

腐朽事例に基づく木橋の耐用年数の推定に関する研究

A study on service life of timber bridges

○荒木昇吾* 中村昇**

ARAKI Shogo, NAKAMURA Noboru

*工修 服部エンジニア株式会社 (〒420-0053 静岡市葵区弥勒2-2-12)

**博(農) 秋田県立大学木材高度加工研究所 (〒016-0876 能代市字海詠坂11-1)

ABSTRACT Prediction the service life of bridges, that is numerical interpreting of losing durability. In timber bridges, the typical factors of losing durability are decay and termite-damage. These factors are caused by various conditions, wood species, weather, inhabiting area of fungus, and etc. It is necessary to verify the validity of correlation based on the existing bridges that to predict the service life. If the service life can be grasped accurately on planning, it is possible to calculate rationally the load and resistance factor and designed service period on the limit state design method. This study tries to predict of the service life of timber bridges with calculated factors of losing durability, and verifies the validity of the decayed example.

Keywords: 木橋, 耐用年数, 腐朽, 蟻害
timber bridges, useful life, decay, termite-damage

1. はじめに

木橋の高度化技術研究小委員会設計研究分科会では、修復限界状態における設計評価方法の確立を目的とし、修復時(腐朽時)における部材の残存耐力や耐用年数の推定方法等について議論を重ねている。

橋梁の耐用年数を推定することは、言い換えれば、耐久性を損なう要因を定量的に評価することである。例えば、コンクリート橋の場合は、塩害・アルカリシリカ反応・中性化等の発生メカニズムや進行速度等がある程度把握され、耐用年数の推定に寄与している。木橋の場合、耐久性を損なう特徴的な要因は、腐朽と蟻害が挙げられる。これらの発生条件としては、樹種・湿度・温度・生物の繁殖域等の多様な自然条件が考えられる。したがって、耐用年数を推定するためには、それらの腐朽・蟻害に対する影響度と相関性を定量的に評価し、これまでに架設された多くの事例をもとに、妥当性を確認しなければならない。計画段階で耐用年数が精度良く把握できれば、限界状態設計法において、個々の木橋に応じた合理的な設計供用期間と対応する荷重・耐力係数の設定・選択が可能となり、かつ、修復時における補修・補強等の維持管理の指標ともなる。

本研究は、腐朽・蟻害が耐久性に影響する主要因と考え、建築構造物における耐用年数の推定方法¹⁾を参考として、使用材料・周辺環境・構造形式・維持管理体制等の影響を定量化・定式化することにより、耐用年数の算出を試みるものである。また、実橋の腐朽事例をもとに、本論に示す推定方法の妥当性を確認する。

2. 耐用年数の推定

耐用年数とは、「架橋時から供用状態が満足できない状態まで」の期間であり、耐用年数を超えた木橋は修復または架替を行うことが望ましい。なお、本研究で推定する耐用年数は、腐朽と蟻害に関するものであり、地震や豪雨等の天災や輪荷重の影響等による経年的な損傷は考慮しない。

三上らは、建築構造物の実態調査¹⁾をもとに木橋の耐用年数の推定を試み、この分野に新たな知見²⁾を寄せている。しかし、ほとんどの木橋は、木造住宅等と異なり、屋外で雨露に曝されていること等を考えると、木橋における腐朽や蟻害に影響する要素（以下、影響要素と示す）を設定する必要があると思われる。

ここで、橋梁部材のなかで耐久性に大きく影響を与える部材は、床版や主材（主桁等の主構造部材）と考えられる。ただし、床版については、木床版・鋼床版・コンクリート床版等と多くの種類があることや、補修・補強・取替が主材に比べて容易であることから、ここでは推定対象としない。また、下部工についてはコンクリートで造られることが多いために、これについても対象としない。したがって、ここでは主材の耐用年数を橋梁の耐用年数と捉え、表-1に示すように、橋梁を供用する一連の工程に応じた影響要素を設定し、耐用年数の推定を試みる。

表-1 影響要素

影響要素	概要	記号
使用材料	材料選択、防腐材の注入・塗布等、部材の防腐処理に関するもの	[P]
周辺環境	湿度分布や腐朽菌の生育区分等、対象の立地に関するもの	[E]
構造形式	桁橋や床版橋、床版の種類等、上部工の構造形式に関するもの	[S]
設計計画	橋座部の水処理や排水柵設置の有無等、水仕舞に関するもの	[D]
施工方法	部材の運搬方法や施工時の保全方法等に関するもの	[C]
維持管理	点検の有無や頻度等、維持管理に関するもの	[M]

耐用年数は、表-1の影響要素の相乗効果として、式(1)のように表現する。ここで、式(1)に示す耐久性能値Yは、耐用年数を推定する指標であり、後節に示すようにY値を算出し、表-2において該当するY値の区分と適合させることで耐用年数を推定する。

なお、耐久性能値Yの算出において、施工方法 [C] と維持管理 [M] については、工事記録の確認が難しいことや各種の保全行為が実施されない場合もあることから付加項とした。

$$Y = \{ [P] \times [E] \times [S] \times [D] \} + [C] + [M] \quad \text{式(1)}$$

ここに、Y；耐久性能値（0.31～2.60）

[P], [E], [S], [D], [C], [M]；表-1に示す影響要素

表-2 耐久性能値Yと耐用年数の関係

耐久性能値 Y	耐用年数 T
0.30 以上 0.50 未満	10年 ～ 15年
0.50 以上 1.00 未満	15年 ～ 25年
1.00 以上 2.00 未満	25年 ～ 40年
2.00 以上 2.50 未満	40年 ～ 60年
2.50 以上	60年 以上

3. 耐久性能値の算出

耐用年数の推定指標である耐久性能値Yは、表-3に示す使用材料や周辺環境等の個別評価点より得られる影響点から算出する。なお、それぞれの個別評価点は、推定対象に応じて、表-4～表-14および図-1～図-3により抽出する。

表-3 各影響要素

影響要素		細目		個別評価点	影響式	影響点 それぞれの影響式により算出する
使用材料	P	材料耐朽基本値	p_1	表-4	$P = p_1 \times p_2 + p_3$	
		防腐剤浸透性能値	p_2	表-5		
		保存処理加算値	p_3	表-6		
周辺環境	E	蟻害地域区分値	e_1	表-7, 図-1	$E = e_1 \times e_2 \times e_3$	
		腐朽菌生育区分値	e_2	表-8, 図-2		
		湿度地域区分値	e_3	表-9, 図-3		
構造形式	S	橋梁形式区分値	s_1	表-10	$S = s_1 \times s_2$	
		床版形式区分値	s_2	表-11		
設計計画	D	防腐計画値	d	表-12	$D = 0.50 + \sum d$	
施工管理	C	施工管理値	c	表-13	$C = \sum c$	
維持管理	M	維持管理区分値	m	表-14	$M = m$	

表-4 材料耐朽基本値 p_1

1.05	ヒノキ, ヒバ, クリ, ケヤキ
1.00	スギ, カラマツ, クスギ, ナラ
0.95	アカマツ, クロマツ, モミ
0.90	トマツ, エゾマツ, クスノキ

表-5 防腐剤浸透性能値 p_2

1.05	ヒバ
1.00	スギ, アカマツ, クロマツ, モミ
0.95	ヒノキ, エゾマツ, トマツ
0.90	カラマツ, クスノキ, クリ, クスギ

表-6 保存処理加算値 p_3

0.70	加圧注入処理
0.30	表面塗布処理

表-7 蟻害地域区分値 e_1

1.00	ヤマトシロアリのみ
0.90	ヤマトシロアリとイエシロアリ

表-8 腐朽菌生育区分値 e_2

1.00	15°C以上 150日/年 以下
0.95	" 200日/年 以下
0.90	" 200日/年 以上

表-9 湿度地域区分値 e_3

1.00	65%/(4月~10月)平均 以下
0.95	70%/(4月~10月)平均 以下
0.90	75%/(4月~10月)平均 以下
0.85	75%/(4月~10月)平均 以上

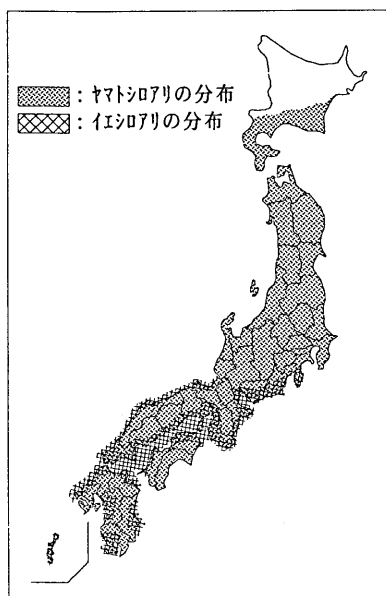


図-1 蟻害地域区分

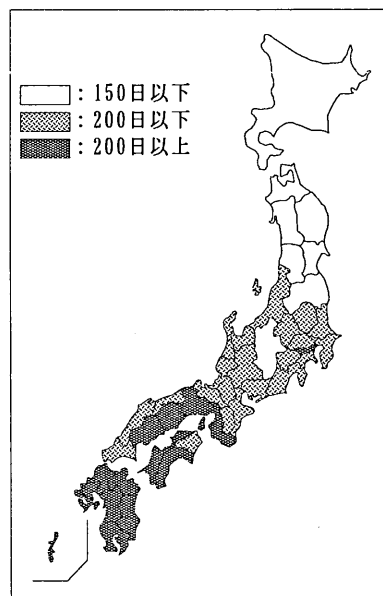


図-2 腐朽菌生育区分

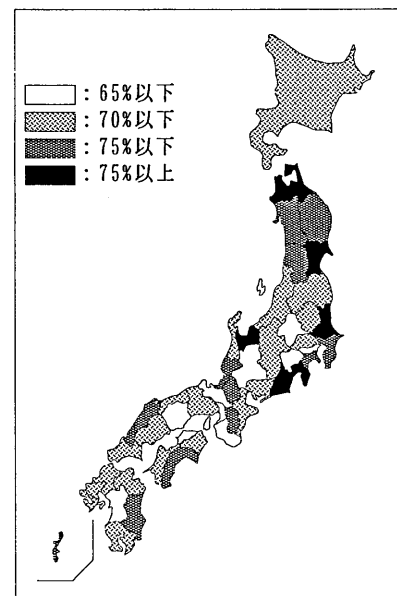


図-3 湿度地域区分

表-10 橋梁形式区分値 s_1

1.00	桁橋
0.95	床版橋
0.90	上路橋(アーチ・トラス等)
0.85	下路橋(アーチ・トラス等)

表-11 床版形式区分値 s_2

1.00	鋼床版・コンクリート床版
0.95	木床版

表-12 防腐計画値 d

0.20	主材の雨露からの保護
0.10	床版の防水処理
0.10	橋座の排水処理(勾配・台座)
0.05	排水装置の設置
0.05	その他, 通気性の確保等

表-13 施工管理値 c

0.05	運搬時の雨露からの保護
0.05	仮置時の雨露からの保護
0.05	架設時の雨露からの保護
0.05	後加工部の防腐処理

表-14 維持管理区分値 m

0.30	予防保全
0.20	事後保全
0.10	簡易保全
0.00	無点検保全

表-4～表-6に使用材料 [P] の個別評価点を示す。表-4は、材料固有の耐朽性を反映するものであり、主材に用いる樹種に応じて選定する。これは、供試体(心材; 30mm×30mm×600mm)の土中における腐朽試験資料³⁾を参考に設定した。表-5は、材料別の防腐剤の浸透性を反映するものであり、これまでの実績資料³⁾を参考に設定した。表-6は、主材の防腐処理方法とその効果を反映するものであり、採用する防腐処理方法に応じて選定する。ただし、加圧注入処理と表面塗布処理の両方を行う場合には、累計するものとする。なお、主材には必ず防腐処理を行うものとし、無処理材の使用は想定していない。

表-7～表-9および図-1～図-3に周辺環境 [E] の個別評価点を示す。表-7は、図-1に示すシロアリの分布により蟻害の影響を反映するものであり、生息分布の資料⁴⁾等を参考に設定した。表-8は、図-2に示す腐朽菌の生育条件である、日平均気温15℃以上の年間日数を基準として、菌類の影響を反映するものであり、建築構造物の実態調査¹⁾をもとに設定した。表-9は、図-3に示す湿度分布を反映するものである。水分は、腐朽菌の生育条件であることから、これを考慮する必要があると考えるが、日本において、日平均気温15℃以上となる期間が、概ね4月から10月となることから、主要都市の4月から10月における月別湿度調査資料⁵⁾をもとに設定した。なお、周辺環境 [E] は、都道府県単位で表現したものであり、架橋地点付近における局所的な情報が入手できれば、それにより個別評価点を設定することも可能である。

表-10および表-11に構造形式 [S] の個別評価点を示す。これらは、上部工の構造形式を腐朽の一因と考えるものである。表-10より、桁橋は床版が屋根の代わりとなり、床版下の主桁を雨露から保護しているものと捉えている。床版橋は桁橋と同様に主版が保護されると思われるが、直接舗装を施す場合があることや、主版を構成する部材と部材が密接していることから、水が侵入した場合に乾燥が妨げられると考え、桁橋よりも下位の値とした。上・下路橋(アーチ・トラス等)は、接合箇所が多いことや、雨露に直接曝される可能性が高いと思われ、さらに下位の値とした。また、表-11に示す床版区分については、木床版を下位の値としている。これは、それぞれの床版が同様に屋根の機能を有するものの、床版の腐朽が主材に伝播する場合を考慮したものである。

表-12に設計計画 [D] の個別評価点を示す。これは、設計段階における腐朽に対する構造的対応を反映するものであり、雨露対策等、設計時に配慮した項目の合計を基準点0.50に加点する。

表-13に施工管理 [C] の個別評価点を示す。架設現場において、降雨時に部材を裸で仮置きしている場合が見受けられるが、接合用孔等に水分を多く含むことは腐朽の一因になると思われるために、施工時についても部材をシートで覆う等の対応が必要と考える。表-13に示した内容は、施工記録・写真等がない場合は確認できないが、現場における注意喚起の意味からも影響要素に

含めるべきと考える。

表-14に維持管理 [M] の個別評価点を示す。ここで、予防保全とは、日常点検および定期的な詳細点検を行うとともに、腐朽の疑いがある部材や腐朽しやすい部材に対し、予防的な保全行為を行うことであり、定期的な防腐剤の再塗布や部材の取替え等を実施するものである。事後保全とは、日常点検および定期的な詳細点検により、腐朽が確認された場合に保全行為を行うことであり、腐朽の程度に応じてその対策は異なる。簡易保全とは、清掃や簡易な補修を含む日常点検を行う場合である。無点検保全とは保全行為を行わないことである。これらの保全行為は行われない場合もあるために、耐朽性能値Yへの加点は注意を要する。なお、予防保全・事後保全・簡易保全においても、保全行為を伴わない点検のみでは加点されないことに留意する。

4. 腐朽事例による検証

耐用年数を推定するためには、耐久性能値Yの妥当性を確認しなければならない。ここでは実際の腐朽事例に基づきYを算出することで、本論で提案する推定方法を検証する。

写真1～写真4は、昭和55年に新潟県沿岸部で架橋された、木3径間単純桁橋（歩道橋）である。主桁は丸太（スギ）を用い、当初に防腐塗装が行われていたが、橋台側の主桁端部が土に覆われている等の水処理の不具合を一因とし、供用25年を経て主桁を鋼桁に取り替えた。



写真-1 橋面状況

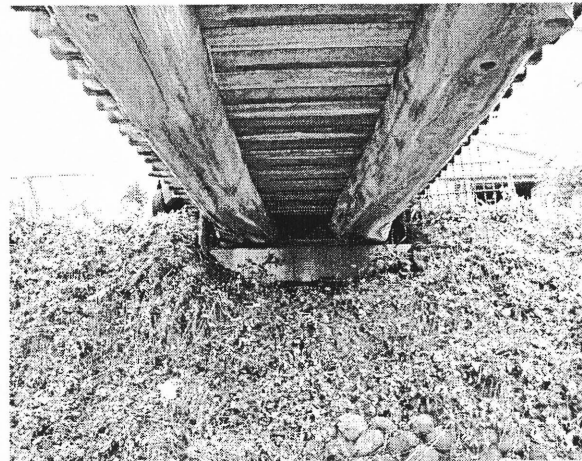


写真-2 桁下および橋台状況



写真-3 橋台部主桁状況

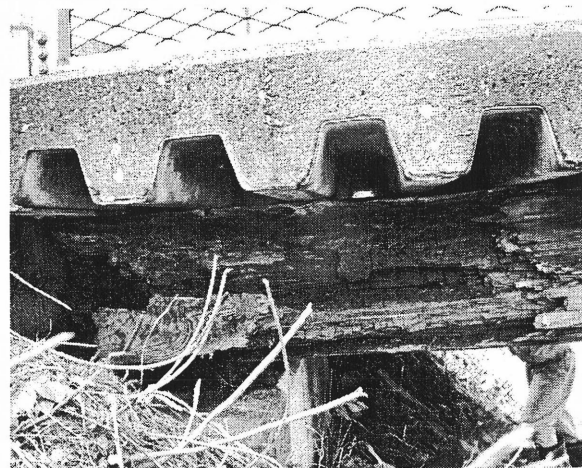


写真-4 桁端部の腐朽

表-15は、当該橋梁の耐久性能値Yを算出したものである。それぞれの影響要素について影響点を算出・集計した結果、耐久性能値Y=0.75が得られた。これは、耐用年数15年～25年と推定されるものであり、本事例においては、提案する推定方法が概ね妥当であると判断できるかもしれないが、1ケースのみでは各影響要素の相関性は確認できない。したがって、今後は多くの事例や統計学的見地からの比較検証を行わなければならない。

表-15 腐朽事例における耐久性能値の算出

影響要素		評価条件		個別評価点	影響式	影響点	
使用材料	P	p ₁	材料耐朽基本値	スギ	1.00	P=p ₁ × p ₂ + p ₃	1.30
		p ₂	防腐剤浸透性能値	スギ	1.00		
		p ₃	保存処理加算値	保護塗料のみ	0.30		
周辺環境	E	e ₁	蟻害地域区分値	ヤマトシロアリのみ	1.00	E=e ₁ × e ₂ × e ₃	0.90
		e ₂	腐朽菌生育区分値	15℃以上, 200日/年以下	0.95		
		e ₃	湿度地域区分値	70%(4月～10月平均)以下	0.95		
構造形式	S	s ₁	橋梁形式区分値	桁橋	1.00	S=s ₁ × s ₂	1.00
		s ₂	床版形式区分値	コンクリート床版	1.00		
設計計画	D	d	防腐計画値	排水装置のみ	0.55	D=0.50 + ∑ d	0.55
施工管理	C	c	施工管理値	(仮定)運搬・仮置時の保護	0.10	C=∑ c	0.10
維持管理	M	m	維持管理区分値	無点検保全	0.00	M=m	0.00
耐朽性能値 Y							0.75

注1). 防腐計画値dは現地踏査に基づき設定した。排水装置のみを考慮している。

注2). 施工管理値cは、施工時の記録や写真が確認できず、運搬・仮置時に主桁がシート等で保護されていたと仮定した。

注3). 維持管理区分値mは、管理者からの報告により設定した。

5. おわりに

本研究は、木橋の耐用年数の推定を試み、限界状態設計法における適切な設計供用期間（目標耐用年数）の設定や修復限界状態における残存耐力の推定および維持管理方法の検討等に資することを目的とした。

耐用年数を精度良く推定できれば、設計供用期間における合理的な部材断面を提供できることに加え、t年後の点検時に腐朽と判断された部材の耐力と当初設計で想定できる同部材のt年後の耐力を比較することで、余寿命を考慮した最適な補修・補強方法の選択が可能となる。これにより、構造的・経済的な最適化が図られると思われるが、多くの事例に基づく推定精度の向上とともに、設計における腐朽の定量的判断や腐朽時の耐力評価方法、および各種調査・検査方法の規定化等、多くの問題が残され、これらに並行的に取り組むことが必要と思われる。

参考文献

- 1) 国土開発技術研究センター建築物耐久性向上技術普及委員会：木造建築物の耐久性向上技術，建築物の耐久性向上技術シリーズ 建築構造編Ⅲ，技報堂出版，1986.
- 2) 三上市藏・本郷奈保・三上卓：木車道橋における部材の耐用年数の予測，第6回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集，pp.99-104,2007.
- 3) 愛媛県農林水産部：木材利用推進マニュアル，<http://www.pref.ehime.jp/>
- 4) 日本建築学会：木質構造設計規準・同解説，2002.
- 5) 株式会社笠原：主要都市の月別気温と湿度，<http://www.mokk.co.jp/>