

給熱方法がジオポリマーの強度特性に及ぼす影響

九州工業大学大学院 学生会員 ○吉田 強志, 正会員 日比野 誠, 正会員 合田 寛基
西松建設(株) 正会員 原田 耕司

1. はじめに

ジオポリマー(以下, GP)の固化メカニズムについては, アルカリシリカ溶液とアルミナシリカ粉末(以下, 活性フィラー)との縮重合反応が基本構造となっている. 既往の研究より, GPの固化過程では発熱を呈さないことが報告されており, 製造工程における十分な給熱養生によってGPの強度が担保され则认为られている. しかし, 一般的にフライアッシュベースのGPにおいては, 高強度化を目的として高炉スラグ微粉末を混入しているため, 縮重合反応とは別にカルシウム系水和反応が混在すると考えられている. 以上より, GPの実用化に際し, 配合設計手法はもとより, 養生方法についても十分な検討を要する.

そこで本研究では, GPの配合設計手法に関する基礎的研究として, 養生環境に着目し給熱方法がGPモルタルの強度特性に及ぼす影響について検討した.

2. 実験概要

(1)使用材料および配合

表 - 1に使用材料の物性を示す. ジオポリマー溶液には, 水ガラスに苛性ソーダを混和したものを使用した. 活性フィラーには, フライアッシュ II 種(以下, FA)と高炉スラグ微粉末(以下, BFS)を使用した. BFS については石こうを含有していないものを使用した. これは, 石こうが高アルカリ溶液中で急速に反応し, 反応熱による急速な硬化を避けるためである. また, 細骨材には, 表面乾燥状態の海砂を使用した. なお, 使用した材料は 20℃の室内で温度管理を行った. 表 - 2に配合を示す. GP 溶液, 活性フィラー, 細骨材それぞれの容積を一定にすることで, 活性フィラーの及ぼす影響が明瞭になるように配慮した.

表 - 1 使用材料

記号	材料	密度(g/cm ³)
GP	ジオポリマー溶液	1.27
FA	フライアッシュ II 種	2.28
BFS	高炉スラグ微粉末	2.87
S	海砂	2.57

表 - 2 配合

	GP	FA	BFS	S
	kg/m ³			
FA100	312	624	0	1235
BFS100		0	785	

(2)供試体及び試験方法

供試体寸法は 40×40×160mm のモルタルバーとし, 試験方法は, JIS R 5201 に準拠して強度試験を行った. 3 本の供試体を二分し, 6 片の圧縮強度の平均を代表値とした.

(3)養生方法

本研究では, 図 - 1 に示す通り, セメントコンクリートの二次製品の養生方法を参考に, 養生方法を選定した. 表 - 3 に, 養生パターンの昇温と降温と保持の時間, また, 圧縮強度を示す. ここで積算給熱量は $E = \int T dt$ (T: 給熱温度)で表される. 養生 A~D は, 積算給熱量を等しくするため, 図 - 1 中に示す斜線部の面積が一定となるように, 昇温・保持・降温時間を設定した. 養生 E~J は昇温・降温時間を一定にし, 保持時間を変化させた. 養生に際し, 水分の逸散防止のため, ポリエチレン製ラップによって打設表

表 - 3 養生パターン及び圧縮強度

	昇温	保持	降温	圧縮強度	
	時間	時間	時間	FA	BFS
	(hr)			(MPa)	
養生 A	3	3	3	7.3	88.5
養生 B	2	4	2	7.8	75.1
養生 C	1	5	1	7.7	74.1
養生 D	0	6	0	5.9	74.0
養生 E	3	1.5	3	4.4	75.6
養生 F	3	6	3	10.8	74.8
養生 G	3	12	3	15.5	77.3
養生 H	3	24	3	20.2	100.4
養生 I	3	48	3	16.4	103.7
養生 J	3	72	3	17.3	101.1

面を封緘状態とした。その後、一次養生を開始し、終了後、直ちに脱型を行い、その後は試験材齢まで 20℃RH60%の環境下で気中養生とした。また、強度試験の材齢は 3 日とした。

3. 結果ならびに考察

(1) 昇温・降温勾配と強度の関係

図 - 2 に養生 A~D で一次養生を行った各配合の養生 A に対する圧縮強度比を示す。積算給熱量が同じである養生 A~D を比較すると、FA, BFS とともに養生 D では圧縮強度が他の水準よりも小さい。FA では、昇温時間を 1 時間以上設けることで強度の増加が見られる。なお、それ以上昇温時間が増加しても顕著な強度の増加は見られない。一方、BFS では、昇温時間の増加に伴い、圧縮強度も増加する。

以上より、GP では急激な温度変化による給熱養生は効果的でないことが示された。また、昇温時間の影響が BFS で大きかった原因として、BFS における潜在水硬性の温度依存性が考えられる。

(2) 積算給熱量と強度の関係

図 - 3、図 - 4 に FA および BFS の積算給熱量と圧縮強度の関係を示す。図 - 3 より、FA は積算給熱量の増加に伴い強度が増加するが、1080℃×hr 以上で圧縮強度が収束する。一方、図 - 4 より、BFS は積算給熱量の増加に伴う顕著な圧縮強度の増加は見られない。

一般に縮重合は吸熱反応であり、外部からの給熱によって反応が進行し、一定の熱量が供給されると反応が収束する。よって FA は、縮重合が支配的であると考えられる。また、FA, BFS とともに給熱時に昇温勾配を設けることの重要性が示された。FA, BFS で徐加熱を必要とするメカニズムについては、今後さらに検討が必要であると考えられる。

4. まとめ

本研究の範囲内で得られた知見を以下に示す。

- (1) フライアッシュは、最高温度が一定で積算給熱量が同一の場合、1 時間以上の昇温時間を設けると、保持時間に関わらず強度は概ね同一である。また、最高温度が 60℃では、積算給熱量の増加に伴い圧縮強度が増加する一方、1080℃×hr 以上で収束する傾向が見られる。
- (2) 高炉スラグは、最高温度が一定で積算給熱量が同一の場合、3 時間以上の昇温時間を設けると強度発現が大きい。

参考文献

- 1) 一宮一夫 他：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.1937-1942, 2011

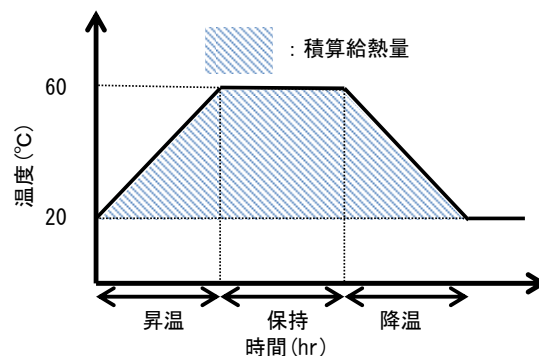


図 - 1 養生方法

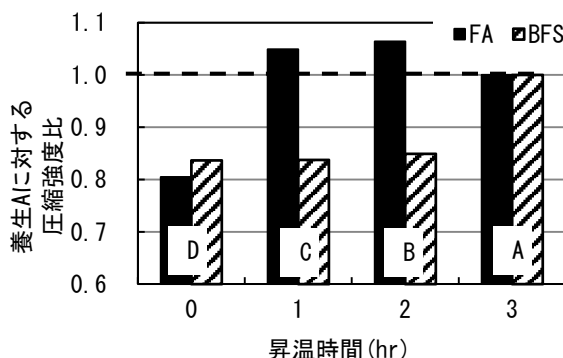


図 - 2 各養生の養生 A に対する圧縮強度比

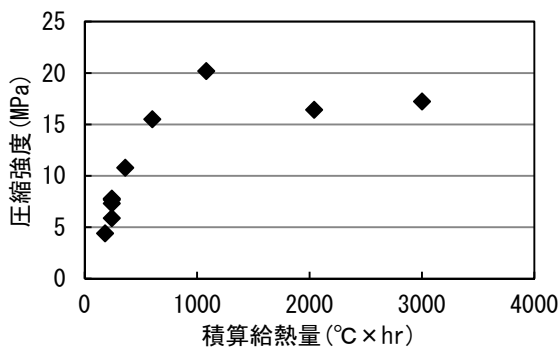


図 - 3 FA の積算給熱量と圧縮強度

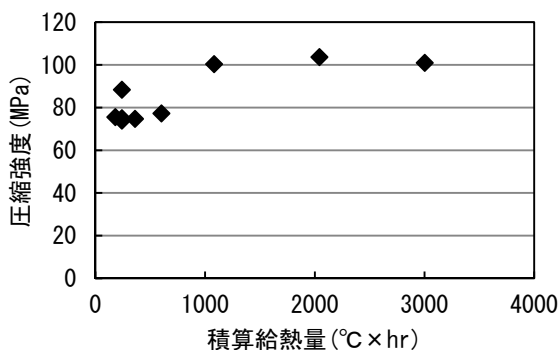


図 - 4 BFS の積算給熱量と圧縮強度