

床版の劣化予測を考慮した橋梁維持管理システムの構築

三井住友建設（株）正会員 内山 典之* 中央大学 正会員 平野 廣和
中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

近年、既存の社会資本ストックを長期に渡り有効活用することを目的として、維持管理の重要性が増大している。社会資本の中でも、道路資産として重要な橋梁の維持管理対策が問題となってきた。我が国では数多くの橋梁が存在し、これらの橋梁は近年における交通量の増加、車両の大型化などにより、設計当初に予想されていたよりも過酷な使用条件のもとで長期間に渡り使用されてきたため、著しい損傷を受けているものもある。これら老朽化した橋梁を適切かつ効率的に維持管理し、長寿命化を図ることが課題である。

そこで本研究では、維持管理計画の立案に関わる意思決定の際の参考ツールとなるような、データベース機能と、劣化予測機能から成る「橋梁維持管理システム」の構築を目指す。

2. データベース

本システムのデータベースでは、橋梁台帳と橋梁点検でえられたデータを主に収録し、データを整理、分析することにより、単なるデータ保管ではなく、補修・補強計画の立案をサポートしうるデータベースを構築する。これらのデータを維持管理に必要なデータ項目の意味内容とデータ同士を関連付け、単に橋梁のデータを収めているだけでなく、一連のながれとして橋梁の現状を素早く把握することを可能にする。

3. 床版の劣化予測

3.1 実データから推移確立行列の推定

橋梁維持管理システムの維持管理計画支援ツールとして劣化予測機能を検討する。橋梁定期点検結果のOK, , , と5段階で評価¹⁾されている損傷ランクを部材の劣化状態とし、5年間で推移する様をマルコフモデル²⁾で予測する。約70橋の床版定期点検データの損傷ランク分布より、ランクの推移確率行列を推定する。

推定した推移確率行列より導き出

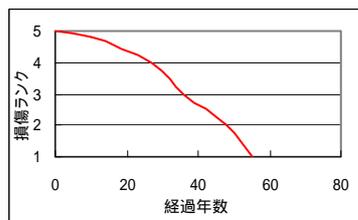


図-1 床版平均劣化曲線

した床版の平均的な劣化曲線を図-1に示す。

3.2 劣化要因の影響

(1) 交通量による影響

そこで、大型車・普通車交通量区分を表-1に示す区分ごとに整理し、この区分ごとに、交通量による劣化の影響を大型車・普通車

表-1 交通量区分

大型車[台/24h]	
1000台未満	
1000～5000台未満	
5000～10000台未満	
10000台以上	
普通車[台/12h]	
10000台未満	
10000～20000台未満	
20000～30000台未満	
30000～40000台未満	
40000台以上	

別に求める。交通量区分による劣化の影響をあらわす確率指標を算出し、これを劣化要因変数： とする。大型車、普通車共に平均値より交通量の少ない区分では、を劣化が滞在するように、交通量の多い区分では劣化が進行するように推定したマルコフモデルを導入し、変数マルコフモデルを構築する。前者を滞在型マルコフモデル修正法、後者を進行型マルコフモデル修正法とし、以下に示す。

< 滞在型変数マルコフモデル修正法 >

$$P = \begin{bmatrix} \gamma_{OK} + (1-\gamma_{OK})p_{11} & (1-\gamma_{OK})p_{12} & (1-\gamma_{OK})p_{13} & (1-\gamma_{OK})p_{14} & (1-\gamma_{OK})p_{15} \\ 0 & \gamma + (1-\gamma)p_{22} & (1-\gamma)p_{23} & (1-\gamma)p_{24} & (1-\gamma)p_{25} \\ 0 & 0 & \gamma + (1-\gamma)p_{33} & (1-\gamma)p_{34} & (1-\gamma)p_{35} \\ 0 & 0 & 0 & \gamma + (1-\gamma)p_{44} & (1-\gamma)p_{45} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

< 進行型変数マルコフモデル修正法 >

$$P = \begin{bmatrix} (1-\gamma)p_{11} & \gamma + (1-\gamma)p_{12} & (1-\gamma)p_{13} & (1-\gamma)p_{14} & (1-\gamma)p_{15} \\ 0 & (1-\gamma)p_{22} & \gamma + (1-\gamma)p_{23} & (1-\gamma)p_{24} & (1-\gamma)p_{25} \\ 0 & 0 & (1-\gamma)p_{33} & \gamma + (1-\gamma)p_{34} & (1-\gamma)p_{35} \\ 0 & 0 & 0 & (1-\gamma)p_{44} & \gamma + (1-\gamma)p_{45} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

交通量の劣化要因変数を導入した大型車交通量区分ごとの推定劣化曲線を図-2に示す。

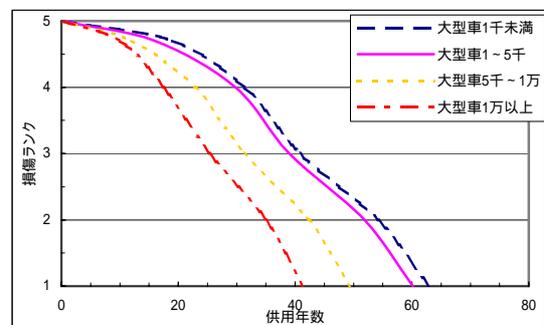


図-2 大型車交通量区分別劣化曲線

キーワード：維持管理，データベース，劣化予測，マルコフモデル

*)研究当時 中央大学大学院理工学研究科

連絡先：東京都文京区春日 1-13-27 tel.03-3817-1816 fax.03-3817-1803

表-3 表面塩化物イオン濃度 C_0 [kg/m³]

飛沫帯	海岸からの距離 (km)				
	汀線付近	0.1	0.3	0.5	1.0
13.0	9.0	4.5	3.0	2.0	1.5

(2) 塩害による影響

表-3 に示す，コンクリート標準示方書 [施工編] (案)³⁾ に示されている離岸距離ごとのコンクリート表面の塩化物イオン

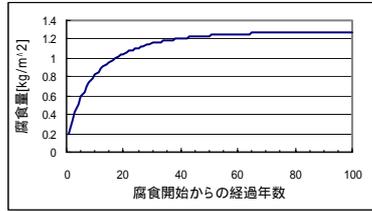


図-3 鉄筋腐食量

濃度により，塩化物イオンがコンクリート中へ浸透し鉄筋の不動態皮膜を破壊し鉄筋が腐食し始めるまでの時間を Fick の拡散方程式より求める．不動態皮膜を破壊後の鉄筋腐食量を求めたものを図-3 に示す．これより腐食開始までの時間も考慮した鉄筋腐食速度を算出し塩害の進行速度とする．

離岸距離により，この進行速度に与える影響を確率指標で相対的に算出し，塩害による劣化要因変数とし，推定したマルコフモデルに導入する．なお，今回マルコフモデル推定に用いたデータは主に都市部のもので，塩害の影響を受けていないものと考えられるので，劣化要因変数を導入する場合には進行型変数マルコフモデル修正法を適用する．

図-4 に塩害の影響による離岸距離別の劣化曲線を示す．塩害劣化の進行速度の違いを求め，劣化要因変数としてマルコフモデルに導入することで，塩害の影響による劣化進行の違いをあらわすことが出来た．

3.3 複合劣化予測

各種劣化要因ごとに算出した劣化要因変数を合成し，複合劣化予測を行う統合モデルを構築する．

普通車・大型車の影響は，車両総重量の比で重み付けし式(1)のように新たに劣化要因変数をつくることで，その影響を合成する。

$$k_{,j} = 0.11 n_{,j} + 0.89 b_{,j} \quad (1)$$

$k_{,j}$: 交通量による劣化要因変数
 $n_{,j}$: 普通車交通量による劣化要因変数
 $b_{,j}$: 大型車交通量による劣化要因変数

次に，塩害の影響を合成する．マルコフモデルを推定するのに用いた橋梁定期点検データは都市部のもので離岸距離もすべて 1.0[km]以上のものであるので，塩害の影響はほとんど無いといえる．そこで，塩害の劣化要因変数は普通車・大型車の影響を考慮した交通量の劣化要因変数を導入した変数マルコフモデルに導入することで，交通量，塩害の影響を考慮した統合モデル

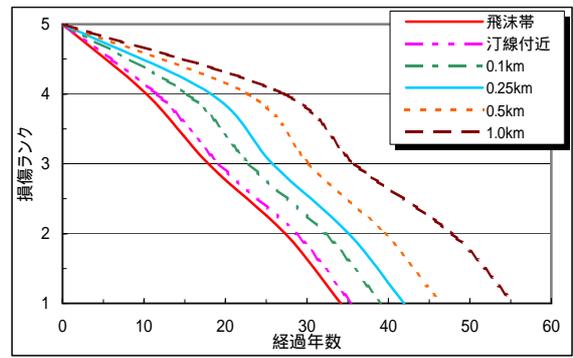


図-4 離岸距離別劣化曲線

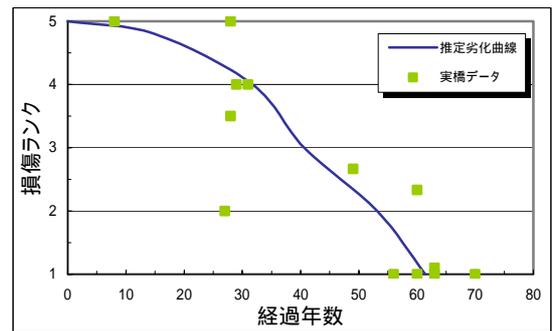


図-5 推定劣化曲線と実データとの比較

を構築可能である．これにより複合劣化予測を行う．図-5 に解析結果の一例として，大型車 1~5 千 [台/24h]，普通車 2~3 万 [台/12h]，離岸距離 1.0 [km] 以上のときの推定劣化曲線と実データとの比較を示す．推定劣化曲線とずれは生じたものの，劣化の傾向は定性的に捉えることが出来た．

4. おわりに

データベースを構築することで橋梁の維持管理の参考となる現状や履歴データの素早い検索や入力が可能となった．また，データベースに収録されている橋梁定期点検データから劣化予測の基本となるマルコフモデルの推定を行い，環境条件を考慮した床版の劣化予測を行うことの可能なシステムを構築することができた．劣化予測システムでは，データが更新されるたびに新たにマルコフモデルを推定するので予測精度も向上すると思われ，維持管理業務に対しての支援ツールの役割を果たすと考えられる．

参考文献

- 1) 旧建設省土木研究所：橋梁点検要領（案），土木研究所資料，第 2651 号，1988．
- 2) 村英典・高橋幸雄：マルコフ解析，日科技連
- 3) 土木学会コンクリート委員会：コンクリート標準示方書 [施工編]
- 4) 関博，松井邦人，松島学：コンクリート構造の寿命予測に関する一考察，コンクリート工学年次論文報告集，vol. 12-1，1990