

暴露実験したコンクリート供試体の塩分浸透性能に与える水分逸散抑制の期間の影響

鹿島建設(株) 正会員 ○渡邊賢三 芦澤良一 吉田祐麻
徳山工業高等専門学校 土木建築工学科 正会員 温品達也
東京大学大学院工学系研究科 フェロー会員 石田哲也

1. はじめに

コンクリートは入念な湿潤養生を行うことで、表層のコンクリート組織が緻密化し、塩化物イオンに対する拡散係数（以下、拡散係数と称する）を低減して、塩害に対する抵抗性が向上することが確認されている¹⁾。しかし、コンクリート標準示方書〔設計編〕²⁾（以下、示方書と称する）では、拡散係数は水セメント比のみで決定され、養生の影響など施工上の工夫は直接的に反映されていない。そこで、本論文では、水分逸散抑制による湿潤養生の期間を要因として作製したコンクリート供試体を飛来塩分環境下に約 3.5 年間暴露し、湿潤養生の期間がコンクリートの塩化物イオンの侵入に対する抵抗性に与える影響を定量的に評価した。

2. 実験概要

表-1 に使用材料、表-2 にコンクリート配合を示す。コンクリートは普通ポルトランドセメントを用いた水セメント比 55.0%のものとした。目標スランプは $8.0 \pm 2.5\text{cm}$ 、空気量は $4.5 \pm 1.0\%$ とした。供試体の寸法は $100 \times 100 \times 100\text{mm}$ とし、型枠内に 2 層で打ち込み、突き棒で 10 回突いた後、木槌で側面を叩き締め固めた。

表-3 に実験要因を示す。実験要因は、水分逸散抑制の期間（養生 5 日、28 日、182 日）とした。ここで、養生終了直後からコンクリートに作用する塩化物イオン量を統一するために、暴露開始が同日となるよう、養生日数に応じて供試体作製日を選定した。養生 5 日のケースでは、化粧合板を存置して水分の逸散を抑制し、材齢 5 日で脱型した。養生 28 日および養生 182 日のケースでは、型枠のせき板に熱可塑性樹脂シートを貼り付けた状態でコンクリートを打ち込み、材齢 1 日の脱型時にコンクリート表面にシートを残置させることで湿潤養生を行った。シートは暴露の開始日に撤去した。なお、暴露試験中は、側面 1 面を暴露面として開放し、残りの面をアルミテープで巻いた。

供試体の暴露は、新潟県新潟市の日本海に面した平地で行った。暴露地は沿岸から約 50m の地点であり、平均気温は夏期で約 25°C 、冬期で約 2°C である。飛来塩分量の平均は夏期（4 月～9 月）で 0.09mdh NaCl 、冬期（10 月～3 月）で 0.81mdh NaCl であった。

暴露終了後、コンクリートカッターを用いて、暴露面からの深さが 0～8, 12～18, 22～28, 32～38, 42～48mm の位置で試料を採取した。その後、JISA 1154 に準拠して全塩化物イオン量を測定した。また、各深さの塩化物イオン量をフィックの第 2 法則に基づいた拡散方程式の解にフィッティングし、拡散係数と表面塩化物イオン量を求めた。

3. 実験結果

図-1 に、塩化物イオン量の測定結果を示す。養生 5 日に比べて、養生 182 日は各位置での塩化物イオン量が低減した。養

表-1 使用材料

材料	記号	摘要
水	W	上水道水
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= $3,260\text{cm}^2/\text{g}$
細骨材	S1	砕砂 表乾密度= 2.62g/cm^3 , F.M.=2.78
	S2	山砂 表乾密度= 2.60g/cm^3 , F.M.=1.67
粗骨材	G1	砕石 表乾密度= 2.65g/cm^3 , 実積率= 62.9%
	G2	砕石 表乾密度= 2.65g/cm^3 , 実積率= 62.4%
混和剤	Ad	AE 減水剤（高機能型） 主成分：リグニンスルホン酸塩

表-2 コンクリート配合

W/C (%)	単位量 (kg/m^3)						
	W	C	S1	S2	G1	G2	Ad
55.0	165	300	751	132	486	466	2.85

表-3 実験要因

要因	供試体の作製日	水分逸散抑制による湿潤養生の期間	暴露期間
養生 5 日	2016/10/16	5 日	2016/10/21 ～2020/3/6
養生 28 日	2016/9/23	28 日	
養生 182 日	2016/4/22	182 日	

キーワード：湿潤養生、水分逸散抑制、養生期間、塩化物イオン拡散係数、暴露試験

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-489-6733

養生 5 日では、42~48mm の位置で塩化物イオンの濃度が約 0.7kg/m^3 であるのに対し、養生 182 日では約 0.1kg/m^3 であり、養生 5 日と比べて非常に少ない。また、養生 28 日も、養生 5 日に比べて、0~8mm 以外の各位置での塩化物イオンの濃度は小さくなった。以上から、湿潤養生の期間が長くなるほど、塩化物イオンの侵入が抑制されることが確認された。これは、養生により表層が緻密化した²⁾ため、および、湿潤養生の期間を延長することで、若材齢時に飛来塩分の侵入を防ぐことができるためと考えられる。なお、0~8mm の深さで養生 28 日の方が塩化物イオンの濃度が大きくなるのも、養生による表層部の緻密化によるものと考えられる。

図-2 に、算出した拡散係数と表面塩化物イオン量を示す。なお、示方書の式から算出した値を併せて示した。今回の実験で、養生 5 日のケースとして得られた拡散係数は、示方書の式で得られる値より若干小さいものの、文献³⁾にある示方書の式の根拠となるデータのばらつきの範囲内であるため、妥当な値であると判断された。

拡散係数は、湿潤養生の期間が長くなるほど小さくなる傾向であり、養生 5 日に対して養生 28 日は約 $3/4$ 、養生 182 日は約 $1/2$ に低減した。養生 5 日に対する養生 28 日および養生 182 日との拡散係数の差分を示方書式により水セメント比に換算すると、養生 28 日は 52.2%、養生 182 日は 48.4% の水セメント比のコンクリートに相当すると計算される。また、図に示すように、拡散係数に対する湿潤養生の期間の影響は、対数関数の一次式で高い相関があり、湿潤養生の期間を延長する効果を設計に反映できる可能性が示唆される。なお、表面塩化物イオン量は明確な傾向が認められなかった。

文献⁴⁾によると、3.5 年経過した供試体の拡散係数は、これ以降の時間変化はほとんどないと考えられる。そこで、得られた拡散係数から、表面塩化物イオン量を示方書に示された「飛来塩分が多い地域：海岸から 0.1km 地点」の 4.5kg/m^3 として、かぶり位置 70mm および 50mm における塩化物イオン量の将来予測を算出した。図-3 に、予測結果を示す。かぶりを 70mm として計算した場合、養生 5 日では 64 年で腐食発生限界濃度に達しているのに対し、養生 182 日では 100 年経過時で腐食発生限界濃度に達していない。また、養生 182 日では、50mm に変更した場合でも、71 年経過時まで腐食発生限界濃度に達しなかった。このことから、湿潤養生の期間が塩化物イオンの侵入に対する抵抗性に与える影響は大きいと考えられる。

4. まとめ

湿潤養生の期間が長くなるほど、コンクリート中への塩化物イオンの侵入は抑制されることが確認され、拡散係数と湿潤養生の期間の関係は対数関数の一次式で表せる可能性が示唆された。塩化物イオン量の将来予測の結果から、湿潤養生の期間の影響は大きく、湿潤養生の期間を延長することによりかぶりを低減できることが示唆された。

参考文献

- 1) 温品ら：コンクリート構造物の品質向上と表層品質評価手法，コンクリート工学，Vol.30，No.7，pp.601-606，2012。
- 2) 土木学会：2017 年制定コンクリート標準示方書 [設計編]，2018。
- 3) 土木学会：2012 年制定コンクリート標準示方書改定資料 [基本原則編・設計編・施工編]，コンクリートライブラリー-138，2013。
- 4) 竹田ら：種々の海洋環境条件におけるコンクリートの塩分浸透と鉄筋腐食に関する実験的研究，土木学会論文集，No.599，V-40，pp.91-104，1998。

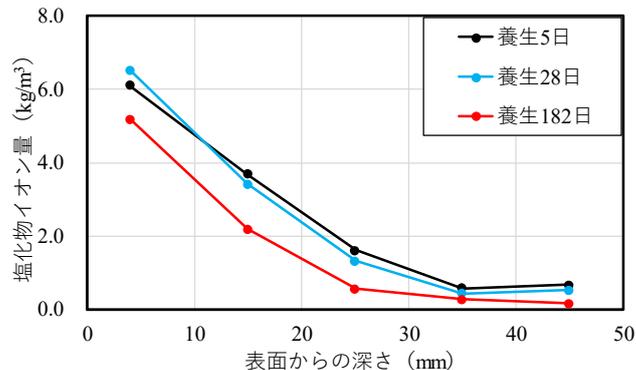


図-1 塩化物イオン量の測定結果

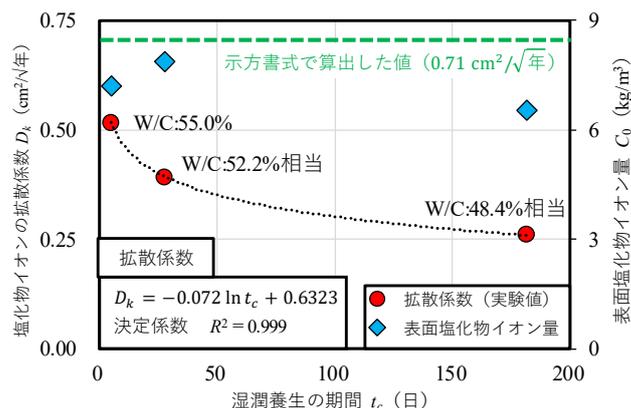


図-2 塩化物イオン拡散係数

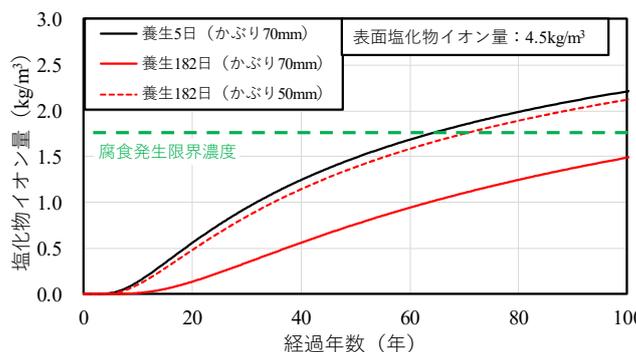


図-3 塩化物イオン量の予測値