

早強剤を添加したLPC-FA系コンクリートの耐久性評価

八戸工業高等専門学校 産業システム工学科 学生会員 ○高橋 晃太
八戸工業高等専門学校 産業システム工学専攻 学生会員 工藤 拓也
八戸工業高等専門学校 産業システム工学科 正会員 庭瀬 一仁

1. はじめに

我が国の社会基盤は、高度経済成長期後期以降に集中して整備されており、近い将来に大量更新時代の到来が予測されている¹⁾。寒冷地のコンクリート構造物は、凍結防止剤が散布されているため、気温が低いことによる凍害はもとより塩害を合わせた複合劣化に対して、特有の劣化機構を材料設計に考慮する必要がある。その一方で社会環境においては、資源の枯渇や地球温暖化などの深刻な問題に直面しており、社会経済活動の持続可能性が求められるようになっている。既存の研究から、低熱ポルトランドセメント（以下、LPC）とフライアッシュ（以下、FA）は相性がよく、硬化体組織の緻密化、長期的な強度増加が得られることが知られている²⁾³⁾。また、石炭火力発電に伴う副産物であるFAを使用していることで、サステナビリティの向上にも期待できる。しかし、LPC-FA系コンクリートは、緻密なセメントマトリックスで表層の緻密化を図ることにより塩害を防止することができるが、耐凍害性に関する研究は皆無である。そこで本研究では、LPC-FA系コンクリートの塩害と凍害を含めた複合劣化に対する耐久性の評価に資する実験として、スケーリング試験と電気泳動試験を実施した。

2. 実験概要

2-1. 使用材料

表1に本配合で用いた使用材料を示す。本研究では、化学混和剤としてPAE系高性能AE減水剤（以下、SP）とCSH系硬化促進剤（以下、AC）を用いた。

2-2. 示方配合

本試験の示方配合を表2に示す。示方配合の共通条件として、W/B=30%、s/a=55%、FA置換率を30%とした。SPとACはセメント重量の3%を添加し、

LS置換率は40%とした。

2-3. 試験項目

(1). スケーリング試験

耐凍害性の評価としては、凍害による劣化の代表的な一つであるスケーリングに対する抵抗性を評価することとし、本研究ではRILEM-CDF法に準拠して行った。凍結融解サイクルは、-20℃で3時間凍結、その後20℃で1時間融解の4時間を1サイクルとして300サイクルまで行った。

(2) 電気泳動試験

電気泳動試験は土木学会規準「電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法案（JSCE-G 571-2013）」に準拠して実施し、塩化物イオンの実効拡散係数を測定した。

表1 使用材料

材料	記号	概要
セメント	OPC	普通ポルトランドセメント 密度=3.16g/cm ³ 比表面積=3340cm ² /g
	LPC	低熱ポルトランドセメント 密度=3.22g/cm ³ 比表面積=3530cm ² /g
フライアッシュ	FA	密度=2.19g/cm ³ 比表面積=3610cm ² /g 常磐火力発電所 JIS II 種
石灰石微粉末	LS	密度=2.70g/cm ³
高性能AE減水剤	SP	PAE系、標準型（I 種） 使用量=C×0.5~3.0%
硬化促進剤	AC	CSH系、I 種 使用量=C×0.5~6.0%

表2 示方配合

種類	単位量 (kg/m ³)							
	W	C	FA	LS	S	G	SP	AC
OPC-SP-AC	120	325	139	186	918	751	9.7	9.7
OPC-SP	129	325	139	186	918	751	9.7	-
LPC-SP-AC	120	325	139	186	920	753	9.8	9.8
LPC-SP	130	325	139	186	920	753	9.8	-

キーワード 低熱ポルトランドセメント、フライアッシュ、スケーリング、実効拡散係数、凍害

連絡先 〒039-1192 青森県八戸市大字田面木字上野平 16-1 八戸工業高等専門学校 TEL0178-27-7223

3. 実験結果・考察

3.1 スケーリング試験

本試験で得られたスケーリング量のうち、OPC-SP、OPC-SP-AC、LPC-SP-ACそれぞれの配合でのスケーリング試験結果を図1に示す。

50 サイクル頃から OPC-SP において、スケーリング量が大きく増加した。140 サイクルほどまでスケーリング量が増えていたが、その後は増加量が減少する傾向となった。

OPC-SP-AC においては、一定の増加量でスケーリング量が増加した。

LPC-SP-AC においては、スケーリング量がとても小さく、3 配合の中で最も少ない結果が得られた。

全体的にスケーリング量が少ない結果になった理由としては、全ての配合において添加しているフライアッシュのポゾラン反応により、セメントマトリックスが緻密化され、塩化ナトリウム水溶液の侵入を防いだことが考えられる。

また、既往の研究により本配合は表層強度が大きいことが想定されることから、内部の膨張圧の影響をあまり受けなかったこともスケーリングが少なかった要因として考えられる。よって、今回研究対象とした配合は、いずれも耐凍害性に優れていると考えられ、特に LPC-FA 系コンクリートに硬化促進剤を添加した配合で耐凍害性が最も高い結果となった。

3.2 電気泳動試験

表3に電気泳動試験により得られた塩化物イオンの実効拡散係数を示す。28日材齢において、すでに $1.0 \times 10^{-13} \text{m}^2/\text{s}$ オーダーの値となっており、実効拡散係数がとても小さくなる結果を得た。91日材齢になって若干大きくなる傾向がみられたが、誤差によるものと考え今後と同程度の実効拡散係数を維持するものと考えられる。

4. まとめ

本研究は、LPC-FA 系コンクリートの複合劣化に対する耐久性の評価に資する実験として、スケーリング試験と電気泳動試験を実施し、以下の知見が得られた。

- (1) スケーリング試験では、ポゾラン反応によるセメントマトリックスの緻密化や、表層強度が大きく、膨張圧の影響をあまり受けなかったこと

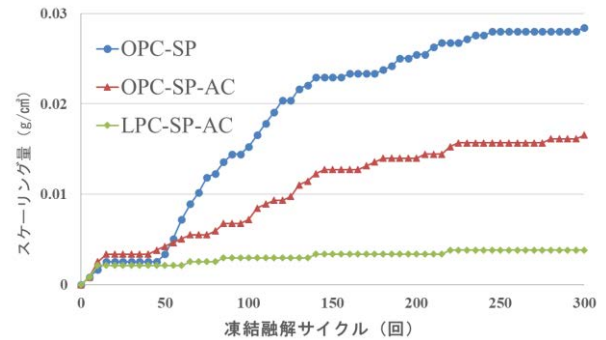


図1 スケーリング試験結果

表3 電気泳動試験結果 ($1.0 \times 10^{-13} \text{m}^2/\text{s}$)

	OPC-SP	OPC-SP-AC	LPC-SP	LPC-SP-AC
28日	2.60	1.60	3.16	2.20
91日	5.42	5.33	1.43	3.57

で、スケーリング量が小さくなったと考える。よって本配合は、耐凍害性に優れていると考えられる。

- (2) 塩化物イオンの実効拡散係数は $1.0 \times 10^{-13} \text{m}^2/\text{s}$ オーダーの値となり、一般的なコンクリートに比べて小さくなった。物質移動抵抗性が十分高くなったため、耐塩害性に優れていると考えられる。
- (3) 以上から、LPC-FA 系コンクリートは、複合劣化に対して耐久性が高いコンクリートである可能性があると考えられる。

5. 謝辞

本研究は、令和3年度社会資本の整備や維持管理に係る研究又は活動の助成事業助成金（青森県建設技術センター）を受けて行ったものである。

参考文献

- 1). 青森県橋梁長寿命化修繕計画,
<https://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/kendo/doro/files/aomorikyoryoshuzenkeikakuH29.5.pdf>（最終閲覧日：2022/01/19）
- 2). 庭瀬一仁，杉橋直行，辻幸和，低レベル放射性廃棄物処分施設の低拡散層に用いる高流動モルタルの室内配合選定，コンクリート工学論文集，第21巻第3号，2010/09
- 3). 田中博一，平川芳明，庭瀬一仁，秋山隆，低熱ポルトランドセメントと混和剤を併用したコンクリートの諸物性，コンクリート工学年次論文集，vol. 29, No. 1, 2007