

**「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」（平成 27 年度採択）
研究概要**

番号	研究課題名	研究代表者
No.27-4	薄板モルタルとデータ同化手法を利用したコンクリート橋の 3 次元塩分浸透予測手法の開発	新潟大学 教授 佐伯 竜彦

飛来塩分環境下にあるコンクリート橋の全表面における塩分浸透境界条件を定量的に把握し、コンクリートへの塩分浸透を 3 次元的に把握する実用的なシステムを構築し、さらにその成果を利用して、構造物の維持管理手法の提案を行う研究開発。

1. 研究の背景・目的（研究開始当初の背景・動機、目標等）

今後の構造物の管理実務においては、個々の構造物の状況に即した画一的でない対処を行うための設計体系の構築が求められると考えられることから、構造物個々の設置環境、荷重環境、施工品質、経過年に応じた適切な対応策の設定、対策の範囲の合理的な設定等の具体的な設計法の開発が求められている。このような手法の開発により、事後保全型の維持管理から予防保全型の維持管理へ真に脱却することができる。これを実現するためには、計測・モニタリングによる(1)コンクリート内部の現状把握と塩害や中性化等の(2)外力環境条件の同定、それに基づく(3)将来予測の 3 つの要素技術の開発とそれらを有機的に結合させた実用的な設計支援ツールが求められる。

本研究は、上記の問題意識に基づいて、塩害劣化を対象としてコンクリート構造物の設計支援ツールの開発と実用化を目指すものである。また、その最大の特徴は、コンクリート表面に貼り付ける「薄板モルタル」による非破壊モニタリング技術の有効活用と数値解析技術の融合にある。

2. 研究内容（研究の方法・項目等）

- ・飛来塩分の付着・浸透過程の現地観測：新潟県内 68 橋、沖縄県内 10 橋において暴露試験を、その内 10 橋（新潟県 9 橋、沖縄 1 橋）で複数部位における暴露試験を実施した。
- ・薄板供試体の製造・貼付け・回収方法の改善：型枠、両面テープの改良などにより、効率化を図った。
- ・飛来塩分輸送過程（順解析）プログラムの開発：流体解析にランダムウォーク法を組み合わせた解析手法の構築した。
- ・飛来塩分同定解析（逆解析）プログラムの開発：最小二乗法を用いた逆解析手法を開発した。
- ・コンクリート内部の物質移動プログラムの開発：3 次元塩分浸透解析手法を構築した。
- ・塩害環境評価手法のマニュアル整備：暴露試験の実施から飛来塩分輸送・付着解析までのマニュアルを作成した。

3. 研究成果（図表・写真等を活用し分かりやすく記述）

（1）新設構造物を対象とした塩害環境評価手法

- ①標高、風向、波エネルギーを考慮することによって離岸距離を補正した「補正距離」により、従来より精度の高いコンクリートの表面塩化物イオン濃度推定式を求めた。
- ②流体解析とランダムウォーク法を組み合わせた解析手法を用い、種々の風況でシミュレーションを行い、各部位の飛来塩分付着量を求めた。その結果を類型化し、部位による相対的な表面塩化物イオン濃度の設定値を提案した。各部位の表面塩化物イオン濃度の絶対値は、[①の推定式の値（海側地覆側面の値に対応）×部位ごとの相対値]で求めることができる。

（2）既設構造物を対象とした塩害環境評価手法

- ①供用直後の構造物の各部位に薄板供試体を貼り付け、塩化物イオン供給量の多い部位を早期に発見し、予防保全を行う手法を提案した。
- ②構造物に貼り付けた薄板モルタル供試体への塩分浸透量を利用して逆解析を行い、再度順解を行うことで各部位の表面塩化物イオン濃度の推定する手法を構築した。

4. 主な発表論文 (研究代表者はゴシック、研究分担者は下線)

- 1) 山下将一, 富山 潤, 阿部和久, 佐伯竜彦, 紅露一寛: 数値シミュレーションと逆解析によるコンクリート橋の付着塩分量推定, 土木学会第72回年次学術講演会, V-434, pp.867-868, 2017.9
- 2) 山下将一, 富山 潤, 阿部和久, 佐伯竜彦, 紅露一寛: 風向を考慮した3次元数値解析によるコンクリート橋の付着塩分量推定, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.17, pp.609-614, 2017.10
- 3) 秋山広太郎, 佐伯竜彦, 鈴木志朗: 海岸条件を考慮した飛来塩分環境の定量評価に関する研究, 土木学会第73回年次学術講演会, V-048, 2018.8
- 4) 佐伯竜彦ほか: 飛来塩分環境下にあるコンクリートの表面塩化物イオン濃度評価式の検討, 土木学会論文集E2 (投稿中)

5. 今後の展望 (研究成果の活用や発展性、今後の課題等)

新設構造物を対象とした塩害環境評価では、これまでより精度の良い表面塩化物イオン濃度推定式を提案した。また、解析結果を類型化した橋梁部位毎の表面塩化物イオン濃度の設定値を提案した。今後は、これらの設計基準等への取入れを目指していく。また、短期的には、実際に薄板モルタル供試体による測定で塩害環境の厳しい部位に予防保全を適用する手法の社会実装・普及を目指す。橋梁管理者に働きかけをしており、検証フィールド(実橋)の提供を受ける予定である。

既設構造物を対象とした塩害環境評価では、薄板モルタル供試体の測定値を利用した逆解析によりパラメータを同定し、順解析により構造物全体の表面塩化物イオン濃度推定、さらには塩分浸透解析を行う手法を開発した。本手法を利用して、建設コンサルタントとの共同研究を予定しており、新潟県発注の橋梁点検業務に薄板供試体による塩害環境評価を行い、数値解析で供試体設置位置以外の部分を補完することによって、点検の効率化と高度化に取り組む予定である。

6. 道路政策の質の向上への寄与 (研究成果の実務への反映見込み等)

- ・国土交通省の調査で薄板モルタル供試体が用いられている。
- ・2018年制定土木学会コンクリート標準示方書【維持管理編】において、薄板供試体による局所環境評価方法が下記のように記述された。
「構造物の部位ごとの環境条件を評価する方法としては、現地に小型供試体を暴露する方法、解析的手法による方法なども提案されている。」
- ・研究だけでなく、実構造物の塩害環境調査に広く用いられている。(例えば、土木学会: 塩害環境の定量評価に関する研究小委員会委員会報告書およびシンポジウム講演概要集, コンクリート技術シリーズ, No.121)

以上のように、本研究の関係者以外でも薄板モルタル供試体は、塩害環境評価に活用されており、研究成果が実務に活用される素地は大きい。また、本研究の実務への展開として、橋梁管理者および建設コンサルタントとの協働が計画されている。

7. ホームページ等 (関連ウェブサイト等)

<http://www.eng.niigata-u.ac.jp/~doboku/project/index.html>