

岡山県新見市産ヒノキ構造システムの の公開実験（前編）

木構造建築研究所田原 代表
〒639-2306 奈良県御所市三室 104-1-901
Tel & Fax 0745-62-6669 E-mail : taharakn@m4.kcn.ne.jp

田原 賢

はじめに

現在、世界的な新型コロナウイルス感染症の蔓延により我が国においても深刻な経済不況で、2020年のGDP成長率は-5%を下回る恐れがあると予想され、経済危機を伝えています。森林・林業に目を向けると、木材価格の低下に起因する山林経営の危機が数十年前から続いています。

筆者も故郷の岡山県新見市に0.5ha程度の小さな山林を保有しています。樹齢60年程度のヒノキ林（総本数2千本程度）ですが、昨年の夏に高齢の母親に「昔植林したヒノキが見たい」とせがまれて、連れて行きました（写真①）。「昔あれだけ一生懸命に植えたヒノキも今では価格が安くて、価値がないほどになってしまったとは……悲しい」と言ってみせた顔が忘れられません。母は、私が木造建築の構造設計を専業にしていることは知っていましたが、集成材を使った大きな建築しか扱わないだろうと思っていたらしく、「頑張って育ててきたヒノキを少しでも高く売れる方法を考え、地域の山林経営者の方々が林業経営を諦めてしまうことがないようにしてくれないか？」とも言っていました。

そうした地域の山へ想いを馳せながら考えた結果、住宅以上の大きな空間（4間スパン）を鉄骨造や集成材による手法ではなく、ヒノキ構造材を用いて歩留まりを最大限に高めた床梁のシステムを開発するに至りました。

原木を100%利用するのは難しく、接合部等で必ずカットする部分が出てきますが、それを最小



写真① 新見市の筆者所有山林（母を連れて訪れた）

限に留めて高歩留まりにしたのが今回の公開実験で用いた「太鼓梁システム」の製材方法です。

一般的に建築物は、①鉄筋コンクリート造>②鉄骨造>③集成材大断面構造>④木造在来工法という順番で建築費用がかかるため、いちばん安く建築可能なのは、④木造在来工法となります。

そこで、この④木造在来工法が、大きな空間を建築できる②の鉄骨造に強度の面でもコストの面でも対応できれば、たとえ原木価格が現在の市場価格の3倍以上でも十分なコストダウンが可能となり、試算ベースでは総床面積300m²程度の総2階建て、4間（7.28m）スパンの建物を今回行ったシステムで建築すれば、20%以上のコストダウンが可能になるという結果が出たのです。



◀写真② 木造住宅の耐震構造の勉強会
(事務局：建築設計室ほあら)

実験計画について

この公開実験を行うにあたって、筆者は岡山市で「木造住宅の耐震構造の勉強会」を行っており、その参加者に「地元の岡山県新見市産の樹齢55年程度、末口25cmのヒノキを使い、長さ4.0mの材を継手で2本合わせて2階床梁を作り、4間スパン(7.28m)を飛ばす(柱と柱の間をあける)実験を行いたい」と伝えました。すると勉強会の参加者である実務者からは、「そんなことは無理だ!」という意見が多く、大工職人からは「スパンの中央部で継手を作るのは^{おきて}掟破り! そんなことは普通はできない」と言われました(写真②)。

「スパンの中央部での継手が実現でき、1本材以上の性能を担保できれば、鉄骨造や集成材でしかできないと思われていた、2階床梁4間スパンをヒノキ構造材で安く構築できる」というこの技術の意義を皆さんに理解してもらうためには、実際に見てもらうことが必要だと思い、参加者に実験費用の分担をお願いしました。しかし、参加者の方々からは、「失敗する可能性が高いのに費用は出せない」と、よく考えればもっともなことを言われ、筆者が費用を捻出することにしました(各種の補助金も考えましたが、手続きの期間等を考慮して自費による実験としました)。

いくら実験とはいえ、比較対象となる集成材の見積金額は高く、特に長さ8.0m材は「特注になるので割高になる」ということで、筆者が想像していた金額よりも遥かに高く、ヒノキ原木の4m材を2本足した金額の約20倍程度の金額でした。

また、伐採費用と製材所への搬送費用、製材・乾燥費用、大工棟梁への加工費用、公開実験を行う場所への運搬費用、そして床用の構造用合板、緊結金物など、各方面に費用がかかり個人費用での実験には無理があるとつくづく思いました。



◀写真③ ヒノキの伐採地



▶写真④ 玉切りしたヒノキ

公開実験に関しては、室内での実験では“コロナ対策”にならないので、野外を基本として選定し、岡山県建築士会の^{あらいけんいち}洗井健一会長((株)あらい建設)所有の駐車場をお借りして行う計画としました。

地盤の耐力と広さも必要だったことから、アスファルトで舗装された駐車場で4トン車の荷重を与えても沈下しないことを確認し、さらに積載荷重を載せる構造用合板床面の高さを路盤面から約50cmとし、もしも積載荷重に耐えられずに破壊しても周りの見学者に被害が出ないような十分な広さを確保して行いました。

試験体の原木選定と搬出および製材と乾燥等

実験に使う新見市産のヒノキは、地元の素材生産者の(株)戸川^{とがわ}木材の戸川氏に「木造住宅の耐震構造の勉強会の方々が見学に来るので、道路近くの樹齢55年程度で、よいヒノキではなく、あまり手入れをしていない高く売れなさそうなヒノキで実験をしたい」と依頼して、岡山県新見市^{てっせいちょうおおのべ}哲西町大野部地区にある岡山県道50号線の道路近くでその条件に近いヒノキを伐採し、4m材に玉切りしました(写真③、④)。



▲写真⑤ (株)丸共木材の製材所



▲写真⑩ 含水率の計測



▲写真⑥ 帯鋸による製材



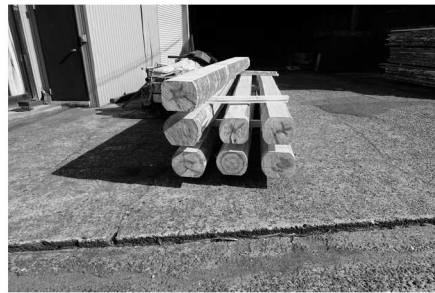
▲写真⑦ 製材後のスギ



▲写真⑪ 含水率 21.0%



▲写真⑧ 高周波加熱式真空乾燥機



▲写真⑨ 乾燥後のヒノキ



▲写真⑫ 打撃法によるヤング係数の計測

この付近は標高 400m 程度の山頂近くの尾根部で、土地がやせているせいか大きくなりなないヒノキが多く、昔は 50cm 以上の積雪を記録しましたが、現在では 30cm 程度だそうです。

このヒノキ原木丸太を新見市哲西町大野部から岡山県真庭市月田の(株)丸共木材の酒井氏の製材所に運搬し、製材と乾燥を行いました(写真⑤)。この製材所はヒノキ専門の製材所で、酒井氏が丸太を構造試験体の図面の通り「太鼓梁(丸太の両側を切り落としたもの)」に製材して、同じ真庭市にある岡山県農林総合水産センター森林研究所木材加工研究室の河崎先生に指導を受けた乾燥方法である「高周波真空低温乾燥」で、20日程度じっくり乾燥させました(写真⑥～⑨)。その後、同研究室の研究員によってヤング係数および含水率を計測しました(写真⑩～⑫)。

その結果は表①となります。新見市木材市場ではかなり安く買い叩かれる山のヒノキでしたが、木材加工研究室での計測による縦振動ヤング係数6本平均(No.1, 3～7)は、 $E = 10.15\text{GPa}$ で、ヒノキ(無等級材)の基準強度のヤング係数である 8.0GPa よりも 25%以上よい値が確認されました。

この結果を受けて、見た目が購入価格を左右する「化粧材」としての現在の評価から、構造材としての可能性を有するヒノキの性能を表に出していく「性能重視」の木材市場になればと、構造設計者としては思います。

試験体の刻み加工

公開実験の目的を表すキーワードとして、「地産地消」を挙げており、地元に戻元されるシステムを目指しています。そのため、プレカットでは

試験体No.	含水率 (%)					試験体No.	長さ (mm)	平均木口面積 (cm ²)	重量 (kg)	縦振動 fr (Hz)	密度 (g/cm ³)	縦振動ヤング係数 (GPa)
	①全乾法		②高周波式含水率計									
		平均値	A面	B面	平均値							
No.1 — 1			23.5	31.5	25.9	No.1	4,120	503.8	101.9	550	0.49	10.08
— 2			23.0	26.0								
— 3			25.0	26.5								
No.2 — 1	21.0	22.1	18.0	25.0	21.0	No.2	4,125	424.0	83.8	550	0.48	9.87
— 2	22.8		18.5	22.5								
— 3	22.6		18.0	24.0								
No.3 — 1			27.0	26.5	23.4	No.3	4,235	501.5	102.5	560	0.48	10.86
— 2			20.0	20.5								
— 3			24.0	22.5								
No.4 — 1			24.0	22.0	22.8	No.4	4,195	581.5	99.3	540	0.41	8.36
— 2			23.5	20.0								
— 3			24.5	22.5								
No.5 — 1			27.5	33.0	30.8	No.5	4,297	531.2	109.2	540	0.48	10.30
— 2			24.0	39.0								
— 3			23.5	38.0								
No.6 — 1			24.0	23.5	23.8	No.6	4,166	484.3	96.9	570	0.48	10.83
— 2			21.5	27.0								
— 3			21.0	26.0								
No.7 — 1			24.0	23.5	22.9	No.7	4,198	516.4	99.3	570	0.46	10.49
— 2			19.0	24.5								
— 3			22.5	24.0								

◀表① 水分および強度測定結果

※試験は、岡山県農林水産総合センター森林研究所木材加工研究室による。

※No.2は製材後に金物や構造用合板を打設する面に問題があり除外した。



▲写真⑬ 竹下棟梁による十字目違い継手の刻み



▲写真⑭ 大入れ仕口の計測



▲写真⑮ 十字目違い継手の計測

なく地元産ヒノキ材を使った家づくりを行い地元材に精通している(有)宮脇工務店(新見市豊永)の竹下棟梁に試験体の図面を見せて説明し、継手の刻み加工を行っていただきました(写真⑬~⑮)。

丸太に近い太鼓梁に「墨出し」をして、試験体に特徴的な継手である伝統工法の「十字目違い継手」を作ります。十字目違い継手は継手長さが短く4m材を有効に使うことができるため、この継手を採用しました。

地元では大工職人の技術が受け継がれており、こういった伝統工法の継手や仕口の加工と刻みが可能なため実現できましたが、丸太に近い太鼓梁を刻むにはかなりの技術が必要です。この加工も竹下棟梁が1人で作り上げたもので、若い職人にはぜひ見てもらいたい技術でした。

なお、この接合部だけでは、せん断耐力や引張耐力が不足するため、住宅用でも使われている一般的なホールダウン(HD)金物の高耐力HDを

採用して、各種の応力処理をします。さらに、両端の仕口部分は、支点での荷重負担が大きいため、支圧面を梁断面幅210mm×梁成240mmの大入れ仕口とし、60mm×210mm(6cm×21cm)=126cm²という大きな面積で受けて、積載荷重に抵抗(めり込み抵抗)します。

この端部仕口について、一般的な蟻仕口(ありしぐち)にすると支圧面積が小さいことで「めり込み降伏」が発生し、なおかつ蟻仕口部分でのせん断破壊が発生する可能性が高いため大入れ仕口にしています。さらに、床構面を構成する床の構造用合板は厚さ(t)=28mmとして、積載荷重を受ける床面にし、実際の床下地板に準じて施工しています。

*

今回の3月号では、この公開実験の「後編」として、「試験体の組み立て」から「荷重の積載」およびその「たわみ量の計測結果」等を解説します。(たはら まさる)

岡山県新見市産ヒノキ構造システムの の公開実験（後編）

木構造建築研究所田原 代表
〒639-2306 奈良県御所市三室 104-1-901
Tel & Fax 0745-62-6669 E-mail : taharakn@m4.kcn.ne.jp

田原 賢

素人でも可能な試験体の製作

（前号からつづく）今回の公開実験の試験体は、岡山木構造セミナーの受講生の方々に協力いただき、公開実験の前日（2020年10月31日（土））に組み立てを行いました。

この試験体製作指導は、試験体の継手刻み加工をしてもらった（有）宮脇工務店の竹下棟梁にお願いしました（写真①）。

試験体は、「集成材の1本材タイプ」と「岡山県新見市産ヒノキ2本継手タイプ」の2種類で、「集成材の1本材タイプ」は一般的なプレカットで梁仕口と桁仕口を加工してあり、簡単に施工できました（写真②）。もう一つの「岡山県新見市産ヒノキ2本継手タイプ」は、梁間スパンの中央部で伝統工法の「十字目

違い継手」で突き合せ、木造住宅用の高耐力のホールダウン（HD）金物 68.1kN と 35.4kN にて応力に対応する継手を構築しました（写真③）。その上に構造用合板（厚さ（t）= 28mm, 3×6版）を留め付けて、積載荷重に耐えられる床組みを構築しました（写真④）。

実験当日（11月1日（日））、まずは来賓の岡山県建築士会の洗井健一会長（（株）あらい建設）より挨拶をいただきました。その中で、「木造住宅ではスパンの中央部で継手を作ることは禁じ手と言われることですが、成功すれば木造の可能性がかなり見えてくるので、楽しみにしたい」という言葉がありました。これは見学に来られた約80名の方々に共通の想いだと思えます。そして、公開実験の全体をまとめていただいた、岡山木構造セミナーの事務局の河本ぼあら氏から注意事項等の説明があり、実験を開始しました。



▲写真① 竹下棟梁の指導のもとで試験体を製作



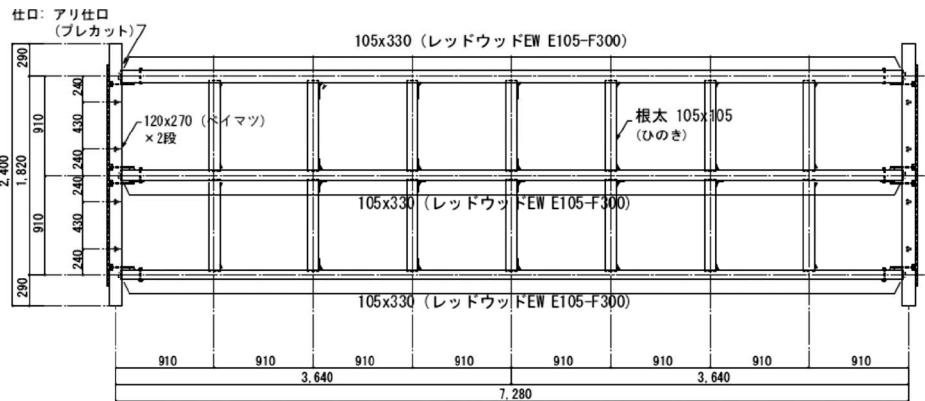
▲写真② 集成材の1本材タイプの製作



▲写真③ 岡山県新見市産ヒノキ2本継手タイプの製作



▲写真④ 床組みの構築



▲図① 集成材の1本材タイプ試験体図



◀写真⑤
試験体に使用した
アカマツ集成材
(E150-F300)
※ E: ヤング率
F: 曲げ強度

集成材の1本材タイプの試験体図と実験結果

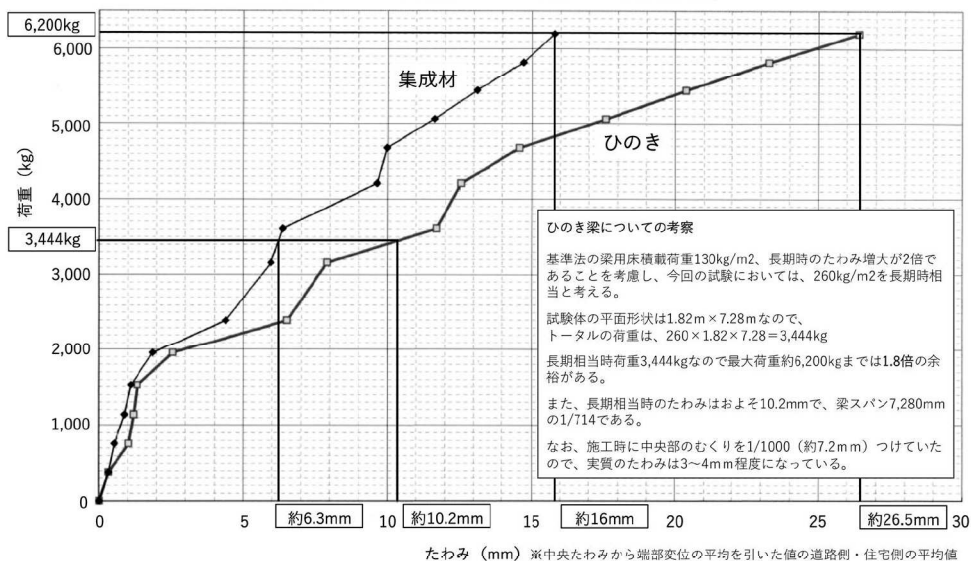
今回の集成材の試験体は、日本集成材工業協同組合の組合員である岡山県真庭市の銘建工業(株)の「オウシュウアカマツ集成材 (E105-F300)」です(写真⑤)。1本の集成材でスパンが7.28 mなのでプレカットによる仕口加工を行い、桁材はベイマツの120mm×270mmサイズを2段積みにしてシネジック社のパネリードX(ビス)にて接合し、その2本の両側面から

構造用合板(t=28mm)で補強しました。集成材と桁との接合は一般的な「羽子板ボルト」での接合とし、床面には構造用合板(t=28mm)を直接張り、解体の作業時間を考慮してコーススレッドビスにて床張りしました(図①)。

【集成材の1本材タイプの実験結果】

やはり、集成材は数値的に性能が担保されており、建築基準法での住宅における「積載荷重(居室/梁)=1.30kN/m²」の2倍の値である2.60kN/m²¹⁾になった時点でも、たわみ量は約6.3mmで、スパンに対するたわみは1/1155程度とかなり良い性能を発揮しました(次頁図②)。そして、本実験での最大積載となる合計荷重62kN程度(2.60kN/m²の約1.8倍となるように荷重)²⁾を積載しても、たわみ量は約16mmで、

- 1) 実験では1～2時間という短い時間しか荷重をかけないため、長期的に作用したのと同等になるよう1.30kN/m²の2倍を積載した。
- 2) 2.60kN/m²×1.8倍×試験体の平面積(1.82m×7.28m)=62kN



▲図② 実験結果 (たわみ量)



▲写真⑥ 集成材の1本材タイプの荷重試験

スパンのおよそ 1/455 となりました (図②, 写真⑥)。

ヒノキ2本継手タイプの試験体図と実験結果

岡山県新見市産のヒノキ材は、前号で説明したとおり「4 m材の6本平均のヤング係数 10.15GPa」と、建築基準法で定めた無等級材の基準強度「8.0GPa」以上であることを確認し、床面は集成材の1本材タイプの試験体と同じ構造用合板 (t = 28mm) を同じビスで施工して、積載方法も同じ条件となるように実験を行いました (写真⑦, 図③)。

この試験体の特徴は「太鼓梁 (両側面と上面を切り落とし下面は丸太の丸みを残した梁)」であることです。この梁は丸太の原木に対しての歩留まりが高く、材料効率も高くなります。最大の利点は、応力の大きな箇所である床梁に、「ヤング係数の高い辺材 (成熟材)」をそのまま残して利用できることです。丸太を通常どおり長方形断面に製材した場合は、丸太の強度的に良い箇所 (辺材) を切り取った梁になるため、引張応力の大きな部分に高耐力のHD金物を取り付けたとしても、辺材を残して利用するより性能が低下します。ただし、こうした丸太の辺材を利用する場合には「辺材」部分の抜け節や死に節等、構造的な問題がないことが重要です (製材後の厳密なチェック等が必要)。

この床梁システムの利点は4間スパン (7.28 m) の床梁でも、梁成が最大で27cm以下で収まるため、建築物の階高が抑えられ、天井内のダクトや配線スペースが確保でき、外壁の高さも抑えられることで外壁

面積が少なく済み、コストダウンにもつながります。

さらに重要なことは、「丸太の原木価格」が通常の市場価格の3~4倍になっても、4間スパン (7.28 m) であれば鉄骨造よりも3割安く建築できる可能性があることです。これは山側にしてみれば驚く金額です。普通の建築方法であれば2間スパンという制限がありますが、「末口径25cm程度で、長さ4.0mの材」を使い、しかも簡単に施工できるため、総コストで比較した場合には十分可能な構造システムと言えます。

【ヒノキ2本継手タイプの実験結果】

今回の床梁の構造システムでは、スパン中央部の引張応力のいちばん大きな箇所に対して、「どの程度の補強でたわみ量を建築基準法の規定内に納めることができるのか」ということが最重要で、その対応方法として、木造住宅用の高耐力のHD金物68.1kNおよび35.4kNを梁下端にそれぞれ1本と2本配置して、さらに両サイドの側面下端に68.1kNのHD金物をそれぞれ1本配置しています。桁との仕口端部においては、68.1kNのHD金物を高耐力の座金付きボルトで取り付け、引張端部では、床梁の側面の上端に取り付け、端部の引張抵抗にしました。

その結果、建築基準法での住宅における「積載荷重 (居室/梁)」の2倍である2.60kN/m²になった時点でも、たわみ量は約10.2mm程度で、スパンに対するたわみは約1/714と、建築基準法で規定するたわみ許容量 (1/300) を大きく下回り、十分な性能を発揮できました (図②)。しかし、施工時において、む



▲写真⑦ ヒノキ2本継手タイプの荷重試験

くり（たわみと逆方向に反らせた部分）を付けており、中央部の継手では約7.2mmあったため、実質は3～4mm程度でした。

そして、集成材の1本材タイプと同様に本実験での最大となる合計荷重62kN程度を積載した場合には、たわみ量は約26.5mm程度でスパンの1/274でした。7.2mmのむくりを引いた値では19.3mmとなります。

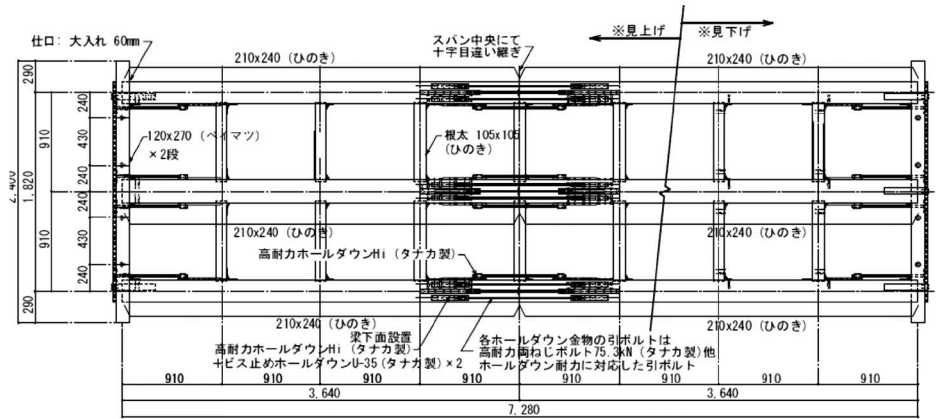
公開実験の結果のまとめ

4間スパンの床組みを作るには、通常は8m1本ものの集成材や鉄骨を使おうとしますが、4mのヒノキ（末口25cm程度）2本を中央部で継いで使用することができれば、流通材を活用でき、運搬も楽になり、とても経済的です。

ただ、中央部で継ぐという方法は、木造では「^{おきて}掟破り」と思われても仕方がないのですが、木の構造特性を理解し現在の住宅用金物で補強すれば可能性があることを理解してもらいたいと、今回の実験を行いました。

結果、たわみ量は許容量を下回り、その後の解体状況を調べても、ビスやボルト接合部では「めり込み降伏」もなく、「弾性挙動」を示していたため、住宅だけでなく、店舗など各種用途の建築への可能性が見えたと言えます。また、今回は2階床梁の想定でしたが、さらに小屋合掌梁としてジョイント部を工夫し金物補強を行えば、計算上では小屋梁スパン12～14m程度でも十分可能性があります。

今回の実験結果は、「4間スパンの床梁は木造では



▲図③ ヒノキ2本継手タイプ 試験体図

無理がある」「スパンの中央部での継手は御法度だ!」「大きな断面は集成材でいくしかない」と考えている建築関係者に対して大きなアピールができたと思います（この公開実験の様子はNHK岡山放送局で2020年11月18日に岡山県内に放送されました。また、12月8日早朝のNHK「おはよう日本」でも全国に向けて放送され、2021年1月25日には「NHKワールドJAPAN」にて世界に向けても情報発信されました）。こうした原木の歩留まりを最大限高める技術を今後普及していくためにも、森林・林業関係者は、どんどん建築関係者に対して「もっと原木歩留まりを高めて木材を高付加価値で売れるシステムを作ってくれ!!」と声を上げるべきです。それに応えられない建築業界であるならば、森林・林業の未来は非常に厳しいと言え、素材生産業界は物流世界の流れに飲み込まれ大手資本だけが生き残る産業になってしまうのではと危惧されます。

原木価格を上げることが将来の日本の森林資源を活かすことになり、ひいては自然災害の防止・国土保全にも役立つことを理解いただけるよう、「全国の川上から川下までがウィンウィンの関係になる木構造技術」を今後も開発していきたいと思えます。

*

今回の「岡山県新見市産ヒノキの可能性を広げるための公開実験」は、岡山木構造セミナーに組み込む形で、事務局の河本氏を中心として、セミナー受講生の多大な協力を得て成し遂げることができました。実験会場は、セミナーを共催していただいている岡山県建築士会の洗井会長に、自社の広い駐車場を提供していただき、実験が可能となりました。この場を借りて御礼を申し上げます。（たはら まさる）