

RC 床版の劣化速度に関する統計的分析に基づく補修優先順位の決定

大阪大学大学院 学生員 ○福田 泰樹 正会員 貝戸 清之
西日本高速道路株式会社 正会員 橋爪 謙治
西日本高速道路エンジニアリング中国株式会社 正会員 横山 和昭

1. はじめに

社会基盤施設に対する補修等の意思決定は目視点検を通して、点検員や専門技術者の経験的判断によってなされる場合が少なくない。一方で近年における社会基盤施設を取り巻く経済的状況は厳しく、このような意思決定プロセスの視覚化が重要な課題となっている。

本研究では、高速道路の橋梁床版における遊離石灰による劣化に着目し、混合マルコフ劣化ハザードモデル¹⁾を適用し、床版個々の劣化過程に介在する異質性を含めた劣化予測を行う。その上で個々の床版に対する劣化速度を表現するハザード率の相対評価を行い、最適な補修順位を決定する。

2. 混合マルコフ劣化ハザードモデル

社会基盤施設に対する目視点検の結果は、一般的に多段階の離散的な健全度（損傷度）として評価される。マルコフ劣化ハザードモデルでは、主な劣化要因を特性変数として内包させたハザード率によって、任意の健全度から次段階の健全度へ進展する劣化速度を定義する。本研究ではさらに、特性変数では表現しきれない要因（不可観測要因）の影響をグループ単位に対して1つのパラメータで集約しを確率分布で表現する。このパラメータをこれ以降、異質性パラメータと呼び、混合マルコフ劣化ハザードモデルをハザード率と異質性パラメータの確率的コンボリューションにより定義する。

3. 混合マルコフ劣化ハザードモデルの推計

目視点検データに基づき、混合マルコフ劣化モデルのパラメータ推計と個別橋梁の異質性パラメータの推計を行った。適用橋梁と目視点検結果の概要を表-1に示す。遊離石灰法²⁾の健全度は5段階で評価されており、健全度5の状態を除く合計4つの健全度に対して混合マルコフ劣化モデルを定義できる。各健全度に対応する劣化速度を表す混合指数ハザード率の特性変数の候補となる変数を組み合わせ、ハザード率の推計を行った。

表-1 目視点検データの概要

総橋梁数	146					
供用開始年	1974～1993					
総スパン数	644					
総サンプル数	975					
健全度と劣化度の関係	健全度	I(OK)	2(V)	3(IV)	4(III)	5(I・II)
	サンプル数	72	415	132	333	23
	漏水劣化度平均	0.08%	1.26%	3.72%	8.28%	19.00%
	剥離劣化度平均	0.20%	0.47%	0.86%	1.41%	5.72%

表-2 パラメータ推計結果

健全度	定数項	支間長	凍結防止剤散布量	漏水劣化度異質性
	$\beta_{i,0}$	$\beta_{i,1}$	$\beta_{i,2}$	$\beta_{i,3}$
1	-12.1 (-6.43)	4.13 (2.28)	3.83 (3.37)	9.64 (4.20)
2	-11.9 (-13.3)	2.55 (2.60)	2.38 (7.77)	9.62 (9.96)
3	-6.55 (-6.73)	-	1.49 (4.41)	5.09 (4.71)
4	-9.13 (-7.01)	-	5.99 (4.24)	-
ϕ	2.15 (2.41)			
対数尤度	-590.4			
AIC	1,206			

注) 括弧内はt-値を示している。

その中で符号条件を満足し、かつそれぞれの t -値に対して、特性変数が有意でないという帰無仮説が有意水準95%で棄却される臨界値 1.96 を上回るものを採用した。さらにこのとき、多変数を考慮したそれぞれのモデルに対してモデルと実データのあてはまり具合を評価するために、情報量基準 AIC の算出を行い、AIC が最小となるモデルを最適モデルとして選定した。表-2 に以上の手順で推計した混合マルコフ劣化モデルの最尤推定量 $\hat{\beta}$ 、 $\hat{\phi}$ を示す。また同表には各特性変数の t -値を示している。このとき、採用された特性変数は、1) 支間長、2) 凍結防止剤散布量、3) 漏水劣化度異質性パラメータであった。次に、各径間の異質性パラメータを推計し、664本の期待劣化パスを算出した。図-1 に全ての期待劣化曲線を示す。

4. ハザード率の相対評価

標準ハザード率と異質性パラメータの推定値を用いて、個別橋梁の RC 床版の劣化速度を相対評価する。図-2 には、サンプルの標準ハザード率の平均値と異質性パラメータの平均値の積（平均混合ハザード率）が 0.118 とな

表-3 劣化速度の順位決定（混合ハザード率上位 10 スパン）

橋梁名	上下線	スパン No.	異質性パラメータ	支間長	凍結防止剤散布量	漏水異質性パラメータ	点検年	健全度	混合ハザード率	漏水劣化度(%)	他健全度ハザード率
A	上	2	1.731	40.5	1127.81	1.085	2007	5	1.040	6.79	(1)(2)(4)
	下	1	1.562	39.95	1127.81	1.086	2007	5	0.940	10.34	(1)(2)(4)
B	上	1	1.087	33.5	1060.32	1.122	2007	5	0.696	64.39	(1)(2)(4)
		2	0.951	33.5	1060.32	1.122	2007	5	0.609	47.80	(1)(2)
		1	0.932	36	1060.32	1.121	2007	4	0.595	23.26	(1)(2)
		2	0.888	36	1060.32	1.121	2007	5	0.567	53.55	(1)(2)
C	下	3	1.199	44	873.48	1.100	2008	4	0.548	7.10	(1)(2)
D	下	1	1.288	37	1127.81	1.001	2007	4	0.544	5.22	(1)(2)(4)
E	下	1	0.787	31.7	954.48	1.174	2007	4	0.544	16.40	(1)(2)
F	上	3	0.943	35.5	1127.81	1.063	2007	4	0.517	7.52	(1)(2)(4)

健全度5

補修計画有

補修履歴有

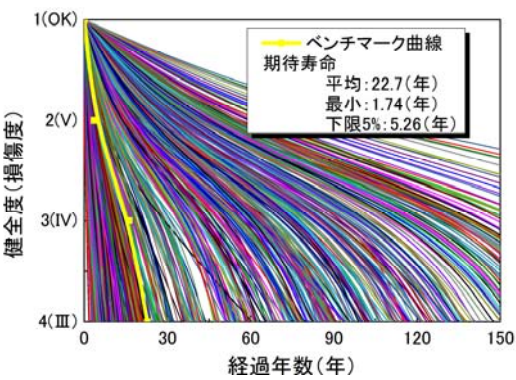


図-1 期待劣化曲線

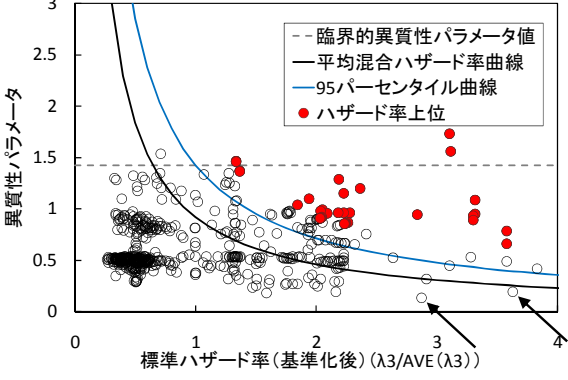


図-2 ハザード率相対評価

る曲線を黒い実線で示している。この曲線より下に位置する床版は相対的に劣化速度が遅く、寿命が長いと評価することができる。さらに、同図には標準ハザード率と異質性パラメータの積の 95 パーセントタイルの曲線も併せて示している。95 パーセントタイル曲線より上に位置する床版が重点監視集合に属することになる。同図には特に劣化速度（混合ハザード率）が大きい上位 30 の床版を赤色で示す。また、図-2 中に矢印で示した床版のように、環境条件が厳しい（標準ハザード率が高い）床版であっても異質性パラメータが小さく、その結果劣化速度が緩やかな床版も存在する。重点管理集合と同様に、このような床版に対して、劣化速度が緩やかな原因を解明することで、新たな長寿命化技術の開発や、長寿命化床版の設計へ貢献することが可能になる。また、目視点検を実施していけば逐次情報が蓄積される。したがって新規情報を追加して以上のようなプロセスを再度実施するといった継続的な努力が必要である。

5. 補修優先順位の決定

4. では混合ハザード率に着目することに注目することにより、床版間の劣化速度を相対評価できることを示した。さらに混合ハザード率に基づき、劣化速度の順序を決定することで補修の優先順位を定量的に示す一つの基礎的な根拠となり得るものと考えられる。具体的に、

本適用事例においても 664 径間の床版に対する劣化速度の順位付けを行う。健全度 3 に対する劣化速度（混合ハザード率）の上位 30 の床版を表-3 に示す。これらの床版に関しては、劣化速度（混合ハザード率）のみならず、点検を通して得られた情報を網羅的に列挙した。さらに、健全度 3 以外の 1, 2, 4 で上位 30 として抽出されたものを同表に示す。健全度 1 は①、健全度 2 は②、健全度 4 は④として標記する。このように、本提案手法によりこれまでの補修実績とある程度整合的な補修優先順位を定量的かつ客観的に検討することが可能となる。

6. おわりに

本研究では、これまで定量的、あるいは客観的に評価することが困難であった補修優先順位や、今後の目視点検で蓄積していくべき情報に対する効率的な意思決定を支援する方法論を提案した。その一方で今後の課題としては①補修効果の視覚化、②目視点検時に詳細情報を取得することによる経済的効果の分析といった 2 点があげられる。

参考文献

1) 小濱健吾, 岡田貢一, 貝戸清之, 小林潔司: 劣化ハザード率評価とベンチマーキング, 土木学会論文集 A, Vol.64, No.4, pp.857-874, 2008.
2) 西日本高速道路株式会社: 保全点検要領 (構造物編), 2006.