９．施工・管理分野の生産性向上に関する研究開発

■　目的

我が国が迎えている少子高齢化に伴う建設労働者の高齢化や人手不足の深刻化等の社会情勢の変化に対応するため、最新のデジタル技術を活用することで、インフラの施工・管理分野での生産性向上を徹底的に進める必要がある。本研究開発プログラムでは、最先端デジタル技術を用いた省人化・工程改革のための技術の開発を行うことを目的とする。

■　貢献

自動施工技術、コンクリート工技術、土木機械設備技術における最先端デジタル技術を活用した省人化手法の提案、及び路盤工や他工種、コンクリート工における最先端デジタル技術を活用した工程改革手法の提案により、インフラの施工・管理分野における革新的な生産性向上に貢献する。

■　達成目標および令和６年度に得られた成果・取組の概要

①最先端デジタル技術を用いた省人化のための技術の開発

自動施工技術関連では、油圧ショベルを対象とした共通制御信号を検討する共同研究を推進し、検討対象とすべき自動施工システムのアーキテクチャおよび信号リスト化する上での検討方針を決定した。図-1 に示す一般的な土工用建設機械（油圧ショベル、ブルドーザ、運搬車、振動ローラ）の自動運転対応改造が完了し、自動施工技術基盤 OPERA における掘削から締固めまで一連の機械土工に対応する自動運転対応建設機械の整備を完了した。

図-1　自動運転対応建設機械群

コンクリート工技術関連では、省人化に資する高流動性のコンクリートを適用するための評価技術を検討している。令和 6 年度は、プレキャスト PC 桁を対象に、締固めが困難な箇所への高流動性のコンクリート（中流動コンクリート）の適用性について、実物大実験によって確認した（図-2）。

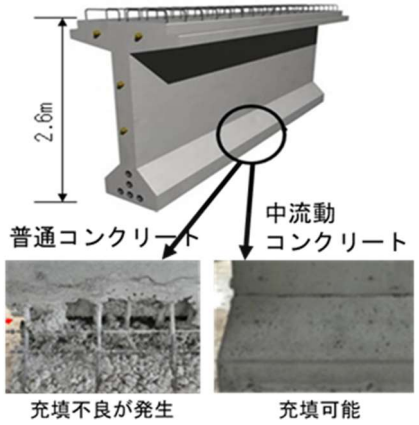

図-2　締固め困難箇所の実物大試験

土木機械設備技術関連では、「点検整備・故障対応作業の最適化と支援手法」「点検を容易とする設備構造面の簡略化」の 2 面から検討を進めた。前者については、令和 5 年度に引き続き設備年点

検時の動画を用いた作業分析を行い、省力化可能な作業の抽出と DX による代替手法の検討を行うとともに、代替手法の一例として四足歩行ロボットによる点検巡回の模擬的試行を行い、点検項目の約 20%を代替可能見込みであることと運用に向けての課題抽出を行った（写真-1）。後者については、排水機場ポンプ設備の維持管理における生産性向上に向け、電動化機場の設計方針の提案と課題の整理、自家発電による電動化機場について、様々なケーススタディによる生産性向上効果の総合評価を実施した。

写真-1　四足歩行ロボットの点検巡回模擬試験

② 最先端デジタル技術を用いた工程改革のための技術の開発

路盤工、他工種関連では、路盤工品質管理手法の高度化（加速度応答システム・衝撃加速度測定装置の活用）、及び他工種における ICT を活用した新技術に関する研究を行った。

加速度応答システムに関しては、検証実験の結果、路盤層単独の密度による品質管理は困難なことが判明した（写真-2）。そこで土木学会や舗装チーム、施工技術チームなどとも連携し、システム活用方法の検討と検証実験を行い、新たな施工・品質管理手法の提案を行うよう計画変更を行った。

写真-2　加速度応答システム実験状況

衝撃加速度試験装置に関しては、試験施工により、密度と衝撃加速度の間に一定の相関があることを確認した。

他工種における ICT を活用した新技術に関しては、MC 対応の油圧ショベルから得られた施工中データから掘削対象の性状推定を可能にする技術を論文等にまとめ公開した。また，熟練オペレータの操作記録と、種々のセンサを搭載した油圧ショベルの関節角度や油圧等の各種データを同時取得し、従来よりも高効率な自動掘削アルゴリズムの開発（プロトタイプ）を行った。

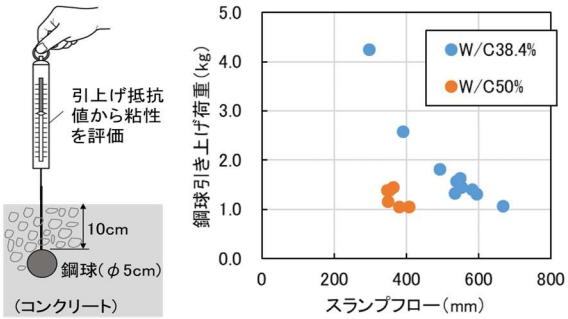

図-3　コンクリートのフレッシュ性状測定技術の要素実験例（粘性評価）

コンクリート工関連では、コンクリート工全般にわたって品質管理・検査の実態を調査し、課題を抽出した。課題のうち、将来的に自動測定可能と考えられる測定技術について要素実験を実施した（図-3）。

RESEARCH AND DEVELOPMENT ON PRODUCTIVITY IMPROVEMENT IN CONSTRUCTION AND MANAGEMENT FIELDS

Research Period : FY2022-2027

Program Leader : Director of Construction Technology Research Department
SHIGETAKA Koichi

Research Group : Construction Technology Research Department (Advanced Technology)
Innovative Materials and Resources Research Center
(Concrete and Metallic Materials)
Cold-Region Construction Engineering Research Group (Geotechnical)
Director for Cold-Region Technology Development Coordination
(Machinery Technology)

Abstract : In Japan, due to the aging of construction workers and the worsening labor shortage, there is a need to improve productivity at construction sites. Therefore, the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism is working to improve productivity at construction sites through the use of digital technology. Especially in DX, the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism is strongly demanding not only the digitization of procedures, but also the transformation of business models and work styles. Under these circumstances, PWRI also needs to conduct research to improve productivity in the field of infrastructure construction and management by utilizing the latest digital technology.

In this research program, in order to achieve productivity improvement in the field of infrastructure construction and management, the following individual research subjects are set and research is being carried out.

- Research on development and utilization of autonomous construction technology infrastructure for improving construction productivity
- Research on productivity improvement technology using construction process data
- Research on quality control labor saving of concrete work using ICT
- Research on innovative maintenance methods for labor reduction in civil engineering machinery equipment maintenance and management.

Keywords : productivity improvement, autonomous, process data,

9.1　建設生産性向上のための自動施工技術基盤の整備・活用に関する研究

研究予算：運営費交付金
研究期間：令 4～令 9
担当チーム：先端技術チーム
研究担当者：山口崇、橋本毅、茂木正晴、遠藤大輔、山内元貴

本研究では、技術開発の促進や普及を目的として、ロボティクスや AI 等の先進的な技術を活用し、異業種の参入を容易とする自動施工技術基盤 OPERA の開発・整備を進めている。令和 6 年度では、達成目標(1)「最先端デジタル技術を用いた省人化のための技術の開発」の達成目標について、以下の成果を得た。

油圧ショベルを対象とした制御信号共通化に向けた共同研究を推進し、検討対象とすべき自動施工システムのアーキテクチャおよび信号リスト化する上での検討方針を決定した。

一般的な土工用建設機械(油圧ショベル、ブルドーザ、運搬車、振動ローラ)の自動運転対応改造を完了させ、自動施工技術基盤 OPERA の対応機種を拡充した。これにより、土工における掘削、積込、運搬、敷均し、締固めを対象とした一連の自動施工技術開発が可能となった。(論文リスト b-1～b-4, c-1、e-1～e-15)

キーワード：自動施工技術基盤、OPERA、制御信号共通化、建設機械、ロボティクス

9.2　施工工程データを用いた生産性向上技術に関する研究

研究予算：運営費交付金
研究期間：令 4～令 9
担当チーム：先端技術チーム、寒地地盤チーム
研究担当者：山口崇、橋本毅、遠藤大輔、二宮建、荒井滉矢
山木正彦、山田充、佐藤厚子

本研究は様々な加速度応答システム，衝撃加速度測定装置、その他新たなデータ収集システムにて取得されるデータ等を活用し、路盤工や他工種における生産性向上技術の提案を行うものである。令和 6 年度では、達成目標(2)最先端デジタル技術を用いた工程改革のための技術の開発について以下の成果を得た。

加速度応答システム検証実験の結果、路盤層単独の密度による品質管理は困難なことが判明したため、土木学会等と連携しシステム活用方法の検討と新たな施工・品質管理手法の提案を行う様計画の変更を行った。

衝撃加速度測定装置を活用した試験施工を行い、密度と衝撃加速度との間に一定の相関があることを確認した。

油圧ショベル掘削データを整理・解析し、掘削対象の性状推定を可能にする技術を論文等にまとめ公開した。また自動施工などの研究促進に非常に有効な、施工中データと熟練オペレータの操作記録を関連付けて取得することができた。(論文リスト e-16～e-20)

キーワード：生産性向上、加速度応答システム、衝撃加速度試験装置、施工中データ

9.3　ICT を活用したコンクリート工の品質管理省力化に関する研究

研究予算：運営費交付金
研究期間：令 4～令 9
担当チーム：材料資源研究グループ
研究担当者：古賀裕久、櫻庭浩樹、片平博

本研究では、①②の達成目標について、実験等の検討により、以下の成果を得た。


図-1 実物大実験の状況

①　最先端デジタル技術を用いた省人化のための技術の開発

省人化に資する高流動性のコンクリートについて、打ち込み可能な落下高さの確認を行うとともに、プレキャスト製品の締固めが困難な箇所への適用性と充填確認方法について、実験によって確認した（図-1）。

②最先端デジタル技術を用いた工程改革のための技術の開発

コンクリート工事における製造、受入、施工の全般における品質管理・検査の実態を整理し、ICT 技術導入の可能性と品質管理・検査の省力化の可能性を検討した。またレディーミクストコンクリートの品質管理に関して将来的に自動計測が可能と考えられる要素技術として、フレッシュコンクリートの粘性測定技術等について検討を行った。（論文リスト c-2～c-4）

キーワード：コンクリート、品質管理、高流動コンクリート、省人化

9.4　土木機械設備の維持管理省人化のための革新的機能維持手法に関する研究

研究予算：運営費交付金
研究期間：令 4～令 9
担当チーム：先端技術チーム、寒地機械技術チーム
研究担当者：山口崇、上野仁士、平地一典、荒井滉矢
片野浩司、中島淳一、永長哲也、平伴斉、岸寛人

本研究では、①の達成目標について、設備点検動画解析と排水機場ポンプ設備の電動化における維持管理の生産性向上効果の総合評価を実施して、以下の成果を得た。

設備点検の省力化に向け、点検動画の解析を行い省力化可能な作業を抽出した。目視や計測はＤＸ技術で代替可能と考え、四足歩行ロボットによる巡回点検を模擬的に試行し、点検項目の約 20%の代替が見込まれることと運用についての課題抽出を行った。

点検整備項目/故障対応工数の少ない設備構造の検討については、自家発電による電動化機場の各種ケーススタディにおいて、年間点検コスト並びに故障対応込みの 50 年間ＬＣＣ（ライフサイクルコスト）を試算し、従来のディーゼル駆動機場と比較したところ、点検費、ＬＣＣを約２割削減可能であることを確認した。（論文リスト e-21）

キーワード：土木機械設備、維持管理、省人化、点検効率化、電動化

論文リスト

査読付論文・海外（計 4 本）

b-1) 渋川文哉、山崎峻一、金島義治、村上弘記、遠藤大輔、橋本毅、山内元貴：Development of wireless communication protection function for mobile robot operators、Journal of Robotics and Mechatronics、Vol.36, No.2、pp. 365-374、2024

b-2) 遠藤大輔、松坂要佐、山内元貴、橋本毅：Research on an Open Source Physical Simulator for the Autonomous Construction Machinery Development、41th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2024)、2024.6

b-3) 山内元貴、橋本毅、山田充、油田信一：Factors Leading to Reduced Construction Productivity in Unmanned Construction、41th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2024)、2024.6

b-4) 笠原侑一郎、井塚智也、柴田航志、高野智也、前田龍一、松本耕平、木村駿介、深瀬勇太郎、横島喬、山内元貴、遠藤大輔、橋本毅、倉爪亮：Task management system for construction machinery using the open platform OPERA、IEEE RO-MAN 2024、2024.8

査読無し論文・国内（計 4 本）

c-1) 茂木正晴、山口崇、油田信一：建設機械施工における安全性確保の課題と技術的視点、月刊建設機械 2024/04 号、2024

c-2) 陳内真央,櫻庭 浩樹,片平博,古賀 裕久：W/C が異なる締固めを必要とする高流動コンクリートの材料分離抵抗性,土木学会年次学術講演会講演概要集,2024

c-3) 片平 博,櫻庭 浩樹,陳内 真央,古賀 裕久：コンクリートの粘性を評価するための鋼球引上げ試験,土木学会年次学術講演会講演概要集,2024

c-4) 片平博、陳内真央、仲野弘識、古賀裕久：施工が容易なコンクリートの活用に向けた検討、土木技術資料、Vol.67、No.1、2025.1

学会発表等その他（計 21 本）

e-1) 笠原侑一郎、井塚智也、柴田航志、前田龍一、高野智也、木村駿介、深瀬勇太郎、横島喬、山内元貴、遠藤大輔、松本耕平、倉爪亮：土工現場用 CPS プラットフォーム ROS2-TMS for construction の開発―第 3 報タスク管理機構の実装―、ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2024 in Utsunomiya、2024.5

e-2) 堤芳明、古内健太，山本愼二郎，井村進也，遠藤大輔，山内元貴：油圧ショベル自動化に向けた角速度制御システムの検証、第２２回建設ロボットシンポジウム、2024.10

e-3) 山下侑輝、本橋周太郎、橋本毅、遠藤大輔、山内元貴、岩田浩康：無人化施工における複数映像への注意分配に関する研究 ― 自由視点映像の導入が認知可能領域に与える影響の分析 ―、第 22 回ロボットシンポジウム、2024.10

e-4) 深瀬勇太郎、横島喬、宮下裕貴、木村駿介、八條 貴誉、鈴木正憲、笠原侑一郎、高野智也、柴田航志、倉爪亮、遠藤大輔、山内元貴、橋本毅：土木研究所 OPERA の自律バックホウによる土砂積込への適用、第 22 回建設ロボットシンポジウム、2024.10

e-5) 本玉靖和、中島康之、遠藤大輔、山内元貴、橋本毅、實田泰之、伊東仁：建機の自動化・自律化運用に向けた超低遅延映像伝送技術 およびレジリアントな無線通信技術について、第 22 回建設ロボットシンポジウム、2024.10

e-6) 藤沼花奈、三澤孝史、石井敏之、 川澄悠馬、遠藤大輔：OPERA を活用したチルトローテーター搭載油圧ショベルの自動掘削システムの開発　自動掘削システムの概要と取組状況について、第 22 回建設ロボットシンポジウム、2024.10

e-7) 阿部太郎、山内元貴、遠藤大輔、橋本毅、永谷圭司：建設機械施工における自動化技術評価のためのベンチマーク指標提案、第 22 回建設ロボットシンポジウム、2024.10

e-8) 圓井 雄太、松坂 要佐、阿部太郎、遠藤大輔、坪内孝司、大矢晃久：油圧ショベルによる掘削地形の個別要素法を用いたシミュレーション、第 22 回建設ロボットシンポジウム、2024.10

e-9) 柴田航志、笠原侑一郎、井塚智也、前田龍一、高野智也、松本耕平、木村駿介、深瀬勇太郎、横島喬、山内元貴、遠藤大輔、橋本毅、倉爪亮：土工現場用 CPS プラットフォーム ROS2-TMS for Construction の開発―第４報自律施工技術基盤 OPERA との連携―、ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2024 in Utsunomiya、2024.5

e-10) 山内元貴："OPERA" Open Platform for Earthwork with Robotics and Autonomy（建設施工自動化のためのプラットフォーム(OPERA)の取組について）、最先端技術ワークショップ「建設と自動化技術」、2024.12

e-11) 山内元貴、橋本毅、遠藤大輔、阿部太郎：OPERA を活用した建設機械による自動施工技術開発、SAT テクノロジー・ショーケース 2025、2025.1

e-12) 笠原侑一郎、高野智也、秋成光太、阿部太郎、山内元貴、遠藤大輔、橋本毅、永谷圭司、倉爪亮：土工現場用 CPS プラットフォーム ROS2-TMS for Construction の開発－第 6 報 自律施工技術基盤 OPERA との連携によるクローラダンプの制御 - 、ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2025 in Yamagata、2025.6【投稿済み】

e-13) 笠原侑一郎、高野智也、秋成光太、佐野紀子、八條貴誉、木村駿介、宮下裕貴、深瀬勇太郎、横島喬、阿部太郎、山内元貴、遠藤大輔、橋本毅、永谷圭司、倉爪亮：土工現場用 CPS プラットフォーム ROS2-TMS for Construction の開発 - 第 7 報バックホウ・クローラダンプと複数 3D LiDAR による土砂の掘削・積載・運搬・放土作業の自動化 - 、ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2025 in Yamagata、2025.6【投稿済み】

e-14) 秋成光太、笠原侑一郎、高野智也、佐野紀子、松本耕平、山内元貴、遠藤大輔、阿部太郎、橋本毅、倉爪亮：土工現場用 CPS プラットフォーム ROS2-TMS for Construction の開発 - 第 8 報 没入感 VR インターフェース OperaSimVR を用いた Previewed Reality 実験 - 、ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2025 in Yamagata2025.6【投稿済み】

e-15) 伊藤悠翔、山下侑輝、遠藤大輔、橋本毅、山内元貴、阿部太郎、岩田浩康：複数映像での高効率な遠隔作業に寄与する注意分配に関する研究－認知可能領域と作業効率の関係の分析－、ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2025 in Yamagata2025.6【投稿済み】

e-16) 荒井滉矢，橋本毅，石黒健，平田昌史，津田啓史，岩谷隆文，古屋弘，稲川雄宜：振動ローラ加速度応答法を用いた多層地盤の剛性計測実験 （その１）室内大型土槽実験の概要と地盤剛性計測結果，第 59 回地盤工学研究発表会，23-11-4-06，2024.

e-17) 橋本毅，荒井滉矢，石黒健，平田昌史，津田啓史，岩谷隆文，古屋弘，稲川雄宜：振動ローラ加速

度応答法を用いた多層地盤の剛性計測実験 （その２）地盤剛性 Eroller と他手法剛性との比較および路盤積層効果の考察，第 59 回地盤工学研究発表会，23-11-4-07，2024.
e-18) 森澤直樹、今西将也，遠藤大輔：油圧ショベルの車体センサデータの新しい活用方法、建設機械施工、Vol.76 No.7, pp.41-47, 2024.
e-19) Naoki Morisawa, Masaya Imanishi, Masaki Yanagishita, Teiichirou Chiba, Hiroshi Yamamoto, Takeshi Hashimoto and Daisuke Endo：Study on Classification of Excavated Soil Using Internal Sensor Data of Hydraulic Excavator, 21st International and 12th Asia-Pacific Regional Conference of the ISTV, 2024.
e-20) 島津泰彦、小岩井一茂、関塚良太、遠藤大輔、橋本毅：砂質土における油圧ショベルの掘削動作による地盤強度推定に向けた実験的検討、令和 6 年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集，2024.
e-21） 中島淳一、永長哲也、岸 寛人：排水機場ポンプ設備の電動化に向けた検討、令和 6 年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集，2024.