

柱脚接合部に要求される性能は、長期的には鉛直荷重支持能力であるが、耐力壁の周辺では、短期的な軸力支持能力、せん断力を伝達する必要がある。また、ラーメンを構成する柱脚の場合には、加えてモーメント抵抗性能が要求される。

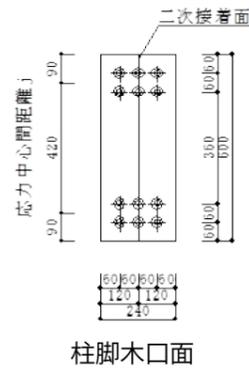
LSB 柱脚接合部は、モーメント伝達を可能とする接合部で、高耐力の接合が可能である。中層大規模木造では柱はあらわしとなる場合が多いと考えられ、LSB 接合部は、HD 金物のように外部に露出せず、鋼板添え板や挿入式のようにもあり、外部に鋼材やボルト頭などが出ることなく、見栄えの良い仕上がりとなる。

本資料に掲載した実験データは、モーメント伝達接合部の一例として示したものである。せん断力の伝達については実験時に作用させたせん断力に対して、十分な安全率を考慮すれば、このままの仕様で設計が可能である。実験時のせん断力を超える場合には、別途せん断の伝達を考えなければならない。また、LSB 接合部自体は脆性的な接合形式であり、延性を期待する接合部としたい場合には、別途、延性を持つ構成を考える必要がある。

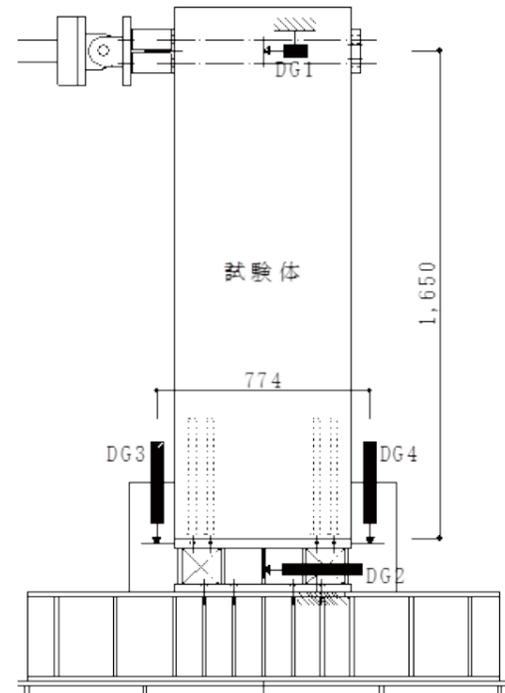
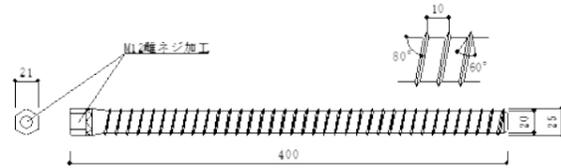
● 姿図・寸法

【使用材料】

柱 1800mm × 240mm × 600mm (スギ E65-F255)



接合具 ラグスクリーボルト (LSB) φ 25



● 適用条件

モーメント抵抗接合部として用いる。
引き抜き抵抗用として用いる。
せん断抵抗に関して、本実験以上のせん断力を作用させる場合には別途検討が必要。

● 概要

柱脚に埋め込まれた LSB の引き抜き抵抗によりモーメントに抵抗する。LSB は端部に M12 の雌ネジ加工が施してあり、ボルトで金物と緊結する。構造物の破壊性状として、木材端部の割裂による脆性破壊を避けるため、十分な断面、縁距離を確保する必要がある。

● 接合具 (メーカー、入手方法等)

LSB (カネシン)

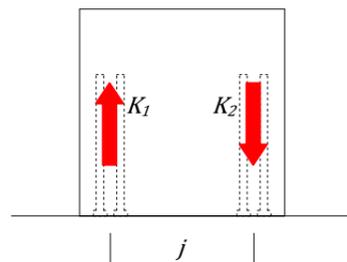
● 問い合わせ先 URL

<http://www.>

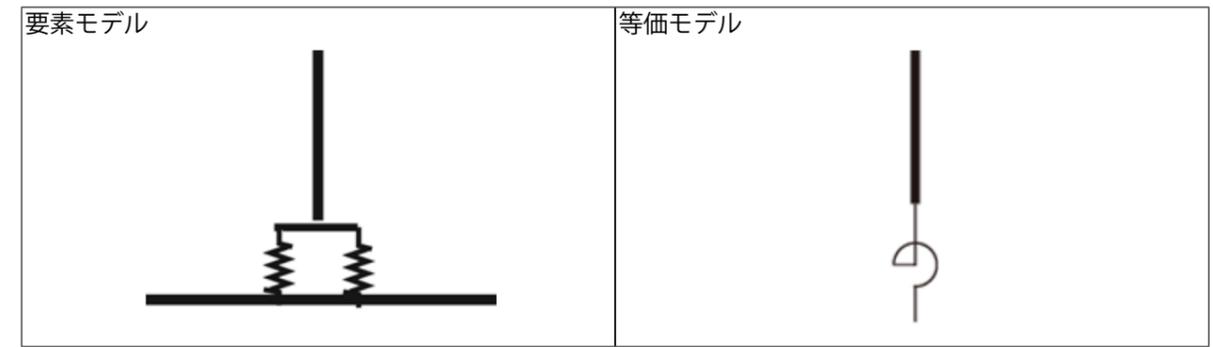
● 理論式

圧縮側の LSB バネ K_1 と引張側の LSB バネ K_2 と応力中心間距離 j により、図のようなモデルで剛性、耐力を算定できる。

弾性域 剛性 $K=(K_1+K_2)/2 \times j$
 $M=(T+C)/2 \times j, Q=M/h$



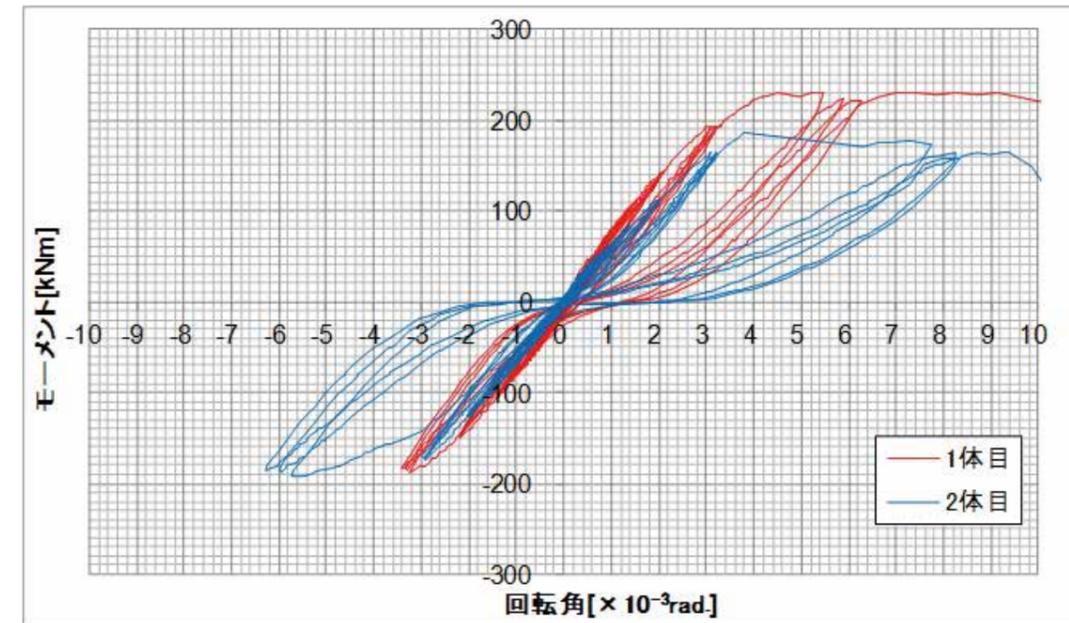
● モデル化



● 特性値

	1 体目	2 体目	Ave.
最大耐力 Pmax[kN]	139.9	112.4	126.2
最大モーメント Mmax[kNm]	230.9	185.5	208.2
初期剛性 K[kNm/rad.]	71606	72993	72300

● モーメント回転角



● 破壊性状

- ・ 1 体目
1/75rad で木材端部の割裂が生じた後、1/50rad で LSB と金物とを緊結する高力ボルトが 1 本破断
- ・ 2 体目
1/75rad で木材端部の割裂が生じた後、1/50rad で LSB と金物とを緊結する高力ボルトが 2 本破断

要材
素料

接合
具

部組
材立

接合
部

屋根

柱

梁

1
ブ
ス
レ

壁

床

集
成
材

L
VL

製
材

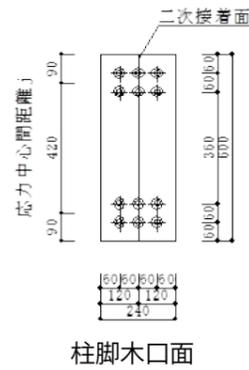
合
板

そ
の
他

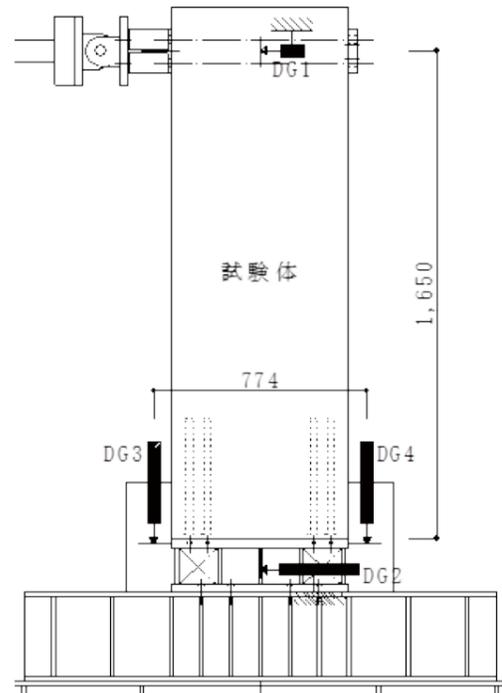
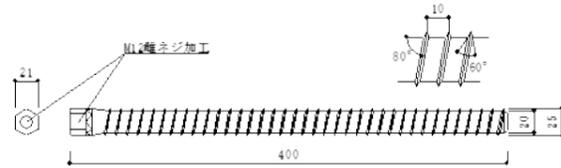
● 姿図・寸法

【使用材料】

柱 1800mm × 240mm × 600mm (カラマツ E95-F315)



接合具 ラグスクリーボルト (LSB) φ 25



● 適用条件

モーメント抵抗接合部として用いる。
引き抜き抵抗用として用いる。
せん断抵抗に関して、本実験以上のせん断力を作用させる場合には別途検討が必要。

● 概要

柱脚に埋め込まれた LSB の引き抜き抵抗によりモーメントに抵抗する。LSB は端部に M12 の雌ネジ加工が施してあり、ボルトで金物と緊結する。構造物の破壊性状として、木材端部の割裂による脆性破壊を避けるため、十分な断面、縁距離を確保する必要がある。

● 接合具 (メーカー、入手方法等)

LSB (カネシン)

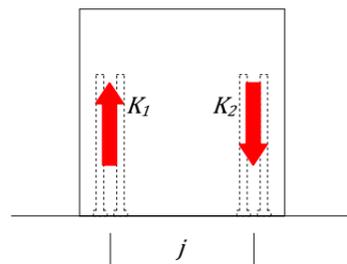
● 問い合わせ先 URL

<http://www.>

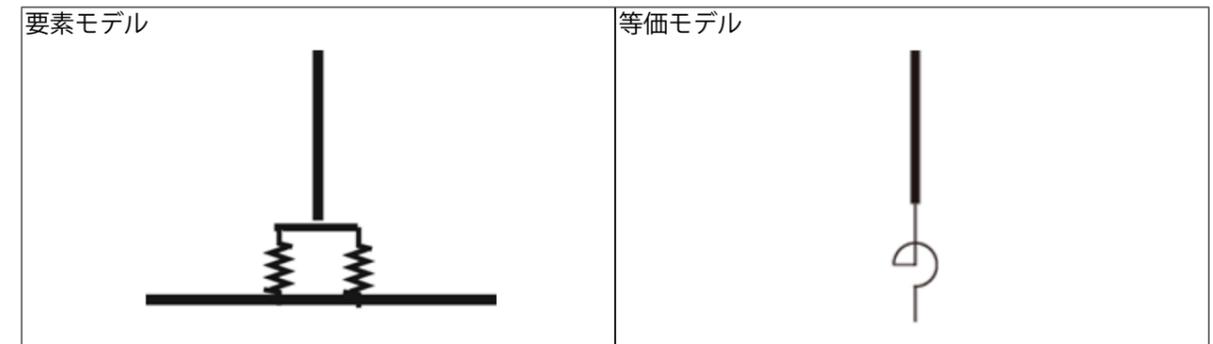
● 理論式

圧縮側の LSB バネ K_1 と引張側の LSB バネ K_2 と応力中心間距離 j により、図のようなモデルで剛性、耐力を算定できる。

弾性域 剛性 $K=(K_1+K_2)/2 \times j$
 $M=(T+C)/2 \times j, Q=M/h$



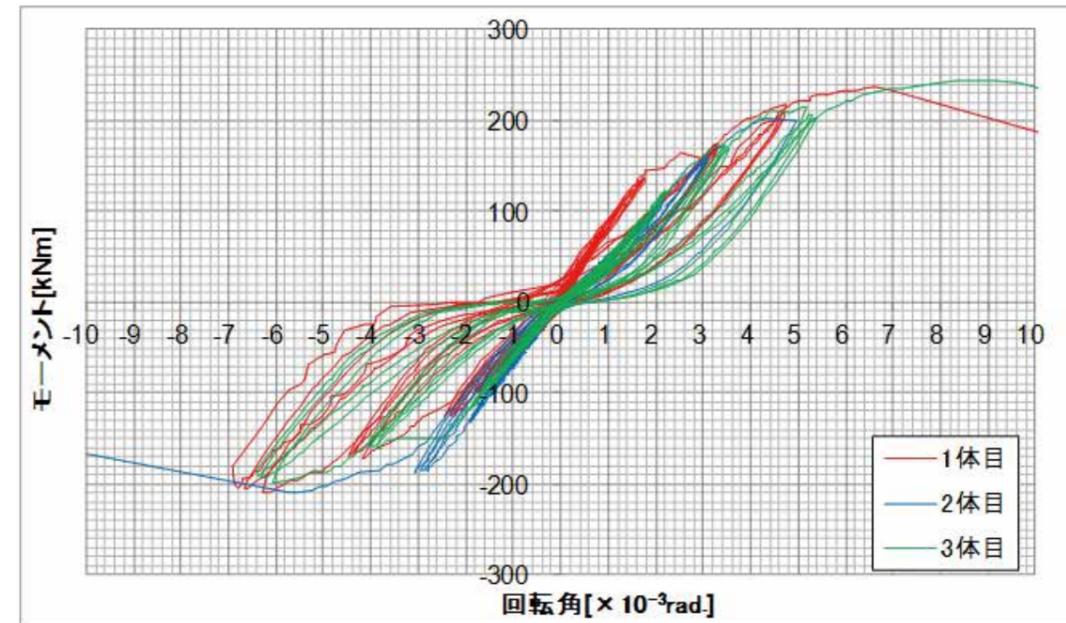
● モデル化



● 特性値

	1 体目	2 体目	3 体目	Ave.
最大耐力 Pmax[kN]	143.2	133.1	148.0	141.4
最大モーメント Mmax[kNm]	236.2	219.6	244.2	233.3
初期剛性 K[kNm/rad.]	79801	48798	47776	58792

● モーメント回転角



● 破壊性状

- ・ 1 体目
1/100rad で木材端部の割裂が生じた後、1/50rad で LSB と金物とを緊結する高力ボルトが 4 本破断
- ・ 2 体目
1/75rad で木材端部の割裂が生じた後、1/50rad で LSB と金物とを緊結する高力ボルトが 1 本破断
- ・ 3 体目
1/100rad で木材端部の割裂が生じた後、1/50rad で LSB と金物とを緊結する高力ボルトが 3 本破断

構造システムと施工の注意点

本資料で提案している接合部はモーメント抵抗接合としてラーメンを構成する。可能なスパンなどはラーメンのピッチ、固定荷重や積載荷重に応じて設計することになる。本資料では、120 幅の材を 2 材併せて大きな部材断面を可能としているが、必要な縁端距離や接合間隔を守って接合する。必要な縁端間隔や接合間隔は本資料の複数本の LSB 接合部の引き抜き実験やラグスクリューボルト研究会で実施された研究成果などが参考になる。ボルト径と先穴径の関係などもノウハウが蓄積されており、専門の工具を用いて施工する。

解析モデルと断面算定

モーメント伝達が可能な接合部であるが、母材曲げ強度以上、剛節点とみなせるような接合部は現段階では難しく、回転バネを有する半剛節点としてモデル化する。場合によって軸力バネ、せん断バネにモデル化する必要があるが、断面算定や伝達できる曲げ応力に関しては基本的に鉄筋コンクリート造の計算法と同じとみなして概算することが可能である。

バリエーション

本資料で記載した柱脚接合部は、2 段筋のように LSB を配置したものであるが必要な耐力によっては、1 断金とすることも可能である。また、せん断力と軸力のみを伝達することを目的に中央部や上部にのみ配置するバリエーションもあり得る。

柱梁接合部に要求される性能は、長期的にはせん断性能である。短期的には軸力伝達が要求され、ラーメンを構成する柱梁接合部の場合には、加えてモーメント抵抗性能が要求される。

LSB 柱梁接合部は、モーメント伝達を可能とする接合部で、高耐力の接合が可能である。中層大規模木造では柱や梁はあらわしとなる場合も多いと考えられ、LSB 接合部は、HD 金物のように外部に露出せず、鋼板添え板や挿入式のようにもあり、外部に鋼材やボルト頭などが出ることなく、見栄えの良い仕上がりとなる。

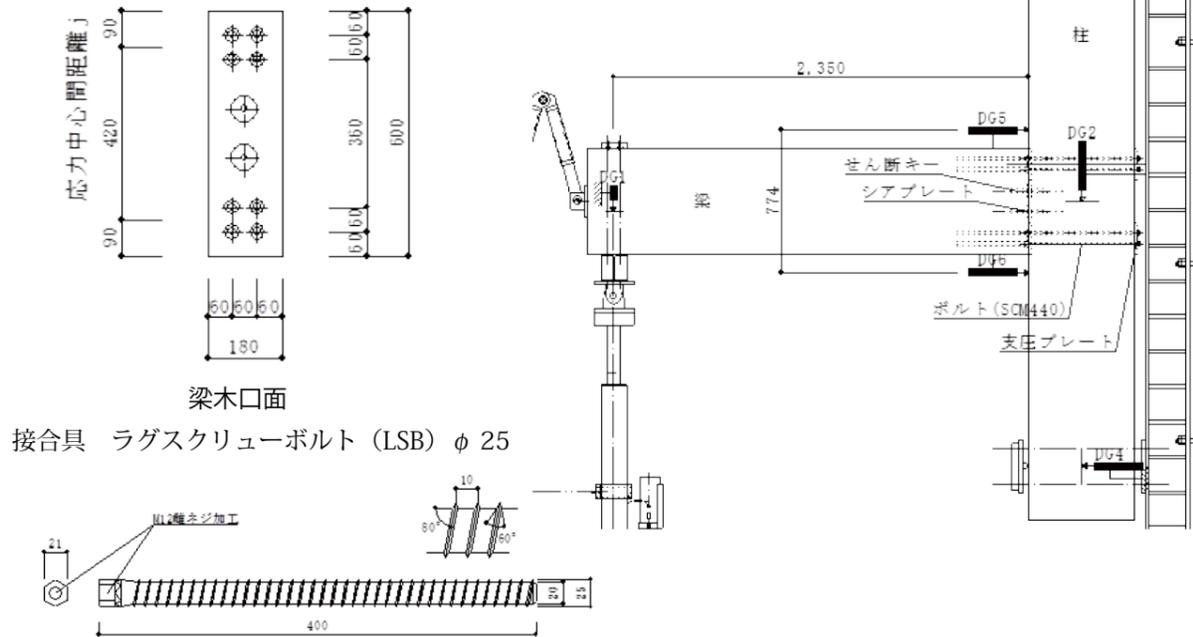
本資料に掲載した実験データは、モーメント伝達接合部の一例として示したものである。せん断力の伝達については実験時に作用させたせん断力に対して、十分な安全率を考慮すれば、このままの仕様で設計が可能である。実験時のせん断力を超える場合には、別途せん断の伝達を考えなければならない。また、本柱梁接合部ではシアプレートを挿入しており、日本建築学会「木質構造設計規準・同解説」において短期許容耐力を示されており、その値までは設計が可能である。LSB 接合部自体は脆性的な接合形式である。柱梁接合部の場合には圧縮応力を受ける柱部分が繊維直角方向となるため、柱脚接合部より靱性を有するが、十分な延性を持つ接合部としたい場合には、別途、延性を持つ構成を考える必要がある。

また、ここでの実験は短期的な荷重に対する性能を求めるものである。長期曲げモーメントに対する性能については、現状としては実験結果に基づいた木材の許容耐力の誘導をもとにその性能を決定することも多い。しかし、将来的にはクリープ実験によりその性能を確認する必要があり、現状では余裕を持った設計が望まれる。

● 姿図・寸法

【使用材料】

柱 3600mm × 240mm × 600mm (スギ E65-F255)
 梁 2500mm × 180mm × 600mm (スギ E65-F255)



● 適用条件

モーメント抵抗接合部。せん断力を伝達する接合部。

● 概要

柱脚に埋め込まれた LSB の引き抜き抵抗によりモーメントに抵抗する。LSB は端部に M12 の雌ネジ加工が施してあり、ボルトで金物と緊結する。せん断力の伝達は、せん断キーなど別途設置する。構造物の破壊性状として、木材端部の割裂による脆性破壊を避けるため、十分な断面、縁距離を確保する必要がある。柱と梁の間にはめり込み防止用の支圧プレート (180 × 180 × 16) が挿入されている。十字接合部の際にははり端に鋼材のボックスなどを設ける必要がある。

● 接合具 (メーカー、入手方法等)

LSB (カネシン)

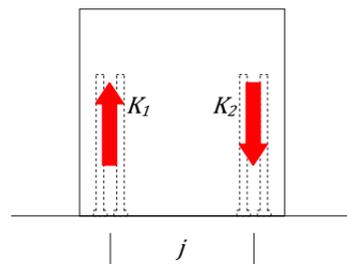
● 問い合わせ先 URL

● 理論式

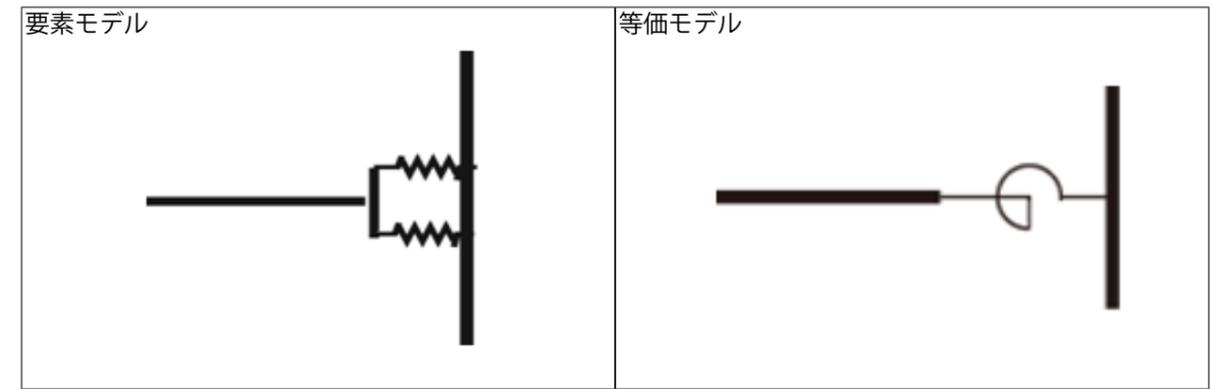
圧縮側の LSB バネ K_1 と引張側の LSB バネ K_2 と応力中心間距離 j により、図のようなモデルで剛性、耐力を算定できる。

降伏耐力 $M=(T+C)/2 \times j, Q=M/h$

ただし、めり込みにより耐力低下が生じる場合には別途検討を要する。



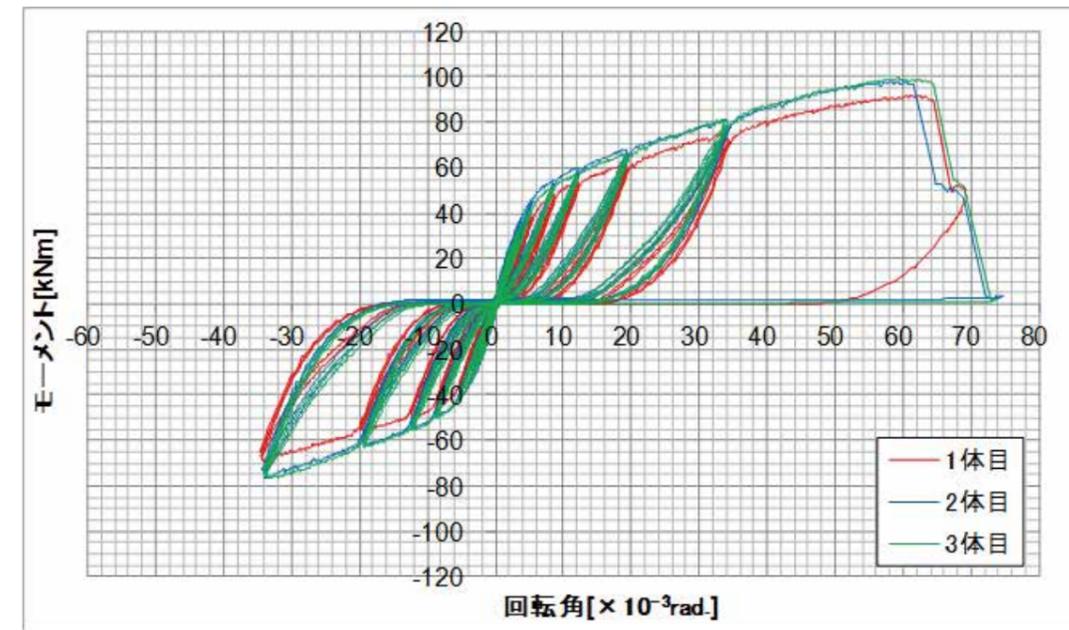
● モデル化



● 特性値

	1 体目	2 体目	3 体目	Ave.
最大耐力 Pmax[kN]	38.9	41.6	42.1	40.9
最大モーメント Mmax[kNm]	91.5	97.7	99.1	96.1
初期剛性 K[kNm/rad.]	6823	9368	7765	7985

● 荷重変形



● 破壊性状

- ・ 1 体目 支圧プレートのめりこみが生じた後、ボルトが 2 本破断し、同時に木材端部の割裂
- ・ 2 体目 支圧プレートのめりこみが生じた後、ボルトが 4 本破断
- ・ 3 体目 支圧プレートのめりこみが生じた後、ボルトが 4 本破断

要材
素料

接合具

部組
材立

接合部

屋根

柱

梁

1
ブ
スレ

壁

床

集成材

LVL

製材

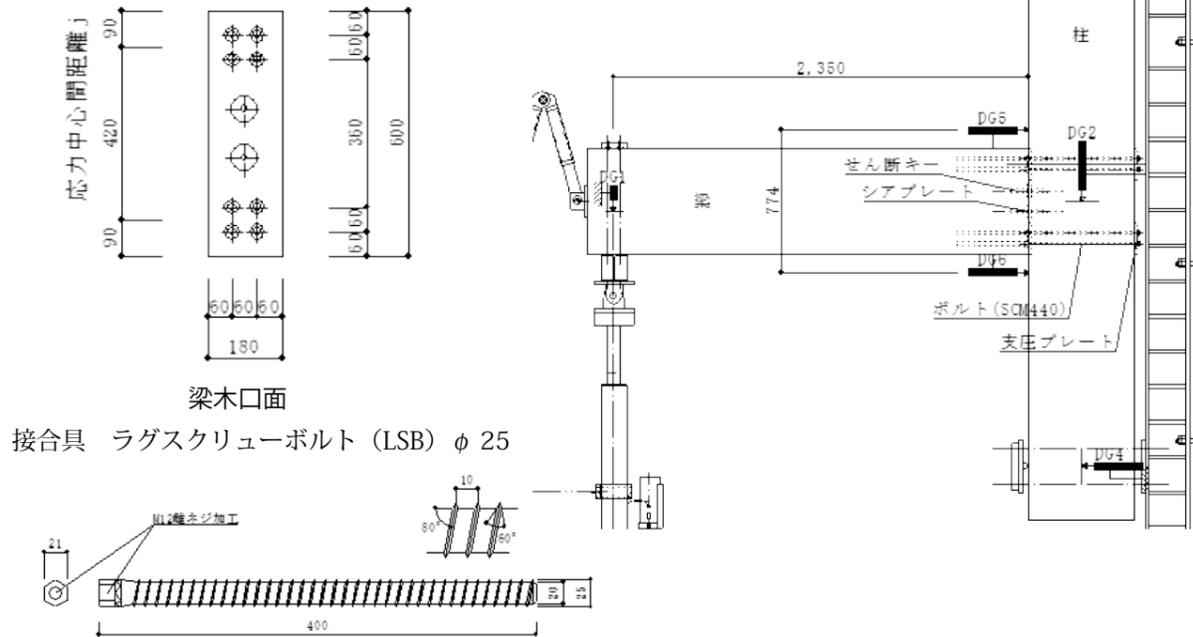
合板

その他

● 姿図・寸法

【使用材料】

柱 3600mm × 240mm × 600mm (カラマツ E95-F315)
 梁 2500mm × 180mm × 600mm (カラマツ E95-F315)



● 適用条件

モーメント抵抗接合部。せん断力を伝達する接合部。

● 概要

柱脚に埋め込まれた LSB の引き抜き抵抗によりモーメントに抵抗する。LSB は端部に M12 の雌ネジ加工が施してあり、ボルトで金物と緊結する。せん断力の伝達は、せん断キーなど別途設置する。構造物の破壊性状として、木材端部の割裂による脆性破壊を避けるため、十分な断面、縁距離を確保する必要がある。柱と梁の間にはめり込み防止用の支圧プレート (180 × 180 × 16) が挿入されている。十字接合部の際にははり端に鋼材のボックスなどを設ける必要がある。

● 接合具 (メーカー、入手方法等)

LSB (カネシン)

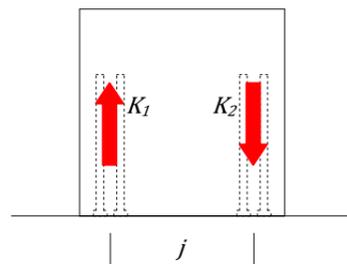
● 問い合わせ先 URL

● 理論式

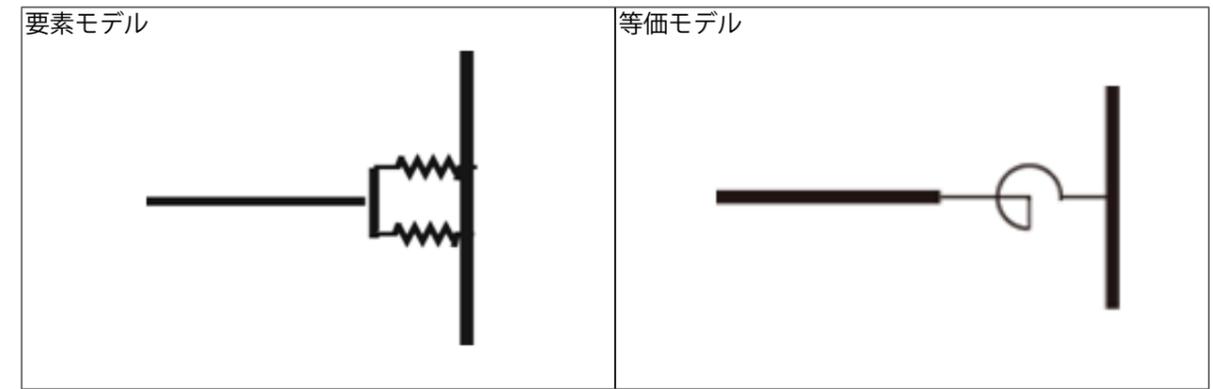
圧縮側の LSB バネ K_1 と引張側の LSB バネ K_2 と応力中心間距離 j により、図のようなモデルで剛性、耐力を算定できる。

降伏耐力 $M=(T+C)/2 \times j, Q=M/h$

ただし、めり込みにより耐力低下が生じる場合には別途検討を要する。



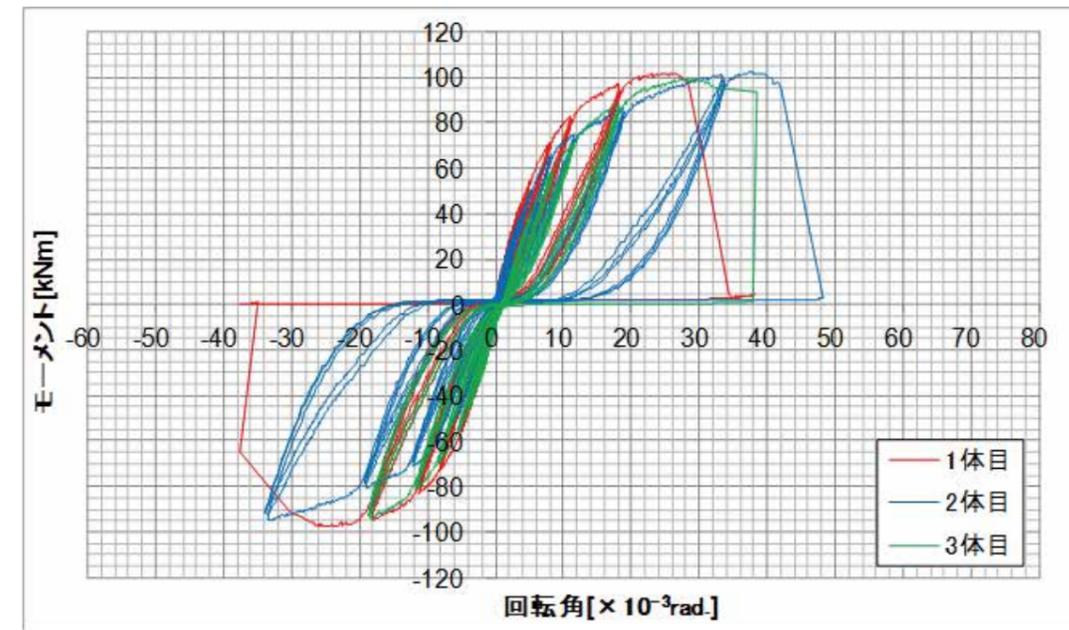
● モデル化



● 特性値

	1 体目	2 体目	3 体目	Ave.
最大耐力 Pmax[kN]	43.3	43.4	42.2	43.0
最大モーメント Mmax[kNm]	102	102	99.1	101
初期剛性 K[kNm/rad.]	12346	10444	9345	10712

● 荷重変形



● 破壊性状

- ・ 1 体目 支圧プレートのめりこみが生じた後、ボルトが 4 本破断
- ・ 2 体目 支圧プレートのめりこみが生じた後、ボルトが 4 本破断
- ・ 3 体目 支圧プレートのめりこみが生じた後、ボルトが 4 本破断

要材
素料

接合
具

部組
材立

接合
部

屋根

柱

梁

1
ブ
ス
レ

壁

床

集
成
材

L
VL

製
材

合
板

そ
の
他

構造システムと施工の注意点

本資料で提案している接合部はモーメント抵抗接合としてラーメンを構成する。可能なスパンなどはラーメンのピッチ、固定荷重や積載荷重に応じて設計することになる。本資料では、120 幅の材を 2 材併せて大きな部材断面を可能としているが、必要な縁端距離や接合間隔を守って接合する。必要な縁端間隔や接合間隔は本資料の複数本の LSB 接合部の引き抜き実験やラグスクリューボルト研究会で実施された研究成果などが参考になる。ボルト径と先穴径の関係などもノウハウが蓄積されており、専門の工具を用いて施工する。

解析モデルと断面算定

モーメント伝達が可能な接合部であるが、母材曲げ強度以上、剛節点とみなせるような接合部は現段階では難しく、回転バネを有する半剛節点としてモデル化する。場合によって軸力バネ、せん断バネにモデル化する必要があるが、断面算定や伝達できる曲げ応力に関しては基本的に鉄筋コンクリート造の計算法と同じとみなして概算することが可能である。

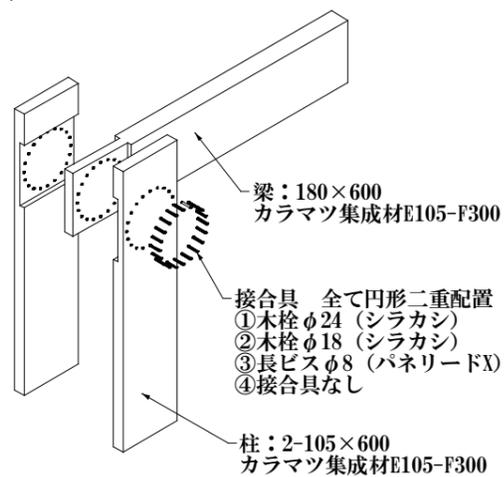
バリエーション

本資料で記載した柱脚接合部は、2 段筋のように LSB を配置したものであるが必要な耐力によっては、1 断金とすることも可能である。また、せん断力と軸力のみを伝達することを目的に中央部や上部にのみ配置するバリエーションもあり得る。

合わせ柱梁接合部

合わせ柱梁モーメント抵抗接合部は、柱と梁のいずれか一方を2枚としもう一方の材を挟み込んで、パネルゾーンの側面から多数の接合具を打ち込んで固定する方法である。鋼板挿入式などに比べて金物を少なくすることができ、鋼板と木材の先穴の誤差が避けられない鋼板挿入ドリフトピン等と比べ、現場で穴あけして打ち込める木栓や先穴不要のビスなどが可能であるため、施工的にも利点が多い。さらに、接合具にボルトやドリフトピンではなく木栓を用いることにより、金物に全く頼らず全て木材同士の応力伝達だけでモーメント抵抗できる接合部とすることができ、熱橋を防ぐ効果や自身で燃え代を確保でき、意匠的にも美しくそのまま仕上げになり、廃棄の分別手間も不要といった効果が期待できる。接合部の降伏モーメントや回転剛性は、接合具1本あたりの降伏耐力と剛性をE Y T式と弾性床上梁理論式で計算し、これにパネルゾーンの回転中心からの距離を乗じた全本数の総和として計算することができる。パネルゾーンの接合具の配置は、回転中心からなるべく外側に多く配置したほうが最大モーメントは上がるが、降伏モーメントは回転中心から最も遠い接合具が降伏耐力に達した時点で決まることから、円形配置とする場合も多い。また、鉛直荷重による梁端せん断力支持機構をモーメント抵抗機構と独立させるために、回転中心に太径のボルトを用いるか、回転中心にボルトとシアプレート・スプリットリングなどのジベルを併用して、長期のせん断耐力を確保できるようにすることが望ましい。接合部の回転剛性や終局モーメントをさらに高めるために、合わせ材と中央材を相欠き加工して、嵌合接合によるめり込み抵抗を付加させる方式も用いられる。この方式では柱・梁相欠き接合のめり込み抵抗と接合具の2面せん断抵抗の両者が足し合わされることによって、高い剛性・耐力・靱性を発揮できる。

本資料で扱っている接合部の概要は以下の図に示す通りであり、試験体は2枚の合わせ柱と1枚の梁からなる。柱、梁共にカラマツ対称異等級集成材E105-F300で構成され、柱の寸法は105×600mm、梁の寸法は180×600mmで、接合部パネルゾーンは600×600mmの部分で柱・梁の各接合面で45mm切り欠いた相欠き接合となっており、パネルゾーン内に配置する接合具の種類とめり込みの有無をパラメータにとり検討を行った。接合部の仕様一覧を以下に示す。

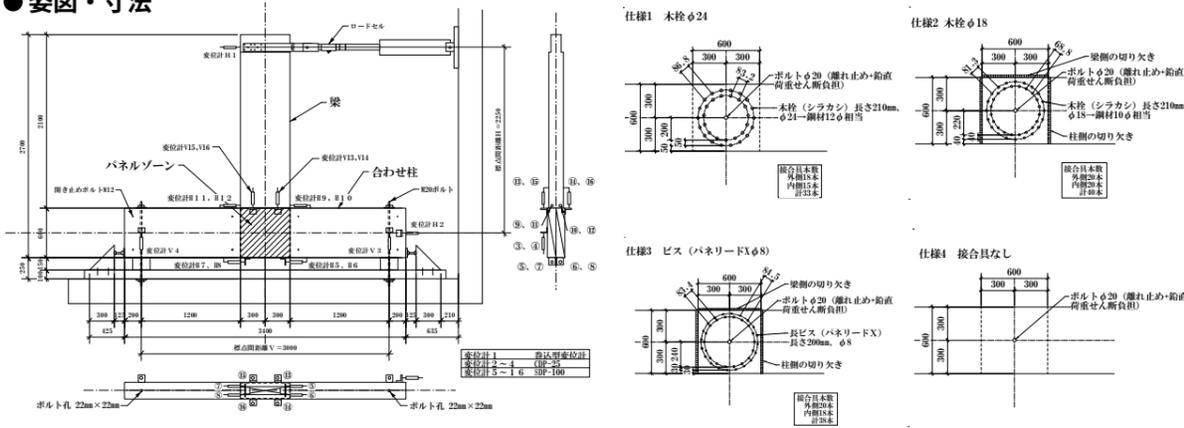


接合部概要

接合部仕様

	仕様1	仕様2	仕様3	仕様4
名称	φ24	φ18	ビス	なし
めり込みの有無	有	無	無	有
接合具	種類	シラカシ木栓	シラカシ木栓	パネリードX
	径	φ24	φ18	φ8
	長さ	210mm	210mm	200mm
	本数	33本	40本	38本

● 姿図・寸法



【使用材料】

柱 2-105mm × 600mm、梁 180mm × 600mm
 接合具 シラカシ木栓 φ 24、φ 18、長ビス (パネリード X) φ 8

● 適用条件

接合具の配置に関しては、接合具の径を d として、端距離 ≥ 7d、縁距離 ≥ 4d、接合具間隔 ≥ 4d に従う。部材の断面に関しては、今回実験を行った 600mm 程度までのせいでおそらく適用可能であろうと思われる。

● 概要

2 枚の合わせ柱と 1 枚の梁からなる合わせ柱型の接合部である。接合部パネルゾーンは 600 × 600mm の部分を柱・梁の各接合面で 45mm 切り欠いた相欠き仕様となっており、パネルゾーン内に配置する接合具の種類とめり込みの有無をパラメータにとり検討を行った。

● 接合具 (メーカー、入手方法等)

シラカシ木栓 (一般の木材関連業者で普通に入手可能)、パネリード X (東日本パワーファスニング株式会社)

● 問い合わせ先 URL

東大農学部木質材料学研究室 03-5841-5253

● 理論式

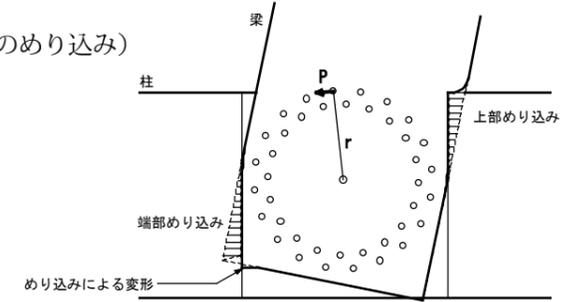
木質構造接合部設計マニュアルに従い、各接合要素 (接合具の 2 面せん断、相欠きによる柱・梁界面のめり込み) による接合部のモーメント抵抗特性値を求め、両者を足し合わせることで接合部全体の特性値を算出する。接合具の場合は、まず 1 本あたりのせん断抵抗特性値を求めてから、回転中心からの距離を乗じたものの総和により接合部のモーメント抵抗特性値を求める。

● 計算式 $K_{\theta} = \sum K_{\theta f}$ 、 $\theta_y = \min. \theta_{yf}$ 、 $M_y = K_{\theta} \times \theta_y$ 、 $M_u = \sum M_{uf}$

- $K_{\theta f}$: 1 接合要素の接合部回転剛性
- θ_{yf} : 1 接合要素の接合部降伏回転角
- M_{uf} : 1 接合要素の接合部終局モーメント
- K_{θ} : 接合部全体での回転剛性
- M_y : 接合部全体での降伏モーメント
- θ_y : 接合部全体での降伏回転角
- M_u : 接合部全体での終局モーメント

● モデル化

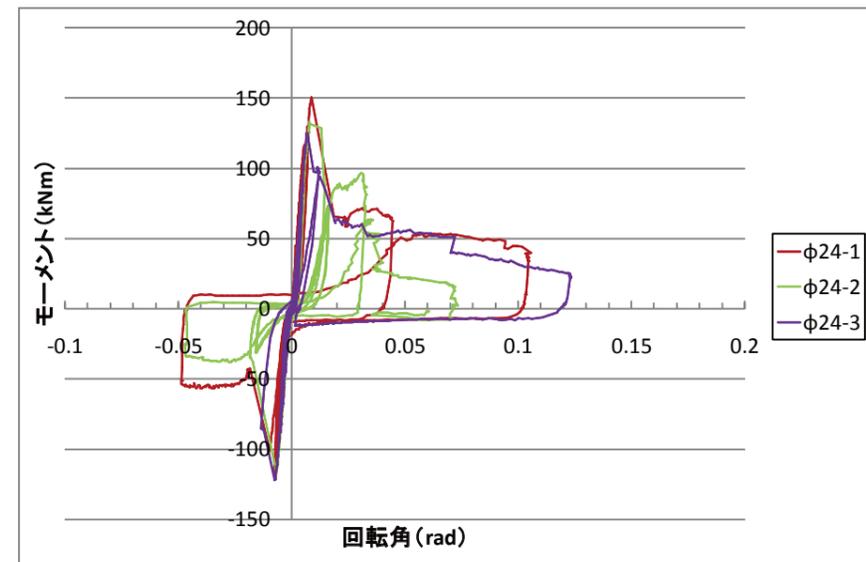
仕様 1 木栓 φ 24 (木栓のせん断 + 柱梁界面のめり込み)



● 特性値

	K_{θ} (kNm/rad)	M_{max} (kNm)	M_y (kNm)	θ_y ($\times 10^{-3}$ rad)	M_u (kNm)	θ_u ($\times 10^{-3}$ rad)
φ 24	1	24358	150	117	5.6	150
	2	19244	133	129	7.6	133
	3	20525	125	123	6.9	125
Ave.	21376	136	123	6.7	136	8.1
S.D.	2173	11	5	0.86	11	0.50

● 荷重変形



● 破壊性状

・梁部材の曲げ破壊。柱部材の繊維方向の割裂。



接合部表側 (φ 24-2)



パネルゾーン (φ 24-2)

要材

接合具

部組材立

接合部

屋根

柱

梁

1ブスレ

壁

床

集成材

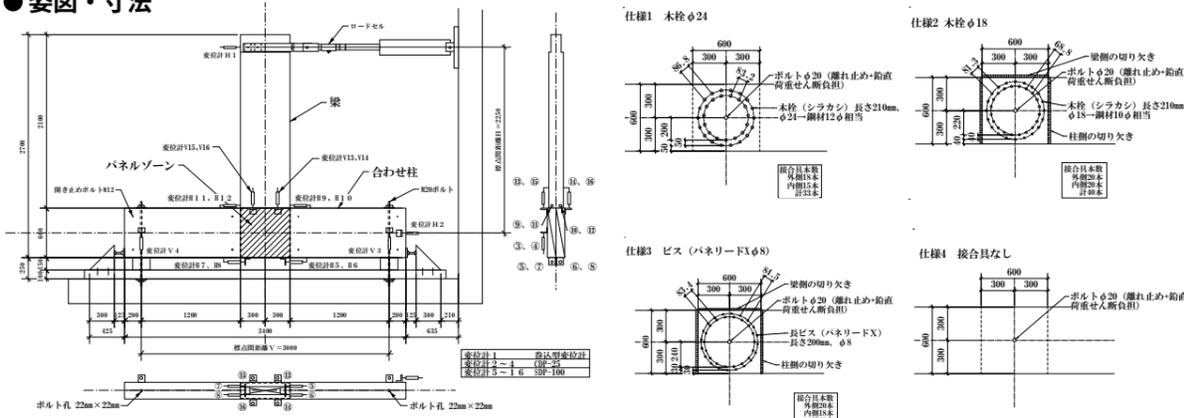
LVL

製材

合板

その他

● 姿図・寸法



【使用材料】

柱 2-105mm × 600mm、梁 180mm × 600mm
 接合具 シラカシ木栓 φ 24、φ 18、長ビス (パネリード X) φ 8

● 適用条件

接合具の配置に関しては、接合具の径を d として、端距離 ≥ 7d、縁距離 ≥ 4d、接合具間隔 ≥ 4d に従う。部材の断面に関しては、今回実験を行った 600mm 程度までのせいでおそらく適用可能であろうと思われる。

● 概要

2 枚の合わせ柱と 1 枚の梁からなる合わせ柱型の接合部である。接合部パネルゾーンは 600 × 600mm の部分を柱・梁の各接合面で 45mm 切り欠いた相欠き仕様となっており、パネルゾーン内に配置する接合具の種類とめり込みの有無をパラメータにとり検討を行った。

● 接合具 (メーカー、入手方法等)

シラカシ木栓 (一般の木材関連業者で普通に入手可能)、パネリード X (東日本パワーファスニング株式会社)

● 問い合わせ先 URL

東大農学部木質材料学研究室 03-5841-5253

● 理論式

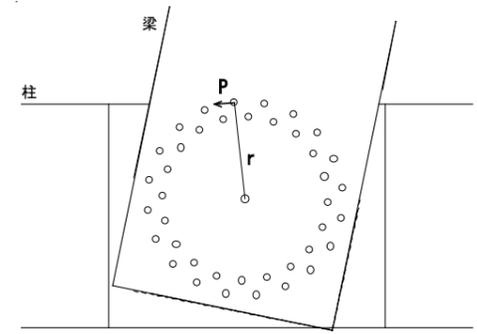
木質構造接合部設計マニュアルに従い、各接合要素 (接合具の 2 面せん断、相欠きによる柱・梁界面のめり込み) による接合部のモーメント抵抗特性値を求め、両者を足し合わせることで接合部全体の特性値を算出する。接合具の場合は、まず 1 本あたりのせん断抵抗特性値を求めてから、回転中心からの距離を乗じたものの総和により接合部のモーメント抵抗特性値を求める。

● 計算式 $K_{\theta} = \sum K_{\theta f}$ 、 $\theta_y = \min. \theta_{yf}$ 、 $M_y = K_{\theta} \times \theta_y$ 、 $M_u = \sum M_{uf}$

- $K_{\theta f}$: 1 接合要素の接合部回転剛性
- θ_{yf} : 1 接合要素の接合部降伏回転角
- M_{uf} : 1 接合要素の接合部終局モーメント
- K_{θ} : 接合部全体での回転剛性
- M_y : 接合部全体での降伏モーメント
- θ_y : 接合部全体での降伏回転角
- M_u : 接合部全体での終局モーメント

● モデル化

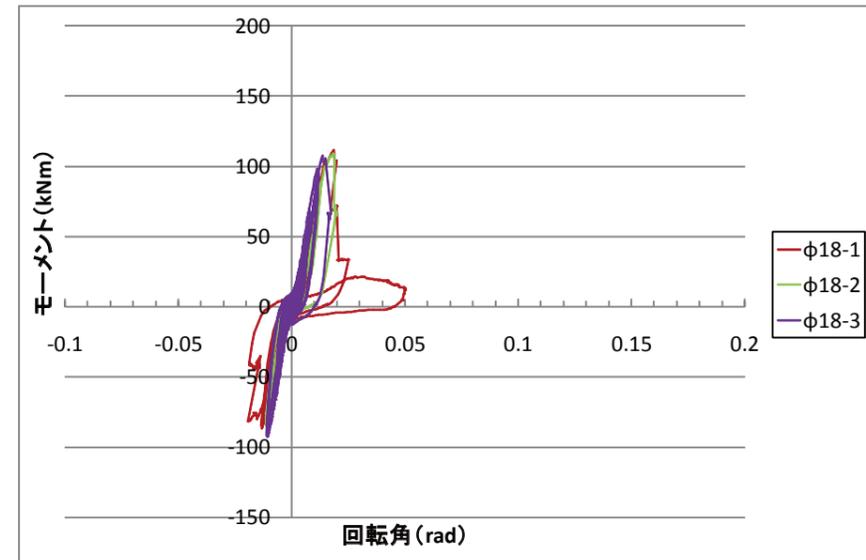
仕様 2 木栓 φ 18 (木栓のせん断抵抗のみ)



● 特性値

	K_{θ} (kNm/rad)	M_{max} (kNm)	M_y (kNm)	θ_y ($\times 10^{-3}$ rad)	M_u (kNm)	θ_u ($\times 10^{-3}$ rad)
φ 18	1	9657	112	84	11.1	112
	2	8881	109	81	11.2	109
	3	10011	108	93	10.3	108
Ave.	9516	109	86	10.8	109	16.8
S.D.	472	2	5	0.41	2	2.3

● 荷重変形



● 破壊性状

・梁部材の曲げ破壊。

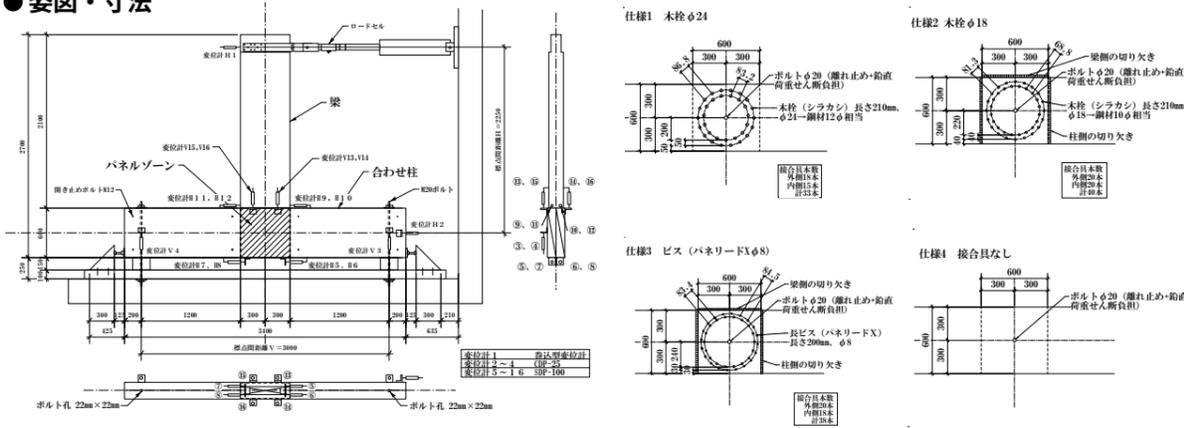


パネルゾーン (φ 18-1)



変形の大きかった木栓 (φ 18-1)

● 姿図・寸法



【使用材料】

柱 2-105mm × 600mm、梁 180mm × 600mm
 接合具 シラカシ木柱 φ 24、φ 18、長ビス (パネリード X) φ 8

● 適用条件

接合具の配置に関しては、接合具の径を d として、端距離 ≥ 7d、縁距離 ≥ 4d、接合具間隔 ≥ 4d に従う。部材の断面に関しては、今回実験を行った 600mm 程度までのせいでおそらく適用可能であろうと思われる。

● 概要

2 枚の合わせ柱と 1 枚の梁からなる合わせ柱型の接合部である。接合部パネルゾーンは 600 × 600mm の部分を柱・梁の各接合面で 45mm 切り欠いた相欠き仕様となっており、パネルゾーン内に配置する接合具の種類とめり込みの有無をパラメータにとり検討を行った。

● 接合具 (メーカー、入手方法等)

シラカシ木柱 (一般の木材関連業者で普通に入手可能)、パネリード X (東日本パワーファスニング株式会社)

● 問い合わせ先 URL

東大農学部木質材料学研究室 03-5841-5253

● 理論式

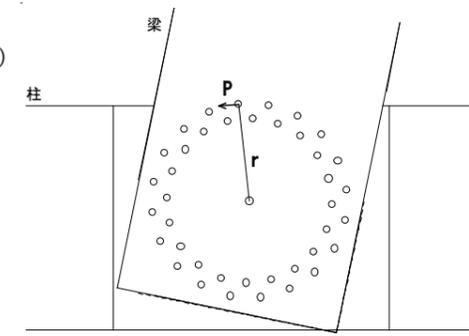
木質構造接合部設計マニュアルに従い、各接合要素 (接合具の 2 面せん断、相欠きによる柱・梁界面のめり込み) による接合部のモーメント抵抗特性値を求め、両者を足し合わせることで接合部全体の特性値を算出する。接合具の場合は、まず 1 本あたりのせん断抵抗特性値を求めてから、回転中心からの距離を乗じたものの総和により接合部のモーメント抵抗特性値を求める。

● 計算式 $K_{\theta} = \sum K_{\theta f}$ 、 $\theta_y = \min \theta_{yf}$ 、 $M_y = K_{\theta} \times \theta_y$ 、 $M_u = \sum M_{uf}$

- $K_{\theta f}$: 1 接合要素の接合部回転剛性
- θ_{yf} : 1 接合要素の接合部降伏回転角
- M_{uf} : 1 接合要素の接合部終局モーメント
- K_{θ} : 接合部全体での回転剛性
- M_y : 接合部全体での降伏モーメント
- θ_y : 接合部全体での降伏回転角
- M_u : 接合部全体での終局モーメント

● モデル化

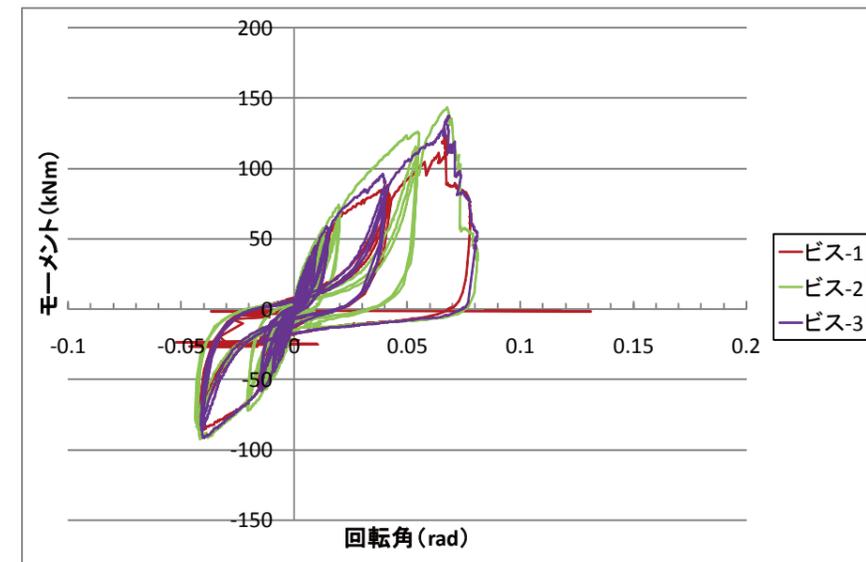
仕様 3 ビス (パネリード X) (ビスのせん断抵抗のみ)



● 特性値

	K_{θ} (kNm/rad)	$K_{\theta 2}$ (kNm/rad)	M_{max} (kNm)	M_y (kNm)	θ_y ($\times 10^{-3}$ rad)	M_v (kNm)	θ_v (rad)	M_u (kNm)	θ_u ($\times 10^{-3}$ rad)
ビス	1	3880	124	51	13.1	61	15.8	124	66.9
	2	4369	2004	144	55	58	13.2	144	67.6
	3	4090	1339	138	58	14.1	63	138	68.5
Ave.	4113	1454	135	55	13.1	61	14.8	135	67.7
S.D.	200	409	8.3	2.9	0.79	2.2	1.1	8.3	0.68

● 荷重変形



● 破壊性状

・梁部材の曲げ破壊。柱部材の繊維方向の割裂。ビスの塑性変形。

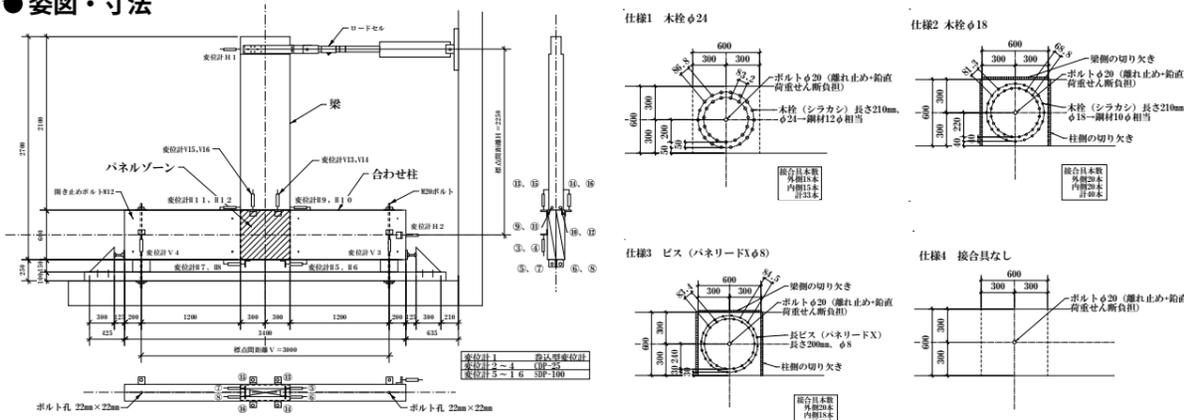


接合部表側 (ビス-3)



パネルゾーン (ビス-2)

● 姿図・寸法



【使用材料】

柱 2-105mm × 600mm、梁 180mm × 600mm
 接合具 シラカシ木栓 φ 24、φ 18、長ビス (パネリード X) φ 8

● 適用条件

接合具の配置に関しては、接合具の径を d として、端距離 ≥ 7d、縁距離 ≥ 4d、接合具間隔 ≥ 4d に従う。部材の断面に関しては、今回実験を行った 600mm 程度までのせいでおそらく適用可能であろうと思われる。

● 概要

2 枚の合わせ柱と 1 枚の梁からなる合わせ柱型の接合部である。接合部パネルゾーンは 600 × 600mm の部分を柱・梁の各接合面で 45mm 切り欠いた相欠き仕様となっており、パネルゾーン内に配置する接合具の種類とめり込みの有無をパラメータにとり検討を行った。

● 接合具 (メーカー、入手方法等)

シラカシ木栓 (一般の木材関連業者で普通に入手可能)、パネリード X (東日本パワーファスニング株式会社)

● 問い合わせ先 URL

東大農学部木質材料学研究室 03-5841-5253

● 理論式

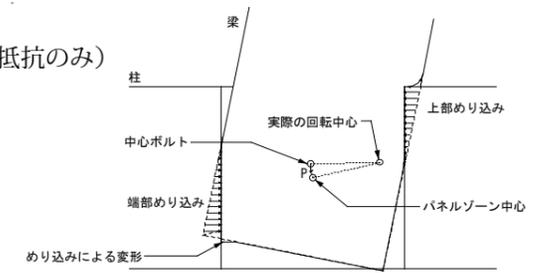
木質構造接合部設計マニュアルに従い、各接合要素 (接合具の 2 面せん断、相欠きによる柱・梁界面のめり込み) による接合部のモーメント抵抗特性値を求め、両者を足し合わせることで接合部全体の特性値を算出する。接合具の場合は、まず 1 本あたりのせん断抵抗特性値を求めてから、回転中心からの距離を乗じたものの総和により接合部のモーメント抵抗特性値を求める。

● 計算式 $K_{\theta} = \sum K_{\theta f}$ 、 $\theta_y = \min. \theta_{yf}$ 、 $M_y = K_{\theta} \times \theta_y$ 、 $M_u = \sum M_{uf}$

- $K_{\theta f}$: 1 接合要素の接合部回転剛性
- θ_{yf} : 1 接合要素の接合部降伏回転角
- M_{uf} : 1 接合要素の接合部終局モーメント
- K_{θ} : 接合部全体での回転剛性
- M_y : 接合部全体での降伏モーメント
- θ_y : 接合部全体での降伏回転角
- M_u : 接合部全体での終局モーメント

● モデル化

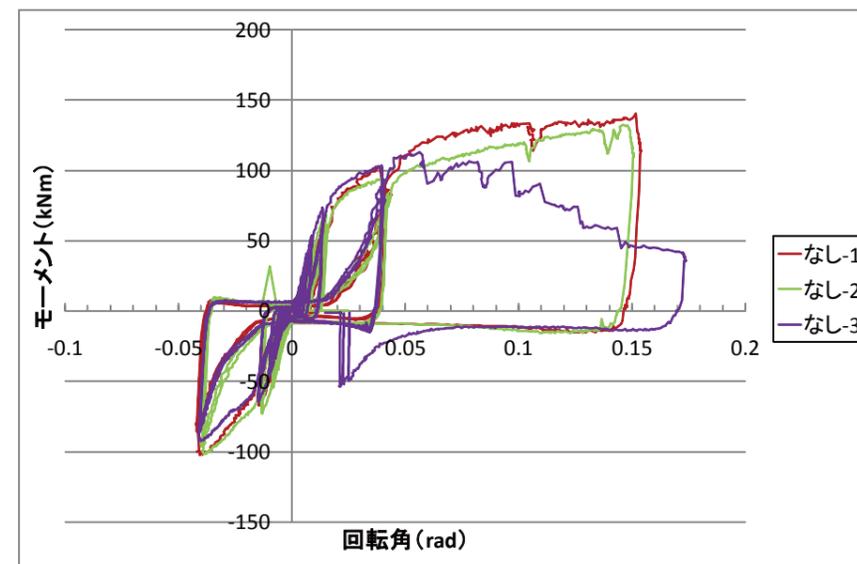
仕様 4 接合具なし (柱梁界面のめり込み抵抗のみ)



● 特性値

	K_{θ} (kNm/rad)	M_{max} (kNm)	M_y (kNm)	θ_y ($\times 10^{-3}$ rad)	M_u (kNm)	θ_u ($\times 10^{-3}$ rad)
なし	1	4825	141	72	18.1	123
	2	4557	132	68	15.0	110
	3	5691	113	61	10.7	99
	Ave.	5024	129	67	14.6	111
	S.D.	484	12	5	3.0	26

● 荷重変形



● 破壊性状

・木口接触面でのめり込み。パネルゾーン中心のボルトのせん断変形。



パネルゾーン (なし-2)



中心ボルトの変形 (なし-2)

破壊性状に関しては、接合具のせん断と柱-梁のめり込みの両方で抵抗した木栓φ24のタイプは、木栓が降伏する前に梁のほぞに割裂が生じて荷重が低下した。またφ24-1、φ24-2では引ききりで柱側にも繊維方向に割裂が生じた。3体とも、木栓にはほとんど変形が見られなかった。この結果を受け、当初φ24と同様に接合具のせん断とめり込みの両方を効かせる予定であった木栓φ18とビスのタイプは、柱と梁の木口側の接触面を各20mm欠き込むことでめり込みを効かないようにし、接合具のせん断のみで抵抗する仕様とした。ビスのタイプはさらにビスの本数を当初の半分に減らした。木栓φ18はめり込みが効かなくともφ24の時と同様靱性を発揮する前に梁のほぞが割裂破壊して荷重が低下したが、ビスのタイプはビスが大きく降伏変形し粘り強さを発揮した。ビスのタイプも最後は梁のほぞが割裂破壊して荷重が急激に低下した。またφ18-2、φ18-3は、最初の破壊の様子を確認するために引ききりまで行わず、荷重が最大荷重の8割まで低下した時点で試験を終了した。木栓の変形はφ24の時よりは大きかったが、それでもあまり目立った変形はなかった。ビスの3体は、引ききりの終盤で梁側の木口が柱に当たり若干めり込みが生じてしまった。また3体とも柱側にも繊維方向に割裂が生じた。柱-梁のめり込みのみで抵抗することを期待した接合具なしのタイプは、合わせ柱の離れ止めとしてつけたパネルゾーン中心の太径ボルトがかなりのせん断力を負担して変形したことで、試験体にロープ効果が働き摩擦が強く効いたようであった。

モーメント-回転角曲線の傾向としては、木栓φ24と木栓φ18のタイプは、全ての試験体でほぼ木栓が降伏しないうちに梁側のほぞが曲げ破壊し急激にモーメントが低下したため、木栓の降伏がモーメント-回転角関係に現れなかった。ビスのタイプは木栓のタイプに比べて剛性は低くなったが、粘り強く変形したことで最大耐力は木栓φ18よりも高くなった。そこでビスのタイプについてはbi-linear型の二次勾配 $K_{\theta 2}$ を求め、見かけの降伏モーメント M_v 、見かけの降伏変形角 θ_v を求めた。このタイプも最後は梁側のほぞが割裂破壊してモーメントが急激に低下したため、最大モーメントに達した時点を終局として評価した。接合具なしのタイプは4種類の中で最も粘り強い挙動を示したが、なし-1は初期すべりが大きかった。

前述の理論式、計算式に従い、要素試験の結果を用いて求めた実大接合部性能の計算値と、実大試験で得られた実験値の比較を以下に示す。表においてφ24のdowelは木栓のせん断抵抗のみの性能、totalは木栓のせん断とめり込みの両方を考慮した場合の性能である。実験値(Exp.)は3体の平均値、赤で示した部分は計算値(Cal.)を実験値(Exp.)で割った値である。

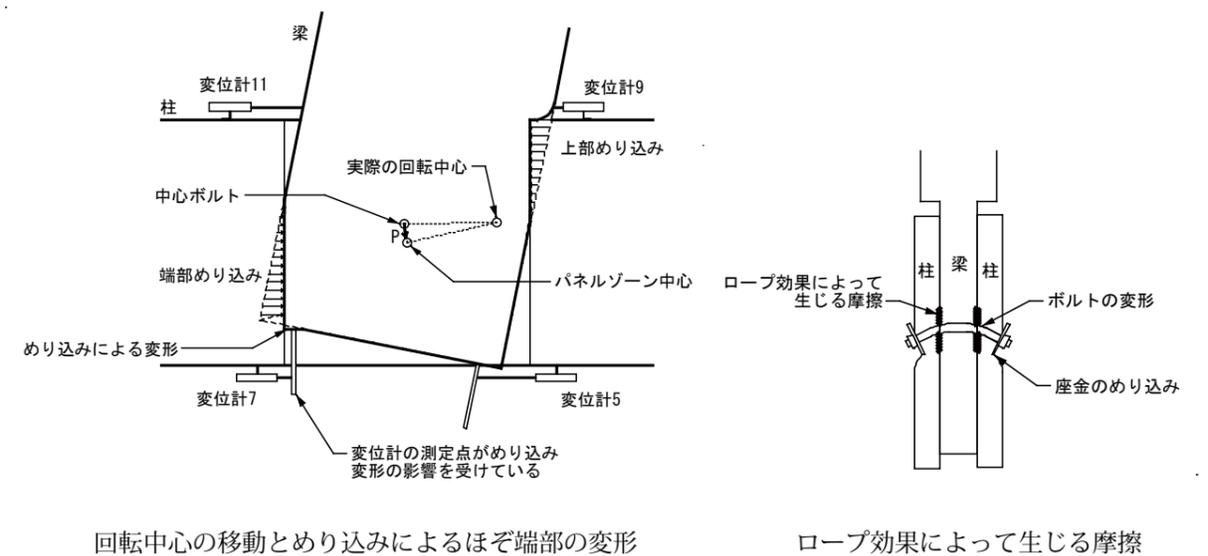
木栓φ18タイプは、回転剛性、降伏モーメントともに非常によく推定できている。ビスタイプは、降伏モーメントの計算値がやや高いが、剛性や終局モーメントはよく一致している。柱-梁のめり込みのみに期待した接合具なしタイプは、剛性、降伏モーメント、終局モーメントのいずれの計算値も実際の値より低く出ている。これは、接合具なしの試験では、梁部材の抜けを拘束するものがパネルゾーン中心の太径ボルトしかなかったために、他の仕様に比べてボルトがかなり大きなせん断力を負担したことと、それに伴うボルトの変形により試験体にロープ効果が働いて、めり込み式で考慮されないほぞ表面の摩擦が強く効いたことが原因と考えられる。接合具のせん断とめり込みの両方に期待した木栓φ24タイプにおいて、剛性の計算値が実験値より若干低くなっていることも、上記の理由によるものと考えられる。また実験では、梁のほぞ端で柱梁の相対変位を測定していた変位計の測定点の位置が端に寄りすぎているため、変位計がめり込みによる梁ほぞの局部変形を拾ってしまった可能性がある。

接合部性能計算値

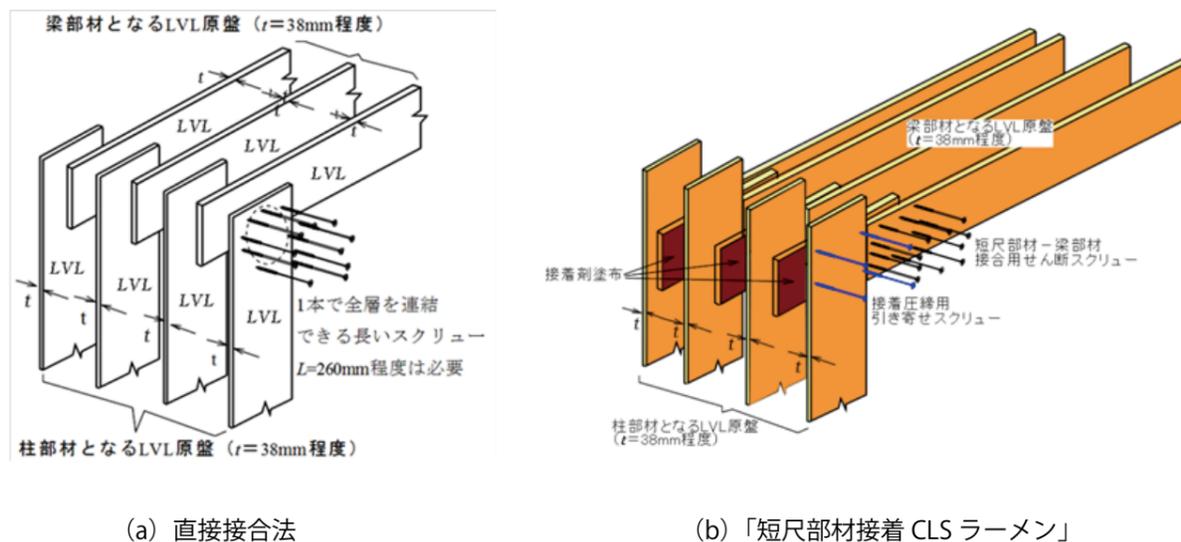
		K_{θ} (kNm/rad)	M_y (kNm)	θ_y ($\times 10^{-3}$ rad)	M_u (kNm)	Z_{fb} (kNm)
φ24	dowel	11800	109	9.2	216	118
	total	15272	120	7.9	271	118
φ18		9711	96	9.9	182	117
ビス		4596	78	17.0	155	143
なし		3472	27	7.9	55	162

実験値と計算値の比較

		K_{θ} (kNm/rad)	M_y (kNm)	θ_y ($\times 10^{-3}$ rad)	M_u (kNm)
φ24	Exp.	21376	123	6.7	136
	Cal.	15272	120	7.9	271
φ18	Exp.	9516	86	10.8	109
	Cal.	9711	96	9.9	182
ビス	Exp.	4113	55	13.1	135
	Cal.	4596	78	17.0	155
なし	Exp.	5024	67	14.6	111
	Cal.	3472	27	7.9	55



LVL は製造上の制約から厚さ 35mm ~ 38mm の基本原盤をまず製造し、必要に応じて基本原盤を 2 次接着して集成材と同じような材せいに再加工して木質ラーメンの柱や梁として利用される形態がこれまでは多かった。本資料で扱っている接合法では、これまでの LVL の利用法とは異なる視点にたつて、基本原盤をそのまま交差重ね合わせ接合して各種ラーメン架構を構成する方法を提案する。図にその提案概念を示す。図に示すように、LVL の基本原盤を接合部となる箇所において多数枚交差重ね合わせて、重なり合った部分を 1 本で全層を貫通連結できるだけの長いスクリーを多数本用いて留め付けて柱-梁接合部や柱脚接合部を完成させる現場施工法を提案し、その接合法を Cross Lapped Screwed 接合法 (CLS 接合法) と名付けた。CLS ラーメンには、図の (a) に示すように現場で直接接合部を施工する小規模戸建て木造建築用の「直接 CLS ラーメン」と、図の (b) に示すように、予め工場で短尺材を柱に交差重ね合わせ接着し、現場では短尺材と梁部材を CLS 接合してラーメン架構を完成させる比較的大型の「短尺部材接着 CLS ラーメン」の 2 種類がある。



(a) 直接接合法

(b) 「短尺部材接着 CLS ラーメン」

図 CLS 接合法による木質ラーメン柱-梁接合部の概念

力の伝達方法と設計に際しての基本的な条件は以下のとおり。

(1) 直接接合法の場合

接合部に作用するモーメント、せん断力、軸力に起因する荷重をすべてスクリーに作用する多重のせん断力として他部材に伝達する。3 種類の手 (モーメント、せん断力、軸力) による X、Y 方向分力の重ね合わせが成立するものと仮定して変形・耐力の計算を行う。

(2) 短尺部材接着 CLS ラーメンの場合

柱-短尺部材間の接着接合部での先行破壊が起こらないことを設計上の大前提とする。ねじりモーメントを受ける積層接着接合部の耐力は、「回転中心から最も遠い点のせん断応力が最大値に達した時点で破壊する」という仮定に準拠し、接合部の変形角は接合部のパネルせん断変形角を変形角と見なす。架構の降伏は短尺部材-梁端部間のスクリー接合部で発生するように設計する。その際のスクリー接合部における力の伝達方法は「直接 CLS 接合」の場合と同じである。

● 姿図・寸法

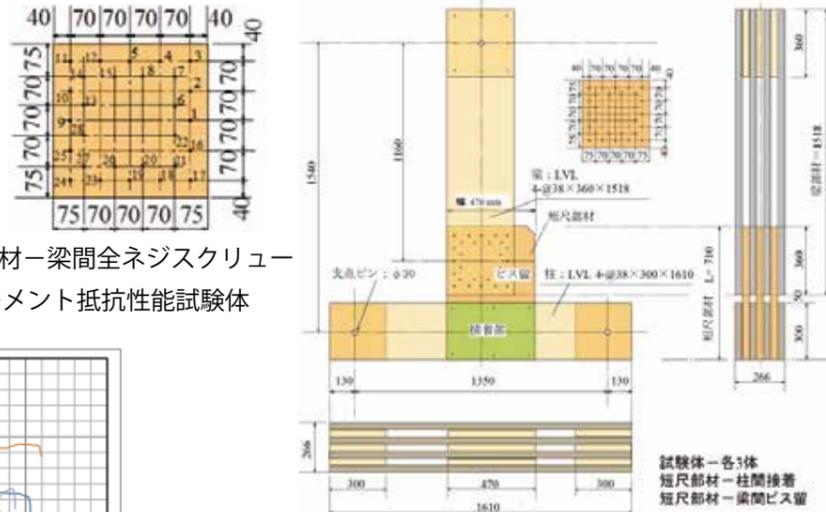


図1 短尺部材-梁間全ネジスクリー
接合部用モーメント抵抗性能試験体

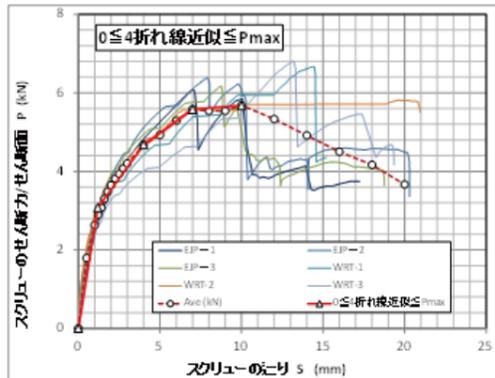


図2 荷重-送り包絡線関係・平均曲線・4折れ線近似式の関係

S (mm)	P (kN)	Ks (kN/mm)
0	0.000	0.000
Py	1.189	3.075
Pc	4.000	4.676
Pmax	7.000	5.580
Pu	10.000	5.680

【使用材料】

LVLは、日本LVL協会より提供された等級90EのLVLを用いた。樹種はカラマツで、基本原盤の寸法は厚さ38mm×幅300mm～470mm×長さL(必要長さ)である。全ネジスクリーは以下の2種類を使用する。スクリーの性能に関しては、2種類ともほぼ同じ性能が発揮されることを実験で確認した。

WRT：谷径5.09mm(実測値)、山径8.30mm(実測値)、長さ257mm(実測値)

EJP：谷径5.64mm(実測値)、山径7.98mm(実測値)、長さ265mm(実測値)

全ネジスクリーの一せん断面あたりの性能は、図2に示す荷重-送り関係から読み取れる値を用いる。

● 適用条件

接合具の配置に関してはAIJ設計規準等の接合具配置の基準に準拠するが、原則的には円形配列とし、通常は2重配置、大規模な構造では、3重もしくは4重配列とする。接合具のせん断性能には剛性・強度の異方性はないと仮定して設計計算を進める。

● 概要

戸建て住宅などの小規模な構造の場合、柱は通常3枚のLVLから、梁は4枚のLVLから構成される。工場や木造低層公共建築物のような大規模な構造になると、柱は4枚、梁は5枚のLVLが必要となる。

● 接合具（メーカー、入手方法等）

全ネジスクリーについては、WRT（ウルトジャパン）ならびにEJP（東日本パワーファスニング（株））の両社から購入できる。

● 問い合わせ先 URL

ウルトジャパン（株） 045-488-4186 東日本パワーファスニング（株）022-351-7330

接着剤：（株）オーシカ 03-5916-8857

構造計算：小松幸平（木造設計支援（Timber Design Support :TDS）—設立予定：090-5253-9081）

● 理論式

$$R_J = n_s \sum_{i=1}^n (K_i \cdot r_i^2)$$

$$S_J = n_s \sum_{i=1}^n K_i$$

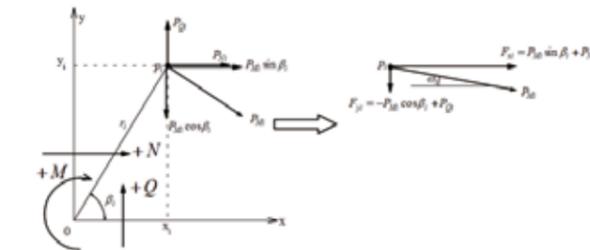
$$D_J = n_s \sum_{i=1}^n K_i \quad \text{1本のスクリーが受けるせん断合力: } F_{resi} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

$$F_x = n_s \cdot K_i \left\{ y_i \cdot \left(\frac{M}{R_J} \right) + \left(\frac{N}{D_J} \right) \right\}, \quad F_y = K_i \cdot n_s \left\{ -x_i \cdot \left(\frac{M}{R_J} \right) + \left(\frac{Q}{S_J} \right) \right\}$$

ここで、
M: モーメント、N: 軸力、Q: せん断力、Ks: スクリーの送り係数（図2）、ns: せん断面の数、x、yは回転中心を原点とするスクリーの座標値、rは極座標の半径。

● 計算式

● モデル化



接合部に打たれた i=1 ~ n 本の全てのスクリーに作用するモーメントによる力 PM、せん断力による力 PQ、軸力による力 PN を重ね合わせて合力を求め、その合力が許容せん断力を超えていないかを照査する。

● 特性値

全ネジスクリーの許容耐力（6面せん断実験の値）

評価項目	SOR1	SOR2	SOR3	SOR4	SOR5	SOR6	X 平均値	標準偏差	F ₀ 95%下限度
(1) Py (kN)	19.40	21.26	21.00	19.40	21.26	21.00	20.55	0.9002	18.45
(3) 2/3(Pmax) (kN)	24.32	25.56	24.69	24.32	25.56	24.69	24.86	0.5701	24.69
短期許容値 P ₀									18.45
最大耐力 Pmax (kN)	36.47	38.34	37.04	36.47	38.34	37.04	37.29	0.8552	
終局耐力 Pu (kN)	31.00	34.45	30.89	31.00	34.45	30.89	32.12	1.8119	50%下限度
初期剛性 K (kN/mm)	11.1	12.1	13.3	11.1	12.1	13.3	12.20	0.9858	12.2
塑性率 μ	3.69	3.63	4.34	3.69	3.63	4.34	3.88	0.3607	
1/√(2μ-1) Ds	0.40	0.40	0.36	0.40	0.40	0.36	0.39	0.0191	
Py時変形角 Sv (mm)	1.74	1.75	1.58	1.74	1.74	1.58	1.69	0.09	
臨伏点変形角 Sv (mm)	2.79	2.84	2.32	2.79	2.84	2.32	2.65	0.26	
終局時変形角 Su (mm)	10.29	10.29	10.05	10.29	10.29	10.05	10.21	0.12	
95%k _s (r=6) = 2.336	F = X - k _s sd								
50%k _s (r=6) = 0.297									

● 破壊性状



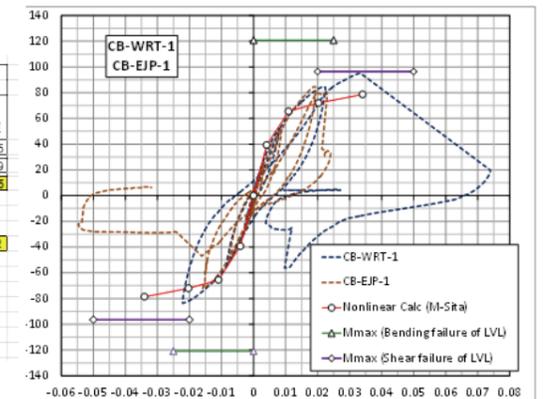
短尺材の縦方向割裂（スクリーを起点とした引き裂き）が先行。（CB-WRT/EJP-1）



その後短尺材の曲げ破壊が発生した。（CB-WRT/EJP-1）

● 荷重変形

荷重-変形関係の実測値と計算値との適合性



解説

当初の予定では、スクリー接合部の塑性変形が先に起こって、接合部は大変形領域まで脆性的な破壊をせずに持ちこたえる予定であったが、実際には短尺部材の割裂破壊によって、比較的脆性的に破壊した。この破壊は、短尺部材の材性を 470mm、梁の材せいが 360mm と段差があったことによる一種の応力集中による割裂破壊であるが、現状の木質構造設計規準には、このような直角切り欠きを対象とした強度推定式は含まれていないので、対応としては短尺部材と梁部材の交わる部分で材せいが一致するように、短尺部材のデザインをハンチ型に改良することが必要であると考えられる。

一方、初期剛性領域から最大耐力領域までは、概ね計算による挙動の推定値と実測値は良く適合しており、ここで提案した計算式を用いることによって、許容応力度設計から保有耐力設計に至るまで、要求される設計レベルに応じて、精度良く CLS ラーメンを設計出来る可能性があることを示すことができた。

まとめ

CLS ラーメンのスクリー接合部のモーメント抵抗性能確認実験を行い、現在我が国で供給可能な 2 種類の全ネジスクリーを用いて、基本的な多面せん断試験を行い、スクリー 1 本当たりの 1 せん断面当たりのせん断荷重-ひき関係の設計用標準曲線を決定した。

この標準データを用いることで、初期剛性領域から最大荷重に至るまでの広い範囲にわたって、交差重ね合わせスクリー接合部 (CLS) の挙動を概ね正確に予測することが出来ることを実験によって検証した。

なお、ここでは言及していないが、積層接着部や柱脚接合部についても実験結果と計算結果との間に良好な一致を確認しており、CLS ラーメンを用いた戸建て木造住宅の耐震補強 (直接接合法を使用) や、大規模な工場棟や木造低層公共建築部のような大規模木質構造建築物をラーメン構造で構成するための有効な方法を提案することができた。

住宅レベルの耐力壁は壁倍率という指標でその性能が表現される。一方、中大規模木造建築においては、必要なせん断耐力を有する壁を設計することにある。接合部の設計自体は日本建築学会「木質構造設計規準・同解説」に基づいて接合部単体、複数本配置の接合部の許容耐力を求めることが可能である。しかしその計算は複雑である上に、接合部の配置によっては、計算上生じないとみなしているブレースや柱脚接合部に軸力以外の曲げモーメントなどが生じる。その力によって想定外の割り裂きが生じ、所定の性能が発揮されない場合もある。また、「木質構造設計規準・同解説」では降伏耐力が示されているものの、終局耐力や変形性能などは定量的に示されていない。よって、許容応力度計算によってその耐震安全性を確保するが、鉄骨造のルート1のように標準せん断力係数の割増しもなく、さらに保有耐力接合は現実的に無理な上に、母材自体も脆性的に破壊する。よって、許容応力度計算のみによって確保される耐震安全性は相対的に住宅レベルの構造や他の構造に比べて低くなることも危惧されるところである。

そこで本資料中には典型的なブレース架構についてその許容せん断耐力を示すとともに、保有水平耐力や変形性能について示している。典型的なブレースとして、鋼板挿入ドリフトピン接合とボルト接合を選択した。さらにボルト接合に対してはブレース材を2材に分け、施工の容易性について配慮している。

ここでは本資料中に示した典型的なブレース架構のブレース端部接合部、柱頭柱脚接合部についての接合部実験の結果を示したものである。「木質構造設計規準・同解説」で計算される許容耐力も示してあり、接合部実験と設計値の比較、さらに接合部実験の結果と本資料の結果を比較することにより、ブレース架構の設計に資する資料として構成している。

● 姿図・寸法

【使用材料】
 ブレース材 180mm × 180mm (カラマツ E95-F270)
 鋼板 9mm (SS400)
 接合具 ドリフトピンφ 16, 有効長さ 130mm

● 適用条件
 ドリフトピン本数を増やした場合、破壊モードが変化する可能性があり、単純に本数倍の性能が得られないので注意が必要である。また、二次応力に対する配慮も必要となる。

● 概要
 集成材を用いたブレース端部接合部。接合部は鋼板挿入型接合とし、木材と鋼板を緊結する接合具にはドリフトピンを用いている。

● 接合具 (メーカー、入手方法等)
 ドリフトピン

● 問い合わせ先 URL
 —

● 理論式
 —

● 計算式

- 終局せん断耐力 P_a ($P_{u0}=P_{uj}$ として算出)

$$P_a = jK_r \cdot P_{u0}$$

$$P_{uj} = \sum_{i=1}^m jK_n \cdot n_i \cdot p_{u0}$$
- 終局せん断耐力 P_{u0}

$$P_{u0} = r_u \cdot p_y$$
- 単位接合部の降伏せん断耐力 p_y

$$p_y = C \cdot F_e \cdot d \cdot l$$

r_u : 終局強度比 (1.0)
 C : 鋼板挿入 2 面せん断接合の接合形式係数 (モードⅢ)
 F_e : 主材の基準支圧強度 (カラマツ繊維方向 25.4 N/mm²)
 d : 接合具径 (16mm)
 l : 有効長さ (119mm)

・単位接合部の終局せん断耐力 p_{u0}
 ・単位接合部の降伏せん断耐力 p_y

● モデル化

● 特性値

	最大荷重 [kN]	最大荷重時変位 [mm]	初期剛性 [kN/mm]	終局耐力 [kN]
1 体目	236.7	3.5	192	220.7
2 体目	226.5	2.8	137	212.4
3 体目	224.2	2.9	253	205.3

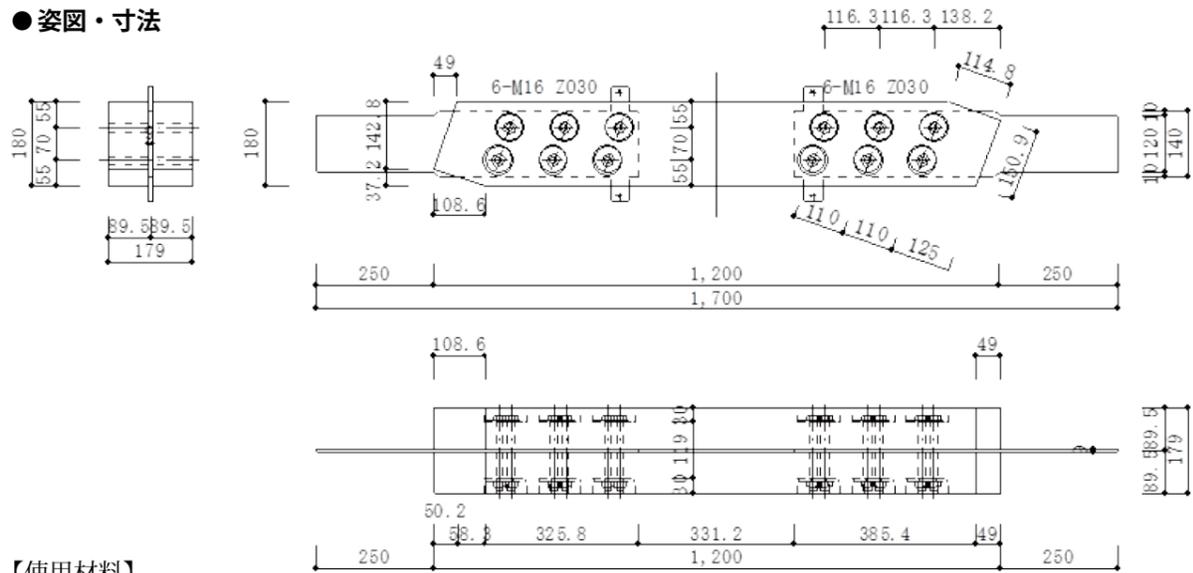
※剛性は 0.1P_{max} から 0.4P_{max} の傾きから算出した。

● 荷重変形

● 破壊性状
 ・ドリフトピンの曲げ降伏。ドリフトピンの配置列に沿ったせん断破壊

- 要材
- 素材
- 接合具
- 部組材立
- 接合部
- 屋根
- 柱
- 梁
- 1/2スレ
- 壁
- 床
- 集成材
- 1/2スレ
- 製材
- 合板
- その他

● 姿図・寸法



【使用材料】

ブレース材 2-85mm × 180mm (カラマツ E95-F270)
 鋼板 9mm (SS400)
 接合具 ボルト M16, 有効長さ 119mm

● 適用条件

ボルト本数を増やした場合、破壊モードが変化する可能性があり、単純に本数倍の性能が得られないので注意が必要である。また、二次応力に対する配慮も必要となる。

● 概要

集成材を用いたブレース端部接合部。接合部は鋼板挿入型接合とし、木材と鋼板を緊結する接合具にはボルトを用いている。

● 接合具 (メーカー、入手方法等)

ボルト

● 問い合わせ先 URL

—

● 理論式

—

● 計算式

・ 終局せん断耐力 P_a ($P_{u0}=P_{uj}$ として算出)

$$P_a = j_r K_r \cdot P_{u0}$$

j_r : 接合種別の靱性係数 (0.90)

・ 基準終局せん断耐力 P_{uj}

$$P_{uj} = \sum_{i=1}^m j_n K_n \cdot n_i \cdot p_{u0}$$

j_n : 1列の接合具本数による耐力の低減係数 (0.92)

n_i : i列のボルト本数 m: 列数

・ 単位接合部の終局せん断耐力 p_{u0}

$$P_{u0} = r_u \cdot p_y$$

r_u : 終局強度比 (1.0)

・ 単位接合部の降伏せん断耐力 p_y

$$p_y = C \cdot F_e \cdot d \cdot l$$

C: 鋼板挿入2面せん断接合の接合形式係数 (モードⅢ)

F_e : 主材の基準支圧強度 (カラマツ繊維方向 25.4 N/mm²)

d: 接合具径 (16mm)

l: 有効長さ (110mm)

● モデル化

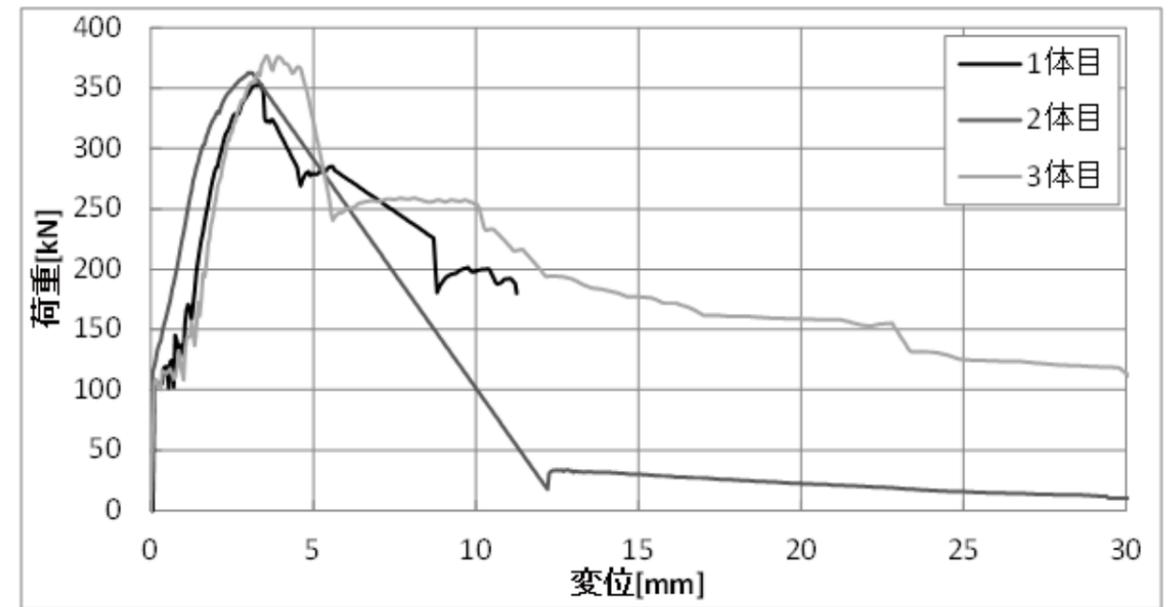


● 特性値

	最大荷重 [kN]	最大荷重時変位 [mm]	初期剛性 [kN/mm]	終局耐力 [kN]
1体目	352.7	3.4	171	318.9
2体目	363.4	3.1	168	329.2
3体目	378.2	3.6	138	—

※初期ガタの影響を考慮するため、剛性は $0.5P_{max}$ から $0.8P_{max}$ の傾きから算出した。

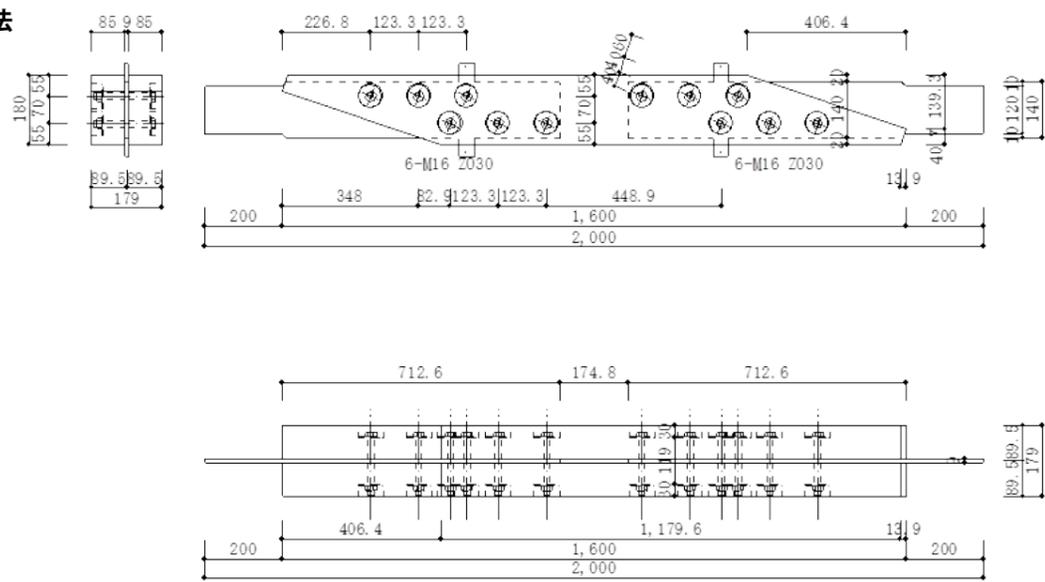
● 荷重変形



● 破壊性状

・ ボルトの曲げ降伏。ボルトの配置列に沿ったせん断破壊

● 姿図・寸法



【使用材料】

ブレース材 2-85mm × 180mm (カラマツ E95-F270)
 鋼板 9mm (SS400)
 接合具 ボルト M16, 有効長さ 119mm

● 適用条件

ボルト本数を増やした場合、破壊モードが変化する可能性があり、単純に本数倍の性能が得られないので注意が必要である。また、二次応力に対する配慮も必要となる。

● 概要

集成材を用いたブレース端部接合部。接合部は鋼板挿入型接合とし、木材と鋼板を緊結する接合具にはボルトを用いている。

● 接合具 (メーカー、入手方法等)

ボルト

● 問い合わせ先 URL

—

● 理論式

—

● 計算式

・ 終局せん断耐力 P_a ($P_{u0}=P_{uj}$ として算出)

$$P_a = jK_r \cdot P_{u0}$$

jK_r : 接合種別の靱性係数 (0.90)

・ 基準終局せん断耐力 P_{uj}

$$P_{uj} = \sum_{i=1}^m jK_n \cdot n_i \cdot p_{u0}$$

jK_n : 1 列の接合具本数による耐力の低減係数 (0.92)

n_i : i 列のボルト本数 m: 列数

・ 単位接合部の終局せん断耐力 p_{u0}

$$P_{u0} = r_u \cdot p_y$$

r_u : 終局強度比 (1.0)

・ 単位接合部の降伏せん断耐力 p_y

$$p_y = C \cdot F_e \cdot d \cdot l$$

C: 鋼板挿入 2 面せん断接合の接合形式係数 (モードⅢ)

F_e : 主材の基準支圧強度 (カラマツ繊維方向 25.4 N/mm²)

d: 接合具径 (16mm)

l: 有効長さ (110mm)

● モデル化

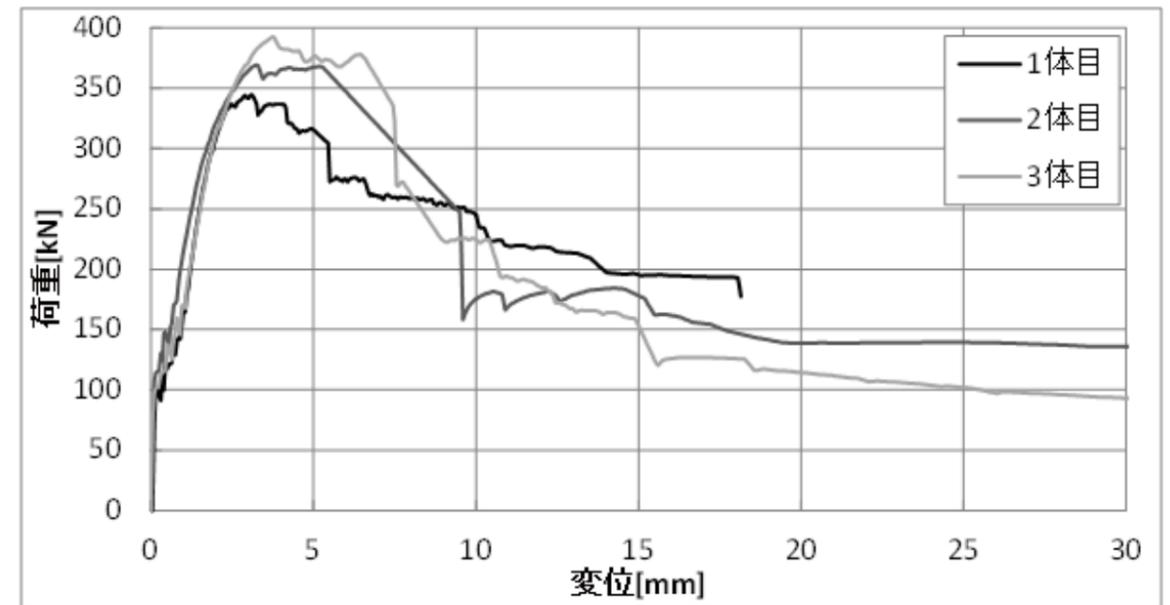


● 特性値

	最大荷重 [kN]	最大荷重時変位 [mm]	初期剛性 [kN/mm]	終局耐力 [kN]
1 体目	344.7	3.1	175	329.7
2 体目	369.8	3.3	133	347.1
3 体目	393.2	3.8	138	375.8

※初期ガタの影響を考慮するため、剛性は $0.5P_{max}$ から $0.8P_{max}$ の傾きから算出した。

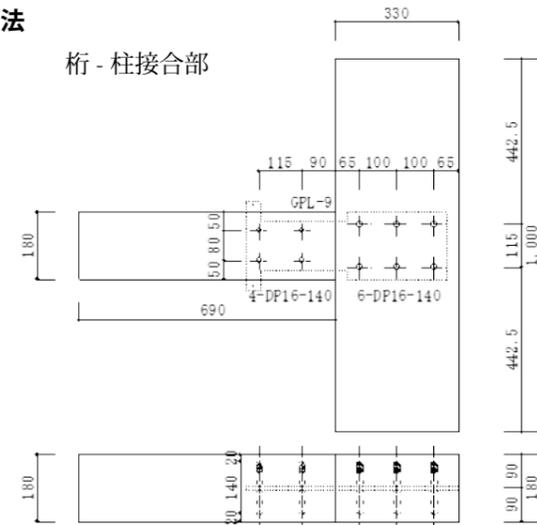
● 荷重変形



● 破壊性状

・ ボルトの曲げ降伏。ボルトの配置列に沿ったせん断破壊

● 姿図・寸法



【使用材料】

- 柱材 180mm × 180mm (カラマツ E95-F315)
- 桁材 180mm × 330mm (カラマツ E95-F270)
- 鋼板 9mm (SS400)
- 接合具 ドリフトピン φ 16, 有効長さ 130mm

● 適用条件

ドリフトピン本数を増やした場合、破壊モードが変化する可能性があり、単純に本数倍の性能が得られないので注意が必要である。また、二次応力に対する配慮も必要となる。

● 概要

集成材を用いたブレース耐力壁の柱頭柱脚接合部。接合部は鋼板挿入型接合とし、木材と鋼板を緊結する接合具にはドリフトピンを用いている。

● 接合具 (メーカー、入手方法等)

ドリフトピン

● 問い合わせ先 URL

—

● 理論式

—

● 計算式

・ 終局せん断耐力 P_a ($P_{u0}=P_{uj}$ として算出)

$$P_a = j_r K_r \cdot P_{u0}$$

$j_r K_r$: 接合種別の靱性係数 (0.90)

・ 基準終局せん断耐力 P_{uj}

$$P_{uj} = \sum_{i=1}^m j_n K_n \cdot n_i \cdot p_{u0}$$

$j_n K_n$: 1 列の接合具本数による耐力の低減係数 (0.92)

n_i : i 列のボルト本数 m: 列数

・ 単位接合部の終局せん断耐力 p_{u0}

$$P_{u0} = r_u \cdot p_y$$

r_u : 終局強度比 (1.0)

・ 単位接合部の降伏せん断耐力 p_y

$$p_y = C \cdot F_e \cdot d \cdot l$$

C: 鋼板挿入 2 面せん断接合の接合形式係数 (モードⅢ)

F_e : 主材の基準支圧強度 (カラマツ繊維方向 25.4 N/mm²)

d: 接合具径 (16mm)

l: 有効長さ (119mm)

● モデル化

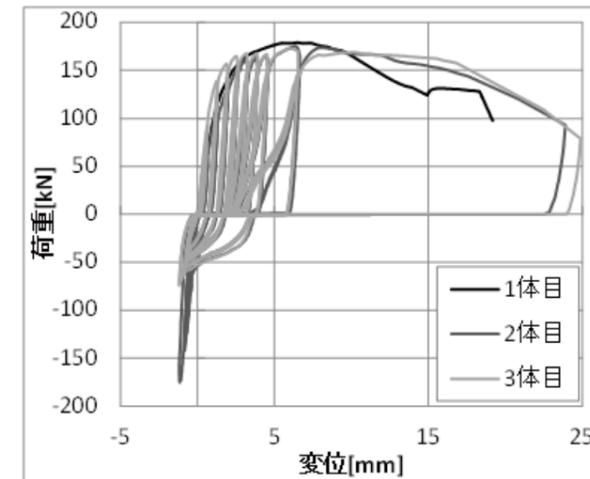


● 特性値

		最大荷重 [kN]	最大荷重時変位 [mm]	初期剛性 [kN/mm]	終局耐力 [kN]
桁 - 柱	1 体目	178.8	6.5	91.8	166.6
	2 体目	175.2	6.4	88.0	158.8
	3 体目	172.5	6.0	145.8	160.9

※剛性は 0.1P_{max} から 0.4P_{max} の傾きから算出した。

● 荷重変形

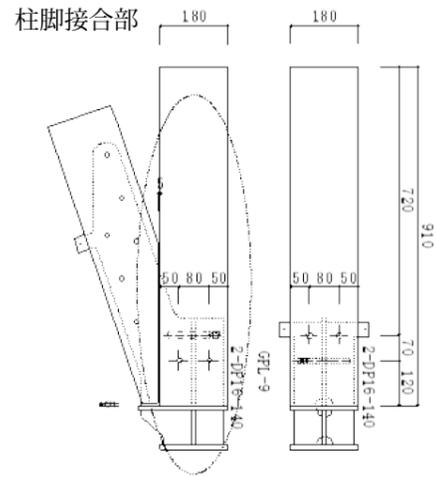


桁 - 柱接合部

● 破壊性状

・ ドリフトピンの曲げ降伏。ボルトの配置列に沿ったせん断破壊。

● 姿図・寸法



【使用材料】

柱材 180mm × 180mm (カラマツ E95-F315)
 桁材 180mm × 330mm (カラマツ E95-F270)
 鋼板 9mm (SS400)
 接合具 ドリフトピン φ 16, 有効長さ 130mm

● 適用条件

ドリフトピン本数を増やした場合、破壊モードが変化する可能性があり、単純に本数倍の性能が得られないので注意が必要である。また、二次応力に対する配慮も必要となる。

● 概要

集成材を用いたブレース耐力壁の柱頭柱脚接合部。接合部は鋼板挿入型接合とし、木材と鋼板を緊結する接合具にはドリフトピンを用いている。

● 接合具 (メーカー、入手方法等)

ドリフトピン

● 問い合わせ先 URL

—

● 理論式

—

● 計算式

・ 終局せん断耐力 P_a ($P_{u0}=P_{uj}$ として算出)

$$P_a = j_r K_r \cdot P_{u0}$$

$j_r K_r$: 接合種別の靱性係数 (0.90)

・ 基準終局せん断耐力 P_{uj}

$$P_{uj} = \sum_{i=1}^m j_n K_n \cdot n_i \cdot p_{u0}$$

$j_n K_n$: 1 列の接合具本数による耐力の低減係数 (0.92)

n_i : i 列のボルト本数 m : 列数

・ 単位接合部の終局せん断耐力 p_{u0}

$$P_{u0} = r_u \cdot p_y$$

r_u : 終局強度比 (1.0)

・ 単位接合部の降伏せん断耐力 p_y

$$p_y = C \cdot F_e \cdot d \cdot l$$

C : 鋼板挿入 2 面せん断接合の接合形式係数 (モードⅢ)

F_e : 主材の基準支圧強度 (カラマツ繊維方向 25.4 N/mm²)

d : 接合具径 (16mm)

l : 有効長さ (119mm)

● モデル化

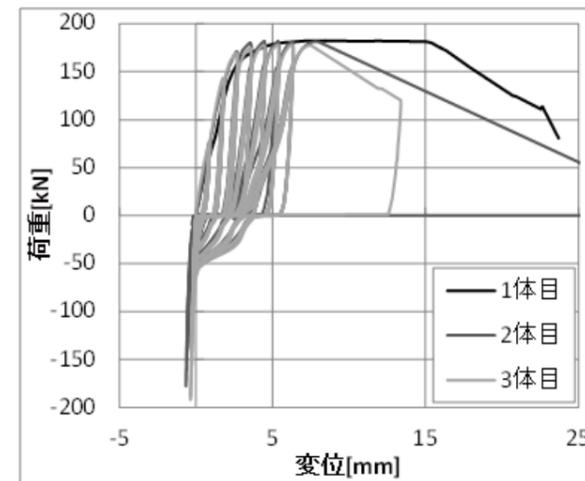


● 特性値

		最大荷重 [kN]	最大荷重時変位 [mm]	初期剛性 [kN/mm]	終局耐力 [kN]
柱脚	1 体目	182.4	9.0	65.1	176.3
	2 体目	181.9	4.5	82.4	167.8
	3 体目	178.2	6.3	86.8	165.2

※剛性は 0.1P_{max} から 0.4P_{max} の傾きから算出した。

● 荷重変形

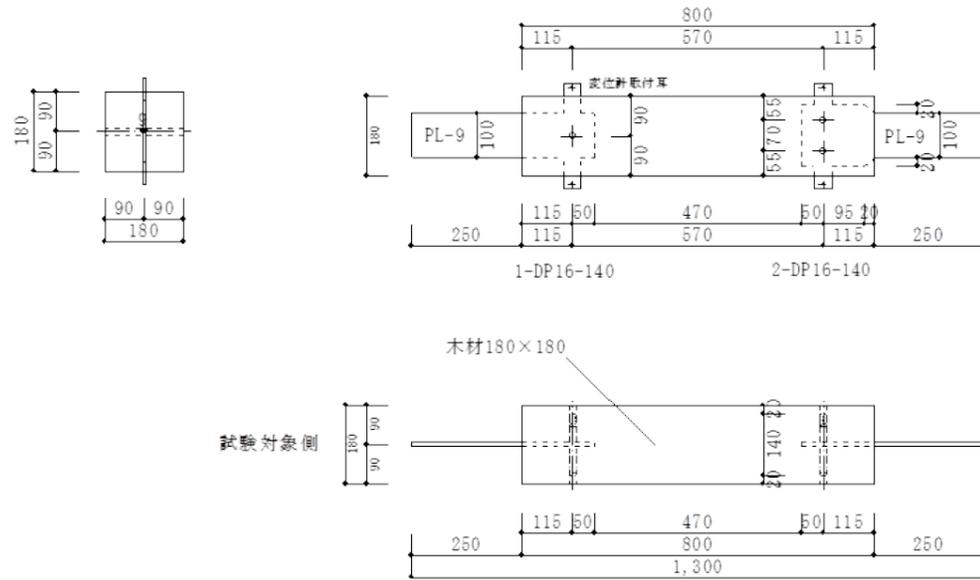


柱脚接合部

● 破壊性状

・ ドリフトピンの曲げ降伏。ボルトの配置列に沿ったせん断破壊。

● 姿図・寸法



【使用材料】

ブレース材 180mm×180mm (カラマツ E95-F270)
 鋼板 9mm (SS400)
 接合具 ドリフトピンφ16, 有効長さ130mm

● 適用条件

ドリフトピン本数を増やした場合、破壊モードが変化する可能性があり、単純に本数倍の性能が得られないので注意が必要である。また、二次応力に対する配慮も必要となる。

● 概要

集成材を用いたブレース端部接合部。接合部は鋼板挿入型接合とし、木材と鋼板を緊結する接合具にはドリフトピンを用いている。

● 接合具 (メーカー、入手方法等)

ドリフトピン

● 問い合わせ先 URL

—

● 理論式

—

● 計算式

・ 終局せん断耐力 P_a ($P_{u0}=P_{uj}$ として算出)

$$P_a = j_r K_r \cdot P_{u0}$$

$j_r K_r$: 接合種別の靱性係数 (0.90)

・ 基準終局せん断耐力 P_{uj}

$$P_{uj} = \sum_{i=1}^m j_n K_n \cdot n_i \cdot p_{u0}$$

$j_n K_n$: 1列の接合具本数による耐力の低減係数 (0.92)

n_i : i列のドリフトピン本数 m: 列数

・ 単位接合部の終局せん断耐力 p_{u0}

$$P_{u0} = r_u \cdot p_y$$

r_u : 終局強度比 (1.0)

・ 単位接合部の降伏せん断耐力 p_y

$$p_y = C \cdot F_e \cdot d \cdot l$$

C: 鋼板挿入2面せん断接合の接合形式係数 (モードⅢ)

F_e : 主材の基準支圧強度 (カラマツ繊維方向 25.4 N/mm²)

d: 接合具径 (16mm)

l: 有効長さ (119mm)

● モデル化

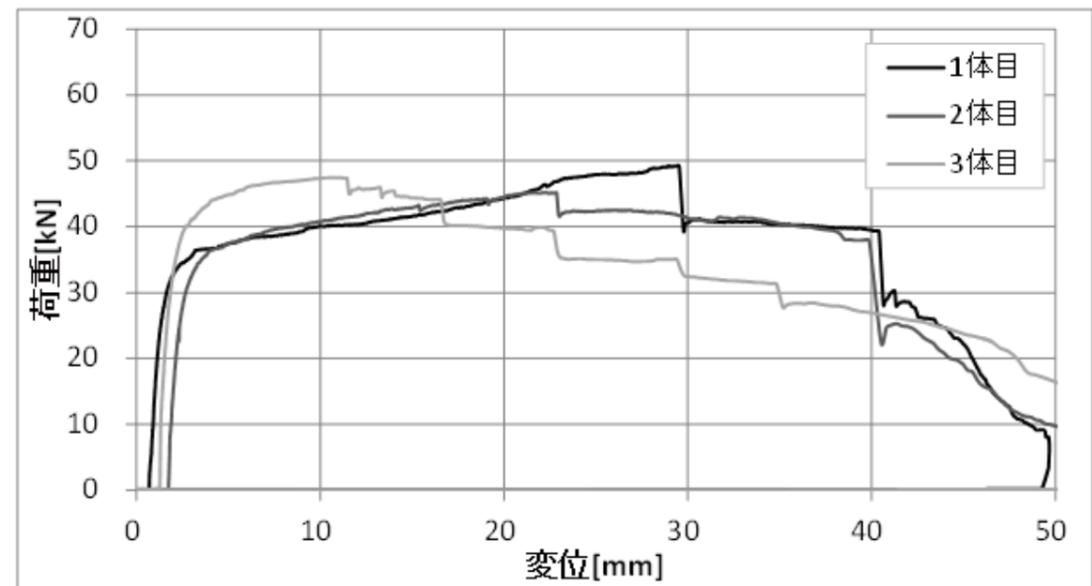


● 特性値

	最大荷重 [kN]	最大荷重時変位 [mm]	初期剛性 [kN/mm]	終局耐力 [kN]
1体目	49	29.4	44	42
2体目	45	22.2	45	41
3体目	48	10.7	62	43

※剛性は $0.1P_{max}$ から $0.4P_{max}$ の傾きから算出した。

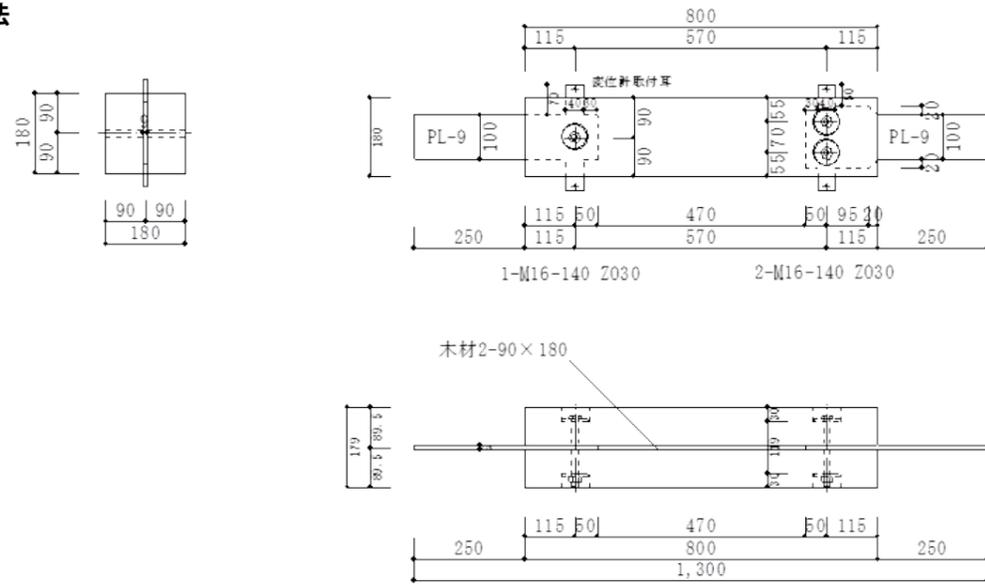
● 荷重変形



● 破壊性状

・ ドリフトピンの曲げ降伏。ドリフトピンに沿ったせん断破壊。

● 姿図・寸法



【使用材料】

ブレース材 2-85mm×180mm (カラマツ E95-F270)

鋼板 9mm (SS400)

接合具 ボルト M16, 有効長さ 119mm

● 適用条件

ボルト本数を増やした場合、破壊モードが変化する可能性があり、単純に本数倍の性能が得られないので注意が必要である。また、二次応力に対する配慮も必要となる。

● 概要

集成材を用いたブレース端部接合部。接合部は鋼板挿入型接合とし、木材と鋼板を緊結する接合具にはボルトを用いている。

● 接合具 (メーカー、入手方法等)

ボルト

● 問い合わせ先 URL

—

● 理論式

—

● 計算式

・ 終局せん断耐力 P_a ($P_{u0}=P_{uj}$ として算出)

$$P_a = j K_r \cdot P_{u0}$$

$j K_r$: 接合種別の靱性係数 (0.90)

・ 基準終局せん断耐力 P_{uj}

$$P_{uj} = \sum_{i=1}^m j K_n \cdot n_i \cdot p_{u0}$$

$j K_n$: 1列の接合具本数による耐力の低減係数 (0.92)

n_i : i 列のボルト本数 m : 列数

・ 単位接合部の終局せん断耐力 p_{u0}

$$P_{u0} = r_u \cdot p_y$$

r_u : 終局強度比 (1.0)

・ 単位接合部の降伏せん断耐力 p_y

$$p_y = C \cdot F_e \cdot d \cdot l$$

C : 鋼板挿入2面せん断接合の接合形式係数 (モードⅢ)

F_e : 主材の基準支圧強度 (カラマツ繊維方向 25.4 N/mm²)

d : 接合具径 (16mm)

l : 有効長さ (119mm)

● モデル化

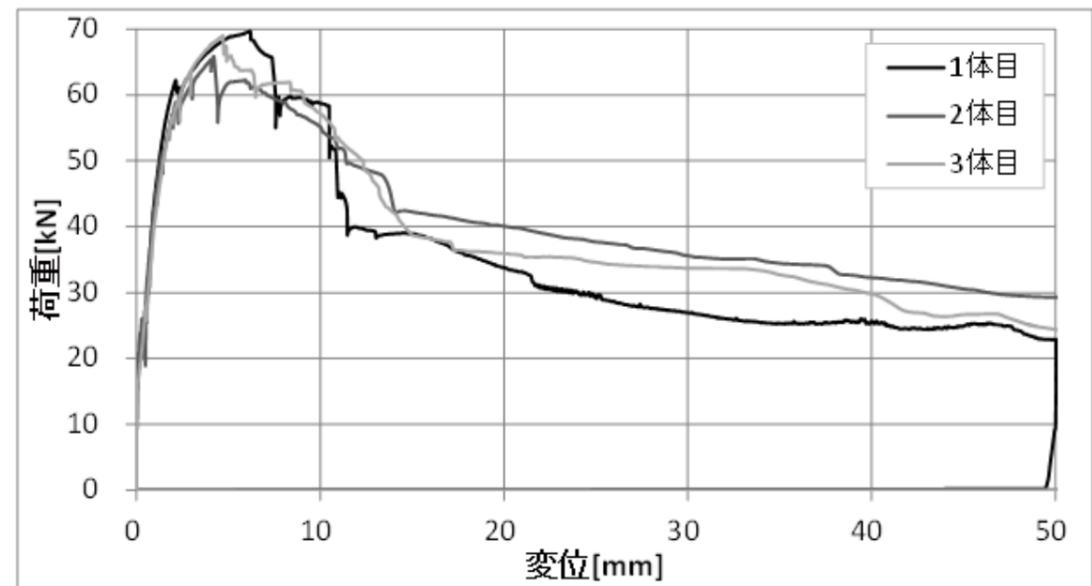


● 特性値

	最大荷重 [kN]	最大荷重時変位 [mm]	初期剛性 [kN/mm]	終局耐力 [kN]
1体目	70	6.1	37	65
2体目	66	4.2	41	60
3体目	69	4.7	33	62

※初期ガタの影響を考慮するため、剛性は $0.5P_{max}$ から $0.8P_{max}$ の傾きから算出した。

● 荷重変形



● 破壊性状

・ ボルトの曲げ降伏。ボルトに沿ったせん断破壊。

構造システムと施工の注意点

いわゆるブレース構造であり、構造システムとして木造の特徴はないが後述するようにモデル化においては、鉄骨造と異なる配慮が必要となる。

解析モデルと断面算定

木質構造の接合部は母材以上の強度、剛性にすることは難しい。よってブレース材や柱梁のヤング係数や断面性能のみによってモデル化した場合には変形が小さく計算されるため、本実験のせん断力-変形関係を用いてブレース置換モデルを用いるか、接合部の軸力-変形性能と母材のヤング係数と断面性能から求まる軸力-変形関係の直列バネを計算によって用いる、あるいはモデル上に付加することによりモデル化する。

バリエーション

本資料の実験では逆V型のブレース架構とした。ブレース下部を通り抜け空間として利用することも可能としている。K型、V型などの構成も可能である。