

## 気象・配合の地域特性を考慮したコンクリート構造物の確率論的劣化評価

鹿島技術研究所 正会員 永田 茂  
 鹿島技術研究所 正会員 須田久美子  
 鹿島技術研究所 フェロー 村山八洲雄

### 1. はじめに

日本全国に多数のコンクリート構造施設を保有する事業者が長期維持管理計画を立案する際には、長期耐久性評価の結果が有効な支援情報となる。このため長期耐久性評価では、評価結果を定量的に示すこと、評価方法、材料・配合、施工に伴う不確実性を適切に考慮することに加えて、気象環境や材料・配合の地域特性を考慮することにより、維持管理計画に対して実用的な情報を提供することが可能になる。

本報告では、信頼性理論をコンクリート構造物の劣化評価に適用することにより、劣化評価における配合、施工、気象条件の地域特性とその不確実性を考慮した確率論的な劣化評価の事例を示すものである。信頼性理論を用いた劣化評価では、確率を評価指標とするレベルに基づく方法を使用し、劣化状態（モード）の性能関数を与えることによって各モードの劣化確率を求めると共に、複数劣化モードの性能関数の相関関係を考慮した組み合わせ事象を複合劣化と仮定した場合の複合劣化確率を示した。

### 2. 信頼性理論（修正1次近似2次モーメント法）<sup>1)</sup>

信頼性理論を塩害劣化評価に適用した場合、抵抗  $R$  は鋼材腐食発生限界塩分量、外力  $L$  はフィックの拡散方程式から求められる鋼材位置と経過時間に応じた塩分量であり、これらから構成される性能関数  $Z_i = g_i(R, L)$  が負 ( $Z_i < 0$ ) となるときの劣化状態と考える。従って、式(1)に示すように  $Z_i < 0$  となる確率  $Prob(Z_i < 0)$  が劣化確率  $P_{fi}$  となる。

$$\begin{aligned} P_{fi} &= Prob[Z_i \leq 0] \\ &= Prob[R(x_1, K, x_j) - L(x_{j+1}, K, x_n) \leq 0] \\ &= \Phi(-\beta_i) \end{aligned} \quad (1)$$

ここでは、 $\Phi(\cdot)$  は正規確率分布関数、 $\beta_i$  はモード  $i$  の安全性指標である。 $x_1 \sim x_n$  は性能関数で使用する各種の確率変数であり、任意の確率分布を持つものとする。

### 3. 地域特性を考慮した劣化確率評価の事例解析

広域に存在するコンクリート構造物の維持管理計画の策定を支援することを目的として、日本全国の気象環境と配合（水セメント比）の地域特性を考慮した飛来塩分による塩害と中性化に関する信頼性解析を行った。以下には、地理情報システムを用いて結果の一例を示した。

解析条件の概要を表-1及び以下に記述した。

評価地点は日本全国の市区町村役場位置の3430地点、評価対象構造物の経過年数は全国一律20年とした。なお、塩害及び中性化の性能関数は、文献2)及び3)を参考に設定した。

評価対象構造物のコンクリートは、呼び強度  $24\text{N/mm}^2$ 、スランプ  $8\text{cm}$ 、最大粗骨材寸法  $20\text{mm}$ 、普通ポルトランドセメントのレディーミクストコンクリート製品（普通-24-8-20-N）を仮定した。水セメント比の地域別の統計値に関しては、日本全国のコンクリート構造物の施工に使用されている製品について北海道、東北、東京、横浜・静岡、甲信越、北陸、東海、近畿、中国、四国、九州の11地域について調査した結果を用いた。

キーワード：コンクリート構造・劣化・信頼性・気象・配合

連絡先：182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 電話 0424-89-7058 FAX0424-89-7047

具体的には図 - 1 (c)、(d)の値を用いた。

塩害評価に使用する日本全国の塩分量<sup>4)</sup>は、海岸線からの離岸距離と標高を用いた推定値に、過去 20 年間の日平均気温を用いて補正を行った。また、中性化評価に使用する環境係数<sup>5)</sup>は、日本全国の過去 20 年間の日平均気温、日平均湿度から求めた。

表- 1 解析条件の一覧表

パラメータ	平均値	標準偏差	確率分布
かぶり(mm)	50.0	10.0	対数正規分布
限界塩分量(kg/m <sup>3</sup> )	2.0	0.5	正規分布
中性化残り(mm)	20.0	5.0	正規分布
日平均気温( )	図-1(a)	平均値の 10%	正規分布
日平均湿度(%)	図-1(b)	平均値の 10%	正規分布
水セメント比(%)	図-1(c)	図-1(d)	正規分布
離岸距離(m)	数値地図を使用	-	確定値
標高(m)	数値地図を使用	-	確定値

以上の前提条件のもとで、飛来塩分による塩害劣化、中性化及び両者の複合劣化に関する信頼性解析を行い、それぞれの劣化確率を図 - 2 に示した。確定論的な立場からは同様な研究成果<sup>6)</sup>が報告されているが、今回の信頼性評価結果はこれらと同様な傾向を示す結果となった。

一方、信頼性理論を導入することにより、コンクリート構造物の劣化状態を定量的に評価したため、複数施設の劣化状態について定量的な相対比較が可能となった。さらに、一般的に評価が複雑な複合劣化に関しても、数学モデルの観点から定量的な評価が可能となっている。以上のように、本手法の持つ特徴から、使用目的が同じ構造物、あるいは類似構造物の全国的な維持管理計画の立案をはじめとするライフサイクル・マネージメントへの活用が期待される。

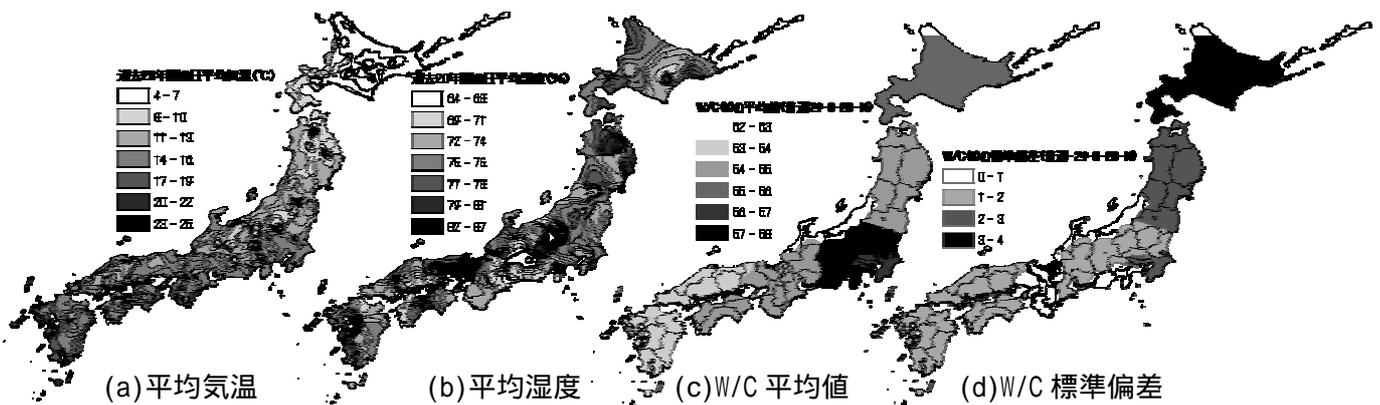


図 - 1 劣化評価に使用した気象及び配合の地域特性

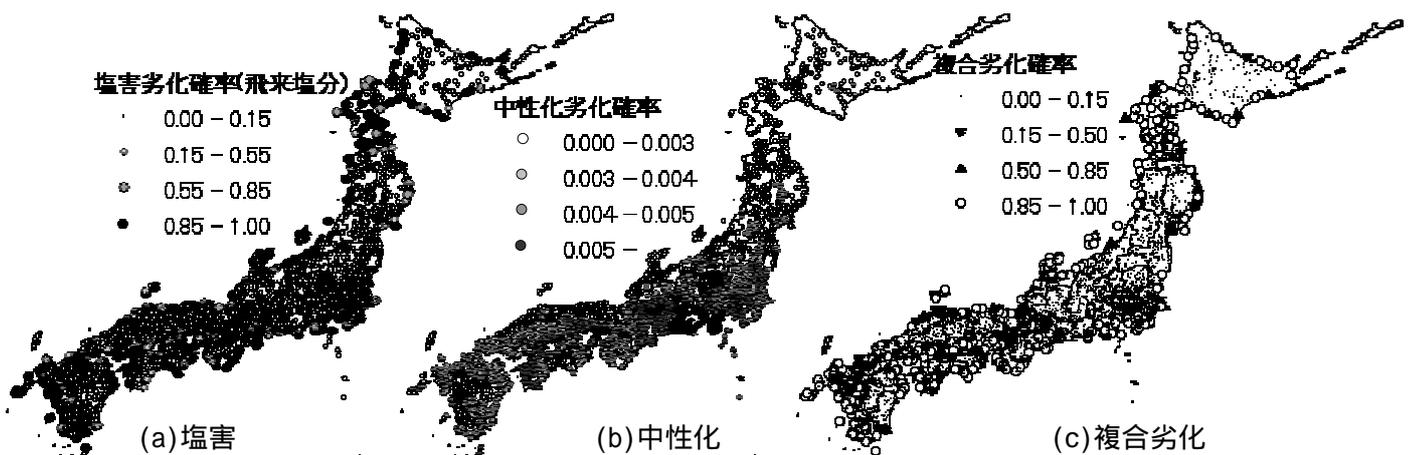


図 - 2 20年を経過したRC構造物(普通-24-8-20-N)に関する劣化確率の評価結果

参考文献 1)星谷勝・石井清：構造物の信頼性設計法、鹿島出版会、1986。 2)土木学会：コンクリート標準示方書[施工編]-耐久性照査型-、2000.1。 3)土木学会：2001年制定 コンクリート標準示方書[維持管理編]、2001.1。 4)黒川・野村・飯田：飛来塩分の影響を受ける道路橋の境界塩分量の推定、第22回道路会議論文集、pp.820-821、1997。 5)鄭・平井・三橋：モルタルの中性化速度に及ぼす温度・湿度の影響に関する実験的研究、コンクリート工学論文集、Vol.1、No.1、pp.85-93、1990.1。 6)鉄筋コンクリート構造物の耐久性設計法研究委員会：鉄筋コンクリート構造物の耐久性設計に関する考え方、(社)日本コンクリート工学協会、1991.5