

塩害による構造性能低下を考慮した鉄筋コンクリート構造物の 耐震信頼性評価に関する基礎的研究

東北大学大学院 学生会員 ○大木文宏
東北大学大学院 正会員 秋山充良
東北大学大学院 フェロー 鈴木基行

1. はじめに

信頼性理論に基づく新しい橋梁マネジメントシステム(BMS)の導入が検討されつつある。基本的な考えは、予防保全や必須保全により、供用期間を通じて構造信頼性を許容安全性レベル以上に保つことにある。材料劣化による構造性能の低下予測モデルの構築や環境作用のモデル化に伴う困難さを補うため、信頼性理論が援用されている。この手法を発展させることにより、従来の耐久性や耐荷力の照査など、環境作用や荷重種別ごとに行われてきた性能照査が一元化されることになり、照査式は、供用期間内の信頼性指標の経時変化と目標信頼性指標の比較に統一される。

本研究は、このような材料劣化によるコンクリート構造物の構造性能低下を考慮した信頼性評価に関する基礎的研究である。対象とする作用は、地震動と環境作用(海洋からの飛来塩分)であり、鉄筋腐食による耐荷力や変形性能の低下による耐震安全性の変化を定量化する。入手可能な統計量が限定されており、現状では数多くの仮定が必要ではあるが、本研究では、RC橋脚を対象に供用開始後の経過年数の違いが地震時損傷確率に与える影響を試算した。

2. 塩害による劣化を考慮したRC橋脚の損傷確率

(1) 解析条件

解析対象とする単柱式 RC 橋脚は、現行の道路橋示方書 耐震設計編¹⁾の規準を満足している。断面形状は5000×2200mmであり、橋脚高さは10000mmである。かぶり厚は120mmとした。また、コンクリート圧縮強度は28.2N/mm²、鉄筋降伏点強度は354N/mm²とした。今回の解析では、RC橋脚は仙台市に位置し、飛来塩分量 $C_{air} = 30.0\text{mdd}$ という厳しい塩害環境下に設置されていると仮定した。

(2) 地震ハザード曲線

本研究では、地震ハザード評価コード SHEAT²⁾を用いて得られた仙台市の地震ハザード曲線を用いる。仙台市の地震ハザード曲線 $F_s(a)$ を図-1に示す。

本研究では、この地震の作用に対する RC 橋脚の損傷確率を算定することになる。

(3) フラジリティカーブ

フラジリティカーブを作成するためには、まず、損傷を定義するための限界状態を設定する必要がある。本研究では、塩害によって劣化が生じた RC 橋脚の終局限界状態に対する照査として、せん断耐力、終局変位、および残留変位の3つの限界値と応答値の比較を行うことにした。塩害による劣化を考慮した RC 橋脚の構造性能評価に関しては、既往の研究を参考にして、その評価フローを構築した。以下に、その概要を示す。

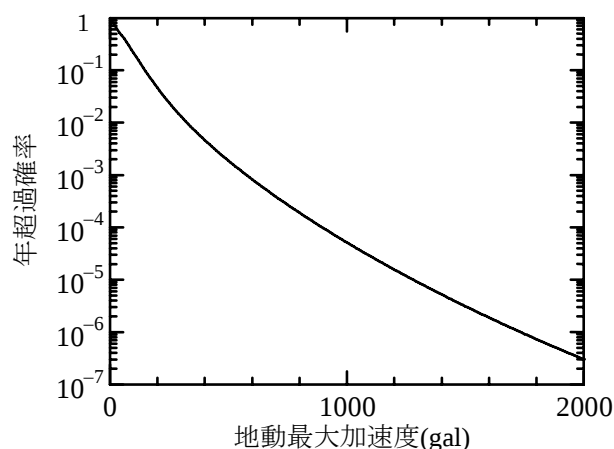


図-1 仙台の地震ハザード曲線

Key Words : 塩害による腐食劣化, 信頼性評価, 地震ハザード曲線, フラジリティカーブ, 地震時損傷確率
連絡先: 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL: 022(795)7449 FAX: 022(795)7448

- i) 作用する飛来塩分量を評価する.
- ii) 飛来塩分量をコンクリート表面の塩化物イオン濃度に変換し, Fick の第 2 法則から, 鉄筋表面の塩化物イオン濃度を算定する.
- iii) 鉄筋表面の塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生の限界塩化物イオン濃度を超えるまでの時間や腐食ひび割れ発生までの時間, および腐食速度を算定する.
- iv) 鉄筋の腐食速度を時間積分することにより, 単位表面積あたりの鉄筋の腐食量 W_s を算定する.
- v) こうして得られた単位表面積あたりの鉄筋の腐食量 W_s を腐食による鉄筋の劣化モデル³⁾(式(1))などに代入することにより, 塩害による構造性能の低下を評価する.

$$\frac{f_y(t)}{f_{y0}} = 1.00 - 2.17 \frac{W_{s0} - W_s}{W_{s0}} \quad (1)$$

$f_y(t)/f_{y0}$ は降伏点残存率, $(W_{s0}-W_s)/W_{s0}$ は重量減少率, f_{y0} , W_{s0} はそれぞれ劣化前の鉄筋降伏強度および単位表面積あたりの重量である. なお, この式は既往の実験データの回帰に基づき得られた実験式である.

- vi) 式(1)の $f_y(t)$ を用いて供用開始後の任意の時間におけるせん断耐力や終局変位を算定する.

フラジリティカーブは, 任意の地動最大加速度 a の作用に対し, 想定した終局限界状態を超過する応答が生じる条件付の損傷確率 $F_R(a)$ を表現したものである. 解析対象 RC 橋脚から得られたフラジリティカーブの一例を図-2 に示す.

(4) 損傷確率の試算例

得られたハザード曲線 $F_S(a)$ とフラジリティカーブ $F_R(a)$ から, 塩害による劣化を考慮した RC 橋脚の損傷確率 p_f は式(2)より算定される.

$$p_f = \int_0^{\infty} -\frac{dF_S(a)}{da} \cdot F_R(a) da \quad (2)$$

こうして得られた各損傷確率を表-1 に示す. このように, 供用開始後の年数が大きくなるのに伴い, RC 橋脚の耐震性能が低下し, 地震時損傷確率が増加することが分かる.

従来の耐震安全性照査は, 材料劣化による構造性能低下を考慮しておらず, 供用開始後の年数に関わらず常に同じ破壊可能性を有していると評価される. しかし, 近年, 日本海側などの厳しい塩害環境では, 塩害による橋梁架け替え事例が報告されており, 本研究のような構造信頼性の経時変化を評価できる手法の開発が急務である. このような構造信頼性は, ライフサイクルコスト評価への応用も可能であり, 耐久性能に優れる高性能材料の使用の是非の判断や, BMS の中で補修・補強計画の立案時に使用されることになる. 現在, 材料劣化による RC 部材の構造性能低下に関する実験的研究も盛んに行われている. これらの成果を取り込み, 信頼性評価モデルの精度を高めていきたい.

3. まとめ

塩害による劣化を受ける RC 橋脚を対象に, 耐震信頼性の経時変化を試算した. 本研究で提示した塩害環境下にある RC 構造物の信頼性評価法は, 種々の仮定のもとに得られたものであり, さらなる改善が必要である. 今後, 塩害環境下にある RC 構造物の性能照査を信頼性理論に基づく限界状態設計法の枠組みの中で実現するための諸課題を解決していきたい.

参考文献

- 1) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 2002. 2) 山田博幸, 堤英明, 蛭沢勝三, 鈴木雅秀: 地震ハザード評価コード SHEAT(PC 版)の使用手引, JAERI-Data/Code2002-001, 2002. 3) 日本コンクリート工学協会: コンクリート構造物の長期性能照査支援モデルに関するシンポジウム 委員会報告書, 2004.

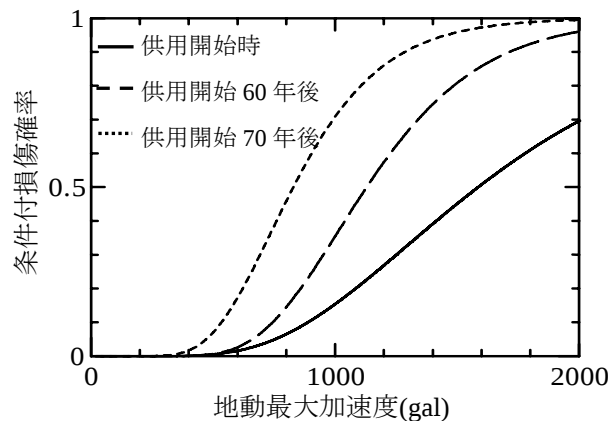


図-2 フラジリティカーブ

表-1 塩害による劣化を考慮した RC 橋脚の損傷確率

供用開始時	供用開始 60 年後	供用開始 70 年後
2.33×10^{-5}	5.32×10^{-5}	4.07×10^{-4}