

強熱減量が高いフライアッシュを用いたジオポリマーモルタルの強度特性

九州大学 学生会員 ○太田 周 九州大学大学院 正会員 佐川康貴
西松建設（株）正会員 原田耕司 大阪ガス（株） 正会員 西崎丈能

1. はじめに

ジオポリマー（以下、GP という）は、アルカリシリカ粉末（以下、活性フィラーという）とアルカリシリカ溶液（以下、GP 溶液という）の反応によって形成される非晶質の縮重合体（ポリマー）の総称である。GP は、製造時に大量の CO₂ を排出するセメントを一切用いないため、CO₂ 削減ならびに産業副産物の有効利用の点から、次世代の建設材料として期待されている¹⁾。本研究では強熱減量が高いフライアッシュの GP への適用性について検討することを目的とし、養生条件が GP モルタルの強度特性に及ぼす影響について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

実験で用いた材料を表-1 に示す。フライアッシュには強熱減量が高い FA-L、および、比較用として JIS A 6201 のフライアッシュ II 種に相当する FA-2 の 2 種類を使用した。これらは入手した発電所が異なる。FA-L は、FA-2 に対してブレーン比表面積は大きいものの、強熱減量も高く、未燃カーボンが多く含まれている。また、GP の強度発現向上のために高炉スラグ微粉末 4000（BFS）を使用した。ジオポリマー溶液（GPW）は、水ガラスと苛性ソーダを混ぜ、密度を 1.27g/cm³ に調整したものである。細骨材の海砂（S）は、表乾状態にしてから使用した。

GP モルタルの配合を表-2 に示す。単位細骨材量を FA-L と FA-2 で同一とし、体積比で BFS/(FA+BFS) の割合を 12%とした。また、フロー値が 190 程度となるよう、GPW の量を調整した。

2.2 練混ぜ方法および供試体

ホバート型ミキサ（容量：5 リットル）を用い、細骨材、FA、BFS を入れて空練り 30 秒間した後、GP 溶液を入れて一次練混ぜ 1 分間、掻き落とし 15 秒間、二次練混ぜ 2 分間の順で練り混ぜた。

その後、JIS R 5201「セメントの物理試験方法」に

表-1 使用材料

材料	記号	種類および物理的性質
活性 フィラー	FA-L	フライアッシュ 密度:2.27g/cm ³ 強熱減量：9.1% 比表面積:4,860cm ² /g
	FA-2	フライアッシュ(JIS II 種) 密度:2.32g/cm ³ 強熱減量：3.7% 比表面積:4,310cm ² /g
	BFS	高炉スラグ微粉末 4000 密度:2.92g/cm ³ 比表面積:4,090cm ² /g
GP 溶液	GPW	水ガラスと苛性ソーダと水の混合物、密度:1.27g/cm ³
細骨材	S	海砂、密度:2.59g/cm ³

表-2 GP モルタルの配合 (kg/m³)

FA の種類	GPW	FA	BFS	S
FA-L	342	360	65	1,412
FA-2	317	421	72	1,412

従い、フロー値を求めた結果、FA-L で 186、FA-2 で 201 であった。

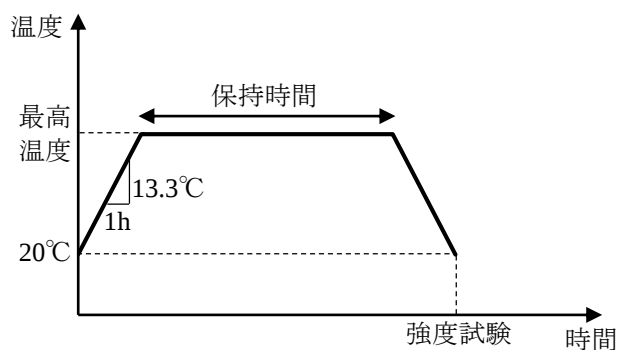
供試体はモルタル用三連型枠（40×40×160mm）に打設した。

2.3 養生条件

フライアッシュベースの GP では、強度発現を促進させるために加熱が必要である。本研究では、プログラム式恒温装置を用い、図-1 に示すように、20℃から最高温度まで一定の温度勾配（13.3℃/h）で上昇させ、最高温度を保持した後、上昇の時と同じ勾配で 20℃まで温度を下げた。養生条件は最高温度（60℃、80℃、100℃）および最高温度での保持時間（6 時間、12 時間、24 時間）の組み合わせで、合計 9 通りで行った。

2.4 強度試験

上記の養生が終了後ただちに脱型し、JIS R 5201 に準拠して曲げ強度および圧縮強度試験を行った。



図－1 養生条件

3. 実験結果および考察

加温養生直後の圧縮強度を表－3に示す。なお、上段に FA-L、下段に FA-2 の圧縮強度を示している。また、カッコ内には FA-2 に対する FA-L の圧縮強度の比を示している。全体的な傾向として、最高温度が高いほど、また、保持時間が長いほど、圧縮強度が高くなった。しかし、FA-L の圧縮強度は FA-2 の 50～70%しか発現していないことが分かる。これは、FA-L に未燃カーボンが多く含まれているためであると考えられる。また、表－4に示すように、FA-L の曲げ強度は FA-2 に対して 65～85%発現していた。

次に、最高温度保持時間と圧縮強度の関係を図－2に示す。縦軸はそれぞれの最高温度に対して、保持時間 6 時間の圧縮強度を 1 とした時の強度比を示している。すなわち、最高温度一定の条件で養生を 6 時間から延長することによる、強度の増進割合を示したものである。

図より、最高温度が低い方が、保持時間の延長により圧縮強度が増大することが分かる。さらに、この傾向は FA-L の方が FA-2 よりも顕著に表れている。最高温度が 100℃の場合は保持時間を長くしても 1.0～1.1 倍の増加率に留まった。このように低温で養生した時には強度増進が進行し、高温の場合には早い段階で反応は終了し強度増進がほとんど認められない原因については、今後の検討課題である。

4. まとめ

熱減量の高い FA-L を用いて GP モルタルを作製した結果、圧縮強度は JIS のフライアッシュ II 種と比較して 50～70%に留まった。さらに、養生温度

表－3 GP モルタルの養生直後圧縮強度 (N/mm²)

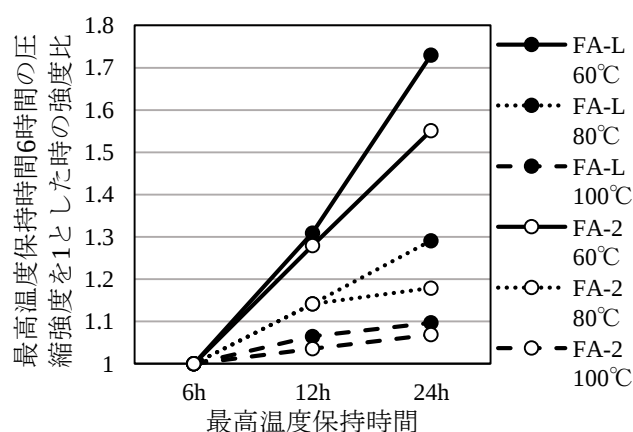
(上段：FA-L (カッコは強度比)，下段：FA-2)

		最高温度		
		60℃	80℃	100℃
保持時間	6h	15.2 (56%)	26.8 (63%)	34.0 (67%)
		27.2	42.4	50.6
	12h	19.9 (57%)	30.6 (63%)	36.2 (69%)
		34.8	48.4	52.4
	24h	26.3 (62%)	34.6 (69%)	37.3 (69%)
		42.2	50.0	54.1

表－4 GP モルタルの養生直後曲げ強度 (N/mm²)

(上段：FA-L (カッコは強度比)，下段：FA-2)

		最高温度		
		60℃	80℃	100℃
保持時間	6h	3.40 (69%)	4.41 (79%)	6.41 (78%)
		4.95	5.60	8.26
	12h	4.17 (67%)	5.31 (68%)	6.25 (75%)
		6.25	7.81	8.32
	24h	4.65 (82%)	6.57 (86%)	6.23 (72%)
		5.69	7.61	8.61



図－2 最高温度保持時間と圧縮強度比の関係

が高いほど、また、最高温度保持時間が長いほど強度が増進することが明らかとなった。また、最高温度が低い方が、保持時間を長くすることによる強度増進効果が大いことが明らかとなった。

参考文献

- 1) 一宮一夫，津郷俊二，原田耕司，池田 攻：ジオポリマーモルタルの配合ならびに製造法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.570-580，2011