

ラグスクリューボルト接合部は、高強度高剛性の接合が材軸方向に対して可能である。材の中心位置から離れた位置にラグスクリューボルトを配置すれば、モーメント伝達を可能とする接合部が可能である。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、ラグスクリューボルト接合部は、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。

写真1は施工の様子を示したものであるが、施工は先穴をあけLSBをねじ込みながら圧入することによる。先穴の径はできるだけ内径寸法に近いほうがよいが、LSBの断面や形状や圧入時に用いるトルクなどによって異なる。

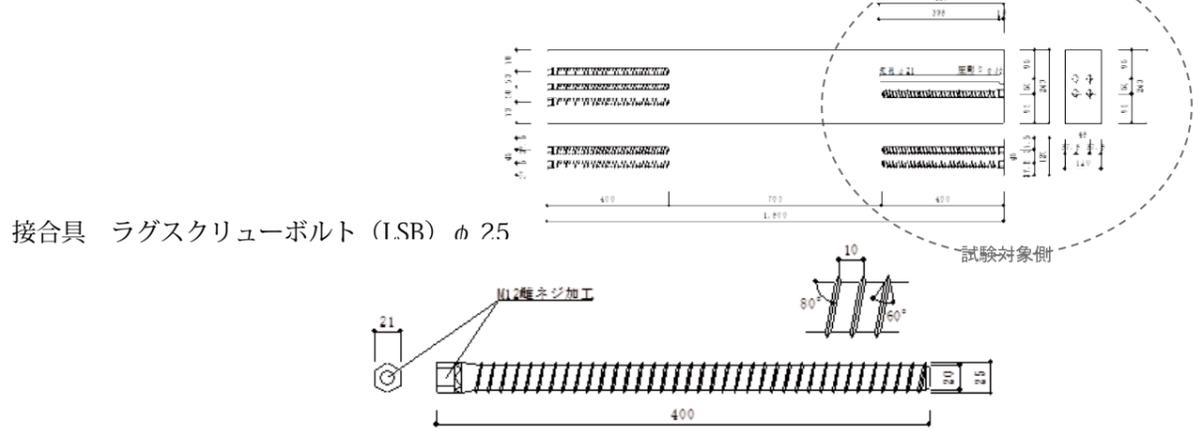
本資料に掲載した実験データは、複数本配置した場合のラグスクリューボルトの引張耐力を示している。単体接合部については、ラグスクリューボルト研究会が実施した論文等が参考になり、設計式としてその結果を示した。なお、ラグスクリュー接合部自体は脆性的な接合形式であり、延性を期待する接合部としたい場合には、別途、延性を持つ構成を考える必要がある。



写真1 LSBの施工状況

● 姿図・寸法

【使用材料】 母材 1500mm × 120mm × 240mm (スギ E65-F255)



接合具 ラグスクリーボルト (LSB) φ25

● 適用条件

引張のみを伝達する接合部に使用する。せん断を受ける接合部に使用する際はラグスクリーボルトにせん断力を伝達しないようせん断キーを設ける。複数本配置する際は 2d 以上の接合確保し、所定の耐力低減係数を乗じる。低減係数などは研究成果をもとに 0.8 程度の値として提案されている。接合部が回転を生じた際には木材の割り裂き方向に対して力が作用することになり、2 次応力に対する引張抵抗能力の低下に注意する。

● 概要

木質ラーメン構法等で用いられる構造用集成材を用いた柱脚端部を想定している。実際の使用では、母材に埋め込まれた LSB の引き抜き抵抗によりモーメントに抵抗するため、本実験にて基礎データとしての引き抜き性能を確認している。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

● 理論式*

$$P_{max} = \begin{cases} \frac{f_v \pi R_t (E_w A_w + E_s A_s) \sinh kl}{k (E_s A_s \cosh kl + E_w A_w)} & (E_w A_w \leq E_s A_s) \\ \frac{f_v \pi R_t (E_w A_w + E_s A_s) \sinh kl}{k (E_w A_w \cosh kl + E_s A_s)} & (E_s A_s \leq E_w A_w) \end{cases} \quad \text{ここで、}$$

$$k = \sqrt{\Gamma \pi R_t \left(\frac{1}{E_w A_w} + \frac{1}{E_s A_s} \right)}$$

$$K_s = \begin{cases} \frac{\Gamma \pi R_t (E_w A_w + E_s A_s) \sinh kl}{k (E_s A_s \cosh kl + E_w A_w)} & (E_w A_w \leq E_s A_s) \\ \frac{\Gamma \pi R_t (E_w A_w + E_s A_s) \sinh kl}{k (E_w A_w \cosh kl + E_s A_s)} & (E_s A_s \leq E_w A_w) \end{cases}$$

P_{max} : LSB の最大引抜き荷重, K_s : すべり係数
 f_v : せん断強さ (実験より求める), Γ : せん断剛性係数, E : ヤング係数
 A : 有効断面積 (有効径による), l : 有効埋め込み長さ
 R_t : LSB の山径, 添え字 w : 母材, 添え字 s : LSB

※中谷 誠、森 拓郎、小松 幸平「ラグスクリーボルトと特殊金物を用いた木質ラーメン構造の柱-梁接合部に関する研究」日本建築学会構造系論文集、2008 年 4 月

● モデル化

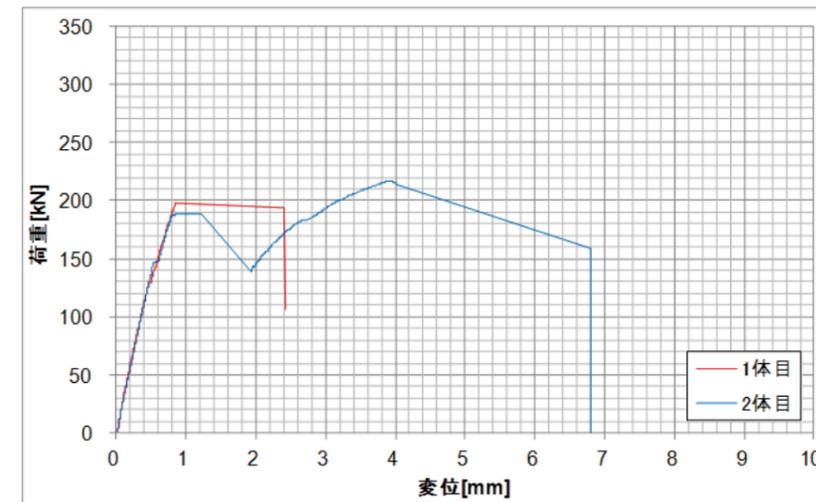
要素モデル



● 特性値

	1 体目	2 体目	Ave.
最大耐力 Pmax[kN]	198	189	194
LSB1 本あたり	49.5	47.2	48.4
初期剛性 K[kN/mm]	279	278	279
LSB1 本あたり	69.8	69.5	69.6

● 荷重変形



● 破壊性状

- ・ 1 体目 両側で同時に木材端部の割裂
- ・ 2 体目 片側で木材端部の割裂が生じた後、逆側でも木材端部の割裂

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

1
2
3

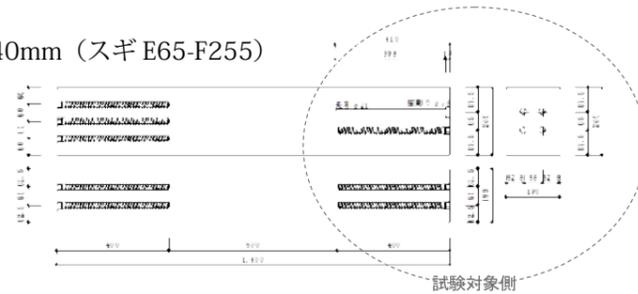
製
材

合
板

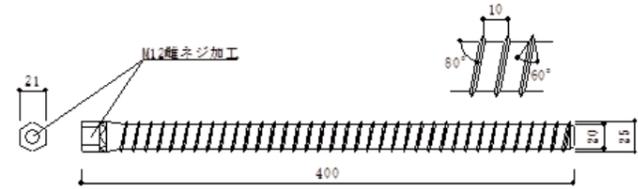
そ
の
他

● 姿図・寸法

【使用材料】 母材 1400mm × 190mm × 240mm (スギ E65-F255)



接合具 ラグスクリーボルト (LSB) φ 25



● 適用条件

引張のみを伝達する接合部に使用する。せん断を受ける接合部に使用する際はラグスクリーボルトにせん断力を伝達しないようせん断キーを設ける。複数本配置する際は 2d 以上の接合確保し、所定の耐力低減係数を乗じる。低減係数などは研究成果をもとに 0.8 程度の値として提案されている。接合部が回転を生じた際には木材の割り裂き方向に対して力が作用することになり、2 次応力に対する引張抵抗能力の低下に注意する。

● 概要

木質ラーメン構法等で用いられる構造用集成材を用いた柱脚端部を想定している。実際の使用では、母材に埋め込まれた LSB の引き抜き抵抗によりモーメントに抵抗するため、本実験にて基礎データとしての引き抜き性能を確認している。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

● 理論式*

$$P_{max} = \begin{cases} \frac{f_v \pi R_t (E_w A_w + E_s A_s) \sinh kl}{k (E_s A_s \cosh kl + E_w A_w)} & (E_w A_w \leq E_s A_s) \\ \frac{f_v \pi R_t (E_w A_w + E_s A_s) \sinh kl}{k (E_w A_w \cosh kl + E_s A_s)} & (E_s A_s \leq E_w A_w) \end{cases} \quad \text{ここで、} \quad k = \sqrt{\Gamma \pi R_t \left(\frac{1}{E_w A_w} + \frac{1}{E_s A_s} \right)}$$

$$K_S = \begin{cases} \frac{\Gamma \pi R_t (E_w A_w + E_s A_s) \sinh kl}{k (E_s A_s \cosh kl + E_w A_w)} & (E_w A_w \leq E_s A_s) \\ \frac{\Gamma \pi R_t (E_w A_w + E_s A_s) \sinh kl}{k (E_w A_w \cosh kl + E_s A_s)} & (E_s A_s \leq E_w A_w) \end{cases}$$

P_{max} : LSB の最大引抜き荷重, K_S : すべり係数
 f_v : せん断強さ (実験より求める), Γ : せん断剛性係数, E : ヤング係数
 A : 有効断面積 (有効径による), l : 有効埋め込み長さ
 R_t : LSB の山径, 添え字 w : 母材, 添え字 s : LSB

※中谷 誠、森 拓郎、小松 幸平「ラグスクリーボルトと特殊金物を用いた木質ラーメン構造の柱 - 梁接合部に関する研究」日本建築学会構造系論文集、2008 年 4 月

● モデル化

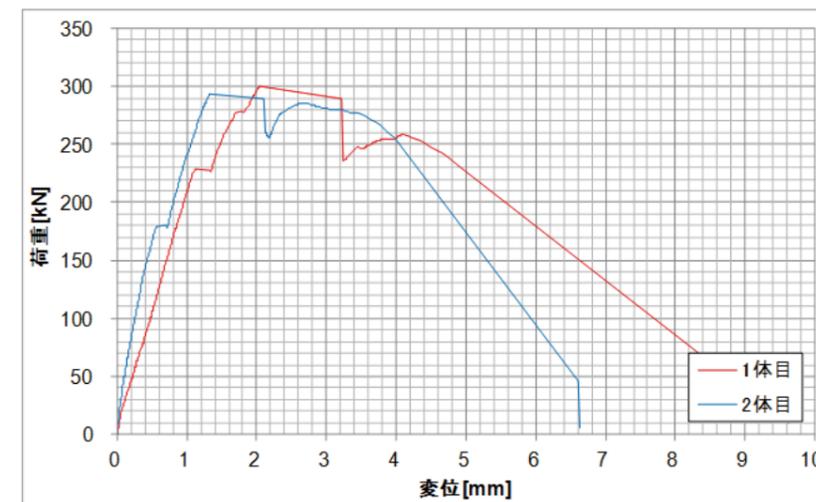
要素モデル



● 特性値

	1 体目	2 体目	Ave.
最大耐力 Pmax[kN]	300	293	297
LSB1 本あたり	75.0	73.3	74.1
初期剛性 K[kN/mm]	169	342	256
LSB1 本あたり	42.3	85.4	63.9

● 荷重変形



● 破壊性状

- ・ 1 体目 片側で木材端部の割裂が生じた後、逆側で高力ボルトの破断
- ・ 2 体目 片側で木材端部の割裂が生じた後、逆側で高力ボルトの破断

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
V
L

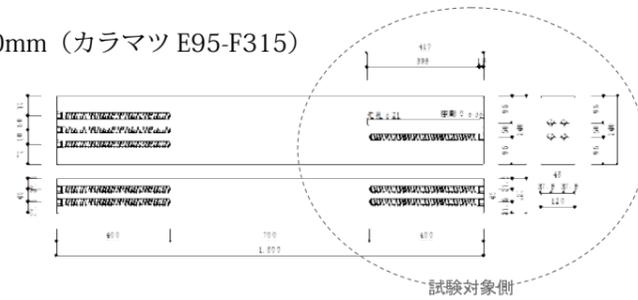
製材

合板

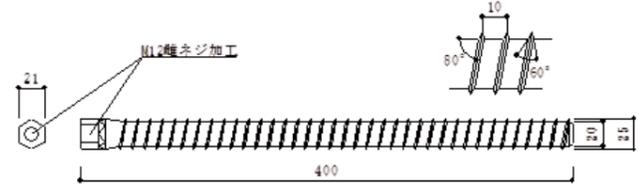
その他

● 姿図・寸法

【使用材料】 母材 1500mm × 120mm × 240mm (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

引張のみを伝達する接合部に使用する。せん断を受ける接合部に使用する際はラグスクリーボルトにせん断力を伝達しないようせん断キーを設ける。複数本配置する際は 2d 以上の接合確保し、所定の耐力低減係数を乗じる。低減係数などは研究成果をもとに 0.8 程度の値として提案されている。接合部が回転を生じた際には木材の割り裂き方向に対して力が作用することになり、2 次応力に対する引張抵抗能力の低下に注意する。

● 概要

木質ラーメン構法等で用いられる構造用集成材を用いた柱脚端部を想定している。実際の使用では、母材に埋め込まれた LSB の引き抜き抵抗によりモーメントに抵抗するため、本実験にて基礎データとしての引き抜き性能を確認している。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

● 理論式*

$$P_{max} = \begin{cases} \frac{f_v \pi R_t (E_w A_w + E_s A_s) \sinh kl}{k (E_s A_s \cosh kl + E_w A_w)} & (E_w A_w \leq E_s A_s) \\ \frac{f_v \pi R_t (E_w A_w + E_s A_s) \sinh kl}{k (E_w A_w \cosh kl + E_s A_s)} & (E_s A_s \leq E_w A_w) \end{cases} \quad \text{ここで、} \quad k = \sqrt{\Gamma \pi R_t \left(\frac{1}{E_w A_w} + \frac{1}{E_s A_s} \right)}$$

$$K_S = \begin{cases} \frac{\Gamma \pi R_t (E_w A_w + E_s A_s) \sinh kl}{k (E_s A_s \cosh kl + E_w A_w)} & (E_w A_w \leq E_s A_s) \\ \frac{\Gamma \pi R_t (E_w A_w + E_s A_s) \sinh kl}{k (E_w A_w \cosh kl + E_s A_s)} & (E_s A_s \leq E_w A_w) \end{cases}$$

P_{max} : LSB の最大引抜き荷重, K_S : すべり係数
 f_v : せん断強さ (実験より求める), Γ : せん断剛性係数, E : ヤング係数
 A : 有効断面積 (有効径による), l : 有効埋め込み長さ
 R_t : LSB の山径, 添え字 w : 母材, 添え字 s : LSB

*中谷 誠、森 拓郎、小松 幸平「ラグスクリーボルトと特殊金物を用いた木質ラーメン構造の柱 - 梁接合部に関する研究」日本建築学会構造系論文集、2008 年 4 月

● モデル化

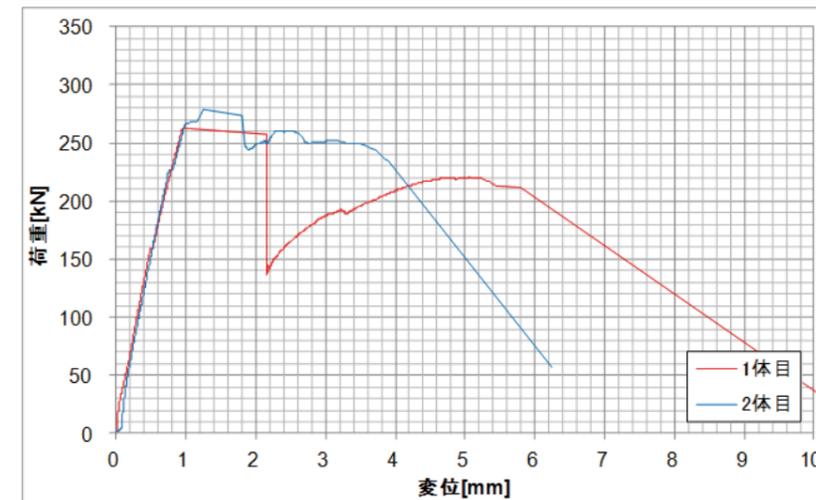
要素モデル



● 特性値

	1 体目	2 体目	Ave.
最大耐力 Pmax[kN]	263	279	271
LSB1 本あたり	65.6	69.8	67.8
初期剛性 K[kN/mm]	301	305	303
LSB1 本あたり	75.3	76.3	75.8

● 荷重変形

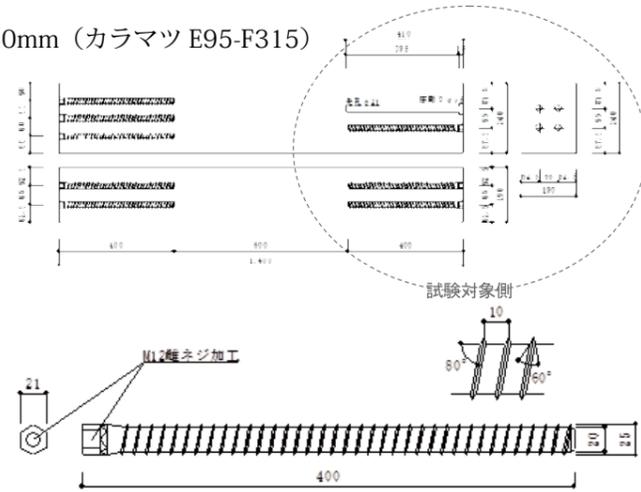


● 破壊性状

- ・ 1 体目 片側で木材端部の割裂が生じた後、逆側で高力ボルトの破断
- ・ 2 体目 片側で木材端部の割裂が生じた後、逆側で高力ボルトの破断

● 姿図・寸法

【使用材料】 母材 1400mm × 190mm × 240mm (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

引張のみを伝達する接合部に使用する。せん断を受ける接合部に使用する際はラグスクリーボルトにせん断力を伝達しないようせん断キーを設ける。複数本配置する際は 2d 以上の接合確保し、所定の耐力低減係数を乗じる。低減係数などは研究成果をもとに 0.8 程度の値として提案されている。接合部が回転を生じた際には木材の割り裂き方向に対して力が作用することになり、2 次応力に対する引張抵抗能力の低下に注意する。

● 概要

木質ラーメン構法等で用いられる構造用集成材を用いた柱脚端部を想定している。実際の使用では、母材に埋め込まれた LSB の引き抜き抵抗によりモーメントに抵抗するため、本実験にて基礎データとしての引き抜き性能を確認している。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

● 理論式*

$$P_{max} = \begin{cases} \frac{f_v \pi R_t (E_w A_w + E_s A_s) \sinh kl}{k (E_s A_s \cosh kl + E_w A_w)} & (E_w A_w \leq E_s A_s) \\ \frac{f_v \pi R_t (E_w A_w + E_s A_s) \sinh kl}{k (E_w A_w \cosh kl + E_s A_s)} & (E_s A_s \leq E_w A_w) \end{cases} \quad \text{ここで、} \quad k = \sqrt{\Gamma \pi R_t \left(\frac{1}{E_w A_w} + \frac{1}{E_s A_s} \right)}$$

$$K_S = \begin{cases} \frac{\Gamma \pi R_t (E_w A_w + E_s A_s) \sinh kl}{k (E_s A_s \cosh kl + E_w A_w)} & (E_w A_w \leq E_s A_s) \\ \frac{\Gamma \pi R_t (E_w A_w + E_s A_s) \sinh kl}{k (E_w A_w \cosh kl + E_s A_s)} & (E_s A_s \leq E_w A_w) \end{cases}$$

P_{max} : LSB の最大引抜き荷重, K_S : すべり係数
 f_v : せん断強さ (実験より求める), Γ : せん断剛性係数, E : ヤング係数
 A : 有効断面積 (有効径による), l : 有効埋め込み長さ
 R_t : LSB の山径, 添え字 w : 母材, 添え字 s : LSB

※中谷 誠、森 拓郎、小松 幸平「ラグスクリーボルトと特殊金物を用いた木質ラーメン構造の柱 - 梁接合部に関する研究」日本建築学会構造系論文集、2008 年 4 月

● モデル化

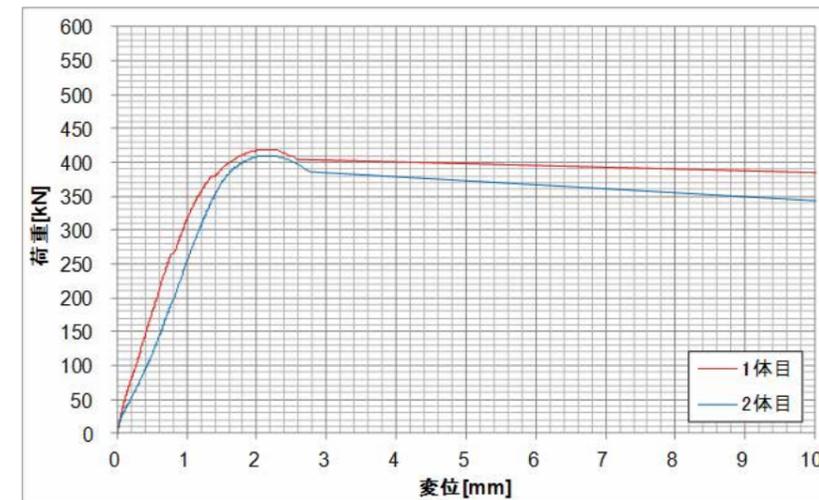
要素モデル



● 特性値

	1 体目	2 体目	Ave.
最大耐力 Pmax[kN]	419	410	415
LSB1 本あたり	105	102	104
初期剛性 K[kN/mm]	346	241	294
LSB1 本あたり	86.5	60.3	73.4

● 荷重変形

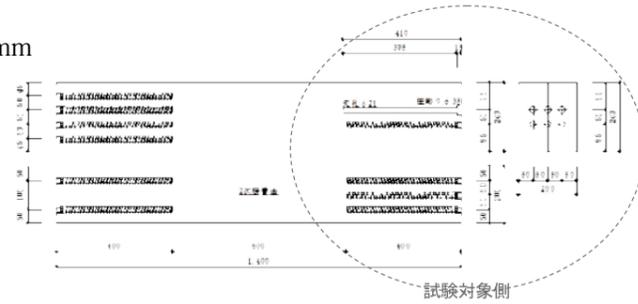


● 破壊性状

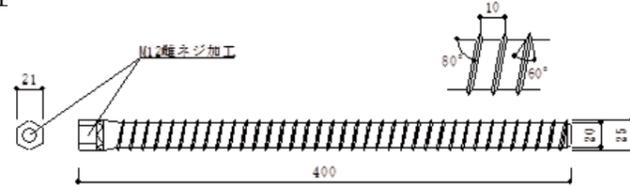
- ・ 1 体目 母材に目立った損傷が生じる前に、試験対象側の 4 本全ての高力ボルトが破断
- ・ 2 体目 母材に目立った損傷が生じる前に、試験対象側の 4 本全ての高力ボルトが破断

● 姿図・寸法

【使用材料】 母材 1400mm×200mm×240mm
(カラマツ E95-F315) (2次接着あり)



接合具 ラグスクリーボルト (I^{CD}) 425



● 適用条件

引張のみを伝達する接合部に使用する。せん断を受ける接合部に使用する際はラグスクリーボルトにせん断力を伝達しないようせん断キーを設ける。複数本配置する際は2d以上の接合確保し、所定の耐力低減係数を乗じる。低減係数などは研究成果をもとに0.8程度の値として提案されている。接合部が回転を生じた際には木材の割り裂き方向に対して力が作用することになり、2次応力に対する引張抵抗能力の低下に注意する。

● 概要

木質ラーメン構法等で用いられる構造用集成材を用いた柱脚端部を想定している。実際の使用では、母材に埋め込まれたLSBの引き抜き抵抗によりモーメントに抵抗するため、本実験にて基礎データとしての引き抜き性能を確認している。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

● 理論式*

$$P_{max} = \begin{cases} \frac{f_v \pi R_t (E_w A_w + E_s A_s) \sinh kl}{k (E_s A_s \cosh kl + E_w A_w)} & (E_w A_w \leq E_s A_s) \\ \frac{f_v \pi R_t (E_w A_w + E_s A_s) \sinh kl}{k (E_w A_w \cosh kl + E_s A_s)} & (E_s A_s \leq E_w A_w) \end{cases} \quad \text{ここで、}$$

$$k = \sqrt{\Gamma \pi R_t \left(\frac{1}{E_w A_w} + \frac{1}{E_s A_s} \right)}$$

$$K_S = \begin{cases} \frac{\Gamma \pi R_t (E_w A_w + E_s A_s) \sinh kl}{k (E_s A_s \cosh kl + E_w A_w)} & (E_w A_w \leq E_s A_s) \\ \frac{\Gamma \pi R_t (E_w A_w + E_s A_s) \sinh kl}{k (E_w A_w \cosh kl + E_s A_s)} & (E_s A_s \leq E_w A_w) \end{cases}$$

P_{max} : LSBの最大引抜き荷重, K_S : すべり係数
 f_v : せん断強さ(実験より求める), Γ : せん断剛性係数, E : ヤング係数
 A : 有効断面積(有効径による), l : 有効埋め込み長さ
 R_t : LSBの山径, 添え字 w : 母材, 添え字 s : LSB

*中谷 誠、森 拓郎、小松 幸平「ラグスクリーボルトと特殊金物を用いた木質ラーメン構造の柱-梁接合部に関する研究」日本建築学会構造系論文集、2008年4月

● モデル化

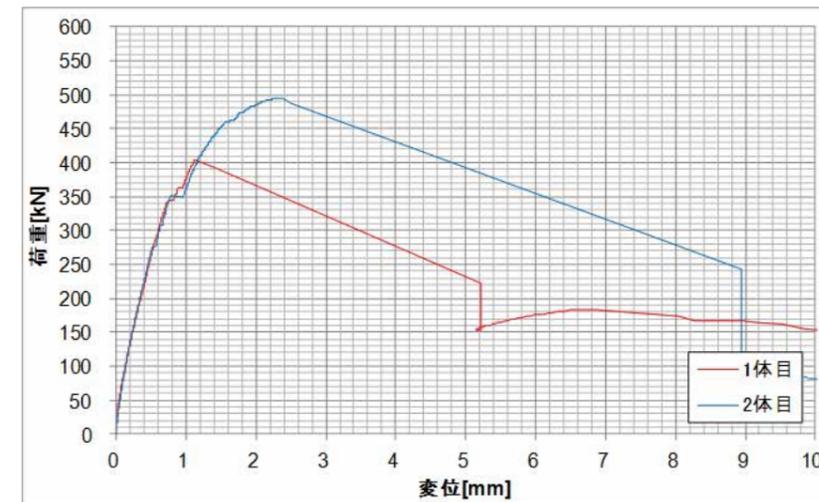
要素モデル



● 特性値

	1体目	2体目	Ave.
最大耐力 Pmax[kN]	403	494	449
LSB1本あたり	67.2	82.3	74.8
初期剛性 K[kN/mm]	522	488	505
LSB1本あたり	87.1	81.4	84.3

● 荷重変形



● 破壊性状

- ・1体目 片側で木材端部の割裂が生じた後、反力側端部まで割裂が進展
- ・2体目 木材端部に亀裂が生じた後、試験対象側の6本のLSBに囲われた部分の木材の集団型引き抜き破壊

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

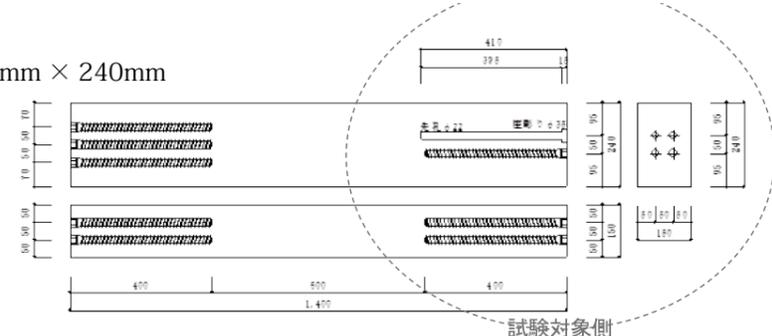
製材

合板

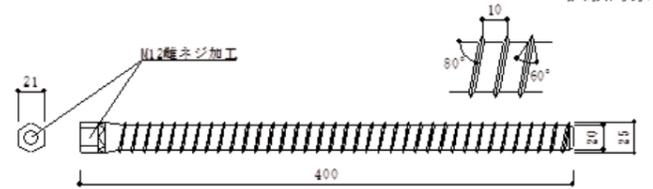
その他

● 姿図・寸法

【使用材料】 母材 1400mm × 150mm × 240mm
(カラマツ 120E-1 級 50V-43H)



接合具 ラグスクリーボルト



● 適用条件

引張のみを伝達する接合部に使用する。せん断を受ける接合部に使用する際はラグスクリーボルトにせん断力を伝達しないようせん断キーを設ける。複数本配置する際は 2d 以上の接合確保し、所定の耐力低減係数を乗じる。低減係数などは研究成果をもとに 0.8 程度の値として提案されている。接合部が回転を生じた際には木材の割り裂き方向に対して力が作用することになり、2 次応力に対する引張抵抗能力の低下に注意する。

● 概要

木質ラーメン構法等で用いられる構造用集成材を用いた柱脚端部を想定している。実際の使用では、母材に埋め込まれた LSB の引き抜き抵抗によりモーメントに抵抗するため、本実験にて基礎データとしての引き抜き性能を確認している。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

● 理論式*

$$P_{max} = \begin{cases} \frac{f_v \pi R_t (E_w A_w + E_s A_s) \sinh kl}{k (E_s A_s \cosh kl + E_w A_w)} & (E_w A_w \leq E_s A_s) \\ \frac{f_v \pi R_t (E_w A_w + E_s A_s) \sinh kl}{k (E_w A_w \cosh kl + E_s A_s)} & (E_s A_s \leq E_w A_w) \end{cases} \quad \text{ここで、}$$

$$k = \sqrt{\Gamma \pi R_t \left(\frac{1}{E_w A_w} + \frac{1}{E_s A_s} \right)}$$

$$K_s = \begin{cases} \frac{\Gamma \pi R_t (E_w A_w + E_s A_s) \sinh kl}{k (E_s A_s \cosh kl + E_w A_w)} & (E_w A_w \leq E_s A_s) \\ \frac{\Gamma \pi R_t (E_w A_w + E_s A_s) \sinh kl}{k (E_w A_w \cosh kl + E_s A_s)} & (E_s A_s \leq E_w A_w) \end{cases}$$

P_{max} : LSB の最大引抜き荷重, K_s : すべり係数
 f_v : せん断強さ (実験より求める), Γ : せん断剛性係数, E : ヤング係数
 A : 有効断面積 (有効径による), l : 有効埋め込み長さ
 R_t : LSB の山径, 添え字 w : 母材, 添え字 s : LSB

*中谷 誠、森 拓郎、小松 幸平「ラグスクリーボルトと特殊金物を用いた木質ラーメン構造の柱 - 梁接合部に関する研究」日本建築学会構造系論文集、2008 年 4 月

● モデル化

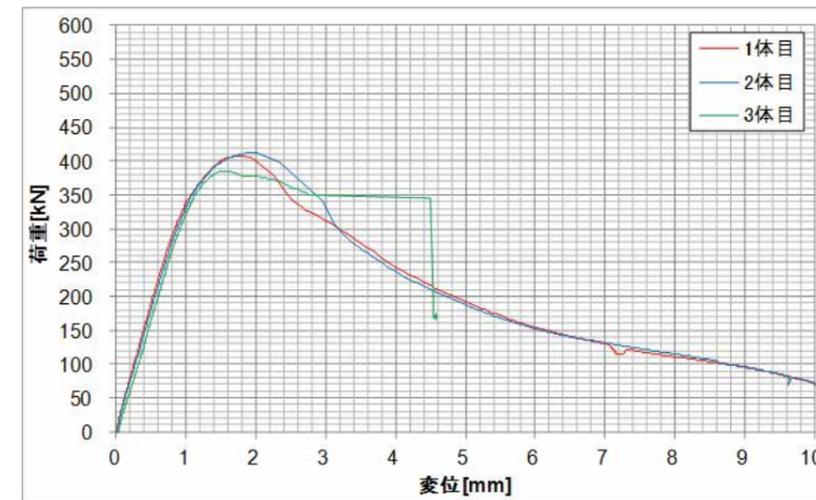
要素モデル



● 特性値

	1 体目	2 体目	3 体目	Ave.
最大耐力 Pmax[kN]	407	413	385	402
LSB1 本あたり	102	103	96.3	100
初期剛性 K[kN/mm]	370	352	332	351
LSB1 本あたり	92.5	88.0	83.3	87.8

● 荷重変形



● 破壊性状

- ・ 1 体目 片側で木材端部の割裂が生じた後、試験対象側の LSB4 本全てが引き抜ける
- ・ 2 体目 片側で木材端部の割裂が生じた後、試験対象側の LSB4 本全てが引き抜ける
- ・ 3 体目 片側で木材端部の割裂が生じた後、逆側で高力ボルトの破断

要材
素材

接合具

部組
材立

接合部

屋根

柱

梁

1
ブ
ス
レ

壁

床

集成材

L
V
L

製材

合板

その他

● 姿図・寸法

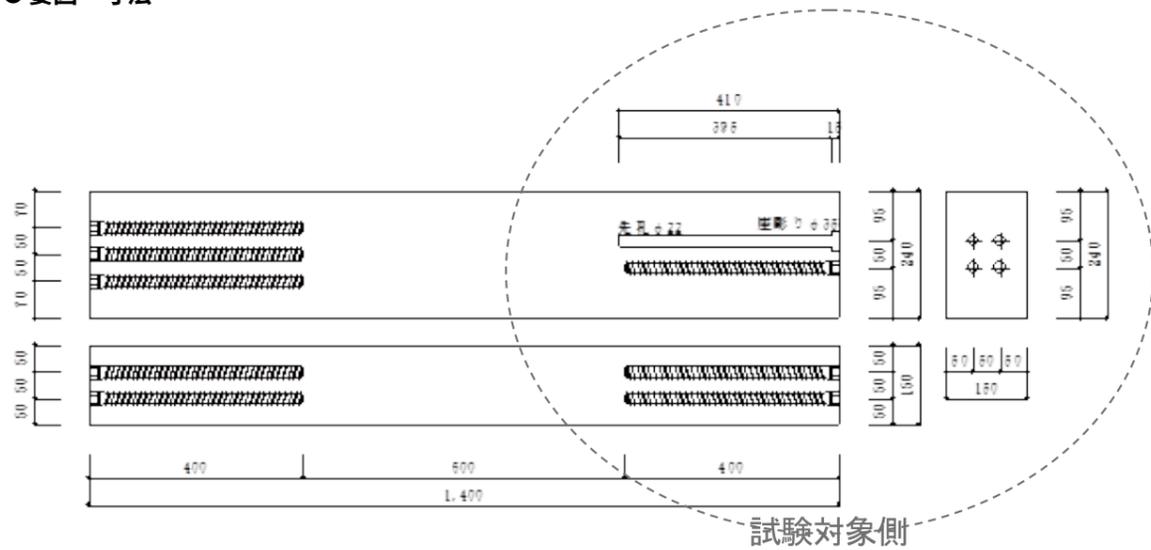


図 LSB-A-1

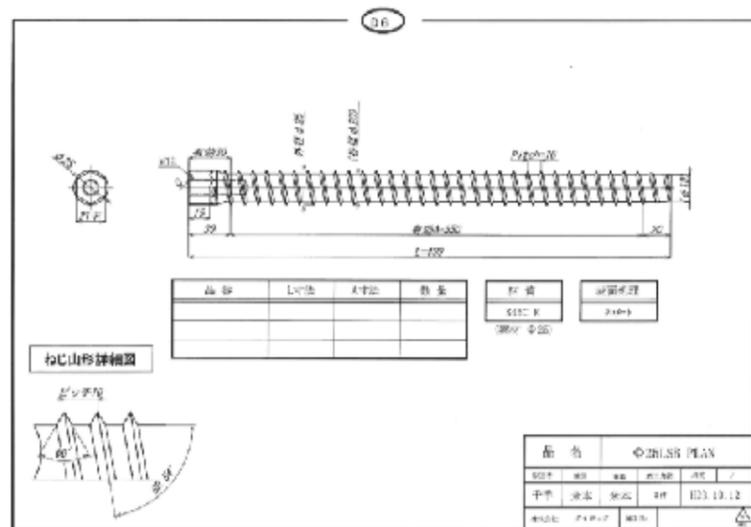


図 φ 25 ラグスクリーボルト (LSB)

【使用材料】

- 木材：樹種 = カラマツ単板積層材 (LVL) 120E-1 級 50V-43H
寸法 = 120 × 120 × L1,400 1 本
- 金物：φ 25 ラグスクリーボルト (LSB) 加力側：1 本、支持側：2 本 合計 3 本
M12 六角ボルト L=75 (強度区分 10.9) 合計 3 個
W4.5 × 40 座金 合計 3 枚

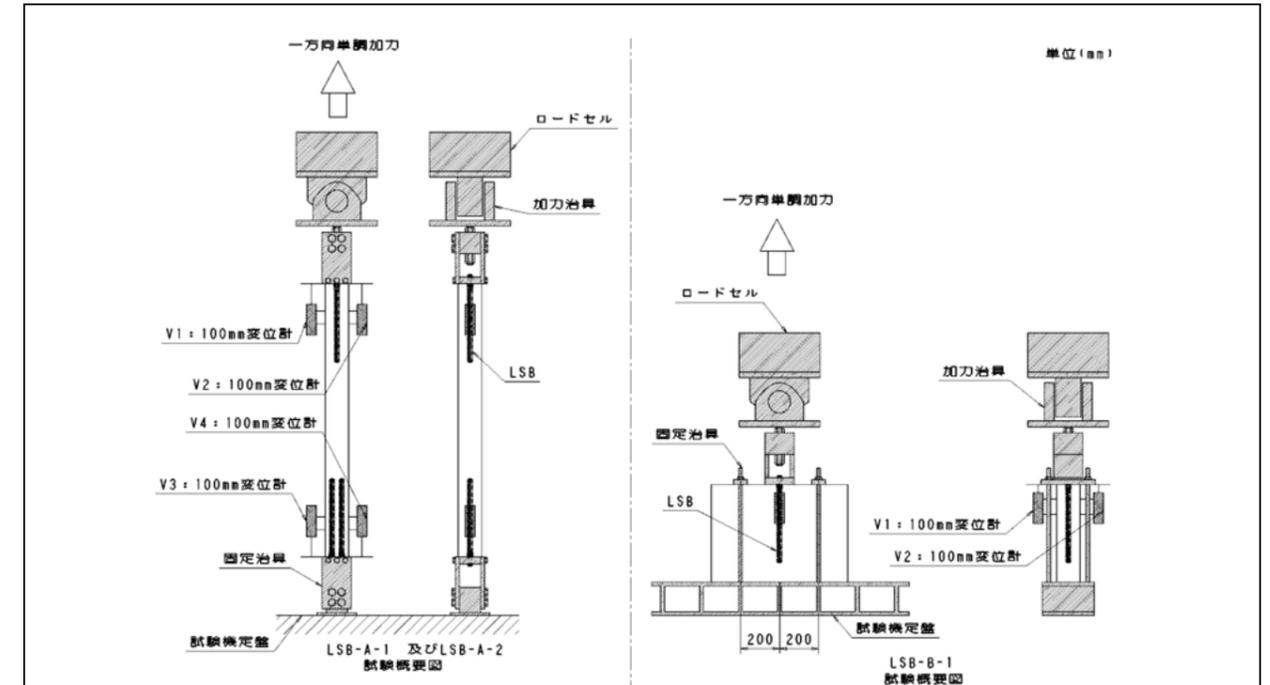


図 試験方法

● 適用条件

● 概要

柱脚部用の金物として LSB (Lug Screw Bolt) を用いて厚板 LVL (厚さ 150mm) を組み合わせることで S 造・RC 造の建築物にハイブリット構造部材として使うことが可能な高耐力の壁を設計しその性能を確認した。

● 接合具 (メーカー、入手方法等)

○ 木材接合金物

商品名 : φ 25 ラグスクリーボルト (LSB)、M12 六角ボルト L=50 (強度区分 10.9)

製造者 : 株式会社カネシン

販売者 : 株式会社カネシン

● 問い合わせ先 URL

www.kaneshin.co.jp/

● 理論式

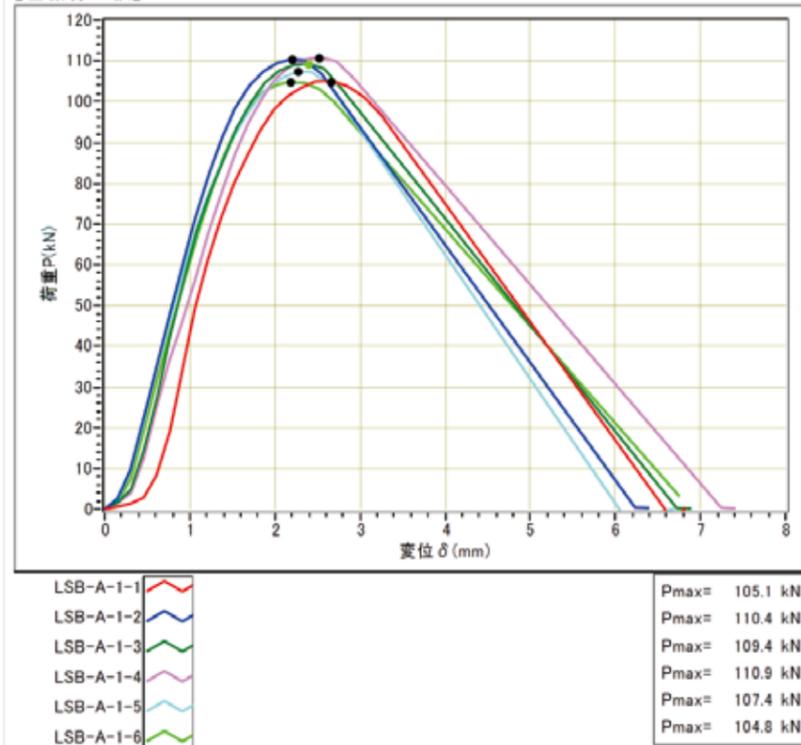
● 計算式

● 特性値

試験体記号	加力方法	最大荷重 Pm [kN]	最大荷重時変位 δ Pmax [mm]	破壊性状
LSB-A-1-1	一方向単調加力	105.06	2.66	M12 六角ボルト (強度区分 10.9) 破断
LSB-A-1-2		110.40	2.19	
LSB-A-1-3		109.36	2.39	
LSB-A-1-4		110.92	2.52	
LSB-A-1-5		107.36	2.27	
LSB-A-1-6		104.82	2.18	
平均		107.99	2.37	
標準偏差		2.66	0.19	

● 荷重変形

【包絡線比較】



● 破壊性状

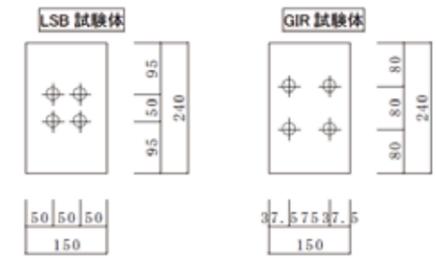
- LSB のめねじに入っているハイテンションボルト（土台への固定用金物）の引張り破壊による荷重低下が確認された。
- 高い耐力が確認されたが、変形性能は低かった。

● 参考データ

GIR と LSB の比較

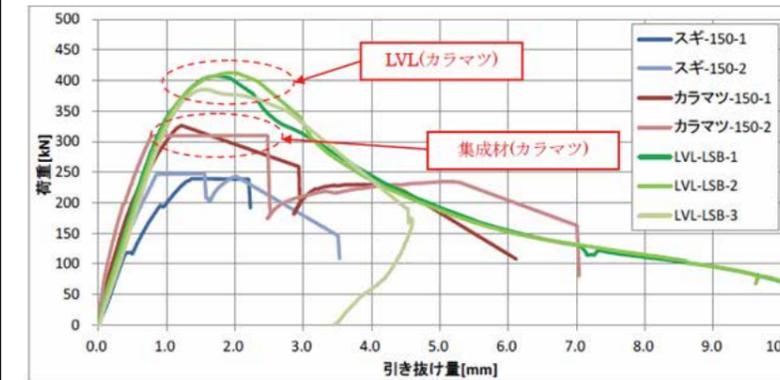
表 試験体一覧

試験体記号	樹種	強度等級	高さ [mm]	断面寸法 [mm]	端あき [mm]	対象側接合具本数	試験体数
LSB 試験体	カラマツ	120E-1 級	1400	150×240	2d(50)	4	3
GIR 試験体			1000	150×240	1.5d(37.5)	4	3



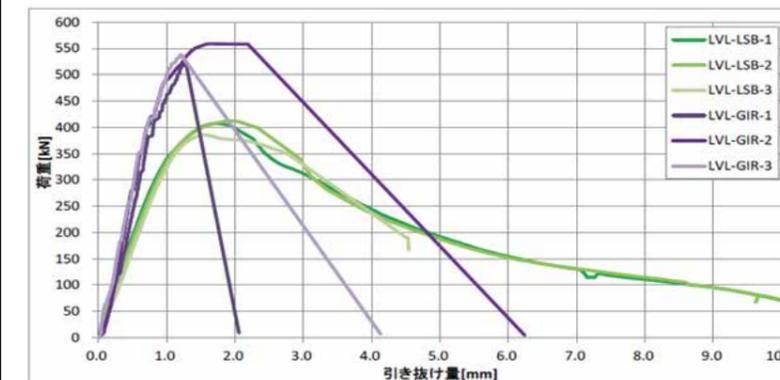
特性値

	Pmax (kN)		K		δ Pmax (mm)
	全体	1 本あたり	(kN/mm)	1 本あたり	
GIR ①	524	131	528	132	1.48
GIR ②	559	139.8	698	174.5	1.61
GIR ③	539	134.8	663	165.8	1.21
LSB ①	407	101.8	370	92.5	1.72
LSB ②	413	103.3	352	88	1.91
LSB ③	385	96.3	332	83.3	1.55



集成材と LVL の比較 (同様の LSB 配置) 150×240

- LSB の引き抜き性能は LVL との組み合わせが集成材より高かった
- 金物同士の比較では、GIR が LSB より高い引き抜き性能を持つ



同断面 150×240 における LSB(φ25) と GIR(M24) の比較

- 金物の比較では、GIR の方の引き抜き耐力が高い
- 靱性は周囲材が割れながら引き抜きが生じた LSB の方が高い

● 姿図・寸法

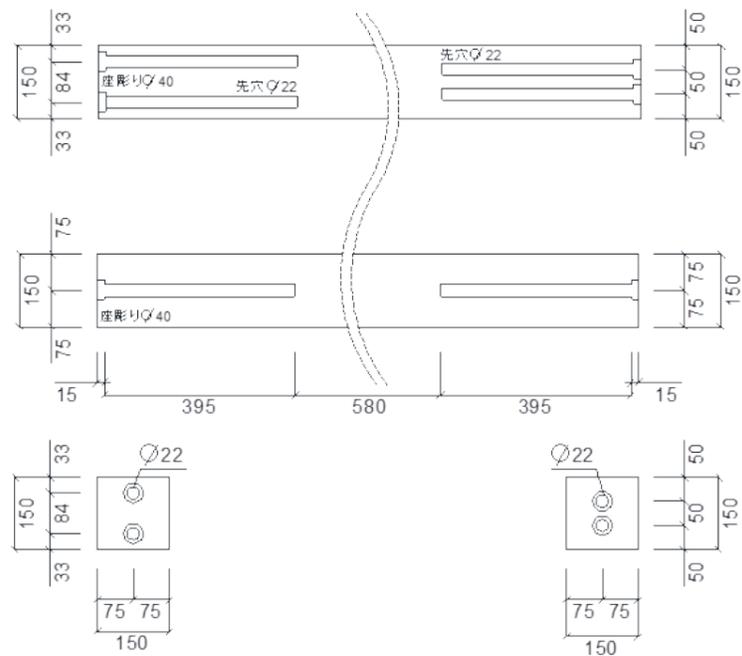


図 LSB-A-s-2

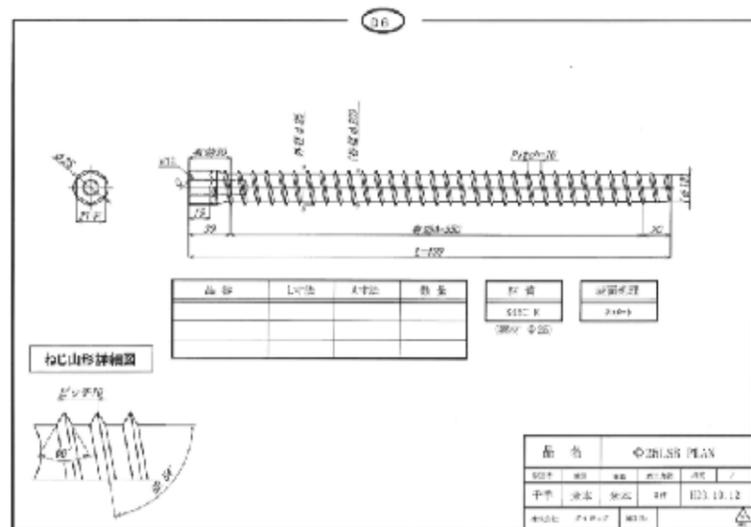


図 φ 25 ラグスクリーボルト (LSB)

【使用材料】

- ・ 木材：樹種 = カラマツ単板積層材 (LVL) 120E-1 級 50V-43H
寸法 = 150 × 150 × L1,400 1 本
- ・ 金物：φ 25 ラグスクリーボルト (LSB) 加力側：2 本、支持側：2 本 合計 4 本
M12 六角ボルト L=75 (強度区分 10.9) 合計 4 個
W4.5 × 40 座金 合計 4 枚

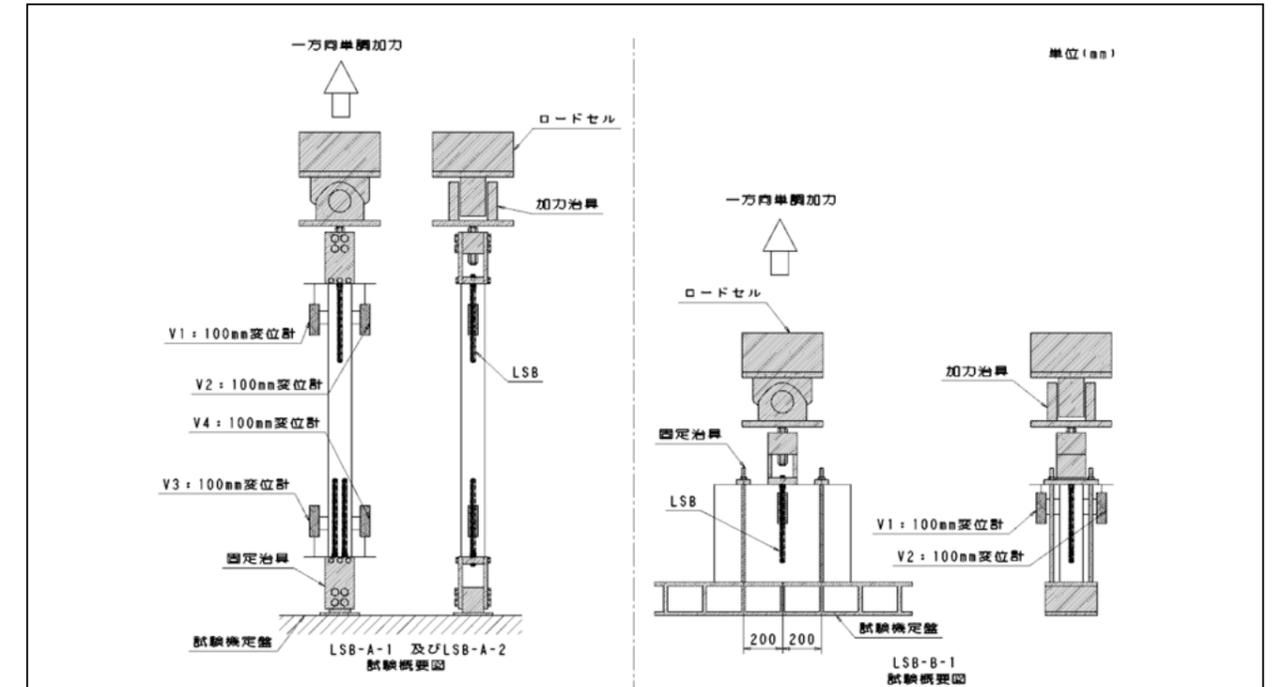


図 試験方法

● 適用条件

● 概要

柱脚部用の金物として LSB (Lug Screw Bolt) を用いて厚板 LVL (厚さ 150mm) を組み合わせることで S 造・RC 造の建築物にハイブリット構造部材として使うことが可能な高耐力の壁を設計しその性能を確認した。

● 接合具 (メーカー、入手方法等)

○ 木材接合金物

商品名 : φ 25 ラグスクリーボルト (LSB)、M12 六角ボルト L=50 (強度区分 10.9)

製造者 : 株式会社カネシン

販売者 : 株式会社カネシン

● 問い合わせ先 URL

www.kaneshin.co.jp/

● 理論式

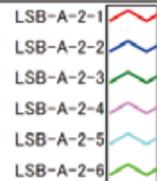
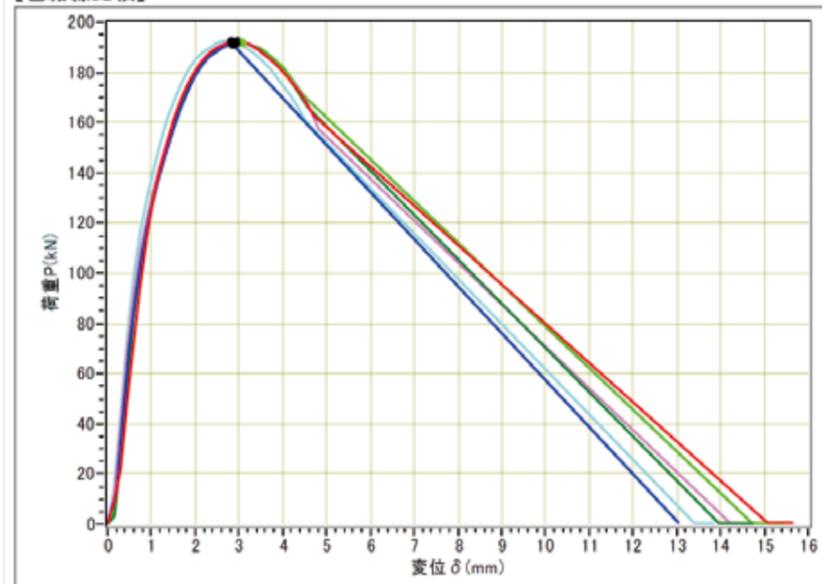
● 計算式

● 特性値

試験体記号	加力方法	最大荷重 Pm [kN]	最大荷重時変位 δ Pmax [mm]	破壊性状
LSB-A-2-1	一方向単調加力	192.17	2.92	M12 六角ボルト (強度区分 10.9) 破断
LSB-A-2-2		191.22	2.86	
LSB-A-2-3		191.99	3.07	
LSB-A-2-4		192.35	2.95	
LSB-A-2-5		192.49	2.80	
LSB-A-2-6		192.06	2.97	
平均		192.05	2.93	
標準偏差		0.45	0.09	

● 荷重変形

【包絡線比較】



● 破壊性状

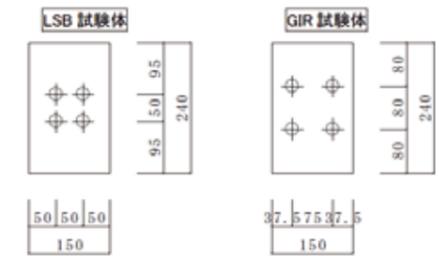
- LSB のめねじに入っているハイテンションボルト（土台への固定用金物）の引張り破壊による荷重低下が確認された。
- 高い耐力が確認されたが、変形性能は低かった。

● 参考データ

GIR と LSB の比較

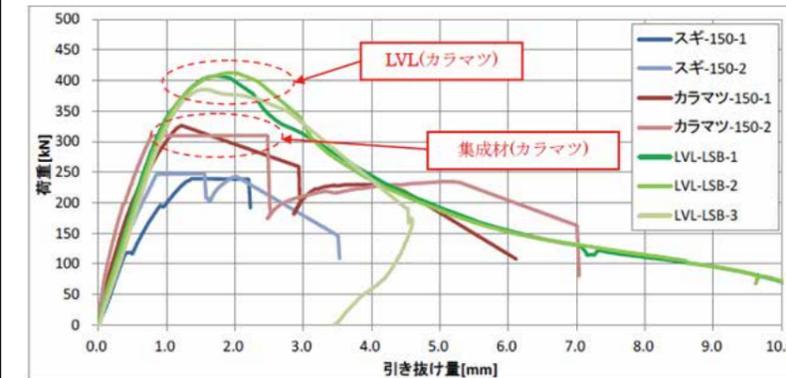
表 試験体一覧

試験体記号	樹種	強度等級	高さ [mm]	断面寸法 [mm]	端あき [mm]	対象側 接合具本数	試験体数
LSB 試験体	カラマツ	120E-1 級	1400	150×240	2d(50)	4	3
GIR 試験体			1000	150×240	1.5d(37.5)	4	3



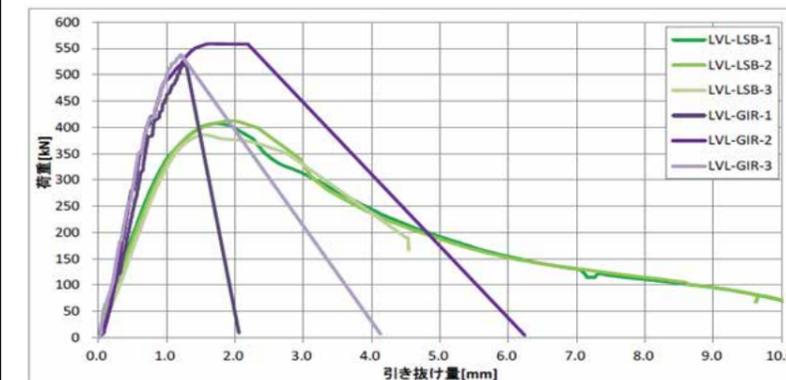
特性値

	Pmax (kN)		K		δ Pmax (mm)
	全体	1 本あたり	(kN/mm)	1 本あたり	
GIR ①	524	131	528	132	1.48
GIR ②	559	139.8	698	174.5	1.61
GIR ③	539	134.8	663	165.8	1.21
LSB ①	407	101.8	370	92.5	1.72
LSB ②	413	103.3	352	88	1.91
LSB ③	385	96.3	332	83.3	1.55



集成材と LVL の比較 (同様の LSB 配置) 150×240

- LSB の引き抜き性能は LVL との組み合わせが集成材より高かった
- 金物同士の比較では、GIR が LSB より高い引き抜き性能を持つ



同断面 150×240 における LSB(φ25) と GIR(M24) の比較

- 金物の比較では、GIR の方の引き抜き耐力が高い
- 靱性は周囲材が割れながら引き抜きが生じた LSB の方が高い

● 姿図・寸法

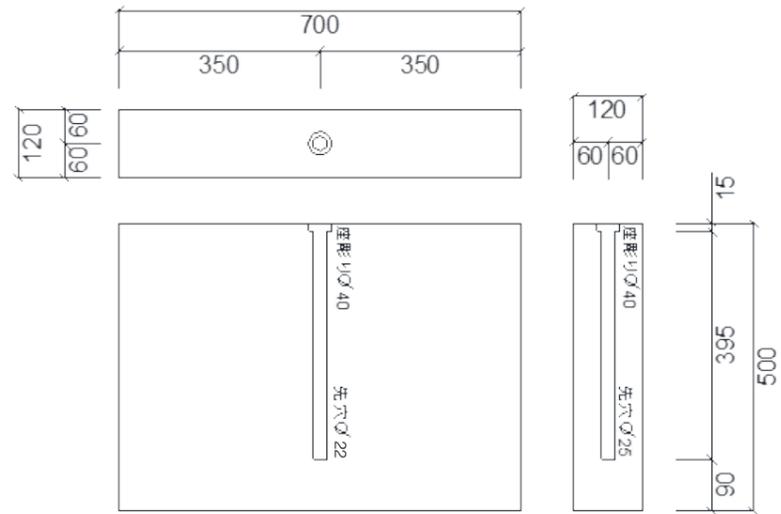


図 LSB-B-1

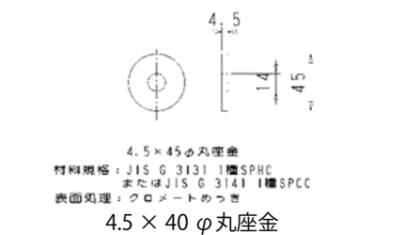
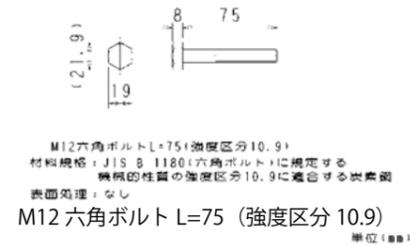
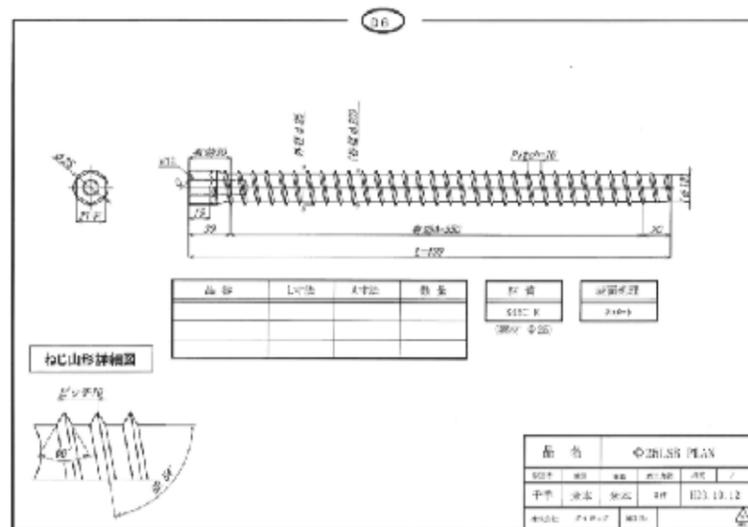


図 φ 25 ラグスクリューボルト (LSB)

【使用材料】

- ・ 木材: 樹種 = カラマツ単板積層材 (LVL) 120E-1 級 50V-43H
 寸法 = 120 × 500 × L700 1 本
- ・ 金物: φ 25 ラグスクリューボルト (LSB) 1 本
 M12 六角ボルト L=75 (強度区分 10.9) 1 個
 W4.5 × 40 座金 1 枚

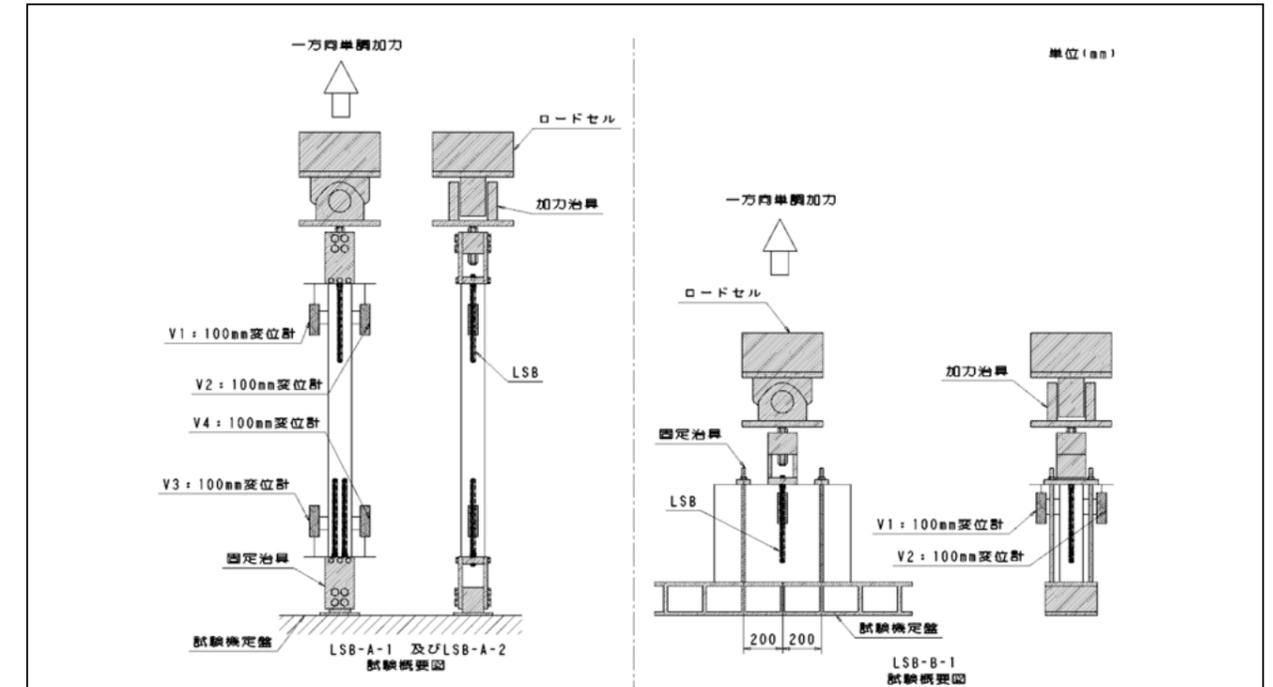


図 試験方法

● 適用条件

● 概要

柱脚部用の金物として LSB (Lug Screw Bolt) を用いて厚板 LVL (厚さ 150mm) を組み合わせることで S 造・RC 造の建築物にハイブリット構造部材として使うことが可能な高耐力の壁を設計しその性能を確認した。

● 接合具 (メーカー、入手方法等)

○ 木材接合金物

商品名 : φ 25 ラグスクリューボルト (LSB)、M12 六角ボルト L=50 (強度区分 10.9)

製造者 : 株式会社カネシン

販売者 : 株式会社カネシン

● 問い合わせ先 URL

www.kaneshin.co.jp/

● 理論式

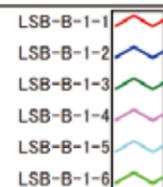
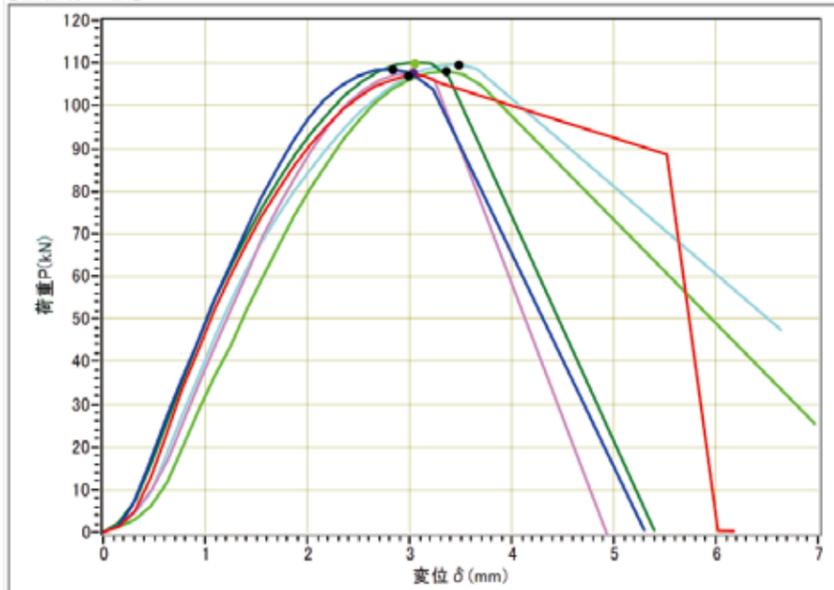
● 計算式

● 特性値

試験体記号	加力方法	最大荷重 Pm [kN]	最大荷重時変位 δ Pmax [mm]	破壊性状
LSB-B-1-1	一方向単調加力	107.09	2.98	M12 六角ボルト (強度区分 10.9) 破断
LSB-B-1-2		108.56	2.83	
LSB-B-1-3		110.17	3.04	
LSB-B-1-4		107.70	3.03	
LSB-B-1-5		109.71	3.48	
LSB-B-1-6		108.14	3.36	
平均		108.56	3.12	
標準偏差		1.18	0.25	

● 荷重変形

【包絡線比較】



Pmax =	107.1 kN
Pmax =	108.6 kN
Pmax =	110.2 kN
Pmax =	107.7 kN
Pmax =	109.7 kN
Pmax =	108.1 kN

● 破壊性状

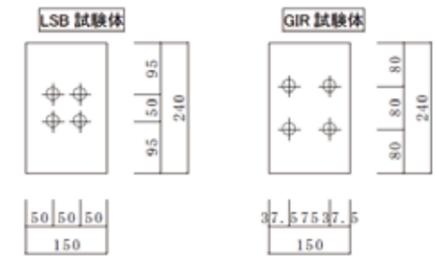
- LSB のめねじに入っているハイテンションボルト (土台への固定用金物) の引張り破壊による荷重低下が確認された。
- 高い耐力が確認されたが、変形性能は低かった。

● 参考データ

GIR と LSB の比較

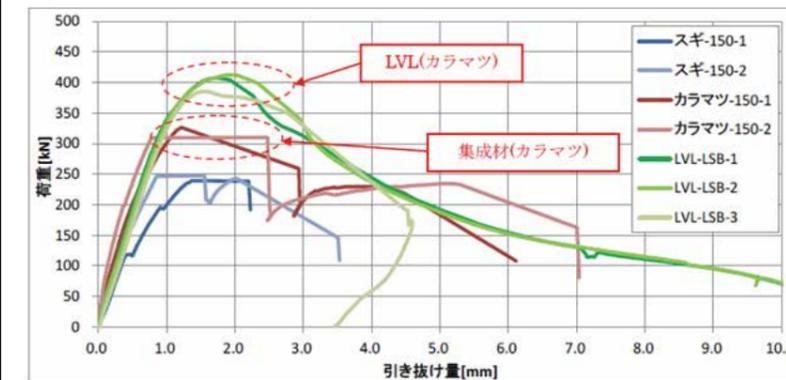
表 試験体一覧

試験体記号	樹種	強度等級	高さ [mm]	断面寸法 [mm]	端あき [mm]	対象側接合具本数	試験体数
LSB 試験体	カラマツ	120E-1 級	1400	150×240	2d(50)	4	3
GIR 試験体			1000	150×240	1.5d(37.5)	4	3



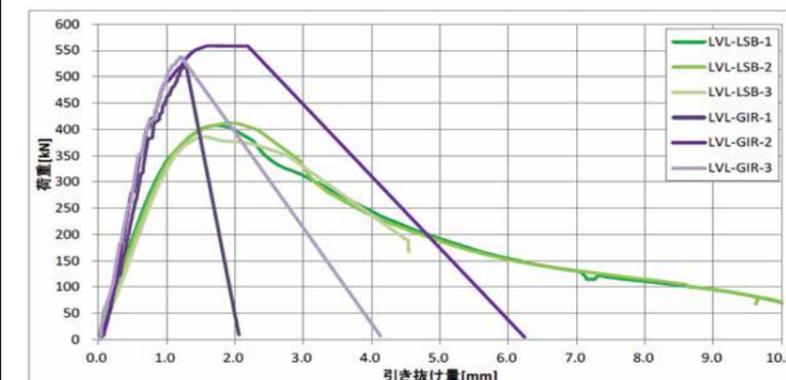
特性値

	Pmax (kN)		K		δ Pmax (mm)
	全体	1 本あたり	(kN/mm)	1 本あたり	
GIR ①	524	131	528	132	1.48
GIR ②	559	139.8	698	174.5	1.61
GIR ③	539	134.8	663	165.8	1.21
LSB ①	407	101.8	370	92.5	1.72
LSB ②	413	103.3	352	88	1.91
LSB ③	385	96.3	332	83.3	1.55



集成材と LVL の比較 (同様の LSB 配置) 150×240

- LSB の引き抜き性能は LVL との組み合わせが集成材より高かった
- 金物同士の比較では、GIR が LSB より高い引き抜き性能を持つ



同断面 150×240 における LSB(φ25) と GIR(M24) の比較

- 金物の比較では、GIR の方の引き抜き耐力が高い
- 靱性は周囲材が割れながら引き抜きが生じた LSB の方が高い

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場合や引き抜きを生じる柱脚接合部に用いる多数本打ちラグスクリューボルトの引き抜き性能である。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ラグスクリュー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

高い耐力の伝達が可能な接合部であるが、母材引張強度以上の接合部は現段階では難しい。引張の変形全体変形に対して占める割合が大きい接合部の場合には軸力バネとして表現する。

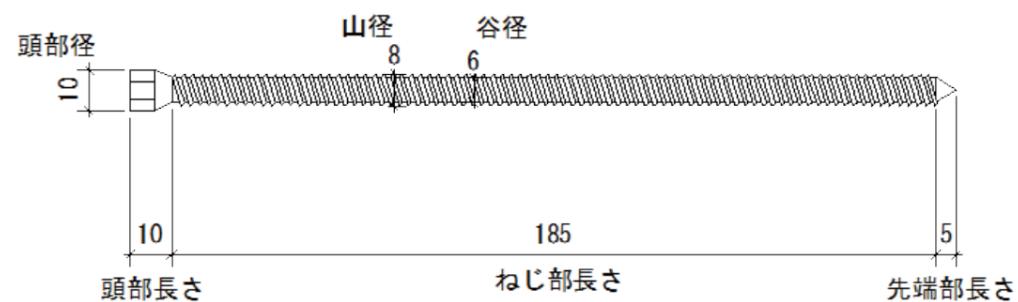
バリエーション

柱脚部接合、筋かい端部接合、梁端部接合、トラス接合部などに用いることが可能である。

一般的な木造住宅から大規模木造建築まで、様々な構造において用いられている。使用部位としては、下地材、根太、垂木、床板、接合金物など多岐にわたる。

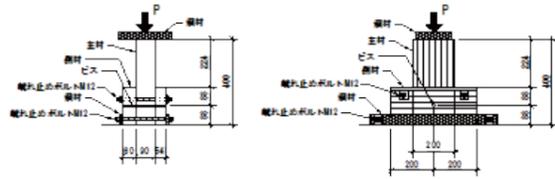
一般的に、ねじ接合はおねじ及びめねじから形成される。ボルト・ナットの場合、おねじとめねじはともに部品として作られるため、あらかじめ形状を一致させる必要がある。そのため JIS 規格に準じた製品がほとんどとなる。しかし、木材用のビスの場合、めねじはビスの打ち込み時に形成されるため、おねじの形状は比較的自由となる。そのため、さまざまな用途に応じたビスがメーカーごとに開発されている。

今回の実験に用いたビスは、東日本パワーファスニング株式会社製パネリード X である。その寸法、形状を下図に示す。構造用に用いるビスを選定する際には、ねじ山径と長さだけでなく、様々な因子を総合的に判断することが重要である。



ビス各部の寸法 (パネリード X)

● 姿図・寸法



【使用材料】

主材 200mm × 90mm、側材① 176mm × 60mm、
側材② 176mm × 54mm (カラマツ E105-F300)
接合具 長ビス (パネリード X) φ 8

● 適用条件

ビスの径を d として、端距離 ≥ 7d、縁距離 ≥ 4d を守る。

● 概要

パネリード X の 2 面せん断試験を行った。主材、側材の繊維方向に対する加力の方向をパラメータにとり、主材に対する加力方向が 0° のタイプ a (本仕様) は 12 体、90° のタイプ b は 7 体用意した。試験体仕様は合計 2 パターン、総試験体数は 19 体である。両タイプとも主材と側材の繊維方向は直交している。

● 接合具 (メーカー、入手方法等)

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

東大農学部木質材料学研究室 TEL: 03-5841-5253

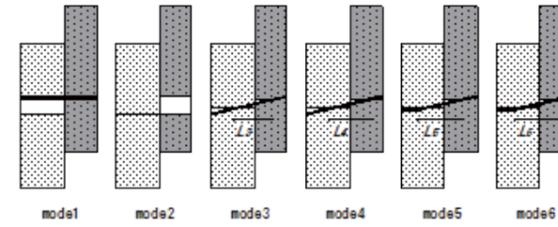
● 理論式

木質構造接合部設計マニュアルの構造用ビスの項に従い、ビス 2 面せん断の 1 本あたりの剛性、降伏耐力を計算する。マニュアルでは 1 面せん断の推定式しか示されていないため、長ビスを主材の中心で 2 本に分け、両側からビスを打ち込んだ 2 か所の 1 面せん断として考えた。表裏それぞれで 1 面せん断の剛性、耐力を計算し、2 面せん断の剛性は両者の和、耐力は両者のうちで小さい方とした。

● 計算式

ビス	主材における有効径		側材における有効径		タイプa		タイプb	
	d1 (mm)	d2 (mm)	d1 (mm)	d2 (mm)	0	90	0	90
ビス	ヤング係数	E	N/mm ²	20500	主材側の曲げ角度	θ1 度	主材側の曲げ角度	θ2 度
	全塑性モーメント	Mp	Nmm	5510	側材側の曲げ角度	θ2 度	90	90
	材料間の静止摩擦係数	μ		0.8	主材側の面圧降伏応力	Fe1 (N/mm ²)	≠Fe01	≠Fe901
	初期軸力	Pax-ini	(N)	=min(Phead-ini, Ppull)	側材側の面圧降伏応力	Fe2 (N/mm ²)	≠Fe902	≠Fe02
	頭部のめり込み抵抗	Phead	(N)	2020	面圧降伏応力の比	β	$\frac{Fe1}{Fe2}$	
	引き抜き抵抗	Ppull	(N)	2450	主材側の面圧定数	ke1 (N/mm ³)	$\frac{ke1}{21.8 \cdot 10.9d}$	$\frac{ke1}{21.8 \cdot 10.9d \cdot \frac{1}{2}}$
	摩擦力	PF	(N)	=μ × Pax-ini	側材側の面圧定数	ke2 (N/mm ³)	$\frac{ke2}{21.8 \cdot 10.9d \cdot \frac{1}{2}}$	$\frac{ke2}{21.8 \cdot 10.9d}$
	曲げ強度	Fbf	(N/mm ²)	235	面圧定数の比	γ	$\frac{ke1}{ke2}$	
	主材 (柱) カラマツ E105-F300	ヤング係数	E01	(N/mm ²)	10500	主材側の有効剛体長さ	te1f (mm)	$\min\left(\frac{e \cdot d1 \cdot \gamma}{ke1}, \frac{e \cdot d1}{ke1}\right)$
		繊維方向面圧降伏応力	Fe01	(N/mm ²)	25.4	側材側の有効剛体長さ	te2f (mm)	$\min\left(\frac{e \cdot d2 \cdot \gamma}{ke2}, \frac{e \cdot d2}{ke2}\right)$
進行方向面圧降伏応力		Fe901	(N/mm ²)	12.7	初期剛性	Ks (N/mm)	$\frac{4E \cdot I \cdot \sin^2(\theta)}{L^3 \cdot (1 + \cos^2(\theta))} \cdot 0.9$	
繊維方向面圧定数		ke01	(N/mm ³)	≠ke01/(3.16+10.9×d1)	接合具の回転中心距離or塑性ヒンジ距離 (mm) Ln	Ln (mm)	$\frac{2L_n}{3} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2 \cdot d1 \cdot \gamma \cdot (2d1 + d2)}{L_n \cdot (1 + \cos^2(\theta))}}}$	
進行方向面圧定数		ke901	(N/mm ³)	≠ke01/3.4			$\frac{2L_n}{3} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2 \cdot d2 \cdot \gamma \cdot (2d2 + d1)}{L_n \cdot (1 + \cos^2(\theta))}}}$	
厚さ	t1	(mm)	45	ビス1面せん断接合の降伏耐力 Pyf (N)	Pyf (N)	$\min\left(\frac{10 \cdot F_{bf} \cdot d1}{2 \cdot F_{bf} \cdot d1 + 4 \cdot PF}, \frac{2 \cdot F_{bf} \cdot d1 \cdot \gamma}{2 \cdot F_{bf} \cdot d1 \cdot \gamma + 4 \cdot PF}, \frac{2 \cdot F_{bf} \cdot d1 \cdot \gamma}{2 \cdot F_{bf} \cdot d1 \cdot \gamma + 4 \cdot PF} \cdot (2d1 - d1)\right)$		
側材 (梁) カラマツ E105-F300	ヤング係数	E02	(N/mm ²)			10500	$\min\left(\frac{10 \cdot F_{bf} \cdot d2}{2 \cdot F_{bf} \cdot d2 + 4 \cdot PF}, \frac{2 \cdot F_{bf} \cdot d2 \cdot \gamma}{2 \cdot F_{bf} \cdot d2 \cdot \gamma + 4 \cdot PF}, \frac{2 \cdot F_{bf} \cdot d2 \cdot \gamma}{2 \cdot F_{bf} \cdot d2 \cdot \gamma + 4 \cdot PF} \cdot (2d2 - d1)\right)$	
	繊維方向面圧降伏応力	Fe02	(N/mm ²)			25.4	$\frac{10 \cdot F_{bf} \cdot d1}{2 \cdot F_{bf} \cdot d1 + 4 \cdot PF} \cdot \frac{d1}{d2}$	
	進行方向面圧降伏応力	Fe902	(N/mm ²)			12.7	$\frac{10 \cdot F_{bf} \cdot d2}{2 \cdot F_{bf} \cdot d2 + 4 \cdot PF} \cdot \frac{d2}{d1}$	
	繊維方向面圧定数	ke02	(N/mm ³)			≠ke02/(3.16+10.9×d2)	$\frac{10 \cdot F_{bf} \cdot d1}{2 \cdot F_{bf} \cdot d1 + 4 \cdot PF} \cdot \frac{d1}{d2} \cdot \frac{1}{\gamma}$	
進行方向面圧定数	ke902	(N/mm ³)	≠ke02/3.4					
厚さ	t2	(mm)	80	降伏変位 δy (mm)	δy (mm)	$\frac{P}{K}$		
EYT式用	有効径比	α		≧2.1	Pyf+PF (N)	Pyf+PF		
	材料厚さの比	My	(Nmm)	≧2 × Fbf				

● モデル化

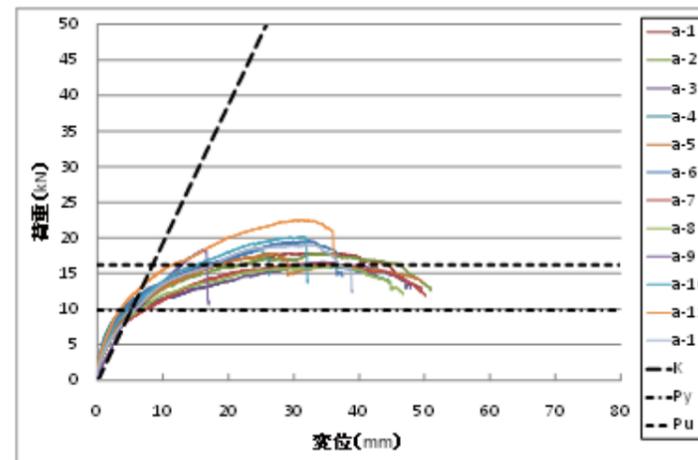


ビス 1 面せん断の各降伏モード

● 特性値

		ρ (g/cm ³)	K (kN/mm)	Pmax (kN)	Py (kN)	δy (mm)	Pu (kN)	δu (mm)
0° /90° タイプ a	a-1	0.50	2.12	17.91	10.09	4.76	16.54	46.67
	a-2	0.50	1.54	17.85	10.65	6.93	16.44	48.88
	a-3	0.52	1.84	16.57	9.29	5.06	14.66	47.11
	a-4	0.53	2.65	18.53	9.85	3.72	15.66	26.13
	a-5	0.49	1.83	17.78	9.53	5.22	15.75	48.83
	a-6	0.49	2.19	19.56	10.87	4.96	17.32	36.50
	a-7	0.49	1.82	16.38	8.22	4.52	14.76	48.64
	a-8	0.48	1.69	16.01	9.25	5.49	14.72	44.86
	a-9	0.48	1.95	18.31	8.75	4.49	15.11	16.72
	a-10	0.64	1.86	20.12	10.65	5.72	17.95	31.90
	a-11	0.59	2.30	22.50	11.72	5.09	19.91	36.00
	a-12	0.62	1.61	19.00	10.81	6.72	17.42	38.75
Ave.	0.53	1.95	18.38	9.97	5.22	16.35	39.25	
S.D.	0.05	0.30	1.72	0.97	0.87	1.52	9.89	
90° /0°	b-1	0.50	1.95	17.53	9.66	4.95	16.50	45.37
	b-2	0.49	2.09	16.10	8.58	4.11	14.61	68.83
	b-3	0.51	2.29	16.72	8.54	3.73	14.70	63.26
	b-4	0.52	2.27	17.85	9.71	4.28	16.63	36.36
	b-5	0.49	1.92	19.31	10.88	5.66	17.84	33.42
	b-6	0.48	1.68	16.66	9.35	5.57	15.12	54.26
	b-7	0.51	2.01	14.82	7.84	3.89	13.31	55.31
Ave.	0.49	2.03	17.00	9.22	4.60	15.53	50.97	
S.D.	0.14	0.20	1.31	0.92	0.74	1.42	12.26	
a b Ave.	0.51	1.99	17.69	9.60	4.91	15.94	45.11	

● 荷重変形

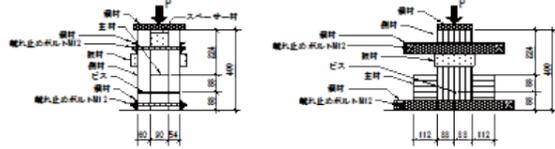


● 破壊性状

・ビスの終局、破断。ビス先端の抜け。
(a-4)



● 姿図・寸法



【使用材料】

主材 200mm × 90mm、側材① 176mm × 60mm、
側材② 176mm × 54mm (カラマツ E105-F300)
接合具 長ビス (パネリード X) φ 8

● 適用条件

ビスの径を d として、端距離 ≥ 7d、縁距離 ≥ 4d を守る。

● 概要

パネリード X の 2 面せん断試験を行った。主材、側材の繊維方向に対する加力の方向をパラメータにとり、主材に対する加力方向が 0° のタイプ a は 12 体、90° のタイプ b (本仕様) は 7 体用意した。試験体仕様は合計 2 パターン、総試験体数は 19 体である。両タイプとも主材と側材の繊維方向は直交している。

● 接合具 (メーカー、入手方法等)

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

東大農学部木質材料学研究室 TEL: 03-5841-5253

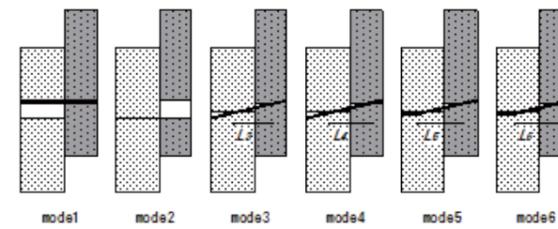
● 理論式

木質構造接合部設計マニュアルの構造用ビスの項に従い、ビス 2 面せん断の 1 本あたりの剛性、降伏耐力を計算する。マニュアルでは 1 面せん断の推定式しか示されていないため、長ビスを主材の中心で 2 本に分け、両側からビスを打ち込んだ 2 か所の 1 面せん断として考えた。表裏それぞれで 1 面せん断の剛性、耐力を計算し、2 面せん断の剛性は両者の和、耐力は両者のうちで小さい方とした。

● 計算式

ビス	主材における有効径		側材における有効径		タイプ a		タイプ b			
	d1 (mm)	d2 (mm)	d1 (mm)	d2 (mm)	θ1 (度)	θ2 (度)	θ1 (度)	θ2 (度)		
ビス	ヤング係数	E	N/mm ²	20500						
	全塑性モーメント	Mp	(Nmm)	5510						
	材料間の静止摩擦係数	μ		0.8						
	初期軸力	Pax-ini	(N)	=min(Phead-ini, Ppull)						
	頭部のめり込み抵抗	Phead	(N)	2020						
	引き抜き抵抗	Ppull	(N)	2450						
	摩擦力	PF	(N)	=μ × Pax-ini						
	曲げ強度	Fbf	(N/mm ²)	235						
	主材 (柱) カラマツ E105-F300	ヤング係数	E01	(N/mm ²)	10500					
		縦方向面圧降伏応力	Fe01	(N/mm ²)	25.4					
横行方向面圧降伏応力		Fe901	(N/mm ²)	12.7						
縦方向面圧定数		ke01	(N/mm ³)	=Fe01/(3.16 × 10.9 × d1)						
横行方向面圧定数		ke901	(N/mm ³)	=ke01/3.4						
厚さ		t1	(mm)	45						
側材 (梁) カラマツ E105-F300		ヤング係数	E02	(N/mm ²)	10500					
		縦方向面圧降伏応力	Fe02	(N/mm ²)	25.4					
		横行方向面圧降伏応力	Fe902	(N/mm ²)	12.7					
		縦方向面圧定数	ke02	(N/mm ³)	=Fe02/(3.16 × 10.9 × d2)					
	横行方向面圧定数	ke902	(N/mm ³)	=ke02/3.4						
	厚さ	t2	(mm)	60						
	EYT 式用	有効径比	α		=d2/d1					
		材料厚さの比	My	(Nmm)	=2 × Fbf					
	接合具	主材側の設置角度	θ1	度		0	90			
		側材側の設置角度	θ2	度		90	0			
主材側の面圧降伏応力		Fe1	(N/mm ²)	=Fe01		=Fe901				
側材側の面圧降伏応力		Fe2	(N/mm ²)	=Fe902		=Fe02				
面圧降伏応力の比		β		$\frac{Fe1}{Fe2}$						
主材側の面圧定数		ke1	(N/mm ³)	$\frac{ke1}{21.6 \times 10.9 \times d1}$		$\frac{ke1}{21.6 \times 10.9 \times d1}$				
側材側の面圧定数		ke2	(N/mm ³)	$\frac{ke2}{21.6 \times 10.9 \times d2}$		$\frac{ke2}{21.6 \times 10.9 \times d2}$				
面圧定数の比		γ		$\frac{ke1}{ke2}$						
主材側の有効剛性長さ		te1	(mm)	$\min\left\{t1, \sqrt{\frac{E01 \times d1^3}{6 \times ke1}}\right\}$						
側材側の有効剛性長さ		te2	(mm)	$\min\left\{t2, \sqrt{\frac{E02 \times d2^3}{6 \times ke2}}\right\}$						
接合部	初期剛性	Ks	(N/mm)	$\frac{4E01 \times te1 \times d1^3 + 4E02 \times te2 \times d2^3}{12 \times (te1 + te2) \times d1^2}$						
	接合具の回転中心距離 α 塑性ヒンジ距離 (mm)	Ln	(mm)	$\frac{1}{2} \times (te1 + te2)$						
		ビス 1 面せん断接合の降伏耐力	Pyf	(N)	$\min\left\{ \frac{1}{2} \times (ke1 \times te1^2 + ke2 \times te2^2), \frac{1}{2} \times (ke1 \times te1 + ke2 \times te2) \times Ln \right\}$					
			降伏変位	δy	(mm)	$\frac{Pyf}{Ks}$				
				Pyf+PF	(N)	=Pyf+PF				

● モデル化

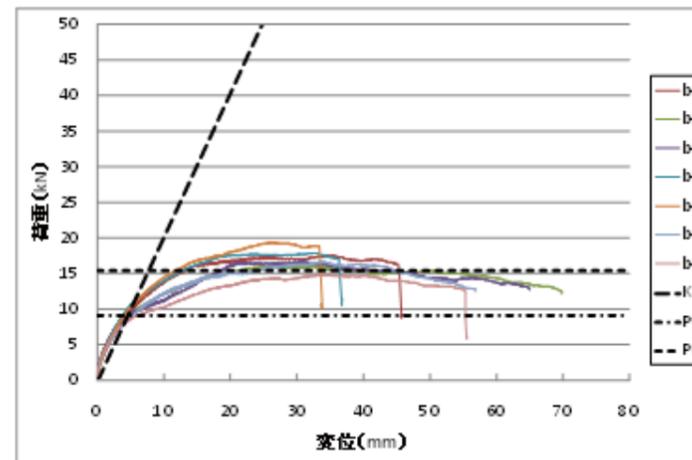


ビス 1 面せん断の各降伏モード

● 特性値

		ρ (g/cm ³)	K (kN/mm)	Pmax (kN)	Py (kN)	δy (mm)	Pu (kN)	δu (mm)	
0° / 90°	a-1	0.50	2.12	17.91	10.09	4.76	16.54	46.67	
	a-2	0.50	1.54	17.85	10.65	6.93	16.44	48.88	
	a-3	0.52	1.84	16.57	9.29	5.06	14.66	47.11	
	a-4	0.53	2.65	18.53	9.85	3.72	15.66	26.13	
	a-5	0.49	1.83	17.78	9.53	5.22	15.75	48.83	
	a-6	0.49	2.19	19.56	10.87	4.96	17.32	36.50	
	a-7	0.49	1.82	16.38	8.22	4.52	14.76	48.64	
	a-8	0.48	1.69	16.01	9.25	5.49	14.72	44.86	
	a-9	0.48	1.95	18.31	8.75	4.49	15.11	16.72	
	a-10	0.64	1.86	20.12	10.65	5.72	17.95	31.90	
	a-11	0.59	2.30	22.50	11.72	5.09	19.91	36.00	
	a-12	0.62	1.61	19.00	10.81	6.72	17.42	38.75	
	Ave.	0.53	1.95	18.38	9.97	5.22	16.35	39.25	
	S.D.	0.05	0.30	1.72	0.97	0.87	1.52	9.89	
90° / 0° タイプ b	b-1	0.50	1.95	17.53	9.66	4.95	16.50	45.37	
	b-2	0.49	2.09	16.10	8.58	4.11	14.61	68.83	
	b-3	0.51	2.29	16.72	8.54	3.73	14.70	63.26	
	b-4	0.52	2.27	17.85	9.71	4.28	16.63	36.36	
	b-5	0.49	1.92	19.31	10.88	5.66	17.84	33.42	
	b-6	0.48	1.68	16.66	9.35	5.57	15.12	54.26	
	b-7	0.51	2.01	14.82	7.84	3.89	13.31	55.31	
		Ave.	0.49	2.03	17.00	9.22	4.60	15.53	50.97
		S.D.	0.14	0.20	1.31	0.92	0.74	1.42	12.26
		a b Ave.	0.51	1.99	17.69	9.60	4.91	15.94	45.11

● 荷重変形



● 破壊性状

・ビスの終局、破断。ビス先端の抜け。
(b-2)



タイプ a のうち a-1~a-6 とタイプ b の b-7 はビスを打ち込んだその日に試験をしたもので、a-7~a-12 と b-1~b-6 はビスを打ち込んだ翌日に試験をしたものである。また、a-10~a-12 の 3 体は、試験体材料数の関係で、木栓の 2 面せん断試験で用いた試験体と同じ材、同じ寸法で行うことになったが、試験に影響はないと考えた。

破壊性状については、木栓の場合と異なり母材の割裂破壊は起こらず、すべてビスの終局で試験が終了した。特に a-4、a-5、a-6、a-9、a-10、a-11、a-12、b-1、b-4、b-5、b-7 はビスがせん断面で破断したことで急激な荷重低下を示した。また b-2、b-3 はビスの先端側の側材からビスが激しく抜け出てきて、離れ止めを緩めただけで側材が倒れた。

荷重変位曲線の傾向としては、降伏は早い但最终変位の大きい粘り強い挙動を示すものが多かったが、a-4、a-5、a-6、a-9、a-10、a-11、a-12、b-1、b-4、b-5、b-7 はビスがせん断面で破断したために急激な荷重低下を示した。繊維方向に対する加力方向による違いはあまり見られなかったため、この結果を用いて実大試験体の性能を推定する際には、ハンキンソン式を用いるのではなく、タイプ a、タイプ b を合わせた平均値を用いた。ビスを打ち込んだその日に試験をしたものと翌日に試験をしたものとの間でも違いはあまり見られなかった。また、母材密度の高いものは若干最大耐力が高くなる傾向にあった。



タイプ a



タイプ b

木栓（シラカシ）

木材同士のせん断接合に用いられる木材、もしくは木質材料。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に比べ、現場で穴あけして打ち込めるため、ほぼクリアランス無く納めることが可能である。木栓のせん断強さは比重に依存するため、本実験では、国産広葉樹の中でも最も比重の大きい部類に属するシラカシの円形木栓を用いた。円形断面としたのは、穴の角での応力集中がなく母材を割裂させにくいこと、穴の施工誤差が出にくいこと、など利点が多いことを考慮したものである。

要材
素料

接合具

部組
材立

接合部

屋根

柱

梁

トブ
スレ

壁

床

集成材

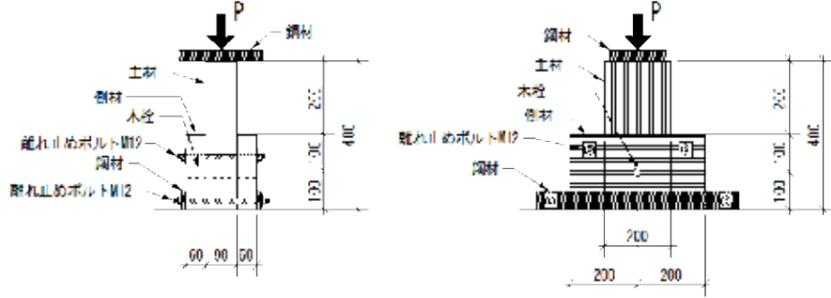
LVL

製材

合板

その他

●姿図・寸法



タイプ a
 【使用材料】
 主材 200mm × 90mm、
 側材 200mm × 60mm
 (カラマツ E105-F300)
 接合具 シラカシ木栓 φ 24

●適用条件

木栓の径を d として、端距離 ≥ 7d、縁距離 ≥ 4d を守る。

●概要

シラカシ木栓の 2 面せん断試験を行った。木栓の径と、主材、側材の繊維方向に対する加力の方向をパラメータにとり、各仕様について 6 つの試験体を用意した。試験体仕様は合計 4 パターン、総試験体数は 24 体である。タイプ a は主材の繊維方向に対する加力の方向が 0° とし、主材と側材の繊維方向は直交している。

●接合具 (メーカー、入手方法等)

シラカシ木栓 (一般の木材関連会社で普通に入手可能)

●問い合わせ先

東大農学部木質材料学研究室 03-5841-5253

●理論式

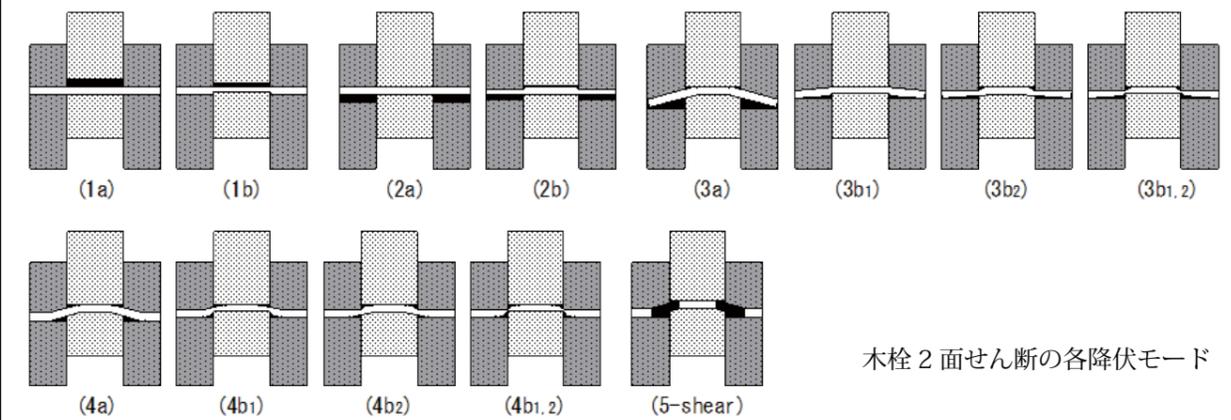
木質構造接合部設計マニュアルの木ダボ接合 (せん断抵抗型) の項に従い、木栓 2 面せん断の 1 本あたりの剛性、降伏耐力を計算する。

●計算式

以下に計算式を示す。

		タイプ a		タイプ b	
木栓 シラカシ	密度	ρ	(10 ⁻³ kg/m ³)		
	径	d	(mm)	0	90
	主材中心までの埋込長さ	L1	(mm)	45	
	側材側の埋込長さ	L2	(mm)	60	
	側材側のせん断強度	F _{0F}	(N/mm ²)	2100+13700ρ	
	ヤング係数	E _{0F}	(N/mm ²)	2100+13700ρ	
主材 (材) カラマツ E105 F300	繊維方向せん断降伏応力	F _{e01}	(N/mm ²)	25.4	
	直交方向せん断降伏応力	F _{e901}	(N/mm ²)	12.7	
	繊維方向せん断剛性	K _{e01}	(N/mm ³)	E ₀₁ /(31.6+10.9×d)	
	直交方向せん断剛性	K _{e901}	(N/mm ³)	E ₀₁ /(31.6+10.9×d)	
	厚さ	t	(mm)	90	
	ヤング係数	E ₀₂	(N/mm ²)	10500	
側材 (材) カラマツ E105 F300	繊維方向せん断降伏応力	F _{e02}	(N/mm ²)	25.4	
	直交方向せん断降伏応力	F _{e902}	(N/mm ²)	12.7	
	繊維方向せん断剛性	K _{e02}	(N/mm ³)	E ₀₂ /(31.6+10.9×d)	
	直交方向せん断剛性	K _{e902}	(N/mm ³)	E ₀₂ /(31.6+10.9×d)	
	厚さ	t	(mm)	60	
	ヤング係数	E ₀₁	(N/mm ²)	10500	
EYT 式用	α	α	(mm ³)	12/t	
	β	β	(mm ³)	12/t	

●モデル化



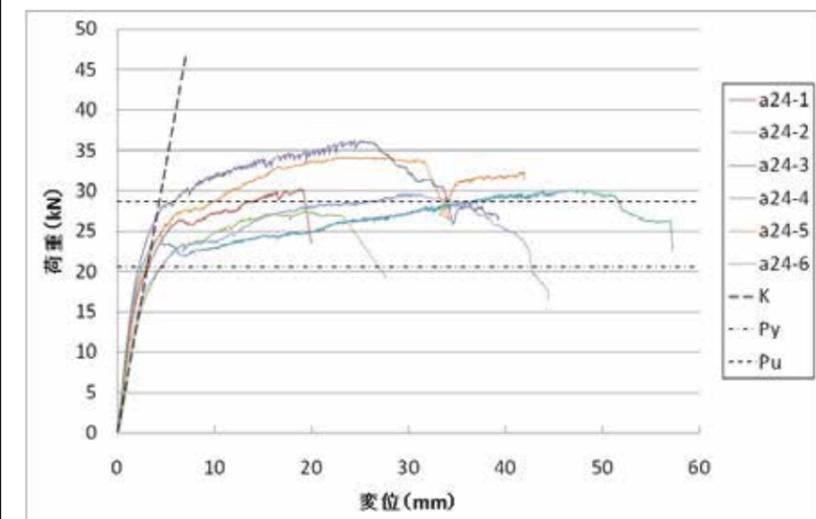
木栓 2 面せん断の各降伏モード

●特性値

	$\rho 1$ (g/cm ³)	$\rho 2$ (g/cm ³)	K (kN/mm)	P _{max} (kN)	P _y (kN)	δ _y (mm)	P _u (kN)	δ _u (mm)	
φ 24 0° / 90°	a24-1	0.54	0.92	7.09	30.17	19.28	2.72	27.69	19.16
	a24-2	0.54	0.95	5.72	27.47	16.92	2.96	25.49	23.28
	a24-3	0.60	0.97	8.04	36.27	23.70	2.95	33.07	33.66
	a24-4	0.57	0.91	6.78	30.07	23.39	3.45	26.91	56.49
	a24-5	0.55	0.97	6.70	34.10	21.83	3.26	31.91	31.68
	a24-6	0.53	0.83	5.60	29.58	18.42	3.29	26.91	41.96
Ave.	0.55	0.92	6.66	31.27	20.59	3.10	28.66	34.37	
S.D.	0.02	0.05	0.83	2.97	2.54	0.25	2.80	12.31	

ρ 1、ρ 2 はそれぞれ母材、木栓の密度

●荷重変形



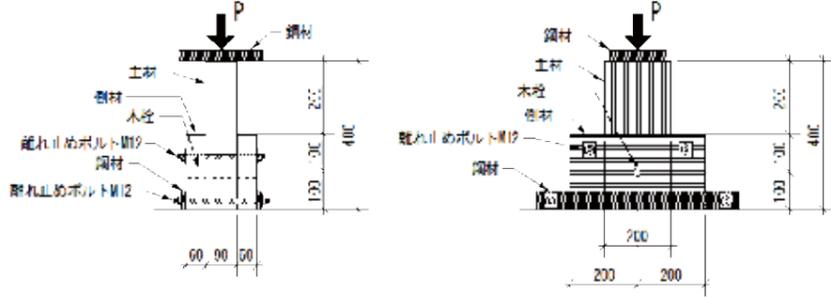
●破壊性状

・モード 4 の破壊。母材の割裂。



a24-1

● 姿図・寸法



タイプ a
 【使用材料】
 主材 200mm × 90mm、
 側材 200mm × 60mm
 (カラマツ E105-F300)
 接合具 シラカシ木栓 φ 18

● 適用条件

木栓の径を d として、端距離 ≥ 7d、縁距離 ≥ 4d を守る。

● 概要

シラカシ木栓の 2 面せん断試験を行った。木栓の径と、主材、側材の繊維方向に対する加力の方向をパラメータにとり、各仕様について 6 つの試験体を用意した。試験体仕様は合計 4 パターン、総試験体数は 24 体である。タイプ a は主材の繊維方向に対する加力の方向が 0° とし、主材と側材の繊維方向は直交している。

● 接合具 (メーカー、入手方法等)

シラカシ木栓 (一般の木材関連会社で普通に入手可能)

● 問い合わせ先

東大農学部木質材料学研究室 03-5841-5253

● 理論式

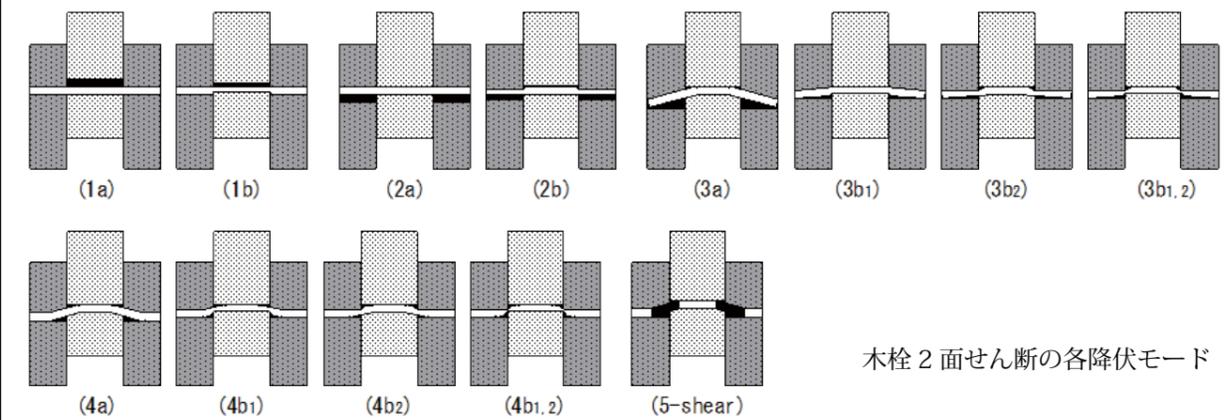
木質構造接合部設計マニュアルの木ダボ接合 (せん断抵抗型) の項に従い、木栓 2 面せん断の 1 本あたりの剛性、降伏耐力を計算する。

● 計算式

以下に計算式を示す。

木栓 (シラカシ)			タイプ a			タイプ b		
密度	ρ	(10 ⁻³ kg/m ³)	主材側の荷重角度	$\theta 1$	度	0	90	90
径	d	(mm)	側材側の荷重角度	$\theta 2$	度	90	0	0
主材中心までの埋込長さ	L1	(mm)	主材側の面圧降伏応力	$\Gamma e1$	(N/mm ²)	-Fe01	-Fe01	-Fe01
側材側の埋込長さ	L2	(mm)	側材側の面圧降伏応力	$\Gamma e2$	(N/mm ²)	Fe02	Fe02	Fe02
ヤング係数	E0f	(N/mm ²)	主材側の面圧降伏応力	$\Gamma e1$	(N/mm ²)	Fe01	Fe01	Fe01
曲げ強度	Fbf	(N/mm ²)	側材側の面圧降伏応力	$\Gamma e2$	(N/mm ²)	Fe02	Fe02	Fe02
めり込み強度	Fcd	(N/mm ²)	主材側の面圧剛性	ke1	(N/mm ³)	$\frac{E_1}{31.6 + 10.9d}$	$\frac{E_2}{31.6 + 10.9d}$	$\frac{E_3}{31.6 + 10.9d}$
せん断強度	Fsf	(N/mm ²)	側材側の面圧剛性	ke2	(N/mm ³)	$\frac{E_1}{31.6 + 10.9d}$	$\frac{E_2}{31.6 + 10.9d}$	$\frac{E_3}{31.6 + 10.9d}$
めり込み剛性	kcvf	(N/mm ³)	主材側複合面圧定数	kcp1	(N/mm ³)	$\frac{E_1 \times \Gamma e1}{k_1 + k_2}$	$\frac{E_2 \times \Gamma e2}{k_1 + k_2}$	$\frac{E_3 \times \Gamma e3}{k_1 + k_2}$
ヤング係数	E0f	(N/mm ²)	側材側複合面圧定数	kcp2	(N/mm ³)	$\frac{E_1 \times \Gamma e1}{k_1 + k_2}$	$\frac{E_2 \times \Gamma e2}{k_1 + k_2}$	$\frac{E_3 \times \Gamma e3}{k_1 + k_2}$
繊維方向面圧降伏応力	Fe01	(N/mm ²)	主材 C の片側剛性	K1	(N/mm)	$\frac{1}{3} \left[\frac{E_1 d^3}{12} \right] \times \left(1 + 0.188 \eta_1 \frac{L_1}{d} \right)^{-1}$		
直交方向面圧降伏応力	Fe901	(N/mm ²)	側材 C の片側剛性	K2	(N/mm)	$\frac{1}{3} \left[\frac{E_2 d^3}{12} \right] \times \left(1 + 0.188 \eta_2 \frac{L_2}{d} \right)^{-1}$		
繊維方向面圧剛性	AE01	(N/mm ³)	木栓 2 面せん断接合のせん断剛性	K1	(N/mm)	$2 \times \frac{K_1 \times K_2}{K_1 + K_2}$		
直交方向面圧剛性	AE901	(N/mm ³)	主材側複合面圧降伏応力	$\Gamma ecp1$	(N/mm ²)	$\min \{ \Gamma e1, \Gamma e2 \}$		
厚さ	t1	(mm)	側材側複合面圧降伏応力	$\Gamma ecp2$	(N/mm ²)	$\min \{ \Gamma e1, \Gamma e2 \}$		
ヤング係数	E02	(N/mm ²)	複合面圧降伏応力の比	β		$\frac{\Gamma ecp1}{\Gamma ecp2}$		
繊維方向面圧降伏応力	Fe02	(N/mm ²)	木栓 2 面せん断接合の降伏耐力	Py1	(N)	$\min \left\{ \begin{array}{l} 1) \frac{1}{2} \times \frac{E_1 \times F_{cp1}}{L_1} \\ 2) \frac{1}{2} \times \frac{E_2 \times F_{cp2}}{L_2} \\ 3) \frac{1}{2} \times \frac{16 \beta M_1 M_2}{\sqrt{16 \beta M_1^2 (2\beta + 1) + 8 \alpha^2 \beta^2 (\beta + 1)}} \times \frac{2 \alpha d}{(2\beta + 1)} \\ 4) \frac{1}{2} \times \frac{16 d^2 M_1 M_2 \beta}{1 + \beta} \\ 5) \frac{2 \times A \times E_1}{k} \end{array} \right.$		
直交方向面圧降伏応力	Fe902	(N/mm ²)						
繊維方向面圧剛性	AE02	(N/mm ³)						
直交方向面圧剛性	AE902	(N/mm ³)						
厚さ	t2	(mm)						
α = 1/2 / t1	α							
γ = π d ³ / 32	γ	(mm ³)						
M1 = γ × Fbf	M1	(Nmm)						

● モデル化



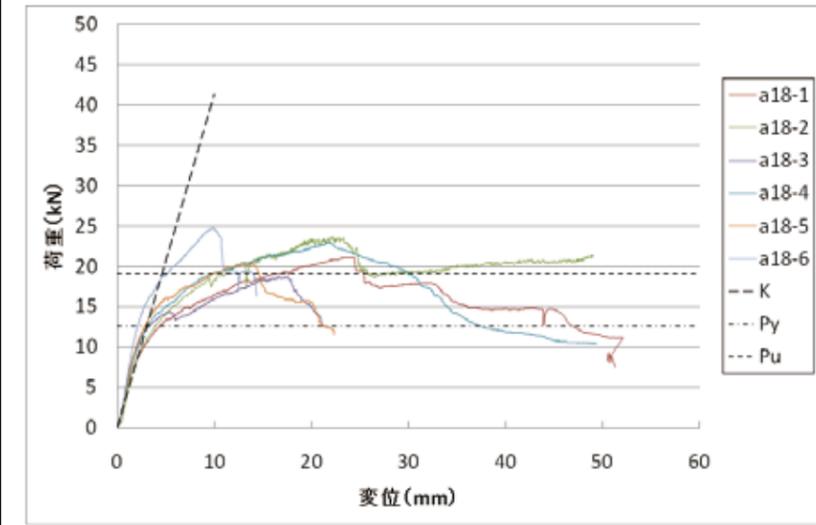
木栓 2 面せん断の各降伏モード

● 特性値

	$\rho 1$ (g/cm ³)	$\rho 2$ (g/cm ³)	K (kN/mm)	P_{max} (kN)	P_y (kN)	δ_y (mm)	P_u (kN)	δ_u (mm)
a18-1	0.57	1.00	3.12	21.10	11.80	3.78	18.24	33.48
a18-2	0.59	0.90	3.16	23.67	12.89	4.08	20.64	25.84
a18-3	0.58	0.90	4.39	18.70	11.72	2.67	16.23	19.96
a18-4	0.53	0.94	3.89	23.03	13.15	3.38	20.31	30.90
a18-5	0.53	0.95	4.51	20.40	12.46	2.76	18.19	16.42
a18-6	0.55	0.96	5.75	24.77	13.78	2.40	21.27	10.96
Ave.	0.56	0.94	4.14	21.94	12.63	3.18	19.15	22.92
S.D.	0.02	0.04	0.90	2.07	0.73	0.61	1.75	7.94

$\rho 1$ 、 $\rho 2$ はそれぞれ母材、木栓の密度

● 荷重変形



● 破壊性状

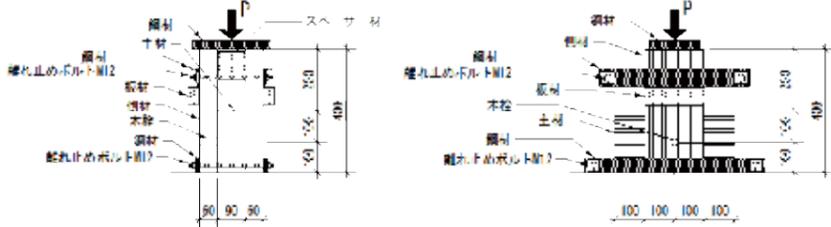
・モード 4 の破壊。母材の割裂。



a18-5

- 要材料
- 接合具
- 部組材立
- 接合部
- 屋根
- 柱
- 梁
- トラス
- 壁
- 床
- 集成材
- 合板
- その他

● 姿図・寸法



タイプ b

【使用材料】

主材 200mm × 90mm、

側材 200mm × 60mm

(カラマツ E105-F300)

接合具 シラカシ木栓 φ 24

● 適用条件

木栓の径を d として、端距離 ≥ 7d、縁距離 ≥ 4d を守る。

● 概要

シラカシ木栓の 2 面せん断試験を行った。木栓の径と、主材、側材の繊維方向に対する加力の方向をパラメータにとり、各仕様について 6 つの試験体を用意した。試験体仕様は合計 4 パターン、総試験体数は 24 体である。タイプ b は主材の繊維方向に対する加力の方向が 90° とし、主材と側材の繊維方向は直交している。

● 接合具 (メーカー、入手方法等)

シラカシ木栓 (一般の木材関連会社で普通に入手可能)

● 問い合わせ先

東大農学部木質材料学研究室 03-5841-5253

● 理論式

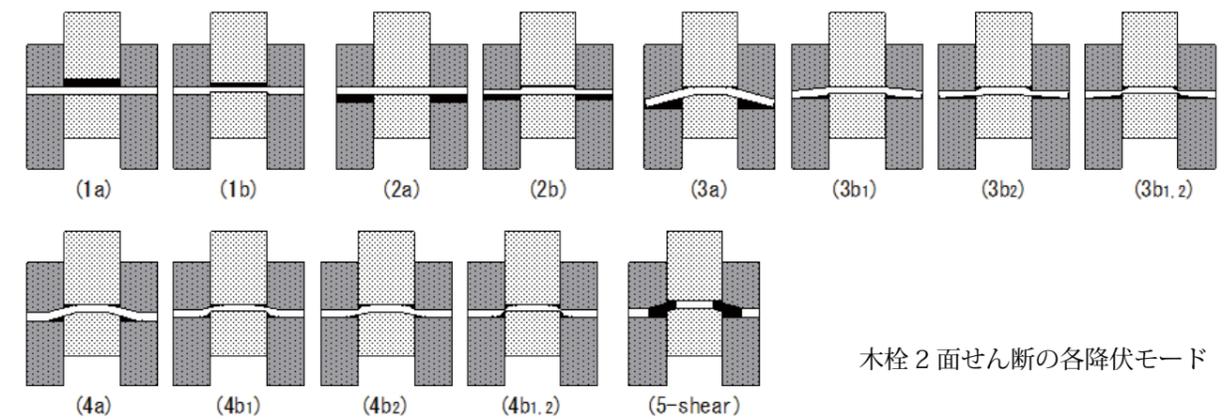
木質構造接合部設計マニュアルの木ダボ接合 (せん断抵抗型) の項に従い、木栓 2 面せん断の 1 本あたりの剛性、降伏耐力を計算する。

● 計算式

以下に計算式を示す。

木栓 (シラカシ)		主材 (カラマツ E105-F300)		側材 (カラマツ E105-F300)		EYT 式用	
密度	ρ (10 ⁻³ kg/m ³)	密度	ρ (10 ⁻³ kg/m ³)	密度	ρ (10 ⁻³ kg/m ³)	α	α
径	d (mm)	径	d (mm)	径	d (mm)	β	β
主材中心までの埋込長さ	L1 (mm)	埋込長さ	L1 (mm)	埋込長さ	L2 (mm)	γ	γ
側材側の埋込長さ	L2 (mm)	埋込長さ	L2 (mm)	埋込長さ	L2 (mm)	δ	δ
ヤング係数	E01 (N/mm ²)	ヤング係数	E01 (N/mm ²)	ヤング係数	E02 (N/mm ²)	ϵ	ϵ
曲げ強度	F01 (N/mm ²)	曲げ強度	F01 (N/mm ²)	曲げ強度	F02 (N/mm ²)	ζ	ζ
めり込み強度	F04 (N/mm ²)	めり込み強度	F04 (N/mm ²)	めり込み強度	F05 (N/mm ²)	η	η
せん断強度	F05 (N/mm ²)	せん断強度	F05 (N/mm ²)	せん断強度	F06 (N/mm ²)	θ	θ
めり込み剛性	k01 (N/mm ³)	めり込み剛性	k01 (N/mm ³)	めり込み剛性	k02 (N/mm ³)	θ	θ
ヤング係数	E01 (N/mm ²)	ヤング係数	E01 (N/mm ²)	ヤング係数	E02 (N/mm ²)	θ	θ
繊維方向面圧降伏応力	F01 (N/mm ²)	繊維方向面圧降伏応力	F01 (N/mm ²)	繊維方向面圧降伏応力	F02 (N/mm ²)	θ	θ
直交方向面圧降伏応力	F02 (N/mm ²)	直交方向面圧降伏応力	F02 (N/mm ²)	直交方向面圧降伏応力	F03 (N/mm ²)	θ	θ
繊維方向面圧剛性	K01 (N/mm ³)	繊維方向面圧剛性	K01 (N/mm ³)	繊維方向面圧剛性	K02 (N/mm ³)	θ	θ
直交方向面圧剛性	K02 (N/mm ³)	直交方向面圧剛性	K02 (N/mm ³)	直交方向面圧剛性	K03 (N/mm ³)	θ	θ
厚さ	t (mm)	厚さ	t (mm)	厚さ	t (mm)	θ	θ
ヤング係数	E02 (N/mm ²)	ヤング係数	E02 (N/mm ²)	ヤング係数	E03 (N/mm ²)	θ	θ
繊維方向面圧降伏応力	F02 (N/mm ²)	繊維方向面圧降伏応力	F02 (N/mm ²)	繊維方向面圧降伏応力	F03 (N/mm ²)	θ	θ
直交方向面圧降伏応力	F03 (N/mm ²)	直交方向面圧降伏応力	F03 (N/mm ²)	直交方向面圧降伏応力	F04 (N/mm ²)	θ	θ
繊維方向面圧剛性	K02 (N/mm ³)	繊維方向面圧剛性	K02 (N/mm ³)	繊維方向面圧剛性	K03 (N/mm ³)	θ	θ
直交方向面圧剛性	K03 (N/mm ³)	直交方向面圧剛性	K03 (N/mm ³)	直交方向面圧剛性	K04 (N/mm ³)	θ	θ
厚さ	t (mm)	厚さ	t (mm)	厚さ	t (mm)	θ	θ
$\alpha = 1/2 + t/1$	α	$\alpha = 1/2 + t/1$	α	$\alpha = 1/2 + t/1$	α	θ	θ
$\beta = \pi d^3 / 32$	β	$\beta = \pi d^3 / 32$	β	$\beta = \pi d^3 / 32$	β	θ	θ
$M_y = F \times t$	M_y	$M_y = F \times t$	M_y	$M_y = F \times t$	M_y	θ	θ

● モデル化



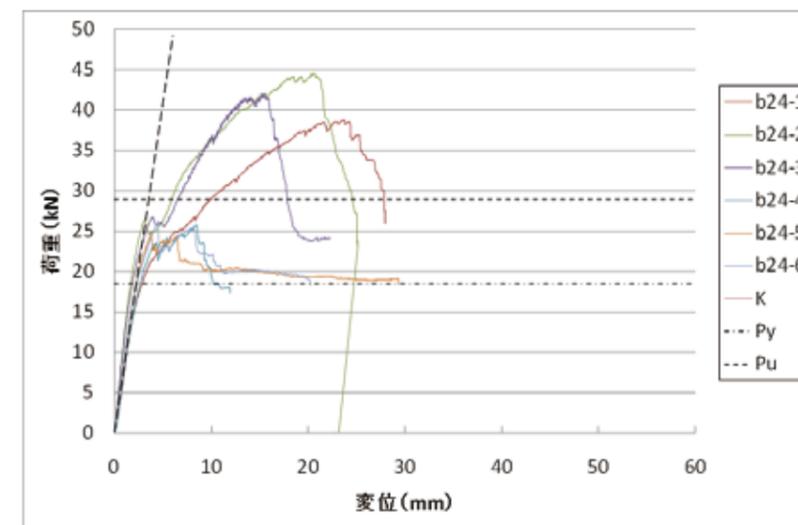
木栓 2 面せん断の各降伏モード

● 特性値

	$\rho 1$ (g/cm ³)	$\rho 2$ (g/cm ³)	K (kN/mm)	P_{max} (kN)	P_y (kN)	δ_y (mm)	P_u (kN)	δ_u (mm)
b24-1	0.49	0.89	5.99	38.83	20.17	3.37	32.98	27.51
b24-2	0.56	0.90	9.37	44.57	24.63	2.63	37.76	22.70
b24-3	0.52	0.97	8.43	42.03	22.98	2.73	35.44	17.19
b24-4	0.49	0.95	7.72	25.77	14.06	1.82	23.11	9.70
b24-5	0.56	0.92	8.82	24.80	14.80	1.68	21.17	16.12
b24-6	0.55	0.92	8.88	26.24	14.31	1.61	23.17	10.41
Ave.	0.53	0.93	8.20	33.71	18.49	2.31	28.94	17.27
S.D.	0.03	0.03	1.11	8.28	4.31	0.65	6.63	6.32

$\rho 1$ 、 $\rho 2$ はそれぞれ母材、木栓の密度

● 荷重変形



● 破壊性状

・モード 4 の破壊。母材の割裂。

左: b24-6、右: b24-1



要材

接合具

部組材立

接合部

屋根

柱

梁

1/2スレ

壁

床

集成材

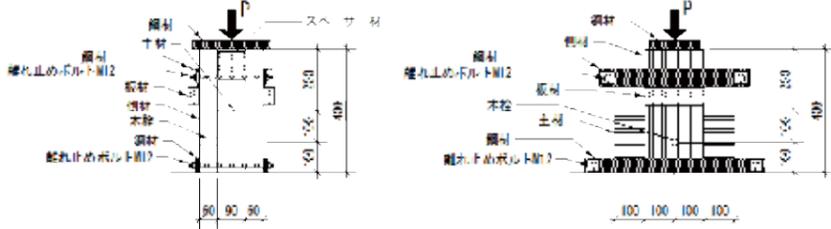
LVL

製材

合板

その他

● 姿図・寸法



タイプ b

【使用材料】

主材 200mm × 90mm、

側材 200mm × 60mm

(カラマツ E105-F300)

接合具 シラカシ木栓 φ 18

● 適用条件

木栓の径を d として、端距離 ≥ 7d、縁距離 ≥ 4d を守る。

● 概要

シラカシ木栓の 2 面せん断試験を行った。木栓の径と、主材、側材の繊維方向に対する加力の方向をパラメータにとり、各仕様について 6 つの試験体を用意した。試験体仕様は合計 4 パターン、総試験体数は 24 体である。タイプ b は主材の繊維方向に対する加力の方向が 90° とし、主材と側材の繊維方向は直交している。

● 接合具 (メーカー、入手方法等)

シラカシ木栓 (一般の木材関連会社で普通に入手可能)

● 問い合わせ先

東大農学部木質材料学研究室 03-5841-5253

● 理論式

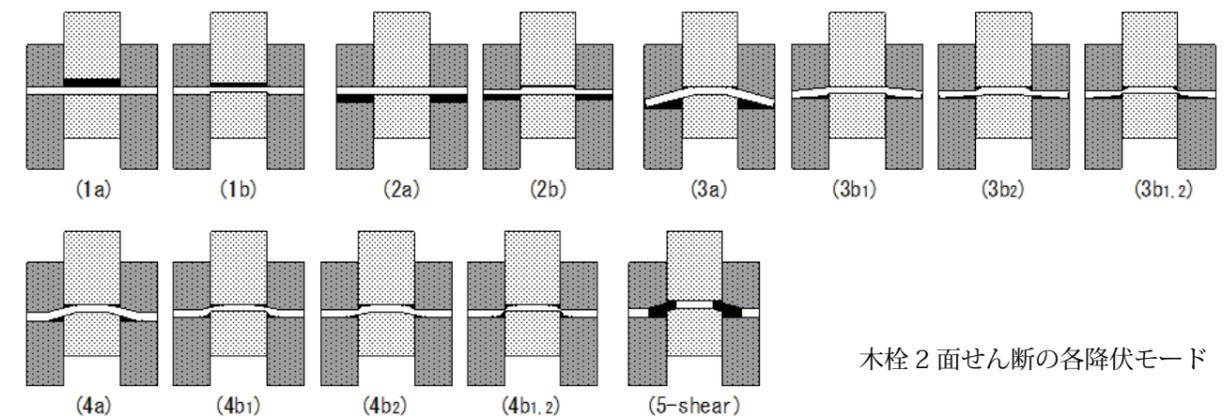
木質構造接合部設計マニュアルの木ダボ接合 (せん断抵抗型) の項に従い、木栓 2 面せん断の 1 本あたりの剛性、降伏耐力を計算する。

● 計算式

以下に計算式を示す。

木栓 (シラカシ)			タイプ a			タイプ b		
密度	ρ	(10 ⁻³ kg/m ³)	主材側の寄角度	$\theta 1$	度	0	90	
径	d	(mm)	側材側の寄角度	$\theta 2$	度	90	0	
主材中心までの埋込長さ	L1	(mm)	主材側の面圧降伏応力	$\Gamma e1$	(N/mm ²)	-Fe01	-Fe01	
側材側の埋込長さ	L2	(mm)	側材側の面圧降伏応力	$\Gamma e2$	(N/mm ²)	Fe02	Fe02	
ヤング係数	E0f	(N/mm ²)	主材側の面圧剛性	ke1	(N/mm ³)	$\frac{E_1}{31.6 + 10.9d}$	$\frac{E_2}{31.6 + 10.9d}$	
曲げ強度	Fbf	(N/mm ²)	側材側の面圧剛性	ke2	(N/mm ³)	$\frac{E_1}{31.6 + 10.9d} \times 3.4$	$\frac{E_2}{31.6 + 10.9d}$	
めり込み強度	Fcvd	(N/mm ²)	主材側複合面圧定数	kcp1	(N/mm ³)	$\frac{E_1 \times \alpha_1 \times \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$	$\frac{E_2 \times \alpha_1 \times \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$	
せん断強度	Fsf	(N/mm ²)	側材側複合面圧定数	kcp2	(N/mm ³)	$\frac{E_1 \times \alpha_1 \times \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$	$\frac{E_2 \times \alpha_1 \times \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$	
めり込み剛性	kcvf	(N/mm ³)	主材 C の片側剛性	K1	(N/mm)	$\frac{1}{3} \left[\frac{E_1 d^3}{12} \times \left(1 + 0.188 \eta_1 \frac{L_1}{d} \right)^2 \right]$	$\frac{1}{3} \left[\frac{E_2 d^3}{12} \times \left(1 + 0.188 \eta_2 \frac{L_2}{d} \right)^2 \right]$	
ヤング係数	E0f	(N/mm ²)	側材 C の片側剛性	K2	(N/mm)	$\frac{1}{3} \left[\frac{E_1 d^3}{12} \times \left(1 + 0.188 \eta_1 \frac{L_1}{d} \right)^2 \right]$	$\frac{1}{3} \left[\frac{E_2 d^3}{12} \times \left(1 + 0.188 \eta_2 \frac{L_2}{d} \right)^2 \right]$	
繊維方向面圧降伏応力	Fe01	(N/mm ²)	木栓 2 面せん断接合のせん断剛性	Kc1	(N/mm)	$2 \times \frac{K_1 \times K_2}{K_1 + K_2}$		
直交方向面圧降伏応力	Fe901	(N/mm ²)	主材側複合面圧降伏応力	$\Gamma ecp1$	(N/mm ²)	$\min \{ \Gamma_{e1}, \Gamma_{e2} \}$		
繊維方向面圧剛性	KE01	(N/mm ³)	側材側複合面圧降伏応力	$\Gamma ecp2$	(N/mm ²)	$\min \{ \Gamma_{e1}, \Gamma_{e2} \}$		
直交方向面圧剛性	KE901	(N/mm ³)	複合面圧降伏応力の比	β		$\frac{E_{cp1}}{E_{cp2}}$		
厚さ	t1	(mm)						
ヤング係数	E02	(N/mm ²)						
繊維方向面圧降伏応力	Fe02	(N/mm ²)						
直交方向面圧降伏応力	Fe902	(N/mm ²)						
繊維方向面圧剛性	KE02	(N/mm ³)						
直交方向面圧剛性	KE902	(N/mm ³)						
厚さ	t2	(mm)						
$\alpha = 1/2/t1$	α							
$\gamma = \pi d^3/32$	γ	(mm ³)						
$M_y = Fbf$	M_y	(Nmm)						

● モデル化



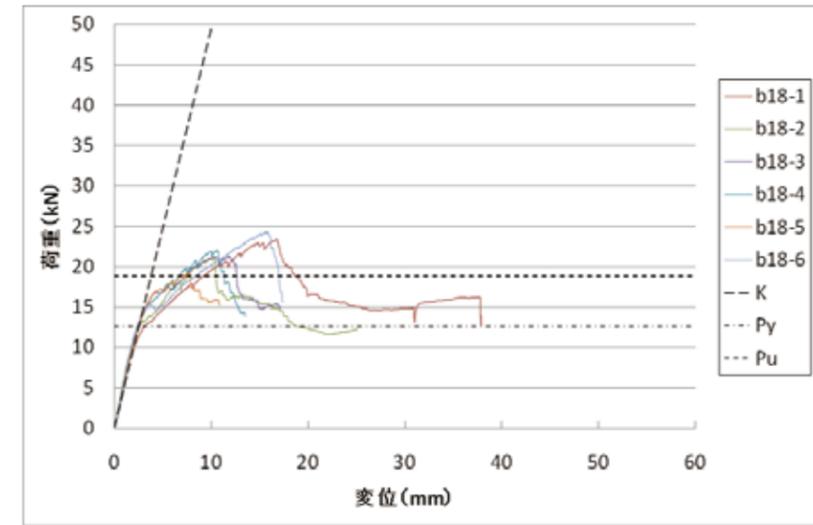
木栓 2 面せん断の各降伏モード

● 特性値

	$\rho 1$ (g/cm ³)	$\rho 2$ (g/cm ³)	K (kN/mm)	P_{max} (kN)	P_y (kN)	δ_y (mm)	P_u (kN)	δ_u (mm)
φ 18 90° / 0°	b18-1	0.54	0.97	4.37	23.33	11.78	2.70	19.50
	b18-2	0.52	0.92	5.17	21.07	11.61	2.24	17.85
	b18-3	0.51	0.98	5.06	21.30	13.56	2.68	19.20
	b18-4	0.57	0.92	4.94	22.00	13.14	2.66	19.11
	b18-5	0.54	0.98	5.10	19.16	11.76	2.30	17.08
	b18-6	0.52	0.96	4.99	24.30	13.95	2.80	20.06
Ave.	0.54	0.95	4.94	21.86	12.63	2.56	18.80	
S.D.	0.02	0.03	0.27	1.65	0.95	0.21	1.02	

$\rho 1$ 、 $\rho 2$ はそれぞれ母材、木栓の密度

● 荷重変形



● 破壊性状

・モード 4 の破壊。母材の割裂。

破壊性状は、φ 24 の木栓を用いた a24、b24 タイプの試験体のうち、a24-1、a24-2、a24-3、a24-5、b24-1 は母材の繊維方向に大きな割裂が生じ、その他の試験体も母材に小さな割裂が見られるものが多かった。逆に φ 18 のタイプでは、母材の割裂は a18-1 に小さく見られたのみであった。木栓の破壊モードはほぼすべての試験体でモード 4 だったが、a24-1、a24-2、a24-4、a24-5、a18-1、a18-2、a18-4 はモード 3 に近いものであり、b18-1 はモード 5 となっていた。また b24-4、b24-5、b24-6 はモード 4 だが、せん断面近くではなく木栓の中心付近にもヒンジが見られた。

荷重変位曲線の傾向としては、最初の降伏点を迎えた後に一時的に若干荷重低下し、再度荷重上昇する場合がいくつか見られた。これは離れ止めをつけたことによる影響と考えられるが、実大試験の様子を想定して行われた結果である。この傾向は φ 24 のタイプで比較的多く見られた。木栓の径の大きさで比較すると、径が大きくなると剛性、耐力ともに大きくなる傾向があった。主材の繊維方向に対する加力方向の違いで比較すると、加力方向が 0° から 90° になると剛性は大きくなるが、耐力は降伏、終局、最大のどれもあまり変化が見られなかった。剛性に関しては主材よりも側材の繊維方向の影響が大きかったのではないかと考えられる。また終局時の変位は加力方向 0° のタイプ a の方が大きく、バイリニア的な挙動を示した。



タイプ a



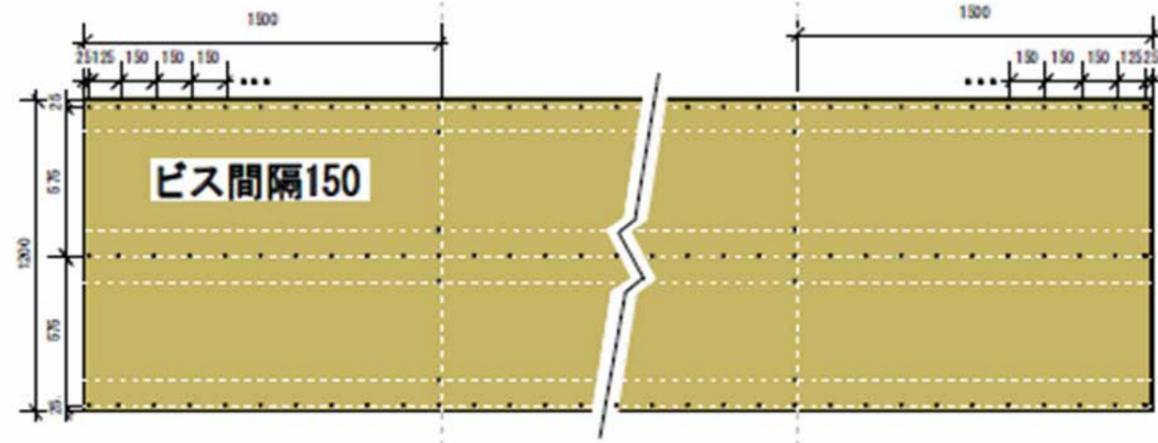
タイプ b

接着剤併用ビス

中大規模木造建築において大スパンの床構面を架け渡す方法として、ストレススキンパネルの利用が考えられる。ストレススキンパネルでは上下面のフランジにLVLまたは合板を、またウェブにはLVLまたは集成材を配置し、フランジとウェブをビス留め等により接合して製造する。ストレススキンパネルを設計する場合、「木質構造接合部設計マニュアル」記載の重ね梁の計算手順に準拠して必要な断面寸法を計算することが可能であるが、計算手順が煩雑であることや、実用的なビスピッチではフランジ-ウェブの接合効率が十分得られないこともあって、降伏耐力についてはウェブのみが力を負担すると仮定した安全側設計を行うことも多い。ストレススキンパネルの接合面に接着剤を塗布してビス留めすれば接合効率は向上し、フランジとウェブを一体断面として、たわみや振動の計算だけでなく長期許容応力度の検定も可能となることが考えられる。

本資料では、ストレススキンパネルの設計において、接合面に接着剤を塗布した際の耐力や剛性の評価方法について検証したものである。本資料で使用する接着剤は幅広い環境条件と許容度の広い作業条件で安定した接着性能を発揮する現場施工対応の床根太用接着剤 (JIS A5550) を想定したものであるが、一般に接着剤は接着・養生条件によって接着力が変化するとされており、実設計に適用する場合施工条件に注意が必要である。

● 姿図・寸法



【使用材料】

フランジ : カラマツ LVL 90E-1 級 45V-38H 厚 38mm 直交層有
 ウェブ : カラマツ LVL 120E-1 級 50V-43H 厚 50mm 直交層無
 接合具 ビス : パネリドⅡ +P6 × 90、150mm ピッチ 接着剤:ウレタン系現場用接着剤 UR-70(オーシカ)

● 適用条件

接着剤の使用条件に記載された塗布量、温湿度環境、圧着までの時間、接着面の油や汚れの除去、雨仕舞養生などの施工条件を満たす場合にのみ適用可能とする。また、使用条件は室内のみで屋外露出部分には使用してはならない。

● 概要

ビス留め部周辺 (φ 60mm 相当) に接着剤を塗布した状態を接着併用ビス接合部 1 箇所として定義し、一面せん断試験により評価。

● 接合具 (メーカー、入手方法等)

接着剤: 株式会社オーシカ
 ビス: 東日本パワーファスニング株式会社

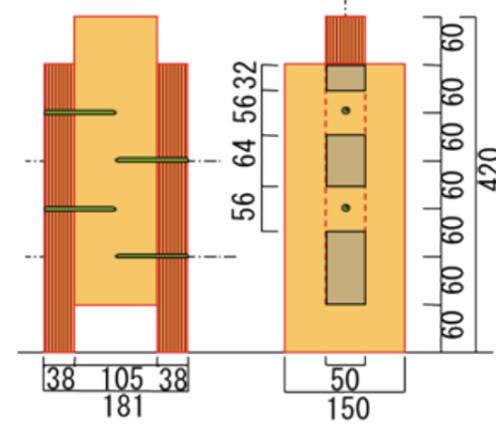
● 問い合わせ先 URL

株式会社オーシカ 03-5916-8851 <http://www.oshika.co.jp>
 東日本パワーファスニング株式会社 022-351-7330 <http://www.e-jpf.co.jp/>

● 理論式 ● 計算式

一面せん断試験結果による試験値のみであるため、理論式・計算式は無い。耐久性・使用環境の影響、施工性の影響等を勘案して定める低減係数 α は、適用条件の範囲内の使用においては、室内床のみの場合 $\alpha 1=1.0$ 、耐久性の影響 $\alpha 2=0.9$ 、施工性の影響 $\alpha 3=0.8$ 、その他工学的判断 $\alpha 3=0.8$ とし、 $\alpha = \min(\alpha 1, \alpha 2) \times (\alpha 3 \text{ 又は } \alpha 4) = 0.72$ と設定する。

● モデル化

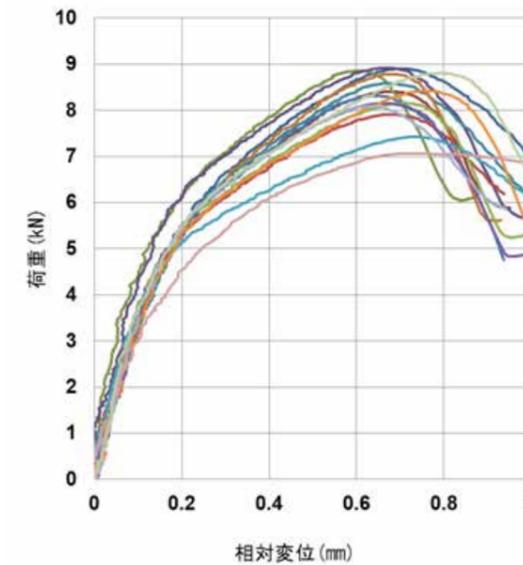


● 特性値

接合部一箇所あたりのせん断性能 (※計測荷重の 1/4 で計算)

	平均			95% 下限値			
	Pmax	Py	K	Pmax	Py	K	
ビス留めのみ	3.62	1.92	2.50	3.18	1.63	1.92	
接着・ビス 留め併用	コントロール	8.32	4.78	30.70	7.23	4.10	22.67
	接着層に隙間がある場合	7.22	4.07	14.05	6.58	3.56	8.82
	養生後水浸せき処理	7.93	4.27	23.18	6.23	3.06	16.62
実際の SSP (全面塗布)	21.56	12.22	40.19	19.03	10.51	28.32	

● 荷重変形



接着・ビス併用試験体での接合部一か所あたりの荷重 - 変位曲線

● 破壊性状

接着剤の凝集破壊が主であり、LVL 直行層でのローリングシア破壊も発生するが、最大耐力に大きな差はみられない。接着層に隙間がある場合は凝集破壊が増加し、ビスの変形もみられる。



要材

接合具

部組材立

接合部

屋根

柱

梁

1/2スレ

壁

床

集成材

LVL

製材

合板

その他

近年幅広い環境条件と許容度の広い作業条件で安定した接着性能を発揮する現場施工対応の床根太用接着剤 (JIS A5550) が普及しているが、JIS A5550 ではせん断強度のみを規定しており、剛性などの金物接合と同様の評価は行われていない。本試験は接着剤を併用したストレススキンパネルの設計を行うことを想定して、ビス留めと床根太用接着剤を併用した接合部について接合性能を求めたものである。

試験の概要

接着面積を規定するため、側材に 0.08mm 粘着テフロンシートを貼付し、カッターナイフを用いてビス位置を中心とする開口部を作成した。その後、開口部全体を満たす分量の接着剤を塗布し、直ちに貼り合わせてビス留めた。接着剤を塗布しない試験体についてはテフロンシートの貼付は行わなかった。以上の手順により作成した試験体を、試験開始まで約 20℃ に設定した室内に保管し、7 日間以上の養生後、試験に供した。一般に接着剤は接着・養生条件により十分な接着性能が得られないとされることから、接着面にすき間のある試験体 (JIS A5550 に準拠して主材と側材の接着面に ϕ 1.6mm 針金をはさみ接合したもの)、および作成した試験体への水がかり処理 (耐力壁面材の促進処理: 用途 II) についても試験を行った。

試験結果

ビス留めのみの場合と比較して接着・ビス留め併用接合では最大耐力 (Pmax)、剛性 (K) 共に増加するが、接合部に隙間を設けた試験体では耐力はほとんど変わらないものの剛性が大きく低下する傾向が見られる。すき間の有無にかかわらず耐力の変動が小さい理由として、この接着剤では凝集破壊が支配的であることが考えられる。したがって塗布条件 (塗布量、温湿度環境、オープンタイム等) を管理する限りにおいては、いずれの材種やビスを組み合わせても耐力の変動は小さいと考えられる。一方、全面塗布した実際の SSP から一面せん断試験体を採取して評価したところ、Pmax、K ともに大きな値を示した。実際の SSP ではテフロンシートや針金によるすき間は存在しないこと、また接合面全面に接着剤が塗布されることを考慮すれば、本試験から求められる剛性は安全側で評価されることが考えられる。以上より、実際の SSP では、本試験のコントロールの 95% 下限値 (剛性 K は平均値) に低減係数 α を乗じた値で設計すれば問題ないと考えられる。

バリエーション

本試験ではフランジおよびウェブに LVL を用いたが、集成材や合板を用いた場合についても下図のような形状の試験体を用いることで同様の評価を行うことが可能となる。面材の種類によって水や湿度による接着力や耐力の低減が想定される場合は、想定される条件下における接合性能の評価も必要であると考えられる。

