

# シャチ・ボルト接合によるスギ重ね梁の開発

橋爪丈夫・伊東嘉文・吉田孝久

シャチ・ボルト接合スギ重ね梁を実用規模で製造し、曲げ試験を行った。せん断試験の結果求めたシャチ1つあたりの比例限せん断耐力と曲げ試験の結果推定したせん断耐力とはよい符合を示した。シャチ・ボルト間隔300mmの重ね梁は曲げ優先の破壊形態を示し、同450mm間隔の試験体はせん断優先の破壊形態を示した。

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。

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ため、解体後の再利用を容易にする環境への負荷の少ない材料として位置付けることができよう。

キーワード：スギ、重ね梁、シャチ・ボルト接合、曲げ強さ、せん断試験

## 1 緒言

接着剤を使用しない重ね梁として製造したシャチ・ボルト接合による重ね梁(2段重ね：ツイーンビーム：Tw, 3段重ね：トリプルビーム：Tr)の性能試験の結果を報告する。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。

なお、本研究は平成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の一環として(財)日本住宅・木材技術センターからの受託事業として実施した。

## 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(新柴設備製SKD型)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<sup>1)</sup>とした(表-1)。製材および人工乾燥は根羽村森林組合に委託した。

#### 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齋藤木材工業(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(表-2)。Efr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、常法により計算した(写真-1, 2)。

表-1 正角の乾燥スケジュール

時間(hr)	乾球温度(°C)	湿球温度(°C)	温度差(°C)	備考
0~6	95	95	0	蒸煮
6~30	120	90	30	高温セット
30~198	90	60	30	乾燥
198~222	降温			



写真-1 縦振動ヤング係数(Efr)の測定

#### 2.1.3 シャチの製造

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<sup>2)</sup>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、最も性能が優れていた縦シャチを採用した。

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、図-1の形状に仕上げた。



写真-2 組み合わせの終了したエレメント

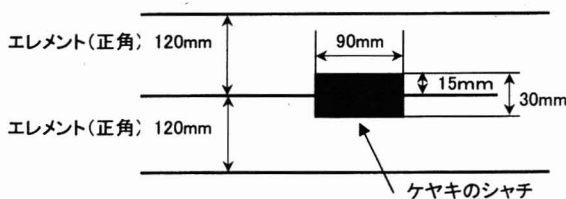


図-1 シャチの形状

## 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)。ボルト孔径は13mmとした。

### 2.2.2 エレメントの組合せ

エレメントの組合せを図-3に示した。

エレメント番号はEfr順位を表すので、番号の若い重ね梁ほど低いEfrのエレメントで構成されていることになる。

表-2 試験体(エレメント)の仕分け

番号 E f r 順	仕分 け先 No	区分	番号 E f r 順	仕分 け先 No	区分
1		予備	41	2303	Tw30
2		予備	42	3303	Tr30
3		予備	43	3303	Tr30
4		予備	44	3303	Tr30
5	Mc1	MC	45	2453	Tw45
6	S301	S30	46	2453	Tw45
7	S301	S30	47	3453	Tr45
8	S301	S30	48	3453	Tr45
9	S451	S45	49	3453	Tr45
10	S451	S45	50	2304	Tw30
11	S451	S45	51	2304	Tw30
12	2301	Tw30	52	3304	Tr30
13	2301	Tw30	53	3304	Tr30
14	3301	Tr30	54	3304	Tr30
15	3301	Tr30	55	2454	Tw45
16	3301	Tr30	56	2454	Tw45
17	2451	Tw45	57	3454	Tr45
18	2451	Tw45	58	3454	Tr45
19	3451	Tr45	59	3454	Tr45
20	3451	Tr45	60	MC4	MC
21	3451	Tr45	61	2305	Tw30
22	MC2	MC	62	2305	Tw30
23	2302	Tw30	63	3305	Tr30
24	2302	Tw30	64	3305	Tr30
25	3302	Tr30	65	3305	Tr30
26	3302	Tr30	66	2455	Tw45
27	3302	Tr30	67	2455	Tw45
28	2452	Tw45	68	3455	Tr45
29	2452	Tw45	69	3455	Tr45
30	3452	Tr45	70	3455	Tr45
31	3452	Tr45	71	S303	S30
32	3452	Tr45	72	S303	S30
33	S302	S30	73	S303	S30
34	S302	S30	74	S453	S45
35	S302	S30	75	S453	S45
36	S452	S45	76	S453	S45
37	S452	S45	77	MC5	MC
38	S452	S45	78		予備
39	MC3	MC	79		予備
40	2303	Tw30	80		予備

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

真-3～写真-9に一覧した。

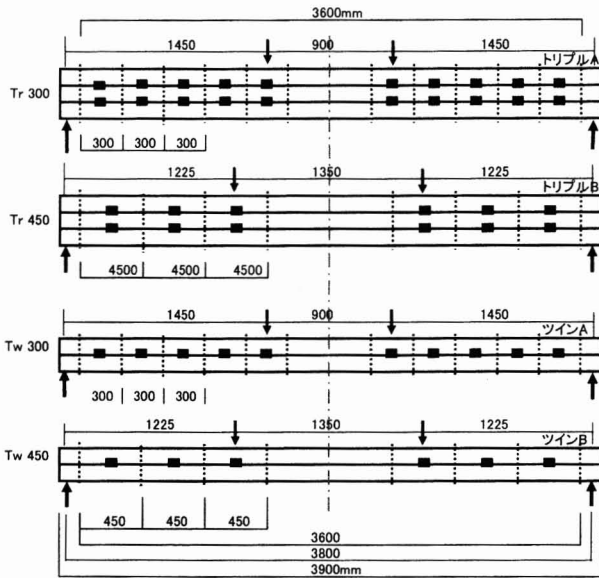


図-2 シャチ・ボルト接合重ね梁の種類  
曲げ試験のスパン条件も示した。

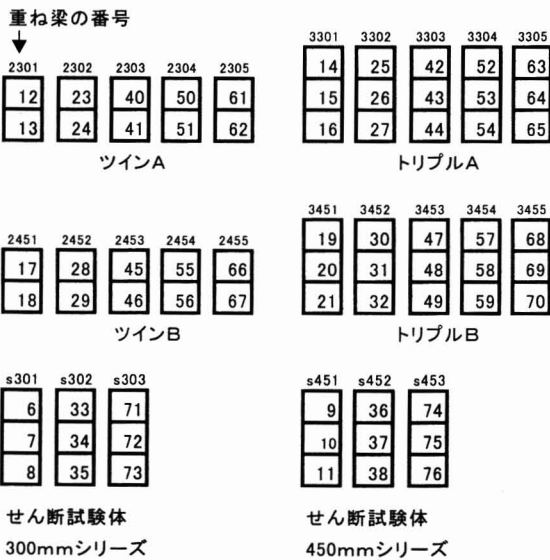


図-3 エレメントの組合せ

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 試験体の仕分け参照)。

### 2.2.3 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。

#### (2) 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。

シャチ・ボルト接合重ね梁製造の一連の流れを写



写真-3 プレカットマシン全景



写真-4 ルータによる掻き取り



写真-5 トリプルビームの組み立て開始



写真-6 ナットの仮締め



写真-7 シャチの叩き込み

### 2.3 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 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 (A タイプ) とシャチピッチ 450mm (B タイプ) の 2 種類作製した (図-4)。



写真-8 ボルト締め



写真-9 トリプルビームの完成

トリプルビームと同様に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。1 体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。

### 2.4 せん断試験

シャチ間隔 300mm 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 22kN・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 kN・m で締め付けた (写真-10)。

試験の方法を図-5 に示した。

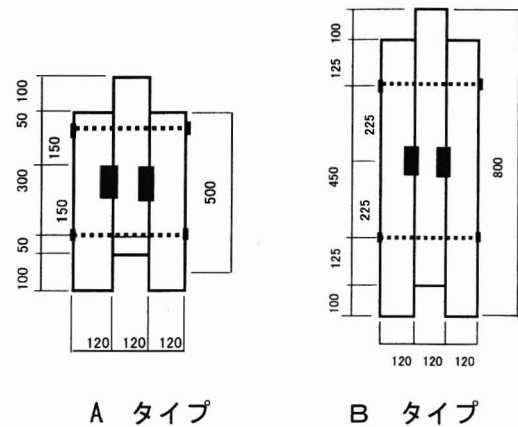


図-4 せん断試験体

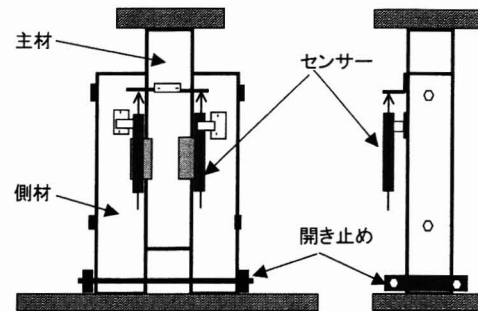


図-5 せん断試験の方法

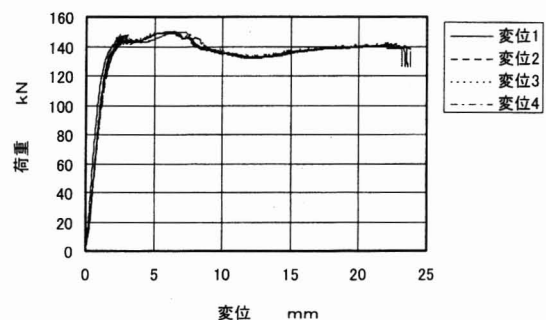


図-6 主材と側材の表裏 4 ヶ所で測定した変位と荷重との関係

## 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 kN・m で締め付けた後試験に供した。

図-7 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。

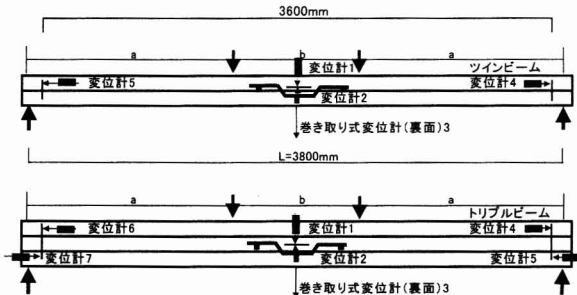


図-7 スギ重ね梁の曲げ試験

- 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 (試験終了時まで)



写真-10 トルクレンチでの締め付け

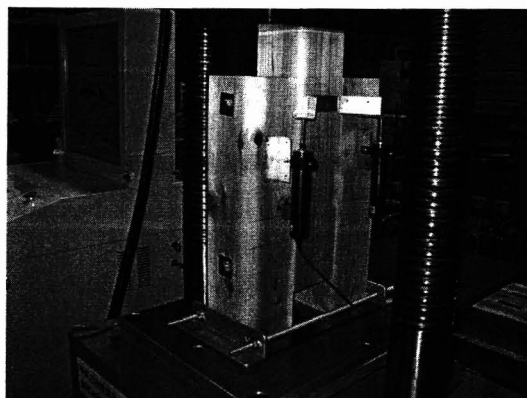


写真-11 せん断試験  
センサーと開き防止治具のセット

試験機は 1000kN 実大材曲げ試験機(島津製作所製)を用い、試験条件は図-2 に示したようにスパン 3800mm の 4 分点荷重方式(上部荷重点間距離はシャチ間隔 300mm の重ね梁はツイン, トリプルとも 900mm, 450mm 間隔の重ね梁は同様に 1350mm)とした。加力速度は 15mm/min とした。

試験の全景を写真-12 に示した。

図-7 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-7)。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-7, 写真-13, 14)。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-7)。

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 (MOE1), モーメント一定区間で測定した変位からもみかけの曲げヤング係数 (MOE2) を計算した。



写真-12 曲げ試験全景

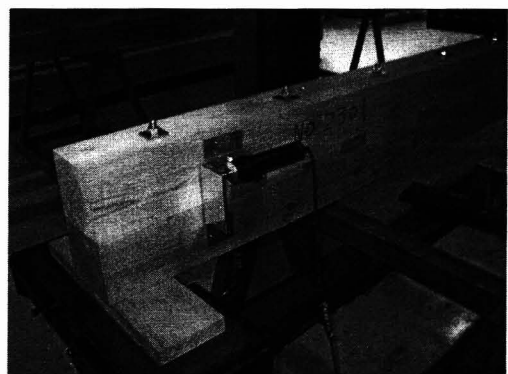


写真-13 ツインビームへの変位計の取り付け



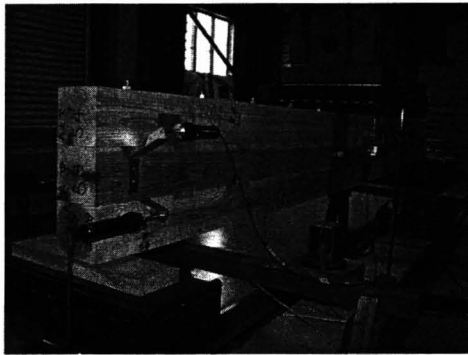


写真-14 トリプルビームへの変位形の取り付け

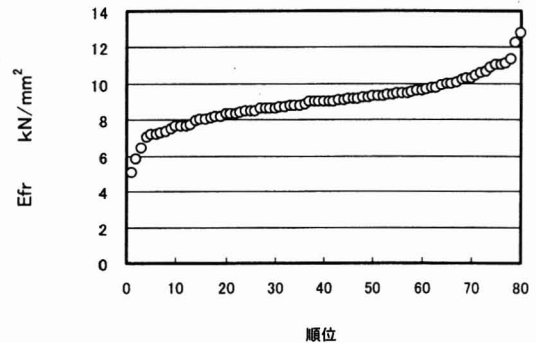


図-8 エレメントのEfrの分布

### 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 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) 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 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-8 に Efr の分布を示した。表-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 スギ正角の重量, 密度, 縦振動ヤング係数 (Efr) の集計

	密度 Kg/m <sup>3</sup>	Efr kN/mm <sup>2</sup>	含水率 %
平均値	420.6	9.00	15.2
標準偏差	50.6	1.30	6.1
変動数 %	12.0	14.5	40.4

含水率は含水率計による測定値, 試験体数は 80。

#### 3.2 せん断試験の結果

##### 3.2.1 せん断破壊の状況

せん断試験の結果, 完全なせん断破壊が認められた例は少なかった。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-15)。



写真-15 せん断試験終了材

左: シャチの側材へのめり込み, 右: シャチの主材へのめり込み

##### 3.2.2 荷重と変位の関係

得られた荷重-変位曲線を図-9, 図-10 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-9, 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た。

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 300mm の A タイプの Elow, Emiddle, Ehigh グループそれぞれで, 80 kN, 110 kN, 130 kN 程度であった。シャチ間隔 450mm の B タイプのそれらは同様に, 90 kN, 100 kN, 100 kN 程度であった。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 程度であった。

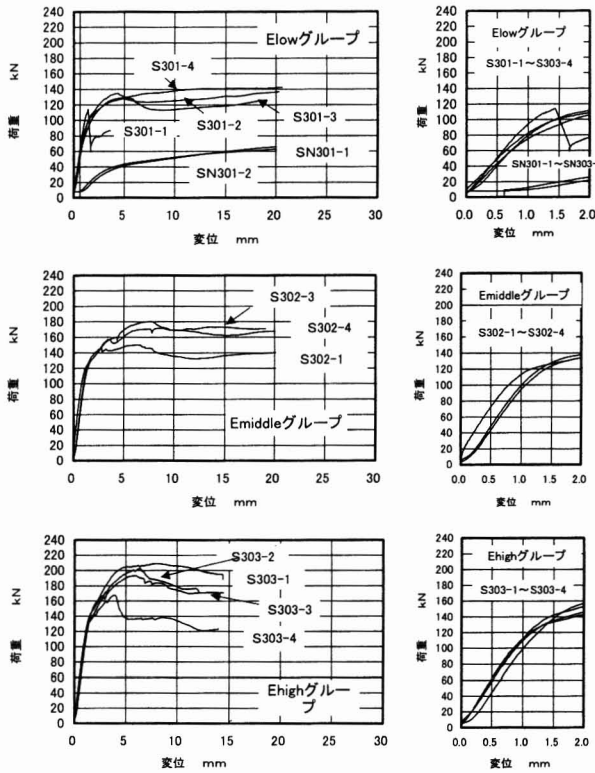


図-9 荷重-変位曲線 (Aタイプ: シャチ間隔 300mm)

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

### 3.2.3 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 にして求めそれらに対応する変位とともに表-4 に示した。

シャチの耐力は 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-4)。見かけの圧縮応力は、シャチ 1 つ当たりの耐力を図-11 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-11 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。表-5 にせん断試験におけるシャチ 1 つ当たりの耐力と変位を示し、表-6 に見かけの圧縮応力、せん断応力を示した。

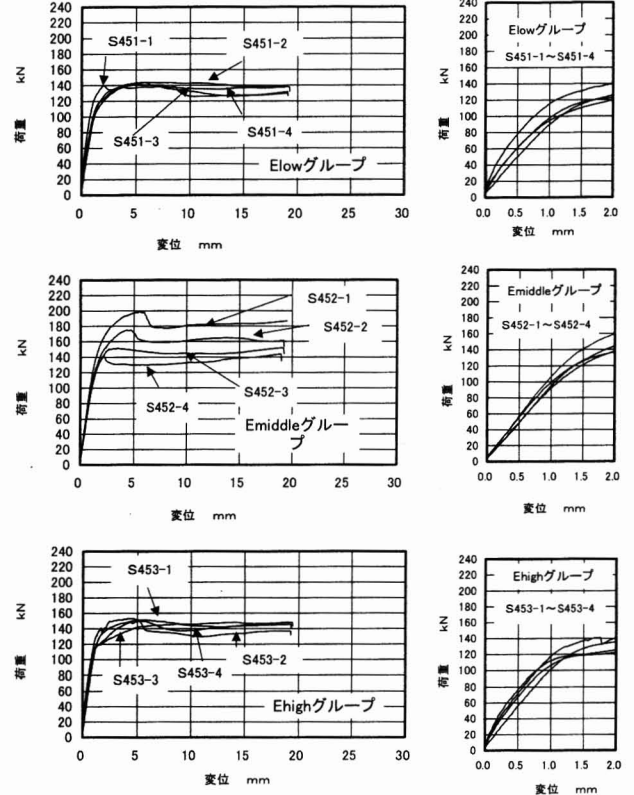


図-10 荷重-変位曲線 (Bタイプ: シャチ間隔 450mm)

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

表-4 せん断試験におけるシャチの耐力と変位

試験体の種類	シャチ 1 つ当たりの最大耐力 kN	シャチ 1 つあたりの比例限度耐力 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	65.7 (6.3)	45.8 (5.3)	5.49 (3.57)	1.16 (0.09)
Aタイプ Emiddle	83.9 (7.8)	56.6 (1.7)	7.86 (1.02)	1.16 (0.19)
Aタイプ Ehigh	96.5 (9.0)	60.7 (2.1)	6.29 (1.85)	1.14 (0.09)
Bタイプ Elow	70.8 (1.4)	49.5 (5.1)	5.19 (1.95)	0.98 (0.07)
Bタイプ Emiddle	83.7 (12.3)	61.5 (1.9)	4.06 (1.61)	1.04 (0.08)
Bタイプ Ehigh	75.3 (0.8)	56.8 (3.7)	6.04 (1.54)	1.06 (0.17)

・平均値 (標準偏差)

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  $35 \text{ N/mm}^2$ ,  $25 \text{ N/mm}^2$  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、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  $6.0 \text{ N/mm}^2$ 、 $4.0 \text{ N/mm}^2$  であり、この値よりは低かった。これは、図-11 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。よってこれらはい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。

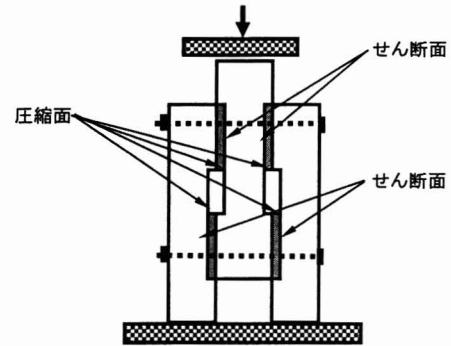


図-11 圧縮面、せん断面の仮定

(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。)

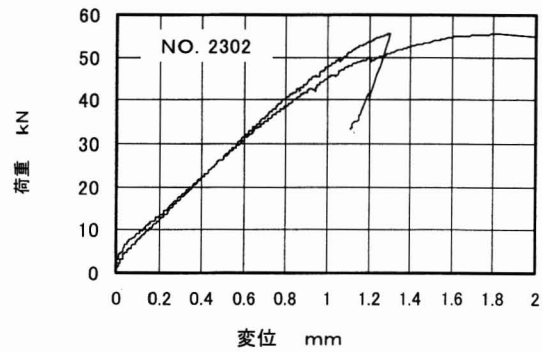
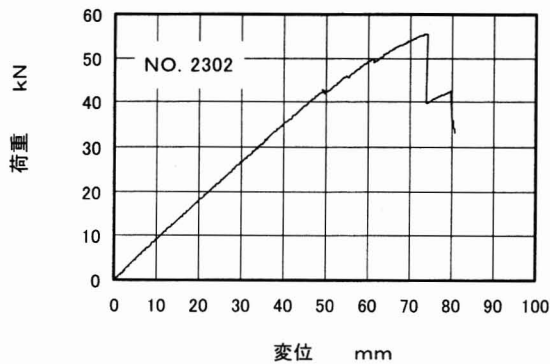


図-12 接着重ね梁 (ツインビーム) の荷重-変位曲線

左：スパンに対する変位，右：材端におけるエレメントのずれ

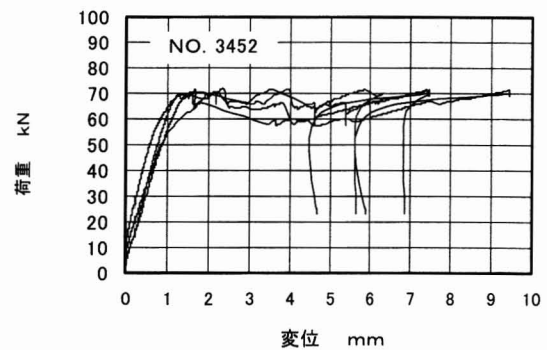
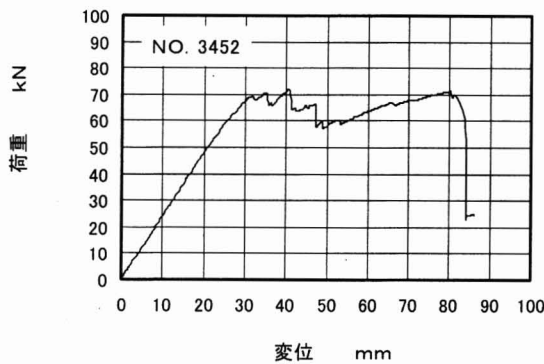


図-13 接着重ね梁 (トリプルビーム) の荷重変位曲線

左：スパンに対する変位，右：材端におけるエレメントのずれ



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,

図-12, 図-13 にツインビーム, トリプルビームの荷重-変位曲線, 材端のエレメントのずれの一例を示した。

これらのグラフから, 最大荷重, 比例限度荷重, それらに対応した材端部分のずれを読み取った。

3.3.2 曲げ試験結果

曲げ試験結果の集計を表-7 に示した。

(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, トリプルビームともシャチ・ボルト間隔 300mm (Tw300, Tr300) は曲げ, あるいは曲げ優先の破壊形態が多かった。一方, 同間隔 450mm (Tw450, Tr450) はせん断優先の破壊形態が多かった。

破壊形態の典型を写真-16~写真-19 に示した。

表-5 せん断試験におけるシャチの耐力と変位の集計

試験体の種類	シャチ1つ当たりの最大耐力 kN	シャチ1つあたりの比例限度耐力 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	81.9 (15.5)	54.1 (7.6)	6.43 (2.46)	1.15 (0.11)
Bタイプ	76.6 (8.5)	55.9 (6.2)	5.74 (2.18)	1.15 (0.17)

平均値 (標準偏差)

表-6 せん断試験における見かけの圧縮応力, せん断応力の集計

試験体の種類	最大圧縮応力 N/mm <sup>2</sup>	圧縮比例限度応力 N/mm <sup>2</sup>	最大せん断応力 N/mm <sup>2</sup>	せん断比例限度応力 N/mm <sup>2</sup>
Aタイプ	45.5 (8.6)	30.1 (4.2)	4.40 (0.83)	2.86 (0.60)
Bタイプ	42.5 (4.7)	31.1 (4.7)	2.09 (0.23)	1.41 (0.13)

平均値 (標準偏差)

表-7 シャチ・ボルト接合によるスギ重ね梁の曲げ試験結果

試験体の種類	MOR N/mm <sup>2</sup>	MOE 1 kN/mm <sup>2</sup>	MOE 2 kN/mm <sup>2</sup>	破壊形態
Tw300	30.6 (4.4)	6.88 (0.45)	7.64 (0.98)	b:2, bs:2 S:1
Tw450	27.5 (2.4)	6.79 (0.41)	8.01 (0.18)	b:1 Sb:4
Tr300	24.0 (4.2)	5.41 (0.24)	6.36 (0.43)	b:3, bs:1 Sb:1
Tr450	19.1 (1.3)	4.92 (0.30)	6.60 (0.66)	Sb:5

MOR: 梁を一体とみなして計算した見かけの曲げ強さ  
MOE 1: 全体変位から計算した見かけの曲げヤング係数

MOE2: モーメント一定区間内の変位から計算した見かけの曲げヤング係数

破壊形態 b: 曲げ, s: せん断, bs: 曲げ優先せん断, sb: せん断優先曲げ



写真-16 単純曲げ破壊 (ツインビーム)



写真-17 せん断破壊 (ツインビーム)

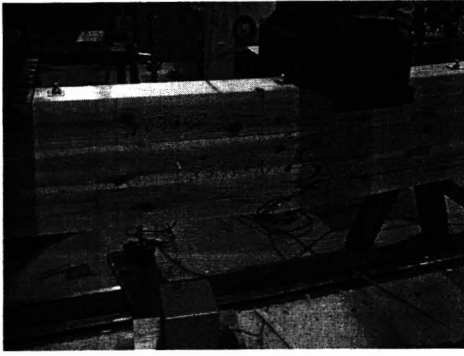


写真-18 単純曲げ破壊 (トリプルビーム)

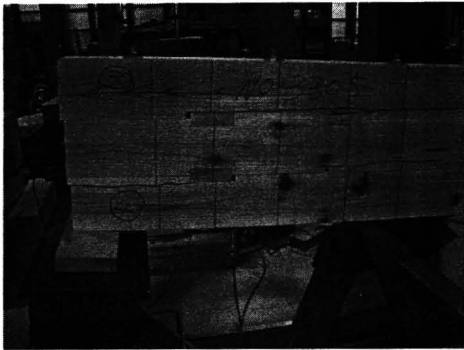


写真-19 せん断によるエレメント間のずれ (トリプルビーム)

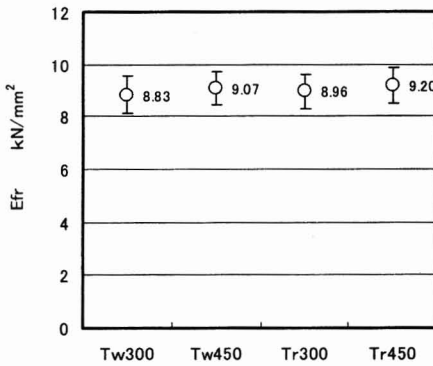


図-14 エレメントの Efr の平均値の分布

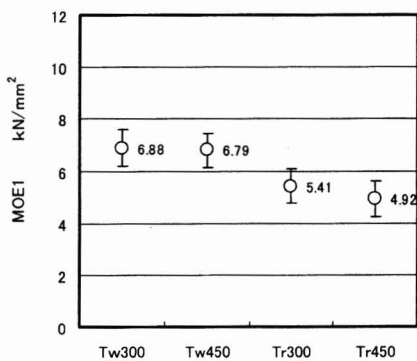


図-15 曲げヤング係数 (MOE1) の平均値

(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-18 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。

(5) 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-19 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-20 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。

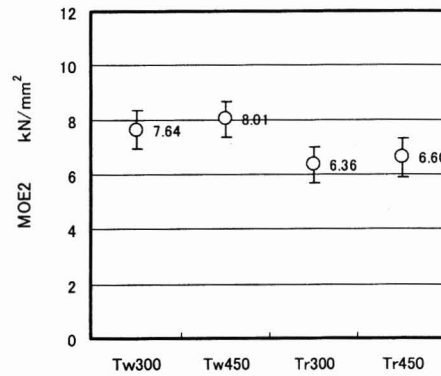


図-16 曲げヤング係数 (MOE2) の平均値標準偏差

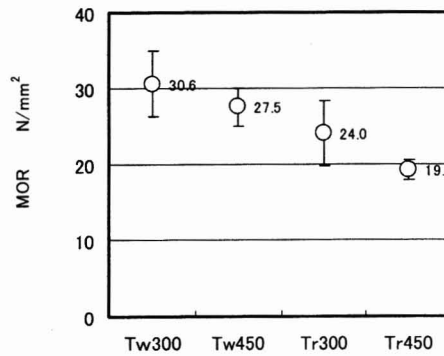


図-17 重ね梁の曲げ強さの平均値と標準偏差

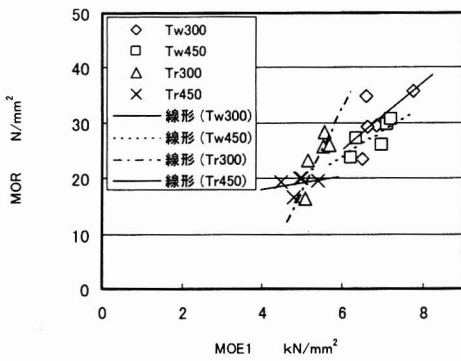


図-18 曲げヤング係数 (MOE1) と MOR との関係

### 3.3.3 シャチ・ボルト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

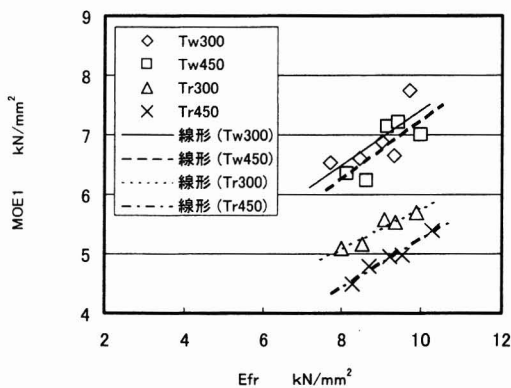


図-19 エレメントの Efr (平均値) と MOE1

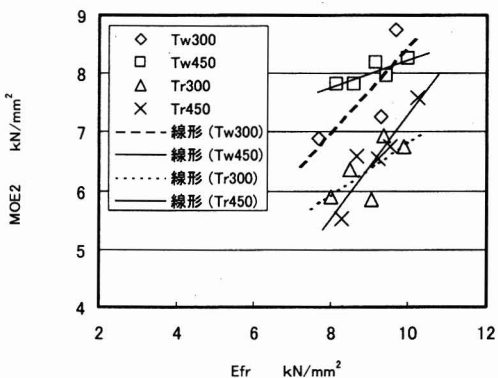


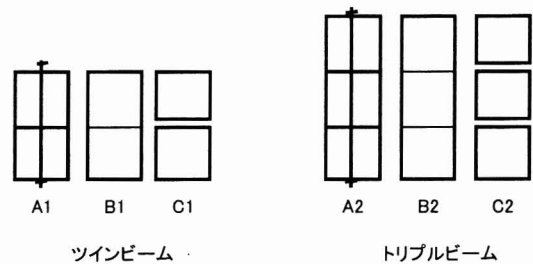
図-20 エレメントの Efr (平均値) と MOR (平均値) との関係

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-21 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<sup>3)</sup> (図-22, 図-23) から推定した。なお, 接着重ね梁用材料と, 本事業のシャチ・ボルト接合による重ね梁の材料は産地と人工乾燥条件までは同様である。

### (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-8 と図-24 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。



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-21 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

$$\text{式: } C1 = (1/4) \cdot B1, C2 = (1/9) B2$$

独立エレメントの曲げ強さの計算式:  $C1 = (1/2) B1, C2 = (1/4) B1$

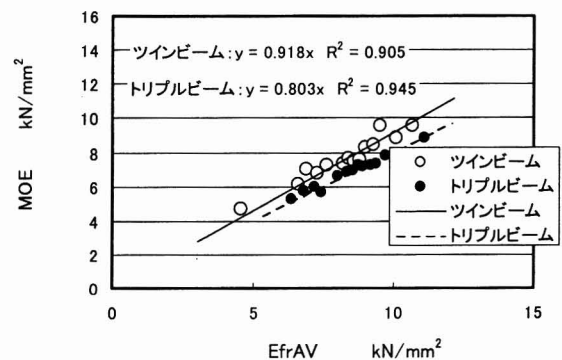


図-22 スギ接着重ね梁のエレメントの EfrAV と MOE との関係<sup>3, 4)</sup>

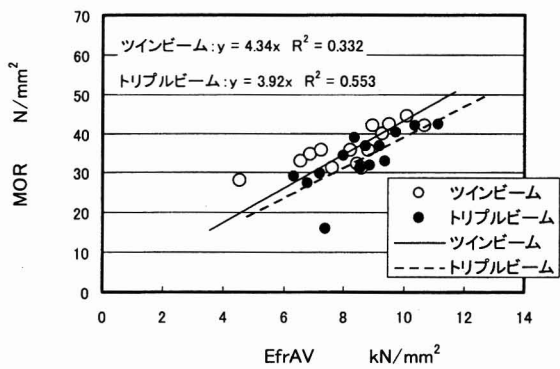


図-23 スギ接着重ね梁の元素の EfrAV と MOR との関係<sup>3, 4)</sup>

(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-9 と図-25 に示した。

曲げ強さに対するシャチ・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-8 シャチ・ボルト接合によるスギ重ね梁の実測 MOE1 と元素の Efr から推定した曲げヤング係数推定値の集計 平均値 (標準偏差)

試験体の種類	MOE1 実測値 kN/mm <sup>2</sup>	一体と仮定したときの推定 MOE1 kN/mm <sup>2</sup>	元素間が自由に滑ると仮定した場合の推定 MOE1 kN/mm <sup>2</sup>	A/B 比
	A	B	C	
Tw300	6.88 (0.45)	8.11 (0.72)	2.03 (0.18)	0.85 (0.05)
Tw450	6.79 (0.41)	8.33 (0.67)	2.08 (0.17)	0.82 (0.04)
Tr300	5.41 (0.24)	7.20 (0.59)	0.80 (0.07)	0.75 (0.03)
Tr450	4.92 (0.30)	7.38 (0.62)	0.82 (0.07)	0.67 (0.02)

MOE1: 全体変位から計算した見かけの曲げヤング係数

MOE2: モーメント一定区間内の変位から計算した見かけの曲げヤング係数

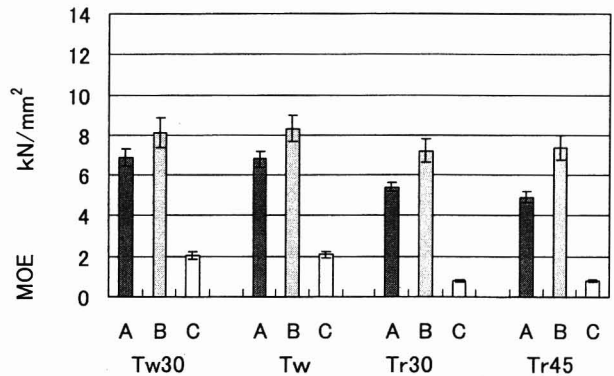


図-24 シャチ・ボルト接着重ね梁の見かけの MOE と元素の EfrV から推定した一体梁、独立元素梁の曲げヤング係数の比較  
 A: シャチ・ボルト接着重ね梁の見かけの曲げヤング係数(実測値)  
 B: 一体梁(接着重ね梁)と仮定したときの曲げヤング係数(推定値)  
 C: 独立元素と仮定したときの曲げヤング係数(計算値)  
 ツイン=1/4・B      トリプル=1/9・B

図-24 シャチ・ボルト接着重ね梁の見かけの MOE と元素の EfrV から推定した一体梁、独立元素梁の曲げヤング係数の比較

(4) シャチ・ボルト接着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、元素間でのずれ

シャチ・ボルト接着重ね梁の曲げ試験における最大荷重時の元素間のせん断応力の計算値と最大荷重、比例限度荷重に対応した元素間でのずれ {図-7 の変位計 4, 5, 6, 7 (ツインビームは 4,5) のうちの最大値} を表-10 に集計した。

表-9 シャチ・ボルト接合によるスギ重ね梁の実測 MOR と元素の Efr から推定した MOR 推定値の集計 平均値 (標準偏差)

試験体の種類	MOR 実測値 N/mm <sup>2</sup>	一体と仮定したときの推定 MOR N/mm <sup>2</sup>	元素間が自由に滑ると仮定した場合の推定 MOR N/mm <sup>2</sup>	A/B 比
	A	B	C	
Tw300	30.55 (4.92)	38.33 (3.41)	19.16 (1.70)	0.80 (0.10)
Tw450	27.5 (2.74)	39.38 (3.16)	19.69 (1.58)	0.70 (0.08)
Tr300	24.00 (4.68)	35.14 (2.88)	11.71 (0.96)	0.68 (0.10)
Tr450	19.15 (1.40)	36.05 (3.02)	12.02 (1.01)	0.53 (0.04)

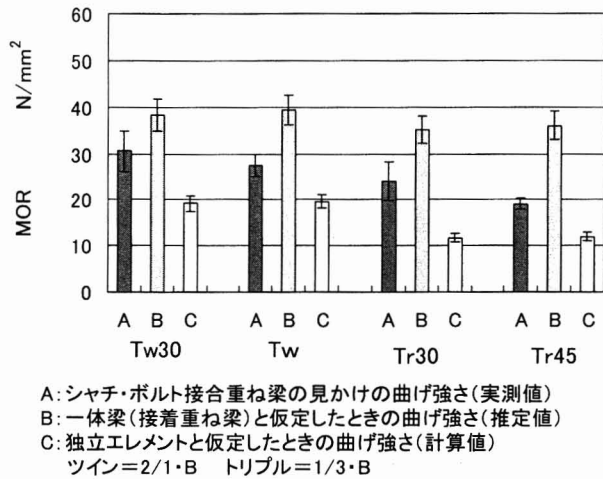


図-25 シャチ・ボルト接合重ね梁のMORとエレメントのEfrVから推定した一体梁、独立エレメント梁の曲げ強さの比較

表-5 に示したとおり、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程度であり、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。

次に曲げ試験におけるシャチ1つあたりが負担したせん断力を次式により計算し、結果を表-11に示した。

$$s = \tau \times a \times b / n$$

ここで、

b: エレメントの幅 (120mm)

s, a, n: 表-11 の注参照

表-5 に示したようにせん断試験の結果、シャチ1つあたりの比例限耐力はAタイプ、Bタイプそれぞれで、54.1kN、55.9kNであった。

表-11 に示したように、シャチ・ボルト間隔300mmのTw300、Tr300はシャチの比例限耐力以下で曲げ破壊を起こしていたことが説明できる。一方、同間隔450mmのTw450、Tr450では1つあたりのシャチが負担するせん断力が大きくなったためせん断優先の破壊が生じたものと考えられた。

以上のようにせん断試験の結果求めたシャチ1つあたりの比例限せん断耐力と曲げ試験の結果推定したせん断耐力とはよい符号を示したといえる。

表-10 最大荷重に対応したエレメント間せん断応力とエレメント間変位

試験体の種類	最大荷重に対応したエレメント間せん断応力 N/mm²	最大荷重に対応したエレメント間最大変位 mm	比例限度荷重に対応したエレメント間変位 mm
Tw300	1.27 (0.20)	1.10 (0.20)	0.87 (0.09)
Tw450	1.36 (0.14)	2.91 (1.29)	1.34 (0.10)
Tr300	1.33 (0.26)	1.12 (0.31)	0.84 (0.21)
Tr450	1.26 (0.09)	1.58 (0.33)	1.16 (0.19)

エレメント間せん断応力の計算

ツインビーム: (3/4)・(P/A)

トリプルビーム: (2/3) (P/A)

表-11 曲げ試験においてシャチ1つあたりが負担したせん断力

試験体の種類	n	$\tau$ N/mm²	a mm	S kN
Tw300	5	1.27	1450	44.4
Tw450	3	1.36	1225	66.4
Tr300	5	1.33	1450	46.2
Tr450	3	1.28	1225	61.8

n: シャチの数

$\tau$ : 最大荷重に対応したエレメント間せん断応力 N/mm²

a: 下部支点と上部加力点間距離 (図-2)

s: 最大荷重時のシャチ1つあたりが負担したせん断力

#### 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、曲げ試験をおこなった。

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。

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/mm<sup>2</sup>)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。

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, 4.92kN/mm<sup>2</sup>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22kN・mと11kN・mではせん断耐力にほとんど違いはなかった。

シャチ1つあたりの比例限せん断耐力と曲げ試験の結果推定したせん断耐力とはよい符号を示した。

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。

#### 引用文献

- 1) 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 (平成16年)
- 2) 日本住宅・木材技術センター：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)
- 3) 日本住宅・木材技術センター：, スギ材による接着重ね梁の開発, 平成15年木材加工・利用技術開発促進事業報告書 P. 51~61 (平成16年3月)
- 4) 橋爪丈夫, 伊東嘉文, 吉田孝久：スギ接着重ね梁の開発 長野県林業総合センター研究報告, 20 (2006) 掲載予定



付表-1 セン断試験の結果

NO.	最大荷重 kN	比例限度荷重 kN	シャチ1つあたりの最大耐力 kN	シャチ1つあたりの比例限度耐力 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	最大圧縮応力 N/mm <sup>2</sup>	圧縮比例限度応力 N/mm <sup>2</sup>	最大せん断応力 N/mm <sup>2</sup>	せん断比例限度応力 N/mm <sup>2</sup>	備考
S301-1	115.0	104.7	57.5	52.4	1.44	1.17	32.0	29.1	3.1	2.8	Aタイプ Elow Efr平均:7.28kN
S301-2	138.7	94.5	69.3	47.3	4.42	1.28	38.5	26.3	3.7	2.5	
S301-3	128.7	86.7	64.3	43.4	6.12	1.09	35.7	24.1	3.5	2.3	
S301-4	143.5	80.2	71.8	40.1	10.00	1.10	39.9	22.3	3.9	2.2	
S302-1	150.2	114.8	75.1	57.4	6.76	1.22	41.7	31.9	4.0	3.1	Emiddle Efr平均:8.79kN
S302-2	178.1										
S302-3	173.1	109.4	86.6	54.7	8.08	0.94	48.1	30.4	4.7	2.9	
S302-4	180.1	115.6	90.0	57.8	8.76	1.31	50.0	32.1	4.8	3.1	
S303-1	208.4	127.5	104.2	63.8	8.58	1.28	57.9	35.4	5.6	3.4	Aタイプ Ehigh Efr平均:10.56kN
S303-2	203.1	119.4	101.6	59.7	6.44	1.10	56.4	33.2	5.5	3.2	
S303-3	192.9	119.0	96.5	59.5	6.12	1.08	53.6	33.1	5.2	3.2	
S303-4	167.6	119.4	83.8	59.7	4.05	1.10	46.6	33.2	4.5	3.2	
S451-1	141.1	111.7	70.5	55.9	2.27	0.94	39.2	31.0	1.9	1.5	Bタイプ Elow Efr平均:7.57kN
S451-2	144.0	102.4	72.0	51.2	6.22	1.08	40.0	28.4	2.0	1.4	
S451-3	143.6	92.0	71.8	46.0	6.05	0.94	39.9	25.6	2.0	1.3	
S451-4	137.9	89.6	68.9	44.8	6.23	0.95	38.3	24.9	1.9	1.2	
S452-1	198.4	127.8	99.2	63.9	5.84	1.28	55.1	35.5	2.7	1.7	Bタイプ Emiddle Efr平均:8.95kN
S452-2	175.3	122.6	87.6	61.3	4.95	1.44	48.7	34.1	2.4	1.7	
S452-3	151.9	118.7	76.0	59.4	3.10	1.44	42.2	33.0	2.1	1.6	
S452-4	143.9	122.6	72.0	61.3	2.37	1.44	40.0	34.1	2.0	1.7	
S453-1	152.6	120.0	76.3	60.0	6.16	1.03	42.4	33.3	2.1	1.6	Bタイプ Ehigh Efr平均:10.99kN
S453-2	150.2	105.8	75.1	52.9	5.60	0.87	41.7	29.4	2.1	1.4	
S453-3	148.6	108.7	74.3	54.4	8.05	1.05	41.3	30.2	2.0	1.5	
S453-4	150.6	119.5	75.3	59.8	4.36	1.29	41.8	33.2	2.1	1.6	

付表-2 シャチ・ボルト接合重ね梁の曲げ試験結果

区分	No	エレメントEfr平均値 kN/mm <sup>2</sup>	最大荷重 N	比例限度荷重 N	断面積 A mm <sup>2</sup>	エレメント間せん断応力 mm <sup>2</sup>	MOR N/mm <sup>2</sup>	MOE1 N/mm <sup>2</sup>	MOE2 kN/mm <sup>2</sup>	エレメント間の最大変位 mm	エレメント間比例限度変位 mm	破壊形態
ツインビーム ボルト間隔 300mm Tw3000	2301	7.69	37962	37860	28800	0.99	23.5	6.53	6.90	0.78	0.78	b
	2302	8.44	55437	41880	28800	1.44	34.8	6.61	-	1.30	0.89	bs
	2303	9.02	47118	40900	28800	1.23	29.6	6.88	-	1.10	0.83	b
	2304	9.31	46728	41870	28800	1.22	29.2	6.64	7.26	1.25	1.02	bs
	2305	9.69	57553	52500	28800	1.50	35.7	7.75	8.75	1.08	0.85	s
ツインビーム ボルト間隔 450mm Tw450	2451	8.13	51412	41360	28800	1.34	27.3	6.36	7.82	2.62	1.27	b
	2452	8.61	44828	33580	28800	1.17	23.8	6.23	7.82	4.32	1.46	sb
	2453	9.16	56350		28800	1.47	29.7	7.13	8.19			sb
	2454	9.45	58193		28800	1.52	30.5	7.21	7.96			sb
	2455	10.01	49493	41240	28800	1.29	26.0	7.01	8.26	1.80	1.29	sb
トリプルビーム ボルト間隔 300mm Tr300	3301	8.00	58075	57890	43200	0.90	16.3	5.10	5.90	0.63	0.60	b
	3302	8.51	83509	76840	43200	1.29	23.4	5.16	6.35	1.45	1.14	b
	3303	9.06	93284	71750	43200	1.57	28.4	5.57	5.86	1.19	0.74	bs
	3304	9.37	93284	87080	43200	1.44	25.9	5.53	6.93	1.05	0.96	b
	3305	9.88	93337	80000	43200	1.44	26.1	5.70	6.75	1.26	0.78	sb
トリプルビーム ボルト間隔 450mm Tr450	3451	8.27	83059	61420	43200	1.28	19.3	4.48	5.52	1.64	1.34	sb
	3452	8.68	71459	62050	43200	1.10	16.7	4.80	6.60	2.11	1.14	sb
	3453	9.22	84887	58620	43200	1.31	20.0	4.96	6.55	1.23	0.89	sb
	3454	9.55	84940	65360	43200	1.31	20.0	4.98	6.76	1.51	1.35	sb
	3455	10.26	84178	65570	43200	1.30	19.7	5.40	7.58	1.39	1.10	sb

MOE1: スパンに対する変位から計算した曲げヤング係数

MOE2: モーメント一定区間で測定した変位から計算した曲げヤング係数

エレメント間せん断応力: 最大荷重時にエレメント間に生じたせん断力  
 {ツインビーム:  $\tau = 3 \times P / (4 \times A)$  トリプルビーム:  $\tau = 2 \times P / (3 \times A)$ }

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  
 空欄はデータ取りに失敗したもの