

即発ガンマ線分析によるコンクリートの塩化物イオン濃度分布の測定に関する基礎的研究

愛媛大学大学院 理工学研究科 学生会員 ○村上展将

正会員 氏家勲 岡崎慎一郎

広島県土木局 正会員 山手望知世

1. はじめに

近年、構造物に対する維持管理手法の低コスト化や効率化に対する社会的要望が高まっている。愛媛大学チームは、コンクリートの診断において、中性子線を利用した分析技術である即発ガンマ線分析の適用に成功しており、表層から非破壊にて深部方向への塩化物イオン濃度分布を、表層部に塩化物イオン濃度ピークがある場合において精度よく測定することに成功した¹⁾。しかし、かぶり部分の塩化物イオン濃度分布のピーク位置は雨水による表層の洗い流しや、中性化による塩化物イオンの遊離などの影響で、必ずしも濃度ピークが表層部にあるとは限らない。そこで本研究では、即発ガンマ線分析を用いた塩化物イオン濃度分布測定の適用性を広げるために、供試体の配合の影響を検討し、中性子線の照射角度を変化させつつ分析することでいかなる濃度分布でも測定可能な手法を提案し、基礎的な研究を行った。

2. 即発ガンマ線分析

即発ガンマ線分析は、熱中性子が元素の原子核に捕獲された際に放出される即発ガンマ線を検出器によって測定する分析方法である²⁾。原子核固有のエネルギーを有しているため、多元素同時測定が可能であり、中性子は透過力が大きいので、試料調整の必要がない。本実験では日本原子力研究開発機構の研究用原子炉 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。

本研究では、セメントペースト部での塩化物イオンを定量分析するために内部標準法を採用した。セメントに多く含まれるカルシウムを内部標準元素とし、カルシウムの即発ガンマ線計数に対する塩化物イオンの即発ガンマ線計数の割合（以下、即発ガンマ線計数比と呼ぶ）を指標に用いた。なお、本研究に用いた供試体は、塩分濃度調整を行った 5mm 厚のモルタル製板状供試体、モルタル製角柱供試体である。濃度調整を施したモルタル板を組み合わせることで、任意の濃度分布を持たせた供試体を再現することが可能である。

3. 供試体の配合が校正曲線に与える影響の検討

これまでの研究より、塩化物イオンの濃度と位置に関する以下のような校正曲線が提案されている¹⁾。

$$R = aCe^{-bh}$$

ここで、 R は即発ガンマ線計数比、 C は塩化物イオン濃度、 h は深さ方向の位置を表し、 a と b は中性子源、測定装置や測定時間などによって変化する係数である。これまでの研究では、単一配合で作製された供試体でのみ実験を行ってきたので、配合条件によりこの校正曲線に含まれる即発ガンマ線計数比が影響を受けるのかを検討した。図-1 と図-2 の結果からは、 W/C および S/C が変化しても即発ガンマ線計数比への影響は低いことが確認できた。

4. 変角照射試験

塩化物イオン濃度分布がいかなる状況であっても濃度を測定できる手法として、本研究では中性子線の照射角度を変化させつつ分析する手法（以下、変角照射試験と呼ぶ）を提案し、以下に概要を説明する。

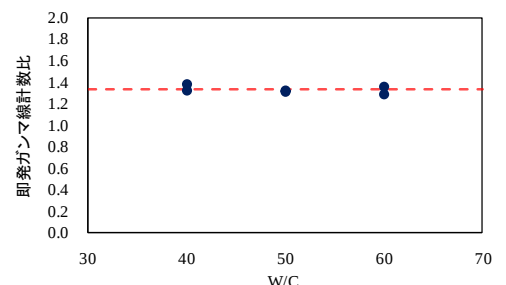


図-1 W/C の違いによる計数比の

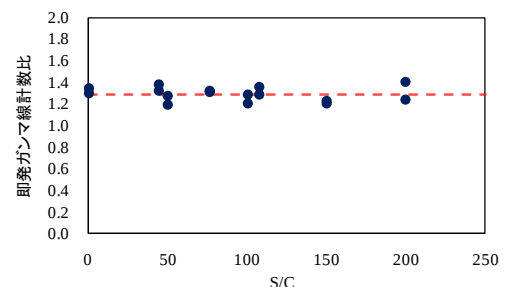


図-2 S/C の違いによる計数比の比

即発ガンマ線分析で得られる計数は測定範囲の核種の量に依存する．ここで分析を行う供試体が一定幅の層状で構成されており中性子線の測定範囲が定まっていると考えたとき，供試体に対して照射角度を変化しつつ分析を行えば，各層において測定範囲上に分布する層の幅が最長となる照射角度が決定する．ここで，いずれかの層に塩分濃度ピークを持つ供試体に変角照射を行えば，計数比が最大となる照射角度が出現し，これに対応した層が最も濃度の高い層となる．以上が試験概要である．

本試験では，濃度調整を行ったモルタル板を5枚並べることでいずれかの位置に濃度ピークを持つ供試体を作製した．測定範囲は25mmとする．表-1では，各ピーク位置の場所で，中性子線の通る軌跡が最長になる照射角度を表す．図-3が変角照射試験の結果である．各ピークにおいて，表-1を参考にする照射角度で最大となる傾向が表れている．次に，モルタル板供試体により濃度分布を設定し計測した計数比の実測値をもとに，設定濃度を未知の値として推定を試みた．推定方法は，校正曲線に測定範囲を5分割した際の各分割部における濃度と距離情報を入力し，計数比の計算値を求めていく．求めた計算値と実測値を比較していき，実測値に計算値が最も近づくときの濃度を推定濃度として決定する．図-4に推定結果の一例を示す．推定濃度は設定された濃度分布に沿った分布を示し，ピーク位置も同定していることから，当分析で濃度ピークが表層に存在しない場合でも，濃度分布を推定可能であると言える．推定結果がわずかに過大評価されているのは，角度を変化させ測定するので，測定範囲上の塩分を含む領域が広がり，実測値が増加したためである．ここで，精度改善を図り，計算値が実測値を同程度評価できるよう校正曲線に修正を加え，再度推定を行った結果，図-5に示すように推定精度の改善が見られる．以上より，塩化物イオン濃度分布推定に本試験方法を適用する場合には，照射角度の変化により実測値が増加することに留意して補正を施し，計算値が実測値を同程度評価すれば，設定濃度を精度良く推定できることがわかった．

5. まとめ

- ・即発ガンマ線計数比と供試体の配合の違いの影響を検討した結果，即発ガンマ線計数比の変動は極めて小さく同等の値と捉えることができる．
- ・推定濃度は，設定された濃度分布形状に沿った分布を示し，ピーク位置を捉えることができる．これより，変角照射試験を用いて，コンクリートの塩化物イオン濃度分布を非破壊で測定することが可能である．
- ・推定濃度が設定濃度を過大評価する原因は，照射角度を変化させることで塩化物イオンを含む層を多く測定し，実測値が増加するからである．これらの増加分を補正するように，再度推定し直すと精度は向上する．

参考文献

- 1)山田耕大ほか：即発ガンマ線分析によるコンクリート中の塩化物イオン濃度分布の非破壊測定に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No.1，pp.1981-1986，2009
- 2)米沢仲四郎：原子炉中性子による即発 γ 線分析，分析化学，51，pp.61-96，2002

表-1 ピーク位置と照射角

厚さ5mmの供試体のとき 中性子線の通る軌跡が最長になる角度	
ピーク	照射角度
1st	80
2nd	65
3rd	50
4th	35
5th	0

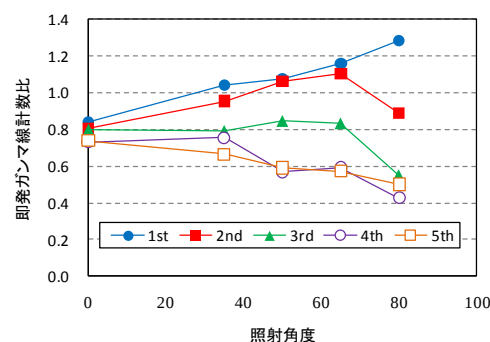


図-3 ピーク位置による試験結

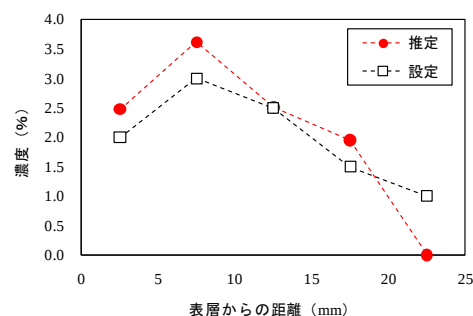


図-4 推定結

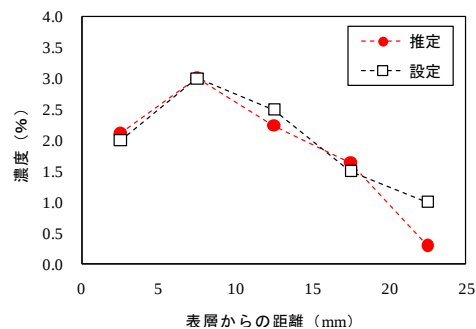


図-5 推定結