

コンクリート中の塩化物イオン濃度の測定(I) —即発ガンマ線分析の適用—

住重試験検査
大同工業大学
日本原子力研究開発機構

正会員 ○荒居祐基 坂根仁 永野章 西原善明
酒井陽一
瀬川麻里子 関谷祐二 松江秀明

1. はじめに

コンクリート建造物の塩害とは、様々な要因でコンクリート中に混入した塩化物イオン(Cl^-)によって構造物中の鋼材が腐食し、体積変化が生じた結果、コンクリートにひび割れ、剥落が発生し、部分耐力が低下する現象である。

コンクリート中の塩化物イオン測定には、一般的に電位差滴定法が用いられているが、試料調製・分析に手間がかかり、分析コストが高い等の課題がある。近年様々な分野において、測定効率が高い放射線による検査・分析技術の導入が行われており、コンクリートの分析にも電子線・赤外線やX線を用いた手法^{1),2)}が既に適用されている。しかし試料中におけるマトリックス効果を抑えるため、ある程度の試料調製が必要である。本研究は、試料調整を必要とせず、短時間で分析が行える熱中性子捕獲反応による即発ガンマ線分析(Prompt Gamma-ray Analysis: PGA)を、コンクリート中の塩化物イオンの測定に適用することを目的とする。その適用例として、海岸沿いにあるコンクリート中に含まれる塩化物イオン濃度の深さ分布測定を行った。

2. 即発ガンマ線分析

即発ガンマ線分析は、主に熱中性子を対象物に照射し、熱中性子が対象物中に含まれる原子核に捕獲された際に放出される即発ガンマ線を、放射線検出器を用いて測定する分析方法である。即発ガンマ線のエネルギーは核種固有であるため、即発ガンマ線をエネルギー弁別測定することで、対象物中の多元素同時測定が可能である。また、カルシウムを内標元素とした内標準法や標準試料を用いた比較法を用いることで定量分析も可能である。透過力の大きい中性子で照射してガンマ線を測定するため、マトリックスの影響を受けにくく、試料調整の必要がほとんど無い。今回測定対象となる塩素の場合、熱中性子に対する感度が比較的高いため、数百 ppm 程度の分析が可能である。

3. 塩素イオン濃度測定実験

実験は日本原子力研究開発機構の実験用原子炉 JRR-3 に設置されている即発ガンマ線分析装置を用いて行った。分析システム体系図を図1に示す。炉心から中性子ガイド管により導かれた中性子ビームを用いることができる。ビーム形状は約 $1.5 \times 1.5 \text{cm}^2$ であり、中性子束は約 $10^8 \text{ (n/cm}^2\text{/s)}$ である。中性子照射された試料から放出される即発ガンマ線を、ビーム入射方向に対して垂直方向に設置された高純度ゲルマニウム検出器 High Purity Germanium(HPGe) detector を用いて検出する。HPGe はコンプトン成分抑止用の BGO(Bismuth Germinate Oxide)検出器で囲みアンチコンプトン測定を行う事で、SN 比を向上

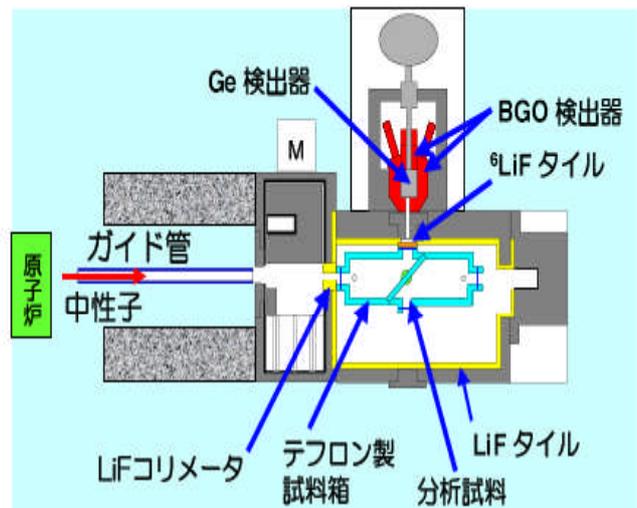


図1 即発ガンマ線分析システム体系図

キーワード コンクリート、塩化物イオン、即発ガンマ線分析、熱中性子

連絡先 〒799-1393 愛媛県西条市今在家 1501 住重試験検査株式会社 TEL:0898-64-6949

させている。まずセメント中の塩化物イオン濃度決定に用いる検量線を作成した。約 100mg のポルトランドセメントに既知量の塩化アンモニウムを塩化物イオン濃度 0.1~8wt%の範囲で混合させた試料を作成し、中性子ビーム上に試料を置いて塩素とカルシウムから放出される即発ガンマ線の計数比を測定し、セメント中における塩化物イオン濃度との相関を調べた。

次に満潮時には海面下になるコンクリート岸壁と、海風にさらされていたコンクリート体からそれぞれコア抜きを行い、飛来塩分が浸透したコンクリート試験体とした。コア抜きしたコンクリートの表面から深さ方向に向かって 1cm 刻みに約 1g のコンクリート試料を切り出した。コンクリート試料を中性子照射し、塩素とカルシウムから放出される即発ガンマ線の計数比から、セメント中の塩化物イオン濃度を測定した。測定時間は約 500 秒であった。

4. 実験結果

① 検量線の作成

セメント中の塩化物イオン濃度と、塩素・カルシウムから放出される即発ガンマ線計数率比の関係を調べた。注目したガンマ線は、塩素が 1951keV と 1959keV で、カルシウムが 1942keV である。図 2 に塩化物イオン濃度と即発ガンマ線計数比の関係を表す検量線を示す。塩化物イオン濃度 0.1~8wt%の間で高い相関が有り、0.1wt%程度までは検出可能であることを確認した。

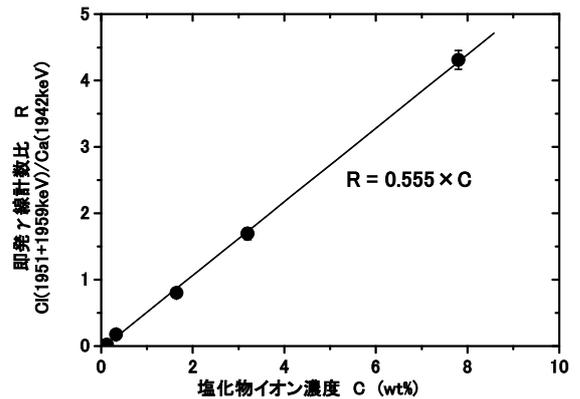


図 2 塩化物イオン濃度と即発ガンマ線計数比の関係を表す検量線

② コンクリート中に含まれる塩化物イオン濃度測定

海風にさらされていたコンクリート体中に含まれる塩化物イオンの濃度分布を、表面から深さ方向に対して 10cm まで調べた。表面から約 5cm の位置には、腐食した鉄筋が存在した。測定結果を図 3 に示す。表面から 2cm までは塩素がほとんど検出されなかったが、深さ 3cm から塩素が検出され、4cm 位置を最大にして、それ以降は減少する傾向が見られた。腐食していた鉄筋近傍の塩化物イオン濃度は約 0.8wt%であった。コンクリート中に含まれているが、塩素が浸透しない砂利や砂等の骨材についても同様の方法で分析したが、カルシウムはほとんど検出されなかった。

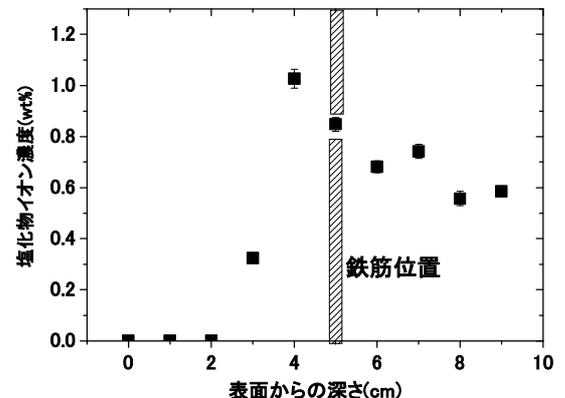


図 3 飛来塩分が浸透したコンクリート体の塩化物イオンの深さ方向分布

5. まとめ

セメント中に含まれる 0.1wt%程度までの塩化物イオン濃度の分析に、即発ガンマ線分析が適用可能であることを確認した。コンクリートに含まれる骨材には、カルシウムがほとんど含まれていないため、塩素が浸透するセメント中の塩化物イオン濃度を測定できる。コンクリート中に含まれる骨材とセメントの重量比から、現在指標とされているコンクリート中の塩化物イオン濃度として決定することが可能である。

本研究は文部科学省委託事業の中性子利用技術移転課題の一環として行われた。

参考文献

- 1) 金田尚志, 佐藤登, 船越博行, 魚本健人: ポータブル型蛍光 X 線分析装置によるコンクリートの塩化物量の測定, 土木学会第 61 回年次学術講演会, 5-499, 平成 18 年 9 月
- 2) 石川幸宏, 金田尚志, 魚本健人, 矢島哲司: 近赤外分光法を用いたコンクリートの劣化因子の検出, 土木学会第 59 回年次学術講演会, 5-152, 平成 16 年 9 月