

VI-165

塩分環境下にあるコンクリート構造物のLCC評価手法

清水建設(株) 正会員 前田敏也^{*1}清水建設(株) 正会員 野口恒久^{*1}清水建設(株) 正会員 和賀秀悦^{*2}

1. はじめに

昨今の経済情勢や少子・高齢化時代の到来に対する懸念から、現在整備されている社会資本に対する維持管理の重要性が指摘されて久しい。構造物を健全な状態で供用し続けるためには、劣化の初期の段階で適切な対策を行う予防保全が経済的にも有利である。しかしながら、供用中の構造物がどの時点でどの程度の劣化を生じるかといった劣化予測、さらに供用期間中に起こり得る種々の劣化に対してどの程度の維持管理費を要するかといったライフサイクルコスト(以下、LCCと称する)評価に関する手法が確立されていないのが現状である。

本報は、海洋構造物等の塩分環境下にあるコンクリート構造物を対象とした劣化予測および維持管理に関するLCC評価手法について述べるものである。すなわち、鉄筋のかぶりおよび塩化物イオンの浸透に着目した鉄筋腐食の予測手法、さらに劣化予測結果に基づいて補修数量を設定し、補修工法の耐用年数や物価上昇等を考慮した維持管理に関するLCCを評価する手法について検討を行った。

2. 評価手法

(1)劣化予測

塩分環境下にあるコンクリート構造物中の鉄筋の腐食進行は、かぶりおよび塩化物イオン量に大きく影響される。かぶりは、施工上の理由等によりある程度のばらつきを有するため、その分布を確率密度で表す。一方、同一のかぶりを有する鉄筋でも種々の条件の違いにより腐食の進行が異なるため、鉄筋の腐食の有無を腐食確率で表す。すなわち、かぶりがある値以下の鉄筋の腐食確率は100%であり、このかぶりを腐食発生限界かぶりと定義して塩化物イオンによる鉄筋の腐食ひび割れ発生に関する寿命予測式¹⁾により算出する。一方、ある値以上のかぶりを有する鉄筋の腐食確率は0%であり、このかぶりを腐食非発生限界かぶりと定義してFickの拡散方程式等の塩化物イオンの浸透予測式により塩化物イオン量が発錆限界、例えば 1.2kg/m^3 以下となるかぶり、あるいは過去の事例等から腐食の可能性が極めて小さいかぶりとする。また、腐食確率が0%から100%に移行する領域は累積正規分布と仮定する。腐食発生限界かぶりおよび腐食非発生限界かぶりは、塩化物イオンの浸透予測式により経時的に算定できるため、供用期間中の腐食確率の分布の変化が予測できる。また、鉄筋の腐食評価は、かぶりおよび腐食確率の分布から式(1)に示す腐食発生率を指標として行う。鉄筋の腐食進行は、腐食発生率の変化により予測することができる。ここで、腐食発生率とは、構造物あるいは部位に配置されている全ての鉄筋のうち、腐食している鉄筋の割合を表すものと定義する。ただし、式中のかぶりの上・下限値は、かぶりの確率密度関数において全体の95%が含まれる値とする。図1～2に腐食確率の変化および腐食発生率の変化をそれぞれ示す。なお、本手法の妥当性は、いくつかの実構造物への適用により確認されている²⁾。

$$P_c = \int_{x_l}^{x_u} p_r(x) F_c(x) dx \quad (1)$$

ここに、 P_c ：腐食発生率、 $p_r(x)$ ：かぶりの確率密度関数、 $F_c(x)$ ：腐食確率の分布関数、

x ：かぶり、 x_u ：かぶりの上限値、 x_l ：かぶりの下限値

キーワード：コンクリート構造物、塩害、維持管理、劣化予測、LCC

*1 〒105-8007 東京都港区芝浦 1-2-3 TEL：03-5441-0624 FAX：03-5441-0512

*2 〒105-8007 東京都港区芝浦 1-2-3 TEL：03-5441-0612 FAX：03-5441-0513

(2)LCC 評価

維持管理に関する LCC の評価は、劣化予測結果に基づき、対象とする構造物あるいは部位のコンクリート表面積に腐食発生率を乗じた面積を補修数量として予測する。LCC は予測された補修数量に単位面積当たりの補修費を乗じたコストに、足場等の仮設費および経費等を加えた費用として物価上昇を考慮して算定する。補修工法としては、断面修復、表面被覆、電気防食、脱塩および連続繊維接着工法を対象とする。ここで、補修工法については材料や設備等の耐用年数を設定し、耐用年数を超えた場合には再度塗替えや設備の取替え等の対策を行うことで、既に補修を行った箇所の再劣化はないものと仮定する。

3. LCC の試算

本手法を適用した LCC の試算結果を図-3 に示す。主な算定条件は、コンクリート表面積：2,000 m²、表面塩化物イオン量：7.0kg/m³、かぶり：6.0cm、鉄筋径：32mm、水セメント比：60～65%、物価上昇率：1.5%/年とした。また、表面被覆については 10 年に 1 回上塗りの塗り替えを、電気防食については 20 年に 1 回配管等の設備を取替えることとした。図には、供用期間中の劣化箇所に対してのみの対策を行った場合に加え、建設当初から表面被覆および電気防食による対策を行った場合、任意の時点で解体・更新した場合についても併せて示す。今回の場合には表面被覆工法を建設当初から予防的に行うのが経済的に最も有利であり、LCC の評価結果から、構造物に応じた最適な対策工の選定および長期的に最小コストで効果的な維持管理計画の立案が可能となる。

4. おわりに

本報の主な内容をまとめると以下のようなものである。

- ①かぶりおよび腐食の発生を確率論的に取り扱うことにより定量的な鉄筋の腐食評価および劣化予測ができる。
- ②劣化予測結果から LCC の評価を行うことにより最小コストで最適な対策工の選定および長期的な維持管理計画の立案が可能となる。

【参考文献】

1)例えば、森永、入野、太田、土本：腐食による鉄筋コンクリート構造物の寿命予測、コンクリート工学論文集、第1巻第1号、pp.177-189、1990.1. 2)前田、周藤、田丸、和賀、中山：塩分環境下にあるコンクリート構造物の性能評価、構造物の診断に関するシンポジウム論文集、pp.241-248、1998.7.

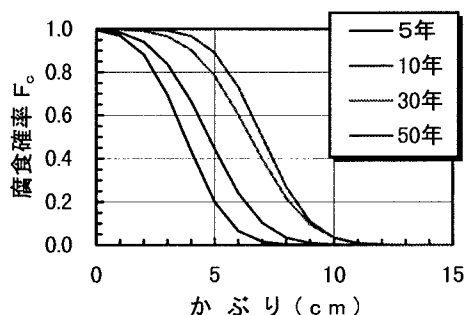


図-1 腐食確率の変化

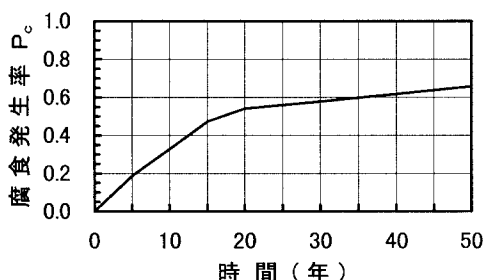


図-2 腐食発生率の変化

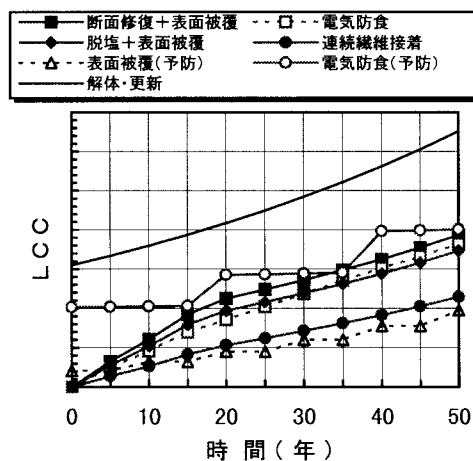


図-3 LCC の試算結果