

補修履歴に基づく橋梁部材の劣化曲線の推定とその適用—その2

芙蓉コンサルタント 法人会員○野上 武志 正会員 須賀 幸一
法人会員 徳永 清昭 愛媛大学名誉教授 正会員 大賀 水田生

1. はじめに

多くの橋梁を管理する地方自治体では、橋梁の点検、診断データに基づく橋梁長寿命化修繕計画を策定し、橋梁の継続的で効率的な維持管理を目指している。このような予防保全型の維持管理においては、点検・調査データや評価の精度向上とその実測データに基づく劣化機構の解明や劣化予測、LCC 解析など診断技術の信頼性向上が重要である。しかしながら、診断の結果、補修等の対策が必要となった場合、補修効果が定量的に評価できないことや、補修効果の持続性や補修後の性能低下の評価手法が確立されていないなど、適切な補修工法を選定する上での課題が多い。本論文では、補修履歴を有する構造物（床版）の劣化過程の事例研究から、将来の劣化予測とライフサイクルコスト（LCC）を最適化する上での問題点を明らかにするものである。

2. メンテナンスの流れ¹⁾

維持管理の流れを図-1 に示す。橋梁等の施設を合理的に管理するには、管理水準を設定し、供用期間、要求性能に基づき、環境作用・使用状況による劣化の進行を予測し、LCC を最適化するメンテナンスのシナリオを設定することが基本となる。

3. LCC 解析のための劣化予測

「補修履歴に基づく橋梁部材の劣化曲線の推定とその適用—その 1」において、補修履歴に基づく橋梁部材（床版）の劣化曲線の推定を行った。この事例では、床版の劣化は塩害が主たる要因と推定されており、竣工後、床版の全面打替えまでの年数が約 40 年である。その後、表面被覆や断面補修による補修がなされて、現在に至っている。劣化過程（曲線）を直線と仮定すると、補修等がなされていない床版における劣化時間（健全度が 1 段階低下する時間：年数）は、約 13 年である、これに対して補修等を含めた劣化時間は、約 17 年と推定された。点検データによる補修効果の検証などはこれからであり、定量的な劣化時間について議論するのは精度的にも不十分であるが、この対象橋梁では定性的には補修による劣化速度の遅延効果が認められたと考えてよい。

ところで、塩害を受けた鉄筋コンクリートは鉄筋腐食が始まると、その進行を抑制することはできても、鉄筋腐食のない元の状態に戻すことはできない。従って、コンクリート内部の塩化物イオン濃度を発錆限界値以下に抑制する表面被覆等の対策を早期に行えば、鉄筋腐食を生じさせず合理的な予防保全型の維持管理を行うことができる。

一般にマクロの視点で検討される橋梁長寿命化計画などの LCC 解析の劣化予測モデルは、管理水準（維持管理限界）に達した段階で適切な補修がなされ、供用時の性能に回復するモデルを用いて、算定期間に応じて LCC を最適化（最小化）することが基本である。この劣化予測モデルを「性能回復型モデル」と呼ぶことにする。

これに対して、鉄筋腐食が進行した床版のように補修等を施しても供用時の性能に回復することが困難な変状・損傷も多くあり、補修履歴を考慮した劣化予測モデルを「性能低下型モデル」を呼ぶことにする。この 2 つの劣化曲線のイメージを図-2 に示す。

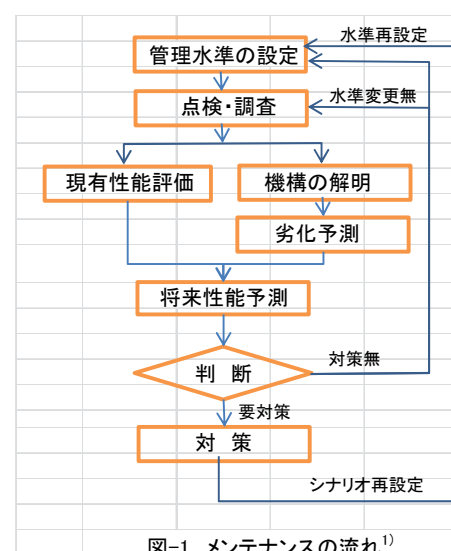


図-1 メンテナンスの流れ¹⁾

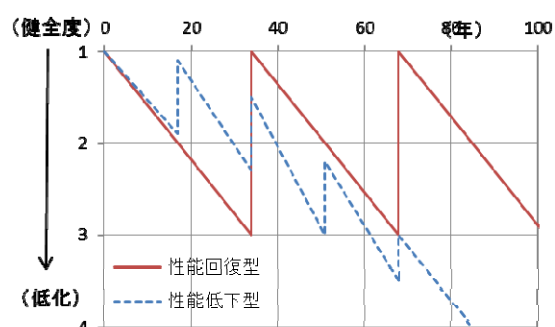


図-2 構造部材(床版)の劣化曲線(イメージ)

4. 補修履歴を考慮した劣化曲線を用いた LCC 解析

構造部材（床版）の LCC 解析のシナリオは表-1 の A、B、C とした。劣化予測モデルは「性能回復型モデル」と「性能低下型モデル」の 2 タイプを検討し、更新費の有無により LCC-A1～C (7 ケース) の LCC を算出する(図-3、図-4 参照)。

表-1 シナリオの設定とLCC算出

シナリオ	維持管理のタイプ	管理基準	維持管理の方法	補修工法例	劣化予測モデル	更新費の有無	LCC算出ケース
A	予防保全型	健全度Ⅱ	管理水準を健全Ⅱに設定し、持続的に補修を繰り返す。劣化の進行により更新する。	表面被覆工など	性能回復型 (劣化速度17年)	更新費を考慮	LCC-A1
					性能低下型 (n)	更新費を無視	LCC-A2
					性能低下型 (n)	更新費を考慮	LCC-A3
B	予防保全型	健全度Ⅲ	管理水準を健全Ⅱ～Ⅲに設定し、部分補修を繰り返す。劣化の進行により更新する。	表面被覆工と断面補修など	性能回復型 (劣化速度17年)	更新費を考慮	LCC-B1
					性能低下型 (n)	更新費を無視	LCC-B2
					性能低下型 (n)	更新費を考慮	LCC-B3
C	事後保全型	健全度Ⅳ	従来の維持管理の手法で、特に補修は行わず劣化の進行 (健全度Ⅳ) により更新する	床版の打ち替え	性能回復型 (劣化速度13年)	耐用年数40年として、更新費を算出	LCC-C

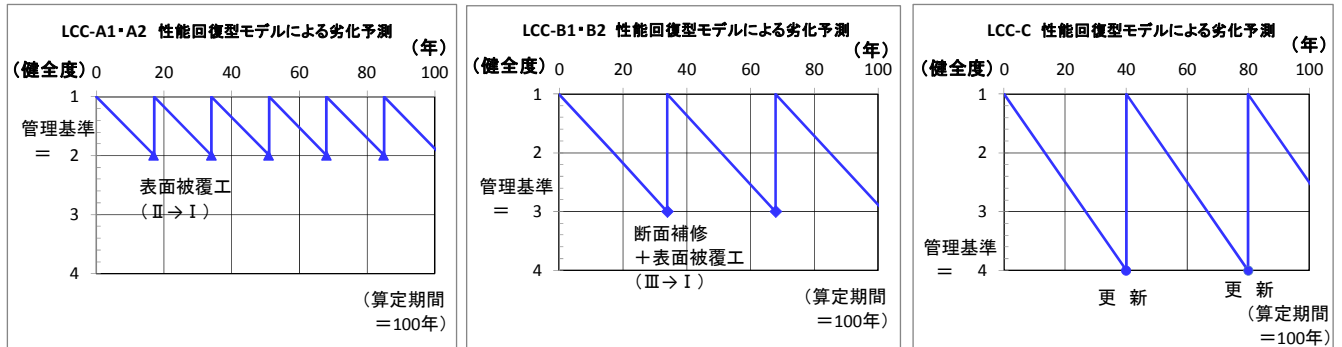


図-3 性能回復型モデルによるLCC算定

「性能低下型モデル」では、補修による性能回復は1段階、2回までとし、その後は健全度が低下するものと仮定した。いずれのモデルにおいても健全度Ⅳの段階に達した時点で更新する。

5. 床版の LCC 解析の結果

補修履歴を考慮した床版の LCC 解

析の結果を図-5 に示す。横軸は管理水準（健全度）、縦軸は LCC（概算工費（千円/m²）であり、「性能回復型（更新費有、更新費無）」と「性能低下型」の結果を示す。劣化モデルの違い（性能低下の影響）は、性能低下型（LCC-A3,B3）が性能回復型（LCC-A1,B1）の 10%増と算出された。また、算定期間時に更新費を考慮しない LCC-A2,B2 は、当然ながら非常に安価（10%～20%）である。管理基準（シナリオ）の違いによる LCC は、事後保全型-C（LCC-C）が最も高く、次いで予防保全型-B（LCC-B1,B3）、予防保全型-A

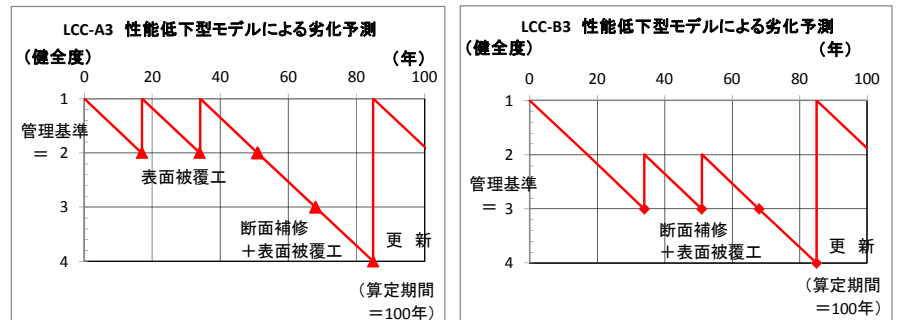


図-4 性能低下型モデルによるLCC算定

概算工事費(千円/m²)

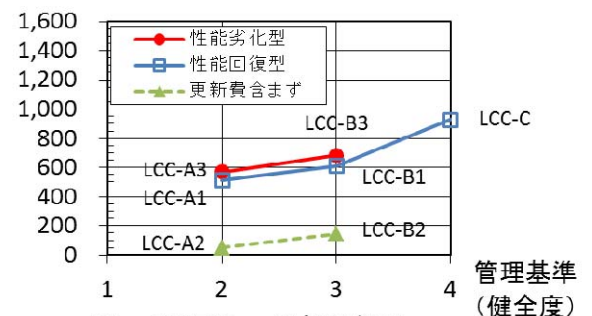


図-5 床版のLCC解析の結果

(LCC-A1,A3) の順で安価となる。健全度が高い段階で予防保全を実施することが LCC を抑えることになる。

6. 考察

今回の事例では、「性能回復型モデル」において算定期間時に更新費を考慮している場合は、「性能低下型モデル」より 1 割ほど LCC を安く算出するが、更新費ほどの差はない。マクロ的な LCC では、補修等による性能低下の影響を無視する代わりに、適切な算定期間を設定し更新費を考慮することで、対応していると考えられる。なお、更新費を考慮しない場合には、LCC を非常に安く算出できるが、現状では補修効果が定量的に評価できないこと、補修効果の持続性や補修後の性能低下の評価手法が確立されていないなどの課題が多く、慎重に維持管理のシナリオを選定する必要がある。なお個別橋梁の補修計画等では、補修履歴を十分に調査し、劣化原因の解明と「性能低下型モデル」による劣化予測など、現実的な補修計画を立案する必要がある。

【参考文献】 1) 社会インフラメンテナンス学、土木学会、丸善出版.pp.124-128,2015.12