

腐食環境下にある RC 構造物の地震損傷度期待値

武蔵工業大学大学院 学生会員 ○劉 汝剛
 武蔵工業大学大学院 学生会員 中公 雄介
 武蔵工業大学 正会員 吉川 弘道

1. はじめに

RC 構造物の損傷程度を表す指標に損傷度指標がある．それを用いて，RC 構造物の耐震性能評価し，腐食環境下にある RC 構造物の鉄筋腐食し耐力低下後における耐久性評価を行った．本文は，耐震性能と耐久性能の両者を統合して扱う，より合理的な性能設計法を構築するために，経年劣化と耐震性能の関係を明らかにし，劣化を考慮した構造物地震時損傷度期待値を算定する．

2. 地震危険度解析

地震危険度解析は，「将来の一定期間に着目地点周辺で発生すると予測される地震動について，その諸性質を定量的に予測・評価する」と定義される．地震ハザード曲線は，震源距離分布及び水平最大加速度推定式の情報を集積し，歴史地震および活断層データから建設地点における地震動の年間超過確率を算定したものである．これは，すべての地震活動域に対し，マグニチュードと震源距離のすべての組み合わせについて距離減衰式を適用して任意の加速度の年間超過確率 $P_1(\alpha)$ を算出するものである．供用期間 t 年の超過確率 $P_t(\alpha)$ は，式(1)より求める．

$$P_t(\alpha) = 1 - [1 - P_1(\alpha)]^t \quad (1)$$

超過確率密度 $p_t(\alpha)$ は超過確率 $P_t(\alpha)$ を加速度 α の全領域において微分し求める．

3. RC 構造物の耐震性能評価

耐震性能評価とは性能がどの程度余裕をもってクリテリアを満足しているかを評価するものである． P_E は応答加速度から算出されたの地震力であり，この地震力を用い，式(2)より応答塑性率を算出できる．

$$\mu_{resp} = \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{P_E}{P_y} \right)^2 + 1 \right\} \quad (2)$$

本文は損傷度指標から耐震性能評価を行う．損傷状態は表 1 より評価する．損傷度指標の算出は式(3)により求める．

$$DI = \frac{1}{\mu_u - 1} \left\{ (\mu_{resp} - 1) + \frac{1}{2} \frac{\beta \cdot E_h}{W_1} \right\} \quad (3)$$

表 1 損傷度指標と損傷状態の関係

DI	損傷状態
DI < 0.08	無損傷・わずかな損傷
	耐荷に影響を及ぼさない程度の疎らなひび割れ
0.08 < DI < 0.18	軽微な損傷
	小さなひび割れ
0.18 < DI < 0.36	中程度の被害(修復可能限界)
	ひび割れ, かぶりコンクリートの剥落
0.36 < DI < 0.6	大被害
	コンクリートの圧壊, 鉄筋の座掘, 損傷変形が大きい
DI > 0.6	崩壊
	全体的, 部分的崩壊

4. 鉄筋腐食による RC 橋脚の耐力低下モデル¹⁾

RC 構造物は，極めて耐久性に富み，供用後メンテナンスフリーであると考えられてきた，しかしながら，ここ 10 数年の間に，塩害等に起因する早期劣化が問題となり RC 構造物も適切な維持管理を行うことが構造物の長寿命化にとって必要であるとの認識が高まって来た．本文では，RC 構造物の早期劣化の中で最も劣化事例の多い海岸環境下に位置する RC 構造物を対象に，かぶり厚さ、海岸距離と腐食開始時期の関係は式(4)より算出し，結果は図 1 に示す．

$$C_d = v_{cl} \cdot C_0 \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.1 \cdot c}{2 \sqrt{D_d \cdot T}} \right) \right\} \quad (4)$$

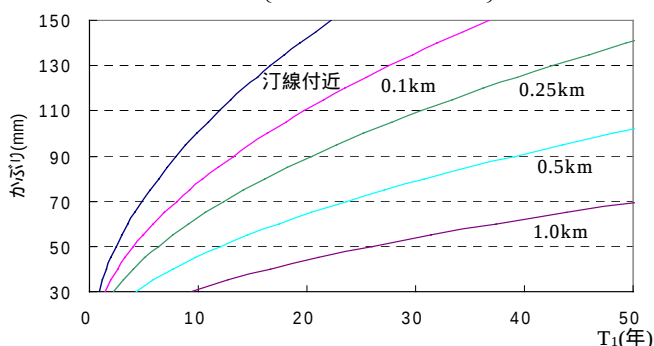


図 1 かぶりと鉄筋腐食開始時期の関係

鉄筋腐食に起因する耐力力の低下などを取り込み，構造物の損傷の程度を定量評価することができる．

供用開始後 t 年として鉄筋断面積は式(5)を提示している．

$$A_s^*(t) = n\pi [D_b - 2v(t - T_I)]^2 / 4 \quad (5)$$

鉄筋腐食量後の耐力低下の評価は式(6)より算定できる．

$$M_u^*(t) = bd^2 \xi p f_y \left(1 - \frac{\xi p f_y}{1.7 f'_c}\right) \quad (6)$$

$$\xi = \frac{A_s^*(t)}{A_s}$$

5. 経年劣化を考慮した RC 構造物の損傷度期待値

鉄筋が腐食した構造物の経年劣化を考慮した，RC 橋脚の地震時損傷度期待値の算定手順は図 2 に示す．

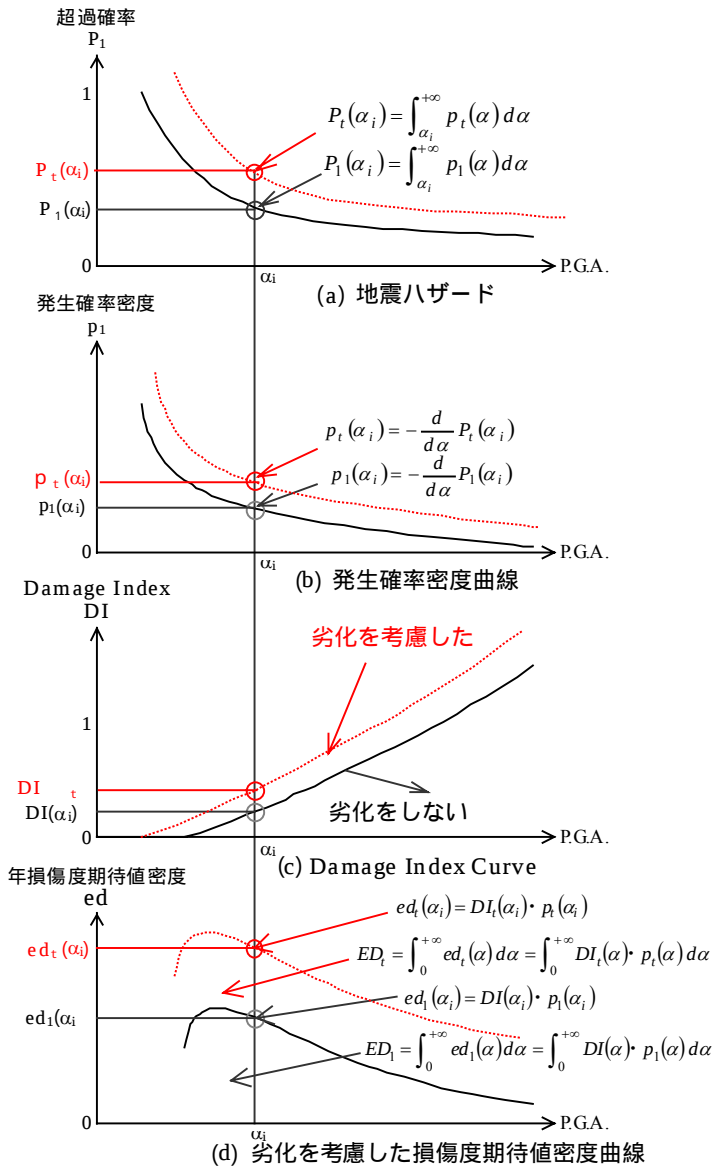


図 2 RC 橋脚の損傷度期待値算定手順

t 年の損傷度期待値密度 ed_t は，式(7)のように発生確率密度 $p_t(\alpha)$ と損傷度指標 $DI(\alpha)$ の積で表される．供用期間あたりの損傷度を意味する供用期間損傷度期待値 ED_t は，期待値密度 ed_t を用い，加速度 α の全領域にて積分し，式(8)より求める．

$$ed_t = p_t(\alpha) DI(\alpha) \quad (7)$$

$$ED_t = \int_0^{+\infty} ed_t(\alpha) d\alpha = \int_0^{+\infty} p_t(\alpha) DI(\alpha) d\alpha \quad (8)$$

6. 数値シミュレーション

解析条件のパラメーターは下表のように設定し，数値シミュレーションの結果は下図に示す．

レベル 2 地震動	タイプ	
橋脚の形式	橋脚 A	橋脚 B
腐食環境	汀線付近	250m 1000m

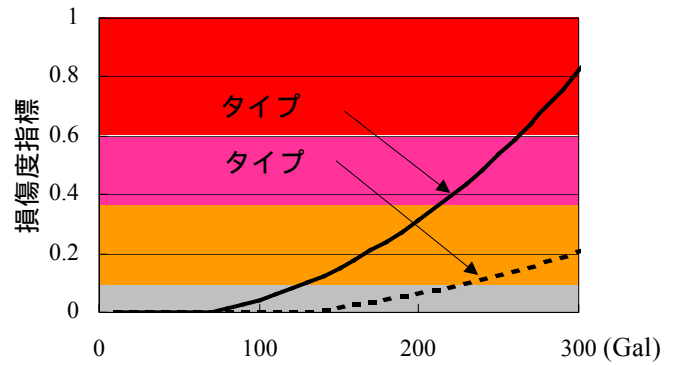


図 3 地震動より影響
(橋脚 A, 海岸から距離 250m)

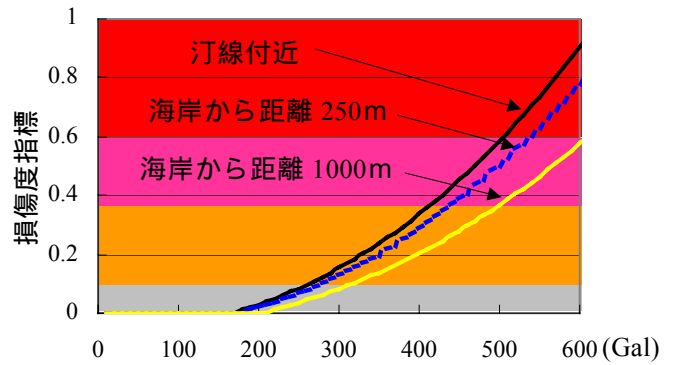


図 4 腐食環境より影響
(橋脚 B, タイプ)

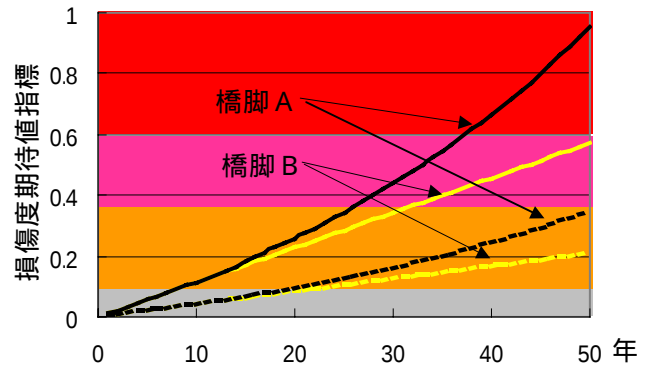


図 5 橋脚 A, B 損傷度期待値の比較
(タイプ , 海岸から距離 250m)

参考文献:

- 1) Dan M. Frangopol, Kai-Yung Lin and Allen C. Estes: Reliability of Reinforced Concrete Girders Under Corrosion Attack, Journal of Structural Engineering, ASCE Vol.120, No.3, pp. 286-297, 1993.