せの効率化

図—13 CIMと情報化施工の利活用拡大のイメージ

術の進展を踏まえ、情報化施工の特性を活かした新たな取り組みの検討も必要と考えている。

特に、情報化施工により得られるデータの活用等その利活用場面の拡大の検討においては、施工分野からのCIM（Construction Information Modeling）の実現に向けた取り組みとして、設計・施工・維持管理における情報化施工に係る情報の利活用を重点的に検討することも必要であると考えている。

現在の推進戦略の評価を行う一方で、次期の推進戦略を以上のような視点を踏まえて、推進会議にて議論を行い、平成24年度末までに作成・公表する予定である。

6. おわりに

平成24年度は、現在の推進戦略の最終年度であるとともに、通達文書で示した一般化推進技術であるMC技術（モータグレーダ）とTS出来形（土工）の一般化の目標の前年である。

次期の推進戦略の作成に向けた検討と並行して、平成25年度に一般化の対象となる範囲などの方針を早期に明確にする必要があると考えている。また、一般化した情報化施工技術に対するインセンティブのあり方、契約における取り扱い、設計データの作成のあり方、積算方法などの検討を行い、必要な環境整備を行っていくこととしている。

J C M A

《参考文献》

国土交通省 HP 情報化施工のページ

http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei_constplan_tk_000017.html

〔筆者紹介〕

山口 崇（やまぐち たかし）

国土交通省

総合政策局 公共事業企画調整課

課長補佐

CIM の導入に向けて

石 川 雄 一

国土交通省では、事業の効率化などを目指して、建設生産プロセスの各段階に ICT を導入すべく 1996 年度より建設 CALS/EC を推進してきた。この間、電子納品や情報化施工など一定の成果は得られているものの、当初目指していた各プロセスを一貫して情報を共有・活用するシステムは未だ構築されていない。

一方、建築分野においては、3次元モデルを活用した BIM (Building Information Modeling) が世界的に普及しており、我が国においても民間建築を中心に導入が図られているところである。国土交通省では、今後の建設生産システム全般において、建築における BIM の思想とツールを取り入れて、建設分野全般に適用すべく CIM (Construction Information Modeling) の構築と導入の検討を進めることとしている。

キーワード：BIM, CIM, 3D モデル, 形状情報と属性情報, 調査から維持管理まで, データの一元化

1. はじめに

国土交通省における土木分野での ICT の活用としては、事業執行の効率化などを目指して 1996 年度に「建設 CALS 整備基本構想」を策定し、以来、アクションプログラムに基づき CALS/EC として取り組みがなされてきたところである（図—1 参照）。

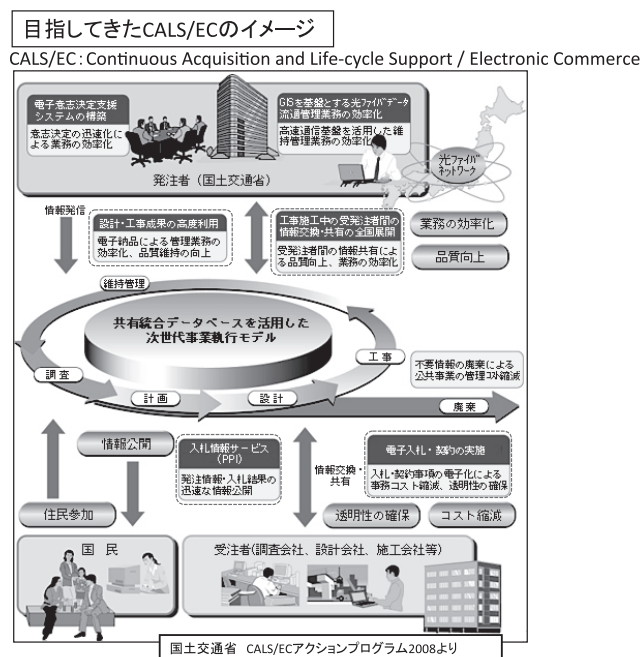


国土交通省 CALS/ECアクションプログラム2008より

図—1 CALS/EC の取り組み

この間、電子納品、情報化施工、情報共有システムなど一定の成果が得られ、実現場において活用されている技術はあるものの、CALS/EC が目指してきた、調査～計画～設計～施工～維持管理まで一貫して情報を共有・活用するシステムは未だ構築されていない（図—2 参照）。

今後は、これまで取り組んできた情報化技術を要素



図—2 目指してきた CALS/EC のイメージ

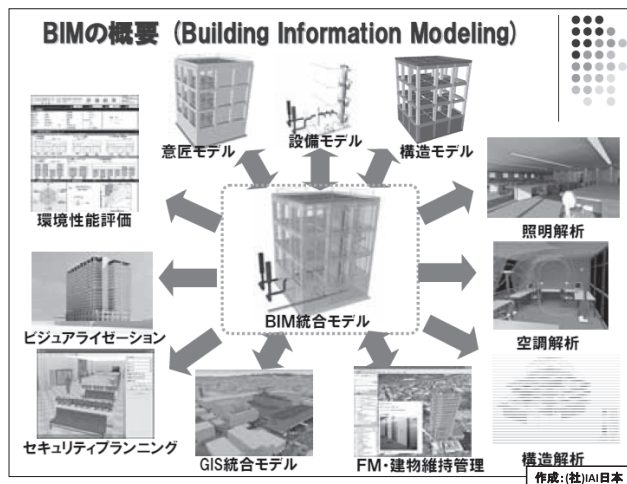
技術として、それらを統合・発展させて建設生産プロセス全体として情報化を推進し、業務の効率化をはじめ建設事業全体での生産性の向上を図る必要がある。

2. 建築分野での BIM (Building Information Modeling) について

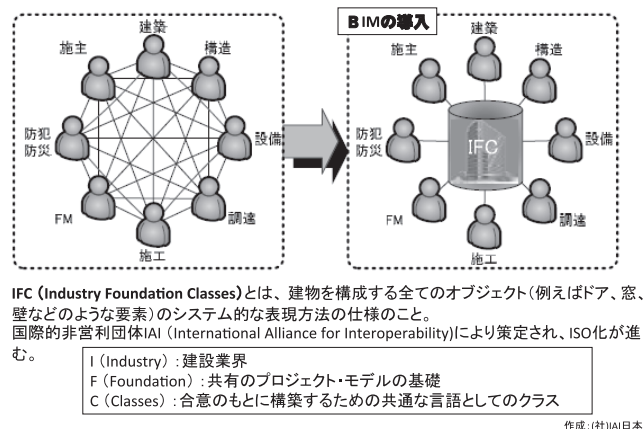
BIM とは、コンピューター上に作成した 3 次元の形状情報に加え、材料・部材の仕様・性能、コスト情

報等、建物の属性情報を併せもつ建物情報モデル(BIMモデル)を構築することで、設計から施工、維持管理に至る建築ライフサイクルのあらゆる工程でBIMモデルを活用することにより、建築生産や維持管理の効率化に繋げるものである。

BIMは世界的に見ると、国際組織(IAI)により1996年から標準化に着手し、現在ではBIMモデルデータ国際標準化規格(IFC)が整備されている(図—3, 4参照)。



図—3 BIMの概要



図—4 IFCの概要

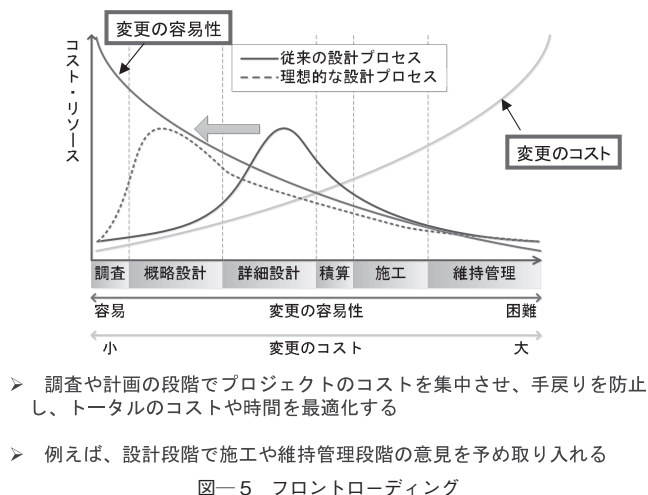
国内においては、2009年が日本のBIM元年と言われる、主に民間の建築を中心に導入が図られている。東京スカイツリーの工事においてもBIMが導入されている。また、公共建築物においても国土交通省において、平成22年度よりBIM導入の試行を開始している。

BIMの最大の特徴としては、以下の2つの情報を併せ持つ3次元モデルにより、高度なシミュレーションを行うことが可能となるところにある。

- ① 3次元の形状情報
- ② 属性情報(材料・部材の仕様・性能、コスト、そ

の他の情報)

BIMにより構築された3次元モデルを活用することで、建設プロセスにおける様々なりスクをより上流で管理(フロントローディング)することが可能となり、事業の効率化、コストの低減、安全の向上などBIM導入による効果は多岐にわたり期待されている(図—5参照)。



図—5 フロントローディング

3. 土木分野におけるICT活用の現状について

土木分野におけるICTの活用については、情報化施工技術の活用が挙げられる。代表的な情報化施工技術にはTS(トータルステーション)を用いた出来形管理技術、MC(マシンコントロール)/MG(マシンガイダンス)技術などがあり、これらの技術は直轄工事を中心に普及が図られている。

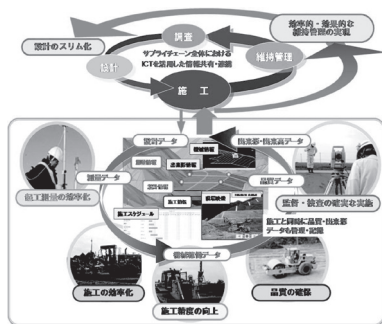
また、情報共有システムの導入も進められており、各現場の生産性の向上や品質確保に寄与している(図—6, 7参照)。

一方、設計成果や工事完成記録についても電子納品保管管理システムにより電子化が進められている(図—8参照)。

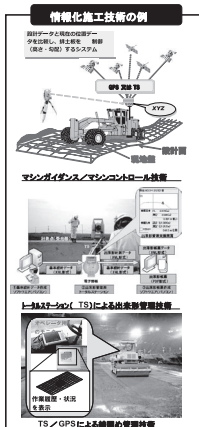
このように、個々の段階での電子化・情報化はある程度進んではいるが、土木分野においては、未だ建築分野でのBIMのように建設生産システムのあらゆる工程でモデルを共有したシステムは構築されていない。

国土交通省では、今後の建設生産システム全般において、建築におけるBIMの思想とツールを取り入れて、建設分野全般に適用すべくCIM(Construction Information Modeling)の構築と導入の検討を進めることとしている。

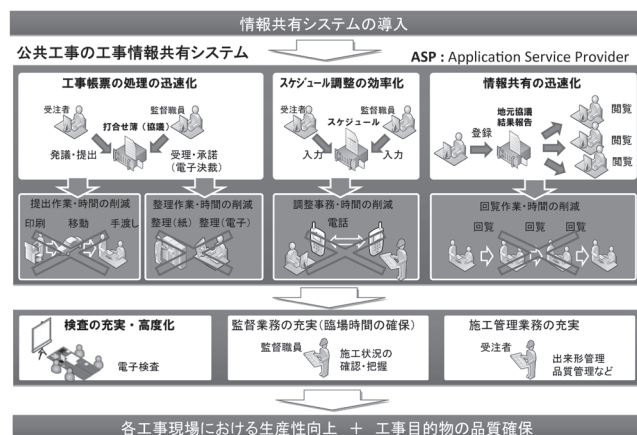
- ① 調査、設計、施工、維持管理 という建設生産プロセスのうち「施工」に注目
- ② 各プロセスから得られる電子情報を活用し、高効率・高精度な施工を実現
- ③ 施工で得られる電子情報は、他のプロセスでも活用



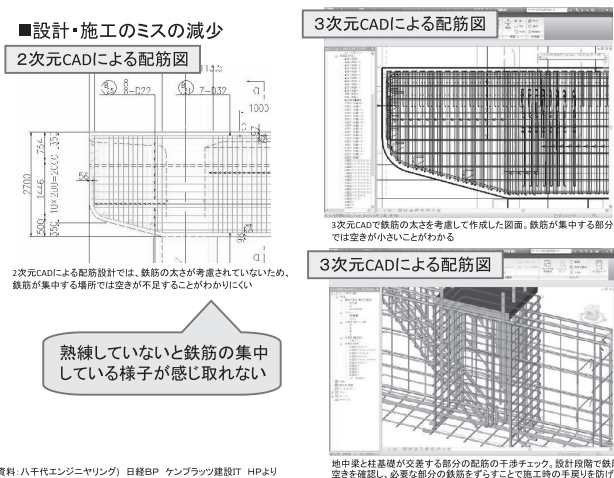
図—6 情報化施工技術の活用



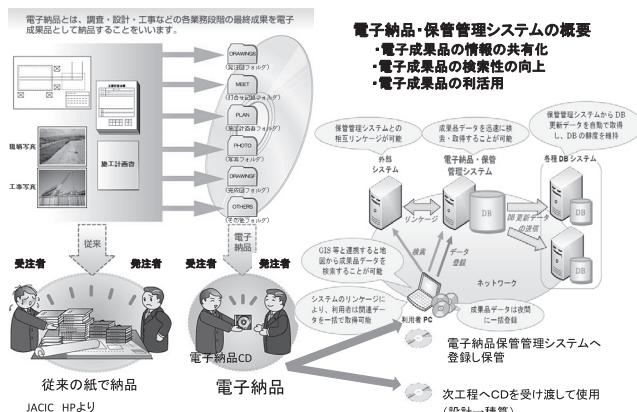
図—9 3次元設計のイメージ



図—7 情報共有システムの導入



図—10 3次元設計の2次元設計との比較



図—8 電子納品・保管管理システムの概要

(1) CIMの概要

CIMは、調査・計画～設計～施工～維持管理の各段階において、3次元モデルを一元的に共有・活用、発展させることにより建設生産プロセスの過程において、より上流におけるリスク管理を実現するとともに、各段階での業務の効率化を図るものである。

(2) 3次元モデルの構築

CIMにおける3次元モデルとは、単にコンピュー

ター上に精緻な仮想構造物の形状を表現するだけでなく、材料・部材の仕様・性能・数量、コスト情報等、実構造物としての属性情報をも併せ持った情報の集合体を設計段階から構築することであり、この点が2次元設計との決定的な違いである。(図—9、10 参照)

したがって、構築された3次元モデルは、変更の容易さ(コンピューター上の画面操作により可能)に加え、モデルの変更に連動して数量等の属性情報も変更されるため、比較・解析という各種シミュレーションの場面において、その容易さ、速さ及び正確さにおいて最大の効果を発揮すると思われる。

(3) CIMの効果(建設生産段階)(図—11 参照)

CIMにおいては、この3次元モデルの構築・活用を柱としているが、それは3次元モデルを構築・活用することにより、次の効果が期待できると考えられるからである。

- ・設計段階においては、効率的、かつ幅広い比較検討等が可能となる他、構造物の干渉チェックによる設計ミスの削減、数量の自動算出、構造物の可視化等

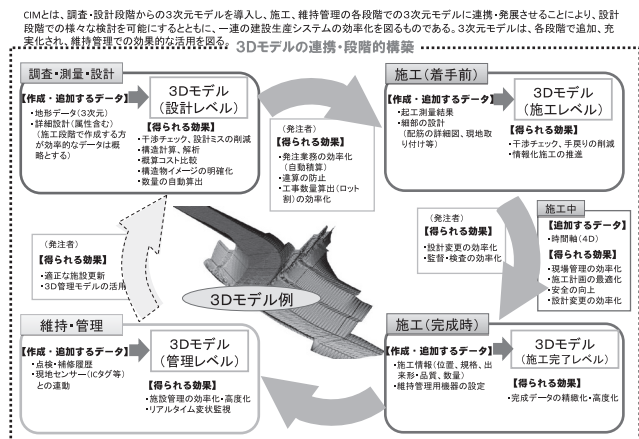


図-11 CIM の概念

- 設計から施工に移行する際に、3次元モデルによる円滑なデータ連携が図られる。
- 施工時のデータを順次モデルに追加することにより、出来高確認等の施工管理の効率化が図られるとともに、維持管理に活用する3次元モデルが構築される。

- 施工時に時間軸を追加(4次元モデル)するなどの応用により、施工計画の最適化、効率的な施工管理、安全の向上等が可能となる。
- 維持管理において必要なデータ(属性データ等)を連携させることにより、維持管理での3次元モデルが構築され、管理の効率化・高度化が可能となる。
- 発注者においては、発注業務(設計書作成、積算など)、監督・検査業務の効率化が図られる。

(4) CIM の検討における課題(BIM との相違)

CIM の検討にあたっては、次の点に留意する必要があると考えられる。

- ①土木分野では、現地の地形・地質に依存又は左右される要素が建築分野に比べて格段に大きく、地形・地質の詳細で精緻な情報が最も重要であること。
 - ②土木分野では、建築分野に比べて設計の自由度は小さく、施工においては、いわゆる設備関係も限定的であること。
- また、維持管理においては、各構造物に特有な管理

表-1 CIM 導入スケジュールと検討項目(案)

		従来と同様の方法		
		Step 1 (H24~H26) 試行期間	Step 2 (H25~H27) 試行拡大期間	Step 3 (H28~H28) 導入期間
		既存技術の範囲で基本的属性情報を付与した構築可能なCIMモデルを構築・活用する。測量、構造計算、積算は従来と同様。施工では、初歩的活用を図る。	技術開発(デジタル地形情報、3次元設計・計算、属性情報、数量算出)によりCIMの内容・範囲の拡大を図る。施工ではCIMの多様な活用を図る。	デジタル地形情報、3次元設計・計算、自動積算の一般化及び属性情報の高度化を図る。施工ではCIMのより高度な活用を図り、維持管理への活用を図る。
各建設生産プロセス段階で求めるレベル	測量・地質調査	データ	デジタルデータの全面的導入	デジタルデータの精緻化(精度の向上)
	設計	CIMモデル(3次元化)	モデル化の範囲の拡大	モデルの精緻化
	構造計算	数量計算	一部において3次元設計・計算の導入	3次元設計・計算の一般化
	属性情報	積算	CIMモデルより自動算出を導入	CIMモデルから自動積算(工種の拡大)
	数量算出	積算	CIMモデルから自動積算(一部の工種)	CIMモデルから自動積算(工種の拡大)
	施工	着工前	CIMの精度向上による効率化	CIMの導入、活用
	施工中	完成時	CIMの現場管理、安全管理、資材管理への活用(行程管理、出来形・品質管理等)	CIMの高度な活用(施工の最適化、維持管理用機器)
	維持・管理		CIMモデルの活用検討	CIMの導入、活用
			CIMの導入に向けた計測・観測機器等の開発	CIMの導入、活用
			CIMの導入に向けたデータ集計ツールの開発	CIMの導入、活用
次期ステップに向け開発が必要な技術・データ(民間による開発を期待)				
制度・基準・実施内容の検討が必要な事項	CIMレベル	設計段階でのCIMの構築・納品レベル検討	運用へ	
		工事段階でのCIMの構築・納品レベルの検討	運用へ	
	数量要領等	CIM導入時の現行基準の課題整理	運用へ	
	契約方式	最適設計・施工のための契約方式の検討(例:一部の工種で詳細設計付き工事発注)	運用へ	
	契約図書	工事契約図書としてのCIMモデルの取扱検討	運用へ	
	調査業務フロー	CIM導入時の現行フローの課題(概略→予備→詳細)	調査業務フロー(概略→詳細)の見直し検討	運用へ
建設生産プロセス全体		CIMの導入を前提とした維持管理の方向検討	建設生産プロセスの見直し検討(効率化の観点から既存プロセスを見直す)	

表一2 Step1 CIM モデル事業での試行項目と検証事項等（案）

：従来 ※：実施未定 *：将来

建設生産システム段階	試行事項	期待される効果	検証事項	想定される課題
測量	既存測量成果の利用 3次元地形データの利用	地形測量の効率化	データ利用の有用性 地形測量の効率化	精度の確保
設計	構造計算（従来と同様） CIMモデル作成（形状）	干渉チェックによる設計ミスの減少	干渉チェックの実効性	使用3Dソフトの妥当性 PCの容量
	属性情報の付与 （先導モデル、一般モデル）	比較設計の効率化～ 高度解析（低～高レベル）	各種比較の実効性 属性情報の有用性 他	属性情報の特定
	数量の自動算出	数量算出の効率化 数量算出ミスの減少	自動算出された数量の精度 確認	現行の数量算出要領との整合性
	※概算工事費の自動算出	工事費比較の効率化	自動算出の実効性	単価設定の精度
	CIMモデルによる設計協議 （フロントローディング）	合意形成の効率化 最適設計の選定	各協議でのCIMモデル（可視化）の有用性	施工時リスクの抽出
	情報化施工データの作成	情報化施工の推進	データ連携の実効性	施工での使用の可否
発注	現行方法による数量算出 *発注工事数量の自動算出	*数量算出の効率化 *数量ミスの減少	*数量の工区（ロット）割 の実効性	システム開発が必要
	現行の積算システムによる積算 *自動積算	積算の効率化 *違算の防止	数量の自動算出 *積算の自動化	*システム開発が必要 *単価の設定
施工	現地照査によるCIMモデル の修正・追加（必要により）	CIMモデルの精度向上	データの修正・追加の実効性	データの互換性 標準化の必要性
	情報化施工データによる情報 化施工の実施	情報化施工の推進	データ連携の実効性	
	※4次元での工程管理の実施 （先導は必須、基本任意）	現場管理の効率化 安全の向上 他	4次元での工程管理の実効性、有用性	4次元データ作成の効率性
	※維持管理用機器の設置 （ICタグ、センサー類、他）	維持管理の効率化・高度化	機器設置個所の妥当性 器機の動作確認	維持管理用機器・設置箇所 の選定
	CIMモデルでの施工管理（出来形・品質、数量等）	施工管理の効率化 監督・検査業務の効率化 設計変更の効率化	リアルタイム、オンライン でのデータ共有 変更数量の自動算出	データの信憑性の確保
	完成CIMモデルの納品 （*地下埋設物データを含む）	施設の維持管理の効率化・高度化	データ作成と納品物の妥当性	使用ソフトの標準化
※維持管理	完成CIMモデルの活用	管理の効率化	活用データの有用性	既存システムの活用
	維持管理用器機の活用	管理の迅速化・高度化	器機設置の有用性	コスト面での妥当性
	その他、随時設定			
全般	CIMモデルの構築と流通	建設生産システムの効率化 と生産性の向上	モデル流通の有用性	各段階での納品物とその責任区分

項目があり、さらに地域や周辺環境との関係が建築に比べてより密接であること。

- ③現行の公共土木の契約形態は、設計と施工を分離して発注することが基本であることから、事業の上流（設計）段階での施工上のリスク管理の実施（フロントローディング）は限定的なものにならざるを得ないこと。

これらの留意点のうち、①の地形については、現状で国土地理院から提供されている基盤地図情報（数値標高モデル）の活用や「地理空間情報活用推進基本計画」（H20閣議決定）に基づく「地理空間情報高度活

用社会（G空間社会）の実現」に向けた検討に期待するところである。

- ②については、まさにCIMの主要部分であり、必要な属性情報をどう選択し、どの程度の情報を付加するべきかなど、CIM構築にかかるコストとその効果については、今後の検討の柱となる部分である。

また、③については、各段階での役割・責任にかかわる現行の建設生産システムの制度としての課題であり、関係各方面での議論が必要と考えられる。

(5) CIM 導入に向けた取り組み

CIM の導入に向けては、上述した以外にも 3 次元設計ソフトの開発などの技術面において様々な検討項目があると思われる。それらの項目については、既に JACIC（一般財団法人 日本建設情報総合センター）を中心とした民間の研究機関による検討会が立ち上がっており、各関係機関・業界からの参画を得て議論・検討がなされているところである。

一方、CIM の導入にあたっては、現行制度や要領・基準類の見直しが必要となることから国土交通省では導入に向けた制度検討を進めているところである（表 1 参照）。

また、各検討と並行して、実際の事業の中でその効果について検証する必要があるため、国土交通省の直

轄事業において、CIM を導入したモデル事業（表 2 参照）を実施することとし、H24 年度より 3 次元による設計業務を試行的に実施することとしている。

CIM の導入がもたらすものは、まだまだ未知数の部分も多いが建設生産システムそのものを変革し、建設イノベーションを実現する可能性を秘めたものであり、他産業並みの労働生産性の向上を図るためにも、重要な意味がある。

J C M A

【筆者紹介】

石川 雄一（いしかわ ゆういち）
国土交通省
大臣官房 技術調査課
工事監視官

平成 24 年度版 建設機械等損料表 発売中

■内 容

- ・国土交通省制定「建設機械等損料算定表」に基づいて編集
- ・機械経費・機械損料に関係する通達類を掲載
- ・損料積算例や損料表の構成等をわかりやすく解説
- ・各機械の燃料（電力）消費量を掲載
- ・主な機械の概要と特徴を写真・図入りで解説
- ・主な機械には「日本建設機械要覧（当協会発行）」の関連ページを掲載

■B5 判 約 680 ページ

■一般価格

7,700 円（本体 7,334 円）

■会員価格（官公庁・学校関係含）

6,600 円（本体 6,286 円）

■送料（単価） 600 円（但し沖縄県を除く日本国内）

注 1）複数冊発注の場合は送料単価を減額します。

注 2）沖縄県の方は一般社団法人沖縄しまたて協会

（電話：098-879-2097）にお申し込み下さい。

一般社団法人 日本建設機械施工協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8（機械振興会館）

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>

「TS を用いた出来形管理」で規定した機能と今後の取り組み ICT を利用した作業性・信頼性向上及び判断支援に資する機能

梶 田 洋 規・北 川 順

国土技術政策総合研究所は、トータルステーション (TS) に 3 次元座標値と付加情報で構成する 3 次元設計データを搭載し出来形管理の高度化を図る研究を行っている。その研究成果の一つとして、有益と考えられる機能が搭載された製品が開発企業から供給されるように、国土交通省の取り組みにおける情報化施工として最低限必要と考えられる機能の仕様を明示する技術仕様書を策定・公表している。TS を用いた出来形管理技術は、施工管理と監督検査に利用することから、情報通信技術 (ICT) を利用し「作業性向上 (判断支援を含む)」と「信頼性向上」に資する多くの機能を規定している。本稿では、技術仕様書で定めたこれら機能の特徴を紹介すると共に、今後の考えられる展開について紹介する。

キーワード：TS, トータルステーション, 出来形管理, 施工管理, 監督検査, 情報化施工, データ交換標準, 機能要求仕様書

1. はじめに

国土交通省 (以下、国交省) では、平成 20 年 7 月に「情報化施工推進戦略」を策定し、ICT (情報通信技術) を利用した情報化施工の普及に取り組んでおり、国土技術政策総合研究所 (以下、国総研) では、普及に注力して取り組んでいる情報化施工の 1 つである「TS を用いた出来形管理」に関し、研究・技術支援を行ってきた。

TS を用いた出来形管理は、近年普及してきたレーザー光による 3 次元測量技術であるトータルステーション (以下、TS) と CAD 技術を組み合わせたものであり、計測と同時に結果の良否を判断できる情報を得ると共に、現場状況による予定外の急な位置出しに即座に対応できる等、現場技術者の即応力の向上を図り、工事の進捗を円滑に行うことに資するツールである。

国総研では、業務や情報の流れを分析してコンセプトを構築し、フィールド試験による実現性の評価、現場試行を通じた現場適用性や効果の評価などを行い、また、開発者業界団体との意見交換や技術協力を得ながら、技術的側面から「TS を用いた出来形管理」の実現化を進めてきた。国総研が策定した関係基準類は、ユーザーである施工者や監督職員・検査職員ではなく、ソフトウェア開発者が主な対象であり、ソフトウェアに必要となる機能とその仕様を定めた技術仕様書であ

る。平成 24 年 3 月の出来形管理要領等の改訂にあわせ、それに対応する技術仕様書を策定している。

本稿では、これら技術仕様書で定めた機能や情報項目を紹介すると共に、今後の考えられる展開について紹介する。

2. TS を用いた出来形管理の基準類の関係

TS を用いた出来形管理の作業の流れに対する要領類や仕様書類の関係を図-1 に示す。

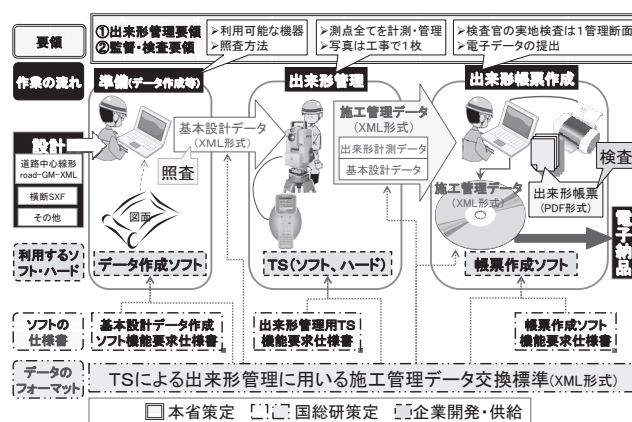


図-1 TS を用いた出来形管理と基準類の関係

本省が、主に施工者を対象に出来形管理の行い方のルールを示した「TS を用いた出来形管理要領」(以下、TS 管理要領) や、主に監督職員・検査職員を対象に

監督・検査の行い方のルールを示した「TS を用いた出来形管理の監督検査要領」（以下、TS 監督検査要領）を策定するのに対し、国総研では、ソフトウェア開発者を対象として、本省が策定する要領類に記載された内容を実現するため、ソフトウェアに必要となる機能とその仕様を定めた「出来形管理用トータルステーション機能要求仕様書」（以下、TS ソフト仕様書）と「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」（以下、サポートソフト仕様書）や、国交省に電子成果品として納品するよう、また、異なるメーカーの製品間でデータが交換できるように定めた「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、TS データ交換標準）を策定し公開¹⁾している。開発者は、国総研が策定した「TS ソフト仕様書、サポートソフト仕様書」（以下、TS 機能要求仕様書）及び「TS データ交換標準」に沿って、仕様に準拠したソフトウェアを開発・提供している。

TS を用いた出来形管理では、CAD 技術を利用して予め 3 次元設計データに付加情報が付属した「基本設計データ（XML ファイル）」を作成し、これを TS に搭載して効率的に出来形管理等を行い、出来形計測データが合わさった 3 次元データである「施工管理データ（XML ファイル）」を得て、帳票作成ソフトで出来形管理帳票を半自動的に作成する流れで行われる。

3. データ交換標準

TS データ交換標準に準拠した施工管理データの土工のイメージを図 2 に示す。平面線形と縦断線形から成る中心線形と、横断形状を組み合わせたスケルトンと呼ばれるモデルである。出来形管理は、土工であれば 20 m ピッチの測点毎の横断面で行われることから、面的な TIN モデルでなくて事足りる。また、

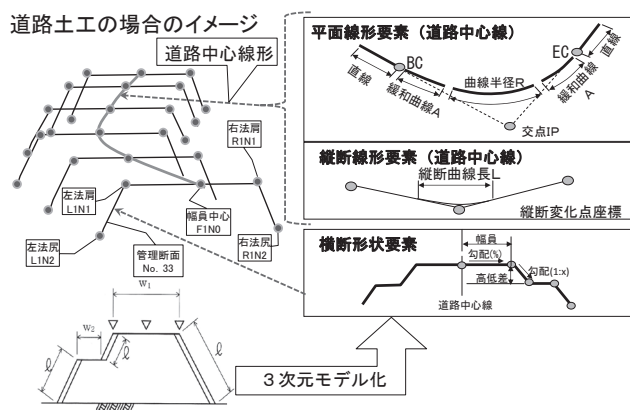


図 2 土工の施工管理データのイメージ

TS データ交換標準 Ver.4.0 の主要要素

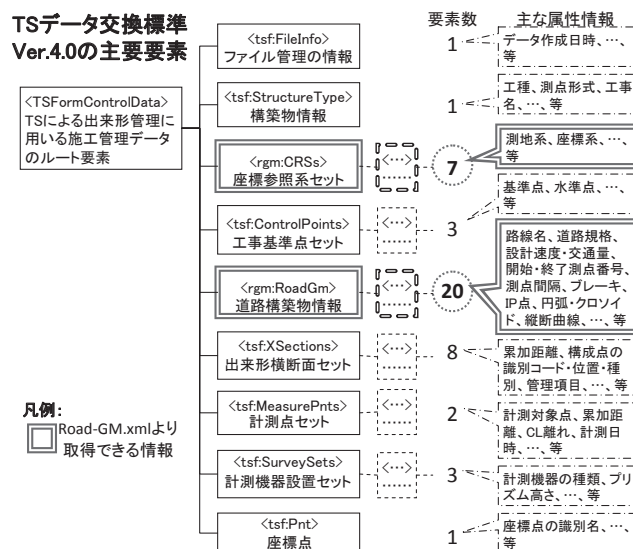


図 3 TS データ交換標準の情報

目的上、自ずと出来形管理基準の模式図と似通ったものとなっている。3 次元形状に目が行きがちであるが、データ交換標準の重要な点は、3 次元座標値と共に付加情報（属性情報）を持つことである（図 3）。そのことで、プログラムが 3 次元座標値を設計値か計測値か区別でき、また、どの地点の点かを認識できるため、現場で計測すると同時に幅員や法長が算出され設計値と計測値を比較表示したり、出来形管理帳票を半自動的に作成することが可能となる。

TS データ交換標準は、平成 20 年 3 月に土工を対象に Ver.2.0 を策定し、舗装をはじめ多くの工種に対応できるよう、Ver.4.0 を平成 23 年 9 月に策定（平成 24 年 3 月に一部修正）した。Ver.4.0 では、工種拡大に向け管理項目の追加など²⁾を行ったが、時刻が自動記録されることから、将来、3 次元座標軸に時間軸を加えた 4 次元でのデータ解析や維持管理での利活用が考えられる。

4. 機能要求仕様書

TS 機能要求仕様書は、TS 管理要領に記載された内容を実現するため、ソフトウェアに必要となる最低限の機能とその仕様を定めたものである。各社が販売するソフトウェアには、各開発者の創意工夫で、より有益な機能が追加搭載されている。TS ソフト仕様書は現場計測に利用するソフトウェアを対象とし、サポートソフト仕様書は事務所内で基本設計データや出来形帳票の作成に利用するソフトウェアを対象としたものである。サポートソフト仕様書は、「基本設計データ作成」に関わる部分と「出来形帳票作成」に関わる部分に分かれている。

TS 機能要求仕様書に規定した機能項目は表—1 の通りであり、1つの機能項目に対し複数の具体機能を有するものもある。TS を用いた出来形管理では、施工者の施工管理及び発注者の監督・検査に利用するため、ICT 技術を利用することで、大きく分類して「作業性向上（判断支援を含む）」と「信頼性向上」に資する数多くの機能を搭載している。以下に、それぞれに関する機能の中から特徴的なものを取り上げ紹介する。なお、1つの機能項目中の具体機能が異なる性質を有する場合は分けて両方に記載し、1つの具体機能が両性質を持つものは便宜的に一方で記載した。

表—1 機能要求仕様書で規定する機能

仕様書	機能項目	土工編	舗装工事編
TS ソフト	1 施工管理データの読込機能	○	○
	2 TS の器械位置算出機能	○	○
	3 線形データの切替え選択機能	○	○
	4 基本設計データの確認機能	○	○
	5 TS との通信設定確認機能	○	○
	6 工事測量機能	×	△
	7 任意点での出来形管理機能	○	○
	8 管理断面での出来形管理機能	○	○
	9 延長の管理機能	△	○
	10 計測距離制限機能	○	○
	11 出来形計測データの登録機能	○	○
	12 出来形計測データの取得漏れ確認機能	○	○
	13 監督・検査現場立会い確認機能	○	○
	14 施工管理データの書出し機能	○	○
サポートソフト (データ作成)	1 基本情報作成機能	○	○
	2 道路中心線定義読み込み・作成機能	○	○
	3 管理断面設定機能	○	○
	4 横断形状定義作成機能	○	○
	5 出来形管理箇所の設定機能	○	○
	6 交換データの入出力機能	○	○
	7 横断図作成機能	△	△
サポートソフト (帳票作成)	1 施工管理データの読込み機能	○	○
	2 計測点データの管理機能	○	○
	3 基本帳票作成機能	○	○
	4 横断図作成機能	△	△

【凡例】○：必須機能，△：効果を高めるためのオプション機能，
×：無し

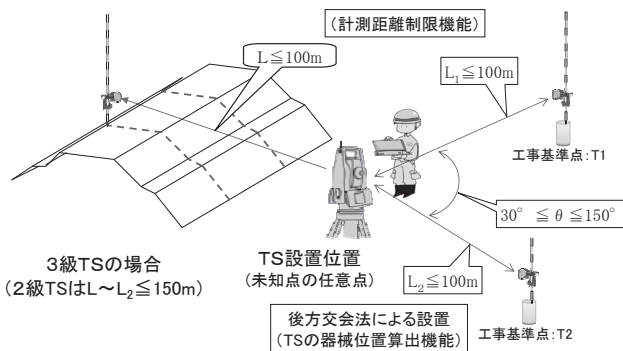
(1) 作業性向上（判断支援を含む）に資する機能

(a) TS ソフト仕様書

① TS の器械位置算出機能

TS は、レーザー光を利用し距離と角度から計測点

の座標を求める原理のため、計測時に TS 設置点の座標が分かっている必要があり、そのため、通常は座標の既知点上に TS を設置する。効率的な計測を行うために、TS を任意の未知点に設置した場合であっても、複数の工事基準点を観測することで TS の設置位置を求めることが可能な後方交会法による TS 設置機能（図—4）を規定した。



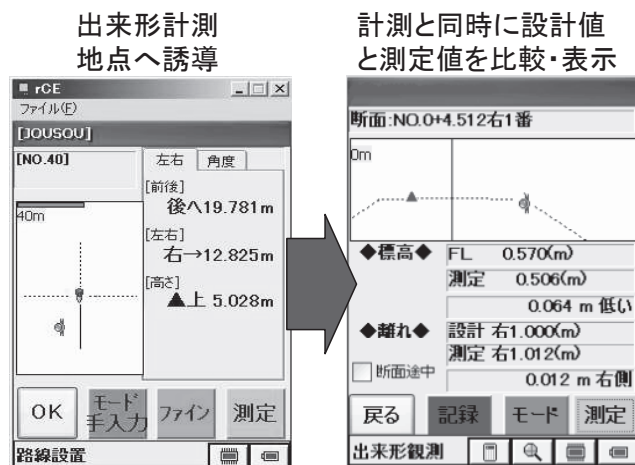
図—4 後方交会法による TS 設置

② TS との通信設定確認機能

ICT を利用する TS を用いた出来形管理では、アナログ技術のレベル・巻き尺など従来手法にはなかったトラブル発生の可能性があり、かつ、発生時には ICT への不慣れもあり、原因究明に時間を要し作業が長時間止まることが懸念される。そこで、操作端末が本体と分離したタイプでデータが正しく通信され指示に対し正しく応答しているか確認できる機能や、計測開始前に TS 本体の計測条件設定が正しいか画面表示で確認できる機能を規定した。

③管理断面での出来形管理機能

基本設計データの計測したい箇所を指定することで、プリズムの現在位置と指定位置の離れ距離を表示しプリズムを誘導し、TS により出来形計測すると同時に、計測した3次元座標と属性情報より、出来形管

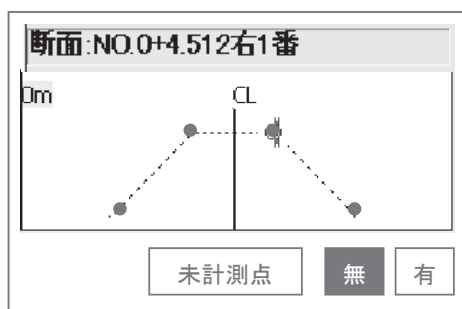


図—5 管理断面での出来形管理機能

理の測定項目（法長，幅員，基準高等）を算出し，その場で設計値と比較する機能を規定（図—5）した。

④出来形計測データの取得漏れ確認機能

計測漏れによる手戻り作業の発生防止のため，基本設計データ上で設定した計測箇所を基に，出来形計測後に出来形管理箇所の未計測点の有無を確認する機能（図—6）を規定した。



図—6 取得漏れ確認機能

(b) サポートソフト仕様書（基本設計データ作成）

①道路中心線定義読み込み・作成機能

道路中心線形は，平面線形と縦断線形を入力して作成できると共に，設計で作成される「道路中心線形データ交換標準 基本道路中心線形編 Ver.1.0」（以下，道路中心データ交換標準）に準拠した道路中心線形データ（Road-GM.xml）を読み込むことができる機能を規定した。

TS データ交換標準を構成する情報項目の半分は，道路中心データ交換標準に規定され，Road-GM.xml で読み込める内容である（図—3）。データ作成の作業時間としては，数多くの横断図より横断データを作成する時間が長く，中心線形データの作成が全体で占める割合は大きくはない。しかし，TS を用いた出来形管理の普及を図るためには，作業の効率化と共に，初心者が導入しやすい「容易化」という観点も重要である。横断データの作成は，時間はかかっても同じ作業の繰り返しであり，入力すべき情報項目の約半分が自動作成されれば，大幅な容易化につながる。

道路予備設計 B で作成される道路中心線形は，以降の場面ではほぼ変わらないことから，電子データとして流通し後工程で利活用できると考えられ，Road-GM.xml が策定された。予備設計に用いる CAD ソフトには Road-GM.xml を出力する機能を持つものが多くあるが，策定当時は，利用場面が明確でなかったため，現在，ほとんど予備設計で Road-GM.xml の納品を求めている。今後，納品を徹底することで，TS を用いた出来形管理の基本設計データ作成で効果をあ

げることが期待できる。

②横断形状定義作成機能

オプション機能ではあるが，測点毎の横断形状について，地山との交点位置を設定する際に，土工定規的な設計の横断形状を作成しておき，断面毎に地山交点を追加するため，地形情報として測量で普及している横断地形情報（SIMA）データを読み込み，自動的に横断形状と地山交点を算出・設定する機能を規定した。また，入力された地形情報を TS データ交換標準に規定する「地形構築形状」の項目に準拠して施工管理データとして出力できることも規定した。

(c) サポートソフト仕様書（出来形帳票作成）

①基本帳票作成機能

出来形帳票を半自動作成するため，出来形管理の管理項目とその算出方法，また，監督職員・検査職員が立ち会った際のデータを，属性情報より自動的に見分け，朱書きなど分かり易く識別表示する機能を規定した。

(2) 信頼性確保に資する機能

(a) TS ソフト仕様書

① TS の器械位置算出機能

計測精度を確保する観点から，TS と利用する既知点の夾角が 30 ～ 150° 以内（図—4）を外れる場合は警告を表示し，出来形計測データとして登録できない機能を規定した。

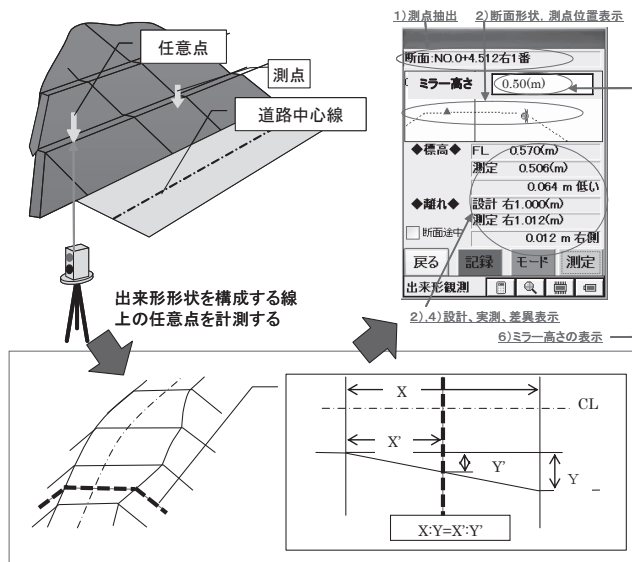
②任意点での出来形管理機能

従来の管理手法では，例えば，高さの設計値は管理断面しか分からないため，現場立会時に任意点の出来形の確認を行いたい場合，まず，平面位置を測量して求め，前後断面の設計値より任意点の設計値を算出する必要がある，自主管理で急に確認を行いたい場合であっても時間を要し，監督・検査では確認できなかった。

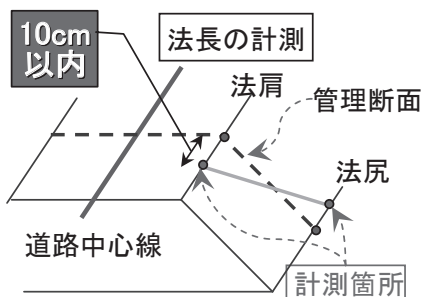
そこで，TS を用いた出来形管理では，データ作成していない任意の断面であっても，計測者が法肩・法尻などで出来形計測を行った場合に，TS に搭載している基本設計データの前後の管理断面の 3 次元座標値より比例配分計算して中間点の設計座標値を自動算出し，設計値と計測値の差を示す機能（図—7）を規定した。

③管理断面での出来形管理機能

丁張り無しで計測を行う場合，誘導機能で計測点に寸分違わず誘導するのは作業性の観点から非効率である。とは言え，例えば，法長計測時に 2 点が計測断面から逆側にずれて斜交する形になると，計測値は長くなり適正な管理が行えない（図—8）。そこで，計測



図一七 任意点での出来形管理機能



図一八 管理断面の計測可能な範囲

精度を確保する観点から、管理断面に対して直角方向に±10cm以上離れた場合、出来形計測データとして記録できない機能を規定した。

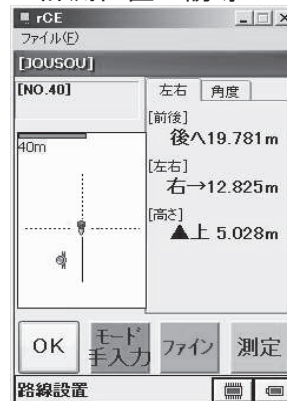
④計測距離制限機能

TSは計測距離に比例し計測誤差が大きくなる。出来形管理基準において土工の規格値は高さが±5cm以内であり、施工者や監督・検査職員のヒアリング結果等より計測誤差の許容範囲は±1cm以内と設定され、その精度が確保できる計測距離はフィールド実験の結果より、3級TSは100m、2級TSは150mであった(図一四)。そのため、計測精度を確保する観点から、TS設置時や出来形計測時に、TSから計測対象までの計測距離を制限する機能を規定した。

⑤監督・検査現場立会い確認機能

通常のTSによる計測では、従来のレベルや巻尺による計測と異なり、現地において目視で簡単に実測値が把握できない。そのため、監督職員や検査職員が、現地で迅速に、出来形帳票に利用した計測データを利用し再計測し確認できるよう、TS端末の画面上で計測済みの計測点を選択することで、丁張りや目串等の目標がなくても計測点へ誘導し、再計測して確認が行

施工者の出来形計測位置へ誘導



発注者が計測位置で再計測して確認



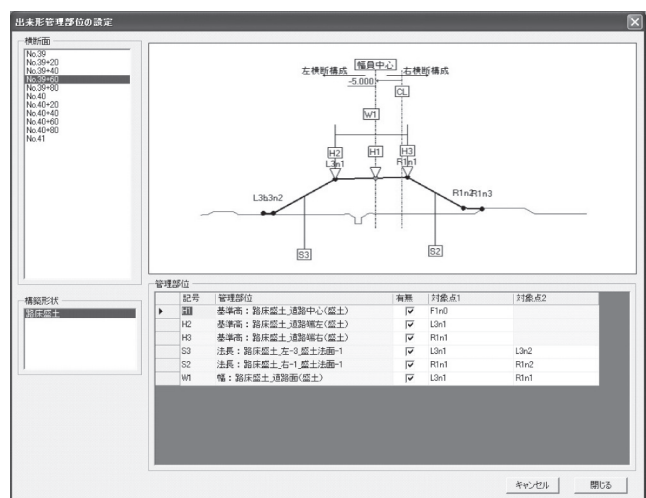
図一九 監督・検査現場立会い確認機能

える機能を規定(図一九)した。

(b) サポートソフト仕様書(基本設計データ作成)

①出来形管理箇所の設定機能

単なるTSの計測値は点の3次元座標情報(x, y, z)であるが、出来形管理では、「幅員、法長」といった管理項目は1点の3次元座標情報では求まらない。そのため、例えば、法長であれば2点間の斜距離を、幅員であれば2点間の水平距離を、計測した3次元座標から算出する必要がある。そこで、基本設計データでは、各計測点の3次元座標情報に加え、その点の出来形管理における役割の属性情報を設定する機能を規定した(図一十)。この属性情報により、プログラムが計測点の意味を理解し、例えば、2点が計測されると同時に幅員や法長といった管理項目の数値が自動算出され端末に表示され、また、従来手法で懸念されるデータの転記ミスなどなく帳票が半自動的に作成できる。



図一十 出来形管理項目の設定画面例

(c) サポートソフト仕様書（出来形帳票作成）

①施工管理データの読み込み機能

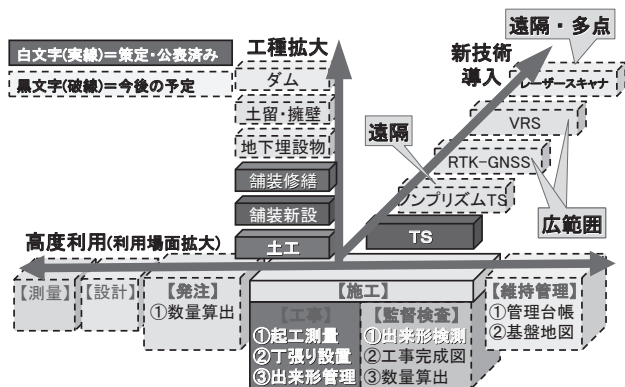
信頼性確保のため、読み込んだ施工管理データは、計測データの座標値を編集できないことを規定した。なお、計測点の座標値自体は編集できないこととしているが、基本設計データを作成する際、属性情報（例えば、左の法肩といった出来形計測データの位置を示す情報）を間違える場合が想定され、その変更は信頼性を損なうものではないため、「計測点データの管理機能」において、それらを編集できる機能を規定した。

②基本帳票作成機能

狹隘部といった TS での計測が困難な箇所では、スケール等で計測することとなるため、出来形帳票を TS を用いた出来形管理と他の手法で分けて作らなくてもよいように、他の手法で取得した計測結果を入力し加える機能を有してもよいことを規定した。ただし、TS の計測と明確に区分けされるよう記載し、各資料に凡例を設けておくことを規定した。

3. 今後の考えられる展開

TS を用いた出来形管理の普及展開の大まかな方向性を図—11 に示す。

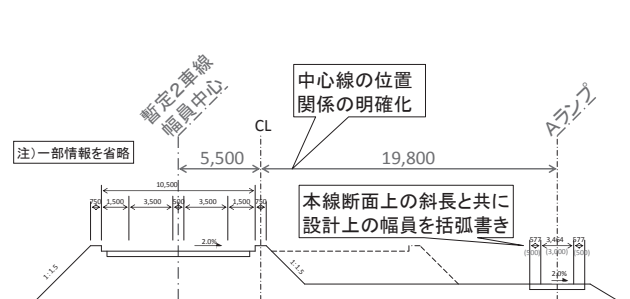


図—11 検討の方向

高度利用の大きな柱の1つとして、電子データの2次元利用による業務の効率化が考えられる。TSを用いた出来形管理の検査では、3次元電子データを持っているにもかかわらず、結局、従来のレベル・巻き尺と同様に、紙の検査と同じ帳票で確認することになっており、3次元データを活かし切れていない。帳票作成ソフトウェアの製品には、異常値があれば赤表示する機能を有したものがある。既に、プログラム上では自動判定を行っているにもかかわらず、わざわざ帳票形式に出力して人の目で確認している。合理的に考えれば、帳票1枚で異常の有無と、異常がある場合は箇所

と設計値と計測値を表示するだけでよく、監督職員や検査職員は、必要な箇所全てが管理されているか、見栄えとして違和感がないかといった人でないと判断が難しい内容の確認や、現場で施工管理データを利用した逆打ち確認をしっかりと行うこと等に集中すべきで、そのためには、紙(PDF)でなく電子納品された施工管理データ(XMLファイル)を利用した電子検査の実現が今後の検討課題である。なお、必要な箇所の管理の有無の確認は、工事着手前の施工計画書段階に数量総括表の情報を基にした当該工事に必要な管理メニューと計測点数の一覧が自動提示され、受発注者間で図面を基に現場状況に応じた計測箇所となるよう調整し、それを検査時に確認することが1つの形として考えられる。

また、設計から施工へのデータ流通・利用では、設計に大きな負担を追加しても施工や後工程でそれ以上の効果が見えるサービスがすぐに構築できないため、現在、設計コンサルタントへ大きな負担を求めずに効果が見込める、Road-GM.xmlの納品や、CADデータ(SXF)の実寸記載・位置関係の明確化(図—12)の導入に向け取り組んでいる。今回は、早期に実現可能な内容に絞って進めているところであるが、設計データの二次利用を意識した、より効果的(かつ現実的)なルールの改定などが次の検討として考えられる。



図—12 CADデータの改善案

新技術導入の大きな柱の1つとして、図—11に示す新たな3次元測量機器の導入が考えられる。便利な機器ではあるが、現時点では非常に高価な機器であるため、広く現場で普及するには、価格低下あるいは用途(工種や利用場面など)拡大の進展が望まれる。また、例えば、ノンプリズム方式TSやレーザーリザンズは遠隔地から非接触で計測できるが、従来の20mピッチ側点での断面管理には計測精度が不足することから、面的管理といった従来と異なる運用方法を導入する必要がある、そのために、規格値(計測機器の許容誤差、計測値の許容誤差)や評価方法といった新たな基準策定が必要になると考えられる。

4. おわりに

TSを用いた出来形管理は、ICTを利用し「作業性向上（判断支援を含む）」と「信頼性向上」に資するものとなっているが、あくまで従来のレベル・巻き尺などを対象とした「出来形管理基準及び規格値」を念頭に置いている。例えば、土工の法面の場合、設計段階は「勾配」が主たる必要な性能であるが、施工段階で管理するのは「法長」である。従来手法（レベル・巻き尺など）の場合、勾配でなく法長の方が直接的に管理や確認でき、作業性が良く（監督・検査時も素早く確認できる）、法長を管理することで間接的に勾配が管理できるため適切な施工・管理を行っている限り問題も発生しないことから、法長管理の方が適していると思われる。ただし、法長が5m以上の場合の規格値は「法長－2%以上（掘削工）」や「法長－4%以上（盛土工）」であるが、現地擦り付けがあるため各測点毎に法長が異なり、法面毎に計算で算出した規格値で確認する必要がある。

TSの場合、2点の3次元座標から算出するため、プログラムに機能を持たせれば勾配も法長と同様に算出でき、しかも、位置が少し曖昧な法肩や法尻から少し法面側にずらして計測することで、正確な法勾配の計測が行える。設計思想の観点からも、TSでは勾配を管理の方がよいように思える。ただ、詳細設計の図面では、擦り付け等の関係から法勾配は端数を持つ場合があるが、丸めて表示することが多いため、3次元的位置（3次元座標）で管理の方がよいかもしれない。

また、出来形管理では、断面の長さとしさを計測するが、これでは断面が計画された場所に施工されてい

るか平面位置が確認できていない。施工者は測量して位置出しをしており、また、用地的な制約や既存構造物との擦り付けもあることから、出来形の実地検査において3次元座標値を確認しないことで後で大きな問題になることは希ではあるが、TSの能力を活用して3次元座標値も管理の方が万全である。また、海外の出来形管理基準では、3次元的位置を確認するのが見受けられることから、施工者や本TSソフトの海外展開という視点からも良いように思える。

TSを用いた出来形管理は普及してきたとは言え、新しい技術のため発展途上とも言え、普及する程に利用者や関係者からの要望も出てくると考えられる。今後、それらも踏まえICTの機能を十分に活かし効果を楽しめる機能やルール作りを行っていききたい。

J C M A

《参考文献》

- 1) トータルステーションを用いた出来形管理 情報提供サイト
<http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/ts/>
- 2) 「トータルステーションを用いた出来形管理の適用場面拡大に向けた取り組み」, 土木技術資料 53-12, 2012年12月

【筆者紹介】

梶田 洋規（かじた ひろき）

国土交通省

国土技術政策総合研究所 高度情報化研究センター

情報基盤研究室

主任研究官



北川 順（きたがわ じゅん）

国土交通省

国土技術政策総合研究所 高度情報化研究センター

情報基盤研究室

研究官



災害対応ロボットのあるべき姿

田 所 論

東日本大震災の災害対応や復旧にはさまざまなロボットが適用され、今後はロボット活用が世界的な趨勢となっていくと考えられている。本稿では、このような災害対応ロボットのニーズ、ロボットに求められる必要要件、今後の活用が期待されるさまざまなロボットとその現状、原子力プラント災害を例にとった災害対応ロボットシステムのあるべき姿などについて、技術的観点から考察を行う。

キーワード：レスキューロボット、災害対応、災害情報収集、復旧作業、原発事故

1. はじめに

東日本大震災では数多くのロボットが災害対応や復旧に適用された。これは歴史上初めてのケースだったと言っても過言ではないだろう。福島第一原発事故はもちろんのこと、海中や湖底の遺体捜索、構造物・港湾・産業施設等の被害調査、あるいは、被災者のメンタルケアなど、さまざまな用途に活用された。

政府中央防災会議は、南海トラフでマグニチュード9.0の巨大地震が発生した際の津波高・浸水域等のシミュレーションに基づき、表—1のような想定被害を発表した¹⁾。これによれば、最大で東日本大震災の17倍の死者・行方不明者、18倍の建物被害が発生するとされ、また、避難の迅速化により津波による死者は最大9割減少、耐震化の推進によって全壊建物棟数は6割減少するとされている。

東日本大震災では「想定外」という言葉がメディアを賑わせた。工学的設計のためには仕様を定める、すなわち想定を行うことが必要である。たとえば、かかる荷重がおおよそでも仕様として決められないと機械部品を設計することはできない。ところが、今回の震災が示したことは、想定を超えた途端に数々の問題が発生し、極限状態にまで至ってしまうという事実だった。これは構造物や施設設備の問題だけではな

く、災害対応行動全般における問題でもあった。たとえば、釜石市大槌湾では、想定されていた津波浸水地域から少し外れた地域において、避難遅れによる死者・行方不明者が数多く発生した。

発生頻度が極めて低いものの、発生時には甚大な被害が予測される災害に対して、どのようにして備えるべきか、は大変難しい問題である。少なくとも、経済的合理性によって判断することはできない。PSA（確率的安全性評価）のような手法²⁾は、頻度が比較的高い災害に対しては定量的判断材料を合理的に与えることができるが、事象の発生確率や大きさの予測精度が非常に低い場合には、有効とは考えられない。

被害発生を未然に防げない場合でも、事後対応によって被害拡大を防止し、迅速に復旧を行い、少なくとも極限状況に至らないための手段が必要である。災害復旧の土木工事や救急医療はその最たるものであるが、ロボットあるいはロボット技術は、そのような場合のための新たな手段である。

レスキューロボットの歴史は浅く、研究が活性化し始めたのは阪神淡路大震災が発生した1995年以降である。国内における本格的な研究開発は2002年に開始された大都市大震災軽減化特別プロジェクト³⁾が初めてであった。無人化施工が雲仙普賢岳の砂防工事を中心として実戦配備が進められてきたのに対して、

表—1 南海トラフ巨大地震による想定被害（最大のケース）¹⁾

	マグニチュード	浸水面積	浸水域内人口	死者・行方不明者	建物被害(全壊棟数)
東日本大震災	9.0	561 km ²	62 万人	18,800 人	130,400 棟
南海トラフ巨大地震	9.0	1,015 km ²	163 万人	323,000 人	2,366,000 棟
倍率		1.8 倍	2.6 倍	17 倍	18 倍

災害対応ロボットは研究開発が先行し、実用化・配備・適用が遅れている。

2. 災害とロボットのニーズ

(1) ロボットのニーズ

ロボットのような遠隔機器が必要とされるのは、主として次の3つのケースである。

- 1) 人間や従来型の機器では不可能。
- 2) 人間が行うには危険性が高い。
- 3) 作業品質・能力・コスト等の点で優れる。

災害対応作業を大別すると情報収集と復旧等の作業とに分かれる。作業を計画するためには現場状況の把握が必要であり、情報収集は大変重要であり、上記のようなケースにおけるロボットへの期待は大きい。一方で、作業については、既存の作業機械があるものの上記1), 2) の理由で遠隔作業が必要な場合にニーズが高い。これらを整理すると、下記ようになる。

○情報収集

内容：被害発生の覚知、被害の状況把握、復旧作業の計画手配、被害調査・情報収集、要救助者の発見、老朽化調査、他。

必要性：

- 1) 狭所、高所、水中等での作業を遠隔で安全に行う、他。
- 2) 汚染、火災爆発の危険、安全が確認できない場合に、作業を遠隔で行う、他。
- 3) 長期に亘る広域モニタリングを自動化してコストを下げる、位置情報と収集情報との統合精度

表—2 消防のロボットへの期待⁴⁾

災害と必要な機能	期待割合 (%)
CBRN 災害	
センサによる CBRN 物質の特定	80
安全な場所への被災者の搬送	61
CBRN 物質の除去	49
火災	
ビル内の消火	61
ビル内での搜索	51
輻射熱にかかわらず消火	49
地震災害	
瓦礫の上からの搜索	53
瓦礫の中での搜索	45
重量瓦礫の除去	43
水害	
要救助者の搜索	55
水の中からの救助	49

を上げる、他。

○復旧作業

内容：応急修繕作業、緊急医療、患者搬送、被害構造物撤去、運搬、修繕作業、新構造物搬入設置、治療、他。

必要性：

- 2) 危険場所での作業を遠隔化して安全性を向上する、他。

(2) ロボットが求められる災害

ロボットのニーズがある災害現場として、下記のような代表例を挙げることができる。

- ・火災
- ・原子力・化学プラント災害
- ・構造物の破壊、倒壊
- ・土砂崩れ、地滑り、雪崩、火砕流、噴火
- ・水害
- ・CBRN（化学・生物剤・放射能・核物質）汚染
- ・爆発
- ・各種事故
- ・テロ、有事
- ・被災地支援

全国主要都市消防へのアンケート調査によると、消防がロボットに対して期待する機能は表—2 のようであった⁴⁾。特に、CBRN 災害、火災、地震災害、水害に対するニーズが高く、その理由は2.(1)で述べた1), 2), すなわち、不可能な作業を可能にすることとリスクの低減にあることがわかる。

これとは別に、災害発生を未然に防ぐための対策も重要である。我が国ではインフラやプラント施設等の老朽化が進んでおり、小さなきっかけでも大きな被害に発展する可能性が高まっている。過去の震災でも耐震化補強は大きな効果を示し、被害発生が少ない⁵⁾。

3. ロボットに求められる要件

以上のようなタスクを行うロボットでは、少なくとも下記の性能を考慮する必要がある。

①運搬、設置時間、必要付加機材

集積地から現場に運搬し、設置するまでの容易性。セットアップに必要な時間が十分に短いこと。また、運搬車両やクレーンなどの補助機材を併用して作業を行う際の容易性など。

②移動・静止能力

現場で想定される条件（地形、環境、気象など）で、作業を行うために十分な移動能力と静止能力を持つこ

と。移動ロボット技術や制御技術が関連。

③センシング・認識能力

現場条件で十分な、目的の情報に関するセンシング能力を持つこと。また、操作者が作業を行う上で十分な現場状況の把握を可能にし、あるいは、自律的な作業を可能にするため、センサ情報を取得・解釈できること。センサ技術、計測技術、診断技術が関連。

④作業能力

現場条件で十分な、目的とする作業能力を持つこと。また、センシングや異常状態回避に必要な作業能力を持つこと。さまざまなロボット作業技術、マニピュレーション技術などが関連。

⑤通信能力

情報収集、作業遂行、遠隔操作等に十分な通信帯域、短い通信時間遅れ、移動や作業時の安定性、障害に対する復旧能力を確保すること。有線の場合、無理のないケーブルハンドリングができること。無線の場合、アンテナ設置や帯域管理が容易なこと。

⑥情報収集・整理・提示能力

活用しやすい情報としてセンサ情報を解釈・整理し、記録し、利用者に直感的に提示する能力を有すること。情報が不足する場合に追加情報を収集できること。GIS、3D、マルチモーダル、没入感、距離・位置関係把握など、さまざまな情報処理やバーチャルリアリティ技術が関連。

⑦遠隔操作、ヒューマンファクタ、必要な操作者数

長時間でも疲れずに遠隔操作し、高い作業効率と低い失敗確率で作業を遂行することができること。必要な操作者の人数が少ないこと。さまざまなヒューマンインタフェース技術が関連。

⑧自律機能、自動作業、部分作業の計画

部分的に自律機能によって作業を自動化することができること。また、それを合理的に計画できること。作業教示、学習、分散協調、などさまざまな知能ロボット技術が関連。

⑨稼働時間、耐久性、耐環境性、防爆、耐熱、耐水

作業に十分な耐久性や耐環境性能などの基本性能を有すること。

⑩メンテナンス、補給

メンテナンスや給油・充電が容易であること。

⑪規格化、性能評価法、標準化

技術規格や性能規格が定められ、標準化が進んでいること。

⑫コスト

経済的に導入・維持・運用ができること。

⑬人間や他の機器との役割分担、全体業務計画

人間や他の機器との役割分担を明確化し、全体の業務計画を容易に行えること。現場での、指揮所や操縦卓の配置など。

⑭現場への悪影響

ロボットの導入によって現場作業全体の遂行や、現場の環境条件などに悪影響を与えないこと。現場作業員からの不満が出ないこと。

⑮現場対応改造

現場で必要とされる機能に応じて、柔軟に改造を行い、緊急ニーズに応えられること。

⑯配備運用体制

配備運用体制が整備されていること。

4. 災害対応ロボットの種類と現状

(1) ロボットの種類と現状

災害にはさまざまな種類があり、それに適用可能と考えられるロボットの形態も多様である。

①地上移動ロボット (Unmanned Ground Vehicle; UGV)

車輪型のUGVは、通常車両が走行するような路面を対象として実用化されている。技術的には、遠隔操縦や通信が問題である。

クローラ型のUGVは、階段・瓦礫・荒れ地などの走行を目的として実用化され、PackBotなど、海外では主として軍事用に実績がある。現場では踏破性能や信頼性の限界が見られ、より頑丈、軽量で、運動性能の良いボディや履帯が必要である。

②脚型ロボット

4脚型のロボットは、傾斜地の作業を行うものや、不整地での運搬用として研究開発されてきた。歩行の安定性の問題などが解決されてきており、BigDogやTAITAN IVなど、性能面では実用化に近いものもある。

2脚型のロボットは、従来は災害環境を対象とした研究開発はあまり行われなかった。米国では最近PETMANなど不整地における運動性能を重視した研究開発が行われ、DARPA Robotics Challengeのようなプロジェクトも行われている。

③パワースーツ型ロボット (Exoskeleton)

災害対応としては重量物運搬などを目的としてXOS ExoskeletonやHALなどが研究開発され、技術的には実用に近づきつつある。

④飛行ロボット (Unmanned Aerial Vehicle; UAV)

全長数mの小型ヘリは実用化され、ヤマハRMAXなど火山災害などへの適用事例も多数ある。通信や安

全規制の課題がある。

全長数十 cm の超小型多ローター型ヘリは実用に近づきつつあり、屋内飛行の研究も行われている。強風・突風時の安定性、狭い構造をぬった飛行、ペイロード、飛行時間などの課題がある。

全長数十 cm の固定翼機が上空からの災害情報収集のために実用化されつつある。強風時の挙動や、飛行時間などの課題がある。

⑤小型潜水艇 (Remotely Operated Vehicle; ROV)、自律潜水艇 (Autonomous Underwater Vehicle; AUV)

ROV は国内でも配備が進んでおり、ソナーの性能向上とともに実用性の向上が著しい。水流の影響、ケーブルハンドリング、位置決め、水中の複雑な障害物をぬった遊泳などの課題がある。

AUV は水底に近づいて遊泳することが困難、水陸両用車はケーブルハンドリングの問題がある。

⑥壁登りロボット

平面の鋼構造に対しては技術的実用化段階にあるが、複雑な凹凸や障害物などの踏破能力は未だ不足している。コンクリート構造物等の磁力吸着が不可能なケースに対しては、平面以外では吸着力の安定した発生が困難である。

⑦狭所進入ロボット

ヘビ型ロボットは、蒼竜などが開発され、瓦礫などへの潜り込みが可能であるが、横転しやすく、狭所での旋回性能、瓦礫内での位置推定に課題がある。

ビデオスコープ型ロボットとしては、能動スコープカメラが開発され、瓦礫内で重力方向への探査が可能であるが、運動能力の不足、瓦礫内での位置推定などの課題がある。

⑧地中掘削ロボット

ボーリングマシンのようにマシンや立坑を反力として3次元方向に削孔する技術は実用化されているが、地盤を反力として掘削しながら地中を進むロボットは開発が進んでいない。地中での位置推定に課題がある。

(2) センサの種類と現状

ロボット搭載センサにはさまざまな種類がある。

①映像：カメラ、近赤外カメラ、サーモカメラ、放射線カメラ、照明、画像認識

カメラ、近赤外カメラ、サーモカメラは、センサの小型化、高解像度化、高感度化、広帯域化が進み、ロボットへの搭載が容易になってきている。放射線のガンマカメラは重量・サイズ・露光時間が課題である。

②距離：LIDAR、距離画像カメラ、超音波ソナー、レー

ダー、3D 認識

LIDAR (レーザレンジファインダー)、距離画像カメラ、超音波ソナーは精度、解像度、距離、小型化が進み、ロボットへの搭載が容易になっている。ミリ波レーダーは自動車用に実用化が進んでいる。マイクロ波レーダーは、壁の向こう側を撮影する軍事用超広帯域レーダーや、瓦礫に埋もれた人の呼吸や心臓鼓動を検知するものが開発されている。3次元認識は自律車両制御のために研究され、実用化に近づいている。

③音声：マイク、振動計、音響認識

音声認識、音像定位、音声分離などは一般生活環境では実用化が進んでいるが、騒音環境や、瓦礫内などで伝搬特性の特定が困難な環境では研究途上である。

④触覚：接触、力、近接、テクスチャー、柔軟性

複雑な手触りやすべりなどのセンシングが可能になってきている。

⑤環境：ガス、放射線、塵埃、薬品

小型半導体センサが一般的となり、ロボットへの搭載が容易である。物質が限定できない場合には、質量分析計が必要である。

⑥非破壊検査機器

産業用途の機器が実用化されているが、センサプローブを対象物に密着させるなどの必要がある。

5. 福島第一原発事故対応に必要なロボット⁶⁾

原子力プラント事故対応ロボットにおいても、情報収集を主たる目的とするものと、工事や除染などの実作業を主とするものに大別される。ロボット導入の目的は、ロボットにより作業を代替し、作業員の被曝や危険性を最小限に抑えることにある。

ロボットは1台で多様な作業を行うことはできないため、移動・作業プラットフォームを共通化してセンサやツールなどを交換する方式により、さまざまな作業ニーズや予期しない事故に備える必要がある。

施設内には、状況把握や計測が困難な場所(高所、上階、地下、水中など)が多数ある。情報収集のためには、対象箇所までセンサ(カメラ、線量計等)やサンプリング装置(マニピュレータなど)を移動させて計測することにより、状況を把握し作業計画に反映させる必要がある。

実作業としては、除染や遮蔽板の設置によって作業員の被曝を軽減すること、重量物運搬などを支援して作業負担を軽減すること、配管工事等の危険作業を代替すること、が重要である。

(1) 調査・モニタリングロボット (図-1)

①移動プラットフォーム

原子力プラント内のすみずみまで調査・モニタリング・軽作業を行えるよう、共通で使用可能な高い移動能力を持つプラットフォームが必要である。

具体的には、45度の階段、段差、障害物などがあってもプラント建屋上階や地階などすみずみまで移動可能な地上移動プラットフォーム、障害物や錆などがあっても高さ5mのコンクリートや鉄などの壁面を移動できる壁移動プラットフォーム、配管や障害物があっても建屋内外高所に安全に移動可能な空中移動プラットフォーム、狹隘・屈曲などの条件にかかわらず配管の内外を移動できる配管用プラットフォーム、配管や障害物にかかわらず原子炉建屋地下階などの水中を移動できるプラットフォーム、が必要である。

これらのプラットフォームは、現場で必要とされるさまざまな環境条件（温度、高線量率、高湿度など）で動作する必要がある、狹隘部での移動や旋回、軽量・コンパクト、迅速性などの性能を備えていないといけない。バッテリーは4時間程度の連続作業を可能とすることが望ましく、搬入後すぐに作業を開始できる必要がある。防塵・防水が必要であり、防爆が望ましく、

除染が容易でなければならない。

②調査・モニタリング・軽作業の機能

原子力プラントにおいては、種々の要求がある。調査や異常点検としては、作業環境条件、ガス漏洩、臭い、水漏れ、液体、火災、火花、爆発、亀裂、隙間、減肉、穴、塗料剥げ、錆、構造損傷、緩み、脱落などを調べる必要がある。作業のモニタリングとしては、安全確認、作業環境監視、進捗監視、精度チェック、路面状況確認、音声対話支援、緊急事態支援、要救助者支援などを行う必要がある。

そのためには、映像（静止画・動画）、音、3次元形状、線量率、γ線源、温度画像、ガス濃度、温度・湿度などのセンシングの機能が必要である。また、液体、ガス、ダスト、粉体、固体、スミヤ式採取、土壌、植物などをサンプリングできる機能も必要である。また、軽作業（センサの移動、サンプリング、センサの設置、軽ドア・フタ開閉、軽量物運搬、軽溶接など）を行う機能が必要である。

調査・モニタリング・点検の結果を集約し、プラント内のどこで何が起きているかを「見える化」する必要がある。そのためには、各種センサに加えて、センサからの情報を図面上に記録する機能、収集情報をリ

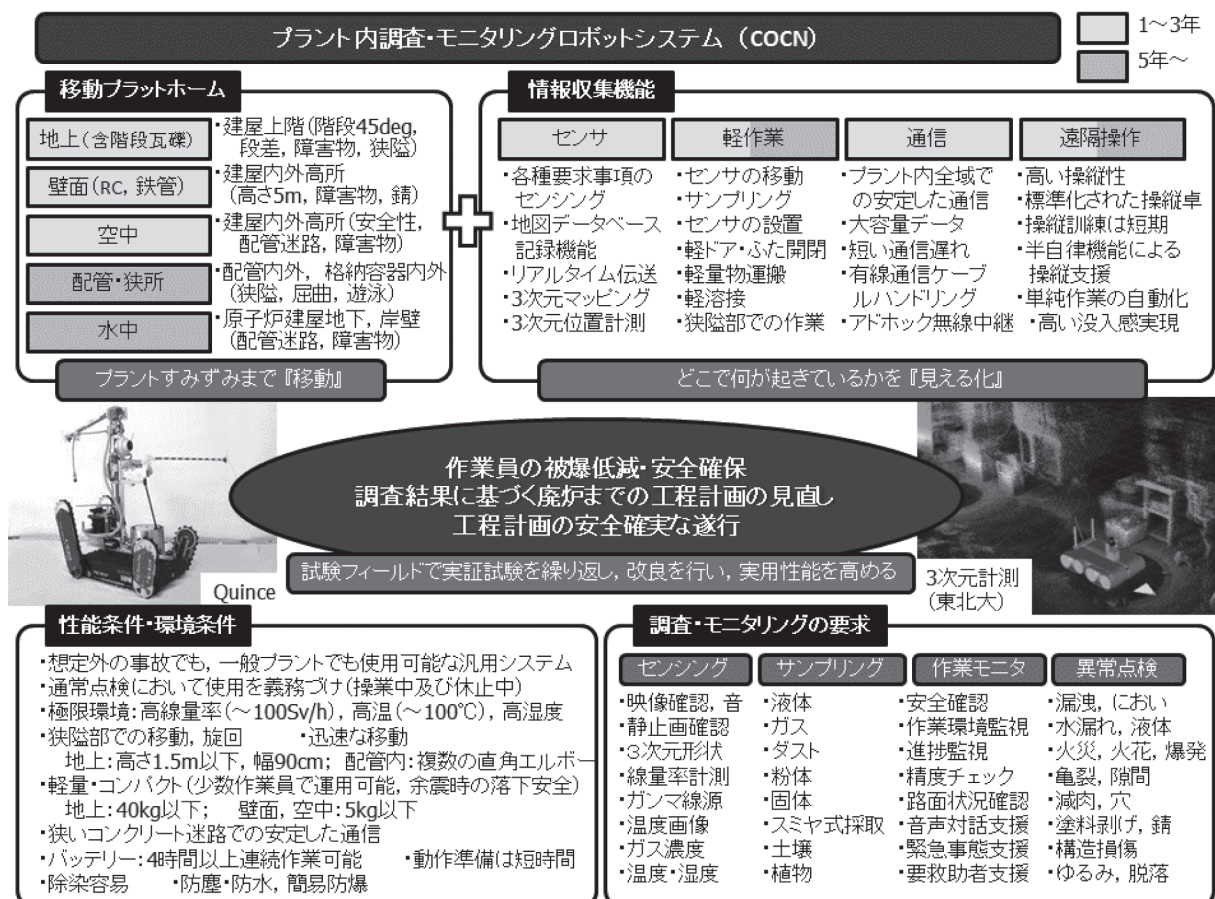


図-1 原子力プラント内調査・モニタリングロボットシステム

アルタイム伝送する機能, 3次元マッピングする機能, 3次元位置計測する機能が必要である。

通信がプラント内全域で安定して行えることが必要であり, 大容量データの伝送や通信遅れが短い必要がある。無線の場合には電波遮蔽体が至るところにあって通信できるためのアドホック中継機能が, 有線の場合には通信ケーブルが絡まないためのハンドリングが必要である。

遠隔操作は, 操作者にとって容易に高い操縦性を発揮できることが望まれ, 標準化された操縦卓に加えて, 短期で操縦訓練が完了できること, 半自律機能などによって操縦が支援されること, 単純作業が自動化されること, 操作者が高い没入感を持てることが望まれる。

③試験フィールドでの実証試験, 改良による実用性能の向上

システムを標準試験フィールドで繰り返し試験を行って改良すると共に, 操縦者の訓練を行い, 現場で必要な作業を実用的なレベルで行えるようにする必要がある。平時から使われるような体制作りが望ましい。こうしたフィールドを活用して, RoboCup や米国の DARPA Robotics Challenge のような手法により, 研究開発の進捗を見える化し, 競争的な環境の醸成に

よって技術革新を促進することも重要である。

(2) 作業のためのロボット (図—2)

①汎用重作業移動プラットフォーム

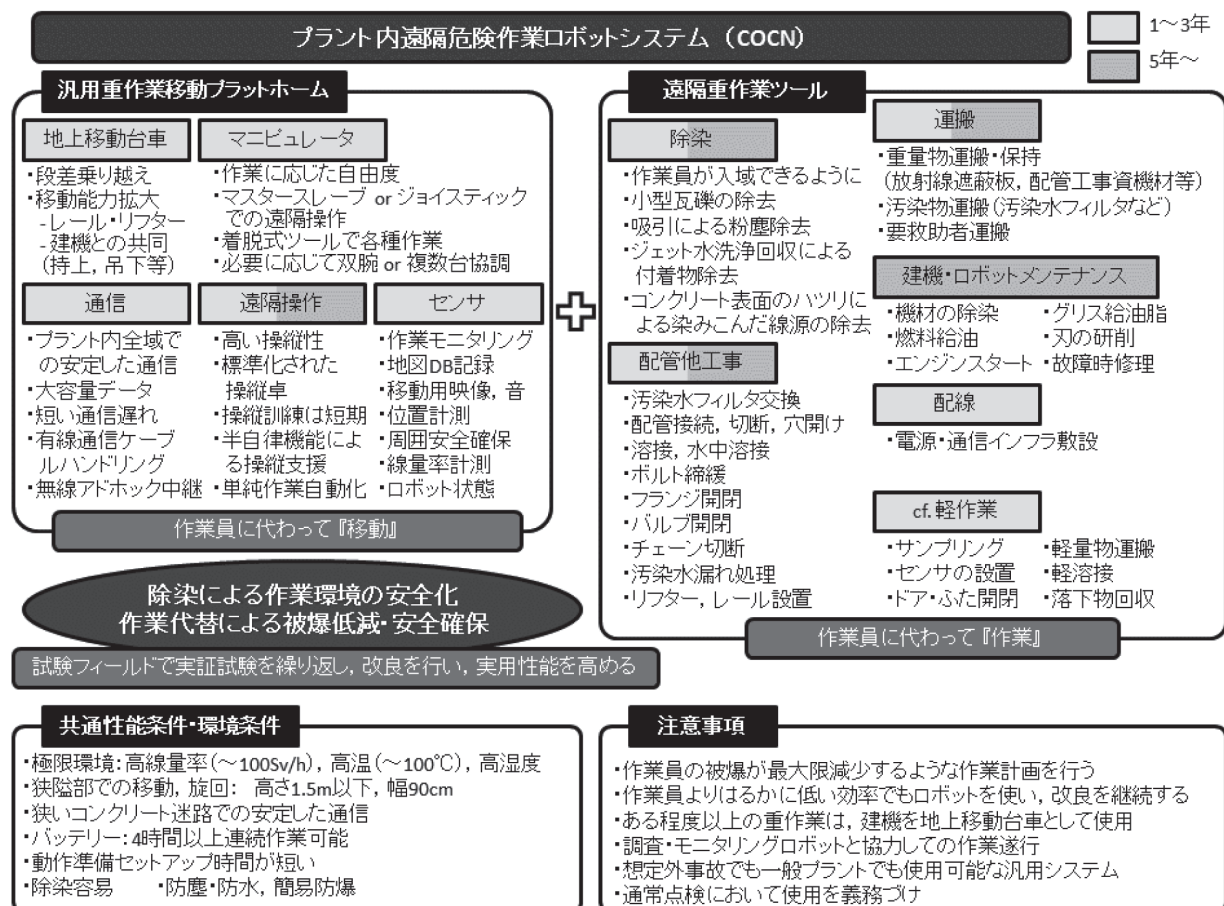
作業員に代わって作業ツールを移動させるための移動プラットフォームが必要である。これは 5. (1) のプラットフォームと比べて, 重量物 (数十 kg 以上) の取り扱いが必要な点が異なっており, そのため比較的大型でありながら狭隘部での移動旋回が可能な地上移動ロボットの形態となる。

移動台車は, 段差乗り越え機能が必要不可欠であるが, 必要に応じて移動能力を拡大するためのレール・リフター・建機などを併用する必要もある。マニピュレータは作業に応じた自由度, ツールの着脱可能, マスタースレーブやジョイスティックによる遠隔操作が必要である。作業によっては, 双腕や複数台の協調作業が有効である。

移動プラットフォームに備えられる通信, 遠隔操作, センサに関する必要要件は 4. (1) と共通である。

②遠隔重作業ツール

遠隔作業には, それぞれの作業に応じて取り替えられる作業ツールが必要である。



図—2 原子力プラント内遠隔危険作業ロボットシステム

原子力プラントでは、作業員が入域して安全に作業ができるようにするために、放射性物質の除染のニーズが最も高い。除染のためには、小型瓦礫の除去（大型瓦礫は建機で除去）、吸引による粉塵除去、ジェット水洗浄回収による付着物除去、コンクリート表面のハツリ（機械的手段、レーザーなど）による染み込んだ線源の除去、などの方法があり、現場状況に応じて選択できなければならない。

建屋内への重量物（放射線遮蔽板、配管工事資機材等）の運搬支援は重要である。また、被曝量を低減するために、汚染物運搬も重要な作業である。

配管等の工事は危険を伴うため、ロボットによる支援が求められている。具体的には、汚染水フィルタ交換、配管接続・切断・穴開け、溶接、ボルト締緩、フランジ開閉、バルブ開閉、チェーン切断、汚染水漏れ処理、リフター・レール等設置、などが必要であり、ツール交換による対応の必要がある。

建機やロボットのメンテナンスは被曝を伴うため、ロボット化のニーズがある。具体的には、機材の除染、給油、刃の研削、グリス給油脂、エンジンスタート、故障修理などである。また、配線作業（電源、通信インフラ敷設）のニーズもある。

(3) システム統合化・標準化・試験評価とキーとなる基盤技術の開発（図一3）

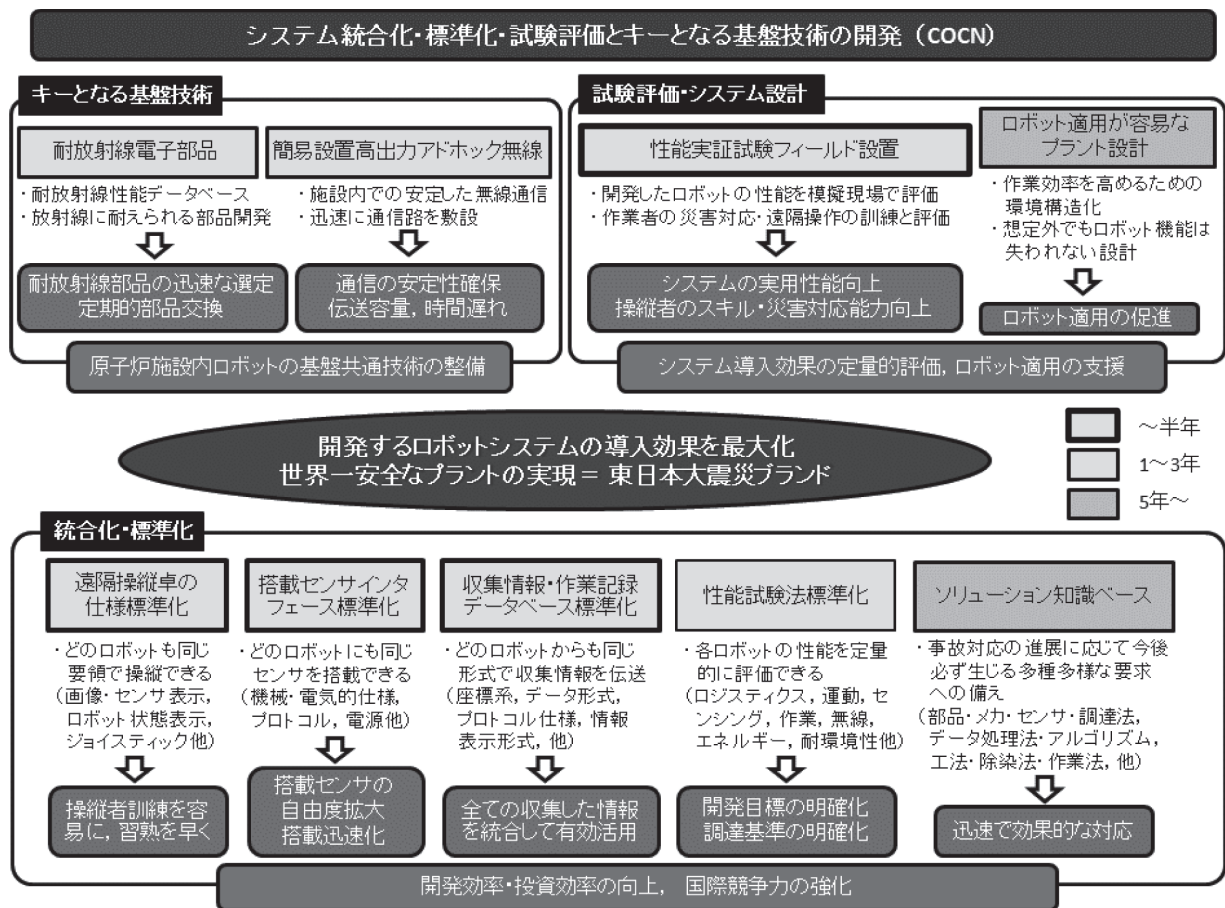
①性能試験評価法の確立と、性能試験評価フィールドの設置

ユーザ側での作業判断や機材選択を容易にし、開発側での目標・要求仕様・問題点を明確化するとともに、操作者の訓練基準を定めるために、各ロボットの現場適用性能や使用条件を定量的に評価できることが必要である。これにより、防災ロボットの実用化を促進し、現場配備・作業使用に至る障壁が下がる。

この目的のために、ロジスティクス、運動、センシング、作業、無線、エネルギー、耐環境性、耐久性、などに関する試験評価方法を標準化することが重要である。また、この基準に則って、性能試験評価フィールドを設置することが必要である。設置場所の選定には、被曝なく試験できること、専門家アドバイザ確保の容易性、運用コストなどを考慮し、実質的な成果を上げられるようにしなければならない。

②キーとなる基盤技術の開発と検討

簡易的に設置できる高出力のアドホック無線は、さまざまな防災ロボットに共通の課題であり、基盤技術として整備すること、専用の周波数帯域を確保するこ



図一3 原子力プラント用緊急対応ロボットのシステム統合化・標準化・試験評価・基盤技術開発

とによって配備と開発の両面から実用性の高い機材としていくことが必要である。原子力対応ロボットのコストを抑制するためには、専用品と比べて安価に入手可能な部品の耐放射線性能に関するデータベースの作成が不可欠である。

③遠隔操縦卓の仕様、搭載センサインタフェース、収集情報・作業記録データベースの標準化

投資効率を高め、世界的競争力を確保するために、オープンアーキテクチャ標準化が必要である。マーケットが小さい場合には、複数社が個別に開発を競う形態は効率的でない。国内外の企業が連合して世界標準を作ることによって、開発効率を高め、マーケットの整備を図ることが可能であり、それにより、災害対応・汎用保全ロボットの実用化と普及を促進できる。

6. 事例：Quince の場合⁷⁾

Quince は CBRNE 災害に対応することを目的として NEDO 戦略先端ロボット要素技術開発プロジェクトで開発された。その技術基盤は大都市大震災軽減化特別プロジェクトで培われた。爆発や倒壊による瓦礫環境を想定して開発したため、福島第一原発事故の現場で活用されることとなり、他のロボットでは不可能な 2 階以上の線量や画像等の情報収集を行い、冷温停止状態の実現や廃炉に向けた取り組みに貢献してきた。

同プロジェクトの開始にあたっては、次のようなブラッシングがなされた。

- 1) 想定シナリオを明確に設定。
- 2) 実証評価による複数開発者間の協調的競争導入。
- 3) 開発者が自社で取り組みたい内容をテーマに。

ここで取り上げた技術課題は、3. で述べたものと共通しており、以下のように取り組んだ。

(1) 運動性能

クローラ機構の前後に独立した 4 本のサブクローラ（フリッパ）を持つ変形クローラ構成を採用した。RoboCupRescue 競技会などの経験に基づき、ボディ下に物体が挟まってクローラによる運動制御が不可能にならないようにボディ全面を覆うようなクローラ構成とし、サブクローラが狭いギャップに挟まって抜けなくなってしまうように形状の工夫を行った。また、実用化版の Quince では、防水・防塵・耐落下性能を確保するため、駆動系の緩衝機構やシールなどを設け、石・砂・泥・雪・がれきなどが詰まらないように機械設計の工夫を行った。70 度の階段の昇降、30 度の階段途

中での U ターンを可能にするため、低重心設計を行った。

これらの性能を改良し、実用化するため、RoboCup Rescue 競技世界大会への出場、世界最大の都市災害救助の訓練施設である Disaster City での災害対応ロボット性能評価訓練会への出場、大規模振動台 E-Defense での 3 階建木造家屋の倒壊試験現場の活用、東京消防庁立川訓練所の瓦礫におけるデモンストラクション、落下試験、砂浜試験、雪中実験などを行い、問題点の改善を重ねてきた。その結果、RoboCup 2007 Atlanta 大会および 2009 Graz 大会での運動性能部門での世界優勝、Disaster City で 40 m 四方に積み上げられた木材瓦礫・コンクリート瓦礫の走破、などを果たし、高い実用性能を実証した。

(2) 遠隔操作支援

多くの人が慣れているゲーム用ジョイスティックによる操縦方式を採用し、RoboCupRescue や Disaster City での走行を通じて、使いやすさを向上させた。

災害現場は不定形であり、自律制御で作業を進めることには困難が多いが、知能ロボット技術により操作者の操縦を支援することは有効である。操作者が環境状況を容易に正確に認識でき、かつ、操作者が複雑な操作指令を容易に間違いなく与えられるようにすること、が必要である。

被災家屋では、床が瓦礫状態となって段差やギャップが発生し、複雑な形状の障害物が存在し、電線や建材が垂れ下がった環境が想定される。ロボットに搭載した照明に頼らざるを得ないことや、塵埃が降り積もって色彩に乏しく物体として認識しづらいために、カメラ映像によって操縦することはしばしば困難である。これを解決するために、周囲環境の 3 次元形状を計測し、視点を変えながら操縦者に提示する方式を開発した。これは、特に狭い場所の形状とその中でのロボットの位置形状を知ることによって役立ち、操縦に有効であることが各種実験によって示された。

階段や不整地で調査やモニタリングの作業を行うためには、操縦をできるだけ自動化して、操作者に負担をかけない必要がある。そのため、レーザレンジファインダ、あるいは、距離センサとサブクローラの押しつけ力の計測によって、ロボットの推進方向の路面の凹凸を計測・推定し、自律的にロボットの速度やサブクローラの上げ下げを調節する技術を開発した。これにより、操作者は単に前後進旋回の指令を与えるだけで 30 度程度の階段や不整地なら走行できるようになった。Disaster City では、FEMA TF 隊員がほと

んど練習なしで、訓練用の倒壊家屋内や列車衝突事故現場などを容易に操縦できることが示された。

ロボット投入地点から災害地点まで比較的距離がある場合には、少数の操作者で多数のロボットを移送できることが望ましい。そのため、操作者が操縦画面上で経路地を次々と指定していき、ロボットがその経路に追従して動いていく操縦方式を開発した。また、周囲の障害物や動いている人間などを自動的に避ける機能を開発し、安全性の向上を実現した。

PC ゲームエンジンを活用した操縦訓練シミュレータを開発し、パソコン上での操縦訓練を可能にした。

(3) 無線通信

地下街 700 m の空間において、複数台のロボットからの映像や 3 次元形状データを収集し、伝送遅延が少なく違和感なく操縦できるようにするために、有線無線ハイブリッドアドホックネットワークを開発した。ケーブル敷設ロボットによって幹線のネットワークを敷設し、アクセスポイントから直接通信し、あるいは、アドホックネットワークで自動的に中継を行う方式により、通信遅れを最小限に抑えることができた。

(4) 情報統合

複数台のロボットからの情報を収集し、GIS 上にマッピングできる機能や、GIS 上でデータ統合や認識処理などを行える機能を実現した。

7. おわりに

本稿では、主として技術的観点から災害対応ロボットのあるべき姿について考察を行った。ここでは述べなかったもう一つの重要な点として、配備や運用の形態、制度や体制などの課題がある。これらの問題が解決され、ロボットが災害対応や復旧などに広く活用されることを願っている。

J C M A

《参考文献》

- 1) 中央防災会議、防災対策推進検討会議、南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ、南海トラフ巨大地震の被害想定について（第一次報告）、中央防災会議（平成 24 年 9 月 6 日）資料、2012.
- 2) 連載講座、軽水炉の確率論的安全評価（PSA）入門、日本原子力学会誌、Vol. 48, No. 3-10, 2006.
- 3) Satoshi Tadokoro Ed., Rescue Robotics - DDT Project on Robots and Systems for Urban Search and Rescue, Springer, 2009.
- 4) 消防庁、全国政令都市・主要都市の 49 消防局への質問結果、消防・防災ロボット技術のあり方研究会資料.
- 5) 日本機械学会、東日本大震災調査・提言分科会、機械設備の被害状況と耐震対策技術の有効性報告、2012.
- 6) 産業競争力懇談会 COCN、災害対応ロボットと運用システムのあり方、2011 年度プロジェクト最終報告、2011.
- 7) 国際レスキューシステム研究機構他、戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト被災建造物内移動 RT システム（特殊環境用ロボット分野）閉鎖空間内高速走行探査群ロボット成果報告書、NEDO, 2011.

〔筆者紹介〕

田所 諭（たどころ さとし）
東北大学
大学院情報科学研究科、災害科学国際研究所
教授
国際レスキューシステム研究機構
会長



多種多数機械を用いた無人化施工システムの開発

福島第一原子力発電所災害復旧工事における遠隔操作

領 木 紀 夫・田 中 敬 二・石 川 利 行

約 20 年前に火山活動を再開した雲仙普賢岳での災害復旧工事を契機に実用化された無人化施工技術は、遠隔操作化技術を核として ICT の飛躍的な進歩により高度化が進み、土工事を中心として実績を積んできた。しかし、多様な災害を想定した場合、従来のショベル系建設機械を中心とした技術では復旧活動ができない場合が生じ、幅広く対応できる技術が求められている。

今回、従来の無人化技術を基に、原子力発電所復旧工事において、多数の建設機械を同時に遠隔操作するシステムを実用化し、さらに大型クレーンの遠隔操作化や吊り下げ式ツール、遠隔燃料給油装置などその支援ツールを開発し、良好な結果を得ている。

本稿ではその内容について報告する。

キーワード：災害復旧，無人化施工，原子力事故，ICT，無線通信，解体

1. はじめに

無人化施工技術は、約 20 年前に火山活動を再開した雲仙普賢岳での災害復旧工事を契機に実用化され、ICT の飛躍的な進歩により高度化が進んできた。しかし昨今の災害復旧工事は、大規模、市街地、特殊作業など多様な形態になってきており、無人化施工技術もさらなる進化が求められ、これら多様な災害復旧に対応する無人化施工技術を開発してきた。

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では原子力発電所も被害を受け、その復旧工事は高線量下という厳しい環境であり、完全無人化による施工が必要となった。そこで今回、これまでの技術を基に多種多数機械の無人化施工システムを開発し、福島第一原子力発電所復旧工事に適用した。

2. 多様な災害復旧における無人化施工の課題

無人化施工技術は、「人間が立ち入ることができない危険な作業現場において、遠隔操作が可能な建設機械を使用し、作業を行うこと」と定義される。

建設機械の遠隔操作は操作信号やカメラ映像の伝送、およびネットワーク化が主要な要素となっている。遠隔操作に使用する電波は一般に特定小電力無線が用いられてきており、その伝送距離は約 200 m までと短いこと、また、大容量のカメラ映像データを遅延な

く確実に伝送することが課題であった。そのため、近年では、ICT の進歩によって操作信号やカメラ映像の伝送を含めてネットワーク化した無人化施工技術も開発されている。

また、これまでの無人化施工技術は土工事が中心であったが、市街地災害、原子力発電所災害などの復旧では、複雑な地形での作業やコンクリート造・鉄骨造の様々な建物の撤去・解体など多様な対応が求められる。

表一 1 にこれら多様な災害復旧に必要な技術、解決すべき課題、その解決方法について整理した。今回、これらの課題を解決した無人化施工システムを実用化し、福島第一原子力発電所復旧工事に適用した。

3. 福島第一原子力発電所復旧工事における無人化施工システムの概要

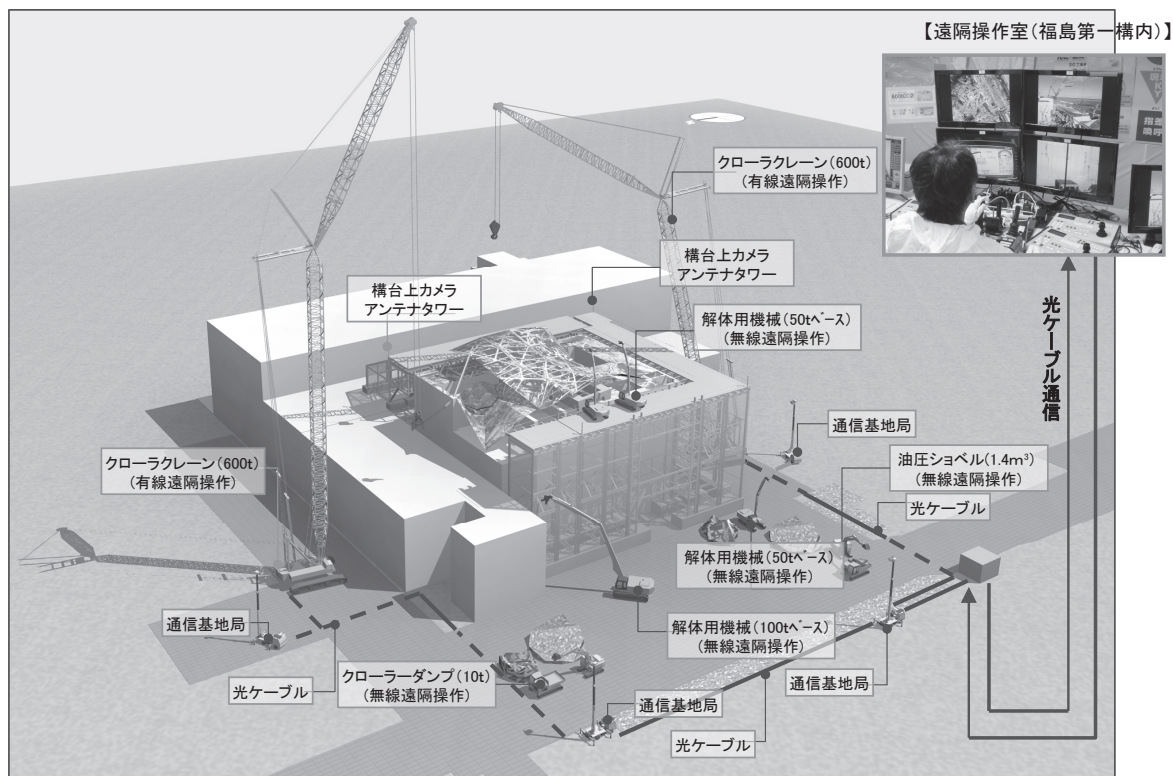
本復旧工事では、現場から約 500 m 離れた低放射線エリアに遠隔操作室を設置し、そこから解体用機械 8 台を同時に稼働させ、さらに大型クレーン 2 台を用いて作業を進める計画を立案した。また、一部の解体用機械は高さ約 30 m のステージ上部でも作業を行う必要があった。

これら条件の下で構築した無人化施工システムを図一 1 に示す。

本システムは、サイトに配置される大型クローラク

表—1 多様な災害における課題と解決方法

必要技術	解決すべき課題	解決方法
多数建設機械の遠隔操作	無線による映像伝送	ネットワーク負荷低減・遅延対策
多種建設機械の遠隔操作	無線による操作信号伝送	光ケーブル・大容量無線通信
立ち入り禁止エリア外からの遠隔操作	長距離大容量通信	メッシュ型無線LANの構築
多工事下における安定した遠隔操作	限られた無線周波数	不具合発生時の対応能力強化
広範囲における施工	通信の安定性	大型解体用機械やクレーン遠隔化の実証
狭隘な場所での施工	柔軟な無線通信設備の構築	無線周波数の選択
様々な地形・障害がある中での施工	ロバスト性の高い通信	
解体などを伴う多様な作業	多種建設機械の遠隔化に伴う操作性・安全性の確認	



図—1 無人化施工システム

レーン、解体用機械、吊り下げ式解体ツールや監視カメラなどと、遠隔操作室に配置される操作機器類と監視モニタ、及びこれらをつなぐ有線・無線のネットワークで構成される。

解体用機械は地上4箇所、構台上2箇所に設置した通信基地局と交信し、建屋周囲のあらゆるエリアでの作業が可能である。大型クローラークレーンには光ケーブルによる有線での遠隔操作方式を採用した。また、通信基地局と遠隔操作室間も信頼性の高い光ケーブルで接続し、大容量通信を確保した。

また、機械の稼動エリアに対して建物が占める範囲が広く、死角ができやすいため、固定カメラを16台設置してオペレータの視野を確保するとともに、大型クローラークレーン装着カメラの映像も共用し、俯瞰的に現場を見て構内の状況を把握できるようにした。

建屋上部での作業には、大型クローラークレーンで吊り下げ、クレーンマストに設置した発信機を用いて遠隔操作を行う機械を開発した。また、構台上で作業を行う解体用機械の給油のため無人給油装置を開発した。本システム上の機械・機器の一覧を表—2に示す。以下に、これらの詳細について述べる。

表—2 ネットワーク接続機械・機器一覧

機械名・機器名	台数
解体用機械	8台
クローラークレーン	2台
吊り下げ式解体ツール	2台
建設機械搭載カメラ用エンコーダ	16台
建設機械搭載カメラ用接点交換機	10台
場内固定カメラ用エンコーダ	16台
場内固定カメラ用操作器	16台

4. ネットワークの構築

(1) メッシュ型無線 LAN の採用

災害時は損傷して不通となってしまった有線設備に代わり、無線設備が様々な用途で多用されるため、無人化施工に使用できる電波が少ないことが想定される。特に 2.4 GHz 帯は一般的な無線 LAN で用いられているため影響を受けやすいが、無人化施工ではこのような状況下でも安定した通信が必要となる。

そこで、本システムでは、遠隔操作信号のみ従来から使用されている 429 MHz 帯の特定小電力無線を採用し、カメラ映像の伝送と切り離すことで、無線不具合が操作・映像の両方へ影響することを防ぐこととした。

カメラ映像伝送には建築工事で実績のある 5 GHz 帯のメッシュ型無線 LAN を採用した。5 GHz 帯の無線は、7 チャンネルとチャンネル数は少ないが、基地局を設置する際に申請が必要であり、限定したエリア内では確実に電波を占有できるため、電波干渉のおそれが少ない周波数帯である。

しかし、5 GHz 帯の無線は、高出力で伝送距離が長いことによる相互干渉や、指向性が強いことによる障害物の影響（電界強度の低下）が懸念され、適切な基地局配置が求められる。そこで、表—3 の確認項目に沿って実証実験を行い、適切な基地局配置計画を可能とした。

表—3 無線実証実験確認項目

障害	確認項目
電界強度の低下 ・移動による距離減衰 ・建物陰への移動 ・アンテナ直下での作業	電界強度低下時の映像品質
	複数映像伝送時の相互干渉
	ハンドオーバー機能
相互干渉	高低差 10 m 程度での伝送機能
	同一周波数電波の相互干渉

(2) ネットワーク負荷低減・遅延対策

無人化施工は緊急性を伴うことが多く、設備の設置作業ですら危険にさらされることになるため、その設備はよりシンプルであることが望ましい。一方で、建設機械を遠隔操作する場合にオペレータの目の役割を果たすカメラの映像は、操作に支障のない解像度を要し、遅延を最小限に抑える必要がある。

これら大容量データ伝送の課題を解決するために、以下のような対策を実施した。

①作業に必要な解像度の評価

通常作業時は HVGA 画質で行い、細かな作業は VGA 画質で行う。HVGA 画質におけるデータ伝送量は VGA の半分となるためネットワーク負荷を半減さ

せることが可能となった。

②アナログカメラの採用

アナログカメラ+エンコーダ・デコーダ方式を採用することで、web カメラを採用する場合に予想される遅延、フリーズの懸念を解消する。また、画質設定の変更を遠隔操作室からできるようにすることで、用途に応じた設定での効率的なデータ伝送を可能とした。

③フルフレーム送信タイミングの調整

一定間隔で送受信するフルフレーム送信のタイミングをずらすことで、データ伝送のピークをカットし、伝送過多によって通信不具合が発生するリスクを軽減した。

これらの対策については、映像遅延・画質の確認を目的とした実機による実験を行った。アナログカメラを直接有線でつないだ映像と、エンコーダ・デコーダでデジタル変換し無線送信した映像を比較し、作業に影響のない遅延、画質であることを確認した（写真—1）。



写真—1 映像遅延の確認状況

(3) 不具合発生時対応能力の強化

無人化施工においては、各種不具合発生時に、現場に立ち入ることなく原因を絞り込めることが重要である。

そこで、システム障害発生時に迅速な対応ができるよう、「不具合機器探索プログラム」と「メッシュ型無線 LAN 監視プログラム」を導入した。

①不具合機器探索プログラム

このプログラムは、機器ごとの通信状況を確認するためのものであり、ネットワーク障害が発生した際に、どの機器に異常があるかを迅速に探索することができる。全ての機器に割り当てられた IP アドレスに向けて一斉に信号を発信、レスポンス時間を測定することで異常がある機器を速やかに特定し、異常のない機器を青色、異常がある機器を赤色に表示する。写真—2



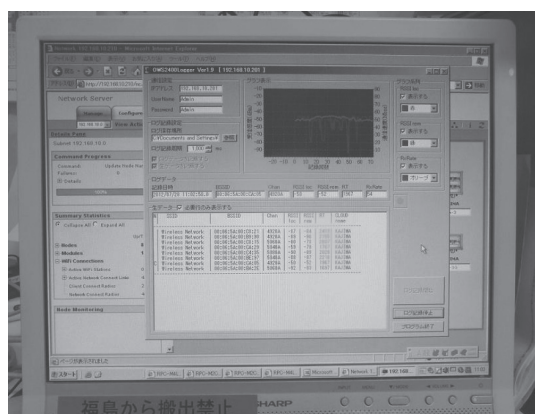
写真一 2 不具合機器探索プログラム

にこのプログラム画面の一部を示す。

②メッシュ型無線 LAN 監視プログラム

遠隔操作建設機械のオペレータは、常に遠隔操作室でメッシュ型無線 LAN を経由した映像を見ながら操作するため、映像が送り続けられていることが重要になる。

そこで、カメラ画像に異常が発生した際に、監視プログラムによりそれが無線の不具合か否かを速やかに判断し、原因の絞込みを迅速に行えるようにした。写真一 3 は無線監視プログラムの画面である。



写真一 3 メッシュ型無線 LAN 監視プログラム

5. 多種機械の遠隔操作化

(1) 大型解体機の遠隔化

建設機械の遠隔操作では、オペレータが作業状態や周囲の状況をいかにリアルタイムで、かつ正確に把握できるかが重要な課題である。そのためには、カメラの設置台数と設置位置、ズームやチルトなどの仕様を見極めるとともに、映像の遅延が操作に影響しないことを事前に検証する必要があった。

写真一 4 は大型解体用機械による遠隔操作の実機実験の状況である。実証実験においては、複数のオペ



写真一 4 大型解体用機械の遠隔操作実証実験

レータによって操作性を確認することを目的に、高さ 20 m を超える建物の解体工事での実証を行った。

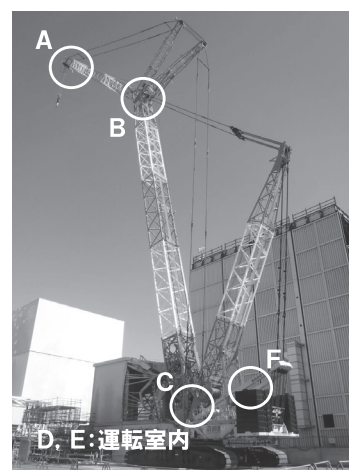
(2) 大型クレーンの遠隔化

大型クレーンの遠隔操作では、吊り荷の状況や安全装置から出力される情報など、ショベル系機械に比べてより多くの情報を取得することが必要である。また、これらの情報の途切れ・遅延は重大事故につながるおそれがあるため、データの伝送は信頼性が高く、遅延も最小限にとどめる必要がある。

以下に、これらの課題に対応した、大型クレーンの遠隔化システムを示す。

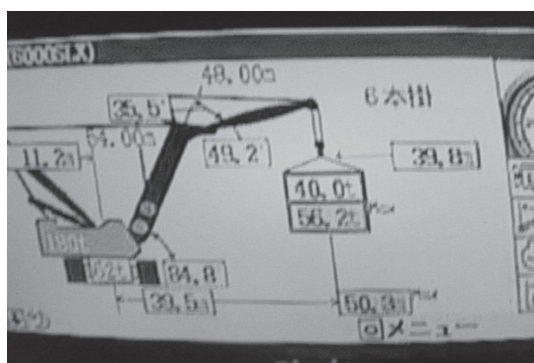
①カメラの設置

写真一 5 にカメラの配置を示す。ジブ先端カメラ A の位置に取り付けられるカメラは運転室で操作する場合においても用いられるカメラである。クレーンの安全な操縦を確保するために以下のカメラを追加した。



写真一 5 カメラの配置

- B マスト頂部カメラ
マスト頂部に取り付け、吊り荷を旋回させる高さで、吊り荷の状況を横から映すことが可能である。
- C 運転室上カメラ
運転室の屋根上に取り付け、通常オペレータが運転室で操作する際の目線の映像を映し出す。
- D 運転室内カメラ
運転席付近に取り付け、クレーンの主電源や運転室内の警報ランプの状況を映す。
- E 安全装置用カメラ
安全装置の出力データを映すモニタの前に取り付け、安全装置の情報を映す（写真—6）。



写真—6 カメラEの映像

- F ウインチ用カメラ
クレーン後部に取り付け、ワイヤーが巻かれているドラムを映す。ワイヤーの乱巻きは重大事故につながる可能性があるため、常時監視を行う。

なお、A、Bのカメラは地上 100 m に位置するため、420 倍の高性能屋外用カメラを選定した。

②音声マイクの設置

運転室内でアナウンスされる荷重値やジブ角度などの音声情報を遠隔操作室で把握するため、運転室内にマイクを配置、音声データとして伝送した。

③操作信号及びカメラ映像の伝送

クレーンの操作信号とカメラ映像の伝送には信頼性の高い光ケーブルによる有線方式を採用した。旋回するクレーンに繋がれる光ケーブルは、クレーンの旋回に追従する治具を介して接続され、断線の危険を回避した。また、画素数や圧縮率を調整し、作業可能なまでの遅延、画質とした。

(3) 吊り下げ式解体ツールの開発

建屋上部の飛散したがれきや鉄骨の解体・撤去では、建屋上部に大型解体用機械を直接載せることができないため、「切断する」「つまむ」「すくい取る」という

作業を建屋外周部に設置した大型クレーンから吊り下げられた機械で行わなければならなかった。「すくい取る」ことが可能な吊り下げ式機械には、ごみ焼却場などで使用されている電動油圧式グラブバケットを活用することができたが、「切断する」および「つまむ」機械は新たな開発が必要であった。

①吊り下げカッター

一般の解体用機械は、地盤や構台に押し込みの反力を取り、構造物を切断する。「切断する」機能を持つ吊り下げカッターには、切断時に機械自体が逃げないように、カッター本体に重量を持たせることで切断性能を確保した。また、カッターを動かす油圧ユニットについては既存油圧ショベルの本体ユニットを転用することで開発期間の短縮を図った（写真—7）。

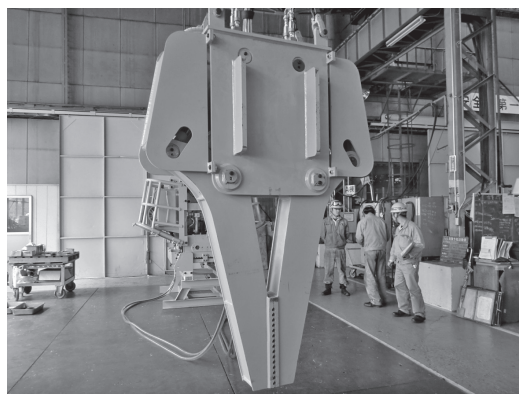


写真—7 吊り下げカッター

②吊り下げ油圧ベンチ

「つまむ」機械として吊り下げ油圧ベンチの開発を行った。この機械は「すくい取る」に対応した電動油圧式グラブバケットの機構を改造した（写真—8）。

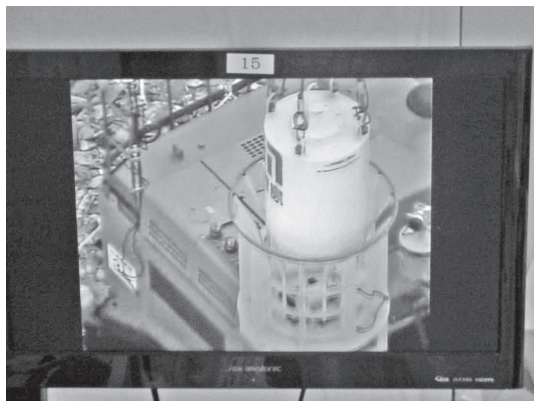
なお、これら吊り下げ式解体ツールを遠隔操作に対応させるため、マスト頂部に無線操作基地局を設置した。



写真—8 吊り下げ油圧ベンチ

(4) 無人給油装置

従来の無人化施工では、燃料給油に際して建設機械を補給ヤードまで戻していた。しかし、今回の工事では解体用機械が高所のステージ上に設置された場合など、タイムリーに安全な場所へ移動させることができないことから、クレーンによって無人給油が行える装置を開発し、適用した（特許出願中、写真—9）。



写真—9 無人給油装置

給油に用いられる給油タンクはクレーンで吊り下げる方式とし、解体用機械に設けたガイドに沿って装着することで燃料の供給ができるものである。給油口は、ゴミの浸入や燃料の揮発を防止するため、給油タンクの装着が完了する直前に自動で蓋が開閉する機構とした。また、燃料ケージと透明な給油ホースをカメラで見ながら給油を行うことで、タンク内に燃料が残っていないことを確認できるようにした。

6. システムの評価

本システムは、原子力発電所復旧工事において2011年8月から順調に稼動している。施工中であるが、各要素技術の評価を以下に示す。

①映像の遅延

懸念された映像の遅延は、実測値で約0.1秒と、操作に支障のないレベルである。

②ネットワークの安定性

ロバスト性を持たせたシステムにより、建物の陰でも安定した通信を保っている。

③故障モニタリングの効果

不具合時の状態が迅速に判定できて、的確な対応が採れるため、機械の稼動率向上に寄与している。

④大型解体用機械の遠隔操作

初めて30mを超すアームを備えた大型解体用機械の無人化を行ったが、無人化での微妙な操作に対応する動作スピード設定や適切なモニタリングにより、計

画通りの解体能力を発揮することができた。

⑤大型クレーンの遠隔操作

大型クローラクレーンの遠隔操作化は初めてであったが揚重作業上の危険もなく、また大きなトラブルもなく順調に作業できており、クレーンの遠隔操作化が確立できたものとする。なお、通信異常による操作信号や映像信号の不具合は発生していない。

⑥その他の遠隔操作機器

吊り下げ式解体ツールや、無人給油装置などの開発により、特殊作業や付帯作業の無人化を実現した。

7. おわりに

今回、多様な災害復旧への対応を目的にICT技術を活用した無人化施工のシステムを開発し、実用化した。

現在、本システムを難度の高い福島第一原子力発電所3号機復旧工事に適用して良好な結果を得ており、無人化施工技術は多様な災害への対応という面でさらに一歩前進したものとする。加えて、作業員の放射線被曝量低減にも大きく貢献している。

今後は、より多様な災害に対応できるよう、個々の作業に応じた遠隔操作機器、緊急回収などの不具合対応装置、今回の給油装置のような支援ツールなど、ハード面の開発も遅滞なく進めていくことが重要であると考ええる。

JICMA

《参考文献》

- 1) 建設無人化施工協会 技術委員会：無人化施工の推移と展望，建設の施工企画，11月号，pp.6～12，2006年

【筆者紹介】

領木 紀夫（りょうき のりお）
鹿島建設㈱
東京建築支店 機材部
次長



田中 敬二（たなか けいじ）
鹿島建設㈱
機械部 技術4グループ
課長代理



石川 利行（いしかわ としゆき）
鹿島建設㈱
ITソリューション部 施工ITグループ



3 次元設計データを用いた計測及び誘導システム

星 野 真 吾

近年急速に普及が進んでいる情報化施工とは、建設施工分野におけるイノベーションを実現する ICT (情報通信技術) を活用した新しい施工方法である。情報化施工において欠かすことができない要素がデジタルの設計データであるが、各建設生産プロセスにおいてこのデジタル設計データを活用し、より多くの建設施工現場で高効率・高精度の施工を行うことが今後の課題とされている。

キーワード：3 次元設計データ、情報化施工、測量、トータルステーション、GNSS

1. はじめに

建設施工の現場において精密且つ正確に位置や形状の計測を行うことができる測量機は非常に重要な役割を担っている。正確な設計図面を作成し、綿密な施工計画を立て、その設計を正しく具現化するには正確な測量が不可欠だからである。その為どんな建設施工現場においても多かれ少なかれ測量が行われ、今の日本のインフラが形成されてきた。そして現在では、新たなインフラ整備の建設施工現場はもちろん、既存の道路や構造物などの維持・修繕においても測量が欠かすことのできない重要な作業の 1 つであることはご承知の通りである。

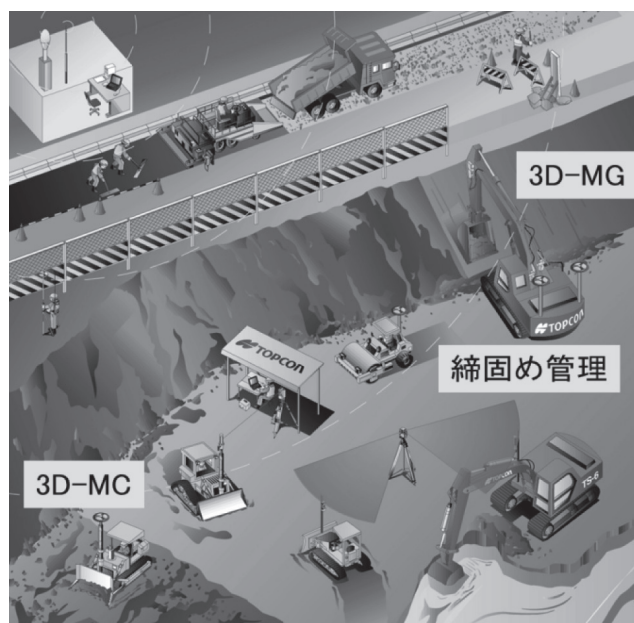
本稿では、建設施工現場における 3 次元設計データを用いた測量の意義と効果について考察する。

2. 情報化施工の種類と概要

時代の変化に伴い建設施工の方法も形を変えてきた。新しい手法や工法が次々に生み出され、市場のニーズに見合った機械とシステムが次々に開発されてきた。それらを融合した代表たるものが情報化施工であるが、一括りに情報化施工といっても使用される建設施工現場によってその種類や目的、活用効果は様々である。情報化施工技術は大きく分けて「施工において活用する技術」、「施工管理において活用する技術」に分類される。「施工において活用する技術」は施工の効率化・高精度化、「施工管理において活用する技術」は施工管理の省力化・簡素化などが期待される技術であり、年々活用される件数が増加してきている。

情報化施工の代表的な作業は以下の通りである。

- ① 3D-MC (マシンコントロール)
- ② 3D-MG (マシンガイダンス)
- ③ TS・GNSS を用いた盛土の締固め管理
- ④ TS を用いた出来形管理



図一 1 情報化施工イメージ図

作業者の経験や勘を頼りに行ってきた建設施工において、設計データを用いた自動制御や誘導システムを活用することは施工の効率や品質の向上効果の点で期待されている。

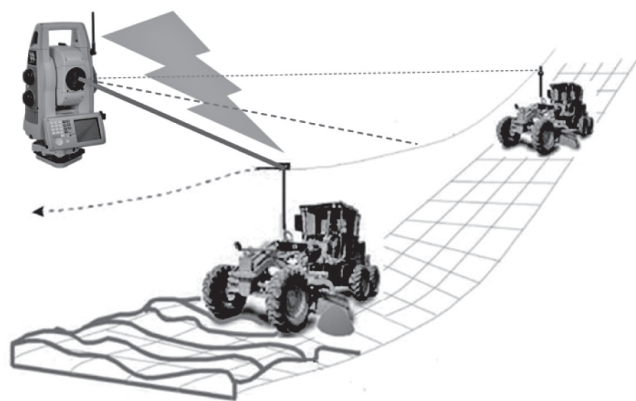
また、施工管理において活用する技術では、盛土の締固めの度合いや出来形の精度を現場で簡易的に確認することができ、現場で取得した観測データを作成ソ

フトに移行するだけで管理図や帳票に起こすことができることから手間とミスの発生を軽減できる。

これらの作業に共通していることは、システムを成立させるにはデジタルの設計データが必要であり、その設計データが施工品質や施工管理に大きな影響を与えるということである。

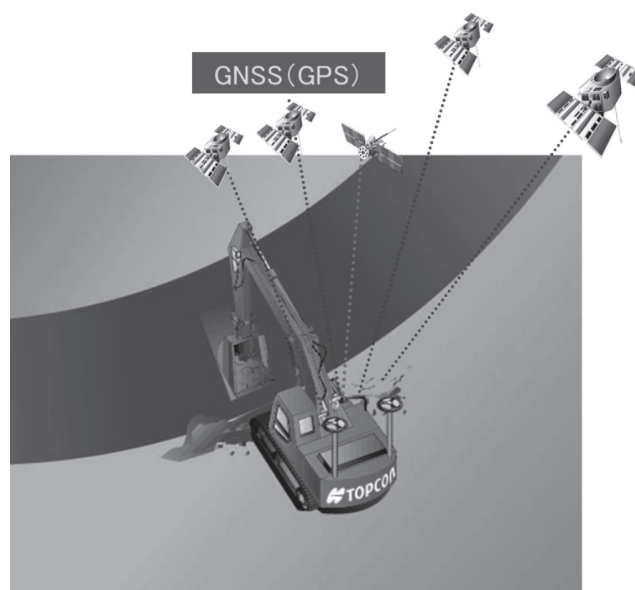
3. 情報化施工に用いられる測量機器

情報化施工においてデジタルの設計データが必要不可欠なことは既に記している通りだが、計測する為の測量機も同様に不可欠である。現在では建設施工現場で多く稼働するトータルステーション（以下 TS）を使用すれば距離や角度は計測できるが、マシンコントロールを行う場合は、計測する対象が施工現場を縦横無尽に動く重機であることから、通常の TS ではリアルタイムに位置を計測することができない。そこで使用されるのがモーターを搭載した自動追尾タイプの TS である。この自動追尾タイプの TS は重機のキャビン上に固定されたプリズムを一度捕捉すると、捉えたプリズムが動けば追尾する機能を有しており、重機がどのように動いてもプリズムが見えている限り追いつけることができ、リアルタイムに重機の位置情報の取得が可能である（図一2）。



図一2 自動追尾型 TS による 3D-MC 施工イメージ

さらに現在では携帯電話やカーナビゲーションなどに多く搭載され、通常の生活においても身近な存在になっている衛星測位システムも建設施工現場にて活用されるケースが増えてきた。日本国内では GPS（アメリカによって運用される衛星測位システム）という呼称が多用されているが、建設業界では GPS や GLONASS（ロシアによって運用される衛星測位システム）など複数の種類の衛星を使用する GNSS（全球航法衛星システム）という呼称を用いることが増え



図一3 GNSS による 3D-MG 施工イメージ

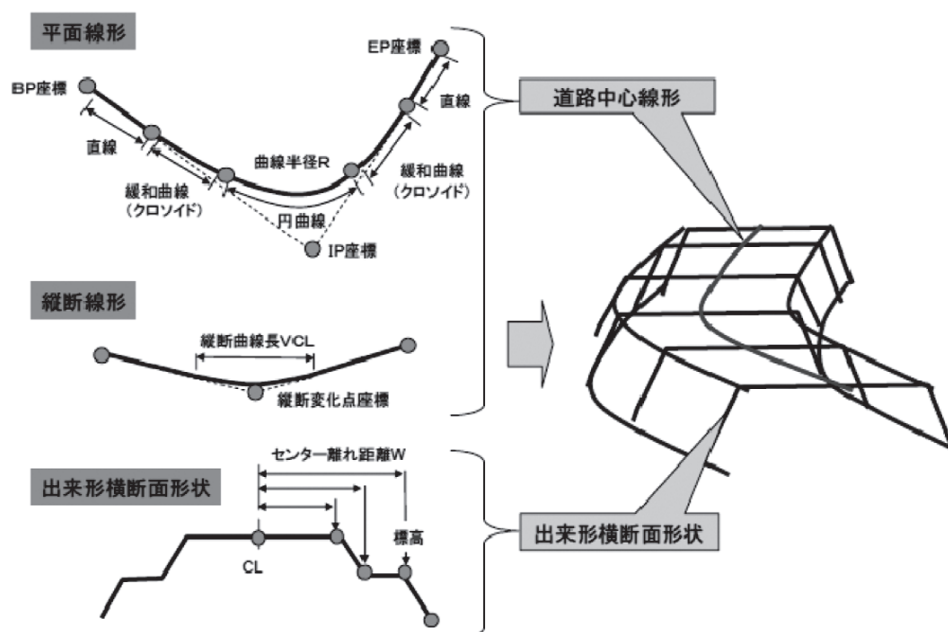
てきている（図一3）。

携帯電話やカーナビゲーションの測位精度は通常数 m ～数十 m の誤差を持つとされているが、建設施工現場で求められる精度から考えると意味をなさないケースが多い。そこで相対測位方式 RTK-GPS という手法を用いて、1 ～ 3 cm 程度の誤差内になるよう測位精度を確保しながらリアルタイムに重機の位置を把握している。

4. 3次元設計データを用いた計測及び誘導システムの概要と効果

建設施工現場において測量とは杭設置や丁張設置、出来形の計測などの為に行われる。設計図面や事前に事務所で計算した計算書を見ながら巻尺やレベル、トータルステーションを用いて角度や距離を測り、必要なポイントに杭を設置する。または設計値と実測した値の差を電卓で計算して比較し、施工の出来形の確認を行う。この方法では現場での測量データの手書きなど手作業が多く、人為的ミスが懸念される。それに対し、多種の計算機能やデータの記録機能を有する TS やデータコレクタを使用し、座標値や平面線形、縦断勾配、横断形状などの 3 次元の設計データを取り込むことで現況測量や横断観測、杭設置、丁張設置などに付随する多くの作業において効率化を図ることが可能であり、人為的なミスの発生確率も大きく軽減させることができる（図一4 参照）。

ここからは具体的にどんな作業において効果が期待できるかを説明する。



図ー4 道路工事の3次元設計データイメージ

(1) 杭の復元

従来の杭の設置作業は事前に求めた逆トラバース計算書を見ながら角度を合わせ、距離を測って位置の特定を行う。ここで問題になるのが現場の工事基準点が亡失するなど何らかのトラブルが発生し、事前に準備した計算書が現場で使用できない想定外の事態が発生した場合である。このような場合、現場で測量電卓を用いて再計算するか、現場事務所に戻って土木CADで再計算する方法が考えられる。どちらにしても労力と時間がかかり、一時的に現場がストップすることになる。しかし、座標値や設計データを管理できるTSやデータコレクタを用いれば、杭打ちの為の事前計算は不要となり、その場でデータコレクタが必要な振り角と距離の計算を行うことができる。また、路線の線形データを用いることで設置したい中心杭はもちろん、幅杭の誘導もその都度最適な方法を作業者が選択することができ、ポイントへの誘導に関しても前後・左右という表示を用いることでスムーズな誘導が可能となる（図ー5参照）。



図ー5 杭の復元作業時のソフトの画面

(2) 現況測量・横断測量

建設施工現場において工区内の構造物の位置出しや形状の変化点を測量することは、施工を円滑に進めていくうえで非常に重要な作業となる。また、横断図を作成する為の横断測量も重要な測量作業であり、この横断データを用いて盛土・切土量を把握することができる。

この観測した全てのデータを手書きし、パソコンに

打ち込む作業は、観測する測点が多ければ多い程時間と労力を要する。また、観測データの記録間違いやパソコンへの打ち間違いの危険性があり、施工に大きな支障をきたす恐れがある。記録機能を有するTSやデータコレクタを用いると、観測した角度と距離データを座標値、もしくは中心杭からの離れと標高といった、作業者が求める表示に変換し、現場で簡単に確認及び記録することが可能である（図ー6参照）。



図—6 横断測量における観測画面

その際に記録された観測データはUSBメモリ等の記録媒体を用いてパソコンに送ることで、観測結果の入力間違いなどの人為的なミスが発生しないことも大きな利点と言える。

(3) 出来形管理

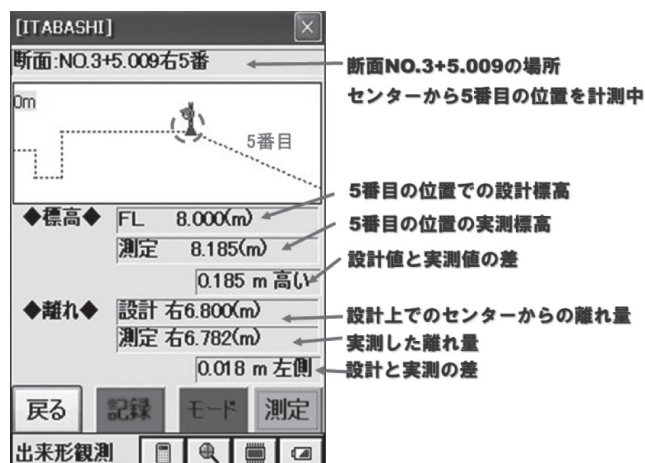
国土交通省が策定した「TSを用いた出来形管理要領」に則った方法で出来形管理を行う施工現場が増えてきているが、要領策定前の方法で行っているケースがまだまだ大半である。観測方法もTSを使用する方法やレベルと巻尺を使うなど色々なケースがあるが、共通するのは観測したデータを手で記録し、設計値との差分を自ら計算しなくてはならない点である。他の項目でも述べた通り、手作業は時間と労力を要し、人為的ミス発生危険性がある。

しかし、「TSを用いた出来形管理要領」に則ったもしくは準じた手法で出来形の確認を行えば、データコレクタ上に実測値と設計値の差分が瞬時に表示され、出来形の精度を簡単に確認・記録できる(図—7参照)。

また、完成施工物に対して出来形の確認を行うのは建設施工において必須事項であるが、日々施工物の出来形確認を行うことで工事の進捗状況を把握することも重要であり、情報化施工として指定された作業以外でも設計データを活用して高効率・高精度の施工を行うことが理想形であると考えられる。

(4) 検測作業

建設施工現場における検測作業例の1つとして、重機で敷き均し作業を行った後に計画通りに施工ができているかどうかを確認する作業がある。例えば、舗装工事では水糸を張り、そこから巻尺を用いて、仕上がり面の高さを測定する作業方法がある。



図—7 TS 出来形管理観測結果

3次元設計データを活用すればこの作業においても簡素化と高精度の確認が可能となる。先程述べた「TSを用いた出来形管理要領」に則った出来形管理は、中心杭や法肩などの変化点を「点」で押さえる測量作業であるが、「面」として管理できるTIN(ランダム状に配置されている地形点から三角形群を発生させ、三角形内の標高は三角平面から内挿する)形式で設計データを作成することによって、その範囲内であればどのポイントであっても設計値との差分をリアルタイムに把握することができる。この方法の最大の利点は「点」ではなく、「面」での管理が行えるというところにあり、施工範囲全体の平坦性の向上に大きく貢献している(図—8参照)。



図—8 面管理における検測作業

この原理は3D-MCや3D-MGにおける排土板やバケットの刃先の位置と設計データとの差分をリアルタイムに算出する原理と同様であり、施工から管理・確認までの一連の作業を同じ設計データを用いて行えることで更なる効果を発揮させることが可能となる。

さらに前述の測量作業は、自動追尾型 TS や GNSS (GPS) 測量機を使用することで、1 人（ワンマン観測）で行うことも可能となり、測量作業の省力化にも繋げることができる（図—9 参照）。



図—9 ワンマン観測イメージ

5. おわりに

情報化施工の一部の技術が平成 25 年度から一般化・実用化となる予定である。情報化施工を実施すること

で請負施工業者はもちろん発注者側においても従来よりも手間が掛かる作業が発生するのも事実である。

しかし、それ以上に作業効率や施工品質の向上が期待できる情報化施工の更なる普及が建設施工の環境を大きく変えていくことを期待したい。

謝 辞

今回の表題である「3 次元設計データを用いた計測及び誘導システム」は新技術情報システム NETIS に登録している技術であるが、このたび「平成 24 年度準推奨技術（新技術活用システム検討会議（国土交通省））」に選定頂いた。この選定には多くの方に同技術を活用頂いたことが大きく寄与しており、この場を借りて感謝の意を申し添えたい。

J C M A

【筆者紹介】

星野 真吾（ほしの しんご）
㈱トプコンソキアポジショニングジャパン
営業推進部 マーケティング&サポートグループ



携帯電話を利用した移動体管理システム

船舶や工事車両の安全監視等に活用

石 田 仁

携帯電話は建設業においても保有率が高い ICT 機器であり、小型でありながら GPS や加速度センサ、通信機能など、多くの機能が集約されている。ここで紹介する施工支援システムは 2006 年より、多くの建設現場で活用してきたものであり、携帯電話とインターネットを用いることで、ICT システムの利用が現場職員の負担にならないことを重視し、手軽に業務を効率化していくことを目指している。本稿では、施工支援システムの概要を紹介し、さらにその活用例の一つとして、携帯電話を用いた移動体管理システムを紹介する。

キーワード：携帯電話、GPS、移動体管理、インターネット、WEB サーバ

1. はじめに

ICT 機器の進歩は非常に速く、以前に比べ、より小型でかつ高機能な製品が安く入手できるようになっている。中でも携帯電話の進歩はめざましく、最近ではスマートフォンやタブレット端末のようなパソコンの小型版ともいえる高機能な製品も普及しつつある。また、総務省によれば、日本においても 2012 年 3 月末現在で、携帯電話の普及率は 1 人 1 台を超えたとのことであり、日常生活において非常に馴染みの深い ICT 機器となっている。一方、建設現場においても、携帯電話はなくてはならないものであり、ほとんどの職員が所持し、日頃から利用している。用途としては音声通話以外にも、メールや WEB 検索などの利用頻度も高い。このように身近でありながら、携帯電話は、データの入力機能や通信機能を備えていることから、システム端末としても利用することができる。

このような携帯電話の特徴を活かし、一日の多くの時間を屋外で過ごす現場職員にも、無理なく利用できる施工支援システムの開発に取り組んでいる。

2. 携帯電話を利用した施工支援システム

上述のとおり 2006 年に携帯電話を利用したコンクリートの品質管理システムを構築し、施工支援サーバを設置した。それ以降も同じ仕組みを利用して携帯電話向けの様々なシステムを構築している。このシステムは手軽に利用できるため、これまで多くの現場で導

入し、小規模な現場においても ICT システムの活用機会が増えている。

以下に携帯電話を利用した施工支援システムを紹介する。

(1) 全体の機器構成

本システムの機器構成を図—1 に示す。一般的な WEB サーバとインターネット通信を中心としており、カスタマイズや社外の他システムとの連携が容易である。

①施工支援用サーバ

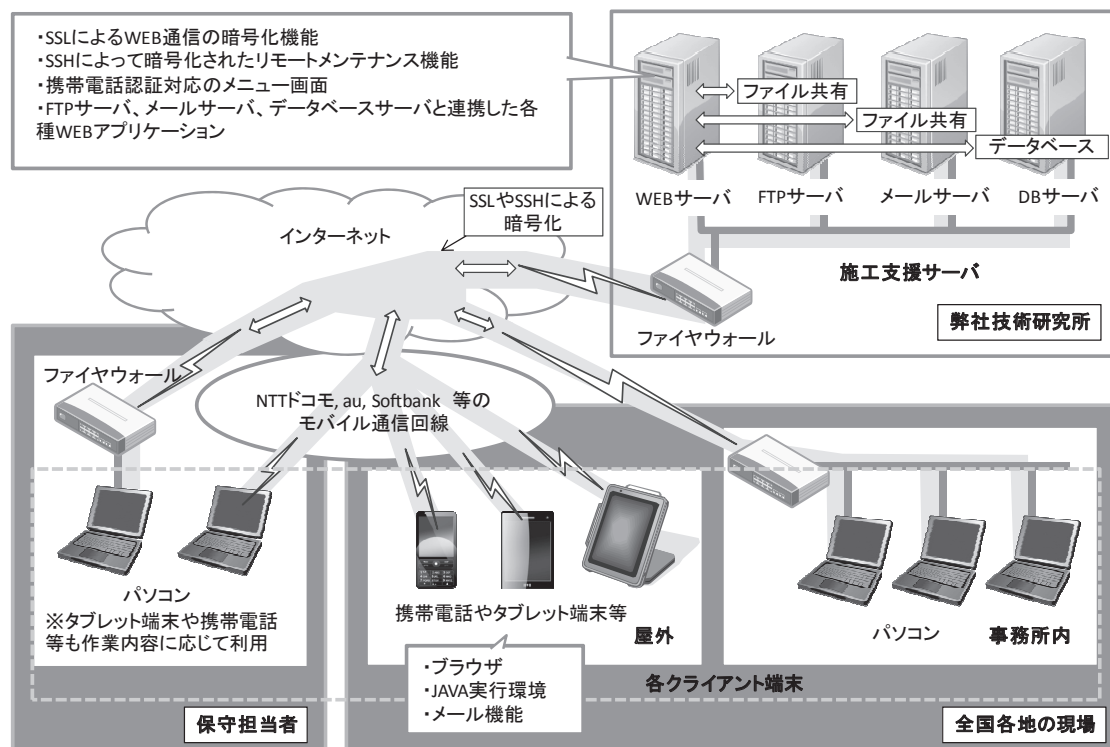
本システムの施工支援用サーバは技術研究所に設置しており、複数のサーバ機から構成される。WEB サーバ上では、通信の暗号化機能、携帯電話認証対応のメニュー画面、WEB アプリケーションの動作環境が稼働しており、比較的容易にアプリケーションを構築することが可能である。

WEB サーバからは、FTP サーバ、メールサーバ、DB サーバのデータを利用可能で、必要に応じてこれらと連携して WEB アプリケーションを構築している。このサーバには標準的なプロトコルをほぼ組みこんでいるため、多くの社外システムと比較的にデータ連携が可能である。

なお、各サーバ機は技術研究所内以外の遠隔地からメンテナンスが可能である。

②インターネットとモバイル通信回線

通信はインターネットおよび通信事業者のモバイル通信回線を用いる。インターネットを用いるため、パスワードや秘密データの漏えいを防ぐために通信の暗



図一 本システムの機器構成

号化を行う必要があるが、これも一般的なSSL(Secure Socket Layer)やSSH(Secure Shell)による公開鍵認証方式を用いている。

③現場側の利用環境

サーバ上のWEBアプリケーションを利用するために現場で用意する機器も、一般的な携帯電話やインターネットに接続可能なパソコンのみである。本システムは、基本的にサーバ上のWEBアプリケーションのみで機能するが、圏外や地域など携帯電話の通信速

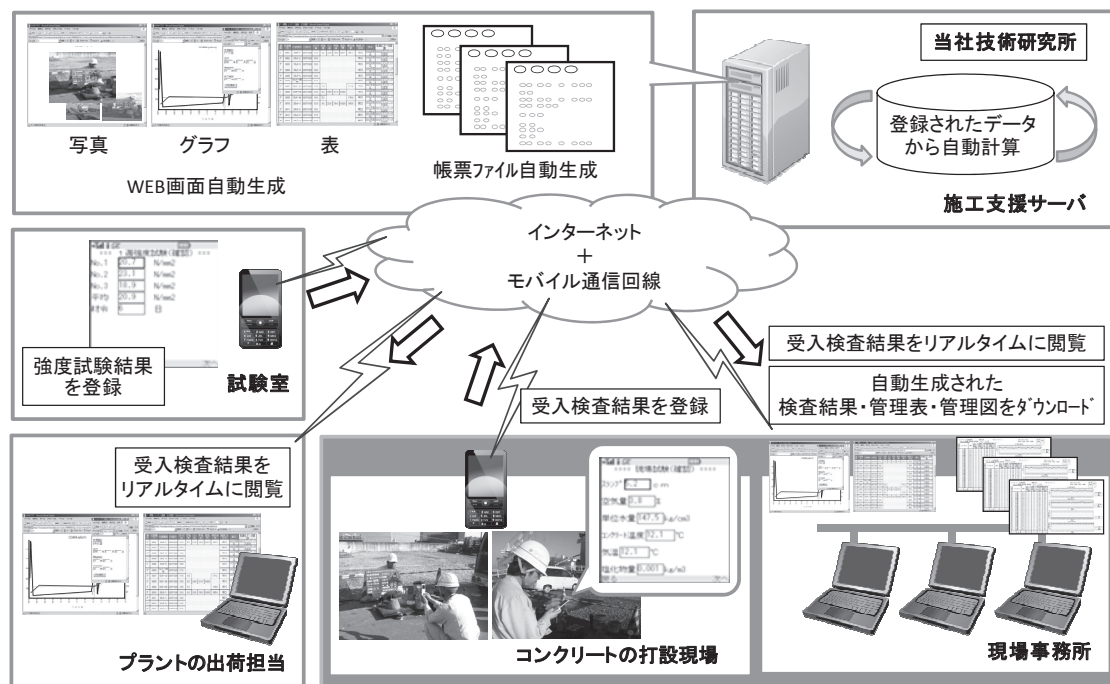
度が十分確保できない場合や、大容量のデータを扱う場合など、補助的に簡単なアプリケーションをパソコンや携帯電話にインストールする場合もある。また、山間部等の携帯電話が通じない地域などでは、3G/4G回線が利用できないため、代わりに無線LANアクセスポイントを設置して運用することも可能である。

(2) ソフトウェア構成

本システムで用いる代表的なソフトウェアを表一1

表一 本システムで用いるソフトウェア一覧

項目	名称	備考
施工支援サーバ	共通部分	RedHatEnterpriseLinux あるいは互換 OS
		OpenSSH
	WEB サーバ	Apache HTTP Server2.2
		Apache Tomcat6.0
		PHP5.3
		OpenSSL
	FTP サーバ	Vsftpd
		OpenSSH
	メールサーバ	Postfix
		Dovecot
クライアント端末	DB サーバ	PostgreSQL8.3
		PostGIS
	事務所内のパソコン	WEB ブラウザ
		メール機能
	現場の携帯電話等	WEB ブラウザ
		JAVA 実行環境
		メール機能
	保守担当者のパソコン	SSH 対応ターミナルソフト
		SSH 対応ファイル転送ソフト



図一2 コンクリート管理への適用例

に示す。特殊なソフトウェアは使わず、サーバ上のソフトウェアは、ほとんどがオープンソースである。こういった一般的なソフトウェアを組み込むことにより、他社のシステムとの連携も行いやすく、拡張も容易である。

なお、クライアント端末についても、日常使っているものを利用すれば十分で、特別な制限はない。

(3) コンクリート管理への適用例

本システムをコンクリート管理に用いた例を紹介する(図一2)。この例では、コンクリート打設時の受入検査結果や、試験室での圧縮強度試験結果をサーバ上で自動的に図表化しており、結果をリアルタイムにプラントや現場事務所等で確認することができる。また、自動的に計算処理されたデータを帳票としてダウンロードすることができるため、現場のデータ整理の省力化が可能である。

このように携帯電話を入力装置として用いることにより、現場でも利用しやすいシステムとなっている。

3. GPS 携帯電話を用いた移動体管理システム

安価な GPS の普及、工事の安全対策のニーズ等から、車両や船舶の位置を監視する運行管理システムや航行監視システムが、一般的になってきている。このようなシステムは、以前はパソコンや PDA などを車両や船舶に搭載することが多かったが、現在では、

GPS 携帯電話等の簡易な機器に対応したシステムが各社からリリースされている。

図一3は2009年に、数十台単位の工事車両の運行管理を、低価格で実施するために構築した移動体管理システムであり、これも GPS 携帯電話を利用している。

(1) 基本的な機能

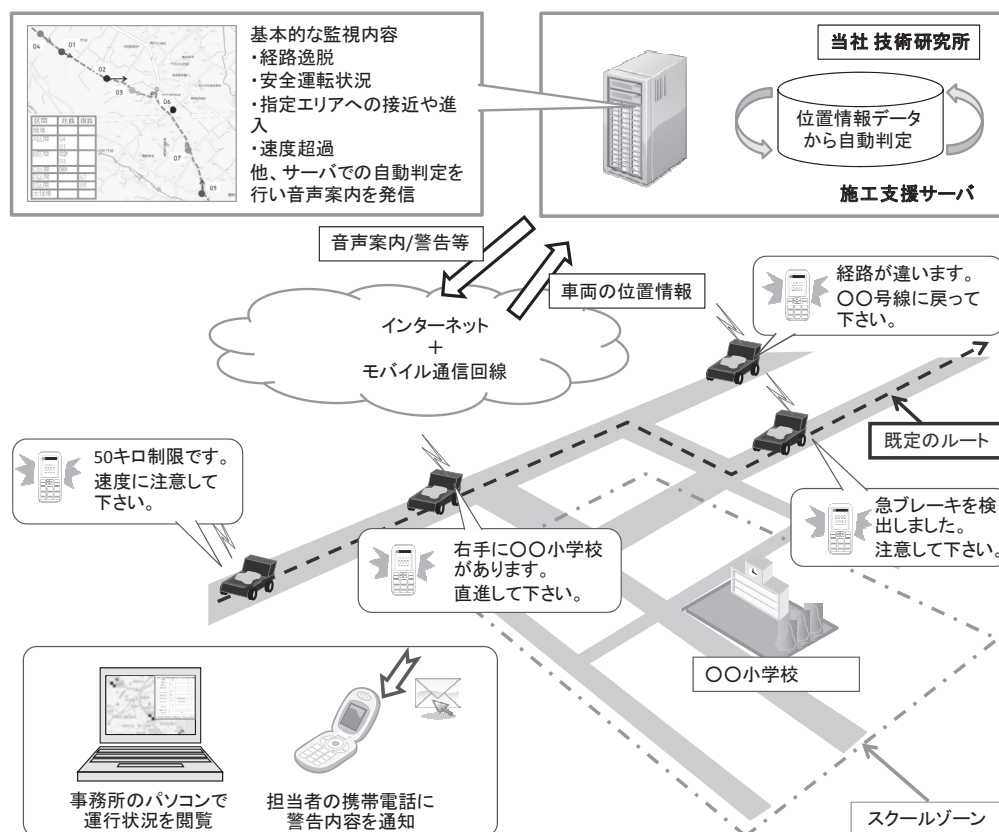
本システムの基本的な機能は、①経路逸脱、②安全運転状況、③指定エリアへの接近や進入、④速度超過等の監視である。多くの場合は、これらの監視結果に合わせて自動的に音声案内や警告を行っている。他にも、位置情報や時刻、加速度センサを利用した判定であれば、サーバでの自動音声案内／警告が可能である。

①経路逸脱

あらかじめ地図上で指定した経路を走行しているかどうかを監視する。指定した経路を外れた場合に警告を行うことができる。経路は往路と復路を個別に指定したり、また、それぞれ複数の経路を指定することも可能となっており、個々の現場の状況に応じて細かく設定することができる。

②安全運転状況

急加速、急ブレーキ、急ハンドルといった危険運転を検出し、警告を行う。これらの検出は、道路の状況によりやむを得ない場合も多いため、回数を記録し、例えば一日に一定の回数を超えた場合に警告を行うという方法もある。



図一 移動体管理システムの例（工事車両の運行管理システム）

③指定エリアへの接近や進入

あらかじめ地図上で指定した範囲に対して、接近した場合や進入した場合に検出し、音声案内や警告を行う。

④速度超過

移動速度を算出し、速度に合わせて音声案内や警告を行う。速度のしきい値は、範囲によって個別に指定することができる。

音声案内や警告の例を表一に示す。表一のような自動判定の他、事務所のパソコンから手動で任意

の音声案内／警告を行うことも可能であり、現場のニーズに合わせやすいシステムとなっている。

各車両の運行状況は事務所のパソコンで監視することができ、また、現場担当者の携帯電話にも、メールで警告内容を通知することができる。

以上のように、本システムは、携帯電話を用いた簡易なシステムでありながら、運転マナーをトータルに、かつリアルタイムに監視することができる。

なお、安全用途以外にも、本システムをコンクリート打設時の運搬時間管理、土砂運搬時の運搬台数集計、

表一 音声案内や警告の例

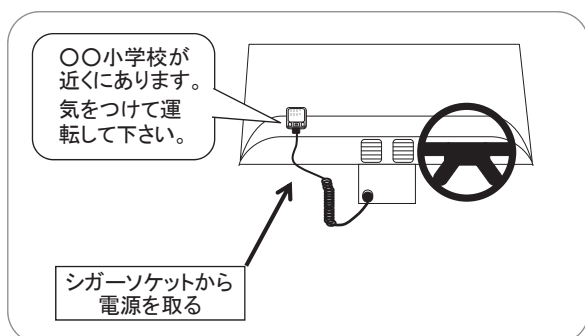
種類	説明	例
案内	位置	指定範囲に近付いた時や進入した時にあらかじめ設定した音声案内
	時刻	指定時刻になった時にあらかじめ設定した音声案内
警告	経路逸脱	指定の経路を外れた場合
	速度超過	区間ごとに設定した速度を超えた場合
	アイドリング	長時間のアイドリングを行った場合
	急ハンドル	乱暴なハンドル操作を行った場合
	急ブレーキ	急ブレーキ操作を行った場合
	急加速	急加速操作を行った場合

CO₂削減のためのアイドリングの監視等に活用している事例もある。

(2) 車両への設置方法

本システムは、図—4に示すようにGPS携帯電話をダッシュボード等に置くだけで動作する。このため、日々入れ替わる工事車両に対しても適用しやすい。写真—1に工事車両への配付状況を示す。

このような方式に対し、デジタコ等にGPSや通信



図—4 GPS 携帯電話の設置イメージ

機能を搭載した製品も販売されているが、こういった装置は高性能である半面、配線作業（写真—2）を必要とする。この取り付けには1台あたり半日から一日以上かかることも多く、車両の入れ替わりがある場合には導入しにくい。

(3) 船舶への設置方法

本システムは、サーバ上のアプリケーションを容易に書き換えることができるため、工事車両だけでなく、船舶の航行監視等にも広く活用することができる。船舶に対応する場合、大まかな変更点は、背景の地図、音声案内の内容程度であり、多くの場合、工事車両よりも単純な設定で済む。

なお、必要に応じ、AIS（Automatic Identification System：船舶自動識別装置）情報や、レーダー情報との連携を行っている。

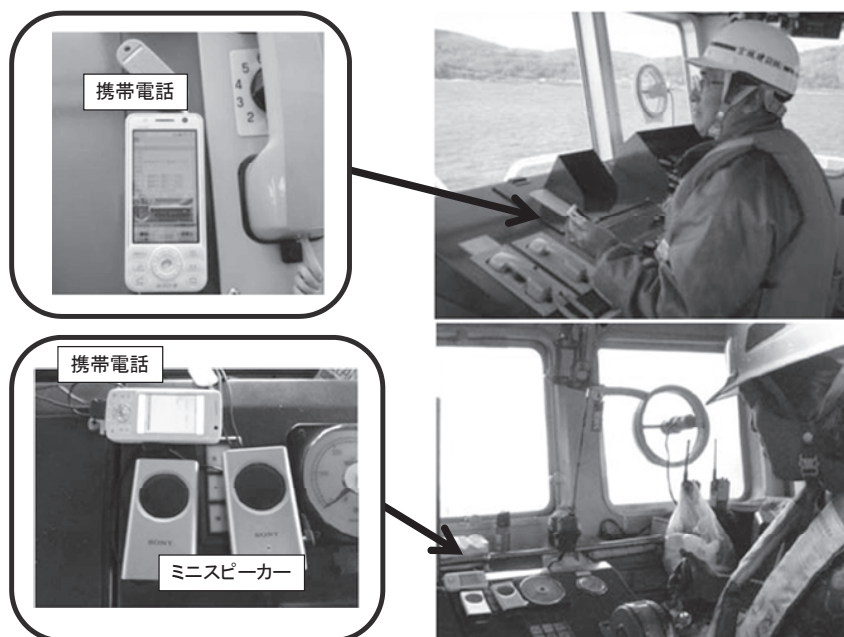
設置については、写真—3のように車両の場合と同様で、窓際にGPS携帯電話を置くだけでよい。なお、この例では、携帯電話からの自動音声案内を行ってお



写真—1 工事車両への配付状況



写真—2 デジタコ等配線が必要とする装置の取り付け作業の例



写真—3 船舶への設置状況（自動音声案内による航行安全システム）

り、音声聞こえにくい場合は、状況に応じて、このように外付けスピーカーを利用することもできる。

4. おわりに

以上のように、当社では携帯電話を用い、できる限り現場の負担にならないような簡易なシステムで、現場の安全性向上や省力化を検討している。本システムは、自社サーバに機能を集約し、特殊な設備を用いないことから、現場での設置環境が非常にシンプルであり、また、使い慣れた携帯電話を入力やデータ収集に用いることから、従来の施工管理システムに比べ、利用者にとって非常に馴染みやすいものと思う。そして、このような簡単なシステムであっても、建設現場の様々な場面に広く提供していくことで、大きな効果が得られるものと考えている。今後も、本システムによって小さな省力化や機能向上を積み重ねることにより、現場担当者が、より効率的、かつ効果的に現場管理を行えるような環境を実現していきたいと考えている。

なお、最近では、建設業向けのクラウドサービスが普及しつつあり、ネットワーク上に建設業向けのシステムが提供されつつある。このような形態で多くの建設現場用のシステムが提供されていけば、煩雑であった導入作業も簡単になり、例えば以下のような使い方も実現できるかも知れない。

- ①現場職員がインターネットで、多様なクラウドサービスの中から現場条件に合ったサービスを見つけ、ユーザー登録をしていくと、選択した内容に応じて即座に統合システムの導入が完了する。
- ②現場職員がレンタルした計測装置の電源を入れると、特に操作をしなくともインターネットに接続され、クラウドサービスと同期し、パソコンや携帯電話等から、機器の設定やデータの閲覧が可能になる。このような、システムや計測装置をより簡単に活用できるサービスについては、今後の各計測機器メーカー等の取り組みにも期待したい。

J C M A

《参考文献》

- 1) 石田 仁、「五洋建設における携帯電話を用いた建設現場支援システムの運用～汎用性の高いITツールとして広く適用～」(2008年度 NEC C&C システムユーザー会論文)
- 2) 石田 仁、「携帯電話を活用した建設現場の管理システム」(2007年4月号 コンクリートテクノ セメント新聞社)

【筆者紹介】

石田 仁 (いしだ ひとし)
五洋建設株式会社
技術研究所 土木技術開発部 耐震構造チーム
担当課長



バックホウ 2D マシンガイダンスシステム

小林 一年

バックホウ 2D マシンガイダンスシステムについて 3D マシンガイダンスシステムとの違いを説明する。さらに、海外でのバックホウ 2D/3D の普及状況や導入事例、および国内事例を紹介し、2D マシンガイダンスシステムの概要や導入のメリットを説明する。

キーワード：バックホウ、マシンガイダンス、2D と 3D、情報化施工

1. はじめに

国土交通省が、平成 20 年 8 月に情報化施工推進戦略を発表し、各地方整備局でマシンコントロール（以下 MC）/マシンガイダンス（以下 MG）の試験施工が始まり、平成 22 年 8 月に重機の MC/MG に関しては、モータグレーダが平成 25 年度一般化に向けて普及の推進を図る技術として決定している。一方、ブルドーザやバックホウ等は、実用化に向けて検討している技術ではあるが結論が出ていない。

本稿では、バックホウ 2D マシンガイダンスシステムの実用性について、海外情報や国内活用事例を紹介する。

2. バックホウマシンガイダンス 2D と 3D の違いについて

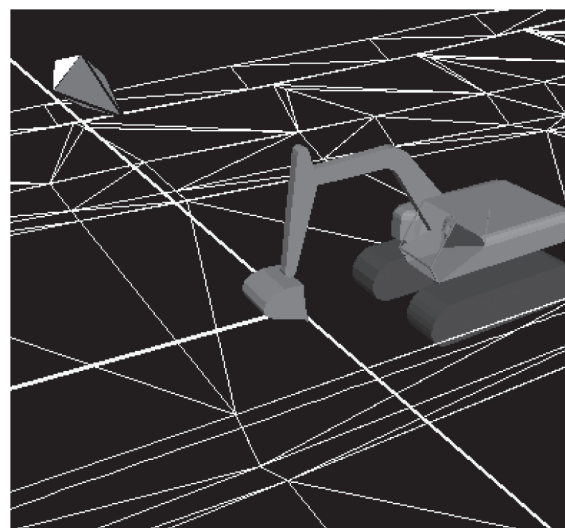
バックホウ 3DMG システムは、昨年度で 50 件以上（国交省統計）の実績があり、システムの概要について知っている人が多数存在すると思われる。ここでは、よく問い合わせを受ける 2D と 3D のシステムの違いについて説明する。

2DMG システム（図—1）は、バケット刃先の高さの基準を一度設定する必要がある、その基準高を使用した相対的なシステムである。一方、3DMG システム（図—2）は、マシンの位置を決定する GNSS センサを使用することによりバケット刃先の座標を決定する絶対的なシステムである。

施工条件の違いについて表—1 に示す。



図—1 バケット刃先を基準とした相対的なシステム



図—2 バケット刃先の座標を常持った絶対的なシステム

表一 2DMG と 3DMG の施工条件の違い

施工条件	2D ガイダンス	3D ガイダンス
3次元設計	不要	必要
丁張り・とんぼ (切り出し位置または高さ基準)	必要	不要
現場の規模	小規模から 大規模	中規模以上

それぞれのメリットについては

2D ガイダンス：

- ・従来方法の丁張りやとんぼを活用するため導入が容易。
- ・3D に比べて導入コストが安く小規模から導入可能。

3D ガイダンス：

- ・丁張り・とんぼ不要による設置コストの削減。
- ・複雑な設計でも3次元設計を使用することにより丁張りなしで対応可能。
- ・バケット最下部の履歴を記録することが可能で、浚渫工事ではどここのエリアの掘削が完了しているかがわかる。また、土量計算にも使用可能。
- ・大規模な工事での効果が期待できる。

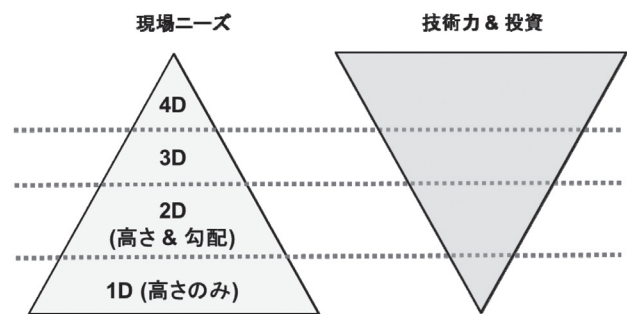
等である。

尚、実際の掘削スピードに関しては、2D/3D もあまり変わりはなくどちらの場合も現場の状況により20～50%効率アップされるが、3Dを使用した場合は掘削作業スピード以外の部分でのコスト削減が期待できる。

3. 海外のバックハウマシンガイダンスシステムの普及状況

海外のバックハウガイダンスシステムの普及は、約16年前から2DMGシステムがスタートした北欧が顕著である。2011年度は、新車販売されたバックハウの約50%が2DMGシステム、約15%が3DMGシステムを装備した状態で販売されている。特に2DMGシステムの普及率が高いのが日本の状況と大きく違うところである。海外でのMC/MGシステムの1D/2D/3D/4D(4Dは時間を含む)のセグメント別普及状況(図一3)を見た場合、技術的に比較的簡単に導入負担の少ない1D/2Dシステムが80%を占めている。

3Dシステムは現場での柔軟性やオペレータの直接施工(丁張り・水糸なしなど)を支援するものであるが、一方、導入には次のような項目が必要とされる。



図一3 セグメント別普及状況

- ・3Dより高い導入の初期投資またはレンタル費
- ・設計データの準備
- ・厳格なデータ管理(設計データの更新)

欧米の建設会社がMC/MGシステムの導入を検討した場合、比較的導入のハードルが低く、少ない投資で効率を上げる2Dシステムを最初に導入する傾向があり、北欧でもバックハウの普及状況についても同じような状況である。

写真一1はヨーロッパの現場事例である。現場ではバックハウMGシステムが3台稼働している。この現場の場合は、3Dシステム1台、2Dシステム2台のフォーメーションで施工している。写真ではわかりづらいかもしれないが、3Dを導入しているため丁張り水糸なしでの作業がほとんどである。このときの2Dシステムの運用方法は、

- ① 2Dシステム施工のために3Dシステムのバックハウが切り出し位置(法肩や法尻等)にバケットで印を付ける。
- ② その後、2Dシステムのバックハウがその切り出し位置を基準に施工。
- ③ 3Dシステムは単独で通常施工。

この方法により、追加で3Dシステムを導入することなく、少ない投資ながら高い作業効率を実現している。

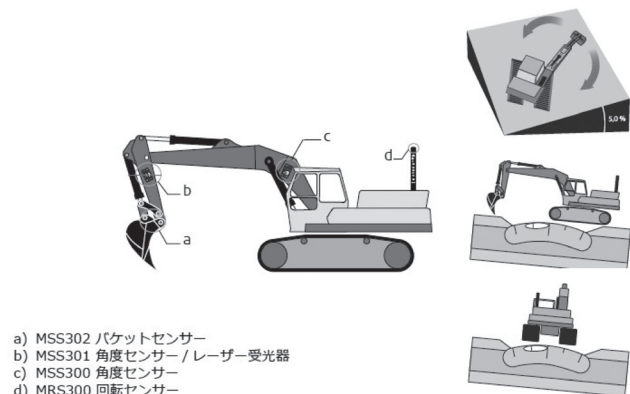


写真一1 ヨーロッパの現場事例

4. 2D マシンガイダンスシステム概要

(1) 概要

バックホウの2DMGシステム（図—4）は、車体の前後の傾きを補正する角度センサとブーム、アームとバケットに角度センサを利用してバケットの刃先位置（高さ及び水平距離）を計算するシステムである。システム（図—5）は、オペレータが設定した高さ／勾配の基準に対しての差を、数字または音でガイダンスを行う。尚、実際の掘削作業では、オペレータはバケットを見ながら作業を行うため、リモートディスプレイの活用や音で判断しながら掘削を行っている。これにより、従来、オペレータの感覚で掘削を行っていた作業が、オペレータの熟練度に左右されることなく施工することができ、現場の効率が従来工法と比べて20～50%アップする。



図—4 2D マシンガイダンスシステム

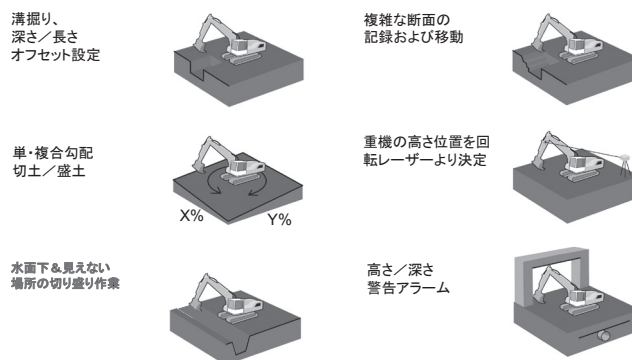


図—5 システムパネル

(2) 特長

- (a) バケットの高さ精度：0.7 m³ クラスで± 2 cm（バックホウの腕の長さの0.2%）
- (b) 簡単な操作
- (c) 水深 20 m までの防水機能
- (d) ブレーカの使用を可能にする耐震性(20,000 G)
- (e) 3D システムへのアップグレード

(3) 主な使用方法



(4) 操作方法

法面を掘削する場合の設定方法について簡単に説明する。

- (a) バケットを掘削断面に正対させて法面の切り出し位置にバケットの刃先を置き、高さのゼロセットを行う。
- (b) オペレータが設計勾配（例えば1割5分）を設定する。
- (c) バケットを前後に動かすとバケットの刃先と設計勾配の高さの差がディスプレイ表示される、または、オペレータにリモートディスプレイや音で高い・低い・オングレードをガイドする（図—6）。
- (d) オペレータは、リモートディスプレイの表示にしたがってオングレードになるようにバケットを操作すれば、設計勾配どおりに仕上がる。



図—6 リモートディスプレイ

5. 活用事例

(1) 事例 1 河道掘削工事

写真—2 は、大阪を流れる一級河川の大和川の河口部において例年実施されている河道掘削工事の事例である。現場条件は、河川幅約 200 m、水深 1.8 m～2.0 m、日中の潮位変化は 1 m である。従来工法では、潮流により変化する水位を測定しながらの作業で、不

可視での掘削作業，余掘など，改善すべき問題があった。バックホウ（1.4 m³ クラス）3 台に 2DMG システムと回転レーザーを組み合わせて浚渫を実施した。今回のケースのようにバケット刃先で高さの基準を取ることが難しい場合には，図－7 のように回転レーザーを使用する。回転レーザーを高水敷に設置し，この回転レーザーの高さを基準に掘削断面までの深さを決定する。これにより潮位に左右されることなく施工することができる。この現場では地山から 1.2 m まで掘削する必要があったが，平均して約 20 cm の余掘で管理することができ，工期が厳しい中，スムーズに施工が進んだ事例である。



図－7 回転レーザー



写真－2 大和川河道掘削工事

(2) 事例 2 土砂災害緊急対策工事

写真－3 は，熊野川（通称 天の川）清水地区土砂災害緊急対策工事の事例である。現場は，斜面の崩落現場での防護土堤作成作業が目的で，工事の内容は，

- ・作業道設置：674m
- ・作業道法面整形・養生：6,550 m²
- ・法面掘削・排土工：33,600 m³
- ・法面工：29,400 m²

現場は，まだ崩落の危険があるため，崩壊側（写真の左側）へ作業員が入ることのないように 2DMG を導入した事例である。この現場は現在も作業中である。



写真－3 防護土堤作成工事

6. おわりに

国土交通省は，バックホウ 2D／3D マシンガイダンス技術を，ブルドーザ MC 技術とともに実用化に向けて検討を進める情報化施工技術として挙げている。これまでのバックホウ 3DMG 施工の実績は，冒頭で述べたように 50 以上ある。一方，バックホウ 2DMG 技術は，国土交通省試験施工はかなり少ない状況である。

小規模の現場でも導入がしやすく，導入効果の高いバックホウ 2DMG 技術の試験施工を増やし，一般化・実用化に向けてさらに進むことを期待したい。

JCMA

【筆者紹介】

小林 一年（こばやし かずとし）
ライカ ジオシステムズ(株)
マーケティング本部
マシンコントロール担当マネージャー



簡易 VR を用いた「次世代無人化施工システム」の開発 建機の遠隔操作に VR を導入し、作業効率を改善したシステム

古 屋 弘・清 水 千 春

建設分野におけるロボット化は急速に進み、数多くのシステムが実用化されてきた。その中でも特にめざましい活躍を遂げたロボット技術の代表として、無人化施工は困難な場所での施工のほか、災害復旧等において大いに活躍している。この無人化施工は、災害が多発する日本で独自に発展した技術であり、災害復旧時においては二次災害の危険が想定される範囲内を施工するために、遠隔操作により工事を実施するような場合に用いられることが多い。しかし、無線遠隔操作に基づく無人化施工では、有人操作時よりもオペレータの取得可能な情報量が少ないことによる施工効率の低下や、高度な熟練技術が必要で操作を行える技能オペレータの確保が困難であるといった問題があった。これらの課題解決の一つの手法として、筆者らは最新の無線通信技術、3D および体感型操作環境（簡易バーチャルリアリティ）の活用による「次世代無人化施工技術」を開発し、その効果を検証するために、バックホウ及びクローラキャリアを利用して、がれきの破碎・積み込み・運搬・荷下ろしの重機動作の検証と、施工効率を確認する実証実験を実施した。

実験の結果、従来型の無人化施工に対して 20% の作業効率向上が確認され、長距離伝送性能の実用化に向けての無線中継技術に関する実用性も確認することができた。

キーワード：無人化施工、バーチャルリアリティ（VR）、体感型操作環境、3 次元

1. はじめに

近年、特に災害復旧の初動段階において、二次災害等の恐れにより作業員が入れない場所や、人体に危険を及ぼす環境での作業の実施に対して、「無人化施工」のニーズがさらに高まりつつある。無人化施工は災害が多発する日本で独自に発展した技術であり、例えば、土石流等による二次災害の危険が想定される範囲内の復旧作業時に、安全な場所から建設機械等の遠隔操作により工事を実施する施工システムである。

無人化施工技術は年々機能や操作性も進歩し、数多くの現場で利用されてきているが、無線遠隔操作に基づく無人化施工では、有人操作時よりもオペレータの取得可能な情報量が少ないことによる施工効率の低下や、高度な熟練技術が必要で操作を行える技能オペレータの確保が困難であるといった問題があった。また、災害の種類によっては、より遠隔地からの操縦も必要となり、各種情報や制御信号を含むデータの長距離伝送に関する課題もうかびつつあり、これらの解決に向けた実験も行われている¹⁾。

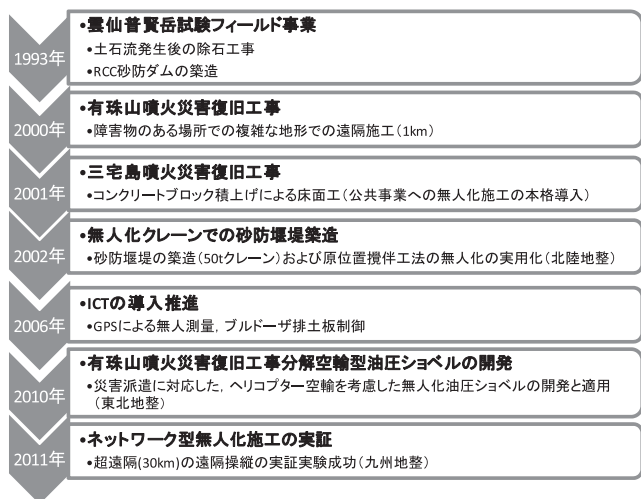
これらの課題解決のために、筆者らは最新の無線通信技術、3D および体感型操作環境（簡易バーチャルリアリティ）の活用による「次世代無人化施工技術」

を開発し、実工事への適用に向けて、新しく開発したシステムの効果に関する検証実験を行った。

2. 無人化施工の進展と建設を取り巻く状況

無人化施工技術は、ロボット技術の一つとして発展し、今日さまざまな現場で活躍するに至っている。この技術の発展には災害対策に対する、安全且つ確実な施工を実施するニーズがあった。特に近年は地震、豪雨、噴火災害など大規模災害が各地で発生し、それに対する対策に無人化施工が適用されている。

我が国の土木工事に無人化施工技術の基本原則である遠隔操作型の建設機械が導入されたのは、1969 年の富山大橋の復旧工事であった。この時の遠隔操作は目視操作で行われたようであるが、水中作業を安全に行った技術は、その後の無人化施工技術の基礎になったと言える。その後、この技術が大きな進歩を遂げたのは、1993 年の雲仙普賢岳噴火後の復旧工事への適用を目的とした「雲仙普賢岳試験フィールド事業」であった。この時に現在の機械技術、通信技術、情報処理技術が融合したシステムとしての無人化施工技術が確立したと言える^{2), 3)}。これ以降の無人化施工の技術の発展を図-1 に示す。



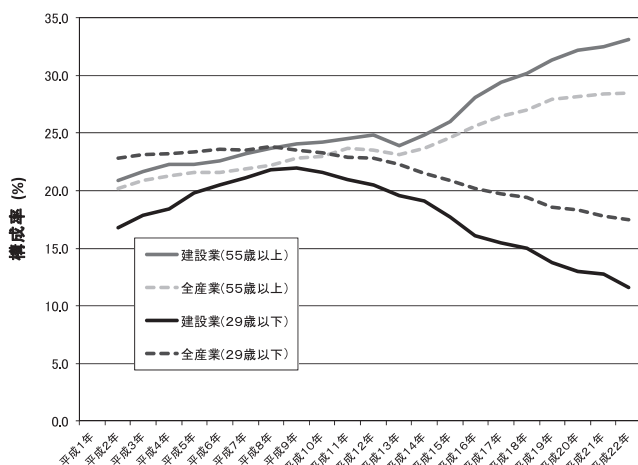
図一 無人化施工技術の変遷（1993 年以降）

その後、我が国は不幸なことに、表—1 に示すような数多くの自然災害にさらされ（1992 年から 2011 年まで記載）、多くの被害を受けている。これらの災害復旧や社会インフラの再構築にも無人化施工技術は大いに活躍している。

このように無人化施工は災害復旧に対する活躍も大きいですが、高度な技能や高い習熟度を有する作業員の不足に対しての技術的対応という面もある。例えば、図—2 に示すように建設業の就労者の高齢化と若年労働者の不足傾向は、他産業に比較して悪化しており、震災復興に関わる建設需要のほか、今後対応を迫られる国内の社会インフラの老朽化に伴う補修やリニューアルに対しての需要に答えられなくなる懸念もある。

表—1 近年の国内の災害

年	大規模災害	建設関連の事項
1992		建設投資ピーク 84 兆円、GPS を用いた転圧管理 実用化始まる
1993	北海道南西沖地震（7 月）、平成 5 年 8 月豪雨（鹿児島県）（8 月）	無人化施工技術の開発（鹿島建設、大成建設、西松建設、熊谷組、フジタ）、無人化施工（試験開始：雲仙）
1994	北海道東方沖地震（10 月）、三陸はるか沖地震（12 月）	大型土木工事における遠隔制御システム—雲仙普賢岳無人化施工（大成建設、フジタ、大本組、鹿島建設）
1995	兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）（1 月）	GPS を用いた土工管理システム開発（大林組、鹿島建設、大成建設、住友建設、大日本土木）
1996		海外建設受注高史上最高（1 兆 5,926 億円）
1997	鹿児島県出水市針原川土石流災害（7 月）	建設業就業者数ピーク 689 万人
1998	高知豪雨（9 月）	
1999	6.29 豪雨災害（福岡・中国地方）（6 月）	
2000	有珠山噴火（3 月～）、三宅島噴火：全島避難（7 月～）、東海豪雨（9 月）、鳥取県西部地震（10 月）	
2001		雲仙・水無川の導流堤完成
2002		3 次元データを用いたマシンコントロール実用化
2003	宮城県北部地震（7 月）、十勝沖地震（9 月）	国土交通省「TS・GPS を用いた盛土の締固め情報施工管理要領（案）」施行により、土工における情報化施工が進展しはじめる
2004	新潟・福島豪雨／福井豪雨（7 月）、新潟県中越地震（10 月）	GPS を用いた締固め管理システムの開発（大林組、大成建設、鹿島建設、前田建設、住友建設、大日本土木）
2005		国土地理院国内 1,200 点の GPS データを配信サービス開始（7 月）、「オフロード法」の公布（5 月）、「改正廃棄物処分法」「公共工事品質確保推進法」施行
2006	平成 18 年豪雪（日本海側）、平成 18 年 7 月豪雨（九州・中部）（7 月）	
2007	能登半島地震（3 月）、新潟県中越沖地震（7 月）、福岡県西方沖地震（9 月）	
2008	岩手・宮城内陸地震（6 月）、平成 20 年 8 月末豪雨（紀伊半島～関東）（8 月）	
2009	平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨（7 月）	
2010	西日本豪雨災害（7 月）	
2011	東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）（3 月）、紀伊半島豪雨災害（9 月）	



図一 建設業における就労者の年齢構成（資料：総務省「労働力調査」）

さらに、若年層の建設産業就労者の減少は、次世代への技術継承のみならず、ICTなどの導入に向けてのリテラシーの向上といった観点からも憂慮すべき事態である⁴⁾。

このような建設業を取り巻く環境の中で、無人化施工へのニーズは増えつつある。しかし、現状では無人化施工に対応できるオペレータは少なく、新しいオペレータ育成は必要であるにもかかわらず、技能習得のチャンスが少ないといった状況である。また、無人化施工を必要とする災害復旧工事では、近年では特に難易度の高い作業が要求されることが多く、図一に示すような建設業の若年就労者不足に伴い、無人化施工に対応したオペレータを確保できないことも考えられる。

3. 無人化施工が抱える課題

無人化施工は、これまで述べたように災害復旧やそれに伴うインフラの構築において、人間が立ち入ることが困難な場所での施工に活躍してきたわけであるが、遠隔操作を行う手法として「直接目視」と「映像システム」を用いる方法がある。

直接目視操作は重機の近傍からの操作を前提としており、設備がシンプルで導入しやすい反面、建設機械の死角により操作効率が低い。しかし、オペレータが通常の操縦席から見えないような場所を作業ターゲットとする場合は威力を発揮する。

一方で映像システムは、設備が複雑になるが施工効率は直接目視方式より向上する。もちろん遠隔からの操作を前提としており、災害復旧を本格化するような場合はこのようなシステム化を用い施工を行うこととなる。近年では、この無人化施工は30 km以上離れた場所から施工が可能となっているが¹⁾、災害対応に

適用する場合には近年では無人化施工対応の機械の不足や、これに対応したオペレータの不足といった課題もでてきている。

4. VRを用いた次世代無人化施工技術の開発目的

3章で述べた幾つかの課題解決のために、筆者らは最新の無線通信技術、3Dおよび体感型操作環境（簡易バーチャルリアリティ）の活用による「次世代無人化施工技術」を開発し、その効果に関する検証実験を行った。

従来の無人化施工技術は、オペレータ席からの映像を映す車載カメラと、作業エリアを俯瞰して映し出す2系統のカメラの両者の映像情報を用いて遠隔操縦を行うものであるが、今回開発したシステムは操縦性の向上およびそれに伴う作業効率の向上を目指し、さらに以下の技術を盛り込み、実用化に向けての実験を実施することとした。

- ① 3D カメラ等の活用：通常の遠隔操作に活用されているモニタリングカメラのほか、3D カメラ、全方位カメラを利用し、視覚情報を増大させることにより操作性を向上させる。
- ② VR（バーチャルリアリティ）の導入：視覚情報のみならず現場での作業音、重機の振動・傾斜をセンサで取得し遠隔操作席で再現することにより、オペレータに現場からの情報を実感的に与えることで、操作環境を通常の運転席に近づける。
- ③ 大きな情報伝送量の試験：最新のデジタル無線システムを活用し、画像や動作環境など多くの情報を活用できる環境を実現する。また、長距離遠隔操作を視野に入れ、中継局を利用した遠隔操作も実施する。
- ④ 遅延対策：映像系統と操作系統を分離し、各系統のデータ処理の遅延を最適化することにより、スムーズな操作を実現する。特に3D カメラを搭載した1.4 m³ バックホウ（後述表一2 参照）では、通常カメラと3D カメラの系統を分離し、トラフィックを分散することにより遅延を防止することとした。
- ⑤ フェイルセーフ：通信障害などの無線の一時的な不通においても、重機同士の接触が起らないように、スタンドアロンで動作する衝突防止（接近）センサを装着し、安全対策を実現することとした。

これらの目標を実現するために、新しい技術を搭載した「次世代無人化施工システム」を構築し、その効果を検証するために、バックホウ及びクローラキャリアを利用して、コンクリート製のがれきの破碎・積み

込み・運搬・荷下ろしの重機動作の検証と施工効率を確認する実証実験を実施した。実験においては、施工効率の比較を行うために、通常の有人操作および有視界での無線操作による作業も行った。

5. 実証実験の内容

前章の目標の実現に向けて、新しい遠隔操作のシステムを開発し、2012年1月に埼玉県川越市のテストヤードにて施工試験を実施した。この実験では、コンクリート製のブロック（がれきに相当）を破碎、運搬車に積み込み、運搬、荷下ろしの一連の作業を行うことを想定し、以下の重機に遠隔操作のシステムを搭載した。

- ①バックホウ 1.4 m³ 級
- ②バックホウ 0.8 m³ 級
- ③クローラダンプ 10 t 級

上記の重機に搭載された遠隔操作システムの他、試験エリアの監視カメラ、長距離中継無線装置を配置した。実験の状況を図一3に示す。

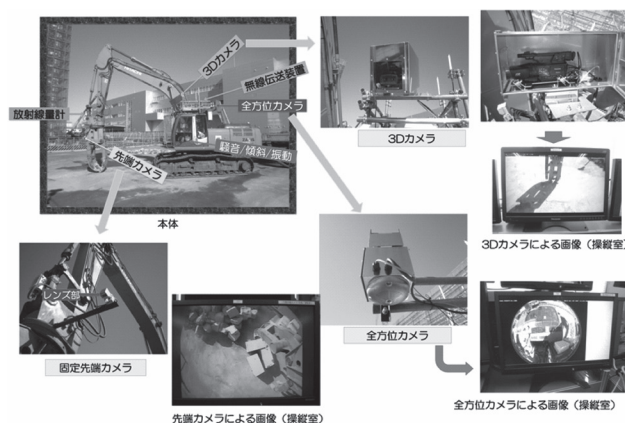


図一3 実験概要（実験に使用した機械と配置）

(1) 3D 画像等による情報量の増大

今回の実験における検証の最も重要なポイントである、遠隔操縦を行うオペレータに対する視覚情報の増大を目的として、3Dカメラ、全方位カメラを1.4 m³ 級バックホウに図一4に示すようにそれぞれ配置し、実用検証を行った。キャビン上部の通常の作業時のオペレータの視線に近い場所に3Dハイビジョンカメラを設置するとともに、キャビン上部前方に全方位カメラ、ブーム先端に通常のカメラを配置した。なお、後述するバーチャル体感型操縦を実現するために、傾斜計、振動計、マイクを設置したほか、騒音計、放射線量計、衝突防止用の超音波センサも搭載した。

ここで特出すべき点は、全方位カメラの出力は通常はマルチモニタにて行うことが多いが、遠隔操縦オペレータは魚眼の画像を選択した点である。マルチモニ



図一4 無人化施工用バックホウにおける要素機器の配置

タによる視線移動よりも、魚眼形の画像に慣れ、一画面の中から情報を取得する方法を選択したわけである。通常、重機による作業により近づけるために、後述する3D画像を提供することとしたが、遠隔操縦室ではモニタを介しての情報提供となることはシステム上仕方の無いことである。この時にあまり多くのモニタを配しても、逆にオペレータの情報取得を妨げる恐れがあることを示している。

(2) 遠隔操縦室へのVRの導入

重機に設置した様々なカメラから取得した視覚情報のみならず、現場での作業音、重機の振動・傾斜をセンサで取得した重機の情報を遠隔操作席で再現し、オペレータに現場からの情報を実感的に与えることで、操作環境を通常の運転席に極力近づけることを目的に、図一5に示すような操縦室を構成した。遠隔操縦オペレータに対して多くの情報を与えるために、以下のような機器（装置）を導入した。

- ①3Dモニタ（ハイビジョン映像）
- ②体感装置付運転席
- ③作業重機キャビン内の音情報の再生装置

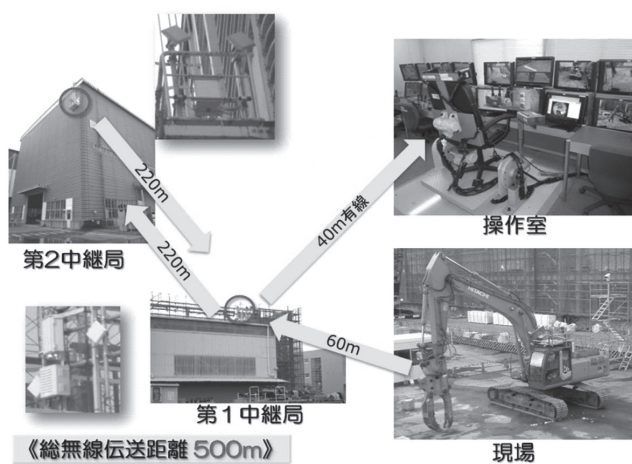


図一5 無線操作室における機器等の配置

上記の3つの装置は、三者を同時に使用することにより、より実際の重機に近い状況を遠隔操縦室に再現し、オペレータの操作支援を目的としたものである。体感装置付運転席は、重機に設置したセンサからの情報を、運転席の前後左右動で再現するものであるが、実際の重機では作業状況により、かなり運転席が急傾斜となる状況も発生しうる。このような状況を忠実に再現すると、平面場におかれたモニタとの乖離が生じて操縦に支障を来す恐れがあるため、座席傾斜の調整機能を設け、体感状況が損なわれない範囲で適切な運転姿勢が保たれるようにした。

(3) 情報伝送量の試験

無人化施工のシステムの要である遠隔操縦を実現する無線、および伝送システムに関しては、図—6に示すような伝送試験を実施した。これは、超遠隔操縦を行う場合、既存の通信網も利用することは充分考慮すべきではあるが⁴⁾、現場と既存インフラまでの所謂「ラストワンマイル」の部分では、無線中継等を利用する必要があり、この中継による問題点を明らかにすることを目的とした。



図—6 遠隔操作無線システムと伝送実験概要

特に今回の実験では、重機に搭載した3Dハイビジョン画像のほか、様々なカメラ（全方位カメラ、現場固定カメラなど）の情報と、センサ類からの情報、操縦信号など非常に多くの情報を送受信する必要があった。このため、映像系統と操作系統を分離し、各系統のデータ処理の遅延を最適化することにより、スムーズな操作を実現することとした。今回利用した無線を表—2に示す。

ただし、このように操作系と画像系の無線を分離することは、現場導入の際の問題となる場合もある点に注意する必要がある。大規模な災害が発生した場合には、無人化施工に対応した機械が大量に投入されることも考えられ、この場合に無人化施工に利用できる周波数帯域が限られていることから、それらを効率よく利用することに配慮しなければならない場合がある。無線に関してのこのような問題解決に関しては、これからも継続した技術動向の監視と、必要に応じたシステム改良が必要である。

6. 実験結果

このように、新しい3Dおよび体感装置を装備した「次世代無人化施工技術」に関して、その操作性および作業効率の検証を行った。以下に検証委結果をまとめる。

(1) オペレータへのヒアリング結果

今回のシステムでは図—7に示すように、3Dモニタを中心に6つのモニタからの情報を視覚で捉えながら、体感型操縦席に座り、重機の姿勢や周囲の音などを遠隔操縦室で体感しながら重機をコントロールすることとなる。この際の3Dメガネ装着や体感装置の動きなどに対するオペレータの感想をヒアリングし、システムの成熟に役立てることとした。

表—2 実験で用いた無線システム

機械名	使用機械	規格	周波数	送信電力	通信プロトコル	通信速度
遠距離操作 バックホウ 1 1.4 m ³ 級	遠隔操作無線	新簡易無線	348 MHz	1 W 以下	独自	2,400 bps
	映像伝送無線 1	包括無線（アクセス無線）	4.9/5 G 帯	250 mW 以下	IEEE802.11j	54 Mbps
	映像・音声伝送無線 2	包括無線（アクセス無線）	4.9/5 G 帯	250 mW 以下	IEEE802.11j	54 Mbps
遠距離操作 バックホウ 2 0.8 m ³ 級	遠隔操作無線	包括無線（アクセス無線）	4.9/5 G 帯	250 mW 以下	IEEE802.11j	54 Mbps
	映像伝送無線	包括無線（アクセス無線）	4.9/5 G 帯	250 mW 以下	IEEE802.11j	54 Mbps
	カメラ切替制御無線	包括無線（アクセス無線）	4.9/5 G 帯	250 mW 以下	IEEE802.11j	54 Mbps
遠隔操作 クローラダンプ 11 t 級	遠隔操作無線	新簡易無線	348 MHz	1 W 以下	独自	2,400 bps
	エリアセンサ	特定小電力無線	429 MHz	10 mW 以下	独自	1,200 bps
長距離中継無線	中継用無線	小電力データ通信システム	25 G 帯	2 mW 以下	独自	150 Mbps



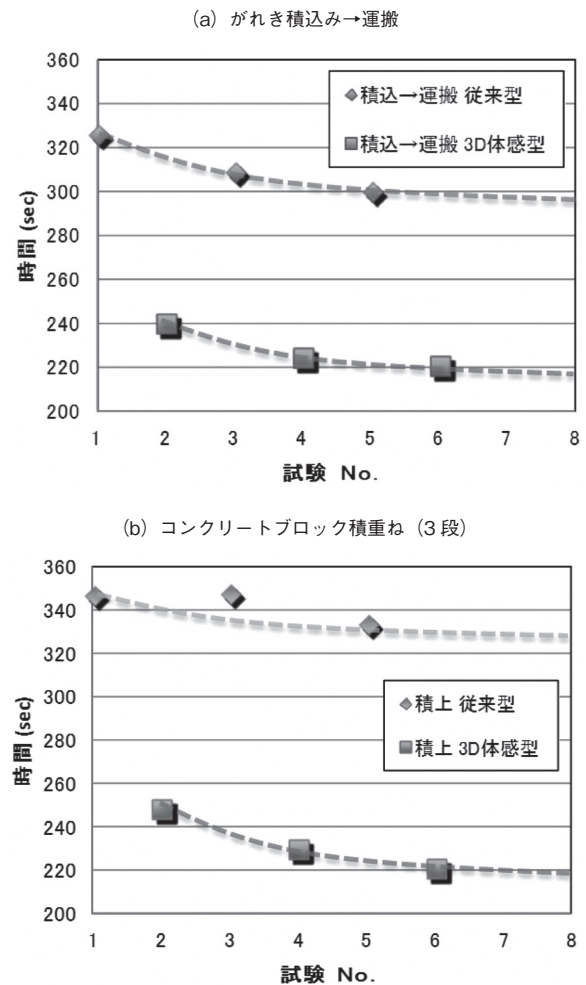
図ー7 操作室における遠隔操作の状況

体感装置および3Dのハイビジョン画像はオペレータに非常に好評で、今回の実験では次に述べるコンクリートブロックの積み上げ（サイクルタイム計測のための遠隔操縦による積み上げ）試験では、従来型の遠隔操縦に対しての情報量の多さと、臨場感に関してよい印象を述べる事が多く、ヒアリングの結果からは操作性に関して、従来のシステムに対して改善されたと思われる。ただし、より良い作業性の実現にはさらに多くのオペレータのサンプルの意見・感想が必要である。

(2) 作業効率の比較

従来型の無人化施工技術と、今回の3Dおよび体感装置を用いたシステムとの作業効率の比較を行うために、①3個のコンクリートブロックを積み込み→運搬→荷下ろしする作業と（図ー8の(a)）、②3個のブロックを積み重ねる作業（図ー8の(b)）、の2つに関してサイクルタイムの比較試験を実施した。この際、それぞれのシステムに対してオペレータの慣れが生じるため、各3回の作業を交互に実施（図ー8に示す試験No.に対応：1.従来型→2.3D体感型→3.従来型→4→5→6）することとした。試験の結果を同図に示す。

それぞれのシステムで、①、②の作業とも、オペレータの慣れにより、作業回数が進むにつれ作業時間は短



図ー8 サイクルタイムの比較（従来型と今回開発した3D体感型）

くなっていくことが解る。また試験回数が各3回と少ないが、図ー8の実験結果から計算した外挿結果（図中の破線）から、作業にかかるサイクルタイムは収敛していくようである。

この結果に加え、さらにブロック1個の運搬、破碎後の細かいブロックの積み込み作業を、遠隔操作によらない機上作業のサイクルタイムも含めてまとめたものを表ー3に示す。遠隔操縦による無人化施工の効率が通常の機上操作に比べて低いことは仕方のないことであるが、例えば表ー3に示した作業のうち、単純なブロック運搬では、今回開発した3D体感型のシステムでは、機上操作に比べてもサイクルタイムの低下

表ー3 作業サイクルタイムと施工効率の比較

作 業	①機上操作 (sec)	無線操作 (sec)		効率 (%)		
		②3D体感型	③従来型	A : ①/②	B : ①/③	A - B
ブロックの運搬	76	80	118	95	64	30
破碎後のブロック積み	87	111	165	78	52	25
3ブロックの運搬	149	229	361	65	41	23
3ブロックの運搬・積み	154	236	387	65	39	25

はほとんどなく、他の作業に関しても従来型よりも優位である結果が得られた。

作業効率を、遠隔操作による作業時間を機上作業による作業時間で除して求めると（表—3のA、Bの項目）、従来型の遠隔操作では40～65%程度の作業効率であるのに対し、今回開発した3D体感型では65～95%の効率となった。このように、無人化施工の作業効率は、一般的に言われているように、従来の施工に比べ50～60%程度であるということが実験結果からも示されたとともに、今回開発したシステムの有効性が示された。

以上の結果から、作業効率は従来型の無人化施工に対して20%以上の向上を達成できたものと考えている。

7. おわりに

今回の3D画像と体感型操縦を用いた「次世代無人化施工システム」の開発と、その検証実験で以下の知見を得た。

- ① 3D映像及び体感装置を用いた遠隔操作システムは、オペレータにとって操作性を向上させる。
- ② 機上作業に対しての作業効率の低下は否めないが、従来型の遠隔操作技術に対して、その低下の割合は少ない。
- ③ 従来型の遠隔操作技術に対して、効率は20%以上向上する。

今回紹介した無人化施工のシステムは、まだ実験段階で実用化には至っていない。過酷な現場での実用化には当然障壁が予想されるが、新しい試みとして体感型操縦装置、および3Dハイビジョンシステムを導入してオペレータ支援を行うシステムは、今後の無人化施工に寄与する技術となるものと考えている。実験の期間や場所の制約から、多くのケースの実験を行うことができず、必ずしも精度の高い検証が行えたとはいえないが、現場施工への適用（実用化）の可能性を強く示

すことができたと考える。また、今回の実験では比較的安定した環境で無線通信を行うことができたが、実際の現場では前述のように、無線の混信や周波数の取合い等の問題も懸念される。この部分に関しては、これから引き続き検討する必要がある。

無人化施工技術は、災害復旧に多用されているが、国内の災害発生がなくなり、この技術の効率が上がり、通常の施工方法に変わって一般的なものに適用され、建設環境の向上に寄与できるようになる技術まで昇華することを切に望むところである。

JCMA

《参考文献》

- 1) 建設無人化施工協会 技術委員会：雲仙普賢岳火山砂防事業における無人化施工の最新技術，2011.10
- 2) 建設無人化施工協会 技術委員会：無人化施工の推移と展望，建設の施工企画，2006.11
- 3) 猪原幸司他：災害復旧における遠隔操作式建設機械の現状と最新の工事事例，建設機械，2005.5
- 4) 古屋 弘：（総説）建設事業における情報化施工（ICT）の活用，基礎工 Vol.40, No.5, pp.2-7, 2012.5
- 5) 土木学会建設用ロボット委員会：建設用ロボット技術による災害対応および復旧・復興支援に向けた提言，2012.2
- 6) 猪原幸司他：災害復旧における遠隔操作式建設機械の現状と最新の工事事例，建設機械，2005.5
- 7) 建設無人化施工協会 技術委員会：無人化施工の推移と展望，建設の施工企画，2006.11
- 8) 第24回建設用ロボットに関する技術講習会テキスト，土木学会，平成19年5月

【筆者紹介】

古屋 弘（ふるや ひろし）
（株）大林組
技術研究所 生産技術研究部
主任技師



清水 千春（しみず ちはる）
（株）大林組
東京機械工場 技術開発支援課
課長



可視光通信 3 次元位置計測システムを 現場に適用し実用化

三 上 博

建設工事の施工管理において必要とされる構造物等の変位計測を、目で見える「可視光」をデータ通信手段として利用することにより、市販のデジタルカメラを用いて、自動的かつ経済的に行う新たな技術を開発した。本システムは、点滅する LED 光源を測定対象物に多点配置し、2 ヶ所からデジタルカメラで撮影することによって、3 次元位置を自動的に計測できるものである。工事の施工管理に必要な測量や、近接構造物の変位計測などへの適用性が高く、今後の用途拡大が期待される。本報では、このシステムの概要および、建設工事の施工管理における二つの実施例について紹介する。

キーワード：可視光通信, 写真測量, LED, デジタルカメラ, 橋梁, アルミドーム屋根

1. はじめに

橋梁、トンネルなどの建設工事では、施工中の構築物の測量を精度良く、かつ短時間で行うことが必要不可欠である。また建設工事に伴う、周辺近接構造物への影響や、造成に伴う切土斜面の安定などの把握のため、即時的かつ継続的な変位計測が求められる機会も多い。しかしながら、既存の測量技術は、測定員による人力作業を伴う場合が多く、また一方で自動計測化を実施するためには、計測機器類やそれらの設置に多額の費用を要する場合が多い。可視光通信を用いた 3 次元位置計測システムは、デジタル写真測量技術と最新の通信技術である可視光通信を融合することにより、自動化に優れる 3 次元測量システムを、経済的に実現するものである。以下に、技術概要と、工事への適用事例を紹介する。

2. 技術の概要

(1) 可視光通信とは

可視光通信は、人間の目に見える光—「可視光」を使って通信を行う最新の通信技術である。LED などの照明機器を人間の目には感じられないほどの高速で点滅させることによって、大容量のデータ通信が可能で、以下のような特徴を有している。

- ①通常の照明機器に通信機能を付加するだけで通信環境が整備できる。
- ②通信範囲が目で確認できる。

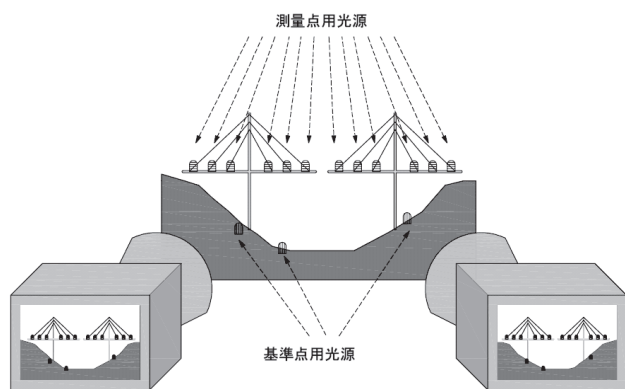
- ③電磁波などのように人体や精密機械に影響を与える心配がなく、病院などでも使用できる。

現在は、LED などの可視光素子を照明や信号機、電光掲示などに利用しつつ、データ発信も同時に行う高速、安全でユビキタスな可視光通信システムについて、可視光通信コンソーシアム (<http://www.vlcc.net/>) を中心に研究、開発、標準化、普及などの取り組みがなされている。

(2) 可視光通信 3 次元位置計測システム概要

本計測システムの測位の基本原理は、従来から行われているステレオ写真測量と同一である。計測対象物に標点を設置して、これを 2 ヶ所から同時に写真撮影することによって、その座標を算出する技術である。本システムは、測量標点に点滅する LED 光源を用いることを特徴としている。LED 光源は、固有の ID 番号などを表すデータパターンに従って点滅を繰り返すことによって、光で情報を発信する（図—1）。一般的な可視光通信によるデータ通信では、人間の目には感じられないほどのスピードで高速に LED の点滅を行うが、本システムでは、受信装置としてデジタルカメラの連続撮影機能を用いるため、約 0.6 秒間隔程度のゆっくりとした点滅パターンを用いている。

システムのハードウェア基本構成は、市販の高解像度デジタル一眼レフカメラと画像解析用のパソコンおよび標点となる LED 光源からなる。適用方法は、まず、座標が既知の基準点と、測量しようとする標点の両者に LED 光源を設置し、それら全体をデジタルカメラ



図一1 可視光通信 3次元位置計測システム概念

によって2カ所より一定の時間連写撮影する。その撮影データを連結しているパソコンに取り込み、画像解析を行うことによって各光源の位置の算出およびID番号を受信する。そして、2カ所で撮影したデータを用いて、各測量点の3次元座標を算出する。

(3) 可視光通信によるID送信方法

本システムでは、可視光で送られるID情報の受信機として、市販のデジタルカメラを使用している。現在システムで用いている機種では、約16秒間で連続100枚の撮影が可能である。IDの通信は、送信側と受信側を非同期で行うため、1パケットの通信で使用する撮影枚数は50枚以内とする必要がある。本システムでは、連続した約0.16秒間隔の4枚の撮影（4回のサンプリング）で1ビットのデータを受け取る方式を採用している。LED光源が光っている場合を「1」、光っていない場合を「0」として、下記のような組み合わせでビットを表現している。

4sample → 1bit

0011 → 0

1100 → 1

例えば、ある標点の変化を写真撮影で調べた場合、「光っている（1）、光っている（1）、光っていない（0）、光っていない（0）」という順番で4枚の画像が得られた場合、2進数の「1」が送られて来たと判定する。ID番号は6bitのデータとして送信するものとしており、さらにデータの始まりを示す3bitのヘッダー、データの最後尾に受信データの誤りの有無を判定するための、多項式による巡回冗長検査（CRC）3bitを付加して都合12bitのデータとしている。

(4) 写真測量の手順

撮影された光源から、3次元座標（x, y, z）を求める手順に関しては、一般的なステレオ写真測量と同

一の手順による。まず、基準点（座標既知点）に対する後方交会によってカメラの位置姿勢を求める。本システムでは、撮影計測対象範囲の中に、少なくとも4点以上の基準点を設け、測定対象未知点と同じようにLED光源として、写真撮影で同時に撮り込む。これらの基準点は、測定対象系とは異なる不動点に設け、あらかじめトータルステーションを用いた測量により座標値を求めておく。

次に、2カ所のカメラ位置から撮影された画像から、三角測量の原理により、各光源の3次元座標（x, y, z）を求める。ここで、2カ所で撮影された光源のマッチングは、受信されたID番号から自動的に行うことができる。

(5) 使用機材

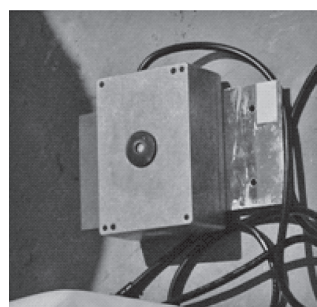
本システムでは、表一1に示す仕様の機材を用い、建設現場での適用を行っている。写真一1に使用するデジタルカメラを、写真一2にLED光源を示す。また計測データを直ちに解析処理して、結果を即時に表示する自動計測システムとして、図一2に示す構

表一1 使用機材仕様

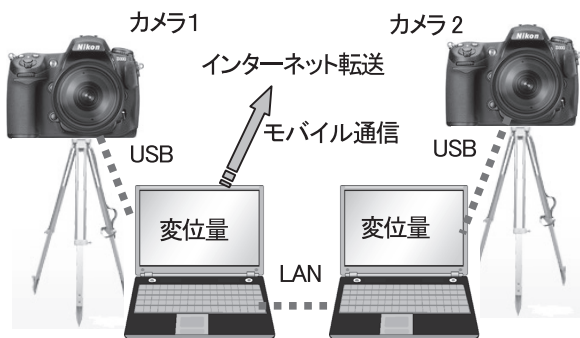
LED 光源 (送信機)	データレート	1.61bps
	変調方式	2PPM
	平均送信電力	5 W
カメラ (受信機)	本体	Nikon 製 D300
	焦点距離	28.659 mm
	解像度	4,288×2,846 画素
	イメージセンサー	23.6 mm×15.9 mm



写真一1 一眼レフデジタルカメラ



写真一2 LED光源（測量標点）



図一 自動計測システムの構成

成を用いている。カメラで撮影した画像をネットワークで接続された2台のパソコンに自動的に取り込み、直ちに計測された変位量を表示するものである。

(6) システムの特徴と利点

本システムは、従来の写真測量技術や変位自動計測システム等と比較して、多くの利点を有していると考ええる。以下に、システムの特徴と利点を列挙する。

- ① 標点の座標とそのID情報を同時に取得するため、多点の3次元座標算出の完全自動化が可能となり、測量作業の大幅な省力化が達成できる。
- ② 市販のデジタルカメラやパソコンで構成されるシステムによって、GPS測量に匹敵する精度の測量が経済的に行える。
- ③ 夜間の無人自動測量が可能である。測量のたびに技術者が測点に行く必要がなく、安全性の向上と省力化が可能となる。
- ④ このシステムの測量精度は、使用するデジタルカメラの画素数および測定距離に依存する。一例として市販の1,200万画素のデジタル一眼レフカメラを使用した場合、計測対象が40m×40m程度の範囲であれば1mmの精度（分解能）で計測が可能である。

3. 建設工事での適用事例

(1) 配水池アルミドーム屋根計測への適用

アルミニウム合金製ドーム屋根の日照などによる温度変化によって生じる変位量の確認のため、本計測システムを適用した。工事概要を以下に示す。

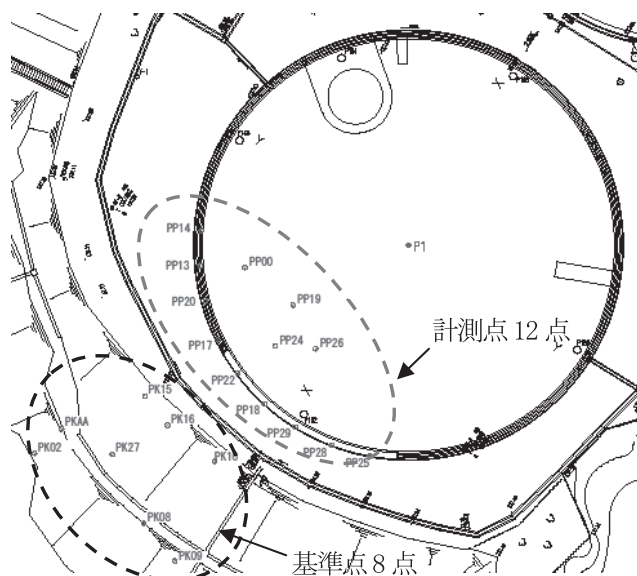
- ・発注者：JFEエンジニアリング(株)
(元発注：神戸市)
- ・工事名：狩場台特1高区配水池増設本体工事の内アルミドーム屋根工事
- ・施工場所：神戸市西区狩場台1丁目
(神戸市水道局狩場台配水場内)



写真一 3 アルミドーム屋根外観

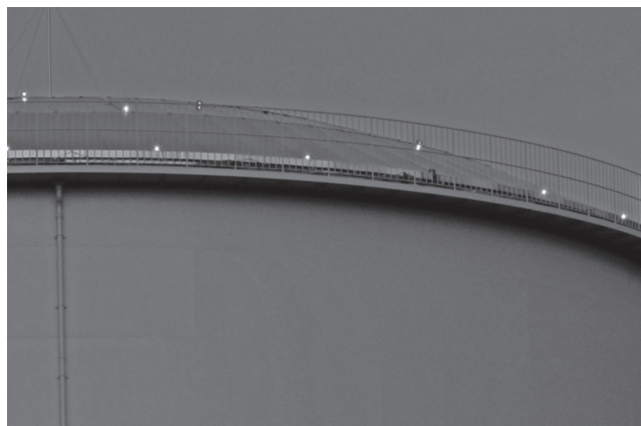
本工事は、鋼製配水池（直径43.5m）の上部にアルミニウム合金製ドーム屋根（以下、アルミドーム）を建設するものである。アルミドームは、自重、上載荷重、積雪荷重、温度荷重などによる鉛直力は下部の躯体（鋼製側壁）に伝達するが、水平力はスライド支承を介し、躯体に伝達しない構造となっている。アルミニウム合金は線膨張係数が大きいので、特に日照などによる部材の温度変化に伴う変位量が多い。従ってスライド支承が正常に機能することが構造上重要な確認点となっている。

本事例では、実際に架設されたアルミドームが日照などによる温度変化によって、膨張・収縮する際の変位量やスライド支承の動きを確認するために、昼夜連続の変位計測を実施した。屋根の計測点12点および地盤面上の基準点8点にLED光源を設けた（図一3）。これらの標点に対して、配水池から約40mの距離に



図一 3 計測点および基準点設置位置

設置した2台のカメラを用いて20分間隔、24時間連続の自動撮影を行った。撮影した画像は直ちに各カメラに接続されたパソコンに取り込まれ、変位量が算出された。夜間配水池の上部に測量員が上る必要もなく、安全かつ効率的に測量が実施できた（写真—4）。



写真—4 LED光源点滅状況（夜間）

計測結果の一例として、12点の計測点のなかから、代表する5点を選んで、変位の経時変化図を作成した（図—4）。また、図中には、アルミドームの5ヵ所で計測した部材の温度（5点平均値）を同時に示している。

各点の変位は、アルミドームの中心（頂点）を原点として、放射方向への水平変位成分を示したものである。伸長側を正とし、圧縮側を負として表示している。測定日の部材の最大温度変化23℃に対して、屋根の水平変位は屋根端部の計測点（PP13, 22, 28）で約4mm、屋根中間部の計測点（PP19, 26）で約2.5mmであったことが分かる。また温度上昇に伴って屋根は伸長し、温度減少時には圧縮するが、温度変化に対して数時間の遅れを伴って屋根変位が追従していることが分かった。20分毎の各計測点の値を見ると、0.5mm

程度のゆらぎを伴ったものであるが、今回の計測条件（撮影距離約40m、撮影範囲約40m、カメラ1,200万画素）では、おおむね1mm程度の分解能で変位を測定することが可能であった。

計測結果を別途実施したFEM解析結果等と比較した結果、アルミドームのスライド支承機構が適正に機能していることが確認できた。

（2）橋脚基礎工事に近接した既存構造物動態観測への適用

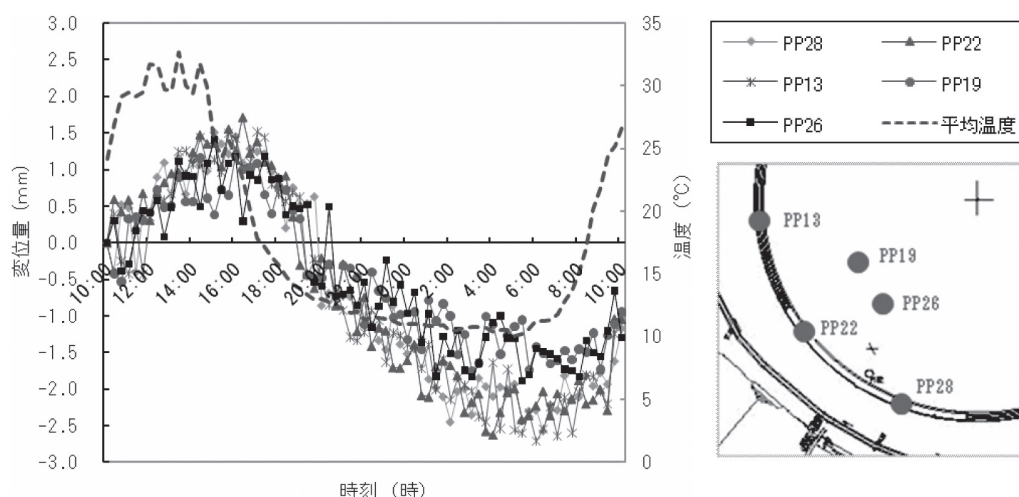
橋脚工事に近接した既設構造物に対する変位計測事例について紹介する。以下に、当該工事の概要を示す。

工 事 名：平成21年度緊急地方道路（街路）整備工事（県単）（その2）

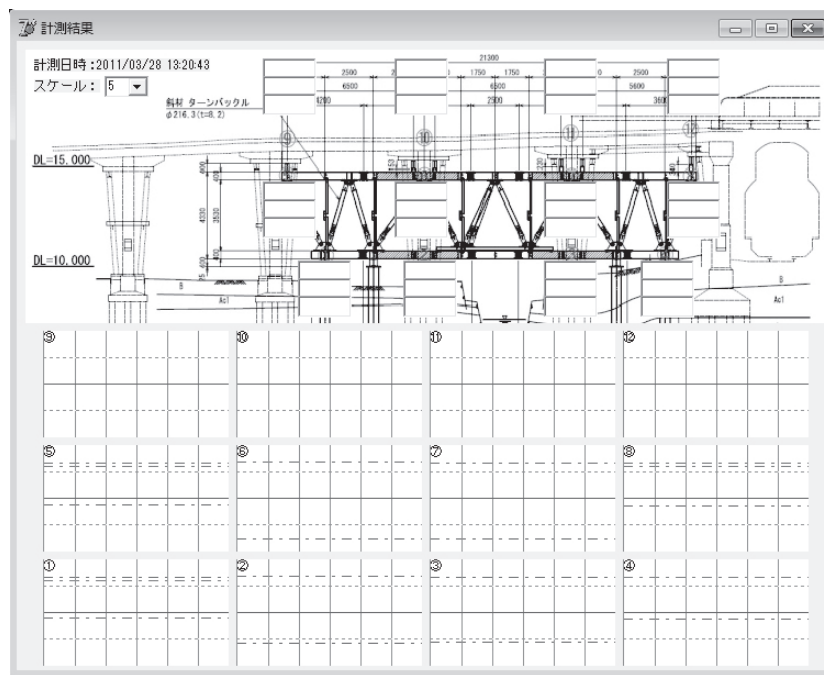
発 注 者：神奈川県藤沢土木事務所

施工場所：神奈川県鎌倉市小袋谷～台

本工事は、JR大船駅近くにおいて、JR横須賀線を跨ぐ道路橋の架け替えなどを行う、大船立体整備事業の一環として施工されたものである。当社はこの事業の中で、新設橋梁の橋脚工事（P2～P4の3橋脚）の施工などを行った。工事における技術的課題としては、橋脚（P2）の基礎杭（直径3mの場所打ち杭）の施工位置が、既存の老朽化した跨線橋（1931年完成）に近接しており、最小の離隔が14cmという、非常に厳しい制約下での施工条件が挙げられた。地盤が軟弱（N値0～2）であることから、場所打ち杭の施工中に、既設跨線橋に許容値を超える変位が発生することが懸念された。詳細な事前解析検討を行い、既設橋を仮設のトラス桁で支持する対策工を施すとともに、施工中においては、地盤水平変位計測や、既存橋の変位、ひずみ計測をリアルタイムに実施し監視を



図—4 アルミドームの変位経時変化



図一五 パソコン上の監視画面表示例



写真一五 既設橋と仮設トラス桁

行った。これらの計測のなかで、既設橋と仮設トラス桁（写真一五）の変位計測に対して、可視光通信を用いた3次元位置計測システムを適用した。

12ヵ所の計測地点に設置したLED光源を、現場内の2ヵ所に設置したデジタルカメラで、5分間隔で計測を行った。変位計測の精度（分解能）は、LED光源とカメラの距離に依存するが、本事例では、距離に応じ0.4～0.8mm程度であり、1mm単位の変位測定が可能であった。

計測解析結果は直ちにモバイルデータ通信でサーバーに転送して、現場事務所のパソコン上で、12点の変位の経時変化グラフを常に表示できるものとした（図一五）。さらに、測定値があらかじめ設定した警戒値を超えた場合には、登録した携帯電話にメールで一

斉報知する機能を付加した。

変位計測は、2011年3月中旬より4月中旬までの約1ヵ月間、24時間連続で行われたが、本システムは良好に稼働した。別途実施した、トータルステーションによる従来式変位計測とも整合した結果が得られた。綿密な監視体制の下で工事は慎重に進められ、既存構造物に影響を与えることなく、無事に竣工に至った。

4. おわりに

本報では、開発技術の二つの適用事例を示したが、本技術は、きわめて経済的に自動計測を実施できるため、様々な用途での利用が可能と考えている。今後、建設工事の施工管理における様々な場面において活用促進を図っていく予定である。

謝 辞

本技術は、慶應義塾大学、(株)中川研究所、三井住友建設(株)の共同研究により開発されたものです。開発の過程で、多くの方々よりご指導、ご協力をいただきました。関係各位に深く謝意を表します。

J C M A

【筆者紹介】

三上 博（みかみ ひろし）
三井住友建設(株)
技術研究開発本部 技術開発センター
主席研究員



道路建設における情報化施工の現状とその効果

山口 達也

道路建設の現場においては建設機械の三次元マシンコントロールのみならず、積極的に新しい技術の導入が図られている。様々な現場条件に対応可能なローラの転圧管理システムや、非破壊にて舗装、路盤の密度を測定することが出来る電磁波密度測定器、あるいはアスファルトフィニッシャの敷均しにおいて壁に描かれた基準線を画像処理により追従しスクリーンを制御する装置などである。また国土交通省の掲げる平成 25 年度の「情報化施工の一般化・実用化」を受けて舗装工事への情報化施工適用例は増加傾向にある。

キーワード：情報化施工 (ICT), ローラ転圧管理, 衛星測位, 画像処理技術, 電磁波密度測定

1. はじめに

道路建設の現場に情報化施工システムを導入する大きな目的は、操作員の技量に左右されることなく、高い施工品質と生産性を安定的に確保出来ることにある。また三次元マシンコントロール (3 Dimensional Machine Control : 以下 3D-MC) の導入に伴い、作業現場での検測の簡略化などが図れることにより建設機械周りの検測員、作業員を削減することが出来る。これにより建設機械との接触事故などのリスクを減じ、安全性の向上に貢献することも広く理解されるようになってきた。道路建設の分野においてはこれまで 3D-MC が特に注目を浴びてきたが、各施工プロセスにおいて新しい技術が積極的に導入されている。

国土交通省の「情報化施工推進戦略」において「情報化施工とは」と定義されているが、ここでは定義されている枠組みを若干踏み出す内容を含め、道路建設分野においてすでに導入されている技術、今後使用の拡大が見込まれるシステムの現状とその導入効果について報告する。

2. 道路建設機械の 3D-MC

3D-MC は、自動追尾トータルステーションや測位衛星システムを用いて、建設機械の作業装置の座標情報をリアルタイムに取得し、予め準備された制御データとの照合により建設機械の作業装置を三次元的に制御するシステムである。

3D-MC の道路建設機械への展開はこれまではブルドーザ、モータグレーダが殆どで、稀にアスファルトフィニッシャへ装備する例もあった。現在は切削機、コンクリートスリップフォームペーパーなども含め、応用範囲が拡大している。

国土交通省の通達「情報化施工の一般化・実用化の推進について (2010 年 8 月)」の中で、「モータグレーダのマシンコントロール技術」が 2013 年度から一般化する情報化施工技術とされており、モータグレーダの 3D-MC が広く活用される環境が整いつつあった。しかしながら、特定特殊自動車排出ガス規制法 (オフロード法) 2011 年規制の施行に伴い、国内メーカーによるモータグレーダの供給が来年度中に途絶える見込みで、この時期にモータグレーダの調達が厳しくなるのは何とも残念な状況である。

(1) トータルステーションを応用した 3D-MC

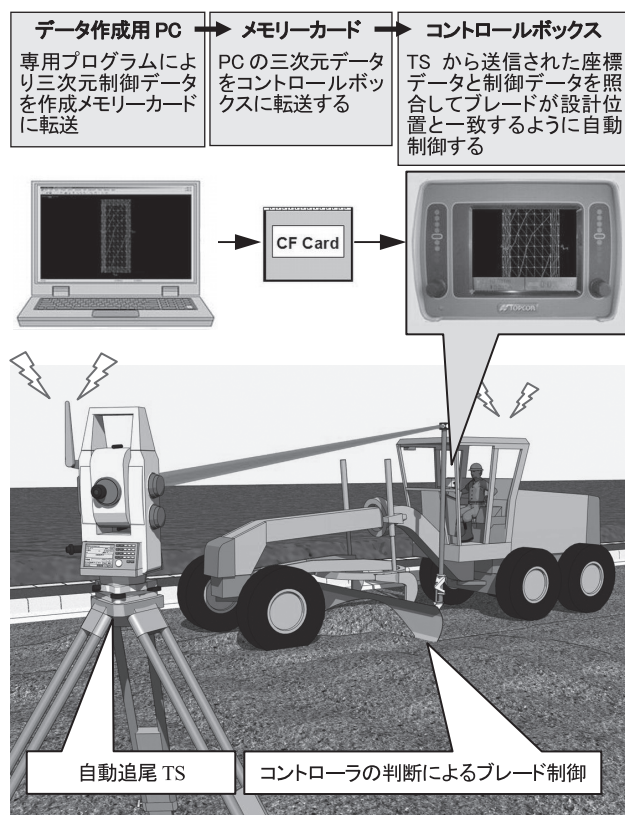
トータルステーション (Total Station : 以下 TS) は距離と角度を同時に測定できるほか、その結果が自動記録できるなど、従来のトランシットと光波測距儀の機能にマイクロコンピュータを備えた測量器である。3D-MC に用いられる TS は自動追尾機能と無線装置を備えた機種である。

TS による制御は、TS が測定した建設機械の位置情報を無線により建設機械のコントローラに送信し、送信された位置情報を建設機械のコントローラに収められた制御データと照合することにより、作業装置 (グレーダの場合はブレード) を制御するシステムが一般

的である。通常は作業装置の基準になる箇所の高さの制御と、スロープコントローラによる横断勾配制御を組み合わせる使用とする。

道路建設において求められる精度から、建設機械はミリメートル単位での制御が必要となるため、水平、垂直方向ともミリメートル単位で精度を管理できるTSを用いた3D-MCが一般的に使用されている。

図－１は TS 式 3D-MC を搭載したモータグレーダのマシンコントロールイメージである。図－２は小型ブルドーザ D21P にて狹隘現場（自動車教習場）で作業を行っている状況である。



図—1 TS式3D-MCの機器構成と施工イメージ



図-2 TS式3D-MC小型ブルドーザによる施工

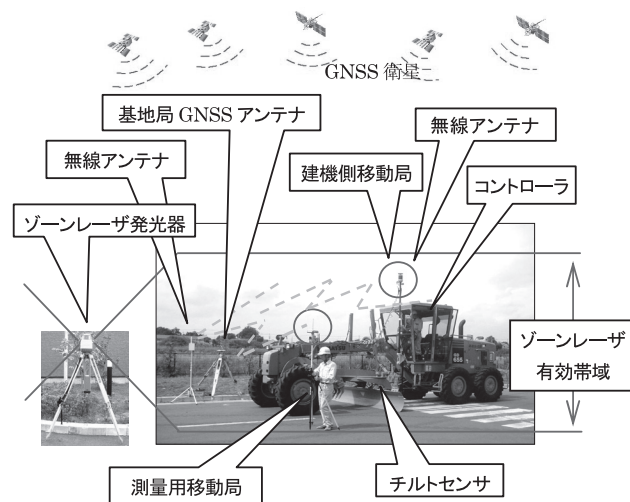
(2) 測位衛星システムを応用した 3D-MC

①測位衛星システムの施工精度

前章で述べた TS の機能を衛星測位システム (Global Navigation Satellite System : 以下 GNSS) により担うのが GNSS 式 3D-MC である。GNSS を応用した 3D-MC は現場内に基地局が備えられていれば複数台の建設機械を同時に制御するとともに測量作業も実施することが出来る合理的なシステムである。土工工事においてはその高い利便性から積極的に現場導入されているが、精度的側面から適用できる作業は限定される。特に垂直方向の精度範囲は ± 4 cm 程度であり、工種によるが、この数値は垂直方向の精度がミリメートルオーダーで要求される道路建設において許容できる精度とは言い難い。

②道路建設における高精度 GNSS-3D-MC

GNSS 式 3D-MC の利便性と、TS の精度を兼ね備えたシステムが高精度 GNSS である。現場内の複数の建設機械の制御が TS 式と同程度の垂直精度 $\pm 10 \text{ mm}$ で行なうことができ、且つ測量作業が同時に実施できる。特徴は、図—3 に示すように、作業エリア内に垂直精度を補正する機能を備えたゾーンレーザ発光器を設置することである。



図一3 高精度 GNSS 式 3D-MC の機器構成

ゾーンレーザ発光器は発光中心から上下それぞれに有効帯域約 5 m の幅を持った回転レーザ発光器で、GNSS 受信機とゾーンレーザ受光センサを備えた建設機械或いは測量器がこの帯域の範囲内にあれば、高い精度で垂直方向の座標を認識することが出来る。当然のことながら、この方式は GNSS 信号が受信出来ることが条件となるため、トンネル内では使用出来ない。

(3) 道路建設機械への 3D-MC 展開

これまで 3D-MC を導入して施工を行った結果、作業効率の向上、高い精度の仕上がり、或いは検測作業が削減できるので安全性が向上する、などの効果が各種調査機関あるいはシステムを保有する施工業者によって確認されている。

3D-MC モータグレーダあるいはブルドーザによる施工は国土交通省直轄工事をはじめ、高速道路、空港、ダム、体育施設、競馬場など広範囲の現場において実施され、多くの報文等で紹介もされている。ここではその他の道路建設機械へ応用した例を紹介する。

① アスファルトフィニッシャー（以下 AF）

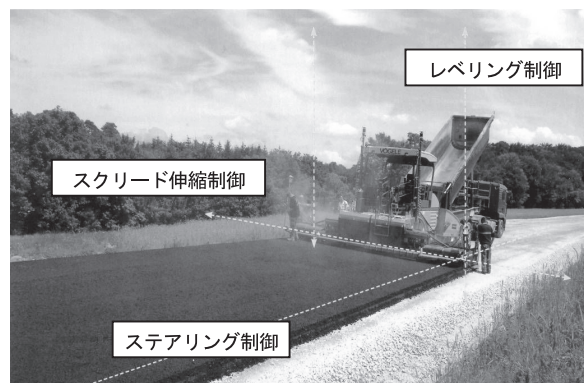
AF でレベリング施工を実施する場合、従来であれば基準となるセンサワイヤを敷設する必要がある、その作業は、センサワイヤの設置・高さ確認・撤去・保管といった煩雑さを伴うものであった。また、作業エリアに設置されたセンサワイヤは舗装作業を行ううえでは邪魔ものである。3D-MC で AF のスクリード（敷均し装置）を制御させる場合、センサワイヤの設置作業を省略することができるので、煩わしい作業から開放され、且つ作業エリアの改善にも貢献することができるというメリットがある。

空港工事のホットジョイント施工のように、複数台の AF を同時に 3D-MC 制御する場合（図—4）、前述の高精度 GNSS が採用されることもある。施工条件により TS 式か、あるいは高精度 GNSS 式のいずれの方式を採用するか慎重に検討する必要がある。



図—4 高精度 GNSS 式 3D-MC で施工中の AF

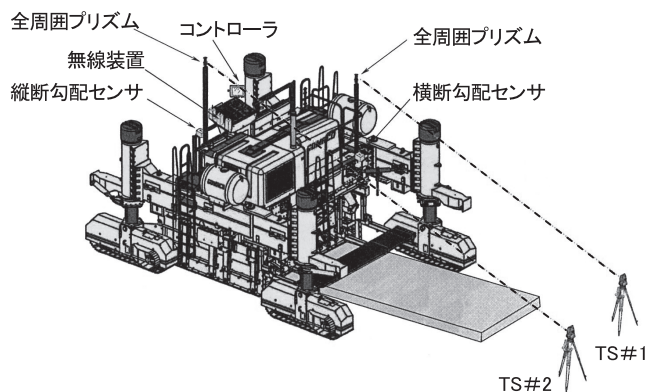
AF への展開はこれまではスクリードのレベリング制御に限られていたが、ドイツ製 Voegle 社の Navitronic Plus（図—5）のように、ステアリングや施工幅員調整も自動制御出来るシステムが実用化され国内導入もされている。



図—5 Navitronic Plus AF 制御システム

② コンクリートスリップフォームペーパー（以下 CSP）

近年、高速道路建設工事で施工実績を伸ばしている CSP も 3D-MC が適用されている。これまで、CSP の敷均し高さの管理及びステアリングの制御はセンサワイヤを設置して、それを倣わせるやり方が一般的であった。CSP の 3D-MC はセンサワイヤに代わって 2 台の TS を用いて敷均し高さとステアリングの制御を行うシステムである。トンネル内での施工が圧倒的に多いスリップフォームペーパーは 3D-MC により制御することにより、精度的に優れた結果が得られるというだけでなく、狭い施工エリアからセンサワイヤを排除できる点においても大きなメリットがあるといえる。この効果は AF の項で述べたことと同じである。図—6 にシステムの構成と制御イメージの例を示す。



図—6 3D-MC-CSP の制御イメージ

③ 路面切削機

切削オーバーレイに使用される切削機の 3D-MC も積極的に現場展開されている（図—7）。3D-MC の切削機は現場条件に応じてクローラ式、タイヤ式が施工に用いられている。但し、切削機は切削深さに応じた切削速度の上限が決まっているため、3D-MC を応用した場合でも単位時間辺りの施工量が向上する効果は期待できない。またレベリング作業においても切削機は通常センサワイヤを使用することはないため、AF や

CSP のようにセンサワイヤを省略する効果は見込めない。従って現時点では切削機へ3D-MC を応用する場合のメリットは、レベリング精度の向上に貢献するという点に限定されるということを認識しておく必要がある。



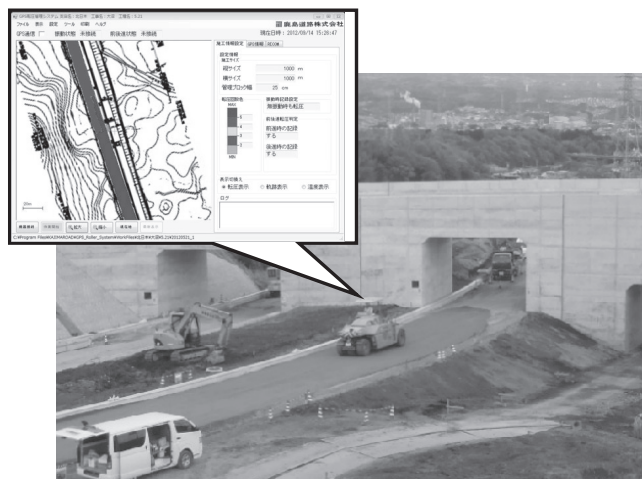
図一七 3D-MC で作業中のクローラ式切削機

3. マシンガイダンスシステム

マシンガイダンス (Machine Guidance : 以下 MG) は、建設機械を操作するための情報を分かり易く明示する方法である。カーナビのように、専用ディスプレイなどを参照して機械操作を行うことにより、的確な作業を行うことができる。

(1) 転圧管理システム

転圧管理システムは従来の砂置換法やR I 計測法による代表点の管理に代えて、あらかじめ締固め回数と密度の相関を調査したうえで、TS や GNSS から得られる締固め機械の位置情報をリアルタイムに表示・記録し面的管理する手法である (図一八)。ローラの軌跡や転圧回数が色分けされてディスプレイ画面に表示



図一八 転圧管理システムの表示例

され、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。

道路建設において転圧管理を行う場合、最近では仮想基準点方式 (以下 VRS-RTK) が多く用いられるようになってきた。仮想基準点方式とは、複数の電子基準点の観測データを処理することにより、対象となる点 (転圧ローラ) の近傍にあたかも基準点 (基地局) があるかのような状態を作り出す技術である。

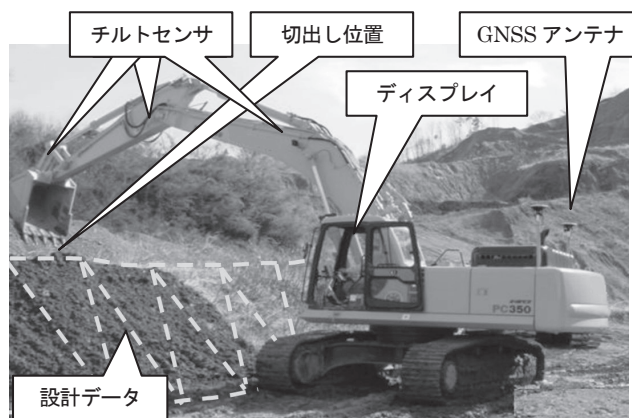
VRS-RTK は RTK-GNSS と同等の測位精度を得ることができるうえ基地局の設置が必要ないため、中小規模の道路建設工事への適用に向いている。但し、携帯通信端末を用いてデータ処理を行う配信局の配信データを入手する必要があるため、携帯電話通信費と配信データ費が別途発生する。また、携帯電話の通信エリア内でなければデータを取得することができないので利用するには注意が必要である。

(2) 油圧ショベルのマシンガイダンス

① 3D-MG システム

GNSS とセンサの組み合わせにより、作業エリアにおける油圧ショベルのバケット刃先位置を、事前に作成しておいた三次元設計データと照合させることにより、三次元的にディスプレイに表示するシステムである。これは油圧ショベルの位置を GNSS により特定し、さらに油圧ショベルのブーム、アーム、バケット各部に取り付けられたセンサにより検出された情報を処理することにより、バケット刃先の正確な位置を割り出し、表示させるのである。このシステムにより、切出し位置、法面勾配を正確にオペレータに示すことができるようになる (図一九)。

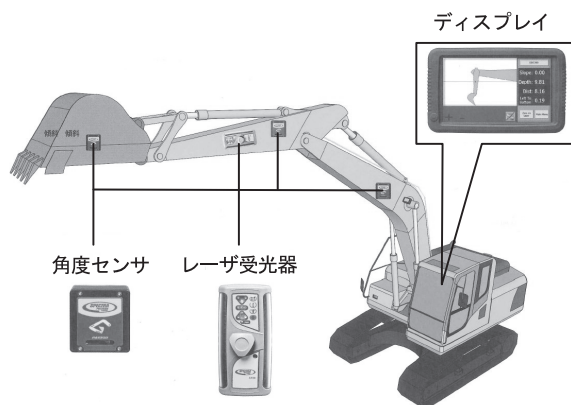
油圧ショベルは上記のように検出しなければならない情報が多いうえ、作業中の動的な慣性が車体に大きく働くため、現在では未だ複雑な制御機構を3D-MC 化するには至っていない。



図一九 油圧ショベル 3D-MG システム概念

② 2D-MG システム

3D-MG システムから GNSS 情報を省略し、バケット刃先位置だけを表示できるようにしたシステムである。ブーム、アーム、バケット各部に角度センサを装着し、簡単なキャリブレーションを実施することにより使用できるので導入例が増えつつある。平面レーザ発光器と組合せることにより基準高からのアーム位置を計測し、より正確に刃先位置を表示させることができるシステムもある（図—10）。



図—10 油圧ショベル 2D-MG システム構成例

4. その他の情報化施工に準ずる機器

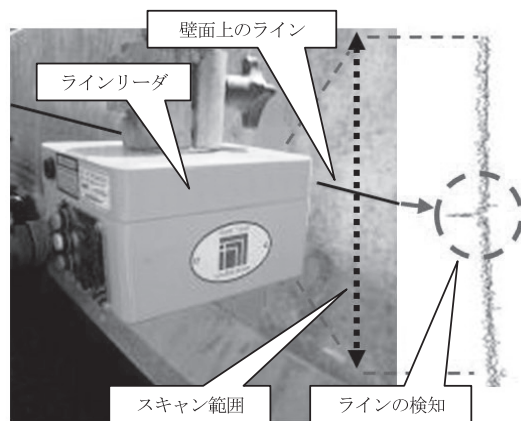
(1) ラインリーダー

アスファルトフィニッシャのスクリードの自動制御方式として、一般に広く用いられているのは接触式センサ等を用いて基準となるセンサワイヤ、或いは構造物をトレースする倣い制御方式である。橋梁上やトンネル内などの施工現場においては、センサワイヤを設置した倣い制御が主流となっている。しかし十分な作業スペースを確保できない現場においては、センサワイヤの設置に多大な手間が掛かり、場合によっては設置自体が困難なこともある。

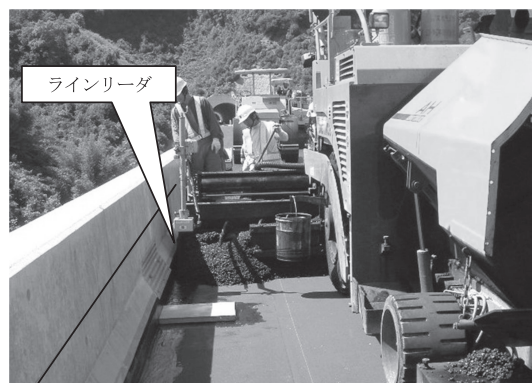
ラインリーダーは、システム筐体に組み込まれた光学センサが壁面をスキャンし、壁面に描かれたラインを検知する。このラインを進行方向に連続的にトレースしていくことで、ライン位置を高さの基準として認識するのである。図—11 はラインリーダーによる壁面ラインの検知イメージで、点線矢印の範囲をスキャンしたものが右側に表示されている。壁面上のラインはこのような処理により認識される。図—12 はラインリーダーを用いた現場での施工例である。

(2) 締固めセンサ付振動コンパクタ

締固めセンサ付振動コンパクタは振動コンパクタに装着した締固めセンサで計測した振動加速度を解析す



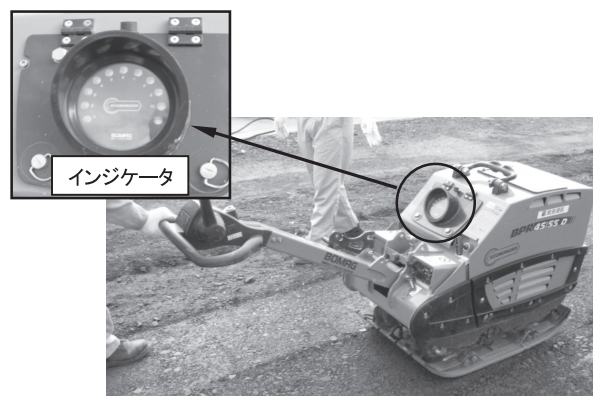
図—11 壁面ライン検知イメージ



図—12 ラインリーダーによる施工例

ることにより、締固め地点の地盤剛性を計算してリアルタイムにインジケータに表示し、オペレータに締固め状態を知らせるものである。これによりオペレータは、転圧作業地点の地盤剛性を知ることが出来、締固め不足地点、締固め完了地点などを施工と同時に確認することが出来るものである。

振動加速度を計測することにより締固め状態を確認するシステムは大型の振動ローラの一部で実用化されてきたが、適用箇所は限られていた。振動コンパクタは小型建機ゆえ、これまでは導入が困難であった小規模工事においても勘に頼らずに締固め品質の管理を行うことが出来る。図—13 の機種の場合、インジケー



図—13 締固めセンサ付振動コンパクタ

タは 11 個の LED から構成されている。締固めが進行するに従い点灯する LED の個数が多くなる。11 個目はオーバコンパクション表示用である。

(3) 電磁密度測定器

現場における非破壊方法での密度等の測定装置としては、従来から使用されてきた放射線測定装置（以下 RI）がある。米国ではアスファルト混合物を対象とした RI による測定も一般的に行われているが、米国に比べ線源強度の制限が厳しい日本においては測定結果の信頼性の面から実用上の限界がある。それ以前に、RI を扱うことによって多少なりとも放射線による被爆が避けられず、測定者は健康上のリスクを負うことになる。

電磁密度測定装置は放射線源を用いない非破壊方式の密度測定装置であるため、人体への悪影響を心配すること無く、対象物の密度や空隙率などのリアルタイム測定が可能である。

①アスファルト舗装密度測定器

底面にある測定盤から放射される電磁波により、設定した舗装厚さの密度を 3 秒程度で測定することができる。路面温度が高い状態でも測定できるため、従来のコア抜きによる密度管理を補完する用途として活用されている。外部接続することにより、本体内に保存されているデータをパソコンに取込んだり、プリンタに出力することも可能である（図—14）。



図—14 アスファルト舗装密度測定機による計測状況

②路盤密度測定器

深さ 30 cm までの舗装路盤、転圧盛土、埋め戻し土等の密度を測定することができる。内蔵された GNSS 受信機により測位データを受信し、測定箇所の位置、時間情報を同時に記録することが可能である。アス

ファルト舗装密度測定器と同様、本体内に保存されているデータをパソコンに取込んだり、プリンタに出力することが可能である（図—15）。

図—14, 15 のアスファルト及び路盤舗装密度測定器はいずれも米国 Trans Tech 社製である。



図—15 路盤密度測定機による計測状況

5. おわりに

本報では 3D-MC を中心に、道路建設における最新の情報化施工機器に対して述べてきた。今後も新技術が導入された情報化施工機器がリリースされるものと予想されるが、中には過剰とも思える機能が施されているシステムもあり、高価であるがゆえに現場にとって導入した際のメリットを慎重に検討し、また実際に達成される精度等をユーザ自ら検証を行う姿勢は保つ必要があるだろう。

JICMA

《参考文献》

- 1) 情報化施工推進戦略
国土交通省 総合政策局 建設施工企画課, 2008.07
- 2) 情報化施工の一般化・実用化の推進について
国土交通省 総合政策局 建設施工企画課, 2010.08
- 3) 山口達也: 舗装工事における情報化施工の展開, 土木施工, 2012.05
- 4) 福川光男: 情報化施工システムの開発経緯と普及変遷, 舗装, 2012.09
- 5) 大竹元司: 折返し指示機構を搭載した転圧管理システム, 舗装, 2012.09
- 6) 端孝之: 舗装用レベリングセンサ・ラインリーダーの開発, 第 29 回道路会議, 2011.11

【筆者紹介】

山口 達也（やまぐち たつや）
鹿島道路㈱
生産技術本部 機械部
副部長



億首ダムの IT 施工を“四次元”管理

ダム ICT 施工総合管理システム「4D-DIS」適用事例

江 田 正 敏・片 山 三 郎・武 本 隆太郎

ICT (Information and Communication Technology) による情報化施工の本格的普及を目指し、国土交通省を中心に産学官挙げた施工技術革新の取組みが行われている。そこで、ダム ICT 施工総合管理システム「4D-DIS」を開発し、世界初の本格的台形 CSG ダムである億首ダムにて情報化施工を実施した。開発したシステムは、品質保証や施工履歴の蓄積と情報の共有を目的としたものであり、複数のサブシステムで構成される。本文ではその中から① 4D-DIS データベース (コア部)、② CSG 材料敷均し厚さ管理、③締固め管理 (ローラー転圧, 端部法面締固め)、④締固め完了時間管理 (CSG 材料トレースシステム) を具体例としてとりあげ、億首ダムで活用した状況を報告する。

キーワード：台形 CSG ダム, データベース, トレーサビリティ, 締固め管理, マシンコントロール

1. はじめに

億首ダムは、

- ・ダム高：39.0 m
- ・堤頂長：400 m
- ・堤体積：339,000 m³
- ・総貯水容量：8,560,000 m³
- ・湛水面積：0.61 km²
- ・集水面積：14.6 km²

の台形 CSG ダムであり、その概要を図—1、表—1 に示す。

CSG の施工管理にあたっては、段階確認などの立会検査、目視による施工状況の把握によるほか、以下の項目について ICT による定量的確認を実施している。

- ・敷均し厚 (1 層 25 cm×3 層)
- ・締固め
 - 一般部の転圧回数 (無振動 2 回 + 有振動 6 回)
 - 端部法面部の締固め (30 秒)
- ・時間管理
 - 材料製造から転圧開始までの制限時間 (6 時間以内)

2. 4D-DIS データベース (コア部)

4D-DIS コア部にはリレーショナルデータベースマネージメントシステム (RDBMS: MYSQL) を採用した。本コア部の特徴は、蓄積データを座標と時間 (X, Y, Z, T) の 4 次元で管理する点にあり、図—3 に



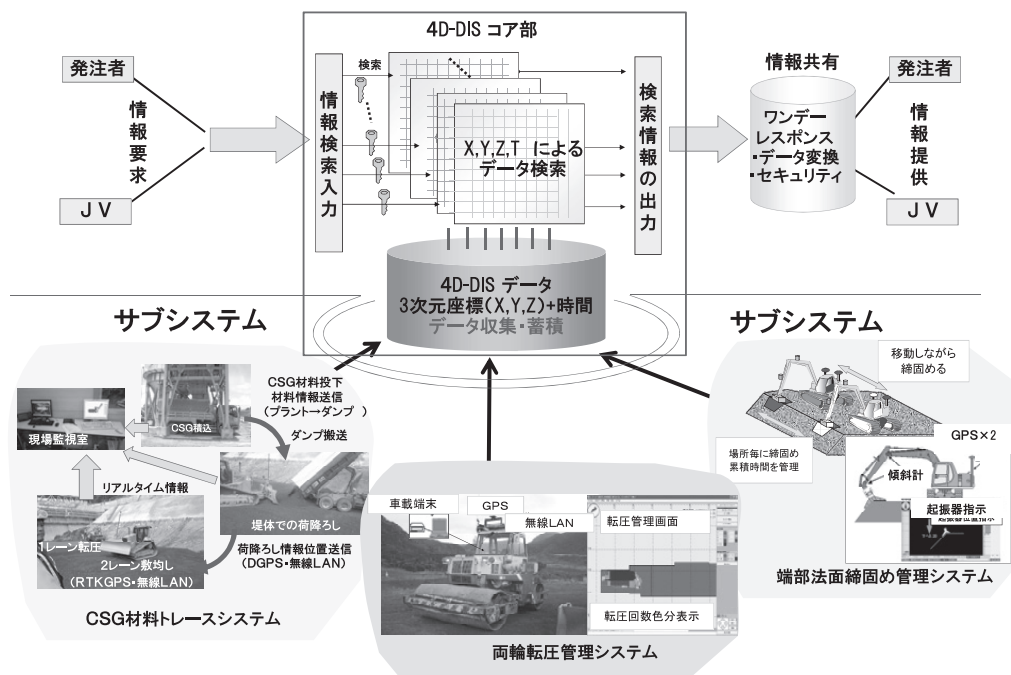
図—1 億首ダム施工状況

表—1 億首ダムの用途

洪水調節	・億首ダムの建設される地点 (ダム地点) において計画高水流量 300 m ³ /s のうち、190 m ³ /s の洪水調節を行う。
流水の正常な機能の維持	・ダム地点下流の億首川沿川の既得用水の安定化と河川環境の保全等のための流量の確保 (流水の正常な機能の維持) を図る。
水道用水	・沖縄県に対し、ダム地点で新たに 10,300 m ³ /日の水道用水の供給を行う。 ※約 2 万 8 千人分に相当。
かんがい用水	・億首川沿川の約 70 ha の農地に対し、新たにかんがい用水の供給を行う。

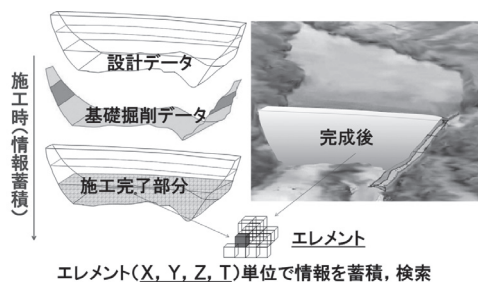
示すように構造物の中を一定の領域 (エレメント単位) で扱うようになっている。

エレメント (またはエレメント範囲) を指定するとその部分の材料配合や製造日時、施工方法、施工結果などの関連する一連の情報が検索・抽出されるようになった。



※その他の対象と考えられるサブシステム: 気象, グラウト, 濁水処理, マシンガイダンス, 図面類など

図一2 システム全体概要



図一3 データ管理の考え方

ている。図一3に示すように指定する項目としては、

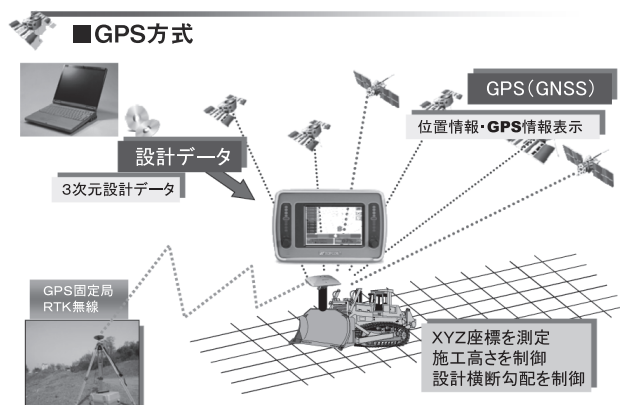
- ・ 検索対象範囲 (サブシステムやデータを指定, すべてを対象とする事も可能)
- ・ 場所・範囲の指定 (X1~X2, Y1~Y2, Z1~Z2)
- ・ 日時・範囲の指定 (T1~T2)

などがあり, 必要に応じて検索条件を追加する機能も持たせている。

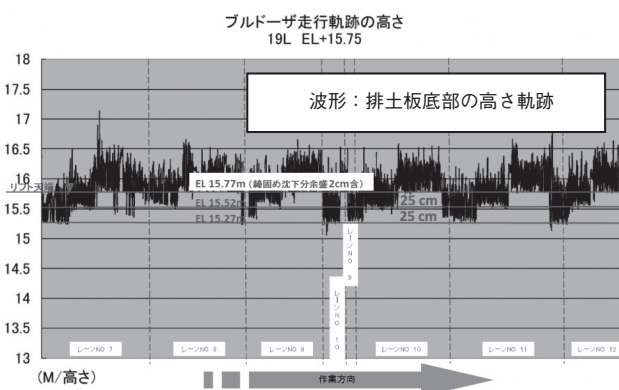
3. CSG 材料敷均し厚さ管理

当初, 敷均し厚さの管理は回転レーザーレベルによる方法を予定していたが, 施工性および走行軌跡の記録を考慮し, マシンコントロール機能を搭載したブルドーザ (以下, MC ブルドーザ) による施工方法を採用することとした。MC ブルドーザは GPS を利用しブルドーザの排土板を自動制御することで, 設計高さの敷均しを可能にするものである (図一4)。

図一5は, 敷均し作業時の MC ブルドーザの排土



図一4 MC ブルドーザ



図一5 ブルドーザ排土板高さ軌跡の出力例

板最下部の高さ軌跡を時系列に出力したものであり, 施工レーンが一層毎に約 25 cm で敷均されていることを示したものである。

この時、施工時の GPS データは内部メモリーに記憶されるため、施工後にその情報を電子データとして利用することが可能である。

このデータを利用して MC ブルドーザの各層における走行軌跡を表示させた例を図-6 に示す。また、キャタピラの幅を 60 cm (両側で 1.2 m) とし、これにレーン内での各層での走行距離を掛けることによりレーン内の平均転圧回数に換算する解析もおこなっている (図-7)。走行軌跡出力帳票の例を図-8 に示す。

なお、図-6 では、枠内 (レーン) での走行軌跡を表示したものであり、レーン外に出た部分は対象外としてカウントしていない。

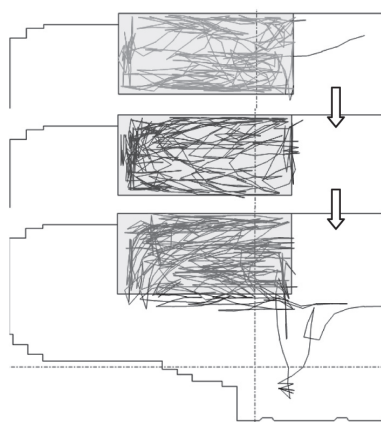
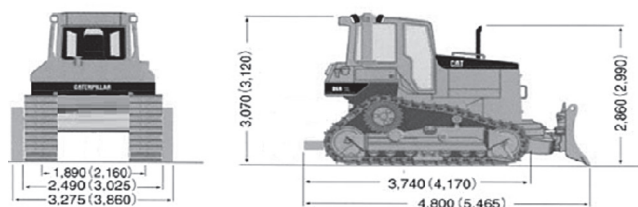


図-6 1～3層目走行軌跡



1層目累積走行距離	1601 m	換算平均転圧回数	3.05 回
2層目累積走行距離	1566 m	換算平均転圧回数	2.98 回
3層目累積走行距離	1970 m	換算平均転圧回数	3.75 回

図-7 平均転圧回数への換算

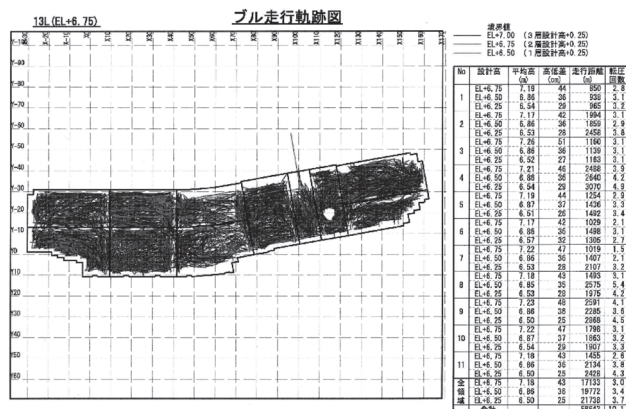


図-8 走行軌跡出力帳票の例

4. 締固め管理 (ローラー転圧, 端部法面締固め)

GPSや無線 LAN, 車載パソコンを転圧ローラーに搭載することにより、施工場所のどこを何回転圧したかをあらかじめ決められたメッシュ単位でカウントし、記録するシステム (図-9) であり、発注者事務所・JV 事務所にリアルタイムに情報共有をおこなった。

メッシュ毎の転圧回数は運転席のモニターに色別表示されるため、オペレータはこの情報に基づいて全メッシュが規定回数に達するまで走行操作をおこなう。なお、転圧ローラーが複数台であっても各メッシュには累積転圧回数が示されるため無駄のない施工が実施できる。図-10, 11 に転圧表示画面の例を示す。

ローラーによる転圧回数の表示画面では転圧していないエリアが緑色、1回転圧で茶、2回で薄茶、3回で黄色、4回で朱色、5回で桃色、6回で紫色、7回で青色、8回以上は紺色で表示している (図では濃淡表示, 以下同様)。オペレータはこの色を見ながら所定回数の転圧をおこなう。



図-9 転圧ローラー

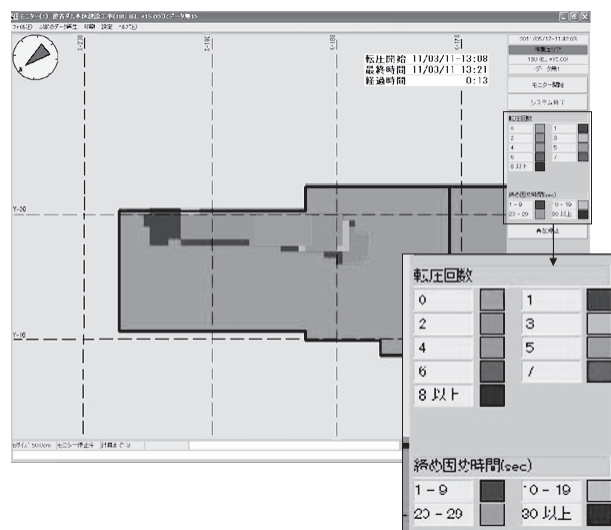
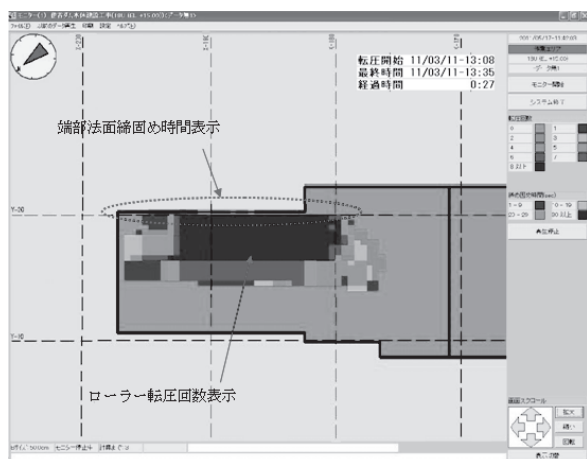
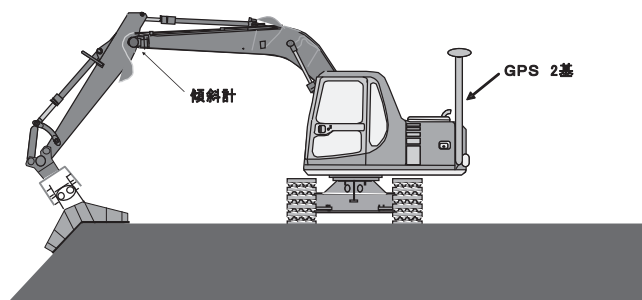


図-10 転圧表示情報共有画面例 1



図—11 転圧表示情報共有画面例2

次に、端部法面部での締固めイメージを図—12、13に示す。端部法面部は起振器を装置した専用機械により締固めをおこなっている。端部法面部では、ローラーによる転圧とは異なり締固め位置と締固め時間により管理しており、ある位置に対しての締固め累積時間が所定の秒数（30 秒等）になるまで締固めをおこなう。

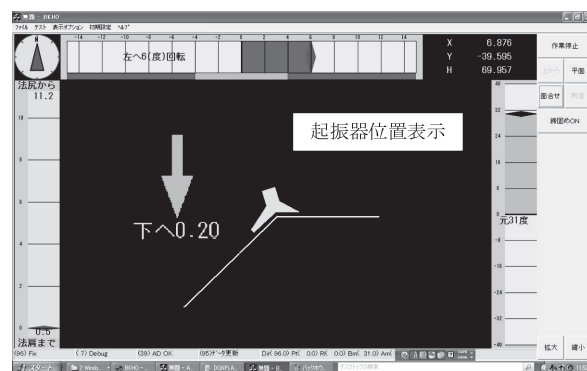


図—12 端部法面締固めイメージ（横断方向）



図—13 端部法面締固め実施状況

その理由は、一ヶ所を連続的に締固めると端部法面部に段差等が生じる恐れがあるため、場所を移動させながら繰り返し締固めをおこなう方法をとっている。そして、各位置の締固め累積時間が所定の時間（30 秒等）になったことが分るような表示をおこなっている。



図—14 端部法面締固めオペレータ用画面例

る。

この時間は、1～9秒で茶色、10～19秒で黄色、20～29秒で桃色、30秒以上は紺色で表示。この端部法面締固めの状況は、ローラー転圧の画面（図—10、11）と一緒に表示されるため、オペレータはこの表示と起振器の位置誘導画面（図—14）を見ながら締固め作業をおこなう。

両施工機械のオペレータは、この表示を運転席モニターで見ながら作業をおこなうため締固め不足を防止できる。

また、これらの情報は蓄積・保存されるため、過去に遡って連続再生表示することも可能になっており、発注者事務所・JV 事務所の双方で活用している。

5. 締固め完了時間管理（CSG 材料トレースシステム）

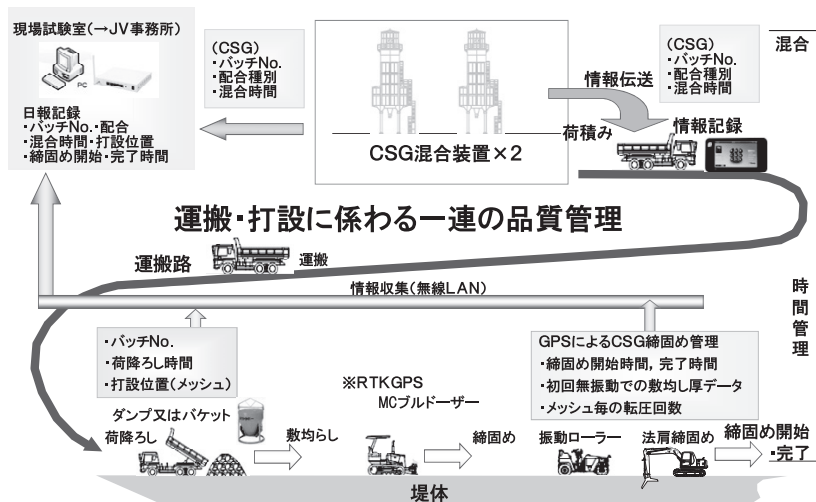
プラントでの CSG 製造から材料搬送、敷き均し、ローラー等による転圧開始時間（CSG 製造からの制限時間 6 時間）および転圧完了時間を管理するシステムであり、

- ・CSG プラントでの CSG 製造情報の車両への伝送
- ・車両での打設位置計測と情報伝送
- ・CSG 締固め開始・完了時間の表示

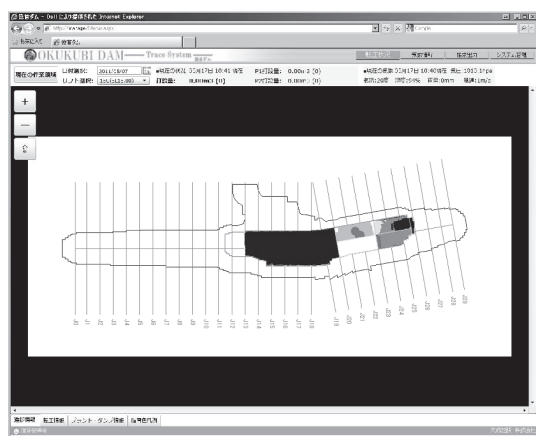
で構成される（図—15）。これらも発注者事務所・JV 事務所間で情報共有をおこなっている。

まず、CSG 混合装置（プラント）で製造された CSG 材料をダンプトラックに投入する時に、材料のバッチ情報（バッチ番号、配合種別、製造時間など）もダンプに搭載したパソコンに伝送する。このダンプには DGPS（ディファレンシャル GPS：精度 50 cm）を搭載しているため、現場まで運搬し材料を荷降しした位置を知ることができる。そこで、荷降ろし位置とバッチ情報の両方を無線 LAN により現場の監視室へ伝送する。

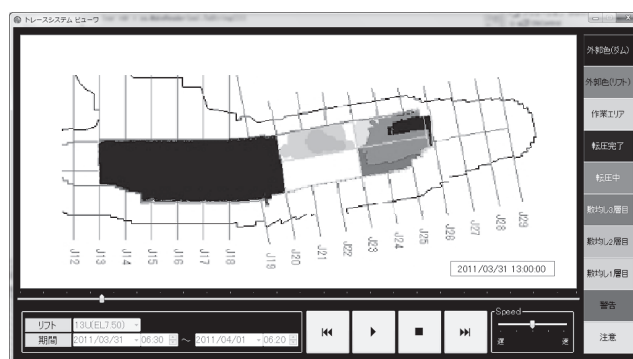
次に、ブルドーザによる敷均しがおこなわれ、ロー



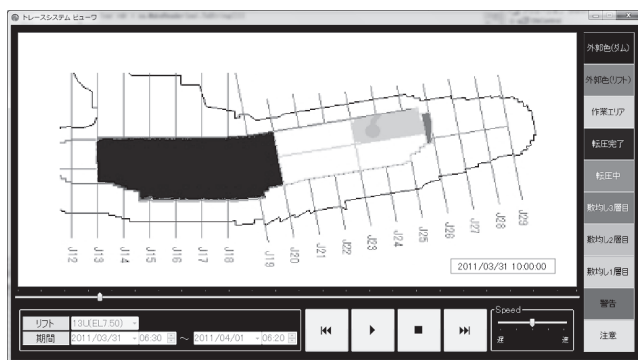
図一 15 締固め完了時間管理システム



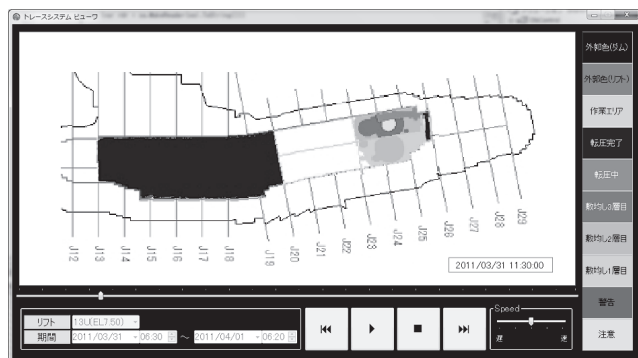
図一 16 締固め時間管理情報共有画面例



図一 19 締固め時間管理再生画面例 3



図一 17 締固め時間管理再生画面例 1

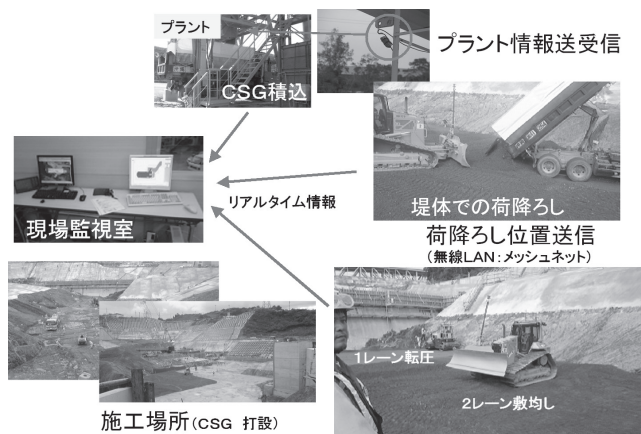


図一 18 締固め時間管理再生画面例 2

ラーによる転圧（端部法面締固めを含む）がおこなわれる段階で、どの位置の材料が製造から何時間たっているか分かるため、ローラー（端部法面も同様）のオペレータは優先して転圧する場所を知ることができる。この時の時間管理画面を図一 16 に示す。

なお、材料が製造から何時間たっているかは、画面の上に色別で表示される。この変化状況を図一 17～19 に示す。

敷均しがおこなわれていない場所は白色で示されており、1層目の敷均し後は薄緑色、2層目は緑色、3層目は濃緑色で表示される。また、材料が製造から2時間を経過したものは黄色で表示され、4時間を経過すると赤色に変化する。そこで、転圧や端部法面締固めのオペレータはこの表示を見ながら優先すべきエリアを転圧・締固めする。転圧や締固めがおこなわれたエリアは灰色に変わり、転圧・締固め完了時には紺色で表示される。なお、この締固め完了時間管理（CSG材料トレースシステム）もデータを蓄積・保存しているため、発注者事務所やJV事務所などで過去に遡って再生表示することが可能になっている。図一 20 にトレースシステムの運用状況を示す。



図ー20 トレースシステム運用状況

6. おわりに

IC タグによる母材運搬・仮置き管理, CSG 材料敷均し厚さ管理, 締固め管理 (ローラー転圧, 端部法面締固め), 締固め完了時間管理 (CSG 材料トレースシステム) の4つのシステムを億首ダムに適用し, 品質保証や施工履歴の蓄積, これらの情報の共有に活用することができた。

ダム ICT 施工総合管理システム「4D-DIS」は CSG 材料以外にも応用可能であるため, 今後はこの技術を応用・発展させ, 道路や造成工事などを対象に品質向上に役立てていく予定である。

謝 辞

最後に, このシステムの適用にご協力頂いた内閣府沖縄総合事務局北部ダム事務所に対し, 心より感謝を申し上げます。

J|C|M|A

《参考文献》

- ・中島修「嘉瀬川ダム副ダムの CSG 工法」(社)九州地方計画協会 九州技報, 第46号, 2010.01
- ・阪田史郎, 山田暁飯, 塚宏之, 伊藤哲也「無線 LAN メッシュネットワークの技術動向」電子情報通信学会誌, Vol.92, No.10, pp.841-846, 2009年10月

【筆者紹介】



江田 正敏 (えだ まさとし)
大成建設㈱
技術センター 土木技術開発部 プロジェクト室
建設 ICT チーム
チームリーダー



片山 三郎 (かたやま さぶろう)
大成建設㈱
技術センター 土木技術開発部 プロジェクト室
建設 ICT チーム
主任



武本 隆太郎 (たけもと りゅうたろう)
大成建設㈱
土木本部 土木技術部 ダム技術室
課長

山岳トンネルにおける IT コンストラクションの現状と新たな取り組み

鈴木 裕彦・林 稔

近年、電子機器や情報化技術（Information Technology, IT）の急速な進歩により、各種の計測機器、測量機器の精度向上・コンピュータの低価格化・情報処理技術・各種解析方法の高度化などが進んだ。この結果、多くの土木工事現場でさまざまな実用レベルの情報化施工が採用され、急速に広まった。本稿では山岳トンネルにおける施工の品質確保、施工費の削減、リスクマネジメントといった観点で情報化施工を活用した事例を紹介する。

キーワード：山岳トンネル情報化施工、自動計測、インターネット WEB システム、AR 技術、位置検知技術、IC タグ、3D モデリング、山岳トンネルの CIM 化

1. はじめに

近年、情報技術分野における急速な技術革新により、各種の計測制御機器の機能向上、コンピュータの低価格化、情報処理技術の高度化といった土木現場における IT の利活用が加速される環境下にある。なかでも都市トンネル、山岳トンネル分野においては厳しい環境下での施工が求められる中、施工の品質確保、施工費の削減、リスクマネジメントといった観点で情報化施工は飛躍的に活用されている。本稿は山岳トンネルの情報化施工（IT コンストラクション）の各種システムを紹介するものである。

2. 山岳トンネルの情報化施工事例の紹介

山岳トンネルにおける情報化施工に求められる技術として以下が挙げられる。

- 1) リアルタイム計測・測量・出来形管理による施工へのフィードバック
- 2) ジャンボ、ロードヘッダ等機械遠隔監視による施工の精度確保
- 3) 検査機器の活用とデータ共有による品質確保
- 4) 周辺環境に配慮した施工管理
- 5) 機械・坑内作業員の動きを把握することによる安全管理
- 6) インターネットを活用したリアルタイム管理によるリスク回避
- 7) 現場条件や施工情報を三次元化表示することに

よる情報の可視化

8) 連続するトンネル施工管理情報の共有化

(1) リアルタイム計測・測量・出来形管理による施工へのフィードバック

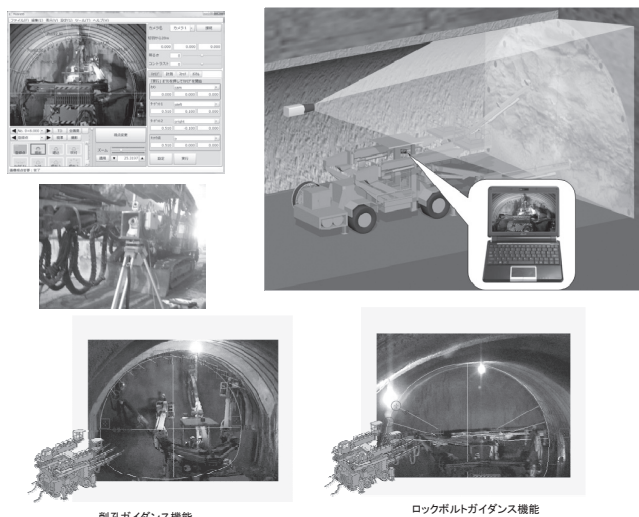
計測制御技術（測量業務及び計測業務の効率化）

：Cyber NATM

従来、複数の作業員で数時間かかっていた測量作業が、現在では1人で、なおかつ数分程度でできるようになった。さらに無人測量（自動測量）も可能となり、施工中のリアルタイム測量管理ができるようになった。この作業時間の短縮により、NATMにおける「余掘り管理」は、施工過程で実施することができるようになった。そして施工の正確さと経済性への追求が可能となった。

このシステムは山岳トンネルにおける測量・線形管理という施工管理業務を自動化することで、リアルタイムに現場状況を把握し、早期に施工へフィードバックすることを実現したシステムである。

CyberNATMはその名前に“NATM”という単語を含んでいるとおり NATM（New Austrian Tunneling Method）の施工管理向けのシステムである。トータルステーションと PDA および事務所における PC をネットワークにより結合したシステムで、①多機能な測量・計測システム、②多種多様なレーザーマーキング機能、③包括的な施工管理機能という3つの大きな特徴を持っている。



図—3 AR 技術を活用したガイダンスシステム例

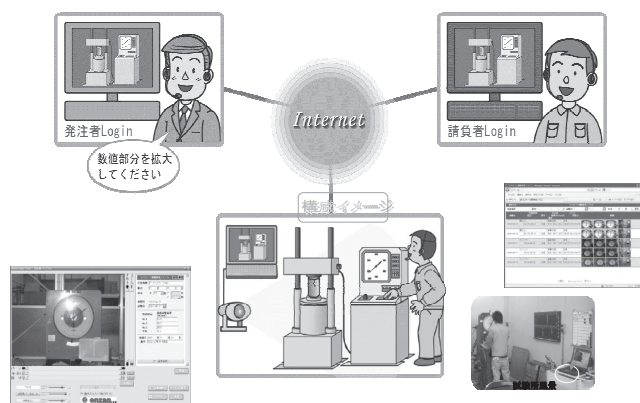
像に重なるように画像座標系に座標変換し、カメラ映像の上に表示する。現場作業者はこれらが映し出された PC モニターを見ながらブームが目標位置に重なるようにブームを操作する。

人間の経験と勘・目視による判断で操作を行ってきた重機等のナビゲーションについても、測量やセンサー技術の高度化により「より速く」・「より正確に」・「より安全に」を求めて技術開発が進んでいる。これは完全に自動化する一歩手前の技術で、あくまでも技術者を支援するためのシステムとなる。これは従来の

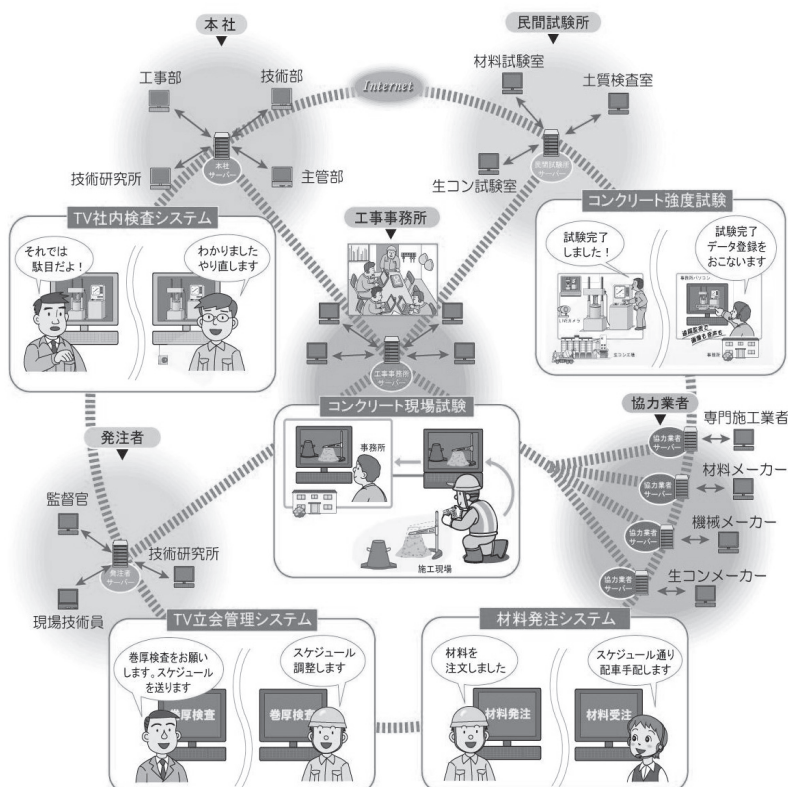
「経験や勘による施工」ではなく「IT を活用した高度情報化施工」を実現するシステムで、ナビゲーションに従って操縦することで、誰もが同じように施工することが可能となる。

(3) 検査機器の活用とデータ共有による品質確保 インターネットカメラ活用技術（コンクリート強度遠隔試験システム） NETIS 登録 ：コンクリート遠隔検査システム

インターネットを介して工事事務所・発注者・協力業者を結び、コンクリートの検査を遠隔で行うためのシステムである。従来は一箇所に集まり立会いで検査をしていたものが、離れた場所にいながらにして検査



図—4 コンクリート WEB 検査システム



図—5 インターネットを活用した検査手法

できるようになった。これにより、移動時間がなくなるだけでなく、冗長な待ち時間も短くなる。検査に立会う人がそれぞれ時間を有効に使うことができるようになり、現場管理の効率化が図れる。このことは、ネットワーク技術の進歩により検査結果だけではなく、映像を使ったコミュニケーション自体をリアルタイムにとることができるようになったことで、信頼性が必要となる立会い検査についてもオンラインでできるようになった例であるといえる。

(4) 周辺環境に配慮した施工管理

無線 IC タグを活用した換気設備制御システム

：Eco ナビ FAN

Eco ナビ FAN は坑内作業（削孔作業・ずり出し作業・吹付作業等）を切羽付近で自動検知し、作業データを坑外に設置しているコントラファンに無線伝送して自動的にインバーター制御を行い、電気量削減を目指す新しい省エネルギートンネルシステムである。従来は坑内作業を把握して坑外に設置しているコントラファンの起動や坑内のダストセンサーの検出により集塵機の電源の入切を行っていた。どうしても人依存になる

ため、場合によっては電源を入れっぱなしの状態があり、莫大な電気料を消費する結果となっていた。本システムは作業の内容に応じて高速・中速・低速を自動的に制御して効率的な電気設備の利用とエコロジーに配慮したシステムである。

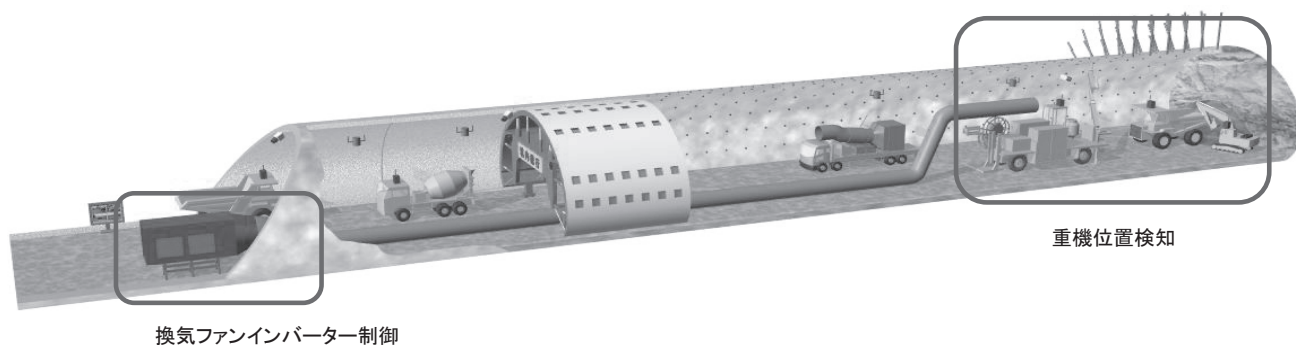
(5) 機械・坑内作業員の動きを把握することによる安全管理

無線 IC タグ利用による位置検知システム安全管理：いちけん

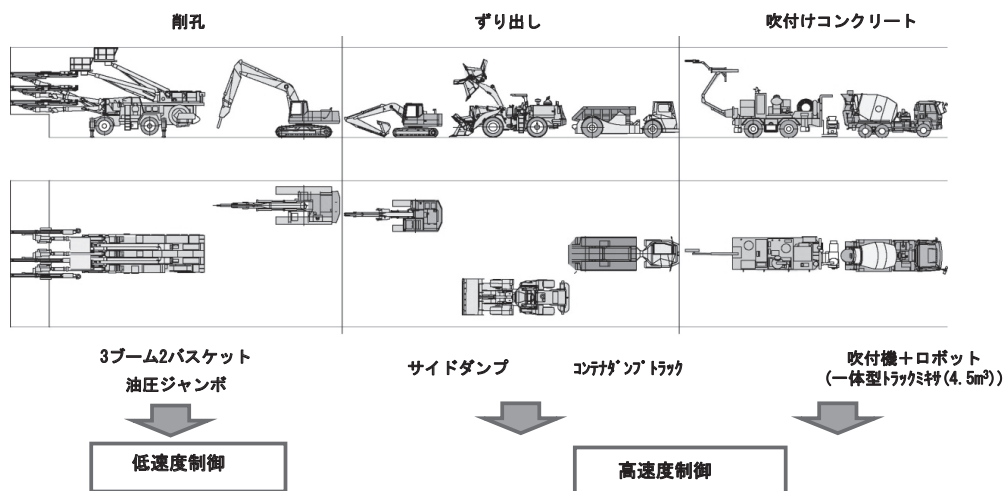
従来位置情報検知機能は GPS が活用されるが、トンネル等地下構造物においては GPS が使用できない。そこで本システムは坑内において簡易なメッシュネットワークを構築して作業員に携帯したタグの位置情報を電波強度から算出して作業員の位置を特定するものである。なお本システムには入退坑管理機能も付加することにより、遠隔で坑内の作業員管理が可能である。

(6) インターネットを活用したリアルタイム管理によるリスク回避

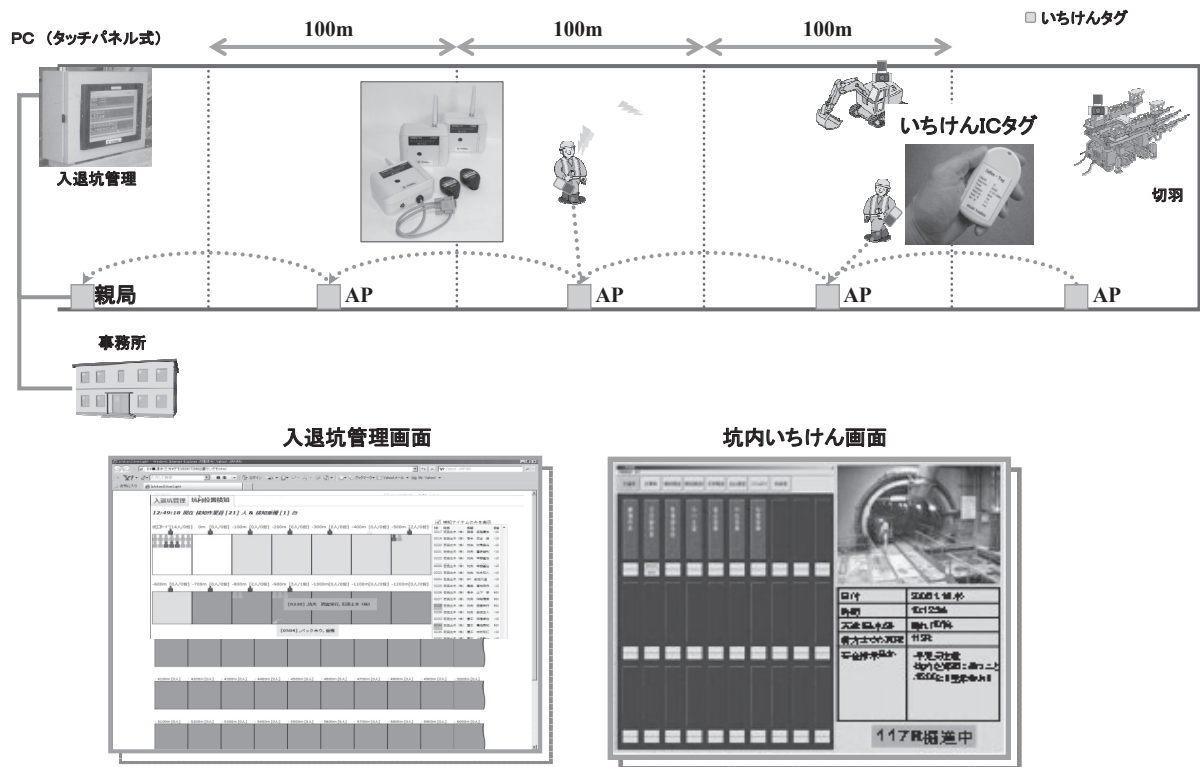
坑内での計測情報などリアルタイムにデータ伝送



図一六 IC タグ技術の換気制御システム



図一七 トンネル工種に応じた制御方式



図一 8 IC タグを活用した位置検知システム

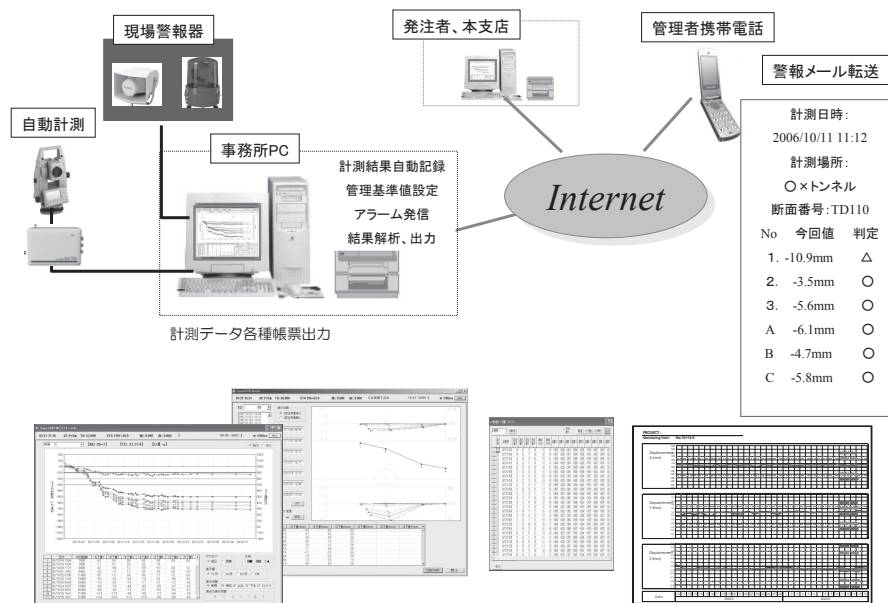
し、作業とは別のエリアにてパトライトや携帯端末等にて表示することにより、緊急時の対応を把握する。

(7) 現場条件や施工情報を三次元 CAD にて表示することによる情報の可視化

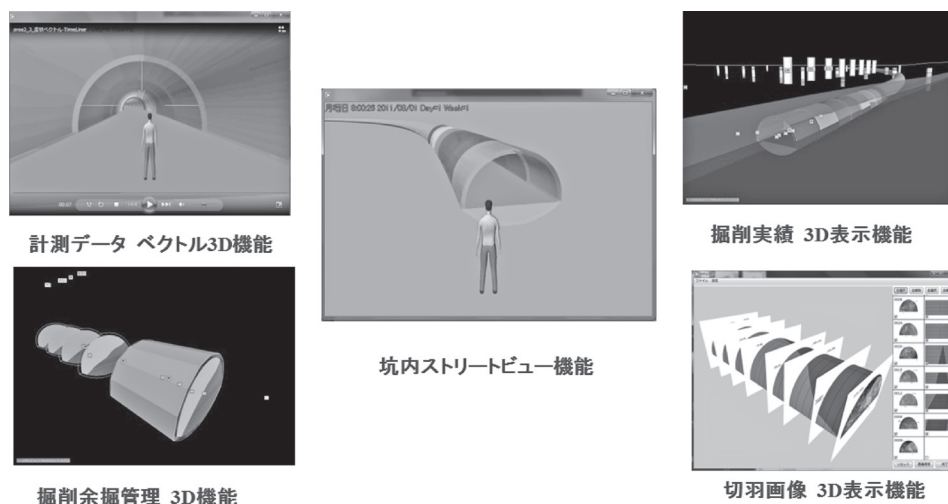
現場情報（地形情報、切羽情報、計測結果等）の三次元化 : Cyber3DVIEW

本システムは CyberNATM で収集したデータ（計

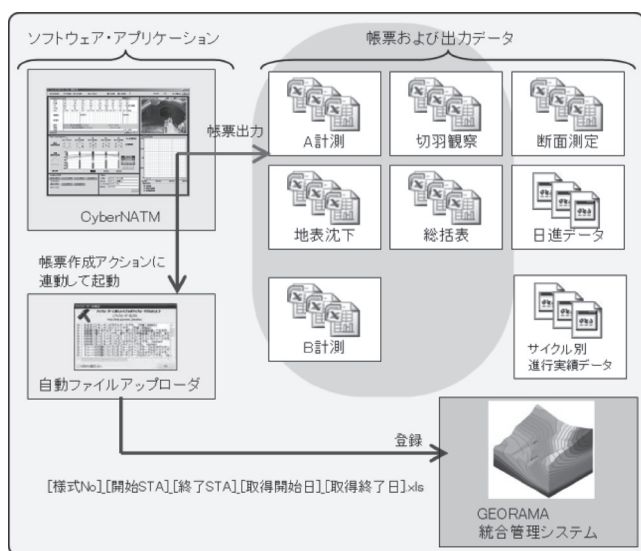
測結果、断面測定結果）また坑内切羽観察システムによる地山評価結果、施工実績記録（進行データ、実績パターン等）を CAD モデル PC に自動的に流し込み、3D 表示するものである。これにより、トンネル施工時の地質の変化や施工状況の動き等を視覚的に表示することにより、現場状況をよりわかりやすくさせるものである。



図一 9 インターネット活用したリアルタイム管理



図ー10 山岳トンネルにおける三次元モデル



図ー11 三次元ビューアーとトンネルシステムとの連携図

3. おわりに

情報化施工・IT コンストラクションを導入することは、現場における施工の効率化を目指すものである。山岳トンネルをはじめとした建設の現場では、作業員の熟練の度合いにより大型機械を操作し、重要な判断はしばしば熟練専門技術者の知識・経験・勘に委ねられてきた。しかし、現在では山岳トンネルの現場に限らず現場ごとに行えることからさまざまな工夫がなされている。本稿で紹介したIT コンストラクションの

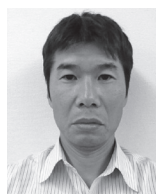
紹介事例は、当社のコアコンピタンス（核となる技術）である、①測量器やセンサーなどで「測る技術」、②測った結果を「記録する技術」、③記録した内容を各種端末で「見せる技術」、そして④これらの技術を互いに「つなぐ技術」によって作り上げたシステムにより成り立っている。

現場におけるさまざまな物理量や作業に関わる情報を電子化・デジタル化し、現場や事務所の技術者がこれらの情報を共有できるようにネットワークで結ぶことで、施工の最前線だけではなく工事管理者も含めてIT化を実現できると思われる。今後、施工の自動化に向けて情報化施工はより加速すると思われる。

J C M A

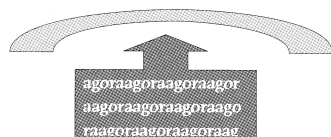
【筆者紹介】

鈴木 裕彦（すずき ゆうひこ）
 ㈱演算工房
 営業部



林 稔（はやし みのる）
 ㈱演算工房
 代表取締役





高設栽培に対応した イチゴ収穫ロボット

林 茂彦・山本聡史・齋藤貞文

イチゴは収穫期間が長く、冬から春先まで店頭に並ぶ。その分栽培には多くの手間がかかり、面積 10 a あたりおよそ 2,000 時間の労働時間を要している。イチゴ栽培の省力化を目指して、吊下げ式高設栽培ベッドの通路側から接近する収穫ロボットを開発した。収穫ロボットは、円筒座標型マニピュレータ、エンドエフェクタ、マシンビジョンおよびトレイ収容ユニットから構成される。画像処理により果実位置とその着色度を推定し、収穫適期の果実のみを選択的に収穫する。果皮を傷めないよう果柄のみを把持し切断して、トレイに収容する。移動走行プラットフォームに搭載でき、自動で畝移りすることが可能である。

キーワード：農業ロボット、イチゴ、高設栽培、収穫、画像処理、マニピュレータ

1. はじめに

我が国のイチゴ栽培は促成栽培という作型が一般的で、これは 9 月にビニールハウスの中にイチゴ苗を定植し、冬期には暖房を施して栽培する方法である。収穫期は 12 月から翌年の 5 月ぐらいまで続く。この間農家は毎日のように収穫、パック詰め、出荷作業に追われる。平成 21 年度産の統計データに依れば、イチゴの作付面積は 6,360 ha、生産量は 184,700 t、産出額は 1,570 億円である。トマトの 1,987 億円、温州ミカンの 1,292 億円に匹敵する市場を有している。高値出荷の望める作物であるが、10 a あたりの作業時間はおおよそ 2,000 時間といわれ、他の果菜類（トマトやキュウリ、ナスなど果実がなる野菜）に比べても手間のかかる作物である。元来、果菜類は栄養生長と生殖生長が同時に推移するため一斉収穫ができず、一定の大きさや熟度になったもののみを収穫する。そのため栽培期間つまり収穫期間が長くなる傾向があり、加えてイチゴの場合その柔らかさから慎重な取り扱いとパック詰めが求められている。農業生産現場で利用できることを第一の目標に掲げ、マシンビジョン、マニピュレータ、エンドエフェクタなどから構成されるイチゴ収穫ロボットの開発に取り組んできた。本技術開発はシブヤ精機株式会社と共同で行ったものである。ここでは、収穫ロボットの基本機構と性能について紹介する。

2. イチゴ収穫ロボットの開発構想

(1) 要素技術

イチゴなどの果菜類をロボットで収穫するための要素技術は、①センシング技術、②マニピュレーション・ソフトハンドリング技術、③走行技術である。果菜類は果実が順次実っていくため、選択的に収穫することが基本となる。そのためには収穫するかしないかを判断するセンシング技術が最も重要である。キュウリやナスなどは長さが判定基準になるが、イチゴの場合には色み具合を判定する必要がある。これまでの研究でも画像処理技術が広く用いられてきた。ソフトハンドリングに関しては、対象作物にあった採果ハンドの設計・開発が求められる。イチゴは果皮が柔らかいため、取り扱いが難しい作物である。そして、ハウス内を移動して収穫を行うための走行技術も必須となる。ハウスで稼働するイチゴ収穫ロボットの構想図を図 1 に示す。

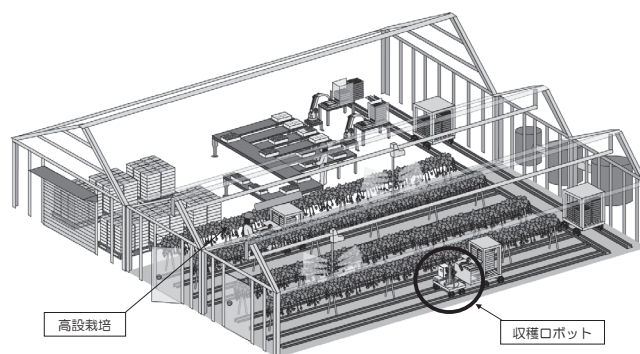


図 1 イチゴ収穫ロボットの開発構想

(2) 想定する作業体系

これまで研究開発された果菜類の収穫ロボットの技術的課題として、収穫適期の果実を100%収穫することは困難、収穫速度が遅い、果実を傷める、不整地での安定走行が困難、導入コストが高い、などが指摘されてきた。これらの課題に対処するとともに、イチゴの生産現場で稼働するロボットを開発するため、以下のような開発コンセプトを設定した。果実を100%収穫することは難しいため、ロボットは収穫容易な果実のみを確実に収穫する。収穫速度が遅いため、ロボットは夜間ゆっくり稼働する。果実が傷まないように果柄を切断する採果方式を採用する。高設栽培通路内を自律走行する技術の組み込みは難しいため、レール等の軌道を利用する。つまり、収穫ロボットは作業者が寝ている夜間に収穫容易な果実のみをゆっくり確実に収穫し、朝になってロボットが収穫できなかった果実を、作業者が収穫するという協働作業体系を想定した。

3. ロボット実証ハウスと吊り下げ式高設栽培ベッド

収穫ロボットの開発改良および実証試験は、6×48mの鉄骨ハウスで行った(図-2)。間口近くに収穫ロボットが横移動するための枕地スペースを広く取っている。このハウスには3m毎に水平梁があり、この梁から高設栽培ベッドが吊り下がっている(図-3)。栽培方式は「らくちんシステム」に準じている。栽培ベッドの数は6列で、3列は水平梁に固定されて

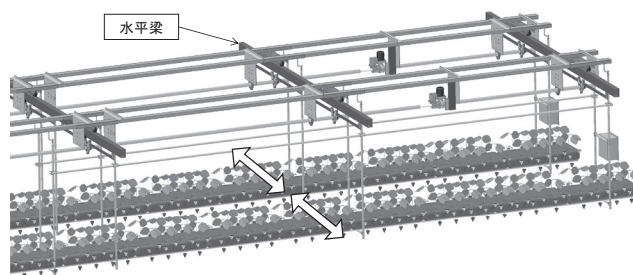


図-3 吊り下げ式高設栽培ベッド



図-4 栽培ベッドの左右可動

いるが、残りの3列は水平梁に沿って左右に移動する構造である。収穫ロボットが進入する際には自動で栽培ベッドが動き、ロボットの通過に十分な通路幅(90～95cm程度)を確保する(図-4)。作業者用の操

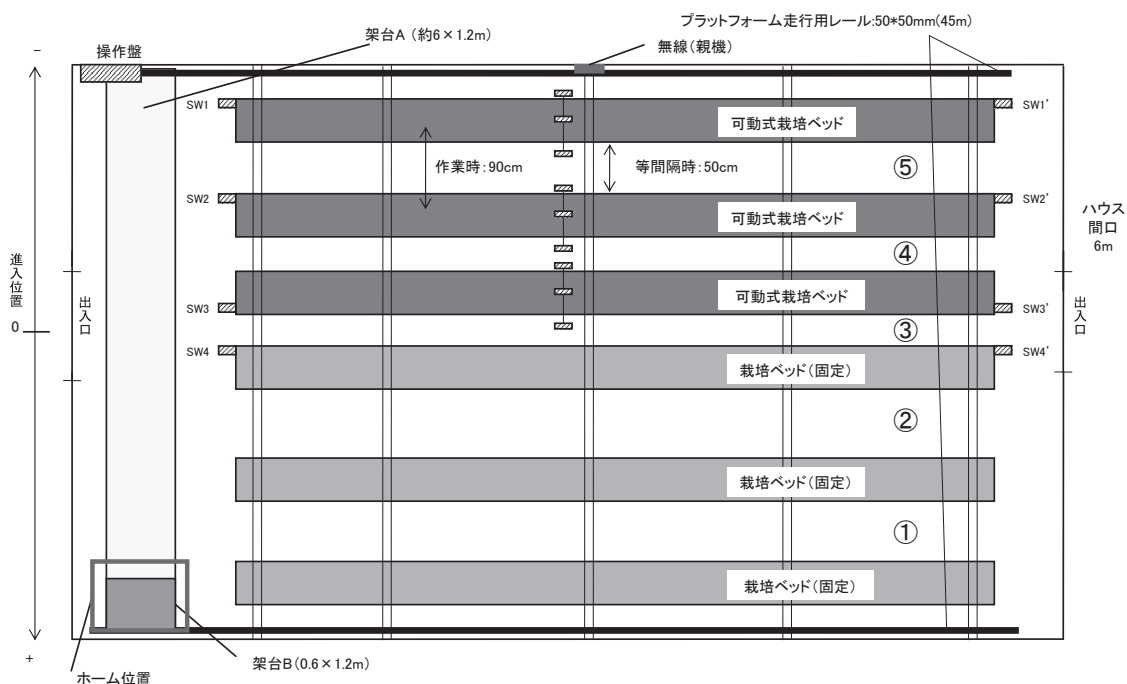


図-2 ロボット実証ハウス

作スイッチも栽培ベッド両端に設置されており、作業者が定植や防除、収穫、栽培管理を行うときは、マニュアル操作で栽培ベッドを左右に移動させることもできる。

収穫ロボットが通路に進入するときは、後述する移動プラットフォームからの信号により、駆動モータが正転または逆転する。駆動モータに連結されている回転軸が回転し、ラック・ピニオン機構により回転軸および軸受けが左右に移動する。この移動により軸受けに固定された梁走行機構、および下垂する高設栽培ベッドも一体として同時に左右に移動する。イチゴの生育に伴い着果位置が変化しても、通路幅を調整することで収穫ロボットと果実の距離をほぼ一定に保てるという特徴がある。また、左右可動により栽植本数の増加が可能で、単位面積あたりの増収も期待できる。

4. 収穫ロボットの開発

(1) 基本機構

イチゴを摘み取る場合、作業者は通路を移動しながら色づいた果実を見つけ、果実を包み込むようにして摘み取る。葉の陰に隠れている場合でも、葉を少しよけて果実を探す。この動作をそのままロボットで実現することは非常に困難である。そこで、収穫ロボットは果実を水平方向から見て、着色度の判別を行い直線的に果実に接近する動作を実行する。果実に接近する際には、視覚認識を行わず目標果実の位置に高速で移動し採果する設計である。

収穫ロボットは、円筒座標型マニピュレータ、エンドエフェクタ、マシンビジョンおよびトレイ収容ユニットから構成される。マニピュレータは3自由で、回転、上下および前後に動作する（図—5）。エンドエフェクタはマニピュレータの先端に取り付けられ、果柄を把持切断するフィンガ、および果実把持を検知

する光電センサからなる。光電センサは採果した後に前後にスライドして果実の把持をチェックする。マシンビジョンはLED 5灯とCCDカメラ3台（ステレオカメラ2台、中央カメラ1台）から構成される。両側のカメラ2台によりステレオビジョン処理が行われ果実の3次元位置の測定と着色度の判定を行う。中央カメラにより果柄を検出して、その傾きを推定する。

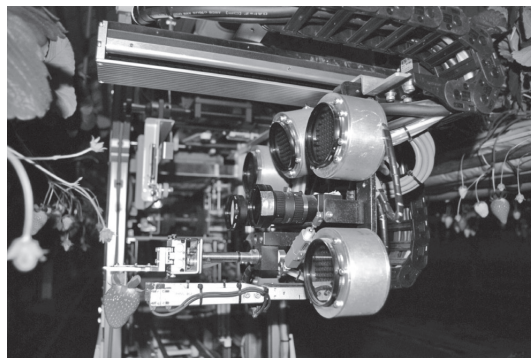
収穫ロボットは、走行部の前進動作で通路右側の果実を順次収穫し、通路終端で機体を180°旋回させ、後進動作で通路左側の果実を収穫する。ロボットは走行部が停止した状態で採果動作を行う。その動作の流れを以下に説明する。まず2台のステレオカメラにより果実の3次元位置を計測するとともに、それぞれの果実の着色度を推定する。対象となる果実が収穫適期（着色度80%以上）であれば、エンドエフェクタを対象果実に正対させ、中央カメラの画像から果柄の検出を行う（図—6）。対象果実の上部に関心領域を設定したのち、その領域内の果柄を検出し傾斜角度を計算する。そして、エンドエフェクタは、その傾斜角度に応じて3段階の角度に回転したのち、フィンガ先端の隙間に果柄が入るように接近する（図—7）。フィンガで果柄を切断し、果実を把持していることを確認し



図—6 ロボットの操作画面（果柄の検出）



図—5 イチゴ収穫ロボット



図—7 採果動作

てトレイに収容する。現在の停止位置において、すべての認識果実に対してこの一連の採果動作を繰り返す。これらの処理が終わると、収穫ロボットは200 mm 前進し、次の果実の採果動作に移る。

(2) 移動プラットフォームの開発と収穫動作

収穫ロボットの走行部となるのが、移動プラットフォームである。長さ5.7 m × 幅1.2 m の大きさで、独立して可動する架台Aと架台Bから構成される。架台B(0.6 m × 1.2 m)には開発した収穫ロボットを搭載することができる(図-8)。架台Aの両端の駆動輪によりレール上を走行して通路方向に動き、架台Bはそれと直角方向、つまり畝移り方向に動く。両者の動きを組み合わせることで収穫ロボットをハウス全体に移動させることができる。

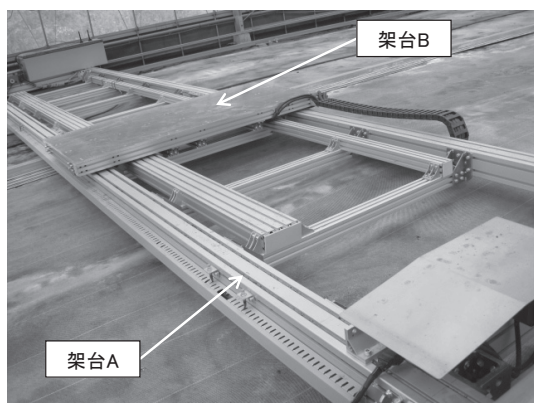


図-8 移動プラットフォーム

収穫ロボットを載せた架台Bは、図-2に示すホーム位置を起点に動作を開始し、枕地走行を行い指定された通路を通路終端まで往復した後、ホーム位置に戻る。その後、次に指定された通路に進出し、往復した後にホーム位置に戻るといった動作を繰り返す。収穫果実の詰まったトレイと空のトレイの交換は、横移動の位置で行う。また、収穫ロボットとの通信はデジタル信号により行う。

5. 収穫性能

ロボット実証ハウスにおいて、品種‘紅ほっぺ’と‘あまおとめ’を用いて収穫ロボットの性能試験を実施した。その結果、着色度の判定には品種による着色過程の違いが大きく影響することがわかった。具体的には赤色部と緑白色部の境界が鮮明な品種‘あまおとめ’で良好な判定結果となった。また、収穫成功率は、

収穫時期および果序が進むにつれて上昇する傾向が見られ、果房の入れ替わる前に高くなり、入れ替わる時期に低下する傾向を示した。採果処理時間は8.8 s/果で、収穫成功率は60～66%であった。ただし、着色度の判定ミスにより収穫適期前の果実を採果する場合もあった。

収穫ロボットの実証試験と改良を繰り返し、最終機において一定の収穫性能を検証できたことから、実用化の見通しが得られた。

6. おわりに

イチゴ収穫ロボットの一連の開発により、果実の自動収穫、ハウス全体の移動、さらには生産現場の実稼働が実証された。今後ソフトウェアの調整により精度の向上は期待できるものの、収穫成功率100%を達成することは難しい。また低コスト化という課題にも挑戦していかなければならない。

イチゴは周年需要のある作物で、促成栽培できない夏期はアメリカからの輸入に頼っている。輸入量は3,300 tである。夏の長日期でも花が咲き実がなる「四季なり品種」を用いて、国内でイチゴを生産しようとする研究が進んでいる。一方植物工場でイチゴを周年で生産する試みも見られる。このような技術とイチゴ収穫ロボットの組み合わせが実現すれば、ロボットの稼働時間も拡大し、利用効率の飛躍的な向上が期待できる。

J C M A

【筆者紹介】



林 茂彦(はやし しげひこ)
(独)農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
特別研究チーム(ロボット)
主任研究員



山本 聡史(やまもと まさし)
(独)農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
特別研究チーム(ロボット)
主任研究員



齋藤 貞文(さいとう さだふみ)
(独)農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
特別研究チーム(ロボット)
特物研究員

ずいそう

心をこめて海とつき合う

渋谷 正 信



私は、潜水をして水中で工事や調査を行う潜水士である。

24 才の時に潜水士の資格を取り、以来国内・外の水中を潜り続けてきた。約 40 年間で潜水時間は、3 万 8 千時間余りになる。

若い頃の潜水は「海洋開発」という名の下に、海の開拓魂にあふれ日本各地の港湾建設や海洋構造物の水中工事に携わってきた。効率良く水中作業をこなし、依頼主の要望に応えるべく海の中で構造物を造ってきた。

伊豆諸島の港湾建設の時は、海中の磯を水中発破で壊して定期船の着く岸壁を築いた。潜水技術や作業技術に工夫を重ね腕を磨いた。

腕のいいダイバー（潜水士）と言われることが私の生きがいであり、誇りであった。

昭和の時代が終わろうとする頃、私は環境問題について耳にするようになった。熱帯雨林の伐採は地球環境を悪化させる原因だと言う。山の本を建材として活用したり、人間の生活に利用したりすることは当然だと思っていたが、その本をむやみやたらと伐採すると、山が荒廃し、森林の CO₂ 吸収が低下、地球の温暖化という問題をひきおこすと盛んに言われ始めた。さらには、土木工事などで山を削ったり、自然の海岸線に手をつけることも環境破壊になる。コンクリートで河川の堤防を構築する、海を埋め立てることも環境破壊になると言われた。

ある時、テレビの映像で、熱帯雨林の伐採を阻止しようとする人々と、開発者側が強引にチェーンソーで大木を切ろうとしているシーンを見た。その時、チェーンソーで大木を切っている開発者と、私のやってきた海の中で磯を破壊してきた行為が重なった。「彼と私は同じだ—。」

ショックであった。今まで海を開発して、社会に役立つ潜水士になろうと技術を磨き、誇りを持ってやってきた。その仕事で、環境を破壊していることに繋がっていたのである。その時から、自分の仕事のあり方に迷いが出て、彷徨する日々が続いた。

そんな日々の中で、東京湾横断道路（現在の東京湾アクアライン）の建設工事が始まった。風の塔のある川崎人工島の建設時に、海中に潜った。その時、キラッと光る魚体があった。「クロダイの群れだ、魚がもう蜷集している」、海上に上がってから、再びクロダイの群れのことを思い出すと同時に、今まで見てきた海洋構

造物と水中生物のことが次から次へと浮かんできた。

海の中に構造物を造ると、場合によっては魚が集まるのかもしれない。自然環境には手をつけてしまうが、魚が住める環境になる可能性がある。そう気づいた時から、自分の仕事への迷いが消えた。以後、自分の手がける水中工事の水中環境を自主的に調べて記録を取った。

その一つの成果が、川崎人工島の建設に携わった時にまとめた「海洋構造物の魚礁化現象としての可能性」という報文とシンポジウム発表である。

私は現在、三つのプロジェクトを進めつつある。

一つ目は「海と調和したものづくり」。前述の港湾や海洋構造物を造る時は、人間の都合だけ考えて造るのではなく、海と調和したものづくりをしたい。そういう思いをプロジェクトにしたもの。

二つ目は「海の中の森づくり」だ。海の中の森＝海藻が豊かに生い茂る海が、今、日本の海から消失しつつある。海のゆりかごと言われ海中の生態系に極めて重要な海藻が、様々な要因で消失している。この磯焼けは、沿岸漁業にも地球環境にも、大きな打撃を与えている。そうした海を元気に再生したいという思いをこめてプロジェクトにしたもの。

三つ目は「海と調和する人づくり」。海中という自然環境に直接手を加える潜水士が、海と調和する心構えを持って作業をすること、それからレジャーダイビングをする人々にも海と深いつながり＝一体感を持ってダイビングを楽しむ、このようなプログラムでセミナーを行うものである。

この三つのプロジェクトの根底に流れているのは、「心をこめて海とつき合う」という思いである。心をこめて海とつき合うというのは、海にありがとうという感謝の思いを持って海に潜らせてもらうこと。簡単そうだが、海に従事している人や海で遊ぶ人に、心から海にありがとうと思って、海と付き合っている人は少ないと思う。ほとんどが自分の仕事や興味だけを考え、過ごしてしまう。少なくとも以前の私はそうであった。

海にありがとうと言える時は、心に余裕がある。この心に余裕を持つことが、良質の仕事や生き方を生むのではないか。心をこめると何がどうなるか、自分自身で確かめる、そういう心の技術の発達で、海や自然、そして人々と居心地の良い環境を創って行くように思う。

ずいそう

一秒の重み

野 口 健太郎



建設機械の整備業を経営する立場として、点検・整備に要する時間を1分1秒たりとも無駄にせず、お客様へ正確で迅速なサービスを提供するのが最大の責務と考えております。日頃、従業員に対しては「時間を大切に。1分1秒たりとも無駄にしてはいけない」と話しているわりに、果たして自分は本当に1分1秒の重要性というものを判っているのだろうか疑問に思い、テーマとしてみることにしました。

最近、人間と対戦して絶対に負けないじゃんけんロボットを東京大学の石川正俊教授らが開発されたという新聞記事が載っておりました。1秒間に1,000コマの画像を処理する特殊カメラとロボットを高速に動かす技術を組み合わせ、実は人間の目にはわからないように後出ししているそうです。チョキであれば人差し指と中指、パーならば5本の指が同時に開こうとするから、ロボットからすれば相手の「手」は簡単に判別できるというものです。人間も超人的な動体視力と瞬時の判断力を兼ね備えていれば訓練次第で絶対に負けない人が現れるかもしれません。そうは言っても、大多数の人間はじゃんけんの一連の動作をするだけで1秒以上かかり、結局は運頼みで、じゃんけんの本来の意味（平等に甲乙を決める）からすれば、じゃんけんロボットなど作ること自体が間違っているのかもしれませんが。尤も研究グループは勝率が100%のじゃんけんロボットを作るのが目的ではなく、今後の自動車事故防止システムなどへの応用を目指しているということなので期待したいと思います。

さて、世の中で一番速い乗り物は何かと調べてみたところ、身近なところでは東海道新幹線「のぞみ」は時速約300km（秒速83m）、スペースシャトルは時速28,800km（秒速8km）です。それから我が宇宙船地球号（一応、地球も全人類を乗せる乗り物と考えて）は太陽の回りを1秒間に29.8kmも進むそうです。そもそもスペースシャトルと地球の速さを比べるにも対象があまりにも違いすぎる感はありますが。わずか1秒でそんなにも進んでしまうとは、いかに宇宙のスケールが大きく、いかに人間がちっぽけな存在かということが身につまされる思いです。

逆に人間よりももっと小さい存在である昆虫の世界ではさらに驚くべきことがあります。昆虫の羽ばたきは人間の目には見えないほどの速さで、例えばミツバチやハエは1秒間に200回、蚊は1秒間に600回も羽ばたくそうです。（体が小さいほど羽ばたきの回数は多くなるとのこと。）羽ばたきの回数だけでなく、移

動速度（体の大きさを比較する飛行体に合わせた換算速度）や多様な飛行経路（アクロバット飛行）などとても現代の人間の技術では実現できないほどの高度な運動性能を昆虫は本能として持っているということになります。勿論、このような高度技術を持つ昆虫の羽ばたきについて様々な研究者がほっておくわけがなく、例えば被災地現場への偵察用としての飛行ロボットの開発など、いろいろな用途への応用を目指しているそうです。

ここまでは1秒というスケールで何ができるかについてロボット・乗り物・昆虫の実例を列挙して参りましたが、はたして人間として1秒間でどんなことができるのでしょうか。前述のような1秒間にできる仕事量的なことは困難であっても、一瞬のひらめきとかとっさの判断ということは1秒あれば十分足ります。人間の動作は判断の積み重ねであり、動作を迅速にするためには、いかに判断スピードを上げるかに懸かっていると思います。判り易い例を言うと、時速70kmで走っている車は1秒間に約20mも進んでしまうため、1秒の判断の遅れが大事故を招いてしまうことになります。判断力を高めるためには様々な要素（知識、集中力、頭の柔軟性等）を同時に高めていかなければなりません。私ども建設機械を点検整備する立場としては、ひと昔前の建機であれば機械・電気・油圧の知識があれば大方の機械の故障にも十分対応できたと思いますが、現在ではコンピュータ（電子）の知識がないと対応できなくなっています。つまり、エンジンや油圧等の制御はすべてコンピュータでシステム化されており、そういった技術も身につけておかなければ故障時における判断力を高めることはできないと考えます。従って、お客様へ正確で迅速なサービスを提供し続けるためにも、日々研鑽し、誰にも負けない努力で益々高度化する技術を習得すると同時に仕事に対する集中力や頭の柔軟性を訓練することが重要になってきます。

人間ですから1秒間というのはあっという間に過ぎ去ってしまう時間ではありますが、「1秒の重み」というものをズッシリと受け止め、時間の観念をもって1分1秒たりとも無駄にしないという思いで何事にも取り組んでいきたいと思います。

《参考文献》

「1秒の世界」
責任編集：山本良一 Think the Earth Project 編
2003.6.12 発行 ダイアモンド社 p.11, 119

平成 24 年度 一般社団法人日本建設機械施工協会会長賞 受賞業績（その 3）



平成 24 年度 一般社団法人日本建設機械施工協会 貢献賞

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)

業務内容の概要

1. はじめに

当別ダム建設事業本体工工事（北海道）は世界で初めての台形 CSG（Cemented Sand and Gravel）ダムの本格的な施工である。CSG はダムサイト近傍で容易に入手できる河床砂礫や掘削ずにセメント・水を加えて攪拌・混合したものである。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 124,000 m³、日最大打設計画量は 7,250 m³ であり、CSG 混合設備には計画上 450 m³/h 以上の製造能力が必要不可欠であった。

2. 開発経緯

既存の ϕ 700 mmSP ミキサでは製造能力が 80 m³/h 程度であるため、当別ダムでは 6 基以上の設備が必要と想定された。そのため、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 250 m³/h 以上の製造能力を有する ϕ 1,200 mmSP ミキサを開発した。

3. 開発内容

SP ミキサの使用実績から ϕ 500 mm $\Rightarrow$ ϕ 1,200 mm とすることで断面積が 6 倍で製造能力は約 5 倍（50 m³/h $\times$ 5 倍 = 250 m³/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必要なため、新たな混合方法を考案し確認実験を行った。

実験の結果、CSG 材・セメント・水を同時に連続して混合機へ投入すると、水が CSG 材とセメントの均一な混合を阻害する要因の一つとなることが判明した。したがって、「セメントと CSG 材の先行混合」「先行混合後の給水と均一な給水方法」を実現するため、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 連の混合筒は途中給水を介してウェ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とした。

4. まとめ

当別ダムにおいて 2 基の SP ミキサ（ ϕ 1,200 mm $\times$ 5 連）を中核とした CSG 製造設備は、不具合もな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 ヶ月（実稼働日数 271 日）で約 69.3 万 m³ の CSG を製造した。日最大 8,500 m³、月間最大 124,000 m³ 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 1,200 mm $\times$ 5 連）を導入し、製造を無事完了した。

業務内容

1. 業績の行われた背景

当別ダム建設事業本体工工事（北海道）は世界で初めての本格的な台形 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容易に入手できる河床砂礫や掘削ずにセメント・水を加えて攪拌・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 693,000 m³ の CSG 打設を 11.5 ヶ月で完了する必要がある、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 124,000 m³、日最大打設計画量は 7,250 m³ であり、CSG 混合設備には計画上 450 m³/h 以上の製造能力が必要不可欠であった。

当別ダムの CSG 製造は連続・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 250 m³/h 以上の製造能力を有する ϕ 1,200 mmSP ミキサを開発した。

2. 業績の詳細な技術的説明

(1) CSG の用語定義

CSG について以下に用語の定義を示す。

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) 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 製造設備の混合装置である 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 混合用に開発した簡易な装置である。

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 機種種の「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」に分類されている。

a. 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 CSG 等の製造実績を表—1 に示す。

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

表—1 に示す各現場で採用した SP ミキサは、混合筒径が φ500 mm 又は φ700 mm 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。

(3) φ1,200 mm SP ミキサの開発

当別ダムの CSG 打設リフトスケジュールから、月最大打設計画量は約 124,000 m³、日最大打設計画量は 7,250 m³ であり、CSG 製造設備には計画上 450 m³/h 以上の製造能力が必要不可欠であったことから、表—1 に示す従来設備の φ700 mm SP ミキサでは製造能力が 80 m³/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 250 m³/h 以上の製造能力を有する φ1,200 mm SP ミキサを開発した。

a. 混合方法の開発

CSG 材は、建設現場周辺で容易に入手できる材料を、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 250 m³/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の開発を行った。

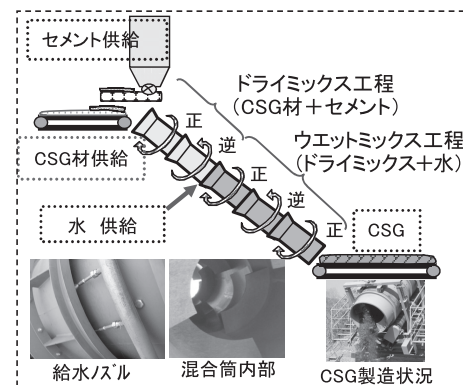
b. 製造能力・品質の確保

SP ミキサの使用実績から φ500 mm ⇒ φ1,200 mm とすることで断面積が 6 倍に、製造能力は約 5 倍（50 m³/h × 5 倍 = 250 m³/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・

試験機を製作し満足する結果が得られるまで、実証実験を繰り返し行った。

実験の結果、CSG 材・セメント・水を同時に連続して混合機へ投入すると、水が CSG 材とセメントの均一な混合を阻害する要因の一つとなることが判明した。したがって、「セメントと CSG 材の先行混合」「先行混合後の給水と均一な給水方法」を実現するため、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 連の混合筒は途中給水を介して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とした（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 250 m³/h 以上で所定の強度を有す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

c. 混合性能向上策

品質を満足しつつ混合性能を向上する開発項目について下記に示す。

① 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

② 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

③ 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

④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

d. 付着防止策

比較的細粒分が多く含水比の高いCSG材を投入して混合した場合、付着が品質劣化や製造能力低減の原因となる可能性がある。実施した付着対策を下記に示す。

①ホッパ、ライナ、羽根

コンクリート付着軽減ゴムの採用

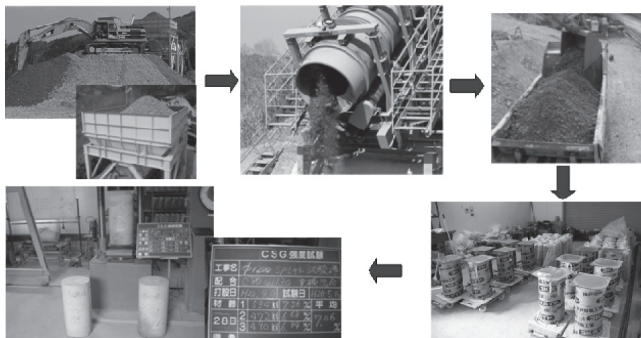
②混合筒内部

エアノッカによる付着物剥離

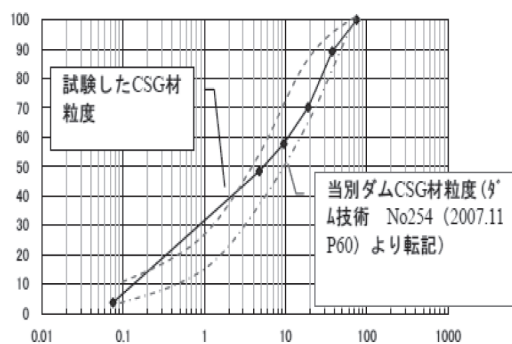
(4)二種類のミキシング工程方式の有効性

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、当別ダムの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 σ_{28} 強度が、ドライミックスなしの結果より約12%向上する結果となり、ドライミックスの効果を確認することができた。



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

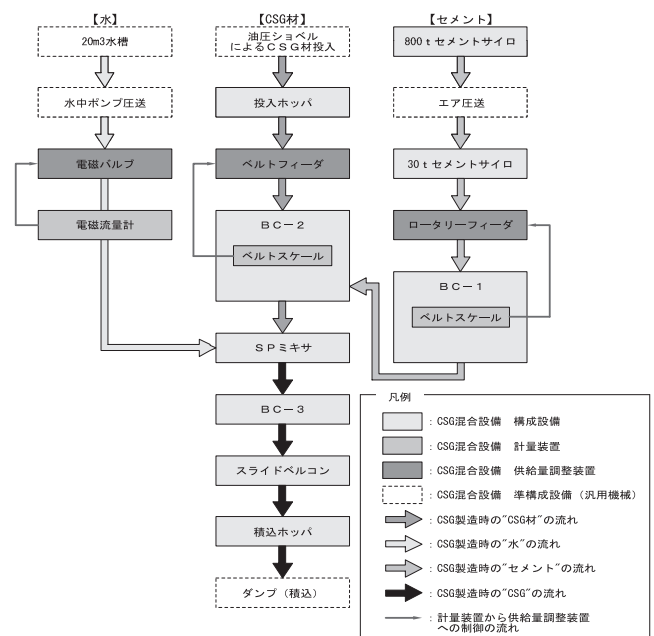
表—2 ドライミックス有/無の σ_{28} 強度結果

試験数	単位 (N/mm ²)	
	ドライミックスなし	ドライミックスあり
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

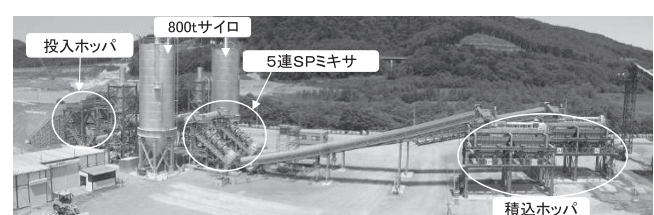
(5) CSG製造設備の製造合理化システム

CSG製造設備の製造フローを下記に示す。

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、ベルトコンベヤを經由して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、ベルトコンベヤ経由で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、さらにベルトコンベヤで移送されスライドコンベヤを經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—3参照)一元管理可能なシステムを考案し、導入した。



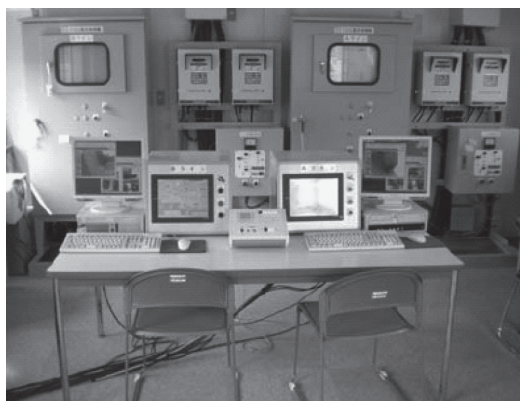
図—3 CSG製造設備の製造フロー



写真—3 当別ダムCSG製造設備（全景）

a. 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—4 参照）。連続運転で品質を確保する上で、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をリアルタイムで監視する必要があり、タッチパネル式のコントローラ上で操作と管理を行うことができるシステムを開発した。



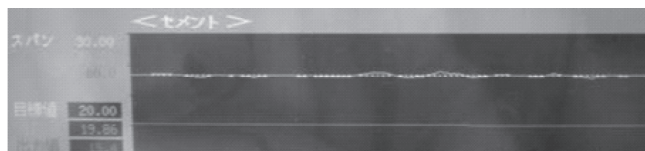
写真—4 CSG 製造総合監視システム

また、CSG 材の水分量確認ができる RI 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おり、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。

b. セメント安定供給手法の確立

セメント供給は 30 t サイロ底部に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。800 t 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、セメント供給量が安定しない状況が発生した。

セメント切出し量を安定させるためには、30 t 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



写真—5 セメント供給量監視グラフ（安定時）

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—5 に示す。

c. 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 55 t 積荷できる工夫が必要であった。ホッパによる積込みでは、油圧ショベルによる積込み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「荷押さえ」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—6 荷姿参照）、確実に 55 t 積荷可能なホッパを導入した。

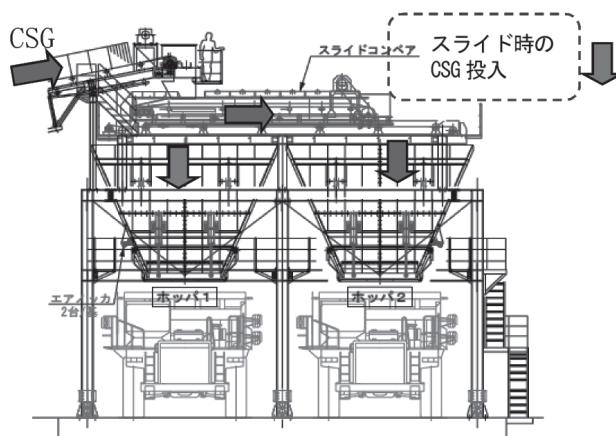


写真—6 55t 重ダンプベッセル荷姿

d. CSG 一時貯蔵・積込設備の工夫

1 基あたり 250 m³/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



図—4 スライドベルコン式積込ホッパ

交互に一時貯蔵，ダンプ積込を行うシステムを導入した。

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ヤで，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付けホッパ貯蔵量を管理している。

(6) まとめ

当別ダムで稼働した2基の SP ミキサ (ϕ 1,200 mm $\times$ 5 連) を中核とした CSG 製造設備は，不具合もな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 ヶ月 (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 124,000 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。

3. 技術的效果

「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 250 m^3/h 以上の製造能力を安定して確保できる混合方法」を実現するために開発した SP ミキサ (ϕ 1,200 mm $\times$ 5 連) を導入した CSG 製造設備によって得られた効果を下記に示す。

- (1) 細粒分 (5-0 mm) の含有比率が 35~55% で粒度幅のある CSG 材でも品質を満足した CSG の製造が可能となり，粒度変化がある材料でも品質を確保することが可能となった。
- (2) ドライミックス+ウェットミックスの2段階混合によって，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 σ_{28} 強度が，ドライミックスなしの結果より約 12% 向上する結果となり，必要強度を十分満足する良質な CSG を製造することが可能となった。
- (3) ロータリフィーダによるセメント切出し量を安定させるために，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させる手法 (特許申請中) の導入により，写真—5 に示すとおり設定供給量に対する変動誤差 1% 以内を可能とし，配合比率以上のセメントを添加することなく多量の CSG を製造することが可能となった。

- (4) ロードセルにてホッパ重量を管理し，重ダンプへ出荷合図する CSG 積込制御方式の採用で，CSG の連続製造及び効率的な重ダンプへの CSG 出荷を実現することが可能となった。

4. 経済的效果

SP ミキサ (ϕ 1,200 mm $\times$ 5 連) を導入した CSG 製造設備によって得られる経済的效果を以下に示す。

- (1) コンクリートの混合設備より簡易な施設で連続的に混合することができるため，1 m^3 当りの製造コストがコンクリートと比較して低コストである。
- (2) SP ミキサは細粒分 (5-0 mm) の含有比率が 35~55% で粒度幅のある CSG 材でも品質を満足できた実績から，CSG は建設現場周辺で容易に入手できる材料を分級，粒度調整，洗浄を行うことなく，「粒度変化がある材料」でも品質を確保した製造が可能である。
- (3) SP ミキサは 35 度の設置角度を有した重力・動力併用型の混合装置のため，250 m^3/h の製造能力を有しながら必要動力は 37 kW (プーリモータ: 3.7 kW $\times$ 10 基) と同能力のミキシング装置 (傾胴ミキサ 3.0 $\text{m}^3 \times$ 3 基: 120 kW 相当) と比較すると極端に少ない電力使用量である。
- (4) SP ミキサは円筒形の混合筒を 5 連で組合わせただけの簡単な構造で，汎用部材の採用と部品点数も少ないことから，メンテナンスも行いやすいため，維持管理が簡便かつ低コストである。

5. 類似工法又は機械との比較

表一 3 類似 CSG 製造装置との比較表

項目	SP ミキサ	2 軸バドルミキサ (A 社)	強制 2 軸ミキサ (B 社)
混合方式	重量・動力併用型 (羽根付き混合筒で攪拌と落下)	2 軸バドルミキサ	2 軸強制ミキサ
製造能力	1 基 : 250 m ³ /h	70 m ³ /h	3 m ³ × 2 台 : 270 m ³ /h (想定)
寸法・質量	φ 1,200mm × 5 連 運転質量 : 20 t (サイロ, BC 別途)	L12.5 m × H4.36 m × W2.99 m 運転質量 : 18.6 t	L8 m × H12 m × W8 m 運転質量 : 70 t (サイロ, BC 別途)
動力	動力 37 kW (ベルコン等含まず)	エンジン定格出力 : 99 kW	240 kW (ベルコン等含まず)
CSG 材供給, 管理	原料土の質量をベルトウエアで計測し, 常時設定量になるようにベルトフィーダの速度を制御	土砂フィーダを通過時の均しローラの高さにより容積を計算	原料土の質量をベルトウエアで計測し, 常時設定量になるようにベルトフィーダの速度を制御
セメント添加・管理	セメントの質量をベルトウエアで計測し, 常時設定量になるように速度制御し供給	製品 (CSG) 質量をベルトウエアで計測し, 設定添加率で供給	セメントの質量をベルトウエアで計測し, 常時設定量になるように速度制御し供給
給水方法・管理	ドライミックス後に均等給水 給水量は流量計管理	ミキサ部へ直接給水 給水量は流量計管理	ミキサ部へ直接給水 給水量は流量計管理
コスト	簡易な構造のため低コストとなり, プラント全体でも低コストになる		
長所	・省エネルギー (使用電力量が少ない) ・連続混合 ・CSG 材, セメントはベルトウエアにより計測精度が高い ・独自の安定したセメント供給方式により供給量安定 ・ドライミックス後に均等給水し, ウェットミックスするため, 混合性能が高い ・二段階混合により粒度変化に対応可能	・連続混合 ・自走式で設置が容易で移動がスムーズ	・ミキサ 2 基による連続混合 ・CSG 材, セメントはベルトウエアにより計測精度良好 ・ミキシング能力高く粒度変化に対応可能

6. 特許, 実用新案のタイトル

① SP ミキサ関連特許

特許番号 : 特許第 4021786 号

発明の名称 : 混練装置及び混練方法

②セメント供給方法関連特許

特許出願番号 : 2011-055442

出願名称 : 粉体定量供給方法

7. 波及効果

SP ミキサは重力併用型のため, 少ない動力で大きな製造能力と砂礫, 砂系の原料土 (高含水比の粘性土などは不適) では混合攪拌が効率良く行える特徴を有しているので, 製造以外の用途にも適用前に実験を行い, 品質・性能を確認している。

高田 悦久 (たかだ よしひさ) : 応募代表者
鹿島建設(株) 執行役員 土木管理本部副本部長

お断り

この JCMA 報告は, 会長賞貢献賞を受賞した原文とは一部異なる表現をしてあります。

CMI 報告

トータルステーションを用いた 路盤工の出来形の 多点管理手法の検討

竹本 憲充

1. はじめに

国土交通省では、情報通信技術（ICT）を活用した社会資本整備・管理サイクル全体の効率化、高度化に取り組んでいる。その取り組みの一環として、計測点の3次元位置座標を取得するトータルステーション（以降、TSと記す）を活用した出来形管理、監督・検査業務の効率化手法の導入・普及活動を行っており、これらの手法の現場導入を円滑化するための管理要領の制定等を、工種別に実施している。平成24年3月には、道路土工・河川土工・舗装工に関して「TSを用いた出来形管理要領（土工編）」、「TSを用いた出来形管理要領（舗装工事編）」が公表され、国土交通省直轄工事において標準的な出来形管理手法の一つとして運用されている¹⁾。一方、ICT導入に関する施工者側の取り組みとしては、TS出来形管理の他に、敷均し重機のマシンコントロール技術（以下、MCと記載）が導入される事例が増加しつつあり、特に舗装工事の路盤工においては、モータグレーダMCの導入事例が急速に増加している。しかしTS出来形管理とMCを併用している現場においては、出来形管理用TS用の設計データ（基本設計データ）と、MC用の制御データの両方を施工前に作成する必要があり、データ作成作業の重複が非効率であるという指摘がMCを積極導入している舗装専門工事会社各社よりなされている。また、MCにより路盤敷均しを行う場合は、敷均し高さ管理に用いる丁張りや水糸はわずかな本数（作業始点・終点に1箇所程度）で施工できるのにもかかわらず、「土木工事施工管理基準（国土交通省各地方整備局）」で定められている出来形確認を実

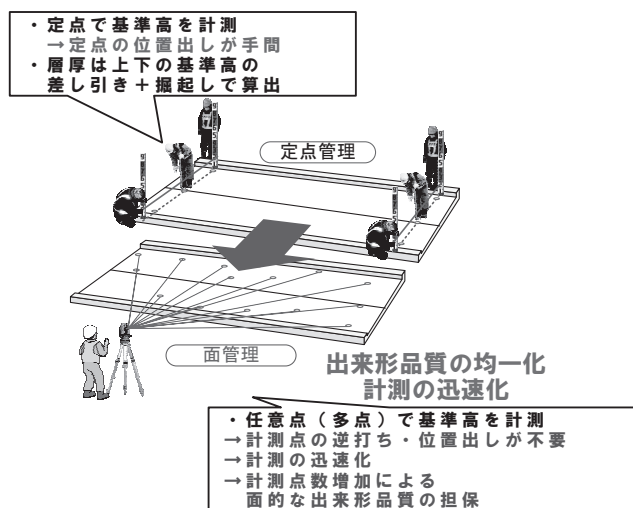
施するためだけに、施工に不要な40m毎の管理断面の位置出しが必要となっている。ここで、施工者が実施している施工中の自主管理（MCシステムの一部であるTSを用いた任意点における基準高確認）手法を、管理断面毎に実施する工事契約上の出来形管理に置き換えることが発注者に認められれば、発注者向けの出来形の証明にかかる施工者の労力を大幅に軽減できると考えられる。そこで、国土交通省関東地方整備局では、路盤等の敷均し作業にMCを用いている現場を対象として、MCシステムの制御データ、およびMCシステムの一部である自動追尾TS等を活用した路盤工等の新たな出来形管理基準の検討を行ってきた。以下に、MCグレーダ導入現場を対象に昨年度作成した「MCグレーダを用いた路盤工における出来形管理要領（試行案）」（以下、要領（試行案）と記す）の内容と、試行工事で確認された要領（試行案）の導入効果について報告する。なお、本報告の内容には、国土交通省関東地方整備局からの業務依頼による検討成果を引用している。

2. 「MCグレーダを用いた路盤工における出来形管理要領（試行案）」の概要

（1）新たな出来形管理手法のコンセプト

MCを用いている現場における路盤工の出来形管理に関する課題を踏まえ、新たな管理手法として、「面的管理」を提案した。

面的管理とは、TSを用いて敷均し面の基準高を面としてとらえて計測・管理する新たな管理手法である。具体的には、施工対象エリアに対して、あらかじめ定められた延長・横断方向の計測ピッチ（延長約8mに1点（案））にて、道路中心線と路盤の左右路肩ラ



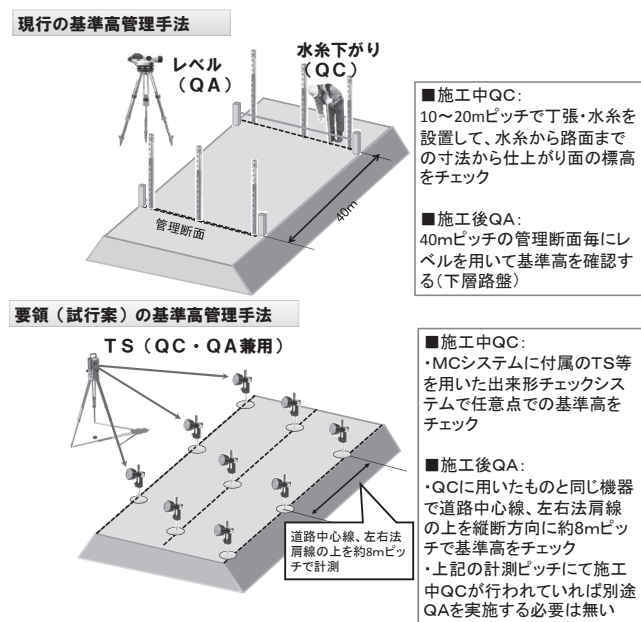
図—1 新たな路盤工の管理手法（面的管理）概要

イン上でTS等により標高を計測し、各計測点で出来形と設計との比高（基準高）をチェックすることにより、出来形の良否を判断する手法である。ここで、基準高は、出来形管理用TSを用いて求める他に、MCに入力した制御データが表す面的・3次元的な出来形状と、現地で計測した出来形の3次元座標との比較により算出してもよいこととしている。

これにより、基本設計データとMC制御データを重複して作成するという非効率性が解消される。

また、現行の40m毎の管理断面における定点管理をTSで行う場合は、出来形計測点を現地に位置出する作業が必要となるが、面的管理では、計測点のピッチだけが定められており、各層異なる平面位置を計測してもよいため、出来形計測点の位置出し作業が省略され、出来形計測作業の迅速化が期待できる。

また、1点当たりの出来形計測時間が迅速であるため、現行手法と同じ労力で、より多点の出来形計測が実施できるメリットもある。

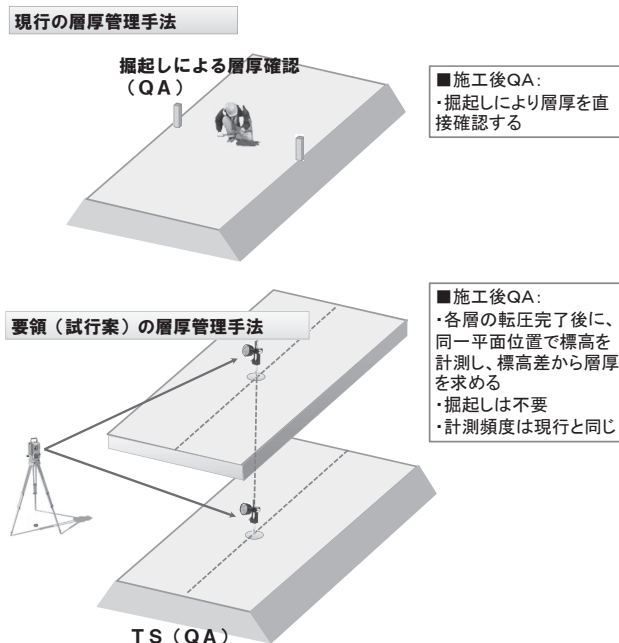


図一 基準高の管理方法の比較

任意点での出来形計測結果では、各層の基準高は評価できるが、層厚は評価できない。そこで、層厚の確認は、施工前に受発注者間であらかじめ定める層厚管理点において、各層の仕上がり面の標高を計測し、この標高差から層厚を把握することとした。これにより、従来の掘起しによる層厚確認と比較して作業時間の大幅な短縮が期待できる。

なお、さらに高度な層厚管理手法としては、TSを用いた定点での層厚計測を行う代わりに、各層の仕上がり面を多点で計測した結果を用いて、現層とその下

層の3次元的な面形状を3D-CADを用いて作成し、面間の標高差を算出して、層厚分布をコンター図等で表示・管理する手法も考えられるが、3D-CADは高価であり、操作が難しく、施工者が日々の出来形管理に用いることは実務上難しいと考え、本手法の採否は今後の検討課題とした。



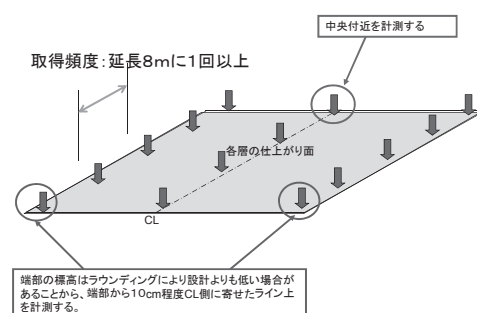
図二 層厚の管理方法の比較

(2) 要領（試行案）の要点

① 出来形計測箇所

前述したとおり、基準高は任意点でTSにより計測した基準高により確認し、層厚は、定点でTSにより計測した各層の仕上がり標高の差から確認する。

基準高についての出来形計測箇所の配置および計測頻度は下図のとおり設定した。



規定の計測間隔を守れば、取得位置は任意でよい（管理断面上で計測する必要はない）

図三 出来形計測点の配置

層厚については、前述したとおり、TSで計測した標高から層厚を把握することにより、路盤の掘起しによる層厚確認を省略することとしているが、計測箇所の設定の仕方は現行と同様としている。

幅については、現行の「土木工事施工管理基準（国土交通省各地方整備局）」に定められる計測頻度が80 m 毎と低く、メジャーを用いた幅計測に要する労力もわずかであることから、TSによる計測手法の置き換えは行わず、計測方法、計測箇所ともに現行と同様としている。

② 出来形管理基準および規格値

要領（試行案）出来形管理基準および規格値（案）を次表に示す。現行基準との大きな相違点は、下層路盤の基準高の測定を現行の管理基準よりも高い頻度で行い綿密に管理することとした点である。規格値については、現行と同様としている。

表一 1 要領（試行案）の出来形管理基準および規格値

工種		項目	規格値				測定基準
			中規模以上の 工事		小規模以下の 工事		
			個々の 平均値	全数 平均	個々の 平均値	全数 平均	
下層路盤		基準高 (mm)	± 40	—	± 50	—	L=8 m に 1 箇 所 の 割 合 で 道 路 中 心、 鋪 装 左 右 端 部 の 任 意 点 を 計 測
		層厚 (mm)	- 45	- 15	- 45	- 15	
		幅 (mm)	- 50	—	- 50	—	
上層路盤	アスファルト 安定処理	層厚 (mm)	- 15	- 5	- 20	- 7	
		幅 (mm)	- 50	—	- 50	—	
	セメント石灰 安定処理	層厚 (mm)	25	- 8	- 30	- 10	
		幅 (mm)	- 50	—	- 50	—	
	粒度調整路盤	層厚 (mm)	25	- 8	- 30	- 10	
		幅 (mm)	- 50	—	- 50	—	

3. 新たな施工管理手法の検証

路盤工の試験施工において、新たな施工管理手法を用いた出来形管理を実施し内容の妥当性を検証した。試験施工の概要および施工数量を下表に示し、検証結果を以下に示す。

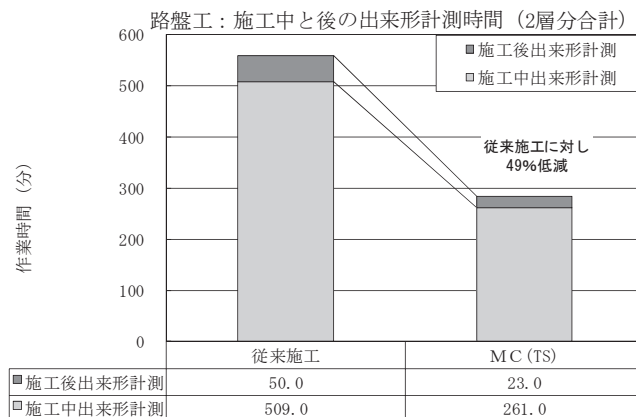
表二 2 試験施工の概要および施工数量

実施場所	施工技術総合研究所構内
対象工種	下層路盤・上層路盤路（MC で敷均し＋通常の締固め）
施工数量等	・延長 80 m × 幅 10 m × 2 層（下層・上層） 粒度調整碎石（M-30） 基準密度 2.177
実施時期	平成 24 年 1 月 15 日～2 月末日
使用機器	グレーダ MC システム（TS 方式）
検証項目	路盤工の出来形管理手法の妥当性検証

(1) 出来形管理作業（QC）の迅速化

QC とは施工者による出来形の自主管理のことである。現行施工と現行の出来形管理手法を用いる場合は、丁張り設置・水糸による敷均し中の基準高確認作業を指し、MC 施工と面的管理手法を用いる場合は、MC

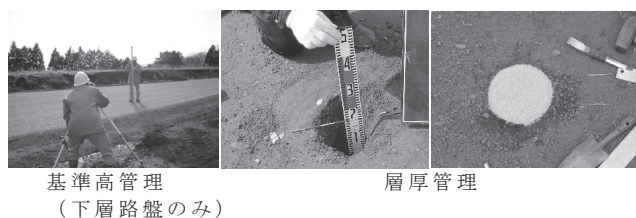
用の制御データ作成、日々の MC のセットアップ・精度管理、MC による排土板制御による基準高の自動管理を指す。両手法による QC 作業時間を比較した結果、新手法では丁張り設置・水糸下がり計測が不要となるため、作業工数が 5 割程度低減された。



図一 5 QC 作業時間の比較

(2) 出来形管理作業（QA）の迅速化

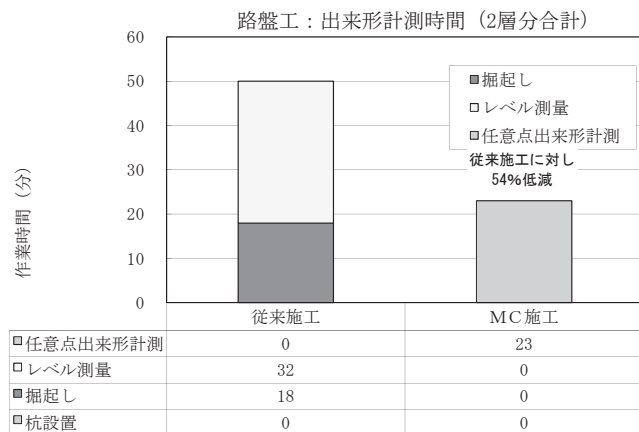
QA とは工事契約の中で定められている出来形確認作業のことである。現行の施工方法と出来形管理手法を用いる場合は、下層路盤については転圧後のレベルによる基準高確認作業と掘起しによる層厚確認作業を、上層路盤については掘起しによる層厚確認作業を指す。MC 施工と面的管理手法を用いる場合は、下層路盤については TS による任意点での基準高確認作業（試行工事では 8 m ピッチで道路中央、左右路肩の 3 測線を計測）と TS による定点での層厚確認作業を、上層路盤については定点での層厚確認作業を指す。新手法では現行手法に対し 5 割以上 QA にかかる作業時間が短縮されることが確認された。



写真一 1 現行の出来形管理（路盤工）



写真二 2 新たな管理基準による出来形管理（路盤工）



図－6 作業時間の比較（施工後の出来形計測作業）

（3）安全性の向上

要領（試行案）の導入による効果ではなく、MC グレーダの導入効果ではあるが、敷均し作業中の施工エリア内への計測員の立ち入りが不要となり、重機と作業員の接触事故が未然に防止され、安全性が向上した。また、TS による任意点での基準高確認結果をもってレベルによる管理断面毎の基準高確認を不要としたため、自主管理の省力化や安全性向上がなされた。



写真－3 現行の敷均し高さ管理



写真－4 MC による敷均し高さ管理

4. おわりに

路盤工の新たな出来形管理基準として、TS を用いた面的な出来形管理基準を提案し、試行工事にてその有効性が確認されたが、今後は実現場における本管理基準の運用実績を蓄積し、実現場においても試行工事と同様の効果が得られることを確認すると共に、施工者および監督職員を含めた修正意見の聴取により要領（試行案）のブラッシュアップを行っていく必要がある。

謝 辞

最後に、本報告の作成にあたりご協力頂いた、国土交通省関東地方整備局企画部施工企画課に対し、心より感謝を申し上げます。

J C M A

《参考文献》

- 1) トータルステーションを用いた出来形管理情報提供サイト
<http://www.gis.nilim.go.jp/ts/index.html>
- 2) 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 (TS) を用いた出来形管理要領 (案)【舗装工事編】」平成 21 年 8 月
http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000007372.pdf
- 3) 関東地方整備局「TS を用いた舗装工事の出来形管理サポートページ」
<http://www.ktr.mlit.go.jp/kangi/ts/index.htm>

【筆者紹介】

竹本 憲充（たけもと のりみつ）
一般社団法人 日本建設機械化協会
施工技術総合研究所 研究第三部
主任研究員



新工法紹介 機関誌編集委員会

02-138	LIBRA-S 工法	清水建設
--------	------------	------

▶ 概 要

昨今、新規ダムの計画が減少している一方で、ダムの治水・利水機能を向上させる再開発工事の計画が相次いでおり、このような工事には、ダム湖への工事用構台の架設が必要になる。そこで、ダムの再開発工事向けに、ダム湖に架設する工事用構台の施工の安全性と効率を一層向上させる「LIBRA-S 工法」を開発した。

一般に工事用構台は、湖底に打設する鋼管杭で作業構台を支持する構造になっている。従来は、湖上からクレーンで吊り降ろされたブレースを、水中で潜水士がボルトにより鋼管杭に連結しているが、ダム湖によっては水深 30～40 m での潜水作業が必要になり、かつ視界不良なことが多いことから、施工の安全性と効率の一層の向上が課題になっていた。

「LIBRA-S 工法」では、ブレース材を仮組みしてチェーンブロックで吊り、これを下方にスライドさせたのち次のブレース材を仮組みするという作業を繰り返す。最下段のユニットが所定の水深に達したら、潜水作業によりブレースリングのボルトを本締めし、1 スパンの施工を完了する。写真―1 にブレース材組立て状況、図―1 にブレース材設置手順図を示す。

▶ 特 徴

- ①従来に比べ、水中潜水作業が 50% 減少する。
- ②水深が 30 m 以上の場合、従来に比べて構台工事の工期を 20% 短縮できる。
- ③潜水作業時間減少により、工事の安全性が向上する。

▶ 用 途

- ・ダム湖に架設する工事用構台

▶ 実 績

- ・ダム工事用構台設置工事（愛媛県）

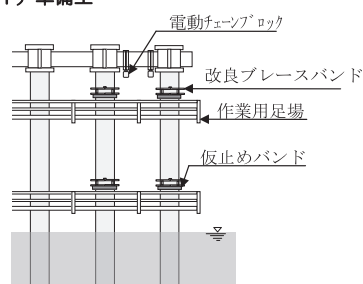
▶ 問 合 せ 先

清水建設(株) 土木技術本部 技術開発部
〒104-8370 東京都中央区京橋 2-16-1
TEL：03-3561-3886

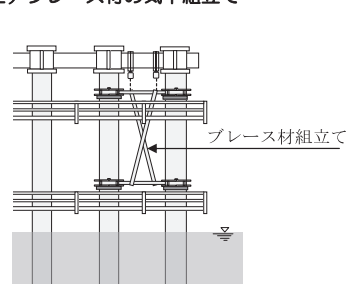


写真―1 プレース材組立て状況

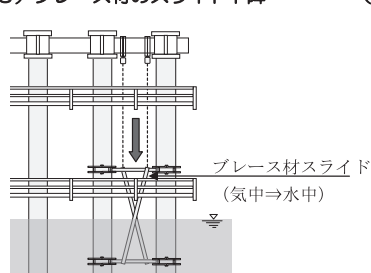
(1) 準備工



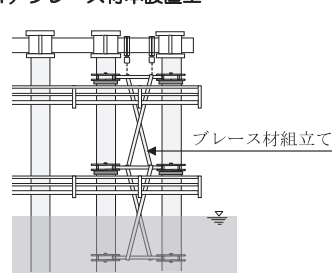
(2) ブレース材の気中組立て



(3) ブレース材のスライド下降



(4) ブレース材本設置工



図―1 ブレース材設置手順図

新機種紹介 機関誌編集委員会

▶ 〈02〉 掘削機械

12-〈02〉-07	住友建機 油圧ショベル（後方超小旋回型） SH135X-6	'12.12 発売 新機種
------------	-------------------------------------	------------------

13tクラスの後方超小旋回型油圧ショベル SH135X-6 は、6m 道路の片側車線内で旋回作業ができるように設計されており、同クラスの標準型ショベルと同等の作業性能を有しているため、都市型工事や様々な作業現場で能力を発揮することができる。

SH200-6 と同様に特定特殊自動車排出ガス 2011 年基準に適合し、超低騒音型建設機械の基準をクリアすることにより、人と地球環境に優しい建設機械を実現している。

また、このクラスにおいても FVM（フィールドビューモニター）を標準装備し、機械周辺の安全確認をサポートすると共に、オペレーターの疲労を軽減させる配慮を行っている。

表—1 SH135X-6 の主な仕様

バケット容量	(m ³)	0.5
最大掘削深さ	(m)	5.51
最大掘削半径	(m)	8.29
最大掘削高さ	(m)	9.34
運転質量	(t)	13.6
定格出力	(kW/min ⁻¹)	74.9/2,000
走行速度 高速／低速	(km/hr)	5.6/3.4
登坂能力	(度)	35
クローラ全幅	(m)	2.49
標準シュール幅	(m)	0.5
全長×全幅×全高（輸送時）	(m)	7.22 × 2.49 × 2.80
価格	(百万円)	未定



写真—1 住友建機 SH135X-6 油圧ショベル

▶ 〈05〉 クレーン，インクラインおよびウインチ

12-〈05〉-04	加藤製作所 E-リフター KL-6000	'12.02 発売 新機種
------------	----------------------------	------------------

本機は、法令（車両制限例）に基づいて分解輸送を必要とするオールテレーンクレーン、トラッククレーンの分解組立専用装置である。

11tトラックでの輸送が可能で、トラックへの積載も他の補助クレーンを必要としない。

最大せり上げ能力を 50t としながらも、リンク式構造を採用することにより機体をコンパクト化し、作業時の全高を低減している。最大使用高さを 6.3m を確保しながら、車両やトラックの進入・退出方向を選ばないので、狭い現場でも分解・組立が可能である。

前後・左右・上下方向への位置合わせが可能で、調整範囲が広いので多くの機種に対応することができる。また、操作方法は各方向へ個別調整、同時調整の使い分けができ作業性を高めている。リモコン操作を標準とするが、ラジコン仕様も設定されている。

安全装置として、リフト自然降下防止装置、油圧安全弁、アウトリガロック装置（起立、振出し）、制御盤パネル内各種警告灯、偏荷重警告灯を備えている。

表—2 KL-6000 の主な仕様

最大せり上げ能力	(t)	50
アウトリガ張出寸法		
中間張出 左右／前後	(m)	4.5/5.1
最大張出 左右／前後	(m)	5.0/5.1
最大使用高さ	(m)	6.305
リフトストローク	(m)	2.350
位置調整寸法		
上下方向ストローク	(m)	1.000
前後方向調整範囲	(m)	2.085 ～ 4.280
左右方向調整範囲	(m)	0.663 ～ 1.975
定格出力	(kW/min ⁻¹)	21.4/2,400
機械質量	(t)	10
全長×全幅×全高（格納時）	(m)	9.995 × 2.360 × 2.305
価格（税抜き）	(百万円)	32

（注）（1）ディーゼルエンジンを搭載

問合せ先：住友建機㈱ 企画部

〒141-6025 東京都品川区大崎 2-1-1

新機種紹介



写真—2 加藤製作所 KL-6000 E-リフター

問合せ先：(株)加藤製作所 営業本部
〒140-0011 東京都品川区東大井 1-9-37

▶ 〈12〉モータグレーダ、ロードスタビライザ、締固め機械およびソイルプラント

12-〈12〉-01	日立建機カミーノ ランマ ZV55RL, ZV65RL	'12.07 発売 新機種 (シリーズ追加)
------------	-----------------------------------	---------------------------

管工事や道路工事などで使用されるランマについて、打撃力の向上と手元振動を低減したフルカバー仕様(注)のZV-Rシリーズに、運搬性とメンテナンス性を向上した“軽量化”仕様のZV-RLシリーズを追加した。

ZV-Rシリーズの特徴である、強力な打撃力、手元振動の低減、不整地での推進性能向上などの作業性能と、操作しやすいアクセルレバー、低振動なハンドルなどの操作性はそのままに、軽量化による運搬性の向上を図った。

エンジン部へのアクセス性向上のため、パイプガードを採用し、エアクリーナ清掃、ガバナ調整、キャブレター整備などのエンジン部のメンテナンス性の向上を図った。

ゴム容量を増加させた防振ゴム、ハンドル部ストッパーゴム採用による防振ゴムのねじれ破損防止などの耐久性は、ZV-Rシリーズをそのまま踏襲し、エンジン部は、パイプガードと新規採用のエンジンガードにより保護した。

注：実機上面および両サイドにカバーを設置し、エンジンの保護とスタイリングを重視したタイプ。

表—3 ZV55RL / ZV65RL の主な仕様

		ZV55RL	ZV65RL
機械質量	(kg)	61	63
打撃周波数	(Hz)	11.2	
打撃力※	(kN)	16 ~ 28	20 ~ 36
打撃ストローク※	(mm)	26 ~ 43	39 ~ 59
走行速度※	(m/min)	10	
手元振動※	(m/s ²)	8.0	7.3
エンジン定格出力	(kW/min ⁻¹)	1.5/3,600	
燃料タンク容量	(ガソリン) (L)	2.7	
価格 (税抜)	(円)	350,000	360,000

(注) ※日立建機カミーノの基準による。



写真—3 日立建機カミーノ ZV55RL ランマ

問合せ先：(株)日立建機カミーノ 営業本部
〒340-0004 埼玉県草加市弁天 5-33-25

平成 24 年 建設業の業況

1. まえがき

建設投資がピーク時の半分程度に減少した平成 22 年度以降も低迷を続け、受注環境もさらにきびしさを増しているなか、平成 24 年度は東日本復旧・復興等に向けた投資が見込まれる。そのような中で建設業の業況について直近のデータを交え、その内容について紹介する。

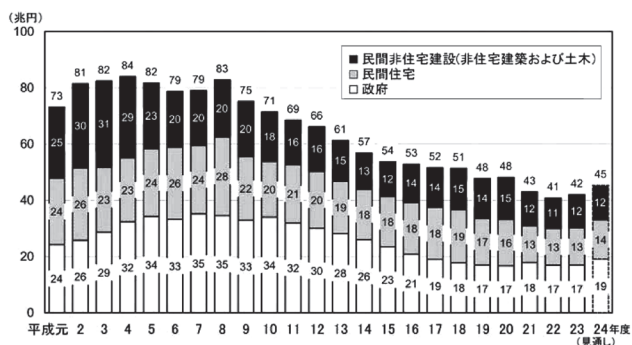
2. 建設投資の概要

平成 24 年度の建設投資は、前年度比 7.9% 増の 45 兆 3,100 億円となる見通しである。そのうち、東日本大震災の復旧・復興等に係る建設投資は 4 兆 2,500 億円となる見通しである。

平成 24 年度の建設投資のうち、政府投資が 19 兆 600 億円（前年度比 12.5% 増）、民間投資が 26 兆 2,500 億円（前年度比 4.8% 増）となる見通しである。これを建築・土木別に見ると、建築投資が 24 兆 5,400 億円（前年度比 6.1% 増）、土木投資が 20 兆 7,700 億円（前年度比 10.1% 増）となる見通しである（図－1）。

また、平成 23 年度の建設投資は前年度比 2.7% 増の 41 兆 9,900 億円となる見込みである。このうち政府投資は 16 兆 9,400 億円（前年度比 0.2% 増）、民間投資は 25 兆 500 億円（前年度比 4.5% 増）と見込まれる。建築・土木別に見ると、建築投資が 23 兆 1,200 億円（前年度比 4.5% 増）、土木投資が 18 兆 8,700 億円（前年度比 0.6% 増）となる見込みである。

建設投資は、平成 4 年度の 84 兆円をピークに減少傾向であり、平成 22 年度には平成 4 年度の半分程度にまで減少したが、平成 23 年度には、数次にわたる東日本大震災からの復旧・復興等に向けた財政措置が講じられたことから総額は 3 年ぶりに増加している。平成 24 年度は、東日本大震災からの復旧・復興等に向けた投資を含め、総額として 45 兆 3,100 億円となる見通しである。

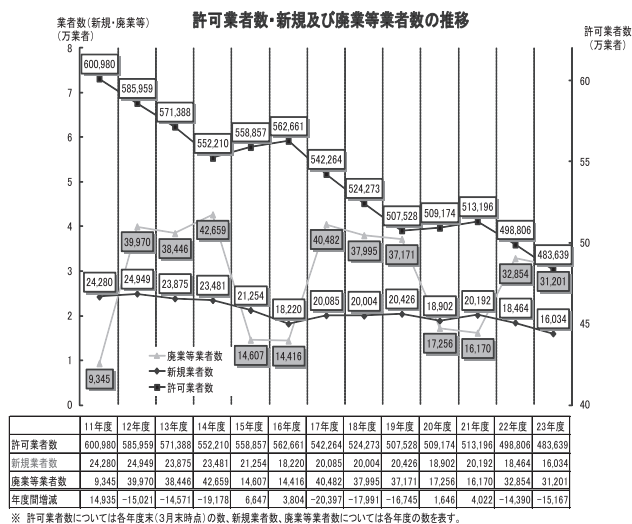


図－1 建設投資額（名目値）の推移（資料出所：国土交通省）

3. 全国許可業者数の推移

平成 24 年 3 月末現在の建設業許可業者数は 483,639 業者で、前年同月比で 15,167 業者の減少（-3.0%）となった。前年に許可業者数が 50 万業者を下回り、さらに減少している。

建設業許可業者数が最も多かった平成 12 年 3 月末時点のピーク時と比較した事業者数は 117,341 業者の減少（-19.5%）となっている（図－2）。



図－2 全国建設業許可業者数

4. 業種別許可業者数の推移

平成 24 年 3 月末現在の業種別許可の総数は、1,416,051 で前年同月比 1.1% 減となった。

前年同月に比べて増加した許可業種は 13 業種であり、増加率は熱絶縁工事業が 5.1% と最も高く、以下、ガラス工事業（3.6% 増）、防水工事業（3.3% 増）が続く。また、前年同月に比べ取得業者数が減少した許可業種は 15 業種となっており、前年比減少率トップは清掃施設工事業の 4.1% 減となっている。以下、建築工事業（3.9% 減）、造園工事業（3.8% 減）が続く。

図－3 に建設業許可業者の業務別許可の取得状況を示す。

5. 死傷者及び死亡者数の推移

平成 23 年の全産業死傷者数は前年比 3.33% 増の 111,349 名であった。建設業の死傷者は 21,372 名（4.55% 増）、死亡者は 342 名（6.30% 減）で、死亡者は減少しているが、死傷者がかなり増加する傾向となっている。

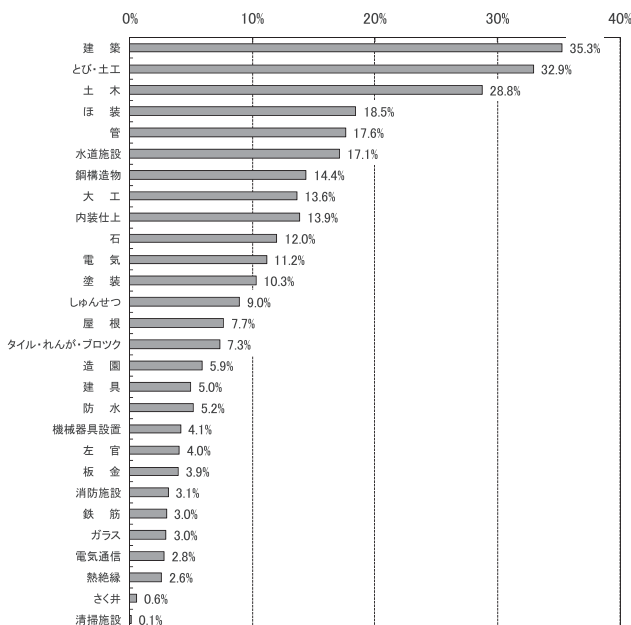
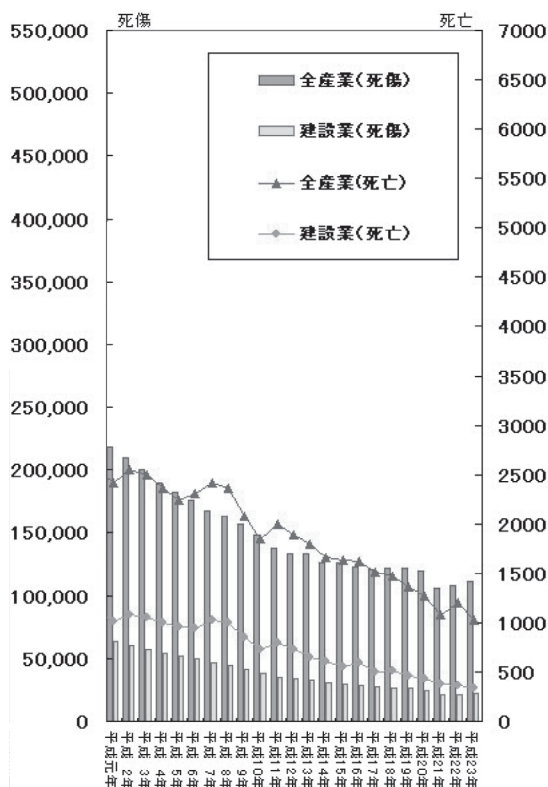


図-3 建設業許可業者における業種別許可の取得率



死亡災害件数については、「死亡災害報告」による。

図-4 死傷者、死亡者の推移（資料出所：建設業労働災害防止協会）

6. 建設業倒産件数の推移

2011年度の建設業者の倒産は、件数で3,021件（前年度比1.8%減）、

負債総額で4,039億円（同16.6%減）となっており、件数、負債総額とも2007年度から2008年度にわたっては増加しているものの、2009年度以降3年連続で減少が続いている。2009年度の公共工事前倒し効果や、その後の東日本大震災復旧・復興に関する各種支援策が貢献しているものと思われる。

倒産件数を業態別に見ると、建築工事業で608件（前年度比3.9%減）、土木工事業で448件（同22.6%減）となっており、この両工事業で35.0%の件数を占めている。

負債規模別に見ると、負債100億円以上の倒産はなく、上場企業の倒産もないが、負債5億円未満の倒産件数が全体の96.0%、負債5,000万円未満の倒産件数にいたっては46.7%（1,412件）と中小零細企業の倒産が目だっている。

7. 建設業就業者数の推移

建設業就業者数は不況下においても一貫して増加を続け、結果的にわが国の雇用の安定に寄与してきたが、97年（685万人）をピークとしてその後は減少が続いている。2011年は前年比1万人減の497万人。前年に続いて1977年（499万人）以来の500万人割れとなっている。

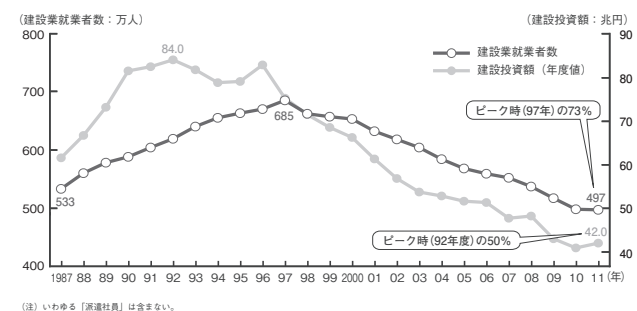


図-5 建設業就業者数の推移（資料出所：総務省「労働力調査」、国土交通省「建設投資見通し」）

8. おわりに

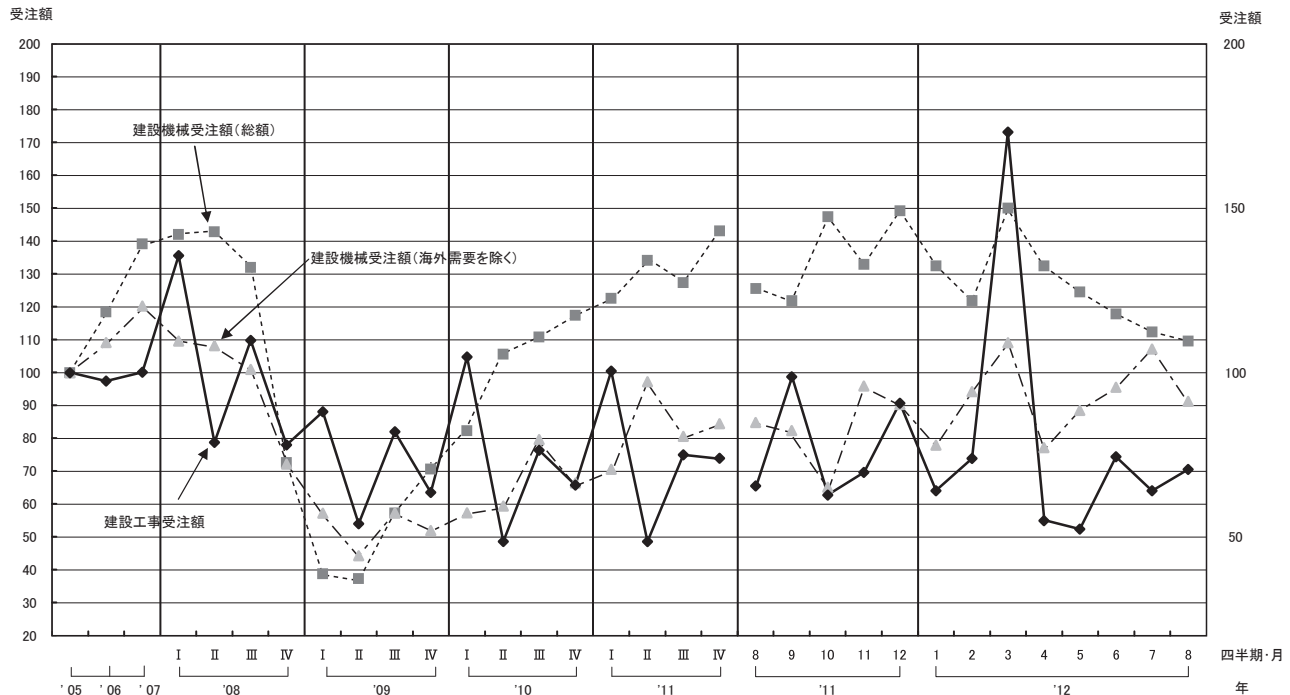
平成4年度の84兆円をピークに減少傾向を続けてきた建設投資は、平成22年度にはピーク時の半分程度に減少している。その後、平成23年度に東日本大震災の復旧・復興等に向けた数次の財政措置が講じられたことから、建設投資の総額が3年ぶりに増加している。平成24年度は、復旧・復興等の投資を含めた総額で45兆3,100億円となる見通しとなっている。

しかし、平成24年3月末の全国許可業者数は、50万業者を下回った前年を、さらに1.1%下回っており、建設業就業者数の減少に至っても、1977年以降の500万人割れの平成22年より、さらに1万人の減少となっている。近時、生活基盤を支える建設業にとっては、不況が続くなか、受注環境がきびしく、施行条件も更にきびしくなる一方で、採算性、労働条件が非常に悪い状況が続いている。

（文責：成田）

建設工事受注額・建設機械受注額の推移

建設工事受注額：建設工事受注動態統計調査(大手50社) (指数基準 2005年平均=100)
建設機械受注額：建設機械受注統計調査(建設機械企業数24前後) (指数基準 2005年平均=100)



建設工事受注動態統計調査(大手50社)

(単位：億円)

年 月	総 計	受 注 者 別						工 事 種 類 別		未消化 工事高	施工高
		民 間			官 公 庁	そ の 他	海 外	建 築	土 木		
		計	製 造 業	非製造業							
2005 年	138,966	94,850	19,156	75,694	30,657	5,310	8,149	95,370	43,596	136,152	136,567
2006 年	136,214	98,886	22,041	76,845	20,711	5,852	10,765	98,795	37,419	134,845	142,913
2007 年	137,946	103,701	21,705	81,996	19,539	5,997	8,708	101,417	36,529	129,919	143,391
2008 年	140,056	98,847	22,950	75,897	25,285	5,741	10,184	98,836	41,220	128,683	142,289
2009 年	100,407	66,122	12,410	53,712	24,140	5,843	4,302	66,187	34,220	103,956	128,839
2010 年	102,466	69,436	11,355	58,182	22,101	5,472	5,459	71,057	31,408	107,613	106,112
2011 年	106,577	73,257	15,618	57,640	22,806	4,835	5,680	73,983	32,596	112,078	105,059
2011 年 8 月	7,585	5,247	1,484	3,764	1,600	338	399	5,300	2,285	111,469	7,730
9 月	11,468	7,561	1,669	5,892	3,420	433	54	7,059	4,409	111,797	11,948
10 月	7,290	4,424	1,079	3,345	2,204	440	222	4,427	2,864	113,424	6,867
11 月	8,124	5,202	1,179	4,023	1,587	431	904	5,811	2,313	113,297	8,208
12 月	10,327	6,989	1,753	5,237	2,184	391	763	7,301	3,026	112,078	11,030
2012 年 1 月	7,449	4,990	933	4,058	1,727	333	399	5,241	2,208	112,743	7,001
2 月	8,576	5,387	1,056	4,330	2,442	404	343	5,695	2,880	112,603	9,034
3 月	20,021	13,216	2,021	11,196	5,148	540	1,117	13,976	6,045	117,803	15,393
4 月	6,443	4,721	1,083	3,638	1,110	418	194	4,577	1,866	117,710	6,342
5 月	6,176	4,284	960	3,324	1,309	337	246	4,171	2,005	116,271	7,709
6 月	8,663	6,106	1,433	4,673	2,053	354	149	5,999	2,664	115,408	9,834
7 月	7,488	5,156	1,043	4,112	1,809	430	93	5,163	2,325	116,359	6,602
8 月	8,247	5,373	1,030	4,342	2,246	400	228	5,424	2,823	—	—

建設機械受注実績

(単位：億円)

年 月	05 年	06 年	07 年	08 年	09 年	10 年	11 年	11 年 8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	12 年 1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月
総 額	14,749	17,465	20,478	18,099	7,492	15,342	19,520	1,542	1,502	1,802	1,634	1,831	1,641	1,500	1,851	1,627	1,532	1,443	1,391	1,347
海 外 需 要	9,530	11,756	14,209	12,996	4,727	11,904	15,163	1,173	1,145	1,517	1,208	1,441	1,306	1,089	1,378	1,290	1,147	1,026	929	951
海外需要を除く	5,219	5,709	6,268	5,103	2,765	3,438	4,357	369	357	285	426	390	335	411	473	337	385	417	462	396

(注) 2005～2007 年は年平均で、2008～2011 年は四半期ごとの平均値で図示した。

2011 年 8 月以降は月ごとの値を図示した。

出典：国土交通省建設工事受注動態統計調査

内閣府経済社会総合研究所機械受注統計調査

…行事一覧…

(2012年9月1日～30日)

■ 機 械 部 会

■路盤・舗装機械技術委員会 総会及び技術発表会

月 日：9月6日(木)

出席者：行川恒弘委員長ほか26名

議 題：①平成24年度活動計画と活動実績の報告 ②技術発表：・建設工事での安全喚起装置の普及について・シフトラム式路面切削機 W200Hiについて・エコモードフィニッシャおよび電気駆動フィニッシャについて ③事務連絡

■トンネル機械技術委員会 環境保全分科会

月 日：9月7日(金)

出席者：掛川敏弘分科会長ほか8名

議 題：①各課題についての担当者追加調査結果の説明報告と内容の検討 ②報告書のまとめ方の方針についての検討 ③その他

■建築生産機械技術委員会 幹事会

月 日：9月12日(水)

出席者：石倉武久委員長ほか2名

議 題：①平成24年度上期の活動報告と下期の活動計画について ②建設機械要覧2013の概説見直し原稿内容の最終確認について ③その他

■基礎工事用機械技術委員会

月 日：9月12日(水)

出席者：篠原慶二委員長ほか12名

議 題：①ヒヤリハット事例を現場作業員に周知活用してもらうための成果品の姿(下敷き・うちわetc)について ②運転資格のガイダンスについて ③東北地方の視察調査について ④その他

■ダンプトラック技術委員会

月 日：9月13日(木)

出席者：大貫廣明委員長ほか4名

議 題：①各社トピックスについて ②平成24年度上期活動結果と下期活動計画について ③安全作業ガイド作成準備について ④8月8日開催の合同部会についての報告 ⑤その他

■原動機技術委員会

月 日：9月20日(木)

出席者：長瀬隆二委員長ほか21名

議 題：①平成24年度上期活動結果と下期計画について ②国土交通省からの情報提供 ③環境省中環審自排専の

第十一次報告に基づく中環審による大臣答申結果について ④環境省・国交省・経産省への2014排ガス規制対応要望説明のその後の報告について

⑤海外排気ガス規制の動向についての情報交換 ⑥その他

■トンネル機械技術委員会 トンネル機械未来像分科会

月 日：9月20日(木)

出席者：浅沼廉樹分科会長ほか3名

議 題：①昨年度活動成果から、前回に引き続きこれらを実現するための掘削技術、覆工技術、素材技術についての各自追加のネタ資料を持ち寄り、説明と検討 ②その他

■機械部会 油脂技術委員会

月 日：9月24日(月)

出席者：杉山玄六委員長ほか19名

議 題：①油脂技術委員会：・2012年上期の活動報告と下期方針説明 ・省エネ作動油の技術動向紹介 ②燃料エンジン油分科会：・2012年上期の活動報告と下期方針説明 ・2011年及び2014年排ガス規制適合機に対する燃料・エンジンオイルについての問題・注意 ③グリース分科会：2012上期の活動報告と下期方針説明 ④特別講演：産業用車両の潤滑について

■トンネル機械技術委員会・新技術・施工技術分科会

月 日：9月26日(水)

出席者：若山真則分科会長ほか7名

議 題：①切羽前方探査関連技術の古河ロックドリル(株)プレゼン説明：・切羽前方探査システム・自動追尾式余掘り低減システム(NETIS登録)・携帯端末を利用したトンネル現場内大容量情報伝達システム ②各委員が追加収集した切羽前方探査についての資料の紹介 ③成果品のまとめ方について ④その他

■機械部会 幹事会

月 日：9月27日(木)

出席者：大野俊弘部会長ほか19名

議 題：①平成24年度上期の各委員会活動の報告について ②平成24年度下期の各委員会活動計画について ③平成24年度下期の技術連絡会の議題と開催日について ④平成24年度下期の合同部会について ⑤その他

■ 製 造 業 部 会

■製造業部会・小幹事会

月 日：9月10日(月)

出席者：小室洋幹事長ほか2名

議 題：①平成24年度上半期事業報告とりまとめと下半期の事業計画について ②国交省関東地整からの「大規模災害時における災害対策用機械の支援に関する協定書(案)」に対する製造業部会としての意見とりまとめについて ③平成24年度第2回合同部会(幹事役：建設業部会)の議題について ④労働安全規則の一部改正「機械に関する危険性等の通知促進に関する指針」に対する対応について ⑤その他

■作業燃費検討 WG・国交省との打合せ

月 日：9月24日(月)

出席者：田中利昌リーダほか15名

議 題：①低燃費型建機認定制度に向けたPR資料(案)に対する意見と見直し内容の確認 ②低燃費型建機認定制度実施にあたっての疑問点・問題点についての確認 ③国交省との前回打合せ(6月22日)に対する国交省「燃費基準ステッカーデザイン仕様(案)」に対する意見のまとめ

■製造業部会 幹事会

月 日：9月25日(火)

出席者：小室洋幹事長ほか10名

議 題：①平成24年度上期の活動報告および下期の活動計画について ②国交省関東地整からの「大規模災害時における災害対策用機械の支援に関する協定書(案)」に対する製造業部会としての意見取りまとめについて ③労働安全衛生規則の一部改正「機械に関する危険性等の通知促進に関する指針」に対する対応について ④平成24年度第2回合同部会(幹事役：建設業部会)の議題について ⑤報告事項：・次期2014年度排気ガス規制に対する3省への要望の状況について・作業燃費検討WGの国交省との検討状況について ⑥その他

■ 建 設 業 部 会

■三役会

月 日：9月14日(金)

出席者：増子文典部会長ほか3名

議 題：①秋季現場見学会の検討 ②機電技術者交流企画WGの報告・「第16回機電技術者意見交換会」について ③バックホウ吊上げ作業事故予防検討会の報告 ④その他

■機電技術者交流企画WG

月 日：9月19日(水)

出席者：久留島匡繕主査ほか6名

議 題：①参加者グループ分け等について ②当日スケジュール等の確認

③アンケート案の検討 ④第16回機
電技術者意見交換会参加者、アンケー
トの検討・9月14日三役会での結果
報告 ⑤その他

■バックハウ（油圧ショベル）吊上げ作業 における事故予防検討会

月 日：9月24日（月）

出席者：傳田喜八郎主査ほか5名

議 題：①アンケート案と趣意書の検討
②その他

■ レン タ ル 部 会

■レンタル業部会

月 日：9月6日（木）

出席者：中島嘉幸部会長ほか14名

議 題：①関東地方整備局の協定案の検
討 ②「建設機械レンタル契約」の手
引き改訂作業について ③9月18日
関東地方整備局との意見交換会（情報
化施工・新技術について）での要望・
質問事項について ④各社の取組事
項、部会員共通の問題、課題について
⑤その他

■レンタル業部会と関東地方整備局との意 見交換会

月 日：9月18日（火）

出席者：中島嘉幸部会長ほか25名

議 題：①新技術について ②情報化施
工の普及推進について ③その他

■ 各 種 委 員 会 等

■機関誌編集委員会

月 日：9月5日（水）

出席者：田中康順委員長ほか22名

議 題：①平成24年12月号（第754号）
の計画の審議・検討 ②平成25年1
月号（第755号）の素案の審議・検討
③平成25年2月号（第756号）の編
集方針の審議・検討 ④平成24年9
～11月号（第751～753号）の進捗
状況の報告・確認

■新機種調査分科会

月 日：9月19日（水）

出席者：江本平分科会長ほか4名

議 題：①新機種情報の持ち寄り検討
②新機種紹介データまとめ ③その他

■新工法調査分科会

月 日：9月26日（水）

出席者：安川良博分科会長ほか2名

議 題：①新工法情報の持ち寄り検討
②新工法紹介データまとめ ③その他

…支部行事一覧…

■ 北 海 道 支 部

■建設機械施工技術検定実地試験

月 日：8月31日（金）～9月2日（日）

場 所：石狩市 ㈱日立建機教習センター
北海道教習所

受験者：1級107名、2級329名

■情報化施工網走地方セミナー

月 日：9月6日（木）

場 所：網走市 網走建設業協会 会議室

内 容：【座学】①情報化施工の最近の
動向 ②ビデオ上映「情報化施工技術
全般の紹介」 ③TS出来形管理技
術：・PCによる3次元データ作成 ・
TSへの3次元データ入力及びTSに
よる出来形管理 ④マシンコントロー
ルグレーダ技術 ⑤施工体験談（京極
発電所上部調整池工事の紹介 【実機
デモ・体験】・PCによる3次元デー
タ作成 ・TSへの3次元データ入力
及びTSによる出来形管理

受講者：55名

■第2回広報部会広報委員会

月 日：9月11日（火）

出席者：峰友博広報委員長ほか6名

議 題：①支部だより104号の編纂につ
いて ②建設工事等見学会について
③その他

■平成24年度除雪機械技術講習会(第1回)

月 日：9月14日（金）

場 所：旭川市 ターミナルホテル

受講者：147名

内 容：①除雪計画 ②除雪の施工方法
③冬の交通安全 ④除雪の安全施工
⑤除雪機械の取り扱い

■平成24年度除雪機械技術講習会(第2回)

月 日：9月20日（木）

場 所：釧路市 観光国際交流センター

受講者：115名

内 容：第1回に同じ

■平成24年度除雪機械技術講習会(第3回)

月 日：9月25日（火）

場 所：札幌市 ホテルボールスター札幌

受講者：207名

内 容：第1回に同じ

■平成24年度除雪機械技術講習会(第4回)

月 日：9月27日（木）

場 所：小樽市 小樽経済センター

受講者：101名

内 容：第1回に同じ

■ 東 北 支 部

■技術部会

月 日：9月3日（月）

場 所：東北支部会議室

出席者：佐藤文行技術部会長ほか4名

内 容：防災訓練

■施工部会

月 日：9月12日（水）

場 所：支部会議室

出席者：稲村正弘部会長ほか9名

議 題：①平成24年度除雪講習会講習
実施計画について ②除雪講習会開催
一覧表の修正について ③「平成23
年度道路除雪の手引き」について
④説明用パワーポイントについて
⑤その他

■施工部会（除雪講習会（全12回）開催）

月 日	場 所	9月末日 予定人数
9月26日（水）	青森	234
9月27日（木）	弘前	146
10月2日（火）	秋田	245
10月3日（水）	横手	378
10月10日（水）	山形	237
10月11日（木）	新庄	182
10月16日（火）	岩手(1)	302
10月17日（水）	岩手(2)	300
10月24日（水）	宮古	79
10月26日（金）	奥州	203
10月30日（火）	会津	186
11月2日（金）	仙台	188
受講者総計		2,680

■ 北 陸 支 部

■建設機械施工技術検定実地試験

月 日：9月7日（金）～9日（日）

場 所：新潟県新潟市 コベルコ教習所
新潟教習センター

受験者：1級52名、2級159名

■施工技術部会 建設機械整備技術委員会

月 日：9月26日（水）

場 所：新潟県建設会館 会議室

出席者：渡部敏男委員長ほか12名

内 容：①建設機械整備標準作業工数表
の課題について ②今後の改訂方針に
ついて 等

■普及部会 東部地区親睦ゴルフ大会

月 日：9月28日（金）

場 所：紫雲ゴルフクラブ

参加者：13名

■ 中 部 支 部

■建設機械施工技術検定実地試験

月 日：9月1日（土）～4日（火）
場 所：愛知県刈谷市 住友建機販売株式会社 名古屋技術研修所
受験者：1級：実受験者 110 名，延べ受験者 193 名，2級：実受験者 295 名，延べ受験者 333 名

■技術部会

月 日：9月6日（木）
出席者：青木保孝部会長ほか5名
議 題：技術発表会について

■「建設 ICT 施工ガイドブック（仮称）」作成実行委員会

月 日：9月25日（火）
出席者：青木保孝技術部会長ほか10名
議 題：各担当の進捗状況について

■「無人飛行探査機」見学会

月 日：9月26日（水）
場 所：愛知県愛・地球博記念公園（モリコロパーク）
参加者：30 人

■「建設技術フェア 2012 in 中部」事務局会議

月 日：9月28日（金）
議 題：開催準備等について

■ 関 西 支 部

■建設用電気設備特別専門委員会(第390回)

月 日：9月13日（木）
場 所：中央電気倶楽部 会議室
議 題：①前回議事録確認 ②JEM-TRI04 建設工事用受配電設備点検保守のチェックリスト審議 ③その他

■建設業部会・リース・レンタル業部会合同幹事会

月 日：9月21日（金）
場 所：関西支部 会議室
出席者：太田義己建設業部会長，伊勢木浩二リース・レンタル業部会長以下5名

議 題：①第2回合同見学会の開催について ②その他

■「建設技術展 2012 近畿」幹事会

月 日：9月25日（火）
場 所：OMM ビル
出席者：松本克英事務局長
議 題：①「建設技術展 2012 近畿」の準備状況について ②開会式出席依頼について ③注目技術賞の審査員について ④当日の動員体制について ⑤技術交流会について ⑥その他

■ 中 国 支 部

■3D-MC（3次元マシンコントロールシステム）情報化施工講習会

月 日：9月13日（木）
場 所：尾道松江線吉田掛合工区・大宮田北地区舗装工事施工箇所
参加者：44 名

研修内容：①概要説明 ②TS 設置説明・グレーダ稼働 ③データコレクタによる精度検証 ④TS 出来形管理

■鳥取自動車道管内 ITC 情報化施工研修会

月 日：9月26日（水）
場 所：座学会場（あわくら会館）実習現場（鳥取自動車道長尾地区改良その2工事内）
参加者：75 名

研修内容：【座学】①情報化施工に関する最近の動向…国土交通省中国地方整備局企画部施工企画課長補佐 和崎正令氏 ②情報化施工対応システムの詳細 【実習（実機体験）】①マシンコントロール（グレーダ）施工体験 ②転圧管理システム体験 ③TSを用いた出来形管理システム実習 ④TS 及びデータコレクタ実機体験

■ 四 国 支 部

■防災協定に係る情報伝達訓練

月 日：9月3日（月）

場 所：四国支部事務局（高松市）及び団体会員各社（四国内）

参加社：49 社

■建設機械施工技術検定実地試験

月 日：9月6日（木）～7日（金）
場 所：日立建機日本㈱香川営業所構内（善通寺市）
受験者：407 名（1・2級延べ）

■「四国建設広報協議会」に協賛して WG に参加

月 日：9月19日（水）
場 所：高松サンポート合同庁舎会議室（高松市）
出席者：岩澤委式事務局局長ほか加盟団体 27 組織
議 題：「くらしと技術の建設フェア in 四国 2012」について

■建設施工研修会

月 日：9月25日（火）
場 所：サン・イレブン高松
参加者：22 名
内 容：新技術・新工法等（「大規模災害を想定した超長距離からの遠隔操作実証実験」等9件）に関する映写会

■ 九 州 支 部

■建設機械施工技術検定試験

月 日：9月1日（土）～9日（日）
場 所：コマツ教習所㈱九州センター
受験者：1級 320 名，2級 545 名

■企画委員会

月 日：9月19日（水）
出席者：久保田正春企画委員長ほか6名
議 題：①建設機械施工技術検定実地試験結果について ②施工安全講習会について ③本部理事会資料について ④運営委員会の開催について

編集後記

今月号は、情報化施工、ICT 技術、自動化・ロボット化、自動制御を特集しました。今や、これらの技術は建設施工や建設機械において一般化された技術となりつつあり、他の特集号においても、これらの技術を活用した事例の報文が多く掲載されています。

そのため、本号ではこれらの新技術の部分に焦点を当て紹介するよう心掛けました。また、関連して現在注目されている災害対応の取組みについても施工事例を含み紹介しました。

巻頭言は、建設業は徹底的にロボット化に取組むべきであるとの考えをお持ちの、公益財団法人リバーフロント研究所の竹村公太郎代表理事にお願いしました。その中で、「日本社会では、私たちの労働を引き受けるロボットたちが次々と誕生していく。日本人と限りなく良い関係を築いてきたこのロボットたちが、未来の日本人を支えてくれる。」と述べられています。

昨今の日本においては、建設施工に関係する技術者は施工管理や建設重機に関する知識にとどまらず、ICT 技術など他業界の技術やその活用についての識見を持ち、建設施工や建設機械に組入れて情報化施工

や自動化などの機能向上を目指すことに奮闘しています。

また、同時に施工で得られる情報を現場で実務にたずさわる技術者の判断の高度化に利用する取組みや、工事記録として保管する取組みも実施されるようになってきました。

このような取組みは、製造業では以前から当たり前のように行われ、品質の維持・向上や作業の効率化・合理化を進めるために重要な役割を果たしてきましたが、建設業においては、やっと本格的に取組むようになってきたという段階かと思っています。

今後、建設業界でこのような取組みが更に広範囲で積極的に進み、生産システムとして機能するようになれば、厳しい自然環境と社会条件の中で行われる建設現場も、従事する誰もが施工を楽しみながらプライドを持って働くことができる魅力ある職場に変貌し、建設業の若者離れにも歯止めがかかるのではないかと考えています。

そして、そこには建設施工を支える多くのロボットたちの活躍があるはずです。

最後になりましたが、お忙しいなか快く執筆を引き受けていただきました執筆者の皆様に、心から御礼申し上げます。

(篠原・野元)

12月号「建設施工の地球温暖化対策、環境対策特集」予告

- ・建設施工に係る地球温暖化対策
- ・建設機械の排出ガス規制
- ・工事現場における CO₂ 削減量の見える化（環境家計簿）の取組
- ・マイニング市場の動向と機械の電動化
 - マイニング用トロリー式ダンプトラックと電動式油圧ショベル
- ・大規模盛土工事にバイオディーゼル燃料 B100 を使用
- ・低炭素施工システム「TO-MINICA」2020 年に 1990 年比 40% 削減を目指して
- ・低炭素型のコンクリート「クリーンクリート」の各種構造物への適用
- ・遮熱性舗装・パーフェクトクルの開発
- ・天然由来の重金属を含むトンネル掘削土の環境対策
- ・排ガス長期規制適合機に対する燃料・オイルについての問題・注意
 - 2011 年および 2014 年排ガス規制対応
- ・スクラビング・フローテーションを用いた土壌洗浄法による放射性物質汚染土壌の効率的な浄化と減容化
- ・油圧ハンマにおける打撃音低減の試み

機関誌編集委員会

編集顧問

今岡 亮司	加納研之助
桑垣 悦夫	後藤 勇
佐野 正道	新開 節治
関 克己	高田 邦彦
田中 康之	塚原 重美
中岡 智信	中島 英輔
橋元 和男	本田 宜史
渡邊 和夫	

編集委員長

田中 康順 鹿島道路(株)

オブザーバ

山下 尚 国土交通省

編集委員

桑原 一登	農林水産省
伊藤 健一	(独)鉄道・運輸機構
篠原 望	鹿島建設(株)
和田 一知	(株)KCM
安川 良博	(株)熊谷組
原口 宏	コベルコ建機(株)
原 茂宏	コマツ
藤永友三郎	清水建設(株)
赤神 元英	日本国土開発(株)
山本 茂太	キャタピラー ジャパン(株)
岡崎 直人	(株)竹中工務店
齋藤 琢	東亜建設工業(株)
相田 尚	(株)NIPPO
船原三佐夫	日立建機(株)
岡本 直樹	山崎建設(株)
川西 健之	(株)奥村組
石倉 武久	住友建機(株)
江本 平	範多機械(株)
京免 継彦	佐藤工業(株)
野元 義一	五洋建設(株)
藤島 崇	施工技術総合研究所

No.753「建設の施工企画」 2012 年 11 月号

〔定価〕1 部 840 円（本体 800 円）

年間購読料 9,000 円

平成 24 年 11 月 20 日印刷

平成 24 年 11 月 25 日発行（毎月 1 回 25 日発行）

編集兼発行人 辻 靖 三

印刷所 日本印刷株式会社

発行所 一般社団法人 日本建設機械施工協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3 丁目 5 番 8 号 機械振興会館内

電話 (03) 3433-1501 ; Fax (03) 3432-0289 ; <http://www.jcmanet.or.jp/>

施工技術総合研究所	〒417-0801 静岡県富士市大淵 3154	電話 (0545) 35-0212
北海道支	部〒060-0003 札幌市中央区北三条西 2-8	電話 (011) 231-4428
東北支	部〒980-0802 仙台市青葉区二丁目 16-1	電話 (022) 222-3915
北陸支	部〒950-0965 新潟市中央区新光町 6-1	電話 (025) 280-0128
中部支	部〒460-0008 名古屋市中区栄 4-3-26	電話 (052) 241-2394
関西支	部〒540-0012 大阪市中央区谷町 2-7-4	電話 (06) 6941-8845
中国支	部〒730-0013 広島市中区八丁堀 12-22	電話 (082) 221-6841
四国支	部〒760-0066 高松市福岡町 3-11-22	電話 (087) 821-8074
九州支	部〒812-0013 福岡市博多区博多駅東 2-8-26	電話 (092) 436-3322

本誌上への広告は (株)共栄通信社までお問い合わせ下さい。

本社 〒105-0004 東京都港区新橋 3-15-8 (精工ビル 5F) 電話 03-5472-1801 FAX 03-5472-1802 E-MAIL : info@kyoeitushin.co.jp

担当 本社編集部 宗像 敏