

蛍光 X 線を用いた実構造物の中性化深さの測定に関する検討

青木あすなる建設 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

既存ストックなどを有効活用するには、データのサンプル数を増やし、劣化の実態を適切に評価することが求められている。しかし、コンクリートの中性化はコア抜きやはつりなどの検査方法を用いるため、サンプルリング数を増やすのは現実的には困難であり、非破壊検査方法の開発が望まれている。

一方、既往の研究では、コンクリートの中性化における元素が移動し濃縮され、Si や K に関しては中性化領域で増加する現象²⁾が明らかにされている。そのため、コンクリート表面の元素の変化と中性化進行度の関連性を検討すれば、中性化深さが推定できると考える。

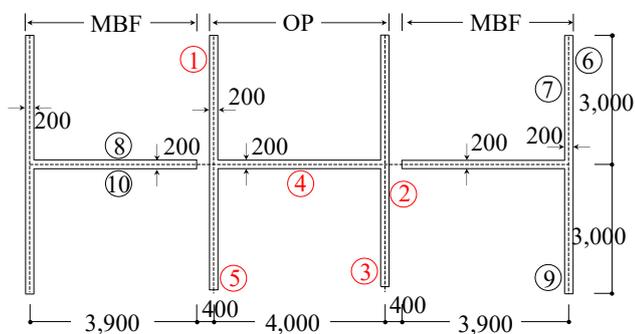
そこで、本報告では、蛍光 X 線を用いて実構造物表層部の元素を調査し、中性化深さとの関連性を考察した結果を示す。

2. 測定対象および測定方法

(1) 計測対象の概要

図-1 に計測対象³⁾を示す。平成 5 年に作った資材置き場であり、建設してから約 26 年を経過した。計測対象は屋外にある壁式構造に相当し、高さ 1,700mm、厚さ 200mm の無筋コンクリート壁で構成される。

コンクリートの配合を表-1、使用材料を表-2 にそれぞれまとめた。中央部分は普通ポルトランドセメント、両側は混合セメントをそれぞれ使用し、水セメント比 W/C がそれぞれ 50% および 35% である。



※①～⑩は地面から約1,200mmの高さに設けた計測箇所を表す。
 単位: mm

図-1 測定対象および計測箇所

表-1 コンクリートの配合

配合名 ^{*1)}	W/C (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)					増粘剤 ^{*3)}
			W	C	S	G	A ^{*2)}	
OP	50	51.1	185	370	865	861	2.3	0.4
MBF	35	47.3	175	500	741	861	1.2	0.8

注: 1) OP は普通ポルトランドセメント, MBF は混合セメントを使用した。2) 高性能 AE 減水剤である。3) OP には水溶性セルロース系, MBF は多糖類ポリマー系を使用した。

表-2 使用材料

使用材料	種類	表乾比重 (g/cm ³)	
セメント C	OP	普通ポルトランドセメント	3.16 ^{*1)}
	MBF	混合セメント ^{*2)}	2.85 ^{*1)}
細骨材 S		霞ヶ浦産陸砂	2.59
粗骨材 G ^{*3)}		砕石: つくば市	2.70
混和剤		高性能 AE 減水剤 増粘剤	
水		水道水	

注: 1) 密度を表す。2) 中庸熱セメント, 高炉スラグおよびフライアッシュは 2:2:1 である。3) 最大寸法は 20mm である。

(2) 計測箇所および測定方法

計測箇所を図-1 に示す。計 10 箇所に対して中性化深さと表層部の元素を測定した。JIS A 1152:2011 (コンクリートの中性化深さの測定方法) に従い、はつり法で 1%フェノールフタレイン溶液を噴霧し、中性化深さを測定した。また、ハンドヘルド蛍光 X 線分析計 (Olympus DELTA Professional / GeoChem) によりコンクリート表層部の主要な元素の存在度を測定した。図-2 に示すように 1 箇所につき 10 点計測点を設定した。

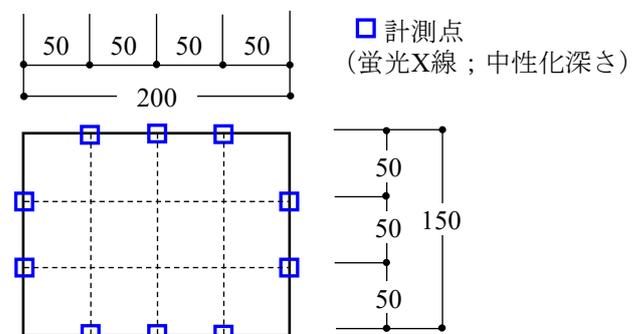


図-2 中性化深さおよび元素存在度の計測点

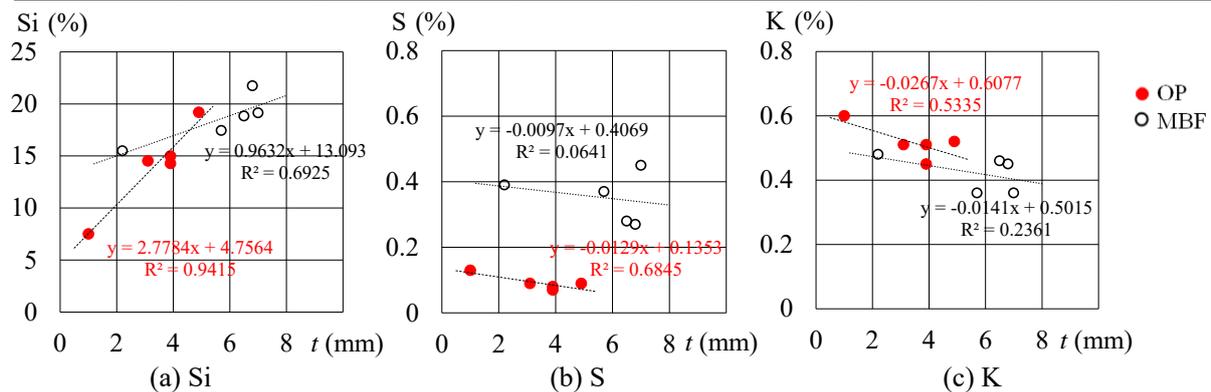
キーワード コンクリート, 非破壊検査, 中性化, 蛍光 X 線, 元素

連絡先 〒305-0032 茨城県つくば市要 36-1 青木あすなる建設㈱

TEL : 029-877-1112 E-mail : suihei.ryu@aaconst.co.jp

表-3 中性化深さと表層部における主要な元素の存在度

配合番号	計測点	中性化深さ t (mm)	主要元素の存在度 (%)					
			Si	S	K	Ca	Al	Fe
OP	①	1.0	7.50	0.13	0.60	28.26	2.34	2.03
	②	3.9	14.27	0.07	0.45	14.19	3.90	3.02
	③	3.9	14.98	0.08	0.51	18.19	4.43	3.07
	④	3.1	14.52	0.09	0.51	18.87	4.72	3.08
	⑤	4.9	19.19	0.09	0.52	13.55	5.44	3.21
MBF	⑥	2.2	15.49	0.39	0.48	8.95	5.07	2.57
	⑦	5.7	17.44	0.37	0.36	11.62	5.87	2.54
	⑧	6.5	18.83	0.28	0.46	10.11	5.79	2.48
	⑨	7.0	19.14	0.45	0.36	12.62	6.06	2.57
	⑩	6.8	21.73	0.27	0.45	11.83	6.85	2.35

図-3 表層部における Si, S および K と中性化深さ t の関係

3. 測定結果および考察

現在、ハンドヘルド蛍光 X 線分析計より、中性化が引き起こされる化学反応に関わる主な元素と他の元素は高精度で計測可能となっている。表-3 に中性化深さと計測した表層部における主要元素の存在度（存在割合）を示す。なお、各々の元素の存在度は 1 箇所に計測した 10 点の平均値として算出し、 t は各計測箇所の平均中性化深さを表す。

表-3 に示すように MBF 部分は水セメント比が小さいものの、OP 部分より中性化の進行度は大きく、中性化速度係数は OP 部分の 1.43 倍であった。また、OP 部分（計測箇所①～⑤）においては 3.9mm、MBF 部分（計測箇所⑥～⑩）においては 4.8mm の差が生じたことが分かる。これは、配合や施工時の品質以外に、計測対象が屋外に暴露されており、日射や風によってコンクリート表層部に湿度の差異が生じたためである。

図-3 に表層部における Si, S および K と平均中性化深さ t の関係曲線を示す。各計測箇所において元素の硫黄 S およびカリウム K の存在度が低く、1%以下であった。また、図-3 (a) に示すように、使用したセメントの種類によらず、中性化の進行とともに、表層部において Si の存在度が増加傾向にあることを確認した。

これについては、文献 2) と同様の現象であった。一方、元素 K および S などは溶解性であり雨水に溶け込んで溶脱されやすいため、今回の計測結果では中性化の進行に伴い明確な傾向が見られなかった。

4. まとめ

本報告において、平成 5 年に作られた屋外資材置き場の中性化深さおよびコンクリート表層部の主要元素を測定し、中性化の進行に伴い、表層部における Si が増加傾向にあることを確認した。

表層部における元素の測定によって中性化深さを推定できる可能性があると思われるが、溶解性元素を含む元素移動の影響が考えられるため、さらなる検討が必要である。

参考文献

- 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, 硫黄化合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
- 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>)
- 後藤佳子, 他: WAPP 法による材齢 22 年のコンクリート構造物の中性化評価に関する考察, V-565, 令和元年度土木学会全国大会第 74 回年次学術講演会, 2019.9