

中性子を活用した非破壊のコンクリート内部塩分浸透検査技術の開発

理化学研究所 正会員 ○若林 泰生, 非会員 高村 正人, 非会員 大竹 淑恵, 土木研究所 非会員 藤木 裕二
 福山コンサルタント 正会員 宮村 正樹, パシフィックコンサルタンツ 正会員 中澤 治郎
 大日本コンサルタント フェロー 横山 広, オリエンタル白石 正会員 大石 龍太郎, 正会員 渡瀬 博

1. はじめに

コンクリートの三大損傷の一つである塩害は、飛来塩分や凍結防止剤の散布による塩分の浸透により内部鋼材が腐食することにより生じ、外観変状が確認された時点で深刻な状態であることが殆どである。これまでに塩害による劣化過程や塩分の浸透予測など活発な研究が進められ、予防保全的見地から早期の塩分の浸透状態の把握が重要であることが知られている。しかしながら、現状の塩分浸透の状況把握ではコア採取やドリルなどによる試料収集による微破壊による方法が主流であり、耐荷性能への影響や採取位置からの損傷拡大が懸念されている。そこで本研究では、コンクリート構造物の塩害による被害を最小限に抑えることで社会インフラに投下される資本を低減させる為、完全非破壊による塩分浸透を把握する中性子を活用した世界的に類を見ない検査技術の性能を確認するため、塩害撤去桁による従来法との比較計測を実施したのでその結果を報告する。

2. 中性子を活用した塩分分析手法の概要

中性子を試料に照射し、中性子と試料中の特定の元素（原子核）が反応すると、複数の特有のエネルギーを持ったガンマ線（即発ガンマ線）が、反応率と元素の量に応じた特有の量（ガンマ線強度）で放出される。この特徴を利用した分析法を「中性子誘導即発ガンマ線分析法」という。中性子誘導即発ガンマ線分析法では、この即発ガンマ線を検出し、そのガンマ線エネルギーおよび強度から、試料内に存在する元素の同定と定量を行う。また、中性子およびガンマ線ともに物質中の透過力が高いため、コンクリート中の塩分（塩素）を非破壊で計測することが可能である。塩分計測装置（RANS- μ ）は、中性子源であるカリフォルニウム（以下、Cf と称す）線源、中性子およびガンマ線遮蔽構造、ガンマ線検出器から成る。Cf 線源から中性子がコンクリート構造物中に照射され、中性子との反応で生じたガンマ線を、ガンマ線検出器で検出・測定する。取得したガンマ線スペクトル中の塩素由来のガンマ線量から塩分濃度を推定する。



写真-1 試験体とひび割れ発生状況

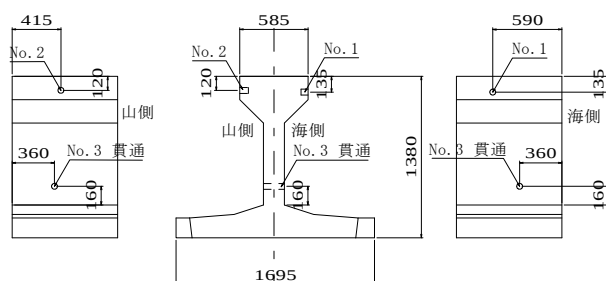


図-1 コア採取位置（単位：mm）

3. 試験体の概要と従来法による分析

試験体とした撤去桁は北陸地方の沿岸部に 1970 年に建設されていた PCT 桁橋で、その外観を写真-1、コア採取位置を図-1 に示す。試験体には塩害対策と想定される表面保護塗装が 2008 年に施工されているようであり、一部でひび割れが生じていた。分析の為の採

キーワード コンクリート, 塩害, 塩分計測, 非破壊, 中性子

連絡先 〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1

(国研) 理化学研究所 中性子ビーム技術開発チーム TEL048-467-4583

取コアは直径 52mm のコアビットで採取し、表面から 20mm で切断して「JIS A 1154 塩化物イオン電極を用いた電位差滴定法」に準拠し、十分な量の粉体試料が確保できたため深さ毎に 2 回の分析を実施した。

4. 計測結果の比較

中性子による非破壊検査の結果とコアで採取したコンクリート片による従来型の計測結果との比較を図-2 の(a)～(c)に示す。

図-2(a)は下フランジ部の海側の計測位置のもので、従来型の計測結果は表面側よりも内部が大きい値になっている。これは中性化による塩分移動の可能性が想定されるものの、採取位置には PC 鋼材が配置されており、その影響で試料が採取時にいくつかの小片に分割され、復元可能な小片で分析を実施した影響も含まれている。中性子による非破壊計測では表面から内部に向かって濃度が減少しており、その値も従来型に近いことから、実際の分布状況が反映されていると考えている。

図-2(b)は下フランジ部の山側であり従来型計測の分布は表面より内部に向かって減少し、表面部分の中性子による非破壊による計測結果とも近似している。中性子による計測結果が表面のみとなっているのは、現在の解析技術による計測限界が 1.0kg/m^3 であるためである。

図-2(c)はコンクリート試料をウェブ貫通で採取しており、従来型計測の結果では、両側の表面付近で塩分濃度が高く、中央付近で減少する傾向となっている。それに対して中性子による非破壊計測の結果では海側表面のみが計測できており、その値も従来型計測よりも突出して大きくなっている。この理由はコンクリート表面への密着が必要な装置の検出部分に隙間が生じたことが計測後の状況写真から判明している。隙間による計測値の変化に関しては、その傾向から補正可能であることが分かっており、その詳細検討を実施中である。

5. おわりに

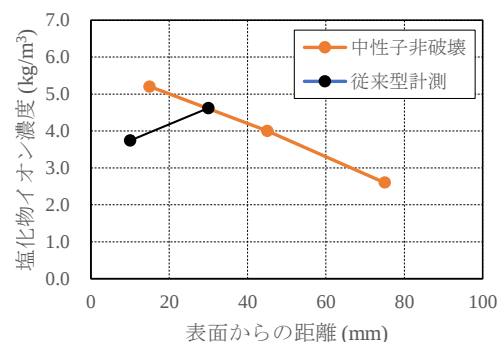
塩害撤去術を用いた従来型の塩分計測と新たに開発した中性子を活用した非破壊での計測結果を比較した結果、ほぼ同様の値となっており、塩分濃度の変化傾向も把握できることが認められた。計測時の装置の状態に配慮する必要があるが、これは各種分析方法にも共通することであり、実計測に使用するマニュアル等のチェック項目とすれば問題はない。さらに、計測対象の形状等により隙間が生じた際の補正手法も完備することで、より適用範囲の広い計測手法として活用できると考えている。

謝 辞

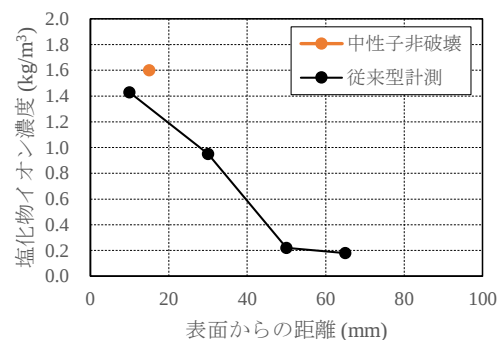
本研究(の一部)は、国土交通省道路局が設置する新道路技術会議の技術研究開発制度により、国土交通省東北地方整備局の委託研究「中性子によるコンクリート塩分濃度非破壊検査の技術開発」によって実施されました。また、本研究の計測場所は土木研究所様に提供いただきました。ここに、深く感謝の意を表します。

参考文献

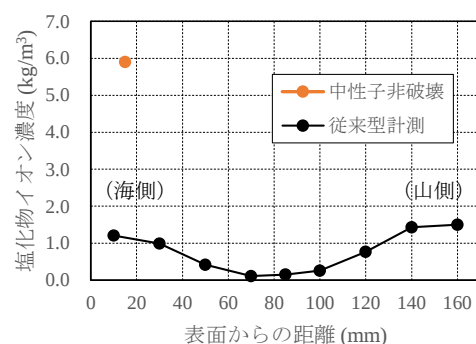
Y. Wakabayashi et al : Development of neutron salt-meter RANS- μ for non-destructive inspection of concrete structure at on-site use, Journal of Neutron Research 24, pp.441-449 (2022).



(a) 計測位置 No.1 (下フランジ, 海側)



(b) 計測位置 No.2 (下フランジ, 山側)



(c) 計測位置 No.3 (ウェブ)

図-2 分析結果の比較