

丸太素材を活用した道路橋の開発

A study and development of road bridge composed of logs

○塚脇 健* 土屋幸敏** 高奥信也*** 小松幸平**** 渡辺 浩*****

TSUKAWAKI Takeshi, TSUCHIYA Yukitoshi, TAKAOKU Shinya,
KOMATSU Kohei and WATANABE Hiroshi

*京都府中丹広域振興局（〒625-0036 舞鶴市浜 2020）

**京都府林業試験場（〒629-1121 京都府船井郡和知町本庄）

***京都府丹後広域振興局（〒627-8570 京丹後市峰山町丹波 855）

****農博 京都大学生存圏研究所（〒611-0011 宇治市五ヶ庄）

*****博(工) 熊本大学大学院自然科学研究科（〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1）

ABSTRACT A forest road bridge made of logs is planned to construct by Kyoto prefecture government. The object of it is that regional forest resources should be used more than now and they should be manufactured by regional lumber mill. Build-up beam is used as main girder because the diameter of logs that can be obtained easily is small. Because innovated ideas are adopted in order to reduce the construction cost, the construction cost for this bridge is almost equal to concrete or steel bridge.

Keywords: 丸太、道路橋、コスト、地産地消

log, road bridge, construction cost, local production for local consumption

1. はじめに

近年、集成材を利用した近代木橋と呼ばれる木橋が多数架設されている。これらの事例では、環境への優しさや地域のシンボリック存在、また技術への挑戦などが木橋選択の主な理由ではないかと考えられるが、そのコストについては、これまでのところあまり検討されていないようである。昨今の経済情勢から、コスト面の検討は今後の木橋の位置づけを左右する大きな因子になると考えられるが、そのための方策としては、資材となる木材をその地域で揃え、必要最小限の簡易な加工で利用する、いわゆる地産地消もひとつの方向性であると言える。

京都府ではこれまで、地域産木材の需要拡大のためその積極的な利用に努めるとともに、林業関係の公共事業で率先してその用途開発に取り組んできた。例えば、森林資源の有効利用と地産地消の観点から地域産のスギ材による「木製治山ダム」が開発され、平成16年3月現在で39基が設置されている。これはそのキャッチフレーズのとおり、「森林から得られる素材を森林で活用する」ことを意図したものであり、「地域で入手可能な材料を地域で可能な最小限の加工で」という点にも配慮されている。

このような情勢の中、最近の林道事業における取組で注目されている木橋の架設も検討するに至ったが、そこでは京都府ならではの事情、すなわち近代木橋に多く見られる大断面集成材を加工できる施設がなく、かといって近隣府県に搬出して製作すると輸送コストがかさむこと、一方で最近多く見られるような橋長が10 mを越える林道橋は府内には極めて少ないことが議論され

表-1 木橋架設における取組の目標

- 1 木材利用の拡大を図る
 - ・地域産業に貢献した木材利用を目指す(地産地消を！)
 - ・特性を活かした木材利用を目指す(自然環境への配慮を！)
- 2 木橋を谷渡り工法の一つとして確立する
 - ・地域の特性を活かした技術の開発(京都方式の確立を！)
 - ・使い易い工法の開発(実用性・汎用性を視野に！)
- 3 地域振興に寄与する

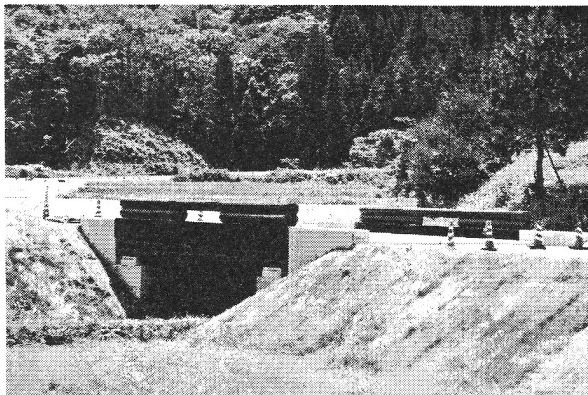


写真-1 遠景

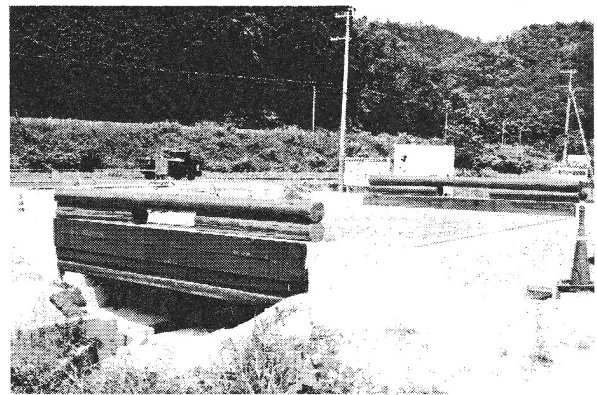


写真-2 近景

た。そこで、支間 10m 以下の小規模木道路橋の架設に取り組むこととした。ここでは、実用性・汎用性を念頭に、当然のことながらコスト面でもコンクリート橋や鋼材橋と比較して遜色のないものを目指すものとした。その結果、丸太素材を桁材として利用しながら現行の安全基準を満たす素材近代木橋とし、橋長も伐出された原木の長さ以下とすることにした。

以上に基づいて、今回、丸太素材を縦方向に積層一体化した積層桁を主構造とする、橋長 6m の丸太素材桁橋を架設したが、ここでは本橋の架設にあたって検討された原木入手から製作、架設についての計画と実践について報告する。

2. 木橋の概要

架設位置は京都府京丹後市大宮町三重地内である。日本三景の一つ「天の橋立」でも有名な丹後地域は京都府の最北部に位置し、自然が豊かで林業も盛んな地域である。架設路線の林道「奥寄線」は、緑のふるさと林道建設事業として京都府営により開設している 1 級 2 車線林道で、木橋はその入り口となる国道との取り付け部に架設されるため、アピール度も極めて高いと考えられる。

取り組みにあたっての基本的な考え方は、以下とおり 7 つであった。①地域材の利用を図ること ②地域の産業に貢献すること ③人目を意識し、木材の特性をアピールする構造とすること ④他の事例を参考にしながらも京都府のオリジナル性を出すこと ⑤地域の素材を地域で加工して地域産業に貢献できること ⑥小規模木橋とし、その特徴を出すこと ⑦将来第 2、第 3 の木橋架設が実現するようひとつの工法として確立すること である。以上を基に表-1 のとおり「取組の目標」を定め検討を進めた結果、他に例を見ない丸太素材を利用した道路橋を架設することとした。

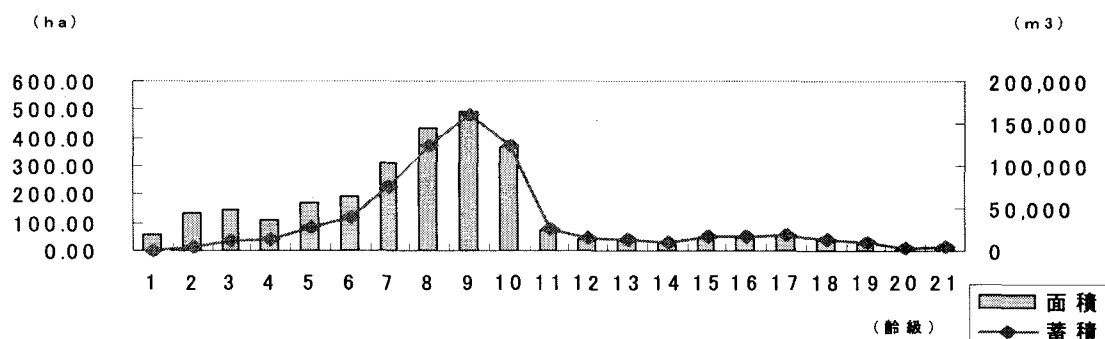


図-1 丹後地域におけるスギ材構成表

3. 木橋の特徴とこだわり

写真-1,2 は本検討により架設された木橋の様子である。写真ではわかりにくいですが橋長 6m、支間 5m の単純桁橋で、丸太素材 2 本が積層された積層桁と単一材による単体桁を交互に並列させ、その上に床版として角材を主桁に直交して敷いている。なお、本橋の幅員は 2 車線にカーブ拡幅も含めて 9m となる。

以下、本橋の特徴やこだわり等をトピックごとにまとめて紹介する。

(1) 材の選別

計画に先立って、まずは架設材料となる地域材の資源状況を確認することからはじめた。取り組みの目標からも使用する丸太の径は、その地域で最も林齢構成が高く、蓄積の多いものを選択することが妥当である。その結果、丹後地域ではスギの 9 齢級が最も多く (図-1)、その径は採寸長 6m の末口で直径 30cm 程度となることがわかった。

(2) 橋梁タイプ

支間長が短いことに加え、低コストと製作・施工の簡易性等を考慮した結果、単純桁橋とした。次なる検討は、直径 30cm 程度の材をどのように利用するかであるが、単に丸太を桁材とすると 55cm 以上の径の原木が必要となり、地域の資源状況とは相容れない。そこで、30cm 程度の材を 2 段に積層し一体化した丸太積層桁を使用することにした。

橋台については、木材 (枕梁式) とコンクリート (重力式) の 2 案で検討したが、こちらについてはコンクリートとした。というのは、今回の木橋では、腐朽等の劣化が顕著になればその部材を取り替えることで対応できることも利点と考えているが、橋台の取り替えでは工事を最初から始めることとなり、維持管理費も含めたトータルコストの面で不利になると考えられたためである。

(3) 材の強度

積層桁に対する設計法は建築学会木質構造設計基準・同解説¹⁾において、製材を利用した場合について簡単に紹介されているにすぎない。そこで、実材による丸太積層桁の終局載荷試験を実施し、使用の可能性を判断することにした。この試験結果については、別途報告されているが、木橋の桁材として十分な性能を有することが明らかになっている²⁾。

また、末口 30cm の 6m 材は特殊用途であり、一般の市場で入手することは困難であるため、架設にあたって独自に原木を伐採・調達する必要がある。しかしながら今回の用材には一定の強度が要求されるため、歩留まり低下によるコストアップを防止するためにも伐採前の強度推定が必要とされた。そこで、応力波測定器ファコップにより、立木の強度調査³⁾も併せて実施することとした (写真-3,4,5)。



写真-3
ファコップ



写真-4
ファコップによる測定状況



写真-5
ファコップによる測定状況

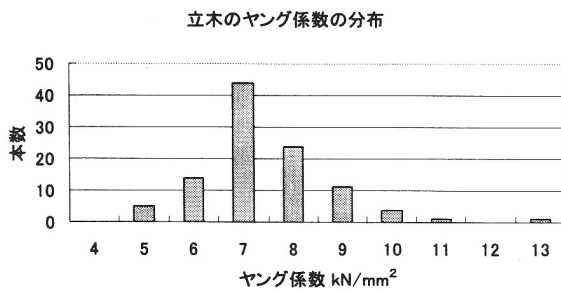


図-2 立木のヤング係数の分布

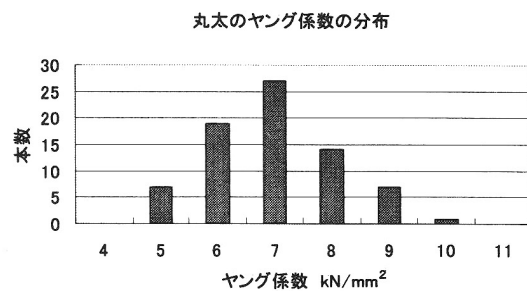


図-3 丸太のヤング係数の分布

立木段階での選別の結果、性能に優れた原木が入手できたが、さらに桁材に適した部材を選別するために、伐採後の丸太の段階で縦振動法による動的ヤング係数の測定を行った。ファコップにおける立木段階でのヤング係数と縦振動法による丸太段階での動的ヤング係数をそれぞれ図-2及び図-3に示す。これらのデータを基に、まずヤング係数の高いものから桁材とし、残りのうち外見の美しいものを化粧材、その他を床版材として使用した。

(4) 主桁の構成

主桁構造は積層桁と単体桁を並列したものであるが、その配置については以下の2案を検討した。A案では図-4のように幅方向に積層桁と単体桁を2本ずつ交互に配置し、B案では図-5のように幅方向に積層桁と単体桁を1本間隔で配置したものである。検討の結果、A案では、車輪が直接桁に載荷する状態の時B案より抵抗力は大きくなるが、床版支間が大きくなるため床版材に主桁より厚い部材が必要になり、コストアップになる。また架設後の維持管理においても、4本を1組とする構造は点検できない部分が多くなるため適切ではない。一方、B案では床版厚の検討で有利になるほか、積層部分の目視点検も容易である。これらのことから、主桁構造はB案とした。なお、上段の並列桁については一体化と荷重の横分配を図るため鋼材による横締めを行うこととした。

各材は他の部材との取り付けの都合上、縦横とも26cmとなるように4面がのこ挽きされている。丸太では長手方向に径が変化するため、元口側ではほぼ正方形断面、末口側では比較的丸みが残された断面となり、積層桁はこれを2段に重ねて52cmの桁高とした。

(5) 積層桁

積層桁は、鋼棒と接着剤により上下の部材を一体化させた。鋼棒は橋長方向に10本を配置することとしたが、支間中央の8本は鋼棒(異形鉄筋)およびラグスクリューとし、製作時に一体

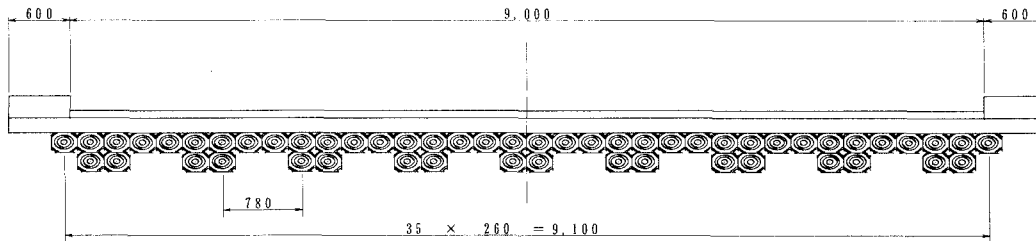


図-4 A案

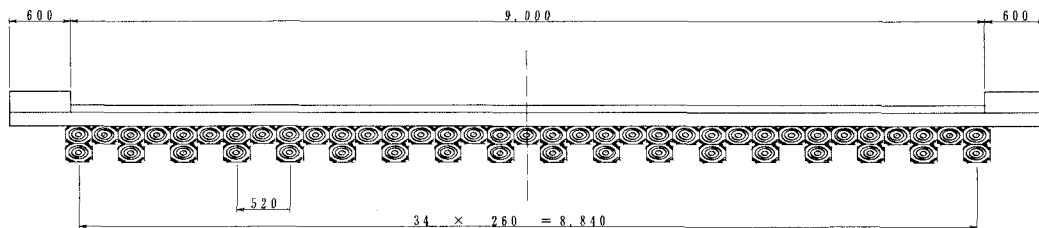


図-5 B案

化する都合で支承部の両端2箇所のみボルトとし、接着剤はウレタン系接着剤を使用した。前述の実験では部材相互の積層接着にエポキシ系接着剤を使用した。防水による腐朽防止効果や接着剤の耐久性、また接着破壊後も安定した挙動を得るため、本橋ではウレタン系接着剤とした。

また、積層桁は未乾燥材で製作されたため、供用後の乾燥促進により割れが生じる。しかしながら桁材の側面の割れは曲げに抵抗する上で好ましくなく、また鋼棒によりせん断補強しているため、この位置の割れも好ましくない。そこで、割れを誘導するために部材の長手方向の中心線に深さ3mmのスリットを入れ、さらに鋼棒を中心線からずらして千鳥状に配置することとした。さらに、積層桁では上位にグレーディングされた材を下側に配置し、万一の部材破断においてもねばり強い挙動が発揮されるように配慮した。

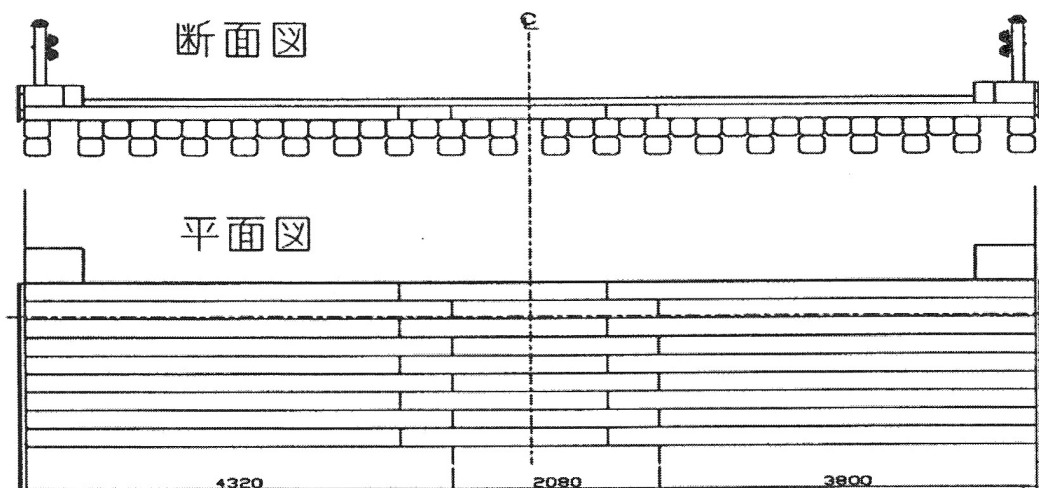


図-6 3分割施工図



写真-6 防腐剤浸潤状況
 (上段：木口から60cm
 下段：木口から30cm)

(6) 床版

床版は主桁ほど強度を必要とする部材ではないため、桁材として選別されなかった材を使用し、厚さ 20cm 幅 25cm の角材に製材し敷き並べることにした。また、架設後の維持管理に考慮し、床版材の取り替え時の全面通行止めを避けるため、図-6 のように 3 分割とした。またその分割位置は舗装路面への影響を考慮して千鳥状に配置することとした。

(7) 乾燥と防腐処理

本来であれば十分に乾燥された材を使用すべきであるが、丸太素材を集成材と同様に乾燥させることはきわめて難しく、またコストも莫大となる。そこで、伐採後の葉枯らし乾燥以外に積極的な乾燥は行わなかった。

また耐久性向上策として防腐剤の加圧注入を検討したが、未乾燥材への注入はコストの割には効果が低いことが予想された。写真-6 は防腐剤の加圧注入試験の結果であるが、木口から 30cm



図-7 橋種別支間別コスト比較

の部分でも丸太辺材部に薬剤が十分浸潤していないことが確認できた。そこで、防腐対策として加圧注入は行わず、薬剤の塗布のみとし、供用後も塗布を繰り返すことで対応することとした。

なお、乾燥・防腐のいずれも低コストを意識したものであるが、今後の経過については注意の必要がある。

(8) 高欄と桁隠し

高欄については、本橋の木材利用に対するこだわりをアピールするためにも、積層桁そのものを駒止めとして設置することとした。このように駒止めとして木材を利用することは、木材の活用範囲の拡大にも有効であると考えられる。

また並列した主桁のさらに外側には桁隠し材を配置した。これらは積層桁と同様に製作されているが自重以外に荷重は負担せず、美観上の理由の他に紫外線や雨水による側面からの劣化を防止する効果を期待している。

(9) 路面

本橋には比較的大きな縦断勾配があるため、路面排水に関しては特に考慮する必要はないと考えられる。そこでさらに横断勾配は加えないこととした。また舗装はクラック等を防止するため弾性アスファルト舗装とした。なお、舗装面は、直下の床版・主桁に対する屋根の役割を期待することもでき、その効果を明確にするため、舗装面の下に防水シートを設置し、漏水による構造材の腐朽を防止することとした。

(10) 架設

桁や床版材の製作は全て地域の木材加工施設で行い、現地ではそれらを組み立てるという手順で架設した。なお、施工は特殊な技術を要しないため全て地域の業者で行った。また、部材数は多いがそれらの重量は最大でも600kgf程度であり、クレーンも小型で設置作業も容易であった。軽いことは木橋の特長のひとつであるが、本橋ではその利点を十分に活かすことができた。

4. 架設コスト

今回の素材木橋では、約40m³の木材を使用した。架設コストを他の橋と比較すると、コンクリート橋とほぼ同額で、集成材木橋に比べて、約2分の1程度であった。設計事業費は上部工で約7,500,000円で、1m²あたりに換算すると約138,000円であった。図-7は支間別に他の形式の橋とのコストを比較したものであるが、丸太素材を利用しても充分コストを抑えた木橋が架設できることが明らかになった。

また、立木状態で材を選別し、またそれらを性能により桁材と床版材に使い分けたことで、虫害による欠損材を除けば余分な伐採は皆無であった。また、製作もきわめて容易であり、材の破損等もなかった。その結果歩留まりは極めて高く、この点でもコストダウンにも寄与できたと考えられる。

5. まとめ

ここでは丸太素材を最小限の加工により木橋として利用する取り組みについて述べてきた。短支間ではあるが、コスト的にも技術的にも十分に汎用性がある木橋が架設可能であることを示すことができた。また今回検討した木橋は、1級林道の2車線で、林道では最高規格の橋であるが、設計荷重の小さい低規格の橋としてはさらなる可能性を秘めている。

しかしながら、このような形式の木橋は初めてであり、今後の維持管理でもこれまでの木橋では考えられなかったような課題が浮上することも予想される。一般に木橋の課題は耐久性と言われるが、本形式では未乾燥材を防腐剤の塗布のみで使用するという一方で、耐久性上の未知の部分もある。今後は積極的な維持管理を行いながらそれらで得られた知見をフィードバックすることにより、よりよい木橋の設計法に生かせるよう努める必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 日本建築学会：木質構造設計基準・同解説, 2002.
- 2) 渡辺 浩, 小松 幸平, 高奥 信也, 塚脇 健：丸太を用いた道路橋の可能性について, 第2回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集, pp.149-156, 2003.
- 3) 池田 潔彦, 大森 昭壽, 有馬 孝禮：応力波伝播速度による立木材質の評価と適用 (第3報) スギ精英樹立木の材質評価, 木材学会誌, 46(6), pp558-565, 2000.