

木車道橋における部材の耐用年数の予測

Projecting useful life of members in timber highway bridges

○三上市藏* 本郷奈保** 三上卓***

MIKAMI Ichizou, HONGO Nao, MIKAMI Taku

*工博 関西大学名誉教授, (有)コスモアイ (自宅:〒564-0083 吹田市朝日が丘町 11-5)

**修(工学) 松下電工インフォメーションシステムズ(株), 元関西大学大学院

***博(工学) 群馬工業高等専門学校環境都市工学科 (〒371-8530 前橋市鳥羽町 580 番地)

ABSTRACT A method for projecting the useful life of the structural members in the timber highway bridges is presented. First the durability performance of used members is estimated in consideration of wood durability, member size, and chemical treatment. From the obtained durability, the useful life is projected about the members. Next the efficiency of maintenance is estimated, and the durability and the useful life may be determined.

Keywords: 木橋, 車道橋, 耐用年数, スギ, 予測法

Timber bridges, highway bridges, useful life, Japanese cedars, projection method

1. まえがき

我が国では戦後の社会資本整備の結果として、現有の社会基盤施設は膨大になっている。道路橋整備については1954年の第一次道路整備五ヵ年計画により、本格的な整備が開始され、高度成長期を経て多くの道路橋が架設された。これらの道路橋のうち、木車道橋の数は小規模なものも含めると1000橋を超えるといわれているが、全体の橋梁数に比べると非常に少ない。もともと木車道橋は我が国で数多く架設されていた。しかし戦後木車道橋は衰退していった。原因として橋梁の長支間化と重交通化が求められるようになったこと、木車道橋の耐久性に対する不安から、日常の維持管理に手間がかかること、橋梁数の増加に伴い維持管理労力の軽減が求められるようになったことなどが挙げられる。

しかし近年、再び木車道橋が注目を浴び始めている。この要因として地球環境問題への貢献、木材利用技術の革新、地域木材の活用、木材特有のアメニティ性が見直しが挙げられる。再び注目を集めている木車道橋であるが、近代木車道橋の設計や維持管理などに関して示方書や指針は、我が国において十分に整備されていない。国内での木車道橋、木歩道橋の架設実績の増加に伴って、技術基準類の整備が進められているのが現状である。

近年、鋼橋、コンクリート橋などの一般橋ではミニマムメンテナンスの永久橋を目指す動向にあるが、木車道橋は本来自然分解特性を持つ材料を使っているものであり、木材腐朽や部材相互の接合が困難である点から、耐久性上弱点となりやすい。このため、木車道橋は永久橋を目指すのではなく、木材の維持補修を適切に行うことで適切なライフサイクルを確保することが必要である。

環境問題を考えると木橋がもっと積極的に架設され、維持されるべきである。中でも普及の少ない木車道橋の架設が望まれる。木材は腐朽を避けられないので、計画段階でも供用段階でも耐用年数を出来るだけの確に推定できるのが望ましい。その際、木部材の腐朽状況、排水機能、防蝕処理、メンテナンスの内容・頻度など、木部材の腐朽に影響を与える要因が考慮できるべきである。ここでは、木構造としては進歩している建築構造物に対する成果¹⁾を、木車道橋の耐用年数の算定に適用することを試みた。

2. 木車道橋における耐用年数

木橋は常に自然環境に暴露され続ける状態にあり、劣化の危険性が高い。そのため耐用年数を考慮したライフサイクル計画が重要となる。そこで、木材自体の耐用年数だけでなく、各部材の耐用年数と木車道橋としての耐用年数を推定する。

2.1 対象車道橋

木橋の架設実績から、支間長は30m以下と考える。実際にはこれを上回るものも架設されており、他材料との価格競争が無ければ、物理的には100m以上も可能である。しかし集成材の製作や運搬上の制約、国内での実績およびその費用などを勘案すると、現時点では30m程度が適用支間と考えられる。

また、現在までに架設された木橋は林道など交通量の少ない路線に多く見られ、自動車荷重に対する耐久性についての知見があまり得られていない。そのため架設する路線は交通量が比較的少ないことが望ましい。

橋形式としては鋼橋やコンクリート橋に見られる橋梁形式を適用する。すなわち、桁橋、方杖橋、トラス橋、アーチ橋、斜長橋、吊橋、吊り床版橋、プレストレス床版橋などが対象になろう。

2.2 目標耐用年数

橋梁としての目標耐用年数の定義の仕方は、次の3つに分類される²⁾⁴⁾。

①経済的耐用年数

減価償却試算としての法定耐用年数と建設費の償還から算定される償還年数の2つを考慮して算出された年数である。計画耐用年数ともいう。

②機能的耐用年数

建設された構造物が時代の変遷とともに期待される機能を果たせなくなる年数である。

③物理的耐用年数

構造物の性能低下、構造材料の劣化、それに伴う作用に対する抵抗力の低下など、構造力学的、構造工学的な構造物の寿命で、設計耐用年数ともいう。

木車道橋の新設時には通常、①計画耐用年数が選ばれる。その際、当然、設計耐用年数>計画耐用年数となるように設計されるはずである。社会資本ストックがかなり整備された現在では、現有の資本をいかに活用するかが志向されるので、機能的に陳腐化することを考える②機能的耐用年数は採用されにくい。木車道橋は供用を通じて劣化により、耐用年数が縮小する。したがって、供用段階での耐用年数も算定する必要がある。

2.3 劣化と耐用年数

耐用年数に達するときの劣化の程度は、木車道橋の部位、部材、部品等が劣化により次の条件の一つに該当する状態として定める。

①劣化による性能・機能の低下が、許容できる限界を超え、かつ通常の修繕や一部分の交換・更新を行っても許容できる限界まで性能・機能を回復し得ない状態。

②修繕などにより、許容できる限界まで性能・機能を回復することはできるが、木車道橋全体について部位、部材、部品について交換または更新することにより、継続して使用することが経済上不利になる状態。

3. 耐用年数算定法

木造建築物の場合¹⁾、新規構造物の設計を意図している。構造部材の個々の目標耐用年数を設定し、部位区分別に構造部材の推定耐用年数が目標耐用年数より大きくなるように設計する。維

持保全を考慮に入れない1次推定と、維持保全を考慮に入れた2次推定から構成されている。1次推定耐用年数<目標耐用年数の場合は、設計・施工を改良するか、維持保全を付加して耐久性性能値を増大させ、推定耐用年数>目標耐用年数を確保する。

この手法に若干の変更を加えて準用する。新規設計の際には一般橋の耐荷力確保の設計法に従うことにして、設計された木車道橋がもつ耐用年数をこの方法で評価する。1次推定耐用年数を増大させたい場合には設計・施工を改良する。さらに、供用段階のために、2次推定耐用年数を求める。2次推定耐用年数を増大したい場合は維持保全の手法を検討する。

耐用年数の推定値は、劣化により定まる耐用年数の推定値とする。木車道橋の部位区分を行い、各部材の設計耐用年数を設定する。この設計耐用年数が計画耐用年数を満たすことを前提とする。各部材の設計耐用年数算出において、劣化外力係数、耐久性性能評価、維持保全係数を考慮する。これにより木材特有の劣化要因である腐朽を部材毎に評価することができる。

3.1 部位の区分

一般に全部材が一様に劣化することはほとんどなく、劣化発生の場所も時期も多様である。橋梁の部位は、「上部工」の「床組」、「主桁」または「主構」、「下部工」の「橋台」、「橋脚」、「基礎」、「付属品」の「支承」、「排水装置」、「伸縮装置」に分類する。

3.2 耐久性性能の算出

使用部材の耐久性性能値は、木材自身の耐久性性能値に、断面の増大による割り増しと保存薬剤処理による割り増しを加える。すなわち、耐久性性能値 P は次式により算定する。

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \quad (1)$$

P_1 は使用木材の耐久性性能値で、使用構造部材の樹種により設定する。安価かつ耐久性に富む樹種が望ましいが、維持管理を考慮すれば容易に交換部材が入手できる樹種である必要がある。スギは主要国産材であり、安価な上に適度な耐久性を有しており、入手が将来に渡っても容易であることから、本研究ではスギを標準材料とみなし、 $P_1=1.0$ とする。

木材の径が大きくなるに伴い、木構造物の耐用年数が増す⁵⁾。現在架設されている木橋の断面は幅広く、大きいもので300mm以上のものまで存在している。木車道橋では、建築物に比べて大きな強度を要求されるため、考慮する断面を小径300mmまでとする。そこで、断面の大きさに伴って表-1の係数 P_2 に基づいて耐久性性能値を割り増す。

表-1 部材断面の割増係数 P_2

割増係数	部材の断面級別
0.00	小径 105mm まで
0.15	小径 120mm まで
0.30	小径 135mm まで
0.45	小径 150mm まで
0.60	小径 151mm から

次に、保存薬剤処理であるが、各樹種の耐久性⁶⁾によると、本研究の対象樹種スギは耐久性の区分は中である。スギは無処理の場合、約6年の耐久性が認められている。しかし、木歩道橋設計・施工に関する技術資料⁶⁾によれば、橋梁に用いる木材は防腐処理をしなければならない。無処理の木材を使用することは環境面から優位と考えられるが、耐久性、経済性を考えるとある程度の防腐処理は必要である。本研究では薬剤処理の効果は、薬剤効力の有効期間と同等とし、その有効期間中は木材の腐朽は進行しないと考える。

防腐処理方法⁷⁾のうち、木橋では、圧力を作用させてから内部へ薬剤を浸透させる加圧注入処理を行い、木材表面に塗布処理を行う方法が一般的である。そこで本研究では加圧注入、塗布処理の場合の耐久性を定める。

加圧注入用防腐剤にはクレオソート油、CCA、硫酸銅、蟻酸銅、ホウフッ素、ケイフッ素、ナフテン酸銅、ナフテン酸亜鉛などがある。木橋には、以前 CCA が使用されていたが、焼却処理における環境影響が問題となり、現在はほとんど使用されていない。

塗布処理は部材表面の処理であるため、加圧注入に比べ耐久性が低い。そのため再処理サイクルが

必要といわれている。

これらのデータを基に加圧処理，塗布処理による割増係数 P_3 を表-2 に示す。

表-2 保存薬剤処理による割増係数 P_3

割増係数	保存薬剤処理	薬剤
0.3	塗布処理	クレオソート油 ナフテン酸銅 表面処理防腐剤（キシラザン系）
1.5	加圧処理 JAS 第1種	
0.7	加圧処理 JAS 第2種	

3.3 劣化外力係数の算出

環境的に作用する劣化要因である劣化外力¹⁾を

考える。木材に作用する主な劣化要因は生物劣化で、腐朽菌とシロアリが主たるものであるが、木車道橋の場合、シロアリの発生要因となる湿気の溜まりやすい環境は発生しにくいいため、シロアリによる劣化は考慮しない。劣化因子（腐朽菌）の生育・繁殖力を左右するものは温度・湿度、水分等の環境因子であり、この因子の影響度が劣化の進行を決定づける。そこで木造構造物の劣化外力は、①劣化因子の種類と分布状態、②劣化因子の生育・繁殖に必要な温度の累積値、③劣化因子の生育・繁殖に必要な水分の供給状態の3つに区分できる。①②は地域的要因として地域劣化外力とし、③は構造物の劣化要因として部位劣化外力とする。

劣化外力係数 D は、次式によって求める。

$$D = D_1 \times D_2 \quad (2)$$

ここに、 D_1 ：地域劣化外力係数、 D_2 ：部材劣化外力係数である。

地域劣化外力係数 D_1 は、内陸・沿岸の区分によって求める。沿岸地域では接合金物等の金属製品の腐食劣化を配慮する。一般にイエシロアリは沿岸、海岸地帯あるいは砂地に生息しているのので、この分布¹⁾が金属の腐食地域と同一と見なす。木車道橋の架設位置から地域が決まれ、内陸地域では $D_1=1.0$ 、沿岸地域では $D_1=0.8$ とする。

部材劣化外力係数 D_2 は、部位毎に求める。水の作用する部位は一定年数後に劣化を生じやすい。そこで、「木材が土に触れる場所」、「水が染み込む箇所」、「水が常にかかる場所」、「湿度が高いところ」、「風通しの悪いところ」、「雨水が滞留するような部位」かどうかで判断する。我が国で架設された木車道橋の劣化データが少ないため、建築物実態調査を参考に表-3 とする。

表-3 部材劣化外力係数 D_2

係数値	部位
2.0	主桁，主構
2.0	床版
1.8	床組
1.0	橋台
1.0	橋脚
0.4	基礎

3.4 構造級別係数の算出

構造部材で主として水分による腐朽が生じ易いか否かで、構造型式を評価する。環境要因として、①水分、湿分を木材に作用しにくくする構造、②構造物内に侵入した水分・湿分を外部に排出するような構造の2つが考えられる。そこで、構造級別係数 B は次式で求める。

$$B = (B_{11} + B_{12}) / 2 \quad (3)$$

ここに、 B_{11} ：水分、湿分を木材に作用しにくくする構造の種別による係数、 B_{12} ：構造物内に侵入した水分・湿分を屋外に排出する構造の種別による係数である。

B_{11} は、水分のかかり易さ、水分の滞留のし易さを考え、主要構造部材における「構造部材の地上からの距離」により表-4 から求める。

表-4 構造級別係数 B_{11}

係数値	1.3	1.2	1.1	1.0	0.6
橋脚，橋台(mm)	610以上	600	400	300	300未満

B_{12} は構造部材の乾燥の可能性か

ら定めることにして、「雨仕舞いの有無」、「接合部の水分状況」を考慮する。係数値 B_{12} を表-5 に示す。

3.5 施工検査別係数

施工の良否が構造部材の劣化に影響するが、木造建築物¹⁾ではこれを施工検査別係数 C として耐久性に反映させている。橋梁では施工検査の手法は確立されているので、目下はこれに従うこととして、 $C=1$ とする。

表-5 構造級別係数 B_{12}

係数值	2.0	0.6
床組	露出	なし
主桁, 主構	露出	なし
排水施設	露出	なし

4. 推定耐用年数の算定

4.1 1次推定値

部材の耐久性能値 P に、 B 、 C 、 D を乗じて1次推定耐久性能値を求める。

$$P_{(1)} = P \times B \times C \times D \quad (4)$$

この耐久性能値から耐用年数に換算する。部位別推定耐用年数はこの値を基に表-6より求める。現在の研究成果では明確な耐用年数を推定する基礎資料が乏しいため、グレードによる耐用年数換算手法を採用した。一般車道橋は架け替え、廃棄までを考慮せず、補修、更新などを繰り返して供用し続ける場合が多い。しかし、木車道橋の場合は適切な維持保全を行ったとしても、木材本来の腐朽を抑えることはできない。そのため、耐用年数範囲は100年までとする。

表-6 推定耐久性能値の推定耐用年数の換算

グレード	部位別推定耐久性能値 平均推定耐久性能値	推定耐用年数の換算値
1	0.3~0.7	10年~20年
2	0.8~1.2	25年~35年
3	1.3~1.7	40年~50年
4	1.8~2.2	55年~65年
5	2.3~2.7	70年~80年
6	2.8~3.2	85年~95年
7	3.3~	約100年

木車道橋全体の構造部材の平均推定耐久性能値は1次推定耐久性能値から次式によって求める。

$$P_{(1)A} = \sum (P_{(1)} \times \text{ユニット数}) / \text{ユニット数の総計} \quad (5)$$

4.2 2次推定値

維持保全の効果を付加する場合は、部材の2次推定耐久性能値を次式で求める。

$$P_{(2)} = P \times B \times C \times D + M \quad (6)$$

ここに、 M ：維持保全係数である。

部位別推定耐用年数はこの値を基に表-6より求める。また、木車道橋全体の構造部材の平均推定耐久性能値は式(6)の2次推定耐久性能値から式(5)を準用して求める。

5. 維持保全係数の算出

維持保全係数 M は、点検による係数 M_1 と保存薬剤処理による再処理係数 M_2 を設定し、次式により求める。

$$M = M_1 + M_2 \quad (7)$$

$$M_1 = (P_{(1)} - 0.3) \times M_{11} \quad (8)$$

$$M_2 = P_3 \times M_{21} \times M_{22} \quad (9)$$

ここに、 M_{11} ：保守点検係数、 M_{21} ：再処理係数、 M_{22} ：維持難易係数である。

5.1 保守点検係数

構造材の劣化に影響する構造物全般の維持保全の状況を係数化する。点検は日常点検、定期点検、詳細点検を行うものとする。

点検箇所、点検周期については、現在実際に行われている木車道橋点検項目、更に鋼橋点検項目より抽出する。保守点検係数を表-7に示す。

表-7 保守点検係数

係数値	維持管理区分
0.3	予防保全を基とする維持管理
0.2	事後保全を基とする維持管理
0.0	目視観察を主体とする維持管理
-0.2	点検を行わない維持管理

5.2 再処理係数

架設後何年か経った構造部材に保存薬剤を再処理（塗布）するような維持保全を係数化する。加圧式は架設後の再処理は不可能であるため、考慮しない。現在架設されている木橋を調査したところ、架設後10年経過していないものが多く、これらの架設実績から再処理係数を推測することは難しい。そこで保存薬剤自体の効果を元に再処理間隔および再処理係数を設定する。再処理間隔は再処理なし、再処理15年以内、8年以内を考慮する。再処理係数を表-8に示す。

表-8 再処理係数

係数値	再処理間隔
1.0	8年以内
0.7	15年以内
0.0	再処理なし

そして、この係数に構造部材の露出している面数（見え掛の材面数）を乗じて、再処理による加算値を求める。部材の露出している面数は、保存薬剤の再処理が可能な部材の見え掛りの面数として捉えることとなる。

再処理の場合は新築に比べて、部材被覆や作業範囲が限定されることで保存薬剤処理が十分に発揮されない場合が通例である。このため、2回塗布程度の再処理の有効期限を8年とし、この値を係数化する。

表-9 維持難易係数

係数値	1.0	0.9	0.8	0.3
床組				
主桁、主構	4面	3面	2面	1面
橋脚				

5.3 維持難易係数

維持管理のしやすさを表す指標として、「点検しやすさ（異常が容易にわかる）」、「劣化に影響しない（風通しがよく、雨漏りしても乾くなど）」を考慮する。主要構造部材について、部材の露出面数によりこれらの要件を満たすかを判断する。維持難易係数を表-9に示す。

6. あとがき

我が国で入手の容易な杉を用いた木車道橋を対象に、木材自体の耐用年数だけでなく、構造物としての耐用年数を推定するために、木橋の各部材の耐久性能値を算定し、耐用年数を推定する手法を提案した。

参考文献

- 1) 国土開発技術研究センター（現国土技術研究センター）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，1986.10.
- 2) 小堀為雄：土木構造物の耐用年数 劣化現象としての考え方 耐用年数の定義，土木学会誌，Vol.68，No.10，pp.8-11，1983.10.
- 3) 加藤正晴：メンテナンスにおける今日的課題，土木学会誌，Vol.68，No.10，pp.2-5，1983.10.
- 4) 春名攻：陳腐化と構造物の機能的耐用年数，土木学会誌，Vol.68，No.10，pp.23-26，1983.10.
- 5) 神山幸弘，有馬孝禮，加藤裕久，鈴木憲太郎，脇黒弘三，中島正夫：木造住宅構造部材の耐久性向上技術に関する研究 構造部材の耐用年数の推定方法，学術講演梗概集 C，構造 II，日本建築学会，Vol.1986，pp.1281-1282，1986.7.
- 6) 国土技術研究センター：木歩道橋設計・施工に関する技術資料，2003.10.
- 7) 土木学会鋼構造委員会木橋技術小委員会：木橋技術の手引き 2005，土木学会，2005.7.