

3年間暴露された LPC-FA 系コンクリートブロックの 圧縮強度とスケーリング抵抗性に関する考察

八戸工業高等専門学校 産業システム工学専攻 学生会員 ○川守田 祥吾
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

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り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。これらの凍害は、融雪剤等に含まれる塩化物イオンの侵入による塩害及び中性化との複合劣化となる。

コンクリートの表層部は、内部へ侵入する外的劣化因子を防ぐ保護層としての役割を持つ。劣化の多くは表面から進行するため、表層部を緻密化することで強度特性や物質移動抵抗性を高める必要がある。

そこで本研究では、低熱ポルトランドセメントとフライアッシュを併用したコンクリート（LPC-FA 系コンクリート）の、28 日、91 日、365 日材齢におけるスケーリング試験及び 1 年、3 年材齢における圧縮強度試験の結果から、塩化物環境下におけるスケーリング低減対策の開発を検討した。

2. 実験方法

まず、配合は既往の研究で施工性試験の実績がある W/B45% の LPC-FA 系コンクリートの配合を基本とし¹⁾、W/B は、細孔構造に明らかな差をつくるために 60%、75%とした。空気量は、空気量調整剤の添加量により、概ね 2.5%、5.0%、7.5%となるように調整した。使用した示方配合表を表-1 に示す。

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 日間水中養生及び図-1 に示すような状態で 3 年間気中養生した後、各種試験に供した。

試験は、実際に凍結融解作用を受けた暴露供試体の圧縮強度試験、塩化物環境下での凍害を踏まえたスケーリング試験（RILEM CDF 法）を各種試験基準に準拠して実施した。暴露供試体の圧縮強度試験は、側面から φ50mm でコアリングを行い、カットと研磨をした後試験に供した。試験項目と方法は以下の通りである。

➤ 圧縮強度：圧縮強度試験（JIS A 1108）

➤ スケーリング：スケーリング試験（RILEM CDF 法、毛管浸透法）

3. 試験結果・考察

3.1 圧縮強度試験

1 年間及び 3 年間水中養生した供試体の圧縮強度試験結果を図-2 に、3 年間気中養生した暴露供試体の圧縮強度試験結果を図-3 に示す。暴露供試体については、空気量調整の都合により 3.8%、7.5%となっている。また、目視ではあるがひび割れは確認できなかった。

結果としては、1 年間水中養生した場合と 3 年間気中養生した場合の強度は近い値となり、配合による差もあまり見られなかった。W/B75%ではやや強度が低い傾向にあるが、それでも 40～50N/mm²を確保していた。

図-3 より、W/B45%と 60%の強度は同程度の 60N/mm²



図-1 暴露供試体の様子

表-1 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	780	0.95	0.005 ³
	5.0								0.060
	7.5								0.030
75	2.5	155	148	64	318	887	780	0.95	
	5.0								0.015
	7.5								0.090

LPC：低熱ポルトランドセメント、FA：フライアッシュ
LS：石灰石微粉末、SP：高性能 AE 減水剤
AS：空気量調整剤 ※消泡剤
B：結合材（LPC+FA）、P：粉末（B+LS）

キーワード 凍害、圧縮強度、スケーリング、低熱ポルトランドセメント、フライアッシュ

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 TEL. 0178-27-7307

前後であり、空気量による相関は見られなかった。

ここで、水中養生した供試体の 1 年材齢における積算温度を算出してみると 10950℃となる。次に、気象庁のデータより、暴露供試体の積算温度は約 12580℃となり、明確な差は見られなかった。そして、凍結融解作用を受けたサイクル数は約 330 回程度であった。既往の研究では、凍結融解試験において、1 年間水中養生した供試体は 150 サイクル時点で W/B75%及び空気量 2.5%の供試体が破壊する傾向²⁾にあったが、暴露供試体は全ての配合で十分な強度を有していた。また、降水量から約 50m³程度の水分が供給されていたと予想される。これは、水中養生での供給量に比べると極めて少ないことがわかる。

これらより、養生方法による差は積算温度や凍結融解作用によるものでなく、ポズラン反応に必要な水分供給が十分でないためであると考えられる。これについては、今後降水による水分供給に伴い強度発現すると推測されるため、5 年材齢まで観察を継続していく。

3.2 スケーリング

各配合及び材齢での 50 サイクル終了時点でのスケーリング量を図-4 に示す。最終的には、いずれの供試体もペースト部分が剥がれ落ち凹凸が目立っていた。

スケーリング量では一般的な傾向と同様に、W/B が小さく空気量が多いほど少なくなっていた。28 日材齢では、空気量が多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。一方、材齢が経過するに伴い大幅に抵抗性が改善され、365 日材齢になると全ての配合で 0.25g/cm²以下となった。特に W/B45%、空気量 2.5%では 0.07g/cm²となり、空気量による相関も見られなくなった。

ここで、暴露供試体は塩化物イオンの供給はない環境ではあるが、凍結融解サイクル数が約 330 回と 6 倍以上となっている。しかし、目視確認ではスケーリングによる劣化は見られなかったため、塩化物イオンによる影響が大きく作用すると思われる。

今後は、暴露供試体についてもスケーリング試験(RILEM CDF 法)を実施する予定である。

4. まとめ

本研究では、LPC-FA 系コンクリートの耐凍害性を暴露供試体の試験結果を踏まえて評価した。

圧縮強度では、W/B による差が見られなく、W/B75%においても十分な強度を有していることが確認された。

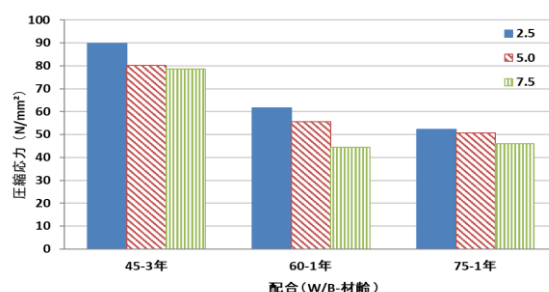


図-2 圧縮強度 (水中養生)

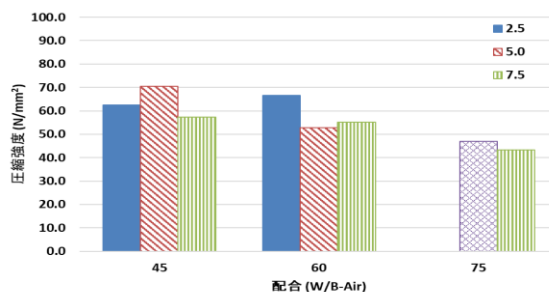


図-3 圧縮強度 (暴露供試体 3 年材齢)

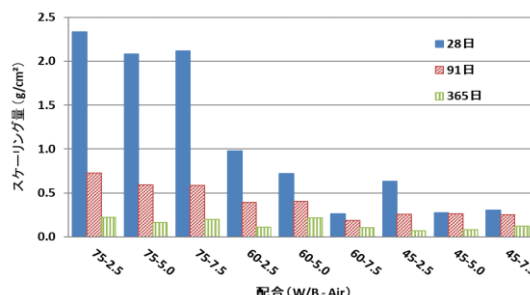


図-4 スケーリング量

これらの結果は、スケーリング試験や別途実施した電気泳動試験と整合する結果であり、電気泳動試験により得られた実効拡散係数でも全ての配合において 10⁻¹³オーダーになることが確認されている。

そのため、塩化物環境下における凍害の劣化低減対策には、組織の緻密化が重要であり、LPC-FA 系コンクリートは実用可能性を十分に有すると考えられる。

今後は暴露供試体について、スケーリング試験や電気泳動試験による物質移動抵抗性、気泡測定や水銀圧入法による空隙構造の評価及び検討を行う予定である。

謝辞: 本研究の一部は、平成 30 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) 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
- 2) H.Mawatari, K.Niwase, T.Sugawara, Y.Edamatsu：Changes of Frost Damage Resistance and Air Voids Structure of LPC-FA Concrete According to Curing Periods, Our World in Concrete & Structures, 2017.8