

## コンクリート構造物の外観変状状態の予測に関する検討

日本道路公団試験研究所 正会員 上東 泰  
 日本道路公団試験研究所 野島昭二  
 大成建設土木技術研究所 正会員 武田 均  
 大成建設土木技術研究所 正会員 丸屋 剛

### 1. はじめに

コンクリート標準示方書維持管理編では、コンクリート構造物を適切に維持管理するために劣化予測に基づく計画的維持管理が重要であるとされており、外観点検結果や詳細調査結果を有効に利用して劣化予測の精度を向上させることがもてられている<sup>1)</sup>。本報告は、かぶり、中性化深さ、塩化物イオン濃度などの劣化要因情報に基づいて鉄筋腐食グレードと外観変状の状態の予測を行うこと、および外観変状の状態から予測を修正する方法を確立することを目的として、外観点検結果や詳細調査の結果の評価に確率統計の概念と方法論を取り入れた手法を検討した内容の概要をまとめたものである。

### 2. 劣化予測とその修正に関する基本的な考え方

図-1は、点検調査結果を有効活用するための劣化予測の考え方を示したものである。中性化の進行や塩化物イオンによる鋼材の腐食を予測する場合、コンクリート標準示方書では中性化の進行や塩化物イオンの拡散浸透を予測し、中性化深さ(残り)あるいは鋼材位置(かぶり)における塩化物イオン濃度で鋼材の腐食発生時期を予測する方法が述べられている。一方、構造物を点検する場合、常に詳細調査等を行って中性化の進行や塩化物イオンの拡散浸透を計算する際の中性化速度係数、あるいは塩化物イオンの拡散係数や表面塩化物イオン濃度など、予測に必要なパラメータを算出できるとは限らず、浮きや剥離、ひび割れなどの外観の変状を位置や範囲の大きさなどとして記録することが現実的である。コンクリート内部の鋼材の腐食状態と外観変状の状態には相関関係があることから、鋼材の腐食状態がわかれば外観変状についても推定でき、また、外観の変状状態から鋼材の腐食状態を推定して腐食グレードの予測を修正することも可能である。

### 3. 鋼材の腐食グレードと外観の変状状態の

#### 相関関係

図-2に示すように、鋼材の腐食グレードと外観の変状状態について、104件の点検結果などからそれらの相関関係をもとめた。この図から、外観が健全であ

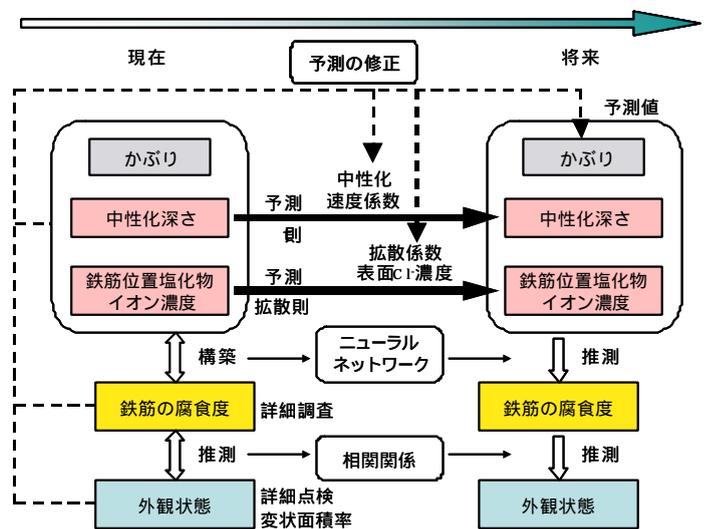


図-1 劣化予測の考え方

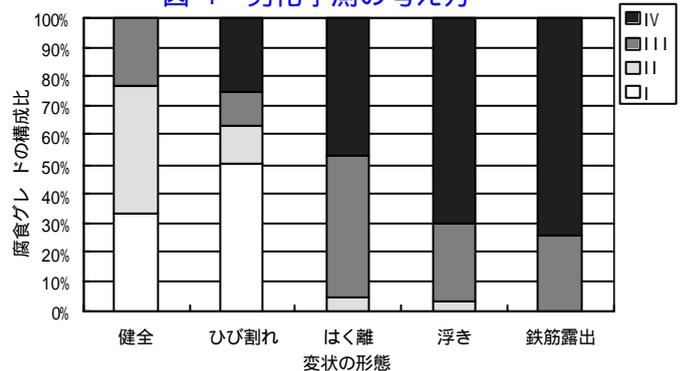


図-2 劣化予測の考え方

キーワード コンクリート, 点検, 劣化予測, 鋼材腐食, 外観変状

連絡先 〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1 日本道路公団試験研究所 TEL 0427-91-1621

れば内部の鋼材の腐食グレードはIまたはII程度である可能性が大きいこと、浮きと判断された場合には、鋼材の腐食グレードはほとんどがIIIまたはIVであり鋼材に断面欠損が生じている可能性が大きいことなどがわかる。ここでは腐食グレードは上記の4段階に、外観の変状状態は浮き、剥離および鉄筋露出を変状あり、その他を変状なしとして、これらの相関関係を条件付き確率として用いる。

4. 外観変状状態の予測

コンクリート中での鋼材の腐食グレード、 $S_c(t)$ 、 $S_c(t+\Delta t)$ の中央値を予測し、図-3に示すように鉄筋腐食グレードを確率変数とした確率分布（対数正規分布）を仮定して、その面積比率すなわち4つの排反事象の確率として得られると考える。時間の推移とともに確率分布は図の右方向へ移動し、同時に劣化状態も1から2、2から3へと推移する。図中 $\alpha_1 \sim \alpha_3$ は劣化状態の閾値であり、分布のばらつきを含めて点検結果等から求めるものである。このようにしてもとめた腐食グレードの確率分布と、3.で述べた腐食グレードと外観の変状状態の関係から、腐食グレードの確率分布を外観変状の確率分布に変換することができる。なお、腐食グレードの中央値の予測は式(1)によった<sup>2)</sup>

$$S_c(t) = NW(d, C_t(t), C_d(t), T_{ave}, T_{max}, T_{min}, Rain, Leak) \quad (1)$$

ここに、 $S_c(t)$ ：鉄筋腐食グレード、 $t$ ：供用期間[年]、 $NW$ ：ニューラルネットワークモデル、 $d$ ：鉄筋かぶり[mm]、 $C_t(t)$ ：鉄筋位置塩化物イオン濃度[kg/m<sup>3</sup>]、 $C_d(t)$ ：中性化深さ[mm]、 $T_{ave}$ ：年平均気温[℃]、 $T_{max}$ ：年最高気温[℃]、 $T_{min}$ ：年最低気温[℃]、 $Rain$ ：年間降水量[mm]、 $Leak$ ：漏水である。

表-1に示す条件における鋼材の腐食状態確率と外観の変状状態確率の経時変化を図-4および図-5にそれぞれ示す。これはある橋梁の床版下面についての予測結果であるが、鋼材の腐食状態が激しくなるにしたがって、外観の変状状態も激しく劣化状態がわかる。このように、コンクリート内部の鋼材の腐食と外観変状の状態の予測ができることにより、対策方法の検討やその数量の算出も可能になり、計画的な維持管理につながるものと考えられる。

4. 外観変状状態による予測の修正

予測の修正は、一般には詳細調査結果から塩化物イオンの拡散係数や中性化速度係数をもとめて行うこととされているが、外観変状状態をある範囲の面積率として整理し、これを変状状態の確率分布とみなすことにより、例えばベイズ確率理論を適用するなどしてこれら面積率と確率分布が整合するよう劣化予測のパラメータを更新し、劣化予測を修正することも可能になる。

参考文献 1) 土木学会：コンクリート標準示方書 [維持管理編]、2) 武田、丸屋：ニューラルネットワークを用いたコンクリート構造物中の鉄筋の腐食進行予測、コンクリート工学論文集、Vol.9, No.1, pp.133-142, 1998

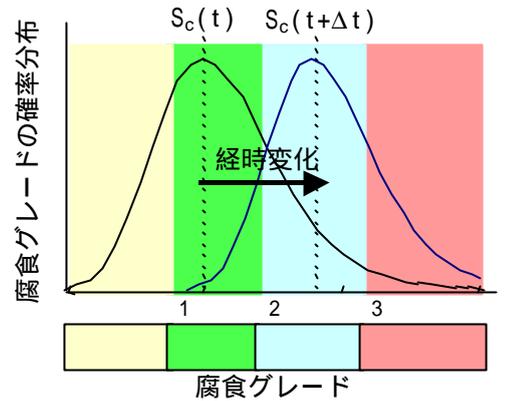


図-3 劣化予測の考え方

表-1 劣化予測の条件

劣化要因の項目		値
建設年度		1974年
気象情報	年平均気温	13.8
	年最高気温	19.2
	年最低気温	8.4
	年降水量	2229mm
塩害・中性化	かぶり	35 mm
	コンクリートの初期塩分量	1.2 kg/m <sup>3</sup>
	表面塩化物イオン濃度	3.788 kg/m <sup>3</sup>
	見掛けの拡散係数	2.457 cm <sup>2</sup> /年
中性化	中性化速度係数	1.74 mm/ t
漏水		あり

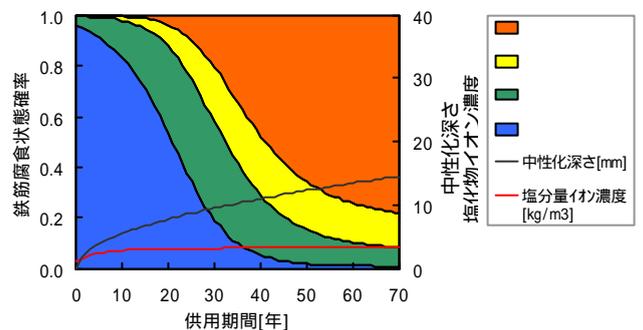


図-4 鋼材の腐食状態確率の経時変化

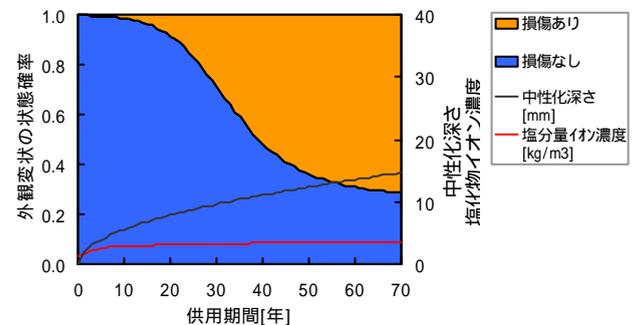


図-5 外観の変状状態確率の経時変化