

点検・補修実績に基づく橋梁の健全度および維持管理費予測手法の検討

都市交通研究室 16105388 高安あずな
指導教員 鳩山紀一郎

1. はじめに

我が国の多くの橋梁は更新期を迎え、維持管理費用がかかる時代が到来した。これを受け、橋梁の点検や補修を効率的に行う研究が進められているが、補修工事に実際どの程度の費用が費やされているのか、十分には分かっていない。地方自治体においても、将来的にどの程度の補修費用を覚悟すべきかを明確にすることが望まれている。

先行研究(渡部, 2019)では、点検の効率化が補修費にどのように影響するのかを実績データを用いて分析しているが、精緻化の余地が大きい。そこで本研究では、橋種の分類項目や補修履歴調査対象都市の拡大を行い、橋種別に供用年数から健全度の自然低下傾向を予測する手法や補修費予測式の精緻化を行う。

2. 橋種別にみた健全度自然低下予測

(1) 健全度の定義

橋梁点検においては、橋梁の損傷や性能といった健全性を健全度という指標で評価している。新潟県では独自にA, B1, B2, C1, C2, C3, Eの七段階の健全度区分が用いられ、その定義を表-1に示す。ここでは先行研究同様、七段階の健全度区分を用いて橋種別の健全度自然低下傾向を見ることにした。以下では健全度A~Eを1~7として扱う。

(2) 健全度自然低下傾向予測手法の選定

次に、新潟県市町村の橋梁点検データのうち健全度区分が七段階かつ供用年数が判明している4,047橋に関するデータを用いて、維持管理や補修が一切行われない状態での橋梁の健全度の経年変化(健全度の自然低下)を予測する手法を検討する。橋梁点検データには維持管理や補修がこれまでに終わっている橋梁と行われていない橋梁が混在しているため、単純に各健全度の橋梁の供用年数の平均値を用いることは適切とはいえない。そのため先行研究では、供用年数の平均値ではなく、第一四分位数を用いて線形回帰分析により健全度の自然低下傾向予測を試行しているが、他の手法も検討することにより、より合理的な予測手法を検討すべきである。そこで、先行研究ではPC橋、ボックスカルバート橋(以下BOX橋)を含むRC橋、鋼橋を対象としていたが、本研究ではBOX橋、PC橋、RC橋、鋼橋を対象として、以下の手法で健全度の自然低下傾

表-1 新潟県の健全度区分

区分	健全度区分の定義
A(1)	損傷がなく、建設当時の性能を保持している状態。
B1(2)	損傷があるが、性能の低下はほとんどない状態。
B2(3)	損傷があり、軽微な性能の低下がある状態。
C1(4)	損傷があり、性能の低下が懸念される状態。
C2(5)	損傷が著しく、性能の低下が顕著な状態。
C3(6)	性能の低下が著しく、早期の劣化進行が危惧される状態。
E(7)	落橋の危険が想定される状態。安全性の観点から緊急に対策が必要な状態。

向の予測を試みた。

- ① 高齢橋梁を除外したうえで供用年数の平均値を線形回帰する方法
- ② 橋齢の累積相対度数および健全度間の橋齢分布のタイムラグ相関を用いる方法

①は健全度ごとに高齢(=補修履歴がある)と見なす橋齢のしきい値を設定してサンプルを除外し、その平均値を用いて線形回帰する方法である。しかしこの方法では、しきい値の設定が恣意的になり得るため、恣意性をできるだけ排除できる②の手法を用いて予測を行うことにした。

また、塩害環境にあるか否かも橋梁の健全度低下に影響を及ぼすと考えられるが、先行研究同様、本研究では分析の対象から除外した。

(3) 健全度間の橋齢分布のタイムラグ相関分析

健全度自然低下傾向を予測するにあたり、まず、健全度ごとの橋齢分布より、健全度が低下する際にかかる期間を、タイムラグ相関を用いて把握した。具体的には、健全度1の橋齢分布が健全度2の分布と最も相関が高くなるタイムラグを健全度が1から2に低下するのにかかる標準的期間と考え「健全度1~2 遷移期間」とし、健全度2と3の橋齢分布の相関が最も高くなるタイムラグを「健全度2~3 遷移期間」とする。これを健全度7まで繰り返す。これを各健全度間の遷移期間とする。

(4) 初期性能維持期間の推定

橋梁の健全度が1から2に遷移する標準的期間が明らかになったとしても、そもそも橋梁が健全度1(=架設当初)の状態から低下し始めるにはある程度の期間を要するものと考えられる。これを「初期性能維持期間」と呼ぶ。ここでは以下の方法を用いて初期性能維持期間を検討する。

- i) 健全度1の最頻値を用いる方法(最頻値法)
- ii) 健全度1の割合が他の健全度の割合を下回るまでの期間を用いる方法(割合法)
- iii) 健全度1と全体の累積相対度数の差が最大となるまでを期間を用いる方法(累積相対度数法)
- iv) 健全度1の度数分布が全体の度数分布から乖離し始めるまでの期間を用いる方法(度数法)

この4つの方法にはそれぞれにメリット、デメリットはあるが、補修された可能性のある橋梁が除外でき、橋齢の分布形状を反映しやすいことから、本研究ではiii)の累積相対度数法を用いて初期性能維持期間を求めることが妥当と判断した。この方法は図-1のように、健全度1と健全度の累積相対度数を算出し、その差が最大となるところまでを初期性能維持期間とする考え方である。これは、「健全度1の橋梁が最も集中する年代」と「健全度1の割合が減り始める年代」が等しいと考え、これを標準的に健全度1が継続する供用年数と考えるのが妥当であると判断したからである。

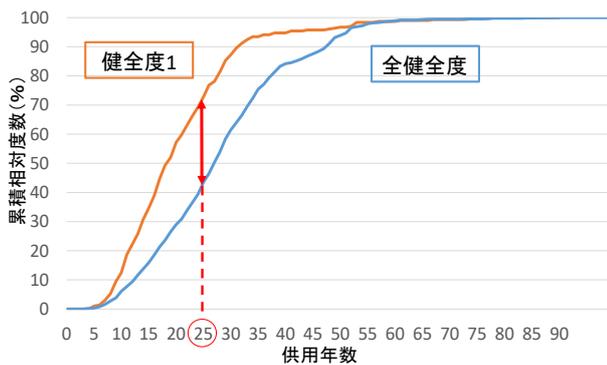


図-1 PC橋における橋齢の累積相対度数

ここで、累積相対度数による初期性能維持期間の結果と前節の結果をまとめたものを表-2に示す。また、表-2と健全度分布を組み合わせたものを図-2~図-5に示し、これが本研究での健全度自然低下傾向の予測結果となる。

表-2 橋種別の健全度自然低下傾向の予測結果

		BOX	PC	RC	Steel
初期性能維持期間		23年	25年	43年	33年
健全度遷移期間	1→2	11年	5年	2年	8年
	2→3	2年	8年	5年	2年
	3→4	8年	17年	2年	2年
	4→5	—	5年	2年	5年
	5→6	—	2年	2年	2年
	6→7	—	8年	2年	2年
健全度低下年数		44年	70年	58年	54年

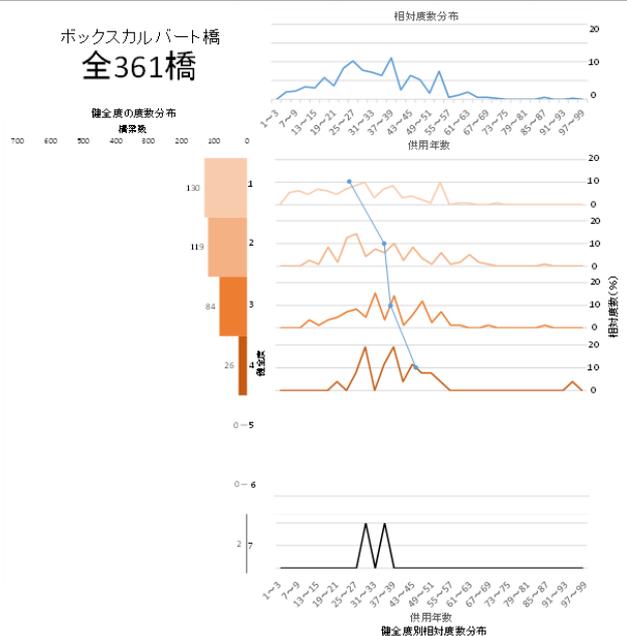


図-2 BOX橋における健全度の自然低下傾向

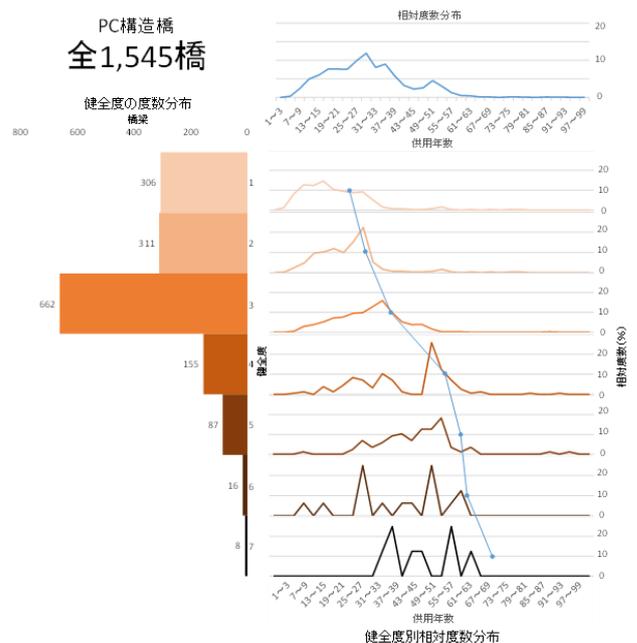


図-3 PC橋における健全度の自然低下傾向

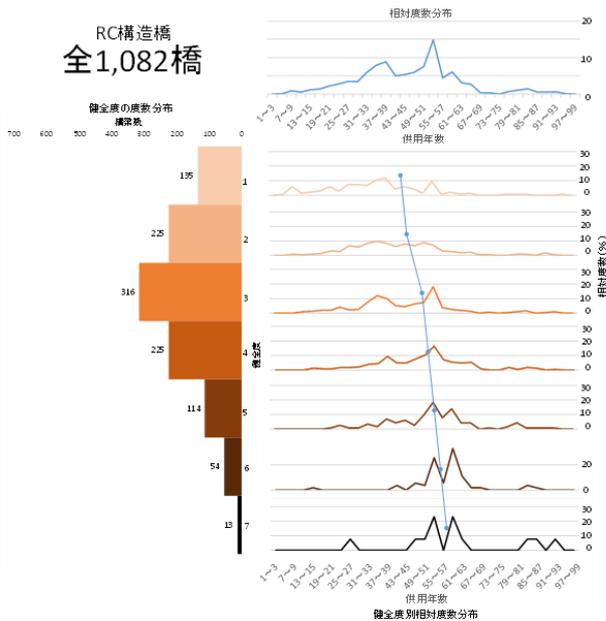


図-4 RC橋における健全度の自然低下傾向

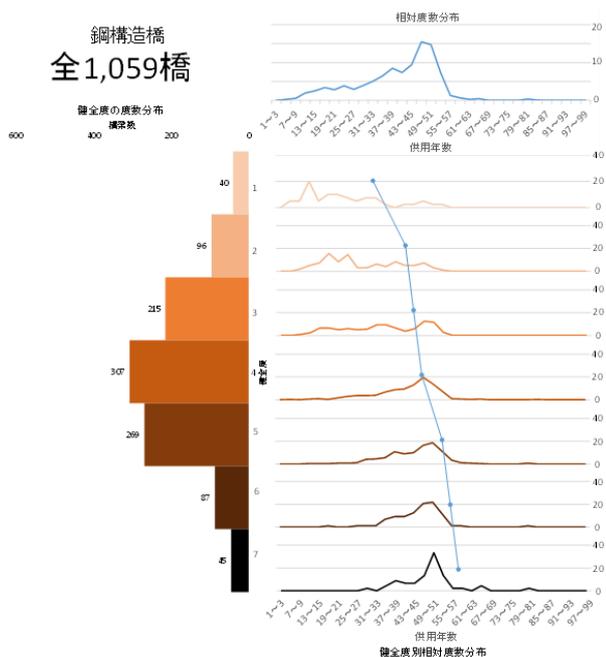


図-5 鋼橋における健全度の自然低下傾向

3. 橋種別の補修費予測式の作成

補修費予測式の作成にあたり、対象とする都市は新潟市 (N=113) と長岡市 (N=28) に選定した。

(1) 補修内容の詳細分析

補修費予測式の作成を行う前に、補修内容の詳細について分析する。本研究では、先行研究同様、橋梁面積と補修費の関係を分析に用いた。ここで新潟市に着

目すると、橋梁面積が同じでも補修費に数億円の差が確認された。分析すると、新潟市で補修された113橋のうち59橋が鋼橋であり、この鋼橋の補修費が高くなっていることが分かった。この要因として、鋼橋では定期的な塗装工事による費用がかかっているためであることが分かった。ただし、本研究の補修費推定上は、補修費が「高い場合と安い場合が確率的に生じる」ものとして、補修内容については分類せずに扱ってよいものとする。

(2) 補修費予測式の作成

先行研究では橋種によらず、橋梁面積と補修費に基づいて予測式を作成したが、サンプル数が増え橋種別の分析が可能となったため、本研究ではコンクリート (BOX, PC, RC) 橋:47橋と鋼橋:71橋において補修費予測式を推定する。今回、補修費予測式は先行研究同様、 α をパラメータとする以下の式を用いる。

$$c(A) = \alpha \times \sqrt{A}$$

なお、7段階の健全度区分で予測式を作成すると、サンプルが確保できないため、鋼橋とコンクリート橋をそれぞれ表-3のように健全度のグループ分けをし、各グループで回帰分析を行った。結果を表-4に示す。

表-3 補修費予測のための健全度グループ

健全度	鋼橋		コンクリート橋	
	グループ	橋梁数	グループ	橋梁数
1	S ₁	13	M ₁	13
2				
3			M ₂	20
4				
5	S ₂	16	M ₃	14
6	S ₃	26		
7	S ₄	16		
合計		71		47

表-4 各健全度グループのパラメータ、R²値及びt値

	鋼橋				コンクリート橋		
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	M ₁	M ₂	M ₃
α	2.15	3.80	4.85	5.58	1.24	3.32	2.80
R ² 値	0.53	0.60	0.64	0.90	0.56	0.61	0.77
t 値	3.65	4.71	6.67	11.64	3.88	5.50	6.68

コンクリート橋ではパラメータが M₁<M₃<M₂ と、健全度劣化に伴い補修費がかかるという実情とは異なる

る結果が得られた。これは健全度 4, 5 が主構造補修を中心に費用のかかる項目が増え始める時期で、グループ M₂ に橋梁面積の大きなものが複数含まれていたことが原因である。よって、コンクリート橋は健全度 4 以降になると橋梁の劣化状態によらず、一定の補修費がかかるということが考えられる。

この結果を踏まえ、コンクリート橋における健全度のグループ分けを表-5 のように再構成し、重回帰分析の結果を表-6 に示す。パラメーターが M₁<M₂+M₃ となり、観測数に差はあるが、実情を反映している結果となった。

表-5 補修費予測のための健全度グループ
(コンクリート橋)

健全度	グループ	橋梁数
1	M ₁	13
2		
3		
4	M ₂ +M ₃	34
5		
6		
7		
合計		47

表-6 各健全度グループのパラメーター、R² 値及び t 値

	M ₁	M ₂ +M ₃
α	1.24	3.18
R ² 値	0.56	0.64
t 値	3.88	7.64

4. まとめと今後の課題

(1) まとめ

今回、4,047 橋の橋梁点検データを用いて初期性能維持期間の推定を行ったところ、i) ~ iv) の手法の中で累積相対度数が最も適切であると判断した。しかし、定期点検が二巡目に入り、4,047 橋以上のデータが得られれば、今回提案した最頻値法・割合法・累積相対度数・絶対値法いずれの手法でも同様の、あるいは近い値で初期性能維持期間の推定が行うことが可能であると考えられる。

また今回、新潟市・長岡市は 7 段階の健全度区分を 5 つのグループに分けて補修費予測式の作成を行った。先行研究で扱った新潟市に長岡市のデータが加わったことで、より細かい健全度グループでの補修費予測式

の作成を行うことができた。建設技術センターが取りまとめた新潟県の橋梁点検データは 7 段階の健全度区分が用いられているが、それ以外では 4 段階の健全度区分が用いられている。将来的に、新潟県全土で補修費を推定するため、4 段階の健全度区分を用いた予測式を用いることも検討しなければならない。

また、本研究ではコンクリート橋と鋼橋での補修費予測式の作成を試みた。コンクリート橋では健全度が低下しているにも関わらず補修費が増加していない結果も得られたが、これは予防保全型の補修工事が行われ、健全度 6, 7 に至る前に補修が行われているからだとして推測できる。鋼橋では健全度低下に伴い、補修費が増加しているため、実情が反映された結果となった。

したがって、本研究では健全度の自然劣化と補修費の予測を先行研究よりも精度よく行うことができ、より合理的な予測式を作成することができた。

(2) 今後の課題

本研究で扱った橋梁データは健全度 7 段階のもののみであり、今回作成した健全度自然低下傾向予測式は新潟市のほんの一部のデータである。よって、二巡目の定期点検が行われることで健全度が明らかとなる橋梁を含めた推定式の作成を行う必要がある。

また、補修前に診断された健全度が補修後にはどの程度回復しているのかを考慮することで、橋梁面積のみに依存しない補修費予測を行うことが可能であると考えられる。補修費予測式については、新潟市・長岡市を合わせて作成したが、各自治体の財政状況の違いに基づく補修費の予測を行うことが今後の課題として挙げられる。また、今回 BOX 橋、PC 橋、RC 橋を合わせてコンクリート橋として補修費予測式の作成を行ったが、各橋種の構造上の違いから、BOX 橋を除き、PC 橋、RC 橋を合わせてコンクリート橋として補修費予測式の作成を行うと、より合理的な予測が行うことが可能である。

今後は、今回作成した健全度自然低下傾向予測式、補修費予測式を用いて、橋梁点検における精度の検証のために、健全度の判定確率を組み込んだ今後 30 年間におけるシミュレーションを行う必要がある。このシミュレーション結果より、先行研究からの精度向上を検証する必要がある。

参考文献

渡部真大、「橋梁の点検高効率化が橋梁の健全度分布に与える影響に関する分析」、長岡技術科学大学修論