

京都大学工学部地球工学科 学生員 ○幹 拓也
 京都大学大学院工学研究科 正会員 大津 宏康

1. はじめに

高度経済成長期に建設されたインフラ構造物は高齢化による劣化が顕在化し、厳しい予算制約の下で効率的な維持補修を行うことが求められており、アセットマネジメントの概念からの検討が注目されている¹⁾。特に、道路構造物は、道路舗装、橋梁、トンネル、および道路斜面等様々な構成要素から成り立っており、各構成要素の特性を考慮したアセットマネジメント手法の確立が求められている。

本研究では道路構造物のうち、斜面对策工の一つであるグラウンドアンカー(以下アンカーと称す)と橋梁主要部材の一つである床版の劣化を対象とする。具体的には、ランク分けされた健全度評価区分で判定されている既往の点検結果にマルコフ過程を適用することで、劣化過程のモデル化を行い、どの路線/どの区間から維持補修すべきかの補修優先順位付けに関するマクロ的観点からの一検討手法を提案する。

2. マルコフ過程を用いた維持補修計画立案手法

(1) マルコフ過程に基づく劣化過程のモデル化

本研究が対象とするアンカー、ならびに床版のマルコフ過程を用いた劣化過程のモデル化手法は次式のように表される。

$$\begin{aligned} S(1) &= S(0) \cdot T \\ S(t + \tau) &= S(t) \cdot T^\tau \end{aligned} \quad (1)$$

$$S(t) = [S_n(t) \ S_{n-1}(t) \ \dots \ S_2(t) \ S_1(t)] \quad (2)$$

$$T = \begin{bmatrix} T_{nn} & T_{nn-1} & \dots & T_{n1} \\ 0 & T_{n-1n-1} & \dots & T_{n-11} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & T_{11} \end{bmatrix} \quad (3)$$

ここに、 $S(t)$ は供用後 t 年後のアンカー、ならびに床版の全体の状態を表す状態行列を表し、その成分 $S_i(t)$ は供用後 t 年時点での健全度評価区分の各ランク i に相当するアンカー本数、あるいは床版枚数を表す。また、 $S(t)$ のランク数を n とすると推移確率行列(以下推移行列と称す) T は $n \times n$ 行列で表すことができ、推移行列 T の成分 T_{ij} は経時変化過程において区分 i から区分 j へ推移する確率を意味する。

また、本研究には、点検データの仕様や数的制限に対処するために、推移行列 T の成分 T_{ij} を推定する際に以下のような仮定条件を設定する。

- ① 同一路線/区間におけるアンカー、および床版は全て同様の劣化過程に従う。
- ② 推移行列が対象とする推移期間は1年間である。
- ③ 一年間の状態推移は現状維持、もしくは1区分のみの劣化とする。
- ④ アンカーの推移行列は耐用年数を通じてただ一つに決定され、かつ一定である。
- ⑤ 床版の推移行列は次の点検が行われるまではただ一つに決定され、かつ一定であり、点検が行われる度に更新される。

以上の仮定条件の下で、推移行列 T は、次式のように表される。

$$T = \begin{bmatrix} T_{nn} & T_{nn-1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & T_{n-1n-1} & T_{n-1n-2} & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & T_{22} & T_{21} \\ 0 & \dots & \dots & 0 & T_{11} \end{bmatrix} \quad (4)$$

(2) 最適推移確率行列の同定手順

前章の仮定条件④、⑤より、アンカー、および床版の推移行列はそれぞれ図-1、図-2に示す手順で同定される。

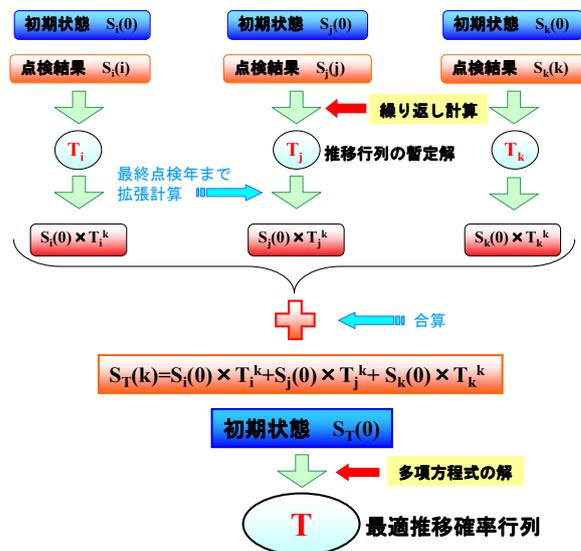


図-1 アンカーの最適推移行列同定手順

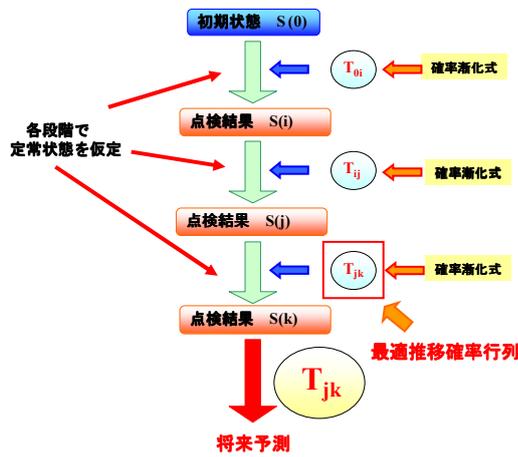


図-2 床版の最適推移率同定手順

ただし、同図における i, j および k は評価区分ではなく、時点を表し $i < j < k$ の関係が成り立つことに留意されたい。

(3) 補修戦略の設定

本研究では補修プランとして事後補修型の補修プランと予防保全型の補修プランの二つプランを設定し、点検間隔を構造物毎に設定することで複数の補修戦略について議論する。

(4) LCC 算定方法

アンカーの場合は実際の点検費用と補修費用の和で LCC を算定し、床版の場合は点検費用と補修費用のような管理者費用を加えて、補修にともなう利用者損失額を考慮して LCC を算定する。

3. 実構造物への適用

(1) グラウンドアンカー

本モデル化手法を防食性能が異なる新旧 2 つのタイプに区別して、8 路線に適用した。その例として、A 路線旧タイプにおける劣化シミュレーション結果を図-3 示す。同図より、本モデル化手法にはある程度の精予測度があることが確認できる。

また、表-1 に B 路線新タイプと C 路線旧タイプの最適な補修プランと点検間隔、および LCC 算定値を示す。なお、本事例の LCC 算定期間は供用開始時点から 40 年とする。同表より、路線毎に最適な維持補修戦略の選択が可能である。また、LCC 算定値を比較することで路線間の補修優先順位付けも可能となる。

(2) 床版

本モデル化手法を 4 区間の高速道路床版に適用した。その例として、A 区間上りにおける劣化シミュレーション結果を図-4 に示す。同図より、構造物の劣化特性が時間によって大きく異なる場合は、本モデル化手法

の予測精度はそれほど高くなく、今後の課題といえる。

また、表-2 に A 区間下りと B 区間上りの最適な補修プラン、点検間隔、補修年および LCC 算定値を示す。なお、本事例の LCC 算定期間は最終点検(供用 37 年)以降 60 年とする。同表より、区間毎に最適な維持補修戦略の選択が可能である。また、補修年を比較することで路線間の補修優先順位付けも可能となる。

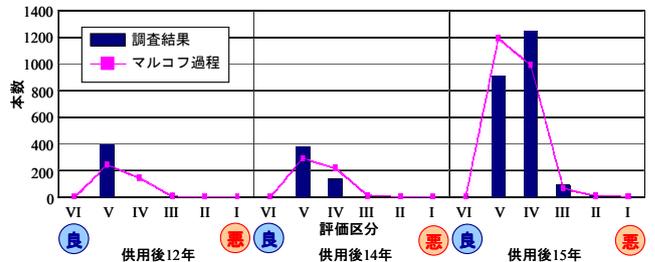


図-3 点検結果とシミュレーション結果の比較

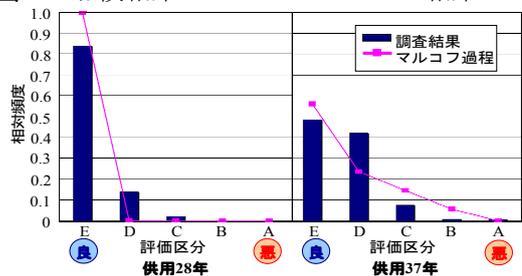


図-4 点検結果とシミュレーション結果の比較

表-1 B 路線新タイプと C 路線旧タイプの算定結果

路線(タイプ)	最適補修プラン	最適点検間隔	LCC 算定値
B(新)	予防保全型	5 年	18,180 円/本
C(旧)	事後補修型	15 年	6,227 円/本

表-2 A 区間下りと B 区間上りの算定結果

区間	最適補修プラン	最適点検間隔	補修年	LCC 算定値
A 下り	事後補修型	10 年	50 年	4.75 億円
B 上り	予防保全型	10 年	40 年	0.38 億円

4. まとめ

本研究より、道路構造物の性能低下にマルコフ過程を用いた簡易的な手法を適用することで、それらの構造物の補修優先順位付けに関するマクロ的な検討が可能となった。さらに、床版においては社会経済的な重要度を加味した検討が可能となった。今後点検結果をアンカーの場合は地質や降雨条件、床版の場合は交通荷重といった力学的条件別に分類することで、本手法の有用性はさらに高まるものと推察される。

参考文献

1) 大津宏康, アセットマネジメント概論, サマースクール 2008 「建設マネジメントを考える」, pp.1-8, 2008.