

# コンクリート橋梁の補修の不確実性がライフサイクルコストに与える影響

破壊診断工学研究室 吉倉淳平

## 1. 研究背景と目的

日本社会の現況を考慮すると、既設構造物をより少ない予算で延命化することがこれからの維持管理の課題となってくる。そのため、構造物の設計計画の段階で建設費だけでなくライフサイクルコスト（Life Cycle Cost, 以下 LCC）により評価する必要がある。しかし、従来の LCC 算定はいずれも確定量として算出されており、各要素のばらつきまで考慮されていない。同時に近年、構造物の補修後の再劣化のばらつきが問題になってきている。既往の研究では再劣化を想定していても、ある一定年数で発生するものとしており、不確定要素を考慮した研究はまだされていない。

本研究ではこれらを LCC 算出に導入することによって、将来のコンクリート道路橋の設計や補修方法決定の際に、従来に比べ有意的な LCC 情報を提供できるようになることを目的とする。

## 2. 解析概要

### 2.1. 一般条件と解析手順

日本海沿岸に建設された鉄筋コンクリート道路橋を対象橋梁とし、参考文献<sup>1)</sup>で実施されたケーススタディーの外的条件を用いた。また、塩害環境が非常に厳しい場合、中程度の場合（劣化速度（大）、（中））の2通りのケーススタディーを行った。

手順は、まず塩害による劣化の進行を確率論（fib model<sup>2)</sup>、ひび割れ発生式<sup>3)</sup>）を用いて予測する。次にひび割れが発生次第、補修（断面修復と電気防食）を実施する。さらに補修後の再劣化の進行を、確率論を用いて予測する。ただし、補修の再劣化の進行の不確実性を考慮したモデルは今まで提案されていないため、補修・再劣化についての過去の調査結果<sup>3)</sup>などを根拠に、モデルを提案する。これらの結果から不確実性を考慮した LCC を求める。また、

本研究ではモンテカルロシミュレーションを用いて、確率論を取り入れる。そのため、従来の確定量としてではなく、分布形状をもった LCC を算出することができる。図-1 にシミュレーションのフロー図を示す。

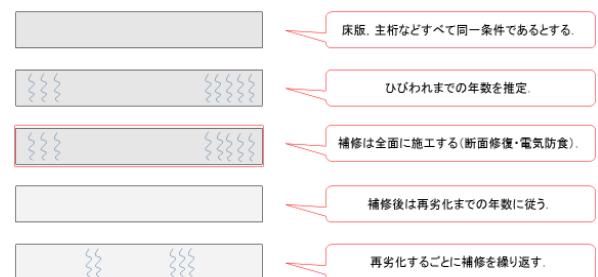


図-1 橋梁の劣化・補修フロー図

### 2.2 再劣化までの年数の検討

#### 2.2.1. 断面修復工法

文献調査（図-2）<sup>3)</sup>により再劣化までの年数をまとめた。海岸から距離 0m 地点での再劣化までの年数を劣化速度（大）での年数、それ以上の距離のものを劣化速度（中）の年数として整理した。

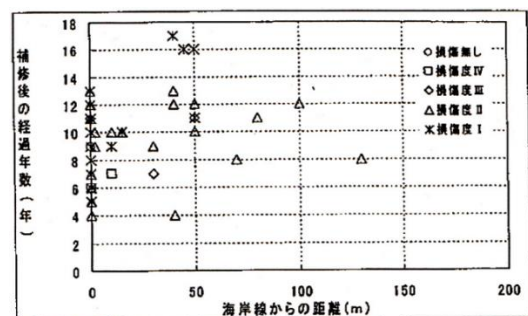


図-2 再劣化までの年数の整理に使用した資料

#### 2.2.2. 電気防食工法

陽極システムの寿命については、コンクリート内部の物性値や鉄筋の量・配置のばらつきにより、必ずしも一様に陽極システムが消耗するとは限らないため、陽極システムの経時的な性能変化の評価方法の考え方を取り入れ、電気防食の再劣化までの年数のばらつきを設定した。

### 3. 結果および考察

本研究では、①補修工法の違いによる比較だけではなく、②劣化速度の違い、③従来と本研究の算定方法、④水セメント比の違いを比較し、さらに⑤再劣化までの年数が LCC に与える影響について検討した。その結果を以下に示す。また、②～⑤の場合の図は省略している。

① 図-3 に補修工法ごとの LCC 分布を示す。

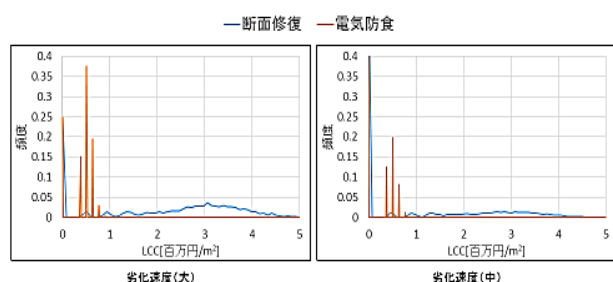


図-3 補修工法の違いによる LCC 分布

LCC の平均値、標準偏差ともに電気防食工法が小さくなるという結果となった。LCC の平均値は、どの条件でも断面修復工法は電気防食工法の5倍以上となった。

② LCC の平均値は、劣化速度（大）が劣化速度（中）の1.5倍以上となった。LCC の標準偏差については平均値ほど劣化速度による違いは現れなかった。

③ 供用期間内のどの時点においても、断面修復工法が電気防食工法を上回る結果となった。これは本研究で整理した断面修復工法の再劣化までの年数が、従来の LCC 研究に比べ短いためである。

④ 水セメント比が大きくなることで、LCC の平均値は大きくなった。しかし、本研究で整理した再劣化までの年数は水セメント比の影響は考慮されていないため、水セメント比の違いが再劣化に与える影響を今後調査していく必要がある。

⑤ 再劣化までの年数の平均値、変動係数の違いによっては、各工法の優劣が入れ替わる可能性があることがわかった。

すべてに共通した結果について以下で考察する。

LCC がゼロとなる確率が比較的多い割合を占める。このことから、初回補修までの期間が比較的長

い場合は、供用期間内にひびわれが発生しない可能性が高いため、定期点検の際には1度補修を行った橋梁をより細かく調査することで効率的な維持管理ができると考える。

劣化速度が小さい方が補修工法ごとの LCC 差が比較的小さくなる。これは、塩害環境が穏やかになることで、ひびわれ発生までの期間や再劣化までの年数が長くなり、補修回数が少なくなるためであり、対象橋梁の外的要因を考慮して適切な補修工法を選択することが重要であることがわかる。

本研究では、断面修復工法を2回以上行うと電気防食工法を施す場合より LCC が大きくなった。そのため再劣化を抑えることのできる工法、材料の開発により今後 LCC を大きく低減することは十分に可能であると考えられる。

### 4. まとめ

さまざまな違いにおいて LCC 分布を比較したが、本研究では電気防食工法が最頻値、ばらつきの両面で有利となる結果となった。

また、本研究がより有意的になるための今後の課題として、他の補修・補強工法やさまざまな塩害条件での LCC 検討、今回用いた条件の更なる検討、再劣化までの年数の正確な把握、確率論の導入方法の再考などが挙げられる。

いずれにしても、正確な予測をするためには不確実な点が多いため、さらに細かな検討が重要となる。

### 5. 参考文献

- 1) 土木学会：材料劣化が生じるコンクリート構造物の維持管理優先度研究小委員会（342 委員会（第2期））委員会報告書、2015 年
- 2) 土木学会：構造物表層のコンクリート品質と耐久性能検証システム研究小委員会（JSCE335 委員会）第二期成果報告書およびシンポジウム講演概要集、コンクリート技術シリーズ 97、2012
- 3) 国土交通省、内閣府：コンクリート橋のライフサイクルコストに関する調査結果 - コンクリート橋の損傷状況と維持管理費の実態 -、土木研究所資料第 3881 号、2001