

3D プリンタによる建築工事における常温硬化型超高強度繊維補強コンクリートの施工

(株)大林組 正会員 ○北村勇斗 (株)大林組 正会員 石関嘉一

(株)大林組 非会員 坂上 肇 (株)大林組 正会員 新杉匡史

(株)大林組 正会員 川西貴士 (株)大林組 非会員 大川悠奈

1. はじめに

セメント材料系 3D プリンタ（以下、3DP）では、製造した部材・構造物に生じる引張力の負担方法が課題である。著者らは、3DP と現場での打込み・養生が可能であり、鋼繊維により引張力を負担可能な常温硬化型超高強度繊維補強コンクリート（以下、UFC）からなる構造形式の検討を行った。¹⁾ そして、本構造形式を用いて地上構造物を全て 3DP によって製造する建築物（以下、3DP 建築物）を構築した。本稿では、3DP 建築物の工事のうち、UFC の打込みに関する施工結果を報告する。

2. 施工方法

2.1 3DP 建築物 3DP 建築物の概要を図-1 に示す。3DP 建築物は、壁、天井スラブ、パラペット等からなる建築物である。外装を兼ねる 3DP 製の埋設型枠（以下、3DP 型枠）の内部に、UFC（設計数量 11.3m³）を打ち込むことで躯体を構築した。なお、本工事で使用した UFC は指定建築材料でないため、国土交通大臣認定を取得し、建築確認を行った。

2.2 UFC 打込み ロボットアーム型 3DP で 3DP 型枠を製造後（写真-1）、UFC の打込みを行った。躯体部分を 6 ブロックに分割し、6 回に分けて打ち込む計画とした。

UFC の配合を表-1 に示す。ミキサで材料を練り混ぜ、練上がり後は打込み箇所までポンプ圧送で運搬した。圧送方法に関して、油圧ピストン式ポンプの吐出口に内径 3 インチの鋼製管（延長 4～6m、打込み日によって異なる）と圧送ホース（延長 10m）を接続し、圧送ホースの先端をロボットアームに装着した（写真-2）。圧送高さは約 2～3m、吐出量は 0.5m³/h であった。打込み経路を事前に指定し、ロボットアームにより自動で打ち込んだ。

2.3 試験項目 試験項目および管理値^{2), 3)}を表-2 に示す。本施工に先駆けて、本施工と同等の圧送条件で室内圧送試験（鋼製管延長 7m、圧送ホース延長 10m、圧送高さ 3m）を実施した。室内圧送試験では、鋼繊維混入率試験、圧送前後のフレッシュ性状や圧縮強度の確認、ポンプ吐出口の管内圧力の計測を行った。また、実部材の形状を模したモックアップ試験体を作成し、後日コア削孔を行うことで、3DP 型枠内への UFC の充填性を確認した。本施工では、圧送前後のフレッシュ性状や圧縮強度の確認、ポンプ吐出口の管内圧力の計測を行った。

3. 結果

全 6 回の打込みを終了し、躯体工事を完了した。3DP と UFC で建築物を構築可能であることを確認した。また、打込み時に作用する側圧により、3DP 型枠にひび割れ等が生じることもなかった。以下に試験結果を示す。

3.1 鋼繊維混入率試験 試験結果を図-2 に示す。圧送の前半と後半で鋼繊維混入率は管理値の範囲であり、UFC

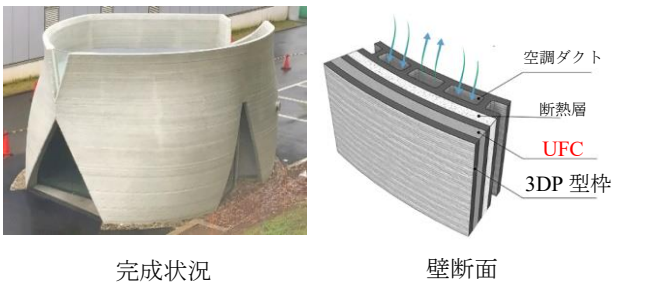


図-1 3DP 建築物の概要

表-1 UFC の配合

水ブレミックス粉体比 (%)	単位量 (kg/m ³)				鋼繊維 (.vol%) ※2
	水	ブレミックス粉体	細骨材	高性能減水剤※1	
12.6	230	1830	331	18.8	2.0

※1 高性能減水剤の添加量は適宜調整した。
※2 鋼繊維は直径 0.16mm、長さ 13mm のものを使用した。



写真-1 型枠プリント

写真-2 UFC 打込み

キーワード 3D プリンタ、UFC、圧送、ロボット

連絡先 〒204-0011 東京都清瀬市下清戸 (株) 大林組 技術研究所 TEL042-495-1111

中の鋼繊維量のばらつきは小さかった。鋼繊維の分離を生じず圧送可能であることを確認した。

3.2 3DP 型枠への充填性 コア採取後の母材の外観を写真-3 に示す。3DP 型枠に UFC が密実に充填されることを確認した。

3.3 フレッシュ試験 モルタルフローおよび空気量の試験結果を図-3 と図-4 に示す。モルタルフローおよび空気量は圧送前後で管理値の範囲であった。また、モルタル温度も 26～27 度で管理値の範囲であった。

3.4 圧縮強度試験 試験結果を図-5 に示す。圧送前後で圧縮強度が管理値の範囲であり、設計強度を満足した。

3.5 管内圧力 ポンプ吐出口における管内圧力の平均値を図-6 に示す。室内圧送試験に比較して本施工で管内圧力が大きくなった。この理由として、ロボットアームによって圧送ホースを操作する際、圧送ホースに曲がりが生じることが挙げられる。ただし、管内圧力は管理値の範囲であり、ポンプの閉塞等を生じることなく安定した圧送が可能であった。

4. まとめ

3DP を使用し、UFC からなる建築物を構築した。本稿では、UFC の施工を報告した。以下に得られた結論を示す。

- (1) 3DP を使用し、UFC からなる建築物の施工ができた。
- (2) 3DP 型枠への UFC の充填は良好であった。
- (3) 鋼繊維の分離を生じず UFC の圧送が可能であった。
- (4) フレッシュ性状および硬化性状は圧送前後で良好であった。
- (5) ロボットアームにより UFC のポンプ圧送が可能であった。

参考文献

- 1) 中村他：3D プリンティングと常温硬化型超高強度繊維補強コンクリートによる複合構造体の試験施工に関する報告，JCI 年次論文集，Vol.42，No.1，pp.1882-1887，2020
- 2) NEXCO：トンネル施工管理要領，p.7，2017
- 3) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリート「スリムクリート」に関する技術評価報告書，技術推進ライブラリー No.10，2017

表-2 試験項目

試験項目	方法等	管理値
鋼繊維混入率試験	JSCE-F 554 に準拠。圧送試験の前半と後半で計 2 回試験	2.0±0.4%※1
3DP 型枠への充填性	壁状 3DP 型枠（内寸：奥行 100×幅 1120×高さ 1500mm）に UFC 打込み後、壁厚方向にコア削孔し、断面を目視確認	目視
モルタル温度	JIS A 1156 に準拠	10℃以上※2
モルタルフロー※3	JIS R 5201（0 打）に準拠	260±30mm※2
空気量※3	JIS A 1113 に準拠	3.5%以下※2
圧縮強度※3	JIS A 1108 に準拠。20℃水中養生。試験材齢 28 日。供試体寸法 Φ50×100mm。供試体数 3 体。	180N/mm ² 以上※2
管内圧力	ポンプ吐出口の圧力を計測	2.0MPa 以下※4

※1 文献2) に準拠した

※2 文献3) の記載の通りとした

※3 圧送後の試料でも試験を実施した

※4 圧送ホースの許容圧力

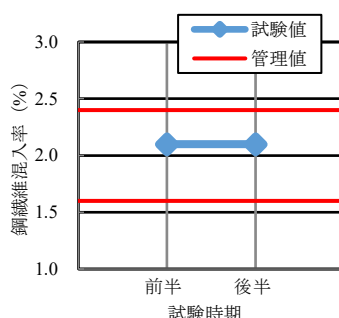


図-2 鋼繊維混入率

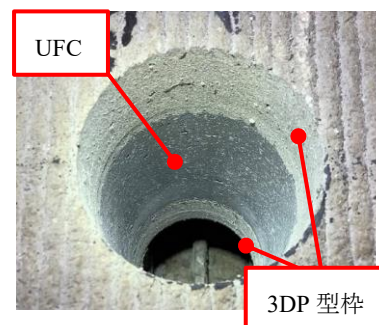


写真-3 充填状況

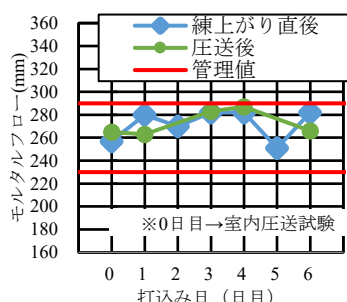


図-3 モルタルフロー

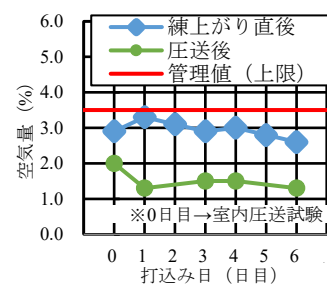


図-4 空気量

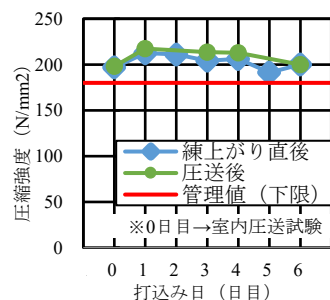


図-5 圧縮強度

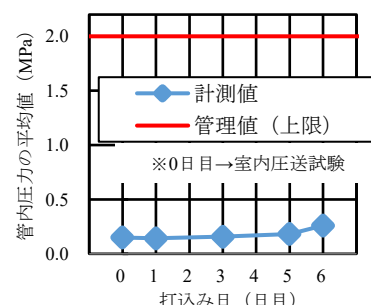


図-6 ポンプ吐出口の圧力