

コンクリート表面における付着状態の解明と表面境界部の塩分収支モデルの開発

コンクリート研究室 井野 裕輝
指導教官 下村 匠

1 はじめに

海岸近傍に位置するコンクリート構造物では、海域から発生した飛来塩分の付着・浸透作用により構造物内部の鋼材が腐食し、構造物の耐久性・長期供用性が低下する塩害劣化が生じている。維持管理の観点から塩害劣化を正確に評価・予測するためには、海域での飛来塩分の発生から、輸送、コンクリート表面への付着・侵入、内部への浸透まで一連の流れを明らかにする必要がある。飛来塩分の発生から輸送現象及びコンクリート内部の塩分浸透現象では様々な既往研究による提案が行われているが、付着・侵入の物理モデルが確立されていない。

そこで、本研究ではコンクリート表面における塩分付着状態の解明と表面境界部の塩分収支モデルの開発を目的に、コンクリート表面における付着状態の推定とコンクリート表面の塩分収支モデルの開発を行った。さらに、風および飛来塩分の輸送・付着を再現した風洞実験を実施することにより、開発したモデルの検証を行った。

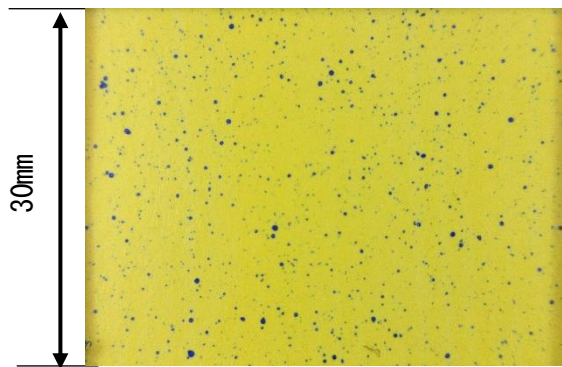


図1 感水紙による現地観測結果

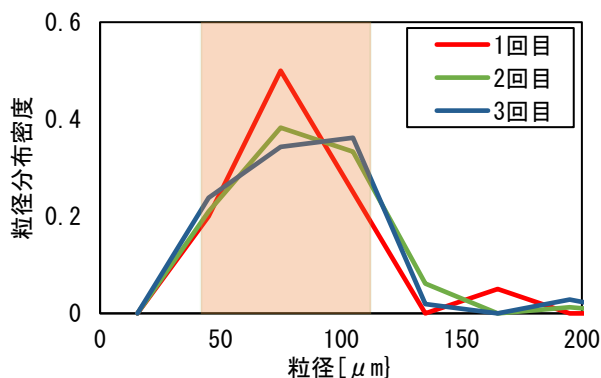


図2 現地観測の粒径分布解析結果

2 コンクリート表面における塩分付着状態

コンクリート表面における塩分付着状態の推定は、既往論文を参考に塩分粒子の衝突過程を整理した。表面における塩分粒子の付着状況の確認は、水滴に反応する感水紙を用いて海岸近傍の橋梁の高欄にて現地計測を行った。観測後の感水紙から粒径を計測するために、デジタルカメラによって撮影した画像をプログラムによって解析する手法を応用し、付着した塩分粒子の粒径分布とその量を計測できる手法を新たに開発した。

図1に現地観測により得られた画像を示す。図より高欄部において水滴が付着していることを示している。図2に複数枚の観測結果を示す。ほぼ同一地点で観測を行ったため、分布密度はほぼ同様の結果となった。また分布密度が0.2を超える領域が40~120 μm となる結果となった。現地観測を行った橋梁高欄部では、40~120 μm の塩分を含む水滴がコンクリート表面に付着していることが明らかになった。

3 コンクリート表面の塩分収支モデルの開発

コンクリート表面境界部の塩分収支モデルは、既存で開発されているコンクリート中の塩分浸透過程のモデルに、コンクリートの表面に質量保存則を適用したモデルを導入したものである。図3に表面部の塩分収支概念図を示す。現象としては①飛来塩分の到達、②表面からの塩分の離脱、③コンクリート内部への侵入の3つを考慮しており、質量保存則は式(1)で表される。

$$\frac{dC_{img}}{dt} = C_{air}(t) - C_{out}(t) - j_{c10}(t) \quad (1)$$

ここで、 C_{img} ：表面境界の塩分濃度、 $C_{air}(t)$ ：到達塩分量、 $C_{out}(t)$ ：離脱塩分量、 $j_{c10}(t)$ ：侵入塩分量である。

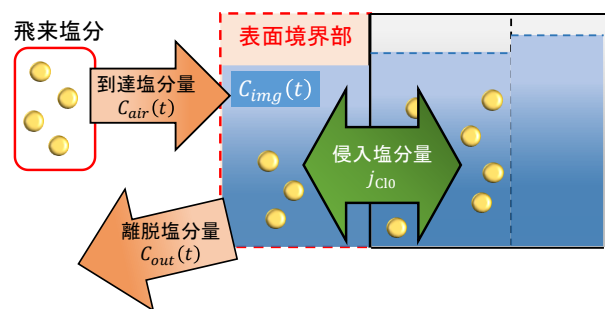


図3 表面境界における塩分量の収支概念図

表面境界では、表面で保持できる塩分量に上限があると仮定し、吸着のモデルを参考に最大量は到達塩分量により決まるとしたモデルを導入する。表面境界の最大濃度の決定式を式 (2) に示す。

$$C_{img_lim} = C_{img_max} \frac{K_l C_{air}(t)}{1 + K_l C_{air}(t)} \quad (2)$$

ここで、 C_{img_lim} ：表面境界の最大濃度、 C_{img_max} ：表面境界の飽和濃度、 K ：吸着に関する定数である。

3 飛来塩分環境を模擬した風洞実験による検証

3-1 実験方法

海岸近傍の自然環境を模擬できる風洞施設を用いて曝露実験を行い、モデルの妥当性の検証を行った。曝露した試験体は飛来塩分の現地調査に用いられている薄板モルタル供試体であり、寸法は縦 30mm、横 40mm、厚さ 5mm である。曝露期間は 3 日、6 日、12 日の 3 ケースであり、風洞内の飛来塩分量は 14.4mdd～69.1mdd である。

3-2 実験結果と解析結果の比較

実験結果と解析結果の比較を図 4 に示す。表示している結果は、全塩分量を単位面積当たりに変換したものである。吸着に関する定数 K は、43.3mdd の結果より同定した $K=10^9$ とした。図より、実験結果をそれぞれ再現できており、塩分濃度が平衡に至る傾向も再現できていることが分かる。さらに、同一の定数で、飛来塩分量の異なる試験体の傾向を再現できていることから、同一配合であれば同一定数で飛来塩分量の違いを表現できることが明らかになった。

4 実構造物に対する適用性の検討

4-1 対象構造物と計算条件

新潟県上越市名立区に設置されている曝露試験場の架台を対象に実構造物に対する適用性を検討した。この架台は 2001 年に設置され、コア試験体採取による内部の塩分分布の調査と土研式塩分捕集箱を用いた到達塩分量調査が行われており、既往研究で到達塩分量や降水量などの外部環境に関する整理が行われた。

そこで、外部環境データを用いて数値解析を行い、塩分分布の調査結果との比較を行った。降雨の影響に関しては、降雨量 1.5mm/h より強い雨の場合に洗い流し現象が起ると仮定し、解析を行った。

4-2 調査結果と解析結果の比較

図 5 に調査結果と解析結果の比較を示す。2005 年は 1 月に 2013 年は 11 月に調査が行われている。解析に用いた定数は $K=10^9$ とした。調査結果と解析結果を比較すると 2005 年から 2013 年までに浸透している塩分を評価できていることが分かる。2005 年は内部の分布を再現できてい

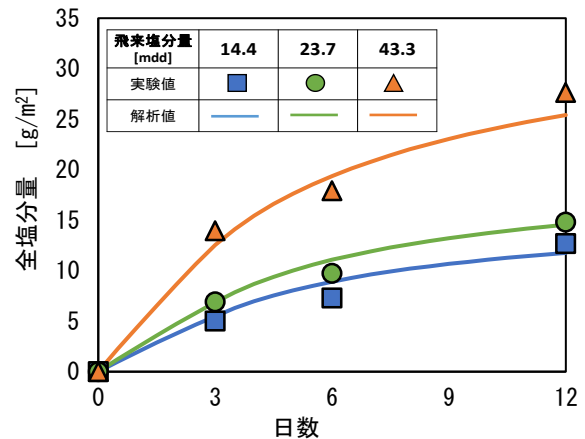


図 4 風洞実験結果と解析結果の比較

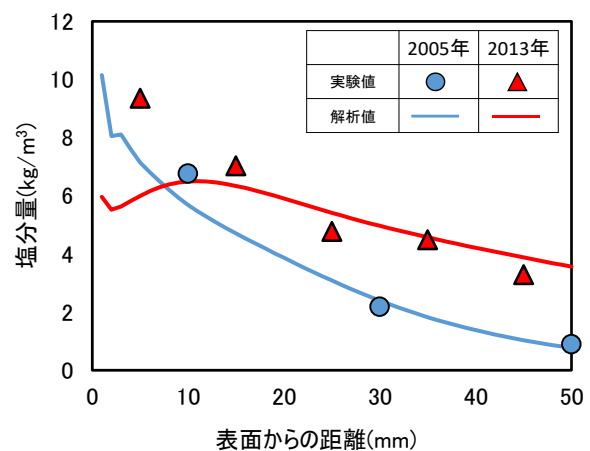


図 5 実構造物の現地観測結果と解析結果の比較

るが、2013 年に関しては表面部で大きく低下する結果となった。これは到達塩分量の少ない 10 月までの影響が過大に出ていると考えられる。そのため塩分量の少ない時期の評価を十分に行えれば、本モデルの実構造物への適用が可能であると示した。

5 まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 現地観測によって、コンクリート表面への塩分付着現象は水滴の付着現象であることを明らかにした。
- 2) 画像解析による飛来塩分の付着粒径の定量的な評価手法を確立した。
- 3) 開発した塩分収支モデルは、表面における塩分が平衡に至る過程を表現できることを確認した。
- 5) 風洞実験の試験体の結果を比較することで、吸着に関する定数が飛来塩分量によらず、一定で評価できることが明らかになった。
- 6) 実構造物の現地観測結果との比較によって、モデルが実構造物に適用できることを確認した。