

## ジオポリマーの化学的侵食における温度依存性

九州工業大学 学生会員 ○村上 光樹

九州工業大学大学院 学生会員 深野 雄三, 正会員 合田 寛基, 正会員 日比野 誠

西松建設(株) 正会員 原田 耕司

### 1. はじめに

フライアッシュ系ジオポリマー (以下, GP) はセメントコンクリートと異なり, 固化の際に Ca の化合物をバインダーとしない. 吉田らの研究<sup>1)</sup>より, 建設分野で要求される GP は, 圧縮強度を得るために高炉スラグ微粉末(以下, BFS)を混和することが望ましいことが報告されている. 一方, 合田らの研究<sup>2)</sup>より, GP は高い硫酸抵抗性を示すが, BFS を含む GP は, 硫酸中の S が GP 中の Ca と反応して二水石膏を生成することが報告されている. 温泉地域における GP の開発を展開する上では, 耐硫酸抵抗性と強度特性との調和を図ることに加えて, 温度依存性について検討すべきであると考えられる. 本研究では, GP の化学的侵食に対する評価と位置付けた上で, 浸漬温度が GP モルタルの耐硫酸抵抗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 に使用材料を示す. GP 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 種と高炉スラグ微粉末を使用した. 細骨材には, 表乾状態の海砂を使用した. 使用材料は, 事前に 20°C の室内で温度管理を行った. 表-2, 表-3 にそれぞれ GP, OPC の配合表を示す. GP モルタルは BFS 置換率を 15% とした.

#### (2) 供試体および養生方法

供試体寸法は  $\phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$  の円柱モルタルとした. GP は硬化ならびに強度発現の過程で段階的な加熱が必要であることから, 図-1 に示す加温養生を採用した. 養生時間を 12h, 24h とし, その後試験材齢(7日)まで 20°C RH60% の環境下で気中養生を行った. なお OPC モルタルは試験材齢(28日)まで水中養生を行った.

#### (3) 試験方法

化学的侵食の温度依存性の検討として, GP は 20°C, 50°C, 70°C の浸漬環境で, 比較用の OPC は 20°C の浸漬環境でそれぞれ試験を実施した. 浸漬溶液は  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (GP=10%, OPC=5%) とした. 溶液の隅角部による影響を排除するため, 供試体の上下面をエポキシ樹脂で被覆した. 浸漬期間を 4 週とし, 2 週に 1 度浸漬溶液を入れ替えた. 浸漬期間中, 1 週毎に質量と断面幅を測定するとともに外観を観察した. また 2 週毎に, JIS R5210 に準拠して圧縮強度試験を行った. 各測定は, 供試体を流水で洗浄し, 表面の水分を拭き取った後に実施した.

表-1 使用材料

分類	記号	材料	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
GP モルタル	GPS	ジオポリマー溶液	1.40
	FA	フライアッシュ II 種	2.28
	BFS	高炉スラグ微粉末	2.92
	SP	砕石粉	2.76
	S	海砂	2.56
OPC モルタル	W	水	3.16
	C	普通ポルトランドセメント	1.00
	S	海砂	2.56

表-2 GP モルタルの配合(kg/m<sup>3</sup>)

GPS	FA	BFS	SP	S
293	345	91	86	1437

表-3 OPC モルタルの配合(kg/m<sup>3</sup>)

W	C	S
248	600	1437

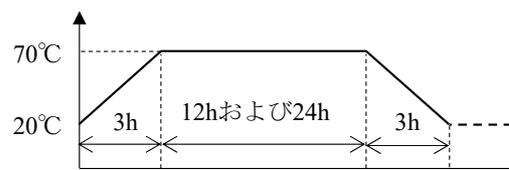


図-1 加温養生条件

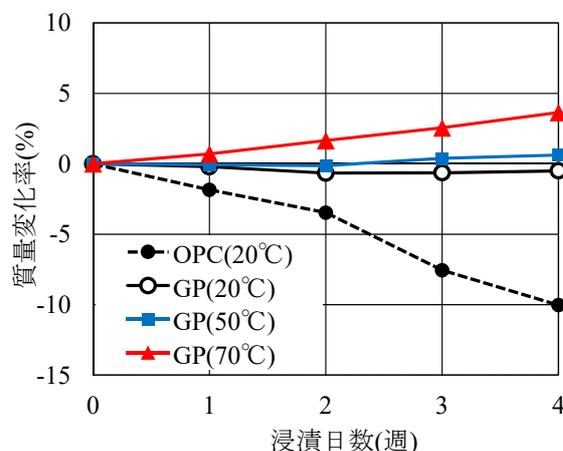


図-2 質量変化率

### 3. 実験結果および考察

#### (1) 質量変化

図-2 に GP(養生時間 24h), OPC の質量変化率を示す. GP の 4 週時点の変化率は極めて小さい結果となった. 最も変化した供試体でも 5%未満であったことから, 浸漬温度に関わらず変化が見られないことがわかる. 一方, 比較用の OPC は, GP の浸漬溶液の半分的环境下で 10%程度の質量の減少が確認された.

#### (2) 外観観察

写真-1 に GP の 20°C, 50°C, 70°C の外観状況を示す. 写真-1 より, GP の表面にひび割れおよび一部表面の剥落が確認された. また, 浸漬温度に関わらずひび割れ部分には白色の析出物(二水石膏)が確認された. これらの現象は高温の環境において顕著に現れた.

#### (3) 圧縮強度試験

図-3 に浸漬温度をパラメーターとした GP の圧縮強度試験結果を示す. GP の初期強度は 49MPa である. 20°C, 50°C, 70°C の 2 週時点については, 高温の方が強度は大きい. 一方で, 4 週時点における圧縮強度は, それぞれ 34MPa, 26MPa, 25MPa であり, 高温環境であるほど強度の減少量が多い.

図-4 に養生時間をパラメーターとし 70°C $\text{CH}_2\text{SO}_4$  に浸漬させた GP の圧縮強度試験結果を示す. 養生時間が 12h, 24h の初期強度はそれぞれ 45MPa, 49MPa であった. 24h は 2 週時点で強度が減少しているが, 12h は 2 週目まで強度が増加した. 12h と比較して 24h で初期強度は大きくなるが, その後は 12h の強度を下回る結果となった. 12h は 24h より GP 内部の未反応部分が多く, 浸漬初期の高温環境において固化反応が進み, 劣化の進行が遅れていることが推察される.

以上より, GP は断面積の著しい減少は見られないものの, ひび割れが発生することで圧縮強度が低下することが示された. また浸漬温度が高いほど圧縮強度の低下が顕著となる一方で, 養生環境によって初期の抵抗性が異なる可能性が示唆された.

#### 4. まとめ

本研究より, ①GP は浸漬温度に関わらず質量の変化は見られない, ②GP は高温環境では浸漬初期の圧縮強度が大きい, ③一方で, 浸漬期間の経過に伴い高温環境ほど圧縮強度が小さくなる, ④養生時間が短いほうが圧縮強度の減少量が小さくなるケースもある, 等の知見が得られた.

#### 【謝辞】

本研究の一部は, 科学研究費助成事業(課題番号 16K06441)によるものです. ここに記して謝意を表します.

#### 【参考文献】

- 1) 吉田強志, 日比野誠, 合田寛基, 原田耕司: 給熱方法がジオポリマーの強度特性に及ぼす影響, 平成27年度土木学会西部支部研究発表会, V-33, pp.687-688, 2016
- 2) 合田寛基, 原田耕司, 津郷俊二, 日比野誠: フライアッシュ系ジオポリマーの耐食性に関する基礎的研究, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム論文集, pp.173-178, 2014



浸漬前 20°C 50°C 70°C  
写真-1 外観状況(浸漬4週時点)

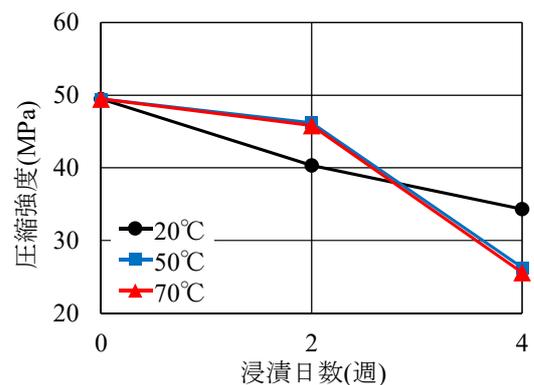


図-3 浸漬温度-圧縮強度の関係

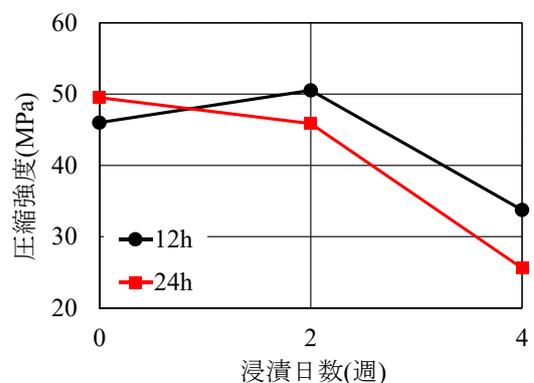


図-4 養生時間-圧縮強度の関係