

ジオポリマーの白華ならびにスケーリングと試験環境の関係

大分高専 正会員 一宮 一夫, 大分高専専攻科 学生会員 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, 製造時の CO₂ 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の特徴である¹⁾。しかし, 特に図1のような地盤と接する場合に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。

本研究では, 実際の現場で表層劣化が生じた GP コンクリートと同じ配合の供試体を用い, 供試体下端から部分吸水試験を行い, 白華やスケーリングと試験環境の関係を調べた。

2. 実験概要

2.1 配合ならびに供試体の製作

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。アルカリ溶液には水ガラスと苛性ソーダの混合液, 細骨材には珪砂, 粗骨材には碎石をそれぞれ使用した。

型枠には直径10cm, 高さ20cmの円柱供試体用型枠を用い, コンクリート充填後は蒸気養生(最高温度60℃, 湿度90%RH, 給熱時間12時間)を行い, 翌日の脱型後に供試体高さが10cmになるようにコンクリートカッターで整形した。その後は室温(20℃, 60%RH)で所定の材齢まで貯蔵した。



図1 GPブロックの表層劣化の例

表1 コンクリートの配合

	FA	BS	AW	S	G	合計
比重	2.36	2.91	1.39	2.60	2.61	
質量(kg)	418	104	235	624	935	2316
容積(L)	176.9	35.9	169.0	239.8	358.4	980.0

2.2 部分吸水試験

部分浸漬試験の状況を図2に示す。試験環境は, ①恒温室(20℃, 60%RH), ②冷蔵庫(3℃, 30%RH), ③プログラム式環境試験装置(温度5℃~20℃の繰り返し1サイクル4時間, 85%RH)の3種類とした。試験期間は, ①, ②が16週間, ③が81サイクルで, 白華ならびにスケーリングの進行状況を観察した。

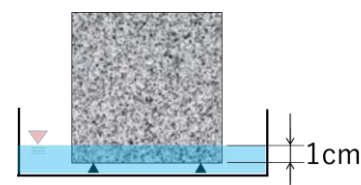


図2 部分吸水試験の状況

3. 実験結果

3.1 試験環境の影響

図3に試験材齢2日, 8週(試験期間の中間), 16週(試験期間)での供試体外観を示す。試験材齢2日目では, 恒温室では色調以外の変状は認められないが, 冷蔵庫と環境試験装置(4サイクル)の供試体で既に白華が生じている。各供試体の下端からの吸水高さを表面の色調から推定すると, 恒温室が7cm程度, 冷蔵庫と恒温恒湿装置が5cm程度である。冷蔵庫と環境試験装置の乾燥部と吸水部の色の違いは明瞭であるのに対して, 恒温室の下端からおおよそ7cmよりも上の部分の色調は相対的に濃いことから, 既にいくらかの水が上端部まで到達している可能性がある。筆者らの既往の研究²⁾でも, 白華の主要な物質は本実験のGPの配合では炭酸ナトリウムであることを確認している。従来のコンクリートに生じる白華の主成分は水に溶けにくい炭酸カルシウムであるが, フライアッシュと水ガラスを主体とするジオポリマーに生じる白華の主成分は炭酸ナトリウムである。炭酸ナトリウムは水に溶けやすいために, 供試体全体に吸収水が分布し, 炭酸ナトリウムの析出量が少ない初期の段階にある試験材令2日での恒温室には白華が生じていないものと推察される。冷蔵庫と環境試験装置の白華の発生位置と量が同程度である

ことから吸水メカニズムも類似しているようである。試験環境は、冷蔵庫が 3℃, 30%RH, 環境試験装置が最低 5℃, 最高 20℃, 85%RH で、両者は異なる試験環境にあるが、この段階での差異は見受けられない。

試験材齢 8 週での試験環境別の供試体表面の状況は大きく異なる。恒温室と冷蔵庫を比較すると、いずれにも白華が生じているが、発生量は冷蔵庫の方が格段に多い。これは冷蔵庫の方が乾燥状態にあるため、湿度の低い冬期において白華が顕著になると推定される。ジオポリマーの配合ごとの白華量を推定する促進試験として冷蔵庫を用いる本方法は有効と言える。また、恒温室では、供試体上半分の範囲で白華を生じていないところも、表層部に変状（白色のまだら）が認められ、供試体内部に包含する水分量と周囲の湿度とのバランスにおいて、前者が卓越すると白華は生じにくいことを示している。他方、環境試験装置では白華はほとんど生じていないが、スケーリングが認められる。なお、白華は 30 サイクルを境に発生しなくなった。このことから、白華の原因の未反応のナトリウムが白華として恒温室や冷蔵庫よりも早い時期に消費され尽くした可能性もある。

試験材齢 16 週では、恒温室及び冷蔵庫の供試体で供試体上部を中心に大量の白華が生じており、冷蔵庫では試験材齢 16 週でも未反応のナトリウムが残存していることが分かる。

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。部分吸水をしていない気中養生の供試体の強度は 44.8N/mm² であるのに対して、部分吸水をした恒温室が 44.8N/mm², 冷蔵庫が 41.0 N/mm² で白華やスケーリングが多いほど僅かに強度は低い傾向にあるが、その影響は僅かなようである。

4. まとめ

本研究の結果、ジオポリマーの白華は供試体の湿潤部分と乾燥部分の境界を中心に発生し、乾燥環境であるほど顕著であることから、特に湿度が低い冬期に発生しやすいと考えられる。また、析出物の炭酸ナトリウムは水に溶けやすいことから湿度の高い時期や降雨時には抑制される。白華と同時にスケーリングも発生する。スケーリング発生メカニズムは現時点では不明であるが、GP に含まれる未反応のナトリウムが溶出してできた空隙を介して浸透水量が増えることが影響した可能性もある。

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

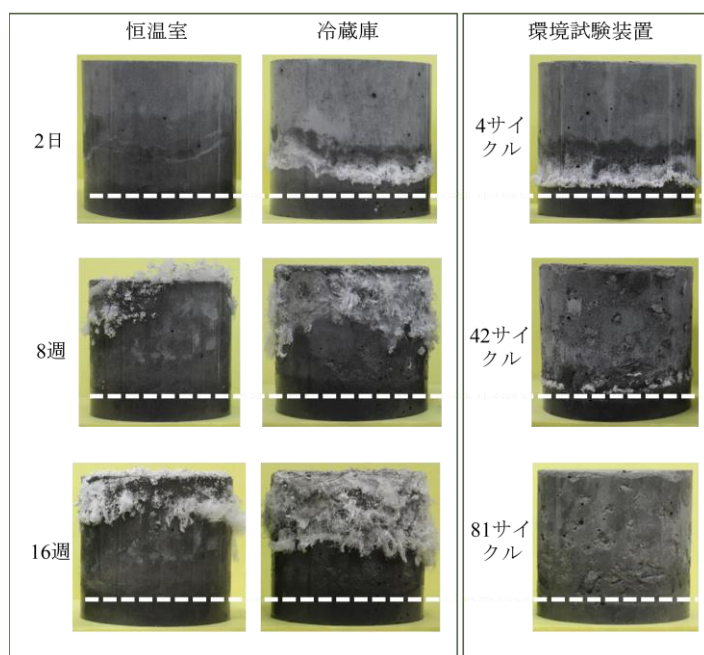


図 3 試験環境ごとの外観

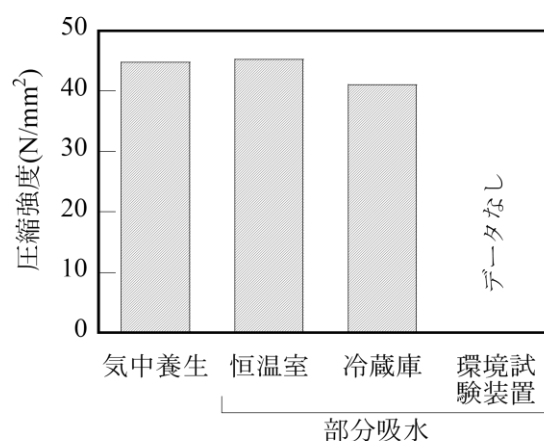


図 4 試験終了時 (16 週) における圧縮強度