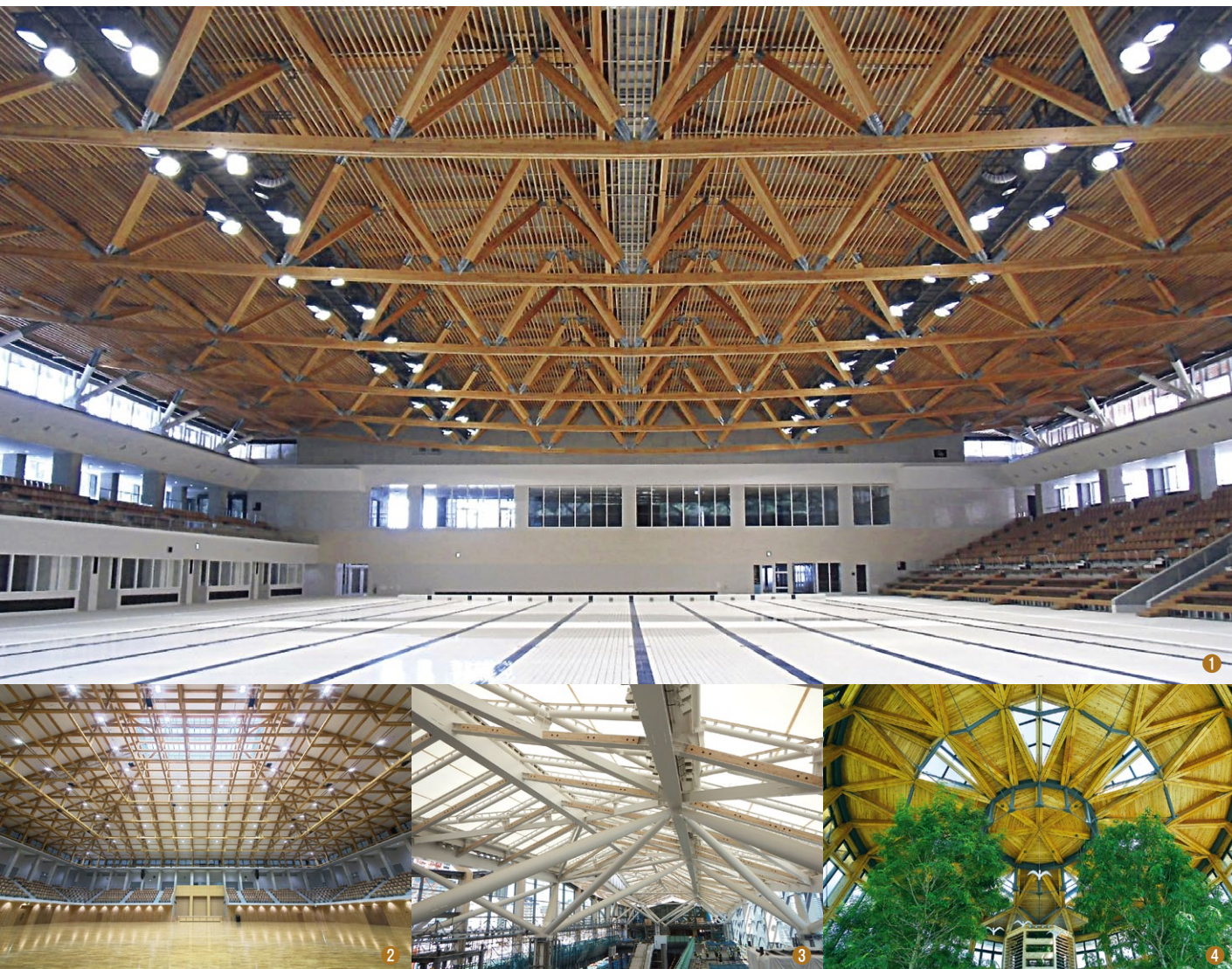


# 木の温かさ×鉄の強靱さ。 ハイブリッドな新構造部材で、 大空間建築の可能性の拡大と、 わが国の森林資源継承を支える



北から南まで山脈が貫き、国土の約7割を森林が占める日本。小規模な住宅だけでなく、世界最古の現存木造建築といわれる法隆寺や、世界最大の木造軸組建築の東大寺大仏殿など、世界に冠たる木造文化を持つ国です。明治以降、大規模建築物の主流は、西洋から導入された鉄やコンクリートへと移っていきました。そんな中、環境問題への配慮や、戦後に植樹された国産木材の有効利用、森林の活性化といった観点から、未来につながる国産木材の積極活用が求められています。そこで、私たちが開発したのが、〈木・鋼ハイブリッド部材〉です。鉄という素材と組み合わせることで、木質材料特有の弱点を補完しながら、木材の意匠性や温かさを生かしていく——。その新たな可能性について紹介しましょう。

- ① 秋葉山公園県民水泳場／和歌山県和歌山市（2013年竣工）
- ② 栃木県新武道館／栃木県宇都宮市（2019年竣工）
- ③ 高輪ゲートウェイ駅／東京都港区（2020年竣工予定）
- ④ 新潟市食育・花育センター／新潟県新潟市（2011年竣工）／写真提供：鋼構造出版



## エンジニアリング会社ならではの、 建築との関わり方を求めて

鉄という素材をいかに世の中の役に立てていくか。このテーマは、製鉄会社にルーツを持つ私たちが、建築事業をスタートしたときから現在にいたるまで変わっていません。

私たちの事業には3つの大きな柱があります。大型物流倉庫や旅客機格納庫などを得意とする総合建築部門、地震の揺れから建物を守る免震・制振デバイス部門、そして、今回紹介する特殊鉄構部門です。特殊鉄構の主な実績としては、羽田空港ターミナル、さいたまスーパーアリーナ、東京スカイツリーなどの他、ワールドカップや五輪関連の競技場などがあります。

これらはすべて、巨大な空間を支える鉄骨構造自体をそのままデザインとして見せているのが特徴です。魅力ある空間を作ろうとするほど、その分だけ構造設計も鉄骨製作も現場施工も難易度が高くなります。私たちは数々のプロジェクト実績を重ねながら、技術力の蓄積と向上を図ってきました。

木・鋼ハイブリッドの技術に挑むきっかけとなったのは、1997年に発効した京都議定書における、森林の地球温暖化防止への貢献に関する指針でした。

## 地球温暖化を防ぐという命題と、 木を大空間建築物の構造部材にするための課題

光合成によるCO<sub>2</sub>の吸収量を維持するためには、適時適切に間伐などの整備を行い、森林を健全に保つことが求められます。他の住宅資材と比べて、製造時のCO<sub>2</sub>放出量が少なく、施工後も吸収したCO<sub>2</sub>を炭素として貯蔵し続けるのが木材の特徴です。国産木材の使用量を増加させ、長く利用していくことにより、炭素貯蔵量が増加し、地球温暖化対策につながります。

こうした背景もあり、“木材を大空間建築の梁や柱等の構造部材に使いたい”というニーズが高まってきました。

ところが、国産材の5割以上を占めるスギは、木材の中では実は構造的に強くなく、経年によって徐々に歪みやたわみが生じていくクリープ現象や、柱・梁の接合部での力の伝達が難しいといった使用上の課題もあります。また、天然の素材であるがゆえの品質のばらつきも、設計者に二の足を踏ませる一因となっていました。

そこで、私たちはこう考えました。強靱な鉄と木材を組み合わせてみたらどうだろう――。

## 短所を長所で補完し合い、 いかに一体化させられるか

こうして開発に着手した木・鋼ハイブリッド部材は、鋼板の両側を木材（集成材）でサンドイッチ状に挟み込み、所定間隔のボルト接合によって一体化させたもので、いたってシンプルな構成です。

厚さ16~28mm程度の鋼板を採用し、すっきりさと軽さを実現すると同時に、鉄特有の強さも発揮し、接合部の力の伝達もスムーズとなり、クリープ現象も発生しません。鋼板には、下敷きを両手に挟んで押すとペコンとたわむように、圧縮による座屈現象が発生する弱さがありますが、それを防ぐ役割を挟み込んでいる木材が果たします。つまり、お互いの短所を長所で補い合いながら、木の質感を持つ構造部材をつくる、という開発コンセプトです。

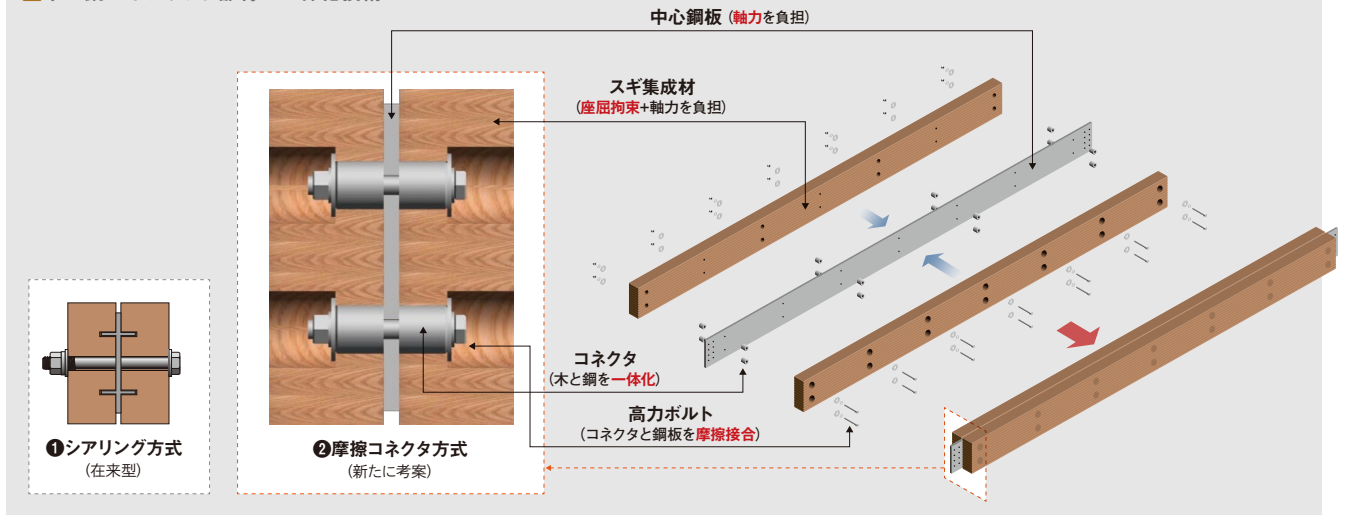
もっとも苦労したのは、鋼板と木材とを容易かつ、がたつきを少なく一体化させることでした。

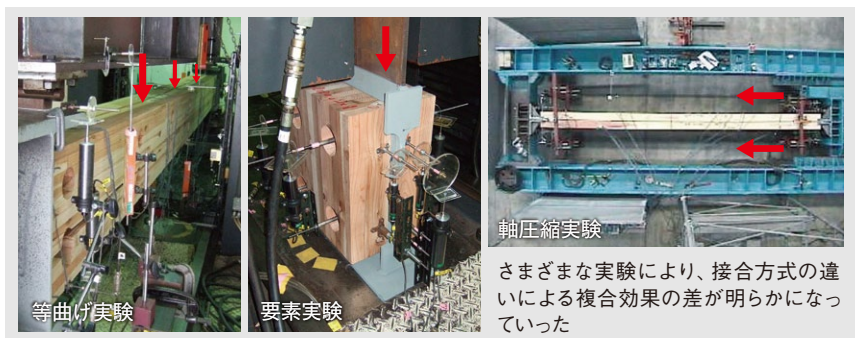
開発当初は、シアリング方式（下図①）を試してみました。ところが、鋼管を輪切りにしたシアリングの溶接による鋼板の歪みで、無視できない精度誤差が生じ、その誤差を吸収するクリアランス（隙間）を設けざるをえません。シアリングと集成材の間の応力は支圧によって伝達されるため、複合効果を低減させてしまいます。これを考慮した設計耐力評価を行う必要がありました。その解決手段としてエンジニアは考えました。「鉄骨構造では一般的な、高力ボルト摩擦接合を応用できないだろうか」

この方法では、直径50mmの丸鋼に孔明け加工をしたコネクタを、集成材の孔に挿入します（下図②）。その後、コネクタ部を高力ボルトで摩擦接合し、鋼板と集成材を一体化させます。

コネクタは集成材に隙間なく圧入さ

### ■木・鋼ハイブリッド部材の一体化技術





れているため、この部分でガタによる変形が生じることはありません。また、コネクタおよび鋼板のボルト孔径は、ボルト径+2mmとしているため、この部分で精度誤差を吸収しながら、摩擦によって滑りのない接合が可能となります。このように、鋼板と集成材の接合部での変形を小さくし、その一体性を高めることによって優れた複合効果を得ることができる方法を私たちは考案しました。

## 鉄のエンジニアたちが挑む 有機的な「木」という素材

製品化に向けて、自社の研究所や東工大実験施設で得られた実験データを検証して、鉄ではなく木材の計算規準に則る耐力評価式を考案し、各案件の設計に適用してきました。というのも、木材の設計規準には湿潤状態や燃え代の設定など、鉄にはないパラメーターが数多くあります。その分だけ、さまざまな使用環境に対する設計適応性が高いと考えたのです。

木材の部分は、スギ・マツの集成材を用いて、品質のばらつきという弱点を補うと同時に、剛性や耐力を効果的に確保しました。

開発担当の富本はこう語ります。

「今回の開発は、新商品による事業拡大という“社業”貢献に“社会”貢献を加えた、大きなやりがいを感じるミッションでした」



2010年に、「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が施行されて以降、学校や運動施設における木材

利用がいっそう後押しされています。私たちが木・鋼ハイブリッド部材の供給や施工を手がけた案件は、既に14件になりました。秋葉山公園県民水泳場(10ページ写真①)においては、60m級という大空間構造を実現しています。

今後においては、集成材の製作にあたって、森林認証制度<sup>※</sup>に準拠する木材の採用が考えられます。本制度に則れば、消費者は認証ラベルの貼られた木材・木材製品の購買を通じて、生物多様性の保全や持続可能な森林経営を支援することになります。

この新しい部材の誕生によって、木材独特の質感を表現しつつ、安定した強度・剛性を確保することが可能となり、設計の自由度が広がりました。同時に、国産木材の地産地消の取り組みや環境問題への配慮など、社会的な課題にも応えることができます。未来へ向けた新しい構造材としての大きな可能性を秘めた木・鋼ハイブリッドの技術を、私たちはより広めていきたいと考えてます。



木の端からはみ出した鉄骨部でボルト接合することにより、従来の鉄骨と同様の施工が可能である

※持続可能な森林経営が行われていることを第三者機関が認証する制度

## Partner's Voice

### 接着剤を使用しない、環境にやさしい一体化にこだわりました。

東京工業大学教授の竹内徹先生(元新日本製鐵)と一緒に2002年に木・鋼ハイブリッド部材の研究を開始しました。類似の研究は既に行われていましたが、木で鋼をサンドイッチするときに接着剤を用いているものでした。我々のチームは環境にやさしいものということで、乾式工法にこだわり、最終的に現在の形の木・鋼ハイブリッド部材になりました。

私が連名の論文だけでも、日本建築学会構造系論文集に4編、構造工学論文集に1編、建築学会大会学術講演梗概集に20編を発表

してきており、データの裏付けのしっかりした木・鋼ハイブリッド部材となりました。

芯材である薄い鋼板を座屈補剛して軸力材として用いるには、BRB<sup>※1</sup>のように補剛材に一切軸力が流れず、芯材が座屈するのを拘束するのが理想です。しかしながら、木の繊維直角方向は非常にやわらかく、芯材の座屈をBRBのように拘束するのは難しいので、木にもある程度軸力を負担してもらう必要があります。とはいえ、あまりにも大きな軸力を負担させた上で、芯材の座屈補剛まで木にお願いするのは酷ですので、木に程よい軸

力負担をさせることが必要です。木の繊維方向のヤング係数<sup>※2</sup>と鋼のそれが1:20~30と大きく異なることが、これを実現するのに非常に役立っています。

この研究の始まりが縁で、現在は日鉄エンジニアリング・竹内先生・設計事務所とともに木・鋼ハイブリッド部材のさらなる研究を進めております。

東京工業大学  
環境・社会理工学院  
建築学系  
坂田弘安教授



※1: 座屈拘束ブレース(Buckling Restrained Brace)。ブレースは筋交いのこと ※2: 材料の固さを表す指標の1つ。弾性係数ともいう