

塩分環境下におけるコンクリートの耐凍害性に及ぼす
空気量およびフライアッシュの影響

日本大学大学院 学生会員 ○佐久間正明
日本大学工学部 正会員 子田 康弘
日本大学工学部 正会員 岩城 一郎

1. はじめに

東日本大震災からの復興に伴い、インフラの迅速かつ大規模な整備が求められており、コンクリートの需要はこれからさらに増加すると考えられる。しかし、良質なコンクリート用骨材の供給不足が問題になっており、今後は現地で入手可能な材料によるコンクリートの製造も視野に入れる必要がある。そこで、コンクリートの品質変動を補う解決策の一つとして、フライアッシュの利用が考えられる。本研究では、東北地方における凍結防止剤の大量散布という環境を念頭におき、コンクリートの空気量、フライアッシュの置換率をパラメータとし、コンクリートの耐

凍害性について実験的な検討を行った。

2. 実験概要

表-1 に実験条件を示す。表より、セメントの種類は普通セメント(OPC)と OPC に高

炉スラグ微粉末を混和したセメント(BB)の2種類、水セメント比(W/C)または水結合材比(W/B)を 45%と 55%の 2 条件、またフライアッシュ(FA)の置換率をセメント量の内割で 15%(15IN)と 30%(30IN)、および外割で 15%(15EX)をそれぞれ置換する 3 条件、そして空気量を NonAE、3.0%、4.5%、6.0%、7.5%の 5 条件に設定し、これらを組み合わせた合計 10 条件で実験を行った。なお、表中の実験 ID は、左からセメントの種類、W/C または W/B、FA 置換率、空気量の順に表記している。表-2 に、コンクリートの配合とフレッシュ性状を示す。本実験ではフレッシュ性状のうち、空気量の測定値が設定空気量の $\pm 0.5\%$ の範囲に入ったものを供試体作製時の採用条件とし、スランプは $10\pm 2.5\text{cm}$

を目安とし、打込みが可能であると判断されれば採用することとした。凍結融解試験は、ASTM C 672¹⁾に準拠して行った。図-1 に供試体の形状を示す。形状は、150mm×80mm の円柱供試体であり、試験面を打込み面とした。試験溶液は、3%NaCl 水溶液であり、止水テープで土手を作製した中に湛水した。凍結融解試験の測定項目は、5 サイクル毎の単位面積当たりのスケール量である。設定温度は、融解保持時間として最高融解温度 $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ を 6 時間、温度移行時間を 1 時間、凍結保持時間として最低凍結温度 $-20\pm 3^{\circ}\text{C}$ を 16 時間、温

キーワード：凍害、凍結防止剤、スケール量、空気量、フライアッシュ

連絡先：福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 TEL 024-956-8721

表-1 実験条件

セメント	W/C (%)	W/B (%)	FA置換率 (%)	空気量 (%)
OPC	45	45	0	NonAE
				3.0
				4.5
				6.0
				7.5
	53 64 55	45	15EX	6.0
			15IN	
			30IN	
			0	
			0	
BB	75	45		

表-2 コンクリートの配合とフレッシュ性状

ID	Gmax (mm)	W/C (%)	W/B (%)	s/a (%)	Air (%)	単位量(kg/m ³)								フレッシュ性状								
						W	B			S	G	混和剤		スランプ (cm)	空気量 (%)							
							C	BS	FA			15L	10I									
OPC-45-0-NonAE	20	45	45	45	1.5	165	367	0	0	819	1051	0.00	0.00	0.0	1.9							
OPC-45-0-3.0					3.0					802	1029	5.5		0.18	12.5	3.4						
OPC-45-0-4.5					4.5					784	1007				13.0	4.5						
OPC-45-0-6.0					6.0					767	984				17.0	6.5						
OPC-45-0-7.5					7.5					749	962				13.5	7.5						
OPC-45-15EX-6.0		53 64 55 75	39	6.0	6.0	312 257 367 220	55	110	750	963	738	947	5.5	1.83	9.0	6.2						
OPC-45-15IN-6.0			45								758	974	4.7	1.25	10.5	5.8						
OPC-45-30IN-6.0											750	963	5.5	0.45	7.0	6.3						
OPC-55-0-6.0											784	1007	4.5	0.45	7.0	6.2						
BB-45-0-6.0			45								762	978	5.5	1.3	5.5	5.9						



図-1 供試体概要

度移行時間を1時間とし、これを1サイクルとして50サイクルまで凍結融解試験を実施した。

3. 実験結果および考察

図-2にスケーリング量の測定結果を示す。まず、空気量の違い(FA置換率0%)に着目すると50サイクル時のスケーリング量は、NonAEが 4.62kg/m^2 、3.0%が 0.47kg/m^2 、4.5%が 0.42kg/m^2 、6.0%が 0.42kg/m^2 、7.5%が 0.35kg/m^2 と空気量の増加に伴いスケーリング量が少なくなる傾向を示している。AE剤の使用の有無によるスケーリング量の差は明確であり、耐凍害性の向上においてはエントレインドエアの連行が不可欠であり、空気量の確保がスケーリング抵抗性を高め、耐凍害性の向上に有効な手段になると考えられる。また、OPC-45-0-6.0とOPC-55-0-6.0を比較すると、OPC-45-0-6.0が 0.42kg/m^2 、OPC-55-0-6.0が 0.58kg/m^2 であり、W/Cを小さくすることでもスケーリングの抑制に寄与することがわかる。次に、FAの混和の影響を比較すると、30INのスケーリング量が 3.18kg/m^2 と明らかに多く、次には15INの 0.43kg/m^2 、置換率0%の 0.42kg/m^2 、15EXの 0.36kg/m^2 という順であり、FAを内割で30%置換させた場合、FA置換率0%の8倍程度のスケーリング量を示した。セメント

の種類に関しては、BBのスケーリング量は 3.30kg/m^2 であり、本実験の範囲ではBBを使用することによる耐凍害性の向上は確認されなかった。なお、FA混入およびBB使用の効果は、塩分浸透性を加味し評価を行う予定である。図-3に実測空気量と50サイクル時のスケーリング量との関係を示す。図より、まずNonAEと空気量3.0%を比較すると、スケーリング量に大差がついており、W/C45%という低水セメント比であれば、空気量3.0%でも耐凍害性に優位な結果を示すことが確認された。空気量3.0%から7.5%(凡例:白色)とした供試体のスケーリング量は空気量の増加に伴い線形的にスケーリング量が減少するという相関が示された。すなわち、本実験の範囲内では、空気量の増加が耐凍害性の向上に有効な手段であることが確認された。また、FAを外割で15%置換させた場合(灰色△)、空気量7.5%と同等のスケーリング抵抗性が見られた。これに対して、FAを内割で30%置換させたものは置換率0%と比べスケーリング抵抗性が低下した。また、BBとW/C55%は、FA置換率0%と比較するとスケーリング抵抗性が劣る結果であった。以上の結果より、耐凍害性の向上には、空気量の確保と水セメントを下げることに加え、FAの外割(細骨材置換)が有効であることが示された。

4. まとめ

- (1)本実験の範囲では、W/Cが45%と低水セメント比であれば、エントレインドエアの連行により3%以上の空気量を確保することで、高い耐凍害性を示すことが明らかになった。
- (2)空気量3%以上における空気量の増加とスケーリング量の減少には、高い相関が認められた。
- (3)FAを外割で15%置換させることで極めて高い耐凍害性を示した。これは、FAの細骨材置換の有用性を示唆するものである。また、内割によるFAの置換は、スケーリング量が増加する傾向を示した。

今後はこれらのコンクリートの気泡間隔係数と耐凍害性の評価を行う予定である。

謝辞：本研究のコンクリートの製造に際し、大晃商事(株)の川田稔氏の御協力を得ました。また、実験は、当研究室の卒業研究生と行ったものです。ここに記し、誠意を表します。

【参考文献】1) American Society for Testing and Materials (1998) : Standard test method for scaling resistance of concrete surface exposed to de-icing chemicals, Annual Book of ASTM Standard, pp.344-346

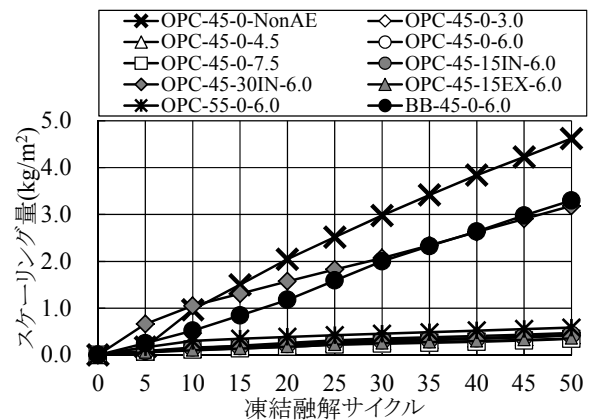


図-2 スケーリング量

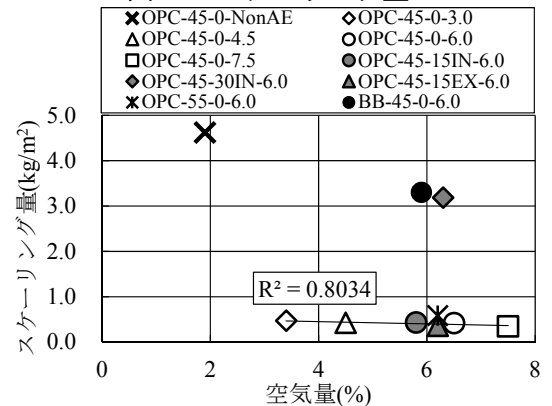


図-3 スケーリング量-空気量の関係