

中部地方で初！建設用3Dプリンタを活用し、 土木構造物（重力式擁壁）を施工

中安 理¹

¹中部地方整備局 名四国道事務所 工務課 (〒467-0847 愛知県名古屋市瑞穂区神穂町5-3)

インフラ分野において、災害対策やインフラの老朽化対策の必要性は高まる一方、今後深刻な人手不足が進むことが懸念されている。国土交通省ではインフラ分野においてもデータとデジタル技術を活用して、社会資本や公共サービスを変革すると共に、業務そのものや国土交通省の文化・風土・働き方を変革し、建設現場においても新たな働き方を推進している。国道155号豊田南バイパスの建設現場では、i-Constructionの推進による工事の効率化や生産性向上の観点から、中部地方では初となる建設用3Dプリンタを活用した土木構造物（重力式擁壁）を施工したためその事例について紹介する。

キーワード インフラDX、工事の効率化、生産性向上

1. はじめに

近年、建設業の建設業就業者数・建設技能者数は図-1に示すとおり、2018年（H30）は331万人であったが2022年（R4）には305万人と5年間で26万人と減少傾向にある¹⁾。また、建設業就業者のうち55歳以上の割合が約36%，29歳以下が約12%以下と高齢化が緩やかに進行している¹⁾。このような働き世代の変化に加え、近年ではIT技術やAIの急激な発展に伴い、生産性向上を目的に機械に任せる仕事が増えてきており、従来の働き方に変化が求められている。

国土交通省では2021年に国土交通省DX推進本部²⁾を立ち上げ、社会経済状況の変化に対応しインフラ分野においてもデータとデジタル技術を活用して、国民のニーズを基に社会資本や公共サービスを変革すると共に、業務そのものや、組織、プロセス、建設業や国土交通省の文化・風土や働き方を変革し、インフラへの国民理解を促進すると共に、安全・安心で豊かな生活を実現すべく、省横断的に取組みを推進している。

本稿では、建設用3Dプリンタを用いた施工性及び生産性の評価を目的とした。名四国道事務所では令和3年度名四国道豊田地区道路建設工事の重力式擁壁を対象として建設用3Dプリンタを活用し施工を行った。従来の現場打ち工法では、専門人材の確保や施工期間の長期化等の課題があるが、建設用3Dプリンタでは省人・省力化及び施工期間の短縮が見込まれるため、従来工法との比較を行い工期短縮や生産性向上の施工を評価した。

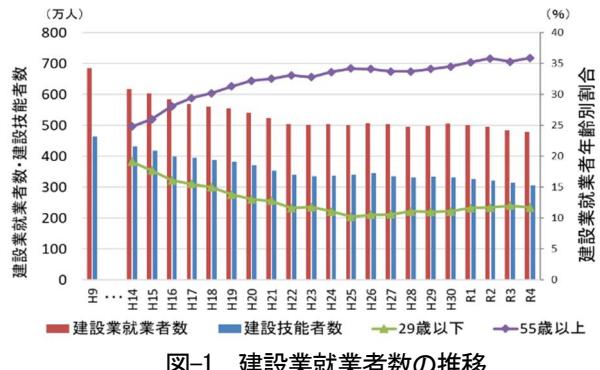


図-1 建設業就業者数の推移

2. 国内の公共土木工事の施工事例

建設用3Dプリンタを活用した公共工事は2021年度の土佐国道事務所の国内初施工を皮切りに増加している。土佐国道事務所では、令和2-3年度南国安芸道路赤野橋下部外工事において、B600×L700×H70mmの集水枠を2基印刷し設置した³⁾。また、京都国道事務所京都第一維持出張所では、国道24号河原町十条地区電線共同溝工事において、交差点部の歩車道境界ブロックの復旧工を、建設用3Dプリンタの施工性を比較するため、施工条件を変えて施工した⁴⁾。建設用3Dプリンタを活用した施工と通常の施工を比較すると、どちらの事例も施工日数と現場作業員の削減が可能となり施工性は向上したが、資機材や材料費を含めた施工費が高く経済性に劣る結果であった。

3. 工事の概要

図-2 に国道 155 号豊田南バイパス概略図を示す。名四国道事務所では、国道 155 号豊田南バイパスの整備を進めており、本バイパスは豊田市中心市街地を迂回する延長 12.9km の道路で、交通の円滑化、物流の効率化及び地域経済の発展等に大きな役割を果たしている。

本工事では、地盤改良工と擁壁工が主たる工種であり、擁壁は補強土壁と重力式擁壁を施工した。建設用 3D プリンタを活用したのは、図-3 の重力式擁壁展開図に示すとおり、総延長約 45m の重力式擁壁の内、端部の 5m を 5 分割し印刷した。印刷した重力式擁壁は上幅 0.4m、下幅 1.1m~1.3m、高さ 1.1m~1.4m で、重力式擁壁の外枠部分を厚さ 12cm で印刷した。

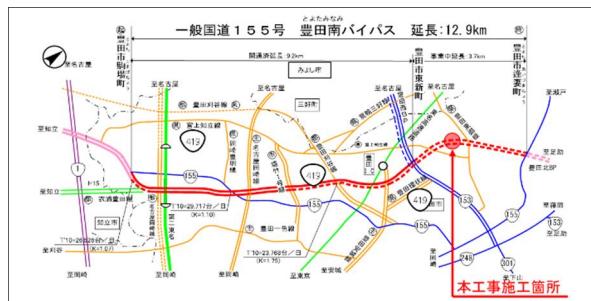


図-2 国道 155 号豊田南バイパス概略図

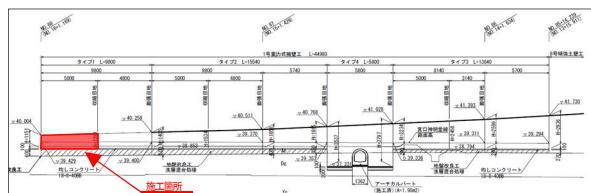


図-3 重力式擁壁展開図

4. 施工方法

事前準備として、2 次元の設計図面を印刷可能なデータにするため、協力業者である株式会社 Polyuse (以下、協力業者) に 2 次元図面データを 3 次元図面データへの変換及び印刷データへの変換作業を依頼した。また、建設用 3D プリンタを運用するため、協力業者による短期間の講習を 2 日間実施した。

図-4 に建設用 3D プリンタを活用した重力式擁壁の施工方法を示す。印刷では資機材の搬入、建設用 3D プリンタの組立及び試運転を行った。図-5 に造形状況を示す。造形では操作タブレットを活用し造成、ミキサー ホッパー内の材料が枯渇しないよう投入を行うほか、材料温度や造形モルタルの水量を協力業者の実績に基づき調整を行った。養生では、養生マット及びシートにて養生



図-4 建設用 3D プリンタを活用した施工方法



図-5 造形状況



図-6 コンクリート打設状況



図-7 重力式擁壁の据付状況

し、湿潤状態を保つため散水を実施した。水抜きパイプ設置では、設置箇所をドリルにて削孔し、水抜きパイプ設置後グラウト剤にて隙間を充填した。図-6 にコンクリート打設状況を示す。コンクリート打設では、建設用 3D プリンタで造形した重力式擁壁の外枠にコンクリートを充填し、バイブレータを使用し締固めを行った。図-7 に重力式擁壁の据付の様子を示す。据付は均しコンクリートに擁壁前面位置の墨出しを行い、ラフタークレーンにて据付を行った。据付完了後、継ぎ目をグラウト剤及びコーティング剤にて充填し、構造物の埋め戻しは従来工法と同様に行った。

5. 出来形基準・品質管理基準について

建設用 3D プリンタを活用した重力式擁壁の出来形管理と品質管理は、従来工法と同様の土木工事施工管理基準及び規格値(案)を採用した。建設用 3D プリンタで施工した重力式擁壁の出来形の測定は擁壁の両端部で行った。また品質管理基準のコンクリートの圧縮強度試験では重力式擁壁の外枠材料の造形モルタルの強度も試験を行い、目標強度は重力式擁壁の設計基準強度である 18N/mm²とした。コンクリートの規格は 21-840BB で、造形モルタルは専用のプレミックスモルタルを使用した。

表-1 に重力式擁壁の出来形管理表を示す。出来形はすべての項目で基準値以内に収まる結果であった。表-2 にコンクリートと造形モルタルの圧縮強度試験結果を示す。圧縮強度はコンクリートで 27.8 N/mm²、造形モルタルで 33.8 N/mm² で設計基準強度を満たす結果であった。

以上の結果より、建設用 3D プリンタで作成した重力式擁壁が出来形基準・品質管理基準を満足する構造物の施工が可能であることが確認できた。

表-1 重力式擁壁の出来形管理表

	規格値	従来工法	3D プリンタ	略図
基準高△	±50	+3~+5	+2~+4	
天端幅w1	-30≤	±0~+5	+5	
下幅w2	-30≤	+1~+6	-9~+1	
高さh	-50≤	+1~+6	+2~+19	
延長	-200≤	±0~+5	-1~+10	

表-2 圧縮強度試験結果 (N/mm²)

	材齢	供試体1	供試体2	供試体3	平均
コンクリート	28日	27.4	28.8	27.1	27.8
造形モルタル	3日	32.2	35.5	33.8	33.8

6. 施工性・生産性について

施工性・生産性の比較は施工日数と作業員数で比較することとし、従来工法は型枠組立、コンクリート打設、脱型の施工、建設用3Dプリンタは造形、コンクリート打設、据付の施工を比較対象とした。表-3に従来工法の工種別施工日数、表-4に建設用3Dプリンタの工種別施工日数施工日数と作業員数を示す。比較した工程では日数に差がみられなかったが作業員数は11人削減された。また、従来工法では型枠工を行う熟練技能士が5人必要であったが、建設用3Dプリンタでは短期間の講習を受けた作業員3人での施工であったため、熟練技能士の人数も削減することができた。建設用3Dプリンタは従来工法と比較すると材料費のコストが高く経済性に劣る結果であったが、短期間の講習で構造物を造形することができるため、型枠技能士が不足している現場でもコンクリート構造物の施工が可能となるほか、複雑な形状の構造物でも施工が容易となる。そのため、設置箇所付近での印刷や現場に直接印刷、工場等での印刷など工期や利便性を考慮した施工など現場条件に適した使い分けを行い、作業員数の削減や工期短縮などを図ることが可能である。

表-3 従来工法の工種別施工日数と作業員数

	型枠組立	コンクリート打設	脱型	合計
従来工法（施工日数）	3日	0.5日	2日	5.5日
従来工法（作業員数）	15人	3人	8人	26人

表-4 建設用3Dプリンタの工種別施工日数と作業員数

	造形	コンクリート打設	据付	合計
3DJ [®] リンク（施工日数）	5日	0.2日	0.25日	5.45日
3DJ [®] リンク（作業員数）	15人	1人	1人	17人

7. 施工時の課題について

本施工では使用する資機材が特殊であるため、デモンストレーションにより施工手順の確認を行い、施工時の課題について整理を行った。デモンストレーションの結果、印刷では資機材等が特殊であるため故障等にも対応できる予備部品の追加準備や建設用3Dプリンタの電源プラグ引き抜け防止対策、印刷時のトラブルに対応できる技術者の配備が必要であった。造形では操作タブレットを複数人で操作したことによる誤操作で排出ノズルが損傷したため、操作は一人で行うこととするほか、ホッパー内にバイブレータを挿入したことで材料圧送部が空洞が生じ、造形モルタルの排出に不具合が生じたため、適

宜造形モルタルの状態を確認することとした。また、コテ仕上げが可能か確認を実施したが、コテ圧力により造形物の変形が確認されたため、コテ仕上げは行わないこととした。また、1基あたりの印刷に約5時間要することから、印刷時間を考慮し、1日に1基施工する施工計画とした。

8. おわりに

本工事の建設用3Dプリンタを活用した土木構造物の施工では、従来工法に比べ作業員数の削減と短期間の講習を受けた作業員による施工であったため、省人・省力化を図ることができ、従来施工と比較すると作業員数が約35%削減することが出来た。出来形や品質は従来の基準を満足する結果であり、仕上がりに大きな差がないことから、生産性向上を実現できる施工方法であることが示された。

建設用3Dプリンタを活用した公共工事の施工は年々増加傾向にあるものの、2023年現在では施工費や材料費が従来工法と比較しても高価であることから、公共工事においては工事の一部として試験的に導入している傾向がある。建設用3Dプリンタはこれまでの施工を変える新たな技術であるが、活用するための知識や経験を得る機会が少ないとや、資機材が特殊で高価であることから工事現場での導入が見送られていると考えられる。

建設用3Dプリンタはデータがあれば複雑な構造でも施工することが可能で、型枠を必要としないことから施工性が高く活用できる現場が幅広くあると思われる。

今後も国土交通省としてインフラ分野のDX推進を図るために、建設用3Dプリンタをはじめとして新たな技術を積極的に導入することで、建設業においても機械に任せる仕事を増やしていく、現場での省人・省力化を図り働き方を変革していくことが求められている。

謝辞：今回建設用3Dプリンタ活用の提案及び施工、また各種資料を提供していただいた中部土木株式会社及び株式会社Polyuseの皆様、そして本稿作成にあたりご鞭撻頂いた中部地方整備局名四国道事務所のみなさまに感謝申し上げます。

参考文献

- 一般社団法人日本建設業連合会、建設業の現状、2023
<https://www.nikkenren.com/publication/handbook/chart6-4/index.html>
- 国土交通省、国土交通省インフラ分野のDX推進本部、2020
https://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000074.html
- 土佐国道事務所、公共工事での国内初施工 建設用3Dプリンタによる土木構造物制作、2021
<https://www.skr.mlit.go.jp/kikaku/kenkyu/r4/tonbun/III-29.pdf>
- 国土交通省、建設用3Dプリンタを用いたコンクリート構造物の施工について、2023
<https://www.kkr.mlit.go.jp/plan/happyou/theses/2023/lbhrsn000000m6iuatt/a1684912639949.pdf>