

(1) 研究題目

※スペースが足りない場合は、枠を追加いただいて構いません。

街づくりおよびプロダクトへ適用できる純国産の地域性を有する無機材料による汎用 3D プリント技術の開発

(2) 本研究の期間

(西暦) 2022 年 4 月 ～ 2023 年 3 月

(3) 本研究の成果と今後の課題

1.はじめに

近年、国内外でセメント系材料による 3D プリンター の活用に関する研究が進められており、生産の向上による人手不足の改善、廃棄物削減による環境負荷の低減や、より自由な造形といった利点が期待されている。既往研究によると、材料押し出し方式セメント系 3D プリンティング材料には、ポンプ圧送性・押し出し性・積層性・オープンタイムが求められる。チキソトロピー性を付与し、これらの要求性能を満たす調合が設計されており、水結合材比(W/B)が 0.30~0.45、細骨材結合材比(S/B) が 1~2 の調合が多く、一般的なモルタルやコンクリートに比べセメントの多い調合となっている。1)非構造体への適用を考えると、国内の現地材料を使用した調合や、骨材量を増やした調合によるセメント系 3D プリンティング技術による低炭素化の検討が必要である。

本研究では、現地材料として島根県の規格外石州瓦を細骨材として使用する。製造時に発生する規格外の瓦を粉砕・分級し再利用する取り組みが各地で進んでおり、島根県ではコンクリート用骨材として、一連の研究 2)がある。普通骨材に比べ吸水率が大きく、瓦特有の赤色が瓦骨材の特徴である。そこで、瓦を骨材として使用した 3D プリンティングモルタルのフレッシュ性状および赤色における発色性の検討を行った。

2.実験概要

2.1 使用材料および調合

本研究で使用した材料一覧を表 1 に示す。規格外瓦の粉砕物は分級され粒度ごとに管理されており、石州瓦では 1 mm 以下、0.3 mm 以下の 2 種類がある。図 1 にそれぞれの粒度分布を示す。瓦骨材はシリカフェームよりも粒度が大きく、シリカフェームの有無が骨材よりも優位に発色すると考え、調合は表 2 に示すようにシリーズを分けた。また、ひび割れおよび、積層時にフィラメントが途切れるのを防ぐため、ポリアミド系繊維を用いた。

表 1 使用材料一覧

材料	記号	種類	備考
セメント	C	普通ポルトランドセメント	3.16g/cm ³
混和材	FA	フライアッシュ	JIS規格 II
	Si	シリカフェーム	2.25g/cm ³
細骨材	S	規格外瓦微粉末(石州瓦)	島根県産 1mm以下
		規格外瓦微粉末(石州瓦)	島根県産 0.3mm以下
混和剤	SP	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系
繊維	F	モルタル用繊維	ポリアミド系 長さ10mm

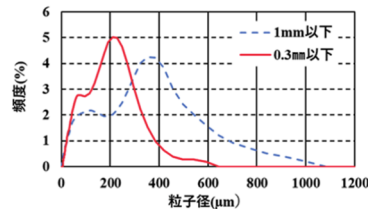


図 1 粒度分布

2.2 実験方法

練り混ぜは 3L 用のパドル型ミキサーを用いて行った。フレッシュ性状をベーンせん断試験(羽:長さ 40 mm、幅 20 mm、トルク:3~20cN・cm)およびモルタルフロー試験によって行った。また、材齢 2 日に脱型を行い、20° C の恒温室において気中養生を行った。材齢 7 日に供試体底面の 3 点を分光測色計で測定した。以下に、練り混ぜ手順を示す。

表2 調合一覧

シリーズ	記号	混合比率				置換率	S/B	W/B	単位量 (kg/m ³)			SP	繊維		
		混和材		細骨材					結合材	水	細骨材			添加量	添加量
		FA	Si	1mm≧	0.3mm≧ (B×%)										
A	Na-1	2	1	1	0	30	1	0.70	656	459	656	1	1.51		
	Na-2	2	1	2	0	30	2	0.70	536	375	1072	0.3	1.91		
	Na-3	2	1	3	0	30	3	0.80	415	332	1246	2	2.00		
	Fa-1	2	1	0	1	30	1	0.70	656	459	656	0.5	1.51		
	Fa-2	2	1	0	2	30	2	0.70	508	356	1017	0.5	1.81		
	Fa-3	2	1	0	3	30	3	0.98	415	406	1246	0.5	2.00		
	Nfa	2	1	1	1	30	2	0.70	508	356	1017	0.5	1.81		
B	Nb-2	3	0	2	0	30	2	0.89	507	449	1013	0.5	1.81		
	Nb-3	3	0	3	0	30	3	0.98	414	405	1242	0.5	2.00		
	Fb-1	3	0	0	1	30	1	0.79	653	518	653	0.5	1.52		
	Fb-2	3	0	0	2	30	2	0.89	507	449	1013	0.5	1.81		
	Fb-3	3	0	0	3	30	3	0.98	414	405	1242	0.5	2.00		

表3 フレッシュ試験結果一覧

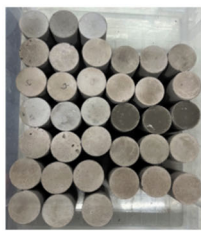
シリーズ	記号	モルタル温度	0打フロー	15打フロー	ベーンせん断強度
		°C	mm	mm	kPa
A	Na-1	23.3	-	-	0.00
	Na-2	19.5	106.2	116.1	over
	Na-3	14.4	103.8	132.3	1.36
	Fa-1	22.1	126.9	183.2	0.00
	Fa-2	15.1	102.4	112.4	over
	Fa-3	22.0	101.2	105.4	2.90
	Nfa	19.6	104.0	113.0	over
B	Nb-2	21.0	136.2	186.7	0.00
	Nb-3	20.3	106.0	127.7	1.81
	Fb-1	24.1	-	-	0.00
	Fb-2	22.6	118.7	133.8	0.51
	Fb-3	19.0	100.0	104.3	2.98

3.実験結果および考察 3.1 フレッシュ試験

フレッシュ試験の結果一覧を表3に示す。S/B=1の調合ではフローテーブルに収まらず、測定不可であった。また、最小トルクを下回ったものについては0、トルクを超えた調合についてはoverの表記とした。Na-3とNb-3の調合において、0打フローが小さく15打フローが大きい結果となり、3Dプリンティングに適したフレッシュ性状が得られた。Na-2、Fa2、Fa-3、Fb-3において、一般的なモルタルの調合に比べ水粉体比が大きいにも関わらず、0打フローが105mm以下と小さい結果となった。この理由として、規格外瓦微粉末の高い吸水性により、実際の水結合材比が小さくなっていったと考えられる。

3.2 色味

図2にモルタルの写真を示す。図3の色調図および、図4に示す色度図から、シリカフェームを加えた場合、白色が強くなり、赤色が小さくなる傾向が確認できた。また、粒度の小さい0.3mm以下の瓦骨材を用いたほうが1mm以下を使用した場合に比べ赤色が強いことが確認できた。しかし、1mm以下と0.3mm以下を混合したNfaについては、1mmのみを使用したNa-2より赤色が小さい結果となった。基本的には粒度の小さい材料が色を支配していると考えられるが、粉体充填率を用いて、今後さらなる検証を行いたい。



Na-1	
Na-2	Nb-1
Na-3	Nb-2
Fa-1	Fb-1
Fa-2	Fb-2
Fa-3	Fb-3
NF	

供試体 底面

供試体 研磨面

配置表

※供試体は1調合につき3本ずつ配置表のとおり並んでいる

図2 供試体写真

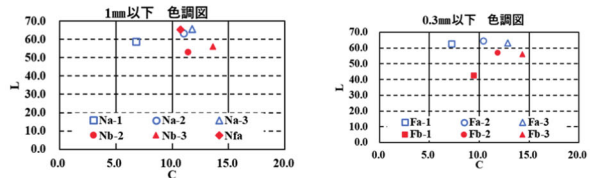


図3 色調図

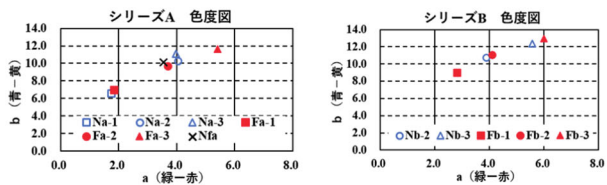


図4 色度図

3.3 骨材との関係

図5より骨材量が増えるほど赤色が大きくなる。図6より、骨材が1mm以下の場合にはS/B=3において適するフロー値が得られるが、骨材0.3mm以下ではS/B=2で適するフローの値となり発色の傾向と一致しない。0.3mm以下のS/B=3の調合において、15打フローを大きくする工夫が今後必要である。

4.まとめ

- (1) 発色について、基本的には粒度の小さい粉体の影響が支配的であることが確認された。
- (2) 0.1mm以下の瓦骨材を用いた調合において3Dプリンティングに適し、発色性のある調合が得られた。0.3mm以下の瓦骨材を用いる場合、S/Bフレッシュ性状を満たしながら発色性を最適化する調合方法の検

※本書式に基づき収まるよう、本文は原則10.5ポイント以上の文字にてご記載願います

討が今後必要である。

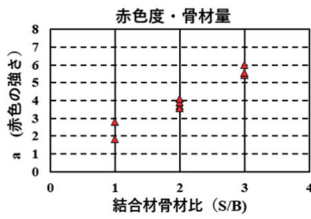


図5 赤色度と骨材の関係図

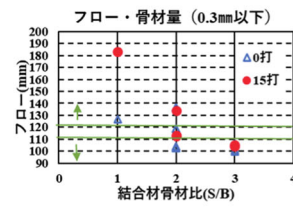
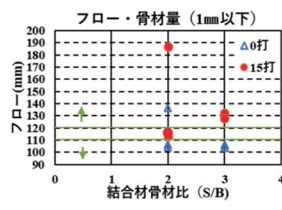


図6 フローと骨材の関係図

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)
- 2)友寄篤、九富恵一、大野元寛、今川晃一:規格外瓦 と麻スサを用いた 3D プリンティングモルタルのフレッシュ性状と自立安定性に関する検討、コンク 2 リート工学年次論文集、Vol.44、No.1(2022)

5.研究の成果と今後の課題

本研究成果を3D プリンティング事業者で紹介したところ、島根県における実施工案件に適用する方向で検討が進められている。フレッシュを要求範囲と定めつつ S/B=2 として、瓦の色味を活かした造形物を 2023 年度中に現地に設置予定となっている。