

コンクリート構造物の詳細点検データ分析に基づく中性化リスク評価

芙蓉コンサルタント 法人会員 ○野中 仁智 法人会員 米沢 貴司 正会員 須賀 幸一

1. はじめに

合理的なコンクリート構造物の維持管理を継続するためには、点検・診断の精度向上が重要である。多くの自治体では法定点検が2巡目に入り、構造物毎、部材種別毎の健全度の変化や補修効果などの、経年的な健全度の推移分析が精度向上には欠かせない。特に補修、補強の措置が必要な構造物においては、詳細な点検調査（復元図作成、ひび割れ損傷図の作成、コンクリートの強度試験、中性化試験、塩化物イオン含有量試験、鉄筋の腐食状態の確認試験など多岐にわたる調査、試験）が実施され、データが蓄積されている。これらの詳細点検データを整理し、分析することは、近接目視が主体の点検による健全度判定（診断）の精度向上には欠かせない。本論文においては、コンクリート構造物の主な損傷要因のうち中性化、塩害、鉄筋腐食に関する詳細点検データを分析し、コンクリート強度から中性化深さを推定し、かぶりとの関係から、鉄筋腐食のリスクを簡便に評価する方法を提案するものである。

2. コンクリート構造物の詳細点検データの分析

詳細点検時の試験等のデータに関して、中性化や塩害による経年劣化の影響について筆者等¹⁾は分析を行ってきた。本論文の分析においては、経過年との相関を調べるため竣工年が不明な橋梁、補修等が行われている橋梁及び部材を除いた51データを対象とした（表-1）。

(1) コンクリート強度と中性化深さの関係

中性化深さとコンクリート強度には強い相関が認められることは知られているが、実際に劣化が進行した土木構造物（コンクリート構造物）による実測データの分析事例は少ない。本論文においては、コンクリート強度（逆数）と中性化速度係数との相関性に着目し、その相関式を算定した。

コンクリート部材（主桁、床版など）においてコア法又はリバウンドハンマーにより求められたコンクリート圧縮強度を横軸に、中性化深さ（実測値）を縦軸にとりプロットした（図-1）。コンクリート強度と中性化深さには、相関性が高いことがわかる。中性化深さは経過年数にも影響されるため、コンクリート強度（ σ_c ）と中性化速度係数（A）の関係を考察する。建築分野では川西ら²⁾が、実物建物（屋外・仕上げなし）における調査結果として、 $A=160.2/\sigma_c-1.37$ を求めている。今回、表-1に示す橋梁の51試料より、コンクリート強度の逆数と中性化速度係数の関係を回帰式より〈1〉式のように求めた。その結果を図-2に示す。

表-1 詳細点検調査の概要			
	橋種	対象部材	数量
構造物	RC橋	主桁、床版、下部工	18橋
	BOX	頂版、側壁	5橋
	PC橋	主桁	1橋
	鋼橋ほか	床版、下部工	8橋
		※下部工も含む	(32橋)
詳細調査	コンクリート強度調査（コア法ほか）		51(試料)
	中性化深さ調査（コア法ほか）		51(試料)
	塩化物イオン含有量調査（コア法）		33(試料)
	鉄筋のかぶり・腐食状況調査（はつり調査）		47(試料)

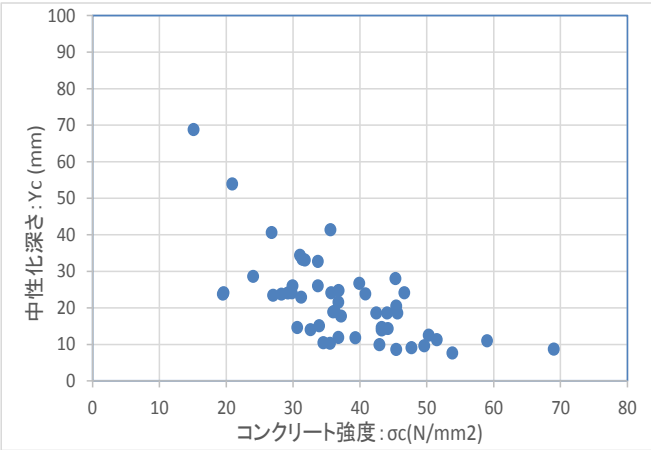


図-1 コンクリート強度と中性化深さ

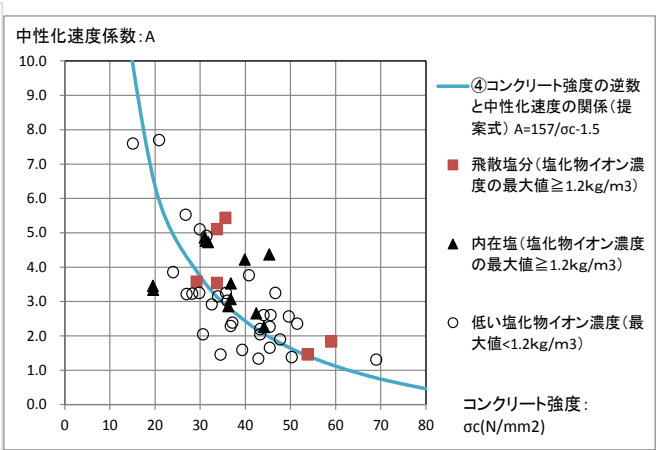


図-2 コンクリート強度と中性化速度係数

$$A = 157/\sigma_c - 1.5 \quad \dots\dots\dots \langle 1 \rangle \text{ 式}$$

ここに、 A : 中性化速度係数 (mm/年^{0.5})、 σ_c : コンクリート強度 (N/mm²)

(1) 式は、川西らの式に近い。また実構造物の中性化速度係数の計測例³⁾としては、「建築後 10 年を経過したコンクリート構造物の中性化速度 $d=4.86\sqrt{t}$ 」などがある。コンクリート強度を 25N/mm² と想定すると、式 (1) による中性化速度係数は概ね 4.8 に一致する。なお、土木学会では、水セメント比との相関性が高いとして $A=9 \times (W/C) - 3.57$ を推奨しているが、現場では W/C を計測することはできない。また実験等から求めたこの式は、例えば、W/C=40%~65% とすると、 $A=1.8 \sim 2.3$ となり、実構造物で求めた中性化速度係数よりも低い値となる。設計時の耐久性能の指標としては有用かもしれないが、経年変化が進んだコンクリート構造物の中性化深さを推定する場合には注意が必要であろう。

(2) 塩化物イオン含有と中性化速度係数の関係

図-2 には、塩化物イオンに関して、3 ケース (①飛来塩 1.2kg/m³ 以上、②内在塩 1.2kg/m³ 以上、③塩化物イオン濃度 1.2kg/m³ 未満) に分けて、中性化速度係数を示してある。既往文献³⁾ 等にも示されるように、塩化物イオンが存在 (①②) すると、中性化速度が増加する傾向がうかがえる。

3. 中性化深さとかぶりの関係による損傷 (鉄筋腐食) リスク評価

(1) 中性化深さとかぶりの関係と鉄筋腐食状況の分析

床版の中性化深さ (実測値) と鉄筋かぶり (実測値) の関係と鉄筋腐食状況を事例として図-4 に示す。一般に、中性化深さ Y_c (mm) が、かぶり $C=10$ mm に至ると、鉄筋腐食等のリスクが高まると言われているが、図-4 からは $C=20$ mm でも腐食が生じているようである。主桁でも同様の傾向がみとめられた。

(2) 中性化とかぶりの関係によるリスク (鉄筋腐食) 評価

現場においてリバウンドハンマー等によりコンクリート強度 σ_c (N/mm²) を求めることで、(1) 式から中性化速度係数 (A) を算出し、 $\sqrt{t}$ 則 ($Y_c = A \cdot t^{0.5}$) に経過年数 t (年) を代入することで、中性化深さ Y_c (mm) を推定することができる。

また鉄筋探査機により鉄筋のかぶり C を計測すれば、中性化深さ Y_c (推定値) との関係 $Y_c \geq C-20$ の場合、鉄筋腐食のリスクが高いと評価される。また $Y_c < C-20$ にもかかわらずコンクリートのひび割れやうき、鉄筋腐食などが観察される場合には、塩害等の要因が複合している可能性など損傷要因についても、検討の範疇が広がる。このように近傍目視観察と現場計測を組み合わせることで健全度判定 (診断) の精度が高まることが期待される。

4. まとめと今後の課題

詳細点検データを用いて、**実コンクリート構造物の主な損傷要因である中性化等に関する分析を試み、コンクリート強度から中性化速度係数を推定する (1) 式を提案**した。また**中性化深さとかぶりの関係による鉄筋腐食状況から、中性化等によるリスク (鉄筋腐食) 評価の方法を提案**した。今後はさらに詳細データの分析と現場計測による検証を行い、**点検における健全度評価 (診断) の精度向上に役立つ技術の開発**を目指したい。

【参考文献】

- 1) 野中、野上、須賀：コンクリート構造物の詳細点検データの分析と今後の活用、令和 2 年度土木学会四国支部第 26 回技術研究発表会、2020.5 (WEB 発表) wV-2
- 2) 川西泰一郎ほか：実建物調査に基づくコンクリートの中性化進行に関する分析、日本建築学会構造系論文集、第 608 号、pp.9-14、2006.10
- 3) 小林一輔：コンクリートの炭酸化に関する研究、土木学会論文集 NO.433/V-15、pp1-14、1991.8

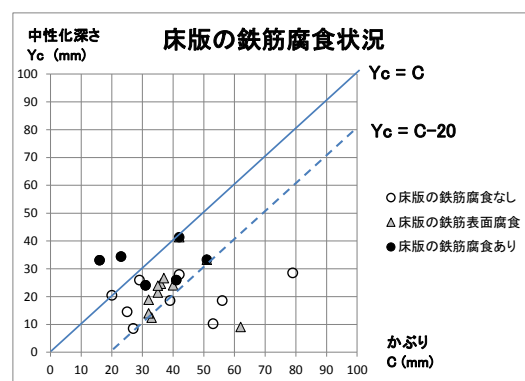


図-4 中性化深さとかぶりによる鉄筋腐食状況 (床版)