

コンクリートの塩化物イオン拡散係数と表面吸水速度との関係

香川高等専門学校 学生会員 ○井上 翼
香川高等専門学校 正会員 林 和彦

1. はじめに

沿岸部および凍結防止剤の散布される寒冷地や山間部ではコンクリート構造物は塩化物の作用を受ける。コンクリートの塩害の影響の受けやすさを表す指標として塩化物イオンの拡散係数があるが、既往の塩化物イオンの拡散係数の測定方法はコア採取により構造物を傷つけ、その後も粉碎等の手間が生じるデメリットがある。一方、非破壊でコンクリートの緻密性を把握する手法として表面吸水試験が注目されている。塩化物イオンの拡散現象と表面吸水試験で測定する吸水挙動について、物質移動の駆動メカニズムは異なるものの、両者に関係性が認められれば、コア採取が不要で非破壊で塩化物イオンの拡散係数が推定できることとなる。本研究は、非破壊で塩化物イオンの拡散係数の推定の可能性を検討することが目的である。そのために供試体による検討と実構造物での検討の両方を行う必要があるが、今回は塩水浸漬試験を行った供試体に対して、表面吸水試験と塩化物イオンの拡散係数の関係を検討する。

2. 実験供試体

本研究では、作製した供試体に表面吸水試験、塩水浸漬試験を行ってその関係性を評価する。表-1 に示すパラメータは水セメント比、セメントの種類、養生方法とし、使用材料および品質がその関係性に与える影響を把握することとした。水セメント比は40、50、60%とし、養生方法については材齢 2～7 日の環境条件を変化させ、気中、型枠存置、水中の3種類とし、それ以外は共通とした。セメントは普通ポルトランドセメント、塩害抵抗性に優れている高炉セメントB種、緻密化を期待して普通ポルトランドセメントのフライアッシュ 20%置換の3種類とした。

各条件の供試体は直径 100mm の円柱を3体作製し、うち2体を塩水浸漬させ、浸漬期間を2種類とした。ここでは浸漬 91 日の結果を報告する。各条件の供試体は1体である。表-2 に使用材料を示す。高水セメント比のフライアッシュ含有コンクリートの硬化時間が遅いことを考慮し、

気中・水中養生の脱型時期は材齢 2 日とした。実構造物では1面から養生を行い、その面のみ大気露出していることを再現するために脱型後は型枠底面部を露出させそれ以外の部分は3次元方向の乾燥を防ぐためアルミテープで被覆した。

単位水量は全配合で統一し 170kg/m³としたが、水セメント比、セメントの種類によりワーカビリティを調整するため、全9種類の配合がある。スランプ量や空気量を調節するために、混和剤として AE 減水剤、AE 剤を使用している。配合によってそれらだけで調節できない場合には高性能 AE 減水剤、増粘剤を使用した。

表-1 実験パラメータ

水セメント比	40%,50%,60%
セメントの種類	普通ポルトランドセメント 高炉セメントB種 普通ポルトランドセメントのフライアッシュ20%置換
養生方法	材齢2日間:型枠存置 材齢2～7日:気中、型枠存置、水中 材齢7～61日:気中

表-2 使用材料一覧

材料	詳細	密度(g/cm ³)
セメント	普通ポルトランドセメント	3.15
	高炉セメントB種	3.04
細骨材	普通寺市雨霧山産 安山岩砕砂 (F.M.=2.55)(寸法0～5mm)	2.61
粗骨材(大)	普通寺市雨霧山産 安山岩砕砂 (寸法13～20mm)	2.64
粗骨材(小)	普通寺市雨霧山産 安山岩砕石 (寸法5～13mm)	2.64
フライアッシュ	JIS II種、ブレン値 3290cm ² /g、強熱減量 1.8%	2.25
AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体	-
高性能AE減水剤	ポリカルボン酸エーテル系化合物	-
AE剤	変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤	-
増粘剤	セルロースエーテル	-

3. 養生方法

表-1 に示したように設定する表面吸水速度の大きさに幅を持たせるために、表面吸水速度が大きいと予想される順番に気中、型枠存置、水中の3種類に養生方法を定めた。

表面吸水試験までの養生期間は水和反応がある程度収束し供試体の品質に変化がなくなる時期になることを考慮し、平均材齢 61 日とした。供試体は平均室温 20.9℃、平均湿度 58.8%の室内で静置した。

キーワード 塩化物イオンの拡散係数、表面吸水試験、表面吸水速度、塩害、耐久性、表層品質
連絡先 〒761-8058 香川県高松市勅使町 355 TEL 087-869-3920

4. 表面吸水試験

塩水浸漬前の所定の材齢時(約 62 日)に, 供試体の開放面(底面)に対して表面吸水試験を行った。

表面吸水試験結果について, 図-1 にセメントごとに, 水セメント比を横軸に, 表面吸水試験の結果を縦軸に示した。これらの中には 3 つの養生条件が含まれている。事前の予想では右上がりの関係となると考えたが, 一部では水セメント比が 50%から 60%へ変化した際に低下するものも見られた。この理由として, 今回は水セメント比を変化させた際に変更した配合条件や使用材料の違いが影響を及ぼしたと考えている。

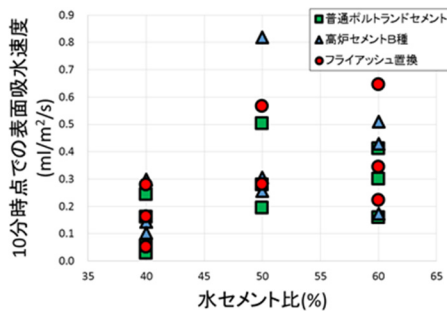


図-1 表面吸水速度と水セメント比の関係

5. 塩水浸漬試験

5.1 飽水試験

塩水浸漬試験は土木学会規準(JSCE-G 572-2010)を準用した。塩水浸漬試験では 10%の塩化ナトリウム水溶液に浸漬させることで拡散現象を生じさせるため, 塩水浸漬前に供試体を完全に飽水させる必要がある。事前の検討として, 水中浸漬を行い, 浸漬時間と浸漬によるコンクリートへの吸水量を計測し, 供試体の完全飽水に必要な時間を計測する予備実験を行った。その結果から, 土木学会規準の事前水中浸漬 1 日では飽水状態の 3 割程度しか吸水できていなかった。約 6 日の水中浸漬では飽水状態の 8 割程度の吸水量があり, その後の伸びは緩やかであった。したがって, 今回は実験日程も加味して水中浸漬期間を 6 日とした。

5.2 塩水浸漬試験

飽水が終了した供試体について塩水浸漬試験を行った。浸漬中の塩化ナトリウム水溶液の濃度測定を定期的に行い, 本研究での期間内には顕著な濃度の増減は確認できなかった。

6. 塩化物イオン拡散係数と表面吸水速度との比較

6.1 塩分濃度の測定

浸漬期間が 91 日で浸漬を終了した供試体について深さ

ごとの塩分濃度を測定した。高速切断機で横方向にスライスし, その切削粉を回収した切削粉を蛍光 X 線装置で塩分濃度に換算した¹⁾。

6.2 塩化物イオン拡散係数の計算

測定した深さごとの塩分濃度と浸漬日数からフィックの拡散方程式を用いて塩化物イオンの拡散係数を算出した。初期塩分量はセメントごとに異なるため, 浸漬させていない供試体の塩分濃度 ($0.32\text{kg/m}^3 \sim 0.40\text{kg/m}^3$) を測定して設定した。

6.3 表面吸水速度との比較

算出した塩化物イオンの拡散係数と 10 分時点での表面吸水速度とを比較した結果を図-2 に示す。表面吸水速度が大きくなるにつれて塩化物イオンの拡散係数が大きくなる, 正の相関が見られた。近似直線の傾きが大きい順に, 普通ポルトランドセメント, 普通ポルトランドセメントのフライアッシュ 20%置換, 高炉セメント B 種となり, 普通ポルトランドセメントを置換, 変更することにより塩分浸透の抑制効果が向上したと考えられる。ただし, フライアッシュ 20%置換の供試体では置換前に比べて拡散係数が大きくなるデータも存在した。養生期間を共通としており, フライアッシュの緻密化に必要な湿潤養生期間が十分でなかったことが影響していると考えている。

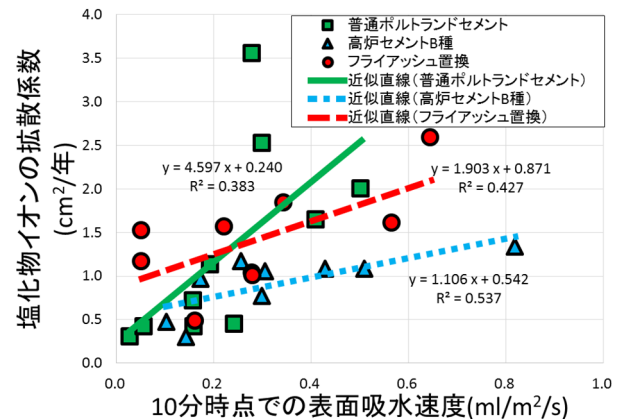


図-2 塩化物イオン拡散係数と表面吸水速度との関係

7. まとめ

円柱供試体の塩水浸漬 91 日の結果, 塩化物イオンの拡散係数と表面吸水速度には正の相関が見られた。塩分の浸透を抑制する効果は高炉セメント B 種を用いた供試体に顕著に見られた。

参考文献

- 1) 林 和彦, 井上 翼, 林 詳悟: 蛍光 X 線を用いた簡易的な塩化物イオン濃度の測定方法の提案, 土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集, V-068, pp.135-136, 2015