

橋梁の劣化予測に関する定量的考察

(株)高速道路総合技術研究所 正会員 白川 裕之

1. 背景

高速道路における定期点検では、構造物の健全度に関する評価を行っている。健全度は、構造物の要求性能に対する現状での性能の度合を5段階（Ⅰ～Ⅴで、数値が高いほど性能が低下）で評価されている。これらは部材毎に評価されており、主に中長期の修繕・更新計画に活用される。今後、膨大な橋梁を効率的に維持管理していくためには、橋梁における健全度の劣化進行の程度を予測できることが有効な手段となる。

2. 目的

橋梁の部材に対する劣化予測を行うため、劣化予測式を作成する。劣化予測式は、定期点検で評価された健全度（変状グレード）を用いた統計分析にて作成し、作成された劣化予測式の精度を定量的に評価する。

3. 劣化予測式の作成

橋梁の健全度を低下させ、変状を生じさせる主な影響要因として表1があげられる。劣化予測式の作成にあたっては、影響要因のうち「高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術的検討委員会」で検討された影響要因（表1）を選んだ。各影響要因の条件によって健全度評価に与える影響の度合が異なるため、各影響因子の条件について表2のように分類した。劣化予測式は、条件の組合せ毎における経過年数に対する健全度評価の関係式とし、各健全度評価における経過年数の平均値を用いて近似的に作成した。なお、地震や施工不良等は数値的に表すことが困難であるため考慮しない。

作成した劣化予測式の例を図1、図2に示す。図は鋼橋（鈑桁）のRC床版に関する健全度の劣化予測式である。図中の青丸は点検結果であり、図の赤丸は各健全度における平均年である。図1と図2における条件の違いは、累積10t換算軸数である。累積10t換算軸数の大きい図2の方が、劣化の進行が早くなる結果になると思われたが、累積10t換算軸数が小さい図2の方が変状速度は速い結果であった。使用した各健全度評価における橋梁の経過年数も範囲が広いケースが多くみられた。

表1 影響要因

影響要因		劣化予測で考慮
構造条件	構造選定(橋種、構造種別、部位等)	○
	設計条件(床版厚、W/C、かぶり等)	—
作用条件	繰返し荷重(累積10t換算軸数等)	○
	衝突	—
	地震	—
	地盤沈下	—
環境条件	凍結防止剤の散布	○
	飛来塩分	○
	気象条件(降雨日数、気温等)	—
材料条件	内在塩分	○
	反応性骨材	○
施工条件	施工不良	—

表2 影響要因の分類

影響要因	分類条件
橋種	PC橋、RC橋、鋼橋
構造種別	T桁、I桁、床版、中空床版、鋼主桁、鋼箱桁
部位	中央部、端部
繰返し荷重 (累積10t換算軸数)	1000万回未満、1000～2000万回、 2000～3000万回、3000～4000万回、 4000～6000万回、6000～10000万回、 10000万回以上
凍結防止剤の散布	250t未満、250～500t、 500～1000t、1000t以上
飛来塩分	有or無
内在塩分	有or無
反応性骨材	有or無

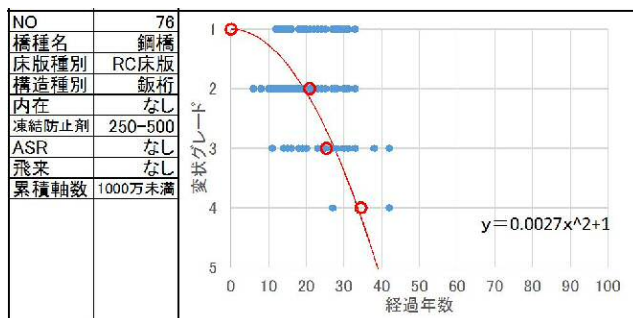


図1 劣化予測式（累積軸数 1000 万回未満）

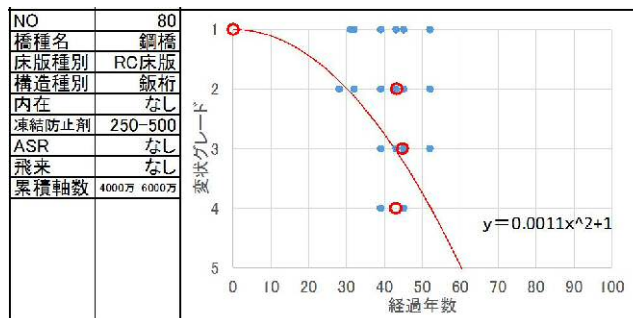


図2 劣化予測式（累積軸数 4000～6000 万回以上）

キーワード 健全度評価，劣化予測，重回帰分析，決定係数，t 値，p 値

連絡先 〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1 TEL042-791-1625

4. 劣化予測の精度

劣化予測について、定期点検から得られた健全度データを用いて統計分析を行う場合、その精度が問題になる。図1と図2においては、繰返し荷重（累積 10 t 換算軸数）を除いた他の影響因子を固定した条件下で作成した劣化予測式であるため定性的な議論はできるが、健全度の低下に対する累積 10 t 換算軸数の影響が定量的に小さいとは言い難い。よって、劣化予測式を作成するにあたって選択した影響因子が、健全度の低下にどの程度の影響を与えているかを定量化することで、劣化予測に関する精度の評価を行った。

5. 精度の定量化

定量化は、健全度を目的変数とし、各影響因子を説明変数とした多変量解析にて行った。各変数の性質は表3のとおりであり、目的変数の健全度はⅠからⅤで表されるため量的変数として扱うこととした。説明変数のうち、飛来塩分の有無、内在塩分の有無、海砂使用の有無については質的変数であるためダミー変数を設定した。以上により、多変量解析の1つである重回帰分析を用いた。

表3 変数の性質

変数	性質
健全度	量的要因
累積10t換算軸数	量的要因
凍結防止剤の散布量	量的要因
飛来塩分の有無	質的変数
内在塩分の有無	質的変数
反応性骨材の有無	質的変数

鋼橋（鈑桁）のRC床版（中央部）に関する結果を表4に示す。決定係数 R^2 は目的変数（健全度）が説明変数（影響因子）によって説明される割合を示すものであり、データ数の影響を考慮して自由度調整済み決定係数を用いた。鋼橋（鈑桁）のRC床版（中央部）における決定係数 R^2 は0.124であり、本稿で選択した影響因子による健全度の低下に対する影響の割合は約12%程度であった。

次に、各影響因子の影響度の大きさに関する評価について、係数で評価するには各影響因子の次元が異なるためt値（係数/標準誤差）による評価を行う。各影響因子のt値は健全度に対する影響の大きさを示す。鋼橋のRC床版においては、内在塩分の有無による影響が最も大きく、続けて反応性骨材の有無と凍結防止剤散布量の順に影響が大きい結果であった。最も影響が小さい影響因子は累積 10 t 換算軸数であり、t値の絶対値も2以下であるため健全度への影響は小さいという結果であった。ただし、RC床版の床版厚による影響を考慮できていないため、今後、詳細な分析を行う必要がある。

また、内在塩分の有無、反応性骨材の有無、凍結防止剤散布量のp値に関して、いずれも5%未満であることから、健全度の劣化予測にあたって有効な影響因子であるという結果であった。

表4 重回帰分析の結果

橋種	評価部材	影響因子	係数	標準誤差	t値	p値	決定係数 R^2
鋼橋	RC床版	凍結防止剤散布量	6.60×10^{-5}	1.30×10^{-5}	5.07	4.05×10^{-7}	0.124
		累積10t換算軸数	1.14×10^{-10}	4.68×10^{-10}	0.243	0.808	
		飛来塩分の有無	0.0887	0.0639	1.39	0.165	
		内在塩分の有無	0.461	0.0472	9.76	2.37×10^{-22}	
		反応性骨材の有無	0.386	0.0632	6.10	1.11×10^{-9}	

6. まとめ

健全度の劣化予測を行うための劣化予測式を作成した。これらの劣化曲線からは、定性的な傾向をみることはできるが定量的な評価を行うことはできない。このため、重回帰分析を用いた劣化予測の定量化を行った。その結果、鋼橋（鈑桁）のRC部材（中央部）に関しては、考慮した影響因子が健全度評価に対して説明できる割合は12%程度であった。残りの割合は、考慮しきれていない影響因子（気象条件、設計条件、地震などの作用条件、施工不良）による影響である。また、影響因子の中で累積 10 t 換算軸数による影響が最も小さい結果であったが、床版厚といった設計条件を考慮できていない。

今後は、分析に使用したデータの精査を行いつつ、他の橋種についても同様の分析を行う。また、劣化予測の精度向上のために、考慮できていない影響因子のうち、量的要因として表しやすい気象条件や設計条件についても分析に取り込んでいく。なお、健全度を評価する際は、判定する際の人的誤差の影響も存在すると考える。