

施工・管理分野の生産性向上に関する研究開発

新 一真

1. はじめに

我が国は少子高齢化を迎え、建設労働者の高齢化や人手不足の深刻化に対応していくことが求められている。スマートで持続可能な社会資本の管理という研究開発テーマの下、インフラの建設や維持管理のプロセスにおいてデジタル技術を用いて革新的な生産性向上を図ることに重点を置く研究を、研究開発プログラム「施工・管理分野の生産性向上に関する研究開発」（以下「本プログラム」という。）において実施する。

本稿では、最先端デジタル技術を用いた省人化や工程改革のための技術の開発を目標として取り組む研究課題のうち、本プログラムの6年間を通して実施する4つの主要研究を紹介する。

2. 建設生産性向上のための自律施工技術基盤の整備・活用に関する研究

近年、技術革新の目覚ましいロボット技術、センサ技術などを適用することで建設施工の自律化を進める研究が民間企業等で始まっている。

本研究は、民間企業等の建設施工自律化研究の効率化及び多様な研究開発者の参入とオープンイノベーションの創出等により、各種研究成果の現場導入を促進し、建設施工の革新的な生産性向上を図ることを目的としている。具体的な達成目標は、以下の4点である。

2.1 競争領域・協調領域の提案（図-1）

民間企業などによるこれまでの建設施工の自律化の研究は、横断的共通化など行われず、個々の企業などが同様の研究（所謂「車輪の再発明」）を行っているため、効率的に進まないことや現場導入時の支障が懸念される。本課題は（一社）日本建設業連合会の報告書¹⁾などでも指摘されており、各企業などにおいて競争領域・協調領域を明確にした技術開発体制の整備が求められている。

そこで本研究では、土木研究所が協調領域とす

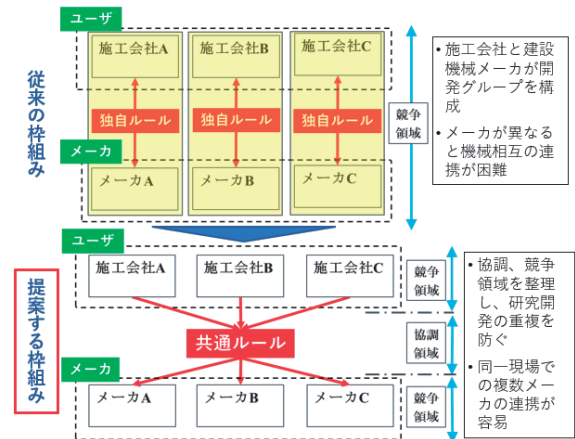


図-1 自律施工研究における協調領域の設定

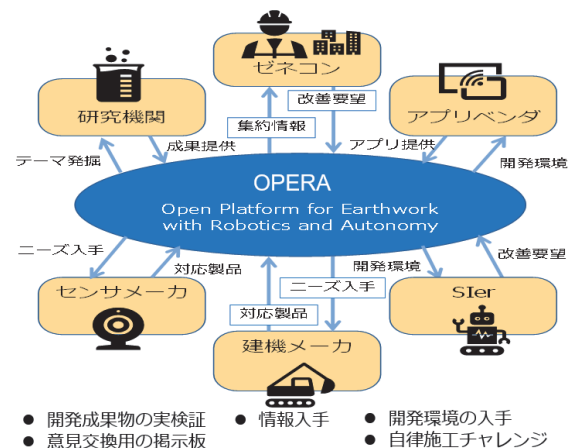


図-2 OPERAの活用例

るべき制御信号仕様の検討と原案作成を行い、その原案を基に施工会社、建設機械メーカー、大学等研究機関、ロボット・AI研究者などの多様な関係者との調整を行い、協調領域とするべき制御信号（「共通制御信号」）の公開などを行う。

2.2 自律施工技術基盤の開発

ロボット技術は様々な要素の複合体であるため、建設施工自律化研究を加速させるためには、建設業界のみならず様々な研究開発者が参入し、オープンイノベーション化を図ることも重要である。

そこで本研究では、先進的な技術を有する大学やベンチャー企業等の新規参入を容易とするため、

誰でもアクセスして利用可能な自律施工技術基盤 OPERA (Open Platform for Earthwork with Robotics and Autonomy) の開発・整備を行う。本 OPERA は、建設施工自律化研究における開発成果物の検証、意見交換、情報収集、開発環境入手等を目的に様々な研究開発者が活用することが可能であり、建設施工自律化研究を加速することができる (図-2)。

2.3 自律施工における生産性評価手法の提案

現在、建設施工自律化研究の成果による生産性向上の効果を、定量的に評価する統一された手法はなく、把握することは困難である。しかし、研究開発を加速し、成果の現場導入の促進を図るためには、評価手法の確立が必要である。

そこで本研究では、建設施工の生産性評価手法の検討を行い、前述の OPERA や実際の施工現場を活用した、評価手法の検証を行う。検証を行うために必要な自律施工プログラムは、民間企業等と共同で開発する計画である。

2.4 自律施工を念頭においた事故防止技術の提案

現状の建設施工現場における事故防止技術は、当然ながら自律化を考慮したものではない。自律施工を現場投入するためには、この検討を行うことも必要である。

そこで本研究では、自律化を念頭においた事故防止技術の検討を行い、前述の OPERA や実際の施工現場を活用した、事故防止技術の検証を行う。

3. 施工工程データを用いた生産性向上技術に関する研究

近年の ICT の目覚ましい発達により、施工現場において施工中の工程データを多点的に取得可能となっており、これらのデータを活用した生産性向上手法の開発が期待されている。

本研究は、第4期中長期計画期間において検証研究を行った加速度応答システム及び衝撃加速度測定装置を活用し、生産性向上を実現する手法の提案を行う。さらに、これら以外の新技術等で取得される施工工程データの活用による生産性向上手法についても提案を行う。具体的な達成目標は、以下の3点である。

3.1 加速度応答システムを活用したさらに高度な路盤工品質管理手法の提案

加速度応答システムは、振動式締固め機械に加

速度計を搭載しその信号を解析することで、施工と同時に締固め状況を多点で取得できるシステムである。従前の研究では、路盤工の品質管理指標である密度値と加速度応答システム出力値が良好な相関を示すことが判明している。一方で、2021年度から国土交通省により品質管理要領化へ向けた試行工事が行われているが、校正試験の煩雑さや下層の品質の影響の可能性などのいくつかの課題点も判明している。

そこで本研究では、課題点の整理と解決方法の検討を行い、加速度応答システムを用いた品質管理方法の提案を行う。

3.2 衝撃加速度測定装置を活用した路盤工品質管理手法の開発

衝撃加速度測定装置は、自由落下させる半球体ランマーに内蔵された加速度計にて計測される衝撃加速度の大きさから、締固め度合いや支持力を判定する装置であり、迅速・簡易に多点計測が可能である (寒地土木研究所にて開発 (図-3))。従前の研究では、路盤工の品質管理指標である密度値と衝撃加速度測定装置出力値が良好な相関を示すことが判明しているが、現場試験結果と室内試験結果の不一致など、いくつかの課題点も判明している。

そこで本研究では、課題点の整理と解決方法の検討を行い、衝撃加速度試験器を用いた品質管理方法提案を行う。

3.3 施工工程データを用いた高度な生産性向上を実現する手法の提案

近年の ICT の発達により、施工中の様々な施工データを容易に取得できるシステムが民間企業などから提案されており、それらデータを活用した施工現場における生産性向上技術を提案すること

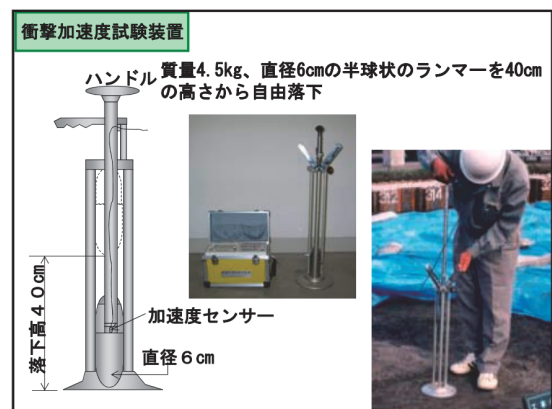


図-3 衝撃加速度測定装置

が期待されている。

そこで本研究では、様々な施工データ収集システムを保有する民間企業と共同で各システムの検証研究を行い、その検証結果を元に土木研究所で社会実装に必要な基準類作成のための基礎的実験やデータ活用に関係機関などへの提案等を行う。

4. 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

国土交通省の施策i-Constructionでは、コンクリート工の規格の標準化による生産性向上に取り組んでいる。土木研究所でもこの検討に関連した研究を行い、「流動性を高めた現場打ちコンクリートに関するガイドライン」²⁾などの原案作成を行ってきた。一方で、今後も予想される技術者の不足から、さらなる省人化が求められている。

このような背景から、コンクリート工の一層の生産性向上に資する技術の研究を行う。具体的な達成目標は以下の2点である。

4.1 高流動性のコンクリートの品質評価、施工管理手法の提案

近年、構造物に求められる耐震性能等の向上から、コンクリート部材に鉄筋が密に配置される傾向にある。また、点検で発見された変状に対し構造物を部分的に補修する必要なども生じている。このような制約のある箇所では、コンクリートを確実に打ち込むには、高流動性のコンクリートを使用するのが効果的と考えられる。

高流動性のコンクリートは以前から実用化されていたが、従来技術は流動性を確保しつつ材料の分離を防ぐためセメント量を多くする必要があり、一般的な鉄筋コンクリート構造物用のコンクリートと配合や強度が大きく異なるなどの課題があった。また、安定した品質を得るためには、使用する材料の品質管理の面でも制約が大きかった。

しかし、近年、新たな化学混和剤などの技術開発により、一般的なコンクリートに近いセメント量でできる技術や、品質管理が容易になる技術などの提案が増加している。これにより、レディーミクストコンクリートの範囲も拡大されている³⁾。

また、締固めを行う従来のコンクリートと締固めを不要とした高流動コンクリートの中間的な流動性を有し、軽微な締固めで充填できるとする高流動性のコンクリートの提案もある。

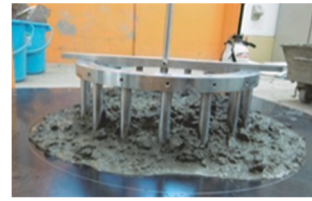
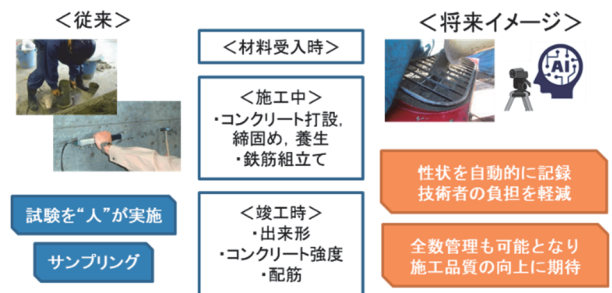


図-4 コンクリートの流動性評価試験の例



これらの流動性を有するコンクリートについては、種々の評価方法（図-4）も提案されているが、現場で容易に評価する方法は確立されておらず、その検討を行う予定である。また、検討にあたっては、次節で述べる新技術の活用を行うことも想定している。

4.2 施工過程におけるICT活用方法の提案

現場打ちコンクリート構造物の品質を確保するためには、材料受入れから打込み、締固め、養生などの施工を適切に行う必要があり、その過程において様々な試験が行われている。例えば、レディーミクストコンクリートの受入れ時の代表的試験として、スランプ試験があり、試験結果からコンクリートの流動性等を評価している。

このような試験に替わる手法として、近年のICTの進歩から、AIを用いて材料受入れ時の動画を分析することにより評価する方法等が提案されている。

技術者が行う材料試験を、機械による測定に替えることができれば、現場の省人化につながる。また、技術者が行う場合は、一部の試料を抜き取って試験することが一般的である、機械による測定は、連続的に全ての使用材料の品質を確認できる可能性もある（図-5）。

ただし、機械による測定を導入すると多量の試験結果が得られることもあり、評価のばらつきや判定の考え方を整理する必要があり、これらを検討する予定である。

5. 土木機械設備の維持管理省人化のための機能維持に関する研究

近年、突発的な出水が増え、土木機械設備にはこれまで以上に信頼性の高い設備稼働が求められている。一方、団塊世代熟練労働者の大量退職等により、設備の点検・操作の担い手不足が深刻化している。このような認識の下、社会資本整備審議会河川分科会に設置された河川機械設備小委員会においては河川機械設備の確実な機能の確保策が議論されており⁴⁾、機械設備の機能維持のため、設備保全の省力化・省人化や確実な技術の伝承が求められている。

本研究は、点検整備工数や故障事例が多い排水機場ポンプ設備を主たる対象に、維持管理の省人化・省力化・効率化・コストダウンを目的に研究を進める。具体的な達成目標は以下の2点である。

5.1 DX技術などの先端技術を活用した設備維持管理支援手法の提案（図-6）

機械設備の点検整備や故障対応の作業現場では、作業待ち時間が生じ非効率な事例がみられるが、これまで点検作業等における各点検員の動態についての解析事例がなく、動態や人員数の最適化により省力化・省人化に向けた改善が期待できる。また、近年のICTやAI技術等の発達により、点検整備／故障対応作業を少人数の非熟練者で可能とする支援ツールの現場導入の環境が整いつつある。

そこで本研究では、土木機械設備維持管理の効率化・省人化、技術の伝承と補完に資するため、作業動態の調査と最適化の検討を行い、DX技術などの先端技術を活用した作業支援手法の検討を行う。そして点検整備／故障対応作業を少人数の非熟練者で可能とする遠隔支援システムの設計・試作と、モデル事務所にて土木機械設備への適用

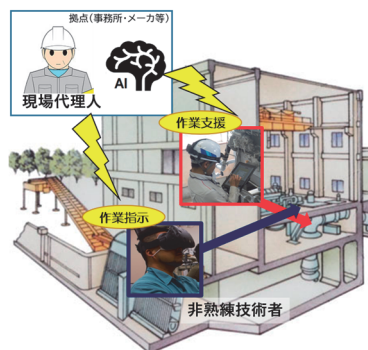


図-6 設備維持管理支援のイメージ

性等についての現場検証を行い、改良を行うとともにモデル・ツール運用手法をとりまとめる。

5.2 点検整備項目/故障対応工数の少ない設備構造の提案

ポンプ設備の動力には内燃機関や電動機が用いられるが、維持管理性では内燃機関よりも電動機が有利である。電動機駆動は実用化されているが、電気料のコスト面の課題などから普及していない。点検整備・故障対応工数を削減し、土木機械設備の維持管理の生産性を向上するには、電動機の積極的な活用が解決策として考えられる。

そこで本研究では、電動機の適用性を検討するとともに、ハイブリッドや小水力発電等の電力源の技術動向等の調査を行い、電動機の積極活用に向けた課題整理や対応策の検討を進める。また、内燃機関でも点検整備工数の省力化が可能な構造等について検討し、既存設備の改良を盛り込んだ基準化へ向けての技術資料を策定し提案する。

6. まとめ

本プログラムでは、以上の主要研究を端緒に省力化や工程改革等のための技術の開発を行い、必要な技術基準や品質管理手法等の確立や提案を行って参りたい。

参考文献

- 1) 日本建設業連合会土木情報技術部会：建設業のためのロボットに関する調査報告書、2020
- 2) 流動性を高めたコンクリートの活用検討委員会：流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン、
<https://www.mlit.go.jp/common/001191821.pdf>、2017.3
- 3) JIS A 5308：2019 レディーミクストコンクリート
- 4) 河川機械設備のあり方について（中間とりまとめ）令和3年8月：社会資本整備審議会河川分科会河川機械設備小委員会、
<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001423613.pdf>

新 一真



土木研究所 技術推進本部長
ATARASHI Kazumasa