

## 3D プリンティング用モルタルの自立性に関する評価指標の検討

金沢工業大学 学生会員 松井 公兵  
金沢工業大学 正会員 宮里 心一

## 1. はじめに

近年の土木業界では、少子高齢化による新就業者の減少および既就業者の高齢化に伴い、人手不足が深刻な問題となっている。これを解決するためには、作業の省人化ならびに省力化が重要であり、施工の機械化・自動化が求められている。そこで近年着目されている技術が、施工をデジタル化できる 3D プリンティングである。これに用いられるモルタルには、押出性・流動性・圧送性・積層性・自立性などが要求される<sup>1)</sup>。これらの内で自立性とは、ノズルからモルタルがそのままの形状を保持する性質のことであるが、3D プリンティングに特化した指標であり、その評価方法に関する知見が少ないのが現状である。そこで本研究では、自立性を評価対象として検討を行った。前述したとおり、自立性はモルタルが押し出され、積層されて自重が作用した際でも変形しない「硬さ」を有していることが重要であり、つまりはモルタルの降伏値を評価するような試験方法が適切であると考えられる。

以上を踏まえ本研究では自立性の評価に適していると考えられる試験方法（表 1）について検討した。これにより、3D プリンティングのモルタル製造における自立性に関する品質評価指標の構築を図る。

## 2. 測定方法

## 2.1 モルタルの配合

モルタルの配合を表 2 に示す。結合材 (B) には、普通ポルトランドセメント、フライアッシュ、シリカヒュームを用いた。また、細骨材 (S) には、手取川産陸砂を用いた。配合は W/B をパラメータとし、硬さが異なる 7 水準のモルタルを用いた。

## 2.2 実験概要

フロー試験では、フローコーンを抜き 0 打と 1 打のフロー値を測定した。ミニスランプ試験では、ミニスランプコーン（上径 50mm、下径 400mm、高さ 150mm）へ 2 層に分けて詰め、2~3 秒かけて引き抜いた。ベーン試験では、幅 1.5cm、高さ 3.0cm のベ

ーンブレードをモルタルに押し込み、1 秒間に 1°の回転速度で測定を行った。1°ごとのトルクを読み取り、せん断強さを算出した。硬度テスター試験では、デジタルショアゴム硬度計を用いて、モールド管（φ50mm×100mm）に投入されたモルタルに対して、練混ぜ終了から 30 分ごとに計 4 回（120 分後）の測定を行った。

## 3. 実験結果

図 1 に示すフロー試験によれば、W/B が低いほどフロー値は小さくなった。なお、0 打フローに比べて 1 打フローにおいて値は増加して、W/B による差が顕著になるが、その傾向は同様であった。次に図 2 に示すミニスランプ試験も、同様の傾向が認められた。また図 3 に示すベーン試験では、W/B が低いほど最大せん断強さは高くなった。さらに図 4 に示す硬度テスター試験では、W/B が低いほど時間経過に伴う硬度の増加は大きくなった。以上より、W/B

表 1 自立性に関する試験項目

試験項目	評価対象や特徴
フロー試験 (0 打、1 打)	押し直後の形状の保持性。外力の少ない 0 打と 1 打。小さいほど自立性は高い。
ミニスランプ試験	押し直後の流動性。小さいほど自立性は高い。
ベーン試験	せん断強さ。大きいほど自立性は高い。
硬度テスター試験	時間経過による硬度の増加が大きいほど自立性は高い。

表 2 モルタルの配合

配合番号	W/B	S/B	図中の記号
1	0.400	2.079	●
2	0.425	2.147	●
3	0.450	2.216	●
4	0.475	2.284	●
5	0.500	2.353	●
6	0.550	2.490	●
7	0.600	2.626	●

が低いほど自立性は高いと判断でき、想定していた結果が得られた。

4. 測定値の相関性

3章では個々の測定値を独立して評価し、自立性に及ぼす影響を確認した。本章では各測定値の相関を整理した。その結果を図5に示す。これによれば、1打フロー値とミニスランプ値および最大せん断強さに高い相関性があった。したがって、フロー試験、ミニスランプ試験およびベーン試験により、適正な自立性評価が行えると考えられた。

5. まとめ

モルタルの自立性は、フロー試験（0打、1打）、ミニスランプ試験およびベーン試験により評価ができる。今後は実際の吐出実験により各種試験結果と自立性との相関関係を把握し、最適な評価方法を検討する。

参考文献

1) 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報告書、2021.11

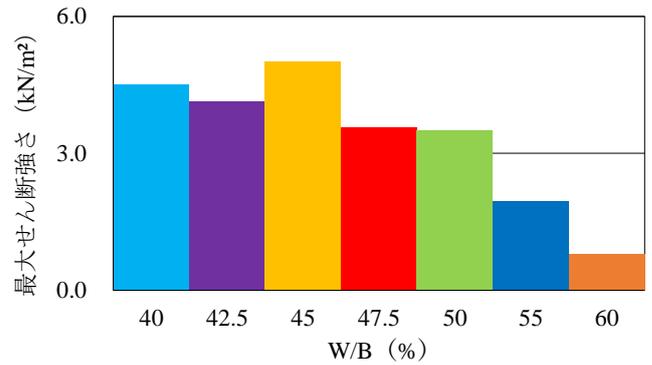


図3 ベーン試験結果

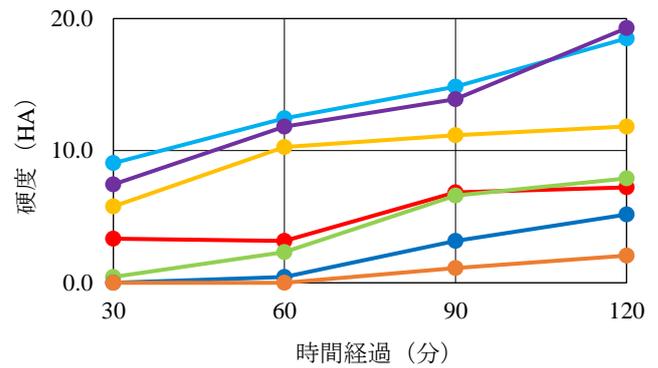


図4 硬度テスター試験結果

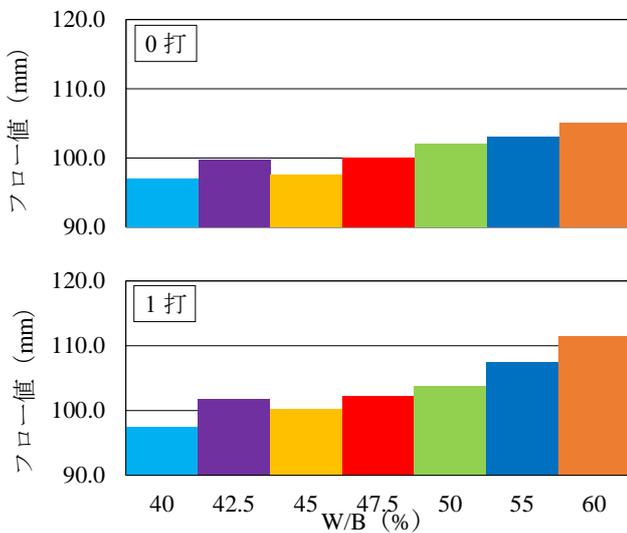


図1 フロー試験結果

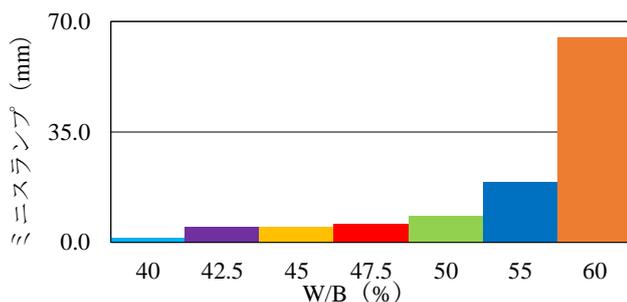


図2 ミニスランプ試験結果

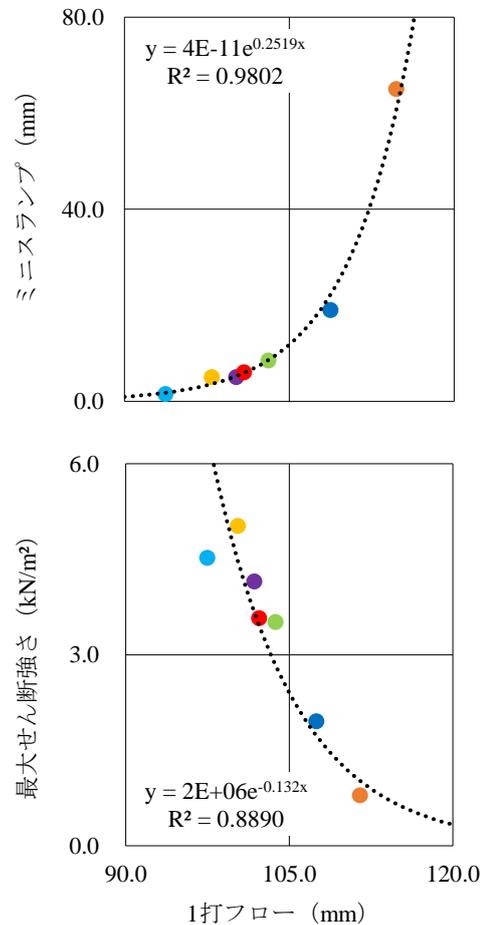


図5 1打フロー値との相関