

建設用 3D プリンタの積層速度の評価

岐阜大学 学生会員 ○藤 駿哉
 岐阜大学 学生会員 石原 弘登
 岐阜大学 正会員 宮島 朗
 岐阜大学 正会員 國枝 稔

1. はじめに

近年、建設業界では新しい技術として建設用 3D プリンタ（以下、3D プリンタ）を導入し始めている。3D プリンタを用いれば建設コスト、人件費、建設廃棄物の削減が可能となるなど、建設業界に山積する課題の解決が可能な技術として期待されている技術である。しかし、実用化が進みつつある 3D プリンタのさらなる普及に必要となる積層効率を表す積層速度の定量的な評価方法は提案されていない。また、積層速度と積層物の力学特性との関係も明らかになっていない。

そこで、本研究では 3D プリンタの積層速度の評価方法を提案するためのデータの蓄積を目的とした実験的検討を行った。

2. 実験概要

2.1 概要

本研究は、3D プリンタを用いて作製した積層体の圧縮強度とノズルの移動速度との関係を調べるために、ノズルの移動速度を変化させて吐出した 1 本の細長いモルタル（フィラメントと称す）を硬化させ、50mm 間隔に切断したものを供試体（フィラメント供試体と称す）とし、圧縮試験を行った。なお、比較対象としてモールドに同一配合の材料を打ち込んだ供試体（モールド供試体と称す）の圧縮強度も測定した。

2.2 本研究で用いる 3D プリンティング技術

本研究では図-1 に示すモノポンプとロボットアームをホースで接続した設備を使用してモルタルを積層した。ロボットアームの先端には直径 25mm のノズルを取り付けた。



図-1 使用した 3D プリンタ

2.3 モルタルの配合

3D プリンタにおける材料はポンプでの吐出が可能な流動性と型枠がなくても変形しない自立性を両立させる必要がある。既往の研究¹⁾に示された配合を参考に、表-1 に示す配合のモルタルを使用した。

表-1 モルタルの配合

W/B (%)	単位量(kg/m ³)				
	水	早強セメント	フライアッシュ	6号 砂	AE 減水剤
33	344	722	308	721	5

2.4 フィラメント供試体の作製

ノズルの水平移動速度を 40mm/s, 45mm/s, 50mm/s, 55mm/s, 60mm/s の 5 種類に変化させてモルタルを吐出し、各移動速度について 1 本ずつフィラメント（長さ約 200cm）を作製した（図-2）。フィラメントは材齢 1 日までで空中養生し、所定の長さで切断後、水中養生を行った。モールドは直径 50mm のものを使用し、材齢 1 日まで封かん養生し、その後水中養生を行った。供試体ケースを表-2 に示す。



図-2 フィラメントのプリントの様子

表-2 供試体ケース

	移動速度 (mm/s)	本数 (材齢 7 日)	本数 (材齢 28 日)
フィラメント供試体	40	5	5
	45	5	5
	50	5	5
	55	5	5
	60	5	5
モールド供試体		3	3

2.5 フィラメント供試体の形状寸法

フィラメント供試体の断面は、移動速度ごとに異なる断面となった。そのため、フィラメント供試体の空気中の質量と水中の質量の差から浮力を求め、アルキメデスの原理により体積を測定し、長さで除することでみかけの断面積を算出した。フィラメント供試体の断面を図-3に示す。右から移動速度 40mm/s, 45mm/s, 50mm/s, 55mm/s, 60mm/s のフィラメント供試体である。



図-3 各移動速度のフィラメント供試体の断面

2.6 圧縮強度試験

2.4 で作製したフィラメント供試体とモールド供試体の圧縮試験を行った。

3. 実験結果および考察

フィラメント供試体の断面積を図-4に、圧縮強度試験の結果を図-5に、圧縮強度の変動係数を表-3に示す。図-4より、ノズルの移動速度が低速になるほどフィラメント供試体の断面積は増加した。また、移動速度が低速であるほど断面が四角に似た形状となり、高速であると吐出ノズルの形状に等しい円形となった。これらはポンプからの吐出量が一定であるため、フィラメント供試体の体積がノズルの移動速度に依存するためだと考えられる。

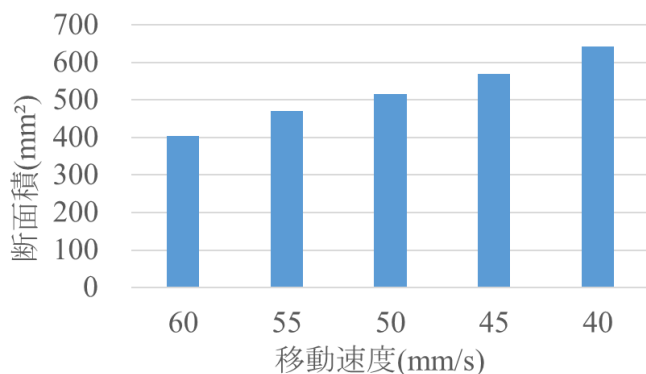


図-4 フィラメント供試体の断面積

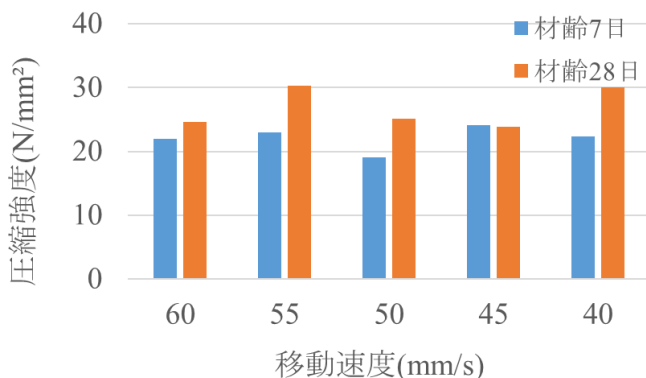


図-5 フィラメント供試体の圧縮強度

表-3 フィラメント供試体の圧縮強度の変動係数

移動速度(mm/s)	変動係数	
	材齢7日	材齢28日
40	0.40	0.27
45	0.45	0.32
50	0.16	0.43
55	0.24	0.38
60	0.20	0.17

材齢7日から材齢28日にかけて圧縮強度が増加する傾向にあった。これはコンクリートと同様に水和反応によるためだと考えられる。

モールドで作製したモールド供試体の材齢28日における圧縮強度が 65N/mm^2 程度であったのに対し、フィラメント供試体の圧縮強度は5割程度であった。また、表-3より、圧縮強度のばらつきは移動速度が 60mm/s の場合が最も小さく、本配合における最適速度である可能性が認められる。なお、既往の研究²⁾によると、比較的乾燥した大気中で養生されたコンクリートは、水中養生されたコンクリートに比べて試験体寸法の小さなコンクリートほど水分の散逸が顕著で、水和反応が阻害される可能性が高いと述べられている。このことから、材齢1日までの養生方法が異なることやモールドとフィラメント供試体の大きさの違いにより、圧縮強度に大きな差が発生した可能性があると考えられる。また、フィラメント供試体の形状が完全な円柱となっていないため、圧縮試験時に曲げ作用が加わり、曲げの影響が生じた可能性があるとも考えられる。

4. まとめ

本研究では3Dプリンタを用いて作製したフィラメント供試体について、ノズルの移動速度と圧縮強度の関係について評価を行った。本研究の範囲内で得られた知見として、3Dプリンタを用いて作製したフィラメント供試体の断面寸法はノズルの移動速度に依存すること、圧縮強度は移動速度を変化させることによって大きくは影響しないこと、水中養生を行えば圧縮強度が増加すること、同一配合の材料で作製したモールドと比べて圧縮強度が低いこと、が挙げられる。

今後も引き続きプリントされた積層物と積層効率との関係について検討していく予定である。

参考文献

- 1) 石原弘登, 國枝稔, 3Dプリンティング技術を用いて作製した硬化体の強度評価, 日本材料学会東海支部学術講演会講演論文集, Vol.15 pp.31-32. 2021
- 2) 小池狭千朗, 畑中重光, 横拘束コンクリートの圧縮特性に及ぼす供試体の形状・寸法の影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.12. No.2. pp.707-712. 1990