

木橋耐久計画の方向性

The Right Direction of Durable Wooden Bridge

軽部正彦* 宮武敦** 渡辺浩*** 佐々木貴信****

KARUBE Masahiko, MIYATAKE Atsushi, WATANABE Hiroshi and SASAKI Takanobu

- * 博(工学) (独)森林総合研究所 構造利用研究領域 (〒305-8687 茨城県つくば市松の里 1)
** 農修 (独)森林総合研究所 複合材料研究領域 (〒305-8687 茨城県つくば市松の里 1)
*** 博(工学) 熊本大学大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本県熊本市黒髪 2-39-1)
**** 博(工学) 秋田県立大学木材高度加工研究所 (〒016-0876 秋田県能代市海詠坂 11-1)

ABSTRACT There are many ways to design durable wooden bridge. But only few ways last in sustainable society as for the right direction. Wood is one of the material bring out from natural resources. It will decompose promptly when put back into nature. Here we discuss the proper design method and proper ways to maintain the global environment and sustainable development of humankind. As for the result, we must shift from chemical treatment of base material to structural preservation design and calculated maintenance management for saving our environment for future generations.

Keywords: 寿命、維持管理、要求性能、廃棄物、耐久性

Service life, Maintenance, Required performance, Waste, Durability

1 はじめに

耐久設計は強度設計と並んで大切な技術であるが、その技術は実時間の経過を待つて検証される。他材料に比べて木材は、寿命の短い材料であるが、ひとたび廃棄される時点では自然同化速度が速くて理想的な材料とも言える。地球環境の維持と人類の持続的発展を目指した循環型社会実現には、木材などの生物系材料を効果的に活用しつつ、人類の要求と高い次元でバランスさせる必要がある¹⁾。

本論文では、木橋の耐久計画と耐久性付与方法を整理し、構造物としての木橋に求められる性能と循環型社会における社会資本として求められる姿との間を、どのようにバランスさせるべきか、解決の方向性を検討する。

2 言葉の整理

耐久計画に重要な寿命(耐用年数)と言う概念には、概ね 物理的、機能的、経済的な寿命がある。は陳腐化によって社会的必要性を失った場合、は維持費用が更新費用を上回る場合であり、これらは社会的情勢によって大きく変わり得るのである²⁾。工学的議論の対象となる について、性能(Performance)と経過年数の関係から寿命と維持管理(Maintenance)について整理してみると図1のようになる³⁾。

保守(Maintenance)は、汚染物質の付着蓄積等によって増大する性能低下勾配を停止あるいは緩和するものである。補修(Recovery)は、時間経過によって低下した性能を初期の水準に回復すること、補強

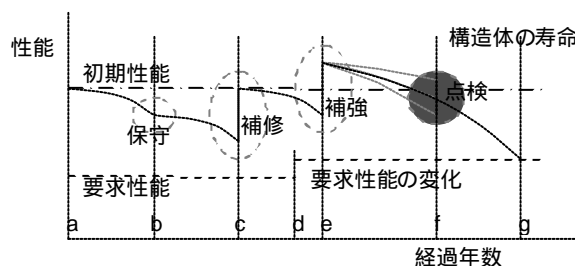


図1 寿命と維持管理の概念図(劣化モデル)

(Improvement)は、それ以上に性能を高めることである。補修と補強は、緊急度と目標期間によって応急・暫定・延命・恒久等の水準がある。点検(inspection)は、時間経過によって推定の域を出ない性能の低下を特定することである。点検には、利用時や保守清掃時に無意識下で行われる日常点検、定期的に行う通常点検、異常時等に行う詳細点検があり、手法・頻度・対象範囲により効果と費用に違いがある。また監視(Monitoring)は連続的な点検として位置付けられる。一般的な構造物の「保全」には、保護(Conservation)、保存(Preservation)、維持(Maintenance)の意味が含まれると思われるが、保護は社会的価値を護ること、保存は形質の状態を保つものであるので議論の対象から除外する。

通常、構造物は要求性能を超える初期性能で竣工し、その時点から性能は不変若しくは下降傾向を続ける。一方、要求性能は時間経過と共に変化する場合もある。現在性能が要求値を満たすことが出来なくなった時点が寿命であり、補修・補強によってその延伸を図るか、使用停止(Quitting)・除却(Remove)・更新(Renew)等の選択が求められる。西川⁴⁾は、更新は新設に比べ遥かに大きな資金とエネルギーを必要とするために、人知を尽くしてほぼ永久的な寿命を持つ工学的永久橋を目指すべきであると指摘している。我々が取り組む木橋は元々自然循環する材料であるので、必ず来る寿命と発生する廃棄物による環境負荷を考えながら、無機物を基礎とした考え方と異なる頂点を目指す必要がある。

3 構造形式と性能劣化

西川⁴⁾は構造体全体の性能を一つの劣化モデル曲線に表すことに疑問を提起し、本体と関連要素の性能を分離表示したモデルを提案している。構造形式と性能劣化について整理してみると、構造要素が劣化外力に対して同時に曝露される並列モデル(図 2-a)と順次曝露される直列モデル(図 2-b)に大別できる。図では実際の使用性は別として主構造体の寿命を構造体の寿命と表現している。並列モデルでは、それぞれの構造要素の劣化は竣工時から等しく開始するが、直列モデルでは、上位に位置する構造要素が要求性能以上のある水準に低下した時点から下位要素の劣化が開始する。また直列モデルでは、性能低下を生じた上位要素を交換することによって初期性能を回復できる特性がある(図 3)。

西川が示したモデル⁴⁾は、鋼橋における本体と塗装の関係として2要素の直列モデルとして分類されるが、多くの木橋の現実を考えるに、我々は図 4 に示すモデルとして整理した。現実のモデルは、並列モデルとして劣化外力を直接受ける部分と、直列モデルとして上位要素に保護され順次劣化していく部分、最後に乾燥割れや接合部などに代表される直列モデルの形成が不十分な部分である。特に木材では塗装と腐朽に代表されるように、上位要素が健全であっても下位要素の特性によって上位要素が失われる部分が発生し、直接劣化外力に曝される場合がある。このような場合に上位要素を補う作業こそが維持管理作業であるとも言える。ここで注意したいのは、木材における維持管理作業は劣化外力の進入を阻止するだけではなく、構造体内部に蓄積した劣化要因をも排除することであり、多孔性の組織構造を持つ木材を扱う上で重要なことでもある。

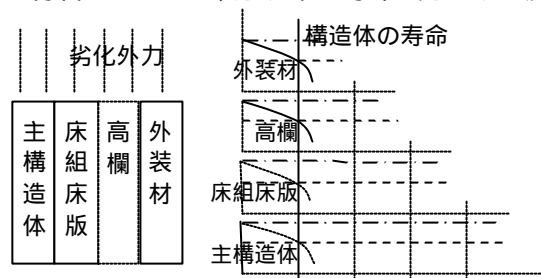


図 2-a 並列モデル

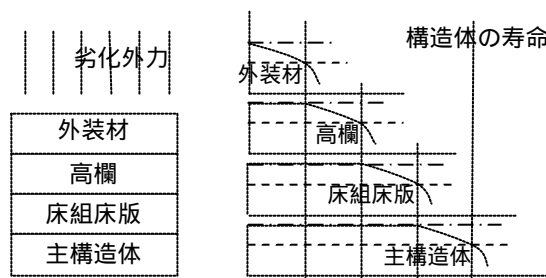


図 2-b 直列モデル (構造の階層化)

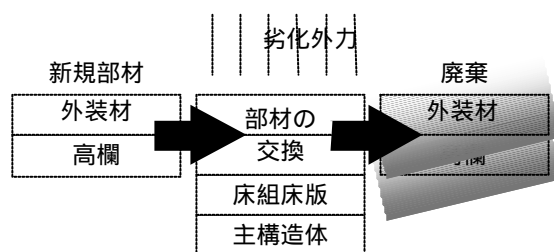


図 3 直列モデルの修復

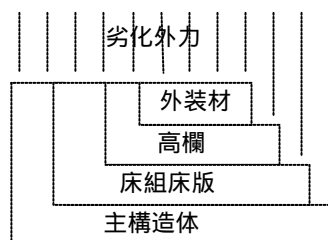


図 4 現実のモデル

4 木材劣化要因の整理

木材・木質材料の劣化要因とその結果引き起こされる現象の関連を整理すると図5のようになる。劣化は要因と現象が一意的な関係ではなく、一つの要因から一つの現象が引き起こされるほか、複数の要因が連関することによって発生し促進される現象もある。しかしながらその関連を整理してみると、紫外線・温度・水分の各要素が多くの劣化現象に深く関わっていることが分かる。温度については並列モデルとならざるを得ないが、紫外線と水分については構造形式およびそのディテールを工夫することによって直列モデルにすることが可能である。

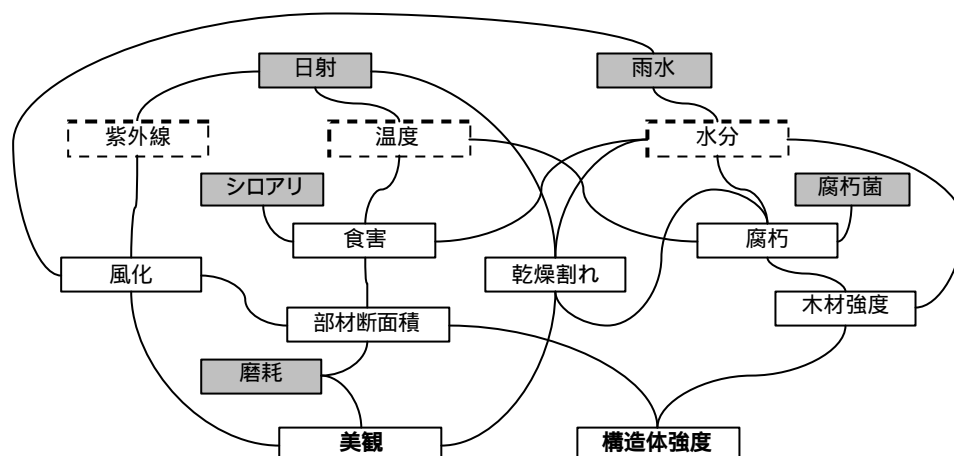


図5 劣化要因現象連関図

5 耐久計画の分類

木質構造物の設計計画の内、耐久計画には様々な種類の方法があり、またそれは他の設計行為（例えば構造計画や強度設計）と密接な関係を持っている。耐久計画の分類の例を図6に示す。図中「い」から「と」までが耐久計画の分類であり、各設計行為との交点に記された図形の大きさで重要度を、色の濃さによって難易度を表している。

従来、近代木橋の耐久計画は薬剤を使った材料への耐久性付与「い」が中心であった⁵⁾。高性能の薬剤処理技術によって、耐久設計上の構造的制約を打破し、設計の自由度高め、維持管理の負担を減じてきたが、使用期間中における周囲環境汚染や使用者の薬害安全性向上の視点から、適正量の低毒性薬剤使用による方法「は」へと変化してきた。一部には構造的な手法も取り入れた「に」もあった⁶⁾が、劣化外力に対して力で抗してきた方法は廃棄時の環境負荷が大きく、地球環境保全の観点からはこれを減じていく必要がある。環境負荷を減じる方法には、寿命の延伸と廃棄物制御（量と質）が考えられるが、木材の特性を考えると終末である「について」に取り組むべきと考える。構造物の寿命が物理的要因以外で決定される場合を考えれば、「について」に取り組むことの価値は大きい。

一方、薬剤処理された木材の最終処分については問題が残されている。処理木材は、管理型埋め立て処分、もしくは有害物質発生排出抑制型焼却炉での管理型焼却処分が現実的である。将来的には薬剤回収や無害化処理が選択肢として追加されるものと思われるが、いずれにせよ一般の木材とは別けて考える必要がある。木材の二次利用やチップ化、熱回収等の場面では、全てのリサイクルルートにおいてシステムの2重化、あるいは処理木材に合わせたシステム設計が求められ、全体として高費用化することになる。最終処分においても用地の逼迫と長期間にわたる管理費用の負担等、費用の増大を覚悟しなければならない。費用面を除外しても、廃棄物による汚染や処分地の確保など、自然に対してかける負荷は大きくなる。

木造住宅では耐久設計のポイントとして「劣化しにくい環境の設計」「材料の適材適所」「必要に応じた薬剤処理」「維持管理のしやすい設計」が推奨されている⁷⁾。従来、維持管理費確保や長期的経済効果から木橋を永久橋へ架け替えてきた⁸⁾が、永久構造物が存在しないこと⁹⁾が顕在化してきた今こそ、維持管理費と廃棄費用を考慮に入れた木橋の設計計画の妥当性が求められる。

