

徳之島内 3 町の橋梁定期点検結果を用いたマルコフ連鎖による劣化予測

(株) 久永コンサルタント 正会員 ○竹之内 大毅, 内村 正樹, 岩坪 謙吾
鹿児島大学 正会員 審良 善和, 山口 明伸
徳之島町 非会員 岩崎 仁

1. はじめに

徳之島町では、2013 年に橋梁長寿命化修繕計画を策定し、これに基づいた維持管理が計画的に実施されている。2018 年に 1 巡目の近接目視による定期点検が終了したことで、長寿命化修繕計画の見直しが行われることになった。これまでの劣化予測は、各橋梁の損傷等級と供用年数の関係を図にプロットし、直線近似することでその傾きを劣化速度としてきた。なお、損傷等級とは表-1 に示す 5 段階に区分されたものである。しかし、データのばらつきが大きく、精度の高い予測といえないことから、今回、マルコフ連鎖による劣化予測を試みた。

2. 劣化予測に用いた橋梁点検データについて

徳之島町の橋梁数は 92 橋であり、劣化予測を行う上でデータ数が少ないことが課題となった。徳之島は面積が 104.9 km² の島嶼であり、島内全体が塩害環境区域となる。そこで、島内の自治体の垣根を超えて 3 町の橋梁点検データを用いて劣化予測を行うこととした。なお、劣化予測は橋梁の主要部材（主桁、床版、横桁、下部工）に対して行うこととした。また、予測に用いる変状に関しては、構造に直接影響する変状である、ひびわれ、うき、剝離・鉄筋露出および漏水・遊離石灰を用いた。図-1 に一例として点検結果から得られた主桁の経過年代ごとの損傷等級の割合と橋梁数を示す。全橋梁数は 241 橋となる。この結果、時間の経過とともに劣化橋梁数が増加し、劣化も経年的に進行していることを確認した。

3. マルコフ連鎖を用いた劣化予測手法

3.1 データの抽出

マルコフ連鎖を適用するにあたり、劣化予測は経年的な劣化・変状を予測するものであるため、初期欠陥および損傷による変状（例えば、初期ひび割れ、洗掘、衝突による損傷等）は除外することとした。今回は、図-1 の結果から、10 年代の損傷等級 2 の 1 橋が初期欠陥にあたり除外した。また、図-1 の結果をみると、架設後 61 年以降の橋梁は、橋梁数が少なく、また、それ以前の劣化割合の推移と大きく異なる傾向を示した。これは、ヒアリング等により、架替えや廃橋などにより現存している橋梁が一部となったためであると考えられる。したがって、劣化割合としての適用についてはデータの妥当性に欠けると判断し除外した。データの抽出条件を表-2 に、データ抽出後の主桁の経過年代ごとの損傷等級の割合と橋梁数を図-2 に示す。

キーワード 劣化予測, マルコフ連鎖, 橋梁定期点検結果, 滞在期間, 橋梁長寿命化計画

連絡先 〒890-0007 鹿児島県鹿児島市伊敷台 1 丁目 22 番 2 号 (株) 久永コンサルタント TEL 099-228-6600

表-1 損傷等級変換対応表

損傷等級	判定区分※		
	対策区分	健全性の診断	損傷程度の評価
1	A	I	a
2	B		b
3	C1	II	c
4	C2	III	d
5	E1	IV	e
	E2		

※橋梁定期点検要領 国土交通省道路局国道・技術課 (H31.3月)

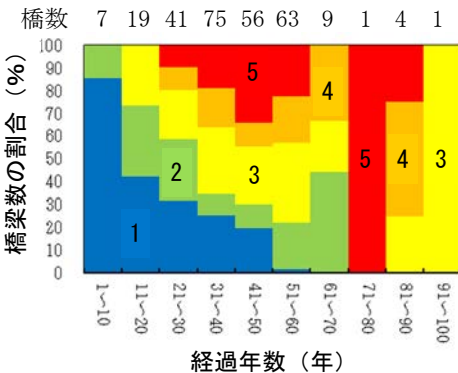


図-1 点検データによる損傷等級の橋梁割合（主桁）

表-2 抽出条件

条件1	データ数が相対的に少ない架設後 61年以上のデータは採用しない
条件2	コンクリートの経年劣化による損傷以外は採用しない

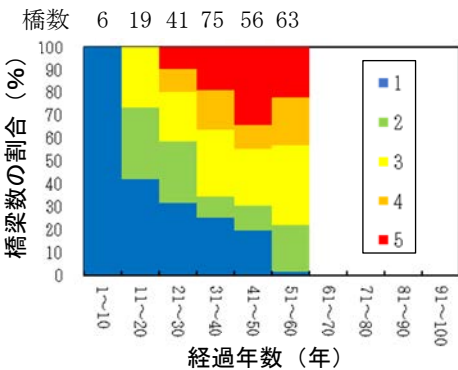


図-2 データ抽出後による損傷等級の橋梁割合（主桁）

3.2 遷移確率の算出

マルコフ連鎖は状態と遷移という 2 つの概念を持ち、ものごとがある状態からある遷移確率で次の状態へと移行する様子を確率論的にとらえる統計手法である。遷移確率の算出方法は、図-2 の年代ごとの各損傷等級の橋梁割合をその年代の 10 年次の実測値とし、ある遷移確率における経過 t 年後の各損傷等級の橋梁割合を予測値として、最小二乗法により算出した。表-3 に遷移確率の算出結果を示す。

4. 劣化予測結果及び考察

表-3 に示す遷移確率を用いて算出した 100 年間の各損傷等級における橋梁割合の経時変化を図-3 に示す。初期条件は全て健全な状態（損傷等級 1）とした。本手法による劣化予測の結果は点検データに基づく現状の損傷等級の割合である図-2 に示す結果と概ね整合していることから、本手法による劣化予測は本島における橋梁部材の劣化進行を高い精度で評価していると考えられる。この結果、経過年 50 年をみると、約 80% の橋梁において変状が見られ、約 35% の橋梁において早期措置対策が必要になると予測された。なお、床版、横桁、下部工についても予測結果が概ね整合していることも確認した。

5. 予測結果の長寿命化修繕計画への活用

マルコフ連鎖による劣化予測結果を計画に活用するためには、各損傷等級において次に遷移するまでの期間、換言すれば、各損傷等級に滞在する期間（以下、滞在期間と呼ぶ）を定めなければならない。図-3 は橋梁群の確率分布であるが、縦軸から横に見ると、100% に近いほど劣化進行が著しく速い橋梁となり、一方で 0% に近いほど劣化進行が遅い橋梁であるとみなすことができる。そこで、滞在期間を図-3 に示す橋梁割合から劣化予測に用いる割合（以下、予測水準と呼ぶ）を設定し求めることとした。予測水準は平均値となる 50% としてもよいと考えられるが、1 巡目の近接目視点検結果であり結果の妥当性が検証できるまでは安全側で管理することが望ましい。そのため、予測水準は危険側（50%～100%）の平均となる 75% に設定した。表-4 に各損傷等級の滞在期間を示す。この結果、主桁では健全度ⅠおよびⅡの滞在期間は約 20 年、Ⅲの滞在期間は 13 年となった。部材別でみると、主桁及び横桁の劣化進行が比較的速く、下部工は遅くなる傾向であった。図-4 に主桁の本手法および従来手法による劣化予測結果の比較を示す。また、図中に島内の橋梁の損傷等級のプロットも示す。従来手法の結果は、損傷等級 1 の滞在年数が長く、それ以降の劣化は一定の速度で進行することになる。一方、マルコフ連鎖の劣化予測結果は、5 を除く損傷等級において早期で判定されている橋梁と概ね同時期から滞在が始まり、次の損傷等級に遷移していることが分かる。これは、予測水準を 75% と設定したことによるが、劣化の進行をある程度予測できていると推察される。したがって、本手法による結果は、本島におけるコンクリート構造物の劣化速度に近い予測であると考えられる。なお、長寿命化修繕計画では、維持管理上の性能の限界値を定め、これを下回らないように表-4 に示す滞在期間内に適切に対策するように計画を策定した。

6. まとめ

マルコフ連鎖モデルを用いた劣化予測は、各損傷等級における劣化速度を個別に評価が可能であり、本島におけるコンクリート構造物の経年劣化に近い劣化予測結果となった。しかし、本手法の劣化予測結果の妥当性および有用性の評価は、5 年後、10 年後の点検結果を踏まえて判断しなければならない。今後の課題とする。

参考文献：1) 中野智章，前田圭，審良善和，山口明伸，武若耕司，小池賢太郎：鹿児島県の橋梁点検データを用いたマルコフ連鎖モデルによる劣化進行予測，土木構造・材料論文集，九州橋梁・構造工学研究会，第 33 号，2017

表-3 遷移確率

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
主桁	0.033	0.072	0.039	0.066

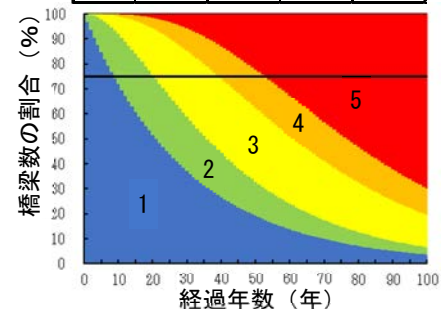


図-3 橋梁割合の経年分布図（主桁）

表-4 損傷等級の滞在期間（予測水準：75%）

部材	損傷等級（健全性の診断）			
	1 (Ⅰ)	2 (Ⅰ)	3 (Ⅱ)	4 (Ⅲ)
主桁	9年	12年	19年	13年
床版	15年	9年	35年	1年
横桁	13年	11年	16年	11年
下部工	12年	21年	34年	19年

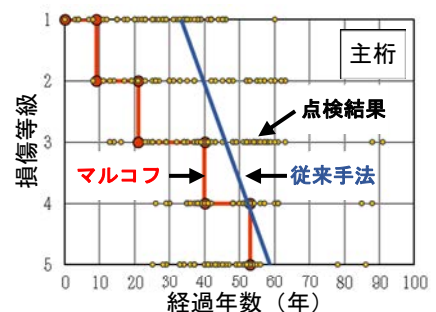


図-4 本手法による劣化予測と従来手法による劣化予測の比較