

区 分	受託研究
研究期間	平成24年度

平成24年度受託研究報告書

大空間に対応可能な国産組立梁の開発

平成25年3月

地方独立行政法人 北海道立総合研究機構
森林研究本部 林産試験場

一般社団法人 全国LVL協会

目次

1. はじめに	1
2. 大空間に対応可能な国産組立梁の開発	2
2. 1 単板積層材を用いた大断面 I 形梁の製造	2
2. 2 単板積層材を用いた大断面箱形梁の製造	5
2. 3 組立梁の力学特性	8
2. 4 ウェブ孔あけの設計基準	15
3. 組立梁の専用金物の開発	20
4. まとめ	31
5. 参考文献	32

大空間に対応可能な国産組立梁の開発

(地独)北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場
技術部 大橋 義徳, 松本 和茂
性能部 戸田 正彦, 前田 典昭
一般社団法人 全国LVL協会
事務局 成田 敏基, 李 元羽

1. はじめに

長期優良住宅や木造公共建築物の施策推進により、従来より大きな空間を効率的に実現する床組構造のニーズが高まっている。また、森林林業再生プラン等により、国産材の需要拡大と自給率向上への取り組みが進められているが、剛性が求められる横架材の自給率は1割に満たない。さらに、共同住宅や福祉施設等の建築物では、従来の住宅規模で一般的な3～4mの床組スパンから6～9mといった大スパンへの対応が求められ、国産材による選択肢は限られている。

国産材を用いた床組構造材としては、北林産試と全国LVL協会では国産カラマツ単板積層材をフランジに用いたI形梁の開発と実用化を進めてきたが、これまでは一般的な木造住宅のスパンとしての利用を想定してきており、大スパンを実現するためには構成材料、断面形状などを新たに検討する必要がある。

そこで、本研究では、木造公共建築物や可変可能な木造住宅の建設促進と国産材の需要拡大を目指して、国産単板積層材を活用した、大スパンに対応可能な高性能な組立梁を開発することとした。

研究期間は平成24年度の単年度とし、全国LVL協会と同協会技術部会の横架材WGに参画する企業とともに以下の研究項目に取り組んだ。

【研究項目】

1) 大空間に対応可能な国産組立梁の開発

国産カラマツ単板積層材を用いて、断面の大きな組立梁を作製し、曲げ破壊試験やせん断破壊試験を行い、国産組立梁の適正な断面形状、構成材料、組立方法を明らかにするとともに、国産組立梁の強度性能を明らかにする。

2) 国産組立梁に対応した接合部の開発

国産組立梁に対応した接合金物を試作するとともに、床組構造体を作製し、接合部せん断試験を行い、国産組立梁に適した接合金物の構造性能を明らかにする。

【研究体制】

北海道立総合研究機構林産試験場

全国LVL協会（技術部会・横架材WG：株式会社オーシカ，株式会社キーテック，東日本パワーファスニング株式会社，株式会社ウルトジャパン，ジャパン建材株式会社，株式会社タナカ，三菱地所ホーム株式会社）

2. 大空間に対応可能な国産組立梁の開発

2.1 単板積層材を用いた大断面 I 形梁の製造

単板積層材を用いた大断面 I 形梁の断面形状，材料，製造方法について検討を行った。検討にあたり，開発製品のターゲットを木造住宅の 2 階床組とし，材料の力学特性と生産性，開発製品の使用条件と市場性などを考慮しながら，仕様を決定した。

【断面形状】

想定される実用スパンを 6m 以上と設定し，フランジとウェブが一体化された断面の曲げ剛性を計算しながら，幅 38mm のカラマツ構造用単板積層材を用いて，梁幅 114 × 梁せい 356mm の大断面 I 形梁の断面形状を決定した。断面形状を図1に示す。

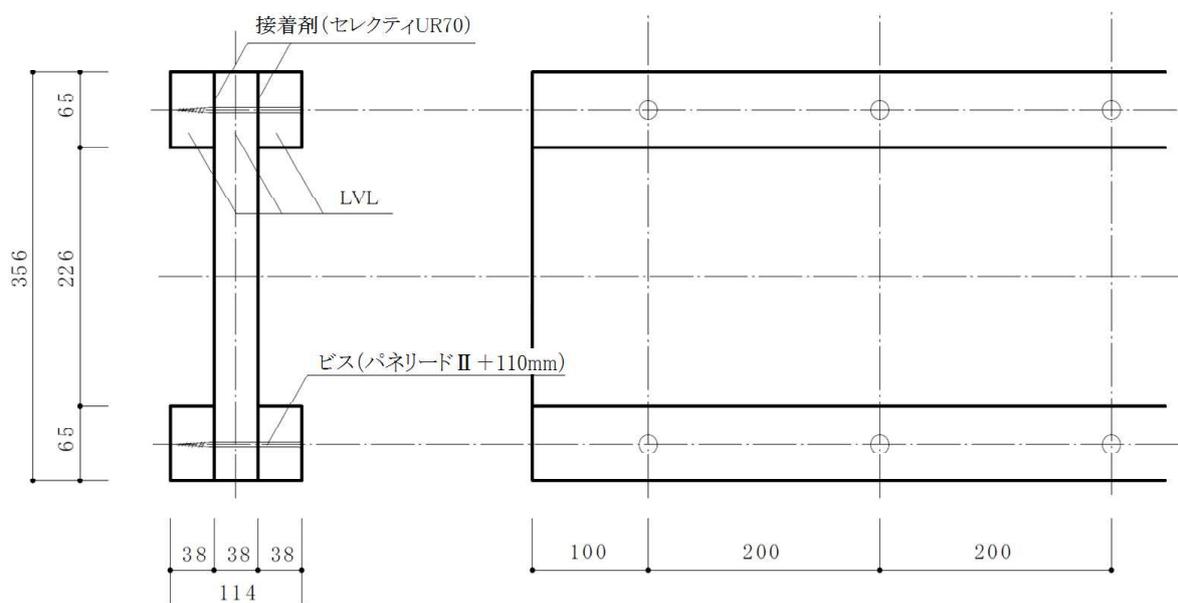


図1 大断面 I 形梁の断面形状(単位: mm)

【材料】

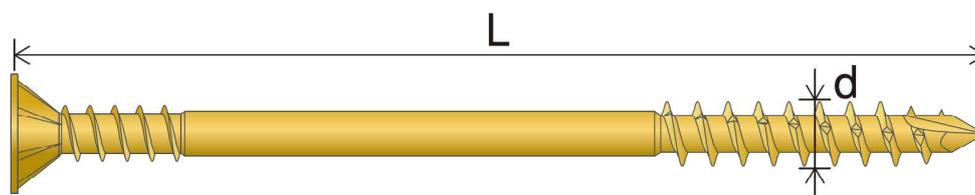
大断面 I 形梁に使用する材料，ビス，接着剤を表1に示す。ウェブに用いる単板積層材は，梁の長さ方向と直交方向（弱軸方向）の膨潤収縮と面外変形を抑制するのに効果的な直交単板 2 層を含む LVL（幅 38mm，全 12 層，以下 LVB と称する）を用いた。

表1 大断面 I 形梁の使用材料

材料	ウェブ	フランジ
構造用単板積層材 (JAS 製品)	幅 38.0mm × 材せい 356mm 樹種：国産カラマツ 曲げヤング係数区分：90E-290F 水平せん断性能区分：50V-43H 全 12 層のうち最外層から 2 枚目に直交層を配置	幅 38.0mm × 材せい 65.0mm 樹種：国産カラマツ 曲げヤング係数区分：90E-290F 水平せん断性能区分：50V-43H 全 12 層のうち最外層から 2 枚目に直交層を配置
ビス	「パネリードII+ (長さ 110mm)」(東日本パワーファスニング株式会社)	
接着剤	無溶剤型ウレタン系樹脂接着剤「セレクトィ UR70」(株式会社オーシカ)	

フランジに用いる単板積層材は、ここでは、原板採材の都合でウェブと同じく LVB を用いたが、断面積が小さいため寸法安定性よりも材軸方向の力学特性のほうが重要であり、強度の観点からは直交層を含まない LVL がより合理的である。

フランジとウェブの接着接合には、充填性があり圧縮が容易な無溶剤型ウレタン系樹脂接着剤を用いた。フランジとウェブをつなぐビスは、フランジの位置固定、接着剤の拡散と均一な接着層の確保を目的としており、ビスの締め付けにより各部材を引き寄せるようにビスの全長とねじ部長さに配慮して選択した。ビスの寸法形状を図2に示す。



全長 L=110mm ・ ネジ外径 d=6.0mm ・ 頭部径=11.5mm ・ ネジ部長さ=30mm

図2 ビスの寸法形状

【製造方法】

大断面 I 形梁の組立イメージと完成品の様子を図3に、組立作業の様子を図4に示す。I 形梁では、ウェブと両側のフランジを一度に引き寄せられるように、ビスの全長とネジ部長さの最適なものを採用しており、片側からのビスねじ込みでも各部材が密着しながら、効率的に組み立てられるように工夫した。また、フランジとウェブの適正な配置を可能とする、簡便で安価な専用治具を考案した。

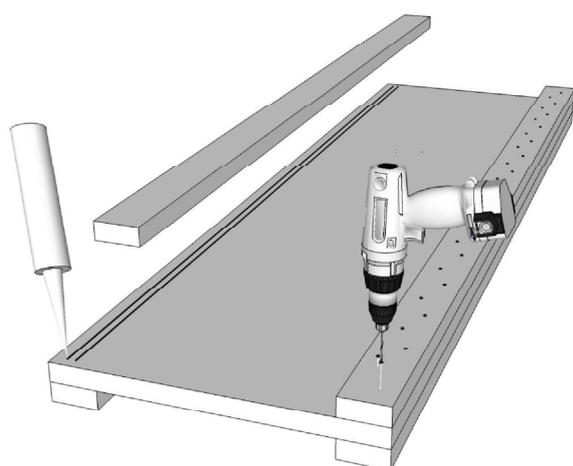


図3 大断面 I 形梁の組立概念図と完成品の様子



①組立治具にフランジ2本をセット



②フランジへ接着剤を塗布



③ウェブ配置



④ウェブに接着剤を塗布



⑤片側のフランジ2本をセット



⑥ビス留め

図4 大断面 I 形梁の組立作業

2.2 単板積層材を用いた大断面箱形梁の製造

単板積層材を用いた大断面箱形梁の断面形状，材料，製造方法について検討を行った。検討にあたり，開発製品のターゲットを非住宅（店舗・事務所など）の2階床組とし，材料の力学特性と生産性，開発製品の使用条件と市場性などを考慮しながら，仕様を決定した。

【断面形状】

想定される実用スパンを8m以上と設定し，フランジとウェブが一体化された断面の曲げ剛性を計算しながら，幅38mmおよび105mmのカラマツ構造用単板積層材を用いて，梁幅180×梁せい550mmの大断面箱形梁の断面形状を決定した。断面形状を図5に示す。なお，大断面箱形梁では，上下のフランジ間に束材を長さ方向に一定間隔で入れているが，これは上下フランジの位置決めのためであり，強度的な意味は小さいものである。

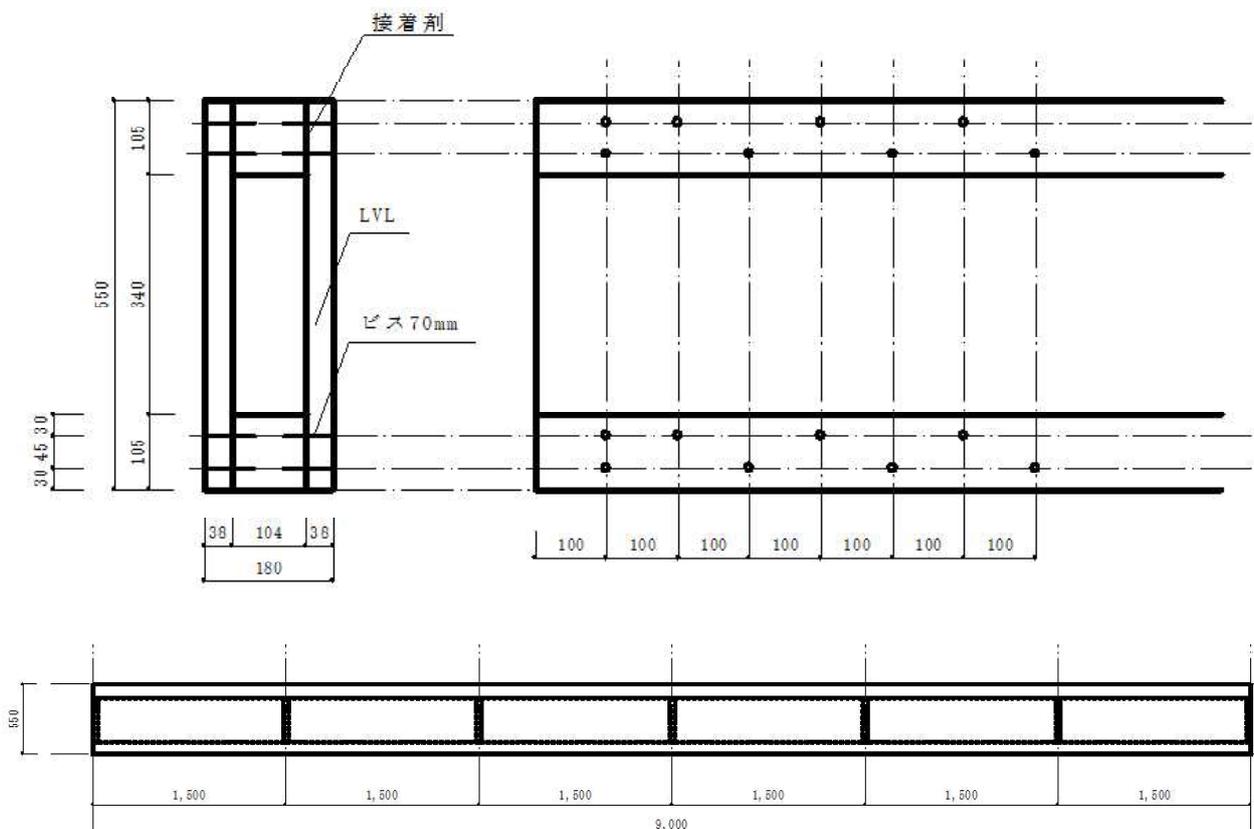


図5 木質箱形梁の断面形状(単位: mm)

【材料】

大断面箱形梁に使用する材料，ビス，接着剤を表2に示す。ウェブに用いる単板積層材は，梁の長さ方向と直交方向（弱軸方向）の膨潤収縮と面外変形を抑制するのに効果的な直交単板2層を含むLVB（幅38mm，全12層）を用いた。フランジには，材軸方向の力学特性を重視して直交層を含まないLVLを用いた。

表2 大断面箱形梁の使用材料

材料	ウェブ	フランジ
構造用単板積層材 (JAS 製品)	幅 38mm ×材せい 550mm 樹種：国産カラマツ 曲げヤング係数区分：90E-290F 水平せん断性能区分：50V-43H 全 12 層のうち最外層から 2 枚目に 直交層を配置	幅 104mm ×材せい 105mm 樹種：国産カラマツ 曲げヤング係数区分：140E-450F 水平せん断性能区分：55V-47H 全 33 層 (直交層は含まず)
ビス	「ネダノット (長さ 70mm)」(東日本パワーファスニング株式会社)	
接着剤	無溶剤型ウレタン系樹脂接着剤「セレクトィ UR70」(株式会社オーシカ)	

【製造方法】

大断面箱形梁の組立作業の様子を図6～図7に示す。箱形梁では、梁幅が 180mm と広いために、I 形梁のようにフランジと両側のウェブを一度に引き寄せることが難しい。そのため、フランジはそれぞれの側面からビスで留め付けることとなり、使用するビスの長さが I 形梁とは異なる。また、組立方法についても、上下フランジと束材を造作用釘で固定した状態にウェブを両側から留め付けるため、特段の治具も必要としない。



①フランジと束材の枠組みと接着材塗布



②束材とフランジ材の仮組み(造作用釘)



③ウェブ配置



④ウェブのビス留め

図6 大断面箱形梁の組立作業1



⑤ 枠組みに接着剤を塗布



⑥ ウェブ配置



⑦ ウェブのビス留め



⑧ 完成

図7 大断面箱形梁の組立作業2

2.3 組立梁の力学特性

【試験体】

2.1および2.2の製造方法を用いて、単板積層材を接着剤と高耐力ビスにより緊結して組立梁を試作した。住宅用途（6～7m スパン）を想定したI形梁（梁幅 114 × 梁せい 356mm × 長さ 6m）と非住宅用途（8～9m スパン）を想定した箱形梁（梁幅 180 × 梁せい 550mm × 長さ 9m）を試作した。組立梁の断面形状と種類を図8に、使用材料を表3に示す。

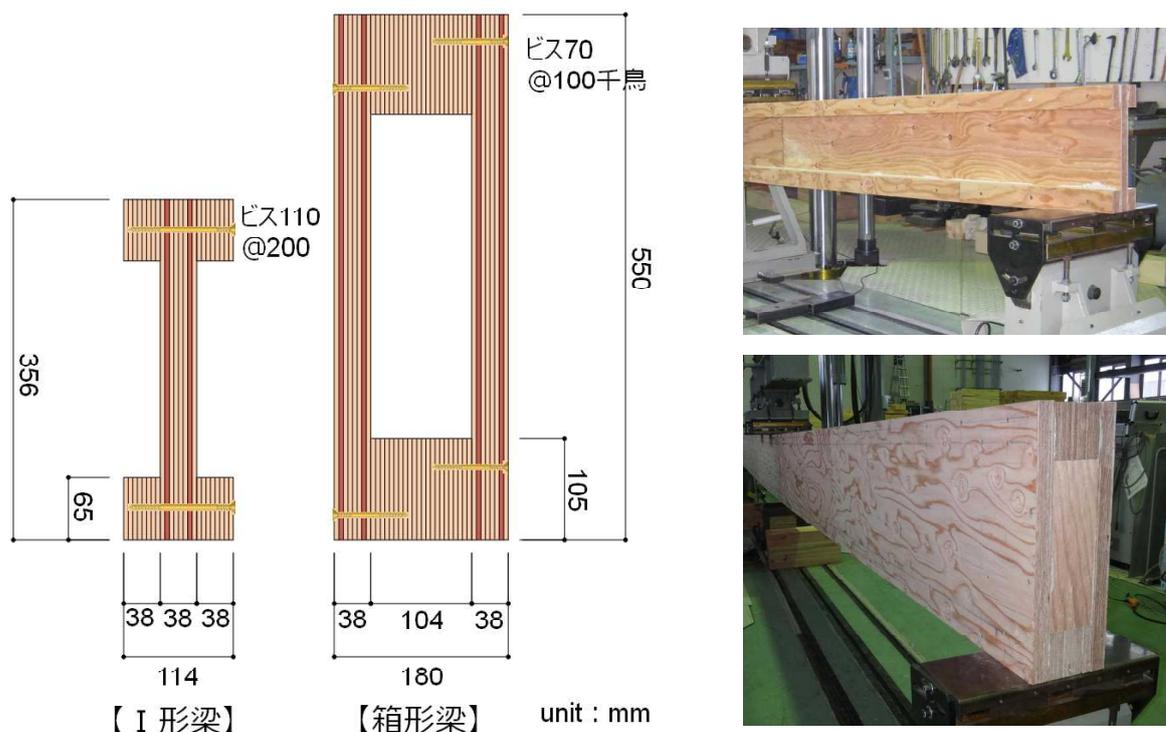


図8 組立梁の断面形状と種類

表3 組立梁の使用材料

	I 形梁	箱形梁
フランジ	カラマツ LVB 90E	カラマツ LVL 140E
ウェブ	カラマツ LVB 90E	カラマツ LVB 90E
ビス	パネリード 110mm (東日本 PF(株))	ネダノット 70mm (東日本 PF(株))
接着剤	無溶剤型ウレタン樹脂接着剤 UR70 (オーシカ(株))	

I形梁と箱形梁ともに、ウェブの国産カラマツ LVL には弱軸方向の膨潤収縮と面外変形の抑制に有効な直交単板2層を含むLVB（厚さ38mm，全12層）を用いた。I形梁のフランジには原板採材の都合でウェブと同じくLVBを用いたが、箱形梁のフランジには強度性能を重視してカラマツLVLを用いた。

フランジとウェブの接着接合には、充填性があり圧縮が容易なウレタン系樹脂接着剤を用いた。フランジとウェブをつなぐビスは、フランジの位置固定、接着剤の拡散と均一な接着層の確保を目的としており、ビスの締め付けにより各部材を引き寄せるようにビスの全長とねじ部長さに配慮し

て選択し、I形梁では片側から、箱形梁では両側から留め付けた。

試験体数は、曲げ特性とせん断特性を求める試験ではI形梁と箱形梁ともに各6体とした。

試験体に用いたカラマツ LVB の含水率（全乾法，測定数 36 片）は 9.1%，密度は 593kg/m^3 であった。

【試験方法】

I形梁では、曲げ試験を 5700mm スパンの 3 等分点 2 点荷重，せん断試験を 2700mm スパンの 3 等分点 2 点荷重で行った。箱形梁では、曲げ試験を 8800mm スパン・荷重点間 800mm・せん断区間 4000mm の 2 点荷重，せん断試験を 2760mm スパンの中央集中荷重で行った。

いずれの試験においても，加力は，油圧式強度試験機（(株)東京衡機製造所，容量 1000kN）を用いて行い，曲げ試験では容量 200kN のロードセル，せん断試験では容量 1000kN のロードセルを用いて荷重を計測した。荷重点および支点の長さはともに 200mm とした。たわみの計測は，ひずみゲージ式変位変換器（(株)共和電業，DT-100A，容量 100mm）を用いて行った。曲げ試験では，荷重点直下と中央部の 3 か所で，せん断試験では中央部の 1 か所で変位を測定した。なお，試験は林産試験場実験棟の温湿度無調整下で行った。

I形梁の曲げ試験では，最大荷重 P_{\max} から最大曲げモーメント M_{\max} ，荷重 P とたわみ δ の関係から純曲げ剛性 EI ，見かけの曲げ剛性 EI_{a-b} を次式により算出した。

$$M_{\max} = \frac{P_{\max}L}{6}$$

$$EI = \frac{PL^3}{432 (\delta_1 - \delta_{23})}$$

$$EI_{a-b} = \frac{23PL^3}{1296 \delta_1}$$

ここで， M_{\max} ：最大曲げモーメント（N・mm）

EI ：純曲げ剛性（N・mm²）

EI_{a-b} ：見かけの曲げ剛性（N・mm²）

P_{\max} ：最大荷重（N）

L ：試験スパン（mm）

P ：最大荷重の 10～40%までの荷重増分（N）

δ_1 ：荷重増分 P に対応する中央たわみの増分（mm）

δ_{23} ：荷重増分 P に対応する荷重点たわみ 2 か所の平均値の増分（mm）

I形梁のせん断試験では，最大荷重 P_{\max} から最大せん断力 Q_{\max} ，荷重 P とたわみ δ の関係からせん断剛性 GA/κ を下式により算出した。

$$Q_{\max} = \frac{P_{\max}}{2}$$

$$GA/\kappa = \frac{PL}{6\delta - \frac{23PL^3}{216EI_{av}}}$$

ここで、 Q_{\max} ：最大せん断力 (N)

GA/κ ：せん断剛性 (N)

P_{\max} ：最大荷重 (N)

L ：試験スパン (mm)

EI_{av} ：曲げ試験の純曲げ剛性 EI の平均値 ($N \cdot mm^2$)

P ：最大荷重の 10～40%までの荷重増分 (N)

δ ：荷重増分 P に対応する中央たわみの増分 (mm)

箱形梁の曲げ試験では、最大荷重 P_{\max} から最大曲げモーメント M_{\max} 、荷重 P とたわみ δ の関係から見かけの曲げ剛性 EI_{a-b} を次式により算出した。

$$M_{\max} = \frac{aP_{\max}}{2}$$

$$EI_{a-b} = \frac{a(3L^2 - 4a^2)P}{48\delta}$$

ここで、 M_{\max} ：最大曲げモーメント ($N \cdot mm$)

EI_{a-b} ：見かけの曲げ剛性 ($N \cdot mm^2$)

P_{\max} ：最大荷重 (N)

a ：せん断区間長さ (mm, ここでは 4000mm)

L ：試験スパン (mm)

P ：最大荷重の 10～40%までの荷重増分 (N)

δ_1 ：荷重増分 P に対応する中央たわみの増分 (mm)

δ_{23} ：荷重増分 P に対応する荷重点たわみ 2 か所の平均値の増分 (mm)

箱形梁のせん断試験では、最大荷重 P_{\max} から最大せん断力 Q_{\max} 、荷重 P とたわみ δ の関係からせん断剛性 GA/κ を下式により算出した。

$$Q_{\max} = \frac{P_{\max}}{2}$$

$$GA/\kappa = \frac{PL}{4\delta - \frac{PL^3}{12EI_{av}}}$$

ここで、 Q_{\max} ：最大せん断力 (N)

GA/κ ：せん断剛性 (N)

P_{\max} ：最大荷重 (N)

L ：試験スパン (mm)

EI_{av} ：曲げ試験の見かけの曲げ剛性 EI_{a-b} の平均値 ($N \cdot mm^2$)

P ：最大荷重の 10～40%までの荷重増分 (N)

δ ：荷重増分 P に対応する中央たわみの増分 (mm)

【試験結果】

破壊形態については、曲げ試験では I 形梁と箱形梁ともに全ての試験体が曲げ破壊し、破壊時にはウェブの曲げ破壊とフランジの引張破壊が同時に起きた。せん断試験では I 形梁と箱形梁ともに全ての試験体がウェブの水平せん断破壊を起こした。各破壊形態の代表例を図9～図12に示す。



図9 I 形梁の曲げ破壊



図10 箱形梁の曲げ破壊



図11 I 形梁のせん断破壊



図12 箱形梁のせん断破壊

また、I形梁の曲げ試験における荷重とたわみ量・引張変位量の関係例を図13に、I形梁のせん断試験における荷重とたわみ量・せん断変位量の関係例を図14に示す。これらの関係を見ると、フランジとウェブで計測された引張変位量の差、ならびにせん断変位量とともに曲げたわみ量に対して極めて微量であったことから、変位を測定した加力の間においてはフランジとウェブがほぼ一体化しているものと推察された。

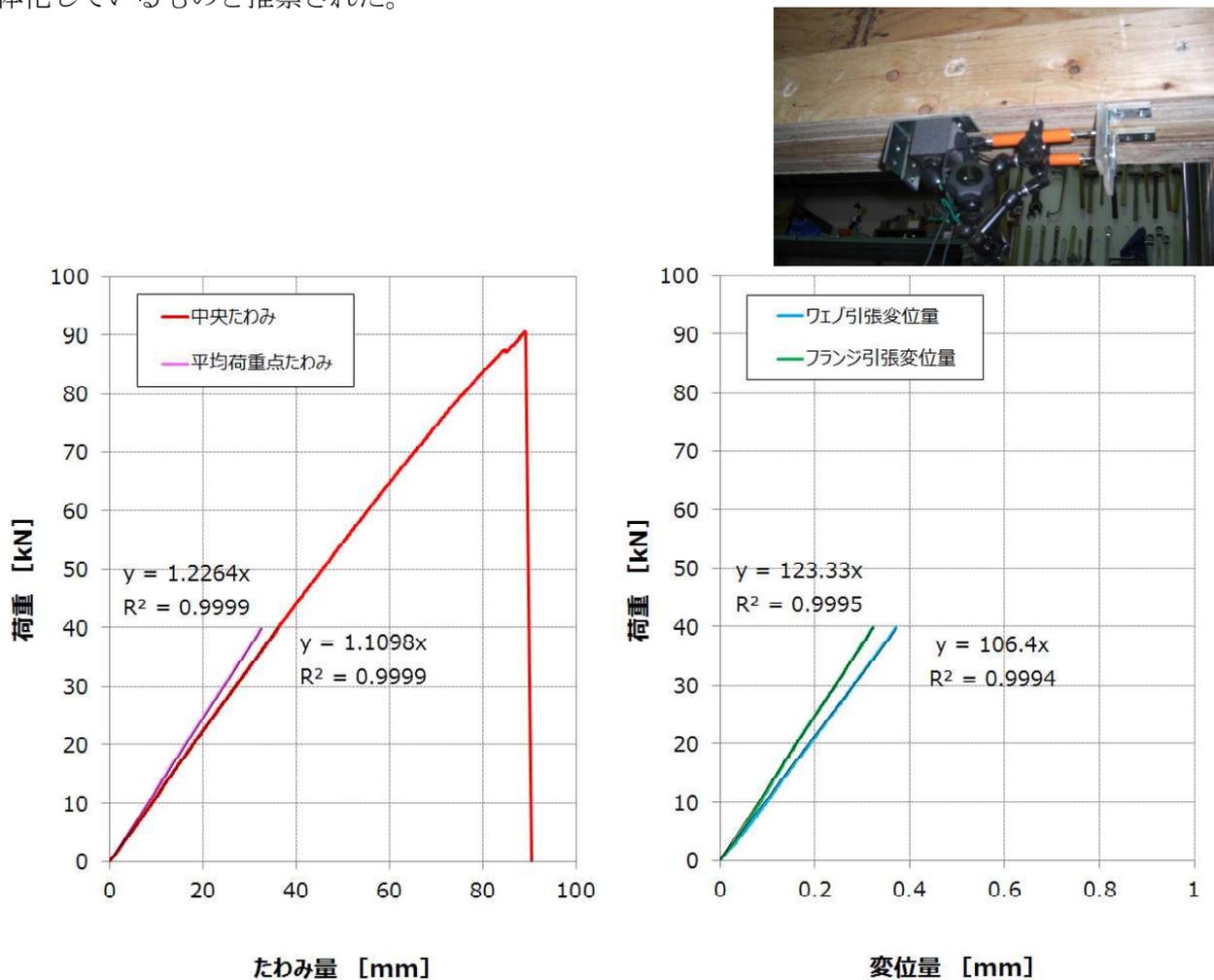


図13 I形梁の曲げ試験における荷重とたわみ量・引張変位量の関係例

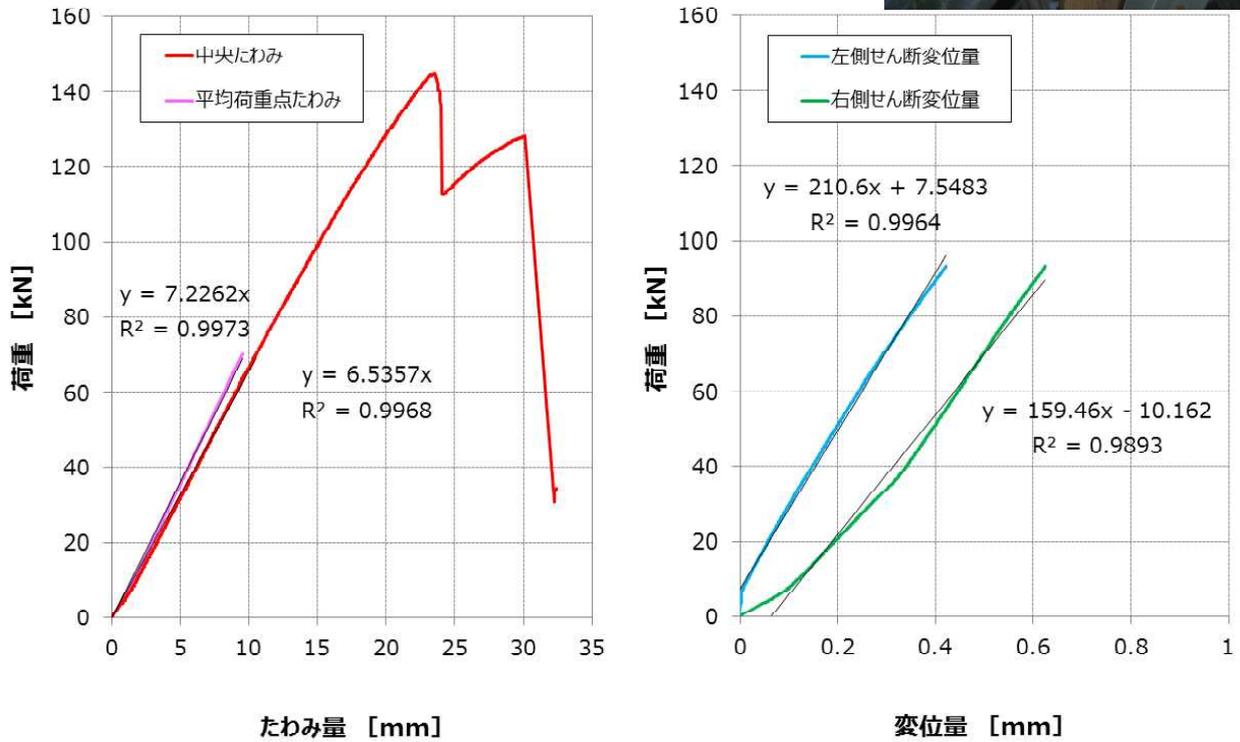


図14 I形梁のせん断試験における荷重とたわみ量・せん断変位量の関係例

各試験で得られた I 形梁と箱形梁の力学特性値を表4および表5に示す。および下式に示した、組立梁の断面設計式²⁾と国産カラマツ LVB の強度実験値³⁾を用いた計算値も併記する。

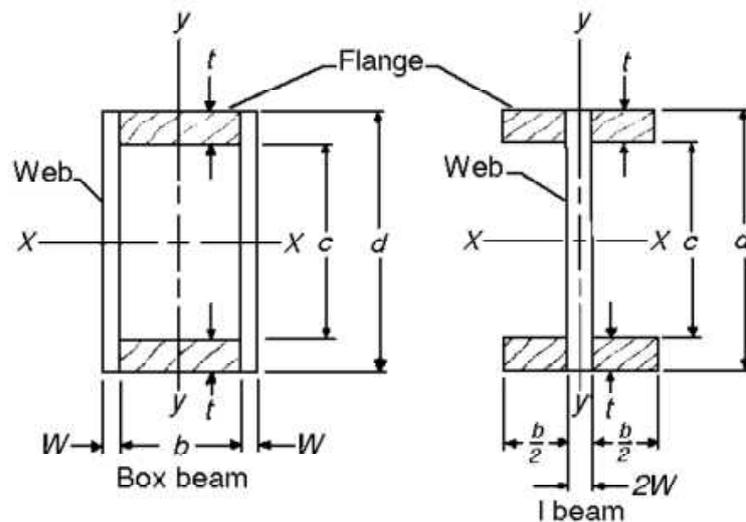


図15 組立梁の断面設計式のための断面図

$$f_b = \frac{6M}{(d^3 - c^3) \frac{b}{d} + \frac{2E_w W d^2}{E}}$$

$$f_s = \frac{3V}{4W} \left[\frac{E(d^2 - c^2)b + 2E_w W d^2}{E(d^3 - c^3)b + 2E_w W d^3} \right]$$

$$EI = \frac{1}{12} [E(d^3 - c^3)b + 2E_w W d^3]$$

$$GA/\kappa = 2WcG$$

ここで、 f_b ：フランジの最外縁の引張応力 (N/mm²)

f_s ：ウェブの水平せん断応力 (N/mm²)

EI ：曲げ剛性 (N・mm²)

GA/κ ：せん断剛性 (N)

M ：曲げモーメント (N・mm)

V ：せん断力 (N)

d ：梁せい (mm)

c ：ウェブせい (mm)

b ：フランジの合計幅 (mm)

$2W$ ：ウェブの合計幅 (mm)

E ：フランジのヤング係数 (N/mm²)

E_w ：ウェブのヤング係数 (N/mm²)

G ：ウェブのせん断弾性係数 (N/mm²)

その結果、断面全体の計算値は、ウェブのみの計算値より特に曲げ性能が高く、力学特性の平均値に近いこと、フランジとウェブの接着接合が曲げ性能に極めて有効であることが示された。

表4 I形梁タイプの力学特性値

I形梁	M_{\max} kN・m	Q_{\max} kN	EI kN・m ²	GA/κ kN
変動係数	11.8%	6.9%	1.4%	3.7%
平均値	68.8	55.2	3380	6450
下限値	48.7	45.8		
断面全体の計算値	59.1	68.2	3230	6760
ウェブのみの計算値	34.2	58.0	1290	
断面全体/ウェブ	1.7	1.2	2.5	

※ M_{\max} ：最大曲げモーメント、 Q_{\max} ：最大せん断力、 EI ：曲げ剛性、 GA/κ ：せん断剛性、下限値：正規分布仮定による信頼水準75%の5%下限値。

表5 箱形梁タイプの力学特性値

箱形梁	M_{max} kN・m	Q_{max} kN	EI kN・m ²	GA/k kN
変動係数	6.1%	6.5%	2.6%	7.7%
平均値	327	174	29500	29000
下限値	277	146		
断面全体の計算値	291	175	24900	20900
ウェブのみの計算値	163	179	9480	
断面全体/ウェブ	1.8	1.0	2.6	

※ M_{max} : 最大曲げモーメント, Q_{max} : 最大せん断力, EI : 曲げ剛性, GA/k : せん断剛性, 下限値 : 正規分布仮定による信頼水準 75%の 5%下限値。

次に、得られた力学特性値を用いて実用スパンのたわみ計算を行った結果を表6に示す。I形梁では住宅床用の積載荷重 (1800N/m²) と固定荷重 (600N/m²)、箱形梁では事務室床用の積載荷重 (2900N/m²) と固定荷重 (800N/m²) を用い、たわみ制限は 10mm 以下とした。その結果、ピッチに応じて I 形梁では 6.37 ~ 7.28m、箱形梁では 8.19 ~ 9.1m スパンで利用可能であることが確かめられた。

表6 実用スパンにおける組立梁のたわみ計算

Type	p mm	L mm	M_{pl} kN・m	Q_{pl} kN	δ mm	R_s %	L/δ
I 形梁	455	6370	6.5	4.1	7.6	13	834
	303	7280	6.0	3.3	9.0	10	808
箱形梁	910	8190	31.5	15.4	8.5	13	960
	606	9100	27.2	12.0	8.9	11	1020

※ p : 組立梁のピッチ, L : 組立梁の実用スパン, δ : スパン中央たわみ, R_s : δ に占めるせん断成分の比率。

2.4 ウェブ孔あけの設計基準

木造建築物の階上の床組部材には、室内高さの制限によって配管工事のための孔あけ加工を施すことが多い。木質複合梁の場合、ウェブに孔あけ加工をすると、せん断特性とりわけ最大せん断力に大きな影響を及ぼすことが知られており、設計者や施工者に対して、孔あけ加工を施して良い加工条件を明示する必要がある。孔あけ基準を求める方法については、既報⁴⁾において北米の APA (America Plywood Association) の孔あけ設計法を参考にしながら確立しており、今回の組立梁にも同法の適用を試みた。

【試験体】

孔あけ試験体は、上述の力学特性を求める試験体と同一条件で試作した。試験体数は、I形梁は孔径 60・120・220mm を各 6 体、箱形梁は孔径 120・220mm を各 3 体とした。

【試験方法】

ウェブの孔あけ加工の検討においては、せん断スパンの中央付近で直径 60・120・220mm の孔を両側で各 1 個設けてせん断試験を行った。試験の様子を図16に示す。



図16 ウェブに孔あけ加工した組立梁のせん断試験

【試験結果】

I 形梁の孔あけ試験体の破壊形態例を図17に示す。孔あけ試験体ではすべての試験体において、孔の中心から斜め対角線上の 2 点からそれぞれ荷重点または支点に向かって破壊が水平方向に進展した。今回の I 形梁および箱形梁ではウェブに直交層を含む LVB を用いているが、破壊部の観察により、直交層が水平せん断破壊に抵抗していることが看取された。予備的に行った、直交層を含まない LVL をウェブに用いた I 形梁の孔あけせん断破壊（図18）では、せん断破壊の亀裂線が直線的に進展しており、直交層の有無がせん断破壊に影響を及ぼすことが示唆された。



図17 LVB ウェブ I 形梁の孔あけせん断破壊



図18 LVL ウェブ I 形梁の孔あけせん断破壊

次に、ウェブに孔あけ加工した I 形梁と箱形梁の力学特性を表7に、ウェブの残存率とせん断耐力の残存率の関係を図19に示す。LVB をウェブに用いた I 形梁と箱形梁はほぼ同様の低下傾向であること、直交層のない LVL を用いた I 形梁よりも耐力の低下が緩やかであることが示されている。

表7 孔あけ加工した組立梁の力学特性

		I 形梁		箱形梁	
		Q_{max}	EI_{app}	Q_{max}	EI_{app}
		kN	kN・m ²	kN	kN・m ²
せん断試験 孔なし	試験体数	6	6	6	6
	平均値	55.2	2256	174	11320
	変動係数	6.9%	1.6%	6.5%	4.9%
せん断試験 孔径 60mm	試験体数	6	6		
	平均値	50.0	2179		
	変動係数	2.8%	2.3%		
せん断試験 孔径 120mm	試験体数	6	6	3	3
	平均値	47.5	2074	157	11569
	変動係数	4.6%	2.8%	7.2%	4.8%
せん断試験 孔径 220mm	試験体数	6	6	3	3
	平均値	38.8	1683	142	10028
	変動係数	3.8%	2.8%	7.9%	5.9%

※ Q_{max} : 最大せん断力, EI_{app} : 見かけの曲げ剛性。

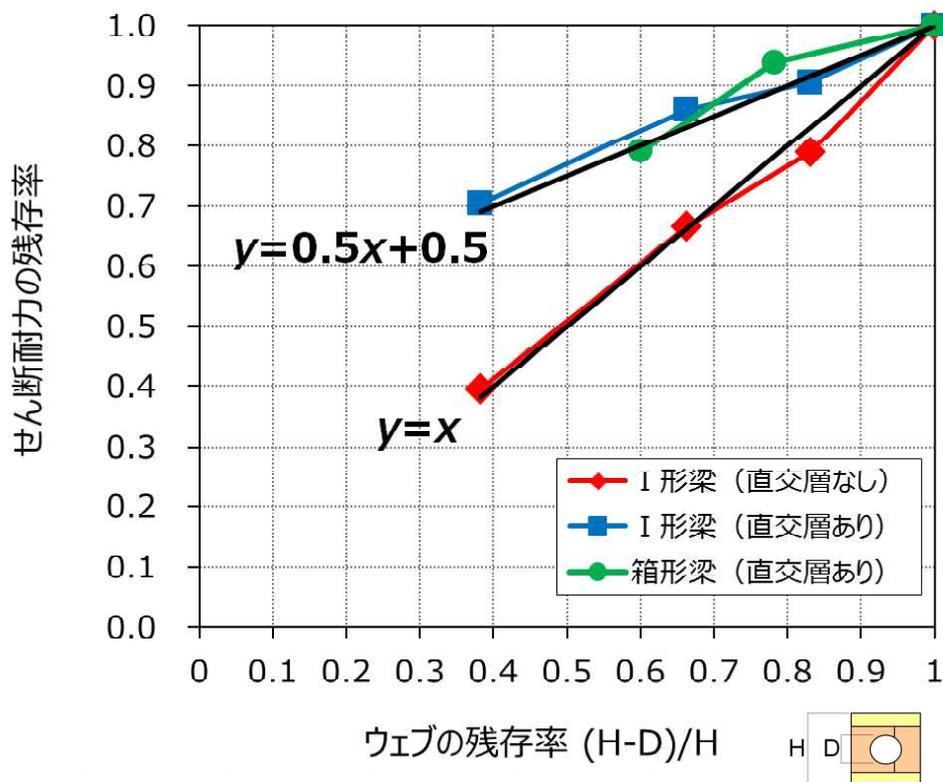


図19 ウェブの残存率とせん断耐力の残存率の関係

【孔あけ設計基準の検討】

前節の結果をもとに、孔あけした組立梁の設計基準を検討した。図19のウェブとせん断耐力の残存率の関係を整理すると、直交層を含む LVB ウェブでは $y=0.5x+0.5$ の関係式、直交層を含まない LVL ウェブでは $y=x$ の関係式が得られる。床根太として等分布の設計荷重を受ける場合、支点からの距離に応じて部材に生じるせん断力が低下していくが、仮に支点に生じるせん断力が孔あけされていないせん断耐力と同等である場合、すなわち、床根太スパンがせん断耐力によって決定する場合、孔径によって残存するせん断耐力と同等のせん断力が生じる位置が許容される孔あけ位置となる。以上の設計フローを図20に示す。

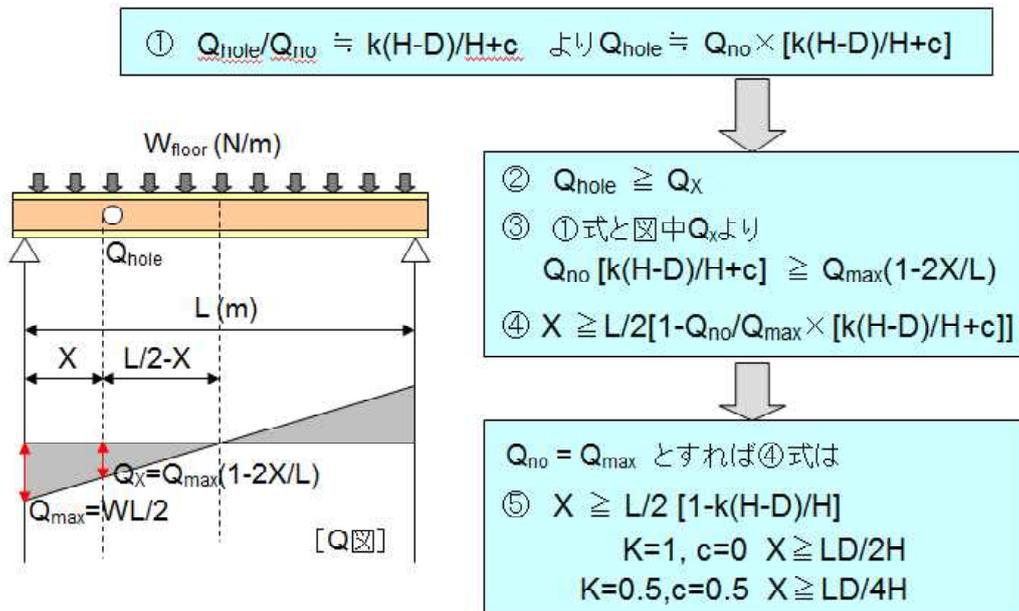
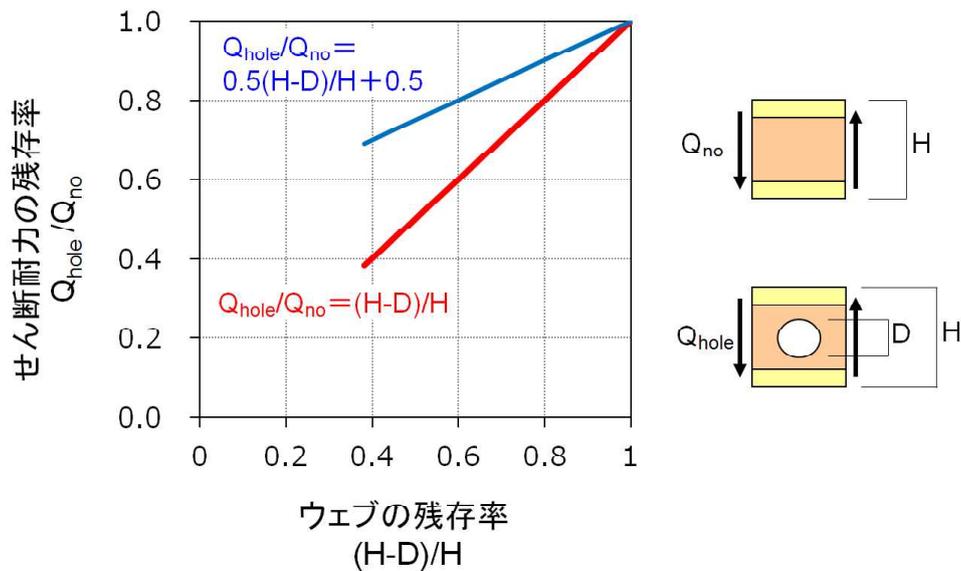


図20 ウェブとせん断耐力の残存率の関係式および孔あけ位置の設計手法

次に、上記の設計手法に基づいて、ウェブの孔径に応じた孔あけ位置を試算した結果を表8に、一例を図21に示す。その結果、直交層のある LVB をウェブに用いると、孔あけ位置の支点までの避距離を大幅に緩和できることが示された。

なお、この設計方式では、せん断耐力によって床根太スパンが決定している場合がベースになっており、曲げ耐力やたわみ量によって決定する場合、すなわちせん断耐力に余裕がある場合には、かなり安全側の孔あけ位置の算出となる。厳密には、それぞれの設計荷重と孔あけの施工位置に応じて、残存せん断耐力と発生せん断力が同等となるように計算すれば、より支点から離れた位置でも孔あけ施工が可能となることに留意が必要である。

表8 設計スパンと孔径 D に応じた支点からの避距離 (mm)

Type	スパン	直交層のない LVL ウェブ				直交層のある LVB ウェブ			
		D50	D100	D150	D200	D50	D100	D150	D200
I 形梁	7280	520	1030	1540	2050	260	520	770	1030
	6370	450	900	1350	1790	230	450	680	900
	5460	390	770	1160	1540	200	390	580	770
箱形梁	9100	420	830	1250	1660	210	420	630	830
	8190	380	750	1120	1490	190	380	560	750
	7280	340	670	1000	1330	170	340	500	670

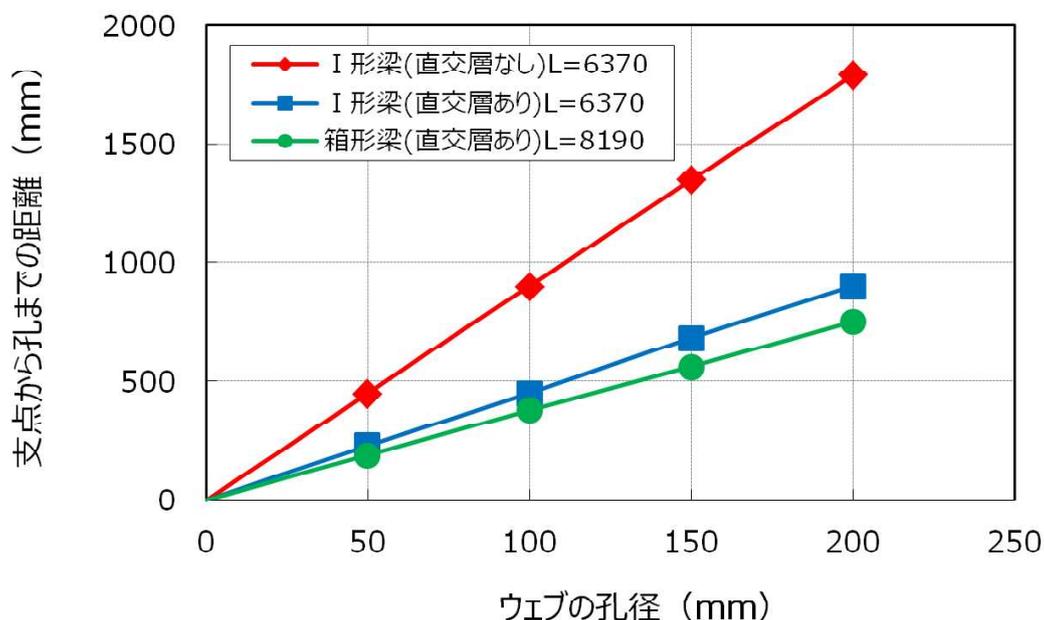


図21 孔あけ位置の制限値(試算例)

3. 組立梁の専用金物の開発

【試験体と接合金物の仕様】

本研究で床根太に用いた部材は、I形梁（商品名「メガビーム」、断面寸法 114 × 356mm）および箱形梁（LVL ボックスビーム、同 182 × 450mm）である。

試験体は、2本の床梁集成材（長さ 900mm）に所定の接合金物をビスで取り付け、その間に床根太をH型になるよう落とし込んでビスで固定したものである。

床根太を接合金物により床梁に緊結した床組試験体の仕様を表9～表10に、概要を図22～図23に、金物仕様を図24に示す。

表9 I形梁用接合試験体の仕様

接合金物	名称	木造建築用根太端仕口金物／木造建築用梁仕口金物
	商品名	メガビーム受け金物MBH356116／梁受け金物BH302116
	用途	梁と根太（I型断面形状LVL合わせ梁「メガビーム」）／梁と梁の接合に使用する金物
	寸法	116×H×65，厚さ2.3mm
	材質	SGHC Z27（JIS G3302）溶融亜鉛メッキ鋼板
接合具	梁側	木ねじSTB-55，14本使用
		呼び長さ：55mm，山径：6.0mm
	材質：冷間圧造用炭素鋼（JIS G3507-2）相当，表面处理：ジオメット処理	
根太側	木ねじSTB-55，4本使用	
使用軸組	梁側	対称異等級構成構造用集成材，強度等級：E85-F255，樹種：スプルース
		寸法：89×330mm，積層数：16
	含水率：9.7～11.4%，密度：0.46～0.50g/cm ³	
根太側	I型断面形状LVL合わせ梁 株式会社キーテック社製「メガビーム」，寸法：114×356mm	

表10 箱形梁用接合試験体の仕様

接合金物	名称	木造建築用梁端仕口金物
	商品名	LVL BOXビーム用梁受け
	用途	梁とBOXビームとの接合に使用する金物
	寸法	182×450×85mm，厚さ3.2mm
	材質	溶融亜鉛メッキ鋼板SGHC Z27（JIS G3302）
接合具	支持梁側	木ねじSTB-55，平打ち22本使用
		呼び長さ：55mm，山径6.0mm，谷径；4.0mm
	材質：SWCH 22A（JIS G3507-2）相当	
架け梁側	木ねじSTB-55，平打ち14本使用	
使用軸組	支持梁側	対称異等級構成構造用集成材，強度等級：E105-F300，樹種：スプルース
		寸法：105×300mm，積層数：15，
	含水率：8.9～9.6%，密度：0.49～0.50g/cm ³	
架け梁側	LVL BOXビーム，寸法：182×450mm	

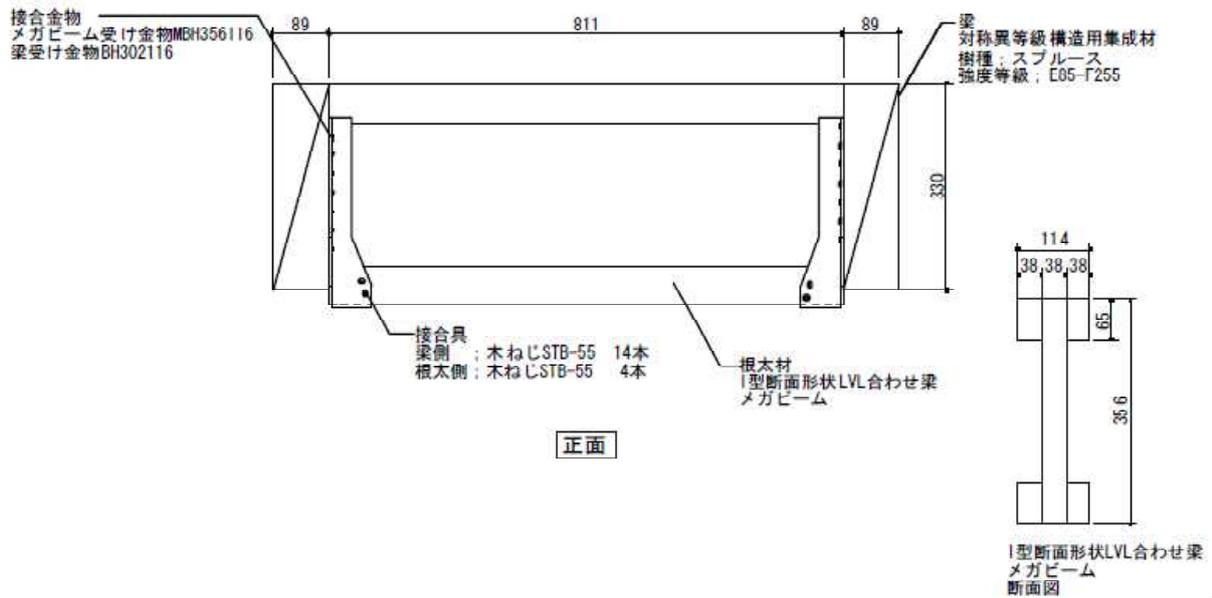
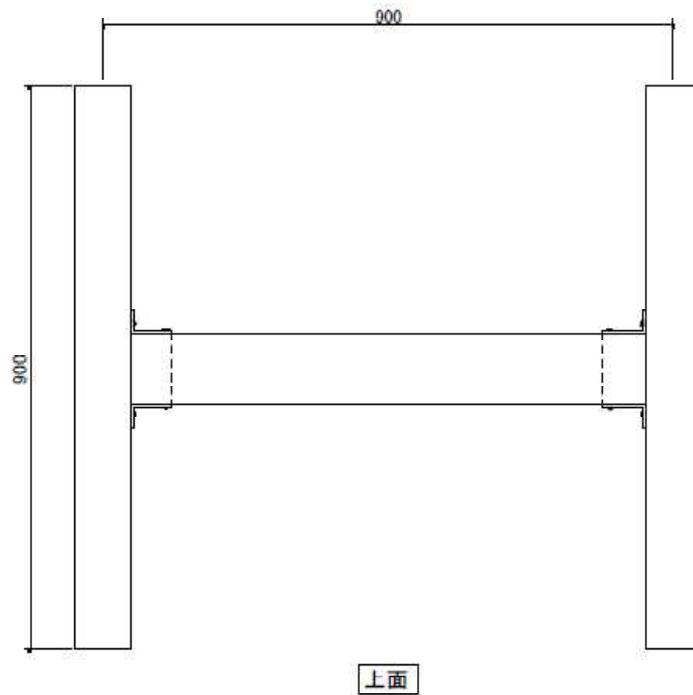


図22 I形梁用接合試験体の概要

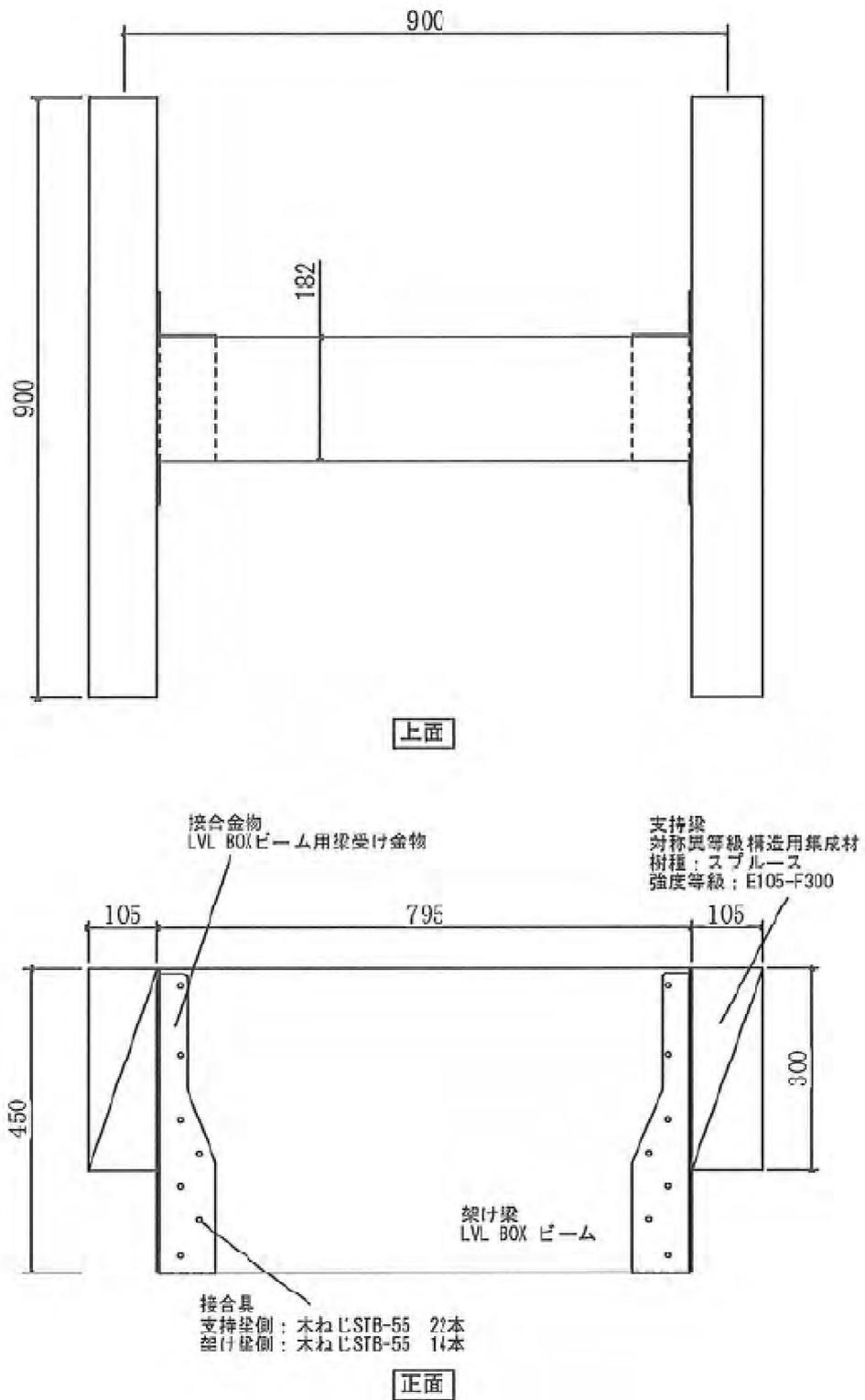
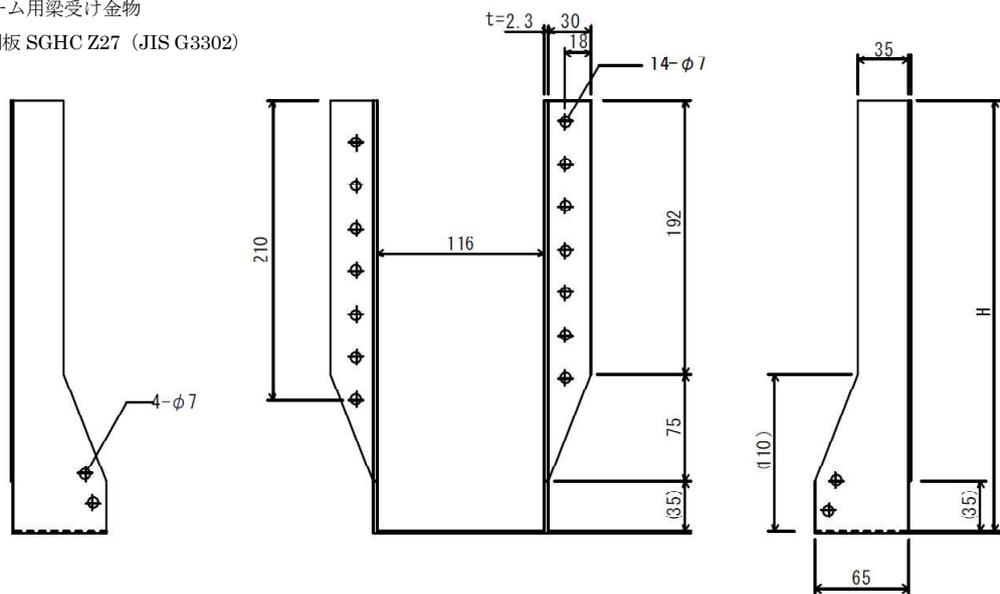


図23 箱形梁用接合試験体の概要

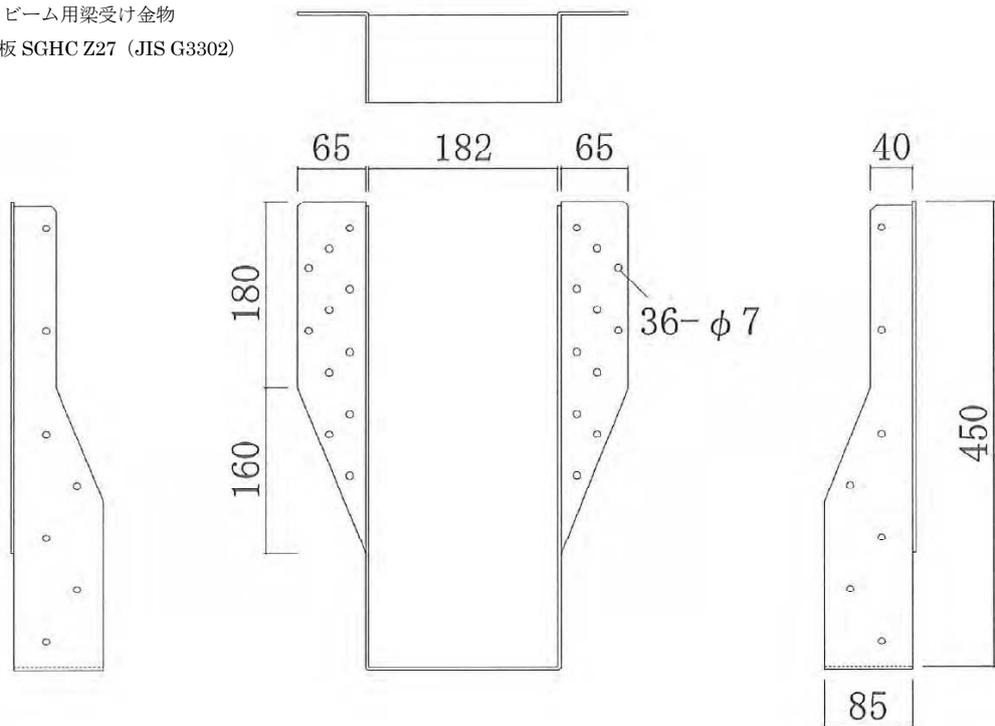
【I形梁用接合金物】

接合金物：LVLメガビーム用梁受け金物
 材質：溶融亜鉛めっき鋼板 SGHC Z27 (JIS G3302)
 板厚：2.3mm



【箱形梁用接合金物】

接合金物：LVLボックスビーム用梁受け金物
 材質：溶融亜鉛めっき鋼板 SGHC Z27 (JIS G3302)
 板厚：3.2mm



【接合ビス(共通)】

接合具：木ねじ STB-55
 材質：冷間圧造用炭素鋼 (JIS G3507-2 相当)
 表面処理：ジオメット処理

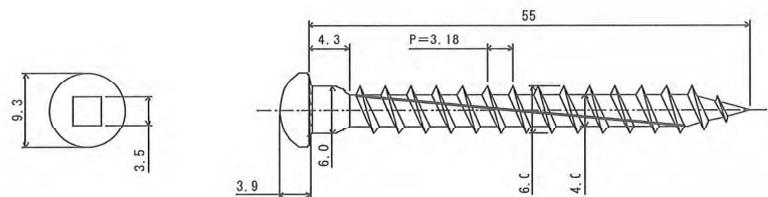


図24 接合金物および接合ビスの詳細図

【試験方法】

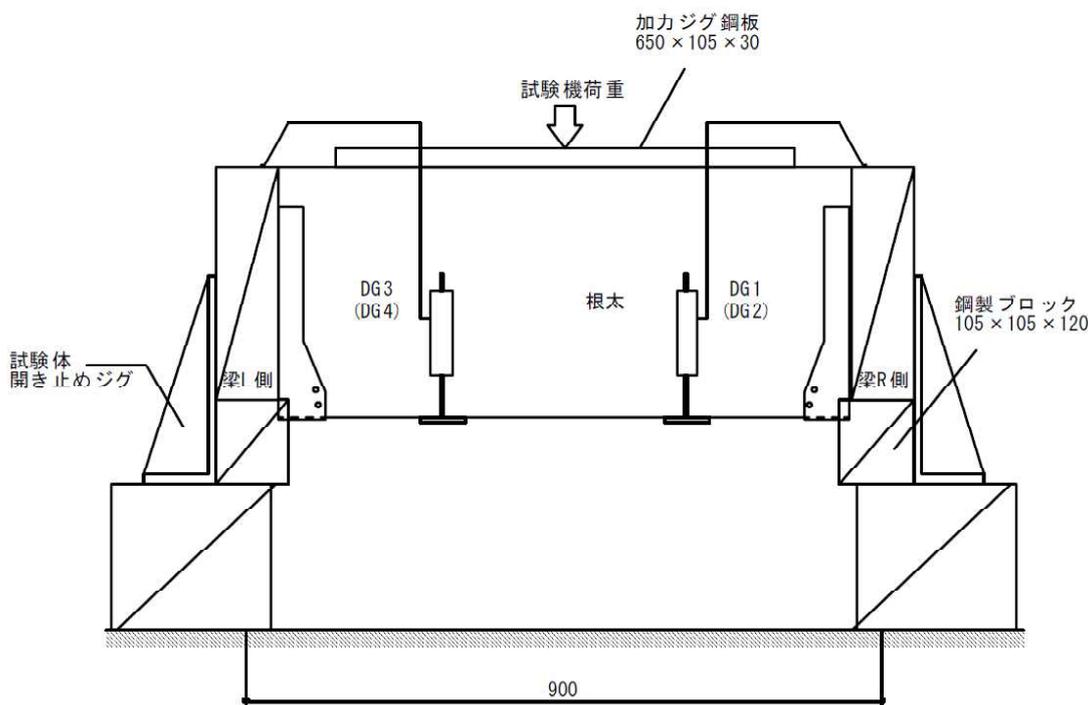
接合部せん断試験は、「木造軸組工法の許容応力度設計⁵⁾」の2章「木造軸組工法住宅の各部要素の試験方法と評価方法」の3.「住宅の品質確保の促進等に関する法律（品確法）に基づく平成12年告示第1654号「評価方法基準」における性能表示の構造方法の試験法、評価法」に従って行った。せん断試験方法を図xに示す。

加力は、手動式油圧型500kN加力試験機を使用して、次の順序で行った。

- (1)メガビーム、ボックスビームとも試験体No.00は予備試験とし、単調加力によるせん断荷重を破壊に至るまで連続的に加えた。その結果より降伏変位 δ_y を求めた。
- (2)試験体No.01以降は本試験とし、一方向繰返し加力によるせん断荷重を加えた。繰返しは、予備試験で得られた降伏変位 δ_y の1/2, 1, 2, 4, 6, 8, 12, 16倍の順で各1回行った。最大荷重に達した後、最大荷重の80%の荷重に低下するまで又は破壊が確認されるまで加力した。
- (3)最大荷重は破壊荷重時の変位が30mm以下の場合には、これを最大荷重として扱い、30mmを超える場合には、30mm以内の最高荷重を最大荷重とした。

変位の測定は、梁-根太接合部の相対上下方向変位について電気式変位計（容量：100mm、感度： $100 \times 10^{-6} / \text{mm}$ 、非直線性：0.1% R0）を使用して行った。

なお、試験は、株式会社タナカ住宅資材開発部試験所で実施した。



(注) 梁-根太 接合部の相対上下方向変位 δ_1 及び δ_2 は下式による。
梁R側： $\delta_1 = (DG1 + DG2) / 2$
梁L側： $\delta_2 = (DG3 + DG4) / 2$
DG1, DG2, DG3, DG4: 電気式変位計

図25 試験方法(単位: mm)

接合性能評価は、「接合金物試験法規格（C マーク表示金物）⁶⁾」（財団法人日本住宅・木材技術センター）に記載されている，以下の完全弾塑性モデルによる算出方法に準じて行った。なお，1か所の接合部に生じる荷重を総荷重の1/2とし，変形を1か所の接合部につき表裏2か所の平均値として，荷重－変形関係曲線から，接合部1か所あたりの短期基準接合せん断耐力を求めた。

【完全弾塑性モデルによる降伏耐力及び終局耐力等の求め方】

- a) X軸を変形，Y軸を荷重として作図し，包絡線上の0.1Pmaxと0.4Pmaxを結ぶ第I直線を引く。
- b) 包絡線上の0.4Pmaxと0.9Pmaxを結ぶ第II直線を引く。
- c) 包絡線に接するまで第II直線を平行移動し，これを第III直線とする。
- d) 第I直線と第III直線との交点の荷重を降伏耐力Pyとし，この点からX軸に平行に第IV直線を引く。
- e) 第IV直線と包絡線との交点の変位を降伏変位δyとする。
- f) 原点と(δy, Py)を結ぶ直線を第V直線とし，その勾配を初期剛性Kと定める。
- g) 最大荷重後の0.8Pmax荷重低下時の包絡線上の変位を終局変位δuと定める。
- h) 包絡線と変位軸及びδu変位の直線で囲まれる面積をSとする。
- i) 第V直線とδu変位の直線と変位軸，及び変位軸に平行な直線で囲まれる台形の面積がSと等しくなるように変位軸に平行な第VI直線を引く。
- j) 第V直線と第VI直線との交点の荷重を完全弾塑性モデルの降伏耐力と定め，終局耐力Puと読み替え，そのときの変位を完全弾塑性モデルの降伏点変位δvとする。

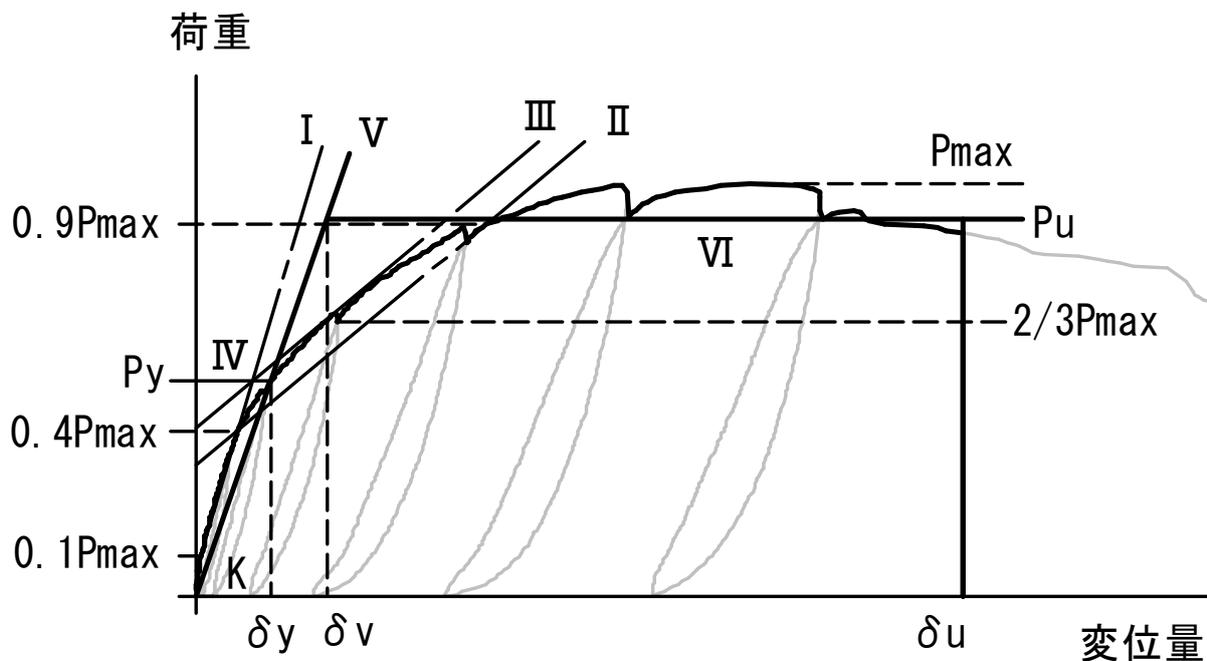


図26 荷重－変形関係曲線と評価方法

【試験結果】

接合性能試験の結果を表11および表12に、荷重－変位包絡線を図27および図28に、荷重－変位曲線を図29および図30に、破壊状況を図32および図31に示す。短期基準接合せん断耐力は、最大荷重 P_{max} の $2/3$ または降伏耐力 P_y の平均値にばらつき係数を乗じた値の小さい値とした。なお、ボックスビームでは試験体数が少ないため、予備試験と本試験を含めた計3体を対象に評価した。ばらつき係数を算出するための係数は $n=6$ のとき 2.336、 $n=3$ のとき 3.152 である。

その結果、I形梁専用金物の1か所あたりの短期基準接合せん断耐力は 28.40kN、箱形梁専用金物の1か所あたりの短期基準接合せん断耐力は 67.17kN となった。前述のI形梁および箱形梁の曲げ耐力やせん断耐力（表4および表5）とともに接合耐力についても設計データが整備された。

表11 接合性能試験結果(I形梁専用金物)

試験体 記号	試験体 番号	加力方法	降伏時		2/3 P_{max} 時		P_{max} 時		破壊状況	最終的に破壊 した接合部
			荷重 P_y (kN)	変位 d_y (mm)	荷重 (kN)	変位 (mm)	荷重 (kN)	変位 (mm)		
LVLBB-1	00	単調	29.87	5.20	32.93	6.76	49.40	29.84	A,B	梁L側
	01	一方向 繰返し	30.09	5.63	31.92	7.04	50.99	30.00	A,B	梁L側
	02		29.06	5.56	31.92	7.04	47.88	30.00	A,B	梁R側
	03		31.28	5.78	31.77	6.01	47.66	30.00	A,B	梁L側
	04		29.66	4.62	34.55	7.69	51.82	30.00	A,B	梁L側
	05		30.56	4.20	36.28	8.83	54.52	30.00	A,B	梁L側
	06		30.53	5.46	35.69	9.61	53.53	30.00	A,B	梁R側
		平均	30.19	5.20	34.03	7.89	51.06	30.00		
		標準偏差	0.77	0.64	1.87	1.28	2.83	0.00		
		変動係数	0.025	-	0.054	-	-	-		
	ばらつき係数	0.941	-	0.873	-	-	-			
	短期基準接 合せん断耐力 Pos(kN)	28.40	-	29.70	-	-	-			

※破壊状況：A：金物底部分の変形，B：根太材の支圧破壊

表12 接合性能試験結果(I形梁専用金物)

試験体 記号	試験体 番号	加力方法	降伏時		2/3 P_{max} 時		P_{max} 時		破壊状況	最終的に破壊 した接合部
			荷重 P_y (kN)	変位 d_y (mm)	荷重 (kN)	変位 (mm)	荷重 (kN)	変位 (mm)		
LVLBB-1	00	単調	78.03	1.99	92.51	3.48	138.76	18.31	C,D	梁L側
	01	一方向繰返し	72.97	3.33	89.24	5.58	133.86	21.78	C,D	梁L側
	02		78.00	2.26	92.92	3.44	139.38	14.90	C,D	梁L側
		平均	76.33	2.52	91.55	4.16	137.33	18.33		
		標準偏差	2.91	0.71	2.01	1.22	3.02	3.42		
		変動係数	0.038	-	0.021	-	-	-		
		ばらつき係数	0.880	-	0.930	-	-	-		
	短期基準接 合せん断耐力 Pos(kN)	67.17	-	85.41	-	-	-			

※破壊状況：C：梁の割裂破壊，D：ビスの引き抜け

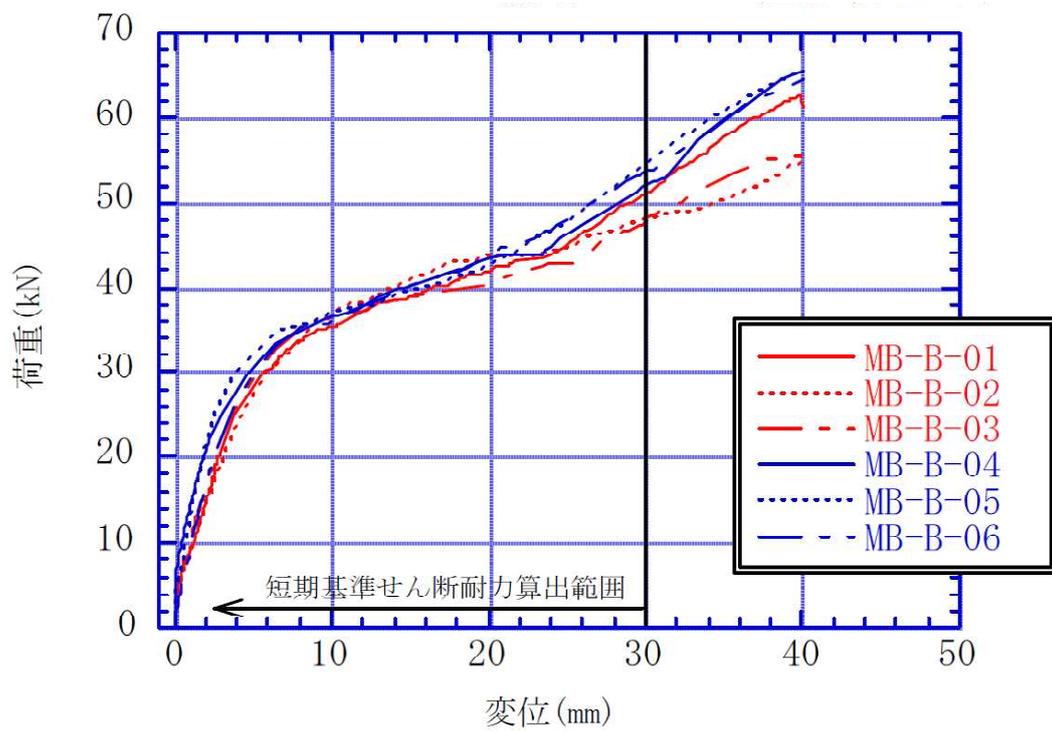


図27 荷重－変位包絡線の比較 (I形梁)

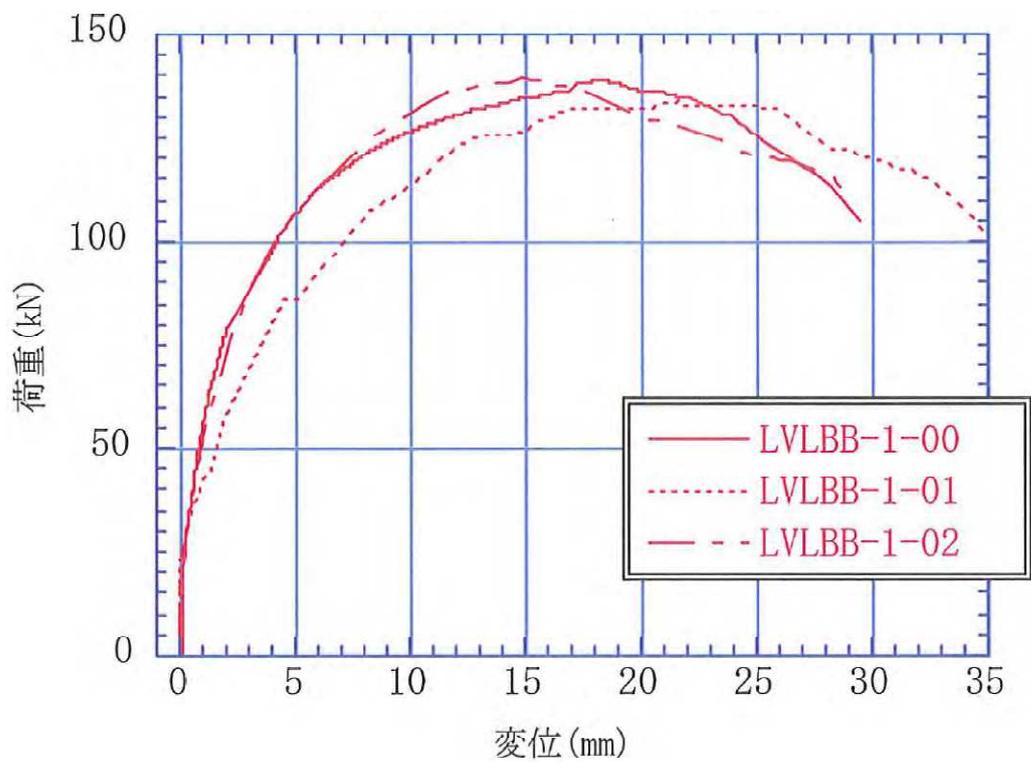


図28 荷重－変位包絡線の比較 (箱形梁)

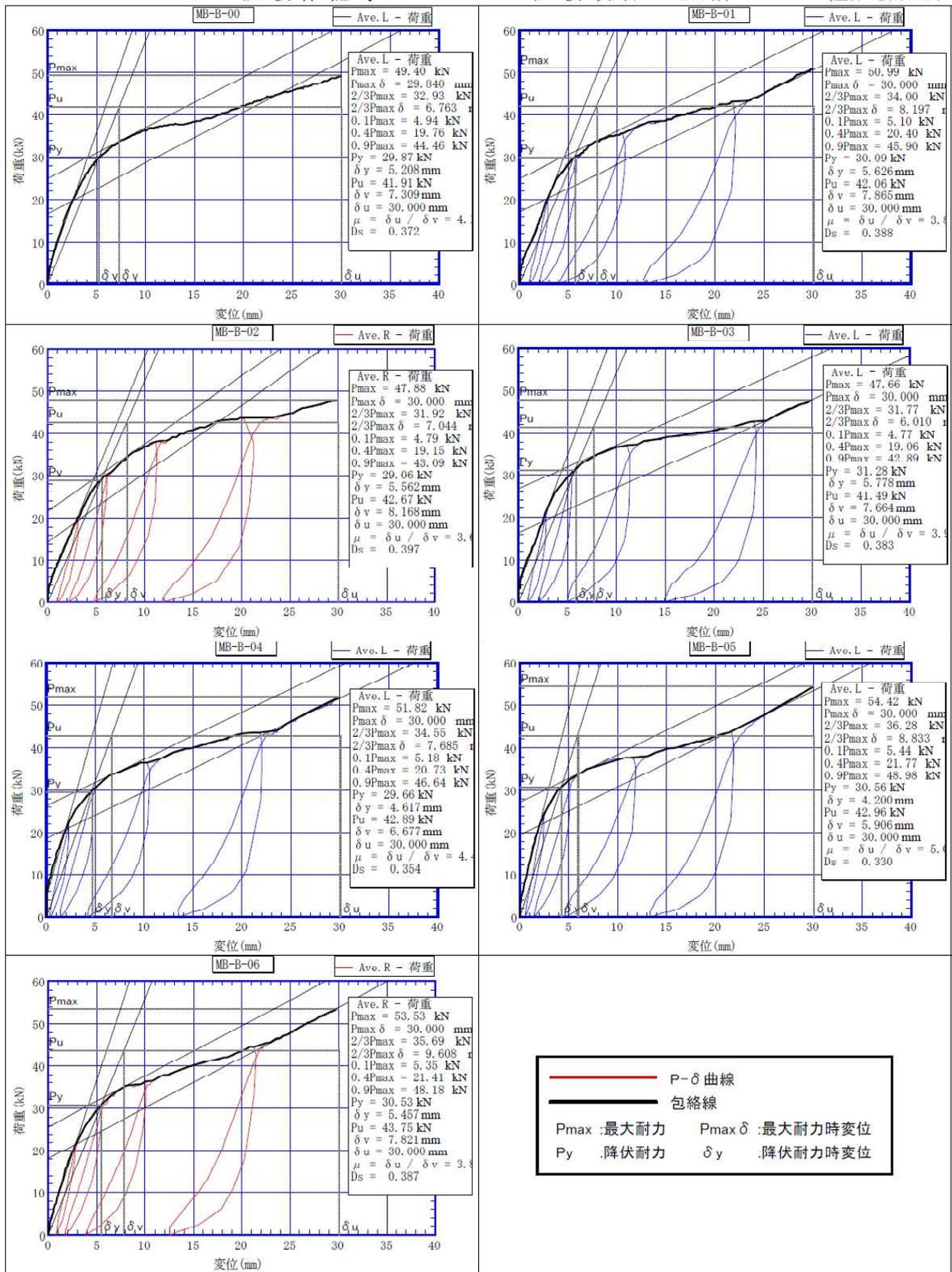


図29 荷重-変位曲線 (I 形梁)

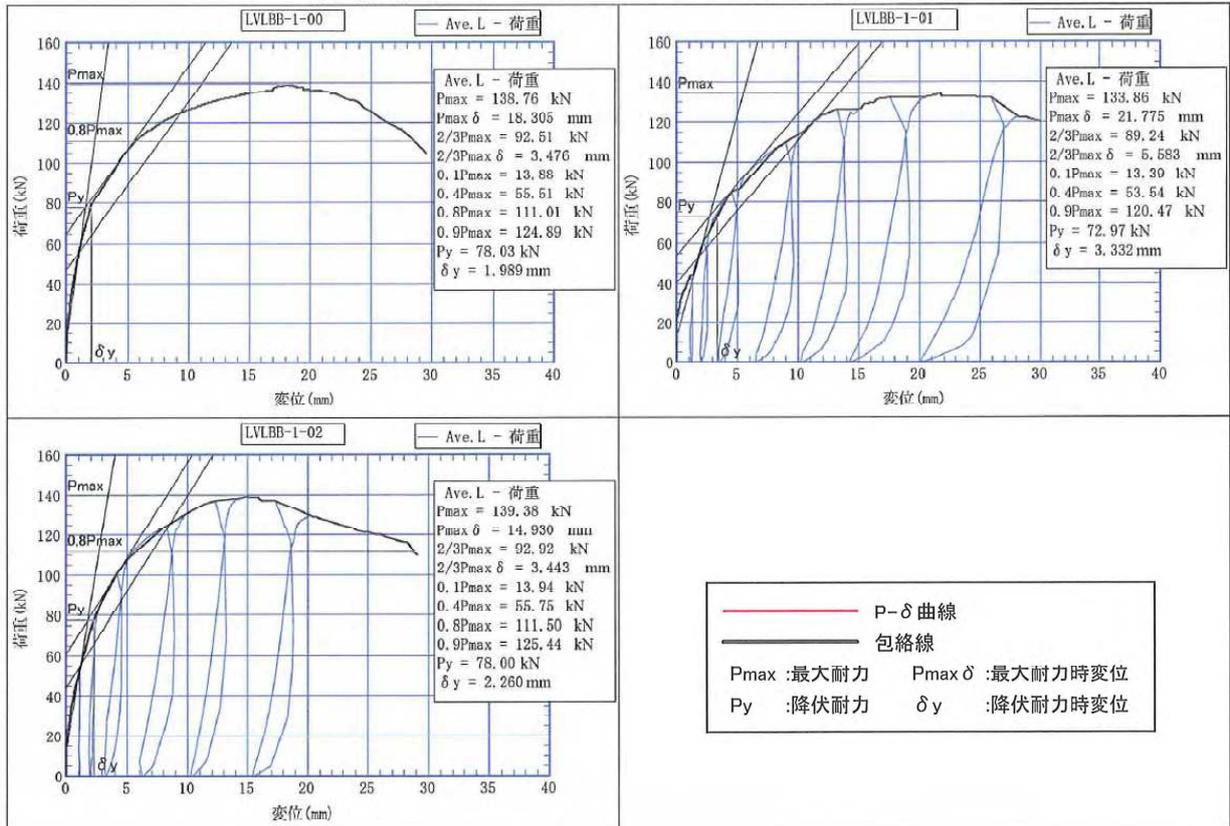


图30 荷重—変位曲線(箱形梁)



图31 破壊狀況(箱形梁)



写真-1 破壊状況 試験体記号：MB-B-01
最大荷重：50.99kN ；破壊荷重：62.64 kN(39.8mm)

金物底部分の変形、根太材の支圧破壊



写真-2 破壊状況 試験体記号：MB-B-02
最大荷重：47.88kN ；破壊荷重：54.92 kN(40.0mm)

金物底部分の変形、根太材の支圧破壊



写真-3 破壊状況 試験体記号：MB-B-03
最大荷重：47.66kN ；破壊荷重：55.41kN(40.0mm)

金物底部分の変形、根太材の支圧破壊



写真-4 破壊状況 試験体記号：MB-B-04
最大荷重：51.82kN ；破壊荷重：65.46 kN(40.0mm)

金物底部分の変形、根太材の支圧破壊



写真-5 破壊状況 試験体記号：MB-B-05
最大荷重：54.42kN ；破壊荷重：65.21 kN(40.0mm)

金物底部分の変形、根太材の支圧破壊



写真-6 破壊状況 試験体記号：MB-B-06
最大荷重：53.53kN ；破壊荷重：64.60kN(40.0mm)

金物底部分の変形、根太材の支圧破壊

図32 破壊状況 (I形梁)

4. まとめ

本研究では、大空間に対応可能な国産組立梁の開発ならびに国産組立梁に対応した接合部の開発を行い、以下の成果を得た。

1) 大空間に対応可能な国産組立梁の開発

国産カラマツ単板積層材を接着剤および高耐力ファスナーで簡易かつ強固に組み立てる製造方法を確立するとともに、I形梁（梁幅 114 × 梁せい 356mm）と箱形梁（梁幅 180 × 梁せい 550mm）の断面形状と使用材料の最適条件を確定した。試作したI形梁（長さ 6m）と箱形梁（長さ 9m）について実大曲げ・せん断試験を行った。その結果、曲げ・せん断性能ともに実験値が計算値を上回ることで、スパン計算（I形梁は住宅用、箱形梁は事務所用荷重、たわみ制限は 10mm 以下）によりI形梁では 6.37 ~ 7.28m、箱形梁では 8.19 ~ 9.1m スパンで利用可能であることを明らかにした。また、ウェブの孔あけ施工を想定した強度試験もを行い、ウェブに直交層を配置した LVL を用いるとせん断耐力の低下が顕著に抑制できること、孔あけ制限を大幅に緩和できることを明らかにした。

2) 国産組立梁に対応した接合部の開発

国産組立梁に対応した接合金物を試作し、接合部せん断試験を行った。その結果、接合性能が金物底部の変形と梁下部のめり込み破壊によることが明らかとなった。また、適切な設計を可能にする接合部の構造データが得られた。

本研究により、国産カラマツ単板積層材を活用した、剛性と強度の高い大断面組立梁の製造技術を確立しながら、木造公共建築物や可変可能な木造住宅等の大スパンに利用可能な新しい国産横架材および専用金物を開発した。

開発製品は LVL メーカーにおいて製品化されるとともに、協力機関のハウスメーカーでも大空間仕様の企画型住宅の 2 階床梁として採用が決定しており、25 年 2 月にはモデルハウスに実施工された。

本製品は、木造住宅においては、設計自由度を高めるとともに、開放的な大空間と可変性の高い間取りを可能にするものである。また、共同住宅や福祉施設等の中大規模建築物においても、経済的で施工性の良い床組構造を可能にするものである。

本製品の今後の普及により、単板積層材の需要拡大と国産人工林材の高付加価値化、非木造建築の木造化推進、建築分野での国産材自給率向上にも貢献することができれば幸いである。

5. 参考文献

- 1) 李元羽, 大橋義徳, 宮内輝久, 藤田和彦, 宮武敦: 直交単板を用いた単板積層材の性能—その2 寸法安定性能—, 日本建築学会大会梗概集, C-1, pp.21-22, 2010.
- 2) Forest Products Laboratory: "Wood handbook", pp.11.12-11.13, 1999.
- 3) 川元満夫, 藤田和彦, 李元羽, 宮武敦: 直交単板を用いた単板積層材の性能—その1 強度性能—, 日本建築学会大会梗概集, C-1, pp.19-20, 2010.
- 4) 李元羽, 大橋義徳, 中島史郎, 川本聖一, 國崎祐樹, 成田敏基: 国産材を用いた木質 I 型複合梁の力学特性—その7 ウェブの孔あけによる力学特性—, 日本建築学会大会梗概集, C-1, pp.253-254, 2011.
- 5) 財団法人日本住宅・木材技術センター: 木造軸組工法の許容応力度設計, 2008.
- 6) 財団法人日本住宅・木材技術センター: 接合金物試験法規格 (C マーク表示金物), 2010.