

ポータブル蛍光 X 線分析装置を用いたコンクリート表層の塩分浸透挙動に関する基礎研究

琉球大学 正会員 ○富山 潤, 正会員 須田裕哉
(株) ティ・エス・プランニング 正会員 佐藤 智, オリエンタル白石 (株) 正会員 渡瀬 博

1. 研究の背景および目的

沖縄県は、四方を海で囲まれた島嶼環境かつ、高温多湿で大量の塩分が海から飛来している。コンクリート構造物に塩分が付着するとコンクリート内部に塩化物イオンが浸透しコンクリート構造物内部の鉄筋が腐食し塩害が生じる。また、塩害は飛来塩分、湿度など環境作用の影響を大きく受ける。従って環境作用を受けたコンクリートの応答としてコンクリート内部の鉄筋腐食時期を精度良く予測するためには、境界条件としての環境作用に加え、コンクリート表層の塩分浸透現象および内部の拡散現象を適切にモデル化する必要がある。そこで本研究では、コンクリート表面に付着した塩化物イオンがコンクリート内部へ浸透する現象として、表層の塩分濃度の短期的な経時変化を測定し考察する。測定にはポータブル蛍光 X 線分析装置¹⁾を用いた。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

本試験では、100×100×400(mm)のコンクリート試験体を用いた。表-1 にコンクリート配合を示す。

試験体は、28 日水中養生し、約 2 年間室内で乾燥させたものである。

表-1 コンクリート配合

配 合	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
			W	C	S1	S2	G	AE
NC	48.0	43.4	169	352	234	531	1031	3.344
W:水, C:セメント, S1:海砂, S2:砕砂, G:砕石, AE:混和剤								

2.2 測定器（蛍光 X 線分析装置）概要

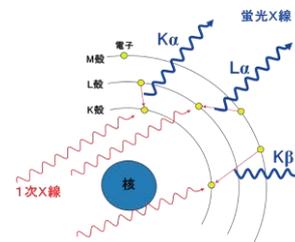
本研究では、コンクリート表面に付着した塩化物イオンの短期的な塩化物イオン濃度の経時変化に着目した。測定に用いた蛍光 X 線分析装置（測定原理：コンプトン散乱ノーマライゼーション法）を写真-1

に示す。

蛍光 X 線分析法は、分析対象試料に 1 次 X 線を照射して含有元素の原子の内殻電子を励起し、内殻上に空孔が生じた不安定な状態から安定状態に戻る時に発生するそれぞれの元素に固有の波長（エネルギー）を持った蛍光 X 線を観測することによって、分析対象試料の含有元素を定性又は定量分析する方法である（図-1 参照）²⁾。



写真-1 ポータブル蛍光 X 線分析計

図-1 蛍光 X 線の発生機構²⁾

2.3 実験方法

実験は、乾燥させた試験体（乾燥試験体）を用いた場合（ケース 1）と、1 週間、水に浸漬させた試験体（飽和試験体）を用いた場合（ケース 2）の 2 ケースで行った。試験は、写真-2 に示すように測定位置を固定（黒い枠線内）した 4 箇所（向かって左から NC1, NC2, NC3, NC4）に、霧吹きを用いて濃度 10%の塩水を異なる初期濃度になるよう吹きかけ回数を変え、表層の塩素 (Cl) を 3 分毎に測定した。測定状況を写真-3 に示す。

キーワード：塩害, 表層塩分, 浸透現象, ポータブル蛍光 X 線分析装置
連絡先 〒903-0123 西原町 1 番地 琉球大学工学部工学科社会基盤デザインコース
Tel : 098-895-8649
E-mail : jun-t@tec.u-ryukyu.ac.jp



写真-2 試験体の測定位置（枠線内）



写真-3 測定状況

3. 実験結果および考察

(a) ケース 1

乾燥試験体の測定結果を図-2 に示す。乾燥試験体では、異なる初期濃度のいずれの場合も急激に Cl 濃度が減少したが、5.9%~15.7%と初期濃度が高いため、0%には収束せず、初期濃度に応じた値に収束し、表層に Cl がしばらく停滞する現象が確認できる。

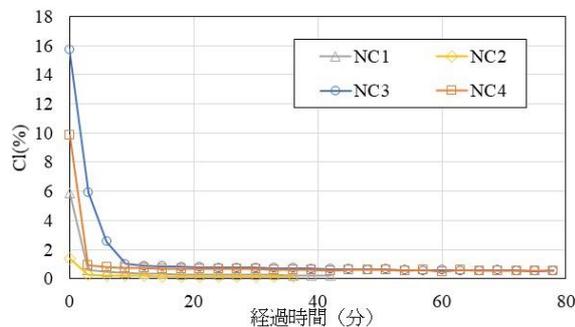


図-2 乾燥試験体表層の塩分濃度の経時変化

(b) ケース 2

飽和試験体(NC(2))の測定結果を図-3 に示す(2箇所)。飽和試験体では、乾燥試験体に比較し、表層の Cl 濃度は緩やかに減少しており、コンクリートの含水状態により塩分の浸透速度が大きく異なることが本測定結果からも確認できた。

上記の実験の NC2 以外は実環境に比較し、表面塩分濃度を高く設定したものである。次に塩害環境で考えられる初期濃度 0.23%(5.29kg/m³程度)を設定し、外来塩分が繰り返し作用する条件(3回)で表層の塩

分濃度の経時変化を測定した。その結果を図-4 に示す。図より塩水霧吹き前の表層に Cl が存在しない場合は、Cl 濃度が指数関数的に減少し 120ppm 以下とほぼ 0%に収束した。その後、2回目の塩水吹きかけ後の濃度は、1回目と異なり減少と増加を繰り返しほぼ 0%に収束した。塩水吹きかけ3回目では、0%には収束せず、濃度が増減しながら増える傾向を示した。この結果は、コンクリート表層の塩分の濃度拡散現象によるものと考えられる。

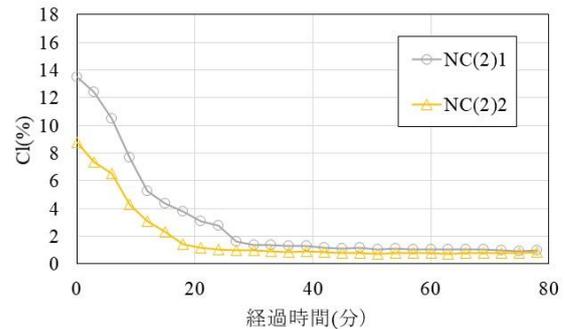


図-3 飽和試験体表層の塩分濃度の経時変化

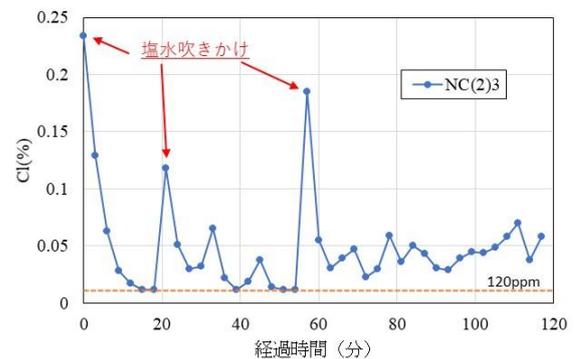


図-4 飽和した供験体の表面塩分の経時変化

4. まとめ

ポータブル蛍光X分析装置を用いてコンクリート表層の塩分(Cl)浸透現象について考察した。その結果、X線分析装置を用いることで表層の塩分濃度の経時変化を測定できることが示された。今後は測定条件を増やし、表層の浸透現象を明らかにし、表層の浸透モデルを構築する。

参考文献

- 1) オリンパスホームページ : <https://www.olympus.com/ja/vanta/> (閲覧日:2020年1月14日)
- 2) 一般社団法人 日本分析機器工業会ホームページ : X線分析法の基礎と応用, <https://www.jaima.or.jp/jp/analytical/basic/xray/foundation/> (閲覧日:2020年1月14日)