

建設現場における「生産性向上チャレンジ」の取組事例 ～建設用 3D プリンターによる集水樹の施工について～

国土交通省 中国地方整備局 松江国道事務所 特別会員 ○清水 一樹
 国土交通省 中国地方整備局 松江国道事務所 正会員 近藤 弘嗣
 国土交通省 中国地方整備局 松江国道事務所 特別会員 井上 泰介
 カナツ技建工業株式会社 非会員 木村 善信
 株式会社 Polyuse 非会員 鎌田 太陽

1. はじめに

昨今の人口減少に伴い、少子高齢化の影響が深刻化し、建設業界は労働者不足が大きな問題となっている。国土交通省では、建設現場にて「ICTの全面的な活用」等の施策を導入することによって、建設生産システム全体の生産性向上を図り、魅力ある建設現場を目指す取り組みである i-Construction を推進している。

「生産性向上チャレンジ」とは、「ICTの全面的な活用」、「全体最適の導入」、「施工時期の平準化」を行う i-Construction に加え、新技術の活用のみならず、施工手順の工夫や既存技術の組み合わせ等、生産性向上（省人化等）に資する現場での創意工夫による取り組みを積極的に推進することを目的とし、国土交通省直轄工事にて取り組んでいるものである。

ここでは、建設現場における「生産性向上チャレンジ」の事例として、当事務所発注の道路改良工事において使用された、建設用 3D プリンターによる集水樹の施工について紹介する。

2. 実施概要

一般国道 9 号静間・仁摩道路は、鳥取・島根・山口 3 県の主要都市を東西に結ぶ山陰道の一部を構成し、島根県大田市静間町から大田市仁摩町大国に至る延長 7.9Km の自動車専用道であり、緊急時の代替路線の確保、現道の隘路区間の解消、観光・医療・物流活動の支援、地域間広域交流の促進及び地域活性化を図ることを目的に事業を進めている。

この取組は、令和 3 年度静間仁摩道路静間地区第 2 改良工事（受注者：カナツ技建工業（株）、協力企業：（株）Polyuse）において、「生産性向上チャレンジ」として、建設用 3D プリンターによる排水構造物（集水樹 2 基）の製作及び運搬・設置を試行するものであり、生産性向上技術として建設用 3D プリンターがもたらす導入効果を確認するものである。

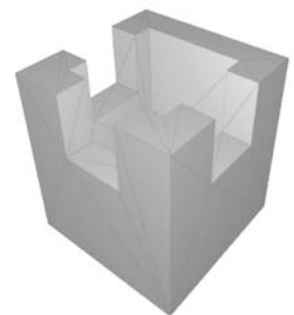


図-1 造形集水樹
(内空断面 B500-L500-H700)

3. 取組の内容

建設用 3D プリンターは、構造物の造形用に作成した 3 次元データに基づき特殊モルタルを積層状に積み重ねて、構造物を造形する技術で、3つの技術（ハードウェア・マテリアル・ソフトウェア）の集合体として構成される技術の総称である。その運用方法は、施工位置に直接プリントするオンサイト法、工場等でプリントし施工位置に運搬設置するオフサイト法、現場内でプリントし施工場所に設置するニアサイト法の主に3つであるが、今回はコンクリート製品メーカーの工場でのオフサイト法を採用している。



図-2 施工場所位置図

キーワード 生産性向上チャレンジ, i-Construction, 建設用 3D プリンター

連絡先 〒690-0017 島根県松江市西津田 2 丁目 6 番 28 号 国土交通省中国地方整備局松江国道事務所 工務課

TEL 0852-60-1343

4. 建設用3Dプリンター導入による効果

建設用3Dプリンター導入による効果について、①施工の効率化、②品質管理、③安全管理、④環境負荷低減の観点からまとめる。

① 施工の効率化 (表-1 参照)

同一規格の集水桝について「3Dプリンター造形」、「プレキャストでの施工」、「現場打ちでの施工」についての比較表を表-1に示す。施工日数(工場・現場)については、3Dプリンター造形が4時間30分程度、プレキャストが1時間55分程度、現場打ちが10時間15分程度とプレキャスト製品が最も短くなる。しかし、3Dプリンターによる造形物は、初期強度の発現が早く養生期間が短くなることから、総施工日数については最も有利であると言える。また、現場状況に応じて、より円滑な工程進捗が得られる運用方法の選択が可能である。(オンサイト法・オフサイト法・ニアサイト法)

また、作業編成の観点においても、プレキャスト製品(標準外)・現場打ちについては、型枠工等の熟練技能者の配置が必要となるが、3Dプリンター造形については、型枠が不要であるうえに、一連の施工を電子データによって制御し行うので熟練技能者の配置を必要としない。これにより、省人化効果を期待できる。

項目	CASE.1 3Dプリンター造形	CASE.2 従来工法での施工 (プレキャスト)	CASE.3 従来工法での施工 (現場打ち)
施工数量	B500×L500×H700 0.297m ³	B500×L500×H700 0.297m ³	B500×L500×H700 0.297m ³
施工写真 (イメージ)			
作成日数 (工場)	0.5日(0.9m ³ /日) 造形準備:45分 造形:120分(0.15m ³ /時) 片付け/洗浄:75分 合計:240分(4時間)	0.15日(0.6m ² /日) 型枠組み立て:30分 打設:10分 脱型:20分 洗浄:10分 合計:70分(1時間10分)	-
	○	◎	-
施工日数 (現場)	0.06日(16基/日) 準備工・部材荷下ろし～据付:30分 合計:30分	0.1日(10基/日) 準備工・部材荷下ろし～据付:30分 底打ち:15分 合計:45分	1.25日(0.8基/日) 型枠組立:480分(8時間=1日) 型枠解体:120分(2時間) 底打ち:15分 合計:10時間15分(1.25日)
	◎	○	×
作業編成 (工場)	造形物の作成 普通作業員:2人/日	造形物の作成 普通作業員:4人/日 (※標準外の場合は、型わく工:1人/日)	-
	熟練工が不要	熟練工が不要 ※標準型以外は熟練工による型枠作成	-
作業編成 (現場)	○ 部材の設置	△ 部材の設置	-
	世話役:1人/日 普通作業員:2人/日 2.9t吊バックホウ:1台/日	世話役:1人/日 普通作業員:2人/日 2.9t吊バックホウ:1台/日	型枠組立時 世話役:1人/日 型わく工:1人/日
	熟練工が不要	熟練工が不要	打設時 世話役:1人/日 普通作業員(打設):2人/日
	○	○	型枠解体時 型わく工:1人/日 熟練工が必要
		×	

表-1 施工方法別比較表

② 品質・出来形管理

3D プリンターにより製作した積層供試体の圧縮強度試験結果(今回施工)を図-3に示す。これにより、28日強度が 49.5 N/mm^2 であり、必要圧縮強度が 24 N/mm^2 であることから、強度性能を十分に満たしていることが分かる。また、図-4に過去の積層供試体の材齢と圧縮強度の関係を表す。材齢5日の時点で必要圧縮強度を満足しており、これにより、打設から現場設置までの期間を短くする事ができ、総施工日数の短縮が可能となる。

また、図-5に示す出来形管理の測定パターンより、造形する構造物の要求性能に応じて2パターンの出来形計測の方法を使い分けている。集水桝(容積等空間の寸法)だけでも、桝内の容積を要求性能として求める際は、凹凸の突起部同士(パターン①)で、内部に入れる液体からの側圧に対する強度を要求性能とする場合は、凹凸の溝部同士(パターン②)で出来形管理を行う。パターン①とパターン②を使い分けることで、余裕をもった設計を行うことが出来る。さらに、フィラメント間の空隙を抑制するために、材料特性を活かした施工を行うことで密実な断面を確保している。(写真-1)

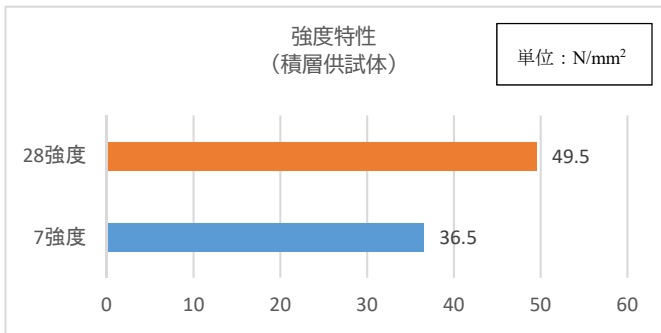


図-3 圧縮強度試験結果 (今回施工)

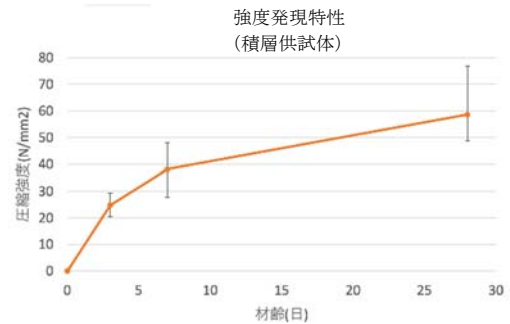
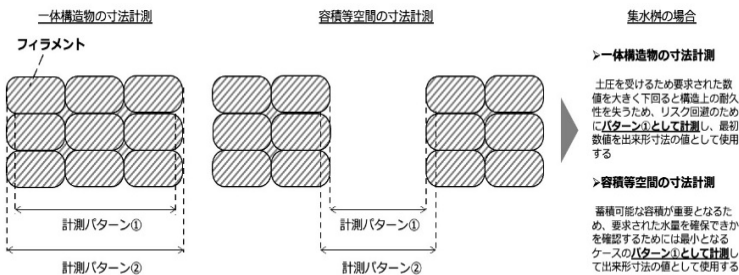


図-4 材齢と圧縮強度の関係

■出来形寸法精度



- ▶ 積層のままでは、フレッシュ性の変動や増加する自重でばらつきが大なり小なり発生
- ▶ 構造物によって適切な箇所を有効断面として活用する



©Polyuse Inc. All rights reserved

図-5 出来形管理測定パターン



写真-1 採取されたコアの様子

③ 安全管理

近年でも、プレキャスト工場での型枠脱型時や製品運搬時の事故の発生が報告されている。建設用 3D プリンターでの施工(写真-2)においては、型枠が不要な製造技術であることから脱型の必要がない。加えて、造形中の構造物側面に吊用のインサートを設置する事ができるため、構造物運搬時の事故リスクを減少させることができる。また、製作の省人化により、作業員の災害リスクを減少させることができる。

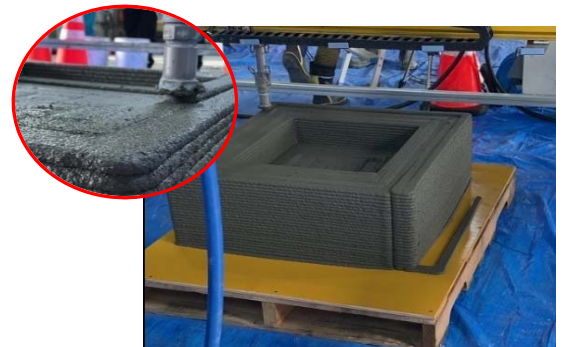


写真-2 3D プリンターによる施工

④ 環境負荷低減

建設用 3D プリンターによる施工では、型枠が不要であるため、型枠材等の残材（廃棄物）の発生が少なくなる。また、3次元データに基づく施工を行うため、人為的なミス等による手戻りを減少させることができ、セメントや骨材の浪費リスクを削減する事が出来る。

5. 導入に向けた課題と対応策

今回の試行により、生産性向上技術として建設用 3D プリンターがもたらす導入効果を確認することができたと考える。

今後、建設用 3D プリンターによる第 3 のコンクリート工の普及に向けては、次のような課題について検討し解決に向けて取り組む必要がある。

普及に向けた技術的課題	施工に関する制度としての課題
量産、提供するサプライチェーン構築（コスト低減）	設計時の評価手法の整備
施工に向いている構造物の検証（実績の拡充）	構造物の安全評価方法と品質確認検査の方法
正しい情報に基づく認知度拡大	使用に関するガイドラインの整備

また、プレキャストの導入促進においても検討されている VFM（バリュー・フォー・マネー）による価値評価手法も念頭に置いてうえで、定性的な検証における優位性の評価を、明確な比較評価・最大価値の創出にどうつなげていくかも課題である。

当面は、特定課題の解決策としての採用や「生産性向上チャレンジ」などの試行的な取り組みにより、施工実績が拡充され、着実に普及に向けた課題解決へ向かうことが期待される。

6. 考察

今回の試行により、建設用 3D プリンターによる造形物の「施工工期の短縮」「省人化効果」「品質性能」「安全性能」「環境性能」において大きな効果を発揮する事が分かった。このような、ICT 技術の活用を促進させ建設現場での生産性を向上させていくことで、人口減少に伴う、少子高齢化による建設業界の労働者不足問題の緩和につながると考える。

一方で、施工が可能な構造物が限られていることや施工費用が高額であるなどの普及に向けての課題も多く残っており、「適用可能構造物の拡大」や「材料の量産による価格の削減」等の対策が必要となる。また、「生産性向上チャレンジ」等の試行を有効に活用しながら、新たな ICT 技術の現場導入・認知度向上に向けた取り組みを推進していく必要があると考える。