

3D Printing に適したセメント系材料に求められるフレッシュ性状の制御に関する検討

太平洋セメント(株) 中央研究所 正会員 ○黒澤 真一
太平洋セメント(株) 中央研究所 正会員 前堀 伸平
太平洋セメント(株) 中央研究所 正会員 小川 洋二

1. はじめに

著者らは、材料押出し方式の3Dプリンティング技術に適用できるセメント系材料の開発に取り組んでいる。本稿では、建設分野への実用化を見据えて、より汎用的な材料で簡単にコントロールできる配合設計を目的として、フレッシュ性状を中心に検討を行った内容について報告する。

2. 実験概要

2. 1 目的

本稿のセメント系材料には、120 分以上の流動保持性と、積層高さ 200mm 以上を実現する自立安定性を両立する性能を求めた。既報より、流動保持性は、15 打のモルタルフローが 170±10mm の範囲で 120 分以上維持すること、自立安定性は、練り混ぜから 30 分経過した時点のゴム硬度計の測定値が 40 以上である性能を示す必要がある。上記を満足しうる配合条件を選定する過程において、骨材の粒度および量と、凝結遅延剤量が流動保持性および自立安定性へ及ぼす影響について定量的に評価した。

2. 2 使用材料

使用材料を表-1に示す。結合材(P)は、セメント鉱物系速硬成分を含有するセメントを用いた。細骨材(S)は、砕砂および微粉末を併用した。混和剤は、いずれも汎用に入手できる粉末タイプの分離低減剤、高性能減水剤、消泡剤および凝結遅延剤を適宜用いた。使用した材料は供用時の簡便性を想定してプレミックス粉体として用いた。

表-1 使用材料

材料	種類	記号	密度	概要
結合材	速硬性セメント	P	3.03	比表面積4,150cm ² /g
	砕砂	S1	2.71	最大粒径2mm, F.M.=2.86
細骨材	微粉末	S2	2.71	比表面積8,160cm ² /g 45μmふるい残分4.0%
	分離低減剤	V	1.32	水溶性粉末
混和剤	高性能減水剤	SP	-	ポリカルボン酸系粉末
	消泡剤	De	-	非イオン系粉末
	凝結遅延剤	Re	-	オキシカルボン酸系粉末

2. 3 試験方法および検討内容

試験は 20℃、70% R.H.の恒温恒湿室にて行った。材料の練り混ぜは JIS R 5201 に準拠し、モルタルフローは JIS R 5201、ゴム硬度測定は JIS K 6253 に準拠して行った。なお、モルタルフロー試験では、試料を測定直前にパドル式ミキサで低速 20 秒の再混練を行った。これはモルタル材料がノズル近傍のホップ内で揺動されている状況を模擬した。検討した配合条件を表-2に示す。今回、細骨材および凝結遅延剤の量をパラメータとして、分離低減剤、高性能減水剤および消泡剤の量は一定とした。減水剤量を固定した理由は、少量添加のためコントロールが難しいこと、また、減水剤量が変わるたびにモルタル材料の分散効果や凝結時間へ影響し、その都度、他の混和剤量も調整が必要になること等を考慮した。

表-2 配合条件

検討内容	W/P (%)	S1/P (%)	S2/P (%)	V/P (%)	外割添加量 (P×%)			単位量 (kg/m ³)				
					SP	De	Re	W	P	S1	S2	V
細骨材が及ぼすフローへの影響	42	150	70	5	0.2	0.2	1.0	263	625	938	438	31
		150	60					269	640	960	384	32
		150	50					275	655	983	328	33
		160	60					263	625	1000	375	31
		170	50					263	625	1063	313	31
凝結遅延剤が及ぼすフローへの影響	42	150	70	5	0.2	0.2	1.1	263	625	938	438	31
							0.9					
							0.7					
							0.5					

キーワード 3D Printing, モルタルフロー, ゴム硬度, 流動保持性, 自立安定性
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

3. 実験結果

3. 1 細骨材のモルタルフローに及ぼす影響

砕砂 S1 を固定し、微粉末 S2 を適宜変化させた配合のモルタルフローの経時変化を図-1 に示す。S2 の混合比率を 50, 60, 70% と増加させることにより、練混ぜ直後のモルタルフローは顕著に変化し、S2 の比率が 10% 増加すると、フローは 10~20mm 程度低下した。次に S1 と S2 の比率を変化させた結果を図-2 に示す。図より、S2 が同じときには S1 の混合量によらずモルタルフローは同程度を示し経時変化の傾向も変わらなかった。これらの結果から、SP 量を一定とすることで、練り混ぜから 120 分までの経時変化は安定し、S2 のみを調整することで、練り上がり時のモルタルフローをある程度コントロールできることが明らかとなった。

3. 2 凝結遅延剤 (Re) の影響

Re の添加量がモルタルフローに及ぼす影響を図-3 に示す。Re が 0.5% では、練り混ぜから 30 分経過時点でフローが大幅に低下し、以降は硬化が進み測定不能となった。一方、Re が 0.7% 以上であれば練り混ぜから 2 時間経過後もモルタルフローは $170 \pm 10 \text{ mm}$ の範囲で安定することを確認した。次にゴム硬度の経時変化を図-4 に示す。図-3 で有用であった Re 量において、ゴム硬度の 60 分までの立ち上がりは良好であり、既報¹⁾よりも上回った。各水準とも練り混ぜから 30 分経過時で良好な自立安定性の目安である数値 40 を超えており、十分な自立安定性を保有すると評価できる。一方、Re 量が増加するにつれ、ゴム硬度の値が全体的に低下していることから、Re を 1.1% を超えて添加した場合、目標値を下回り、積層時に必要な自立安定性が損なわれる可能性が推察された。以上より、凝結遅延剤の適切な使用量の範囲の存在が示された。

4. まとめ

細骨材と凝結遅延剤の調整により、押出し時の流動保持性と積層後の自立安定性をコントロールできることがわかった。ただし、3D プリンティングに求められる性能は、押出し装置ごとに、また、環境条件によっても大きく異なる可能性がある。よって、迅速な配合設計や調整で適応できるよう構成材料が及ぼす物性への影響を把握、蓄積しておく必要がある。

参考文献

- 1) 宮本昌周, 前堀伸平, 小川洋二, 村田哲, 木ノ村幸士, 坂本淳: 3D Printing に適したセメント系材料の基礎物性, 土木学会年次学術講演会講演概要集, V-103, 2019.

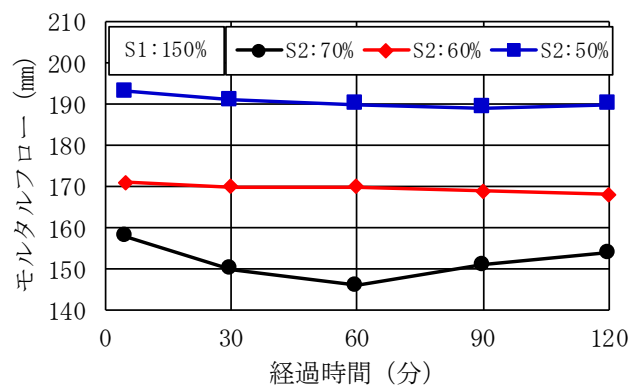


図-1 モルタルフローの経時変化

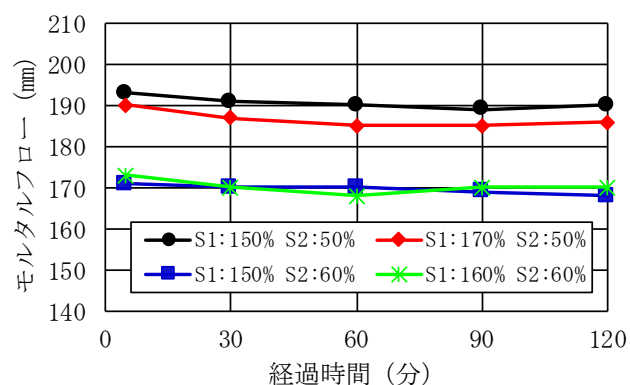


図-2 モルタルフローの経時変化

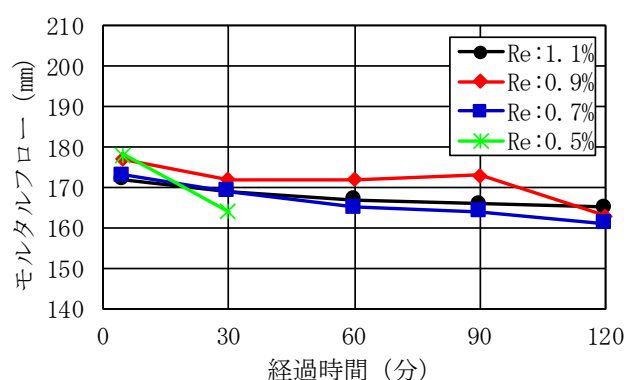


図-3 モルタルフローの経時変化

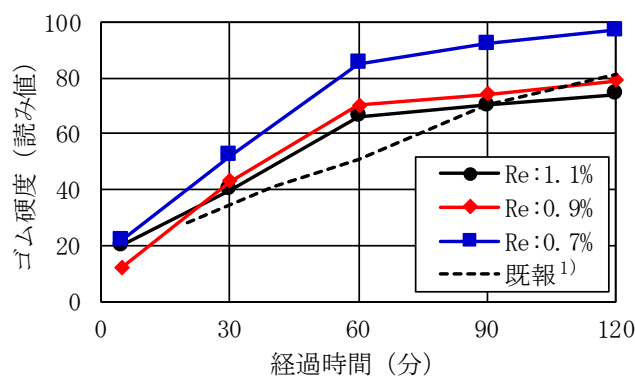


図-4 ゴム硬度の経時変化