

在来技術の応用と 新しい考え方による木橋の提案

平成23年11月

土木学会 木材工学特別委員会

土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会
木橋利用WG 委員構成

WG 主査・分科会主査	渡辺 浩	福岡大学
分科会主査	荒木 昇吾	服部エンジニア(株)
分科会主査	原田 浩司	ウッドストック
	三上 卓	群馬工業高等専門学校
	佐々木 貴信	秋田県立大学
	平沢 秀之	函館工業高等専門学校
	今井 富士夫	宮崎大学
	植野 芳彦	富山検査(株)
	薄木 征三	秋田大学名誉教授
	軽部 正彦	(独)森林総合研究所
	後藤 文彦	秋田大学
	佐々木 康寿	名古屋大学
	高橋 晃一	(株)アーバン設計
	豊田 淳	三井共同建設コンサルタント(株)
	中村 昇	秋田県立大学
	原田 真樹	(独)森林総合研究所
	北條 哲男	ものづくり大学
	本田 秀行	金沢工業大学
	宮武 敦	(独)森林総合研究所
	森 満範	北海道立総合研究機構

在来技術の応用と新しい考え方による木橋の提案

目 次

第1章	木材のカスケード利用・・・・・・・・・・・・・・・・	1
第2章	応急橋を指向した木トラス歩道橋の提案・・・・・・・・	4
第3章	簡易な施工が可能な短支間車道橋の提案・・・・・・・・	7

第1章 木材のカスケード利用

1.1 木材のカスケード利用の考え方

土木分野においても、環境問題への対応として木材資源の積極的な利用が求められている。これは、木材を活用することで森林の活性化と森林の保全が図れるため、また地球温暖化対策として構造物そのものにも炭素を固定することで植樹と同様の炭素固定効果が得られるためである。

構造物としての利用期間が長期になれば炭素固定効果も長期に有効となる。それを実現するためには、図-1 (a) のような従来型のワンウェイ利用ではなく、図-1 (b) のようにある構造物として利用した木材をできるだけ形状を変化させずに他の構造物に転用することが有効と考えられる。ここでは、これをカスケード利用という。

ただし、木材のカスケード利用は決して新しい提案ではない。建築材では従来から下記のような場合にカスケード利用が行われている。

- ① 古材そのものに価値が見出される場合。例えば伊勢神宮の式年遷宮による古材はこれにあたる。
- ② 大径材や銘木等では資源の保護や入手性、価格等の問題により新材を調達するよりも古材を再利用した方が有利な場合。
- ③ 木材の材料的耐久性は使用環境に大きく左右されるため、構造物が寿命に達しても部材レベルの再利用が可能な場合。

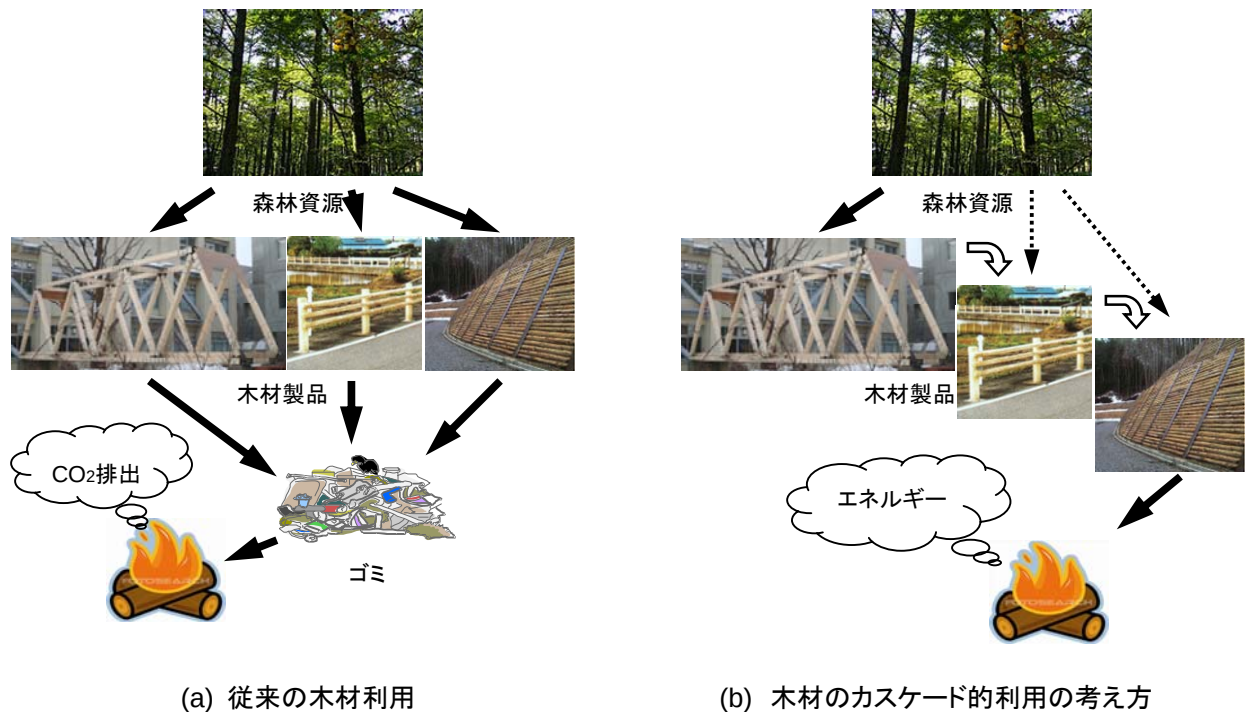


図-1 木材利用の考え方

これらは、部材を傷めずに解体することも再加工も容易であり、再利用にかかるコストが小さいという木材の特徴も反映されている。しかしながら、一般建築材では処分コストのアドバンテージを考慮してもメリットを見出せない場合が多く、再利用されている量は決して多くはない。

土木用材では、耐久性の問題などから従来カスケード利用は積極的にはなされてこなかったが、土木用材には高度な性能が要求される構造材から、それらが求められないものまで多岐な用途があり、カスケード利用のポテンシャルは高いといえる。

1.2 各建設材料のカスケード的な性質

表－1は鋼材、コンクリートと木材のカスケード的な性質について比較したものである。当然どれも一長一短があるが、鋼材やコンクリートは廃棄→回収→再生の1ルートであるのに対し、木材は部材レベルでの再利用が容易なため多段的な利用が可能な上、最終的にはエネルギー源とすることができることが特徴である。

表－1 各建設材料のカスケード的な性質

材料	カスケード的な性質
鋼材	・回収材を溶かすことで、再利用できる。 ・新材とほぼ同等の品質の素材を作ることができ、普通に利用されている。 ・再利用のためのコストとエネルギーは小さくないが、新材製造時と大差ない。 ・鉄鉱石は、遠い将来枯渇する可能性がある。
コンクリート	・砕いて取り出すことで骨材を再利用できる。 ・歩留まりやコストに難があり、再生骨材の品質を新材並に上げるには、エネルギーとコストがかかる ・重い上に体積が大きいために、運搬コストも大きい。
木材	・再利用のための解体や加工も容易で低エネルギーである。 ・解体が容易で再加工性もよいので、部材単位の再利用が容易である。 ・砕いてボード類の原料とすることができる。 ・最終的にエネルギー源とすることができる。

1.3 森林資源の活用とカスケード利用の整合性

国内には木材資源が豊富に蓄積されており、それを積極的に活用することが緊急の課題である。この状況下においてカスケード利用の提案は一見矛盾しているようでもある。しかしながら、中長期的な木材資源の動向を考えると、全世界的に木材資源の枯渇の可能性は十分にあり得る。国内においても現在のいびつな林齢構成と林業の状況を考えると、遠くない将来現実の問題となる可能性もある。また、木材利用が鋭意進められる中で、その一部がカスケード利用できたとしても全体に占める割合は大きくはなり得ない。逆に、カスケード利用により木材の利用範囲が広がることも考えられる。これらのことから、木材のカスケード利用は森林資源活用の流れを妨げるものではないと考えられる。

1.4 木材のカスケード利用における特筆すべきメリット

カスケード利用の基本は「①大きなものから小さなものへ」「②再加工がしやすいものからそうではないものへ」「③信頼性が必要なものからその必要はないものへ」である。このうち③に関しては例えば木橋の構造材から土留め材のように用途の変更で実現できるものであり、幅広い用途がある土木用材ではそれを最大限に活かせるのがメリットである。②に関しては再加工を考慮すれば当初から土と接触させたり内部に金物が残ったりするような使い方は得策ではない。①に関しては、主に大きな部材を小さい部材に加工することであるが、さらには木質ボードの原料にすることができることも特徴である。木質ボードには原料となるエレメントの大きさにより配向性ストランドボード(OSB)、パーティクルボード、MDF等があるが、いずれも古材を原料とすることができる。

また、燃えることは木材の欠点ではあるが、燃焼により熱エネルギーを回収することができることも生物資源ならではの特徴である。現状でも製材所で端材を乾燥機の熱源にする等が行われているが、今後はバイオマス発電も増えていくものと思われる。エネルギー源については上記の①②③は無関係であり、どんなものでも利用できるが、これはあくまでも最終手段であり、まずは用材としての利用を考えるべきである。

1.5 木橋におけるカスケード利用の実践例

木橋をはじめとする木構造物は、例外を除けば部材を組むことで構成されており、その接合部は耐荷力上も耐久性上も弱点となる。しかしながら、これを逆に見れば劣化部材のみの交換が容易であるということもできる。**写真－1**は解体補修により屋根材の一部の部材が交換されている例であるが、このようなリーズナブルな補修を木橋、木構造物では比較的容易に行うことができる。また**写真－2**は流れ橋として有名な上津屋橋であるが、例えば手前の橋脚の水平部材は新しいものに交換されている。これとその上部にクロスに配置された斜材は皮剥き半割り材であるが、写真では明瞭ではないものの、交換された水平材のうち比較的健全な部分を利用して斜材に転用している。これは、加工が容易である木材のメリットを活かしたカスケード利用の好事例のひとつである。



写真－1 大規模補修により部材が交換されている例（ヴァンゲン橋・スイス）



写真－2 大規模補修後部材が転用されている例（上津屋橋・京都府）

第2章 応急橋を指向した木トラス歩道橋の提案

カスケード利用を実践するには、あらかじめそれを想定しておくとそのメリットを発揮させやすい。ここでは、災害復旧あるいは工事用の応急橋を想定した歩道橋の例を紹介する。

2.1 基本の考え方

トラス橋は、組み立てやすく解体しやすいことから応急橋として繰り返し使用するのに有利である。また、部材の断面寸法を統一しやすいため、部材レベルで他用途に転用する際にも有利である。そこで、橋梁形式をトラス橋の中でも最も部材を共通化しやすいワーレントラス橋とする。さらに、①短期的な耐力が確保できていればよい、②耐久性はクリティカルとならない、③すぐに調達できる断面寸法の部材で構成する、④現場において容易かつ短時間で作ることができる、⑤解体・撤去も容易である、⑥コストが安いことを目標とする。

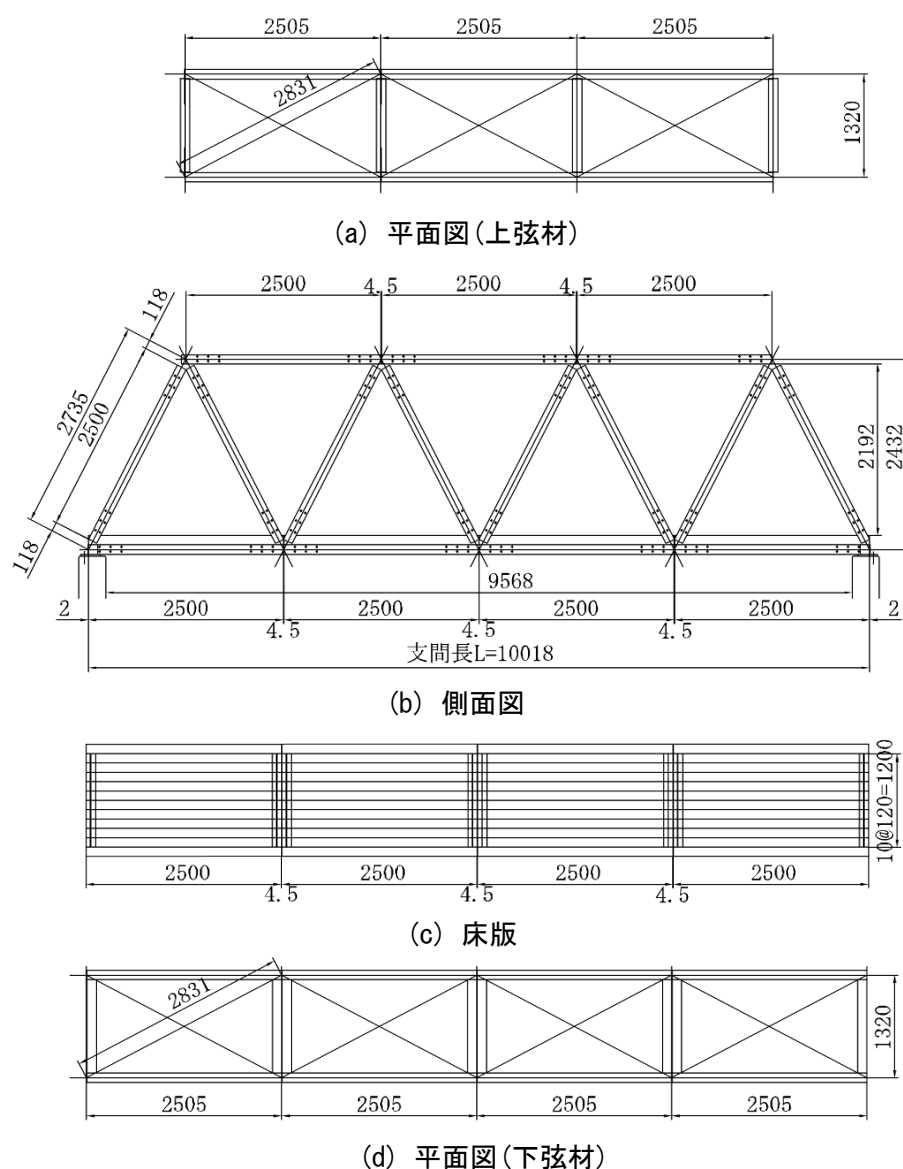


図-2 木製トラス橋概略図

2.2 形式

図-2はここで提案する支間長は10m、幅員は1.5mのトラス橋の概略図である。トラス材には、入手性を意識して120mm×120mmのものを使用する。上下弦材、斜材ともに長さを2500mmとし、格点部のスリット加工やボルト孔の位置をすべて共通として転用が容易となるようにしている。横梁もトラス材と同一断面とし、長さは1200mmとする。床版も断面、長さともにトラス材と同一寸法としている。

写真-3は函館工業高等専門学校構内に設置されているモデル橋である。部材にはカナダ産スプルース材を使用しているが、スギ、ヒノキ、カラマツ等も使用可能である。モデル木橋であるため防腐処理や塗装は行われていない。



写真-3 応急橋のモデル橋



写真-4 鋼格点部材



写真-5 橋の格点部



写真-6 組み立ての様子

トラス部材の格点部は、挿入鋼板を使用したボルト接合とする。写真-4は中間各点の格点部材である。SS400の板厚4.5mmのものを使用しており、上下弦材用の区別はない。

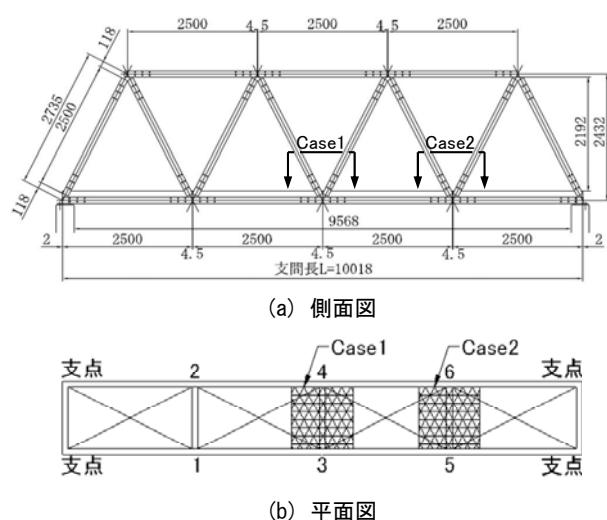
写真-5は上弦材の格点部を表している。トラス部材はM20のボルト6本により格点部材に取り付けられている。横梁は下弦材では床版を支える桁材としても機能する。またワイヤーをクロスに配置してターンバックルにより緊張力を与えて、横剛性を高めている。

写真－6は架設の風景である。地面でトラスを1面ずつ組み立て、クレーンにより橋台へ設置した。クレーンの使用は必要であったが、高所作業はほとんどなく、簡単に短時間で架設することができた。

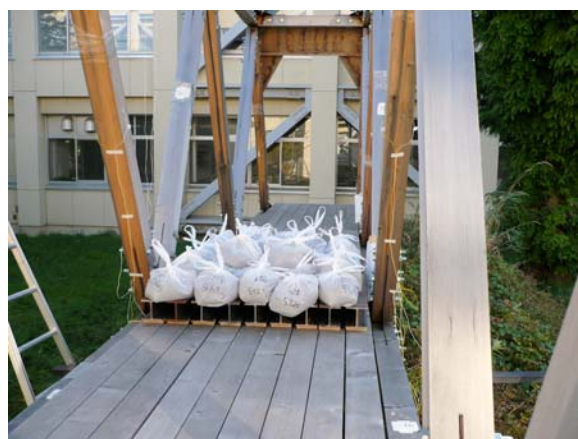
2.3 載荷試験とその挙動

この橋の構造性能を確認するための載荷実験を行った。図－3のように2種類の荷重条件を設定し、写真－7のようにH形鋼と砂袋を荷重とした。図－3の格点1～6でたわみを測定した。

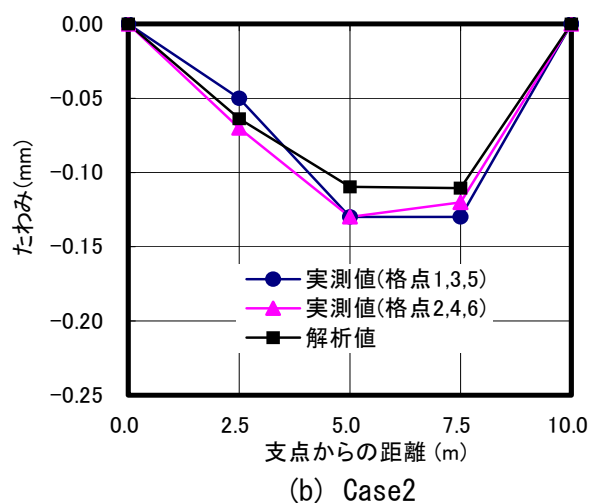
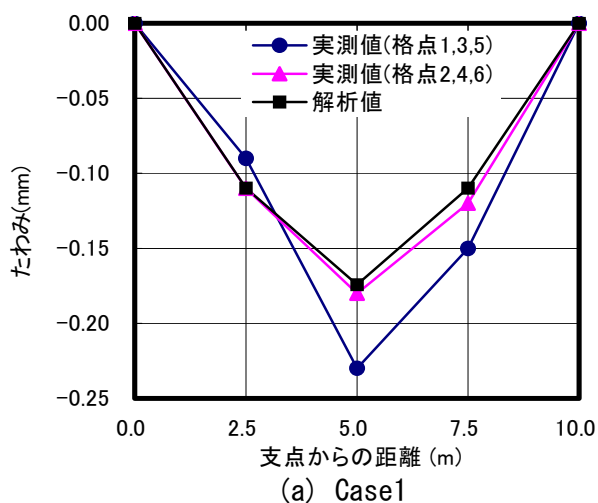
図－4は荷重3.54kNを載荷したときのたわみを表している。実測値は解析値とおおむね一致しているが、Case1の場合は格点1、3、5側のトラスにおいて大きなたわみが生じている。これは接合部のボルトの締め付け作業を複数人で行ったことによる締め付け力のばらつきによりボルト孔の隙間分のすべりが生じたためと推察される。しかしながら、実験値は解析値よりもやや変位が大きいものの、その傾向はおおむね一致し、このトラス橋が理論どおりの構造性能を有していることがわかった。



図－3 載荷点とたわみ測定点



写真－7 載荷試験の様子



図－4 たわみ分布

第3章 簡易な施工が可能な短支間車道橋の提案

橋といえば大きな橋に目が行きがちであるが、実際には短支間の桁橋の事例が最も多い。また農山村等では軽荷重用の橋の需要が大きい。これらは木材の生産地に近く、支間も短いことから木橋の潜在需要も大きいといえる。ここでは、このことを意識した新形式の木橋を提案する。

3.1 基本の考え方

ここで提案するのは図-5、6のようなプレストレス木床版と鋼トラスを用いた車道橋である。プレストレス木床版はすでに技術的に確立され、木橋の床版等に多く使用されている。プレストレス木床版橋はこれに主桁と床版の機能を持たせた形式の橋で、簡易な木橋として実績も多いが、単純な桁橋のため支間が大きくなると木材使用量が膨大になりコスト的に不利となる。提案橋はこのプレストレス木床版を上下に離して配置し、それらを鋼トラスにより固定することで曲げ剛性を確保した新しいタイプの木・鋼ハイブリッド木橋である。

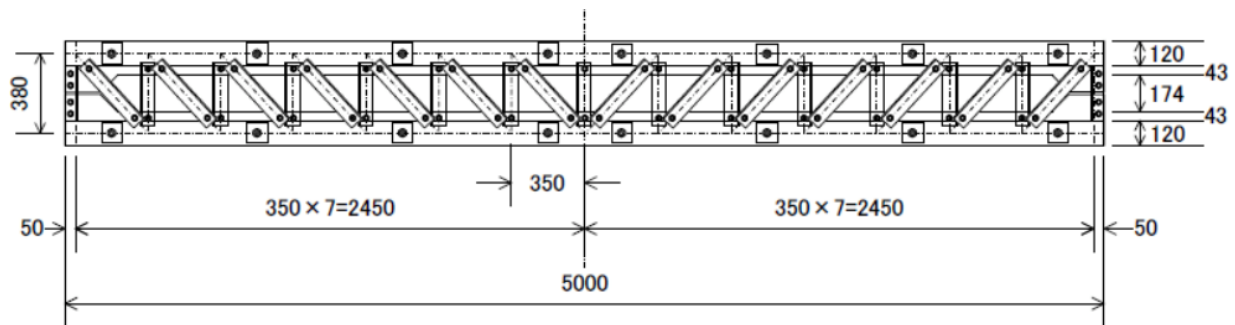


図-5 新形式木橋の側面図

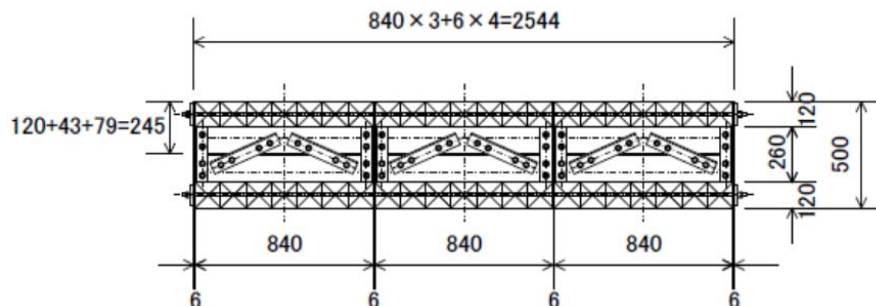


図-6 新形式木橋の正面図

小径の木材が利用できるため地域材の有効利用に貢献できる他、トラスにより箱桁内部の通気性が確保できるため、木部材の劣化を抑えることもできる。またプレストレス木床版状の木部材と鋼トラス部材をプレストレス鋼棒によって一体化させているだけなので、現地での加工から現地架設までが比較的簡便に実施でき、部分的な補修も解体・撤去も容易でもあることから、災害時の応急橋としても期待される。

3.2 モデル木橋の概要と性能

秋田県三種町に平成22年度に本形式のモデル木橋が架設された。写真－8はその時の様子である。今回は、工場で組まれた鋼トラス部材とスギ角材とを秋田県立大学木材高度加工研究所敷地内で組み立てた。その所要時間はおよそ半日であり比較的簡単に施工できる構造形式であることが確認できた。これを現地に運搬しクレーンで架設した。この作業も半日程度であった。

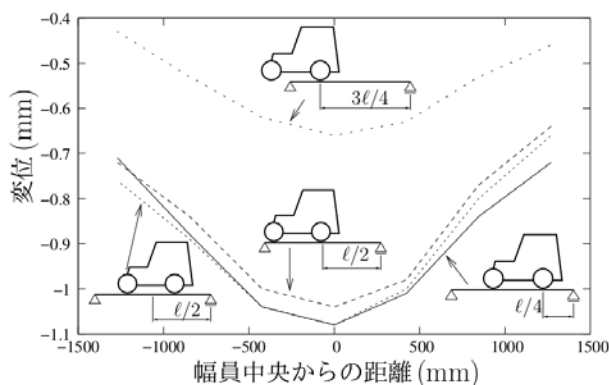


写真－8 試験施工された木橋

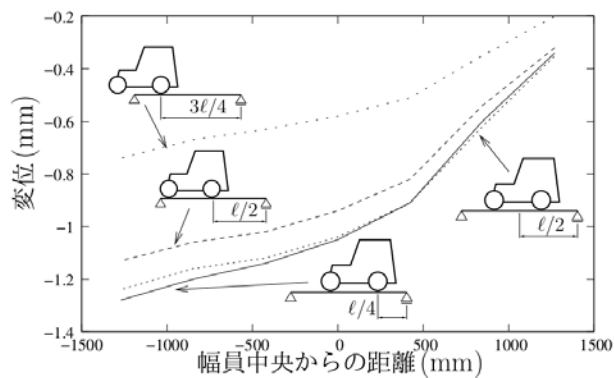


写真－9 現地載荷試験の様子

完成した橋に対して、写真－9のようなホイールローダー（前軸荷重:12.6kN、後軸荷重:17.0kN）による載荷試験を行った。幅員中央を通過させた場合、幅員端部を通過させた場合それぞれの試験結果を図－7、8に示す。ホイールローダーは、前輪が橋梁に乗っている状態で後輪がスパン1/4点上に位置する場合、車体がスパン中央に位置し、前輪・後輪がともにスパン端部から等距離に位置する場合、後輪がスパン1/2点上に位置する場合、前輪が橋梁を通過して後輪のみがスパン3/4点上に位置する場合の4 ケースについて、スパン中央部の幅員方向7箇所のたわみ変位を測定した。その結果、前輪・後輪ともにスパン中央に近い位置にある場合にたわみは大きくなり、幅員端部側に載荷したケースの幅員端部側の変位の方が、幅員中央に載荷したケースの幅員中央の変位よりもやや大きくなることがわかった。ただし、いずれの場合もたわみ量としては最大でも1mm 強であり、十分に許容できる範囲であった。



図－7 幅員中央に載荷した場合の変位



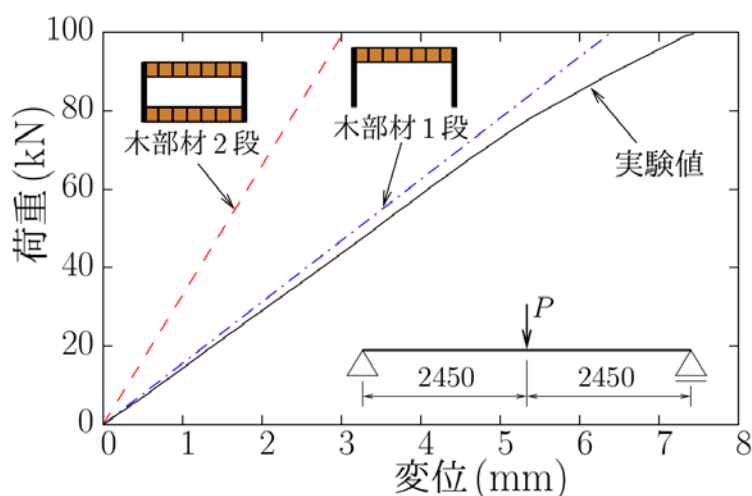
図－8 幅員端部に載荷した場合の変位

3.3 実大模型による載荷試験

モデル木橋は図－6のように幅員840mmの箱桁が3つ並列した構造を有している。このうちの840mm部分を取り出し、写真－10のような単純支持中央載荷の3点曲げ試験を行った。試験の結果を図－9に示す。図には鋼トラスおよび木部材が全段面有効でロスがないと考えた場合の理論値（木部材2段と表記）も示されているが、載荷試験における剛性がかなり小さいことがわかる。これは、木部材が軸方向に1箇所以上のバットジョイントを介して連結されているため、引張側の木部材が必ずしも曲げ剛性に対して有効に機能していないことも一因であると推察される。実際のバットジョイントによる引張側木部材の剛性低下を考慮するため、ここでは極端な場合として引張側の木部材を無視した場合の曲げ剛性の理論値（木部材1段と表記）も示す。すると試験結果はこれと同等の剛性を示すことがわかる。なお、これはあくまでも試算であり実際の設計のための評価法については引き続き検討を行っているところである。また2等林道橋の後輪荷重は55kN であるが、衝撃などを考慮し69kN の載荷に耐えられることを目安とすると、その荷重まではほぼ直線的な挙動を示しており、十分な性能を有していることがわかる。



写真－10 モデル試験試験の様子



図－9 モデル載荷試験における荷重－変位の関係