

配合・養生条件の違いがジオポリマーモルタルの収縮特性に及ぼす影響

九州大学 学生会員 ○川崎 隆聖 九州大学大学院 学生会員 大楽 一史
九州大学大学院 正会員 佐川 康貴

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微粉末などの活性フィラーとアルカリシリカ溶液との縮重合反応による固化体である。セメントを使用しないことから、コンクリートの CO₂ 排出量削減方法の一つとして近年注目されている。本研究では、加熱養生温度と NaOH 水溶液濃度の異なる、フライアッシュベースの GP モルタルを作製し、乾燥状態および封緘状態における長さ変化を測定し、GP の収縮特性を考察した。

2. 試験概要

2.1 使用材料・配合および GP 作製方法

使用材料を表-1, 作製したモルタルの配合を表-2 に示す。上原らの研究¹⁾を参考に、アルカリシリカ溶液中に含まれるナトリウム (Na) と水 (H₂O) のモル比を A/W, ケイ素 (Si) と Na のモル比を Si/A と定義し、表-2 に併記した。アルカリシリカ溶液には水ガラス 3 号 (SS, Na₂O=29%, SiO₂=9.5%と仮定) と、粒状特級試薬を蒸留水に溶かして調整した NaOH 水溶液 (SH) を使用した。SH は 6mol/L,

12mol/L の 2 種類を用いた。SS と SH の質量比は 3.0 で統一した。活性フィラーには、フライアッシュ II 種 (FA) と、高炉スラグ微粉末 4000 (GGBFS) を使用した。細骨材は、JIS R 5201 の標準砂を使用した。粉体に対する GGBFS の質量置換率は 15% に統一した。活性フィラー (F=FA+GGBFS) と溶液 (L=SS+SH) の溶液比 F/L を 0.90 に固定した。練混ぜには、容量 2L のホバート型ミキサを使用した。既往の研究²⁾の方法 H の手順に沿って、アルカリシリカ溶液および FA をミキサに投入し、1 分間低速で練り混ぜた。次に、ミキサを一旦停止させ、S, GGBFS を投入した。その後、掻き落としを行いながら 90 秒間休止させ、休止が終わり次第再び高速で 1 分間練混ぜた。供試体名は、(SH の濃度 (mol/L)) - (加熱養生の温度 (°C)) で表す。

6M-60, 6M-90, 12M-60, 12M-90 の 4 種類を用いた。SS と SH の質量比は 3.0 で統一した。活性フィラーには、フライアッシュ II 種 (FA) と、高炉スラグ微粉末 4000 (GGBFS) を使用した。細骨材は、JIS R 5201 の標準砂を使用した。粉体に対する GGBFS の質量置換率は 15% に統一した。活性フィラー (F=FA+GGBFS) と溶液 (L=SS+SH) の溶液比 F/L を 0.90 に固定した。練混ぜには、容量 2L のホバート型ミキサを使用した。既往の研究²⁾の方法 H の手順に沿って、アルカリシリカ溶液および FA をミキサに投入し、1 分間低速で練り混ぜた。次に、ミキサを一旦停止させ、S, GGBFS を投入した。その後、掻き落としを行いながら 90 秒間休止させ、休止が終わり次第再び高速で 1 分間練混ぜた。供試体名は、(SH の濃度 (mol/L)) - (加熱養生の温度 (°C)) で表す。

2.2 長さ変化試験

GP モルタルの練混ぜ後、40×40×160 mm 用の鋼製型枠に入れ、プログラム式恒温装置を用いて加熱養生を行った。長さ変化試験用の供試体の端面には、ゲージプラグを埋め込んだ。鋼製型枠は打設後 3 時間 20°C 環境下に静置した後、恒温装置に入れた。最高温度は 60°C と 90°C、保持時間を 14 時間とし、昇温及び降温勾配は 20°C/h とした。加熱養生終了後に脱型を行い、直後にダイヤルゲージを用いて長さ変化の初期値と供試体の質量を測定した。この時点を試験期間 0 日とし、それ以降、温度 20°C、湿度 60%R.H. の恒温恒湿槽内で養生した。また脱型後に保水養生テープを用いて封緘養生を行った供試体も作製した。試験期間 7 日目までは 1 日毎、以降 7 日毎に長さおよび質量を測定した。温度 20°C、湿度 60%R.H. の恒温恒湿槽内で養生した供試体は、材齢 2, 28 日目に曲げ強度および圧縮強度を測定した。

3. 試験結果および考察

3.1 強度試験

強度試験結果は、表-2 に併記している。6M については、加熱温度が高いほど強度が高くなり、また、材齢 2 日

表-1 使用材料

材料	記号	密度(g/cm ³)
水ガラス3号	SS	1.41
水酸化ナトリウム水溶液	SH	6mol/L: 1.21 12mol/L: 1.39
フライアッシュII種	FA	2.26
高炉スラグ微粉末4000	GGBFS	2.91
標準砂	S	2.64

表-2 モルタルの配合と強度試験結果

供試体名	単位量(kg/m ³)				S	A/W	Si/A	W(kg/m ³)	曲げ強度(N/mm ²)				圧縮強度(N/mm ²)	
	L		F						材齢 2日	材齢 28日	材齢 2日	材齢 28日		
	SS	SH	FA	GGBFS										
6M-60	224	75	394	70	1534	0.100	1.021	192	5.05	6.49	22.5	27.5		
6M-90	224	75	394	70	1534	0.100	1.021	192	7.08	7.82	34.5	38.2		
12M-60	232	77	394	70	1534	0.133	0.814	187	6.10	6.00	32.0	31.5		
12M-90	232	77	394	70	1534	0.133	0.814	187	9.38	8.74	38.9	50.1		

から 28 日までに 1~3 割強度が増加した。12M については、加熱温度が高くなると強度は高くなるものの、材齢の経過に伴う強度の増進は 90°Cの圧縮強度を除いて、むしろ、28 日強度はやや低下する傾向となった。また、圧縮強度に対する曲げ強度の割合は約 20%であった。

3.2 長さ変化試験

まず、図-1 に乾燥状態(20°C, 60%R.H.)での長さ変化率を示す。また、同時に測定した質量変化率を図-2 に示す。最高温度が高い方が、長さ変化率および質量変化率が小さくなるのが分かる。養生温度が高いことで縮重合反応が促進され、構造が緻密化したと考えられる。

SH 濃度が高いほど反応が促進され、長さ変化率および質量変化率ともに小さくなると予想していたが、SH 濃度が高い方が長さ変化率は大きく、質量変化率は小さくなった。

次に、封緘状態(20°C)での長さ変化率を図-3 に示す。封緘状態での長さ変化は、乾燥以外の要因による収縮(ここでは、反応収縮という)である。60°Cでは、反応収縮は、ほぼ無いか、若干の膨張側となった。90°Cでは、 80×10^{-6} 程度の反応収縮を示した。本実験の条件下における反応収縮と、図-1 に示した結果(全ひずみ)とを比べると、60°Cでは全ひずみは大きいものの、反応収縮ひずみは小さく、収縮の大部は乾燥収縮ひずみであった。一方、90°Cでは全ひずみは小さいものの 60°Cよりも大きな反応収縮が認められた。

図-4 に、質量変化率と長さ変化率の関係を示す。加熱養生温度や SH 濃度の違いによって、勾配が異なる。空隙特性の差が原因の一つであると考えられるため、細孔量などを測定する必要がある。

4. まとめ

本研究から、SH 濃度が一定の条件では、加熱温度が高いほど、長さ変化率および質量変化率は小さくなり、加熱温度が一定の条件では、SH 濃度が大きいほど、長さ変化率は大きく、質量変化率は小さくなった。また、反応収縮ひずみは加熱温度が高い方が大きくなった。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費 JP19K04558 の助成を受けたものである。関係者各位に謝意を表す。

参考文献：

- 1) 上原元樹, 南浩輔, 平田紘子, 山崎淳司:ジオポリマー硬化体の配合・作製法と諸性質, コンクリート工学年次論文集, Vol37, No.1, pp.1987-1992, 2015
- 2) 楠野ら:ジオポリマーモルタルの製造方法とフライアッシュの品質の違いが乾燥収縮に及ぼす影響, 令和2年度土木学会西部支部研究発表会, V-10, 2021

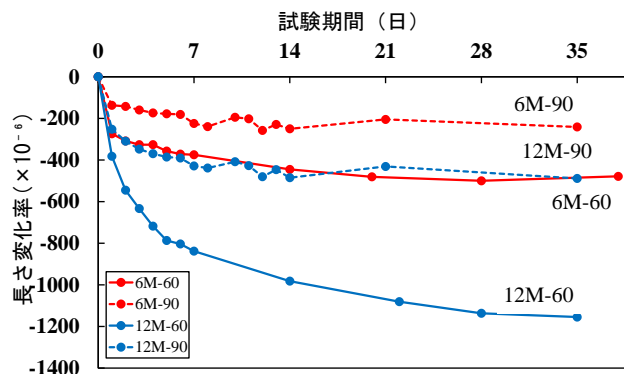


図-1 乾燥状態での長さ変化率(20°C, 60%R.H.)

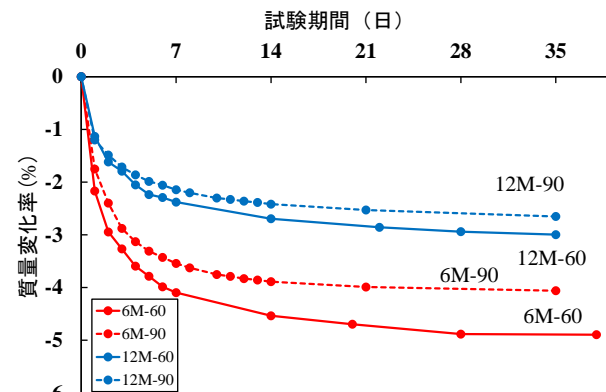


図-2 乾燥状態での質量変化率(20°C, 60%R.H.)

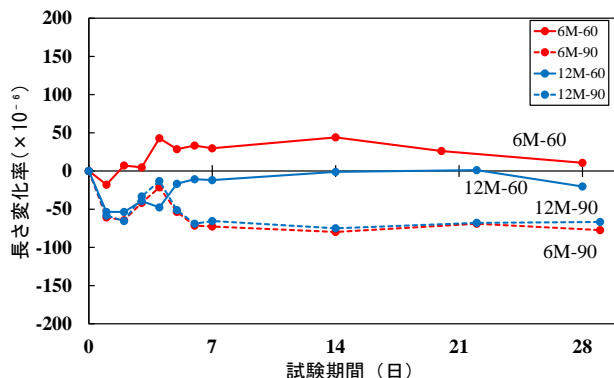


図-3 封緘状態での長さ変化率(20°C)

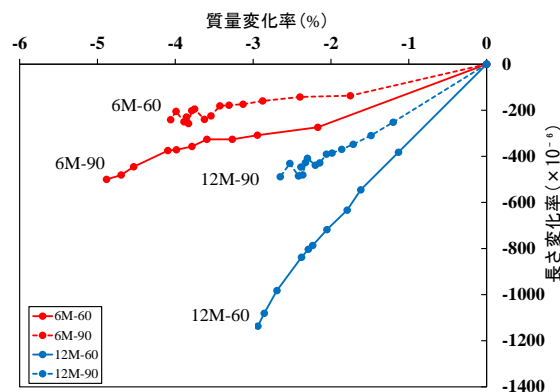


図-4 質量変化率と長さ変化率の関係