

**「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」(令和2年度採択)  
研究概要**

番号	研究課題名	研究代表者
2020-9	中性子によるコンクリート塩分濃度非破壊検査の技術研究開発	国立研究開発法人理化学研究所 チームリーダー 大竹 淑恵

橋梁など多くのインフラコンクリート構造物が、沿岸からの海風や山間部で散布される凍結抑制剤に含まれる塩分の浸透により鉄筋が腐食する塩害を受けており、その鉄筋腐食に直接結びつくコンクリート中の塩分濃度を、鋼材腐食開始塩分濃度  $1.2\text{kg/m}^3$  といった必要な精度で計測することは極めて重要であるが、従来のコア採取法やドリル粉採取では、構造物を傷める、採取箇所に制限があるなど問題点がある。本研究では、それらを解消すべく、カリフォルニウム中性子線源、および、中性子誘導即発ガンマ線元素分析を利用した、非破壊で現場で塩分濃度を定量評価可能な、ポータブル(橋梁点検車両に搭載可能な)中性子塩分濃度計の開発を目的とし、実橋梁の計測業務を行うなどの実用化を図る研究開発である。

### 1. 研究の背景・目的 (研究開始当初の背景・動機、目標等)

橋梁など多くのインフラコンクリート構造物が、沿岸からの海風や山間部で散布される凍結抑制剤に含まれる塩分の浸透により鉄筋が腐食する塩害を受けており、海外で甚大な被害をもたらしている落橋などの重大事故が日本でも懸念されている。そのため、鉄筋腐食に直接結びつくコンクリート中の塩分濃度を、鋼材腐食開始塩分濃度  $1.2\text{kg/m}^3$  といった必要な精度で計測することは極めて重要であるが、従来のコア採取法やドリル粉採取では、構造物を傷める、採取箇所に制限がある、その場で分析出来ないなど問題点がある。本研究では、それらを解消すべく、カリフォルニウム中性子線源(Cf線源)、および、中性子誘導ガンマ線元素分析を利用した、非破壊で、現場で塩分濃度を定量評価可能な、ポータブル(橋梁点検車両に搭載可能な)中性子塩分濃度計(以降、塩分計)の開発を目的とする。本研究期間内(R2~R4)では、実橋梁に対して、 $3.7\text{MBq}$ 以下のCf線源を使用し、表面から深さ7cmにおいて塩分濃度  $1.0\pm 0.2\text{kg/m}^3$ を1時間で検出可能な塩分計の実現を目標とする。

### 2. 研究内容 (研究の方法・項目等)

目標を達成するための研究として、

- (1) Cf線源およびアンチコンプトンシールド法の開発 (内容①アンチコンプトンシールド法の構築、および、Cf線源の遮蔽体構造の最適化(小型・軽量化含む)によるガンマ線計測におけるS/N比高度化、②塩分計測システムの小型・軽量化)、
- (2) 中性子ポータブル塩分計の試作 (内容: ①橋梁点検車に搭載可能な試作機を製作し、搭載試験や塩分計測試験の実施、②現場で塩分濃度が評価できる塩分濃度検査システムの構築)
- (3) 塩分濃度分解能の検証 (内容: ①塩分調整したコンクリートプレートを用いた塩分検出感度の検証、②塩分濃度分布導出手法の開発、③実橋梁における塩分検出の検証)、
- (4) 点検支援技術性能カタログ(以下、カタログ)掲載に向けた検討 (内容: カタログへの申請)、
- (5) 道路管理者等との意見交換 (内容: カタログ掲載や実橋梁での計測試験に向けた検討や調整)、を行った。

### 3. 研究成果 (図表・写真等を活用し分かりやすく記述)

塩分濃度を調整したコンクリートプレートを組み合わせた塩分検出感度の検証実験、放射線輸送シミュレーションコードを用いた塩素ガンマ線収量やS/N比最適化のためのCf線源に対する遮蔽構造計算、福島ロボットテストフィールドの試験橋梁にて、塩分計モックモデルを用いた橋梁点検車への搭載試験などを行った。

その後、屋外での塩分測定試験として、土木研究所の屋外施設に設置された塩害撤去橋梁に対する塩分測定試験や、福島ロボットテストフィールドの試験橋梁にて塩分濃度を調整したコンクリートプレートを貼り付け、バケット式橋梁点検車を用いた測定試験を行った。塩分計での測定結果と従来技術との比較の為、塩分計で測定した領域をドリル粉末採取および電位差滴定による塩分濃度測定も行い、矛盾のない結果を得た。

屋外施設での試験を経て、実橋梁である、仙台市の綱木跨道橋（国道48号）や岩手県九戸郡の安家大橋（国道45号）にて、高所作業車やバケット式橋梁点検車を用いた測定試験を行った。塩分計で測定した領域を従来技術であるドリル粉末採取および電位差滴定による塩分濃度測定と比較し、矛盾のない結果を得ており、実橋梁において塩分計を用いた非破壊での塩分検出に成功した。



ただし数値目標については、計測した実橋梁に深さ 7cm に塩分濃度  $1.0\text{kg/m}^3$  が存在するケースが無かったため、塩分濃度を調整したコンクリートプレートを、濃度分布を模擬した組み合わせの室内試験による検証で、 $7.5 \pm 1.5\text{cm}$  (深さ 7cm 相当) における塩分濃度  $1.0\text{kg/m}^3$  を 1 時間で検出可能なことを確認した。

これらの測定実績を基に 2022 年度に申請した点検支援技術性能カタログ（橋梁・トンネル）に関して、2023 年度の選定が決まり、2023 年 3 月 31 日に掲載された。また、(株)ランズビュー（理研ベンチャー）を 2023 年 4 月 3 日に設立し、実橋梁の計測業務を行える体制を整えることで、2023 年度からの塩分計の運用・実用化に着手した。

#### 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 Y. Wakabayashi, M. Yan, M. Takamura, R. Ooishi, H. Watase, Y. Ikeda, and Y. Otake, “Development of neutron salt-meter RANS- $\mu$  for non-destructive inspection of concrete structure at on-site use”, Journal of Neutron Research 24, pp. 441-449, (2022).

② Y. Wakabayashi, M. Yan, M. Takamura, R. Ooishi, H. Watase, Y. Ikeda and Y. Otake, “Conceptual study of salt-meter with  $^{252}\text{Cf}$  neutron source for on-site inspection of bridge structure”, Journal of Neutron Research, Vol. 23, No. 2-3, pp.207-213, (2021).

③ 若林泰生, Yan Mingfei, 岩本ちひろ, 藤田訓裕, 水田真紀, 高村正人, 大石龍太郎, 渡瀬博, 池田裕二郎, 大竹淑恵, “小型中性子源 RANS ならびにカリフォルニウム線源を利用したコンクリート構造物の塩害に対する非破壊検査装置の開発”, 日本コンクリート工学会「中性子線を用いたコンクリートの検査・診断に関するシンポジウム」論文集, pp.202-209, (2021).

#### 5. 今後の展望（研究成果の活用や発展性、今後の課題等）

本課題の目標であった、片側車線規制を伴うバケット点検車を用いた塩分計測を安家大橋にて行い、実橋梁における塩分検出に成功し、開発した塩分計の「点検支援技術性能カタログ（橋梁・トンネル）」への掲載も、2023 年 3 月 31 日に掲載されたことで達成した。また、塩分計の実用化に関しても、(株)ランズビュー（理研ベンチャー）を 2023 年 4 月 3 日に設立したことで、実橋梁の計測業務を行える体制を整えた。

今後、実橋梁における塩分計測の実績を増やし、ニュートロン次世代システム技術研究組合の協力を得て、従来技術での計測結果との比較を行いながら、道路の予防保全に貢献するため、更なる計測精度（深さ分解能や塩分検出感度）の向上、使いやすさの向上、防水・防塵による全天候型への改良、現場ニーズに合わせた改良開発を行っていく予定である。今後の展望として、中性子を利用した RC 床板の土砂化の非破壊検知、コンクリート構造物の内部の劣化損傷の可視化への研究開発、実用化を目指して引き続き、研究開発を継続していく予定である。

#### 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）

本研究で開発した塩分計のような、塩分濃度非破壊検査法の確立及び実用化装置開発により、従来のコアドリル法による破壊検査によるインフラ構造物を傷つけることが無くなり、測定場所の制限もなくなり、橋梁の各部位ごとの塩分濃度が測定でき、検査時間も大幅に短縮され、安全で、効率的、効果的な塩害対策が実現できるようになる。更に、現状は塩分濃度検査が破壊検査のため殆ど塩分濃度検査が行われておらず、塩害が生じてからの措置が一般的であり、事後保全対策となっている。この状況を、塩分計の活用により、塩害が生じる前に措置を行う予防保全対策への転換が可能となる。それらにより、塩害による落橋の防止、橋梁の長寿命化、大幅な維持管理費の縮減が可能となる。

#### 7. ホームページ等（関連ウェブサイト等）

① 国交省「点検支援技術性能カタログ」<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/inspection-support/pdf/06.pdf>

② (株)ランズビュー <https://ransview.co.jp/>