

V-280

信頼性理論を用いた海洋環境下におけるRC構造物中の鉄筋劣化度推定法

東京電力 正会員 堤 知明 鈴木英世

日建設計 正会員 入江正明 鈴木正敏

1. はじめに

RC構造物の劣化が社会的に注目されつつある中で、筆者らは、海洋環境下に建設される構造物の塩害を対象として、信頼性解析をベースとした耐久性設計法の手順の確立を目指している（図-1参照）。今年度はその第一ステップとして、図-1の研究フローの内、海洋環境下に建設され30～60年経過したRC構造物の塩分量測定データ、鉄筋破断試験結果をもとに、塩分浸透の確率モデルおよび鉄筋腐蝕の確率モデルを作成した¹⁾。本論はこれらのモデルの活用例として、塩分浸透および鉄筋腐蝕に関係する要因を抽出し、それらが腐蝕による鉄筋断面積の減少量に与える影響をケーススタディにより検討したものである。

2. 確率モデル

(1) 塩分浸透の確率モデル

コンクリート中の塩分浸透はFickの拡散方程式を用いた。しかしこの式は均質な物質中の一次元の拡散式であるため、環境条件の変動やコンクリートのひびわれ発生により変化する塩分浸透量を適確に把握することは出来ない。筆者らは、これらの条件による塩分浸透量をFickの式中の拡散係数の変化として捉え、次式による確率モデルを提案した。

$$D_c = \alpha E[D_c] + \sigma e \quad \text{①}$$

ここで、 D_c ：見掛けの拡散係数、 α ：健全なコンクリートの拡散係数を基準とした場合の補正値、 $E[D_c]$ ：健全なコンクリートの拡散係数の平均値、 σ ：実測したコンクリートの拡散係数のばらつき、 e ：標準正規関数

(2) 鉄筋腐蝕の確率モデル

筆者らは、鉄筋の断面積は構造部材の耐力に密接に関係していると考え、次式のように腐蝕によって減少した鉄筋の断面積（以下鉄筋局所最小断面積と呼ぶ）を推定するモデルを作成した。

$$A = f(C_s) = \mu A(C_s) + \sigma A(C_s) e \quad \text{②}$$

ここで、 A ：鉄筋局所最小断面積、 $\mu A(C_s)$ ：塩分量 C_s 下の鉄筋局所最小断面積の平均値、 $\sigma A(C_s)$ ：塩分量 C_s 下の鉄筋局所最小断面積の標準偏差、 e ：標準正規関数

3. ケーススタディ

海洋環境下におけるRC構造物中の鉄筋腐蝕は主にコンクリート表面からの塩分浸透による腐蝕環境下への移行により発生するものと考えられる。ここでは、塩分浸透に影響を与える要因として、かぶり厚さ(x)、表面塩分量(C_0)、ひびわれ密度(C_d)、供用年数(t)を抽出し、これらの要因のばらつきと鉄筋局所最小断面積の関係を求めたものである。解析では、東京湾内の飛沫帯に位置し建設後35年を経過したRC構造物の劣化調査結果をもとに検討モデルを作成するとともに、各要因の変化幅を実測データの範囲内で設定しケーススタディにより各要因毎のばらつきと鉄筋局所最小断面積の関係を求めた。検討モデルはかぶり厚 $X=50\text{mm}$ 、表面塩分量 $C_0=0.8\%$ 、ひびわれ密度 $C_d=3.0\text{m}^2/\text{m}^2$ 、供用年数 $t=35$ 年を基準とした。

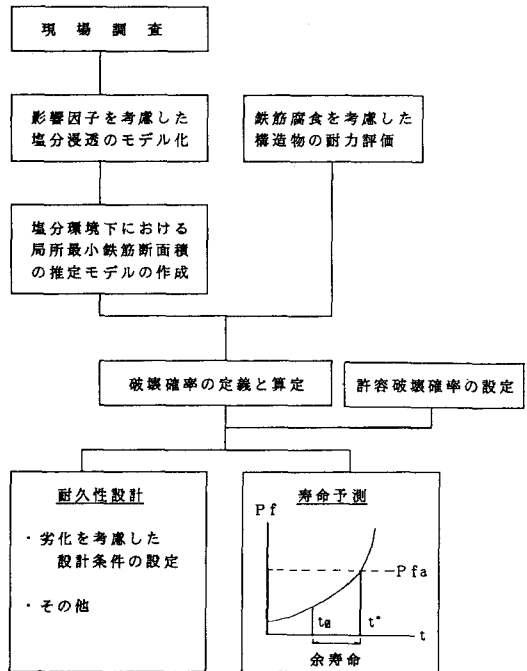


図-1 研究フロー

4. 解析結果

解析結果を図-2(a)～(d)に示す。横軸は鉄筋局所最小断面積を初期断面積の比で表し、縦軸は各要因の変化に対する鉄筋局所最小断面積の生起確率を累積密度で表した。各要因の変化幅は図中に示すとおりである。コンクリート標準示方書によると、特に厳しい腐蝕環境下でのかぶり厚は、スラブの場合50mmとされている²⁾。本解析によると $X=50\text{mm}$ の時、鉄筋局所最小断面積が当初の80%以下になる確率は38%となった。また、 $X=75\text{mm}$ 以上のときは28%以下となり、かぶり厚の増大が鉄筋腐蝕の防止に効果的であることが分る。ひびわれ密度で評価すると、 $C_d=1\sim3\text{m/m}^2$ で38%、 $C_d=5\text{m/m}^2$ で35%と他の3つの要因に比べ、その変化が累積密度の変化に与える影響が小さいが、これは、本解析での C_d の範囲が狭いことと検討モデルのかぶり厚が $X=50\text{mm}$ と厚いためによるものと見られる。また、表面塩分量の影響を見ると今回のデータの範囲内では、鉄筋局所最小断面積が当初の80%以下になる確率は25～40%程度であった。さらに供用年数の影響では、 $t=10$ 年と70年では確率は28%から44%に増加するだけであった。

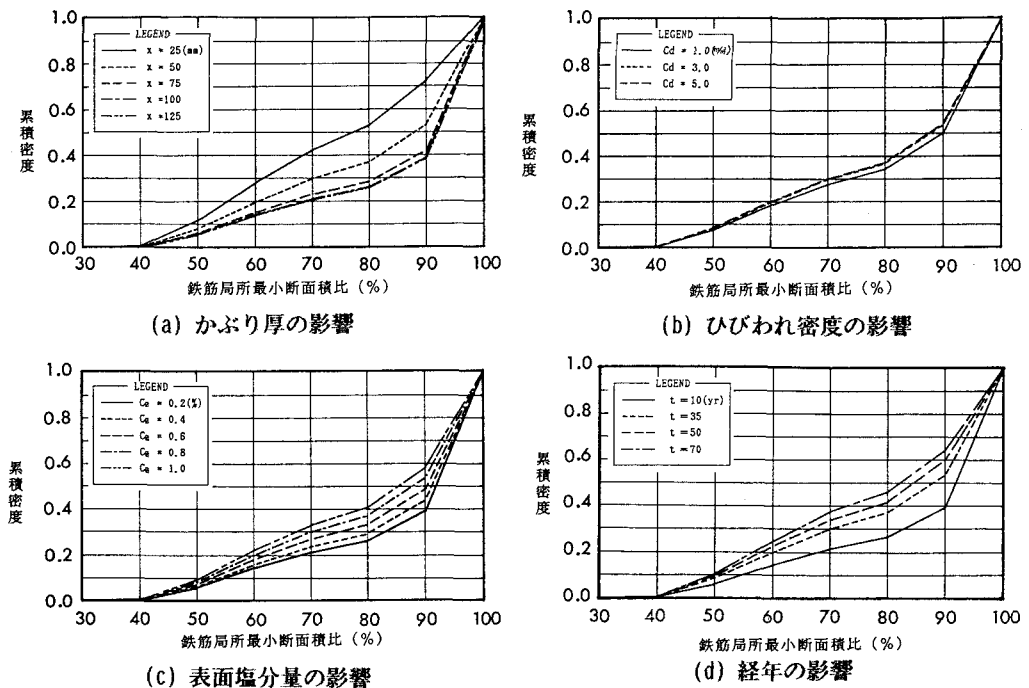


図-2 累積密度と鉄筋局所最小断面積の関係

5. おわりに

本解析は、塩分浸透の確率モデル、鉄筋腐蝕の確率モデルを用いて、塩分浸透および鉄筋腐蝕に関係する4つの要因と鉄筋局所最小断面積の関係を累積密度で表現したものである。ここでは、4つの要因が鉄筋腐蝕に与える影響を基準化して比較していないため、影響度の強弱は判定出来ない。しかしながら、このような図を保守管理部門に予め配布しておけば、管理者はこれらの要因を現場で測定し(これらは非破壊で測定可能である)本図と対比させることにより、現場の鉄筋断面積が腐蝕により初期の何%になっているかを定量的に推定でき補修時期の決定資料となり得るものと考ええる。

参考文献

- 1) 堤, 入江, 鈴木: 海洋環境下における鉄筋コンクリートの耐久性/劣化指標の信頼性解析: 第11回コンクリート工学年次講演会(投稿中)
- 2) コンクリート標準示方書: 土木学会 1986年制定