

腐食ひび割れの観察結果を活用した既存鉄筋コンクリート桁の 耐久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	○中嶋啓太	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	東京都市大学	正会員	吉田郁政
東電設計(株)	正会員	鈴木修一	東海旅客鉄道(株)	正会員	猪股右樹
			東日本高速道路(株)	正会員	山口恭平

1. はじめに

海洋環境にあるコンクリート構造物の余寿命評価において、たとえば、建設位置やコンクリートの水セメント比などの設計時に得られる情報のみから、50年後や100年後の塩化物イオンの浸透を予測することは極めて大きな不確定性を伴う。一方、既存構造物に関しては、供用期間中に現場位置で点検・検査を行うことで、劣化予測に係るパラメータの見直しを図ることができる。例えば、供用開始30年で、ある一定の腐食ひび割れ発生確率に達すると予想された構造物が、その時点での点検で腐食ひび割れが発見されなければ、予測に係るパラメータの確率分布が更新され、より確かな情報に基づいた、構造物の残存供用期間内の劣化予測(損傷確率の経時変化の算定)が可能となる。そこで本研究では、海洋環境下にある既存鉄筋コンクリート(RC)桁を対象に、腐食ひび割れの観察結果を反映した耐久信頼性評価を行う。

2. 更新理論

既存構造物の耐久信頼性評価では、目視などの点検・検査情報を活用したパラメータの合理的な更新方法、およびそれに基づく信頼性評価手法が課題となる。そこで本研究では、これらの問題を解決する手法として、モンテカルロ法をベースとした逐次モンテカルロ法(SMCS)を用いる。

SMCSは、i)初期の確率分布よりサンプルを発生させる、ii)時間の経過に従い劣化予測を行う、iii)観測情報により求めた各サンプルの尤度に従い確率分布を更新する、iv)リサンプリングを行う、v)観測情報を得るたびにii)~iv)を繰り返し行う、の流れで行われる。SMCSの詳細は、参考文献1)に掲載されている。

3. 材料劣化を考慮したRC構造物の信頼性評価手法

(1) 概説

本章では、海洋環境下にあるRC構造物に対する信頼性評価手法を示す。なお、観測情報が与えられた場合には、SMCSを適用して劣化予測に介在する不確定性を見直し、より確かな情報に基づく劣化予測を行う。

(2) 構造性能劣化曲線

鋼材腐食の進展については、参考文献1)と同様にモデル化する。これにより、鋼材質量減少率の経時変化を算定し、参考文献2)に従い、曲げ耐力の経時変化を表す構造性能劣化曲線を算定する。

(3) 限界状態超過確率算定式

飛来塩分と活荷重が同時に作用するRC構造物の供用開始後 t_L 年における限界状態超過確率 pf は式(1)により求める²⁾。なお、本研究における pf は、曲げ耐力を上回る作用曲げモーメントが生起する確率である。

$$pf = 1 - \prod_{i=1}^{t_i=t_L} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \exp\left[-\lambda_{S_1} \left[\Delta t_i - \int_{t_{i-1}}^{t_i} F_{S_1} \{r \cdot a_i \cdot g(t) - s_2\} dt \right]\right] \cdot f_{S_2}(s_2) f_{R_0}(r) f_{A_i}(a_i) ds_2 dr da_i \quad (1)$$

ここに、 R_0 は構造物の初期耐力、 S_1 は時間依存性のある作用(例えば、活荷重による作用)、 S_2 は時間依存性のない作用(例えば、死荷重による作用)で、 f_{R_0} 、 F_{S_1} 、 f_{S_2} はそれぞれの確率密度関数および累積分布関数である。 $g(t)$ は構造性能劣化曲線で、 A_i はその不確定性を考慮する係数、 f_{A_i} はその確率密度関数、 λ_{S_1} は単位時間内で S_1 が生起する平均回数、 $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$ である。また、 pf は式(2)により信頼性指標 β に変換する。

$$\beta = -\Phi^{-1}(pf) \quad (2)$$

Key Words : 塩害劣化, 劣化予測, 逐次モンテカルロ法, 信頼性評価

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

ここに、 $\Phi(\cdot)$ は標準正規分布の累積分布関数である。

4. 観測情報のモデル化

本研究では、観測情報として目視点検による腐食ひび割れ幅の観察結果を活用する。港湾技研資料³⁾を参考に鋼材質量減少率 ΔW に従って劣化ランクを1:2.3%以下, 2:2.3~5%, 3:5~20%, 4:20%以上の4つに分類した。そして、RC部材に関する実験^(例えば、4)に基づき、腐食ひび割れ幅 w と鋼材質量減少率 ΔW の関係を整理し、回帰式(3)を得た。また、式(3)と実験値の関係を図-1に示す。

$$\log w = 0.71 \log(\Delta W) - 1.25 \quad (3)$$

式(3)まわりのばらつきを評価し、各鋼材質量減少率に対応する腐食ひび割れ幅の4つのランク(I:0.1mm以下, II:0.1~0.2mm, III:0.2~0.5mm, IV:0.5mm以上)の可能性を算出した。結果を表-1に示す。

5. 観測情報を活用した既存RC桁の耐久信頼性評価

(1) 概説

本章では、海洋環境下にある既存RC桁に対して、SMCSを用いて観測情報を活用した耐久信頼性評価を行う。観測情報は、目視による腐食ひび割れ幅の観察結果とし、それを鋼材質量減少率に変換することにより、塩分の拡散や鉄筋腐食などに係る不確定性を見直し、より確かな情報に基づいた耐久信頼性評価を行う。

(2) 解析条件

解析対象構造物は、参考文献5)を参考にRC桁とし、スパン:9000mm, 幅:9000mm, 高さ:355mm, かぶり:75mm, 鉄筋径:19.1mm, 鉄筋強度:414MPa, コンクリート強度:27.6MPa, 水セメント比:0.45とした。また、新潟県新潟市の海岸線から0.1kmの地点を想定し、式(1)における R_0, S_1, S_2 の平均値と変動係数、および λ_{S_1} は参考文献5)に従った。

(3) 腐食ひび割れの観察結果を活用した耐久信頼性評価

供用開始後30年目で目視による腐食ひび割れ幅の観察を行ったとする。ここでは、点検・検査なしの場合と、腐食ひび割れ幅ランクI, II, IIIが得られた場合の4ケースを想定し、観測情報を活用した対象RC桁の耐久信頼性評価を行った。信頼性指標 β の経時変化を図-2に示す。腐食ひび割れ幅の観察結果が有効に活用され、残存供用期間内の劣化予測が更新されている。

6. まとめ

本研究では、海洋環境下にある既存RC桁に対して、SMCSを適用し、腐食ひび割れの観察結果を活用した耐久信頼性評価を行なった。これにより、劣化予測に介在する不確定性の見直しが図られ、より実情に即したコンクリート構造物の性能評価が可能となることを示した。

参考文献

1)土木学会:コンクリート構造物の信頼性設計法に関する研究小委員会(336委員会)成果報告書,コンクリート技術シリーズNo.83,2008. 2)中嶋啓太,秋山充良,鈴木基行,大木文宏:塩害環境下にあるコンクリート桁橋の構造性能劣化曲線と構造信頼性評価への応用,土木学会第63回年次学術講演会講演概要集,5-204,pp.407-pp.408,2008. 3)古玉悟,田邊俊郎,横田弘,濱田秀則,岩波光保,日比智也:棧橋の維持補修マネジメントシステムの開発,港湾空港技術研究所資料, No.1001, 2001. 4)村上祐貴,山内佑樹,堤知明,大下英吉:鉄筋腐食したRC梁部材の残存曲げ耐力に及ぼすせん断補強筋の影響,コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.2, pp.727-732, 2006. 5)Mori, Y.: Reliability-based condition assessment and life prediction of concrete structures, PhD thesis, Johns Hopkins University, Baltimore, Md, 1992.

表-1 観測情報のモデル化

		腐食ひび割れ幅ランク			
		I	II	III	IV
鋼材質量減少率ランク	1	0.811	0.159	0.031	0.000
	2	0.268	0.410	0.313	0.009
	3	0.019	0.120	0.600	0.261
	4	0.000	0.004	0.219	0.776

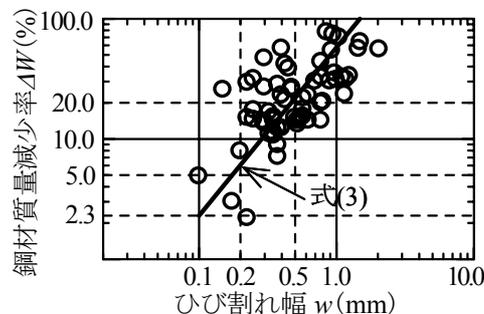


図-1 腐食ひび割れ幅 - 鋼材質量減少率関係

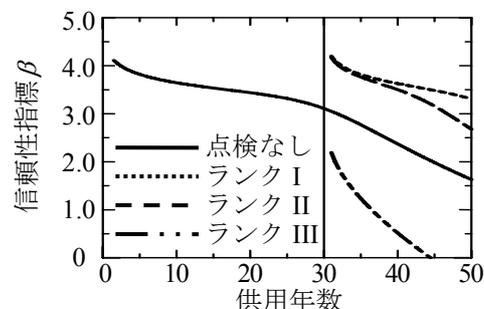


図-2 信頼性指標の経時変化