

概要

木造戸建て住宅において、2階床などに広く使われているのが合板張りの床構面である。住宅の品質確保の促進等に関する法律に基づく平成13年国土交通省告示第1346号「日本住宅性能表示基準」の評価方法基準では、厚さ24mm以上の構造用合板を張った床の存在床倍率が3.0と最高の値を与えられており、現在の新築木造軸組工法住宅の半数以上が厚物構造用合板を床に張った仕様を採用している。

一方、中層大規模木造建築物においても、合板を張った床構面は地震力などの外力に抵抗する耐震要素として重要な部材となり得るが、中層大規模木造建築物では、戸建て住宅以上の高いせん断性能が要求されるため、住宅用途として認められている床倍率の数値以上の性能が必要となってくる。

そこで、構造計算により任意仕様の合板張り床構面のせん断性能を求めることになるが、ここで大きな問題となるのが、「面材耐力壁」でも記載したように、構造用合板などの建築物に使われる構造用面材（構造用合板、構造用パネル（OSB）、パーティクルボード（PB）、中密度繊維板（MDF）など）には、基準強度や許容応力度が定められていない、という点である。そのため、材料単体の強度や許容応力度を元に構造物の設計をすることはできず、面材張り耐力壁やストレススキンパネルのように、構面としての性能を実験的あるいは理論的に求めて、それを元に許容耐力を設定、運用せざるをえないという実態がある。しかも、この構面としての性能の求め方は、戸建て住宅に使用する性能レベルであれば、財団法人や業界団体などが発行している技術書^{1,2)}に記載された方法に倣えば、建築主事確認でも問題なく認められる場合が多いが、中層大規模木造建築物用の耐震要素となると、そのような技術書の適用範囲を超えてしまうため、同様の計算手法を採用したとしても、その構造安全性については評価機関で構造評定などの評価を受ける必要が生じる可能性もある。

そこで本設計データでは、中層大規模木造建築物に使用するための合板張り床構面の性能について、実験的な検証を行っている。

力の伝達方法

合板張り床構面に伝達された外力（せん断力）は、軸組材から釘接合部を介して構造用合板に伝達される。変形は、軸組材の変形（柱・横架材の曲げ変形）、釘接合部のせん断変形、構造用合板の面内せん断変形の3種類が複合されたものとなるが、一般的には釘接合部のせん断変形が最も大きく、釘接合部の一面せん断性能を元にして壁のせん断性能を予測することが可能である。

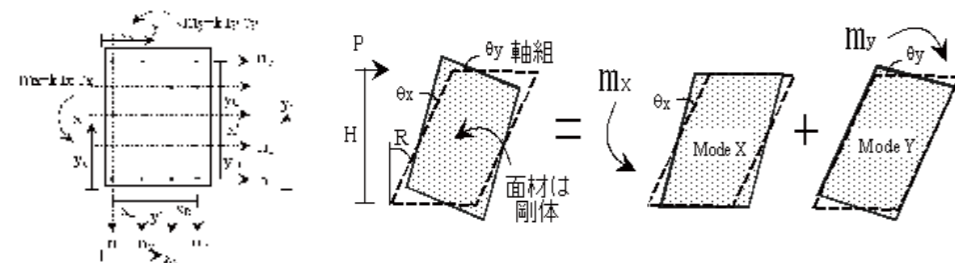


図 面材張り構面のモデル化の例

使用する接合具

合板張り床構面に使用する接合具としては、構造用合板を留め付ける釘（N釘、CN釘）が最も重要である。釘は、軸組構法で一般的に使用される普通鉄丸釘（N釘、JIS A 5508）、あるいは枠組壁工法で一般的に使用される太め鉄丸釘（CN釘、JIS A 5508）が国内どこでも購入でき、性能も安定している。

本設計データのような厚さ24mm、28mmの構造用合板を用いるのであれば、釘の長さは75mm程度（N75釘、又はCN75釘）が最適である。75mmより短い釘を使う場合は、軸組材への打ち込み深さが短くなるために引き抜き抵抗が弱まり、釘接合部のせん断性能としては粘り強さが低下する傾向がある。一方、75mmよりも長い釘を用いる場合には、胴部径も太くなるために釘の引き抜けが起きにくくなり、釘頭が合板を貫通するような破壊（パンチングアウト）を起こす危険性が高まる。

釘接合部の性能については、用いる面材の厚さや密度（樹種）、軸組材の密度（樹種）、釘の種類や長さなどによって様々に変化するものである。よって、床構面の設計の際には、実際に使用する材料を用いた釘接合部になるべく近い一面せん断データを収集するか、もしくは実験的に確認するなどしてより正確なデータを元に床構面の性能予測をすることが望ましい。

継手・仕口接合

面材張り床構面の性能を十分発揮させるためには、床組周囲の仕口が先行して破壊しないことが重要である。そのため、仕口接合部にはHD金物や羽子板金物等を使用して接合部の脱落を防ぐ必要がある。本設計データでは、仕口の接合金物に羽子板金物を使用した。

桁や胴差しに継手が存在する場合については、床組が変形した際に継手部分が先行破壊しないことが重要であり、プレート型の金物やHD金物等で緊結する必要がある。また、継手を設ける位置については、曲げモーメントの大きくなる箇所はなるべく避けるなどの配慮が必要である。

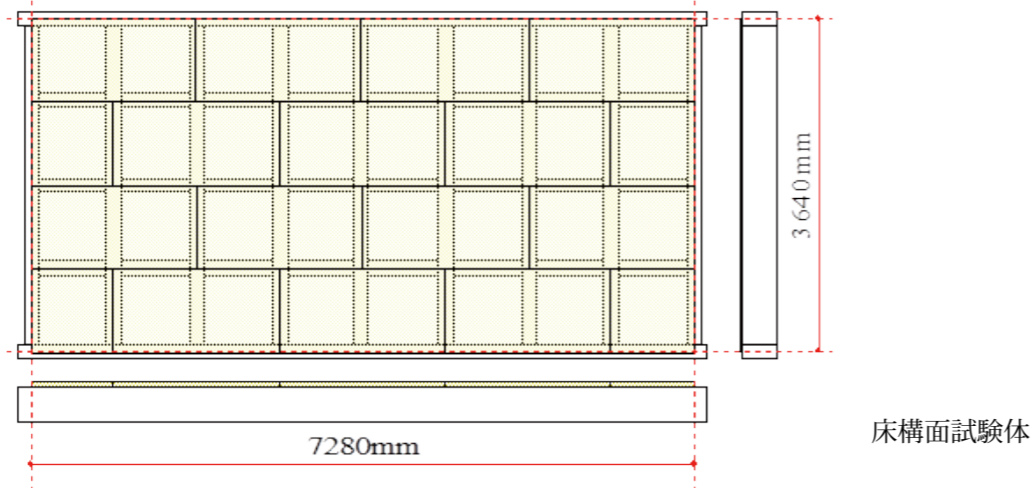
設計における考え方と適用範囲

合板張り床構面の設計に用いる釘接合部のデータや、面材張り構面のモデル化の手法については既に多くの研究実績があり、参考となる書籍^{1,2など}も多いが、それらの多くは一般的な住宅に適用する構面を想定してモデル化等されたものであり、中層大規模木造建築物に用いるような高強度床構面についての検証がなされていないわけではない。よって、釘間隔を極端に狭めたり、非常に太い釘を打ったりすると、想定外の破壊を起こす危険性もあるので注意が必要である。

文献

- 1) (財)日本住宅・木材技術センター編：木造軸組工法住宅の許容応力度設計、2008
- 2) 枠組壁工法建築物設計の手引・構造計算指針編集委員会編：2007年枠組壁工法建築物構造計算指針、(社)日本ツーバイフォー建築協会、2007

● 姿図・寸法



床構面試験体

【使用材料】

梁・桁：120mm × 240mm (カラマツ集成材、E105-F300) 接合具：CN75@75 × 2列打ち
 小梁：120 × 120mm (カラマツ集成材、E105-F300) 仕口金物：羽子板金物
 合板：24 × 910 × 1820 (構造用合板特類2級、全層スギ)

● 適用条件

軸材で作ったフレームに、構造用合板を釘打ちした床構面に適用する。梁桁接合部はピン接合とし、先行破壊しないよう接合金物等で緊結するものとする。面材の留め付けは釘 (N釘またはCN釘) を使用することとし、ビスは接合具のデータが一般的でないため適用除外とする。

● 概要

一般的な住宅に多用される構造用合板張り床構面であるが、中層大規模木造建築においても、せん断力抵抗要素として重要な部材となり得る。中層大規模木造建築物では高いせん断耐力が要求されるが、軸組材に関しては住宅用よりも太い断面の部材を、構造用合板は厚さ24mm、28mmといった厚物合板を用い、釘打ち間隔を狭めることによって比較的容易に要求性能を満たす性能を得ることが可能である。本仕様では、国産スギ材の適用可能性を検証するため、厚さ24mmのスギ合板を使用し、短期基準せん断耐力30kN/m程度を目標性能とした。

● 接合具 (メーカー、入手方法等)

CN釘 (一般流通品)、羽子板金物 (Zマーク金物/一般流通品)

● 問い合わせ先 URL

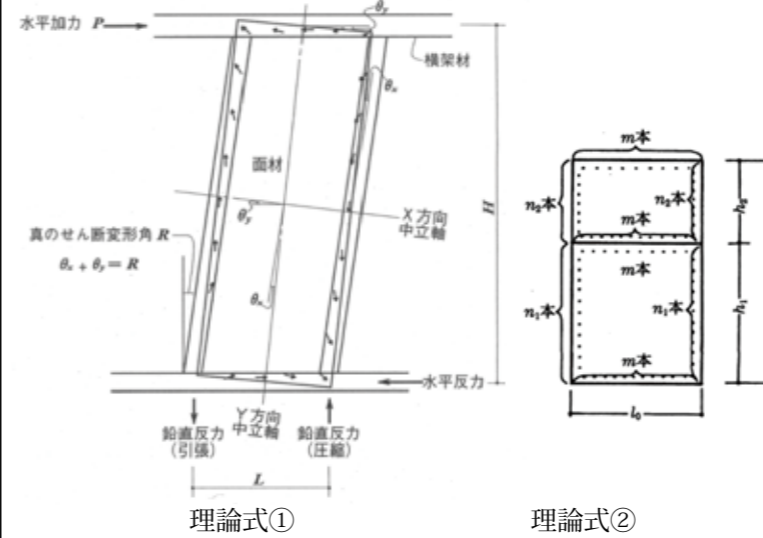
<http://www.jpma.jp> <日本合板工業組合連合会>

● 理論式

- ① 面材と軸材が剛体、軸材同士はピン接合と仮定し、釘1本のせん断データより床構面要素の許容せん断耐力と剛性を算定する。詳細は、(財)日本住宅・木材技術センターの「木造軸組工法住宅の許容応力度設計」を参照のこと。
- ② 枠組材の曲げを無視し、釘と面材に作用するせん断力が平行であると仮定し、釘1本の降伏せん断耐力と本数のかけ算により許容せん断耐力を算定する。詳細は、(社)日本ツーバイフォー建築協会の「枠組壁工法構造計算指針」を参照のこと。

● モデル化

要素モデル：



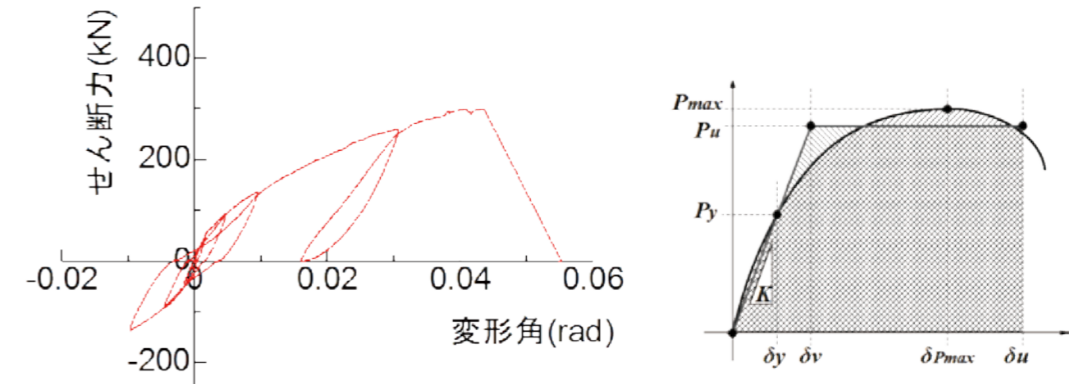
等価モデル：

床構面のせん断剛性を等価たすきブレースの軸剛性に置換する

● 特性値

	K (kN/rad/m)	Py (kN/m)	Pmax (kN/m)	Pu (kN/m)	δ_y (10 ² rad)	δ_v (10 ² rad)	δ_{Pmax} (10 ² rad)	δ_u (10 ² rad)
実験値	3251	40.5	82.1	72.7	1.25	2.24	4.45	4.83

● 荷重変形



(注：実験値は床長さ3.64mの負担せん断力)

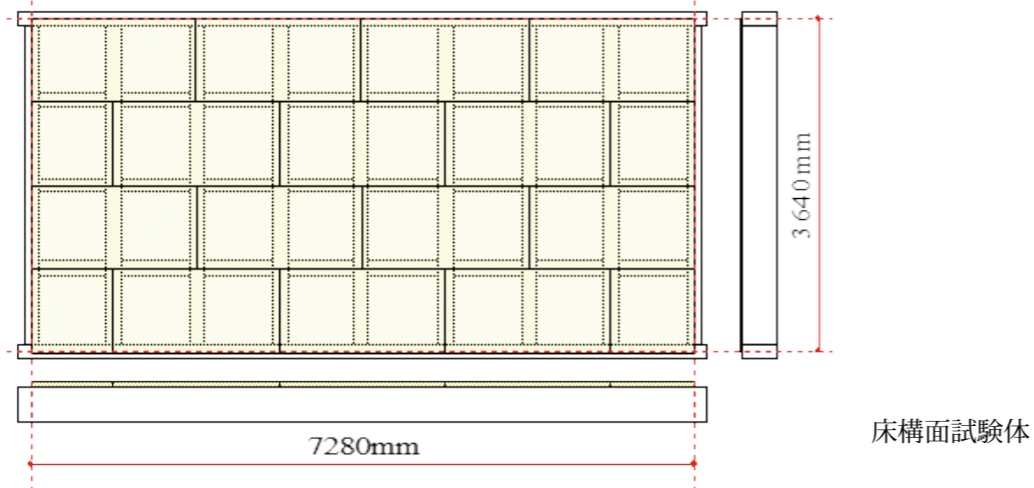
● 破壊性状

・引張側の桁が曲げ破壊し、それに伴い合板継ぎ目部で梁が割裂破壊もしくは合板の引張破壊。



要材
 要素
 接合具
 部組材立
 接合部
 屋根
 柱
 梁
 ブスレ
 壁
 床
 集成材
 LVL
 製材
 合板
 その他

● 姿図・寸法



【使用材料】

梁・桁：120mm × 240mm (カラマツ集成材、E105-F300) 接合具：CN75@50 × 2列打ち
 小梁：120 × 120mm (カラマツ集成材、E105-F300) 仕口金物：羽子板金物
 合板：28 × 910 × 1820 (構造用合板特類2級、全層スギ)

● 適用条件

軸材で作ったフレームに、構造用合板を釘打ちした床構面に適用する。梁桁接合部はピン接合とし、先行破壊しないよう接合金物等で緊結するものとする。面材の留め付けは釘 (N釘またはCN釘) を使用することとし、ビスは接合具のデータが一般的でないため適用除外とする。

● 概要

一般的な住宅に多用される構造用合板張り床構面であるが、中層大規模木造建築においても、せん断力抵抗要素として重要な部材となり得る。中層大規模木造建築物では高いせん断耐力が要求されるが、軸組材に関しては住宅用よりも太い断面の部材を、構造用合板は厚さ24mm、28mmといった厚物合板を用い、釘打ち間隔を狭めることによって比較的容易に要求性能を満たす性能を得ることが可能である。本仕様では、国産スギ材の適用可能性を検証するため、厚さ28mmのスギ合板を使用し、釘打ち間隔を50mmにすることで目標性能を短期基準せん断耐力40kN/m程度とした。

● 接合具 (メーカー、入手方法等)

CN釘 (一般流通品)、羽子板金物 (Zマーク金物/一般流通品)

● 問い合わせ先 URL

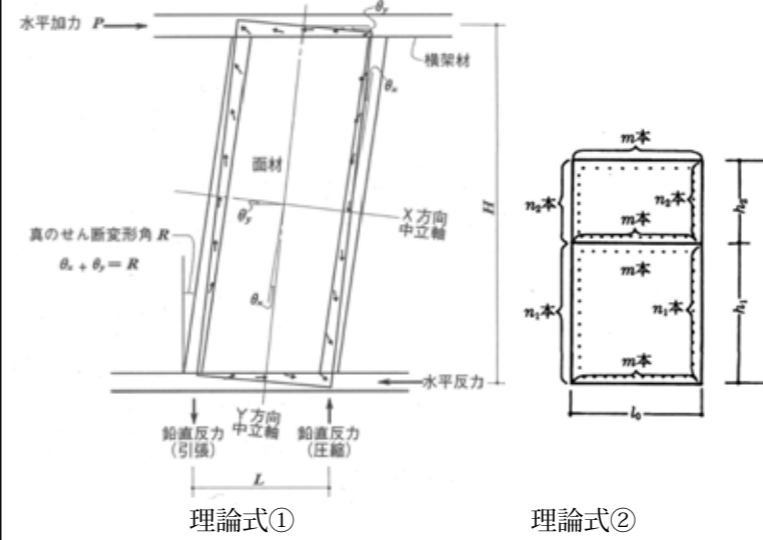
<http://www.jpma.jp> <日本合板工業組合連合会>

● 理論式

- ① 面材と軸材が剛体、軸材同士はピン接合と仮定し、釘1本のせん断データより床構面要素の許容せん断耐力と剛性を算定する。詳細は、(財)日本住宅・木材技術センターの「木造軸組工法住宅の許容応力度設計」を参照のこと。
- ② 枠組材の曲げを無視し、釘と面材に作用するせん断力が平行であると仮定し、釘1本の降伏せん断耐力と本数のかけ算により許容せん断耐力を算定する。詳細は、(社)日本ツーバイフォー建築協会の「枠組壁工法構造計算指針」を参照のこと。

● モデル化

要素モデル：



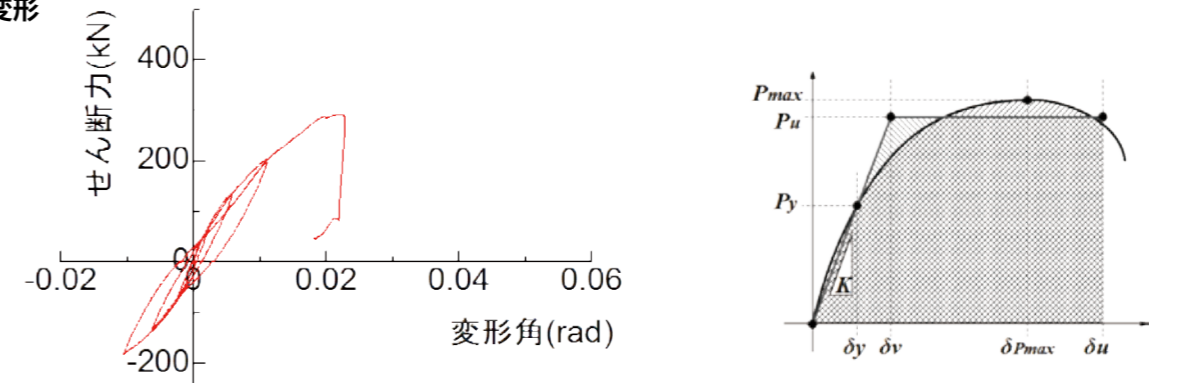
等価モデル：

床構面のせん断剛性を等価たすきブレースの軸剛性に置換する

● 特性値

	K (kN/rad/m)	Py (kN/m)	Pmax (kN/m)	Pu (kN/m)	δ_y (10^{-2} rad)	δ_v (10^{-2} rad)	δ_{Pmax} (10^{-2} rad)	δ_u (10^{-2} rad)
実験値	5872	38.0	80.2	70.2	0.65	1.20	2.38	2.44

● 荷重変形



(注：実験値は床長さ3.64mの負担せん断力)

● 破壊性状

加力点の桁がめり込み破壊し、加力途中で試験を中止。終局まで試験できていれば、より高い性能値が得られていたと推定される。



要材
素

接合
具

部組
材立

接合
部

屋根

柱

梁

1/2
スレ

壁

床

集
成
材

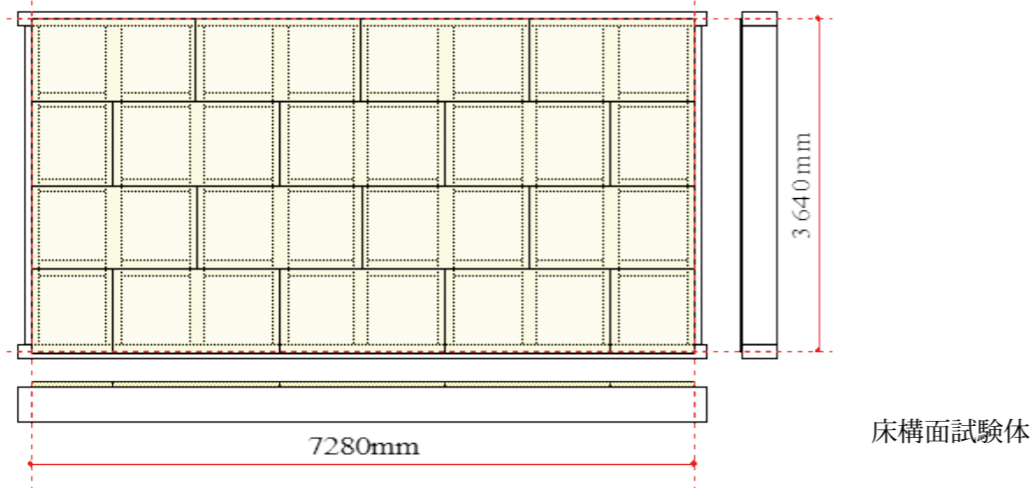
「 \sim 」
」

製
材

合
板

そ
の
他

● 姿図・寸法



【使用材料】

梁・桁：120mm × 240mm (カラマツ集成材、E105-F300) 接合具：CN75@50 × 2列打ち
 小梁：120 × 120mm (カラマツ集成材、E105-F300) 仕口金物：羽子板金物
 合板：28 × 910 × 1820 (構造用合板特類2級、カラマツスギ複合)

● 適用条件

軸材で作ったフレームに、構造用合板を釘打ちした床構面に適用する。梁桁接合部はピン接合とし、先行破壊しないよう接合金物等で緊結するものとする。面材の留め付けは釘 (N釘またはCN釘) を使用することとし、ビスは接合具のデータが一般的でないため適用除外とする。

● 概要

一般的な住宅に多用される構造用合板張り床構面であるが、中層大規模木造建築においても、せん断力抵抗要素として重要な部材となり得る。中層大規模木造建築物では高いせん断耐力が要求されるが、軸組材に関しては住宅用よりも太い断面の部材を、構造用合板は厚さ24mm、28mmといった厚物合板を用い、釘打ち間隔を狭めることによって比較的容易に要求性能を満たす性能を得ることが可能である。本仕様では、厚さ28mmのカラマツスギ複合合板を使用し、釘打ち間隔を50mmにすることで目標性能を短期基準せん断耐力40kN/m以上とした。

● 接合具 (メーカー、入手方法等)

CN釘 (一般流通品)、羽子板金物 (Zマーク金物/一般流通品)

● 問い合わせ先 URL

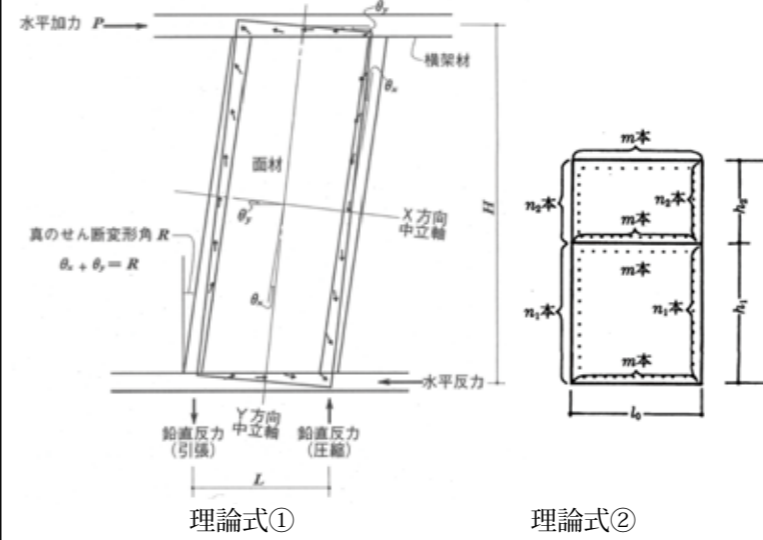
<http://www.jpma.jp> <日本合板工業組合連合会>

● 理論式

- ① 面材と軸材が剛体、軸材同士はピン接合と仮定し、釘1本のせん断データより床構面要素の許容せん断耐力と剛性を算定する。詳細は、(財)日本住宅・木材技術センターの「木造軸組工法住宅の許容応力度設計」を参照のこと。
- ② 枠組材の曲げを無視し、釘と面材に作用するせん断力が平行であると仮定し、釘1本の降伏せん断耐力と本数のかけ算により許容せん断耐力を算定する。詳細は、(社)日本ツーバイフォー建築協会の「枠組壁工法構造計算指針」を参照のこと。

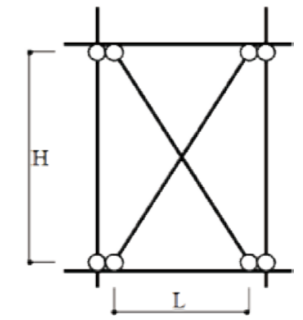
● モデル化

要素モデル：



等価モデル：

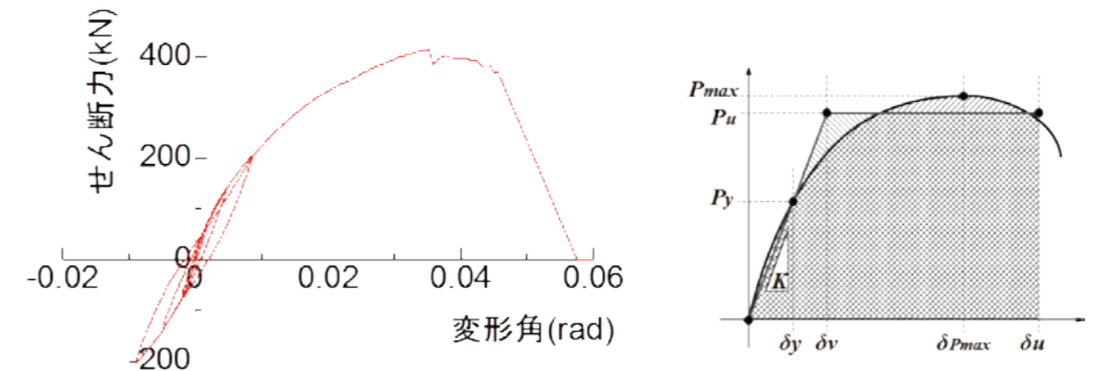
床構面のせん断剛性を等価たすきブレースの軸剛性に置換する



● 特性値

	K (kN/rad/m)	Py (kN/m)	Pmax (kN/m)	Pu (kN/m)	δ_y (10^{-2} rad)	δ_v (10^{-2} rad)	δ_{Pmax} (10^{-2} rad)	δ_u (10^{-2} rad)
実験値	5972	60.2	113.7	104.3	1.01	1.75	3.59	5.35

● 荷重変形



(注：実験値は床長さ3.64mの負担せん断力)

● 破壊性状

・引張側の桁が曲げ破壊し、それに伴い合板継ぎ目部で梁が割裂破壊もしくは合板の引張破壊。



構造システムと施工の注意点

合板張り床構面は、構造用合板を釘で軸組材に留め付けるだけで、高度な加工や施工技術を必要とせず、容易に高耐力を得る事ができる耐震要素である。また、合板の厚さや樹種、釘の種類やピッチを変えることで性能をある程度自由に操作することが可能であり、中層大規模木造建築物のような高耐力部材を必要とする建築物にも適用することが可能である。

施工の際は、定められた釘ピッチを遵守すること、合板材縁部からの距離（縁距離）を確実に確保すること、軸組材側の縁距離も同様に確保すること、釘頭を過度にめり込ませないことが重要である。また、合板張り床構面が十分に性能を発揮するために、仕口接合部が先行破壊しないよう、適切に金物を使用するなどして補強することが必要である。

一方、軸組として用いる桁、胴差しに継手が存在する場合は、床構面が曲げ変形した際に継手部分に引張力が働くため、プレート金物やHD金物等で適切に補強することが肝要である。

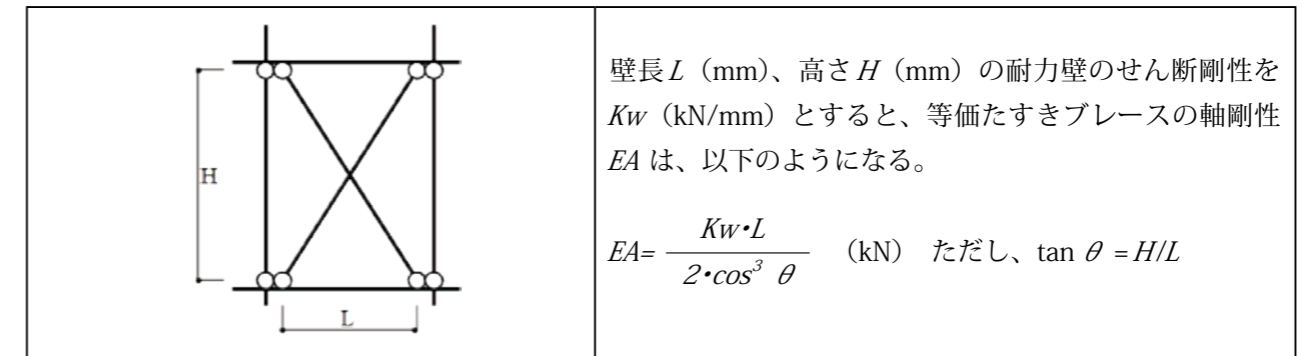
解析モデル

解析モデルとしては、軸組材接合部は回転抵抗不要なピン接合でよく、釘接合部を含む構造用合板は、等価軸剛性を持つブレースに置換することでモデル化が可能である。

しかし、合板張り床構面は初期変形時より非線形な挙動を示し、厳密には直線域を持たない挙動を示すため、そのブレース置換時の剛性を、床構面の荷重変形関係のどの剛性を採用するかで解析結果も変わってくる。しかし、一般的には床構面は弾性範囲の解析で十分と思われるので、床構面の荷重変形関係を完全弾塑性モデル化（バイリニア化）した時の剛性を使うことで問題は無いと思われる。

外周の軸組を単一材（連続梁）としてモデル化する手法も考えられるが、釘接合部性能を元にした構面のモデル化（耐力算定）は最小ユニットを基本としているため、外周軸組を連続梁としてモデル化しない方が構面としての変形量は実際よりも過大に評価され、安全側の評価が得られると考えられる。一方、外周軸組を連続梁としてモデル化するときには、梁の曲げ剛性ととも、継手部分のモデル化も行わないと危険側の評価となる可能性があるため注意が必要である。

なお、本設計データでは、実験結果をバイリニア化して剛性、終局耐力、降伏点変形角、終局変形角等のデータを掲載したが、このデータは試験体1体の実験結果から導き出したデータであり、実験結果のバラツキや耐久性を考慮した低減、施工のバラツキなどを考慮した低減などを見込んでいない。よって、解析の際にはそれらを設計者の方で適切に判断して安全側の数値を用いることが重要である。



合板床構面のモデル化

バリエーション

住宅の床構面は梁間隔が 0.9 ~ 1.0m 程度の範囲内で使用することが多いが、中層大規模木造建築物では、梁間隔 1m 以上で使用される場合も考えられる。軸組材は断面の大きな部材を使用することは可能であるが、構造用合板に関しては製造装置の関係から、特に大型のパネルを製造することはできない。よって、合板の JAS 規格に定められた寸法範囲内で、製造可能な材料寸法を考慮しながら構面のモジュールなどを決定していくことが必要となる。

釘打ちに関しては、品確法で定められている床倍率の仕様の釘打ち仕様から、本設計データで提示した釘打ち仕様との間の範囲であれば、構造用合板や釘接合部での想定外の破壊は起きないと判断できるので、必要性能に応じて構面を設計することが可能であろう。

ストレススキンパネルは主として軸材であるウェブに、面材であるフランジを片面または両面に留めつけることによって、ストレススキン効果と呼ばれる断面性能の向上が見込める構造である。小梁の出ないフラットスラブ空間をつくるのに適した木造ボイドスラブ構造であるため、二階建て校舎などで教室サイズのスパンがとんだ2階床スラブを、天井高を確保しながら支持しなければならないときなどに便利である。また、フランジの規格幅に応じてユニット化したパネル構法としての展開も期待できる。

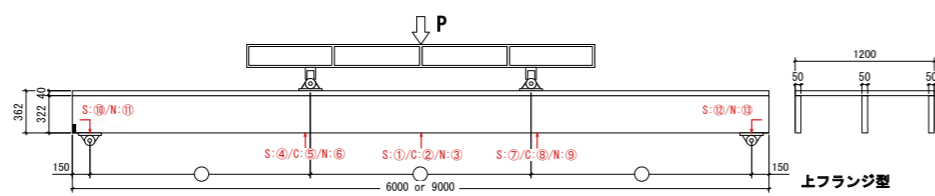
なお、ストレススキンパネルの接合形式には、主に釘・ビス等のせん断接合具による接合形式と、せん断接合具と接着剤を併用した接合形式が存在する。前者の形式を用いたストレススキンパネルはせん断接合を用いた重ね梁として設計する必要があるが、面外曲げに対する曲げ剛性および特性値はせん断接合の性能に大きく影響を受ける。また、後者の形式を用いたストレススキンパネルは、十分な強度・剛性を有する接着剤を用いた場合、一体断面として挙動する断面効率に優れた構造となる。また、前者のものに比べて曲げ剛性および特性値が高くなり、複合材として容易に設計を行うことができる。

LVL (Laminated Veneer Lumber) は単板積層材とも呼ばれる、単板を同じ向きに積層接着した木質材料である。その製造工程は合板と似ているが、単板の積層方向を統一することによって強度・剛性が長さ方向に特化した材料となっている。また、LVL は単板をスカーフジョイントで縦継ぎしていくという点でも合板とは異なっており、単板の長さに影響されず、製材や合板では通常得られないような長尺の面材を得ることができる。こうしたLVLの特性は、中大規模木造に必要な大スパンのストレススキンパネルのフランジに利用する上で、強度・曲げ剛性・施工性の観点から他の木質材料に比べて有利なものであると言える。

ただし、構造用LVLは一般に軸材として用いられることが多く、面材として利用する場合、反り・ねじれといった材の暴れを発現する可能性が高くなる。床の水平に影響する面材であるフランジが変形した場合、居住性に問題が生じる恐れがあるため、これを緩和する目的で構造用LVLの積層単板を全て同一方向に揃えるのではなく、一部直交層を挿入した仕様(LVL)にすることが望ましい。試験時(2010年)の日本農林規格(JAS)の定める構造用LVLの仕様では、最外層単板に隣接する層を直交単板とすることが認められており、LVL-SSPのフランジには、この仕様の直交層入りのLVLを使うことが寸法安定性のうえで必要であると考えられる。

また、以下実験で扱うLVL-SSPは、極力小さな材積で十分な曲げ性能を発揮させるためにウェブにも構造用LVLを縦使いで用いることとした。ウェブには寸法安定性よりも、全体のたわみを抑えるために剛性を優先させることが望ましく、ウェブに用いる構造用LVLには直交層は挿入しないこととした。LVLに用いる樹種は、ウェブ・フランジ共にスギとカラマツのものを用意し、試験体の組み合わせとしては、スギ同士とカラマツ同士の組み合わせの2種類を用意した。

● 姿図・寸法



ウェブ：LVL（80E、スギ）

フランジ：LVL（60E、スギ） / ビスのみ接合 / 上フランジ型 / 6000mm スパン

【使用材料】

ウェブ スギ LVL 80E-1 級 40V-34H 50mm × 322mm

フランジ スギ LVL 60E-1 級 40V-34H 40mm × 1200mm

接合具 ビス：パネリード P6 × 90II+ (d=6.0mm、L=90mm、東日本パワーファスニング株式会社)

接着剤：UR-70（1液ウレタン系、株式会社オーシカ）

● 適用条件

ウェブとフランジを留めつけるビス間隔はウェブ - フランジ間の接着剤を見込まずに、せん断接合具を用いた組立¹⁾とみなして長期鉛直荷重によるせん断力に耐え得るように決定する。

1) 日本建築学会（2009）, 木質構造接合部設計マニュアル Design Manual for Engineered Timber Joints, 丸善, 4.4.1 せん断接合具を利用した組立梁, pp179

● 概要

LVLのみで構成された継ぎ手の無い大スパンのストレススキンパネルの実大材4点曲げ試験（単調押し切り加力）を行った。加力速度は Pmax/10min 以下とし、荷重が Pmax の 8 割に低下するまで加力を続した。中央たわみの変位測定（変位計①）により、荷重（たわみ）変形関係を求め、曲げ性能の評価を行った。

表 試験体種類（全 16 種類）

試験体名	LVL樹種	接合形式	断面形状	長さ[mm]	ビス間隔[mm]	試験体数
C1-6000	スギ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	各3体
C1-9000			9000			
C2-6000		上下フランジ型	6000	150		
C2-9000			9000	100		
CB1-6000		接着ビス	上フランジ型	6000	200	
CB1-9000			9000			
CB2-6000	上下フランジ型	6000	150			
CB2-9000		9000	100			
L1-6000	カラマツ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	
L1-9000			9000			
L2-6000		上下フランジ型	6000	150		
L2-9000			9000	100		
LB1-6000		接着ビス	上フランジ型	6000	200	
LB1-9000			9000			
LB2-6000	上下フランジ型	6000	150			
LB2-9000		9000	100			

● 接合具（メーカー、入手方法等）

—

● 問い合わせ先 URL

—

● 理論式

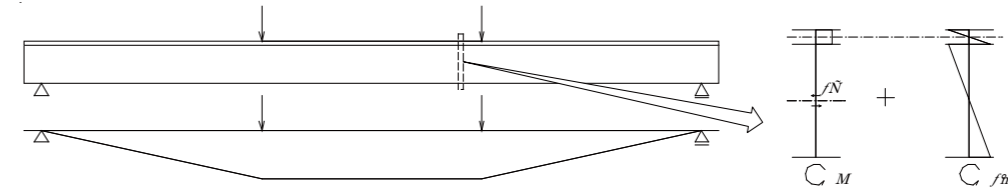
—

● 計算式

—

● モデル化

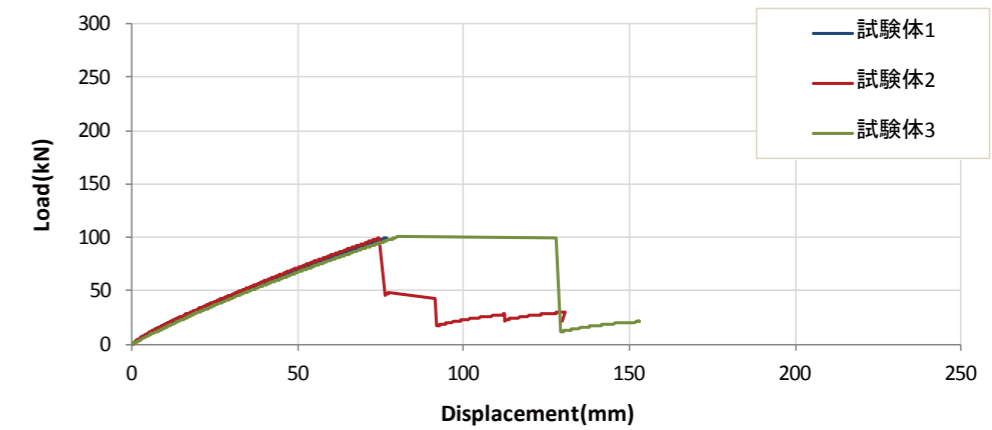
- ・せん断遅れによるフランジ幅の低減（有効幅）
- ・せん断接合具を用いた重ね梁理論の導入



● 特性値

		初期剛性 K	降伏耐力 Py	最大耐力 Pmax
		[kN/mm]	[kN]	[kN]
C1-6000	1	1.51	46.1	99.6
	2	1.54	47.5	99.6
	3	1.41	48.9	101.5
	AVE.	1.49	47.5	100.2
	S.D.	0.068	1.37	1.11

● 荷重変形



● 破壊性状

- ・ビスのせん断降伏と、それに伴う断面性能の低下が進行することでウェブの曲げ破壊が発生して最大耐力が決定した。3 試験体とも同様の破壊性状を示した。

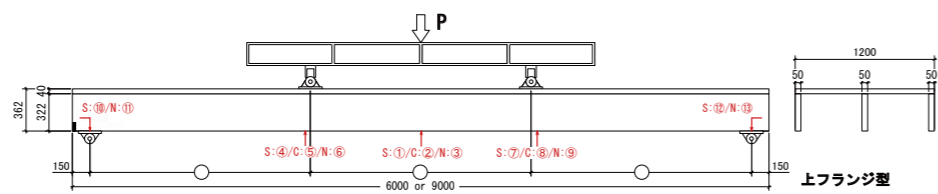


ビスのせん断変形に伴う部材間のずれ（試験体 1）



ウェブの曲げ破壊（試験体 1）

● 姿図・寸法



ウェブ：LVL（80E、スギ）

フランジ：LVL（60E、スギ） / ビスのみ接合 / 上フランジ型 / 9000mm スパン

【使用材料】

ウェブ スギ LVL 80E-1 級 40V-34H 50mm × 322mm

フランジ スギ LVL 60E-1 級 40V-34H 40mm × 1200mm

接合具 ビス：パネリード P6 × 90II+ (d=6.0mm、L=90mm、東日本パワーファスニング株式会社)

接着剤：UR-70（1液ウレタン系、株式会社オーシカ）

● 適用条件

ウェブとフランジを留めつけるビス間隔はウェブ - フランジ間の接着剤を見込まずに、せん断接合具を用いた組立¹⁾とみなして長期鉛直荷重によるせん断力に耐え得るように決定する。

1) 日本建築学会（2009）、木質構造接合部設計マニュアル Design Manual for Engineered Timber Joints, 丸善, 4.4.1 せん断接合具を利用した組立梁, pp179

● 概要

LVLのみで構成された継ぎ手の無い大スパンのストレートスキンパネルの実大材4点曲げ試験（単調押し切り加力）を行った。加力速度は Pmax/10min 以下とし、荷重が Pmax の 8 割に低下するまで加力を続した。中央たわみの変位測定（変位計①）により、荷重（たわみ）変形関係を求め、曲げ性能の評価を行った。

表 試験体種類（全 16 種類）

試験体名	LVL樹種	接合形式	断面形状	長さ[mm]	ビス間隔[mm]	試験体数
C1-6000	スギ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	各3体
C1-9000			9000			
C2-6000		上下フランジ型	6000	150		
C2-9000			9000	100		
CB1-6000		接着ビス	上フランジ型	6000	200	
CB1-9000			9000			
CB2-6000	上下フランジ型	6000	150			
CB2-9000		9000	100			
L1-6000	カラマツ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	
L1-9000			9000			
L2-6000		上下フランジ型	6000	150		
L2-9000			9000	100		
LB1-6000		接着ビス	上フランジ型	6000	200	
LB1-9000			9000			
LB2-6000	上下フランジ型	6000	150			
LB2-9000		9000	100			

● 接合具（メーカー、入手方法等）

—

● 問い合わせ先 URL

—

● 理論式

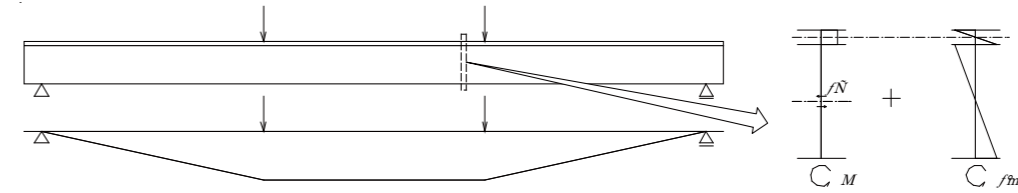
—

● 計算式

—

● モデル化

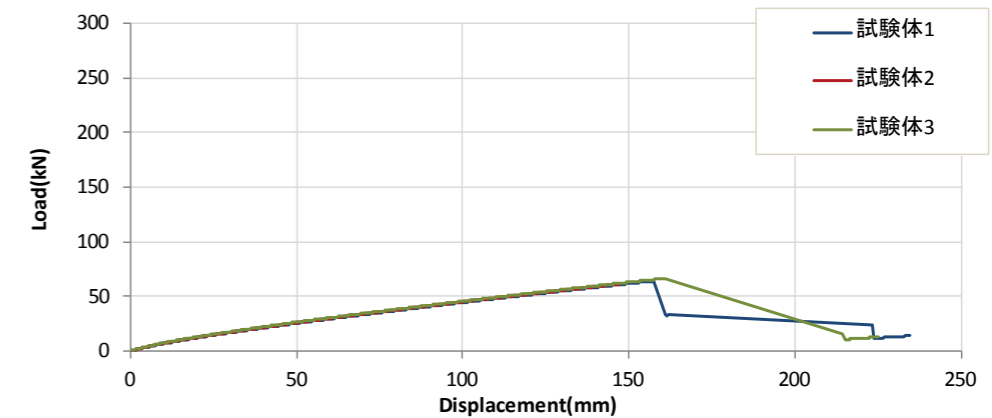
- ・せん断遅れによるフランジ幅の低減（有効幅）
- ・せん断接合具を用いた重ね梁理論の導入



● 特性値

		初期剛性 K	降伏耐力 Py	最大耐力 Pmax
		[kN/mm]	[kN]	[kN]
C1-9000	1	0.49	29.0	64.1
	2	0.51	27.9	61.3
	3	0.51	29.7	66.4
	AVE.	0.50	28.9	63.9
	S.D.	0.010	0.91	2.55

● 荷重変形



● 破壊性状

- ・ビスのせん断降伏と、それに伴う断面性能の低下が進行することでウェブの曲げ破壊が発生して最大耐力が決定した。3 試験体とも同様の破壊性状を示した。

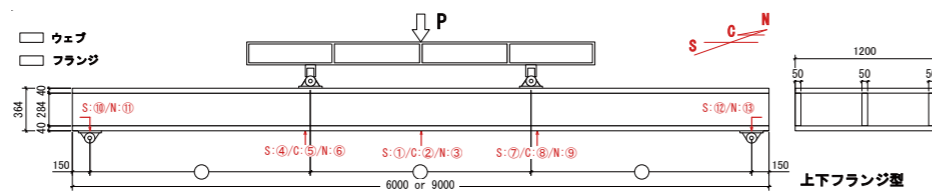


ビスのせん断変形に伴う部材間のずれ（試験体 2）



ウェブの曲げ破壊（試験体 2）

● 姿図・寸法



ウェブ：LVL（80E、スギ）

フランジ：LVL（60E、スギ） / ビスのみ接合 / 上下フランジ型 / 6000mm スパン

【使用材料】

ウェブ スギ LVL 80E-1 級 40V-34H 50mm × 284mm

フランジ スギ LVL 60E-1 級 40V-34H 40mm × 1200mm

接合具 ビス：パネリード P6 × 90II+ (d=6.0mm、L=90mm、東日本パワーファスニング株式会社)

接着剤：UR-70（1液ウレタン系、株式会社オーシカ）

● 適用条件

ウェブとフランジを留めつけるビス間隔はウェブ - フランジ間の接着剤を見込まずに、せん断接合具を用いた組立¹⁾とみなして長期鉛直荷重によるせん断力に耐え得るように決定する。

1) 日本建築学会（2009）、木質構造接合部設計マニュアル Design Manual for Engineered Timber Joints, 丸善, 4.4.1 せん断接合具を利用した組立梁, pp179

● 概要

LVLのみで構成された継ぎ手の無い大スパンのストレススキンパネルの実大材4点曲げ試験（単調押し切り加力）を行った。加力速度は Pmax/10min 以下とし、荷重が Pmax の 8 割に低下するまで加力を続した。中央たわみの変位測定（変位計①）により、荷重（たわみ）変形関係を求め、曲げ性能の評価を行った。

表 試験体種類（全 16 種類）

試験体名	LVL樹種	接合形式	断面形状	長さ[mm]	ビス間隔[mm]	試験体数
C1-6000	スギ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	各3体
C1-9000			9000	200		
C2-6000		上下フランジ型	6000	150		
C2-9000			9000	100		
CB1-6000		接着ビス	上フランジ型	6000	200	
CB1-9000			9000	200		
CB2-6000	上下フランジ型	6000	150			
CB2-9000		9000	100			
L1-6000	カラマツ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	
L1-9000			9000	200		
L2-6000		上下フランジ型	6000	150		
L2-9000			9000	100		
LB1-6000		接着ビス	上フランジ型	6000	200	
LB1-9000			9000	200		
LB2-6000	上下フランジ型	6000	150			
LB2-9000		9000	100			

● 接合具（メーカー、入手方法等）

—

● 問い合わせ先 URL

—

● 理論式

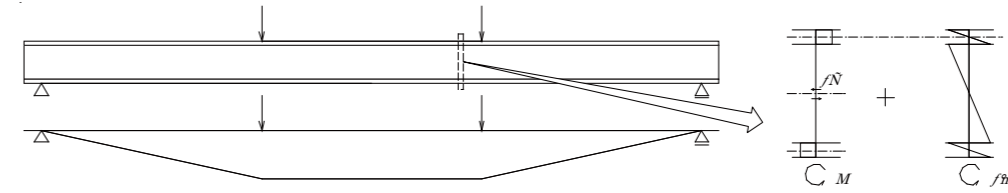
—

● 計算式

—

● モデル化

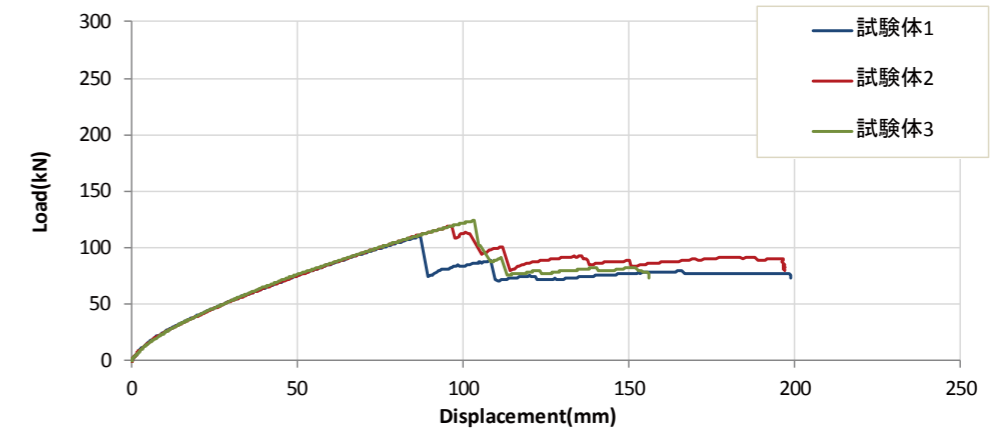
- ・せん断遅れによるフランジ幅の低減（有効幅）
- ・せん断接合具を用いた重ね梁理論の導入



● 特性値

		初期剛性 K	降伏耐力 P_y	最大耐力 P_{max}
		[kN/mm]	[kN]	[kN]
C2-6000	1	1.68	59.3	110.2
	2	1.70	54.9	124.0
	3	1.78	51.0	119.2
	AVE.	1.72	55.1	117.8
	S.D.	0.049	4.11	6.98

● 荷重変形



● 破壊性状

- ・ビスのせん断降伏と、それに伴う断面性能の低下が進行することでウェブの曲げ破壊が発生して最大耐力が決定した。3 試験体とも同様の破壊性状を示した。

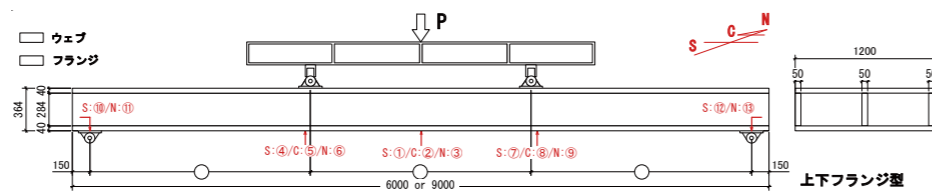


ビスのせん断変形に伴う部材間のずれ（試験体 2）



ウェブの曲げ破壊（試験体 2）

● 姿図・寸法



ウェブ：LVL（80E、スギ）

フランジ：LVL（60E、スギ） / ビスのみ接合 / 上下フランジ型 / 9000mm スパン

【使用材料】

ウェブ スギ LVL 80E-1 級 40V-34H 50mm × 284mm

フランジ スギ LVL 60E-1 級 40V-34H 40mm × 1200mm

接合具 ビス：パネリード P6 × 90II+ (d=6.0mm、L=90mm、東日本パワーファスニング株式会社)

接着剤：UR-70（1液ウレタン系、株式会社オーシカ）

● 適用条件

ウェブとフランジを留めつけるビス間隔はウェブ - フランジ間の接着剤を見込まずに、せん断接合具を用いた組立¹⁾とみなして長期鉛直荷重によるせん断力に耐え得るように決定する。

1) 日本建築学会（2009）、木質構造接合部設計マニュアル Design Manual for Engineered Timber Joints, 丸善, 4.4.1 せん断接合具を利用した組立梁, pp179

● 概要

LVLのみで構成された継ぎ手の無い大スパンのストレススキンパネルの実大材4点曲げ試験（単調押し切り加力）を行った。加力速度は Pmax/10min 以下とし、荷重が Pmax の 8 割に低下するまで加力を続した。中央たわみの変位測定（変位計①）により、荷重（たわみ）変形関係を求め、曲げ性能の評価を行った。

表 試験体種類（全 16 種類）

試験体名	LVL樹種	接合形式	断面形状	長さ[mm]	ビス間隔[mm]	試験体数
C1-6000	スギ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	各3体
C1-9000			9000			
C2-6000		上下フランジ型	6000	150		
C2-9000			9000	100		
CB1-6000		接着ビス	上フランジ型	6000	200	
CB1-9000			9000			
CB2-6000	上下フランジ型	6000	150			
CB2-9000		9000	100			
L1-6000	カラマツ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	
L1-9000			9000			
L2-6000		上下フランジ型	6000	150		
L2-9000			9000	100		
LB1-6000		接着ビス	上フランジ型	6000	200	
LB1-9000			9000			
LB2-6000	上下フランジ型	6000	150			
LB2-9000		9000	100			

● 接合具（メーカー、入手方法等）

—

● 問い合わせ先 URL

—

● 理論式

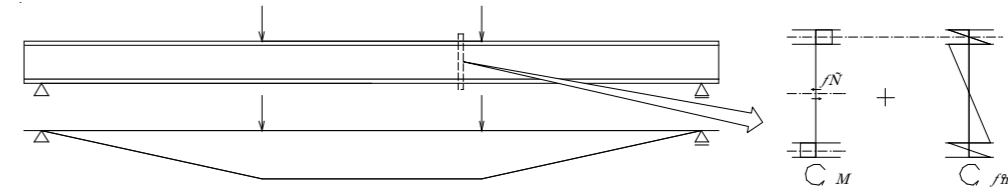
—

● 計算式

—

● モデル化

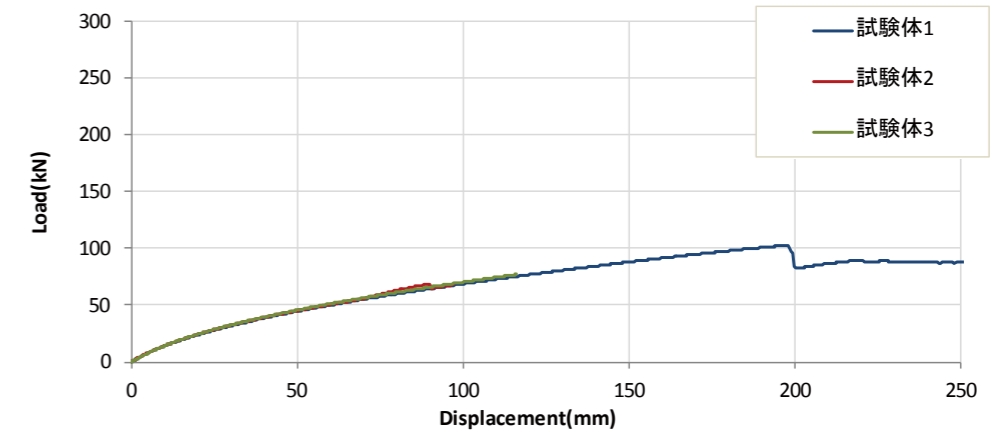
- ・せん断遅れによるフランジ幅の低減（有効幅）
- ・せん断接合具を用いた重ね梁理論の導入



● 特性値

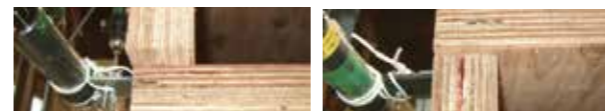
		初期剛性 K	降伏耐力 Py	最大耐力 Pmax
		[kN/mm]	[kN]	[kN]
C2-9000	1	0.85	48.4	103.0
	2	0.80	58.1	106.0
	3	0.86	51.2	107.1
	AVE.	0.83	52.6	105.4
	S.D.	0.034	4.98	2.15

● 荷重変形



● 破壊性状

- ・ビスのせん断降伏と、それに伴う断面性能の低下が進行することでウェブの曲げ破壊が発生して最大耐力が決定した。3 試験体とも同様の破壊性状を示した。

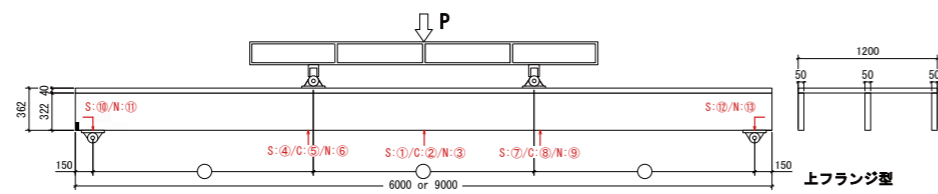


ビスのせん断変形に伴う部材間のずれ（試験体 3）



ウェブの曲げ破壊（試験体 3）

● 姿図・寸法



ウェブ：LVL（80E、スギ）

フランジ：LVL（60E、スギ） / 接着ビス接合 / 上フランジ型 / 6000mm スパン

【使用材料】

ウェブ スギ LVL 80E-1 級 40V-34H 50mm × 322mm

フランジ スギ LVL 60E-1 級 40V-34H 40mm × 1200mm

接合具 ビス：パネリード P6 × 90II+ (d=6.0mm、L=90mm、東日本パワーファスニング株式会社)

接着剤：UR-70（1液ウレタン系、株式会社オーシカ）

● 適用条件

ウェブとフランジを留めつけるビス間隔はウェブ - フランジ間の接着剤を見込まずに、せん断接合具を用いた組立¹⁾とみなして長期鉛直荷重によるせん断力に耐え得るように決定する。

1) 日本建築学会（2009）、木質構造接合部設計マニュアル Design Manual for Engineered Timber Joints, 丸善, 4.4.1 せん断接合具を利用した組立梁, pp179

● 概要

LVLのみで構成された継ぎ手の無い大スパンのストレススキンパネルの実大材4点曲げ試験（単調押し切り加力）を行った。加力速度は Pmax/10min 以下とし、荷重が Pmax の 8 割に低下するまで加力を続した。中央たわみの変位測定（変位計①）により、荷重（たわみ）変形関係を求め、曲げ性能の評価を行った。

表 試験体種類（全 16 種類）

試験体名	LVL樹種	接合形式	断面形状	長さ[mm]	ビス間隔[mm]	試験体数
C1-6000	スギ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	各3体
C1-9000			9000			
C2-6000		上下フランジ型	6000	150		
C2-9000			9000	100		
CB1-6000		接着ビス	上フランジ型	6000	200	
CB1-9000			9000			
CB2-6000	上下フランジ型	6000	150			
CB2-9000		9000	100			
L1-6000	カラマツ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	
L1-9000			9000			
L2-6000		上下フランジ型	6000	150		
L2-9000			9000	100		
LB1-6000		接着ビス	上フランジ型	6000	200	
LB1-9000			9000			
LB2-6000	上下フランジ型	6000	150			
LB2-9000		9000	100			

● 接合具（メーカー、入手方法等）

—

● 問い合わせ先 URL

—

● 理論式

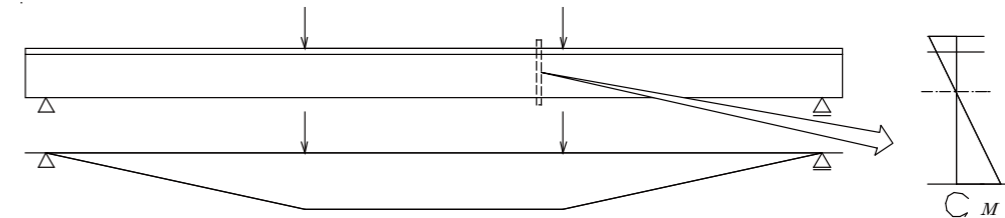
—

● 計算式

—

● モデル化

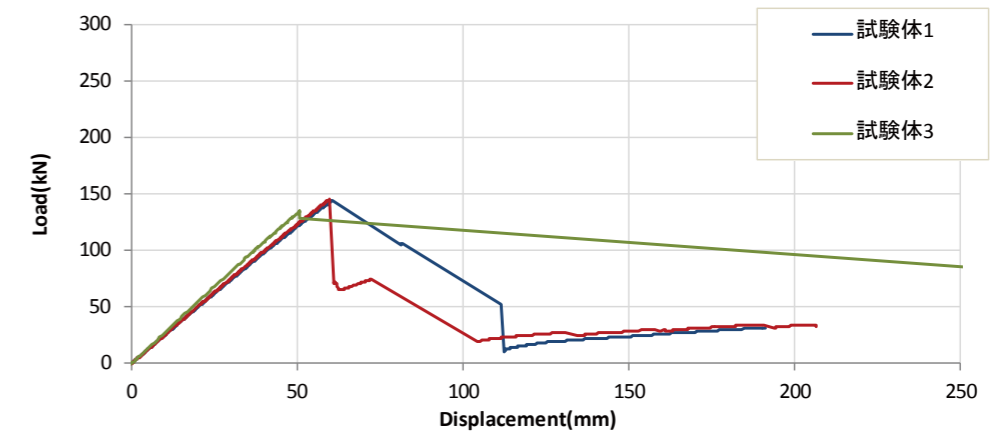
- ・せん断遅れによるフランジ幅の低減（有効幅）
- ・ウェブとフランジが一体断面である複合材とみなす



● 特性値

		初期剛性 K	降伏耐力 Py	最大耐力 Pmax
		[kN/mm]	[kN]	[kN]
CB1-6000	1	2.46	76.3	144.1
	2	2.50	78.7	145.3
	3	2.71	71.1	134.7
	AVE.	2.55	75.4	141.4
	S.D.	0.134	3.87	5.81

● 荷重変形



● 破壊性状

- ・ビスのせん断降伏は発生せず、部材は一体のまま、ウェブ下縁に曲げ破壊が発生して最大耐力が決定した。3 試験体とも同様の破壊性状を示した。



部材間ずれの発生なし（試験体 3）



ウェブの曲げ破壊（試験体 1）

要材

素料
接合具

部組
材立

接合部

屋根

柱

梁

1/2
スレ

壁

床

集成材

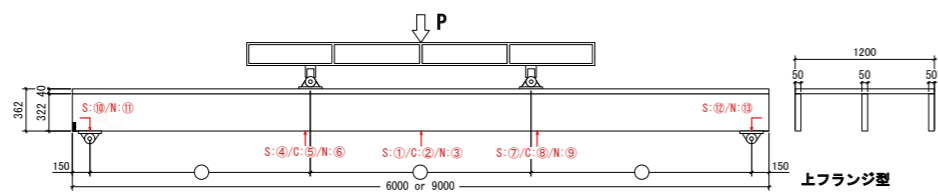
LVL

製材

合板

その他

● 姿図・寸法



ウェブ：LVL（80E、スギ）

フランジ：LVL（60E、スギ） / 接着ビス接合 / 上フランジ型 / 6000mm スパン

【使用材料】

ウェブ スギ LVL 80E-1 級 40V-34H 50mm × 322mm

フランジ スギ LVL 60E-1 級 40V-34H 40mm × 1200mm

接合具 ビス：パネリード P6 × 90II+ (d=6.0mm、L=90mm、東日本パワーファスニング株式会社)

接着剤：UR-70（1液ウレタン系、株式会社オーシカ）

● 適用条件

ウェブとフランジを留めつけるビス間隔はウェブ - フランジ間の接着剤を見込まずに、せん断接合具を用いた組立¹⁾とみなして長期鉛直荷重によるせん断力に耐え得るように決定する。

1) 日本建築学会（2009）、木質構造接合部設計マニュアル Design Manual for Engineered Timber Joints, 丸善, 4.4.1 せん断接合具を利用した組立梁, pp179

● 概要

LVLのみで構成された継ぎ手の無い大スパンのストレススキンパネルの実大材4点曲げ試験（単調押し切り加力）を行った。加力速度は Pmax/10min 以下とし、荷重が Pmax の 8 割に低下するまで加力を続した。中央たわみの変位測定（変位計①）により、荷重（たわみ）変形関係を求め、曲げ性能の評価を行った。

表 試験体種類（全 16 種類）

試験体名	LVL樹種	接合形式	断面形状	長さ[mm]	ビス間隔[mm]	試験体数
C1-6000	スギ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	各3体
C1-9000			9000			
C2-6000		上下フランジ型	6000	150		
C2-9000		9000	100			
CB1-6000		接着ビス	上フランジ型	6000	200	
CB1-9000			9000			
CB2-6000	上下フランジ型	6000	150			
CB2-9000		9000	100			
L1-6000	カラマツ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	
L1-9000			9000			
L2-6000		上下フランジ型	6000	150		
L2-9000		9000	100			
LB1-6000		接着ビス	上フランジ型	6000	200	
LB1-9000			9000			
LB2-6000	上下フランジ型	6000	150			
LB2-9000		9000	100			

● 接合具（メーカー、入手方法等）

—

● 問い合わせ先 URL

—

● 理論式

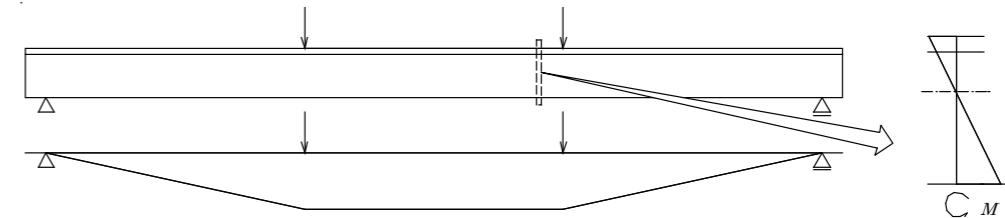
—

● 計算式

—

● モデル化

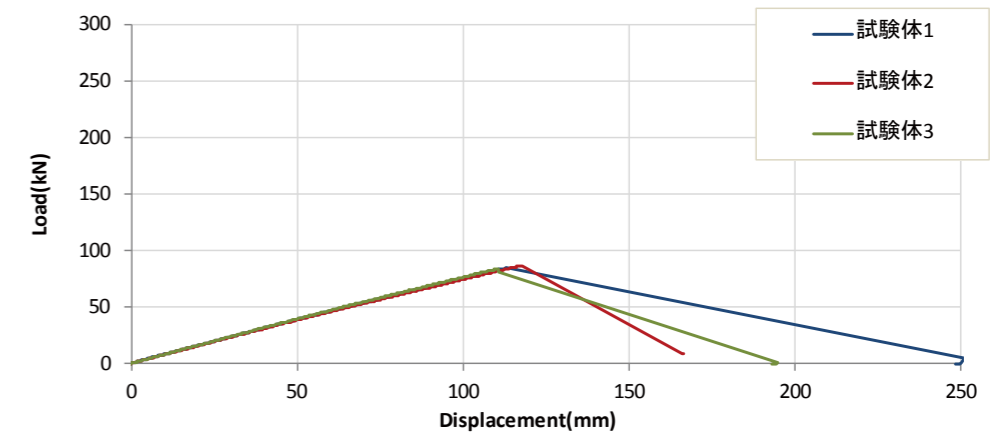
- ・せん断遅れによるフランジ幅の低減（有効幅）
- ・ウェブとフランジが一体断面である複合材とみなす



● 特性値

		初期剛性 K	降伏耐力 Py	最大耐力 Pmax
		[kN/mm]	[kN]	[kN]
CB1-9000	1	0.77	41.6	84.3
	2	0.77	42.2	86.7
	3	0.79	42.6	84.0
	AVE.	0.78	42.1	85.0
	S.D.	0.010	0.50	1.52

● 荷重変形



● 破壊性状

- ・ビスのせん断降伏は発生せず、部材は一体のまま、ウェブ下縁に曲げ破壊が発生して最大耐力が決定した。3 試験体とも同様の破壊性状を示した。



ビスのせん断変形に伴う部材間のずれ（試験体 3）



ウェブの曲げ破壊（試験体 3）

要材
素料

接合具

部組
材立

接合部

屋根

柱

梁

1/3
スレ

壁

床

集成材

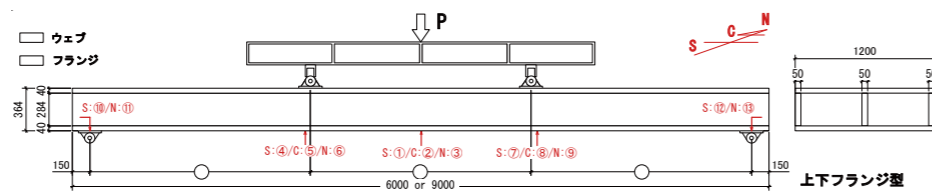
LVL

製材

合板

その他

● 姿図・寸法



ウェブ：LVL（80E、スギ）

フランジ：LVL（60E、スギ） / 接着ビス接合 / 上下フランジ型 / 6000mm スパン

【使用材料】

ウェブ スギ LVL 80E-1 級 40V-34H 50mm × 284mm

フランジ スギ LVL 60E-1 級 40V-34H 40mm × 1200mm

接合具 ビス：パネリード P6 × 90II+ (d=6.0mm、L=90mm、東日本パワーファスニング株式会社)

接着剤：UR-70（1液ウレタン系、株式会社オーシカ）

● 適用条件

ウェブとフランジを留めつけるビス間隔はウェブ - フランジ間の接着剤を見込まずに、せん断接合具を用いた組立¹⁾とみなして長期鉛直荷重によるせん断力に耐え得るように決定する。

1) 日本建築学会（2009）, 木質構造接合部設計マニュアル Design Manual for Engineered Timber Joints, 丸善, 4.4.1 せん断接合具を利用した組立梁, pp179

● 概要

LVLのみで構成された継ぎ手の無い大スパンのストレススキンパネルの実大材4点曲げ試験（単調押し切り加力）を行った。加力速度は Pmax/10min 以下とし、荷重が Pmax の 8 割に低下するまで加力を継続した。中央たわみの変位測定（変位計①）により、荷重（たわみ）変形関係を求め、曲げ性能の評価を行った。

表 試験体種類（全 16 種類）

試験体名	LVL樹種	接合形式	断面形状	長さ[mm]	ビス間隔[mm]	試験体数
C1-6000	スギ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	各3体
C1-9000			9000			
C2-6000		上下フランジ型	6000	150		
C2-9000			9000	100		
CB1-6000		接着ビス	上フランジ型	6000	200	
CB1-9000			9000			
CB2-6000	上下フランジ型	6000	150			
CB2-9000		9000	100			
L1-6000	カラマツ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	
L1-9000			9000			
L2-6000		上下フランジ型	6000	150		
L2-9000			9000	100		
LB1-6000		接着ビス	上フランジ型	6000	200	
LB1-9000			9000			
LB2-6000	上下フランジ型	6000	150			
LB2-9000		9000	100			

● 接合具（メーカー、入手方法等）

—

● 問い合わせ先 URL

—

● 理論式

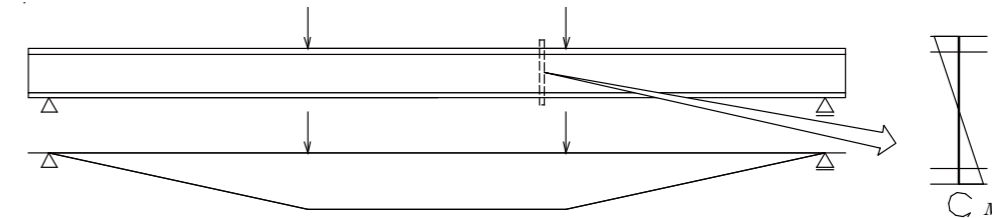
—

● 計算式

—

● モデル化

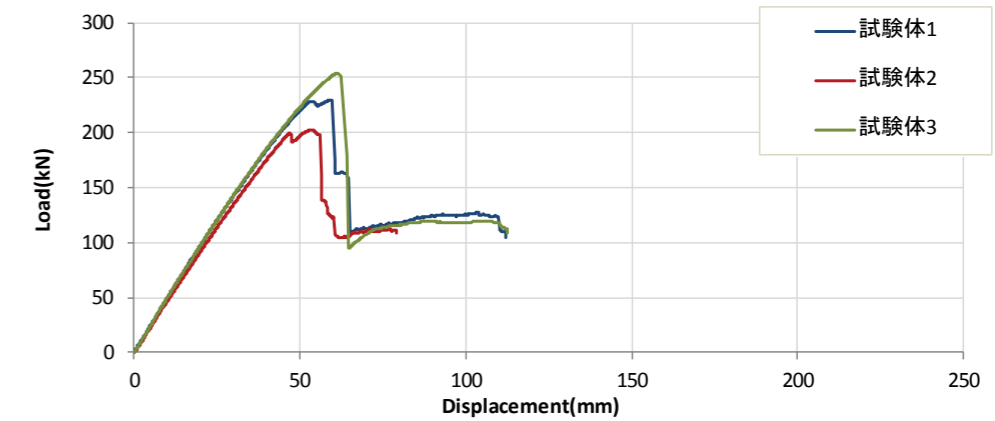
- ・せん断遅れによるフランジ幅の低減（有効幅）
- ・ウェブとフランジが一体断面である複合材とみなす



● 特性値

		初期剛性 K	降伏耐力 Py	最大耐力 Pmax
		[kN/mm]	[kN]	[kN]
CB2-6000	1	4.80	125.7	229.9
	2	4.56	109.9	202.9
	3	4.78	139.1	254.0
	AVE.	4.71	124.9	228.9
	S.D.	0.134	14.64	25.58

● 荷重変形



● 破壊性状

- ・フランジ端部においてウェブ側直交層のローリングシア（層内せん断）が発生することで断面性能が低下し、ウェブ下縁に曲げ破壊が発生して最大耐力が決定した。3 試験体とも同様の破壊性状を示した。

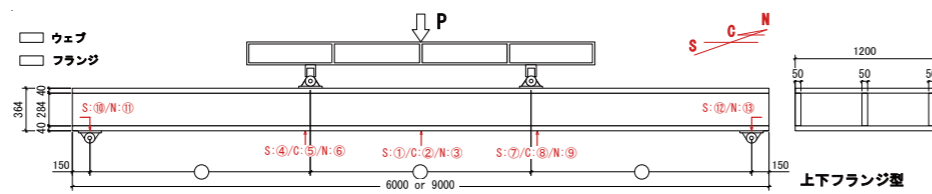


フランジ端部のローリングシア（試験体 2）



ウェブの曲げ破壊（試験体 2）

● 姿図・寸法



ウェブ：LVL（80E、スギ）

フランジ：LVL（60E、スギ） / 接着ビス接合 / 上下フランジ型 / 6000mm スパン

【使用材料】

ウェブ スギ LVL 80E-1 級 40V-34H 50mm × 284mm

フランジ スギ LVL 60E-1 級 40V-34H 40mm × 1200mm

接合具 ビス：パネリード P6 × 90II+ (d=6.0mm、L=90mm、東日本パワーファスニング株式会社)

接着剤：UR-70（1液ウレタン系、株式会社オーシカ）

● 適用条件

ウェブとフランジを留めつけるビス間隔はウェブ - フランジ間の接着剤を見込まずに、せん断接合具を用いた組立¹⁾とみなして長期鉛直荷重によるせん断力に耐え得るように決定する。

1) 日本建築学会（2009）、木質構造接合部設計マニュアル Design Manual for Engineered Timber Joints, 丸善, 4.4.1 せん断接合具を利用した組立梁, pp179

● 概要

LVLのみで構成された継ぎ手の無い大スパンのストレススキンパネルの実大材4点曲げ試験（単調押し切り加力）を行った。加力速度は Pmax/10min 以下とし、荷重が Pmax の 8 割に低下するまで加力を続した。中央たわみの変位測定（変位計①）により、荷重（たわみ）変形関係を求め、曲げ性能の評価を行った。

表 試験体種類（全 16 種類）

試験体名	LVL樹種	接合形式	断面形状	長さ[mm]	ビス間隔[mm]	試験体数
C1-6000	スギ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	各3体
C1-9000			9000			
C2-6000		上下フランジ型	6000	150		
C2-9000			9000	100		
CB1-6000		接着ビス	上フランジ型	6000	200	
CB1-9000			9000			
CB2-6000	上下フランジ型	6000	150			
CB2-9000		9000	100			
L1-6000	カラマツ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	
L1-9000			9000			
L2-6000		上下フランジ型	6000	150		
L2-9000			9000	100		
LB1-6000		接着ビス	上フランジ型	6000	200	
LB1-9000			9000			
LB2-6000	上下フランジ型	6000	150			
LB2-9000		9000	100			

● 接合具（メーカー、入手方法等）

—

● 問い合わせ先 URL

—

● 理論式

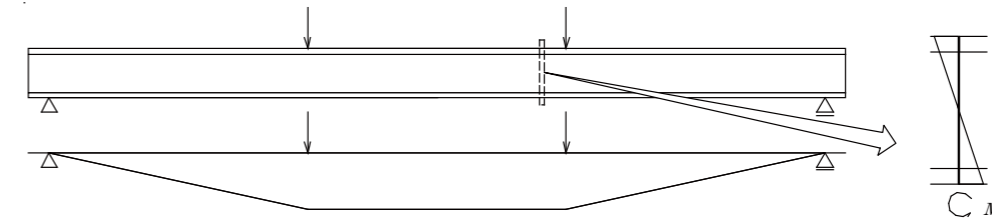
—

● 計算式

—

● モデル化

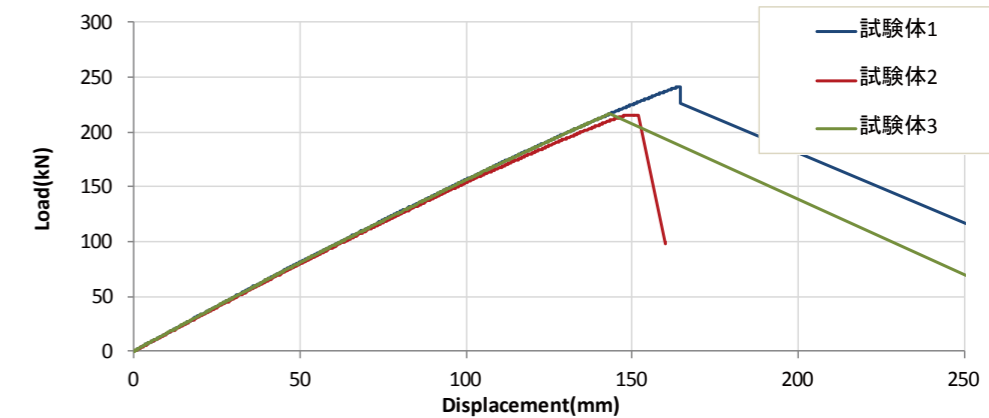
- ・せん断遅れによるフランジ幅の低減（有効幅）
- ・ウェブとフランジが一体断面である複合材とみなす



● 特性値

		初期剛性 K	降伏耐力 Py	最大耐力 Pmax
		[kN/mm]	[kN]	[kN]
CB2-6000	1	4.80	125.7	229.9
	2	4.56	109.9	202.9
	3	4.78	139.1	254.0
	AVE.	4.71	124.9	228.9
	S.D.	0.134	14.64	25.58

● 荷重変形



● 破壊性状

- ・ビスのせん断降伏と、それに伴う断面性能の低下が進行することでウェブの曲げ破壊が発生して最大耐力が決定した。3 試験体とも同様の破壊性状を示した。



ビスのせん断変形に伴う部材間のずれ（試験体 2）



ウェブの曲げ破壊（試験体 1）

要材
素料

接合具

部組
材立

接合部

屋根

柱

梁

1/3
スレ

壁

床

集成材

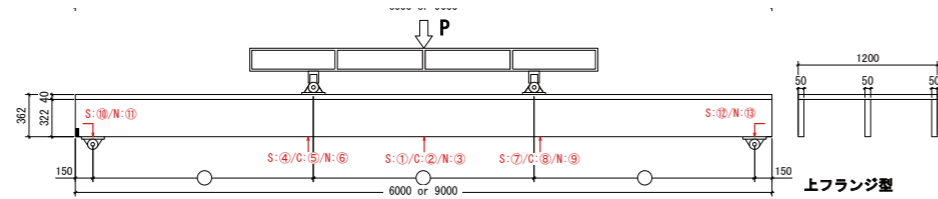
LVL

製材

合板

その他

● 姿図・寸法



ウェブ：LVL（120E、カラマツ）

フランジ：LVL（80E、カラマツ） / ビスのみ接合 / 上フランジ型 / 6000mm スパン

【使用材料】

ウェブ カラマツ LVL 120-1 級 E 50V-43H 50mm × 322mm

フランジ カラマツ LVL 90E-1 級 45V-38H 40mm × 1200mm

接合具 ビス：パネリード P6 × 90II+ (d=6.0mm、L=90mm、東日本パワーファスニング株式会社)

接着剤：UR-70（1液ウレタン系、株式会社オーシカ）

● 適用条件

ウェブとフランジを留めつけるビス間隔はウェブ - フランジ間の接着剤を見込まずに、せん断接合具を用いた組立¹⁾とみなして長期鉛直荷重によるせん断力に耐え得るように決定する。

1) 日本建築学会（2009）、木質構造接合部設計マニュアル Design Manual for Engineered Timber Joints, 丸善, 4.4.1 せん断接合具を利用した組立梁, pp179

● 概要

LVLのみで構成された継ぎ手の無い大スパンのストレススキンパネルの実大材4点曲げ試験（単調押し切り加力）を行った。加力速度は Pmax/10min 以下とし、荷重が Pmax の 8 割に低下するまで加力を続した。中央たわみの変位測定（変位計①）により、荷重（たわみ）変形関係を求め、曲げ性能の評価を行った。

表 試験体種類（全 16 種類）

試験体名	LVL樹種	接合形式	断面形状	長さ[mm]	ビス間隔[mm]	試験体数
C1-6000	スギ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	各3体
C1-9000			9000			
C2-6000		上下フランジ型	6000	150		
C2-9000			9000	100		
CB1-6000		接着ビス	上フランジ型	6000	200	
CB1-9000			9000			
CB2-6000	上下フランジ型	6000	150			
CB2-9000		9000	100			
L1-6000	カラマツ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	
L1-9000			9000			
L2-6000		上下フランジ型	6000	150		
L2-9000			9000	100		
LB1-6000		接着ビス	上フランジ型	6000	200	
LB1-9000			9000			
LB2-6000	上下フランジ型	6000	150			
LB2-9000		9000	100			

● 接合具（メーカー、入手方法等）

—

● 問い合わせ先 URL

—

● 理論式

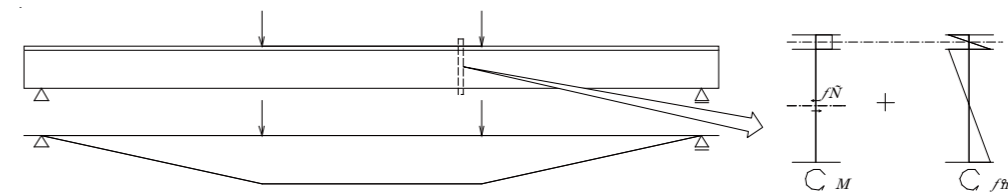
—

● 計算式

—

● モデル化

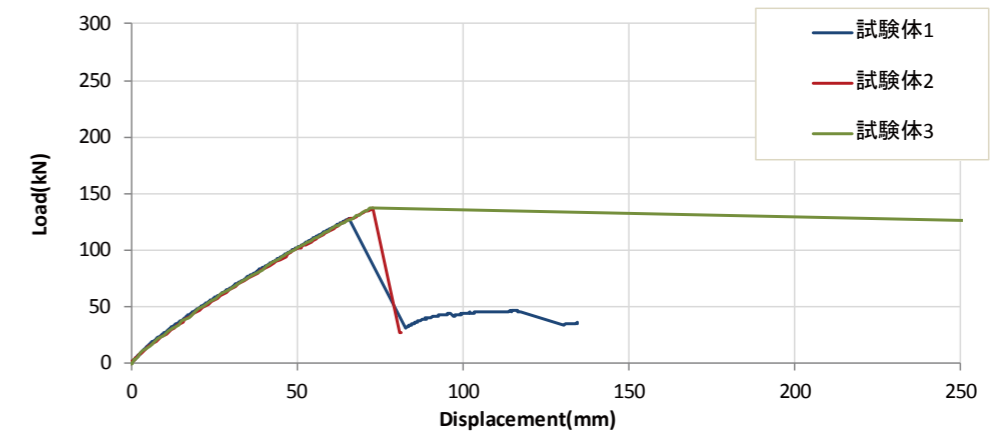
- ・せん断遅れによるフランジ幅の低減（有効幅）
- ・せん断接合具を用いた重ね梁理論の導入



● 特性値

		初期剛性 K	降伏耐力 Py	最大耐力 Pmax
		[kN/mm]	[kN]	[kN]
L1-6000	1	2.22	63.5	127.5
	2	2.29	58.1	137.6
	3	2.16	65.2	137.7
	AVE.	2.22	62.3	134.3
	S.D.	0.062	3.70	5.88

● 荷重変形



● 破壊性状

- ・ビスのせん断降伏と、それに伴う断面性能の低下が進行することでウェブの曲げ破壊が発生して最大耐力が決定した。3 試験体とも同様の破壊性状を示した。

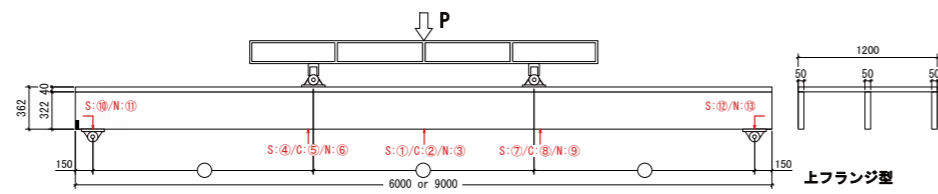


ビスのせん断変形に伴う部材間のずれ（試験体 1）



ウェブの曲げ破壊（試験体 1）

● 姿図・寸法



ウェブ：LVL（120E、カラマツ）

フランジ：LVL（90E、カラマツ） / ビスのみ接合 / 上フランジ型 / 9000mm スパン

【使用材料】

ウェブ カラマツ LVL 120-1 級 E 50V-43H 50mm × 322mm

フランジ カラマツ LVL 90E-1 級 45V-38H 40mm × 1200mm

接合具 ビス：パネリード P6 × 90II+ (d=6.0mm、L=90mm、東日本パワーファスニング株式会社)

接着剤：UR-70（1液ウレタン系、株式会社オーシカ）

● 適用条件

ウェブとフランジを留めつけるビス間隔はウェブ - フランジ間の接着剤を見込まずに、せん断接合具を用いた組立¹⁾とみなして長期鉛直荷重によるせん断力に耐え得るように決定する。

1) 日本建築学会（2009）、木質構造接合部設計マニュアル Design Manual for Engineered Timber Joints, 丸善, 4.4.1 せん断接合具を利用した組立梁, pp179

● 概要

LVLのみで構成された継ぎ手の無い大スパンのストレススキンパネルの実大材4点曲げ試験（単調押し切り加力）を行った。加力速度は Pmax/10min 以下とし、荷重が Pmax の 8 割に低下するまで加力を続した。中央たわみの変位測定（変位計①）により、荷重（たわみ）変形関係を求め、曲げ性能の評価を行った。

表 試験体種類（全 16 種類）

試験体名	LVL樹種	接合形式	断面形状	長さ[mm]	ビス間隔[mm]	試験体数
C1-6000	スギ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	各3体
C1-9000			9000			
C2-6000		上下フランジ型	6000	150		
C2-9000			9000	100		
CB1-6000		接着ビス	上フランジ型	6000	200	
CB1-9000			9000			
CB2-6000	上下フランジ型		6000	150		
CB2-9000	9000		100			
L1-6000	カラマツ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	
L1-9000			9000			
L2-6000		上下フランジ型	6000	150		
L2-9000			9000	100		
LB1-6000		接着ビス	上フランジ型	6000	200	
LB1-9000			9000			
LB2-6000	上下フランジ型		6000	150		
LB2-9000	9000		100			

● 接合具（メーカー、入手方法等）

—

● 問い合わせ先 URL

—

● 理論式

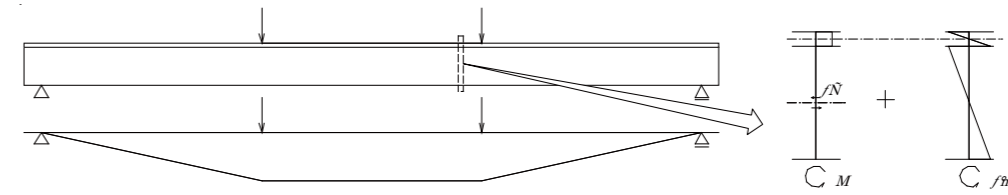
—

● 計算式

—

● モデル化

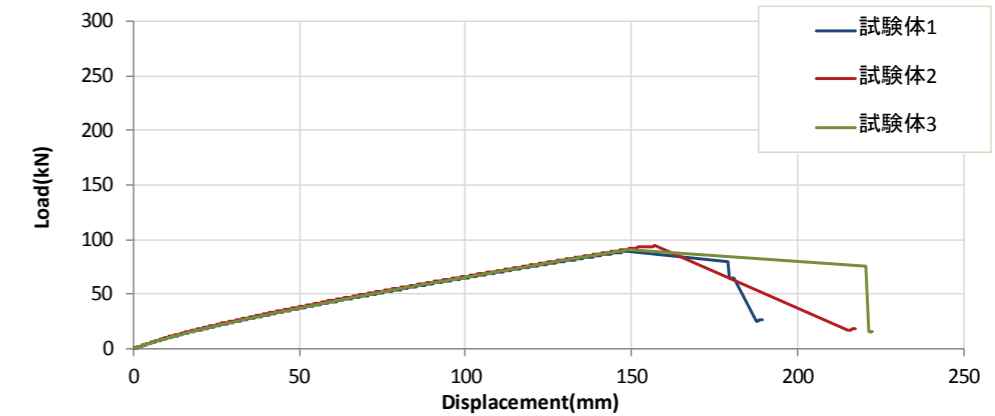
- ・せん断遅れによるフランジ幅の低減（有効幅）
- ・せん断接合具を用いた重ね梁理論の導入



● 特性値

	初期剛性 K [kN/mm]	降伏耐力 Py [kN]	最大耐力 Pmax [kN]	
L1-9000	1	0.72	41.3	89.4
	2	0.74	43.2	94.2
	3	0.72	42.3	90.9
	AVE.	0.73	42.2	91.5
	S.D.	0.011	0.95	2.45

● 荷重変形



● 破壊性状

- ・ビスのせん断降伏と、それに伴う断面性能の低下が進行することでウェブの曲げ破壊が発生して最大耐力が決定した。3 試験体とも同様の破壊性状を示した。

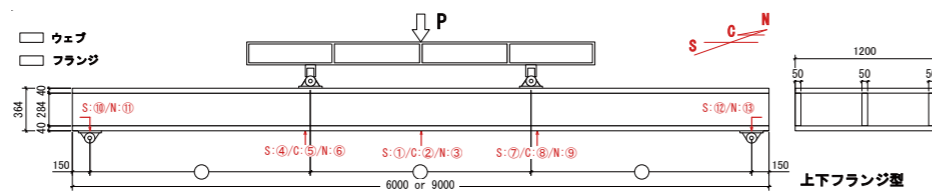


ビスのせん断変形に伴う部材間のずれ（試験体 3）



ウェブの曲げ破壊（試験体 3）

● 姿図・寸法



ウェブ：LVL（120E、カラマツ）

フランジ：LVL（90E、カラマツ） / ビスのみ接合 / 上下フランジ型 / 6000mm スパン

【使用材料】

ウェブ カラマツ LVL 120-1 級 E 50V-43H 50mm × 284mm

フランジ カラマツ LVL 90E-1 級 45V-38H 40mm × 1200mm

接合具 ビス：パネリード P6 × 90II+ (d=6.0mm、L=90mm、東日本パワーファスニング株式会社)

接着剤：UR-70（1液ウレタン系、株式会社オーシカ）

● 適用条件

ウェブとフランジを留めつけるビス間隔はウェブ - フランジ間の接着剤を見込まずに、せん断接合具を用いた組立¹⁾とみなして長期鉛直荷重によるせん断力に耐え得るように決定する。

1) 日本建築学会（2009）、木質構造接合部設計マニュアル Design Manual for Engineered Timber Joints, 丸善, 4.4.1 せん断接合具を利用した組立梁, pp179

● 概要

LVLのみで構成された継ぎ手の無い大スパンのストレススキンパネルの実大材4点曲げ試験（単調押し切り加力）を行った。加力速度は Pmax/10min 以下とし、荷重が Pmax の 8 割に低下するまで加力を続した。中央たわみの変位測定（変位計①）により、荷重（たわみ）変形関係を求め、曲げ性能の評価を行った。

表 試験体種類（全 16 種類）

試験体名	LVL樹種	接合形式	断面形状	長さ[mm]	ビス間隔[mm]	試験体数	
C1-6000	スギ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	各3体	
C1-9000			9000				
C2-6000		上下フランジ型	6000	150			
C2-9000			9000	100			
CB1-6000		カラマツ	接着ビス	上フランジ型	6000		200
CB1-9000				9000			
CB2-6000	上下フランジ型		6000	150			
CB2-9000			9000	100			
L1-6000	ビスのみ	上フランジ型	6000	200			
L1-9000		9000					
L2-6000	カラマツ	上下フランジ型	6000	150			
L2-9000			9000	100			
LB1-6000		接着ビス	上フランジ型	6000	200		
LB1-9000			9000				
LB2-6000	上下フランジ型	6000	150				
LB2-9000		9000	100				

● 接合具（メーカー、入手方法等）

—

● 問い合わせ先 URL

—

● 理論式

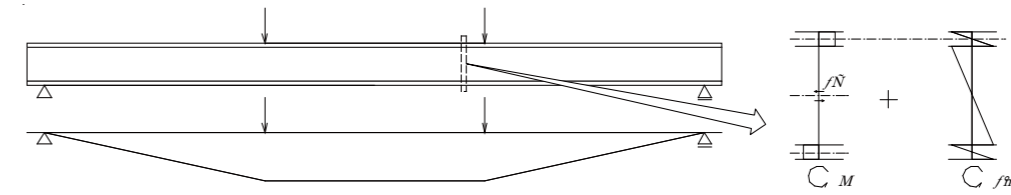
—

● 計算式

—

● モデル化

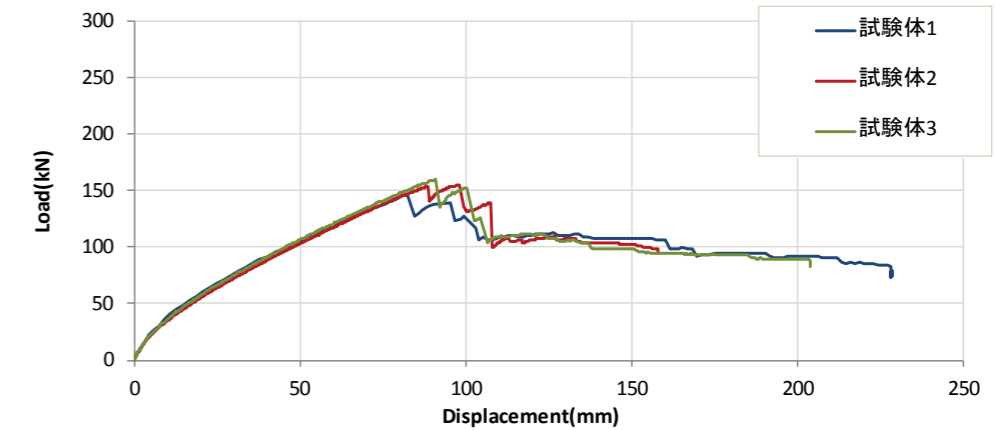
- ・せん断遅れによるフランジ幅の低減（有効幅）
- ・せん断接合具を用いた重ね梁理論の導入



● 特性値

		初期剛性 K	降伏耐力 Py	最大耐力 Pmax
		[kN/mm]	[kN]	[kN]
L2-6000	1	2.73	67.9	146.6
	2	2.53	73.7	155.2
	3	2.45	70.3	160.1
	AVE.	2.57	70.6	154.0
	S.D.	0.146	2.92	6.83

● 荷重変形



● 破壊性状

- ・ビスのせん断降伏と、それに伴う断面性能の低下が進行することでウェブの曲げ破壊が発生して最大耐力が決定した。3 試験体とも同様の破壊性状を示した。



ビスのせん断変形に伴う部材間のずれ（試験体 2）



ウェブの曲げ破壊（試験体 2）

要材

素料
接合具

部組
材立

接合部

屋根

柱

梁

1/3
スレ

壁

床

集材

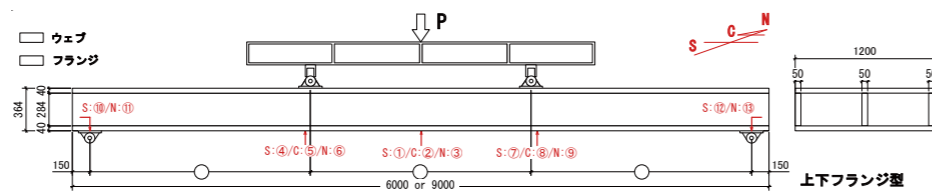
LVL

製材

合板

その他

● 姿図・寸法



ウェブ：LVL（120E、カラマツ）

フランジ：LVL（90E、カラマツ） / ビスのみ接合 / 上下フランジ型 9000mm スパン

【使用材料】

ウェブ カラマツ LVL 120-1 級 E 50V-43H 50mm × 284mm

フランジ カラマツ LVL 90E-1 級 45V-38H 40mm × 1200mm

接合具 ビス：パネリード P6 × 90II+ (d=6.0mm、L=90mm、東日本パワーファスニング株式会社)

接着剤：UR-70（1液ウレタン系、株式会社オーシカ）

● 適用条件

ウェブとフランジを留めつけるビス間隔はウェブ - フランジ間の接着剤を見込まずに、せん断接合具を用いた組立¹⁾とみなして長期鉛直荷重によるせん断力に耐え得るように決定する。

1) 日本建築学会（2009）、木質構造接合部設計マニュアル Design Manual for Engineered Timber Joints, 丸善, 4.4.1 せん断接合具を利用した組立梁, pp179

● 概要

LVLのみで構成された継ぎ手の無い大スパンのストレススキンパネルの実大材4点曲げ試験（単調押し切り加力）を行った。加力速度は Pmax/10min 以下とし、荷重が Pmax の 8 割に低下するまで加力を続した。中央たわみの変位測定（変位計①）により、荷重（たわみ）変形関係を求め、曲げ性能の評価を行った。

表 試験体種類（全 16 種類）

試験体名	LVL樹種	接合形式	断面形状	長さ[mm]	ビス間隔[mm]	試験体数	
C1-6000	スギ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	各3体	
C1-9000			9000				
C2-6000		上下フランジ型	6000	150			
C2-9000			9000	100			
CB1-6000		カラマツ	接着ビス	上フランジ型	6000		200
CB1-9000				9000			
CB2-6000	上下フランジ型		6000	150			
CB2-9000			9000	100			
L1-6000	スギ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200		
L1-9000			9000				
L2-6000		上下フランジ型	6000	150			
L2-9000			9000	100			
LB1-6000		カラマツ	接着ビス	上フランジ型	6000	200	
LB1-9000				9000			
LB2-6000	上下フランジ型		6000	150			
LB2-9000			9000	100			

● 接合具（メーカー、入手方法等）

—

● 問い合わせ先 URL

—

● 理論式

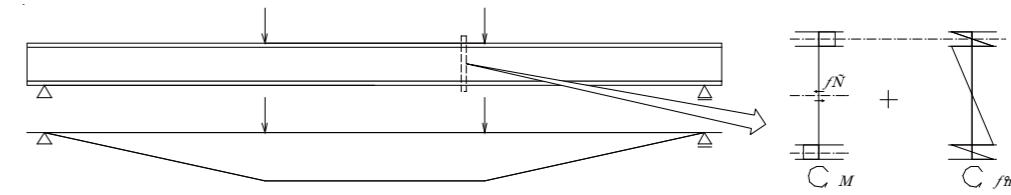
—

● 計算式

—

● モデル化

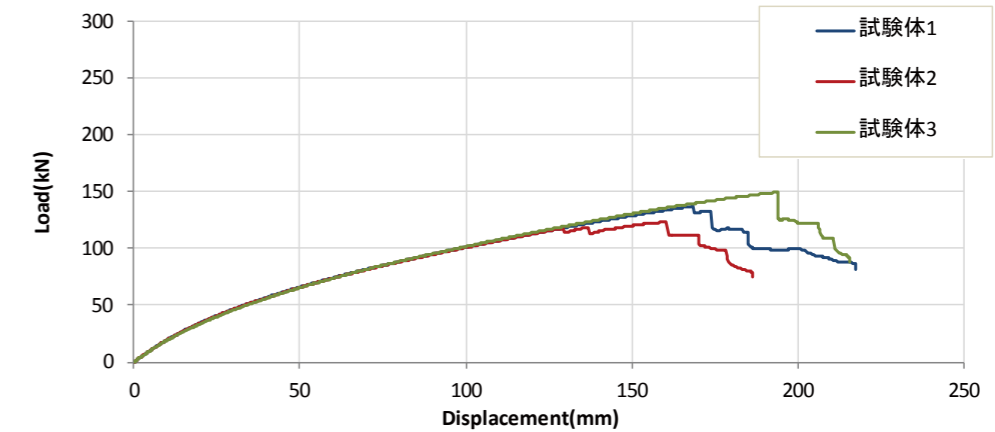
- ・せん断遅れによるフランジ幅の低減（有効幅）
- ・せん断接合具を用いた重ね梁理論の導入



● 特性値

		初期剛性 K	降伏耐力 Py	最大耐力 Pmax
		[kN/mm]	[kN]	[kN]
L2-9000	1	1.33	65.5	137.4
	2	1.38	59.5	123.5
	3	1.26	70.9	149.5
	AVE.	1.32	65.3	136.8
	S.D.	0.062	5.71	12.99

● 荷重変形



● 破壊性状

- ・ビスのせん断降伏と、それに伴う断面性能の低下が進行することでウェブの曲げ破壊が発生して最大耐力が決定した。3 試験体とも同様の破壊性状を示した。

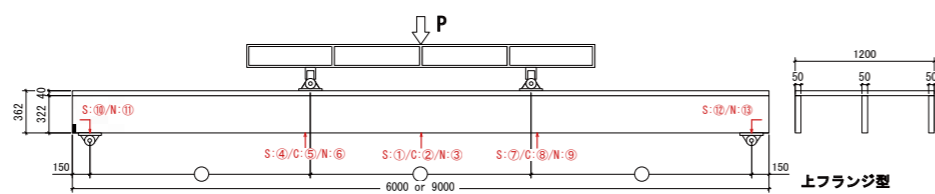


ビスのせん断変形に伴う部材間のずれ（試験体 2）



ウェブの曲げ破壊（試験体 1）

● 姿図・寸法



ウェブ：LVL（120E、カラマツ）

フランジ：LVL（90E、カラマツ） / 接着ビス接合 / 上フランジ型 / 6000mm スパン

【使用材料】

ウェブ カラマツ LVL 120-1 級 E 50V-43H 50mm × 322mm

フランジ カラマツ LVL 90E-1 級 45V-38H 40mm × 1200mm

接合具 ビス：パネリード P6 × 90II+ (d=6.0mm、L=90mm、東日本パワーファスニング株式会社)

接着剤：UR-70（1液ウレタン系、株式会社オーシカ）

● 適用条件

ウェブとフランジを留めつけるビス間隔はウェブ - フランジ間の接着剤を見込まずに、せん断接合具を用いた組立¹⁾とみなして長期鉛直荷重によるせん断力に耐え得るように決定する。

1) 日本建築学会（2009）、木質構造接合部設計マニュアル Design Manual for Engineered Timber Joints, 丸善, 4.4.1 せん断接合具を利用した組立梁, pp179

● 概要

LVLのみで構成された継ぎ手の無い大スパンのストレススキンパネルの実大材4点曲げ試験（単調押し切り加力）を行った。加力速度は Pmax/10min 以下とし、荷重が Pmax の 8 割に低下するまで加力を続した。中央たわみの変位測定（変位計①）により、荷重（たわみ）変形関係を求め、曲げ性能の評価を行った。

表 試験体種類（全 16 種類）

試験体名	LVL樹種	接合形式	断面形状	長さ[mm]	ビス間隔[mm]	試験体数
C1-6000	スギ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	各3体
C1-9000			9000			
C2-6000		上下フランジ型	6000	150		
C2-9000			9000	100		
CB1-6000		接着ビス	上フランジ型	6000	200	
CB1-9000			9000	200		
CB2-6000	上下フランジ型		6000	150		
CB2-9000	9000		100			
L1-6000	カラマツ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	
L1-9000			9000	200		
L2-6000		上下フランジ型	6000	150		
L2-9000			9000	100		
LB1-6000	接着ビス	上フランジ型	6000	200		
LB1-9000		9000	200			
LB2-6000		上下フランジ型	6000	150		
LB2-9000		9000	100			

● 接合具（メーカー、入手方法等）

—

● 問い合わせ先 URL

—

● 理論式

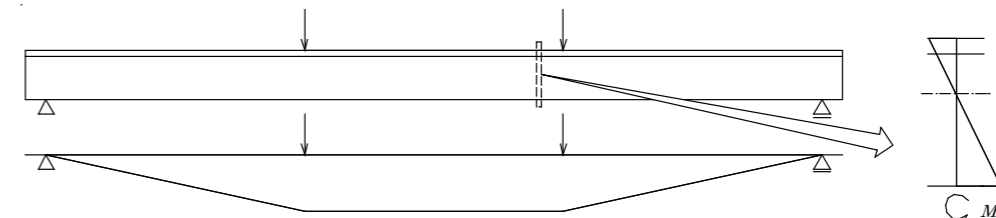
—

● 計算式

—

● モデル化

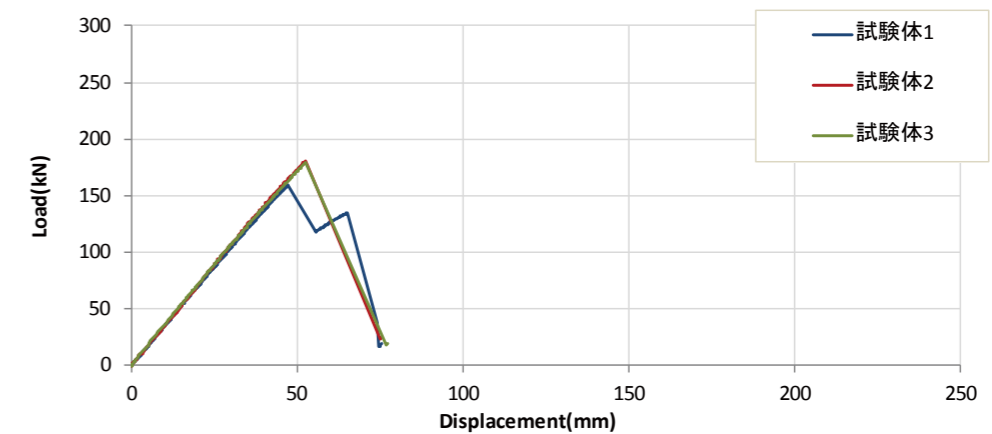
- ・せん断遅れによるフランジ幅の低減（有効幅）
- ・ウェブとフランジが一体断面である複合材とみなす



● 特性値

		初期剛性 K	降伏耐力 Py	最大耐力 Pmax
		[kN/mm]	[kN]	[kN]
LB1-6000	1	3.55	87.2	159.3
	2	3.47	156.9	180.5
	3	3.50	108.6	179.7
	AVE.	3.50	117.6	173.2
	S.D.	0.040	35.67	11.98

● 荷重変形



● 破壊性状

- ・ビスのせん断降伏は発生せず、部材は一体のまま、ウェブ下縁に曲げ破壊が発生して最大耐力が決定した。3 試験体とも同様の破壊性状を示した。



部材間ずれの発生なし（試験体 1）



ウェブの曲げ破壊（試験体 1）

要材
素料

接合具

部組
材立

接合部

屋根

柱

梁

1/3
スレ

壁

床

集
成材

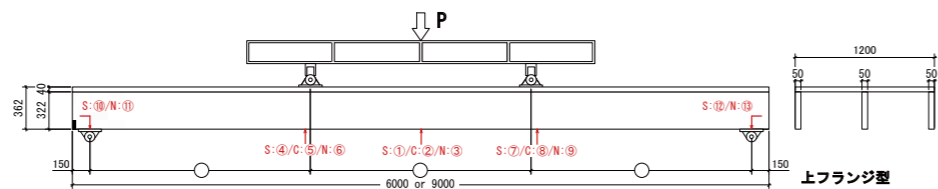
LVL

製材

合板

その他

● 姿図・寸法



ウェブ：LVL（120E、カラマツ）
 フランジ：LVL（90E、カラマツ） / 接着ビス接合 / 上フランジ型 / 9000mm スパン

【使用材料】

ウェブ カラマツ LVL 120-1 級 E 50V-43H 50mm × 322mm
 フランジ カラマツ LVL 90E-1 級 45V-38H 40mm × 1200mm
 接合具 ビス：パネリード P6 × 90II+ (d=6.0mm、L=90mm、東日本パワーファスニング株式会社)
 接着剤：UR-70 (1液ウレタン系、株式会社オーシカ)

● 適用条件

ウェブとフランジを留めつけるビス間隔はウェブ - フランジ間の接着剤を見込まずに、せん断接合具を用いた組立¹⁾とみなして長期鉛直荷重によるせん断力に耐え得るように決定する。

1) 日本建築学会 (2009), 木質構造接合部設計マニュアル Design Manual for Engineered Timber Joints, 丸善, 4.4.1 せん断接合具を利用した組立梁, pp179

● 概要

LVL のみで構成された継ぎ手の無い大スパンのストレススキンパネルの実大材 4 点曲げ試験 (単調押し切り加力) を行った。加力速度は Pmax/10min 以下とし、荷重が Pmax の 8 割に低下するまで加力を続した。中央たわみの変位測定 (変位計①) により、荷重 (たわみ) 変形関係を求め、曲げ性能の評価を行った。

表 試験体種類 (全 16 種類)

試験体名	LVL樹種	接合形式	断面形状	長さ[mm]	ビス間隔[mm]	試験体数
C1-6000	スギ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	各3体
C1-9000			9000			
C2-6000		上下フランジ型	6000	150		
C2-9000			9000	100		
CB1-6000		接着ビス	上フランジ型	6000	200	
CB1-9000			9000			
CB2-6000	上下フランジ型	6000	150			
CB2-9000		9000	100			
L1-6000	カラマツ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	
L1-9000			9000			
L2-6000		上下フランジ型	6000	150		
L2-9000			9000	100		
LB1-6000		接着ビス	上フランジ型	6000	200	
LB1-9000			9000			
LB2-6000	上下フランジ型	6000	150			
LB2-9000		9000	100			

● 接合具 (メーカー、入手方法等)

—

● 問い合わせ先 URL

—

● 理論式

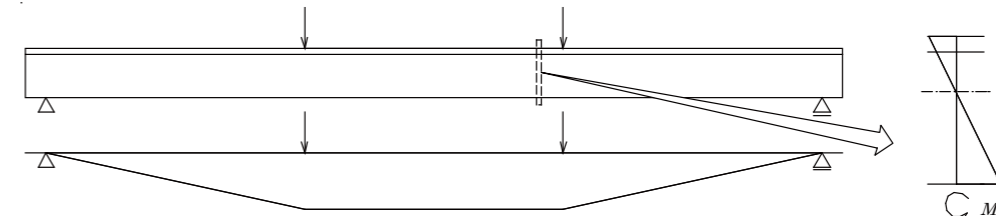
—

● 計算式

—

● モデル化

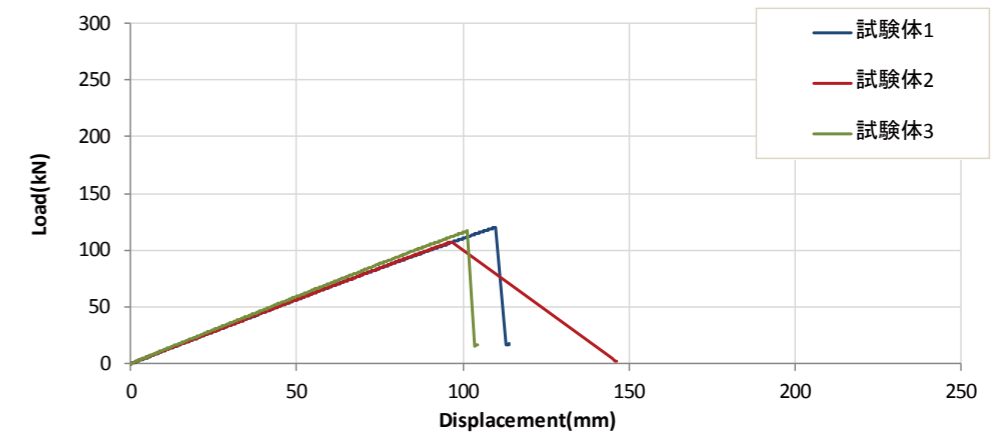
- ・せん断遅れによるフランジ幅の低減 (有効幅)
- ・ウェブとフランジが一体断面である複合材とみなす



● 特性値

	初期剛性 K [kN/mm]	降伏耐力 Py [kN]	最大耐力 Pmax [kN]
LB1-9000	1	3.55	87.2
	2	3.47	156.9
	3	3.50	108.6
	AVE.	3.50	117.6
S.D.	0.040	35.67	11.98

● 荷重変形



● 破壊性状

- ・ビスのせん断降伏は発生せず、部材は一体のまま、ウェブ下縁に曲げ破壊が発生して最大耐力が決定した。3 試験体とも同様の破壊性状を示した。



ビスのせん断変形に伴う部材間のずれ (試験体 2)



ウェブの曲げ破壊 (試験体 2)

要材
素料

接合具

部組
材立

接合部

屋根

柱

梁

1/2
スレ

壁

床

集材

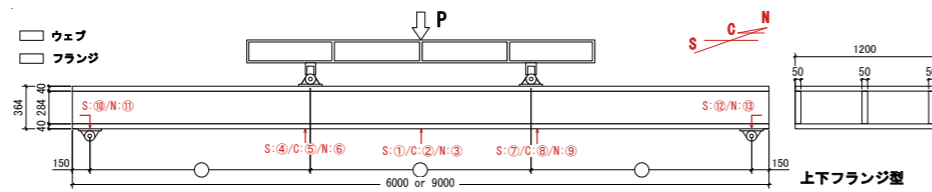
LVL

製材

合板

その他

● 姿図・寸法



ウェブ：LVL（120E、カラマツ）

フランジ：LVL（90E、カラマツ） / 接着ビス接合 / 上下フランジ型 / 6000mm スパン

【使用材料】

ウェブ カラマツ LVL 120-1 級 E 50V-43H 50mm × 284mm

フランジ カラマツ LVL 90E-1 級 45V-38H 40mm × 1200mm

接合具 ビス：パネリード P6 × 90II+ (d=6.0mm、L=90mm、東日本パワーファスニング株式会社)

接着剤：UR-70（1液ウレタン系、株式会社オーシカ）

● 適用条件

ウェブとフランジを留めつけるビス間隔はウェブ - フランジ間の接着剤を見込まずに、せん断接合具を用いた組立¹⁾とみなして長期鉛直荷重によるせん断力に耐え得るように決定する。

1) 日本建築学会（2009）、木質構造接合部設計マニュアル Design Manual for Engineered Timber Joints, 丸善, 4.4.1 せん断接合具を利用した組立梁, pp179

● 概要

LVLのみで構成された継ぎ手の無い大スパンのストレススキンパネルの実大材4点曲げ試験（単調押し切り加力）を行った。加力速度は Pmax/10min 以下とし、荷重が Pmax の 8 割に低下するまで加力を続した。中央たわみの変位測定（変位計①）により、荷重（たわみ）変形関係を求め、曲げ性能の評価を行った。

表 試験体種類（全 16 種類）

試験体名	LVL樹種	接合形式	断面形状	長さ[mm]	ビス間隔[mm]	試験体数		
C1-6000	スギ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	各3体		
C1-9000				9000	200			
C2-6000			上下フランジ型	6000	150			
C2-9000				9000	100			
CB1-6000			カラマツ	接着ビス	上フランジ型		6000	200
CB1-9000							9000	200
CB2-6000	上下フランジ型	6000			150			
CB2-9000		9000			100			
L1-6000	スギ	ビスのみ			上フランジ型		6000	200
L1-9000							9000	200
L2-6000			上下フランジ型	6000	150			
L2-9000				9000	100			
LB1-6000			カラマツ	接着ビス	上フランジ型	6000	200	
LB1-9000						9000	200	
LB2-6000	上下フランジ型	6000			150			
LB2-9000		9000			100			

● 接合具（メーカー、入手方法等）

—

● 問い合わせ先 URL

—

● 理論式

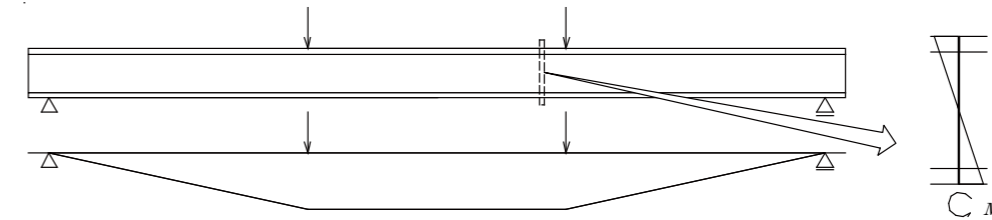
—

● 計算式

—

● モデル化

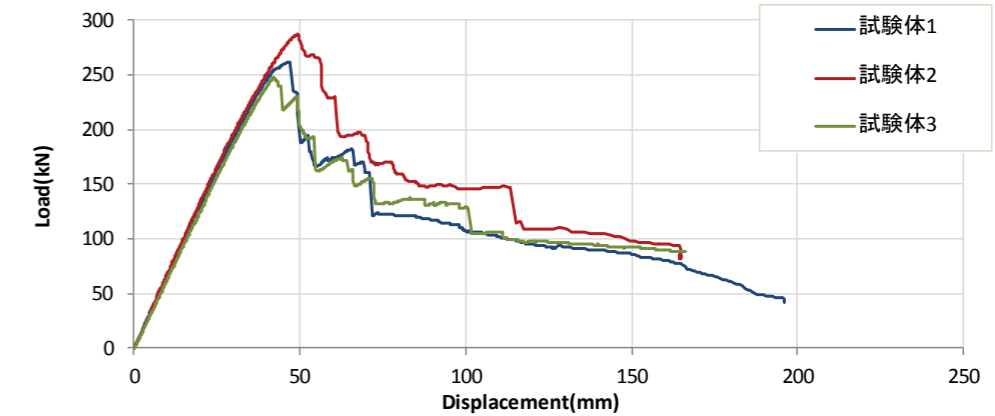
- ・せん断遅れによるフランジ幅の低減（有効幅）
- ・ウェブとフランジが一体断面である複合材とみなす



● 特性値

	初期剛性 K [kN/mm]	降伏耐力 Py [kN]	最大耐力 Pmax [kN]
LB2-6000	1	6.50	158.8
	2	6.70	164.1
	3	6.29	145.0
	AVE.	6.50	156.0
	S.D.	0.201	9.87

● 荷重変形



● 破壊性状

- ・フランジ端部においてウェブ側直交層のローリングシア（層内せん断）が発生することで断面性能が低下し、ウェブ下縁に曲げ破壊が発生して最大耐力が決定した。3 試験体とも同様の破壊性状を示した。

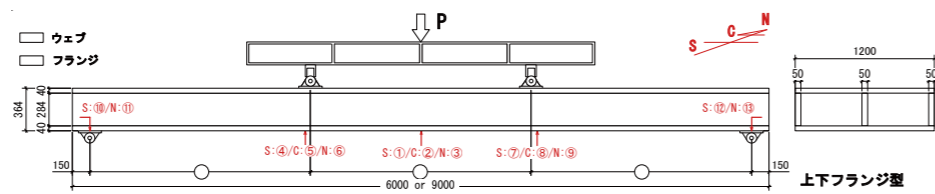


フランジ端部のローリングシア（試験体 1）



ウェブの曲げ破壊（試験体 1）

● 姿図・寸法



ウェブ：LVL（120E、カラマツ）

フランジ：LVL（90E、カラマツ） / 接着ビス接合 / 上下フランジ型 / 9000mm スパン

【使用材料】

ウェブ カラマツ LVL 120-1 級 E 50V-43H 50mm × 284mm

フランジ カラマツ LVL 90E-1 級 45V-38H 40mm × 1200mm

接合具 ビス：パネリード P6 × 90II+ (d=6.0mm、L=90mm、東日本パワーファスニング株式会社)

接着剤：UR-70（1液ウレタン系、株式会社オーシカ）

● 適用条件

ウェブとフランジを留めつけるビス間隔はウェブ - フランジ間の接着剤を見込まずに、せん断接合具を用いた組立¹⁾とみなして長期鉛直荷重によるせん断力に耐え得るように決定する。

1) 日本建築学会（2009）、木質構造接合部設計マニュアル Design Manual for Engineered Timber Joints, 丸善, 4.4.1 せん断接合具を利用した組立梁, pp179

● 概要

LVLのみで構成された継ぎ手の無い大スパンのストレススキンパネルの実大材4点曲げ試験（単調押し切り加力）を行った。加力速度は Pmax/10min 以下とし、荷重が Pmax の 8 割に低下するまで加力を続した。中央たわみの変位測定（変位計①）により、荷重（たわみ）変形関係を求め、曲げ性能の評価を行った。

表 試験体種類（全 16 種類）

試験体名	LVL樹種	接合形式	断面形状	長さ[mm]	ビス間隔[mm]	試験体数	
C1-6000	スギ	ビスのみ	上フランジ型	6000	200	各3体	
C1-9000			9000				
C2-6000		上下フランジ型	6000	150			
C2-9000			9000	100			
CB1-6000		カラマツ	接着ビス	上フランジ型	6000		200
CB1-9000				9000			
CB2-6000	上下フランジ型		6000	150			
CB2-9000			9000	100			
L1-6000	ビスのみ		上フランジ型	6000	200		
L1-9000				9000			
L2-6000		上下フランジ型	6000	150			
L2-9000			9000	100			
LB1-6000		接着ビス	上フランジ型	6000	200		
LB1-9000				9000			
LB2-6000	上下フランジ型		6000	150			
LB2-9000			9000	100			

● 接合具（メーカー、入手方法等）

—

● 問い合わせ先 URL

—

● 理論式

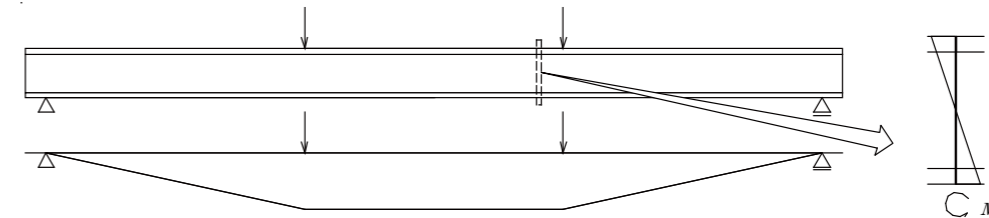
—

● 計算式

—

● モデル化

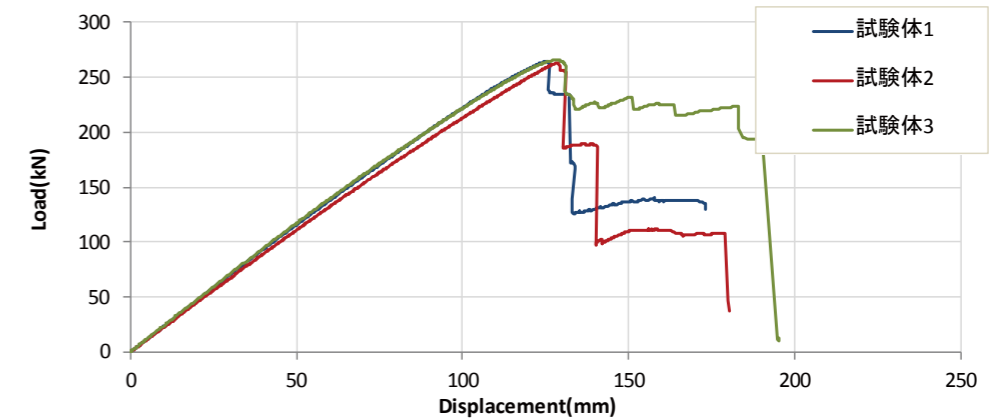
- ・せん断遅れによるフランジ幅の低減（有効幅）
- ・ウェブとフランジが一体断面である複合材とみなす



● 特性値

	初期剛性 K [kN/mm]	降伏耐力 Py [kN]	最大耐力 Pmax [kN]	
LB2-9000	1	2.31	131.4	264.8
	2	2.21	133.7	263.5
	3	2.33	137.7	265.7
	AVE.	2.28	134.3	264.6
	S.D.	0.066	3.21	1.11

● 荷重変形



● 破壊性状

- ・フランジ端部においてウェブ側直交層のローリングシア（層内せん断）が発生することで断面性能が低下し、ウェブ下縁に曲げ破壊が発生して最大耐力が決定した。3 試験体とも同様の破壊性状を示した。



ビスのせん断変形に伴う部材間のずれ（試験体 2）



ウェブの曲げ破壊（試験体 3）

初期剛性

・接着ビス接合シリーズ

一体断面の複合材と見なせるものとし、初等梁理論を適用することで、三等分点4点曲げにおいて総鉛直荷重Pを加えたときのスパン中央の曲げたわみ δ_M は式 (1) として得られる。

$$\delta_M = \frac{23PL^3}{6^4 EI} \quad \dots (1)$$

L: 曲げスパン (支点間距離)、EI: 曲げ剛性

また、LVL-SSP は断面形状からせん断たわみ δ_s の影響が無視できない。 δ_s は、中立軸のせん断応力度を長さ方向に積分し、ウェブのせん断弾性係数で除して式 (2) で得られる。

$$\tau_0 = \frac{QS_q}{\sum b \cdot I_{q,w}}$$

$$\delta_s = \frac{L_s PS_q}{2G \sum b \cdot I_{q,w}} \quad \dots (2)$$

L_s : せん断区間長さ、G: ウェブのせん断弾性係数

S_q : 中立軸からの等価断面一次モーメント (片縁から中立軸までの、ウェブEを基準としたもの)

$I_{q,w}$: ウェブEを基準とした等価断面二次モーメント、 $\sum b$: ウェブ幅の合計

上述よりスパン中央全体たわみ δ_{MAX} は式 (3)、初期剛性Kは式 (4) で表すことができる。

$$\delta_{MAX} = \delta_M + \delta_s = \frac{23PL^3}{6^4 EI} + \frac{L_s PS_q}{2G \sum b \cdot I_{q,w}} \quad \dots (3)$$

$$K = \left(\frac{23L^3}{6^4 EI} + \frac{L_s S_q}{2G \sum b \cdot I_{q,w}} \right)^{-1} \quad \dots (4)$$

・ビスのみ接合シリーズ

ビスのみ接合部ではせん断すべりが生じるため、ウェブとフランジが一体断面としては挙動しない。ここでは蒲池によって示されたせん断接合具を用いた重ね梁理論式¹⁾を適用する。4点曲げ3等分点加力によるたわみを、各加力点のたわみの重ね合わせとみなし、スパン中央たわみが式 (5) として得られる。以上から、初期剛性は式 (6) によって表される。

$$\delta = P \left\{ \frac{1}{\sum EI} - \frac{K_0 \sinh \frac{\lambda L}{3} \cdot \sinh \frac{\lambda}{2}}{\lambda^3 \sinh \lambda L} + \frac{K_0}{6\lambda^2} + \left(\frac{1}{144} - \frac{2L^2}{81} \right) (K_0 - 1) \right\} \quad \dots (5)$$

$$K = \left\{ \frac{1}{\sum EI} - \frac{K_0 \sinh \frac{\lambda L}{3} \cdot \sinh \frac{\lambda}{2}}{\lambda^3 \sinh \lambda L} + \frac{K_0}{6\lambda^2} + \left(\frac{1}{144} - \frac{2L^2}{81} \right) (K_0 - 1) \right\}^{-1} \quad \dots (6)$$

$$\text{ここで } \lambda = \sqrt{\frac{GH}{K \sum EI}}, \quad K_0 = \left(1 + \frac{2}{H^2 E_f A_f} \sum EI \right)^{-1}, \quad G = \Gamma H, \quad \Gamma = \left(\sum \frac{s_i}{k_i} \right)^{-1}$$

$\sum EI$: ウェブ・フランジ曲げ剛性の総和、 E_w : ウェブの曲げヤング係数、 E_f : フランジの曲げヤング係数
 A_f : フランジの断面積、 H : 上下フランジの芯間距離、 Γ : 上下フランジ間単位長さあたりの接合剛性
 s : ビスピッチ、 k : ビスの一面せん断剛性

特性値 (降伏耐力、最大耐力)

各試験体の破壊性状を Bending 型、Shear 型、重ね梁型の3つに大別した。

・Bending 型

接着ビス接合の上フランジ型シリーズに該当。ウェブの曲げ破壊により最大耐力 P_{max} が決定される。また、荷重変形曲線の高い線形性から、降伏耐力 P_y と P_{max} を同等とみなしてよいものとする。ウェブの引張側縁応力度が曲げ強度に達したときに破壊が生じるとして、 P_{max} は寸法効果 (式 (7)) を考慮した上で式 (8) によって与えられる。

$$\sigma_b = \sigma_{b,e} (y_0 / y_{0,e})^{-k} \quad \dots (7)$$

$$P_{max} = \frac{6I_{q,w}}{y_0 L} \sigma_b \quad \dots (8)$$

σ_b : 寸法効果により低減した実大材ウェブの曲げ強度、 y_0 : 実大材の中立軸高さ

$\sigma_{b,e}$: 要素試験により得られた曲げ強度、 $y_{0,e}$: 要素試験体の中立軸高さ、 k : 寸法効果に関する定数

・Shear 型

接着ビス接合の上下フランジ型の試験体シリーズに該当。フランジ端部のウェブ側直交単板のローリングシアによって P_{max} が決定される。中央たわみの荷重変位曲線から、 P_y と P_{max} を同等とみなしてよいものとする。フランジ表層の平行単板が幅方向への層内せん断をほぼ伝達せず、ウェブに働くせん断応力度がフランジのウェブ側の直交単板に直接伝達するという近似のものと、式 (9) が導かれる。

$$\tau_i = \frac{QS_f}{\sum b \cdot I_{q,f}} \quad \dots (9)$$

τ_i : フランジのウェブ側の直交単板に働くせん断応力度、 S_f : 実大材の中立軸高さ

$I_{q,f}$: フランジEを基準とした等価断面二次モーメント

この τ_i が直交単板のローリングシア強度に達するときに破壊が生じるとして、 P_{max} は式 (10) によって示される。

$$P_{\max} = 2Q_{\max} = \frac{2\sigma_r \sum b \cdot I_{q,f}}{S_f} \quad \dots (10)$$

σ_r : フランジ直交単板のローリングシアア強度

・重ね梁型

ビスのみ接合シリーズに該当。初期剛性の場合と同様に重ね梁モデルを適用すると、 P_y は端部のビス降伏時として式 (11)、最大耐力はウェブ曲げ破壊時として式 (12) で示される。

$$P_y = \frac{H}{K_0} \left(\frac{1}{3} - \frac{\sinh \frac{\lambda L}{3}}{\sinh \lambda L} \right)^{-1} \frac{3f_j}{s} \quad \dots (11)$$

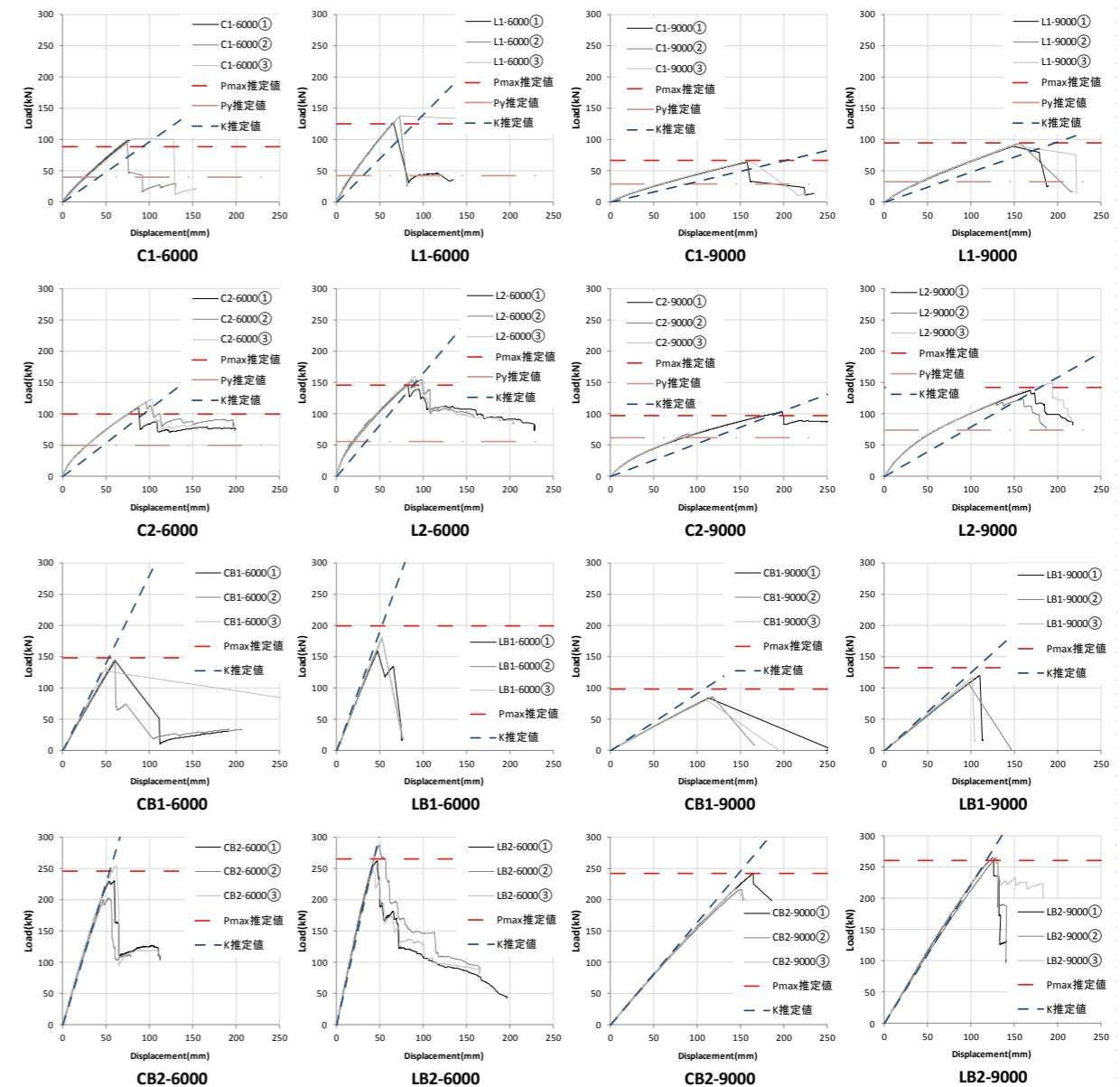
$$P_{\max} = \sigma_b \frac{12 \sum EI}{bE_w} \left\{ \frac{4(1-K_0)L}{3} + 1 - \frac{K_0 \cosh \frac{\lambda L}{3}}{\sinh \lambda L} \right\}^{-1} \quad \dots (12)$$

f_j : ビス 1 本あたりの降伏耐力

推定式の照合

以上に示した推定式から得られた各推定値と実大試験のたわみ曲線との比較を行ったところ (下図)、概ね正しい値を得られていることが分かった。特に上下フランジ型接着ビス接合のカラマツ試験体の剛性に関しては高い一致を見せた。

なお、本推定式の確認において必要とした LVL 物性値、接合具のせん断性能に関しては、要素試験で得られた値の平均値を用いた。(せん断弾性係数 G に関しては $E/15$ として求めた) また、有効フランジ幅に関しては、菊池式²⁾³⁾ から得られた値を用いた。

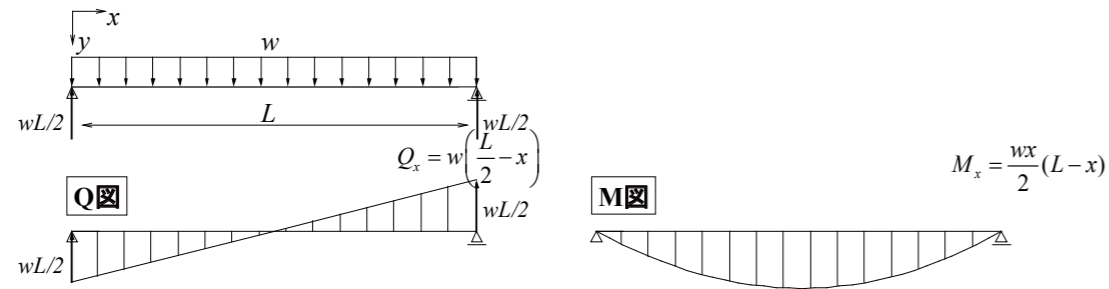


LVL ストレストスキンパネル試験体 推定式の照合

- 2) 菊池重昭 他 (2002), 曲げを受けるストレススキンパネルの実験的研究その 5. 有効幅算定式の提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.29-30
- 3) 菊池重昭 他 (2007), 面外方向曲げを受ける木質接着パネル構法の有効幅に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No.614, pp.77-84

等分布荷重を受ける LVL-SSP たわみ式

これまでに提案してきた推定式に関してはある程度適合性の確認が取れたが、これらは三等分点4点曲げ加力時のみ成立するものであり、実際の床構造設計で想定される荷重形式は主に等分布荷重であることが多い。そのため、ここでは、これまでの展開をもとに、等分布荷重 w を受ける接着接合 SSP のたわみについて示すこととする。



支点部めり込み - 荷重関係

等分布荷重を受ける単純梁の Q 図、M 図は上図のようなため、曲げのみを考慮したたわみ曲線式 y_M 、せん断のみを考慮したたわみ曲線式 y_S は式 (13)、式 (14) のように与えられる。

$$y_M = \frac{w}{24EI} (x^4 - 2Lx^3 + L^3x) \quad \dots (13)$$

$$y_S = \int_0^x \frac{Q_x S_q}{G \sum b \cdot I_{q,w}} dx = \frac{S_q wx(L-x)}{2G \sum b \cdot I_{q,w}} \quad \dots (14)$$

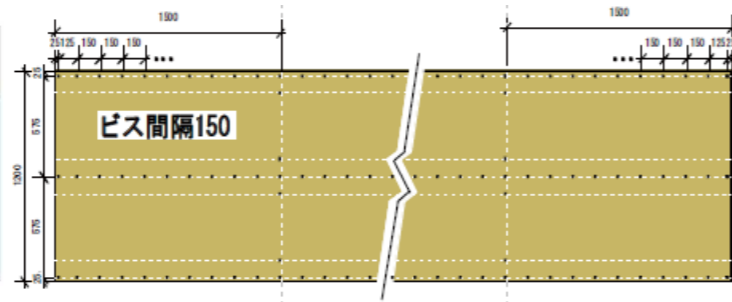
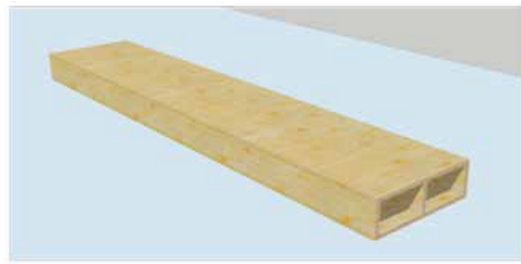
また、これらの重ね合わせとして、たわみ式は式 (15) となる。

$$y = \frac{w}{24EI} (x^4 - 2Lx^3 + L^3x) + \frac{S_q wx(L-x)}{2G \sum b \cdot I_{q,w}} \quad \dots (15)$$

よって、この時の梁の中央 (最大) たわみは式 (16) で表されることとなる。

$$\delta = \frac{5wL^4}{384EI} + \frac{S_q wL^2}{8G \sum b \cdot I_{q,w}} \quad \dots (16)$$

● 姿図・寸法



上下フランジ型

【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：パネリードⅡ + 90mm 150mm ピッチ 接着剤：ウレタン系現場用接着剤 UR-70

● 適用条件

—

● 概要

LVL で構成されたストレススキンパネルの長期性能の検証を目的として、クリープ試験を行った。木質材料の変形増大係数は製材の 2.0 と同等とされており、設計でもこの数値が使われているが、接着ビス止めした組立梁の長期性能は検証されていない。実大材のクリープ試験を行い、長期性能の安全性を検証した。

● 接合具（メーカー、入手方法等）

—

● 問い合わせ先 URL

—

● 理論式

—

● 計算式

建築基準法第 37 条に関する技術的基準（平成 12 年建設省告示第 1446 号）建築材料の性能評価方法²⁾によりクリープ解析をつぎのとおり行った。

① 経過時間 t 分ごとに測定されたたわみに対する荷重 1 分後のたわみの比（クリープたわみ比 K_t ）を計算し、荷重後 1 分、5 分、10 分、100 分、500 分後および 24 時間ごとに 5 週間以上測定して、クリープたわみ比の常用対数 $\log_{10}K_t$ と経過時間の常用対数 $\log_{10}t$ との関係について、回帰直線の切片及び傾きを算出する。

② 回帰直線上の時間が 50 年に相当するクリープたわみ比 K_{50year} をクリープの調整係数として求める。

$$K_t = d_{1min} / d_{tmin}$$

$$\log_{10}K_t = e + f \times \log_{10}t$$

$$K_{50year} = 10^e \times t_{50year}^f = 26280000^f$$

ここで、 K_t ： t 分後のクリープたわみ比
 d_{1min} ：1 分後のたわみ (mm)
 d_{tmin} ： t 分後のたわみ (mm)
 e ： $\log_{10}K_t$ と $\log_{10}t$ の回帰直線の切片
 f ： $\log_{10}K_t$ と $\log_{10}t$ の回帰直線の傾き
 t_{50year} ：50 年分の時間 t で 26280000 分

● モデル化

—

● 特性値

荷重重量を確認するために、荷重点やアームなどの装置の重量を 300kN のロードセルを荷重点と床との間に入れて測定した。その後、20kgf の錘を 1 個ずつ計 3 個載荷した。クリープ試験の荷重レベルは、平成 12 年建設省告示第 1446 号別表第二に規定された指定建築材料の品質基準と測定方法²⁾によると、下式で得られる応力 σ に相当する荷重をかけることになっている。

$$\sigma = A_{cr} \times K_{dl} \times K_{aw} \times (2/3)$$

ここで、 A_{cr} ：サイドマッチング用試験体 2 体の平均値

K_{dl} ：荷重継続時間の調整係数

K_{aw} ：事故的な水掛りを考慮した調整係数

今回は、いずれの調整係数とも得られていない段階でクリープ試験を実施することになったため、安全側評価となるように、かつクリープ限度³⁾を考慮して荷重レベルを 0.42 に設定した。この結果長期荷重を 112.4kN とし、図 1(データの解説)に示す試験条件から、クリープ試験に必要な錘の重量を 5.75kN と決定した。50 年後の中央たわみの予測値は 33.3mm、クリープ係数は 1.44 となった。

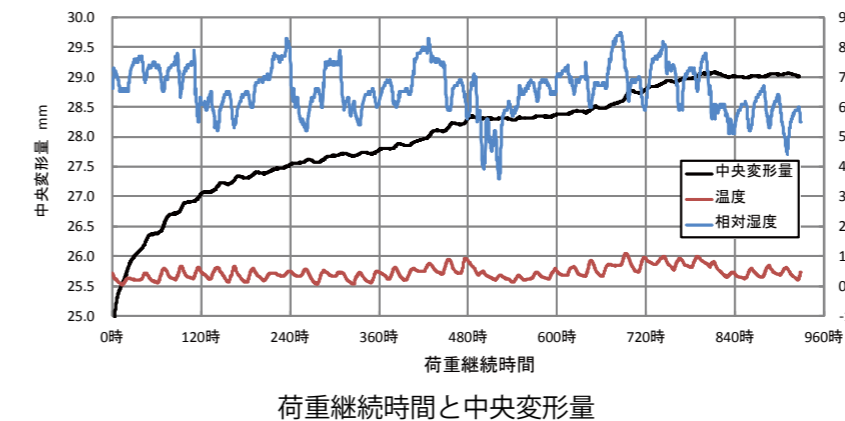
クリープ試験の解析結果（5 週間経過時点）

d_{1min}	R^2	傾き f	切片 e	d_{50year}	d_{50year}/d_{1min}	K_{50year}
23.18	0.953	-0.0244	0.0237	33.30	1.44	0.696

※ d_{1min} ：1 分後の中央たわみ (mm), R^2 ： $\log_{10}K_t$ と $\log_{10}t$ の回帰直線の決定係数,
 f ： $\log_{10}K_t$ と $\log_{10}t$ の回帰直線の傾き, e ： $\log_{10}K_t$ と $\log_{10}t$ の回帰直線の切片,
 d_{50year} ：50 年後の中央たわみの予測値 (mm), K_{50year} ：荷重継続時間 50 年に
 対するクリープたわみ比の予測値。

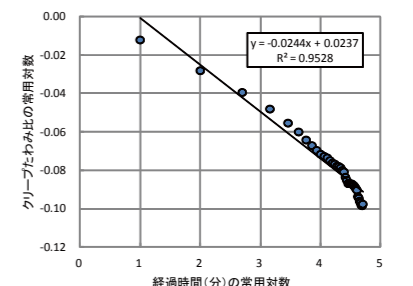
● 荷重変形

荷重は 2013 年 1 月 4 日から広島県三次市の広島林業技術センターで開始した。荷重してから 10 秒間隔で 1000 秒まで測定し、その後 5 分間隔で測定を継続中である。荷重後 5 週間後までの時間と中央変形量の関係を図に示す。

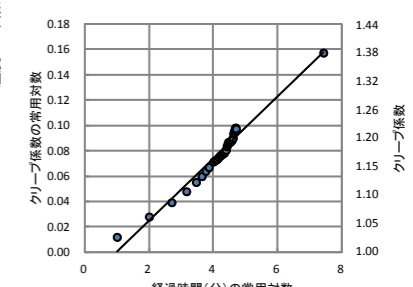


● 破壊性状

・荷重点の変形のみ



クリープたわみ比と経過時間



クリープ係数と経過時間

- 要材
- 素材
- 接合具
- 部組材
- 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

静的曲げ試験

試験は三等分点単調加力による四点曲げにより行った。荷重速度は $P_{max}/10min$ とし、支点・加力点には幅拡張用治具の H 鋼を取り付けた。これらの治具は何れも同じ仕様で 1300mm のスパンを持ち、加力点には試験体へのめり込みを緩和するために端部に丸みを持たせたブナ材が取り付けられた。支点・加力点は共にピン支点かつナイフエッジであり、前後左右にある程度自由回転が出来るような仕様のものを用いた。曲げスパンは 6000mm 試験体が 5700mm となるよう設定した。

曲げ試験結果を表 1 に示す。3 体の最大荷重平均値は 265.8kN であった¹⁾。

表 1 静的曲げ試験結果

No	最大荷重 kN	降伏点荷重 kN	降伏点変位 mm	初期剛性 kN/mm
CB2-6000①150	261.8	158.8	24.42	6.504
CB2-6000②150	287.3	164.1	24.51	6.695
CB2-6000③150	248.4	145.0	23.04	6.293
平均値	265.8	156.0	23.99	6.497
標準偏差	19.8	9.87	0.82	0.20

クリープ試験

1) クリープ試験体

試験体は静的曲げ試験に供したものと樹種や構成は同じで、国産カラマツ、幅 1200mm、梁せい 364mm、軸方向のスパン 6000mm である。接着ビス止め仕様で 1 体製作した。

2) クリープ試験装置の概要

広島県立総合技術研究所林業技術センター木材実験棟（温湿度の調整不可）内に曲げクリープ試験装置（図 1）を設置した。曲げクリープ試験装置はモーメントアーム方式とし、錘を下げる位置までを 4500mm、支点から荷重点ピンまでの距離を 300mm とした。荷重点は鋼材間にバネワッシャを入れてボルトを手締めとし、試験体の変形に対応できるようにした。また、荷重点の軸部をネジ方式にして、ナットを回転させてアームが水平にできるような構造とした。

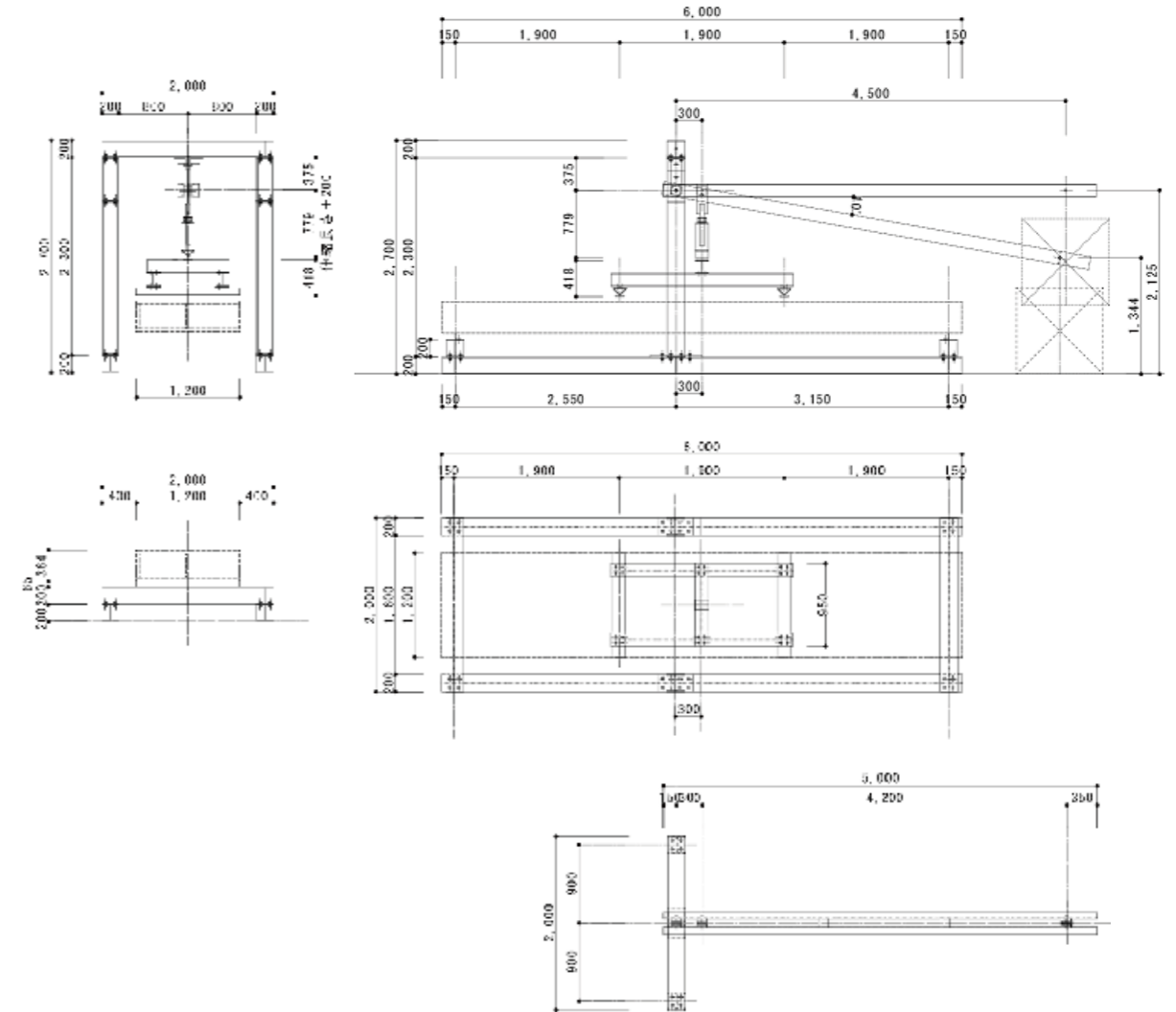


図 1 曲げクリープ試験装置概要図

載荷重量を確認するために、荷重点やアームなどの装置の重量を 300kN のロードセルを荷重点と床との間に入れて測定した。その後、20kgf の錘を 1 個ずつ計 3 個載荷した。その結果を図 2 に、状況を写真 1 及び写真 2 に示す。

クリープ試験の荷重レベルは、平成 12 年建設省告示第 1446 号別表第二に規定された指定建築材料の品

質基準と測定方法 2) によると、式 (1) で得られる応力 σ に相当する荷重をかけることになっている。

$$\sigma = A_{cr} \times K_{dl} \times K_{aw} \times (2/3) \quad (1)$$

ここで、 A_{cr} : サイドマッチング用試験体 2 体の平均値

K_{dl} : 荷重継続時間の調整係数

K_{aw} : 事故的な水掛りを考慮した調整係数

今回は、いずれの調整係数とも得られていない段階でクリープ試験を実施することになったため、安全側評価となるように、かつクリープ限度 3) を考慮して荷重レベルを 0.42 に設定した。この結果長期荷重を 112.4kN とし、図 1 に示す試験条件から、クリープ試験に必要な錘の重量を 5.75kN と決定した。



写真 1 荷重確認試験状況



写真 2 荷重点部

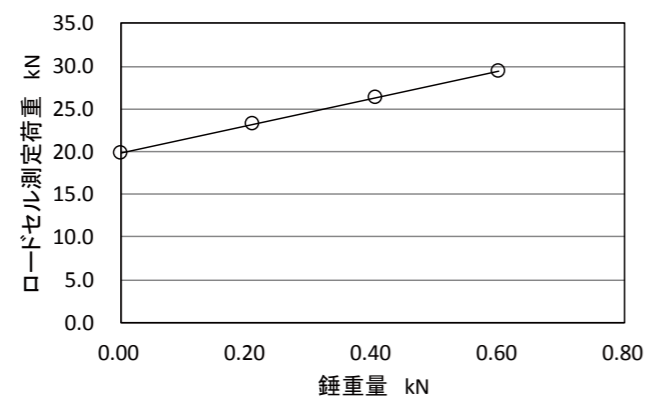


図 2 載荷荷重と実測荷重の関係

3) クリープ試験方法

曲げクリープ試験は、3 等分点 4 点荷重方式で、支点間距離 5700mm、荷重点間距離 900mm とした。試験状況を写真 3 から写真 6 に示す。



写真 3 試験状況全景



写真 4 荷重点部



写真 5 アーム支点部



写真 6 錘部

4) クリープ解析

載荷は2013年1月4日から開始した。載荷してから10秒間隔で1000秒まで測定し、その後5分間隔で測定を継続中である。載荷後5週間後までの時間と中央変形量の関係を図3に示す。

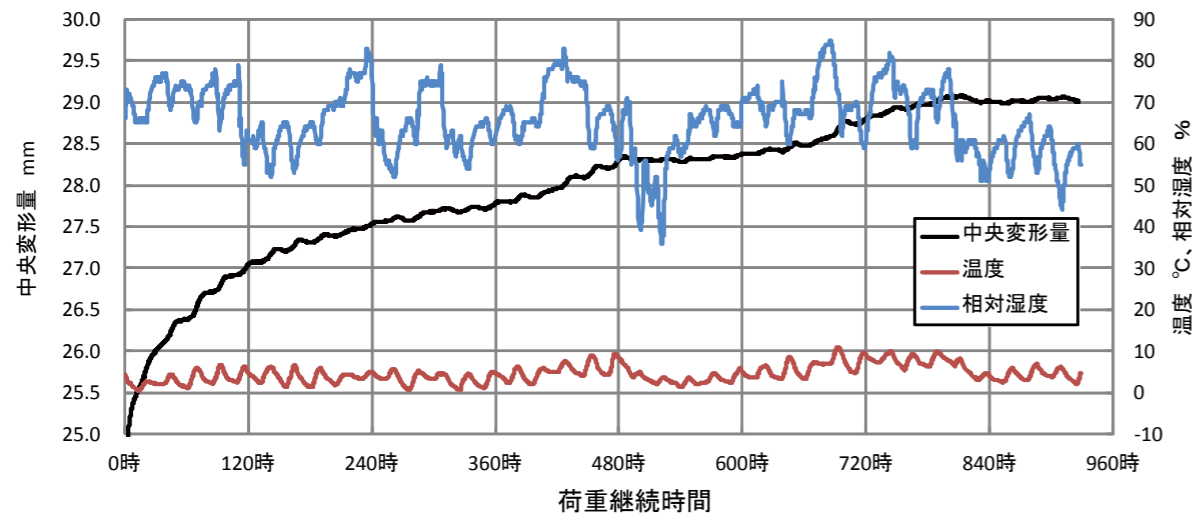


図3 荷重継続時間と中央変形量

建築基準法第37条に関する技術的基準（平成12年建設省告示第1446号）建築材料の性能評価方法²⁾によりクリープ解析をつぎのとおり行った。

- ① 経過時間 t 分ごとに測定されたたわみに対する載荷1分後のたわみの比（クリープたわみ比 K_t ）を計算し、載荷後1分、5分、10分、100分、500分後および24時間ごとに5週間以上測定して、クリープたわみ比の常用対数 $\log_{10}K_t$ と経過時間の常用対数 $\log_{10}t$ との関係について、回帰直線の切片及び傾きを算出する。
- ② 回帰直線上の時間が50年に相当するクリープたわみ比 K_{50year} をクリープの調整係数として求める。

$$K_t = d_{1min} / d_{tmin} \quad (2)$$

$$\log_{10}K_t = e + f \times \log_{10}t \quad (3)$$

$$K_{50year} = 10^e \times t_{50year}^f = 26280000^f \quad (4)$$

ここで、 K_t : t 分後のクリープたわみ比
 d_{1min} : 1分後のたわみ (mm)
 d_{tmin} : t 分後のたわみ (mm)
 e : $\log_{10}K_t$ と $\log_{10}t$ の回帰直線の切片
 f : $\log_{10}K_t$ と $\log_{10}t$ の回帰直線の傾き
 t_{50year} : 50年分の時間 t で 26,280,000 分

試験を開始してから5週間経過時点の結果を表2に示す。50年後の中央たわみの予測値は33.3mm、クリープ係数は1.44となった。

表2 クリープ試験の解析結果（5週間経過時点）

d_{1min}	R^2	傾き f	切片 e	d_{50year}	d_{50year}/d_{1min}	K_{50year}
23.18	0.953	-0.0244	0.0237	33.30	1.44	0.696

※ d_{1min} : 1分後の中央たわみ (mm), R^2 : $\log_{10}K_t$ と $\log_{10}t$ の回帰直線の決定係数,
 f : $\log_{10}K_t$ と $\log_{10}t$ の回帰直線の傾き, e : $\log_{10}K_t$ と $\log_{10}t$ の回帰直線の切片,
 d_{50year} : 50年後の中央たわみの予測値 (mm), K_{50year} : 荷重継続時間50年に
 対するクリープたわみ比の予測値。

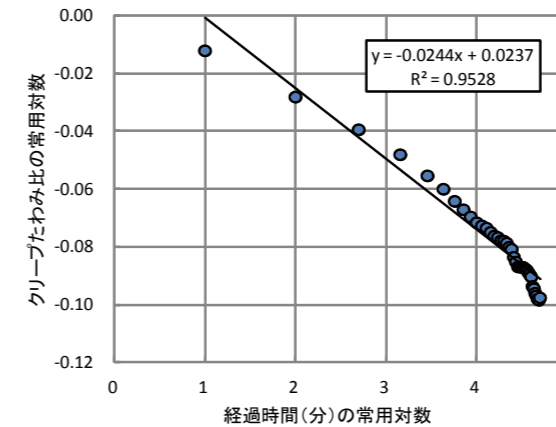


図4 クリープたわみ比と経過時間

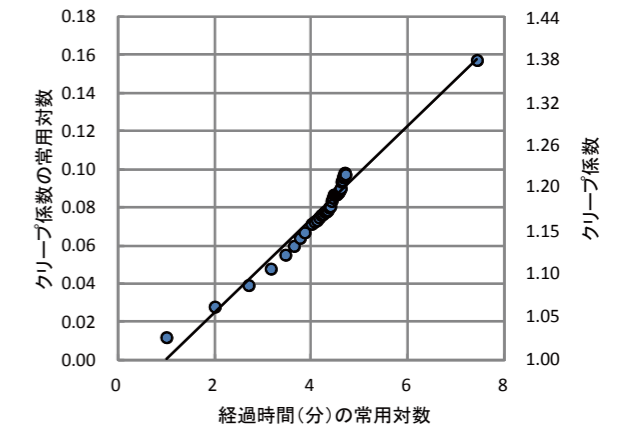


図5 クリープ係数と経過時間

ここで、解析結果では載荷後1日までのデータがそれ以降のデータとは異なる挙動を示し、クリープ係数の実測値に対して予測値が危険側評価となるおそれが想定されたため、既往研究4)の知見をもとに載荷初日のデータを除外して解析を行うことにした。その結果を表3、図6、図7に、また、図8にクリープ係数 (d_{tmin} / d_{1min}) と荷重継続時間の関係を示す。前述の10分後からの解析に比べ50年後の中央たわみの予測値は35.3mmと2.0mm多くなった。クリープ係数は1.52と高くなり、安全側の評価ができた。

4週間後から少し変形が大きくなっているようなので、温湿度との関係も含め、今後長期にたわみ量を確認する必要がある。

表3 クリープ試験の解析結果 (開始後 24 時間から 5 週間経過時点)

d_{24h}	R^2	傾き f	切片 e	d_{50year}	d_{50year}/d_{24h}	K_{50year}
25.89	0.965	-0.0326	0.0592	39.42	1.52	0.657

※ d_{24h} : 24時間後の中央たわみ(mm), R^2 : $\log_{10}K_t$ と $\log_{10}t$ の回帰直線の決定係数,
 f : $\log_{10}K_t$ と $\log_{10}t$ の回帰直線の傾き, e : $\log_{10}K_t$ と $\log_{10}t$ の回帰直線の切片,
 d_{50year} : 50年後の中央たわみの予測値(mm), K_{50year} : 荷重継続時間50年に
 対するクリープたわみ比の予測値。

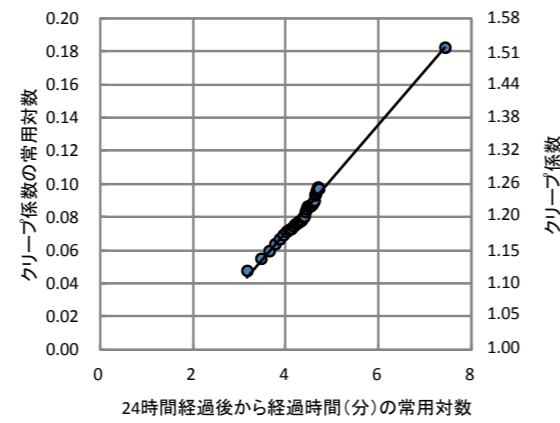
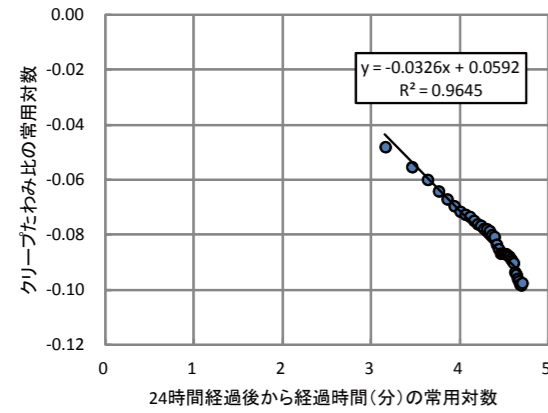


図6 クリープたわみ比と経過時間

図7 クリープ係数と経過時間

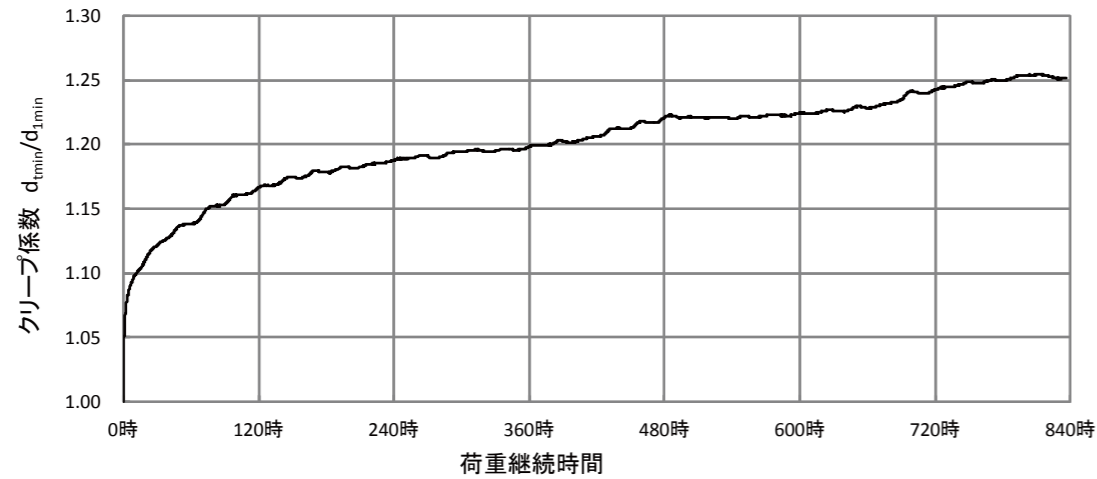


図8 クリープ係数 (dtmin / d1min) と荷重継続時間

まとめ

LVL-SSP について静的曲げ試験の結果から、1 体のみであるがクリープ試験を行い、50 年後の中央たわみ量を推定した。その結果、50 年後の中央たわみの予測値は 33.3mm、クリープ係数は 1.44 となった。しかし、クリープ試験開始の 24 時間までのデータが近似式にフィットしていないため、24 時間のデータを除いて解析をした。解析の結果、50 年後の中央たわみの予測値は 35.3mm と 2.0mm 多くなり、またクリープ係数も 1.52 で安全側の評価ができた。なお、開始 4 週間後から変形も多少進んでいるため、今後も継続して測定を行う予定である。

文献

- 1) LVL で構成されたストレススキンパネルの曲げ性能
- 2) 日本ツーバイフォー建築協会: "2002 年枠組壁工法建築物構造計算指針", 工業調査会, 東京, 2002, pp.187.
- 3) 杉山英男: "建築構造学大系 22 木構造", 彰国社, 東京, 1971, pp.98-100.
- 4) 大橋義徳, 松本和茂ほか: 木材学会誌 54(4), 174-182(2008).

構造設計データ集

平成 25 年 (2013) 7 月 30 日 第 1 版 第 1 刷 発行
