

### 現場モニタリング結果に基づく実構造物の凍結防止剤の影響度推定に関する検討

金沢大学 学生会員 ○矢野 峻規 学生会員 井端志帆 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<sup>1)</sup>。これらの構造物に対して、経済的な制約条件を満足しつつ、構造物の性能を維持できる維持管理を行うことが求められている。比較的簡易な点検に基づき、凍結防止剤の影響あるいは塩化物イオンの浸透程度を把握することが可能であればその一助となる。そこで、凍結防止剤散布地域の橋脚下部を対象に、各種モニタリングおよび塩分量調査を実施し、それらのデータに基づいた凍結防止剤の影響度（かぶり位置の塩化物イオン量）を評価（推定）する手法の検討を行った。

#### 2. 凍結防止剤散布構造物の腐食モニタリング

(1) **対象構造物** 凍結防止剤散布下の橋梁の橋脚下部（供用約20年、凍結防止剤散布量は同一）を対象とし、漏水の影響が異なる12橋脚を選定し、以下の調査を行った。

(2) **外観観察および外観評価** ひび割れ、漏水による変色の有無、剥離剥落などの外観変状を近接目視により観察した。それらの結果に基づき、各橋脚の劣化度（外観評価）を劣化小（外観変状なし）、劣化大（確認項目が顕著に表れている）、劣化中（大小の中間程度）の3段階で評価した。評価は橋脚ごとに行い、部位により劣化度に偏りがある場合は、劣化度が大きいものを評価として採用した。

(3) **表面水分率測定** 高周波型表面水分率計を用いて、橋脚下部（地表面から1.5m）において表面水分率を測定した。同一橋脚においても漏水の影響は異なることもあるため、左右、中央の3箇所に分けて測定した。

(4) **塩分量調査** 各橋脚の2箇所からドリル法により塩分試料を採取し、湿式法（JCI-SC5）により塩化物イオン量（ $Cl^-$ 量）の測定を行った。試料は表面水分率の測定箇所付近で採取した。

#### 3. 計測データの分析

(1) **外観評価と水分率** 外観評価と水分率（各測定箇所の4年間の平均値）の関係を図-1に示す。ばらつきは大きいものの、外観評価による劣化度が大きいものほど、水分率が大きい傾向を示した。他方、ばらつきが大きくなった原因としては、水分率は1橋脚につき3箇所（左右、中央）で測定しており、同一橋脚においても漏水（凍結防止剤）の影響が異なったことによるものと考えられる。

(2) **外観評価と $Cl^-$ 量** 外観評価と $Cl^-$ 量（鉄筋位置）の関係を図-2に示す。腐食を判定する閾値として、 $1.2\text{ kg/m}^3$ （腐食開始時期を想定）および、 $2.4\text{ kg/m}^3$ （腐食進行時期を想定）を用いた。ばらつきは大きいものの、劣化度が大きくなるほど $Cl^-$ 量が多くなる傾向を示し、劣化小と判断されたものでは $1.2\text{ kg/m}^3$ を超えるものはなく、劣化中～大では $2.4\text{ kg/m}^3$ を超えるものが多かった。ばらつきが大きくなった原因は水分率と同

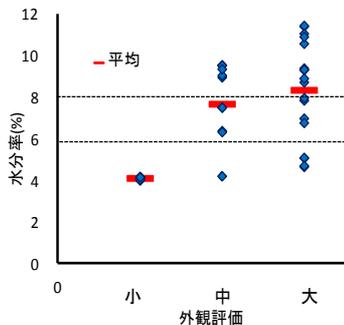


図-1 外観評価と水分率の関係

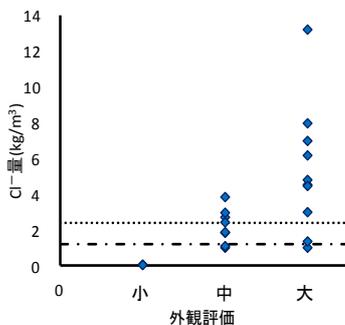


図-2 外観評価と $Cl^-$ 量の関係

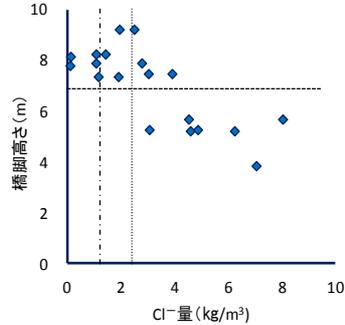


図-3  $Cl^-$ 量と橋脚高さの関係

キーワード：塩害、凍結防止剤、かぶり位置の塩化物イオン量、数量化理論

連絡先：〒920-1192 石川県金沢市角間町 金沢大学自然科学研究域土木材料学研究室 Tel 076-264-6365

様の理由によるものと考えられる。

(3)  $\text{Cl}^-$ 量と橋脚高さ  $\text{Cl}^-$ 量と橋脚高さの関係を図-3に示す。橋脚高さが低いものほど、 $\text{Cl}^-$ 量が大きい傾向を示した。橋脚高さが7m以下のものでは、 $2.4 \text{ kg/m}^3$ を上回るものが多かった。対象個所の漏水は上部構造からの漏水であるため、漏水経路が長くなるほど、到達までにコンクリート中に浸透する  $\text{Cl}^-$ 量が多くなり、上記の結果が得られたものと考えられる。

#### 4. 統計的手法による分析

(1) 数量化理論による分析 維持管理を行う上で、鉄筋位置の  $\text{Cl}^-$ 量のデータは重要であるが、全ての箇所において測定を行うことは費用、労力の面で困難である。そこで、多変量解析の一つである数量化理論 I 類を用いて  $\text{Cl}^-$ 量の推定を行った。

(2) 分析に使用するデータ 数量化理論 I 類では、予測する変数(目的変数： $\text{Cl}^-$ 量)を量的変量、予測に用いる変数(説明変数：水分率評価、外観評価、橋脚高さ)を質的変量として扱う。予測に用いるデータはカテゴリカルデータと位置づけられ、3(1)~3(3)および、既往の検討<sup>2)</sup>を参考にカテゴリ分けを行った。用いたカテゴリカルデータを表-1に示す。

(3) 分析結果 分析を行った結果を表-2に示す。各説明変数と目的変数の相関は、偏相関係数、t値が大きいほど予測値に与える影響が大きくなり、P値が小さいほど信頼性が高い。今回用いたカテゴリカルデータでは、橋脚高さの影響が大きく、外観評価の影響は他のデータに比べると小さい結果となった。データの信頼性(P値)についても同様であった。外観評価の影響度が小さくなった原因としては、外観評価が橋脚ごとであったのに対し、 $\text{Cl}^-$ 量は箇所ごとであったため、同一橋脚においても漏水(凍結防止剤)の影響が異なったことによるものと考えられる。また、数量化理論 II 類による分析結果からは、外観評価と他の説明変数との相関が比較的高い結果が得られており、独立性が低く、相対的に偏相関係数が小さくなった。

(4)  $\text{Cl}^-$ 量の推定 数量化理論による予測値と、測定値(実測)の関係を図-4に示す。決定係数( $R^2$ 値)は0.66であり、概ねの予測が可能であると考えられる。なお、数量化理論 I 類は線形解析であるため、 $\text{Cl}^-$ 量の予測値には上限が与えられる。結果として、最大予測値には、それ以上の測定値がすべて含まれ、決定係数が若干小さくなった。

表-1 カテゴリカルデータ

説明変数	カテゴリ	範囲	例数
水分率評価	1	~5%	3
	2	5~8%	3
	3	8%~	13
外観評価	1	小	2
	2	中	8
	3	大	9
橋脚高さ	1	7m~	8
	2	~7m	11

表-2 数量化理論 I 類による分析結果

	偏相関係数	t値	P値
水分率評価	0.457	1.990	0.065
外観評価	0.228	0.905	0.380
橋脚高さ	0.601	2.910	0.011

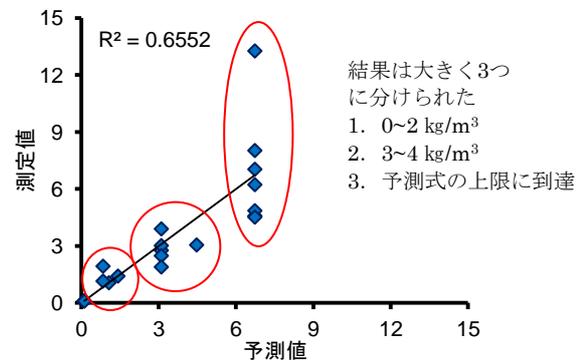


図-4 予測値と測定値の関係

他方、予測値は、鉄筋位置の  $\text{Cl}^-$ 量が少ないもの(~ $2 \text{ kg/m}^3$ )、中程度のもの( $3\sim 4 \text{ kg/m}^3$ )および、多いもの(予測値の上限)に分類され、凍結防止剤の影響度を大きく3レベルで評価できるものと考えられる。ただし、対象とした供用年数(20年)における結果であるため、 $\text{Cl}^-$ 量の絶対値については時系列的な影響を考慮し、鉄筋腐食発生等の具体的な維持管理に供する影響度については更なる検討が必要であろう。

#### 5. まとめ

凍結防止剤の影響を受ける橋脚において、水分率などのモニタリング結果を基に、かぶり位置の  $\text{Cl}^-$ 量の推定を行える可能性が示唆された。

#### 参考文献

- 1) 桑原信夫ら：高速道路橋における床版の塩化物イオン浸透予測に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.32, No.1, pp.791-796, 2010.7
- 2) 井端志帆ら：簡易な点検結果に基づく凍結防止剤の影響度の推定，土木学会中部支部講演概要集，V-11, pp.381-382, 2014.3