

実構造物の表面塩化物量から鉄筋位置塩化物量推定手法の提案

西日本高速道路エンジニアリング中国(株) 正会員 ○三浦 博史
 西日本高速道路エンジニアリング中国(株) 正会員 植戸 健司
 西日本高速道路エンジニアリング中国(株) 正会員 山内 健利
 西日本高速道路(株) 坂東 誉浩

1. はじめに

NEXCO 西日本中国支社管内の高速道路では、橋梁などのコンクリート構造物の維持管理計画を策定するため、健全度評価・診断の精度向上を図ることを目的として、塩化物イオン濃度調査を実施している。2016年度からの調査における採取試料数は約 50,000 試料を数え、これらの調査結果を基に塩分の浸透予測をすることにより、表面塩化物イオン含有量（以下、表面塩化物量）、初期塩化物イオン含有量（以下、初期塩化物量）、鉄筋位置塩化物イオン含有量（以下、鉄筋位置塩化物量）を推定している。本報告は、それらの膨大な試験結果を解析することにより、実構造物における塩化物イオン含有量の傾向性を確認するとともに、表面塩化物量から鉄筋位置塩化物量を推定することによって、効率的な調査手法を提案するものである。

2. 調査および試験概要

調査は、主桁側面、床版下面など 8 箇所／橋にて実施している。塩化物イオン含有量試験を行うための試料は、コンクリート削孔時に発生するコンクリート粉であり、調査箇所 1 箇所当たり、コンクリート表面から 0～20 mm, 20～40 mm, 40～60 mm, 60～80 mm, 80～100 mm の 5 深度で採取した。採取したコンクリートドリル粉の塩化物イオン含有量試験は、写真-1 に示す蛍光 X 線分析装置で分析した。蛍光 X 線分析は、X 線をコンクリートドリル粉に照射することにより発生する Cl 元素固有の蛍光 X 線強度から、塩化物イオン含有量の定量的な分析を行うものである。分析精度は、JIS 法である電位差滴定法と同等であることが確認されており¹⁾、JIS 法に比べ結果の判明が早く、試験費用が安いなどの特徴がある。



写真-1 蛍光 X 線分析装置

3. 塩化物イオンの浸透予測

これまでに採取された約 50,000 試料について、蛍光 X 線分析装置により塩化物イオン含有量の分析を行ったのち、その分析結果を基に推定された浸透予測値（拡散予測）を使用し、表面塩化物量、初期塩化物量および鉄筋位置塩化物量（コンクリート表面より概ね 40～60 mm）を推定した。しかしながら、実構造物の調査箇所選定においては、表面上、健全箇所と思われる場合であってもコンクリート内部のひび割れや初期欠陥により、コンクリート表面に比べコンクリート内部の濃度が高くなる場合がある。そのような場合においては、浸透予測不可能と見なし、適用外とした。また、今回は橋梁上部工のみに着目し、その内、コンクリートの密実性の指標となる水セメント比（W/C）が異なる RC 橋（概ね W/C=55%）127 橋と PC 橋（概ね W/C=45%）117 橋を解析対象とした。また、対象路線は、供用年数 30～40 年で山間部に位置する中国道と供用年数 20～30 年で平野部に位置する山陽道とした。浸透予測は、5 深度の試料を用いて行った塩化物イオン含有量の分析結果を基にコンクリート表面からの塩化物イオン濃度分布を測定し、この分布に Fick の拡散方程式（式-1）を回帰することで見掛けの拡散係数および表面における塩化物イオン濃度、 $C(x,t)-C_i=C_{os}(1-\operatorname{erf}\frac{0.1\cdot x}{2\sqrt{D_{app}\cdot t}})$ （式-1）初期含有塩化物イオン濃度を算出するもの²⁾である。

ここで、コンクリート中に塩化物イオンが供給される時期は、コンクリート製造時とコンクリート硬化後に分類される。前者は、セメントや骨材に塩化物イオンが含まれる場合であるが、1986 年旧建設省技術調査室通達「コン

キーワード 初期塩化物量、塩化物総量規制、表面塩化物量、鉄筋位置塩化物量
 連絡先 〒731-0103 広島市安佐南区緑井 2-19-1 西日本高速道路エンジニアリング中国(株) TEL 082-962-5240

クリート中の塩化物総量規制について」により、材料に含まれる塩化物イオン量や海砂の使用に関する規制が設けられ、1986 年以降に施工されたコンクリート構造物について適用されている。後者は、風により飛来する海水や冬期に散布する凍結防止剤の影響により供給される場合であるが、現在においても継続する問題となっている。

4. 初期塩化物量と表面および鉄筋位置塩化物量の推定

本報告では、浸透予測結果から、初期塩化物量と表面および鉄筋位置塩化物量に着目し検討を行った。RC 橋の初期塩化物量と供用年数の関係について、図-1 に示す。初期塩化物量については、建設年が古くなるに従って多くなる傾向性が確認された。初期塩化物量は、1986 年に通達された塩化物総量規制により、荷卸し地点での塩化物イオン量は 0.30 kg/m³ 以下と規定されている。供用年数の異なる中国道と山陽道の初期塩化物量について傾向を解析したところ、供用年数が約 30 年を境に規制上限値である 0.30 kg/m³ を下回っていることが確認できた。このことより、浸透予測の結果は、一定の精度が認められると考えられる。

次に、中国道 RC 橋の表面塩化物量と鉄筋位置塩化物量の関係について、路線別・橋種別に解析した結果の内、中国道 RC 橋の例を図-2 に示す。表面塩化物量と鉄筋位置塩化物量の間には、R=0.905 以上の高い相関関係が確認され、ほとんどのデータが、誤差±30%におさまることが確認できた。中国道 PC 橋、山陽道 RC 橋、PC 橋についても同様に確認した。このことより、現地で表面塩化物量を測定することにより、表-1 に示す鉄筋位置塩化物量推定式を用いて、概算値を推定することが可能と考えられる。

また、鉄筋位置塩化物量の推定式から RC 橋塩化物量の濃度勾配は、供用年数が長く山間部に位置する中国道で大きくなり、山陽道で小さくなる傾向があった。さらに、塩化物量の濃度勾配は、RC 橋の方が PC 橋に比べ大きくなる傾向があり、PC 橋では中国道、山陽道で顕著な差は認められなかった。これらの濃度勾配の差は、供用年数やコンクリートの密実性が影響していると考えられる。

5. まとめ

- 調査結果を解析し得られた知見を下記に示す。
- (1) 実構造物において、初期塩化物量は、1986 年の塩化物総量規制を境に、塩化物総量の基準値である 0.3 kg/m³ を下回る傾向が確認できた。
 - (2) 表面塩化物量と鉄筋位置塩化物量の間には高い相関関係が確認されたことにより、表面塩化物量から鉄筋位置塩化物量が推定できる可能性が示された。
 - (3) コンクリートドリル粉採取は、表面のみを採取するドリル法や携帯型蛍光 X 線装置³⁾などの採用により、作業の効率化が図れる可能性がある。
 - (4) 雨水による表面洗いや中性化フロントにおける塩化物の濃縮の影響により、表面塩化物量が実際よりも低い値を示す場合があるため、環境条件や中性化の影響を考慮した補正係数を採用するなどの検討が必要である。

参考文献

1) アワーズテック(株)永井宏樹：高感度ポータブル蛍光 X 線分析装置の開発 蛍光 X 線分析法を用いたコンクリート中の塩害調査，日本工業出版「検査技術」第 13 巻第 3 号，日工No.2008.2.08.15

2) 土木学会：コンクリート標準示方書【維持管理編】，p.142，2018 年制定

3) 松沢ほか：蛍光 X 線を用いた塩害撤去桁の塩分濃度分布調査，土木学会第 69 回年次学術講演会，平成 26 年 9 月

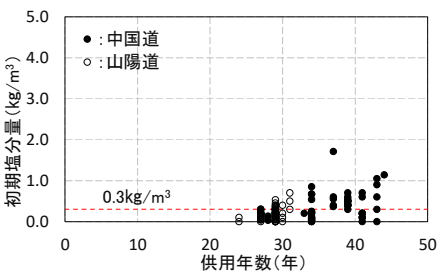


図-1 年数－初期塩分量の関係 (RC 橋)

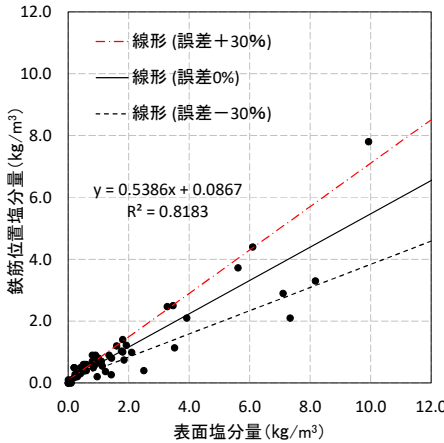


図-2 表面－鉄筋位置塩分量 (中国道 RC 橋)

表-1 鉄筋位置塩化物量推定式

路線	橋種	鉄筋位置塩化物量 C_i (kg/m ³)	表面塩化物量 C_o (kg/m ³)	a	b	備考
中国道	RC橋	$C_i = a \cdot C_o + b$	浸透予測結果より	0.5386	0.0867	W/C=55%
	PC橋			0.4318	0.2456	W/C=45%
山陽道	RC橋			0.5057	-0.0572	W/C=55%
	PC橋			0.4394	0.007	W/C=45%