

LPC-FA 併用系コンクリートの空隙構造からみたスケーリング抵抗性の考察

Consideration of Scaling Resistance from the Viewpoint of Void Structure of LPC-FA Combined Concrete

八戸工業高等専門学校産業システム工学専攻 ○学生員 川守田祥吾 (Shogo Kawamorita)
 八戸工業高等専門学校産業システム工学科 正 員 庭瀬一仁 (Kazuhito Niwase)

1. はじめに

北海道や東北地方などの寒冷地では、冬季の凍結融解作用によってスケーリングやポップアウトなどの表層部の劣化が散見されている。さらに、塩害や中性化などと組み合わせられ複合劣化となることで、コンクリート構造物の耐久性や美観に対して大きな影響を及ぼしている。

そこで本研究では、強度や空隙状態が材齢とともに顕著に変化する配合により、スケーリング量及び空隙状態から、凍害の劣化抵抗性について考察及び検討した。

2. 実験概要

使用材料の概要を表-1 に示す。配合は既往の研究で施工試験の実績がある W/B45% の LPC-FA 併用系コンクリートの配合を基本とし²⁾、W/B は細孔構造に明らかな差をつくるために 45%、60%、75%とした。供試体の示方配合表を表-2 に示す。

コンクリートは、二軸強制練りミキサーにより打込みを行った。作製した供試体は、材齢 1 日で脱型し、恒温養生槽 (20℃) にそれぞれ 28 日、91 日、365 日間水中養生及び 3 年間気中養生した後、各種試験に供した。

試験は、耐凍害性の指標を得るために塩化物環境下を踏まえた RILEM-CDF 法によるスケーリング試験を、空隙状態の指標を得るために気泡測定と水銀圧入法を各種試験基準に可能な限り準拠して実施した。

3. 試験結果・考察

3.1 スケーリング

各配合条件及び材齢でのスケーリング量を図-1 に示す。暴露供試体において、空気量の小さい配合では、粗骨材の剥離が生じ表層部が破壊されていた。

28 日材齢では、空気量が大きいほど抵抗性が高く、W/B が大きいと空気量に関係なく抵抗性が低下することが確認された。しかし、この時点で W/B60%空気量 7.5%の配合でも 2.625 kg/m² と一般的なコンクリートと同等の結果が得られた。さらに、365 日材齢になると全ての配合で 2.5 kg/m² 以下となり、材齢の経過に伴う大幅な抵抗性改善が確認された。特に W/B45%、空気量 2.5%では 0.70 kg/m² となり、空気量による相関も見られなくなった。

次に 365 日水中養生した供試体と 3 年間暴露された供試体について比較をする。空気量の小さい配合では、暴露供試体のほうがスケーリング量を大きく上回る傾向が見られる。一方、空気量 7.5%の配合及び W/B45%の空気量 5.0%の配合では、暴露供試体のほうがスケーリング量の小さい結果となっていた。特に W/B45%では、空

気量 5.0%及び 7.5%のとき、それぞれ水中養生された供試体は 0.789 kg/m²、1.213 kg/m² であったが、暴露供試体では 0.237 kg/m²、0.416 kg/m² となり、どちらの配合も暴露供試体が水中養生した供試体に比べて 1/3 程度の値となっていた。これは、一般的に使用されているコンクリート構造物と同等以上の結果である。

ここで、暴露供試体の粗骨材の剥離について、気象庁のデータより、暴露供試体の受けたサイクル数は約 330 回であると予想される。ポゾラン反応が十分に進行していない状態で、多くの凍結融解作用を受けていたため、塩化物イオンの浸透が容易だったことが要因であると考えられる。また、本研究ではサンプル数が 1 つしかないので供試体作製及びサンプル採取に伴う人為的影響も考えられる。

表-1 使用材料の概要

材料・名称	記号	備考
低熱ポルトランドセメント	LPC	密度=3.24g/cm ³ 、比表面積=3730cm ² /g
フライアッシュ	FA	密度=2.17g/cm ³ 、JIS II 種、比表面積=3610cm ² /g
石灰石微粉末	LS	密度=2.70g/cm ³ 、比表面積=5250cm ² /g
細骨材:石灰砕砂	S	密度=2.66g/cm ³ 、八戸松館産、FM=2.79
粗骨材:石灰砕石	G	密度=2.69g/cm ³ 、八戸松館産、FM=6.63、Gmax=20mm
混和材:高性能AE減水剤	SP	カルボキシキル基含有ポリエーテル系化合物
空気量調整剤	AS	ポリアルキレングリコール誘導体

表-2 示方配合表

W/B (%)	Air (%)	単位量 (kg/m ³)							
		W	粉体 P		LS	S	G	SP	AS
			結合材 B						
			LPC	FA					
45	2.5	160	249	107	178	883	780	0.95	
	5.0								0.060
	7.5								0.150
60	2.5	156	186	80	265	886			0.005 [※]
	5.0								0.060
	7.5								0.030
75	2.5	155	148	64	318	887			0.015
	5.0								0.090
	7.5								

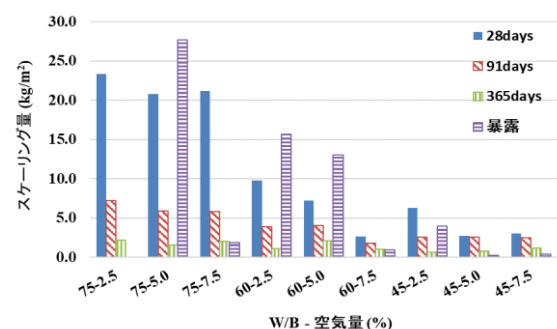


図-1 各配合及び材齢におけるスケーリング

3.2 気泡間隔係数

リニアトラバース法を用いて測定した各配合条件の気泡間隔係数を図-2に示す。

気泡間隔係数は材齢 365 日になると、比較的空気量が小さい供試体において倍増する傾向がみられた。これは、365 日の養生期間で微小な気泡径の空隙がポズラン反応の進行により気泡測定できる気泡径未満になり、著しく気泡間隔係数が大きくなったものと考えられる。フレッシュ時の空気量が約 7.5%の供試体には変化がなかった。

ここで、スケーリング試験の結果を踏まえると、暴露供試体において、スケーリング量が著しく大きくなっていった配合はいずれも気泡間隔係数が 800~1200 μm 程度になっている。反対に結果が良好だった配合は約 400 μm 以下となっていることが確認できる。そのため、気泡間隔係数が一定の値を上回ると、著しいスケーリング抵抗性の低下とともに、粗骨材の剥離などの劣化も生じる可能性が高くなることが考えられる。

3.3 細孔径分布

水銀圧入法から得られた各供試体の細孔径分布のうち、365 日での結果を図-3、暴露供試体の結果を図-4に示す。

図-3より、365 日材齢の供試体では、全ての配合において極めて緻密なセメントマトリックスが形成されていることが確認できる。ここで、凍結融解に影響を及ぼす空隙は 100~1000nm であり、6~20nm の空隙は-43℃まで凍結しないことが知られている³⁾。さらに、毛細管空隙と呼ばれる 3~2000nm の空隙は、コンクリート中の空隙の約 2/3 程度を占めている。これを踏まえると、365 日間水中養生された供試体は、100~1000nm の空隙は微量しか存在せず、30~40nm 以下の凍結しにくい微細な空隙が大半を占めていることが確認できる。このことから、空隙内の水分が凍結しないため、膨張圧及び浸透圧を緩和することができる抵抗性の高い緻密な組織が形成されていると考えられる。

一方で、図-4より暴露供試体については配合によってばらつきがあり、スケーリング試験との相関性も確認できなかった。これは、水中養生されていないことで水和反応及びポズラン反応による組織の緻密化が不十分であったためと考えられる。

これらの結果から、凍結融解作用に有害な空隙を一定期間水中養生することで、凍結しない空隙径になるまで緻密化させることが重要であると考えられる。これにより劣化抵抗性を向上させることができたため、365 日材齢での供試体は、気泡間隔係数が著しく大きかったにも関わらずスケーリング抵抗性が良好だったと予想される。

4. 結論

本研究では、LPC-FA 併用系コンクリートの塩化物イオン濃度が高い環境下でのスケーリング抵抗性について、空隙構造の観点から考察を行った。

これらの結果から、気泡間隔係数が一定の値を上回ることによってスケーリング劣化抵抗性が大幅に低下することが確認された。しかし、適切な期間水中養生を行い、凍結融解作用に有害である径の空隙が少なく、凍結しにくい微細な空隙が多い緻密な組織を形成することで、気泡間

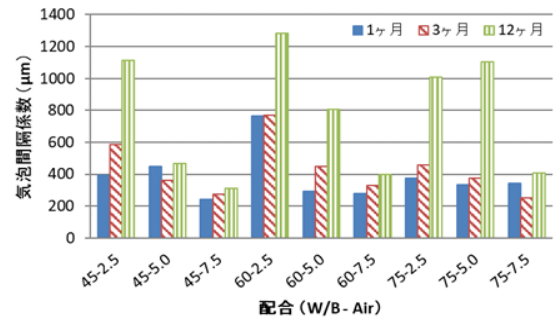


図-2 気泡間隔係数

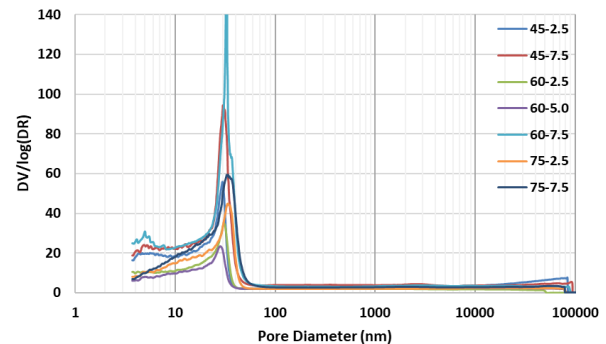


図-3 細孔径分布（水中養生 365 日）

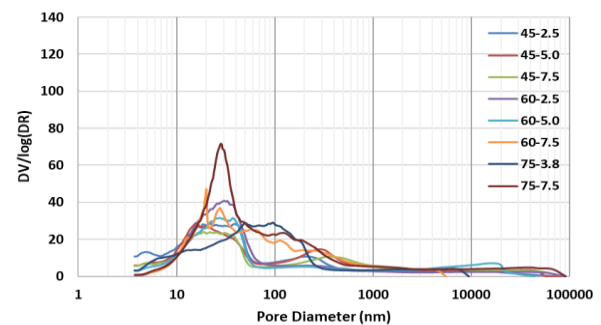


図-4 細孔径分布（暴露供試体 3 年）

隔係数が大きい場合にも劣化抵抗性は低下しない可能性があると考えられる。

謝辞：本研究の一部は、平成 31 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を受けて行ったものである。

参考文献

- 1) 庄谷征美, 月永洋一: 東北地方のコンクリート構造物の凍害について, コンクリート工学, Vol.42, No.12, pp.3-8, 2004.12
- 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, Vol.21, No.3, pp.43-51, 2010.9
- 3) 羽原俊祐, 沢木大介: 硬化コンクリートの空隙構造とその物性, Gypsum & Lime, No.240, pp.32-34, 1992