

火山ガラス微粉末ベースのアルカリ活性材料の配合および製造条件が圧縮強度に及ぼす影響

熊本大学大学院 学生会員 ○下條 啓人 正会員 尾上 幸造 学生会員 大迫 雄馬

1. 目的

アルカリ活性材料（AAM）とは、活性フィラーとアルカリ溶液を用いて固化させた材料のことであり、セメントを使用しないことや優れた耐久性といった特性を有している建設材料として期待されている。既往の研究¹⁾により、フライアッシュベース AAM の配合等の設計パラメータがその特性に大きく影響することが判明している。本研究では、JIS A 6209 に規定されるコンクリート用火山ガラス微粉末（VGP）をベースとする AAM モルタルにおいて、どの設計パラメータがその特性に影響しているのかについて実験計画法²⁾を用いて明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

(1) 使用材料

使用材料は、表-1 に示すように、活性フィラーとして JIS III 種の VGP と高炉スラグ微粉末（GGBS），アルカリ溶液として旧 JIS K 1408 の 3 号水ガラス及びモル濃度を調製した水酸化ナトリウム水溶液を使用した。細骨材として JIS R 5201 に規定される標準砂を用いた。

表-1 使用材料

記号	材料	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)
VGP	火山ガラス微粉末	2.40	32000
GGBS	高炉スラグ微粉末	2.91	3980
SS	水ガラス	1.41	
SH	NaOHaq (3M)	1.12	
	NaOHaq (6M)	1.21	
-	標準砂	2.64	

(2) 実験計画法について

実験計画法は、計画的に実験を行うことによって、個々の因子に加え因子間の交互作用についても有意であるかについて分散分析を用いて判断する方法である。本研究では、5 因子 2 水準で AAM モルタルの圧縮強度試験を実施した。強度試験において、結果に影響を及ぼすと考えられる因子とその水準を表-2 に示す。これらの因子に関して、線点図³⁾を利用して表-3 に示す L₁₆ 直交表に割りつけ、16 パターンの実験を行った。なお特性値として材齢 7 日の圧縮強度を用いた。

表-2 設計パラメータとその水準

設計パラメータ	水準1	水準2
A: SS/SH(質量比)	1	3
B: GGBS置換率(mass%)	30	50
C: SH濃度 (M)	3	6
D: 脱型後の2次養生方法	気中	水中
E: 加熱養生時の保持温度(℃)	60	80

(3) 実験方法について

実験に際しては、溶液粉体容積比（L/P）を 1.4 として、直交表に基づいて表-4 のようにモルタルの打設及び養生を行った。各パターンにおいて、JIS A 1108 に従って φ50×100 mm の円柱供試体による圧縮強度試験を材齢 7 日時点で実施した。供試体の養生は打設後 3 時間前置きし、その後 20℃/h での昇温を行い、所定温度にて保持し、同速度で降温を行った。前置き時間、昇降温時間および保持時間を含めて 24 時間の初期養生を行った。脱型後は所定材齢まで 20℃の室内における気中養生あるいは水温 20℃で水中養生を実施した。

表-3 L₁₆ 直交表（一部抜粋）

No.	1	2	4	8	15
	A	B	C	D	E
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2
3	1	1	2	1	2
4	1	1	2	2	1
5	1	2	1	1	2
6	1	2	1	2	1
7	1	2	2	1	1
8	1	2	2	2	2
9	2	1	1	1	2
10	2	1	1	2	1
11	2	1	2	1	1
12	2	1	2	2	2
13	2	2	1	1	1
14	2	2	1	2	2
15	2	2	2	1	2
16	2	2	2	2	1

表-4 各パターンにおける設計パラメータ（一部抜粋）

No.	L/P	SS/SH	SH濃度 (M)	細骨材 (vol%)	VGP (mass%)	GGBS (mass%)	養生方法 (脱型後)	養生保持温度 (℃)
1	1.4	1	3	58.1	70	30	気中	60
8		1	6		50	50	水中	80
9		3	3		70	30	気中	80
16		3	6		50	50	水中	60

キーワード アルカリ活性材料，火山ガラス微粉末，圧縮強度，実験計画法，要因効果

連絡先 〒860-8555 熊本市中央区黒髪 2-39-1 TEL 096-342-3542

3. 実験結果および考察

表-5 に残差寄せ集め²⁾後の分散分析結果を示す。なお、F 境界値は 5%有意の時 5.12, 1%有意の時 10.56 である。また、図-1 に全パターンの圧縮強度試験の結果を示す。表-5 より、因子 A~D 及び B と C, B と D の間の交互作用が 1%有意であることが分かった。交互作用のある場合には主効果のみで傾向を論じる意義は薄いことから、A と E は主効果の要因効果を図-2 に、B と C, B と D については交互作用の要因効果を図-3 に示す。

それぞれの因子について、因子 A は、SS/SH であり、有意性が確認された。図-2 より、SS/SH=1 の方がより圧縮強度が増大する傾向にあることが分かった。因子 E は、加熱養生時の保持温度であり、有意性がないことが確認された。

因子 B は、GGBS の置換率である。図-1 より、B による影響は非常に大きいことが分かる。また B は、因子 C の SH モル濃度と因子 D の脱型後の養生方法に対して、それぞれ交互作用の有意性が確認された。図-3 より、B が 50% (B2) において、C は 3M (C1), D は水中養生 (D2) のとき、より強度が増加することが分かった。B と C の交互作用に関しては、表-6 に示すアルカリ溶液の A/W あるいは Si/A が関連していると考えられる。B と D の交互作用に関しては、GGBS の割合が増えたことによって、水中養生により水和反応が進行したことが影響したと考えられる。

4. まとめ

本研究により、VGP ベースの AAM モルタルにおける設計パラメータの中で、SS/SH、高炉スラグ微粉末の置換率、SH のモル濃度、脱型後の 2 次的な養生方法が強度特性へ影響することが確認された。今後は、その原因の究明に努め、VGP ベースの AAM の実用化に関する研究を進めていく予定である。

表-5 分散分析結果

要因	SS	f	V	F	判定
平均	19845.3	1	19845.3	-	-
A	220.5	1	220.5	11.3	1%有意
B	3042.5	1	3042.5	156.1	1%有意
C	289.0	1	289.0	14.8	1%有意
D	236.8	1	236.8	12.1	1%有意
B×C	412.5	1	412.5	21.2	1%有意
B×D	310.7	1	310.7	15.9	1%有意
残差	175.4	9	19.5	-	-
計	24532.7	16	-	-	-

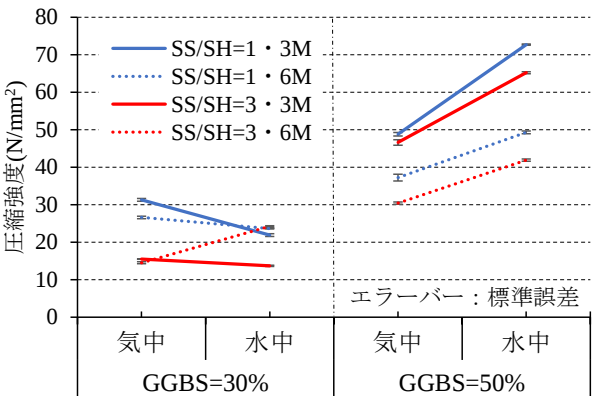


図-1 圧縮強度試験の結果

表-6 アルカリ溶液について

SS/SH	NaOHaq(M)	A/W	Si/A
1	3	0.068	0.78
1	6	0.101	0.56
3	3	0.078	1.14
3	6	0.096	0.96

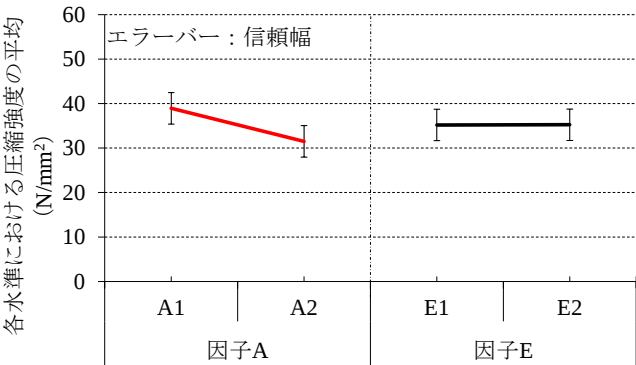


図-2 因子 A, E の要因効果図 (主効果)

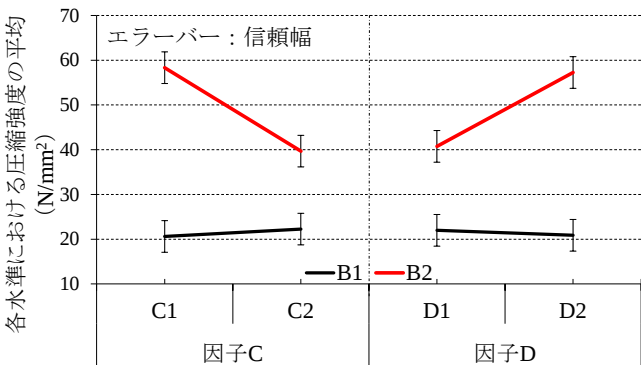


図-3 B と C, B と D の交互作用

謝辞：本研究は 科研費・基盤研究 (B) 22H01566 の助成を受け実施した。また、実験実施に際し熊本大学大学院特別聴講学生であるカタリーナ・ヤナス氏の協力を得た。

参考文献

1) Onoue K, Sagawa Y, Atarashi D, Takayama Y: Optimization of mix proportions and manufacturing conditions of fly ash-based geopolymer mortar by parameters design with dynamic characteristics, Cement and Concrete Composites, Vol. 133, 104645, 2022
2) 中村義作：よくわかる実験計画法, 近代科学社, 1997