鹿児島県における橋梁群の維持管理に係わる環境外力の影響評価に関する一考察

鹿児島大学大学院　学生会員　　○前田　圭・佐藤　健志
鹿児島大学大学院　正会員　　　山口　明伸・武若　耕司・審良　善和

1. はじめに

わが国の社会資本は高度経済成長期に建設されたものが多く，その余寿命を考慮すれば，近い将来大量の構造物が一斉に更新時期を迎えることが予測される．したがって，今後は限られた予算内でこれらの構造物を効率的に維持管理し，長寿命化させる方策が必要不可欠となる．このような状況に対し，橋梁の劣化進行を予測し，補修が必要となる時期とその経費を予め算定する橋梁長寿命化修繕計画が各自治体で策定されつつある．その前提となる劣化予測手法は，管理橋梁群を設置環境に応じて区分し，各環境区分に属する橋梁点検データを橋種あるいは部材ごとに整理することで行われているが，非常にばらつきが大きく，効率的な維持管理を実現させるためには劣化進行予測の高精度化が望まれる．そこで，本研究では鹿児島県が管理している橋梁群の維持管理データを用い，マルコフ連鎖モデルによる損傷種類ごとの劣化の推移を整理するとともに，塩害や中性化の劣化進行過程を考慮した劣化予測を試み，その傾向を把握することで環境外力の影響を評価した．

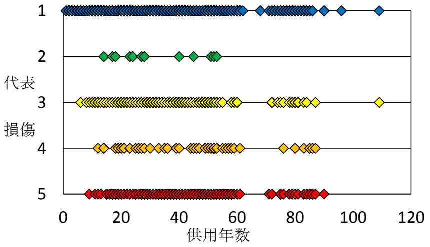
2. 検討の概要

2.1 データと検討条件の設定

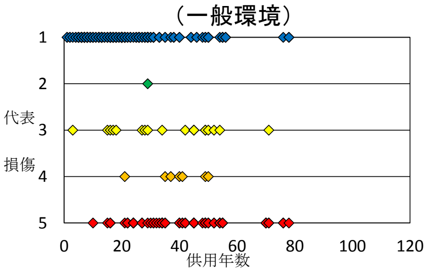
本論文では，鹿児島県の管理する橋梁群を対象とすることとし，検討には，鹿児島県から提供された橋梁定期点検結果を用いた．また，検討にあたっては，鹿児島県は海岸線に沿って橋梁構造物が多く建設されており，また離島もかかえていることから，橋梁の設置環境を塩害の影響を考慮し以下の 3 つの区分とした．すなわち，1)海岸線から 200m を超える一般環境（2771 橋），2)海岸線から 100m を超えて 200m まで（129 橋），ならびに 3)海岸線から 100m まで（429 橋），である．一方，点検対象部材は主構とし，点検の対象とする損傷は，ひび割れ，うき，剥離・鉄筋露出の 3 種類とした．なお，それぞれの損傷の程度は，鹿児島県の定期点検マニュアルに従い**表－1** のように区分されている．なお，鹿児島県ではこれまで，各橋梁の損傷の中で最も損傷等級の高いものをその橋梁の代表損傷等級としている．**図－1** には，同一環境の橋梁におけるこの供用年数と代表損傷等級の関係を示したが，この場合，橋梁の損傷等級と供用年数との関係にはばらつきが大きく，効率的な維持管理を計画的に行うには問題が大きい．従って，点検結果のより統計的な整理と分析より，劣化進行の状態変化を適切に示すことが望まれる．

表－1　各損傷の損傷等級とその状況

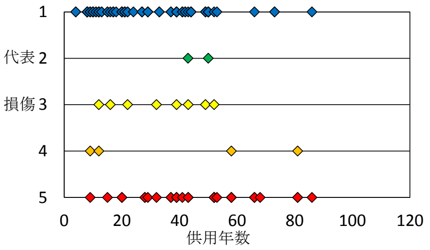
ひび割れ									
損傷等級			1	2	3		4		5
一般状況	RC構造物	ひび割れ幅	損傷なし	0.2mm未満	0.2mm未満	0.2mm以上 0.3mm未満	0.2mm以上 0.3mm未満	0.3mm以上	0.3mm以上
		ひび割れ間隔		0.5m以上	0.5mm未満	0.5mm以上	0.5mm未満	0.5mm以上	0.5m未満
	PC構造物	ひび割れ幅	損傷なし	0.1mm未満	0.1mm未満	0.1mm以上 0.2mm未満	0.1mm以上 0.2mm未満	0.2mm以上	0.2mm以上
		ひび割れ間隔		0.5m以上	0.5mm未満	0.5mm以上	0.5mm未満	0.5mm以上	0.5m未満
うき									
損傷等級			1	2	3		4		5
一般状況			損傷なし	―――	―――		―――		うきがある
剥離・鉄筋露出									
損傷等級			1	2	3		4		5
一般状況			損傷なし	―――	剥離のみが生じている		―――		鉄筋が露出しており， 鉄筋が腐食している



（一般環境）



（海岸線から 100m～200m）



（海岸線から 100m まで）

図－1　代表損傷等級と供用年数の関係（主構）

2．2 マルコフ連鎖による劣化進行予測

橋梁の供用年数と損傷等級の関係のばらつきを考慮した上で，劣化進行の状況をより適切に評価するため，マルコフ連鎖に基づく統計的解析手法の適応を試みた．今回の検討では，橋梁の劣化を塩害あるいは中性化による劣化と仮定し，劣化の進行過程を，鋼材の腐食開始からひび割れが発生し，うき，剥離，鉄筋露出と経時的に推移しているとして，損傷種類別に分類されている点検結果を組み合わせ，劣化の推移を遷移確率を算出することにより検討することとした．

キーワード:塩害，劣化状況調査，劣化予測
連絡先 :〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40 鹿児島大学工学部海洋土木工学科棟 5 階 TEL099-285-8480

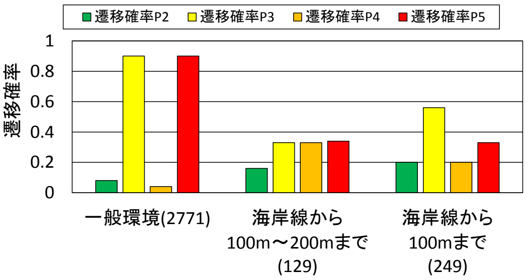
表－2 には，本検討で用いた劣化過程と，その各段階における損傷状況を示す．また，劣化段階によって劣化進行速度は異なると考えられるため，「潜伏期~進展期」から「加速前期」，「加速前期」から「加速中期」，「加速中期」から「加速後期」，「加速後期」から「劣化期」へとそれぞれ推移する際の遷移確率を P_2，P_3，P_4，P_5 と変化させて統計的整理を行った．遷移確率は，点検結果データベースから各損傷等級別に供用年数を 10 年ごとに区切ってそれぞれの橋梁数に離散化し，最小二乗近似による回帰分析を行うことにより算出した．したがって，今回求めた遷移確率は 10 年確率である．

表－2　損傷の組み合わせ

劣化過程	損傷状況
潜伏期～進展期	健全
加速前期	ひび割れの損傷等級2
加速中期	ひび割れの損傷等級3･うき
加速後期	剥離･ひび割れの損傷等級4･5
劣化期	鉄筋露出

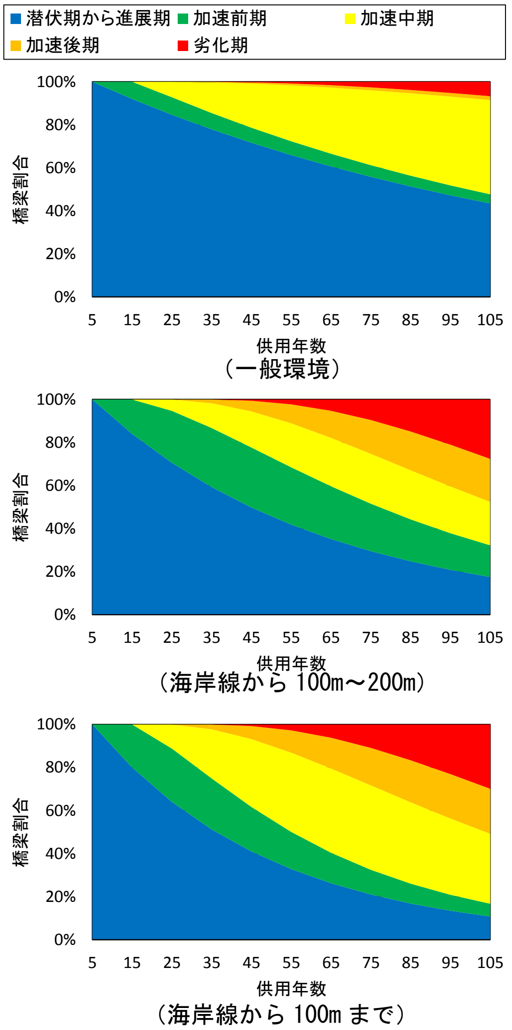
3. 損傷種類を組み合わせた各劣化進行過程での遷移確率

図－2 に主構における環境区分別の各劣化進行過程での遷移確率を示す．潜伏期～進展期の状態から損傷が顕在化し始める加速前期に推移する遷移確率 P_2 に着目すると，一般環境から過酷な塩害環境になるにつれて遷移確率は大きくなる傾向が確認されが，P_3 以降においては同様の傾向がみられなかった．この理由としてひび割れは，鉄筋腐食，初期欠陥，アルカリ骨材反応等様々な発生原因があり，劣化の進行も異なると考えられるが，それらを細かく分類せず一括りでひび割れとして点検しているため，このような結果になったと考えられる．また，一般環境では加速中期，劣化期への推移は短期間で進行することが予測されるものの，加速前期，加速後期への推移が短期間で進行する確率は低い状況となった．これに対して，海岸線から 200m までの環境では劣化の推移が全体的に早く，結果として劣化期まで短い期間で推移すると予測された．



図－2　各劣化進行過程での遷移確率

図－3 には，**図－2** の結果を基に推定した各環境下における劣化進行予測結果を示す．環境ごとに各劣化過程が占める割合が異なっていることが確認できる．また，供用年数 45 年時の各環境下での劣化予測に着目すると，健全な橋梁の割合は，一般環境で約 80%，海岸線から 100m~200m までの環境で約 50%，海岸線から 100m までの環境で約 40%となる結果となった．また，海岸線から 200m までの 2 つの環境区分において加速中期に入る橋梁数を比較しても，海岸線から 100m までの環境の方が多くなると予測され，3 つの環境で違いがあることが示された．



図－3　マルコフ連鎖モデルを用いた劣化予測

4. まとめ

本研究では，マルコフ連鎖モデルによる遷移確率の算出と遷移確率を用いた橋梁の劣化予測を行った。その結果，損傷等級と供用年数の関係にばらつきのあった橋梁の点検結果を適切に整理でき，各環境区分ごとに劣化進行過程を考慮した劣化進行予測ができることを確認した。予測結果より，ひび割れのように同一の損傷種類であっても，発生原因が異なることで劣化の進行も異なると考えられるため，今後の点検診断手法の見直しが必要だと考える．また，環境区分ごとに得られた予測結果から，一般環境では加速後期から劣化期までの推移が短期間で進行する確率が高く，加速後期以前の加速中期での補修・補強が必要であること，海岸線から 200m までの環境では劣化の顕在化後は早くに対応をする必要があること等の情報が得られ，これらは，橋梁群を管理していく上での優先度を考慮した点検頻度の決定，補修時期の的確な選定などの指標になり得ると考えられた．

＜参考文献＞池守　昌幸　著：土木計画のための確率・統計序説，森北出版株式会社，1985