

強化桁を用いた木橋の提案

- コストダウンと耐久性向上をめざして -

石川 佳生

キーワード：木橋，強化桁

はじめに

我が国では，集成材を構造部材とした木橋の歴史は浅く，欧米では約60年の実績を積み重ねているのに対し，いまだ20年足らずでしかありません。しかも，木橋の設計示方書が整備されていないことから，現行法規の範囲内で架設可能なのは，一部の例外を除いて，林道や公園を対象とした橋（林道橋，園路橋）に限定されています。そこで，国土交通省（当時建設省）では平成6年度から設計示方書策定のためのモデル事業を行い，信頼性の高い木橋づくりに着手しています。その中で，平成9～10年度には鹿児島県串木野市にアーチ橋²橋，大分県久住町にラーメン橋¹および高知県梶原町にトラス橋²の人道橋を架設し，その耐久性能や強度性能など，経時変化についてのデータを収集しているところです。近い将来には，人道橋に限定されますが，モデル事業の成果を取りまとめて，木橋の設計施工のための技術基準が提示される予定とのことです。

木橋の課題としては，上で述べたような設計示方書の整備とならんで，耐久性，コスト，維持管理などがあげられています。このうち，耐久性に関しては木橋の主要構造部材を構成する集成材の耐朽性能の向上が大きなポイントとなっています。その対応策としては，木材に防腐処理を施すかボンゴシ³などの高耐久性木材の使用があげられます。しかし，集成材に防腐・防蟻処理を施すと，そうでない場合に比べて単位材積あ

たり3～5割のコスト増となります。そこで今回は，集成材と鋼材を組み合わせた強化桁を採用することにより，ローコスト化と耐久性の向上を図った木橋を北海道集成材工業会と共同で検討したので，その概要を紹介いたします。

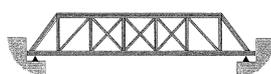
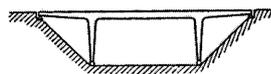
強度性能の向上によりコストダウンを図る

木橋の規模が長大化するにしたがって，桁の強度を上げるために部材断面が大きくなり，上部工費に占める集成材などの木材加工費の割合は増加します。単純桁構造では，上部工費の約5割以上が木材加工費で占められており，鋼橋やPC橋⁴の上部工費と比較すると，約2～3倍もの価格差があります。そのため，主桁に強化桁を採用し，集成材の使用材積を減らすことで，コストを抑えている例が多くみられます。材積が減ると，インサイジング⁵加工費，防腐薬剤の加圧注入処理費なども同時に低減させることができます。

最近の事例としては，平成14年11月に新潟県岩船郡山北町勝木川に架橋された「八幡橋」（全長42m，幅員5m，2連アーチ橋）は，床板にPCを採用した複合化により，強度を高めています。また，宮崎県西米良村に15年3月には「新村所大橋」（全長140m，最大支間長48.2m，トラス橋）も，一部を鋼材と組み合わせ，日本で最大の車道木橋として完成しています。

* 1 ラーメン橋：主桁と橋脚が相互に剛結されている構造形式の橋梁。

* 2 トラス橋：直線部材で構成された骨組み構造で，部材相互を結合する点が自由に回転するように結合されている構造の橋梁。



* 3 ボンゴシ：西アフリカ産の広葉樹で，腐朽菌に強く，白蟻等に食害されにくい特性と，アスベストスレートに匹敵する難燃性を合わせて持っている。

* 4 PC橋（プレキャストコンクリート橋）：工場などであらかじめ製造したコンクリート橋桁を用いた橋梁。

* 5 インサイジング：防腐・防蟻剤の浸透をよくするために木材の表面に適当な間隔でキズをつけること。

木橋に採用する強化桁の検討

今回木橋に採用する強化桁は、容易な施工・製造方法により、ローコスト化を図ることが可能な構造形式であることを考慮しました。その結果、比較的小さい部材断面で高い剛性を得ることができる吊り床版橋^{*6}のサスペンション構造^{*7}および単純支持による張弦梁構造^{*8}を選択し、それぞれ供試体を製作して曲げ剛性試験を行いました(図1, 2, 写真1, 2)。各試験体の条件は表のとおりです(表1)。試験の結果、サスペンション構造の曲げ剛性は単純支持とした集成材だけの場合よりも最大で2.08倍、張弦梁構造は最大で1.26倍の値を示しました(図3, 4)。さらに、曲げ剛性試験により、高い試験結果が得られたサスペンション構造の強化桁について縦継ぎの検討を行った結果、接合効率^{*9}は最大で81.4%を示し(図5)、この接合具を用いた強化桁は初期剛性の確保に十分な接合性能を有していることが分かりました。

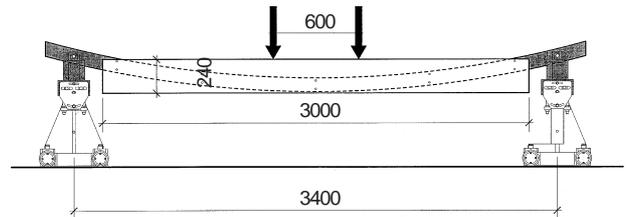


図1 サスペンション構造の曲げ剛性試験

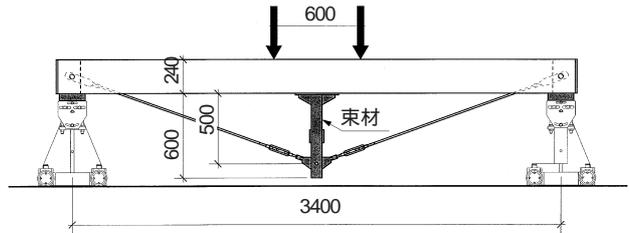


図2 張弦梁構造の曲げ剛性試験

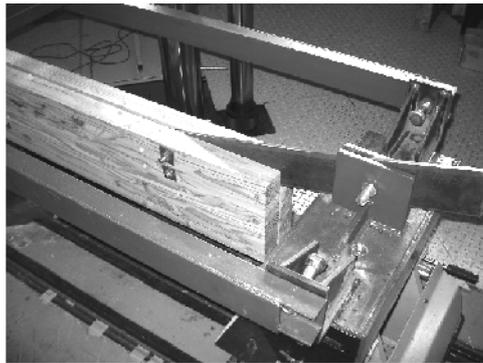
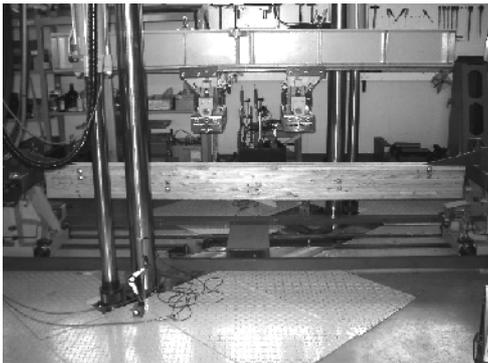


写真1 サスペンション構造の試験の様子(左:正面から見た試験体,右:試験体の支点)

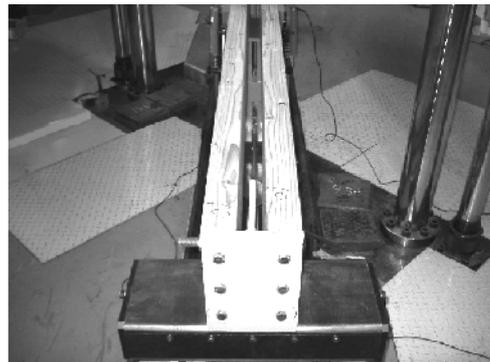
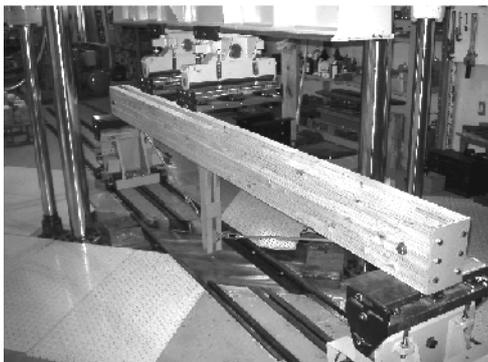


写真2 張弦梁構造の試験の様子(左:斜め方向から見た試験体,右:木口方向から見た試験体)

* 6 吊り床版橋: 吊り橋の原形ともいえる構造で、水平に張渡したケーブルなどをコンクリートで取り巻き、その上を直接歩行者が通る路面とする形式の橋梁。



* 7 サスペンション構造: ケーブル等の引張材を主要部材として、安定化が図られている構造。
 * 8 張弦梁構造: 曲げ剛性を持った梁(圧縮材)と、引張材とが束材を介して結合された混合構造。
 * 9 接合効率: ここでは、強化桁の「接合部なし」の強度に対する「接合部あり」の強度比。

表 1 各試験体の条件

試験体の条件				
構造	集成材	集成材の寸法 (mm) (幅×背×長さ)	鋼材 (mm) (厚さ×幅)	特徴
サスペンション構造	カラマツ構造用集成材 (等級 E95-F270)	60× 240× 3,000	9× 100 サグ比: 3%	サグ比 ^{*10} を設けた鋼材を中央に配置し、その両側を集成材で挟み込み、M12ボルトで固定したもの。
張弦梁構造	カラマツ構造用集成材 (等級 E95-F270)	60× 240× 3,600	ワイヤー: 9mm 鋼棒: 12mm	上弦材は集成材 2本を、50mmの間隔をあけて並べ、その間に下弦材を配置したもの。
サスペンション構造 (縦継ぎ)	ホワイトウッド構造用 集成材 (等級 E95-F270)	60× 230× 3,000	9× 100 サグ比: 3%	スパン方向に 3分割した集成材の下面にラグスクリーボルト ^{*11} (M9× 50) による鋼板ガセット接合 ^{*12} を設けたもの。

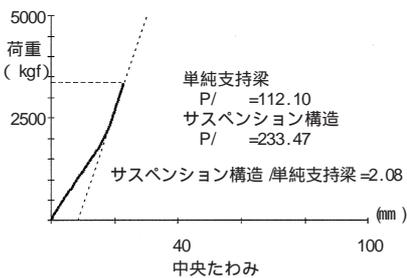


図 3 サスペンション構造の
曲げ剛性試験の結果
($kg f = 9.8N$)

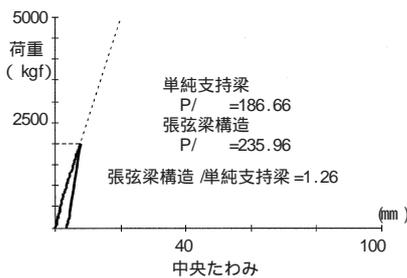


図 4 張弦梁構造の曲げ剛性
試験の結果

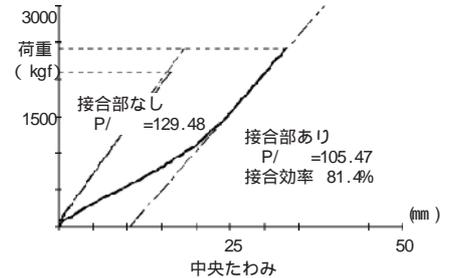


図 5 サスペンション構造 (縦継ぎ) の曲げ剛性試験の結果

サスペンション構造を採用した木橋の設計

試験結果をもとに、サスペンション構造を採用した木橋 (支間長 30m, 有効幅員 1.8m, 人道橋) の基本設計を行いました。

強化桁を採用したことにより、幅 150mm, 背 650mm の集成材と厚さ 22× 幅 300mm の広幅平鋼をボルトナットで組み合わせた総桁幅 322mm の強化桁を 3本使用する設計となりました。仮に、同規模の人道橋を単純桁構造で設計した場合は、集成材の幅 220mm, 背 1,350mm の主桁が 4本必要となります。

サスペンション構造は、サグ比を大きくとることで、支点にかかる水平反力を小さくすることができますが、その反面、桁下有効高が必要となるため、架設現場の条件が制約されることとなります。一般的なサスペンション構造では、桁材の強度性能と支承部^{*13}の水平反力の関係から、3~ 6% 程度のサグ比が多く採用されて

いるため、今回の設計でも 3% と 6% の 2種類の強化桁で設計しました。

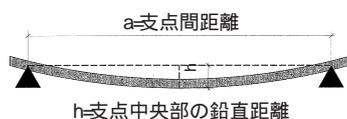
フラットタイプ

強化桁は、最も荷重負担の大きい中央桁のサグ比を 6% とすることで加重負担を抑制し、外桁を 3% とすることで、材積の軽減を図りました。また、パリアフリーに配慮し、路面をフラットにするため、それぞれの桁材から天端を合わせた束材を立てて、その上に橋長方向に栈木を渡し、そこへ床板をラグスクリーボルトで取り付けました (図 6, 上図)。

スロープタイプ

強化桁の配置はと同様ですが、床板を外桁の上部に直接取り付け 3% のスロープを付けた状態で配置しました。このことにより、中央桁の上には束材が必要ですが、外桁には束材を設置する必要がないため、コスト削減につながるとともに、施工が容易となります (図

* 10 サグ比: 支点間中央の鉛直 (垂直) 距離 / 支点間距離 (図の h/a)。



* 11 ラグスクリーボルト: 先端部にねじ切り加工が施されているボルト (接合具)。

* 12 鋼板ガセット接合: 鋼板製の補強用添板 (gusset plate) により木材を接合する方法。

* 13 支承: 上部構造から下部構造に力を伝達するためにそれらの境界に設ける支持装置。

強化桁を用いた木橋の提案

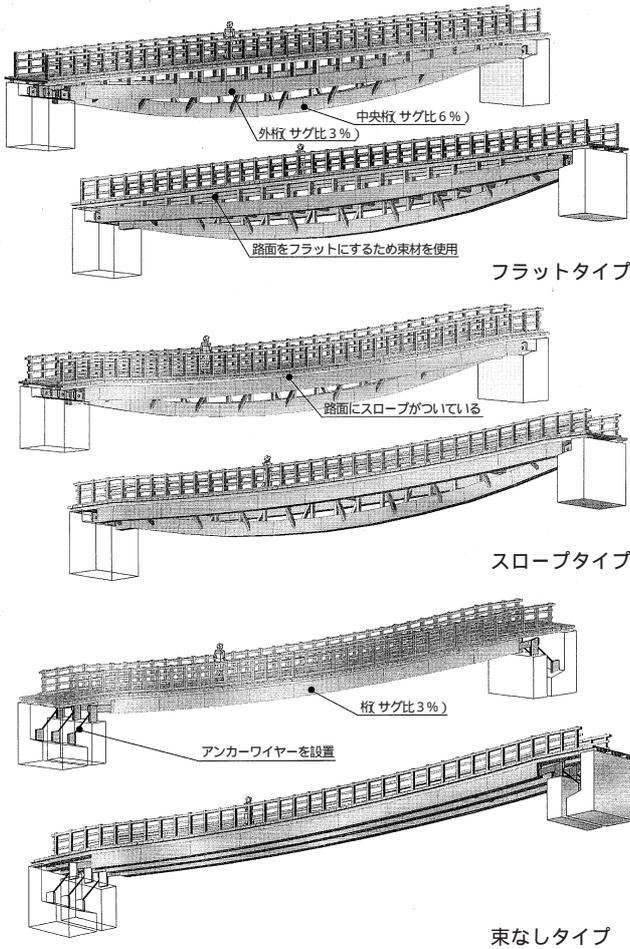


図6 サスペンション構造を採用した人道橋のイメージ図

6, 中図)。

束なしタイプ

全ての強化桁をサグ比3%としました。このことにより、桁高が3タイプ中もっとも低く抑えられるため桁下有効高が広く確保できます。しかし、サグ比が小さいため水平反力が大きくなるので、橋台や桁材にアンカーワイヤーなどの反力支持材が必要となります(図6, 下図)。

今回設計した人道橋は、鋼材と集成材を組み合わせる際に、接着剤を使わず、ボルトによって一体化しているだけなので、集成材の破損や腐朽した場合でも架設したままの状態での部材交換が可能であるとともに、解体後の分別も容易です。また、直接雨水にさらされる高欄や床板などは、部品のユニット化を図ることにより、施工性に優れ、しかも部材交換が容易な設計としました(図7)。

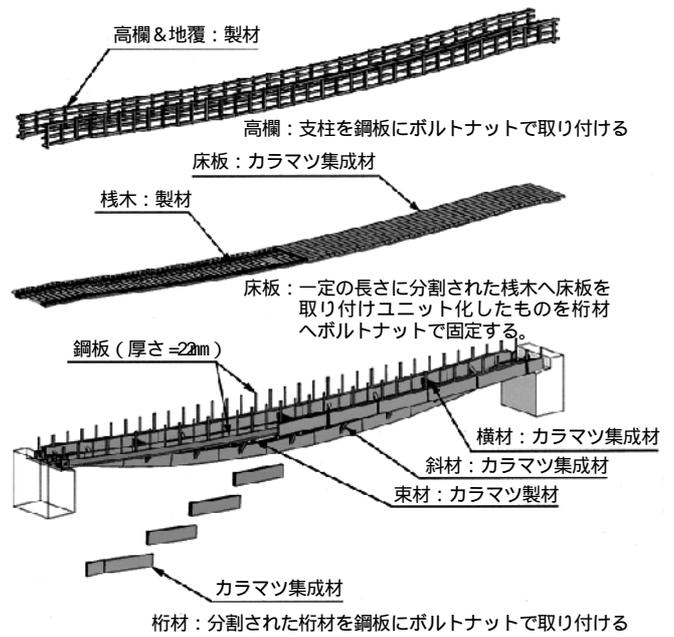


図7 サスペンション構造を採用した人道橋の分解図

サスペンション構造を採用した木橋のコスト試算基本設計に基づき、上部工費の積算を行いました。強化桁は鋼材の使用量が増加しますが、集成材の材積が低減しているため、上部工費の総額は、いずれのタイプも単純桁形式よりも約3割削減することができました。架設費についても、集成材の材積低減とユニット化により、大規模な重機を必要としないことから、コストダウンしています(図8)。また、サスペンション構造は、斜張橋^{*14}やアーチ橋などの長大な支間長に適した構造形式と比較した場合、約2/3程度の価格となります。一方、鋼橋やPC橋と比較すると、まだその価格差には開きがあります。しかし、鋼橋、PC橋に周囲景観との調和や視覚的な柔らかさなどに配慮して木材を化粧材として取り付けた場合は、その分のコストがそのまま上乘せされます。また、鋼橋やPC橋は木橋と比較すると、上部工が重いため、下部工(橋台など)が大規模なものとなり、コストアップの要因となります。これらのことから、強化桁を採用した木橋は鋼橋、PC橋とトータルコストで比較すると、十分競合できると考えられます。

* 14 斜張橋: 塔から斜め直線状に張ったケーブルで桁の中間部を吊った構造形式の橋梁。



強化桁を用いた木橋の提案

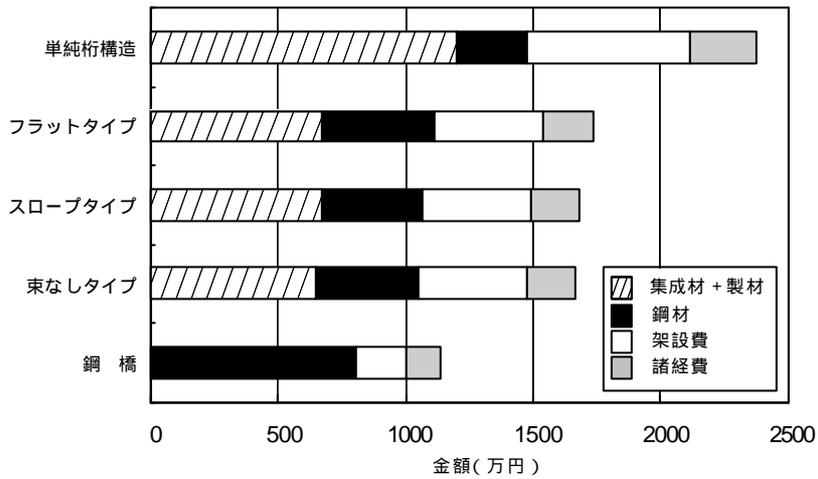


図8 各構造形式の上部工費

おわりに

木橋は、同規模の鋼橋やPC橋と比較して、価格が高く、耐久性に難があるなどの理由から、なかなか採用されないのが現状でした。しかし、集成材と鋼材とを組み合わせた強化桁の採用により、集成材加工費やインサイジング加工費、防腐処理費などのコストダウンが図られるとともに、集成材のボルト接合および床板のユニット化により部材交換が容易になったことや、木材の腐朽しやすい部位に鋼材を使用することなどによって、耐久性の高い木橋の提案が可能となりました。

北海道集成材工業会と共同で開発した強化桁は、今後の集成材による橋づくりの普及・発展に寄与するものと考えています。

参考資料

(財)日本住宅・木材技術センター：木橋づくり新時代 (1995)。

(林産試験場 企画課)