

# 塩分供給下での凍結融解作用によるスケーリングの抑制対策に関する基礎的研究

国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 正会員 ○吉田 行  
 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 正会員 安中新太郎

## 1. はじめに

近年、積雪寒冷地では、塩化物系凍結防止剤等により凍害が促進されて生じるスケーリング劣化が顕在化している。スケーリングは、鉄筋までのかぶりコンクリートを減少させるとともに、コンクリート表層に微細なひび割れが生じれば、塩化物イオンの浸透を速めることにもつながるため対策が必要である。また、現状においては、スケーリング抵抗性を評価する標準的な試験法が確立されておらず課題となっている。そこで、本研究では、スケーリング抑制対策としての水セメント比の低減や空気量の増加の効果を、RILEM CDF 試験により評価した。

## 2. 使用材料および配合

セメントは、普通ポルトランドセメントに比べて、塩分浸透に対する抵抗性は高いが、凍結融解作用によるスケーリング劣化が低いとされる高炉セメント B 種（密度 3.05g/cm<sup>3</sup>，比表面積 3,750cm<sup>2</sup>/g，以下，記号 B）を用いた。細骨材は、苫小牧樽前産の海砂（密度 2.70g/cm<sup>3</sup>，吸水率 0.90%，粗粒率 2.82）を、粗骨材は、小樽市見晴産砕石（密度 2.68g/cm<sup>3</sup>，吸水率 1.72%，粗骨材最大寸法 25mm）を用いた。また、スランプと空気量を調整するために、AE 減水剤（リグニンスルホン酸塩系）と AE 助剤（樹脂酸塩系）を用いた。コンクリートの配合を表-1 に示す。水セメント比は 55% を中心に、一部 45% と 65% でも試験を実施した。目標空気量を 3.0~7.5%，目標スランプを 8cm±2.5cm に設定したが、単位水量を全配合で統一したため、目標空気量が多いケースではスランプの実測値が一部目標管理範囲より大きかった。

表-1 配合

記号	水セメント比 (%)	目標空気量 (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				AE 減水剤 C×%	AE 助剤 C×%	実測スランプ (cm)	実測空気量 (%)
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G				
B45A30	45	3.0	43	344	815	1073	0.20	0.010	8.7	2.9	
B45A45		4.5			798	1050	0.20	0.020	10	4.1	
B55A30		3.0			879	1066	0.10	0.015	9.1	2.7	
B55A45	55	4.5	45	282	860	1045	0.05	0.040	9.1	4.6	
B55A60		6.0			842	1022	-	0.065	9.5	6.0	
B55A75		7.5			824	1001	-	0.100	10.7	7.6	
B65A45		4.5			916	1026	-	0.040	8.2	4.6	
B65A60	65	6.0	47	238	897	1005	-	0.065	11.9	6.5	

小樽市見晴産砕石（密度 2.68g/cm<sup>3</sup>，吸水率 1.72%，粗骨材最大寸法 25mm）を用いた。また、スランプと空気量を調整するために、AE 減水剤（リグニンスルホン酸塩系）と AE 助剤（樹脂酸塩系）を用いた。コンクリートの配合を表-1 に示す。水セメント比は 55% を中心に、一部 45% と 65% でも試験を実施した。目標空気量を 3.0~7.5%，目標スランプを 8cm±2.5cm に設定したが、単位水量を全配合で統一したため、目標空気量が多いケースではスランプの実測値が一部目標管理範囲より大きかった。

## 3. 試験項目と供試体

凍結融解作用によるスケーリング抵抗性を評価するための促進試験法については、現状では JIS に規定されておらず、RILEM CDF 法や ASTM C672 により検討されることが多い。本研究では、比較的早期に結果が得られ、けい酸塩系表面含浸材の試験方法（案）<sup>2)</sup>でも導入された RILEM CDF 試験によりスケーリング抵抗性を評価した。供試体は、100×100×400mm の角柱供試体を中央で切断したものを用い、1 配合当たり 2 供試体で評価した。供試体は、材齢 7 日まで 20℃ 水中養生を行い、その後材齢 28 日まで温度 20℃，相対湿度 60% の恒温恒湿室内で気中養生した。その後、試験面（打設面）に 3%NaCl 溶液を 7 日間吸水させてから試験を開始した。スケーリング量は、凍結融解 6，14，28，56 サイクルで測定した。また、試験面の表面強度として、220×220×100mm 角柱供試体の打設面で、1 配合当たり 2 供試体（各 2 カ所）で建研式引張試験器により表面接着強度試験（接着治具面積 40×40mm）を材齢 28 日に行った。併せて、硬化コンクリートの気泡組織を把握するため、リニアトラバース法による気泡分布測定を行った。

## 4. 試験面の表面接着強度

図-1 に試験面の表面接着強度を示す。水セメント比 45% で表面強度は大きかったが、水セメント比 55% と 65% で強度に大きな差はなく、空気量の多少による明確な傾向は確認でき

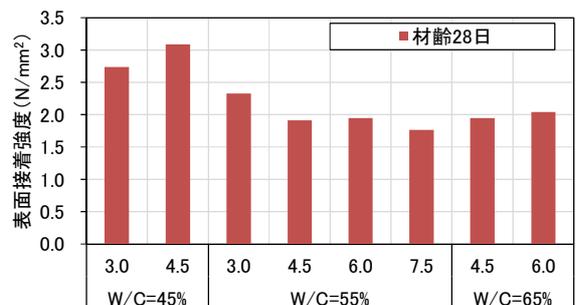


図-1 試験面（打設面）の表面接着強度

キーワード スケーリング，空気量，気泡間隔係数

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1-3-4 寒地土木研究所 耐寒材料チーム TEL: 011-841-1719

なかった。

### 5. CDF 試験によるスケーリング量

図-2 に凍結融解サイクルとスケーリング量の関係を示す。凍結融解サイクルの進行に伴いスケーリング量は増加したが、空気量の増加によりスケーリング量は概ね減少する傾向を示した。特に、水セメント比 45% (B45) と 55% (B55) の目標空気量 3% (A30) は、凍結融解 14 サイクル以降大きく増加したが、目標空気量 4.5% (A45) ではスケーリング量が大きく減少した。また、水セメント比 55% では、空気量 7.5% (A75) でさらにスケーリング量は低下したが差は小さく、目標空気量 4.5% と 6.5% (A60) では、水セメント比 55% と 65% (B55) で差がなかった。

一方、水セメント比で比べると、水セメント比 65% よりも 55% の方がスケーリング量は減少したが、本試験においては水セメント比 45% のスケーリング量が同じ空気量の条件で最大となり、水セメント比の低下による抑制効果<sup>3)</sup>が確認できなかった。図-3 に材齢 28 日の表面強度と凍結融解 56 サイクル後のスケーリング量の関係を示す。表面強度が高いほどスケーリングは抑制されると考えられるが、本研究においては、強度が高いほど圧縮強度は増加する傾向となった。

### 6. 空気量とスケーリングの関係

図-4 に練上がり時のフレッシュコンクリートの実測空気量とスケーリング量の関係を示す。水セメント比によらず、空気量とスケーリングには良い相関があり、空気量が多いほどスケーリングは抑制される傾向が確認できる。また、図-5 は硬化コンクリートで測定した気泡間隔係数とスケーリング量の関係を示しているが、気泡間隔係数が小さいほどスケーリング量は減少する傾向があり、本研究の範囲では、良質な空気量の確保が、塩分供給下での凍結融解作用によるスケーリング劣化を抑制できた主要因であったと考えられる。

### 7. まとめ

塩分供給下での凍結融解作用によるスケーリングの抑制対策として、良質な空気量の確保が有効であることを確認した。なお、本研究においては、水セメント比の低下が必ずしもスケーリングの抑制につながらなかったため、その原因に関するより詳細な検討とともに、スケーリング劣化に対する標準的な評価試験法について今後検討する必要がある。

#### 【参考文献】

- 1) 土木学会：2012 年制定コンクリート標準示方書設計編，pp.157-160，2013.3
- 2) 土木学会：2013 年制定コンクリート標準示方書規準編土木学会規準および関連規準，pp.482-497，2013.11
- 3) 遠藤裕丈，田口史雄，嶋田久俊：塩化物水溶液による長期凍結融解作用を受けたコンクリートのスケーリング特性，土木学会論文集，No.725/V-58，pp.227-244，2003.2

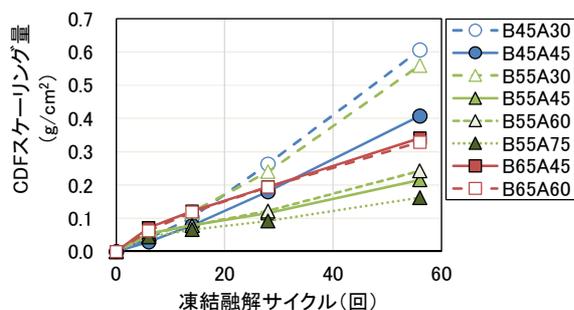


図-2 凍結融解サイクルとスケーリング量の関係

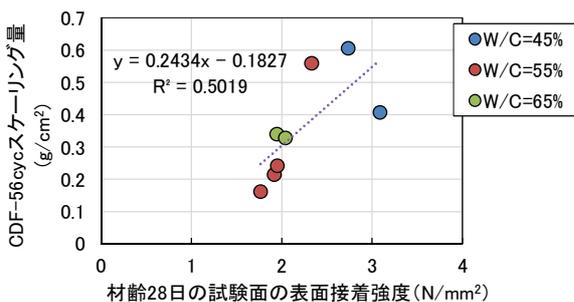


図-3 表面接着強度とスケーリング量の関係

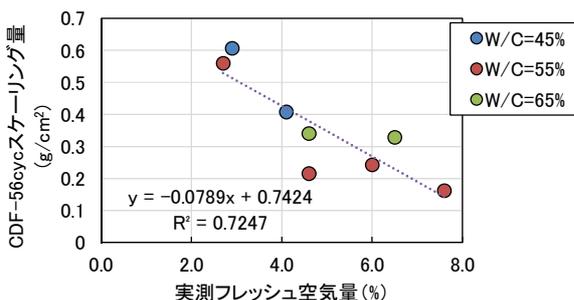


図-4 練上がり空気量とスケーリング量の関係

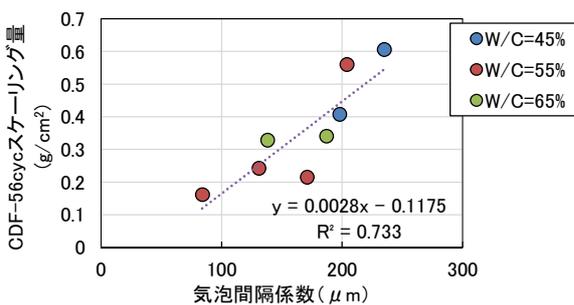


図-5 気泡間隔係数とスケーリング量の関係