

内在塩が凍結防止剤散布下における
コンクリートの耐凍害性に及ぼす影響

日本大学工学部 学生会員 ○石野 卓哉
日本大学工学部 非会員 菊池 裕行
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

積雪寒冷地域では、凍結防止剤が大量に散布され、コンクリート構造物は塩害と凍害による複合劣化が顕在化している。当研究室では、これまで内在塩や外来塩によりコンクリート中に高濃度の塩化物イオンが含有された状態でNaCl水溶液による凍結融解作用を受けると著しい凍害劣化が引き起されることを明らかにした¹⁾。そこで本研究では、内在塩分濃度を実験パラメータとし、耐凍害性に及ぼす濃度の影響と、これによる劣化形態の違いについて検討した。

2. 実験概要

表-1 に、実験条件としてコンクリートの配合を示す。本実験シリーズは2つである。まず、シリーズIは、濃度を5水準(濃度：0.0kg/m³、0.5kg/m³、1.0kg/m³、5.0kg/m³、10.0kg/m³)に設定し、濃度の影響を評価したシリーズである。次に、シリーズIIは、濃度4水準(濃度：0.0kg/m³、1.0kg/m³、3.0kg/m³、5.0kg/m³)でシリーズIの検証を目的とし、減水剤も使わず完全なNon-AEコンクリートで実験を行ったシリーズである。なお、シリーズIIは、実験中でありこの結果は発表会で報告する。表より、コンクリートは、水セメント比(W/C)を50%とし、AE剤を使用しないもので、内在塩はコンクリート製造時にNaClを添加させることで混入した。凍結融解試験は、ASTM C672(以下、ASTM法)とJIS A1148(以下、JIS法)という2種類の試験方法に準拠した。供試体寸法は、ASTM法が直径150mm×高さ80mmであり、JIS法が高さ100mm×幅100mm×長さ400mmである。供試体数は、シリーズIが1水準につきASTM法5体、JIS法3体である。シリーズIIが1水準につきASTM法3体、JIS法1体である。また試験溶液には3%NaCl水溶液を用いた。測定項目は、ASTM法が5サイクル毎のスケーリング量であり、JIS法は30サイクル毎の質量減少率と相対動弾性係数である。

3. 実験結果および考察

図-1 に、ASTM法によるスケーリング量の測定結果を示す。図より、スケーリング量の増加傾向には、内在塩濃度による明らかな違いが認められなかった。これは、減水剤を使用したことにより若干エントレインドエアが連行され、空気量が高くなった(表-1 参照)ことで、スケーリングという表層劣化に対する抵抗性が高く、含有塩分濃度による差異を比較しにくい結果になったためと解釈している。

次に、図-2 と図-3 に、JIS法による質量減少率と相対動弾性係数の測定結果をそれぞれ示す。なお、供試体の劣化状態が激しくこれ以上の測定が困難なものはその時点で試験を終了した。図-2 より、同一サイクルにおける

表-1 コンクリートの配合とフレッシュ性状

	配合条件	G _{max} (mm)	スランプ (cm)	W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						フレッシュ性状	
							W	C	S	G	塩化物	減水剤	スランプ	空気量
I シリーズ	0.0kg/m ³	20	12.5	50	1.5	48	175	350	889	989	0.0	4.76	11.0	2.6
	0.5kg/m ³										0.5	4.76	11.5	2.8
	1.0kg/m ³										1.0	5.95	12.0	2.8
	5.0kg/m ³										5.0	5.95	10.0	2.6
	10.0kg/m ³										10.0	5.95	14.0	3.0
II シリーズ	0.0kg/m ³	20	-	50	1.5	48	175	350	889	989	0.0	-	3.0	2.0
	1.0kg/m ³										1.0	-	2.5	2.1
	3.0kg/m ³										3.0	-	4.0	1.5
	5.0kg/m ³										5.0	-	5.0	1.5

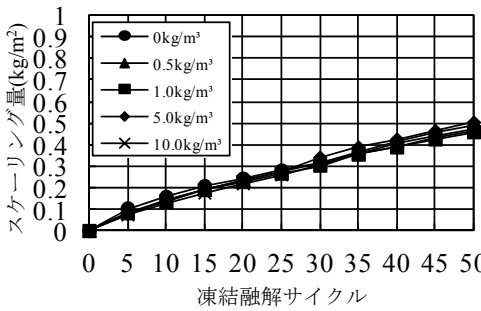


図-1 スケーリング量の変化

実験水準間の質量減少率の差は、最大でも 7%程度であった。また、凍結融解サイクルの増加による質量減少率の増加傾向は概ね線形関係であると推察される。また、 0kg/m^3 が最も質量減少率が高くなった。このことから実験水準によらず概ね

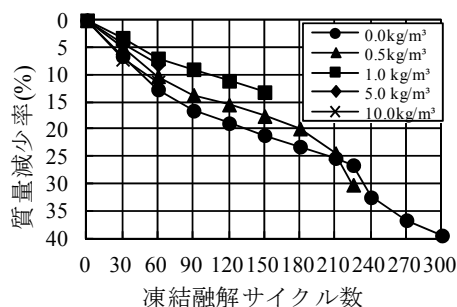


図-2 質量減少率

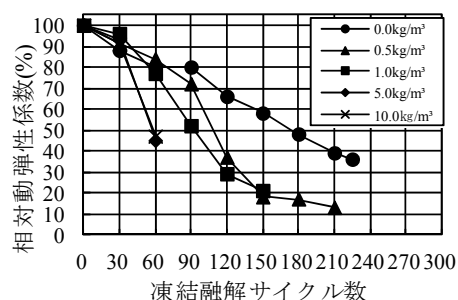


図-3 相対動弾性係数

同様に推移しており、ASTM 法と同様に表面からの劣化には内在塩分濃度による明らかな違いは認められなかった。これに対して、図-3 の相対動弾性係数の測定結果は、凍結融解サイクル数の増加による相対動弾性係数の低下傾向は塩分濃度が高くなるに従い著しく低下するという傾向が確認された。特に、 5.0kg/m^3 、 10.0kg/m^3 は 60 サイクルで測定不能となる激しい劣化を示し、 0.5kg/m^3 と低濃度であっても 0.0kg/m^3 よりも 90 サイクル以降の低下が顕著であった。写真-1 に試験終了時の劣化状態を示す。写真より、 0.0kg/m^3 と 0.5kg/m^3 は、形状を保っているものの、 1.0kg/m^3 、 5.0kg/m^3 、 10.0kg/m^3 は粗骨材を残しモルタル分が粒子状に破壊する激しい劣化を示し、表面からコンクリートがはく離するスケーリングとは全く異なる様相で、内在塩分濃度が高くなるほどこの破壊に至る凍結融解サイクル数が少ないということがわかる。図-4 に、相対動弾性係数と質量減少率の関係を示す。図より、 1.0kg/m^3 、 5.0kg/m^3 、 10.0kg/m^3 は質量減少率が 5%を超えた辺りより急激に相対動弾性係数が低下し、 0.5kg/m^3 も質量減少率が 10%を超えると急激に相対動弾性係数は低下した。このように、塩分が内在しその濃度が高くなるに従って、スケーリングよりもひび割れによる劣化が顕在化し崩壊に至る過程が明らかになった。写真-2 に、SEM による試験終了後のコンクリートの観察結果(50 倍率)の一例を示す。写真より、 0.0kg/m^3 よりも 0.5kg/m^3 、 10.0kg/m^3 の方が微細なひび割れが多く発生しており、このひび割れの発生とその多少が相対動弾性係数の低下を誘因し、最終的には粒子状の崩壊を起こしたと考えられた。

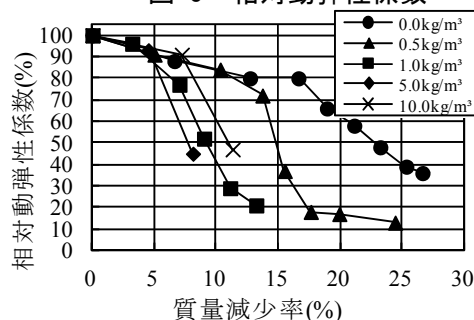


図-4 相対動弾性係数-質量減少率の関係

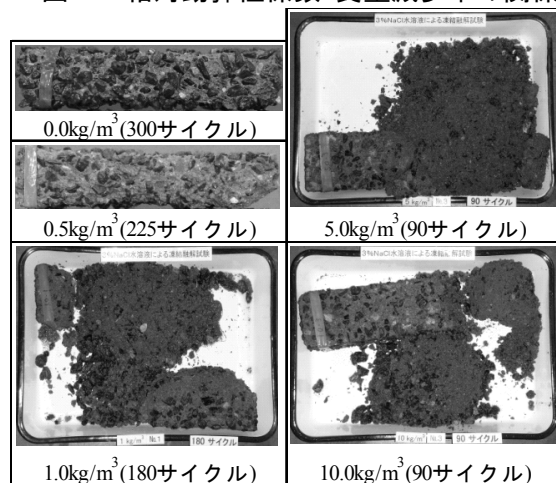


写真-1 凍結融解試験終了時の劣化状態

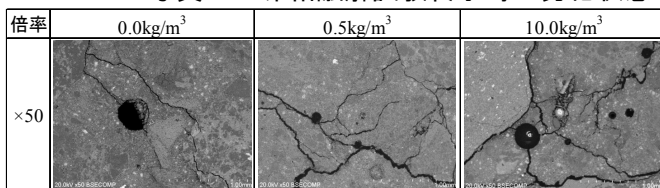


写真-2 SEM によるコンクリートの観察

4. まとめ

本研究により、塩分が内在することでスケーリングよりもひび割れによる劣化が進行し崩壊に至り、また高濃度の塩分を含有するほどひび割れの進行が早いことが分かった。しかし、その劣化機構の解明にはまだ至っておらず、モルタルやセメントペーストレベルでの物理化学的分析を行う予定である。

謝辞：SEM の測定にあたっては、BASF ジャパン(株)の協力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 子田康弘他: 内在塩あるいは外来塩の蓄積がコンクリートのスケーリング抵抗性に及ぼす影響、セメント・コンクリート論文集、No.66 2012(掲載中)