

海洋コンクリート表層部の耐久性についての研究

Research for strength in a marine concrete surface.

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 三宅優貴 (Yuuki MIYAKE)

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)

1. はじめに

積雪寒冷地における海岸、港湾コンクリート構造物は、海水による化学的侵食作用に加えて、凍結融解作用を受ける厳しい自然条件下にあるために、凍害が発生し、内陸のコンクリート構造物に比べて劣化が激しい。

凍害の中でも粗骨材露出現象(図-1)は、凍結融解の繰り返し作用によりコンクリート表面から深さ 2mm 付近のモルタルが粗骨材上面で剥離し、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という現象¹⁾で、構造物の機能そのものを損なわせるまでには至らないが、コンクリートに対する信頼性や美観を損ねる。

近年では臨海地域における大規模レジャー施設の建設や、海浜公園の整備などが多々行われており、より景観、美観に優れたものが要求されるため、凍害への耐久性を考えた設計、施工は極めて重要である。

これまでの研究報告では、鮎田・林²⁾³⁾によって初期養生後の乾燥は、自由水の蒸発あるいは炭酸化の影響により表面剥離を抑制することが確認されている。また、瀧脇・廣川⁴⁾によってプログラム運転による粗骨材露出現象の再現を可能にし、以前に比べて試験精度、作業効率が向上した。

そこで、本研究では初期養生時に炭酸ガスを吹き込み、その後乾燥させることで炭酸化の促進につながると考え、瀧脇・廣川⁴⁾が確立した温度プログラムを用いて、粗骨材露出現象をさらに抑制できる養生方法の検討を目的として研究を行った。

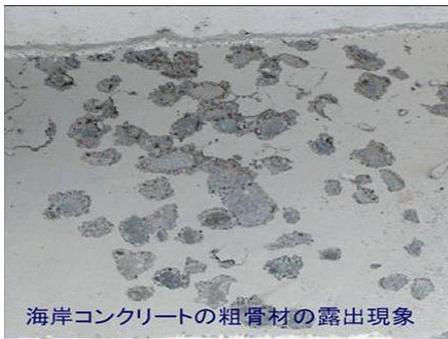


図-1 粗骨材露出現象

2. 試験方法

2.1 使用材料

セメントは普通ポルトランド(密度=3.15g/cm³)を用い、粗骨材は静内産(密度=2.74g/cm³)、細骨材は浜厚真産(密度=2.77g/cm³)、混和剤は AE 減水剤(変性リグニンスルホン酸化合物)、及び AE 助剤を用いた。

2.2 供試体作製

本研究では、供試体は ASTM C 672⁵⁾ に準拠したコンクリート供試体とモルタル供試体を作製し、前者を緩速凍結融解試験、後者を炭酸化評価試験に用いた。配合はそれぞれ表-1、表-2 に示す。

水セメント比 W/C (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	細骨材率 s/a(%)	単位量(kg/m ³)					
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE減水剤	AE助剤
55	5.0±1.0	4.5±0.5	43	136	247	855	1169	2.47	0.741

表-1 コンクリート配合表

水セメント比 W/C (%)	単位量(kg/m ³)				
	水 W	セメント C	細骨材 S	AE減水剤	AE助剤
55	136	247	855	2.47	0.741

表-2 モルタル配合表

コンクリート供試体の作製手順を以下 1)~5) に示す。

- 1) 図-2 に示すように、内寸が縦 180mm × 横 280mm × 深さ 120mm である発泡スチロール型枠の側面に、縦 80mm × 横 160mm のコンクリート打設用の穴を開ける。

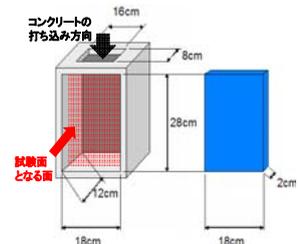


図-2 コンクリート用型枠

- 2) 凍結融解試験の試験面を平坦にするために、型枠内に剥離剤を塗布した鉄板をいれ、水留の枠をつくるために厚さ 20mm のスタイロフォームを発泡スチロール上縁と平行にはめ、ふたを閉めガムテープで密閉する。
- 3) 型枠内にコンクリートを打設する。1層あたり 25 回、3 層突き固め、各層毎にセメントナイフで試験面にスペーシングを施した後、打ち込み口を閉じてガムテープで塞ぎ、室温 20℃ の恒温室内にて静置する。
- 4) コンクリートが硬化後、材齢 1 日で脱型(鉄板及びスタイロフォームを除去)し、各養生方法に従って養生を開始する。
- 5) 養生後、コンクリートと型枠の隙間からの水漏れを防ぐため、コンクリート表面の接触縁に沿ってコーキングを施す。作製された供試体を図-3 に示す。



図-3 コンクリート供試体

モルタル供試体の作製手順を以下 1)~3)に示す。

- 1) 図-4 に示すように、縦 40mm×横 40mm×奥行き 160mm の直方体が 3 つ作製できる型枠を組み立てる。
- 2) 型枠内にモルタルを打設し、専用の振動機により締め固める。
- 3) モルタルが硬化後、材齢 1 日で脱型し、各養生方法に従って養生を開始する。作製された供試体を図-5 に示す。



図-4 モルタル用型枠



図-5 モルタル供試体

2.3 養生

養生は蒸留水を用いて行い、以下の 3 パターンとした。また、本研究では炭酸化に着目しているため、pH との関連を考察するために、養生中は 1 日 1 回 pH を測定した。

供試体本数は 1 パターンにつき、コンクリート供試体は 3 本、モルタル供試体は 1 本とした。

14w：脱型後材齢 14 日まで養生させたもの

3w11d：脱型後 3 日間養生し、その後材齢 14 日まで空气中乾燥させたもの

3wt11d：脱型後 3 日間炭酸養生し、その後材齢 14 日まで空气中乾燥させたもの

炭酸養生とは、液化炭素ボンベからチューブを用いて誘導し、供試体を浸している蒸留水に炭酸ガスを吹き込む養生をいう。

2.4 緩速凍結融解試験

本研究では、温度環境を自動制御できるユニット型温湿度供給装置を用いて、コンクリートが曝される環境に近い緩速凍結融解作用を与えた。

試験水は海水のみを使用し、養生後の供試体試験面上

に水深 10mm の高さになるように満たした。

試験室内での供試体の温度勾配は、図-6 に示すように、測脇の研究によって供試体表面の温度を $-10^{\circ}\text{C} \sim +10^{\circ}\text{C}$ 、融解時間を 8 時間、凍結時間を 16 時間と設定され、粗骨材露出現象を再現するためのプログラムとして確立されたので、これを使用した。

凍結と融解による一連の過程を 1 サイクル/日として計 40 サイクル与え、1 サイクル毎にコンクリート表面を目視観察し、試験水を新しいものと交換した。

供試体表面に剥離が認められた場合は、剥離部分を OHP シートにトレースして、剥離面積をプランメータにより測定し、累積剥離面積を求めた。そして、凍結融解開始時の全露出部分に対する割合の剥離率を算出し、剥離程度の評価に用いた。

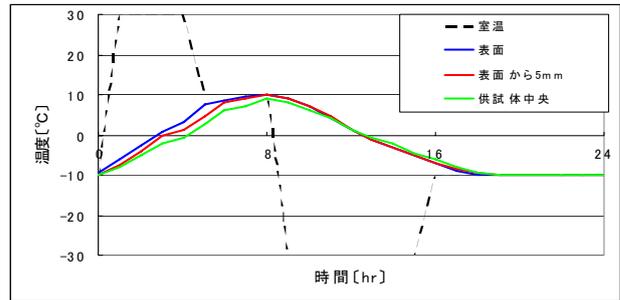


図-6 プログラムによる供試体の温度勾配

2.5 炭酸化評価試験

本研究では、養生方法の違いによるコンクリート表層部の化学組織を解明するために、粉末 X 線回折を行った。

試料は、養生を終えたモルタル供試体を用い、これを砕いて粉末にし、図-7 に示すように水和反応をさせないためにアセトンに浸しておく。その後真空処理し、75 μm フルイを通過したものを図-8 に示した粉末 X 線回折装置により分析した。



図-7 モルタル供試体粉末



図-8 粉末 X 線回折装置

3. 結果及び考察

3.1 緩速凍結融解試験結果 (14w)

図-9 は、脱型後材齢 14 日まで養生させたコンクリート供試体に、図-6 の温度プログラムを用いて 40 サイクルの緩速凍結融解作用を与え、その結果得られた剥離率を示したものである。また、参考として図-10 に 40 サイクル後の供試体 No.1 を示す。

図-9 に示されるように、供試体 No.1, No.2, No.3 の 3 本とも剥離しており、サイクル数の増加に伴って階段状に剥離していることがわかる。よって、このままサイクル数を延長することで剥離もさらに進行すると考えられる。

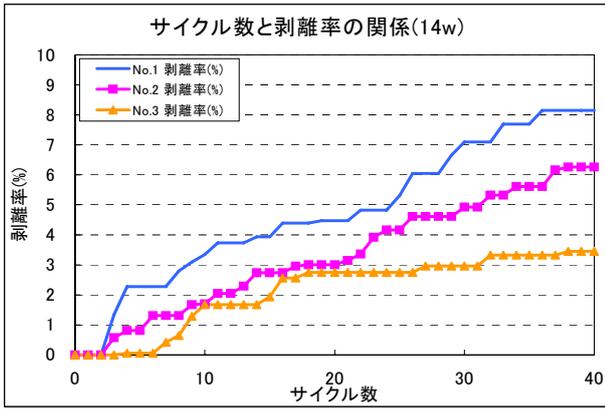


図-9 サイクル数と剥離率の関係 (14w)



図-10 40 サイクル後の供試体 No. 1 (14w)

3.2 緩速凍結融解試験結果 (3w11d)

図-11 は、脱型後 3 日間養生し、その後材齢 14 日まで空气中乾燥させたコンクリート供試体に、図-6 の温度プログラムを用いて 40 サイクルの緩速凍結融解作用を与え、その結果得られた剥離率を示したものである。また、参考として図-12 に 40 サイクル後の供試体 No.1 を示す。

図-11 に示されるように、供試体は 3 本とも剥離しなかった。考えられる要因としては、養生後に空气中乾燥させたために、コンクリート内部の含有水分が減少し、凍結融解による作用が緩和されたことが考えられる。また、空气中乾燥させたことで、コンクリート表層部がより炭酸化されやすい環境となったため、空隙が緻密化し、剥離を抑制できたと考えられる。

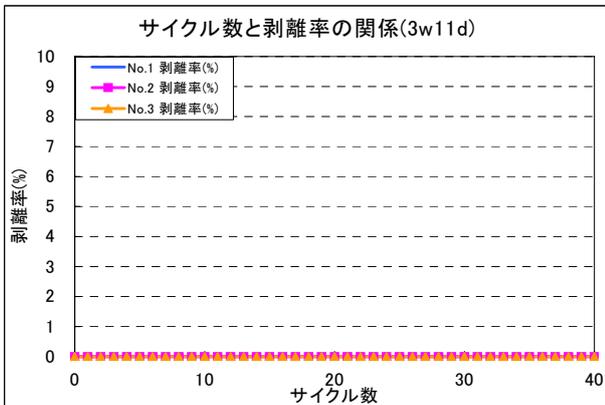


図-11 サイクル数と剥離率の関係 (3w11d)



図-12 40 サイクル後の供試体 No. 1 (3w11d)

3.3 緩速凍結融解試験結果 (3wt11d)

図-13 は、脱型後 3 日間炭酸養生し、その後材齢 14 日まで空气中乾燥させたコンクリート供試体に、図-6 の温度プログラムを用いて 40 サイクルの緩速凍結融解作用を与え、その結果得られた剥離率を示したものである。また、参考として図-14 に 40 サイクル後の供試体 No.1 を示す。

図-13 に示されるように、供試体は 20 サイクル前後から剥離し始め、剥離程度はそれほど大きくはなかったが、最終的に 3 本とも剥離し、3w11d より効果的な養生方法とはいえない結果となった。考えられる要因としては、養生の際、3 日間常に炭酸ガスを吹き込んでいたために pH が低く保たれ、炭酸カルシウムを生成するために必要な炭酸イオンが不足したことが考えられる。

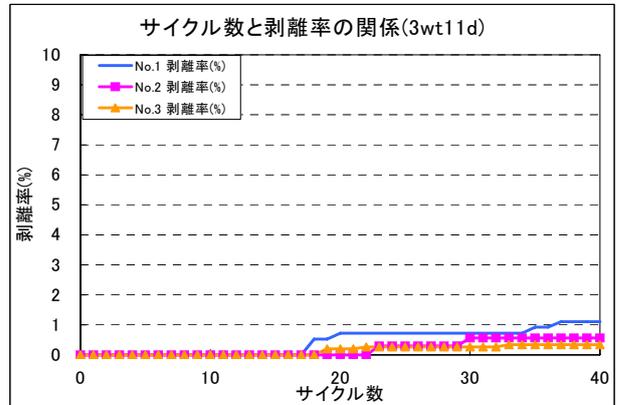


図-13 サイクル数と剥離率の関係 (3wt11d)



図-14 40 サイクル後の供試体 No. 1 (3wt11d)

3.4 炭酸化評価試験結果(14w, 3w11d, 3wt11d)

図-15は、脱型後と材齢7日までの3つの養生方法(14w, 3w11d, 3wt11d)で養生させたモルタル供試体を反射型 X線回折装置を用いて分析し、得られた結果を示したものである。また、図-16に養生中のpHを示す。

図-15に示されるように、最も炭酸カルシウムが生成されていたのは3w11dであり、3wt11dは炭酸化を促進させることができなかつたといえる。つまり、剥離率の結果と比較しても、初期養生後の空气中乾燥は、養生中に炭酸ガスを吹き込まないほうが炭酸化を促進させ、粗骨材露出現象を抑制できる結果となった。

これは、図-16でも示しているとおり、pHの高低が大きく関係しており、高い方が炭酸カルシウムを生成するために必要な炭酸イオンが多く存在できる⁶⁾からだと考えられる。よって、単に炭酸ガスを吹き込むのではなく、pHを高く保ちながら吹き込むことで、炭酸化の促進に効果があると期待できる。

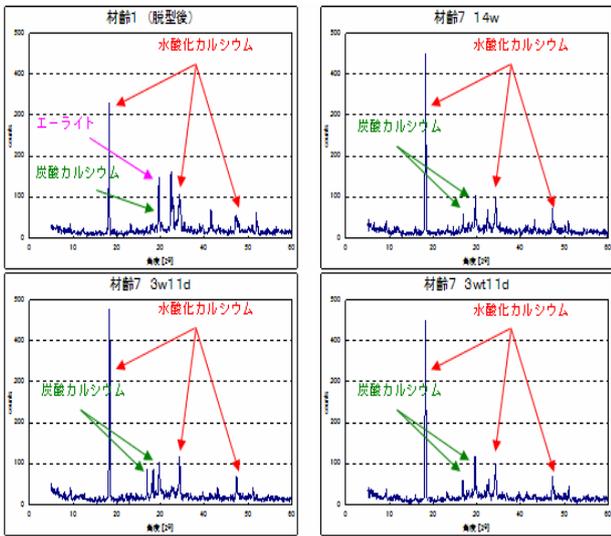


図-15 粉末 X 線回折結果

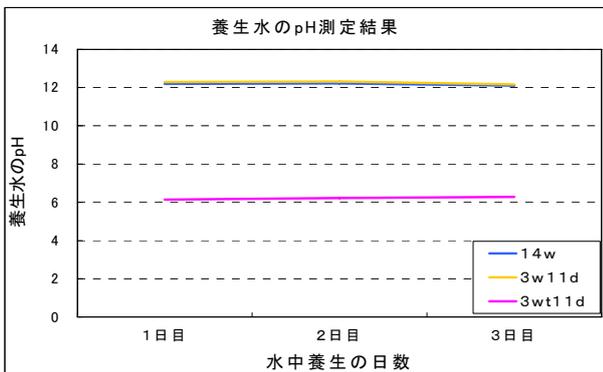


図-16 養生水の pH 測定結果

- 2) 炭酸化は、炭酸カルシウムの生成によりコンクリートを緻密にし、粗骨材露出現象を抑制させることが可能である。
- 3) 養生水の pH はアルカリ性を示し、炭酸ガスを吹き込み続けると弱酸性となる。また、これを3日間測定したがそれぞれ変化はなく、一定の値を示すことがわかった。
- 4) 養生水に炭酸ガスを吹き込む際は、炭酸イオンがより多く存在できるような環境にするため、pHを高く保ちながら吹き込む必要がある。

5. 参考文献

- 1) 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
- 2) 鮎田・林：微小モルタル供試体の強度に及ぼす乾燥の影響，第2回コンクリート工学年次講演会論文集，pp.97-100, 1980
- 3) 鮎田・林：微小モルタル供試体の強度に及ぼす炭酸化の影響，第3回コンクリート工学年次講演会論文集，pp.105-108, 1981
- 4) 瀧脇・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, pp.151-162, 1982
- 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 Standards, part 14, pp.402, 1993
- 6) 日本コンクリート工学協会：コンクリートの炭酸化に関する研究の現状，炭酸化研究委員会報告書，pp.1-93, 1993

4. まとめ

- 1) 過去の報告では、5～7日間の養生後に空气中乾燥させることで、粗骨材露出現象を抑制させることが可能であると報告されていたが、40サイクルの時点では3日間の水中養生でも十分に効果がある。