

ジオポリマーモルタルの粘性低減及び初期強度発現性の改善に関する検討

UBE 三菱セメント(株) 正会員 ○久保 雄暉
 UBE 三菱セメント(株) 正会員 石田 剛朗
 UBE 三菱セメント(株) 非会員 加藤 英徳

1. はじめに

ジオポリマー（以下、GP）は、セメントを使用せず、フライアッシュや高炉スラグ微粉末等の活性フィラーと刺激剤を組み合わせる生成する硬化体の総称であり、セメントコンクリートと比べCO₂排出量が低減できるとされる。GPの作製方法としては、刺激剤であるアルカリ溶液中のSiを水ガラスから供給する一般法と、水ガラスの代わりにシリカフェーム等を溶解させてSiを供給するSi成分粉体添加その場溶解法¹⁾（以下、溶解法）が知られている。溶解法で作製されたGPは、一般法と比較して可使時間を大幅に延長することが可能である。一方、粘性が増加し、常温における初期強度発現性が低いという課題もある。本報告では、溶解法の配合条件を調整し、粘性低減や初期強度発現性の改善を検討した。

2. 実験概要

使用材料を表1に、GPモルタルの配合を表2に、試験水準を表3に示す。本報告におけるGPの作製方法は全て溶解法であり、シリカフェームは完全に溶解するものとしてアルカリ溶液（L）に含めて配合計算を行った。活性フィラー（F）にはフライアッシュ（FA）と高炉スラグ微粉末（BS）を使用した。配合設計上の空気量は2%とした。遅延剤にはグルコン酸ナトリウム（GNa）を使用し、細骨材に置換して添加した。減水剤は主成分の異なる4種類（A～D）を使用し、消泡剤（DF）を併用して空気量を調整した。減水剤及び消泡剤は外割で添加した。

GPモルタル配合では、A/W（L中の水に対するアルカリのmol比）、Si/A（L中のアルカリに対するSiのmol比）、単位水量は一定とした。L/Fは0.88もしくは1.20とし、BS/Fは36もしくは70vol.%とした。なお、表3で基準となる配合(L/F0.88・BS36)は文献¹⁾を参考に作成した。

練混ぜにはホバートミキサ(5L)を使用した。活性フィラー、シリカフェーム及び細骨材を投入して30秒間空練りした後、アルカリ溶液及び混和剤を投入して90秒間練り混ぜを行い、かき落としを行った後、再度90秒間練混ぜを行った。

フレッシュ性状に関しては、15打モルタルフローを、また粘性の指標として平均流下速度を測定した。平均流下速度はJSCE-F 512-2018「高流動コンクリートの漏斗を用いた流下試験方法(案)」に準拠して測定した。また、Φ5×10cmの供試体にて材齢1、7及び28日の圧縮強度(20℃封かん養生)を測定した。

キーワード ジオポリマー、粘性、初期強度、常温硬化、減水剤

連絡先 〒755-8633 山口県宇部市小串沖の山1-6 UBE三菱セメント(株) 研究所 関連製品研究室 TEL 0836-22-6153

表1 使用材料

材料名	記号	密度(g/cm ³)	備考
苛性ソーダ(35%)	SH	1.38	高杉製薬製
水	w	1	実験用水
シリカフェーム	SF	2.27	BET比表面積16.9m ² /g
フライアッシュII種	FA	2.29	ブレン比表面積4120cm ² /g
高炉スラグ微粉末4000	BS	2.88	ブレン比表面積4850cm ² /g
海砂	S1	2.57	佐賀県唐津産
砕砂	S2	2.66	山口県美祿産
遅延剤	GNa	—	試薬、グルコン酸ナトリウム
AE減水剤	A	—	主成分:リクニンスルホン酸系
高性能減水剤①	B	—	主成分:ナフタレンスルホン酸系
高性能減水剤②	C	—	主成分:ポリカルボキシル酸系
高性能AE減水剤	D	—	主成分:ポリカルボキシル酸系
消泡剤	DF	—	主成分:非イオン界面活性剤

表2 GPモルタルの配合

配合	A/W (mol比)	Si/A (mol比)	単位 水量 (kg/m ³)	L/F (vol.)	BS/F (vol.%)	単位量(kg/m ³)							
						L			F			S	
						SH	w	SF	FA	BS	S1	S2	
L/F0.88・BS36	0.2	0.3	206	0.88	36	261	36	45	412	286	586	606	
261						36	45	302	210	681	705		
L/F1.20・BS70				70	261	36	45	140	414	681	705		

表3 試験水準

水準	配合区分	減水剤 種類	混和剤添加率(F×wt.%)			意図
			遅延剤	減水剤	消泡剤	
基準	L/F0.88・BS36	—	4.0	—	—	
L/F増	L/F1.20・BS36	—	4.0	—	—	フレッシュ性状向上
Gna減	L/F1.20・BS36	—	2.0	—	—	強度向上
A添	L/F1.20・BS36	A	2.0	0.2	0.006	フレッシュ性状向上
Gna減A増	L/F1.20・BS36	A	1.0	0.4	0.012	フレッシュ性状向上
BS増	L/F1.20・BS70	A	1.0	0.4	0.012	強度向上
B添	L/F1.20・BS36	B	2.0	0.2	0.006	減水剤の比較
C添	L/F1.20・BS36	C	2.0	0.2	0.006	減水剤の比較
D添	L/F1.20・BS36	D	2.0	0.2	0.006	減水剤の比較

3. 実験結果

測定した 15 打フロー及び平均流下速度を図 1 に、圧縮強度を図 2 に示す。基準の水準と比べ、L/F を増加（水準：L/F 増）させることで、15 打フロー及び平均流下速度は増加したが、圧縮強度は低下した。L/F が流動性や強度に及ぼす影響は、セメントコンクリートの水セメント比による影響と同様と考えられる。

更に遅延剤の添加率を 4% から 2% に低減（水準：GNa 減）すると、15 打フロー及び平均流下速度は低下し、圧縮強度は増加したが、材齢 1 日では未硬化であった。更に主成分がリグニンスルホン酸系の減水剤 A を 0.2% 添加（水準：A 添）すると、15 打フロー及び平均流下速度は増加したが、圧縮強度に変化はなかった。なお、減水剤を使用すると空気量が増加したため、消泡剤を併用して空気量を 2% 程度に調整した。更に GNa の添加率を 2% から 1% に低減し、減水剤 A を 0.4% 添加（水準：GNa 減 A 増）すると、15 打フロー及び圧縮強度は若干低下したものの、流下速度は増加し粘性を低減できた。

更に BS 置換率を 36% から 70% に増加（水準：BS 増）すると、15 打フロー及び流下速度は低下したが、圧縮強度は大きく増加し、特に材齢 1 日で 6.4N/mm^2 の強度を発現させることができた。これは、Ca を多く含む BS の割合が高くなることで CASH の生成量が増加し、強度発現につながったものと推察される。

また、減水剤の種類を変更した水準（A 添、B 添、C 添及び D 添、添加率は全て 0.2%）間で比較を行うと、圧縮強度には大差がなく、水準：A 添の 15 打フローが大きく流下速度が速かった。河尻ら²⁾は一般法で作製した GP コンクリートにポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤を適用（添加率 1%）することで、スランプ、空気量が増加し流動性が改善されたと報告しているが、本報告の検討の範囲内では、リグニンスルホン酸系 AE 減水剤の流動性向上及び粘性低減の効果が高かった。GP に適した減水剤については、その作用機構を含め不明な点が多いため、今後の課題として検討を継続したい。

なお、本報告におけるすべての水準で可使時間は 120 分以上であった。

4. まとめ

- (1) 溶解法の各配合条件（L/F、遅延剤及び減水剤の添加量、BS 置換率）を調整することで、可使時間とフレッシュ性状を保持しつつ、常温環境での初期強度発現性を改善することができた。
- (2) ジオポリマーに対して、主成分がリグニンスルホン酸系の減水剤を適用すると、流動性向上及び粘性低減の効果が高いことがわかった。

参考文献

- 1) 上原ら：ジオポリマー硬化体の種々の配合、作製法における生成物と pH 等諸性質との関係、コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.2325-2330, 2016.
- 2) 河尻ら：ジオポリマーの基礎物性と構造利用に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.1943-1948, 2011.

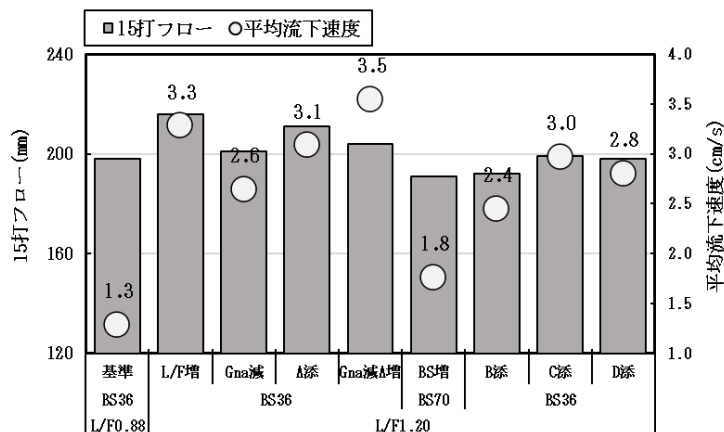


図1 15 打フロー及び平均流下速度

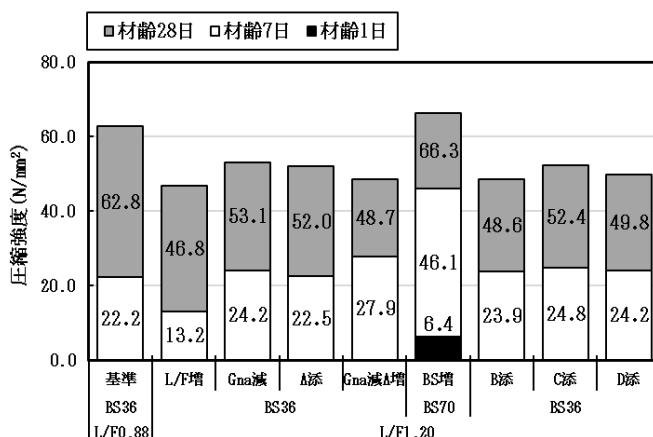


図2 圧縮強度 (20°C封かん養生)