

蛍光 X 線分析法によるコンクリート表層部の元素と中性化深さとの関係

青木あすなろ建設 正会員 ○劉 翠平 同 正会員 駒田憲司
長岡技術科学大学 フェロー 下村 匠 産業技術総合研究所 非会員 朱 彦北

1. はじめに

一般に、コンクリート表層部の成分は中性化の進行とともに変化することは知られている^{1),2)}が、表層部の成分と中性化深さとの関係に関する研究は少ない。主な原因の一つとして、従来ではサンプルが採取・処理されてからラボ内の分析装置で計測することから、計測に使用されるサンプルの制限や処理過程は煩雑で多大な労力と予算が必要であるため、成分の変化に基づいたコンクリートの中性化に関する研究は困難であることが挙げられる。近年、ポータブル型蛍光 X 線（以下、XRF）分析装置に関する開発が進み、現場でコンクリート（表層部）の塩化物イオンなどの成分を非破壊的に計測が可能となり、コストを抑えながら計測の利便性が向上されるため、成分変化に基づいたコンクリートの中性化に関する研究の遂行に有利になった。

そこで、本報告は、屋内促進中性化試験を行い、XRF 分析法にて、コンクリート表層部の主な元素の存在度（割合）と中性化深さをそれぞれ測定した。元素の存在度の変化を中性化の進行に関連づけ、中性化深さを推定できるか検討した結果を示す。

2. 実験計画
(1) 実験概要

本実験における使用材料を表-1に、計画配合を表-2にそれぞれ示す。セメントの種類は普通ポルトランドセメント、水セメント比W/Cは60%、50%および70%の3パターンとした。コンクリートのフレッシュ性状はスランプ8cm、空気量を4.5%とし、製作時のコンクリート温度は20℃とした。

表-3に促進中性化試験用の供試体を示す。供試体数は各配合につき3個とし、材齢1日で脱型後に材齢4週まで水中養生を行い、その後恒温恒湿室（温度：20℃、湿度60%）に材齢4週まで静置し含水状態を調整してから、促進中性化試験を行った。試験条件は、JIS A1153:2012 に準拠し、温度20℃、湿度60%、二酸化炭素濃度5%とした。標準養生における材齢7日および28日供試体の圧縮強度 f_c を表-3にまとめる。

(2) 計測点および計測方法

中性化深さ試験の測定材齢および XRF 計測点を図-1に示す。中性化深さ試験は促進材齢7日、17日、32日、

75日および114日の計5回測定した。図-1(b)に示すように中性化深さ試験を行う前にハンドヘルド XRF 分析装置を使用し、コンクリート表層部における元素の存在度を測定した。湿潤状態4週間後（促進材齢0日）の測定と

表-1 使用材料

材料	種類	産地・銘柄	密度 (g/cm ³)
セメントC	普通 N	3 種等量混合*	3.16
水W	水道水	茨城県つくば市	1.00
細骨材S	山砂	掛川産	2.59
粗骨材G	砕石 2005	岩瀬産	2.65
混和剤A	AE 減水剤	フローリック SV10	-

* JIS A 6204 : 2011 を参考に、代表的な 3 種類のセメント（太平洋、宇部三菱、住友大阪）を等量で使用した。

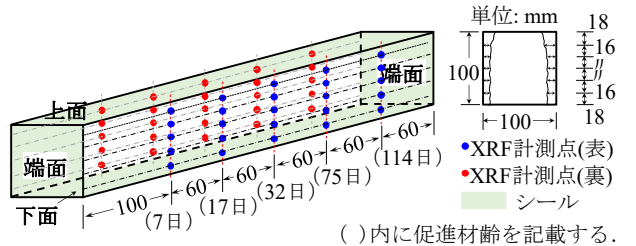
表-2 計画配合

配合 No.	W/C (%)	s/a (%)*	単位量 (kg/m ³)				
			W	C	S	G	A
2	60	45.0	163	272	824	1020	2.18
1	50	43.0	163	326	767	1034	2.61
3	70	47.0	165	236	870	997	1.89

* 細骨材率を s/a で表す。

表-3 供試体

供試体		数量 (個)	W/C (%)	f_c (N/mm ²)	
				7 日	28 日
N6	N6-1~N6-3	3	60	23.4	31.8
N5	N5-1~N5-3	3	50	31.8	41.7
N7	N7-1~N7-3	3	70	17.5	27.2



項目	促進材齢 (日)	計 (回)
中性化深さの測定	7, 17, 32, 75, 114	5
表層部成分の計測*	0, 7, 17, 32, 75, 114	6

* 蛍光 X 線分析計 (Olympus DELTA Professional / GeoChem) を使用して計測した。

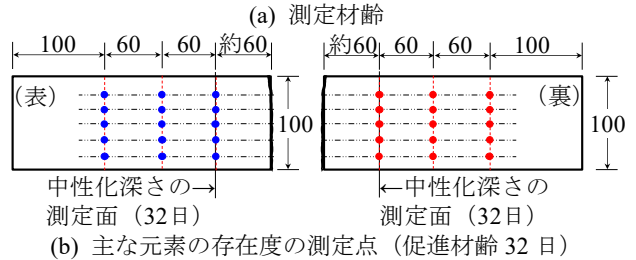


図-1 中性化深さの測定材齢および XRF 計測点

キーワード コンクリート、非破壊検査、中性化、蛍光 X 線、元素

連絡先 〒305-0032 茨城県つくば市要 36-1 青木あすなろ建設(株) 技術研究所 TEL : 029-877-1112

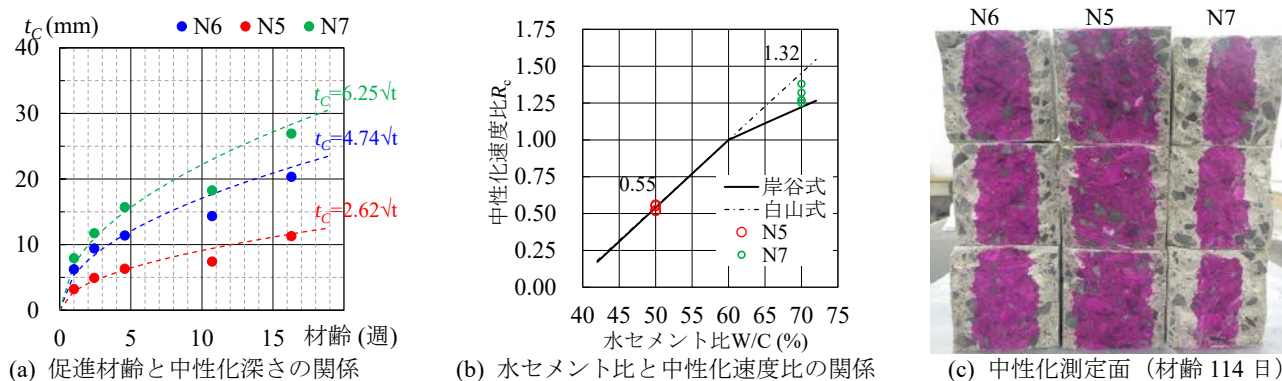


図-2 中性化深さの測定結果

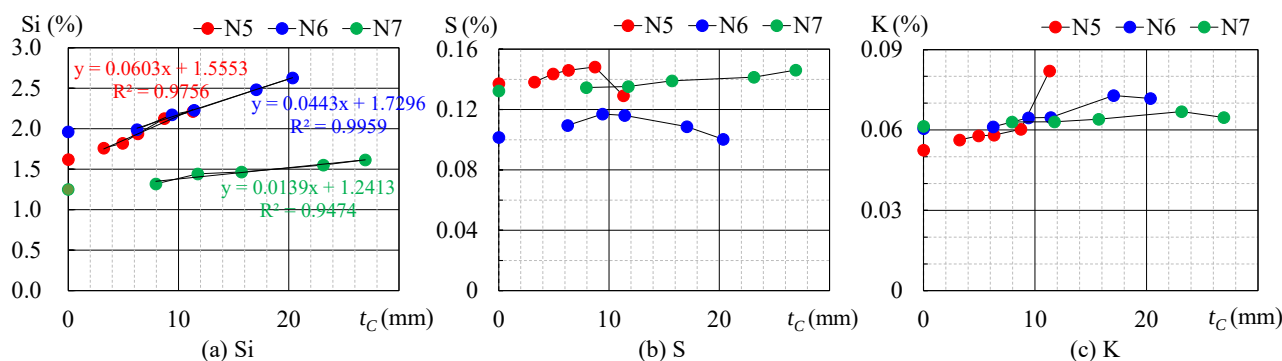


図-3 表層部における主な元素の存在度の計測結果

合わせ、計 6 回 (合計 1,800 個) の測定結果が得られた。

3. 実験結果および考察

(1) 中性化深さの測定結果

図-2 に中性化深さの測定結果を示す。なお、図-2(a) に示す中性化深さ t_c は 3 個の供試体の中性化深さの平均値、中性化速度係数 A_{50} 、 A_{60} および A_{70} (mm/週^{0.5}) は回帰分析によってそれぞれ算出したものである。結果に示すように水セメント比によらず、中性化深さは促進材齢と高い相関性を示し、中性化速度式は、促進材齢が 5 週以下により精度で、5 週以降に安全側で予想できることが分かる。また、図-2(b) に示すように、供試体 N6 に対する N5、N7 それぞれの中性化速度比は、N5 が 0.55、N7 が 1.32 であり、岸谷式および白山式に近い結果³⁾となった。

(2) 表層部における元素の存在度の測定結果

図-3 にハンドヘルド XRF 分析装置で計測した供試体の表層部における主な元素 Si、S および K の存在度を示す。なお、Si、S および K は、図-1(b) に示すように供試体を割裂する前にあるすべての XRF 計測点の平均値として算出した値である。結果に示すように、表層部における元素 Si、S および K の存在度は、中性化の進行とともに変化しており、Si や K に関しては存在度が増加する傾向にあることを確認した。これについては、文献 1) および 2) と似た傾向である。

図-3(a) に線形近似曲線を重ねて示す。いずれの供試体においても R^2 は 0.90 以上となり、元素 Si と中性化の進行とは高い相関性を示していることが分かる。よって、主な元素の存在度と中性化深さとの相関関係を把握することで、表層部における主な元素の存在度から中性化深さを推定できる可能性があると思われる。

4. まとめ

セメントは普通ポルトランドセメント、水セメント比は 60%、50% および 70% の 3 パターン、CO₂ 濃度 5% で促進中性化試験を行った。中性化速度比は、岸谷式および白山式の中性化速度係数と近い結果が得られた。また、コンクリート表層部の主な元素を測定したところ、Si の存在度と中性化の進行に高い相関性を確認したため、表層部における主な元素を測定することにより中性化深さを推定できる可能性があると思われる。

参考文献

- 1) 小林一輔, 他: 炭酸化によって引き起こされるコンクリート中の塩化物、硫黄化物およびアルカリ化合物の移動と濃縮, pp.69-81, コンクリート工学会論文集, 第 1 巻第 2 号, 1990.7
- 2) 南雅代, 他: 実構造物中のコンクリートの中性化における元素移動, 2010 年度日本地球化学会第 57 回年会講演要旨集, 2010
(<https://doi.org/10.14862/geochemproc.57.0.35.0>)
- 3) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説, p.116, 2016.7.25 (第 2 版第 1 刷)