

集成材を用いた近代木橋の耐用年数に対する要因分析と推定

金沢工業大学 フェロー ○本田秀行

1. まえがき

わが国における近代木橋の歴史は約 30 年程である。この間、強度設計や耐久設計法、加工・施工技術などが格段に進歩を遂げ、維持管理も学協会や各県などで整備されつつある。しかし、近代木橋の計画段階で具体的な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はほとんど行われていないのが実情である。計画する近代木橋の耐用年数の推定が可能であれば、管理者の啓蒙や適切な利用や普及に顕著な相乗効果がある。

そこで、本研究では近代木橋の耐用年数予測式を用いて、56 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Ⅰ類による推定を行い、今後の近代木橋建設時の参考になる基礎資料の作成を行う。

2. 対象橋梁

わが国の丸太・製材木橋・近代木橋の架設実績として本田研究室では 976 橋を集積している。その中で図-1 に示すように、23%の 221 橋が近代木橋である。その 221 橋の内、本研究では耐用年数の予測に必要なデータが充足している 56 橋を対象橋梁とした。

3. 耐用年数の算出法

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 、設計計画 D 、施工管理 C 、維持管理 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 を求める方法が提案¹⁾ されている。その後、指標値 Y を耐用年数予測式に代入することにより、耐用年数を予測することができる。その評価式 Y を式(1)、耐用年数予測式 T を式(2)に示す。なお、耐用年数の上限を 50 年とする。

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

指標値 Y と耐用年数の関係を図-1 に示す。 P 、 E 、 S 、 D 、 C 、 M それぞれの要因の評価式は表-1 に示す。表-2 に使用材料の点数を、表-3 に周辺環境の点数を示す。なお、 E_2 について、本研究で対象橋梁とした 56 橋の中に日当たりや通気性等の湿潤環境にある橋梁はなかったので、すべて一般状況 (1.0) として計算を行っている。

表-4 に構造形式の点数を、表-5 にその他の要因についての点数を示す。その他の要因について、設計計画と施工管理について現段階では具体的な要因が定まっていないため、この 2 つの要因についてはそれぞれ 1.0 と仮定してケイ酸を行った。表-6 に、維持管理についての点数を示す。

維持管理 M については、全対象橋梁の保全行為に関するデータを集めることが困難であったため、本研究では維持管理については考慮しなかった。

4. 耐用年数の計算結果

評価式を用いて計算した各要因の点数と、耐用年数予測式を用いて算出した耐用年数の 10 橋分を表-7 に示す。計算の結果、56 橋の耐用年数の最大値は 50 年、最小値は 14 年、平均値は 30.4 年であり変動が見られない。各要因ごとの検討結果として、架設年代の要因に対しては耐用年数に大きな変動は見られないが、樹種、構造形式、周辺環境などの要因では最大値、平均値、最小値に顕著な変動が見られた。

5. 数量化理論第Ⅰ類を用いた要因分析と耐用年数予測

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

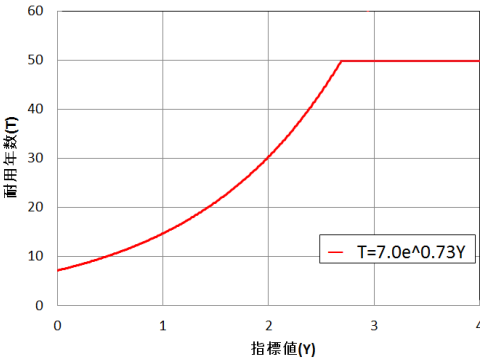


図-1 耐用年数の推定範囲

表-1 要因の評価式

使用材料P	$P = P_1 \times P_2$
周辺環境E	$E = E_1 \times E_2$
構造形式S	$S = S_1 \times S_2 \times S_3 \times S_4$
設計計画D	$D = 1.0$
施工管理C	$C = 1.0$
維持管理M	$M = m \times N$

表-2 使用材料

耐朽性能 P_1	
1.5	ヒノキ、ヒバ、クリ、ケヤキ、ボンゴシ
1	ベイマツ、スギ、カラマツ、クヌギ
0.9	アカマツ、クロマツ、モミ
0.8	トドマツ、エゾマツ、クスノキ
防腐処理 P_2	
1.8	注入処理+表面塗布
1.6	注入処理
1.3	表面塗布
1	なし

表-3 周辺環境

地域別基本値 E_1	
1.2	15℃以上積算時間3520時間以下
1.1	" 4700時間以下
1	" 5900時間以下
0.9	" 7050時間以下
0.8	" 7050時間以上
居所的状況 E_2	
1	一般状況
0.8	日当たりや通気性等の湿潤環境

表-4 構造形式

屋根 S_1	
2	屋根あり
1	屋根なし
橋梁形式 S_2	
1	上路橋
0.8	下路橋
上部工形式 S_3	
1	桁橋
0.9	アーチ橋
0.8	床板橋
0.7	トラス橋
床板形式 S_4	
1.8	鋼床版・コンクリート床板
1.5	木床板(舗装あり)
1	木床板(舗装なし)

表-5 その他要因

1	設計計画
1	施工管理

表-6 維持管理

保全行為 m (1回あたり)	
0.3	主材の再塗布
0.3	腐朽部の補修
0	なし

キーワード 近代木橋、耐用年数、要因分析、推定

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

いて要因分析を行った。数量化理論第Ⅰ類の計算するため、外的基準を指標値とし、耐久性能 P_1 、地域別基本値 E_1 、屋根 S_1 、橋梁形式 S_2 、上部工形式 P_3 、床板形式 S_4 の6つをアイテムと設定した。なお、防腐処理 P_2 、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17のカテゴリーを設定した。表-8に外的基準、アイテムの一覧を示す。

表-8の条件で56橋の指標値の推定計算を行った結果を表-9に示す。ここで、各アイテムのカテゴリー数値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、外的基準の指標値に対して最も影響度の高い要因は屋根の S_1 であり、次いで耐久性能の P_1 であった。最も影響度の低い要因は橋梁形式の S_2 である。なお、推定精度を示す重相関係数は $R=0.993$ で高く、また定数項は1.912である。

上記の計算より求めた予測式を式(3)に示す。
$$Y=0.908P_{11}-0.017P_{12}-0.257E_{11}+0.002E_{12}+0.049E_{13}+0.229E_{14}+1.028S_{11}-0.079S_{12}-0.184S_{21}+0.129S_{22}+0.016S_{31}-0.321S_{32}+0.225S_{33}-0.029S_{34}+0.49S_{41}+0.042S_{42}-0.262S_{43}+1.912 \quad \text{----(3)}$$

ここに、 P_{ij} 、 E_{ij} 、 S_{ij} はカテゴリー変数と言う。式(3)に示す指標値の予測式の適用法は、近代木橋の架設条件として、例えば屋根の要因 S_1 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。

式(3)を用いて、対象橋梁56橋の耐用年数の計算を行った。求めた耐用年数と、耐用年数予測式で求めた耐用年数の比較を行った。比較の結果を図-2に示す。比較の結果、耐用年数の予測式で求めた値と予測式はほぼ同等であることから、数量化理論第Ⅰ類による予測式の推定が妥当な結果であると言える。

上記の式(3)は、近代木橋の架設実績に基づく指標値の予測式であるが、この式を用いることにより新たな近代木橋の計画段階における耐用年数の予測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、犀川大橋に近代木トラス車道橋を架設すると計画した場合の計算例を以下に示す。架設を行う際の条件を表-10に、計算を式(4)、(5)に示す。本計算の結果、耐用年数は19年と予測された。

$$Y=-0.017+0.002-0.079-0.184-0.321+0.042+1.912=1.355 \quad \text{---(4)}$$
$$T=7.0 \cdot e^{0.73 \cdot 1.355}=18.82 \div 19 \text{ 年} \quad \text{---(5)}$$

なお、樹種をヒバに変更した場合、耐用年数は37年となる。

6. まとめ

近代木橋の耐久性に関係する重要な要因は、耐用年数の推定に大きく影響を及ぼすことが統計学的手法でも明らかになった。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：配布資料9-5、2011年6月15日。

表-7 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				設計計画				施工管理				維持管理		指標値	耐用年数
	P ₁	P ₂	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	1.8	1.8	0.9	1	0.9	1	0.8	0.9	1	0.72	1	1	1	1	0	0	0	1.166	16		
2	1	1.8	1.8	0.9	1	0.9	1	1	0.9	1.5	1.35	1	1	1	1	0	0	0	2.187	35		
3	1	1.8	1.8	0.9	1	0.9	1	1	0.9	1	0.9	1	1	1	1	0	0	0	1.458	20		
4	1	1.8	1.8	0.9	1	0.9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1.62	23		
5	1	1.8	1.8	0.9	1	0.9	1	0.8	0.9	1	0.72	1	1	1	1	0	0	0	1.166	16		
6	1	1.8	1.8	0.9	1	0.9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1.62	23		
7	1	1.8	1.8	0.9	1	0.9	1	1	0.9	1.5	1.35	1	1	1	1	0	0	0	2.187	35		
8	1	1.8	1.8	0.9	1	0.9	1	0.8	0.7	1.5	0.84	1	1	1	1	0	0	0	1.361	19		
9	1	1.8	1.8	0.9	1	0.9	1	1	0.9	1.5	1.35	1	1	1	1	0	0	0	2.187	35		
10	1	1.8	1.8	0.9	1	0.9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1.62	23		

表-8 外的基準、アイテム、カテゴリーの一覧例 (10 橋分)

橋番号	指標値	耐久性能 P_1	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
1	1.17	ベイマツ、スギ、カラマツ	3520時間以下	屋根なし	下路橋	アーチ橋	木床版(舗装なし)
2	2.19	ベイマツ、スギ、カラマツ	3520時間以下	屋根なし	上路橋	アーチ橋	木床版(舗装あり)
3	1.46	ベイマツ、スギ、カラマツ	3520時間以下	屋根なし	上路橋	アーチ橋	木床版(舗装なし)
4	1.62	ベイマツ、スギ、カラマツ	3520時間以下	屋根なし	上路橋	桁橋	木床版(舗装なし)
5	1.17	ベイマツ、スギ、カラマツ	3520時間以下	屋根なし	下路橋	アーチ橋	木床版(舗装なし)
6	1.62	ベイマツ、スギ、カラマツ	3520時間以下	屋根なし	上路橋	桁橋	木床版(舗装なし)
7	2.19	ベイマツ、スギ、カラマツ	3520時間以下	屋根なし	上路橋	アーチ橋	木床版(舗装あり)
8	1.36	ベイマツ、スギ、カラマツ	3520時間以下	屋根なし	下路橋	トラス橋	木床版(舗装あり)
9	2.19	ベイマツ、スギ、カラマツ	3520時間以下	屋根なし	上路橋	アーチ橋	木床版(舗装あり)
10	1.62	ベイマツ、スギ、カラマツ	3520時間以下	屋根なし	上路橋	桁橋	木床版(舗装なし)

表-9 数量化理論Ⅰ類の計算結果

アイテム	カテゴリー	カテゴリー数値	範囲
耐久性能 P_1	ヒバ、ヒノキ、クリ、ケヤキ、ボンゴシ	0.908 (P_{11})	0.925
	ベイマツ、スギ、カラマツ	-0.017 (P_{12})	
地域別基本値 E_1	3520 時間以下	-0.257 (E_{11})	0.485
	4700 時間以下	0.002 (E_{12})	
	5900 時間以下	0.049 (E_{13})	
	7050 時間以下	0.229 (E_{14})	
屋根 S_1	屋根あり	1.028 (S_{11})	1.107
	屋根なし	-0.079 (S_{12})	
橋梁形式 S_2	下路橋	-0.184 (S_{21})	0.313
	上路橋	0.129 (S_{22})	
上部工形式 S_3	アーチ橋	0.016 (S_{31})	0.546
	トラス橋	-0.321 (S_{32})	
	桁橋	0.225 (S_{33})	
	床版橋	-0.029 (S_{34})	
床版形式 S_4	鋼床版・コンクリート床版	0.490 (S_{41})	0.752
	木床版(舗装あり)	0.042 (S_{42})	
	木床版(舗装なし)	-0.262 (S_{43})	

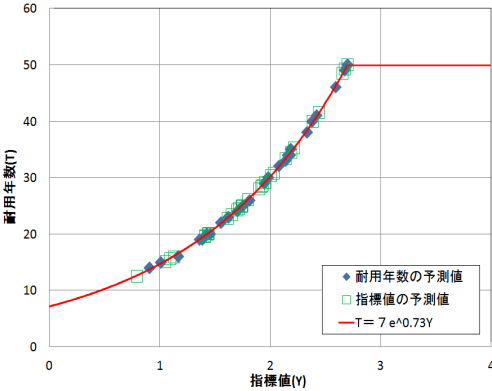


図-2 指標値と耐用年数の予測

表-10 架設条件

耐久性能 P_1	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
ベイマツ	4700時間以下	なし	下路橋	トラス橋	木床版(舗装あり)