

凍結防止剤散布下の実構造物の塩分総浸透量に基づいた簡易予測手法の検討

金沢大学 学生会員 ○矢野 峻規 正会員 久保 善司
西日本高速道路エンジニアリング関西 非会員 橋爪 康憲

1. はじめに

凍結防止剤によるコンクリート構造物の劣化が問題視されるようになり、多量の散布を必要とするケースにおいては、深刻な劣化状態に至るものもある。これらの塩分の浸透現象は、直接的に高濃度の塩分を含む溶液が作用するため、その浸透予測手法の確立が必要とされている。そこで、凍結防止剤による塩分浸透状況（分布、橋脚の相違）を把握するため塩分調査を行い、その結果から浸透した塩分の総量に着目した簡易予測手法について検討を行った。

2. 調査結果に基づく塩分浸透の特徴

凍結防止剤散布地域の橋梁の橋脚下部を対象に、深さごとの試料採取および表面水分率の測定を行った。水分率は、2009年12月から2013年10月まで約4年間調査を実施した。採取した試料の塩分分析結果から、塩分浸透分布を求めた。得られた浸透分布を図-1に示す。8cm以深は外挿し、分布の面積（総浸透量）を求めたところ、最大で約 100kg/m^3 となったため、便宜的に 25kg/m^3 ごとに分類した。

調査を行った地域の散布量は同じであるにもかかわらず、総浸透量に大きな差が生じた。さらに、塩化物イオン量の最大値を示す位置（ピーク位置）は概ね2cm位置（1~3cmの平均）にあった。また、分布の概形も、「最大値は小さく、塩化物イオン量の深さ方向の変化が小さいもの（タイプA；図-1実線）」、「最大値が大きく卓越したもの（タイプB；図-1破線）」に大きく分類される。

3. 総浸透量を考慮した簡易予測手法の概要

(1) 解析モデルの概要

沿岸部における飛来塩分については拡散方程式を用いる予測式が標準的な方法として確立されている。しかし、凍結防止剤散布による塩分浸透については、塩分の供給条件がきわめて複雑であるとともに、塩分が液状で浸透するため、予測手法に関する検討は進められているものの、多種多様な塩分供給条件を的確に考慮した予測は確立されていないのが現状である。本研究では、凍結防止剤の影響を受けた実橋脚における塩分浸透量（散布開始から調査時点までの総浸透量）に着目し、これらの浸透が平均的に毎年生じるものとした浸透条件をフラックスとして与え、内部での塩分の移動は拡散に従うとした解析モデルによる簡易予測手法を検討することとした。

塩分が浸透する期間（12~3月）においては、上記の総浸透量が平均的に流入するとしたフラックスを与えた。それ以外の時期（4~11月）においては、雨水による塩化物イオンの流出を、平均的なフラックスとして与えると同時に、内部では濃度拡散が生じるものとした（拡散方程式を適用）。流入と流出の差分が総浸透量に等しくなるように両者を決定した。つまり、塩分浸透の総量を律速とすることが本解析モデルの特徴であり、解析の妥当性は塩分浸透の総量によって担保としている。

(2) 総浸透量とフラックスの計算

雨水による流出量については、既往の研究¹⁾で凍

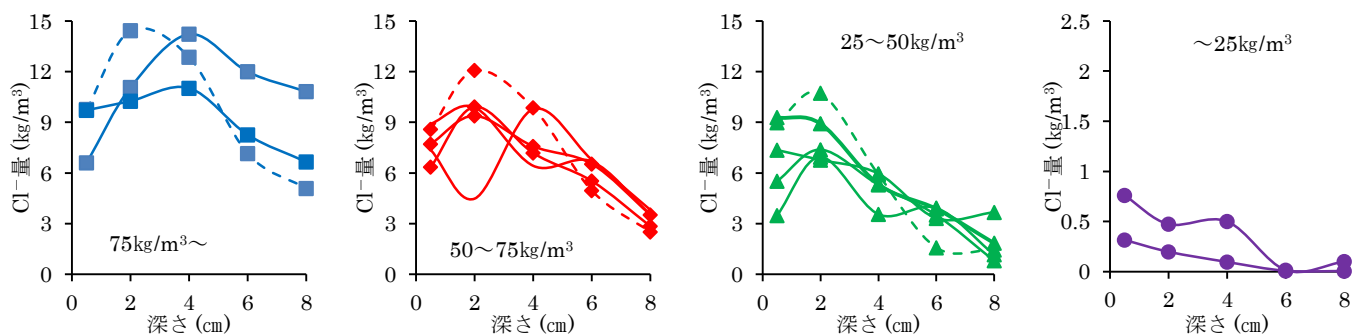


図-1 調査地域の浸透分布

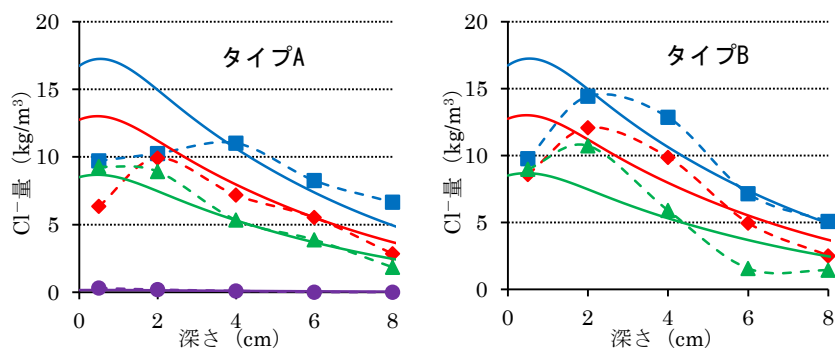


図-2 解析によって得られた浸透分布

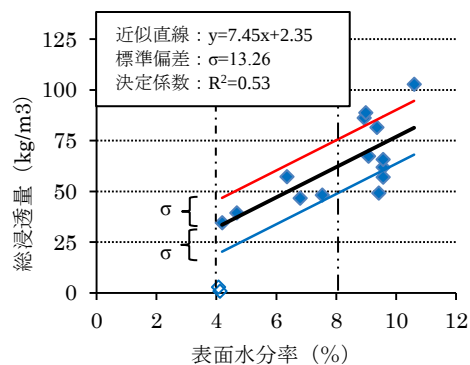


図-3 水分率と浸透量の関係

結防止剤散布直後から次の散布前までに約 20~25% の塩化物イオンの流出があるとした報告がある．それを参考にして，流出時のフラックスは総浸透量の 20%とした．散布開始年は供用開始と同じ 20 年とした．3.(1)で述べた通り，20 年で所定の総浸透量となるよう流入時のフラックスを与えた．コンクリート橋脚の W/C を 55%と推定し，コンクリート標準示方書²⁾に基づき，拡散係数を算出した．

4. 簡易予測手法の適用性

(1) 解析結果

本手法によって得られた浸透分布を図-2 に示す．表面から 2cm までは，いずれの浸透分布においても解析値と実験値は必ずしも一致せず，相違が認められる．これは，実橋脚の塩分浸透は液状で生じるのに対して，解析モデルはすべて拡散による浸透として捉えているため，表面付近の塩分分布について精緻に表現することは困難であったものと考えられる．他方，表面から 4cm 以上においては，タイプ A では概ね解析値と実験値は一致し，タイプ B では若干精度が劣る結果となった．なお，標準偏差からも同様の結果が得られた．

本研究の簡易予測手法の維持管理への補修の要否や腐食発生時期，腐食進行速度の大まかな把握などへの適用を考えた場合，塩化物イオン量の推定値として閾値を基準に 3 水準 (1.2kg/m³ 未満，1.2~2.4 kg/m³，2.4 kg/m³ 以上) に分類できる程度，および到達する年数を 3~5 年程度の精度が要求されるとすれば，上記の相違はそれほど大きくないものと判断される．さらに，かぶり深さにおける塩化物イオン量の推定精度として，橋脚間のばらつき，塩化物イオン量の測定 (同定) 精度がそれほど高くないことも考慮すると，上記で述べた簡易予測手法の適用範

囲においては，本解析の精度に大きな問題はないものと考えられる．ただし，定量的な要求精度については更なる検討を行う必要がある．

(2) 表面水分率と総浸透量の関係

本手法において，塩分の総浸透量が重要な解析パラメータとなる．今回は塩分調査による実データから算出したものの，対象となる全ての橋脚において塩分調査を行うことは費用的に困難である．そこで，塩分調査と同時にを行った表面水分率と総浸透量の関係を検討し，表面水分率から総塩分浸透量の推定が可能であるかを検討することとした．表面水分率 (4 年間の平均) と総浸透量の関係を図-3 に示す．

塩分浸透がほぼ無いものを除いて最小二乗法による近似を行ったものの，決定係数は小さく，表面水分率のみでは十分な精度で総浸透量を同定することは困難と考えられる．しかし，予測の範囲を「近似値 $\pm 1\sigma$ 」程度許容した場合，4%で 25~50 kg/m³，8%で 50~75 kg/m³ といった，大まかな同定は可能であるものと考えられる．さらに，その他の点検結果などによって情報を補完することによって，より高い精度での同定は可能になるものと考えられる．

5. まとめ

実データに基づく塩分浸透量に着目した解析モデルを導入することで，簡易な浸透予測が可能であった．ただし，維持管理における適用目的に応じた必要な精度については更なる検討が必要であろう．

参考文献

- 1) 平野誠志ら：凍結防止剤散布による塩化物イオンの季節変動に関する考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，No.1，pp.815-820，2010
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書[維持管理編]2007，10 章，pp.113