

エントレインドエアによるスケーリング劣化抑制とカルシウム溶脱の関係

日本大学大学院 学生会員 ○黒川 美雨
日本大学理工学部 正会員 佐藤 正己
日本大学理工学部 正会員 梅村 靖弘

1. はじめに

凍害の一つであるスケーリング劣化は、凍結防止剤が散布される地域で数多く確認されており、凍結融解と凍結防止剤中の塩化物との複合作用によるものである。凍結対策として代表的な方法としては、エントレインドエア (AE) 量を増加させる方法があるが、耐凍害性に重要な気泡特性は、その空気量の絶対量ではなく空隙径やその量に深く関係しており、スケーリング劣化との関係は未だ不明な点があり、塩分浸透下でのスケーリング劣化の効果的な対策方法は確立されていない。本研究では、橋梁床板コンクリートの圧縮強度を有する配合を基準としたモルタルでスケーリング劣化の要因を塩分浸透に伴うカルシウム (Ca) 溶脱と細孔空隙の観点から検討を行った。

2. 研究概要

使用材料を表-1 に、配合を表-2 に示す。配合はコンクリートの設計基準強度を 27.0MPa 相当、単位水量を 160kg/m³、水結合比を 55%とし、東北地方整備局の指針¹⁾を参考に、AE 剤を使用しない場合 (N20)、凍害種別 B「一般の凍害環境」(N45)、凍害種別 S「特に厳しい凍害環境」(N70)の3水準を設定した。練混ぜ直後のフレッシュコンクリートを JIS A 1128 空気室圧力方法により測定したのち、表-2 に示す目標 Air (%) を満たしたものをウェットスクリーニング (WS) しモルタル試験体とした。WS モルタルの圧縮強度を JIS A 1132 と RILEM CIF/CDF 試験²⁾に準拠し、打込みから温度 20℃の室内で 24 時間静置し、6 日間水中養生 21 日間湿度 65%温度 20℃で養生させた試験体を用いて測定した。スケーリング試験は、RILEM CIF/CDF に準拠し、図-1 のように試験体をイオン交換水 (W) と 3%NaCl 水溶液 (N) に浸漬させた。なお、底面のみの劣化を測定するため、側面に防水剤とエポキシ樹脂を塗布した。また、図-2 凍結融解

表-1 使用材料

材料名	記号	種類	備考
水	W	水道水	-
セメント	C	普通ポルトランドセメント	密度 3.16g/cm ³ 、比表面積 3,260cm ² /g
細骨材	S1	山砂	表乾密度 2.63g/cm ³ 、FM2.05
	S2	砕石	表乾密度 2.67g/cm ³ 、FM3.46
砂利	G	砂利	表乾密度 2.69g/cm ³ 、FM6.34
混和剤	P	AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体
	AE	AE剤	変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤

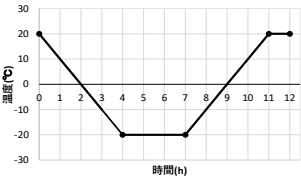
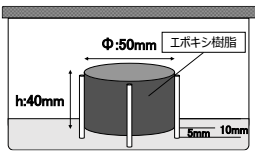


図-1 試験体概略図 図-2 凍結融解サイクル

サイクルで 60 サイクル (60c) まで Ca が溶出した浸漬溶液を用いて、Ca 溶脱量を測定した。水銀圧入式ポロシメータによる細孔径分布測定、粉末 X 線回折 (XRD)-Rietveld 解析による水和生成物の定性分析を行った。試料は凍結融解 60c 終了後、N 浸漬させた試験体を硝酸銀溶液噴霧法により塩分浸透が確認された部位 (塩分浸透部:salt) と浸透していない部位 (健全部:normal) から採取した。

3. 試験結果及び考察

WS モルタルの圧縮強度は N20 は 35.4MPa、N45 は 33.5MPa、N70 は 31.1MPa となり、コンクリートの設計基準強度 27.0MPa を上回る圧縮強度が得られた。図-3 に溶脱した累積 Ca 濃度とスケーリング量を示す。以下 () 内の数値は N45 を基準とした倍率を示す。水浸漬 (W 浸漬) の場合は、塩水浸漬 (N 浸漬) と比較して

表-2 配合表

配合	目標Air (%)	W/C	単位量(kg/m ³)						混和剤		実測値		
			W	C	S1	S2	G	Air	P	AE	Slump (cm)	Concrete Air (%)	WS mortar Air (%)
N20	2.0±1.5	55	160	291	602	235	1110	20	C×0.5 (%)	-	2.0	1.0	3.9
N45	4.5±1.5	55	160	291	584	224	1068	45	C×0.5 (%)	C×0.6 (%)	8.0	4.9	6.8
N70	7.0±1.5	55	160	291	557	214	1034	70	C×0.5 (%)	C×1.2 (%)	12.0	8.5	9.0

キーワード 凍害、複合劣化、スケーリング、エントレインドエア、カルシウム溶脱

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 日本大学大学院理工学研究科 土木工学専攻 03-3259-0687

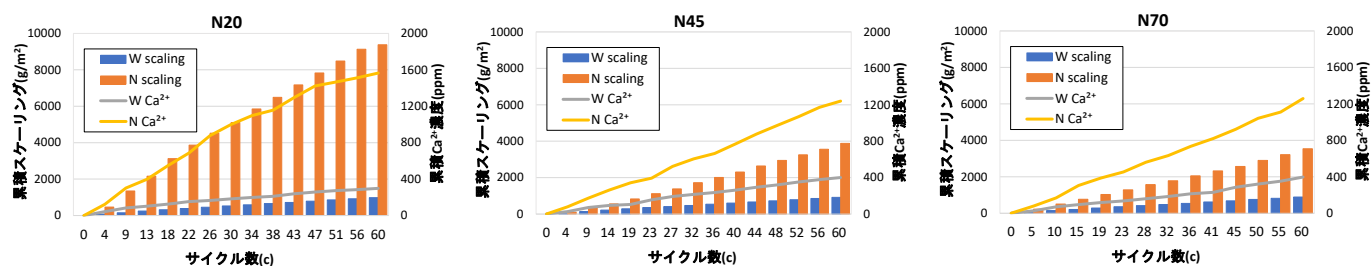


図-3 累積 Ca 溶脱量とスケール量

Ca 溶脱量, スケール量ともに非常に少なく, N20, N45, N70 のスケール量の差も殆どなかった。一方, Ca 溶脱量は N20 と比較して N45, N70 は若干増加した。N 浸漬の場合は, Ca 溶脱量は N20 (1.26) > N70 (1.01) ≒ N45 (1) となり, スケール量は N20 (2.42) > N45 (1) > N70 (0.91) となった。N20 に対し N45, N70 は Ca の溶脱量とスケール量が大幅に減少したが, N70 は N45 と比較して, Ca 溶脱量とスケール量とも同程度となり, AE 量の増加効果は認められなかった。図-4 に Ca 溶脱量とスケール量の関係を示す。W 浸漬では, N45, N70 は N20 よりも Ca 溶脱量の増加にも拘わらずスケールは増加していないが, N 浸漬では, Ca 溶脱量の増加とともにスケール量も増加し相関関係が認められた。図-5 と図-6 に N45 の凍結融解 60c 終了時における細孔径分布と XRD 解析によるパターンを示す。N 浸漬による Ca 溶脱はセメント水和物である水酸化カルシウムから起因しており, 塩分浸透部では空隙量の増加が予想されたが³⁾, 細孔径分布結果では, normal と比較して salt の空隙が減少した。一方, XRD 解析結果では, salt にはフリーデル氏塩 (F 氏塩) の生成が多く確認された。このことから, エトリンガイト (AF-t) が多く生成した後, モノサルフェート (AF-m) へ変化し, これが浸透してきた塩化物イオンと反応して F 氏塩に変化したことが推察された。このように AF-t の生成により空隙が減少したと予想された。

4. まとめ

- (1) 塩分浸透下では Ca 溶脱量とスケール量に相関が認められ, Ca 溶脱量の増加とともにスケール量が増加した。
- (2) Air 量を 2.0% から 4.5% へ増加させた場合は, スケール量は大幅に減少したが, 4.5% から 7.0% へ増加させた場合は, 殆ど減少しなかった。

5. 参考文献

- 1) 国土交通省 東北地方整備局: 東北地方における凍害対策に関する参考資料(案), 2019.3
- 2) Test methods of frost resistance of concrete: CIF-Test: Capillary suction, internal damage and freeze thaw test - Reference method and alternative methods A and B, Vol.37, pp.743-753, 2004

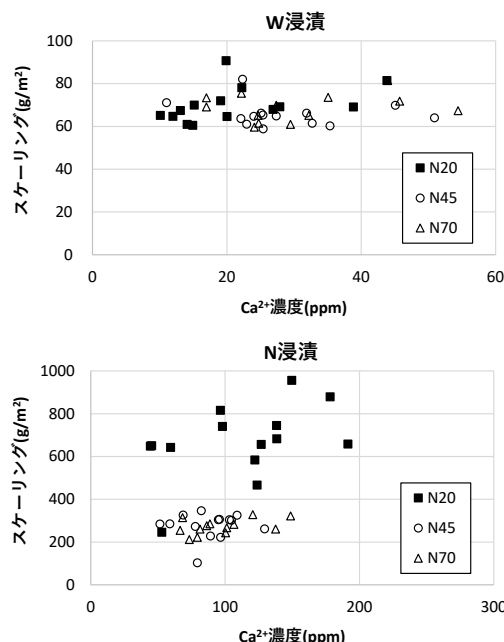


図-4 Ca 溶脱量とスケール量の関係

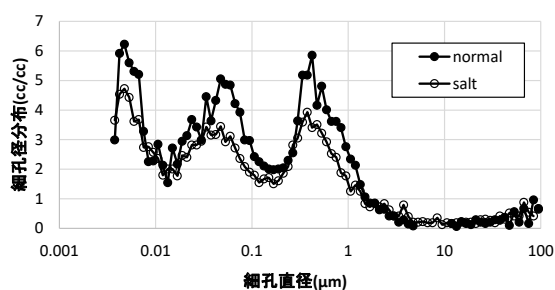


図-5 N45 の細孔径分布 (凍結融解 60c 時)

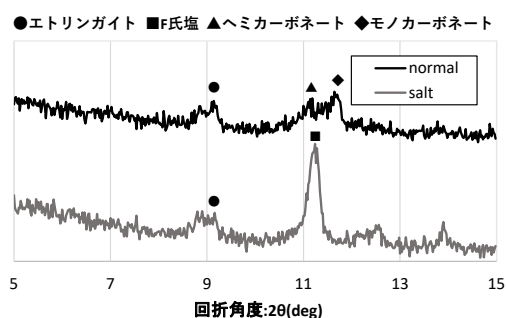


図-6 N45 の XRD パターン (凍結融解 60c 時)

- 3) 須藤俊吉, 芳賀和子, 広永道彦, 田中知, 長崎晋也: Ca の溶脱現象のモデル化と拡散係数の空隙量依存性, 土木学会論文集, No.753/V-62, pp.13-22, 2004