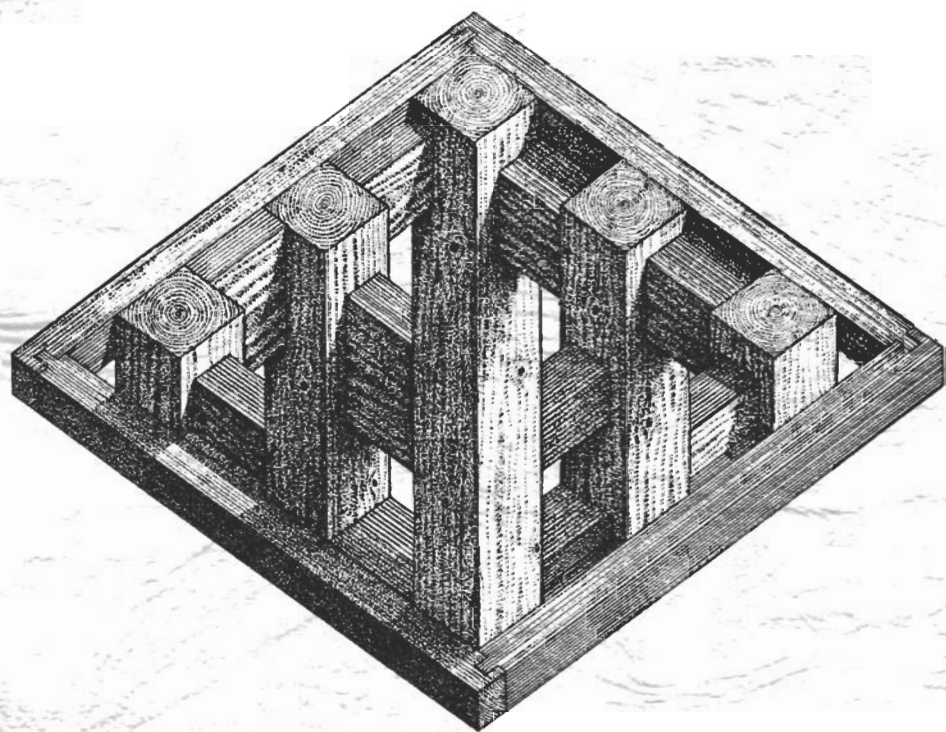


# 木質構造研究の現状と今後の課題

## Part—II



日 本 木 材 学 会

木材強度・木質構造研究会

1994年8月

# 目 次

## 研究の現状と課題

- [ 1 ] 木質材料 飯島泰男（秋田県木材産業課）…………… 1  
資料：木材学会強度・木構造部門発表リスト(1985-1994)…………… 3 0  
建築学会木質材料系発表リスト(1985-1994)…………… 3 9  
建設省総プロ「木材の機械的強度等級区分法（案）」…………… 4 2
- [ 2 ] 接合・構造体要素 小松幸平（森林総合研究所）  
接合…………… 4 7  
構造体要素…………… 1 0 3

## 問題提起と構造事例

- [ 1 ] 産業用木質構造 - ティンバーエンジニアからみたコストスタディー  
堀江和美（木質構造研究所）…………… 1 4 3
- [ 2 ] 個性派木質構造 - 構造用集成材構造の研究 -  
杉田敏之（三井木材工業）…………… 1 5 8
- [ 3 ] 秋田県木材高度加工研究所（仮称）  
柴田節雄（梓設計）…………… 1 8 4
- [ 4 ] 秋田県大館地区多目的ドーム  
平田 哲（竹中工務店）…………… 1 9 5
- [ 5 ] 木橋 薄木征三（秋田大学土木環境工学科）…………… 2 0 2

表紙イラスト：「エッシャー材による平面木構造の研究」

皆川 均（秋田県木材産業課）

## 木質構造の研究と今後の課題 Part-Ⅱ

### [1] 木質材料

秋田県林務部木材産業課  
飯島 泰男

#### 1. はじめに

今回行われる「木質構造研究の現状と今後の課題 Part-Ⅱ」は、1986年10月に行われ、翌年、研究会から資料集が刊行された「木質構造研究の現状と今後の課題」の第2弾である。

この8年前というのは、国内では「建築基準法の見直し」「同施行令における木材の許容応力度の改正」の時期にあっており、国際的には、研究の面では'84PTEC がNZで行われ、経済的には米国との「MOSS協議」が進んでいた。そして木材業界誌のそこここに「木材の見直し」とか「木材の復権」という言葉が踊っていた頃、当時の流行語でいえば「フィーバー」していた頃でもあったわけだが、それはともかくとして、この一件は筆者にとってもきわめて印象に残るものであった。たとえば、今その資料集をみても分かるのは、参加者62名中の1/3を占める建築実務家および主に建築学会で活動する研究者の比率の高さで、いわゆる「うちわ」だけ行ってきたそれまでの会合とは、雰囲気はかなり違ったものになっていたように記憶する。世間の浮ついた「木材フィーバー」とは次元を異にしたものであり、一研究者としてきわめて快いカルチャー・ショックを受けたのだった。

今回の主旨は、それ以降、これまで間、われわれ「日本木材学会 木材強度・木質構造研究会」に属する研究者が、どういった研究活動を行ってきたか？ 社会的にみてどのような波及効果を及ぼしてきたか？ さらに今後の方向性は？ というものである。いささか「肩に力の入り過ぎた」ものになる可能性も大きいですが、しかし、この間われわれの業界(?)を取り巻いた動きには「新しい構造用製材のJAS策定」「日米構造協議」「建設省新総プロ」「'90ITEC(東京)」などがあり、今この8年間を総括するにはいい時期といえるであろう。また、このような議論は定期的に行ってこそ意味があるものであり、これがないと「自分で問題を創って、自分で解くような研究ばかりが増えていく」ことにもなりかねない、と思っている。

さて、筆者に与えられた課題は「木質材料」の研究についてのものであるが、この間、研究会幹事を4年ほど行ってきたこともあり、その活動経過も含めて述べてみたいと思う。

#### 2. 8年間を振り返って

まず、この8年間をざっと振り返っておこう。

##### 2. 1 シンポジウム等の研究会活動

木材強度・木質構造研究会としての主な活動といえば秋期に独自に行うシンポジウムがある。これを年度順に並べると、

1986年度(東京)：木質構造研究の現状と今後の課題

1987年度(静岡)：木材・新・時代(接着・居住性両研究会と共催)

1988年度(徳島)：スギ材の構造的利用の方向と問題点—徳島県での事例を中心として—

1989年度（長野）：The カラマツ－育林から建築まで－

1990年度（熊本）：活かそう！スギ－大いなるスギ材の利用を目指して－（組織と材質研究会と共催）

1991年度（岩手）：新JASに係わる諸問題と新たな動き

1992年度（奈良）：接着が今後の木質構造を変えるか？（接着研究会と共催）

1994年度（秋田）：木質構造研究の現状と今後の課題 Part－II

ということになる。テーマはできるだけ時宜に応じたものを設定し、資料もかなり充実したものを刊行してきたといえるであろう。

また、この間の活動で特筆しておかなければならないのは、(財)日本住宅・木材技術センターの委託研究として行った「構造用木材－強度データの収集と分析」(1988)と木材学会研究分科会として行った「大規模木構造」(1993)の刊行がある。いずれも研究会のメンバーが力を注いで行った事業であり、本稿の中でも随時引用していきたい。

## 2. 2 研究の動向

このPart－Iで「材料研究の現状と課題」に関し、小松がいくつかの課題設定を行っている。ここでは、まずこれらの記述を要約しておく。

### ●構造設計関連

- ・等級区分と許容応力度の一体となった統一規格の設定
- ・わが国の実状にあったストレスグレイディングマシンの開発
- ・全国規模的なイングレードテストの実施
- ・プルーフローディング試験の検討

### ●材料科学関連

- ・欠点（節、繊維走行、割れ）を有する木材の強度性状を表現しうる数学モデルの設定と材料定数等の分布を考慮に入れたコンピュータシミュレーション
- ・線形弾性破壊力学の実際的应用

### ●構造用集成材関連

- ・集成材力学モデルの設定と強度性能のシミュレーション
- ・ラミナのプルーフローディング
- ・高温下での材料特性の把握と燃焼・耐火性能

さて、この後の研究の動向を知るには木材学会および建築学会の両大会における口頭発表がふさわしいであろう。

木材学会大会の過去10年間における発表件数は518で、これらを分類（筆者が便宜的に分類したもの）した結果を章末に示した。最近では毎年60件近い発表があり、強度（材料）と木構造（接合・構成要素）の2つの部門に分割される状況になっている。なお、ボード類等は別の部門で発表が行われている。

材料系と接合・構成要素系の比率は289：225（その他が4件ある）でやはり材料系が多いものの、材料系には実大材強度を中心とした、いわゆる<ティンバー・エンジニアリング>を指向しているものだけではなく、むしろ「物性」部門での発表がふさわしいと思える内容を持ったものも少なくない。

材料系で目立つのは、やはり樹種ではスギであり、材料形態では製材であるが、一時少

なかった集成材の研究も最近では増加の傾向にある。また、原材料の仕分けシステムや最終製品の性能予測を意図した、立木・丸太の研究もかなり進められてきていることが分かる。しかしデータ量が充実してきたと考えられるのは、曲げ強度性能に関するものが中心で、その他の圧縮・引張・剪断・クリープ等については、試験設備との兼ね合いもあるであろうが、必ずしも充足していないように思われる。

建築学会でも最近では1年に50件以上の発表がある。そのうち材料系（材料および構造の両部門）の112件の発表をまとめ、やはり章末に一覧した。ここでの発表内容を眺めるとやはり構造設計に必要な数値（横圧縮・ねじり剛性・横座屈・クリープなど）を求めるための実験的研究が多いのが特徴的であり、また、鉄筋等の異種材料との併用が実に大胆ともいえる方法で検討されている。

この他では「土木学会」「材料学会」などでも発表が行われているはずであるが、今回の資料には間に合わなかった。

## 2. 3 規格・規準等に関する動向

規格・規準等に関する動向は研究とは直接関連するものではないが、この8年間を考える上では重要な位置を占めているように思われる。

Part-Iにおける小松の構造設計に関連する課題のうちの、

- ・等級区分と許容応力度の一体となった統一規格の設定
- ・全国規模的なイングレードテストの実施

との提案は、「木材の許容応力度改訂」作業が日程に上っていた、という当時の社会的情勢を反映したものともいえる。このPart-Iに収録された討論などをみても「施行令中の材料強度・許容応力度と等級区分法（グレーディング・ルール）との関連」「確率論的手法と5%下限値の決定法」など、現在では比較的日常的に用いられるようになった言葉が、ここでは、かなり目新しい概念として随所に出てきている。

少し具体的にいえば、当時の日本の構造用製材の等級区分規格は「製材の日本農林規格（以下、旧JAS）」のみであり、このなかでの製材の、目視による「特等・1等・2等」という等級区分材は、「構造用途を前提とし、強度性能別に区分できる手法にしたがって格付けされたものである」ということになっていたわけである。しかし、これらの各区分材と施行令中の許容応力度との対応は明確ではなく、施行令中では、単に「構造用材」として、樹種群ごとに旧JAS1等相当材を想定した、1つの数値が与えられているに過ぎない（この点は現在でも同様である）。

こういった状況になっていたのは、主につぎの2つの理由からであった、と考えられる。

- ①実際に流通する実用寸法材の強度性能が不明
- ②許容応力度の誘導体系が無欠点小試験体の強度をベースにしている

したがって、この頃、製材の許容応力度誘導方法の国際的な潮流となっていた＜実大材強度データを統計的に処理して5%下限値を求め、これに安全率を乗ずる＞という考え方を採用するには、全国規模的なイングレードテストとそれらのデータ収集が必要だったわけで、これを根拠にした＜統一規格＞の制定が望まれたものと考えられるのである。

さて、施行令中の木材の許容応力度の改訂は1987年に行われたのであるが、その後、現

在に至るまでにいくつかの日本農林規格（JAS）が改訂されているのは周知のことであろう。すなわち、1991年1月には「針葉樹の構造用製材のJAS」が制定され、中に機械的等級区分製材に関する規定が盛り込まれた。5月には「機械による曲げ応力等級区分を行う枠組壁工法構造用製材〈MSR材〉のJAS」が制定された。また12月には「構造用大断面集成材のJAS」「構造用LVLのJAS」がそれぞれ一部改正され、前者では機械によって曲げヤング係数（MOE）を測定したラミナの品質基準が、後者ではLVLのMOEによる区分基準が設定された。また近い将来、集成材JASの大改訂の話もあるようである。

このように各種の木質材料のJASが一齐に改訂された例はこれまであまり記憶がないことである。筆者自身、機械的等級区分の概念がこんなに早く導入されてしまったことには、むしろ驚いているほどである。全体的に言えば、この導入の経緯は以下のように要約されるであろう。

①木質材料を工業材料化していくことが今後の木材産業を維持・発展させていく大きな要件になる。ここで木質材料、とくに製材は工業材料の必要条件である「安定供給」「適正価格」「品質保証」の3つの面から、現在非常に弱い立場にある。

②このうち「品質保証」に限定すれば、これまでの「構造用木質材料」の規格・基準は主として外見的形状・美観を重視して決定されてきたため、建築構造用材として重要な強度性能を十分保証できるものとはいえない面があった。

③現在の技術水準において、強度性能を合理的に事前評価（予測）する手法としては、非破壊パラメータとしてMOEを用いたものが最も妥当と考えられる。すなわち、MSR材がこれまでの目視区分材に比較して品質保証の面で一定の優位性を保っていることが認められ、これが導入の根拠になっている。

一方、建設省では総プロ「新木造建築技術の開発」を1985年から5年間行っており、その報告書の中で「機械的強度等級区分法（案）」を策定するとともに、1991年1月「構造用製材JAS」中に盛り込まれた機械的等級区分材に対する許容応力度を建築指導課長通知の形で制定している（なお、同規格にしたがって等級格付けされた目視区分材についても同様の措置がとられている）。

## 2. 4 文献

- 1) 日本木材学会 木材強度・木質構造研究会シンポジウム資料：1986年度（東京）「木質構造研究の現状と今後の課題」
- 2) 同上：1987年度（静岡）「木材・新・時代」（接着・居住性両研究会と共催）
- 3) 同上：1988年度（徳島）「スギ材の構造的利用の方向と問題点－徳島県での事例を中心として－」
- 4) 同上：1989年度（長野）「The カラマツ－育林から建築まで－」
- 5) 同上：1990年度（熊本）「活かそう！スギ－大いなるスギ材の利用を目指して－」（組織研究会と共催）、なお、これについては筆者による私的な総括文「3つの切り口－日本木材学会研究会シンポジウムから－、木材工業、46、2(1991)」がある。
- 6) 同上：1991年度（岩手）「新JASに係わる諸問題と新たな動き」
- 7) 同上：1992年度（奈良）「接着が今後の木質構造を変えるか？」（接着研究会

と共催)

8) (財)日本住宅・木材技術センター委託研究：「構造用木材－強度データの収集と分析」、日本木材学会 木材強度・木質構造研究会(1988)

9) 木材学会：研究分科会「大規模木構造」(1993)

10) 農林水産省消費経済課：「最近のJAS規格の制定、改正〔Ⅰ〕〔Ⅱ〕」、木材工業、47-7、47-8(1992)

11) 建設省：「新木造建築技術の開発報告書(第2巻)構造設計に関する技術報告－木材の機械的強度等級区分法(案)」(1992)

12) 中井 孝：「枠組壁工法構造用製材の日本農林規格に機械的応力等級区分を導入するための検討」、日本木材学会木材強度・木質構造研究会シンポジウム資料(1991)

### 3. 「構造用木材－強度データの収集と分析」

#### 3. 1 事業の目的と経緯

製材に関連した研究分野を考えると(財)日本住宅・木材技術センター委託研究でもあった「構造用木材－強度データの収集と分析」のことを記さないわけにはいくまい。

1988年3月に刊行された本事業の報告書の「はじめに」には次のようなことが記されている。

「1986年10月には東京で研究会シンポジウムが開かれた。折から、木材の見直し、木造の復権が唱えられ、許容応力度の改正等がささやかれていたが、こうした情勢を反映し、そのテーマとなったのは『木質構造研究の現状と今後の課題』であった。ここでは(1)材料・接合、(2)構造体構成要素、に大別した現状分析と建築サイドを交えての討論が行われた。当日の内容は翌年2月に資料集として取りまとめられている。これは文字どおり、現在の木質構造研究の問題点を浮き彫りにしたものだといえるだろう。

このシンポジウムでは材料強度に関して以下の指摘がなされた。

『材料強度や許容応力度は建築基準法施行令等に規定されているが、グレーディングとは関連付けられていない。グレーディングなしの許容応力度は一体何を意味するのか。グレーディングルールの確立と許容応力度設定のための参考資料は今までどの程度蓄積されているのか。』

こうした指摘に対して木材側に明快な対応がないとすれば、木材強度に対する不透明感・不信感、ひいては木質構造そのものに対する不安感は解消されないであろう。本研究会ではその後これを受けたかたちで、実大材強度データの蓄積状況の把握を行うべく、全国の研究機関に資料提供のお願いをした。

今回の報告書は、このようにして収集されたデータに統計処理を行うとともに、あわせて木質構造に関する最近の話題と提案などをまとめものである。データの情報は諸外国の例からみれば、まことにささやかなものであり、いたるところに不十分な点があることは否めないであろう。しかし、この過程の中で、今後解決すべき実に様々の問題点が浮かび上がっている。

ご一読いただき、今後の活発な議論の出発点として本資料が活用されれば、作成に携わったものとして望外の喜びである。

木材・建築行政との関わりもあって、資料整理がかなり急がれたにも拘らず、本事業の

重要性を認められた多くの方々のご協力くださった。この多大なご尽力がなければ、発刊には至らなかったであろうと思われる。関係各位に厚くお礼を申し上げる。」

本書には当時木材学会会長でもあった杉山英男先生からの以下のような言葉も頂戴している。

「わが国における木材の研究は、一昔前の海外の木材先進国がそうであったのと同じ様に、小試片のWoodについては深く掘り下げて研究が進められてきたが、実物のLumberの強度性状に関する調査研究は殆ど行われては来なかった。この点で最近20年ぐらいの間に外国に大きく水を開けられてしまった。木材の許容応力度体系の再構築を目指す世界の流れから取り残されてしまった訳で、誠に残念なことであったが、これは主として木材を化粧材として眺め、強度を問題にする習慣をもたないというわが国独特の木材・木造界の事情に原因するといつてよかろう。

このような環境であったにも拘わらず、将来を洞察し地味にデータを積み重ねてこられた全国の研究者の御熱意があったからこそ、本報告書が上梓できた訳である。その御陰で、この成果の一部が昨秋の建築基準法施行令の改正に際し、木材の許容応力度の改正の中に生かされたのであるが、取りまとめを急がれた御努力が実を結んだと言えよう。謹んで敬意と謝意を表する所以である。

これに関連してこの際お願いしておきたいことがある。即ち、これからもデータの収集とその纏めを定常的に進めて戴くと共に、他人による利用を考え、それを世の人の目に触れる形でこまめに publishして戴きたいということである。調査研究の世の中への反映を希求するならば、そのことは極めて重要である。」

本書の策定経過と社会的効果は以上の二つの文章で十分であろう。

### 3. 2 分析結果の要約

本書は上述のように、当時全国各地の研究機関で収集されていた実大材の実験データを集約し統計処理を行うとともに、あわせて木質構造に関する最近の話題と提案などをまとめものである。しかし、その大部分は「曲げ」に対するものであり、引張、圧縮、剪断等についてはきわめて寂しい限りであった。したがって、ここでは「曲げ性能」を中心に述べざるを得なくなっているわけであり、ここでも、以下「曲げ」に関する情報のみを再録しておこう。

#### <データ概要>

さて、このとき収集されたデータ数は、研究報告、学会口頭発表、公立試験研究機関業務報告等、何等かの形で公表されたデータ（幅、厚さ公称45mm以上および枠組壁工法用製材品に限定）のうちの5496データで、全国21機関から提出されたものである。しかし、各データのサンプリング方法にはいくつかの問題点があった。すなわち、

①行政需要からその地域の主要造林樹種の実験を行うケースが殆どで、たとえばベイマツのデータが比較的少ないなど、建築構造用として実際に利用頻度の高い樹種が多く取り上げられているわけではない。

②各々の実験の目的によってサンプリング方法が異なっており、各地域、樹種の材質・強度を代表するよう試料採取されているとは限らない。

③国産材では全国的な範囲でデータが網羅されているとは言い切れない。最も試料数の

多いスギにしても、現段階で直ちに全国産地別の強度マップが作られる状況には至っていない。

④実験方法は一様ではない。荷重条件をみても、試験機の関係でスパンと梁せいの比がかなり小さい例もいくつか見られる。また、欠点調査の方法が異なり、欠測データの多い場合もある。

などである。しかし、材種では10.5cm角を中心とした正角材が多く、極めて大略的には正角材のデータから樹種特性を比較することは可能であると言えるため、サンプリング上の問題点を承知した上で、全国のデータを一括し、これをランダムサンプリングデータとみなし、概ねASTM (D2915-84、D198-84、D245-81) と一部ニュージーランドのG. B. Walfordの手法を援用しながら以下の方法で分析していった。

#### <分析方法と結果>

ここで行った分析方法は、次の2段階に分けられる。

①各強度性能に及ぼす各因子の効果をみるために、樹種ごとに全データをプールし、MORを目的変数(従属変数)とした線形重回帰分析を行ったうえで、各種の強度変動に関与する因子の効果について検討する。

②以上の結果をもとに、いくつかの等級区分法を用い、同一等級内製材品のデータ解析を進める。

各樹種・材種区分についての統計的解析は材種を梁せいによって3段階に区分し、正割、正角、平角程度に分類して強度性能を考察した。なお、曲げヤング係数(MOE)については、試験機関によって実験条件およびたわみ測定方法が異なる場合があったため、ASTMの換算方法に準じ、スパン-梁せい比21、等分布荷重条件における全スパンたわみからの値に換算した。さらに曲げ強度(MOR)、MOEはASTMに記載された含水率による強度換算式を用いて、MC15%時の値に調整した。

この分析結果の要約すると以下のようであった。

①梁せいと強度性能の関係を比較すると、MORは梁せいの増加に伴い、ヒノキ、カラマツ、スギともに減少する傾向を示しているのに対し、MOEではそれぞれ樹種によって異なっている。とくにヒノキ、カラマツでは梁せい範囲があまり広くなく、これらの結果のみからその影響を明確にすることはできないが、これら国産材の場合では低減係数の数値のみならず、未成熟材範囲等も考慮にいれた検討の必要性を示しているように思われる。なお、飯島<sup>14)</sup>はソ連カラマツ気乾材で、強度は梁せいの1/5乗に比例した減少傾向を示すとしている。

②MORの予測に関してはすべての樹種を問わず有効な因子と考えられるのはMOEのみであり、これを除くと他の視覚的因子すべてを考慮しても、多くの場合MOE単独の方が推定誤差は小さい。視覚的因子の中では節と比重が有効と考えられる。またこれらをMOEと組み合わせると推定誤差は効果的に減少する場合が多い。繊維走行の傾斜、年輪幅はMOEとの相関が高いこともあって、MOEを説明変数に採用したとき測定の必要はない。年輪幅は目視のみによるときには効果的である樹種が多いが、いずれも国産の心持ち材であり、未成熟材との関連(髄からの年輪数など)も考慮してみる必要が残され、この結果のみからは断定しにくい。また、単純に単相関係数のみから各因子の効果を判断すると、例えばスギの節のように、全く効果の認められない場合もあるので留意されるべきであろう。

### <等級区分法の検討>

次に以上の結果から、等級区分の指標として MOE、節および比重を有効と考え、等級区分方法として、目視および MOEによる機械的区分法の二種を採用した時の効果を検討した。その具体的な方法はここでは省略するが、ここでの結論は以下のように記されている。

①目視による等級区分では、JAS による区分因子のうち、繊維走行の傾斜、丸身、腐れなどについては無視している。結果からみると、各等級ごとの試料数が少ない場合もあるが、比率の上では3つの等級に概ねバランスよく区分可能と思われる。データ数がほぼ充足されたと考えられる区分については、1等相当材では現行の普通構造材に与えられている許容応力度以上の数値が期待できる。しかし、各等級の5%下限値(TL)の比率は樹種によってかなり異なるようであり、例えばスギでは特等相当材(VS)：1等相当材(V1)：2等相当材(V2)=1.07:1:1.00であり、節と比重によって等級区分したとしても、効果的な仕分けは難しいようである。逆に等級間の差が明らかな樹種にはベイツガ、ベイマツ、ソ連カラマツがあり、VS:V1は概ね1.3:1となり、節、比重のみによる区分でも効果的な等級区分が行える可能性があることが伺える。

この場合、規格では節位置、髓の有無については考慮されておらず、実験データでは国産材では心持ち材が大部分、外材では心去り材が高い比率を占めていると考えられるため、この結果から短絡的に節の効果と樹種特性を論じることには問題があり、節の位置を考慮に入れた検討を行う必要がある。それにしても、樹種を問わず各等級に対し単純に一定の許容応力度比率を採用することには疑問が残るところである。

②MOEによる強度等級区分では各等級間の差が、目視に比較してかなり明瞭になっており、1ランク上がるごとに20%程度ずつTL値が上昇していることがわかる。また、同一等級内のMOE、MORのばらつきも目視区分に比較して、かなり減少することからしても、その有意性が伺える。しかし、同一のMOEレベルでも樹種ごとにTL値は異なるようであり、各樹種一律の水準によって等級区分を行うことにはやや無理が感じられ、MORとMOEの回帰直線からは数グループの分類が可能と思われる。

### <その他の問題>

本書の当初の目的は、一応以上で全うしているわけであるが、このとき全国各地から収集された「スギ」のデータをめぐって「地域特性」の問題が浮き上がってきた。また許容応力度の誘導法についてもいくつかの示唆的な結果が出てきている。これらについては後ほど考えることにしよう。

## 3. 3 本書における<まとめと今後の課題>

本書では最後に<まとめと今後の課題>が記されている。これを要約する。

提出されたデータから得られた解析結果と考察は以上のとおりである。データが完備された状態にはなっていないため、現状では断定的にいけない部分も多い。本稿でのまとめと残された非常に多くの課題を以下に述べ、今後の研究の展開への参考としたい。

### <等級区分法>

等級区分法については、試料数の多い正角材を中心とした材にしぼり、節と比重による目視法とMOEを基準とした機械的区分法の2種を採用して区分を試み、各区分材の強度性能分布をASTMの手法にしたがって解析した。正割、平角および枠組壁工法用材については、

今後のデータの蓄積を待って再度検討する必要が残された。しかし、在来工法用製材の強度特性の概略は、かなり明らかとなったと考えられる。その結果、

①ここで試みた区分法では、MOE を基準とした機械的区分方法が樹種を問わず目視法より効果的であり、等級間の有意差が認められた。いくつかの樹種グループ区分の必要性なども感じられるが、いずれにしても本方法は、簡易な MOE の測定法を検討し、「廉価で、軽量で、わが国の実状にあったストレスグレーディングマシンの開発」によって実用段階に入るべきであろう。

②目視による区分の場合、樹種を問わず有効な指標と考えられるのは、比重と節と考えられた。しかし、節については育林体系、製材方法との関係から、同じ正角であっても国産材はほとんどすべてが心持ち材であるのに対し、外材（特に北米材）では心去り材が中心であり、この場合在来工法用 JAS による同等の節径比であったとしても、節の効果はかなり変わることが予想される。したがって、節については材断面における位置の復元と計算が望ましく、JAS 以外の外国規格（北米、欧州、ニュージーランド等）を適用した場合についても考慮しておく必要があると思われる。さらに、在来工法用材と枠組壁工法用材の評価方法の統一（後者の節の測定方法は、かなり問題が散見されるにせよ、前者と異なり、位置のファクターが盛り込まれている）をも展望しておくべきである。その他、含水率、材幅、材せい等の効果の検討も今後の課題である。

#### < 樹種・品種特性 >

樹種・品種によって強度特性（たとえば、MOR/MOE、節の効果など）がかなり異なることが明らかになっているように思われる。ここでは欠点を有する木材の強度を推定する一つの方法として重回帰分析を試みた。この方法では材料の特性を数値的に捉え、結果から適当な樹種・等級区分と強度値を与えることはできたとしても、樹種特性に対する明快な回答はでてこない。小松<sup>23)</sup>は、材料科学的に木材の強度性能を説明するため、

①欠点（節、繊維傾斜、割れ）を有する木材の強度性状を表現しうる数学モデルの設定

②材料定数等のパラメータの分布を考慮にいたした数学モデルによるコンピュータ・シミュレーションと実験的検証

③線形弾性破壊力学の実際応用

などによる解析方向を提案している。木材が不均質な生物材料である限り、こうした観点からのアプローチも不可欠である。今後の実験結果を含めて可能な限りデータを揃えたいうえで VISUAL GRADING 因子を再度検討することは、大きな課題であろう。

#### < 全国的な強度試験の実施とデータの取りまとめ >

許容応力度誘導方法については、別項に述べられているのでここでは取り上げない。しかし、等級区分は許容応力度と一体のものであり、規格の早急な制定と並行してとくに低品質側に着目した全国規模的な強度試験の実施が望まれる。また、そのためにはサンプリング方法を含め、実大材試験方法に何等かの公的規準を設ける必要がある。今回の調査によって明らかにされた問題をも考慮にいたした実験計画で全国的に行うことができれば、比較的近い将来には木材に対する強度的信頼性が得られる可能性が大きいものと思われる。

86年度の木材学会研究会<sup>23)</sup>で鈴木（遠山建築事務所）は「グレーディングで重要なことはその信頼度であると思う。また樹種区分だけではなく、産地別の指標なども整理されると設計側からは好都合である。」と指摘している。こうした設計側の要求に応え、建築

材料として設計にたえられる状況にすることは急務といえる。そのためにはやはり、今後とも全国的レベルで各地の機関での実験データを順次取りまとめ、解析していくことが重要である。

しかし、とくに国産材については、品種・産地を重要視するあまり、各林分ごとにサンプリングし、実大実験を行わなければならないとすれば、半永久的にこの仕事が続くことになるであろう。したがって、品種・産地のみにとらわれず、材強度を必要な精度で評価するための因子を選択することが先決であり、国産材の強度マップはそうした因子の組合せにより、林内または土場で非破壊的に行った結果を集約することによって可能となるように考える。

### 3. 4 本書で引用した文献

- 1) ASTM : D 2915-84, 1987 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS, PART 4, 567-582(1987)
- 2) ASTM : D 198-84, 1987 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS, PART 4, 108-134(1987)
- 3) ASTM : D 245-81, 1987 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS, PART 4, 135-158(1987)
- 4) G. B. WALFORD : FRI BULLETIN No. 15(1982)
- 5) G. B. WALFORD : FRI FOREST PRO. DIV. REP. No. FP/TE 37(1981) (unpublished)
- 6) 飯島泰男 : 日本建築学会大会梗概集, 構造Ⅱ, 1397-1398(1987)
- 7) 農林水産技術会議 : 枠組壁工法のための建築用木材の強度等級区分法確立に関する研究(1978)
- 8) 中井孝ら : 木材工業、39、235-241(1984)
- 9) 飯島泰男ら : 木材と技術、63、1-11(1985)
- 10) B. MADSEN : In-Grade Testing-Problem Analysis, F. P. J., Vol. 28-4, 42-50(1978)
- 11) 林業試験場監修 : 木材工業ハンドブック、186-187、丸善(1982)
- 12) USDA : WOOD HANDBOOK, 3-9(1974)
- 13) 鷺岡雅ら : 木材と技術、11、13-15(1972)
- 14) 飯島泰男 : 日本建築学会大会梗概集, 構造Ⅱ, 1265-1266(1986)
- 15) 建築学会 : 建築雑誌、1266、64-70(1987)
- 16) 日本建築学会 : 木構造設計規準・同解説、119-121(1973)
- 17) I. OROSZ : Some Nondestructive Parameters for Prediction of Structural Lumber, U. S. F. P. L. Rept, FPL 100(1968)
- 18) R. J. HOYLE Jr. et al. : CHARACTERIZING LUMBER PROPERTIES FOR TRUSS RESEARCH, METAL PLATE WOOD TRUSS CONFERENCE(1979)
- 19) H. BIER : The Effect of Defect Position on the Strength of Beams, NZ Journal of Timber Construction, 2-4(1986)
- 20) 佐々木光ら : 木材研究資料、17、192-205(1983)
- 21) 林昭三ら : 木材研究資料、18、81-92(1983)
- 22) 中谷浩ら : 日本木材学会大会要旨、79(1987)
- 23) 日本木材学会木材強度・木質構造研究会 : 1986年度研究会資料(1987)
- 24) 杉山英男 : 「木構造」彰国社(1971)
- 25) 中井 孝 : 木材工業、39、235-241 および552-556(1984)

#### 4. 構造用材料としての製材に関連したその後の研究

##### 4. 1 製材（とくにスギ）の強度データのその後の状況

前節で述べた「構造製材－強度データの収集と分析」のうちの「曲げ強度性能」に関する部分は実は筆者が書いたものである。今回、この研究会にレビューを提出するはめになり、いろいろと調べてはみたのであるが、やはり「これ」に戻ってしまった。「あの頃は随分バイタリティーがあったものだなぁ」というほど、まだ老けてはいないはずではあるが、こと製材に関しては、どうも現時点でこれ以上のものが書ける見通しが立たず、また、現在進められている種々の製材の研究は、どうしてもこれをベースに見てしまうので、あえてかなり長い引用をさせて頂いた次第である。

さて、こうした強度データは何の役に立つか、ということに対する筆者の感覚を予め示しておこう。

これらは、直接的には「構造用材としての強度的仕分けの基準（強度等級区分法）」を作る資料になり、「構造設計用の数値（許容応力度）」を誘導する根拠になる。たとえば、「構造用新JAS」中の節等欠点の制限基準は、実大材強度試験データをかなり参考にしている。そして、基準にしたがって決定された等級ごとにデータを分析、安全率等を加味して、設計用の数値が決められていくことになる。きわめて工学的な役立ち方である。

しかし、それだけではない。これは、木材の変形や破壊機構を、純学問的に考える一方の入り口でもある。他方は「組織・物理」といった分野になるであろう。こうしたものが統合されて、木材の物理的性質がより明らかにされていくことになる。さらに、木材自身の生物的生長の過程を知る重要な資料にもなる。すなわち、これらのデータは、材の先天的形質と環境・育林などの後天的影響が複合されて形成された立木の総合的な評価結果の一つなのである。

強度試験は医学でいえば「解剖」みたいなものである。製材強度データの収集という作業は確かに「研究」としてのインパクトには欠ける。そして、他のいろいろな要素、たとえば「製材する」「乾燥する」「加工する」といった諸技術や流通とのからみを考慮したシステム構築を常に頭に置いていなければ、「もったいない」とか「片っ端からポッキンポッキン折るだけで、どこが研究だ」などといわれてしまい、ただ大量のデータ生産をルーチンワークとして行っている、という評価にしかならない可能性も大きいのである。

ところで、製材の強度データの蓄積はその後随分多くなっているようであるが、その実態は把握されていない。木材学会での口頭報告だけをとってみても、各地域における研究機関では地元の固有樹種をサンプリングし、一定数を破壊試験に供しているようであるから、各機関でデータベースとしてストックされている数はさらに多いものと思われる。

このデータ集約の重要性は論を待たないであろう。少なくとも、いわゆる「生データ」をそのままの形で強制的に集約することには疑問があるものの、各機関で一定の報告が終わったものについては順次、全国共通のデータベース化し、たとえば「信頼性の解析」などへの展開の重要な資料として、誰でもが使える状態にすることは必要のように思う。現在の状況はこれらを集約する作業母体が不明確なこともあってか、データがかなりクローズドな状態になってしまっているような印象を受ける。何らかの改善措置が必要であろう。

一方、それとは別に、こうしたデータを学会等で発表する場合において最近随分気になることがある。それは、確かにデータ量を増やしていくことはどの時代でも重要なことで

はあるが、ある一定の量が蓄積されてきた現在では、製材研究に質的な向上も期待されはじめているのに対し、やはり事例研究的、調査のみ、後追いに終わっている発表が散見されることである。

質的な向上といえ、先ほどの「数学モデルによるコンピュータ・シミュレーション」や「線形弾性破壊力学」などが出てくるかもしれないが、とくにこれらにこだわらず、たとえば今、建築構造設計にあたっての大きな疑問となっている「圧縮-曲げ-引張の強度比率」「含水率の影響」「横方向の強度」「クリープ」「剪断」等々、課題には事欠かないわけであり、新しい展開を今後創っていくことが必要なのだと考えている。これらについては後に述べよう。

#### 4. 2 研究対象になっている樹種

研究発表のリストを見てもお分かりのように、表題中の樹種では「スギ」が圧倒的に多い。研究発表のみならず、スギについての様々な提言、事例は山ほどある。日本木材学会では1991年に「スギ研究分科会報告書」<sup>1)</sup>をまとめ、スギ並材研究会が1990年に「利用促進に関する資料集」<sup>2)</sup>を発刊している。また、強度研究会では冒頭に述べたように徳島、熊本で2回の、さらに「木材と水」「組織と材質」の両研究会<sup>3)</sup>でも鳥取で1回、合同で1991年にシンポジウムを行っている。この頃は確かにスギ・オンパレードだったようである。

カラマツについてはそれに比してかなり少ない。これが研究ターゲットになりそうなのは、北海道、長野、山梨くらいなのであり、研究者の数は、強度・材質の分野ではおそらく両手で余るのではないだろうか。長野で行った「The カラマツ-育林から建築まで-」シンポジウム資料は、カラマツ特集として、その数少ないものの一つである。ここでもいろいろ興味深い、たとえば、材の生長と材質、生育地域・育種など、あとで触れるスギでの課題と似たようなものが記載されている。しかし、研究組織自体がどうも北海道産と長野・山梨産に大きくブロック化されてしまっており、「カラマツ」の全体像としては、まだつかみきれていないように思える。

ヒノキ、アカマツ、エゾマツ、トドマツあるいは広葉樹といった他の国産材についての資料はさらに少ない。確かに蓄積量、分布の問題もある。ヒノキなど、分布が結構広いので、あっても良さそうなものなのだが、データがなくても十分売れているのか、研究としてはほとんどないのが実状である。

さらに蓄積量、分布だけからいえば、広葉樹も無視はできないし、無論、使用量からみるともっとも大事な輸入材のデータも寂しい限りである。スギが終わらないと、次の樹種に行けないわけではないのだろうが、現実にはかような状況下であり、ある程度ものが申せるのは、現在のところ「スギ」だけとっていいのである。したがって以下に述べる研究の現状は、どうしてもスギ中心にならざるを得ないのご了解を願いたい。

#### 4. 3 原木適性評価

立木・原木等に対する評価技術確立の課題はこの10年の間にかかなり明らかになってきたものであるといえる。

これは、いわゆる「川上問題」、すなわち国内の林業生産における「並材」の利用の方

向性に対する木材学側からの提案の一つでもあったわけである。このような「並材の適性を事前に評価し、可能な範囲で構造用材に適用する」といった戦略が実際に動き出せるとするならば、川上に対する現状認識が、ある意味では「林学」より「木材学」の方がより正確であった、という一つの証拠になるかもしれない。

こういった方向性を意図した研究が木材学会で報告されたのは、1987年で、当時静岡大の有馬（現東大農）・丸山（現鹿島）のグループである。ここでは、今ではごく普通の機械になってしまったFFTアナライザーによって原木の固有振動数を計測し、これにより動的縦ヤング係数を求める、といった手法が採用されている。その後、この方法が全国に蔓延(?)していき、最近ではハンディタイプの原木グレーディングマシンまで出現したのは周知の通りであろう。しかし、見落としてはならないのは、この原理を国内で最初に発表したのは祖父江<sup>4)</sup>であり、いわゆる木材物性の専門家としてのアイデアが、このような形に発展してきたものといえることができる。少し余談になるが、こうした経過をみると、木材のいろいろな物理的・化学的性質、たとえば光学的性質、電気的性質等を応用して強度性能評価を行うことも不可能ではないわけであり、この辺りのことは木材学会の第2期研究分科会報告書「自動計測の基礎と応用」<sup>5)</sup>に述べられている。

さて、このように原木を事前評価を行った後、さらにこれから製材、あるいは集成材用ラミナを採材して強度性能を実験的に把握し、原木でどの程度予測可能か、といった研究は、その後まさに各地で行われている。若干手前味噌ではあるが、今（1994年現在）秋田県で進行中の実験例では、県産スギを用いて大館ドーム用の集成材を製造した場合、どの程度の強度性能が期待できるか、の第一段階として、県内で生産された原木約800本の動的縦ヤング係数を計測したところである。そして適当と思われる丸太約250本から1,200枚のラミナを採材し、ラミナおよび集成材の強度性能をチェックすることになっている。まさに実用レベルに近づいてきたといえよう。その一例として原木の動的縦ヤング係数と各原木から採材した集成材用ラミナの静的縦ヤング係数の関係を図1に示す。

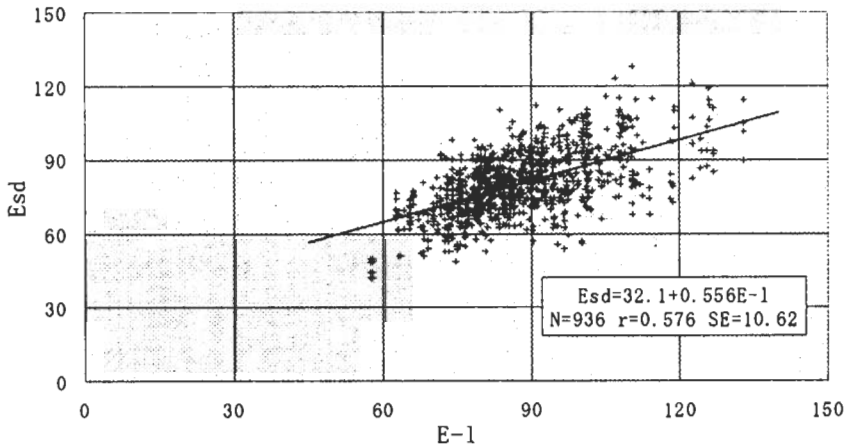


図1. 原木の動的縦ヤング係数 (E-1) と各原木から採材した集成材用ラミナの静的縦ヤング係数 (MC15%以下、Esd) の関係 (飯島ら未発表資料)

一方、こうした立木の強度特性を林木育種にフィードバックさせようとする研究もある。その一例が小泉・高田らのグループで、これまではカラマツの材質的な側面から検討して

きている<sup>6)</sup>。また、中谷は冠雪害の研究に付随して、長尾は製材強度との関連から、それぞれ立木(スギ)内の強度性能分布を確かめている。

このうちのスギでの結果を総合すると、中谷の行った富山県の挿し木品種であるボカスギでの研究例では、その小試験体MOEの実測結果をもとに計算すると、樹幹内のMOE分布は図2<sup>7)</sup>のようになっていると推定されている。これから見る限り、未成熟材の分布範囲は樹幹内で円筒形よりむしろ円錐形に近い形をしている。この結果は渡辺らが既に指摘<sup>8)</sup>していたことではある。なお、MORの樹幹内分布はかなり複雑である。これは比重に影響されるためか、髓付近のMORが大きい品種もある、との三輪の報告<sup>9)</sup>もあるなど、研究的課題は少なくないようである。

これらを実大材強度の点からいうと、長尾<sup>10)</sup>が実験的に確かめているように「番玉によって、すなわち上部にいくほど強度、とくにMOEが上昇する」ことである。そしてスギの場合、1番玉から柱材を採材しなかったのは、単なる慣習ではなく、強度性能を見越した経験的な知恵だったのかも知れない、とも考えられる。

これらはいずれも「材質分野」との境界領域ではあるが、ティンバーエンジニアリング的側面から見ても興味深いものといえよう。

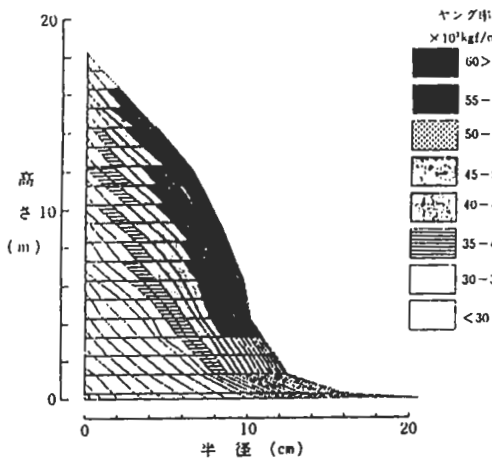


図2. ボカスギ樹幹内のヤング係数の分布<sup>7)</sup>

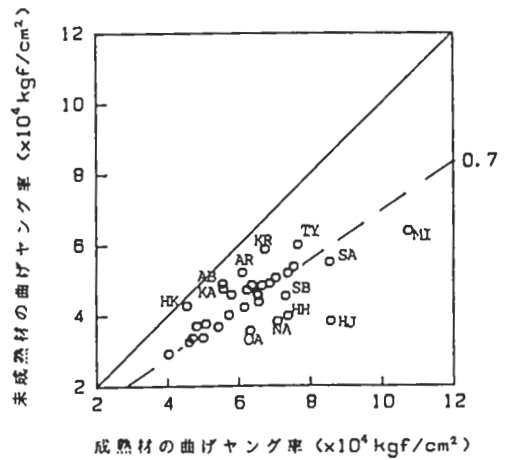


図3. 品種別の成熟材と未成熟材の曲げヤング率<sup>9)</sup>

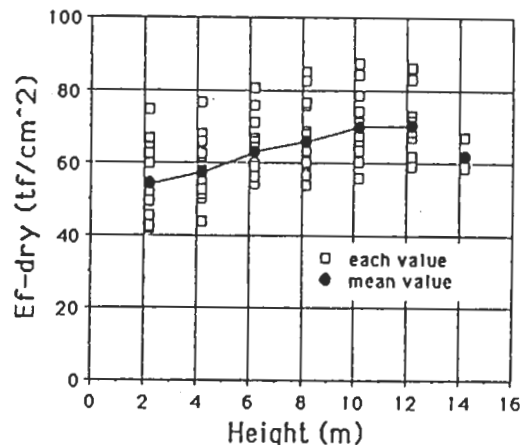
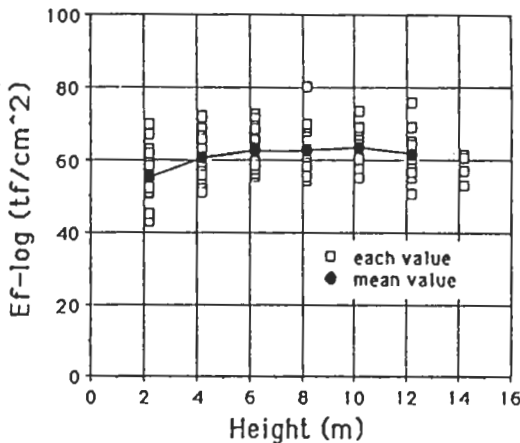


図4. スギ材の高さ方向のヤング係数の変動(左: 生材丸太、右: 心持ち気乾正角材)<sup>10)</sup>

#### 4. 4 製材の強度と産地特性

スギ実大試験体の強度的性能は、筆者が木材工業<sup>11)</sup>に取りまとめたことがある。ここでは、スギの10.5cm心持ち正角材の曲げ強度性能と強度等級区分法が中心に述べられている。そして、工学的な観点に限定すれば、これらデータから、強度等級区分法確立のための指針と、許容応力度誘導の根拠はかなり明らかになってしまっている、ともいえる。

その結論をいくつかの図表で示す。

表1. スギの等級区分例<sup>11)</sup>

	目 視 法		平均年輪幅	機 械 法
	節 径 比			
	最大	集中		
特等	20%以下	30%以下	5mm以下	100以上
1等	40%以下	60%以下	8mm以下	80以上100未満
2等	70%以下	80%以下	-	60以上 80未満
3等	-	-	-	40以上 60未満

表2. 等級区分材の強度性能<sup>11)</sup>

区分方法	節			平均年輪幅+節			MOE		
	MOR	TL	MOE	MOR	TL	MOE	MOR	TL	MOE
特等	427 (21.4)	281	76 (33.9)	455 (19.5)	311	87 (25.2)	524 (15.3)	387	112 ( 9.0)
1等	416 (21.6)	274	79 (27.8)	418 (21.1)	276	79 (28.6)	449 (14.7)	335	89 ( 5.9)
2等	409 (20.4)	277	83 (29.3)	364 (22.1)	244	66 (36.4)	391 (16.1)	285	70 ( 8.1)
3等	-	-	-	-	-	-	353 (16.3)	256	52 (11.2)

MOR: 曲げ強度, TL: 下限5%値, MOE: 曲げヤング係数, ( ) は変動係数 (%)

表1のような等級区分法(これは、構造用JASとは違っているが、導き出される結論は同様である)を設定し、それらによって材を区分した。結果は表2および図5のようになる。

ここで、許容応力度誘導の根拠となるのは、表2中のTL値(下限値)であり、等級区分がうまくいっているかどうかは、このTLとMOEの等級間の差で判断していく。たとえば「節」のみによる区分では、特、1、2等、それぞれにまったく差がないといってもよく、図5でもその分布はほとんど重なってしまっている。これから「少なくともスギ心持ち正角材に関しては、節による仕分けはほとんど意味をなさない」ということが分かる。そして、これに「年輪幅」を加えると差がやや明瞭になり、「MOE」を指標とした場合ではそれがさらに明らかになる。

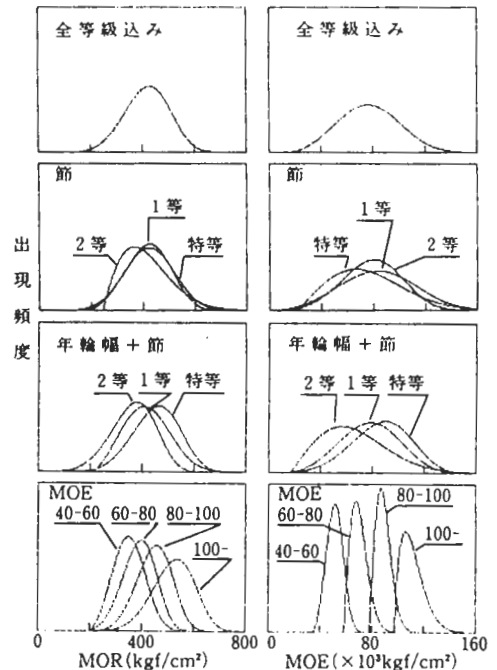


図5. 等級区分材の強度分布<sup>11)</sup>

したがって、ともかく全試料についてMOEを実測するのが現状ではベスト、それは技術的に無理だ、というなら年輪幅だけでも結構うまくいきそうだ、ということがここでの結論になるわけである。

このスギでの結果のみならず、他の樹種についてもMOEがMOR推定のよい指標になることは、かなり以前から世界的に周知の事実だったわけで、すでに北米ではディメンションランバーに対してMSR(Machine Stress Rated Lumber)規格が設定されているなど、木材の先進諸国ではMOEによる強度等級区分規格体系は、あって当然、という状況だった。したがって、このことをここであえて吹聴するまでもないことであろうと思う(なお、強度等級区分の問題に関しては、あとでもう一度検討する)。

ところで実大材の等級区分法を考える際、その事前の問題として、実大材の材質評価の指標について検討している。つまり、実大材の強度性能と物理的指標の因果関係の統計的分析である。この結果(表3)によると、MORに対してはMOEが最も有効で、その他では比重のみがやや有効、ついで年輪幅といったところであり、MOEに対しては年輪幅が利用できるということになった。そして、通常、有効と考えられている節、繊維走行の傾斜は無相関であった。

表3. 105mm×105mm心持ち正角材の重回帰分析結果 (n=488)<sup>11)</sup>

〈平均値、変動係数および単相関係数〉									
	Mean	CV(%)	Simple Correlation Matrix						
			ru	ARW	RN	SG	Cmax	MOE	MOR
ru	0.406	10.7	1.000	-0.106	0.046	-0.199	0.195	0.171	0.388
ARW	4.77	34.8		1.000	-0.891	-0.233	-0.048	-0.475	-0.270
RN	12.3	47.0			1.000	0.325	0.167	0.398	0.165
SG	18.8	77.9				1.000	0.038	0.058	-0.183
Cmax	38.3	29.7					1.000	-0.111	-0.230
MOE	78.1	25.7						1.000	0.690
MOR	409.6	19.9							1.000

〈MORを目的変数とした重回帰分析結果(変数減少法)〉						
重回帰モデル	説明変数	SE	R <sup>2</sup>	r	F比	
全変数	MOE,ru,Cmax,SG,RN,ARW	50.2	0.620	0.791	133.64	
	MOE,ru,Cmax,SG,RN	50.2	0.620	0.790	159.75	
	MOE,ru,Cmax,SG	50.2	0.619	0.789	198.81	
	MOE,ru,Cmax	51.6	0.600	0.775	241.92	
	MOE,ru	54.6	0.552	0.743	298.51	
目視変数のみ	ARW,SG,Cmax,RN	73.1	0.194	0.448	30.34	
	ARW,SG,Cmax	73.4	0.188	0.439	38.52	
	ARW,SG	75.8	0.133	0.370	38.48	
単一因子	MOE	59.0	0.475	0.690	442.50	
	ru	75.1	0.149	0.388	86.21	
	ARW	78.5	0.071	0.270	38.12	
	Cmax	79.3	0.051	0.230	27.09	
	SG	80.1	0.032	0.183	16.92	
	RN	80.4	0.025	0.165	13.66	

注: SE: 標準誤差(kgf/cm<sup>2</sup>), R<sup>2</sup>: 自由度調整済み決定係数, r: 単相関係数, ru: 含水率15%時比重, ARW: 平均年輪幅(mm), RN: 断面に含まれる完全年輪数, SG: 繊維走行の傾斜(mm/m), Cmax: JASによる最大集中節径比(%), MOE: 曲げヤング係数(10<sup>3</sup>kgf/cm<sup>2</sup>), MOR: 曲げ強度(kgf/cm<sup>2</sup>)

しかしMOEについてはかなりの問題点があることが認められた。MOEは構造設計上では一応平均値を用いる。全体のデータをプールすると平均で $70\sim 80\times 10^3\text{kgf/cm}^2$ とみられるから一応基準的な数値はでているわけであるが、その出現範囲は $25\sim 150\times 10^3\text{kgf/cm}^2$ 、変動係数約30%と他の樹種にみられないくらい大きなばらつきがあり、しかも分布を産地別にみるとかなりの差異が出てしまったのである。図6はスギとヒノキの産地別(県別データによる)強度特性の分布を示したものであるが、ヒノキではMOR、MOEとも地域差はそれほど明瞭ではないのに対して、スギではとくにMOEで、明らかな3つの分布に分けられることが示されている。工学的にみたとき、MOEがこのようにばらつくとすれば、まともに構造設計を進めるとき、とくに変形計算を重視する場合、材に何らかの品質表示がされていないと、まことに具合が悪いことになるわけである。

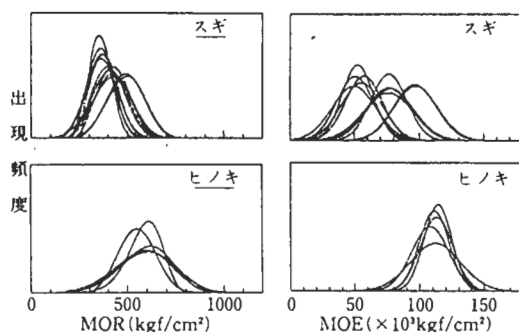


図6. 産地別強度特性<sup>1))</sup>

さらに、筆者は以前この現象を単純に「産地特性」と書いてしまい、これが産地別の材の優劣の指標に短絡化されるような印象を与えてしまった苦い経験がある。しかし、このことはその後のいくつかの研究と情報から以下のように解釈できる。

まず、供試材料、すなわち品種ごとに固有な生長特性の問題で、これに関し見尾<sup>12)</sup>は同一環境(3地点)で生育した九州の代表的な挿し木品種6種を選び、それぞれの年輪構造と材質・力学的性能を比較検討している。その結果、品種が材質に及ぼす影響は大きく、単純に「産地」で評価できるものではない、としている。また、高さ方向の変動については前述した中谷、長尾の研究がある。

つぎに供試木のサンプリングの問題で、先のデータのうちとくに強度の低かった材を調査した結果、これらにはいわゆる「間伐木」(年生等は不明)の一番玉で、しかも品種的には初期生長の旺盛なMOEが低い部類のものが多かったのであった。そして、後日、より上部から採材した材料の実験結果はこれほど低いものではなかった、という話も聞いている。

以上の事実はいうまでもなくスギの材料としての強度は単純に「産地」というより「品種」「生長度合い」「採材位置」等の因子が総合的に影響した結果によるものである。しかし、そうなればこうした因子を材質指標として各個の材料に表示できるものになるのであろうか、という実用上の疑問が出てくる。

#### 4. 4 無欠点標準試験体データとの関連と材質指標

かつて、わが国における木材強度研究は、無欠点標準試験体の挙動を中心とした進め方が主流であった。ところが、近年、工学的見地からの社会的要求が高まり、これに対応したデータ蓄積の推進が要請されことから、MOR、MOEだけのデータだけが先行し、それらの接点がよく分からなくなってしまったともいえる。

無欠点標準試験体の強度試験データは、かなり以前から大量に行われてきており、従来

の許容応力度等もこの数値をベースに決定されていたのである。そこに「許容応力度等は実大材の実験値を基準に決定するのを原則とする」という概念が導入されてしまったため、これまでのデータが無駄になってしまったような印象も受けるわけである。しかし、経済性や実験の手軽さからみて「無欠点標準試験体強度」からかなり精度よく誘導できるのであれば、それに越したことはないことは事実であろう。

ところがかなり大量に行われたはずの無欠点標準試験体データをまとめた資料は、これまではなかったのである。それがスギに関しては先述の「スギ分科会報告書」のなかで、鈴木はこれまでの各種報告を「スギ材生産と利用の橋渡し」的な意味をもつものと位置づけた上で、簡潔にとりまとめている<sup>13)</sup>。

ここでの標準試験体のとりまとめ結果は表4に示した。これらを、しばしば引用される「木材工業ハンドブック」<sup>14)</sup>での値(1966年以前のデータ)、MOR 650kgf/cm<sup>2</sup>、MOE 75x10<sup>3</sup>kgf/cm<sup>2</sup>からみると、MOR 579kgf/cm<sup>2</sup>、MOE 67x10<sup>3</sup>kgf/cm<sup>2</sup>からみると、幾分低い値となっている。これをどう評価するか、問題のあるところである。ただ、ここでは割愛したが、付属データによれば、そのばらつきは結構大きい。JIS試験法には採材部位の規定は一切ないわけであるし、状況からみて、間伐小径材からの標準試験体データが入っていた可能性は十分にあるので、これが平均値を下げていたと考えることができる。したがって、この結果のみから、最近のスギ自体の特性に変化があったと即断するのは早計であろう(なお、鈴木氏の私信によれば、彼も同意見であった)。

表4. 公表された資料によるスギ無欠点小試験体の材質<sup>13)</sup>

	最小値	最大値	平均値	n	重み平均	N
曲げ強さ(Fb)*	337	965	565	188	579	6835
圧縮強さ(Fc)*	117	525	318	141	310	4438
せん断強さ(Fs)*	52	138	79	69	88	2631
曲げヤング係数(Eb)**	19	98	61	189	67	6150
圧縮ヤング係数(Ec)**	31	100	68	33	81	307
比重	0.290	0.533	0.386	209	*:kgf/cm <sup>2</sup>	
平均年輪幅(mm)	0.40	7.60	3.73	105	** : × 10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup>	
(晩材)仮道管長(mm)	1.40	3.55	2.37	48	n : テストグループ数	
晩材率(%)	6.9	29.3	15.8	38	N : 推定試験片数	
樹齢(年)	10	570	35	201		
胸高直径(cm)	9	180	23	130		
樹高(m)	6	35	16	99		

表5. 各種強度値と基本的材質指標との相関係数<sup>13)</sup>

	Fb	Fc	Fs	Eb	Ec
比重	169 0.70 *0.83	136 0.60 *0.74	69 0.78 *0.77	170 0.36 *0.36	32 -0.03 ---
平均年輪幅	79 -0.46	89 -0.53	8 -0.30	78 -0.54	21 -0.66
仮道管長	20 0.60	31 0.10	---	22 0.77	30 0.82
晩材率	15 0.32	34 0.58	---	17 0.38	28 -0.06

註：上段の数値は相関を求めたテストグループ数

\*：試験片個数を考慮した場合の相関係数

鈴木はまた標準試験体データについて、強度性能と組織・物理的指標との関係を述べている。その結果（表5）は、概略的にいって、強度には比重、晩材率のような「物理的指標」、弾性係数には仮道管長、マイクロフィブリル傾角のような「組織構造的指標」が有効であり、これらに年輪幅、年輪数、樹高のような「樹木生長に伴う指標」が関連していることを示しているように思われる。

この結果を実大製材での結果、すなわち、

①MORに対してはMOEが最も有効で、その他では節と比重のみがやや有効、ついで年輪幅といったところである

②MOEに対しては年輪幅が利用でき、通常、有効と考えられている節、繊維走行の傾斜は無相関である

と、この標準試験体での結果と比べてみると、強度では両者とも比重（物理的指標）が比較的有効であることは変わりはないが、実大材になると、弾性係数を含め、さらに「樹木の生長に伴う指標」が大きい位置づけをもっているように思われる。ただし、ここでは仮道管長、マイクロフィブリル傾角のような「組織構造的指標」を実測し、それと実大材強度とを関連づけた研究例はまだ少ないため、「樹木生長に伴う指標」がそれを代表している、という見方も可能であろう。

さてこの実大材と標準試験体のそれぞれのデータをどのような形で統一化すればよいのであろうか、という問題である。

実大材については、先に少し触れたように、とくにMOEの分布傾向に3つの分類ができてしまった。この地域別に示した数字は材の強度的優劣ではない。むしろ、それぞれでサンプリングされたスギが品種、施業方法によって、現在どういった形質、性能になっているか、をこれらのデータが教えている、ということになる。

この実大材での産地別強度特性の違いは、品種、施業方法の差によるものであることは疑いはない。しかし、強度の品種、生育地域、施業方法との関連については、残念なことにいまのところ十分には分かっていない。鈴木はこれらの関連を検討したいいくつかの文献を紹介しながらも「品種の特徴については資料がある、地域特性は分析ができていない、施業との関連は資料がない」といっている。この現状評価については筆者も同感である。

しかし強度には「物理的指標」、弾性には「組織構造的指標」が有効であり、これらに年輪幅、年輪数、樹高のような「樹木生長に伴う指標」が関連している、といった、以上の一種の状況証拠は、材料の変形と破壊がそもそも異なったメカニズムによる現象であることを物語っているようである。そして、こうした木材の変形と破壊の挙動をその物理・組織構造から解明し、それらが樹木の生長に伴ってどのように変化していくか、が分かれば、「強度性能」と「品種」「生育環境」「施業」の関連が出てくるのだらうと感じている。このとき、実大材と標準試験体、それぞれの結果を結ぶデータは、先述の、中谷、長尾などは樹木の垂直、水平方向の強度変動について研究結果であろう。そしてこうした樹幹内の強度分布が分かれば、これから採材された製材品の強度性能をシミュレート可能になっていくものと考えられる。その一つの例が飯島<sup>16)</sup>によるものである

以上のようなアプローチは森林の生産機能、経済的側面からみて非常に重要な内容であるだけに、堤<sup>16)</sup>の提唱する、いわゆる「材質（Wood Quality）評価指標の確立」の観点から、できる限り共通のフォーマットに則った研究方向性が非常に感じる。この種のデー

夕は限定された人数、品種、数量で行われているかぎり、どこまで行っても「事例報告」的な位置づけから脱皮できないように思われてならない。ここでは木材生産と木材利用の有機的な連携の一例として、Kininmonth, J.A. (ニュージーランド) によるシナリオを、堤<sup>16)</sup>の資料から以下に引用しておきたい。

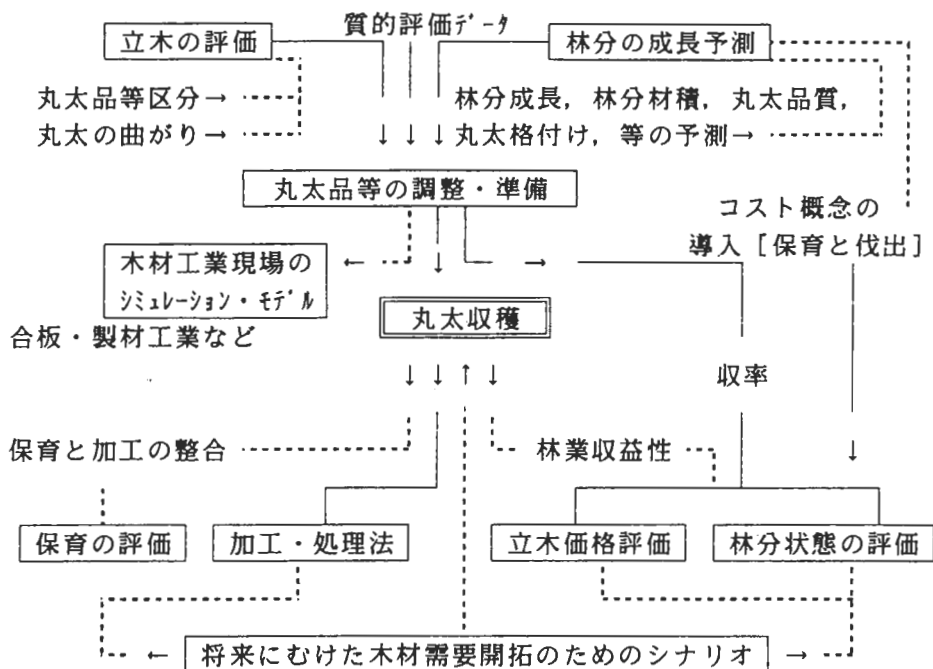


図7. 将来に向けた木材需要開拓のためのシナリオ [Kininmonth, J.A.: 九州大学農学部木材物理教室研究資料No.88-1(1988)、Wood Utilisation of Intensively Managed Forest Trees. / Model System of the Conversion planning Project Team. Proceedings the Conversion Planning Conference at Rotorua in New Zealand, 12-26(1986)]

#### 4. 5 スギ以外の樹種に対する課題

以上、主にスギを中心に製材の研究を概観してきた。

他の樹種については前述のようにかなり少ないわけであるが、強度的性質を中心とした分野では、北海道ではエゾマツ・トドマツ、カラマツ、岩手ではアカマツ、カラマツ、長野ではカラマツが、といった感じでその地方の主要造林樹種のデータ蓄積が進められている。

また輸入材に関しては最近のダグラス・ファー（ベイマツ）の低質化にも関連した発表があるが、絶対数としては多くはない。接合や構成要素の系統では供試材料としてごく普通に使用していることから考えてアンバランスな状況といえよう。

#### 4. 6 文献

- 1) 日本木材学会：スギ、日本木材学会第二期研究分科会報告書、5(1991)
- 2) スギ並材研究会：利用促進に関する資料集、(1990)
- 3) 日本木材学会：スギにかける！、木材と水・組織と材質研究会合同シンポジウム資料

集、(1991)

- 4) 祖父江信夫：振動による木材の弾性率の瞬間測定、日本木材学会レオロジー研究会シンポジウム要旨、3(1985)
- 5) 日本木材学会：自動計測の基礎と応用、日本木材学会第二期研究分科会報告書、1(1991)
- 6) 小泉章夫：カラマツの強度特性－立木の実験から言えること－、木材強度・木質構造研究会シンポジウム資料集、(1989)
- 7) 中谷 浩ら：林木の冠雪害に関する樹木力学的研究(第3報)強度的性質の樹幹内分布、富山林技セ研報、(1988)
- 8) 渡辺治人ら：未成熟材に関する研究(第2報)スギ樹幹内の比圧縮強度と比ヤング係数の分布、木材誌、14-5(1968)
- 9) 三輪雄四郎：スギの材質変動について、木材強度・木質構造研究会シンポジウム資料、(1990)
- 10) 長尾博文：スギの強度性能－樹幹内高さ方向の変動と品種について、同上
- 11) 飯島泰男：スギ並材の構造的利用に関するいくつかの視点、木材工業、44-6(1989)
- 12) 見尾貞治：スギの品種と木材材質、スギの材質変動について、木材強度・木質構造研究会シンポジウム資料、(1990)
- 13) 鈴木滋彦：強度的特性－標準試験体、日本木材学会第二期研究分科会報告書、5.スギ(1991)
- 14) 林業試験場監修：木材工業ハンドブック(改訂3版)、丸善(1982)
- 15) 飯島泰男：スギ材の強度性能の特異性に関して、建築学会梗概集、材料施工(1989)
- 16) 堤 壽一：「スギにかける！」戦略を材質論から考える、木材と水・組織と材質研究会合同シンポジウム「スギにかける！」資料集、(1991)

## 5. 再構成木材に関連した研究

ここではたて継ぎ材・集成材・LVL等、製材を再構成して生産された材料を「再構成材料(Reconstituted Wood)」と定義し、それらに関する研究動向に簡単に触れる。なお、合板・ボード類等の面材料もこの定義の範疇に入るものと思われるが、木材学会においては他部門で発表されるケースが多いので、ここでは割愛する。

### 5. 1 たて継ぎ材

フィンガージョイント等による縦接合した材(たて継ぎ材)に関する研究は、集成材用ラミナの生産を前提としたものが主流であったが、最近では「枠組壁工法構造用製材」に「たて継ぎ材」の規格が制定された1991年およびこれが改正された1993年に向けて主に森林総研の各研究者によって研究が進められてきている。この経緯、課題等は林<sup>1)</sup>が取りまとめている。たて継ぎ材に関しては接合部の加工形状、接着性能の良否が製品強度にきわめて著しい影響を及ぼすので、製品の信頼性の向上を目的とした内容をもつものが多く、工場生産材の実態調査、保証荷重試験(プルーフ・ローディング)、アコースティック・エミッション(AE)の適用などが試みられている。

## 5. 2 集成材・積層材

集成材はその定義（JAS）にしたがえば「ひき板または小角材をその繊維方向を互いにはほぼ平行にして、厚さ、幅および長さの方向に集成接着した一般材」をいい、ここでいう、ひき板（ラミナ）とは、厚さ5cm以下のいわゆる「板」のことで、これを厚さあるいは幅方向に4枚以上接着したものが「集成材」ということになる。したがって、釘等を用いて積層したもの、厚さ5cmを超えるもの、3層以下のもの「集成材」の範疇に入らない。

集成材では確率論、モンテカルロ・シミュレーションを応用して断面設計をする手法の研究が一定のレベルで完成している。これは小松<sup>2)</sup>が取りまとめているほか、林<sup>3)</sup>による一連の研究がある。

わが国の最近の集成材工業の現状は別項で述べられることになっているので詳細は割愛するが、構造用の中では大断面構造用の比率が高まり、それを用いた構造物が珍しくはなくなってきたこともあって、これまで大断面用としてふさわしくないとされていた国産材（これもスギが多い）を用いた場合の性能や異樹種材料との複合化による改質をねらった研究が増えてきている。たとえばダグラスファーを外層用としたスギ集成材（正確に言えば非JAS製品）が木材学会では飯島（秋田県）と小田（宮崎県）が発表しており、秋田県では実際に構造物に使用された例がある（なお建築学会では表層にジュラルミンを貼った合成梁の研究発表がされているくらいであるから、異樹種集成材といっても特段驚くには当たらない！）。

また、一般の柱用の未乾燥角材を積層数2～3の状態でもルト締め接着をして利用する、といった研究もいくつか見られる。これは集成材の範疇には入らず「接着重ね梁」<sup>4)</sup>というネーミングがされている。

## 5. 3 LVL・PSL・Iビーム等

LVLとは単板を集成材のように構成したもので、Laminated Veneer Lumberの略称である。JASではこれを「単板積層材」といつている。さらにこれをボード状にしたLVB（Laminated Veneer Board）の開発事例<sup>5)</sup>もある。また、PSLはParallel Strand Lumberの略称で、パララムといった商品名のものが市販されている。これは厚さ、幅数mm、長さ40～80mmといったエレメントを一方向に配列させ、接着剤によって厚板に成形するものである。

こうした新材料やこれらと合板ボード類、さらには非木質系材料を組み合わせたIビーム等の複合構成材料に関する研究にはいくつかあるが、木材学会の強度分野での発表はむしろ規格作りのための試験といった印象が強く、どちらかといえば建築学会関連の研究者の発想の方がよりダイナミックであるように感じられる。開発研究的なものの中で実用化に至ったものといえば張弦梁があり、この設計法については平嶋<sup>6)</sup>がまとめている。

## 5. 4 文献

- 1) 林 知行：たてつき木材、木材工業「エンジニアリング特集号」、47-11(1992)
- 2) 小松幸平：構造用集成材の強度と破壊性状－PartⅡ 任意グレードラミナで構成された大断面集成材の断面設計、木構造設計資料MT-2、住・木センター(1991)
- 3) 林 知行：確率モデルによる集成加工材料の性能予測（第1～2報）、木材誌34-11～

34-12(1989)

4) 平嶋義彦：接着重ね梁、木構造設計資料EL-3、住・木センター(1991)

5) 李 銓済、大熊幹章：低質国産造林木の有効利用(第1報)小単板から製造する新しい構造用板材料LVBの材質、木材誌、31-12(1985)

6) 平嶋義彦：張弦梁、木構造設計資料EL-2、住・木センター(1991)

## 6. 今後の課題

以上現状における木質材料、とくに「ティンバー・エンジニアリング」系の研究についてみてきた。少し「製材」それも「スギ」に偏りすぎたきらいはあるが、この10年間の発表件数からみて、研究蓄積がもっとも進んだ分野であるからやむを得ないであろう。では、今後もこのままで推移してよいのか、というと、かなり疑問符がつくことはすでにお分かりのことと思う。

そこで、つぎに8年前のPart-Iでの提案を受けた形で、今後の方向に対する筆者なりの提案をしてみたい考える。

### 6. 1 キーワード

まず、今後の木質材料関連で重要なキーワードとなりそうな言葉を探すとすれば、おそらく「信頼性設計」「エンジニアリングウッド」あたりになるであろう。しかしここで逐一解説することやめ、最近いろいろな解説記事が出ているのでこれらのうちの主なものを紹介するに留める。

#### ●木構造の信頼性設計

雑誌ウッドミック誌上には、最近友井氏(COFI)による「木構造の信頼性設計について」と題した講座が連載されている。また、林、神谷両氏(いずれも森林総研)も他の本、たとえば「木材工業(92.4~5.11)」、「住宅と木材(93.1)」などに書いている。今のところ日本ではこの3人の方の記事を読んでおけば、全体像がほぼつかめるであろう。

要は、荷重(外力)と材料強度(耐力)を確率的なものとして捉えて設計しようとすることであり、木構造設計の将来を語ろうとするには重要なキーワードを多く含んでいる。日本への本格的導入にはしばらく時間がかかりそうな気がするが、木質構造の国際的な潮流であることには違いはない。

#### ●エンジニアリング・ウッド

これに関する記事(代表的なものは「木材工業：エンジニアリングウッド特集」、92.11)も多くなった。ただしこの言葉は、各者各様の定義によることが多いとみえて、使い方が混乱しているので注釈が必要であろう。

現状における筆者の感覚としては、「エンジニアリング・ウッド：構造設計をして、普遍的構造技術体系の中で使用される木材や木質材料をいう」という定義がもっともふさわしいと感じているのではあるが、いろいろな説を拝聴してみると「これは和製英語なのであって<Engineering Wood>なる言葉はないのだ」という。さらに、これを英語でいうと<Engineered Wood>あるいは<Engineered Wood Products>という言葉になる、という話までは進んできたようである。このような定義論はいずれ収束するのだとは思いますが、少なくとも、これはカタカナでしか書けない単語ではあることは知っておくべきであろう。

ともあれ<エンジニアリング・ウッド>という新語はなかなか厄介である。その意図す

る意味からいって「構造計算にのる」とか「要求される強度性能を過不足なく発揮できる」木材というと、何となく分かったような気分にもなるのだが、それにしても何か釈然としないものがあるわけであり、その点では杉山英男先生の「構造設計体系への乗り入れを考慮して製品生産する一貫ソフトが用意されている木質材料」という核心をついた定義もあるように「構造設計ということ意識して生産された木質系材料」という、比較的単純な内容にしておいた方がよいように思っている。そこで、以下、かなり異論があることを承知した上で、この意味で用いるものとした。

したがって、この定義にしたがう限り、丸太・製材品であっても、強度性能、含水率、寸法精度、耐久性性能などのソフトウェアが明示され、保証されているのであれば、これらはLVLやOSBのような<Industrialized Wood>ではないにしろ、これらはその範疇に入ってくるものになるのである。

なお、こうしたエンジニアリングウッドを支える基礎技術については、上記「木材工業特集号」のなかで祖父江（強度に関する因子とその計測法）、信田（水分管理）、川井（ボード等の新しい生産技術）、吉田（接着とのその評価法）、友井（木構造の信頼性解析）といったわが国第一線の研究者が各項目の現状と課題を、それぞれ簡潔にレビューしている。一読されるとよい。

## 6. 2 構造設計関連

### 6. 2. 1 Part-Iの課題に対する成果

構造設計に関連したPart-Iでの提案、

- ・等級区分と許容応力度の一体となった統一規格の設定
- ・わが国の実状にあったストレスグレイディングマシーンの開発
- ・全国規模的なイングレードテストの実施
- ・ブルーフローディング試験の検討

に関しては、かなりいい点はもらえそうな感じがする。

まず「統一規格の設定」に関してはすでに2. 3に述べたようないくつかのJASの新設、改正があり、強度を担保した製品を製造できる仕組みは出来てきた。

「全国規模的なイングレードテスト」の実施については、森林総研はじめ公立の木材関係試験機関の充実もあって、以来着実にデータ蓄積が進んでいる。しかしここではそのデータが十分活かされきっていない点にも触れた。

「グレイディングマシン」と「ブルーフローディング」の問題では、規格にこうした考え方がかなり明確に盛り込まれ始めたこと、生産者がその重要性に気づき始めたこともあって、国産の実用機種も目立つ状況にある。しかし、機械能力と生産規模のギャップが随所に見られ、現在は「わが国」というより「生産の規模や品種の実状に見合ったこれらのマシーンの開発」という課題に置き換える時期であるといえよう。

### 6. 2. 2 今後の課題

つぎに、今後、新たな課題になりそうなものは何であろうか。

#### (1) データ蓄積に関連して

データ蓄積はやはり<着実>には進めていかなければならないだろう。ここでの問題に

は、

①実大材の実験方法とデータ解析方法の統一化

②4. 1に述べたような「データのクローズド状態」の解消  
があろう。

まず、①に関して、少し言及しておこう。

実大材の実験方法とデータ解析方法は、現在でもJIS化はされていない。しかし、周知の通り、たとえば集成材、LVL等ではJAS中に実験方法は明示されているため、これを準用することで特別の問題は起こらないのであるが、これらはあくまでも「製造規格」であって、木材に興味を持つ一般の材料研究者が、たとえば「書店」に行き手軽に購入できるものではない。製材では、日本木材学会の「木材科学実験書 I. 物理・工学編」（中外産業調査会）のなかに記述が見られるが、10年前の出版であり、現時点から見るとかなり補足すべき点が散見される。たとえば、試験時含水率の取り扱いなどである。

データの解析についても、最近のいろいろな提案を一度総括して見ることも必要である。やや、私事になるが、以前筆者のバグ入りプログラムがかなり広い範囲に蔓延した、という困った話もあるので、コンピュータ全盛期の今、ブラックボックス化してしまっているこれらの手法を、ある程度整理しておく必要がある、ということである。「FEM」や最近流行の「シミュレーション」に関しても同様であろう。

これらについては、先の建設省総プロ「新木造建築技術の開発」で「木材の機械的等級区分（案）」<sup>1)</sup>の中で触れられている。何分「（案）」の域を超えるものではないが、参考のため章末に引用しておいた。参考にされたい。

そういったことから、筆者は「木質材料の強度試験方法とデータの解析方法」あたりのネーミングで研究会内にWGをつくったらどうか、などと思っているのである。幸い研究会には「コンピュータウイルス」に汚染された若い研究者も多いようであるし、……。

②に関しては前に述べたとおりである。ただ一つだけ追加すれば、各種の作業委員会がいろいろなところで進められ、情報交換がされているのであるが、これらの委員会に参加していない第三者には、その内容が伝わって来なくなる、という現状である。こうした委員会の重要性はよく理解しているつもりであるので、その成果物の啓蒙普及には十分気を使うべきであろうと思う。

## （2）新材料の開発と実用化

つぎに、現在規格化されてはいないが、実際の構造物に適用可能な新しい材料が開発されたとき、これをいかに実用化していくか、といったやや実務に属する問題がある。

研究発表の中には、いわゆる「開発型」のものも少なからず含まれている。「開発したのだから、何らかの形で使ってほしい」というのが通常の間接的であろう。この場合、まず木質材料の材料強度決定に対する建設省の基本的考え方<sup>2)</sup>を知っておくべきであろう。

ここでは、

「（イ）木材および木質材料の材料強度は、実大材の強度試験による強度の統計的下限值とし、通常信頼水準75%における5%下限値を取るものとする。ただし、実大材のデータによらない場合は、無欠点小試験体のデータより、上記と同等以上の信頼が得られる方法により、強度の下限值を推定するものとする。

（ロ）集成材等の工場生産品においては、上記の強度試験によるほか、品質管理基準に

基づいて、材料の強度を決める」

といているのであるが、このことは、実大材の信頼に耐えうる実験データを基に計算した結果を用いれば、材料強度に既定の値以外のものを用いることは不可能ではない、つまり、施行令第95条に示されるように、ここでいう木材の「材料強度」は「強度試験の結果に基づき定める場合のほか」に対する数値であり、逆に、強度試験の結果から合理的に誘導されたものであれば、これを設計用に用いることは可能であることをいっているわけである。

ここでの「信頼に耐えうる実験データ」とは「客観的第三者がオーソライズされた手法によって出したデータ」ということのように、たとえば地方試験研究機関によるデータであっても、それが妥当な手法に則っていれば可能なのである。ただし、なんでもかんでも実験さえ行えばすべてフリーパスということでもない。この辺りのことは、建築行政、実務の方と仲良くなったうえで各地方ごとに検討されるとよいであろう。

### 6. 2. 3 文献

- 1) 建設省：「新木造建築技術の開発報告書（第2巻）構造設計に関する技術報告－機械的等級区分（案）」（1992）
- 2) 建設省：「新木造建築技術の開発報告書（第2巻）構造設計に関する技術報告－木材の許容応力度体系（案）」（1992）

### 6. 3 材料科学関連

#### 6. 3. 1 材料科学としての力学的性質

材料科学関連では、

- ・欠点（節、繊維走行、割れ）を有する木材の強度性状を表現しうる数学モデルの設定と材料定数等の分布を考慮に入れたコンピュータシミュレーション
- ・線形弾性破壊力学の実際応用

の2点が指摘されていた。

これまではほとんど「ティンバーエンジニアリング」としての内容に終始したようなので、ここでは「ウッドサイエンス」的な研究、すなわち「材料科学としての力学的性質」に関する研究について言及しておく必要がある。

最初の方にも触れたように木材学会の当研究会に対応する部門の発表件数は500を超えており、その6割近くが材料分野なのであるが、この内容をさらに上記の2分野に分類するとすればほぼ2：1の割合になっている。力学的分野に関連する発表は「物性」「材質」「合板・ボード」などの各部門でもいくつかあるようであるから、この種の研究発表の実数はかなりになるはずである。それらをざっと眺めてみると、「靱性」「変形」「破壊」「衝撃」「疲労」「割裂」といった、実に基本的な力学的単語と、一種の流行語でもある「AE」「FEM」といった横文字が目立つ。しかも試験体のサイズが数cmオーダー、場合によっては顕微鏡レベルである。

さて、筆者などは、先ほどのような実大スケールの材料の強度性能が研究課題の中心であるが、こうした細かいことにも結構興味をもっているし、力学的基礎や細胞オーダーまで戻らないと説明できない現象にはよく出くわすのである。たとえばMOEはなぜMOR

推定の有力な因子になりうるのか、とか、同じところに同じ径の節があってもなぜ強度低減率が樹種によって違うのか、とか、梁せいが大きくなると強度が下がってくるのか、とか、これまでも何度となく記述してきた事柄である。

ここでは、正角材MORのMOEの関係が樹種によって異なる結果を得た例のみを示しておこうと思う。工学的な見地からは、これを単純に樹種特性と割り切ってしまうことは、たやすい作業である。要するに3本の線にまとめてしまえばいいわけであるから。

しかし、材料科学としてはこれでは納得がいかないはずである。

スギの研究の推移から見て、ここでのスギの異常性は何となく理解できる線にまで達したように思えるのではあるが、他の樹種まで含めた統一的な木材の数学モデルのまだ時間がかかりそうである。わが国におけるこの種の研究では、未だに有節材に関する畑山<sup>1)</sup>のものを超えるものは出現していない、というのが実感である。

その他、切り欠き、せん断、クリープ、疲労などの問題も含め、研究課題には多くのものがあるが、この8年間の前の指摘に対するこの間の動きは、一部<sup>2) 3)</sup>を除いて十分であったとは言えない。ティンバー・エンジニアリングを標榜する研究者側からの今後のアプローチも含め、研究のさらなる進展を期待したい。

### 6. 3. 2 文献

- 1) 畑山 謙男：有節材の強度推定に関する研究、林試研報、326(1984)
- 2) 杉山英男ら：切欠きを持つ製材の曲げ試研資料と設計法についての寸考（第1～2報）、木材誌、36-6(1990)
- 3) 林 知行：構造用LVLの疲労特性、木材誌、35-7(1989)

### 6. 4 構造用集成材等の再構成木材関連

#### 6. 4. 1 構造用集成材

構造用集成材についての指摘は、

- ・集成材力学モデルの設定と強度性能のシミュレーション
- ・ラミナのプルーフローディング
- ・高温下での材料特性の把握と燃焼・耐火性能

であった。このうち的高温下での材料特性の把握と燃焼・耐火性能については、建設省総プロ「新木造建築技術の開発」のなかの「防火設計に関する技術の開発」<sup>1)</sup>としてとりまとめが行われている。

その他の2点については5. に述べた。構造集成材以外の再構成木材についても5. に述べたような状況にある。

これらの研究の成果から見て、再構成木材がいわゆるエンジニアリングウッドとして有



図8. 正角材におけるMORとMOEの関係<sup>1)</sup>

利な立場にあることが改めて確認されたされたのは事実である。しかし、その生産手法からいって、現場における品質管理の重要性が当然のごとく指摘されてされている。したがって、今後はこうした生産上の管理技術の側面からの課題も増えてくるものと思われる。

また、こうした再構成木材同士の組み合わせ、規格にそぐわない再構成木材に関する研究も増加してくるであろう。これらの場合も6. 2. 2(2)の視点があれば、実用化は不可能ではない、と考えている。

#### 6. 4. 2 文献

1) 建設省：「新木造建築技術の開発報告書（第3巻）防火設計に関する技術報告」（1992）

#### 7. おわりに

この1994年の夏の暑さは歴史に残りそうである。秋田も実に暑かった。

書き終えて見直すと、最初の意気込みはどこへやら、随分大事な文献を落としてしまったようである。若干の申し開きをしておけば、小生、今、県庁の一室におり、手元にある資料が少し、という状況だったのである。実に申し訳なく思う。これらは、近い将来（21世紀？）にあるだろう、このPart-Ⅲの執筆者に託すことにしたい。

最後に、最近書いた一文のさわりを転用してこの項を閉じたい。

\* \* \* \* \*

さて、筆者が秋田に来てから1年半にしかならないわけだが、時々、何かもう随分長くいるよう気分になることがある。

その理由の一つには「木材高度加工研究所（仮称）」と例の「大館ドーム」のそれぞれに関連する調査・研究があったことだろうと思っている。

研究の目的は「秋田スギのエンジニアリング・ウッド用材料としての方向性を把握するために」ということであり、今回はとくに大断面構造用集成材用の原材料として妥当と考えられる原木条件と、原木から得られる集成材用ひき板（ラミナ）の製材歩留まり、品質、乾燥特性などを調べているわけである。

この研究は継続中であり、いずれその結果は公表されることになろう。それまでお待ちいただきたい。ここで言いたいのは、なぜこのような研究が必要であるか、なのであるから。

先の2つの物件は大断面構造用集成材を主要構造部材とした建築物であり、いずれも、いわゆる「構造設計」という行為が絡んでいるものである。このとき、

- ・材料強度性能の想定
- ・荷重条件の想定（積雪／風／地震／自重）
- ・防災上の安全性確認

の3点を考慮して材料の仕様と断面が決められる。これは材料が木材のみの場合だけではなく、鋼であってもコンクリートであっても同様である。つまり「構造設計」に「普遍的」という形容詞をつけると、より明らかになるであろう。

ここで荷重条件はその土地の条件等によってほぼ一律に決定できるわけだが、材料が木質系材料であるときの強度性能の想定に関しては、基準上の許容応力度等の数値を使えば

それなりの設計ができるはずなのに、ことはそうたやすくはない。

一つは、高度な構造設計に必要な数値が抜けている。ドームの例では「風などで構造全体がねじられたときの抵抗性を示す指標（専門用語で言うところの「剪断弾性係数G」）」とか「時間経過に伴って、自重等によって構造が変形していく様子の予測（これもまた専門用語で言うところの「クリープ」）」などである。ほかにもある。

次に、木材を使うときにつきまとう一種の技術上の不安感がある。使用者側が言うところの「本当に基準どおりの製品が出てくるのか」とか「ばらつきが随分大きいんじゃないか」とか、といったものである。このことについても「木材であるから」といって大目に見られることはない。鋼とかコンクリートと同一レベルの品質管理（絶対的な品質性能、ではない！）が要求されるのは当然である。

3番目は蛇足だけれど、流通上の問題－コスト、納期等－である。「ほとんどの工業製品はたくさん買えば安くなるのに、木材に限っては逆になる」という、笑うに笑えない話もある。

われわれ木質構造・材料の研究屋としては、木質材料に「高度な構造設計に必要な数値が抜けている」という点をいかに補完していくか、が、今後の研究課題の中心の一つになってくるであろう。しかし、同時に「木材を使うときにつきまとう一種の技術上の不安感」の払拭、逆に言えば「信頼性向上」も現状では極めて重要な研究テーマであろうと考えている。そして、このことを新材料開発と並行して行われなければ、木材のエンジニアリング・ウッド化はないと思っている。

いろいろな方々とともに進めていきたい作業である。

木材学会強度・木構造部門発表リスト(1985-1994)

大分類	発表年	表 題	講 演 者	所 属
1	87	引張負荷時におけるエネルギーロス	A. Bordonne	仏. CTFT
1	91	Relationship Between Anatomical Structure and Mechanical Properties of Yellow Rattan ( <i>Calamus orientalis</i> )	Shuen Chao Wu	台湾大
1	86	疲労破壊に及ぼす波形の影響	SRI N. MARSOEM	名大農
1	88	チリ産ラジアータパイン材の力学的性能 曲げ強度	マイス A. ベ ンズエラ	高大農
1	87	異なる含水率における木材の破壊靱性と A E 特性	安藤幸世	農工大農
1	89	切欠き先端の組織構造と木材の破壊じん性及び A E 特性との関係	安藤幸世	農工大農
1	90	切欠き先端の組織構造と木材の破壊じん性一年輪内の弾性定数及び強度の分布との関係	安藤幸世	東大農
1	93	W E T - S E M 観察下における木材の微視的破壊過程	安藤幸世	名大農
1	87	節を含む木材の変動荷重下でのクリープ特性とその評価法	伊藤 晃	静大農
1	88	木材および木質材料の湿度変動下でのクリープ特性	伊藤 晃	静岡県
1	91	曲げによる保証荷重をうけたスギラミナ材の強度性能	伊藤勝啓	静大農
1	90	スギ平角の含水率と曲げヤング係数の関係	稲垣かおり	三三生
1	91	スギ正角重ねばりの曲げクリープ性状に及ぼす含水率の影響	稲垣かおり	三三生
1	85	通直集成ばりの曲げ性能	鷲海四郎	住木セ
1	87	正角材を用いた合成梁の曲げ試験 (II) 車知を用いた梁	鷲海四郎	住木セ
1	89	接着接合の強度評価に関する研究 (I) - その非破壊評価法 -	横澤幸夫	東大農
1	89	シミュレーションによる木材の強度の検討	岡崎泰男	東大農
1	90	破壊モデルによる L V L の強度の検討	岡崎泰男	東大農
1	91	積層材料の強度の確率論によるモデル化	岡崎泰男	東大農
1	91	木材の破壊と A E 発生との統一モデルの提案	岡崎泰男	東大農
1	94	木理の数値化 (II) 応力波伝播速度に対する木理の影響	岡崎泰男	東大農
1	91	木材の破壊条件に関する理論的考察 (V) 直方体せん断試験による有限小領域理論の検討	下谷嘉誉	京大農
1	89	木材及び木質床材の局部圧縮に関する研究	加藤耕輔	静大農
1	88	簡易圧縮法による接着重ね梁の製造と性能	河原崎 勉	静大農
1	85	アオダモ、ヤチダモ材の衝撃曲げ性能に及ぼす含水率の影響	海老原 徹	森林総研
1	86	針葉樹 L V L の強度性能 - スギ L V L の実大曲げ、引張試験 -	海老原 徹	森林総研
1	88	工場生産 F J ラミナの性能 (1) 保証荷重試験	海老原 徹	森林総研
1	90	F J 材の引張保証荷重試験	海老原 徹	森林総研
1	87	木材の曲げ疲労と破壊形	角野一樹	東大農
1	85	繰り返し荷重による床下地材の耐久性の評価 (II) - 曲げ疲労挙動について	岡野 登	岩大農
1	85	タイコ状断面を有した実大材の曲げ、座屈試験	丸山則義	静大農
1	86	実大材の曲げ強度に及ぼす節の影響	丸山則義	静大農
1	87	ティンバーエンジニアリング用材としての強度等級区分 (1) 衝撃音を用いた丸太および製材品の等級区分	丸山則義	静大農
1	87	スギ中目丸太から得られた等級区分ラミナによる集成材の曲げ性能	丸山則義	静大農
1	88	ティンバーエンジニアリング用材としての強度等級区分 (4) 構造用集成材ラミナを得るための丸太等級区分	丸山則義	静大農
1	88	工場生産 F J ラミナの性能 (2) 曲げおよび引張強度	丸山則義	静大農
1	89	構造用集成材の強度予測に関する研究	丸山則義	静大農
1	90	打撃音による枠組壁工法構造用製材の強度等級区分	丸山則義	静大農
1	92	鋼球の衝突による木材の変形	菊地輝彦	東大農
1	86	小径材を利用した構造材 (成型積層接着剤) の製造に関する研究	吉岡博幸	名大農
1	87	フィンガーカッターの形状が L V L のジョイント強度に与える影響について	吉岡博幸	名大農
1	88	拘束応力下でのくさびによる木材の割裂型切断	吉原 浩	東大農
1	89	拘束応力下でのくさびによる木材の割裂型切断とその解析	吉原 浩	東大農
1	90	木材の降伏、破壊条件	吉原 浩	東大農
1	91	木材の塑性域における応力-ひずみ関係	吉原 浩	東大農
1	92	木材の応力-ひずみ曲線に与える繊維傾斜角の影響	吉原 浩	東大農
1	89	構造材料としての徳島スギ中目材の強度予測	吉村武志	徳島林総セ
1	94	打撃法による製材の機械等級区分	吉田孝久	長野林総セ
1	85	木材の衝撃破壊におよぼす緩衝材の影響 (II) - 衝撃接触面に緩衝ゴムを介した衝撃曲げ疲労 -	宮川秀俊	九大農
1	92	打撃法によるスギ製材品のヤング係数の評価について	宮内正文	鹿大農
1	93	南九州産スギ材による大断面集成材の強度性能	宮内正文	鹿大農
1	87	湾曲集成材の安全最小曲率小径 (II) ベイマツ 30mm ラミナの場合	宮武 敦	森林総研
1	88	湾曲集成材の安全最小曲率半径 (III) 経年による残留応力の変化	宮武 敦	森林総研
1	91	A E による縦継ぎラミナの特性予測 (I) 引張応力負荷時	宮武 敦	森林総研
1	92	A E による縦継ぎラミナの特性予測 (II)	宮武 敦	森林総研
1	91	カラマツ実大材の強度 - 平角の曲げ強度 -	橋爪丈夫	長野林総セ
1	91	カラマツ実大材の強度 - 心去り正角の曲げ強度 -	橋爪丈夫	長野林総セ
1	92	カラマツ正角の非破壊的手法による強度性能評価 (2) 曲げ強度性能	橋爪丈夫	長野林総セ
1	93	カラマツ構造用大断面集成材ラミナの性能評価	橋爪丈夫	長野林総セ
1	93	有節ラミナの区間ヤング係数の接着による変化	具 滋民	北大農
1	91	流通過程におけるスギ柱材のヤング係数の変動	古沢 信	一条工務店

1	92	有節材の縦方向におけるヤング係数の変動	戸田正彦	北大農
1	91	宮城県産スギ材の力学的性質(Ⅱ)短柱縦圧縮強度など	荒武志朗	宮崎工試
1	92	撓積み状態における丸太の高次固有振動数からの製材品強度推定(Ⅰ)スギ足場板への適用の可能性	荒武志朗	宮崎工試
1	94	撓積み状態における丸太の高次固有振動数からの製材品強度推定(Ⅱ)スギ心持ち直角材への適用	荒武志朗	宮崎工試
1	91	接合具と接着剤を併用した、スギ・ヒノキ混用重ねばりの曲げ剪断実験	高橋雅充	日本工大
1	92	スギ材の乾燥経過にともなう曲げヤング係数の変化	高橋幹夫	山形林試
1	94	スギ背割材の乾燥特性と強度性能	高橋幹夫	山形林試
1	89	道産カラマツの原産地による材質差	高田克彦	北大農
1	91	道産カラマツの原産地による材質差(3)	高田克彦	北大農
1	93	カラマツの種子産地による材質変異(Ⅰ)ヤング係数について	高田克彦	森林総研
1	90	応力波伝播時間におよぼす欠点の影響	高田峰幸	静大農
1	92	立木・丸太における応力波の伝播	高田峰幸	静大農
1	85	早・晩材および一年輪の疲れ強さ	今山延洋	静大教
1	85	き裂試験片の疲れき裂伝ば挙動	今山延洋	静大教
1	86	疲れき裂伝ば挙動と疲れ強さに及ぼす年輪数(1~数年輪)の影響	今山延洋	静大教
1	87	静的繰り返し曲げによるシワとき裂の発生・成長	今山延洋	静大教
1	89	疲れき裂伝ば挙動と疲れ強さに及ぼす4・5・6年輪数の影響	今山延洋	静大教
1	92	静的繰り返し曲げによるしわとき裂の関係(Ⅲ)高速度、低負荷におけるしわとき裂の関係	今山延洋	静大教
1	93	集成材接着層が破壊き裂の伝播に及ぼす影響	今山延洋	静大教
1	94	接着剤の種類が破壊き裂の伝播に及ぼす効果	今山延洋	静大教
1	90	湾曲集成材の応力解析	佐々木康寿	名大農
1	91	SEM観察による木質材料の破壊過程	佐々木康寿	名大農
1	92	ドリフトピンを用いた木質梁の曲げ性能	佐々木康寿	名大農
1	93	切欠き木材の衝撃引張及び衝撃曲げ	佐藤 清	三大教
1	94	鋼球の衝撃による合板の損傷	佐藤 清	三大教
1	86	木材破壊じん性のAEによる解釈	佐藤敬一	農工大農
1	87	木質材料の非破壊検査へのAEの適用(Ⅱ)一接着不良の検出の可能性一	佐藤敬一	農工大農
1	88	AEによる有節材の強度評価	佐藤敬一	農工大農
1	89	木質材料のAE非破壊試験機	佐藤敬一	農工大農
1	90	木材のAEストレスグレーディング	佐藤敬一	農工大農
1	91	ベイツ材のAEグレーディングによる評価	佐藤敬一	農工大農
1	92	AE非破壊検査法を用いた合板の欠陥検出と評価(Ⅱ)	佐藤敬一	農工大農
1	93	スギ間伐材を用いた接着積層材の曲げ性能について	佐野郁夫	鳥大農
1	93	ハンディグレーディングマシンの開発	坂下一則	熊本県
1	89	徳島スギ足場板の強度特性	坂田和則	徳島林総セ
1	90	構造材料としての徳島スギ中目材の強度予測(Ⅱ)吉野川流域産スギ平角材の寒大強度試験	坂田和則	徳島林総セ
1	94	仮設用スギ足場板の安全基準評価(Ⅰ)徳島スギ足場板の強度分布	坂田和則	徳島林総セ
1	86	徳島スギ小径木の利用技術ークリスタル・ウッド(ソリッド・ランバー)の製造と曲げ性能ー	三井 篤	徳大教
1	94	三重県産スギを用いた集成材の強度試験	山吉栄作	三重林技セ
1	87	マイクロ波加熱による曲げ加工材の強度性能	山田順治	徳島工試
1	88	スギ構造用集成材ラミナの強度等級区分とその性能	山嶋道夫	静大農
1	93	PSL・構造用集成材の曲げ強度性能	山本幸雄	静大農
1	94	高信頼性集成材の製造方法の開発(Ⅱ)ベイツ材集成材の強度予測と実験による検証	山本幸雄	静大農
1	90	木材・木質材料のAE特性	四宮 潔	東大農
1	93	横波音波反射法による木材の探傷	秋鹿為之	戸塚電子
1	89	繰り返し負荷に対する木材の力学的応答	小原光博	名大農
1	90	繰り返し負荷に対する木材の力学的応答	小原光博	名大農
1	91	繰り返し負荷に対する木材の力学的応答	小原光博	名大農
1	92	繰り返し負荷に対する木材の力学的応答	小原光博	名大農
1	93	繰り返し負荷に対する木材の力学的応答	小原光博	名大農
1	94	繰り返し負荷に対する木材の力学的応答	小原光博	名大農
1	88	集成材の曲げ破壊係数に及ぼす梁せいの影響ー米国製ダグラスファー集成材の場合ー	小松幸平	森林総研
1	86	簡易曲げ試験による造林立木の材質評価ー樹幹ヤング係数の季節変動ー	小泉章夫	北大農
1	91	カラマツ若齢木の樹幹ヤング係数の経年変動	小泉章夫	北教大教
1	92	造林木3樹種の林分内の生長と樹幹ヤング係数の関係	小泉章夫	北教大教
1	93	有限小領域非線形破壊クライテリオンの提案ー一直方体2面せん断試験の理論解析ー	小池寿典	京大農
1	91	宮崎県産スギ材の力学的性質(Ⅰ)曲げ強度など	小田久人	宮崎林試
1	94	異樹種複合集成材の曲げ強度性能	小田久人	宮崎林試
1	93	AE法を用いた木材の塑性領域の特性	小田祐二	東大農
1	94	AE法による木材の破壊機構の研究	小田祐二	東大農
1	88	集成材の強度等級区分(Ⅳ)熊本県産スギラミナおよび集成材の強度等級	小邦 徹	熊本林研指
1	93	縦継ぎを持つ積層材の曲げ強度性能およびAE特性に及ぼす応力集中の影響	松藤 剛	農工大農
1	88	高温加熱時の曲げ性能(スギ材)	上杉三郎	森林総研

木材学会強度・木構造部門発表リスト(1985-1994)

1	85	木質複合梁の曲げ強さ	新見 紀	東洋ライウッド
1	87	接着層の破壊時に生ずる大振幅AEの原波形解析	森脇 隆之	島大農
1	86	合板ウェーブ釘打ち梁の耐力に関する実験的研究	杉山英男	東大農
1	91	材中央の引張側に切欠きを持つ208材の曲げ耐力と剛性	杉山英男	東理大工
1	92	スギ中目材における204材の強度測定試験	杉山正典	岐阜林セ
1	93	岐阜県産スギ材の強度測定試験	杉山正典	岐阜林セ
1	90	木質フローリングの疲労特性—合板台板複合フローリング	星 通	森林総研
1	91	構造用たてつき材の強度性能(2)—異樹種のたてつきについて—	星 通	森林総研
1	85	ラミナ厚と許容曲率半径について	生田晴家	北大農
1	87	新型FJの曲げ性能	生田晴家	北大農
1	93	スギおよびカラマツ圧縮木材の曲げ強度	西村 尚	都立大工
1	94	高信頼性集成材の製造方法の開発(Ⅲ)高知県産スギ集成材の強度予測と実験による検証	西内 豊	高知工技セ
1	85	FJラミナを用いた大断面集成梁の構造と曲げ試験	石井 誠	北林産試
1	91	非破壊検査法を用いた合板の欠陥検出とその評価	石橋 真	農工大農
1	90	周期的たわみ変化による応力等級区分機	千葉保人	森林総研
1	89	スロープFJの接合性能に及ぼすスロープ比及び接着剤の影響	川原重明	農工大農
1	86	スギ薄板積層はりの曲げ強度について	川口正夫	農工大農
1	92	木材加工における切削速度の影響—切削速度とみかけ剛性の関係—	川崎開太	農工大農
1	92	鳥取県産スギ材の力学的性質(Ⅰ)—心持ち角柱の曲げ強さなど—	川上敬介	島大農
1	85	大断面集成梁の曲げにおける寸法効果	前田典昭	北林産試
1	87	曲げ—ねじり複合振動による実大木材の曲げヤング率とせん断弾性係数の同時測定	祖父江信夫	名大農
1	88	打釘による木材材料の割れに関する破壊力学的検討	祖父江信夫	名大農
1	90	木材の破壊と圧電現象	祖父江信夫	静大農
1	92	水分応力を用いた木材の破壊靱性試験	祖父江信夫	静大農
1	93	有節のスギFJラミナの引っ張り強度	祖父江信夫	静大農
1	94	スギ厚板の曲げ・縦圧縮強度に及ぼす含水率の影響	蘇 錫輝	宇大農
1	87	ティンバーエンジニアリング用材としての強度等級区分(2)縦振動とそれに関する因子	早村俊二	静大農
1	88	ティンバーエンジニアリング用材としての強度等級区分(3)グレーディングマシーンによる製材品の区分	早村俊二	静大農
1	86	有節材の曲げに関する2・3の考察	増田 稔	京大農
1	88	木材の破壊条件に関する理論的考察(Ⅲ)	増田 稔	京大農
1	90	木材の破壊条件に関する理論的考察(Ⅳ)—イス型せん断実験対による有限小領域理論の検討	増田 稔	京大農
1	93	曲げ強度に及ぼす曲げ履歴の影響	増田 稔	京大農
1	85	木材中のクラック伝播に関する一考察	太田正光	東大農
1	86	衝撃をうける木材の変形挙動	太田正光	東大農
1	87	衝撃をうける木材の変形挙動(2)—粘性項を考慮した場合—	太田正光	東大農
1	88	欠陥をもつ木材の衝撃負荷による破壊の性状と破壊力学による検討	太田正光	東大農
1	89	木材の横引張り試験方法に関する2・3の検討	太田正光	東大農
1	90	くさびによる木材の動的割裂と静的割裂	太田正光	東大農
1	91	静的及び衝撃負荷をうけるカンチレバー型小試験片の破壊	太田正光	東大農
1	92	竜巻被害木の被害の種類と受けた風力の推定	太田正光	東大農
1	93	木材加工における切削速度の影響(Ⅱ)高速切削と低速切削によるせん断型の違い	太田正光	東大農
1	94	木材加工における切削速度の影響(Ⅲ)高速切断の数値シミュレーション	太田正光	東大農
1	85	米ツガおよびワラン横引張強さの寸法効果	大河平行雄	三大生
1	88	パーティクル・ボードのポアソン比について	大河平行雄	三大生
1	86	現場接着複合梁の耐力分布とその評価法	大石陸洋	静大農
1	93	複合応力下における木材の破壊靱性	大倉淳一	九大農
1	94	パーティクルボードの破壊靱性とAE特性	大倉淳一	九大農
1	88	木材のテーバーはりにおけるせん断破壊	大草克己	鹿大農
1	91	木材の十字型せん断試験体強度の寸法効果について	大草克己	鹿大農
1	86	低比重パーティクルボードのクリープ性能	瀧野真二郎	京大木研
1	92	木質系面材の部分片ばり疲労性能(Ⅱ)構造用パーティクルボード	瀧野真二郎	京大木研
1	85	各種複合梁の耐力と変形特性	池田深彦	静大農
1	88	集成材の強度等級区分(Ⅴ)ラジアータパインラミナおよび集成材の強度等級区分	池田深彦	静岡林技セ
1	91	曲げ保証荷重を施したスギ縦継ぎラミナの曲げ及び引っ張り強度性能	池田深彦	静岡林技セ
1	92	縦継ぎラミナを用いたスギ構造用大断面集成材の強度性能	池田深彦	静岡林技セ
1	90	応力伝播を用いたスギ精英樹の強度予測	池田深彦	静岡林技セ
1	92	熊本県産スギ製材の品種による曲げ強度特性	池田元吉	熊本林研指
1	91	打撃法によるスギ製材品の強度推定—正角材における木取り方法の影響—	池田元吉	熊本林研指
1	92	スギおよびヒノキ風害木の材質について	池田元吉	熊本林研指
1	85	在来工法構造用製材の応力等級区分(3)—スギ平角の実大曲げ試験—	中井 孝	森林総研
1	86	スギ丸太・たいこ材の実大曲げ試験	中井 孝	森林総研
1	87	スギ正角の実大引張試験	中井 孝	森林総研
1	88	206LVL実大材の曲げクリープ試験	中井 孝	森林総研
1	89	基本振動周波数測定による平角の曲げ強度性能の評価	中井 孝	森林総研

木材学会強度・木構造部門発表リスト(1985-1994)

1	90	実大材における動的ヤング係数と静的ヤング係数との関係	中井 孝	森林総研
1	91	スギ平角の曲げ強度に及ぼす含水率の影響	中井 孝	森林総研
1	92	スギ中径丸太の曲げ強度性能に及ぼす含水率の影響	中井 孝	森林総研
1	93	断続荷重による正角の曲げクリープ試験	中井 孝	森林総研
1	86	確率論に基づいた集成材の信頼性	中村 昇	東大農
1	87	応力波によるヤング率測定の可能性	中村 昇	東大農
1	88	工場生産FJラミナの性能(3)強度分布モデル	中村 昇	東大農
1	88	各種床梁の周波数分析	中村 昇	東大農
1	89	集成材における接着接合部の強度評価に関する一考察	中村 昇	東大農
1	90	確率論手法による木材の残留強度に関する研究(I)	中村 昇	東大農
1	91	スギ丸太材におけるヤング係数の地域性	中村 昇	東大農
1	91	丸太材における等級区分の違いによるスギラミナの材質	中村 昇	東大農
1	93	衝撃力を受ける木材の変形挙動	中村 昇	東大農
1	89	視覚的等級区分に関する研究一節周辺の繊維走行一	中村 嘉宏	静大農
1	94	スギを用いた構造用大断面集成材の製造(I)縦振動法による丸太の等級	中谷 浩	富山林技セ
1	87	湾曲LVL並びにそれを用いた湾曲パネルの曲げ性状	中島史郎	東大農
1	86	ピアノ用木材小部品のストレスグレーディング	長谷伸茂	日本楽器
1	89	スギ正角の曲げ・縦圧縮・縦引張強度特性値の相対的關係	長尾博文	森林総研
1	90	スギ造林木における曲げ強度性能の垂直分布一心持ち正角の場合	長尾博文	森林総研
1	91	同一林分から得られたクモトスギの実大強度	長尾博文	森林総研
1	92	同一林分内で生育したスギクロンの曲げ強度性能	長尾博文	森林総研
1	93	スギ正角の曲げ強度性能に及ぼす含水率の影響	長尾博文	森林総研
1	94	スギ正角の縦圧縮強度に及ぼす含水率の影響	長尾博文	森林総研
1	94	スギ造林木の力学的性質に及ぼす間伐の影響についての予備的検討	長尾博文	森林総研
1	88	針葉樹製材の強度性能について(II)スギ主伐材の曲げ強度	津島俊治	大分林試
1	86	飼木式すかし柱の曲げ屈曲解析	辻野哲司	岩大教
1	88	釘接合された集成材の剪断性能	辻野哲司	岩大教
1	94	矩形切欠きを持つ木材梁の比例限度荷重	辻野哲司	岩大教
1	88	超音波、弾性波によるスギ実大腐朽材の強度性能の評価	田中俊成	森林総研
1	89	各種非破壊試験による縦引張り強度の推定一スギ厚板への適用一	田中俊成	森林総研
1	90	各種非破壊試験によるヒノキ正角の曲げ・縦引張・縦圧縮強度の推定	田中俊成	森林総研
1	92	カラマツ正角の非破壊的手法による強度性能評価(1)縦引張強度性能	田中俊成	森林総研
1	93	局部的劣化材の残存強度評価のためのサーモグラフィ法による劣化箇所の検出	田中俊成	森林総研
1	94	スギ厚板における曲げ・縦圧縮・縦引張強度の縦・たわみ振動法による非破壊的評価	田中俊成	森林総研
1	88	マレーシア産早生樹を利用したLVLの強度的性質に関する研究	都築一雄	名大農
1	88	アカマツ集成材の強度性能一ラミナの節と曲げ性能一	東野 正	岩手林技セ
1	90	アカマツ材の強度(I)平角材の曲げ強度	東野 正	岩手林技セ
1	94	アカマツ材の強度(V)正角材の新JAS等級別曲げ強度性能	東野 正	岩手林技セ
1	92	円形断面鋼棒による木材(集成材)の面圧性能に関する研究 面圧性能に及ぼす鋼棒直径の影響	藤田 誠	愛媛林試
1	93	円形断面鋼棒によるLVLの面圧性能	藤田 誠	愛媛林試
1	88	間伐材からの中空柱材を用いた接着梁の曲げ試験	藤田晋輔	鹿大農
1	85	間伐小径木で製造したLVLをフランジに用いたIビームの曲げ性能	徳田迪夫	東大農
1	87	三重県産スギ、ヒノキの強度性能	徳田迪夫	三大生
1	94	人工知能による集成材ラミナの品質等級区分の試み	栃木紀郎	筑大農林工
1	92	最外層にLVLを用いた接着重ねばりの曲げ特性	内迫貴幸	三大生
1	93	スギ中径材の樹幹内における強度及びヤング係数の変化特性	板垣直行	東北大工
1	85	実大構造用材の強度(III)	飯島泰男	富山林技セ
1	86	実大構造用材の強度(IV)一線形重回帰分析法による曲げ強さ予測の試み	飯島泰男	富山林技セ
1	88	実大構造用材の強度(V)スギ心持ち材における簡易等級区分法	飯島泰男	富山林技セ
1	88	実大構造用材の強度(VI)節の評価とMOR下限値におよぼす試験体セットの影響	飯島泰男	富山林技セ
1	89	スギ製材の曲げ強度特性(I)実験データからみたMOR-MOE関係の特異性	飯島泰男	富山林技セ
1	89	スギ製材の曲げ強度特性(II)成長特性を考慮した曲げ強度性能のシュミレーション	飯島泰男	富山林技セ
1	90	ベイマツ平角材の曲げ強度試験	飯島泰男	富山林技セ
1	91	能登産ヒノキアスナロ材の曲げ強度性能	飯島泰男	富山林技セ
1	92	並列曲げ部材の許容応力度一シュミレーションによる検討一	飯島泰男	富山林技セ
1	94	スギを用いた構造用大断面集成材の製造(II)集成材の強度性能評価	飯島泰男	秋田県
1	91	スギ製材品の丸太段階での強度の推定	菱田重寿	愛知林セ
1	92	スギ心持ち正角材の乾燥に伴う曲げ強さの推移	菱田重寿	愛知林セ
1	94	I型スギ集成梁の曲げ強さ	菱田重寿	愛知林セ
1	94	有節板の曲げ	福原敬彦	宇大農
1	90	集成材平行弦トラスの曲げ性能	福留重人	鹿児島工技セ
1	90	黒竜江省産材を用いての応力等級区分	平川泰彦	北大農
1	85	合板強度推定モデルと実験による検証	平嶋義彦	森林総研
1	87	正角材を用いた合成梁の曲げ試験	平嶋義彦	森林総研
1	89	張弦梁の曲げ試験	平嶋義彦	静大農

木材学会強度・木構造部門発表リスト(1985-1994)

1	94	高信頼性集成材の製造方法の開発 (I) 力学モデルおよび確率モデル	平嶋義彦	静大農
1	88	木材の力学的挙動と年輪構造一縦圧縮荷重と関連させて一	北原龍士	宇大農
1	85	F J部の引張り疲労特性	本橋健司	建研
1	87	スギ若齢木からの平割材内における曲げ弾性係数むら	又木義博	九大農
1	90	立木・丸太材の弾性波の伝達経路	名波直道	東大農
1	91	応力波によるスギ立木の材質測定	名波直道	東大農
1	85	名古屋駅地下杭の強度試験	木方洋二	名大農
1	85	合板 (LVB) の曲げ強度及び引張強度に及ぼす縦つぎ部の影響(II)一破壊力学による解釈一	李 銓濟	東大農
1	86	合板 (LVB) の曲げ強度の及ぼす単板縦継ぎ部の影響 (III)一スカーフジョイントについて一	李 銓濟	東大農
1	94	各変数に適合する分布モデルを用いた信頼性解析	李 銓濟	ソウル大
1	87	圧縮による細胞壁の変形	林 弘也	琉大農
1	88	圧縮による細胞壁の変形 (II)	林 弘也	琉大農
1	89	圧縮による細胞壁の変形 (III)	林 弘也	琉大農
1	90	圧縮による細胞壁の変形 (IV)	林 弘也	琉大農
1	91	圧縮による細胞壁の変形 (V)	林 弘也	琉大農
1	85	針葉樹LVLの動的性能 (1)一スギおよびベイツガLVLの疲労特性一	林 知行	森林総研
1	86	針葉樹LVLの動的性能 (2)一スギLVLの疲労特性に及ぼす諸因子一	林 知行	森林総研
1	87	針葉樹LVLの動的性能 (3)一衝撃曲げ性能一	林 知行	森林総研
1	89	確率モデルによる集成加工材料の性能予測 (1) MOEの確率分布	林 知行	森林総研
1	89	確率モデルによる集成加工材料の性能予測 (2) 5プライ集成材の強度予測	林 知行	森林総研
1	90	確率モデルによる集成加工材料の性能予測 (3) 視覚区分されたラミナで構成された5プライ集成材の強度予測	林 知行	森林総研
1	91	確率モデルによる集成加工材料の性能予測 (4) 5プライ集成材の引張強度分布	林 知行	森林総研
1	92	2プライ積層材の強度特性 (I) 引張強度の分布	林 知行	森林総研
1	93	2プライ積層材の強度特性 (II) フラットワイズ方向の曲げ強度	林 知行	森林総研
1	94	低質ベイツガラミナの曲げ・引張強度特性	林 知行	森林総研
1	93	スギ丸太から製材したタイコ材, 平角および正角の曲げ強度性能	鈴木 登	宮城林試
1	85	木材のねじりせん断強さにおける寸法効果について	鈴木直之	三大生
1	86	曲げ試験による面内せん断じん性値の測定一有限要素法による解析一	鈴木直之	三大生
1	88	ねじり試験によるせん断弾性係数GRTの測定	鈴木直之	三大生
1	92	複合モード下における破壊条件式の誘導 (モードIとモードIIの複合モードの場合)	鈴木直之	三大生
1	93	切欠きをもった木材はりの曲げ破壊	鈴木直之	三大生
1	88	積層材の曲げ強度性能に及ぼすバットジョイントの影響	下 照燾	農工大農
1	89	バットジョイントを持つ積層材の曲げ強度性能とAE特性	下 照燾	農工大農
1	91	バットジョイントを持つ積層材の曲げ強度性能と変形過程における応力集中及びAE特性	下 照燾	農工大農
1	94	木材の曲げ弾性率への荷重速度の影響	養 春達	九大農
1	87	木材の固定支持条件に関するFEMによる検討	澤田 豊	京大農
2	87	機械プレカット部材による仕口の強度性状	安藤直人	東大農
2	87	家具用LVLの接合性能	遠谷良太郎	鹿児島工技セ
2	92	スギ大断面集成材のラグスクリー接合耐力	遠谷良太郎	鹿児島工技セ
2	93	ドリフトピン接合の先孔クリアランスと接合耐力一スギ集成材について一	遠谷良太郎	鹿児島工技セ
2	89	コネクタを用いた接合部の耐力試験	鷲海四郎	住木セ
2	90	自動釘打ち機と釘耐力	鷲海四郎	住木セ
2	91	接着剤充填による棒鋼一集成材接合部の接合耐力に関する研究 (1) 引張	鷲海四郎	住木セ
2	92	接着剤充填による棒鋼一集成材接合部の接合耐力に関する研究 (2) 縁距	鷲海四郎	住木セ
2	94	LVL接合部のボルトおよびドリフトピンのせん断実験一鋼板挿入式接合	鷲海四郎	住木セ
2	90	接着接合の強度評価に関する研究 (II)一非破壊評価と強度との関係一	横澤章夫	東大農
2	93	釘の一面せん断試験における降伏耐力及びすべり剛性の検討	岡部 実	ベターヒック
2	85	木質構造体接合部の強度と破壊機構 (2)一留継ぎの強度的性質一	加藤幸一	群大教
2	93	木材接合部の破壊時に生じるAEについて	加藤幸一	群大教
2	90	弾性領域から塑性領域の荷重一変形挙動の表示方法一機械プレカット仕	加藤和夫	イビデン
2	87	低比重パーティクルボードの釘接合について	関野 登	岩大農
2	88	低比重パーティクルボードの釘接合せん断耐力に及ぼす含水率変化の影響	関野 登	岩大農
2	89	接着剤を併用したラグスクリー接合部のせん断耐力	宮越光豊	三大生
2	89	現場接着用一液型ウレタン樹脂接着剤の強度発現に及ぼす温度の影響	宮村雅史	建研
2	90	複合接合の強度特性一ラグスクリーと接合との併用効果	宮村雅史	建研
2	91	複合接合の強度特性 (II)	宮村雅史	建研
2	94	スギ大断面集成材による柱脚部の接合について	宮内正文	鹿大農
2	93	FRP板挿入ガセット接着接合 (II) 集成材の継手・仕口の接合効率	宮武 敦	森林総研
2	92	接着併用釘剪断接合についての実験的研究 (N50, N90, SN50, SN90の場合)	居上信行	豊橋技科大
2	93	接着併用釘剪断接合の変形挙動と耐力式について	居上信行	豊橋技科大
2	91	円形断面鋼棒による木材の面圧強度ならびにめり込み挙動に関する研究 (I) 最大面圧応力におよぼす繊維傾斜角, 端距離の影響	原田真樹	森林総研
2	92	円形断面鋼棒による木材の面圧強度ならびにめり込み挙動に関する研究 (II) めり込み特性におよぼす荷重角度, 比重の影響	原田真樹	森林総研
2	93	腰掛けあり接合による木造軸組の構造強度	原田真樹	森林総研

木材学会強度・木構造部門発表リスト(1985-1994)

2	94	正弦波加振および静的負荷繰返し加力に対する接合部の挙動	原田真樹	森林総研
2	92	木質材料及び接合部のクリープとMechano-sorptive変形 (I) 集成材LVL及びその接合部	洪 淳一	東大農
2	93	木質材料及び接合部のクリープとMechano-sorptive変形 (II) モーメントが作用するLVLの釘接合部について	洪 淳一	東大農
2	94	木質材料及び接合部のクリープとMechano-sorptive変形 (III) ドリフトピン接合部のクリープ特性	洪 淳一	東大農
2	88	メタルプレート・コネクターを剪断形式に用いた木構造接合部実験報告	高橋雅充	日本工大
2	89	プラスチック・ボルトを用いた木構造接合部の剪断実験報告-1	高橋雅充	日本工大
2	90	木ネジ接合における木ネジの所要長さ等に関する実験的検討	高橋雅充	日本工大
2	94	乾湿繰返し環境下における釘引抜耐力の変化	高林雅人	東大農
2	86	老化した釘接合部のせん断試験	今村浩人	森林総研
2	86	木造仕口の寸法と接合強度-長さ差の場合-	佐々木康寿	名大農
2	86	仕口接合部の圧縮変形挙動の解釈	佐々木康寿	名大農
2	93	木造プレカット仕口の接合強度特性	佐々木康寿	名大農
2	91	軸ボルトによる構造用集成材の接合 (1) ボルト孔を有する構造用集成材の製造と性能	佐久間博文	東大農
2	92	軸ボルトによる構造用集成材の接合 (2) 縦継ぎと仕口の接合効率	佐久間博文	東大農
2	93	軸ボルトによる構造用集成材の接合 (3) 有孔集成材における軸ボルト効果	佐久間博文	東大農
2	89	ラグスクリューの強度特性	佐藤雅俊	建研
2	91	204サイズLVLにおける鋼板添板式ボルト接合部の耐力試験	坂田和則	徳島林総セ
2	94	木質材のボルト締結について-吸脱湿にともなう緩和挙動-	雑賀伸浩	九大農
2	86	メタルプレート及び合板ガセット接合部の半剛節挙動と剛性係数	三浦伸二	名大農
2	93	鋼板挿入または鋼板添え板におけるドリフトピン・ボルト・ラグスクリュー接合の強度性能比較	山吉栄作	三重林技セ
2	92	木ねじによるパーティクルボードの接合性能-疲労過程における強度変化の振動法による評価-	山中博嗣	九大農
2	94	柱-梁2方向ラーメンを想定したエンドプレート型接合部の静的正負繰返し加力実験	山中勇司	山佐木材
2	92	繰り返し荷重下における木材と合板の釘接合性能	若島嘉朗	北大農
2	93	木造軸組機械プレカット用の新しい継手接合法	小笠原和彦	能開大
2	94	木造軸組機械プレカット用の新しい継手接合法 (II) -実大試験-	小笠原和彦	能開大
2	85	シアプレートコネクターを用いた集成材剛節接合部の剛性と耐力	小松幸平	北林産試
2	89	鋼板添板釘打ち一面せん断接合の許容耐力	小松幸平	森林総研
2	92	CAD-CAMシステムによる極小径ドリフトピン接合部の曲げ性能	小松幸平	森林総研
2	92	Big finger jointによる大断面集成材の現場接着に関する研究-集成材から切り出したBFJ接合部の引張強度-	小松幸平	森林総研
2	92	集成材モーメント抵抗接合法の改良とそのラーメン構造物への適用	小松幸平	森林総研
2	93	集成材ラーメン構造におけるガセット板接合型モーメント抵抗接合 (1) 設計法の提案	小松幸平	森林総研
2	94	エンドプレート式接合による集成材継手の正負繰返し加力実験	小松幸平	森林総研
2	94	集成材ラーメン構造におけるガセット板接合型モーメント抵抗接合 (2) 接合具1本の耐力と接合全体の耐力の関係	小松幸平	森林総研
2	90	母材と同等強度に設計したスギ心持ち材継手の引張試験	神谷文夫	森林総研
2	93	各種接合具による接合部の履歴特性の特徴について	神谷文夫	森林総研
2	93	LVLを用いた釘打ち接合部のモーメント抵抗	杉山英男	東理大工
2	85	タッピング形インサートの強度性能 (3) -パーティクルボードにねじ込んだ場合について-	赤松 明	能開大
2	88	側材に鋼板を用いた木ねじ接合部の一面せん断耐力	赤松 明	能開大
2	90	側材に鋼板を用いた木ねじ接合部の一面せん断耐力とせん断変形	赤松 明	能開大
2	91	側材に鋼板を用いた木ねじ接合部の一面せん断性能-木ねじ間隔及び本数の影響	赤松 明	能開大
2	85	木質構造の継手・仕口に関する研究 (1) -部分横圧縮強さについて-	川元(黒田)紀雄	森林総研
2	86	木質構造の継手・仕口に関する研究 (2) -部分横圧縮の解析-材長・材せいの影響-	川元(黒田)紀雄	森林総研
2	87	木質構造の継手・仕口に関する研究 (3) 部分横圧縮応力-変形曲線の推	川元紀雄	森林総研
2	88	機械プレカット加工による仕口の強度性能	川元紀雄	森林総研
2	89	鋼板挿入式ドリフトピン接合部の耐力-スチール, FRP, セラミック製ピンの性能-	川元紀雄	森林総研
2	90	鋼板挿入式ドリフトピン接合部の繊維に直交方向の耐力-縁距離, 端距離が耐力に及ぼす影響	川元紀雄	森林総研
2	91	鋼板挿入式ドリフトピン接合部の繊維に直交方向の耐力-加力方法 (曲げ型, 引張型) が最大荷重に及ぼす影響	川元紀雄	森林総研
2	92	炭素繊維複合材料ケーブル挿入接着接合部の引張試験	川元紀雄	森林総研
2	93	ドリフトピン接合部の繊維に直交する方向のせん断耐力 (III) ヨーロッパ型剛性降伏理論による降伏荷重の推定	川元紀雄	森林総研
2	90	木質床の動的変形挙動 (1) -衝撃荷重をうけるパーティクルボード床の釘接合部	浅田茂裕	九大農
2	91	木質床の動的変形挙動 (2) -衝撃荷重による接合部の剛性低下に及ぼす要因について	浅田茂裕	九大農

木材学会強度・木構造部門発表リスト(1985-1994)

2	92	木質床の動的変形挙動(3) - 合板・素材を床材とした釘接合部の衝撃応	浅田茂裕	九大農
2	93	衝撃を受ける釘接合部の変形	浅田茂裕	九大農
2	94	繰り返し衝撃荷重を受ける釘接合部のせん断変形(2) - とくに釘の変形と主材の圧潰の関わりについて	浅田茂裕	九大農
2	89	LVLのボルト接合部の破壊	祖父江信夫	名大農
2	91	ボルト接合部の破壊 - LVLの繊維直角方向に力が作用する場合 -	祖父江信夫	静大農
2	92	木材のボルト接合耐力と破壊力学	祖父江信夫	静大農
2	90	軸ボルトを用いた大断面集成材の接合性能	大熊幹章	東大農
2	93	釘の配置方法が釘接合部のせん断耐力に及ぼす影響	大道一浩	三大生
2	94	釘の配置方法が釘接合部のせん断耐力に及ぼす影響(第2報)	大道一浩	三大生
2	92	断面長円形だばによる接手の引抜き抵抗	池際博行	和大教
2	93	腰掛け継ぎ接合したベイマツ材の曲げ性能	池田深彦	静岡林技セ
2	87	木造仕口の寸法と接合強度 - ほぼ長さとの接合金物の影響 -	竹村富男	名大農
2	88	コンピュータシミュレーションによる仕口接合部の三次元応力解析と寸法最適化	竹村富男	名大農
2	88	木造T型仕口の引張圧縮疲労試験	竹村富男	名大農
2	90	腰掛けあり継ぎの加工設計と引張強度(II)	竹村富男	名大農
2	93	機械プレカット構法の試み - 接合方式の極小単純化 -	竹村富男	名大農
2	94	機械プレカット工法の試み(2) 接合金具のある場合	竹村富男	名大農
2	93	腰掛けあり仕口接合部のねじり接合剛性係数 - ほぼ深さ・ほぼ長さの影響	中井毅尚	名大農
2	94	ほぼ差し仕口接合部のねじり接合係数	中井毅尚	名大農
2	89	腰掛けあり継ぎの加工設計と引張強度	中村礼博	名大農
2	90	腰掛けあり継ぎの加工設計と引張強度(III) - 有限要素法による応力解析	中村礼博	名大農
2	92	木質接合部の摩擦と"あそび"	中島俊光	東大農
2	93	木質接合部の摩擦と"あそび"(II) ボルト接合部に作用する摩擦について	中島俊光	菊池建設
2	91	広葉樹-アルミ複合LVLをガセット板としたスギ集成材ドリフトピン接合の強度性能	中島拓之	銘建工業
2	92	Creep and Fatigue Behaviour Nailed Joint	張 祥植	忠南大農
2	93	Damping Properties of Tenon-mortise joints (講演要旨未着)	張 祥植	忠南大農
2	90	木質構造における接合部の粘着剤などによる剛性・靱性特性に関する基礎的研究	槌本敬大	東大農
2	91	木材トラスの振動解析 - 接合部の違いによる振動特性 -	槌本敬大	東大農
2	86	正負交番荷重時における木質系構造要素の変形エネルギー吸収性状についての研究(5) - はり、柱はり接合部の場合 -	定方 啓	豊橋技科大
2	87	正負交番荷重時における接着併用釘剪断接手の耐力と靱性について	定方 啓	豊橋技科大
2	89	輪形ジベル接合の強度と変形状状についての実験的研究	定方 啓	豊橋技科大
2	91	樹脂カプセルアンカー工法に埋め込んだ木ねじ、小径ラグスクリューの引抜きおよび剪断耐力について	定方 啓	豊橋技科大
2	92	柱-梁接合部におけるフラジ型のエンドプレート効果について(木柱-形鋼柱の場合)	定方 啓	豊橋技科大
2	87	木製パレット製造システム分析(IV) - 実大平パレットの強度性能	藤井 毅	森林総研
2	86	端面処理したパーティクルボードの接合性能	藤元嘉安	琉大教
2	91	木ねじによるパーティクルボードの接合性能 - 静的曲げにおける棚板の変動挙動 -	藤元嘉安	九大農
2	92	木質部材のボルト締結について	藤元嘉安	九大農
2	93	木ねじによるパーティクルボードの接合性能 - 振動法によるH型試験体の剛性評価 -	藤元嘉安	九大農
2	93	木質部材のボルト締結について - 座金寸法および追締めが緩和华動におよぼす影響 -	藤元嘉安	九大農
2	94	木ねじによるパーティクルボードの接合性能 - H型試験体の低サイクル疲労特性 -	藤元嘉安	九大農
2	85	家具用仕口の強度性能(2) - 組継ぎおよびダブルテールジョイントについて	藤城幹夫	東大農
2	86	家具用仕口の強度性能(3) - 留め継ぎ、その他について -	藤城幹夫	都立工芸高
2	87	家具用仕口の強度性能(4) - ボックス型家具のせん断試験 -	藤城幹夫	都立工芸高
2	88	ラグスクリュー接合部の静的せん断耐力	徳田迪夫	三大生
2	91	チタン製ボルトの接合耐力	徳田迪夫	三大生
2	92	ボルトと角ナットを用いた木材の縦接合の設計	徳田迪夫	三大生
2	93	自動釘打機を用いた釘接合部のせん断性能	徳田迪夫	三大生
2	94	釘打ちによって生じる木材の割れの軟X線による定量的測定(第1報)	徳田迪夫	三大生
2	92	ラグスクリュー接合部のせん断抵抗メカニズム	樋口嘉久	三大生
2	85	構造用合板の釘接合に関する研究	平井卓郎	北大農
2	94	木材のボルト・ドリフトピン接合部の許容耐力について	平井卓郎	北大農
2	90	鋼板部板釘接合における接合耐力の実験的・統計的検討	平嶋義彦	静大農
2	91	木質接合部の"あそび"及び欠損の評価	有馬孝禮	東大農
2	93	モーメント抵抗接合の変形挙動と靱性のついて	汪 虹	豊橋技科大
3	85	貫構造における柱・貫接合部の強度性状	安村 基	建研
3	85	不均衡な壁配置をもつ木造在来構法住宅の突大加力試験	安村 基	建研
3	87	差鴨居構造における仕口の耐力	安村 基	建研
3	86	木質構造による立体架橋の振動性能(II)	安藤直人	東大農
3	87	在来木造の突大建物水平加力試験(II) 試験概要及び振動試験結果	安藤直人	東大農
3	94	スギ幅はぎ材を用いた壁体のせん断耐力	遠矢良太郎	鹿児島工技セ

3	86	合板釘打ちした真壁のせん断耐力	鷺海四郎	住木セ
3	88	木造軸組構法による真壁状態体のせん断性能	鷺海四郎	住木セ
3	85	軸組構造の耐力要素とその振動特性	岡部 実	静大農
3	87	ウェファースポット, ストランポットの構造用パネルとしての性能	海老原 徹	森林総研
3	85	釘打ち接着合板, 合板張り壁体の強度性能	吉川双介	静大農
3	87	木材衝撃破壊に及ぼす緩衝材の影響(3) - 各種厚さ, 硬さのラバーシートを介した単一及び繰り返し衝撃曲げ試験 -	官川秀俊	兵庫教大
3	89	一層門型架構の水平加力実験	金谷紀行	森林総研
3	94	プレカット材を用いたフレームの解析 - 接合金物の有無による挙動の違い	原田真樹	森林総研
3	90	木造住宅用構造部材の諸物性の調査	古沢 信	一条工務店
3	90	在来軸組構法木造3階建て住宅の実大構造実験(Ⅰ) 実験結果の概要	古沢 信	一条工務店
3	85	接合方式の異なる小型トラスの耐力試験	佐々木康寿	名大農
3	87	メタルプレートトラスの半剛節・非線形構造解析	佐々木康寿	名大農
3	88	メタルプレートトラスの非線形半剛節構造解析 - 各種平行弦トラスのばあ	佐々木康寿	名大農
3	89	材端形状を考慮した平行弦トラスの曲げ性能	佐々木康寿	名大農
3	93	メタルプレートを用いた木質はしご梁の曲げ性能	佐々木康寿	名大農
3	90	模型における水平断面の剛性が躯体の振動性状に与える影響	佐藤 誠	東大農
3	92	AE非破壊検査による木質パネルの品質管理(Ⅱ) パネル曲げ試験時のAE情報	佐藤敏一	農工大農
3	93	FJの木質パネル縦枠材への適用(Ⅰ) FJの強度試験	佐藤敏一	農工大農
3	88	曲げ木を使った椅子の構造解析	山田順治	徳島工試
3	87	接合部の非線形挙動を考慮した木造骨組架構の解析	小松幸平	森林総研
3	90	集成材による柱-梁接合部の載荷燃焼実験	小松幸平	森林総研
3	91	長期荷重を受ける集成材不静定ラーメン架構の変形計算	小松幸平	森林総研
3	94	スギ集成材を用いたアーチ橋接合部の1/2モデル強度実験	小松幸平	森林総研
3	89	国産小径木を利用した耐力壁の水平せん断力	小倉高規	住木セ
3	88	合板-製材釘接合部の復元力特性	神谷文夫	森林総研
3	89	開口を有する合板ダイアフラムの設計法に関する研究	神谷文夫	森林総研
3	90	ポールコンストラクションの実験的研究	神谷文夫	森林総研
3	91	FJ材を縦枠に使った合板張り耐力壁のラッキング試験(その2) 解析と	神谷文夫	森林総研
3	92	AE非破壊検査による木質パネルの品質管理(Ⅲ) 可能性の検討	神谷文夫	森林総研
3	86	釘打ちパネルのせん断変形と釘点の力伝達挙動の解析	秦 正徳	広島工芸試
3	88	釘打ちパネルのせん断剛性の解析 釘の本数の影響について	秦 正徳	高岡短大
3	90	ベイマツと鉄筋を用いた木造トラスの剛性	秦 正徳	高岡短大
3	86	合板張り床の水平力伝達に及ぼす諸因子の影響に関する模型実験	杉山英男	東大農
3	89	木質構造における水平力伝達に及ぼす床剛性の影響 - パネ系置換と計算例	杉山英男	東理大工
3	92	枠組壁工法開口壁のせん断耐力略算法の過程	杉山英男	東理大工
3	91	FJ材を縦枠に使った合板張り耐力壁のラッキング試験(その1) 面内せん断耐力	杉本健一	森林総研
3	92	AE非破壊検査による木質パネルの品質管理(Ⅰ) AEストレスグレイディング芯材を用いたパネルの曲げ試験	杉本健一	森林総研
3	93	FJの木質パネル縦枠材への適用(Ⅱ) 木質パネルの曲げ試験	杉本健一	森林総研
3	94	FJの木質パネル縦枠材への適用(Ⅲ) 木質パネルの曲げ破壊性状からの	杉本健一	森林総研
3	89	軸ボルトを用いた大断面集成材構造物の構造強度	大熊幹章	東大農
3	91	木造軸組の柔構造解析(Ⅰ) 半剛節立体剛性マトリックスの誘導	竹村富男	名大農
3	89	八角形住宅の構造耐力試験	中村 昇	東大農
3	91	木製なだれ予防柵の設計と施工	中谷 浩	富山林技セ
3	88	中層木造構造物の振動特性(Ⅰ) 木造4階建て模型による振動解析	中島史郎	東大農
3	89	中層木造構造物の振動特性(Ⅱ) 木造4階建て模型の耐力壁配置と振動解	中島史郎	東大農
3	90	木質構造の振動機構に関する研究(Ⅰ) 在来軸組工法の壁体の振動機構について	中島史郎	東大農
3	90	中層木造構造物の振動特性(Ⅲ) 在来軸組工法による実大3階建て住宅を用いた振動解析	中島史郎	東大農
3	91	木質構造の振動機構に関する研究(Ⅱ) 仕口の変形を考慮した軸組工法壁体の振動解析	中島史郎	東大農
3	92	木造躯体の振動解析に及ぼす水平構面の寄与	中島史郎	東大農
3	93	木質壁及び木質床を構成する部材の振動性状に関する研究	中島史郎	建研
3	94	LVL材を用いた外構部材の力学的性能	中島史郎	建研
3	92	木質トラスの振動解析(Ⅱ) 一固有値解析と減衰定数	槌本敬大	東大農
3	93	木質トラスの振動解析(Ⅲ) 動的応答	槌本敬大	東大農
3	94	木質骨組の非線形応答解析(Ⅰ)	槌本敬大	東大農
3	85	釘着片面パネルの非線形曲げ解析	辻野哲司	岩大教
3	88	壁軸圧を受ける石膏ボード張枠組壁の耐力・変形挙動と履歴特性について	定方 啓	豊橋技科大
3	94	木質構造系・構造要素における履歴特性と靱性容量の類型化について	定方 啓	豊橋技科大
3	85	積層法により成型したコーナー部の強度	都築一雄	名大農
3	86	釘接合部及び釘打ち壁パネルの疲労特性	徳田迪夫	東大農
3	91	スギ間伐材を用いた壁体のせん断耐力(第2報)	徳田迪夫	三大生
3	86	合板釘打ち壁のせん断耐力発現機構に関する実験	内迫貴幸	東大農
3	87	在来木造の実大建物水平加力試験(Ⅱ) 水平加力試験結果	内迫貴幸	東大農
3	91	接合部にゆるみを有する木造立体トラスの力学性状	内迫貴幸	東大農
3	92	モーダル解析法による枠組壁工法モデルの振動性状	内迫貴幸	三大生

木材学会強度・木構造部門発表リスト(1985-1994)

3	93	立体床トラスパネルの強度性能	内迫貴幸	三大生
3	94	立体トラス床パネルの振動特性	内迫貴幸	三大生
3	94	木質複合板に関する研究 トラスパネルの試作とその強度的性質	日比優介	名大農
3	94	立体トラス部材の接合部の強度と変形挙動の実験—スギと圧縮成形加工したスギについて—	八尋耕亮	豊橋技科大
3	85	ボルト締め軸組のせん断性能について	武田孝志	東大農
3	86	長軸ボルト締めによる大断面集成材構造物の水平加力試験	武田孝志	東大農
3	94	湾曲LVLの軸接合部への応用 (I) 湾曲コーナー部の力学的性能	武田孝志	信大農
3	87	釘打ち合板ガセット接合法による木造山形ラーメンの変形性能	平井卓郎	北大農
3	86	校倉構法の耐力	平嶋義彦	森林総研
3	92	木造グリッドフレームの開発	平嶋義彦	静大農
3	85	比較的厚い合板を用いた床パネルの振動性状	平野 茂	一条工務店
3	86	木質構造による立体架構の振動性能 (I)	平野 茂	一条工務店
3	88	在来木造の実大建物水平加力試験 (III) 単体耐力壁試験からの推定耐力との比較	平野 茂	一条工務店
3	88	在来木造の実大建物水平加力試験 (IV) 振動試験結果	平野 茂	一条工務店
3	90	在来軸組構法木造3階建て住宅の実大構造実験 (II) 局部変形と分布	平野 茂	一条工務店
3	85	八角形の形状を有した在来軸組木造住宅の実大振動試験	有馬孝禮	静大農
3	86	実大木造住宅の振動試験による構成要素の耐力評価	有馬孝禮	静大農
3	87	実大建物の振動試験における耐力壁の偏在と水平構面の影響	有馬孝禮	静大農
3	88	実大建物の振動試験における耐力壁の偏在と水平構面の影響	有馬孝禮	東大農
3	89	実大建物の振動試験における耐力壁の偏在と水平構面の影響 (その3)	有馬孝禮	東大農
3	91	日本建築学会, 木構造計算基準と対照した中華人民共和国基準, 木結構設計規範についての考察	汪 虹	豊橋技科大
3	92	木構造の耐震靱性指標について (その2)	汪 虹	豊橋技科大
3	94	木造体育館床構造の開発	澤田哲則	北林産試
4	91	木材劣化防止用樹脂処理について	771 P. シュ ニート	カリフォルニア大
4	87	木造住宅の室内空間における木質材料の使われ方 (I) 地方型住宅の座敷空間について	塩田洋三	島根女子短
4	91	木材学・木材利用の今後の方向と問題点に関する一考察	大熊幹章	東大農
4	93	木質構造限界状態設計法へのアプローチ—木材研究に何が求められるか—	平嶋義彦	静大農

建築学会木質材料系発表リスト(1985-1994)

大分類	発表年	表 題	講 演 者	所 属
1	94	信州産からまつの素材引張試験	安達訓士	信大工
1	88	小径木材を利用した重ねばりの剛性および強度について(その1) 2本重ねばりの場合	井上正文	大分大工
1	89	小径木材を利用した重ねばりの剛性および強度について(その2) ジベル接合および接着剤接合	井上正文	大分大工
1	89	木材のめりこみ変形に関する論理的考察	稲山正弘	稲山設計
1	91	木材のめりこみに関する実験的研究 その1: ベイマツ材の均等変位部分圧縮	稲山正弘	稲山設計
1	92	木材のめりこみに関する実験的研究 その3 縁端距離、材厚、加圧耐寸法がE1, E2, $\delta v$ に及ぼす影響の一般的傾向	稲山正弘	稲山設計
1	93	木材のめりこみに関する研究 その4: 等変位めりこみの弾性剛性の計算式のテーパ一面を補強した変断面集成材の曲げ耐力(その2) -テーパ梁の曲げ耐力-	稲山正弘	稲山設計
1	92	湾曲集成材の半径方向応力に関する実験的研究	宇佐見徹	名古屋工大
1	90	湾曲集成材の半径方向応力に関する実験的研究(その2)	越田庸夫	明大工
1	91	湾曲集成材の半径方向応力に関する実験的研究(その3)	越田庸夫	明大工
1	92	湾曲集成材の半径方向応力に関する実験的研究(その4 有限要素法による弾性解析)	越田庸夫	明大工
1	92	LVL(単板積層材)の曲げ・せん断試験の結果	越田庸夫	明大工
1	90	集成材梁継ぎ手の曲げせん断試験	鷲海四郎	住木セ
1	93	確率モデルによる単板積層材の強度予測	岡崎泰男	東大農
1	94	木理の数値化による板材のヤング係数に対する木理の影響の検討	岡崎泰男	秋田県
1	89	有限要素法による構造用集成材の応力解析に関する研究	岡島尚康	信大工
1	91	鉄筋を挿入接着した高強度継ぎ手に関する引張試験の結果(その2)	岡本光洋	能開大
1	85	タイコ材の座屈試験	丸山則義	静大農
1	86	長柱の座屈クリープ	丸山則義	静大農
1	87	スギ母屋重ね梁の曲げ性能	丸山則義	静大農
1	88	簡易な圧縮方法による接着重ね梁の構造と性能	丸山則義	静大農
1	89	蟻仕口を持つベイマツ平角材の曲げおよびせん断性能	丸山則義	静大農
1	92	集成材の曲げ耐力に関する確立論的研究 その2-節の強度・位置のランダム性を考慮したモンテカルロシミュレーション-	岩田佳子	名古屋工大
1	86	木質系繊維板の諸性質に及ぼす含水率の影響に関する研究(その2 比重変化、長さ変化およびたわみ変化について)	菊池雅史	
1	94	木質資源の環境負荷に関する研究	宮村雅史	建研
1	94	木材のめり込みによる応力度分布に関する解析	橋爪靖彦	明大工
1	90	木質大断面集成材の横座屈に関する実験的研究 その2 実験結果および横座屈耐力評価	玉置昌孝	名古屋工大
1	94	新しい構造用木質系板材料、ゼファーストランドボードの開発(その1: ボードの基本的な材質)	金 柔正	東大農
1	85	木材(スギ)の部分圧縮強度-材せい、材幅、材長の影響	金谷紀行	森林総研
1	92	有限要素法による有孔木材の応力分布に関する研究	栗田豊明	明大工
1	93	有限要素法による有孔木材の応力分布に関する研究	栗田豊明	明大工
1	89	柱材の乾燥度の計測と性状変化	古沢 信	一条工務店
1	92	心持ちスギ材に対する動的ヤング係数の測定について	後藤 靖	大分大工
1	93	心持ちスギ材の対する動的ヤング係数の測定法について	後藤 靖	大分大工
1	86	木質系繊維板の諸性質に及ぼす含水率の影響に関する研究(その1 含水率変化と厚さ変化について)	向井 毅	
1	88	ジュラルミンを使った合成梁の実験的研究(2) -木梁と合成梁の比較実験-	江上外人	福井工大
1	91	木材のめりこみに関する実験的研究 その2: スギ材の均等変位部分圧縮試験	高津角行	東大工
1	86	木材部分横圧縮-材せい、加圧材料、加圧方法による応力度の変化	黒田紀雄	森林総研
1	89	横荷重を受ける集成材柱の座屈に関する研究	佐野 弘	
1	94	小中径木を用いた大断面集成材の幅はぎの必要性について	最上公彦	竹中工務店
1	89	スギ正角材の曲げ強度に関する実感的研究	山本英一	
1	92	テーパ一面を補強した変断面集成材の曲げ耐力(その1) -実験概要および結	室田達郎	建研
1	88	任意グレードのラミナで構成された大断面集成材の曲げ破壊係数(MOR)の超音波探傷法による集成材接着接合部の欠陥検査実験	小松幸平	森林総研
1	90	超音波探傷法による集成材接着接合部の欠陥検査実験	小塚裕一	竹中工務店
1	91	集成材接着接合部の超音波探傷法に関する研究(その2) せん断強度実験	小塚裕一	竹中工務店
1	92	集成材の全接着継ぎ手に関する実験的研究	小塚裕一	竹中工務店
1	91	集成材の曲げ耐力に関する確立論的研究	小野徹郎	名古屋工大
1	91	鋼板補強木造ばりの挙動に関する論理的考察 その2 弾性解析法について	松本芳紀	福井大工
1	92	鋼板補強木造柱の座屈荷重に関する論理的考察 その2 弾性曲げ座屈荷重について	松本芳紀	福井大工
1	90	鉄筋を挿入接着した高強度継ぎ手に関する引張試験の結果	松澤健志	明大工
1	91	小径材の接着接合継ぎ手の引張試験の結果(その2)	松澤健志	明大工
1	91	鋼板補強木造ばりの挙動に関する論理的考察 その1 弾性解析法について	上嶋賢治	福井大工
1	92	鋼板補強木造柱の座屈荷重に関する論理的考察 その1 弾性曲げ荷重について	上嶋賢治	福井大工
1	90	構造用湾曲集成材の力学的挙動に関する実験的研究	水上恭浩	信大工
1	93	信州産からまつを用いた集成材の曲げクリープ性状に関する実験的研究	杉下貴之	信大工
1	92	引張側に切り欠きを持つ断面の曲げに対する断面設計式	杉山英男	東理大工
1	89	木材の割裂強度試験(1) 主要樹種別比較	杉本文義	横国大工
1	91	LVL(単板積層材)の部分横圧縮試験	川元紀雄	森林総研

建築学会木質材料系発表リスト(1985-1994)

1	93	小径木を主材料とする大断面集成材に関する研究	浅里和茂	
1	89	球磨地方の杉の強度及びヤング係数について	村田義郎	早大工
1	94	引張側に各種切欠きを設けた木材梁の曲げ耐力比較(中間報告)	大越直子	東理大工
1	89	Zephyr Particleを用いた新しい木質系ボードの材質	大熊幹章	東大農
1	90	軸ボルトを用いた大断面集成材梁の製造と曲げ性能	大熊幹章	東大農
1	91	廃木材による木質ボードの材質改良-粗大チップと小形チップの混合によるボードの製造と材質に与える混合条件	大熊幹章	東大農
1	94	新しい構造用木質系板材料、ゼファーストランドボードの開発(その2:チップの混合によるボードの材質向上)	大熊幹章	東大農
1	89	高含水率状態での木造接着重ねばりの曲げ耐力	大塚一三	
1	91	集成材テーパ梁の曲げ耐力に関する実験 木質大断面集成材の横座屈に関する実験的研究その3	谷口智則	名古屋大工
1	85	構造用製材の実大縦引張強度(2) スギ小径木より製材した"たいこ"材の実大引張試験	中井 孝	森林総研
1	86	構造用製材の実大縦引張強度(3) 欧州アカマツ平割材の縦引張試験	中井 孝	森林総研
1	87	構造用製材の実大縦引張強度(4) ベイマツ平割材の縦引張強度試験	中井 孝	森林総研
1	88	構造用製材の実大縦引張強度(5) ソ連産、日本産カラマツ平割材の縦引張強度試験	中井 孝	森林総研
1	89	平角の目視および動的ヤング係数による強度等級区分	中井 孝	森林総研
1	90	スギ丸太・たいこ材の実大曲げ強度性能	中井 孝	森林総研
1	91	平角の目視および動的ヤング係数による強度等級区分(その2)	中井 孝	森林総研
1	93	スギ中目材丸太・たいこ材の実大曲げ強度性能	中井 孝	森林総研
1	88	木造建築部材としての木材乾燥の実体・意識調査	中村 昇	東大農
1	90	接着接合の非破壊検査と強度評価の基礎的実験	中村 昇	東大農
1	94	引張力を受ける有孔木材の応力分布に関する研究	朝倉 均	能開大
1	90	木質大断面集成材の横座屈に関する実験的研究 その1 実験概要およびねじり剛性評価	陳 建宏	竹中工務店
1	86	心持材のねじりについて	田中輝明	早大工
1	88	各種非破壊試験による曲げ強度性能の推定-スギ厚板、ラジアタパイン、ラミナへの適用-	田中俊成	森林総研
1	90	スギ・ヒノキ正角の曲げ・縦引張・縦圧縮強度性能の非破壊的手法による推定	田中俊成	森林総研
1	91	スギ正角の曲げ強度性能の横振動および縦振動による非破壊評価の適合性	田中俊成	森林総研
1	93	超音波伝播・振動による腐朽したスギ実大材の曲げ強度の非破壊的評価	田中俊成	森林総研
1	85	LVLをフランジに用いたIビームの静的曲げおよび疲労特性	徳田迪夫	東大農
1	89	スギ正角材および接着重ねばりの含水率変動下での曲げクリープ特性	徳田迪夫	三大生
1	93	構造用フィンガージョイント材の曲げ性能	徳田迪夫	三大生
1	90	集成材接着接合部の押し抜きせん断実験	楠 寿博	竹中工務店
1	91	集成材BFJ(ピックフィンガージョイント)の曲げ破壊実験	楠 寿博	竹中工務店
1	92	ベイマツ集成材BFJの曲げ破壊実験と強度評価	楠 寿博	竹中工務店
1	93	集成材の曲げクリープ性状に関する実験的研究(その2)	楠 寿博	竹中工務店
1	90	異種木材を用いた接着重ねばりの剛性および強度について(その1)スギ・マツ・ヒノキを組み合わせた場合	能城喜則	大分大工
1	92	集成材の曲げクリープ性状に関する実験的研究	畑中公樹	竹中工務店
1	94	スギ平割積層材の開発に関する研究(3)平割材エレメント及び積層材の力学的特性	板垣直行	東北大工
1	89	木材の割裂強度試験(2)割裂強度向上の可能性	飯塚五郎蔵	横国大工
1	85	スギ小径丸太の曲げ強度性能	飯島泰男	富山林枝セ
1	86	構造用製材の曲げ強さ予測法について	飯島泰男	富山林枝セ
1	87	国内における曲げ強度試験データの蓄積状況について	飯島泰男	富山林枝セ
1	88	スギ製材の曲げ強度性能評価法について	飯島泰男	富山林枝セ
1	89	スギ材強度性能の特異性に関して	飯島泰男	富山林枝セ
1	90	ベイマツ平角材の曲げ強度性能に及ぼす含水率の影響と等級区分について	飯島泰男	富山林枝セ
1	91	木材の曲げ強度試験における比例限度決定法について	飯島泰男	富山林枝セ
1	92	並列曲げ部材の下限值-シュミレーションによる検討-	飯島泰男	富山林枝セ
1	94	スギによる構造用大断面集成材の性能予測	飯島泰男	秋田県
1	88	間伐材を用いたSP綴り床版の基本特性	平井和喜	東北大工
1	85	LVLとパーティクルボードにより構成されたI型梁の曲げ性状について	末松充彦	能開大
1	88	集成材の継ぎ手に関する研究(その1:接着強度について)	木村 衛	竹中工務店
1	89	集成材の継ぎ手に関する研究(その2:実大梁実験)	木村 衛	竹中工務店
1	91	集成材接着接合部の超音波探傷法に関する研究(その1)超音波透過実験	木村 衛	竹中工務店
1	90	LVL(単板積層材)-鉄骨合成梁の力学性状に関する実験的研究	夜船廣司	竹中工務店
1	87	鉄筋による補強を施した集成材(梁)の曲げ試験の結果	野口弘行	明大工
1	89	鉄筋による補強を施した集成材(梁)の曲げ試験の結果-その2-鋼製継ぎ手を設けた場合-	野口弘行	明大工
1	90	小径材の接着接合継ぎ手の引張試験の結果	野口弘行	明大工
1	91	木材の横引張強度に関する研究(その1)	野口弘行	明大工
1	88	切り欠きを有するはり材の曲げ耐力に関する実験的研究	矢代秀雄	
1	86	材および木質材料のクリープ変形とクリープ破壊時間	有馬孝禮	静大農
1	87	節を含む木材のクリープ特性とクリープ破壊	有馬孝禮	静大農
1	88	湿度変動下での木材と木質材料のクリープ特性	有馬孝禮	東大農
1	92	湿度変動下での集成材、LVLおよび接合部のクリープ特性	有馬孝禮	東大農

建築学会木質材料系発表リスト(1985-1994)

1	94	木質系廃棄物の処理と再利用 (I) 炭化处理と木炭の吸湿、保水性	有馬孝禮	東大農
1	85	間伐小径木を利用した現場接着重ね梁の曲げ試験について	鈴木秀三	能開大

# I. 木材の機械的強度等級区分法 (案)

## 1. 適用範囲

本案は、一定の母集団の構造用木材に機械的等級区分法を適用するため、初期的に行なう曲げ破壊試験およびその結果の統計的処理に適用する。ここでは、母集団からの抜き取った試料の曲げ試験結果をもとに、その曲げヤング係数 (MOE) と曲げ強度 (MOR) および MOR の許容限界値 (TL) の関係を推定する方法を示している。

本案で対象とする構造用木材は、製材および集成材用ひき板とし、材料は可能な限り同一の樹種・断面寸法とする。

### 〔解説〕

一定の母集団の構造用木材に機械的等級区分法を適用するためには、初期的に母集団からの一定数の試料を抜き取り、曲げ破壊試験によって試料の強度データを求めなければならない。本案は、試験およびその統計的処理の方法を示したものであり、木材の曲げヤング係数 (MOE) と曲げ強度 (MOR) および MOR の許容限界値 (TL) の関係を求める手法を示している。なお、本手法はおおむね米国の ASTM D 2915-88<sup>1)</sup>、D 198-84<sup>2)</sup> に準じている。

なお TL (許容限界: tolerance limit) とはある母集団に対して予め受容する比率 (content) を決めておき、これに統計的な信頼水準 (confidence level) を加味して決定された値である。国際的には、製材では content 95% (すなわち、TL を越えるものがその母集団全体量の 95% を占める、という意味で、このときの TL がいわゆる 5% 下限値に相当する) と信頼水準 75% が適切と、現在のところ考えられており、本案でもこれらの値を採用している。しかし、今後材料や設計方法が変われば content および信頼水準は妥当な数字に変更されることも可能性がある。

対象とする木材は構造用の製材および集成材用ひき板とし、樹種、断面寸法は可能な限り同一のものとする。ただし、たとえば、「えぞ・とど」「SPF」等、樹種の混在する母集団が商習慣として流通している場合、これを 1 樹種とみなすことができる。また、サンプリング方法の異なるデータを扱うときは、各母集団の平均値、分散、回帰直線等の有意差検定など適切な統計的処置を行い、併合の可能性を示す必要がある。

## 2. 試験および統計的処理の方法

### 2. 1 サンプリング

サンプリングは母集団をよく代表するように行ない、樹種、産地、等級、銘柄、サンプリング場所と時期、寸法、含水率などをできる限り明らかにする。

サンプル数は以下の式による。本式では、MOE が正規分布をし、平均値の信頼水準を 5% 以内で推定する場合を想定している。

$$N_i \geq 0.1537 \cdot CV^2$$

ここで、 $N_i$  : サンプル数

$CV$  : MOE の変動係数 (%)

である。

$CV$  の値は、既往のデータから推定された数値を代入し、測定の結果得られた変動係数が仮定した値より大きければ、さらにサンプルを追加して実験を継続することができる。

### 〔解説〕

サンプリングは母集団をよく代表するように行う。方法は、ASTM D 2915-88 にも記載されているほか、JIS 規格 (Z 9001) 等も参考にする。このとき、樹種、産地、等級、銘柄、サンプリングの場所と時期、寸法、含水率などを明らかにしておく必要がある。

供試体数は ASTM D 2915-88 に記載された式によるものとした。本式の係数値は、以下の方法で計算している。

$$N_i \geq 400^2 (CV/100)^2 \\ = 0.1537 \cdot CV^2$$

ここで、 $N_i$  : サンプル数

$t$  :  $t$  値 (信頼水準両側 5% のとき 1.96)

$CV$  : MOE の変動係数、(標準偏差) / (平均値)  $\times 100$ , (%)

である。

ここで、サンプルの標準偏差、平均値、または変動係数は未知のため、第一段階では他の実験データから予め推定した数値を代入してサンプル数を決定する。

実験終了後、結果から得られた各統計値を上式に代入してサンプル数を計算し、既実験数がそれより少なければ、追加実験を行なわなければならない。

なお、既往のデータによれば、 $CV$  は樹種、材種、サンプリング範囲によってかなり異なり、その範囲は、

15~35%程度である。したがって、CV=35%のとき  $N \geq 189$  となるので、供試材は200本程度と考えるおけば、十分と考えられる。

## 2. 2 試験方法

試験は、原則として図1に示す2点荷方式による静荷重曲げ破壊実験とする。試験体は、予め主要な欠点を測定しておかねばならない。

スパン(支点間距離)、支店一荷重点間距離は、機械装置の条件を考慮して決定することができるが、支店一荷重点間距離は原則として梁せいの5倍以上とすることが望ましい。

供試材料はその使用条件を考慮して荷重面を決定する。また、材幅に対して梁せいが大きい場合には、必要に応じて適当な横倒れ防止ガイドを設置する。

平均荷重速度は最大荷重までの到達時間が1分以上となるように設定する。

曲げ試験により、以下の数値を求める。

a)  $MOR = \frac{aP}{2Z}$

b) 曲げ比例限度  $= \frac{aP_0}{2Z}$

c)  $MOE = \frac{a}{48I} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta y} (3L^2 - 4a^2)$

P: 最大荷重 (kgf)

$P_0$ : 比例限荷重 (kgf)

L: スパン(cm), a: 支店一荷重点間距離(cm)

Z: 断面係数 ( $=bh^2/6$ , cm<sup>3</sup>)

I: 断面2次モーメント ( $=bh^3/12$ , cm<sup>4</sup>)

$\Delta P/\Delta y$ : 比例限域における荷重と全体たわみの比率 (kgf/cm)

b: 材幅 (cm), h: 梁せい (cm)

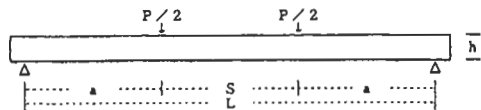


図1 曲げ試験方法

### [解説]

ここで扱う材は、欠点を含む実大材であるが、わが国には現在のところ、試験法の公的な規定がない。この案では、米国 ASTM D 198-84 を参考に決定した。

試験体は目視によって主要な欠点を記載する必要が

ある。しかし、材の破壊との因果関係がチェックできる程度でよく、予め目視等級区分がなされている場合は等級のみの記載でもよい。

実験時の含水率は、図2の斜線で示した材の圧縮面および引張面の厚さ20%部分を全乾法、または、精度よく測定可能な含水率計測装置によって求める。なお、後者による場合には含水率表示との校正曲線を予め求めておくことが望ましい。また、集材用ひき板のように比較的小断面で含水率傾斜が少ないと判断される場合は、全断面の平均含水率を求めてもよい。

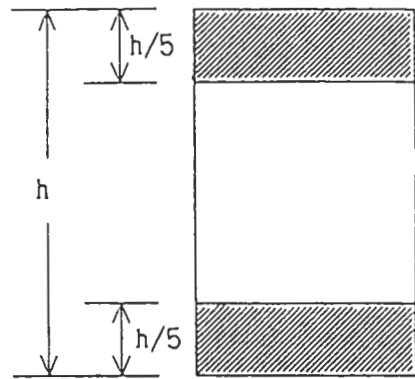


図2 含水率測定位置

荷重条件等は本文に示すとおりであるが、支店および荷重ブロックはナイフェッジで受け、試験体のねじれに適應するように滑座を設け、はりのたわみによる軸力を避けるための工夫をすることが必要である。

材の荷重面は、その使用条件が、足場板のような平使い(フラットワイズ)に限定されている場合には広い面とし、その他のときは原則的に狭い面とする。

なお、ここで MOE を全スパンたわみから計算することとしたのは、

① MOR との相関が中央モーメント一定区間から求めた値より一般的に高い

② 中央モーメント一定区間のたわみはかなり小さく、測定誤差が無視できないなどの理由によるものである。

## 2. 3 統計処理

### 2. 3. 1 データの基準化

#### (1) 含水率の補正

実験時の含水率に基づき、以下の式によって、

実測された MOR および MOE を含水率15%時の強度値に換算する。

$$P_{15} = P_M \{(\alpha - 15\beta) / (\alpha - \beta M)\}$$

ここで、 $P_M$  : 含水率M%時の強度性能測定値

$P_{15}$  : 含水率15%時の強度性能換算値

$\alpha$ 、 $\beta$  : 含水率補正係数(表1に示す)

ただし、含水率Mが22%を超える場合には、 $M = 22\%$ として計算する。

表1  $\alpha$  および  $\beta$  値

強度性能	$\alpha$	$\beta$
MOE(ヒノキを除く)	1.44	0.0200
MOE(ヒノキのみ)	1.22	0.0100
MOR(ヒノキを除く)	1.75	0.0333
MOR(ヒノキのみ)	1.40	0.0175

〔解説〕

実験時の含水率が材によって異なることが予想されるため、各測定値を含水率15%時の強度値に換算する。ここに示した式は ASTM D 2915 に記載されているものである。

なお、本式を用いて、MOR および MOE の未乾燥時と MC 15% 時の比率を求めると、それぞれ 1.23、1.14 となる。また、ASTM D 245<sup>3)</sup> では公称 4 インチ厚以下の材に対して同様に 1.35、1.20 としている。一方、B.MADSEN<sup>4)</sup> の報告によれば、低品質材では含水率の低下による強度増加が認められていない。しかし、わが国の既公表のデータ(中井<sup>5)</sup> はスギで 1.30、1.17、飯島<sup>6)</sup> はソ連カラマツで 1.34、1.21) では、本式の計算値とほぼ近似した値となるため、ここでは実用的には含水率がかなり高い場合にも準用可能と考えて、同式を適用した。

なお、ヒノキのみは、既往のデータ<sup>7)</sup> から、この樹種では含水率が強度に及ぼす影響が、他樹種に比べてやや異なっているところから、別途係数値を決定した。

(a) 荷重条件による MOE の基準化

MOE は、スパン—梁せい比 21、3 等分点荷重条件における全スパンたわみの値に換算する。すなわち、

$$MOE = E_0(1 + \delta) / 1.034$$

$$\delta = 38.4h^2 / (2L^2 + 2LS - S^2)$$

ここで、MOE: 曲げヤング係数換算値

$E_0$  : 曲げヤング係数測定値(全スパンたわみによる)

L, S : 実験条件における全スパンおよび荷重点間距離 (cm)

h : 梁せい (cm)

〔解説〕

本案では MOE を全スパンたわみから計算することとしているため、荷重条件が異なった場合にはせん断付たわみの割合が変化する。そこで、MOE をスパン—材せい比 21、3 等分点 4 点荷重条件における全スパンたわみからの値に換算するものとした。なお、上式は樹種にかかわらず、E/G (すなわち、純粋の曲げヤング係数および剪断弾性係数の比率) = 16、として求めたが、実験によって求められた数値を用いてもよい。この場合の計算式を以下に示す。

$$MOE = E_0(1 + \phi) / (1 + \rho)$$

ただし、

$$\phi = 2.4(E/G) \{h^2 / (2L^2 + 2LS - S^2)\}$$

$$\rho = 0.00213(E/G)$$

(b) 梁せいによる MOR の基準化

供試試料集団は同一公称断面寸法であることが望ましいが、もし複数の公称寸法の材が含まれているとき、その多数を占める材料寸法との梁せいの差が ±30% 以内であれば次式によって MOR を基準化し、同一梁せいとみなすことができる。

$$MOR = R_0(h/h_0)^{1.9}$$

ここで、MOR: 曲げ強度換算値

$R_0$  : 曲げ強度測定値

$h_0$  : 梁せい基準値 (cm)

$h$  : 梁せい測定値 (cm)

〔解説〕

MOR は梁せいによって変化する(寸法効果)。構造用集成材では梁せい 30cm 以下では一定と考えられているが、製材では節等欠点の影響が大きく、梁せいがこれより少ない場合でも寸法効果が現われることが多い。そのため、供試試料はできるだけ同一断面とすることが望ましいが、同一断面の供試材料が十分ではないときを想定し、上式によって基準化して同一梁せいとみなすことができるものとした。

2. 3. 2 回帰直線および許容限界値の計算

基準化された MOR および MOE の数値に対し、以下の統計的処理を行う。

① MOR および MOE の平均値、標準偏差、平均値の 95% 信頼区間を計算する。

② MOR と MOE の関係を単回帰分析によって求める。回帰モデルは、統計的に妥当と考えら

れるものを選択する。

③ 計算された回帰式から各 MOE 水準における許容限界値 (TL、信頼水準 75% のときの MOR の 5% 下限値) を求める。

〔解説〕

MOR および MOE の平均値、標準偏差、平均値の 95% 信頼区間の計算においては、各分布を正規分布とみなして行う。ここで、平均値の信頼区間 (CI) は次式による。

$$CI = \text{Mean} \pm (ts / \sqrt{n})$$

ただし、Mean: 平均値

t : student の t

s : 標準偏差

n : データ数

回帰モデル式は、 $MOR = a + bMOE$ 、誤差分散  $\sigma^2$  が一定であるとして計算することが多い。この場合、各 MOE 水準における MOR の信頼水準 75% の許容限界値 (TL) は、サンプル数を n とすれば下式で表すことができる。

$$TL = a + b \cdot MOE - K \cdot Se$$

ここに、Se : 標準誤差

K : 信頼限界係数 (=  $t(\phi, \alpha)$ )

$\alpha$  : 自由度 (=  $n - 2$ )

$\phi$  :  $n \geq 100$  のとき、 $n^{1/96} / (34.1n)$

$n < 100$  のとき、 $n^{1/96} / \{34.1(n+1)\}$

なお、ここでいう K 値は ASTM D 2915 に記される信頼限界係数 K (Factor for One-Sided Tolerance Limits for Normal Distribution) の近似値 (表 2) である。

表 2 K 値

n	K	n	K	n	K	n	K
50	1.815	80	1.785	120	1.764	180	1.746
60	1.802	90	1.778	140	1.757	200	1.742
70	1.792	100	1.773	160	1.751	$\infty$	1.645

なお、MOR と MOE の関係は、 $MOR = a + bMOE$ 、誤差分散  $\sigma^2$  が MOE に比例する、とした回帰モデルのほうが実態をよく表現している場合が多いようである。

そこで、後者のモデルによった場合の回帰分析方法を以下に示す。

$$TL = a + b \cdot MOE - K \cdot Se \cdot \sqrt{MOE}$$

ここに、Se : 標準誤差

K : 信頼限界係数 (=  $t(\phi, \alpha)$ )

$\alpha$  : 自由度 (=  $n - 2$ )

$\phi$  :  $n \geq 100$  のとき、 $n^{1/96} / (34.1n)$

$n < 100$  のとき、 $n^{1/96} / \{34.1(n+1)\}$

なお、この方法においては、以下のように平均、偏差平方和、積和を求め、これから回帰係数、標準誤差を計算する<sup>4)</sup>。

平均 :  $X_{\text{mean}} = \sum w_i x_i / \sum w_i$

$Y_{\text{mean}} = \sum w_i y_i / \sum w_i$

偏差平方和 :  $S_{xx} = \sum w_i (x_i - X_{\text{mean}})^2$

$S_{yy} = \sum w_i (y_i - Y_{\text{mean}})^2$

積和 :  $S_{xy} = \sum w_i (x_i - X_{\text{mean}})(y_i - Y_{\text{mean}})$

ここで、 $x_i, y_i$  : 観測値、 $w_i = 1/x_i$

これより、

回帰係数 :  $b = S_{xy} / S_{xx}$

回帰定数 :  $a = Y_{\text{mean}} - b \cdot X_{\text{mean}}$

誤差分散 :  $\sigma^2 = S_{yy} - S_{xy}^2 / S_{xx}$

標準誤差 :  $Se = \sqrt{\sigma^2 / (n - 2)}$

相関係数 :  $r = S_{xy} / \sqrt{S_{xx} \cdot S_{yy}}$

を得る。

### 2. 3. 3 許容応力度の計算

上記の方法にしたがって計算された下限値から、各 MOE 水準に対応した許容応力度を次の方法によって求める。

① MOE の境界値を  $20 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$  おきとする

② たとえば、 $8.0 \sim 100 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$  の範囲の等級に対して、(b)の方法で計算された  $MOE = 90 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$  (すなわち、等級の中央値) のときの TL 値を求める。

ただし、データのない等級に対しては TL 値は決定できない

③ TL/2.5 を許容応力度とする

### 文 献

- 1) ASTM : D 2915-88 "Standard Practice for Evaluating Allowable Properties for Grades of Structural Lumber", 1989 Annual Book of ASTM Standards, Vol.04. 09 (1989)
- 2) ASTM : D 198-84 "Standard Method for Static Tests of Timbers in Structural Sizes", 1989 Annual Book of ASTM Standards, Vol.04. 09 (1989)
- 3) ASTM : D 245-81 "Establishing Grades and Related Allowable Properties for Visually Graded Lumber", 1989 Annual Book of ASTM Standards, Vol.04. 09 (1989)

- 4) B.MADSEN : In-Grade Testing-Problem Analysis. F.P.J., Vol.28-4, 42-50 (1978)
- 5) 中井孝ら：木材工業、39、235-241 (1984)
- 6) 飯島泰男ら：木材と技術、63、1-11 (1985)
- 7) 林野庁：“構造用製材の強度等級区分に関する研究”、昭和58年度林業試験研究報告書 (1984)
- 8) 応用統計ハンドブック編集委員会編：“応用統計ハンドブック”、養賢堂 (1986)

森林総合研究所 木材利用部

構造利用科 接合研究室

小松 幸平

## 1. はじめに

昭和61年10月、「木質構造研究の現状と今後の課題」と題するシンポジウムが、東京の木材会館に62名の参加者を得て開催された。今から8年前のことである。

当時のシンポジウム資料を見ると、ちょうど'84PTEC（太平洋木構造会議）がNZで開催された後で、そこで見たダイナミックな大規模木構造にショックを受け、日本の木構造もこれから頑張らねばという、フレッシュマンの意気込みが感じられる。

'84PTECから10年経った今年の7月、'94PTECがオーストラリアで開催され、日本からも当時の5、6倍の人たちが参加した。'84PTEC並びに2ndPTECを経て、NZは世界でも有数の木構造先進国へと成長したが、我が国も'90ITEC（東京）を経験し、新木造総プロをはじめとする幾つかのプロジェクトを経て、今や世界でも有数の木構造の国へと変貌を遂げようとしている。まさに「啓蒙の時を過ぎ、バトンは実務家へ」の時代を迎えている。

木質構造を取り巻く環境は大きく変わりつつある。我々木材研究者の存在価値にも何らかの変化が生じるであろう。以下に、揺れ動く木材研究者の立場から、木質構造における接合・構造体要素の今日までの研究の軌跡を振り返り、我々に残された今後の課題を探ってみたい。

## 2. 接合

木質構造に使われる接合法は次の3つに大別される。

- ・木材同士の嵌合（かんごう）による接合
- ・接着剤による接合
- ・接合具による接合

### 2. 1 木材同士の嵌合による接合

木材同士の嵌合による接合は、在来木造建築に見られる和風継手（つぎて）や仕口（しぐち）がその代表である（図2.1-1参照）。

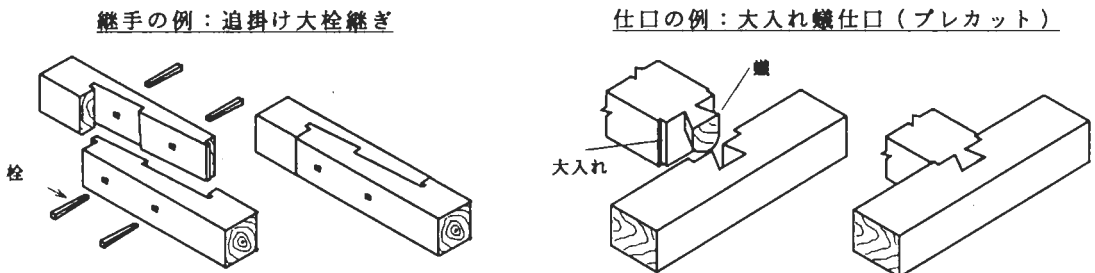


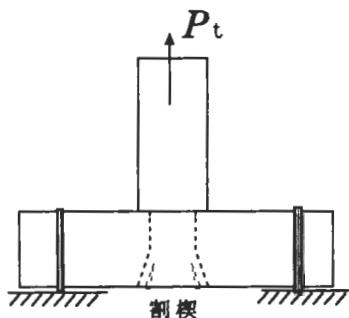
図2.1-1 木材同士の嵌合による接合の例

この接合法は、金物類の使用を避けて、木材同士の「めり込み抵抗」に依存して力を伝達することを意図している。完成した接合部は簡潔で美しく、一種の芸術品としての趣きを持っている。反面、加工は一般に複雑で高い技術が要求され、接合部の力学的な性能は加工精度（大工の腕）に大きく依存する。このため、最近では複雑な加工を機械によって行うプレカット技術も盛んになっている。

### 2. 1. 1 木造ブーム以前の研究

8年前のシンポジウムでは、この分野は全く触れられていなかった。そこで、今回は更に時代をさかのぼって文献を調べてみた。その結果、伝統工法の継手、仕口の耐力発現機構を深く掘り下げて研究した例は、機械的接合法に比べると圧倒的に少なかった。

戦前では、内田<sup>1)</sup>、河野<sup>2)</sup>が木造柱-梁仕口の強度及び剛節度に関する実験的研究を行っているが、継手に関する研究は見あたらなかった。戦後は建築学会が一時期木造を除外しようとしたこともあって、昭和50年代に至るまで、伝統仕口、継手の力学的研究はほとんど行われていない。



昭和52年に至って、飯塚ら<sup>3)</sup>は数種類の和風仕口の引張耐力実験（T字型試験体に柱側を引き抜く）を行い、ボルト締め仕口やカスガイ打ち仕口との比較を行っている。

さらに、図2.1-2に示すような割楔仕口について、その引張強度  $P_t$  は、楔を打ち込むことによって生じる横圧縮応力を、木材の摩擦係数に0.3程度の数値を仮定して算出すると、比較の実測値とよく一致することを報告している<sup>4)</sup>。飯塚らのこの研究は、伝統仕口の耐力発現機構に理論的考察を加えた最初の研究として注目される。

昭和54年に、後藤<sup>5)</sup>は追掛大栓継ぎについて、継手内部の形状を変化させた試験体、ならびに、込み栓の代わりに釘打ちした試験体を用いて引張強度実験を行っている。

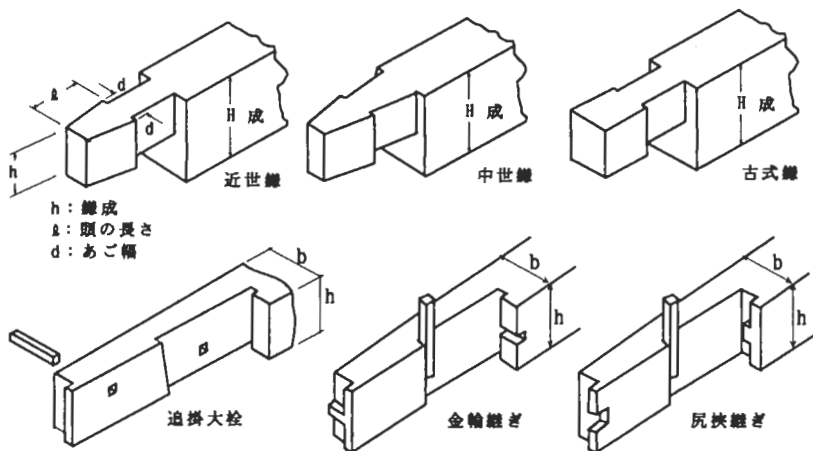


図2.1-3 杉山、西浦<sup>6)</sup>らの継手試験体

(追掛継ぎは追掛大栓継ぎの栓がない。注：原論文に忠実な図ではない)

昭和55年、杉山、西浦<sup>6)</sup>は、我が国の古建築に使用されていた代表的な継手である、鎌継ぎ(3種)、金輪継ぎ、尻挟継ぎ、追掛大栓継ぎ、追掛継ぎ(図2.1-3)を対象に、多数の4点曲げ試験を行っている。

杉山らの報告書を見ると、最近比較的良好に報告されるようになってきた和風継手の力学的性状とほぼ同様の結果が得られており、非常に興味深い。すなわち、

- ・古式鎌、中世鎌、近世鎌、及び金輪の4種の曲げ強度を比較すると、金輪が最も強い。しかし、無接合材と比較すると、強度接合効率は10~15%、剛性接合効率は40~65%程度である。
- ・中世鎌と近世鎌とでは、曲げ剛性も曲げ強度も大差はない。曲げ剛性は金輪の45~55%、曲げ強度は60~70%である。
- ・古式鎌は、鎌継ぎのなかで曲げ剛性、曲げ強度とも最低で、それぞれ金輪の10~20%、30%程度である。
- ・継手の曲げ剛性、曲げ強度を高めるためには、男木と女木の接触する側面を材長さ方向に対し斜めにするのが効果的と考えられる。etc.

## 2. 1. 2 木造再興期の研究

昭和57年(1982年)以降、伝統継手、仕口の力学的な研究は、散発的ではあるが、報告される機会が多くなって来る。一つには、機械プレカットによる継手、仕口が在来構法による個建て住宅に使われるようになって、業界、学会の双方が機械加工の強度的性能、手加工との比較といったことに興味を持つようになったためと考えられる。

また一方で、大規模木構造を対象とした接合具に関する研究が非常に勢いで増加して来る時期でもあり、建築家を中心に「金物接合」に対する拒否反応から、伝統継手や仕口を再検討しようとする機運が起って来たのかもしれない。

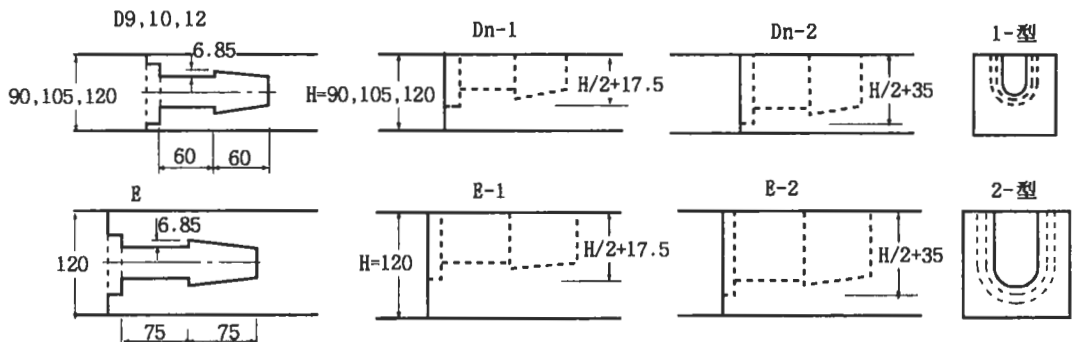


図2.1-4 後藤、中島<sup>7)</sup>らの腰掛け鎌継ぎ試験体の形状

後藤、中島<sup>7)</sup>は図2.1-4に示す8種類の鎌継ぎについて引張試験を行い、継手形状寸法が強度に及ぼす影響、機械プレカットと手加工との比較を行っている。図2.1-5に荷重-継手部開きの関係の一例を示す。継手部が1mm開くまではほぼ弾性的で、開きが2mmになるとそれ以上荷重は増加せず、粘り強いことが分かる。

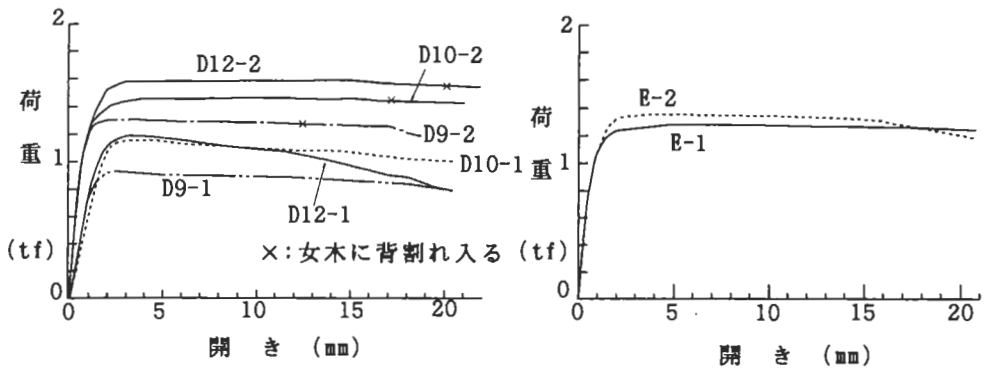


図2.1-5 荷重-継手部の開きの関係（後藤、中島より<sup>7)</sup>）

西森<sup>8)</sup>は、鎌継ぎによる継手と仕口の引張強度実験を行い、自動加工機により加工した各樹種の継手・仕口は、手加工のそれより剛性が1.2~2倍高く、最大強度も約1.2倍高い。しかし、逆に粘りは少ないという結果を報告している。

同年、河合ら<sup>9)</sup>は伝統継手14種類について、4点曲げ試験を行い、継手の種類と強度性能の関係について報告している。結果としては、やはり金輪継ぎが最も強度が高く、斜追掛継ぎがそれに続いている。杉山らの報告にもあるように、男木と女木の接触する側面を材長さ方向に対し斜めにするのが曲げには効果的であるように思える。

河合らの一連の継手強度実験のうち、現在でもプレカット材でよく使われている腰掛け蟻継ぎ、腰掛け鎌継ぎ、そして追掛継ぎの3種類については、昭和60年になって藤井、河合の連名で別途報告<sup>10)</sup>されている。図2.1-6に藤井、河合<sup>10)</sup>の試験体詳細を示す。

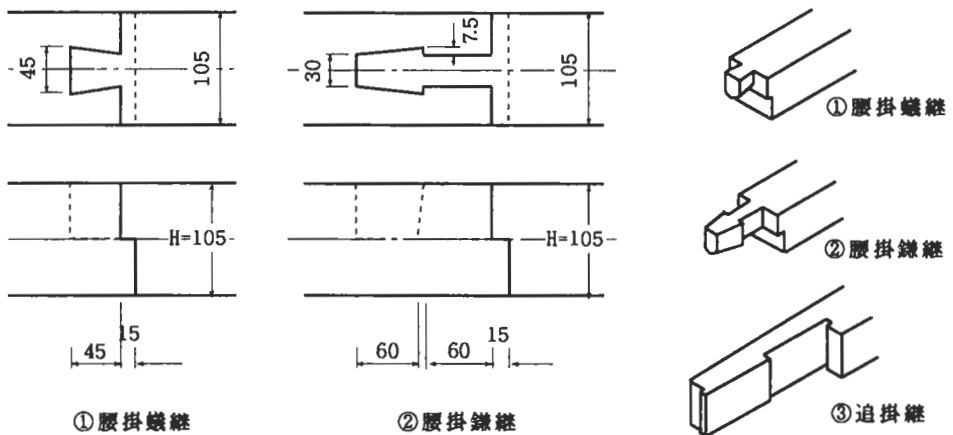


図2.1-6 藤井、河合の継手試験体（数字等は文献9)の値を参照した）

藤井、河合の実験結果<sup>10)</sup>の概要を表2.1-1にまとめて示す。追掛継ぎの強度接合効率が最高で50%を越えていることが注目される。一方、腰掛蟻継ぎは普通曲げ継手には使われなもので、曲げ強度実験すること自体厳しすぎるようにも思える。表1からも、ほとんど曲げに抵抗できる継手ではないことが分かる。

表2.1-1 継手の剛性と最大耐力の比較

継手形式	継手の		剛性接合効率* <sup>2</sup>	強度接合効率* <sup>3</sup>
	曲げヤング係数 E' (t/cm <sup>2</sup> )	曲げ破壊係数* <sup>1</sup> σ <sub>b</sub> ' (kg/cm <sup>2</sup> )		
①腰掛蟻継	3 ~ 9	17 ~ 21	0.02~0.13	0.06~0.09
②腰掛鎌継	26 ~ 54	38 ~ 72	0.33~0.62	0.15~0.35
③追掛継	26 ~ 54	75 ~ 144	0.33~0.62	0.29~0.54

\*1: 継手の最大モーメント/母材の断面係数(Z),  $Z = bh^2/6 = (10.5)^3/6$

\*2: 継手のヤング係数/母材のヤング係数

\*3: 継手の曲げ破壊係数/母材の材料強度 (= 3×長期曲げ許容応力度)

備考: 母材はベイツガJAS一等該当品: 曲げヤング係数 57.0~74.0~116.0t/cm<sup>2</sup>

文献9)の実験結果は、河合の博士論文<sup>11)</sup>に収録されている。河合の学位論文は、伝統木造の力学的研究に関連した詳細な文献を含んでおり、本章を執筆する際にも大いに活用させて頂いた。筆者の知る限り、伝統木造の力学に関する研究論文として、非常に質の高いものである。

### 2.1.3 最新の研究

最近の研究例としては、井、井上らの実験<sup>12)、13)</sup>、野村、小西他の実験<sup>14)</sup>、川村、宮國他の実験<sup>15)、16)、17)</sup>がある。図2.1-7は井、井上らの継手詳細を示す。継手の強度実験は曲げと引張の両方について行われた。論文中の図から読みとれた値を筆者なりにまとめ直した結果を表2.1-2に示す。

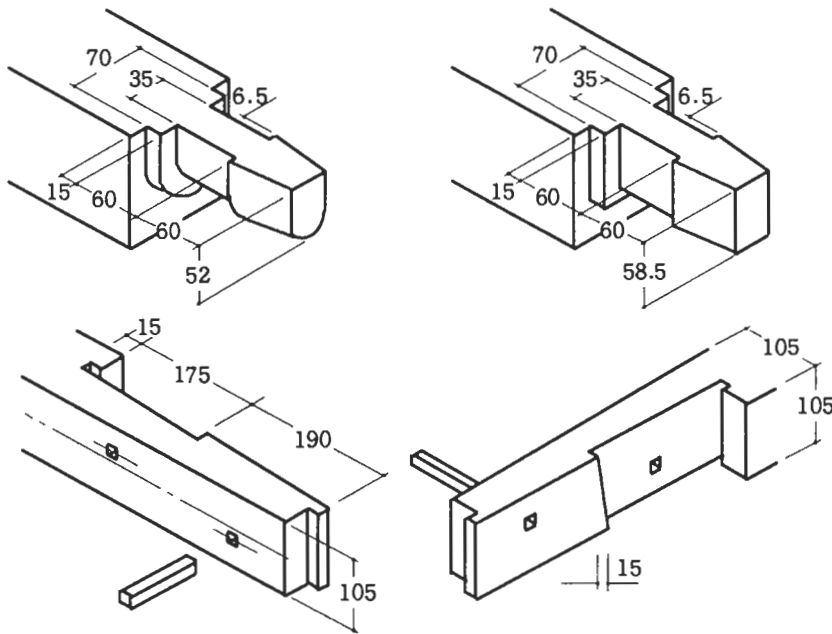


図2.1-7 井、井上らの継手詳細<sup>12)、13)</sup>

表2.1-2 継手の引張剛性と最大耐力 (井、井上らの実験<sup>12)</sup>)

継手形式	継手の	継手の	剛性接合効率 <sup>*2</sup>	強度接合効率 <sup>*3</sup>
	引張ヤング係数 <sup>*1</sup> $E_s'$ (t/cm <sup>2</sup> )	引張強度 $\sigma_s'$ (kgf/cm <sup>2</sup> )		
腰掛鎌継	7	16.3~18.1	0.10~0.15	0.12~0.13
追掛大栓継	14	27.2~36.3	0.2~0.3	0.20~0.27

\*1: 継手1mm 開き時の剛性より、継手開きをチャック間の平均伸びと仮定して概算。

\*2: 継手の推定引張ヤング係数/母材の曲げヤング係数

\*3: 継手の引張強度/母材の材料強度 (= 3×長期引張許容応力度: スギの場合45kgf/cm<sup>2</sup>)

備考: 母材はスギ: 曲げヤング係数 57~66t/cm<sup>2</sup>

井、井上らの曲げ実験<sup>13)</sup>の結果、腰掛鎌継の強度接合効率は0.09~0.16程度で、鎌が引張側になる方が耐力は大きかった。追掛大栓継の曲げ耐力は、腰掛鎌継の約3倍程度で、接合効率は0.3~0.5程度とかなり高いことが注目された。

表2.1-3に野村、小西他の報告<sup>14)</sup>から読みとった値を筆者なりにまとめた結果を示す。

表2.1-3 継手の剛性と最大耐力 (野村、小西他の報告<sup>14)</sup>)

継手形式	継手の	継手の	剛性接合効率 <sup>*2</sup>	強度接合効率 <sup>*3</sup>
	曲げヤング係数 $E'$ (t/cm <sup>2</sup> )	曲げ破壊係数 <sup>*1</sup> $\sigma_b'$ (kg/cm <sup>2</sup> )		
腰掛鎌継	4 ~ 5.4	17 ~ 23	0.07~0.09	0.06~0.09

\*1: 継手の最大モーメント/母材の断面係数(Z),  $Z = bh^2/6 = (10.5)^3/6$

\*2: 継手のヤング係数/母材のヤング係数

\*3: 継手の曲げ破壊係数/母材の材料強度 (= 3×長期曲げ許容応力度)

鎌継ぎの曲げ強さに関しては、鎌が圧縮側にある時は曲げ剛性、耐力とも極めて低いことが分かる。

#### 2. 1. 4 機械加工と手加工の比較

既往の実験報告書に見られる機械加工と手加工継手・仕口の強度性能比較に関する記述を拾い書きすると以下ようになる。

- 1) 機械加工による鎌は、鎌の下側がU字形になっているので、女木が開くような変形をしても、角に応力が集中しにくく、有利である。手加工に比べ、1.5~2.0倍の強度が得た<sup>17)</sup>。
- 2) 機械加工による鎌は初期のゆるみがなく、強度性能は手加工よりすぐれている<sup>17)</sup>。
- 3) 腰掛鎌継の曲げ耐力は、機械加工の方が手加工より10%増加<sup>14)</sup>。
- 4) 腰掛鎌継のせん断耐力は、機械加工の方が手加工より60%増加<sup>14)</sup>。
- 5) 腰掛鎌仕口のせん断耐力は、機械加工の方が手加工より20%減少これは腰掛部分の断面積が機械加工の方が少ないためである<sup>14)</sup>。
- 6) 剛性に関しては、機械加工の方が大きくなる傾向にある<sup>14)</sup>。

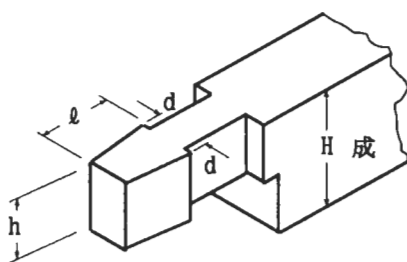
- 7) 機械加工の方が耐力は大きい、破壊性状は脆性的である<sup>14)</sup>。
- 8) 自動加工機により加工した各樹種の継手・仕口は手加工のそれより剛性が 1.2~2 倍高く、最大強度も約 1.2 倍高い。しかし、逆に粘りは少ない<sup>8)</sup>。
- 9) 引張を受ける腰掛鎌継と追掛大栓継について、機械加工と手加工との間に最大耐力の差は余りないが、機械加工の方が若干大きい傾向にある。一方、剛性については形状が複雑な腰掛鎌継の場合、機械加工の方が剛性が高く、追掛大栓継では同等である<sup>12)</sup>。
- 10) 曲げを受ける腰掛鎌継の場合、手加工の方が剛性、耐力とも高くなった<sup>13)</sup>。
- 11) 曲げを受ける追掛大栓継の場合は、逆に機械加工の方が剛性が高い<sup>13)</sup>。

2、3 相反する評価もあるが、総括的に見れば、機械プレカット継手・仕口の力学的性能は手加工のそれと比較して、むしろ優れていると評価ができよう。ただ、接合部のしまりが良く、「遊び」がないので、破壊性状がむしろ脆性的であるという指摘は木造の複雑性、面白さを表しているようで興味深い。

### 2. 1. 5 継手の形状と耐力の関係

継手各部の形状は継手の耐力に微妙な影響を与えるが、その影響を定量的に扱った研究は少ない。図 2.1-8 に示す川村・宮國<sup>16)、17)</sup>の腰掛鎌継(ただし手加工)の形状が強度に及ぼす研究を例に、その影響を示すと以下の通りである。

- 1) 鎌成  $h$  と最大荷重は比例関係にあり、鎌成  $h$  を母材の材成  $H$  に一致させた場合が最も引張耐力は大きい。
- 2) あご幅と破壊までの仕事量は反比例し、あご幅が大きくなると、脆性的な性質を示す。
- 3) {素材のせん断強度} × {鎌成} × {頭の長さ} で求められる算出荷重と、実験で求められる最大引張荷重とは比例的である。
- 4) 曲げ耐力、剛性も一般に鎌成と比例関係にある。



#### 3 要因

- $h$  : 鎌成
- $l$  : 頭の長さ
- $d$  : あご幅

図 2.1-8 腰掛け鎌継の強度に及ぼす 3 大要因

### 2. 1. 6 今後の課題

1. 継手・仕口の 3 次元応力分布の解明
2. 木材の微細構造と強度発現機構の関係の解明
3. 強度発現機構の力学モデルの構築

4. 継手・仕口の最適プロポーシヨンの解明
5. 寸法効果の実験的検証

## 2. 1. 7 文献 [2. 1 伝統継手・仕口]

- 1)内田祥三：木造仕口の実験的研究、建築学会論文集、第2号、P.21-30、1936.
- 2)河野輝男：木造柱梁仕口強度及び剛節度の実験的研究、建築学会論文集、第9号、1934. (孫引き)
- 3)飯塚五郎蔵、石井卓郎：和風仕口の引張耐力試験、日本建築学会大会学術講演梗概集、(中国)、p.1975-1976、1977.
- 4)飯塚五郎蔵、斉藤 泉、石井卓郎：和風仕口の引張耐力試験、日本建築学会大会学術講演梗概集、(北海道)、p.1977-1978、1978.
- 5)後藤一雄：追掛大栓継の引張強度について、日本建築学会大会学術講演梗概集、(関東)、p.1769-1700、1979.
- 6)杉山英男、西浦忠輝：「古建築構造材の力学的研究」－ 継手の強度について－、文部省科学研究費特別研究「古文化財」、総括班、p.483-499、1980.
- 7)後藤一雄、中島卓治：「鎌継の引張り強さについて」(木造継手の研究 No.4)、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、p.2053~2054、1982.
- 8)西森 進：機械加工による軸組工法接合部の引張耐力について、日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)、p.2199~2200、1983.
- 9)河合直人、藤井 毅、内田祥哉、坂本 功、源 愛日児：伝統的木造継手の実験的研究(曲げ試験)、日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)、p.2201~2202、1983.
- 10)藤井 毅、河合直人：「手加工および機械加工による継手の曲げ強度性能の比較」、住宅と木材、Vol.8、NO.85、p.6-11、1985.
- 11)河合直人：「伝統木造住宅の構造に関する研究」、東京大学工学部提出学位論文、191頁、12月、1987.
- 12)井 英浩、井上正文、本多祥二：機械加工による在来木造継手の剛性・耐力について(その1)腰掛け鎌継ぎおよび追掛大栓継ぎの引張実験、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、p.79~80、1991.
- 13)井 英浩、井上正文：機械加工による在来木造継手の剛性・耐力について(その2)腰掛け鎌継ぎおよび追掛大栓継ぎの曲げ実験、日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)、p.31~32、1992.
- 14)野村裕範、小西敏正、他4名：木造軸組における継手・仕口の力学的性状に関する研究－手加工と機械加工による破壊性状の比較－、日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)、p.33~34、1992.
- 15)川村清志、西森 丹、宮國勉：木造継手の強度性状に関する実験的研究－腰掛鎌継ぎの引張実験 その1、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、p.75~76、1991.
- 16)川村清志、宮國勉：木造継手の強度性状に関する実験的研究－腰掛鎌継ぎの引張実験 その2、日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)、p.35~36、1992.
- 17)川村清志、宮國勉：木造継手の強度性状に関する実験的研究－腰掛鎌継ぎの曲げ実験 その1、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、P.927~928、1993.

## 2.2 接着剤による接合

木材同士もしくは木質材料と他材料とを接着剤によって接合する技術を総称する。この接合法は、古くから木材の3大接合技術の中の一つを占め、品質管理の行き届いた工業化住宅（俗に言うプレファブ住宅）の一部で構造的な使われ方がされてきた。しかし、接着接合は環境条件に敏感で、一般の木造建築の現場では品質管理が難しいため、これまでは、他の2種類の接合法ほど構造的な用途には活用されていなかった。最近になって、大規模木構造用の新たな接合法の一つとして、新しい接着接合構法がゼネコンを中心に注目されている。

なお、木質材料を製造するための接着技術に関しては、本章では取り上げない。ここで対象とするのは、接着剤によって構造部材同士を接合して構造体を構成するための接合だけである。

### 2.2.1 添板接着接合（ラップジョイント）

最初に研究対象となった最もシンプルな接着接合は、図2.2-1に示す2つの部材を添板を介して接着剤で接合する方法である。

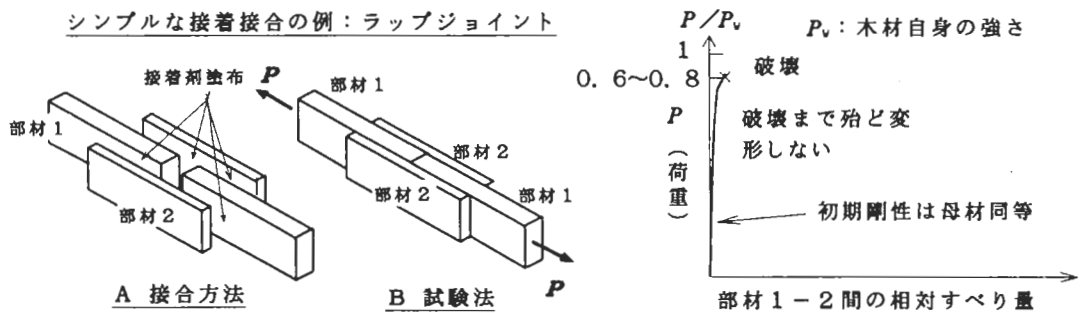


図2.2-1 2重添板接着接合の方法と荷重-変形関係の模式図

この種の接着接合部が単純な引張力を受ける場合の応力解析は、Volkasen が被着体の曲げを考慮せずに解析したのが最初と言われている<sup>1)</sup>。Volkasen のモデルは図2.2-2に示すように、被着体-1と被着体-2の微小要素での長軸方向釣り合い条件から2次の微分方程式を導くもので、被着体と被着体の間の間隔  $g$  を接着層の厚さとして定義することが必要である。

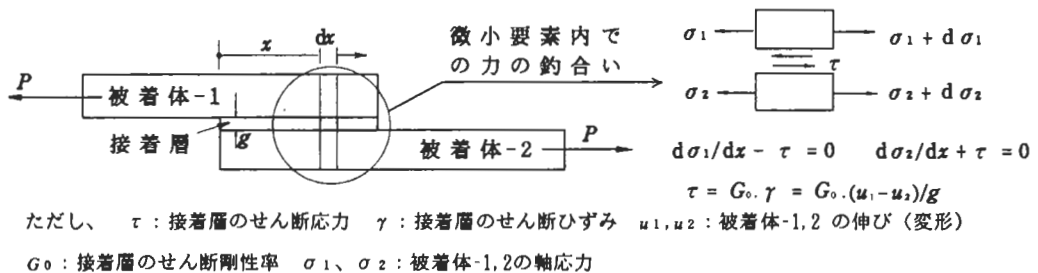


図2.2-2 ラップジョイントの応力解析のための Volkasen モデル<sup>1)</sup>

その後、Goland & Reissner が被着体の面外曲げも考慮した解析解を示し、この種の接着継手の応力分布の基本的な姿はほぼ説明されたと言われている<sup>1)</sup>。

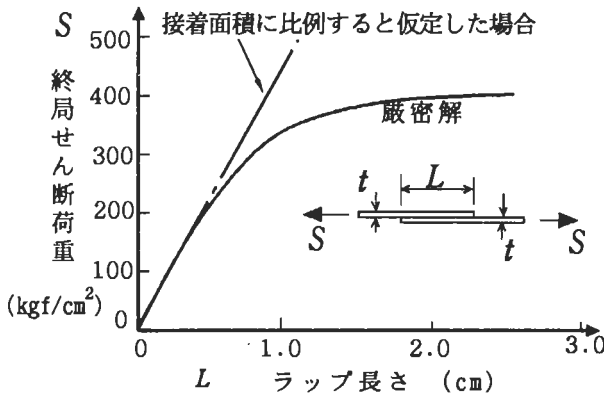
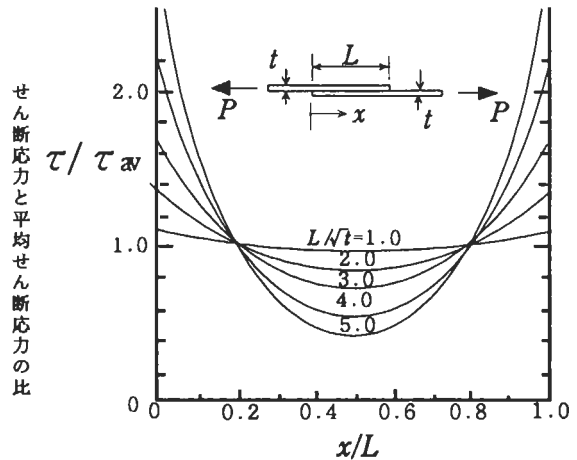


図2.2-3 強度とラップ長の関係<sup>2)</sup>

これは、図2.2-4に示すように、ラップ長さ  $L$  が大きくなると、接着層に働くせん断応力  $\tau$  が接着端部に集中する割合が急増して、接着端部から破壊しやすくなるため、接着面積が100%有効に使われていないことを示している。

図2.2-4 ラップジョイントの応力分布<sup>2)</sup>



ところで、図2.2-2～図2.2-4のような

Volkasen モデルの適用できる系は、被着体と接着層が、幾何学的にも物理的にも明確に識別できる金属接着系のような場合に限られる。木材接着のように、接着層の厚さやその力学的性質を明確に定義できないような系では、接着層における応力 ( $\tau$ ) とひずみ ( $\gamma$ ) の関係 (Hooke則) を、図2.2-2のように定義することが困難となる。

小松ら<sup>3)</sup>は、接着層の厚さ  $g$  とそのせん断剛性率  $G_0$  を無理に導入する代わりに、機械的接合法で使われるような、被着体同士の相対すべりの考え方を導入して、見かけの接着層の応力  $\tau$  と被着体-1,2の相対ずれの関係を次式のように仮定し、得られた変位式に被着体の実測伸びを代入して、 $\lambda$  の値を逆算してみた。

$$\tau = \lambda (u_1 - u_2)$$

$\lambda$  : 接着におけるすべり係数に相当する係数

その結果、 $\lambda$  のオーダーとして以下のような概算値を得た。

$$\lambda = E_w/25 \sim E_w/15 \approx G_w/t$$

$t$  : 被着体-1, 2の厚さ (材せい, 実験では1cm)

$E_w$  : 木材のヤング係数

$G_w$  : 木材のせん断剛性率 (=  $E_w/25 \sim E_w/15$ )

$\lambda$  に関する近似関係は、実験的検証が不十分であるため断言することは避けるべきかもしれないが、おおよその目安として、木材接着を Volkasen モデルのような単純な力学モデルで近似する場合には、図2.2-5に示すように、被着体の厚さ  $t$  の半分ぐらいがせん断変形に寄与する層であると仮定すれば、オーダー的にはちょうど合うということになる。

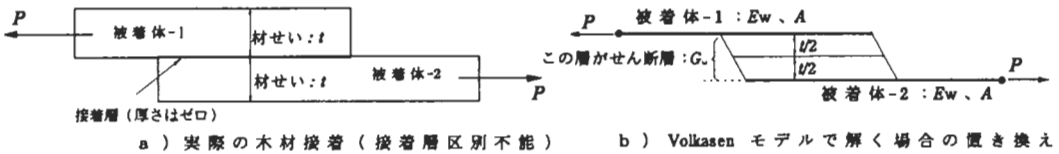


図2.2-5 木材のラップジョイントにおける等価せん断変形モデル

これは、木材の場合、 $E_w$  に比べて  $G_w$  が極めて小さいため、継手が面内せん断を受けると、被着体自体も幾分せん断変形をしながら、被着体-1の軸力が被着体-2に伝達されていくことによる。一方、被着体が薄く、かつその  $G$  が  $E$  の  $1/3 \sim 1/2$  程度で、接着剤自体の  $G_w$  が相対的に低い金属接着ではほとんど無視できる現象である。

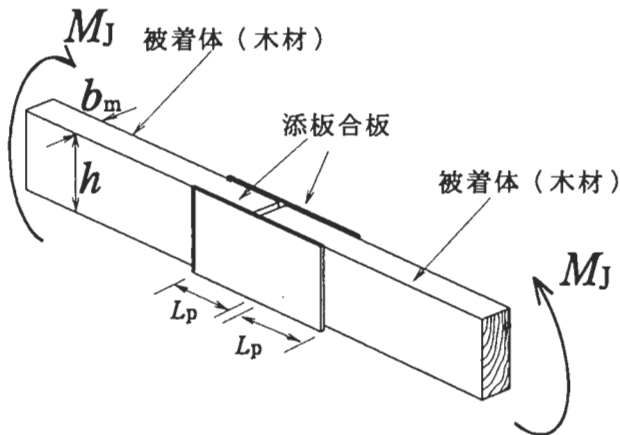
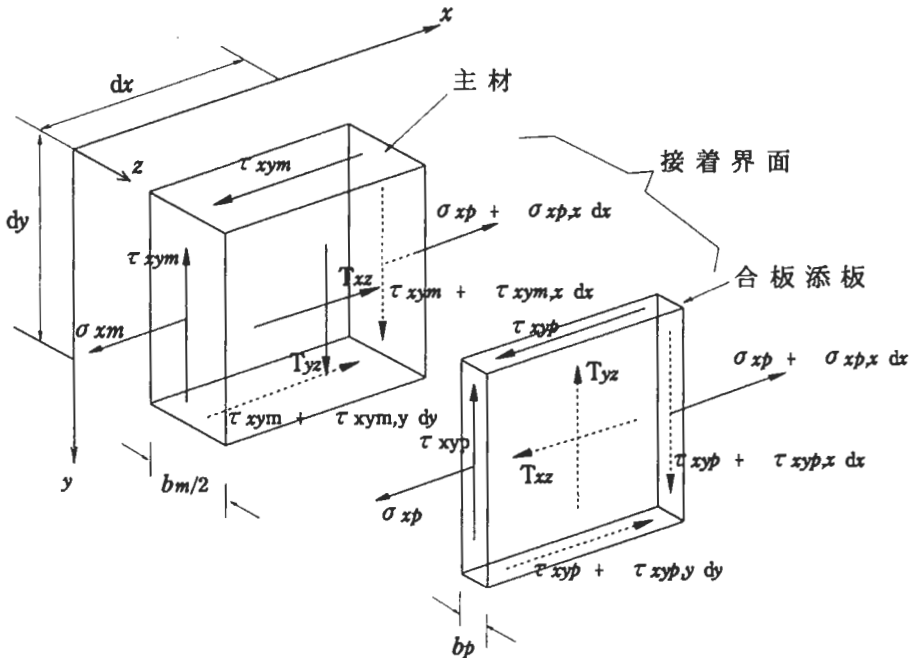


図2.2-6 面内曲げを受ける合板ガセット接着継手

以上の例はラップジョイントに引張力もしくは面外曲げが加わる場合の話であった。しかし、現実の木構造を考えると、たとえば、図2.2-6に示す合板ガセットを側面に接着した継手が面内曲げを受けるような使われ方のほうが実際には多い。なぜならば、部材を縦使い (エッジワイズ) とし、側面にガセットを張るほうが剛性を稼ぐのに有利な場合が多いからである。

このような3次元的状态にある接着層の応力分布に関しては、今日の高度に発達した3次元有限要素法プログラムを駆使すれば、ある特定の接合状態に対する応力分布を数値的に知ることは可能である<sup>4)</sup>。しかし、これを解析的に解こうとした研究は数少ない。

1968年、米国パデュー大学の Segerlind, Dale, Suddarth<sup>5)</sup>は、図2.2-6に示す面内曲げモーメントを受ける接着継手の応力分布を Volkasen型の有限接着層厚さを考慮する手法を拡張して、疑似3次元の問題として解いている。彼らの報告は理論計算だけで、実験による理論解析の検証は含まれていないが、結論として「接着層のせん断応力分布は、材料常数とラップ長さ、部材材せい等に強く依存する」ことが示された。



ただし、添字 m は主材、添字 p は添板合板を示す。

( ), x または ( ), y は x または y で偏微分という意味

図2.2-7 合板添板接着継手における微小要素内での力の釣り合い<sup>6)</sup>

小松<sup>6)</sup>は図2.2-6に示す面内モーメントを受ける接着継手を、接着層の厚さを考慮せずに、図2.2-7に示す釣り合い状態にある疑似3次元の問題として、半逆解法 (Semi-inverse method) によって解析した。解析での仮定<sup>6)</sup>は以下の通りである。

- 1)  $\sigma_{ym}$ 、 $\sigma_{zm}$ 、 $\sigma_{yp}$ 、 $\sigma_{zp}$ は無視する。
- 2) 主材、添板の曲げ応力  $\sigma_{xm}$ 、 $\sigma_{xp}$  は梁の初等理論に従って y の一次関数と仮定する。
- 3) 主材と添板の適合条件は中立軸での曲率が一致する。
- 4) 接着界面に作用するせん断応力を  $T_{xz}$ 、 $T_{yz}$  とおき、これらは主材、添板に共通の応力と考える。
- 5) ポアソン比の影響は無視する。

継手の破壊に最も関係の深い接着界面でのせん断応力  $T_{xz}$  の閉解は以下の通り。

$$T_{xz} = -y \frac{M_J}{4I_m} \cdot \frac{\alpha \cdot b_m}{(1 + \beta)} \left[ \frac{1}{2} (\cosh \alpha L_p + \beta) \frac{\cosh \alpha x}{\sinh \alpha L_p} - \frac{1}{2} \sinh \alpha x \right] \dots a)$$

$$\alpha = \frac{4}{h} \sqrt{\frac{R_E}{R_G}} \quad R_E = \frac{1}{E_m} + \frac{b_m}{2E_p b_p} \quad R_G = \frac{1}{G_m} + \frac{b_m}{2G_p b_p}$$

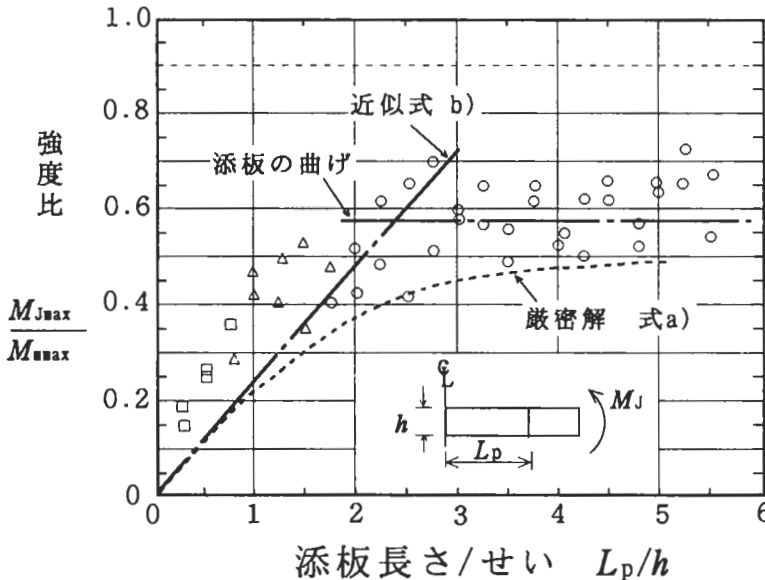
$$\beta = \frac{2b_p E_p}{b_m E_m} \quad I_m = \frac{b_m h^3}{12}$$

最終的に、実務設計では使いにくい双曲線関数等を近似化して、合板添板接着継手の最大曲げモーメント算定式として、次式を提案した<sup>6)</sup>。

$$M_{J-\max} = \tau_{rp} \cdot h^3 \cdot \{1/(1 - \phi/2)\} (L_p/h) \dots b)$$

$\phi = 1/(1 + \beta)$ 、 $\tau_{rp}$ ：添板合板のローリングシア強度

図2.2-8は、式a), b)と実験結果との比較を示したもので、 $L_p/h \leq 2.5$  程度まで、設計式b)が適用でき、それ以上添板が長くなると、添板の曲げ破壊（図中横一線）が支配的となることを示している。



$M_{J-\max}$ ：継手曲げ破壊モーメント、 $M_{\max}$ ：母材の曲げ破壊強度（実測値）

□：接着破壊、△：ローリングシア破壊、○：添板曲げ破壊

図2.2-8 合板添板接着継手の最大モーメントと添板寸法の関係<sup>6)</sup>

以上示したように、接着接合部の強度設計には、被着体の寸法、剛性等の因子が複雑に絡むため、単純に単位面積あたりの接着強度（木材の場合は木材自体のせん断強度）に所用の接着面積を掛ければよいという算定法は危険側の算定となることがある。

## 2. 2. 2 接着接合における応力集中

接着接合で見逃されがちなファクターは、添板の材軸方向に沿った厚さと接着端部の角度の強度へ及ぼす影響である。

前者の影響は材料力学的に解釈できる<sup>7)</sup>。図2.2-2を参照する。添板の軸応力の変化率 ( $d\sigma/dx$ ) とせん断応力 ( $\tau$ ) とが釣り合っている。もし、添板の軸応力の変化率が一定となるように添板厚さを材軸方向に変化させることができれば、接着層のせん断応力も接着層に沿って一定となり、応力集中がなくなる。

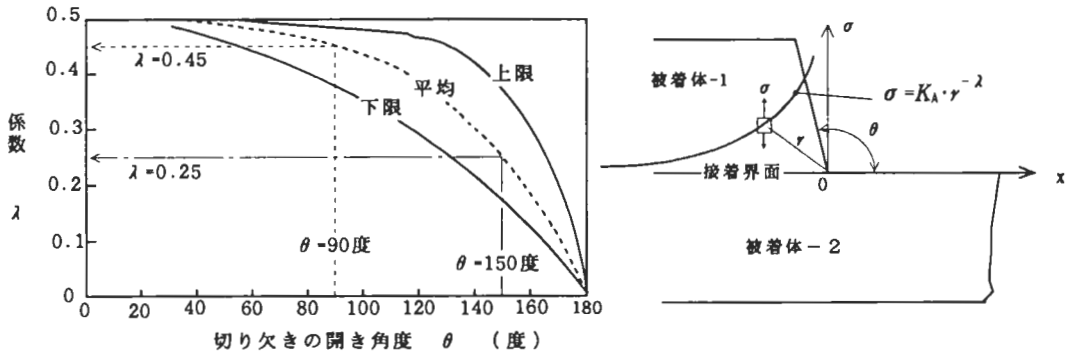


図2.2-9 切り欠き底の応力分布<sup>8)</sup>

接着端部角度の影響は線形破壊力学の理論<sup>8)</sup>によって説明できる。詳細な誘導はさておき、結論的には、図2.2-9に示すような「切り欠き」と見なせる接着端部に生ずる応力は式c)のように表現できる。

$$\sigma = K_{\lambda} r^{-\lambda} \quad \dots c)$$

式c)及び図2.2-9意味するところは、切り欠き底近傍の応力は、切り欠き底からの距離  $r$  の  $\lambda$  乗に反比例して急激に集中度を増し、その集中度の厳しきは、切り欠きの開き角度  $\theta$  が小さい程シビアとなる。図2.2-9において、 $\theta = 90$ 度の場合と  $\theta = 150$ 度の場合を比較すると明白である。従って、接着端部の開き角度が  $90$ 度よりも広い方が応力集中の度合いが低くなって、強度的に有利となる。

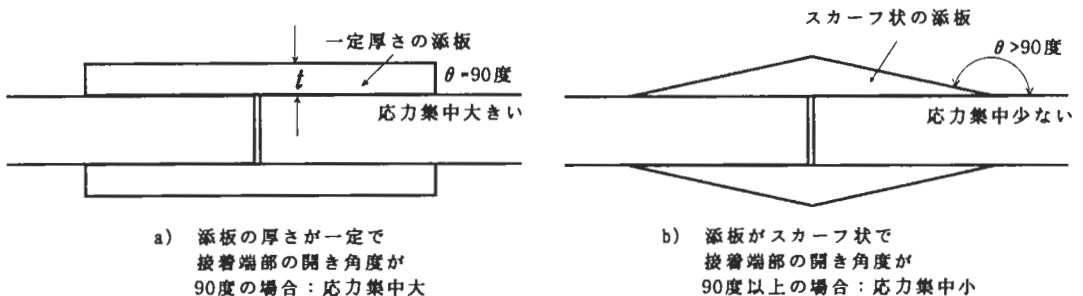


図2.2-10 添板の厚さ  $t$ 、接着端部の開き角度  $\theta$  の定義

以上の結果から考えると、図2.2-10-b)のようなスカーフ状の添板継ぎが強度的には有利となる。

次に、添板を用いない接着継手を考える。図2.2-11-a)のように、部材を相欠きとした接着接合は、いままでの説明から最も応力集中が大きく、強度的には不利である。そこで、部材の厚さを材軸方向に変化させた図2.2-11-b)のようにすると応力集中が緩和されてかなり有利となる。これを更に発展させたものが図2.2-11-c)のスカーフジョイントであって、理論的に応力集中は存在しない。

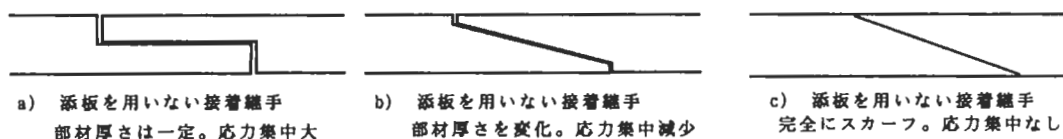


図2.2-11 添板を用いない接着継手の部材厚さと応力集中の関係

このスカーフジョイントは、木材の接着継手としては、強度的に最も優れた接合法であり、スカーフ角度を十分にとると、母材の強度と同等の強度を発揮することもできる。しかし、材料の歩留まりが悪いこと、加工と接着管理が難しいことなどから、強度性能としては一段劣るが、生産性の高いフィンガージョイント（図2.2-12参照）にその地位を明け渡した。

## 2.2.2 フィンガージョイント

フィンガージョイントに関する我が国の研究は、その適正製造条件について、主に木材の機械加工の立場から研究が始められた。

最初は、宮島ら<sup>9)</sup>や工藤ら<sup>10)</sup>の研究に見られるように、フィンガー長さが40mm近い、いわゆる「大フィンガー」を対象に研究が始められた。その後、より一層歩留りの向上を目指した「ミニフィンガージョイント」に関する研究が盛んとなった。

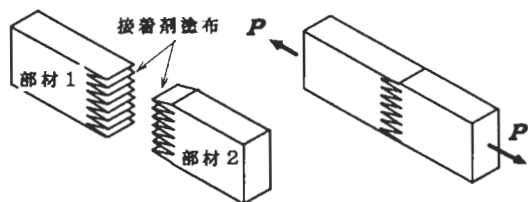


図2.2-12 フィンガージョイント

1972年、沢野、宮島ら<sup>11)</sup>は、ミニフィンガージョイントの接合効率と縦継ぎラミナを積層接着した集成材の曲げ強度性能について、我が国最初の報告を出している。

1973~76年にかけて、星、千葉ら<sup>12), 13)</sup>は、フィンガー長さを5mm~12.0mmに変化させた5種類のフィンガーカッターを用い、3種類の接着剤と3種類の樹種を用いて、ミニフィンガージョイントの適正製造条件に関する研究を行っている。

1974年~1976年にかけて、国立林試（ベイツガ、アカマツ、スギ担当）、北林産試（エゾマツ・トドマツ担当）、富山木試（ソ連カラマツ担当）の3者共同で、204、206、208、404寸法のFJ材（フィンガージョイントを用いた縦接合材の略称）の強度性能に関する

数多くの実験が行われた。この研究<sup>14)</sup>は、扱われた樹種の多さ、試験体数、その他からいって枠組材寸法のF J材に関する我が国で最初の組織的なプロジェクト研究であった。

その後、F J材の強度性能に関する研究は、北林産試の堀江、倉田ら<sup>15)、16)、17)、18)</sup>、森林総研の星<sup>19)</sup>、海老原<sup>20)</sup>によって進められ、1985年には、日本住宅・木材技術センターの縦接合委員会から、F J材の製造基準(案)<sup>21)</sup>も提案された。この時点をもって、F J材の適正製造条件と強度性能に関する実験的な検討はほぼ完了したと言えよう。

現在では、集成材ラミナの縦接合用ならびに枠組み壁工法用のF J材に関しては、強度的信頼性はかなり高くなったと言われているが、F J材の強度発現機構を解明するための力学的な研究は未だ十分ではないように思える。

### 2. 2. 3 大断面集成材の現場接着

建築の分野では、構造部材同士の「現場接着」に接着接合を用いることはタブー視されてきた。しかし、機械的接合法に飽きたらないゼネコン側が、初期ガタと審美性の面で有利な接着接合に注目するようになった。

1988(昭和63)年、竹中工務店の研究チームは大断面集成材の現場接着を最終目標とした接着構法に関する基礎的な研究を開始した<sup>22)</sup>。研究は実大集成材を用いた接合形状の選択<sup>23)</sup>、接着不良の非破壊的検査法の適応性の検討<sup>24)、25)、26)</sup>、ビッグフィンガージョイント(B F J)の施工実験を兼ねた大断面集成材の継手強度実験<sup>27)、28)</sup>、全強接合を意図した実験<sup>29)</sup>等を経て、最終的にスパン60mの集成材ラジアルアーチを現場接着によって接合するための準実大実験<sup>30)</sup>に及んでいる。

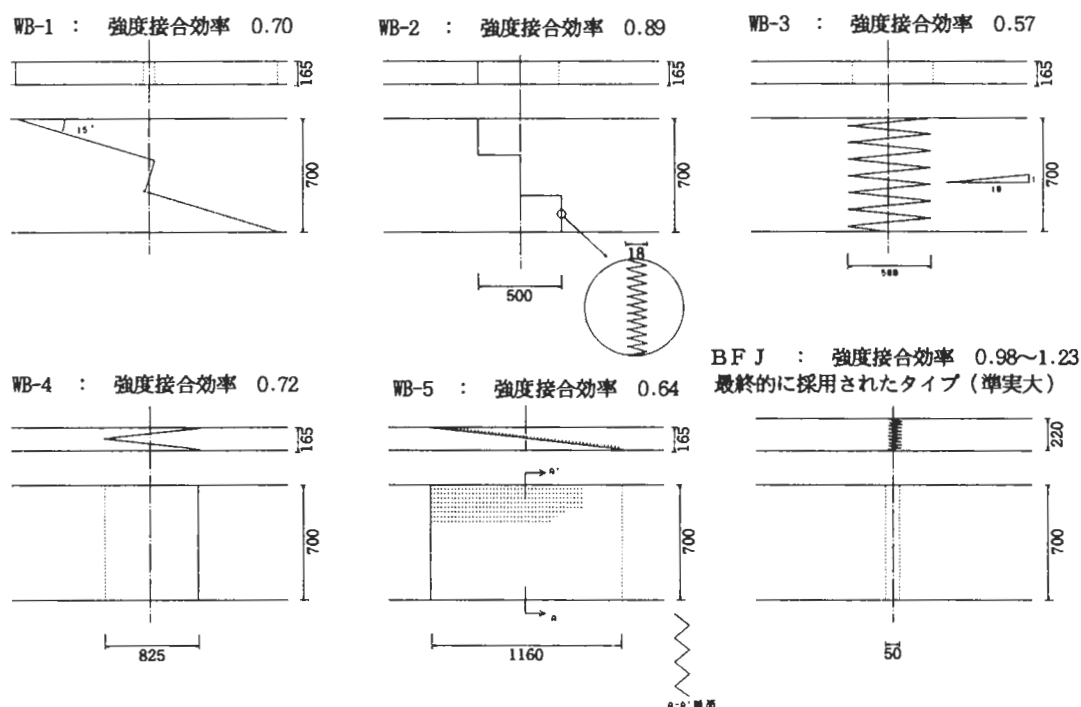


図2.2-13 一連の実験に供試された継手形状のバリエーション(単位:mm)

図2.2-13は、一連の実験に供試された継手形状のバリエーションと実験で得られた強度接合効率を示す。スカーフジョイントもしくはフィンガージョイントが様々に組み合わせられた形状となっていることが分かる。

言うまでもなく、このような実大、準実大の継手試験体を用いて継手の耐力を確認したからこそ、我が国初の現場接着構法による白竜ドーム（図2.2-14）の建設<sup>31)</sup>につながったわけである。

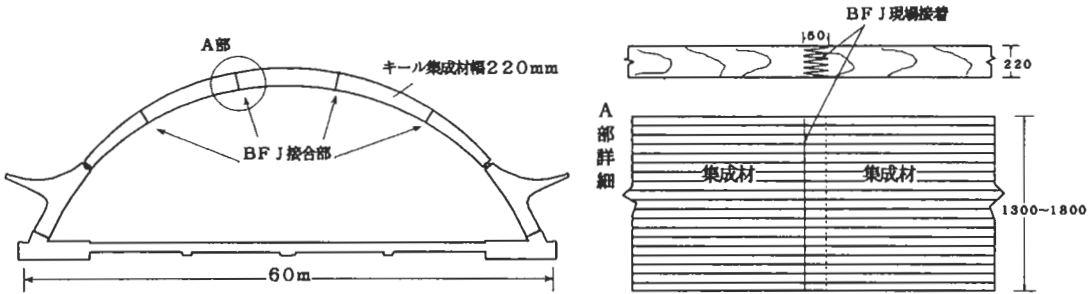


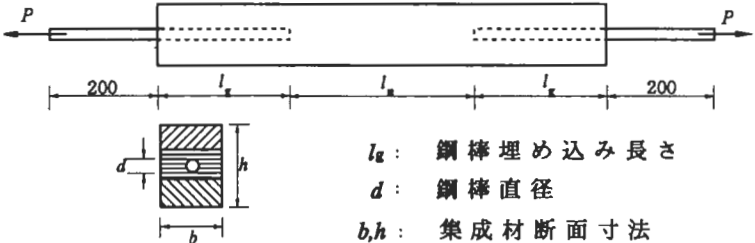
図2.2-14 集成材キール梁をBFJで現場接着した白竜ドーム<sup>31)</sup>

しかし、筆者の個人的な印象として、継手の強度設計の拠り所となったポイントは、最初の実験<sup>22)</sup>で供試された断面5mm x 20mmの小型スカーフ接着継手試験で得られた引張強度が、スカーフ角度に拘わらず、単位接着面積あたりで評価すると、ほぼ $\sigma = 50 \text{ kgf/cm}^2$ で一定であったという素朴な事実、エンジニアが興味を示した点につけるように思える。

現在のティンバーエンジニアリングの分野では、無欠点小試験体の強度から実大材の強度を推定するという諸先輩が築き上げた美しい大系は過去のものとする風潮にあるが、我々木材研究者が放棄しようとしている研究の原点を今回の現場接着に見た思いがする。

2.2.4 鉄筋挿入接着接合

鉄筋を木材の内部に挿入し、それを接着剤で固めて継手を構成するという技術は、デンマークでは古くから使われていた技術であると、デンマーク工科大学の Riberholtはその論文<sup>32)</sup>の冒頭で紹介している。最近までは、接着剤としてレゾルシノール樹脂が使われていたらしい<sup>32)</sup>。しかし、より強力な接合を開発するため、Riberholt は1977年より接着剤を変えて実験を開始した。



- $l_g$ : 鋼棒埋め込み長さ
- $d$ : 鋼棒直径
- $b, h$ : 集成材断面寸法

図2.2-15 Riberholt による鋼棒挿入接着接合試験体<sup>33)</sup>

実験はスプルー集成材を用い、接着剤としてはポリウレタン樹脂接着剤、アラルグイド（エポキシ樹脂接着剤）の2種類を対象として、縁距離、有効埋め込み距離、鋼棒直径、木材の密度、含水率等をパラメタとして、図2.2-15に示す引張試験法で行われた。

結果として、アラルグイド（エポキシ系）を用いたものは、ポリウレタンを用いたものより剛性が高いが、その分破壊は脆性的で最大強度も低かった。

Riberholt<sup>3,3)</sup>は実験結果から引張強度とパラメタ間の回帰式を次式で与えた。

ポリウレタン樹脂接着剤 :  $F_{max} = -9.4 + 0.834 \cdot d_h \cdot (l_g)^{0.5} \cdot r_u \dots a)$   
 アラルグイド（エポキシ）接着剤 :  $F_{max} = 3.5 + 0.237 \cdot d_h \cdot (l_g)^{0.5} \dots b)$

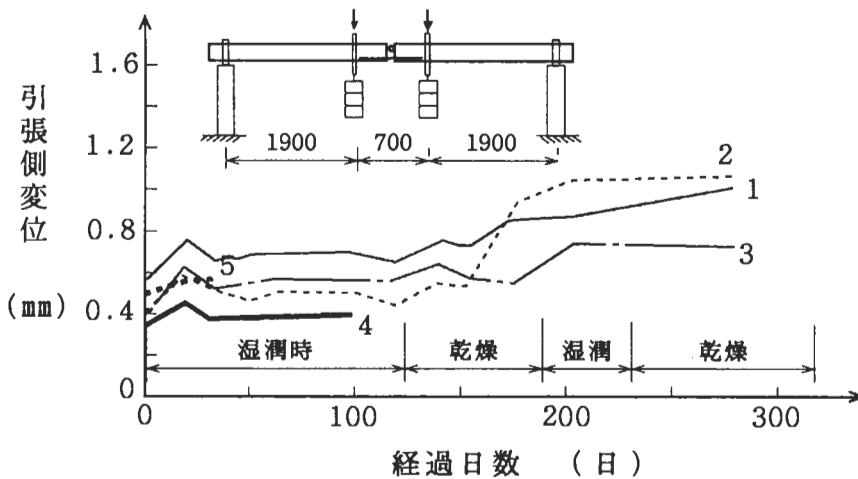
ただし、 $F_{max}$  : 最大引張荷重(kN)

$d_h$  : 鋼棒を埋め込むために開けた穴の直径（ボルト径+1mm）(mm)

$l_g$  : 鋼棒埋め込み長さ(mm)

$r_u$  : 比重

同時に行われた長期載荷実験では、興味深い結果が得られている。図2.2-16に示すように、最大引張荷重の約50%の力が作用するようにセットされた曲げ型試験体でのクリープ試験の結果、アラルグイドの試験体は106日目で破壊したのに対し、ポリウレタンの試験体は初期の変形を保ったまま300日を越えても破壊せずに残った。また、屋外での長期載荷実験の結果は屋内での性能の約半分程度であった。



備考 1,2,3 : ポリウレタン 4,5 : アラルグイド

図2.2-16 鋼棒挿入接着接合の長期載荷実験<sup>3,2)</sup>

他に、引張耐力の他に、せん断を受けた場合、柱脚として使う場合のモーメント抵抗能力の実験、門型フレームへの応用なども報告されている。更に、Riberholt は1988年に含水率の影響を受けにくい別の種類のポリウレタン樹脂接着剤についても、同様の引張耐力に関する実験<sup>3,3)</sup>を報告している。

鋼棒挿入接着接合の試みは、その後ニュージーランド（NZ）、日本でも続けられている。NZのカンタベリ大学の Buchanan, Moss らのグループはエポキシ接着ボルトを集成材ラーメン架構の剛接合へ応用することをめざして研究を始めた。

大学院生の Townsend は Riberholt の実験を再現して、エポキシ接着ボルト構法のNZ産ラジアタパインへの適応性について報告している。Townsend の与えた実験式は以下の通りである。

$$F = 9.2d \cdot l_g \cdot (r_d)^2 \cdot (r_e)^{0.5}$$

ここで、

$F$  : 引張耐力 (N) (接着剤はエポキシ、集成材はラジアタパイン)

$d$  : 鋼棒直径 (mm)

$l_g$  : 鋼棒埋め込み長さ(mm)

$r_d$  : 鋼棒用の先孔径 / 鋼棒直径

$r_e$  : 縁距離 / 鋼棒直径

我が国でも、1989年頃から鋼棒挿入接着構法に関する実験報告が見られるようになってきた。朝山、定方、丹羽<sup>35)</sup>は鉄筋コンクリートの改修、補修に使われるカプセル型の樹脂アンカーを木構造の接合に応用する実験に取り組み、引き抜きに対し効果的であることを示した。

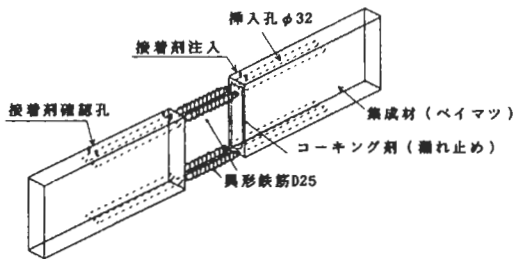


図2.2-17 鋼棒挿入接着接合構法<sup>36)</sup>

小野、鴛海ら<sup>36)</sup>は、木質ラーメン構造の柱脚部の接合用に鋼棒挿入接着接合法を取り入れるため、Riberholt の研究に従って、LVLと異型鉄筋の引き抜き接着力を調べる実験をポリウレタン樹脂接着剤とエポキシ樹脂接着剤の2種類の接着剤についておこなった。予備実験では、Riberholt<sup>32)</sup>の結果

と同じく、ポリウレタンの方がエポキシより良い結果で、鉄筋強度に匹敵する耐力が得られた。しかし、本実験では「...過去の使用実績と長期の耐久性...」を理由(?)としてエポキシ樹脂が用いられた。また、同構法を用いた梁継手の実験(図2.2-17参照)も実施され、鋼棒挿入接着構法を木質ラーメンに適用するための設計データが蓄積された。

## 2. 2. 5 残された問題点、今後の課題

- 1) フィンガージョイントにおける寸法効果と最適フィンガー形状・寸法の決定
- 2) 現場接着における強度保証の問題。非破壊検査の可能性。
- 3) 接着接合は本当に信頼性が高まったのか?  
(8年前のシンポジウムでは全く信頼性が無かった)
- 4) 接着接合の許容耐力は現在のままでよいのか? 鋼棒挿入接着接合などはどういう許容耐力を使うのか(木材のせん断?、接着剤のせん断?、長期-短期の関係)
- 5) エポキシ樹脂接着剤の耐久性の検討(Riberholtの警鐘)

## 文献 [ 2. 2 接着接合 ]

- 1) I.N.Sneddon: "The Distribution of Stress in Adhesive Joints" in Adhesion, (edited by D.D.Eley), p.207, Oxford University Press, 1961.
- 2) 大沼康二: 金属外板接着部の応力分布と強さ特性について、航空学会誌、7(60), p. 1-6, 1959.
- 3) K.Komatsu, H.Sasaki and T. Maku: "Application of Fracture Mechanics to Strength Analysis of Glued Lap Joints", Wood Research, No.61, p.11, 1976.
- 4) たとえば A.Epple: "Untersuchungen Über Einflüsse auf die Spannungsverteilung in Aufgeleimten Holzaschen und Hölzernen Knotenplatten", Universität Hamburg, 1983. (ハンブルグ大学提出学位論文)
- 5) L.J.Segerlind, A.C.Dale and S.K. Suddarth: "Shear Stress in Adhesive Joints Subject to Bending", Transaction of the ASAE ( American Society of Agricultural Engineers ), 11(6), p.796-p.800, 1968.
- 6) 小松幸平: 面内曲げを受ける添板接着継手の耐力、木材学会誌、24(2)、p. 91-96、1978.
- 7) 後藤一雄: 「6.17 接着仕口」、木構造の計算、p.224、鹿島出版会、1980.
- 8) R.H.Leicester: "Some Aspects of Stress Field at Sharp Notches in Orthotropic Materials I", Division of Forest Products Technological Paper, No.65, C.S.I.R.O. Australia, 1971.
- 9) 宮島 寛、梅田佳一: フィンガージョイントの接合効率について、日本木材学会北海道支部講演集 第1号、p.36~38、1968.
- 10) 工藤 修 他3名: 水平垂直フィンガージョイントの接合効率の差異、日本木材学会北海道支部講演集 第2号、p.16~17、1970.
- 11) 沢野信一、宮島 寛: フィンガージョイントの接合効率、日本木材学会北海道支部講演集 第4号、p.10~14、1972.
- 12) 星 通、千葉保人: ミニフィンガージョイントの形状と性能、木材工業、Vol. 28、No. 8、p. 355~357、1973.
- 13) 星 通、千葉保人: ミニフィンガージョイントの形状と性能(2)、木材工業、Vol. 31、No. 8、p. 343~345、1976.
- 14) 農林水産技術会議事務局: 枠組壁工法のための建築用木材の強度等級区分法確立に関する研究、1978.
- 15) 堀江秀夫、倉田久敬: F J材の強度性能(第2報) - F J材の許容応力度の検討 -、林産試月報、9月号、1981.
- 16) 堀江秀夫、倉田久敬: F J材の強度性能(第3報) - 実用的エンドプレッシャー値と量産実大F J材の曲げ強度性能 -、林産試月報、4月号、1982.
- 17) 堀江秀夫、倉田久敬: 構造用フィンガージョイント材の強度性能(第1報) 林産試験場研究報告、第73号、1984.
- 18) 堀江秀夫、倉田久敬、石井 誠: 構造用フィンガージョイント材の強度性能(第2報)、林産試験場研究報告、第76号、p.45~71、1986.
- 19) 星 通: ミニフィンガージョイントによる204材のたてつき、第34回日本木材学会大会研究発表要旨集、p.310、1984.
- 20) 海老原 徹: 工場生産されたフィンガー・ジョイント ラミナの性能試験、第34回日本木材学会大会研究発表要旨集、p.308、1984.
- 21) (財)日本住宅・木材技術センター縦接合委員会: 構造用たてつき木材の製造基準(案)について、木材工業、Vol.40-4、1985.
- 22) 木村 衛、渡辺博司、太田道彦、畑中公樹: 集成材の継手に関する研究(その1: 接

- 着強度について)、日本建築学会大会学術講演梗概集、(関東)、p.87-88、1988.
- 23)木村 衛、太田秀彦、渡辺博史、太田道彦、畑中公樹、小塚裕一、最上公彦：大断面集成材の接着継手強度に関する実験的研究、構造工学論文集(前刷り)、Vol.35A、1989.
  - 24)小塚裕一、木村 衛、楠 寿博、太田道彦、畑中公樹、伊藤洋路：超音波探傷法による集成材接着接合部の欠陥検査実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、(中国)、p.135-136、1990.
  - 25)木村 衛、楠 寿博、太田道彦、畑中公樹、小塚裕一、伊藤洋路：集成材接着接合部の超音波探傷法に関する研究(その1)超音波透過実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、(東北)、p.67-68、1991.
  - 26)小塚裕一、木村 衛、楠 寿博、太田道彦、畑中公樹、伊藤洋路：集成材接着接合部の超音波探傷法に関する研究(その2)せん断強度実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、(東北)、p.69-70、1991.
  - 27)楠 寿博、木村 衛、室田達郎、小松幸平、鴛海四郎：集成材BFJ(ビッグフィンガージョイント)の曲げ破壊実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、(東北)、p.65-66、1991.
  - 28)楠 寿博、木村 衛、室田達郎、小松幸平、鴛海四郎：ベイマツ集成材BFJの曲げ破壊実験と強度評価、日本建築学会大会学術講演梗概集、(北陸)、p.67-68、1992.
  - 29)小塚裕一、木村 衛、楠 寿博、太田道彦、畑中公樹、成田秀幸、伊藤洋路：集成材の全強接着継手に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、(北陸)、p.69-70、1992.
  - 30)成田秀幸、最上公彦、木村 衛、楠 寿博、松井英治、槐原康男：集成材ケーブル膜構造の開発(その3)集成材BFJの曲げ破壊実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、(北陸：前刷り)、(発表部門は空間構造と思われる)、1992.
  - 31)松井英治：白竜湖スポーツ村講演整備事業「白竜ドーム」、ビルディングレター、2、p.15-23、1992.
  - 32)H.Riberholt: "Glued Bolts in Glulam", Department of Structural Engineering, Technical University of Denmark, Series R, No.210, 1986.
  - 33)H.Riberholt: "Glued Bolts in Glulam - Part 2 ", Department of Structural Engineering, Technical University of Denmark, Series R, No.228, 1988.
  - 34)P.K.Townsend: "Steel Dowels Epoxy Bonded in Glued Laminated Timber", Department of Civil Engineering, Report 90-11, University of Canterbury, Christchurch, NZ, June 1990.
  - 35)朝山和佳、定方 啓、丹羽 亮：樹脂アンカー接合法の木構造への適用に関する研究(引抜き、せん断試験)、日本建築学会大会学術講演梗概集、(九州)、p.89-90、1989.
  - 36)小野 泰、鴛海四郎、小林 明、高坂清一：木質ラーメン構造の接合部に関する構造実験 その2：柱脚部、日本建築学会大会学術講演梗概集、(九州)、p.119-120、1989.
  - 37)安達文男、坂本 功、小林 明、高坂清一：木質ラーメン構造の接合部に関する構造実験 その3：梁材通直継手、日本建築学会大会学術講演梗概集、(九州)、p.121-122、1989.
  - 38)鴛海四郎、小野 泰、小林 明、高坂清一：集成材梁継手の曲げせん断試験、日本建築学会大会学術講演梗概集、(中国)、p.129-130、1990.

## 2. 3 接合具による接合

釘、ボルト等のいわゆる接合具 (Mechanical fastener) を用いて部材を接合する技術を総称するものである。この接合法の特徴として、大工の加工技術に余り依存せず、誰が施工してもほぼ一定の安定した性能を確保できるという点が挙げられる。さらに、接合具一個あたりの強度性能が分かれば、設計者が接合部を構造計算によって任意に設計することも可能となる。簡便で実績のある接合法として、小規模木構造から大規模木構造に至るまで、良い悪いは別にしても、「接合具による接合」が木構造における接合の大半を占めている。

### 2. 3. 1 接合具の耐力と変形に関する一般論

「接合具による接合」の場合、円形鋼棒の木材に対する「面圧強度  $\sigma_c$ 」と接合具と木材の組合わせによって決まる幾何学的条件によって、接合部は様々な変形能力 (剛性) と荷重伝達能力 (耐力) を発揮する。図2.3-1に「接合具による接合」の剛性と耐力に影響を及ぼす幾何学的要因を示す。

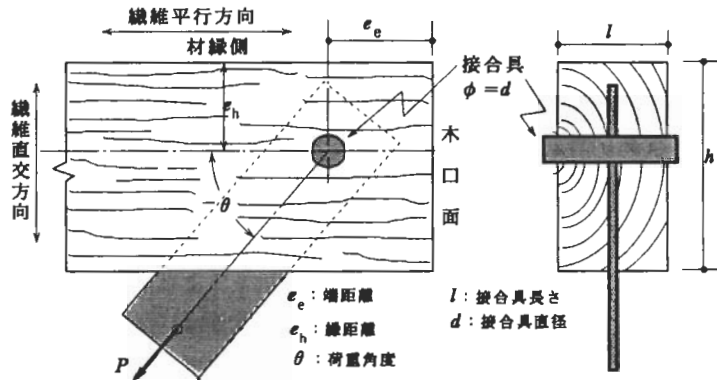


図2.3-1 接合具による接合の力学的性質に影響を及ぼす幾何学的要因

#### 【荷重角度】

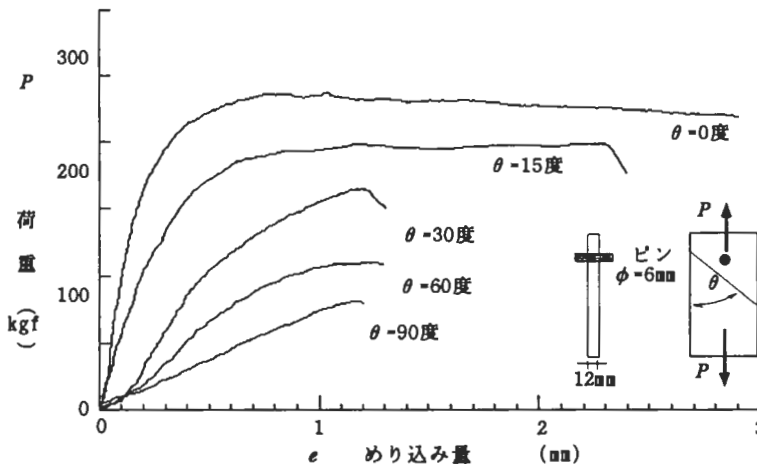


図2.3-2 円形断面鋼棒の木材への面圧性能に及ぼす荷重角度の影響

荷重の作用角度は接合部の力学的性能に大きな影響を及ぼす。図2.3-2は鋼棒の木材に対する面圧強度  $\sigma$  に及ぼす荷重角度  $\theta$  の影響の一例<sup>1)</sup>を示す。図2.3-2の実験では、直径 6mm の鋼棒を厚さ 12mm のスプルス板に貫通させ、引張型面圧力を作用させて面圧特性を調べた。繊維平行方向加力の場合が剛性、強度、粘りとも最大で、荷重角度が大きくなるほど、力学的性能が低くなる事が分かる。

一般に、荷重角度の影響は「ハンキンソン式」に従う場合が多く、木構造計算規準<sup>2)</sup>では、任意荷重角度 ( $\theta$ ) の接合具の許容耐力  $R_\theta$  は式a)で算定するよう規定している。

$$R_\theta = \frac{R_0 \cdot R_{90}}{R_0 \sin^2 \theta + R_{90} \cos^2 \theta} \quad \dots a)$$

ここで、

$R_\theta$  : 荷重角度が  $\theta$  の場合の接合具許容耐力

$R_0$  : 繊維平行方向加力の場合の接合具許容耐力

$R_{90}$  : 繊維直交方向加力の場合の接合具許容耐力

【繊維平行方向加力における端距離の影響】

接合具による接合の耐力は、繊維平行方向加力の場合、最も大きく且つ粘り強いが、端距離  $e_0$  (図2.3-1参照)が不足すると、木材がせん断で破壊して耐力低かつ粘りもなくなる。

図2.3-3は鋼板添板ボルト接合部が繊維平行方向加力を受ける場合の最大耐力に及ぼす端距離の影響を示す<sup>3)</sup>。

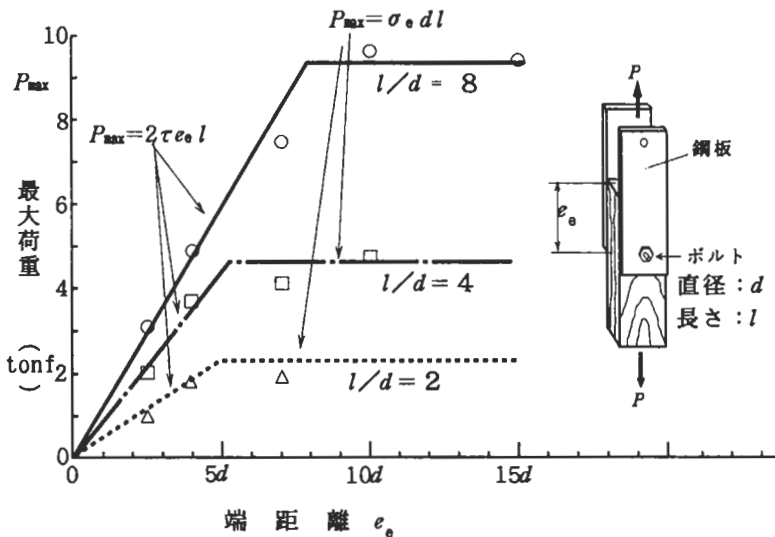


図2.3-3 繊維平行方向加力における端距離の影響  
鋼板添板ボルト接合の場合<sup>3)</sup>

図2.3-3より、端距離  $e_e$  が  $5d \sim 7d$  以下の場合、

$$\{ \text{最大耐力 } P_{max} \} \propto \{ \text{木材のせん断強度 } \tau \} \times \{ \text{せん断破壊表面積 } e_e l \}$$

の関係にあり、十分な端距離が確保されて初めて接合部の終局耐力は木材のめり込み強度  $\sigma_e$  に依存することが分かる。

【繊維直交方向加力における端距離、縁距離の影響】

接合具による接合の力学的性能は、繊維直交方向加力の場合、木材に割裂が発生することが多く、破壊性状は脆性的で耐力は低い。しかし、その程度は端距離  $e_e$  と縁距離  $e_h$  に依存し、図2.3-4に一例<sup>4)</sup>を示すように、端距離、縁距離が十分確保されていれば、繊維直交方向加力であってもかなりの粘りを発揮することが認められる。

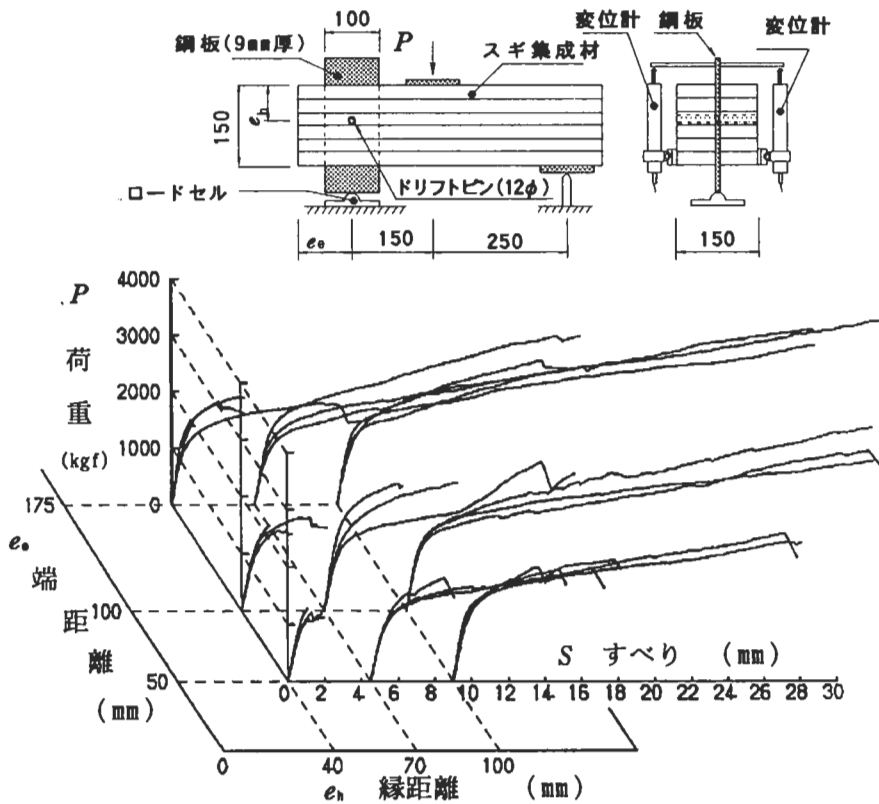


図2.3-4 繊維直交方向加力を受ける接合の力学的性能におよぼす端距離、縁距離の影響

【接合具の径長比  $l/d$  の影響】

接合具による接合の設計に際して古くから重要視されてきた要因が、接合具の有効長さ  $l$  と接合具の直径  $d$  の比  $l/d$  (以後これを径長比と呼ぶことにする) の影響である。

図2.3-5は鋼板挿入型ドリフトピン接合の耐力と径長比  $l/d$  の関係の実測例<sup>5)</sup>をプロットしたもので、図中に示した接合具の降伏モードは後章で詳述する「ヨーロッパ型剛塑性理論: European Yield Theory = EYT」に基づいて推定されるものである。

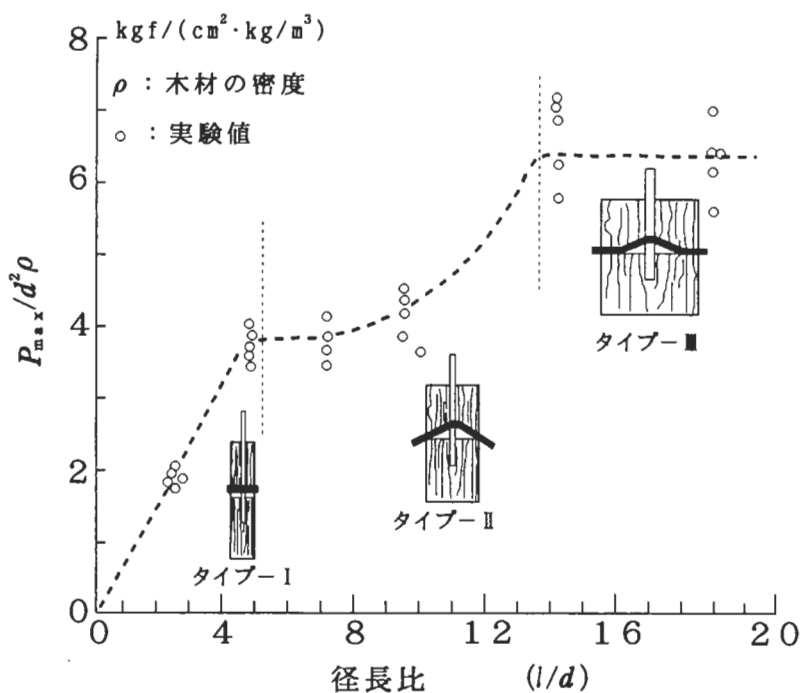


図2.3-5 径長比  $l/d$  による接合耐力と破壊（降伏）モードの変化

材厚に比べて比較的直径の太い接合具を使用した径長比が小さいタイプ-Iの場合、接合具は曲がらない状態で木材にめり込み、端距離や縁距離が十分でない場合は、木材に割裂を生じ、脆性的な破壊性状を示す。

一方、径長比  $l/d$  が更に大きくなると（タイプ-II→タイプ-III）、接合具は木材中で曲げ変形を起こし易く、端距離や縁距離が十分な場合は、外力のエネルギーは接合具の曲げ塑性変形と木材の局所めり込み変形に消費されるため、かなり粘り強い変形挙動を示す。

一般論的に言えば、径長比  $l/d$  が8以上で、端距離が  $7d$  以上（ $d$  は接合具の直径）、縁距離が  $5d$  以上の場合は、変形能力の大きい粘り強い性能を示す。逆に  $l/d$  が8よりも小さく、且つ端距離や縁距離が不十分であると、接合部は極めて脆性的な破壊性状を示す。

ただし、 $l/d$  が大きすぎると接合具は曲がり易く、接合部の初期剛性も相対的に低くなるので、適切な剛性を確保するためには、接合具の本数を増やす等の措置が必要である。

以上より、接合部の剛性や耐力そして粘り強さ等を評価する場合は、単に「○○という接合具は粘りが弱い」とか、「△△という接合具は粘り強い」という評価は不適當で、その接合具がどのような径長比で、端距離、縁距離等が十分であるか等を考慮にいれた総合的な評価を下すべきであろう。

### 2. 3. 2 弾性床理論による接合具の変形解析

釘、ボルト、ドリフトピンのように、円形断面の鋼棒から成る接合具の力学的性質は、木材に対する鋼棒のめり込み変形挙動を「弾性床上の梁」とみなして力学的に解析することができる。

1951年、東京大学の原田<sup>6)</sup>は、木船の肋骨材と横架材とを接合する釘の変形を解析する必要上、木材中の釘の変形を「弾性床上の梁」と見なして解析する方法を提案した。4年後の1955年、マジソン林産試験場の Kuenzi<sup>7)</sup> も全く同じ考え方で木材中の釘もしくはボルトの変形並びに耐力を解析した。

原田の研究は30年後に北海道大学の澤田<sup>8)・9)</sup>によって再評価され、現在の我々が知る所となった。一方、Kuenzi の研究は、15年後にマジソン林産試験場の Wilkinson<sup>10)</sup> によって実用的な設計式に再評価され、世界的に知られるようになった。

原田や Kuenzi に始まる接合具の解析モデルでは、木材中で変形する円形断面鋼棒の力の釣り合い状態は、軸力方向の摩擦抵抗を無視すると、図2.3-6のように表現できる。

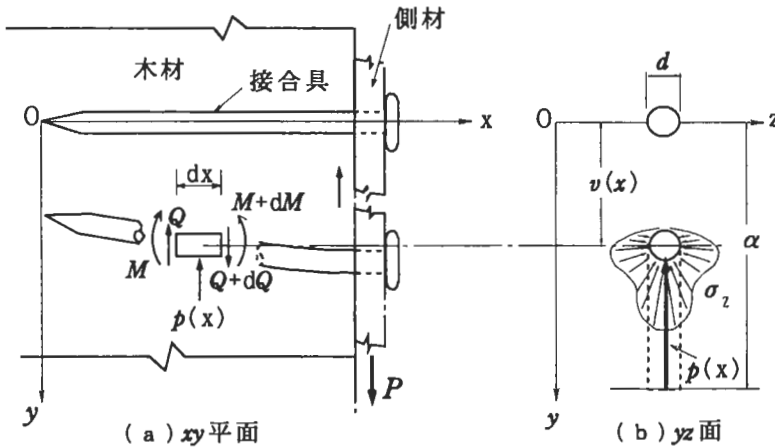


図2.3-6 木材中で変形する円形断面鋼棒（図では釘）の力の釣り合い

円形断面鋼棒が  $v(x)$  たわんだ時に鋼棒が木材側から受ける垂直応力（反力） $\sigma_z$  の実際の分布は複雑である（図2.3-6b）。しかし、この反力  $\sigma_z$  の作用が、有効深さ  $\alpha$ 、幅  $d$  にわたって一様に作用する等価な単位長さあたりの反力  $p(x)$  で置換できると仮定すれば、鋼棒の直径  $d$  にわたって平均的に作用する見掛けの面圧応力は；

$$\sigma_s = p(x)/d \quad \dots a)$$

$$\text{ただし } p(x) = \int \sigma_z dz$$

$\sigma_s$  に対する見掛けの平均面圧ひずみを  $\epsilon_s$  とすると；

$$\epsilon_s = v(x)/\alpha \quad \dots b)$$

ただし、 $v(x)$  : 鋼棒の沈下量（ $y$ 方向たわみ）

$\alpha$  : 有効弾性床深さで、原田はこれを「面圧凹み係数」と定義した。

面圧方向の木材の圧縮ヤング係数を  $E_w$  とすると、 $\sigma_s$  と  $\varepsilon_s$  間の Hooke 則より、

$$\sigma_s = E_w \varepsilon_s \quad \dots c)$$

式 a), b), c) より、等価な反力  $p(x)$  は、

$$p(x) = \frac{E_w}{\alpha} d \cdot v(x) \quad \dots d)$$

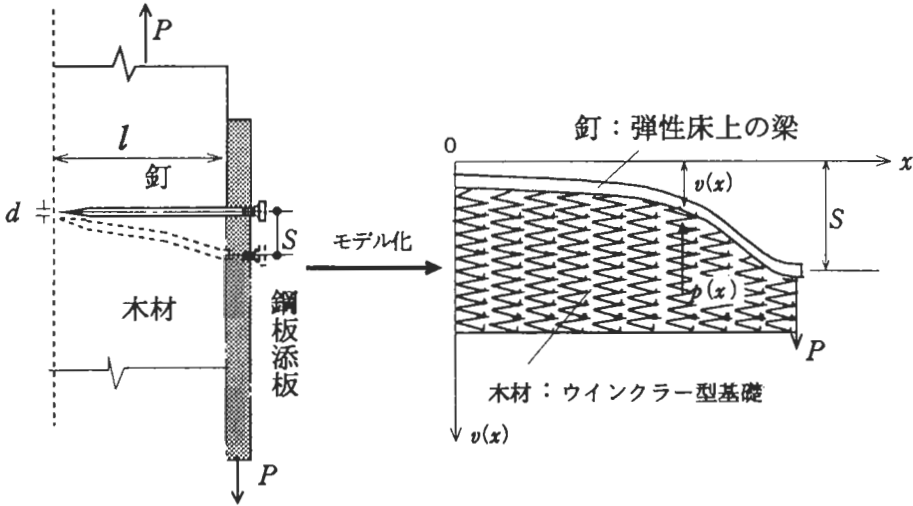


図2.3-7 弾性床上的の梁としてのモデル化

図2.3-7に示すように、単位長さあたり  $p(x)$  なる力を受ける梁のたわみ  $v(x)$  に関する微分方程式は；

$$\frac{d^2}{dx^2} \left\{ (EI)_s \frac{d^2 v}{dx^2} \right\} + p(x) = 0 \quad \dots e)$$

ラグスクリューのような特別の接合具を除いて、 $(EI)_s$  は鋼棒の長軸方向にほぼ一定と見なせるから、式 e), d) より；

$$\frac{d^4 v}{dx^4} + \frac{E_w d}{\alpha (EI)_s} v = 0 \quad \dots f)$$

原田は式 f) のまま微分方程式を解いているが、Kuenzi の流れをくむ解析では  $E_w/\alpha = k$  (Bearing constant: 面圧常数) と置換して式 f) を解いている。その場合は、 $\sigma_s = k \cdot v(x)$  という関係になるので、 $k$  は直径  $d$  の円形断面鋼棒が見掛けの平均面圧応力  $\sigma_s$  を受けて、 $v(x)$  だけめり込んだ時のバネ定数 (単位は  $\text{kgf/cm}^3$ ) という意味になる。いずれにせよ、式 f) の一般解は式 g) で与えられる。

$$v(x) = A \cdot \sinh \lambda x \cdot \sin \lambda x + B \cdot \sinh \lambda x \cdot \cos \lambda x + C \cdot \cosh \lambda x \cdot \sin \lambda x + D \cdot \cosh \lambda x \cdot \cos \lambda x \quad \dots g)$$

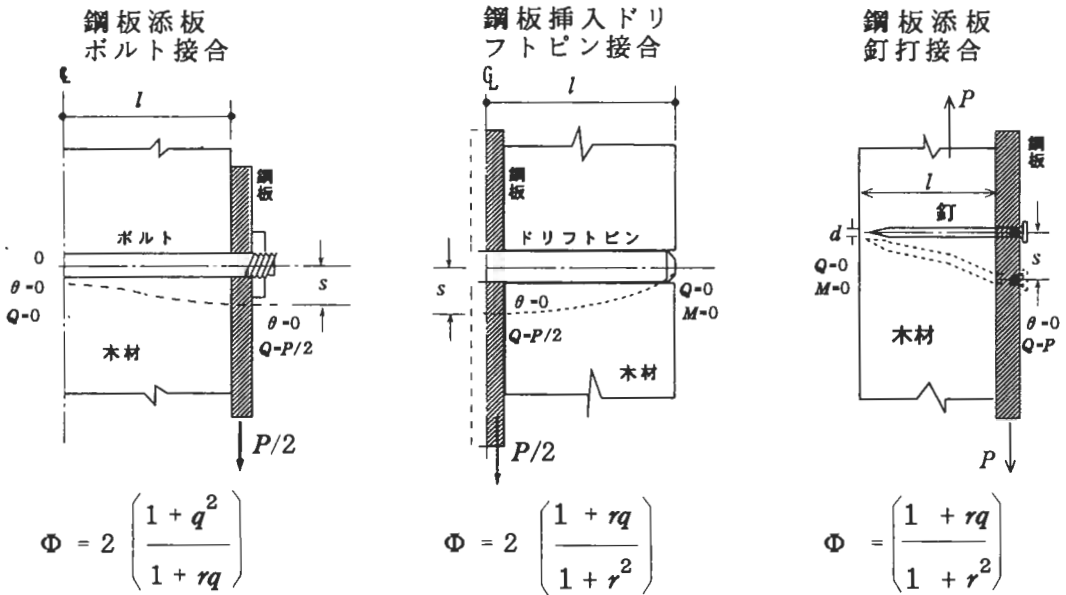
ただし、 $\lambda^4 = kd/4(EI)_s$ 、 $k=E_w/\alpha$

式g)の4つの未定係数を、それぞれの接合具に適した境界条件下で決定すれば、微小変形領域における各接合具の特定点のたわみ、たわみ角、モーメント、せん断力、そして木材へのめり込み応力 ( $\sigma_s = k \cdot v$ ) を計算することができる。

例えば、集成材骨組み構造の変形計算を行う上で特に重要な接合具のすべり係数  $K_s$  (Slip modulus) は、上述の弾性床理論より  $K_s = P/s$  ( $s$ : 加力点のたわみ、 $P$ : 荷重) として求められる。具体例として、鋼板厚さの影響を無視できる 図2.3-8 のような境界条件にある接合具の場合、そのすべり係数は式h)のように比較的簡単に表現することができる。

$$K_s = 4\lambda^3(EI)_s \tanh \lambda l \cdot \Phi \quad \dots h)$$

ただし、 $\Phi$ の値は 図2.3-8に示すように、接合部の構成に依存する。



ただし、 $r = \cos \lambda l / \cosh \lambda l$   $q = \sin \lambda l / \sinh \lambda l$

図2.3-8 鋼板ガセット板を用いた接合部のすべり係数と式h)の係数 $\Phi$

一方、合板ガセットの場合や、側材に木材を使用する場合は側材側でも式f)と同じ微分方程式をたてて、8個の未定係数を決定せねばならないので、すべり係数を閉じた形で表現することは容易なことではない。厳密解は原田<sup>6)</sup>、澤田<sup>11)</sup>および Kuenzy<sup>7)</sup> により与えられている。

一例として、澤田<sup>11)</sup>が誘導した「2種類の異なる木材に1本の貫通釘を打った場合のすべり係数 $K_s$ 」の閉解を式i)に示す。座標系は、図2.3-9に示すように、材料1 (ヤング係数  $E_1$ 、面圧常数  $k_1$ 、有効材厚  $t_1$ ) については  $Ox_1y_1$ 座標系とし、原点は釘の頭にとる。一方、材料2 (ヤング係数  $E_2$ 、面圧係数  $k_2$ 、有効材厚  $t_2$ ) については  $Ox_2y_2$ 座標とし、

釘の先端にその原点をとる。

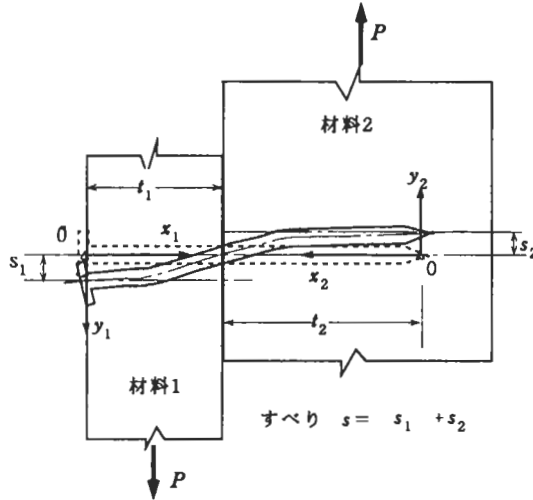


図2.3-9 2種類の異なる木材に1本の貫通釘を打った場合 (澤田<sup>11)</sup>)

$$K_s = 4(EI)_s \lambda^3 \cdot \phi$$

$$\phi = \frac{J_1 + \omega J_2}{K_1 + 2\omega K_{12} + \omega^2 K_2} \quad \dots i)$$

ただし、

$$J_1 = \coth \lambda_{1t_1} (1 + r_1 q_1) (1 - q_2^2), \quad J_2 = \coth \lambda_{2t_2} (1 + r_2 q_2) (1 - q_1^2)$$

$$K_1 = \coth^2 \lambda_{1t_1} \{ (1 + r_1^2) (1 - q_2^2) + \omega^2 (1 - r_1^2) (1 + q_2^2) \}$$

$$K_{12} = \coth \lambda_{1t_1} \cdot \coth \lambda_{2t_2} \{ (1 - r_1 q_1) (1 + r_2 q_2) + \omega^2 (1 + r_1 q_1) (1 - r_2 q_2) \}$$

$$K_2 = \coth^2 \lambda_{2t_2} \{ (1 - r_2^2) (1 + q_1^2) + \omega^2 (1 + r_2^2) (1 - q_1^2) \}$$

$$\omega = \lambda_1 / \lambda_2$$

$$r_1 = \cos \lambda_{1t_1} / \cosh \lambda_{1t_1}, \quad r_2 = \cos \lambda_{2t_2} / \cosh \lambda_{2t_2}$$

$$q_1 = \sin \lambda_{1t_1} / \sinh \lambda_{1t_1}, \quad q_2 = \sin \lambda_{2t_2} / \sinh \lambda_{2t_2}$$

特に、 $\lambda_{1t_1} \geq 2$ 、 $\lambda_{2t_2} \geq 2$  の条件が充たされる材厚( $t_1$ ,  $t_2$ )の厚い場合には、 $r$ 、 $q$  の2次の項は1に比して無視できるため、すべり係数は式j)で近似できる<sup>8), 9), 12)</sup>。

$$K_s \approx \frac{4(EI)_s \lambda_1^3}{(1 + \omega^2)(\coth \lambda_{1t_1} + \omega \coth \lambda_{2t_2})} \quad \dots j)$$

式j)の近似値は、2つの材の厚さが十分に厚い場合には精度の良い解を与えるが、材料1が合板のように薄く、しかも材料1の中で接合具が変形し得る場合には、 $\lambda_{1t_1} < 1$ となるので、式j)は約10%程度小さ目のすべり係数を算出する<sup>11)</sup>。

なお、側材が比較的厚く  $\tanh \lambda_{1t_1}$  が1と見なせる範囲で有効な近似式については Wilkinson も発表している<sup>10), 13)</sup>。

以上示したように、弾性床理論によって接合具のすべり係数  $K_s$  を計算するためには、

少なくとも面圧定数 ( $k = \sigma_s / \nu$ ) を図2.3-10に示すような面圧実験によって求めておく必要がある。

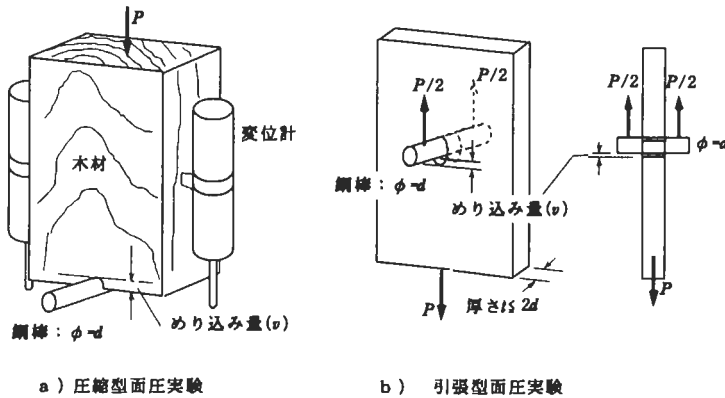


図2.3-10 面圧定数 $k$ を求めるための面圧実験の方法

面圧実験において大切なことは、見掛けの平均面圧応力  $\sigma_s$  が木材の厚さ方向に片寄らず、均等に作用することで、その意味からは図2.3-10a)の圧縮型実験は、鋼棒の曲げ剛性 ( $EI$ )<sub>s</sub> に関係なくほぼ均一な  $\sigma_s$  を与えるので望ましい方法である。

一方、図2.3-10b)の引張型実験では、木材の厚さが  $2d$  ( $d$ : 鋼棒の直径) 以上になると、鋼棒が曲げ変形を起こして、厚さ方向に均一な面圧応力とはならない。圧縮型面圧実験では最大面圧応力  $\sigma_{s,max}$  が高くなりがちであるのに対し、引張型面圧実験では終局時に木材の割裂が起こり易いので、面圧特性 (面圧定数、面圧強度) に及ぼす端距離、縁距離、荷重角度等の影響を安全側の立場で評価するのに適している。

平井・澤田の実験<sup>14)</sup>、及び小松らの確認実験<sup>15)</sup>によると、圧縮型面圧実験で得られる面圧定数  $k$  は木材の縦圧縮ヤング係数  $E_w$  と鋼棒の直径  $d$  との関数として式k)で粗く推定可能である。

$$0 \text{ 度方向} : k_{s-0} = E_w / (3.16 + 10.9d)$$

$$90 \text{ 度方向} : k_{s-90} \approx k_{s-0} / 3.4 \quad \dots k)$$

式k)の分母  $3.16 + 10.9d$  は、原田<sup>6)</sup>の定義によれば  $\alpha$ : 「面圧凹み係数」であり、Kuenziの定義<sup>7)</sup>によれば「effective foundation depth: 有効弾性床深さ」に相当する。ちなみに、原田<sup>6)</sup>は釘を用いた実験から、 $\alpha = 14\text{cm}$  という値を報告している。

面圧実験と弾性床理論の適用は、澤田ら<sup>8), 9), 12)</sup>の啓蒙期に続いて、その後中谷ら<sup>16)</sup>、松尾ら<sup>17), 18)</sup>、澤田<sup>19)</sup>、平井ら<sup>14), 20), 21), 22)</sup>によって更に展開され、その後の発展を迎えた。

### 2. 3. 3 弾性床理論による接合具の許容耐力推定の可能性

木材が受ける最大面圧応力は、弾性床理論から、 $\sigma_{max} = k \cdot v_{max}$  として計算される。ただし、 $v_{max}$  はめり込み量が最大となる点のめり込み量で、 $k$  は上述した面圧常数である。澤田は、この最大面圧応力が木材の圧縮強度  $F_c$  に達した時点をもって、接合具の短期許容耐力  $sP$  を定義できるという仮説を提案した<sup>12)</sup>。例として、図2.3-7 に示した鋼板添板釘打ち接合の理論的短期せん断耐力は、釘の打ち込み深さが十分長く、 $\lambda \geq 2.5$  とみなせる場合、次式で近似できる<sup>12)</sup>。

$$sP = 4.506 F_c \cdot d^{1.75} \cdot k^{-0.25}$$

この式の形は旧木構造設計規準・同解説<sup>23)</sup>に規定されていた釘接合の短期許容せん断耐力式

$$sP_{A11} = 1.6 F_c \cdot d^{1.8} \times 1.25$$

(1.25 は鋼板による割り増し)

に類似している。旧設計規準式はすべて実験結果から統計的に決定されたものである。それにも拘らず、弾性床理論式、旧設計規準式とも「釘径の1.75~1.8乗に比例する」という共通項を持つ点が興味深い。実際の数値を代入してみると、弾性床理論による許容耐力の方が20%程度大きな値をとる。しかし、設計式というものは、安全側の値を算出するように設定されているので、絶対値の違いは余り問題ではない。むしろ重要な事は、設計式として必要な力学的パラメータを合理的な形で取り入れることができるという点にある。

現在、世界的にも、また我が国の新木質構造計算規準においても、ダボ型接合具の降伏耐力は後述するヨーロッパ型降伏理論式 (European Yield Theory: EYT式) で決定されることになるようである。しかし、木質構造の変形計算に不可欠な接合具のすべり係数  $K_s$  の誘導は、目下の所、弾性床理論に頼らざるを得ない。許容耐力はEYT式で、剛性は弾性床理論式で、という全く根拠の異なる2つの計算式で接合部を設計せねばならないことは、思考過程に首尾一貫性を欠くようにも思える。

これに対して、剛性、許容耐力の双方を統一的な考え方で決定できる弾性床理論式の存在価値は捨てがたいものであり、この方面から接合具の許容耐力のあり方を論じている平井の研究<sup>24)~27)</sup>は評価されるべきであろう。

### 2. 3. 4 ヨーロッパ型降伏理論 (EYT) による接合具の降伏耐力

上述したように、ヨーロッパ型降伏理論 (European Yield Theory: EYT式) は多くの国において、ドリフトピンやボルトの (許容) 耐力を算定するための重要な根拠となっている。しかし、現在EYT式は研究者によって様々に解釈され、やや混乱して使われているようにも見える。EYT式における基本的な仮説は；

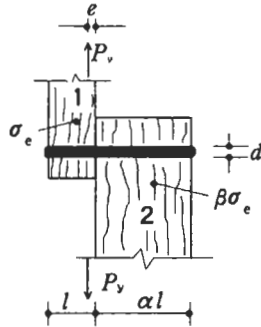
木材並びに接合具を完全剛-塑性物体と見なし、降伏するまでは完全剛、降伏後は完全塑性状態を仮定して、途中の変形過程を無視して力の釣合条件だけから接合具の最大耐力を求める....という点にある。

Larsen<sup>24)</sup>によると、この理論は1941年にデンマークの Johansen によって先鞭がつけられたという(最初の論文は1941年にデンマーク語で発表され、その後1949年に英語で発表された)<sup>29)</sup>。従って、現在この式を「Johansenの式」と呼ぶ人が増加している。

EYT式では、木材中での接合具の降伏可能なパターンをすべて想定し、その各々のパターンについて力のつり合い条件のみから降伏耐力を計算する。以下に、Larsen<sup>28)</sup>によって発表された幾つかの接合タイプの降伏パターンとしての降伏荷重算定式を示す。

【木材-木材同士の一面せん断接合の場合】

図2.3-11  
EYT式における  
一面せん断の定義<sup>28)</sup>



面圧強度  $\sigma_e$ 、材厚  $l$  の材料1と、面圧強度  $\beta\sigma_e$ 、材厚  $\alpha l$  の材料2を直径  $d$  のダボ状の鋼棒が貫通接合した一面せん断接合部の定義

力学的性質の異なる材料-1と材料-2の2つの材料が1本のダボ型接合具で図2.3-11のように一面せん断接合された場合、図2.3-12に示す4タイプの降伏パターンが想定され、その降伏耐力  $P_v$  は式a)から式f)で計算される。

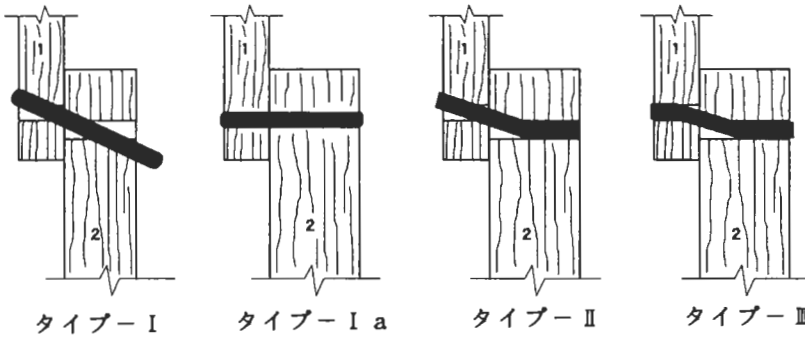


図2.3-12 一面せん断において想定される可能な降伏タイプ<sup>28)</sup>

1)降伏タイプ-I

鋼棒の強度が木材に比べて大きすぎて鋼棒が曲げ降伏しない場合で、 $l/d$ が小さい場合に起こり易い。

$$P_v = ld\sigma \cdot \frac{\sqrt{\beta + 2\beta^2 + 2\alpha^2\beta^2 + 2\alpha^2\beta^2 + \alpha^2\beta^3} - \beta(1+\alpha)}{1 + \beta} \quad \dots a)$$

2)降伏タイプ - I a

片側の材料で $l/d$ が大きく、もう一方の材料で $l/d$ が小さく、かつ材料が弱い場合に鋼棒が曲げ降伏を起さず薄い方の材料にめり込む場合。

(材料 - 1 でめり込む場合)

$$P_y = ld\sigma \quad \dots b)$$

(材料 - 2 でめり込む場合)

$$P_y = ld\sigma \cdot \alpha \beta \quad \dots c)$$

3)降伏タイプ - II

片側の材料で $l/d$ が大きく鋼棒が曲げ降伏を起こし、もう一方の材料で $l/d$ が小さく鋼棒が曲げ降伏をおこさず薄い方の材料にめり込む場合。

(材料 - 2 で鋼棒が曲げ降伏を起こす場合)

$$P_y = ld\sigma \cdot \frac{\beta}{(2 + \beta)} \left[ \sqrt{\frac{2(1 + \beta)}{\beta} + \frac{4(2 + \beta)}{\beta} \cdot \frac{M_y}{l^2 d \sigma}} - 1 \right] \quad \dots d)$$

(材料 - 1 で鋼棒が曲げ降伏を起こす場合)

$$P_y = ld\sigma \cdot \frac{\alpha \beta}{(2\beta + 1)} \left[ \sqrt{2(1 + \beta) + \frac{4(1 + 2\beta)}{\beta} \cdot \frac{M_y}{\alpha^2 l^2 d \sigma}} - 1 \right] \quad \dots e)$$

4)降伏タイプ - III

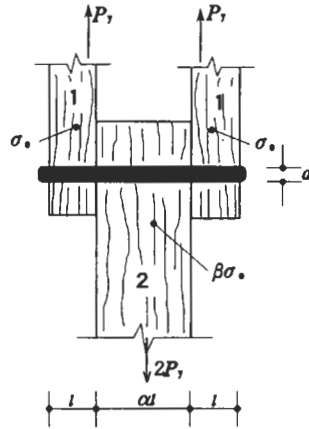
鋼棒の $l/d$ が両者とも大きく、鋼棒が両方の材料で曲げ降伏を起こす場合。

$$P_y = \sqrt{4M_y d \sigma \cdot \frac{\beta}{1 + \beta}} \quad \dots f)$$

【木材－木材同士の二面せん断せん断接合の場合】

力学的性質の異なる材料－1と材料－2の2つの材料が1本のダボ型接合具で図2.3-13のように二面せん断接合された場合、図2.3-14に示す4つのタイプの降伏パターンが想定され、その各々のタイプの降伏耐力  $P_v$  が式g)から式k)で計算される。

図2.3-13  
EYT式における二面せん断の定義<sup>2,8)</sup>



面圧強度  $\sigma_0$ 、材厚  $l$  の材料1と、面圧強度  $\beta\sigma_0$ 、材厚  $\alpha l$  の材料2を直径  $d$  のダボ状の鋼棒が貫通接合した二面せん断接合部の定義

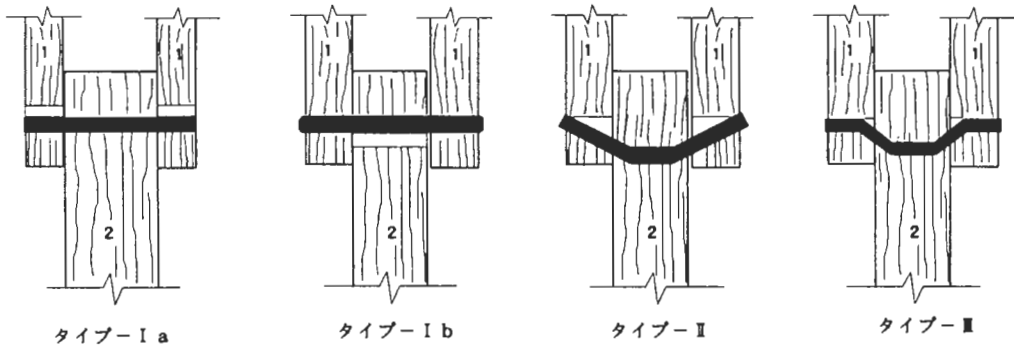


図2.3-14 二面せん断における可能な4つの降伏パターン<sup>2,8)</sup>

1)降伏タイプ－I a

鋼棒の強度が木材に比べて大きすぎて鋼棒が曲げ降伏せず、木材－1中でめり込み変形を起こす場合。

$$P_v = ld\sigma_0 \quad \alpha\beta \geq 2 \quad \dots g)$$

2)降伏タイプ－I b

I a の場合と同様に、木材－2中で鋼棒が木材にめり込む場合。

$$P_v = \frac{1}{2} \alpha \beta ld\sigma_0 \quad \alpha\beta \leq 2 \quad \dots h)$$

3)降伏タイプ－II

木材－2で鋼棒が曲げ降伏を起こし、木材－1で鋼棒が曲げ降伏を起こさず材料にめり込む場合。

$$P_y = ld\sigma \cdot \frac{\beta}{(2 + \beta)} \left[ \sqrt{\frac{2(1 + \beta)}{\beta} + \frac{4(2 + \beta)}{\beta} \cdot \frac{M_y}{l^2 d \sigma}} - 1 \right] \quad \dots i)$$

なお、この逆のパターン（木材-1で曲げ降伏し、木材-2でめり込む）はありえない。

#### 4)降伏タイプ-Ⅲ

鋼棒が両方の材料で曲げ降伏を起こす場合。

$$P_y = \sqrt{4M_y d \sigma \cdot \frac{\beta}{1 + \beta}} \quad \dots j)$$

#### 【鋼板-木材間の接合の場合】

現在、我国の木構造計算規準<sup>30)</sup>のボルト許容耐力の算定式として広く知られている式は、上述したダボ型接合具の剛塑性理論式を、安村ら<sup>31)~33)</sup>が鋼板-木材間の接合も含めたより一般的な接合に拡張したものである。

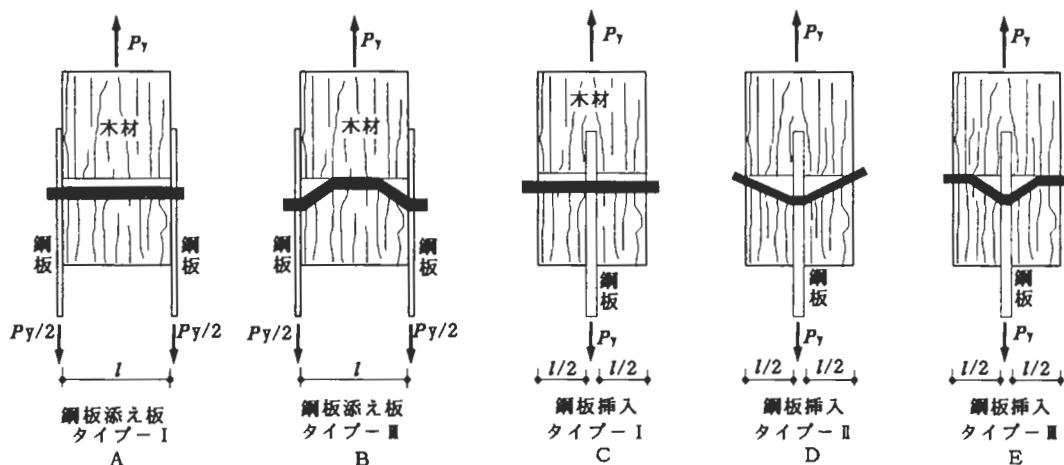


図2.3-15 木材-鋼板間の接合において想定される降伏パターン

安村ら<sup>31)~33)</sup>によると、鋼板-木材間の接合の場合は図2.3-15に示す降伏パターンが想定される。各降伏パターンにおける降伏荷重は以下の式で算定される。

#### A) 鋼板添え板降伏タイプ-I

鋼棒の強度が木材に比べて大きすぎて鋼棒が曲げ降伏せず、木材中でめり込み変形を起こす。

$$P_y = ld\sigma \quad \dots k)$$

B) 鋼板添え板降伏タイプ-Ⅲ

鋼棒が木材および鋼板の双方において曲げ降伏を起こす。降伏荷重は、Larsen の誘導した式j)の  $P_v$  に  $\frac{1}{2}P_v$  を、 $l$  に  $l/2$  を、 $1/\beta (= \sigma_s / \sigma_c)$  にゼロを代入すると、次の近似式が得られる。

$$P_v = 2\sqrt{4M_y d \sigma_s} \quad \dots 1)$$

C) 鋼板挿入降伏タイプ-I

鋼棒の強度が木材に比べて大きすぎて鋼棒が曲げ降伏せず、木材中でめり込み変形を起こす。

$$P_v = l d \sigma_s \quad \dots m)$$

D) 鋼板挿入降伏タイプ-II

鋼板内で鋼棒が曲げ降伏を起こすが、木材中では鋼棒は曲げ降伏を起こさず木材にめり込む。降伏荷重は Larsen の誘導した式i)の  $P_v$  に  $\frac{1}{2}P_v$  を、 $l$  に  $l/2$  を、 $1/\beta (= \sigma_s / \sigma_c)$  にゼロを代入すると、次の近似式が得られる。

$$P_v = l d \sigma_s \left[ \sqrt{2 + \frac{16M_y}{l^2 d \sigma_s}} - 1 \right] \quad \dots n)$$

E) 鋼板挿入降伏タイプ-Ⅲ

鋼棒が鋼板および木材双方で曲げ降伏を起こす場合に起こる。降伏荷重は Larsen の誘導した式j)の  $P_v$  に  $\frac{1}{2}P_v$  を、 $l$  に  $l/2$  を、 $1/\beta (= \sigma_s / \sigma_c)$  にゼロを代入すると、次の近似式が得られる。

$$P_v = 2\sqrt{4M_y d \sigma_s} \quad \dots o)$$

この他に、考えられる殆ど全ての組合せに関する降伏荷重の計算式については Auneらの論文<sup>36)</sup>に掲載されている。

【EYT式の適合性】

上述した「ヨーロッパ型降伏理論」は、その発祥の地ヨーロッパ各国はもちろん、我が国<sup>30), 34)</sup>や北米<sup>35), 36)</sup>においても、ダボ型接合具の耐力算定式として採用されている。

図2.3-16はその適応性の一例を示したもので、鋼板挿入型ドリフトピン接合と鋼板挿入型ボルト接合の耐力を、全く同じ寸法の試験体で比較したものである<sup>37)</sup>。

計算の結果、試験条件では式n)が最も小さな降伏耐力を与え、降伏モードとしては図2.3-15DのタイプⅡ型の降伏が生じると予想された。実験の結果はドリフトピンの場合すべて理論通りの降伏パターンが認められた。

図2.3-16から分かるように、EYT式で推定される理論的降伏耐力は、ほぼ鋼板挿入型ド

ドリフトピン接合の実測降伏耐力に一致している。この結果より、EYT式は繊維平行方向加力を受けるドリフトピン接合の降伏荷重を推定する式としてはかなり適合性が高いものであることが分かる。

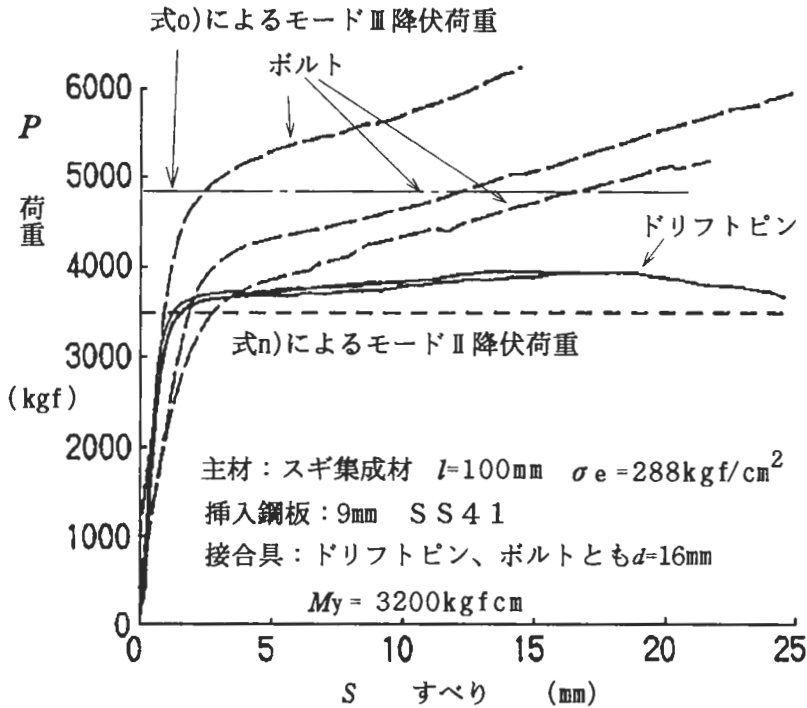


図2.3-16 鋼板挿入式ドリフトピン及びボルト接合の降伏耐力

一方、ボルト接合の場合は、モードⅡ (D) とモードⅢ (E) の中間的な降伏モードが観察された。つまり、鋼棒の両端がナットとワッシャーによって回転拘束に近い状態であったため、両端部にも降伏モーメントが発生し、最終的には降伏モードⅢに近い状態であったと推定される。ちなみに、ボルトの実測降伏点は式o)によるモードⅢの降伏荷重と式n)によるモードⅡの降伏荷重のほぼ中間域で観察された。

EYT式の適合性を左右する因子は色々あるが、最も重要なものは木材の面圧強度  $\sigma_c$  の値であろう。この値として、面圧実験で得られる最大値を用いる場合と面圧実験で得られる降伏荷重を用いる場合の2通りがある。EYT式の仮定では、完全剛塑性条件しか考えていないので、降伏と最大は同じ値であり、EC規準では面圧実験によって得られる最大面圧応力を  $\sigma_c$  として使っているようである<sup>30) 40)</sup>。

我が国の木構造計算規準<sup>30)</sup>におけるボルトの許容耐力計算式では、 $\sigma_c$  に相当する値として  $3f_c$  ( $f_c$  は木材の長期圧縮許容応力度) を採用している。 $3f_c$  は材料強度であるため、我が国の場合は、EYT式の原則通り、最大面圧応力に該当する値を採用していることになる。

一方、新たにEYT式を導入した北米のNational Design Specification では  $\sigma_c$  に相当する工學量として、図2.3-17に模式的に示すように、(圧縮型) 面圧実験で得られる面圧応力 $\sigma_c$  の5%オフセット値を採るようである。

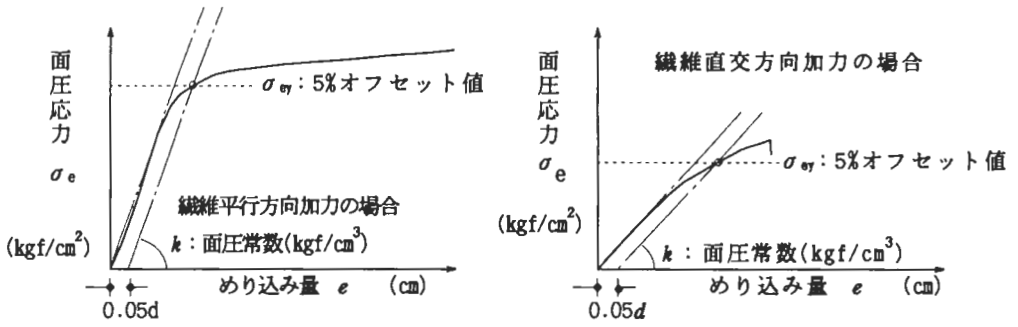


図2.3-17 5%オフセット値の定義

最大面圧応力は、実験方法（引張型か圧縮型か）、鋼棒の直径 $d$ 、荷重角度、樹種（密度:TD）等の影響を受け易く、平井の引張型、および曲げ型面圧実験によれば次の実験式が提案されている<sup>41)</sup>。

$$\sigma_{e-o} = 0.93215TD - 160.74 \quad (\text{繊維平行方向加力})$$

$$\sigma_{e-o} = (0.25522TD - 5.27)d^{-0.4} \quad (\text{繊維直交方向加力})$$

ただし、

TD:木材の密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$d$ :接合具の直径(cm)

特に、繊維直交方向加力の場合は、鋼棒の直径が大きくなるにつれて最大面圧応力が低下することに注目せねばならない。繊維直交方向加力の場合の最大面圧応力はめり込み応力という性格よりは、多くの場合、木材に横引張破壊（割裂）を発生させる応力という性格を持つ。

このことは、繊維直交方向加力の場合、鋼棒のための先孔が木材にとってはクラックのような欠陥の役割を演じ、そこに応力が集中して接合部を脆性的に破壊する可能性が高いことを示唆している。従って、繊維直交方向の加力を受ける接合部の設計においては、許容耐力を稼ぐために、ボルトやドリフトピンの直径をむやみに大きくすることは、逆に危険であり、できるだけ $1/d$ を大きく、端距離や縁距離、接合具間隔等も十分確保する必要がある。

### 2.3.5 接合具の非線形解析

弾性床理論による接合具の変形解析は、接合具の変形・耐力に影響を及ぼす多くのパラメータを閉じた形で含むことができるという面において合理的であるが、実際の接合具の変形能力から言えば微小変形しか推定できない。

一方、EYT式は、接合具の繊維平行方向加力時の降伏荷重を簡単な手計算で知ることができるが、降伏状態に至るまでの荷重-変形過程を知ることができない。微小変形領域から終局状態にいたるまでの接合具の荷重-変形挙動を連続的且つ定量的に把握するためには、接合具の非線形解析が必要となる。

カナダの林産試験場にいたR.O.Foschiは、1974年にグルーラムリベット<sup>42)</sup>を対象として、鋼板添板釘打接合部の非線形一面せん断荷重-すべりの関係を、独自に開発した非線形有限要素法によって、初期剛性の段階からほぼ終局耐力に至る段階まで、精密に数値解析することに初めて成功した(その後、解析は普通丸釘にも及んでいる<sup>43)</sup>)。

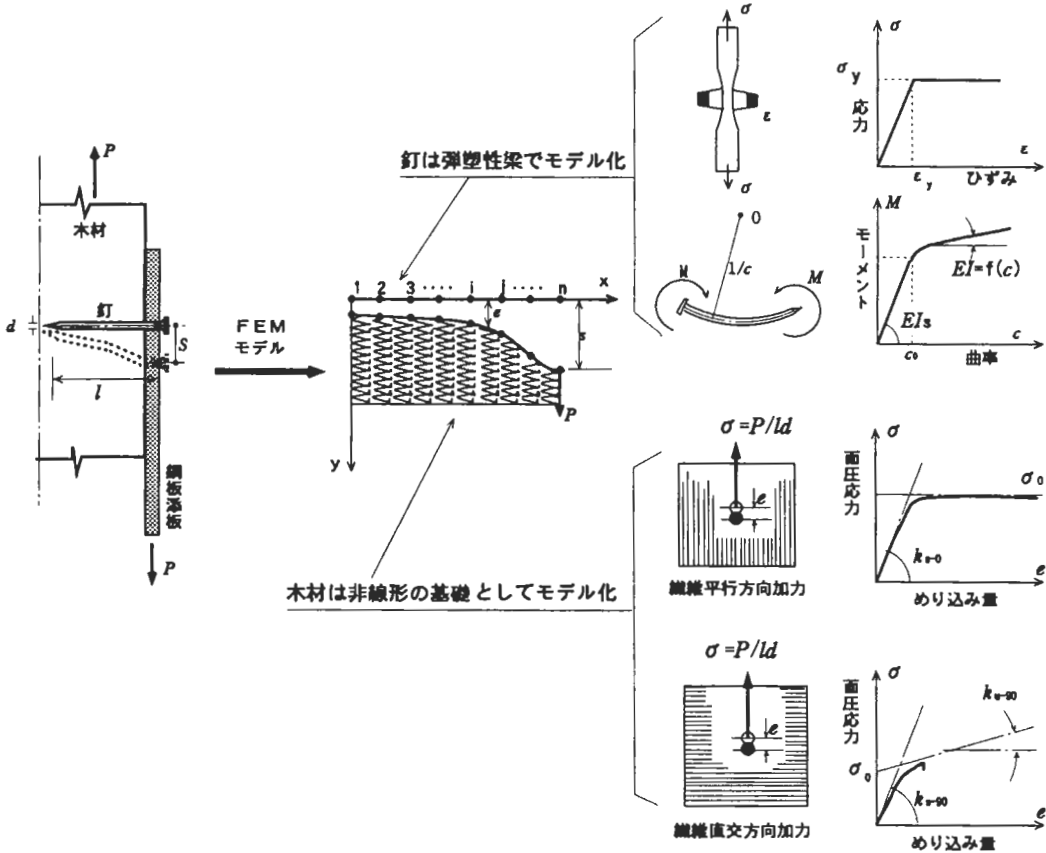


図2.3-18 木材と接合具の非線形挙動解析のためのFEMモデル (小松<sup>47)</sup>)

Foschiの解析<sup>42), 43)</sup>では、図2.3-18に示すように、木材の面圧応力( $\sigma$ )—めり込み( $e$ )関係は3-パラメタのexp関数で表現され、木材を非線形ウインクラー基礎、釘は完全弾塑性の応力—ひずみ関係を有する鋼棒と仮定し、一次元要素に分割された各要素内の非線形ひずみエネルギー関数を最小化する特殊な計算アルゴリズムが採用された。

Foschiが採用した3p-exp関数は、最初、Norén<sup>44)</sup>によって釘接合の比例限度以上の変形を表現するのに導入された関数で、それぞれのパラメータが物理的に明確な意味を持ち、かつ実際の非線形関係を上手く表現できるので、接合関係の非線形解析に採用されることが多い<sup>45), 46), 47), 48)</sup>。

Smith<sup>49)</sup>はFoschiタイプの非線形有限要素法を更に発展させて、木材—木材同士のダボ状接合部の荷重—すべり挙動を解析している。彼の解析プログラムでは、木材の面圧応力—めり込み関係は実験値を折線で表現したものが使われている。また、木材のせん断変形、木材と鋼棒との摩擦抵抗、大変形時に見られる軸力抵抗、材料常数のバラツキ等も考慮で

きるようになっている。Malhotraら<sup>45)</sup>もFoschiの研究を發展させ、木材界面での摩擦の影響等も含んだ釘接合部の非線形解析を行っているが、実験値との適合性は良好とは言えなかった。

辻野、平井<sup>60)</sup>は弾性床理論を応用して非線形ウインクラー基礎からの反力を受ける梁要素の剛性マトリックスを「陽な」形で誘導し、鋼板ボルト接合の荷重-すべり挙動を終局状態付近まで比較的正確に解析することに成功している。

小松<sup>47)</sup>は辻野、平井<sup>60)</sup>が示した「弾性床上の梁」の剛性マトリックスとFoschi<sup>42)、43)</sup>が木質材料への良好な適用性を認めた3P-exp関数(後述)を用いて、釘、ボルト、ドリフトピン等の荷重-すべり関係を以下のように数値的に解析した。

### 【接合具】

釘、ドリフトピン、ボルト等を円形断面鋼棒と考え、鋼棒のモーメント  $M$  と曲率  $C_u$  の関係は、図2.3-18に示すように完全弾塑性と仮定し、次式<sup>60)</sup>を用いた。

$$M = f(C_u) \cdot C_u \quad \dots a)$$

$$0 \leq C_u \leq C_{u0} \quad : \quad f(C_u) = EI = E_s \pi d^4 / 64 \quad \dots b)$$

$$C_{u0} \leq C_u \quad : \quad f(C_u) = E_s d^4 \{ 3\xi + \phi (5 - 2\phi^2)(1 - \phi^2)^{0.5} \} / 6 \quad \dots c)$$

ただし、 $d$  = 円形断面鋼棒の直径(cm)

$C_u$  = 鋼棒の曲率 (1/cm)

$\sigma_Y = 3225 \text{ kgf/cm}^2$  (鋼棒の降伏応力)

$E_s = 2041000 \text{ kgf/cm}^2$  (鋼棒のヤング係数)

$C_{u0} = 2\sigma_Y / E_s d$  (鋼棒の弾性限界曲率: 1/cm)

$\xi = \tan^{-1} \{ \phi / (1 - \phi^2)^{0.5} \}$

$\phi = 2\varepsilon_Y / C_u \cdot d$

$\varepsilon_Y = \sigma_Y / E_s \quad \dots d)$

### 【木 材】

木材は、接合具のめり込み変位に応じて、単軸の反力を発生するウインクラー型の基礎を仮定し、その挙動を非線形に拡張した。基礎に作用する面圧応力 $\sigma$ (荷重/接合具の直径×長さ)とめり込み量 $e$ (=鋼棒のたわみ)との関係は、図2.3-18に示す以下の3P-exp式を採用した。

(繊維平行方向加力時: サブスクリフト=0)

$$\sigma = (\sigma_{0-0} + k_{u-0} \cdot e) \{ 1 - \exp(-k_{s-0} \cdot e / \sigma_{0-0}) \} \quad \dots e)$$

(繊維直交方向加力時: サブスクリフト=90)

$$\sigma = (\sigma_{0-90} + k_{u-90} \cdot e) \{ 1 - \exp(-k_{s-90} \cdot e / \sigma_{0-90}) \} \quad \dots f)$$

式e)、f)に使われている6個のパラメータについては、実験結果<sup>48)</sup>、ならびに平井の提案<sup>41)</sup>を採用し、以下の相互関係を仮定した。

$$k_{s-o} = E_w / (3.16 + 10.9d)$$

$$k_{s-oo} = k_{s-o} / 3.4, \quad k_{u-o} = 0, \quad k_{u-oo} = k_{s-oo} / 8.8$$

$$\sigma_{o-o} = 0.93215TD - 160.74$$

$$\sigma_{o-oo} = (0.25522TD - 5.27)d^{-0.4} \quad \dots g)$$

ただし、

$E_w$  : 木材のヤング係数 (kgf/cm<sup>2</sup>)

TD : 木材の密度 (kg/m<sup>3</sup>)

$d$  : 接合具の直径 (cm)

円形断面鋼棒-鋼板-木材の三者より成る一面せん断接合部の荷重 (P) -すべり (S) 特性は、この接合部を図2.3-19に示すような一次元の有限要素に分割してNewton-Rapshon法と呼ばれる非線形計算法を用いて解析した。

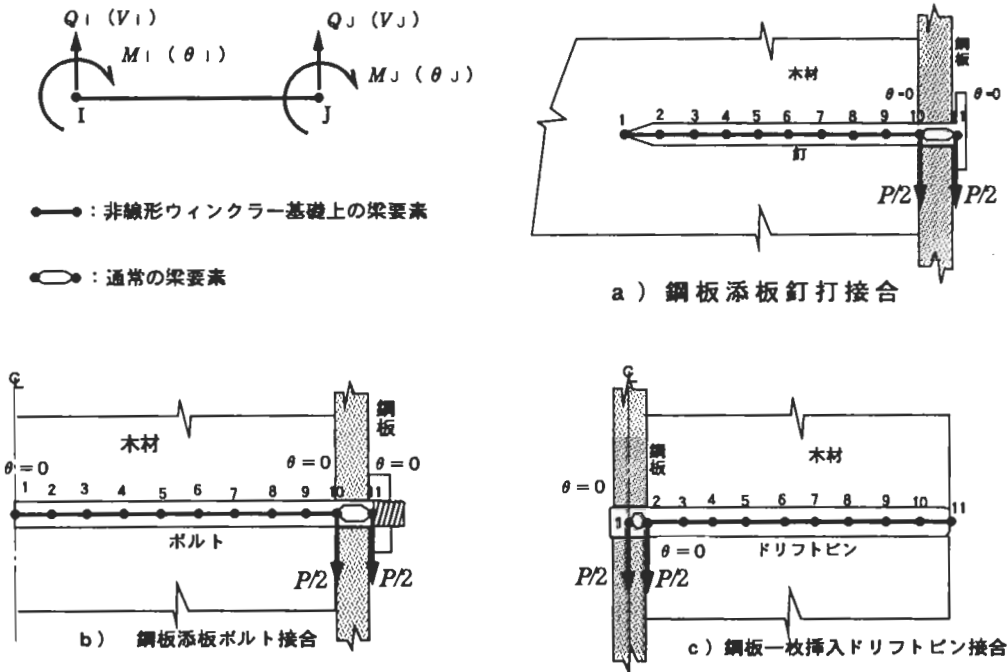


図2.3-19 ダボ型接合具と鋼板の組み合わせによる接合部の一次元有限要素分割図<sup>47)</sup>

辻野、平井<sup>50)</sup>が与えた弾性床の上の梁の剛性マトリックスは、

$$[k_*] = \frac{f(C_u)}{a^2 - b^2} \begin{bmatrix} V_1 & \theta_1 & V_J & \theta_J \\ k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} \\ & k_{22} & k_{23} & k_{24} \\ & & k_{33} & k_{34} \\ & & & k_{44} \end{bmatrix}$$

ただし、

$$\begin{aligned}
 k_{11} &= 4\mu^3(ac+bd), & k_{12} &= -2\mu^2(a^2+b^2), & k_{13} &= -4\mu^3(ad+bc), & k_{14} &= -4\mu^2ab \\
 k_{22} &= 2\mu(ac-bd), & k_{23} &= 4\mu^2ab, & k_{24} &= -2\mu(ad-bc) \\
 k_{33} &= 4\mu^3(ac+bd), & k_{34} &= 2\mu^2(a^2+b^2) \\
 k_{44} &= 2\mu(ac-bd)
 \end{aligned}$$

また;  $a=\sinh \mu l$   $b=\sin \mu l$   $c=\cosh \mu l$   $d=\cos \mu l$

$l$  = 要素の長さ  $\mu = \{dk/4f(C_u)\}^{0.25}$   $d$  = 鋼棒の直径  $C_u$  = 要素の曲率  
 $k=d\sigma/de$  =  $\sigma - e$  関係の接線係数で式e), 式f) を微分して決定する。  
 $f(C_u)$  = 式b), c) で定義された梁要素の曲げ剛性

図2.3-20、図2.3-21に開発した非線形有限要素法<sup>47)</sup>によって計算した接合具単体の荷重(P) - すべり(S) 関係と実験結果との対比の一例を示す。

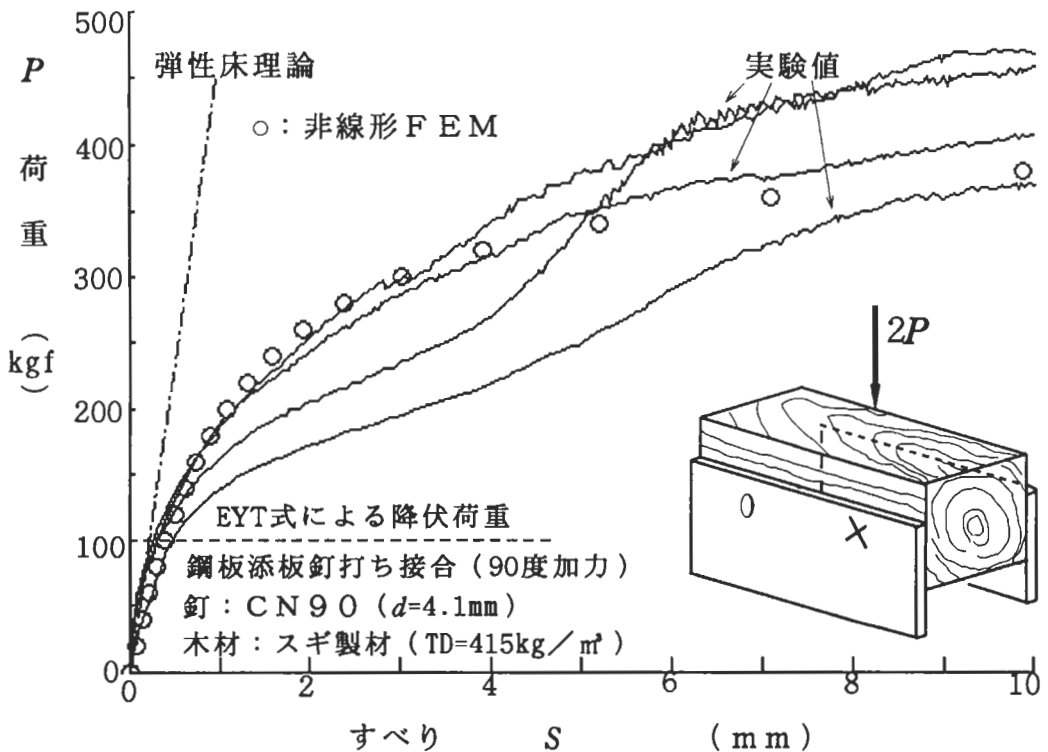


図2.3-20 鋼板添え板釘打ち接合の荷重(P) - すべり(S) 関係。実験と理論の比較

図2.3-20、図2.3-21において、○印が非線形有限要素法<sup>47)</sup>で得られた解を、実曲線が実験による実測値、原点を通る直線が弾性床理論式で推定される線形荷重 - すべり関係、一点鎖線で示す横線がEYT式において推定される降伏荷重をそれぞれ示す。

これらの例から、弾性床理論は初期剛性を予測するのに適していることが分かる。一方、非線形有限要素法は微小変形から大変形領域まで、荷重方向、接合部の境界条件等によら

ず接合具による接合の非線形挙動をかなり正確に推定できることが分かる。

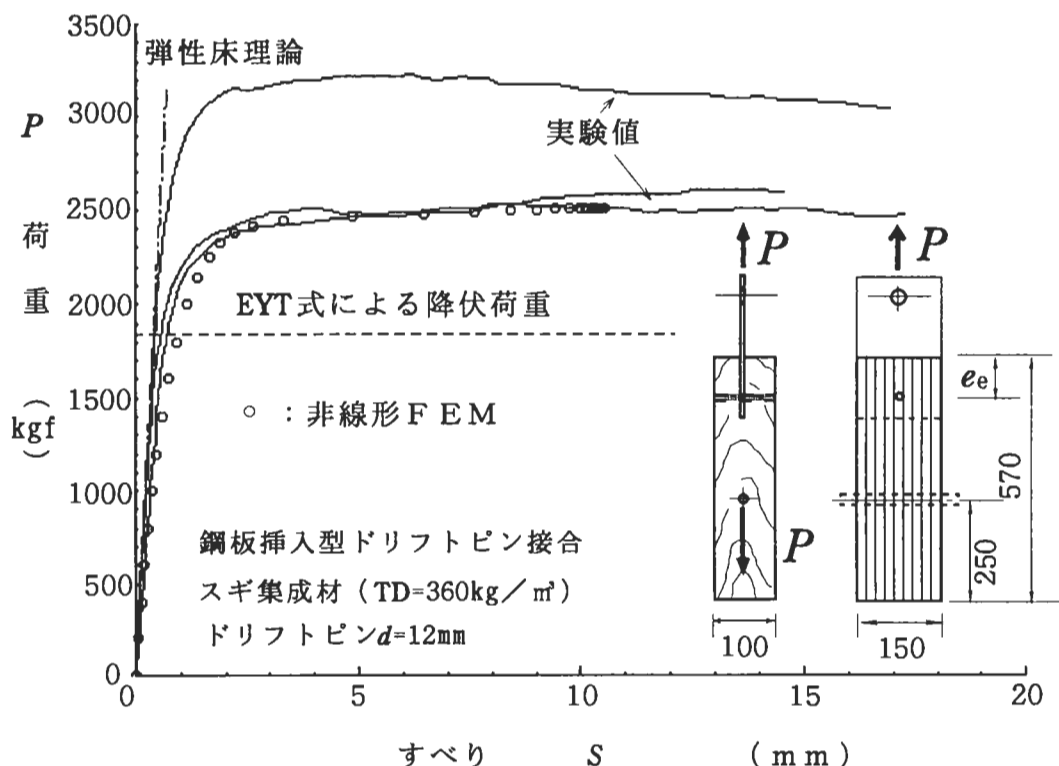


図2.3-21 鋼板挿入式ドリフトピン接合の荷重 ( $P$ ) - すべり ( $S$ ) 関係。  
実験と理論の対比

以上の有限要素法による非線形解析に対し、平井<sup>51)</sup>は主材(木材)を $N$ 層に分割し、各層ごとに4つの未定係数を含む弾性床理論の基本解(2.3.2-g式)を立て、各層界面での力と変形の連続条件から $4N$ 個の連立一次方程式を導き、微小荷重増分ごとに材料常数を変化させて非線形挙動を計算するという独自の数値解法を提案している。

解析で重要な木材の面圧常数は面圧実験で得られた曲線における各荷重域での割線係数が採用された。実験と計算との適合性は比較的良好であったが、平井<sup>52)</sup>は、その後、変形が大きくなって鋼棒が木材から反力を受けない部分が発生しても対応できるように、更に計算法を改良している。

平井の $4N$ 個の連立一次方程式を導き、微小荷重増分ごとに材料常数を変化させて非線形挙動を計算するという解法は、その後手塚ら<sup>53)</sup>によって、エポキシ充填ボルトの非線形変形解析に適用されている。

## 2. 3. 6 接合具各論

### 【釘】

#### (1) 一般的特徴

- (a) 図2.3-23に一例を示す通り、荷重 ( $P$ ) - すべり ( $S$ ) 関係は、荷重の掛かり始めから非線形であって厳密な意味での直線域（弾性域）は認められない。
- (b) 釘接合においても、厳密には加力方向によって初期剛性、終局耐力は異なる。しかし、ボルトやドリフトピン等に比べて異方性の度合いは小さく、材質のバラツキの範囲に入ってしまうので、初期剛性、終局耐力の異方性については統計的な有意差は認められない。
- (c) 初期ガタを一切伴わないため、計算通りの剛性と耐力を発揮することが可能である。
- (d) 接合部の破壊形態は添板の種類で異なる。鋼板添板の場合は、鋼板による釘頭部のせん断破断が一般的である。一方、合板や木質系ボードが添板となる場合は、その厚さや密度によって破壊形態は異なる。
- (e) 鋼板添板の場合、そのままでは審美性、防耐火性、耐結露性が悪い。接合部の载荷燃焼実験の結果では表面を被覆しない場合、約 13分で接合部は崩壊したが、鋼板部分を厚さ 30mm の集成材の厚板で接着被覆すると、約 1 時間以上の耐火性能が認められた。従って、審美性、防耐火性、耐結露性が要求される構造に対しては、厚さ 25mm 以上の集成材の厚板で鋼板ガセット部分を接着被覆することが必要である。

#### (2) 釘の種類と品質

非常に多種多様な種類があるが、主として木構造の構造的用途に使用されるものとしては、図2.3-22に示す鉄丸釘（通称N釘 JIS-A5508）、枠組み壁工法に用いられる釘（太め鉄丸釘：CN釘 JIS-A5551、シージングボード用釘：SN釘 JIS-A5553、石膏ボード用釘：GN釘 JIS-A5552、そして接合金物用釘（通称ZN釘）等がある。ZN釘は日本住宅・木材技術センターの規格である。その他の釘は日本工業規格（JIS）で品質基準が決められている。

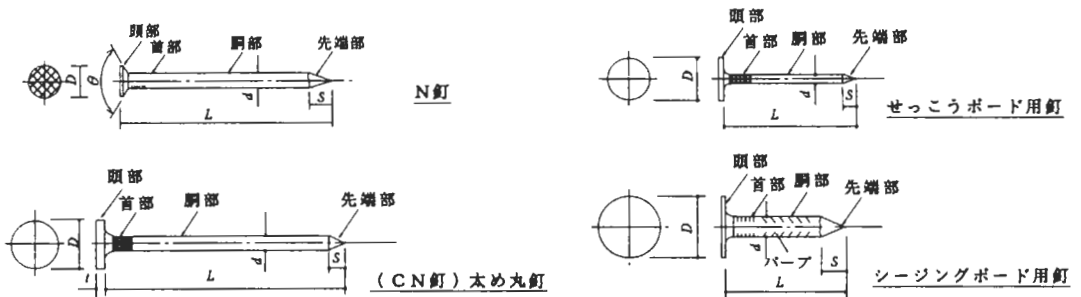


図2.3-22 木構造の構造的用途に使われる釘の種類

### (3) 釘の強度性能

釘接合部の外力に対する抵抗機構はせん断抵抗と引き抜き抵抗に大別される。釘のせん断抵抗能力は、側材に木材を用いる場合と合板、鋼板、木質ボードを用いる場合とで、破壊形態と終局耐力の算定法が変わってくる。

図2.3-23に鋼板を添板とする釘打ち接合部の荷重(P)－すべり(S)関係の実測例を示す。釘が長く太く且つ木材の密度が大きい場合は、ベイマツの例に見られるように、釘に作用する力がせん断力であっても、すべり変形が大きくなると、釘の引き抜き抵抗力が加算されて(ローブ効果と呼ぶ)、釘の見かけの最大せん断耐力は増加する。

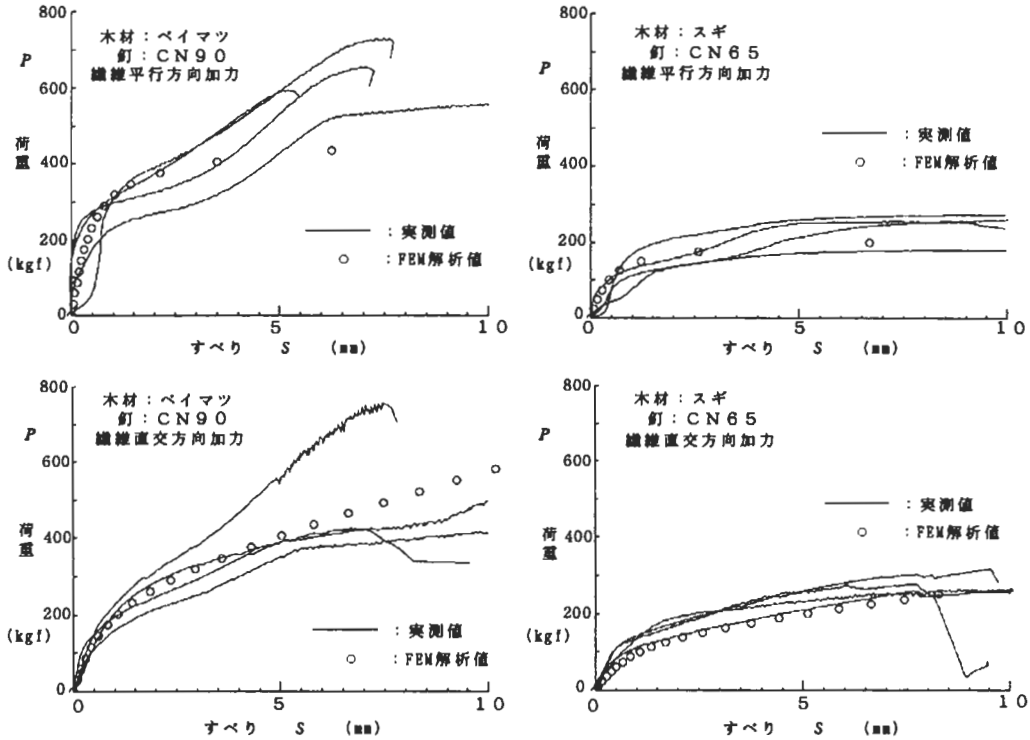


図2.3-23 鋼板添板釘打接合部の荷重－すべり関係の例

### (4) 許容耐力

旧木構造設計規準<sup>23)</sup>では釘の許容耐力は辻井、後藤の実験<sup>54)</sup>に基づいて木材の圧縮強度と釘径をパラメータとして決定された。1988年版木構造計算規準<sup>30)</sup>では、圧縮強度に代わって木材の比重が使われている。木材－木材、木材－鋼板接合に関しては旧設計式と同じ許容値になるよう設計式の係数は調整されているが、小松は、木材－鋼板釘接合の実験値<sup>56)</sup>をモンテカルロシミュレーションによって検討した結果、現行の暫定的な釘許容耐力は低比重材で20～30%、高比重材で40～60%低めに評価されている可能性があることを指摘<sup>56)</sup>している。なお、合板を添板とする釘接合に関しては釘頭のパンチング等を考慮した設計式が神谷、篤海<sup>67)</sup>によって提案され、木構造計算規準<sup>30)</sup>に採用された。

現在、改訂作業中の木質構造設計規準では、釘の許容耐力算定式に大きな変化はない見込みである。

## 【ドリフトピン】

### (1) 一般的特徴

- (a)ドリフトピン接合の荷重 ( $P$ ) -すべり ( $S$ ) 特性は、加力方向（繊維平行方向、繊維直交方向）、ピン長さ  $l$  とピン直径  $d$  の比  $l/d$ （径長比）、端距離や縁距離等の境界条件に著しく影響される。
- (b)端距離と縁距離を十分にとったドリフトピン接合の場合、繊維平行方向加力時の荷重 ( $P$ ) -すべり ( $S$ ) 関係は、図2.3-25に一例を示すように、降伏点荷重  $P_y$  までは比較的直線的であるが、 $P_y$  を過ぎると荷重は殆ど増加せず、塑性的挙動を示し、最終的には木材がせん断破壊を起こす。
- (c)繊維平行方向加力で端距離が十分大きい場合、径長比  $l/d$  が大きい程粘りが大きい。
- (d)繊維直交方向加力の場合、荷重 ( $P$ ) -すべり ( $S$ ) 関係は、図2.3-25に示すように、脆性的な挙動を示す。従って、繊維直交方向に加力を受けるドリフトピン接合部を設計する場合は、端距離や縁距離を十分取ったうえで、径長比  $l/d$  を少なくとも8以上、出来れば10以上採る必要がある。
- (e)鋼板およびドリフトピンの頭は最低25mm厚さの木材で埋木したり被覆することによって、接合部の耐火性能はかなり向上する。

### (2) ドリフトピンの品質と強度性能



ドリフトピンの品質に関しては現在の所明確な規格はない。実際に使われているドリフトピンはJIS-G3101に規定されたS400相当の鋼棒から切りだされる場合が多い。ピンの先端は打ち込み易いように角を落とすのが普通である。

図2.3-24 ドリフトピン

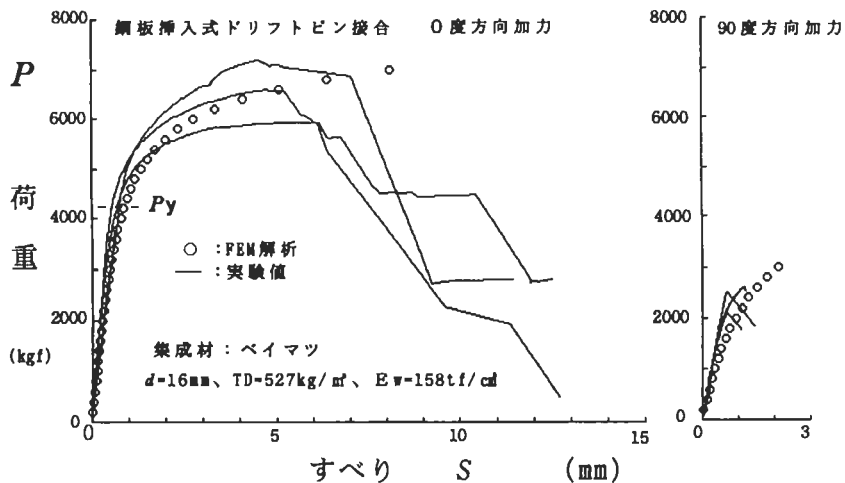


図2.3-25 ドリフトピン接合部（ピン1本）の荷重-すべり曲線の例

### (3) 許容耐力

この接合具は大断面集成材を用いた大規模木構造が盛んになり始めた7、8年前から我国で注目されだしたもので、旧設計規準<sup>23)</sup>にはドリフトピンに関する記載はない。

1988年版の計算規準<sup>30)</sup>で採用されたドリフトピンの許容耐力は、主として、前田の実験<sup>58)</sup>・<sup>59)</sup>と葉多らの実験<sup>60)</sup>に基づいて誘導されたものであるが、川元らの最近の実験<sup>61)</sup>・<sup>62)</sup>・<sup>63)</sup>から、特に直径が小さく長さの長いドリフトピン接合(径長比 $l/d$ が大きい場合)において許容耐力を更に増加できる可能性が指摘されている。

現在、改訂作業中の木質構造設計規準では、このような実務サイドからの強い要望を考慮して、ドリフトピンの許容耐力算定式に上述したヨーロッパ型降伏理論(EYT式)を採用して、ボルト接合と基本的に同じ許容耐力となるよう改訂される見込みである。

### 【ボルト】

#### (1) 一般的特徴

(a) 鋼板添板ボルト接合と鋼板挿入式ドリフトピン接合を比較すると、図2.3-26に一例を示すように、降伏荷重まではむしろドリフトピン接合の方が剛性が高いが、ボルトの変形が大きくなると、ナット部がボルトの材軸方向の変形を拘束するため耐力の向上が認められる(ローブ効果等と呼ぶ)。材厚や径長比によっても異なるが平均的に鋼板添板ボルト接合の終局耐力は、同寸法の鋼板挿入ドリフトピン接合の1.5~2倍程度となる。

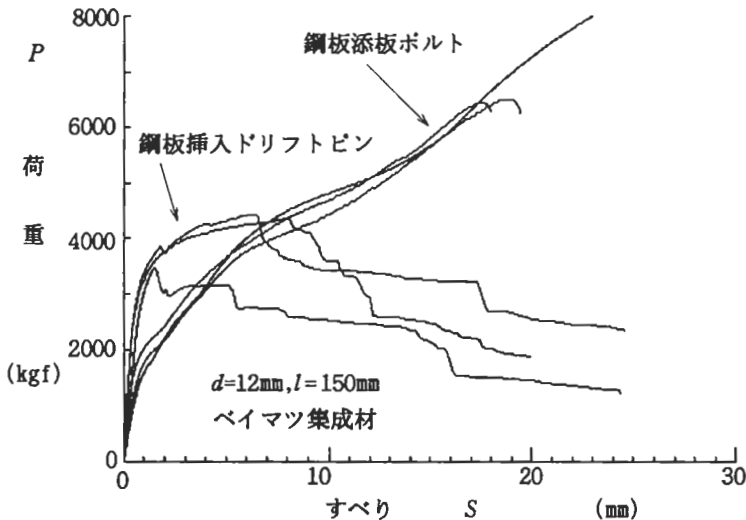


図2.3-26 鋼板添板式ボルト接合とドリフトピン接合の比較

(b) ボルトを無理に打ち込むとネジ山が傷むので、鋼板側の先孔径をボルト径より少し大きめ(プラス1mm~2mm)に明ける場合が多い。そのため、初期ガタを生じ易い。

(c) ボルトを用いる場合の留意点は、原則的に、ドリフトピンと同じである。

(d) 鋼板を材内部に挿入してドリフトピンの代わりにボルトで接合する方式も考えられる。この場合も鋼板先孔をボルト径以上に大きく明けないとネジ山が傷むため、初期ガタが発生しやすい。終局耐力時に鋼板添板ボルト接合の場合ほどボルトの軸力効果が発揮されないが、ドリフトピンの場合よりは若干粘りが大きくなる。

(e) 径長比 ( $l/d$ ) が8以上のボルト接合は原則的に粘り強い性能を発揮する。

### (2) ボルトの品質と接合形態

木構造に用いられるボルト(JIS-B1180)とナット(JIS-B1181)はJIS規格に品質が規定されている。ボルトによる接合法は、図2.3-27に示すように、引張りボルトとせん断ボルトに大別される。

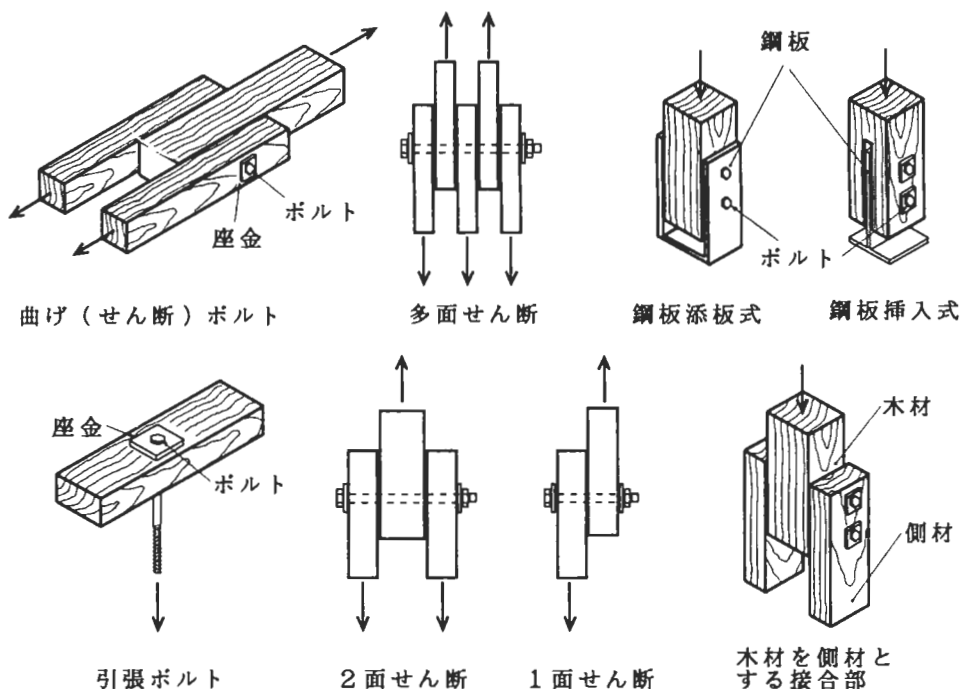


図2.3-27 ボルト接合部の種類<sup>63)</sup>

### (3) 許容耐力

旧木構造設計規準<sup>23)</sup>でのボルトの許容せん断耐力は米国のTrayerの実験<sup>64)</sup>を参考にした久田、杉山、松野<sup>65)</sup>の実験結果に基づいて、木材の圧縮強度とボルト直径、及びボルト長さの関数として決定された。1988年度版木構造計算規準<sup>30)</sup>では、上述したように、ヨーロッパ型降伏理論(EYT)を導入してボルトの許容耐力が決定されている。詳細については、建築学会が発行している木構造計算基準・同解説<sup>30)</sup>または、建築センター発行の「大断面木造建築物設計施工マニュアル」<sup>34)</sup>を参照のこと。

なお、現在改訂作業中の木質構造設計規準では、ボルトの許容耐力算定式に大きな変化はない見込みである。

## 【ラグスクリュー】

### (1) 一般の特徴

(a) 図2.3-28から分かるように、六角ボルトの胴部にネジを切り、先端を紡錘状に加工した巨大な木ネジ状の接合具である。

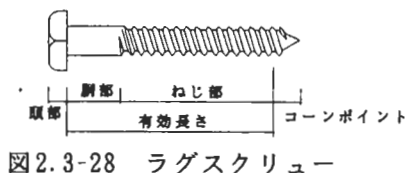


図2.3-28 ラグスクリュー

(b) 我が国では、鋼板を添板とする接合に使われる。木材側の先孔径はラグスクリューの直径より小さく（密度によるが大体80%程度）、鋼板側の先孔径は直径と胴寸程度で良いので、ボルトに比べると初期ガタは少なく、初期剛性は大きい。

(c) 基本的に片側から接合するタイプの接合具であるので、ボルトのように長い先孔を木材中に貫通させる必要がなく、孔明け作業が楽である。

### (2) ラグスクリューの品質と強度性能

ラグスクリューの材質や形状に関する J I S 規格はない。現在出回っているものは、民間の自主的な規格によるもので、ドイツの D I N 規格に準拠したものであると言われている。材質はボルトに準拠しているものと思われる。

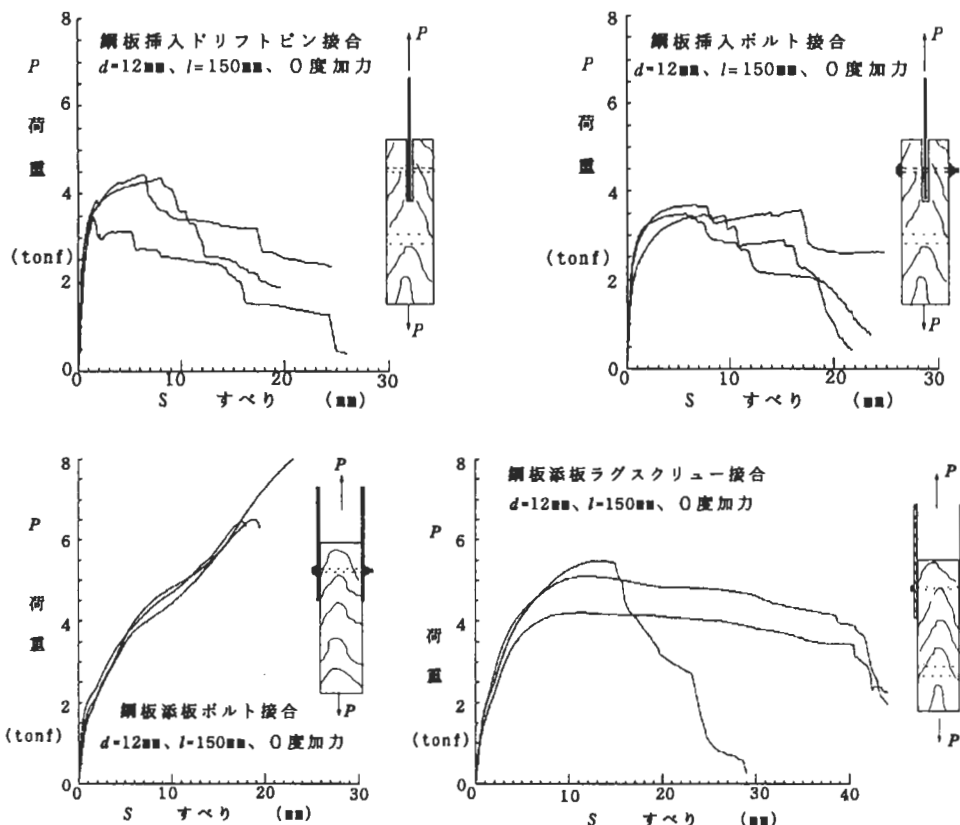


図2.3-29 同一寸法の集成材を異なる4種類の接合法で接合した場合の接合性能比較<sup>6,7)</sup>

図2.3-29に同一寸法の集成材を異なる4種類の接合法で接合した場合の接合性能の比較を示す。鋼板添板ラグスクリュー接合は初期剛性が大きく、また、降伏点以降も非常に粘り強い性能を発揮することが分かる。

徳田ら<sup>68)・69)</sup>によれば、繊維平行方向加力の場合、径長比 ( $l/d$ ) が7以上になるとラグスクリュー軸部の曲げ剛性と木材のめり込み抵抗によってせん断耐力が発揮される。径長比 ( $l/d$ ) が7以下の場合はネジ部の引き抜け耐力でせん断耐力は決まる。一方、繊維直交方向加力の場合は木材の割裂で耐力は決まる。ラグスクリューの場合は径長比 ( $l/d$ ) を10以上に大きくとると逆に耐力が低下する場合も観察されている。

### (3) 許容耐力

ラグスクリューも旧木構造設計規準<sup>23)</sup>にはなかった接合具である。片面から施工できるので、大断面集成梁の上下面に鋼板添板継手を設ける場合の接合具として、従来の通しボルトに代わって、好んで利用されている。1988年度版木構造計算規準<sup>30)</sup>におけるラグスクリューの許容耐力は徳田ら<sup>68)・69)</sup>と佐藤ら<sup>70)・71)</sup>の実験結果に基づいて誘導された。我国の規格では、鋼板添板接合の場合しか許容耐力は認められていない。

ラグスクリュー接合の許容耐力は建築学会発行の木構造計算基準<sup>30)</sup>と建築センター発行の大断面設計施工マニュアル<sup>34)</sup>の双方で異なっている。前者は実験結果に基づく経験式で、後者はボルトと同じヨーロッパ型降伏理論 (EYT) 式で許容耐力を規定している。

なお、現在改訂作業中の木質構造設計規準では、ラグスクリューの許容耐力算定式に大きな変化はない見込みである。

## 【各種ジベル類】

### (1) ジベル接合の特徴

(a) 図2.3-30に現在我国で使われているジベルの幾つかを示す。ジベルは必ずボルトと併用して使用するもので、ボルト接合で最も力の集中する主材 (木材) と側材 (木材、または鋼材) との接合界面に存在し、大きな耐圧面積を生かしてボルトのせん断抵抗能力を増すための補助的な接合具である。

(b) ジベルにはその埋め込み方法によって、彫り込み式ジベルと圧入式ジベルがある。

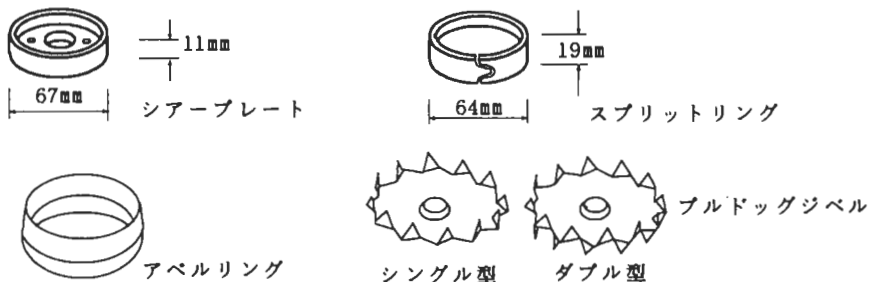


図2.3-30 日本で使われているジベルの形状

(c)彫り込み式ジベルとしては、図2.3-30のシアープレート、スプリットリング、アペリングが実際に日本で使われている。圧入式ジベルとしては同図のブルドックジベルが日本で実際に使われている。

(d)彫り込み式ジベルの加工には専用のカッターが必要で、加工精度が要求される。しかし、精度が良ければクリープ変形の少ない接合部が期待できる。加工精度が悪いと、ボルト単独の場合より初期ガタが大きくなることもある。

(e)圧入式ジベルは特別のカッターを必要としないが、ジベルを材中に圧入するのに、油圧ジャッキ等の圧入用治具が必要である。初期ガタが発生する可能性は彫り込みジベルよりは少ない。

(f)ジベルは国産品がないのですべて輸入に頼っている。

(g)ジベルに関する端距離や縁距離、相互間隔等の規定は一般に厳しいので、一接合部にジベルを多数個使用する場合には慎重な設計が要求される。

## (2) ジベルの品質と強度性能

すべて輸入品であるので、ジベルの品質は輸入元の国のしかるべき規格に合格しているはずである。

図2.3-31にシアープレートとスプリットリングの荷重-すべり関係の一例<sup>30)</sup>を示す。ボルトだけの接合に比べ、スプリットリングで1.4~2.1倍、シアープレートでは1.4~1.9倍の耐力が発揮される。

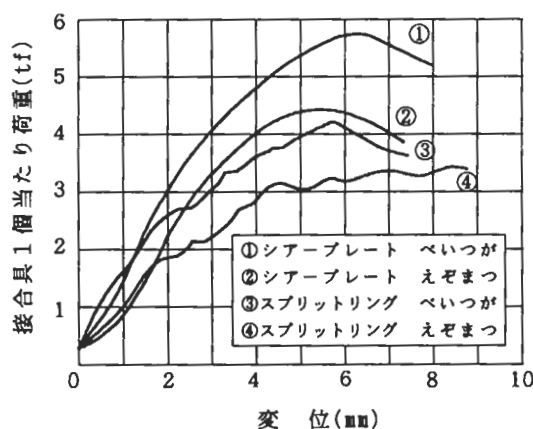


図2.3-31 スプリットリング、シアープレート接合の荷重-すべり関係の例<sup>30)</sup>

## (3) 許容耐力

旧木構造設計規準<sup>23)</sup>では、特定のジベルの許容耐力を認めるのではなく、全て実験によって許容耐力を決定することとなっていた。

1988年度版木構造計算規準<sup>30)</sup>では、シアープレートとスプリットリングが実験<sup>72)</sup>によって耐力が確認されたため、独立して許容耐力が数表化された。

その他のジベルの場合は、旧設計規準同様、その都度実験によって許容耐力を決定する。最近、平嶋<sup>72)</sup>、大橋<sup>73)</sup>らによって、その他のジベル類のせん断耐力の実験が行われ、許容耐力の提案もなされているので、現在改訂作業中の木質構造設計規準では、その他のジベル類の許容耐力も取り込まれる可能性が大きい。

### 2. 3. 7 残された問題点、今後の課題

- 1) 3次元モデルに基づく、各接合具の変形挙動の解析（摩擦、軸力、接触問題含む）
- 2) 単独の接合具の破壊条件の解明と設計式の提案、特に脆性破壊の予測を含んだものが必要
- 3) 端距離、縁距離、接合具間隔、接合具本数等をパラメータに含んだ総合的な接合部の耐力発現メカニズムの解明
- 4) ラグスクリーやジベルのような、非円形断面鋼棒接合具の耐力発現機構の再検討
- 5) 新しく開発されるエンジニアリングウッドを含めた広範囲な接合部設計データの収集
- 6) エネルギー吸収能力（粘り）をより合理的に評価できる耐力評価法の確立

### 文献 [2. 3 接合具による接合]

- 1) 原田真樹、小松幸平、川元紀雄：ドリフトピンによる木材のめり込み挙動（I）端距離、荷重角度の影響、日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）、p. 45、1991.
- 2) 日本建築学会編：「3. 接合部の設計」、木構造計算規準・同解説、丸善、1988.
- 3) 建築研究所：建設省総合技術開発プロジェクト新木造建築技術の開発報告書、No. 61-1、「9. せん断を受けるボルト接合部の力学特性」、p. 429-555、1987.
- 4) 川元紀雄、金谷紀行、小松幸平：スギ集成材におけるドリフトピン接合部の耐力 - 繊維に直交する方向の加力を受ける場合 -、日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）、p. 101-102、1989.
- 5) 前田典昭：木造化推進標準設計施工マニュアル作成等事業報告書「木造化技術開発」、日本住宅・木材技術センター、p. V215~V249、1987.
- 6) 原田正道：「木船の縦強度」、東京大学生産技術研究所報告、2-3、1951.
- 7) Kuenzi, E.W.: "Theoretical design of a nailed or bolted joint under lateral load", Reoprt D.1951, F.P.L., Madison, 1955.
- 8) 澤田 稔：「2層釘着梁の曲げ剛性と強度」、北大演習林報告、33(1), p. 139-166. 1976.
- 9) 澤田 稔、山田順治：「木造釘着組立梁の腹材有効剛比」、北大演習林報告、35(1), p. 123-138, 1978.
- 10) T. L. Wilkinson.: "Theoretical lateral resistance of nailed joints", J. of the Structural Div., ASCE 97(ST5), 8/21, p. 1381-1398, 1971.
- 11) 澤田 稔：「一面せん断における釘着材のSLIP MODULUS  $K_s$  の誘導」、北大木材加工学教室・研究資料、July、31、1975（未公表）
- 12) 澤田 稔：「釘着材の許容せん断耐力について」、日本木材学会北海道支部講演集、8.

p. 33-35, 1977.

- 13) T.L. Wilkinson: "Analysis of nailed joints with dissimilar member", J. of the Structural Div., ASCE 98(ST9), p.2005-2013, 1972.
- 14) 平井卓朗、澤田 稔: 「側材に鋼板を用いたボルト接合部のせん断耐力」, 木材学会誌、28(11), p. 685-694, 1982.
- 15) 小松幸平、前田典昭、堀江和美: 「接合具の非線形特性を考慮に入れた集成材骨組み構造の解析(第2報) 実験による検証」, 木材学会誌、35(3), p. 201-211, 1989.
- 16) 中谷 浩、澤田 稔: 「釘着材のせん断性能」, 北大演習林報告、37(3), p. 687-720, 1980.
- 17) 松尾 博、澤田 稔: 「木材と木質平面材料の釘接合におけるせん断耐力(第1報)」 北大演習林報告、37(3), p. 721-746, 1980.
- 18) 松尾 博、澤田 稔: 「木材と木質平面材料の釘接合におけるせん断耐力(第2報)」 北大演習林報告、38(1), p. 83-98, 1981.
- 19) 澤田 稔: 「釘着重ね柱の座屈強さ」, 北大演習林報告、37(3), p. 747-758, 1980.
- 20) 平井卓朗、澤田 稔: 「木材の釘面圧試験方法について」, 木材学会誌、28(1), p. 39-44, 1982.
- 21) T. Hirai and M. Sawada: "Linear Load-Slip Relationship of Bolted Joints of Glued-Laminated Lumber", 木材学会誌、28(10), p. 609-613, 1982.
- 22) 平井卓朗: 「木材のボルト面圧特性に及ぼす荷重方向の影響」, 木材学会誌、30(12), p. 959-964, 1984.
- 23) 日本建築学会編: 「6. 接合部の設計」, 木構造設計規準・同解説、丸善、1973.
- 24) T. Hirai and M. Sawada: "Nominal Bearing-Stresses of Bolted Wood-Joints at Apparent Proportional-Limit", 木材学会誌、28(9), p. 543-547, 1982.
- 25) 平井卓朗、澤田 稔: 「側材に木材を用いたボルト接合部のせん断耐力」, 木材学会誌、28(11), p. 695-698, 1982.
- 26) 平井卓朗: 「木材のボルト接合せん断耐力に及ぼす端部寸法影響一荷重が材軸方向に対し垂直方向に作用する場合」, 木材学会誌、29(2), p. 118-122, 1983.
- 27) 平井卓朗、堀江和美: 「側材として鋼板を用いたボルト接合部のせん断耐力一荷重方向の影響」, 木材学会誌、30(12), p. 965-972, 1984.
- 28) H.J. Larsen: "The yield load of bolted and nailed joints", IUFRO-5, Congress, 646-654, 1973.
- 29) H.J. Larsen: "K.W. Johansen's Nail Tests", BYGNINGSSTATISKE MEDDELELSER, 48(1), 9-30, 1977.
- 30) 日本建築学会編: 「3. 接合部の設計」, 木構造計算規準・同解説、丸善、1988.
- 31) 安村 基, 杉山英男, 中村 昇: 「繰り返しせん断力を受ける集成材ボルト接合部の強度性状」, 日本建築学会大会学術講演梗概集、p. 2211-2212、1983.
- 32) 安村基, 中村 昇, 杉山英男: 「集成材ボルト接合部の強度性状に関する実験と理論」, 日本建築学会大会学術講演梗概集、p. 2213-2214、1983.
- 33) 安村基, フィリップ・クリュビレ: 「重木構造における接合部の耐力(第1報) 集成材ボルト接合部の2面せん断試験」, 木材工業、38(6)、p. 10(270)-16(276)、1983.
- 34) 日本建築センター編: 「5. 6 接合部の設計」, 大断面木造建築物設計施工マニュアル1988年版、1988.

- 35) T.E.McLain : "Engineering wood connections and the 1991 National Design Specification", Wood Design Focus, 2(2), p.1-10, 1991.
- 36) National Forest Products Association(NFPA): National Design Specification for Wood Construction. Washintong, DC., 1991.
- 37) 金谷紀行、川元紀雄、小松幸平 : 「スギ集成材における鋼板挿入式ボルト接合の耐力」、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)、p. 103-104, 1989.
- 38) P. Aune and M. Patton-Mallory: "Lateral Load-Bearing Capacity of Nailed Joints Based on the Yield Theory. - Theoretical development (FPL469) and Experimental verification (FPL470)", Research Paper FPL469 & 470, Madison, WI. U.S.Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1986.
- 39) L.R.J.Whale and I.Smith : "The derivation of design clauses for nailed and bolted joints in EUROCODE 5", International Council for Building Research Studies and Documentation Working Commission W18-Timber Structures, 19-7-6, Florence, 1986.
- 40) I.Smith and L.R.J.Whale : "Characteristic Properties of Nailed and Bolted Joints under Short-Term Lateral Load, Part 1-Research Philosophy and Programme", Journal of the Institute of Wood Science", 11(2), p.53-59, 1987.
- 41) 平井卓郎 : 「木材接合部の基礎性能 2. 木材のボルト面圧性能」、北大農学部演習林研究報告、46(4)、p. 967-988、1989.
- 42) R.O. Foschi : "Load-slip characteristics of Nails", Wood Science, 7(1), p.69-68, 1974.
- 43) R.O.Foschi and T. Bonac : "Load-Srip Characteristics for Connections with Common Nails", WOOD SCIENCE, 9, p.118-123, 1977.
- 44) B. Norén : "Nailed Joint-A Contribution to the Theoretical Analysis of Yield and Strength", Medd. 123 B, Swedish Forest Products Research Laboratory, Stockholm, 1962.
- 45) S.K.Malhotra and B.Thomas : "Behavior of Nailed Timber Joints With Interface Characteristics", WOOD SCIENCE, 15(2) ,p.161-171, 1982.
- 46) I.Devonport, L.R.Whale : "Sensitivity Studies on the Influence of Joint Characteristics on Load Deformation Relationships in timber Shear Walls", IUFRO Proceedings, MEXICO, 1984.
- 47) 小松幸平 : 「接合具の非線形特性を考慮に入れた集成材骨組構造の解析(第1報) 解析法の誘導」、木材学会誌、34(7)、p. 581-589、1988.
- 48) 小松幸平、前田典昭、堀江和美 : 「接合具の非線形特性を考慮に入れた集成材骨組構造の解析(第2報) 実験による検証」、木材学会誌、35(3)、p. 201-211、1989.
- 49) I.Smith : "Analysis of Mechanical Timber Joints with Dowel Type Connectors Subjected to Short Term Lateral Loading -By Finite Element Approximation", Timber Research and Development Association Research Report, 2(82), 1982.
- 50) 辻野哲司、平井卓郎 : 「鋼板側材を用いたボルト接合部の非線形荷重-すべり関係(第1報) 有限要素法による数値解析」、木材学会誌、29(12)、p. 833-838、1983.
- 51) 平井卓郎 : 「鋼板側材を用いたボルト接合部の非線形荷重-すべり関係(第2報) 弾性床上の梁理論による数値解析」、木材学会誌、29(12)、p. 839-844、1983.
- 52) 平井卓郎 : 「鋼板側材を用いた接合部の非線形荷重-すべり関係(第3報) 計算方法の改良」、木材学会誌、31(3)、p. 165-170、1985.

- 53) 松井源吾、手塚 升、山田伸典、横川和人、垂井 睦：「エポキシ充填ボルト接合に関する研究 その1、その2」、日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿）、構造Ⅰ、p.1423-1426、1987.
- 54) 辻井静二、後藤一雄：「釘接合の耐力に関する実験的研究」、日本建築学会論文報告集、第60号、p.465-468、1958.
- 55) 小松幸平：「鋼板添板釘打ち接合の変形と耐力（第1報）一面せん断実験の方法と結果の統計的分析」、木材学会誌、36(12)、p.1035-1041、1990.
- 56) 小松幸平：「鋼板添板釘打ち接合の変形と耐力（第2報）モンテカルロ法による許容せん断耐力の評価」、木材学会誌、36(12)、p.1042-1049、1990.
- 57) 神谷文夫、鴛海四郎：「合板一製材釘接合部のせん断実験と許容耐力の提案」、木材学会誌、35(4)、p.313-319、1989.
- 58) 前田典昭：「丸鋼ジベルのせん断耐力試験」、木造化推進標準施工マニュアル作成等事業報告書、日本住木センター、(v-215)-(v-245)、1987.
- 59) 前田典昭：「ドリフトピン接合の性能」、林産試験場報、4(2)、p.11-18、1990.
- 60) 葉多修司、森 和雄、佐藤雅俊：「集成材打ち込み鋼棒接合部の強度性状に関する実験的研究」、日本建築学会学術講演梗概集（北海道）、構造Ⅰ、p.1253-1254、1986.
- 61) 川元紀雄、金谷紀行：「スギ集成材におけるドリフトピン接合部の耐力」、日本建築学会学術講演梗概集（関東）、構造Ⅰ、p.99-100、1988.
- 62) 川元紀雄、金谷紀行、小松幸平：「スギ集成材におけるドリフトピン接合部の耐力－繊維に直交する方向の加力を受ける場合－」、日本建築学会学術講演梗概集（九州）、構造Ⅰ、p.101-102、1989.
- 63) 川元紀雄：「鋼板挿入式ドリフトピン接合」、木構造設計資料FA-6、日本住木センター、1991.
- 64) G.W.Trayer: "The bearing strength of wood under bolts", Technical Bulletin No.332, USDA Forest Service, Washington, DC., 1932.
- 65) 久田俊彦、杉山英男、松野外史：「ボルト接合の耐力に関する実験的研究」、日本建築学会論文報告集、第60号、pp.469-472、1958.
- 66) 木質構造研究会（杉山英男会長）：「ティンバーエンジニアリング読本」、木質構造の接合部、p.179-207、井上書院、1988.
- 67) データは山吉栄作：「接合具強度性能試験」、森林総研接合研究室研修レポート、1992。（現在、木材学会誌に投稿中）より。
- 68) 徳田迪夫、平嶋義彦、松原 弘：「ラグスクリー接合部の接合耐力（第1報）木材繊維に平行なせん断力に対する接合性能の実験的研究」、木材学会誌、35(6)、p.473-481、1989.
- 69) 徳田迪夫、平嶋義彦、宮越光豊：「ラグスクリー接合部の接合耐力（第2報）木材繊維に垂直なせん断力に対する接合性能の実験的研究」、木材学会誌、35(6)、p.482-488、1989.
- 70) 佐藤雅俊、宮村雅史、葉多修司、森 和雄：「ラグボルトの強度特性（Ⅰ）曲げボルトとしての耐力の評価」、日本建築学会学術講演梗概集（関東）、構造Ⅰ、p.2691-2692、1984.

- 71)佐藤雅俊、宮村雅史、森 和雄、葉多修司：「ラグボルトの強度特性（Ⅱ）引抜き耐力の評価」、日本建築学会学術講演梗概集（関東）、構造Ⅰ、p. 2693-2694, 1984.
- 72)神谷文夫：「2・5/8" (67mm)シアープレートと2・1/2" (64mm)スプリットリングを用いた接合耐力試験」、林誌研報、347、p. 35-92、1987.
- 73)平嶋義彦：「ジベル接合」、木構造設計資料FA-8、日本住宅・木材技術センター、1991.
- 74)大橋好光：「ブルドックジベルせん断強度実験」、木構造設計資料FA-3、日本住宅・木材技術センター、1991.

(メモ)



### 3. 構造体要素

8年前のシンポジウムでは、この構造体要素（当時の資料では、構造体構成要素となっているが）は 神谷文夫（当時、林業試験場）が担当した。

今回のシンポジウムにおいても、当然この部分の担当は神谷が最も望ましいと思われた。しかし、彼は現在アメリカ留学中で期日的に間に合わないため、心当たりの方にレビューをお願いした。しかし、結果的には、当シンポジウム専任幹事の責任上、小松がこの部分も担当することになった。

構造体要素の部門において、神谷は前回以下の項目を採り上げた。

- (1) トラス
- (2) 複合梁（重ね梁、ボックスビーム、Iビーム）
- (3) 単位骨組み（ラーメン、その他の骨組み）
- \* (4) 床、屋根（鉛直荷重に対して）
- \* (5) 耐力壁、床（水平荷重に対して）
- \* (6) 構造部材、構造要素の座屈
- \* (7) 信頼性解析

上の7項目の内、\*印の項目は特に神谷が専ら研究に専念してきた所であり、余人では扱いきれない高度な内容を含んでいるため、本資料でカバーすることを断念した。できれば、神谷が帰国後改めて検討されるべきであろう。冒頭から、頼りないことではあるが、以上の点を予め御理解を頂きたい。

#### 3. 1 トラス

##### 3. 1. 1 トラス構造の定義と実際

トラス（Truss）とは、2個以上の直線部材をその両端で全く摩擦のないヒンジ（hinge）で連結し、これを地盤あるいは他の支持物と適当に結合して、外力に抵抗するように組み立てた構造物をいい、各部材には主として軸力だけ（せん断力は存在可能）が作用する<sup>1)</sup>。

しかし、現実の木質系トラスにおいては、接合部を理想的なヒンジ接合にすることはむしろ例外的で、接合部をガセット板やメタルプレートで比較的固く接合したものが多い。このように、木質系トラスの実際は、トラスの厳密な定義からは異なるものではあるが、トラス節点がガセット板で固定されていても、そのために生じる節点モーメント（2次応力）の影響は節点と節点の間の部材に影響するだけで、トラスの全体的なたわみや部材の巨視的応力分布に及ぼす影響は小さい<sup>2), 3)</sup>。基本的には、木質系トラスの変形と応力は、軸力のみを考慮して計算すれば、実用上十分と考えられる。

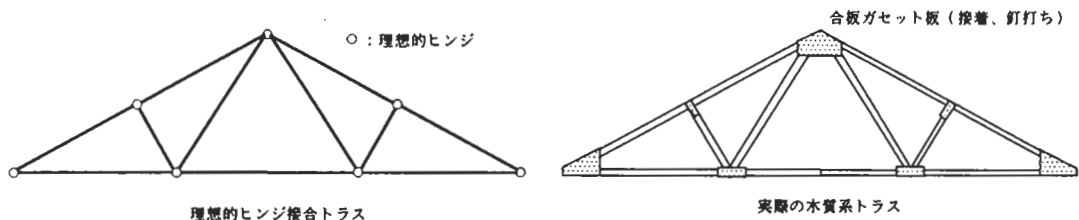


図3.1-1 理想的ヒンジ接合トラスと実際の木質系トラス

### 3. 1. 2 一般的トラスの変形計算

接着節点を有するものは別として、木質系トラスの最大の特徴は、節点において接合部が軸方向（場合によっては軸直交方向も考慮すべき）に変形することである。節点におけるモーメントの影響は無視できるが、接合部の変形を無視することは、トラス全体の変形計算値をかなり低く見積もることになるため、施工後予期せぬ変形が生ずることになる。

接合部の変形を考慮に入れたトラス構造の変形の計算法は、後藤<sup>4)</sup>が提唱している以下の仮想仕事の方法によって算定することができる。

$$\delta = \sum \frac{\bar{N}_m N_m}{EA} l + \sum \bar{N}_j \cdot \Delta_j \quad \dots a)$$

ただし、

$N_m$  : 外力によって部材に発生する軸力で、完全ピントラスとして求める。

$\bar{N}_m$  : 変位を知りたい点に変形の方に1の力を加えた時の部材軸力

$\bar{N}_j$  : 変位を知りたい点に変形の方に1の力を加えた時の接合部軸力

$EA$  : 部材の軸方向剛性

$l$  : 部材の長さ

$\Delta_j$  : 接合部に作用する軸力 $N_j$ によって接合部に生ずる変形

ところで、軸力 $N_j$ によって接合部に生ずる変形 $\Delta_j$ は、接合具一本の一せん断面あたりのすべり係数を $K_s$ 、一接合部あたり使用されている接合具の本数を $n_i$ 、せん断面の数を $n$ とおくと、次式で計算できる。

$$\Delta_j = N_j / (n_i \cdot n_s \cdot K_s) \quad \dots b)$$

よって、a)式は次のようにも書ける。

$$\delta = \sum \frac{\bar{N}_m N_m}{EA} l + \sum \frac{\bar{N}_j N_j}{n_i \cdot n_s \cdot K_s} \quad \dots c)$$

神谷<sup>5)</sup>らは、メタルプレートで接合された平行弦トラスの実測たわみは、式a)または式c)を用いて計算されるたわみと接合部の変形を無視して求めたたわみの中間であったと報告している。理論と計算が完全に一致しなかった理由として、圧縮節点での木材のめり込み変形の評価が不十分であった点を挙げている。

筆者が特に式a)または式c)のような手計算式にこだわるのは、誠に奇妙な理由による。パソコン用として人気のある有限要素法プログラムで、木構造以外の構造設計者がよく利用している“F☆P☆”という市販プログラムがある。最近、ふとしたことで、このプログラムには、実は軸方向伸縮バネならびに軸直交方向伸縮バネの入力機能がない（支点での半固定条件入力可能）という事実を発見したのである。もちろん、ラーメン構造を解くための回転バネの剛性は入力できる。このことは、木構造以外の構造では、接合部が軸方向や軸直交方向に変形する等ということは考えられない、ということの証拠である。

筆者にとっては、市販の立派な半剛節解析プログラムであれば、筋交い構造や、屋根トラス、床トラスといった「接合部において軸方向並びに軸直交方向変位を伴う軸組構造など」楽々解けるに違いないという思いがあった。ところが、この人気プログラムには、そういったたぐいの変形は最初から考慮されていなかったのである。これは、久々に味わった驚くべき発見であった。

したがって、もしこの市販プログラムを無駄にせずに、筋交い構造や屋根トラスのような木質系軸組構造を解こうとすれば、以下の手順をたどればよいだろう。

- ① “F ☆ P ☆” を起動させ、完全ピントラスとして所望の軸組構造を解いて  $N_m$ 、 $N_j$  を求める。
- ② 変形を求めたい点に、変形の方に 1 なる力を入力し  $\bar{N}_m$ 、 $\bar{N}_j$  を求める。
- ③ 式c)に戻り、部材の数だけ  $N_m \bar{N}_m / EA$  を計算し、又接合部の数だけ  $N_j \bar{N}_j / n_i \cdot n_o \cdot K$  を計算して、それらの総和をとってトラスのたわみ  $\delta$  を求める。

今は何でも FEM で解いてしまう時代であるが、意外な落とし穴があるもので、仮想仕事の式は、こと「接合部が軸力方向に変形する木構造」にとっては貴重なものであると言えよう。

### 3. 1. 3 平行弦トラス

平行弦トラスは文字通り上下弦材が平行に配置されたトラスであって、巨視的にみて、一本の梁として機能するように構成されたものである。平行弦トラスには、その形態に応じて特有の固有名詞が与えられているものが幾つかある（図3.1-2参照）。

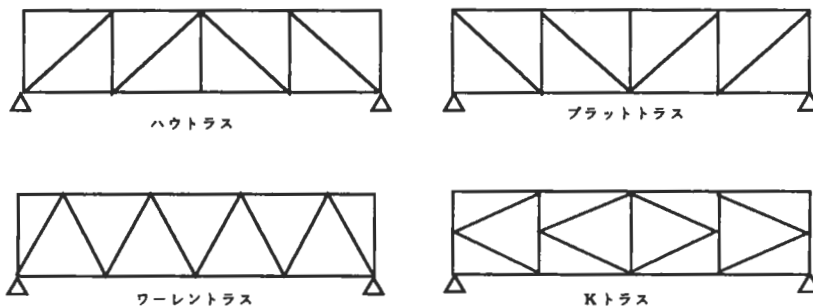


図3.1-2 平行弦トラスの種類

平行弦トラスと言えども、基本的には上述した仮想仕事式a)またはc)でその変形や応力分布を解くことができる。しかし、上下弦材が1本の「通し弦材」で構成され、かつ弦材の曲げ剛性が比較的大きい木質系平行弦トラスの場合は、弦材に発生する曲げ応力（2次応力）に対する検討と、弦材-腹材間の接合部に生じるすべり変形が梁のたわみに及ぼす影響の検討の2点が設計上重要となる。

上下弦材で合計  $n$  点の節点を有する平行弦トラスを厳密に解く場合、たとえば  $n$  点でモーメントを余剰力として選ぶと、 $n$  点で変形の適合条件を設定することが必要となり、最

終的には  $n$  元連立一次方程式を解かねばならない。このことはコンピューターの助けなしには大変なことである。

そこで、非常に巧みで、かつ実用的な近似計算法が後藤<sup>6)</sup>によって提案されている。この方法は旧木構造設計規準<sup>7)</sup>では詳しく解説されていたが、1988年版計算規準<sup>8)</sup>では余り詳しく解説されていないので、以下にその概略を図3.1-3a)に示す中央集中荷重を受ける場合を例にとって説明する。

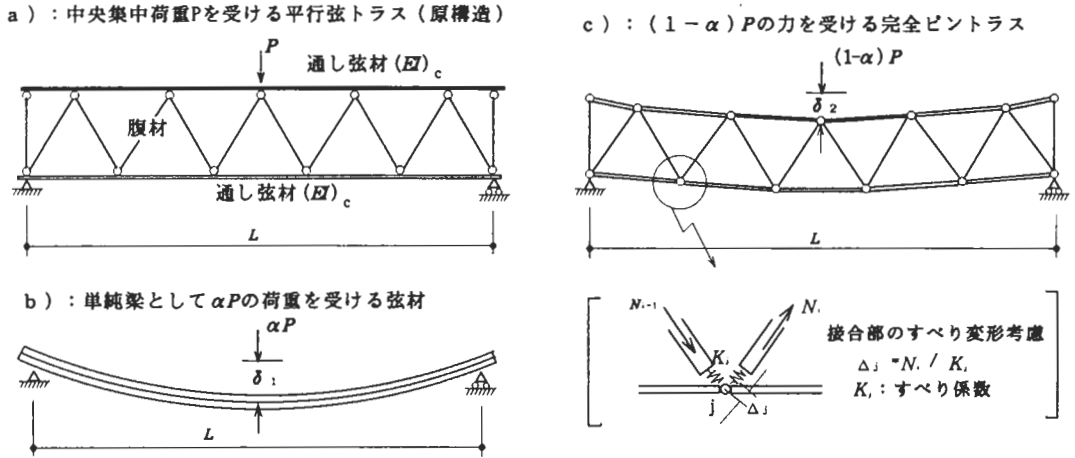


図3.1-3 平行弦トラスの近似解法の説明 (後藤より<sup>6)</sup>)

1) 図3.1-3b)に示す通り、上下通し弦材を単純重ね梁と見なし、それぞれの単純梁に  $\alpha P$  なる荷重を加えた場合のスパン中央でのたわみ  $\delta_1$  を単純梁の公式より求める。即ち

$$\delta_1 = \frac{(\alpha P/2) \cdot L^3}{48(EI)_c} \quad \dots a)$$

ただし、 $(EI)_c$ : 弦材独自の曲げ剛性 (上・下弦材とも同じと仮定)

2) 図3.1-3c)に示すように、平行弦トラスを完全ピントラスに置き換え、 $(1-\alpha)P$ なる力を原トラスと同じ加力点に加えた場合の完全ピントラスのスパン中央部のたわみ  $\delta_2$  を仮想仕事式b)より計算する。

$$\delta_2 = \Sigma \frac{\bar{N}_m N_m}{EA} l + \Sigma \bar{N}_j \cdot \Delta_j \quad \dots b)$$

ただし、

- $N_m$  :  $(1-\alpha)P$ の外力を受ける完全ピントラスの部材応力で、代数解法等で求める。
- $\bar{N}_m, \bar{N}_j$  : たわみを求めたい節点に単位力を作用させた時の完全ピントラスの部材応力、並びに、接合部応力で、代数解法等で求める。
- $\Delta_j$  : 応力  $N_m$ によって、弦材-腹材間の接合部節点  $j$  ( $j=1 \sim n$ )に生じる腹材軸力方

向のすべり量

$EA$  : 部材の軸力剛性

3) 単純梁で求めたスパン中央部のたわみ  $\delta_1$  と、完全ピントラスとして求めたスパン中央部の  $\delta_2$  が一致するように  $\alpha$  を決定する。

$$\delta_1 = \delta_2 \quad \dots c)$$

なお、弦材にも継手が存在する場合には、 $\delta_1$  の計算において継手の回転変形によるたわみへの影響を、また、 $\delta_2$  の計算においては、継手の材軸方向伸縮によるたわみへの影響を、それぞれ考慮に入れる必要がある。

4) 弦材に作用する応力については、 $\alpha P$  の外力によって単純梁の弦材に生じる最大モーメント  $M_1$  と、 $(1-\alpha)P$  の外力によって完全ピントラスに生じる最大軸力  $N_2$  の両方を考慮して、以下の複合応力条件式で検討する。

$$\text{(上弦材について)} \quad \sigma_c = \frac{\omega N_2}{A} + \frac{M_1}{Z} \leq f_c \quad \dots d)$$

$$\text{(下弦材について)} \quad \sigma_t = \frac{N_2}{A} + \frac{M_1}{Z} \leq f_t \quad \dots e)$$

ただし、 $f_c$  : 弦材の許容圧縮応力度、 $f_t$  : 弦材の許容引張応力度

以上の設計式は、 $n$  元連立一次方程式を厳密に解く代わりに、スパン中央でのたわみの適合条件だけを満たすこと（未知数 1）で、設計上必要な諸量を比較的正確に求め得る巧みな近似式である。木質系トラスの本質を理解する上でも非常に役に立つ考え方であると思う。

### 3. 1. 4 有限要素法による精密解析

トラス構造に限らず、有限要素法による構造解析は、現在考えられる最も精密な応力解析の手段である。最新の汎用 FEM プログラムを用いれば、部材・接合部の非線形荷重-変形関係、材料の異方性、圧縮節点でのめり込みの影響、摩擦の影響等、考えられるありとあらゆる影響を考慮にいった精緻な数値解析が建て前上可能である。（Keypoint は、だれがデータを入力するかである）。

Foschi<sup>9)</sup> は非線形汎関数の停留値を求める特殊な計算アルゴリズムを用いて、節点間のギャップに起因するメタルプレートの局部座屈を考慮した木質系トラスの非線形解析を発表し、この種の精密解析の口火を切った。

Foschi の開発した解析法は要素の剛性マトリックスを「陽な」形で表現できないため、だれもが利用できるという汎用性に欠けていた。一方、同時期に秦ら<sup>10)</sup> が発表した半節節有限要素法は、当初は線形解析の範囲ではあったものの、接合部における 3 種類の力-変形関係（モーメント、せん断、軸力）を「陽な形」で要素の剛性マトリックスの中に表

現しているので、既往の計算プログラムをそのまま使えるという利点があった。

佐々木ら<sup>11)</sup>は、秦らが誘導した半剛節剛性マトリック中において、接合部の荷重-変形関係を、Foschi型の3P-exp関数から更に発展させた5P-exp関数(パラメータが5つ)で表現し、図3.1-4に示すような木質系メタルプレート屋根トラスの非線形荷重-変形関係を精密に解析している。図3.1-4から分かるように、実験値と解析値の一致は破壊荷重近くまで非常に良好である。佐々木ら<sup>12)</sup>は、また4種類のメタルプレート接合平行弦トラスについても、同様の非線形半剛節解析を行い、実験と数値解析とが少なくとも比例限度荷重レベルまでは良く一致することを報告している。

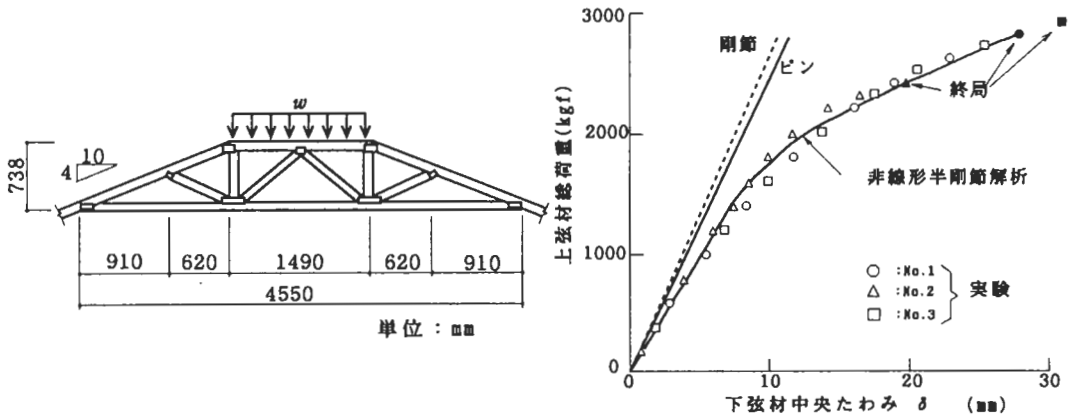


図3.1-4 非線形半剛節有限要素法によるメタルプレートトラスの精密解析の例<sup>11)</sup>

### 3.1.5 様々な木質系トラス

#### 【世界最大の屋根トラス】

先のリレハメルオリンピックのスケート競技場では、スパンが70m以上もある集成材屋根トラスが使用されて世界の注目を集めた。ノルウェー木材工学研究所のAasheim氏の'94 PTECでの報告<sup>13)</sup>によると、図3.1-5に示す Hamar のフィギアスケート場の屋根トラス(平行弦トラスではない)の場合以下のデータが示されている。

- 1) 最大スパンが70.8m
- 2) トラス間隔が13.2m
- 3) 下弦材の継手に生じた最大引張力は7500kN (765tf)
- 4) 断面570mm x 560mmの集成材下弦材に11枚の8mm鋼板ガセットを挿入
- 5) 直径8mmのドリフトピンを70本打った

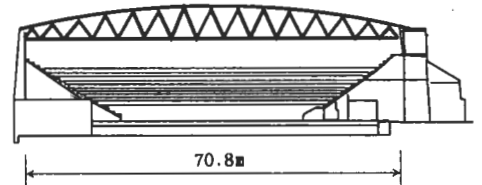


図3.1-5 フィギュア会場の屋根トラス

単純に計算すると、1本のドリフトピンに作用する荷重は765tf/70=11tfで、これを11枚の鋼板ガセットで受けていたので、鋼板1枚あたりの8mmドリフトピンに対する設計荷重は約1tfであった推定できる。この設計値は、我が国のAIJ計算規準<sup>6)</sup>から見れば、かなり恵まれた許容耐力のように感じられる。

【木橋の例】

図3.1-6は、スイス連邦工科大学ローザンヌ校のナタラー教授とその協力者K.メルツ氏（現在、トラスジョイストマクミラン社）が木構造部分を担当した全スパン108m（27m/54m/27mの3スパン連続梁）の、平行弦ハウトラスによる自転車通学用木橋である<sup>14)</sup>。

自転車橋とは言え、スパンが非常に大きいので、平行弦トラスの接合部には、引張力で41tonf、圧縮力で71tonfの力が作用する。

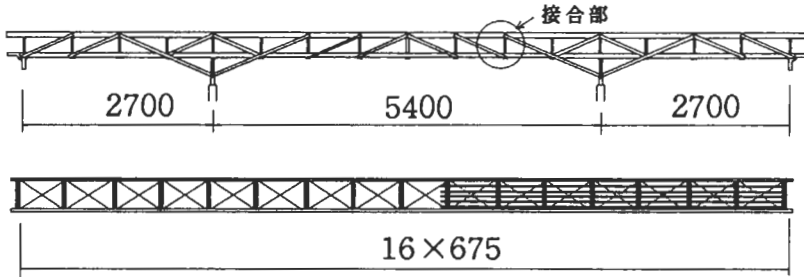


図3.1-6 全スパン108mの平行弦ハウトラスによる自転車通学用木橋

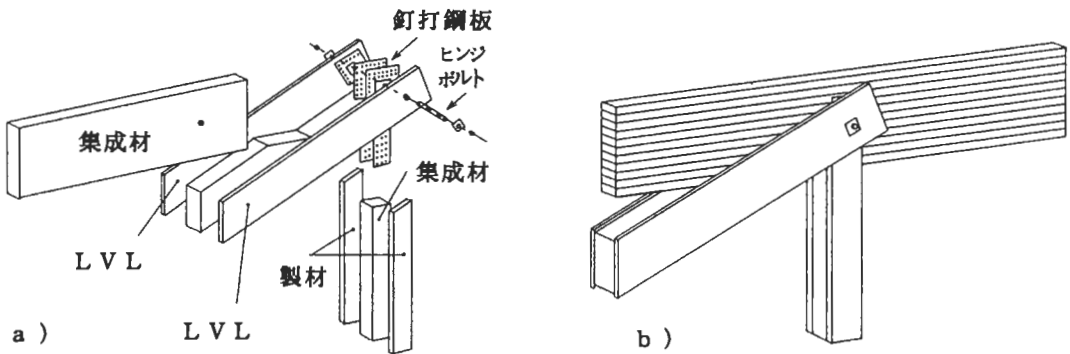


図3.1-7a), b) 上弦材側節点の接合部詳細<sup>10)</sup>

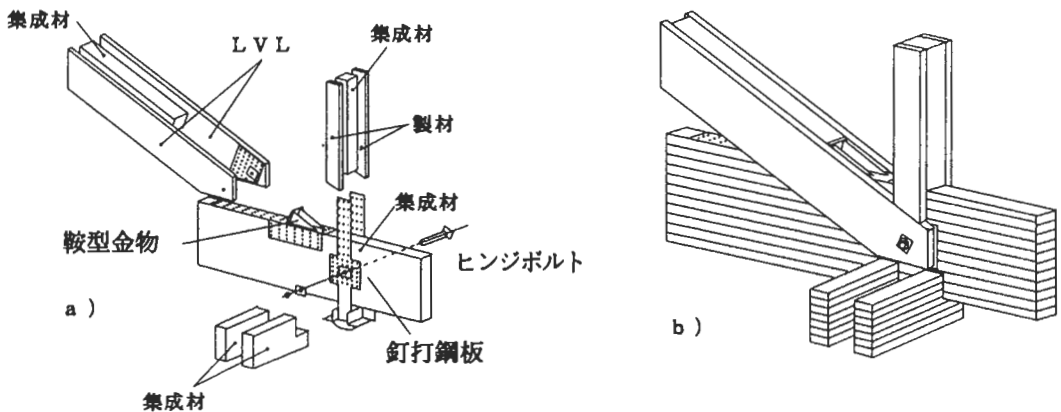


図3.1-8a), b) 下弦材側節点の接合部詳細<sup>14)</sup>

トラス接合部の詳細を図3.1-7a), b)、図3.1-8a), b)に示す。理想的ピン接合部を実現するため、大径のヒンジボルトに作用する大きなせん断力を一旦鋼板で受けとめ、多数本の釘を介して木材に小さなせん断力として分散・伝達するという設計思想が貫かれている。

また、図3.1-8a)に見える鞍型金物は、LVLと集成材の複合斜材に作用する大きな圧縮力の大部分を受けとめる「受け材」で、この受け材で受けた圧縮力は釘を介して木材に小さなせん断力として分散・伝達される。

### 【LVL専用トラス】

フィンランドは、米国と並んで、LVLを構造部材として実用化することに成功した木構造先進国の一つである。特に、フィンランドにおけるLVL利用で注目したいのが、同国で開発された“Twin Grip Plate”<sup>15)</sup>と呼ばれる「両刃釘溶接鋼板接合」である。

図3.1-9に模式図を示すように、厚さ10mmの鋼板の両面に長さ50mm、断面3mm×4mmの長方形断面の釘を溶接した“Twin Grip Plate”を用いて、トラスの節点を構成するものである。部材には厚さ75mmのフィンランド製LVLが必ずダブルで使われる。

節点の構造から分かるように、この接合システムで造られるトラスは厳密には軸力以外の曲げモーメントも多少発生する剛節トラスである。

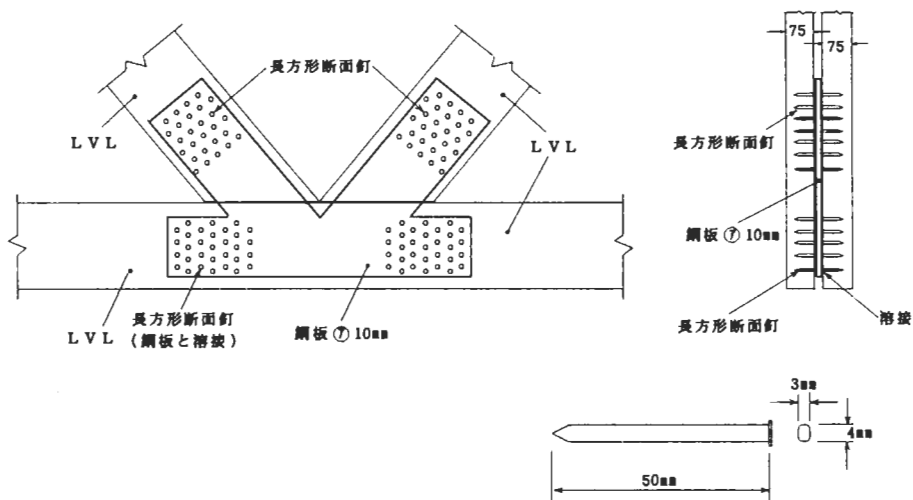


図3.1-9 LVLトラス接合部“Twin Grip Plate”の構造概念図<sup>15)</sup>

この接合システムは、1984年～86年にかけて、ヘルシンキ工科大学とケルト社によって協同開発されたもので<sup>15)</sup>、各接合部の釘1本あたりの許容せん断力は0.9kN(約92kgf)である。トラスは専用の油圧プレス設備のある工場生産されるため、施工現場では完成したトラスを架け渡すだけでよい。道路事情の良いフィンランドならではの結果とも言えるが、同国ではこのトラスシステムによる大型の倉庫やスーパーマーケット等が建てられている。また、米国のタコマドームにそっくりな外観と節点構成を持つオールドーム(高さ25m、直径115m)も、この接合システムを応用した全LVL製の大規模木構造である<sup>16)</sup>。

“Twin Grip Plate”は、現在更に改良されて、“Multi-Krallen-Dübel(MKD)”(多数の爪を持つジベルの意味)と称して、ドイツでも盛んに利用されているようである<sup>17)</sup>。

【ピン節点トラス-1】

トラス本来の定義から言えば、節点は可能な限り回転自由なヒンジ接合であることが望ましい。図3.1-10に示す米国トラスジョイスト社<sup>18)</sup>の平行弦トラスは、弦材にフィンガージョイントで縦接合されたMSR製材もしくはLVLを使用し、スチールパイプの腹材を弦材に回転自由なピンで接合した

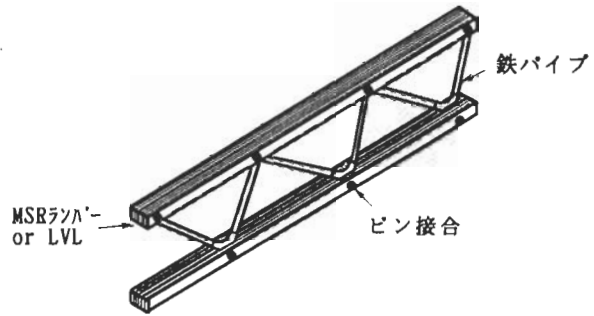


図3.1-10 トラスジョイスト社のピン節点トラス

木鉄混合トラスである。米国では、この種の平行弦トラスや後述するIビーム類が商業用建築物や大規模な体育館等の屋根梁として広く使われていると伝えられている<sup>19)</sup>が、その力学的性能を純学問的に評価した論文は余り発表されていない<sup>20)</sup>。

一方、我が国では、日本でノックダウン生産されたトラスジョイスト社の平行弦トラス（弦材にLVLを使用したタイプでTJL<sup>18)</sup>と呼ばれる）を、徳田は純学問的な立場で実験し、その曲げ性能を学会誌に報告している<sup>21)</sup>。それによれば、TJLの曲げ変形（スパン中央たわみ）は弦材-斜材間の接合部変位をx,y方向に独立な線形パネでモデル化することによって、降伏点荷重域までは精度よく推定可能であると報告されている。破壊モードはLVL弦材中に節点を構成しているピンがめり込んで、LVLを割裂する形式、もしくは横倒れ座屈が観察され、実測破壊荷重は計算予測よりもかなり低かったと報告されている。

【ピン節点トラス-2】

小松、福留らは大断面集成材の梁と同じ機能を有し、しかも国産針葉樹原木からでも容易に製造できる小断面集成材を用いた組立梁として、図3.1-11に示すピン節点平行弦トラスの開発研究を行った<sup>22)</sup>。弦材、腹材とも国産カラマツ小断面集成材から構成されており、弦材側にシアープレート（shear plate）を埋め込み、可能な限り摩擦の少ない、かつ偏心のないピン節点を構成するために、各部材軸心の交点において、1本の大径ボルトによって弦材と腹材を接合した。

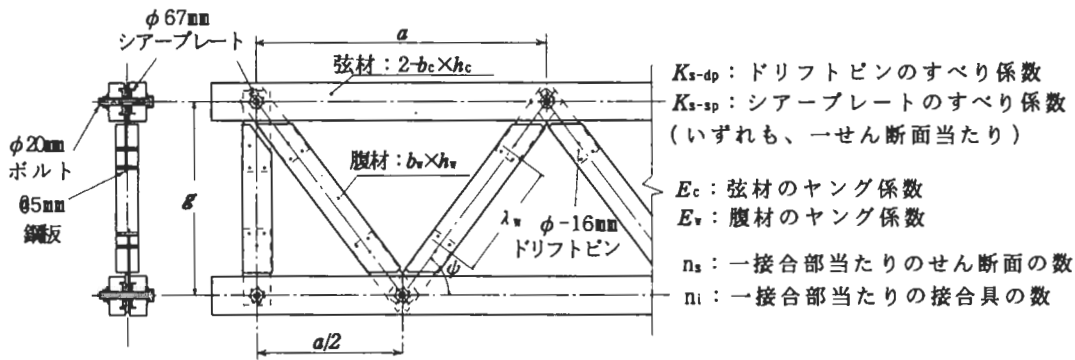


図3.1-11 小断面集成材で構成されたピン節点平行弦トラス

この平行弦トラスのたわみ  $\delta_0$  は、トラス梁の曲げたわみ  $\delta_b$  とせん断たわみ  $\delta_s$  の和として次式で算定できる。

すなわち、

$$\delta_0 = \delta_b + \delta_s$$

ただし、

$$\delta_b = \int_0^L \frac{\bar{M}_x \cdot M_x}{(EI)} dx \quad (\text{曲げたわみ})$$

$$\delta_s = \int_0^L \frac{\bar{Q}_x \cdot Q_x}{a \Gamma_w} dx \quad (\text{せん断たわみ})$$

$$(EI) = 2E_c \left( \frac{h_c^3 b_c}{12} + \frac{A_c g^2}{4} \right) \quad (\text{平行弦トラス梁の曲げ剛性})$$

$$\left( \frac{1}{\Gamma_w} \right)_j = \frac{2 \lambda_w}{E_w A_w \sin^2 \phi} + \frac{2}{(n_{is} \cdot K_{s-dp})_j \cdot \sin^2 \phi} + \frac{4}{\tan^2 \phi (n_{is} \cdot K_{s-sh})_j}$$

(平行弦トラス梁のせん断剛性)

### 3. 1. 6 残された問題点、今後の課題

- 1) 剛性の評価は非常に高精度で実行可能となった。しかし、終局耐力については破壊モード、崩壊パターンが一様ではないので、モデル化が依然難しい。終局耐力の正確な推定はトラスに限らず、木質系構造要素に残された最大の未解決問題である。
- 2) 上弦材の局部的座屈、特に横倒れを伴う面外変形を解析することが大きな課題である。

### 3. 1. 7 文献 [3. 1 トラス]

- 1) 小西一郎、横尾義貫、成岡昌夫、丹羽義次：構造力学、第1巻、p.273、丸善、1966.
- 2) 藤井 毅：「合板ガセット接着接合に関する研究」、北海道大学農学部演習林研究報告、29(2)、p.223-297、1972.
- 3) 高柳寛司、林 龍一、松尾勝央、剣持 潔、吉田 均：「建築用構造材及び構造部分の性能の研究(第2報) - 半剛節屋根トラスの力学的性質 -」、製品科学研究所研究報告、No.87、p.19-40、1979.
- 4) 後藤一雄：「木構造の設計・計算にあたっての注意」、木構造計算規準・同解説、p.59-61、丸善、1988.
- 5) 神谷文夫、河合 誠、畑山 男、岡田圭一郎：「ネイルプレートを用いたトラスの計算法(第1報) 平行弦トラスの曲げ試験」、木材学会誌、34(4)、p.326-332、1988.
- 6) 後藤一雄：「木造ラチスばりの通し弦材について」、日本建築学会論文報告集、第55号、p.71-76、1957.

- 7) 日本建築学会編：木構造設計規準・同解説、丸善、1973.
- 8) 日本建築学会編：木構造計算規準・同解説、丸善、1988.
- 9) R.O.Foschi:"Analysis of wood diaphragms and trusses. Part II :Truss-plate connections", Canadian journal of Civil Engineering,4(3),p.353-362,1977.
- 10) 秦 正徳, 小松幸平, 佐々木 光：「半剛接骨組みとしての木製棚の構造解析」、木材学会誌、23(9)、p. 434-439、1977.
- 11) Y. Sasaki, S. Miura, and T. Takemura:"Non-Linear Analysis of a Semi-Rigid Jointed Metal-Plate Wood-Truss", Journal of the Japan Wood Research Society, 34(2),p.120-125,1988.
- 12) Y. Sasaki, and T. Takemura:"Bending Properties of Parallel-Chord Wood-Trusses Including Some Affects of Their Factors", Journal of the Japan Wood Research Society, 36(4),p.285-290,1990.
- 13) E.Aasheim:"Glulam Trusses for The 1994 Winter Olympics",Proceedings of '94 Pacific Timber Engineering Conference, Vol.1, p.379-381, Gold Coast, AS 1994.
- 14) E.Gehri(編集):Brücken und Stege aus Holz, SFH,1989.
- 15) J.Kalliomäki, H.Hirsi and P.Kaneruva :Kerto LVL Truss, Department of Civil Engineering, Helsinki University of Technology, Report14,1986.
- 16) FH K.Moser: bauen mit holz,11,1985.
- 17) Aon. : bauen mit holz,5,381-384,1993.
- 18) Trus Joist Corporation: トラスジョイスト社パンフレット
- 19) 木質構造研究会(編)：木質構造建築読本、p. 94-95、井上書院、1988.
- 20) S. A. Nelson:"University of Idaho Stadium; A Micro-Lam Application", Preprint paper for ASCE Annual Convention and Exposition, Philadelphia,PA., September 27 - October 1,1976.
- 21) 徳田迪夫：「LVL及びスチールパイプを用いた平行弦トラスの曲げ性能」、木材学会誌、32(10)、p. 796-800、1986.
- 22) 小松幸平、福留重人、川本紀雄、金谷紀行：「弦材節点をシアプレートコネクタで、斜材節点をドリフトピンで接合した集成材平行弦トラス梁の曲げ性能」、木材学会誌、39(10)、p. 1152-1161、1993.



### 3. 2 複合梁

複合梁という用語からは様々なイメージの梁が想像できる。平嶋は「特性の異なる2種類以上の材料を何らかの方法で結合した梁」という解釈を与えている<sup>1)</sup>。図3.2-1は平嶋が複合梁の例として紹介したもの<sup>1)</sup>から抜粋したものである。

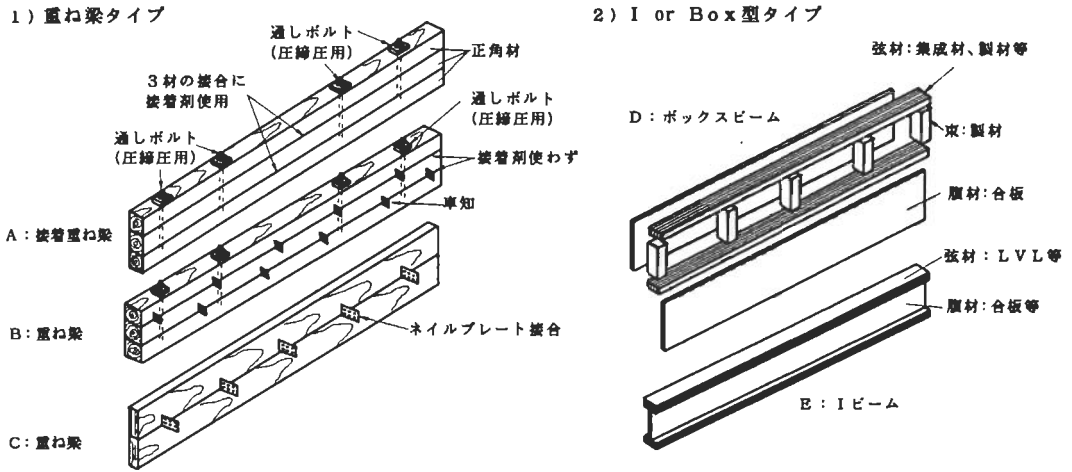


図3.2-1 木質系複合梁の例<sup>1)</sup>

#### 3. 2. 1 重ね梁タイプ

重ね梁の力学的性能は、部材同士の接合方法にかかっている。例えば、図3.2-1Aに示す接着重ね梁の場合は、3部材を一体と見なして曲げ剛性を計算しても大きな誤りではない（設計では若干の割引をする）。

一方、図3.2-1B, Cに示す機械的接合具を用いて接合した重ね梁については、接合点（部）の変形と部材内部の力の分布を考慮する必要があり、それには幾つかの計算方法がある。

#### 【力を階段分布として扱う場合】

接合具の配置が不規則で、かつ接合部の数が少ない場合は、接合具に作用するせん断力や軸力のスパン方向分布は離散的である。そのため、後述する微分方程式を用いた連続関数を解とする方法は使えない。このような、離散的な条件の重ね梁もしくは重ね透かし梁に関する研究は、最初、後藤<sup>2)</sup>、辻井<sup>3)</sup>らによって遂行された。

後藤、辻井らによって提案されている設計式は、限られた個数の接合具を用いて、力学的に最も効果的な複合梁を計算図表を頼りに手計算的に設計することを前提としており、いわゆる一般解を与えるものではない。

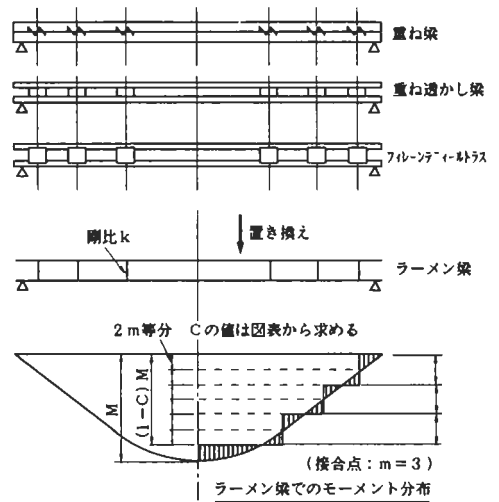


図3.2-2 辻井による重ね梁の計算原理<sup>3)</sup>

図3.2-2に、辻井<sup>3)</sup>の提案した解法の原理を示す。平行主材の間を適当な接合具（ジベル等）で接合した重ね梁は、各接合点に剛比  $k$  のつなぎ材を有する「ラーメン梁」で置換され、これをラーメン梁として解く。1973年版の木構造設計規準<sup>4)</sup>には、設計用の数表や図表が与えられていたが、等分布荷重や中央集中荷重の場合に限定されており、やや一般性に欠ける設計法という面があった。

1975年に入って、澤田<sup>5)</sup>は、原田<sup>6)</sup>に始まる弾性床理論の再検討を試み、弾性床理論で決定された釘のすべり係数を用いることによって、図3.2-3に示すような「2層釘着梁」の曲げ性能を合理的に評価できることを示した。澤田の論文<sup>5)</sup>では、辻井式を含む幾つかの重ね梁理論が使われており、いずれの設計式においても、釘のすべり係数の評価こそが釘着梁の曲げ性能に最も大きな影響を及ぼすことが示されている。

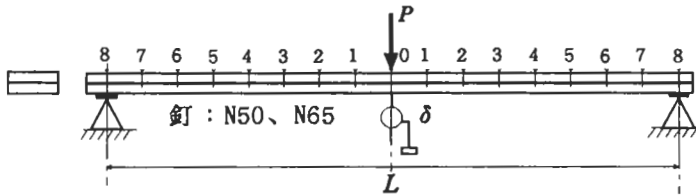


図3.2-3 2層釘着梁（中央集中荷重の場合）<sup>5)</sup>

小泉、上田は辻井と同様の観点から、重ね梁の軸力は接合点ごとに値が階段状に変化する離散的なものであるとの出発点に立って、図3.2-3のような2層釘着梁が中央集中荷重を受ける場合の軸力を、釘着点の数に等しい連立1次方程式を解いて決定した<sup>7)</sup>。その後、計算法は、軸力分布、材内の歪み分布、重ね梁のたわみ等を非線形領域まで追跡できるように拡張された<sup>8)</sup>。計算結果と実験結果との適合性はおおむね良好であった。

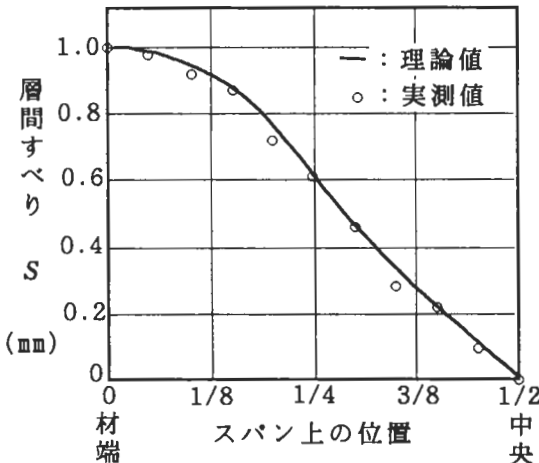


図3.2-4 スパン方向の層間すべりの分布。  
 実験値と理論値の分比較。  
 （神谷より）<sup>9)</sup>

神谷<sup>9)</sup>は、階段状に分布する軸力と、層間すべりのスパン方向の連続分布関係から、釘のすべりを漸近的に求めていく計算式を考案した。この方法は、初期値を仮定し、繰り返し代入法によって、2層釘着重ね梁の非線形応力、たわみ等を計算するものである。理論式の妥当性はスパン180cmの2層釘着梁試験体を用いた実験によって検証され、理論値と実験値はスパン中央たわみ、部材のひずみ分布、最大荷重のいずれにおいても、良好な一致を示した。

図3.2-4はスクリー式読み取り顕微鏡で測定されたスパン方向の層間すべりの実験値（1点は10回の測定値の平均）と理論値の比較を示す。なお、測定時の荷重レベルについては不明である。

【連続体的に取り扱う場合】

接合具の配置が規則的で、部材と部材とを接合している接合具のせん断力分布を近似的に連続的なものと仮定できる場合には、Goodman<sup>10)</sup> や菱田・真能<sup>11)</sup> が発表したように微分方程式による解法によって、重ね梁の変形や応力を一般解の形で求めることができる。

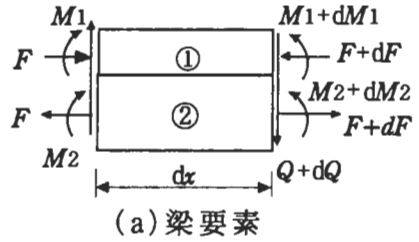
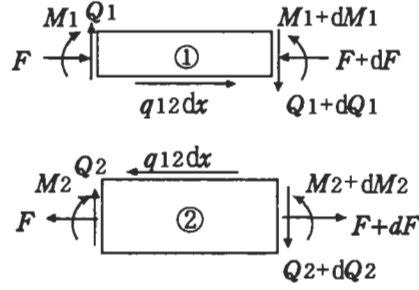


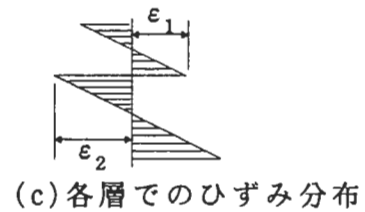
図3.2-5は、一定間隔に2枚の木材が接合具で接合され、釘に働くせん断力  $q_{12}$  の分布が連続関数で近似できると仮定できる場合の、微小要素における力の釣り合いを示す。



後述するI型、Box型断面複合梁でも同じことであるが、微小要素における力の釣り合い、接合具のせん断力-すべりの関係、および各部材の曲率の適合条件等から、軸力やせん断力に関する2階の微分方程式が導かれ、外力分布に応じて特別の解が得られる。

(b) 層要素

本来、このような微分方程式においては、接合具のすべり係数はスパン方向に全て同じ値をとるものとして解析されるが、Goodmanは、荷重レベルが非線形域に達しても、すべての接合具は同一の非線形荷重-すべり関係を示すものと仮定して、強引に2層釘打ち梁の非線形問題を扱った。



(c) 各層でのひずみ分布

図3.2-5 2層重ね梁の微小要素における力の釣り合いとひずみ分布

【有限要素法による定式化】

Thompsonら<sup>12)</sup>は、Goodman<sup>10)</sup>の考え方を拡張して、2層釘打ちTビームを対象に、スパン方向を幾つかの領域に分割し、その領域(有限要素)の内部では少なくとも接合具のすべり係数は一定であると仮定して、エネルギー法(有限要素法)による線形解析を行った。

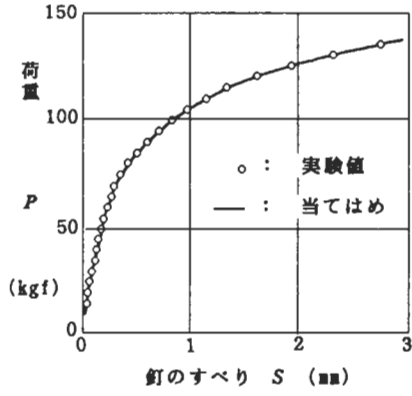


図3.2-6 連分数による釘の荷重-すべり関係の当てはめ<sup>14)</sup>

さらに、Tremblayら<sup>13)</sup>はThompsonらの有限要素法を非線形に拡張するため、釘の荷重-すべり関係を多項式で当てはめ、任意すべり時の割線係数をもって釘のすべり係数  $K$  を定義し、荷重増分法によって2層釘打ちT型断面梁の非線形解析を行った。

辻野、小泉<sup>14)</sup>はThompsonらと同じポテンシャルエネルギー関数を用いて、2層釘着梁の有限要素法解析を行った。釘の荷重-すべり関係は、すべり量3mmまでの関係を「連分数」で、図3.2-6に示すように、非常に正確に当てはめている。スパン160cm、中央集中荷重の釘着梁の変形については、

比例限度あたりまでは、かなり良好な適合性が示された。ただ、釘の荷重－すべりの当てはめデータを、もう少し大変形域まで含むべきではなかったかとも考えられる。

辻野<sup>16)</sup>はまた、同様の有限要素法の手法を、釘打ち合板パネルの面外曲げ変形の解析にも適用している。この場合、合板は面内剛性も加味した長方形板曲げ要素で、栈木部分は2層釘着梁要素<sup>14)</sup>でモデル化された。釘の荷重－すべり関係は図3.2-5と同様の連分数で当てはめられた。数値解析の妥当性は、神谷の実験結果<sup>16)</sup>との対比で検討され、まずまずの成果が得られたと報告されている。

### 3. 2. 2 I型 or Box型断面複合梁

図3.2-1D, Eに示すI型orBox型断面複合梁の場合、弦材には、軸方向強度性能の高いLVLや高品質のMSRランバー（機械的に等級区分された製材）が用いられ、腹材には特にせん断性能のすぐれた合板等が用いられる。弦材と腹材との接合には、普通、接着剤が用いられるが、要求性能を満たすことが確認できれば、機械的の接合具で接合することも可能である。

この場合、弦材－腹材間のせん断力の伝達は連続的と仮定できるため、スパン方向における力のつり合いや変形の適合条件から微分方程式を導いて、スパン方向全域にわたるたわみと部材応力の分布を解析的に求めることが可能である。

図3.2-7は任意のI型断面複合梁の微小要素 $\Delta x$ に関する力のつり合いと変形の模式図を示したものである。これは、後藤の一般解法<sup>17)</sup>を参考に、小松の計算法<sup>18)</sup>を加味して描いた説明図である。

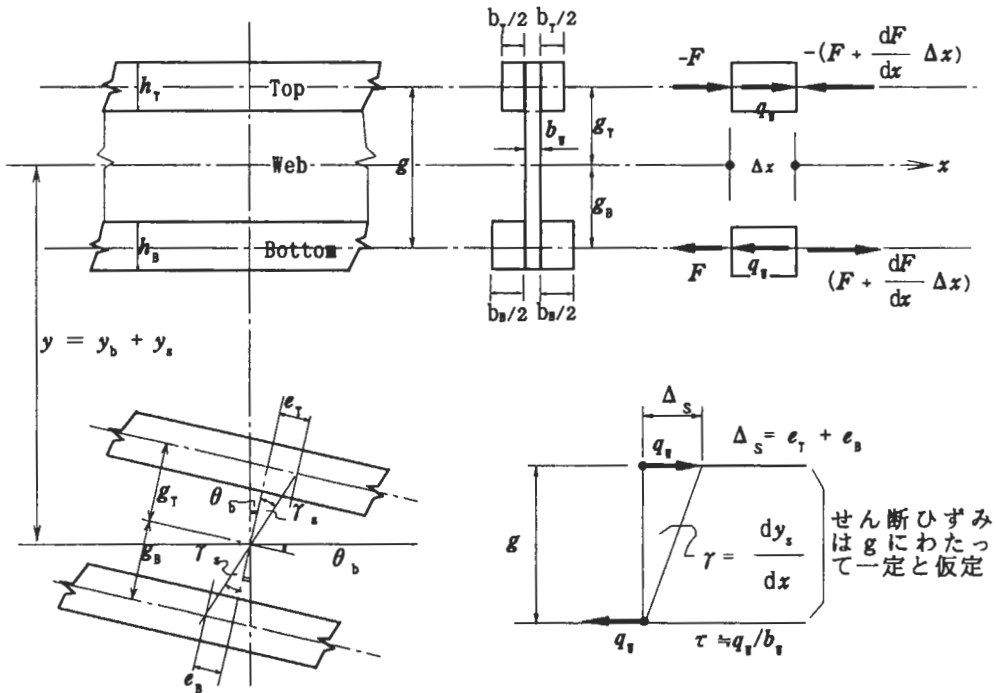


図3.2-7 I型断面梁における微小要素 $\Delta x$ での力のつり合いと変形

I型orBox断面複合梁を微分方程式で解く場合の常道的プロセスは以下の通りである。図3.1-7の記号を用いて概説する。

- 1)  $y = y_s + y_b$  の関係  
 ただし、 $y$  : 複合梁の全たわみ  
 $y_b$  : 複合梁の曲げたわみ  
 $y_s$  : 複合梁のせん断たわみ
- 2)  $q_w = \Gamma_w \cdot \Delta_s$  の関係 (腹材におけるせん断力とせん断変形の関係)  
 ただし、 $\Delta_s$  : 腹材の見かけのせん断変形  
 $q_w$  : 腹材-弦材間の単位長さあたりの分布せん断力  
 $\Gamma_w$  : 腹材のせん断抵抗係数。弦材-腹材間の接合の方法に依存
- 3)  $q_w = dF/dx$  の関係 (軸力と分布せん断力の釣り合い)  
 ただし、 $F$  : 弦材軸力
- 4)  $dy_s/dx = \Delta_s/g$  の関係 (腹材におけるせん断ひずみの定義)
- 5)  $y_b = M_x/(EI)_c$  の関係 (複合梁の曲率と曲げ剛性の関係)  
 ただし、 $(EI)_c$  : 複合梁の曲げ剛性
- 6) 弦材の曲率、腹材の曲率は、各々複合梁の曲率に等しい (適合条件)

以上の6つの条件から、弦材軸力に関する次の2階微分方程式が導かれる。

$$\frac{d^2 F}{dx^2} - \mu \cdot F = -(\mu/g) \cdot R \cdot M_x \quad \dots a)$$

ただし、

$$\mu = \frac{q^2 \Gamma_w}{\Sigma EI} \quad , \quad R = 1 - \frac{\Sigma EI}{(EI)_c} \quad \dots b)$$

$$\Sigma EI = E_T I_T + E_B I_B + E_W I_W \quad \dots c)$$

$$(EI)_c = \Sigma EI + E_T A_T g_T^2 + E_B A_B g_B^2 \quad \dots d)$$

$M_x$  : 外力によるモーメント分布

式a)は外力のモーメント $M_x$ が与えられれば一般解が得られる。例えば、中央集中荷重 $P$ を受ける場合は、 $M_x = Px/2$  ( $x$ の原点は単純梁の一方の支点)であるので、式a)の一般解は、 $\lambda^2 = \mu$ と置くと、

$$F = A \cdot \sinh \lambda x + B \cdot \cosh \lambda x + (R/g) \cdot (Px/2) \quad \dots e)$$

となる。適当な境界条件から未定定数 $A$ 、 $B$ を決定すれば、梁の任意点のたわみ( $y$ )、弦材の軸力( $F$ )、モーメント( $M_T$ 、 $M_B$ )、弦材-腹材間のせん断応力( $q_w$ )等が求められる。

なお、実際の設計計算で最も重要な役割を演じるのは、「腹材のせん断抵抗係数： $\Gamma_w$ 」である。解析法に一般性を持たせる意味で、以下に図3.2-8に示す「腹材-弦材とが等間隔  $a$  で釘打ちされている場合」を例に  $\Gamma_w$  の決定法を示す。

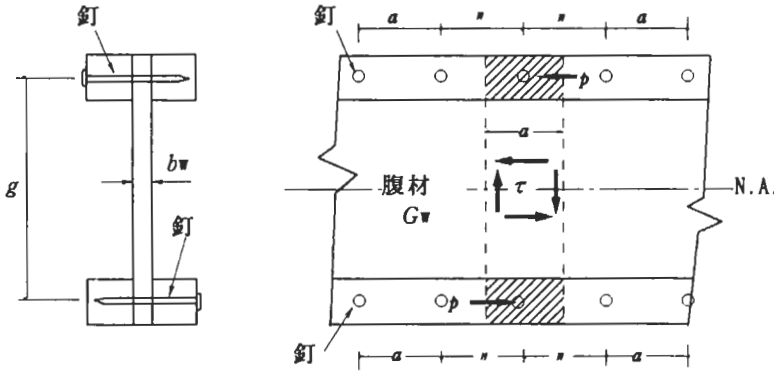


図3.2-8 腹材-弦材とが等間隔  $a$  で釘打ちされている I 型断面梁

腹材に働くせん断応力度  $\tau$  とせん断ひずみ度  $\gamma$  は、腹材有効材せい  $g$  にわたって一定であると近似する。すなわち

$$\tau \approx q_w/b_w, \quad \gamma \approx (q_w/b_w)/G_w \quad \dots f)$$

ただし、 $G_w$ ：腹材（合板）のせん断弾性係数

せん断応力度  $\tau$  とせん断ひずみ度  $\gamma$  によって、長さ  $a$  にわたって腹材に貯えられるせん断エネルギーを  $U_i$  とすると、

$$U_i = \iiint \frac{\tau \gamma}{2} dV = \frac{ab \cdot g}{2} \cdot \frac{q_w}{b_w} \cdot \frac{q_w/b_w}{G_w} = \frac{agq_w^2}{2b_w G_w} \quad \dots g)$$

釘1本に働く力  $p$  は、有効荷重負担長さが  $a$  であるから、

$$p \approx q_w a \quad \dots h)$$

上下弦材の釘のすべりに費やされるエネルギーを  $U_N$  とすると、

$$U_N = (1/2)(p \cdot e_T + p \cdot e_B) = (p/2)(e_T + e_B) \quad \dots i)$$

$$e_T = p/K_{s,T}, \quad e_B = p/K_{s,B}$$

$K_{s,T}$ 、 $K_{s,B}$  は、それぞれ、上下弦材-腹材間の釘のすべり係数

よって、

$$U_N = (q_w a/2)(q_w a/K_{s,T} + q_w a/K_{s,B}) = (q_w^2 a^2/2)(1/K_{s,T} + 1/K_{s,B}) \quad \dots j)$$

一方、長さ  $a$  の領域における見かけのせん断変形  $\Delta_s$  によるエネルギーは、

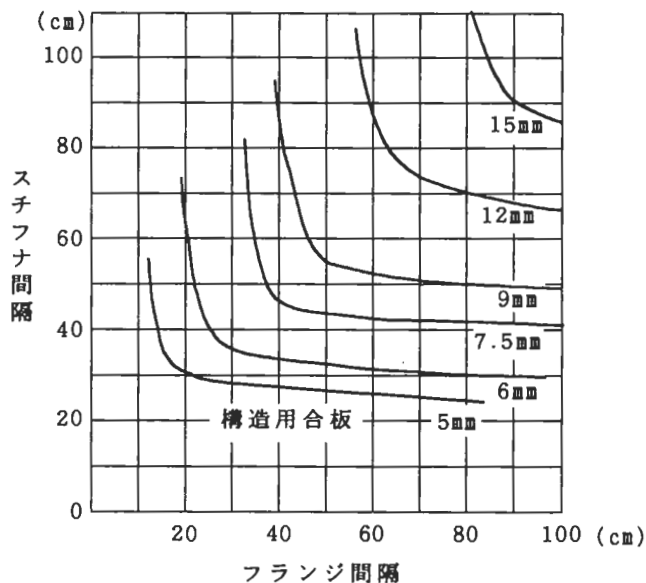
$$U_o = (1/2)(q_w \Delta_s) a = (1/2)(q_w a)(q_w / \Gamma_w) \quad \dots k)$$

$U_0 = U_N + U_T$  であるから、等価な「腹材のせん断抵抗係数： $\Gamma_w$ 」は、

$$1/\Gamma_w = g/(bwG_w) + a(1/K_{1T} + 1/K_{1B}) \quad \dots 1)$$

もし、釘が非常に密に打たれ、 $a \rightarrow 0$  又はすべり係数  $K$  が非常に大きい場合は、接着接合のようになって1)式の第2項目は無視できる。

BoxビームやIビームの実務設計法に関しては、北米の設計マニュアル等を参考に、昭和50年頃から林業試験場強度研究室において一連の開発研究<sup>19)・20)</sup>が開始された。平嶋の報告<sup>21)</sup>によれば、合板接着Boxビームのたわみは、北米の設計マニュアルに従って計算すれば十分正確に推定できることが示された。また、破壊したBoxビームの部材に作用していた最大応力度と許容応力度の比は2.0（合板ローリングシア）から5.3（弦材の曲げ）の間にあり、弦材に関してはやや不経済であるが、合板に関しては妥当な結果が得られた。



座屈に安定なスチフナー間隔\*

\* 合板の0°および90°方向の曲げヤング係数の和を $90 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ 、せん断強さを $70 \text{ kf/cm}^2$ として計算した。

図3.2-9 合板接着Boxビームにおける座屈に安定なスティフナー間隔<sup>21)</sup>

やや問題として指摘された点は、スチフナー間隔に関する問題である。平嶋<sup>21)</sup>は座屈に安定なスチフナー間隔を求める図を図3.2-9のように与えているが、これらは、実際のBoxビームの荷重状態よりはかなり安全側の条件で計算されており、今後更に研究が必要な部分であると指摘している。

Boxビーム等の研究は平嶋の研究以降余り盛んではない。辻野<sup>22)</sup>は弦材と腹材が釘打ち接着されたBoxビームについて有限要素法による変形解析を行い、通直Boxビーム、片流れBoxビーム、ダブルテーパーBoxビームの3種類の実験との比較を行っている。報告<sup>22)</sup>によると、たわみに関しては数値計算と実験値は良く一致したが、最大耐力に関しては数値計算予測が可能かどうかは論じられていない。筆者の印象では、有限要素法は特に、変断面Boxビームのように、通常の解析的手法の適用が難しい形態において真価を発揮するように思える。

最近になって、杉山、徳田らは最大スパンを3.5m程度と見なした釘打ちによるBoxビームの実験<sup>23)</sup>を行っている。杉山の意図は、微分方程式や釘の非線形挙動を考慮せずに、手計算でも計算可能な実用的終局耐力設計式を提案することにある。杉山、徳田ら<sup>24)</sup>の報告によると、釘打ちBoxビームの耐力チェックとして、通常の部材耐力のチェックに加えて、弦材-腹材間、並びに、スティフナー-腹材間に打たれた釘の耐力チェック、特に釘受け材の繊維に平行方向の耐力チェックが最も大切であることが報告されている。

### 3. 2. 3 残された問題点、今後の課題

- 1) 剛性の評価はどのような方法(微分方程式、慣用法、有限要素法)を用いても正確に推定可能である。しかし、終局耐力の評価は、崩壊形が様々であるため、必ずしも十分ではない。強度発現機構のモデル化を含めて、終局耐力に関する研究が今後の課題である。
- 2) 実際の実状にあったスティフナー間隔の決定
- 3) 腹材に許容できる開口部の大きさ、位置等に関する理論的、実験的研究

### 3. 2. 4 文献 [3. 2 複合梁]

- 1) 平嶋義彦: 「複合梁材」木質建材入門、p. 229~247、日刊木材新聞社、1987.
- 2) 後藤一雄: 木構造の計算、p. 269~286、鹿島出版会、昭和55年.
- 3) 辻井静二: 「木造複合梁の設計法」、日本建築学会論文報告集、No. 54号、昭和31年.
- 4) 日本建築学会編: 木構造設計規準・同解説、丸善、1973.
- 5) 澤田 稔: 「2層釘着梁の曲げ剛性と強度」、北大農学部演習林研究報告、第33巻、p. 139~166、1972
- 6) 原田正道: 「木船の縦強度」、東京大学生産技術研究所報告、2(3)、1951.
- 7) 小泉章夫、上田恒司: 「2層釘着梁の曲げ変形について」、日本木材学会北海道支部講演集、第13号、p. 36-39、1981.
- 8) 小泉章夫、上田恒司: 「2層釘着梁の曲げ変形と耐力」、北海道大学農学部演習林研究報告、41(1)、p. 261-300、1984.

- 9) 神谷文男：「木質釘着パネルの非線形曲げ解析 第1法 基本モデルとしての釘着梁の解析」、林業試験場研究報告、第329号、p.121-142、1984.
- 10) J. R. Goodman: "Layered wood systems with dissimilar members", Wood Science, 1(3), p.148-158, 1969.
- 11) 菱田一郎、真能 創：木船縦強度の理論的研究（第1報）、造船協会論文報告集、第104号、1959.
- 12) E. G. Thompson, J. R. Goodman and M. D. Vanderbilt : "Finite Element Analysis of Layered Wood System", Journal of Structural Division, Proceedings of ASCE, 101(ST12), 2659-2672, 1975.
- 13) G. A. Tremblay, J. R. Goodman and M. E. Criswell : "Nonlinear Analysis of Layered T-Beams With Interlayer Slip", Wood Science, 9(1), p.21-30, 1976.
- 14) 辻野哲司、小泉章夫：「2層釘着梁の非線形曲げ解析」、木材学会誌、29(9)、p.553-557、1983.
- 15) 辻野哲司：「有限要素法による釘着片面パネルの曲げ解析」、木材学会誌、31(11)、p.896-902、1985.
- 16) 神谷文男：「木質釘着パネルの非線形曲げ解析 第2法 釘着梁理論の釘着パネルへの適用」、林業試験場研究報告、第329号、p.143-165、1984.
- 17) 後藤一雄：「曲げ剛性の大きい弦材をセン断変形のともなう機構で結びつけた合成ばりについて（中央集中荷重の場合）」、日本建築学会論文報告集、第63号、p.557-560、1959.
- 18) 小松幸平：「カラマツ釘着ラチス梁の構造計算」、林産試験場研究報告、第70号、p.133-141、1981.
- 19) 林業試験場木材部強度研究室：「ボックスビーム等横架材利用技術の研究」、昭和51年度受託研究
- 20) 林業試験場木材部強度研究室：「横架材利用技術の研究」、昭和52年度受託研究
- 21) 平嶋義彦：「合板箱型梁の強度性能 第1報」、林業試験場研究報告第294号、1977.
- 22) 辻野哲司：「木質箱型梁の曲げに関する研究」、木材学会誌、24(1)、p.39-45、1978.
- 23) 杉山英男、徳田迪夫、大城拓也：「ウェブ合板を 釘打ちした木質ボックスビームの設計（第1報） 実験解析とたわみ限度設計」、木材学会誌 36(3)、p.174-179、1990.
- 24) 杉山英男、徳田迪夫、大城拓也：「ウェブ合板を 釘打ちした木質ボックスビームの設計（第2報） 実験解析と終局耐力設計」、木材学会誌 36(4)、p.276-284、1990.

### 3.3 ラーメン構造

#### 3.3.1 伝統的木造架構

日本古来の木造建築は、構造形式としてはラーメン的構造といえる。この方面に関する最近の研究としては、飯塚、本間の研究<sup>1)</sup>が初期のものと言えよう。飯塚、本間は、伝統木構造を図3.3-1に示すように半剛節バネを有する骨組み構造と仮定し、各種伝統仕口の軸伸縮剛性、軸直交方向伸縮剛性、回転剛性を既往の実験データから推定し、非線形解析を行った。

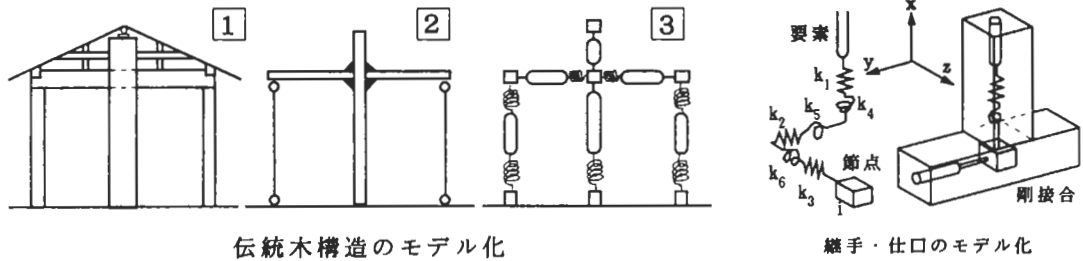


図3.3-1 半剛節骨組み構造としてモデル化された伝統木構造<sup>1)</sup>

計算値は既往の実験データ（坂 静夫の実験<sup>2)</sup>）と比較され、比較的良好な一致が得られたことから、伝統木構造の変形解析に非線形半剛節有限要素法を適用することの妥当性が明らかとなった。

建築研究所の渡辺、室田、安村ら<sup>3), 4), 5)</sup>は、貫構造、並びに差鴨居構造の2種類の伝統的な軸組架構について、その耐力発現機構を解明し、伝統軸組構法を現代的な構造力学のアプローチによって正確に設計することを終局目的として、一連のプロジェクト研究の先導的役割を担った。図3.3-2は渡辺、室田、安村ら<sup>3), 4), 5)</sup>が静的加力実験に用いた柱-貫架構試験体の一例を示す。

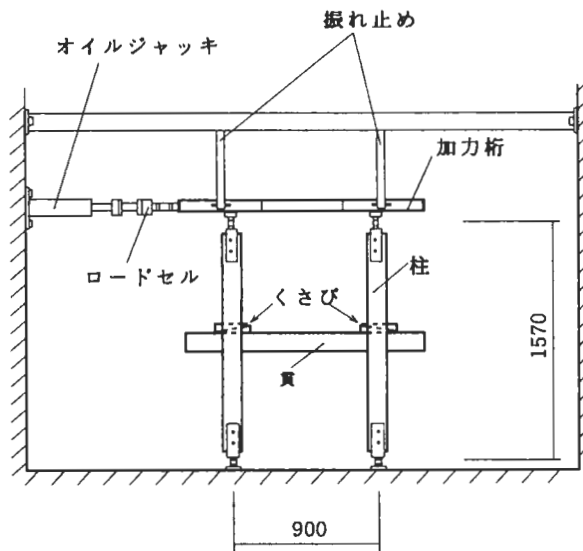


図3.3-2 柱-貫構造水平加力試験装置と試験体<sup>3), 4), 5)</sup>

貫構造の試験は、4寸角のヒノキ柱とスギの貫材の組み合わせで行われた（貫の寸法はせいが3寸、4寸、5寸、幅が6分、8分と1寸の3x3の組み合わせ）。

実験で得られた主な結果は以下の通り。

- 1) 弾性挙動範囲は、接合部回転角が1/100ラジアン以下の範囲である。
- 2) 接合部の荷重-変形関係は、図3.3-3に示す貫材のめり込み特性を考慮したモデル（理論）によって推定できる。
- 3) 接合部のモーメント抵抗能力は楔の樹種（比重）に大きな影響を受ける。etc.

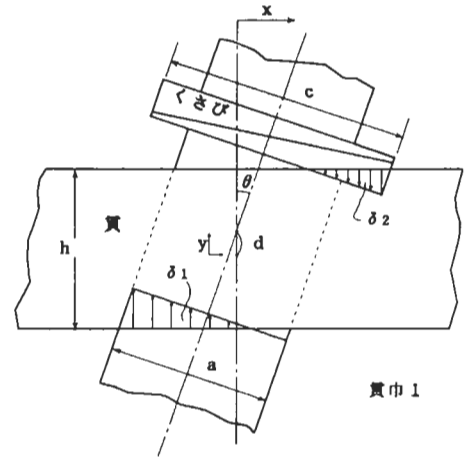


図3.3-3 柱-貫接合部の変形モデル

その後、後藤<sup>6)</sup>や青野ら<sup>7)</sup>によって、柱-貫架構の比較的小規模な実験が行われたが、伝統木造建築の実大規模の部分実験は、清水建設の波多野ら<sup>8)</sup>によって最初に実施された。この実験は、中世和様の外観を持つ木造骨組み建築を、最小限の柱数と一部の耐震壁だけで構成することが可能かどうかを検討するために行われたもので、試験方法と得られた結果の一部を図3.3-4に示す。

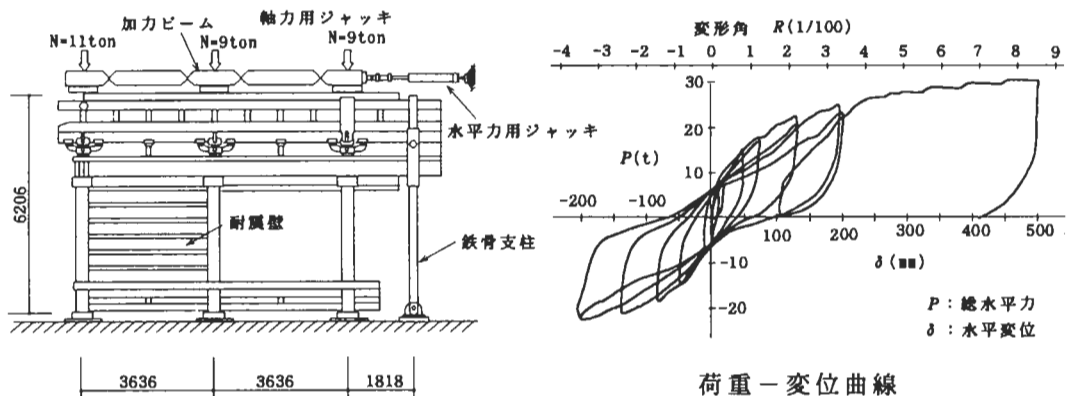


図3.3-4 伝統的木構造の実大部分実験の方法と水平加力試験結果<sup>8)</sup>

図3.3-4より、初期剛性が比較的大きく、かつエネルギー吸収能力に富んだ、太った履歴ループが看取される。ジャッキの関係で加力は変形角1/12rad.で終了されたが、主要構造部材の損傷は非常に軽微で、最後まで耐力低下は見られず、強度と靱性の両面で地震に対する十分な安全性が確認されたと報告されている。なお、この実験で実測された耐力は最大水平震度に換算して0.38であった。

東京理科大（現：建築研究所）の河合<sup>9)</sup>は、建築家・早川氏によって考案された「カンザシ工法<sup>10)</sup>」のM-θ関係、最大モーメント、破壊形態等を明らかにする目的で、カンザシ仕口による柱-梁十字型試験体について静的正負繰り返し加力実験を行っている。

実験より、図3.3-5に示すカンザシ仕口が特定変形時に有するモーメントは梁幅に比例し、梁せいの2.9乗に比例するという興味ある結果が示された。

カンザシ仕口の破壊性状はおおむね延性的で、30cm×30cm断面の柱、15cm×36cmの梁で構成された実大規模のカンザシ仕口の場合で、最大モーメントは2.5tfm前後であった。

ところで、伝統木構造を復元したり、移築したりする場合、現行の建築基準法に照らして解釈すると、壁量が不足するなどの問題が生ずる。このような場合、伝統的な構造様式にできるだけ忠実で、かつ構造的に安全な建物とするためには、伝統木構造の構造性能を力学的に可能な限り忠実なモデルで、動的解析も含めて総合的な構造解析を行い、その特質を十分把握しておく必要がある。

中部大の片岡ら<sup>11)~17)</sup>は、このような観点に立って、伝統木構造の耐震性能に関する一連の研究を進めている。詳細については、筆者の理解を越えているため、文献名を紹介するにとどめるが、一連の研究報告のタイトル・要旨等から判断しても、極度に非線形性の高い半剛節骨組み構造である伝統木造の挙動を、現在考えられる最もレベルの高い解析手法を駆使して解明しつつあることがうかがえる。

### 3. 3. 2 モーメント抵抗接合法によるラーメン架構

#### 1) 既往の研究

「モーメント抵抗接合」という用語は、モーメントを伝達することを目的に部材同士を可能な限り剛に接合する方法をさす。最近の木構造に関する国際会議では、このような接合を、**Moment-Resisting Joint** という用語で表現しており、ここではそれを直訳して使っている。

木造骨組み構造において、節点をできるだけ剛に接合しようとする試みは、最初、合板ガセット釘打ち接着法による山形ラーメンの開発研究から始まった。我国では、1967年頃北大の宮島らが合板ガセット接着構法に注目し、一連の基礎実験<sup>18), 19)</sup>並びに各種木造ラーメンの応力解析と実験による検証<sup>20), 21), 22)</sup>を行っている。その後北林産試の伊藤ら<sup>23)</sup>は合板ガセット接着法による集成材山形ラーメンの実大強度実験を実施した。この時期、永大産業中央研究所では単板積層材(LVL)を木造ラーメン架構へ応用するための実大実験<sup>24), 25), 26)</sup>を行っている。

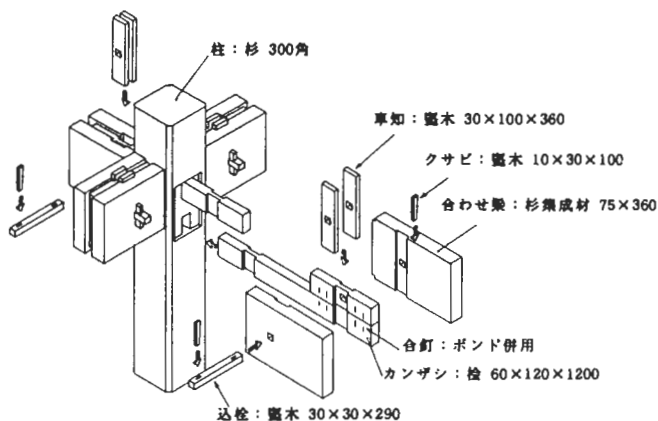


図3.3-5 カンザシ工法の仕口<sup>10)</sup>

1983年になって、北林産試の小松は、NZで使われていた図3.3-6に示す「交差重ね合わせ接着接合法」の強度設計法を独自に提案<sup>27)・28)</sup>した。これは、厚さ40mm程度の集成原盤を数枚互いに交差重ね合わせ接着して、山形ラーメンの柱-梁接合部を剛接合するものである。

その後、小松らは、シアプレート埋め込んだ鋼板挿入式ボルト接合による山形ラーメン肩部の開発実験<sup>29)・30)</sup>や、鋼板添板接合法による柱-梁モーメント抵抗接合部の正負繰り返し実験<sup>31)</sup>を行っている。同時期、建研の佐藤、葉多ら<sup>32)・33)</sup>は各種合わせ梁形式の集成材柱-梁接合部の実大実験を行っている。

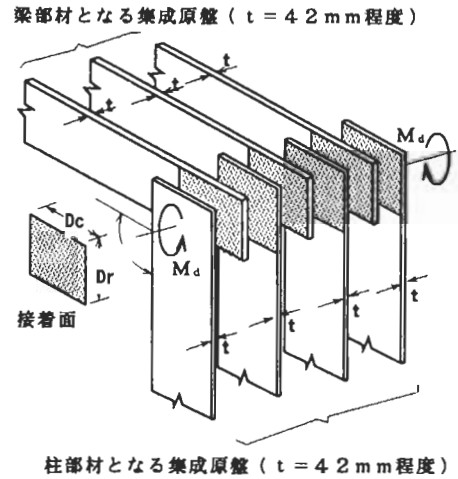


図3.3-6 交差重ね合わせ接着接合

## 2) モーメント抵抗接合法の分類

モーメント抵抗接合を、主として力の伝達方法から類別すると、図3.3-7～3.3-11に示す5つの基本的な形態に分類することが可能である。

### a) ガセット板接合型：タイプ-I

[構成]

鋼板、合板等のガセット板と釘、ボルト、ラグスクリュー、ドリフトピン等の接合具を組み合わせてモーメント、せん断力、軸力を同時に伝達する。釘、ラグスクリュー、ボルトを用いる場合はガセット板は添板形式であるが、ドリフトピンの場合はガセット板を部材の内部に挿入する形式が基本的である。

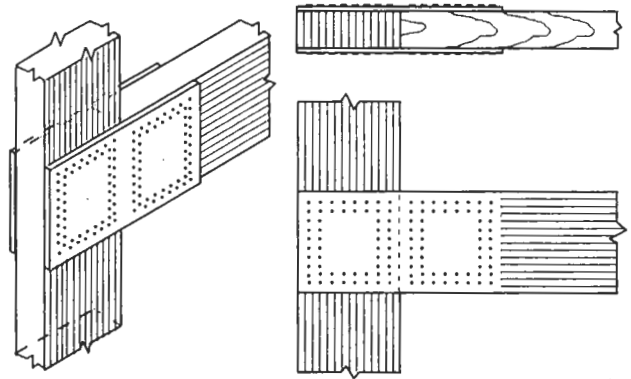


図3.3-7 ガセット板接合型 (タイプ-I)

[モーメントの伝達]

梁のモーメント ⇄ 接合具のせん断力 ⇄ ガセット板の曲げ ⇄ 接合具のせん断力 ⇄ 柱のモーメント。モーメントの他にせん断力、軸力も同じ経路で接合具のせん断力を介して伝達される。

### b) 交差重ね合わせ型：タイプ-II

[構成]

梁または柱を合わせ部材とし、ボルト、ドリフトピン等を用いてモーメント、せん断力を同時に伝達できる接合部を構成する。接合界面にジベルを配してせん断抵抗力を増加させる他に、木-木接合の特徴を生かして、接合界面に接着剤を併用塗布する場合もある。

なお、特殊な例として、接合具を用いず、全て接着だけで接合する交差重ね合わせ接着接合法もある。

[モーメントの伝達]

梁のモーメント⇔接合具のせん断力  
⇔柱のモーメントと単純明快である。

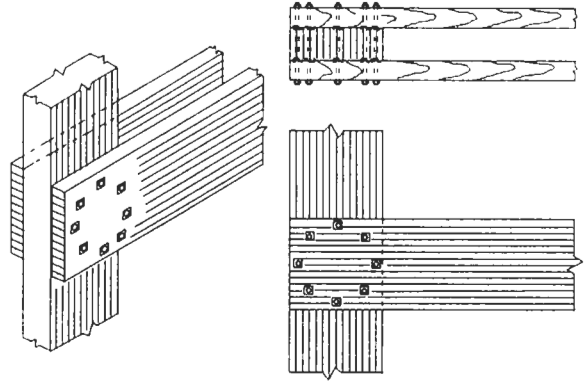


図3.3-8 交差重ね合わせ型（タイプ - II）

c) フランジ接合型：タイプ - III

[構成]

梁材の上下面に帯金物を添え、これをラグスクリューや通しボルト等で木部に固定する。帯金物から羽子板ボルトのように引張ボルトを出して柱材と緊結する。

[モーメントの伝達]

(引張側) 梁端のモーメント⇔接合具のせん断力⇔帯金物の引張力⇔ボルトの引張力⇔柱材での座金のめり込み。

(圧縮側) 梁端部の柱側面への三角形型めり込み。なお、せん断力はダボ等のせん断抵抗物を梁材の木口に挿入して伝達する。

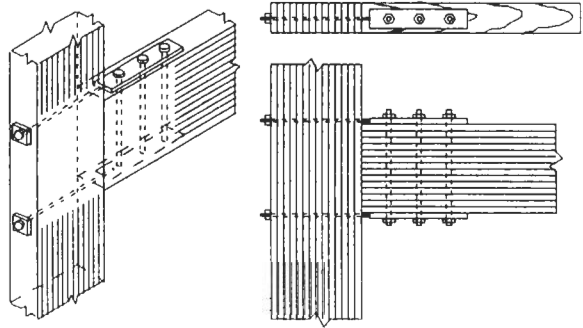


図3.3-9 フランジ接合型（タイプ - III）

d) 引張ボルト接合型：タイプ - IV

[構成]

梁端部の上下の位置に通しボルトを挿入し、ナットを回して梁と柱を引き寄せて接合する。モーメントとせん断力は別々に伝達される。接合具は引きボルト以外特に使わない。

[モーメントの伝達]

(引張側) 梁の材端モーメント⇔梁側座金のめり込み⇔ボルトの引張力⇔柱側座金のめり込み⇔柱のモーメント。

(圧縮側) 梁端部の柱側面への三角形型めり込み。

なお、せん断力はダボ等のせん断抵抗物を梁の木口に挿入して伝達する。

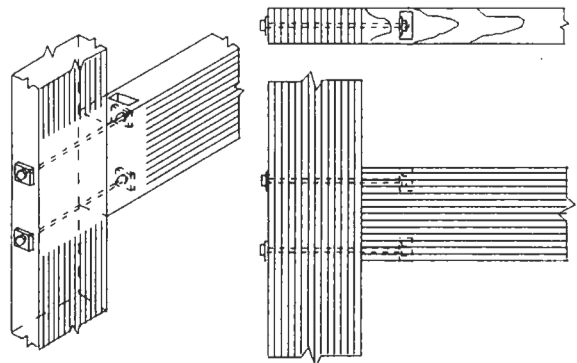


図3.3-10 引張ボルト接合型（タイプ - IV型）

e) その他の形式：タイプ-V

タイプ-Vは正確には他のどれにも該当しないハイブリッド的な接合方式を総称するものとする。従って、接合部の構成を一般的に言い表すことは難しい。図3.3-11の例はモーメントとせん断力を別々に伝達することを意図して開発された例を示す。モーメントの伝達はタイプ-IIのフランジ接合型になることが多くなろう。接合具としては、ラグスクリューやボルトが用いられよう。

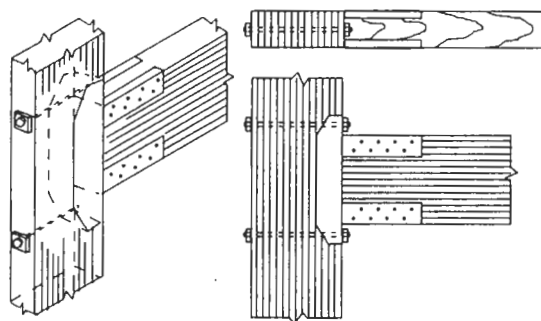


図3.3-11 その他の形式（タイプ-V）

3) 最近の研究の動向

a) ガセット板接合型：タイプ-I

タイプ-I接合部の設計には、最近までNZで最初に検討された「リベット群に働く力の解法」が採用されていた<sup>34), 35)</sup>。NZのように、鋼板ガセット板を用い、力学的異方性を無視できる釘を多様する場合には、リベット群の解法でも正解を与えるが、我が国のように、力学的異方性の大きいドリフトピンやボルトを用いた接合の場合には、接合具の変形・強度異方性を考慮した設計式を用いるべきで、それについては、現在小松が設計式を提案中である<sup>36), 37)</sup>。

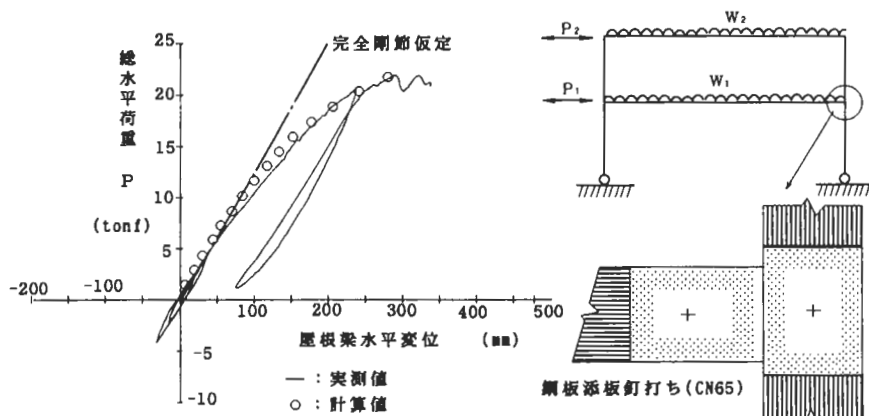


図3.3-12 タイプ-I型モーメント抵抗接合法で組み立てられた2層門型ラーメンの実大加力試験の結果（接合具はCN65釘）<sup>38), 39), 40)</sup>

図3.3-12は、スパン6m、階高さ3.6mの小学校校舎をイメージした集成材2層門型ラーメンの実大実験の結果の一例<sup>38), 39), 40)</sup>を示す。図中の○印は接合具の変形異方性を厳密に考慮にいたれた非線形半剛節解析用の有限要素法<sup>41)</sup>で計算した結果である。また、一点鎖線は、接合部が完全剛節である場合の荷重-変形関係を示す。図に示すように、鋼板添え板釘打ち接合の場合には、初期ガタが一切ないので、実験値と非線形解析値は終局耐力付近までかなり良く一致することが分かる。

一方、タイプ-I型の耐火性能を実際に調べる目的で、図3.3-13に示す4種類のタイプ-I型モーメント抵抗接合試験体を用いて載荷燃焼実験を行った<sup>4,2)</sup>。

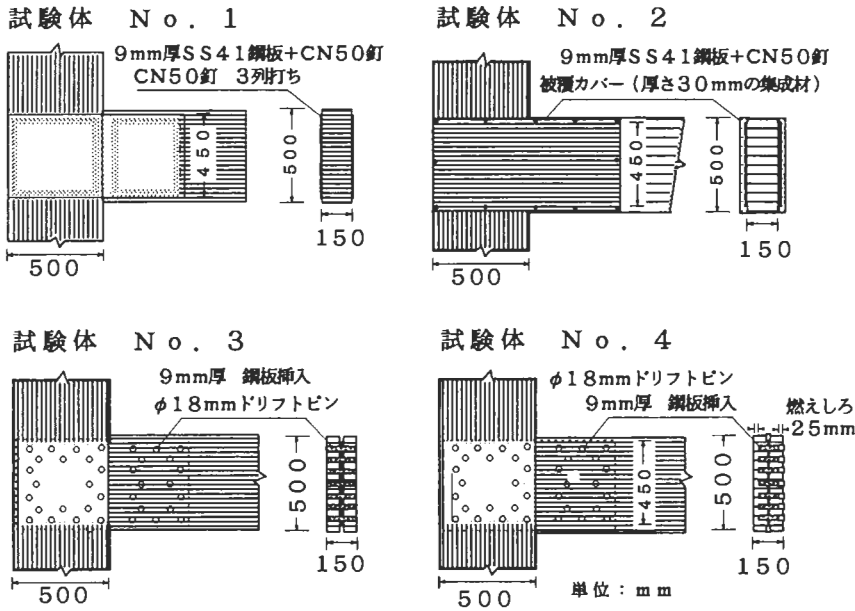


図3.3-13 載荷燃焼実験用タイプ-I型モーメント抵抗接合試験体<sup>4,2)</sup>

No.1試験体は耐火被覆なし、No.2試験体は鋼板ガセットを厚さ30mmの集成材カバーで耐火被覆した。No.3試験体は被覆なし、No.4試験体は材表面から全ての金属表面まで25mmの耐火層を設け、金属露出面はすべて埋木で被覆した。載荷燃焼試験は図3.3-14の添え図に示す柱-梁トの字型試験体の梁先端に一定の荷重(釘もしくはドリフトピンが許容耐力となるような荷重)を負荷し、3面加熱方式で行った。試験結果を図3.3-14に示す。

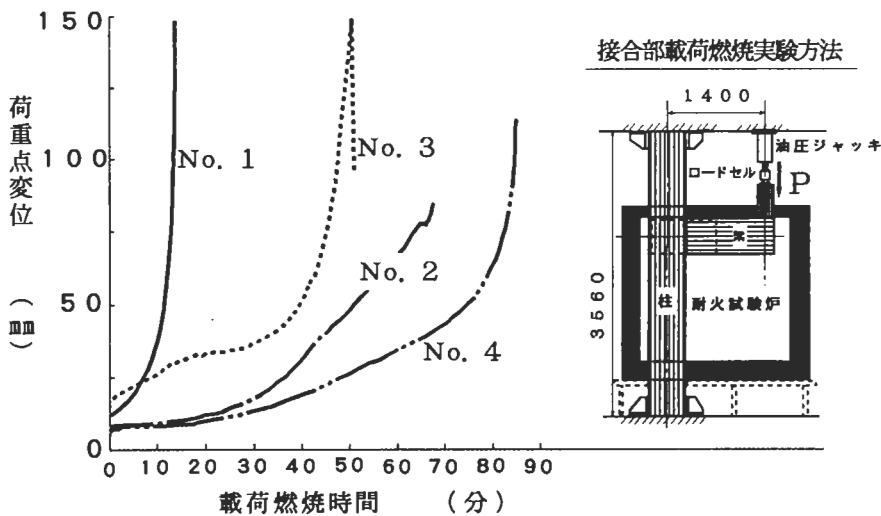


図3.3-14 載荷燃焼試験の結果<sup>4,2)</sup>

図3.3-14が示すように、鋼板が直接火炎に曝される試験体では10分程度で崩壊するのに対し、全ての金属露出面を木材で被覆したものは1時間以上の耐火性能が得られることが分かった。

半剛節ラーメン架構の応力と変形は、モーメント抵抗接合部の回転剛性等が何らかの方法で既知となれば、半剛節有限要素法等によって容易に求めることができる。一方、平井は、合板釘打ち接合で構成された山形ラーメンや門型ラーメンの解析を例にとって、古典的な最小コンプリメンタリエネルギーの原理と仮想仕事法に基づく解析的手法が半剛節ラーメンの基本的な特徴を理解するのに有効であることを示した<sup>43)・44)・45)</sup>。

小松らは、平井の提案した古典的解法を応用して、図3.3-15に示すタイプ-I型接合法で構成された門型ラーメンの長期載荷性能を理論的に解析した<sup>46)・47)</sup>。

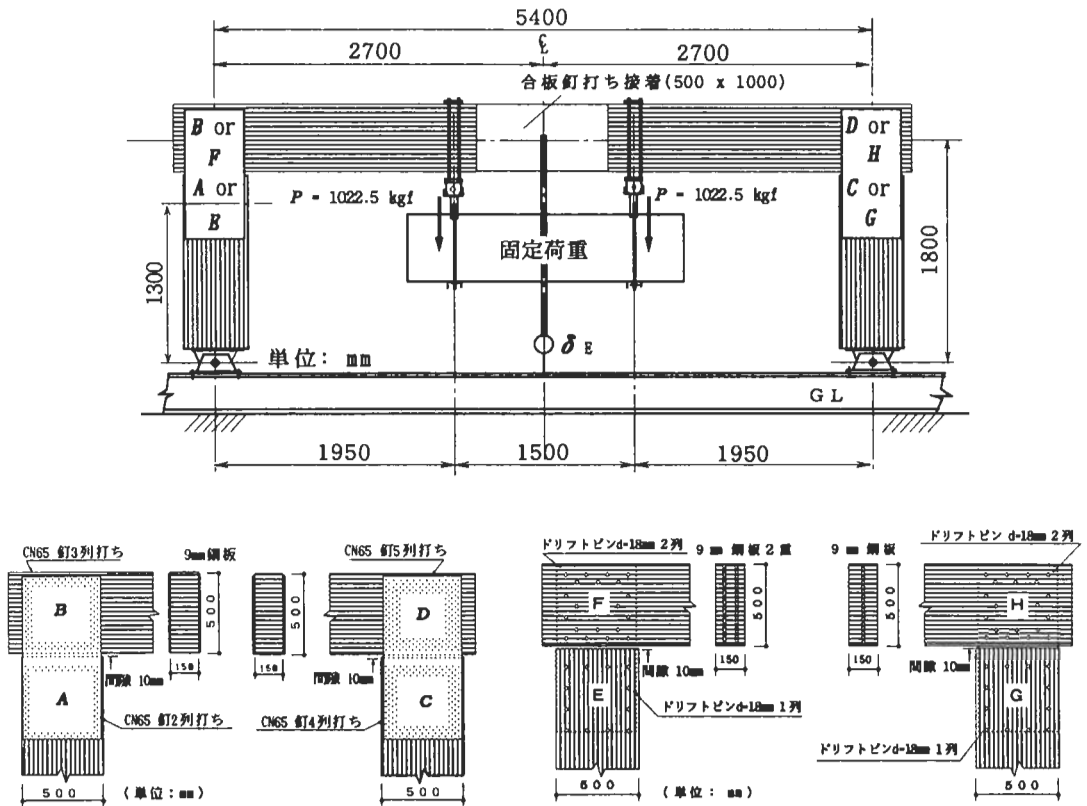


図3.3-15 集成材門型ラーメンの長期載荷実験。試験法と接合部詳細<sup>46)・47)</sup>

門型ラーメンのスパン中央たわみ  $\delta_E$  は、部材の時間依存型ヤング係数  $E_w(t)$ 、接合部の時間依存型剛性（回転剛性  $R_j(t)$ 、軸方向伸縮剛性  $D_j(t)$ 、せん断剛性  $S_j(t)$ ）を含んだ閉解の形で誘導された。図3.3-16に計算によるクリープたわみ（○：釘接合、△：ドリフトピン）と実測たわみ（実曲線）の比較を示す。初期ガタのない釘接合で構成された試験体-1の場合両者の適合性は比較的良好であったが、鋼板挿入ドリフトピンの場合には初期ガタの影響が認められた。

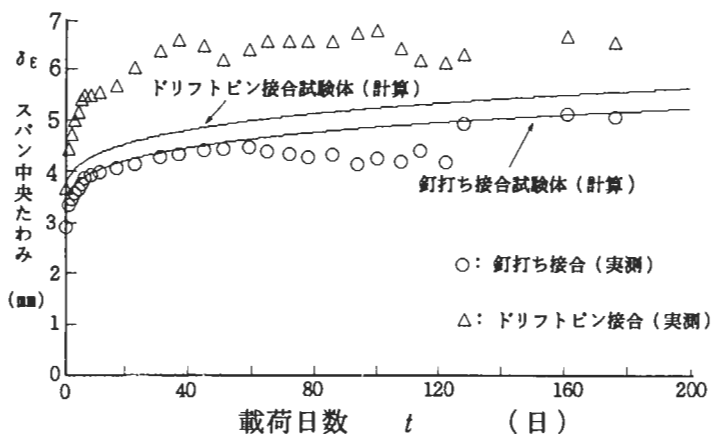


図 3.3-16 実測クリープたわみと計算値の比較

初期のタイプ-I型モーメント抵抗接合は審美性、防耐火性能に優れているが、現場施工性が悪いという欠点があった。そこで、施工性の改善を目的として、図3.3-17に示す改良型モーメント抵抗接合法を開発した<sup>48)</sup>。改良型は、設備の整った集成材工場で集成材と鋼板ガセット板とをドリフトピンを用いて予め接合し、部材をプレファブ化した後、施工現場で鋼板同士を高張力ボルト (HTBと記す) で剛接合するものである。

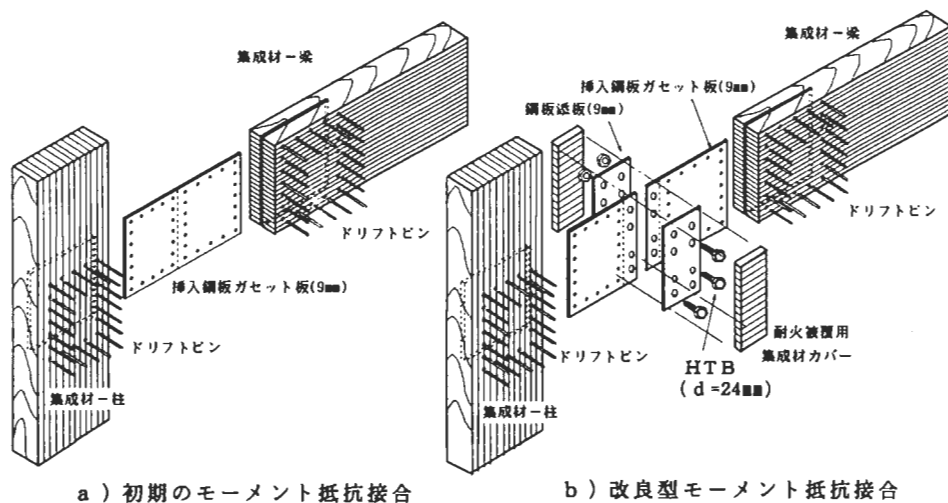


図3.3-17 タイプ-Iモーメント抵抗接合法の改良

図3.3-18に改良型タイプ-Iモーメント抵抗接合のモーメント( $M$ )-せん断変形角( $\gamma$ )の関係を示す。変形角が $1/40\text{rad}$ .以下の間は、鋼板-木材間のドリフトピンの変形が卓越して、木質系特有の「スリップ+紡錘」型のループを呈するが、変形角が $1/40\sim 1/20\text{rad}$ .以上になると、HTBが降伏し、HTB接合特有の鋸歯状のループを描き、その後はHTボルト孔の大変形によるエネルギー吸収能力の大きい変形性状を呈する。

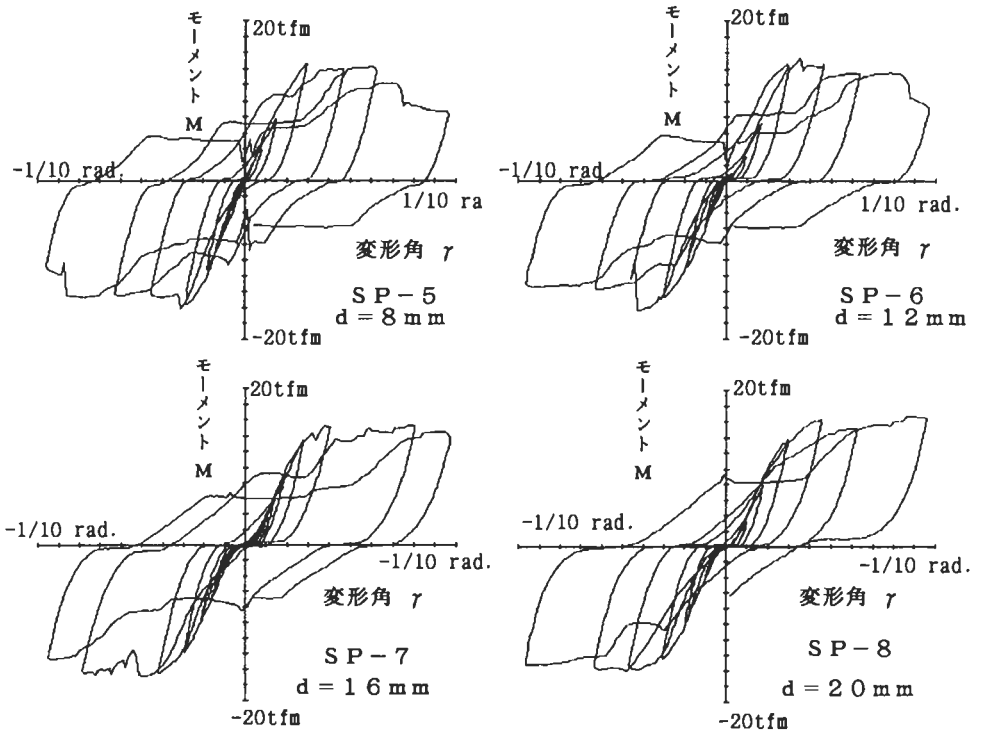


図3.3-18 モーメント $M$ -変形角 $\gamma$ の関係

なお、この改良型タイプ-I モーメント抵抗接合法は、図3.3-19に示す帯広営林支局庁舎棟の集成材3階建て一方向ラーメン構造物の柱-梁接合部に適用された。

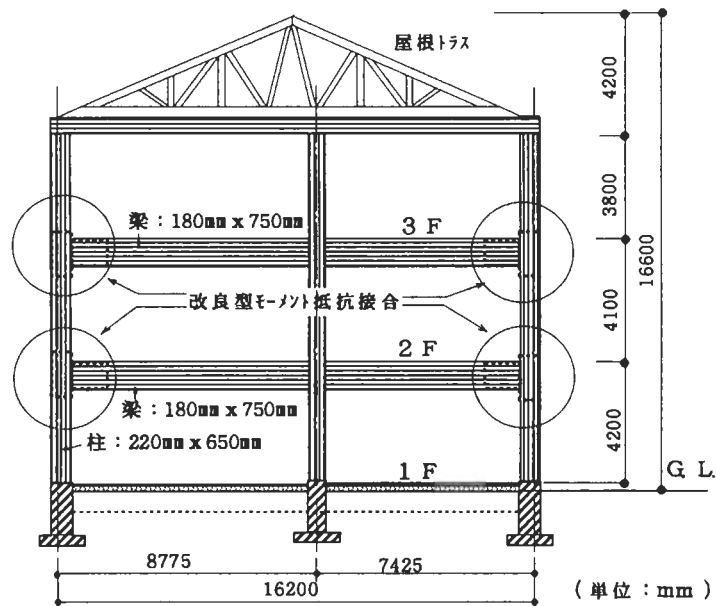


図3.3-19 帯広営林支局集成材3階建て建築物の架構図

b) 交差重ね合わせ型：タイプ-II

タイプ-IIの交差重ね合わせ型は、金物加工費が不要なため、コスト的に有利であると見られている。ヨーロッパでは集成材ラーメン構造の標準的な形式の一つとして実用化されており、我国でもヨーロッパの例に習って実際の建物へ応用された例が幾つかある。

我が国での研究例としては、東大の坂本研究室において、柱-梁接合部の静的正負繰返し加力実験<sup>49), 50), 51)</sup>が行われており、合わせ材の接合界面にシアープレート等のジベルを挿入することによって、初期剛性、終局耐力ともに優れたモーメント抵抗接合を構成できることが指摘されている。図3.3-20は直径67mmのシアープレートを一せん断面に12個配置した柱-梁接合部のモーメント $M$ -回転角 $\theta$ の実測例<sup>52)</sup>を示す。

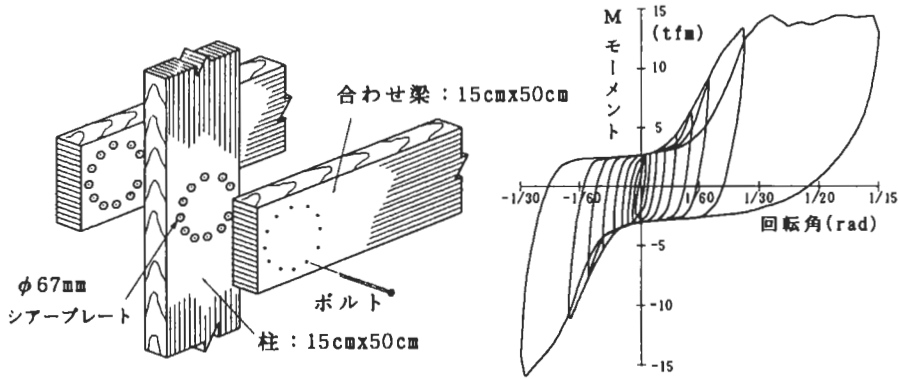


図3.3-20 交差重ね合わせ型モーメント抵抗接合（タイプ-II）の例とそのモーメント $M$ - $\theta$ 関係<sup>52)</sup>

大橋らは、図3.3-21に示すように、このような柱-梁接合部から構成される3階建て一方向ラーメンについて、水平荷重に対する静的解析、並びに、代表的な地震入力に対して地震応答解析を行っている<sup>52), 53)</sup>。解析の結果、この種のラーメン架構は比較的大きな層間変形を生ずるものの、脆性的な破壊には至らないであろうと推定されている。

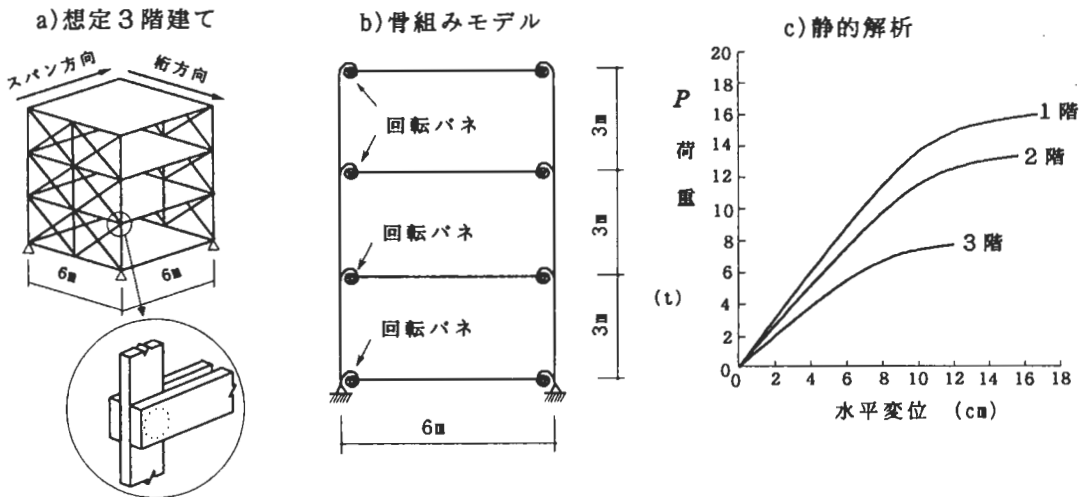


図3.3-21 3階建てラーメン構造と各階の荷重-変形関係<sup>52)</sup>

大橋と同様のタイプ-II型接合部を有する一方向ラーメン架構に関する地震応答解析は他に Ceccottiら<sup>54), 55)</sup>によっても行われている。

c) フランジ接合型：タイプ-III

タイプ-IIIの特徴は、図3.3-22に一例を示すように、木材の欠点である繊維直交方向の割裂破壊を起こさないように、接合具が常に繊維平行方向のせん断のみを受けるように配置されていることである。

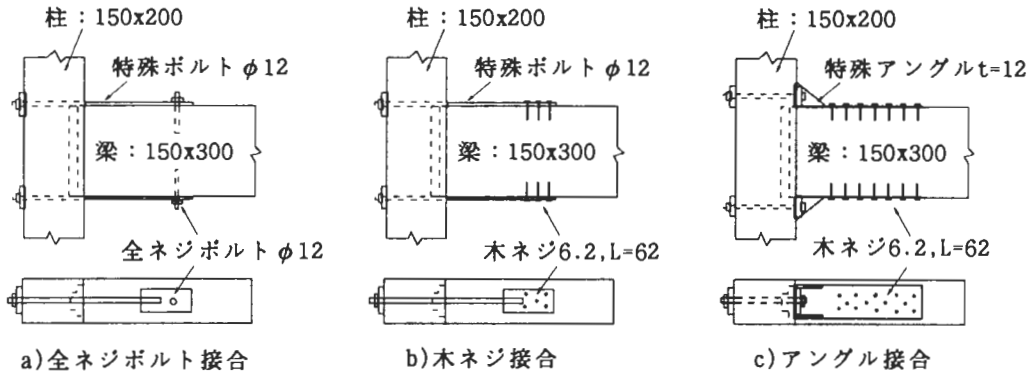


図3.3-22 フランジ接合型モーメント抵抗接合の例<sup>59)</sup>

このタイプの接合部の実験は定方ら<sup>56), 57), 58), 59)</sup>により、タイプ-I型接合法との比較、接合具を純機械的なものと、ケミカルアンカーにした場合等の比較が行われている。同時に行われたタイプ-I型との比較では、1/120 rad.時のモーメントがタイプ-I型はII型にくらべ高い。耐力はタイプIもIIIも同程度であるが、破壊性状としてタイプ-IIIの各試験体は非常に「粘り」のある、木材に割れ裂けを発生しない優れた特性を示すことが報告されている。

d) 引張ボルト接合型：タイプ-IV

引張ボルト接合による柱-梁接合部の実験は、最初、東大の大橋、五十田ら<sup>60), 61)</sup>によって実行された。実験の結果、このタイプの接合は、梁木口が柱の側面にめり込む時の抵抗力に依存して剛性・耐力が発揮されることが明らかとなった。

その後、稲山（現在、設計事務所）は、タイプ-IV接合法の設計法の確立を目的として、木材表面への剛体物質のめり込み現象の定量化に取り組み、独自のめり込み理論を展開させた<sup>62), 63), 64)</sup>。

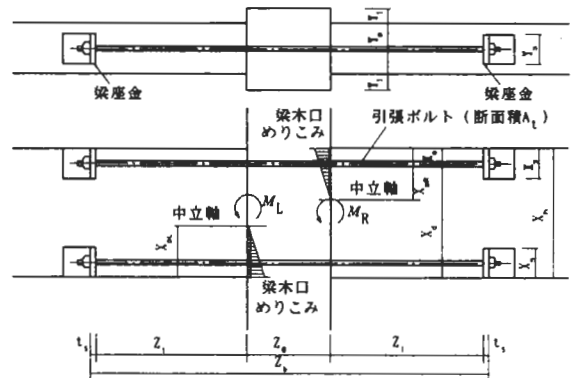


図3.3-23 引張ボルト接合<sup>65)</sup>

図3.3-23は逆対象モーメントを受ける引張ボルト型柱-梁接合部におけるめり込み応力の発生状況の模式図を示す。稲山が提唱している設計法<sup>65)</sup>では、以下のステップに従って引張ボルト接合部を設計する。

- ①木材表面へ剛体物質がめり込んだ時のめり込み変位の分布形（正規分布と仮定している）を支配するパラメータの計算（この段階で、大抵の人はギブアップする）
- ②図3.3-23における、中立軸高さ $X_{pL}$ 、 $X_{pR}$ の計算
- ③接合部回転剛性の計算
- ④梁木口めり込みが弾性限界に達する時のモーメント $M_v$ の計算
- ⑤その時の引張ボルト張力の計算

以上から気が付くように、提案されている設計法は弾性限界（≒降伏点）をターゲットとしているので、従来の許容耐力設計とはかなり趣が異なる。今後、式の簡素化が進められ、一般の設計家も使える実用設計法が提案されることがこの分野には期待される。

#### e) その他の接合：タイプ-V

モーメント抵抗接合法には、様々な新提案が登場する。「2.2 接着接合」の箇所でも述べたように、最近では、鉄筋挿入接着接合法が柱-梁モーメント抵抗接合部を構成する場合にも好んで使われる傾向にある。

NZのカンタベリ大学では、鉄筋挿入接着接合法を多層木造ラーメンの柱-梁モーメント抵抗接合に応用するための研究が行われている。図3.3-24は最近実験された<sup>66)</sup>幾つかの接合法の内対照的な2つを示す。

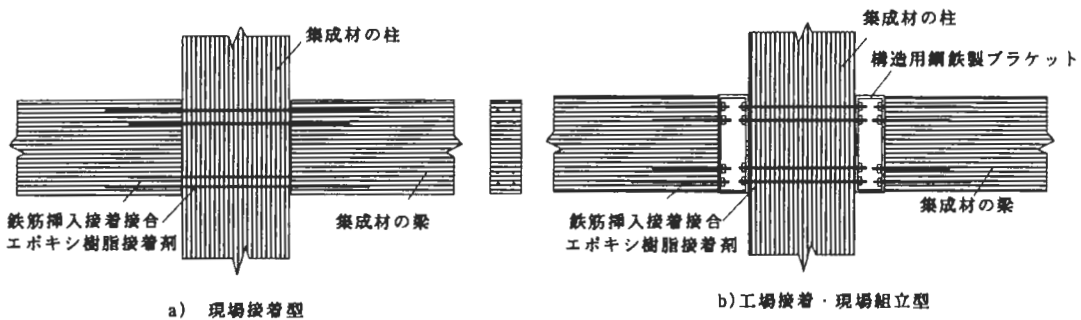


図3.3-24 鉄筋挿入接着接合法による柱-梁モーメント抵抗接合<sup>66)</sup>

図3.3-24a)に示す現場で鉄筋を集成材に挿入し、エポキシ樹脂を注入する方法は、施工性が悪だけでなく、完成した接合部が非常に固く、脆性的な接合となる。これに対し、同図b)の工場で鉄筋を分割挿入し、エポキシ樹脂を予め硬化させ、施工現場では鋼鉄製ブラケットを介してナットで機械的に柱-梁を接合する方法は、施工性に優れている。更に、地震が起きた場合は、鋼鉄製ブラケット部分が塑性変形を起こして地震エネルギーを消費してくれるため、粘りのある接合部を構成することができる。唯一の欠点は、建て上げ後にブラケット部分を耐火被覆せねばならないことである。

### f) 2方向ラーメン

現在一部で実用化されているタイプ-I型のモーメント抵抗接合法は原則的に1方向ラーメンにしか適用できない。これを2方向ラーメンに拡張するには他のタイプとの併用を考えねばならない。

図3.3-25は小松<sup>67)</sup>が提案するタイプ-I型を原則とした2方向ラーメン用のモーメント抵抗接合法の概念図である。鋼板-集成材梁間の接合にはこれまで開発してきた鋼板挿入ドリフトピン接合を用いる。一方、柱-鋼板間の接合には新開発の「ラグスクリューボルト」を用いるか、稲山<sup>68)</sup>が提案した「ラグスクリュー補強付き引張ボルト」のどちらかを使用する。

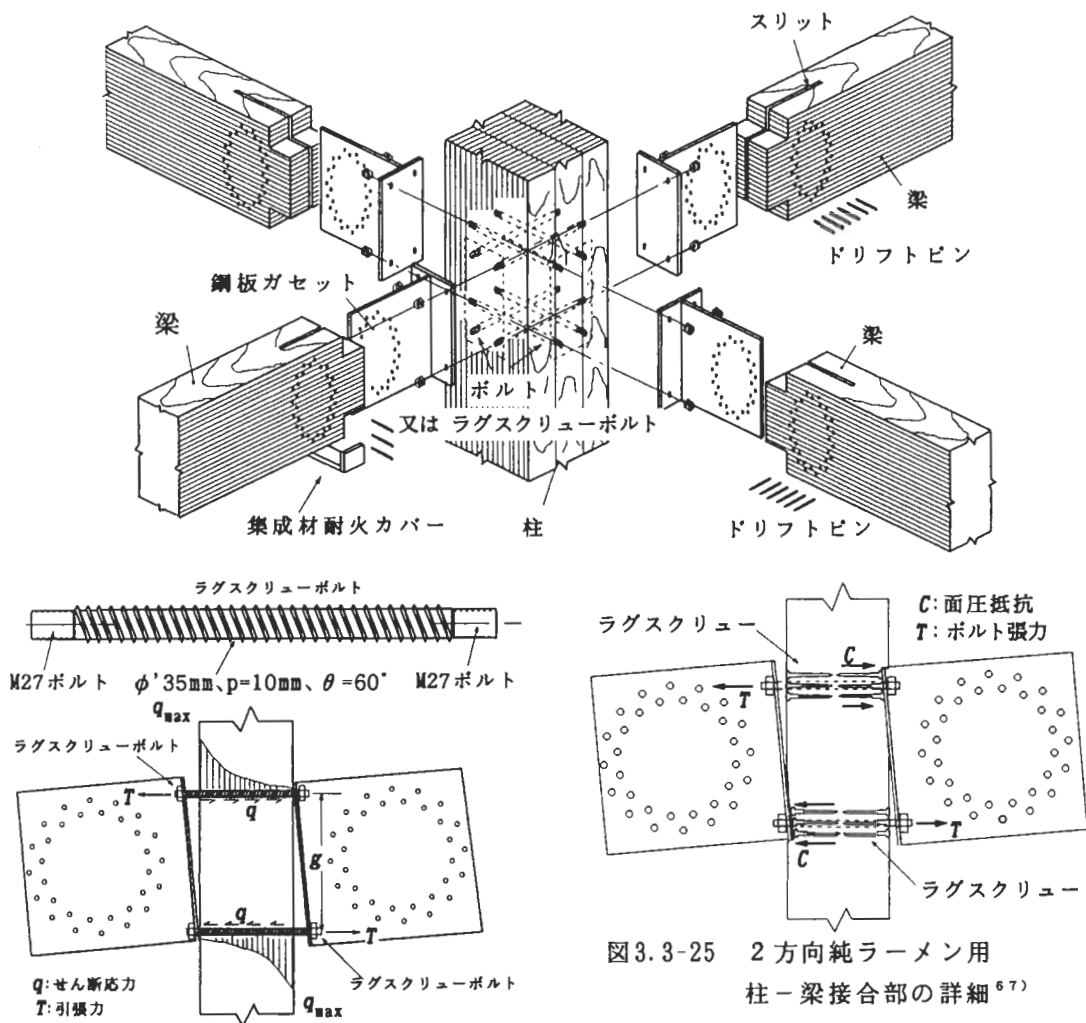


図3.3-25 2方向純ラーメン用  
柱-梁接合部の詳細<sup>67)</sup>

一方、タイプ-Ⅲやタイプ-Ⅳ型の場合は、稲山<sup>69)</sup>が紹介している図3.3-26のような2方向ラーメンが集合住宅規模の木構造に対して適用可能であり、実際に試作建物が数件建てられている。この種の接合が伝達できるモーメントと剛性は比較的小さく、今後はより大きなモーメントを伝達できる接合法の開発が必要である。

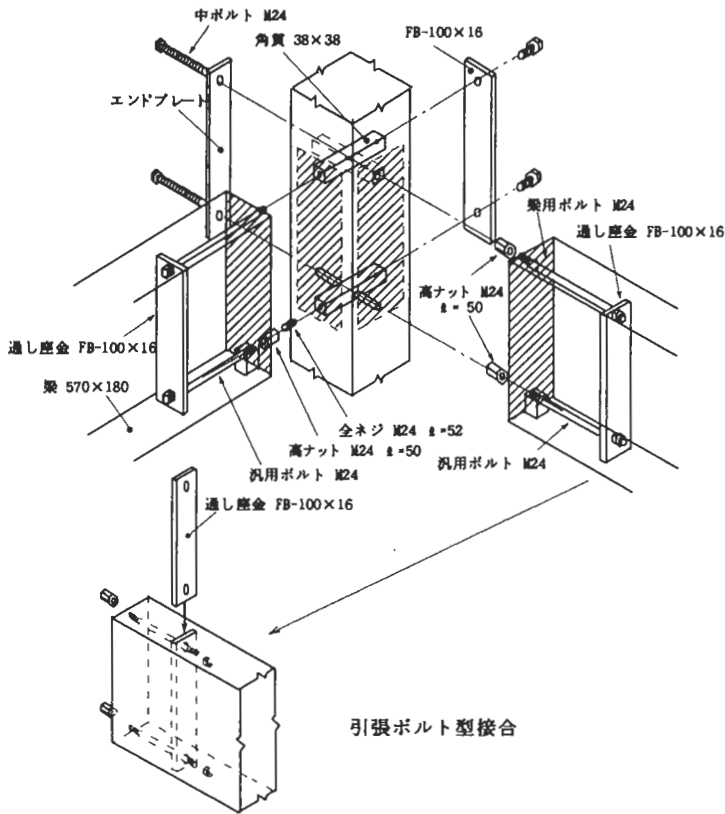


図3.3-26 住宅規模の2方向ラーメン用接合部詳細<sup>6)9)</sup>

### 3.3.3 残された問題点と今後の課題

- 1) ガセット板接合型(タイプⅠ)の場合、接合具単独の耐力と多数本配置の場合の耐力の関係を再検討する必要がある。シミュレーションモデルと実験の併用が必要。
- 2) 接合部の回転剛性等の算定に必要な接合具のすべり係数もしくは面圧常数のデータベース化(集成材以外のエンジニアリングウッドに関する設計データの収集を含む)。
- 3) 終局耐力を正確に推定するため、接合具周辺の木材部分に分布する応力にも考慮したより精密な解析と設計手法の開発が必要である。
- 4) 接合部の長期荷重性能に及ぼす温度湿度の影響の検討
- 5) タイプⅡ、Ⅲ、Ⅳ型モーメント抵抗接合法の場合は、実務設計用の設計式を至急提案する必要がある。

### 3.3.4 文献[3.3 ラーメン構造]

- 1) 飯塚五郎蔵、本間 学：「伝統木構造の水平耐力」、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、p.2068-2069、1982。
- 2) 坂 静夫：「社寺骨組みの力学的研究」、建築学会論文集、第21号、1941。(但し、孫引き)

- 3) 渡辺一正、室田達郎、安村 基：「伝統建築技術の再評価」、建築研究所年報、昭和58年度、p. 368-374, 1984.
- 4) 貫構造・差鴨居構造設計方法の開発委員会：木造軸組構法等の開発業務報告書 一貫構造・差鴨居構造設計方法の開発、全183頁、(財)日本住宅・木材技術センター、3月、1985.
- 5) 貫構造・差鴨居構造設計方法の開発委員会：木造軸組構法等の開発業務報告書 一貫構造・差鴨居構造設計方法の開発、全306頁、(財)日本住宅・木材技術センター、3月、1986.
- 6) 後藤一雄：「貫通仕口による木造ラーメン(大黒柱)構造の研究 その1」、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、p. 1225-1226、1986.
- 7) 青野直巳他3名：「貫構法における継手・仕口の研究」、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、p. 1227-1228、1986.
- 8) 波多野明雄 他5名：「伝統的木造建築の実大水平加力実験」、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、p. 15-16、1988.
- 9) 河合直人：「中規模木造用在来型柱-梁接合部の曲げ試験」、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、p. 111-112、1990.
- 10) 「伝統構法の意味を問う」、住宅建築、2月号、p. 73-123, 1993.
- 11) Y.Kataoka and K.Asano: "The Lateral Behaviour of Frame Structures Stiffened by Shear Diaphragms", Proceedings of the 1988 International Conference on Timber Engineering", Vol.1, p.784-793, Seattle, 1988.
- 12) Y.Kataoka: "Application of Super Computers to Non-Linear Analysis of Wooden Frame Structures Stifened by Shear Diaphragms", Proceedings of the Second Pacific Timber Engineering Conference 1989, Vol.2, p.107-112, Auckland, 1989.
- 13) Y.Kataoka: "Characteristics and Structural Evaluation of Japanese Traditional Wooden Frame Structures", Proceedings of the 1990 International Timber Engineering Conference", Vol.2, p.645-650, Tokyo, 1990.
- 14) Y.Kataoka: "Improved Nonlinear Analysis and Dynamic Characteristics of Post and Beam Structures", Proceedings of the International Timber Engineering Conference, Vol.4, p.4.299-4.306, London, 1991.
- 15) 片岡靖夫、小木曾潔史：「伝統的軸組構造の弾塑性応答」、日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)、p. 123-124、1992.
- 16) 小木曾潔史、片岡靖夫、池 浩三：「伝統的工法による軸組構造の構造特性」、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、p. 1023-1024、1993.
- 17) Y.Kataoka, K.Ike: "Dynamic Characteristics of Large Cross-Sectional Timber Structures", Proceedings of the Pacific Timber Engineering Conference, Vol.1, p.335-342, Gold Coast, 1994.
- 18) 宮島 寛：「合板ガセット接着法による構造継手効率に関する研究(第1報) シナ合板に関する基礎試験」、北大演習林報告、25-1, 1967.
- 19) 宮島 寛、松本弘毅：「合板ガセット接着法による構造継手効率に関する研究(第1報その2) ラワン合板に関する基礎試験」、北大演習林報告、26-2, 1968.
- 20) 宮島 寛：「合板ガセット接着法による構造継手効率に関する研究(第2報) 合板ガ

- セット接着法による門型ラーメンならびに方杖つきラーメンの剛性および強度」、北大演習林報告、16-1, 1968.
- 21)宮島 寛、藤井 毅：「合板ガセット接着法による構造継手効率に関する研究（第3報）木造フィングトラスの剛性と強度に対するガセット効果について」、16-1, 1968.
  - 22)宮島 寛：「合板ガセット接着法による構造継手効率に関する研究（第4報）木造山形ラーメンの剛性と強度に対するガセット効果について」、16-1, 1968.
  - 23)伊藤勝彦、丸山 武、宮野 博：「合板ガセット接着法による木造山形ラーメンの剛性と強度」、北林産試研報、第65号、1976.
  - 24)高宮庄一、皆川保生、神谷文夫：「単板積層材の木構造への適用に関する研究 第1報（矩形断面の長柱圧縮強度）」、日本建築学会大会学術講演梗概集（中国）、p.1997-1998, 1972.
  - 25)高宮庄一、西河則夫：「単板積層材の木構造への適用に関する研究 第2報（釘接着法による合板ガセットL型梁の強度）」、日本建築学会大会学術講演梗概集（中国）、p.1999-2000, 1972.
  - 26)高宮庄一、皆川保生、西河則夫、神谷文夫：「単板積層材の木構造への適用に関する研究 第3報（合板ガセットによる門形架構の実大試験）」、日本建築学会大会学術講演梗概集（中国）、p.2001-2002, 1972.
  - 27)小松幸平：「集成材剛節骨組み構造のための交差重ね合わせ接着接合の強度設計（第1報）接着層の応力分布を純ねじりモーメントを受ける平行四辺形断面棒の応力分布と同等と見なした場合の接合部の強度設計方法」、林産誌月報、No.401, p.1-9, 1985.
  - 28)小松幸平：「集成材剛節骨組み構造のための交差重ね合わせ接着接合の強度設計（第2報）-接着層のねじり応力がねじりの中心からの距離に比例すると仮定した場合の接合部の強度設計方法-」、林産誌月報、No.402, 7月号、p.11-19, 1985.
  - 29)小松幸平：「挿入型鋼板ガセットとシアプレートボルト締め構法（仮称）による集成材軒肩接合部実大試験体の非線形半剛節解析」、日本建築学会学術講演梗概集（東海）、p.1299-1300, 1985.
  - 30)小松幸平他4名：「挿入型鋼板ガセットとシアプレートコネクターを用いた集成材軒肩接合部の許容応力度設計と実大実験」、林産誌月報、No.409、p.1-22, 1986.
  - 31)小松幸平：「正負交番モーメントを受ける集成材T字型接合部の挙動」、日本建築学会学術講演梗概集（北海道）、p.1255-1256, 1986.
  - 32)佐藤雅俊、宮村雅史、森 和雄、葉多修司：「集成材構造柱梁接合部の耐力に関する研究（Ⅰ）」、日本建築学会学術講演梗概集（東海）、p.1301-1302, 1985.
  - 33)佐藤雅俊、宮村雅史、森 和雄、葉多修司：「集成材構造柱梁接合部の耐力に関する研究（Ⅱ）」、日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道）、p.1251-1252, 1986.
  - 34)T.M.Michell:"Design of a rigid joint incorporating nailed steel side plates", Section 7.6 of Timber Design and Detailing Manual, Ministry of Works and Development, Wellington, 1979.
  - 35)G.B.Walford:"Portal Frames" Section B-2, Timber Use Manual, New Zealand Timber Industry Federation, (No Date).
  - 36)小松幸平：「モーメント抵抗接合（案）改訂版」、AIJ木構造設計ノート、日本建築学会へ原稿提出中（印刷予定）

- 37)小松幸平(所収):「第5章 木造ラーメン構造」、木材の科学と利用技術 5. 大規模木構造、日本木材学会編、p.112-131、1993.
- 38)小松幸平:「通直集成材剛節フレーム加力実験」、木造化推進標準設計施工マニュアル作成等事業報告書(3)「木造化技術開発」、VI1-VI60、日本住宅・木材技術センター、1987.
- 39)K. Komatsu,F.Kamiya,Y. Hirashima:"Full-Size Test and Analysis on Glulam Two-Storeyed Portal Frames Subjected to Horizontal Load",The 31st Japan Congress on Materials Research", p.185-191,1988.
- 40)K. Komatsu, F. Kamiya and Y. Hirasima:"Full-Size Test and Analysis on Glulam Two-Storeyed Portal Frames",Proceedings of the 1988 International Conference on Timber Engineering, Vol.2, p.205-220,1988.
- 41)小松幸平:「接合具の非線形特性を考慮に入れた集成材骨組み構造の解析-第1報、解析法の誘導」、木材学会誌、34(7)、p.581-589、1988.
- 42)小松幸平、川元紀雄、上杉三郎、福留重人、宮田 修:「集成材による柱-梁接合部の載荷燃焼実験」、日本木材学会大会研究発表要旨集、p.409、1990.
- 43)平井卓朗:「半剛節接合部を持つ木造フレームの変形挙動(1)釘打ちガセット接合法による梁およびラーメン型フレームの曲げ変形」、北海道大学農学部演習林研究報告、44(1)、pp.297-326、1987.
- 44)平井卓朗:「釘打合板ガセット接合法による木造門型ラーメンの変形性能」、木材学会誌、33(4)、pp.286-290、1987.
- 45)平井卓朗:「釘打合板ガセット接合法による木造山形ラーメンの変形性能」、木材学会誌、33(9)、pp.689-693、1987.
- 46)K.Komatsu, N.Kawamoto:"Analysis of Glulam Semi-Rigid Portal Frames under Long-Term Load", International Council for Building Research Studies and Documentation, Working Commission W18-Timber Structures, CIB-W18/25-8-1, Sweden, 1992.
- 47)小松幸平、川元紀雄、原田真樹:「長期荷重を受ける集成材半剛節門型ラーメンの変形解析」、木材学会誌、39(12)、pp.1393-1403、1993.
- 48)小松幸平、川元紀雄、原田真樹、堀江和美:集成材によるモーメント抵抗接合部の構造性能(Ⅲ)、および(Ⅳ)、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、p.57-60、1991.
- 49)坂本 功、大橋好光、安達文男:集成材による柱-梁接合部の強度実験(その3)、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)、p.127-128、1989.
- 50)大橋好光、坂本 功、安達文男:集成材による柱-梁接合部の強度実験(その4)、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)、p.129-130、1989.
- 51)Y. Ohashi and I. Sakamoto: "Study on Laminated Timber Moment-Resisting Joint", Proceedings of the Second Pacific Timber Engineering Conference, Vol.2,p.37-42, 1989.
- 52)大橋好光(所収):「ラーメン構造を想定した木質架構の地震応答解析」、木造化推進標準設計施工マニュアル作成等事業報告書「新木質建材住宅適用技術推進事業」、日本住宅・木材技術センター、p.116-123、1993.
- 53)Y.Ohashi, I.Sakamoto and H.Isoda: "Experiments and Response Analyses on Three Storeyed Timber Frame Structures",Proceedings of the Pacific Timber Engineering Conference, Vol.1, p.222-231,

Gold Coast, 1994.

- 54) A. Ceccotti and A. Vignoli : "The Effects of Seismic Events on the Behaviour of Semirigid-Joint Timber Structures : A Simulation of the Influence of Structural Scheme and of Joint Characteristic", Proceedings of the 1988 International Conference on Timber Engineering, Vol.1, p.823-837, 1988.
- 55) A. Ceccotti and A. Vignoli : "Engineered Timber Structures. An Evaluation of Their Seismic Behaviour", Proceedings of the 1990 International Timber Engineering Conference , Vol.3, p.946-953, 1990.
- 56) 定方 啓 : 「E P 型、B X 型接合部の正負交番荷重下の変形・破壊挙動について」、日本建築学会構造系論文報告集、第395号、p.40-47、1989.
- 57) 長屋 学、定方 啓、朝山和佳 : 「重木構造の柱-梁接合部の耐力と靱性に関する研究(第1報)」、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)、p.123-124、1989.
- 58) 定方 啓、朝山和佳 : 「重木構造の柱-梁接合部の耐力と靱性に関する研究(第2報)」、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)、p.125-126、1989.
- 59) 福島伸尚、定方 啓、丹羽 亮 : 「重木構造の柱-梁接合部の実験的研究(小径ファスナーの適用に関する研究)、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、p.51-52、1991.
- 60) 大橋好光、坂本 功、安達文男、五十田 博 : 「集成材による柱-梁接合部の強度実験 その5 引きボルト型接合部に関する実験」、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、p.143-144、1990.
- 61) 五十田 博、坂本 功、大橋好光、安達文男 : 「集成材による柱-梁接合部の強度実験 その6 引きボルト型接合部の実験結果の考察」、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、p.145-146、1990.
- 62) 稲山正弘 : 「木材のめり込み変形に関する理論的考察 - 内部応力が2次元的拡散状態における弾性理論 -」、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)、p.13-14、1989.
- 63) M.Inayama and I.Sakamoto : "Study on Elastic Deformation Perpendicular to the Grain in Wood", Proceedings of the 1990 International Timber Engineering Conference, Vol.1, p.46-51, 1990.
- 64) 稲山正弘 : 「木材のめり込み理論とその応用 - 靱性に期待した木質ラーメン接合部の耐震設計法に関する研究 -」、東京大学工学部提出学位論文、388頁、1991.
- 65) 稲山正浩(所収) : 「引張ボルト型接合」、木造化推進標準設計施工マニュアル作成等事業報告書「新木質建材住宅適用技術推進事業」、日本住宅・木材技術センター、p.49-67、1993.
- 66) R.H.Fairweather : "Beam Column Connections for Multi-Story Timber Buildings", Research Report 92/5, Department of Civil Engineering, University of Christchurch, New Zealand, 1992.
- 67) 小松幸平 : 「集成材による2方向モーメント抵抗接合法の開発(1)」、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、p.43-44、1994.
- 68) 稲山正浩(所収) : 「ラグをめり込み面に打ちつけた引張ボルト型接合部」、木造化推進標準設計施工マニュアル作成等事業報告書「新木質建材住宅適用技術推進事業」、日本住宅・木材技術センター、p.424-441、1993.
- 69) 稲山正弘 : 住宅用木質ラーメン構造の可能性, 住宅と木材, 3月号、p.11~27、1991.

# 産業用木質構造

テンバーエンジニアから見たコストスタディ

(有) 木質構造研究所  
堀江和美

## 1 はじめに

私が木質構造建築物に関係したのは、1980年に集成材メーカーのS社（北海道砂川市）に入社してからであり、「えっ、もう」か「えっ、まだ」かは定かでないが約14年間おつきあいしたことになる。この間、色々な方々から教えを受けながら現在に至っているわけで、あらためて、この場を借りて、感謝するしだいである。

「木質構造研究の現状と今後の課題」と題して、8年前の1986年10月に研究会が開催され、その内容が1987年2月に、出版されたことは、木質構造に関係する人々にとって、力強い一歩であった。

また翌1987年11月、本研究会の合同シンポジウムとして、静岡大学において、「木材・新・時代」が開催された。私も話題提供をさせていただいたが、幹事の方からいただいた題目は「集成材構造にかける夢」であった。

「夢」という文字が含まれているのは、その頃、「どうすれば構造計算ができるのか？」「どうすれば製造できるのか？」「どうすれば建て方ができるのか？」など、夢の中をさまようような状態であったことが一つにあげられるだろう。また一つには、夢は夢でも覚めたら消える夢ではなく、数多くの木質建築物が国内に建築され、木質建築物が、市民権を得るという「正夢」の夢であってほしいという願いが込められていたためだと思う。

さまよう状態から覚めているのか？、正夢になっているのか？ 皆さんにとってはいかがであろうか？

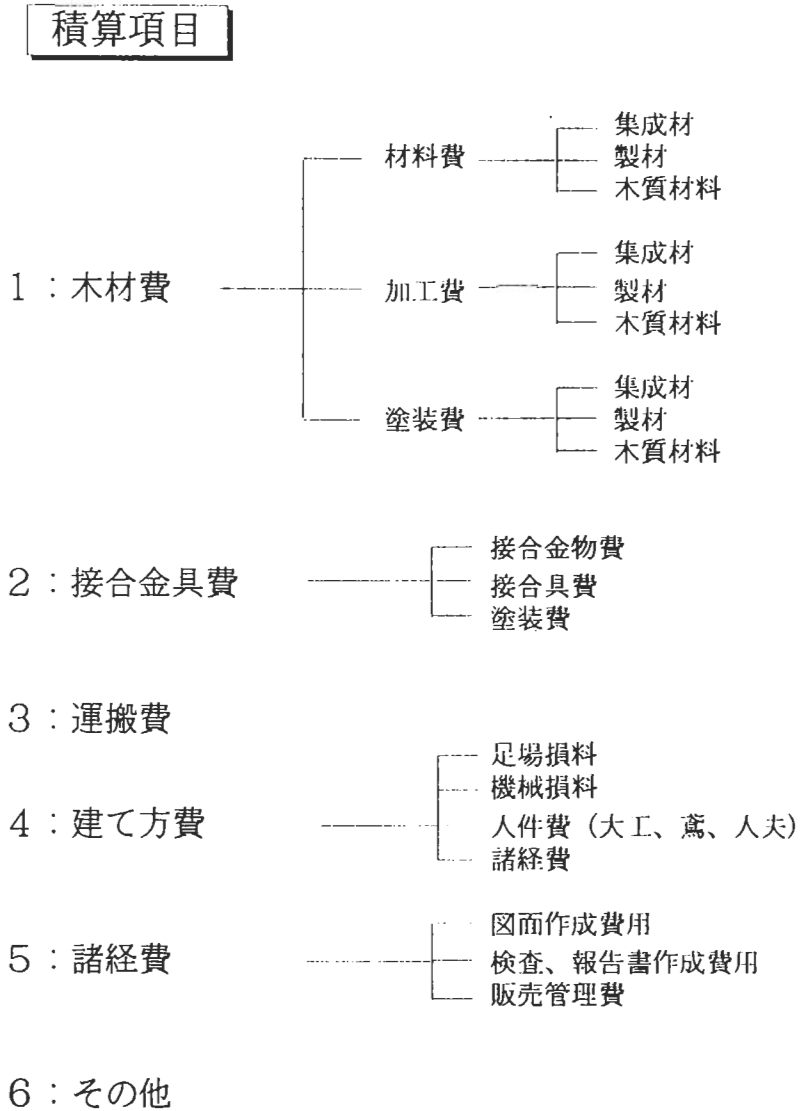
さて、木質構造建築物がほとんど見られなくなった昭和40年代(1965年－1975年)において、その衰退の理由として、防火上の問題、補助金の問題、他構造との価格競争力の問題の3つが指摘されたと記憶している。

御存じのように1980年代後半から現在まで、建築基準法、施工令上における防火上の緩和、種々の補助金の復活等、行政的には、木質構造を取り巻く環境はかわり、「建てはだめですよ」から「どうぞ建ててください」に変化してきた。指摘された中で残った問題は、他構造との価格競争力である。すもうでいえば、幕内から十両に落ちた力士がようやくまた幕内の土俵に上がることはできたのだが、上位と対戦するには、けいこの量や質が問われるのと同じであろう。

本文では、他構造との価格競争力を論じるまではできないが、木質躯体工事費が工事費全体に占める割合が大きい製材工場、集成材製造工場の設計行為を通して感じたこと、特にコストスタディについて述べたいと思う。本シンポジウムの目的から離れるかも知れないと危惧するが、御了承願いたい。

## 2 コストスタディの項目

コストスタディする場合には、積算価格を指標にすることが多い。集成材の製造業者が行なう積算として、以下のような項目が考えられる。



上記の項目の全てについて  $\text{金額} = \text{量} \times \text{単価}$  である。単価は、時代、地域等により変動するため、量を以下に押さえるかが、ティンバーエンジニアに求められることになる。

### 3 フレーム形状

フレーム形状として、スパン18m、屋根勾配 3/10、ピッチ3.6mの山形フレームを想定する。

すなわち 基本フレームとして

- 1) 山形3ピンアーチとして、変断面湾曲集成材を用いるタイプで、我が国で、最も多く、建築された来た構造形式である。(以下 湾曲フレーム)
- 2) 通直材の柱、梁の交錯部を、鋼板+接合具を用いて、「剛」に近い状態をつくりだして、構造を成立させたフレームである。(以下 MRJフレーム)
- 3) 通直を用いる架構としては、最もありふれたフレームで、接合部は、「ピン仮定」であるという鉄則を順守するタイプである。(以下 直材フレーム)
- 4) 上記の各々のフレーム肩部の曲げモーメントを減じるためにタイバーを設けたもので、あり、湾曲フレーム+タイバー、MRJフレーム+タイバー、直材フレーム+タイバーとしたタイプである。

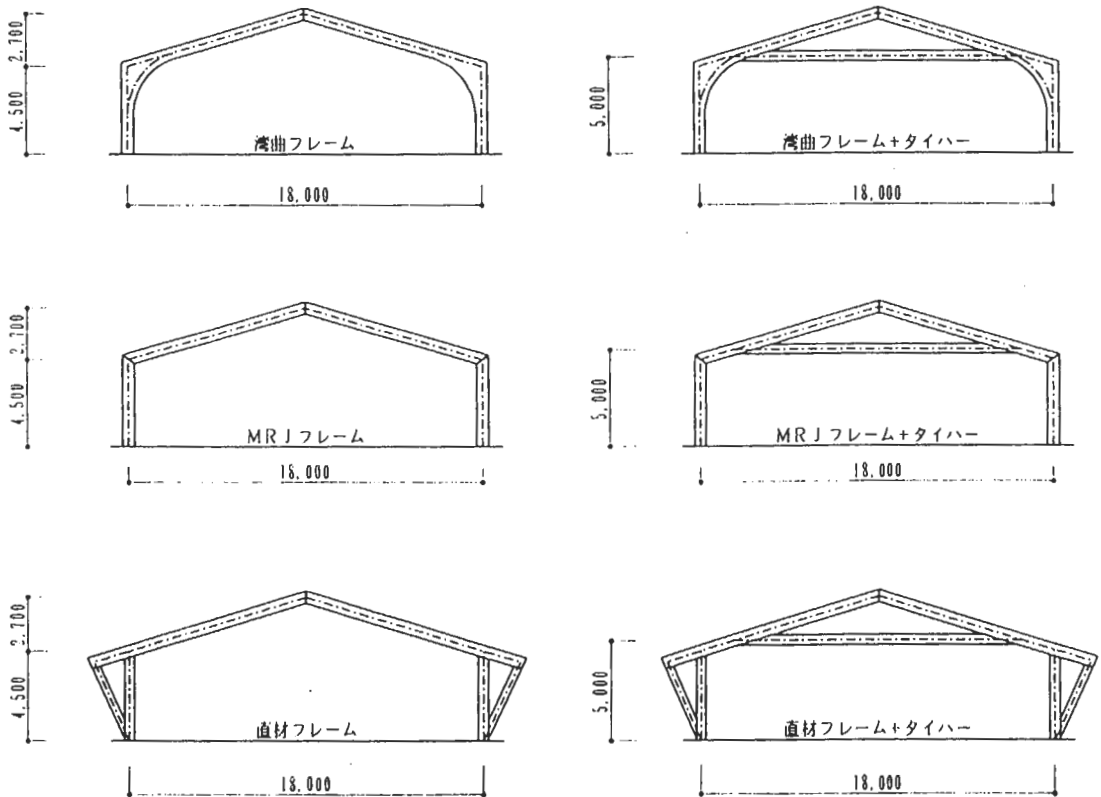


図-1 フレーム形状

## 4 設計荷重 及び 許容応力度等

### 4.1 設計荷重

積雪深さ100cmの多雪地域を想定する。

- 1) 固定荷重 (G) 水平面につき  $80 \text{ kg/m}^2$
- 2) 積雪荷重 (S) 水平面につき  $100 \times 3 = 300 \text{ kg/m}^2$   
長期扱い  $300 \times 0.7 = 210 \text{ kg/m}^2$   
地震時  $300 \times 0.35 = 105 \text{ kg/m}^2$
- 3) 風荷重 (W) 基準速度圧 (q) =  $120 \text{ kg/m}^2$   
風力係数 (C) 風上壁面 0.8 風下壁面 0.4  
風下屋根面 0.5  
風上屋根面  $1.3 \times \sin 16.7^\circ - 0.5 = -0.1264$

施工令においては、上記の荷重を組合せた状態で、構造計算をし、最も厳しい条件で、断面を決定することが規定されている。多雪地域では、その最も厳しい条件は長期扱いの固定荷重 (G) と積雪荷重 (S) 時の場合が多いので、本文では、その荷重を取扱う。

### 4.2 許容応力度 及び ヤング係数

使用材料は日本農林規格「大断面構造用集成材 べいまつ1級」とし、長期許容応力度及びヤング係数 (E) は以下の通りとする。

$$\begin{aligned} \text{圧縮 (f c)} &= \text{引張 (f t)} = 105 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{曲げ (f b)} &= 145 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{せん断 (f s)} &= 12 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{めり込み (f c} \perp \text{)} &= 30 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{ヤング係数 (E)} &= 110000 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

## 5 フレーム形状仮定 及び 接合部仮定

構造計算を進めるにあたり、

- 1) 部材相互の接合部は、MR J フレームの肩部を除き「ピン」仮定。
- 2) 脚部は「ピン」仮定
- 3) 湾曲フレームの軸線は肩部で交叉する直線仮定としたため、曲線仮定する場合より若干曲げモーメントが増大する。
- 4) MR J フレームの肩部は「剛節仮定」とする。

## 6 フレームの仮定断面及び部材応力

3, 4, 5で想定した、設計条件で、各々のフレームについて、剛性マトリックス法にて計算を進めた。計算に使用した仮定断面を表-1に、その部材応力の計算結果について、

頂部，肩部，脚部，タイバー部，斜材に注目してまとめたものを表-2に示す。

表-1 仮定断面

	単位 mm			
	湾曲, MRJ	湾曲, MRJ + タイバー	直材	直材 + タイバー
柱	800	600	500	500
梁	800	600	800	650
タイバー	***	300	***	300
斜材	***	***	300	400

幅は全て210mmとする。

表-2 フレームの部材力及び変位

項 目		単位	湾曲, MRJ	湾曲, MRJ + タイバー	直材	直材 + タイバー
脚部	N	kg	-9,400	-9,400	-23,690	-17,188
	Q	kg	-5,875	-2,702	0	0
肩部	N	kg	-8,193	-5,154	-7,968	-5,138
	Q	kg	6,865	7,776	6,934	7,782
	M	kg·cm	2,643,670	1,216,110	2,707,500	1,377,550
頂部	N	kg	-5,761	-12,852	-5,537	-12,142
	Q	kg	-1,238	3,365	1,172	3,152
タイバー	N	kg	***	10,574	***	9,850
斜材	N	kg	***	***	13,631	6,489
肩部水平変位		mm	15	4	13	3
頂部鉛直変位		mm	52	16	46	12

N：軸力 Q：せん断力 M：曲げモーメント

## 7 接合部の設計

### 7.1 許容耐力の算出

6で求められた部材力に抵抗する接合部をドリフトピン+センター鋼板挿入方式で許容耐力設計をする。

ところで、「大断面木造建築物設計施工マニュアル1988年版(日本建築センター)」(以下センターマニュアル)では、ボルトとドリフトピンの許容耐力に差がなく、一方、「木構造計算基準(日本建築学会)」では、ボルトとドリフトピンの許容耐力の差が生じていたことは、ご承知のことであろう。しかしながら、近々発行の「木質構造設計基準(日本建築学会)」では、その差がなくなりそうである。

そこで、ここでは、ドリフトピンのセンター鋼板挿入方式の許容耐力を「木質構造設計基準(日本建築学会)」に準拠することにする。

すなわち

ドリフトピンのセンター挿入方式の許容耐力

接合具直径 (d) = 2 cm          鋼板厚 9 mm

接合具長さ (L) = 21 - 0.9 = 20.1 cm

$d/L = 10.05$

構造用大断面集成材ベイマツ1級

$f_c = 105 \text{ kg/cm}^2$      $f_{c\perp} = 30 \text{ kg/cm}^2$      $F = 2400 \text{ kg/cm}^2$

繊維方向長期耐力 (P0) の算出

$$\gamma = F/3/f_c = 2400/3/105 = 7.619$$

$$d/L \times (8 \cdot \gamma/3)^{0.5} = 0.4485$$

$$(2 + 8/3 \cdot \gamma \cdot (d/L)^2)^{0.5} - 1 = 0.4836$$

$$\therefore C = 0.4485$$

$$P0 = C \cdot f_c \cdot d \cdot L = 0.4485 \cdot 105 \cdot 2 \cdot 20.1 = 1893 \text{ kg/本}$$

繊維垂直方向長期耐力 (P90) の算出

$$\gamma = F/3/f_{c\perp} = 2400/3/30 = 26.667$$

$$d/L \times (8 \cdot \gamma/3)^{0.5} = 0.8391$$

$$(2 + 8/3 \cdot \gamma \cdot (d/L)^2)^{0.5} - 1 = 0.6444$$

$$\therefore C = 0.6444$$

$$P90 = C \cdot f_{c\perp} \cdot d \cdot L = 0.6444 \cdot 30 \cdot 2 \cdot 20.1 = 777 \text{ kg/本}$$

## 7. 2 ビン仮定接合部の設計

湾曲, MR J フレームの脚部については  $N=9400$  kg  $Q=5875$  kg  
 合力  $F = (N^2 + Q^2)^{0.5} = 11085$  kg 加力角度  $\theta = 0.5586$  rad  
 角度  $\theta$  方向の許容耐力 ( $P\theta$ ) をハンキンソン式に代入して求めると

$$P\theta = P0 \cdot P90 / (P0 \cdot \sin^2 \theta + P90 \cdot \cos^2 \theta) = 1349 \text{ kg/本}$$

$$\therefore F / P\theta = 11085 / 1349 = 8.2 \rightarrow 9 \text{ 本以上必要}$$

同様の方法で求めた各々の接合部の接合具の最少本数を表-3に示す。

表-3 接合具の必要本数

フレーム名	部所	N kg	Q kg	F kg	$\theta$ rad	$P\theta$ kg/本	本数 本
湾曲, MR J	脚部	9400	5875	11085	0.5586	1349	9
	頂部	5761	1238	5893	0.2117	1780	4
湾曲, MR J +タイバー	脚部	9400	2702	9781	0.2799	1706	6
	頂部	12852	3365	13285	0.2561	1733	8
直材	脚部	23690	0	23690	0	1893	13
	頂部	5537	1172	5660	0.2086	1783	4
直材 +タイバー	脚部	17188	0	17188	0	1893	10
	頂部	12142	3152	12544	0.254	1736	8
湾曲, MR J +タイバー 直材+タイバー	タイバー	10574	0	10574	0.2915	1692	7
	タイバー	9850	0	9850	0.2915	1692	6
直材 直材+タイバー	斜材	13631	0	13631	1.5708	777	18
	斜材	6489	0	6489	1.5708	777	9

## 7. 3 モーメント抵抗接合部の設計

### 7. 3. 1 変形異方性を考慮した設計式

MR J フレームの肩部を変形異方性を考慮しない従来の方法 (以下 等方性設計) と変形異方性を考慮する方法 (以下 異方性設計) の2種類の方法で設計する。

計算の概略としては,  $i$  接合具の X 方向 (繊維方向) の反力を  $F_x i$ , Y 方向 (繊維垂直方向) の反力を  $F_y i$  とした場合 式 a), b) で示される式にて, それらの値を求め, さらに式 c) にてその合力 ( $F_i$ ) を求める。そして, その合力 ( $F_i$ ) とその方向の許容耐力 ( $F_{\theta i}$ ) 以下であることを確かめることになる。

$$F_{x i} = K_{\phi i} \cdot y_i \cdot \Sigma M / R_j + N / n \quad \dots a)$$

$$F_{y i} = -K_{\phi i} \cdot x_i \cdot \Sigma M / R_j + Q / n \quad \dots b)$$

$$F_i = (F_{x i}^2 + F_{y i}^2)^{0.5} \quad \dots c)$$

$$F_{\theta i} \geq F_i \quad \dots d)$$

n : 接合具数

$K_0$  : 繊維方向すべり係数       $K_{90}$  : 繊維垂直方向すべり係数

$K_{\phi i}$  : 繊維方向と角度  $\phi$  方向のすべり係数

$$K_{\phi i} = K_0 \cdot K_{90} / (K_0 \cdot \sin^2 \phi + K_{90} \cdot \cos^2 \phi)$$

$$R_j = \Sigma K_{\phi i} \cdot r_i^2 \quad : \text{回転剛性}$$

ただし、X方向に軸力(N)，Y方向にせん断力(Q)，反時計回りに曲げモーメント(M)としている。

なお、設計式の誘導については日本木材学会研究分科会報告書V o I . II 5. 大規模木構造第5章，第9章を参考にさせていただきたい。

### 7. 3. 2 すべり係数

すべり係数に関しては、データの蓄積が少なく、何等かの計算で求める方法が有力であろう。

1つには、

接合具の挙動は完全弾塑性、木材のめり込み挙動は非線形、接合具が鋼板と接触する部分では単純梁要素、木部分では非線形弾性床要素とみなし、非線形有限要素法で計算された「荷重-すべり」特性から求める方法（以下 非線形FEMすべり係数( $\neq K_s$ ))

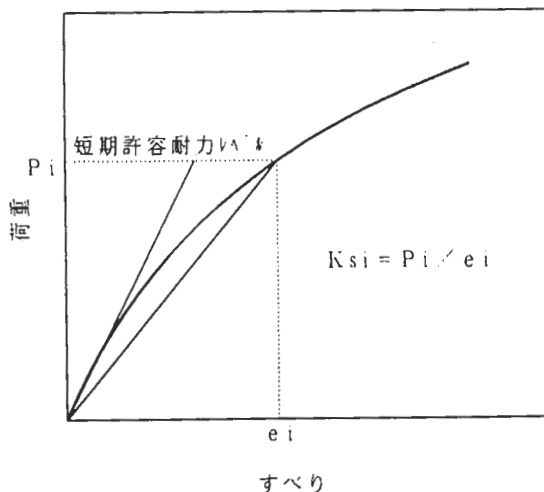


図-2 すべり係数算出の概念図

1つには、

接合具の挙動を単純に線形弾性床上の円形梁とみなした場合の「荷重-すべり」特性から求める方法（以下 線形すべり係数( $\neq K_s$ ))。

鋼板をセンターに挿入した場合のすべり係数は 下式で示される。

$$K_s = 2 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 / \alpha_3$$

ここに

$$\alpha_1 = K \cdot d / \mu \quad \alpha_2 = \sinh(\mu L) + \sin(\mu L)$$

$$\alpha_3 = \cosh(\mu L) + \cos(\mu L) + 2 \quad \mu = (K \cdot d / 4 / E I)^{0.25}$$

L : 接合具長さ d : 接合具直径 EI : 接合具曲げ剛性 K : 木材のめり込み係数  
 ここで、非線形FEMすべり係数(非K<sub>s</sub>)と線形すべり係数(線K<sub>s</sub>)の比較のために、木材のヤング係数、接合具の長さ、繊維方向、繊維垂直方向をパラメーターとして、約700種類のすべり係数を求めグラフ化したものが、図-3である。

線形すべり係数(線K<sub>s</sub>)の方が非線形FEMすべり係数(非K<sub>s</sub>)に比べ、繊維方向、繊維垂直方向ともに、平均で約30%高くなる。これは、図-2において、初期傾きが、線形すべり係数(線K<sub>s</sub>)と考えれば理解しやすいと思う。

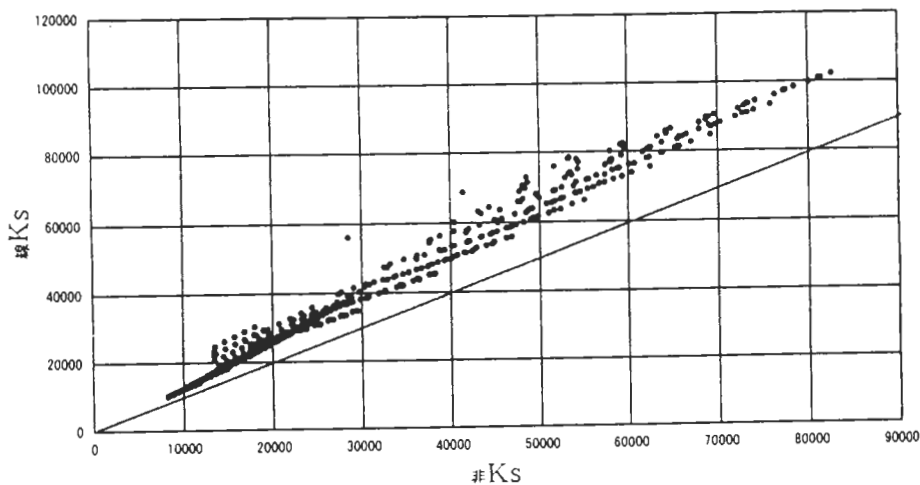


図-3 線K<sub>s</sub>と非K<sub>s</sub>の比較

では、具体的に

木材のヤング係数：繊維方向  $E_0 = 110000 \text{ kg/cm}^2$ ,

鋼板のヤング係数  $E = 2100000 \text{ kg/cm}^2$

接合具直径 (d) = 2 cm, 鋼板厚 9 mm

接合具長さ (L) = 21 - 0.9 = 20.1 cm

として、線形すべり係数(線K<sub>s</sub>)を求める。

### ステップ1

木材のめり込み係数（繊維方向  $K_0$ 、繊維垂直方向  $K_{90}$ ）をヤング係数をパラメータとした平井の提案式から求める。

$$K_0 = E_0 / (3.16 + 10.9 \cdot d) \\ = 110000 / (3.16 + 10.9 \cdot 2) = 4407$$

$$K_{90} = K_0 / 3.4 = 4407 / 3.4 = 1296$$

### ステップ2

$$E1 = 2100000 \cdot \pi \cdot 2^4 / 64 = 1649336$$

$$\mu = (K_0 \cdot d / 4 / E1)^{0.25} = (4407 \cdot 2 / 4 / E1)^{0.25} = 0.1912$$

$$\alpha 1 = K_0 \cdot d / \mu = 4407 \cdot 2 / 0.1912 = 46098$$

$$\mu \cdot L = 0.1912 \cdot 20.1 = 3.8431$$

$$\alpha 2 = \sinh(\mu L) + \sin(\mu L) = \sinh(3.8431) + \sin(3.8431) \\ = 22.6793$$

$$\alpha 3 = \cosh(\mu L) + \cos(\mu L) + 2 = \cosh(3.8431) + \cos(3.8431) + 2 \\ = 24.5823$$

$$K_{s0} = 2 \cdot \alpha 1 \cdot \alpha 2 / \alpha 3 = 2 \cdot 46098 \cdot 22.6793 / 24.5823 \\ = 85059$$

$$\mu = (K_{90} \cdot d / 4 / E1)^{0.25} = (1296 \cdot 2 / 4 / E1)^{0.25} = 0.1408$$

$$\alpha 1 = K_{90} \cdot d / \mu = 1296 \cdot 2 / 0.1408 = 18409$$

$$\mu \cdot L = 0.1408 \cdot 20.1 = 2.8301$$

$$\alpha 2 = \sinh(\mu L) + \sin(\mu L) = \sinh(2.8301) + \sin(2.8301) \\ = 8.8494$$

$$\alpha 3 = \cosh(\mu L) + \cos(\mu L) + 2 = \cosh(2.8301) + \cos(2.8301) + 2 \\ = 9.6578$$

$$K_{s90} = 2 \cdot \alpha 1 \cdot \alpha 2 / \alpha 3 = 2 \cdot 18409 \cdot 8.8494 / 9.6578 \\ = 33736$$

ちなみに 非線形FEMすべり係数(非 $K_s$ )の値は、繊維方向で67003、繊維垂直方向で、25702である。線形すべり係数(線 $K_s$ )との非をとると

$$\text{繊維方向} \quad 85059 / 67003 = 1.27$$

$$\text{繊維垂直方向} \quad 33736 / 25702 = 1.31$$

となる。

### 7. 3. 3 概算設計

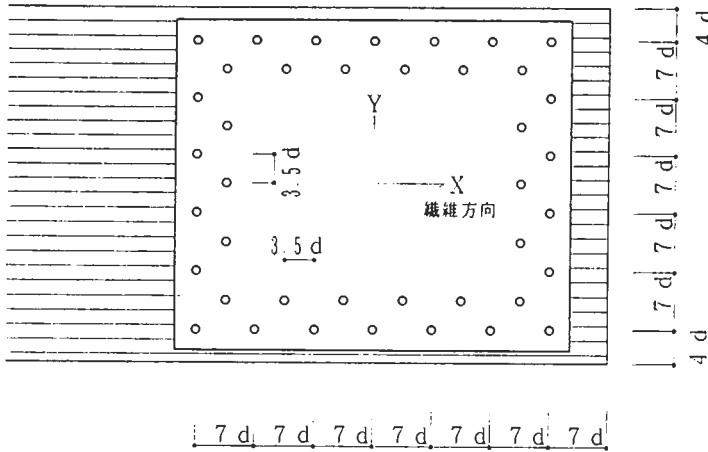
MR Jフレームの肩部(210×800)の設計力は表-2より

$$\text{軸力(N)} = 8193 \text{ kg} \quad \text{せん断力(Q)} = 6865 \text{ kg}$$

曲げモーメント (M) = 2643670 kg·cm

である。

ここでは、図-4に規定する矩形配置でどの程度接合具が必要かを計算することにしよう。



d : 接合具直径

図-4 矩形配置の標準寸法

接合具直径 (d) を 20mm とすると、接合具ピッチ (P) は  $7 \times 20 = 140$  となる。繊維垂直方向の接合具の最大配置数は、 $400 / 140 = 2.8P$  より、 $2.5P$  以上配置しようすると、大きく断面変更が必要になることになる。そこで、 $2.5P$  を意識しながら、許容耐力付近の接合具配置を計算すると、表-4、図-5 のようになる。

表-4 接合具配置計算結果

番号	大きさ X (mm) × Y (mm)	列数	本数 本	許容耐力比	
				異方性設計	等方性設計
①	1400 × 700	3	78	1.0812	1.1574
②	1400 × 700	4	96	0.9738	1.0353
③	1540 × 700	3	84	0.9708	1.0318
④	1540 × 700	4	104	0.8659	0.9139
⑤	1680 × 700	3	90	0.8761	0.9251
⑥	1820 × 700	2	68	1.0179	1.0776
⑦	1820 × 700	3	96	0.7943	0.8339
⑧	1960 × 700	2	72	0.9344	0.9842

- 最大許容耐力比とは、接合具各々の発生する合力と許容耐力との比の中で最大の値
- X方向：繊維方向      Y方向：繊維垂直方向

表-4, 図-5から受ける印象は, 接合本数が多く, 鋼板が大きく, バランスが悪い配置ということではないだろうか?

断面変更を少なくとのいうこともかなり影響しているが, 本接合方法にとって, 設計曲げモーメント (M) = 2643670 kg·cmが大きすぎるためとも言えるだろう。

また, 等方性設計の場合には, ④1540×700 4列 (n=104) でないと最大許容耐力比が1.0以下にならないのに対して, 異方性設計の場合には, 最大許容耐力比が1.0以下になるのは, ②1400×700 4列 (n=96) である。④のタイプと②のタイプの比は, 面積比で10%, 本数で8%多く材料を使用することになり, 計算方法により差異がでることは注目する必要がある。

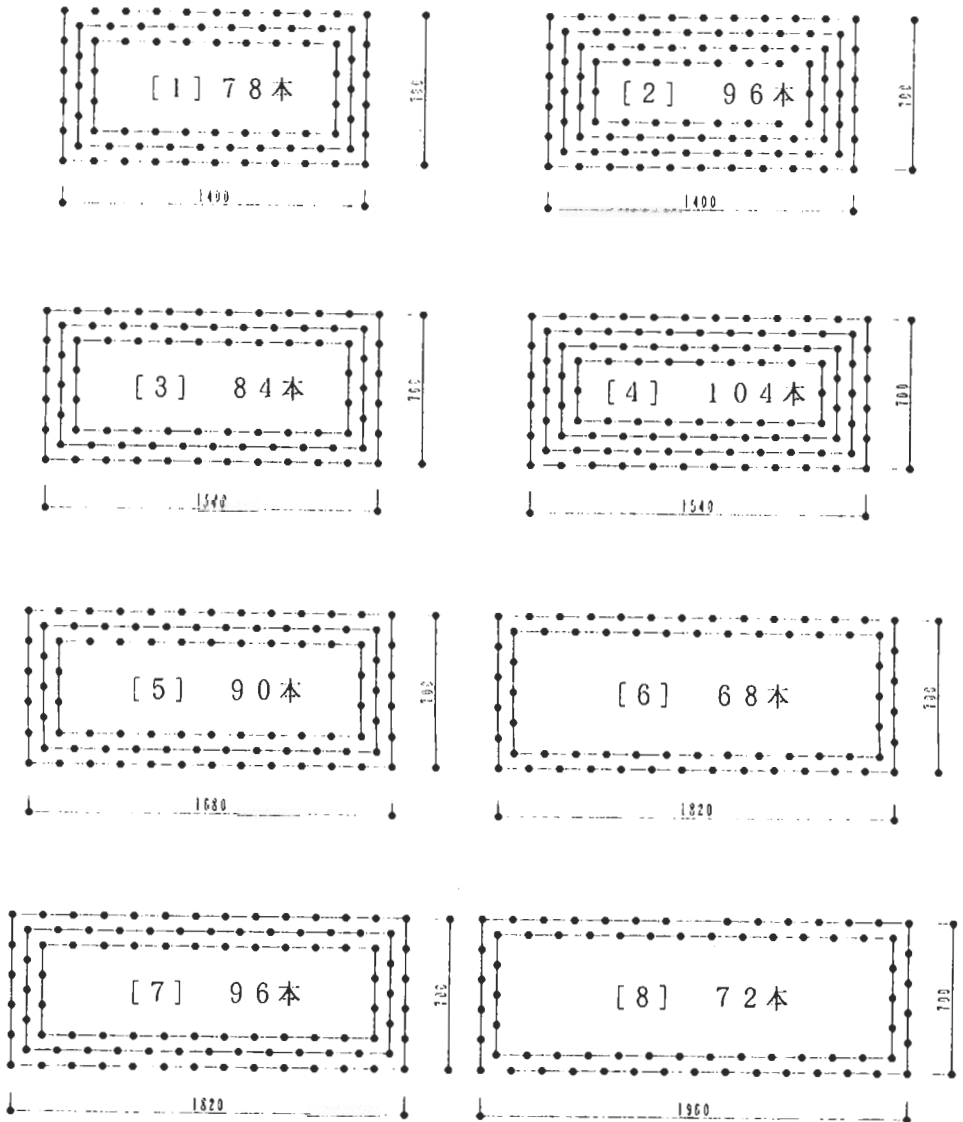


図-5 接合具配置

同様にMR Jフレーム+タイバーの肩部の接合具配置を断面変更が少ないように設計すると、1120×560 3列 (n=60本) となる。

### 7. 3. 4 実施設計

MR Jフレーム及びMR Jフレーム+タイバーの肩部について、断面変更を最少になるように設計すると、図-6、図-7になる。

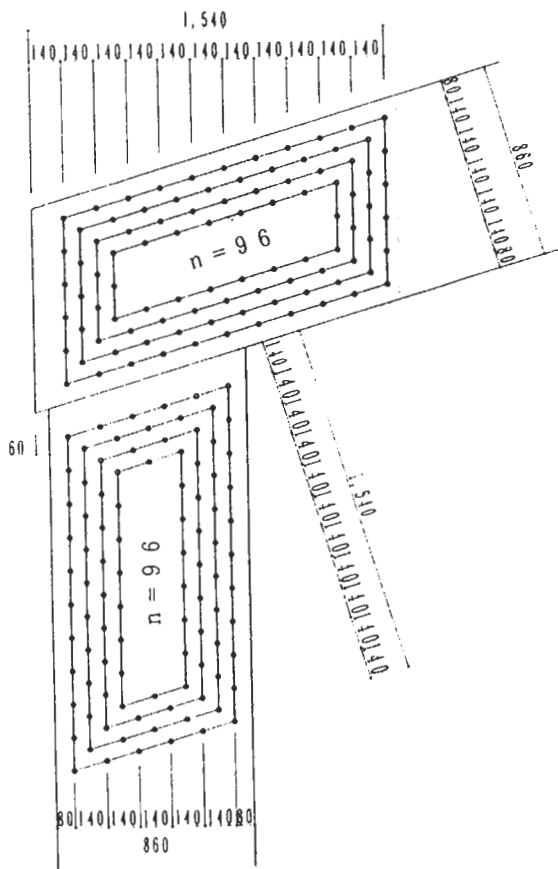


図-6 MR Jフレーム肩部接合配置

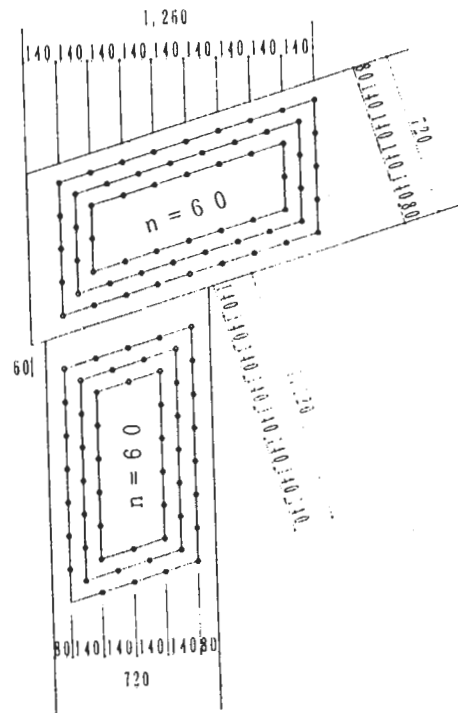


図-7 MR Jフレーム+タイバー肩部接合配置

### 7. 3. 5 直材フレーム肩部

直材フレーム肩部、タイバー部、トラス接合部など、部材相互の角度が、一方は、繊維方向近くであり、一方は繊維垂直方向に近くである場合が生じることがある。7. 1で求めた許容耐力は、繊維方向が、1893kg/本、繊維垂直方向が、777kg/本であり、約2.44倍の差がある。このため、繊維垂直方向に近い部材の接合具の本数が多くなり、接合具配置のために、部材を大きくする必要が生じることがまあり、このような場合には、図-8に示すような、めり込み耐力を利用する方法もある。

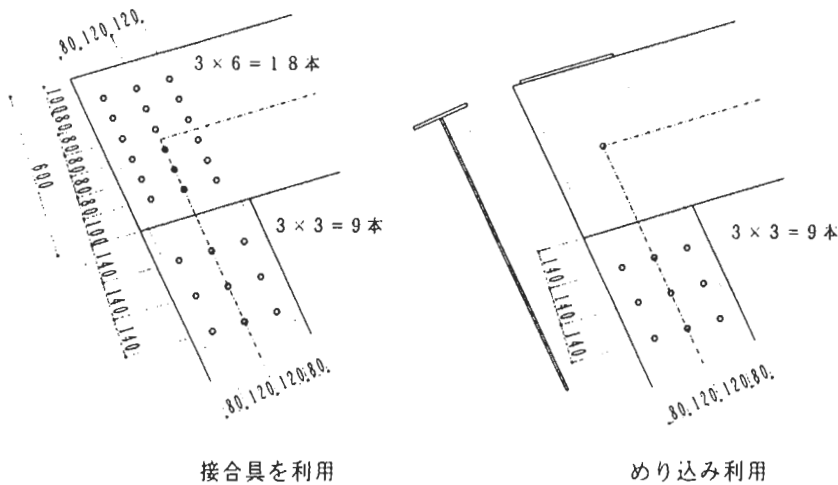


図-8 直材フレーム肩部

## 8 各フレームの積算比較

日本集成材工業共同組合では、集成材の設計価格、接合金物の設計価格について、推定値を公表している。

- ◎直材 長さ12m以下 単価 250-280 : 中間値 265 (千円/m<sup>3</sup>)
- ◎変断面アーチ 3000<R 単価 520-570 : 中間値 545 (千円/m<sup>3</sup>)
- ◎接合金物 単価 400-600千円/t : 中間値 500 (千円/t)

ここでは、上記の中間値の単価と接合具費 300円/本として、各フレームの概算積算を試みた。

これらの単価と使用した場合には、直材+タイバーのタイプが最も安くなるが、実際の積算は、少なくとも、この他に、木材加工費、塗装費、運搬費、建て方費等が加わるため、各フレームの積算額の割合等は変化することになるだろう。

表-5 積算

項目		単位	湾曲	湾曲 + タイパ-	MRJ	MRJ + タイパ-	直材	直材 + タイパ-
集 成 材	R材	m <sup>3</sup>	5.13601	3.5019	0	0	0	0
	S材	m <sup>3</sup>	0	0.9072	5.0193	5.1094	5.2517	4.7566
	金額	千円	2,807	2,166	1,453	1,442	1,434	1,292
接 合 部	金具	kg	54	116	426	331	269	199
	接合具	本	26	56	410	292	140	104
	金額	千円	36	78	356	268	184	136
合計金額		千円	2,843	2,243	1,810	1,709	1,617	1,427
比			199%	157%	127%	120%	113%	100%
m <sup>2</sup> 単価		千円/m <sup>2</sup>	43.87	34.62	27.92	26.38	24.96	22.03

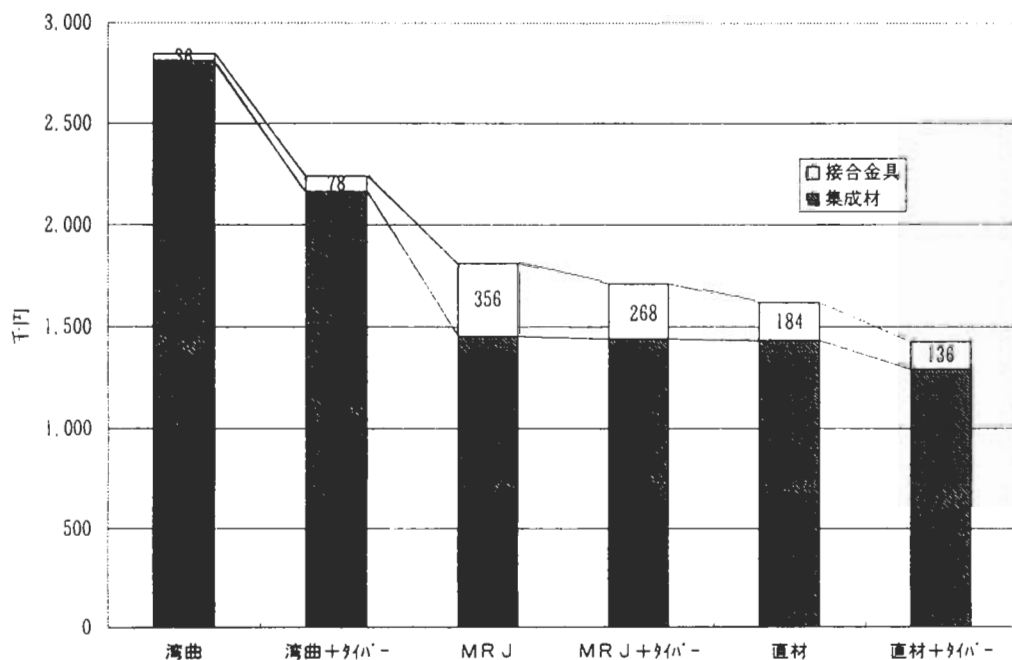


図-9 積算比較

## 9 最後に

10数年前には、今回取上げた鋼板と接合具による「剛接合もどき」は、タブーであった。

それが、現在では、それらの技術を用いて、数多くの木質構造物が建築されてきている。これらは、本研究会の諸氏の多くの努力のたわものであることは明らかである。

しかしながら、大規模木質構造物衰退の三重苦の中の、他構造との価格競争力については、問題が山積みであり、よりいっそうの「知識、知恵」の結集が必要であろう。

個性派木質構造 - 構造用集成材構造の現状 -

三井木材工業(株)  
特建事業部 設計技術課  
杉田敏之

1. 構造用集成材構造の現状

昭和62年の建築基準法改正により、構造耐力上主要な部材に大断面構造用集成材等を使用し、かつ建設大臣の定める構造計算によって安全性を確かめられた建築物が、水平力に対して安全を確保する耐力壁を設ける必要がないなど新たに大断面木造建築物の技術的基準が定められ、更に一定の防火措置を行った大断面木造に対して大規模な木造の構造制限のうち高さ制限と防火壁の設置義務の一部が緩和されました。これらの建築基準法の改正のほか、木造文教施設に対する補助金の復活や林野庁のモデル木造事業などの木造振興策が取られた事により構造用集成材を使用した木質構造は急速に普及しております。

現在、大断面木造の構造部材として使用できる構造材は、建設省告示によりJASに定められた各種の構造用集成材が認められておりますが、実際には昭和61年に新たに規定された構造用大断面集成材が使用され、その認定工場も現在123工場(海外15工場)と急速に増加しています。平成5年の構造用大断面集成材国内生産量と海外からの輸入量は表Iと表IIに示す通りで、木質構造材の中ではここ数年最も増加している材料のひとつです。

表 I 集成材の生産量推移

内訳 年	生産量(千rd)								生産額(億円)		
	造作用集成材			構造用集成材			構造用 大断面 集成材	合計	対前 年比 (%)	金額	対前 年比 (%)
	無化粧	化粧 ばり	計	無化粧	化粧 ばり	計					
昭59年	81.1	111.3	192.4	27.7	69.8	97.6	0.6	290.5	107	748.9	110
60年	83.5	114.2	197.6	27.5	70.7	98.1	1.2	297.0	102	742.9	99
61年	88.9	118.9	207.8	29.5	75.4	104.9	3.0	315.7	106	746.1	100
62年	94.7	139.3	234.0	16.3	92.0	108.3	6.5	348.9	111	852.7	114
63年	112.0	170.2	282.3	17.0	98.0	115.0	11.6	408.8	117	1,023.1	120
平成元年	121.4	179.8	301.2	11.3	100.7	112.0	22.6	435.8	107	1,194.6	117
2年	128.5	194.5	323.0	9.2	89.3	98.4	28.2	449.6	103	1,268.7	106
3年	127.8	200.7	328.5	9.0	84.0	93.0	33.5	455.0	101	1,282.7	101
4年	122.4	201.6	324.0	9.0	83.9	92.9	34.4	451.3	99	1,271.6	99
5年	131.2	225.3	356.5	10.2	87.5	97.8	42.4	496.6	110	1,391.1	109

※(1)昭=昭和。(2)四捨五入の関係で合計に一致しないことがあります。

(日本集成材工業協同組合 調べ)

表 II 集成材等の輸入実績

品目	単位	昭和61年	昭和62年	昭和63年	平成元年	平成2年	平成3年	平成4年	平成5年
集成材	rd	2,080	3,572	2,680	9,143	17,216	16,492	17,673	17,464
グルーラム	rd	-	約1,000	約3,000	約5,000	約10,000	17,902	20,591	59,203

※グルーラム=昭和62年~平成2年は日集協の推定。

(資料:大蔵省関税局「日本貿易統計」)

国内で製造された大断面集成材の用途については、毎年日本集成材工業会が会員各社の用途別使用実績を調査し、平成4年までの調査結果は表Ⅲに示す通りです。

(単位：棟数)

内 訳	昭59年度	昭60年度	昭61年度	昭62年度	昭63年度	平 元年度	平 2年度	平 3年度	平 4年度
教 育 施 設	1	—	9	17	18	25	44	49	41
体 育 施 設	4	7	14	25	34	31	36	50	51
展 示 施 設	4	4	2	9	19	16	11	8	14
集 会 施 設	3	3	9	16	22	38	26	42	38
事 務 所 等	6	7	16	15	21	22	19	23	28
工 場・作 業 所	3	10	13	16	32	30	28	46	49
倉 庫 等	2	11	4	11	11	15	19	18	27
店 舗 等	1	3	3	4	7	14	22	21	28
プ ー ル	1	1	1	1	4	8	5	6	8
社 寺・教 会	2	3	4	3	6	3	9	6	5
試 験・研 究 施 設	—	2	6	4	4	4	3	2	7
音楽堂・野外ステージ	1	—	2	—	2	8	3	4	9
木 造 橋	1	—	—	6	3	8	13	5	14
畜 舎 等	29	30	23	37	25	8	18	11	21
そ の 他	2	4	12	23	32	33	55	46	57
計	60	85	118	187	240	263	311	337	397

※(1)昭=昭和。平=平成。(2)住宅は除く。

(日本集成材工業協同組合 調べ)

表Ⅲ 大断面集成材を使用した木造建築物の用途別集計(日集協)

## 2. 生産可能な構造用集成材の形状

構造用集成材は製法上、大断面の異形部材や長さ方向で“はりせい”の異なる変断面の部材も比較的容易に製造可能で、この特性を生かした単一部材によるラーメン(フレーム)構造を構成することも可能です。又、原材料であるひき板(ラミナ)をわん曲させ、初期応力を与えた状態で接着圧縮硬化させることにより、わん曲した部材も容易に製造できるため、これを利用したアーチ構造も可能で構面内の筋かいや耐力壁が省略できます。

構造用大断面集成材の日本農林規格や日本建築学会の集成木材構造設計規準・同解説では、集成材を製造する場合の製造基準が定められています。

部材の形状に関する基準は、わん曲部材の曲率と変断面部材などの外縁部繊維傾斜角に関する制限があります。わん曲部材の曲率については、急激に曲げられ、ラミナが破損したまま接着される事を防止するために、樹種別にラミナ厚さに対応する最小曲率半径の制限があります。この基準に従えば、ラミナを薄くして鋭角のわん曲部材も製造も可能ですが、原材料の歩留り低下や接着工程の繁雑さから大幅なコスト高になるため、鋭角的なわん曲部材は一般的とは言えません。従って、門型ラーメン構造などではわん曲集成材は使

用せず、通直材を用いた剛接合の工法がいくつか開発されております。

変断面部材の形状に関する規定では、外縁部のラミナはできるだけ長手方向に対して繊維を傾斜して切断しないことが必要で、構造上どうしても変断面とする場合は繊維傾斜による強度の低減を防止する意味で変断面部分の傾斜は1/10以下にしなければならない規定があります。又、アーチ材の外縁部については同様に1/15の制限があります。

集成材は自由な形状の湾曲部材の生産が可能で、従って構造的に合理性の有る、デザインの優れた自由な断面形状の部材やわん曲部材など創造性あふれる形の部材を作り出すことが可能です。以上のような製造上規定されている基準に従って、製造出来る集成材の形状をまとめると図 I に示す通りとなります。








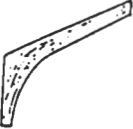
名 称	用 途	形 状
(等断面) 通直材	柱・はり	
変断面通直材	柱・はり	
変断面通直材 (両方向)	はり	
(等断面) わん曲材	はり	
変断面わん曲材	はり	
(ピッチ形) わん曲材	はり	
(ピッチ形) わん曲材 (両方向)	はり	
わん曲アーチ材	柱・はり	

図 I 構造用大断面集成材の部材形状

### 3. 構造用大断面集成材を利用した架構形式

製造される集成材の色々な部材形状を組み合わせて構成される架構の形式は大きく次の4種類に分類されます。

#### ①柱・梁構造（2方向ブレース構造）

柱と梁の組み合わせによる架構形式です。鉄骨造と異なり柱・梁の接合部はヒンジとして取り扱い、鉛直力は梁から柱、基礎・地盤へ伝達させ、水平力に対しては筋かいや耐力壁に負担させます。又、水平構面を確保するために屋根面や床面に火打梁や水平トラスを設けるか、構造用合板などを釘着し水平ダイヤフラムを構成させます。

#### ②トラス構造（1方向ブレース構造）

通直材を組み合わせて大空間を得る架構形式で、2ヒンジや3ヒンジトラスアーチによる構造です。鉛直力とスパン方向の水平力に対してはトラスフレームに負担させ、桁行き方向の水平力に対してはブレース構造によって負担させるのが一般的です。

#### ③アーチ（フレーム）構造

アーチ構造は、集成材による大空間架構として最も実例の多い架構形式です。2ヒンジや3ヒンジのチュダーアーチ構造が一般的で、特に3ヒンジトラスアーチ構造による架構形式が最も実績が多い。単純明解な架構形式で構造計算が簡単であり、建方工事の容易さなどから巾広く利用されています。

水平力に対する処理は鉄骨造と同様に、スパン方向の水平力に対してはアーチフレームに負担させ、桁行き方向の水平力はブレース構造等によって負担させるのが一般的です。

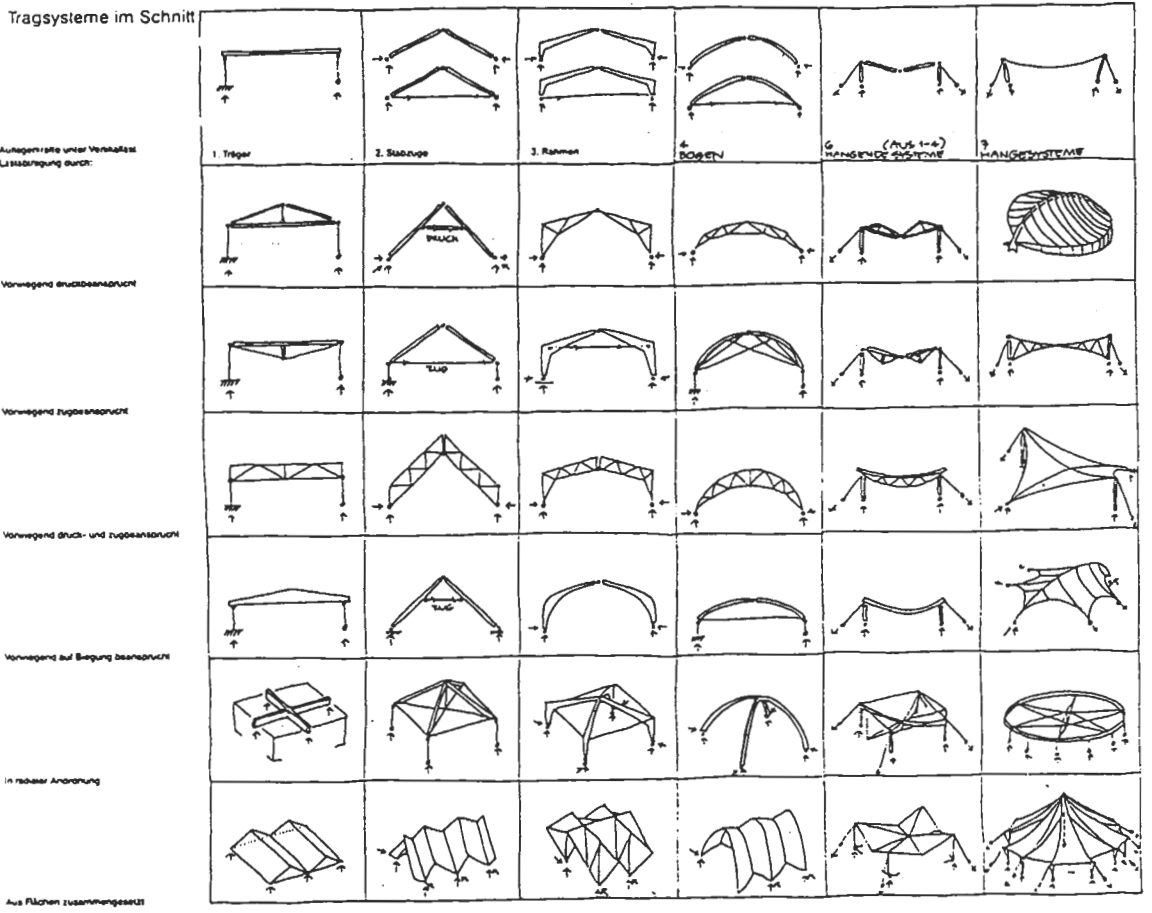
#### ④立体フレーム（トラス）構造

構造用集成材が軽量でしかも軸圧縮力に優れるという特性を生かし、建築物の外周部より上部に築き上げてゆく工法で、通直材を使用しピン接合により組み合わせ大空間を得る立体トラス構造やわん曲材を使用したラメラドーム等があります。構成する部材の寸法形状やフレームの分割方法及び接合をピンとするか剛とするかなどの検討が必要となります。

構造用集成材を使用した建物について、架構形状、構造形式、接合方法及び部材の形状により分類した代表的な施工事例を紹介する。

架構形状	構造形式	接合方法	部材の形状
平面	フレーム構造	モーメント接合	通直材
立体	トラス構造	ピン接合	円弧材
	ハイブリッド構造		湾曲材

海外に於ける構造形式の分類として図Ⅱはドイツにおける集成材架構形式分類例を示した。

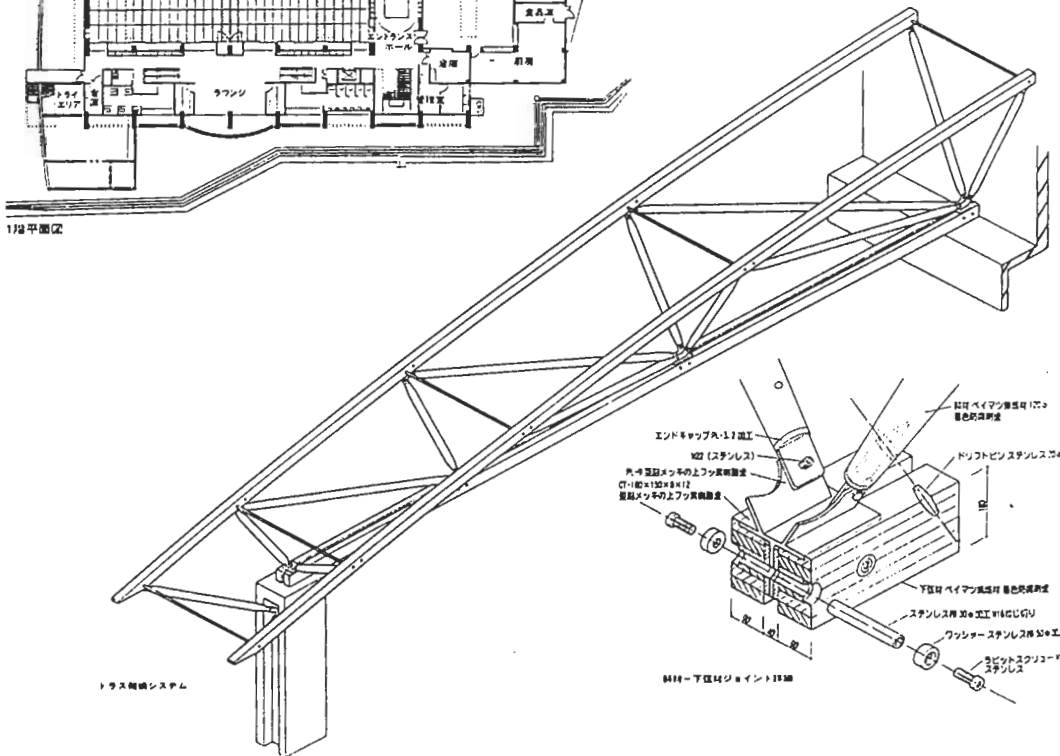
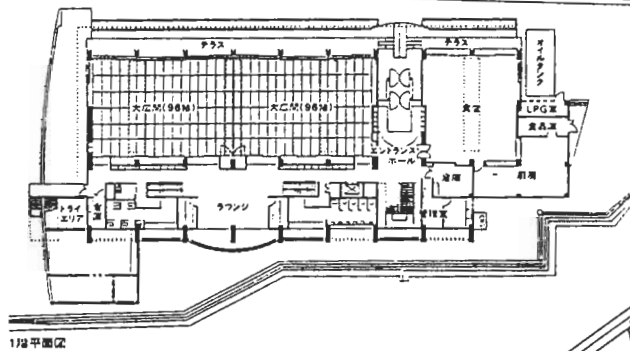
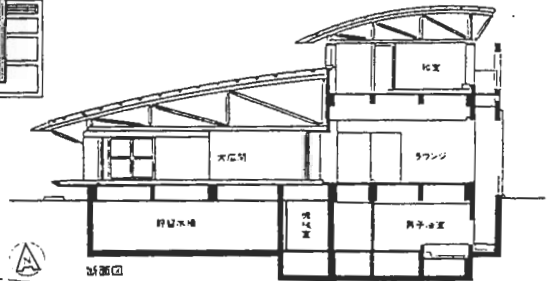
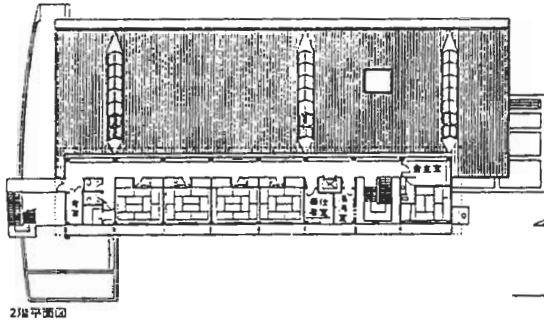


図Ⅱ 西独における集成材の利用した架構形式例



施工事例 2

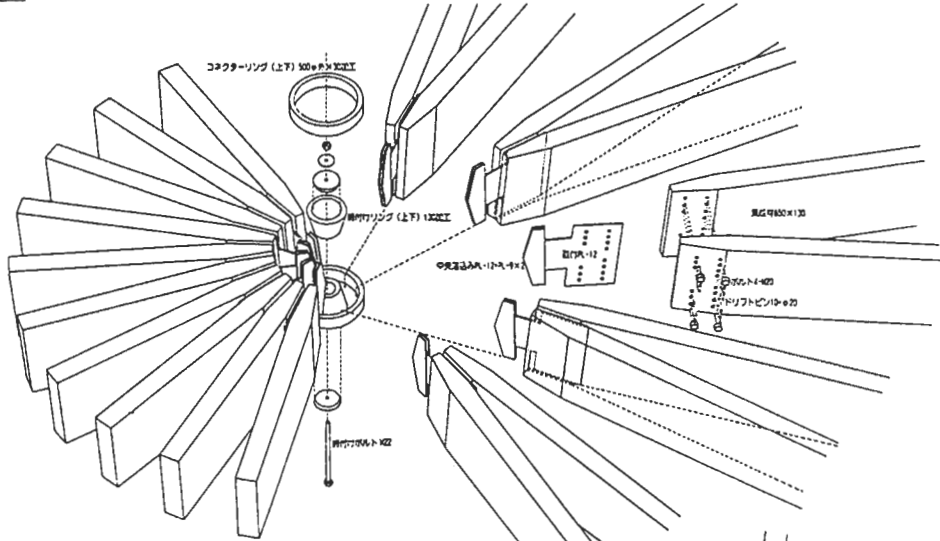
架構の形状 平面	構造形式 トラス構造	主要な接合法 ピン接合	部材の形状 通直材(丸)
物件名	神慈秀明会 黄島道場		樹種 米松
設計	栗生総合計画事務所	構造設計	木村俊彦構造設計事務所
概要	建築面積：956㎡ 延床面積：1679㎡		



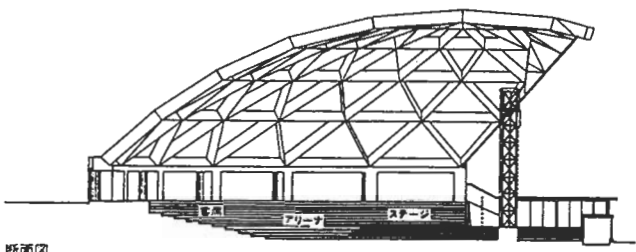
日経アーキテクチャー 1991年9月30日号、新建築臨時増刊「木の空間」

施工事例 3

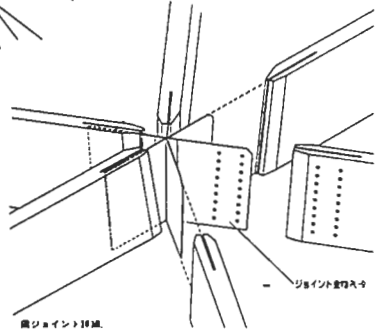
架構の形状 立体	構造形式 フレーム構造	主要な接合法 モーメント接合	部材の形状 通直材
物件名	瀬戸大橋'88・四国「イベントプラザ」		樹種 米松
設計	木島安史+YAS都市研究所	構造設計	木村俊彦構造設計事務所
概要	建築面積：1216㎡ 延床面積：1216㎡		



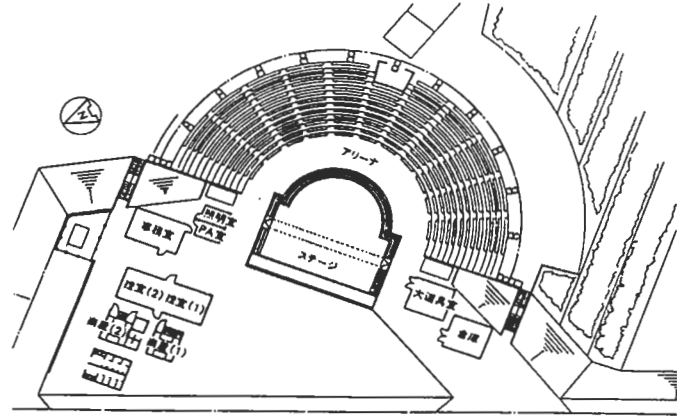
屋根頂部ジョイント詳細



断面図



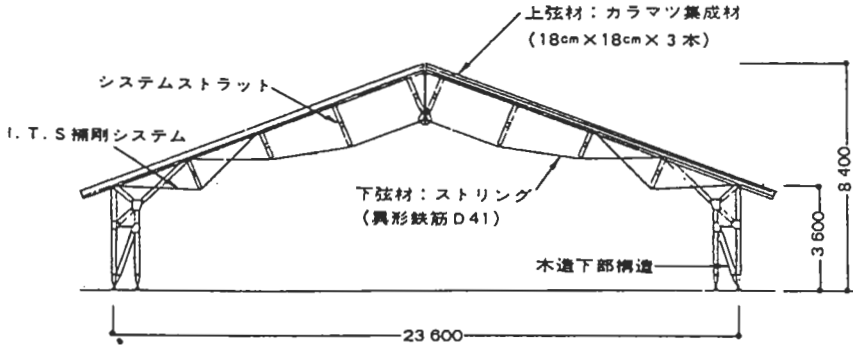
側ジョイント詳細



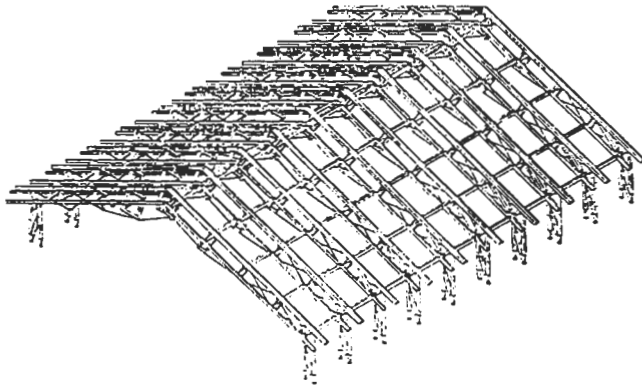
日経アーキテクチャー 1988年4月18日号、新建築臨時増刊「木の空間」

施工事例 4

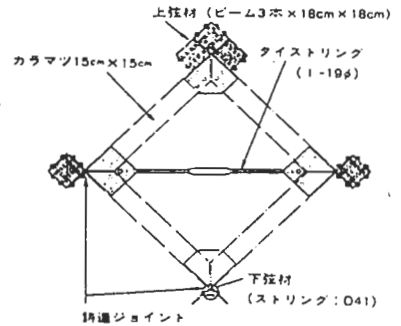
架構の形状 平面	構造形式 ハイブリッド構造	主要な接合法 ピン接合	部材の形状 通直材
物件名	附馬牛中学校体育館	樹種	米松
設計	カクタ建築設計事務所	構造設計	T. I. S. & PARTNERS
概要	建築面積：907.8㎡ 延床面積：806㎡		



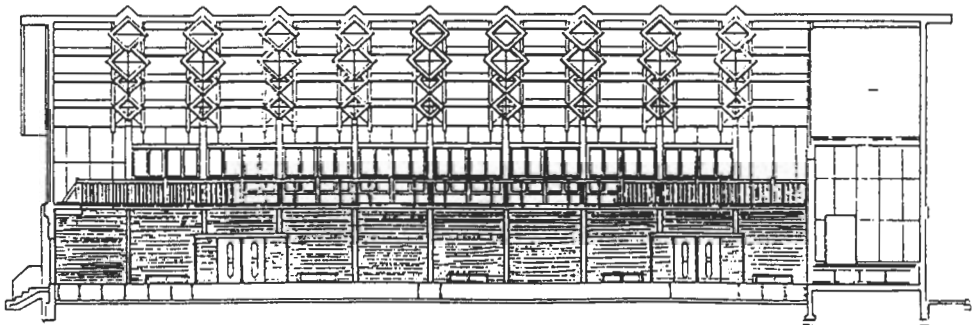
架構立面図



架構アイソメ図

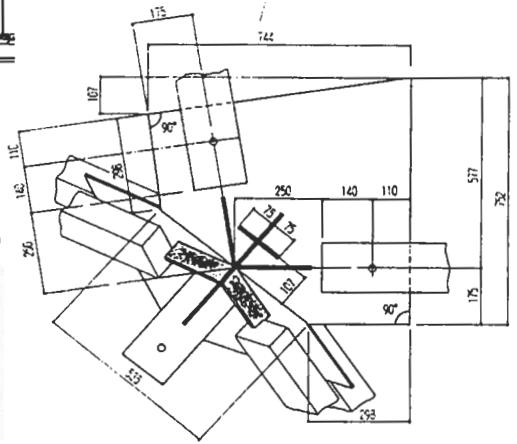
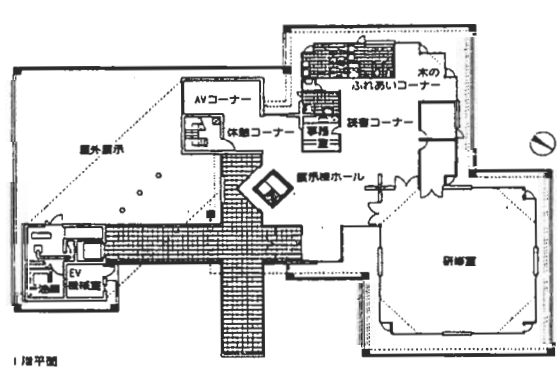
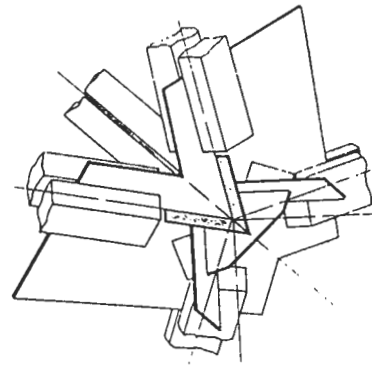
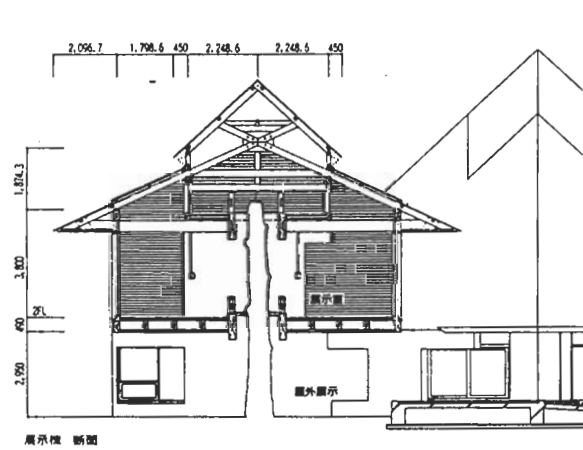
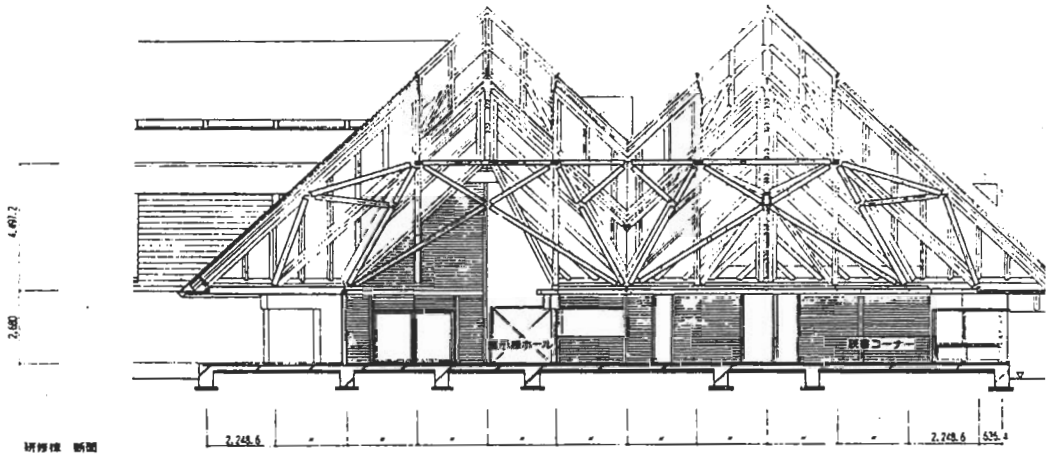


システムストラット部材詳細図



施工事例 5

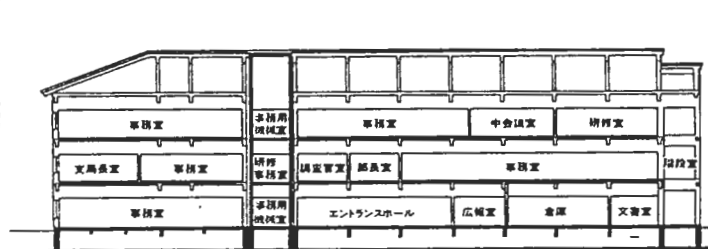
架構の形状	構造形式	主要な接合法	部材の形状
立体	トラス構造	ピン接合	通直材
物件名	愛媛県林業試験場展示館		樹種 杉
設計	伊藤邦明都市・建築研究所	構造設計	青木繁研究室
概要	建築面積：661.29㎡ 延床面積：655㎡		



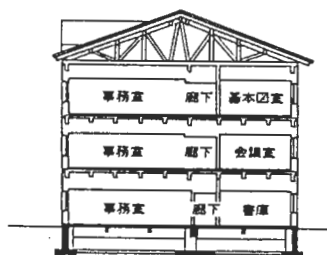


施工事例 7

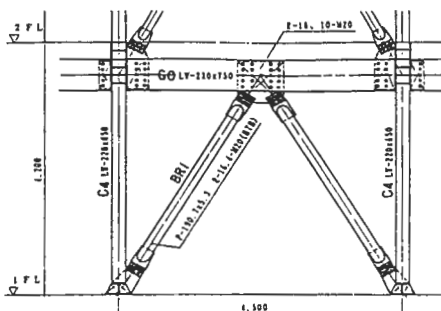
架構の形状 平面	構造形式 門型ラーメン構造	主要な接合法 モーメント接合	部材の形状 通直材
物件名	帯広営林支局庁舎	樹種	とど松
設計	石本建築事務所	構造設計	石本建築事務所
概要	建築面積：1460.8㎡ 延床面積：4045.37㎡		



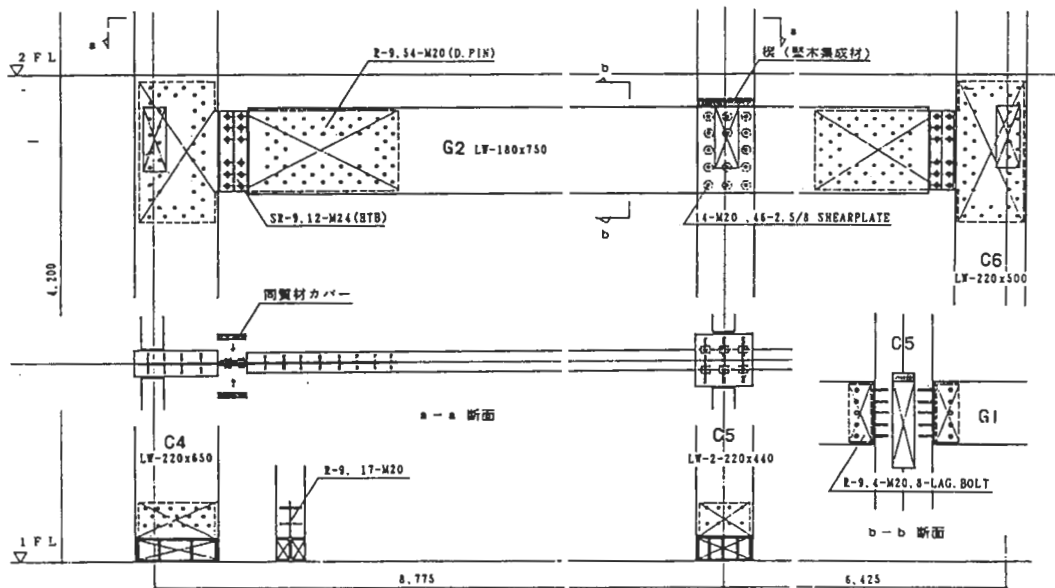
b-b断面図(1/500)



a-a断面図



筋かい部詳細図

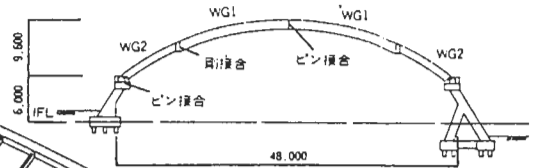
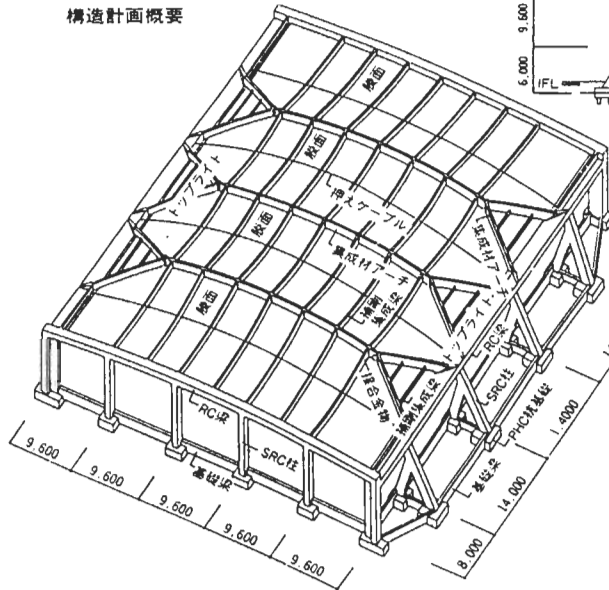


建築と社会 1992年7月号、日経アーキテクチャー 1991年9月2日号

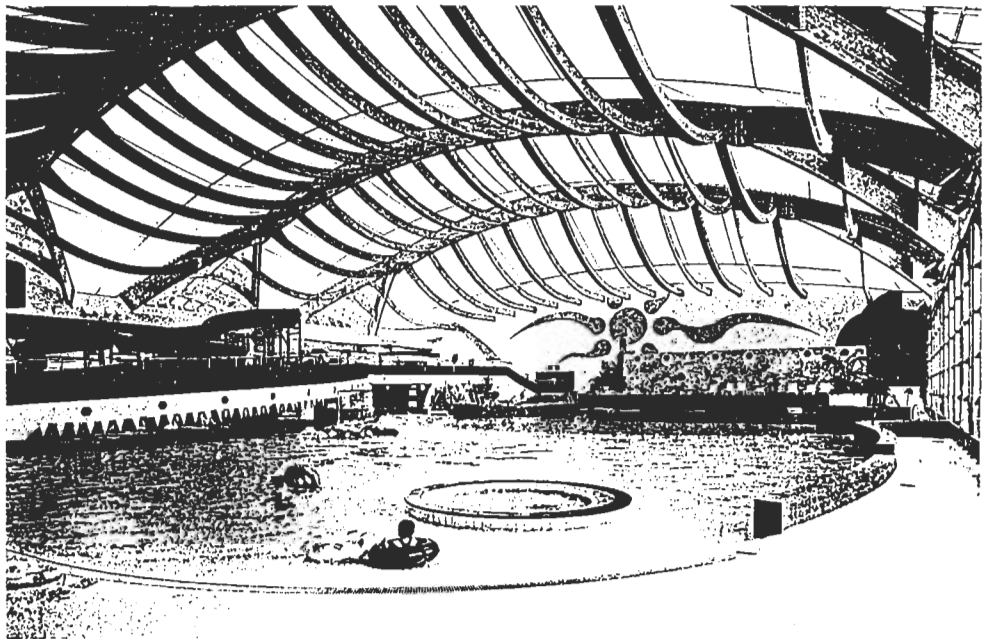
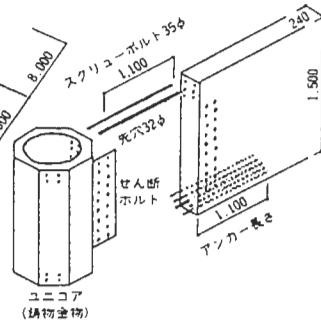
施工事例 8

架構の形状	構造形式	主要な接合法	部材の形状
平面	2ヒンジアーチ構造	モーメント接合	円弧材
物件名	洞爺サンパレスプレイゾーン棟		樹種 米松
設計	清水建設一級建築士事務所	構造設計	清水建設一級建築士事務所
概要	建築面積：2871m <sup>2</sup> 延床面積：2992m <sup>2</sup>		

構造計画概要

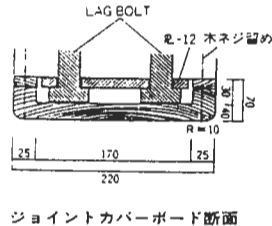
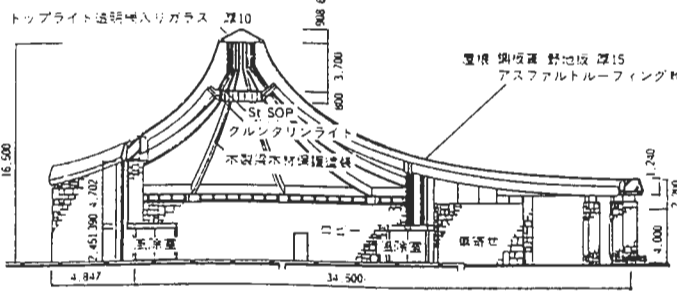
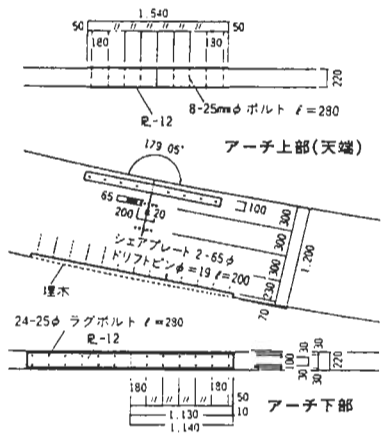
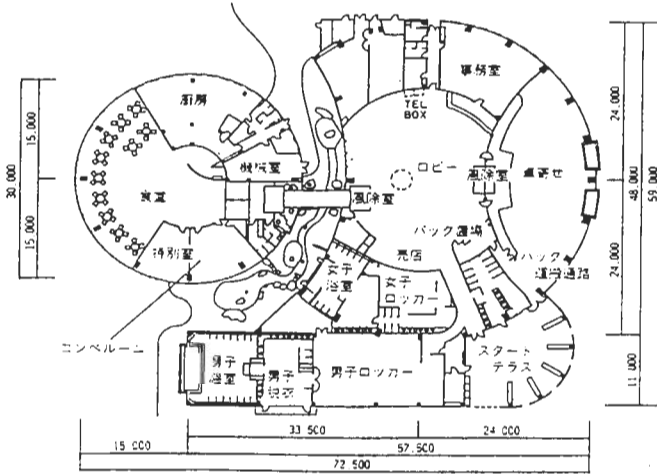
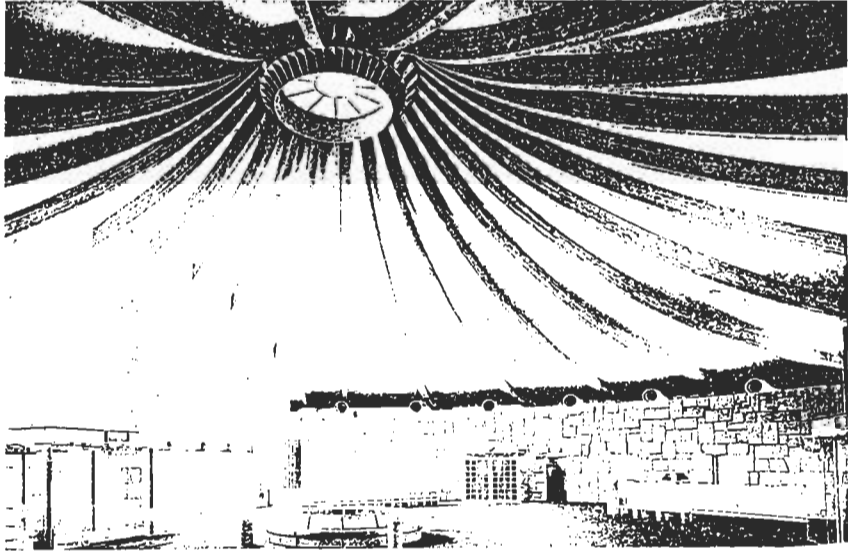


アーチ方向断面



施工事例 9

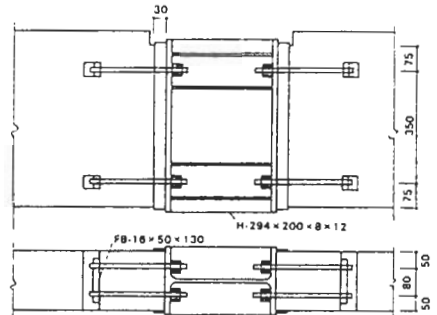
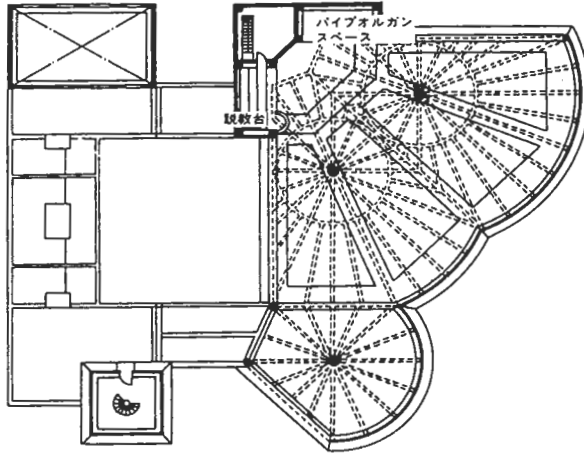
架構の形状	構造形式	主要な接合法	部材の形状
立体	フレーム構造	モーメント接合	円弧材
物件名	21世紀クラブ 富岡ゴルフコースクラブハウス		樹種 米松
設計	大成建設一級建築士事務所	構造設計	大成建設一級建築士事務所
概要	建築面積：3082m <sup>2</sup> 延床面積：2662m <sup>2</sup>		



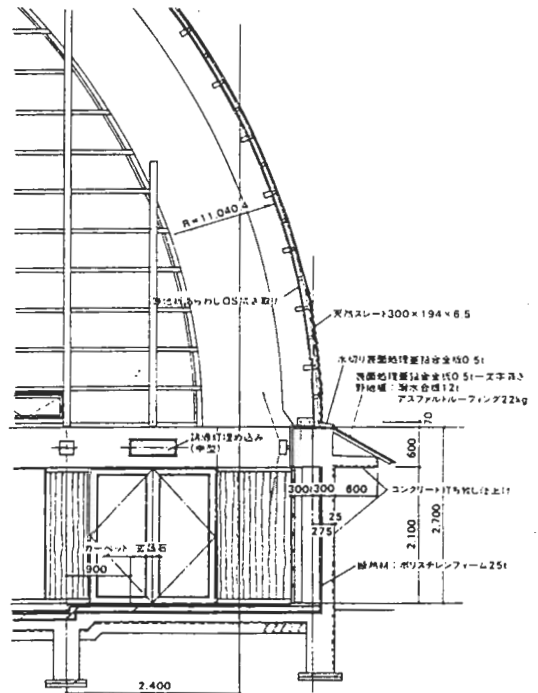
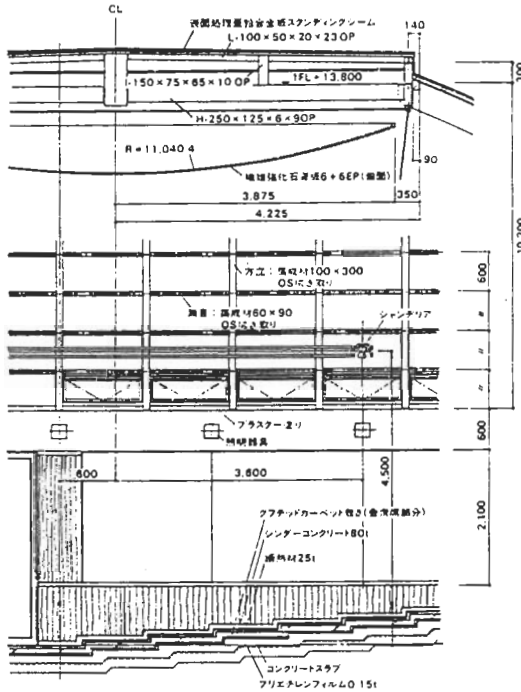
ジョイントカバーボード断面

施工事例 10

架構の形状 立体	構造形式 フレーム構造	主要な接合法 モーメント接合	部材の形状 円弧材
物件名	東京キリスト教学園礼拝堂		樹種 米松
設計	磯崎新アトリエ	構造設計	川口衛構造設計事務所
概要	建築面積：831m <sup>2</sup> 延床面積：859m <sup>2</sup>		



剛接合部分の詳細図(1/20)



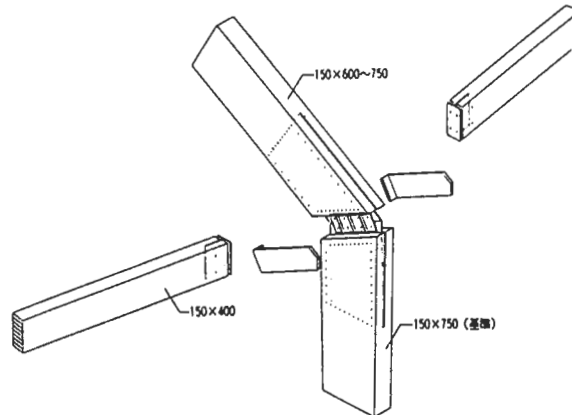
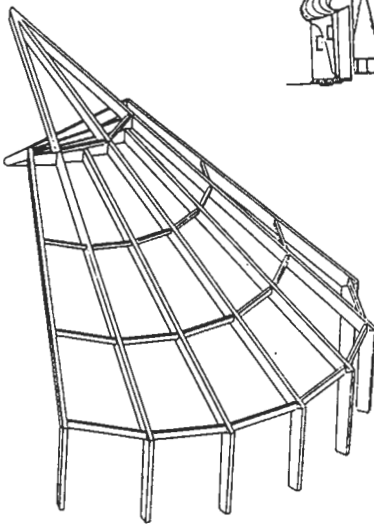
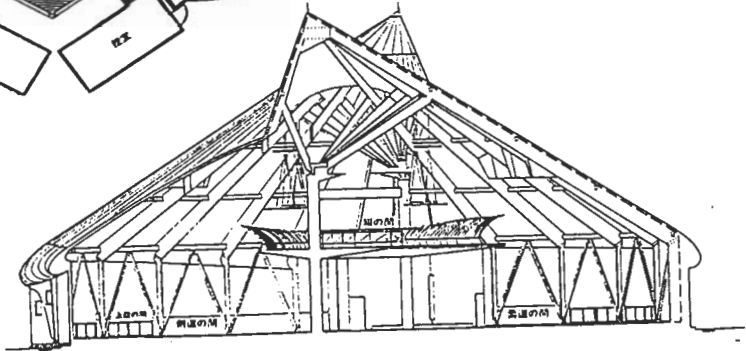
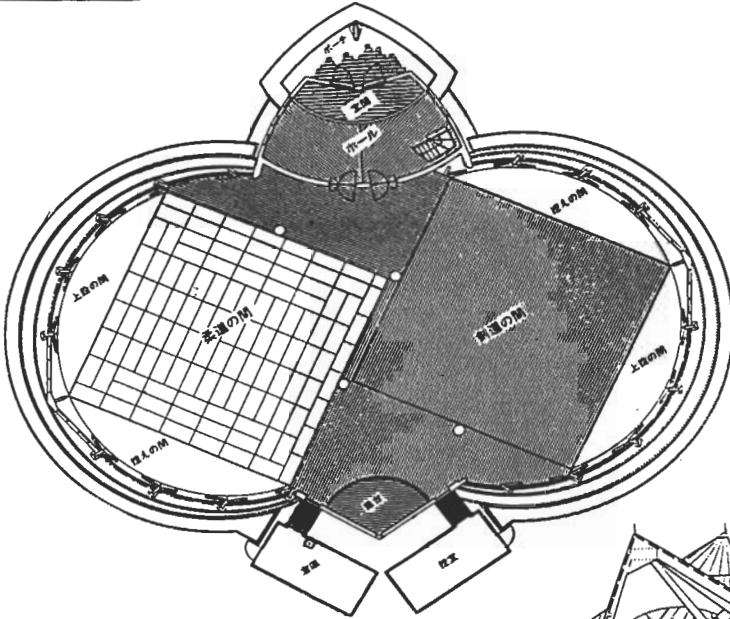
日経アーキテクチャー 1990年2月5日号





施工事例 1 3

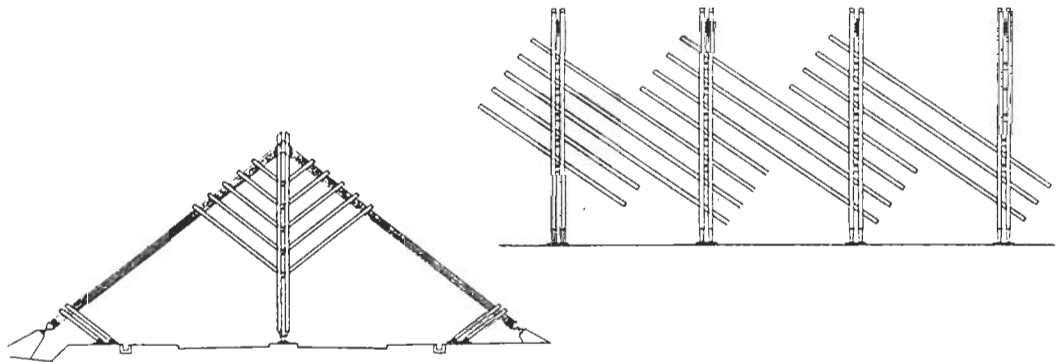
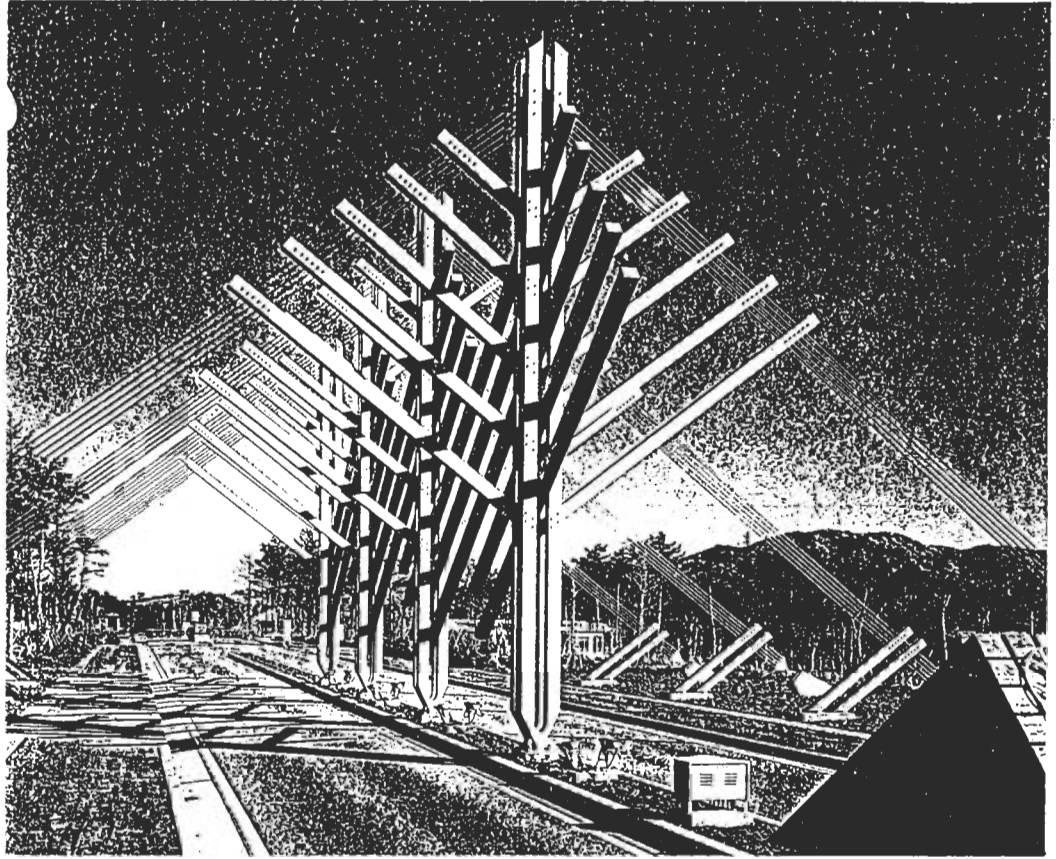
架構の形状	構造形式	主要な部材接合法	部材の形状
立体	フレーム構造	モーメント接合	通直材
物件名	寒川町“飛翔の館”		樹種 米松
設計	多田善明建築設計事務所	構造設計	オオタニ構造設計事務所
概要	建築面積：794.48㎡ 延床面積865.31㎡		



新建築臨時増刊「木の空間」

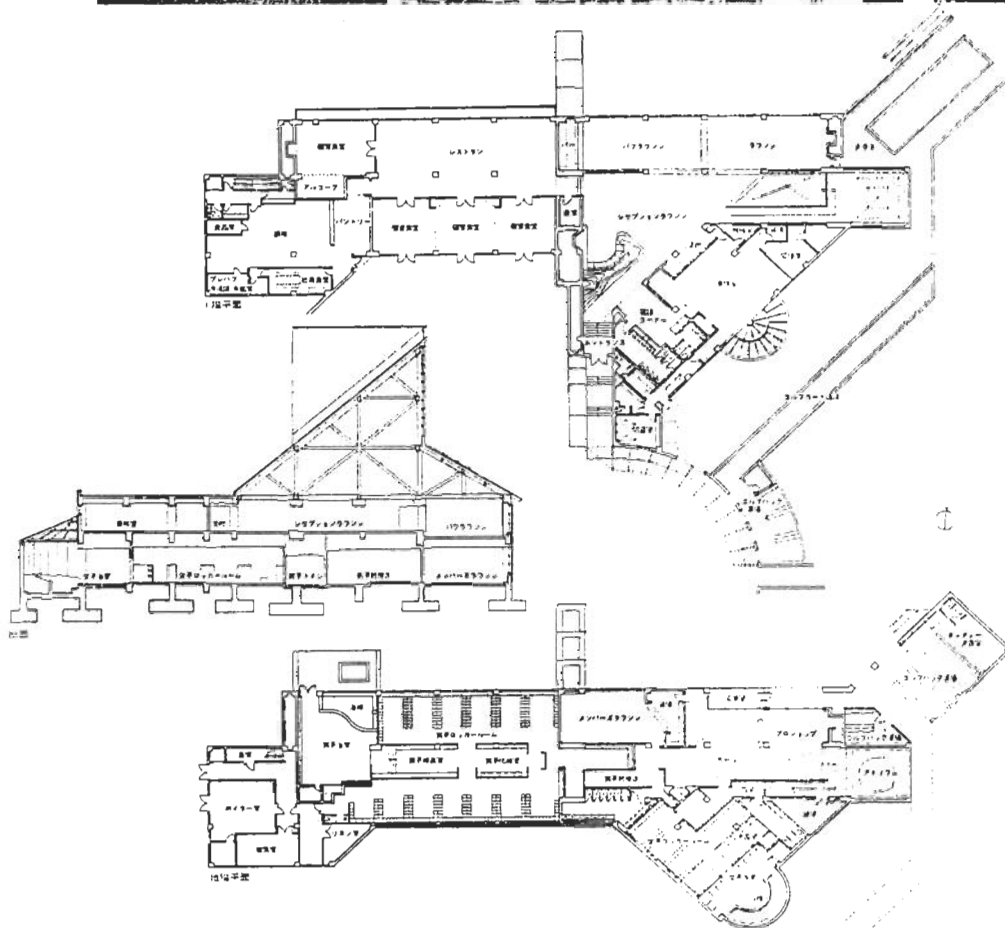
施工事例 14

架構の形状 立体	構造形式 ラーメン構造	主要な部材接合法 モーメント接合	部材の形状 通直材
物件名	清里の森シンボルゲート	樹種	から松
設計	テイクナイン計画設計事務所	構造設計	T. I. S. & PARTNERS
概要			



施工事例 15

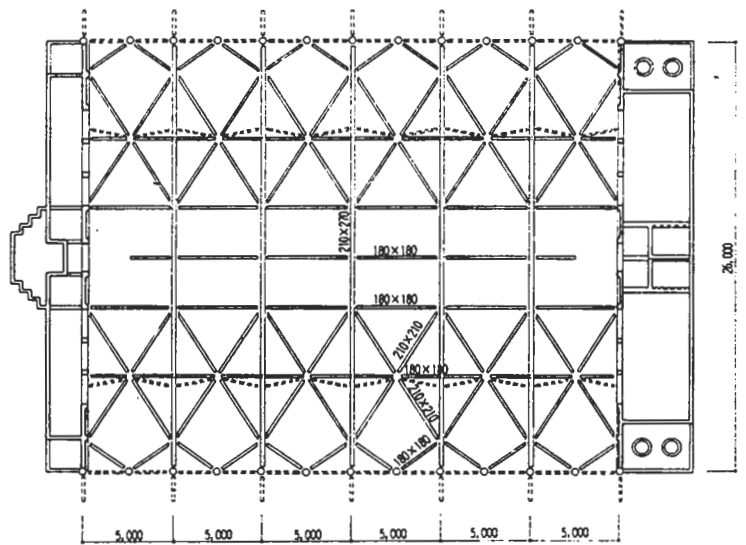
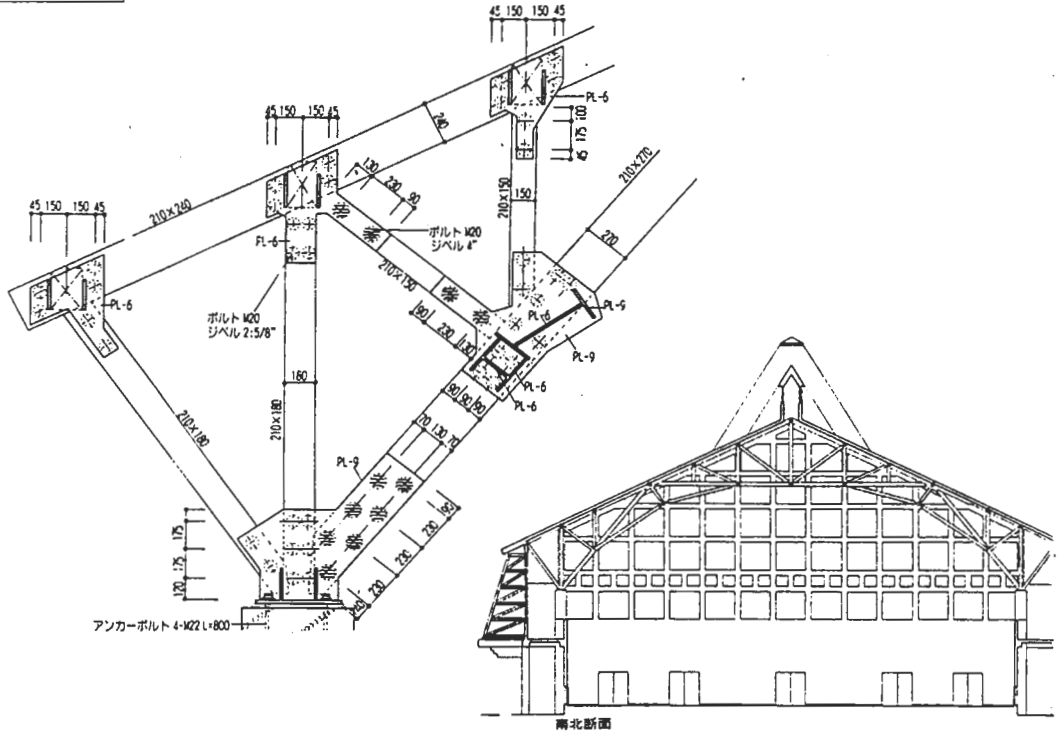
架構の形状 平面	構造形式 トラス構造	主要な部材接合法 ピン接合	部材の形状 通直材
物件名	夏泊ゴルフリンクス		樹種 米松
設計	アルプ設計室	構造設計	A R C 構造研究所
概要	建築面積 : 1859.82㎡ 延床面積 : 3578.85㎡		



新建築 1993年10月号

施工事例 16

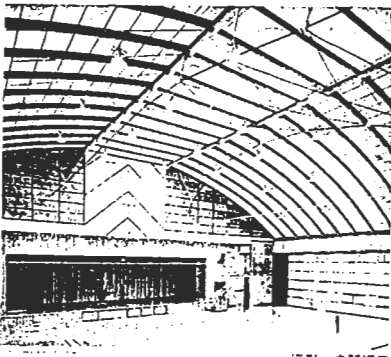
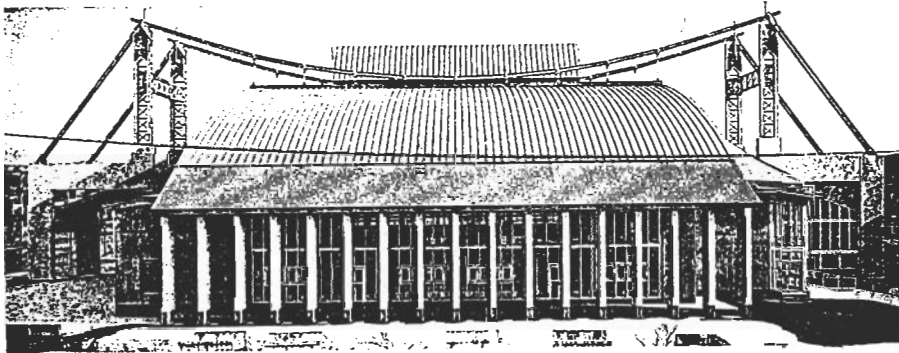
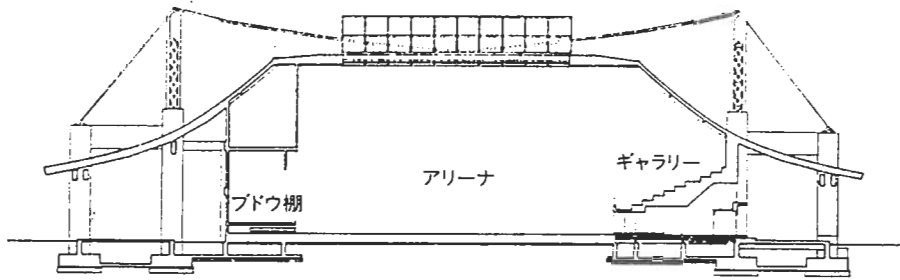
架構の形状 立体	構造形式 トラス構造	主要な部材接合法 ピン接合	部材の形状 通直材
物件名 龍神村民体育館	樹種 杉		
設計 渡辺豊和建築工房	構造設計 川崎建築構造研究所		
概要 建築面積：1142.19㎡ 延床面積：1227.72㎡			



新建築臨時増刊「木の空間」

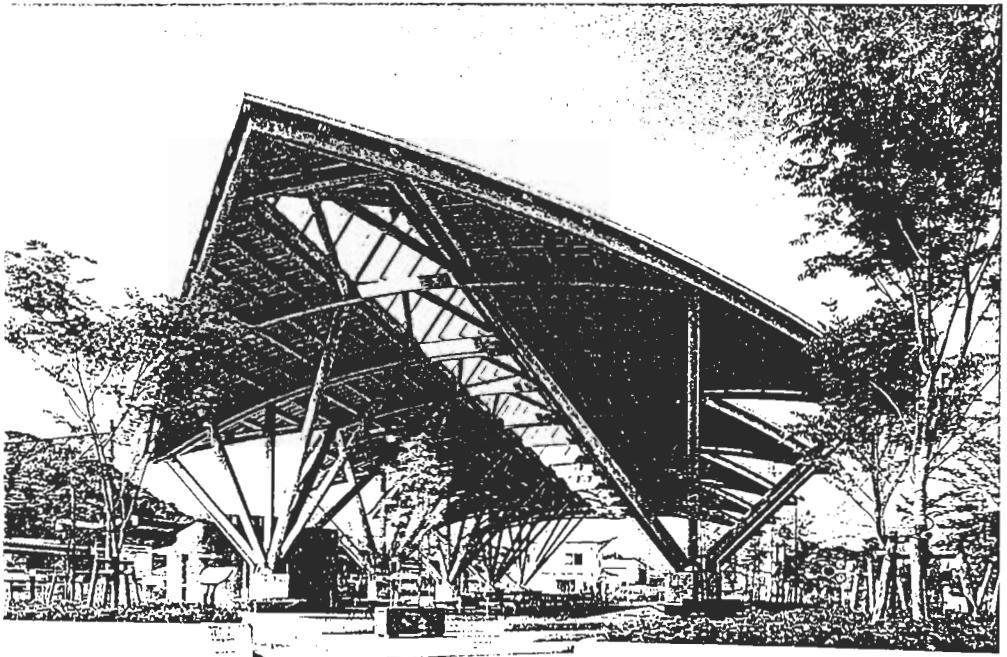
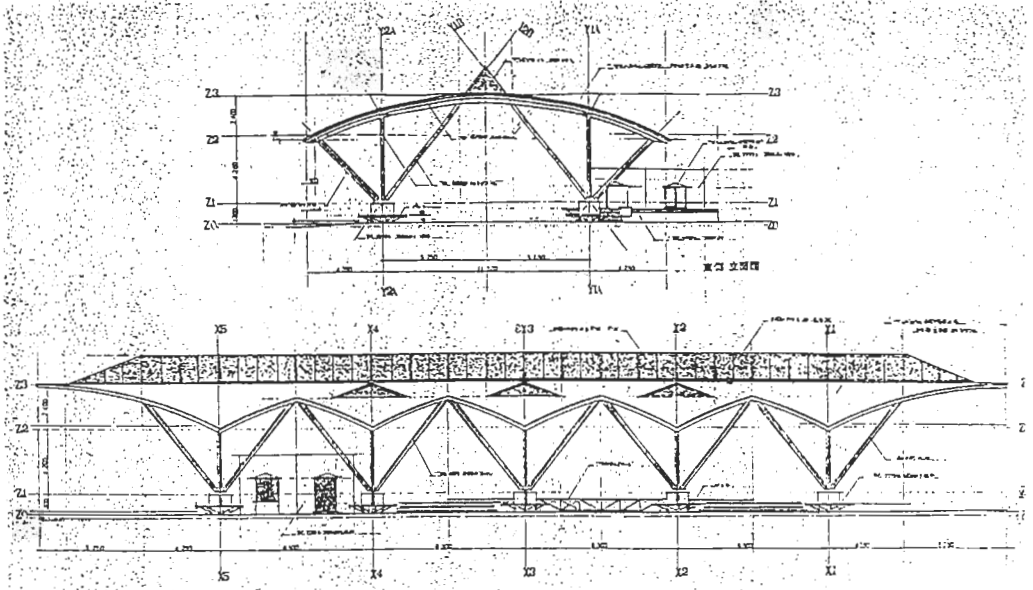
施工事例 17

架構の形状 平面	構造形式 吊り構造	主要な部材接合法 ピン接合	部材の形状 円弧材
物件名	遠野中学校第2体育館	樹種	米松
設計	佐々木建築設計事務所	構造設計	斉藤公男 + 赤堀正和
概要	建築面積：2031.8㎡ 延床面積：1973.1㎡		



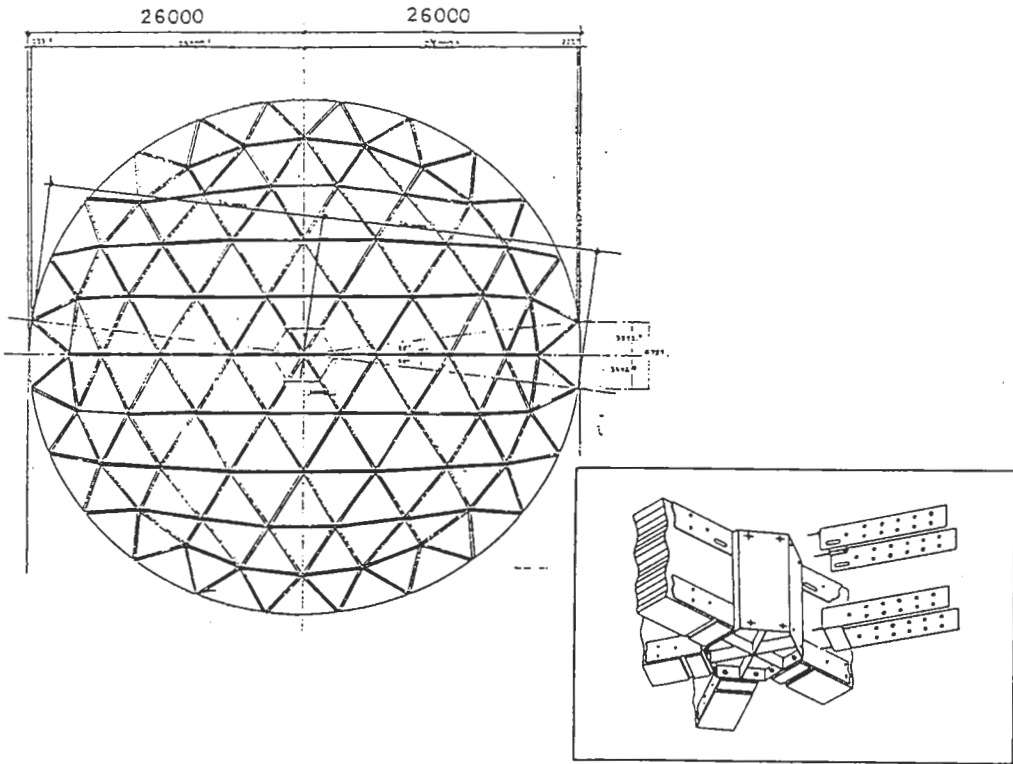
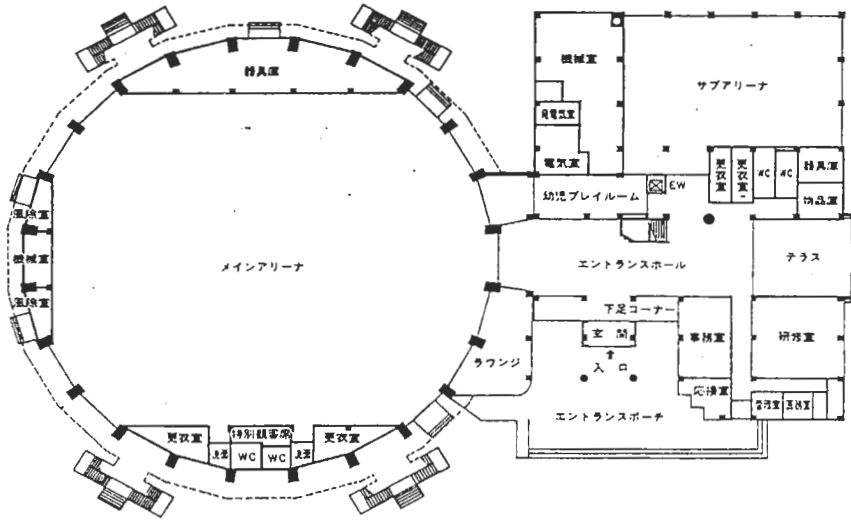
施工事例 18

架構の形状 立体	構造形式 トラス構造	主要な部材接合法 ピン接合	部材の形状 通直材
物件名	水俣駅前広場“ふれあい館”		樹種
設計	ばん設計小材事務所	構造設計	米松
概要			



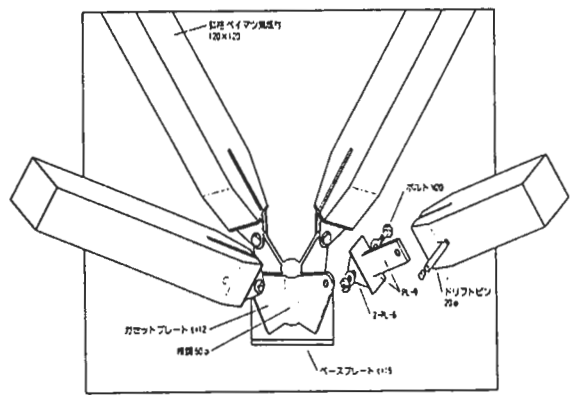
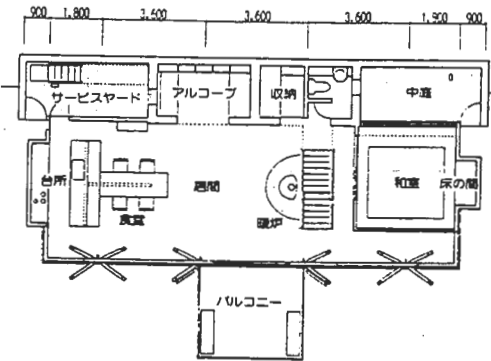
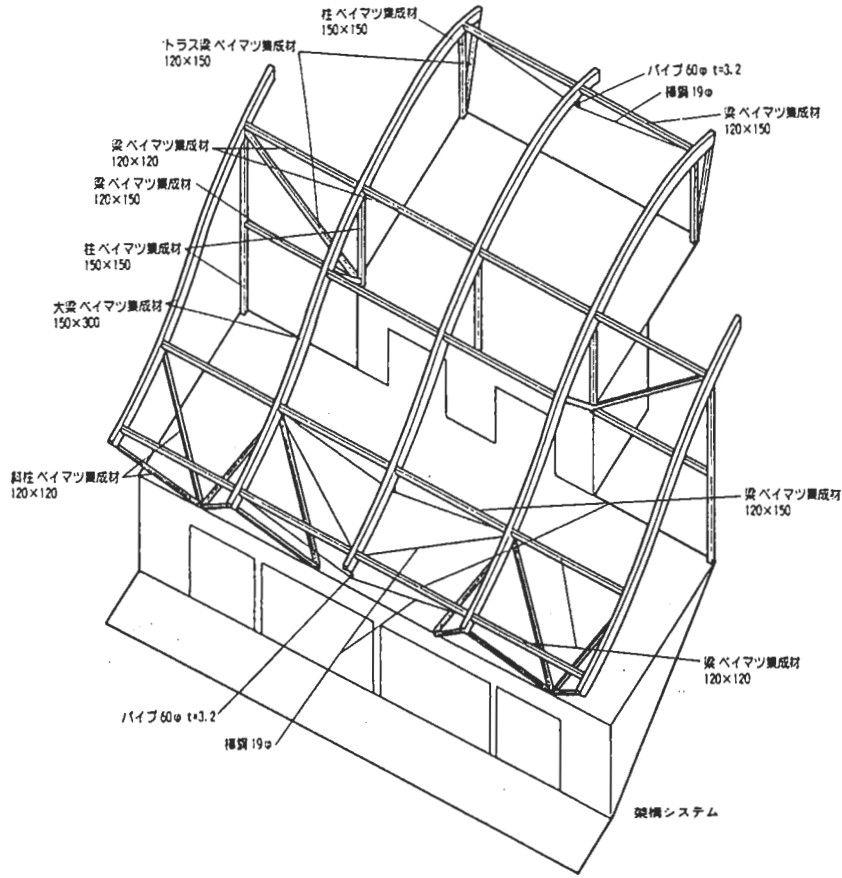
施工事例 19

架構の形状 立体	構造形式 ラメラドーム構造	主要な部材接合法 モーメント接合	部材の形状 円弧材
物件名	サンドーム音更	樹種	米松
設計	株式会社 山下設計	構造設計	株式会社 山下設計
概要	建築面積：4339.82㎡ 延床面積：4999.4㎡		



施工事例 20

架構の形状	構造形式	主要な部材接合法	部材の形状
平面	フレーム構造	ピン接合	湾曲材+通直材
物件名	あじろ - I 曲屋根		樹種 米松
設計	難波和彦+界工作舎	構造設計	佐々木睦朗計画研究所
概要	建築面積：151.47㎡ 延床面積：201.04㎡		



新建築臨時増刊「木の空間」

## 背景

本建物は、秋田県における木材産業の生産構造を、資源立地型から技術立地型へ転換させるための戦略拠点として設置される、秋田県木材高度加工研究所（仮称）の中心施設として計画された。

研究所内の施設としては、本建物の東側に木造平屋建ての本館研修棟、西側に鉄骨造平屋建ての材料加工棟及び性能試験棟がそれぞれ配置されている。

本建物は、延べ面積3,743.77㎡の3階建混合構造建築物で、1階及び2階は鉄筋コンクリート構造、3階は大断面集成材を用いた木構造であり、また建築両端はRC構造の階段室を含むコア部分で区画されている。

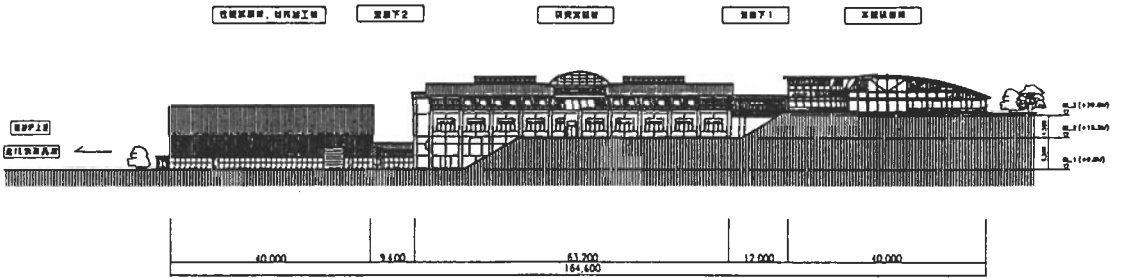
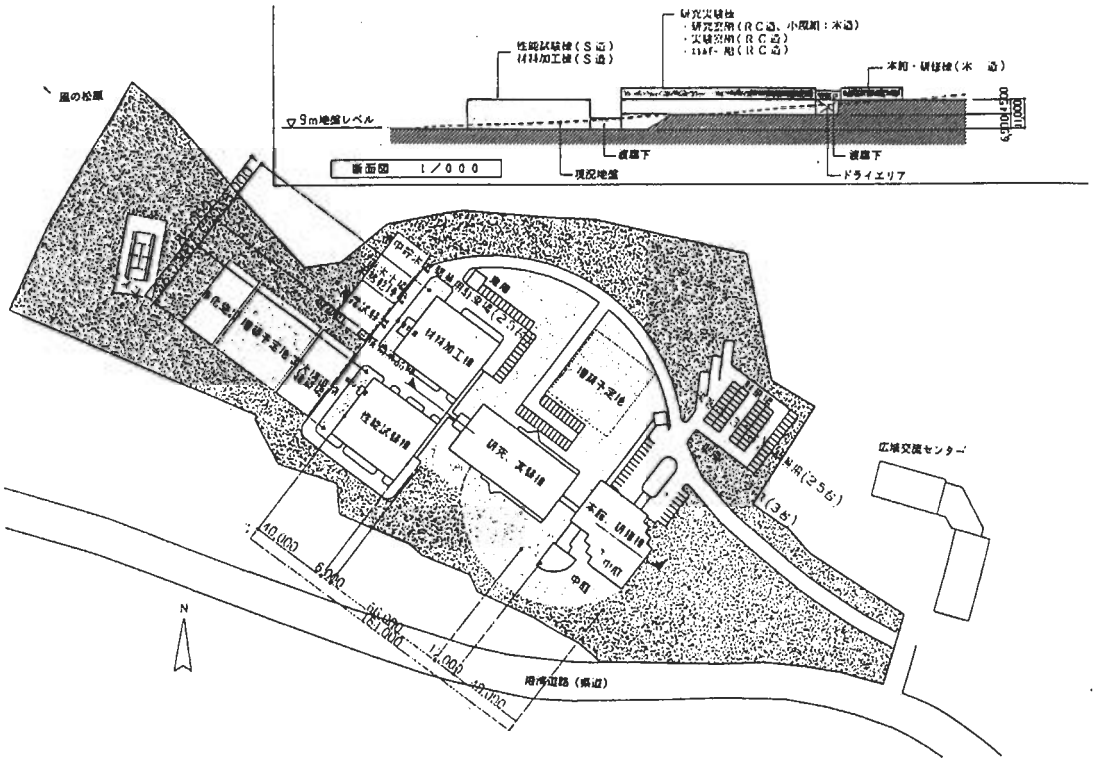
1階には機械室が、2・3階に実験・研究施設を配した計画となっているが、敷地の高低差を利用した計画となっているため、3階部分が本館研修棟と同じレベルに、1階部分が材料加工棟及び性能試験棟と同じレベルにあって、それぞれ渡廊下で接続されている。また2階部分の約2/3は地上面において直接外部へ避難できる計画となっている。

本建物は、建築基準法第21条、第26条、同施行令第46条第2項、第114条第3項及び第126条の3の規定に抵触することから（財）日本建築センターの防災性能評定・木構造評定を受け、建築基準法第38条の規定に基づく建設大臣認定を受けている。

## 1. 建築物の概要

### 1.1 建物概要

建物名称	秋田県木材高度加工研究所（仮称）
建築場所	秋田県能代市字海詠坂地内
地域地区	都市計画区域内建築基準法第22条指定地区 飛砂防備保安林
	建蔽率 70% 容積率 400%
防火地域	無指定
主要用途	研究施設
敷地面積	63,000.00㎡
建築面積	1,808.71㎡他
延床面積	3,743.77㎡他
階数	地上3階
軒高	15.46m
最高高さ	19.61m
構造種別	1、2階 RC造（ラーメン構造＋耐震壁） 3階 木造（ラーメン構造＋ブレース）
建築主	秋田県



設 計 梓設計・西方設計工房 設計JV  
施 工 フジタ・大森・大高建設共同企業体

## 1.2 建築計画概要

本施設を中心建物である研究実験棟は、研究者の研究発想の場という“柔”の空間と研究に不可欠な実験の場という“剛”の空間を併せもっており、その研究主題である「杉」を始めとした木質材の適材適所な利用を積極的に提案する施設として計画されている。本建物は機械室及び実験室のある1、2階はRC造のラーメン構造、研究室のある3階は構造用大断面集成材を用いたラーメン構造という混合構造の建築物であり、規定の高さ等を超え、防火壁による区画、小屋裏隔離を持たず、一部500㎡を超える防煙区画となっていることから、建物としての構造上の安全性及び火災時における防火防災上・避難上の安全性及び火災時における防火防災上・避難上の安全性の確保、さらに施工・保守管理、消防活動など様々な面からの配慮を必要としている。特に3階の研究室部分の木造架構は燃え代設計や接合部の防火措置の他、建物全体又は敷地全体としての加害性・被害性の少ない安全性の高い施設を目指している。

外観はコンクリートの素地色を生かした打放しアクリルシリコンクリア艶消し塗りの1、2階部分のマスに対し、1歩セットバックした木製縦羽目板の外壁とペア硝子を用いた木製断熱サッシュをもつ3階部分の繊細なコントラストに加え、耐候性の高いステンレスS16鋼板を用いた溶接工法による屋根で覆われることになる。木造部分の外部に面した壁は高気密・高断熱を図り、断熱材のグラスウールを通気層・透湿防水シート・防湿シート等で挟み木軸の保護・防湿・防露対策をしている。内装は含浸性薬剤処理による難燃天然木材(杉板)を中心に構成して木質材の表現を積極的に行い、床のタイルカーペットで吸音を図っている。

避難計画として、二方向避難を確実に行えるよう建物の両端にRC造の階段室を設けるとともに、敷地の高低差により直接外部に避難できる1、2階に対し、3階部分には補助的な避難施設として避難動線とは別に建物の長手方向両面にテラスを設け、安全性の向上を目指している。また、昭和60年6月『新・建築防災計画指針』注1)に基づいて避難設計を行い、安全性の確認を行っている。

## 2. 構造設計概要

### 2.1 構造計画概要

本建物は、1階、2階、3階床を鉄筋コンクリート造、3階の上屋根骨組を木造とした混構造である。

1階は21.2m×28.6m、2階及び3階は63.2m×28.6mの矩形平面で、階高は1階より6.5m、5.0m、3.4～5.6mである。

骨組形式は1、2階の鉄筋コンクリート造階が耐力壁併用のラーメン構造、3階の木造階は梁間方向を湾曲材と通直材を組み合わせたラーメン構造、桁方向は通直材によるブレース、ラチス梁併用のラーメン構造とした。木造部分の使用材料は、主要構造部を構成する柱・梁及び筋かいをJAS 1級大断面集成材とし、胴縁・母屋・間



柱等の二次部材は普通構造材を用いた。

柱及び梁の接合に使用する鋼板及びボルトは、SS400とし、防火上有効な接合として木材内部に埋め込む方法を採用した。

本建物は、木造と鉄筋コンクリート造を立面的に混用した構造物のため、地震荷重の分布 ( $A_i$ ) と剛性率 ( $F_s$ ) の考え方をテーマとして、計画及び設計を行った。

## 2.2 地盤及び基礎構造

本建敷地は能代市より南南西に位置し、北方に米代川河口が広がり、西方に日本海が面している。敷地は砂質土を主体とした砂丘地にあり、標高10～20mの比較的緩やかな平坦地形をなしている。地質構造はほぼ南北方向にあり、地層は第四紀更新世の段丘堆積物による砂、礫及び中沢層、笹岡層の砂岩から構成されている。

本建物は、1、2階が鉄筋コンクリート造のため、基礎構造はP、H、C杭を用いた杭基礎とし、GL-13～18m以深に分布するN値50以上の中砂層に支持させた。

## 2.3 構造設計概要

本建物の木造階は混構造という構造特性を考慮して、一次設計は許容応力度設計、二次設計は層間変形角及び保有水平耐力の確認を行った。

木造階の地震層せん断力係数の分布係数 ( $A_i$ ) は、木造階と鉄筋コンクリート造階との建物重量及び剛性の差による形状特性を含めて定めた。

そのため、本設計はモーダルアナリシス及び時刻歴応答解析を行い、 $A_i = 4.0$ とした。

木造階屋根面は、硬質木片セメント板が全面に釘打され、面内剛性が確保されていると仮定した。地震時応力解析及び断面設計は全架構が同一変位する場合と、面内剛性の確保が困難な場合を考慮して、各架構の負担する荷重が個別に作用した場合の検討も行った。

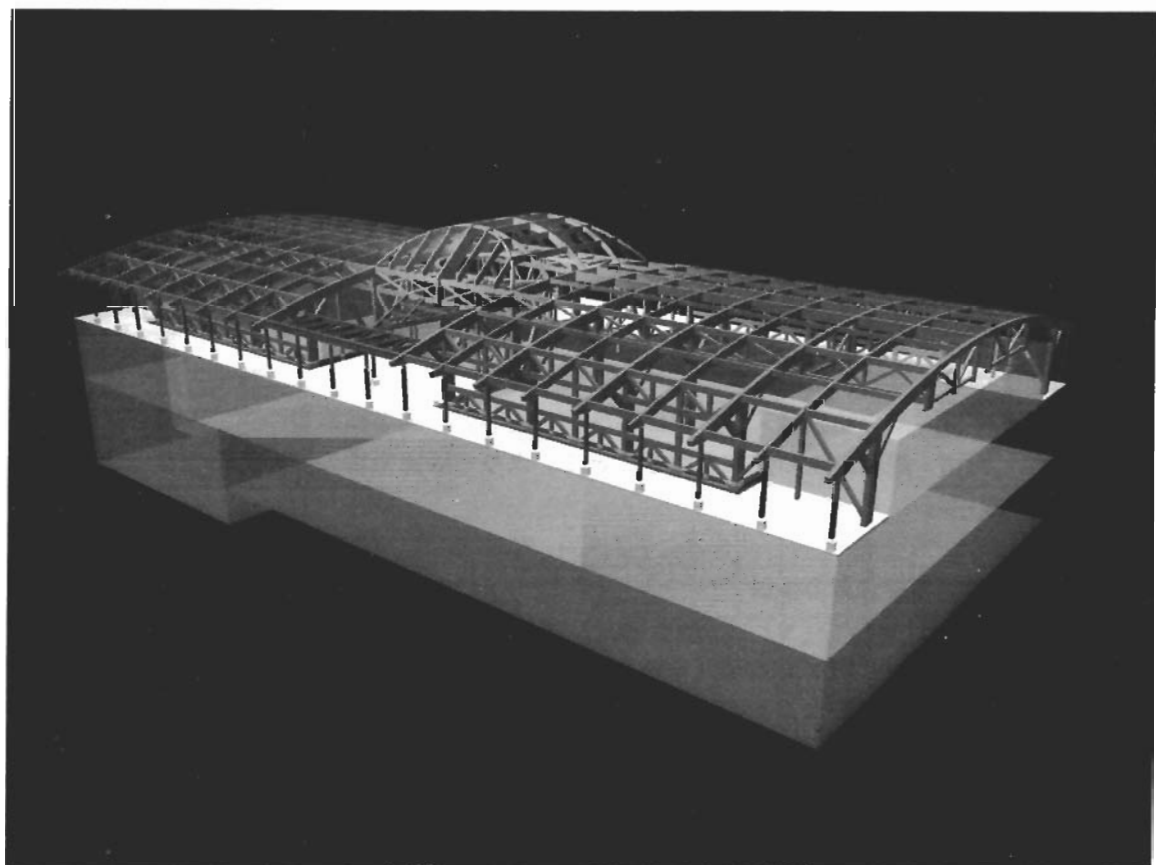
平面形が矩形平面のため、耐震要素を対称に配置することによって偏芯による影響を小さくし、また地震時層間変形角はX方向で1/305、Y方向で1/244となり1/200以下であることを確認した。

大地震時の安全性の確認のために、保有水平耐力の検討を行い、 $Q_u/Q_{un}$ がX方向で1.03、Y方向で1.16となり保有水平耐力が必要保有水平耐力以上であることを確認した。

構造骨組みの防火設計は、建設省告示1902号に準じて木造骨組み火災時の全体倒壊を防止するために、長期荷重応力に対して柱及び梁の表面より25mm欠損した断面に生じる応力度が、短期許容応力を超えないことを確認した。

## 3. 防火設計の概要

1階部分 (RC造) の床面積は建築面積の約1/3で、地下室的な扱いで計画されており、無人の設備機械室が配置されている。



2階部分（RC造）は主として恒温恒湿室、分析機器室等の研究実験室が配置され、その約2/3は地盤面と接しており直接外部へ避難できる計画となっている。また居室と第1次安全区画とを30分耐火性能を持つ、床までの防煙壁により区画し、避難通路にあたる部分の開口は不燃扉としている。

1、2階共に内装は下地・仕上とも不燃材料を使用している。

3階には大部屋の研究スペースとコミュニティラウンジのスペースがあり、その周囲にはテラスが建物長手方向の両面に配置されている。建物の構造は3階床までがRC造であるが、3階部分の主要構造部は大断面集成材による木造で、その両端に階段室、トイレ等が包括されたRC造のコアが配置されている。3階床面積に占める木造部分床面積は998.00㎡であり、両端のRC造コア部分とはコンクリートの壁、床と甲種防火戸で区画されている。大断面集成材による柱、梁等の構造骨組みは建設省告示第1902号二項に準じて燃え代25mm（耐火30分相当）の断面設計とし、接合部は建設省告示第1901号に準じた設計を行っている。室内の壁は難燃薬剤処理天然木材（難燃材料）で仕上げ、屋根架構部分は現しとなっている。

屋根は野地板に厚18mmの硬質木片セメント板（耐火30分担当）を使用し、ステンレス鋼板で葺きあげている。

以上のような安全対策を講じる他、自動火災報知設備・非常放送設備・消火器・消火用具・屋内消火栓設備・非常用照明設備・誘導灯・誘導標識等の防災設備を設置し、感知・報知・避難安全の充実を図ることで、より一層安全性の高い建物となるよう計画している。

#### 4. 火災に対する安全策の検討

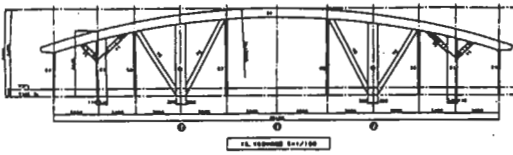
本建物の火災に対する安全性を検討するため、『建築物の総合防火設計法』に提案されている各種の防火性能の評価法等を用いて安全性の確認を行っている。

##### 4.1 外部火災からの防御対策と周辺建物に対する加害性

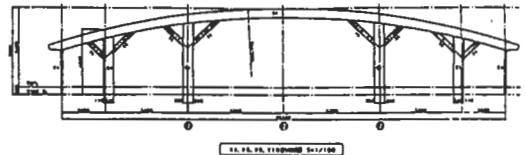
外部火災による飛火・接火による延焼の危険性については、構内の研究施設配置や周辺環境、また本建物の屋根葺材が不燃材料であること等からその恐れは少ないと判断された。外部火災の輻射による延焼も、既存施設の配置及び構造等から危険性は少ない。

加害性については、本建物が火災になった場合を想定し、木材などが着火する恐れのある受熱限界値の1.2W/㎡を超える範囲を求め検討した。その結果、外壁から危険区域までの距離の内側には既存の建物はなく、将来新たな施設の建設も計画されていないことが判明した。

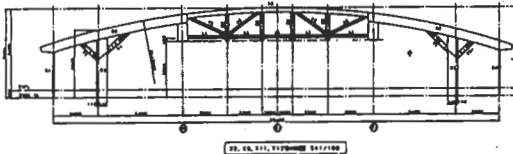
計画敷地は無指定地域であり、以上の検討結果により本建物の火災に関する受害性及び加害性には問題がないことを確認した。



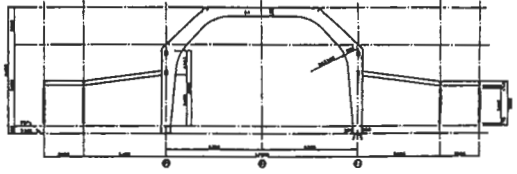
18. 1:100000 8x17/100



19. 1:100000 8x17/100



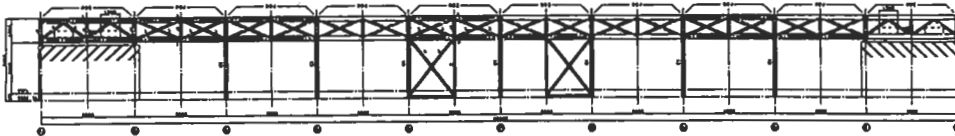
20. 1:100000 8x17/100



21. 1:100000 8x17/100



22. 1:100000 8x17/100



23. 1:100000 8x17/100

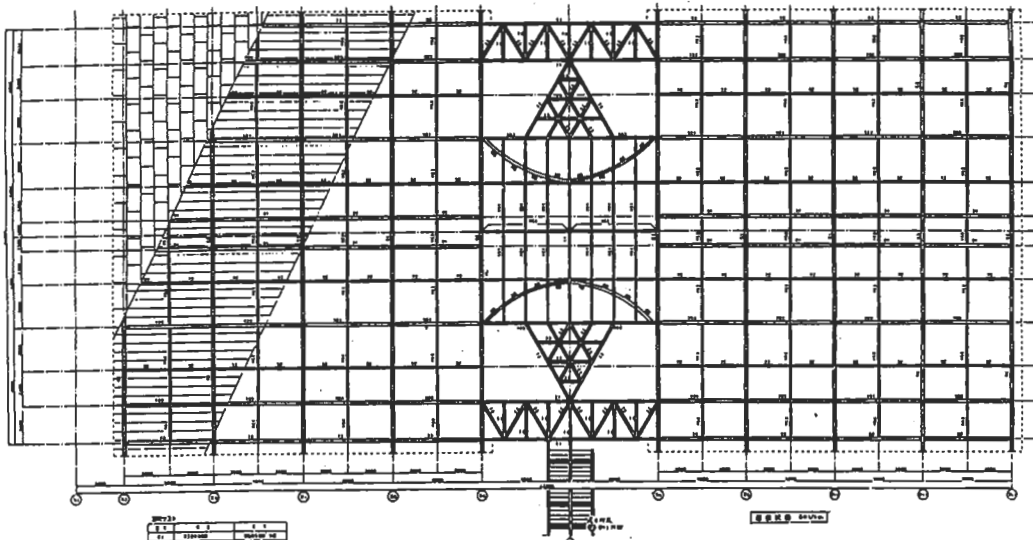
№	С.С.	С.С.
1	100000	100000
2	100000	100000
3	100000	100000
4	100000	100000

№	С.С.	С.С.
1	100000	100000
2	100000	100000
3	100000	100000
4	100000	100000

№	С.С.	С.С.
1	100000	100000
2	100000	100000
3	100000	100000
4	100000	100000

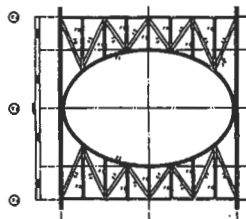
№	С.С.	С.С.
1	100000	100000
2	100000	100000
3	100000	100000
4	100000	100000

№	С.С.	С.С.
1	100000	100000
2	100000	100000
3	100000	100000
4	100000	100000

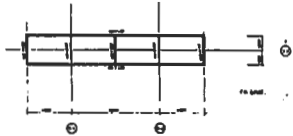


24. 1:100000 8x17/100

№	С.С.	С.С.
1	100000	100000
2	100000	100000
3	100000	100000
4	100000	100000
5	100000	100000
6	100000	100000
7	100000	100000
8	100000	100000
9	100000	100000
10	100000	100000
11	100000	100000
12	100000	100000
13	100000	100000
14	100000	100000
15	100000	100000
16	100000	100000
17	100000	100000
18	100000	100000
19	100000	100000
20	100000	100000
21	100000	100000
22	100000	100000
23	100000	100000
24	100000	100000
25	100000	100000
26	100000	100000
27	100000	100000
28	100000	100000
29	100000	100000
30	100000	100000
31	100000	100000
32	100000	100000
33	100000	100000
34	100000	100000
35	100000	100000
36	100000	100000
37	100000	100000
38	100000	100000
39	100000	100000
40	100000	100000
41	100000	100000
42	100000	100000
43	100000	100000
44	100000	100000
45	100000	100000
46	100000	100000
47	100000	100000
48	100000	100000
49	100000	100000
50	100000	100000
51	100000	100000
52	100000	100000
53	100000	100000
54	100000	100000
55	100000	100000
56	100000	100000
57	100000	100000
58	100000	100000
59	100000	100000
60	100000	100000
61	100000	100000
62	100000	100000
63	100000	100000
64	100000	100000
65	100000	100000
66	100000	100000
67	100000	100000
68	100000	100000
69	100000	100000
70	100000	100000
71	100000	100000
72	100000	100000
73	100000	100000
74	100000	100000
75	100000	100000
76	100000	100000
77	100000	100000
78	100000	100000
79	100000	100000
80	100000	100000
81	100000	100000
82	100000	100000
83	100000	100000
84	100000	100000
85	100000	100000
86	100000	100000
87	100000	100000
88	100000	100000
89	100000	100000
90	100000	100000
91	100000	100000
92	100000	100000
93	100000	100000
94	100000	100000
95	100000	100000
96	100000	100000
97	100000	100000
98	100000	100000
99	100000	100000
100	100000	100000



25. 1:100000 8x17/100



26. 1:100000 8x17/100

#### 4.2 自己火災に対する安全策の検討

本建物の用途は研究施設で利用者は限定され、研究内容等に関わる出火の恐れは非常に少ないが、火気使用室の有無や可燃量の管理など十分な維持管理計画を実施し防災管理を徹底することにより、出火予防対策を講じている。

また、出火拡大防止策として、防耐火性能を有する壁や床の工法を採用し、初期火災の拡大防止を図っている。

##### ① 急激な燃焼を抑制する性能の検討

本建物の2階はRC構造であり、建物のほぼ中間に防火区画が構成され2分割されている。各研究室、実験室の間仕切壁はLGS下地に石膏ボード9mm+12mmの2枚張り、天井もロックウール12mmの2枚張りである。

3階の研究スペース等は厚さ20mmの難燃薬剤処理の天然木材で仕上げている。

##### ② 上階延焼の検討

本建物の3階木造部分の外壁は杉板堅羽目張りを仕上げとしている。2階研究室から出火した場合を想定して、噴出火災による上階延焼の可能性について検討した結果、盛期火災時においても噴出火災は上階までは達しないことが判明した。加えて3階外壁部分はテラスを介してセットバックさせるといった対策も講じており、上階延焼の危険性はないことを確認している。

一方、火災時の倒壊防止性能の検討として、火災時の火災による集成材梁材等への着火は生じないことを、スウェーデン鋼構造協会耐火基準の予測手法に基づく火災性状シミュレーションにより確認しているが、建設省告示第1902号及び建設省住指発第204号に基づく燃え代設計と部材の許容応力度に到るまでの時間について検討を行った。主要構造部材は30分耐火相当の燃え代として25mm欠損した断面を採用し、これに基づき残存有効断面に生ずる応力度を求め、火災時における構造安全性を確認している。従って、小屋裏に隔離を設けなくとも小屋裏間を急増に拡大する現象は生じないと判断した。また1階から3階床までは層間区画を形成しており、下階からの燃え抜けは生じない。

以上の結果から構造架構は通常火災発生によりその全体が容易に倒壊する恐れはないことを確認している。

#### 4.3 避難安全性の検討及び煙層降下シミュレーション

本建物の主要用途が研究施設であり、利用者が限定されているため、定期的な防災訓練等の安全体制の整備も容易である。また必要な消防設備等も完備しており、初期火災に対する対策は万全を期している。

日本建築センター刊行の『煙流動及び避難性状予測のための実用計算プログラム（第2版）』注2)により、煙流動性状を予測し安全性の確認を行っている。本建物の木造部分は天井無の小屋裏現しとなっており、床面から屋根下端までは研究スペースで約5.4m、コミュニティラウンジでは最高のところで7.9mである。排煙装置が有効に作動した場合は煙の下降は床面から約4.5mまでとなり、それ以下には下降しない。更に排煙装置が作動しない場合も想定し検討した結果、4.5分後に床面から



3.0mまで下降するが、20間は大部分の煙が屋根部分に滞留する結果を得ている。各階はすべて2方向の避難が可能であり、非常時には階段以外に直接戸外に避難可能であり、避難計算による避難完了時間と比較しても支障なく、3階木造部分の防煙区画について避難安全上の支障はないことを確認している。

#### 4.4 消防活動に関する検討

本施設の計画敷地は高低差があり階段状となっているため、本建物の1階地盤面からの高さは最高高さ19.6mであるが、2階地盤面からは軒高9.3m、最高高さ13.4mである。消防用水は2階地盤面に設けられたおり、消防活動も2階地盤面を拠点として行う計画となっているため、3階部分が木造であっても消防活動上支障がないと判断された。

以上の防火設計及びシミュレーションによる検討・対策により、本建物が、放任火災時においてその影響を最小限にとどめ、全体火災・倒壊に至ることのない、加害性・被害性の少ない安全な建物であることを確認している。

# 秋田県大館地区多目的ドーム

(株) 竹中工務店 東京本店 設計部  
平田 哲

## 1. はじめに

秋田・青森・岩手の三県にまたがる十和田八幡平国立公園を近くにひかえた大館市は、秋田県の北部を流れる米代川中流域の大館盆地を中心に広がる、6万9千人余りの人口をもつ県内第二の都市である。古くから農業・林業・鉱業を中心とした県北部の中核都市として発展を遂げてきたが、その後の産業経済環境の変化により、これらの基幹産業は低迷を余儀なくされ、若者の域外流出や高齢化の進行などの課題を抱えている。このため、大館能代空港の整備計画、高等教育機関の整備、さらには米代川流域地方拠点都市地域の指定など大館地域の活性化に向けての積極的な施策が行われている。

本計画はこの様な背景の中で、大館市及び周辺町が一体となって進めているスポーツ・レクリエーションパーク整備構想の中核施設となる多目的ドームであり、多様なスポーツ競技のほか、様々なイベントにも対応可能な全天候型、全年齢型の屋内大空間施設となる文字どおり地域活性化のシンボルとして建設されるものである。

平成5年10月からの二段階の設計競技を経て、現在、(株)伊東豊雄建築設計事務所と共同で平成7年6月の着工を目指し実施設計作業を進めている段階であるが、ここでは、秋田の杉を用いた世界最大の木造大空間となる本計画の概要を紹介させていただく。

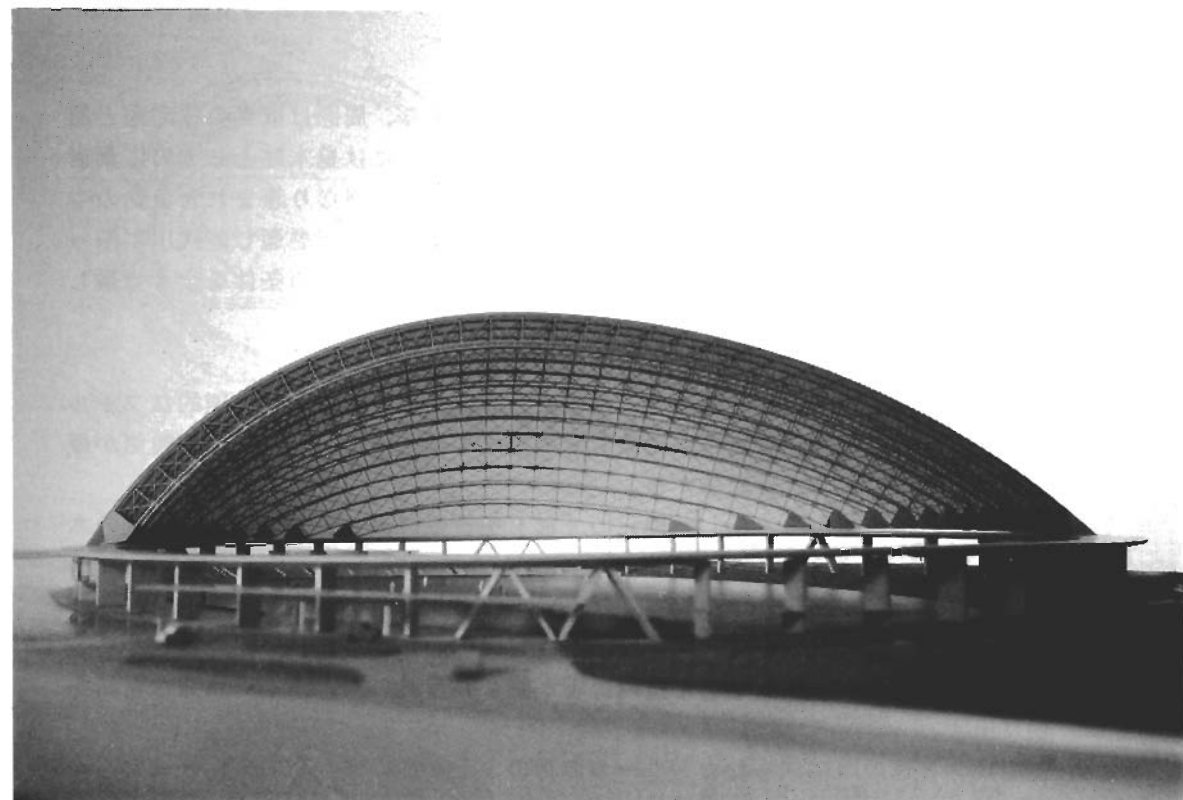


写真 - 1 模型写真 (内観)

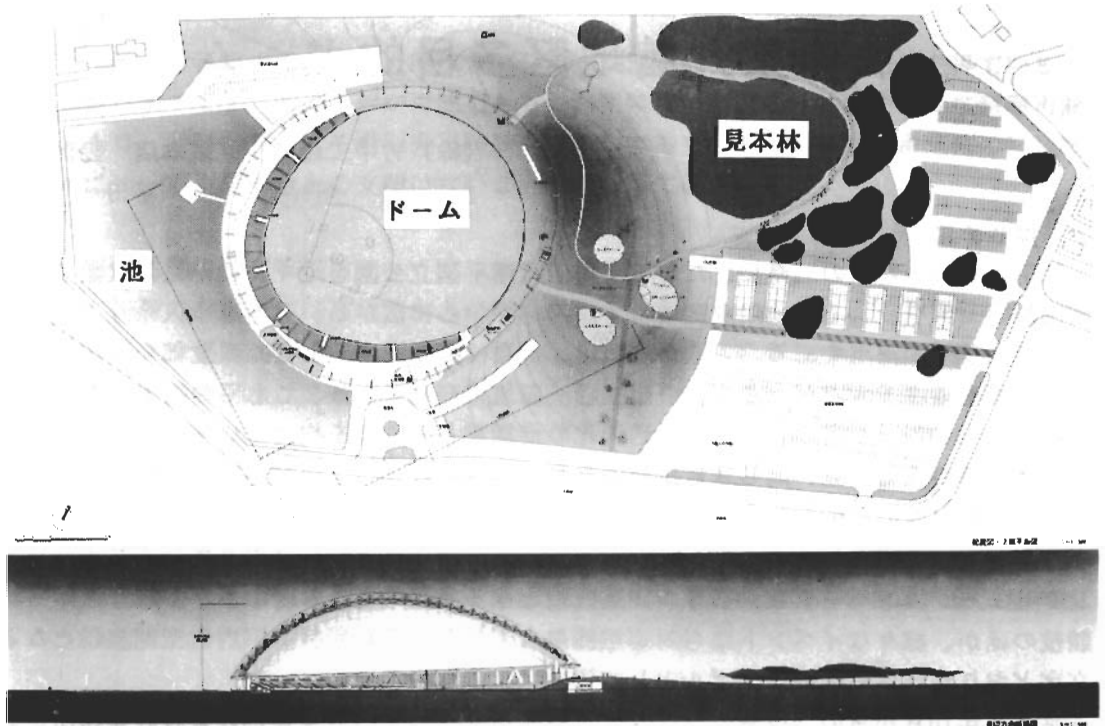


図 - 1 全体配置計画

## 2. デザインの基本コンセプト

建設予定地は大館市の中心部から北東に約 3km の場所にあり、周囲は低層の住宅地と農地に隣接する面積が約 11ha のほぼ平坦な敷地である。敷地の中には見本林としての広葉樹の森があり、遠くには大館盆地を囲んでいるなだらかな山並みが連なり恵まれた自然の中の立地である。また大館地区は風向について季節変化が少なく、一年を通じ能代川に沿って吹く谷合いの風が支配的であり、基本計画に際してはこの様な自然の条件を強く意識し以下に示す 3 つのコンセプトに基づきデザインを進めた。

### ■自然が生み出したドーム

- ・ドームの軸心を恒風向に一致させ、屋根の曲面は風の「流れ」に合理的なフォルムとし、冬には季節風を滑らかに流しその抵抗を最小限に、夏には自然換気が最も効率良く行われるよう配慮する。
- ・秋田の厳しい自然が生み出した地元の「杉」を構造材として用い、世界最大の木造ドームを実現する。

### ■新しい自然を創り出すドーム

- ・透光率の高い膜材によって自然光の明るさを確保しつつ、厳しい冬の気象条件を克服する。コントロールされた室内環境が厳しい自然の中に新しい快適な自然を創り出す。
- ・夜間は、自然の中に創られたもう一つの月のように、内部からの光によって白く浮かび上がり、その静かな姿を池の水に映し出す。

## ■自然と溶け合うドーム

- ・夏には緑の、冬には白雪の山々に連なる柔らかいシルエットをもち、自然と対峙するのではなく、自然の中に溶け合うドームとする。
- ・外部に形成する芝生のマウンドが、そのままドーム内部のフィールドに連続する自然を内部まで導き入れたドームとする。

これらのコンセプトに基づき、対象とする環境に対して自然な外観と透明感をのべる内部空間を持つドームを、池と築山・森の間に配置し「流れ」のシーケンスとした。

## 3. 計画の概要

### 3.1 建築計画

ドームの形態は長径が約 180m、短径が約 160m、最大高さが約50mの回転曲面の一部でありその平面形状は卵型をしている。内部には両翼90m、センター 120mの人工芝の野球場と約5,000人を収容する客席ゾーンを設けている。客席の一部を可動としサッカー、陸上競技など多様なスポーツ競技に利用できるとともに、10,000人クラスのコンサートや集会にも対応可能な計画とした。

建物の外周には開閉式透光ルーバー（大型ジャロジー）を採用することにより、ランドスケープと連続とするフィールドとした。ジャロジー解放時には自然換気が有効に行われると共に屋外との一体利用も可能である。また、ドームの内部にはコミュニティゾーン・あそびのゾーン・展示ゾーンなどゆとりのスペースを配し、これらは周回路でつながれ見学者が自由に巡ることのできるルートとしている。

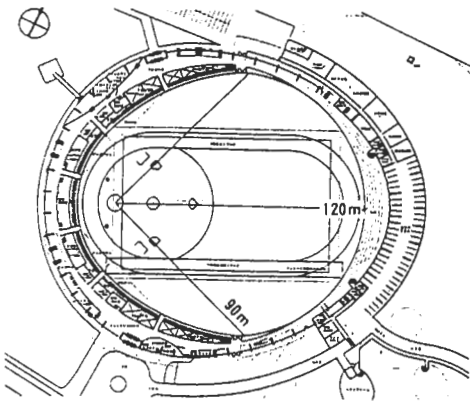


図-2 1階平面図

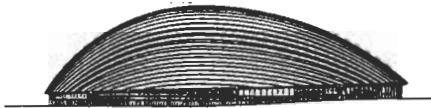


図-3 長辺立面図

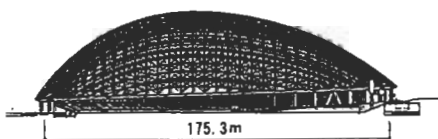


図-4 長辺断面図

### ■計画概要

#### ●一般事項

建物名称	秋田県大館地区多目的ドーム（仮称）
建設地	秋田県大館市上代野地内
建築主	秋田県
主要用途	多目的競技場
地域・地区	用途地域：無指定、都市計画区域内
設計	（株）伊東豊雄建築設計事務所・ （株）竹中工務店設計共同企業体
施工（予定）	（株）竹中工務店
工期	平成7年6月着工 平成9年3月竣工
工事費	本体工事費 7.2億円

#### ●施設規模

敷地面積	約 110,000㎡
建築面積	21,000㎡
延床面積	23,000㎡
階高	地上2階
軒高	7.0m
最高部高さ	52.0m
アリーナ気積	約 700,000m <sup>3</sup>
フィールド面積	約 13,500㎡
寸法	両翼 90m 中堅 120m
フィールド面からの高さ	46.2m
最大時（催事）	10,000人
野球場	5,000人
駐車台数	約 900台

#### ●構造概要

屋根構造	四フッカエチレン樹脂コーティング
仕上材	ガラス繊維布（2重膜）
構造種別	秋田杉による大断面業成材
屋根形式	2方向アーチトラス構造
最大スパン	175m
ライズ	39m
下部構造	プレストレス鉄筋コンクリート造
境界リング	鉄筋コンクリート造
壁	
基礎構造	場所打ちコンクリート杭
地盤	（支持層：GL-13~16mの洪積砂礫層）
基礎	鉄筋コンクリート独立基礎
フィールド	土間コンクリート（表層地盤改良）



### 3.3 設備計画

アリーナの環境及びその他の設備計画においては、基本コンセプトにある「自然」を有効に利用した省エネルギー・省資源型システムを積極的に採用した。

#### ■自然換気

夏期・中間期の昼間の風向はほぼ南西風であり、池により自然冷却された外部風が西側のジャロジーより流入し、ドーム内の日射熱や人体発熱等を除去する。さらに屋根頂部に設けた排気口を解放することにより、ドーム上部の熱だまりを排出し換気を促進する。この結果、夏期・中間期のうちほぼ80%は自然換気により快適な範囲の室温に維持される。

さらに観客席上部に循環気流発生用のファンを設置し、定常的な空気の流れ「風」をつくることにより涼感を高める計画とした。

#### ■井水利用による涼房

夏期の最も暑い時期には、井水利用の空調機による冷房を行うと共に、井水を屋根に散水することにより膜屋根の表面温度を低下させ大空間内部での熱による不快感を大幅に低減させる計画としている。

#### ■自然採光

2万㎡を超えるドームの屋根全面に透光性の高い膜材を採用し、柔らかく拡散された自然光を活用する。アリーナ床面の平均照度は一年を通じて晴れの状態では3,000～5,500ルクス、曇りの状態でも1,000～1,200ルクスを確保できる。この結果、年間使用時間の約80%以上はスポーツに必要な照度を上回り、消費電力の大幅な節減が可能となる。

#### ■水資源の有効利用

貯水機能を持った池は敷地全体の雨水調整機能を有し、豪雨時の周辺への環境負荷を低減させる。集水した雨水は、さらに濾過して便所洗浄水や植栽散水に再利用する。池の水は雨水のみで年間約10回の入れ替えが可能であるが、水の浄化には機械力ではなく水性植物を主とした自然の生態系を積極的に活用する計画とした。

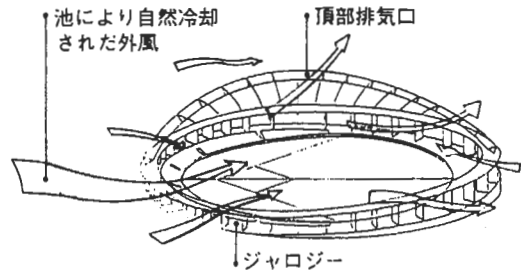


図-7 自然換気計画

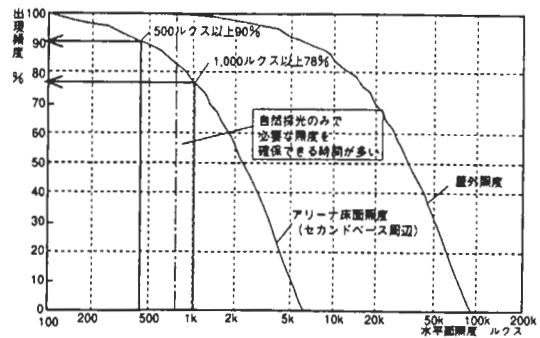
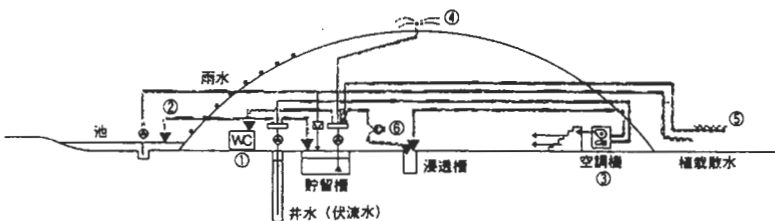


図-8 自然採光の年間効果予測



- ①便所洗浄水への利用
- ②池の補給水としての利用
- ③井水を空調機に廻すことによる涼房(夏期)
- ④屋根散水への利用(夏期)
- ⑤融雪への利用(冬期)
- ⑥空調補給水への利用

図-9 井水・雨水利用計画

## 4. 秋田杉集成材の採用と生産システムについて

### 4.1 秋田杉の採用

古来より人々は、石、土、日干し煉瓦、そして木などその地域で産出される自然の材料を用いて建築を作ってきたし、それがその地域の文化や風土というものにも大きな影響を及ぼしてきた。近代においては、コンクリートや鉄など均質な工業製品が建築の構造材料として多用され、軽量化・大スパン化・高層化と架構技術に大きな革新をもたらしたが、同時に地域性というものも失われてきている。

大館に建つこのドームの計画に際し、この地域がかつては我が国の三大美林のひとつである天然秋田杉に支えられて発展を遂げてきた林業の中心地であったこと、さらに建設予定地が昔の営林署苗畑跡地であったことなどから、比較的自然的に「木」・「秋田杉」によるドームという発想が生まれてきた。すなわち、この地域で生み出される材料を使って、この地域の文化や風土を感じさせるような、そしてこの地域に存在することが自然と感じられるようなドームを創りたいと考えた。

現在、秋田杉集成材によるドームの実現に向けて検討を進めている段階であるが、一般に軟質といわれる杉の材料特性の評価、4,000m<sup>3</sup>を超える集成材の生産体制や原木の供給体制、製造コスト等多くの解決すべき課題が残されている。

### 4.2 杉原木の選定

杉材の材料特性に関しては一般に、「材質のバラツキが大きい」・「強度が低い」等が利用上の障害といわれているが、産地・育成条件・樹齢などその影響要因は多岐に及ぶ。大スパンの構造材料となる大断面集成材の原木の対象として秋田杉を考えた場合、強度・剛性等材料特性に関する試験データの蓄積は必ずしも十分とは言えないのが実情であろう。設計上必要とされる特性や大断面集成材の規格を満足し、かつ経済性を考えた場合妥当な材料歩留まりとなるような安定した品質の杉丸太の選定基準をはじめとし、すべて手探りの状態からのスタートであった。幸いにも秋田県木材産業課の多大なご協力を頂き、丸太から乾燥前後のラミナまでの一連のヤング係数に関する試験データが整理され、杉丸太の選定基準を樹齢60年以上、末口径20～34cmの2番玉以上とほぼ決定するに至ったのが現状である。

### 4.3 生産システム

日本集成材工業組合の資料によると1992年（平成4年）の我が国の集成材の総生産量は約45万m<sup>3</sup>であり、その約7割を造作用が占め構造用は9.3万m<sup>3</sup>、構造用大断面は3.4万m<sup>3</sup>である。構造用大断面に関しては93年に急増し国内生産量が約4.2万m<sup>3</sup>、輸入量が約5.9万m<sup>3</sup>という規模である。本計画の秋田杉構造用大断面集成材の総量は国内生産量の約1割にも相当し、かつスポット的な需要でもあり生産体制上の課題としては本計画の特殊性に起因するものも少なくないと思われる。

上記の国内生産集成材の場合でも、ラミナに関していえば乾燥済みの輸入規格材がその大部分を占めているであろう。本計画で必要とする秋田杉のラミナは約6,500m<sup>3</sup>であるが、製材・乾燥の工程をそれぞれ個別に見ればこの地域でも十分な生産能力を有している。しかし、集成材という工業製品の素材となるラミナに要求される品質・コスト・納期（Q.C.D.）をトータルで保証し供給するシステムは十分整備されているとは言えないのが現状であろう。設計の初期段階から素材供給の仕組みの整備を並行して進めざるを得なく、か

つ品質を保証するための歩留まりなどコスト上の不安も抱えたままとすると、設計者にとっては実に使い勝手の悪い材料と言わざるを得ない。木材という自然の資源を対象にして鉄鋼資材のような品質が保証された規格品の市場化を望むのは難しいであろうし、そのためには多くの時間が必要であろうが、少なくとも需要者に対しQ.C.D.の情報を正確に提供できることがエンジニアリングウッドの素材供給者としては必要であろう。

## 5. おわりに

現在実施設計を行っている秋田杉集成材を用いた秋田県大館地区多目的ドームの計画概要と、秋田杉集成材の実用化に関する検討の現状を述べさせていただいた。

戦後に拡大造林された杉を中心とする造林木が主伐期を迎え、近年では成長量が伐採量を大きく上まわっている状況にあり、杉材の加工や利用技術を含めた製品開発は重要な課題となっている。「スギ並材」に関するアンケート調査（「木材工業」44-2）によると、加工技術上の課題としては「乾燥」、利用のうえでの障害としては「材質のバラツキ」と「強度が弱い」、製材品以外の用途としては「集成材」との回答が多く、さらに「価格」や「供給」といった生産システムの問題も指摘されている。これらはいずれも本計画を実施していく上でも避けて通れない基本的な課題ばかりであり、関係官庁、大館地区の林業関係者並びに学識経験者の方々のご指導とご協力を戴きながら解決を計って行きたいと考えております。そしてこのドームの建設が秋田杉の新たな用途開発と、地域の林業の活性化の一助となることを願っております。

## 【参考文献】

- 1)「SUGI・情報ネットワーク -並材のフロンティアを求めて」  
スギ並材研究会（1990. 5）
- 2)「木材の科学と利用技術Ⅱ 5.スギ」 日本木材学会研究分科会報告書（1991）
- 3)「技術開発推進事業報告書 集成材構造」（財）日本住木センター（1990. 3）
- 4)飯島 泰男：スギ材強度性能の特異性に関して  
日本建築学会大会学術講演梗概集（1989.10）
- 5)秋田県大館地区多目的ドーム（仮称）提案競技報告書 秋田県（1994. 3）

# 木 橋

秋田大学鉱山学土木環境工学科  
薄 木 征 三

## (1) 木橋が消滅しない理由

海外において木橋が、我が国におけるように消滅しなかった理由は以下のものである。

- 1) 集成材製作技術の進歩（構造用大断面、パネル床板など）
- \* 2) 設計基準の整備
- 3) 防腐処理法の発達（クレオソート、PCP、CCAの加圧注入等）によって50年以上の寿命が期待できる。
- 4) 架設にあたって重機は不要であり、かつ大工や鉄筋工、型枠工などの熟練労働者を必要としない。
- 5) 梁やアーチを大断面とし、床版をパネル化することにより、耐火性能が向上した。
- 6) 優れた美観と質感
- 7) 架設はコンクリート橋と異なって、天候（雨、雪、寒冷等）に左右されない。
- 8) 鋼およびコンクリート橋と異なって凍結融解および融雪剤に強い。
- 9) 衝撃力に対しエネルギー吸収能力が大きいので、短時間のオーバーロード(Over load)に耐え得る。
- 10) 軽くて柔らかいので補修、補強、架け代えが容易。
- 11) 再生産可能な材料である。
- \* 12) 初期およびメンテナンスのコストが他の材料の橋より安価である。とくにプレストレス木床版の場合は2/3ですむ。
- \* 13) 材料供給体制が確立している。

ここで\*印の事項は、我が国では現在実現していない事項である。しかしながら我が国においても木材需要拡大運動の高まりもあって、行政サイドからではあるが、木橋建設の動きがあるのは周知の通りである。本稿では秋田県の木橋に焦点を絞って、それらの構造特性、防腐処理等について解説する。

## (2) 歩道橋

### 1) 真人公園歩道橋

写真-1は秋田県平鹿郡増田町が建築主の、真人公園休養施設としての歩道橋である。幅員は2.5m、主桁長さは13.6mで図-1に断面図を示す。主桁はアメリカマツ集成材であり、他の部材は県産材のスギを使っている。この歩道橋のユニークなところは、写真-1に見るように橋下は公園内の自動車道となっていることだろう。すなわち一種のオーバブリッジなのである。桁下空間は道路中央部で4.50mを確保している。

防腐処理は、すべての部材にCCA 1号を加圧注入し、自然乾燥後にオイルステンを塗っている。昭和63年11月に完成した。総工事費は1569万円である。



写真-1 真人公園歩道橋

図-1 断面図 (環境デザイン設計(株)提供)

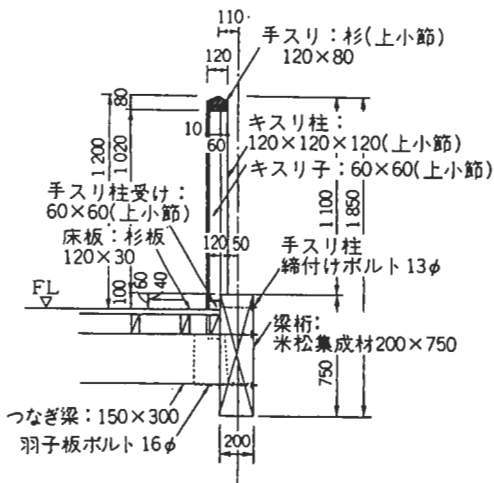
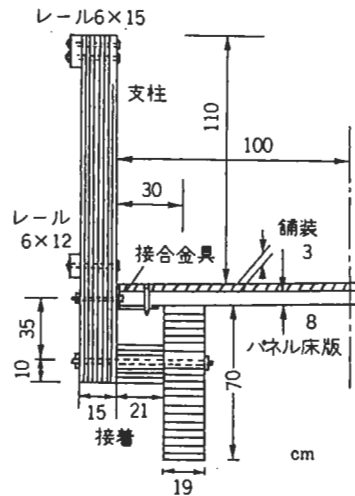


図-2 本郷橋側道橋正面図



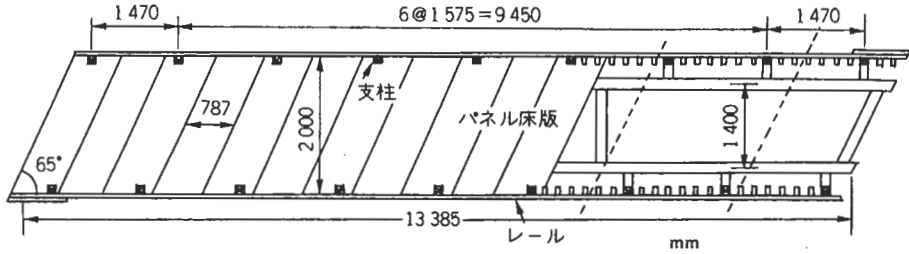
## 2) 本郷橋側道橋

図-2,3は秋田県が建設した歩道橋であり、単純桁二連の形式となる。したがって橋長は26.8mとなる。特徴としては図-3に見えるように65°の斜角をもつことである。床板はパネル化された集成材を用いる。主桁、横桁および高欄支柱もスギ集成材が用いられる。

支柱と主桁および床板との連結部は図-2のように、接合金具とボルトを用いた構造となっている。本橋は側道橋として計画されており、公園内の歩道橋として架設される場合に比べ、その性格を異にする。

すなわち河川を横断する歩道橋であるが、設計荷重は横断歩道橋設計基準に準拠している。すなわち群衆荷重 $350\text{kg/m}^2$ のほか、 $100\text{kg/m}^2$ の雪荷重も考慮される。また小型除雪車も通ることから活荷重としては、群衆荷重と比較して不利な荷重を採用しなければならない。さらに風荷重と地震荷重およびこれらの組合せ荷重に対しても応力照査が求められた。

図-3 本郷橋側道橋平面図



### 3) 藤倉橋

本橋は本庄市山内字藤倉を流れる石沢川を横断している吊橋でその緒言は、

- 橋 長：55.00m
- 径 間 数：6
- 最大支間長：30.00m
- 幅 員：2.50m

である。最大支間長30.00mの部分は吊橋となっており、ケーブルと吊材を除くと全てクリ材を用いた木橋である。架設年は不明であるが地元民によると30年以上は経過しているようである。

本橋は平成5年1月、アーカー部のボルト破断によって落橋にいたり、本年（H6年）8月より再建工事が始まった。図-4,5にその一般図を示す。側径間部は盛土に代わり、支間長32.00mの単径間吊橋として復元される。

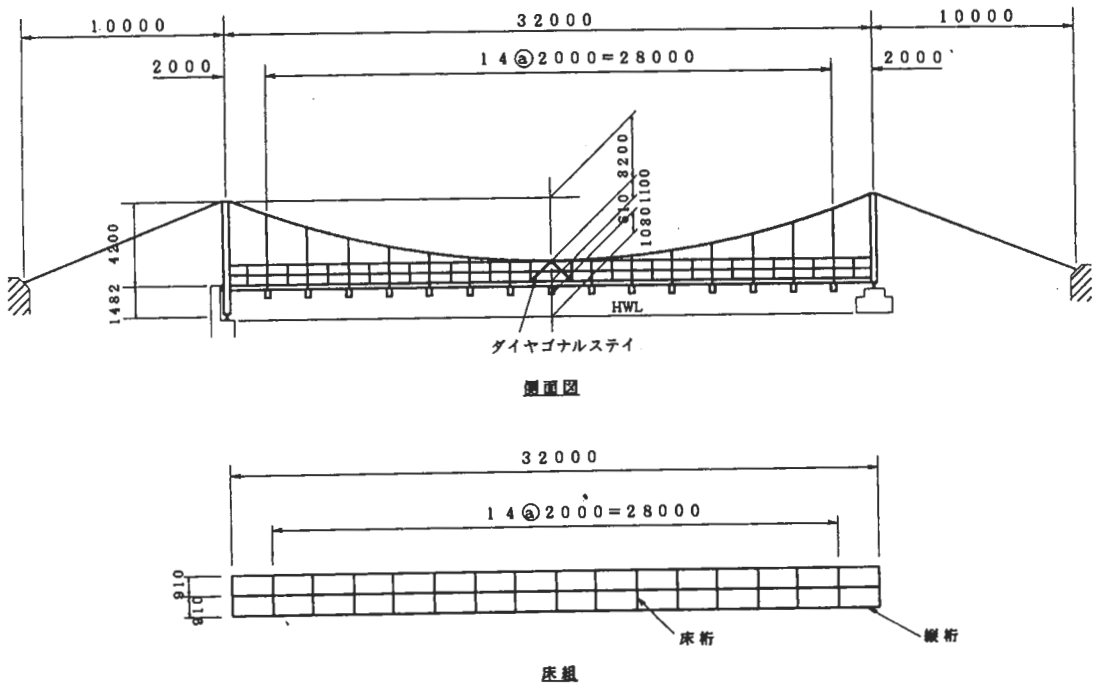


図-4 藤倉橋一般図

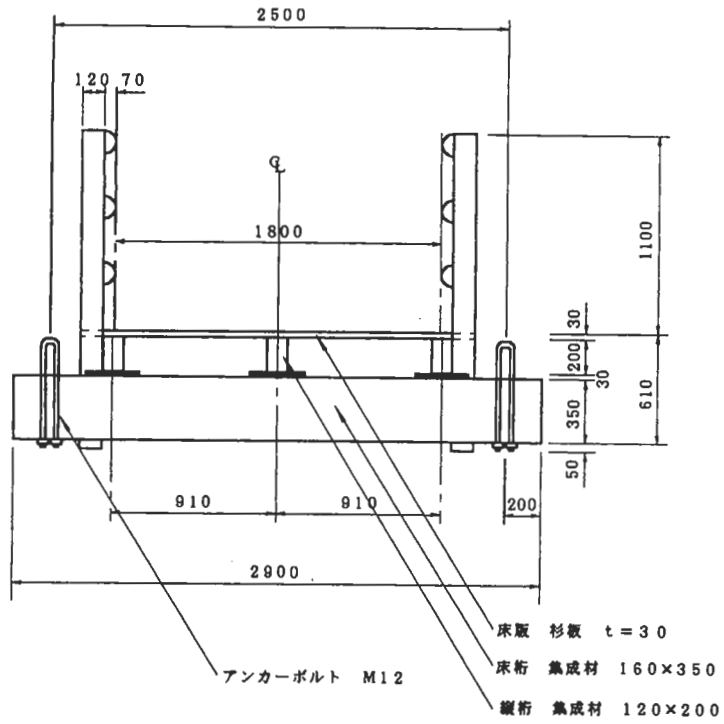


図-5 藤倉橋正面図

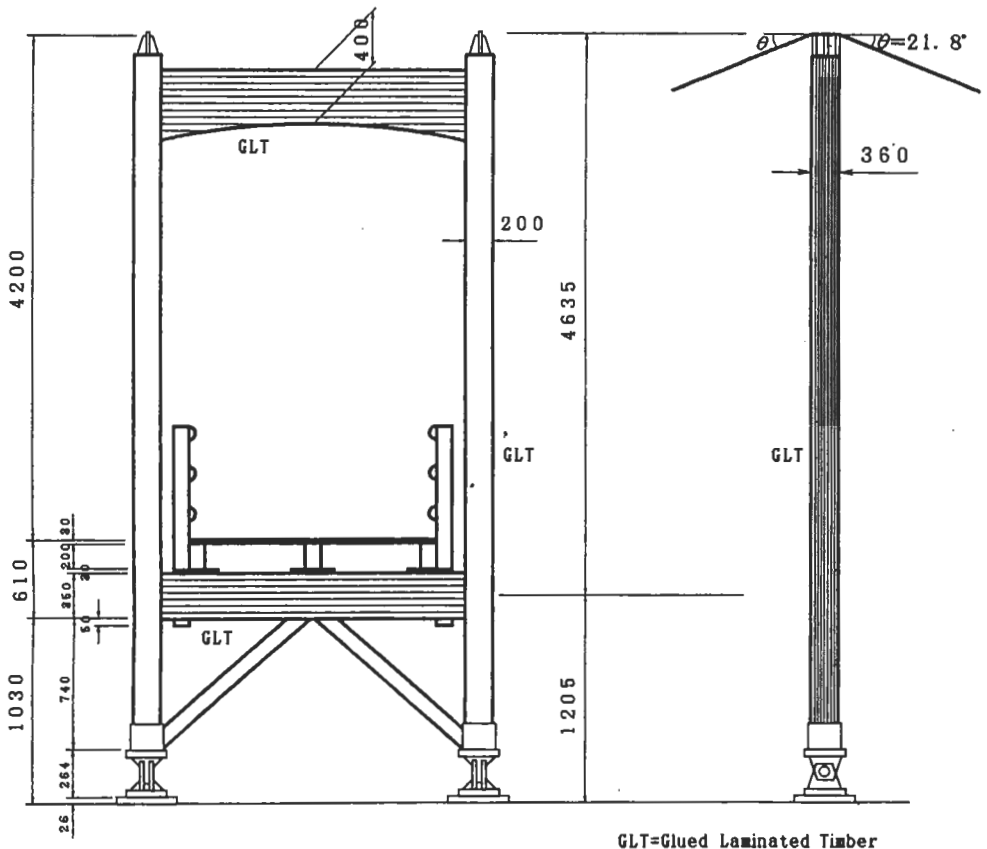


図-6 藤倉橋タワー

旧橋と新橋の大きな違いは、

- a. タワーはクリの集成材とした。
- b. 補剛桁はスギの集成材とした。
- c. 床桁もスギの集成材とした。
- d. 金具類は亜鉛メッキとする。
- e. タワーを除いてCCA加圧注入とする。

などの点である。クリの集成材はブロックせん断、煮沸はく離試験等において良好な結果が得られなかったため、単なる防腐塗装とした。図6にタワーの一般図を示す。

#### 4) めおと橋

本橋は秋田市仁別の務沢国有林の一角を占める自然休養林国民の森にある歩道橋である。元は丸木橋であったが、S62年8月の大出水によって流出されたままとっていた。本年度中（H6年度）に復元される予定となっており、図-7にその一般図を示す。構造上の特徴は、

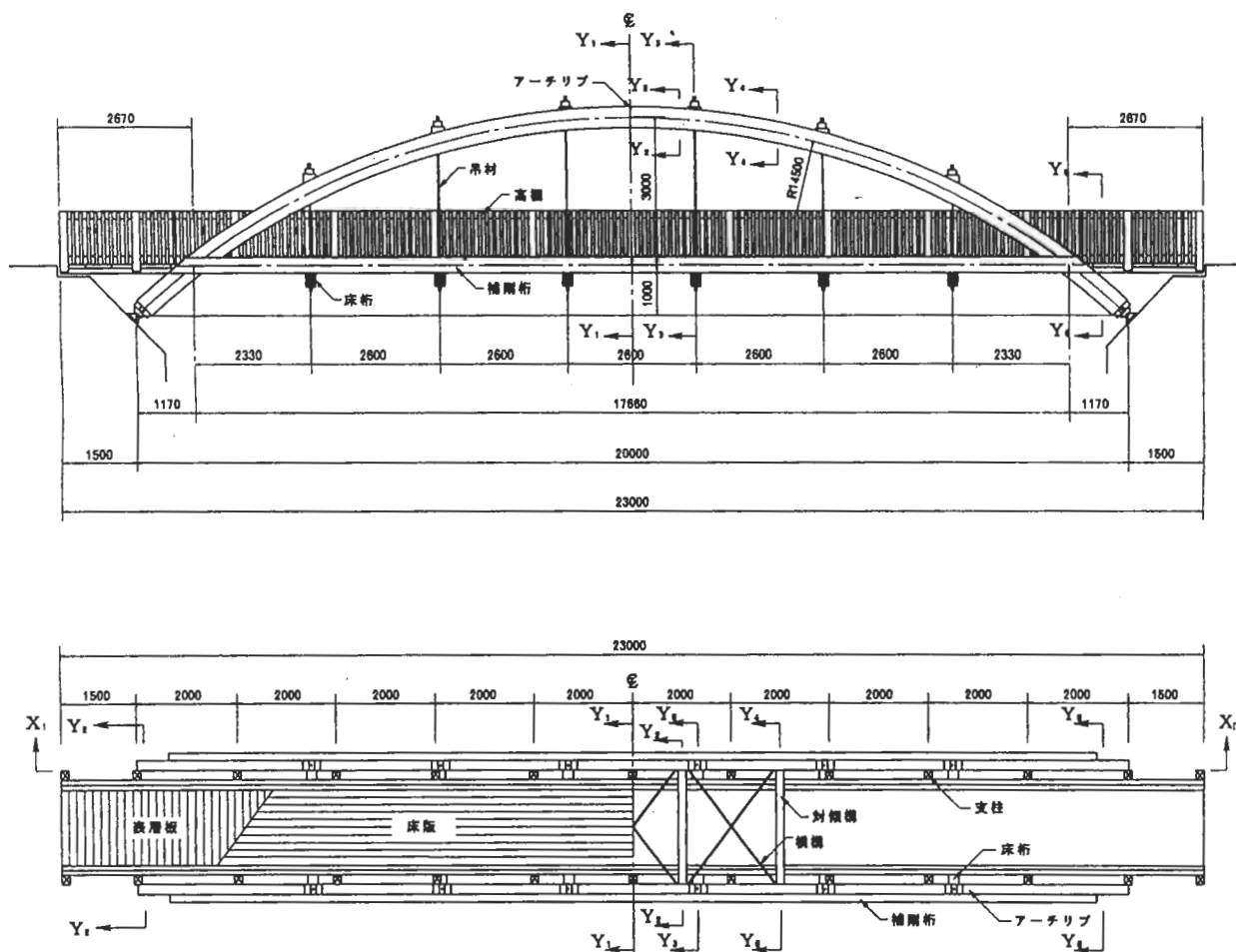


図-7 めおと橋一般図

- a. アーチクラウンで挿入鋼板とドリフトピンを用いた剛結継手とした。
  - b. アーチリブと補剛桁および床桁はスギ集成材とした。
  - c. アーチリブはAAC加圧注入後天乾と人乾を行い、接着積層する。
- その他の材はスギ製材品とし、補剛桁と床桁を含めてAAC加圧注入とする。

図-8に無処理、AAC及びCCA加圧注入後集成加工した試験片のブロックせん断試験結果を示す。せん断強度および木破率ともに

無処理 > AAC > CCA

となっており、CCAなど防腐効果は期待できないとしても、適切なメンテナンスを行えばAAC加圧注入は有望ともいえよう。図-9はアーチクラウンでの継手である。

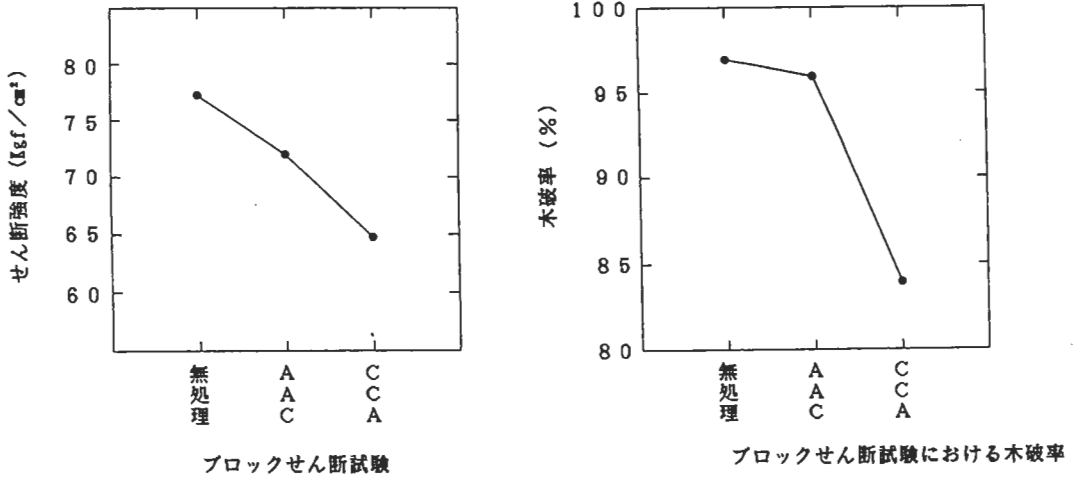


図-8 ブロックせん断試験結果 (各試験片五個の平均値)

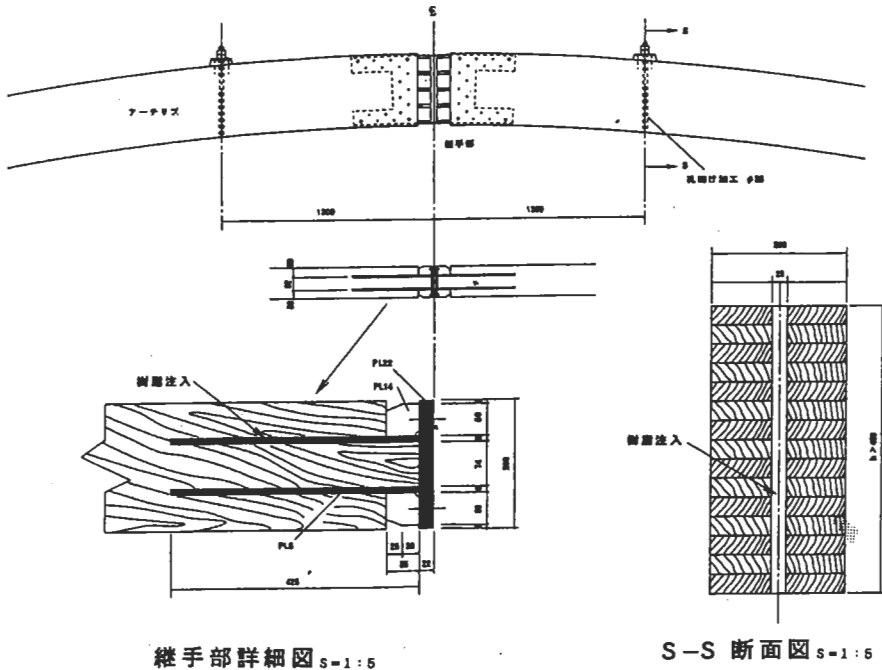


図-9 アーチクラウンでの継手

### (3) 林道橋

#### 1) 坊川林道2号橋

本橋は、秋田営林局鷹巣営林所管内坊川林道の起点から4.8kmの地点に位置し、秋田営林局土木課において計画、建設された者である。本橋の設計条件は以下のようである。

- 型式：大断面集成桁橋（仮称）
- 支間：5.6m
- 幅員：4.0m
- 荷重：TL-14, 雪100kg/cm<sup>2</sup>(9.8MPa)
- 舗装：アスファルト舗装7cm
- 横断勾配：2%放物線
- 縦断勾配：水平

主桁および床版の材質は樹齢71年の秋田杉で、2.5cm厚のひき板を互いに繊維の方向が部材長さ方向へほぼ並行になるように接着積層した集成材を用いている。床版厚12.5cmで、75×440cmの床版パネル8枚がラグボルトによって主桁に取り付けられている。また、支間中央に横桁を1本配置し、主桁を貫通するボルトで主桁に取り付けた構造となっており、曲げとせん断に対してボルトの設計を行っている。桁の端部には10×10cm断面の支持木を用い、図-10に示すように200×100×11×200mmのアンクルを支店部に用いて変位とねじりを拘束している。実験時における床版設置前の一般図は図-10に示すとおりである。

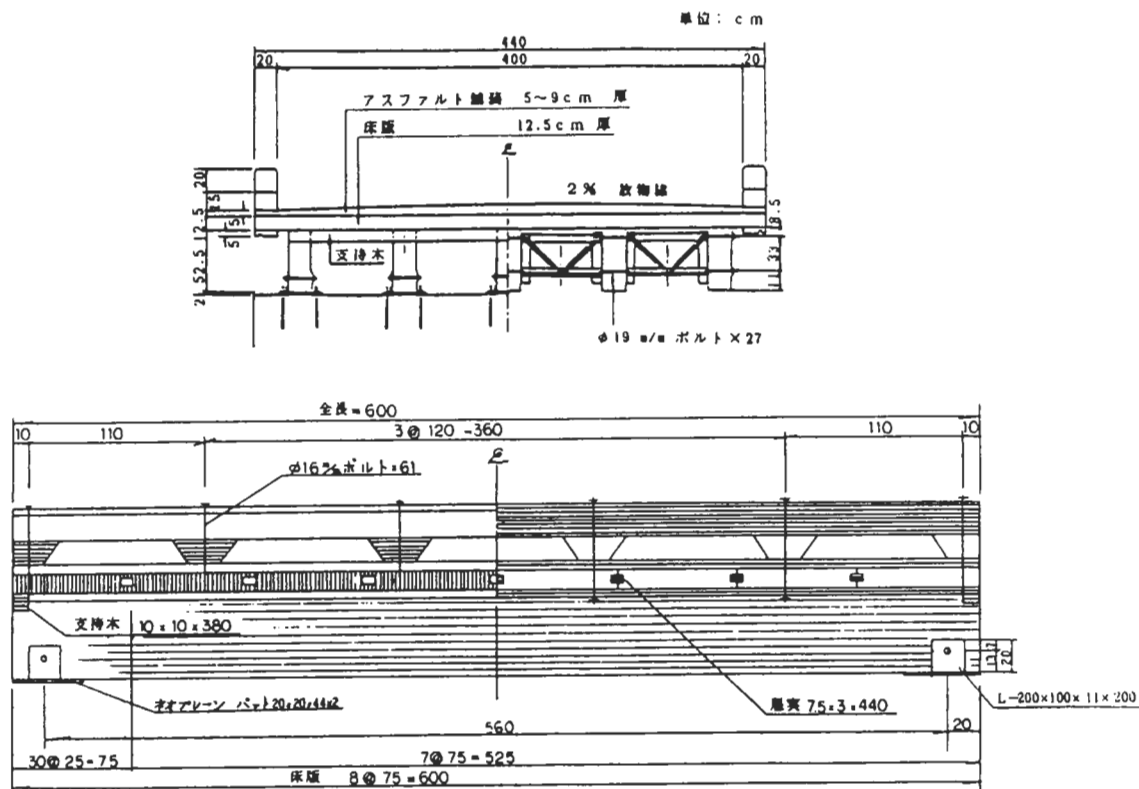


図-10 坊川林道2号橋の一般図

## 2) 鶺養林道橋

本橋は、秋田営林署管内鶺養林道の起点に位置し、秋田営林局土木課において計画、建設された者である。設計条件は橋長=14.0m,支間L=13.6m,幅員=4.0m,荷重はT-14を用い7cm厚のアスファルト舗装を行っている。

主桁および床版の材質は樹齢71年の秋田杉で、3cm厚のひき板を接着積層した集成材を用いている。床版厚12.5cmで、75×440cmと100×440cmの床版パネルを7.5×3×440cmの米松製やとい実でほぞ組みし、床版パネル15枚をφ11×280mmのラグボルトによって20×99×1400cmおよび18×99×1400cmの5本の主桁に取り付けている。主桁間隔a=90cmで鋼トラス横桁を3本配置し、主桁を貫通する上下2本のφ30ボルトで主桁に取り付けている。さらに、12×12cm断面の支持木を用い、Fig.11に示すように350×140×14×200mmのアンクルを支店部に用いて変位とねじりを拘束している。また、20×21×1400cmの集成材笠木が水操木、地覆木および床版を貫通するφ16ボルトで片持版部に取り付けられている。支点部は、20×50×6.2cmのネオプレーンパッドを用いゴム支承となっている。図-12は中間対傾向である。

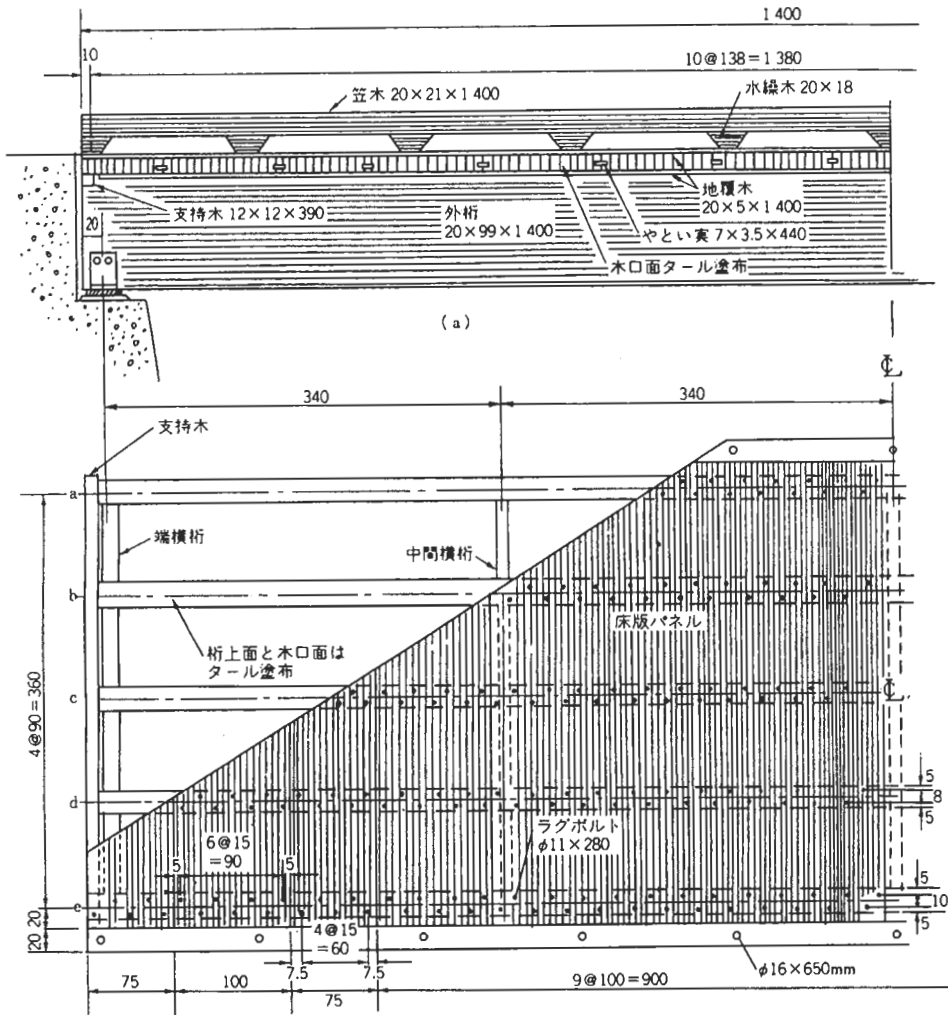


図-11 鶺養林道橋一般図



図-13は、床版、主桁およびそれらの全ての測点の平均含水率の経年変化を示す。平均値は含水率の20%以下が保たれており、満4年経過した今日の状態からは、腐朽の兆候は見られない。

### 3) 揚の沢橋

図-14に秋田営林局が鷹巣町（秋田県）の林道に昨年10月に完成させた揚の沢橋の正面図を示します。この中でナラ集成材は、幅100mm、厚さ30mm、長さ240cmのナラの製材をフィンガージョイントによって縦継ぎして8mの長さのラミナとし、これを12枚接着積層したものです。

スギ+カラマツ集成材は外層にカラマツを、内層にスギを利用した集成材で、カラマツを外層に用いたのは、スギだけではどうしても柔らかく、必要な強さ（曲げ剛さ）を確保するのが難しかったからです。

ナラ集成材にしてもスギ+カラマツ集成材にしても、幅90~100mmの集成材なので大径木は必要なく、末口径で180~200mmの小径木または間伐材で十分用が足りることになります。表-1に計画当初における原木とラミナの必要寸法および数量を示してあります。実際に使用された原木や長さは表-1とは若干異なりますが、基本的には大差はなかったと申し上げます。なお表中の集成材ラミナとは、上述の集成材を図-14のように立てて横方向へ並べますので、このように表現します。

上述の集成材ラミナには直径37mmの孔が空けてあり、この孔にプレストレス鋼棒を通します。鋼棒の間隔は123cmで、直径はφ19mmです。鋼棒の両端には図-14に見えるように鋼製の板がついており、この板をいわば土台として、油圧ジャッキによって鋼棒を18.5トンの力で引っ張ります。この力によって図-14の集成材ラミナ（ナラ9本、スギ+カラマツ38本の計47本）が横方向に締め付けられ一体となって自動車の重さに耐えるのです。

つまり計47本の集成材ラミナ相互は接着されておらず、プレストレス（締め付け）による力が接着剤の役割を果たし、これによって橋の経費を安価にすることができるのです。

アスファルト舗装を行うのが近代の木橋の特徴です。プレストレスによって一体となった橋面上に、舗装に先立ってリフレクションクラック防止シート（RCシート）を敷設し、この上に平均7cm厚の舗装を行います。このシートは自動車の重さによって、舗装表面にヒビ割れ（クラック）が発生し、雨水等がしみ込んで集成材ラミナを湿らせるのを防ぎます。

さらにスギ+カラマツ集成材ラミナはクレオソートを加圧注入させ、ナラ集成材ラミナは防腐塗装を行って腐れから守られています。耐用年数は30年以上を見込んでいます。

ところでクレオソート加圧注入等油性の防腐剤で処理された部材は、部材中の含水率の変化はほとんど無視できるので、部材の伸縮も無視でき固定支承でよいのである。今回のプレストレス木床版橋の下部構を含む側面図を図-15に示す。両支点A、Bともにヒンジ支点となっており、したがってコンクリート製ラーメン橋台を含む全構造形は一次不静定として扱われる。

図-16は、PS鋼棒の伸びひずみの経時変化を示す。150日経過後のひずみは、設計ひずみの125%となって緊張力が増加する傾向にある。

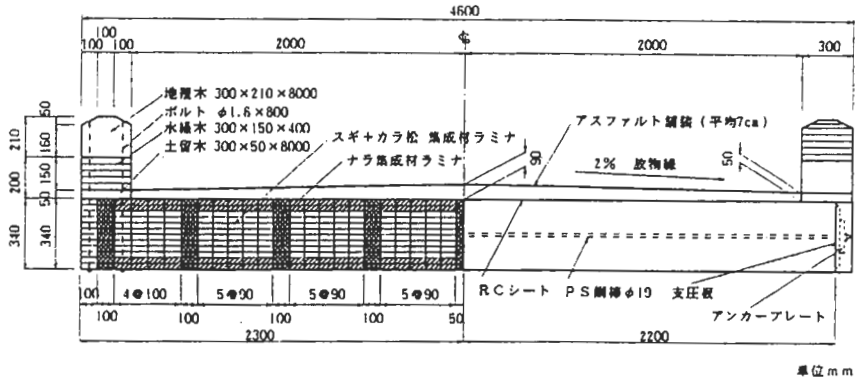


図-14 揚の沢橋正面図

表・1 所要丸木数と丸木から作られるラミナの数

樹種	形態	長さ×(径または幅)	数量	材積(m <sup>3</sup> )
スギ	丸木	2000×180 mm	570 本	29.0
	製材	2000×110 mm	1430 枚	11.0
	ラミナ*	8000×105 mm	304 枚	7.7
カラマツ	丸木	2000×180 mm	285 本	14.5
	製材	2000×110 mm	715 枚	5.5
	ラミナ*	8000×105 mm	152 枚	3.8
スギ+カラマツ	集成材ラミナ**	(スギ8枚+カラマツ4枚)×38本		(イ)9.8
ナラ	丸木	2400×220 mm	100 本	9.1
	製材	2400×120 mm	400 枚	4.0
	ラミナ*	8000×115 mm	96 枚	2.6
	集成材ラミナ***	12枚×9本		(ロ)2.3

- \* ラミナの厚さは30 mm, 製材は35 mm
  - \*\* プレーナー加工で幅90~95 mm仕上げ
  - \*\*\* プレーナー加工で幅100~105 mm仕上げ
- (イ)+(ロ)=12.1 m<sup>3</sup>は木床版の材積にほぼ等しい

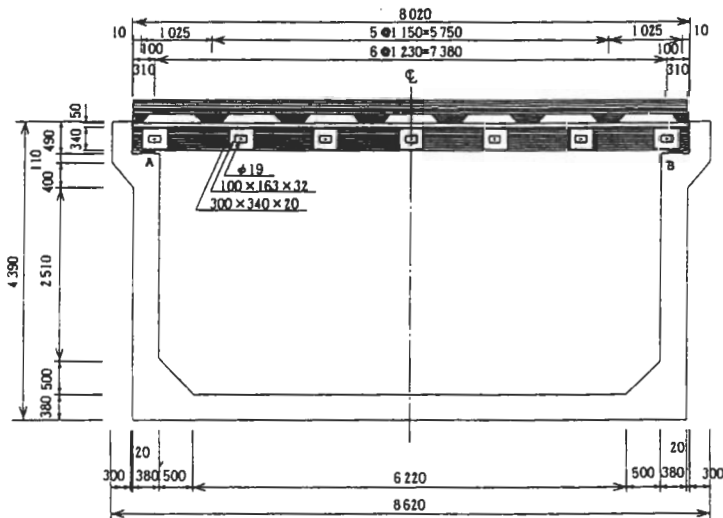
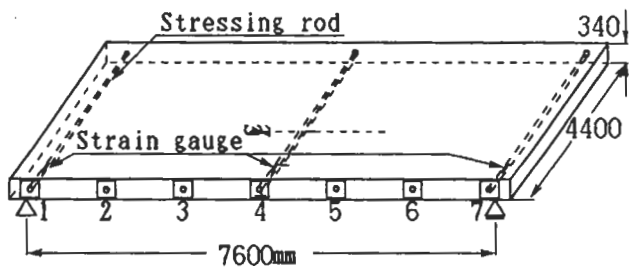


図-15 両端ヒンジ支承



P S 鋼棒とひずみゲージ

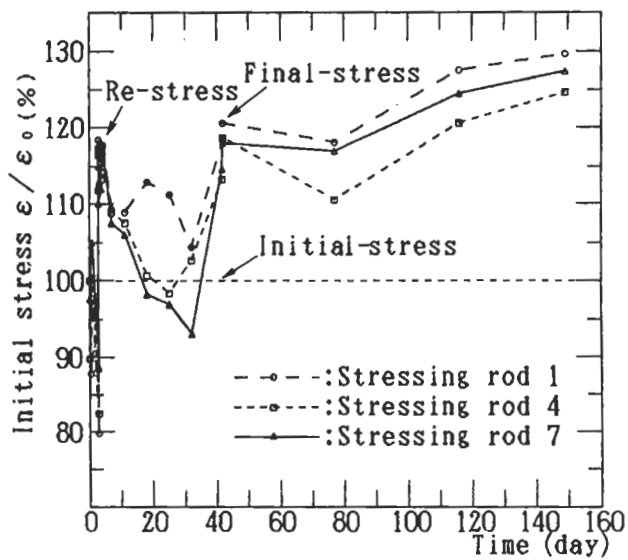


図-16 P S 鋼棒の伸びひずみの経時変化

日本木材学会 木材強度・木質構造研究会  
1994年度シンポジウム  
木質構造研究の現状と今後の課題 Part-II  
1994年8月26-27日  
(秋田県能代市)

担当幹事 小松幸平、佐藤敬一、小泉章夫、  
飯島泰男、岡崎泰男