

## Markov 連鎖モデルを用いた東北地方の道路橋床版の劣化予測

金沢工業大学 正会員 ○田中 泰司

### 1. はじめに

東北地方の道路橋では、コンクリート床版の早期劣化が問題となっている。本研究では、東北地方の橋梁定期点検結果を統計的な手法によって分析し、道路橋床版の劣化進展の実態を評価し、将来予測を試みた。さらに、劣化進展の要因の影響度を分析した。

### 2. 点検データおよび分析方法

東北地方の道路橋床版の定期点検結果（平成 16～平成 30 年分）を収集し、床版ひび割れと漏水・遊離石灰の 2 種類の変状について分析を行った。点検結果の評価方法は、健全なものから順に a, b, c, d, e の 5 段階である。また、統計手法には Markov 連鎖モデル<sup>1)</sup>を用いた。

まず、定期点検結果を整理し、表 1 に示すような 1 年間での推移確率分布を作成した。この推移確率分布を用いて Markov 連鎖モデルにより、100 年間の劣化度分布の推移のシミュレーションを行った。現在からの将来予測を行うために初期値を現状の健全度分布としたものと、建設時からの耐久性を評価するために初期値をすべて健全（評価 a）としたものの 2 種類のシミュレーションを行った。

### 3. 全体の分析結果

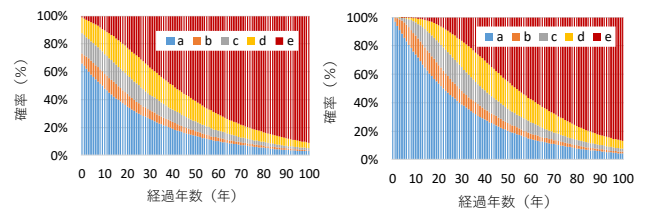
床版ひび割れの劣化予測の結果を図 1 に示す。ここでは、経過年数ごとに劣化度 a, b, c, d, e の構成割合を示した。

初期値現状 (a) では、現状の劣化度割合 (a:66%, b:7%, c:15%, d:11%, e:1%) から開始し、10 年後および 20 年後には c 判定以上のものが 42%, 56% となるという予測結果となった。今後、急速な劣化の進行が予想されるので、早急な対策が必要といえる。初期値健全 (b) では、100 年後には劣化度 d, e の割合が 92% に達した。既設床版の耐久性が不足していることは明らかである。

図 2 に漏水・遊離石灰の健全度の推移を示す。床版ひび割れに比べれば劣化進行が緩やかであるものの、将来的には多くの床版で漏水・遊離石灰が生じると予想されることから、防水・排水が全体的に不十分であることが示唆される。図 1, 2 において、現状の劣化度分布が初期値健全の劣化予測の 20～30 年目に相当することは、1991 年のスタッドタイヤ規制と凍結防止剤散布量の増加が劣化の主原因であることも示唆している。

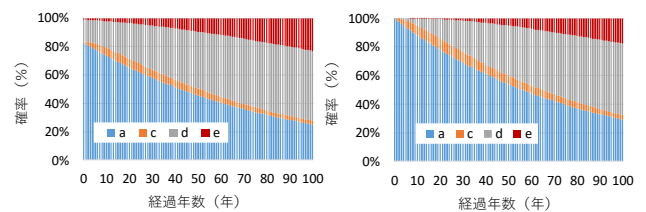
表 1 全データの推移確率分布（床版ひび割れ）

1年後 前回	今回				
	a	b	c	d	e
a	0.941	0.059	0	0	0
b	0	0.842	0.158	0	0
c	0	0	0.838	0.162	0
d	0	0	0	0.934	0.066
e	0	0	0	0	1.000



(a) 初期値現状 (b) 初期値健全

図 1 健全度の推移予測（床版ひび割れ）



(a) 初期値現状 (b) 初期値健全

図 2 健全度の推移予測（漏水・遊離石灰）

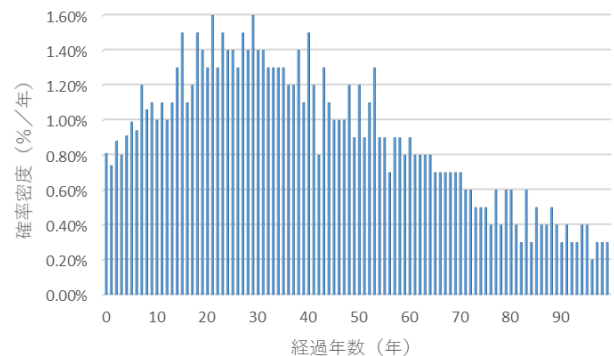


図 3 劣化度 d から e への確率密度分布  
（床版ひび割れ，初期値現状）

キーワード Markov 連鎖モデル, 定期点検, 床版ひび割れ, 漏水, 遊離石灰

連絡先 〒921-8501 石川県野々市市扇が丘 7-1 TEL076-274-7064

図3は、図1(a)の劣化度dからeへ遷移した床版の割合を経過年別に表したものである。緊急対応が必要となるe判定の床版は、今後20年まで増え続け、現在の約2倍に達するという予測結果となった。

#### 4. 地域別の分析結果と要因分析

次に、地域特性を確認するために12の地域に分けて同様なシミュレーションを行った。ここで、初期値健全で経過年数50年時点の劣化度の割合を地域別に図4にまとめた。多くの地域で劣化度d, eの割合は約60%を超えており、特にA地域やC地域では90%を超えている。一方、F地域は約35%と低く、地域により大きな差があることが分かる。

劣化速度が最もはやいA地域と最も遅いF地域で要因分析を行ったところ、図5に示すように、橋梁種別の割合が異なることが最も大きな要因であることがわかった。コンクリート橋の多くはPC橋であり、コンクリートが緻密であることが耐久性に寄与していると考えられる。さらに、図6に示すように、F地域では昭和55年以降に建設された鋼橋の耐久性も高かった。その多くの橋梁が2000年代以降に建設されており、劣化がまだ始まっていないためと考えられる。

床版は交通荷重による疲労を受けるため、交通量による影響を分析した。図7に、A地域における健全度の推移予測を1日あたりの交通量が1万台以上・未滿に分けて行ったものを示す。両者には大きな差がないことから、東北地方の道路橋床版劣化の支配因子が交通荷重ではないことがわかる。

#### 5. まとめ

本研究では、東北地方の道路橋床版の劣化進行速度の実態を明らかにするために、橋梁定期点検結果をMarkov連鎖モデルを用いて分析した。その結果、今後20~30年で急速に劣化が進行すると予想された。また、防水・排水に課題があることも示唆された。地域によって劣化割合に大きな差が見られたが、その主要因は橋種であり、適用道示や交通量、気象の影響は確認できなかった。このように、点検データの分析は今後の維持管理計画を見直すうえで重要である。

**謝辞** 本研究は、日本コンクリート工学会東北支部「東北地方のコンクリート構造物の品質・耐久性確保に関する調査研究委員会」において実施した。本研究は、科研費(18H01506)の助成を受けたものである。データの分析においては、金沢工業大学卒業生の多中一真氏の尽力を得た。

**参考文献** 貝戸清之, 阿部允, 藤野陽三:「実測データに基づく構造物の劣化予測」, 土木学会論文集, 2003 巻744号, 2003, pp. 29-38

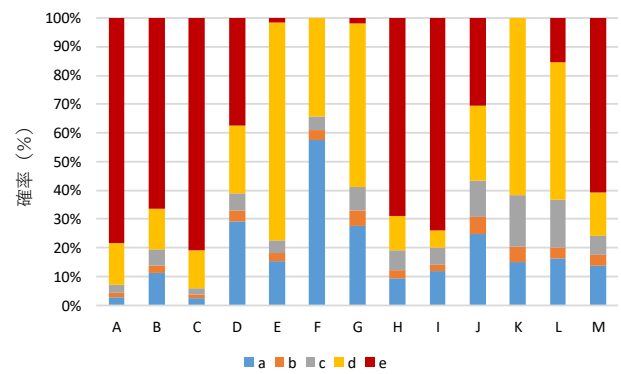
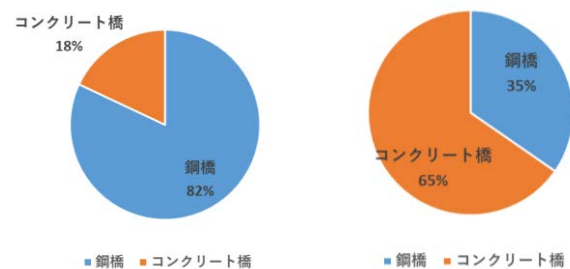
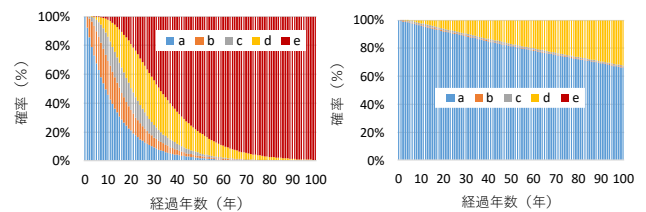


図4 地域別の健全度比較  
(初期値現状, 50年後, 床版ひび割れ)



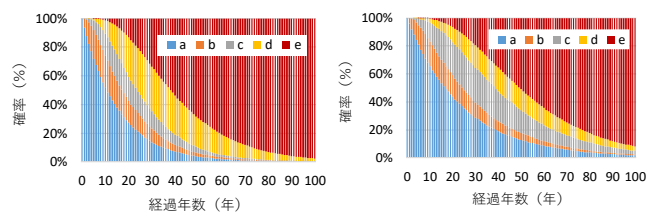
(a) A地域 (b) F地域

図5 地域別の橋種割合



(a) A地域 (b) F地域

図6 健全度の推移予測 (鋼橋, 床版ひび割れ, 昭和55年以降建設)



(a) 10000台以上 (b) 10000台未滿

図7 健全度の推移予測 (交通量, A地域)