

ヘルスマonitoringから得られる情報を活用したコンクリート構造物の ライフタイムにわたる構造信頼性評価法に関する基礎的研究

(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 ○中嶋啓太 東北大学大学院 学生会員 小森谷隆
 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

1. はじめに

海洋環境下にあるコンクリート構造物は、飛来塩分の作用により、鋼材腐食やそれに伴う構造性能低下が生じるため、その影響を予測し、適切な維持管理計画を策定する必要がある。既存構造物を対象とする場合には、その構造物の点検結果により、劣化予測に係るパラメータの更新が可能である。参考文献 1)では、腐食ひび割れ幅や塩化物イオン濃度が点検により得られることを想定し、その結果を利用した劣化予測パラメータの確率分布の更新手法と、点検後のコンクリート構造物の損傷確率の算定法を提示している。さらに近年では、ある時間間隔で実施される目視や非破壊試験などの点検(定期点検)ではなく、ある期間内に連続して構造物の状態を監視するヘルスマonitoringの維持管理への応用が検討されている²⁾。

そこで本研究では、参考文献 1)を参考に、ヘルスマonitoringから得られる情報を用いたコンクリート構造物のライフタイムにわたる構造信頼性評価法の枠組みを構築する。

2. 海洋環境下にあるコンクリート構造物の構造信頼性評価法

海洋環境下にあるコンクリート構造物の構造信頼性評価の流れを図-1に示す。図-1は参考文献 3)と同様、a) 海洋環境下にあるコンクリート構造物の曲げ耐力などの構造性能の低下を評価する Step1~Step6, b) 活荷重シミュレーションに基づいて、コンクリート桁に作用する荷重を評価する Step7~Step9, c) 任意の供用年数までに構造性能を上回る荷重作用が生じる確率(損傷確率)を算定する Step10・11, で構成される。

本研究では、既存構造物を対象とし、ヘルスマonitoringから得られる情報を用いて劣化予測に係るパラメータ(確率変数)を参考文献 1)に基づき更新し、構造物の損傷確率の算定に反映する。ここで、図-1の情報1~4では、それぞれ、情報1:埋め込み型の塩化物イオンセンサによる塩化物イオン濃度の測定、情報2:電気化学的特性値を利用したセンサによる鋼材腐食発生の判定、情報3:ひずみセンサからたわみを測定し、鋼材質量減少率を推定、情報4:ひずみセンサと監視カメラから車両の重量を算定し、作用曲げモーメントを推

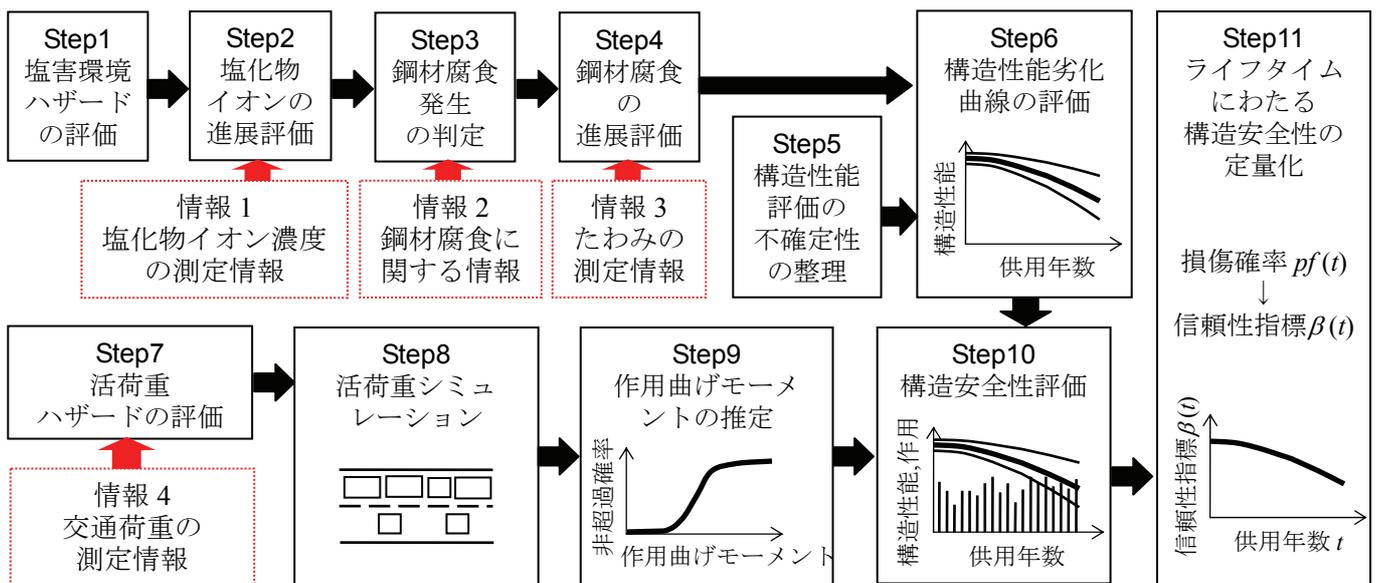


図-1 本研究の構造安全性評価フロー

Key Words : 塩害, ライフサイクルアセスメント, モニタリング, 構造信頼性

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

定,することを想定している. なお, 図-1 に関する確率変数は, 塩化物イオンの拡散予測のモデル化誤差, 腐食ひび割れ発生予測のモデル化誤差, 鋼材腐食速度, かぶりの施工誤差, などである. これらの確率分布やその統計量などは, 参考文献3)と同じにしている.

3. ケーススタディ

3.1 解析対象構造物と限界状態

桁高 1780mm の標準的なプレテンション PC-T 桁を解析対象構造物としたケーススタディを示す. 図-1 に従い鋼材腐食の進展を評価する際に想定した塩害環境は, 山形県酒田市・海岸線からの距離は 0.1km とした. 着目する限界状態は, 活荷重により生じる作用曲げモーメントで PC 鋼材が降伏する点とした. つまり, 信頼性評価から得られる損傷確率は, ライフタイム内で一度でも PC 鋼材が降伏する活荷重が作用する確率を指している. なお, 以降で信頼性評価結果を示す際には, 損傷確率 $pf(t)$ を式(1)により変換した信頼性指標を用いる.

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

ここに, $\Phi(\cdot)$ は標準正規分布の累積分布関数である.

3.2 観測情報の与え方

ヘルスマonitoringを行う際には, 気温や種々の外的な影響により, 観測値は常に変動することを考慮しなければならない²⁾. 本研究では, 観測値について実際の観測データを使用しないことから, 図-2 に示すように, 観測値のこのような変動をホワイトノイズによって表現した. なお具体的な値は, 図-1 に関する確率変数から予測される平均的な観測値を増減させて作成した.

ヘルスマonitoringは, ライフタイムにわたり, ある観測値を常時モニターする場合と, 一定の間隔(1年, 5年, 10年, あるいは15年)である時間長さ(1ヶ月)にわたりモニターする場合を想定した.

3.3 解析結果の一例

情報3のヘルスマonitoringを行った場合の信頼性指標の経時変化を図-3に示す. 信頼性指標の経時変化は与える観測情報に依存するが, 何れの場合も, 設計時に得られる情報のみで計算した信頼性指標(図中の「更新なし」)は, 観測情報により順次更新される値から大きく外れている.

また図-3では, 「ライフタイム」と「1年間隔」でヘルスマonitoringした結果は, 概ね一致した挙動を示している. これから, ライフタイムにわたり常時ヘルスマonitoringを行わなくても, 1年間隔でヘルスマonitoringを実施すれば, 同等の解が得られると判断できる.

4. まとめ

ヘルスマonitoringから得られる情報を用いたコンクリート構造物のライフタイムにわたる構造信頼性評価法の枠組みを構築し, 海洋環境下にある既存コンクリート構造物を対象に, 効率的なヘルスマonitoringの実施間隔などをケーススタディを通し検討した. 基礎研究の段階にあり, 観測情報などの見直しが必要であるが, この種の検討を進めることで, コンクリート構造物に適したヘルスマonitoringや, その実施方法(時間間隔や測定時間長さ)などが明らかになる.

参考文献

- 1) 吉田郁政, 秋山充良, 鈴木修一, 山上雅人 :Sequential Monte Carlo Simulation を用いた維持管理のための信頼性評価手法, 土木学会論文集 A, Vol. 65, No. 3, pp. 758-775, 2009.
- 2) Frangopol, D.M.: Life-cycle performance, management, and optimization of structural systems under uncertainty: Accomplishments and challenges, Keynote Paper, *Proceedings of the Tenth International Conference on Structural Safety and Reliability*, ICOSSAR2009, Osaka, Japan, 2009.
- 3) 松崎裕, 秋山充良, 大木文宏, 中嶋啓太, 鈴木基行 :塩害環境下にあるコンクリート桁の設計耐用期間にわたる構造安全性評価手法とそのプレテンション PC 桁への適用, 土木学会論文集 E, 2010. (印刷中).

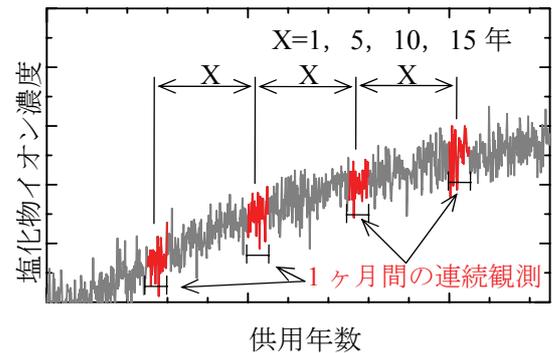


図-2 観測情報の与え方

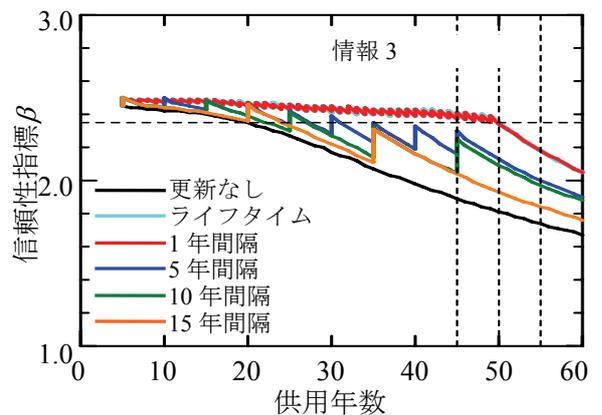


図-3 解析結果の一例