

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

九州大学工学部 学生会員 楠野 寿都
九州大学大学院 学生会員 香島 和輝

九州大学大学院 正会員 佐川 康貴
熊本大学大学院 正会員 尾上 幸造

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を主材料とする非結晶の縮合重体 (ポリマー) の総称であり、セメントを使用せずに産業副産物を用いて固化することから、環境負荷低減型の次世代コンクリートとして近年注目されている。著者らの研究グループ¹⁾はタグチメソッドの動特性パラメータ設計を適用し、フレッシュ性状及び強度のばらつきが小さい GP モルタルの製造方法を明らかにした。本研究では著者らが確立した製造方法に基づき GP モルタルを製造し、耐久性の評価指標の一つである乾燥収縮試験を実施した。

2. 実験概要

2.1 使用材料・配合および GP 製造方法

使用材料は、アルカリシリカ溶液には水ガラス 3 号 (SS, 密度: 1.41g/cm^3) と NaOH 水溶液 (SH) (濃度 6M (密度: 1.21g/cm^3) と濃度 12M (密度: 1.39g/cm^3) の 2 種類) で使用した。細骨材は、標準砂 (密度: 1.64g/cm^3) を使用した。活性フィラーには、JIS のフライアッシュ II 種に適合する、産地とロットの異なるフライアッシュ (FA) と、高炉スラグ微粉末 4000 (GGBS) を使用した。フライアッシュは A 発電所のロット 1 (FA-A1, 密度: 2.26g/cm^3 , 強熱減量: 3.0%) とロット 2 (FA-A2, 密度: 2.26g/cm^3 , 強熱減量: 2.1%), B 発電所のロット 1 (FA-B1, 密度: 2.25g/cm^3 , 強熱減量: 2.2%) とロット 2 (FA-B2, 密度: 2.30g/cm^3 , 強熱減量: 2.4%) を使用した。

GP モルタルは JIS R 5201 のモルタルミキサを使用して練り混ぜ、1 回の練混ぜ量が 0.88 L になるようにした。粉体に対する GGBS の質量置換率は全ての配合において 15% に統一した。著者らの研究グループでは、実験データから表-1 に示す A~F の 6 つのパラメータごとにばらつきの程度を表す SN 比を算出した¹⁾。SN 比が最も高い (ばらつきが小さい) パラメータの組み合わせとなる製造方法 H と SN 比が最も低いパラメータの組み合わせとなる製造方法 L の 2 通りで、表-2 に示す GP モルタルの配合を決定し、作製した (図-1)。

2.2 乾燥収縮試験

乾燥収縮試験は、JIS A 1129 「モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法」附属書 A に記載されている方法で実施した。GP モルタルの練混ぜ後、 $40\times 40\times 160\text{mm}$ 用のゲージプラグを埋め込んだ鋼製型枠に入れ、プログラム式恒温装置を用いて加熱養生を行った。加熱養生終了後に脱型を行い、24 時間後にダイヤルゲージを用いて長さ変化の初期値を測定した。また、同時に供試

表-1 各方法に対応するパラメータ

パラメータ	方法 H	方法 L
BFS 投入時期	後入れ	先入れ
水ガラス/NaOHaq 質量比	3.0	1.0
NaOHaq 濃度 (M)	6	12
練混ぜ時間 (分)	4	12
養生保持温度 (°C)	60	75
養生積算温度 (°C・h)	1000	640

表-2 配合

条件	(g/パッチ)				
	SS	SH	FA	GGBS	S
A1-H	213.9	71.3	314.0	55.4	1350
A1-L	147.4	147.4	314.0	55.4	1350
A2-H	213.9	71.3	314.0	55.4	1350
A2-L	147.4	147.4	314.0	55.4	1350
B1-H	213.9	71.2	312.8	55.2	1350
B1-L	147.4	147.4	312.8	56.3	1350
B2-H	213.9	71.2	318.9	56.3	1350
B2-L	147.4	147.4	318.9	56.3	1350

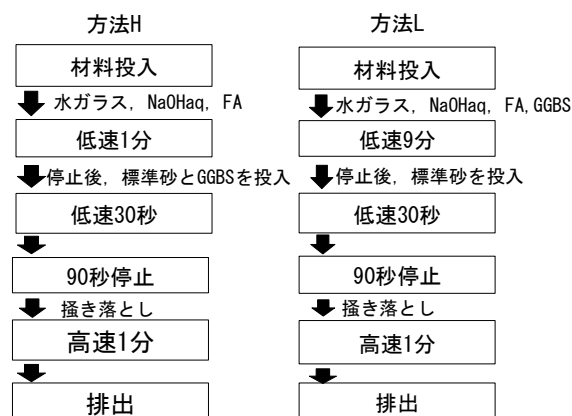


図-1 練混ぜ方法

体の質量を求めた。その後、材齢 7 日まで水中養生後 2 回目の長さ変化率、質量を求めた後、温度 20℃、湿度 60% R.H.の恒温恒湿槽内で養生した。本研究では、材齢 7 日以降の収縮ひずみを乾燥収縮ひずみとして、材齢 91 日まで測定した。

3. 実験結果および考察

図-2 (a), (b) に乾燥収縮試験の結果を示す。方法 L よりも方法 H で作製した GP モルタルの方が収縮量大きいことが分かる。養生積算温度が高い方法 H の方が縮合反応が進行し、密な構造になるので収縮を抑制することができると推測されたが、逆の結果となった。フライアッシュのロットによる違いは見受けられなかったが、A 発電所より B 発電所のフライアッシュを使用した GP モルタルの方が収縮量大きいことが分かった。すべての条件において、材齢 1 日から 7 日の水中浸漬において、吸水によると思われる供試体の膨張が生じた。材齢 7 日から 14 日において急速に供試体の長さが減少し、その後はほぼ一定になった。一般的に、セメントコンクリートの乾燥収縮は指数関数的に収縮が進行するとモデル化されるが、GP モルタルは初期段階でほとんどの収縮が進行し、その後はほとんど長さが変化しなかった。質量変化も同様に、水中浸漬後、急速に供試体の質量が減少し、その後大きな質量変化はなく、ほぼ一定となった。

図-3 に、長さ変化率と質量変化率の関係を示す。各供試体において、最も長さ変化率が小さいデータを除けば、両者には正の相関関係が認められる。材齢が短い期間は水中養生で含んだ水分が急速に逸散し、その後は長さ変化に応じて質量が変化した。今後は、供試体内の空隙構造の分析を実施し、乾燥収縮や水分の吸収・逸散との関係を明らかにする予定である。

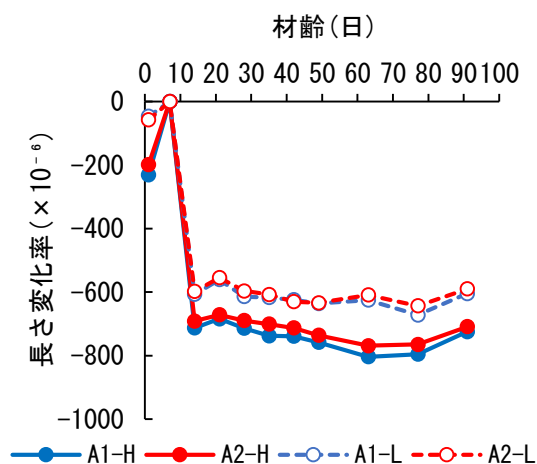
4. まとめ

本研究から、フレッシュ性状と強度においてばらつきが少ない製造方法で製造した GP モルタルは長さ変化率が高いこと、FA の産地によっては乾燥収縮を低減することができることが明らかになった。また、GP モルタルの長さ変化率と質量変化率は正の相関関係があることが確認された。

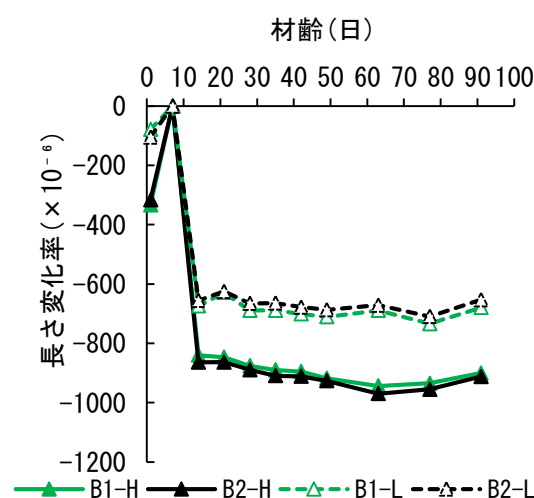
謝辞：本研究は、JSPS 科研費 JP19K04558 の助成を受けたものである。関係者各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) 高山優司, 尾上幸造, 薬師寺弘幸, 佐川康貴, 香島和輝, 榮徳雄斗: タグチメソッドによるフライアッシュを用いたジオポリマーの製造条件の最適化と再現性の検討, 令和 2 年度土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会, Vol.75, V-28, 2020



(a) A 発電所の FA



(b) B 発電所の FA

図-2 乾燥収縮試験結果

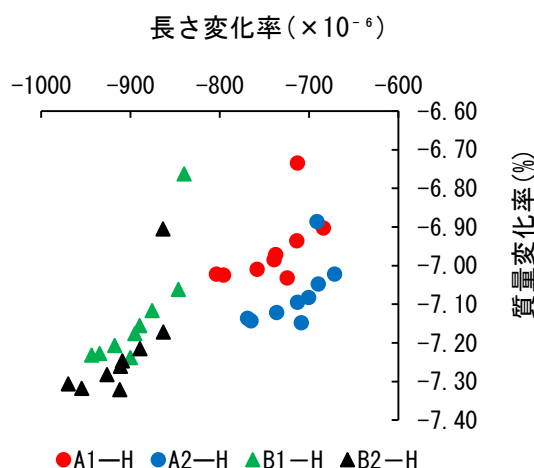


図-3 長さ変化率と質量変化率の関係