

TS (Timber Space) トラスの研究開発とその空間造形

北海道東海大学助教授 粉 川 牧

1. 木はすぐれた構造材料

含水率15%程度の「えぞ・とど松」から角柱試験片をつくり、圧縮力を負荷すると1 cm²当り約350kgの強度がある。比重は0.4位であるから、その比強度（比重に対する強度の割合）は875 (kg/cm²) もある。建築構造材料としてよく用いられるコンクリート（圧縮強度240kg/cm²、比重2.3）、鉄（引張強度4100kg/cm²、比重7.8）の比強度はそれぞれ、104 (kg/cm²)、526 (kg/cm²) であるから、これらの材料と比較しても、木は軽くて強い優れた構造材料であるといえる。この事実からすると、木は大規模な建築物の構造材として大いに使用されてよい筈であるが、我国では、木は狂う、燃える、腐るといった固定観念が広く流布されている為、住宅の様な小規模のものを除いては鉄とコンクリートが用いられている。結局、我が国では、木は「木のぬくもり」といった感性的側面が強調され、主に化粧材、仕上げ材として活用されているのである。

ところが、欧州や北米に目を向けると、そこでは、木は鉄やコンクリートと同等な構造建材として扱われ、スパン160mのタコマドーム（図-1）をはじめとして種々の集会・スポーツ施設や、橋、タワーといった土木的構造物迄が木構造で建設されている。これは、現代の工業化時代に合わせて、Wood から Timber へ質的变化が遂げられてきたことによるもので、乾燥した挽き板を積層接着してつくられる集成材の加工技術の進歩と金物を用いた接合部ディテールの開発が絶えまなく行われてきたことが木構造発展の大きな支えとなっているからである。さらに、従来木材の欠点とされていた耐火性能を高める為、大断面材の使用や新しい防災設備システムの導入等がはかられ、又、耐久性についても化学的処理が施されるなど、建築構造物としての総合的安全性が確保されつつあり、充分な合理的根拠のもとに大規模な木構造が実現しているのである。

2. 大規模木構造の構法

大スパン構造物では大断面の湾曲や通直集成材によるヘビーティンバー構法が通常、採用されている。大断面集成材は着火した際、表面に炭火層が形成され、これが被覆材となって高い耐火性能が得られるという利点がある。しかし、大断面で長大な集成材は製作加工が困難で、さらに、我国の様に道路事情が悪いところでは、工場から建設現場迄の部材運搬に大きな問題がある。そこで、鉄やアルミニウムといった金属系スペースフレームに倣って、耐火性能を著しくそこねない範囲の中小断面で短い部材を立体的且つシステムチックにつないでつくる「木製立体トラス構法」が考えられている。

3. 既往の木製立体トラス接合部

木製立体トラス構法は、①立体軸力構造による優れた力学的合理性、②部材の標準化及びプレファブ化可能、③簡易な部材加工、運搬、組み立て解体、④高い造形的自由度といった特徴がある。反面、1つの節点に数本以上の部材が集まり、さらに節点数も多くなる為、仕口が複雑となり且つ高い強度と剛性が接合部に要求される。したがって、①ジョイント金具自体、②木部材端部とジョイント金具の接合、の2点に関するディテール開発がこの構法を実現する為の大きな鍵で、現在迄、以下に示すように様々な接合部が考案されている。

図-2、3、4、5はいづれもジョイント金具として金属系スペースフレームでお馴染のネジ込み式特殊ボールジョイントを使用した例である。図-2は、木部材が集成材で、その端部に2枚の鋼板を挿入し、ピン接合されている。27m×45mの平屋根を覆い、本格的な木製立体トラスとして世界初のものである。図-3は、我国で最初に実現された大規模木製立体トラスで、メロシステムを使用し、地元産の心持ち杉材の端部に鋼板を挿入しボルトで接合されている。尚、ボルトと木部のクリアラ



図-1 タコマドーム
(世界最大の木造ドーム)
外観

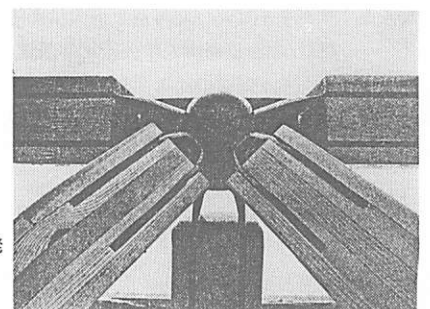
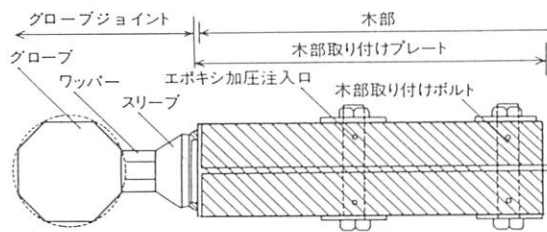


図-2 スイスで開発
された接合部



木造トラス詳細図

図-3 九州で用いられている接合部

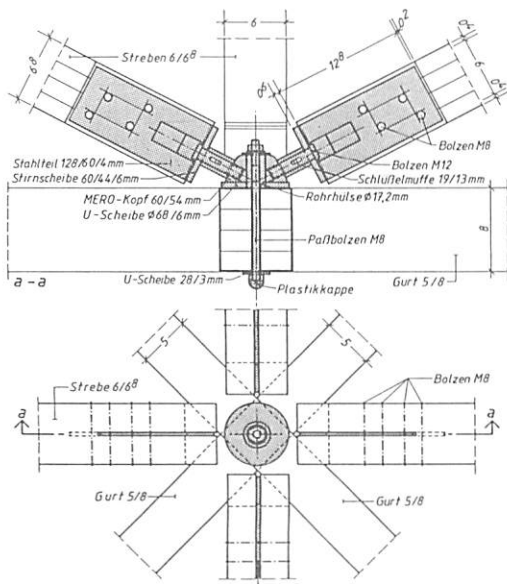


図-5 西ドイツメロ社で開発された接合部

ンスにエポキシ樹脂を充填し、初期すべりをなくし、且つ剛性と耐力を高めている。ボールジョイントは、NC機械加工技術の進歩により、任意角度にネジ切りが可能で造形的フレキシビリティに富むという利点があるが、反面、コストが高く、スペースフレーム構造体費用の約4割を占めるという調査報告もある。

図-6、7、8はジョイント金具として高価なボールジョイントを避け、鋼板を溶接加工した例である。図-6は我国で、15年程前に実施されたもので杉丸太材端部にボルト接合が使用されている。ボルト接合の場合、初

図-4 西ドイツ Knup 社のディスクブイ用接合部モデル

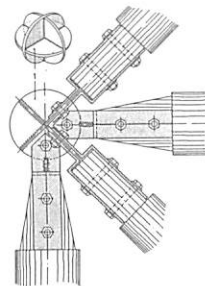
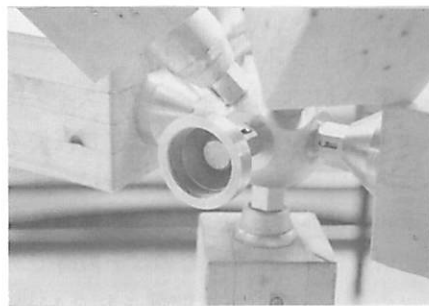


図-6 非ボールジョイントの例その1



図-7 非ボールジョイントの例その2

期すべりが発生し、接合部の変位が累積し、節点数が少くない小規模の構造物にしか適用できないと思われる。図-7は、卓越した木造のエンジニアとして知られるJ. ナタラー氏設計のもので、10m×10mの平屋根を二方向の平行弦トラスで覆い、木部端部は初期剛性を確保する為、ジベルとボルトが併用されている。図-8は、オランダで最近開発されたもので丸太材を使用しスチールワイヤを巻きつけ、特殊工具で木部端部を強固に締めつけている。見た目に美しくはないが、技術的に新しいアイディアが伺える。

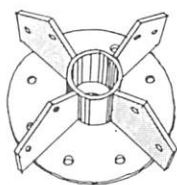
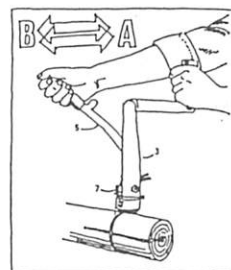
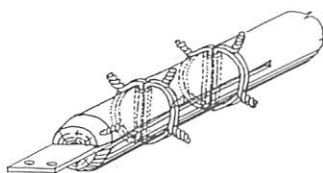


図-8 非ボールジョイントの例その3



4. TS トラスの研究開発

筆者は1983年、西ドイツ、スイスにて、J. ナタラー氏と出会い、そこで氏の作品に直接ふれる機会を得た。我国で建築教育を受けた筆者にとって大スパン木構造は未知の世界であったが故に新鮮な驚きであった。木の空間構造に興味をもったのはその時である。翌年、西ドイツのドルトムントで開催された IASS（国際シェル空間構造学会）シンポジウムでスイス、チューリッヒ工科大学のスタイラー氏による論文「New Type of Space Frame in Timber」を聞き及び、従来のヘビーティンバー構法とは異なる新しい木構造の展開に、再度強い刺激を受けたのである。以後、サンモク工業株式会社と共同して、木製立体トラス（TS トラス）の開発研究を進め、図-9 に示す接合方式を考案した。即ち、①羽根プレートを木部材端部に挿入しピン（スタープジベル）を打ち込み、さらに②オクテット結合（正四面体と半正八面体が規則的に結合）可能なジョイント金具と羽根プレートを高力ボルト一本で接合するという極めて単純な方式である。そして力学的安全性を検討する為、接合方式に関する基礎的実験が、卒業研究ゼミで進められた。

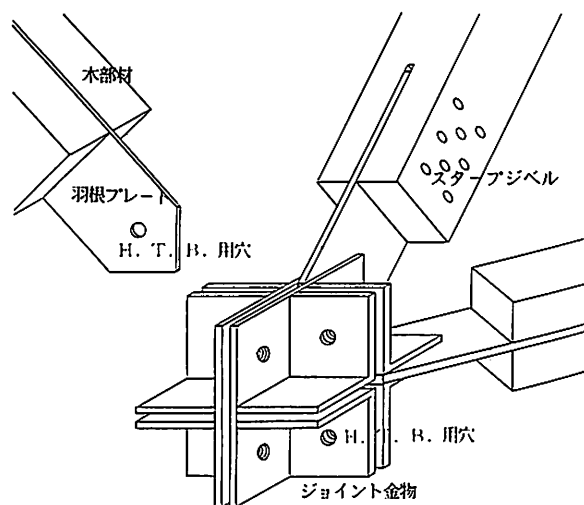


図-9 TSトラス接合部概念図

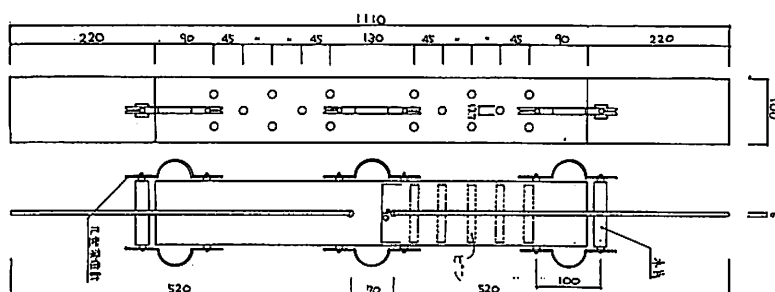


図-10 ピン接合部引張試験体

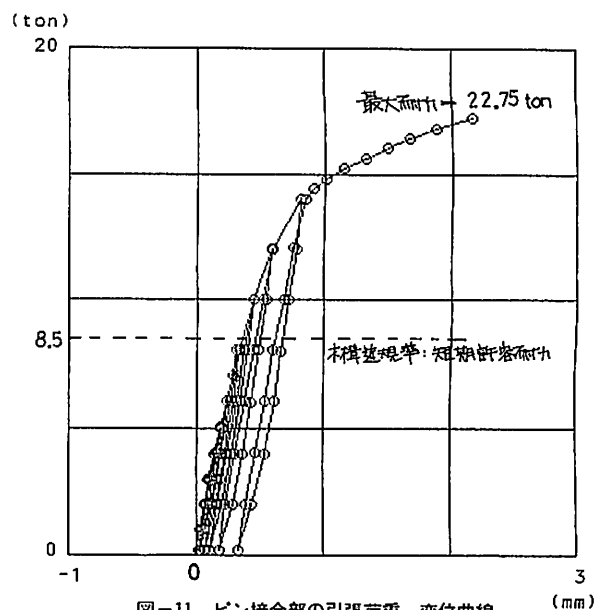


図-11 ピン接合部の引張荷重-変位曲線

図-10は、ピン打ち接合の性能を知る為の試験体である。木部材端部にスリットをあげ、そこに鋼板を差し込み、その状態でピン径より少し小さな穴をあけ、ピンを打ち込んで作られたものである。加工は簡単で、特別な技術を必要としない。このピン打ち方式を採用した理由は、立体トラス構法の場合、節点数が膨大となり、ボルトを使用すると建方時や使用中初期すべりが生じ、建築物としての機能に支障をきたす為である。この方式は、我国で実際の構造物への適用はまだ見られないが、前述したように、初期剛性の確保といった構造的意味の他、ボルトと違いナットや頭の突出部がなく、意匠的にスッキリしているという特徴がある。図-11は引張加力試験の結果で、縦軸に引張力、横軸に木部と鋼板の相対変位を示している。これより、初期すべりや耐力上、問題がないこと、例えば、短期許容耐力は、日本建築学会木構造の基準値を多少上回ることが確認された。

図-12は、ジョイント金具に関する供試体を示したものである。アングルと鋼板を隅肉溶接してつくられ、特

殊な加工技術を必要とせず、コストの低いジョイントで、最大12部材が接合可能である。ジョイント金具と木部材は羽根プレートを通じて高ボルト一本で接合されている。高力ボルトの規準によれば、構造物の主要な接合個所には2本以上のボルトが必要とされているが、ここでは、木部材との造形的バランスを考慮して、ジョイント金具のボリュームを極力小さくする為、1本とした。その結果、使用する高力ボルトの十分な品質管理及び力学的性能に対する信頼性が極めて重要となった。高力ボルトの接合耐力は一般に摩擦面の状態とトルク張力に依存するが、図中Bタイプの場合は、さらにアングル間のクリアランスが影響し、ジョイント金具の溶接加工に慎重さが要求される。すなわち、ボルト張力の一部がアングルの曲げ剛性に吸収され、面間摩擦力が減少し、その結果、所定のすべり耐力が得られないことが考えられる。実験は、日本建築学会の高力ボルト設計施工指針に従って、黒皮を除去し充分な赤錆で摩擦面を処理し、さらに所定のトルクを与えて行った。その結果、すべり耐力は、Aタイプの方がBタイプより約三割大きく、Bタイプのそれは学会の短期許容耐力とほぼ同程度であることが確認されている。この他、羽根プレートの座屈試験（図-13）やトラス梁（図-14）の加力実験等が行われ、本構造の接合部に関する安全性が検討されている。

5. 実施例

図-15に示す寸法をもつジョイント金具と木部材を用いて、いくつかの仮設構造物が建設され、実大規模の試作実験が行われてきた。

まず、その第一弾は、1986年8月3日、約8,000人の観衆を集めて開催された第1回旭川ライブジャムのステージである。ユニークなステージづくりをということで、従来この種のイベントによく見かける足場パイプ骨組の代わりにTSトラスが使用できないだろうか、3月末、本学の大野先生より打診があった。賛意を示し、

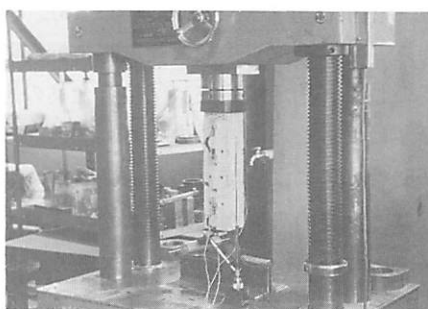


図-13 羽根プレートの座屈試験

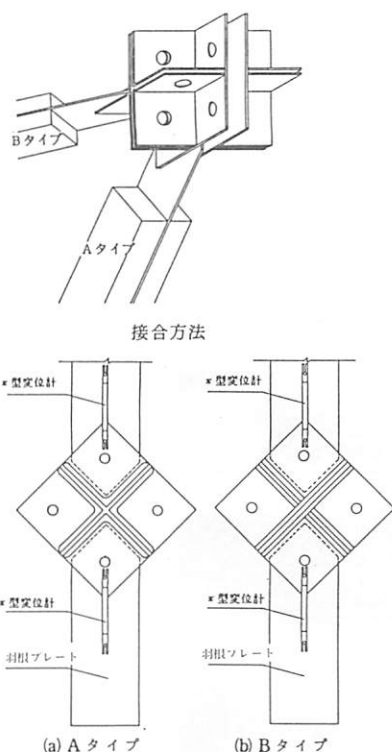


図-12 ジョイント金具供試体



図-14 トラス梁の加力実験

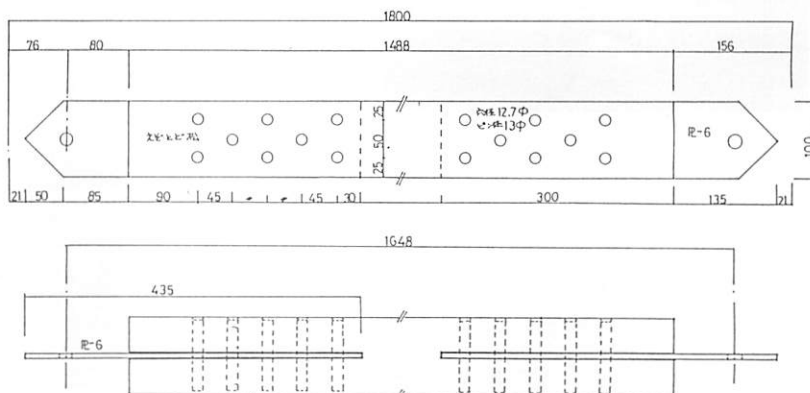
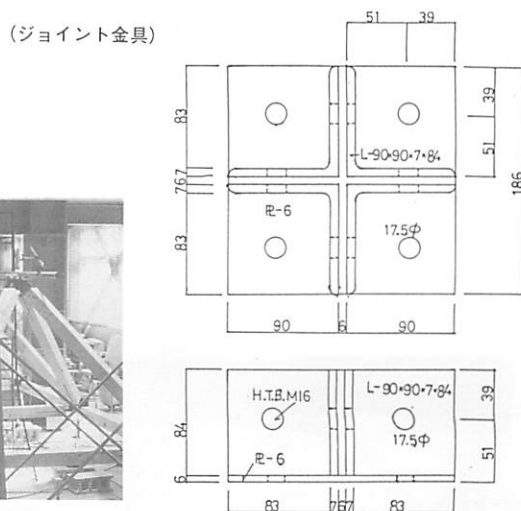


図-15 実施例の部材寸法 (木部材)

早速、サンモク工業株式会社の堀江和美氏、大野先生及び卒研生らと実施に向けてプロジェクトチームが結成された。ステージの模型スタディー、先述した接合部に関する実験、コンピュータによるトラス構造解析そして部材の加工等が行われた。この立体トラスは、図-16に示す様に、造形的には四角錐台を一部截断してできる多面体を用い、ステージの水平屋根と左右後の急傾斜した壁がダブルレイヤー状に組まれている。施工は①十数ヶ所に現場打ちコンクリートの独立基礎を設けさらに支持金具のアンカー。②壁部分の組み立て（図-17）。③全面足場工法による水平屋根部分の組み立て（図-18）。④高力ボルトの本締め。⑤ステージ後部に強風時の転倒防止用バックステイの設置。⑥足場除去、⑦接合金具の黒ペンキ塗装。の順序によった。尚、このうち、②、③は本職の鳶4名と卒研生6名によって行われ、2日間を要した。開催日当日は、真夏の日射が強かったが、木製トラスの場合金属系のそれに比べ断面寸法が大きく、ステージ上に網目模様の影ができ、演奏者によって木のやわらかさと同時に暑さを感じさせない心地よい空間を与えることができたと思われる。夜になって、筆者もファンである「盲目のアーチスト、レイ・チャールズ」が登場し、フェスティバルは佳境を迎えた。照明がつけられ、図-19に示す様に立体トラスが暗闇の中に浮かび上がった。木はほどよく光を吸収反射し、ライティングアップによって一層見え、視覚デザイン上の効果が期待できそうである。

次は、旭川買物公園通りにつくられた梁状の立体トラスである（図-20）。1987年2月末～3月初に設置され、昭和61年度、本学卒業研究展の記念オブジェとして、建築学科の卒研生によって製作された。梁の一端となる支持部分をピラミッド状に組み、梁部分は足場でサポートし、スパンを9mとばして他端を半正八面体ユニットの頂点で支持させた。高力ボルトの本締め後、ピラミッドのダミー部材及び足場を除去し、2日間の組み立て作業を終えた。

最後に紹介する例は、昭和62年度本学建築学科3年生の開講科目「建築総合実習」のテーマ「木製立体トラスを屋根にもつ屋外施設」として本学ログキャビンと隣接する場所に建設されたもので（図-21）、本学北方生活研究プロジェクトP-1「木質系立体トラスの研究」の一環でもある。Do it yourself! 計画立案から設計、部材加工・施工迄、学生と教職員（担当教員：平沢勇、北島滋、大矢二郎、粉川牧、木部材の加工技術指導：佐藤利夫、奥俊博）の共同作業で進められ、期間は昭和62年4月から11月迄と、本当に厳しい授業であった。手づくりのトラス部材210本と接合金具を用い組み立てられたこの不整形屋根トラスは4本のガッチリした集成材柱で支えられており、丁度4本の樹木が幹から枝へ互いに上に広がりながら伸びてゆく様な印象を与えている。別報でも述べた様に、TSトラスシステムは初期すべりのない極めて剛性の高い構造である特徴を生かし、本例では、前2例の全面足場工法に依らず、地上組み立て（図-22）

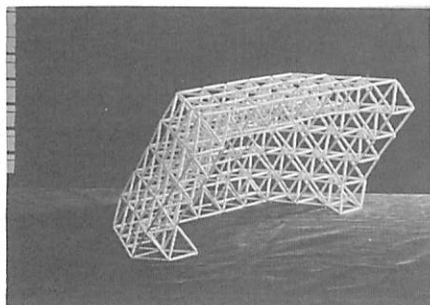


図-16 ライブ
ジャムのトラス
の模型

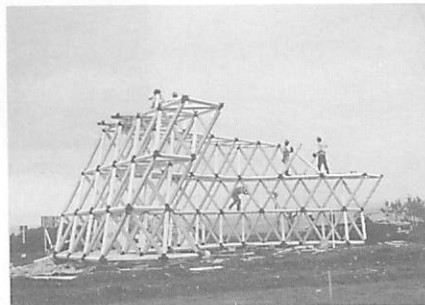


図-17 ライブ
ジャム組み立て
その1

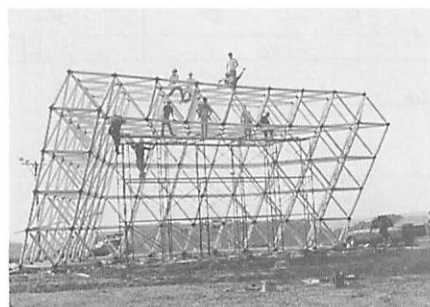


図-18 ライブ
ジャム組み立て
その2

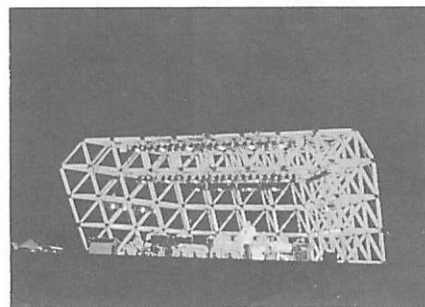


図-19 ライト
アップされた
立体トラス

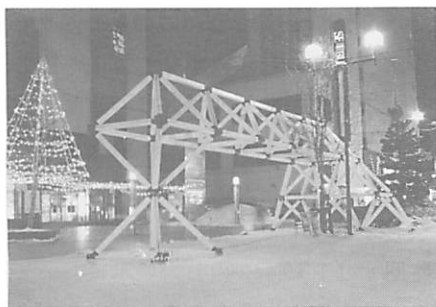


図-20 S'61
卒研展記念
オブジェ

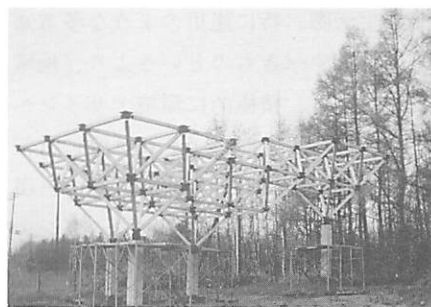


図-21 S'62
建築総合実習
プロジェクト



図-22
地上組み立て



図-23
吊り上げ移動

→吊り上げ移動（図-23）による建方方式が初めて採用され、順調に作業を終えた。今後合理的な施工法として、本建方方式が適用されるものと思われる。

6. おわりに

木構造の新しい可能性を示す一つの構法として立体トラス構法がある。本稿は、本学とサンモク工業株式会社で共同開発されたTSトラスについて、その開発経過と実施例を中心にまとめたものである。木のぬくもりやあたたかみといった言葉に表わされている様に、我国では今日迄、木は主として仕上げ、化粧材として用いられ、構造材としては住宅のような小規模のものにしか使用されていない。しかし、一方で、木は軽くて強い優れた材料であることも事実で、北米や欧州では、この点に立脚して、既に大断面集成材の加工技術や接合部材のディテール開発が進められており、科学的、合理的根拠のもとに木構造が鉄骨造やR.C.造と同等に大規模建築の構

造として盛んに用いられている。現代木構造の後進国である我国では、大断面集成材の加工が技術的に困難で且つ運搬事情の悪さも考慮すると、ヘビーティンバー構法よりも、比較的短く中小断面をもつ部材をシステムチックに組み立てる構法が、より現実的な方策と思われる。この動きは世界的にも新しく、さらに木と異種材料によるハイブリッド構造迄範囲を広げていくと、技術的諸問題、特に部材どうしを如何にしてつなぐかという接合部の研究開発に待つところが多いものの、今後様々な大スパン構造への展開が可能で、いよいよ、木構造が我国の構造エンジニアにとっても創造的意欲をかきたてる興味深い構造として扱われる時代が到来したのである。

謝辞

「建築総合実習」プロジェクトの遂行に際し、武田薬品工業株式会社より防腐剤「キシラデコール」を提供して頂きました。ここに深く感謝申し上げます。

図の引用

- 図-1 赤坂正氏撮影
- 図-2 SD8701「木造建築の現在」057
- 図-3 日経アーキテクチャー 1986, 6-2, p73
- 図-5 bauen mit holz 2/87, p66
- 図-6 Holzbau Atlas, p156
- 図-8 Shells, Membranes and Space Frames 3, p293, 294
Proceeding of IASS Symp. in Osaka, 1986

参考文献

- 1) Holzbau Atlas, 1980, pp.156-157.
- 2) Tony Steurer, "New Type of Space Frame in Timber," 2 design, pp.332-341, Proceeding of I.A.S.S. Symp. in Dortmund, 1984.
- 3) 葉 祥栄 "一連の木造立体トラス" pp.104-109, SD8701
- 4) 日本建築学会, "木構造設計規準・同解説," 1973, 丸善
- 5) 杉山英男, 神山幸弘, 今泉勝吉, "新建築学大系 39, 木質系構造の設計" 1983, 彰国社.
- 6) 日本建築学会, "高力ボルト接合設計施行指針" 1983, 丸善

関連文献

- 7) 金津谷賀津男, 河村靖, 慶伊勝司, 坂弥鉄治, 千葉忠志, 山本久 "昭和61年度卒業研究, 木質系立体トラスの実験解析, 設計施工 I, II, III."
- 8) TSトラス研究会, "木の立体トラス, 札幌フォーラム建築作品発表会作品集, 1987, vol.-7
- 9) 粉川牧, "木の立体トラス" の組み立て, 吊り上げ実験" BULLETIN, No.4 '87-DEC