

ジオポリマーの白華現象に関する基礎的研究

九州工業大学大学院 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
 九州工業大学 非会員 白木 笑加

1. はじめに

フライアッシュ系ジオポリマー(以下、GP)は、酸、硫酸塩抵抗性、耐火性、ASR 抑制効果に優れるとともに、鋼材との付着強度特性にも優れた建設材料であることが報告されている¹⁾²⁾。また、結合材の生成において、焼成過程が不要であることから、炭素負荷低減も期待されている。前述の通り、GP は普通ポルトランドセメント(以下、OPC)コンクリートと異なる特長を有しており、次世代の建設材料の一つとして実用化への取組みが進められている。GP の実用化については、北部九州をはじめとする実用事例が挙げられるが、一部の GP コンクリートで白華や表層劣化が発生している³⁾。既往の研究では、配合変更による表層劣化の抑制効果について報告がある³⁾。本研究では、白華現象と GP 内の水分移動との関係性に着目し、養生時間の変更ならびにケイ酸塩系含浸材の塗布により、GP コンクリートの細孔量分布を変化させ、細孔量の変化が白華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。アルカリシリカ溶液には、水ガラスに苛性ソーダを混和したものを使用した。活性ファイラーには、フライアッシュ II 種と高炉スラグ微粉末をそれぞれ使用した。細骨材には海砂(表乾)を、粗骨材には砕石をそれぞれ使用した。表-2 に GP の配合表を示す。

(2) 供試体および養生方法

供試体は、φ100mm×100mm の円柱とした。GP は硬化ならびに強度発現の過程で段階的な加温養生が必要であることから、図-1 に示す養生方法を採用した。養生時間は高温保持時間を 9h、72h の 2 水準とした。加温養生終了後は、材齢 14 日まで 20°C RH60% の環境下で気中養生した。ケイ酸塩系表面含浸材については、材齢 7 日目に供試体全面に反応促進材と併用して塗布した。

(3) 浸漬試験方法

浸漬試験は、5°C の低温恒温槽内で、図-2 に示す通り、供試体底面が水槽に接しないように設置し、供試体の底

表-1 使用材料

| 材料種別 | 記号 | 密度 (g/cm ³) | 備考 |
|--------------|-----|-------------------------|------------------------------|
| フライアッシュ II 種 | FA | 1.95 | 比表面積 3680 mm ² /g |
| 高炉スラグ微粉末 | BFS | 2.91 | 比表面積 4180 mm ² /g |
| アルカリシリカ溶液 | GPW | 1.40 | 水ガラス 苛性ソーダ |
| 細骨材 | S | 2.56 | 珪砂 |
| 粗骨材 | G | 2.71 | 北部九州産 砕石 |

表-2 配合表

| GPW/P | BFS/P | GPW | FA | BFS | S | G |
|-------|-------|-------------------|-----|-----|-----|-----|
| % | | kg/m ³ | | | | |
| 65 | 30 | 330 | 353 | 152 | 559 | 846 |

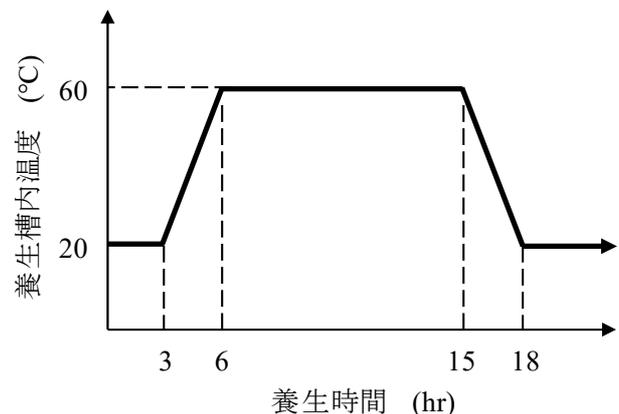


図-1 養生方法(高温保持時間 9h の場合)

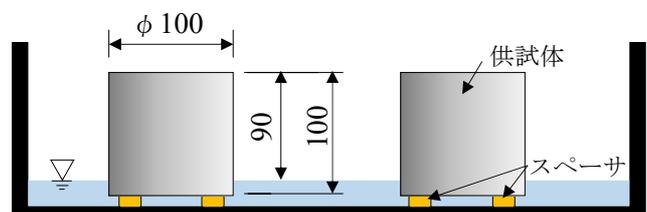


図-2 浸漬試験状況 (単位: mm)

部から 1cm までを貯め置いた水道水に 4 週間浸漬させる手法を採用した。測定内容は、浸漬期間中の外観変化、浸漬試験前の吸水試験、浸漬試験終了後の細孔量分布とした。ここで吸水試験は、簡易吸水試験器を用いて浸漬試験終了前のコンクリート上面からの吸水量を測定した。細孔量測定に供した試料片は、高さ 70~75mm の円周面から 5mm までの領域におけるモルタル部とした。

3. 実験結果および考察

(1) 細孔量分布

図-3 にポロシティメータを用いた細孔量分布を示す。同図より、保持 9h 無塗布の供試体と比較して、保持 72h 無塗布および保持 9h 表面含浸材塗布の供試体では、200~800nm の細孔量が少ないことが確認された。

(2) 外観変化

図-4 に浸漬試験前後における外観変化を示す。

同図(a)に示す浸漬前供試体と比較して、同図(b)の保持 9h 無塗布の供試体では、上面ならびに上端から 40mm 程度までの円周面で炭酸ナトリウム由来の白華が確認された。一方、同図(c)、(d)より、保持 72h 無塗布および保持 9h で表面含浸材塗布の場合では、上面ならびに円周面において炭酸ナトリウム由来の白華は確認されなかった。

(3) 吸水試験

図-5 に吸水試験結果を示す。同図より、保持 9h 無塗布供試体と比較して、保持 72h 無塗布の供試体では単位面積当たりの吸水速度が約 20%と明らかに小さい。

(4) 細孔量分布と白華の関係性

本実験条件において、毛細管空隙範囲内である 200~800nm の細孔量が異なることによって、吸水速度の低下や白華の発生量の減少が確認された。これは養生時間の長期化にともなうジオポリマーの縮重合促進および高炉スラグ微粉末の反応促進、ケイ酸塩系表面含浸材による含浸材と母材間の化学反応によって、細孔組織の緻密化が進行したものと考えられる。細孔組織の緻密化は白華抑制の一方策として有効であると考えられるとともに、養生時間の長期化とケイ酸塩系表面含浸材塗布は白華抑制に一定の効果が期待できると考えられる。

4. まとめ

本研究より、養生時間の長期化ならびにケイ酸塩系表面含浸材の塗布により、養生時間が短い無塗布のコンクリートよりも 200~800nm の細孔量が減少していた。また、コンクリート表面における白華の発生量の減少と吸水速度の低下がみられた。

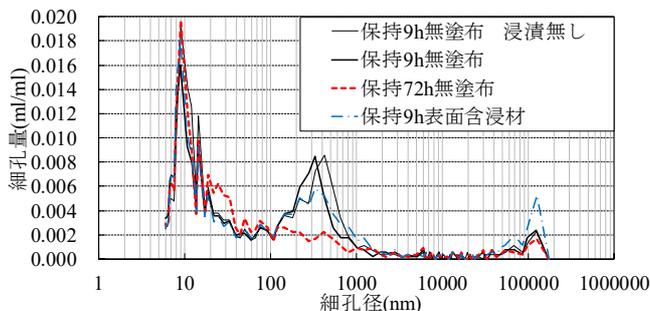


図-3 細孔量分布

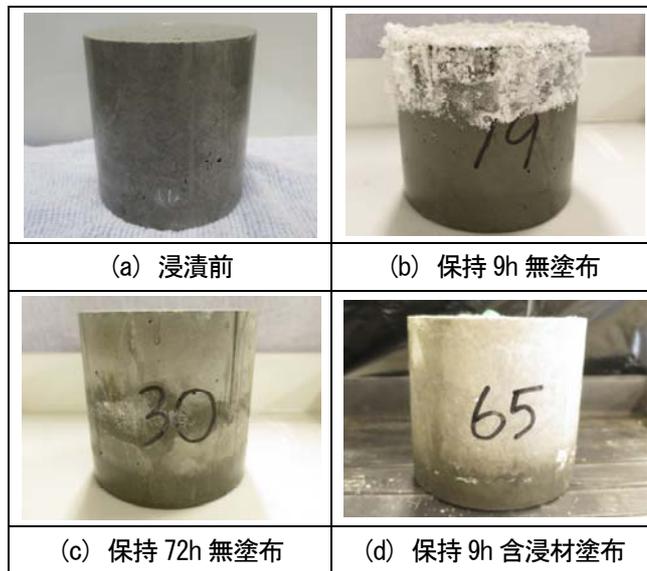


図-4 浸漬試験前後での外観変化

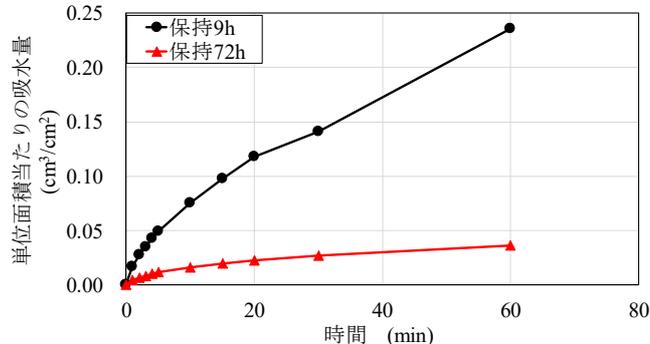


図-5 吸水試験結果

謝辞：本研究は、科研費 16K06441 の助成を受けたものです。関係者各位に謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 原田耕司ほか：ジオポリマーモルタルの耐久性に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.33、No.1、pp.1937-1942、2011
- 2) 佐川康貴ほか：ジオポリマーコンクリートはりの曲げ耐荷性状に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.39、No.1、pp.2095-2100、2017
- 3) 一宮一夫ほか：フライアッシュ系ジオポリマーの部分吸水による表層劣化に関する基礎実験コンクリート工学年次論文集、Vol.39、No.1、pp.2047-2052、2017