

林産部会研究例会(現地調査)

長野県内の建築・土木・工芸における 木材利用の現状と取組



柴田 直明

1. はじめに

「森林・林業再生プラン」(2009年12月公表)や「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」(2010年10月施行)などに後押しされる形で、建築や土木への木材利用が拡大しようとしている。

そこで、林産部会研究例会として、長野県内を対象に、地域材の利用事例調査を実施した。

現地調査の日程は2012年5月14～15日の1泊2日で、初日は下記の見出し3～6(北信方面)を、2日目は同7～12(南信方面)を調査した。

カラマツ材の利用事例が多いが、これは長野県内の人工林(民有林)では、その面積の50%以上にカラマツを植栽しているからである。

以下の各調査対象(見出し3～12)については、貸切バス内で、事前に配布資料を使って説明した。

2. 講演「木製外構材あれこれ」

最初の見学場所に向かう貸切バスの中で、前林産部会長 喜多山繁氏(東京農工大学名誉教授)から、配布資料を使っての講演があった。主たる対象は、木製ガードレールと木製遮音壁であった。理想的な木製外構材には次の点が求められる、とのことであった。

- ・性能(強度や遮音性能等)に優れていること。
- ・ドライバーにとっても、周辺住民にとっても、アメニティー感覚あふれた斬新なデザインであること。
- ・褪色など経年的劣化が少なく、基本的にメンテナンスフリーであること。
- ・製造コストが他材料と比べて遜色なく、リユース、リサイクルに都合の良い構造や形状である

こと。

3. 長野市オリンピック記念アリーナ(エムウェーブ)

このアリーナは、1998年長野冬季オリンピックのスピードスケート会場及び長野パラリンピックの開閉会式・アイススレッジスピードレース会場として建設された(写真-1)。国際スケート連盟公認の一周400mダブルトラックを持つ、国内初の屋内リンクである。

本アリーナの外観は、信州の山並みを表現したものとされている。屋根の妻側の形状がM字形になっており、M字形の波が湧きあがるようにも見えることから、M-WAVEという愛称が付けられた。

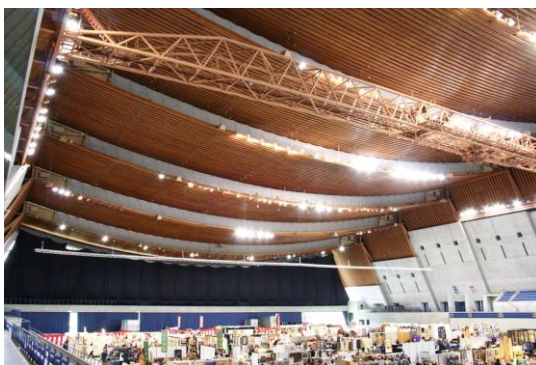


写真-1 エムウェーブの外観と内部

大空間を有する建造物となると一般的にはドーム型のをイメージしがちであるが、ここでは敢えてそのイメージを払拭し、構造的にも世界に例のない大型吊り屋根構造とした。

本アリーナの建築概要を、以下に記す^{1,2)}。

工期：1994年3月～1996年11月

敷地面積：約111,500m²

建築面積：約31,300m² (約9,500坪)

(長さ約230m, 最大幅約160m)

延床面積：約76,100m² (地下駐車場を含む)

階数：地下1階地上3階

最高高さ：約43m (室内中央高さ約38m)

アリーナ面積：17,200m² (可動スタンドを含む)

収容人員：コンサート形式なら最大20,000人

(固定席は約6,500)

構造：屋根 信州カラマツ構造用集成材による
半剛性吊り屋根, ステンレス葺き

躯体上部 鉄骨造

躯体下部 鉄筋コンクリート造

特殊設備：東西の可動スタンド (円弧状の部分),
大型スクリーン (9.1×4.3m), 人工芝
巻き取り装置等

設計：久米・鹿島・奥村・日産・飯島・高木設計共同
事業体

施工：鹿島・奥村・日産・飯島・高木建設共同事業体
総工費：348億円

以下、本アリーナ建設時に集成材の総合管理を担当した(株)林友の資料²⁾を中心に、アリーナの構造と建設の概要を記す。

本アリーナの吊り屋根 (スパン 80m) は、15枚の吊り屋根で構成されている。中央の吊り屋根は、両端の高さが約43m、室内中央の高さが約38mである。この吊り屋根から両端に向かい、約18m幅の吊り屋根が高さを3mずつ下げながら、それぞれに7枚連なる。

この吊り屋根を支えるのは、スチールプレートを用いた信州カラマツ構造用集成材で挟んだハイブリッド吊り材 (2m間隔のボルト固定) である (写真-2上)。

スチールプレートは断面が12×200mmで、引張

力を負担する。カラマツ集成材の単体寸法は125×300×10,000mm (曲率半径162.5mの湾曲集成材) で、吊り材の曲げ剛性を負担する。また、化粧としての見た目の美しさやぬくもり感・優しさ等とともに、吊り材の軽量化やスチールプレートの耐火被覆、結露防止等にも寄与している。

吊り屋根全体では、上記のカラマツ集成材が約7,000本 (約2,800m³) 使われた。そのためには30×145×4,000mmのラミナが約27万枚 (約4,800m³) 必要であり、末口20cm以上の丸太 (4m) では約6万本 (約11,000m³) が必要であった。

限られた期間にこれだけの丸太を集め、製材・乾燥して集成材を造るため、県内の7つの関連業界団体からなる「長野冬季五輪施設木材利用推進協議会」の下、林業・木材関係者が総出で取り組んだ。集成材の製造工程では、通常のコールドプレス機では間に合わないので高周波プレス機を使用し、約60本/日のペースを確保した。



写真-2 ハイブリッド吊り材のサンプルと建設時におけるハイブリッド吊り材の地組

所定の数量の信州カラマツ構造用集成材が納品されると、いよいよ吊り屋根の組立・架設が始

まった（写真－２下）。

吊り屋根の組立は、作業の安全性確保と効率化のため、地組方式が取られた。最初に、スチールプレートで信州カラマツ構造用集成材で挟んだハイブリッド吊り材6本を、地上近くで約600mmピッチとなるように吊り下げた。次いで、スチールプレートの横つなぎ材を10m間隔で取り付け、ハイブリッド吊り材のピッチを固定した。その上で、針葉樹構造用合板（米国産JAS認定品、12mm厚、4×8版から作製）をハイブリッド吊り材上の全面に並べ、集成材にクギ止めした。この合板は、屋根下地材と面内水平抵抗を兼ねさせたものである。隣り合う2本のハイブリッド吊り材の間には、断熱・吸音・耐火のために、50mm厚のグラスボードも取り付けた。

このようにして組立てられた吊り屋根は、原則として順次5回リフトアップされ、1枚の吊り屋根（約18m幅）が完成した。

なお、本アリーナでは屋根を支える側壁の上部にも、木材が使われている。こちらは主として化粧用で、材積としては少量であったが、ベイマツ集成材が使われた。貿易摩擦化対策とも聞く。

スケートリンクは、パイピングを施したコンクリート面の床上に厚さ30mmの氷を張って造られた。製氷用の水はろ過して不純物を取り除いた後、50～60℃の温水にして気泡を抜く。滑走面は製氷機で表面を平らにした上、約50℃のお湯をしみ込ませた布で拭きあげ、鏡面のような氷に仕上げる。世界的にも優れた高速リンクで、冬季オリンピック時は勿論、現在に至るまで多くの世界記録の誕生に貢献している。

このアリーナの吊り屋根は両端に向かって低くなっているため、それを支える側壁の基礎部分も内側に寄っている。従って、大空間を感じさせながらも室内の空間量は抑制されており、空調負荷が低減されている。そして、観客席の暖房には、製氷時に出る熱が利用されている。

また、本アリーナは吊り屋根と内側に傾いた側壁とで囲む構造としてあり、室内の音が乱反射するので、音響特性の面でも優れている。

平成11年度日本建築学会賞作品部門や1997年英国構造技術者協会賞特別賞をはじめとして、多くの賞を受けている。

現在、本アリーナは10～3月の間はアイスリンクとして、4～9月の間は各種イベント会場等として使われている。

オリンピック記念展示コーナーでは、長野県の漆工芸との関連で、特に金銀銅のメダルを見学した（写真－３）。



写真－３ 長野冬季オリンピックのメダル

オリンピックのメダルは、夏季大会では常に同じデザインのものが使われるが、冬季大会では毎回異なったデザインが採用される。長野冬季オリンピックでは、長野県特有の木曾漆を素材にして、蒔絵による技法と七宝焼き、細密金属加工技術によって文様が施され、伝統工芸と最先端技術が調和した、長野を象徴する個性的なメダルが作られた。メダルの両面には、「信州の朝焼けの山々」と「朝日」が蒔絵で描かれている。メダルの寸法は直径80mm、厚さ約9.7mmで、重さは金メダル256g、銀メダル250g、銅メダル230gである。

4. いいづな お山の発電所

浅川ループラインでは、貸切バスの車窓からこの発電所も見ることができた。

本発電所は、長野森林資源利用事業協同組合が平成15年度県産材供給体制整備事業（森のエネルギー推進事業）を受けて造ったものである。木材チップ（年間1.5～2万トン）のみを使う木質燃料100%の発電施設として、RPS認定（経済産業省新エネルギー等発電事業者認定）を受けてい

る。

現在の発電量は年間約 1,100 万 kWh で、この内の約 900 万 kWh を中部電力に売電している。経営は順調で、発電規模の拡大も検討していると聞く。

本発電所は長野冬季オリンピックのボブスレー・リュージュ会場の近くにあり、同会場までの送電線が工場の近くを通っているため、売電には有利であった。

5. 信州型木製ガードレール 1 号型

戸隠バードラインの一の鳥居苑地で、その前後に設置された木製ガードレールを調査した（写真-4）。

この木製ガードレールは 2005～2007 年度に設置されたもので、総延長は約 1,760m となる。

信州型木製ガードレールの開発は、長野県が 2003 年度に実施した事業の中で進められた³⁻⁶⁾。

ここでは、県産間伐材の利用促進と観光地の景観改善等を目的として、間伐材を主要構成物とする車両用防護柵を目指した。開発対象は、支柱を土中埋め込みタイプとする路側用 C 種（設計速度：時速 50km 以下）であった。

開発主体は民間企業で、本県が部局横断体制で支援した。最終的には防護柵設置基準⁷⁾に定める実車衝突試験を受け、それに合格した 3 タイプが信州型木製ガードレール 1～3 号型として認定された。



写真-4 信州型木製ガードレール 1 号型

1 号型は、当初、既存の鋼製ガードレールの形状を参考にしており、写真-4 の下部に見られる

鋼管は付けていなかった。それでも大型貨物車の衝突試験には合格したが、乗用車の衝突試験では左側前輪がビームの下に潜り込み、支柱に激突してしまった。そこで、乗用車対策として下部に鋼管を追加し、ようやく試験に合格となった。

最終的な 1 号型の仕様は、ビームに $\phi 180\text{mm}$ のスギ円柱材（心持ち）の半割を上下 2 段に並べ、その裏側を鋼板で補強するとともに、下部に鋼管を付ける形となった。支柱は鋼管で、支柱スパンは 4.0m である。ビームをハイブリッド部材としたことから、木製ガードレールとしては初めて支柱スパン 4.0m を可能とした。

信州型木製ガードレール 1～3 号型は、2004 年度以降、順次県道等に設置され、その設置総延長は既に 20km を超えた。現在は、長野県建設部とも協力して、点検・管理技術の検討を進めている。

6. 戸隠森林植物園における各種木製施設

戸隠森林植物園（長野県長野市、総面積：71.4 ha）内の木製道路関連構造物としては、バリアフリー歩道（木道及びチップ舗装）、丸木階段工、木柵、木道橋、案内板、ベンチ等が見られた（写真-5）。

この中で、特に多用されていたのは木製のバリアフリー歩道であった。これは、ミズバショウ等の群生する湿地を巡る遊歩道が多いためである。同植物園内の遊歩道総延長は 7,410m 余りに及ぶが、その内の 2,310m 余りが木製バリアフリー歩道（木道 2,140m 余り＋チップ舗装 約 170m）であった。木道は純木製で、使用樹種はカラマツ、防腐処理は ACQ の加圧注入等であった。更新時期は特に定めず、痛んだ部分から随時交換していた。チップ舗装では、カラマツチップを使用していた。小さな川を跨ぐ歩道橋は、木道とほぼ同じ構造で造られていた。

なお、筆者らは同植物園の「みどりが池」横に架設された木道橋（木製歩道橋）の劣化度調査を 2006 年 5 月に実施した経緯を持つ。この木道橋の主桁 3 本は、2008 年の改修時に H 形鋼に交換された。多くの観光客が訪れる本植物園等において、



写真-5 バリアフリー歩道（木道）、木道橋、丸太階段工、木製案内板

安全を第一とし、点検の簡略化も求められる現状では、本事例のように主桁を鋼材とするハイブリッド木橋も一つの選択肢としてあり得るものと思われる。

また、同植物園内の木造施設としては、森林学習館（大断面集成材構造）、野生生物観察施設、東屋（複数）、トイレ施設等があった。木造のトイレ施設の中には、スギチップを用いたバイオトイレが設置されていた。

木製施設ではないが、林業・林産関係者には随神門から奥社に向かう参道脇に植えられたクマスギの大木群も一見の価値があると思われる。これらの多くは、1600年代に植えられたという。

戸隠森林植物園では、道路関連構造物や各種の施設において、木材が多用されていた。公園関係は、木材の利用拡大において、今後さらに期待のできる現場であると思われる。

7. 信州博覧会グローバルドーム（やまびこドーム）

現地調査の2日目の朝、最初の現場へ行く途中で、貸切バスの車窓から見たドームである（写真-6）。

このドームは、1993年7～9月に開催された信州博覧会のメイン会場として建設されたものである^{1,8)}。現在は「やまびこドーム」と呼ばれ、屋内運動場や各種イベント会場として使われている。

本ドームの概要を、以下に記す。

竣工：1993年6月

建築面積：9,881m²（屋根先端で算定）

延べ面積：10,081m²（外壁芯で算定）

最高高さ：40.5m（地盤面上、避雷針除く）

軒高高さ：5.5m

直径：110m（外柱芯）、103m（内柱芯）

構造：ドーム屋根 カラマツ構造用大断面集成材
野地パネル下地ステンレス貼
頂部トップライト（φ20m）

下部 鉄筋コンクリート造

設計：鹿島、齋藤木材工業

本ドームの屋根を支えるカラマツ構造用大断面

集成材（湾曲集成材）はすべて断面が150×900mmで、総使用量は985m³（素材換算で4,600m³）であった。屋根の山部のサブフレームにはこの集成材を単独で、谷部のメインフレームにはこの集成材2本をボルト及び接着剤で貼り合わせて使用した。



写真－6 やまびこドームの外観と内部

8. 林道沿いの木製土木施設

上伊那郡箕輪町の「もみじ湖」（箕輪ダム）横から伊那市（旧 高遠町）北部へ繋がる林道「日影入線」沿いにおいて、各種の木製施設を調査した。

林道の山側の法面には、部分的に丸太筋工が設置されていた。この工法では、植生が回復して法面を保持できるようになるまで、丸太が法土の流出等を防止できればよい。植生が回復した後は不要となるので、腐って土に還った方がよい。そういう点では、コンクリート等よりも木材に適した工法である。

木製落石防護柵は、57本のH型鋼（250×250mm）を約2.05m間隔に並べて作製されていた（写真－7）。全長は約115mである。1スパン当たり、末

口径18～20cm程度のカラマツ丸太（2m）を20本前後落とし込み、高さ4mの柵としている。使用された丸太は20本×56スパンとして1,120本、材積で約73m³（末口径18cmとして試算）である。



写真－7 木製落石防護柵

この林道沿いには「一の沢川」が流れており、それを跨ぐ林道木橋が4橋架かっている⁹⁾。いずれも、車道幅員は7.0mで、25トン車も通行可能なA活荷重での設計である。

4橋の概要を、以下に記す（上流→下流の順）。

- ① わた沢橋 橋長10.0m、竣工1998年8月
- ② 丸山沢橋 橋長20.0m、竣工2003年2月
- ③ こだま橋 橋長16.0m、竣工2001年12月
- ④ さくら橋 橋長18.0m、竣工2003年2月

これらの内、①はカラマツ構造用集成材を橋軸方向に平行に並べて橋軸直交方向プレストレス木床版とし、その上にアスファルト弾性舗装をした。長野県の林道木橋としては、初期の構造である。

③は、カラマツ構造用集成材を橋軸方向に平行に並べて橋軸直交方向プレストレス木床版とした上で、コンクリート床版を載せた（写真－8上）。

②と④は、長野県林道木橋標準設計（2002年3月策定）に基づいて造られた、長野県独自の設計基準による単純木合成桁橋である^{3,10,11)}。この2木橋では、カラマツ構造用集成材からなる3本の桁材をPC鋼材で縦継して、長さ20m前後の主桁とした。その上に載せるコンクリート床版は木製主桁と一体化させ、合成桁橋とした（写真－8下）。

コンクリート床版に圧縮力を負担させることにより、桁高を低くすること等が可能となり、木



写真－8 こだま橋 (③) とさくら橋 (④)

橋架設のトータルコストをコンクリート橋の 1.5 倍前後にまで低減させることができた。また、このコンクリート床版には屋根の役割も兼ねさせ、雨水が木製主桁に直接降りかからないようにしたので、耐久性も向上した。

②④をはじめとする新方式の林道木橋は、現在、県内に 7 橋架設されている。

林道沿いのその他の木製土木施設としては、丸太法砕工、木製修景工、木製ガードレール、木柵、木工沈床等が観察された (写真－9)。

以上のように、かつては林道が開設されると、林道沿いには付帯的に多くの木製土木施設も造られた。しかし、このような高規格の林道は、最近あまり開設されなくなりつつある。現状が続くようであれば、林道以外での新たな利用用途の開拓も必要になるものと思われる。

9. 木製遮音壁

このカラマツ製遮音壁は、長野県林業指導所(現長野県林業総合センター)で 1980 年代半ばに開発



写真－9 丸太法砕工、木製修景工、木工沈床

され、1985 年度末に中央自動車道 飯田 I C 南に 200m に渡って試験施工されたものである (写真－10)。日本道路公団 (当時) が定めた遮音性能等を満たした、わが国初の木製遮音壁になると思われる。

何らメンテナンスをすることなく現在まで使い続けられている理由としては、次のようなことが考えられる。1) 木製部材は雨水の滞留しにくい断面形状とし (結果としてほとんどが心材)、防腐剤の加圧注入をした。2) 支柱は H 形鋼、地面に接する下部 2～3 段は通常のコンクリート製遮音板と



写真-10 設置後 27 年目のカラマツ製遮音壁

し、その上に木製遮音板 5 枚を落とし込んだ。3) 日当たり・風通しのよい設置環境であった。

本遮音壁の詳細については、フォレストコンサル No. 126¹²⁾を参照していただきたい。

現在、長野県内では 27 年ぶりにカラマツ製遮音壁が新設されようとしている。設置予定現場は同じく中央自動車道沿いで、設置距離は約 50m である。「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」等に後押しされたものと思われる。

欧州では、デザイン的にも優れた木製遮音壁が多用されていると聞く。木製遮音壁は、設置距離当たりの木材使用量が多く、木材に求められる強度性能等は高くないので、安心して大量に使える木製構造物である。今後、さらに多用されることが期待される。

10. 木製法面保護工

今回は、木曾郡木曾町日義の林道「渡沢鳥居峠線」に設置された木製法面保護工を調査した（写真-11）。本工法は、道路の切土法面の内、法面を連続した平面に仕上げられる箇所を対象に、現場吹付法枠工に代替するものとして考案された¹³⁾。

施工工程は、次のようになる。

連続した平面に仕上げられた切土法面をラス金網で覆い、2 m ピッチで H 形鋼（200×200×5,000mm）を斜面に鉛直方向に伏せる。H 形鋼の横に 500mm ピッチで交互にアンカー鉄筋を打込み、H 形鋼と溶接する。最後に、H 形鋼にカラマツ剥皮丸太（φ14~16cm×2 m）を落とし込む。

調査現場は、2003 及び 2004 年度に施工された。木製法面保護工は上下 2 段に分けて設置されており、下段はすべて 5 m 長の H 形鋼が全長で使用されている。上段はそれぞれの箇所の切土法面の長さに応じ、0~5 m の範囲で設置されている。設置延長は、約 800m である。

下段の 5 m 長の H 形鋼には、1 スパン当たり 30 本前後の丸太が使われている。そこで、仮に上下段合わせて 1 スパン当たり 50 本の丸太が使われ、全長で 400 スパンあるとして試算すれば、使用した丸太の全数は約 2 万本となる。末口径 14cm とすれば、材積は 800m³ 近くになる。

本工法は、現場吹付法枠工よりも安価であったという。木材が腐朽した際には、随時、丸太を交換することになる。現時点では、まだ交換を要する状態には至っていない。



写真-11 木製法面保護工

11. 信州型木製ガードレール 3 号型

木曾町日義では、国道 19 号から木曾義仲の資料館（義仲館資料館）にかけて、信州型木製ガードレール 3 号型が設置されている（写真-12 上）。

信州型木製ガードレールの開発に関しては上記 5 に記したので、ここでは省略する。

3 号型は、ビームに φ180mm のカラマツ円柱材（心持ち、純木製）を使用している。支柱は鉄筋コンクリート製で、支柱スパンは 2.0m である。当初は木材保護塗料の塗布のみで使っていたが、耐久性（特に辺材部）を高めるため、近年は ACQ（防腐剤）の加圧注入をしている。

なお、今回の現地調査では見学できなかったが、

霧ヶ峰等には信州型木製ガードレール2号型が設置されている(写真-12下)。2号型は、ビームに150mm角のカラマツ正角(心持ち、面取りあり)を用い、正角の中心にφ20mmの丸鋼を通して補強している。支柱は鋼管で、支柱スパンは2.0mである。2号型は木材保護塗料の塗布のみで使用しているが、現在までのところ、子実体(きのこ)の発生は認められていない。腐朽しやすい辺材部の多くが、製材時に切り落とされているためと思われる。



写真-12 信州型木製ガードレール3号型(上)と同2号型(下, 中軽井沢)

12. 中山道宿場町「奈良井宿」の木橋と伝統的建築・工芸品等

中山道(なかせんどう)は江戸時代の五街道の一つで、京都と江戸を結ぶ主要な街道であった。斬捨御免のお茶壺道中や徳川家に降嫁した皇女和宮なども、この街道を通った。

奈良井宿は、江戸時代には木曾路一番の賑わいを見せた宿場で、「奈良井千軒」とも呼ばれたように、約1kmに渡って町並みが続いた。日本最長の宿場とも言われる。本陣、脇本陣等もあった。1968

年から町並み保存運動が始まり、1978年には文化財保護法に定める「重要伝統的建築物群保存地区」に指定された。国土交通大臣表彰の「手づくり郷土賞」(1989年)をはじめ、受賞歴も多い。

今回の現地調査では、最初に奈良井川に架かる「木曾の大橋」から見学した(写真-13)。この橋は、国道19号沿いの駐車場と奈良井宿とを結ぶ歩道橋で、1988年度末に架設された。構造は錦帯橋を模したものであるが、支間長は錦帯橋より長く、木曾特産のヒノキ製である⁹⁾。当初は白木のままで使われていたが、後に木材保護塗料が塗布された。



写真-13 木曾の大橋

宿場町では、2階を街道側に少しせり出した「出梁(だしばり)造り」や「袖壁」[袖卯建(うだつ)とも言う]等々、奈良井宿に残された宿場の建築様式を見学した(写真-14)。

また、木曾漆器、曲物(まげもの)等、伝統的な工芸品の数々も見学した。この地域の伝統的な漆工芸の技術は、上記3で紹介した長野冬季オリンピックのメダル作製時にも採用された。



写真-14 出梁造りと脇壁（脇卯建）

13. おわりに

今回の現地調査は1泊2日であったため、一部の利用事例しかご案内できなかったが、長野県における木材利用の一端は理解していただけたかと思われる。これを機会に、また長野県をご訪問いただければ幸いである。

謝辞

長野市オリンピック記念アリーナ（エムウェーブ）の建設に関しては、(株)林友 取締役顧問 中野安久氏から貴重な資料と情報をいただいた。

戸隠森林植物園における木材利用に関しては、中部森林管理局 企画調整室長 竹内学氏らから、多くの情報と資料をいただいた。

各施設等の見学に際しては、管理主体となる関係各位から多くのご高配・ご協力をいただいた。また、それぞれのホームページから種々の情報をいただいた。

交流会の席には中部森林管理局 中信森林管理署長 下堂健次氏の出席も得て、貴重な情報を聞かせていただいた。

格別なるご高配・ご協力をいただいたすべての皆様に、厚く御礼を申し上げます。

引用文献

- 1) 鹿島建設(株)：木造ドームの変遷，同社HP
- 2) (株)林友（1998）：Mウェーブ資料集（発行：(株)林友）

- 3) 柴田直明（2005）：間伐材の新たな用途開発の試み－他材料との複合化による高性能・高付加価値化事例－，山林，第1456号，32-41
- 4) 柴田直明（2005）：信州型木製ガードレールの開発について，長野県林業総合センター技術情報，No. 120，18-21（同センターHP）
- 5) 柴田直明（2004）：信州型木製ガードレールの開発、木材保存，Vol. 30-4、168-17
- 6) 柴田直明（2006）：信州型木製ガードレールの開発と県道等への設置－間伐材の利用促進と景観改善等を目指して－，木材工業，61(12)，604-607
- 7) (社)日本道路協会（2004）：防護柵の設置基準・同解説
- 8) 橋爪丈夫（1993）：ここまできたカラマツ構造用大断面集成材=信州博覧会グローバルドームについて=，長野県林業総合センター技術情報，No. 82，1, 6-8（同センターHP）
- 9) 福岡大学工学部 社会デザイン工学科 橋と耐震システム研究室：日本の木橋－甲信越，木橋資料館，同研究室HP
- 10) 長野県林務部（2002）：長野県林道木橋標準設計解説書及び設計図集
- 11) 柴田直明（2002）：林道木橋の長野モデル－木製車道橋の標準設計－，長野県林業総合センター技術情報，No. 111，4-5（同センターHP）
- 12) 柴田直明（2011）：長野県におけるカラマツ製遮音壁の開発と試験施工後の経過観察，フォレストコンサル，No. 126，11-18
- 13) 長野県（2008）：木製法面保護工，平成20年版 森林土木木製構造物施工マニュアル（発行：(社)日本治山治水協会・日本林道協会），198-199

著者：技術士（森林部門・林産），農学博士／長野県林業総合センター木材部 再任用技師（前 木材部長）