

# 博士論文

在来軸組工法用プレカットを活用した木造標準トラスの開発研究

田尾玄秀

# 博士論文

## 在来軸組工法用プレカットを活用した木造標準トラスの開発研究

### 目次

#### 第1章 序論

1. 1 問題提起
1. 2 本論文の目的と問題解決方法
1. 3 既往の研究
1. 3 本論文の構成と概要

#### 第2章 在来軸組工法用プレカットを活用した木造標準トラスの試設計

2. 1 試設計の概要
2. 2 試設計の方針及び設計条件
2. 3 キングポストトラス型及び片流れ型標準トラスの標準図案
2. 4 ケーススタディ\_12m スパンキングポストトラス型標準トラスによる小屋組屋根の構造設計例

#### 第3章 標準トラスの下弦材に用いる継手の引張実験

3. 1 継手の引張実験の目的
3. 2 継手の引張実験の概要
3. 3 継手の引張実験の方法
3. 4 追掛け継手の引張実験
  3. 4. 1 追掛け継手試験体
  3. 4. 2 実験結果
  3. 4. 3 考察
3. 5 引きボルト式継手の引張実験
  3. 5. 1 引きボルト式継手試験体
  3. 5. 2 実験結果
  3. 5. 3 考察
3. 6 継手の引張実験のまとめ

#### 第4章 キングポストトラス型及び片流れ型標準トラスの実大載荷実験

4. 1 実大載荷実験の目的
4. 2 実大載荷実験の概要
4. 3 実大載荷実験の方法
  4. 3. 1 実大載荷実験試験体
  4. 3. 2 実験装置
  4. 3. 3 計測位置



- 4. 4 実験結果
  - 4. 4. 1 スギ製材を用いた標準トラスの実験結果
  - 4. 4. 2 下弦材に集成材を用いた標準トラスの実験結果
- 4. 5 考察
- 4. 6 キングポストトラス型及び片流れ型標準トラスの実大載荷実験のまとめ
- 第5章 実大載荷実験における標準トラスの各接合部の挙動と剛性の予測
  - 5. 1 陸梁継手の挙動と剛性の予測
  - 5. 2 合掌尻仕口の挙動と剛性の予測
  - 5. 3 真束上部 登り梁—真束仕口の挙動と剛性の予測
  - 5. 4 その他の接合部の挙動
  - 5. 5 実大載荷実験における標準トラスの各接合部の挙動と剛性の予測
  - 5. 6 実大載荷実験における標準トラスの各接合部の挙動と剛性の予測のまとめ
- 第6章 合掌尻仕口の要素実験
  - 6. 1 合掌尻仕口の要素実験の目的
  - 6. 2 合掌尻仕口の要素実験の概要
  - 6. 3 合掌尻仕口の要素実験の方法
  - 6. 4 実験結果
  - 6. 5 考察
  - 6. 6 合掌尻仕口の要素実験のまとめ

## 第7章 結論

## 参考文献

## 謝辞

# 第 1 章 序論

## 第1章 序論

### 1. 1 問題提起

トラス架構は、幾何学的には三角形を集合・連結させた剛性の高いフレームによって構成される横架材の骨組の形式のひとつである。力学的には、連続した三角形で構成された形状のフレームの各部材が、各節点でピン接合によって連結し、基本的に軸力を主体とした応力を負担する架構の形式である。以上の特徴は、軽量かつ長スパンの架構形式に利点が多く、建築・土木の分野において、構造材料を問わず、経済的に長いスパンを架け渡す架構の形式として、広く社会に普及している。

木造建築におけるトラス架構は、特に非住宅系で低層の中大規模の建物において、学校、事務所、体育館、倉庫、車庫、工場、畜舎等の比較的大きいスパンが要求される空間の屋根架構として広く用いられてきた。シンプルな形態の木造トラスには、切妻屋根に適した山型のキングポストトラスやラフタートラス、陸屋根に適した平行弦トラスの他、片流れ屋根に適した張弦トラスや、キングポストトラスの真束の直下に柱を立てた片流れ型トラス等が挙げられる。

これらの木造トラス架構に共通する設計概念は、長尺の1本の梁に代えて、比較的短い、例えば、製材では約4m程度、集成材では約6m程度迄の長さの材を、応力伝達において有効な継手・仕口を用いて緊結した組立梁として架け渡し、それぞれの用途に要求されるスパンの空間を実現する、というものである。

これらを最も経済的に作る場合、使用材料や部材断面の選択、接合部の形状等が重要である。使用材料や部材断面として、国内の市場で一般的に流通する樹種と強度等級で、断面寸法は材幅120mm又は105mm、材成は360mm程度迄、部材長は3mから4m程度の製材、又は6m程度までの集成材を用いることや、継手・仕口の加工に在来軸組工法住宅用プレカット加工機の柱材・横架材加工ラインを転用することが有効である。

在来軸組工法におけるプレカットとは、軸組を構成する柱梁等の主要構造材について、その継手・仕口の加工を事前に工場で済ませて建設現場に搬入することで、短工期で効率良く、かつ精度よく建て方を行うための、設計や生産のシステムである。工場でのプレカット加工には、コンピュータによるCAD/CAMを用いた生産システムと連動した全自動加工機が用いられる。全自動加工機で主なものとしては、横架材加工機、柱材加工機、羽柄材加工機、合板加工機等の他、特殊加工機があり、柱梁を含む在来軸組工法の各部材はそれぞれの加工機のライン上で加工される。特に、横架材加工機及び柱材加工機のラインでは、材端部のホゾ加工や材中間部のホゾ孔の加工を効率よく行うための寸法の範囲や加工形状の制約・制限があり、これらを熟知した技術者によってCADシステムに入力されたデータに基づく加工形状が、CAMシステムに読み込まれ、それぞれライン上で精度よく加工されることになる。

一般社団法人全国木造住宅機械プレカット協会によれば、平成27(2015)年の国内のプレカット工場数は640、木造軸組構法住宅のうちプレカット化されたものの割合は91%となり(図1)、全国的にプレカット工場が充実した状況にあるといえる。つまり、1980年代以前は、そのほとんどが手加工でなされてきた在来軸組工法住宅の継手仕口が、現代では、プレカット工場での加工に取って変わった。裏を返せば、現在の一般的な建設市場で木造住宅の建設を考えると、プレカットを前提とすることは、ほとんど必須の状況にあるといえる。

そこで視点を変えると、前段で述べた低層の中大規模木造建築における木造トラス架構の材料の選択や継手仕口の加工形状を、既に在るものとして標準化して整備し、設計者と施工者、プレカット工場との間で共有しておくことが、設計や施工での作業の効率化や信頼性の高い生産に繋がる。標準化の具体的な内容は、市場流通材を前提とした荷重条件毎のスパン表、又は部材断面リストの整備や、在来軸組工法用プレカット

に対応した接合部標準図の作成と公開，その充実，等である。在来軸組工法用プレカットを用いた木造トラスの仕様の標準化という，設計や生産・施工を取巻く環境の整備は，建設市場での競争力の強化に繋がり、非住宅系建物の木造化の推進と木材需要の増加に直結することが期待できる。

一方，木造トラス架構の個々の接合部は，その加工形状や応力伝達が複雑になりがちである。特に，必ず伴う斜材の仕口は，互いの材が斜めに取り合い，力学的にも材料学的にもその応力伝達機構や破壊現象が複雑で，計算理論のみではそれらの実際の剛性及び耐力といった力学的性能や破壊現象の全てを掌握するのは困難であると考えられる。

以上より，在来軸組工法住宅のプレカット加工を活用した木造標準トラスの仕様やその構造的性能はどのようなものか，という疑問を本論文の問題提起とする。

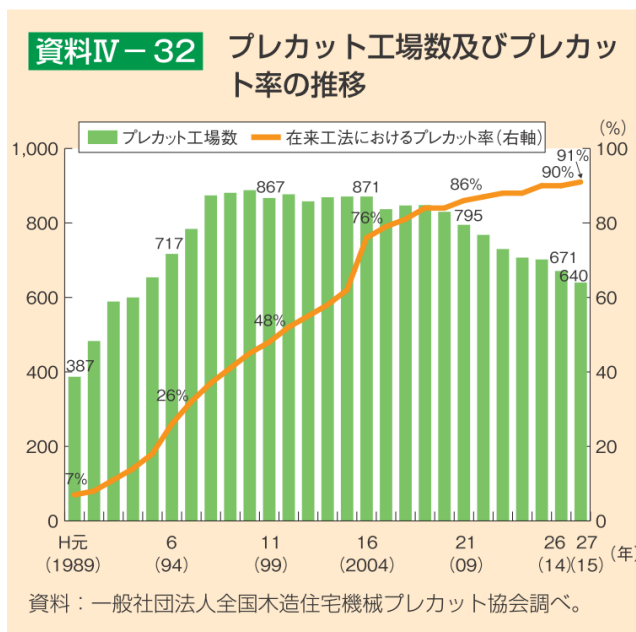


図1 (出典、; 平成 28 年度 森林林業白書 p. 155)

## 1.2 本論文の目的と問題解決方法

本論文は、主に低層の木造建築物で採用される機会が多いと想定される木造トラスについて、その標準化を検討し、性能を検証するものである。その結果、高度な専門的技術がなくとも在来軸組工法に通じた設計者や施工者であれば容易に採用することが可能な標準トラス架構として、標準図等を整備して、広く普及させることで、さらなる木材需要を図り、より国内の豊富な森林資源を循環的な利用に導くことを目指す。

その具体的な問題解決方法として、本研究では木造トラスのうち、汎用性が高いキングポストトラス、及びそこから派生した形状の片流れ型トラスをについて、実用と普及を前提に、その具体的な架構形状や継手・仕口の標準詳細を提案する。また、それらの性能を、要素実験や実大試験体による静的載荷実験等によって明らかにし、構造設計者が活用しやすい技術的根拠を提示する。特に、これまで木造のトラス架構において、具体的に根拠を伴って提案がなされていなかった、各接合部のすべりによる鉛直たわみ増大率を実大試験体による静的載荷実験等によって検証し、提案する。

## 1.3 既往の研究

木造トラスの標準架構に関する総体的な研究の成果として、昭和 25 年に日本建築学会から発行された「木造学校建物規格試作並びに実験報告」が挙げられる。これは、当時の東京都建築局工事課の設計による東京都立千歳女子高等学校の新築第 2 期工事として、実際に建設中の構造体を小屋組の載荷試験、骨組の梁行方向の水平引張試験及び振動試験の試験体として用いたものである。〈第 3 章 小屋組載荷試験〉において、当時の標準仕様による小屋組トラスの静的載荷実験で得られた知見が纏められている。載荷は、

附図 第 2 図

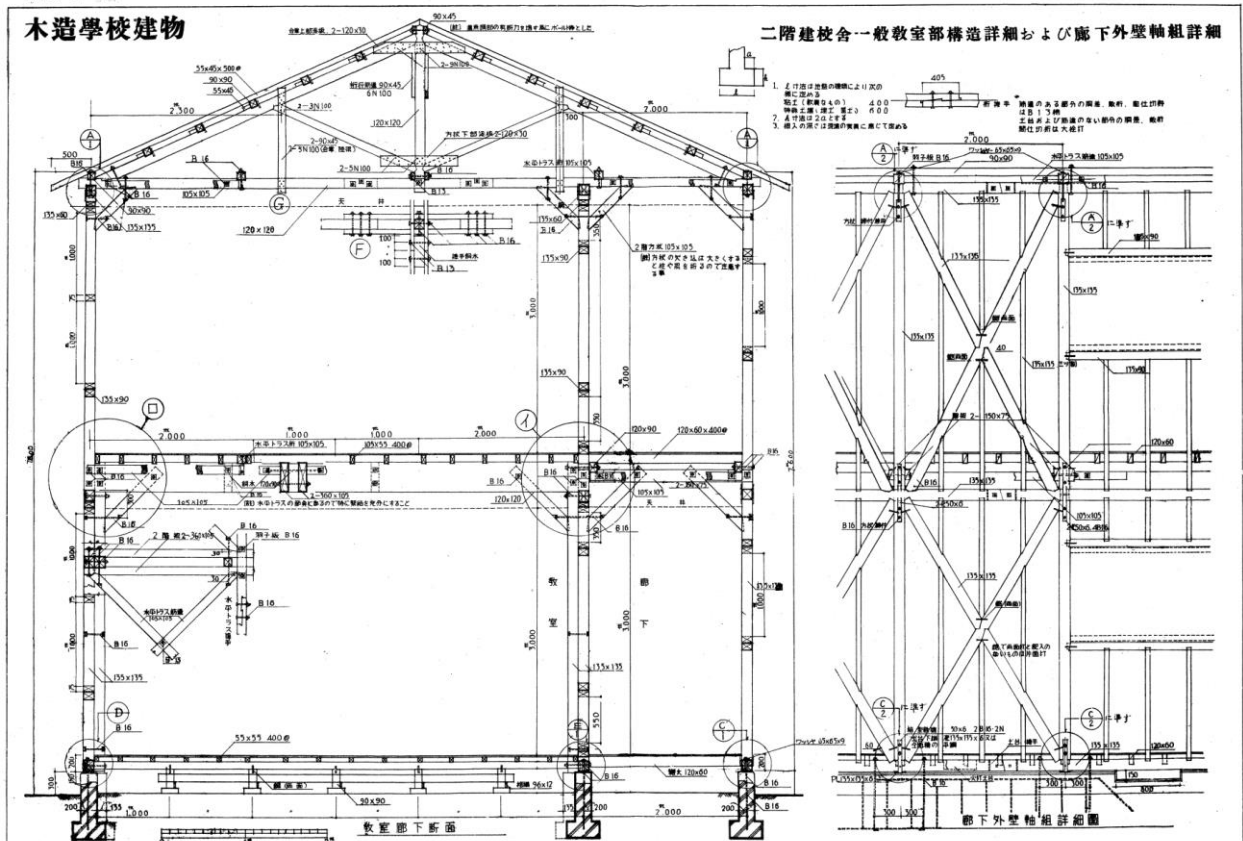
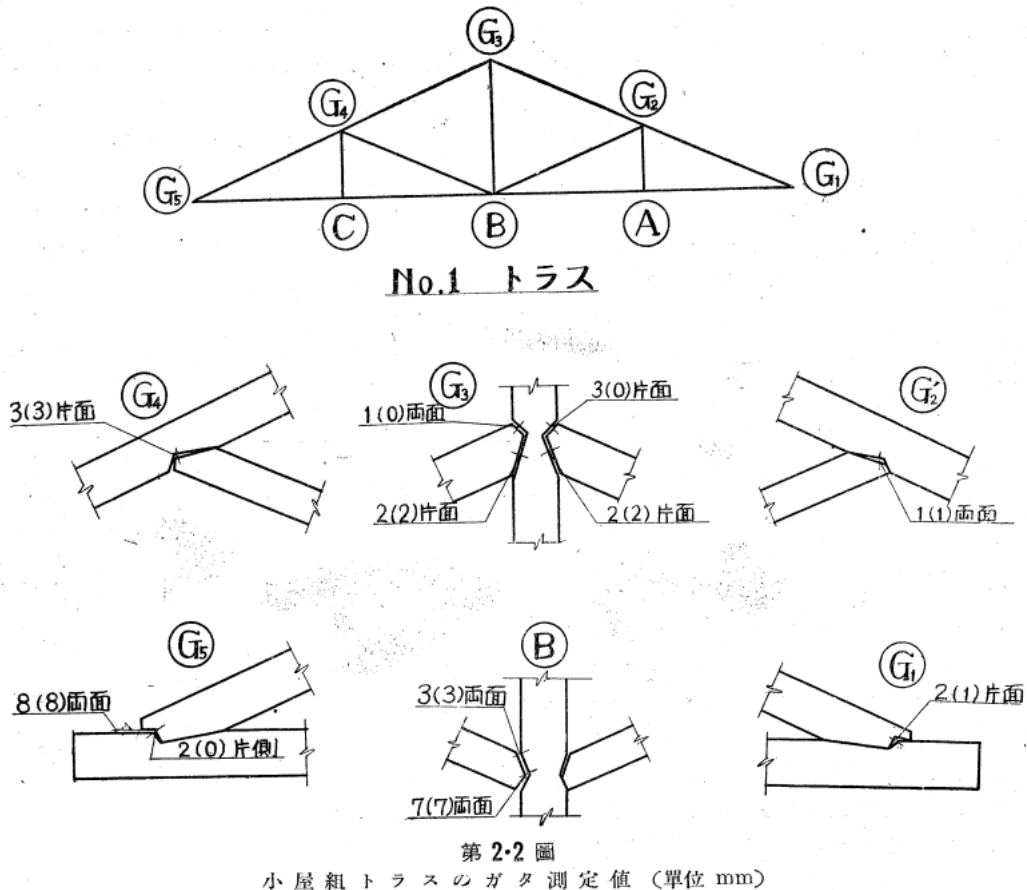


図 1. 「木造学校建物規格試作並びに実験報告」附図 第 2 図より

ボルトまたはナットを詰めた箱を用いて行われ、比較的長期間の載荷と徐荷に対する陸梁の変位や合掌尻のめり込みの測定、考察等が記録されている。

この前後の年代的背景としては、昭和 24 年に文部省と商工省（いずれも当時）の告示第一号として公布された日本建築規格（JES 建築 1302）「木造小學校建物」、同（JES 建築 1303）「木造中學校建物」の他、昭和 31 年に文部省による「木造校舎の構造設計標準」（JIS A 3301）の制定がある。前述の実験報告はこれらの標準仕様に基づいて設計された木造校舎を用いた、静的載荷試験の結果であると想像できる。



第 2.2 圖  
小屋組トラスのガタ測定値（単位 mm）  
図 1. 「木造学校建物規格試作並びに実験報告」附図 第 2 図より

「木造学校建物規格試作並びに実験報告」における接合部の加工形状は図に示すとおりで、当時の大工の手加工を前提とした傾ぎ大入れが多用されている。これらの加工形状は、材軸に対して傾斜した胴付き面を伴っており、在来軸組工法プレカットの柱材加工機や横架材加工機では対応が難しい形状である。さらに、試験結果として得られた知見として考察に纏められた内容を抜粋すると以下のとおりである。

- ・陸梁撓み施工状態によって著しく差を生じる。
- ・陸梁撓みは接合部の変位により大きく影響される。その理由は理論計算を行ってみると部材変位と接合部の変位による撓みとの比は長期設計荷重時に於て 1:2.96 短期設計荷重時に於ては 1:1.95 になるからである。而して特に陸梁接手の変位は陸梁撓みに大きく影響する様に思われる。
- ・接合部の変位中、釘打とボルト接合を比べると釘打ちの方が変位は小さい。

以上のとおり、陸梁の撓み、即ちトラス全体の鉛直方向たわみ量は、接合部、特に陸梁継手の変位が大きく影響することが述べられている。本研究においても特に、陸梁の継手の性能は、トラス架構全体の性

能に影響するところが大きいという前提で、その引張要素実験等を通じて性能を明らかにする。

なお、昭和 31 年の「木造校舎の構造設計標準」(JIS A 3301) の制定以降、同規格は大幅な改定のないまま数十年を経た後、平成 27 年(2015 年)に改正版 (JIS A 3301 : 2015) が発行された。そこでは、最新の木材流通状況や、木材加工技術を反映した仕様によって作成された標準図等が掲載されている。

その他、 トラス架構の実大試験体を用いた加力実験に関する、幾つかの既往の研究を挙げる。

・近年の研究として、全国木材協同組合連合会・三井ホーム株式会社・三井コンポーネント株式会社により、静岡大学にて実施された屋根トラス実大加力実験の報告が、平成 23 年に「地域材を使用した木質トラス工法の普及のための技術整備」事業成果報告書の中にまとめられている。この実験では、接合部にメタルプレートコネクタを用いたフィンクトラスの実大試験体を、床面に横置きした状態での加力が行われている。

・一般財団法人 JBN・東京大学生産技術研究所／腰原研究室・NPO 法人 team Timberize 編の「JBN トラス報告書」には、2012 年度～2013 年度にかけて実施された、平行弦トラスの実大試験体による静的載荷試験の報告がまとめられている。本研究と同様に、住宅用流通製材とプレカットシステムの活用を前提とした試験体による実大試験である。

## 1.4 本論文の構成と概要

本論文の構成は、大別すると、前段で在来軸組工法用プレカットを活用した木造標準トラスの試設計として、その標準図を提示する。後段では、提示した標準図の仕様に準じた木造標準トラスの構造性能を把握するための実験と考察を行う。実験は、陸梁継手の引張実験、実大試験体を用いた静的載荷実験及び合掌尻仕口の要素実験である。

各章の概要は以下のとおりである。

第1章\_\_序論

第2章\_\_在来軸組工法用プレカットを活用した木造標準トラスの試設計と標準仕様の提示

第3章\_\_木造標準トラスの性能への影響が大きい、陸梁継手の仕様を決めるための引張要素実験

第4章\_\_第2章で提示した木造標準トラスの静的実大載荷実験

第5章\_\_第4章の静的実大載荷実験から得られた各接合部の挙動の把握や剛性の予測等

第6章\_\_実大載荷実験で割裂破壊を生じた合掌尻仕口の要素実験

第7章\_\_結論



## 第2章 在来軸組工法用プレカットを活用した木造標準トラスの 試設計

## 第2章 在来軸組工法用プレカットを活用した木造標準トラスの試設計

### 2.1 試設計の概要

在来軸組工法用プレカットを活用した木造標準トラスの試設計を行った。

特に、低層中大規模の木造建築で特に学校校舎を想定し、支点間距離は約 9~12m の標準トラスを開発の対象とした。標準トラスの形状は、汎用性が高く、長さが 4~6m 程度の一般的な市場流通材を組み立てて製作することが可能な、3~4.5 寸勾配（傾斜角 16.7~24.2 度）の山型のキングポストトラスと、片流れトラスを採用した。

なお、本研究における在来軸組工法用プレカットとは、在来軸組工法住宅で多用されるプレカット機械加工及び生産システムを前提としたものである。したがって、標準トラスの継手・仕口の形状は、柱材加工機と横架材加工機の生産ラインで加工が可能なものを採用し、特殊加工機でのプレカット加工を必要としないものとした。具体的には、材端部にホゾを設けた男木側の材と、ホゾ穴を設けた女木側の材とを嵌合接合によって、一体の仕口または継手としたうえで、引きボルトとナット及び座金や、木質構造用ビスで緊結する形式である。これは、組み立てに特殊な技能や管理を必要とせず、在来軸組工法住宅の施工の経験がある工務店であれば十分に施工が可能で、かつ施工における品質が確保されることを考慮したものである。

そのため、材端部にスリットを切り鋼板を挿入したドリフトピンによる接合形式や、メタルプレートコネクタ金物のような、特定のメーカーが生産する金物や特殊な金物工法による継手・仕口は除外した。同様に、ラグスクリューボルトや、鋼棒挿入接着接合も、在来軸組工法住宅の建設では一般的でなく、加工に特殊な工程と品質管理を必要とすることから、対象から除外した。

なお、常時比較的大きな引張力が作用する下弦材（陸梁）の継手は、次章で示す実験結果と考察にの結果、丸鋼と座金を用いた引きボルト式継手を採用した。

標準トラスの各継手・仕口の実際の寸法設定は、主に、プレカット専用機械や木材加工機械、プレカット CAD のソフトウェア等の開発・製造・販売を行う宮川工機株式会社や、住宅用構造部材の供給を行う大手企業の中国木材株式会社等のプレカット CAD 技術者からの助言や、形状が実際に加工可能であるかの検証を受けた。また同様に、（一社）中大規模木造プレカット技術協会の、標準化品質管理ワーキンググループにおいて、会員企業であるプレカット機械・ソフトウェアのメーカーや住宅用構造材供給企業の技術者から、各社のプレカットシステム上での作動や出力のチェック・検証を受けたものである。

### 2.2 試設計の方針及び設計条件

木造標準トラス架構として、以下の 2 種類のトラスを設計する。

- ① 12m スパン、屋根勾配 4 寸のキングポストトラス
- ② 9m スパン、屋根勾配 3.5 寸の片流れトラス

設計における諸条件は以下のとおり。

- 1) 使用材料は、国産材の利用推進を図るため、スギ製材 E70-D20 又は、スギ集成材 E65-F225 を用いることを前提とする。

2) 各部材の断面寸法は、市場で一般的に流通する（特注となる寸法でない）断面寸法とする。具体的には、断面寸法が120×120(mm)の正角材、及び120×240(mm)の平角材による構成とする。

3) 継手・仕口の形状・寸法は、在来軸組工法に用いられる柱材加工機、横架材加工機でのプレカット加工を前提とする。

上記1)は、標準的なトラス架構が広く全国的に普及することを念頭に、かつ国産材の利用推進を図るため、比較的入手しやすい樹種として選択した。

2)については、基本的に全国のどの地域においても経済的に建設することが可能な架構とするために設定した。具体的に用いたのは、正角材120×120(mm)、及び平角材120(または105)×240(～30mm刻みで360mm程度まで)とした。

3)については、2)と同様に、全国各地に展開する、在来軸組工法木造住宅用のプレカット材を取り扱う工場での加工を前提に設定したものである。したがって、基本的には2軸加工機を使用する横架材ライン又は、柱材ラインで処理できるものとし、多軸加工機のような特殊加工を要する形状は除いた。2軸加工機の加工上の制約は、主に以下の点に集約される。

1. ホゾの深さは、90mmまで。

2. ホゾ孔の四周は同一角度とする。

(傾ぎ大入れのような、斜めの面を持ったホゾは機械での対応が不可)

3. 仕口で取り合う2材のうち、どちらかは、鉛直または水平でなければならない。

(柱材ライン又は横架材ラインのどちらかのラインで加工するため。斜め材同士が直接取り合う仕口の加工は不可)

4. 丸穴のドリルの深さは200mm+ $\alpha$ 程度まで。加工径は、ボルト呼び径+2mm。

(構造計算における設計クライテリア)

構造計算における設計クライテリアとして、以下のとおりとした。

1) 各部材に生じる応力度が、材料の許容応力度以下。

2) 各部材同士の接合部に作用する応力が、接合部の許容耐力以下。

3) クリープや接合部のすべりを考慮したたわみ量が制限値以下。

また、構造計算は、以下の法令及び図書に準拠した。

・建築基準法および告示

・2007年版 建築物の構造関係技術基準解説書

・木質構造設計規準・同解説－許容応力度・許容耐力設計用－ 2006年版 (日本建築学会刊)

・木質構造接合部設計マニュアル (同上)

・木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2008年版) (財 日本住宅・木材技術センター刊)

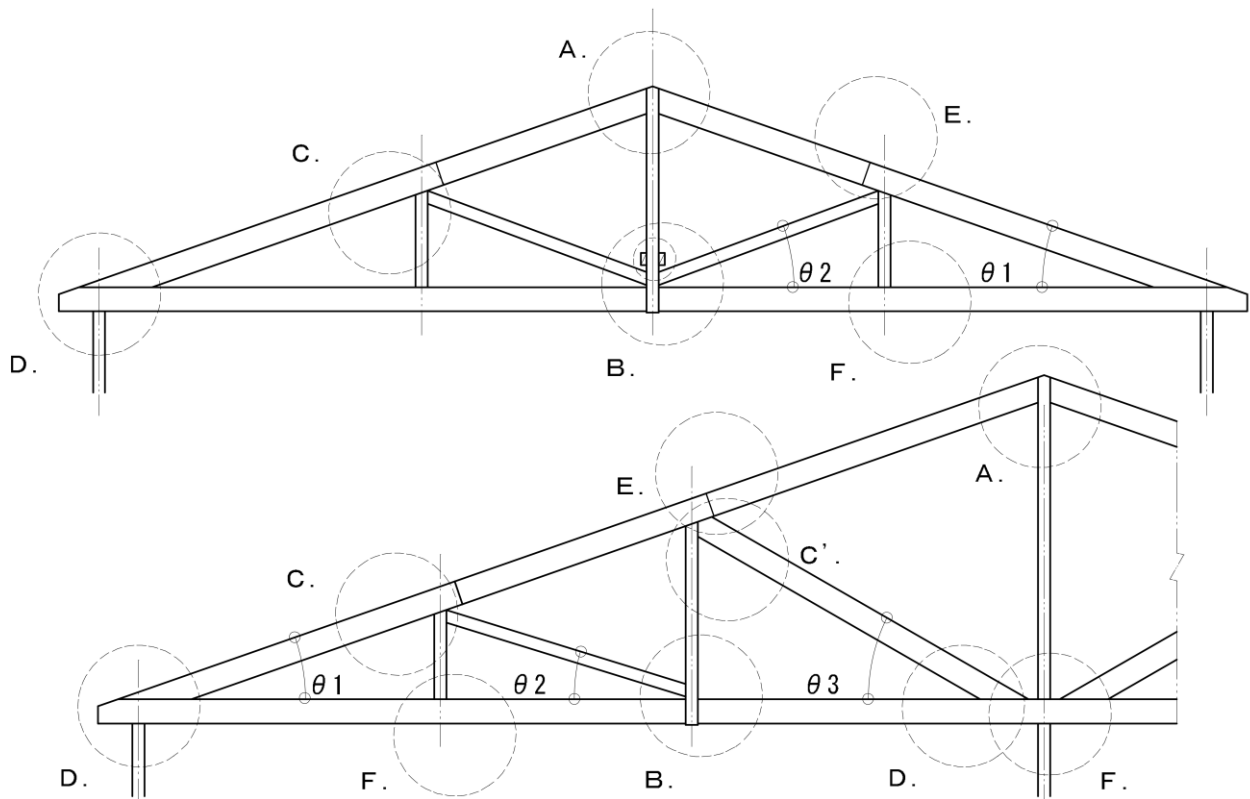
・木質構造 第4版 (杉山英男 編著 / 共立出版 刊)

・中大規模木造建築物の構造設計の手引き (稲山正弘 著 / 彰国社 刊)

## 2.3 キングポストトラス型及び片流れ木造標準トラスの標準図(案)

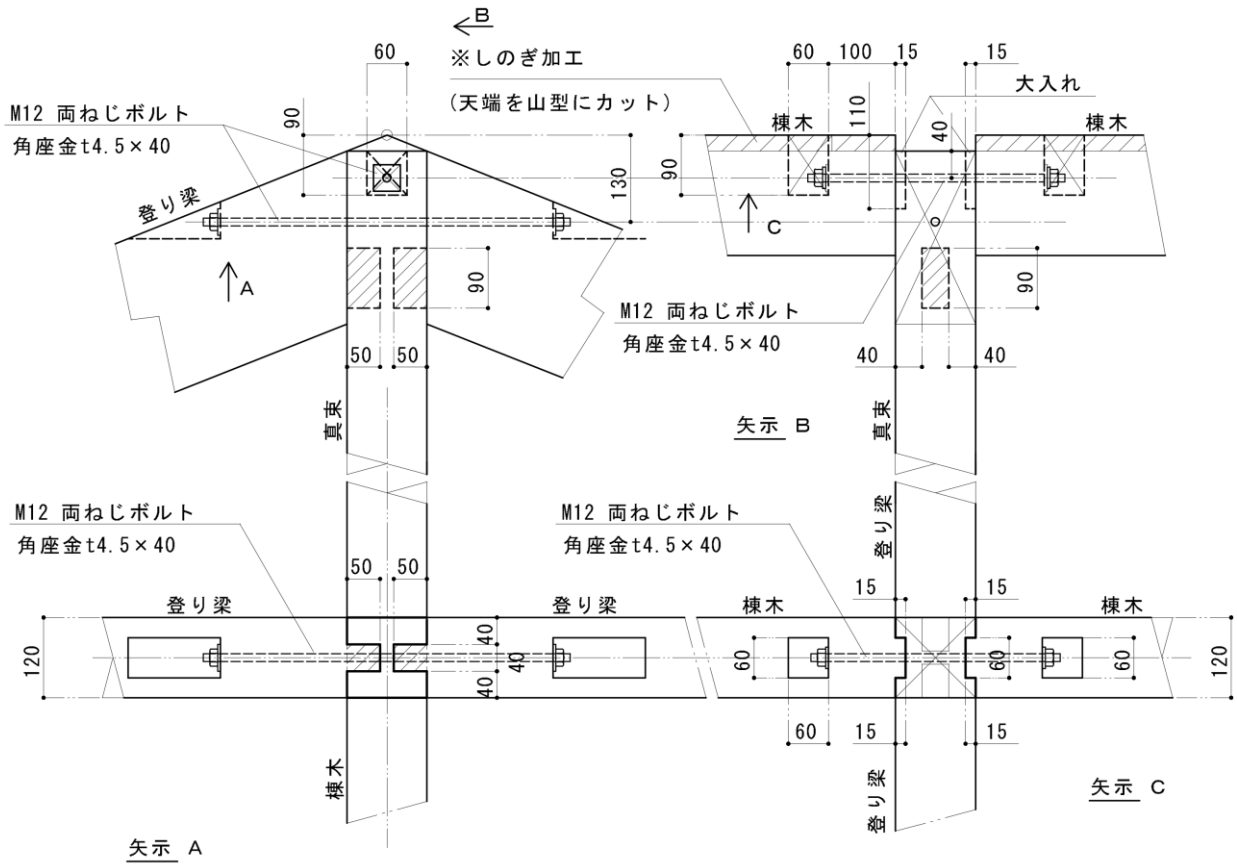
前段に示した設計方針や設計条件に基づいて作成した、キングポストトラス型及び片流れ型木造標準トラスの標準図を以下に示す。標準図には、

### (1) 共通事項及びキープラン



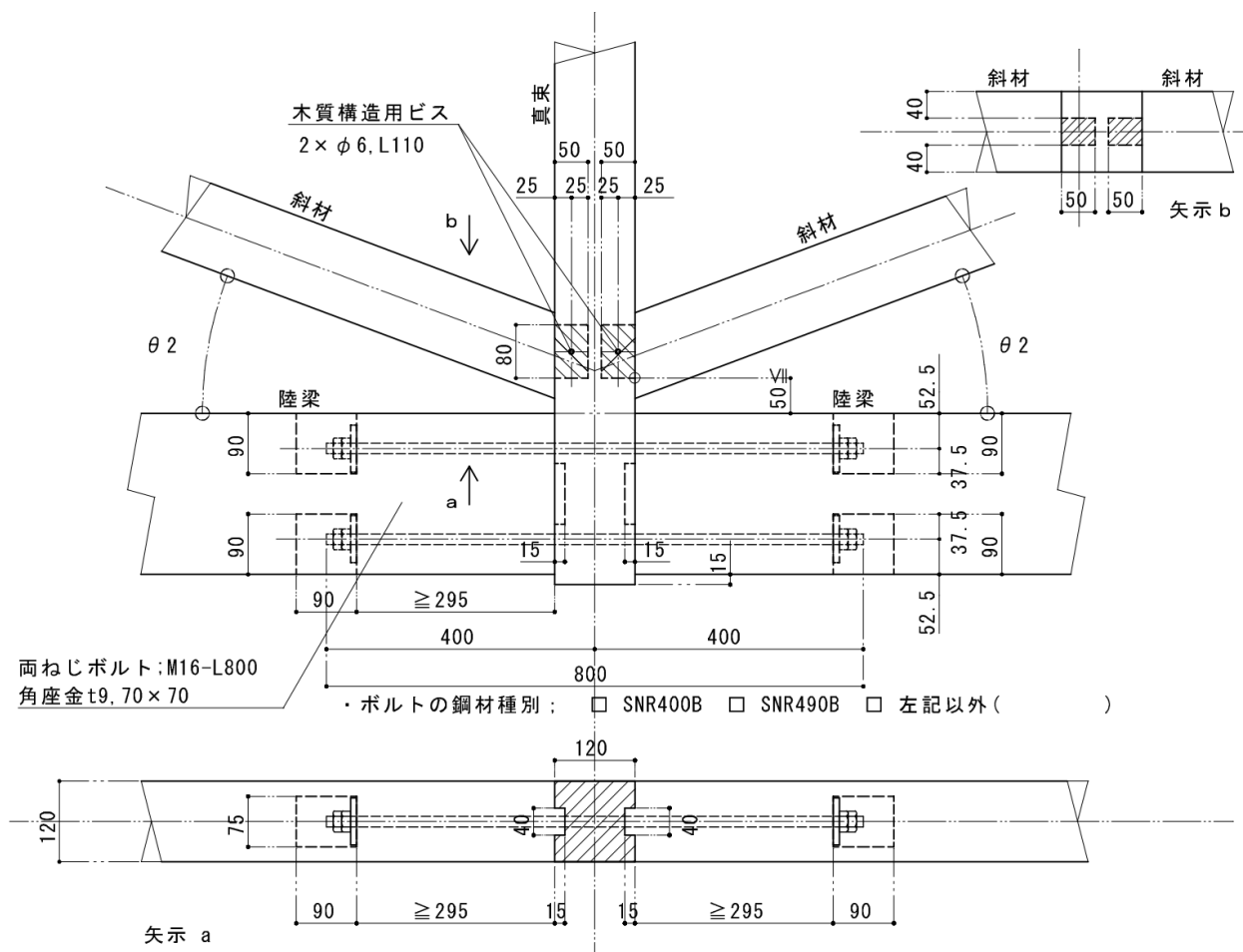
- ・  $\theta 1$ ,  $\theta 2$  は共に 3.0~4.5 寸勾配 ( $16.7^\circ \sim 24.2^\circ$ ) 程度、 $\theta 3$  は 3.0 寸以上の勾配とする。
- ・ 陸梁と側束、又は合掌尻側の束との取合いは、トラスのスパンが 12m 以内の場合は陸梁勝ち、12m を超える場合は側束、又は合掌尻側の束勝ちとする。
- ・ 登り梁は合掌尻から割付け、継手を設ける位置は側束より真束側とする。(側束側面より、真束側に 50~250 の範囲に腰掛鎌継ぎの胴付面を設けること。ただし、屋根水平構面の母屋の仕口の位置と干渉しないように注意。)
- ・ 登り梁の横座屈を防止するため、登り梁に対して母屋を 15mm 程度の大入れによって 900~1,000mm 間隔で落とし込み、計算で求めた水平構面の仕様(釘径, 長さ, ピッチ) によって厚 24mm 以上の構造用合板張り、四周釘打ちとする。
- ・ トラスのスパンが 12m を超える場合、陸梁の継手位置に振れ止め材を入れること。

## A. 真束上部



真束上部の合掌頂部は、登りばり及び直交方向側から取り付く棟木に対して真束勝ちの納まりとし、引きボルトを用いて離れを防止する。登りばりと真束との接合部は、幅 90 mm×厚 40 mm×深 50 mm のほぞ差しとし、棟木と真束との接合部を深 15 mm 程度の大入れとする。棟木の天端は、山形に斜め加工を施し、屋根水平構面の構造用合板の受け材とする。TG4 では合掌頂部に真束が取り付かないため、登りばりの木口どうしを互いに突き合わせて緊結し、斜材は登りばりの下面にほぞ差しとする。

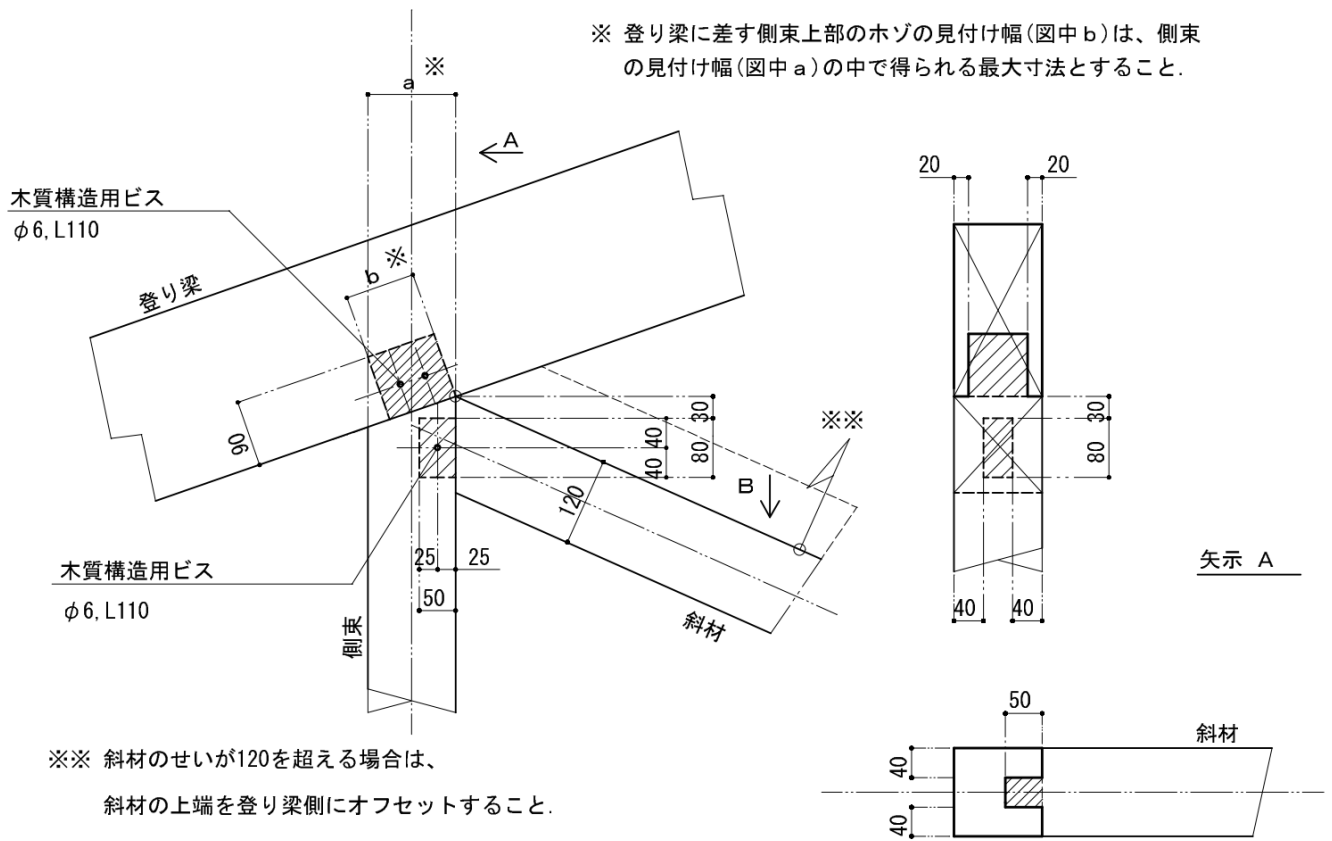
B. 真東下部（陸梁継手を含む）



束材（真東，側束）下端と斜材との接合部は，束材下端に対し斜材からのほぞ差しに木質構造用ビスφ6, L110を2本打ちする。斜材が真東に対して取り付け位置は，斜材の上端面の最も下流側の先端を，陸ばり上端面から150 mm程度上方の位置で束材側面に当てるものとする。また，斜材が側束に対して取り付け位置は，斜材の上端面の延長線と側束側面との交点が，陸ばり上端面から上方に50 mm程度の位置になるようにする。

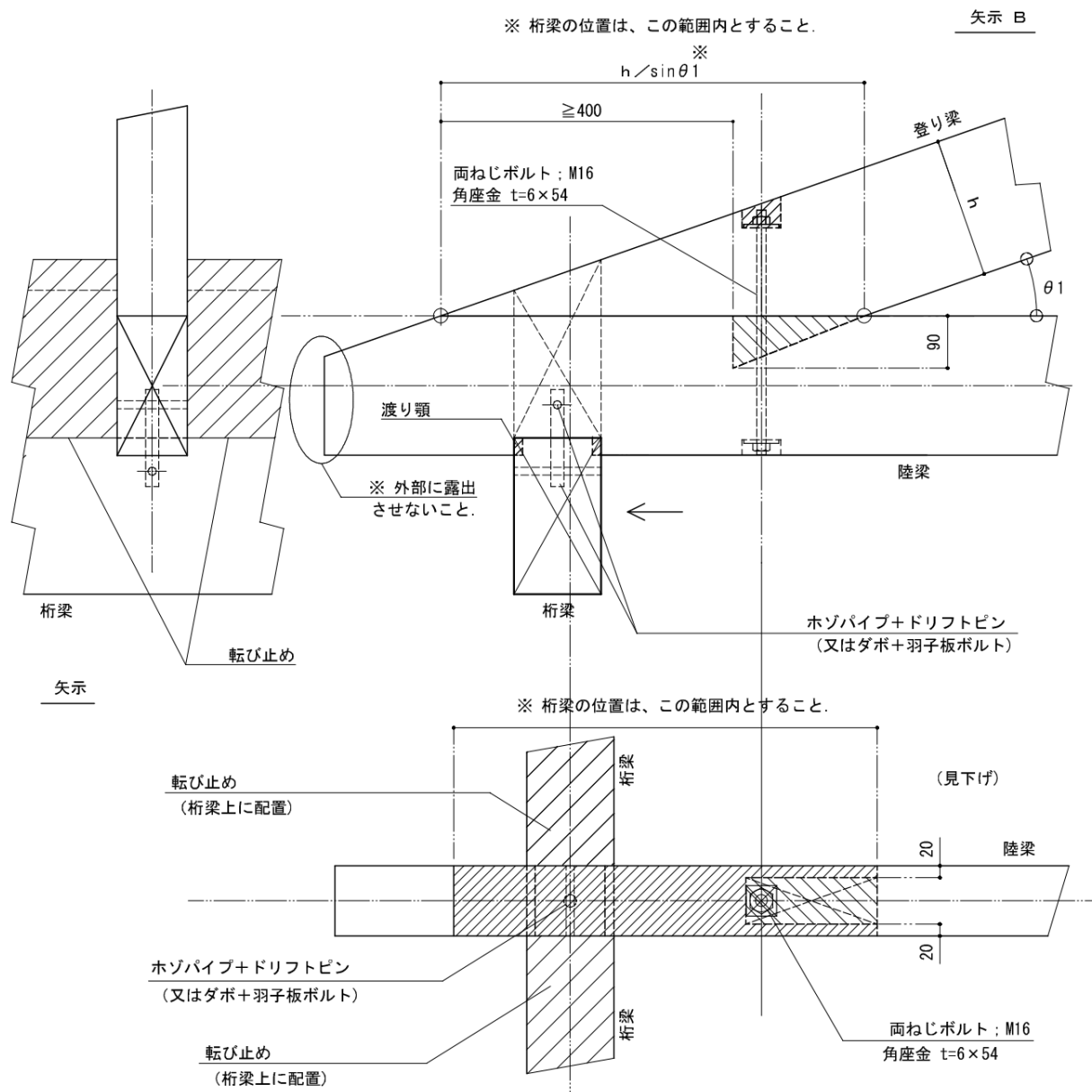
陸ばりどうしの継手は，互いの木口を突き合わせて深さ15 mmの大入れとし，上下2段に配置したM16両ねじボルトと座金（厚12 mm，70 mm × 70 mm），ダブルナットを用いて互いに緊接する。

C. 斜材・側束上部



登りばりと側束及び斜材との接合部は、登りばりに対し側束から幅 90 mm×厚 80 mm×深 90 mm のほぞ差しに木質構造用ビスφ6, L110 を 2 本打ちとした上で、側束に対し斜材からの幅 80 mm×厚 40 mm×深 50 mm のほぞ差しに木質構造用ビスφ6, L110 を打つ。束材に対して斜材が取り付く位置は、登りばり下面と束材側面が交わる入隅交点に、斜材の上端面の先端をあてるものとする。

## D. 斜材・側束上部

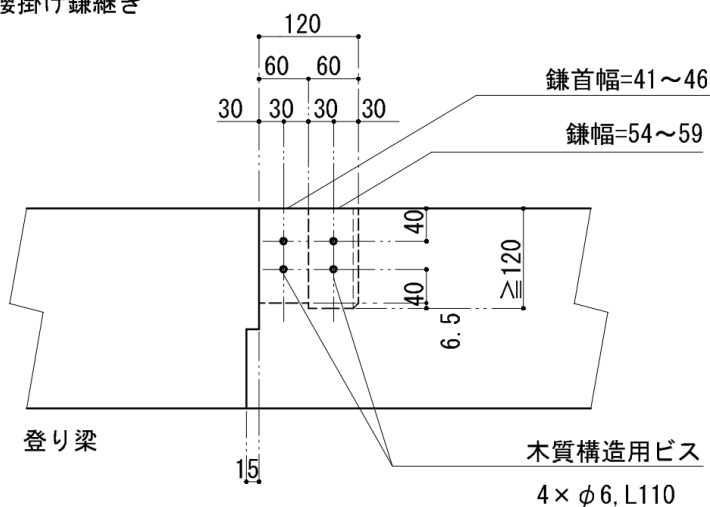


合掌尻は、登りばりの木口を陸ばりの上部に設けた支圧面に当てることで、登りばりの軸力を陸ばりに伝達する納まりとする。陸ばりの先端部は、登りばり木口が当たる支圧面から陸ばり先端部の小口面までのせん断面の耐力によって、登りばりから陸ばりに伝達された軸力を負担する。陸ばりシングルタイプでは登りばりから陸ばりに対し厚 80 mm×深 90 mm の傾ぎ大入れほぞ差しとし、陸ばりダブルタイプでは、2 本の陸ばりの内側に設けた厚 60 mm×深 90 mm の欠込みを互いに向かい合わせた幅 120 mm の孔に登りばりをはめて挟んだ上で、各タイプともに、登りばりの下流側端部と陸ばりとを M12 両引きボルトを上下貫通させて互いに緊結する。合掌尻での登りばりの位置の決め方は、下階の X 方向小屋大ばりの部材芯から外側に 200 mm オフセットした線と、陸ばり上端ラインとの交点に、登りばり上面の最も下流側の端部を合わせ、そこを起点に、登りばりを屋根勾配に従って傾斜させるものとする。片流れ形トラスで構成される TG1、TG3 及び TG4 については、建物中央側に配置した柱付近の陸ばりに取り付く斜材の接合部も、合掌尻の納まりを準用する。その際、斜材の上端面の最も下流側の先端は、束材の側面と陸ばりの上端面の交差する入隅交点から 15 mm 程度離れた位置に合わせる。



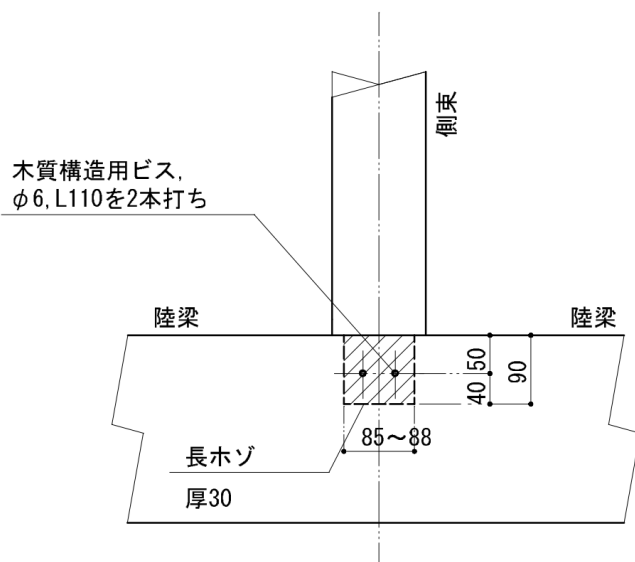
## E. 陸梁継手

### ・腰掛け鎌継ぎ



登りばりの継手は、継手長さ約 360 mm の追掛け継ぎ又は継手長さ約 120mm の腰掛け鎌継ぎとする。継手の位置は、基本的に登りばりに生じる曲げモーメントが小さい箇所に設けるか、又は、プレカットに支障のない範囲で束位置にできるだけ近い位置とする。ただし、登りばりの部材長、割付、継手位置などを適宜調整し、必要以上の数の継手を設けないようにする。

## F. 側束下部



束材（真束、側束）下端と陸ばりとの接合部は、陸ばりがシングルタイプで束材勝ちの場合は、陸ばりの木口面を束材下端に当て、深さ 15 mm の大入れとし、上下 2 段に配置した引きボルトを用いて互いに緊接する。シングルタイプで陸ばり勝ちの場合は、陸ばりに対し真束側から幅 120 mm×厚 80 mm×深 90 mm の長ほぞ差しに木質構造用ビスφ6, L110 を 2 本打ちする。陸ばりがダブルタイプの場合は、真束に対し陸ばり勝ちの納まりとし、2 本の陸ばりに設けた、互いに向かい合う幅 120 mm×厚 60 mm×深 150 mm の欠込みに真束をはめて挟んだ上で木質構造用ビスφ6, L110 を 4 本打ちとする。

### 第3章 標準トラスの下弦材に用いる継手の引張実験

## 第3章 標準トラスの下弦材に用いる継手の引張実験

### 3.1 継手の引張実験の目的

トラスを構成する部材に生じる応力で支配的となるのは軸力であり、各部材には、圧縮力又は引張力が作用する。上弦材と下弦材及び束材、斜材で構成される木造トラスの部材のうち、トラスの形式に関わらず、常にすべての部材のうちで最も大きな引張力が作用するのが下弦材である。

同時に、下弦材の長さは、基本的にそれがそのままトラスのスパンの長さである。したがって、下弦材はトラスを構成する部材のうち最も部材長が長くなる。例えば、スパン長が9~12m以上の木造トラス架構を、4m又は6mの定尺の流通木材（製材、集成材）で構成する場合には、2本以上の通直材を継手で連結して1本の下弦材を構成しなければならない。その継手には、作用する引張力に対して十分な剛性と耐力が必要とされる。

負荷がかけられた木造トラス架構全体の鉛直たわみ量は、トラスを構成する各部材の接合部の変形が大きく影響するが、特に応力負担の大きい下弦材（陸梁）の継手の仕様は、トラスの接合部のうちで最もその影響が大きいと考えられる。そこで、木造標準トラスの試設計に先立って、下弦材（陸梁）の引張継手の仕様を決定することを目的として、要素試験体による引張実験を行った。

### 3.2 継手の引張実験の概要

引張実験は、まず、在来軸組工法で用いられる横架材の継手の中なら、引張実験の対象とする仕様を選定した。引張力を伝達できる継手として主なものには、腰掛鎌継や追掛け継手が挙げられる。そのうち腰掛継手は、部材断面の上側にある男木の顎の鎌の部分のせん断面や、鎌の顎の部分の支圧面等で引張力を伝達しなければならないが、それぞれの面積が小さいため大きな応力の伝達は難しい。一方、追掛け継手では、すべり勾配を伴った顎が部材断面の上面から下面に亘って掛かっていることから、より高い剛性と耐力が期待できると考えられる。更に、互いに重なり合った顎の側面から、木栓、ボルト、木質構造用ビス等の接合具による一面せん断接合での補強の付与も、比較的容易である。そこで、まず、追掛け継手を引張実験の対象とした。追掛け継手のみをコントロール試験体としたうえで、前述の接合具を付加した仕様の試験体と比較して、接合具による剛性や耐力の増大の効果を確認した。

次に、より高い剛性と耐力を期待して、引きボルト式継手を用いた試験体による比較実験を行った。引きボルト式継手は、木質ラーメン構造の柱梁仕口でモーメント抵抗型接合部として開発されたものであり、中立軸を境に引張側の応力を、引きボルトの引張力や、座金の繊維方向へのめり込み抵抗によって柱に伝達する機構である。木造トラス架構の下弦材では、基本的に全断面に引張力が作用すると考えられるので、上下に配置された2本分の引きボルトの引張力等が期待でき、ボルトの鋼材種別の選択次第では、より高耐力の引張継手とすることも期待できると考えた。引きボルト式継手による実験は、まず製材を母材とした試験体を用い、両引きボルトの長さや座金の板厚及び外径寸法、ボルト定着部の角孔の寸法、ボルト定着部の座金の支圧面から材端の木口までのせん断面長さを変えて、各々の試験結果を比較し、高い剛性等の期待できる座金の寸法等の仕様を確認した。ボルトはZマーク金物の両引きボルトを用いた。

次に、ラミナの積層接着で構成される構造上、製材よりも割裂破壊が生じにくいと考えられる集成材の試験体に、先行した試験で比較的高い剛性が確認できた仕様の両引きボルト式継手を適用し、座金厚と外

形寸法、両引きボルトの長さを一定にして、樹種と強度等級の種別を増やして比較を行った。両引きボルトは、より高強度で降伏点強度の下限が規定された S45C 鋼材とした。

### 3.3 継手の引張実験の方法

継手の引張実験は、木造標準トラスの下弦材を、その継手部分について抽出した試験体を製作して行った。試験体は、長さが約3mの材を材長の中心で2分割した後、引張力を負担できる仕様の継手で再び緊結したものをを用いた。試験体への加力は、実大木材引張試験機（株式会社 前川試験機製作所製）を用い、試験体を実大木材引張試験機の所定の位置に設置した後、両端部を油圧式チャックで挟んで固定し、試験体の材軸方向に引張力を与えた。加力は一方向単調加力とし、加力の速度は約5mm/min程度とした。加力中、継手位置で2つの材の相対変位量を計測し、試験体に加えた引張力との関係を把握した。また、破壊過程の推移や終局的な破壊モードを観察した。



試験体の継手の仕様と試験体数は、全23種、105体(表1, 図1及び2)とした。試験体の材料は、一般的に流通する平角の製材又は集成材の樹種及び強度等級を用いた。製材を用いた試験体では、国産材で流通量が多いスギとし、その強度等級はE70-SD20とした。又、比較の為、一部の仕様でベイマツE110-SD20、及びヒノキE90-D20を用いた。集成材を用いた試験体では、スギ、カラマツ、オウシュウアカマツ、ベイマツ、スギ-ベイマツ異樹種複合集成材(ハイブリッド集成材)の5種として比較を行った。試験体の断面寸法は、幅を120mm、成を240mmとし、一部の試験体は、比較の為、幅を105mm、成は同じ240mmとした。試験体の一覧を表1に示す。

表1 継手引張実験\_試験体一覧

NO. 符号	母材種別	樹種	強度等級	部材断面	継手の仕様	接合具の仕様	接合具寸法, その他 (mm)	試験体数
1 OJ-CL	製材	スギ	E70-SD20	120×240	追掛け	無		3
2 OJ-WPJ	製材	スギ	E70-SD20	120×240	追掛け	木栓	Φ18×12本	3
3 OJ-BTJ	製材	スギ	E70-SD20	120×240	追掛け	ボルト	M16×8本	3
4 OJ-SWJ×10	製材	スギ	E70-SD20	120×240	追掛け	ビス	Φ6×10本	3
5 OJ-SWJ×18_A	製材	スギ	E70-SD20	120×240	追掛け	ビス	Φ6×18本	3
6 OJ-SWJ×18_B	製材	スギ	E70-SD20	120×240	追掛け	ビス	Φ18本 ※ビス配置改良	3
7 OJ-SWJ×18_B_105	製材	スギ	E70-SD20	105×240	追掛け	ビス	Φ18本 ※ビス配置改良	3
8 TBJ-Z500-6/54	製材	スギ	E70-SD20	120×240	引きボルト	M16-L500	Zマーク金物 座金_厚6-54×54	3
9 TBJ-Z600-6/54	製材	スギ	E70-SD20	120×240	引きボルト	M16-L600	Zマーク金物 座金_厚6-54×54	3
10 TBJ-Z600-6/54_DF110KD	製材	ベイマツ	E110-SD20	120×240	引きボルト	M16-L600	Zマーク金物 座金_厚6-54×54	3
11 TBJ-Z500-12/72	製材	スギ	E70-SD20	120×240	引きボルト	M16-L500	Zマーク金物 座金_厚12-72×72	6
12 TBJ-Z600-12/72	製材	スギ	E70-SD20	120×240	引きボルト	M16-L600	Zマーク金物 座金_厚12-72×72	6
13 TBJ-Z500-12/72_DF110KD	製材	ベイマツ	E110-SD20	120×240	引きボルト	M16-L500	Zマーク金物 座金_厚12-72×72	6
14 TBJ-Z500-12/58_105	製材	スギ	E70-SD20	105×240	引きボルト	M16-L500	Zマーク金物 座金_厚12-58×58	6
15 TBJ-Z600-12/58_105	製材	スギ	E70-SD20	105×240	引きボルト	M16-L600	Zマーク金物 座金_厚12-58×58	6
16 TBJ-Z600-12/70_JC65EW	集成材	スギ	E65-F225	120×240	引きボルト	M16-L600	Zマーク金物 座金_厚9-70×70	3
17 TBJ-S600-9/70_HI90KD	製材	ヒノキ	E90-SD20	120×240	引きボルト	M16-L600	S45C鋼材 座金_厚9-70×70	6
18 TBJ-S600-9/70_JC65EW	集成材	スギ	E65-F225	120×240	引きボルト	M16-L600	S45C鋼材 座金_厚9-70×70	6
19 TBJ-S600-9/70_JL95EW	集成材	カラマツ	E95-F270	120×240	引きボルト	M16-L600	S45C鋼材 座金_厚9-70×70	6
20 TBJ-S600-9/70_RW105EW	集成材	オウシュウアカマツ	E105-F300	120×240	引きボルト	M16-L600	S45C鋼材 座金_厚9-70×70	6
21 TBJ-S600-9/70_DF120EW	集成材	ベイマツ	E120-F330	120×240	引きボルト	M16-L600	S45C鋼材 座金_厚9-70×70	6
22 TBJ-S600-9/70_DF135EW	集成材	ベイマツ	E135-F375	120×240	引きボルト	M16-L600	S45C鋼材 座金_厚9-70×70	6
23 TBJ-S600-9/70_DFJC120EW	集成材	スギ-ベイマツ複合	E120-F330	120×240	引きボルト	M16-L600	S45C鋼材 座金_厚9-70×70	6
合計								105

### 3.4 追掛け継手の引張実験

#### 3.4.1 試験体

追掛け継手の引張試験の試験体は全7種（図1）では、スギ製材（E70-SD20）を、接合具を一切用いず、追掛け継手のみで継いだものをコントロール試験体（表1, 図1\_No. 1）とした。他の試験体（表1, 図2\_No. 2～7）は木栓、ボルト、又は構造用ビスの3種の接合具を図1に示す配置で併用した。それぞれの試験体の仕様は以下のとおりである。

- ・試験体\_No. 1: OJ-CL . . . 追掛け継手のみで緊結した試験体（コントロール試験体）

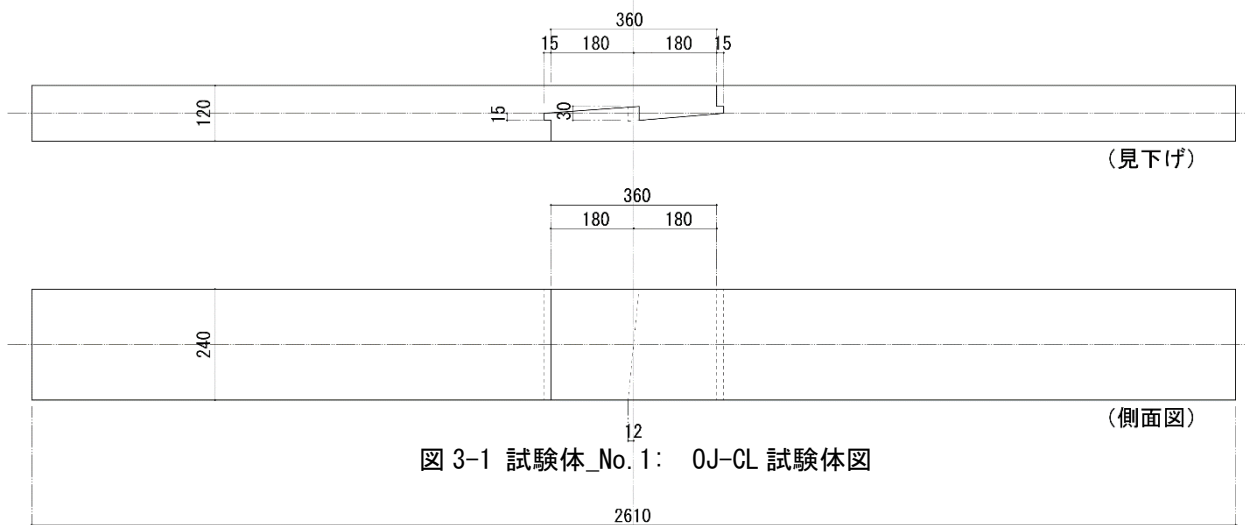


写真 3-1 試験体\_No. 1: OJ-CL 試験体

- ・試験体 No. 2: OJ-WPJ 試験体 : 側面から 12 本の木柱 (檜, 径 18mm) による一面せん断接合で補強。

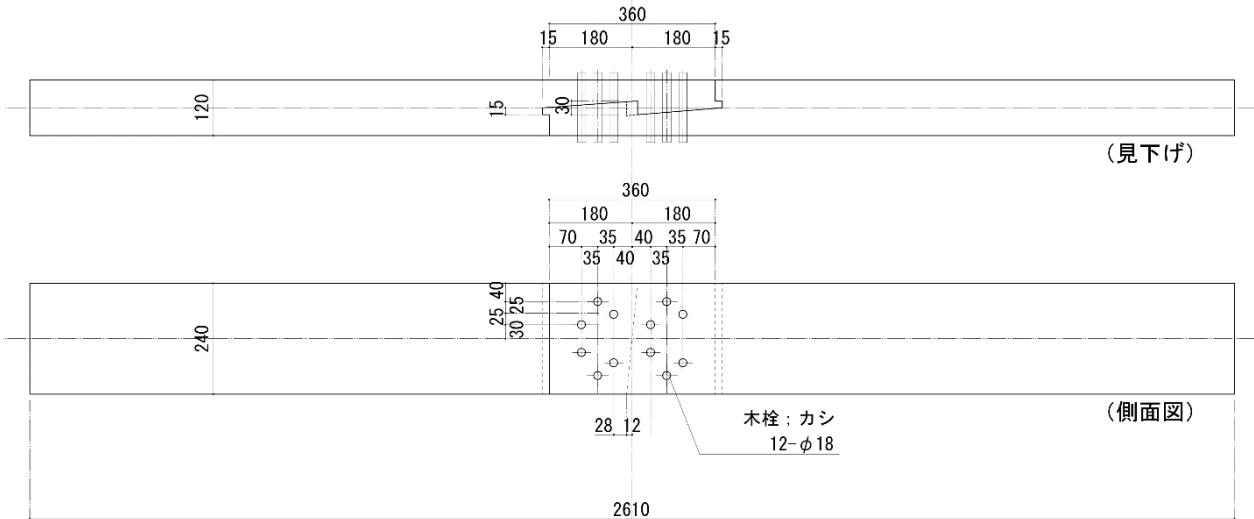


図 3-2 試験体\_No. 2: OJ-WPJ 試験体図



写真 3-2 試験体\_No. 2: OJ-WPJ 試験体

- ・試験体 No. 3: OJ-BTJ 試験体 : 側面から 8 本のボルト (M16) による一面せん断接合で補強。

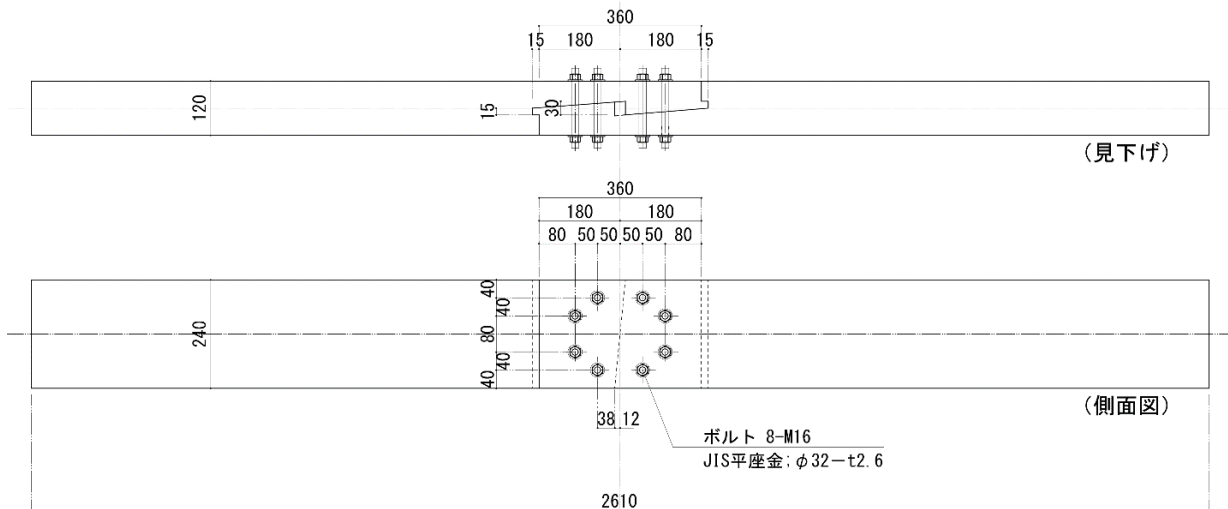


図 3-3 試験体\_No. 2: OJ-BTJ 試験体図



図 3-3 試験体\_No. 2: OJ-BTJ 試験体図



- ・ No. 4: 0J-SWJ×10 : 側面から 10 本の木質構造用ビスによる一面せん断接合で補強。

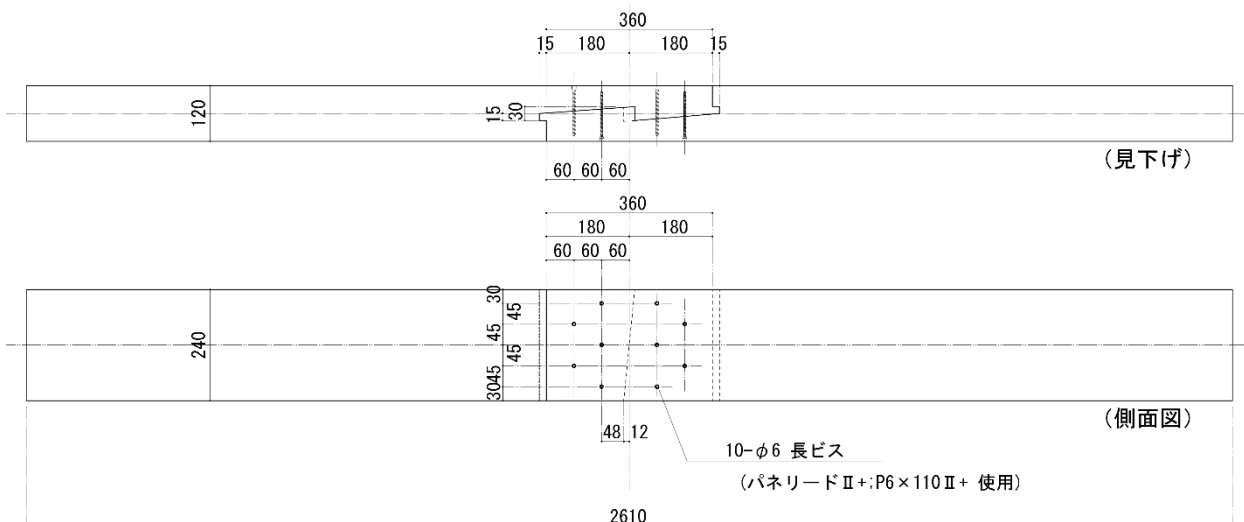


図 3-4 試験体\_No. 4: 0J-SWJ×10 試験体図



写真 3-4 試験体\_No. 4: 0J-SWJ×10 試験体図

- ・ No. 5: 0J-SWJ×18\_A : 側面から 18 本の木質構造用ビスによる一面せん断接合で補強。

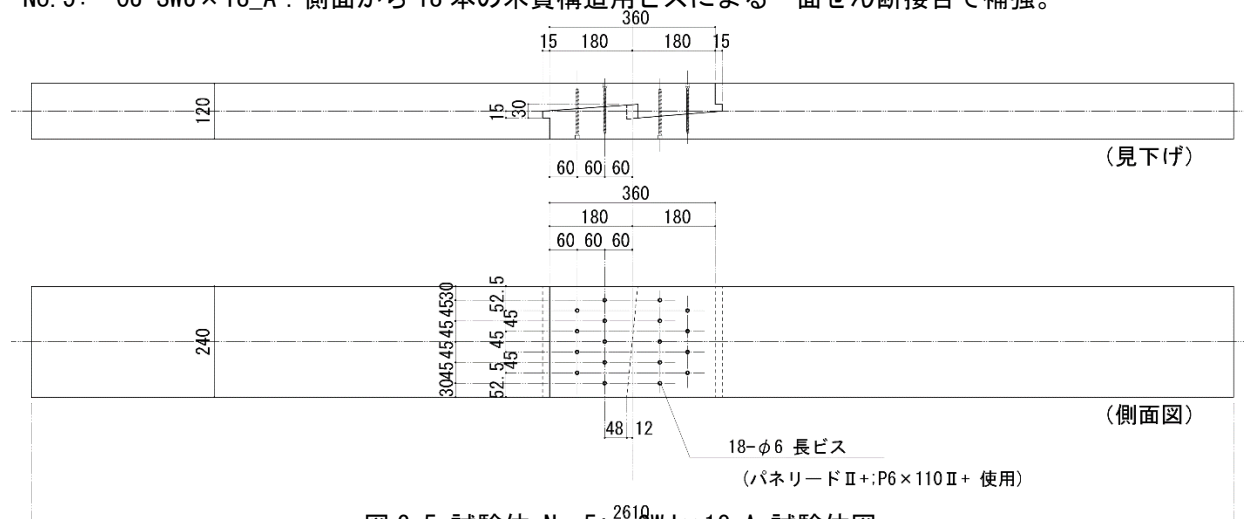


図 3-5 試験体\_No. 5: SWJ×18\_A 試験体図



写真 3-5 試験体\_No. 5: SWJ×18\_A 試験体

- ・ No. 6: OJ-SWJ×18\_B: 側面から18本の木質構造用ビスによる一面せん断接合で補強。ビスの配列間隔を拡げ、かつ鎌の先端側へ移動

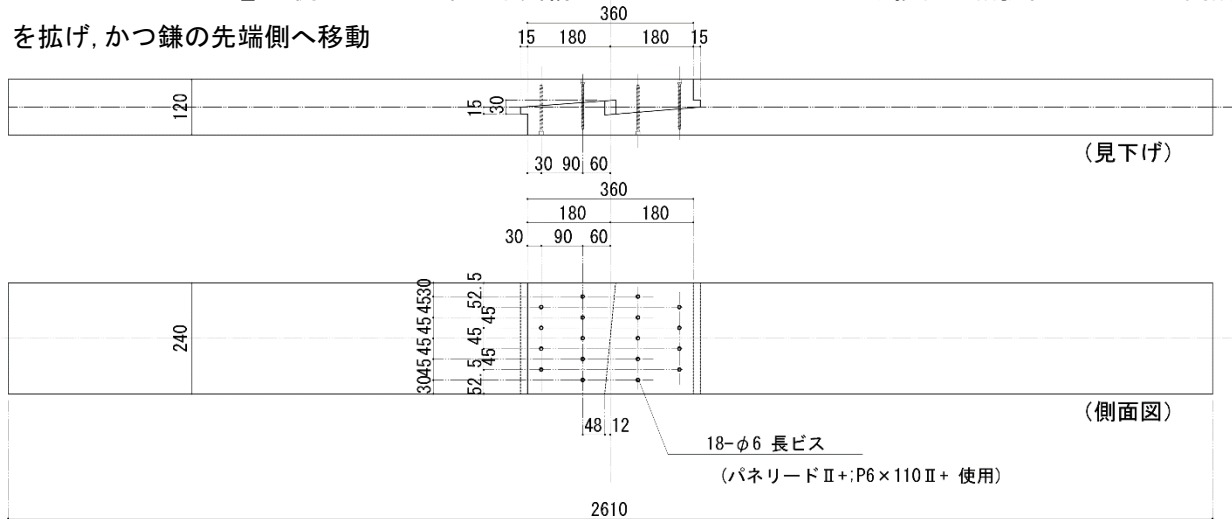


図 3-6 試験体\_No. 6: OJ-SWJ×18\_B 試験体図



写真 3-6 No. 6: OJ-SWJ×18\_B 試験体

- ・ No. 7: OJ-SWJ×18\_B\_105: 側面から18本の木質構造用ビスによる一面せん断接合で補強。

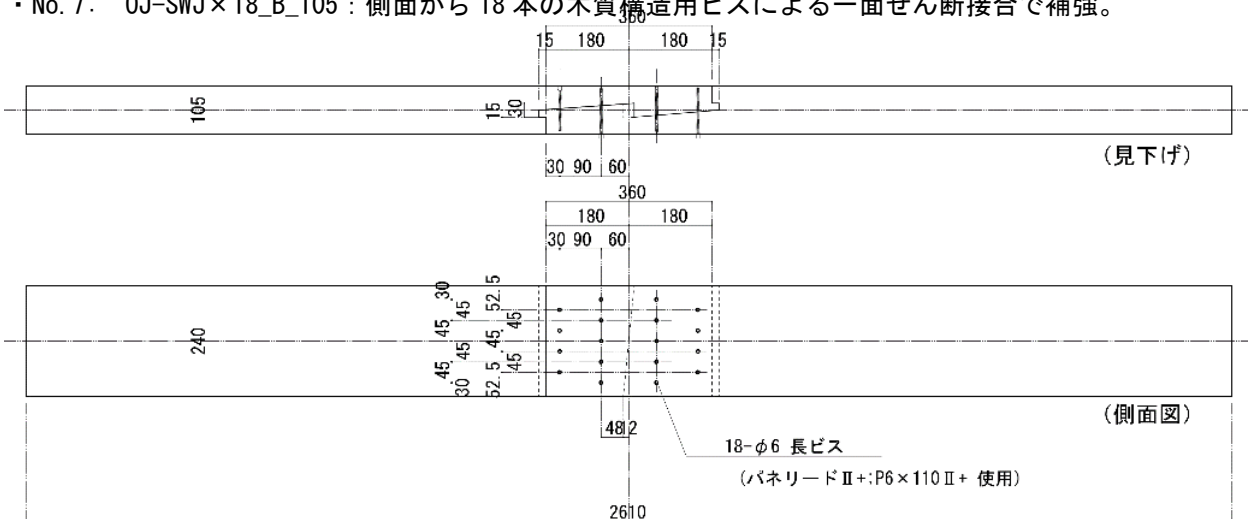


図 3-7 試験体\_No. 7: OJ-SWJ×18\_B\_105 試験体



写真 3-7 試験体\_No. 7: OJ-SWJ×18\_B\_105 試験体

### 3.4.2 実験結果

以下に、各試験体の荷重と変位の測定結果をグラフに示す。

・試験体\_No. 1: OJ-CL 試験体

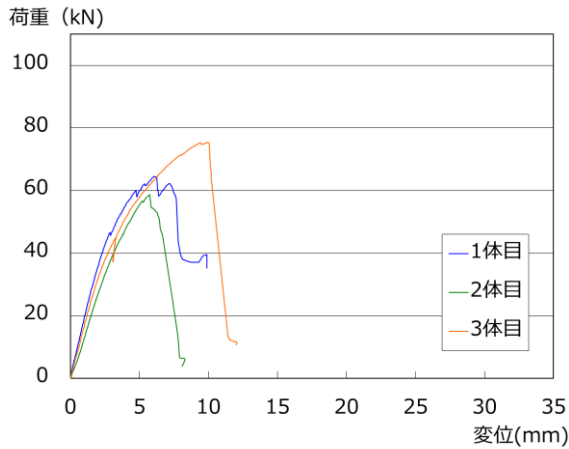


図 2-1 OJ-CL 試験体 荷重-変位関係グラフ



図 2-1 OJ-CL 試験体 主な最終破壊状況写真

表 2-1 試験体\_No. 1: OJ-CL 試験体 試験結果と短期基準引張耐力

試験体	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm	最大荷重 $\times 2/3$ kN	降伏耐力 $P_y$ kN	降伏変位 $\delta_y$ mm	初期剛性 K kN/mm	終局変位 $\delta_u$ mm
1体目	64.47	6.25	42.98	37.88	2.14	17.67	7.74
2体目	58.72	5.75	39.15	31.90	2.39	13.34	6.59
3体目	75.28	9.98	50.19	40.30	2.75	14.66	10.31
平均値	66.15	7.32	44.10	36.69	2.43	15.22	8.21
標準偏差	6.87	1.89	4.58	3.53	0.25	1.81	1.56
変動係数 %	0.104	0.257	0.104	0.096	0.102	0.119	0.189

試験体	降伏点変位 $\delta_v$ mm	終局耐力 $P_u$ kN	塑性率 $\mu$	構造特性係数 $D_s$	0.8 $P_{max}$ 面積 S kNmm	破壊形態
1体目	3.32	58.71	2.33	0.52	357	顎から先の鎌部分のせん断面の破壊
2体目	3.92	52.27	1.68	0.65	242	顎から先の鎌部分のせん断面の破壊
3体目	4.56	66.84	2.26	0.53	537	顎から先の鎌部分のせん断面の破壊
平均値	3.93	59.27	2.09	0.57	378.43	
標準偏差	0.51	5.96	0.29	0.06	121.27	
変動係数 %	0.129	0.101	0.139	0.102	0.320	

試験体	(a)	(b)
	降伏耐力 $P_y$	$P_{max} \times 2/3$
1体目	37.88	42.98
2体目	31.90	39.15
3体目	40.30	50.19
平均値	36.69	44.10
標準偏差	3.53	4.58
変動係数%	0.096	0.104
ばらつき係数	0.697	0.673
短期引張耐力	25.58	29.68

短期基準引張耐力	25.58 kN
----------	----------

・試験体\_No. 2: OJ-WPJ 試験体

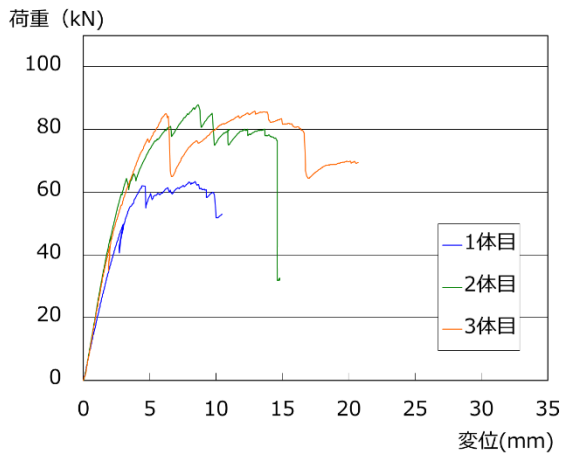


図 2-1 OJ-WPJ 試験体 荷重-変位関係グラフ



図 2-1 OJ-WPJ 試験体 主な最終破壊状況写真

表 2-1 試験体\_No. 2: OJ-WPJ 試験体 試験結果と短期基準引張耐力

試験体No	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm	最大荷重 × 2/3 kN	降伏耐力 Py kN	降伏変位 $\delta_y$ mm	初期剛性 K kN/mm	終局変位 $\delta_u$ mm
1体目	63.42	8.44	42.28	36.15	1.99	18.18	13.19
2体目	87.85	8.64	58.57	55.99	2.63	21.29	14.60
3体目	85.89	12.91	57.26	46.45	2.20	21.10	21.56
平均値	79.05	9.99	52.70	46.20	2.27	20.19	16.45
標準偏差	11.09	2.06	7.39	8.10	0.27	1.42	3.66
変動係数 %	0.140	0.206	0.140	0.175	0.117	0.070	0.223

試験体No	降伏点変位 $\delta_v$ mm	終局耐力 Pu kN	塑性率 $\mu$	構造特性係数 Ds	0.8Pmax面積 S kNmm	破壊形態
1体目	3.16	57.49	4.17	0.37	667	目違い入隅部分からの割裂破壊
2体目	3.68	78.33	3.97	0.38	999	目違い入隅部分からの割裂破壊
3体目	3.61	76.09	5.98	0.30	1504	目違い入隅部分からの割裂破壊
平均値	3.48	70.64	4.71	0.35	1056.86	
標準偏差	0.23	9.34	0.90	0.03	343.80	
変動係数 %	0.066	0.132	0.192	0.098	0.325	

試験体No	(a)	(b)
	降伏耐力 Py	Pmax × 2/3
1体目	36.15	42.28
2体目	55.99	58.57
3体目	46.45	57.26
平均値	46.20	52.70
標準偏差	8.10	7.39
変動係数%	0.175	0.140
ばらつき係数	0.447	0.558
短期引張耐力	20.66	29.41

短期基準引張耐力	20.66 kN
----------	----------

・試験体\_No. 3: OJ-BTJ 試験体

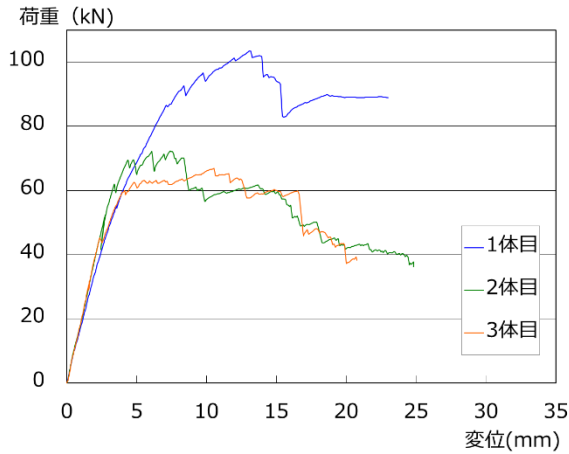


図 2-1 OJ-BTJ 試験体 荷重-変位関係グラフ



図 2-1 OJ-BTJ 試験体 主な最終破壊状況写真

表 2-1 試験体\_No. 3: OJ-WPJ 試験体 試験結果と短期基準引張耐力

試験体No	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm	最大荷重 $\times 2/3$ kN	降伏耐力 $P_y$ kN	降伏変位 $\delta_y$ mm	初期剛性 K kN/mm	終局変位 $\delta_u$ mm
1体目	103.48	13.08	68.99	58.59	3.89	15.07	24.91
2体目	72.37	7.40	48.25	56.94	3.06	18.61	15.34
3体目	66.92	10.55	44.61	44.89	2.34	19.14	16.75
平均値	80.92	10.34	53.95	53.47	3.10	17.61	19.00
標準偏差	16.11	2.32	10.74	6.11	0.63	1.81	4.22
変動係数 %	0.199	0.224	0.199	0.114	0.204	0.103	0.222

試験体No	降伏点変位 $\delta_v$ mm	終局耐力 $P_u$ kN	塑性率 $\mu$	構造特性係数 $D_s$	0.8 $P_{max}$ 面積 S kNmm	破壊形態
1体目	6.04	91.03	4.12	0.37	1993	目違い入隅部分からの割裂破壊
2体目	3.42	63.70	4.48	0.35	868	目違い入隅部分からの割裂破壊
3体目	3.20	61.20	5.24	0.32	927	ボルト孔の集合型引張せん断破壊
平均値	4.22	71.97	4.61	0.35	1262.64	
標準偏差	1.29	13.51	0.46	0.02	516.79	
変動係数 %	0.306	0.188	0.101	0.055	0.409	

試験体No	(a)	(b)
	降伏耐力 $P_y$	$P_{max} \times 2/3$
1体目	58.59	68.99
2体目	56.94	48.25
3体目	44.89	44.61
平均値	53.47	53.95
標準偏差	6.11	10.74
変動係数%	0.114	0.199
ばらつき係数	0.640	0.373
短期引張耐力	34.22	20.10

短期基準引張耐力	20.10 kN
----------	----------



・試験体\_No. 4: 0J-SWJ×10 試験体

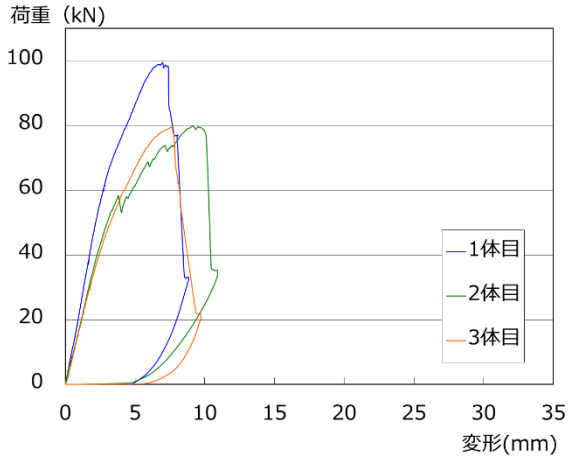


図 2-1 0J-SWJ×10 試験体 荷重-変位関係グラフ

図 2-1 0J-SWJ×10 試験体 主な最終破壊状況写真

表 2-1 試験体\_No. 4: 0J-SWJ×10 試験体 試験結果と短期基準引張耐力

試験体No	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm	最大荷重 ×2/3 kN	降伏耐力 Py kN	降伏変位 δy mm	初期剛性 K kN/mm	終局変位 δu mm
1体目	99.52	6.97	66.35	57.77	2.59	22.34	7.69
2体目	79.78	9.16	53.19	50.07	3.03	16.55	10.23
3体目	79.66	7.74	53.11	41.98	2.57	16.31	8.04
平均値	86.32	7.95	57.55	49.94	2.73	18.40	8.65
標準偏差	9.33	0.91	6.22	6.45	0.21	2.79	1.12
変動係数 %	0.108	0.114	0.108	0.129	0.077	0.152	0.130

試験体No	降伏点変位 δv mm	終局耐力 Pu kN	塑性率 μ	構造特性係数 Ds	0.8Pmax面積 S kNmm	破壊形態
1体目	3.96	88.55	1.94	0.59	505	顎から先の鎌部分のせん断面の破壊
2体目	4.28	70.86	2.39	0.51	573	顎から先の鎌部分のせん断面の破壊
3体目	4.35	70.89	1.85	0.61	416	顎から先の鎌部分のせん断面の破壊
平均値	4.20	76.77	2.06	0.57	497.98	
標準偏差	0.17	8.33	0.24	0.04	64.41	
変動係数 %	0.040	0.109	0.115	0.071	0.129	

試験体No	(a)	(b)
	降伏耐力 Py	Pmax × 2/3
1体目	57.77	66.35
2体目	50.07	53.19
3体目	41.98	53.11
平均値	49.94	57.55
標準偏差	6.45	6.22
変動係数%	0.129	0.108
ばらつき係数	0.593	0.659
短期引張耐力	29.61	37.93

短期基準引張耐力	29.61 kN
----------	----------

・試験体\_No. 5: 0J-SWJ×18\_A 試験体

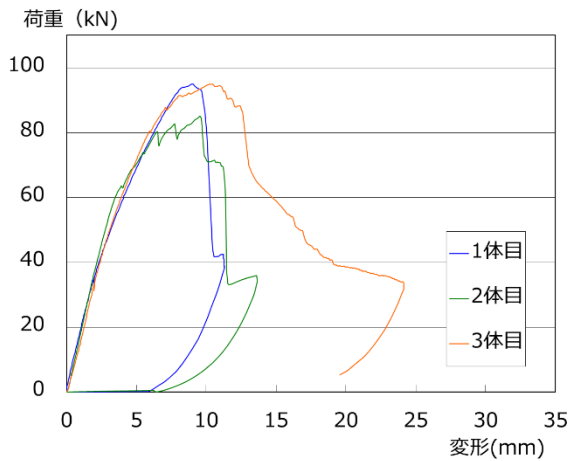


図 2-1 0J-SWJ×18\_A 試験体 荷重-変位関係グラフ 図 2-1 0J-SWJ×18\_A 試験体主な最終破壊状況写真

表 2-1 試験体\_No. 5: 0J-SWJ×18 試験体 試験結果と短期基準引張耐力

試験体No	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm	最大荷重 × 2/3 kN	降伏耐力 Py kN	降伏変位 δy mm	初期剛性 K kN/mm	終局変位 δu mm
1体目	95.00	9.05	63.33	45.74	2.78	16.46	10.07
2体目	85.10	9.54	56.73	53.20	2.96	17.95	11.23
3体目	94.98	10.29	63.32	49.62	3.06	16.23	12.87
平均値	91.69	9.63	61.13	49.52	2.93	16.88	11.39
標準偏差	4.66	0.51	3.11	3.05	0.12	0.76	1.15
変動係数 %	0.051	0.053	0.051	0.062	0.039	0.045	0.101

試験体No	降伏点変位 δv mm	終局耐力 Pu kN	塑性率 μ	構造特性係数 Ds	0.8Pmax面積 S kNmm	破壊形態
1体目	5.15	84.79	1.95	0.59	636	目違い入隅部分からの割裂曲げ破壊
2体目	4.23	75.90	2.66	0.48	692	顎から先の鎌部分のせん断面の破壊
3体目	5.39	87.42	2.39	0.51	890	目違い入隅部分からの割裂曲げ破壊
平均値	4.92	82.70	2.33	0.53	739.17	
標準偏差	0.50	4.93	0.29	0.04	109.17	
変動係数 %	0.102	0.060	0.124	0.083	0.148	

試験体No	(a)	(b)
	降伏耐力 Py	Pmax × 2/3
1体目	45.74	63.33
2体目	53.20	56.73
3体目	49.62	63.32
平均値	49.52	61.13
標準偏差	3.05	3.11
変動係数%	0.062	0.051
ばらつき係数	0.81	0.84
短期引張耐力	39.92	51.33

短期基準引張耐力	39.92 kN
----------	----------

・試験体\_No. 6: 0J-SWJ×18\_B 試験体

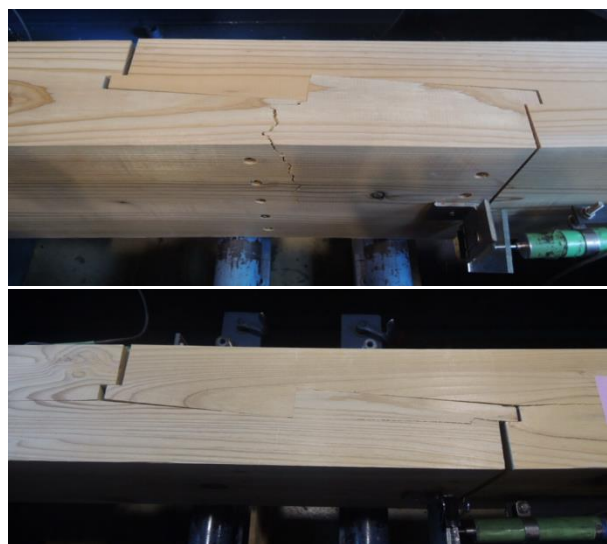
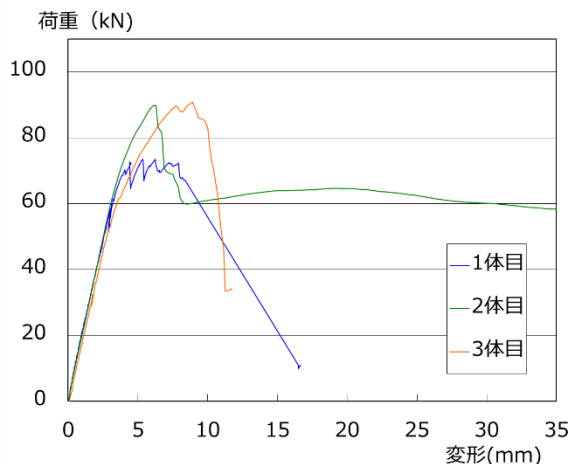


図 2-1 0J-SWJ×18\_B 試験体 荷重-変位関係グラフ

図 2-1 0J-SWJ×18\_B 主な最終破壊状況写真

表 2-1 試験体\_No. 6: 0J-SWJ×10 試験体 試験結果と短期基準引張耐力

試験体No	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm	最大荷重 × 2/3 kN	降伏耐力 Py kN	降伏変位 δy mm	初期剛性 K kN/mm	終局変位 δu mm
1体目	73.57	6.24	49.04	46.23	2.37	19.53	9.56
2体目	89.85	6.13	59.90	60.98	3.11	19.60	6.88
3体目	90.90	8.93	60.60	54.41	3.08	17.68	10.28
平均値	84.77	7.10	56.51	53.87	2.85	18.94	8.90
標準偏差	7.93	1.29	5.29	6.04	0.34	0.89	1.47
変動係数 %	0.094	0.182	0.094	0.112	0.120	0.047	0.165

試験体No	降伏点変位 δv mm	終局耐力 Pu kN	塑性率 μ	構造特性係数 Ds	0.8Pmax面積 S kNmm	破壊形態
1体目	3.53	69.02	2.70	0.48	538	顎の引張破壊
2体目	4.22	82.82	1.63	0.67	394	目違い入隅部分からの割裂破壊
3体目	4.68	82.69	2.20	0.54	657	目違い入隅部分からの割裂・曲げ破壊
平均値	4.15	78.18	2.18	0.56	529.66	
標準偏差	0.47	6.48	0.44	0.08	107.23	
変動係数 %	0.113	0.083	0.202	0.140	0.202	

試験体No	(a)	(b)
	降伏耐力 Py	Pmax × 2/3
1体目	46.23	49.04
2体目	60.98	59.90
3体目	54.41	60.60
平均値	53.87	56.51
標準偏差	6.04	5.29
変動係数%	0.112	0.094
ばらつき係数	0.647	0.705
短期引張耐力	34.84	39.84

短期基準引張耐力	34.84 kN
----------	----------



・試験体\_No. 7: 0J-SWJ×18\_B\_105 試験体

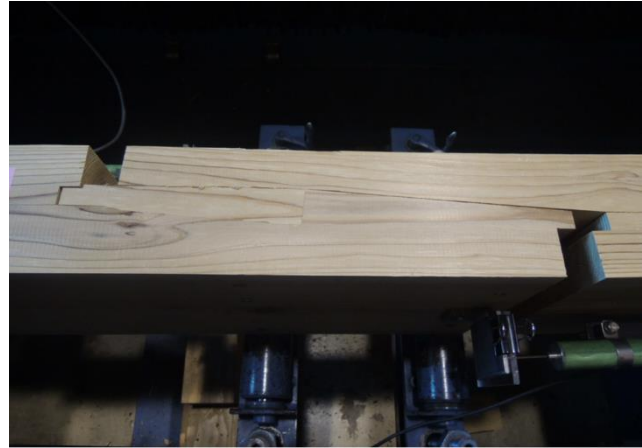
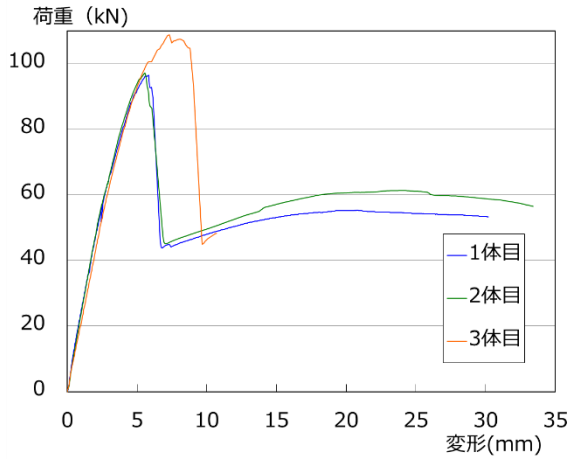


図 2-1 0J-SWJ×18\_B\_105 試験体 荷重-変位関係グラフ 図 2-1 0J-SWJ×18\_B\_105 主な最終破壊状況写真

表 2-1 試験体\_No. 6: 0J-SWJ×10 試験体 試験結果と短期基準引張耐力

試験体No	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm	最大荷重 ×2/3 kN	降伏耐力 Py kN	降伏変位 $\delta_y$ mm	初期剛性 K kN/mm	終局変位 $\delta_u$ mm
1体目	96.49	5.82	64.33	51.39	2.23	23.03	6.29
2体目	97.09	5.58	64.72	51.79	2.20	23.55	6.25
3体目	108.78	7.33	72.52	63.13	3.03	20.82	9.13
平均値	100.79	6.24	67.19	55.44	2.49	22.47	7.22
標準偏差	5.66	0.77	3.77	5.44	0.39	1.18	1.35
変動係数 %	0.056	0.124	0.056	0.098	0.155	0.053	0.187

試験体No	降伏点変位 $\delta_v$ mm	終局耐力 Pu kN	塑性率 $\mu$	構造特性係数 Ds	0.8Pmax面積 S kNmm	破壊形態
1体目	3.81	87.74	1.65	0.66	385	顎から先の鎌部分のせん断面の破壊
2体目	3.67	86.50	1.70	0.65	382	顎から先の鎌部分のせん断面の破壊
3体目	4.88	101.53	1.87	0.60	679	顎から先の鎌部分のせん断面の破壊
平均値	4.12	91.92	1.74	0.64	481.96	
標準偏差	0.54	6.81	0.09	0.02	139.54	
変動係数 %	0.131	0.074	0.054	0.037	0.290	

試験体No	(a)	(b)
	降伏耐力 Py	Pmax × 2/3
1体目	51.39	64.33
2体目	51.79	64.72
3体目	63.13	72.52
平均値	55.44	67.19
標準偏差	5.44	3.77
変動係数%	0.098	0.056
ばらつき係数	0.691	0.823
短期引張耐力	38.29	55.30

短期基準引張耐力	38.29 kN
----------	----------

### 3.4.3 考察

追掛け継手を用いた仕様の試験体は、加力後、いずれの試験体も目違いの入隅部分からの割裂が発生して初期剛性がやや低下した後、顎から先の鎌の部分のせん断破壊や、偏心による回転で生じた鎌部分の面外方向の曲げ破壊を伴う、目違いの入隅部からの割裂破壊の進展等の、木材の脆性的な破壊の発生によって実験を終了した。実験結果から求めた、各特性値の平均値の比較を図3-、表3-に示す。

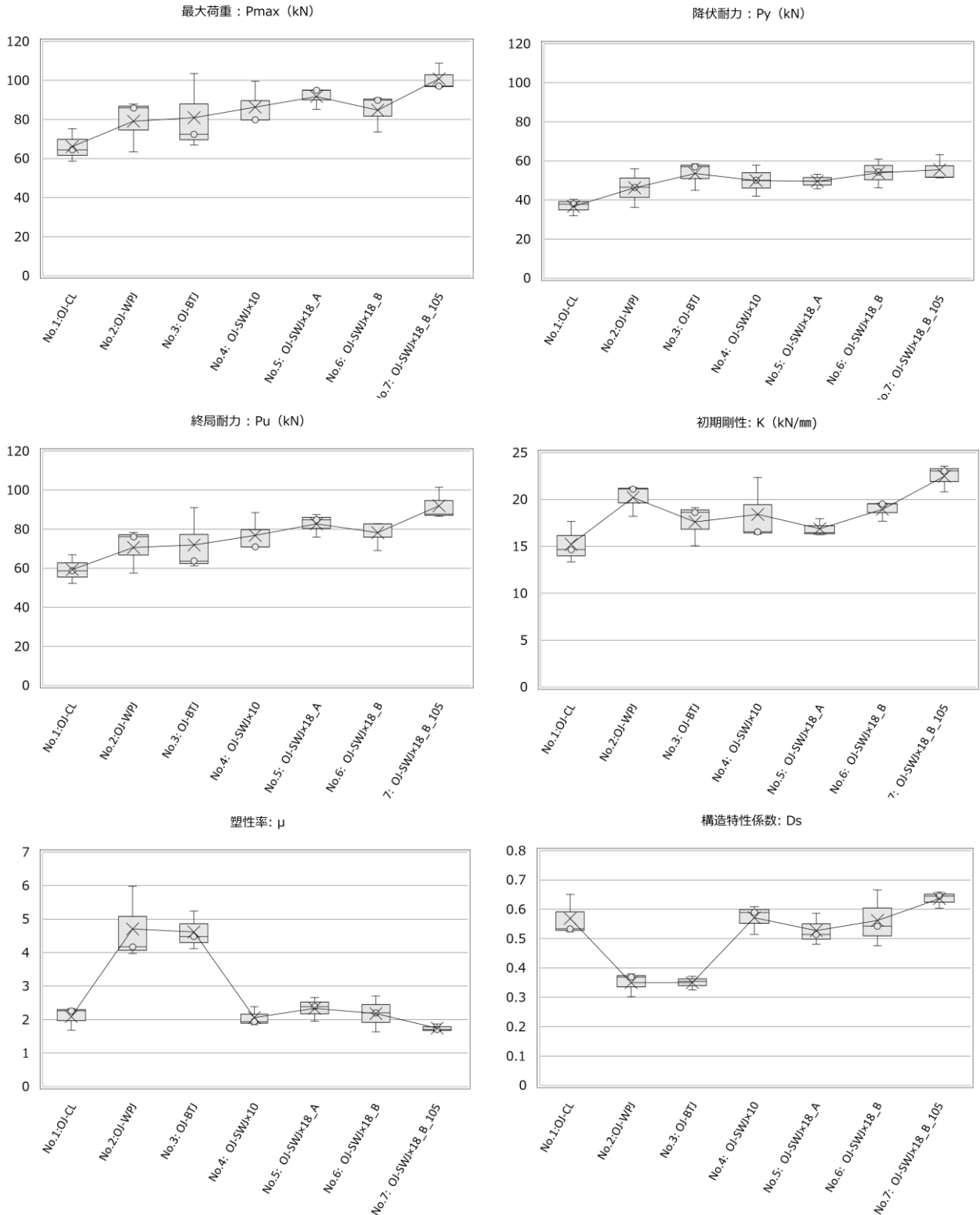


図3- 追掛け継手仕様試験体 実験結果による特性値の比較

表 3- 追掛け継手仕様試験体 実験結果による特性値の比較

No. 試験体種別	最大荷重_Pmax (kN)	変動係数	比率	No. 試験体種別	降伏耐力_Py (kN)	変動係数	比率
1 OJ-CL	66.2	10.4%	1.00	1 OJ-CL	36.7	9.6%	1.00
2 OJ-WPJ	79.1	14.0%	1.19	2 OJ-WPJ	46.2	17.5%	1.26
3 OJ-BTJ	80.9	19.9%	1.22	3 OJ-BTJ	53.5	11.4%	1.46
4 OJ-SWJ×10	86.3	10.8%	1.30	4 OJ-SWJ×10	49.9	12.9%	1.36
5 OJ-SWJ×18_A	91.7	5.1%	1.39	5 OJ-SWJ×18_A	49.5	6.2%	1.35
6 OJ-SWJ×18_B	84.8	9.4%	1.28	6 OJ-SWJ×18_B	53.9	11.2%	1.47
7 OJ-SWJ×18_B_105	100.8	5.6%	1.52	7 OJ-SWJ×18_B_105	55.4	9.8%	1.51

No. 試験体種別	終局耐力_Pu (k)	変動係数	比率	No. 試験体種別	初期剛性_K (kN/n)	変動係数	比率
1 OJ-CL	59.3	10.1%	1.00	1 OJ-CL	15.2	11.9%	1.00
2 OJ-WPJ	70.6	13.2%	1.19	2 OJ-WPJ	20.2	7.0%	1.33
3 OJ-BTJ	72.0	18.8%	1.21	3 OJ-BTJ	17.6	10.3%	1.16
4 OJ-SWJ×10	76.8	10.9%	1.30	4 OJ-SWJ×10	18.4	15.2%	1.21
5 OJ-SWJ×18_A	82.7	6.0%	1.40	5 OJ-SWJ×18_A	16.9	4.5%	1.11
6 OJ-SWJ×18_B	78.2	8.3%	1.32	6 OJ-SWJ×18_B	18.9	4.7%	1.24
7 OJ-SWJ×18_B_105	91.9	7.4%	1.55	7 OJ-SWJ×18_B_105	22.5	5.3%	1.48

No. 試験体種別	塑性率_μ	変動係数	No. 試験体種別	構造特性係数_Ds	変動係数
1 OJ-CL	2.09	13.9%	1 OJ-CL	0.57	10.2%
2 OJ-WPJ	4.71	19.2%	2 OJ-WPJ	0.35	9.8%
3 OJ-BTJ	4.61	10.1%	3 OJ-BTJ	0.35	5.5%
4 OJ-SWJ×10	2.06	11.5%	4 OJ-SWJ×10	0.57	7.1%
5 OJ-SWJ×18_A	2.33	12.4%	5 OJ-SWJ×18_A	0.53	8.3%
6 OJ-SWJ×18_B	2.18	20.2%	6 OJ-SWJ×18_B	0.56	14.0%
7 OJ-SWJ×18_B_105	1.74	5.4%	7 OJ-SWJ×18_B_105	0.64	3.7%

それぞれの試験体の破壊性状は、コントロール試験体である（No1. OJ-CL 試験体）は最大荷重に達した後、目違い部分の顎から先のせん断面が脆性的に破壊することで急激に荷重が低下したが、これに対して、木栓、又はボルトによる一面せん断接合を併用した試験体（No2. OJ-WPJ 試験体、No3. OJ-BTJ 試験体）は、最大荷重に達した後、急激に荷重が低下することなく変形が進む傾向が確認できた。一方、木質構造用ビスによる一面せん断接合を併用した試験体（No4～7. OJ-SWJ 試験体）は、コントロール試験体と似た傾向にあり、最大荷重に達した後の荷重の低下が著しい。

耐力や剛性に関わる特性値の比較では、追掛け継手のみで接合したコントロール試験体（No1. OJ-CL 試験体）に対して、木栓又はボルトや木質構造用ビスのいずれかの接合具による一面せん断接合によって補強を施した試験体の実験結果は、最大荷重、降伏耐力、終局耐力、初期剛性の平均値が、いずれも増大することが確認できた。

最大荷重（以下、Pmax）は、木栓又はボルトによる一面せん断接合を併用した OJ-WPJ 試験体（No. 2）、OJ-BTJ 試験体（No. 3）では、コントロール試験体に対して 19～22%増大した。終局耐力（以下、Pu）も同様の傾向にあり、19～21%の割合で増大している。一方、木質構造用ビスを併用した OJ-SWJ 試験体（No4～7）では、更に高い値を示し、Pmax が 28～52%、Pu が 30～55%増す結果となった。

降伏荷重（以下、Py）についても同様の傾向にあり、木栓を併用した OJ-WPJ 試験体（No. 2）が 26%、ボルトを併用した OJ-BTJ 試験体（No. 3）は、46%増大した。木質構造用ビスを併用した OJ-SWJ 試験体（No4～7）は、36～51%増大した。

初期剛性（以下、K）については、木栓を併用した 0J-WPJ 試験体（No. 2）が 33%、ボルトを併用した 0J-BTJ 試験体（No. 3）は、16%増大した。木質構造用ビスを併用した 0J-SWJ 試験体（No. 4～7）は、ビスの本数や配置によって増大する割合は異なり、11～48%である。0J-WPJ 試験体（No. 2）と 0J-BTJ 試験体（No. 3）は、主材厚（L）と接合具の軸径（d）の比率（ $d/L$ ）が等しいにも関わらず、木栓を併用した 0J-WPJ 試験体（No. 2）の方が、ボルトを併用した 0J-BTJ 試験体（No. 3）よりも高い剛性の値を示したのは、木栓の軸径に対する主材の孔の寸法が等しく、ほとんどガタが無かったのに対して、ボルトのために母材に設けられた孔の寸法はボルト径より 2mm 程度大きくなっていたため、この違いが影響していると考えられる。

木質構造用ビスを併用した 0J-SWJ 試験体（No. 4～7）については、ビスの本数と配置による、特性値の著しい差異は確認できなかった。但し、材幅を 120 から 105 に減らした平角材に木質構造用ビスを併用した 0J-SWJ×18\_B\_105 試験体（No. 7）については、剛性及び耐力に関わるいずれの特性値についても、全ての試験体のうち最も高い平均値を示した。

塑性率（以下、 $\mu$ ）については、接合具の違いによって明確な差が表れた。木栓又はボルトによる一面せん断接合を併用した 0J-WPJ 試験体（No. 2）、0J-BTJ 試験体（No. 3）は、他の試験体に対して著しく高い値を示した。構造特性係数（以下、 $D_s$ ）は 0.35 となり、接合具が接合部に靱性を与える効果を確認できた。木栓やボルトの場合、ビス打ちの場合よりも目違いからの割裂の進展が進む傾向にあるが、割裂発生後は偏心による偶力で部材の弱軸方向へ、顎から先が曲げ変形が進展することで、目違い部分の顎から先の急激な荷重低下が生じることなく、接合具による一面せん断接合の効果が発揮され、荷重を維持したまま変形が進行したと考えられる。特に、ボルトを併用した 0J-BTJ 試験体（No. 3）では、座金によってロープ効果が発現し、継手全体が偏心による偶力によって弱軸方向に回転しながら最終的に曲げ破壊を生じたものが特に高い荷重を示す等、終局的な破壊モードが、顎から先のせん断面の破壊ではなく、顎の面外方向の曲げ耐力及び曲げ剛性に依存する曲げ破壊や、荷重を維持したまま或る程度変形が進んだ後に生じる、ボルト孔からの集合型破壊であったためと推察できる。

一方、木質構造用ビスを併用した 0J-SWJ 試験体（No. 4～7）では、塑性率の値はコントロール試験体である 0J-CL 試験体（No. 1）との著しい差は生じておらず、 $D_s$  値は 0.53～0.64 となり、比較的高い値を示した。その要因は、木質構造用ビスが、目違いの入隅部分からの割裂が発生した後、ビスによって割裂の進展が抑制され、顎から先が弱軸方向に変形して逃げることなく継手全体が密着することによって、顎から先の鎌の部分に対して、より直接的に引張力が伝達されたことが原因のひとつと考えられる。このことは、ビスの配置を鎌の先端側に移動する改良によって、目違いの開きを拘束する効果を向上させることを意図した 0J-SWJ×18\_B 試験体（No. 6）で、顎の引張破壊が生じた試験体があったことや、材幅を 105mm としたことで、偏心による偶力がより小さくなっている 0J-SWJ×18\_B\_105 試験体（No. 7）が、全ての試験体で顎から先のせん断破壊が生じたことから推測できる。特に部材断面積が他の試験体よりも小さい 0J-SWJ×18\_B\_105 試験体（No. 7）の、剛性や耐力に関わる特性値が、全ての試験体の中で最も高い値を示したのは、偏心による偶力が最も小さいことに起因すると考えられる。

ばらつき係数を考慮して算出した各試験体の短期基準引張耐力は、木質構造用ビスを併用した OJ-SWJ 試験体 (No4~7) が比較的高い値を示して約 30~40kN となり、コントロール試験体 (No1. OJ-CL 試験体) に対して 16~56%増大した。特に、木質構造用ビスの本数を 10 本から 18 本に増やした、OJ-SWJ×18\_A 試験体 (No. 5) と OJ-SWJ×18\_B 試験体 (No. 6) , OJ-SWJ×18\_B\_105 試験体 (No. 7) が約 35~40kN と高い値を示した。その要因は、これらの試験体の実験結果のばらつきが、Pmax, Py とともに比較的小さかったことによる。なお、K の値についても、これらの試験体ではばらつきが他の試験体よりも特に値を示すことが確認できた。木栓、又はボルトによる一面せん断接合を併用した試験体 (No2. OJ-WPJ 試験体, No3. OJ-BTJ 試験体) は、実験結果のばらつきが比較的高かったことよって、短期基準引張耐力の値はコントロール試験体を約 20%程度下回る結果となった。

表 3- 追掛け継手仕様試験体 短期基準引張耐力の比較

No. 試験体種別	降伏耐力_Py (kN)	変動係数	ばらつき係数	短期引張耐力(kN)
1 OJ-CL	36.69	9.6%	0.697	<b>25.6</b>
2 OJ-WPJ	46.20	17.5%	0.447	<b>20.7</b>
3 OJ-BTJ	53.47	11.4%	0.640	34.2
4 OJ-SWJ×10	49.94	12.9%	0.593	<b>29.6</b>
5 OJ-SWJ×18_A	49.52	6.2%	0.806	<b>39.9</b>
6 OJ-SWJ×18_B	53.87	11.2%	0.647	<b>34.8</b>
7 OJ-SWJ×18_B_105	55.44	9.8%	0.691	<b>38.3</b>

No. 試験体種別	(2/3)Pmax (kN)	変動係数	ばらつき係数	短期引張耐力(kN)	No. 試験体種別	短期基準引張耐力(kN)	比率
1 OJ-CL	44.10	10.4%	0.673	29.7	1 OJ-CL	<b>25.6</b>	1.00
2 OJ-WPJ	52.70	14.0%	0.558	29.4	2 OJ-WPJ	<b>20.7</b>	0.81
3 OJ-BTJ	53.95	19.9%	0.373	<b>20.1</b>	3 OJ-BTJ	<b>20.1</b>	0.79
4 OJ-SWJ×10	57.55	10.8%	0.659	37.9	4 OJ-SWJ×10	<b>29.6</b>	1.16
5 OJ-SWJ×18_A	61.13	5.1%	0.840	51.3	5 OJ-SWJ×18_A	<b>39.9</b>	1.56
6 OJ-SWJ×18_B	56.51	9.4%	0.705	39.8	6 OJ-SWJ×18_B	<b>34.8</b>	1.36
7 OJ-SWJ×18_B_105	67.19	5.6%	0.823	55.3	7 OJ-SWJ×18_B_105	<b>38.3</b>	1.50

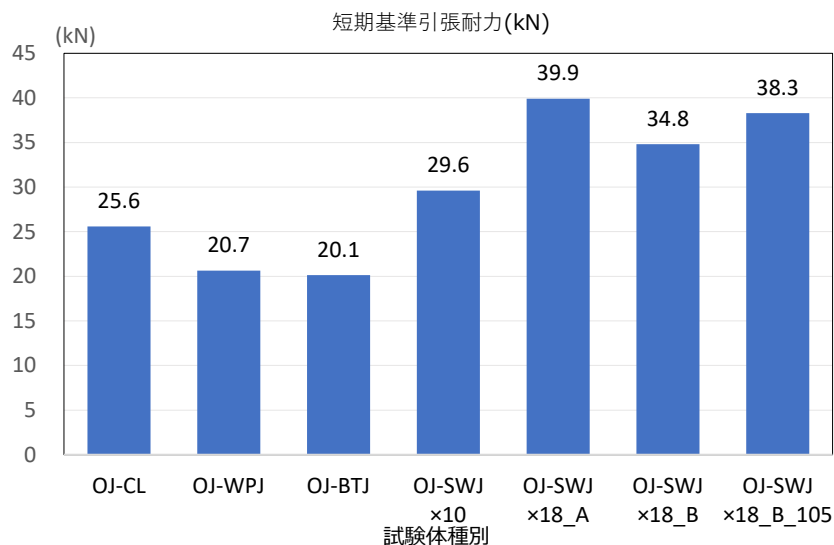


図 3- 追掛け継手仕様試験体 短期基準引張耐力の比較

### 3.5 引きボルト式継手の引張実験

#### 3.5.1 引きボルト式継手試験体

引きボルト式継手タイプの試験体では、引きボルトの長さや座金の板厚及び外径寸法、ボルト定着部の角孔の寸法、ボルト定着部の座金の支圧面から材端の木口までのせん断面長さやボルトの鋼材種別、母材の種別や樹種を変えて、順次試験を実施して各々の試験結果を比較し、より高い剛性等の期待できる引きボルト式継手の仕様を確認した。母材には、基本的に  $120 \times 240\text{mm}$  の平角材を用いたが、一部の試験体では比較のために、 $105 \times 240\text{mm}$  の平角材を使用した。

最初に、スギ製材を用いた試験体に対して、引張実験を実施した。製材を用いた試験体では、既製品の Z マーク金物の座金で、厚さ  $6\text{mm}$ 、外形寸法が  $54\text{mm}$  のものを用い、ボルトも同様に既製品の Z マーク金物の両ねじボルトを用いた。両ねじボルトの長さは  $500\text{mm}$  と  $600\text{mm}$  の試験体で比較した。比較のため、ベイマツ製材を用いた試験体の試験結果との比較も行った。

次に、同じくスギ製材を用いた試験体で、座金の面外方向への剛性と支圧面の耐力を増大させるため、座金を厚  $12\text{mm}$ 、外形寸法を  $72 \times 72\text{mm}$  とした座金を用いて、両ねじボルトの長さを  $500\text{mm}$  と  $600\text{mm}$  のもので試験を行った。こちらも同様に、ベイマツ製材による試験体に同じ座金を用いて比較を行った。また、同じく厚  $12\text{mm}$  の座金で、外形寸法が  $58 \times 58\text{mm}$  のものを、断面寸法が  $105 \times 240\text{mm}$  のスギスギ製材に用いた試験体とも比較を行った。

更に、ラミナの積層接着で構成される構造上、製材よりも割裂破壊が生じにくいと考えられる集成材の試験体に対して、先行した製材による試験体との比較で高い剛性が確認できた仕様の両引きボルト式継手を適用し、座金厚と外形寸法、両引きボルトの長さを一定にして、樹種と強度等級の種別を増やして比較を行った。集成材の樹種は、スギに加えて、国内で比較的流通が多いと考えられるカラマツ、オウシュウアカマツ、ベイマツ及び、スギ-ベイマツ異樹種複合集成材とした。両引きボルトは、より高強度で降伏点強度の下限が規定された S45C 鋼材とした。

各試験体の仕様を示した試験体図を以下に示す。

・試験体\_No. 8: TBJ-Z500-6/54 試験体

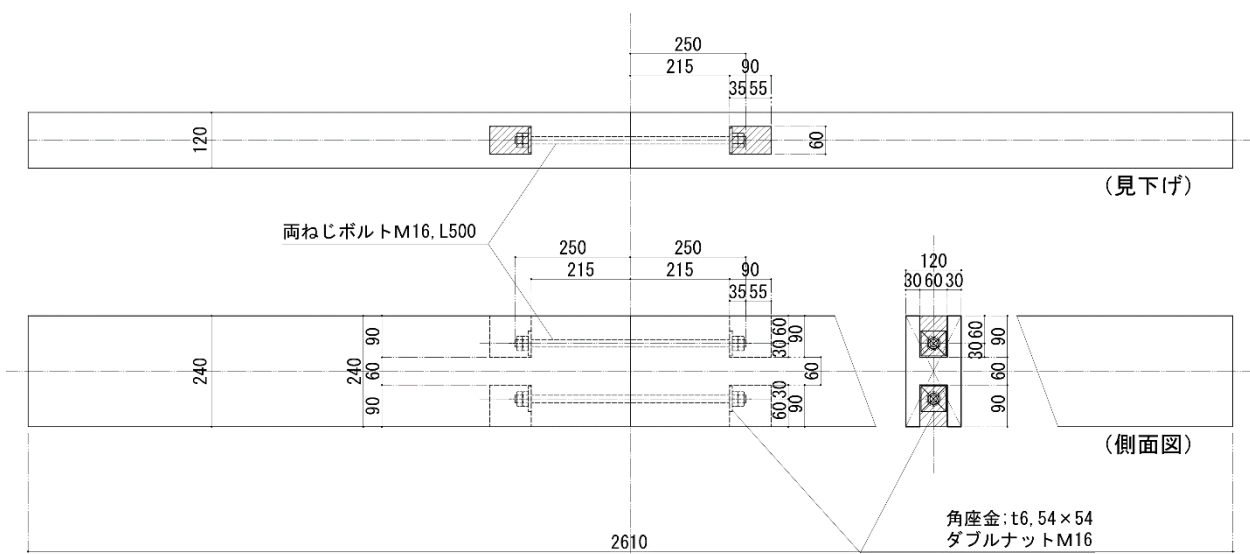


図 3- 試験体\_No. 8: TBJ-Z500-6/54 試験体

・試験体\_No. 9: TBJ-Z600-6/54 試験体

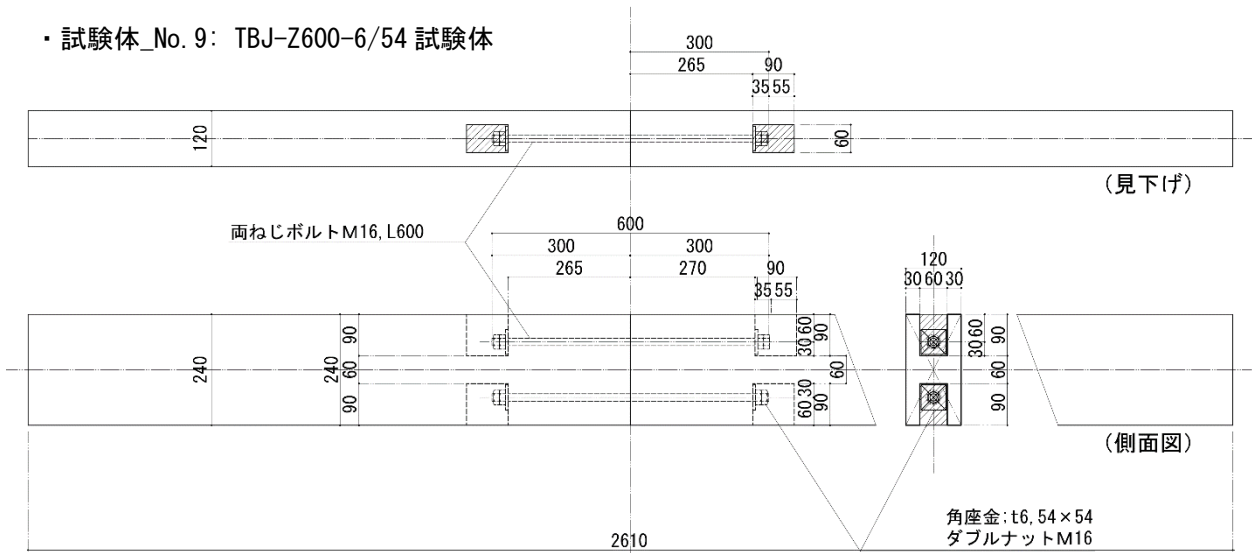


図 3- 試験体\_No. 9: TBJ-Z600-6/54 試験体

・試験体\_No. 10: TBJ-Z600-6/54\_DF110KD 試験体

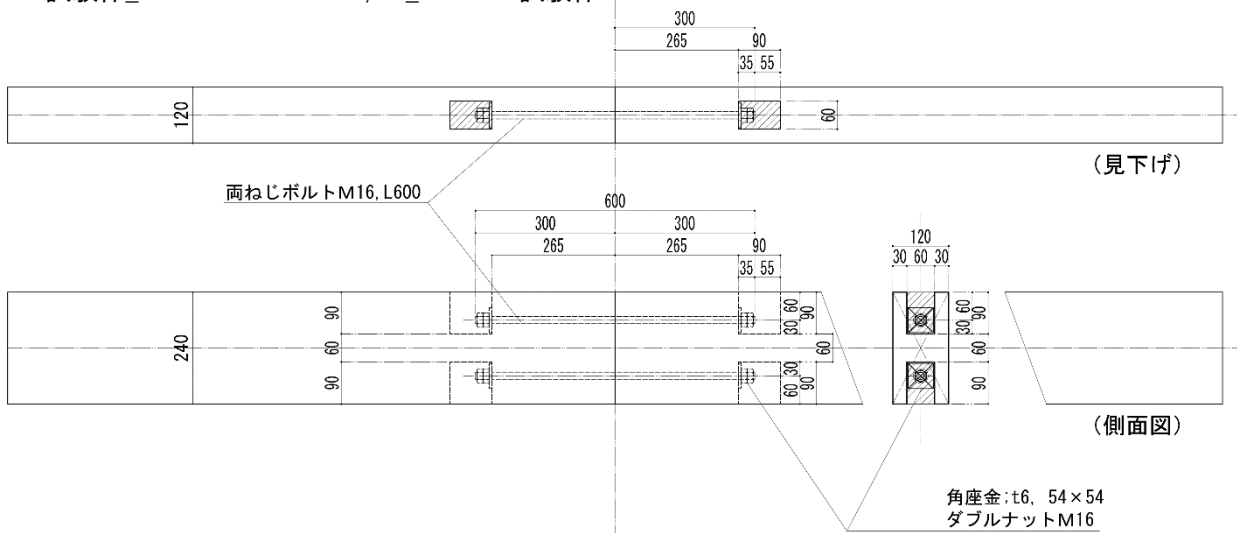


図 3- 試験体\_No. 10: TBJ-Z600-6/54\_DF110KD 試験体

・試験体\_No. 11: TBJ-Z500-12/72

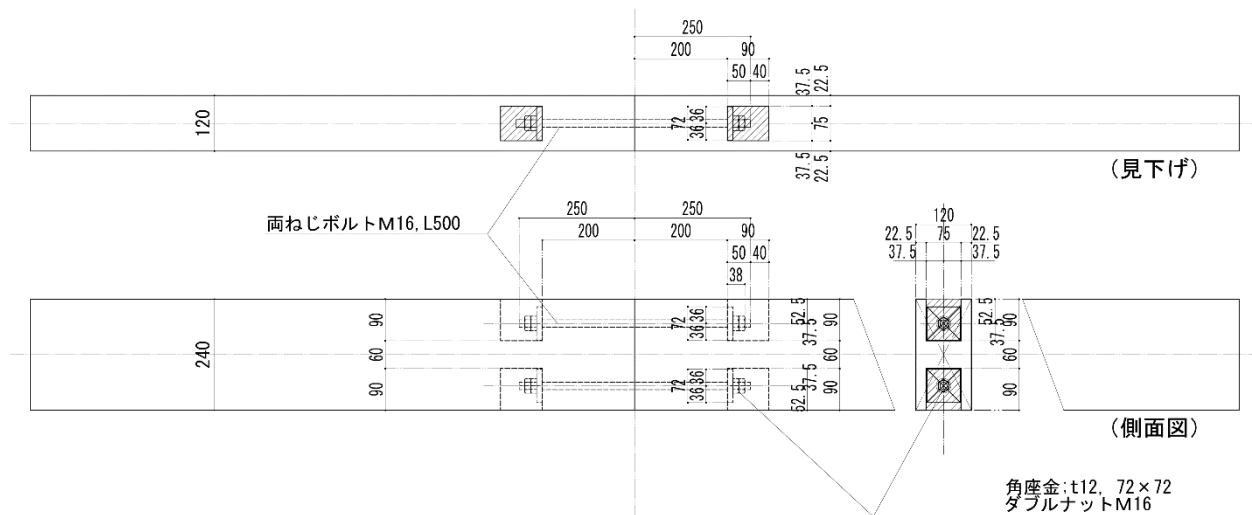


図 3- 試験体\_No. 11: TBJ-Z500-12/72 試験体

・試験体\_No. 12: TBJ-Z600-12/72 試験体

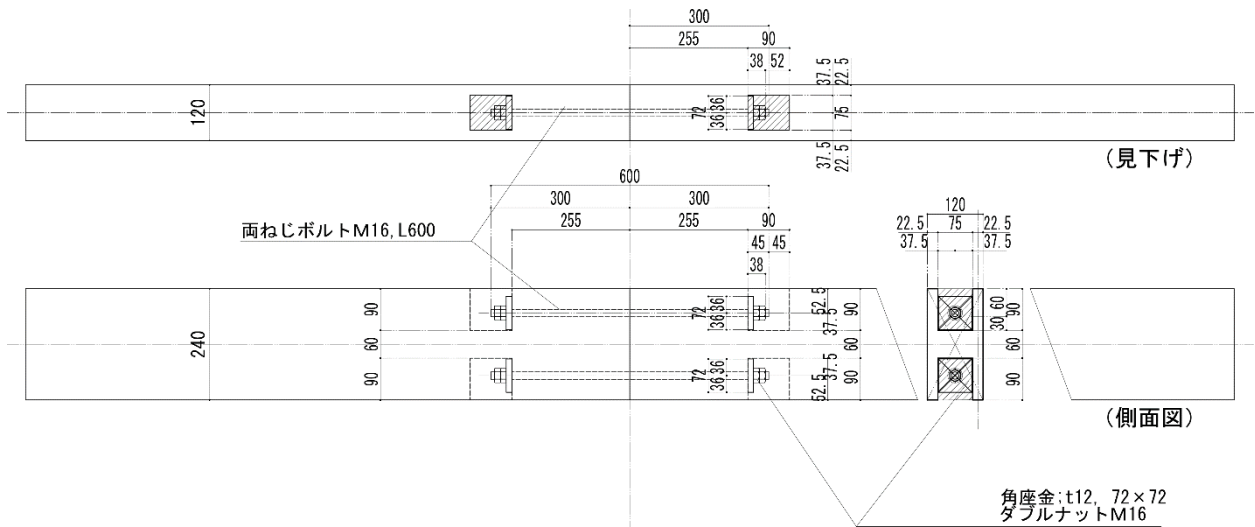


図 3- 試験体\_No. 12: TBJ-Z600-12/72 試験体

・試験体\_No. 13: TBJ-Z500-12/72\_DF110KD 試験体

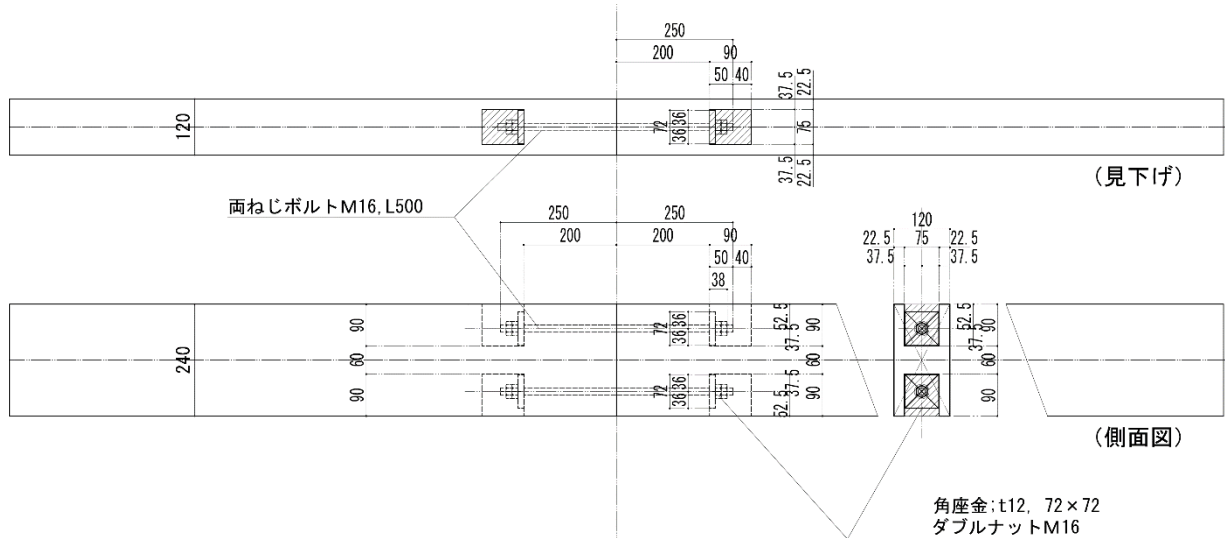


図 3- 試験体\_No. 13: TBJ-Z500-12/72\_DF110KD 試験体

・試験体\_No. 14: TBJ-Z500-12/58\_105 試験体

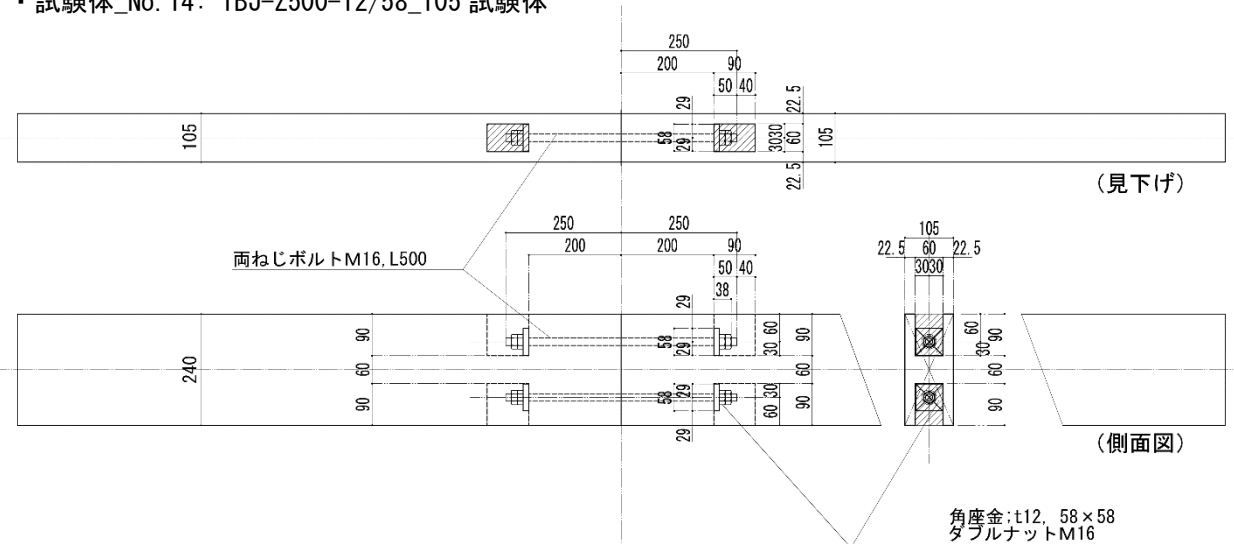


図 3- 試験体\_No. 14: TBJ-Z500-12/58\_105 試験体



・試験体\_No. 15: TBJ-Z600-12/58\_105 試験体

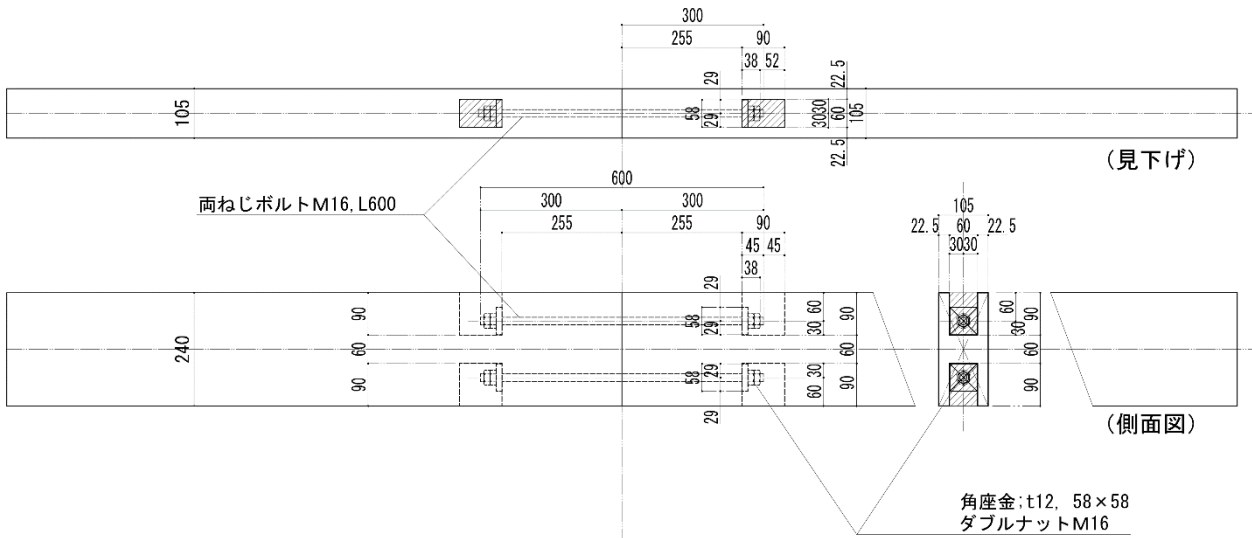


図 3- 試験体\_No. 15: TBJ-Z600-12/58\_105 試験体

・試験体\_No. 16: TBJ-Z600-12/70\_JC65EW 試験体

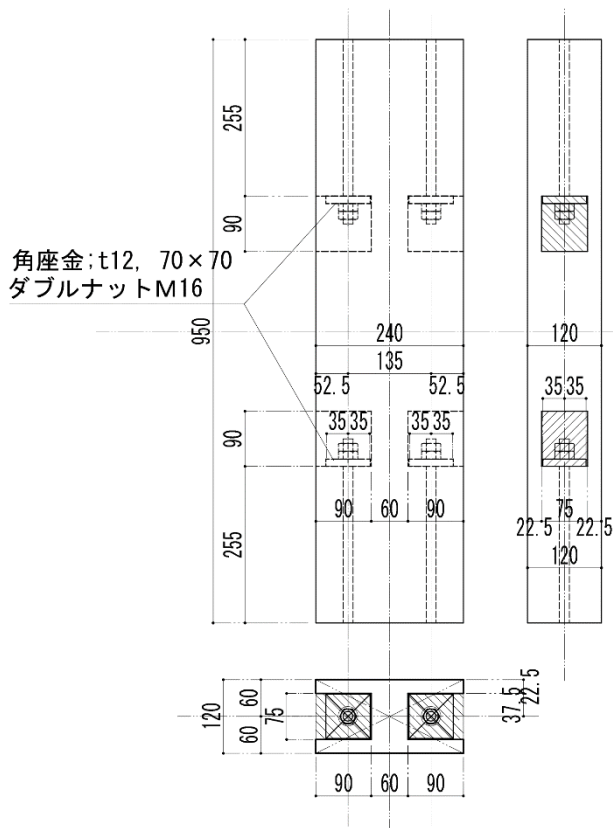


図 3- 試験体\_No. 16: TBJ-Z600-12/70\_JC65EW 試験体

- ・ 試験体\_No. 17: TBJ-S600-9/70\_HI90KD 試験体,
- No. 18: TBJ-S600-9/70\_JC65EW 試験体,
- No. 19: TBJ-S600-9/70\_JL95EW 試験体,
- No. 20: TBJ-S600-9/70\_RW105EW 試験体,
- No. 21: TBJ-S600-9/70\_DF120EW 試験体,
- No. 22: TBJ-S600-9/70\_DF135EW 試験体,
- No. 23: TBJ-S600-9/70\_DFJC120EW 試験体

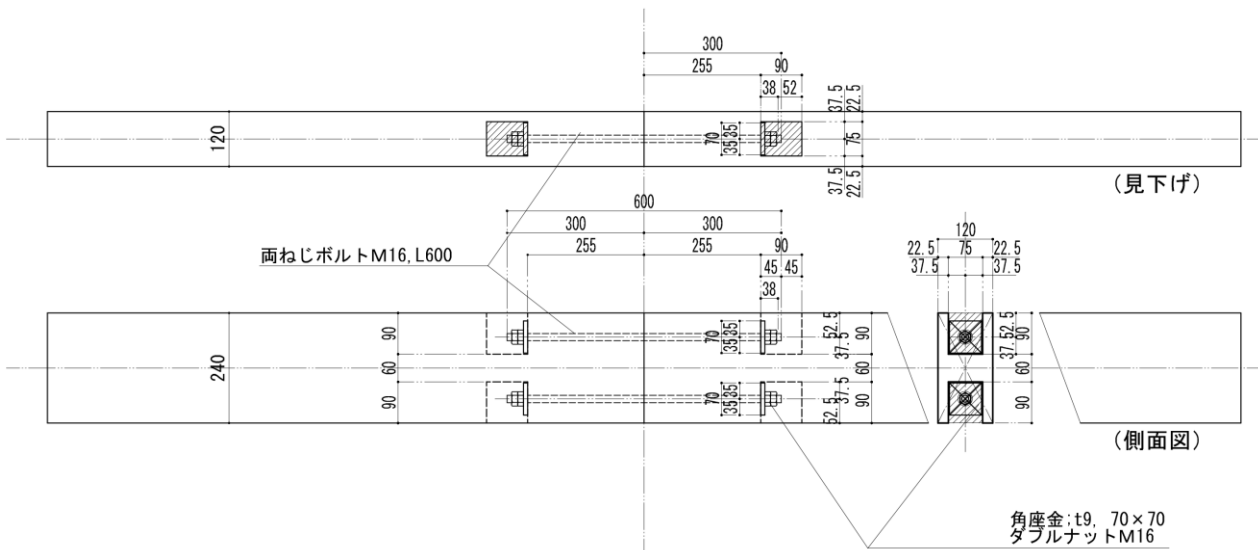


図3- 試験体\_No. 17: TBJ-S600-9/70\_HI90KD 試験体,  
 No. 18: TBJ-S600-9/70\_JC65EW 試験体,  
 No. 19: TBJ-S600-9/70\_JL95EW 試験体,  
 No. 20: TBJ-S600-9/70\_RW105EW 試験体,  
 No. 21: TBJ-S600-9/70\_DF120EW 試験体,  
 No. 22: TBJ-S600-9/70\_DF135EW 試験体,  
 No. 23: TBJ-S600-9/70\_DFJC120EW 試験体

### 3.5.2 実験結果

以下に、各試験体の荷重と変位の測定結果をグラフに示す。

・試験体\_No. 8: TBJ-Z500-6/54 試験体

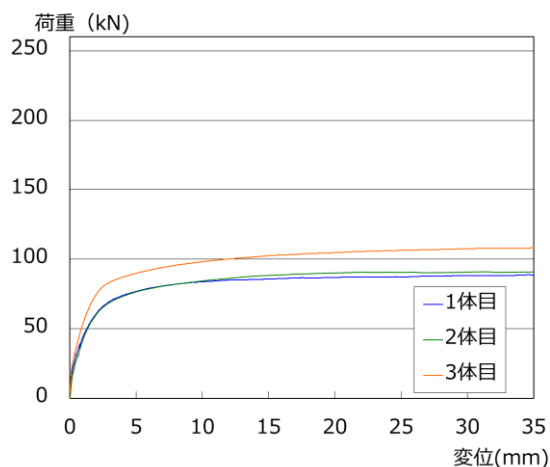


図 2-1 No. 8 試験体 荷重-変位関係グラフ

図 2-1 No. 8 試験体 主な最終破壊状況写真

表 2-1 試験体\_No. 8: TBJ-Z500-6/54 試験体 試験結果と短期基準引張耐力

試験体No	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm	最大荷重 × 2/3 kN	降伏耐力 Py kN	降伏変位 δy mm	初期剛性 K kN/mm	終局変位 δu mm
1体目	88.28	30.00	58.86	54.61	1.54	35.42	30.00
2体目	90.87	30.00	60.58	58.24	1.84	31.74	30.00
3体目	107.57	30.00	71.71	71.89	1.79	40.24	30.00
平均値	95.58	30.00	63.72	61.58	1.72	35.80	30.00
標準偏差	8.55	0.00	5.70	7.44	0.13	3.48	0.00
変動係数 %	0.089	0.000	0.089	0.121	0.075	0.097	0.000

試験体No	降伏点変位 δv mm	終局耐力 Pu kN	塑性率 μ	構造特性係数 Ds	0.8Pmax面積 S kNmm	破壊形態
1体目	2.39	84.49	12.58	0.20	2434	座金が傘状にボルト孔にめり込み
2体目	2.73	86.78	10.97	0.22	2485	座金が傘状にボルト孔にめり込み
3体目	2.52	101.35	11.91	0.21	2913	座金が傘状にボルト孔にめり込み
平均値	2.55	90.87	11.82	0.21	2610.56	
標準偏差	0.14	7.47	0.66	0.01	214.79	
変動係数 %	0.056	0.082	0.056	0.029	0.082	

試験体No	(a) 降伏耐力 Py	(b) Pmax × 2/3
1体目	54.61	58.86
2体目	58.24	60.58
3体目	71.89	71.71
平均値	61.58	63.72
標準偏差	7.44	5.70
変動係数%	0.121	0.089
ばらつき係数	0.619	0.718
短期引張耐力	38.13	45.76

短期基準引張耐力	38.13 kN
----------	----------

・試験体\_No. 9: TBJ-Z600-6/54 試験体

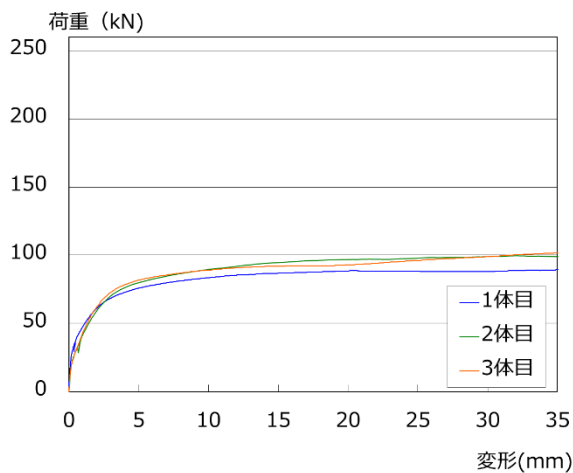


図 2-1 No. 9 試験体 荷重-変位関係グラフ

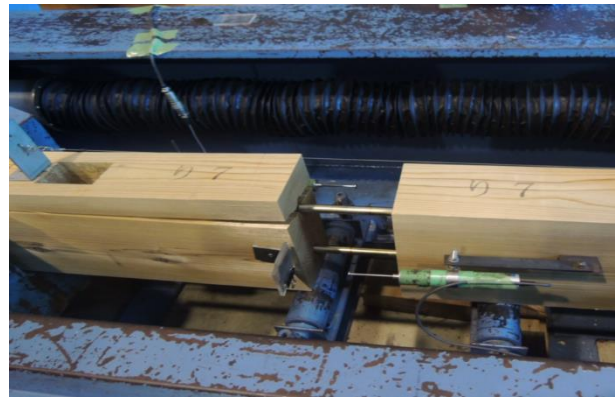


図 2-1 No. 9 試験体 主な最終破壊状況写真

表 2-1 試験体\_No. 9: TBJ-Z600-6/54 試験体 試験結果と短期基準引張耐力

試験体No	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm	最大荷重 × 2/3 kN	降伏耐力 Py kN	降伏変位 $\delta_y$ mm	初期剛性 K kN/mm	終局変位 $\delta_u$ mm
1体目	88.63	20.40	59.09	53.15	1.35	39.48	30.00
2体目	99.20	30.00	66.13	62.64	2.23	28.06	30.00
3体目	98.93	30.00	65.96	65.55	2.25	29.11	30.00
平均値	95.59	26.80	63.72	60.45	1.94	32.22	30.00
標準偏差	4.92	4.53	3.28	5.30	0.42	5.15	0.00
変動係数 %	0.051	0.169	0.051	0.088	0.217	0.160	0.000

試験体No	降伏点変位 $\delta_v$ mm	終局耐力 Pu kN	塑性率 $\mu$	構造特性係数 Ds	0.8Pmax面積 S kNmm	破壊形態
1体目	2.15	84.69	13.99	0.19	2450	座金が傘状にボルト孔にめり込み
2体目	3.33	93.46	9.01	0.24	2648	座金が傘状にボルト孔にめり込み
3体目	3.16	91.93	9.50	0.24	2613	座金が傘状にボルト孔にめり込み
平均値	2.88	90.03	10.83	0.22	2570.27	
標準偏差	0.52	3.83	2.24	0.02	86.38	
変動係数 %	0.182	0.042	0.207	0.099	0.034	

試験体No	(a)	(b)
	降伏耐力 Py	Pmax × 2/3
1体目	53.15	59.09
2体目	62.64	66.13
3体目	65.55	65.96
平均値	60.45	63.72
標準偏差	5.30	3.28
変動係数%	0.088	0.051
ばらつき係数	0.724	0.838
短期引張耐力	43.75	53.38

短期基準引張耐力	43.75 kN
----------	----------

・試験体\_No. 10: TBJ-Z600-6/54\_DF110KD 試験体

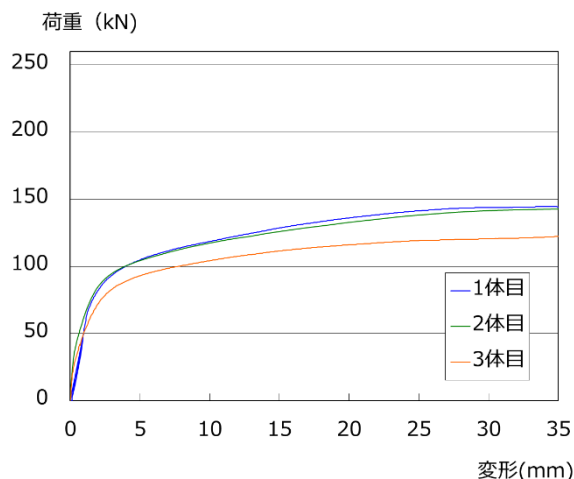


図 2-1 No. 10 試験体 荷重-変位関係グラフ



図 2-1 No. 10 試験体 主な最終破壊状況写真

表 2-1 試験体\_No. 10: TBJ-Z600-6/54\_DF110KD 試験体 試験結果と短期基準引張耐力

試験体No	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm	最大荷重 × 2/3 kN	降伏耐力 Py kN	降伏変位 δy mm	初期剛性 K kN/mm	終局変位 δu mm
1体目	143.85	30.00	95.90	88.45	2.45	36.07	30.00
2体目	141.62	30.00	94.41	88.18	2.26	39.11	30.00
3体目	120.55	30.00	80.36	76.50	2.31	33.10	30.00
平均値	135.34	30.00	90.22	84.38	2.34	36.09	30.00
標準偏差	10.50	0.00	7.00	5.57	0.08	2.45	0.00
変動係数 %	0.078	0.000	0.078	0.066	0.035	0.068	0.000

試験体No	降伏点変位 δv mm	終局耐力 Pu kN	塑性率 μ	構造特性係数 Ds	0.8Pmax面積 S kNmm	破壊形態
1体目	3.58	128.96	8.39	0.25	3638	座金が傘状にボルト孔にめり込み後、座金が破断
2体目	3.25	126.94	9.24	0.24	3602	座金が傘状にボルト孔にめり込み後、座金が破断
3体目	3.36	111.07	8.94	0.24	3146	座金が傘状にボルト孔にめり込み後、座金が破断
平均値	3.39	122.32	8.86	0.24	3462.10	
標準偏差	0.14	8.00	0.35	0.01	224.18	
変動係数 %	0.040	0.065	0.040	0.021	0.065	

試験体No	(a)	(b)
	降伏耐力 Py	Pmax × 2/3
1体目	88.45	95.90
2体目	88.18	94.41
3体目	76.50	80.36
平均値	84.38	90.22
標準偏差	5.57	7.00
変動係数%	0.066	0.078
ばらつき係数	0.792	0.755
短期接合耐力	66.82	68.16

短期基準接合耐力	66.82 kN
----------	----------

・試験体\_No. 11: TBJ-Z500-12/72 試験体

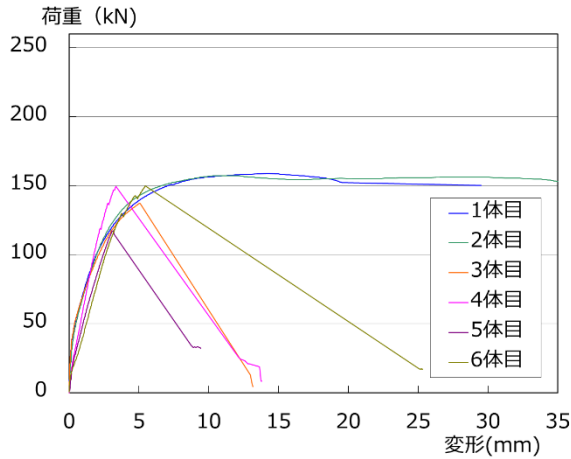


図 2-1 No. 11 試験体 荷重-変位関係グラフ

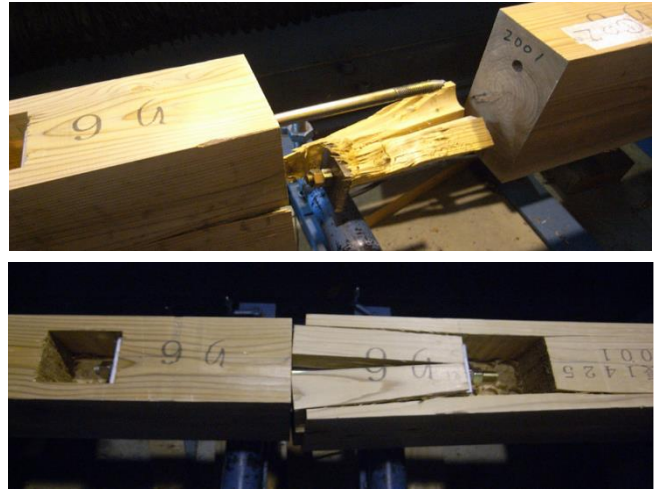


図 2-1 No. 11 試験体 主な最終破壊状況写真

表 2-1 試験体\_No. 11: TBJ-Z500-12/72 試験体 試験結果と短期基準引張耐力

試験体No	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm	最大荷重 × 2/3 kN	降伏耐力 Py kN	降伏変位 δy mm	初期剛性 K kN/mm	終局変位 δu mm
1体目	158.83	14.23	105.88	88.92	1.53	58.07	29.52
2体目	157.37	11.00	104.91	87.05	1.52	57.16	30.00
3体目	137.47	5.07	91.65	66.45	0.85	78.02	5.07
4体目	149.65	3.35	99.77	92.66	1.62	57.11	5.47
5体目	117.48	3.17	78.32	57.52	1.19	48.53	4.65
6体目	149.91	5.47	99.94	114.28	3.10	36.87	9.90
平均値	145.12	7.05	96.74	84.48	1.64	55.96	14.10
標準偏差	14.17	4.13	9.44	18.41	0.71	12.34	11.21
変動係数 %	0.098	0.586	0.098	0.218	0.431	0.220	0.795

試験体No	降伏点変位 δv mm	終局耐力 Pu kN	塑性率 μ	構造特性係数 Ds	0.8Pmax面積 S kNmm	破壊形態
1体目	2.61	151.32	11.33	0.21	4269	座金のめり込み
2体目	2.68	152.96	11.21	0.22	4384	座金のめり込み
3体目	1.51	118.15	3.35	0.42	510	材中心からの縦割裂破壊
4体目	2.39	136.52	2.29	0.53	583	材中心からの縦割裂破壊
5体目	2.16	104.69	2.16	0.55	374	材中心からの縦割裂破壊
6体目	3.74	138.02	2.65	0.48	1108	材中心からの縦割裂破壊
平均値	2.51	133.61	5.50	0.40	1871.49	
標準偏差	0.67	17.28	4.10	0.14	1751.18	
変動係数 %	0.266	0.129	0.746	0.343	0.936	

試験体No	(a)	(b)
	降伏耐力 Py	Pmax × 2/3
1体目	88.92	105.88
2体目	87.05	104.91
3体目	66.45	91.65
4体目	92.66	99.77
5体目	57.52	78.32
6体目	114.28	99.94
平均値	84.48	96.74
標準偏差	18.41	9.44
変動係数%	0.218	0.098
ばらつき係数	0.491	0.772
短期引張耐力	41.47	74.68

短期基準引張耐力	41.47 kN
----------	----------

・試験体\_No. 12: TBJ-Z600-12/72 試験体

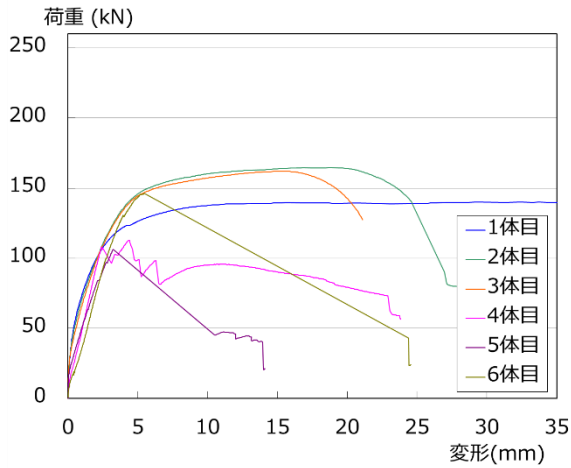


図 2-1 No. 12 試験体 荷重-変位関係グラフ

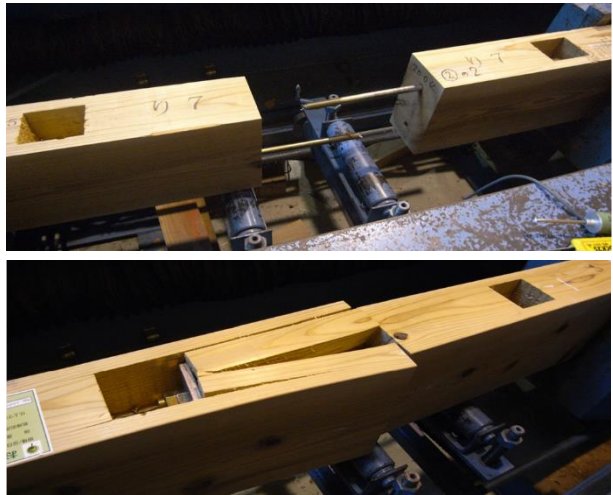


図 2-1 No. 12 試験体 主な最終破壊状況写真

表 2-1 試験体\_No. 12: TBJ-Z600-12/72 試験体 試験結果と短期基準引張耐力

試験体No	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm	最大荷重 × 2/3 kN	降伏耐力 Py kN	降伏変位 δy mm	初期剛性 K kN/mm	終局変位 δu mm
1体目	140.00	28.97	93.33	79.11	1.17	67.60	30.00
2体目	164.72	18.76	109.81	87.96	1.59	55.38	24.85
3体目	162.05	15.33	108.03	89.29	1.73	51.62	20.91
4体目	112.92	4.36	75.28	107.50	2.34	45.94	14.97
5体目	106.28	3.25	70.85	53.50	1.09	49.17	5.77
6体目	146.24	5.47	97.49	139.13	4.60	30.22	10.84
平均値	138.70	12.69	92.47	92.75	2.09	49.99	17.89
標準偏差	22.35	9.30	14.90	26.24	1.20	11.18	8.26
変動係数 %	0.161	0.733	0.161	0.283	0.574	0.224	0.462

試験体No	降伏点変位 δv mm	終局耐力 Pu kN	塑性率 μ	構造特性係数 Ds	0.8Pmax面積 S kNmm	破壊形態
1体目	2.01	136.07	14.90	0.19	3945	座金のめり込み後、ボルト破断
2体目	2.83	156.53	8.79	0.25	3668	座金のめり込み後、ボルト破断
3体目	2.96	153.05	7.05	0.28	2974	座金のめり込み後、ボルト破断
4体目					1332	材中心からの縦割裂破壊
5体目	1.94	95.24	2.98	0.45	457	材中心からの縦割裂破壊
6体目	4.67	141.13	2.32	0.52	1201	材中心からの縦割裂破壊
平均値	2.88	136.40	7.21	0.34	2262.83	
標準偏差	0.99	21.90	4.55	0.13	1326.84	
変動係数 %	0.342	0.161	0.631	0.382	0.586	

試験体No	(a)	(b)
	降伏耐力 Py	Pmax × 2/3
1体目	79.11	93.33
2体目	87.96	109.81
3体目	89.29	108.03
4体目	107.50	75.28
5体目	53.50	70.85
6体目	139.13	97.49
平均値	92.75	92.47
標準偏差	26.24	14.90
変動係数%	0.283	0.161
ばらつき係数	0.339	0.588
短期引張耐力	31.46	54.34

短期基準引張耐力	31.46 kN
----------	----------



・試験体\_No. 13: TBJ-Z500-12/72\_DF110KD 試験体

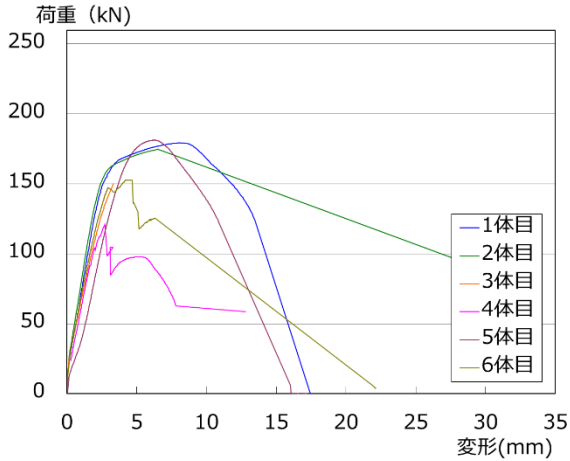


図 2-1 No. 13 試験体 荷重-変位関係グラフ

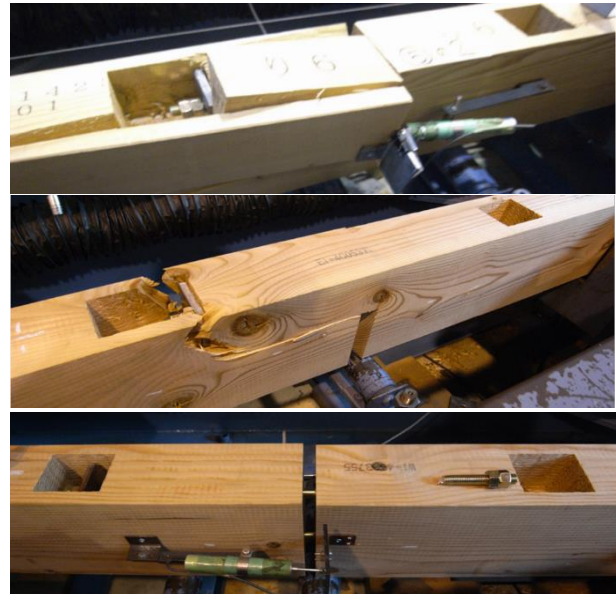


図 2-1 No. 12 試験体 主な最終破壊状況写真

表 2-1 試験体\_No. 13: TBJ-Z500-12/72\_DF110KD 試験体 試験結果と短期基準引張耐力

試験体No	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm	最大荷重 × 2/3 kN	降伏耐力 Py kN	降伏変位 $\delta y$ mm	初期剛性 K kN/mm	終局変位 $\delta u$ mm
1体目	179.37	8.12	119.58	121.82	1.87	65.19	12.29
2体目	174.88	6.52	116.59	109.85	1.51	72.84	16.00
3体目	150.14	3.32	100.09	76.93	1.24	62.21	3.32
4体目	121.29	2.73	80.86	107.61	2.15	50.11	5.65
5体目	181.31	6.21	120.87	129.08	3.06	42.18	9.57
6体目	152.59	4.67	101.72	78.55	1.19	65.86	6.76
平均値	159.93	5.26	106.62	103.97	1.84	59.73	8.93
標準偏差	21.22	1.88	14.14	19.89	0.64	10.38	4.26
変動係数 %	0.133	0.357	0.133	0.191	0.350	0.174	0.476

試験体No	降伏点変位 $\delta v$ mm	終局耐力 Pu kN	塑性率 $\mu$	構造特性係数 Ds	0.8Pmax面積 S kNmm	破壊形態
1体目	2.60	169.50	4.73	0.34	1864	座金のめり込み後、ボルト破断
2体目	2.21	160.76	7.25	0.27	2395	ブロック状にせん断破壊
3体目	2.21	137.19	1.50	0.71	304	ブロック状にせん断破壊
4体目	2.07	103.89	2.73	0.47	480	節周辺からの引張破壊
5体目	4.01	169.14	2.39	0.51	1279	座金のめり込み後、ボルト破断
6体目	2.06	135.89	3.28	0.42	778	縦割裂、側面の割裂破壊
平均値	2.53	146.06	3.65	0.46	1183.39	
標準偏差	0.69	23.30	1.88	0.14	749.77	
変動係数 %	0.272	0.160	0.517	0.302	0.634	

試験体No	(a) 降伏耐力 Py	(b) Pmax × 2/3
1体目	121.82	119.58
2体目	109.85	116.59
3体目	76.93	100.09
4体目	107.61	80.86
5体目	129.08	120.87
6体目	78.55	101.72
平均値	103.97	106.62
標準偏差	19.89	14.14
変動係数%	0.191	0.133
ばらつき係数	0.553	0.690
短期接合耐力	57.50	73.58

短期基準接合耐力 57.50 kN



・試験体\_No. 14: TBJ-Z500-12/58\_105 試験体

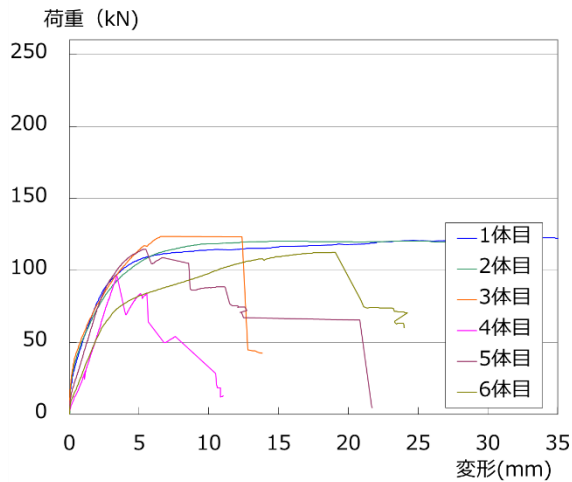


図 2-1 No. 14 試験体 荷重-変位関係グラフ



図 2-1 No. 14 試験体 主な最終破壊状況写真

表 2-1 試験体\_No. 14: TBJ-Z500-12/58\_105 試験体 試験結果と短期基準引張耐力

試験体No	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm	最大荷重 ×2/3 kN	降伏耐力 Py kN	降伏変位 δy mm	初期剛性 K kN/mm	終局変位 δu mm
1体目	121.61	30.00	81.07	74.32	1.85	40.09	30.00
2体目	121.20	30.00	80.80	65.33	1.58	41.29	30.00
3体目	123.55	6.57	82.37	59.84	1.18	50.66	12.51
4体目	96.05	3.42	64.03	32.02	3.42	28.55	5.60
5体目	114.60	5.51	76.40	73.12	2.00	36.57	8.63
6体目	112.49	19.05	74.99	68.83	2.99	23.00	20.30
平均値	114.92	15.76	76.61	62.24	2.17	36.69	17.84
標準偏差	9.32	11.24	6.21	14.36	0.78	8.96	9.70
変動係数 %	0.081	0.713	0.081	0.231	0.361	0.244	0.544

試験体No	降伏点変位 δv mm	終局耐力 Pu kN	塑性率 μ	構造特性係数 Ds	0.8Pmax面積 S kNmm	破壊形態
1体目	2.89	115.99	10.37	0.23	3312	座金のめり込み
2体目	2.83	117.04	10.58	0.22	3345	座金のめり込み
3体目	2.29	115.77	5.47	0.32	1316	材中心からの縦割裂破壊
4体目	1.75	71.38	3.21	0.43	340	材中心及び側面からの割裂破壊
5体目	2.95	107.76	2.93	0.45	771	材中心及び側面からの割裂破壊
6体目	4.39	101.02	4.62	0.35	1829	材側面からの縦割裂破壊
平均値	2.85	104.83	6.20	0.33	1818.96	
標準偏差	0.81	16.00	3.14	0.09	1161.59	
変動係数 %	0.284	0.153	0.507	0.269	0.639	

試験体No	(a)	(b)
	降伏耐力 Py	Pmax × 2/3
1体目	74.32	81.07
2体目	65.33	80.80
3体目	59.84	82.37
4体目	※32.02	64.03
5体目	73.12	76.40
6体目	68.83	74.99
平均値	62.24	76.61
標準偏差	14.36	6.21
変動係数%	0.231	0.081
ばらつき係数	0.461	0.811
短期引張耐力	28.71	62.10

※Pyが算出不可のため(1/3)Pmaxとする。

短期基準引張耐力	28.71 kN
----------	----------

・試験体\_No. 15: TBJ-Z600-12/58\_105 試験体

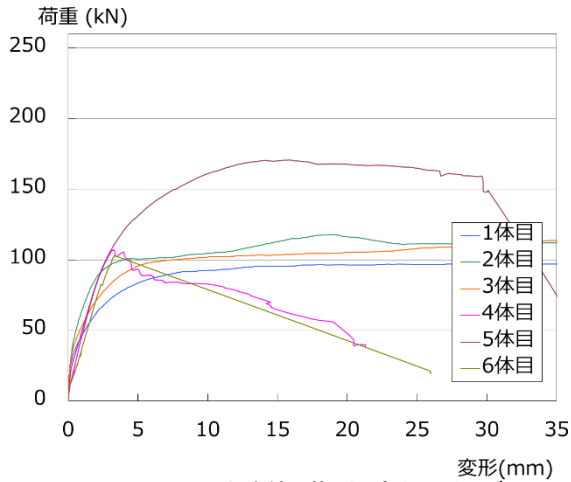


図 2-1 No. 15 試験体 荷重-変位関係グラフ



図 2-1 No. 15 試験体 主な最終破壊状況写真

表 2-1 試験体\_No. 15: TBJ-Z600-12/58\_105 試験体 試験結果と短期基準引張耐力

試験体No	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm	最大荷重 ×2/3 kN	降伏耐力 Py kN	降伏変位 δy mm	初期剛性 K kN/mm	終局変位 δu mm
1体目	97.22	29.18	64.81	53.95	1.42	37.94	30.00
2体目	117.88	18.31	78.58	85.75	1.92	44.67	30.00
3体目	111.21	30.00	74.14	66.94	1.72	38.84	30.00
4体目	106.98	3.20	71.32	62.12	1.43	43.39	6.43
5体目	170.77	15.76	113.85	102.21	2.83	36.17	30.00
6体目	102.94	3.32	68.63	34.31	3.32	31.03	9.01
平均値	117.83	16.63	78.55	67.55	2.11	38.67	22.57
標準偏差	24.53	10.78	16.35	21.80	0.72	4.54	10.53
変動係数 %	0.208	0.648	0.208	0.323	0.341	0.117	0.466

試験体No	降伏点変位 δv mm	終局耐力 Pu kN	塑性率 μ	構造特性係数 Ds	0.8Pmax面積 S kNmm	破壊形態
1体目	2.46	93.16	12.22	0.21	2680	座金のめり込み
2体目	2.46	110.02	12.18	0.21	3165	座金のめり込み
3体目	2.67	103.61	11.25	0.22	2970	座金のめり込み
4体目	2.21	96.11	2.90	0.46	512	材上面及び側面の割裂破壊
5体目	4.47	161.75	6.71	0.28	4491	座金のめり込み
6体目	3.11	96.41	1.00	1.00	719	材上面及び側面の割裂破壊
平均値	2.90	110.18	7.71	0.39	2422.81	
標準偏差	0.76	23.73	4.51	0.28	1399.33	
変動係数 %	0.261	0.215	0.585	0.720	0.578	

試験体No	(a) 降伏耐力 Py	(b) Pmax × 2/3
1体目	53.95	64.81
2体目	85.75	78.58
3体目	66.94	74.14
4体目	62.12	71.32
5体目	102.21	113.85
6体目	※34.31	68.63
平均値	67.55	78.55
標準偏差	21.80	16.35
変動係数%	0.323	0.208
ばらつき係数	0.246	0.514
短期引張耐力	16.62	40.35

※Pyが算出不可のため(1/3)Pmaxとする。

短期基準引張耐力	16.62 kN
----------	----------

・試験体\_No. 16: TBJ-Z600-12/70\_JC65EW 試験体

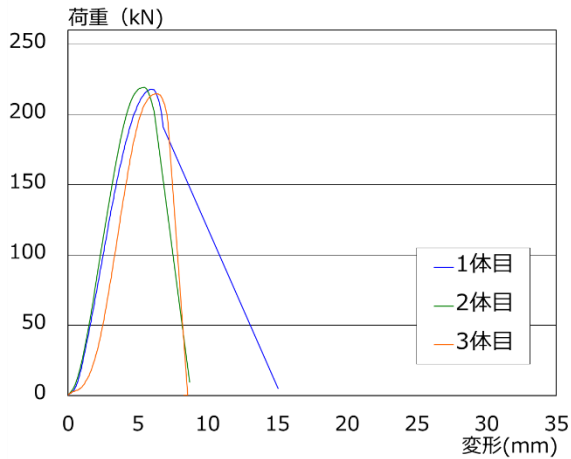


図 2-1 No. 16 試験体 荷重-変位関係グラフ



図 2-1 No. 16 試験体 主な最終破壊状況写真

表 2-1 試験体\_No. 16: TBJ-Z600-12/70\_JC65EW 試験体 試験結果と短期基準引張耐力

試験体No	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm	最大荷重 × 2/3 kN	降伏耐力 Py kN	降伏変位 $\delta_y$ mm	初期剛性 K kN/mm	終局変位 $\delta_u$ mm
1体目	218.07	5.46	145.38	151.86	2.99	50.87	6.32
2体目	219.22	4.77	146.15	136.66	2.22	61.44	5.47
3体目	214.69	4.46	143.13	121.87	1.84	66.07	5.37
平均値	217.33	4.90	144.88	136.80	2.35	59.46	5.72
標準偏差	1.92	0.41	1.28	12.25	0.47	6.36	0.42
変動係数 %	0.009	0.085	0.009	0.090	0.202	0.107	0.074

試験体No	降伏点変位 $\delta_v$ mm	終局耐力 Pu kN	塑性率 $\mu$	構造特性係数 Ds	0.8Pmax面積 S kNmm	破壊形態
1体目	4.10	208.60	1.54	0.69	890	引きボルトが降伏後に破断
2体目	3.43	211.01	1.59	0.68	792	引きボルトが降伏後に破断
3体目	3.11	205.33	1.73	0.64	784	引きボルトが降伏後に破断
平均値	3.55	208.31	1.62	0.67	822	
標準偏差	0.41	2.33	0.08	0.02	48	
変動係数 %	0.116	0.011	0.049	0.035	0.058	

試験体No	(a)	(b)
	降伏耐力 Py	Pmax × 2/3
1体目	151.86	145.38
2体目	136.66	146.15
3体目	121.87	143.13
平均値	136.80	144.88
標準偏差	12.25	1.28
変動係数%	0.090	0.009
ばらつき係数	0.718	0.972
短期引張耐力	98.20	140.84

短期基準引張耐力	98.20 kN
----------	----------

・試験体\_No. 17: TBJ-S600-9/70\_HI90KD 試験体

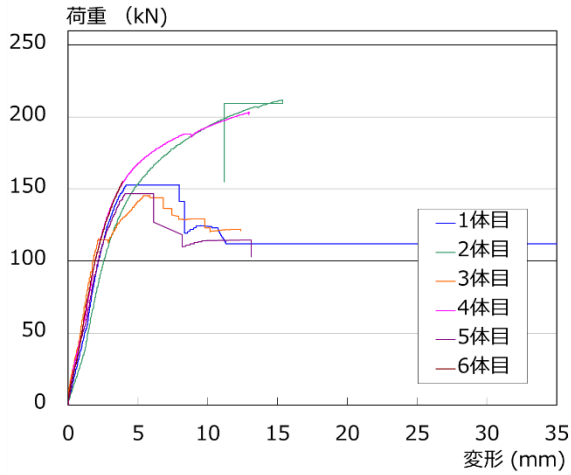


図 2-1 No. 17 試験体 荷重-変位関係グラフ

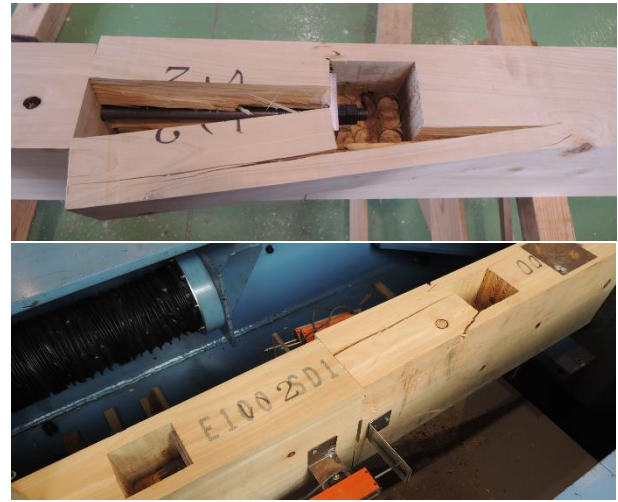


図 2-1 No. 17 試験体 主な最終破壊状況写真

表 2-1 試験体\_No. 17: TBJ-S600-9/70\_HI90KD 試験体 試験結果と短期基準引張耐力

試験体No	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm	最大荷重 × 2/3 kN	降伏耐力 Py kN	降伏変位 $\delta_y$ mm	初期剛性 K kN/mm	終局変位 $\delta_u$ mm
1体目	152.80	7.95	101.87	120.00	10.74	44.78	10.74
2体目	212.00	15.28	141.33	129.64	3.59	36.11	15.35
3体目	145.20	5.38	96.80	116.22	2.98	39.00	12.36
4体目	203.20	12.89	135.47	132.02	2.85	46.32	12.97
5体目	146.60	4.04	97.73	155.76	4.29	36.29	8.16
6体目	154.80	3.89	103.20	109.17	2.15	50.78	3.89
平均値	169.10	8.24	112.73	127.13	4.43	42.21	10.58
標準偏差	30.17	4.82	20.11	16.38	3.17	5.99	4.06
変動係数 %	17.8	58.5	17.8	12.9	71.6	14.2	38.3

試験体No	降伏点変位 $\delta_v$ mm	終局耐力 Pu kN	塑性率 $\mu$	構造特性係数 Ds	0.8Pmax面積 S kNmm	破壊形態
1体目	3.15	141.16	3.41	0.42	1294	材中心からの縦割れ破壊割裂
2体目	5.25	189.73	2.92	0.45	2414	材中心からの縦割れ破壊割裂
3体目	3.52	137.28	3.51	0.41	1455	材中心からの縦割れ破壊割裂
4体目	4.01	185.92	3.23	0.43	2038	材中心からの縦割れ破壊割裂
5体目	4.07	147.68	2.01	0.58	905	材中心からの縦割れ破壊割裂
6体目	2.83	143.56	1.38	0.76	356	材中心からの縦割れ引張破壊
平均値	3.81	157.56	2.74	0.51	1410	
標準偏差	0.86	23.72	0.86	0.14	746	
変動係数 %	22.5	15.1	31.4	27.1	52.9	

試験体No	(a) 降伏耐力 Py	(b) Pmax × 2/3
1体目	120.00	101.87
2体目	129.64	141.33
3体目	116.22	96.80
4体目	132.02	135.47
5体目	155.76	97.73
6体目	109.17	103.20
平均値	127.13	112.73
標準偏差	16.38	20.11
変動係数%	12.89	17.84
ばらつき係数	0.699	0.583
短期引張耐力	88.86	65.75

短期基準引張耐力	65.75 kN
----------	----------



・試験体\_No. 18: TBJ-S600-9/70\_JC65EW 試験体

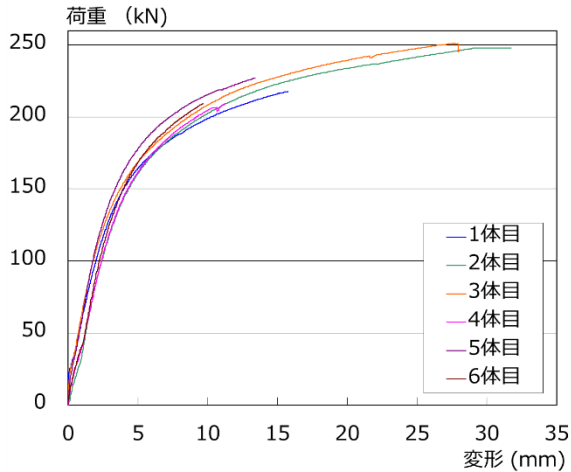


図 2-1 No. 18 試験体 荷重-変位関係グラフ



図 2-1 No. 18 試験体 主な最終破壊状況写真

表 2-1 試験体\_No. 18: TBJ-S600-9/70\_JC65EW 試験体 試験結果と短期基準引張耐力

試験体No	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm	最大荷重 × 2/3 kN	降伏耐力 Py kN	降伏変位 δy mm	初期剛性 K kN/mm	終局変位 δu mm
1体目	217.60	15.59	145.07	134.60	3.17	42.46	15.75
2体目	247.80	28.97	165.20	149.01	4.30	34.65	30.00
3体目	251.20	27.53	167.47	148.16	3.62	40.97	28.08
4体目	209.60	11.25	139.73	129.46	3.34	38.76	11.33
5体目	227.00	13.32	151.33	135.02	2.75	49.10	13.40
6体目	209.20	9.60	139.47	128.88	3.10	41.57	9.67
平均値	227.07	17.71	151.38	137.52	3.38	41.25	18.04
標準偏差	18.58	8.42	12.39	8.94	0.53	4.75	8.78
変動係数 %	8.2	47.5	8.2	6.5	15.8	11.5	48.7

試験体No	降伏点変位 δv mm	終局耐力 Pu kN	塑性率 μ	構造特性係数 Ds	0.8Pmax面積 S kNmm	破壊形態
1体目	4.67	198.29	3.37	0.42	2660	角孔脇からの引張せん断破壊
2体目	6.50	225.08	4.62	0.35	6021	座金のめり込み後、ボルトの降伏・破断
3体目	5.56	227.86	5.05	0.33	5765	角孔脇からの引張せん断破壊
4体目	4.90	189.75	2.31	0.52	1685	角孔脇からの引張せん断破壊
5体目	4.19	205.79	3.20	0.43	2326	角孔脇からの引張せん断破壊
6体目	4.54	188.79	2.13	0.55	1397	角孔脇からの引張せん断破壊
平均値	5.06	205.92	3.45	0.43	3309	
標準偏差	0.84	17.10	1.19	0.09	2053	
変動係数 %	16.6	8.3	34.4	20.8	62.0	

試験体No	(a) 降伏耐力 Py	(b) Pmax × 2/3
1体目	134.60	145.07
2体目	149.01	165.20
3体目	148.16	167.47
4体目	129.46	139.73
5体目	135.02	151.33
6体目	128.88	139.47
平均値	137.52	151.38
標準偏差	8.94	12.39
変動係数%	6.50	8.18
ばらつき係数	0.85	0.81
短期引張耐力	116.64	122.44

短期基準引張耐力 116.64 kN

・試験体\_No. 19: TBJ-S600-9/70\_JL95EW 試験体

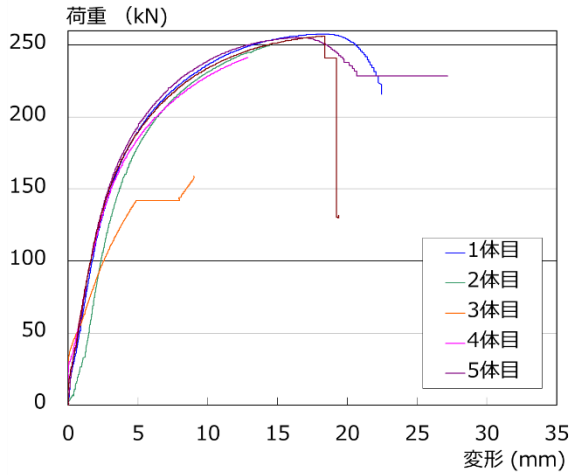


図 2-1 No. 19 試験体 荷重-変位関係グラフ



図 2-1 No. 19 試験体 主な最終破壊状況写真

表 2-1 試験体\_No. 18: TBJ-S600-9/70\_JL95EW 試験体 試験結果と短期基準引張耐力

試験体No	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm	最大荷重 × 2/3 kN	降伏耐力 Py kN	降伏変位 δy mm	初期剛性 K kN/mm	終局変位 δu mm
1体目	257.60	17.81	171.73	152.92	3.13	48.86	22.46
2体目	250.00	14.42	166.67	148.43	3.63	40.89	14.51
3体目	158.10	9.02	105.40	114.16	3.25	35.13	9.02
4体目	241.20	12.79	160.80	143.86	2.85	50.48	12.87
5体目	255.20	16.28	170.13	149.11	2.84	52.50	27.17
6体目	256.20	18.10	170.80	151.12	2.97	50.88	19.23
平均値	236.38	14.74	157.59	143.27	3.11	46.46	17.54
標準偏差	38.82	3.46	25.88	14.58	0.30	6.89	6.68
変動係数 %	16.4	23.4	16.4	10.2	9.6	14.8	38.1

試験体No	降伏点変位 δv mm	終局耐力 Pu kN	塑性率 μ	構造特性係数 Ds	0.8Pmax面積 S kNmm	破壊形態
1体目	4.90	239.54	4.58	0.35	4793	座金のめり込み後、ボルトの降伏・破断
2体目	5.45	222.88	2.66	0.48	2627	角孔脇からの引張せん断破壊
3体目	4.40	154.45	2.05	0.57	1054	角孔脇からの引張せん断破壊
4体目	4.31	217.69	2.98	0.45	2332	角孔脇からの引張せん断破壊
5体目	4.48	235.07	6.07	0.30	5861	座金のめり込み後、ボルトの降伏・破断
6体目	4.62	235.03	4.16	0.37	3977	角孔脇からの引張せん断破壊
平均値	4.69	217.44	3.75	0.42	3440	
標準偏差	0.42	31.96	1.48	0.10	1764	
変動係数 %	9.1	14.7	39.3	23.4	51.3	

試験体No	(a) 降伏耐力 Py	(b) Pmax × 2/3
1体目	152.92	171.73
2体目	148.43	166.67
3体目	114.16	105.40
4体目	143.86	160.80
5体目	149.11	170.13
6体目	151.12	170.80
平均値	143.27	157.59
標準偏差	14.58	25.88
変動係数%	10.18	16.42
ばらつき係数	0.762	0.616
短期引張耐力	109.20	97.14

短期基準引張耐力	97.14 kN
----------	----------

・試験体\_No. 20: TBJ-S600-9/70\_RW105EW 試験体

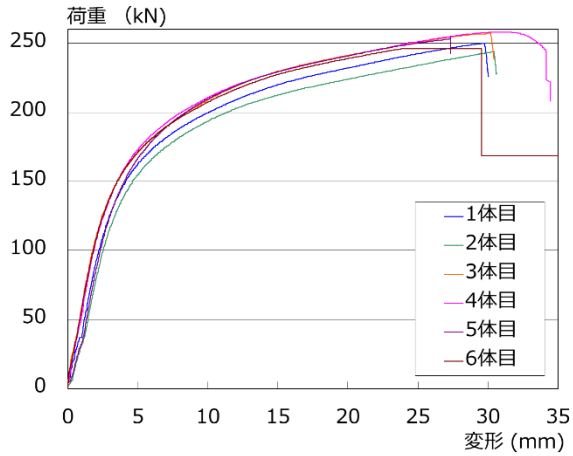


図 2-1 No. 20 試験体 荷重-変位関係グラフ

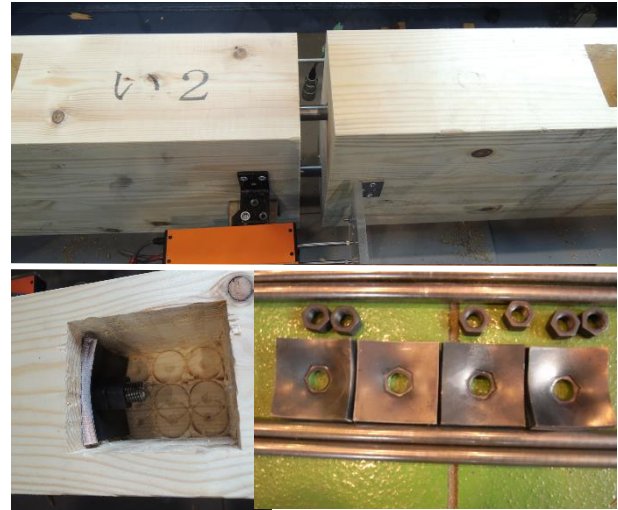


図 2-1 No. 20 試験体 主な最終破壊状況写真

表 2-1 試験体\_No. 20: TBJ-S600-9/70\_RW105EW 試験体 試験結果と短期基準引張耐力

試験体No	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm	最大荷重 × 2/3 kN	降伏耐力 Py kN	降伏変位 δy mm	初期剛性 K kN/mm	終局変位 δu mm
1体目	250.00	29.56	166.67	151.22	4.18	36.18	30.00
2体目	243.20	29.92	162.13	148.65	4.58	32.46	30.00
3体目	257.20	29.91	171.47	151.77	3.64	41.70	30.00
4体目	257.80	29.67	171.87	156.52	3.88	40.34	30.00
5体目	253.40	27.32	168.93	153.14	4.19	36.55	27.33
6体目	246.00	23.78	164.00	146.95	3.36	43.74	29.54
平均値	251.27	28.36	167.51	151.37	3.97	38.49	29.48
標準偏差	5.95	2.45	3.96	3.37	0.44	4.17	1.07
変動係数 %	2.4	8.6	2.4	2.2	11.0	10.8	3.6

試験体No	降伏点変位 δv mm	終局耐力 Pu kN	塑性率 μ	構造特性係数 Ds	0.8Pmax面積 S kNmm	破壊形態
1体目	6.18	223.58	4.85	0.34	6017	ボルトネジ部破断
2体目	6.68	216.90	4.49	0.35	5782	変位量30mmに到達
3体目	5.55	231.60	5.40	0.32	6305	変位量30mmに到達
4体目	5.77	232.74	5.20	0.33	6311	変位量30mmに到達
5体目	6.26	228.68	4.37	0.36	5534	ボルトネジ部破断
6体目	5.18	226.59	5.70	0.31	6106	ボルトネジ部破断
平均値	5.94	226.68	5.00	0.33	6009	
標準偏差	0.54	5.83	0.52	0.02	305	
変動係数 %	9.1	2.6	10.5	5.9	5.1	

試験体No	(a) 降伏耐力 Py	(b) Pmax × 2/3
1体目	151.22	166.67
2体目	148.65	162.13
3体目	151.77	171.47
4体目	156.52	171.87
5体目	153.14	168.93
6体目	146.95	164.00
平均値	151.37	167.51
標準偏差	3.37	3.96
変動係数%	2.23	2.37
ばらつき係数	0.948	0.945
短期引張耐力	143.51	158.25

短期基準引張耐力	143.51 kN
----------	-----------

・試験体\_No. 21: TBJ-S600-9/70\_DF120EW 試験体

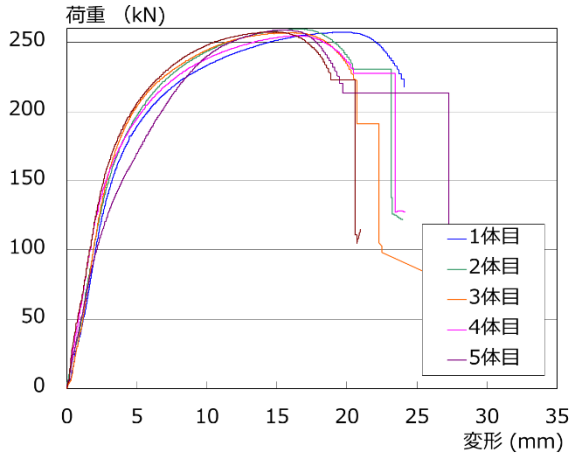


図 2-1 No. 21 試験体 荷重-変位関係グラフ



図 2-1 No. 21 試験体 主な最終破壊状況写真

表 2-1 試験体\_No. 21: TBJ-S600-9/70\_DF120EW 試験体 試験結果と短期基準引張耐力

試験体No	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm	最大荷重 ×2/3 kN	降伏耐力 Py kN	降伏変位 δy mm	初期剛性 K kN/mm	終局変位 δu mm
1体目	257.40	19.55	171.60	161.76	3.63	44.56	24.09
2体目	259.60	16.10	173.07	159.85	3.26	49.04	23.16
3体目	257.00	15.79	171.33	162.19	3.19	50.84	20.70
4体目	255.00	16.35	170.00	151.76	2.87	52.95	23.43
5体目	259.00	15.16	172.67	130.96	3.13	41.84	27.30
6体目	257.60	14.79	171.73	161.00	2.93	54.95	20.59
平均値	257.60	16.29	171.73	154.59	3.17	49.03	23.21
標準偏差	1.62	1.70	1.08	12.20	0.27	5.01	2.48
変動係数 %	0.6	10.4	0.6	7.9	8.6	10.2	10.7

試験体No	降伏点変位 δv mm	終局耐力 Pu kN	塑性率 μ	構造特性係数 Ds	0.8Pmax面積 S kNmm	破壊形態
1体目	5.38	239.62	4.48	0.35	5128	座金のめり込み後、ボルトの降伏・破断
2体目	4.91	240.66	4.72	0.34	4983	座金のめり込み後、ボルトの降伏・破断
3体目	4.73	240.72	4.37	0.36	4413	座金のめり込み後、ボルトの降伏・破断
4体目	4.44	235.29	5.27	0.32	4990	座金のめり込み後、ボルトの降伏・破断
5体目	5.45	228.13	5.01	0.33	5606	座金のめり込み後、ボルトの降伏・破断
6体目	4.37	239.95	4.72	0.34	4417	座金のめり込み後、ボルトの降伏・破断
平均値	4.88	237.39	4.76	0.34	4923	
標準偏差	0.46	4.97	0.33	0.01	455	
変動係数 %	9.4	2.1	7.0	3.9	9.2	

試験体No	(a) 降伏耐力 Py	(b) Pmax × 2/3
1体目	161.76	171.60
2体目	159.85	173.07
3体目	162.19	171.33
4体目	151.76	170.00
5体目	130.96	172.67
6体目	161.00	171.73
平均値	154.59	171.73
標準偏差	12.20	1.08
変動係数%	7.89	0.63
ばらつき係数	0.816	0.985
短期引張耐力	126.09	169.21

短期基準引張耐力	126.09 kN
----------	-----------



・試験体\_No. 22: TBJ-S600-9/70\_DF135EW 試験体

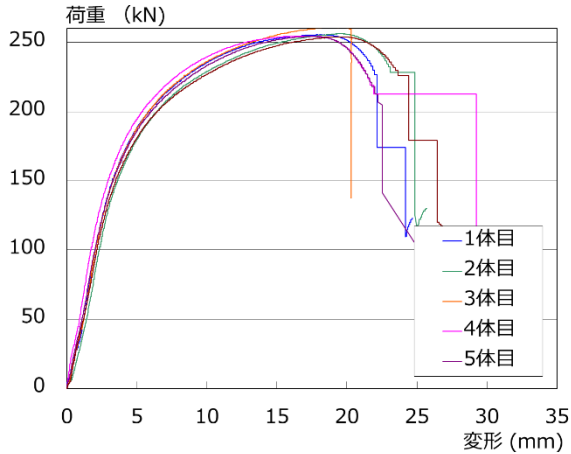


図 2-1 No. 22 試験体 荷重-変位関係グラフ

図 2-1 No. 22 試験体 主な最終破壊状況写真

表 2-1 試験体\_No. 22: TBJ-S600-9/70\_DF135EW 試験体 試験結果と短期基準引張耐力

試験体No	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm	最大荷重 × 2/3 kN	降伏耐力 Py kN	降伏変位 δy mm	初期剛性 K kN/mm	終局変位 δu mm
1体目	255.60	17.81	170.40	155.97	3.45	45.21	22.15
2体目	256.20	19.18	170.80	156.17	3.87	40.35	24.85
3体目	260.80	19.12	173.87	157.33	3.58	43.95	20.33
4体目	254.60	16.25	169.73	150.30	2.93	51.30	29.24
5体目	254.20	16.94	169.47	151.63	3.35	45.26	22.54
6体目	254.00	19.18	169.33	154.43	3.64	42.42	24.41
平均値	255.90	18.08	170.60	154.30	3.47	44.75	23.92
標準偏差	2.54	1.28	1.70	2.78	0.32	3.71	3.08
変動係数 %	1.0	7.1	1.0	1.8	9.2	8.3	12.9

試験体No	降伏点変位 δv mm	終局耐力 Pu kN	塑性率 μ	構造特性係数 Ds	0.8Pmax面積 S kNmm	破壊形態
1体目	5.26	237.95	4.21	0.37	4644	座金のめり込み後、ボルトの降伏・破断
2体目	5.86	236.31	4.24	0.37	5180	座金のめり込み後、ボルトの降伏・破断
3体目	5.49	241.07	3.71	0.39	4240	座金のめり込み後、ボルトの降伏・破断
4体目	4.49	230.47	6.51	0.29	6221	座金のめり込み後、ボルトの降伏・破断
5体目	5.18	234.61	4.35	0.36	4680	座金のめり込み後、ボルトの降伏・破断
6体目	5.54	234.92	4.41	0.36	5084	座金のめり込み後、ボルトの降伏・破断
平均値	5.30	235.89	4.57	0.36	5008	
標準偏差	0.46	3.55	0.98	0.04	684	
変動係数 %	8.7	1.5	21.5	10.0	13.7	

試験体No	(a) 降伏耐力 Py	(b) Pmax × 2/3
1体目	155.97	170.40
2体目	156.17	170.80
3体目	157.33	173.87
4体目	150.30	169.73
5体目	151.63	169.47
6体目	154.43	169.33
平均値	154.30	170.60
標準偏差	2.78	1.70
変動係数%	1.80	0.99
ばらつき係数	0.958	0.977
短期引張耐力	147.81	166.64

短期基準引張耐力	147.81 kN
----------	-----------

・試験体\_No. 23: TBJ-S600-9/70\_DFJC120EW 試験体

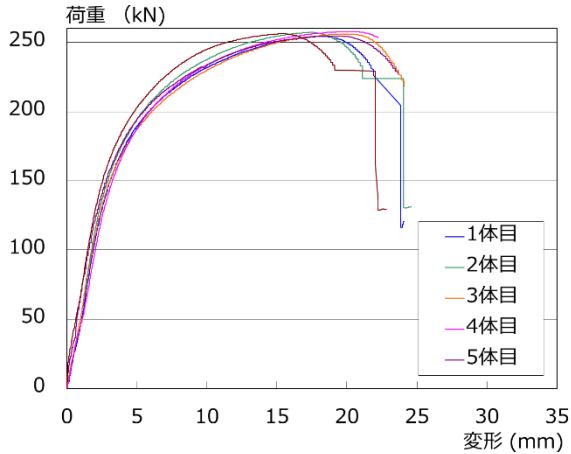


図 2-1 No. 23 試験体 荷重-変位関係グラフ



図 2-1 No. 23 試験体 主な最終破壊状況写真

表 2-1 試験体\_No. 23: TBJ-S600-9/70\_DFJC120EW 試験体 試験結果と短期基準引張耐力

試験体No	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm	最大荷重 ×2/3 kN	降伏耐力 Py kN	降伏変位 δy mm	初期剛性 K kN/mm	終局変位 δu mm
1体目	254.40	18.47	169.60	155.75	3.30	47.13	23.86
2体目	257.20	17.26	171.47	154.09	3.05	50.52	24.04
3体目	256.00	19.33	170.67	154.44	3.25	47.52	24.33
4体目	257.80	19.59	171.87	158.79	3.57	44.48	30.00
5体目	254.80	18.58	169.87	153.76	2.95	52.12	26.00
6体目	256.20	15.08	170.80	154.06	2.65	58.14	22.04
平均値	256.07	18.05	170.71	155.15	3.13	49.98	25.05
標準偏差	1.32	1.67	0.88	1.92	0.32	4.81	2.74
変動係数 %	0.5	9.2	0.5	1.2	10.2	9.6	10.9

試験体No	降伏点変位 δv mm	終局耐力 Pu kN	塑性率 μ	構造特性係数 Ds	0.8Pmax面積 S kNmm	破壊形態
1体目	4.96	233.62	4.81	0.34	4995	座金のめり込み後、ボルトの降伏・破断
2体目	4.68	236.39	5.14	0.33	5130	座金のめり込み後、ボルトの降伏・破断
3体目	4.98	236.59	4.89	0.34	5167	座金のめり込み後、ボルトの降伏・破断
4体目	5.32	236.42	5.64	0.31	6464	座金のめり込み後、ボルトの降伏・破断
5体目	4.53	236.07	5.74	0.31	5603	座金のめり込み後、ボルトの降伏・破断
6体目	4.09	237.96	5.38	0.32	4758	座金のめり込み後、ボルトの降伏・破断
平均値	4.76	236.17	5.27	0.32	5353	
標準偏差	0.42	1.41	0.39	0.01	611	
変動係数 %	8.9	0.6	7.3	4.1	11.4	

試験体No	(a) 降伏耐力 Py	(b) Pmax × 2/3
1体目	155.75	169.60
2体目	154.09	171.47
3体目	154.44	170.67
4体目	158.79	171.87
5体目	153.76	169.87
6体目	154.06	170.80
平均値	155.15	170.71
標準偏差	1.92	0.88
変動係数%	1.24	0.51
ばらつき係数	0.971	0.988
短期引張耐力	150.66	168.66

短期基準引張耐力	150.66 kN
----------	-----------

### 3.5.3 考察

引きボルト式継手を用いた仕様の試験体は、母材に製材を用いた試験体と、集材材を用いた試験体とで、破壊性状や、試験結果から得られた特性値の傾向が大きく異なった。また、母材に製材を用いた試験体では、座金の厚さと外形寸法が、破壊性状の違いに与える大きく影響を与えることが確認できた。以下に、引きボルト式継手仕様の試験体による実験結果の特性値の比較を示す。

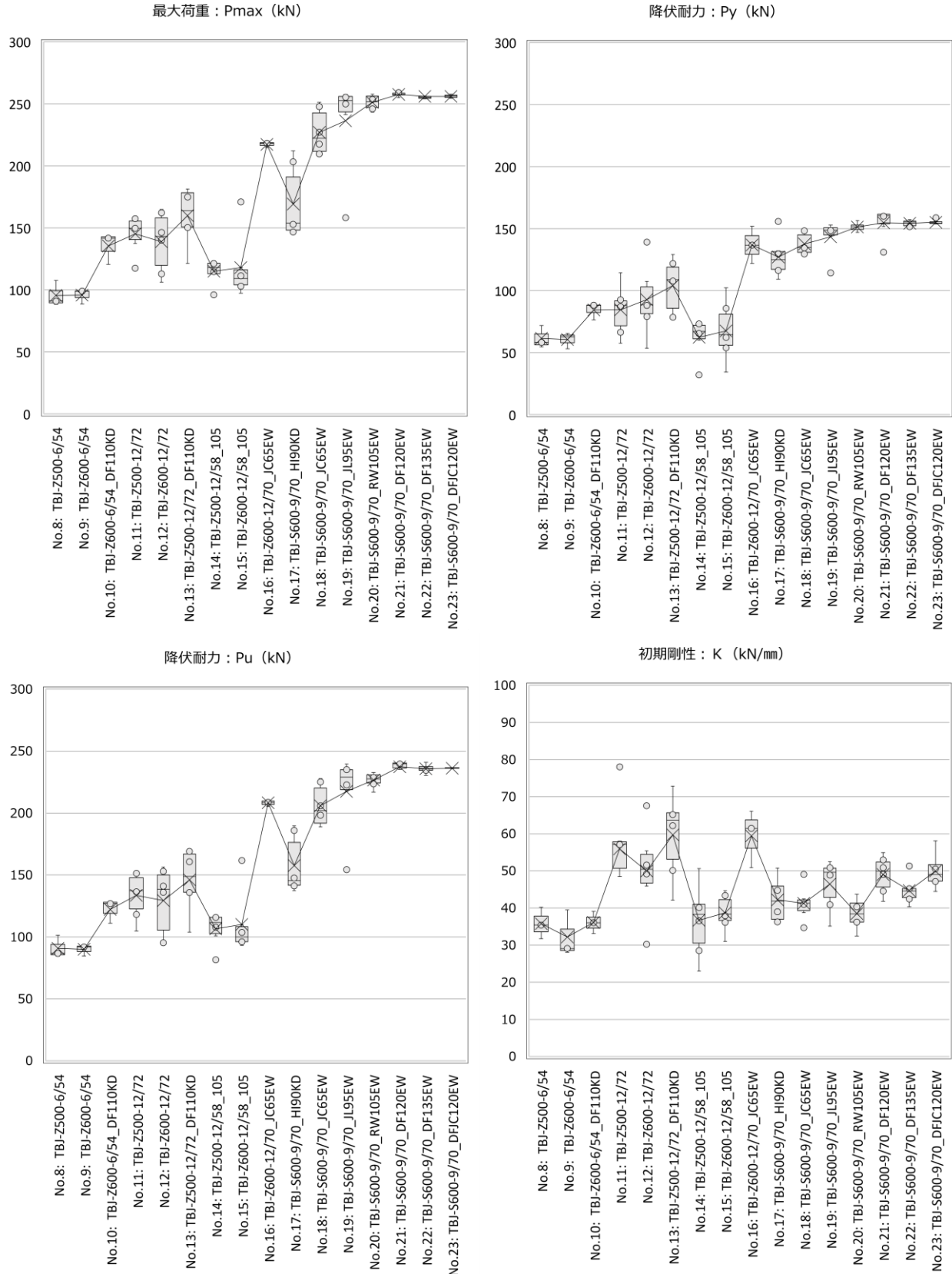


図3- 引きボルト式継手仕様試験体 実験結果による特性値の比較

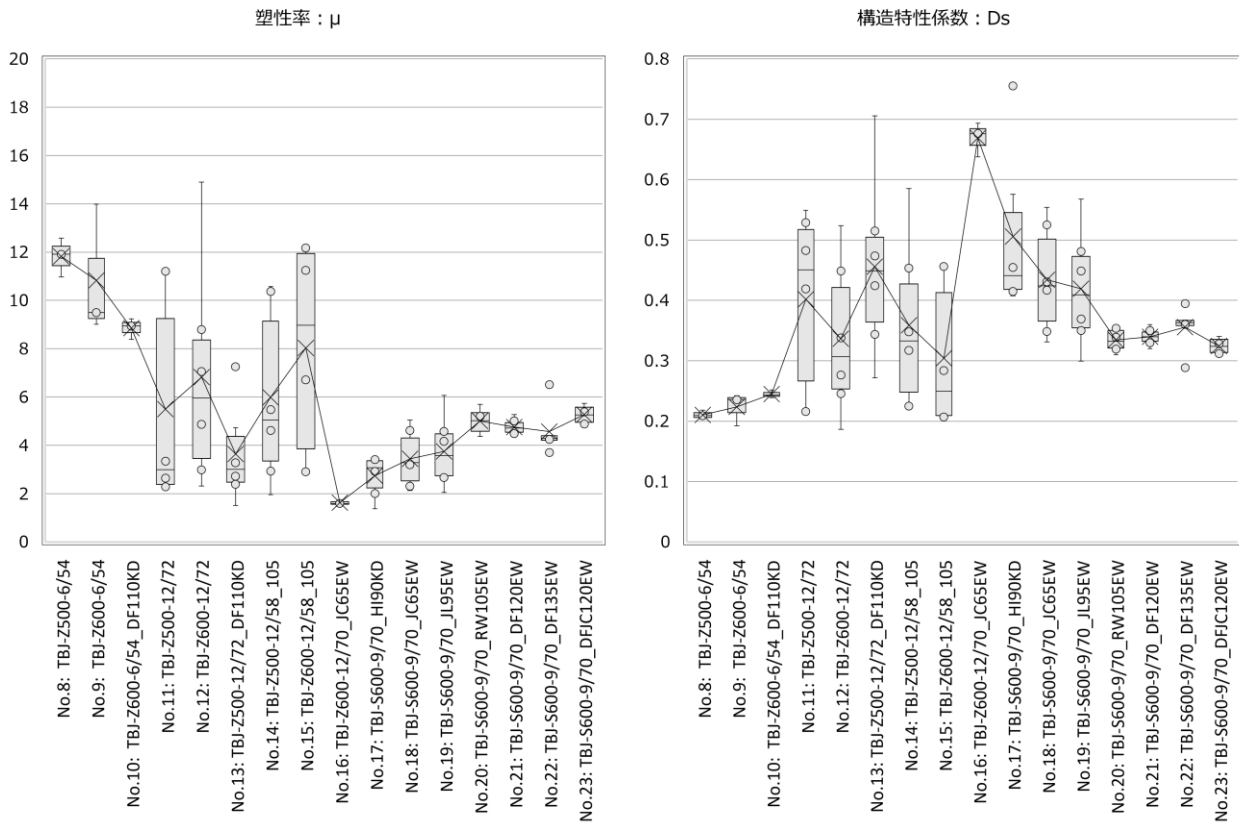


図3- 引きボルト式継手仕様試験体 実験結果による特性値の比較

(製材を母材に用いた試験体)

母材に製材を用いた試験体では、用いた座金の板厚と外形寸法によって、試験結果の違いが明確に確認できた。板厚と外形寸法が比較的小さい、厚 6 (mm)、54×54mm の Z マーク金物の座金を用いた試験体 (No.8. TBJ-Z500-6/54 試験体, No.9. TBJ-Z600-6/54 試験体, No.10. TBJ-Z600-6/54\_DF110KD 試験体) 及び、厚 12 (mm)、58×58mm の座金を断面寸法が 105×240 の母材に用いた試験体 (No. 14: TBJ-Z500-12/58\_105 試験体, No. 15: TBJ-Z600-12/58\_105 試験体) では、耐力及び剛性に関わる特性値  $P_{max}$ ,  $P_y$ ,  $P_u$  及び  $K$  の値が、いずれも目立って低い値を示した。そのうち、板厚が最も薄い No. 8, No. 9, No. 10 の試験体では、初期の剛性が低下してからは、座金が傘状に変形してボルト孔にめり込み (図 3- ), ほぼ最大荷重を維持するか、若干荷重が増加しながら、変位量が 30 mm に達して試験を終了した。そのため、靱性を示す塑性率が全ての試験体のうちで最も高い値を示した。一方、座金の外形寸法はほぼ同じで板厚を



厚くして 12 mm とし、かつ母材の断面寸法の幅を 105mm とした No. 14, No. 15 の試験体では、座金が面外方向に変形することなく、ほぼ平面を維持して支圧面にめり込んで変形が 30mm まで進んで試験を終了した試験体と、加力の途中で急激に材の中心から割裂破壊を生じて、一挙に荷重が低下した試験体とが混在

表2- 引きボルト式継手仕様試験体 実験結果による特性値の比較

No. 試験体種別	最大荷重_Pmax (kN)	変動係数	比率	No. 試験体種別	降伏耐力_Py (kN)	変動係数	比率
8 TBJ-Z500-6/54	95.6	8.9%	1.00	8 TBJ-Z500-6/54	61.6	12.1%	1.00
9 TBJ-Z600-6/54	95.6	5.1%	1.00	9 TBJ-Z600-6/54	60.4	8.8%	0.98
10 TBJ-Z600-6/54_DF110KD	135.3	7.8%	1.42	10 TBJ-Z600-6/54_DF110KD	84.4	6.6%	1.37
11 TBJ-Z500-12/72	145.1	9.8%	1.52	11 TBJ-Z500-12/72	84.5	21.8%	1.37
12 TBJ-Z600-12/72	138.7	16.1%	1.45	12 TBJ-Z600-12/72	92.7	28.3%	1.51
13 TBJ-Z500-12/72_DF110KD	159.9	13.3%	1.67	13 TBJ-Z500-12/72_DF110KD	104.0	19.1%	1.69
14 TBJ-Z500-12/58_105	114.9	8.1%	1.20	14 TBJ-Z500-12/58_105	62.2	23.1%	1.01
15 TBJ-Z600-12/58_105	117.8	20.8%	1.03	15 TBJ-Z600-12/58_105	67.5	32.3%	1.09
16 TBJ-Z600-12/70_JC65EW	217.3	0.9%	1.89	16 TBJ-Z600-12/70_JC65EW	136.8	9.0%	2.20
17 TBJ-Z600-9/70_HI65KD	169.1	17.8%	1.47	17 TBJ-Z600-9/70_HI65KD	127.1	12.9%	2.04
18 TBJ-Z600-9/70_JC65EW	227.1	8.2%	1.98	18 TBJ-Z600-9/70_JC65EW	137.5	6.5%	2.21
19 TBJ-Z600-9/70_JL95EW	236.4	16.4%	2.06	19 TBJ-Z600-9/70_JL95EW	143.3	10.2%	2.30
20 TBJ-Z600-9/70_RW105EW	251.3	2.4%	2.19	20 TBJ-Z600-9/70_RW105EW	151.4	2.2%	2.43
21 TBJ-Z600-9/70_DF120EW	257.6	0.6%	1.52	21 TBJ-Z600-9/70_DF120EW	154.6	7.9%	1.22
22 TBJ-Z600-9/70_DF135EW	255.9	1.0%	1.51	22 TBJ-Z600-9/70_DF135EW	154.3	1.8%	1.21
23 TBJ-Z600-9/70_DFJC135EW	256.1	0.5%	1.51	23 TBJ-Z600-9/70_DFJC135EW	155.1	1.2%	1.22

No. 試験体種別	終局耐力_Pu (kN)	変動係数	比率	No. 試験体種別	初期剛性_K (kN/mm)	変動係数	比率
8 TBJ-Z500-6/54	90.9	8.2%	1.00	8 TBJ-Z500-6/54	35.8	9.7%	1.00
9 TBJ-Z600-6/54	90.0	4.2%	0.99	9 TBJ-Z600-6/54	32.2	16.0%	0.90
10 TBJ-Z600-6/54_DF110KD	122.3	6.5%	1.35	10 TBJ-Z600-6/54_DF110KD	36.1	6.8%	1.01
11 TBJ-Z500-12/72	133.6	12.9%	1.47	11 TBJ-Z500-12/72	56.0	22.0%	1.56
12 TBJ-Z600-12/72	136.4	16.1%	1.50	12 TBJ-Z600-12/72	50.0	22.4%	1.40
13 TBJ-Z500-12/72_DF110KD	146.1	16.0%	1.61	13 TBJ-Z500-12/72_DF110KD	59.7	17.4%	1.67
14 TBJ-Z500-12/58_105	104.8	15.3%	1.15	14 TBJ-Z500-12/58_105	36.7	24.4%	1.03
15 TBJ-Z600-12/58_105	110.2	21.5%	1.05	15 TBJ-Z600-12/58_105	38.7	11.7%	1.05
16 TBJ-Z600-12/70_JC65EW	208.3	1.1%	1.99	16 TBJ-Z600-12/70_JC65EW	59.5	10.7%	1.62
17 TBJ-Z600-9/70_HI65KD	157.6	15.1%	1.50	17 TBJ-Z600-9/70_HI65KD	42.2	14.2%	1.15
18 TBJ-Z600-9/70_JC65EW	205.9	8.3%	1.96	18 TBJ-Z600-9/70_JC65EW	41.3	11.5%	1.12
19 TBJ-Z600-9/70_JL95EW	217.4	14.7%	2.07	19 TBJ-Z600-9/70_JL95EW	46.5	14.8%	1.27
20 TBJ-Z600-9/70_RW105EW	226.7	2.6%	2.16	20 TBJ-Z600-9/70_RW105EW	38.5	10.8%	1.05
21 TBJ-Z600-9/70_DF120EW	237.4	2.1%	1.51	21 TBJ-Z600-9/70_DF120EW	49.0	10.2%	1.16
22 TBJ-Z600-9/70_DF135EW	235.9	1.5%	1.50	22 TBJ-Z600-9/70_DF135EW	44.7	8.3%	1.06
23 TBJ-Z600-9/70_DFJC135EW	236.2	0.6%	1.50	23 TBJ-Z600-9/70_DFJC135EW	50.0	9.6%	1.18

No. 試験体種別	塑性率_μ	変動係数	No. 試験体種別	構造特性係数_Ds	変動係数
8 TBJ-Z500-6/54	11.82	5.6%	8 TBJ-Z500-6/54	0.21	2.9%
9 TBJ-Z600-6/54	10.83	20.7%	9 TBJ-Z600-6/54	0.22	9.9%
10 TBJ-Z600-6/54_DF110KD	8.86	4.0%	10 TBJ-Z600-6/54_DF110KD	0.24	2.1%
11 TBJ-Z500-12/72	5.50	74.6%	11 TBJ-Z500-12/72	0.40	34.3%
12 TBJ-Z600-12/72	7.21	63.1%	12 TBJ-Z600-12/72	0.34	38.2%
13 TBJ-Z500-12/72_DF110KD	3.65	51.7%	13 TBJ-Z500-12/72_DF110KD	0.46	30.2%
14 TBJ-Z500-12/58_105	6.20	50.7%	14 TBJ-Z500-12/58_105	0.33	26.9%
15 TBJ-Z600-12/58_105	7.71	58.5%	15 TBJ-Z600-12/58_105	0.39	72.0%
16 TBJ-Z600-12/70_JC65EW	1.62	4.9%	16 TBJ-Z600-12/70_JC65EW	0.67	3.5%
17 TBJ-Z600-9/70_HI65KD	2.74	31.4%	17 TBJ-Z600-9/70_HI65KD	0.51	27.1%
18 TBJ-Z600-9/70_JC65EW	3.45	34.4%	18 TBJ-Z600-9/70_JC65EW	0.43	20.8%
19 TBJ-Z600-9/70_JL95EW	3.75	39.3%	19 TBJ-Z600-9/70_JL95EW	0.42	23.4%
20 TBJ-Z600-9/70_RW105EW	5.00	10.5%	20 TBJ-Z600-9/70_RW105EW	0.33	5.9%
21 TBJ-Z600-9/70_DF120EW	4.76	7.0%	21 TBJ-Z600-9/70_DF120EW	0.34	3.9%
22 TBJ-Z600-9/70_DF135EW	4.57	21.5%	22 TBJ-Z600-9/70_DF135EW	0.36	10.0%
23 TBJ-Z600-9/70_DFJC135EW	5.27	7.3%	23 TBJ-Z600-9/70_DFJC135EW	0.32	4.1%

し、ばらつく結果となった。Pmax, Py, Pu, 及び Px の値は, No. 14, No. 15 の試験体の方が大きい傾向にあり, 初期剛性 K も No. 14, No. 15 の試験体の方が 3~5%程度大きい。引きボルトの長さの違いによる, 著しい試験結果の違いは確認されなかった。また, 樹種をベイマツとした試験体で厚 6 (mm), 54×54mm の座金を用いた試験体 (No.10. TBJ-Z600-6/54\_DF110KD 試験体) は, スギを母材とする試験体よりも, Pmax, Py, 及び Pu の値が 35~42%増大したが, K の値はほぼ同じ値となった。

これらの比較より, 製材を用いた試験体では, 座金の板厚が 6mm 程度で座金の面外剛性が適度に低い場合に, 一定の初期剛性を発現し, その後は座金の面外への塑性変形を生じながら, 同時に支圧によってボルト孔を中心にめり込む破壊モードとすることが可能で, 接合部に対して靱性を付与する効果があることが推察できた。一方, 座金の板厚が比較的厚く, 面外方向の剛性が高い場合は, 座金が塑性変形をすることなく支圧面にめり込み, 荷重が 100kN に近くなる付近で母材が割裂破壊を生じる可能性があり, 高い靱性は期待できない場合があることが明らかになった。

母材に製材を用いた試験体で, 座金の板厚を 12 (mm), 外形寸法を 75×75 (mm) として, 比較的大きくした試験体 (No. 11\_TBJ-Z500-12/72 試験体, No. 12\_TBJ-Z600-12/72 試験体, No. 13\_TBJ-Z500-12/72\_DF110KD 試験体) では, Pmax, Py, Pu 及び K の値が, 座金が小さい場合と比較して, Pmax が 45~67%, Py が 37~69%, Pu が 47~61%, K が 40~67%と大幅に増大する結果となった。但し, 変位量が 30 mm に達して試験を終了し高い靱性を示した試験体がある一方で, 加力の途中で, 剛性が低下する以前の段階も含めて, 母材中心部から縦割裂破壊を生じた試験体とが混在し, 大きくばらついた。そのため塑性率  $\mu$  は, 座金が小さい場合と比較して低い値を示し, ばらつきも他の試験体よりも目立って大きい。したがって, 製材を母材とする際に, 座金の板厚と外形寸法を大きくすることは, 剛性と耐力を増大させる効果があるが, 一方で, 脆性的な破壊が生じる可能性も高く, 靱性が期待できない場合も想定する必要がある。

(集成材を母材に用いた試験体)

集成材を母材に用いた試験体 (No. 16, No. 17~No. 23) では, No. 16 の試験体を除き, 座金を若干小さくして厚 9 mm, 外形寸法を 70×70mm とし, ボルト Z マーク金物ではなく, 機械構造用炭素鋼 S45C の切削ネジとした。板厚を低減した理由は, 建築金物メーカーへのヒアリングによって, 実用上は厚 9mm の方が, 鋼板の打ち抜きで切断できることによって生産効率が良く, 生産及び販売コストを低く抑えることが可能であるためである。外形寸法をやや小さくした理由は, 施工上, 箱孔と座金とのクリアランスに若干でも余裕を与えるためである。ボルトについては, S45C 鋼材は引張強度の下限値 (690N/mm<sup>2</sup> 以上) が規定されており, 試験に用いた S45C 鋼材のミルシートに記された機械的性質は, 引張強さが Ft=836 (N/mm<sup>2</sup>), 降伏強さが Fy=718 (N/mm<sup>2</sup>) である。引張継手の試験として, 通常用いられることが想定される 400N 級鋼材よりも高い強度のボルトで試験を行った理由は, より強度の高いボルトを用いた場合に終局時まで木材の脆性的な破壊が生じないことが確認できれば, 実用に際して, これより低い降伏点強度の鋼材を用いた場合には, 母材の破壊よりもボルトの降伏が先行することが保証され, 引張継手の耐力は比較的安定した鋼材の降伏点強度によって, より精度よく推定することができるためである。

実験の結果, 各試験体の破壊過程は, 基本的に, 比例関係で降伏耐力付近まで加力が進んだ後, 座金の支圧によるめり込みが進行して剛性が低下し始め, やがて鋼材の降伏点付近に達して鋼材のネジ部が破断するという過程であった。但し, 樹種毎の違いとして, スギ集成材を用いた No. 18 の試験体や, カラマツ集成材を用いた No. 19 の試験体では, 剛性が低下して座金のめり込みが進行する途中の段階, 或いは変位量が 30 mm に達する少し前の段階で, 母材が四角に彫られた座金用の孔の脇からの引張破壊と, 座金の支圧面から胴付き面にかけての, せん断面の破壊とが, 瞬時に発生する試験体が過半を占めた。特に, フィンガージョイントが箱孔の脇など, 断面欠損部分の近くにある場合に, そこを起点として破壊した状況が



確認された。また、オウシュウアカマツ集成材を用いた No. 20 の試験体では、変位量が 30mm に達するまで緩やかに荷重が増加し続ける傾向にあり、座金が傘状に湾曲してめり込む程度が他の樹種の試験体よりもやや大きめであることが確認された。ベイマツ集成材を用いた No. 21 及び No. 22 の試験体では、全ての試験体で変位量が 15~20 mm 程度の間で最大荷重に達し、その後はボルトのネジ部が降伏し破断した。また、スギ・ベイマツ集成材を用いた No. 23 の試験体は、ベイマツ集成材を用いた No. 21, No. 22 の試験体とほとんど同じ破壊性状である。母材をスギ集成材として、厚 12mm、外形寸法 70×70 mm の座金に、Z マーク金物のボルトを用いた No. 16 の試験体では、変位量が約 5mm 前後で最大荷重に達し、その後は間を空けずでボルトのネジ部が降伏、破断し、S45C による引きボルトを用いた試験体とは異なる破壊性状を示した。

ほぼ同寸の座金を用いた No. 11, No. 12 試験体の平均値と比較すると、Pmax は 53~80%, Py は 54~75%, Pu は 53~76% 程度増大し、試験結果のばらつきも他の試験体と比較して小さくなる傾向が確認できた。これはボルトの強度が大きくなったことや比較的ばらつきの小さい鋼材の強度で最大荷重が決まった試験体などがあったためである。K の値は逆に、6~27% 程度低下している。は、座金の面外方向への剛性が若干低下したことの影響が考えられる。

ばらつき係数を考慮して算出した各試験体の短期基準引張耐力は、全体的に母材にスギ製材を用いた試験体が低く、16.6~43.8kN である。母材にスギ製材を用いた試験体では、座金の板厚と外形寸法の違いによる破壊性状の違いは確認されたが、短期引張基準耐力については、著しい差は生じていない。但

表 2- 引きボルト式継手仕様試験体 短期基準引張耐力の比較

No. 試験体種別	降伏耐力_Py (kN)	変動係数	ばらつき係数	短期引張耐力(kN)
8 TBJ-Z500-6/54	61.6	12.1%	0.619	<b>38.1</b>
9 TBJ-Z600-6/54	60.4	8.8%	0.724	<b>43.8</b>
10 TBJ-Z600-6/54_DF110KD	84.4	6.6%	0.792	<b>66.8</b>
11 TBJ-Z500-12/72	84.5	21.8%	0.491	<b>41.5</b>
12 TBJ-Z600-12/72	92.7	28.3%	0.339	<b>31.4</b>
13 TBJ-Z500-12/72_DF110KD	104.0	19.1%	0.553	<b>57.5</b>
14 TBJ-Z500-12/58_105	62.2	23.1%	0.461	<b>28.7</b>
15 TBJ-Z600-12/58_105	67.5	32.3%	0.246	<b>16.6</b>
16 TBJ-Z600-12/70_JC65EW	136.8	9.0%	0.718	<b>98.2</b>
17 TBJ-Z600-9/70_HI65KD	127.1	12.9%	0.699	88.9
18 TBJ-Z600-9/70_JC65EW	137.5	6.5%	0.850	<b>116.9</b>
19 TBJ-Z600-9/70_JL95EW	143.3	10.2%	0.762	109.2
20 TBJ-Z600-9/70_RW105EW	151.4	2.2%	0.948	<b>143.5</b>
21 TBJ-Z600-9/70_DF120EW	154.6	7.9%	0.816	<b>126.1</b>
22 TBJ-Z600-9/70_DF135EW	154.3	1.8%	0.958	<b>147.8</b>
23 TBJ-Z600-9/70_DFJC135EW	155.1	1.2%	0.971	<b>150.6</b>

No. 試験体種別	(2/3)Pmax (kN)	変動係数	ばらつき係数	短期引張耐力(kN)	No. 試験体種別	短期基準引張耐力(kN)	比率
8 TBJ-Z500-6/54	63.7	8.9%	0.718	45.8	8 TBJ-Z500-6/54	<b>38.1</b>	1.00
9 TBJ-Z600-6/54	63.7	4.2%	0.838	53.4	9 TBJ-Z600-6/54	<b>43.8</b>	1.15
10 TBJ-Z600-6/54_DF110KD	90.2	6.5%	0.755	68.2	10 TBJ-Z600-6/54_DF110KD	<b>66.8</b>	1.75
11 TBJ-Z500-12/72	96.7	12.9%	0.772	74.7	11 TBJ-Z500-12/72	<b>41.5</b>	1.09
12 TBJ-Z600-12/72	92.5	16.1%	0.588	54.3	12 TBJ-Z600-12/72	<b>31.4</b>	0.82
13 TBJ-Z500-12/72_DF110KD	106.6	16.0%	0.690	73.6	13 TBJ-Z500-12/72_DF110KD	<b>57.5</b>	1.51
14 TBJ-Z500-12/58_105	76.6	15.3%	0.811	62.1	14 TBJ-Z500-12/58_105	<b>28.7</b>	0.75
15 TBJ-Z600-12/58_105	78.6	21.5%	0.514	40.4	15 TBJ-Z600-12/58_105	<b>16.6</b>	0.44
16 TBJ-Z600-12/70_JC65EW	144.9	1.1%	0.972	140.8	16 TBJ-Z600-12/70_JC65EW	<b>98.2</b>	2.58
17 TBJ-Z600-9/70_HI65KD	112.7	15.1%	0.583	<b>65.8</b>	17 TBJ-Z600-9/70_HI65KD	<b>65.8</b>	1.73
18 TBJ-Z600-9/70_JC65EW	151.4	8.3%	0.810	122.4	18 TBJ-Z600-9/70_JC65EW	<b>116.9</b>	3.07
19 TBJ-Z600-9/70_JL95EW	157.6	14.7%	0.616	<b>97.1</b>	19 TBJ-Z600-9/70_JL95EW	<b>97.1</b>	2.55
20 TBJ-Z600-9/70_RW105EW	167.5	2.6%	0.945	158.3	20 TBJ-Z600-9/70_RW105EW	<b>143.5</b>	3.76
21 TBJ-Z600-9/70_DF120EW	171.7	2.1%	0.985	169.2	21 TBJ-Z600-9/70_DF120EW	<b>126.1</b>	3.31
22 TBJ-Z600-9/70_DF135EW	170.6	1.5%	0.977	166.6	22 TBJ-Z600-9/70_DF135EW	<b>147.8</b>	3.88
23 TBJ-Z600-9/70_DFJC135EW	170.7	0.6%	0.988	168.7	23 TBJ-Z600-9/70_DFJC135EW	<b>150.6</b>	3.95

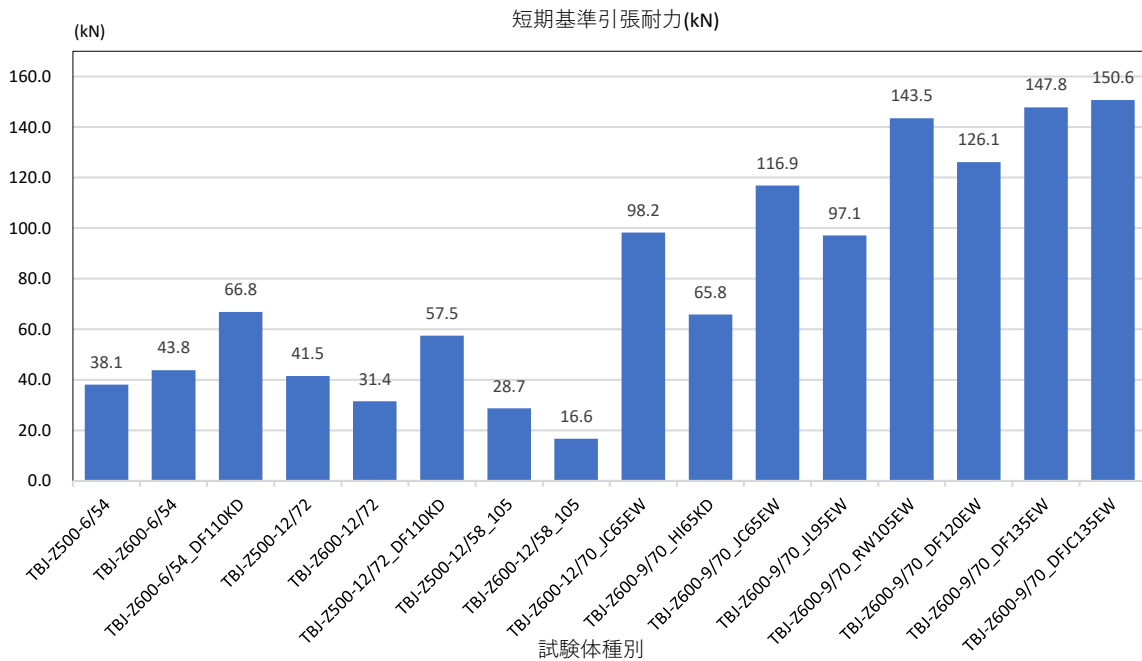


図 2- 引きボルト式継手仕様試験体 短期基準引張耐力の比較

し、縦割裂を生じた試験体 (No. 11, No. 12, No. 13, No. 14, No. 15) の方が、概ねやや低い値となったのは、降伏耐力のばらつきが比較的大きいことによる。また、母材にベイマツ製材を用いた試験体 (No. 10, No. 13) の短期基準耐力はより高い値を示し、57.5~66.8kN となった。ヒノキ製材を用いた試験体 (No. 17) も同程度の 65.8kN である。一方、集成材を用いた試験体の短期基準引張耐力は、97.1~150.6kN となり、製材を用いた試験体と比較して著しく高い値となった。これは、鋼材の強度が大きいことや、最大荷重や降伏荷重のばらつきが比較的小さいことによると考えられる。

(剛性及び耐力の計算値と試験結果の比較)

比較的高い剛性と最大荷重が確認できた両引きボルト式継手の試験体について、継手の上下の座金の支圧面の繊維方向の面圧剛性と、2本の両引きボルトの引張剛性を考慮した以下の式<sup>3)</sup>によって、継手全体の剛性を算出した。算出した剛性の計算値と、試験結果による値の比較を表3及び図3に示す。

$$K = 2 / \left\{ (1 / K_1) + (2 / K_2) \right\} \quad \dots \dots (1)$$

$K_1$ : 両引きボルトの軸剛性  $K_2$ : 座金面の支圧剛性

$$K_1 = Et \cdot At / l, \quad K_2 = x_b \cdot y_b \cdot Ebo / (31.6 + 10.9x_b)$$

$Et$ : 両引きボルト鋼材の弾性係数 ( $N/mm^2$ )

$x_b = y_b$ : 座金の辺長 ( $mm$ ) ,  $At$ : 両引きボルト軸断面積 ( $mm^2$ )

$Ebo$ : 試験体の繊維方向弾性係数 ( $N/mm^2$ )



表 3- 引きボルト式継手試験体\_剛性の計算値と実験値の比較

NO.	符号	初期剛性		長さ L (mm)	ボルト		$K_1$ (kN/mm)	支圧面	木材	$K_2$ (kN/mm)	初期剛性	比較 Kcal. /Kexp.
		実験値 Kexp. (kN/mm)	変動係数 CV (%)		有効断面積 At (mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 Et (N/mm <sup>2</sup> )		xb, yb (mm)	ヤング係数 Ebo (N/mm <sup>2</sup> )		計算値 Kexp. (kN/mm)	
8.	TBJ-Z500-6/54	<b>35.8</b>	9.7	430	157	205,000	74.8	54	6,900	32.4	<b>26.7</b>	<b>0.74</b>
9.	TBJ-Z600-6/54	<b>32.2</b>	16.0	530	157	205,000	60.7	54	6,900	32.4	<b>25.6</b>	<b>0.80</b>
10.	TBJ-Z600-6/54_DF110KD	<b>36.1</b>	6.8	530	157	205,000	60.7	54	10,800	50.8	<b>35.8</b>	<b>0.99</b>
11.	TBJ-Z500-12/72	<b>56.0</b>	22.0	400	157	205,000	80.5	72	6,900	43.8	<b>34.4</b>	<b>0.61</b>
12.	TBJ-Z600-12/72	<b>50.0</b>	22.4	510	157	205,000	63.1	72	6,900	43.8	<b>32.5</b>	<b>0.65</b>
13.	TBJ-Z500-12/72_DF110KD	<b>59.7</b>	17.4	400	157	205,000	80.5	72	10,800	68.6	<b>48.1</b>	<b>0.81</b>
14.	TBJ-Z500-12/58_105	<b>36.7</b>	24.4	400	157	205,000	80.5	58	6,900	35.0	<b>28.7</b>	<b>0.78</b>
15.	TBJ-Z600-12/58_105	<b>38.7</b>	11.7	510	157	205,000	63.1	58	6,900	35.0	<b>27.4</b>	<b>0.71</b>
16.	TBJ-Z600-12/70_JC65EW	<b>59.8</b>	10.7	510	157	205,000	63.1	70	6,500	40.1	<b>30.4</b>	<b>0.51</b>
17.	TBJ-S600-9/70_HI90KD	<b>42.2</b>	14.2	510	157	205,000	63.1	70	8,800	54.3	<b>37.9</b>	<b>0.90</b>
18.	TBJ-S600-9/70_JC65EW	<b>41.3</b>	11.5	510	157	205,000	63.1	70	6,500	40.1	<b>30.4</b>	<b>0.74</b>
19.	TBJ-S600-9/70_JL95EW	<b>46.5</b>	14.8	510	157	205,000	63.1	70	9,500	58.6	<b>40.0</b>	<b>0.86</b>
20.	TBJ-S600-9/70_RW105EW	<b>38.5</b>	10.8	510	157	205,000	63.1	70	10,500	64.7	<b>42.8</b>	<b>1.11</b>
21.	TBJ-S600-9/70_DF120EW	<b>49.0</b>	10.2	510	157	205,000	63.1	70	12,000	74.0	<b>46.6</b>	<b>0.95</b>
22.	TBJ-S600-9/70_DF135EW	<b>44.7</b>	8.3	510	157	205,000	63.1	70	13,500	83.2	<b>50.2</b>	<b>1.12</b>
23.	TBJ-S600-9/70_DFJC120EW	<b>50.0</b>	9.6	510	157	205,000	63.1	70	12,000	74.0	<b>46.6</b>	<b>0.93</b>

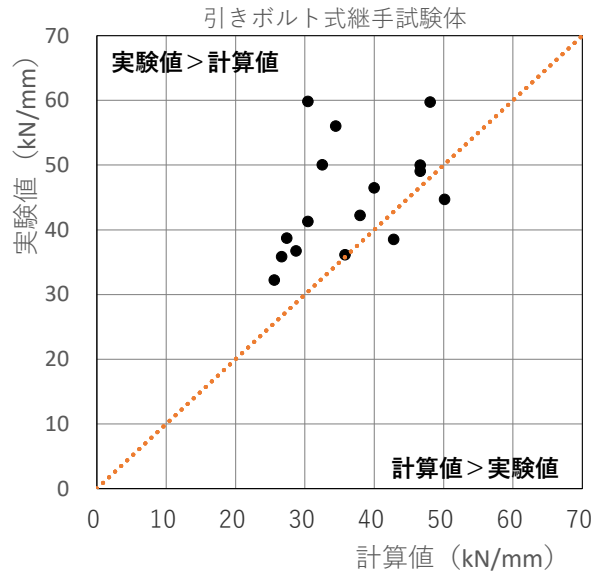


図 3- 引きボルト式継手試験体\_剛性の計算値と実験値の比較

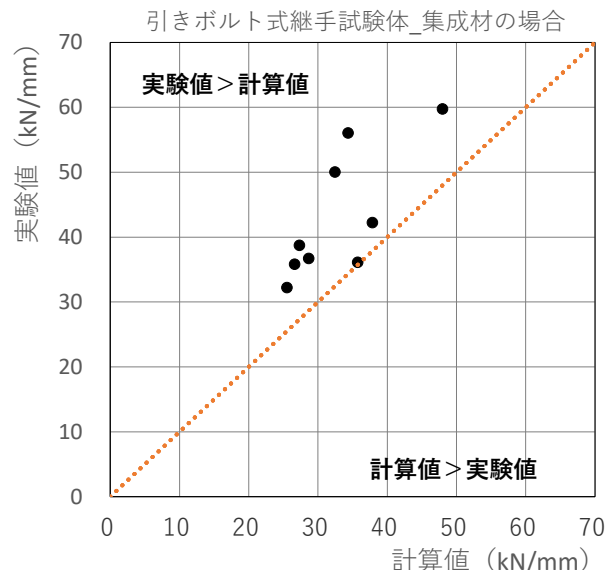
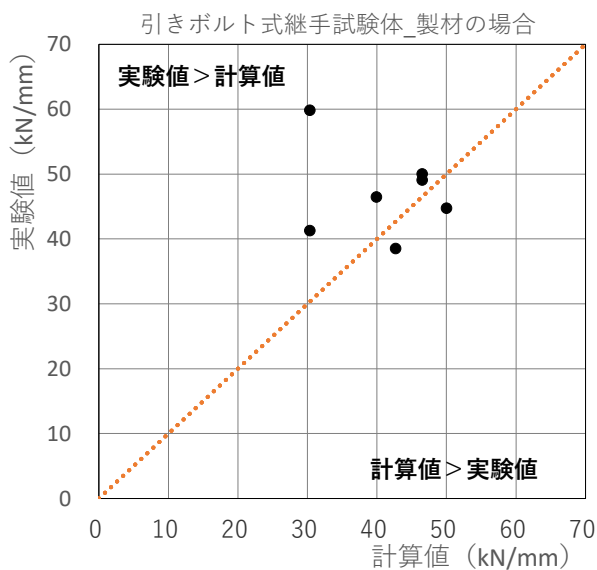


図 3- 引きボルト式継手試験体\_剛性の計算値と実験値の比較：製材（左）と集成材（右）の比較

比較より、計算で求めた剛性の値と、実験結果の剛性の値は比較的近い値を示した。また概ね、計算値は実験値に対して安全側であることが分かった。

次に、剛性や最大荷重や破壊性状が比較的安定した性状を示した、母材に集成材を用いた引きボルト式継手試験体(No. 18~23)について、引きボルトの有効断面積と材料強度より継手の破壊荷重を求めた。

$$Pbt = 2 \times At \times Ft \quad \dots \dots (2)$$

$Pbt$ : 両引きボルトによる継手の破壊荷重(kN)

$At$ : 両引きボルト有効断面積(mm<sup>2</sup>),

$Ft$ : 両引きボルト鋼材の引張強度(N/mm<sup>2</sup>)

No. 18~23 の試験体の引きボルトに用いた S45C 鋼材は、ミルシートに記された機械的性質より、引張強さが  $Ft=836$  (N/mm<sup>2</sup>), 降伏強さが  $Fy=718$  (N/mm<sup>2</sup>) である。(2) 式より、両引きボルトで決まる継手の破壊荷重と降伏荷重はそれぞれ、 $Pbt=262.5$  (kN),  $Pby=225.5$  (kN) となり、破壊荷重の計算値は No. 18~23 の試験体のうち、両引きボルトの破断が生じた試験体の最大荷重に近い値であることが確認できた。

更に、座金の支圧面の支圧強度から求まる長期許容耐力と試験結果から求めた継手の長期許容耐力を比較すると、表 3 のとおりとなった。座金面の支圧強度から求まる耐力は、試験結果による継手の長期許容引張耐力に近い値となった。但し、ばらつきにより実験値が計算値を大きく下回る試験体もある。カラムツ集成材では、1 体が低い荷重で破壊したことで計算値を大幅に下回った。また、計算で求めた座金の支圧面の降伏耐力は約 178~233 (kN) 程度となり、No. 18~23 の試験体の剛性が低下した範囲と概ね一致している。

表 3- 引きボルト式継手試験体\_剛性の計算値と実験値の比較

NO.	符号	樹種群	座金寸法		ボルト孔		計算値		実験値	比較		
			支圧強度	座金寸法	欠損面積	支圧面積	短期基準耐力	長期許容耐力	短期基準耐力	長期許容耐力	Tal_cal.	Tal_exp.
			Fe (N/mm <sup>2</sup> )	xb, yb (mm)	Ar (mm <sup>2</sup> )	ΣAe (mm <sup>2</sup> )	=Fe · ΣAe (kN)	=Tcal. (kN)	Texp. (kN)	=TaL_cal. (kN)	=TaL_exp. (kN)	Tal_cal. / Tal_exp.
18.	TBJ-S600-9/70_JC65EW	J3	19.4	70	314	9,172	177.9	65.2	116.6	64.2	1.02	
19.	TBJ-S600-9/70_JL95EW	J1	25.4	70	314	9,172	233.0	85.4	97.1	53.4	1.60	
20.	TBJ-S600-9/70_RW105EW	J2	22.4	70	314	9,172	205.5	75.3	145.3	79.9	0.94	
21.	TBJ-S600-9/70_DF120EW	J1	25.4	70	314	9,172	233.0	85.4	126.1	69.3	1.23	
22.	TBJ-S600-9/70_DF135EW	J1	25.4	70	314	9,172	233.0	85.4	147.8	81.3	1.05	
23.	TBJ-S600-9/70_DFJC120EW	J1	25.4	70	314	9,172	233.0	85.4	150.7	82.9	1.03	

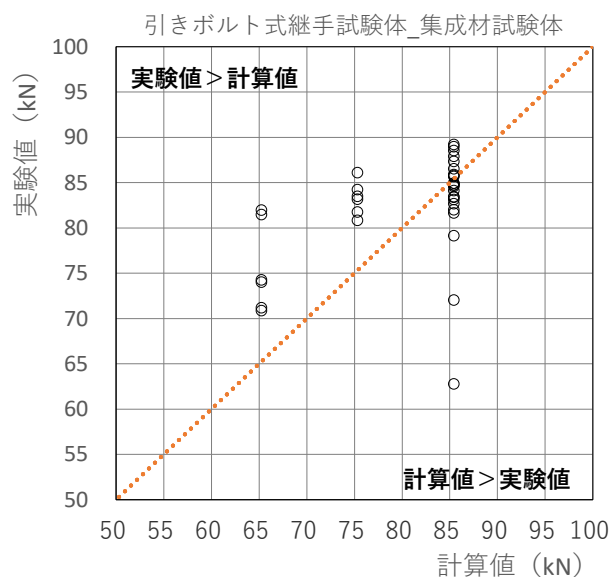


図 3- 引きボルト式継手試験体\_長期許容耐力の計算値と実験値の比較

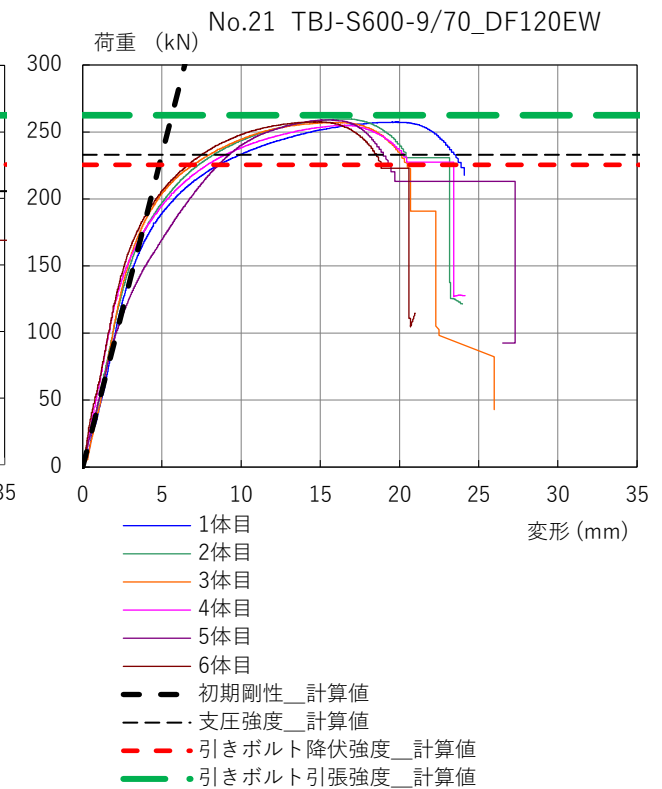
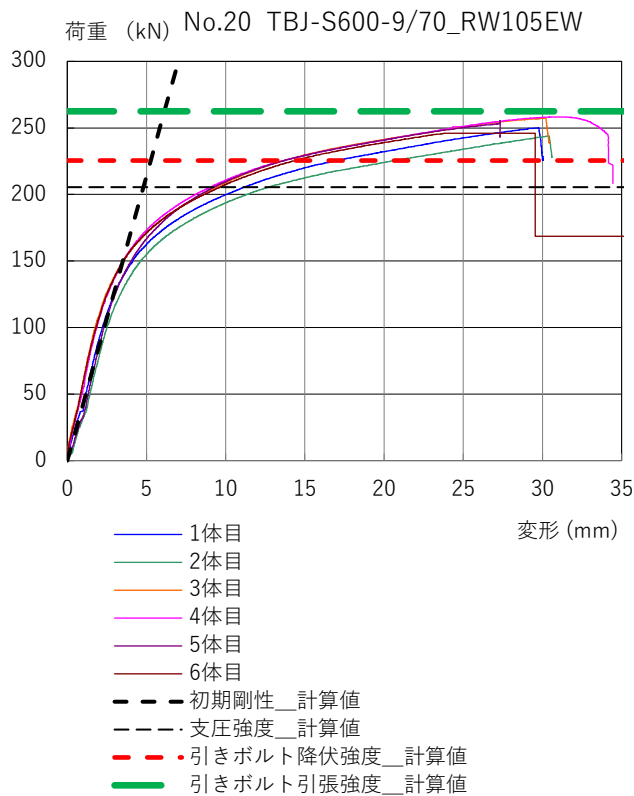
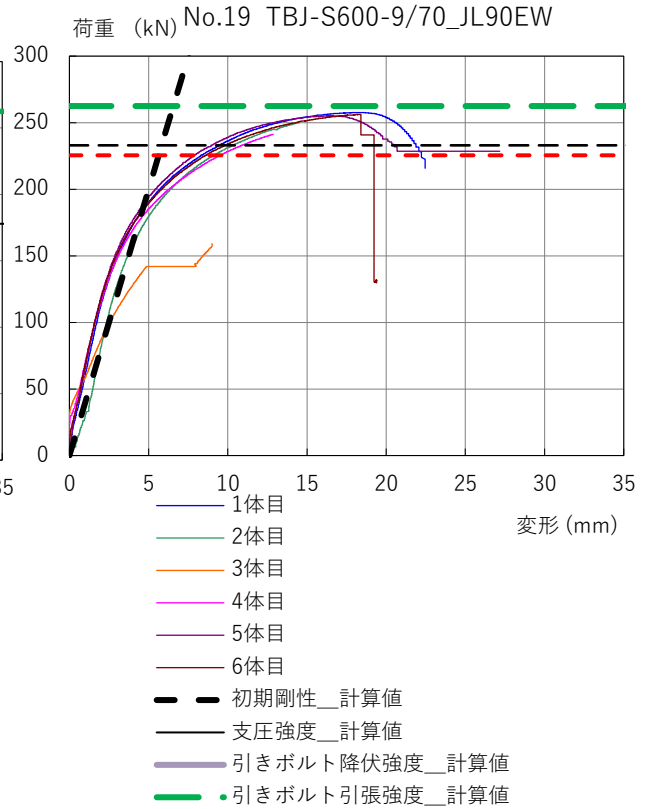
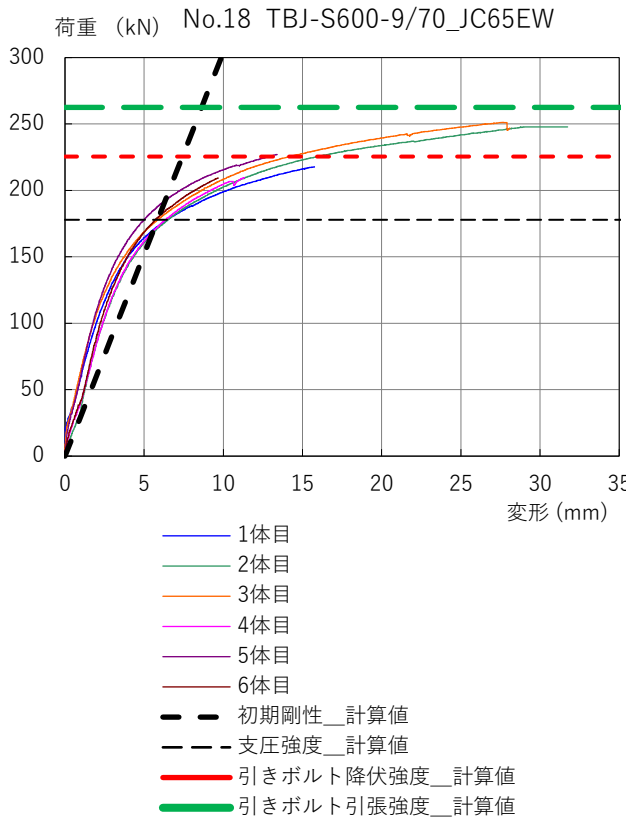


図3- 引きボルト式継手試験体\_長期許容耐力の計算値と実験値の比較

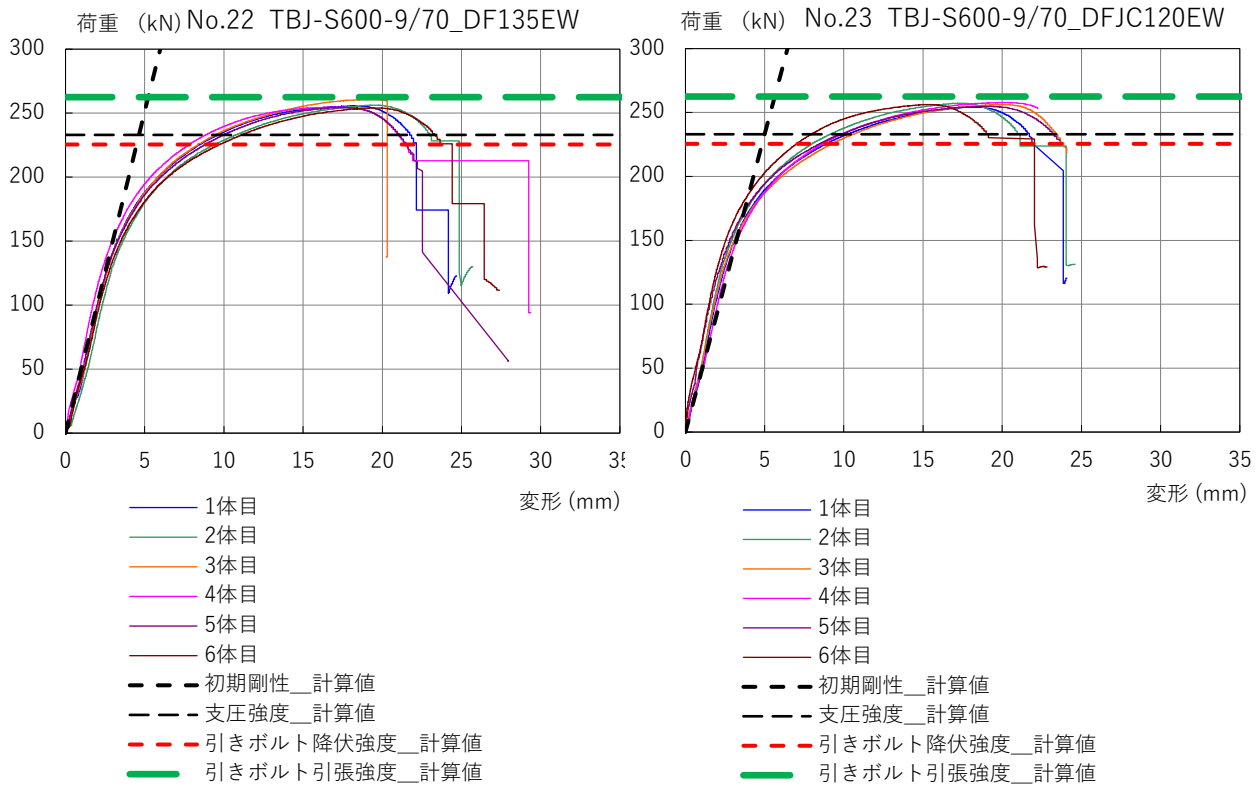


図3- 引きボルト式継手試験体\_長期許容耐力の計算値と実験値の比較

ここで、トラスの下弦材の継手の設計のケーススタディを試みた。固定荷重と積載荷重の合計が 1.76 (kN/m<sup>2</sup>)、単位積雪重量が 20 (N/cm/m<sup>2</sup>)、垂直積雪量が 90 (cm) のケースを想定する。スパンが 10.92 (m) 荷重負担幅を 1.82 (m) とした 4 寸勾配のキングポストトラスの陸梁の引張力は約 60 (kN) である。中短期の荷重継続期間影響係数 (=1.60) を考慮した中短期許容耐力は No. 18 の試験体のスギ集成材の場合、 $Ta' = 116.6 \times (1.6/3) = 62.18$  (kN) となり、継手に作用する引張力は、継手の許容耐力以下である。なお、カラマツ集成材の場合は、加工に際して継手周辺のラミナを目視確認し、フィンガージョイントの位置等に留意することで実用に供することが可能と考えられる。

以上の考察と試験時の破壊性状の観察より、集成材と両引きボルトの組合せによる継手の破壊の過程を推定すると、まず、荷重の増加に伴い、ほぼ比例関係で変位が増加した後、荷重が座金面の支圧強度に達すると、両引きボルトの座金の支圧面の降伏によるめり込みや、樹種により程度の違いがあるものの座金の面外方向の塑性変形が進行して剛性が低下し、さらに荷重が増大して両引きボルトの引張強度に達し、最終的にボルトが降伏、破断するという推移が考えられる。

No18~23 の試験体と同じ仕様で、両引きボルトの鋼材種を SN400B 材とした場合では、(2) 式より両引きボルトで決まる継手の破壊荷重と降伏荷重を鋼材の機械的性質の上限値によって求めると、それぞれ、 $P_{bt}=160.1$  (kN)、 $P_{by}=105.2$  (kN) となり、計算上、座金の支圧面の破壊よりも、両引きボルトの破断が先行する。

NO.	符号	樹種群	Fe	xb, yb	Ar	ΣAe	Fe・ΣAe	Ta2=(1.1/3) ×Fe・Ae	Ta: (試験値 より) (kN)	Ta2 /Ta.
			(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)		
18.	TBJ-S600-9/70_JC65EW	J3	19.4	70	314	9,172	177.9	<b>65.2</b>	<b>64.1</b>	<b>1.02</b>
19.	TBJ-S600-9/70_JL95EW	J1	25.4	70	314	9,172	233.0	<b>85.4</b>	<b>53.5</b>	<b>1.60</b>
20.	TBJ-S600-9/70_RW105EW	J2	22.4	70	314	9,172	205.5	<b>75.3</b>	<b>78.9</b>	<b>0.95</b>
21.	TBJ-S600-9/70_DF120EW	J1	25.4	70	314	9,172	233.0	<b>85.4</b>	<b>69.4</b>	<b>1.23</b>
22.	TBJ-S600-9/70_DF135EW	J1	25.4	70	314	9,172	233.0	<b>85.4</b>	<b>81.3</b>	<b>1.05</b>
23.	TBJ-S600-9/70_DFJC120EW	J1	25.4	70	314	9,172	233.0	<b>85.4</b>	<b>82.9</b>	<b>1.03</b>

表4. 両引きボルト式継手試験体\_座金面支圧による耐力と比較

### 3.6 継手の引張実験のまとめ

木造標準トラスの下弦材での使用を前提に、常時、比較的大きな引張力が作用する接合部に適用可能な継手の仕様について、要素試験体による引張実験等の性能検証を行った結果、両引きボルト式継手については、集成材と両引きボルトの組合せで用い、かつ一定の外形寸法及び板厚以上の座金と、機械的性質の明確な鋼材を両引きボルトに用いる場合に、継手の剛性や耐力を計算によって比較的精度よく推定でき、比較的高い剛性や耐力、靱性能を有する継手の性能を確保することが可能と考えられた。したがって、木造標準トラスの試設計においては、陸梁の継手に、引きボルト式継手を用いる。

継手の引張実験を通じて得られた知見を整理すると以下のとおりである。

(追掛け継手による引張継手)

- ・ 継手の引張実験の結果から得られた追掛け継手による引張継手の短期基準引張耐力は、引きボルト式継手による引張継手と比較すると、概して低い値を示す。
- ・ 但し、追掛け継ぎ手に対して、木栓、ボルト又は、木質構造用ビスを用いた一面せん断接合による補強を施すことで、その性状が変化する。
- ・ 追掛け継手に木栓、又はボルトを用いた一面せん断接合による補強を施すことは、短期基準引張耐力の値は低下するもののが、初期剛性と靱性を高める効果がある。特に靱性は大幅に増大する。
- ・ 追掛け継手に木質構造用ビスを用いた一面せん断接合による補強では、短期基準引張耐力及び初期剛性を増大させる効果があり、その程度はビスの本数と配置によって変わる。靱性を高める効果は少ない。

(引きボルト式継手による引張継手)

- ・ 継手の引張実験の結果から得られた引きボルト式継手による引張継手の短期基準引張耐力は、母材に用いる木材の種別や、引きボルトの定着部に用いる座金の板厚や外形寸法によってその値が異なる。
- ・ 引きボルト式継手については、集成材と両引きボルトの組合せで用い、かつ一定の外形寸法及び板厚以上の座金と、機械的性質の明確な鋼材を両引きボルトに用いる場合に、継手の剛性や耐力を計算によって比較的精度よく推定でき、比較的高い剛性や耐力、靱性能を有する継手の性能を確保することが可能と考えられる。

次頁以降に、全試験体の特性値の比較を示す。

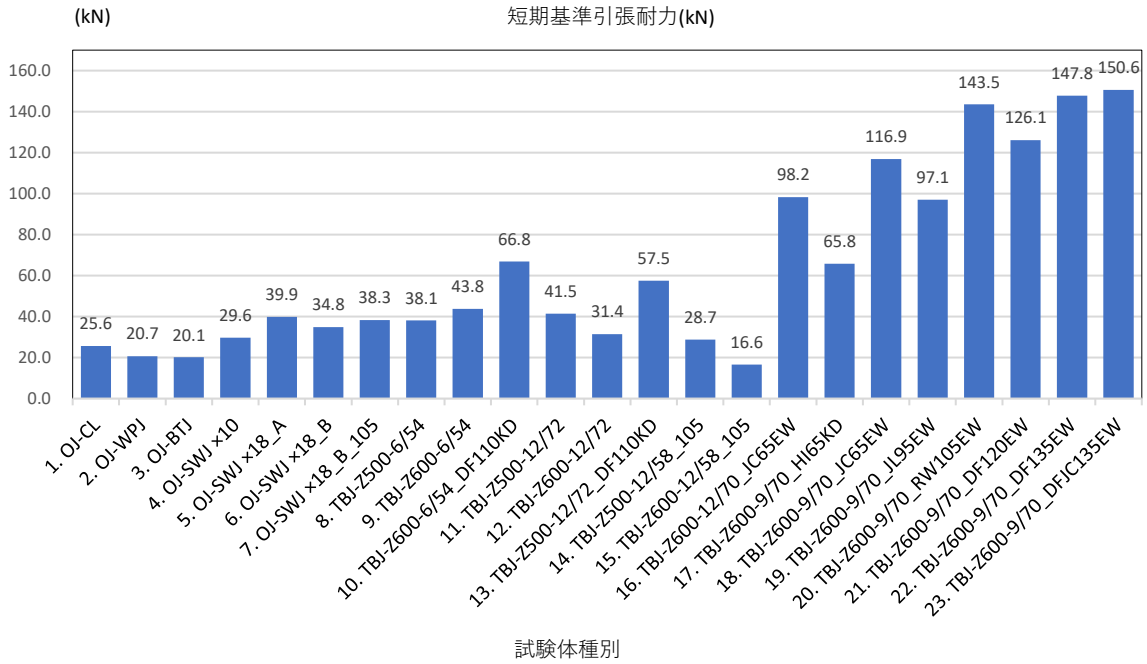


図 3- 継手の引張実験 全試験体の短期基準引張耐力の比較

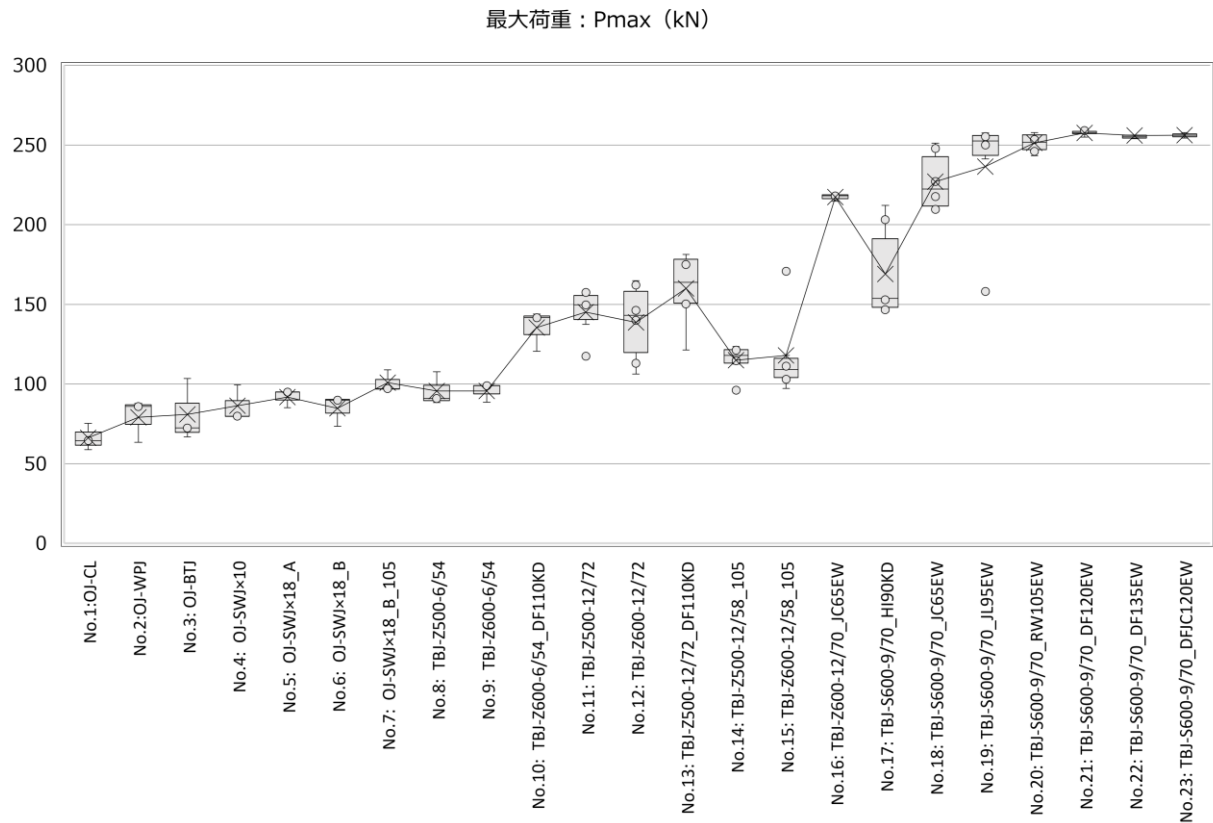


図 3- 継手の引張実験 全試験体の最大荷重 (kN) の比較

降伏耐力 : Py (kN)

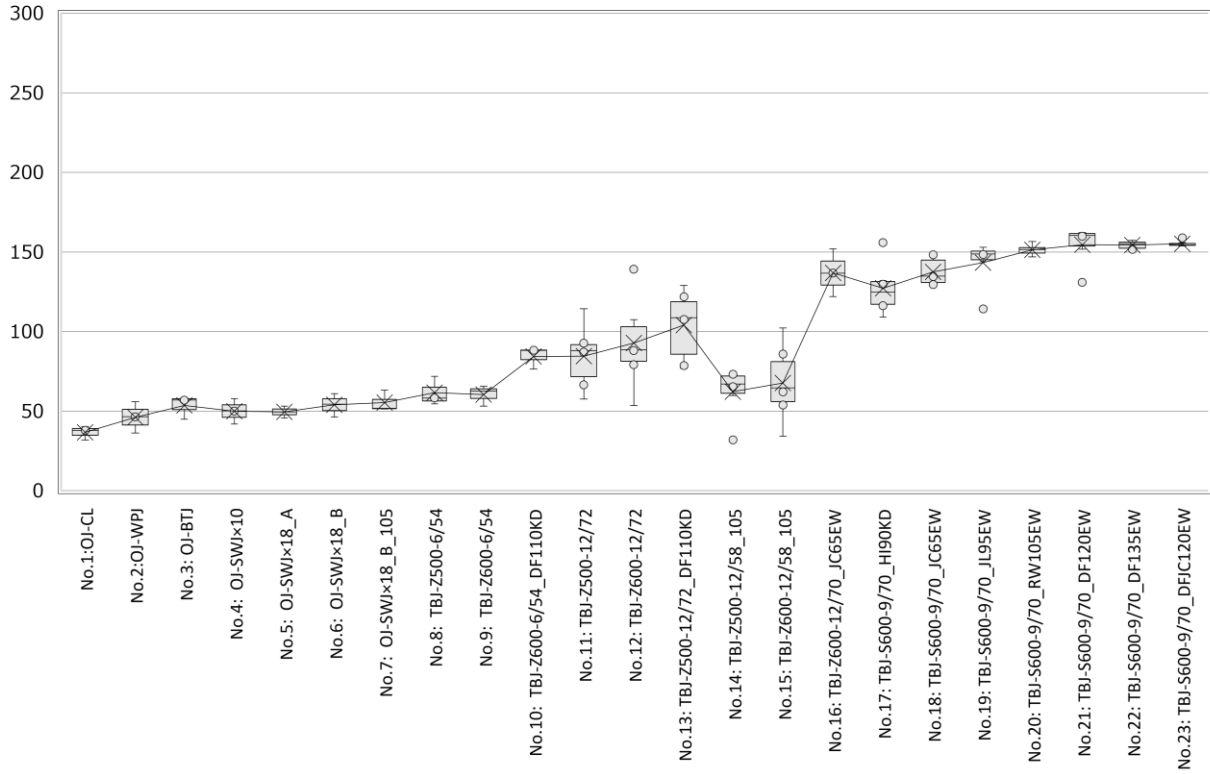


図 3- 継手の引張実験 全試験体の降伏耐力 (kN) の比較

終局耐力 : Pu (kN)

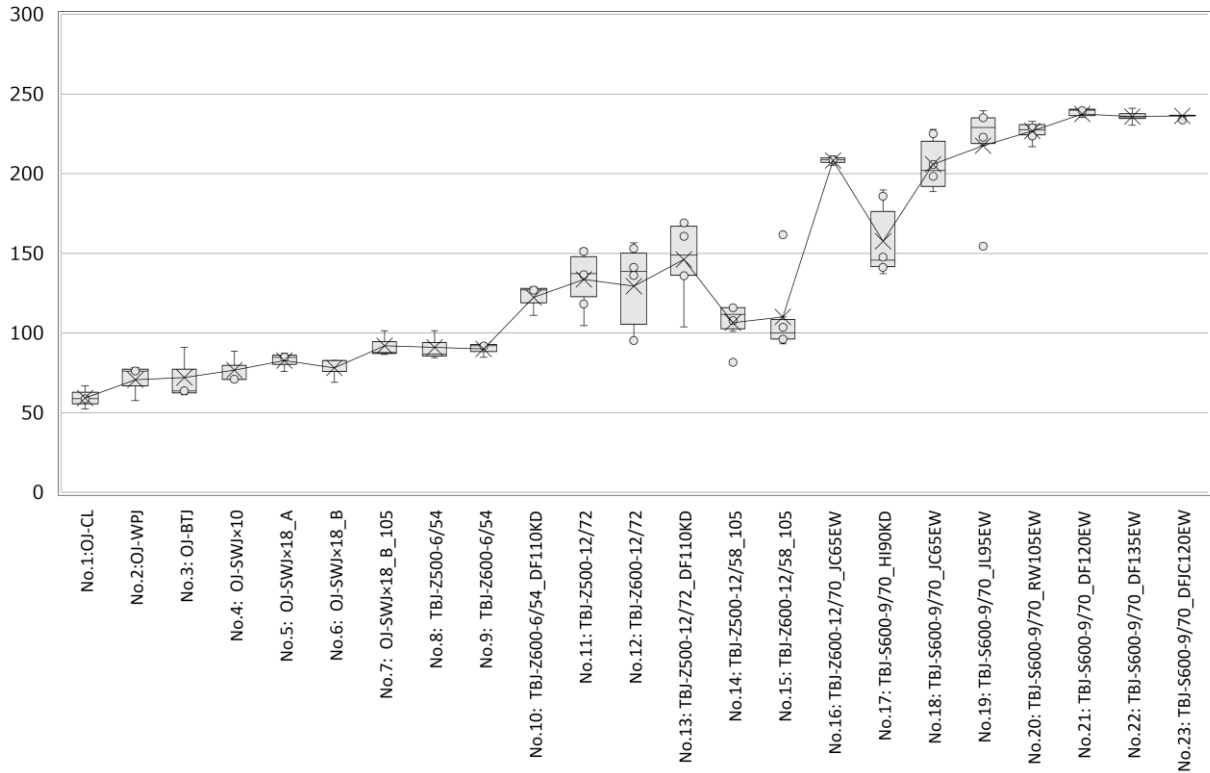


図 3- 継手の引張実験 全試験体の終局耐力 (kN) の比較

初期剛性 : K (kN/mm)

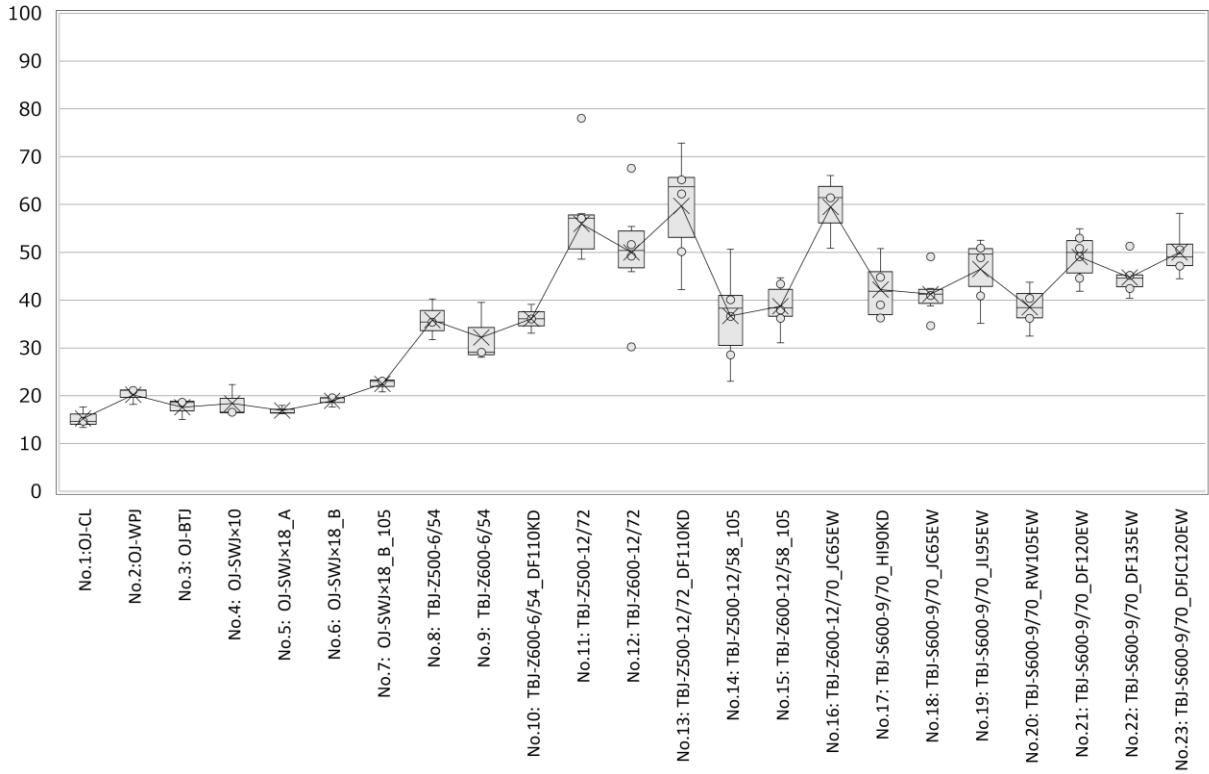


図 3- 継手の引張実験 全試験体の初期剛性 (kN/mm) の比較

構造特性係数 : Ds

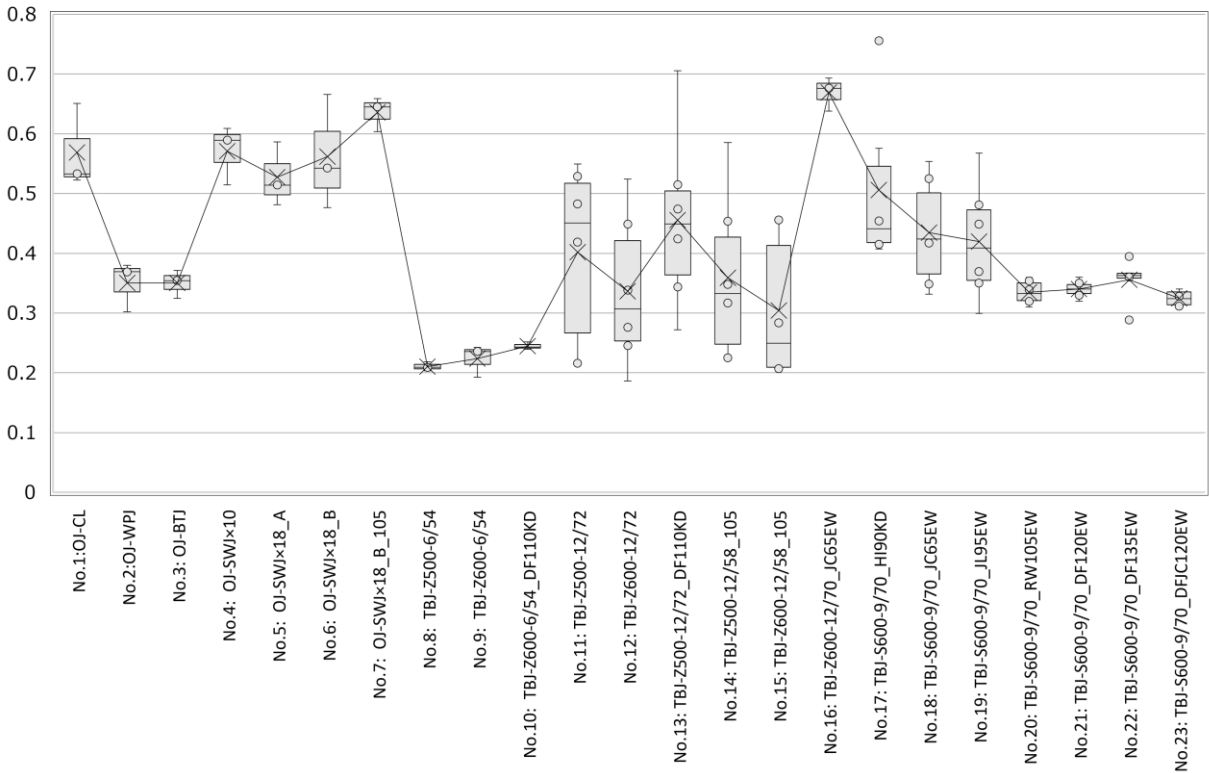


図 3- 継手の引張実験 全試験体の Ds 値の比較



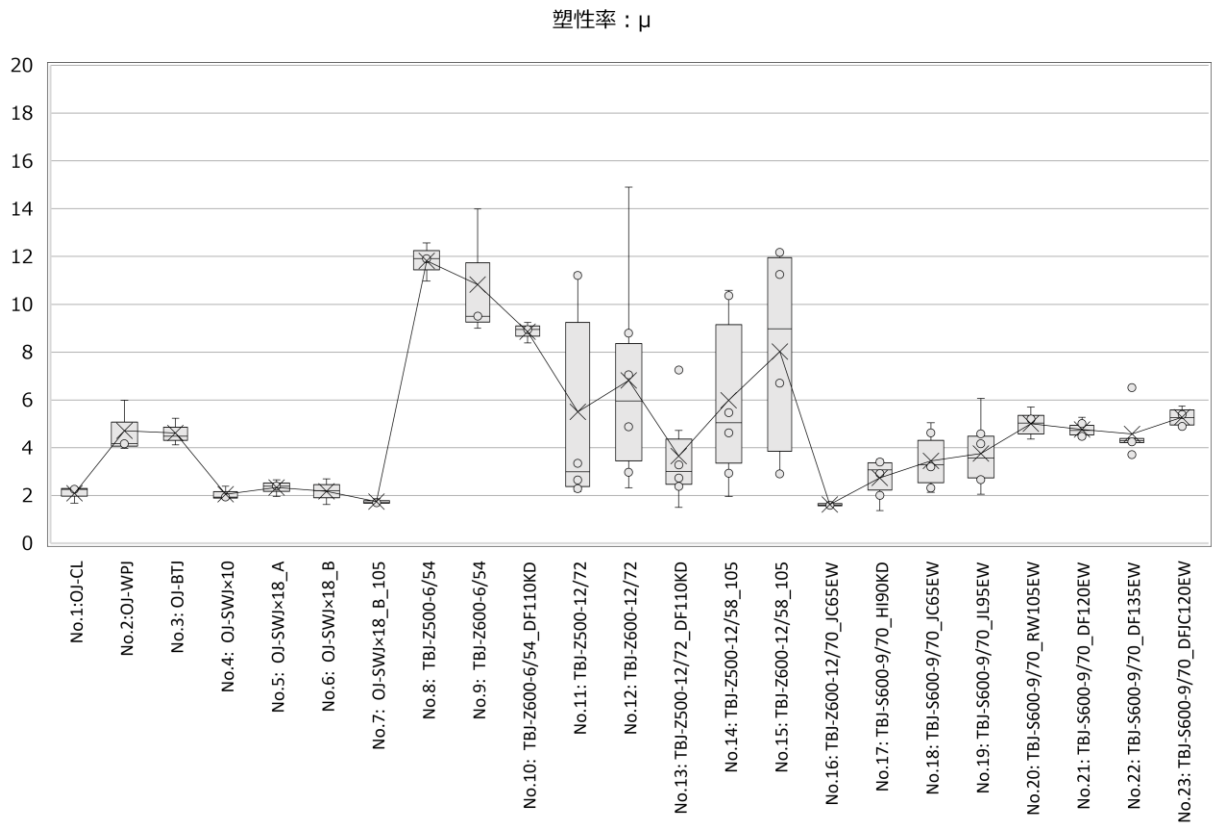


図 3- 継手の引張実験 全試験体の塑性率の比較

## 4.3 実大載荷実験の方法

### 4.3.1 試験体

各試験体は、トラス形状及びスパン長、陸梁の種別、樹種及び強度等級や、陸梁の本数（単材のシングルタイプ、又は2丁合わせのダブルタイプ）、接合部の仕様等を変えた、全7種類とした。表1に、試験体の一覧を示す。

試験体の種別を大別すると、トラスを構成する全ての部材に構造用スギ製材(E70-SD20)を用いたKDT試験体と、陸梁を除く部材にはKDT試験体と同様に構造用スギ製材を用い、陸梁には対称異等級構成集成材を用いた、集成材併用型の試験体としての、EWT試験体、又はhEWT試験体の2つに分類できる。いずれも、試験体の樹種として、国産材の利用推進を念頭に、今後の供給量の増大が見込まれるスギを用いた。前者は、全ての部材がスギ製材のみで構成されるトラスの性能の把握を目的とした。後者は、荷重条件がより厳しくなる多雪区域での使用を想定し、より高耐力を期待して、下弦材である陸梁に、強度性能が比較的安定していると考えられる集成材を併用したものである。

集成材併用型の試験体のうち、EWT試験体は陸梁に用いた集成材のラミナの樹種をスギとした。hEWT試験体は、スギと他樹種との異樹種複合型の集成材として、最外層側のラミナにベイマツを、内層のラミナにスギを用いて強度等級を上げたハイブリッド型の集成材を用いた。

表 4. 実大載荷試験\_試験体リスト

試験体名	使用材料		構成		接合部		試験体数
	陸梁	陸梁以外	スパン及びトラス形状	陸梁	両引きボルトの仕様	登り梁継手	
KDT-12s	スギ製材/E70-SD20	スギ製材/ E70-SD20	12m/キングポスト	シングル	Zマーク金物	追掛継ぎ	3
KDT-12d				ダブル			3
KDT-9s			9m/片流れ	シングル			3
KDT-9d				ダブル			3
EWT-12s	対称異等級構成スギ集成材/E65-F225	スギ製材/ E70-SD20	11.2m/キングポスト	シングル	SNR400B	腰掛継ぎ	3
hEWT-12s	対称異等級構成スギ・ベイマツ異樹種複合集成材/E120-F330						3
EWT-9s	対称異等級構成スギ集成材/E65-F225		8.9m/片流れ	3			

※共通事項 トラスの各部材断面は右のとおり、登り梁及び陸梁:120×240/真束,側束,斜材:120×120。但し、片流れトラスの斜め材は120×240 (KDT-12s試験体のみ、120×120)

(トラス形状及びスパン長さ及び、断面寸法他)

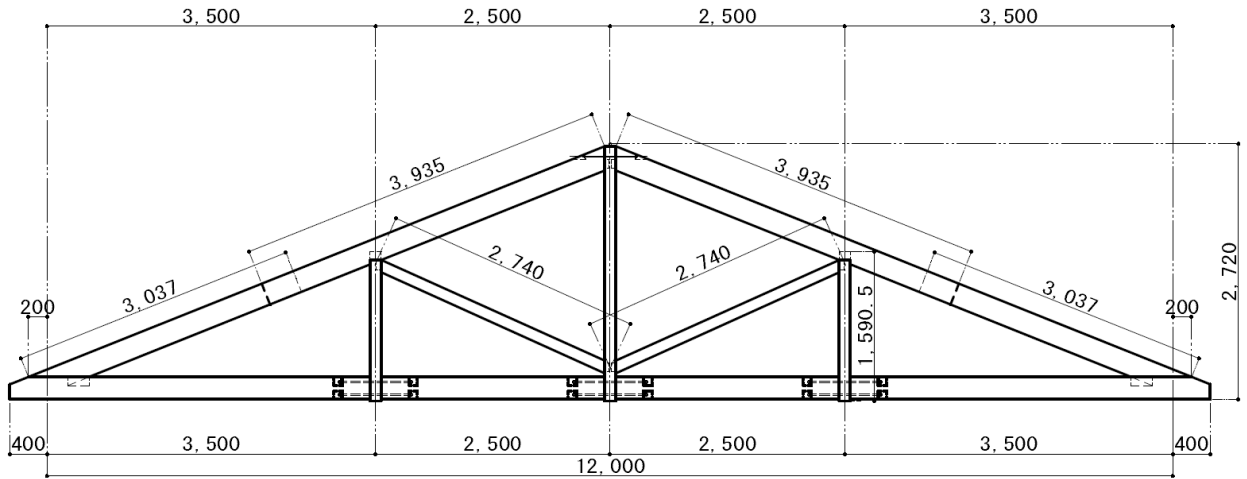
試験体のトラス形状は、キングポストトラス型と片流れ型の2種類とした。片流れ型は、キングポストトラス型の真束の下に柱を設けた場合の、棟から片側半分の屋根に対応した形状である。スパン長さは、キングポストトラス型で12m程度、片流れ型で9m程度のスパンとした。

トラスを構成する部材は、上弦材としての登り梁と、下弦材としての陸梁、及び、上弦材と下弦材の間に配置される束材と斜材である。束材は、キングポストトラス型では、スパンの中央に配置される真束と側束とに区別する。各部材の断面寸法は、全試験体に共通で、上弦材(登り梁)と下弦材(陸梁)が120×240(mm)の平角材、束材が120×120(mm)の正角材とした。斜材については、キングポストトラス型では120×120(mm)の正角材、片流れ型では、水上側に配置される長い方斜材を、120×120(mm)の正角材、又は120×240(mm)の平角材とした。各部材の長さは、流通材の使用を想定し、製材は4m材、集成材は6m材をもちいることとし、長尺となる登り梁及び陸梁については適宜、継手を設けた。

(主材の使用材料)

前述のとおり、使用部材は、国内の一般的な市場において比較的容易、かつ経済的に入手できる樹種・強度等級及び断面寸法・部材長とした。特に今回は、国産材の利用拡大を念頭に、スギを主材料に用いた。また、陸梁を集成材とした試験体では、EWT試験体では対称異等級スギ集成材、hEWT試験体では対称異等級スギ・ベイマツ異樹種複合集成材(通称、ハイブリッド集成材)とした。

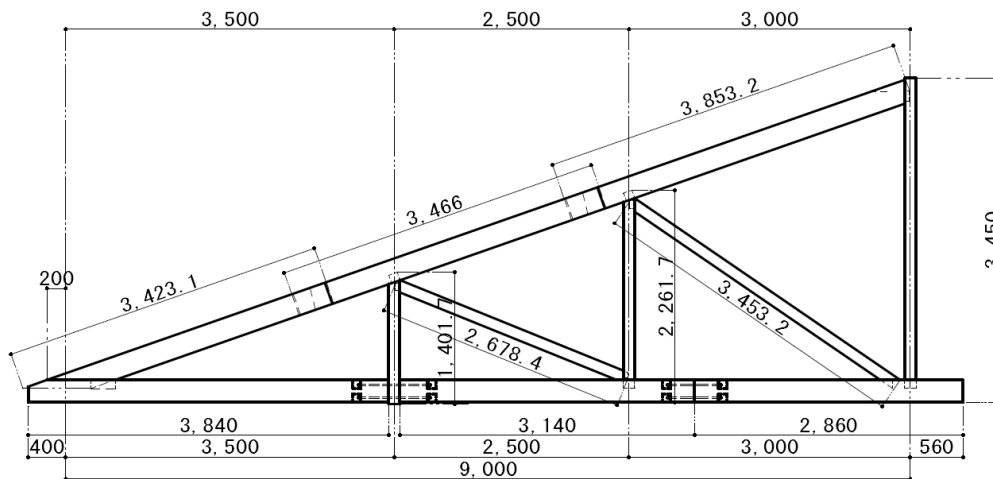
・ KDT-12s 試験体 製材タイプ,



- ① 登り梁 : 120×240 スギKD材\_E70-SD20 全4本 ※下流側のスパンにて継手
- ② 真 束 : 120×120 スギKD材\_E70-SD20 全1本
- ③ 側 束 : 120×120 スギKD材\_E70-SD20 全2本
- ④ 斜 材 : 120×120 スギKD材\_E70-SD20 全1本
- ⑤ 陸 梁 : 120×240 スギKD材\_E70-SD20 全4本 ※真束及び側束を挟んで継手

図 4. 実大載荷試験\_ KDT-12s 試験体

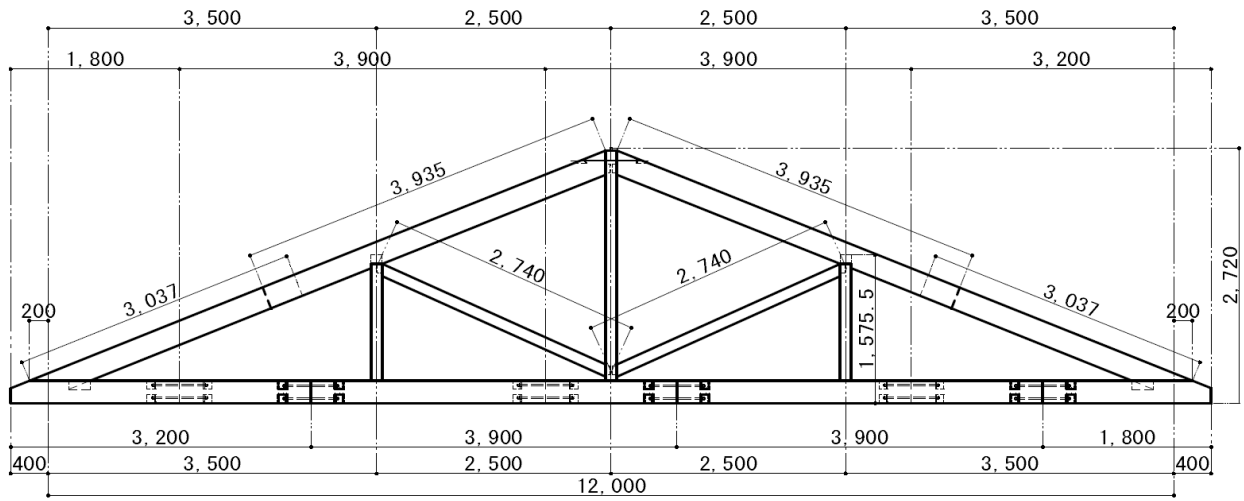
・ KDT-9s 試験体



- ① 登り梁 : 120×240 スギKD材\_E70-SD20 全3本 ※下流側の2スパンにて継手
- ② 真 束 : 120×120 スギKD材\_E70-SD20 全1本
- ③ 側 束 : 120×120 スギKD材\_E70-SD20 全2本
- ④ 斜 材 : 120×120 スギKD材\_E70-SD20 全2本
- ⑤ 陸 梁 : 120×240 スギKD材\_E70-SD20 全3本 ※下流側の側束を挟んで継手, 及び棟側のスパンで継ぎ手。

図 4. 実大載荷試験\_ KDT-9s 試験体

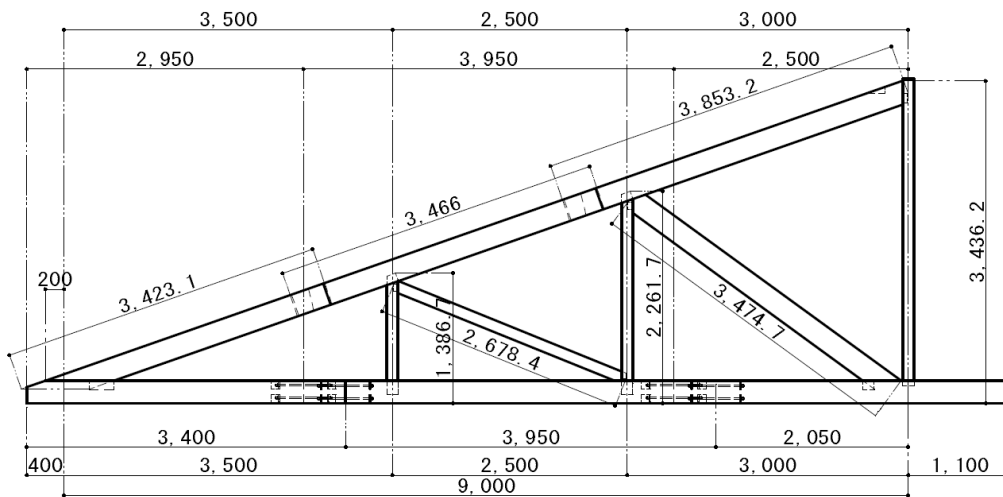
・ KDT-12d 試験体 製材タイプ,



- ① 登り梁 : 120×240 スギKD材\_E70-SD20 全4本 ※下流側の2スパンにて継手
- ② 真 束 : 120×120 スギKD材\_E70-SD20 全1本
- ③ 側 束 : 120×120 スギKD材\_E70-SD20 全2本
- ④ 斜 材 : 120×120 スギKD材\_E70-SD20 全1本
- ⑤ 陸 梁 : 120×240 スギKD材\_E70-SD20 全8本 ※2丁合わせ。継手を千鳥に配置。

図 4. 実大載荷試験\_ KDT-12d 試験体

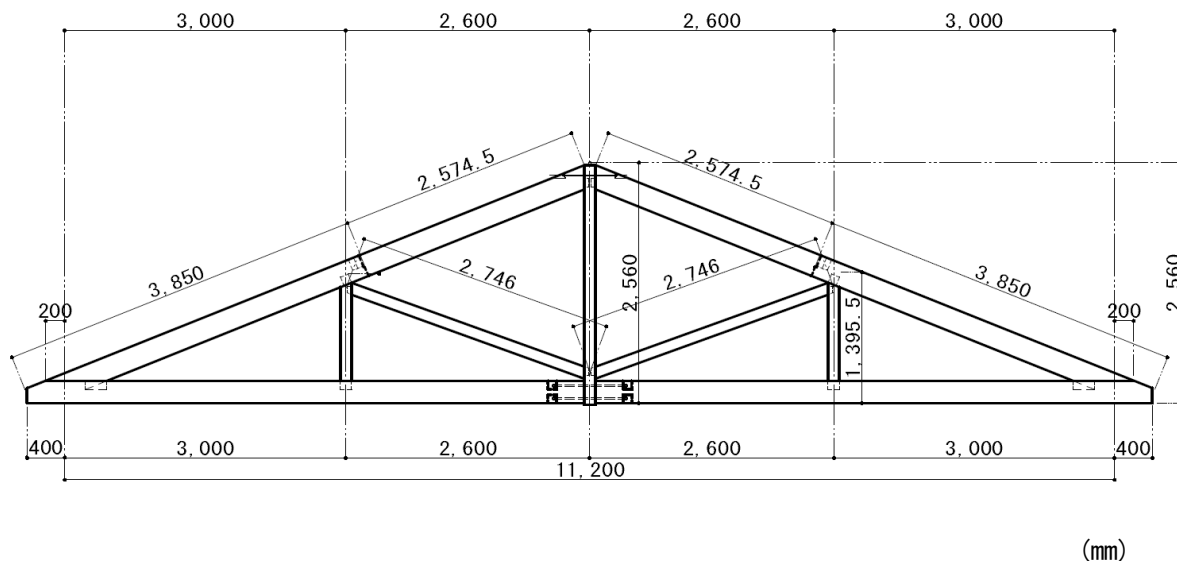
・ KDT-9d 試験体



- ① 登り梁 : 120×240 スギKD材\_E70-SD20 全3本 ※下流側の2スパンにて継手
- ② 真 束 : 120×120 スギKD材\_E70-SD20 全1本
- ③ 側 束 : 120×120 スギKD材\_E70-SD20 全2本
- ④ 斜 材 : 120×120 スギKD材\_E70-SD20 全2本
- ⑤ 陸 梁 : 120×240 スギKD材\_E70-SD20 全6本 ※2丁合わせ。継手を千鳥に配置。

図 4. 実大載荷試験\_ KDT-9d 試験体

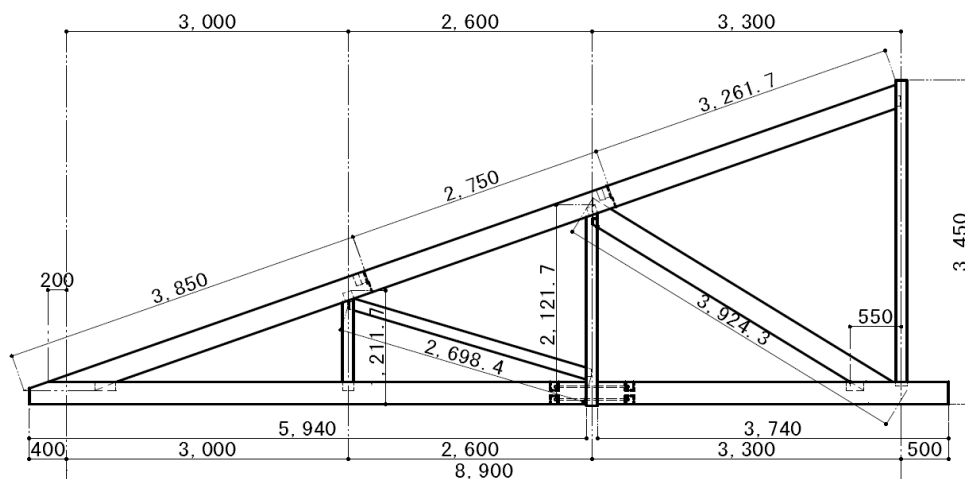
・ EWT-12s 試験体 集成材併用タイプ



- |                 |                       |       |              |
|-----------------|-----------------------|-------|--------------|
| ① 登り梁 : 120×240 | スギ KD 材_E70-SD20      | 全 4 本 | ※下流側のスパンにて継手 |
| ② 真 束 : 120×120 | スギ KD 材_E70-SD20      | 全 1 本 |              |
| ③ 側 束 : 120×120 | スギ KD 材_E70-SD20      | 全 2 本 |              |
| ④ 斜 材 : 120×120 | スギ KD 材_E70-SD20      | 全 1 本 |              |
| ⑤ 陸 梁 : 120×240 | 対称異等級構成スギ集成材_E65-F225 | 全 2 本 | ※真束を挟んで継手    |

図 4. 実大載荷試験\_ EWT-12s 試験体

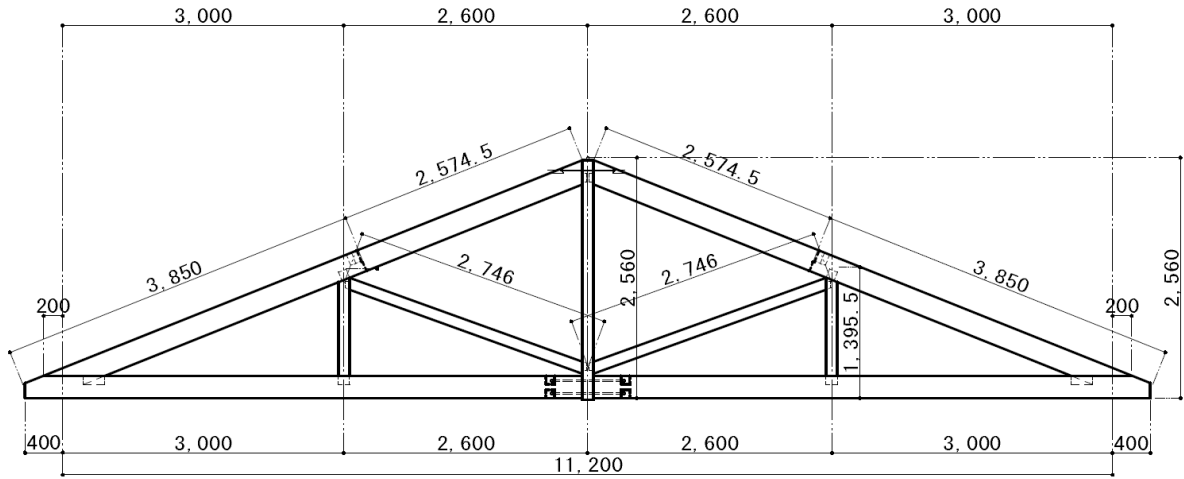
・ EWT-9s 試験体



- |                 |                       |       |              |
|-----------------|-----------------------|-------|--------------|
| ① 登り梁 : 120×240 | スギ KD 材_E70-SD20      | 全 4 本 | ※下流側のスパンにて継手 |
| ② 真 束 : 120×120 | スギ KD 材_E70-SD20      | 全 1 本 |              |
| ③ 側 束 : 120×120 | スギ KD 材_E70-SD20      | 全 2 本 |              |
| ④ 斜 材 : 120×120 | スギ KD 材_E70-SD20      | 全 1 本 |              |
| ⑤ 陸 梁 : 120×240 | 対称異等級構成スギ集成材_E65-F225 | 全 2 本 | ※側束を挟んで継手    |

図 4. 実大載荷試験\_ EWT-9s 試験体

・ hEWT-12s 試験体 集成材併用タイプ,



- ① 登り梁 : 120×240 スギ KD 材\_E70-SD20 全 4 本 ※下流側のスパンにて継手
- ② 真 束 : 120×120 スギ KD 材\_E70-SD20 全 1 本
- ③ 側 束 : 120×120 スギ KD 材\_E70-SD20 全 2 本
- ④ 斜 材 : 120×120 スギ KD 材\_E70-SD20 全 1 本
- ⑤ 陸 梁 : 120×2400 異樹種複合対称異等級構成スギ-ベイマツ集成材\_E120-F330 全 2 本  
※真束を挟んで継手

図 4. 実大載荷試験\_hEWT-12s 試験体

### 4.3.2 実験装置

標準トラスの静的載荷実験に用いた試験装置は、実大木材座屈・曲げ試験機（株式会社 前川試験機製作所製）に鉄骨又は鉄骨による柱・土台とケーブルワイヤ、プーリー等で構成される試験装置を用いた。適宜、補強材や、試験体の倒れ防止のための鉄骨治具等を試験装置に付加して実施した。

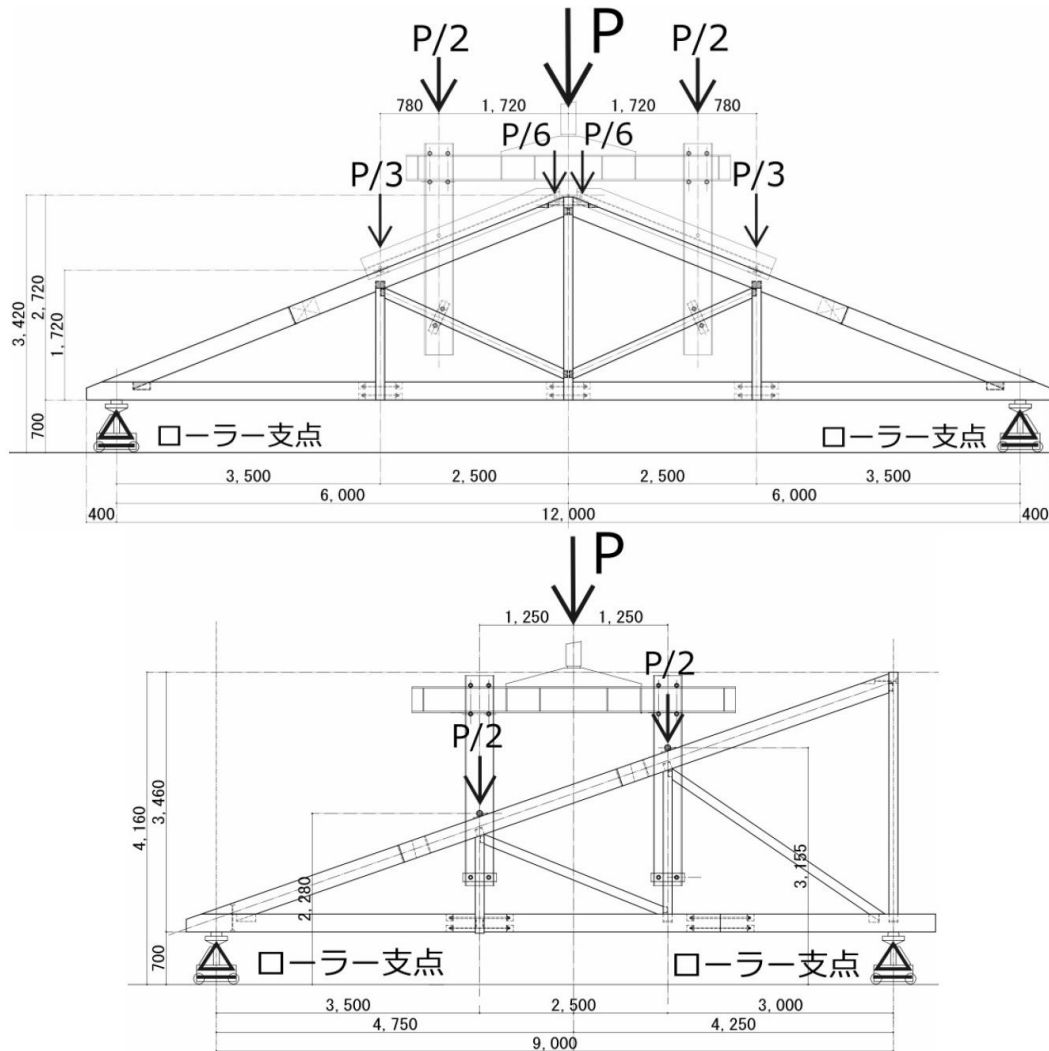
いずれも一方向の加力を鉛直方向の静的荷重に変換する機構である。



図 4. 実大載荷試験\_試験装置

### 4.3.3 計測位置

標準トラスの静的載荷実験に用いた試験装置は、継手仕口の水平鉛直各方向の相対すべり量を計測した。また真束、側束の各下部の鉛直方向たわみ量を計測した。



<主な計測点>

合掌尻：水平方向変位- 1 か所 + 鉛直方向変位-左右 2 か所 / 陸梁継手：水平方向変位-上下 2 か所 / 登り梁—真束仕口：水平方向変位-上下 2 か所 + 鉛直方向変位 - 1 か所 / 斜材：両端部水平変位 + 鉛直変位-各 1 か所 / 登り梁継手：材軸方向変位-上下 2 か所 / 各束材下：鉛直方向変位

図 4. 実大載荷試験\_ 試験装置略図



## 4.4 実験結果

### 4.4.1 スギ製材を用いた標準トラスの実験結果

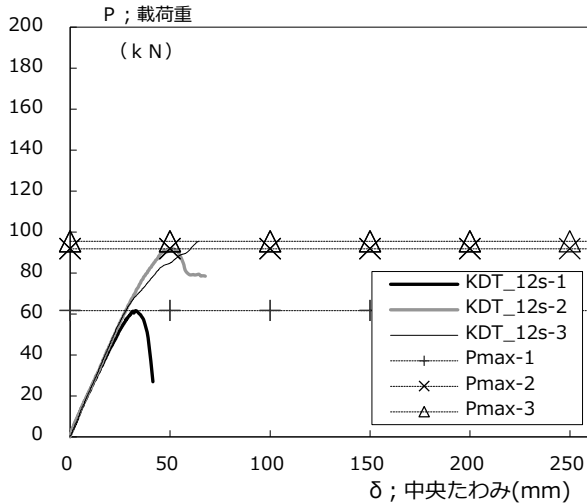
試験の開始後、いずれの試験体も荷重の初期段階では比例関係で荷重と変位が増加した。その後、合掌尻の登り梁下端部のホゾの入隅部(写真2, 同8)から割裂が生じて、やや剛性が低下した。

初期の剛性が低下した後は、試験体の種類毎に、明確に異なる傾向の荷重-中央たわみ関係や破壊性状を示した。特に、製材のみで構成した試験体で陸梁がシングルのもと、陸梁を2丁合わせとしたダブルタイプ及び、陸梁に集成材を用いた集成材併用型とで、初期の剛性が低下した後の挙動や最大荷重、破壊性状が大きく異なった。

製材のみで構成した試験体のうち、陸梁がシングルタイプの試験体(KDT-12s, KDT-9s)は、その後、主に陸梁の継手や合掌尻に脆性的な破壊が生じ、急速に荷重支持能力を失った。一方、陸梁を2丁合わせとした試験体(KDT-12d, KDT-9d)では、急激な荷重低下は生じることがなく、荷重を維持して変形が進んだ。陸梁を集成材としたEWT及びhEWT試験体も同様に、剛性が低下した直後の脆性的な破壊や荷重の大幅な低下はなく、変形が約80mm以上、最大で約170mm程度まで進んだ。剛性は、試験体タイプ毎に大きな差異は見られなかった。終局時の接合部の主な破壊性状は、陸梁が製材か集成材かにより、明確に異なった。すなわち、KDT試験体では製材である合掌尻の陸梁や、陸梁継手の木材で脆性的な破壊(写真4)が生じた。一方、陸梁が集成材のEWT及びhEWT試験体では、終局時でも陸梁継手の脆性的な破壊は生じなかった。合掌尻でも、KDT試験体で頻発した脆性的な破壊が発生せず、一方で登り梁の下端部からの割裂(写真5右)や、ホゾの屈曲、圧壊(写真6)が生じた。また、合掌尻が粘って、そのすべりが抑制された試験体では、その分、側東下端部の鉛直たわみが増大し、陸梁が押し下げられて曲げ引張破壊が生じた(写真5左)。

以下に、各試験体の荷重と変位の測定結果をグラフに示す。

・ KDT\_12s 試験体



EWT\_12s 試験体 :

支点間距離 : 11.2 m

陸梁 : 構造用スギ製材 E70-SD20

上記以外 : 構造用スギ製材 E70-SD20

図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

表 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

試験体	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm × 2/3	最大荷重 kN	降伏耐力 kN	降伏変位 mm	初期剛性 kN/mm	終局変位 mm	降伏点変位 mm	終局耐力 kN	塑性率 μ	構造特性係数 Ds	0.8Pmax 面積 kNmm	最終破壊形態
KDT_12s-1	61.62	32.90	41.08	33.60	14.84	2.22	37.10	26.37	58.44	1.41	0.74	1398	登り梁継手_弱軸方向曲げ破壊
KDT_12s-2	91.79	50.90	61.19	63.60	28.68	2.21	67.60	38.54	85.29	1.75	0.63	4122	合掌尻_陸梁上端の割裂破壊
KDT_12s-3	95.47	64.10	63.65	60.68	26.59	2.21	64.10	38.37	84.90	1.67	0.65	3813	陸梁継手_引張破壊
平均値	82.96	49.30	55.30	52.63	23.37	2.21	56.27	34.42	76.21	1.61	0.68	3111	
標準偏差	15.17	12.79	10.11	13.51	6.09	0.00	13.63	5.70	12.57	0.15	0.05	1218	
変動係数 %	18.3%	25.9%	18.3%	25.7%	26.1%	0.1%	24.2%	16.6%	16.5%	9.2%	7.1%	39.2%	

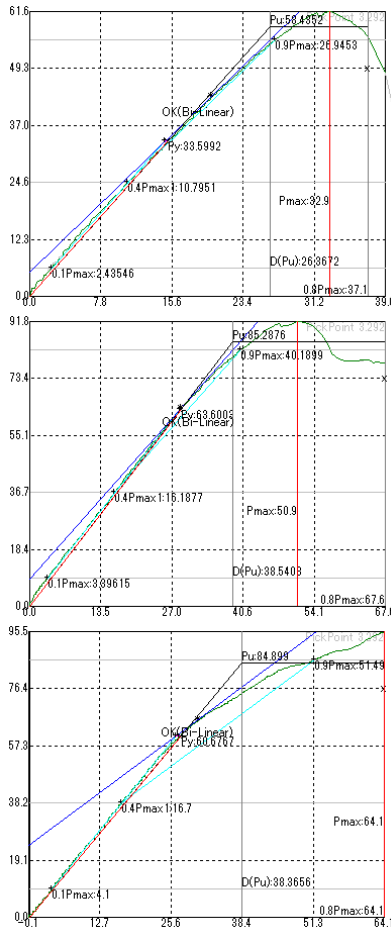


表 4- KDT\_12s 試験体\_特性値

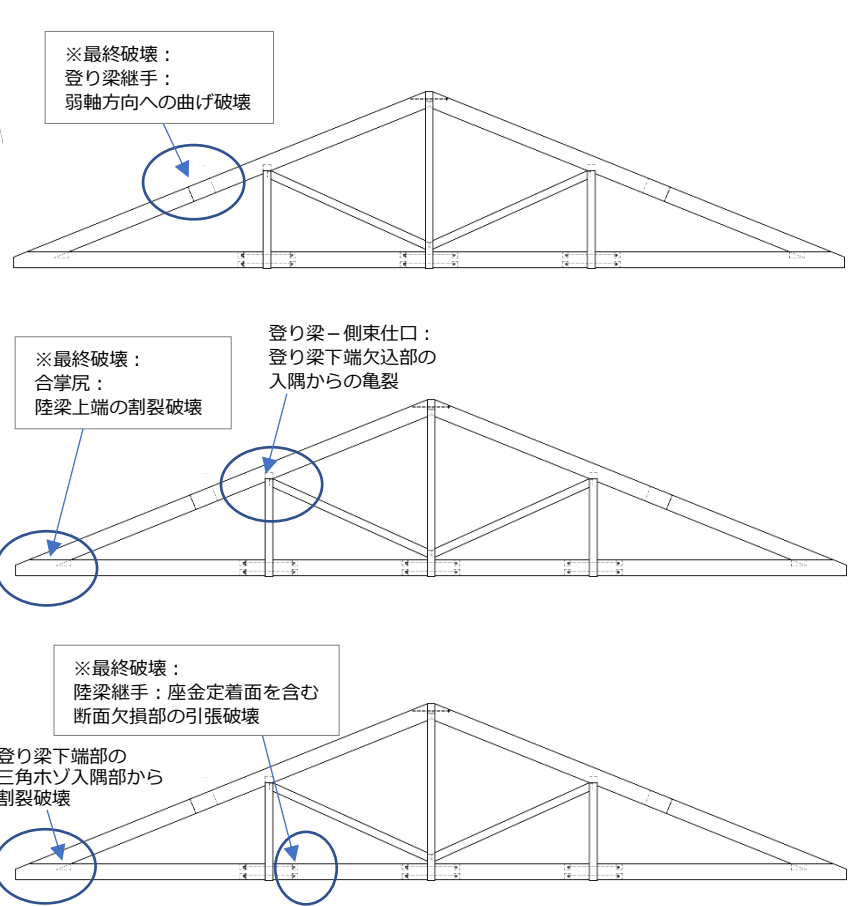
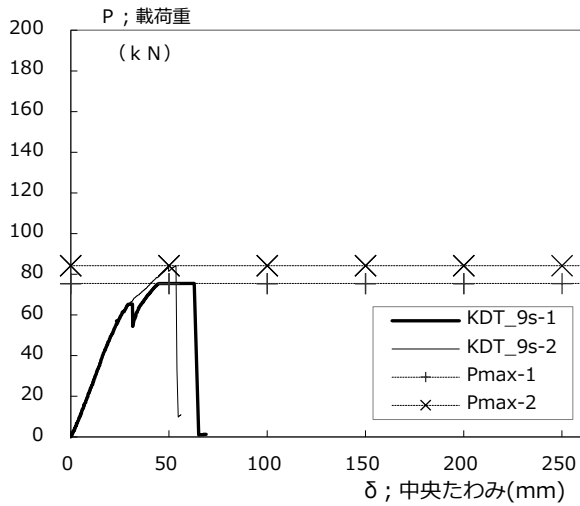
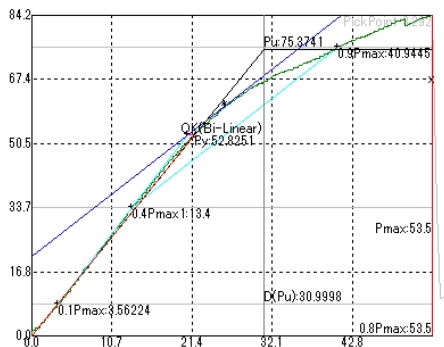
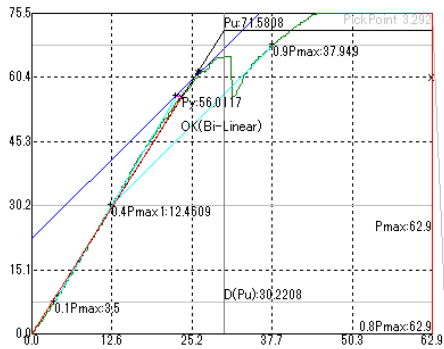


図 4- KDT\_12s 試験体\_主な破壊性状

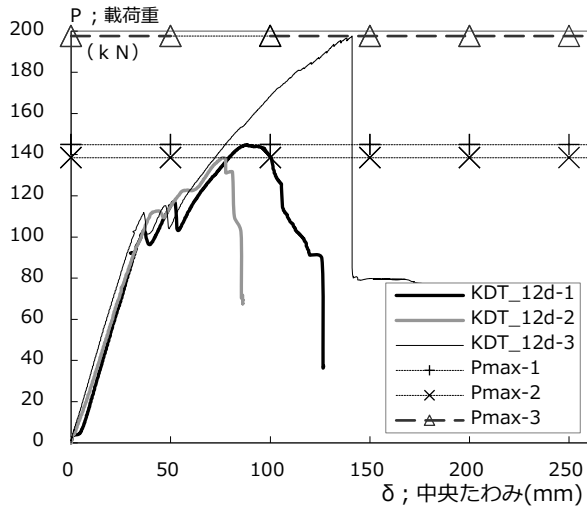
・ KDT\_9s 試験体:



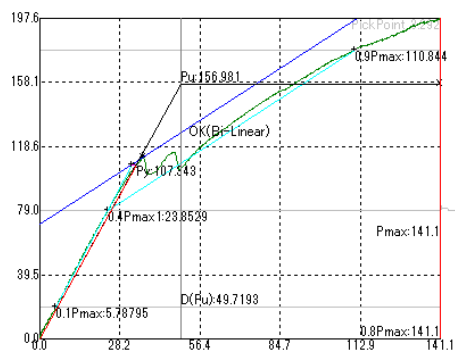
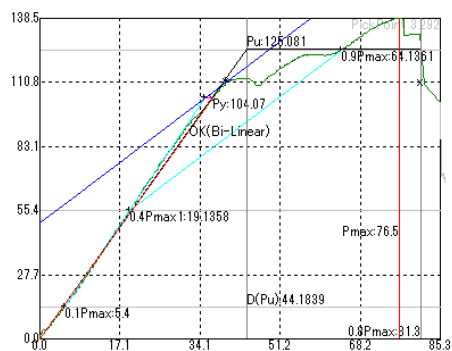
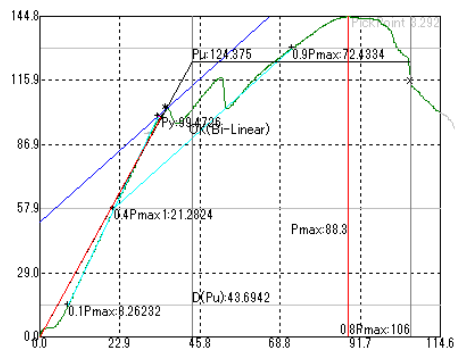
試験体	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm	最大荷重 $\times 2/3$ kN	降伏耐力 $P_y$ kN	降伏変位 $\delta_y$ mm	初期剛性 K kN/mm	終局変位 $\delta_u$ mm	降伏点変位 $\delta_v$ mm	終局耐力 $P_u$ kN	塑性率 $\mu$	構造特性係数 $D_s$	$0.8P_{max}$ 面積 S kNmm	破壊形態
1体目	75.48	62.90	50.32	56.01	22.68	2.37	62.90	30.22	71.58	2.08	0.56	3421	
2体目	84.20	53.50	56.14	52.83	20.86	2.43	53.50	31.00	75.37	1.73	0.64	2864	
平均値	79.84	58.20	53.23	54.42	21.77	2.40	58.20	30.61	73.48	1.90	0.60	3143	



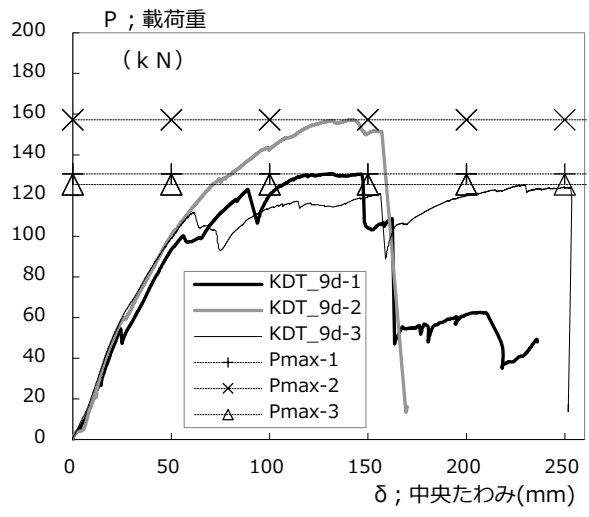
・ KDT\_12d 試験体:



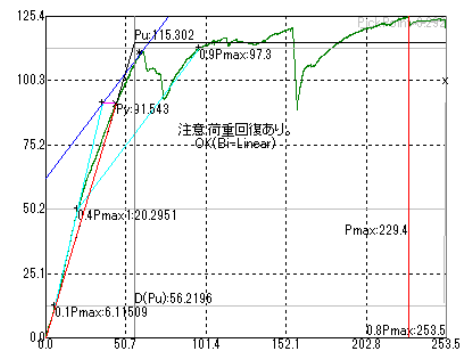
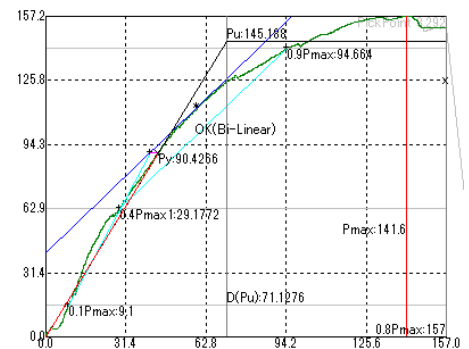
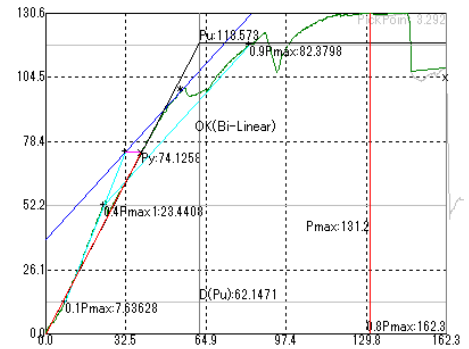
試験体	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm	最大荷重 ×2/3 kN	降伏耐力 Py kN	降伏変位 delta y mm	初期剛性 K kN/mm	終局変位 delta u mm	降伏点変位 delta v mm	終局耐力 Pu kN	塑性率 mu	構造特性係数 Ds	0.8Pmax面積 S kNmm	破壊形態
1体目	144.84	88.30	96.56	99.47	33.73	2.85	106.00	43.69	124.38	2.43	0.51	10467	
2体目	138.50	76.50	92.33	104.07	35.23	2.83	81.30	44.18	125.08	1.84	0.61	7406	
3体目	197.60	141.10	131.74	107.34	32.48	3.16	141.10	49.72	156.98	2.84	0.46	18248	
平均値	160.31	101.97	106.88	103.63	33.81	2.94	109.47	45.87	135.48	2.37	0.53	12040	
標準偏差	26.50	28.09	17.66	3.23	1.12	0.15	24.54	2.73	15.21	0.41	0.06	4564	
変動係数 %	16.5%	27.5%	16.5%	3.1%	3.3%	5.1%	22.4%	6.0%	11.2%	17.3%	11.7%	37.9%	



・ KDT\_9d 試験体:



試験体	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm × 2/3	最大荷重 kN	降伏耐力 Py kN	降伏変位 δy mm	初期剛性 K kN/mm	終局変位 δu mm	降伏点変位 δv mm	終局耐力 Pu kN	塑性率 μ	構造特性係数 Ds	0.8Pmax面積 S kNmm	破壊形態
1体目	130.62	131.20	87.08	74.13	32.26	1.91	162.30	62.15	118.57	2.61	0.49	15560	
2体目	157.22	141.60	104.82	90.43	40.90	2.04	157.00	71.13	145.19	2.21	0.54	17631	
3体目	125.39	229.40	83.59	91.54	35.90	2.05	253.50	56.22	115.30	4.51	0.35	25988	
平均値	137.75	167.40	91.83	85.37	36.35	2.00	190.93	63.16	126.35	3.11	0.46	19726	
標準偏差	13.94	44.05	9.29	7.96	3.54	0.07	44.29	6.13	13.38	1.00	0.08	4508	
変動係数 %	10.1%	26.3%	10.1%	9.3%	9.7%	3.3%	23.2%	9.7%	10.6%	32.3%	17.2%	22.9%	



・ KDT\_12s-1 試験体: Pmax=61.6kN

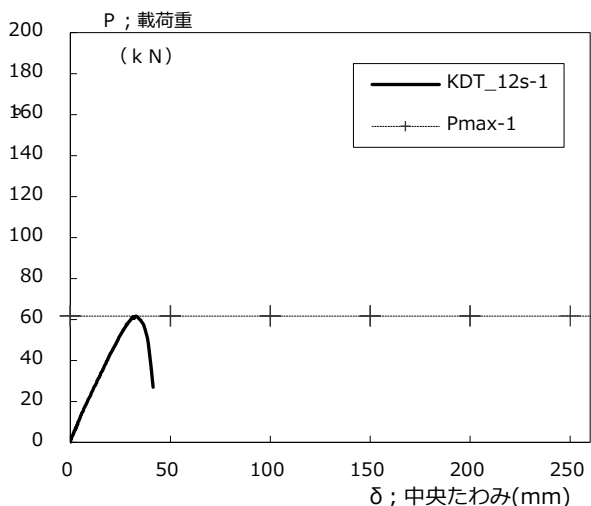


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

60kN 付近から、登り梁の継手部が構面外に倒れ始めて荷重が低下した。最終的に、登り梁の追掛け継ぎの目違い嵌合部分が離れ、片方の顎が弱軸方向に曲げ破壊した。反対側の登り梁の継手でも、顎の先端の目違い入隅部から割裂が生じた。

登り梁と側束の仕口では、登り梁下端の欠き込む部分の入隅部からクラックが生じた。

真束下の胴付き面では、登り梁の倒れに伴って若干のねじれが生じた。

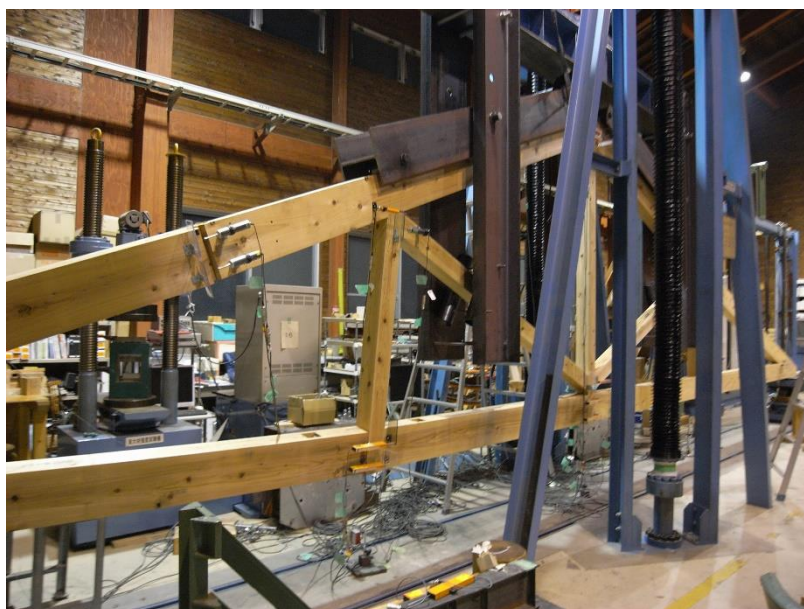


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

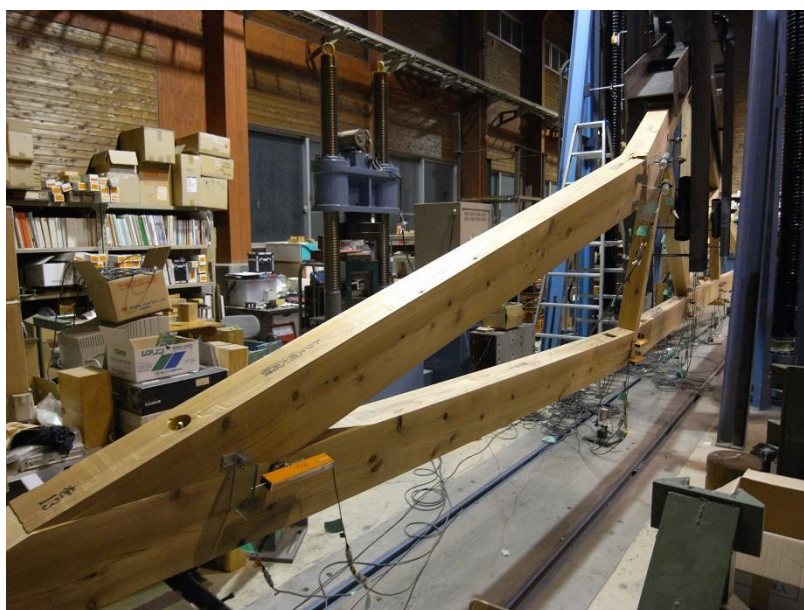


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



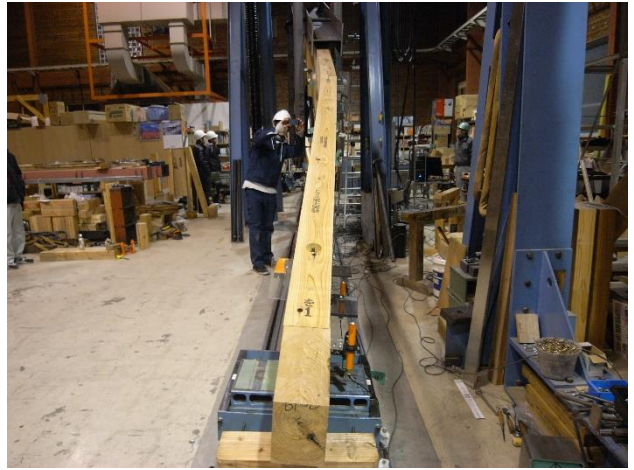


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

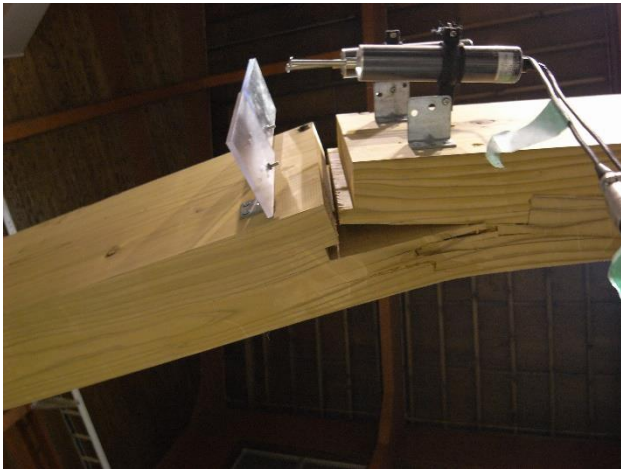


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



・ KDT\_12s-2 試験体: Pmax=91.8kN

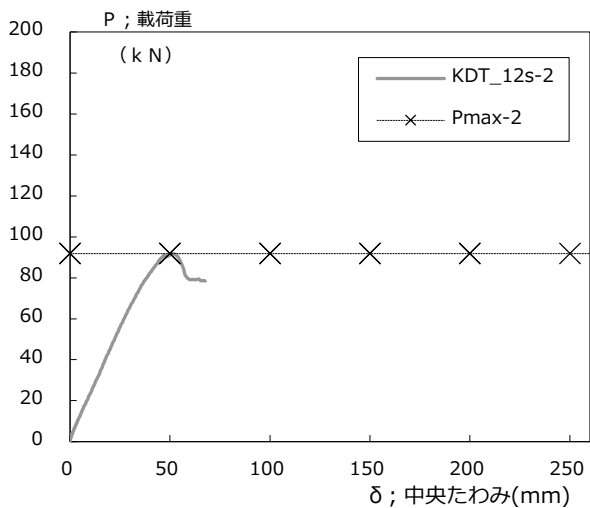


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

最大荷重に達した後、登り梁一側束仕口部の登り梁下端の欠き込み部分の入隅部からクラックが生じて、荷重が低下した。80kN 付近まで低下した時点で、急激に合掌尻の陸梁の上端が割裂破壊を生じたため、加力を終了。

合掌尻の破壊は、早材と晩材の境界で年輪に沿って剥離する目まわり破壊と、放射方向に伸長した内部割れとの複合的な割裂の破壊性状を生じた。

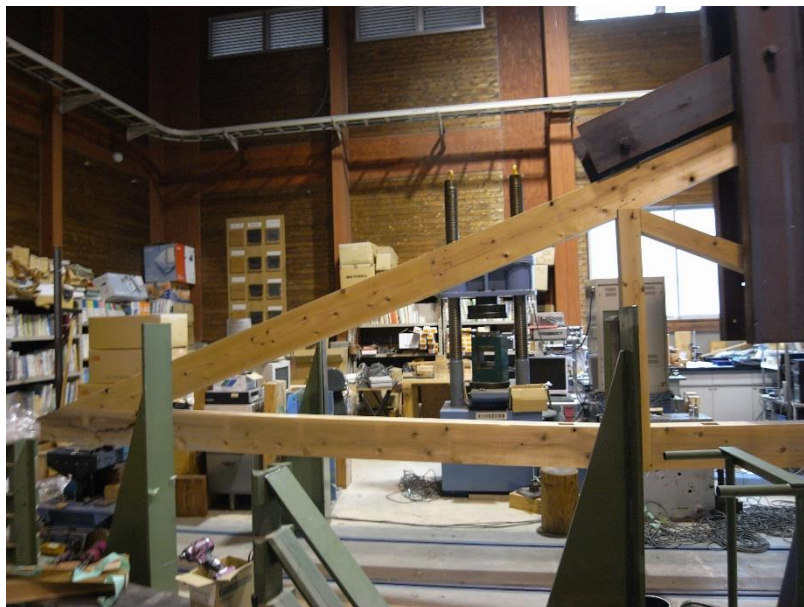


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

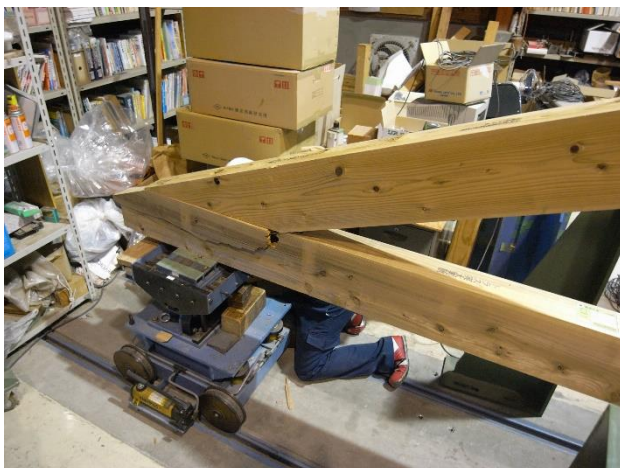


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



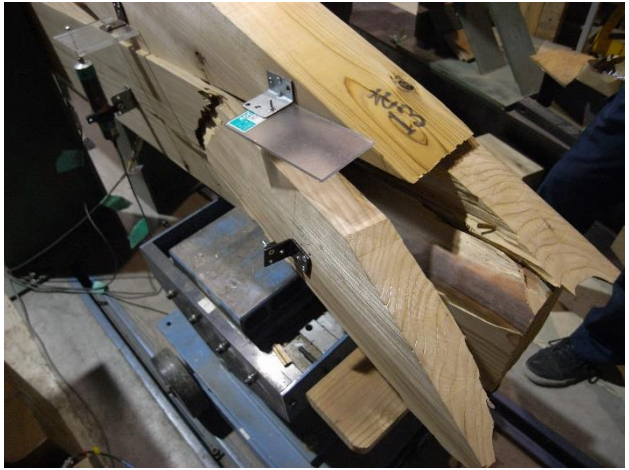


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



・ KDT\_12s-3 試験体: Pmax=95.5kN

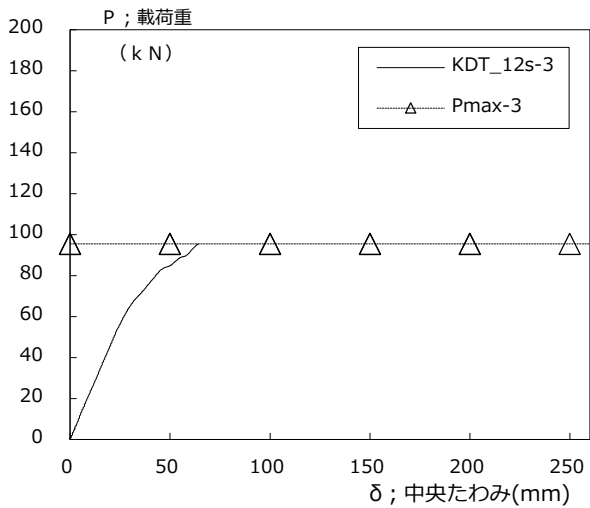


図 4- KDT\_12s-3 試験体 荷重-中央たわみ関

70kN 付近から、合掌尻の下端の三角ホゾ野入隅部からの割裂が発生し、やや剛性が低下。95kN 付近で突如、側束を挟む陸梁継手の引きボルト定着部で、断面欠損部周辺を破断面として引張破壊が生じた。

陸梁の破断面は、心材部と辺材部では切断面の形状が明確に異なることが観察された。辺材部では繊維のささくれが残る状態で破壊しているが、心材側では鋸歯状に、又年輪層毎に段々状となっていた。



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



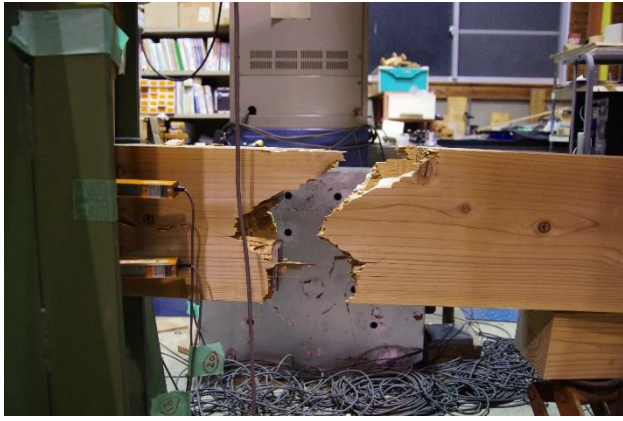


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

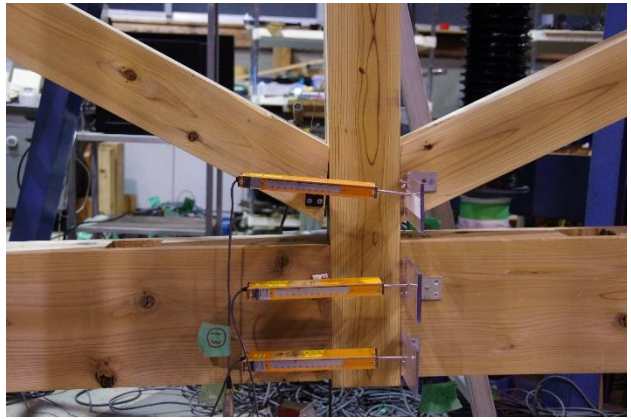


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



・ KDT\_9s-1 試験体: Pmax=75.5kN

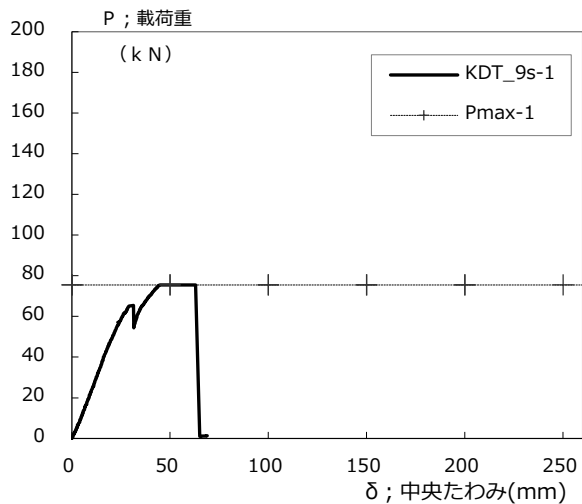


図 4- EWT\_9s-1 試験体 荷重-中央たわみ関係

70kN を超えたあたりで陸梁継手部に亀裂が生じて荷重が低下したがその後、さらに荷重が上昇し、75kN 付近で陸梁継手部が一挙に破壊した。

継手の破壊は、座金の側面部が引張り破断した後、材中心部からの割裂破壊が急激に進行した。

継手部の木材の破断面は、放射方向の破壊面で繊維のささくれ立ちが見られず、光沢面を持った表面のものがあったことから、内部割れが割裂の要因と推測される。



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

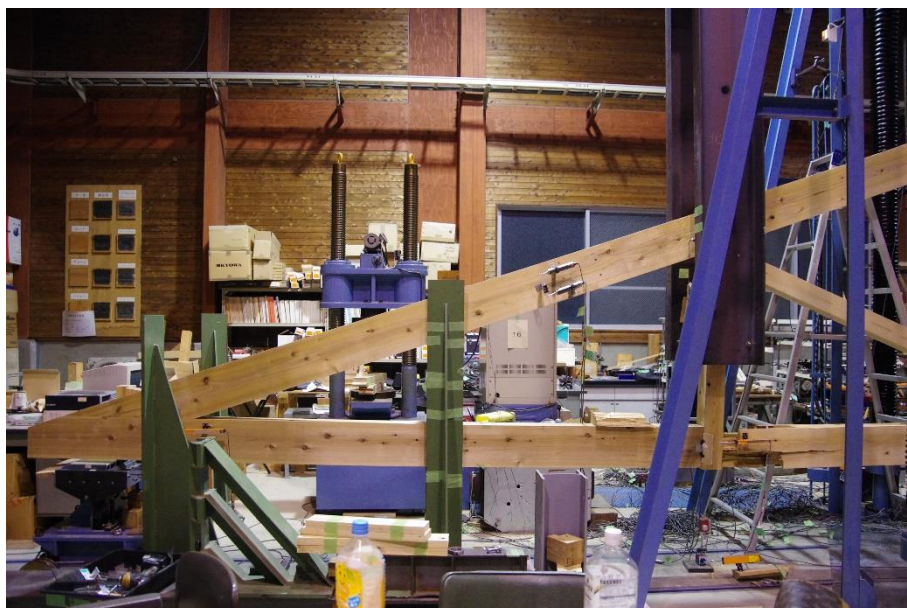


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係





図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

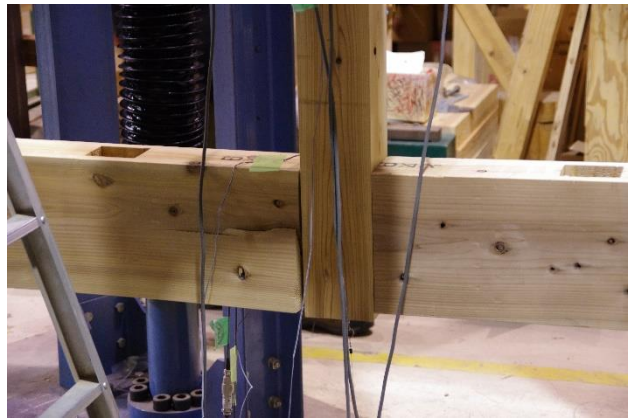


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係





図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

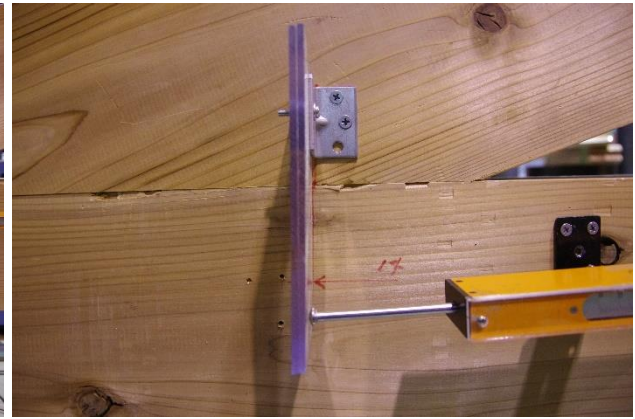


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

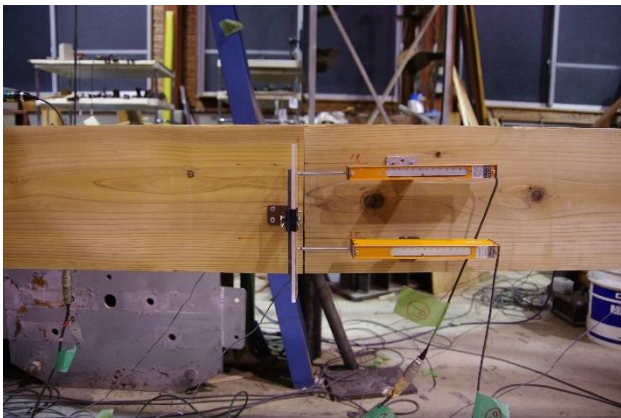
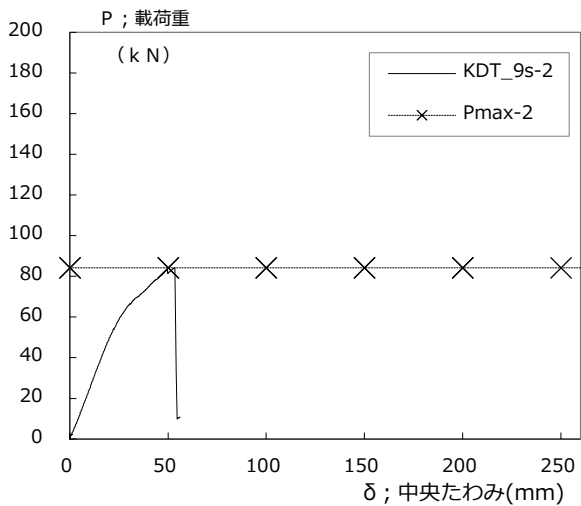


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



・ KDT\_9s-2 試験体: Pmax=84.2kN



60kN を超えたあたりから、支点側の斜材下端の陸梁への胴付面の三角ホゾの入隅からの割裂が発生して剛性が低下。斜材を2分する亀裂がさらに伸長し続け、80kN 付近で圧縮力による座屈のため、斜材が湾曲。84kN 付近でほぼ瞬時に、斜材が中央部で座屈曲げ破壊によって破断し飛散した。

図 4- EWT\_9s-1 試験体 荷重-中央たわみ関係

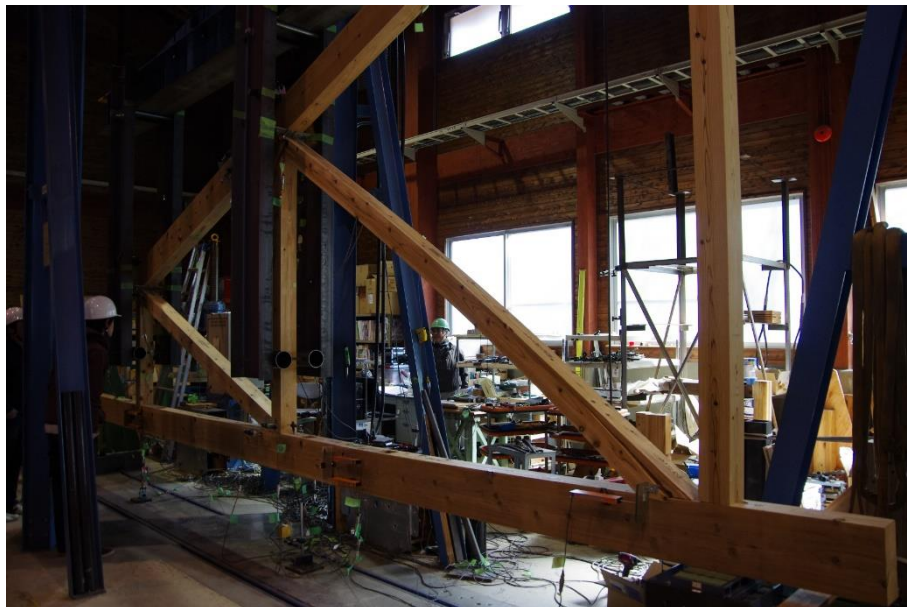


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係





図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係





図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



・ KDT\_9s-3 試験体:  $P_{max}=84.3kN$

最大荷重の 84kN 付近で、陸梁継手部が破壊。合掌尻はほぼ損傷なし。トラス上流側斜材の胴付面からの微細な亀裂あり。継手の破壊性状は、座金周辺の辺材部分では引張り破断、材中心部では心材外周に沿った目まわりの破断。



図 4- EWT\_9s-1 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係





図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

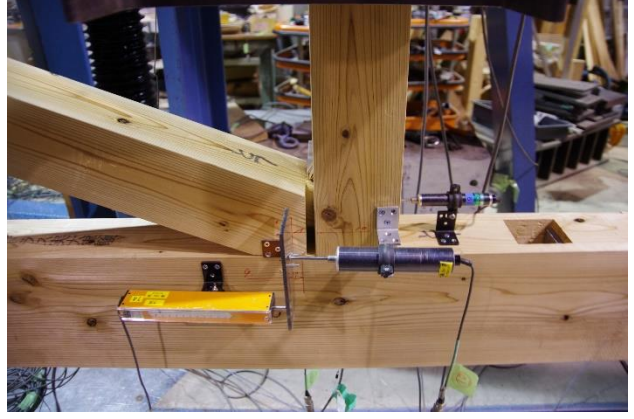
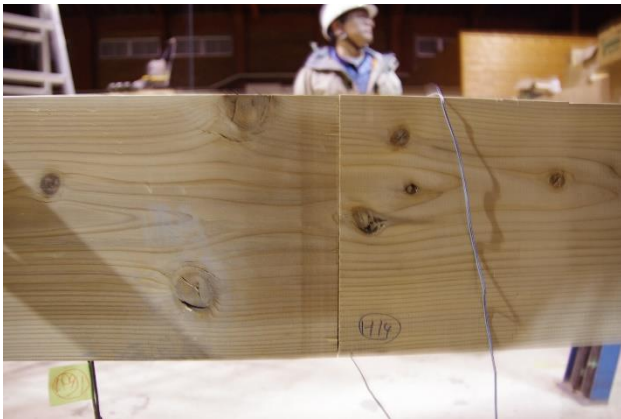


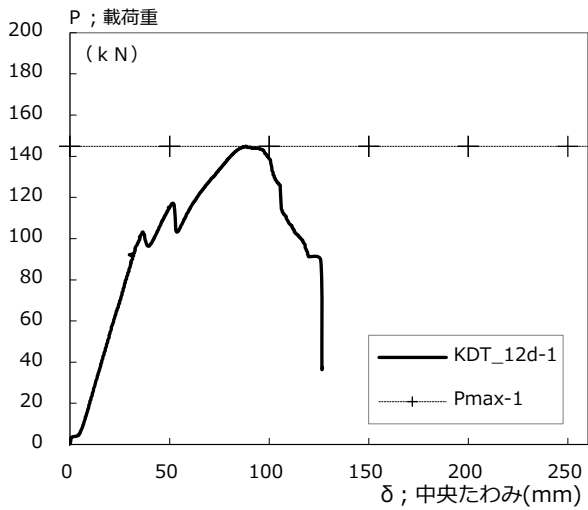
図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



・ KDT\_12d-1 試験体: Pmax=144.8kN



100kN を超えた付近より、合掌尻登り梁端部の三角ホゾの胴付面の入隅部から割裂が生じて剛性が低下した後、140kN を超えた付近まで荷重が上昇。その後、徐々に登り梁が構面外に孕み出して荷重が低下。最終的に登り梁の面外曲げが発生して加力を終了した。

図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

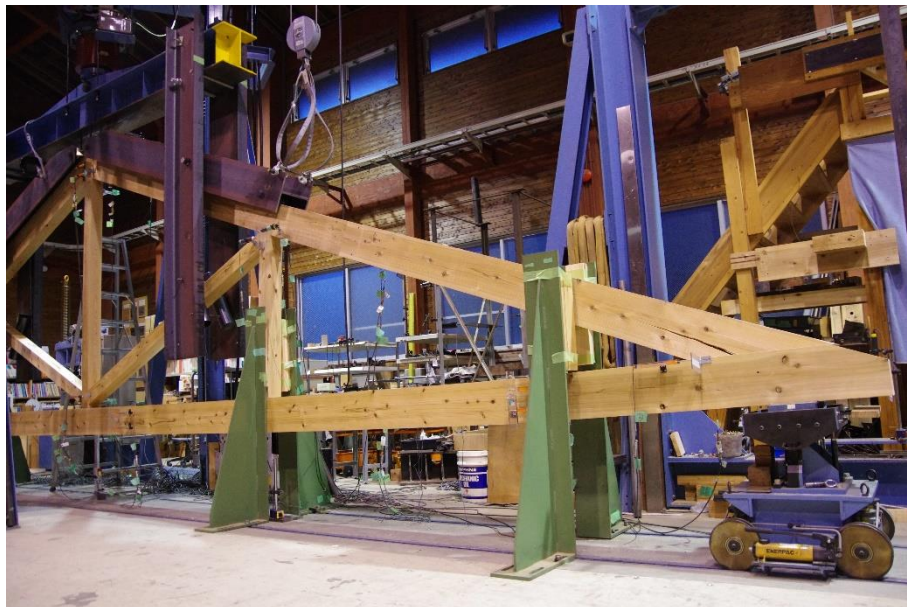


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係







図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係







図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

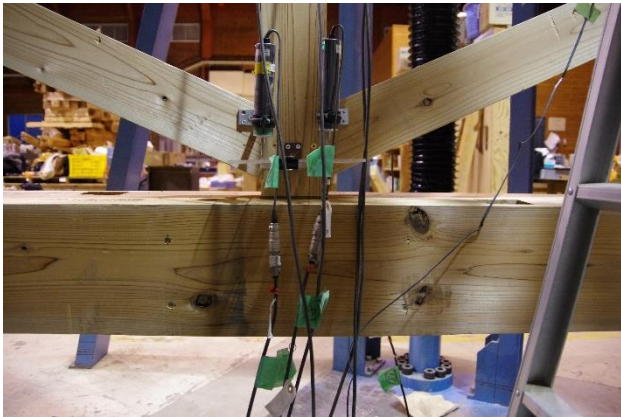


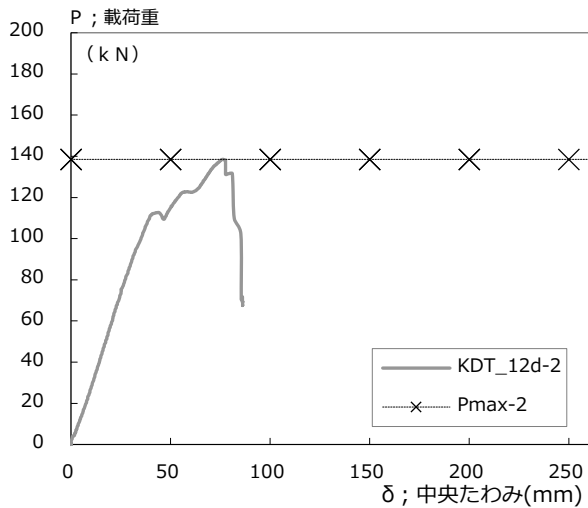
図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



・ KDT\_12d-2 試験体: Pmax=138.5kN



100kN を超えたあたりから、登り梁下流の合掌尻胴付部からの亀裂が生じて剛性が低下した後、140kN 付近まで荷重が上昇し、徐々に登り梁が構面外に孕み出して荷重が低下。最終的に登り梁の面外曲げが発生。(→補強治具を追加)

図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

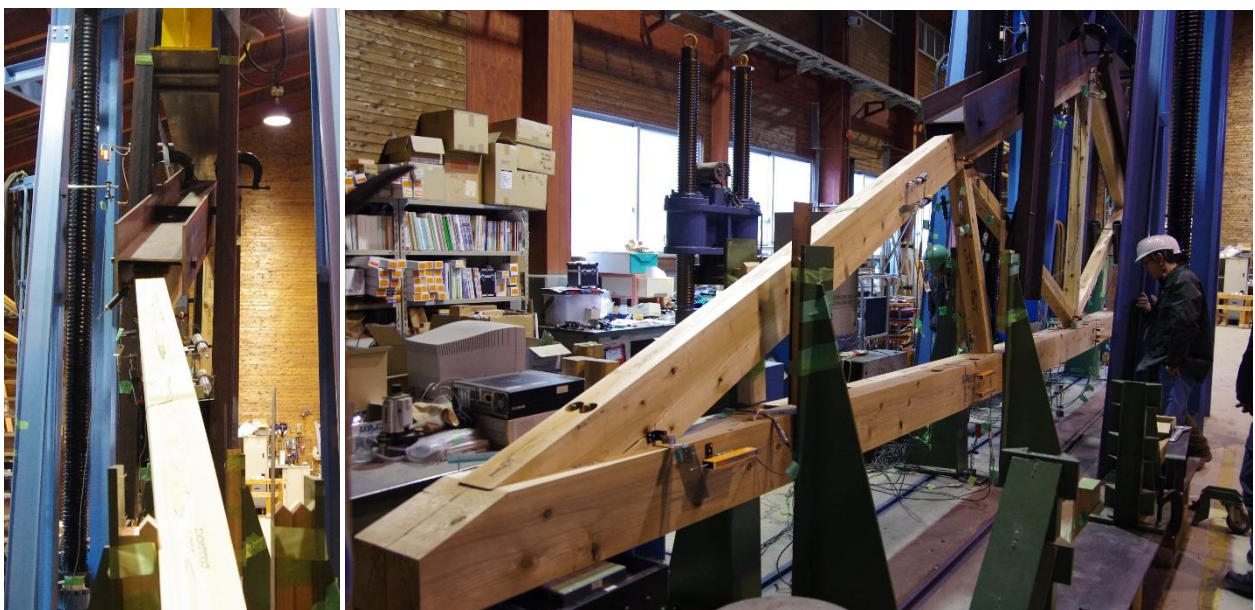


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係





図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

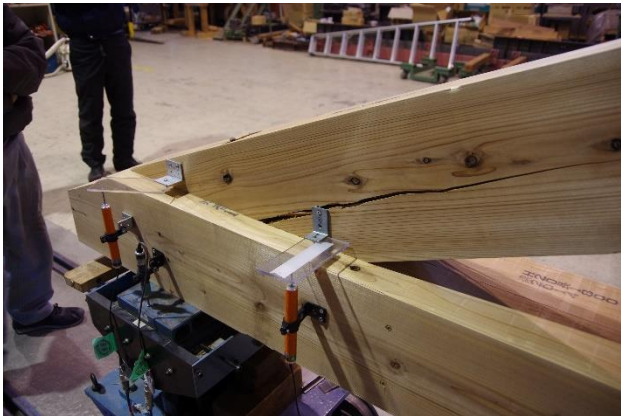


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係







図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



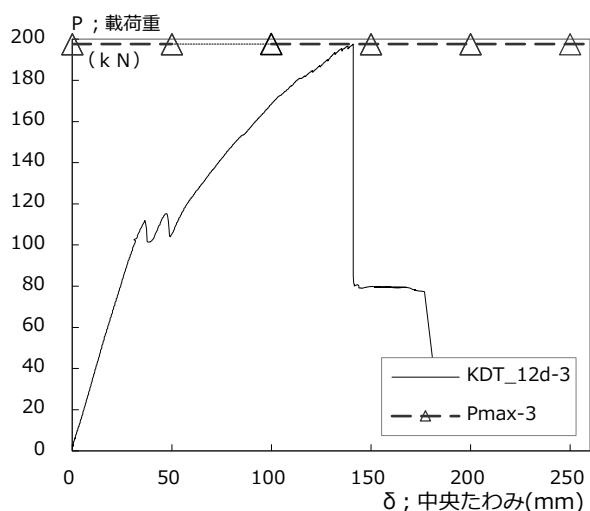
図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



・ KDT\_12d-3 試験体: Pmax=197.6kN



110kN 付近で合掌尻棟の亀裂の発生による剛性の低下の後、200kN をやや下回るあたりで陸梁継手が瞬時に引張破壊して荷重が低下。

陸梁継手の破壊部は複数の節が密集して、節周辺からの破断が連結して破壊に至った様相を示す。荷重低下後は 80kN 付近で荷重を維持したまま 50mm 程度変形が進み、最終的には合掌尻で目まわり割れが生じて完全に崩壊形に達した。

図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

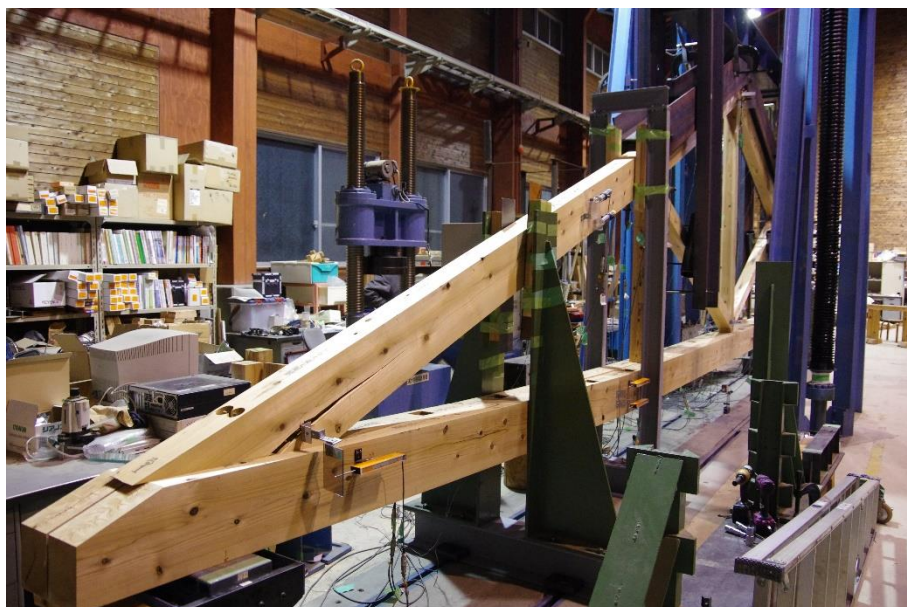


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

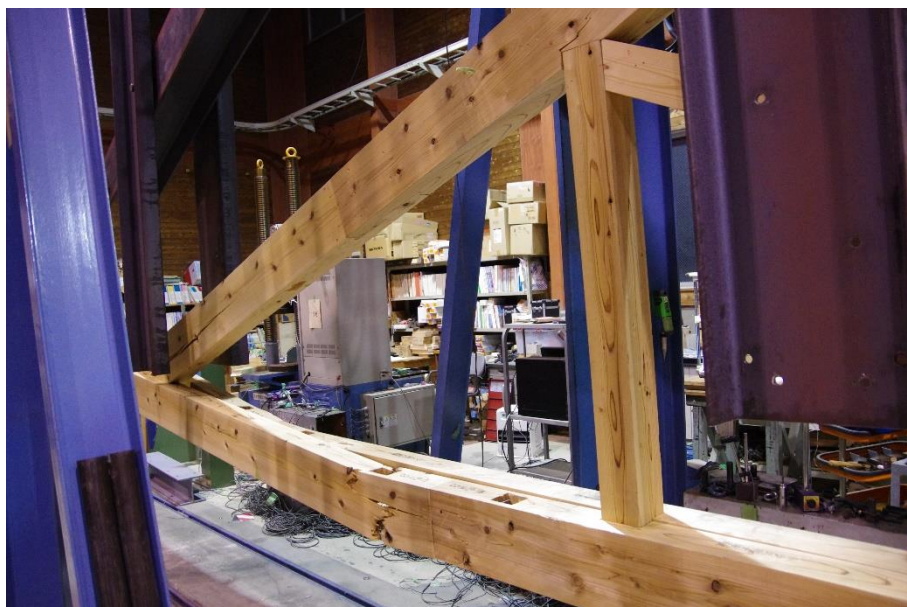


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



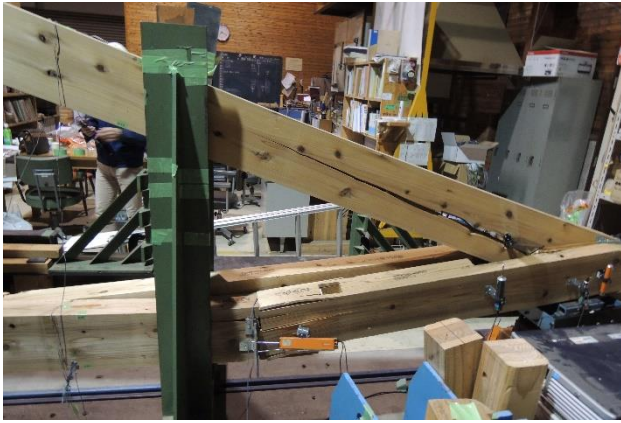


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

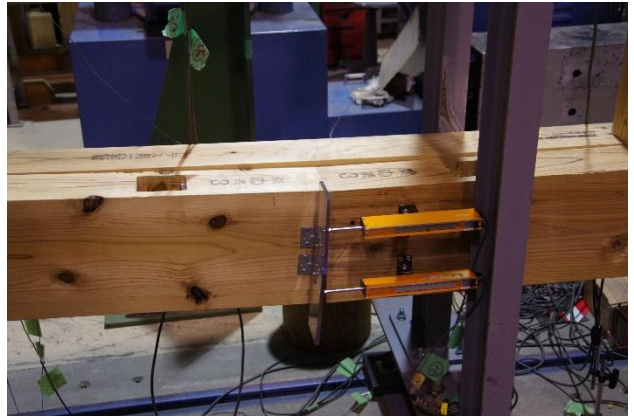
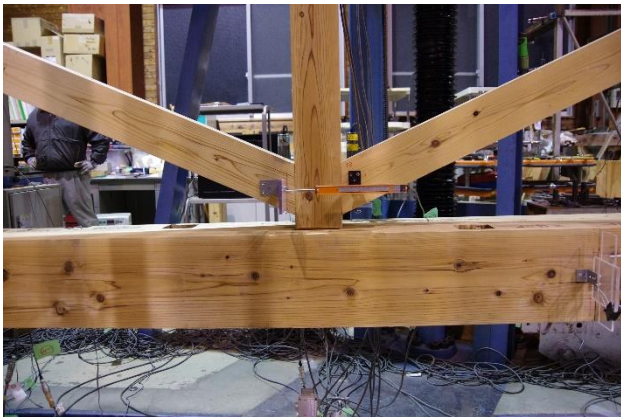


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

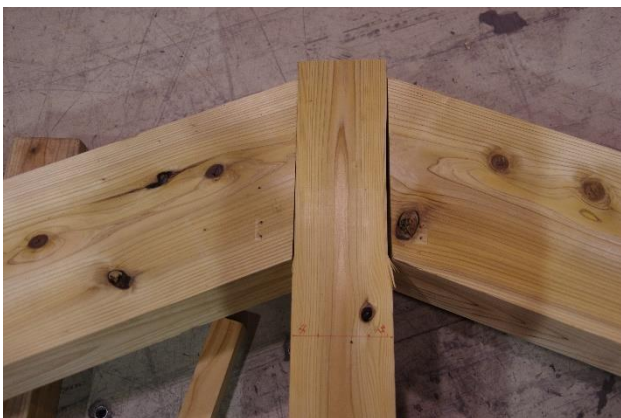


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係





図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



・ KDT\_9d-1 試験体: Pmax=130.6kN

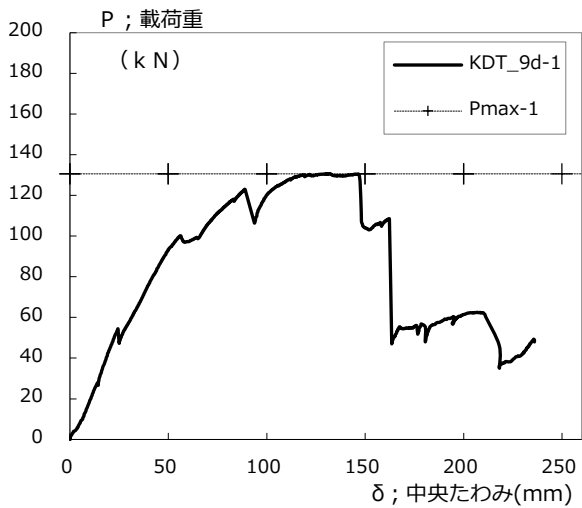


図 4- KDT\_9d-1 試験体 荷重-中央たわみ関係

上流側斜材の胴付面からの割裂の発生以降、剛性が低下しながら最大荷重約 130kN に達し、その後は、陸梁継手部が破壊。破壊は、割裂破壊や、ボルト座金のハコ掘り面からのせん断破壊、目まわり破壊等が複合的に生じた。また合掌尻では、二丁合わせの片側の材端で、登り梁のホゾによってせん断破壊が生じた。破断面では、材中心部で、目まわり割れにより心材外周部の晩材と早材の平滑な境界面が露出し、心持平角材特有の形状を示した。

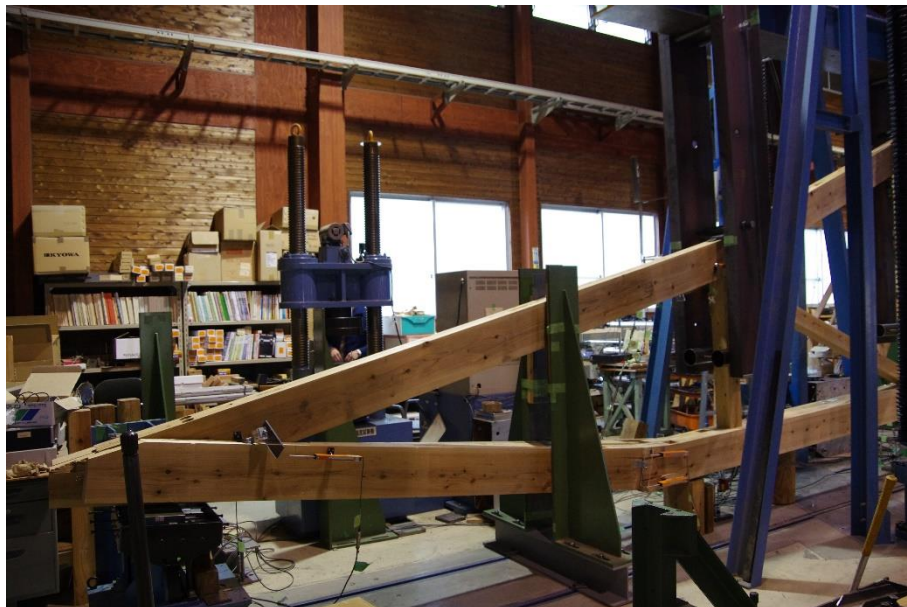


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

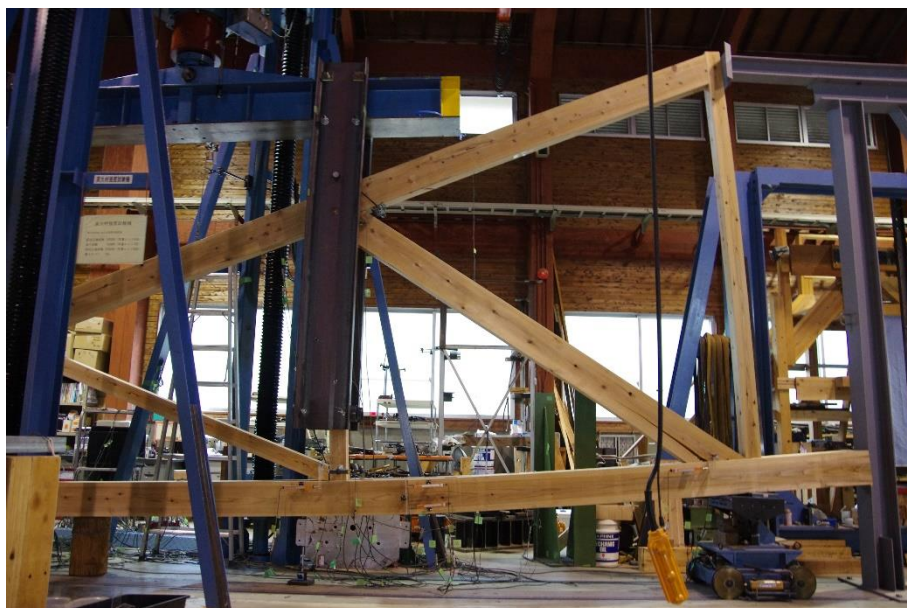


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



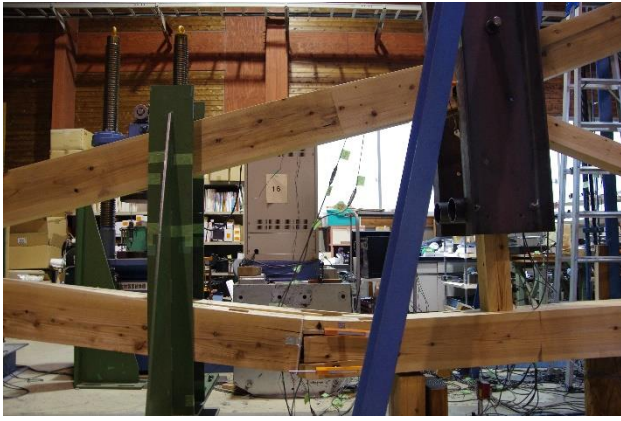


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

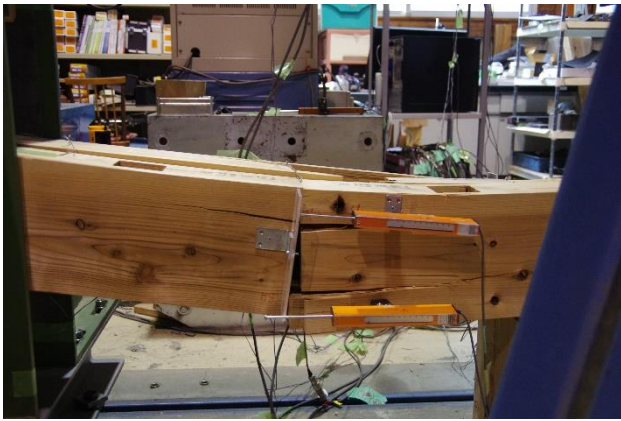


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係





図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

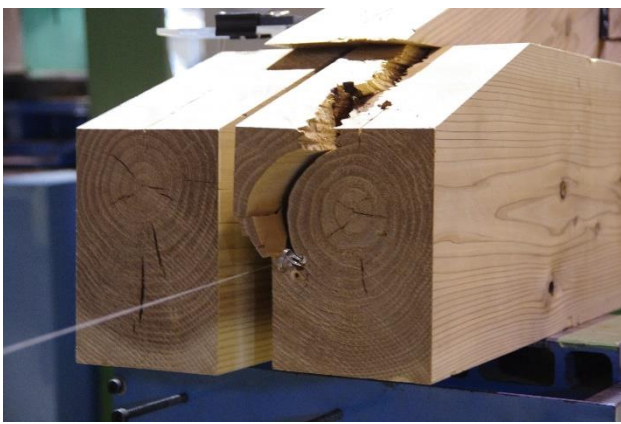


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

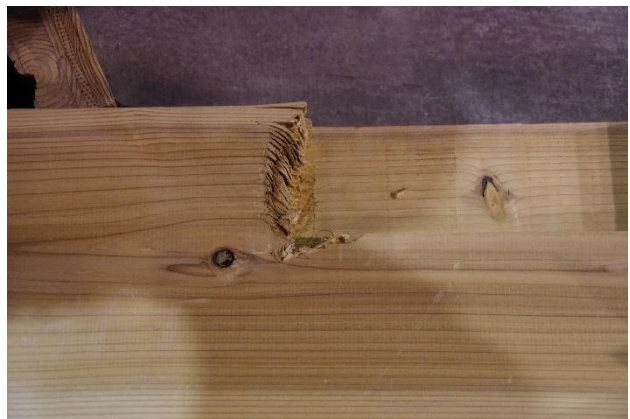
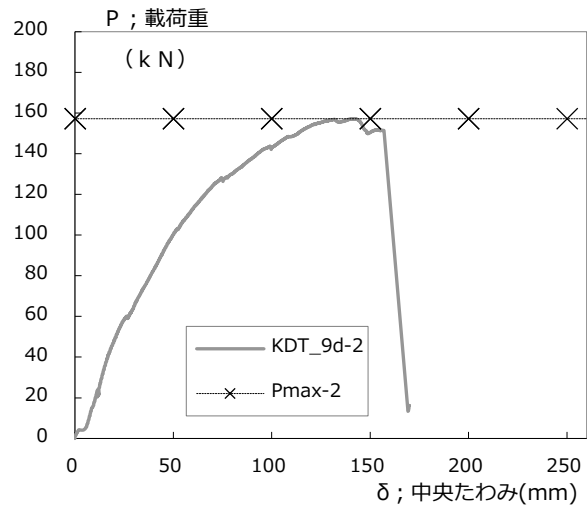


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



・ KDT\_9d-2 試験体: Pmax=157.2kN



上流側斜材の胴付面からの割裂の発生により、剛性が低下しながら最大荷重約 157kN に達した後、陸梁継手部が破壊。破壊は、材中心部からの縦割裂破壊や、ボルト座金のハコ彫り脇の引張破壊などが複合的に生じた。破断面では、KDT\_9d-1 試験体と同様に、材中心部で心材が露出し、晩材と早材の境界面が明瞭に現れた。

図 4- KDT\_9d-2 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

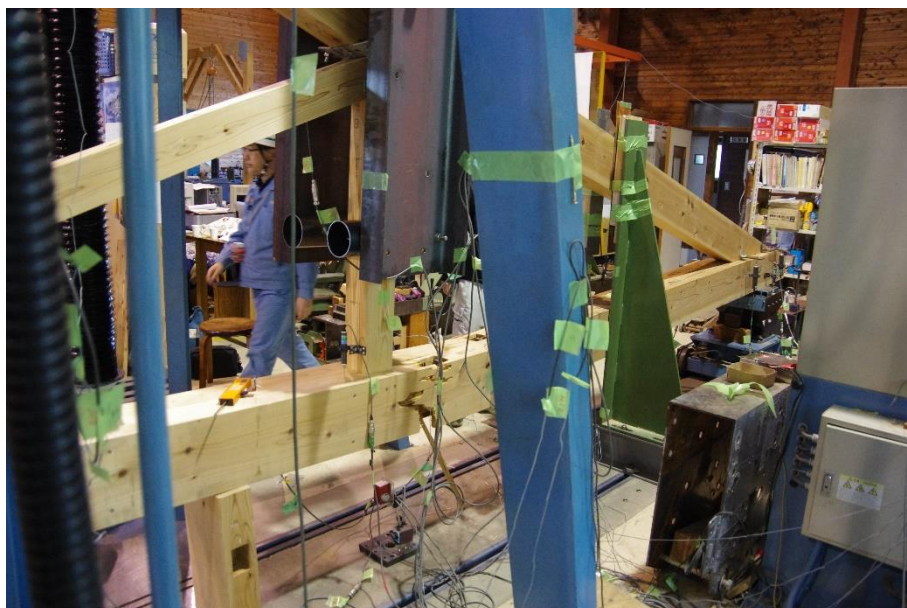


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係





図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係





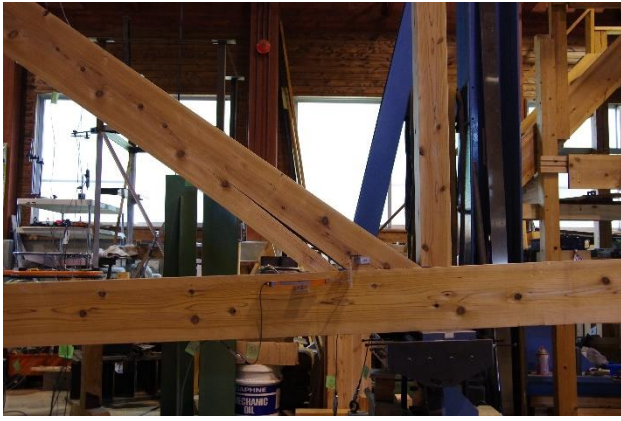


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



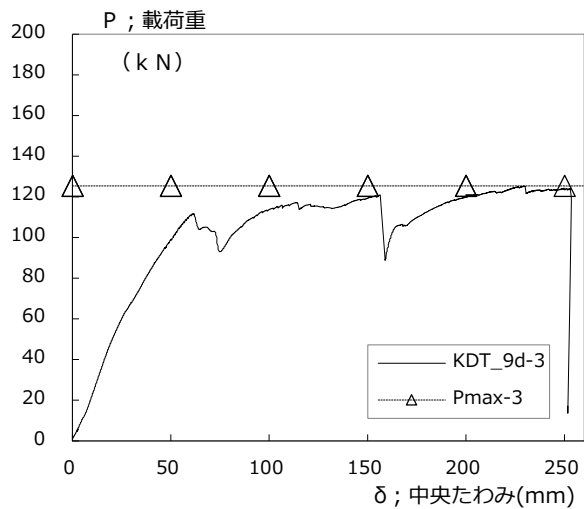
図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



・ KDT\_9d-3 試験体: Pmax=125.4kN



上流側斜材の胴付面からの割裂の発生で、により剛性が低下しながら最大荷重約 125kN に達した後、最終的に合掌尻の登り梁下端部の三角ホゾが破壊して変形が進み、陸梁継手部が破壊。材の上側は引張破壊、下側はブロック状にせん断破壊等が生じた。

図 4- KDT\_9d-3 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

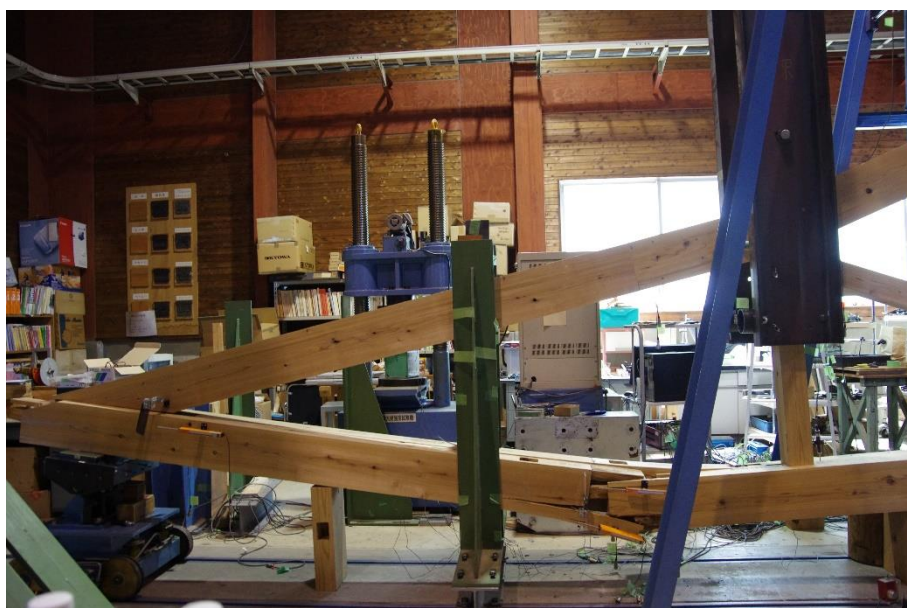


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



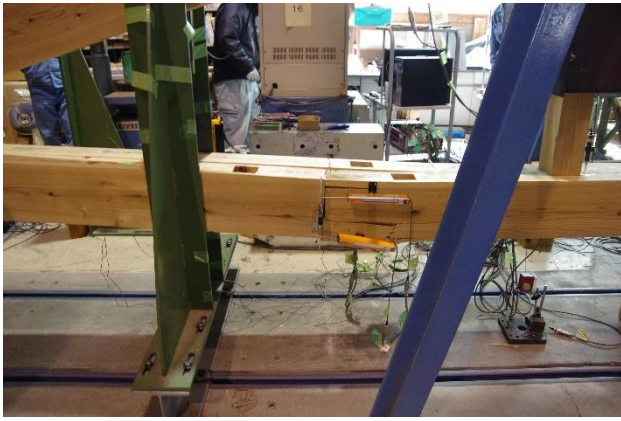


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

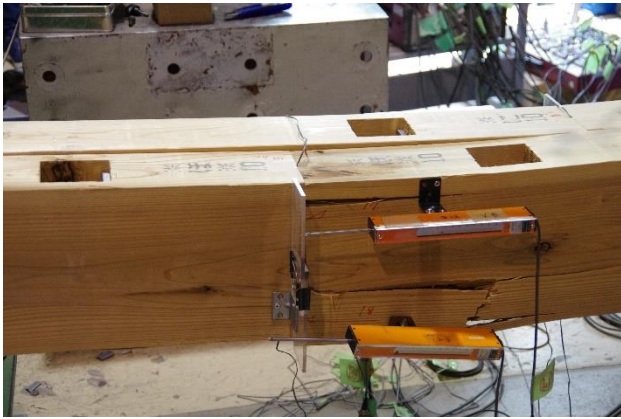


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

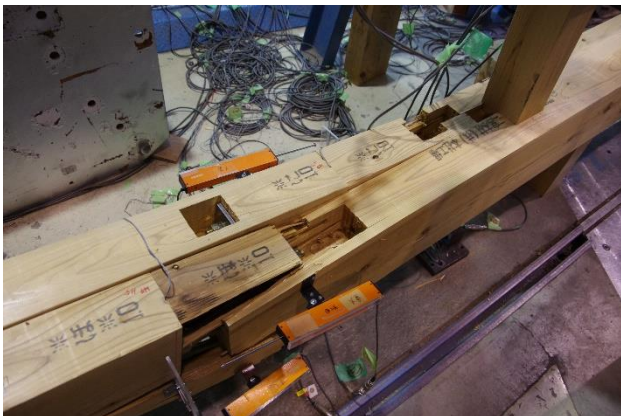


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係





図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

#### 4.4.2 下弦材に集成材を用いた標準トラスの実験結果

下弦材に集成材を用いた標準トラスの試験体は、いずれの試験体も载荷の初期段階では比例関係で荷重と変位が増加した後、最大荷重に達して各接合部での相対的なずれや損傷を生じながら、ある時点で荷重を維持するか、若干増加、又は80%程度を維持したまま変形が進んだ。最大荷重に達し、その後最大荷重の80%~120%

まず、左右の合掌尻のどちらかで、登り梁下端部の三角ホゾから繊維に沿って亀裂が生じた。その後、各接合部が損傷を受けながら、荷重が増加した。この過程で特に目立って、陸梁の継手で引きボルトの降伏後の伸びや、胴付き面のを集成材としたEWT及びhEWT試験体も同様に、剛性が低下した直後の脆性的な破壊や荷重の大幅な低下はなく、変形が約80mm以上、最大で約170mm程度まで進んだ。剛性は、試験体タイプ毎に大きな差異は見られなかった。終局時の接合部の主な破壊性状は、陸梁が製材か集成材かにより、明確に異なった。すなわち、KDT試験体では製材である合掌尻の陸梁や、陸梁継手の木材で脆性的な破壊(写真4)が生じた。一方、陸梁が集成材のEWT及びhEWT試験体では、終局時でも陸梁継手の脆性的な破壊は生じなかった。合掌尻でも、KDT試験体で頻発した脆性的な破壊が発生せず、一方で登り梁の下端部からの割裂(写真5右)や、ホゾの屈曲、圧壊(写真6)が生じた。また、合掌尻が粘って、そのすべりが抑制された試験体では、その分、側東下端部の鉛直たわみが増大し、陸梁が押し下げられて曲げ引張破壊が生じた(写真5左)。

以下に、各試験体の荷重と変位の測定結果と特性値等を示す。

**No. 1\_EWT\_12s 試験体:**

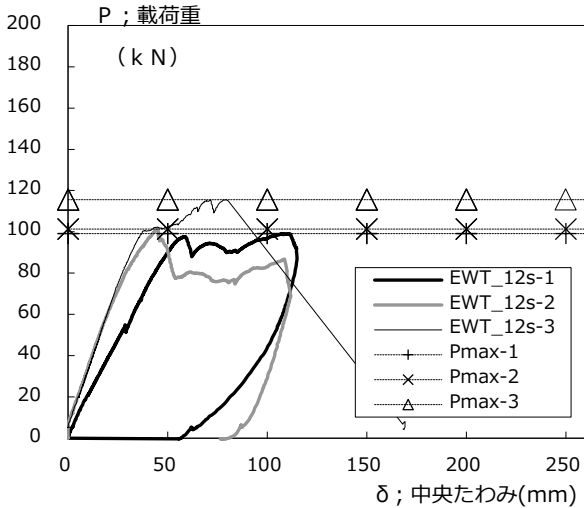


図 4- EWT\_12s 試験体 荷重-中央たわみ関係

EWT-12s 試験体 :

支点間距離 : 11.2 m

陸梁 : 対称異等級構成スギ集成材 E65-F225

上記以外 : 構造用スギ製材 E70-SD20

表 4- EWT\_12s 試験体 特性値一覧

試験体	最大荷重	最大荷重時	最大荷重	降伏耐力	降伏変位	初期剛性	終局変位	降伏点変位	終局耐力	塑性率	構造特性係数		破壊形態
	kN	変位量 mm	$\times 2/3$ kN	$P_y$ kN	$\delta_y$ mm	$K$ kN/mm	$\delta_u$ mm	$\delta_v$ mm	$P_u$ kN	$\mu$	$D_s$	$S$ kNmm	
1体目	99.14	111.20	66.09	63.15	33.23	1.85	115.00	51.48	95.08	2.23	0.54	8487	
2体目	101.35	44.86	67.57	61.49	20.05	3.03	108.74	29.35	88.84	3.71	0.39	8356	
3体目	115.58	79.40	77.05	92.00	31.58	2.80	81.10	39.53	110.89	2.05	0.57	6801	
平均値	105.36	78.49	70.24	72.21	28.29	2.56	101.61	40.12	98.27	2.66	0.50	7881	
標準偏差	7.29	27.09	4.86	14.01	5.86	0.51	14.73	9.04	9.28	0.74	0.08	766	
変動係数 %	6.9%	34.5%	6.9%	19.4%	20.7%	20.0%	14.5%	22.5%	9.4%	27.8%	15.1%	9.7%	

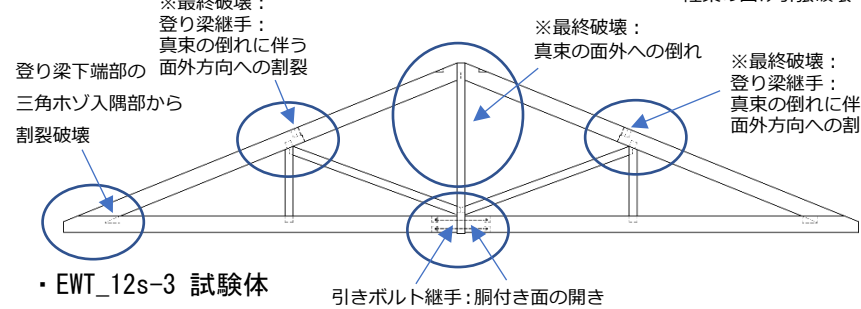
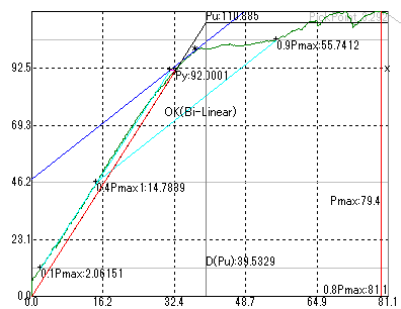
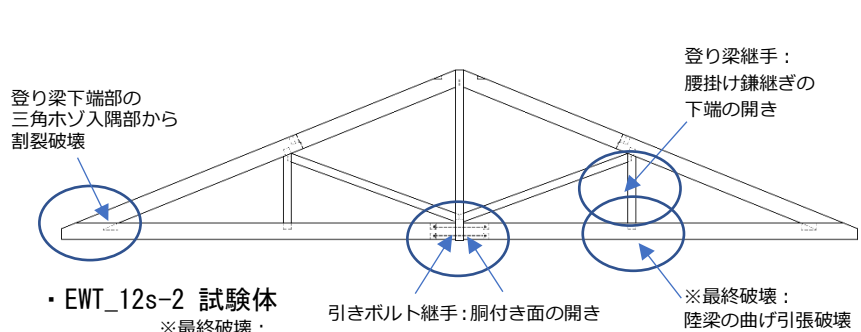
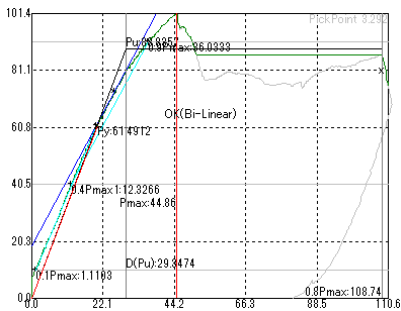
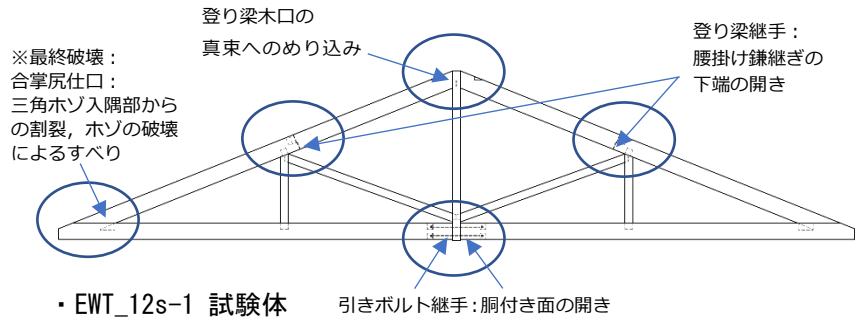
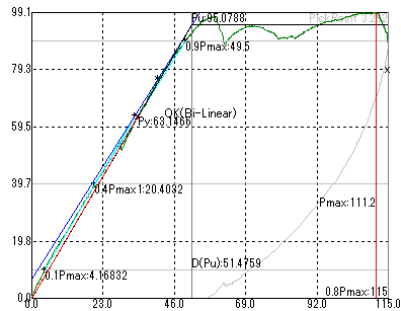


表 4- EWT\_12s 試験体\_特性値

図 4- EWT\_12s 試験体\_主な破壊性状



**No. 2\_hEWT\_12s 試験体:**

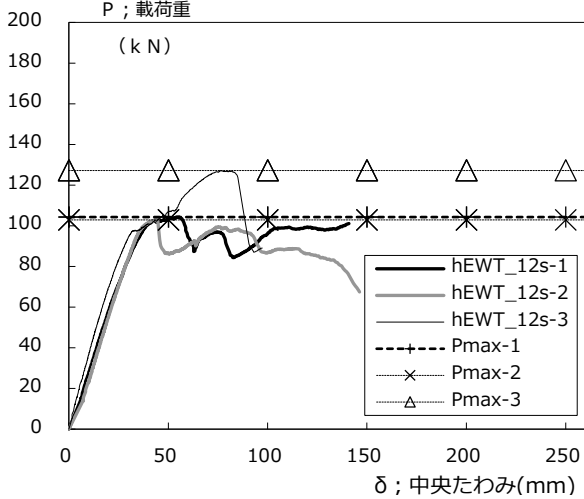


図4- hEWT\_12s試験体 荷重-中央たわみ関係

hEWT-12s 試験体:

支点間距離: 11.2 m

陸梁: 異樹種複合対称異等級構成

スギ-ベイマツ集成材 E120-F330

上記以外: 構造用スギ製材 E70-SD20

表 4- hEWT\_12s 試験体 特性値一覧

試験体	最大荷重 kN	最大荷重時 変位量 mm	最大荷重 × 2/3 kN	降伏耐力 Py kN	降伏変位 δy mm	初期剛性 K kN/mm	終局変位 δu mm	降伏点変位 δv mm	終局耐力 Pu kN	塑性率 μ	構造特性係数Ds	0.8Pmax面積 S kNm	破壊形態
1体目	104.29	56.40	69.53	60.00	20.40	2.90	140.90	33.09	96.11	4.26	0.36	11954	
2体目	102.89	44.26	68.59	85.31	30.18	2.79	133.86	33.17	93.10	4.02	0.38	10914	
3体目	127.17	76.66	84.78	85.95	23.92	3.29	85.04	35.03	115.19	2.43	0.51	7778	
平均値	111.45	59.11	74.30	77.09	24.83	2.99	119.93	33.76	101.47	3.57	0.42	10215	
標準偏差	11.13	13.36	7.42	12.08	4.04	0.21	24.84	0.89	9.78	0.81	0.07	1775	
変動係数 %	10.0%	22.6%	10.0%	15.7%	16.3%	7.2%	20.7%	2.6%	9.6%	22.8%	15.7%	17.4%	

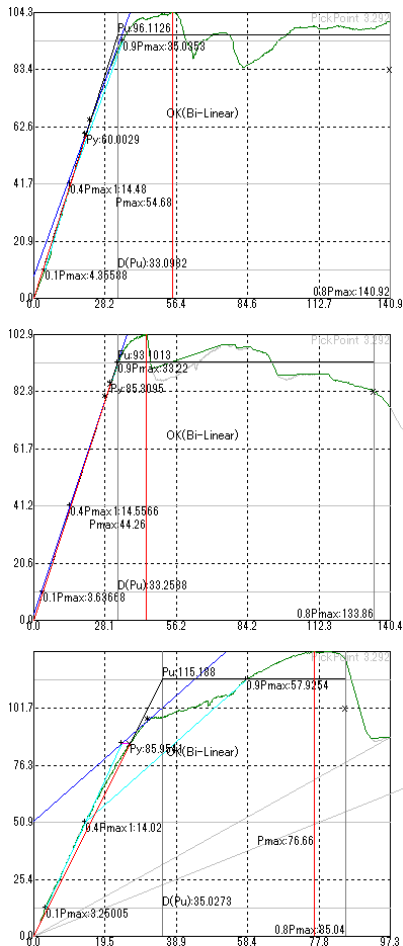


表 4- hEWT\_12s 試験体\_特性値

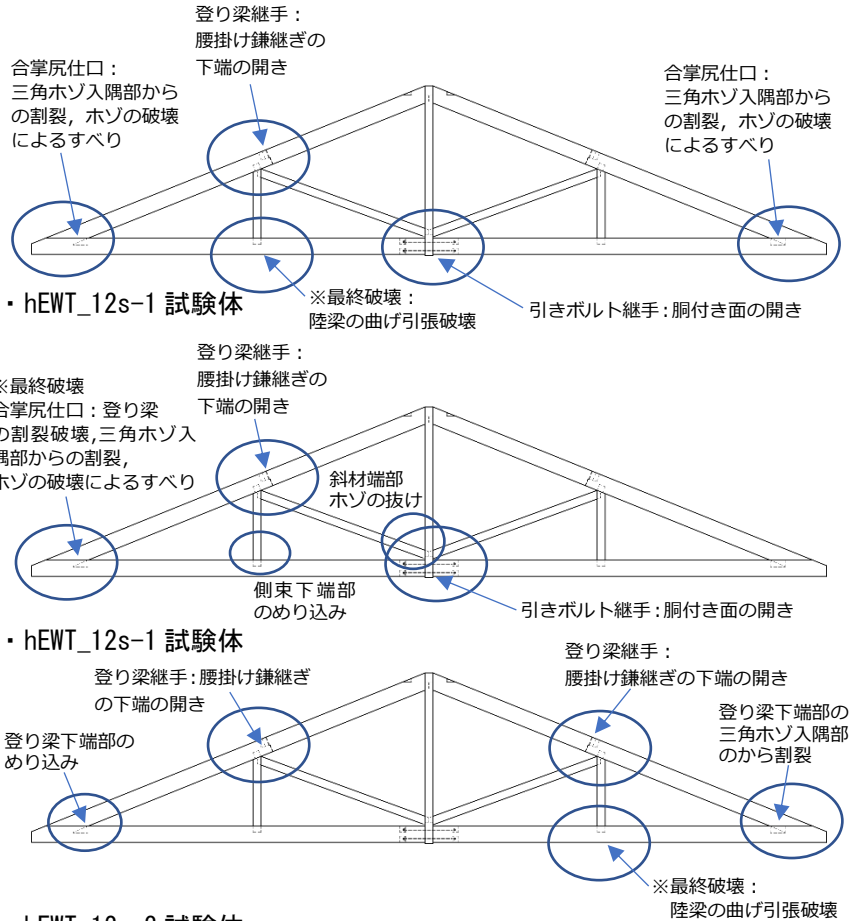
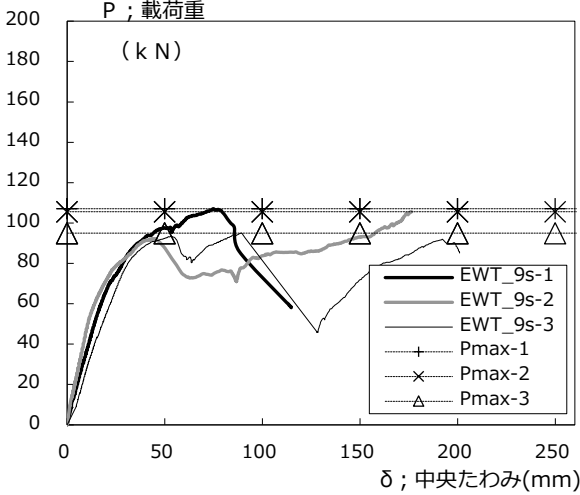


図 4- hEWT\_12s 試験体\_主な破壊性

No. 3\_hEWT\_12s 試験体: - EWT



支点間距離 : 8.9 m

陸梁 : 異樹種複合対称異等級構成

スギ-ベイマツ集成材 E120-F330

上記以外 : 構造用スギ製材 E70-SD20

表 4- EWT\_9s 試験体\_荷重-中央たわみ関係

表 4- EWT\_9s 試験体 特性値一覧

試験体	最大荷重	最大荷重時	最大荷重	降伏耐力	降伏変位	初期剛性	終局変位	降伏点変位	終局耐力	塑性率	構造特性係数0.8Pmax面積		破壊形態
	kN	変位mm	mm × 2/3	kN	Py kN	δy mm	K kN/mm	δu mm	δv mm		Pu kN	μ	
1体目	107.06	74.66	71.37	65.36	18.57	3.35	88.04	29.19	97.66	3.02	0.45	7173	
2体目	105.58	176.01	70.39	83.76	18.37	2.69	176.41	33.15	89.09	5.32	0.32	14240	
3体目	94.98	89.18	63.32	52.95	17.86	2.76	200.97	28.84	79.58	6.97	0.28	14845	
平均値	102.54	113.28	68.36	67.36	18.27	2.93	155.14	30.39	88.78	5.10	0.35	12086	
標準偏差	5.38	44.75	3.59	12.66	0.30	0.29	48.49	1.96	7.39	1.62	0.07	3483	
変動係数 %	5.2%	39.5%	5.2%	18.8%	1.6%	10.1%	31.3%	6.4%	8.3%	31.8%	20.4%	28.8%	

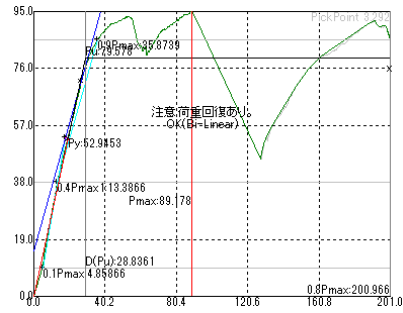
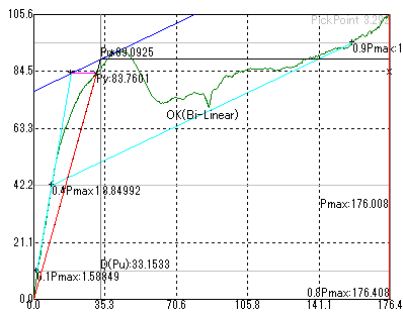
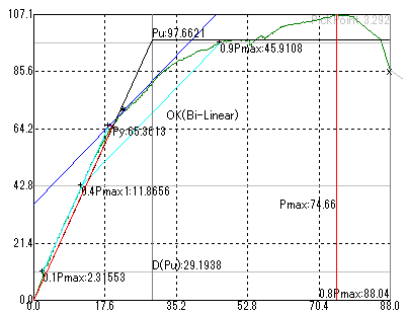


表 4- EWT\_9s 試験体\_特性値

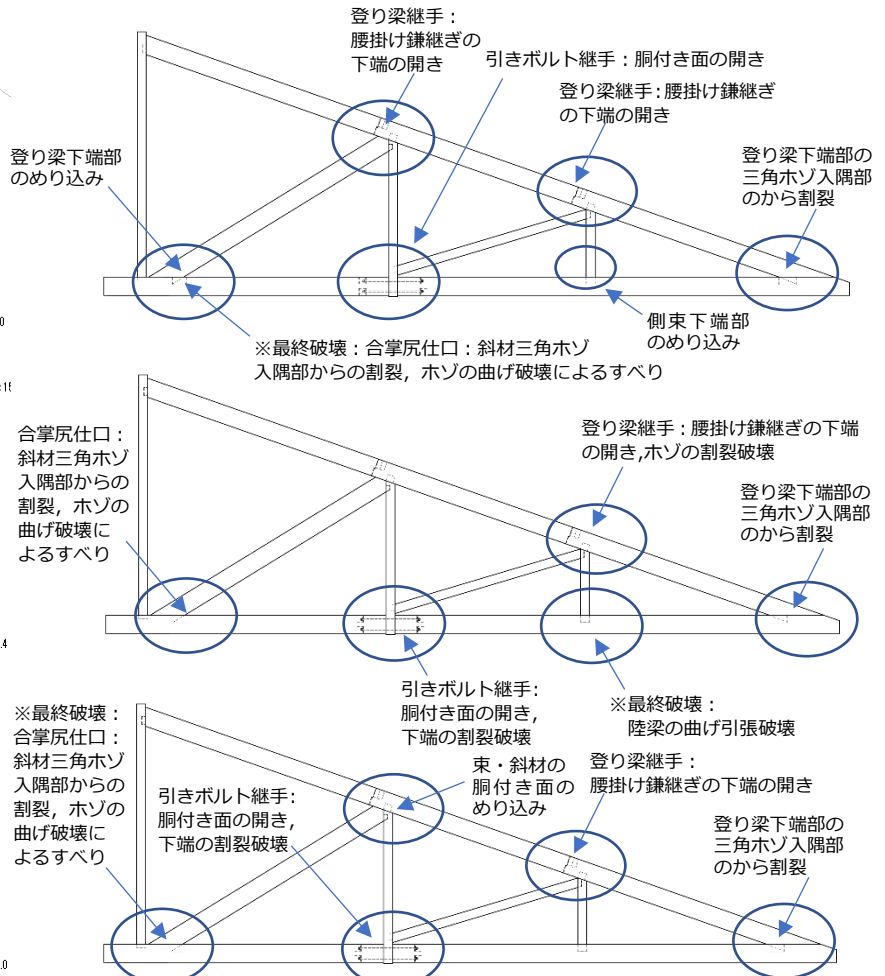
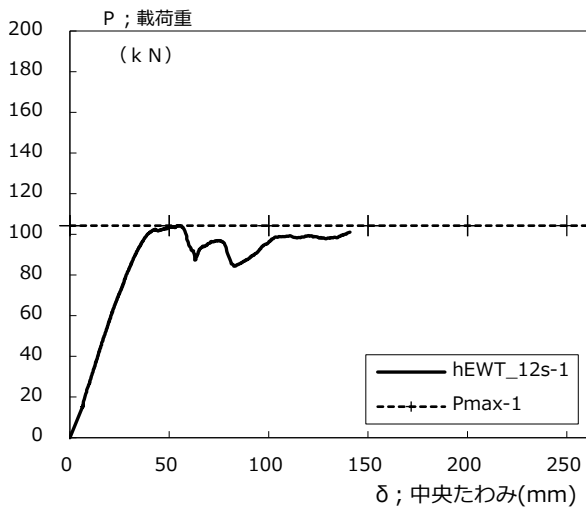


図 4- EWT\_9s 試験体\_主な破壊性状

・ hEWT\_12s-1 試験体: Pmax=104.3N



載荷に伴って比例関係でたわみが増えた後、両側の合掌尻の登り梁下端部の三角ホゾの入隅部からの割裂が、約 90kN 付近で発生して若干剛性が低下しながら最大荷重に達した。その後、両側の合掌尻の胴付面からの割裂の発生以降、剛性が低下しながら最大荷重約 130kN に達し、その後は変形が約 140mm に達して側束の下部の陸梁が、曲げ引張破壊を生じて載荷を終了した。陸梁の曲げ引張破壊は、フィンガージョイントを含む破断面で破壊した。

4- hEWT\_12s-1 試験体 荷重-中央たわみ関係

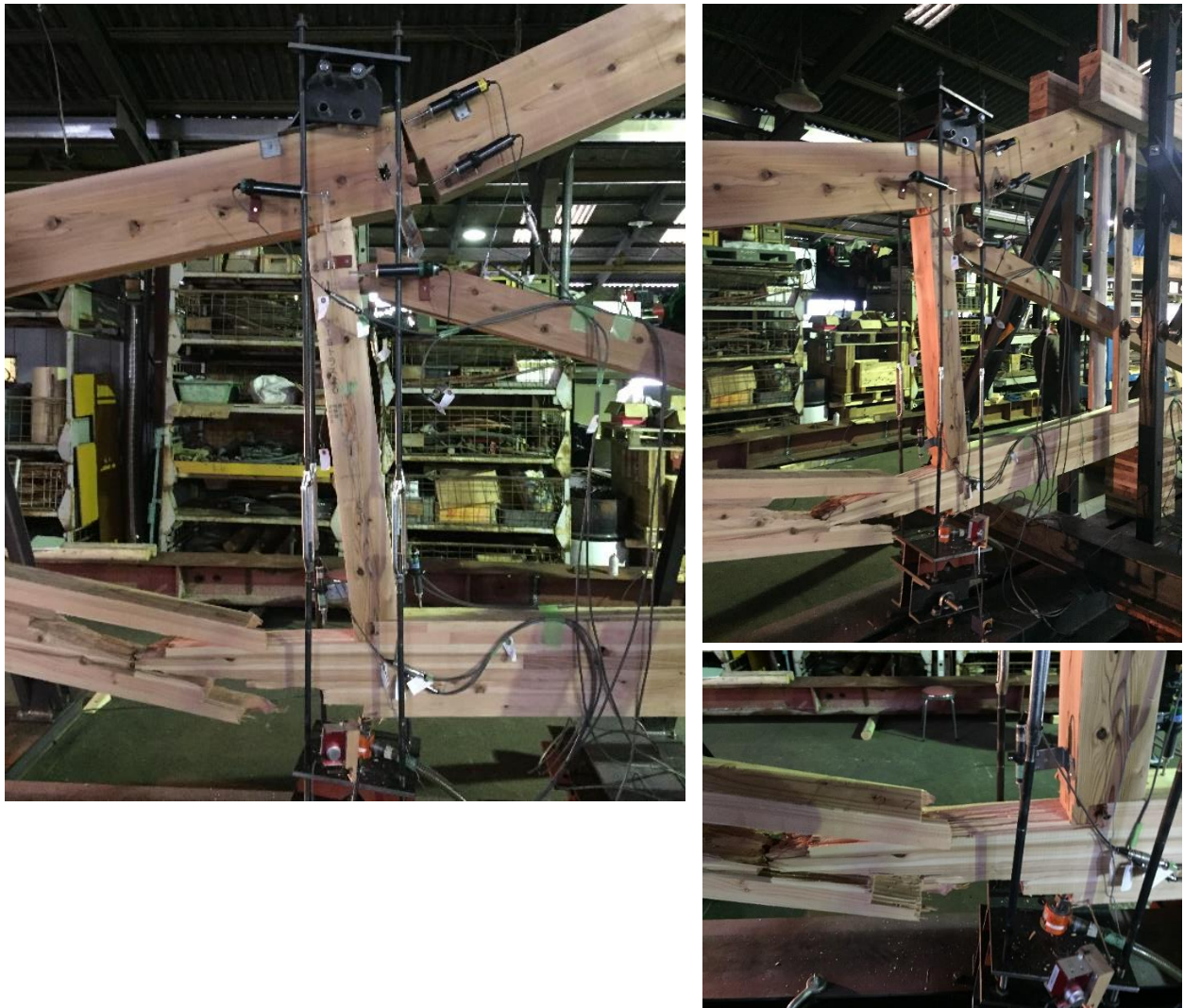


図 4- hEWT\_12s-1 試験体 最終破壊状況\_真東下の陸梁の曲げ引張破壊





図 4- hEWT\_12s-2 試験体 最終破壊状況\_真束下の陸梁の曲げ引張破壊



図 4- hEWT\_12s-2 試験体 最終破壊状況\_真束を挟む陸梁継手の開きと斜材のホゾの抜け

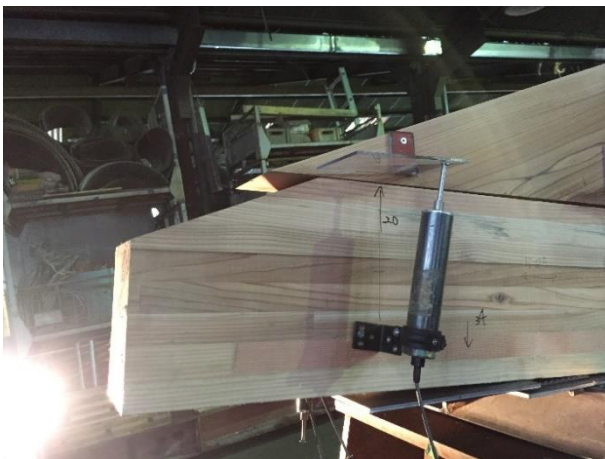
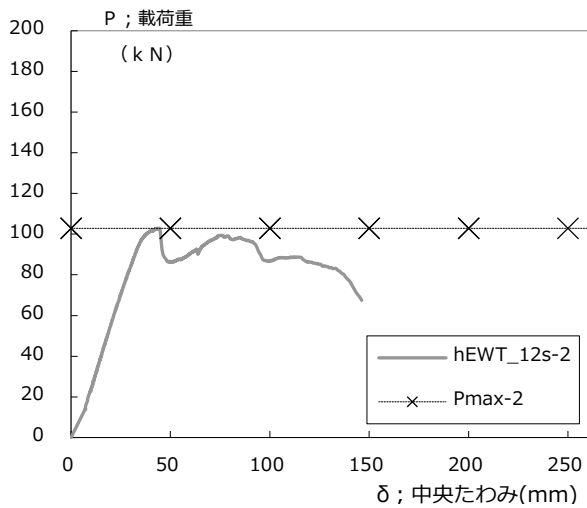


図 4- hEWT\_12s-2 試験体 最終破壊状況\_合掌尻のすべり



・ hEWT\_12s-2 試験体:  $P_{max}=102.9N$



載荷に伴って比例関係でたわみが増えた後、両側の合掌尻の登り梁下端部の三角ホゾの入隅部からの割裂や真束を挟む陸梁の胴付き面の開きが徐々に増加しながら、約 100kN 付近で剛性が低下しながら最大荷重に達した。その後、片方の合掌尻の登り梁下端部の三角ホゾの破壊によって、登り梁上端に割裂破壊を伴いながら、合掌尻のすべりが進行し、中央たわみ量が 150kN 付近で載荷を終了した。合掌尻のすべり量はホゾが根本で屈曲して破壊することで増大した。

4- hEWT\_12s-2 試験体 荷重-中央たわみ関係



図 4- hEWT\_12s-2 試験体 最終破壊状況\_合掌尻のすべり



図 4- hEWT\_12s-2 試験体 最終破壊状況\_合掌尻



図 4- hEWT\_12s-2 試験体 最終破壊状況\_合掌尻のすべり



図 4- hEWT\_12s-2 試験体 最終破壊状況\_合掌尻のすべりと割裂破壊



図 4- hEWT\_12s-2 試験体 最終破壊状況\_合掌尻のすべりと割裂破壊





図 4- hEWT\_12s-2 試験体 最終破壊状況\_真束付近

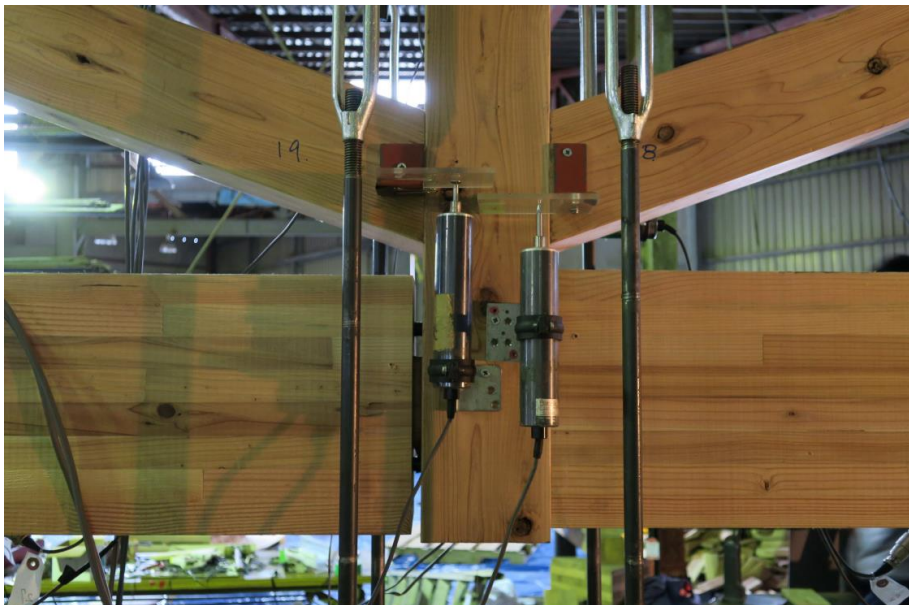


図 4- hEWT\_12s-2 試験体 最終破壊状況\_真束下の陸梁継手の開き



図 4- hEWT\_12s-2 試験体 最終破壊状況\_真束下の陸梁継手の開きとホゾの抜け出し





図 4- hEWT\_12s-2 試験体 最終破壊状況\_\_側束付近



図 4- hEWT\_12s-2 試験体 最終破壊状況\_\_登り梁継手の下側の開き

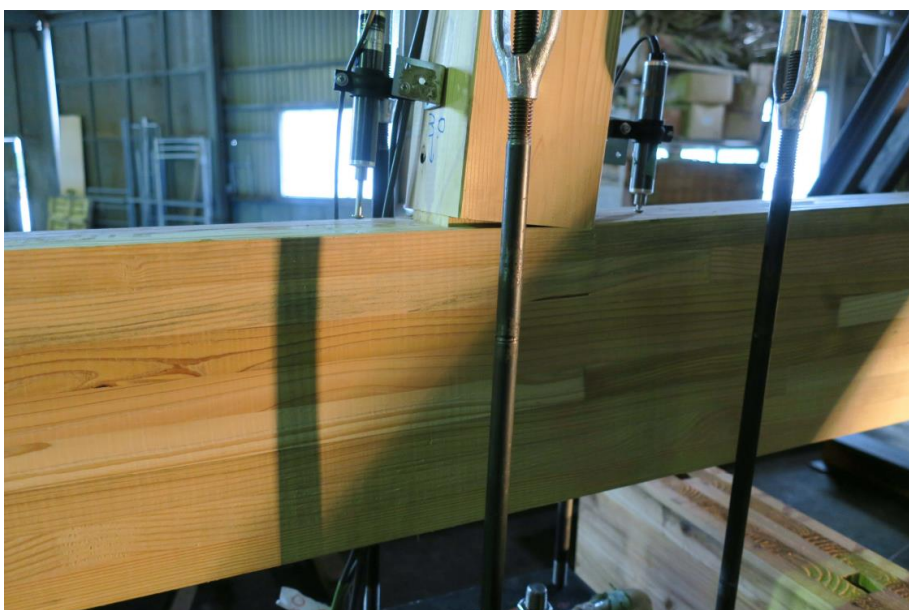


図 4- hEWT\_12s-2 試験体 最終破壊状況\_\_側束下木口の陸梁へのめり込み



・ hEWT\_12s-3 試験 Pmax=127.2N

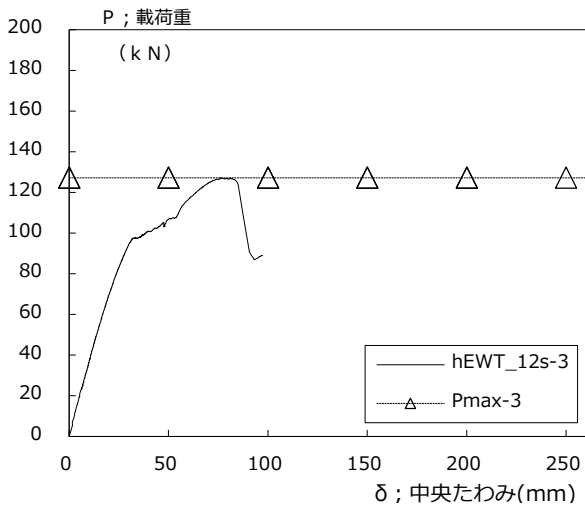


図 4- hEWT\_12s-3 試験体 荷重-中央たわみ関係

載荷に伴って比例関係でたわみが増えた後、両側の合掌尻の登り梁下端部の三角ホゾの入隅部からの割裂や真束を挟む陸梁の胴付き面の開きが徐々に増加しながら、約 100kN 付近で剛性が低下しながら最大荷重に達した。中央の陸梁継手の開きが進行市ながら、127kN 付近で側束下の陸梁が曲げ引張破壊し加力を終了した。合掌尻のすべり量は量がともに小さく、特に、年輪幅が特に小さく密であった、陸梁が破壊した方の合掌尻では、すべりが増大せず、登り梁下端部の先端が、胴付き面を中心に回転して上方へ持ち上がった。



図 4- hEWT\_12s-3 試験体 最終破壊状況\_側束下の陸梁の曲げ引張破壊



図 4- hEWT\_12s-3 試験体 最終破壊状況\_側束下の陸梁の曲げ引張破壊



図 4- hEWT\_12s-3 試験体 最終破壊状況\_側束下の陸梁の曲げ引張破壊



図 4- hEWT\_12s-3 試験体 最終破壊状況\_側束下の陸梁の曲げ引張破壊

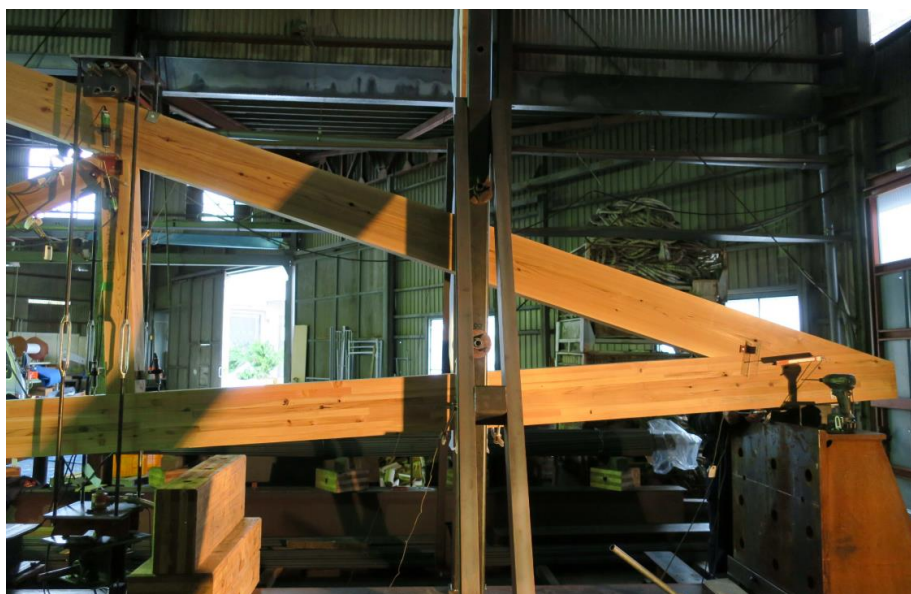


図 4- hEWT\_12s-3 試験体 最終破壊状況\_側束下の陸梁の曲げ引張破壊



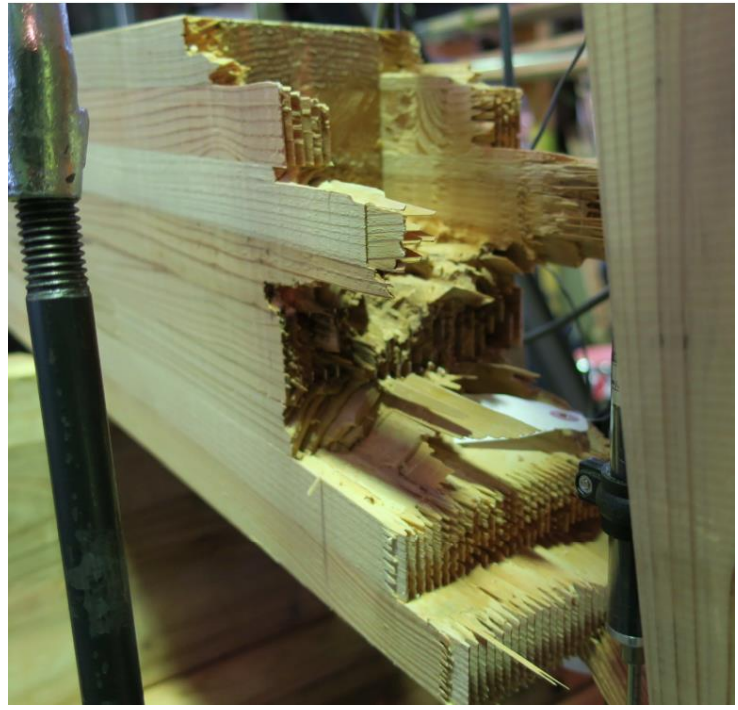


図 4- hEWT\_12s-3 試験体 最終破壊状況\_側束下の陸梁の曲げ引張破壊



図 4- hEWT\_12s-3 試験体 最終破壊状況\_側束下の陸梁の曲げ引張破壊





图 4- hEWT\_12s-3 試驗体 合掌尻 加力開始直後



图 4- hEWT\_12s-3 試驗体 合掌尻 陸梁破壊時

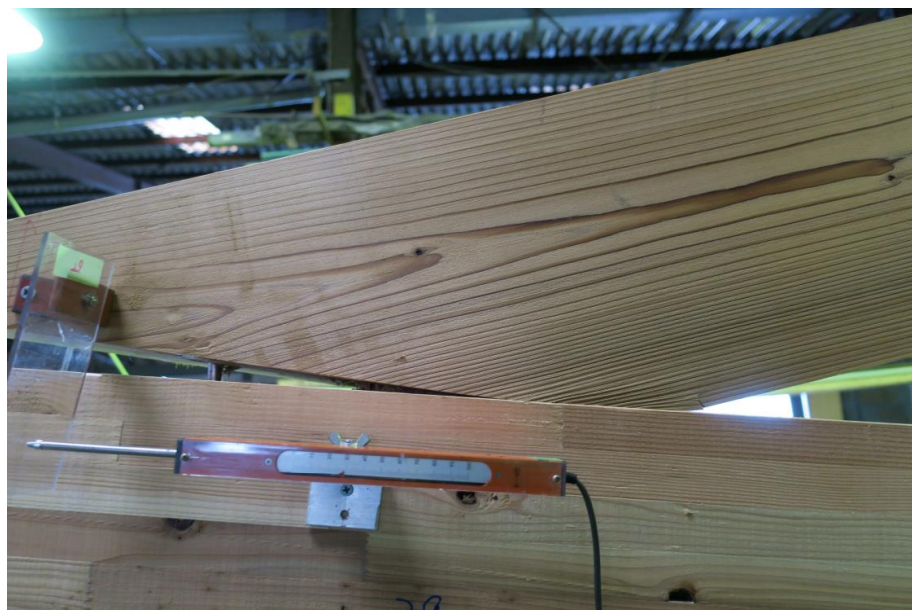


图 4- hEWT\_12s-3 試驗体 合掌尻 陸梁破壊時



图 4- hEWT\_12s-3 試験体 合掌尻 陸梁破壊時



图 4- hEWT\_12s-3 試験体 合掌尻 割裂発生時

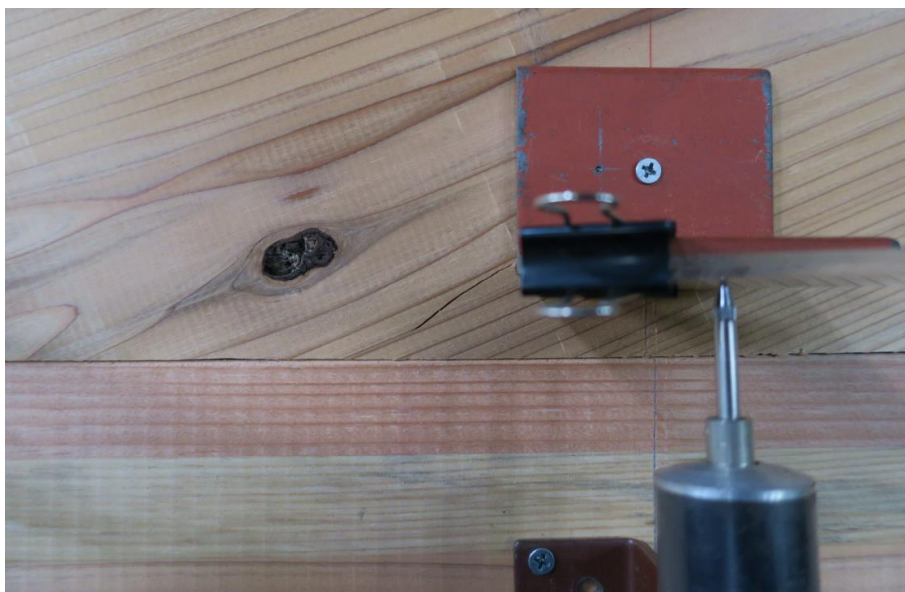


图 4- hEWT\_12s-3 試験体 合掌尻 割裂発生時





図 4- hEWT\_12s-3 試験体 真東下陸梁継手の開き



図 4- hEWT\_12s-3 試験体 登り梁継手の下端の開き



## 4.5 考察

各試験体の実験結果から得られた特性値の比較を以下に示す。

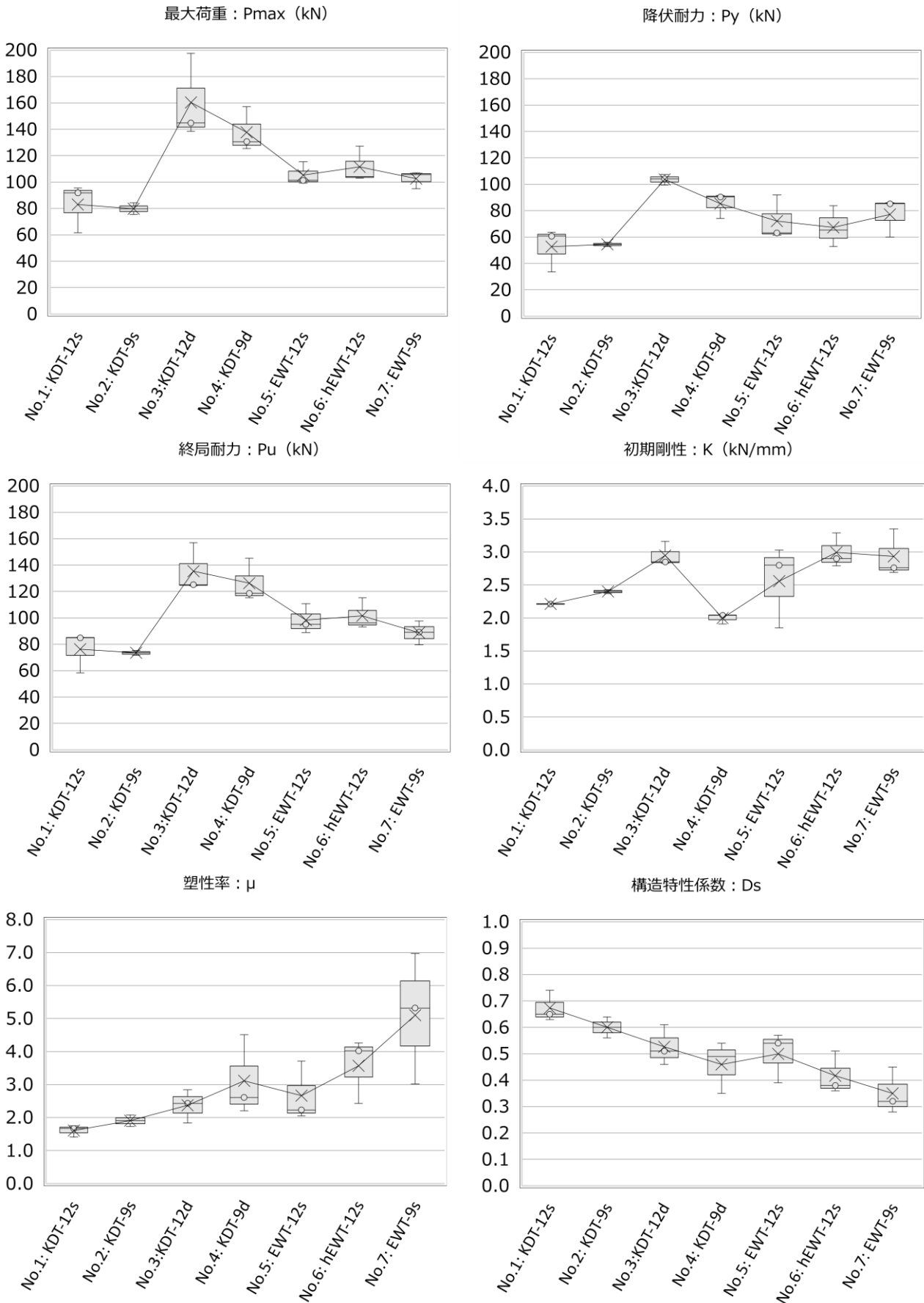


図4- 標準トラス実大載荷実験\_実験結果による特性値の比較

表 4- 標準トラス実大載荷実験\_実験結果による特性値の平均値一覧

No. 試験体種別	最大荷重_Pmax (kN)	変動係数	比率	No. 試験体種別	降伏耐力_Py (kN)	変動係数	比率
1 KDT-12 s	83.0	18.3%	1.00	1 KDT-12 s	52.6	25.7%	1.00
2 KDT-9 s	79.8		0.96	2 KDT-9 s	54.4		1.03
3 KDT-12d	160.3	16.5%	1.93	3 KDT-12d	103.6	3.1%	1.97
4 KDT-9d	137.8	13.9%	1.66	4 KDT-9d	85.4	9.3%	1.62
5 EWT-12 s	105.4	6.9%	1.27	5 EWT-12 s	72.2	19.4%	1.37
6 hEWT-12 s	111.5	10.0%	1.34	6 hEWT-12 s	77.1	15.7%	1.46
7 EWT-9s	102.5	5.2%	1.24	7 EWT-9s	67.4	18.8%	1.28

No. 試験体種別	終局耐力_Pu (kN)	変動係数	比率	No. 試験体種別	初期剛性_K (kN/mm)	変動係数	比率
1 KDT-12 s	76.2	16.5%	1.00	1 KDT-12 s	2.21	0.1%	1.00
2 KDT-9 s	73.5		0.96	2 KDT-9 s	2.40		1.09
3 KDT-12d	135.5	11.2%	1.78	3 KDT-12d	2.94	5.1%	1.33
4 KDT-9d	126.4	10.6%	1.66	4 KDT-9d	2.00	3.3%	0.90
5 EWT-12 s	98.3	9.4%	1.29	5 EWT-12 s	2.56	20.0%	1.16
6 hEWT-12 s	101.5	9.6%	1.33	6 hEWT-12 s	2.99	7.2%	1.35
7 EWT-9s	88.8	8.3%	1.16	7 EWT-9s	2.93	10.1%	1.33

No. 試験体種別	塑性率_μ	変動係数
1 KDT-12 s	1.61	9.2%
2 KDT-9 s	1.90	
3 KDT-12d	2.37	17.3%
4 KDT-9d	3.11	32.3%
5 EWT-12 s	2.66	27.8%
6 hEWT-12 s	3.57	22.8%
7 EWT-9s	5.10	31.8%

No. 試験体種別	構造特性係数_Ds	変動係数
1 KDT-12 s	0.68	7.1%
2 KDT-9 s	0.60	
3 KDT-12d	0.53	11.7%
4 KDT-9d	0.46	17.2%
5 EWT-12 s	0.50	15.1%
6 hEWT-12 s	0.42	15.7%
7 EWT-9s	0.35	20.4%

標準トラスの実大試験体を、陸梁の仕様の違いによって以下の3種に分類して比較する。

A. 製材のみを用いた試験体で、陸梁を単材としたキングポストトラス又は片流れトラス

・・・No. 1\_KDT-12s 試験体, No. 2\_KDT-9s 試験体

B. 製材のみを用いた試験体で、陸梁を2丁合わせとしたキングポストトラス又は片流れトラス

・・・No. 3:KDT-12d 試験体, No. 4:KDT-9d 試験体

C. 陸梁のみを集成材とし、かつ単材としたキングポストトラス又は片流れトラス

・・・No. 5:EWT-12s 試験体, No. 6:hEWT-12s 試験体, No. 7:EWT-9s 試験体

A. の各試験体をコントロール試験体とし他の試験体と比較すると、最大荷重 Pmax, 降伏耐力 Py, 終局耐力 Pu の平均値は、いずれも B. 及び C. の各試験体の方が高い値を示した。特に、B. の試験体はいずれの特性値においても最も高い値を示した。それぞれの平均値は、最大荷重 Pmax が B. の試験体では 93~66%, C. の試験体で 34~24% 高く、降伏耐力 Py の値は B. の試験体で 97~62%, C. の試験体で 46~28%, 同様に、終局耐力 Pu の値は B. の試験体が 78~66%, C. の試験体が 33~16% の割合で高い結果となった。

初期剛性Kの平均値も似た傾向を示したが、B. の試験体では結果がばらつき、No. 3:KDT-12d 試験体が33%の割合で高い値を示したのに対し、逆にNo. 4:KDT-9d 試験体は19%低くなった。C. の試験体は、A. の試験体と比較して、33~16%の割合で高い値を示した。

靱性能を示す特性値では、B. 及びC. の試験体とも靱性が向上する傾向にある結果となった。特に、C. の試験体が最も靱性が高い傾向にあり、それぞれのDs値は、Aが0.60~0.68、Bが0.46~0.53、Cが0.35~0.50である。

A. の製材のみを用いた試験体では、荷重が増加するに伴って、登り梁と陸梁に作用する軸力が増大すると、比較的荷重が低い75~95kN程度の段階で、主に陸梁の継手や合掌尻に脆性的な破壊が生じ、急速に荷重支持能力を失ったことで最大荷重が低い値となった。一方、陸梁を2丁合わせのダブルとしたB. の試験体では、破壊性状はA. と同様に脆性的な陸梁の縦割裂やせん断破壊、合掌尻での登り梁下端部の胴付き面から先のせん断破壊であったが、2丁合わせで用いたことで個々の材に応力が分散され、破壊荷重が高くなった。又、陸梁の継手が千鳥に配置されることで、初期の脆性破壊が生じた後も互いが拘束しあって一体性を保ち、その結果、荷重が急激に低下することなく最大荷重が125~197kN程度まで達して、A. の試験体と比較すると大幅に増大した。

陸梁を集成材としたC. の試験体は比較的大きな応力が作用する陸梁が集成材であることで脆性的な破壊が終局時まで回避され、陸梁継手の引きボルトが降伏し、伸び能力を発揮することで剛性が低下した直後の脆性的な破壊や荷重の大幅な低下はなく、変形が約80mm以上、最大で約170mm程度まで進んだ。

C. の試験体の終局時に至るまでの破壊は、主に、合掌尻の登り梁の下端部の三角ホゾの胴付き面において、三角ホゾの始端部が屈曲や圧壊によってすべる、比較的靱性の高い破壊性状を示した。また、合掌尻の登り梁下端部の年輪幅が密であった場合に、そのすべりが抑制された試験体では、その分、側束下端部の鉛直たわみが増大し、陸梁が押し下げられて曲げ引張破壊を誘発することが観察された。



図4- EWT\_9s 試験体 合掌尻登り梁下端部の三角ホゾの始端部の屈曲



図4- hEWT\_12s 試験体 合掌尻登り梁下端部の三角ホゾの始端部の圧壊



陸梁が単材で製材のA. の KDT-12s 及び KDT-9s 試験体は、最初に剛性が低下して程なく、合掌尻の登り梁下端部のホゾの胴付き面から先の陸梁側の割裂破壊や目まわり割れ、陸梁継手の木材の引張破壊が生じたが、この要因としては、早材と晩材の境界面の割れや、高温乾燥により生じた内部割れの存在が考えられる。一方、陸梁を2丁合わせて構成したB. の KDT-12d, KDT-9d 試験体では、剛性が低下した後も、急激な荷重低下を伴う脆性破壊を生じることなく変形が進行し、さらに荷重が上昇した試験体もあった。二丁合わせダブルの陸梁は、4m 以内の製材を互いの継手位置をずらして2丁合わせにし、両材の間に、束や登り梁の下端部を挟み込み、木質構造用ビスで緊結したものである。これらのビスによる両材間の一面せん断抵抗の効果が、各部が損傷しながらも、接合部の急激なすべりや両材の剥離を抑制していると推察できる。

陸梁を集成材としたC. の試験体は、全体的に、剛性が低下した後も約80%程度以上の荷重を維持して、変形が十分に(約80~170mm)進む傾向にあった。KDT試験体の陸梁シングルタイプとの比較では、最大荷重が20~35%程度上昇した。破壊は主に、合掌尻のホゾの胴付き面の支圧による登り梁と陸梁の水平方向のすべりや、陸梁継手の両引きボルトの軸部の降伏による両材間の開きであることで、粘りのある破壊モードで比較的バランスよく各部の損傷が進んだ。終局時では、合掌尻で、胴付き面の支圧により、登り梁のホゾの始端部の屈曲、圧壊が生じて、水平方向の両材のずれが時間をかけて徐々に増大する、粘りのある破壊性状を示し、比較的安定した性能を発揮するといえる。

#### 4.6 キングポストトラス型及び片流れ型標準トラスの実大載荷実験のまとめ

キングポストトラス型及び片流れ型標準トラスの実大載荷実験を、主として陸梁の仕様を変えて実施してその性状を確認した。得られた知見をまとめると以下のとおりである。

- ・標準トラス架構の陸梁に製材を用いる場合、降伏後、早々に陸梁継手や合掌尻で、陸梁側の木材の脆性的な破壊が生じやすい。一方、陸梁を集成材とした場合、接合部は靱性のある性状を示し、架構としても製材の場合より高い耐力と靱性が期待できる。また、陸梁が製材であっても、これを2丁合せで用いることで、接合部に靱性を与える効果があり、製材を単材で用いる場合よりも、高い耐力と靱性が期待できる。
- ・両引きボルト式継手を集成材の陸梁に用いる場合、座金厚と寸法を適切に設定し、ボルトの鋼材を降伏後の伸びが保証された SNR400B 材としたうえで、転造ネジ加工としたものを用いることは、木材の破壊に対しボルトの引張降伏を先行させ、また、降伏後の鋼材の伸びを終局時まで発揮させて、接合部及びトラスの耐力と靱性を向上させる効果が期待できる
- ・陸梁が集成材の場合の合掌尻は、水平方向のずれの進行に伴い、登り梁下端部のホゾの入隅部からの割裂が生じて剛性が低下するが、終局時まで大幅な荷重低下を生じる脆性的な破壊は生じず、安定した変形性能を示す。終局時では、ホゾの始端部が屈曲して破壊するケースが見られたが、繊維が干切れて破断することなく粘り、靱性の高い接合部といえる。

## 第5章 実大載荷実験における標準トラスの各接合部の挙動と 剛性の予測



## 5. 実大載荷実験における標準トラスの各接合部の挙動と剛性の予測

標準トラス架構の実大載荷実験において、各接合部で計測したすべり量のうち、標準トラス架構全体への影響が大きいと考えられる部位を抽出し、そこで計測された剛性値と既往の評価式等による計算で予測した剛性値とを比較した。抽出した部位は、標準トラスの各部材のうち応力負担が大きい登り梁と陸梁の接合部である陸梁継手、合掌尻、及び登り梁と真束の仕口とした。比較は、EWT-12s 及び hEWT12s 試験体の各接合部にて行った。

### 5.1 陸梁継手の挙動と剛性の予測

引きボルト式継手を用いた陸梁継手では、要素実験の際の集成材を母材とした引きボルト式継手の試験体の挙動や実験結果と同様に、静的実大載荷実験においても、木材の脆性的な破壊に先行して、引きボルトが降伏し伸びることで、靱性の高い特性を示すことが確認された。陸梁の継手では、陸梁からの軸力が座金支圧部のめり込み抵抗を介して、引きボルトの軸力に伝わる機構のため、本論文の第3章での考察と同様に、引きボルトの引張剛性と座金の繊維方向のすべり剛性を組合せた以下の式<sup>2)</sup>を用いた。

$$K = 2 / \left\{ (1 / K_1) + (2 / K_2) \right\} \quad \dots \dots (1)$$

$K_1$ : 両引きボルトの軸剛性  $K_2$ : 座金面の支圧剛性

$$K_1 = Et \cdot At / l, \quad K_2 = x_b \cdot y_b \cdot Ebo / (31.6 + 10.9x_b)$$

$Et$ : 両引きボルト鋼材の弾性係数 ( $N/mm^2$ )

$x_b = y_b$ : 座金の辺長 ( $mm$ ) ,  $At$ : 両引きボルト軸断面積 ( $mm^2$ )

$Ebo$ : 試験体の繊維方向弾性係数 ( $N/mm^2$ )

上式によって求めた、陸梁に作用する引張力と引張継手の水平方向すべり量との関係は、EWT-12s 試験体では、 $K_f=30.4$  (kN/mm)、hEWT-12s 試験体で  $K_f=46.5$  (kN/mm) である。次頁の図 5- に、陸梁に作用する引張力と引張継手の水平方向すべり量との関係の剛性値について、実験値と計算値の比較を示す。比較の結果、実験値による引張継手の剛性は、概ね計算によって求めた剛性と近い値を示した。又、要素実験において求めた剛性値とも比較的近い値であるといえる。

試験終了後のボルトを観察すると、軸部が十分に伸びて、材表面の酸化被膜（黒皮）の剥離が生じていることが確認された（図 5- ）。



図 5- 陸梁継手の試験終了後の引きボルトの伸びの状況



図 5- 陸梁継手の試験終了後の引きボルトの伸びの状況

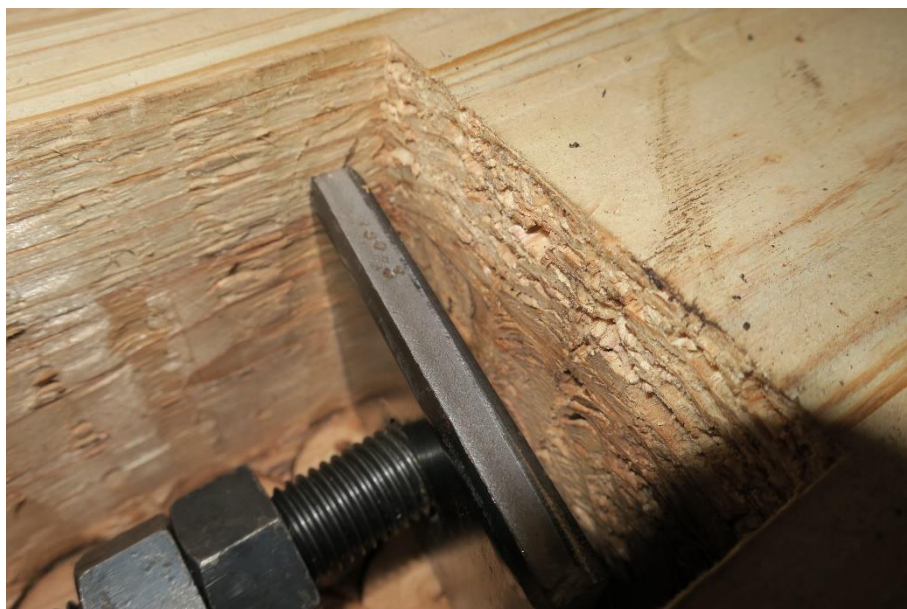


図 5- 陸梁継手の試験終了後の座金支圧面の状況



図 5- 陸梁継手の試験終了後の座金支圧面の状況

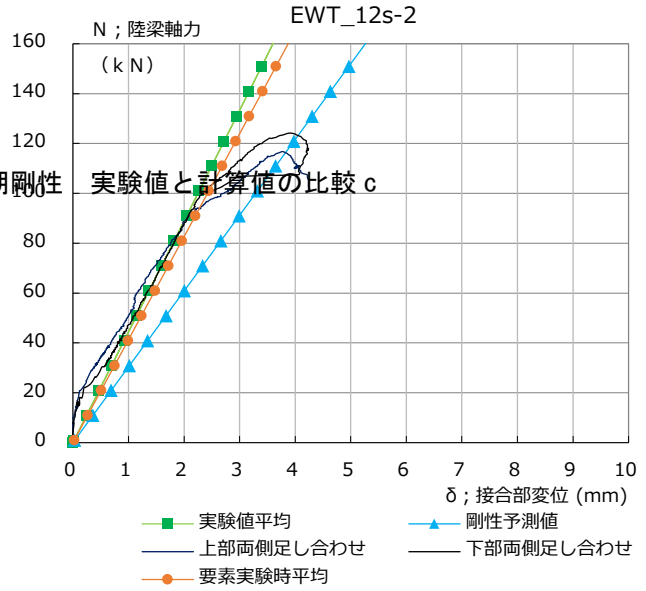
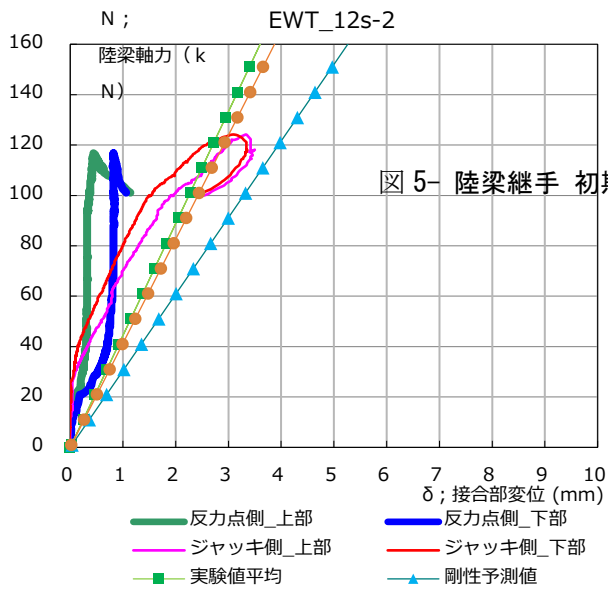
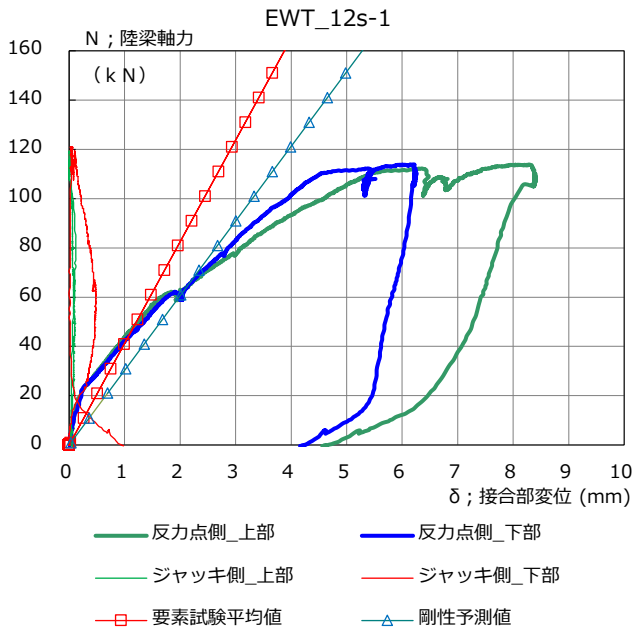


図 5- 陸梁継手 初期剛性

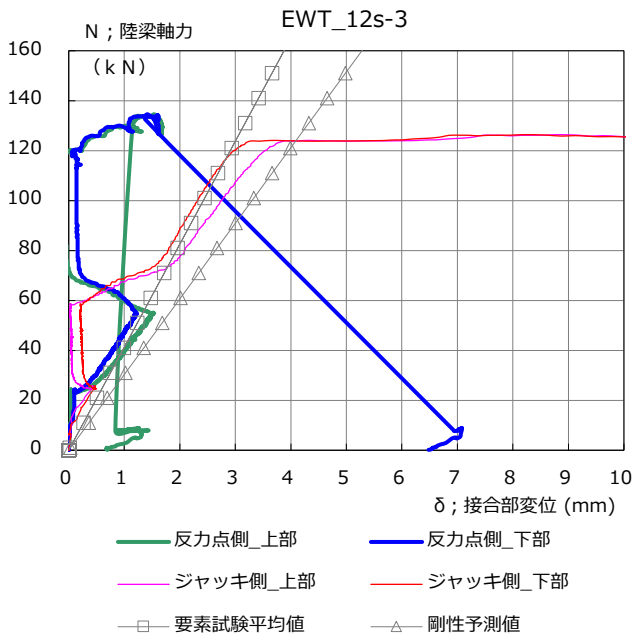


図 5- 陸梁継手 初期剛性 実験値と計算値の比較



## 5.2 合掌尻仕口の挙動と剛性の予測

合掌尻では登り梁の軸力が、下端部のホゾの胴付き面の支圧により陸梁端部に伝わる。陸梁端部の軸力は、陸梁のホゾ孔の欠損を除いた有効断面の引張抵抗や、ホゾの胴付き面から合掌尻先端にかけての余長部のせん断抵抗によって、陸梁中央部に伝達される。载荷の初期では登り梁と陸梁が水平にすべり、荷重の増加に伴い登り梁の下端部の胴付き面のホゾの入隅部分(写真2)から割裂が生じ始め(写真8)、緩やかに剛性が低下した。陸梁余長部のせん断面で決まる耐力及びホゾ支圧面の圧縮で決まる耐力と、実際の実験値との比較の結果、集成材の陸梁では安全側だが、スギ製材の陸梁では、弾性レベルで脆性的な破壊が生じるケースが多く、また破壊が生じる荷重も一様でなく危険側となるものもあった。

線材解析モデルで変位量等を算出する際の、合掌尻の簡便なモデル化のため、水平方向の軸剛性バネを、合掌尻の登り梁と陸梁の節点に設定する前提で、合掌尻での水平方向のすべり剛性を抽出した。実際の変位の過程は、微視的に扱えば複雑な評価方法も考え得る。但し、応力のレベルが高くない範囲では、登り梁と陸梁の角度が比較的浅いこともあり、材表面のめり込みを伴うことなくほぼ水平にずれて滑ることが確認されたため、ここではホゾの胴付き面の繊維方向のめり込み剛性に限定して求めた。即ち、陸梁のホゾ孔内の胴付き面で接触する、登り梁の下端部のホゾの木口面を剛体と仮定し、引きボルト式継手の座金支圧面のすべり剛性の算出式<sup>3)</sup>を適用して求めた計算値を、計測値と比較した。

$$K_B = xb \cdot yb \cdot ko, ko = Ebo / (31.6 + 10.9xb) \quad \dots \dots \dots (3)$$

$xb$ :ホゾ幅(mm),  $yb$ :ホゾ成(mm)

(3)式より求めた、合掌尻における陸梁の軸力と、仕口の水平方向のすべり量の関係の剛性の値は、EWT\_12s 試験体が  $K_B=51.8$  (kN/mm)、hEWT-12s 試験体が  $K_B=95.6$  (kN/mm)である。次頁中、図5- に陸梁に作用する軸力と、仕口の水平方向のすべり量の関係による剛性値の、実験値と計算値の比較を示す。比較の結果、実験から求まる合掌尻仕口の初期剛性の値は、概ね、計算によって求めた剛性の値と比較的近い値となった。



図5- 合掌尻仕口のすべりと割裂

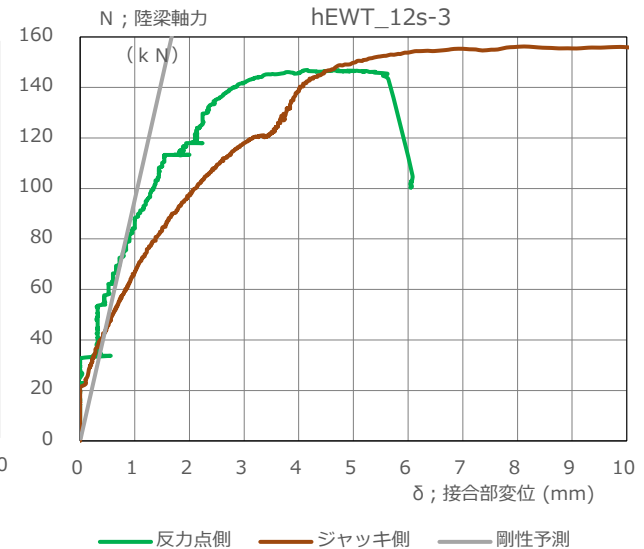
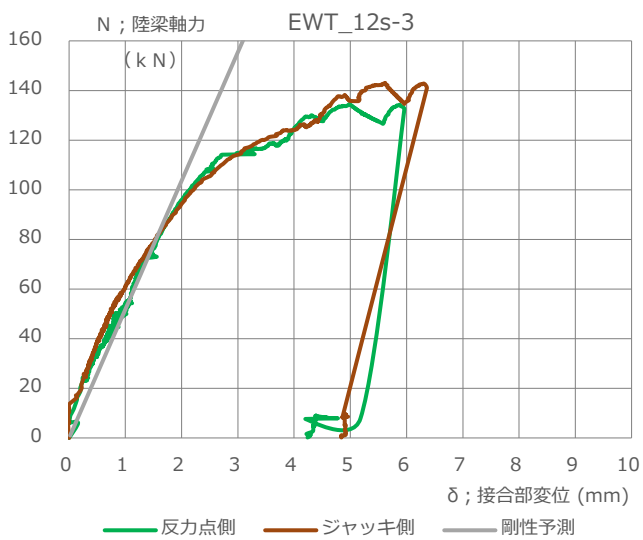
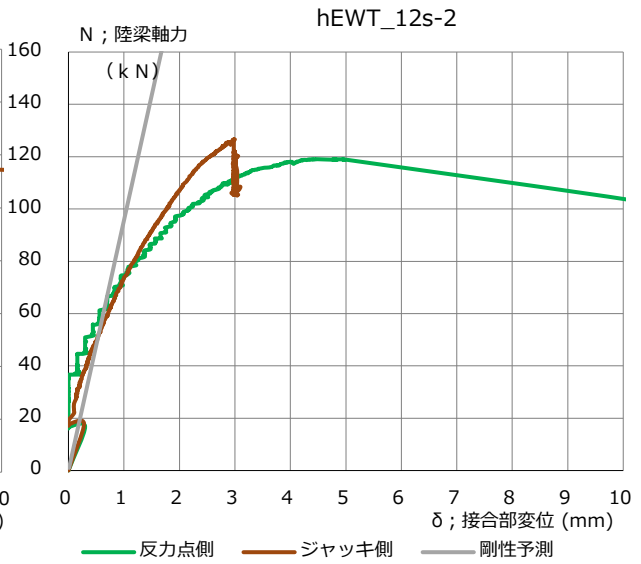
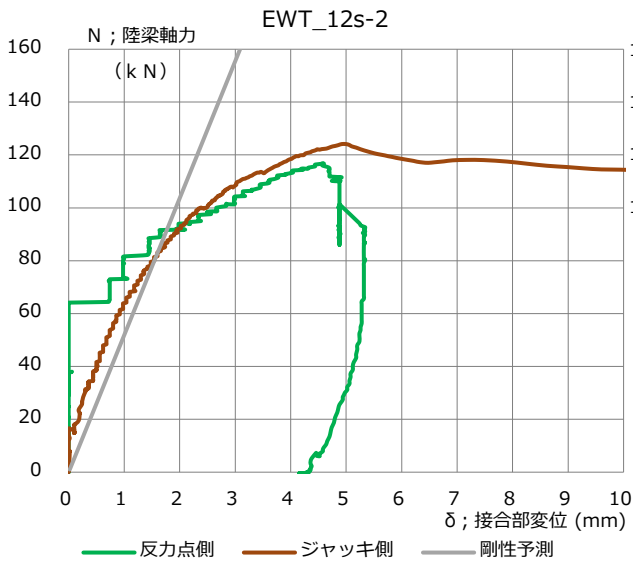
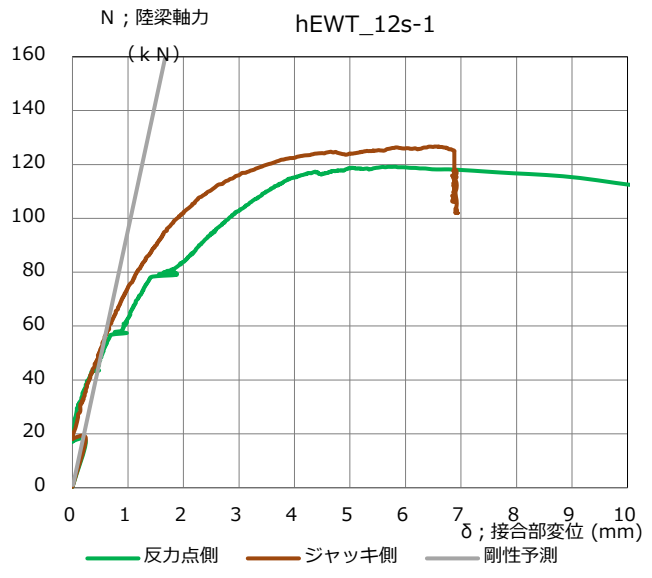
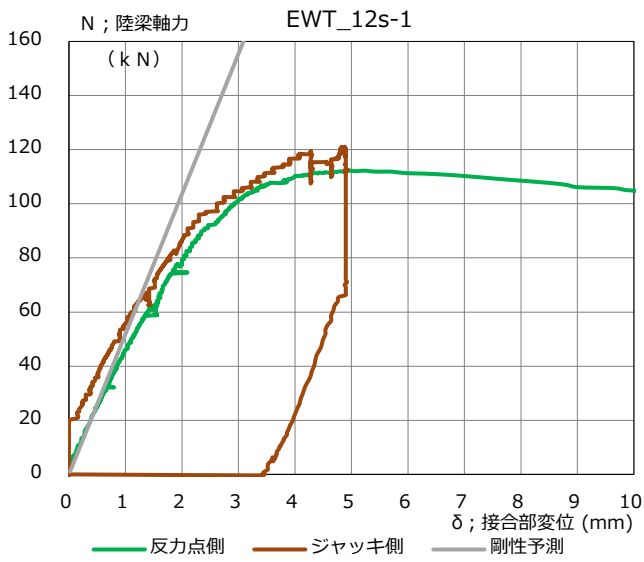


図 5- 合掌尻仕口 初期剛性 実験値と計算値の比較

### 5.3 真束上部 登り梁仕口の挙動と剛性の予測

真束側面に対して登り梁木口全面の支圧によるめり込みが生じているものと仮定し、等変位めり込み基準式<sup>4)</sup>によって求めた剛性を計測値と比較を行った。

予測した剛性値は、EWT-12s 試験体では  $K_c=52.9$  (kN/mm) , hEWT-12s 試験体では  $K_c=95.6$  (kN/mm) となった。計測による剛性はばらつき、計算による予測の値を大きく上回った。但し、最大変位量は終局時でも 1~3mm 程度であったため、トラス全体の剛性に登り梁-真束仕口が与える影響は、陸梁継手や合掌尻の剛性の影響と比べると小さいと推測できる。次頁に比較のグラフを示す。

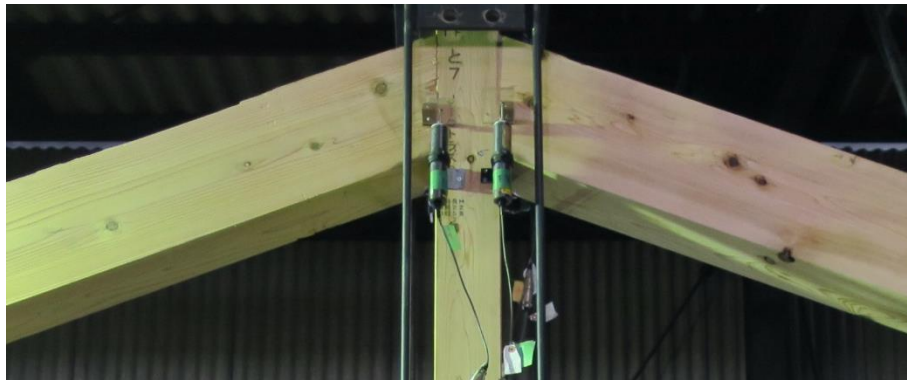


図 5- 登り梁-真束仕口



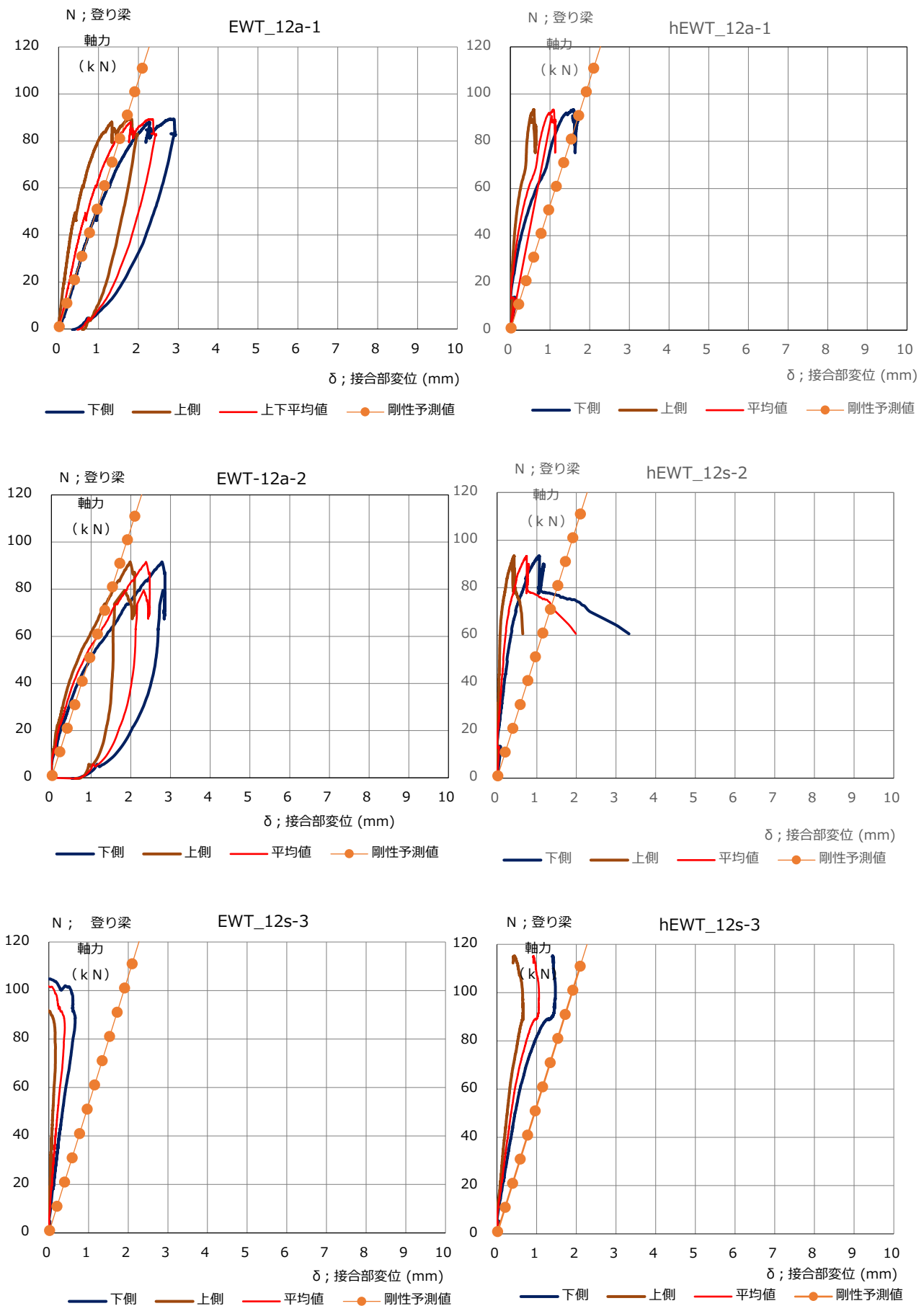


図 5- 登り梁仕口 初期剛性 実験値と計算値の比較

## 5.5 実大載荷実験における標準トラスの各接合部の挙動と剛性の予測

線材解析モデルでトラスの変形量を算出し(図 11), 試験で計測されたトラスの剛性と比較した。解析モデルは, 各部材を 2 次元平面で線材置換し, 各部材にはそれぞれに対応した弾性係数, 部材断面を入力した。陸梁継手, 合掌尻, 登り梁—真束仕口の各接合部には, 前章において算出した剛性の計算値を, 材軸方向の弾性バネとして力した。それら以外の他の節点は, 全てピン接合とした。

比較の結果, 解析モデルの剛性は, 実大載荷試験の結果から得られた実際のトラス架構の剛性に近い値を示した(図 12)。合掌尻と陸梁継手, 登り梁—真束仕口を除く他の接合部のすべり量は, それらに比べて小さく, その剛性を無視しても大勢に影響はないものと考えられる。hEWT-12s 試験体の場合, 全節点をピン接合としたトラス架構(全節点ピン接合モデル)のたわみ量に対し, 実大試験のたわみ量の計測値の増大率は, 約 2~2.6 倍程度となった。

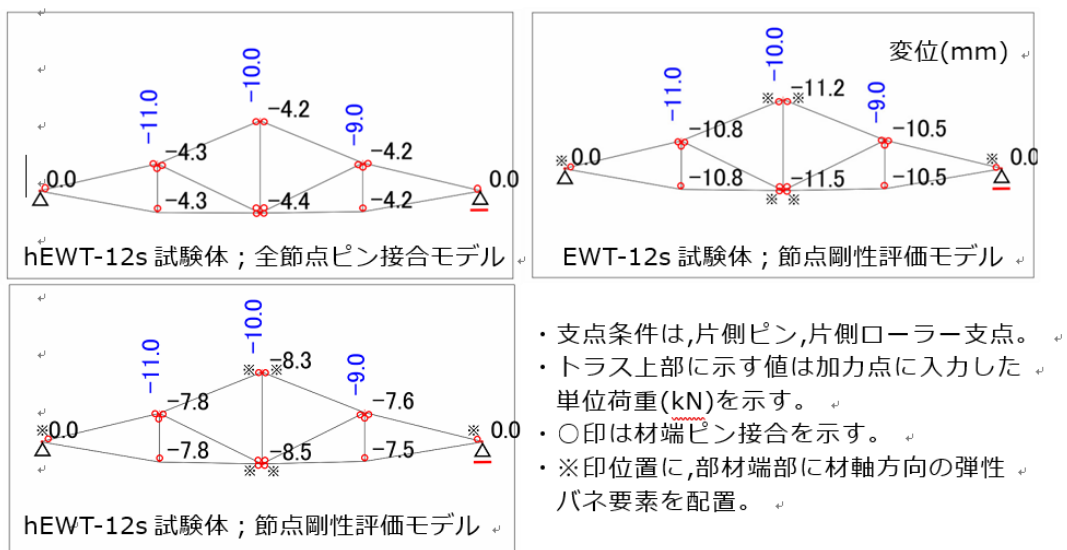


図 4. 平面応力解析モデルによる hEWT-12s 試験体のたわみ量予測値

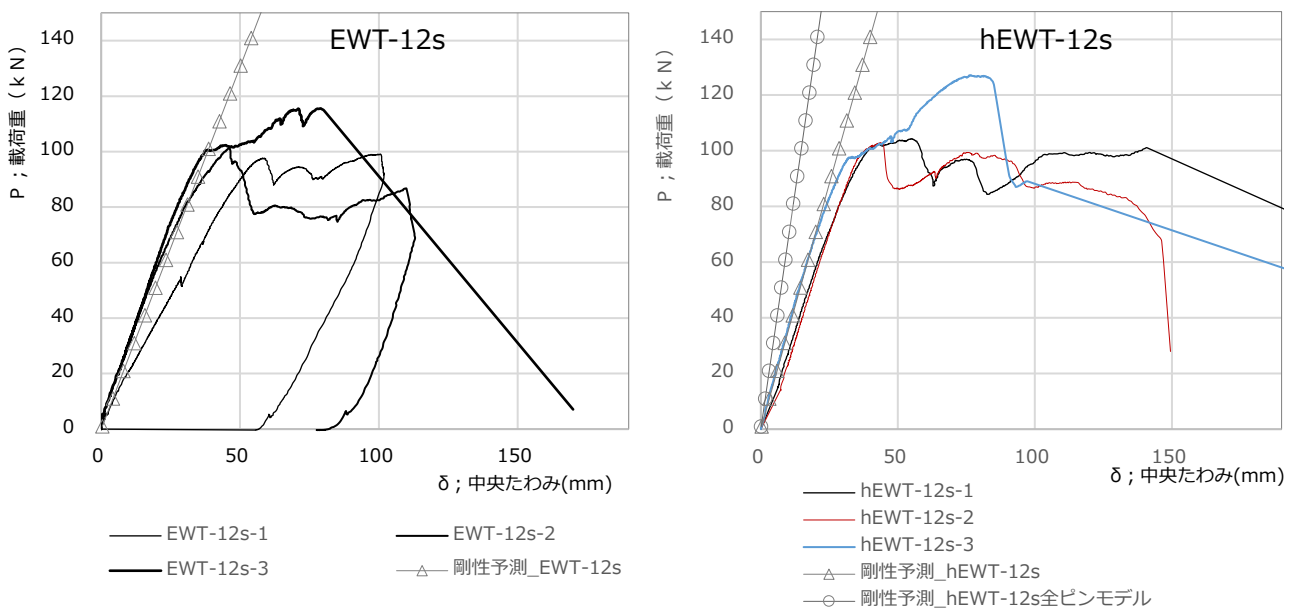


図 5- EWT-12s 試験体及び hEWT-12s 試験体のたわみ量予測値

第3章で示した実大載荷試験の載荷重と中央たわみ量の関係の曲線中に、それぞれの試験体について各節点をピン接合として求めたたわみ量による剛性との比較を記す。

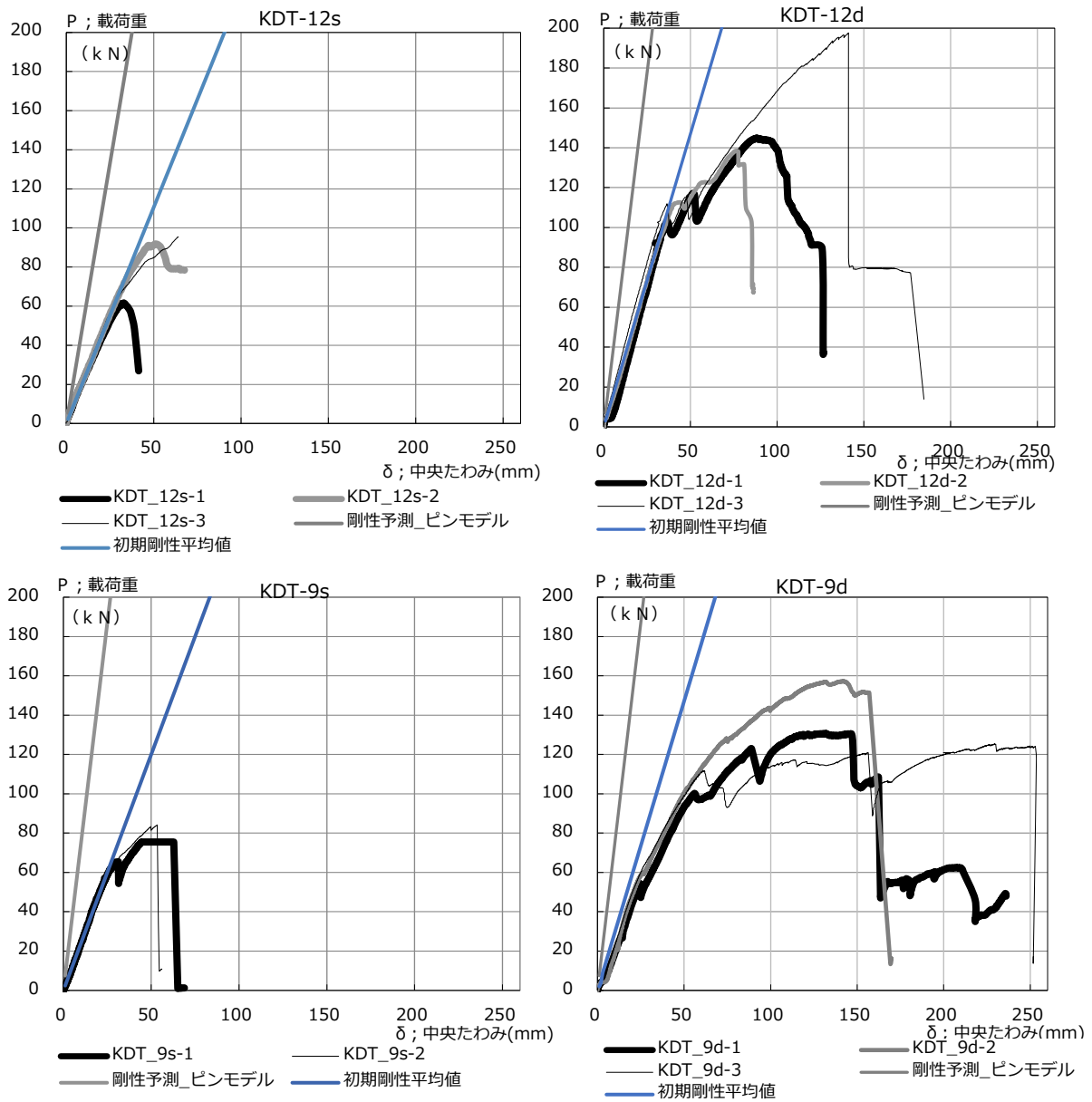


図 5- 実大載荷実験によるたわみ量の計測値と計算値の比較



## 5.6 実大載荷実験における標準トラスの各接合部の挙動と剛性の予測のまとめ

実大載荷実験の結果から得られた各接合部でのすべり剛性を元に、標準トラスのたわみ量の予測を行った。応力負担が大きい、陸梁継手、合掌尻、登り梁－真束仕口の剛性の予測値を、線材解析モデルの各節点に評価して、トラス架構のたわみ量を算出した結果、実大試験における計測値と近い値を示した。登り梁－真束仕口については、陸梁継手や合掌尻よりも剛性が高く、すべり量は小さい値を示したことから、トラス架構全体の剛性への影響は、陸梁継手及び合掌尻と比較して小さいと推察できる。したがって、実用上は、線材解析モデルにおいて、すべり量の大きい陸梁継手及び合掌尻の剛性のみを評価することでも、比較的精度よくトラス架構のたわみ量の予測が可能と考えられる。

## 第6章 合掌尻仕口の要素実験

## 6. 合掌尻仕口の要素実験

### 6.1 合掌尻仕口の要素実験の目的

標準トラス架構の実大載荷実験において、ほとんどの試験体は、荷重と中央たわみが増大したが、ある段階で合掌尻仕口の登り梁下端部の三角ホゾの入隅部から材軸方向に沿って割裂が生じ始めることで接合部がすべり始め、標準トラス架構の剛性の低下を生じることが観察された。

このことから、陸梁継手と同様に、合掌尻仕口が標準トラスの剛性や耐力に与える影響は大きいものと考えられる。そこで、標準トラスの合掌尻を抽出した試験体によって、実大トラスの合掌尻と同様の状況を想定した要素実験を行い、その特性の把握と、割裂の発生を回避できる詳細形状がどのようなものかを検討した。

### 6.2 合掌尻仕口の要素実験の概要

合掌尻の要素実験は、前章で提示し、実大載荷実験を実施した標準トラスの合掌尻と同じ形状の仕口を再現した試験体に対し、登り梁下端部の三角ホゾの形状に変更を加えた仕様での試験体との2種類の試験体による静的加力実験を行い、試験結果を比較した。

標準トラスの三角ホゾの入隅部の改良は、三角ホゾを台形のホゾにすることで割裂に対する抵抗の向上を図るものとした（図6-）。



### 6.3 合掌尻仕口の要素実験の方法

合掌尻仕口の要素実験は、図 2 及び写真 1 に示す試験装置を用いて加力を行った。試験体は、登り梁、陸梁ともに 120 × 240 の平角材で、登り梁はスギ製材 E70-SD20、陸梁はスギ集成材 E65-F225 とした。試験体はそれぞれ 1.4m の長さで切り出して、標準トラスと同じ仕口形状や仕様によって接合して標準トラス架構の合掌尻を再現したものである。試験体は、上下反転して土台上に設置し、登り梁の端部を土台上にピン支点で固定し、本来は柱が取付く仕口の支点位置はローラー支点を設け、片側を土台側に緊結した引張材の丸鋼によって鉛直方向の反力を受けた。また、上側の陸梁の端部には試験体と引きボルトで緊結した治具を油圧シリンダに接続し、手押しジャッキを用いた油圧装置で引張力を加えた。加力は一方向単調加力で 100kN 弱までの加力とした。

表 6- 合掌尻仕口要素実験 試験体リスト

NO.	符号	継手の仕様	備考
1.	PWA_1	PWA標準図仕様：	
2.	PWA_2		ボルト、座金位置を先端側へ移動
3.	PWA_3		ホゾ孔周辺に節有
4.	JIS_1	JIS A 3301 仕様：	加工ミスによりホゾ幅が90mmに、
5.	JIS_2		
6.	JIS_3		
共通：登り梁 120×240_スギ製材 E70-SD20 下弦材 120×240_スギ集成材 E65-F225			

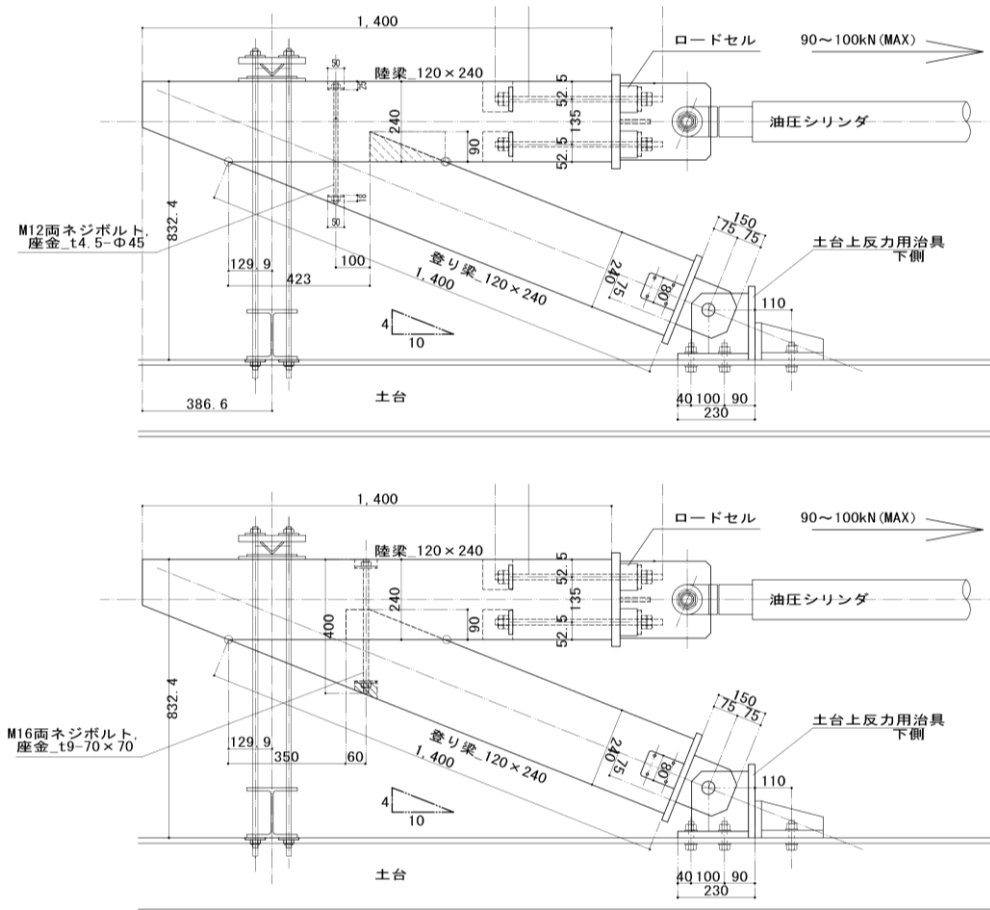


図 6- 合掌尻仕口 実験装置及び試験体略図





図 6- 合掌尻仕口 実験装置及び試験体略図

## 6.4 実験結果

全 6 体の試験結果の荷重-変位量関係のグラフを図 6 に示す。台形ホゾ仕様では、3 体目の試験体が、ホゾ孔の脇に節があり、このことで支圧の剛性が高くなって際立って剛性が高くなった（写真 2）。 $0.1P_{max} \sim 0.4P_{max}$  間の剛性で比較すると、3 体目を除いた PWA 仕様の平均値は  $23\text{kN/mm}$ 、JIS 仕様は  $47.8\text{kN./mm}$  となり、約 2 倍強の差となった。

ホゾの入隅からの割裂の発生状況は、PWA 仕様では 3 体中 2 体は  $80\text{kN} \sim 90\text{kN}$  の間で発生し、高い剛性を示した残り 1 体は、加力終了まで亀裂の発生が確認されなかった。JIS 仕様では、3 体中 2 体が約  $55\text{kN}$  で、1 体は約  $80\text{kN}$  で生じた（写真 3）。

又、加力の伴って生じた 2 材の当たる面（水平）の回転角の変化を図 4 に示す。概ね、台形ホゾ仕様よりも割裂が早く生じた三角ホゾ仕様の試験体の方が、加力に伴って回転角が増大する傾向にあるのに対し、PWA 試験体では、試験全体を通じて回転角は比較的低い値を示した。

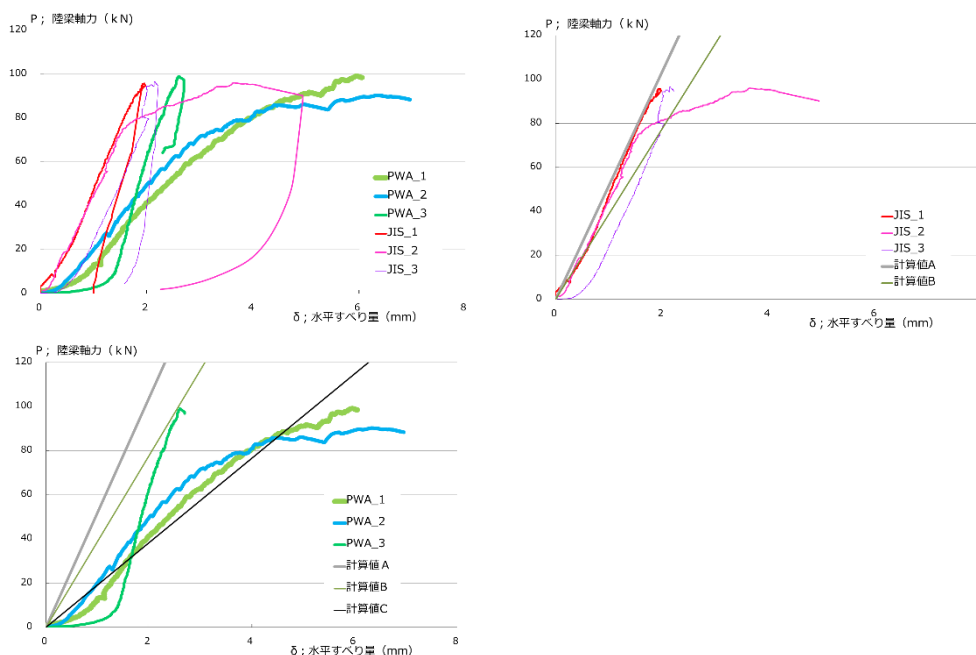


図 6- 合掌尻仕口 荷重-水平すべり関係

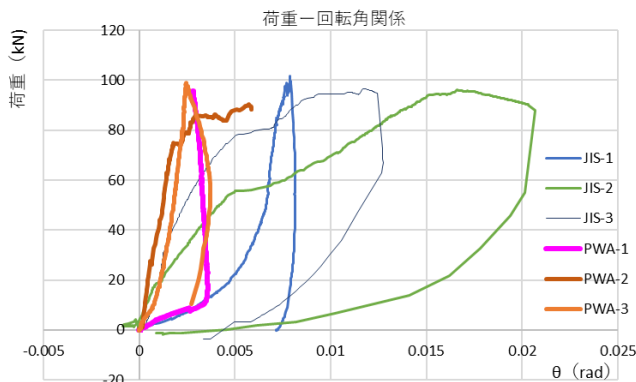


図 6- 合掌尻仕口 荷重-回転角関係

図 6- 合掌尻仕口 計測された剛性  
および割裂発生時期

NO.	符号	(kN/mm) (kN)		NO.	符号	(kN/mm) (kN)	
		0.1Pmax~ 0.4Pmax の剛性	割裂発生			0.1Pmax~ 0.4Pmaxの 剛性	割裂発生
1.	PWA_1	21.5	87	4.	JIS_1	49.5	55
2.	PWA_2	24.6	83	5.	JIS_2	48.8	56
3.	PWA_3	81.1	未	6.	JIS_3	50.0	81
平均		23.0		平均		49.4	
標準偏差				標準偏差		0.51	
変動係数				変動係数		1.03%	
ばらつき係数				ばらつき係数		0.97	
※1,2平均		23.0				47.8	

## 6.5 考察

既往の座金の支圧面のすべり剛性の算出式によって求めた、仕口のホゾの胴付き面のすべり剛性は、 $K_1=51.8$  (kN/mm) となり、三角ホゾ仕様の試験結果の 0.1Pmax~0.4Pmax 間の剛性の値に比較的近い値が得られた(図 6 中、計算値 A)。但し、台形ホゾ仕様の試験体では、高めに剛性を評価している。この違いを以下のように考察する。

即ち、三角ホゾ仕様の試験体では、加力に伴う回転によって、登り梁のホゾから合掌尻先端側の面が陸梁から離れ、ほぼ胴付き面の支圧によって応力が伝達される。特に、割裂幅が目視確認できる程に顕著になると、割裂面から合掌尻側はほとんど軸力伝達に寄与しおらず、胴付き面の支圧のみが働く。一方、割裂が発生しにくいように改良され、ホゾの胴付き面が合掌尻先端側に移動している台形ホゾ試験体では、加力に伴う回転が比較的小さく、その分、胴付き面に加えて、胴付き面から合掌尻先端側の接触面のめり込み剛性が、接合部全体の剛性に影響するものと仮定する。

PWA 仕様の試験体の胴付き面から合掌尻先端側の接触の面における弾性域でのめり込み剛性を、等変位めり込み基準式から求めると、以下のとおりとなった。

$$x_1=0, x_2=360, x_p=360 \text{ (mm)}, y_1=y_2=0, y_p=120 \text{ (mm)},$$

$$Z_o=240 \text{ (mm)}, E_0=6.5 \text{ (kN/mm)}, E_{90}=0.13 \text{ (kN/mm)} \text{ より},$$

$$C_x=1.408, C_y=1.00,$$

$$K_2=x_p \cdot y_p \cdot C_x \cdot C_y \cdot E_9 / Z_o = 32.70 \text{ (kN/mm)}$$

以上より、台形ホゾ仕様の試験体の仕口全体の剛性  $K$  を、以下の式の関係になるものとして求めた値を図 3 (右) のグラフに示した (計算値 C)。

$$(1/K) = (1/K_1) + (1/K_2)$$

$$K = 1 / \{ (1/51.8) + (1/32.05) \} = 19.12 \text{ (kN/mm)}$$

実験値と比較すると、胴付き面の近くに節があったことで支圧剛性が高まったと考えられる 3 体目を除き、比較的近い値を示していると考えられる。

## 6.5 合掌尻の要素実験のまとめ

今回実施した合掌尻の要素実験は、試験体数が少ないため、さらに試験体を増やし、考察の検証を重ねる必要がある。又、合掌尻の標準詳細として、割裂の発生を遅延させる台形ホゾ仕様と、接合部の剛性がより高いと考えられる三角ホゾ仕様の両者について、選択の判断基準を検討し示す必要がある。

## 第 7 章 結論



## 第7章 結論

- (1) トラス架構の陸梁に製材を用いる場合、降伏後、早々に陸梁継手や合掌尻で、陸梁側の木材の脆性的な破壊が生じやすい。一方、陸梁を集成材とした場合、接合部は靱性のある性状を示し、架構としても製材の場合より高い耐力と靱性が期待できる。また、陸梁が製材であっても、これを2丁合せて用いることで、接合部に靱性を与える効果があり、製材を単材で用いる場合よりも、高い耐力と靱性が期待できる。
- (2) 両引きボルト式継手を集成材の陸梁に用いる場合、座金厚と寸法を適切に設定し、ボルトの鋼材を降伏後の伸びが保証された SNR400B 材としたうえで、転造ネジ加工としたものを用いることは、木材の破壊に対しボルトの引張降伏を先行させ、また、降伏後の鋼材の伸びを終局時まで発揮させて、接合部及びトラスの耐力と靱性を向上させる効果が期待できる。
- (3) 陸梁が集成材の場合の合掌尻は、水平方向のずれの進行に伴い、登り梁下端部のホゾの入隅部からの割裂が生じて剛性が低下するが、終局時まで大幅な荷重低下を生じる脆性的な破壊は生じず、安定した変形性能を示す。終局時では、ホゾの始端部が屈曲して破壊するケースが見られたが、繊維が千切れて破断することなく粘り、靱性の高い接合部といえる。
- (4) 応力負担が大きい、陸梁継手、合掌尻、登り梁—真束仕口の剛性の予測値を、線材解析モデルの各節点に評価して、トラス架構のたわみ量を算出した結果、実大試験における計測値と近い値を示した。登り梁—真束仕口については、陸梁継手や合掌尻よりも剛性が高く、すべり量は小さい値を示したことから、トラス架構全体の剛性への影響は、陸梁継手及び合掌尻と比較して小さいと推察できる。したがって、実用上は、線材解析モデルにおいて、すべり量の大きい陸梁継手及び合掌尻の剛性のみを評価することでも、比較的精度よくトラス架構のたわみ量の予測が可能と考えられる。
- (5) 標準トラスの下弦材等、常時比較的大きな引張力が作用する接合部に適用可能な継手の仕様について、引きボルト式継手については、集成材と両引きボルトの組合せで用い、かつ一定の外形寸法及び板厚以上の座金と、機械的性質の明確な鋼材を両引きボルトに用いる場合に、継手の剛性や耐力を計算によって比較的精度よく推定でき、比較的高い剛性や耐力、靱性能を有する継手の性能を確保することが可能と考えられる。
- (6) 標準トラスの剛性及び耐力に及ぼす影響が大きいと考えられる合掌尻は、登り梁下端部のホゾの形状によって、その性状が変化する可能性がある。

## 参考文献

## 参考文献

### 第1章 序論 他

#### 引用文献・図版出典

- 1) 林野庁：平成28年度 森林・林業白書，林野庁
- 2) 木造学校建物規格試作並びに実験報告 附学校用2階梁設計例，日本建築学会 pp 昭和25年
- 3) JIS A 3301:2015 木造校舎の構造設計標準，日本規格協会，pp.154-181，2015
- 4) 木質構造接合部設計マニュアル，日本建築学会，pp.164，2009
- 5) 河原大・他：引きボルトを用いた集成材継手の引張性能に関する研究，  
日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)，2016.8
- 6) 稲山正弘：木材のめり込み理論とその応用，東京大学学位論文，1991.12

## 謝 辞

本研究は修士論文「住宅用プレカットを用いた国産スギによる屋根トラス架構の研究」から継続するもので、一貫してご指導を賜りました稲山正弘先生に心より感謝申し上げます。

又、同様に、修士課程より木質材料学研究室のゼミや活動を通じて安藤直人先生、青木謙治先生、相馬智明先生、河原大先生に多大なご支援を賜りましたことを、改めて感謝申し上げます。

生物材料学専攻の教員の先生方にも講義その他を通じてご指導を賜り、感謝申し上げます。

本研究における実験は、広島県総合技術研究所林業技術センターの木材実験棟にて継手引張試験と静的実大載荷実験を実施し、同センターの藤田和彦様には試験全般を通じて、ご指導、ご協力を賜りました。又、主に集成材の継手の引張実験は、栃木県林業センターの木材性能試験棟にて実施し、同センターの大野英克様、亀山雄榨様、大塚紘平様、木野本亮様、吉田智玲様の他、スタッフの皆様方のご指導とご協力を賜りました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

静的実大載荷実験の実験装置の製作や実験の後半での試験場所や試験体設置その他の労力の提供においては、株式会社河本組の河本会長と門田留美様を始め、スタッフの皆様方にも多大なご支援とご協力を賜りました。改めて、深く御礼申し上げます。

在来軸組工法用のプレカット加工における助言や検証作業は、中国木材株式会社の藤田譲様、宮川工機株式会社の中川活秀様、菊池歳男様を始め、(一社)中大規模木造プレカット技術協会の会員企業の皆様のご協力によるもので、この場を借りて御礼申し上げます。

最後に、本研究全般を通じて、研究室の皆様のご協力とアドバイスや励ましを頂き、多くの実験を遂行することができましたことに感謝申し上げます。皆様本当にありがとうございました。

田尾玄秀

2017年12月