

コンクリート構造物塩害対策のためのコンクリート中塩分濃度の即発ガンマ線分析

利用者 坂根仁、永野章、山口将也、西原善明

所属 住重試験検査株式会社

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、その腐食生成物の影響によって鋼材に体積変化が生じ、その結果コンクリートにひび割れ、剥落がおこり、部分体力に問題を生じさせる現象を総じたものである。

コンクリート中の塩化物イオンの測定には、一般的には電位差滴定法が用いられている。しかし、試料調整・分析に手間がかかり、分析コストが高い。本実験は、試料調整が比較的容易で、短時間で分析が行える即発ガンマ線分析を、コンクリート中の塩素イオンの測定に適用することを目的とする。その一例として、海岸沿いにあるコンクリート中に含まれるセメント中の塩分濃度の測定を行った。

2. 実験方法

実験は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。セメント中の塩素濃度を決定するのに用いる検量線を作成する為に、セメントに任意量の塩化アンモニウムを0.1%~10%の範囲で混合させた試料を作成した。中性子ビーム照射後、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、塩素濃度との相関を調べた。

コンクリート試料は、満潮時には海面下になる箇所と、海岸沿いにさらされていた箇所のコンクリートをコア抜きし、成形した。写真1は後者のコンクリート試料採取風景、写真2はコア抜きしたコンクリート試料である。表面から約5cmの位置に腐食した鉄筋が存在した。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た即発ガンマ線の計数比から、塩素イオン濃度を決定した。

3. 実験結果

検量線の作成

セメント中の塩素イオン濃度と塩素とカルシウムからの即発ガンマ線計数率比の関係を調べた。

図1に塩素イオン濃度とガンマ線計数比から決定した塩素とカルシウムの重量比の関係を示す。塩素イオン濃度0~8%の間で良い相関が有ることを確認した。0.1%程度までは検出可能であった。

コンクリート中に含まれる塩素イオン濃度測定。

海沿いにあり、海風にさらされたコンクリート中の表面から鉄筋近傍まで至る塩分濃度を調べた。海岸沿いに放置されていたからコンクリートの塩分イオン濃度分布を表面から10cm程度まで調べた。

表面から約5cmの位置に腐食した鉄筋が存在した。測定結果を図2に示す。深さ30mmから塩素が検出され、40mm位置を最大にして、それ以降は減少した(黒丸)。腐食していた鉄筋近傍の塩素イオン濃度は約2.5wt%であった。深さ70mmのデータが全体の傾向からはずれていたため、試料の向きを変えて、数回測定した(白丸)が、統計誤差5%の範囲でほぼ一致した。

まとめ

当社では、これまでに軽元素に対する荷電粒子放射化分析やPIXEなどの分析事業を行ってきたが、多種多様なニーズに応じるために、中性子による分析を新たな事業展開として取り組みたいと考えている。そこで、コンクリート中の塩分濃度の測定を即発ガンマ線分析によって行い、適応が可能であることがわかった。今後は、オンサイト分析システムを構築する為に、パルス照射での実験を行いたいと考えている。



写真1 コンクリート試料採取風景



写真2 コア抜きしたコンクリート試料

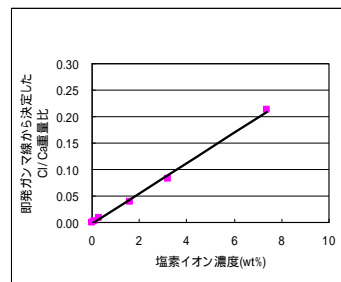


図1 コンクリート中に含まれる塩分濃度とCa/Clの即発ガンマ線計数率比の関係。

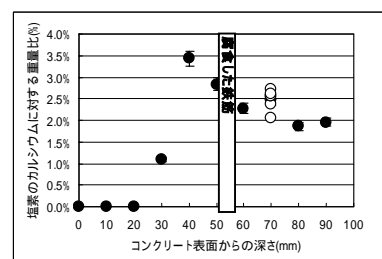


図2 コンクリート中に含まれる塩分濃度の深さ方向分布。

コンクリート中に含まれる塩素の 非破壊検査方法の開発

利用者 坂根 仁¹、氏家 勲²
 所属 ¹住重試験検査株式会社、²愛媛大学

実験内容と結果

新たに組み込まれたTOF装置を用いて、コンクリート中の特定深さに存在する塩化物イオンの測定手法開発を目的とした予備実験を行った。写真1は、2次元測定装置と組み合わせて設置したTOF装置である。図1は設置した試料の断面図である。中性子チョッパーのスリットを中性子が通過した時点から、試料の各位置に到達する飛行時間が異なる事を利用して、塩化アンモニウム中の塩素から発生した即発ガンマ線のための弁別を試みた。



写真1 TOF装置

図2はエネルギーと時間情報を含んだ2次元測定ウインドウである。横軸がガンマ線エネルギー(0~2MeV)で、縦軸が時間(0~5ms)を意味する。横にはしる濃いラインは、モルタルと塩化アンモニウムが存在する位置と思われる。

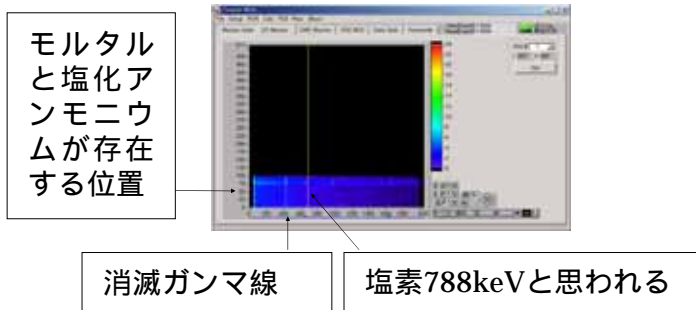


図2 即発ガンマ線のTOF測定による2次元分布

塩化アンモニウム試料の厚みが2mmであるのに対して、この時間幅は30cm程度の厚みに相当する。原因として、元々の中性子スペクトルのエネルギー拡がりがあること、物質中での散乱が多く時間情報が非常に曖昧になることが考えられる。以上に関しては、克服すべく現在検討中である。

中性子ビームがモルタル中において、どの程度の深さまで到達できるのかを調べた。厚みを変化させたモルタルを通過した中性子が、入射側とは反対に取り付けた塩化アンモニウムと反応し、そこで発生した塩素からの即発ガンマ線を測定した。モルタルが無いときのガンマ線計数率を基準として、モルタル厚みに対する透過率の変化を図4に示す。

塩素の浸透プロファイル測定を行う為の予備実験として、モルタル試料のコーティング剤の検討を行った。連続ビーム照射で500秒測定した。重量は、すべておおよそ0.25gである。結果を表1に示す。

エポキシ樹脂、フッ素ゴムは塩素が多く、塩素プロファイルを測定するには適していないことがわかった。テフロンシートを溶かすか、テフロン溶液の使用を検討する。

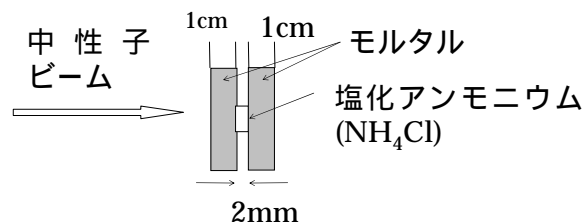


図1 照射試料

塩素788keVのガンマ線のエネルギー領域のみの時間分布を図3に示す。左側がビーム上流側で、右側の塩素が存在する深い位置あたりになると計数が増加している。

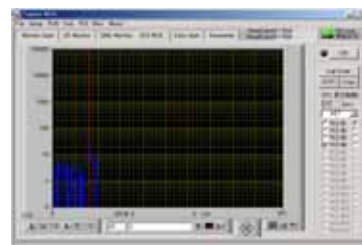


図3 塩素からのガンマ線の時間分布

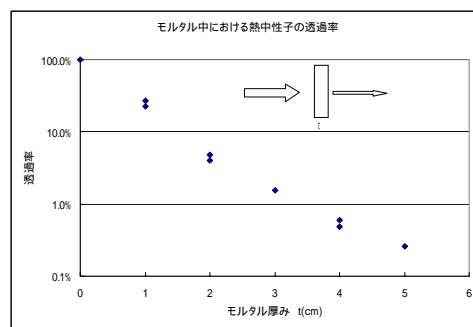


図4 モルタル中の中性子ビーム透過率

表1 コーティング材料から放出されるガンマ線の計数率

試料	塩素(cps)	水素(cps)
エポキシ樹脂	0.8	3.2
フッ素ゴム(商品名エイトシール)	0.8	5.7
テフロンシート(商品名トヨフロンFEPフィルム)	ND	0.15
バックグラウンド	ND	0.02

コンクリート中における塩化物イオンの浸透プロファイル測定

利用者 坂根 仁¹、氏家 勲²、山田耕大²
 所属 ¹住重試験検査株式会社、²愛媛大学

1. はじめに

近年、コンクリート構造物における維持管理技術が大変重要になっており、特に重要な技術としてコンクリート構造物の耐久性診断が挙げられる。耐久性診断は外観上でひび割れなどの変状が確認されるより以前に劣化現象の予兆を把握するところに耐久性診断の意義がある。コンクリート構造物の劣化現象の中で最も関心が高いものは塩害による鉄筋腐食であり、凍害や化学的浸食による劣化現象がコンクリートの変質を伴うのに対し、塩害による劣化は腐食ひび割れが生じるまでは、外観観察のみでは劣化の進行を評価できない。コンクリート構造物における塩害では、主に外部からコンクリート中へ侵入した塩化物イオンの影響により不動態被膜が破壊され、鋼材の腐食時期が著しく早まる。従って、鋼材が腐食するまでの塩害の進行を評価するには、鉄筋周辺におけるかぶりコンクリート中の塩化物イオン濃度の分布状況を知る必要がある。塩化物イオンの測定については、コア供試体やドリル穿孔屑を採取して、粉末試料の調整を行った後に電位差滴定法により塩分量を測定する方法が一般的である。この手法はもっとも確実である反面、試料採取や試験に手間と費用を要し、構造物に損傷を与える上に同じ位置で何度も測定できない。

上半期は、即発ガンマ線分析装置に取り付けられた中性子パルスチョッパー装置を用いて、塩化物イオンの深さ方向分布測定の可能性を検討し、現段階の装置で測定できる深さ位置の弁別能力を確認した。その結果、鉄筋が存在する深さ5cm程度までの塩化物イオンの測定は現システムでは困難であることがわかった。表面近傍の塩化物イオン濃度から深部の濃度をある程度推定する必要性を感じ、コンクリート中の塩化物プロファイルの推定を行うための基礎データを取得する事にした。下半期は、同一試料のコンクリートへの塩化物浸透試験を非破壊で行える方法を検討した。

2. 実験方法

測定には、海風にさらされて塩化物イオンが既に浸透したコンクリート体からコア抜きしたコンクリート（写真1）を深さ方向に沿って厚さ5mm程度にスライスした試料（写真2）を使用した。昨年度は、コア抜きした試料から1cm刻みに1g程度のコンクリートを切り出して、各位置での塩化物イオン濃度測定を実施している。

実験は即発ガンマ線測定分析装置に取り付けられた、二次元元素分布測定装置（写真3）を利用して行った。試験体は中性子ビームに対して垂直に取り付けられており、写真の赤矢印の様に垂直方向に移動させる事で、自動測定が可能である。今回は測定時間を考慮して、表面（左側）から1cm刻みに測定した。測定時間は各500秒である。

今回は行うことができなかったが、同一試料を塩水に浸けて浸透させた後、塩化物イオン分布を測定し、終了後はまた塩水に浸けて浸透させるというサイクルを繰り返すことで試験体を破壊することなく、正確な浸透試験ができると考えている。

浸透試験を長期にわたって行う際は、コンクリート表面からの水分蒸発が影響するため、コンクリートを保護する必要がある。即発ガンマ線分析により、適当と思われるコーティング剤の成分分析も行った。



写真1 コア抜きしたコンクリート体。



写真2 スライスしたコンクリート試料。左側がコンクリート体の表面。



写真3 二次元元素分布測定装置。スライスしたコンクリート試料が固定されている。

3. 実験結果

同一試料（写真 1）の表面から 1cm 間隔で切り出した試料を用いる測定方法（破壊測定）で得られた塩化物イオン分布と今回の測定方法（非破壊測定）で得られた結果を図 1 に示す。絶対値はずれているが、全体の傾向は一致しており、浸透分布の測定を行うには十分な結果が得られた。

コーティング剤の検討を行った。連続ビーム照射で 500 秒測定した。重量は、すべておおよそ 0.25g である。結果を表 1 に示す。エポキシ樹脂、フッ素ゴムは塩素が多く、塩素プロファイルを測定するには適していないことがわかった。テフロンシートを溶かすか、テフロン溶液の使用を検討する。

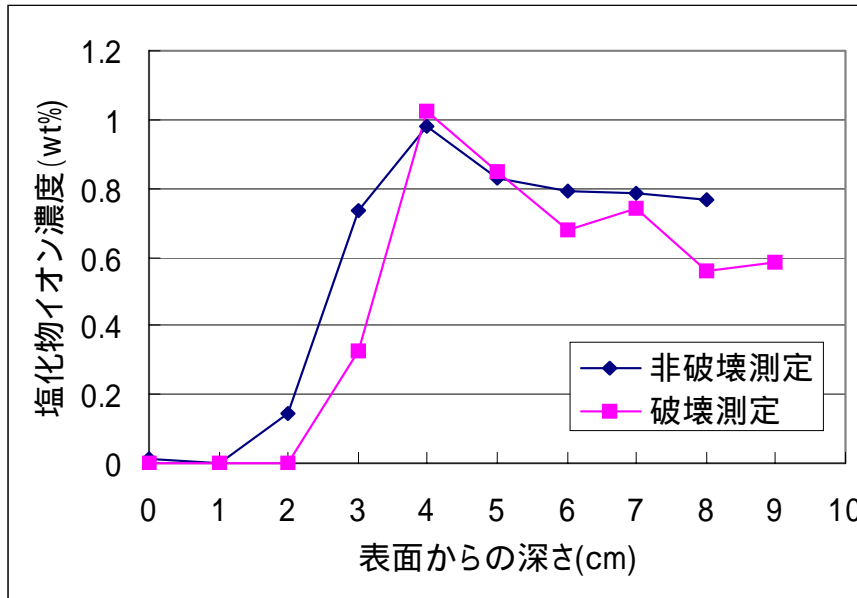


図 1 塩化物イオン濃度の浸透プロファイル

表 1 コーティング材料から放出されるガンマ線の計数率

試料	塩素(cps)	水素(cps)
エポキシ樹脂	0.8	32
フッ素ゴム（商品名エイトシール）	0.8	5.7
テフロンシート（商品名トヨフロンFEPフィルム）	ND	0.15
バックグラウンド	ND	0.02

4. まとめ

今回はデータを得ることはできなかったが、試料のコーティングを工夫する事で正確な浸透試験が行えると考えられる。