

ジオポリマーモルタルの汎用的配合に関する検討

九州大学大学院 学生会員 香島 和輝

九州大学大学院 正会員 佐川 康貴

九州大学大学院 学生会員 仲町 征将

九州大学工学部 学生会員 大樂 一史

1. はじめに

セメントモルタルでは、JIS R 5201「セメントの物理試験方法」に配合、練混ぜ方法が規定されている。しかし、ジオポリマー（GP）の場合、セメントモルタルとは材料の種類や組み合わせが異なり、様々な配合で研究が行われている。本検討では、GPモルタルの汎用的配合を確立するためにフローと強度に着目し、配合の検討を行った。

2. 単位量の計算方法

2.1 前提条件

本検討では、練混ぜ量を1バッチ当たり1リットルとし、細骨材容積（ V_s ）は0.51リットル（1350 g）に固定した。上原らの研究¹⁾を参考に、アルカリシリカ溶液の成分を定量的に表す指標として、アルカリシリカ溶液中に含まれるナトリウム（Na）と水（ H_2O ）のモル比をA/W、ケイ素（Si）とNaのモル比をSi/Aと定義した。フライアッシュベースのGPモルタルとし、高炉スラグ微粉末の置換率は0～20%とした。

2.2 計算フロー

図-1にGPモルタルの単位量を決定するフローを示す。まず、2.1節の前提条件より、ペーストが占める容積（ V_{paste} ）を算出し、活性フィラー（P）に対するアルカリシリカ溶液（L）の容積比（L/P）を設定し、アルカリシリカ溶液の容積（ V_L ）と活性フィラーの容積（ V_P ）を求めた。次に、活性フィラーのうちの高炉スラグ微粉末（GGBS）の質量比（GGBS/P）を設定し、FAとGGBSの単位量を決定した。水ガラスと水酸化ナトリウム水溶液の質量比（SS/SH）、水ガラスの成分と密度、水酸化ナトリウム水溶液の濃度と密度を設定し、SSとSHの単位量を求めた。その後、A/WとSi/Aを算出し、目標値 ± 0.005 に収まっているか確認した。

3. 試験練り

3.1 使用材料・配合

本研究におけるGPモルタルの使用材料を表-1に、配合を表-2に示す。本検討ではアルカリシリカ溶液として、JIS K 1408の1号の珪酸ナトリウム（水ガラス）（SS, $Na_2O=18.0\%$, $SiO_2=36.0\%$ と仮定）とNaOH水溶液（SH）を混合したものを用いた。水酸化ナトリウム水溶液は粒状特級試薬の水酸化ナトリウムを蒸留水で溶かして調製したものを用いた。活性フィラーとして、フライアッシュ（FA）は、JIS A 6201のII種のFA-AおよびFA-B、I種のFA-Cの3種類を使用した。高炉スラグ微粉末はJIS A 6206の高炉スラグ微粉末4000で石こう無添加のものを用い

表-1 使用材料

材料名	記号	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)
水ガラス（JIS 1号）	SS	1.71	-
NaOH 水溶液	SH	1.113 (2.60mol/L)	-
		1.130 (3.40mol/L)	
フライアッシュ	FA-A	2.30	3990
	FA-B	2.25	4200
	FA-C	2.36	5327
高炉スラグ微粉末	GGBS	2.91	4160
標準砂	S	2.64	-

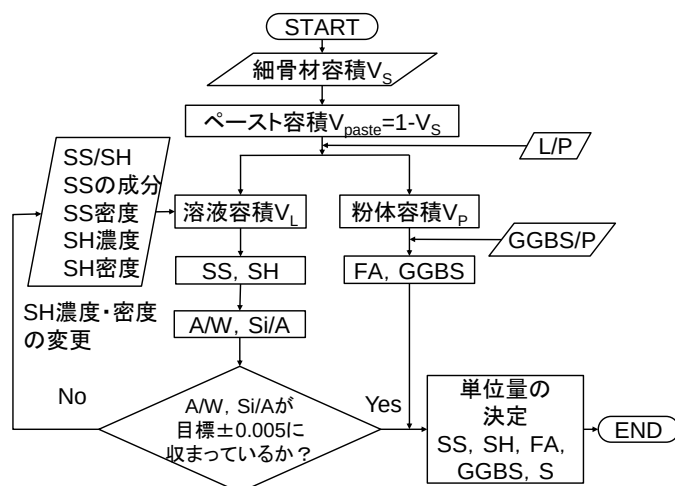


図-1 GPモルタルの単位量算定フロー

表-2 配合・試験結果

No	FA	L/P (vol.)	SS/SH (wt.)	SH 濃度 (mol/L)	GGBS/ P (wt.%)	A/W	Si/A	W (kg/m ³)	モルタルフロー (mm)		曲げ強度 (N/mm ²)		圧縮強度 (N/mm ²)	
									0 打	15 打	2 日	28 日	2 日	28 日
1	A	1.00	0.80	2.60	0	0.103	0.696	218	266	- ^{*1}	3.65	4.83	16.1	22.9
2	A				10				253	- ^{*1}	5.26	5.94	28.5	30.8
3	A				20				245	- ^{*1}	9.38	5.21	46.3	34.2
4	A				0.90				10	238	- ^{*1}			
5	A	0.80	1.10	3.40	0	0.128	0.713	188	199	229	6.01	7.32	32.4	40.2
6	A				10				171	203	8.43	7.11	42.6	43.4
7	A				20				- ^{*2}	- ^{*2}	8.50	8.42	51.7	55.7
8	A				0				247	- ^{*1}	5.62	6.85	29.9	36.6
9	A	0.90	1.10	3.40	10	0.128	0.713	200	215	245	7.71	6.70	39.6	45.2
10	A				20				209	209	8.67	9.21	51.4	55.5
11	B				0				- ^{*2}	- ^{*2}	2.99	6.29	11.6	21.3
12	B				10				- ^{*2}	- ^{*2}	5.43	6.79	28.5	33.1
13	B	0.90	1.10	3.40	20	0.128	0.713	200	- ^{*2}	- ^{*2}	6.73	6.54	41.5	44.2
14	C				0				218	234	2.91	5.75	9.6	14.6
15	C				10				198	219	7.08	8.83	34.9	40.7
16	C				20				197	219	7.83	9.21	46.7	51.1
17	B	1.00	1.00	3.40	0	0.124	0.690	213	229	250	3.18		12.6	
18	B				10				213	239	4.64		26.4	
19	B				20				215	239	6.63		40.0	
20	C				0				245	263	3.60		9.3	
21	C	1.00	1.00	3.40	10	0.124	0.690	213	231	251	7.13		30.4	
22	C				20				234	252	8.16		43.0	

[注] *1:流動性が高く、測定ができなかったものを示す。 *2:流動性が低く、測定ができなかったものを示す。

た。細骨材 (S) は JIS R 5201 の標準砂を用いた。なお、単位水量 W はアルカリシリカ溶液中の全水量を表す。GGBS/P=0%における 0 打フロー値を 220~240 mm を目標とした。また、材齢 2 日における圧縮強度に関して GGBS/P=10%の場合 30 N/mm²程度を目標値とした。

3.2 作製方法・養生方法

練混ぜには、容量 2L のホバート型ミキサを用いた。練り鉢にアルカリシリカ溶液、活性フィラーの順に投入し、低速で 60 秒間練り混ぜた。ミキサを一旦停止させ、細骨材を投入し、30 秒間低速で練り混ぜた。90 秒間停止させ、掻き落としを行った後、高速で 60 秒間練り混ぜた。作製したモルタルを鋼製型枠 (40×40×160mm) に打ち込んだ後、3 時間の前置き時間を設け、昇降速度 13.3°C/h、最高温度 60°C、保持時間 12 時間の加熱養生を行った。加熱養生が終了した後は脱型をし、気中養生 (温度 20°C、湿度 60%R.H.) を行った。

3.3 結果および考察

本検討では、JIS R 5201 に準拠して、練上がり直後のフロー値、材齢 2 日、28 日の曲げ強度及び圧縮強度を求めた。結果を表-2 に示す。FA-A を用いた No.1~10 のフロー試験の結果から、単位水量が 200 kg/m³ 未満の場合、GP モルタルの粘性が高く、流動性が低くなった。FA-B, FA-C を用いた No.11~16 では単位水量を 200 kg/m³ に固定してフロー試験を行った。その結果、FA-B を用いた配合において流動性が著しく低くなったことから、FA の品質もフレッシュ性状に影響すると思われる。FA-B を用いた場合でも流動性が確保されることを考慮し、単位水量を 213 kg/m³に変更して試験を行った。No.17~22 の結果から、FA-B を用いて目標 0 打フロー値を得ることができたが、FA-C を用いた場合はフロー値が 240 mm 以上になった。曲げ強度と圧縮強度は、すべての配合において GGBS/P が増加すると強度も増加することが確認できた。

4. 汎用的配合の提案

本検討から得られたフロー試験と強度試験の結果を踏まえ、筆者らは GP モルタルの汎用的配合として L/P=1.00, SS/SH=1.00 に設定し、A/W=0.125 程度、Si/A=0.70 程度に調整した配合を提案する。

謝辞 本研究を行うに当たり、土木学会コンクリート委員会「土木分野におけるジオポリマー技術の実用化推進のための研究小委員会 (361 委員会)」の皆様からのご助言を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献 1) 上原元樹, 南浩輔, 平田絃子, 山崎淳司: ジオポリマー硬化体の配合・作製法と諸性質, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.1987-1992, 2015