

## 凍害を受けた海洋コンクリートの塩分浸透に関する研究

Research on chloride permeation into frost - damaged marine concrete

苫小牧工業高等専門学校 専攻科 環境システム工学専攻 ○学生員 木村 直生 (Naoki Kimura)  
 苫小牧工業高等専門学校 環境都市工学科 正会員 廣川 一巳 (Kazumi Hirokawa)  
 苫小牧工業高等専門学校 環境都市工学科 正会員 渡辺 暁央 (Akio Watanabe)

## 1. 序論

積雪寒冷地での海洋コンクリート構造物は、海水による化学的浸食作用と様々な気象作用により、温度変化や水分変化の影響を受け、冬季には表面水及びコンクリートの内部水による凍結融解作用を受ける。特に寒冷地の海洋コンクリート表層部は、これら気象作用を直接受ける環境にあり凍害が起こることがある。凍害の形態<sup>1)</sup>にはスケーリング、ポップアウト、粗骨材露出現象などがあり、本研究ではその中の一つである粗骨材露出現象に着目した。この現象は粗骨材の上部にある数 mm のモルタルが剥離する現象である。年数の経過とともに剥離面積は広がるが、剥離深さは進行せず、粗骨材自体が剥落することはない。このモルタルの剥離はコンクリート内部に影響を及ぼさないが、海洋コンクリート構造物の景観や信頼性を損ねるといった問題がある。

実態調査<sup>2)</sup>や暴露試験<sup>3)</sup>の結果から、計画的に変えることが可能な要因(水セメント比、養生方法、材料、配合)や、計画的に変えることが困難な環境要因(気温、湿度、海水作用、凍結融解作用)によって発生するとされている。また、この現象は施工後一冬でも剥離することがあるが、対策として湿潤養生 5~7 日後乾燥させることで、同水セメント比でも剥離が少なくなるといったことが明らかにされている。

この粗骨材露出現象は、佐伯<sup>2)</sup> 鮎田<sup>4)</sup>らの報告があるものの、あまり研究が行われていない。よって粗骨材露出現象のメカニズムの解明をすることの意義は大きいと考えられる。

本研究では、粗骨材露出現象を実験的に再現し、塩分浸透の観点から劣化発生メカニズムの検討を行うことを目的とした。

## 2. 実験方法

## 2.1 使用材料及び供試体

セメントは普通ポルトランドセメント(密度 $3.16\text{g}/\text{m}^3$ )、粗骨材は静内産(密度 $=2.74\text{g}/\text{m}^3$ )、細骨材は浜厚真産(密度 $=2.69\text{g}/\text{m}^3$ )を用い、混和剤は AE 減水剤(変形リグニンスルホン酸化合物)、AE 助剤を用いた。

供試体は ASTM C 672<sup>5)</sup>に準拠し、発泡スチロールの型枠を使用した。また、水セメント比は海洋コンクリートの基準となる 45%の供試体と 55%の供試体を作製した。スランブは  $5.0 \pm 1.0\text{cm}$ 、空気量は  $4.5 \pm 0.5\%$  を目標に打設を行った。養生方法は 14 日間水中養生したもの(以下、14w と略記)と、5 日間水中養生後、材齢 9 日まで空气中乾燥したもの(以下、5w9d と略記)の 2 パターンとした。

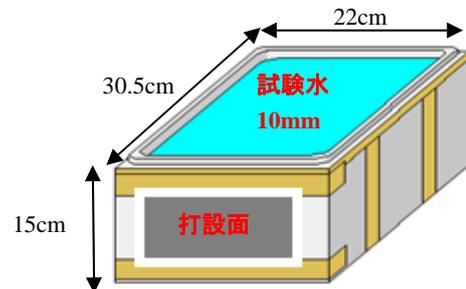


図1 ASTM C 672 に準拠した供試体概略

表1 水セメント比 45%, 55% の供試体の配合表

水セメント比 W/C (%)	単位量( $\text{kg}/\text{m}^3$ )					
	水	セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤	AE助剤
W/C 45%	145	322	796	1164	3	0.16
W/C 55%	140	255	811	1180	2.5	0.13

表2 水セメント比 45%, 55% の練り上がり性状

		スランブ (cm)	空気量 (%)	練り上がり温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )
W/C 45%	5w9d	5.6	5.3	22.1
	14w	5.6	5.3	22.1
W/C 55%	5w9d	5.6	4.6	18.3
	14w	5.6	4.6	18.3

## 2.2 凍結融解試験

凍結融解試験に使用する試験水は、錦岡海岸で採取した海水(以下、Sea と略記)、塩分濃度 3%の塩化ナトリウム水溶液(以下、Na と略記)、の 2 パターンとした。

ユニット型温湿度供給装置と接続した試験室でのプログラム運転により 8 時間の融解作用と 16 時間の凍結作用を与え、供試体の表面温度を $-10^{\circ}\text{C}$ から $+5^{\circ}\text{C}$ になるように制御し、この一連の過程を 60 サイクルまで行った。

## 2.3 塩分浸透試験

塩分浸透試験は JIS A 1154 硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法に従って行った。これを行う前処理として、所定の凍結融解試験を終えた供試体の中心部分を抜き、その表層部から 0-0.5、0.5-1、1-1.5cm の部分を切り取りその後、粉砕機を用いてそれぞれ粉末を作製した。その後、硝酸(1+6)を用いて抽出を行い、電位差滴定により試料 10.00g あたりに含まれる塩化物イオン量を測定した。

### 3.結果と考察

#### 3.1 凍結融解試験

図1,図2は水セメント比45%,水セメント比55%の供試体の剥離率を示したものである。剥離率は、使用した供試体の露出面のモルタルが剥離し、粗骨材が露出している部分をトレースして囲い剥離面積を求め、この剥離面積を供試体の露出面積当たりの割合として算出したものである。水セメント比45%の供試体はどの養生方法に関しても10から15サイクル程度で剥離が始まっており、剥離率は14w Seaの4.2%が最大となっている。また、他の養生方法に関しての剥離率は2%から3.9%であった。全体的に剥離率は小さいことが分かる。水セメント比55%の供試体についてはどの養生方法についても5サイクルから10サイクル程度で剥離が始まっており、剥離率は14w Naの15%が最大となっている。また、他の養生方法に関して剥離率は水セメント比45%の供試体と比較すると高くなっている。

既往の研究<sup>6)</sup>では、水セメント比の小さな供試体のほうが水セメント比の高い供試体より剥離が抑制されるということがわかっており、本研究でもその効果を確認することができたと言える。また、水中養生のみを行うより水中養生後に気中乾燥を行うことで供試体の剥離は抑制されるということがわかっており、本研究でもその効果を確認することができた。

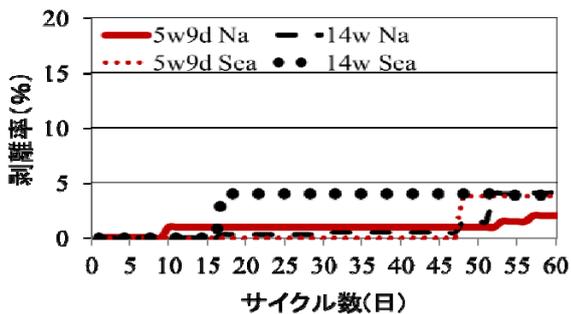


図1 水セメント比45%の剥離率の変化

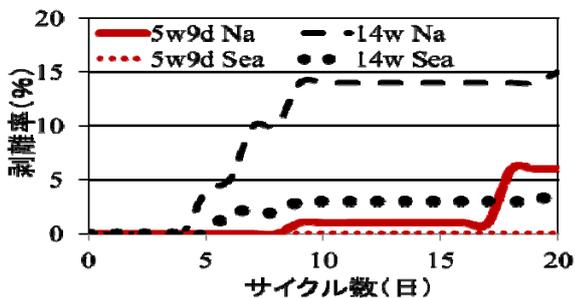


図2 水セメント比55%の剥離率の変化

#### 3.2 塩分浸透試験

図3は水セメント比45%の供試体の表面から0-0.5,0.5-1,1-1.5cmの深さごとに1m<sup>3</sup>当たりの塩分含有量を示したものである。表面から深くなるに従って塩分浸透量が少なくなっていった。また、養生方法や塩水と海水の違いがあっても、ほとんど差は見られなかった。

水セメント比45%の供試体における剥離率の結果と塩分浸透量の結果をしてみると、塩分浸透量と剥離には有意な関連性がないようである。

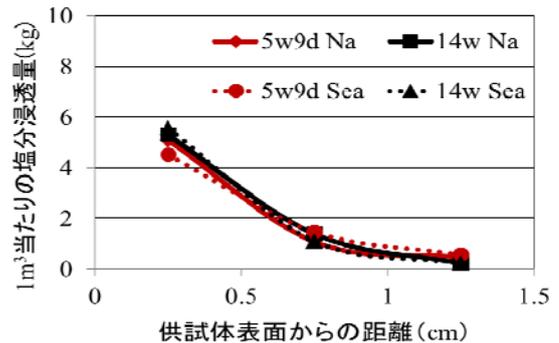


図3 1m<sup>3</sup>当たりの塩分浸透量(水セメント比45%)

### 4.結論

本研究では、供試体表面温度が-10℃から+5℃になるように凍結融解を繰り返す実験を行った。結果を以下に記す。

- (1)水セメント比45%,55%の供試体での粗骨材露出現象の再現をする事が各養生方法できた。
- (2)既往の研究では低水セメント比のほうが剥離抑制に効果的であり本研究でもその効果を確認することができた。また、水中養生のみを行うより水中養生後に気中乾燥を行うことが剥離の抑制に効果的であり、本研究でも効果が見られた。
- (3)水セメント比45%の供試体における塩分浸透量と剥離率には、有意な関連性が認められなかった。

今後の展開としては、水セメント比55%の供試体の凍結融解試験を60サイクルまでを行い、塩分浸透試験を行う。

### 参考文献

- 1) 洪 悦郎：コンクリートの凍害，コンクリート工学 Vol. 13, No. 3, pp. 34-35, 1975
- 2) 佐伯，鮎田，前川：北海道における海岸および港湾コンクリート構造物の凍害による表面剥離損傷，土木学会論文報告集 327号，pp151-162, 1982.
- 3)木村，安藤，鮎田，桜井，小笠原：寒冷地海洋環境下におけるコンクリートの劣化防止対策，土木学会北海道支部論文報告集，平成5年度，pp.1024, 1994
- 4) 鮎田，桜井，小笠原：流氷海域に暴露したコンクリートの劣化性状，セメント・コンクリート論文集 No. 47, pp. 474-479, 1993.
- 5) American Society for Testing and Materials：Standard test method for scaling resistance of concrete surfaces exposed to deicing chemicals,ASTM C 672, Annual Book of ASTM Standardspart 14, pp. 402, 1993
- 6) 淵脇，廣川：海洋コンクリート表層部における粗骨材露出現象の再現のための基礎的実験，土木学会北海道支部論文報告集 63号，E-18, 2006