

第V部門

構造物表面における飛来塩分の付着分布と内部分布に対する降雨の影響

京都大学工学部 学生員 ○嘉屋 明信
 京都大学大学院工学研究科 非会員 張 煜坤
 京都大学大学院工学研究科 正会員 安 琳

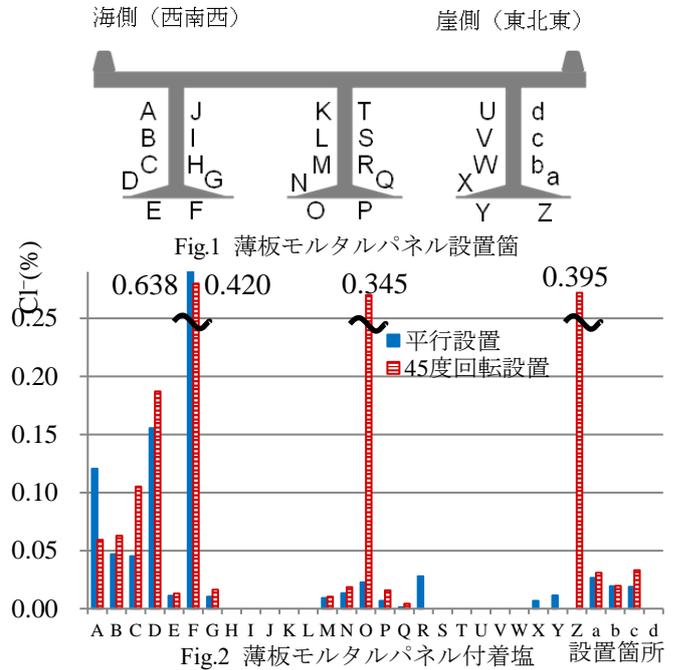
京都大学大学院工学研究科 学生員 白井 睦弥
 京都大学大学院工学研究科 正会員 平野 裕一
 京都大学大学院工学研究科 正会員 白土 博通

1. 序論

沿岸物のコンクリート構造物では海から飛来する海塩粒子が表面に付着・侵入する塩害による劣化が深刻である。効率的な維持管理のためには、コンクリート構造物に付着する塩分量を部位ごとにより正確に予測することが重要である。コンクリート標準示方書には、コンクリート内部へ侵入する塩分に関して、拡散方程式に基づいて予測する方法が知られているが、この際に用いられるコンクリート表面における塩化物イオン濃度のパラメータは海岸線からの距離や水セメント比を用いて評価されている。しかし、実際の構造物において表面に付着する塩分量は周囲の風況や降雨の頻度、大気相対湿度(以下大気湿度)など気象の影響を受けることが知られている。本研究ではコンクリート構造物に付着する塩分量の部位別の分布と、降雨による乾湿繰り返し環境条件がコンクリート内部の塩分の分布に与える影響を検討する。

2. 薄板モルタルパネルを用いた飛来塩分量の測定

構造物の部位・部材別の付着塩分量を測定するために、和歌山県沿岸部に位置する3主桁の鋼橋である天鳥橋の鋼桁部に薄板モルタルパネルを貼付することでコンクリート橋の表面部を模擬し、付着塩分量の測定を行った。パネルは一辺40mm、厚さ5mmの大きさであり、3主桁のフランジおよびウェブ上の30箇所に張り付け、2016年12月20日から2017年4月8日までの109日間暴露した(Fig.1)。それぞれの箇所で張り付け面に対して平行方向と45度回転方向の2つの薄板モルタルパネルを設置し、水滴の滞留の影響を検討した。暴露期間終了後回収して表面の観察と電位差滴定による全塩化物イオン(単位モルタル質量当たりの塩化物イオン質量)の測定を行った(Fig.2)。表面観察ではF点、O点45度回転、Z点45度回転の薄板モルタルパネルで金属錆汁の付着が見られ、これらの点では他の点と比較して突出して高い付着塩分量が計測された。いずれも下フランジ下面の点であり、橋梁表面に付着した雨滴や結露による水滴が周囲の付着塩分を吸収し、下フランジ下面へ流下し、これが繰り返さ



れることで塩分が集中したためであると考えられる。O点、Z点の平行設置と45度回転設置で大きな差が見られるのは、下フランジ下面では流量こそ多いが流れにムラがあるためであると考えられる。橋梁の海側側面であるA~Dで多くなる傾向が見られたが、これは海塩粒子が飛来、付着しやすいことと、特に降雨の繰り返しにより流下した水滴を吸収し、相対的に多くの塩分が浸透したためと考えられる。下フランジ下面以外では設置向きごとの付着塩分量に有意な差は見られないことから、設置向きによる水滴滞留量の差はないと考えられる。

3. 表層部の塩分侵入への雨の影響に関する解析的検討

筆者らは、有限差分法を用いた移流現象と拡散現象による塩化物イオン分布の計算モデルを構築したり、時間 t [s]と深さ x [mm]を変数としてコンクリート内部の水飽和度分布 θ を求め(式(1))、次に飽和度 θ の変化と塩化物イオンの濃度勾配から塩化物イオンの流量フラックス $J_{c,cl}, J_{d,cl}$ [mol/mm³/s]を計算し、ある時点での塩化物イオン濃度分布を算出する²⁾。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D(\theta) \frac{\partial}{\partial x} \right) \quad (1)$$

また本研究では、塩化物イオン濃度分布に対して降雨が

移流と拡散にどの程度寄与しているのかを検討するために、全塩化物イオン濃度 C_i [mol/mm³]と移流、拡散による流量フラックス $j_{c,cl}$, $j_{d,cl}$ [mol/mm³/s]を移流拡散方程式に基づく式(2)と、移流のみに基づく式(3)を用いて計算した。

$$\frac{\partial c_t}{\partial t} = -\nabla \cdot (j_{c,cl} + j_{d,cl}) \quad (2)$$

$$\frac{\partial c_t}{\partial t} = -\nabla \cdot j_{c,cl} \quad (3)$$

表面(x=0)の境界条件として、浸漬時は飽和度を1、塩化物イオン濃度を0とし、乾燥時は飽和度を大気湿度から求め、塩化物イオンの流量を0と設定した。1回の塩水への浸漬により塩化物イオンを侵入させ、その後降雨を模擬するために純水を用い10回の乾湿繰り返しサイクルを計算し、各サイクルにおける塩化物イオン分布と全塩化物イオン量を計算した。

3.1 降雨環境による影響

乾燥状態を降雨がない時の大気相対湿度、純水への浸漬時間を降雨の時間、サイクル数を降雨の頻度と想定し塩化物イオン分布を計算した。Fig.3, Fig.4に計算結果得られた塩化物イオン分布を示す。Fig.5には、各サイクル浸漬終了後の塩化物イオン[kg/cm³]の分布を深さで積分した全塩化物イオン量[kg/cm²]を縦軸とし、横軸をサイクル数とした関係を示す。まず、大気湿度40%, 60%, 80%について計算した結果から、大気湿度は塩化物イオンの侵入する深さに対する影響は少ないと考えられる(Fig.3)。また、大気湿度が高いほど全塩化物イオン量の

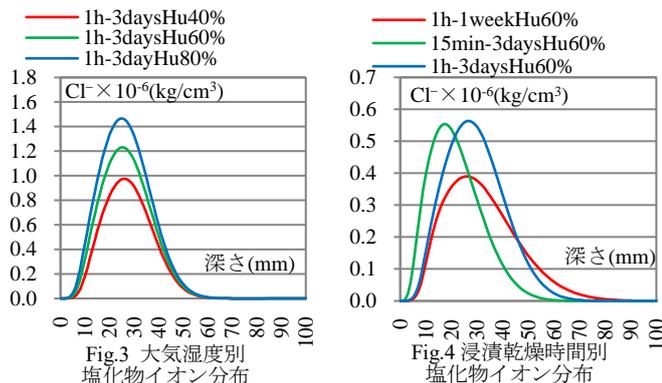


Fig.3 大気湿度別塩化物イオン分布

Fig.4 浸漬乾燥時間別塩化物イオン分布

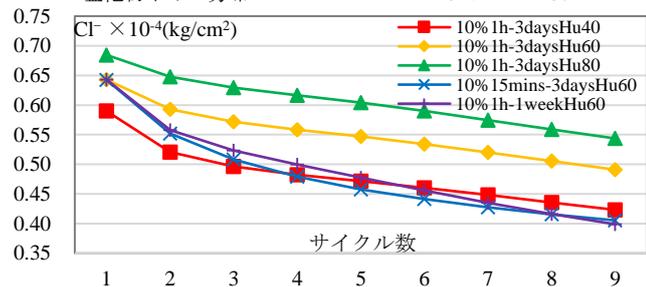


Fig.5 環境条件別、各サイクル時の全塩化物イオン量

減少が少なく乾湿繰り返しによる洗浄の影響を受けにくいと考えられる(Fig.5)。浸漬1時間乾燥3日、浸漬15分乾燥3日の場合の結果の比較から、浸漬時間が長い方が塩化物イオンは深くに侵入する一方で洗浄効果による全塩化物イオンの減少量は少ないと考えられる。浸漬1時間乾燥3日と浸漬1時間乾燥1週間の場合を比較すると、乾燥時間が長い方が塩化物イオンはより深くに侵入し、洗浄による全塩化物イオンの減少量が多いと考えられる(Fig.4, Fig.5)。

3.2 移流による影響

降雨の繰り返しでは表層部の水の移動が塩分侵入に大きな影響を与えると考えられるため、移流のみを考慮した場合と移流拡散を考慮した場合の塩化物イオン分布を計算し比較した(Fig.6)。乾湿の繰り返しサイクル初期では移流のみと移流拡散での塩化物イオン分布がほぼ等しいが、サイクルを繰り返すごとにピークの塩化物イオン量が減少し、より深くまで移動している。これは、乾湿の繰り返し初期では塩化物イオンの移動に対して移流が支配的である一方、コンクリートへの浸透に対しては長期的に繰り返されれば拡散の影響が大きくなるためであると考えられる。

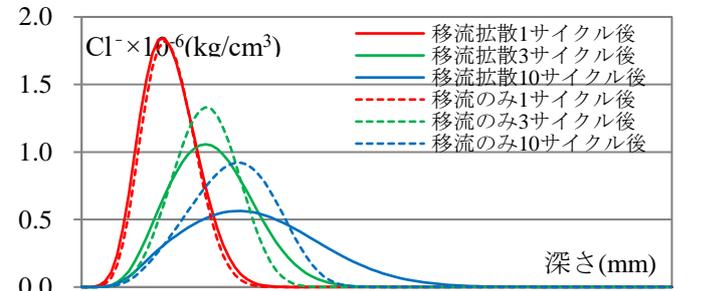


Fig.6 移流拡散と移流による塩化物イオン分布比較

4. 結論

- ・付着塩分量は海側側面および下フランジ下部で多くなる傾向がみられた。
- ・大気湿度が高いほど全塩化物イオン量の減少が少なく乾湿繰り返しによる洗浄の影響が小さいと考えられる。
- ・乾燥時間が長い方が塩化物イオンはより深くに侵入し、洗浄による全塩化物イオンの減少量が多いと考えられる。
- ・乾湿の繰り返し初期では塩化物イオンの移動に対して移流が支配的である一方、長期的に繰り返されれば拡散の影響が大きくなると考えられる。

参考文献

- 1) 三歩一ら：構造物の塩分付着分布と乾湿繰り返し条件下におけるコンクリートへの塩分侵入，土木学会関西支部 年次学術講演会，2015
- 2) Gang Lin, Yinghua Liu, Zhihai Xiang： Numerical modeling for predicting service life of reinforced concrete structures exposed to chloride environments, Cement & Concrete Composites 32, pp571-579, 2010