

3D Printing に適したセメント系材料の基礎物性

太平洋セメント(株) 中央研究所 正会員 ○宮本 昌周 前堀 伸平 小川 洋二
 大成建設(株) 技術センター 正会員 村田 哲 木ノ村 幸士
 大成建設(株) 技術センター フェロー会員 坂本 淳

1. はじめに

押出し積層方式の3D Printing用のセメント系材料は、速硬性、流動保持性、圧送性、自立安定性の4つの性能を併せ持つことが望ましい。しかし、各要求性能の定量化や確認方法の構築に資する基礎物性データは少ないのが現状である。本報では、押出し積層方式の3D Printingに適したセメント系材料のフレッシュ性状について、簡易な試験方法による基礎物性の評価を試みた。

2. 実験概要

2.1 使用材料およびモルタルの配合

セメント系材料の結合材 B は、主成分のポルトランドセメントに対してカルシウムアルミネート系の速硬性混和材を混合したものである。細骨材 S の最大粒径は 2mm であり、混和剤 Ad として減水剤、消泡剤、凝結調節剤および分離低減剤を使用した。配合を表 - 1 に示す。混和剤の使用量により、標準型 N シリーズおよび速硬型 F の 2 タイプを設定した。使用の際は、上記すべての材料を予め混合してプレミックス粉体とした。

表 - 1 モルタルの配合 (質量比)

配合	W/B	S/B	Ad/B	タイプ
N1	0.370	1.50	0.062	標準型
N2	0.375	1.50	0.062	
N3	0.380	1.50	0.062	
F	0.365	1.50	0.058	速硬型

2.2 試験概要

フレッシュモルタルの試験方法を表 - 2 に示す。試験は 20℃, 70% R.H.の条件で行った。練混ぜには JIS R 5201 に規定されるホバートミキサを用い、プレミックス粉体に注水し、低速で 2 分間練り混ぜ、かき落としの後に低速で 2 分間練り混ぜた。静置状態での測定を除き、経時変化の測定直前に低速 20 秒の練返しを行った。

回転粘度計による測定結果の一例を図 - 1 に示す。いずれの配合も、塑性粘度および降伏値は回転の安定するせん断ひずみ速度 2~25 (1/s) の領域で直線回帰を行い、傾きを塑性粘度、Y 切片を降伏値とした。

本試験に使用したゴム硬度計は自重に対する反力を読み取る仕組みで、読み値 0 は 539mN, 読み値 100 は 4460mN に相当する。

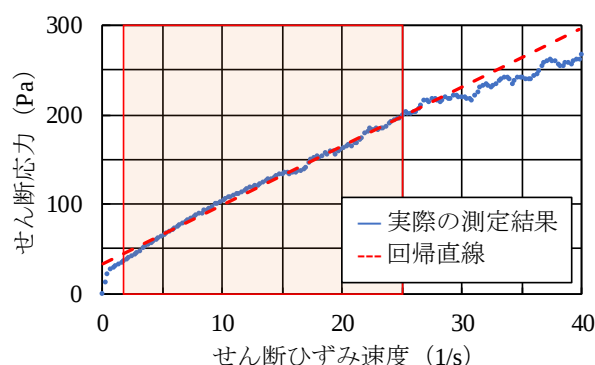


図 - 1 回転粘度の測定例 (配合 N1, 経時 60 分)

表 - 2 フレッシュ試験方法の概要

実施項目 (実施回数)	実施 配合	注水からの測 定時間 (分)	試料の状態		試験方法	備考
			撈拌	静置		
モルタルフロー (n=1)	N1 N2 N3 F	練上がり直後, 20,40,60,90,120	○	-	フローコーンを抜き、15 秒間で 15 回の落下運動を与えた後のフロー値をモルタルフローとした。	JIS R 5201 に準拠
塑性粘度 および降伏値 (n=1)		20,40,60,90,120	○	-	共軸二重円筒型回転粘度計 (外側内径 42mm, 内側外径 22mm) を使用し、180 秒間で 0~40 (1/s) までせん断ひずみ速度を一定に上昇させたときのせん断応力の傾きおよび切片より算出した。	JIS Z 8803 を参照
ゴム硬度 (n=2)		練上がり直後, 20,40,60,90,120	○	○	試料を φ 120mm × H25mm の容器に流し込み、ゴム硬度計 (ASKER 製デュロメータ F 型) により測定したときの読み値をゴム硬度とした。	JIS K 6253 を参照
ベーンせん断 強さ (n=3)		練上がり直後, 20,40,60,90,120	○	○	W20mm, H40mm のベーンブレードを有する押込み式ベーンせん断試験機を使用し、試料内にブレードを押込んで回転させたときの抵抗より算出した。	JGS 1411 を参照

キーワード 3D Printing, 自立安定性, 品質確認, ゴム硬度, ベーンせん断強さ, フレッシュ性状

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント (株) 中央研究所 TEL : 043-498-3836

押し込み式ベーンせん断試験機は、十字型の羽根付きのロッドを試料中で回転させ、円筒形のせん断面に沿うせん断抵抗を回転抵抗から求める装置である。

3. 試験結果および考察

3.1 モルタルフロー

モルタルフローの経時変化を図-2に示す。いずれの配合も練上がり直後のモルタルフローは180~200mmであり、配合Fは注水20分まで、Nシリーズは注水90分まで練上がり直後の値 ± 10 mmの範囲内であった。

3.2 塑性粘度および降伏値

塑性粘度および降伏値の経時変化を図-3に示す。塑性粘度はいずれの配合も注水20分では5~6.5Pa・sの範囲内で、W/Bが高いほど値が低くなる傾向が認められた。また、時間の経過に伴い値が高くなる傾向があり、配合Fではより顕著であった。降伏値は注水20分では26~32Paの範囲内であり、W/Bが高いほど値が低くなる傾向が認められた。一方、経時変化に明確な傾向は認められなかった。回転粘度計では常に攪拌状態の試料を測定するため、静置によるこわばりやその増加を降伏値として評価するには適していない可能性がある。

3.3 ゴム硬度

ゴム硬度の経時変化を図-4に示す。測定直前に練り返しを施した攪拌状態では、読み値で15~25の範囲内にあり、経時による変化は認められなかった。一方、静置状態では、時間の経過に伴い硬度の読み値が増加する傾向となり、配合Fではより顕著となった。これは試料の静置による凝集性の増大挙動を表しており、本材料のチキソトロピー性を捉えたものと考えられる。

3.4 ベーンせん断強さ

ベーンせん断強さの経時変化を図-5に示す。測定直前に練り返しを施した攪拌状態では、注水60分の配合Fを除いて値の大きな変化はなかった。一方、静置状態では、時間の経過に伴い増加する傾向が認められ、配合Fではより顕著となった。これは、ゴム硬度と同様に試料の凝集性増加を表していると推察される。

4. まとめ

本検討では、簡易なフレッシュモルタルの試験方法により、押し出し積層方式の3D Printingに適したセメント系材料の流動保持性、圧送性、自立安定性に関する基礎データを取得することが出来た。今後、さらにデータを蓄積し、確認方法の妥当性について検証する。

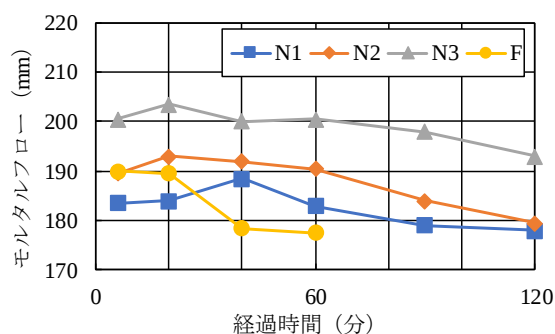


図-2 モルタルフローの経時変化

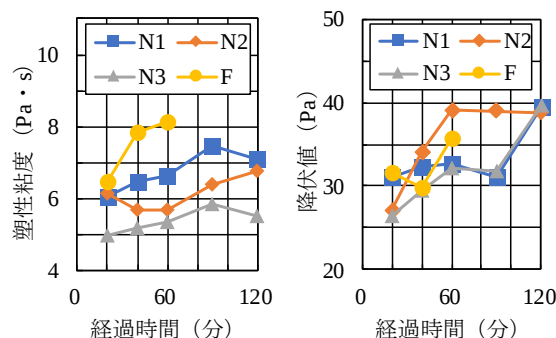


図-3 塑性粘度および降伏値の経時変化

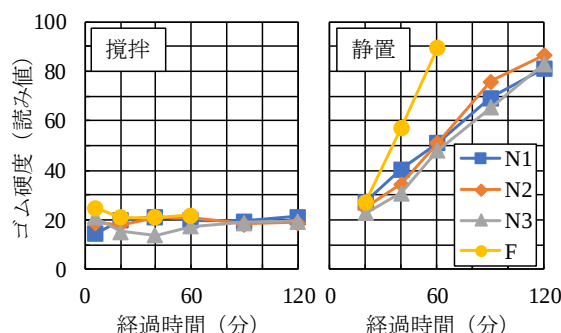


図-4 ゴム硬度の経時変化

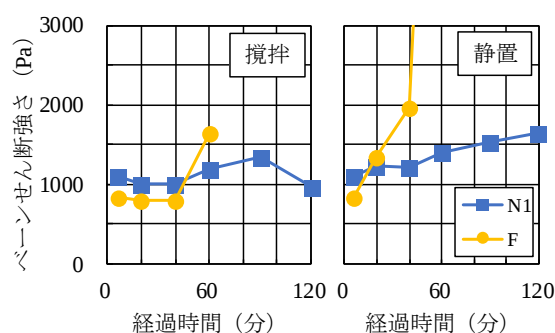


図-5 ベーンせん断強さの経時変化

参考文献

- 1) 村田哲ら: 高チキソ性材料のフレッシュ性状および硬化物性に関する基礎検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp.1929-1934, 2018.