

木橋からみた木質材料の設計に関する考察

Design of wood based materials for timber bridge

○宮武敦* 平松靖** 新藤健太***

MIYATAKE Atsushi、HIRAMATSU Yasushi、SHINDO Kenta

*農修 (独) 森林総合研究所 (〒305-8687 茨城県つくば市松の里1)
 **農修 (株) 森林総合研究所 (〒305-8687 茨城県つくば市松の里1)
 ***博(工学) (株) 森林総合研究所 (〒305-8687 茨城県つくば市松の里1)

ABSTRACT The problem in the evaluation method for shear strength of timber and Glulam, processing of finger joint for different strength class, wood and cement composite developed in FFPR1 were introduced.

Keywords : 集成材、せん断、異等級ラミナフィンガージョイント、木材-セメント複合材

glued laminated timber、shear strength、finger joint、wood and cement composite

1. はじめに

既存の木質材料の特徴を活かしたり新たな視点で材料設計しなおすことで、木橋を設計する上で問題となるいくつかの点を解決する方策についてその可能性を考察する。具体的には、①木材のせん断性能の低さに起因する問題に対して集成材を利用したせん断性能向上の可能性について、また、②作用する荷重に応じた合理的な断面設計を同一部材であっても行うために異なる強度等級のラミナを長さ方向に配置して集成材を製造する際の問題点と可能性について論じる。さらに、③木橋床版への適用の可能性を見ながら木材-セメント複合材についてその特徴を概説する。

2. 木材のせん断性能

大猿橋(群馬県)¹⁾は、近代木橋最初のモデル橋とも言える神の森大橋タイプの中路式タイドアーチ橋で、設計の段階では部材として木材を極力利用する試みがなされている。さて、この木橋では幅700mm、高さ1100mmという構造用集成材としては幅の広い部材が床組みの横梁に使用されている。そして、この断面はせん断により決定されているという。

一例として、木造建築の床梁の設計を示す。梁高さを決定するには、曲げ強さ、せん断強さに対するの安全性とたわみ制限を確認する。床に固定荷重と積載荷重が規定量裁可されていて、それを受ける梁が負担する幅(梁間隔)を変動させることで、設計荷重と梁の断面(梁せい)の関係がどのようになるかを図-1に示す。梁材には、ベイマツ集成材E120-F330を使用した。この図から、梁間隔が狭い場合(負担荷重が小さい場合)はクリープ変形で梁せいが決定されること、梁間隔が広がる(負担荷重が大きくなる)とせん断で梁せいが決定することがわかる。一方、集成材の曲げ強度が直接梁の断面寸法の決定に関与しないこともわかる。

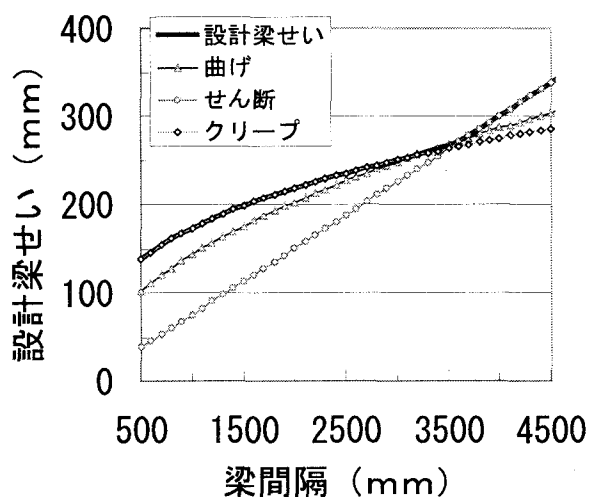
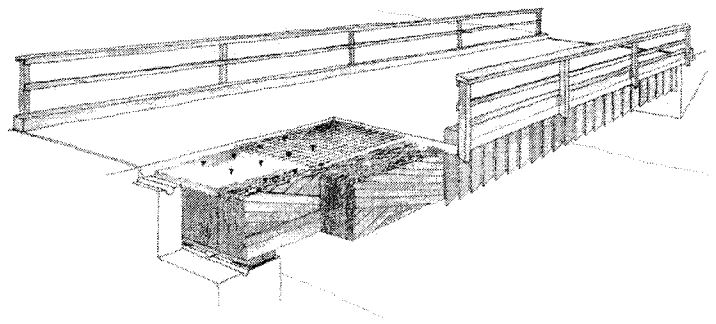


図-1 梁の設計断面

さて、木材のせん断性能は構造材料として利用していく上で重要な性能であるが、その評価手法についてはまだ検討の余地が残されている。歴史的には、無欠点小試験体のいす型せん断試験により評価されてきたが、寸法効果、応力集中、実際の梁において生じるせん断応力に対する耐力の考え方など問題点を残している。一方、実際の梁の荷重条件に近い曲げ試験においてせん断破壊を生



図一 2 せん断性能の向上を図った集成材と木橋⁴⁾

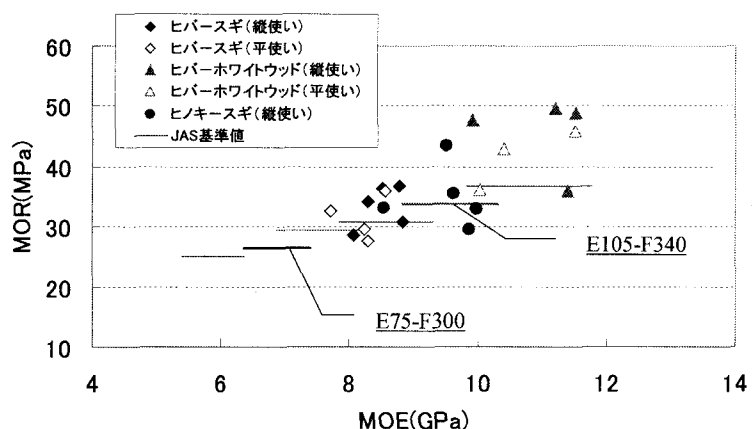
じさせる短スパンの中央集中3点曲げ試験、5点曲げ試験などでは、せん断破壊ではなく曲げや支点のめり込み等による破壊が生じてせん断により破壊する確率が低いことが問題となっている。これらの一連の研究は北米では木橋の研究が進行しているのと同時期に行われている²⁾。小松らは逆対称加力式の4点曲げ試験(大野式)をめり込みに弱い木材用試験にアレンジしせん断強さの評価を試み、木材のせん断強さの再評価について提案している³⁾。

集成加工によりせん断性能を向上させる手法としては、ラミナを垂直積層する平使い集成材において木材の繊維方向に角度を付ける方法がある(図一 2)⁴⁾。せん断強さについてはその向上が期待されるがヤング係数や曲げ強さの低下が生じるので、そのバランスについては十分材料設計しておく必要がある。

3. 集成材の長さ方向の強度性能設計

構造部材が負担する荷重がその長手方向に変動する場合がある。RC造あるいはS造の橋梁や建築ではこのような場合、負担する応力に応じて断面の寸法形状を変化させるのが一般的である。一方、木材の場合、梁せいの増減により断面形状の変化をつけることは、強度性能、耐久性の低下が考えられること、また、加工コストの増加が考えられることなどがあり、性能や経済性のデメリットが大きいと考えられる。このような場合、集成材では長さ方向にラミナの強度等級を変化させることが考えられる。木橋では、八幡橋⁵⁾(新潟県山北町)においてこの技術が適用されたことが報告されている。元来、構造用集成材の製造基準にはその手法について触れた部分があるが、技術的な言及はなくその可能性については不明な点が多い。このような中、耐久性の異なる樹種をラミナ段階で長さ方向にフィンガージョイント(FJ)によりたて継ぎし、これを積層した異樹種たて継ぎ集成材についてその製造と性能について検討した例を示す。

異樹種たて継ぎ材の製造は、JAS認定工場に依頼した。ヒノキ(H)、ヒバ(T)、スギ(S)、ホワイトウッド(W)のひき板を機械等級区分し、異樹種・異等級材および同樹種・同等級材の組合せでFJしたラミナ(異樹種FJラミナ、同樹種FJラミナ)を作製した。また、異樹種FJラミナ5層を積層接着して集成材を作製した。これらのラミナおよび集成材について、構造用集成材のJASに準拠し強度試験



図一 3 異等級たて継ぎラミナ集成材の曲げ強さ

を行った。この結果、F J ラミナの強度試験結果を表2に示す。ラミナの曲げ試験においては、異樹種FJラミナでは等級の低いひき板のFJ底部でほとんどの試験体が破壊した。これに対して同樹種FJラミナではFJ底部が均等に破壊した。異樹種FJラミナのMOEは、それを構成するそれぞれのひき板で作製した同樹種FJラミナのMOEの平均値にほぼ近似した。異樹種FJラミナのMORは、それを構成する等級の低いひき板同士の同樹種FJラミナのMORに比べて同等もしくは小さい傾向にあった。ただしS70を用いた異樹種FJラミナのMORはS70同樹種FJラミナのMORに比べて同等もしくは大きかった。引張り試験においては、S同士、H同士ではほとんどの試験体がFJ部で破壊したが、T同士、W同士、T-W FJラミナでは節で破壊したものが多かった。異樹種FJラミナ集成材の曲げ試験結果を表3に示す。集成材は最外層のFJ部もしくは最外層の節で破壊した。異樹種FJラミナの曲げ試験結果からS70-H110およびS70-T110ラミナはJAS・L90相当、T110-W125ラミナはL125相当であると仮定すると、それらを積層接着して作製される集成材の最も高い強度等級は、それぞれJAS・E85-F300、E120-F375と考えられる。

4. 木橋床版への木材—セメント複合材の適用について

長野県において林道木橋のモデル化が提案され⁶⁾、日影入線木橋等において実証されている⁷⁾。このモデル橋の特徴は集成材桁と鉄筋コンクリート製床版を組合せた点であろう。この鉄筋コンクリートに替って、森林総研で開発中の木材—セメント複合材の製造と性能について簡単に述べる。

この材料はセメント・ストランド・スラブ (CSS) と命名された、いわば木筋コンクリートである。この製品の製造上の特徴は、木材小径丸太あるいは製材工場から排出される背板と呼ばれる端材を割裂することにより細長いストランド変換して用いるところにある。この手法で得ら

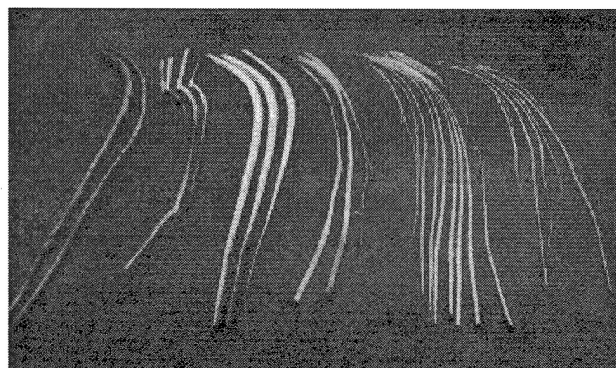


写真-1 割裂ストランド

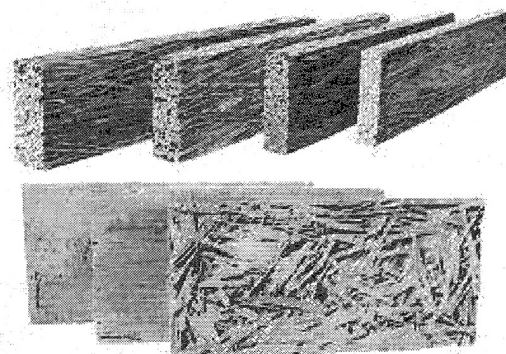


写真-2 SSTとCSS

表-1 ストランド前処理とCSSの曲げ強度(圧縮方向に直角方向に加力)

前処理	前処理用セメント水		曲げ強度 (N/mm ²)	充填用モルタル セメント：砂
	セメント(g)	水(g)		
水減圧加圧注入	—	2810	20.3	1 : 1
水浸せき (1日)	—	2082	25.7	
なし (生材)	—	(1200)*	26.0	
セメント水	500	1900	32.6	
なし (気乾材)	—	—	28.7	
パラフィン	—	—	26.5	
水浸せき (10分)	—	1700	30.7	2 : 1
なし (生材)	—	(1200)*	28.7	
セメント水	1000	1700	39.1	
セメント水	1700	1700	36.1	
なし (気乾材)	—	—	33.6	

れたストランドは木材の繊維が通っていることから高い強度を有する。このようなストランドを接着剤を用いて接着成形した材料としては北米で開発され現在実用化されている商品名でパララムと呼ばれる材料がある。森林総研型の製品はSSTと命名され、林野庁の補助事業としてテストプラントの建設もされたが現在実用化には至らなかった。一連の研究の中で、割裂ストランドをセメントと複合した材料が開発され、その適正な製造条件を明らかにするために、ストランドとセメントの結合状態および養生期間中の物性の変化の2点に着目して行った試験を示す。

スギ製材端材を細片化したストランド(1cm×0.4cm×60cm(長))をモルタルと混合しながら長手方向に配向させて鋼製型枠内でフォーミングした後、コールドプレスで圧縮して30cm(幅)×60cm(長)×約4cm(厚)のCSSを製造した。ストランドは、20℃、45%RH恒温恒湿室内で調湿した後、飽水(減圧加圧処理、浸せき処理)、パラフィンによる表面コート、モルタル混合直前にセメント溶液への浸せき等の処理を施した。モルタルのセメント:砂比は2条件で1:1と2:1、水セメント比は50%、またCaCl₂をセメント重量の1%添加した。圧縮は圧力15kgf/cm²で48時間行った。製造から2~6ヶ月間の重量、寸法、各振動モードの共振周波数から求めるヤング係数やせん断弾性係数、共振曲線法による損失正接tan δ、曲げ強度の変化を測定した。曲げ強度試験は、CSS板を幅方向に3cm間隔で切断して作成した試験体について、全スパン52cm、せん断スパン13cmの4点曲げ方式で行った。曲げ強度の変化は、解圧直後に作成した曲げ試験用試験体を20℃、65%RHの恒温恒湿室で養生しながら、製造後2日、1、2、4、8週経過時に製造時圧縮方向と直角方向に加力して測定した。その結果、製造したCSSの比重は1.5~1.6、ヤング率は20~25kN/mm²であった。養生期間中の重量減少とヤング率増加は約1ヶ月でほぼ一定になったが、その変化率はストランド処理条件で異なり、飽水>気乾>パラフィンの傾向を示した。また、曲げ強度は顕著な増加を示さなかったが、応力-変位曲線や破壊形態には差が見られた。CSSの曲げ強度は表1に示すように、モルタルのセメント砂比により異なり、2:1>1:1の傾向を示した。また、ストランド処理条件によっても変動し、セメント溶液浸せき>気乾>パラフィン≧飽水の傾向を示した。ストランド前処理条件により強度が変動することは、ストランドとセメント界面の状態がCSSの強度性能に影響を与えることを示唆するものと考えられた。

5. おわりに

近代木橋が再興されるにあたって集成材が果たした役割は小さくなかったが、その後も鋼材やFRPとのハイブリッド材などが実用化され木橋の技術はさらに発展している。現在の木橋がかかえる問題点を明らかにしながら、材料開発や構造開発を通じてさらに木橋にかかわる技術を高めていくことが重要と考えられる。

参考文献

- 1) 木橋事例集 大猿橋、第1回木橋技術に関するシンポジウム、p.47-50、2002
- 2) Douglas. R. Rammer、David I. McLean、Recent Research on the Shear Strength of Wood Beams、International Wood Engineering Conference、p.96-103、1996
- 3) 小松幸平、野口昌宏、森田秀樹、藤元嘉安、実大スギ集成材のせん断耐力評価法の開発(I)、第54回日本木材学会大会研究発表要旨集、p.114、2004
- 4) Dreifach orientierte Seitenware、Bauen mit Holz、p.20-22、1999
- 5) 三品吉彦、野村邦男:八幡橋の設計と施工、第2回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集、p.47-50、2003
- 6) 長野県林務部、長野県林道木橋標準設計、2002
- 7) 渡辺浩志、久保田努、斎藤潔、柴田直明、日影入線木橋(長野県林道木橋標準設計)の施工、p.41-45、2003