

非破壊試験の組合せ評価によるコンクリート構造物の予防保全型診断手法の研究

飛島建設 正会員 ○板野 光純
 飛島建設 正会員 桃木 昌平
 飛島建設 正会員 槇島 修

1. はじめに

コンクリート構造物の性能は、鉄筋の腐食によるひび割れなどの損傷が生じることで低下する。したがって、損傷が顕在化する前に、予防的に対策を講じることが望ましい。しかし、塩害や中性化といった劣化機構では、外観上に変状が見られないが、鋼材の腐食が進行している可能性があり、その進行を目視観察のみでは診断できない。劣化因子の侵入程度や鋼材腐食の発生を評価する場合、コンクリートの一部を採取して測定を行う診断手法は確立されている。ただし、局所的な診断となることから、診断箇所の評価が構造物を代表するかは不明確である。そこで、適切な位置で安全側の判断をするためには、劣化の危険度の高い箇所での診断を行うことが重要となる。

そこで、筆者らは、多数の箇所で、かつ繰返しの評価が可能な非破壊試験に着目し、予防保全型の診断手法としての有用性を検討することとした。単独で実施される非破壊試験と、コンクリートの耐久性との関係が検討されている報告もあるが¹⁾、構造物の診断手法として確立していないのが現状である。本研究では、性質の異なる複数の非破壊試験を組み合わせることで、実構造物の耐久性の診断方法としての確立を目指して

検討を行った。本稿では、蛍光 X 線分析と表層透気試験の組合せ評価による、塩害劣化の進行状況の予測の可能性について実験的に検討した結果を示す。

2. 検証試験の概要

測定対象は、150×150×530mm のコンクリート供試体とし、塩化物イオンの浸透の程度が異なるように、表-1に示すような養生条件を3パターン用意した。養生終了後とした材齢 28 日以降、表面の含水状態を 4~5%とするため、材齢 56 日まで温度 20℃、湿度 60%の気中環境に置いた。試験における塩害環境は、3%の人工海水への 3 日間の浸漬と、4 日間の乾燥を 1 サイクルとした乾湿の繰返しを 20 サイクル行った。

試験項目および方法を表-2に示す。従来手法は、供試体から φ75mm のコアを採取し、コンクリート表面から 20mm の深さごとの塩化物イオン濃度を電位差滴定法で測定する方法を指し、この結果から塩化物イオンの見掛けの拡散係数と表面塩化物イオン濃度を算定した。塩化物イオンの見掛けの拡散係数と表面塩化物イオン濃度は、深さ方向の塩化物イオン濃度から、Fick の第 2 法則に基づいた拡散方程式を回帰させ求めた。なお、年数はサイクル数に置き換えて計算した。

また、表面塩化物イオン濃度を測定する非破壊試験方法として、蛍光 X 線分析を選定した。塩化物イオンの見掛けの拡散係数については、表層の緻密さが影響していると考え、表層品質を測定する表層透気試験を用いて対比することとした。

表-1 供試体養生条件

養生条件	気中養生	型枠養生	水中養生
脱型時の材齢	材齢1日	材齢7日	材齢1日
脱型から材齢28日までの養生方法	温度20℃、湿度60%の気中環境	温度20℃、湿度60%の気中環境	温度20℃の水中環境

表-2 試験項目および方法

	試験項目	方法
従来手法	表面塩化物イオン濃度、 塩化物イオンの見掛けの拡散係数	JSCE-G573「実構造物におけるコンクリート中の全塩化物イオン分布の測定方法（案）」による塩化物イオンの見掛けの拡散係数および表面塩化物イオン濃度の算出方法
非破壊試験の 組合せ	表面塩化物イオン濃度	エネルギー分散型蛍光X線分析法（JIS K 0119）
	透気係数	ダブルチャンパー法（Torrent法） ²⁾

連絡先 〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472 TEL 04-7198-7577

キーワード 蛍光 X 線分析 表層透気試験 塩化物イオン 非破壊試験

3. 従来手法による塩害に対する危険度の診断

図-1 に試験から得られた表面塩化物イオン濃度と塩化物イオンの見掛けの拡散係数の関係を示す。

図に示すように、表面塩化物イオン濃度が高く、塩化物イオンの見掛けの拡散係数が大きいほど（図の右上にあるほど）、塩害劣化を受けやすい環境であることと、コンクリートの塩化物イオンの浸透性が高いということが考えられ、塩害劣化に対する危険度（以下、塩害危険度）が高いといえる。

塩化物イオンの見掛けの拡散係数については、気中養生、型枠養生、水中養生の順に大きく、養生条件によるコンクリートへの塩化物イオンの浸透性の違いを評価することができた。

また、推定される表面塩化物イオン濃度については、一定の塩害環境で試験を行っていることから、養生条件によって差が生じないと予測していたが、養生の条件によって差異が生じた。この差は、少ないサンプル数の塩化物イオン濃度から、表面塩化物イオン濃度を推定する際に生じる誤差と考えられる。

4. 非破壊試験の組合せ評価による塩害に対する危険度の診断

図-2 に、各供試体の蛍光 X 線分析によって測定した表面塩化物イオン濃度と透気係数との関係を示す。

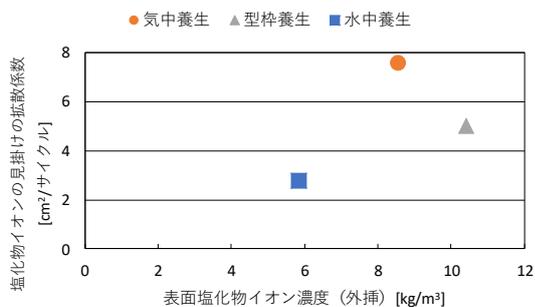


図-1 表面塩化物イオン濃度と見掛けの拡散係数

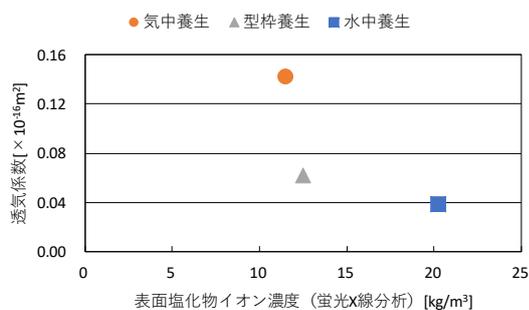


図-2 蛍光 X 線分析と表層透気試験

各養生条件の透気係数は、塩化物イオン濃度の見掛けの拡散係数の大きさの順と一致していた。したがって、透気係数を測定することにより、塩化物イオンの見掛けの拡散係数の大きさを、グレード分けできる可能性が示された。

蛍光 X 線分析によって測定された、表面塩化物イオン濃度については、図-1 と異なる傾向であった。当初、同じ塩害環境であれば同一の表面塩化物イオン濃度になると予想したが、この結果を見ると、養生方法の違いによって異なる値になっていることを確認した。ただし、蛍光 X 線によって測定した表面塩化物イオン濃度は、従来手法に比べて実態を示しているものと考えられる。このように、蛍光 X 線分析では、実構造物において実態の表面塩化物イオン濃度が評価できるため、同一環境下であってもより詳細な評価になると考える。

以上から、蛍光 X 線分析などの非破壊試験により表面の塩化物イオンを測定し、表層透気試験により見掛けの拡散係数のグレードを判別することで、同一構造物における、最も塩害危険度が高いと思われる位置を選定できる可能性がある。このように、最も塩害危険度が高いと推定される位置からコアを採取し、コンクリート内部の塩化物イオン濃度を実測すれば、より安全側の判定が行える、予防保全型の調査に有効と考えられる。

5. まとめ

蛍光 X 線分析と表層透気試験の組合せにより、コンクリートの塩害危険度を定性的に評価できる可能性を見出した。これにより、例えば、構造物における塩害危険度の高いところを抽出し、コアの採取位置を選定することで、より効果的な診断が実施できる。

また、本稿で示した非破壊試験による組合せ評価については、その他の非破壊試験との組合せによる精度向上や、中性化に対する診断手法としても検討を進めている。構造物や部材への負荷を最小限に留める予防保全型診断手法の一つとして活用したい。

参考文献

- 1) 林和彦, 細田暁: 表面吸水試験によるコンクリート構造物の表層品質の評価方法に関する基礎的研究, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), Vol.69, No.1, 82-97, 2013.
- 2) 日本非破壊検査協会編: 新コンクリートの非破壊試験, pp.188-189, 2010.