

高炉スラグ微粉末の比表面積がジオポリマーモルタルの材料特性へ及ぼす影響

九州工業大学 学生会員 ○小田 瑞月 九州工業大学大学院 正会員 合田 寛基
西松建設株式会社 正会員 原田 耕司 九州工業大学大学院 正会員 日比野 誠

1. はじめに

ジオポリマー(GP)は、フライアッシュや高炉スラグなど、カーボンニュートラルな産業副産物を原料としており、SDGsの観点から環境性材料として認識されている。一方でGPの可使時間はセメントと比較して短く、外気温の影響を受けやすい。特に、沖縄県のような温暖環境では、可使時間が短くなる傾向があり、実用化を進めるうえで重要な課題になる。

既往の研究では、高炉スラグ微粉末(BFS)の比表面積、BFSの全粉体質量に対する置換率(BFS/P)が大きくなるにともない、フロー値の保持時間が短くなる。さらに温暖環境では環境温度への検討も要する。

そこで本研究では、可使時間を含めたジオポリマーの性能担保実現に関する基礎研究として、汎用材料を使用し、材料特性に関する実験検討を行った。パラメータは、BFSの比表面積、BFS/P、環境温度とした。

2. 実験概要

2.1 使用材料と配合

表-1に使用材料、表-2に配合を示す。アルカリ溶液には、アルカリ水比(A/W)が0.11の汎用品を使用した。BFSの比表面積は、3000、4000、6000、8000cm²/gとした。

2.2 要求性能

表-3にGPモルタルの要求性能を示す。今回は現場でのコンクリートの要求性能を考慮して、同表の通りとした。

2.3 供試体作製方法と養生方法

練混ぜには容量2Lのモルタルミキサを使用し、粉体と細骨材を入れて30秒攪拌し、アルカリ溶液を入れて1分間練り混ぜ、搔落しを行い、さらに1分間練り混ぜ排出した。供試体はφ50×100mmの円柱供試体とし、テーブルバイブレータで加振して封緘処理を行った。養生方法は、20℃の常温養生と、プログラム式恒温槽を用いた加温養生の2種類とした。加温養生終了後は20℃の恒温槽で試験材齢まで封緘静置した。図-1に加温養生の温度履歴を示す。

表-1 使用材料

使用材料	記号	密度 (g/cm ³)	備考
アルカリ溶液	AS	1.40	A/W=0.11
水	W	1.00	水道水
フライアッシュ	FA	2.26	FAII種
細骨材	S	2.54	海砂
高炉スラグ微粉末	BFS	2.91	石こうなし
普通ポルトランドセメント	C	3.15	

表-2 配合

活性 フィラー	BFS/P	AS(W)	FA(C)	BFS	S
	(%)	kg/m ³			
FA, BFS	30	334	433	185	1236
FA, BFS	20	332	491	123	1228
C, BFS	30	328	410	176	1172

※P：全粉体量

表-3 GPモルタルの要求性能例

打込み環境	30℃80RH%
モルタルフロー	170±10
可使時間	40分以上
1日強度(加温)	20MPa以上
14日強度(加温)	40MPa以上
28日強度(常温)	40MPa以上

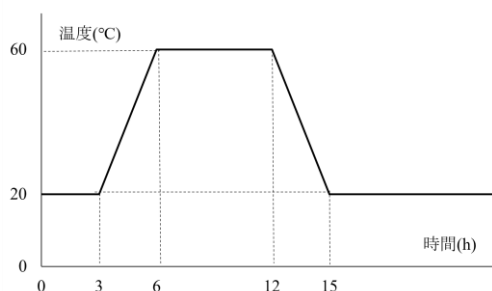


図-1 加温養生の温度履歴

2.4 試験方法

今回の試験項目は、モルタルフロー試験、可使時間試験、圧縮強度試験とする。可使時間試験はスプーン法²⁾で行った。フロー試験および圧縮強度試験は、JIS R5201(セメントの物理試験方法)に準じた。

3. 実験結果および考察

図-2 に高炉スラグ微粉末の各比表面積におけるモルタルフローを示す。なお、各図中の横太線は、要求性能値を示す。本配合では、いずれの比表面積においても GP モルタルは要求性能を満たしている。ここで GP モルタルは、比表面積がフローに及ぼす影響はほとんど見られない。一方、セメントモルタルは、比表面積が大きくなるにともないフローが小さくなっている。この特徴の相違は、GP 中のアルカリ溶液が比較的高い粘性を有することが一因である。フレッシュ性状の特徴より、GP は粉体の比表面積が変化してもフローへの影響が小さい。

図-3 に環境温度を 20℃, 30℃, BFS/P を 20%, 30% とした場合の可使時間を示す。BFS/P=30% の場合、20℃環境下では 3000, 4000cm²/g が要求性能の 40 分を満たす一方、その他のケースでは 40 分に満たないことがわかった。BFS/P=20% の場合、20℃環境では 8000cm²/g 以外が 40 分を満たし、30℃環境では 3000cm²/g のみ 40 分を満たした。また、比表面積と環境温度が大きくなるほど可使時間が短い。BFS/P を 10% 下げたことで、20℃環境での可使時間は 20 分、30℃環境では 10 分程度延長している。

図-4 に圧縮強度試験の結果を示す。BFS/P=30% の場合、いずれも要求性能を満足している。BFS/P=20% の場合は、いずれの比表面積でも材齢 1 日の要求性能を満たしている。比表面積が 4000cm²/g 以上のものは BFS/P=20% の場合でも、強度に関する要求性能を満たすものと予測される。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 比表面積が 4000cm²/g 以上の場合、いずれの BFS/P でも、フローと圧縮強度の要求性能を満足する。
- 2) 可使時間については、BFS/P=30% の場合、20℃環境下で 3000, 4000cm²/g が 40 分以上を示した。BFS/P=20% の場合、20℃環境では 8000cm²/g 以外、30℃環境では 3000cm²/g のみ、40 分を満たした。
- 3) 20℃環境下では、3000, 4000cm²/g の BFS を適用することで、打込み環境以外の要求性能を達成可能である。

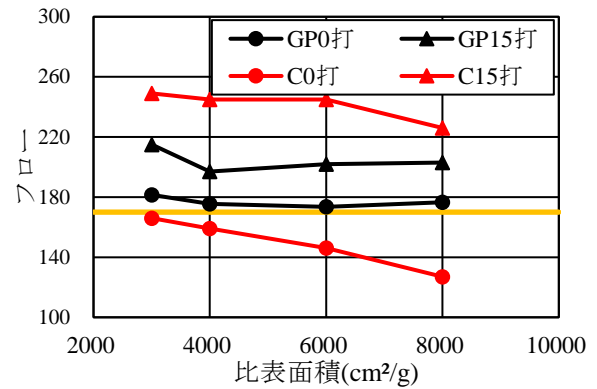


図-2 モルタルフロー結果 (BFS/P=30%)

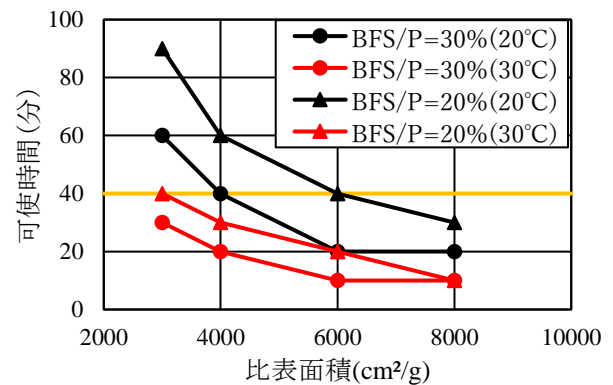


図-3 可使時間結果

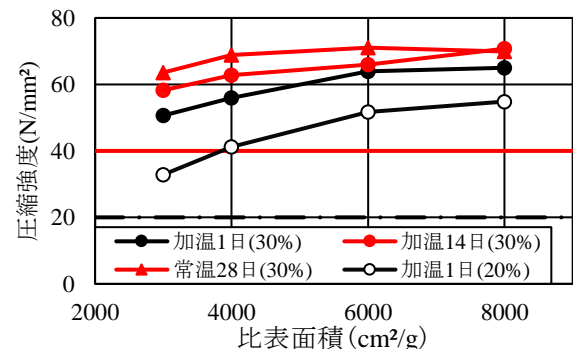


図-4 圧縮強度試験結果

沖縄県のような 30℃環境下での打込みとなる地域における展開を想定し、可使時間の延長を図るため、A/W、汎用遅延剤の効果について、現在検討中である。

参考文献

- 1) 原田耕司ら：ジオポリマーの高炉スラグの影響に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, 2014
- 2) 原田耕司ら：ジオポリマーの諸特性に関する一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, 2012