

凍結防止剤散布によるコンクリート構造物の局所的な塩害の進行予測に関する研究

指導教官 下村 匠
コンクリート研究室 佐藤駿介

1. はじめに

積雪寒冷地では、冬季間に道路の路面凍結を防止する目的で凍結防止剤が頻繁に散布されており、山間部においてもコンクリート構造物の塩害事例が数多く報告される。凍結防止剤による塩害被害は、損傷箇所が路面排水の流れる箇所、伸縮装置や排水管の漏水箇所（写真-1 参照）などにおいて局所的に発生するという特徴を有している。これらの塩害の進行は構造物表面の水分移動と密接な関係があり、構造物中の塩分の浸透箇所や浸透量の評価には構造物表面の水の移動を正しく考慮することが重要である。

本研究では、凍結防止剤による塩害の進行を予測するために橋脚表面における排水管からの水の流れとそれに伴うコンクリート内部への塩分浸透を数値解析によって再現する。さらにこれらの解析結果から、実構造物における外観の漏水痕と内部鉄筋の腐食程度の推定方法を検討する。

2. 構造物表面の水の流動解析

2.1 解析概要

本解析では、図-1 に示すような構造物表面(xy 平面)を設定する。この構造物表面における重力を駆動力としたコンクリート表面の水の移動を以下の式(1)~(3)の支配方程式によって表されるとする。

$$\frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \cos \theta_x \frac{\partial h}{\partial x} + g \sin \theta_x - fu \quad (2)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \cos \theta_y \frac{\partial h}{\partial y} + g \sin \theta_y - fv \quad (3)$$

ここに、 u :x 方向の速度[m/s], v :y 方向の速度[m/s], h : 構造物表面からの水面の高さ[m], f : 摩擦損失係数[1/s]である。上記の式(1)は質量保存側、式(2)は x 方向の運動方程式、式(3)は y 方向の運動方程式である。これらの式の定常解によって水の移動の様子を表現する。

2.2 室内実験を対象とした再現解析

まず解析による再現性を室内実験スケールで検証するため、本学実験室内のコンクリート壁 (2.8m) に管径 0.008[mm]のビニル製のホースを設置し、水を放出させる実験を行った。流出口上部のタンクから一定の圧力水

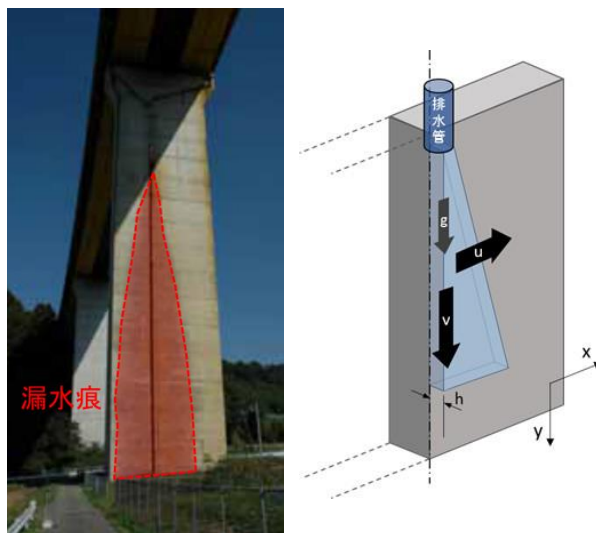


写真-1 橋脚上の漏水痕 図-1 仮想構造物表面

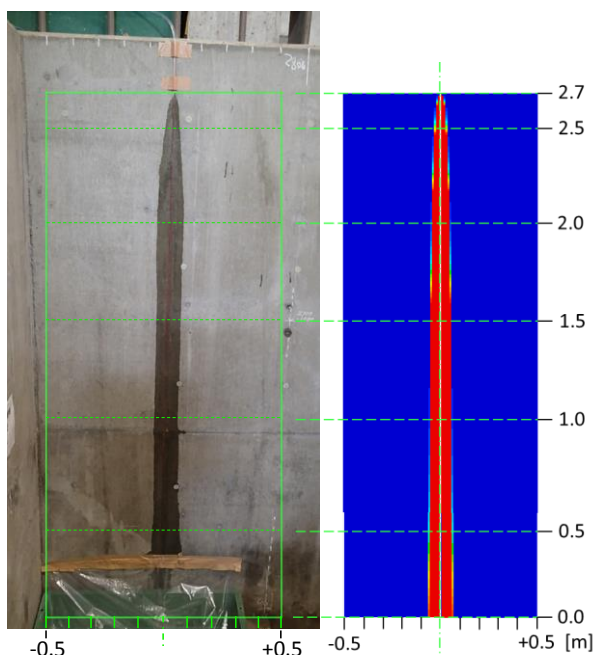


図-2 実験結果と解析結果の比較

頭を保って水を流した結果、流量は $7.17 \times 10^{-4} [\text{m}^3/\text{s}]$ 、流速は $1.43 [\text{m/s}]$ となった。

図-2 に実験結果と解析結果の比較を示す。同図における赤い範囲は閾値として $h = 0.001 [\text{m}]$ を超えた箇所であり、この範囲を水が流れたと判定するものとした。管からの放出部に境界条件として $h = 0.010 [\text{mm}]$, $u = 0.014 [\text{m/s}]$, $v = 1.430 [\text{m/s}]$ を与え、 $f = 2.0 [1/\text{s}]$ として計算した結果、実験結果を良好に再現することができた。

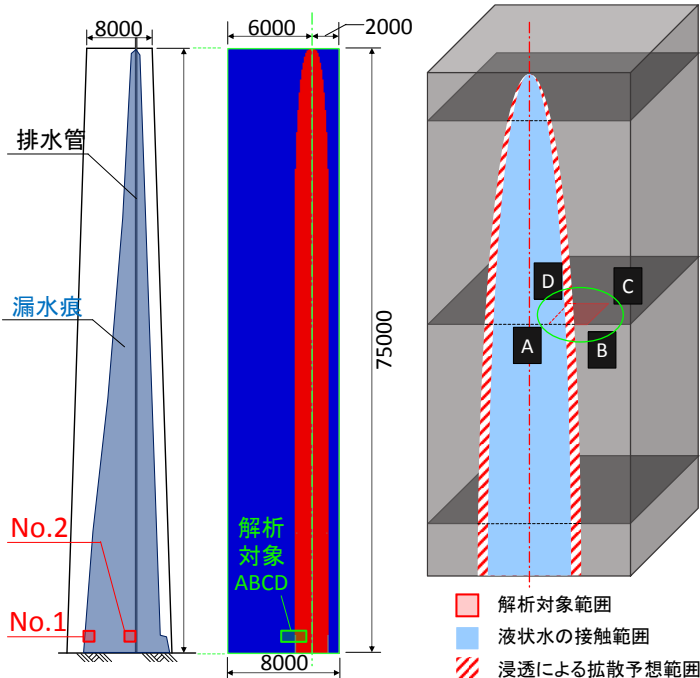


図-3 変状図と解析結果の比較

図-4 解析対象模式図

2.3 実構造物の漏水痕を対象とした解析

室内実験で得られたパラメータの法則を実構造物スケールに適用させた場合の整合性を確認するために、凍結防止剤散布地域にて供用されている実橋梁の橋脚を対象として解析を行った。図-3 に劣化調査結果の変状図と解析結果の比較を示す。室内実験で得られたパラメータに基づき、 $h=0.01[\text{mm}]$ 、 $u=0.98[\text{m/s}]$ 、 $v=10.11[\text{m/s}]$ を与え、 $f=2.0[1/\text{s}]$ として計算した結果、漏水痕を過小に評価する結果となった。実際の橋脚の漏水痕では、高所による風の影響や打ち継ぎ面に沿った拡散、構造物内部への浸透などの影響が働いたと考えられるため、構造物表面の水の流動だけでは表現できない領域が存在することが確認された。

3. 構造物表面の流動解析を考慮した浸透解析

3.1 解析対象および解析条件

本研究では図-4 に示すように、排水管の劣化に伴う水の流動範囲から浸透する水分および塩分を既存の2次元解析を行うことによって求めた。

解析期間は10年間とし、冬季間の構造物表面を流れる液状水に含まれる塩分濃度は5[%]、気温は3[°C]、湿度は60[%]、乾湿サイクルは乾燥5日湿潤2日とした。

3.2 解析結果

図-5 に解析対象とした ABCD 面の塩分分布を示す。この結果から、液状水接触範囲を中心として発錆限界濃度である塩分量 $2.0[\text{kg}/\text{m}^3]$ を超える箇所が構造物内部において確認された。また図-3 に示す塩分測定箇所の

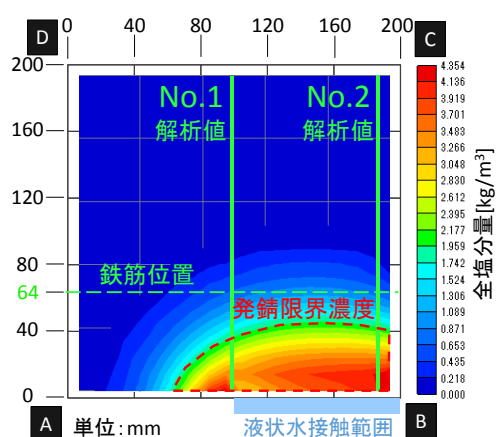


図-5 塩分分布

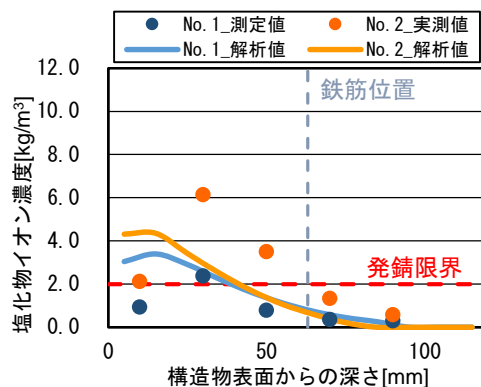


図-6 塩化物イオン濃度分布

No.1 および No.2 の塩化物イオン濃度分布と、図-5 に示すこれらの測定箇所と対応させた位置における解析結果との比較を図-6 に示す。図-5 における No.1 は漏水痕の端部を、No.2 は排水管に近い位置に対応させたものである。これらの結果から、漏水痕に接触する範囲から塩分が浸透し構造物表面近傍において高濃度の塩分を有しているが、鉄筋位置においては発錆限界濃度に達していない傾向を解析によって再現できていないことが確認された。以上より、構造物表面の漏水痕範囲から構造物内部の鉄筋の劣化範囲の推定を行うことができた。

4. まとめ

- (1) 室内実験と実構造物の漏水痕を対象として水の流動解析を行った結果、室内実験では良好に再現することができたが、実構造物の漏水痕では水の流動だけでは再現できない範囲が確認された。
- (2) 実構造物の漏水痕の形成には、高所による風や打ち継ぎ面に沿った拡散、構造物内部への浸透が影響すると予想された。
- (3) 実構造物の漏水痕を対象として塩分の浸透解析を行った結果、構造物内部の塩分分布の傾向を再現することができ、外観の漏水痕の分布から内部鉄筋の劣化範囲を推定することができた。