

近代木橋に対する耐用年数の要因分析と推定

金沢工業大学 フェロー ○本田秀行

1. まえがき

修正材を用いた木橋を以下に近代木橋と言う。近代木橋の架設では経済性と耐久性が重要な課題になる。特に耐久性に関しては、発注者側は近代木橋も丸太や製材の木橋と同レベルで論議され、すぐに腐るからと敬遠される場合が多い。もし、耐久性に関して近代木橋に対する耐用年数の推定が可能であれば、既設の近代木橋に対しては経年による補修工事等の時期を明示できる予防保全を、あるいは新規に計画する近代木橋に対しては鋼橋やコンクリート系橋と同じ議論の中で概略設計の検討やより高い耐用年数への設計変更が可能になるなど、発注者や設計・施工業者および管理者に対する啓蒙や適切な予防保全および普及に顕著な相乗効果がある。しかしながら、近代木橋の耐用年数を推定する検討は、土木学会・木橋研究小委員会以外に諸外国でもほとんど行われていないのが実情である。

そこで、本研究では近代木橋に対する耐用年数の計算式を用いて、架設実績データに基づいた 72 近代木橋を対象に耐用年数に影響を与えている要因の分析、数量化理論第 I 類による耐用年数の要因分析と推定式の開発を行い、今後の近代木橋に対する予防保全や新規計画時の具体的な耐用年数の推定式とその活用法を提示する。

2. 対象橋梁

本田研究室で収集した木橋は 991 橋ある。991 橋の内、754 橋が丸太・製材木橋で、237 橋が集成材を用いた近代木橋である。本研究では、その 237 橋のうち耐用年数の計算に必要なデータの充足している 72 橋を対象橋梁とした。

表-1 に対象橋梁データの 10 橋分を示す。

3. 耐用年数の計算法

耐用年数を算出する場合、使用材料 P 、周辺環境 E 、構造形式 S 、腐朽防止(構造) D 、腐朽防止(施工) C 、保全行為 M の 6 項目を点数化し、それらの値を評価式に代入して指標値 Y を計算する¹⁾。その後、指標値 Y を耐用年数の計算式に代入することにより、耐用年数を計算することができる。その評価式 Y を式(1)、耐用年数の計算式 T を式(2)に示す。なお、耐用年数の上限を 50 年とする。

$$Y = P \times E \times S \times D \times C + M \quad \text{--- (1)} \quad T = 7.0 e^{0.73Y} \leq 50 \quad \text{--- (2)}$$

P 、 E 、 S 、 D 、 C 、 M の各要因と算定式を表-2 に示す。保全行為 M の算定式で N は保全行為の回数であり、保全行為があると式(1)の評価値は+で算定されるために耐用年数が大きくなる。また、各要因と点数を表-3~7 に示す。なお、表-6 に示す腐朽防止(構造)、腐朽防止(施工)は現段階では具体的な要因が定まっていないため、 d と c を 1.0 と仮定して計算を行った。また、表-7 に示す保全行為の M は不明確であるため、計算に考慮しないものとした。

表-4 周辺環境と点数

数値	地域別腐朽菌の生育条件: E_1
1.2	地域区分 1
1.1	地域区分 2
1.0	地域区分 3
0.9	地域区分 4
0.8	地域区分 5
数値	架設位置の局所的環境条件: E_2
1.0	一般環境
0.7	湿潤環境

表-5 構造形式と点数

数値	屋根の有無: S_1
2.0	屋根あり
1.0	屋根なし
数値	上落式・下落式等の区分: S_2
1.0	上落橋
1.0	中路橋
0.8	下落橋
数値	桁橋等の構造形式: S_3
1.0	桁橋
0.9	アーチ橋、ラーメン橋
0.8	床版橋
0.7	トラス橋
数値	床版形式: S_4
1.8	鋼床版、コンクリート床版
1.5	木床版(舗装あり)
1.0	木床版(敷板)

表-1 対称橋梁データ (10 橋分)

橋番号	都道府県	完工年	橋梁形式	主要材料
1	鹿児島	1997	下路アーチ	スギ
2	鹿児島	2000	上路アーチ	スギ
3	鹿児島	2002	上路トラス	スギ
4	鹿児島	2007	上路桁橋	スギ
5	鹿児島	1996	上路アーチ	スギ
6	鹿児島	1992	上路桁橋	スギ
7	鹿児島	2002	下路アーチ	スギ
8	鹿児島	2002	上路桁橋	スギ
9	宮崎	1997	上路アーチ	スギ
10	宮崎	2003	下路キョボストラス	スギ

表-2 各要因と算定式

使用材料 P	$P = P_1 + P_2 \times P_3$
周辺環境 E	$E = E_1 \times E_2$
構造形式 S	$S = S_1 \times S_2 \times S_3 \times S_4$
腐朽防止(構造) D	$D = d$
腐朽防止(施工) C	$C = c$
保全行為 M	$M = \sum (N \times m)$

表-3 使用材料と点数

数値	材料固有の耐朽性: P_1
1.5	ヒノキ, ボンゴ, ケヤキ, ヒバ, クリ
1.0	スギ, ベイマツ, カマツ, クヌギ
0.9	モミ, アカマツ, クロマツ
0.8	トドマツ, エゾマツ, クスノギ
数値	材料固有の防腐剤の浸透性: P_2
1.1	ヒバ
1.0	スギ, ベイマツ, モミ, アカマツ, クロマツ
0.9	ヒノキ, ケヤキ, カマツ, エゾマツ, トドマツ
0.8	クリ, ボンゴシ, クヌギ, クスノギ
数値	防腐処理の方法: P_3
1.0	注入処理と表面処理
0.6	注入処理
0.3	表面処理
0.0	防腐処理なし

表-6 腐朽防止と点数

数値	腐朽防止(構造): d
1.3	特に配慮した構造
1.0	一般的対応
数値	腐朽防止(施工): c
1.2	特に配慮した施工
1.0	標準施工

表-7 保全行為と点数

数値	保全行為: m
0.3	主桁の再防腐塗装, 腐朽個所の補修
0.0	保全行為なし

キーワード 近代木橋、耐用年数、要因分析、推定式

連絡先 〒921-8501 石川県野々市市扇ヶ丘 7-1 金沢工業大学 環境・建築学部 環境土木工学科

4. 耐用年数の計算結果

評価式 Y を用いて計算した各要因の点数と、式(2)の耐用年数を用いて算出した耐用年数（以下に計算値と言う）の10橋分を表-8に示す。計算の結果、72橋の耐用年数の最大値は50年、最小値は15年、平均値は33年であった。各要因の検討結果として、架設年代、樹種、周辺環境、構造形式などの要因では最大値、平均値、最小値に若干の変動が見られた。

5. 数量化理論第Ⅰ類による耐用年数の要因分析と推定

耐用年数にどの要因がどれほどの影響を与えているのかを調べるため、数量化理論第Ⅰ類を用いて要因分析を行った。数量化理論第Ⅰ類の計算では、外的基準を耐用年数とし、耐久性 P_1 、 P_2 、地域別基本値 E_1 、屋根 S_1 、橋梁形式 S_2 、上部工形式 S_3 、床版形式 S_4 の7つをアイテムと設定した。なお、防腐処理 P_3 、居所的状況 E_2 はすべてが同一の条件となっているため、アイテムから外した。また、各アイテムに対しては、例えば表-4の屋根 S_1 に示すように、屋根ありと屋根なしに細分されている。それら各アイテム（要因）の細分項目をカテゴリーとし、合計22のカテゴリーを設定した。なお、防腐処理 D 、 C および保全行為 M は詳細なデータがないため、カテゴリーから除外した。

上記の条件で72近代木橋に対する耐用年数の要因分析を行った結果を表-9に示す。ここで、各アイテムのカテゴリー数量の最大値と最小値の差を範囲と言い、この数値が大きいほど外的基準に対する影響度が高いことを表している。計算結果より、耐用年数に対して最も影響度の高い要因は屋根有無の S_1 であり、次いで材料固有の耐久性の P_1 であった。逆に、最も影響度の低い要因は材料固有の腐材浸透性の P_2 である。なお、耐用年数の推定精度を示す重相関係数は $R=0.98$ で顕著に強い相関が得られた。また定数項は34.82である。

数量化理論第Ⅰ類では、要因分析と共にカテゴリー数量を基に外的基準（耐用年数）の推定式を作成することができる。その推定式(3)に示す。

$$Y=17.85P_{11}-0.51P_{12}-3.89P_{21}+0.90P_{22}-3.09P_{23}+3.70E_{11}-1.47E_{12}-3.37E_{13}-9.09E_{14}-12.89E_{15}+22.52S_{11}-1.32S_{12}+3.30S_{21}-5.65S_{22}-5.12S_{23}+3.12S_{31}+0.92S_{32}+2.84S_{33}-6.53S_{34}+11.21S_{41}+10.26S_{42}-5.21S_{43}+34.82 \quad (3)$$

ここに、 P_{ij} 、 E_{ij} 、 S_{ij} はカテゴリー変数と言う。式(3)に示す耐用年数推定式の適用法は、表-9を基にして、例えば屋根 S_1 のアイテムに対して屋根ありの場合は $S_{11}=1.0$ 、屋根なしの場合は $S_{12}=0.0$ を代入する。すなわち、各アイテムのどれかのカテゴリーに該当する場合は1.0を、該当しない場合は0.0を代入する。但し、各アイテムのカテゴリーに2つ以上該当することはない。上記の式(3)は、近代木橋の架設実績に基づく耐用年数の推定式であるが、この式を用いることによって新たな近代木橋の計画段階における耐用年数の推定を簡単に行うことができ、また樹種等の設計条件を工夫することによって、より高い耐用年数を得る検討も可能である。

一例として、表-10のように近代木トラス歩道橋を架設する計画をした場合の耐用年数は29.6年となる。なお、使用材料 P のカラマツからスギに変更すると耐用年数は33.6年となる。

6. まとめ 本研究では、架設実績データを基に、統計学的手法を用いて72近代木橋に対する耐用年数の要因分析と実用的な推定式、およびその適用法を提示した。近代木橋の耐用年数に対する有用な情報になれば幸いである。

参考文献 1) 土木学会・木材工学特別委員会・木橋研究小委員会：木橋の耐用年数・維持管理・新技術、2011年11月。

表-8 耐用年数の計算結果例（10橋分）

橋番号	使用材料				周辺環境			構造形式					腐朽構造		腐朽施工		維持管理		指標値	耐用年数	
	P_1	P_2	P_3	P	E_1	E_2	E	S_1	S_2	S_3	S_4	S	d	D	c	C	m	回数(N)			M
1	1	1	1	2	1	1	1	1	0.8	0.9	1	0.72	1	1	1	1	0	0	0	1.44	20
2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	0.9	1.5	1.35	1	1	1	1	0	0	0	2.7	50
3	1	1	1	2	1	1	1	1	0.7	1	0.7	1	1	1	1	1	0	0	0	1.4	19
4	1	1	1	2	0.9	1	0.9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1.8	26
5	1	1	1	2	0.8	1	0.8	1	1	0.9	1	0.9	1	1	1	1	0	0	0	1.44	20
6	1	1	1	2	0.9	1	0.9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1.8	26
7	1	1	1	2	1	1	1	1	0.8	0.9	1	0.72	1	1	1	1	0	0	0	1.44	20
8	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	2	30
9	1	1	1	2	1.1	1	1.1	1	1	0.9	1.5	1.35	1	1	1	1	0	0	0	2.97	50
10	1	1	1	2	1.1	1	1.1	1	0.8	0.7	1.5	0.84	1	1	1	1	0	0	0	1.85	27

表-9 耐用年数の要因分析とカテゴリー数量

アイテム	カテゴリー	カテゴリー数量	範囲
使用材料 P_1	ヒノキ, ホンゴシ, ケヤキ, ヒバ, クリ	17.85 P_{11}	18.36 (2)
	スギ, ベイマツ, カマツ, クヌギ	-0.51 P_{12}	
P_2	ヒバ	-3.89 P_{21}	4.79 (7)
	スギ, ベイマツ, モミ, アカマツ, クロマツ	0.90 P_{22}	
	ヒノキ, ケヤキ, カマツ, エゾマツ, トドマツ	-3.09 P_{23}	
地域区分 E_1	地域区分1	3.70 E_{11}	16.59 (3)
	地域区分2	-1.47 E_{12}	
	地域区分3	-3.37 E_{13}	
	地域区分4	-9.09 E_{14}	
	地域区分5	-12.89 E_{15}	
屋根 S_1	屋根あり	22.52 S_{11}	23.84 (1)
	屋根なし	-1.32 S_{12}	
橋梁形式 S_2	上路橋	3.30 S_{21}	8.95 (6)
	中路橋	-5.65 S_{22}	
	下路橋	-5.12 S_{23}	
上部工形式 S_3	桁橋	3.12 S_{31}	9.65 (5)
	アーチ橋, ラーメン橋	0.92 S_{32}	
	床版橋	2.84 S_{33}	
	トラス橋	-6.53 S_{34}	
床版形式 S_4	鋼床版, コンクリート床版	11.21 S_{41}	16.42 (4)
	木床版(舗装あり)	10.26 S_{42}	
	木床版(敷板)	-5.21 S_{43}	

表-10 歩道橋の架設条件

使用材料 P	周辺環境 E_1	屋根 S_1	橋梁形式 S_2	上部工形式 S_3	床版形式 S_4
カラマツ	地域区分2	なし	上路橋	桁橋	木床版 (敷板)