

建設用3Dプリンタの出来形および品質の確認方法に関する検討

櫻井 真¹・市村 靖光²・大谷 周³・堤 達也⁴

^{1~3}非会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所（〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地）

¹E-mail:sakurai-m8312@mlit.go.jp

²E-mail:ichimura-y92pi@mlit.go.jp

³E-mail:otani-a8311@mlit.go.jp

⁴正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所（〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地）

E-mail: tsutsumi-t92ta@mlit.go.jp

近年、国土交通省直轄土木工事において建設用3Dプリンタの活用の実績が増えているが、現時点では、出来形や品質の確認方法は規定されていない。本報告では、建設用3Dプリンタを採用した事例における出来形・品質管理の実施状況を整理し、建設用3Dプリンタの特性を考慮した出来形や品質の確認方法の策定に向けた検討状況を報告する。

Key Words : three dimensional printer, quality

1. はじめに

国土交通省直轄土木工事における建設用3Dプリンタ（以下「3Dプリンタ」という）は、令和5年度に高知県内で初めて採用¹⁾されて以降、その実績を積み重ねている。3Dプリンタは、型枠が不要であることから、型枠工などの熟練工が不足する地域においては有効なツールとなるほか、造形の自由度によって意匠性に優れた造形物の製作も可能となることから、今後も実績は増加すると推測される。

しかしながら3Dプリンタによる造形物に関する施工管理基準が定められていないため、受発注者間で個別協議を実施しているが、当該技術の採否を含めて時間を要している。

国総研では、直轄土木工事において3Dプリンタを活用した際に受発注者間で行われた個別協議（採用の理由や施工管理方法）の調査を行い、円滑な協議を支援することを目的に出来形や品質の確認方法を策定中であり、本報告では、その検討状況を報告する。

2. 3Dプリンタの活用状況

直轄土木工事における活用実績（令和5～6年度）は、すべて材料押出方式による無筋コンクリート構造物であり、集水ますが最も多い（15件）。製作された構造物は、型枠の製作が比較的複雑であるもの、現場における養生期間の短縮が可能なもの、通常の型枠では製作が困難である曲線を有するもので採用される傾向が見受けられた。

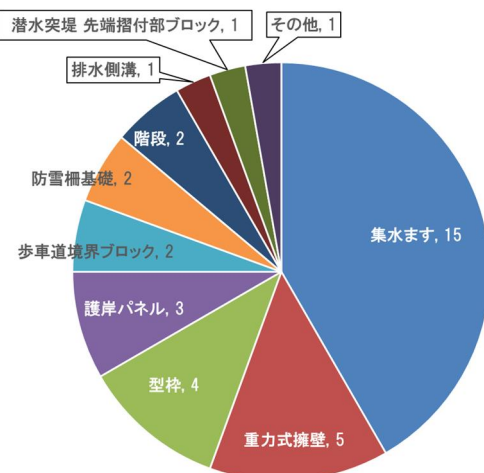


図-2.1 活用状況（構造物別内訳 R5～6年度）

3. 活用にあたってのメリットとデメリット

これまでに直轄工事で活用を行った施工者に対して、活用のメリットとデメリットを聴取した（表-3.1）。

表-3.1 施工者の主な意見²⁾

メリット	形状の自由度が高い。 型枠が不要。 工期の短縮を見込むことが出来る。
デメリット	コストが高い。 施工管理方法（基準）がない。

形状の自由度が高く、型枠が不要であり、現場打ちコンクリートと異なり、打設後の養生期間が極めて短いことから、工期の短縮を見込めるメリットがある一方で、コストが高く、施工管理の基準がないなどのデメリットがあることが意見として聴取された。

施工管理方法の定めが存在しないことは、当該技術の採用にあたって、発注者としてもその品質を確認する方法に関して、受注者との協議に時間を要する等から、当該技術の採用を見送る原因になり得ることも想定される。

4. 施工管理方法の検討

施工管理項目の検討にあたっては、これまでの施工実績から材料押出方式による無筋コンクリート構造物を対象として検討を行った。

(1) 基本的な考え方

3Dプリンタによる造形物は、材料を一層ずつ積み重ねて造形するところが従来の場所打ちコンクリート構造物と異なるため、出来形及び品質管理においては以下について留意が必要である。

- ① 層状に積み重ねるため、造形物の表面には積層模様が生じる（出来形の計測に関する留意点）。
- ② 層状に積み重ねるため、同じ材料を型枠に打ち込んで作製した場合とは圧縮強度に差が生じる場合がある（強度確認方法に関する留意点）。
- ③ 積層プロセス（プリント速度、積層時間間隔、材料温度等）が造形物の品質に影響を与える（プロセス管理に関する留意点）。

(2) 出来形管理

材料押出方式の場合、前述の通り造形物の表面に積層模様が生じるが、その凹凸差は5mm程度であり、土木工事施工管理基準及び規格値（案）の規格値と比較しても小さい。そのため、適正な造形がなされていれば規格値を超過することはないと考えられる。現場打ち集水ますの場合、出来形管理基準は図-4.2.1に示す通りである。

表-4.2.1 出来形管理基準（集水ます）³⁾

測定項目	規格値	測定基準	測定箇所
基準高▽	±30mm	1箇所毎 ※は、現場打部分のある場合	
※厚さt1～t5	-20mm		
※幅w1, w2	-30mm		
※高さh1, h2	-30mm		

しかしながら、積層表面のどの位置を計測すべきなのか等は規定が必要であることから、下記によることが望ましい。

- ① 造形物に対応する工種（現場打ちコンクリート）の出来形管理基準及び規格値に準拠する。
- ② 造形物の外観（表面）に有害なひび割れ（複数のフィラメントを貫く幅の大きなひび割れ）や損傷等の異常が発生していないか、積層模様の凹凸が著しく不均一になっていないか等を目視により確認する。
- ③ 造形物の下部等に、自重による過度の変形が生じていないか等を目視により確認する。
- ④ 造形物の性能を考慮し、積層の凹凸部の計測位置を設定する。

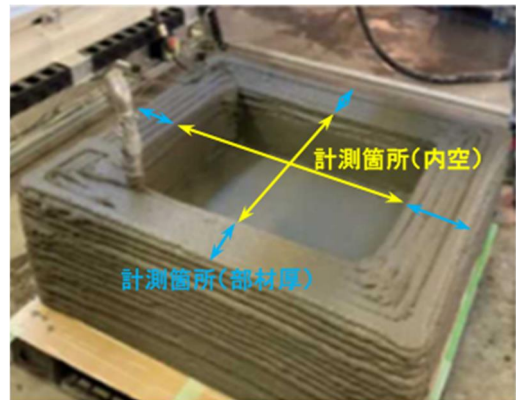


図-4.2.1 計測箇所の例（集水ます）

i. 幅・高さ・長さ・厚さ等

構造上の要求性能に影響する場合は、造形物の縁端を考慮しないで計測する（凹部で計測）。

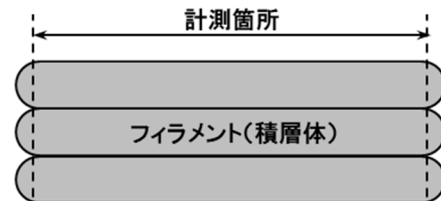


図-4.2.2 計測箇所の例（集水ます部材厚）

ii. 内空幅・内空高さ等

構造物の縁端を考慮して計測する（凸部で計測）。

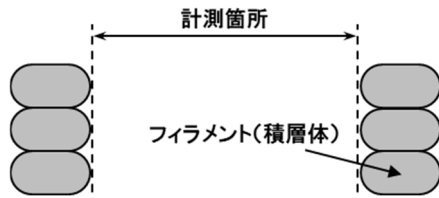


図-4.2.3 計測箇所の例 (集水ます内空)

iii. 造形物の端部

3Dプリンタの造形物の端部は、その性質上、曲線を描くことになるため、計測においてはこれを含めない位置で計測することが望ましいと考えている。

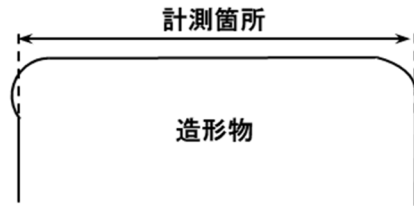


図-4.2.4 計測箇所の例 (造形物の端部)

(3) 出来ばえ評価

3Dプリンタによる造形物は、製造の過程で必ず積層模様が発生する。そのため、型枠に生コンを流し込む現場打ちコンクリート構造物と同様の出来ばえ評価を適用することは合理的ではないため、出来ばえ評価の対象外とするべきである。

(4) 品質管理

3Dプリンタの材料は、通常の生コンと同様に材料を構成する材料およびプリントを行う際の状態（品質）を確認する必要がある。そのため、材料に関する品質確認を①プリント原材料、②プリント材料に分類して管理を行うことが適当であると考えられる。

①プリント原材料

プリント原材料は、プリント材料を構成するセメント、水、骨材、混和材料等の各材料のことで、3Dプリンタを適用する場合、使用するプリント原材料の品質を確認しなければならない。JISに規定がある材料を使用する場合は、セメント・コンクリートの品質管理基準及び規格値を適用することが出来る。

一方、JISに規定がない材料やプレミックス材料を用いる場合は、材料メーカーの品質保証書または試験成績表（以下、「保証書」という）及び安全データシート⁴⁾（以下「SDS」という）の両方で確認を行う。発注者は、保証書とSDSにより表-4.4.1の内容を確認する必要がある。

表-4.4.1 プリント原材料の確認内容

確認資料	確認内容
品質証明書および試験成績表	原材料の品質 (材料構成、密度等の物性、強度特性等)
安全データシート	原材料の安全性

②プリント材料

プリント材料は、プリント原材料をミキサーで練り混ぜたものである。3Dプリンタを用いた造形物の製造者は、プリント材料の品質について、

- a. 適切に造形が可能か
- b. 造形物が所定の品質を満たすか

を試験等により確認しなければならない。発注者は、これらの試験結果からプリント材料の品質を確認する必要がある。

現在の検討段階では、プリント材料の品質管理は、圧縮強度を確認項目として選定することが妥当であると考えられる。

③強度

仕様書で指定した強度を満足しているかを試験により証明し、その試験結果を発注者が確認する必要がある。3Dプリンタの造形方法は現場打ちコンクリートとは異なるため、強度確認を行うための供試体の作製についても事前協議において決めておく必要がある。供試体の作製方法は、表-4.4.2のような方法がある。

表-4.4.2 供試体作製方法

	供試体作製方法
A方法	プリンタにより積層した造形物からコアを採取
B方法	モールドに材料を打込む方法

A方法で、かつ、造形物への載荷方向を考慮して供試体を採取することが現実により近い方法であるが、採取する方向によって強度に違いがあることに留意する必要がある。

A方法とB方法では圧縮強度に差が生じることが報告されている⁵⁾。そのため、過去に蓄積されたデータからA方法とB方法の相関関係を確認することが出来、かつ、仕様書で指定された呼び強度を確保することが可能であれば、B方法による強度確認とすることも可能であると考えられる。

④プロセス管理

プリント速度や打ち重ね時間間隔等のばらつきは、造形物の強度（品質）に影響を与えると想定される。そのため、積層プロセスの設定が適切であるか、設定されたプロセスにより造形されているかを確認することが重要である。これらのデータは、造形物に何らかの不具合が発生した場合に、原因究明の有用な情報になると考えられる。

プロセス管理の項目(案)は、表-4.4.3に示すが、頻度や判定基準などは現在検討中である。

表-4.4.3 プロセス管理項目(例)

管理項目	試験・確認方法
積層パス	目視、動画、ログ等
プリント速度	目視、ログ等
吐出量	目視、動画、圧力計等
打ち重ね時間間隔	時間計測、動画、ログ等
附帯材料や附帯設備	目視、動画等

3Dプリンタは、種類（機種）によって管理・記録される情報が異なるため、管理項目については、工事ごとに協議によって決定されることが望ましいと考えられる。

一方で、試験データや工事实績が少ない現状では、これらの管理項目が造形物に与える影響の大きさが明らかではないため、定量的な管理基準を設定することは困難であるとも考えられる。その場合は、類似した造形物の実験結果や工事实績等を参考にして管理項目や管理基準の目安を設定することが考えられる。

5. 3Dプリンタ適用にあたっての留意事項

3Dプリンタの適用にあたり、発注者は品質管理項目と併せて下記の点にも留意して採否を決定する必要がある。

(1) 適用工種の妥当性

図-2.1に示す施工事例は、無筋コンクリート構造物あるいは埋設型枠である。そのため、新たな構造物の提案がなされた場合は、その妥当性について工事受注者と十分な協議を行い、採用を決定する必要がある。

(2) 再設計の必要性

3Dプリンタの材料は、粒径の大きな骨材が含まれていないため、生コンやプレキャスト製品に比べて単位体積重量が小さい。そのため、重力式擁壁等に適用する場合は、安定計算が必要となるか検証が必要である。

(3) 契約変更の判断

3Dプリンタの材料は、現場打ちやプレキャスト

製品に比べて高価な場合が多い。これまでの事例では、施工承諾による採用がほとんどである。現場施工の期間を短縮できることによる効率化も見込むことが可能であることから、造形物のみのコスト比較ではなく、当該造形物の施工全体の最適化を踏まえたコスト比較をすることにより、契約変更の対象とするかを判断することが望ましい。

6. おわりに

今回の報告は、直轄工事の発注者が3Dプリンタを採用した際に、実施すべき出来形や品質の確認方法の検討状況を報告した。今後、「建設用3Dプリンタによる埋設型枠設計・施工に関する研究小委員会（土木学会）」の成果報告を踏まえ、とりまとめを行う予定である。

謝辞：活用状況の収集及びアンケート調査にあたり、各地方整備局、工事受注者等の皆様にはお忙しい中にも関わらず多大なるご協力を賜りました。心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 土佐国道事務所：国内の公共工事初！重要構造物（橋梁下部工）に3Dプリンタを活用します！！，令和5年10月17日記者発表資料
- 2) 国土技術政策総合研究所：国土交通省の直轄土木工事における3次元プリンタの活用状況，令和6年度i-conシンポジウム
- 3) 国土交通省：土木工事施工管理基準及び規格値(案)，令和7年3月
- 4) 厚生労働省：職場の安全サイト
(https://anzeninfo.mhlw.go.jp/yougo/yougo07_1.html)
- 5) 日本コンクリート工学会：3Dプリンティングによるコンクリート構造物構築に関する研究委員会，令和3年

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

Study on methods for verifying the shape and quality of construction 3D printers

Makoto SAKURAI, Yasumitsu ICHIMURA, Amane OOTANI
and Tatsuya TSUTSUMI

In recent years, the use of construction 3D printers has been increasing in civil engineering projects directly managed by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, but currently there are no regulations on how to check the finished shape or quality. In this report, we summarize the implementation status of finished shape and quality control in cases where construction 3D printers have been used, and report on the status of the study toward formulating a method of checking the finished shape and quality that takes into account the characteristics of construction 3D printers.