

細孔溶液中の pH がジオポリマーの ASR 抵抗性に及ぼす影響

九州工業大学 学生会員 ○新貝勝信
 九州工業大学大学院 正会員 合田寛基 日比野誠
 西松建設株式会社 正会員 原田耕司
 九州大学大学院 正会員 佐川康貴

1. はじめに

近年、環境負荷低減性および持続可能な社会の実現への関心が高まっていることから、クリンカーレスであるジオポリマー(以下、GP)が注目され、建設材料としての実用化に向けた研究が進められている。GP の特徴の一つとして、ASR に対する高い抵抗性が報告されている。OPC における ASR のメカニズムについては、骨材中の反応性鉱物、アルカリ、水分、間接的な Ca^{2+} の存在が重要であることが知られている。しかしながら、GP では、数種の配合において ASR 抵抗性について実験¹⁾を行っているにとどまっている。

そこで、本研究では、OPC での ASR 発生条件を下に促進実験を実施し、GP の ASR 抵抗性に対する定量もしくは半定量評価を行うこととした。パラメーターは、供試体を浸漬させるアルカリ溶液の濃度(pH)とした。

2. 実験概要

OPC はアルカリ溶液浸漬環境において、細孔溶液中の pH が高い状態で維持されることで、ASR が促進されることが知られている²⁾。そこで、アルカリ溶液浸漬環境下での GP における ASR の膨張傾向を検討するため、浸漬溶液(NaOH)の濃度をそれぞれ pH=7, 10.5, 11, 12, 13 に変化させた。また、本研究では CPT を用いた ASR 促進試験方法(JCI-TC115FS)を参照の上、実験供試体の寸法 (75×75×250mm) を決定した。使用した材料の物性及び配合を表-1、表-2 に示す。本実験で使用した反応性骨材は九州工業大学で過年度に行われた OPC の ASR 促進試験(CPT)において、材齢 8 週で約 2000 μ ほどの膨張量を示している。また、GP 中の Ca^{2+} 量は CaO 当量で 92kg/m³ とした。これは、OPC の CaO 量の約 45%程度にあたり、OPC と比較して十分に小さい条件である。

コンクリートの打設は強制練りミキサを使用し行った。FA, BFS, 細骨材をミキサに投入し 30 秒練り、その後 GPW を投入し 1 分間練った。最後に粗骨材を投入し 1 分間練り、型枠に充填した。打設後、最高温度 70℃、同保持時間を 36 時間として 1 次養生を行った上で各静置環境下に静置させた。静置環境を表-3 に示す。各静置環境における膨張量の測定間隔は 2 週間とした。な

表-1 使用材料

材料	密度 (g/cm ³)
アルカリシリカ溶液 (GPW)	1.40
フライアッシュ (FA)	2.30
高炉スラグ微粉末 (BFS)	2.91
細骨材 (NS)	2.55
粗骨材 (NG)	2.70
反応性細骨材 (RS)	2.75
反応性粗骨材 (RG)	2.76

表-2 GP 配合表

GPW	FA	BFS	NS	RS	NG	RG	CaO
kg/m ³							
330	206	206	561	397	391	257	92

表-3 静置環境

Case	反応性骨材置換率	静置温度	浸漬アルカリ溶液の pH 濃度
1	40%	40℃	13
2			12
3			11
4			10.5
5			7

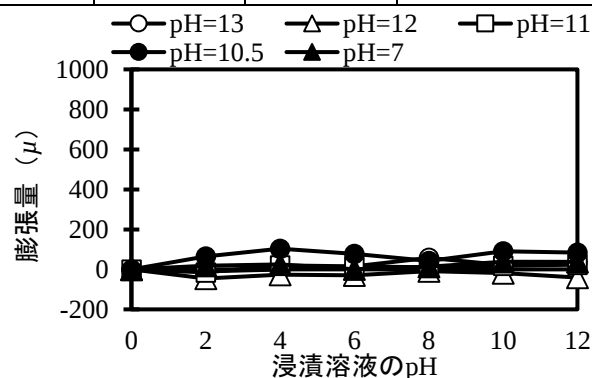


図-1 膨張量の経時変化

お、本報では静置期間 12 週までの結果を示す。測定方法は JIS A 1129-3 に準拠した。

3. 実験結果

図-1 に各静置環境下での膨張量の経時変化を示す。膨張量は静置期間 12 週時点ではいずれの静置環境下でも 100 μ 未満であった。全体的に膨張量が小さく、膨張量は pH=10.5>7>13>11>12 の順になっていて、pH=10.5 での膨張量が最も大きい結果となった。また、pH=12 に関してはわずかに収縮している。しかし、各水準での膨張量に差異はほとんどなく、発生した膨張量は最大でも 200 μ 以下であることから、JCI-AAR3 の判定基準から、静置期間 12 週段階では「膨張性なし」と判定され、浸漬溶液の pH の違いによる膨張量の変化は確認されなかった。

次に質量の経時変化を図-2 に示す。pH=7 を除き、概ね質量増加率は 0.8%-1% 程度であり、pH=13>12>11>10.5>7 の順で質量増加が大きい結果となった。pH=13, 12, 11, 10.5 に関しては静置期間 0-2 週にかけて大幅に質量が増加し、その後も増加する傾向が見られる。一方、pH=7 に関しては、0-2 週にかけて質量は増加しているものの、その後はほとんど変化していない。図-1 の結果を踏まえると、質量のみ増加していて、膨張量に変化が見られていない。以上より、OPC の質量の経時変化と異なり、GP では ASR ゲルが生成されていない、あるいはゲルが生成されていても、吸水膨張によりひび割れが発生するような特徴を有していないと推測される。本研究では、Ca²⁺量を OPC と比較して十分に小さい条件としていることから、Ca²⁺量の不足により、ゲルが膨張には至らなかったと考えられる。

静置期間 12 週と脱型直後の圧縮強度の比を図-3 に示す。pH=13, 12, 11 では、圧縮強度の増加が見られたが、pH=10.5, 7 では、若干の強度低下が見られた。次に、静置期間 12 週と脱型直後の静弾性係数比を図-4 に示す。全ての水準で静弾性係数が増加しており、特に pH=11 での増加が最も大きい結果となった。静弾性係数の増加は、材齢経過に伴い、BFS により組織が緻密化し、GP の変形抵抗性が向上したために向上したと考えられる。一般的に ASR を呈した OPC では圧縮強度、静弾性係数が低下することが知られている。しかし、本研究では、GP の圧縮強度、静弾性係数において、ASR を呈した OPC に見られる強度特性の低下は確認されなかった。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 静置期間 12 週段階では、膨張はいずれも 200 μ 未満であり、各水準での膨張量に顕著な差異は見られなかった。

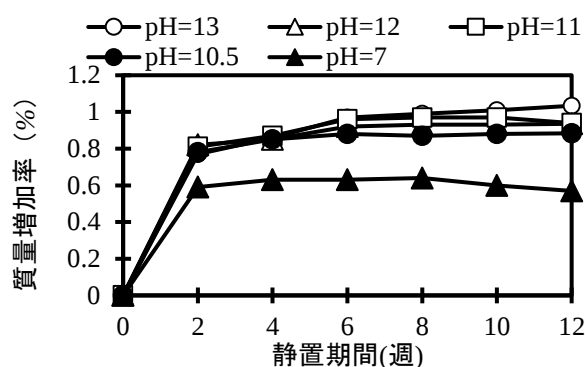


図-2 質量の経時変化

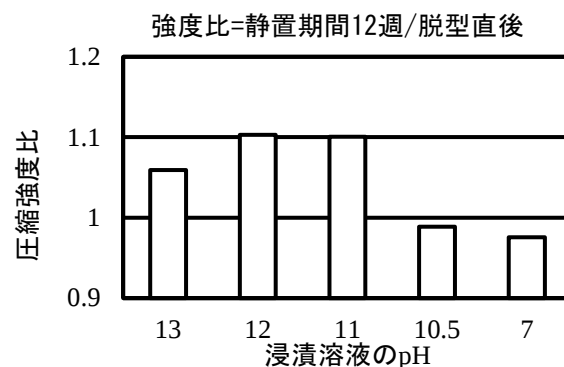


図-3 圧縮強度試験結果

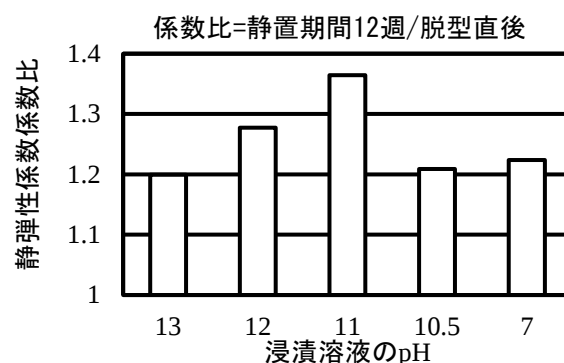


図-4 静弾性係数試験結果

- (2) 圧縮強度、静弾性係数に ASR を呈した OPC にみられる特徴は確認されなかった。

謝辞

本研究の一部は、科研費（基盤 C-16K06441）の助成を受けて実施した。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 合田寛基, 原田耕司, 一宮一夫: 耐久性評価に基づいた低炭素型社会における建設材料としてのジオポリマーの適用性に関する研究, 九州技術管理協会建設技術研究開発助成, p1-p6, 2012
- 2) 黒田保, 井上正一, 吉野公, 西林新蔵: NaOH 溶液に浸漬したコンクリートの ASR 膨張特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No. 1, 2006