

平成16年度 農林水産省補助事業
木材加工・利用技術開発促進事業

品質・性能向上技術調査・開発事業報告書

(国産材の新加工・利用技術開発事業)

平成17年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

ま え が き

戦後造林木の成熟化に伴い、人工林資源の40%強を占めるスギ林は全国的に柱適寸木から中径木に移行している。従来、スギ中径木は、主として羽柄材や下地板等に製材して利用されてきたが、最近では住宅着工の減少、工法の変化に伴う使用材料の転換等によってこの分野の需要が大きく減退している。このためスギ中径木の新たな用途開発が大きな課題になっている。近年では中径木をラミナ製材して中小断面構造用集成材としたり、中径木から比較的断面の大きな梁桁を製材したりして、構造材として利用する技術開発も行われている。しかし、スギ特有の材質的なバラツキの問題から生じる強度性能確保のむずかしさをはじめ、また特に大断面の乾燥処理に技術的な問題も多くこのような利用分野も限られた範囲に止まっている。

本事業では、スギ中径木の用途拡大の一環として、昨年度に引き続き、一つ目にはスギと高耐久樹種のラミナを縦つぎし、防腐薬剤を使わずに使用が可能になるような異樹種集成管柱の開発を行う。二つ目には、接着剤を使用せず、解体後の再利用を容易にする環境材料として位置付けられ、また見え掛りの梁としての意匠性の良さも評価できる重ね梁の開発として、比較的乾燥が容易な既製サイズの柱を基材にして2もしくは3材を重ねてシャチ・ボルト接合した重ね梁の開発を行う。前者については昨年度残された確認すべき評価項目として座屈性能評価をモデルにより実施、後者についてはシャチ・ボルトのピッチを300mmと450mmの2種類で試験体を作製して、せん断試験及び曲げ試験による技術データの集積を行い、実用化に向けての技術資料を得ることにしている。

本事業は、委員会を設置し学識者、関係団体、関連企業の協力を得ながら推進してきた。独立行政法人森林総合研究所、長野県林業総合技術センターに性能試験を依頼し、また重ね梁の試験体製作については齊藤木材工業株式会社（長野県）にご協力を得てきた。多忙な中、ご協力いただいた委員及び関係者の皆様のご尽力に対して厚くお礼を申し上げる。

平成17年 3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

理 事 長 岡 勝 男

国産材の新加工・利用技術開発委員会 委員名簿

(敬称略・順不同)

委員長	宮武 敦	独立行政法人森林総合研究所 複合材料研究領域 チーム長
委員	平松 靖	独立行政法人森林総合研究所 複合材料研究領域 研究官
〃	橋爪 丈夫	長野県林業総合センター 木材部長
〃	佐々木春雄	青森県農林総合研究センター林業試験場 林産部 総括主任研究員
〃	中川 展彰	日本集成材工業協同組合 専務理事
事務局	西村 勝美	(財)日本住宅・木材技術センター 常務理事 兼 研究開発部長
〃	駕海 四郎	〃 構造試験室長
〃	長谷川雅之	〃 研究開発部 主任研究員

事業主旨

スギ中径木はスギ特有の材質的なバラツキや大断面の難乾燥性の問題から構造材に利用する技術開発も限られた範囲に止まっている。これを克服して新たな柱材および横架材としての利用拡大を図るため、スギの多層化や異樹種との接着・積層化の技術開発が進められている。これらを実用化していくためには強度特性や耐久性等を明らかにして性能試験データを蓄積していくことが必要である。本事業においては、これらの実用化を目指して、以下の性能評価試験を実施した。

本報告書の要約

I. 異樹種集成管柱の開発

長さ方向に耐久性の異なる樹種をたて継ぎすることによって、耐久性を要求される土台付近に高耐久性樹種を選択的に利用し、スギの構造材への有効利用を図るための試験を行って製品開発の可能性を検証してきた。昨年度の実施結果として、1)等級の異なる異樹種たて継ぎラミナの MOE は強度の違うラミナの平均値に近似すること、2)等級の異なる異樹種たて継ぎラミナの引張強さは強度の違うラミナの平均からおおよそ推定できること、3)L110-L70 のたて継ぎ材を用いたヒノキースギ、ヒバースギについてはラミナの MOE から予測される強度等級より 1 つ下の等級 E75-F270 の J A S 基準への格付けが相当、L90-L125 のたて継ぎ材を用いたヒバークホワイトウッドについてはラミナの MOE から予測される等級 E105-F345 の J A S 基準への格付けができる。4)接着性能のうち、はく離試験についてはいずれの組み合わせも J A S 基準に満たなかったとの課題も残したが、これについては工

場生産において問題解決が可能と考え、これ以上の究明は行わないこととした。

本年度は、柱材として特に確認すべき項目である座屈に関するモデル性能評価を試みた。

その結果、L110-L70 のたて継ぎ材（105mm 角）の場合、たて継ぎ部を管柱の長さ方向の中央に配することで、最も高い座屈強さ 1.8 N/mm^2 が得られた。また、105mm 角を 120mm 角にすることで座屈強さは 2.8 N/mm^2 にまで向上することがわかった。このことより、異樹種たて継ぎ集成管柱の座屈強さについて、他構成・等級の集成材同様設計に供することができると考えられる。

II. 合わせ梁材の開発

近年のスギ乾燥技術の進歩から、背割りのない、心持ちのスギ正角の乾燥材が割れの少ない状態で得られるようになり、数本の正角を積層した重ね梁の実用化が期待できる状況となってきた。しかしながら、このような正角を用いた重ね梁は日本農林規格(JAS)で規定する集成材の範囲を越えたものであるため基準値がつかめないのが現状である。そこで本事業において、昨年度は、2 もしくは 3 層に積層接着した重ね梁を試作し、実用化のための基準づくりを目指して評価試験を行い、技術データの集積を行った。

本年度は、比較的乾燥が容易な既製サイズの柱を基材にして 2 もしくは 3 材を重ねてシャチ・ボルト接合した重ね梁を試作し、昨年度と同様に実用化のための基準づくりを目指して評価試験を行い、技術データの集積を行った。

その結果、せん断試験によりシャチ 1 個あたりの耐力は $40 \sim 65 \text{ kN}$ と推定でき、ナットの締め付け圧 $22 \text{ kN}\cdot\text{m}$ と $11 \text{ kN}\cdot\text{m}$ ではせん断耐力に違いは見られなかった。

また曲げ試験の結果からは、シャチ・ボルト間隔 300 mm の重ね梁の方が間隔 400 mm の重ね梁よりも強度が優れていること、曲げ強さについては 5% 下限値で見るとツインビームが 23.3 N/mm^2 、トリプルビームで 17.1 N/mm^2 と推定でき、縦振動ヤング係数 7.7 kN/mm^2 以上を有する長野県根羽村人工林で作ったツインビームはスギ無等級材の材料強度 22.2 N/mm^2 を満足するなど、エレメントが一体である接着重ね梁には及ばないが、強度性能に及ぼす影響（効果）は明確に認められた。

シャチ・ボルト接合重ね梁は意匠性に富むとともに、接着剤を使用しない解体後の再利用を容易にする環境材料として位置付けることができ、今回の評価試験により実用化の可能性を得た。

キーワード

異樹種集成管柱、異樹種異等級材たて継ぎラミナ(異樹種たて継ぎラミナ)、同樹種同等級材たて継ぎラミナ(同樹種たて継ぎラミナ)、異樹種たて継ぎ集成材、曲げ試験、引張り試験、接着はく離試験、煮沸はく離試験、浸せきはく離試験、減圧加圧試験、ブロックせん断試験、曲げ強さ(MOR)、曲げヤング係数(MOE)、高温セット法、接着重ね梁、ツインビーム、トリプルビーム、心持ち正角、縦振動ヤング係数(Efr)

目 次

I. 異樹種集成管柱の開発

1. 前年度試験結果と当年度の課題	1
2. 異樹種集成管柱の座屈性能	
2.1 曲げ試験における塑性圧縮ひずみ	2
2.2 座屈について	3
3. まとめ	7

II シャチ・ボルト接合によるスギ重ね梁の開発

1. 目的	8
2. 試験方法	8
2.1 材料	8
2.1.1 スギ正角（エレメント）の製造	8
2.1.2 エレメントの組合せ	8
2.1.3 シャチの構造	11
2.1.4 ボルト・ナット・角座金	11
2.2 シャチ・ボルト接合重ね梁の製造	11
2.2.1 シャチ・ボルト接合重ね梁の設計	11
(1) シャチ、ボルト間隔等の決定	11
(2) エレメントの組合せ	12
(3) 重ね梁の種類と数量	13
2.2.2 シャチ・ボルト接合重ね梁の製造	13
(1) エレメントの加工	13
(2) シャチの加工	13
(3) 組み立て	13
2.3 せん断試験体の作製	19
2.3.1 せん断試験体の作製	19
2.3.2 シャチ、ボルト等の総必要量	21
2.4 せん断試験	21
2.5 曲げ試験	23
3. 試験の結果	27
3.1 スギ正角（エレメント）の調査結果	27
3.2 せん断試験の結果	27
3.2.1 せん断破壊の状況	27

3.2.2	荷重と変位の関係	28
3.2.3	最大荷重、比例限度荷重とそれらの荷重に対応する変位	31
3.2.4	シャチの耐力	32
3.3	シャチ・ボルト接合重ね梁の曲げ試験の結果	35
3.3.1	荷重－変位曲線、エレメント間のずれ、写真	35
3.3.2	曲げ試験結果の集計	54
(1)	破壊形態	54
(2)	曲げヤング係数	55
(3)	曲げ強さ	56
(4)	エレメントの等級区分の意義	57
3.3.3	ボルト・シャチ接合が重ね梁の強度性能に及ぼす影響	57
(1)	重ね梁が一体であった場合（接着重ね梁）とエレメント間 が自由にずれた場合の曲げヤング係数、曲げ強さの推定	57
(2)	シャチ・ボルト接合と曲げヤング係数との関係	59
(3)	シャチ・ボルト接合と曲げ強さとの関係	60
(4)	シャチ・ボルト接合重ね梁の曲げ試験における最大荷重、 比例限度荷重、最大変位、エレメント間のずれ	62
4.	まとめ	63
5.	〔補稿〕スギ重ね梁材の開発と性能評価	65

I 異樹種集成管柱の開発

1. 前年度試験結果と当年度の課題

国産材を用いた集成材の製品化においては、樹種の各種性能や原木価格などを考慮して樹種特有の性能を組み合わせる付加価値を与える手法が検討される例が増えている。本試験で対象とする異樹種複合技術は耐朽性能に着目したものである。高耐朽性樹種と中もしくは低耐朽性樹種からなるラミナを長さ方向にたて継ぎした後積層接着することで集成材の長さ方向に耐朽性能の異なる部材開発を目指す。住宅の管柱として土台に接する付近には耐朽性が要求されることから、このような製品を開発して高耐朽性部分を選択的に利用することが考えられる。以降この製品を「異樹種集成管柱」と呼ぶ。

異樹種集成管柱の製造および性能について昨年度試験研究を行い下記のような結果を得た。

- (1) ラミナの強度等級が異なる異樹種たて継ぎラミナの MOE は、たて継ぎに用いたそれぞれのラミナの平均値にほぼ近似した。
- (2) ラミナの強度等級が異なる異樹種たて継ぎラミナの引張り強さは、たて継ぎに用いたそれぞれのラミナの引張り強さの平均からおおよそ推定できることが明らかになった。
- (3) L110 - L70 の縦継ぎ材を用いたヒノキスギ、ヒバースギの集成材はいずれもラミナの MOE から予測される強度等級 E85-F300 の基準を満たすことができず、一つ下の等級である E75-F270 の JAS 基準への格付けが相当と判断された。一方、L90 - L125 のたて継ぎ材を用いたヒバークラウドウッドの集成材は、ラミナの MOE から予測される強度等級 E105-F345 の JAS 基準値を満たした。
- (4) 接着性能のうち、はく離試験についてはいずれの組合せも JAS 基準に満たなかった。原因の究明と対処が必要である。ブロックせん断試験、FJ 部のはく離試験については JAS 基準を満足した。

以上の結果から問題点としては、ヒバ材、ホワイトウッド材を用いたたて継ぎ材（異樹種・同樹種を問わず）の引張試験において、FJ 部以外から破壊するケースが多く発生したため FJ の評価が十分できていない部分があったこと、接着性能において異樹種積層接着層が JAS はく離試験の合格水準に達しないことが挙げられるが、いずれも工場生産において問題解決可能であると考えられる。そこで本年度は、異樹種集成管柱の曲げ強度性能以外の性能評価、特に柱材としての利用が主となることから、座屈に関する性能評価を試みた。

2. 異樹種集成管柱の座屈性能

2.1 曲げ試験における塑性圧縮ひずみ

管柱は主として住宅にかかる鉛直力を負担することになるが、その際には座屈について検討する必要がある。座屈が生じるメカニズムについては、圧縮力以外の攪乱力が作用する場合か、材料内で微細な応力のアンバランスが生じる場合に生じるとされている。昨年度行った異樹種集成管柱(スギ:L70-ヒバ:L110)の曲げ試験において、圧縮側外縁部のひずみおよび曲げ試験時の中央たわみを曲げ応力に対してプロットしたものを図2-1に示す。図のひずみは、スギ材のフィンガージョイント近傍において測定されたものである。

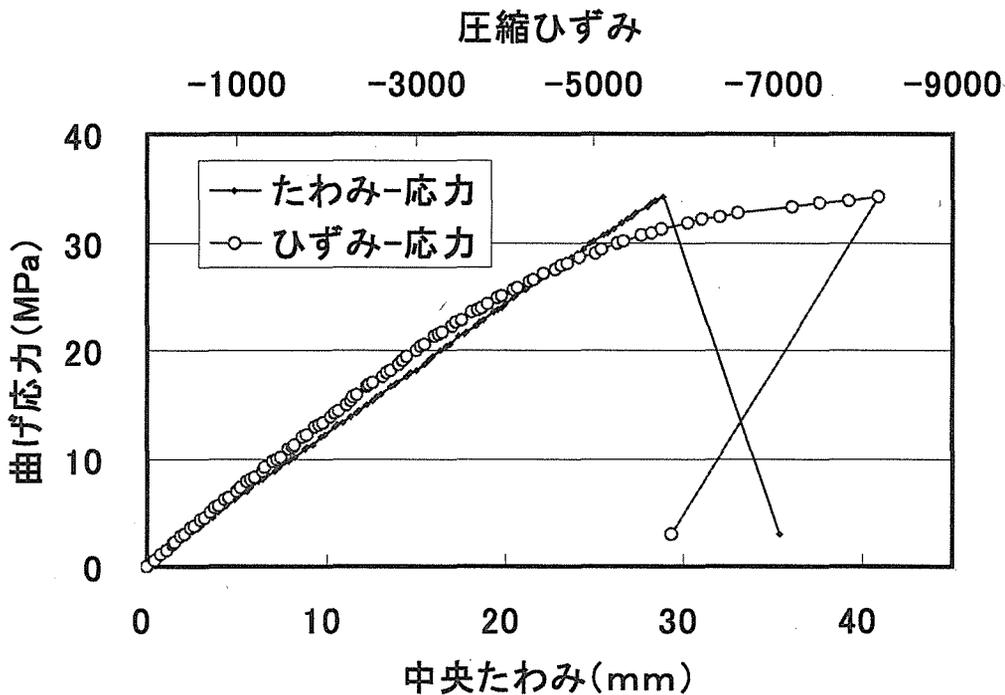


図2-1 曲げ試験において生じた圧縮塑性ひずみ

曲げ応力-たわみ曲線がまだ弾性域内にあるにもかかわらず、圧縮応力を受けるフィンガージョイントのスギ材部では塑性変形が始まっていることがわかる。このような局所的な現象が管柱の座屈に対して影響を与えることは十分考えられる。強度等級の異なるラミナをたて継ぎする場合が多い異樹種集成管柱について座屈に対する検討を行う。

2.2 座屈について

木質構造設計規準・同解説によれば座屈強度の算定は以下のように定められている。

$$\frac{N}{A} \frac{1}{\eta f_c} \leq 1 \quad (1)$$

N : 設計用軸方向圧縮力

A : 全断面積

f_c : 許容圧縮応力度

η : 座屈低減係数

$$\lambda \leq 30$$

$$\eta = 1$$

$$30 < \lambda \leq 100$$

$$\eta = 1.3 - 0.01 \lambda$$

$$100 < \lambda$$

$$\eta = 3000 / \lambda^2$$

λ : 細長比

$$\lambda = L_k / i \quad (2)$$

$$i = (I / A)^{0.5} = h / 3.46$$

i : 座屈方向の断面 2 次半径

I : 座屈方向の断面 2 次モーメント

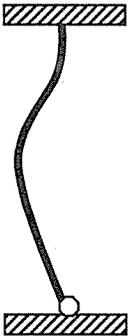
h : 座屈方向の材せい

L_k : 座屈長さ

$$L_k = L / C^{0.5}$$

C : 材端の支持条件により決まる値 (下表参照)

表 2-1 各種支持条件における座屈に関する係数

				
L_k	L	0.7 L	0.5 L	2 L
C	1	2	4	0.25

また、オイラー式を用いて材料のヤング係数から求めることもできる。

$$P_k = \frac{C \pi^2 E I}{L^2} \quad (3)$$

$$F_k = \frac{C \pi^2 E}{\lambda^2}$$

P_k : 座屈荷重

F_k : 座屈応力度

これらに基づいて以下の手法で異樹種たて継ぎ集成材の座屈強度の算定を行った。

1) $\lambda \leq 30$ (短柱)

同一等級集成材 4 層以上の基準強度に基づき、その比例限度応力を想定して 2 / 3 を乗じる。

2) $\lambda \geq 100$ (長柱)

オイラー式 (3) が成立するとして算定する。

3) $30 < \lambda < 100$ (中間柱)

$\lambda = 30$ と $\lambda = 100$ の値を直線補完して求める。

なお、柱の断面は 105mm × 105mm とする。

算出した結果を表 2-2 に示す。

L110-L70 の組合せの場合、集成材全体の曲げヤング係数は昨年の結果からほぼ E90 の等級になることがわかっている。この場合、柱長さ 2700mm、支持条件を両端ピン ($C = 1$) とすると座屈強度を考慮した基準強度は 3.6 N/mm^2 となる。なお、L70 の場合は 2.8 N/mm^2 、また、L110 の場合は 4.4 N/mm^2 となる。

この条件における細長比は 78 で中間柱の領域であった。

本来、異樹種たて継ぎ部の挙動を明らかにする必要があるが、ここでは図 2-2 のようなモデルを仮定して柱の設計について考察する。まず、管柱材のラミナ構成として高い耐朽性の求められる管柱下部 1000mm をスギ材の L70 で構成し、その上部 1700mm を L110 で構成する。支持条件が問題となるが、異樹種たて継ぎ部がフリーとなる場合を想定するため土台および梁との接合部は固定とする。具体的には、下側 1000mm は土台から立ち上がった部材で下端は固定で上端フリー、また、上側 1700mm は梁材に上端固定で下端フリーとし、 $C = 0.25$ として計算を行った。このモデルの場合、下側は細長比 $\lambda = 66$ の中間柱となり座屈強度は 3.6 N/mm^2 、上部は $\lambda = 112$ のいわゆる長柱となり座屈強度は 0.7 N/mm^2

となり、管柱としての座屈強度は 0.7 N/mm^2 となった。実際には、異樹種でフィンガージョイントされる部分がフリーになることはありえないので上記モデルはかなり安全側の値を示していると考えられるが、これでは設計の自由度がかなり制約される。柱材への最大載荷荷重を考える場合一つの目安として土台もしくは梁材への横圧縮（めり込み）強さも重要になることが知られている。最もめり込み強さが低い樹種スギ、もしくはベイスギでも材端部に柱材がくる場合のめり込み許容応力度は 1.6 N/mm^2 、材中間部に柱材がくる場合には 2.0 N/mm^2 が必要となるが、これらの値と比較して座屈強度は半分にも満たない。

そこで、このモデルにおいてより座屈強度を向上させる手法を考察した。(3)式からもわかるように座屈強度を向上させるには、 C を大きくすること、ヤング係数を高

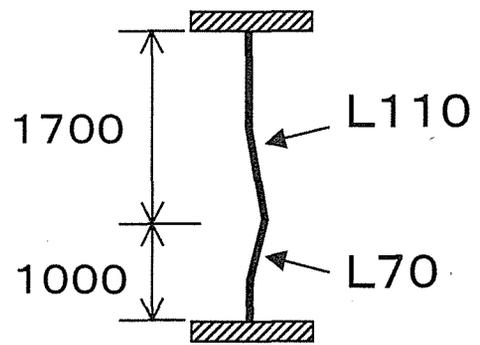


図 2-2 解析モデル

表 2-2 座屈強度 (105 角の場合)

等級	長さ(mm)	C	
		0.25	1
E70	1000	3.6	
	1350	1.5	
	1700	0.4	
	2700		2.8
E90	1000	4.3	
	1350	1.8	
	1700	0.6	
	2700		3.6
E110	1000	4.9	
	1350	2.2	
	1700	0.7	
	2700		4.4
E125	1000	5.4	
	1350	2.4	
	1700	0.8	
	2700		5.0
E140	1000	5.9	
	1350	2.6	
	1700	0.9	
	2700		5.5

めること、細長比 λ を小さくすること、以上3つの方法がある。Cはモデルを固定するため動かさない。また、曲げヤング係数の高いものを使用することを試みたがL140を利用して最大 0.9 N/mm^2 までしか向上しないことがわかった。そこで λ を変化させて最適なラミナ構成について考察した。 λ は(2)式に示されるように座屈長さに比例し、断面係数に反比例することから、たて継ぎ位置を変えて座屈長さを小さくすること、柱断面を太くして $120\text{ mm}\times 120\text{ mm}$ にした場合について考察した。

その結果、たて継ぎ位置を柱材の中央(下側 1350 mm)とすることで、上側の細長比が $\lambda = 78$ の中間柱となり、これにより上側座屈強さが 0.7 N/mm^2 から 2.2 N/mm^2 まで向上することがわかった。この場合、下側の λ が大きくなるため座屈強さは 1.5 N/mm^2 になるため、この構成の管柱の座屈強さも 1.5 N/mm^2 になる。さらに、たて継ぎ位置を変えてその最適位置を計算したところ、下側 1300 mm 、上側 1400 mm の場合に座屈強さが 1.8 N/mm^2 となることがわかった。

さらに柱断面を $120\text{ mm}\times 120\text{ mm}$ にすることで λ の削減が見込めることから、同様の解析を行った結果を表2-3に示す。たて継ぎ位置を下側 1350 mm にすることで座屈強さを 2.5 N/mm^2 とすることができ、さらにたて継ぎ位置を下側 1300 mm 、上側 1400 mm とした場合に、座屈強さが 2.8 N/mm^2 となることがわかった。そして、この場合、ヒノキ等の土台を使用した際のめり込み強さ 2.7 N/mm^2 に相当する座屈強さが得られることから、異樹種たて継ぎ管柱としての最適な構成と考えられる。

表 2-3 座屈強さ (120mm 角)

等級	長さ(mm)	C	
		0.25	1
E70	1000	4.3	
	1350	2.5	
	1700	0.7	
	2700		3.6
E90	1000	5.1	
	1350	3.0	
	1700	0.9	
	2700		4.7
E110	1000	5.9	
	1350	3.5	
	1700	1.1	
	2700		5.7
E125	1000	6.4	
	1350	3.8	
	1700	1.2	
	2700		6.5
E140	1000	7.1	
	1350	4.2	
	1700	1.4	
	2700		7.2

3. まとめ

異樹種たて継ぎ管柱の設計における座屈強さについて考察を行った。

- 1) 管柱下側にスギ L70、上側に L110 のラミナを使用した 105mm 角（長さ 2700mm）の場合、たて継ぎ部を管柱の長さ方向の下から 1000mm に配した場合、たて継ぎ部の上側の細長比が大きくなるため、座屈強さは 0.7 N/mm^2 と小さくなることがわかった。
- 2) 管柱下側にスギ L70、上側に L110 のラミナを使用した 105mm 角の場合、たて継ぎ部を管柱の長さ方向の中央に配することで、最も高い座屈強さが得られることが明らかになった。その場合、座屈強さは 1.8 N/mm^2 であった。
- 3) さらに、断面を 120mm 角にすることで、座屈強さは 2.8 N/mm^2 にまで向上可能であることがわかった。
- 4) これらのことより、異樹種たて継ぎ集成管柱の座屈強さは、他構成・等級の集成材同様設計に供することができると考えられる。
- 5) ただし、今回の解析にあたって採用したモデルは、異樹種たて継ぎ部で生じる座屈に言及したものではないので、今回の解析結果以上の高い性能値での設計が必要になる場合は実験等でその強度を確認する必要がある。

Ⅱ. シャチ・ボルト接合によるスギ重ね梁の開発

1. 目的

近年のスギ乾燥技術の進歩から、背割りのない、心持ちのスギ正角の乾燥材が割れの少ない状態で得られるようになった。

昨年の本事業において、それら正角（エレメント）を2本、あるいは3本積層接着した接着重ね梁（ツインビーム、トリプルビーム）の性能評価を行った。

本年度はシャチ・ボルト接合によるスギ重ね梁を作製し、その性能を評価する。シャチ・ボルト接合を検討する意義は「接着剤を使用せず、解体後の再利用を容易にする環境材料として位置付けることができる。」「見え掛りの梁、桁としての意匠性も評価できる。」の2点に集約できる。

2. 試験方法

2.1 材料

2.1.1 スギ正角（エレメント）の製造

長野県下伊那郡根羽村産人工林スギ丸太80本から132×132×4000mmの正角80本を得た。

人工乾燥は、蒸気式木材乾燥装置（SKD型新柴設備製）を用い、心持ち正角の高温セット法による標準スケジュール（全国木材協同組合連合会：わかりやすい樹種別乾燥材生産の技術マニュアル2004.3 P.26）とした（表2.1-1）。製材および人工乾燥は根羽村森林組合に委託した。

表 2.1-1 乾燥スケジュール

時間 (hr)	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	温度差 (°C)	備考
6	95	95	0	蒸煮
0~24	120	90	30	高温セット
24~192	90	60	30	乾燥
192~216	降 温			

2.1.2 エレメントの組合せ

人工乾燥終了材を長野県小県郡長門町齊藤木材工業(株)ナガト工場にて4面モルダ仕上げを行い120mm×120mmの断面に仕上げた。続いて、縦振動ヤング係数（Efr）を測定し、Efrによって接着重ね梁用、せん断試験用、含水率測定用に仕分け、さらに重ね梁の組合せを決定した。

正角80本を表2.1-2のように区分した。Efrの測定は(株)エーティーエー製ハンディーグレーダーHG-2001を用い、基本振動数（Hz）と重量を測定し、常法によりEfrを計算した。

この間の一連の記録を写真2.1-1から写真2.1-8に示した。

表 2.1-2 試験体の仕分け

番号 Efr順	仕分け先 No	区分	番号 Efr順	仕分け先 No	区分	番号 Efr順	仕分け先 No	区分
1		予備	28	2452	ツイン 45	55	2454	ツイン 45
2		予備	29	2452	ツイン 45	56	2454	ツイン 45
3		予備	30	3452	トリプル 45	57	3454	トリプル 45
4		予備	31	3452	トリプル 45	58	3454	トリプル 45
5	Mc1	含水率測定	32	3452	トリプル 45	59	3454	トリプル 45
6	S301	せん断 30	33	S302	せん断 30	60	MC4	含水率測定
7	S301	せん断 30	34	S302	せん断 30	61	2305	ツイン 30
8	S301	せん断 30	35	S302	せん断 30	62	2305	ツイン 30
9	S451	せん断 45	36	S452	せん断 45	63	3305	トリプル 30
10	S451	せん断 45	37	S452	せん断 45	64	3305	トリプル 30
11	S451	せん断 45	38	S452	せん断 45	65	3305	トリプル 30
12	2301	ツイン 30	39	MC3	含水率測定	66	2455	ツイン 45
13	2301	ツイン 30	40	2303	ツイン 30	67	2455	ツイン 45
14	3301	トリプル 30	41	2303	ツイン 30	68	3455	トリプル 45
15	3301	トリプル 30	42	3303	トリプル 30	69	3455	トリプル 45
16	3301	トリプル 30	43	3303	トリプル 30	70	3455	トリプル 45
17	2451	ツイン 45	44	3303	トリプル 30	71	S303	せん断 30
18	2451	ツイン 45	45	2453	ツイン 45	72	S303	せん断 30
19	3451	トリプル 45	46	2453	ツイン 45	73	S303	せん断 30
20	3451	トリプル 45	47	3453	トリプル 45	74	S453	せん断 45
21	3451	トリプル 45	48	3453	トリプル 45	75	S453	せん断 45
22	MC2	含水率測定	49	3453	トリプル 45	76	S453	せん断 45
23	2302	ツイン 30	50	2304	ツイン 30	77	MC5	含水率測定
24	2302	ツイン 30	51	2304	ツイン 30	78		予備
25	3302	トリプル 30	52	3304	トリプル 30	79		予備
26	3302	トリプル 30	53	3304	トリプル 30	80		予備
27	3302	トリプル 30	54	3304	トリプル 30			

MC1～MC5：含水率測定用 5 試験体、S301～S303：シャチピッチ 300mm のせん断試験体

S451～S453：シャチピッチ 450mm のせん断試験体、2301～2305：シャチピッチ 300mm のツインビーム 5 試験体、3301～3305：シャチピッチ 300mm のトリプルビーム 5 試験体、2451～2455：シャチピッチ 45mm のツインビーム 5 試験体、3451～3455：シャチピッチ 450mm のトリプルビーム 5 試験体

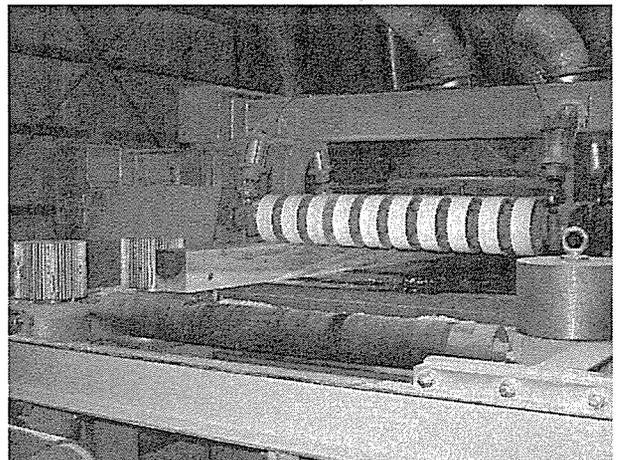


写真 2.1-1 人工乾燥が終了したスギ正角 写真 2.2-2 スギ正角のモルダ仕上げ
(エレメント)



写真 2.1-3 縦振動ヤング係数 (Efr)
の測定 (全景)



写真 2.1-4 縦振動ヤング係数 (Efr)
の測定 (打撃)

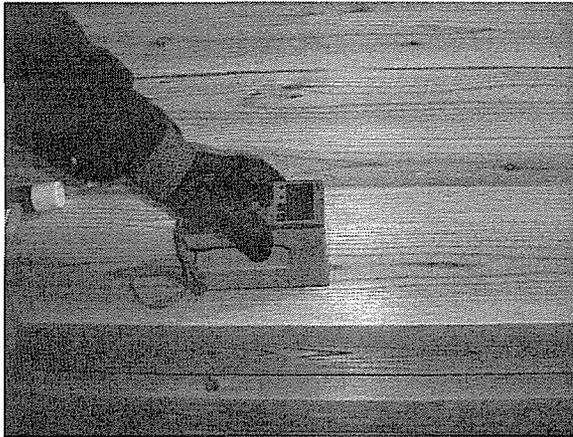


写真 2.1-5 エレメントの含水率の測定



写真 2.1-6 エレメントの寸法の測定



写真 2.1-7 Efr 測定が終了した
エレメント



写真 2.1-8 重ね梁の組合せが終了した
エレメント

2.1.3 シャチの製造

シャチに用いる樹種はケヤキで、寸法は幅 120mm、厚さ 30mm、長さ 90mm の縦シャチ 1 種類とした (図 2.1-1)。

シャチの形状については、(財)日本住宅・木材技術センター事業 (木造軸組み構法等の開発業務報告書—合成梁等の利用開発—:昭和 60 年 3 月)において①横シャチ (シャチの繊維方向が梁に直行)、②縦シャチ (シャチの方向が梁材と同じ)、③アリ型シャチ、④変則 6 角断面シャチのせん断試験が行われており、最も性能のよかった縦シャチを採用した。

シャチの材料であるケヤキは、伊那市西箕輪有賀建具店において、数年間天然乾燥されていた板を、幅 120mm、厚さ 30mm の断面に仕上げたものを購入し、長さ決めは齊藤木材工業ナガト工場において行った (写真 2.1-9)。

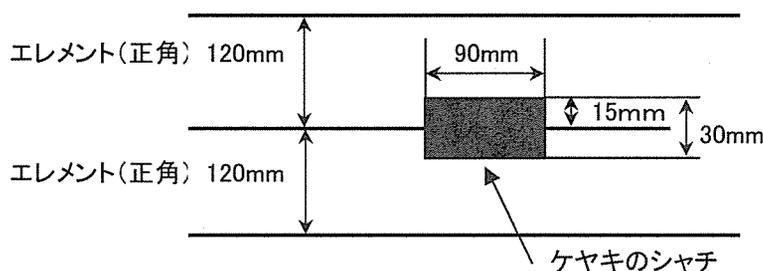


図 2.1-1 シャチの形状

2.1.4 ボルト・ナット・角座金

ボルト・ナットは 12φ (M12)、角座金は 4.5w×40mm を用いた (写真 2.1-10)。



写真 2.1-9 ケヤキのシャチ

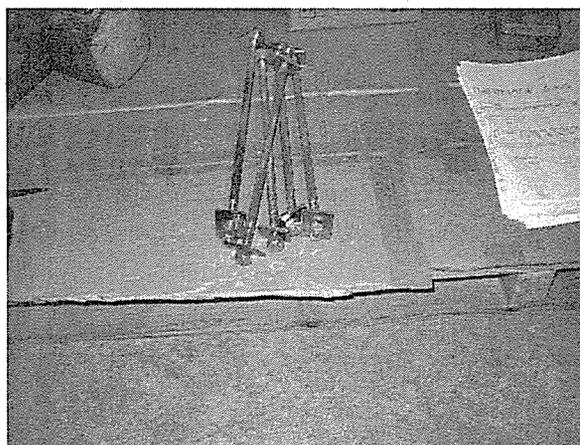


写真 2.1-10 ボルト、ナット、角座金

2.2 シャチ・ボルト接合重ね梁の製造

2.2.1 シャチ・ボルト接合重ね梁の設計

(1) シャチ、ボルト間隔等の決定

製造する重ね梁はツイン、トリプルの 2 種類、かつそれぞれにボルト間隔を 300mm 及び 450mm の 2 水準設定した。曲げ試験においてせん断力の発生が少ない重ね梁の

中央部はシャチ及びボルトを省略したものとした（図 2.2-1）。ボルト孔径は 13mm とした。

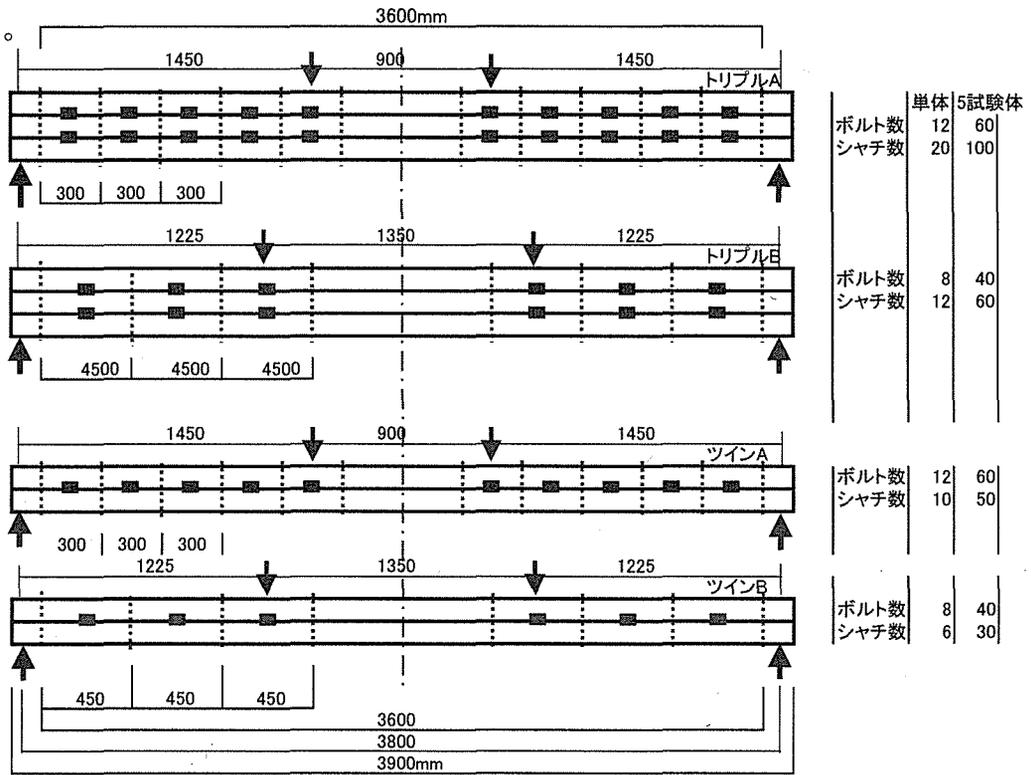


図 2.2-1 シャチ・ボルト接合重ね梁の設計
(矢印は曲げ試験における加力点を示す。)

(2) エレメントの組合せ

エレメントの組合せを図 2.2-2 に示した。

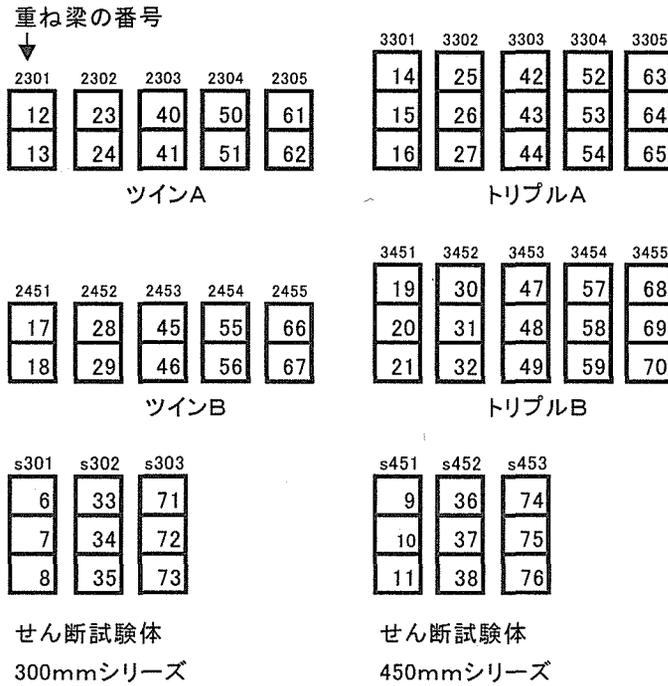


図 2.2-2 エレメントの組合せ

エレメント内の番号は Efr 順のエレメント番号を示す（表 2.1-2 を参照）。

(3) 重ね梁の種類と数量

シャチ・ボルト接合重ね梁に必要な部品数を表 2.2-1 に一覧した。

表 2.2-1 シャチ・ボルト接合重ね梁の数量と必要部品数

種類	試験体数	エレメント数	シャチ数	ボルト数	ナット数	角座金数
トリプルA	5	15	100	60	60	120
トリプルB	5	15	60	40	40	80
ツインA	5	10	50	60	60	120
ツインB	5	10	30	40	40	80
合計	20	50	240	200	200	400

2.2.2 シャチ・ボルト接合重ね梁の製造

(1) エレメントの加工

エレメントの加工方法（シャチ溝位置）を図 2.2-3 に示した。

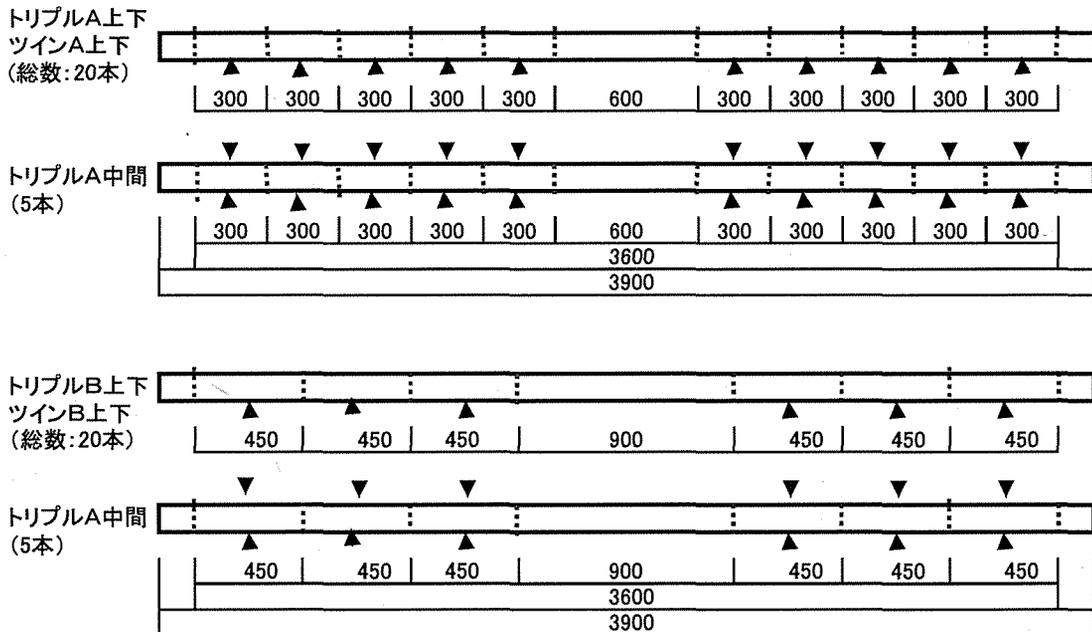
加工は齋藤木材工業ナガト工場において大型構造材用プレカットマシンを用いて行った。ボルト孔は 13mm とした。

(2) シャチの加工

シャチは長さ 90mm に齋藤木材工業にて切りだし、幅 120mm、厚さ 30mm、長さ 90mm の縦シャチとした。

(3) 組み立て

ボルトで重ね梁を作成し、シャチをカケヤで横から叩き込んだ。



▼ ▲ : 単に欠き込みを入れる位置を示す。

⋮ : ボルト孔の位置を示す。

図 2.2-3 エレメントの加工

シャチ・ボルト接合重ね梁製造の一連の流れを写真 2.2-1～写真 2.2-24 に一覧した。



写真 2.2-1 プレカットマシン全景

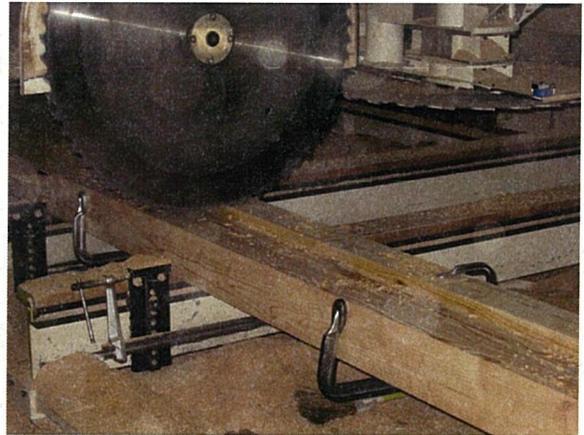


写真 2.2-2 チップソーによる溝入れ

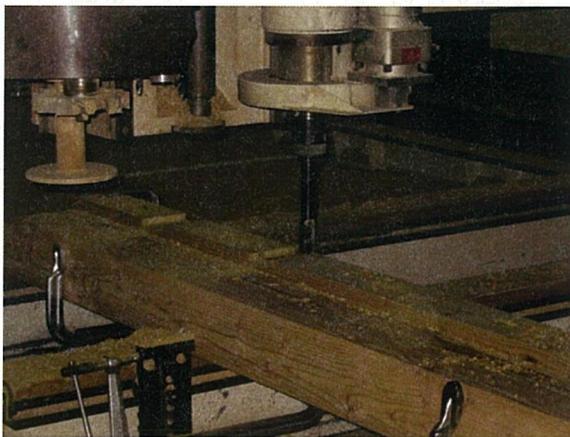


写真 2.2-3 ルータによる搔きとり



写真 2.2-4 シャチを挿入するための
切り込みの完成

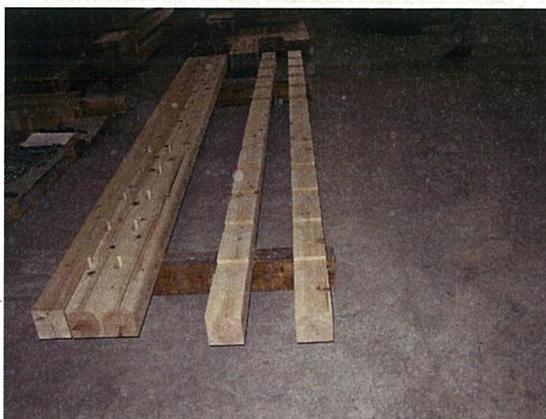


写真 2.2-5 ツインビームの欠きこみ



写真 2.2-6 ツインビームの組み立て開始



写真 2.2-7 $\phi 13\text{mm}$ の孔に
 $\phi 12\text{mm}$ のボルトを通す



写真 2.2-8 ナットの仮締め



写真 2.2-9 シャチを建てる



写真 2.2-10 シャチを建てる (拡大)



写真 2.2-11 シャチをカケヤで叩き込む



写真 2.2-12 ボルトを締める



写真 2.2-13 ツインビームの完成



写真 2.2-14 トリプルビームの
組み立て開始



写真 2.2-15 トリプルビーム
エレメントの組み立て



写真 2.2-16 ボルトの挿入



写真 2.2-17 ボルト、ナットの仮締め



写真 2.2-18 シャチの挿入
(金槌で軽く仮挿入)



写真 2.2-19 シャチの仮挿入終了



写真 2.2-20 カケヤでの叩き込み



写真 2.2-21 ボルト締め



写真 2.2-22 トリプルビームの完成



写真 2.2-23 トリプルビームの完成



写真 2.2-24 完成したシャチ・ボルト接合重ね梁
手前は予備材、中央の溝加工材は予備的に溝加工をしたサンプル

2.3 せん断試験体の作製

2.3.1 せん断試験体の作製

せん断試験体用のエレメントは、表 2.3-1 に示したように Efr の低、中、高の 3 グループ内で、シャチピッチ 300mm (トリプル A タイプ) とシャチピッチ 450mm (トリプル B タイプ) の 2 種類作製した (図 2.3-1)。

トリプルビームと同じ方法でエレメントのプレカットを行い、それらを予定の長さに切断して組み立てた。図 2.3-2 は試験体を作製するための参考図であり、エレメントの加工のみを行い、切断してから組み立てた。図に示したように 1 本分のトリプルビームの材料から A タイプで 6 試験体、B タイプで 4 試験体が得られた。せん断試験に関わる材料数量を表 2.3-1 に示した。

せん断試験体の作製手順を写真に示した。

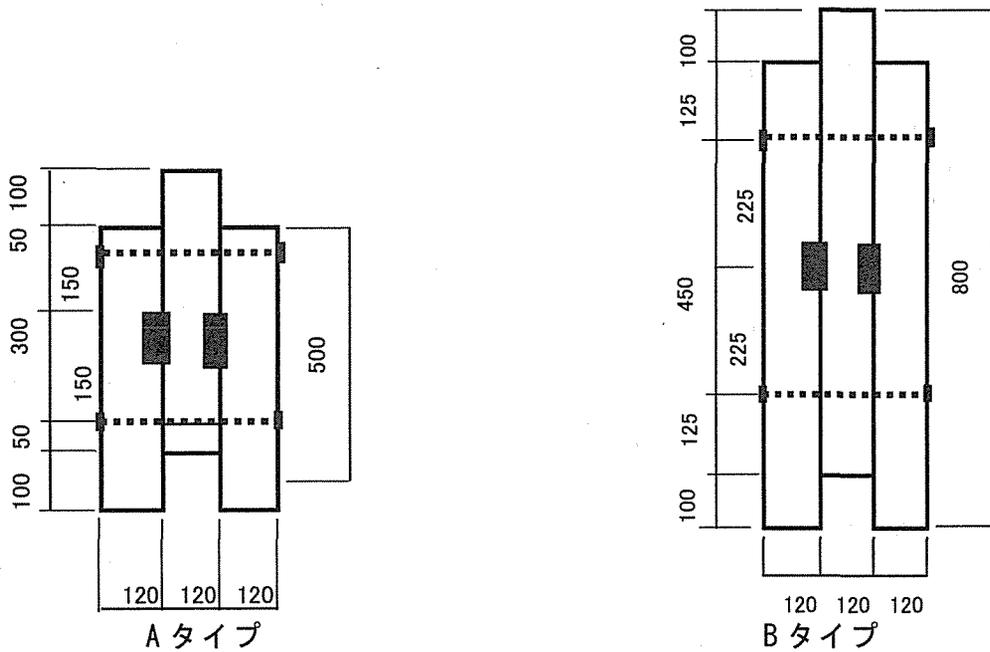


図 2.3-1 せん断試験体の設計

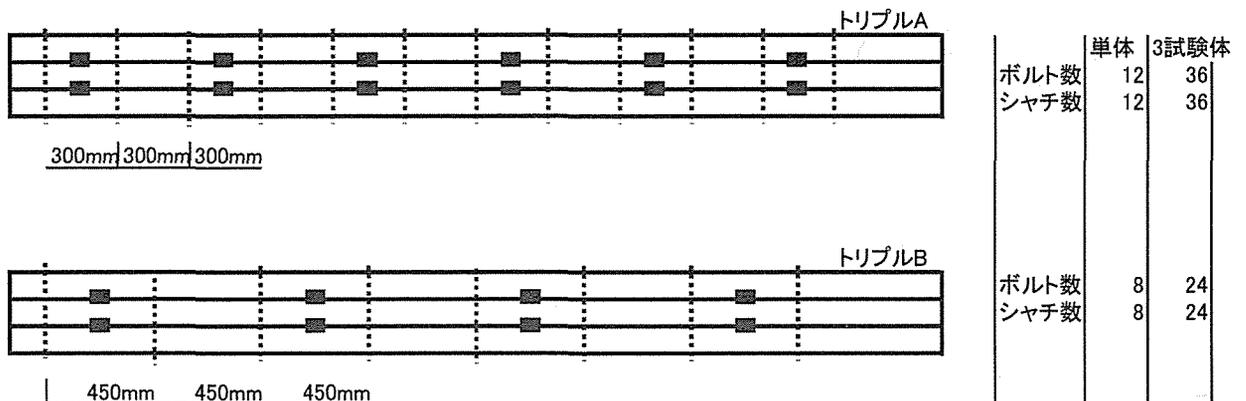


図 2.3-2 せん断試験体を作製するための参考図

表 2.3-1 せん断試験に関わる材料数量

種類	試験体数	エレメント数	シャチ数	ボルト数	ナット数	角座金数
トリプルA	$6 \times 3 = 18$	$3 \times 3 = 9$	36	36	36	72
トリプルB	$4 \times 3 = 12$	$3 \times 3 = 9$	24	24	24	48
合計	30	18	60	60	60	120

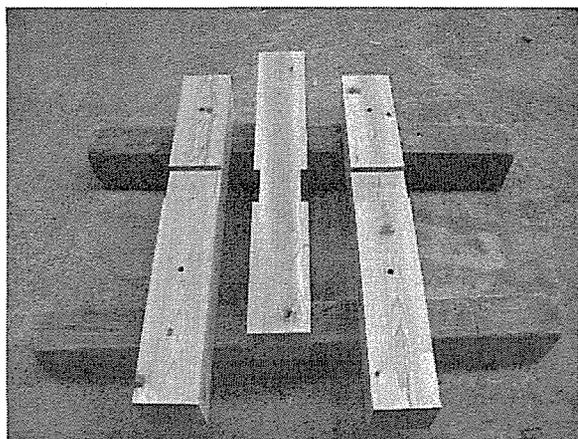


写真 2.3-1 せん断試験体の溝加工

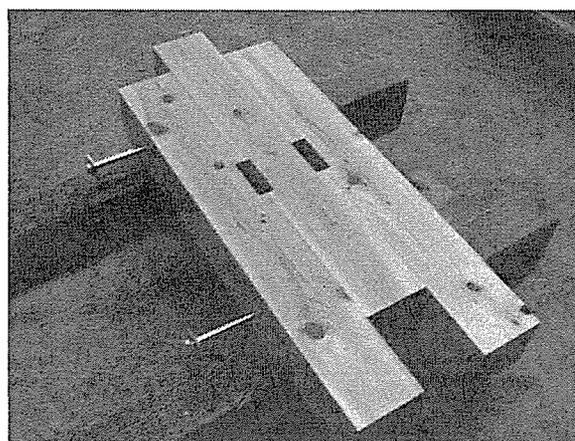


写真 2.3-2 ボルトを通す

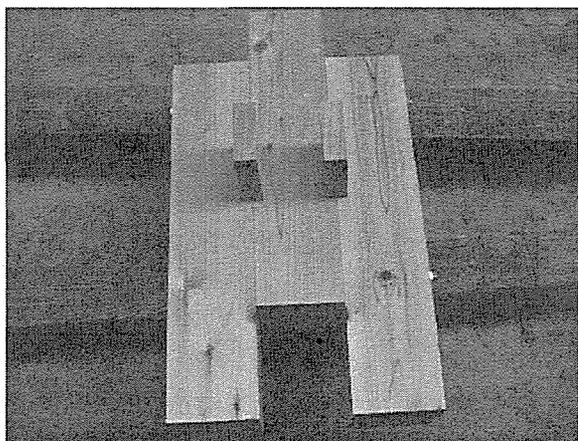


写真 2.3-3 シャチを叩き込む

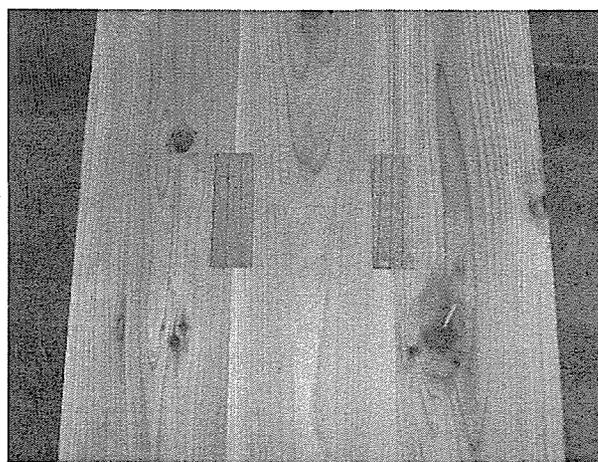


写真 2.3-4 叩き込まれたシャチ

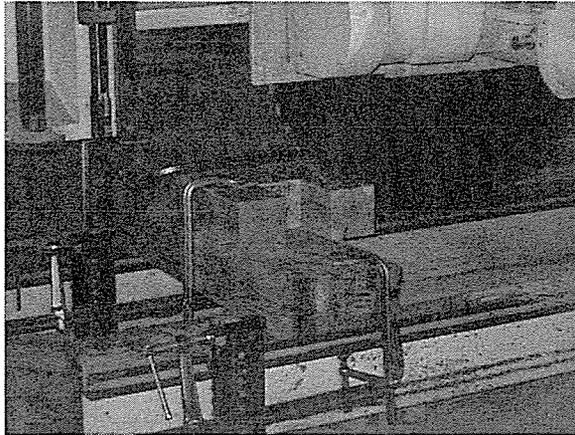


写真 2.3-5 せん断試験体の脚部の仕上げ

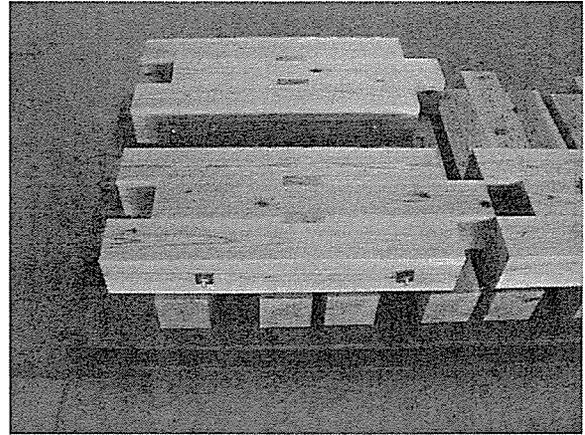


写真 2.3-6 せん断試験体の完成

2.3.2 シャチ、ボルト等の総必要量

参考のためにシャチ、ボルト等の総必要量を表 2.3-2 に示した。

表 2.3-2 シャチ、ボルト等の必要量

種類	シャチ	ボルト	ナット	角座金	備考
重ね梁用	240	200	200	400	表-3より
せん断試験用	60	60	60	120	表-4より
計	300	260	260	520	

2.4 せん断試験

表 2.4-1 に作製したせん断試験体の内訳を示した。シャチ間隔 30cm の A タイプは各条件の試験体数はそれぞれ 6 であったが、せん断試験は 4 体とした。残りは予備的な試験とシャチのないボルトだけで接合した試験体とした。

区分ごとにナットの締めつけ圧を 2 水準設定した。すなわち 2 試験体をトルクレンチによる締めつけ圧 $22\text{kN}\cdot\text{m}$ (座金が材に若干めり込む程度) でナットを締め付けた。残り 2 試験体は $11\text{kN}\cdot\text{m}$ で締め付けた (写真 2.4-1)。

表 2.4-1 せん断試験体の内訳

	Elow	Emiddle	Ehigh	計
Aタイプ	6	6	6	18
Bタイプ	4	4	4	12

Elow: ヤング係数が低いエレメントからなる試験体、Emiddle: ヤング係数が中間のエレメントからなる試験体、Ehigh: ヤング係数が高いエレメントからなる試験体

試験の方法を図 2.4-1 に示した。

せん断試験は島津製作所製短柱圧縮試験機 CCM-2000kN を使い、試験体の下部を広がり (ずれ) 防止の治具 (写真 2.3-8) で押え、クロスヘッドスピード $2\text{mm}/\text{min}$ で行った。予備的実験において主材と側材のずれ (変位) を表裏 4 ヶ所で測定したが、4 測点での荷重と変位の傾向はほとんど違いがなかった (図 2.4-2)。よって本試験にお

ける側点は図 2.4-1 に示した 2ヶ所とした (写真 2.4-2)。センサは CDP-50 (東京測器) 製を用いた。荷重-変位曲線 (この時の変位は 2 箇所 の平均値) を得るとともに、最大荷重、比例限度荷重に対応する変位をそれぞれ求めた。

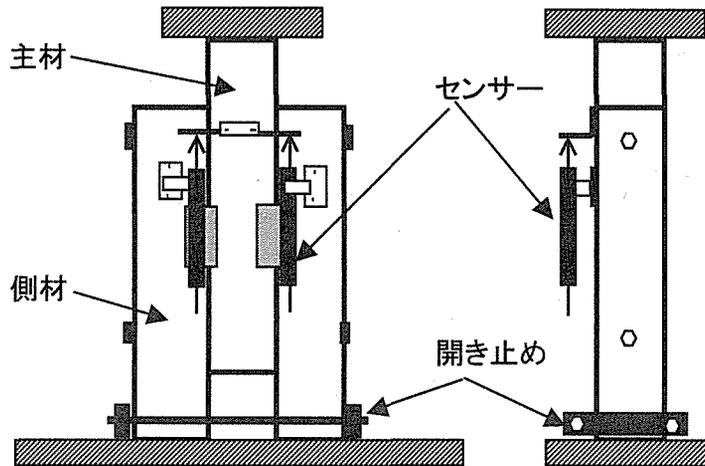


図 2.4-1 せん断試験の方法

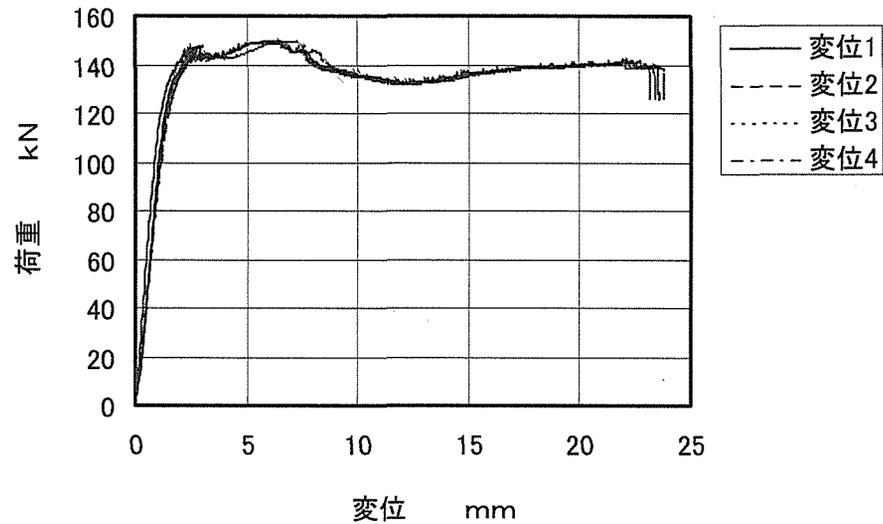


図 2.4-2 主材と測材の表裏 4ヶ所で測定した変位と荷重の関係



写真 2.4-1 トルクレンチでのボルトの締め付け

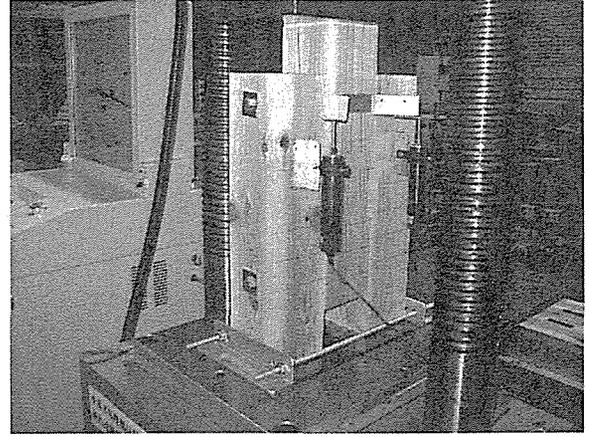


写真 2.4-2 せん断試験
センサと開き防止治具のセット

2.5 曲げ試験

すべての曲げ試験用のシャチ・ボルト接合による重ね梁は締め付け力 $22 \text{ kN} \cdot \text{m}$ で締め付けた後試験に供した (写真 2.5-1)。

図 2.5-1 に曲げ試験の方法を示した。強度試験機へのセットは重ね梁のナット側を上部とした。

試験機は 1000 kN 実大材曲げ試験機 (島津製作所製) を用い、試験条件は図 2.5-1 に示したようにスパン 3800 mm の4分点荷重方式 (上部荷重点間距離はシャチ間隔 300 mm の重ね梁はツイン、トリプルとも 900 mm 、 450 mm 間隔の重ね梁は同様に 1350 mm) とした。加力速度は $15 \text{ mm}/\text{min}$ とした。

試験の全景を写真 2.5-2 に示した。

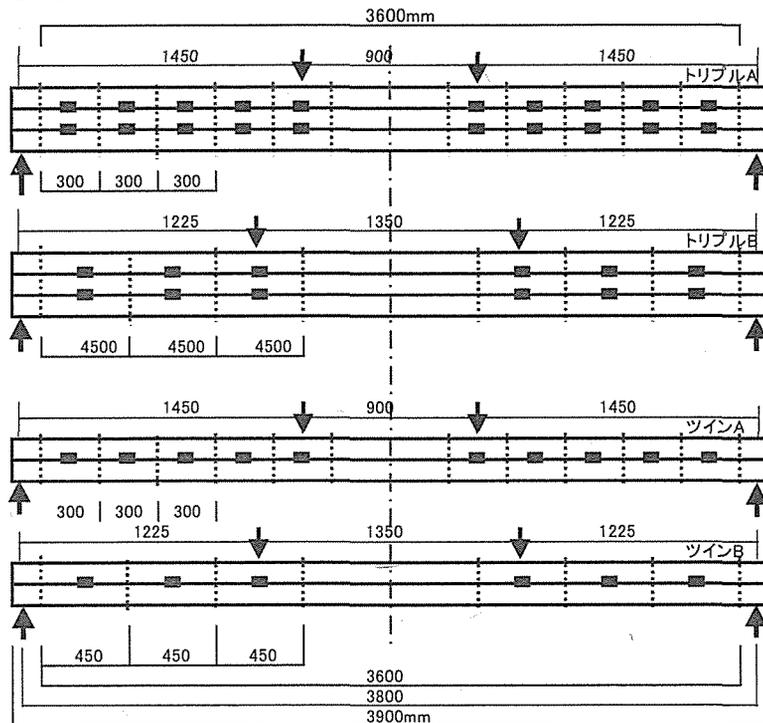


図 2.5-1 実大材曲げ試験におけるスパン条件



写真 2.5-1 トルクレンチによる
ナットの締め付け

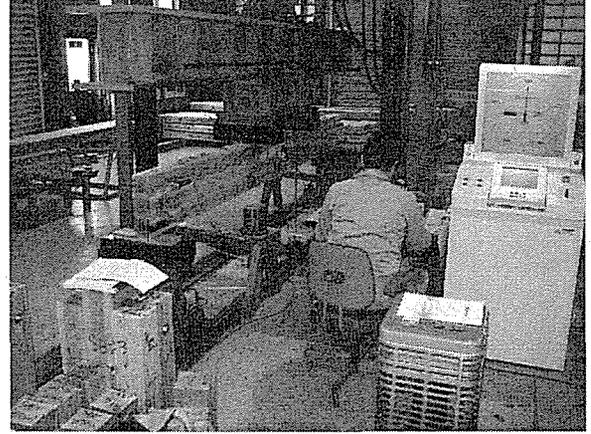


写真 2.5-2 曲げ試験全景

図 2.5-2 に変位計の配置を示した。

曲げ試験の変位はスパン 3800mm に対応する変位、モーメント一定区間の変位（測定スパンは上部荷重点間距離 900mm は 600mm、同 1350mm は 800mm）を測定した（図 2.5-2、写真 2.5-3）。重ね梁を構成するエレメント間のずれを、最大ずれが発生する材端部において測定した（図 2.5-2、写真 2.5-4～写真 2.5-8）。

最大荷重からみかけの曲げ強さ、荷重と全体変位の関係から見かけの曲げヤング係数 1 (MOE1)、モーメント一定区間内で測定した変位からもみかけのヤング係数 2 (MOE2) を計算した。

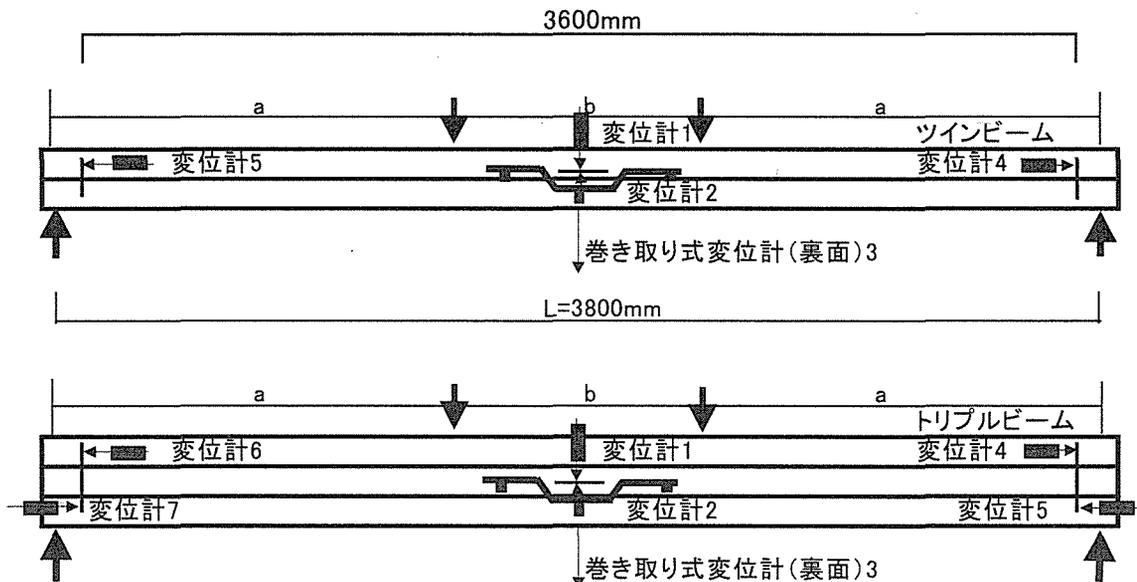


図 2.5-2 シャチ・ボルト接合によるスギ重ね梁の曲げ試験

変位計 1: 全体変位測定 (試験中にはずす)

変位計 2: モーメント一定区間内での変位測定 (試験中にはずす)

変位計 3: 全体変位測定 (試験終了時まで)

変位計 4~7: 重ね梁を構成するエレメント相互のずれ (変位) を測定 (試験終了まで)

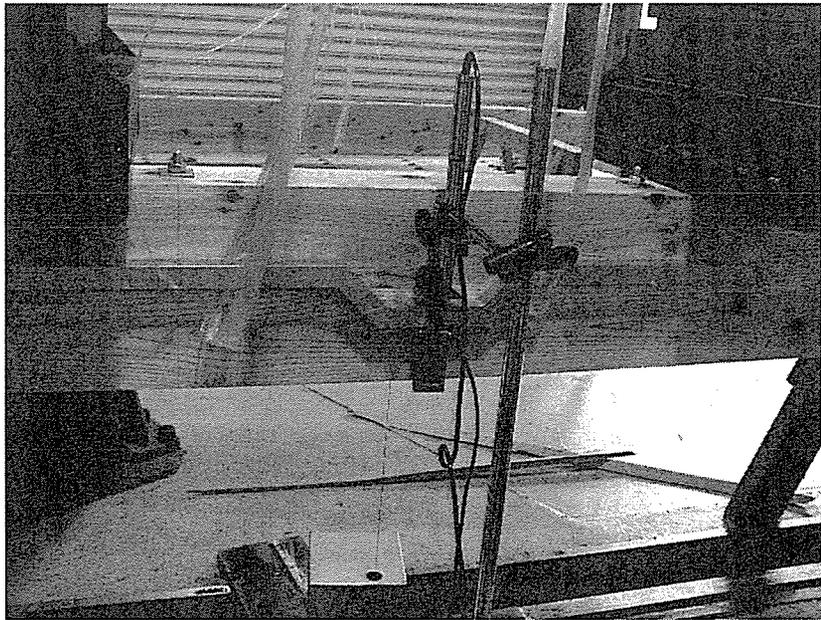


写真 2.5-3 変位計 1~3 の取り付け (図 2.5-2 参照)

重ね梁を構成するエレメント間のずれを測定するためのセンサの取り付け方法を写真に示した。当初 2 材間の材面のずれを測定するために写真 2.5-4 の方法を取ったが、せん断破壊した場合、センサ、あるいは受け治具がずれることがわかったので、途中で写真 2.5-5 の方法に切り替えた。トリプルビームはすべて写真 2.5-6、写真 2.5-7 の方法でセンサを取り付けた。

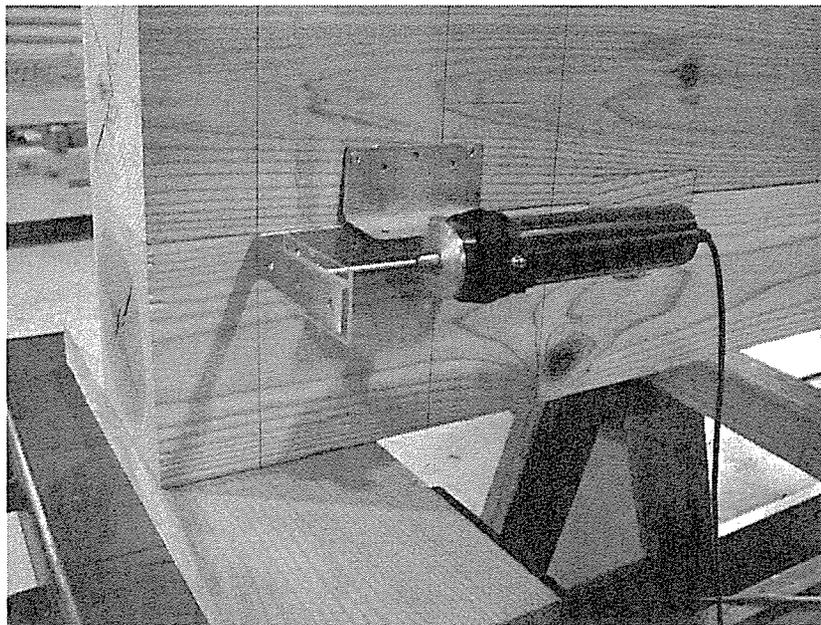


写真 2.5-4 ツインビームの変位計 4 の取り付け (図 2.5-2 参照)

せん断破壊したときセンサの受けが移動し、エレメント間のずれの測定が不能になる場合があり途中から写真 2.5-5 の方式に変更した。



写真 2.5-5 ツインビームの変位計 4、5 の取り付け (図 2.5-2 参照)

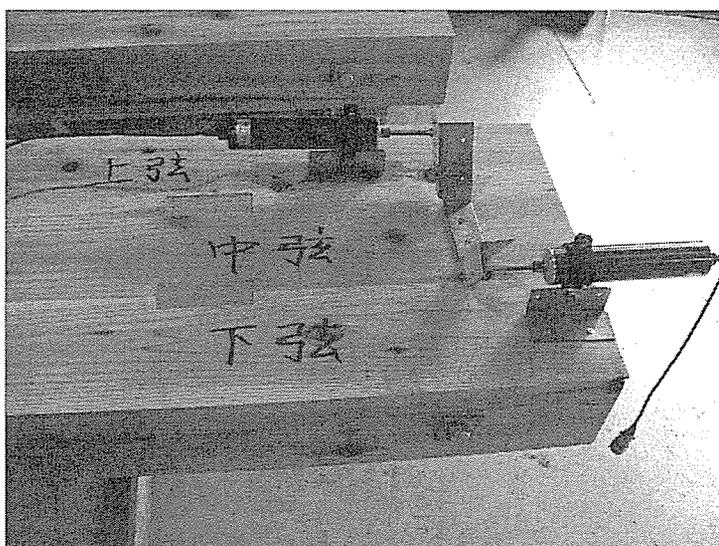


写真 2.5-6 変位計 4、5 の取り付け (図 2.5-2 参照)

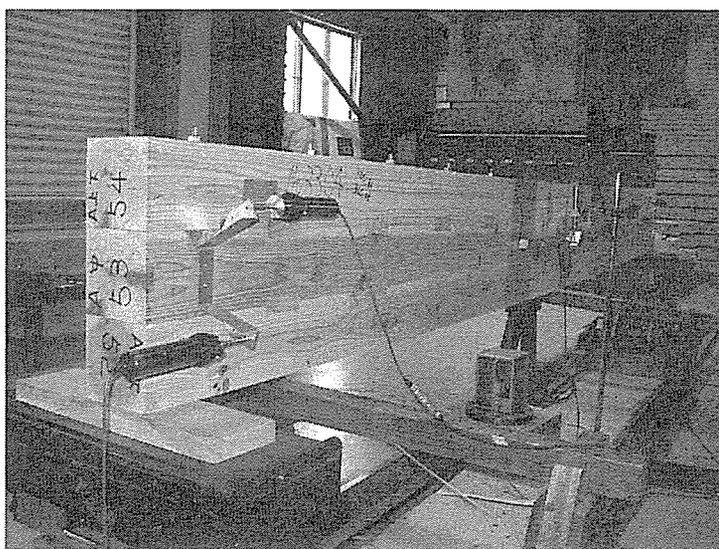


写真 2.5-7 トリプルビームを試験機にセット (図 2.5-2 参照)

3 試験の結果

3.1 スギ正角（エレメント）の調査結果

120×120mm 正角（エレメント）80本の重量、密度、縦振動ヤング係数（Efr）の集計結果を表 3.1-1 に示した。含水率は高周波式木材水分計（モコ2：ケット社製）（写真 2.1-5）での測定値である。含水率測定用試験体の全乾法による含水率測定結果は表 2.1-2 の番号 5、22、39、60、77、それぞれで順に 39.6%、12.9%、17.3%、15.2%、12.3%であり平均（標準偏差）は 19.5%（10.2%）であった。図 3.1-1 に Efr の分布を示した。表 2.1-2 に示したように Efr が低いほうから 4 本、高いほうから 3 本を予備として残したので、ツインビーム、トリプルビーム等はほとんど同じ Efr のエレメント（同一等級）から構成されていることになった。

表 3.1-1 スギ正角の重量、密度、縦振動ヤング係数（Efr）の集計

	重量 kg	密度 kg/m ³	E f r kN/mm ²	含水率 %
平均値	24.2	420.6	9.00	15.2
標準偏差	2.9	50.6	1.30	6.1
変動係数%	12.0	12.0	14.46	40.4

含水率は含水率計による測定値、試験体数は 80 である。

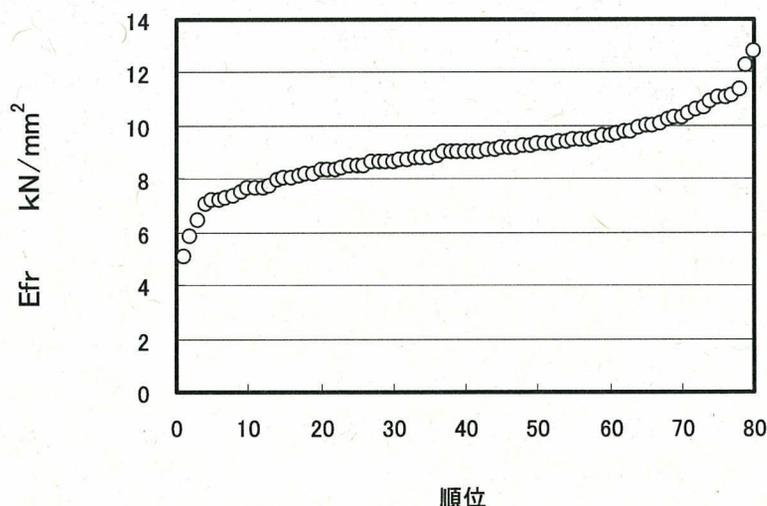


図 3.1-1 スギ正角（エレメント）の Efr の分布

3.2 せん断試験の結果

3.2.1 せん断破壊の状況

写真にせん断破壊の代表例を示した。

完全なせん断破壊が認められた例（写真 3.2-1）は少なかった。シャチが主材、あるいは側材のいずれかにめり込む形がほとんどであった（写真 3.2-2～写真 3.2-4）。



写真 3.2-1 側材左側のせん断破壊が
少ない例



写真 3.2-2 シャチが主材にめり込んで
いる例



写真 3.2-3 シャチが側材に
めり込んでいる例



写真 3.2-4 シャチが側材と主材に
めり込んでいる例

3.2.2 荷重と変位の関係

得られた荷重－変位曲線を図 3.2-1、図 3.2-2 に示した。

シャチをはずしたボルトだけで接合した 2 試験体の結果（図 3.2-1 上図）から、シャチの効果は明らかであるが、ボルトだけでも 1/2 程度の耐力を有している。

図に示すように通常の木材の強度試験と同様に比例限度とみなされる点があり、比例限度荷重はシャチ間隔 30cm の A タイプの Elow、Emiddle、Ehigh グループそれぞれで、80 kN、110 kN、130 kN と概略読み取れる。シャチ間隔 45cm の B タイプのそれらは同様に、90 kN、100 kN、100 kN と読み取れた。比例限度を過ぎると、最大荷重を経て下がるもの、ピークのはっきりしないもの等さまざまである。いずれにしても比例限度までは各グループ内での差異は少なく、変位はほぼ 1mm 内外であった。

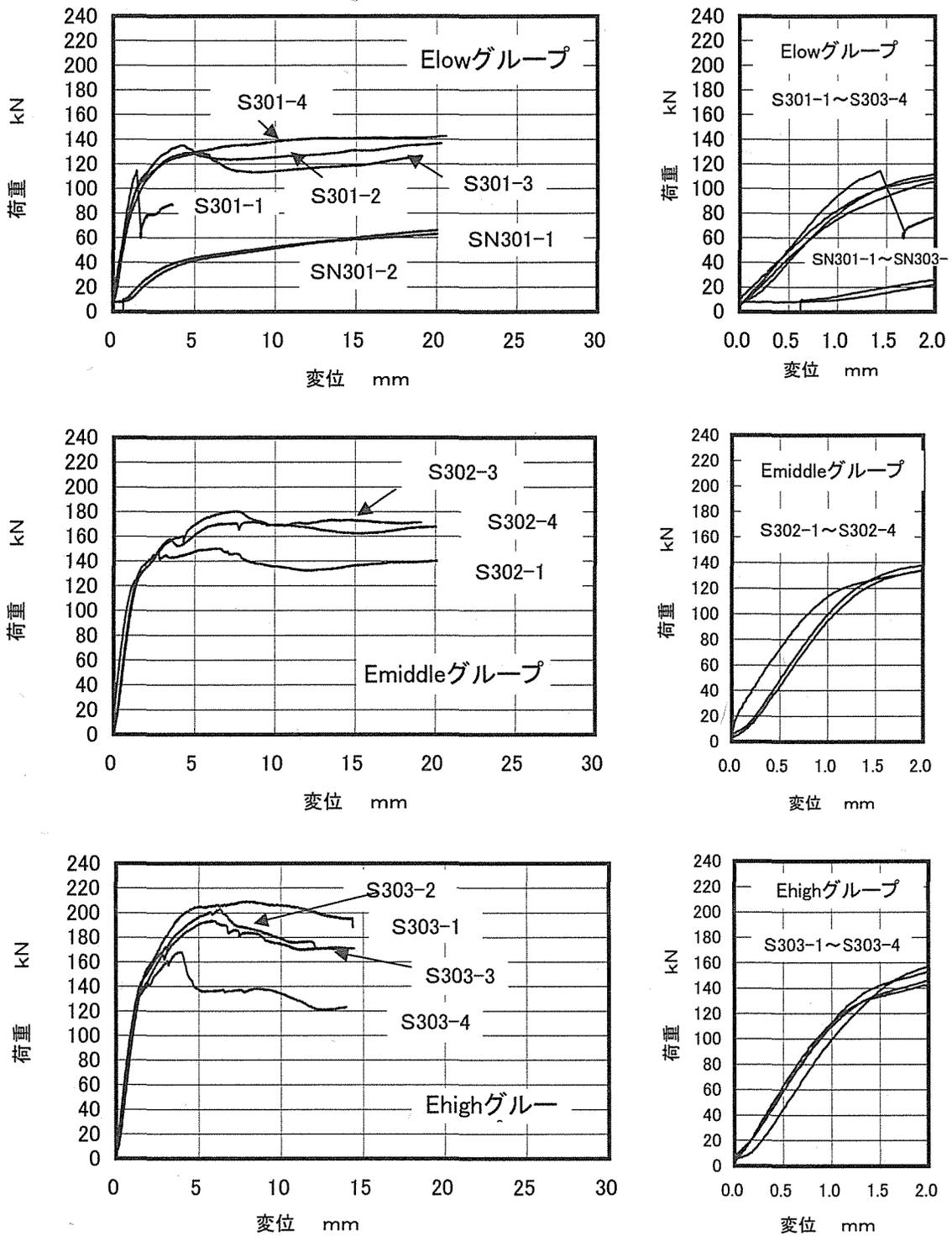


図 3.2-1 荷重-変位曲線 (Aタイプ: シャチ間隔 30 cm)

右は変位 2mm までの拡大図

SN301-1、SN-301-2 はシャチをはずしたボルトだけの試験体

S302-2 はデータが取れなかった。

最後の番号数字 1, 2 はナットを 220 kN・m で締めつけたもの、

3, 4 は 110 kN・m で締めつけた試験体

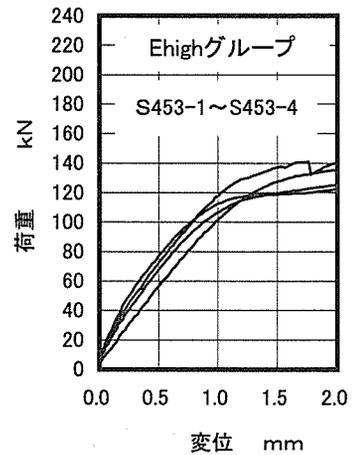
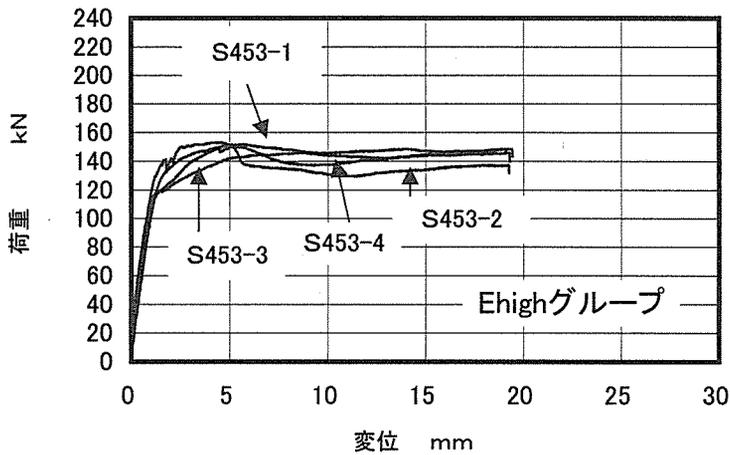
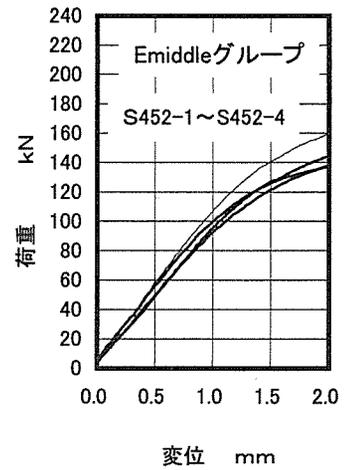
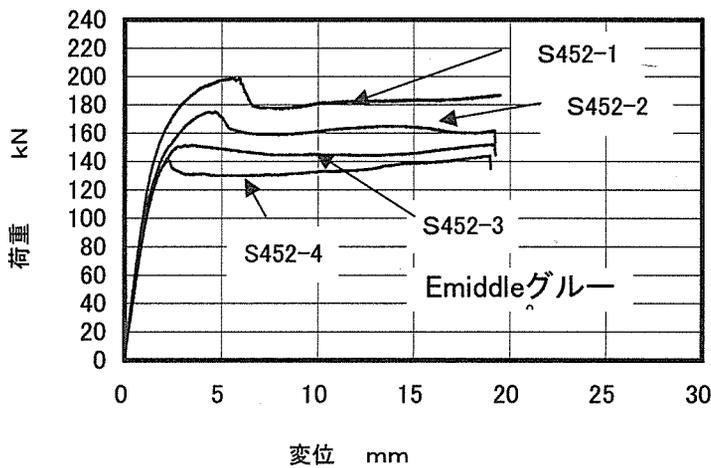
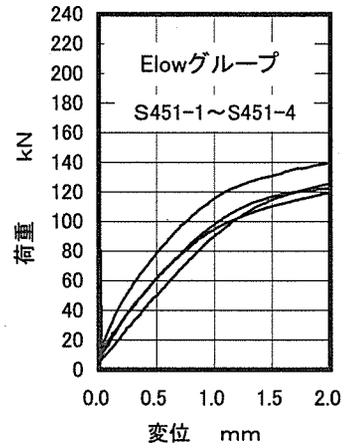
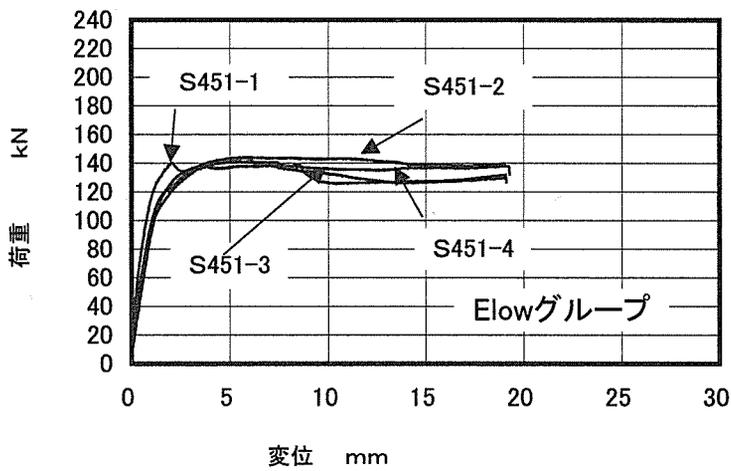


図 3.2-2 荷重-変位曲線 (Bタイプ: シャチ間隔 45 cm)

右は変位 2mm までの拡大図

最後の番号数字 1, 2 はナットを 22 kN・m で締めつけたもの、

3, 4 は 11 kN・m で締めつけた試験体

3.2.3 最大荷重、比例限度荷重とそれらの荷重に対応する変位

せん断試験における最大荷重、比例限度荷重、最大荷重に対する変位、比例限度荷重に対する変位を表 3.2-1 に示し、表 3.2-2 にそれらを集計して示した。

比例限度荷重は図 3.2-1、図 3.2-2 から概略判断したものであり、区分ごとに同じ値とし、その荷重に対する変位は試験時に記録された荷重と変位の関係から求めた。

最大荷重は A タイプの試験体ではヤング係数区分に依存していたが、B タイプでは Emiddle と Ehigh で逆転していた (表 3.2-2)。最大荷重においてシャチのない試験体でも、あるものと比較して 1/2 程度の最大荷重であり、ボルトだけでも一定の耐力を有していた (表 3.2-1)。

表 3.2-1 せん断試験における最大荷重、比例限度荷重とそれらに対応する変位

NO.	最大荷重 kN	比例限度荷重 kN	最大荷重に対応する変位 mm	比例限度荷重に対応する変位 mm	備考
S301-1	115.0	80.0	1.44	0.83	A タイプ Elow Efr 平均 : 7.28 kN
S301-2	138.7	80.0	4.42	1.02	
S301-3	128.7	80.0	6.12	0.98	
S301-4	143.5	80.0	10.00	1.10	
S302-1	150.2	110.0	6.76	1.14	A タイプ Emiddle Efr 平均 : 8.79 kN
S302-2	178.1	—	—	—	
S302-3	173.1	110.0	8.08	0.96	
S302-4	180.1	110.0	8.76	1.21	
S303-1	208.4	130.0	8.58	1.38	A タイプ Ehigh Efr 平均 : 10.56 kN
S303-2	203.1	130.0	6.44	1.23	
S303-3	192.9	130.0	6.12	1.33	
S303-4	167.6	130.0	4.05	1.33	
S451-1	141.1	90.0	2.27	0.65	B タイプ Elow Efr 平均 : 7.57 kN
S451-2	144.0	90.0	6.22	0.88	
S451-3	143.6	90.0	6.05	0.92	
S451-4	137.9	90.0	6.23	1.02	
S452-1	198.4	110.0	5.84	1.05	B タイプ Emiddle Efr 平均 : 8.95 kN
S452-2	175.3	110.0	4.95	1.21	
S452-3	151.9	110.0	3.10	1.29	
S452-4	143.9	110.0	2.37	1.17	
S453-1	152.6	110.0	6.16	0.91	B タイプ Ehigh Efr 平均 : 10.99 kN
S453-2	150.2	110.0	5.60	0.95	
S453-3	148.6	110.0	8.05	1.10	
S453-4	150.6	110.0	4.36	1.13	
SN301-1	70.03	—	—	—	シャチなし
SN301-2	66.95	—	—	—	Efr 平均 : 7.28 kN

表 3.2-2 セン断試験における最大荷重、比例限度荷重とそれらに対応する変位の集計

試験体の種類	区分	最大荷重 kN	比例限度荷重 kN	最大荷重に対応する変位 mm	比例限度荷重に対応する変位 mm
Aタイプ Elow	平均値	131.5	80.0	5.49	0.98
	標準偏差	10.9	0.0	3.10	0.10
Aタイプ Emiddle	平均値	170.4	110.0	7.86	1.10
	標準偏差	11.9	0.0	0.83	0.10
Aタイプ Ehigh	平均値	193.0	130.0	6.29	1.32
	標準偏差	15.7	0.0	1.60	0.06
Bタイプ Elow	平均値	141.6	90.0	5.19	0.87
	標準偏差	2.5	0.0	1.69	0.14
Bタイプ Emiddle	平均値	167.4	110.0	4.06	1.18
	標準偏差	21.3	0.0	1.39	0.09
Bタイプ Ehigh	平均値	150.5	110.0	6.04	1.02
	標準偏差	1.4	0.0	1.33	0.10

3.2.4 シャチの耐力

シャチ1つ当たりの最大耐力、比例限度耐力は最大荷重、比例限度荷重を1/2にして求めた。

見かけの圧縮応力は、シャチ1つ当たりの耐力を図3.2.3に示した圧縮面積で除して算出した。圧縮面積は $15 \times 120 = 1800 \text{mm}^2$ である。また、見かけのせん断応力は図3.2.3に示した部分をせん断面と仮定してその面積で除した。せん断面積はAタイプ： $155 \times 120 = 1860 \text{mm}^2$ 、Bタイプ： $305 \times 120 = 36600 \text{mm}^2$ である。加力により、主材ではシャチの上側に、側材は下側に圧縮、せん断の力が働くことになる。

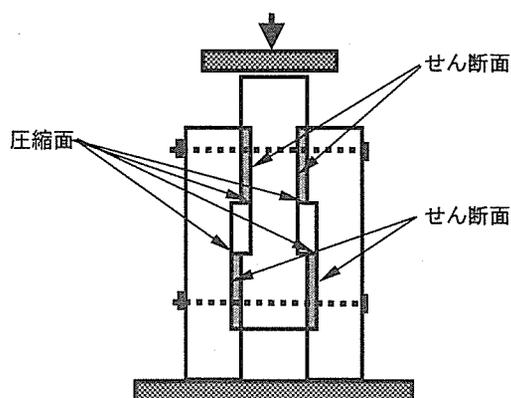


図 3.2-3 圧縮面、せん断面の仮定

表 3.2-3 にせん断試験におけるシャチ 1 つ当たりの耐力と見かけの圧縮応力、せん断応力を一覧した。S302-2 は一部データが取れなかったので除外した。

表 3.2-3、表 3.2-4 に A タイプ、B タイプの集計をそれぞれ示した。

木材工業ハンドブックによれば、スギの縦圧縮強度の平均値、下限値は 35N/mm²、25N/mm²であり、これらの値よりも大きかった。これは耐力がシャチ、ボルト、ボルトの締め付けによる摩擦から得られているためで、それらを全て圧縮が負担していると仮定していることによるものと考えられる。次にせん断で見ると木材工業ハンドブックの値は平均値、下限値 6.0 N/mm²、4.0 N/mm²であり、この値よりは低かった。これは、図 2.3-2 に示したように上下でせん断力が拘束される構造が影響しているものと思われる。よってこれらはあくまでも仮定の数値であるが、シャチ・ボルト接合重ね梁の強度性能を考察する上で参考になると考え掲載した。

表 3.2-3 せん断試験におけるシャチ 1 つ当たりの耐力と見かけの圧縮応力、せん断応力

NO.	最大荷重 kN	比例限度荷重 kN	シャチ 1 つ当たりの最大耐力 kN	シャチ 1 つ当たりの比例限度耐力 kN	最大圧縮応力 N/mm ²	圧縮比例限度応力 N/mm ²	最大せん断応力 N/mm ²	せん断比例限度応力 N/mm ²
S301-1	115.0	80.0	57.5	40.0	32.0	22.2	3.1	2.2
S301-2	138.7	80.0	69.3	40.0	38.5	22.2	3.7	2.2
S301-3	128.7	80.0	64.3	40.0	35.7	22.2	3.5	2.2
S301-4	143.5	80.0	71.8	40.0	39.9	22.2	3.9	2.2
S302-1	150.2	110.0	75.1	55.0	41.7	30.6	4.0	3.0
S302-3	173.1	110.0	86.6	55.0	48.1	30.6	4.7	3.0
S302-4	180.1	110.0	90.0	55.0	50.0	30.6	4.8	3.0
S303-1	208.4	130.0	104.2	65.0	57.9	36.1	5.6	3.5
S303-2	203.1	130.0	101.6	65.0	56.4	36.1	5.5	3.5
S303-3	192.9	130.0	96.5	65.0	53.6	36.1	5.2	3.5
S303-4	167.6	130.0	83.8	65.0	46.6	36.1	4.5	3.5

S451-1	141.1	90.0	70.5	45.0	39.2	25.0	1.9	1.2
S451-2	144.0	90.0	72.0	45.0	40.0	25.0	2.0	1.2
S451-3	143.6	90.0	71.8	45.0	39.9	25.0	2.0	1.2
S451-4	137.9	90.0	68.9	45.0	38.3	25.0	1.9	1.2
S452-1	198.4	110.0	99.2	55.0	55.1	30.6	2.7	1.5
S452-2	175.3	110.0	87.6	55.0	48.7	30.6	2.4	1.5
S452-3	151.9	110.0	76.0	55.0	42.2	30.6	2.1	1.5
S452-4	143.9	110.0	72.0	55.0	40.0	30.6	2.0	1.5
S453-1	152.6	110.0	76.3	55.0	42.4	30.6	2.1	1.5
S453-2	150.2	110.0	75.1	55.0	41.7	30.6	2.1	1.5
S453-3	148.6	110.0	74.3	55.0	41.3	30.6	2.0	1.5
S453-4	150.6	110.0	75.3	55.0	41.8	30.6	2.1	1.5

最大荷重：せん断試験における最大荷重

比例限度荷重：図 3.2-1、図 3.2-2 から読み取った見かけの比例限度荷重

シャチ 1 つあたりの最大耐力：最大荷重 $\times 1/2$

シャチ 1 つあたりの比例限耐力：比例限度荷重 $\times 1/2$

最大圧縮応力：シャチ 1 つ当たりの最大耐力 / (圧縮面積)

圧縮比例限応力：シャチ 1 つ当たりの比例限耐力 / (圧縮面積)

最大せん断応力：シャチ 1 つ当たりの最大耐力 / (せん断面積)

せん断比例限度応力：シャチ 1 つ当たりの比例限度耐力 / (せん断面積)

表 3.2-4 A タイプ試験体のシャチ 1 つ当たりの耐力と
見かけの圧縮応力、せん断応力の W 集計

区分	最大荷重 kN	比例限度荷重 kN	シャチ 1 つ当たりの最大耐力 kN	シャチ一つ当たりの比例限耐力 kN	最大圧縮応力 N/mm ²	圧縮比例限度応力 N/mm ²	最大せん断応力 N/mm ²	せん断比例限度応力 N/mm ²
平均値	163.8	106.4	81.9	53.2	45.5	29.5	4.40	2.86
標準偏差	31.0	22.5	15.5	11.2	8.6	6.2	0.83	0.60

表 3.2-5 B タイプ試験体のシャチ 1 つ当たりの耐力と
見かけの圧縮応力、せん断応力の集計

区分	最大荷重 kN	比例限度荷重 kN	シャチ 1 つ当たりの最大耐力 kN	シャチ一つ当たりの比例限耐力 kN	最大圧縮応力 N/mm ²	圧縮比例限度応力 N/mm ²	最大せん断応力 N/mm ²	せん断比例限度応力 N/mm ²
平均値	153.2	103.3	76.6	51.7	42.5	28.7	2.09	1.41
標準偏差	17.1	9.8	8.5	4.9	4.7	2.7	0.23	0.13

3.3 シャチ・ボルト接合重ね梁の曲げ試験の結果

3.3.1 荷重-変位曲線、エレメント間のずれ、写真

これらを順次示した。

(1) NO. 2301

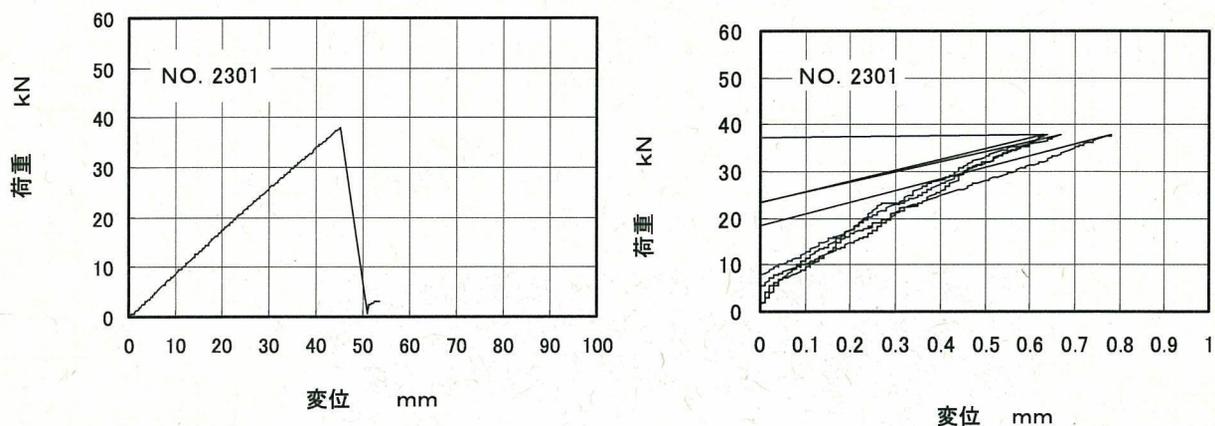


図 3.3-1 ツインビームの荷重-変位曲線 (NO. 23.1)

左：巻き取り式変位計で測定した変位、右：材端のエレメント間のずれ（センサ 4~7）



写真 3.3-1 ボルト位置での単純曲げ破壊 (NO. 2301)

(2) NO. 2302

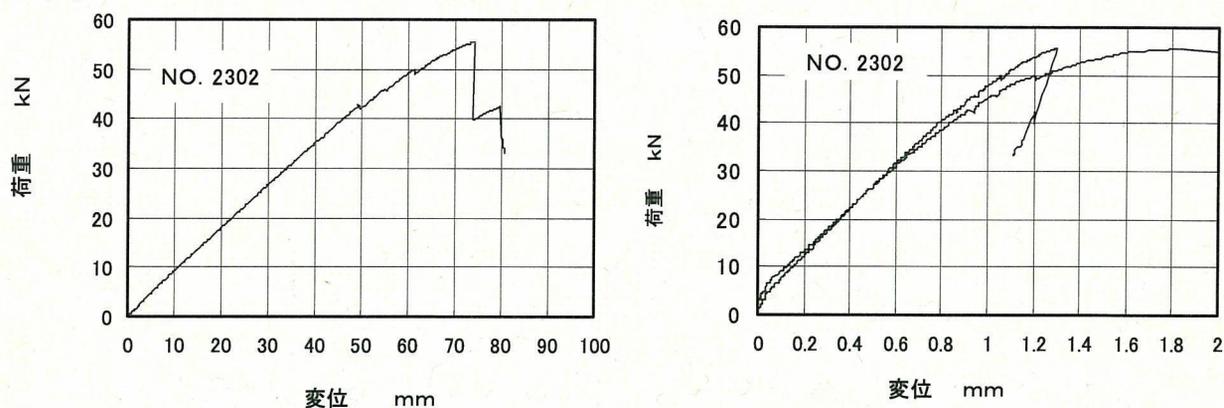


図 3.3-2 ツインビームの荷重-変位曲線 (NO. 2302)

左：巻き取り式変位計で測定した変位、右：材端の元素間はずれ (センサ 4,5)

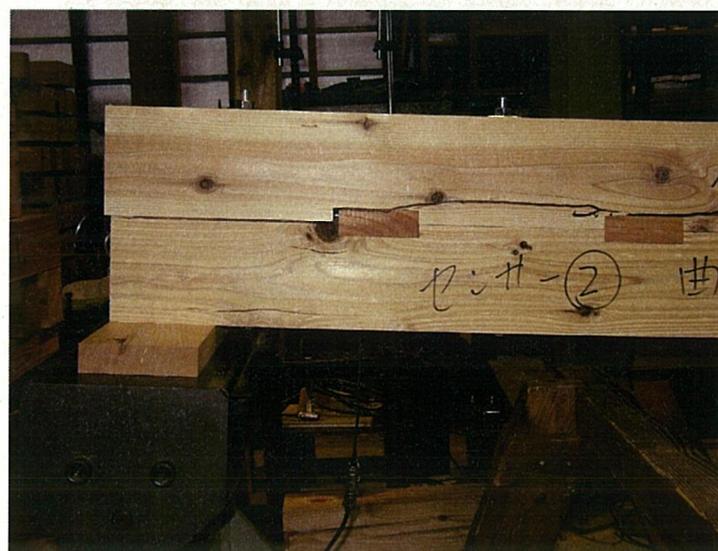
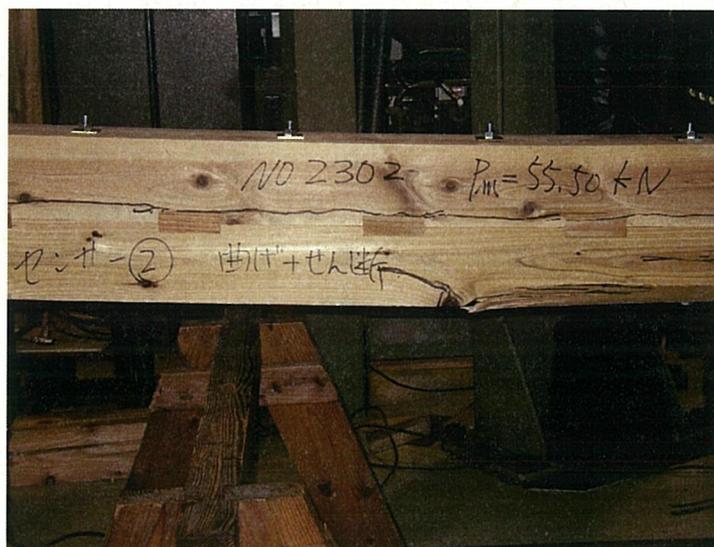


写真 3.3-2 ボルト位置での単純曲げ破壊 (NO. 2302)

単純曲げのあとセンサー 2 位置でせん断破壊

(3) NO. 2303

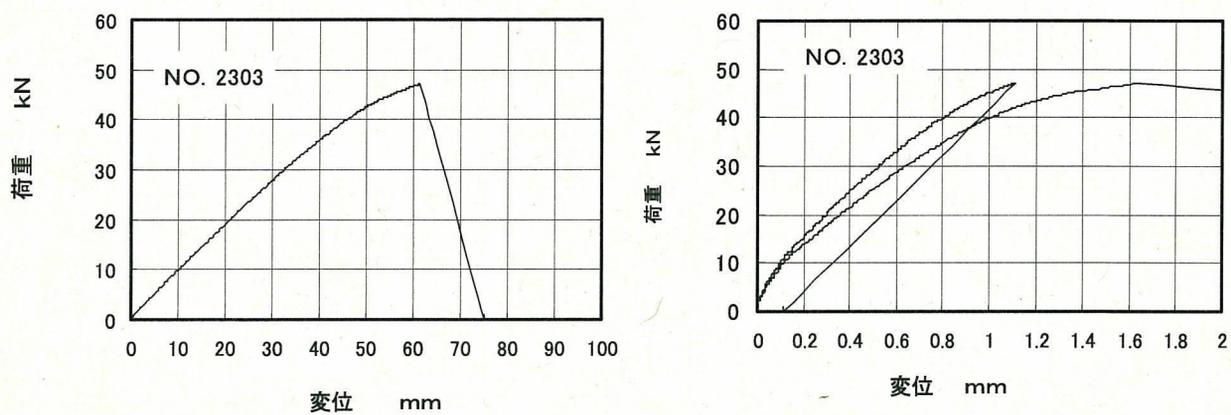


図 3.3-3 ツインビームの荷重-変位曲線 (NO. 2303)

左: 巻き取り式変位計で測定した変位、右: 材端の元素間はずれ (センサ 4, 5)

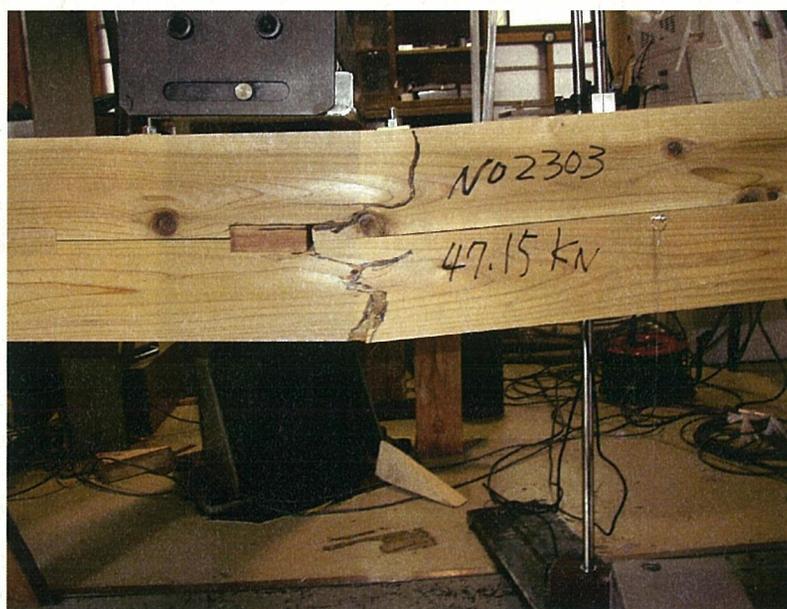


写真 3.3-3 ボルト位置での単純曲げ破壊 (NO. 2303)

(4) NO. 2304

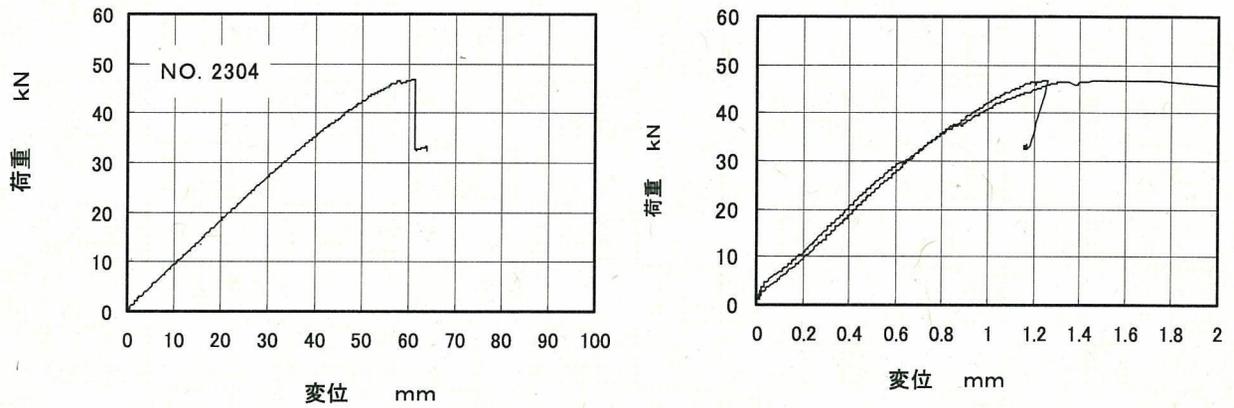


図 3.3-4 ツインビームの荷重-変位曲線 (NO. 2304)

左: 巻き取り式変位計で測定した変位、右: 材端の元素間はずれ(センサ 4, 5)

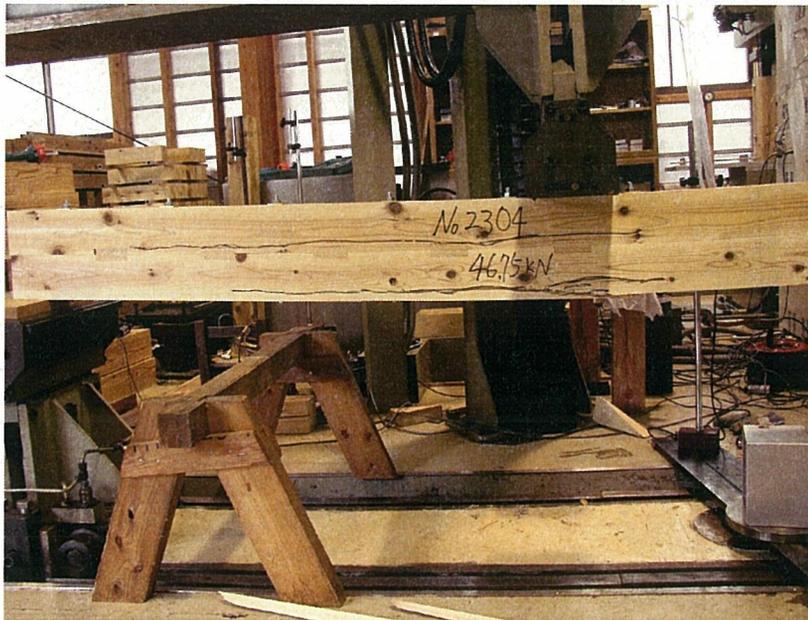


写真 3.3-4 単純曲げの後センサ 2 方向でせん断破壊 (NO. 2304)

(5) NO. 2305

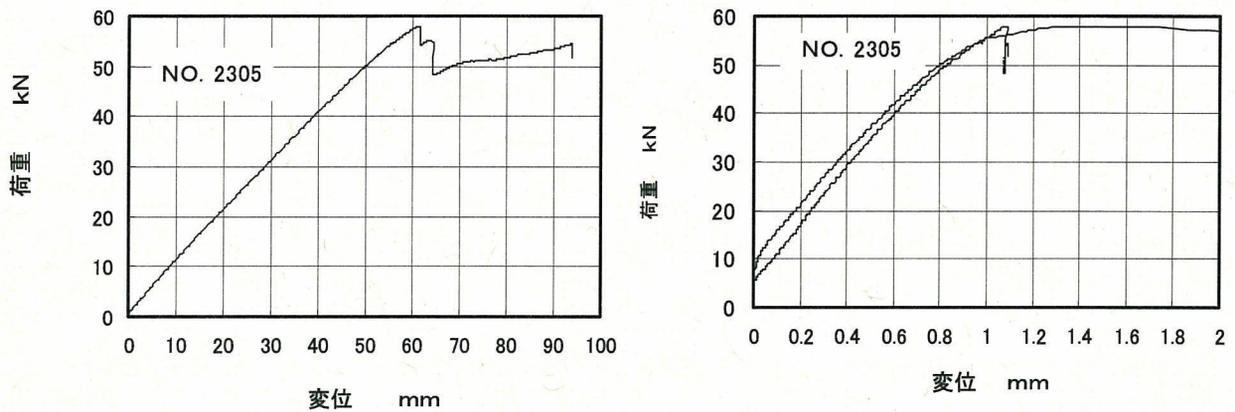


図 3.3-5 ツインビームの荷重-変位曲線 (NO. 2305)

左：巻き取り式変位計で測定した変位、右：材端の元素間のずれ (センサ 4, 5)

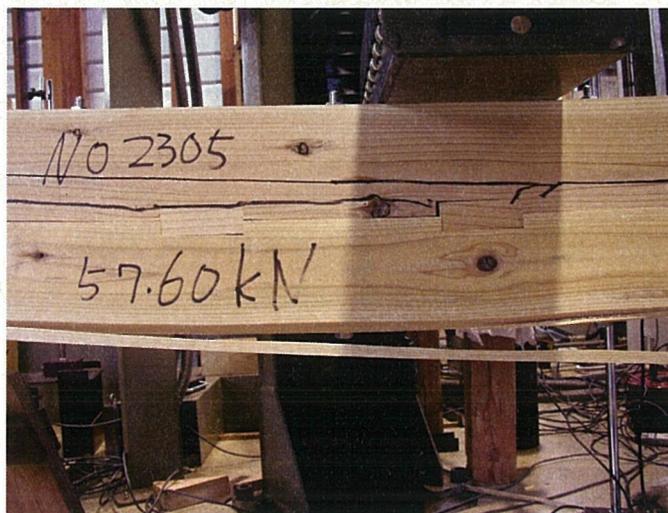
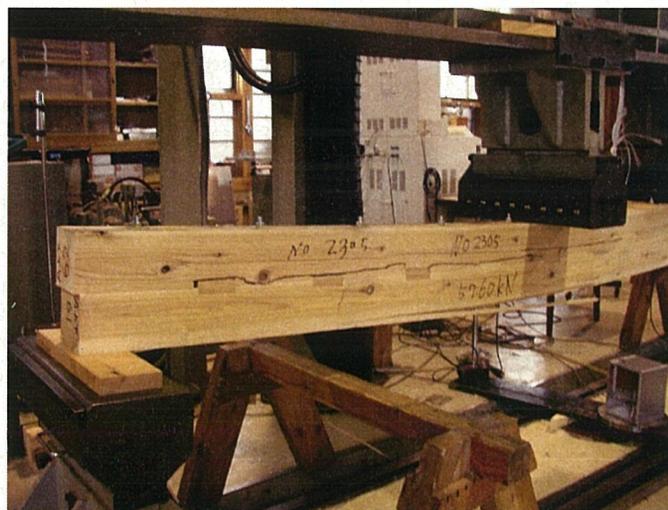


写真 3.3-5 センサ 2 方向でせん断破壊 (NO. 2305)

(6) NO. 2451

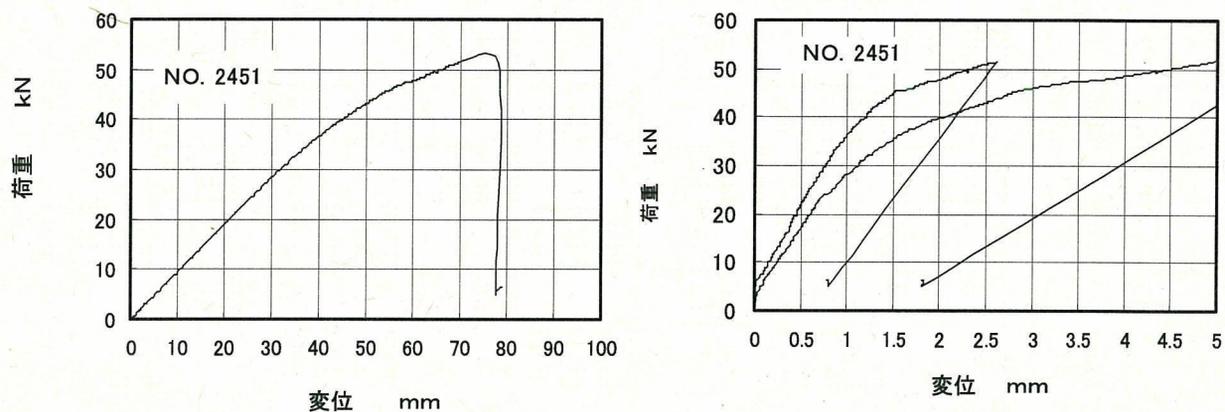


図 3.3-6 ツインビームの荷重-変位曲線 (NO. 2451)

左：巻き取り式変位計で測定した変位、右：材端のエレメント間のずれ (センサ 4,5)

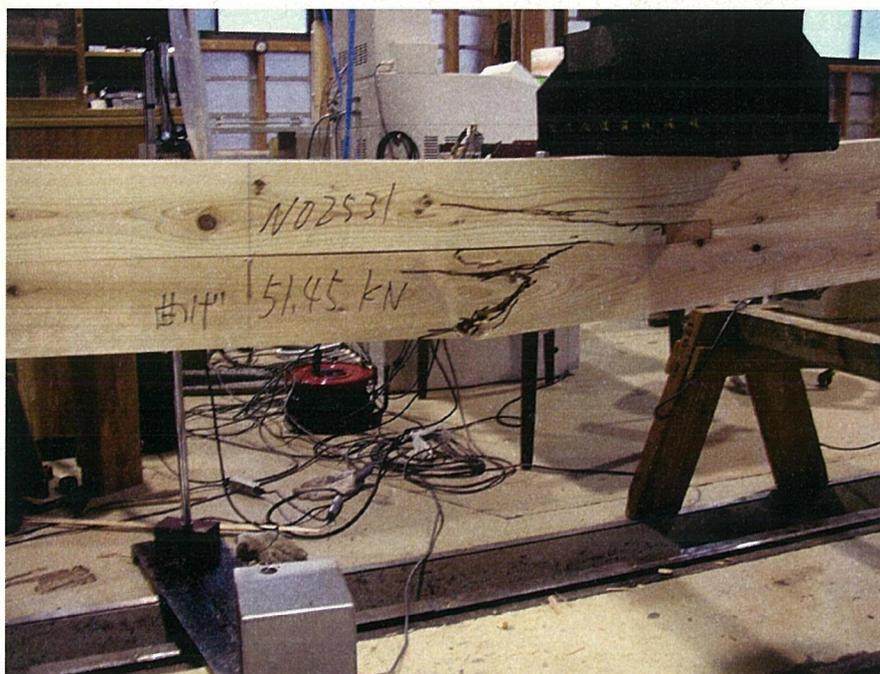


写真 3.3-6 ボルト位置で曲げ破壊 (NO. 2451)

写真中の NO. は記入ミス

(7) NO. 2452

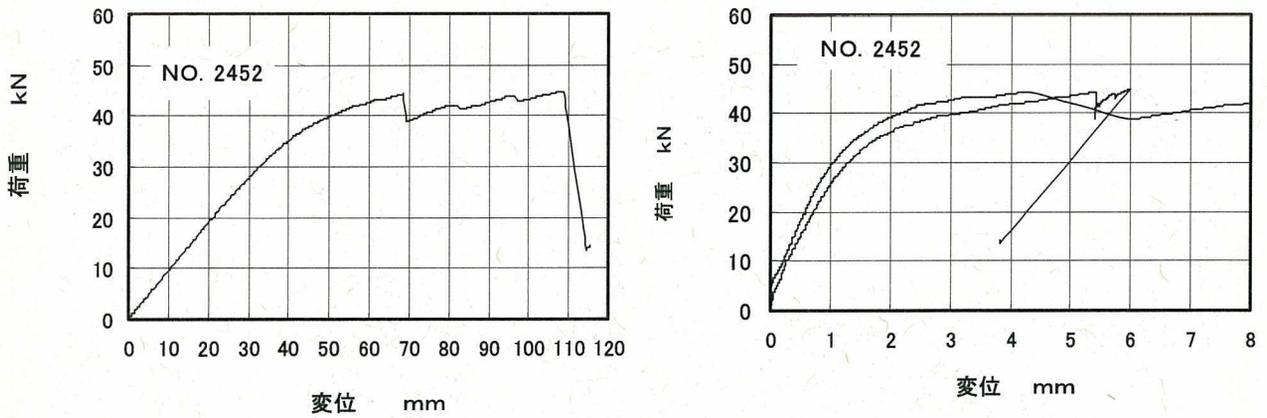


図 3.3-7 ツインビームの荷重-変位曲線 (NO. 2452)

左：巻き取り式変位計で測定した変位、右：材端のエレメント間のずれ (センサ 4,5)

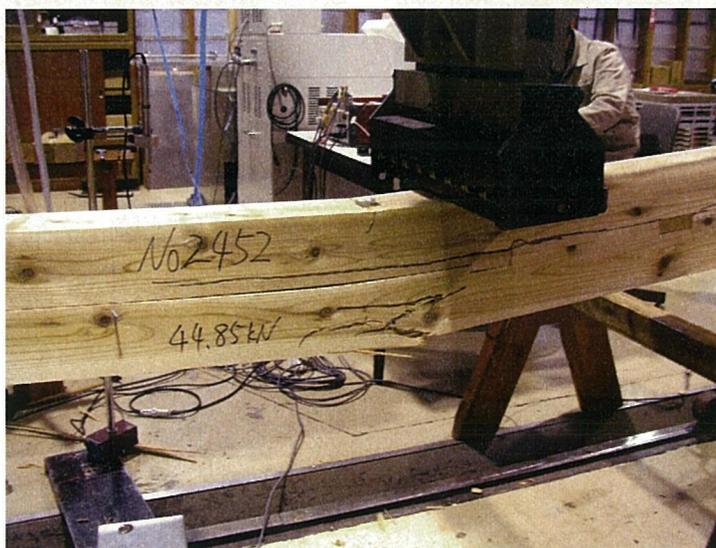


写真 3.3-7 両サイドでせん断の後ボルト位置で曲げ破壊、上部座屈 (NO. 2452)

(8) NO. 2453

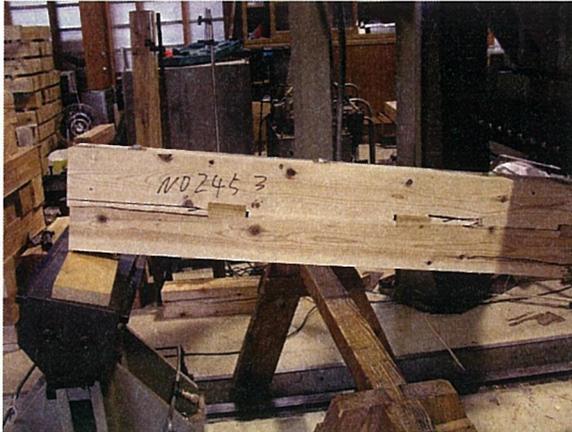


写真 3.3-8 両サイドでせん断の後ボルト位置で曲げ破壊、上部座屈 (NO. 2453)
(データ取り失敗)

(9) NO. 2454



写真 3.3-9 両サイドでせん断の後ボルト位置で曲げ破壊、上部座屈 (NO. 2454)
(データ取り失敗)

(10) NO. 2455

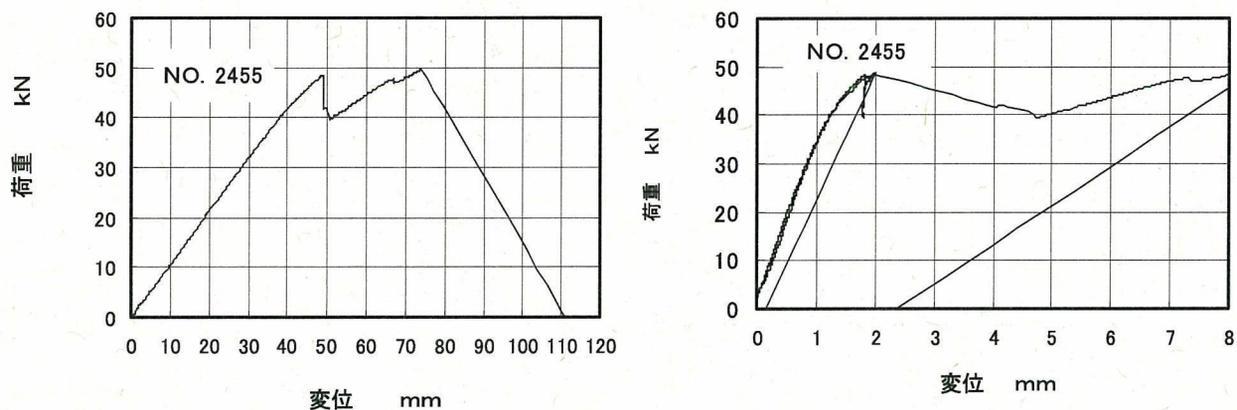


図 3.3-8 ツインビームの荷重-変位曲線 (NO. 2455)

左：巻き取り式変位計で測定した変位、右：材端の元素間へのずれ (センサ 4, 5)

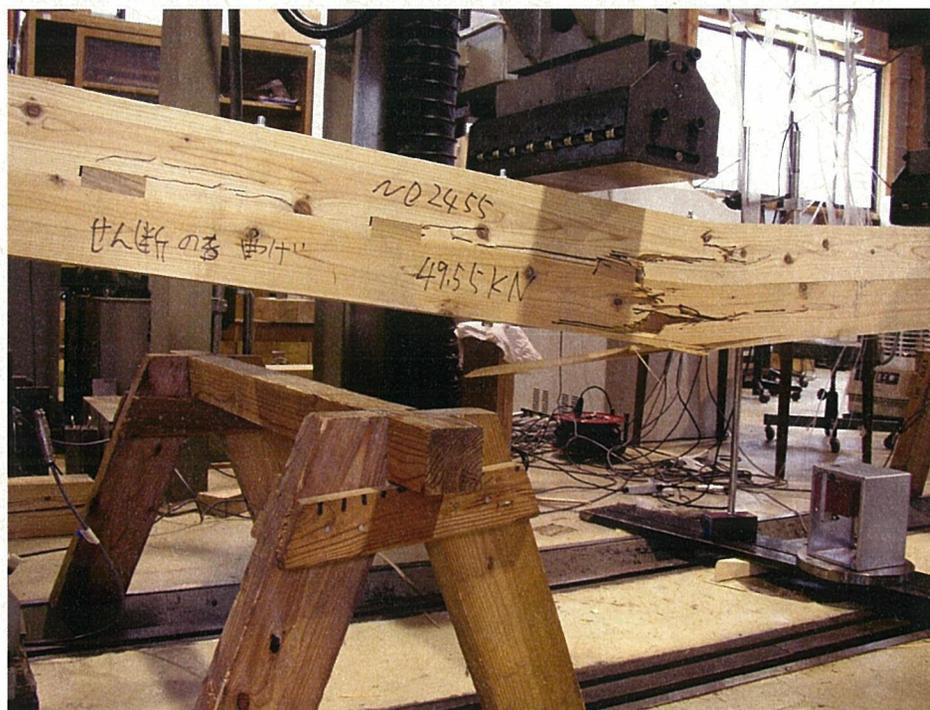


写真 3.3-10 サイドでせん断の後ボルト位置で曲げ破壊 (NO. 2455)

(11) NO. 3301

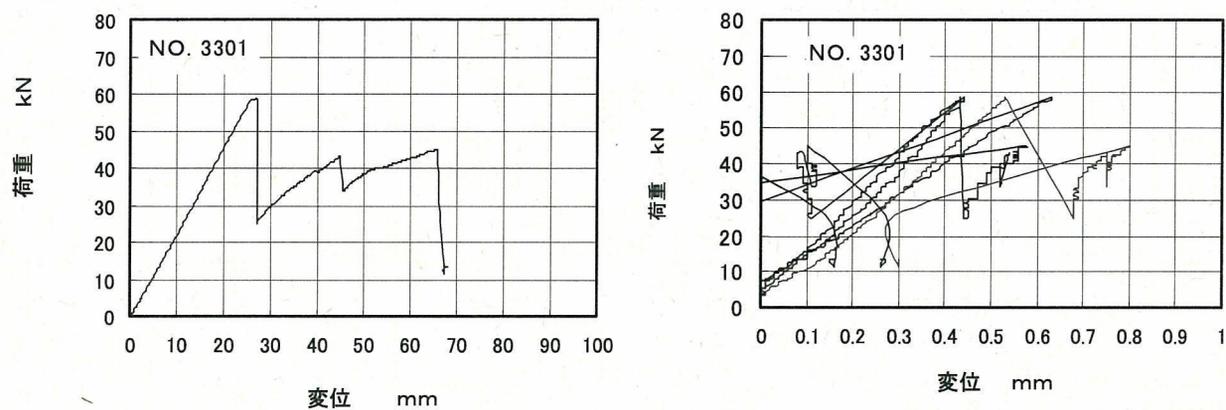


図 3.3-9 トリプルビームの荷重-変位曲線 (NO. 3301)

左：巻き取り式変位計で測定した変位、右：材端の元素間のずれ (センサ 4~7)

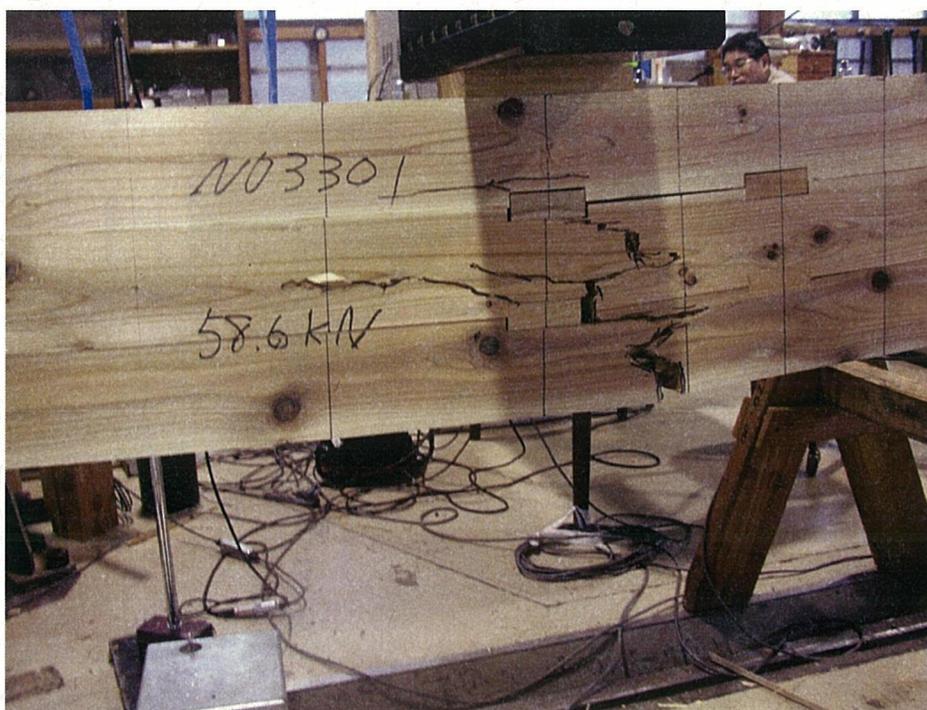


写真 3.3-11 曲げ破壊 (NO. 3301)

(12) NO. 3302

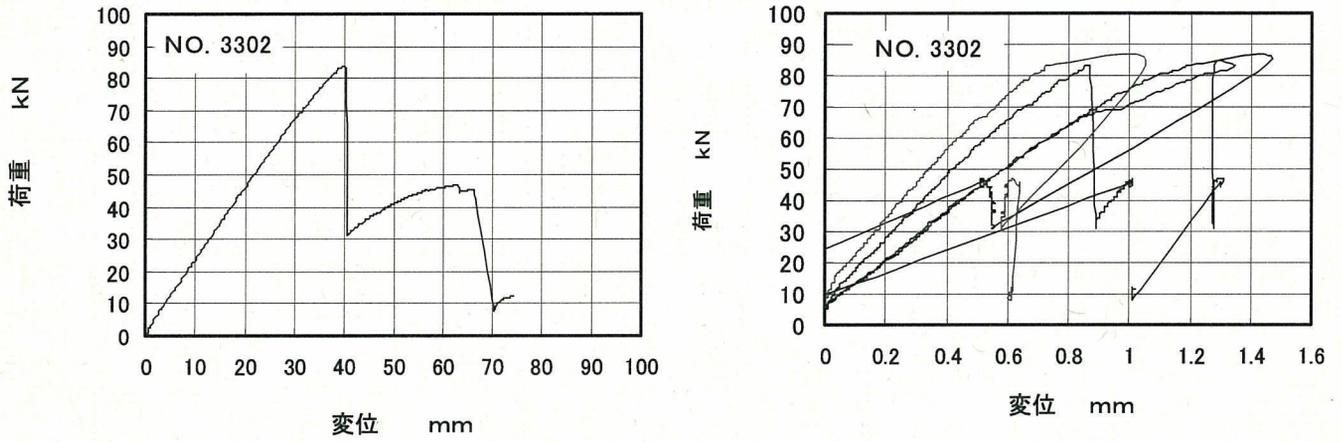


図 3.3-10 トリプルビームの荷重-変位曲線 (NO. 3302)

左：巻き取り式変位計で測定した変位、右：材端のエレメント間のずれ (センサ 4~7)

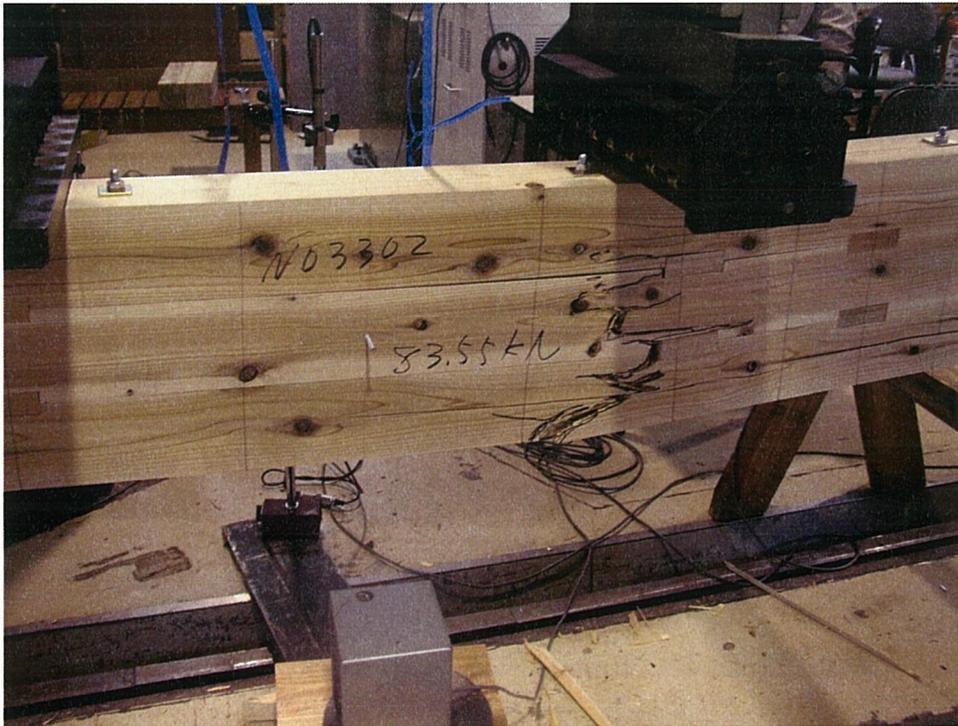


写真 3.3-12 曲げ破壊 (NO. 3302)

(13) NO. 3303

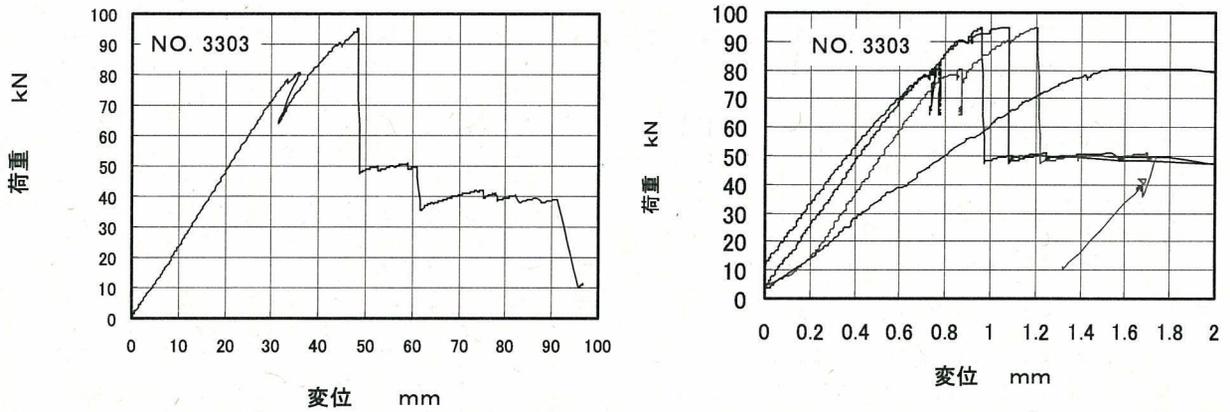


図 3.3-11 トリプルビームの荷重-変位曲線 (NO. 3303)

左：巻き取り式変位計で測定した変位、右：材端の元素間はずれ (センサ 4~7)

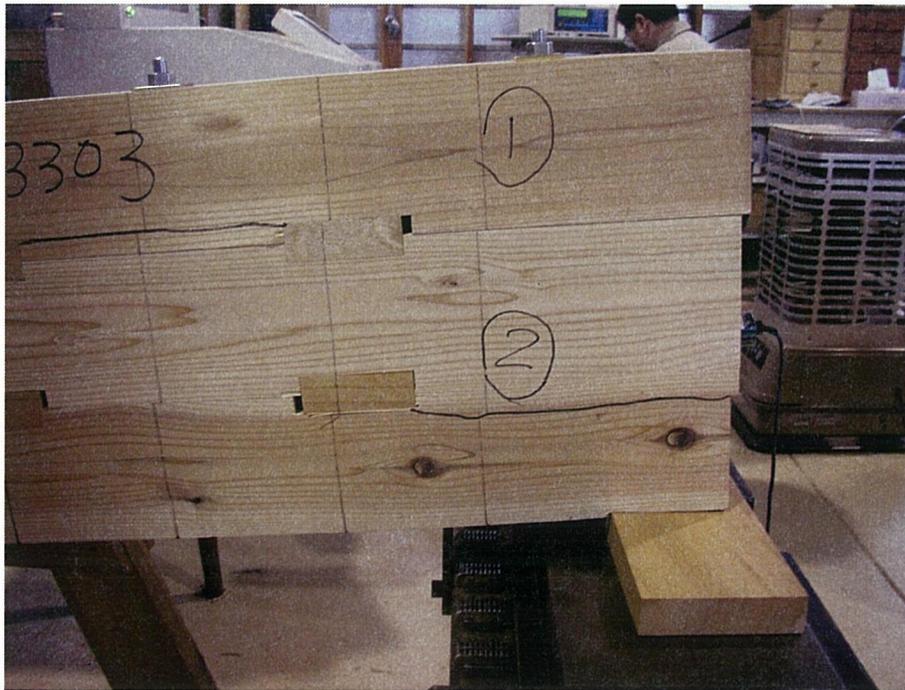


写真 3.3-13 曲げ→せん断 (①、②) →曲げ (NO. 3303)

(14) NO. 3304

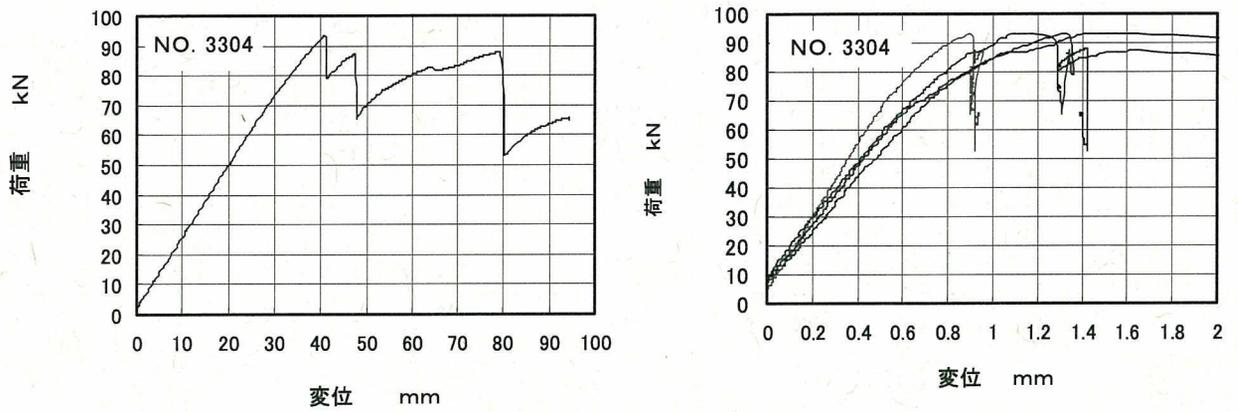


図 3.3-12 トリプルビームの荷重-変位曲線 (NO. 3304)

左：巻き取り式変位計で測定した変位、右：材端の元素間のごれ (センサ 4~7)

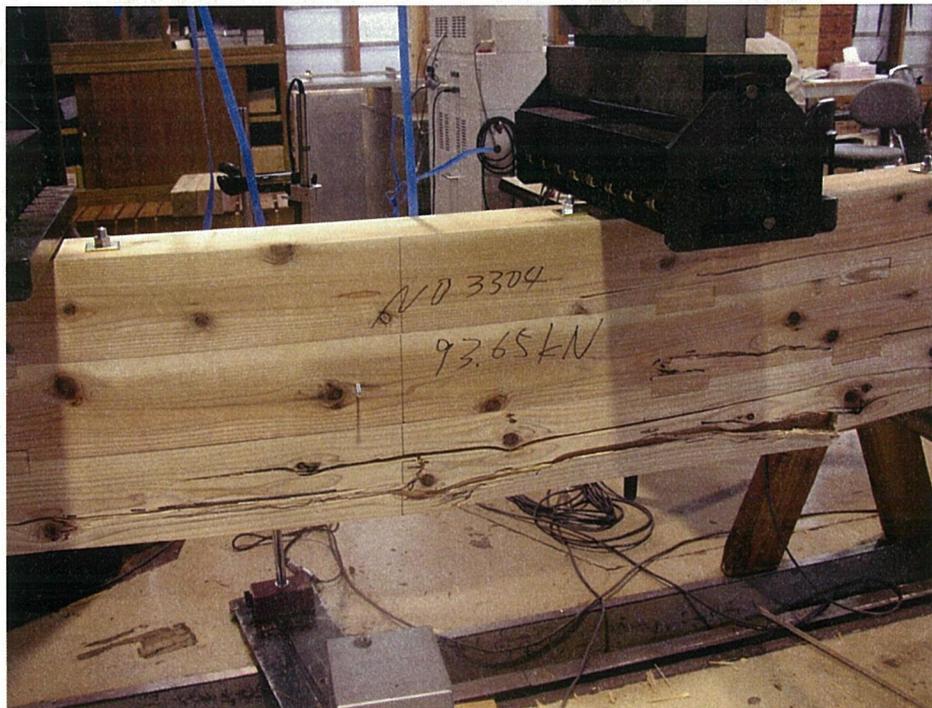


写真 3.3-14 曲げ破壊 (NO. 3304)

(15) NO. 3305

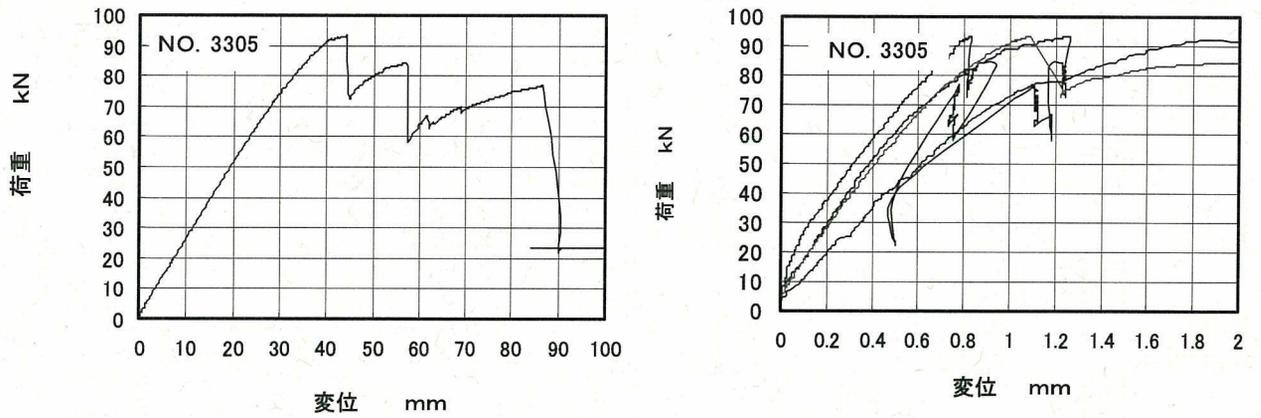


図 3.3-13 トリプルビームの荷重-変位曲線 (NO. 3305)

左：巻き取り式変位計で測定した変位、右：材端の元素間のずれ (センサ 4~7)

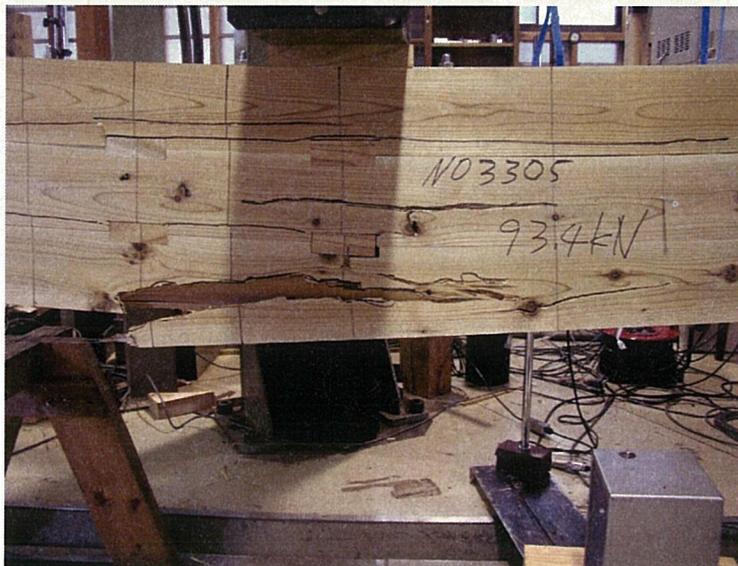


写真 3.3-15 せん断破壊の後曲げ破壊 (NO. 3305)

(16) NO. 3451

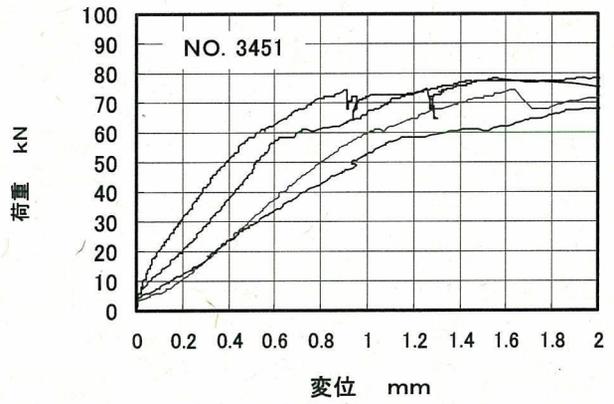
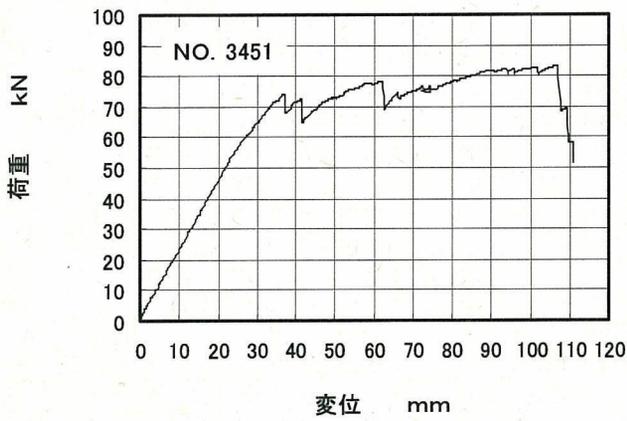


図 3.3-14 トリプルビームの荷重-変位曲線 (NO. 3451)

左：巻き取り式変位計で測定した変位、右：材端のエレメント間のずれ (センサ 4~7)

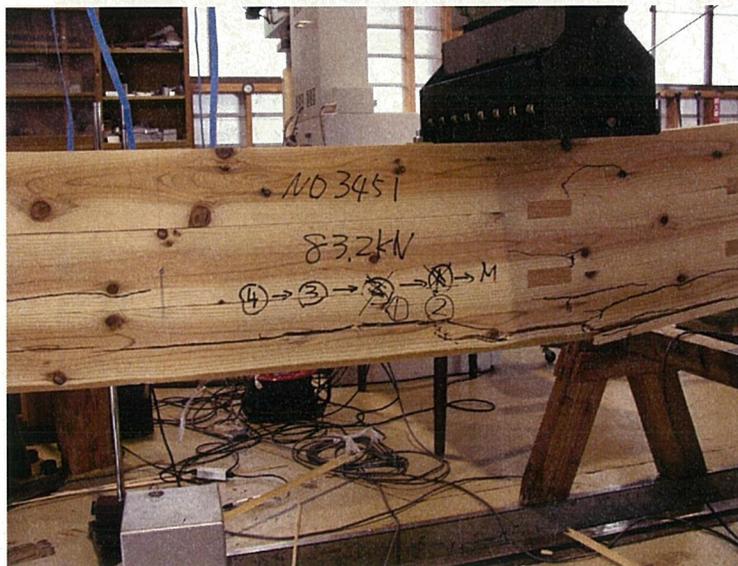
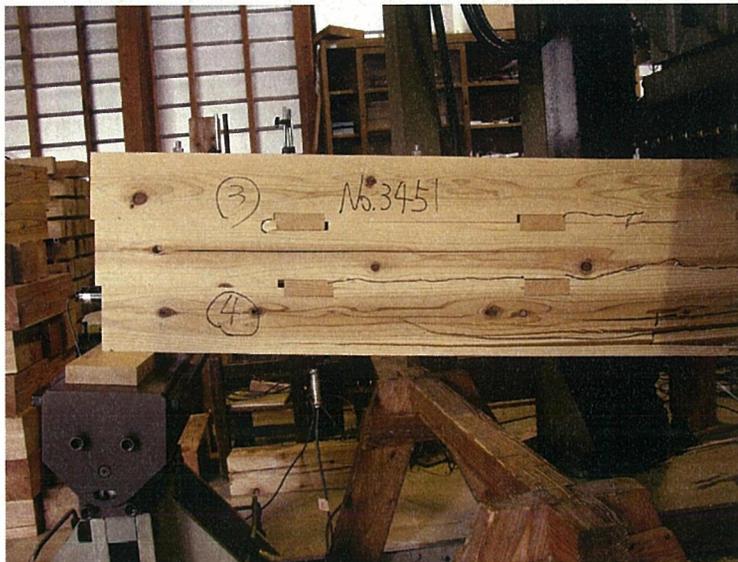


写真 3.3-16 せん断破壊の後曲げ破壊 (NO. 3451)

(17) NO. 3452

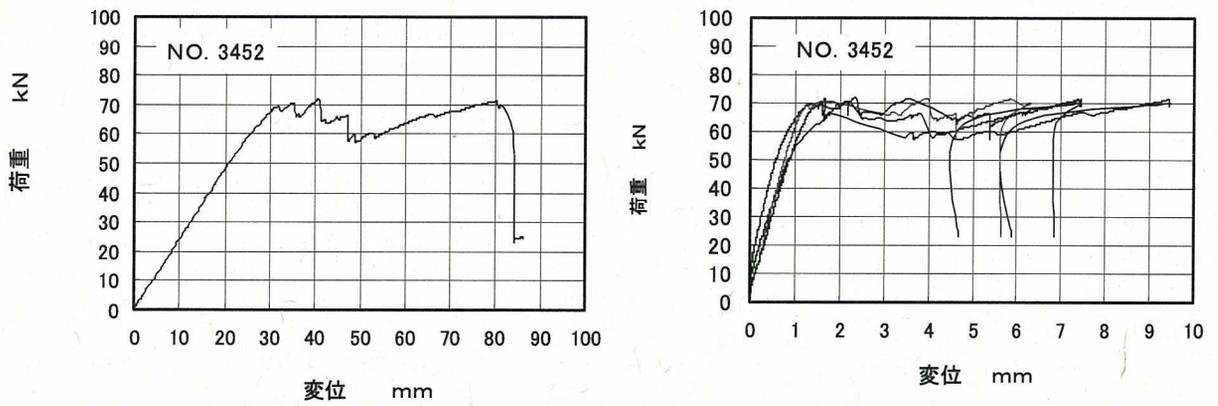


図 3.3-15 トリプルビームの荷重-変位曲線 (NO. 3452)

左：巻き取り式変位計で測定した変位、右：材端の元素間のずれ (センサ 4~7)

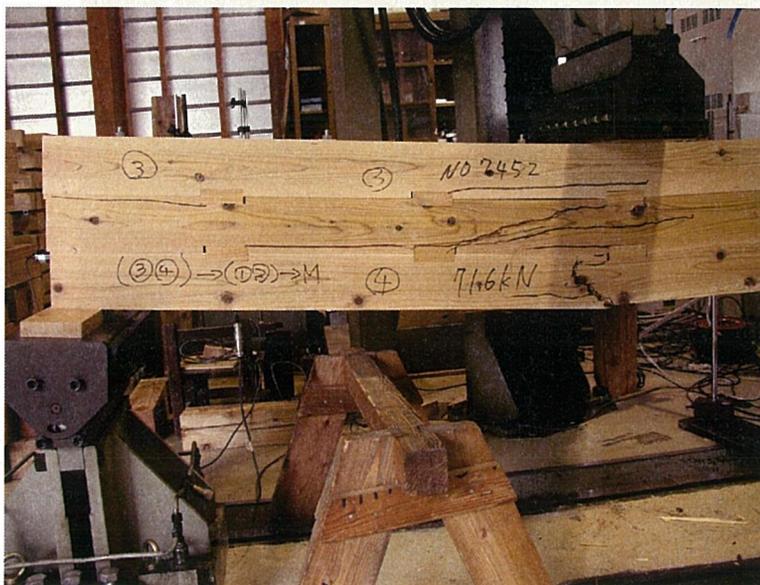
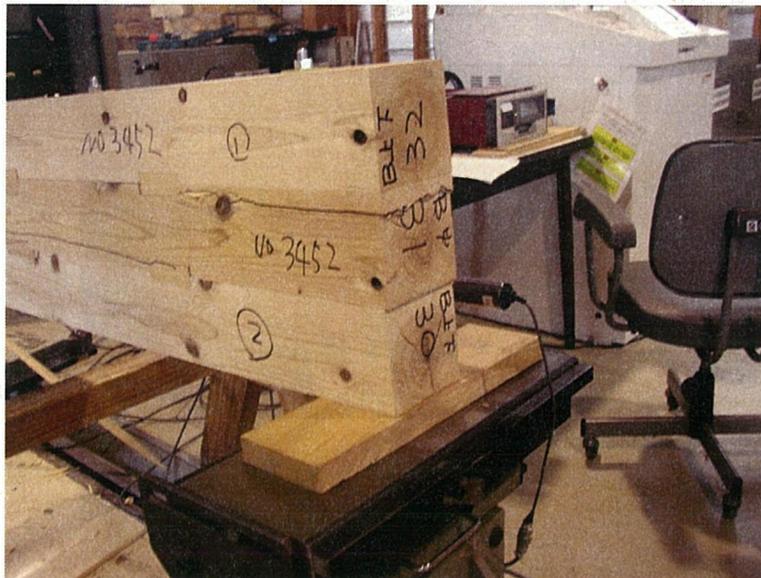


写真 3.3-17 両端せん断破壊の後曲げ破壊 (NO. 3452)

(18) NO. 3453

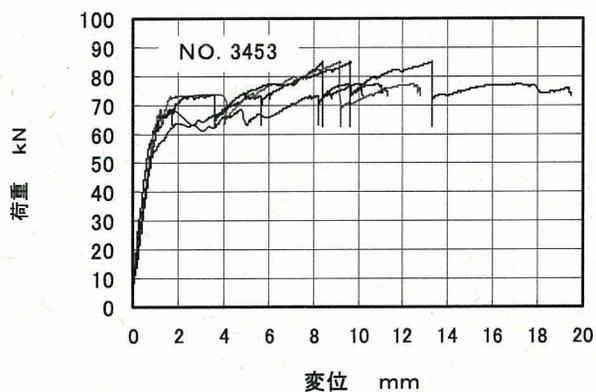
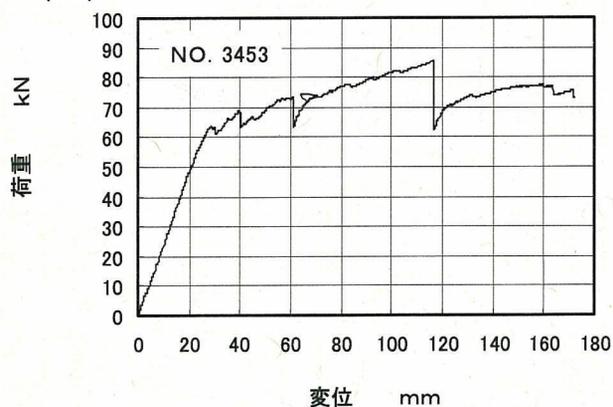


図 3.3-16 トリプルビームの荷重-変位曲線 (NO. 3453)

左：巻き取り式変位計で測定した変位、右：材端の元素間はずれ (センサ 4~7)

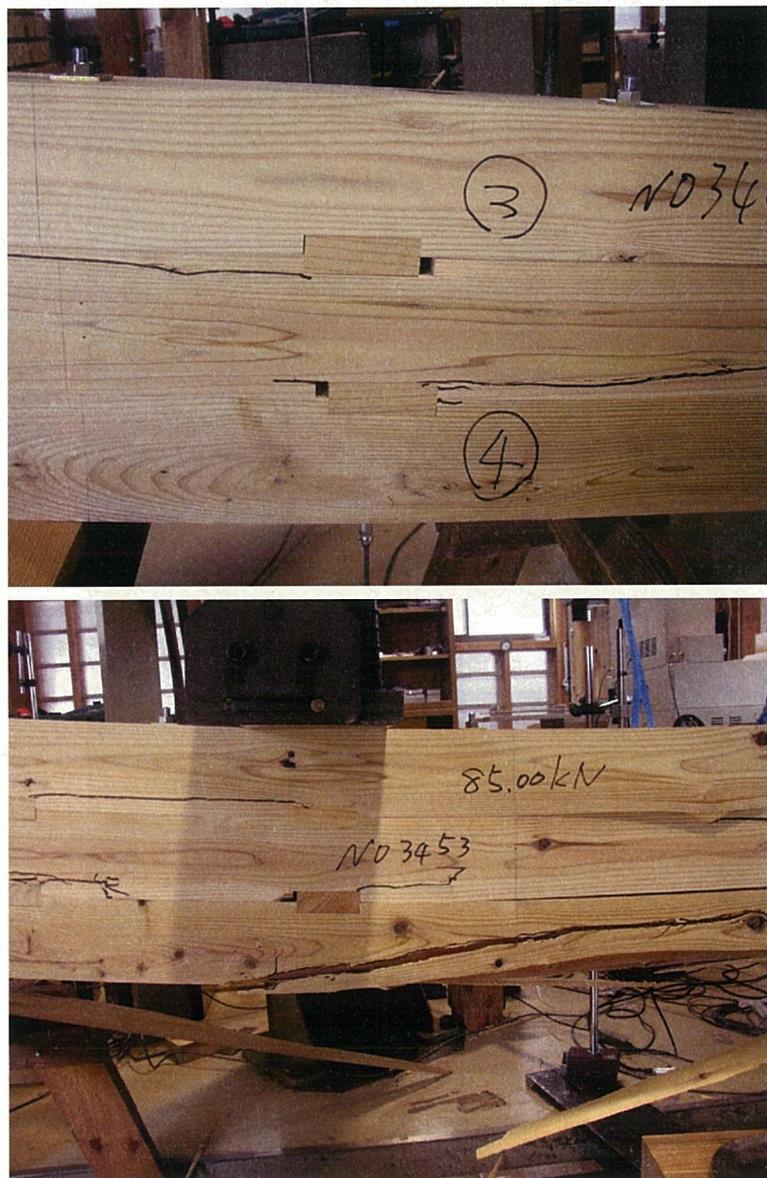


写真 3.3-18 両端せん断破壊の後曲げ破壊 (NO. 3453)

(19) NO. 3454

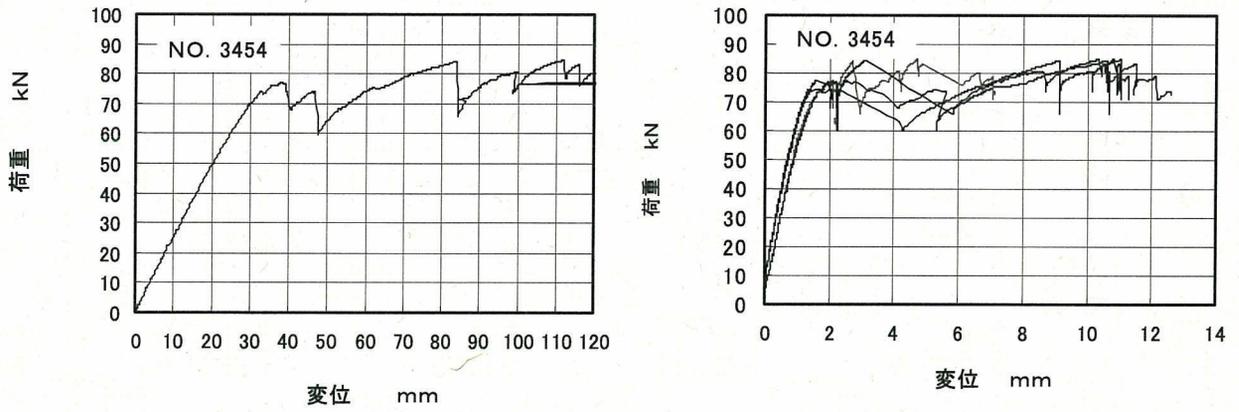


図 3.3-17 トリプルビームの荷重-変位曲線 (NO. 3454)

左：巻き取り式変位計で測定した変位、右：材端のエレメント間のずれ (センサ 4~7)



写真 3.3-19 両端せん断破壊の後曲げ破壊 (NO. 3454)

(20) NO. 3455

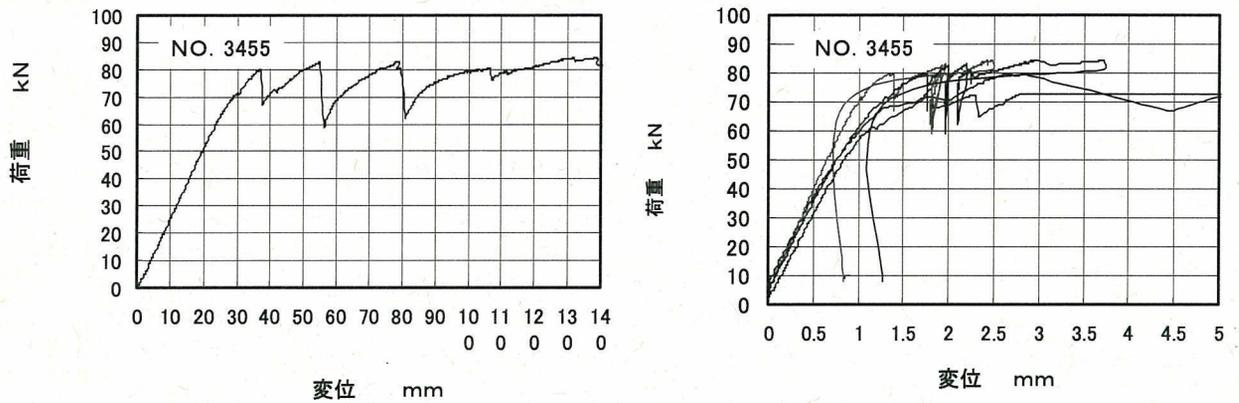


図 3.3-18 トリプルビームの荷重-変位曲線 (NO. 3455)

左：巻き取り式変位計で測定した変位、右：材端のエレメント間のずれ (センサ 4~7)



写真 3.3-20 両端せん断破壊の後曲げ破壊 (NO. 345)

3.3.2 曲げ試験結果の集計

曲げ試験結果を表 3.3-1 に一覧した。

集計部分だけを表 3.3-2 に示した。

表 3.3-1 シャチボルト接合によるスギ重ね梁（ツインビーム）の
曲げ試験結果の集計

区分	No	エレメントの E f r 平均値 kN/mm ²	重ね梁の見かけ の曲げ強さ MOR : N/mm ²	重ね梁の見かけの 曲げヤング係数 MOE1 : kN/mm ²	重ね梁の中央一 定スパン ヤング係数 MOE2 : kN/mm ²	破壊形 態
ツインビーム ボルト間隔 300mm (Tw300)	2301	7.69	23.5	6.53	6.90	b
	2302	8.44	34.8	6.61	—	b s
	2303	9.02	29.6	6.88	—	b
	2304	9.31	29.2	6.64	7.26	b s
	2305	9.69	35.7	7.75	8.75	s
ツインビーム ボルト間隔 450mm (Tw450)	2451	8.13	27.3	6.36	7.82	b
	2452	8.61	23.8	6.23	7.82	b
	2453	9.16	29.7	7.13	8.19	s b
	2454	9.45	30.5	7.21	7.96	b
	2455	10.01	26.0	7.01	8.26	b
トリプルビーム ボルト間隔 300mm (Tr300)	3301	8.00	16.3	5.10	5.90	b
	3302	8.51	23.4	5.16	6.35	b
	3303	9.06	28.4	5.57	5.86	b s
	3304	9.37	25.9	5.53	6.93	b
	3451	9.88	26.1	5.70	6.75	s b
トリプルビーム ボルト間隔 450mm (Tr450)	3451	8.27	19.3	4.48	5.52	s b
	3452	8.68	16.7	4.80	6.60	s b
	3453	9.22	20.0	4.96	6.55	s b
	3454	9.55	20.0	4.98	6.76	s b
	3455	10.26	19.7	5.40	7.58	s b

5%下限値 = 平均値 - 1.645 × 標準偏差

破壊形態 : b : 曲げ破壊、s : せん断破壊、b s : 曲げ優先のせん断、s b : せん断優先の曲げ

(1) 破壊形態

破壊形態が曲げ優先か、せん断優先かをみた所、ツインビームではシャチ・ボルト間隔 300mm (Tw300)、同 450mm (Tw450) とともに曲げ優先が多く、せん断あるいはせん断優先の曲げは各 1 試験体ずつであった (表 3.2-2 及び写真 3.3.1~3.3-10)。

トリプルビームではシャチ・ボルト間隔 300mm (Tr300) は曲げおよび曲げ優先が 4 試験体、せん断優先が 1 試験体であったのに対して、シャチ・ボルト間隔 450mm (Tr450) は 5 試験体全てがせん断優先の曲げ破壊であった (表 3.2-2 及び写真 3.3-11~3.3-20)。

表 3.3-2 集計表

区分	No	エレメントの Efr 平均値 kN/mm ²	重ね梁の見かけ の曲げ強さ MOR : N/mm ²	重ね梁の見かけの 曲げヤング係数 MOE1 : kN/mm ²	重ね梁の中央一定ス パンヤング係数 MOE2 : kN/mm ²	破壊 形態
Tw300 集計	平均値	8.83	30.6	6.88	7.64	b : 2 bs : 2 s : 1
	標準偏差	0.70	4.4	0.45	0.98	
	変動係数%	8.0	14.4	6.5	12.8	
	5%下限値	7.7	23.3	6.1	6.0	
Tw450 集計	平均値	9.07	27.5	6.79	8.01	b : 4 sb : 1
	標準偏差	0.65	2.4	0.41	0.18	
	変動係数%	7.2	8.9	6.0	2.3	
	5%下限値	8.0	23.4	6.1	7.7	
Tr300 集計	平均値	8.96	24.0	5.41	6.36	b : 3 bs : 1 sb : 1
	標準偏差	0.66	4.2	0.24	0.43	
	変動係数%	7.3	17.5	4.4	6.8	
	5%下限値	7.9	17.1	5.0	5.6	
Tr450 集計	平均値	9.20	19.1	4.92	6.60	sb : 5
	標準偏差	0.69	1.3	0.30	0.66	
	変動係数%	7.5	6.5	6.0	9.9	
	5%下限値	8.1	17.1	4.4	5.5	

5%下限値 = 平均値 - 1.645 × 標準偏差

破壊形態 : b : 曲げ破壊、s : せん断破壊、bs : 曲げ優先のせん断、sb : せん断優先の曲げ

(2) 曲げヤング係数

曲げヤング係数はスパンに対する変位で計算したものを MOE1、モーメント一定区間の変位から計算したものを MOE2 とした。

はじめにエレメントの縦振動ヤング係数の平均値、標準偏差を図 3.3-19 に示した。4つの重ね梁の Efr が Tw300 < Tr300 < Tw450 < Tr450 の順になっているのは表 2.1-1 に示したエレメントの仕分け方法の反映である。MOE1、MOE2 の平均値と標準偏差の範囲を図 3.3-20、図 3.3-21 にそれぞれ示した。ツインビームの MOE1 の平均値は 6.5kN/mm² 以上、MOE2 では 7.5kN/mm² 以上であった。同様にトリプルビームの MOE1 の平均値は Tr300 で 5.42kN/mm²、Tr450 で 4.93kN/mm²、MOE2 では 6.37kN/mm²、6.61kN/mm² であった。MOE2 を測定したモーメント一定区間はせん断の影響が少ないのでないの元来 MOE2 > MOE1 の関係にあるが、MOE がエレメント間のすべりの影響をより多く受けるため、MOE1 と MOE2 との差が大きくなったものと思われる。なお、ツインビームの MOE2 とトリプルビームの MOE2 との間に明らかな差が認められることから、MOE2 であってもエレメント間のすべりの影響を受けていることが推定された。

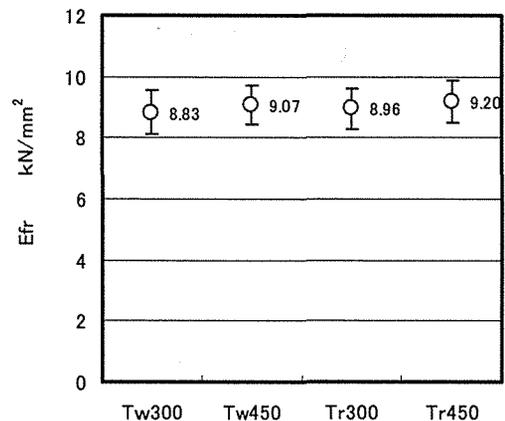


図 3.3-19 エレメントの Efr の平均値の分布

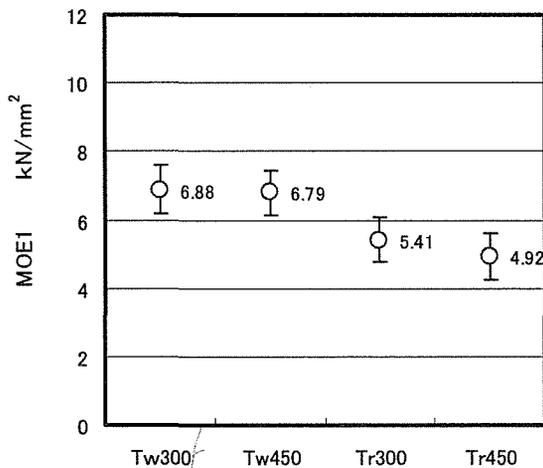


図 3.3-20 曲げヤング係数 (MOE1) の平均値と標準偏差

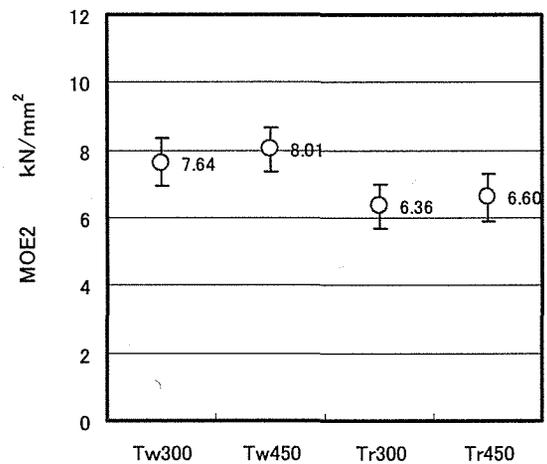


図 3.3-21 曲げヤング係数 (MOE2) の平均値と標準偏差

(3) 曲げ強さ

曲げ強さは図 3.3-22 に示すように Tw300 > Tw450 > Tr300 > Tr450 であった。ツインビームの MOR がトリプルビームのそれより大きいのはすべり面の数の違いによるものと考えられた。また、シャチ・ボルト間隔 300mm の MOR が 450mm のそれよりも大きいのはシャチ・ボルトの多いので総耐力が大きくなるためと考えられた。

材料強度はツインビームでスギ無等級材の材料強度 (22.2kN/mm²) を満たしていた。一方、トリプルビームは無等級材の材料強度の 3/4 程度であった (表 3.3-2 の MOR の 5% 下限値参照)。

(4) 曲げヤング係数 (MOE1) と曲げ強さ (MOR) との関係

曲げヤング係数 (MOE1) と曲げ強さ (MOR) との関係を図 3.3-23 に示したが、各区分内でも全体でも MOE が高い試験体は MOR が高い傾向にあることは明らかであった。

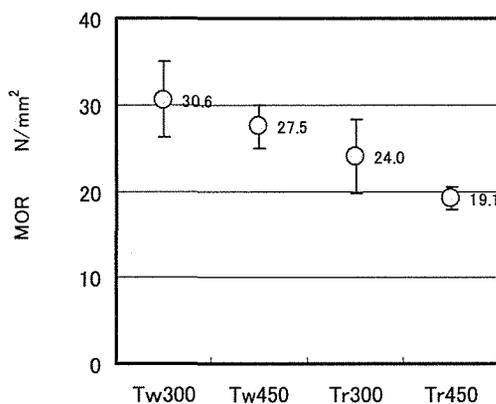


図 3.3-22 重ね梁の曲げ強さの平均値と標準偏差

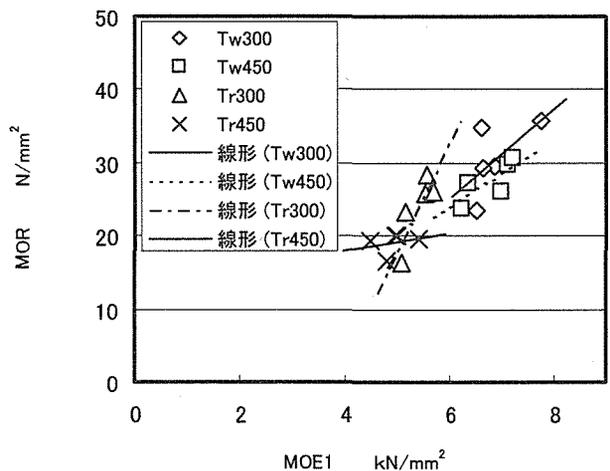


図 3.3-23 曲げヤング係数 (MOE1) と MOR との関係

(4) エレメントの等級区分の意義

エレメントの Efr 平均値と MOE1 との関係を図 3.3-24 に示した。各区分内では明らかな相関関係が認められた。よって Efr の高いエレメントからは MOE1 の高い重ね梁が製造できるといえる。

一方 Efr と MOR との関係は図 3.3-25 に示したように正の関係にあるものの、それほど明確ではなかった。

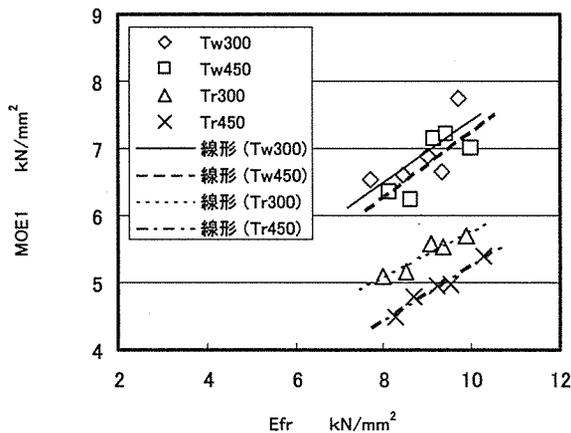


図 3.3-24 エレメントの Efr (平均値) と MOE1 との関係

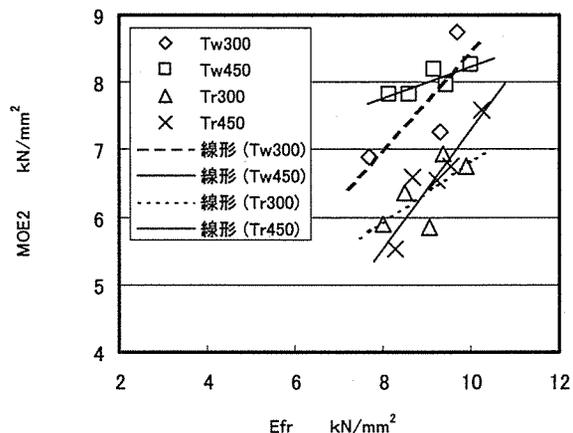
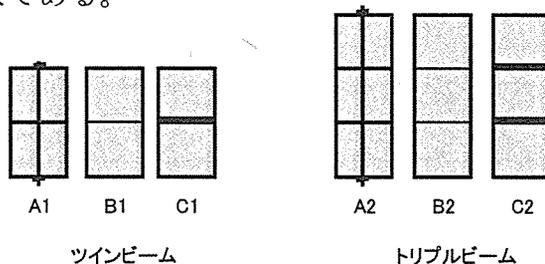


図 3.3-25 エレメントの Efr (平均値) と MOR (平均値) との関係

3.3.3 ボルト・シャチ接合が重ね梁の強度性能に及ぼす影響

(1) 重ね梁が一体であった場合 (接着重ね梁) とエレメント間が自由にずれた場合の曲げヤング係数、曲げ強さの推定

エレメントが接着によって一体となっている場合 (接着重ね梁: 図 3.3-26 B1、B2) の曲げヤング係数、曲げ強さの推定は平成 15 年本調査事業報告書の P. 51~61 「スギ材による接着重ね梁の開発」によって得られた接着重ね梁の Efr (平均値) と MOE、MOR との関係式 (図 3.3-27、図 3.3-28) から推定した。なお、平成 15 年度の接着重ね梁用材料と、今年度のシャチ・ボルト接合による重ね梁の材料のスギは両方とも産地と人工乾燥条件までは同様である。



A1、A2: シャチ・ボルト接合重ね梁
 B1、B2: 接着重ね梁 (一体梁)
 C1、C2: 独立エレメント (エレメント間は自由に滑る)

図 3.3-26 重ね梁のモデル

独立エレメントの曲げヤング係数の計算式: $C1 = (1/4) \cdot B1$, $C2 = (1/9) B2$
 独立エレメントの曲げ強さの計算式: $C1 = (1/2) B1$, $C2 = (1/4) B1$

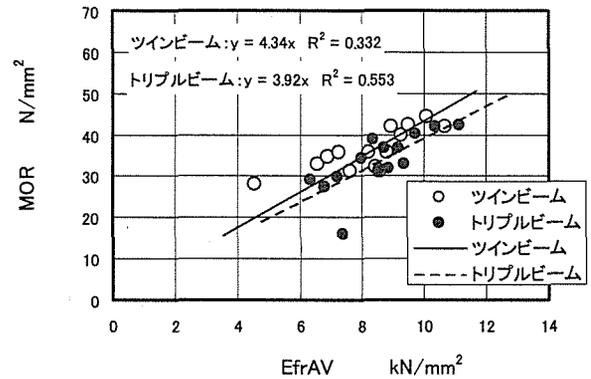
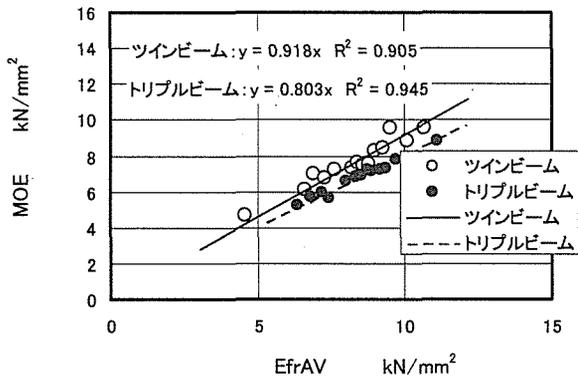


図 3.3-27 スギ接着重ね梁の元素の EfrAV と MOE との関係 (本事業平成 15 年度報告書) 図 3.3-28 スギ接着重ね梁の元素の EfrAV と MOR との関係 (本事業平成 15 年度報告書)

表 3.3-3 シヤチ・ホルト接合重ね梁の MOE1 と元素の EfrAV から推定した一体梁、独立元素梁の曲げヤング係数

区分	NO.	元素の Efr 平均値 EfrAV kN/mm ²	α 重ね梁の見かけの MOE1 実測値 kN/mm ²	β 一体と仮定したときの 推定 MOE1 ¹⁾ kN/mm ²	元素が自由にずれたと仮定した時の 推定 MOE1 ²⁾ kN/mm ²	α/β 比
Tw300	2301	7.69	6.53	7.06	1.76	0.92
	2302	8.44	6.61	7.75	1.94	0.85
	2303	9.02	6.88	8.28	2.07	0.83
	2304	9.31	6.64	8.55	2.14	0.78
	2305	9.69	7.75	8.90	2.22	0.87
Tw450	2451	8.13	6.36	7.47	1.87	0.85
	2452	8.61	6.23	7.91	1.98	0.79
	2453	9.16	7.13	8.41	2.10	0.85
	2454	9.45	7.21	8.67	2.17	0.83
	2455	10.01	7.01	9.19	2.30	0.76
Tr300	3301	8.00	5.10	6.42	0.71	0.79
	3302	8.51	5.16	6.83	0.76	0.76
	3303	9.06	5.57	7.28	0.81	0.77
	3304	9.37	5.53	7.52	0.84	0.73
	3451	9.88	5.70	7.93	0.88	0.72
Tr450	3451	8.27	4.48	6.64	0.74	0.67
	3452	8.68	4.80	6.97	0.77	0.69
	3453	9.22	4.96	7.40	0.82	0.67
	3454	9.55	4.98	7.67	0.85	0.65
	3455	10.26	5.40	8.24	0.92	0.66

1) 一体と仮定したときの推定 MOE1 (図 3.3-27 参照)

(ツインビーム : $MOE1=0.918 \times EfrAV$ 、トリプルビーム : $MOE1=0.803 \times EfrAV$)

2) 元素が自由に滑ると仮定した時の推定 MOE1 (図 3.3-26 参照)

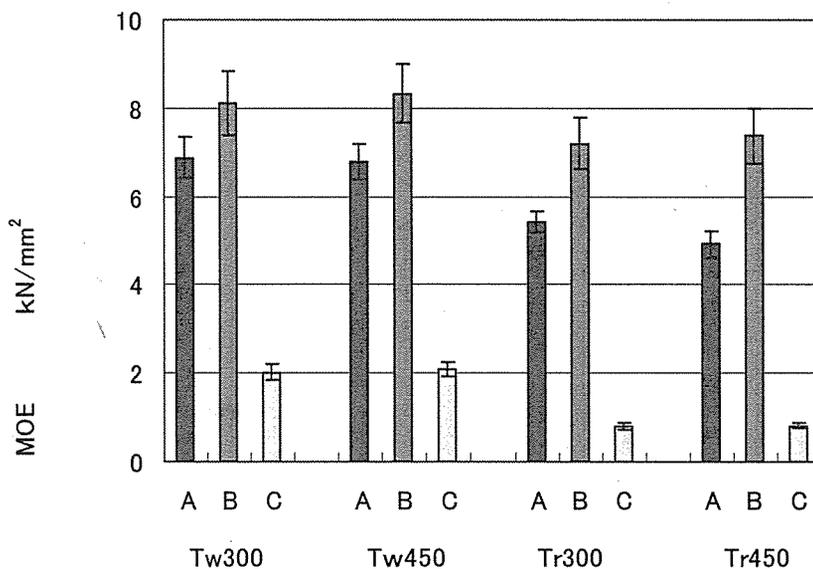
(2) シャチ・ボルト接合と曲げヤング係数との関係

曲げヤング係数について実測値 (MOE1)、とそれぞれの推定値を表 3.3-3 に示した。そして、重ね梁の種類ごとに集計し、表 3.3-4 と図 3.3-29 に示した。

シャチ・ボルト接合重ね梁の曲げヤング係数は一体梁の性能までは期待できないが、その効果は明らかであった。シャチ間隔が狭いほどヤング係数も上がるという傾向も認められた。

表 3.3-4 シャチ・ボルト接合重ね梁の MOE1 とエレメントの EfrAV から推定した一体梁、独立エレメント梁の曲げヤング係数の集計

区分	No	エレメントの Efr 平均値 EfrAV kN/mm ²	α	β	エレメントが自由に滑ると仮定した時の推定 MOE1 kN/mm ²	α/β 比
			重ね梁の見かけの MOE1 実測値 kN/mm ²	一体と仮定したときの推定 MOE1 kN/mm ²		
Tw300	平均値	8.83	6.88	8.11	2.03	0.85
	標準偏差	0.70	0.45	0.72	0.18	0.05
Tw450	平均値	9.07	6.79	8.33	2.08	0.82
	標準偏差	0.65	0.41	0.67	0.17	0.04
Tr300	平均値	8.96	5.41	7.20	0.80	0.75
	標準偏差	0.66	0.24	0.59	0.07	0.03
Tr450	平均値	9.20	4.92	7.38	0.82	0.67
	標準偏差	0.69	0.30	0.62	0.07	0.02



A: シャチ・ボルト接合重ね梁の見かけの曲げヤング係数(実測値)
 B: 一体梁(接着重ね梁)と仮定したときの曲げヤング係数(推定値)
 C: エレメントが独立していると仮定したときの曲げヤング係数(計算値)
 ツイン=1/4・B トリプル=1/9・B

図 3.3-29 シャチ・ボルト接合重ね梁の MOE1 (A) とエレメントの EfrAV から推定した一体梁 (B)、独立エレメント梁 (C) の曲げヤング係数の比較

(3) シャチ・ボルト接合と曲げ強さとの関係

曲げヤング係数と同様に曲げ強さの実測値と曲げ強さのそれぞれの推定値を表 3.3-5 に示した。そして、重ね梁の種類ごとに集計し、表 3.3-6 と図 3.3-30 に示した。

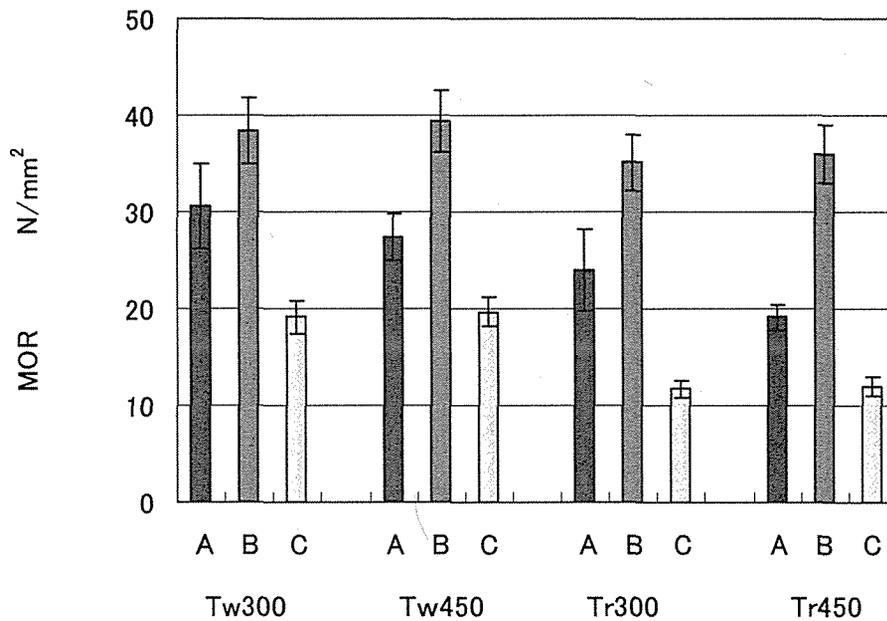
曲げ強さには対するシャチ・ボルト接合の効果は明らかであるが、曲げヤング係数に比較して効果は少ない。シャチ間隔が狭いほど曲げ強さが上がるという傾向は曲げヤング係数の場合以上に認められた。

表 3.3-5 シャチ・ボルト接合重ね梁の MOE1 とエレメントの EfrAV から推定した一体梁、独立エレメント梁の曲げ強さ

区分	No	エレメントの	α	β	エレメントが	α/β
		Efr 平均値	重ね梁の見か	一体と仮定し		
		EfrAV	けの MOR 実測値	たときの推定	仮定した時の	比
		kN/mm ²	N/mm ²	MOR	推定 MOR	
				N/mm ²	N/mm ²	
Tw300	2301	7.69	23.5	33.4	16.7	0.70
	2302	8.44	34.8	36.6	18.3	0.95
	2303	9.02	29.6	39.1	19.6	0.76
	2304	9.31	29.2	40.4	20.2	0.72
	2305	9.69	35.7	42.1	21.0	0.85
Tw450	2451	8.13	27.3	35.3	17.7	0.77
	2452	8.61	23.8	37.4	18.7	0.64
	2453	9.16	29.7	39.8	19.9	0.75
	2454	9.45	30.5	41.0	20.5	0.74
	2455	10.01	26.0	43.4	21.7	0.60
Tr300	3301	8.00	16.3	31.4	10.5	0.52
	3302	8.51	23.4	33.3	11.1	0.70
	3303	9.06	28.4	35.5	11.8	0.80
	3304	9.37	25.9	36.7	12.2	0.71
	3451	9.88	26.1	38.7	12.9	0.67
Tr450	3451	8.27	19.3	32.4	10.8	0.60
	3452	8.68	16.7	34.0	11.3	0.49
	3453	9.22	20.0	36.1	12.0	0.55
	3454	9.55	20.0	37.4	12.5	0.53
	3455	10.26	19.7	40.2	13.4	0.49

表 3.3-6 シヤチ・ボルト接合重ね梁の MOE1 とエレメントの EfrAV から推定した一体梁、独立エレメント梁の曲げ強さの集計

区分	No	エレメントの Efr 平均値 EfrAV (kN/mm ²)	α	β	エレメントが自由に滑ると仮定した時の推定 MOR (N/mm ²)	α/β 比
			重ね梁の見かけの MOR 実測値 (N/mm ²)	一体と仮定したときの推定 MOR (N/mm ²)		
Tw300	平均値	8.83	30.55	38.33	19.16	0.80
	標準偏差	0.70	4.92	3.41	1.70	0.10
Tw450	平均値	9.07	27.45	39.38	19.69	0.70
	標準偏差	0.65	2.74	3.16	1.58	0.08
Tr300	平均値	8.96	24.00	35.14	11.71	0.68
	標準偏差	0.66	4.68	2.88	0.96	0.10
Tr450	平均値	9.20	19.15	36.05	12.02	0.53
	標準偏差	0.69	1.40	3.02	1.01	0.04



A: シヤチ・ボルト接合重ね梁の見かけの曲げヤング係数(実測値)
 B: 一体梁(接着重ね梁)と仮定したときの曲げヤング係数(推定値)
 C: エレメントが独立していると仮定したときの曲げヤング係数(計算値)
 ツイン=2/1・B トリプル=1/3・B

図 3.3-30 シヤチ・ボルト接合重ね梁 (A) の MOR とエレメントの EfrAV から推定した一体梁 (B)、独立エレメント梁 (C) の曲げ強さの比較

(4) シャチ・ボルト接合重ね梁の曲げ試験における最大荷重、比例限度荷重、最大変位、エレメント間のずれ

シャチ・ボルト接合重ね梁の曲げ試験における最大荷重、比例限度荷重、最大変位、エレメント間のずれ {図 3.3-1～図 3.3-18 においてグラフ上から判断した。変位計 4、5、6、7 (ツインビームは 4,5) のうちの最大値} を表 3.3-7 に一覧し、表 3.3-8 にそれらを集計した。

せん断試験における比例限度荷重に対するエレメント間のずれは 1mm 内外であり、曲げ試験における材端部のエレメント間のずれは、それとかなり符合していた。

表 3.3-7 シャチ・ボルト接合重ね梁の曲げ試験における最大荷重、比例限度荷重、最大変位、エレメント間のずれ

区分	NO.	最大荷重 kN	比例限度荷重 kN	全スパン に対する 最大変位 mm	最大荷重に 対応するエ レメント のずれ mm	比例限度荷 重に対する エレメント 間の ずれ mm	破壊 形態
Tw300	2301	37.96	36.0	45.0	0.78	0.70	b
	2302	55.44	42.0	76.0	1.30	0.95	b s
	2303	47.12	37.5	62.0	1.10	0.83	b
	2304	46.73	38.0	61.0	1.25	0.91	b s
	2305	57.55	44.5	62.1	2.51	1.00	s
Tw450	2451	51.41	37.0	76.0	2.52	1.00	b
	2452	44.83	33.0	68.0	4.00	1.15	b
	2453	56.35	37.0	—	—	—	s b
	2454	58.19	57.0	—	—	—	b
	2455	49.49	37.0	49.5	1.85	1.00	b
Tr300	3301	58.08	58.0	27.0	0.43	0.42	b
	3302	83.51	75.0	40.0	1.40	1.00	b
	3303	101.47	70.0	48.0	1.20	0.60	b s
	3304	93.28	70.0	41.0	0.90	0.62	b
	3305	93.34	78.0	44.0	1.20	0.80	s b
Tr450	3451	83.06	60.0	28.0	0.90	0.65	s b
	3452	71.46	50.0	40.0	1.50	0.90	s b
	3453	84.89	62.0	118.0	13.00	0.90	s b
	3454	84.94	60.0	82.0	3.00	1.10	s b
	3455	84.18	68.0	37.0	1.70	1.10	s b

表 3.3-8 シャチ・ボルト接合重ね梁の曲げ試験における最大荷重、比例限度荷重、最大変位、エレメント間のずれの集計

区分	No	最大荷重 kN	比例限度 荷重 kN	全スパン に対する 最大変位 mm	最大荷重に 対応するエ レメントの ずれ mm	比例限度荷 重に対する エレメント 間のずれ mm
Tw3000	平均値	48.96	39.60	61.22	1.39	0.88
	標準偏差	7.83	3.52	10.99	0.66	0.12
Tw450	平均値	52.06	40.20	64.5	2.8	1.1
	標準偏差	5.37	9.55	13.6	1.1	0.1
Tr300	平均値	85.93	70.20	40.00	1.03	0.69
	標準偏差	16.82	7.63	7.91	0.38	0.22
Tr450	平均値	81.70	60.00	61.00	4.02	0.93
	標準偏差	5.78	6.48	38.07	5.08	0.19

4 まとめ

シャチ・ボルト接合スギ重ね梁を「接着剤を使用しない、解体後の再利用を容易にする環境材料」と位置付け、実用規模で製造し、せん断試験、曲げ試験を行った。

スギ正角（エレメント）の乾燥スケジュールは95℃で6時間の蒸煮後、高温セット処理（乾球：120℃、湿球：90℃）24時間の後、178時間の中温乾燥（乾球：90℃、湿球：60℃）とした。エレメントの縦振動ヤング係数は平均9.0kN/mm²であった。

シャチは断面30（高さ）×120（幅）×90mm（長さ）の縦型シャチとし、樹種はケヤキとした。大型プレカットマシンを用いてエレメントの溝加工を行い、ボルト・ナットはM12(12φ)を使用した。

曲げ試験用重ね梁は2段重ね（ツインビーム）、3段重ね（トリプルビーム）それぞれにシャチ・ボルト間隔300mmと450mmの2水準設定し、4種類作製した。1種類5試験体、総数20試験体とした。平行してせん断試験体をEfrの高、中、低の3水準設定して作製した。

せん断試験の結果、シャチ1つ当たりの最大耐力及び比例限度耐力はAタイプ（シャチ・ボルト間隔300mm）の平均で81.9kN及び53.2kN、Bタイプ（シャチ・ボルト間隔450mm）のそれは76.6kN及び51.7kNであった。比例限度荷重に対応した変位（主材と側材のずれ）は1mm内外であった。

曲げ試験の結果、破壊形態はシャチ・ボルト間隔300mmのツインビーム（Tw300）、同450mmのツインビーム（Tw450）、同300mmのトリプルビーム（Tr300）は曲げ、あるいは曲げが優先していた。シャチ・ボルト間隔450mmのトリプルビーム（Tr450）はせん断優先の曲げ破壊形態であった。

曲げ強さはツインビームのTw300、Tw450とも5%下限値は23N/mm²程度でスギの材料強度（22.2N/mm²）を満たしていた。一方、トリプルビームのTr300、Tr450の5%下限値は17N/mm²であった。

曲げヤング係数(全スパンの変位で計算した MOE1)の平均値は Tw300、Tw450、Tr300、Tr450 の順に 6.88、6.79、5.41、4.92 kN/mm²であった。

曲げヤング係数 (MOE1) の大きな重ね梁は曲げ強さも大きい傾向にあった。エレメントの Efr と曲げヤング係数との関係は明確であったが、Efr と曲げ強さとの関係はそれほど明確ではなかった。

シャチ・ボルト接合の強度性能に及ぼす影響(効果)は明確に認められたが、当然のことながらエレメントが一体である接着重ね梁には及ばなかった。

ボルトの緩みに対応できるような使用方法が望まれるが、ナット締めつけ圧力 22 kN・m と 11 kN・m ではせん断耐力にほとんど違いはなかった。

シャチ・ボルト接合重ね梁は意匠性に富むとともに、接着剤を使用しない解体後の再利用を容易にする環境材料として位置付けることが出来よう。

[補稿] スギ重ね梁材の開発と性能評価

(シャチボルト接合性能試験結果を用いた重ね梁曲げ性能の推定について)

はじめに

シャチボルト接合を用いた重ね梁材の曲げ性能は、基本的にシャチボルト接合部の性能に依存する。シャチボルト接合部の性能は、シャチの形状や強度性能、母材の強度性能、ボルトの圧縮圧力等多くの因子の影響を受ける。シャチボルト接合を用いた重ね梁材を開発するには、これら因子の影響を一つ一つ明らかにする必要があるが、実際に重ね梁の曲げ試験結果からこれらを明らかにすることは多大な労力を要する。従って、シャチボルト接合部単体のせん断試験等からその基本性能を明らかにし、シャチボルト重ね梁材の曲げ性能を推定する手法について検討しておく必要がある。

ここでは、シャチボルト接合部のせん断試験から得られたシャチボルト接合部の比例限度荷重、変形能から重ね梁材の曲げ試験における比例限度荷重、エレメント間のずれについてその推定精度を検証する。

考察

1. 重ね梁材曲げ試験時の比例限度荷重 P_p の推定

以下の手順で重ね梁材曲げ試験時の比例限度荷重 P_p を推定した結果を表 1 に示す。

$$P_p = \sigma_p \times A \times N \times 2$$

σ_p (N/mm²) : シャチ接合部 1 個あたりの比例限度応力 (表 3.2-4、3.2-5 より)

A (mm²) : シャチ 1 個の面積

N : 重ね梁材のシャチ個数

表 1 比例限度荷重の予測

試験体	σ_p N/mm ²	A mm ²	N	推定値 kN	実験値 kN	比率 実験/推定
Tr300	29.5	1800	5	531	39.6	0.075
Tr450	28.7	1800	3	310	40.2	0.130
Tw300	29.5	1800	10	1062	70.2	0.066
Tw450	28.7	1800	6	620	60.0	0.097

重ね梁曲げ試験体のシャチ部分に生じる圧縮応力は比例限度時に 2.2~3.7 N/mm² とシャチ接合部単体のそれ (2.2~3.6 N/mm²) よりはるかに低かったことから、今回の試験条件の範囲内では考慮する必要性は低い。むしろ、エレメントの曲げ破壊の点からの設計を行う必要がある。

2. 重ね梁材曲げ試験時のエレメントずれ e_p の推定

以下の手順で曲げ試験比例限度荷重時のエレメント間のずれ e_p を推定した結果を表 2 に示す。

$$e_p = \tau_p / K / N$$

τ_p (N/mm²) : 曲げ試験時比例限度荷重に対応したシャチ接合部 1 個あたりに生じる応力 (表 3.3-8 より算出)

K (N/mm²/mm) : シャチ接合部 1 個の変形定数 (表 3.2-4、3.2-5 より算出)

N : 重ね梁材のシャチ個数

表 2 エレメント間のずれの推定

試験体	τ_p N/mm ²	K N/mm ² /mm	N 個	推定値 mm	実験値 mm	比率 実験/推定
Tr300	2.20	25.9	5	0.08	0.88	10.4
Tr450	3.72	28.2	3	0.13	1.10	8.3
Tw300	1.95	51.8	10	0.04	0.69	18.3
Tw450	2.78	46.4	6	0.05	0.93	18.9

エレメント間のずれは、組み立て重ね梁材の曲げ剛性に大きな影響を与える。実際、今回の組み立て重ね梁材曲げ試験結果における曲げヤング係数の効率は接着梁の場合に比して、2層積層材で0.85、3層積層材で0.75~0.67程度であることが明らかになった。表 2 の結果もこれを裏付けるものとなり、シャチ 1 個の変形能から推定されるずれの量は 2 層積層材で推定値の 10 倍、3 層積層材で 20 倍ほどになっており、3 層積層材の方が大きくなる傾向も確認された。推定値にしても測定値にしてもエレメント間のずれの量はかなり小さな値であることから、シャチ部分の加工精度の点から考えてシャチ接合部単体の変形能としては今回程度が限界であると考えられる。

まとめ

今回の重ね梁材の曲げ性能において、シャチ接合部単体の性能としては耐力より変形能の方が重要な役割をはたしていると推察される。ただし、シャチの加工精度および重ね梁材として得られている性能を考えるとこれ以上の変形能の向上は難しいと考えられる。