

## ジオポリマーの部分吸水に伴う表層劣化に関する円柱供試体を用いた促進実験

大分高専専攻科 学生会員 ○加藤 英徳, 大分高専 正会員 一宮 一夫  
大分高専 非会員 藤原 怜司, 西松建設(株) 正会員 原田 耕司  
日本興業(株) 非会員 津郷 俊二

### 1. はじめに

ジオポリマー（以下、GP）は、セメントクリンカーを使用せず、非晶質のケイ酸アルミニウムを主成分とした原料（活性フィラー）とアルカリ金属のケイ酸塩、炭酸塩、水酸化物の水溶液の少なくとも1種類（アルカリ溶液）を用いて硬化させたものである。GPの特長には製造時のCO<sub>2</sub>排出量を抑制できることに加え、耐酸環境や高温環境での高い抵抗性が挙げられる<sup>1)</sup>。

しかし、GPには図1のような歩車道境界ブロックに適用した場合、白華やスケーリングによる表層劣化が発生することがある。そこで本研究では、表層劣化が生じたGPコンクリートと同じ配合並びに表面含浸剤を塗布した円柱供試体を用いた室内実験を行い、表層劣化メカニズムの検討を行った。

### 2. 実験概要

#### 2.1 配合

表1にコンクリートの配合を示す。アルミナシリカ粉末のフライアッシュ（以下、FA）を基本とし、硬化促進のために高炉スラグ微粉末（以下、BS）を内割り置換（置換率は20%）した。細骨材には珪砂を、粗骨材には碎石を使用した。

GPは反応促進のために加熱を行う必要があり、一般的に蒸気養生が施される。それに倣い本研究では、最高温度60℃、湿度90%RHの給熱養生を12時間施し、その後は室温（20℃、60%RH）で所定の材齢まで貯蔵した。

#### 2.2 実験方法

材齢1日でコンクリート円柱供試体（直径10cm、高さ10cm）にシラン系表面含浸剤を塗布した場合と無塗布の場合を、異なる環境で試験材齢16週間、図2に示すような部分吸水試験を行った。また、試験材齢16週目において圧縮強度の測定を行った。試験環境は、恒温室（20℃、60%RH）、冷蔵庫（2℃、30%RH）の2種類とし、白華ならびにスケーリングの進行状況の差異を調べた。

### 3. 実験結果

#### 3.1 試験環境の影響

図3に試験環境別の供試体外観を示す。同図上段の試験材齢2日において、恒温室、冷蔵庫いずれの環境においても含浸剤塗布の供試体では白華の発生は認められない。しかし試験環境が冷蔵庫の含浸剤無塗布の供試体において白華が生じた。同図下段の試験材齢16週では、含浸剤塗布の供試体は、両試験環境において白華の発生が確認されたが、その発生量は僅少であり、含浸剤塗布による白華抑制効果がある。また含浸剤無塗布の供試体は、両試験環境で大量の白華やスケーリングが認められた。両試験環境で比較すると、恒温室に比べ冷蔵庫の方で白華が多くみられ、表層劣化も進行しており、GPは低温かつ乾燥環境下において白華やスケーリングの進行速度が速くなることが確認された。また冷蔵庫に貯蔵することで、白華およびスケーリングの促進評価法となることが期待できる。



図1 GPブロックの表層劣化の例

表1 使用材料および配合

	FA	BS	溶液	S	G		合計
					G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	
比重	2.36	2.91	1.39	2.60	2.61	2.61	
質量(kg)	418	104	235	624	363	572	2316
容積(L)	176.9	35.9	169.0	239.8	139.2	219.2	980.0

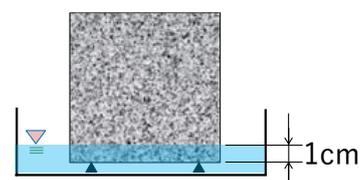


図2 部分吸水試験の様子

### 3.2 白華発生後の圧縮強度

図4に試験終了後における圧縮強度を示す。気中養生との比較から、含浸剤塗布による圧縮強度への影響はないことが確認された。また、前述のように、冷蔵庫の方が恒温室に比べ、白華及び白華に伴う表層劣化が顕著であるが、圧縮強度は恒温室と冷蔵庫の差が約10%と非常に小さい。このことから、白華が発生すると、スケーリングのような表層劣化は発生するが、供試体内部への影響は小さいことが推察され、表層に析出される白華は、強度発現及びGPの凝結に使用されない未反応のNa成分が溶出していると考えられた。

### 3.3 劣化メカニズム

図5にGPの細孔径分布を示す。同図においてOPCと比較したGPの細孔径分布の特徴として、最頻値がOPCは $0.1\mu\text{m}$ 程度であるのに対して $0.02\sim 0.04\mu\text{m}$ と低く、GPはOPCに比べ径の小さい連続空隙が多数存在していることが分かる。このことから、OPCは比較的大きな空隙が内部に点在しており、GPは内部にさらに小さな空隙が散在していると考えられる。これは両者の微細構造の違いによるものであり、OPCはセメント粒子が水和反応に伴い、各粒子同士が絡み合ったような集合体であるのに対し、GPは粒子を無機質の不定形ゲルで固めた構造であるとともに、縮重合反応により微細な空隙が多数発生するためと考えられる。

以上より、GPでは、供試体中の水分移動が毛細管張力により促進され、マトリクス中の未反応Naが供試体表面で炭酸ナトリウムとなり、白華ならびにスケーリングを生じるものと考えられる。

## 4. まとめ

本研究で得られた主な知見を次に示す。(1) 恒温室 ( $20^{\circ}\text{C}$ , 60%RH) よりも冷蔵庫 ( $2^{\circ}\text{C}$ , 30%RH) の中で白華やスケーリングが促進されたことから、GPの表層劣化は温度や湿度が低いほど進行しやすい。(2) OPCコンクリート用のシラン系表面含浸材はGPの表層劣化の速度を低下させる効果がある。(3) GPコンクリートは白華が発生により表層劣化が顕著に現れるが、圧縮強度には影響しない。(4) GPコンクリートに現れる白華は、強度発現及び凝結に使用されないNa成分である可能性が高い。(5) GPの白華発生メカニズムはOPCとは異なり、更なる詳細なメカニズムの解明が求められる。

謝辞 本研究はJSPS科研費17H03291の助成を受けたものです。

参考文献 1) 建設分野へのジオポリマー技術の適用に関する研究委員会報告書, (公社)日本コンクリート工学会, 2017, 2) 一宮一夫, 原田耕司, 池田攻: 部分吸水に伴うジオポリマーの表層劣化メカニズムと表面含浸剤の効果, 土木学会第72回年次学術講演会概要集, pp.171-172, 2017

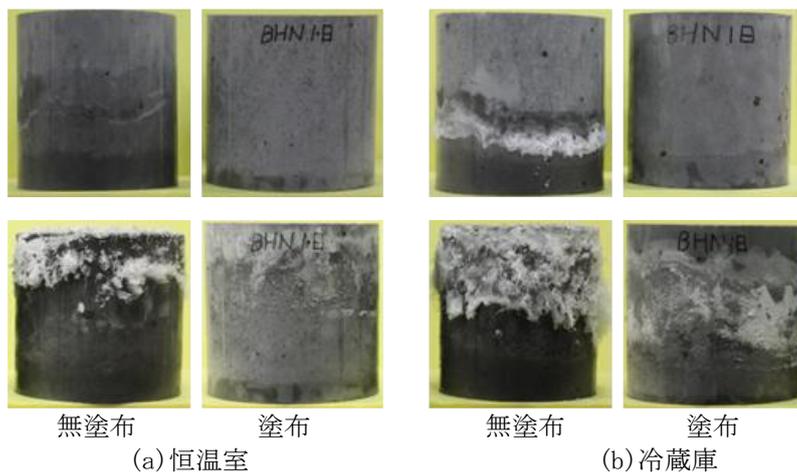


図3 試験環境による外観比較  
(上段は試験材齢2日, 下段は試験材齢16週)

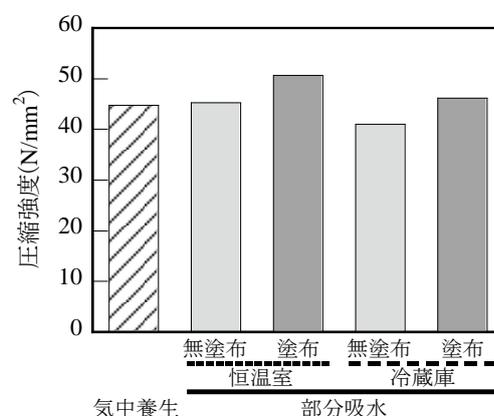


図4 試験終了後における圧縮強度

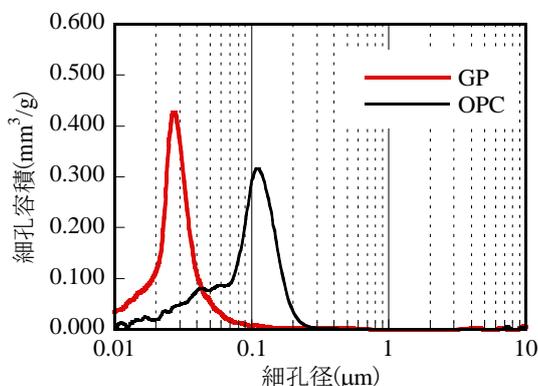


図5 GPの細孔径分布