

ジオポリマーモルタルの耐酸性ならびに耐アルカリ骨材反応性に関する研究

大分高専 正会員○一宮 一夫, 学生会員 井上 裕之

西松建設(株) 正会員 原田 耕司

大分高専 非会員 中津留 友也, 前田 直樹

1. はじめに

ジオポリマー（以下、GP とする）は、アルミナシリカ粉末（以下、活性フィラーとする）とアルカリシリカ溶液と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。製造時に大量に CO_2 を排出するセメントを使用しないことから、次世代のコンクリートのバインダーとなりうる可能性を有しているが、GP の耐久性に関する知見は乏しい¹⁾。

そこで、本研究では GP モルタル供試体を製作し、それによる硫酸浸漬試験とアルカリ骨材反応性試験を行い、GP モルタルの耐酸性ならびに耐アルカリ骨材反応性を調べた。

2. 実験概要

(1) 使用材料 表 1 に使用材料を示す。活性フィラーにはフライアッシュと高炉スラグ微粉末を用い、アルカリシリカ溶液には、ケイ酸ナトリウムと水酸化ナトリウムを混合した水溶液を用いた（以下、GP 溶液とする）。また、アルカリ骨材反応性試験では、アルカリシリカ反応性鉱物を含む輝石安山岩を用いた。

(2) 配合 GP は一般的に蒸気養生が必要なため 2 次製品への適用が考えられる。そこで圧縮強度は、2 次製品で適用されることが多い 30N/mm^2 に設定した。実験に使用した圧縮強度 30N/mm^2 の配合を表 2 に示す。今回の実験では、表 3 に示す同レベルの圧縮強度のセメントモルタル（以下、OP モルタルとする）との比較を行うため、砂の容積を一定とした。また、高炉スラグ微粉末は、活性フィラー容積の 10% 内割り混入した。

(3) 練混ぜ ホバート型ミキサ（容量:5 リットル）を用い、細骨材、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末を入れて空練り 30 秒間、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。

(4) 養生 強度発現を促進するために蒸気養生を行った。養生条件は、二次製品の養生方法に準拠し、打設後速やかに恒温恒湿装置に移し、3 時間かけて温度 60°C 、湿度 90% まで上昇させ、その後 3 時間その条件で養生し、再び 3 時間かけて温度 20°C 、湿度 60% まで下げ、材齢 1 日で脱型後、直ちに試験に供した。OP モルタルに関しては、材齢 1 日で脱型後、所定材齢まで標準養生を行った。

表 1 使用材料

分類	項目	材 料
GP モルタル	活性 フィラー	(a) フライアッシュ 1 種 (密度 2.36 g/cm^3 , 比表面積 $5327\text{ cm}^2/\text{g}$) (b) フライアッシュ 2 種 (密度 2.30 g/cm^3 , 比表面積 $3534\text{ cm}^2/\text{g}$) (c) 高炉スラグ微粉末 (密度 2.92 g/cm^3 , 比表面積 $4009\text{ cm}^2/\text{g}$)
	GP 溶液	ケイ酸ナトリウム+水酸化ナトリウム+水 (密度 1.27 g/cm^3)
	細骨材	標準砂 (密度 2.64 g/cm^3)
OP モルタル	セメント	普通ポルトランドセメント (密度 3.15 g/cm^3)
	水	水道水 (密度 1.00 g/cm^3)
	細骨材	標準砂 (密度 2.64 g/cm^3)

表 2 GP モルタルの配合 (g)

記号	FA の 種類	GP 溶液	FA	BS	標準砂
GP-1	1 種	244.2	480.3	66.0	1535.4
GP-2	2 種	244.2	468.1	66.0	1535.4

表 3 セメントモルタルの配合 (g)

記号	水	セメント	標準砂
OP	255.9	511.8	1535.4

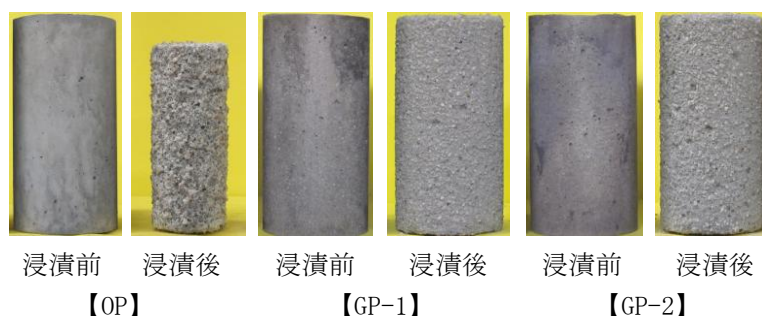


図 1 硫酸浸漬前後の外観の比較（浸漬材令 8 週）

(5) 試験方法
硫酸浸漬試験では、濃度 5% の溶液に供試体（直径 5cm, 高さ 10cm）を浸漬した。
アルカリ骨

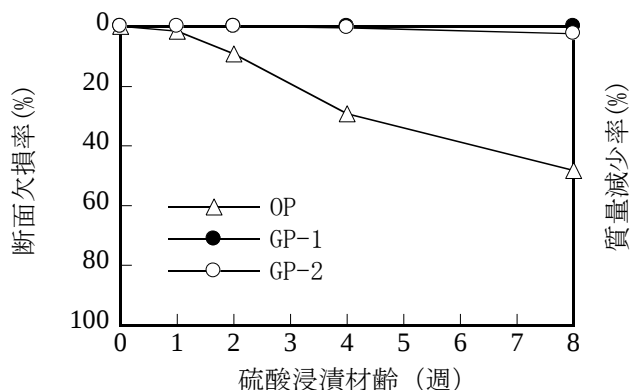


図2 硫酸浸漬試験の結果（断面欠損率）

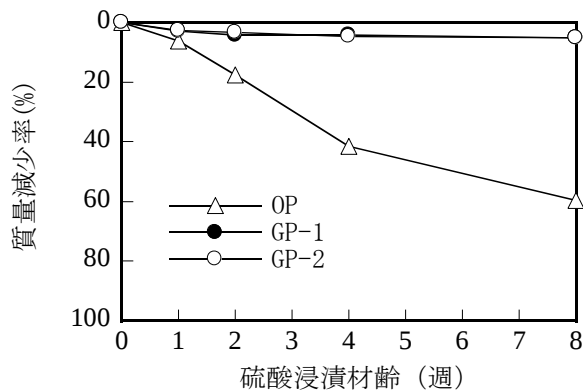


図3 硫酸浸漬実験の結果（質量減少率）

材反応性試験では、温度 60℃、湿度 90% の恒温恒湿装置内で養生を行い、供試体（4×4×16cm）の長さ変化率を測定した。なお、試験開始材齢は GP モルタルが 1 日、OP モルタルが 7 日である。

3. 実験結果

(1) 硫酸浸漬試験 図1に硫酸浸漬材齢8週における供試体の外観の比較、図2に断面欠損率（（硫酸浸漬前の断面積－浸漬後の断面積）／浸漬前の断面積×100）の変化、図3に質量変化率の変化を示す。いずれの結果からも、OP モルタルは激しく劣化しているのに対し、GP モルタルの劣化は僅少で耐酸性に優れていることが分かる。これは、OP モルタルでは硫酸により成分の Ca が石こうに変化して溶出することで劣化が進行するのに対し、主成分が K や Na である GP モルタルでは石こうの生成量が少ないことが主な原因と考えられる。その一方で、目視や触診の結果、GP モルタルの表層部の多孔化が認められた。

(2) アルカリ骨材反応性試験 図4にひび割れの発生状況の比較、図5に材齢とひずみの関係を示す。図4のように、OP モルタルにはアルカリ骨材反応による亀甲状のひび割れが確認できるが、GP モルタルはひび割れが生じていない。また、膨張ひずみは OP モルタルでは顕著であるが GP モルタルはほとんどない。GP モルタルの高い耐アルカリ骨材反応性の理由の一つとして、GP と反応生成物は同種の物質であり、骨材表面で生成される反応生成物が GP に取り込まれるため、骨材表面に膨張応力が作用しないことが考えられる。

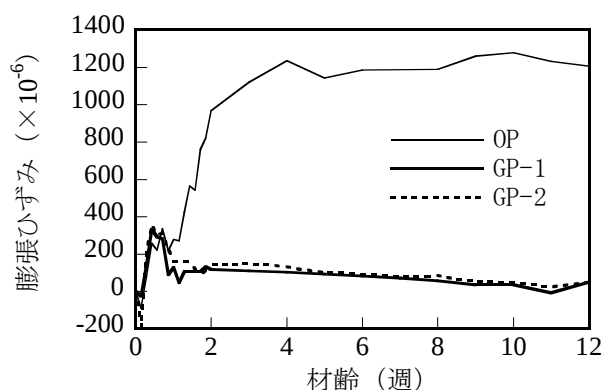
図4 ひび割れ発生状況の比較
（上から OP、GP-1、GP-2）

図5 反応性骨材を使用した供試体のひずみと材齢の関係

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) フライアッシュベースの GP モルタルの耐酸性は、セメントモルタルに比べて極めて高く、濃度 5% の硫酸への浸漬材齢 8 週においても形状変化はほとんどない。
- (2) 同 GP モルタルは、アルカリ骨材反応に対する抵抗性も極めて優れており、促進材齢 8 週において寸法変化やひび割れの発生は確認できなかった。

謝辞：本研究を行うにあたり、山口大学名誉教授 池田 攻氏、九州大学准教授 佐川康貴氏、九州工業大学助教 合田寛基氏、日本興業株式会社の皆様にご支援いただきました。紙面を借り深謝いたします。

参考文献：1) 池田攻：二酸化炭素問題とジオポリマー技術，耐火物，Vol. 17, No. 5, pp. 87-95, 1979. 5