

フライアッシュを用いたジオポリマーモルタルの汎用的配合の提案

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

(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。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。本研究では、A/W の目標値を 0.125 程度、Si/A の目標値を 0.70 程度に設定した。高炉スラグ微粉末の質量置換率は 0~20% とした。

(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。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

(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-1: $Na_2O=18.0\%$, $SiO_2=36.0\%$ と仮定, SS-2: $Na_2O=17.57\%$, $SiO_2=37.19\%$) 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

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	1.710	-
	SS-2	1.702	-
NaOH 水溶液	SH	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
	FA-D	2.24	3530
高炉スラグ微粉末	GGBS	2.91	4160
標準砂	S	2.64	-

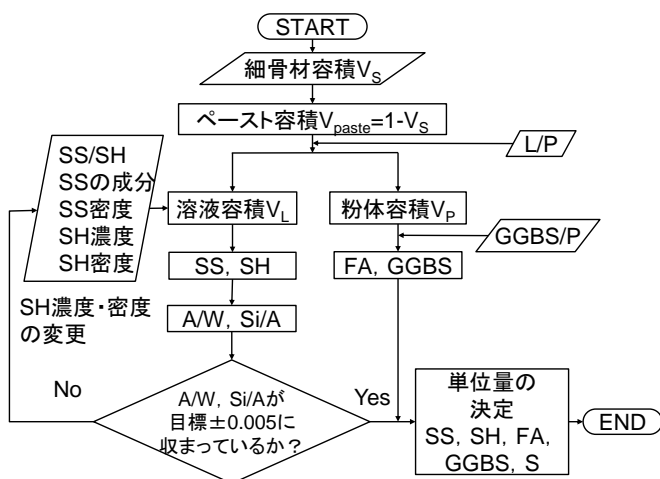


図-1 GP モルタルの単位量算定フロー

キーワード：ジオポリマー，フライアッシュ，フロー，圧縮強度，単位水量

連絡先：〒819-0395 福岡市西区元岡 744 九州大学大学院 工学府 建設システム工学専攻 TEL:092-802-3387

表-2 配合・試験結果

No	FA	SS Lot No.	L/P (vol.)	SS/SH (wt.)	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	0.80	1.10	0	0.128	0.713	188	199	229	6.01	7.32	32.4	40.2
2	A	1			10				171	203	8.43	7.11	42.6	43.4
3	A	1			20				- ^{*2}	- ^{*2}	8.50	8.42	51.7	55.7
4	A	1	0.90	1.10	0	0.128	0.713	200	247	- ^{*1}	5.62	6.85	29.9	36.6
5	A	1			10				215	245	7.71	6.70	39.6	45.2
6	A	1			20				209	209	8.67	9.21	51.4	55.5
7	B	1	0.90	1.10	0	0.128	0.713	200	- ^{*2}	- ^{*2}	2.99	6.29	11.6	21.3
8	B	1			10				- ^{*2}	- ^{*2}	5.43	6.79	28.5	33.1
9	B	1			20				- ^{*2}	- ^{*2}	6.73	6.54	41.5	44.2
10	C	1	0.90	1.10	0	0.128	0.713	200	218	234	2.91	5.75	9.6	14.6
11	C	1			10				198	219	7.08	8.83	34.9	40.7
12	C	1			20				197	219	7.83	9.21	46.7	51.1
13	B	1	1.00	1.00	0	0.124	0.690	213	229	250	3.18		12.6	
14	B	1			10				213	239	4.64		26.4	
15	B	1			20				215	239	6.63		40.0	
16	C	1	1.00	1.00	0	0.124	0.690	213	245	263	3.60		9.3	
17	C	1			10				231	251	7.13		30.4	
18	C	1			20				234	252	8.16		43.0	
19	D	2	1.00	1.00	0	0.125	0.701	212	246	- ^{*1}	2.68	5.18	10.5	19.4
20	D	2			10				239	- ^{*1}	4.87	5.80	25.7	26.9
21	D	2			20				219	247	6.26	5.99	34.4	40.9

[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。

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, FA-B, FA-D, および、I 種の FA-C の計 4 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。

(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ーを用いた。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。ミキサーを一旦停止させ、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) 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.1~6 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.7~12 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.13~18 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。FA-D を用いた No.19~21 では、異なるロットの水ガラスを用いた。これらは 0 打フロー値が目標を超えたものの、No.13~18 と同様の傾向を示し、流動性を確保することができた。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。