

吹付けコンクリートと ICT 建設機械を組み合わせた 3D プリンティングシステムに関する検討

(一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 正会員 ○渡邊 晋也, 正会員 永沢 薫
岐阜大学 正会員 国枝 稔
清水建設株式会社 正会員 小倉 大季
住友大阪セメント株式会社 正会員 小堀 規行

1. 目的

近年, 建設業界では労働人口の減少により, 建設生産システム全体の生産性向上を目的に ICT の全面活用などの取組みが進められている. コンクリート構造物においては, 規格の標準化によるプレキャスト製品などの工場製作化を推奨されているのが現状である. 一方で, 諸外国では 1997 年からセメント系 3D プリンティングシステムの研究開発が始まり, 2018 年の段階では世界で 40 以上のプロジェクトが進められている. 3D プリンティングシステムは 1980 年に日本で生まれた光造形技術であり, 我が国の建設業界においてもこの技術を活用し, 労働人口減少への対策の一環として, インフラ整備における生産性向上を図るべきと考えられる. そこで, 本研究では, 従来利用されている吹付けコンクリートの技術と ICT 建設機械の組み合わせにより, 現場で製作できる 3D プリンティングシステムの施工技術について検討を行った. 本論では, 橋脚の埋設型枠を製作するための検討を行った結果について報告する.

2. システム概要

2. 1 吹付けコンクリート

吹付けコンクリートは一般的に, 「湿式吹付け」と「乾式吹付け」に分類できる. 湿式吹付けはセメント系材料を事前に混練りし, ポンプにて圧送したものを空気圧により吹付ける技術である. 一方で, 乾式吹付けはセメント系粉体と水などの混和液を個別にノズル先端まで輸送した後, ノズル先端部内で混練りを行い, 圧送空気圧により吹付ける技術である. 本研究では, 現場での材料輸送や練混ぜ等の省力化が望める乾式吹付け技術を主たる技術として採用した. 乾式吹付けは, セメント系粉体を均一に圧送するために, 空気圧が必要となり, 吹付け圧力が調整しにくい技術である. 吹付け圧力が高いとコンクリートを積層することができない. このことから, 吹付け圧力を可変できる湿式吹付け技術との組み合わせたシステムを構築した. 材料の輸送と混練りを乾式吹付け技術, 構造体の積層を湿式吹付け技術としたハイブリッドシステムである (図 1).

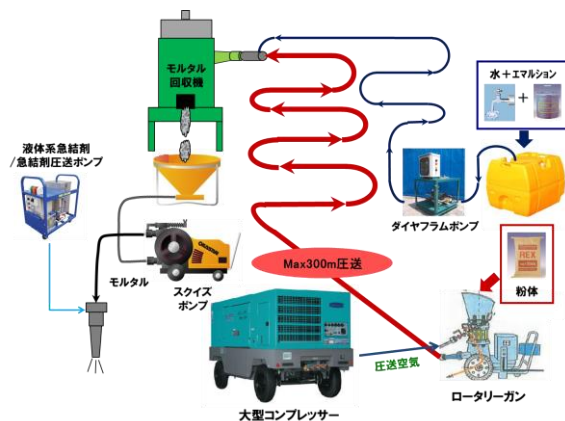


図 1 ハイブリッド吹付けシステムの概要

2. 2 ICT 建設機械

3D プリンティングシステムは一般的にマニピュレータを用いて, 室内で製作するものが多い. マニピュレータが粉塵や水に対して繊細であることから, 現場での直接施工を目指し使用実績の多い建設機械に着目した. 本研究では, マシンコントロールやマシンガイダンスが可能な ICT 建設機械のバックホウを採用した. 本研究ではバックホウを用いているが, 今後は多種多様な建設機械が活用できると考えられる. なお, 本研究の 3D プリンティングシステムの定義としては, 360° の方向に施工ができ, コンクリート構造物を作製するシステムと定義している.

3. 製作した模擬橋脚の概要

本研究では, 橋脚の埋設型枠を模擬して検討を行った. 近年, プレキャスト部材を現場で組み立て, その内

キーワード 3D プリンティングシステム, 吹付けコンクリート, ICT 建設機械, 施工技術, 埋設型枠, 橋脚

連絡先 〒417-0801 静岡県富士市大淵 3154 (一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 TEL 0545-35-0212

部にコンクリートを打設する橋脚が採用されている事例もある。製作した試験体は写真1に示すようにプレハブ鉄筋を□1m×1m、高さ2mとして組んだものである。配筋は主筋にD19、配力筋にD13を用いている。また、吹付けコンクリートが留まるように、□5mm×5mmの金網を鉄筋背面に設置した。

4. 施工状況

本研究では、マシンコントロール機能を搭載したバケット容量0.8m³タイプのICTバックホウを用いた。このICTバックホウは、高さ約10mまでのコンクリート構造物を製作することが可能である。プレハブ鉄筋への吹付け状況を写真2に示す。1面の施工時間は概ね25分であった。なお、本システムでは連続2時間以上の吹付け作業時間を確保できることを事前に確認している。また、今回製作した模擬橋脚では、吹付け材料の圧壊や剥落等は確認されなかった。

5. コンクリート打設による変形確認試験

埋設型枠として使用する場合、中空部へのコンクリート打設に耐えるものではなくてはならない。そこで、本研究では製作した橋脚内部に24-8-25 Nのコンクリートを打設して、コンクリートの漏れや埋設型枠の変形を確認した。測定位置は、各4面の高さ450mm、900mmおよび1350mmの位置に変位計を設置した。図2は、コンクリート打設高さと各面の平均変形量の関係を示している。この結果、最大0.42mmの膨らみが確認されたが、4面の高さ900mmの平均では0.16mm程度であった。コンクリート打設によるひび割れ等は確認されなかったが、写真3に示すような若干の水染みが確認された。

6. まとめ

本研究は、従来の吹付け技術を応用し、ICT建設機械との組合せた3Dプリンティング技術により、埋設型枠を作製した。その結果、プレハブ鉄筋と組み合わせることで、埋設型枠を製作することが可能であることが確認された。ただし、表面の凹凸が大きいことから、今後は吹付け後に表面を均す工程を組み合わせる必要がある。さらに、複雑な形状へも対応できる施工方法の検討を行う予定である。今後は、省力化・安全性に配慮した新たな施工方法などを提案し、本研究開発が建設生産システムの生産性向上に寄与できればと考えている。

謝辞

本研究は、令和元年度建設技術研究開発助成の支援を頂き検討を行ったものである。また、3DCPコンソーシアム会議(参加機関：岐阜大学、エフティエス、清水建設、住友大阪セメント、NIPPO、丸栄コンクリート工業、施工技術総合研究所、(オブザーバー：高速道路総合技術研究所、鉄道総合技術研究所、コベルコ建機))のメンバーによる議論を反映させたものである。ここに感謝の意を記します。

参考文献

1) 橋梁等のプレキャスト化および標準化による生産性向上検討

委員会：コンクリート構造物における埋設型枠・プレハブ鉄筋に関するガイドライン，平成30年6月



写真1 プレハブ鉄筋の状況



写真2 吹付け状況

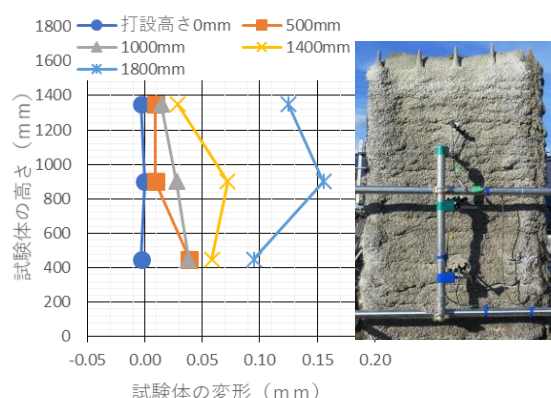


図2 打設時の変形状況



写真3 水染み状況