

木歩道橋の選定と設計の考え方



大場 敦史
研究第二部
主任研究員

研究の背景と目的

近年、「アメニティー」や「人にやさしい」といったニーズが高まり、木のもつ「ぬくもり」が高く評価され、橋などの道路施設にも木材が利用されてきている。

また、我が国には、約2,500万ヘクタールの森林があり、そのうち41%にあたる1,000万haの人工林のおよそ4割は間伐が必要といわれている。

このような状況にもかかわらず、木橋に係わる技術基準としては、昭和15年の内務省「木道路橋設計示方書案」があるのみで、近年の技術動向を踏まえた技術資料の作成が望まれていた。

そこで、間伐材の橋への適用を検討すべく、JICEでは平成6～9年度に大分県、栲原町、いちき串木野市（当時、串木野市）からのモデル事業としての木歩道橋の設計、性能確認実験に関する業務を受託するとともに、平成12、14年度に道路局地方道・環境課からの木橋の維持管理の検討業務を受託して「木歩道橋設計・施工に関する技術資料」（以下、「木橋技術資料」という。）を取りまとめ、平成15年10月に各発注者の了解と地方道・環境課のご協力を得て、各地方整備局、各都道府県、政令都市に発信した。

本研究は、木橋の発展と木橋技術資料の適切な活用に向けて、木歩道橋の選定と設計の考え方を整理したものである。

木質構造物の復活

我が国には古来「木の文化」と言われる文化が存在し、木材を生活の中で有効に活用し生活を営んできた。しかし、20世紀の大量消費文化が、工業化を著しく発展させ、社会資本のほとんどが、鋼およびコンクリートを利用するようになった。「21世紀は環境の時代」といわれている中で、我が国の社会資本の形成を環境問題と複合的に

考えると、木材の有効活用も一方策であると期待できる。

今後、木橋等の建設が促進されることにより、国内資源が有効に活用されるだけでなく、間伐による森林の管理・保全が推進され、生態系の保全や、自然災害の軽減等森林が有する多面的機能が十分に発揮されることが期待される。また、木質材料を構造物に利用することは、二酸化炭素の固定化を促進し、都市の中に森林を創ることに等しく、二酸化炭素の削減効果も期待できる。

近年、木質材料は、集成材技術の向上や防腐処理技術の改善などの技術革新が進み、その適用範囲が拡大し、建築物のほか、橋、防護柵等、大型構造物や屋外の構造物にも使われるようになってきた。

1 構造物に使用可能な木質材料

さまざまな木質材料が開発され、木質構造物が計画・施工されているが、現在のところ、木橋等の構造材料として安心して使用できる木質材料は図-1に示す製材、集成材、単板積層材がある。

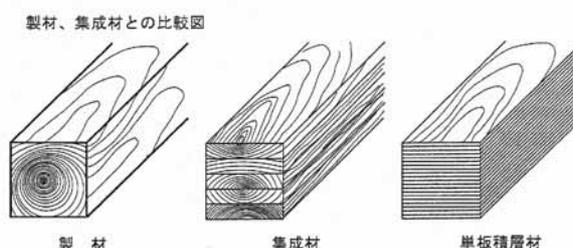


図-1 木質材料の種類

2-1 製材

製材とは丸太や原木を丸太や角材や板に鋸挽き（切削加工）した木材製品である。無垢の材料であり節などが存在するため、同一材料であっても部位により材料強度がばらつく。

昔の木橋は製材を構造材料としている。写真-1の「こおろぎ橋」（石川県加賀市）はヒノキの製材を使用した橋であり、また、写真-2の「錦帯橋」（山口県岩国市）は

ケヤキの製材を使用した橋である。



写真-1 こおろぎ橋



写真-2 錦帯橋

2-2 集成材

集成材は、ひき板または小角材を木目方向に平行に重ね接着した材料である。ひき板なので曲げ加工が可能で、曲げた木材を集成接着させ湾曲集成材を作成することもできる。写真-3に集成材の接着工程を示す。右の写真は湾曲集成材の製造工程である。

ひき板または小角材の段階で節や腐れ等の欠点を除去することが可能で、製材よりも品質のばらつきが少ない材料となる。ひき板や小角材は間伐材を鋸引挽きした材料であり、間伐材の有効利用にも寄与する。

近年架設された木橋などの大型の構造物は、集成材を利用したものが多い。

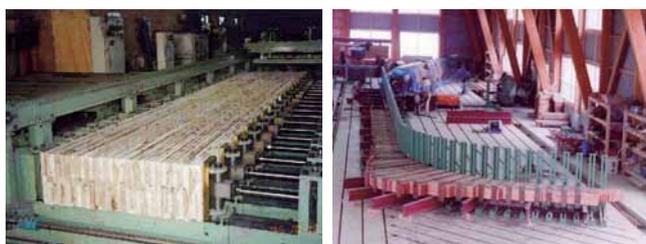


写真-3 集成材の製造

2-3 単板積層材

木材を大根のかつら剥きのように削って造られた薄板（通常厚さ4mm以下）を、繊維方向を同一にして接着積層した再構成材料であり、集成材以上にばらつきが分散され高い強度性能を有する。しかし、構造材、特に屋外構造材としては使用実績が非常に少なく、今後の実績が待たれる材料である。

2 防腐剤

近年、防腐剤の耐久性試験の結果が蓄積され、その信頼性が高まっているとともに、新たな防腐剤の開発も進められている。また、防腐処理技術も改善されており、防腐剤を塗布する方法だけでなく、材料加工時に防腐剤を加圧注入する方法が確立されたことで、材料の中まで防腐剤が入り込み耐久性が向上されることとなった。写真-4に防腐剤の加圧注入（含浸）の装置を示す。



写真-4 含浸装置

木橋の採用に向けて

木質材料は、集成材技術の向上や防腐処理技術の改善などにより技術革新が進んできたか、木橋は構造材料が木造建築物のような屋根や外壁で覆われていないので、風雨や紫外線による劣化を常に受けることになる。

このため木橋を採用するにあたっては、建設コストが割高になることに加え、耐久性が課題となり、ライフサイクルコストが高むことが懸念される。しかし、木橋には木材使用により期待される効果もあり、その採用に当たっては、これらのデメリット・メリットを勘案して、十分な比較検討を行った後、木橋の採用を決定することが望ましい。

木橋は、単にシンボリックに計画される場合や、話題性を期待して計画される場合があるが、安易に大規模な構造にしたりデザインに凝ったりすると、コンクリート橋や鋼橋と比較して建設コストが大幅に増加してしまうこ

とや、維持管理をしにくい構造となるので、適正な支間長と構造形式を採用することが望ましい。

以下に木材利用によるメリットを直接的効果と間接的効果に分けて示す。

1 直接的効果

4-1 CO₂削減に寄与

木橋は他の材料の橋梁と比較して、製造から施工までのエネルギー消費量が少ないために、CO₂削減に寄与できる。表-1は木橋と鋼橋ならびにコンクリート橋の上部工の建設コストとエネルギー消費量を比較したものである。木橋は他の材料と比較すると、建設コストが2.0～2.5倍であるが、エネルギー消費量は1/3～1/6と少なく、環境負荷の少ない材料といえる。

なお、上部工を木橋とした場合、死荷重が軽くなるので、下部工の小規模化が図れ、上下部での建設コストを比較すると上部工のみ比較結果より値が小さくなる場合がある。

表-1 上部工新設時のコスト及びエネルギー量比較

	木橋	鋼橋	コンクリート橋
建設コスト(比)	2.5	1.2	1.0
エネルギー消費量(比)	1	6	3

※橋梁規模は、L=20m、B=3.5mの歩道橋とした。
 ※各材料の製造時の定義は、コンクリートは石灰石から、鋼は鉄鉱石から、木材は伐採からの製造エネルギー量とした。

4-2 自然景観との調和、伝統的風景の演出

日本は木の文化といわれており、木橋は自然景観との調和、日本の伝統的風景の演出が可能である。

写真-5に神幸橋（高知県梶原町）を示す。神幸橋は竜馬脱藩の道に架かる歩道橋であり、対岸の神社の参道にもなっている。実橋は写真右の屋根付の木橋であるが、比較対象としてコンクリート橋のCGを写真左に示す。

どちらが景観的、伝統的風景の演出に寄与しているかは自明と思われる。



写真-5 神幸橋（左：CG、右：実橋）

2 間接的効果

5-1 森林の公益性の保全

森林は木材の生産のみならず、水源のかん養、土砂流出の防止、二酸化炭素吸収などの公益的機能を有している。表-2は林野庁が平成12年に公表した森林の公益的評価額である。

表-2 森林の公益性評価

機能の種類	評価額	備考
水源かん養機能	降水の貯留 8兆7,400億円	森林の土壌が、降水を貯留し、河川へ流れ込む水の量を平準化して洪水、濁水を防ぎ、さらにその過程で水質を浄化する役割
	洪水の防止 5兆5,700億円	
	水質の浄化 12兆8,100億円	
	計 27兆1,200億円	
土砂流出防止機能	28兆2,600億円	森林の下層植生や落葉落枝が地表の浸食を抑制する役割
土砂崩壊防止機能	8兆4,400億円	森林が根系を張り巡らすことによって土砂の崩壊を防ぐ役割
保健休養機能	2兆2,500億円	森林が人にやすらぎを与え、余暇を過ごす場として果たしている役割
野生鳥獣保護機能	3兆7,800億円	森林が果たしている野生鳥獣の生息の場としての役割
大気保全機能	二酸化炭素吸収 1兆2,400億円	森林がその成長の過程で二酸化炭素を吸収し、酸素を供給している役割
	酸素供給 3兆9,000億円	
	計 5兆1,400億円	
合計	74兆9,900億円	

森林の有する多面的機能を発揮させるためには、森林の適正な整備（間伐等）が必要であり、間伐材の利用促進が必要となる。木橋の建設では大量の木材が必要となり、間伐材の大量使用につながる。

なお、一般に森林のもつ公益性は表-2のように整理されているが、個別の木橋の採用により間伐材が使用された場合に、その事業で期待できる効果は不明である。

5-2 伝統的技術の継承

木橋は維持管理が重要であり、場合によっては計画的な架け替えが必要である。この架け替えを逆に、伝統技術継承の好機と捉えることができる。今後の社会資本整備にこのような観点を取り込んでよいのではないかと。

写真-6の伊勢神宮宇治橋（三重県伊勢市）は20年に一度架け替えが行われ、また、写真-7の錦帯橋（山口県岩国市）は50年に一度架け替えが行われ、建設当時の伝統的技術の継承が行われている。



写真-6 伊勢神宮宇治橋

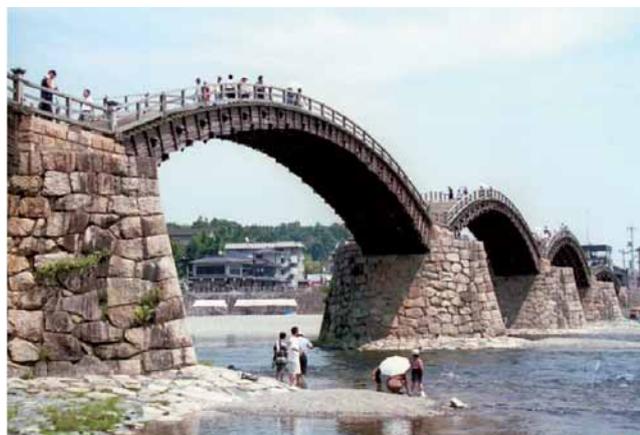


写真-7 錦帯橋

5-3 地域産業の活用化

地元の木材を構造物等に利用することには地域産業の活性化にもつながる。また、地場産材ということで、木橋に対して地域住民が愛着を持つのではないだろうか。

写真-8は、いちき串木野市の国土交通省のモデル木橋において、材料として切り出す前の森林（スギ）と、これが構造物として木橋に生まれ変わった写真である。

伐採前の森林



木歩道橋

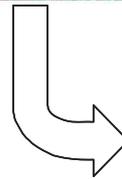


写真-8 いちき串木野市木橋

国土交通省における モデル木橋の紹介

木材の橋梁への適用については、平成6～9年度に大分県、栲原町、いちき串木野市（当時、串木野市）からのモデル木歩道橋の設計、性能確認実験を受託するとともに、平成12、14年度に道路局地方道・環境課からの木橋の維持管理の検討業務を受託して検討を行った。

ここでは、検討の対象となったモデル木橋を紹介する。表-3にモデル木橋の概要を示す。また、図-2にモデル木橋の写真を示す。

モデル橋は概して西日本が多くなっているが、これは、高湿度や蟻害の発生等の悪条件、また、台風などの影響を受ける地域であり、維持管理に関する有効なデータの蓄積が図れる架設地点である。

なお、各木橋の特徴は以下のとおりである。

〔徐福橋・仙人橋〕：主構造部材は杉、高欄はボンゴシ、床版はサザンイエローパインと、複数の材質を使用している。また、アーチリブは集成材同士を接着剤で接合する（二次接着）構造としている。

[神馬の橋太郎] : 湾曲集成材を用いて方杖を構成している。

[神幸橋] : 屋根を設けて耐久性の向上を目指している。

[六根の橋] : 間伐材を有効利用できるような、小部材で構造が成り立つトラス形式を採用している。

[いきいき橋] : 水仕舞いを工夫して耐久性の向上を目指している。

表-3 モデル木橋の概要

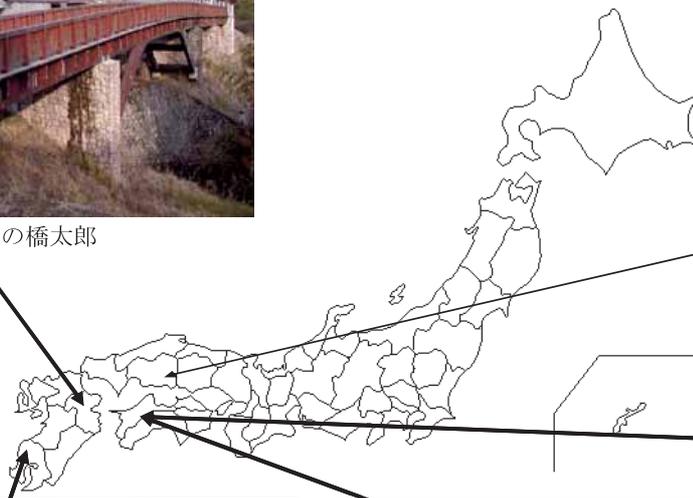
橋名	施工場所	橋梁形式	橋長 (m)	使用材料
① 仙人橋・徐福橋	鹿児島県いちき串木野市	ローゼアーチ2連	31.5m @ 2連	杉
② 神馬の橋太郎	大分県久住町	単純桁橋+ラーメン橋+2 経間連続桁橋	14.0m+29.0m+14.0m+14.0m	杉
③ 六根の橋	高知県梼原町	2 経間連続ポニートラス橋	18.4m+20.0m	杉
④ 神幸橋	高知県梼原町	2 経間連続屋根付きトラス橋	26.0m+26.0m	杉
⑤ いきいき橋	広島県尾道市	2 経間連続中路桁橋	17.4m+17.4m	杉



②神馬の橋太郎



⑤いきいき橋



①仙人橋・徐福橋



④神幸橋



③六根の橋

図-2 モデル木橋位置と写真

木橋選定の課題

社会環境、木質材料の技術革新、社会的ニーズ等により、今後も木橋の選定検討が続くと思われる。これまで、木材利用のメリットや木歩道橋の実績について述べてきたが、ここでは、木橋を計画していくうえでの課題として、コスト、耐久性について述べる。

1 コスト縮減

木材は恒常的に供給される材料ではなく、間伐材の産地、輸送距離、流通量により価格が変動する材料である。また、木材そのものの値段は高価であり、鋼・コンクリートの1.2倍～2.5倍の建設コストがかかる。

現在、木橋の構造部材の断面寸法は、継ぎ手部の構造で決定される場合が多い。今後の研究成果により、接合構造の合理化が行われれば、使用材料を減らすことが可能となり、建設コストも縮減可能となる。また、異等級構造の集材材の活用により、更なるコスト縮減も可能と考える。

2 耐久性向上

木材は天然の有機物であるために、水、紫外線、虫などが原因で劣化し、腐朽、ひび、われが発生しやすい材料である。そこで、設計時の防腐に対する工夫と定常的な維持管理が重要である。

設計時には、構造のディテールに細心の注意が必要である。特に、構造物全体の水切れを良くすることが、耐久性の向上につながるため、水仕舞いといわれる水の処理には十分気を遣う必要がある。

また、木橋は定常的な維持管理が必要である。いったん腐朽が始まると強度劣化が激しく、構造物として致命的な問題を引き起こしかねないので、適切な頻度・方法による点検と、補修が必要である。しかし、木橋はその使用材料、構造形式、細部構造により、劣化の進行や損

傷のし易さが異なることや、劣化に関するデータが少ないので、一概に点検頻度、点検箇所、点検項目を設定することは難しく、現時点では、橋梁個別に点検計画を設定し実施していく必要がある。なお、点検に際しては、専門的な判断を要する内容も多いので、専門家に点検を依頼することも必要である。

近代木橋の実績は20年程度であり、新素材ともいえる材料である。雨水対策・防腐処理・水仕舞い等と維持管理を十分に行なうことで30年から50年の耐久性を目指すことが重要である。

おわりに

橋梁等の構造物の計画においても、高齢化社会の到来、環境問題等の社会情勢の変化により、今までとは違ったニーズが求められると考えられる。木構造物のセールスポイントとしては、木の「ぬくもり」、「人にやさしい」環境に配慮した循環型構造物ということが上げられる。

木橋には木材利用のメリットと、コストや耐久性に関する課題があるが、これらを十分に検討し、住民との合意形成を図り、木橋の採用を検討していただきたい。

本研究は、平成6年度にはじまり、平成15年度に「木橋技術資料」を公表し、平成16、17年度にJICEの自主研究として木歩道橋の選定と設計の考え方をまとめてきた。

自主研究の成果はJICEのホームページ (<http://www.jice.or.jp/moku/index.html>) にも掲載しているのでご参照いただきたい。

最後になるが、「木橋技術基準検討委員会」(委員長：東京工業大学三木教授)の各委員を初め、ヒアリングや実験、現在は定期点検等にご尽力くださった「木橋技術協会」の方々、ならびに、関係各位に深く感謝するとともに、今後もご指導、ご協力をお願い、我が国に再び、“木の文化”が形成され、環境先進国になることを期待する。