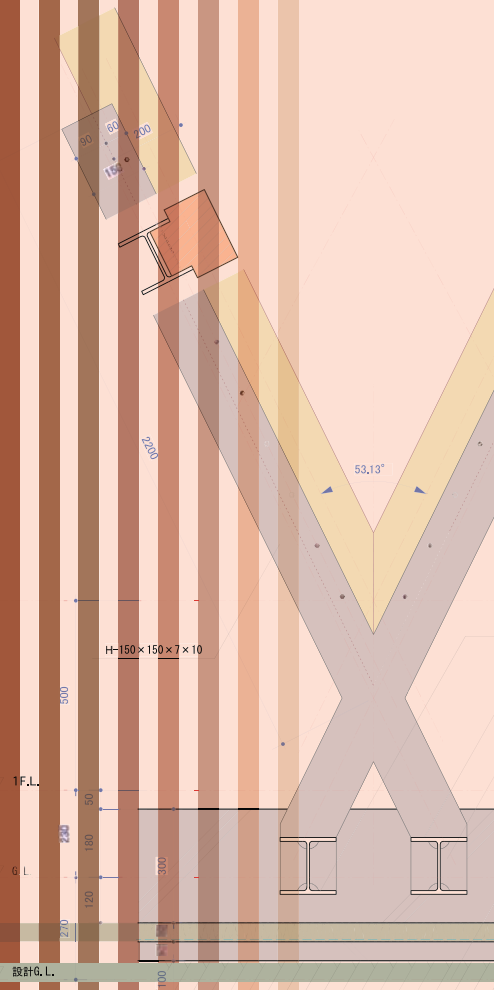


LVL

Structural Design Guide

LVLの使い方と構造設計の考え方



両面より六角スクリュービス 長さ300
(カナイRD-H90同等品)

H-150 x 150 x 7 x 10

H-150 x 150 x 7 x 10
※接合詳細別途検討

補鋼板挿入

鉄骨鉄筋コンクリート 1300
断熱材 (スタイロフォーム) 150
防湿シート
防シコンクリート 150
抑業 クラッシュヤラン 1100

1F.L.

G.L.

設計G.L.

目次

LVL について	2
構造用 LVL とは	
構造用 LVL の特長	
LVL の製造工程	
構造用 LVL の基準特性値	
各種構造利用	6
軸組材	7
製材・集成材との相違 / 留意点	
圧縮力と面外風圧力を受ける	
LVL 管柱の計算例	
曲げを受ける LVL 梁の計算例	
面外曲げを受ける LVL 耐風梁の計算例	
I 形ジョイスト	12
I 形ジョイストとは	
I 形ジョイストによる床根太の計算例	
I 形ジョイストを設備配線スペースとして活用したアイデアディテール	
I 形ジョイストを設備配線スペースとして活用したアイデアディテール (2)	
ストレススキンパネル (SSP)	19
SSP とは	
組立方法	
設計上の留意点	
品質管理上の留意点	
曲げを受ける SSP の計算例	
SSP のスパン表	
試験データおよび計算との比較	
ディテール例	
厚板耐力壁	33
LVL 厚板耐力壁とは	
LVL 厚板耐力壁の特徴	
建築基準法上の位置づけと鉛直構面水平耐力評価法の考え方	
建築基準法における構造計算ルート	
厚板耐力壁の力学モデル	
終局耐力の算出方法	
鉛直構面許容耐力の算定方法	
終局耐力計算式の例	
厚板耐力壁構面の計算例	
試験データおよび計算との比較	
ディテール例	
事例研究	42
HP シェルの境界梁	
キャットウォーク	
片持ち梁のエントランス庇	
フローリングとしての LVL	
まとめ	

1

LVL について



写真提供：Finnforest（フィンフォレスト社）

構造用 LVL とは

構造用単板積層材とは、一般に構造用 LVL(Laminated Veneer Lumber) と呼ばれており、単板の繊維方向をそろえて積層接着した部材です。

構造用単板積層材の規格は日本農林規格 (JAS) により『単板積層材の日本農林規格』（平成 20 年 5 月 13 日農林水産省告示第 701 号）として定められています。

構造用単板積層材を建築物の構造体に使用するには、上記の『単板積層材の日本農林規格』の第 2 条（定義）、

第 4 条（構造用単板積層材の規格）に適合することが条件となり、材料強度と許容応力度は平成 13 年国土交通省告示第 1024 号（特殊な許容応力度及び特殊な材料強度を定める件）に定められています。

構造用 LVL の特長

(1) 優れた曲げ強さ

LVL は単板の繊維方向を平行に並べて積層している
ので、軸材として優れた性能をもつ。

(2) 完全乾燥材

エレメント（構成要素）の単板厚が通常 2 ~ 4mm と
薄い為、乾燥が早く、均一で軸材の中でも内部まで乾燥
された製品であり、不完全乾燥による木造建築物の施工
後の狂いや割れ、接合部のガタ等の問題が軽減される。

(3) バラツキが少ない材料

LVL は単板を幾枚にも重ね合わせた材料なので、強
度等の物性のバラツキが小さい。バラツキが小さいため、
平均物性値が同じでも下限値がバラツキの大きい材料よ
りも高いので許容応力度も高く設定されている。

(4) 長尺通直材が得られる

小径木や間伐材など短い丸太からでも、単板を縦つぎ
にして連続する事により、長尺、通直の製品が得られる。
また単板積層数を増減させることにより、用途に応じた
厚さの製品とすることが可能。

(5) 防腐、防蟻の薬剤処理が容易

防腐、防蟻の薬剤を接着剤に混入することにより、材
中まんべんなく容易に保存処理をすることができる。

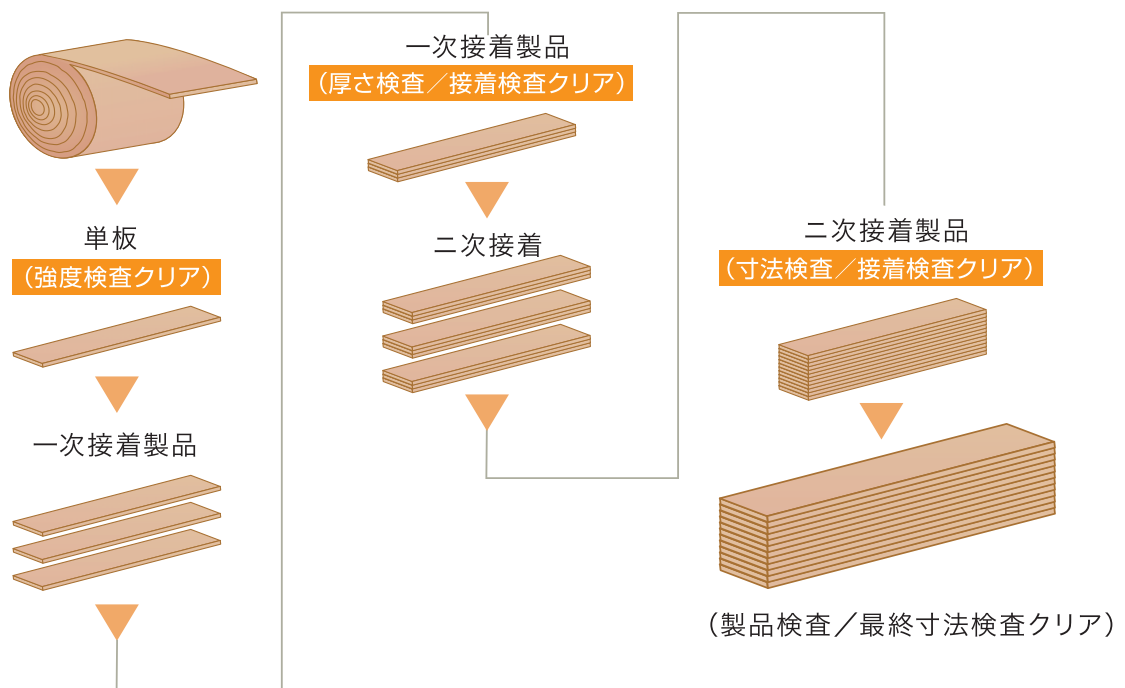


写真提供：Finnforest（フィンフォレスト社）



写真提供：Finnforest（フィンフォレスト社）

LVL の製造工程



構造用 LVL の基準特性値

基本的に平 13 国交告 1024 号に基づいているが、設計に要する特性値として情報が不足する部分は日本建築学会「木質構造設計規準・同解説」第 4 版に拠っている。

構造用 LVL の繊維方向の基準強度とヤング係数

(縦使い (x-x 軸) 平使い (y-y 軸) の場合も同じ数値)

曲げヤング係数区分	等級	基準材料強度 [N/mm ²]			基準弾性係数 [kN/mm ²]	
		圧縮 F_c	引張り F_t	曲げ F_b	E_o	$E_{e,0.05}$
160E	特級	41.4	31.2	51.6	16.0	14.0
	1 級	40.2	27.0	44.4		
	2 級	37.2	22.2	37.2		
140E	特級	36.0	27.0	45.0	14.0	12.0
	1 級	34.8	23.4	39.0		
	2 級	32.4	19.8	32.4		
120E	特級	31.2	23.4	39.0	12.0	10.5
	1 級	30.0	19.8	33.0		
	2 級	27.6	16.8	27.6		
110E	特級	28.2	21.6	35.4	11.0	9.0
	1 級	27.0	18.0	30.0		
	2 級	25.8	15.6	25.8		
100E	特級	25.8	19.8	32.4	10.0	8.5
	1 級	25.2	16.8	27.6		
	2 級	23.4	14.4	23.4		
90E	特級	23.4	17.4	28.8	9.0	7.5
	1 級	22.8	15.0	25.2		
	2 級	21.0	12.6	21.0		
80E	特級	21.0	15.6	25.8	8.0	7.0
	1 級	19.8	13.2	22.2		
	2 級	18.6	11.4	18.6		
70E	特級	18.0	13.8	22.8	7.0	6.0
	1 級	17.4	12.0	19.8		
	2 級	16.2	9.6	16.2		
60E	特級	15.6	12.0	19.8	6.0	5.0
	1 級	15.0	10.2	16.8		
	2 級	13.8	8.4	13.8		

「木質構造設計規準・同解説」第 4 版

* $E_{e,0.05}$ は弾性係数の信頼水準 75% における 5% 下側許容限界値

構造用 LVL の水平せん断の基準特性値

水平せん断性能	基準材料強度 [N/mm ²]		基準弾性係数 [kN/mm ²]
	縦使い F_{sx-x}	平使い F_{sy-y}	
65V-55H	4.2	3.6	E_o の値の 1/15 とする
60V-51H	3.6	3.3	
55V-47H	3.6	3.0	
50V-43H	3.0	2.7	
45V-38H	3.0	2.4	
40V-34H	2.4	2.1	
35V-30H	2.4	1.8	

「木質構造設計規準・同解説」第 4 版

構造用 LVL の繊維直交方向の基準強度 (めり込み)

樹種	基準材料強度 [N/mm ²]
アカマツ、ダフリカカラマツ、ベイマツ	9.0
ヒノキ、カラマツ	7.8
ラジアータパイン、スプルース、スギ	6.0

平 13 国交告 1024

寸法効果係数

$$K_z = \left(\frac{h_o}{h} \right)^k$$

K_z : 寸法効果係数、 h : 使用する構造用材料のせい
 h_o : 標準 (試験体) のせい、 k : 実験定数

* 構造用単板積層材の寸法効果パラメータ

k (寸法効果パラメータ): 0.136, h_o (標準梁せい): 300mm

幅方向 (梁せい) の辺長 (mm)		寸法効果係数	幅方向 (梁せい) の辺長 (mm)		寸法効果係数
	100 以下	1.16	450 超	600 以下	0.93
100 超	150 以下	1.10	600 超	750 以下	0.91
150 超	200 以下	1.06	750 超	900 以下	0.89
200 超	250 以下	1.03	900 超	1,050 以下	0.87
250 超	300 以下	1.00	1,050 超	1,200 以下	0.86
300 超	450 以下	0.98			

「木質構造設計規準・同解説」第 4 版

F_b (曲げ基準強度) に幅方向 (梁せい) の辺長が対応する数値を乗じものとする。

2

各種構造利用



2.1

軸組材



製材・集成材との相違 / 留意点

LVLは製材等に比べて寸法安定性に優れており、曲げ性能についても高いものが得やすい。その反面、切削などに関する加工性についてはやや劣るため、現場での寸法調整等は難しくなる。LVLの扱いに不慣れな場合には特にこの点に留意すべきである。長さについての製作上の制限が基本的にないため、ロングスパンの梁として用いる場合などに適している。また、ねじれ・そりなどによる2次的な応力が大きな問題となる大架構の設計などに対しても有利である。

圧縮力と面外風圧力を受ける

LVL 管柱の計算例

「木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2008）」に従って管柱の検定を行う場合の計算例を示す。

使用条件

構造用LVL 120E 1級（カラマツ）

断面： 105mm × 105 mm

断面欠損なし（低減係数 $\alpha = \beta = 1.0$ ）

$$A = 11.0 \times 10^3 \text{ mm}^2 \quad i = 30.3 \text{ mm}$$

$$Z = 192.9 \times 10^3 \text{ mm}^3 \quad l_k = 2600 \text{ mm}$$

$$F_c = 30.0 \text{ N/mm}^2 \quad F_b = 33.0 \text{ N/mm}^2$$

細長比： $\lambda = l_k / i = 2500 / 30.3 = 85.81$ ($30 < \lambda < 100$)

基準座屈強度： $F_k = (1.3 - 0.01 \cdot \lambda) F_c = 13.26 \text{ N/mm}^2$

通常の使用環境（使用環境）とする

含水率影響係数： $K_m = 1.0$

寸法効果係数： $K_z = 1.0$ ($h < 300$)

荷重継続期間影響係数： $LK_d = 1.1$ （長期）

$S K_d = 2.0$ （短期）

許容応力度：

$$L f_k = F_k / 3 \cdot K_m \cdot K_z \cdot L K_d = 4.86 \text{ N/mm}^2$$

$$S f_k = F_k / 3 \cdot K_m \cdot K_z \cdot S K_d = 8.84 \text{ N/mm}^2$$

$$S f_b = F_b / 3 \cdot K_m \cdot K_z \cdot S K_d = 22.00 \text{ N/mm}^2$$

荷重条件

長期荷重時の最大軸力： $N_{max} = 40 \text{ kN}$

風圧力： $q = 0.95 \text{ kN/m}^2$

風力係数： $C_f = C_{pe} - C_{pi} = 0.8 - (-0.2) = 1.0$

荷重負担幅： $B = 3.0 \text{ m}$

鉛直荷重に対する座屈の検定

$$\begin{aligned} \text{圧縮応力度： } \sigma_c &= N_{max} / A = 40.0 \times 10^3 / 11.0 \times 10^3 \\ &= 3.63 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

検定比： $\sigma_c / L f_k = 3.63 / 4.86 = 0.75$ 1.0 **OK**

座屈と面外風圧に対する複合応力の検定

長期荷重時の軸力： $N_{max} = 40.0 \text{ kN}$

風圧力による分布荷重：

$$w = q \cdot C_f \cdot B = 0.95 \times 1.0 \times 3.0 = 2.85 \text{ kN/m (N/mm)}$$

最大曲げモーメント：

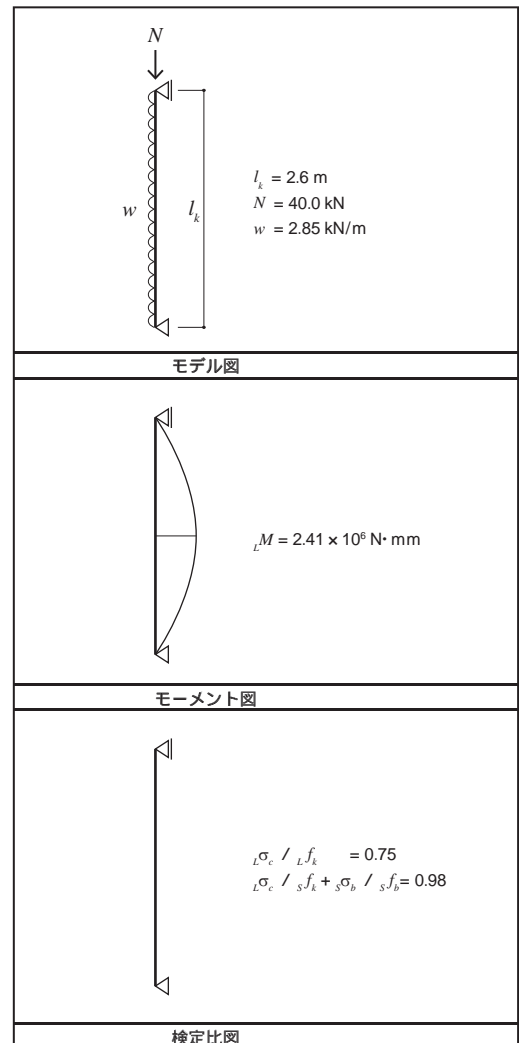
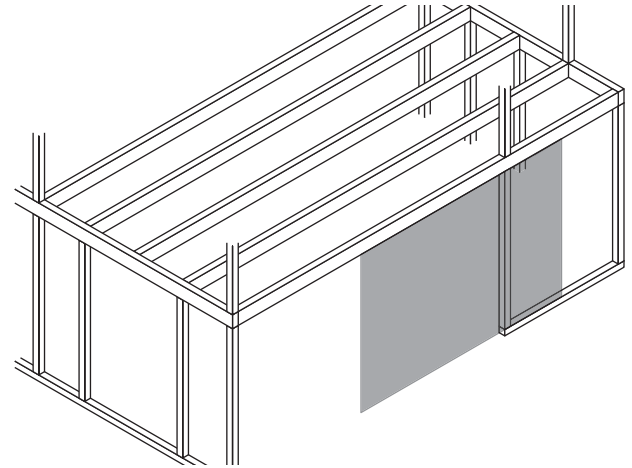
$$\begin{aligned} M &= w \cdot l^2 / 8 = 2.85 \times 2600^2 / 8 \\ &= 2.41 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

最大曲げ応力度：

$$\begin{aligned} \sigma_b &= M / Z = 2.41 \times 10^6 / 192.9 \times 10^3 \\ &= 12.5 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

複合応力に対する検定比：

$$\begin{aligned} \sigma_c / S f_k + \sigma_b / S f_b &= 3.63 / 8.84 + 12.5 / 22.00 \\ &= 0.41 + 0.57 = 0.98 \quad 1.0 \quad \mathbf{OK} \end{aligned}$$



曲げを受ける LVL 梁の計算例

「木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2008）」に従って梁の曲げ検定を行う場合の計算例を示す。基本的に別途端部のせん断に対する検討は必要である。

使用条件・荷重条件

構造用LVL 120E 1級（カラマツ）

用途：住宅

断面：105mm × 450mm

断面欠損なし（低減係数 $\alpha = \beta = 1.0$ ）

$$Z = 3544 \times 10^3 \text{ mm}^3 \quad Z' = \alpha Z = 3544 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I = 797.3 \times 10^6 \text{ mm}^4 \quad I' = \beta I = 797.3 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$E = 12.0 \text{ kN/mm}^2 \quad EI' = 9.56 \times 10^9 \text{ kN} \cdot \text{mm}^2$$

$$F_b = 33.0 \text{ N/mm}^2$$

荷重負担幅： $B = 1.0 \text{ m}$

梁のスパン： $l = 8.0 \text{ m}$

単位面積当たり設計荷重

$$\text{自重+仕上げ荷重：} W_G = 0.4 \text{ kN/m}^2$$

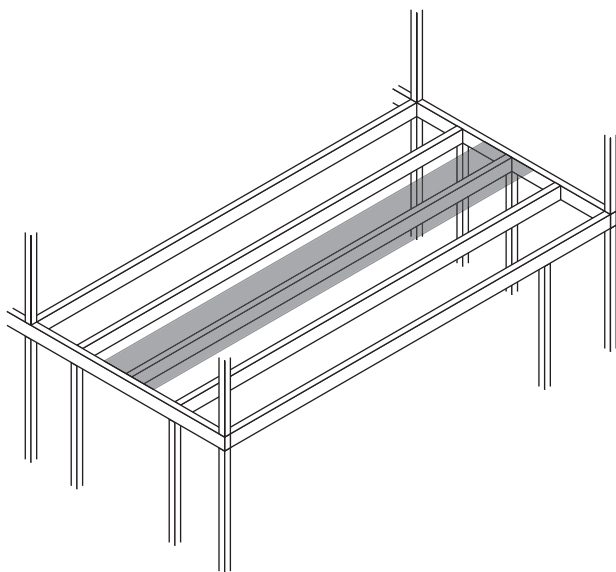
$$\text{長期応力計算用積載荷重：} {}_L P = 1.3 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{長期たわみ計算用積載荷重：} {}_{Ld} P = 0.6 \text{ kN/m}^2$$

分布荷重

$$\begin{aligned} \text{長期応力計算用：} {}_L w &= (0.4+1.3) \cdot B \\ &= 1.7 \text{ kN/m (N/mm)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{長期たわみ計算用：} {}_{Ld} w &= (0.4+1.6) \cdot B \\ &= 1.0 \text{ kN/m (N/mm)} \end{aligned}$$



通常の使用環境（使用環境）とする

$$\text{含水率影響係数：} K_m = 1.0$$

$$\text{寸法効果係数：} K_z = (300/450)^{0.136} = 0.95$$

長期許容応力度：

$$\begin{aligned} {}_L f_b &= F_b \times (1.1/3) \times 0.95 \\ &= 11.50 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

長期荷重に対する応力の検討

設計曲げモーメント：

$$\begin{aligned} {}_L M &= {}_L w \cdot l^2 / 8 \\ &= 1.7 \times 8000^2 / 8 = 13.6 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

曲げ応力度：

$$\begin{aligned} {}_L \sigma_b &= {}_L M_{max} / Z' \\ &= 13.6 \times 10^6 / 3543 \times 10^6 = 3.84 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

検定比：

$${}_L \sigma_b / {}_L f_b = 3.84 / 11.50 = 0.33 \quad 1.0 \quad \text{OK}$$

長期荷重に対するたわみの検討

初期たわみ：

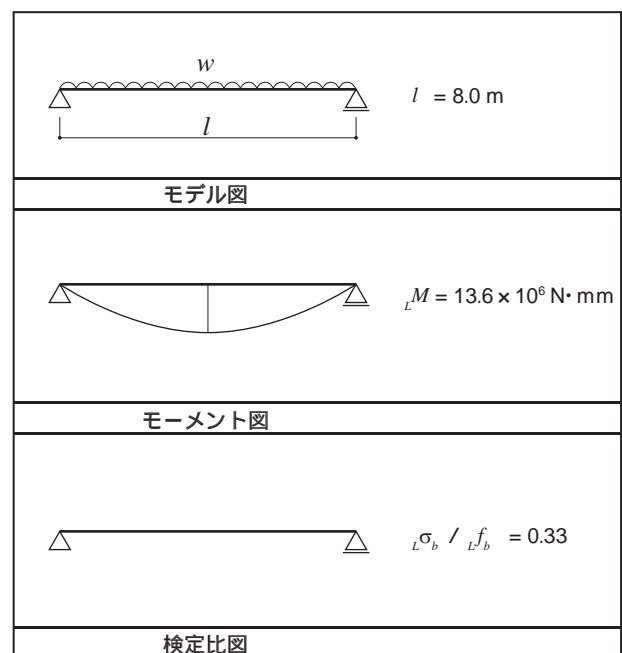
$$\begin{aligned} {}_L \delta_0 &= 5 \cdot {}_{Ld} w \cdot l^4 / (384 \cdot EI') \\ &= 5 \times 1.0 \times 8000^4 / (384 \times 9.56 \times 10^9 \times 10^3) \\ &= 5.6 \text{ mm} \end{aligned}$$

長期たわみ（たわみ増大係数を2として）：

$${}_L \delta = 2 \cdot {}_L \delta_0 = 11.2 \text{ mm} \quad 20 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

スパン比： ${}_L \delta / l = 11.2 / 8000$

$$= 1/714 \quad 1/300 \quad \text{OK}$$



LVL 梁のスパン表 (E120-1 級の場合、上段：たわみで決定される最大スパン、下段：応力で決定される最大スパン)

H	住宅の場合				事務室の場合				教室の場合			
	p : 床梁ピッチ[mm]											
	455	500	600	910	455	500	600	910	455	500	600	910
140	3.6	3.2	3.1	2.5	2.9	2.6	2.5	2.0	2.8	2.5	2.4	2.0
	5.1	4.3	4.1	3.1	3.9	3.3	3.1	2.3	3.7	3.1	3.0	2.2
150	3.8	3.5	3.3	2.7	3.1	2.8	2.7	2.2	3.0	2.7	2.6	2.1
	5.5	4.7	4.4	3.3	4.1	3.5	3.4	2.5	4.0	3.4	3.2	2.4
184	4.7	4.3	4.1	3.4	3.8	3.4	3.3	2.7	3.6	3.3	3.2	2.6
	6.7	5.7	5.5	4.0	5.1	4.4	4.1	3.1	4.9	4.2	4.0	2.9
200	5.1	4.6	4.5	3.7	4.1	3.7	3.6	2.9	4.0	3.6	3.4	2.8
	7.3	6.2	5.9	4.4	5.5	4.7	4.5	3.3	5.3	4.5	4.3	3.2
235	6.0	5.4	5.3	4.3	4.9	4.4	4.2	3.5	4.7	4.2	4.1	3.3
	8.6	7.3	7.0	5.2	6.5	5.6	5.3	3.9	6.2	5.3	5.1	3.7
250	6.4	5.8	5.6	4.6	5.2	4.7	4.5	3.7	5.0	4.5	4.3	3.5
	9.1	7.8	7.4	5.5	6.9	5.9	5.7	4.2	6.6	5.7	5.4	4.0
286	7.4	6.6	6.4	5.3	5.9	5.3	5.2	4.2	5.7	5.1	4.9	4.0
	10.4	8.9	8.5	6.3	7.9	6.8	6.5	4.8	7.6	6.5	6.2	4.6
300	7.7	7.0	6.7	5.5	6.2	5.6	5.4	4.4	6.0	5.4	5.2	4.2
	11.0	9.4	8.9	6.6	8.3	7.1	6.8	5.0	8.0	6.8	6.5	4.8
350	9.0	8.1	7.9	6.4	7.3	6.5	6.3	5.2	7.0	6.3	6.1	5.0
	12.7	10.8	10.3	7.6	9.6	8.2	7.9	5.8	9.2	7.9	7.5	5.5
400	10.3	9.3	9.0	7.4	8.3	7.5	7.3	5.9	8.0	7.2	6.9	5.7
	14.3	12.3	11.7	8.7	10.9	9.3	8.9	6.6	10.4	8.9	8.5	6.3
450	11.6	10.5	10.1	8.3	9.4	8.4	8.2	6.7	9.0	8.1	7.8	6.4
	16.0	13.7	13.1	9.7	12.2	10.4	9.9	7.4	11.6	9.9	9.5	7.0

LVL 梁のスパン表 (E140-1 級の場合、上段：たわみで決定される最大スパン、下段：応力で決定される最大スパン)

H	住宅の場合				事務室の場合				教室の場合			
	p : 床梁ピッチ[mm]											
140	3.8	3.4	3.3	2.7	3.0	2.7	2.6	2.2	2.9	2.6	2.5	2.1
	5.5	4.7	4.5	3.3	4.2	3.6	3.4	2.5	4.0	3.4	3.3	2.4
150	4.0	3.6	3.5	2.9	3.3	2.9	2.8	2.3	3.1	2.8	2.7	2.2
	5.9	5.1	4.8	3.6	4.5	3.8	3.7	2.7	4.3	3.7	3.5	2.6
184	5.0	4.5	4.3	3.5	4.0	3.6	3.5	2.8	3.8	3.4	3.3	2.7
	7.3	6.2	5.9	4.4	5.5	4.7	4.5	3.3	5.3	4.5	4.3	3.2
200	5.4	4.9	4.7	3.9	4.4	3.9	3.8	3.1	4.2	3.7	3.6	3.0
	7.9	6.8	6.5	4.8	6.0	5.1	4.9	3.6	5.8	4.9	4.7	3.5
235	6.4	5.7	5.6	4.5	5.1	4.6	4.5	3.7	4.9	4.4	4.3	3.5
	9.3	8.0	7.6	5.6	7.1	6.1	5.8	4.3	6.8	5.8	5.5	4.1
250	6.8	6.1	5.9	4.8	5.5	4.9	4.8	3.9	5.2	4.7	4.5	3.7
	9.9	8.5	8.1	6.0	7.5	6.4	6.2	4.5	7.2	6.2	5.9	4.3
286	7.8	7.0	6.8	5.5	6.2	5.6	5.4	4.5	6.0	5.4	5.2	4.3
	11.4	9.7	9.3	6.8	8.6	7.4	7.0	5.2	8.2	7.0	6.7	5.0
300	8.1	7.3	7.1	5.8	6.6	5.9	5.7	4.7	6.3	5.6	5.5	4.5
	11.9	10.2	9.7	7.2	9.1	7.7	7.4	5.5	8.7	7.4	7.1	5.2
350	9.5	8.6	8.3	6.8	7.7	6.9	6.7	5.5	7.3	6.6	6.4	5.2
	13.8	11.8	11.2	8.3	10.5	9.0	8.5	6.3	10.0	8.5	8.2	6.0
400	10.9	9.8	9.5	7.8	8.8	7.9	7.6	6.3	8.4	7.5	7.3	6.0
	15.6	13.3	12.7	9.4	11.9	10.1	9.7	7.2	11.3	9.7	9.2	6.8
450	12.2	11.0	10.7	8.7	9.9	8.9	8.6	7.0	9.4	8.5	8.2	6.7
	17.4	14.9	14.2	10.5	13.3	11.3	10.8	8.0	12.7	10.8	10.3	7.6

面外曲げを受ける LVL 耐風梁の計算例

「木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2008）」に従って耐風梁の検定を行う場合の計算例を示す。

使用条件・荷重条件

構造用LVL 140E 1級、55V 47H（カラマツ）

断面： 105mm × 360mm

断面欠損なし（低減係数 $\alpha = \beta = 1.0$ ）

$$Z = 661.5 \times 10^3 \text{ mm}^3 \quad Z' = \alpha Z = 661.5 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$F_b = 39.0 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{s_x-x} = 3.6 \text{ N/mm}^2 \quad F_{s_y-y} = 3.0 \text{ N/mm}^2$$

荷重負担幅（平均階高）： $h = (3.0 + 2.7) = 2.85 \text{ m}$

梁のスパン： $l = 5.0 \text{ m}$

設計荷重

$$\text{風圧力： } q = 0.90 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{風力係数： } C_f = C_{pe} - C_{pi} = 0.8 - (-0.2) = 1.0$$

$$\begin{aligned} \text{分布荷重： } s_w &= q \cdot C_f \cdot h = 0.9 \times 1.0 \times 2.85 \\ &= 2.565 \text{ kN/m (N/mm)} \end{aligned}$$

通常の使用環境（使用環境）とする

$$\text{含水率影響係数： } K_m = 1.0$$

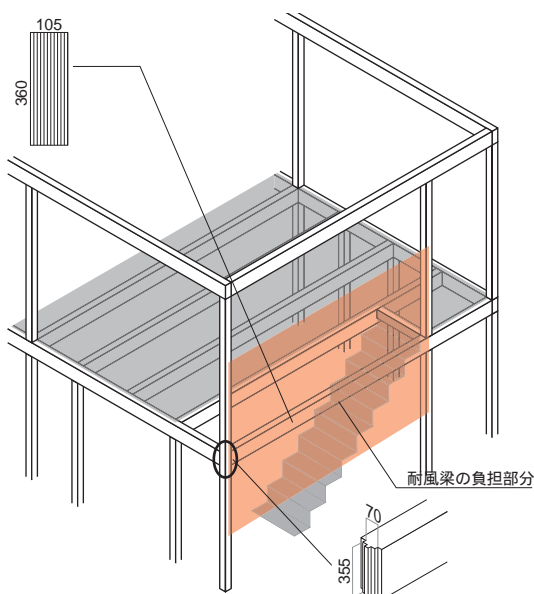
$$\text{寸法効果係数： } K_z = 1.0$$

平使い方向への荷重であるため、寸法効果係数を考慮するためのせいは105mmとなる。

短期許容応力度：

$$\begin{aligned} f_b &= F_b \times (2/3) \times 1.0 \\ &= 26.0 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{s_y-y} &= F_{s_y-y} \times (2/3) \times 1.0 \\ &= 2.0 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$



曲げ応力の検討

設計曲げモーメント：

$$\begin{aligned} sM &= s_w \cdot l^2 / 8 \\ &= 2.565 \times 5000^2 / 8 = 8.02 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

曲げ応力度：

$$\begin{aligned} s\sigma_b &= sM / Z' \\ &= 8.02 \times 10^6 / 661.5 \times 10^6 = 12.11 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

検定比：

$$s\sigma_b / s f_b = 12.11 / 26.0 = 0.47 \quad 1.0 \quad \text{OK}$$

端部せん断応力の検討

設計せん断力：

$$\begin{aligned} sQ &= s_w \cdot l / 2 \\ &= 2.565 \times 5000 / 2 = 6.41 \times 10^3 \text{ N} \end{aligned}$$

最大せん断応力 / 平均せん断応力：

$$\alpha = 3/2$$

有効断面積：

$$\begin{aligned} A_e &= A_0 \cdot b' / b \\ &= 70 \times 355 \times 70 / 105 = 16567 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

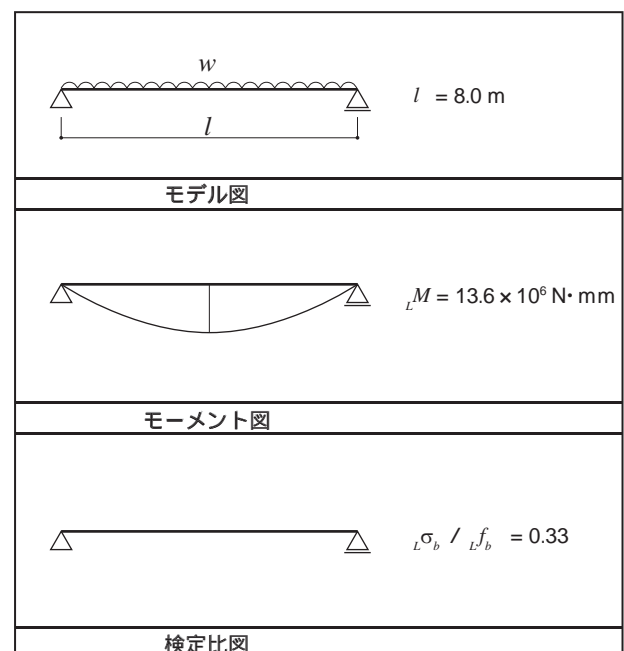
せん断応力度：

$$\begin{aligned} s\sigma_s &= \alpha \cdot sQ / A_e \\ &= 3 / 2 \times 6.41 \times 10^3 / 16567 = 0.58 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

検定比：

$$s\sigma_s / s f_{s_y-y} = 0.58 / 2.0 = 0.29 \quad 1.0 \quad \text{OK}$$

平使い方向への荷重であるため、基準強度は F_{s_y-y} を用いる



2.2

I形ジョイスト



I形ジョイストとは

I形ジョイストの特徴

I形ジョイストは、フランジ部分にLVL・製材等、ウェブ部分に面材を使用して接着組立された木質構造材料である。また断面効率の良い形状となっているため、同程度の曲げ性能を持つ製材品に比べ軽量で施工性に優れている。長尺の垂木、根太に適しており、梁せいの大きな床根太を利用する枠組壁工法住宅での利用例が多い。

I形ジョイストの適用範囲

主として小梁、根太に用いる。枠組壁工法の端根太や側根太として用いることもできる。

LVLをフランジとしたI形ジョイスト

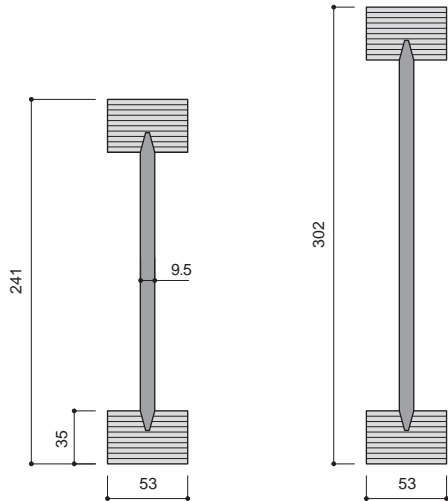
ここではフランジ部分に構造用LVL、ウェブ部分にOSBなどを使用して接着組立されたものについて扱う。フランジ部分に構造用LVLを用いることにより、長尺材で使用した際の寸法安定性に特に優れるという利点がある。

I形ジョイストの寸法

寸法は各メーカーによる。

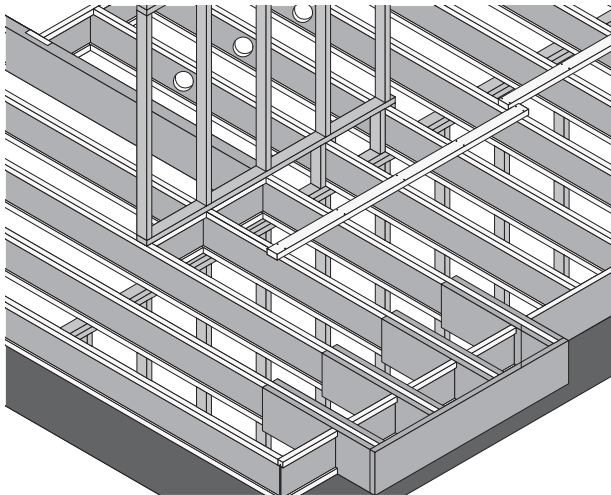
枠組壁工法の長尺の根太に多用されることから、寸法はインチ、長さに関してはフィートが基準サイズとなっていることが多い。

LVLによるI形ジョイストの断面例

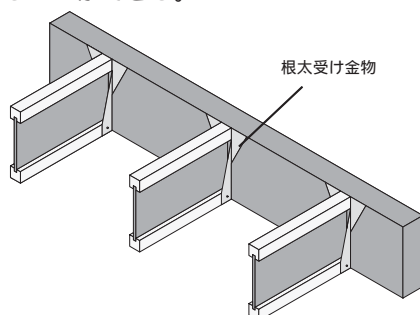


I形ジョイストの基本的な納まり

枠組壁工法では下図のように床組の各所に用いることができる。ただし、集中荷重を受ける位置や、軸方向に荷重を受けるような場合には補強を要する箇所も発生することに注意しなくてはならない。



軸組工法においても下図のような納まりで居室の床組等に用いることができる。

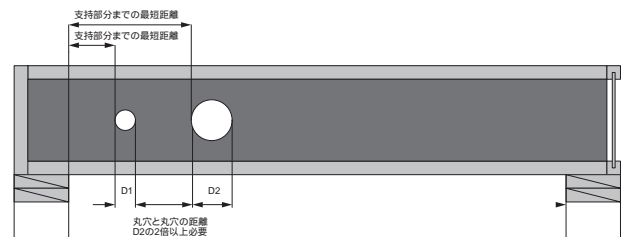


I形ジョイストのウェブに対する穴あけ

I形ジョイストのウェブに対しては、配管などのための穴あけが比較的大きいものについても性能の低減を考慮することなく許容されている。ただし、穴あけ位置については各メーカーの指定仕様があるため注意を要する。

I形ジョイストの穴あけに関する制限の例

- 一個以上の穴をウェブに開ける場合は、隣接する最大穴径の2倍以上長さ
- 等分布荷重のみを受ける単純スパン(1,500mm以上)の場合、1個の最大寸法の丸穴を根太スパンの中心に開けることが可能。但し、ジョイストに他の穴を開けないことが前提
- 縦方向には、ウェブのどこにでも穴を開けることができる。但し、穴の上下に5mm以上のウェブの幅を必ず残す。



I形ジョイストの構造・施工上の留意点

床根太等にI形ジョイストを使用する際、梁せいの高いI形ジョイストでロングスパンを構成することなども多く、このような場合は床合板を釘打ち施工するまで、転びやすいため、施工計画に配慮が必要である。また、組立材であるため中実断面材とは異なる切削加工に関する注意点がある。以下に、I形ジョイスト製品の施工等に関する注意事項を引用抜粋する。

- キーラムジョイストの端部支持で使用する全てのころび止め、金物、端根太などを完全にに取り付け、適正に釘打ちを行ってください。
- 根太の端部では補強された壁あるいは合板デッキのような横方向の力に対する耐力が必要です。これは仮設、常設デッキのいずれも同様になります。
- 104材による仮止めの補強、壁、合板はそれぞれ決められた間隔に釘打ちします。補強材がない状態で荷重が加わった場合、座屈や回転が起きる可能性が高く不安定ですので、この状態での作業は禁止してください。
- 合板デッキはキーラムジョイストに荷重がかかる前に、完全にに取り付けてください。
- 片持ち梁端は上部、下部両方のフランジに製材品による補強が必要です。
- 上部フランジは、 $\pm 12\text{mm}$ 以内の範囲で直線を保っていなければ

使用条件・荷重条件

使用する材料：241-53

用途：住宅

梁の支点間スパン： $l = 4.5$ m

床根太ピッチ： $p = 333$ mm

床根太端部の支持幅：50 mm (> 45mm)

単位面積当たり設計荷重

仕上げ荷重：0.3 kN/m²

長期応力計算用積載荷重：1.8 kN/m²

* 軸組でなく、床の積載荷重を用いる

長期たわみ計算用積載荷重：0.6 kN/m²

分布荷重（負担幅 p あたり）

自重：0.0324 kN/m

長期応力計算用： ${}_L W = (0.3+1.8) \cdot p + 0.0324$
 $= 0.732 \quad 0.74$ kN/m (N/mm)

長期たわみ計算用： ${}_L W = (0.3+0.6) \cdot p + 0.0324$
 $= 0.332 \quad 0.34$ kN/m (N/mm)

通常の使用環境（使用環境）

含水率影響係数： $K_m = 1$

I形ジョイストの許容耐力など

長期許容曲げ耐力： ${}_L M_a = 4.10$ kN・m

長期許容せん断耐力： ${}_L Q_a = 5.61$ kN

長期許容反力支持耐力： ${}_L R_a = 3.85$ kN（端部）

曲げ剛性： $EI = 570 \times 10^9$ N・mm²

ウェブのせん断弾性係数： $G = 1400$ N/mm²

ウェブの断面積： $A_w = 9.5 \times (241 - 35 \times 2) = 1624$ mm²

長期応力の検討

-1. 曲げの検討

$${}_L M_d = {}_L W \cdot l^2 / 8$$
$$= 0.74 \times 4.5^2 / 8 = 1.87 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{検定比： } {}_L M_d / {}_L M_a = 1.87 / 4.10$$
$$= 0.47 \quad 1.0 \quad \text{OK}$$

-2. せん断、端部反力の検討

等分布荷重を受ける単純梁で最も厳しいせん断力は端部で発生するので許容耐力の小さい端部反力の検討のみ行う。

$${}_L R_d = {}_L W \cdot l / 2$$
$$= 0.74 \times 4.5 / 2 = 1.67 \text{ kN}$$

$$\text{検定比： } {}_L M / {}_L M_a = 1.67 / 3.85$$
$$= 0.43 \quad 1.0 \quad \text{OK}$$

長期荷重に対するたわみの検討

初期たわみ：

$${}_L \delta_0 = \frac{5 {}_L W L^4}{384 EI} + \frac{{}_L W L^2}{74706 h}$$
$$= \frac{5 \cdot 0.34 \cdot 4500^4}{384 \cdot 570 \cdot 10^9} + \frac{0.34 \cdot 4500^2}{74706 \cdot 241}$$
$$= 3.6 \text{ mm}$$

長期たわみ（変形増大係数を2として）：

$${}_L \delta = 2 \cdot {}_L \delta_0 = 7.2 \text{ mm} \quad 20 \text{ mm OK}$$

スパン比：

$${}_L \delta / l = 7.2 / 4500$$
$$= 1/1250 \quad 1/300 \quad \text{OK}$$

I形ジョイストのたわみ計算の場合、式の2項目のようにせん断変形を考慮することが必須となる。上記の式はKeylam Joist (Keytec) に対応した簡易式。

上記の式は以下の計算を簡略化したもの。ウェブのみがせん断応力を負担するものとして計算すれば安全側である。

$${}_L \delta_0 = \frac{5 {}_L W L^4}{384 EI} + \frac{{}_L W L^2}{8 G A_w} = \dots$$

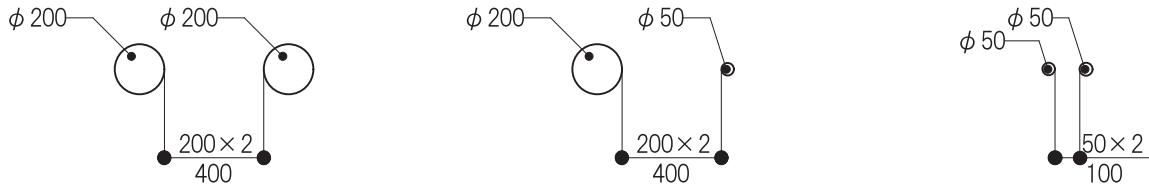
ここで示したものはあくまで計算例であり、I形ジョイストの許容耐力・仕様上の制限については各製品に規定される条件を使うこと。

I形ジョイスト床根太穴あけ基準

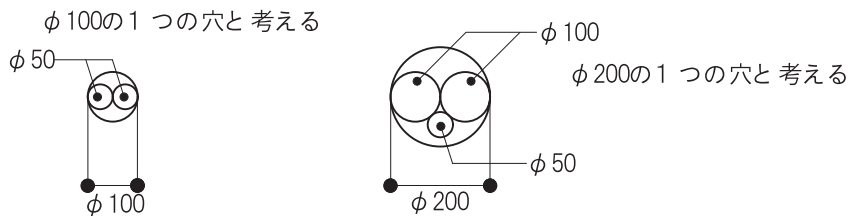
1. I形ジョイスト床根太のフランジの欠き込みは禁止する。

2. 穴あけ基準は以下の通りである。

- ・設備配管・電気配線用の穴あけは 50mm以下を基準とする。
- ・連続する穴の間隔は大きい穴の径の2倍以上離す。



- ・小さい穴が連続する場合下図のように、包括穴とみなして考えることが可能。



- ・間仕切り壁の集中荷重(800N以下)は1箇所までとし、穴中心までの距離は500mm以上離す。
- ・間仕切り壁以外の壁(耐力壁、支持壁、外壁)の荷重を支持している根太は穴あけ禁止
- ・持ち出しバルコニーやオーバースパン等の片持部分の穴あけ禁止。

- ・この穴あけ基準は協会共通仕様であり、全生産会社の基準を網羅したものではない。

支持部から穴までの最短距離(mm)：梁せい302mmの場合

スパン(mm)	丸穴の直径							
	50	75	100	125	150	180	200	220
4550	380	570	760	950	1130	1360	1510	1660
3640	310	460	610	760	910	1090	1210	1330
2730	230	340	460	570	680	820	910	1000
1820	160	230	310	380	460	550	610	670

支持部から穴までの最短距離(mm)：梁せい241mmの場合

スパン(mm)	丸穴の直径							
	50	75	100	125	150			
4550	480	710	950	1180	1420			
3640	380	570	760	950	1140			
2730	290	430	570	710	850			
1820	190	290	380	480	570			

I形ジョイストを床根太とした水平構面の許容せん断耐力

建設省告示 1654 号では軸組構法における許容応力度計算に使用する水平構面床の床倍率 QE を定めている。I形ジョイストを根太とした水平構面では定められた数値を運用することもできる。(例えば、1.4 倍 (12mm 構造用合板、根太 455mm、N50@150mm)) I形ジョイストを根太とした水平構面での床倍率を実験により明確にし、性能表示制度および許容応力度計算での計算の指針とした。

梁せい	面材厚	決定耐力	許容せん断耐力 (kN/m)	床倍率	備考
241	15	Py	3.5	1.7	
241	15	Py	4.8	2.4	OSB 2 級
241	24	Py	4.1	2.0	OSB 2 級、サネあり
241	24	Py	3.8	1.9	
241	24	Py	5.3	2.6	釘ピッチ@ 75
241	24	Py	6.5	3.3	和室:床下げ、釘ピッチ@ 75
241	24	Py*(0.2/Ds)	5.4	2.7	和室:床下げ
241	15	Py	5.4	2.7	ビス 49mm
241	24	Py	7.1	3.6	ビス 60mm
302	15	Py	4.1	2.0	
302	15	Py	4.9	2.5	釘ピッチ@ 100
302	24	Py	4.3	2.1	
302	24	Py	4.8	2.4	釘ピッチ@ 100
302	15	Py	2.9	1.4	I形ジョイスト間隔@ 910mm

許容せん断耐力および床倍率は低減係数を掛けていない数値とした。特記が無い仕様

釘：N 50
ピッチ@ 150mm
面材：構造用針葉樹合板特類 2 級
I形ジョイストの間隔@ 455mm
釘・ビスの打ち方：川の字固定

共通仕様

材料	詳細	製造元・販売元
I形ジョイスト	キーラムジョイスト	株式会社キータック
	T J I	ウェアハウザー・ジャパン株式会社
受け金物	I-JOIST 受け金物	山菱工業株式会社
	I ジョイストハンガー	Simpson Strong-Tie 株式会社タナカ
面材	針葉樹合板特類 2 級	
	OSB2 級	
梁・桁	集成材 E105-F300	
ビス	PF49	東日本パワーファスニング
	PF60	

試験体は図 1、図 2 の通りである。試験方法は「木材軸組工法住宅の許容応力度設計 (2008 年度)」に基づく正負交番加力、タイロッド式の面内せん断試験とした。

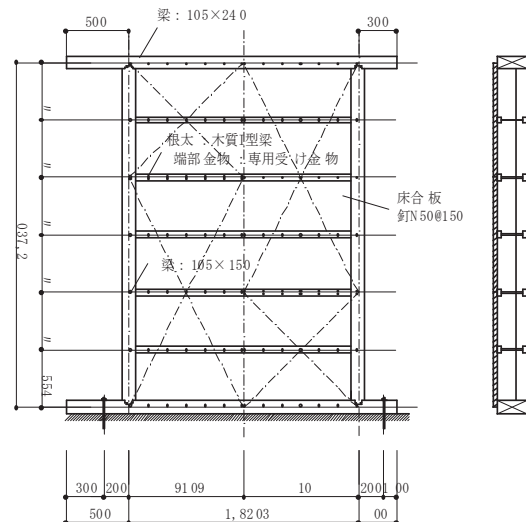


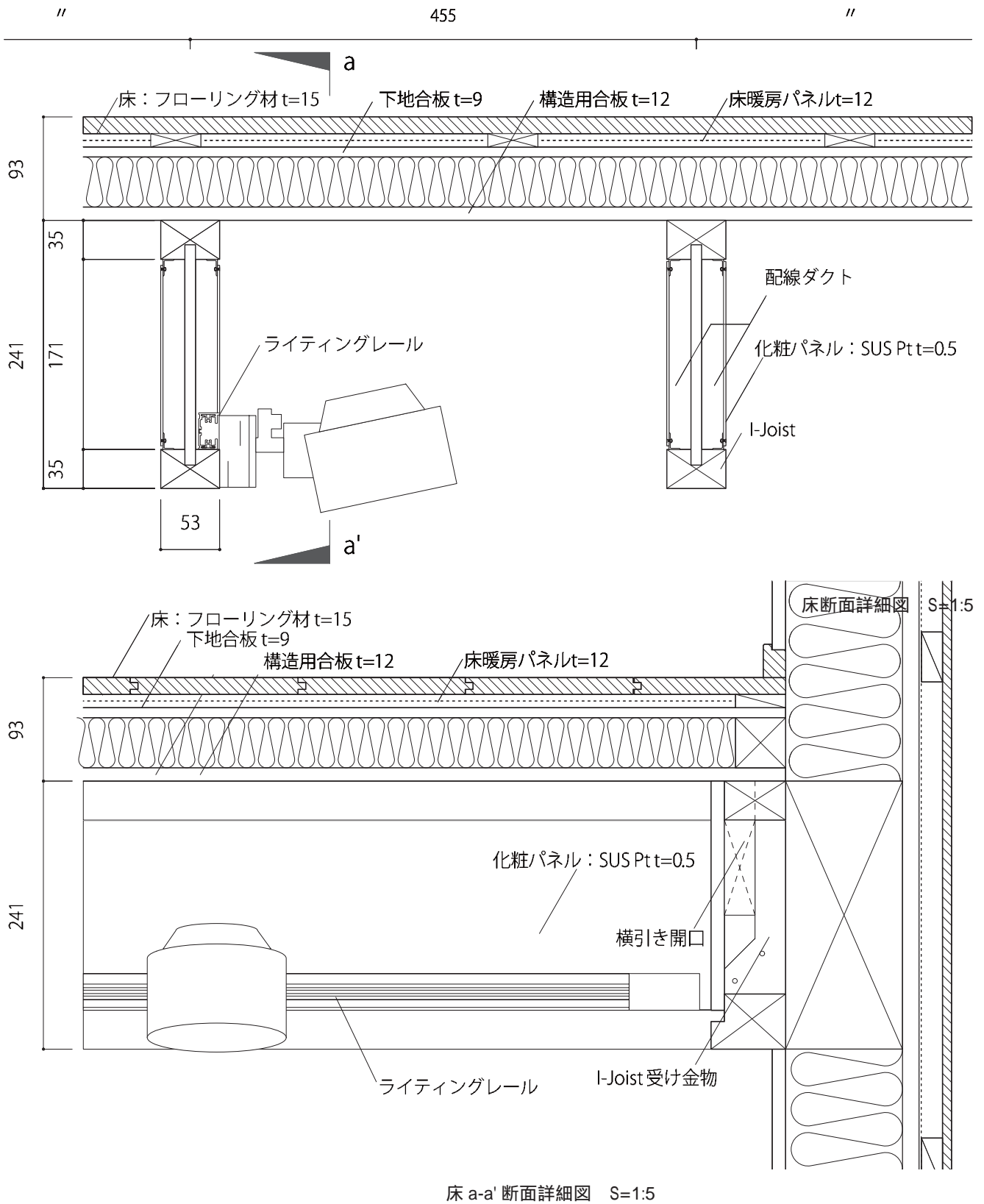
図 1 試験体



図 2 破壊性状

変形が進むに従い LVL のフランジから釘が引き抜け、最終的には図 2 のようにパンチングアウトした。荷重-変位曲線から完全弾塑性モデルにより特性値を算出し、短期基準せん断耐力を算出し、結果を示した。決定耐力はほとんどの仕様で降伏耐力 P_y となり、ばらつきは小さい。

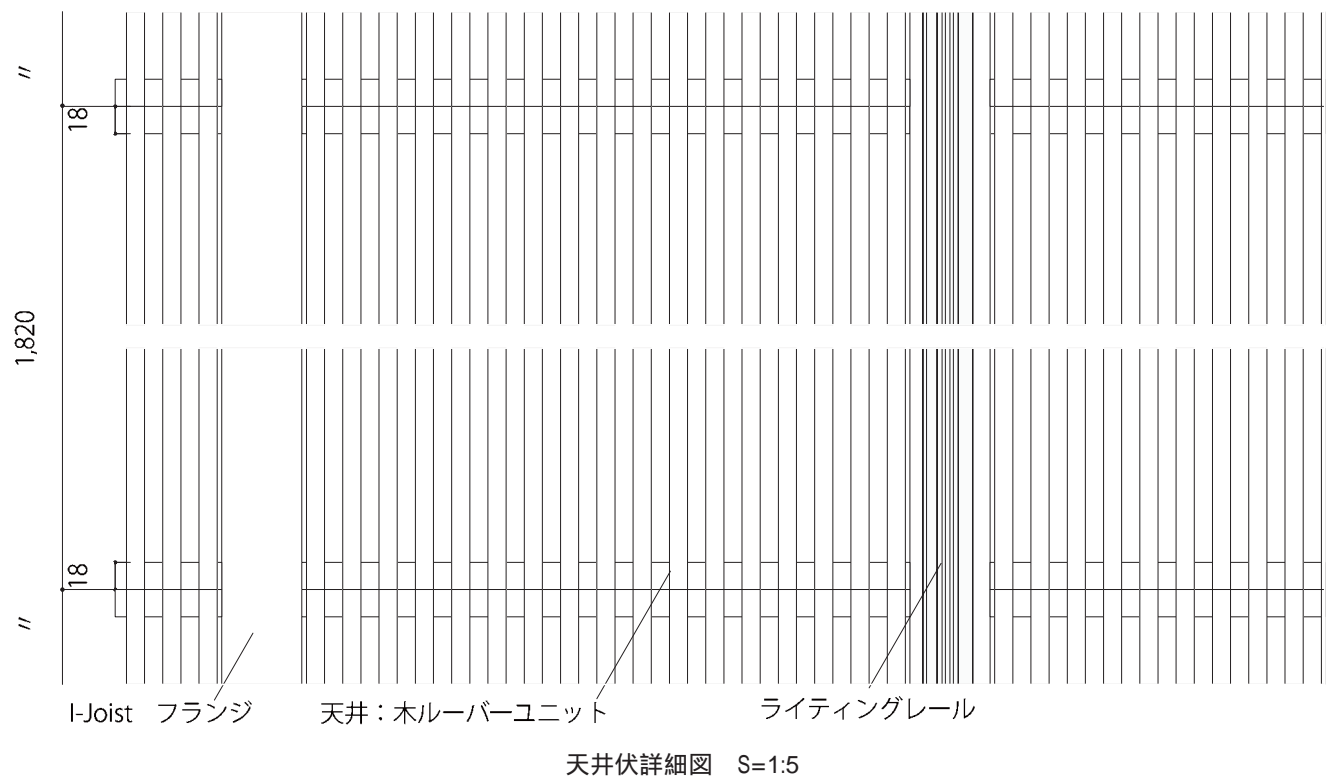
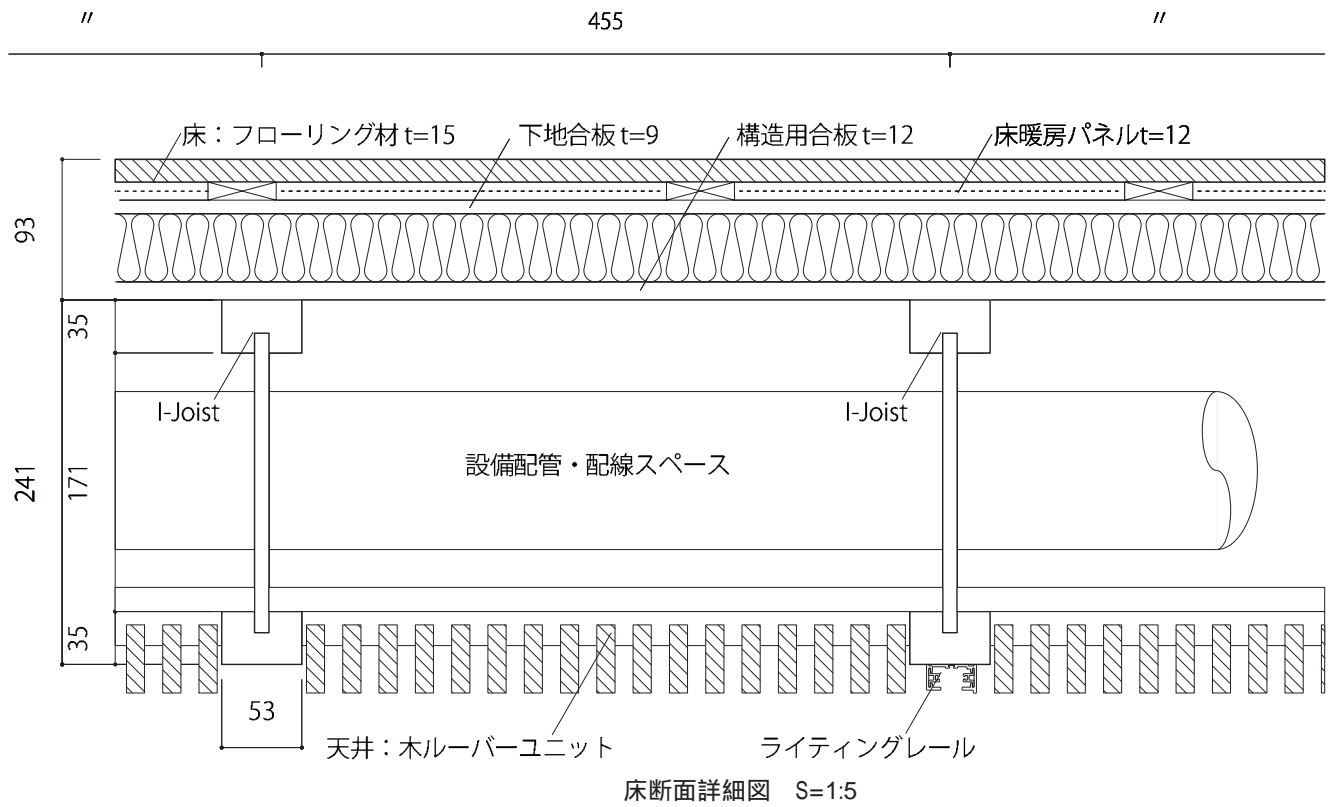
I形ジョイストを設備配線スペースとして活用したアイデアディテール



床 a-a' 断面詳細図 S=1:5

I-Joistのウェブ部分を配線スペースとして活かした納まりのディテール例。天井の仕上げ材を省き、I-Joistを表しで用いることで、階高を抑えながらも空間を広く使う事ができる。また配線スペースを兼ねることで、整った住空間を作り出す。

I形ジョイストを設備配線スペースとして活用したアイデアディテール(2)



取り外し式ホルバーユニットをI-Joistによるフランジで構成される天井に取り付けて、設備スペースとしたディテール。ホルバーユニットは一人で取り外し可能なサイズで構成し、設備の更新性、メンテナンス性を向上させながら意匠性に配慮した納まり例。(河野泰治アトリエ)

2.3

ストレススキンパネル (SSP)



フランジを長尺 LVL としたストレススキンパネル (安中市立九十九小学校 / アルコム + 稲山設計事務所)

SSP とは

ストレススキンパネル (SSP) は、梁部材で枠組みしたウェブの上下面に、面材を留めつけて一体化することで面外曲げモーメントに対する効率化を図った組立梁である。小梁の出ないフラットスラブ空間を作るのに適した木造ボイドスラブ構造であるため、主に非住宅建築などの比較的スパンの大きな床スラブを、天井高を確保しながら構成する場合などに有効である。

組立方法

SSPの施工方法は、工場でウェブにフランジ面材を接着併用ビス留めすることであらかじめユニットを作成しておき、現場でそれらを配置しながら施工する方法と、現場にてウェブにフランジ面材を接着ビス止めしながら施工する方法との二通りの方法が考えられるが、前者の場合は、工場でユニットを組み立てる際に高い寸法精度が要求されることに留意する必要がある。また、フランジの面材を床水平構面を兼ねて利用する場合、工場作成したユニットを現場で組み立てる場合には、ユニット間にせん断力の伝達させるための機構について工夫が必要である。

設計上の留意点

写真は SSP を採用した小学校の事例である。105 × 360 の集成材を用いて構成した格子梁ウェブの上下に LVL をフランジ面材として接着ビス止めしている。フランジの面材は引張力を効率よく伝達するために、スパン全長に渡って単一材、あるいは接着等によって単一材と見なせるような部材とする必要があるため、このような観点から長尺の構造用 LVL は適した材料といえる。ここでは梁受け金物を用いて現場にて格子梁を組み立てた後、上下から LVL を接着併用ビス止めとしている。下面の LVL の施工では LVL 面材を持ち上げるために写真のような空気圧ジャッキが用いられた。

品質管理上の留意点

SSP は構造性能を確保する上で接着に対する品質管理が重要である。接着接合は一般に衝撃力に対して脆い性状を示すため、運搬や施工中に過度の衝撃荷重がかからないよう十分に注意する必要がある。

構造用接着材として市販されているものにはさまざまなものがあるが、使用する接着材の使用条件、硬化条件、養生期間等に留意する必要がある。特に現場にて接着を行う場合には、天候条件や作業環境、防水養生を事前に十分に検討し、接着の塗布量やビスピッチを監視することで所定の接着性能が得られるよう、無理のない施工計画を立てることが必要である。現場施工に関しては湿気硬化形の 1 液形ポリウレタン接着剤（カートリッジ形式のもの）が最適であろう。



ピッチが一定となるよう、合板で作成した定規を用いて上面のフランジ LVL 面材をビス留め



下面フランジは所定の位置に接着



ウェブを貫通する空調用ダクト

曲げを受ける SSP の計算例

使用条件・荷重条件

用途：事務室

梁のスパン： $l = 6.5 \text{ m}$

フランジの有効幅： $B_e = 1200 / 3 = 400 \text{ mm}$

単位面積当たり設計荷重

$$\text{自重} : (2 \cdot A_f + A_w) / B_e \times 8 \times 10^{-9} = 0.94 \text{ kN/m}^2$$

* 単位体積重量を 8 kN/m^3 として計算

$$\text{仕上げ荷重} : W_{G_finish} = 1.2 \text{ kN/m}^2$$

* コンクリート厚 30 mm 程度による床仕上げを想定

$$\text{長期応力計算用積載荷重} : L P = 1.8 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{長期たわみ計算用積載荷重} : L_d P = 0.8 \text{ kN/m}^2$$

分布荷重（有効幅 B_e あたり）

$$\begin{aligned} \text{長期応力計算用} : L W &= (0.94 + 1.2 + 1.8) \cdot B_e \\ &= 1.576 \quad 1.58 \text{ kN/m (N/mm)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{長期応力計算用} : L_d W &= (0.94 + 1.2 + 0.8) \cdot B_e \\ &= 1.176 \quad 1.18 \text{ kN/m (N/mm)} \end{aligned}$$

通常の使用環境（使用環境）

すべての部材について含水率影響係数： $K_m = 1$

ストレートスキンパネル（SSP）の構成

ウェブ

構造用LVL：60E - 1級

断面： $50 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$

ウェブ基本ピッチ： $p = 600 \text{ mm}$

$$F_b = 16.8 \text{ N/mm}^2 \quad E = 6.0 \text{ kN/mm}^2$$

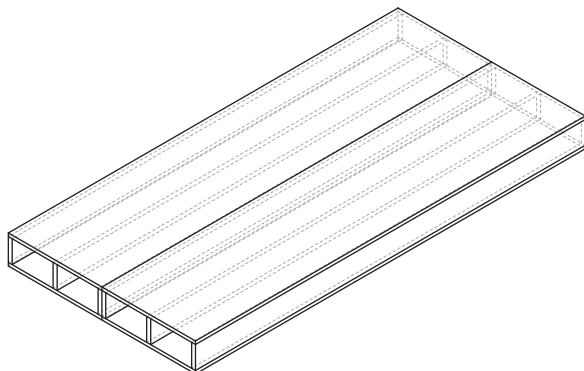
$$A_w = 15000 \text{ mm}^2$$

$$EA_w = 90.0 \times 10^3 \text{ kN} \quad EI_w = 675.0 \times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{mm}^2$$

$$Z_w = 50 \cdot 300^2 / 6 = 750 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

寸法効果係数： $K_z = (300/300)^{0.136} = 1$

$$\text{長期曲げ許容応力度} : L f_{b_w} = F_b \cdot (1.1/3) \cdot K_z \cdot K_m = 6.16$$



上下フランジ（ウェブ有効幅あたり）

構造用LVL：90E - 1級

断面： $1200 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$

$$F_t = 15.0 \text{ N/mm}^2 \quad F_b = 25.2 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 9.0 \text{ kN/mm}^2$$

$$A_f = B_e \times 40 = 16000 \text{ mm}^2$$

$$EA_f = 144.0 \times 10^3 \text{ kN} \quad EI_f = 19.20 \times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{mm}^2$$

$$Z_f = 400 \cdot 40^2 / 6 = 106.6 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

寸法効果係数： $K_z = 1$ ($t_1 = 300$)

$$\text{長期曲げ許容応力度} : L f_{b_f} = F_b \cdot (1.1/3) \cdot K_z \cdot K_m = 9.24$$

$$\text{長期引張許容応力度} : L f_{t_f} = F_t \cdot (1.1/3) \cdot K_z \cdot K_m = 5.5$$

フランジ ウェブ間の接合

接着剤：湿気硬化形ポリウレタン系（UR-70）

接合具：構造用ビス 6 - L=90（パネリード⁺）

接合ピッチ： $s = 75 \text{ mm}$

ビスせん断接合部の剛性・耐力

$$\text{せん断剛性} : k = 4.45 \text{ kN/mm}$$

$$\text{基準許容せん断耐力} : P_0 = 0.69 \text{ kN}$$

$$\text{長期許容せん断耐力} : L P_a = P_0 \cdot K_d \cdot K_m$$

$$= 0.69 \times 1.1 \times 1.0 = 0.759 \text{ kN}$$

応力の検討

応力の検討にあたってはウェブ・フランジを一体断面として扱わない。そのうえで、各構成材間のせん断接合の剛性・耐力を考慮に入れる場合と、考慮に入れずに独立した部材として扱う場合との2つの考え方がある。

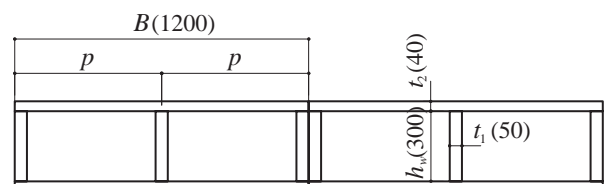
-1. ビスせん断接合の性能を考慮しない場合

各構成部材の EI に基づく剛性配分によって部材の負担する曲げ応力を算定する。

ウェブ

$$EI_{sum} = EI_w + 2 \cdot EI_f = (675.0 + 2 \cdot 19.20) \times 10^6$$

$$= 713.4 \times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{mm}^2$$



$$\sigma_b = \frac{M}{Z_w} = \frac{l^2}{8Z_w} \frac{L w_d EI_w}{EI_{sum}}$$

$$= \frac{6500^2}{8 \times 750 \times 10^3} \frac{1.58 \times 675}{713.4} = 10.53 \text{ N/mm}^2$$

検定比: $\sigma_b / f_{b_w} = 10.53 / 6.16 = 1.71 > 1$ **NG**

上下フランジ

$$\sigma_b = \frac{M}{Z_f} = \frac{l^2}{8Z_f} \frac{L w_d EI_f}{EI_{sum}}$$

$$= \frac{6500^2}{8 \times 106.6 \times 10^3} \frac{1.58 \times 19.20}{713.4} = 2.11 \text{ N/mm}^2$$

検定比: $\sigma_b / f_{b_f} = 2.11 / 9.24 = 0.29 < 1$ **OK**

ウェブの曲げ応力がNGとなるためビスのせん断接合を考慮しない場合は当該仕様についてNGとなる。

-2. ビスによるせん断接合性能を考慮する場合
木質構造接合部設計マニュアル (日本建築学会、2009)
「4.1 せん断接合具を利用した組立梁」により、ストレートスキンパネルの各部応力を検討する。

上下フランジ間の芯 芯高さ: $H = 340$

組立梁のとしてのせん断剛性係数:

$$G = kH / 2s$$

$$= 4.45 \times 340 / (2 \times 50) = 15.13 \text{ kN/mm}$$

その他のパラメータ:

$$K = \frac{1}{1 + \frac{EA_f / EA_f}{H^2 EA_f} EI_{sum}} = \frac{H^2 EA_f}{H^2 EA_f + 2EI_{sum}}$$

$$= \frac{340^2 \times 144.0 \times 10^3}{340^2 \times 144.0 \times 10^3 + 2 \times 713.4 \times 10^6} = 0.921$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{GH}{K \cdot EI_{sum}}} = \sqrt{\frac{15.13 \times 340}{0.921 \times 713.4 \times 10^3}}$$

$$= 8.85 \times 10^{-2} \text{ mm}^{-1}$$

ビスの端部接合部に作用するせん断力

$${}_L P_d = K \left(\frac{L}{2} - \frac{\tanh \lambda L / 2}{\lambda} \right) \frac{s}{H} {}_L W$$

$$= 0.921 \left(\frac{6500}{2} - \frac{\tanh(6500 \times 8.85 \times 10^{-2} / 2)}{6.29 \times 10^{-2}} \right) \frac{50}{340} \times 1.58$$

$$= 692 \text{ N} \rightarrow 0.692 \text{ kN}$$

$P_d = 0.7$ ${}_L P_a = 0.759$ であるから、**OK**

フランジに作用する曲げ引張応力

$$\sigma_{b+f} = K \left[\frac{1}{HA_f} - \frac{Et_2}{EI_{sum}} \right] \frac{1 - \cosh \lambda L / 2}{\lambda^2 \cosh \lambda L / 2} + \frac{L^2}{8} \left[\frac{K}{HA_f} - \frac{(K-1)Et_2}{2EI_{sum}} \right] {}_L W$$

$$= 1.575 \text{ N/mm}^2$$

(計算経過省略)

検定比: $\sigma_{b+f} / f_{L_f} = 1.575 / 5.5 = 0.29 < 1$ **OK**

ここでは曲げ引張の複合応力について、安全側に許容応力度の小さい引張の値のみを用いて検定を行っている。

ウェブの曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{Eh_w \left\{ -\frac{K(1 - \cosh \lambda L / 2)}{\lambda^2 \cosh \lambda L / 2} + \frac{1-K}{8} L^2 \right\}}{2 \sum EI} {}_L W$$

$$= 0.804 \text{ N/mm}^2$$

(計算経過省略)

検定比: $\sigma_b / f_{b_w} = 0.804 / 6.14 = 0.13 < 1$ **OK**

ビスによるせん断接合性能を考慮に入れた場合には、計算は非常に煩雑になるものの、せん断接合を考慮に入れない場合よりも大きなスパンに対して性能を確保できる可能性がある。

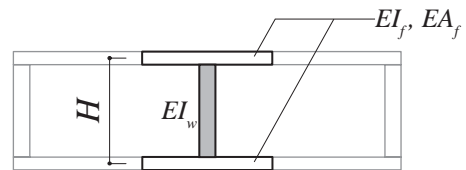
たわみの検討

一体断面としての曲げ剛性:

$$EI_{sum} = EI_w + 2EI_f + EA_f \times (H/2)^2$$

$$= (675.0 + 2 \times 19.20) \times 10^6 + 2 \times 144.0 \times 10^3 \times 170^2$$

$$= 9037 \times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{mm}^2$$



初期たわみ:

$${}_L \delta_0 = 5 \cdot {}_L d_w \cdot l^4 / (384 \cdot EI_{sum})$$

$$= 5 \times 1.18 \times 6500^4 / (384 \times 9037 \times 10^6 \times 10^3)$$

$$= 3.0 \text{ mm}$$

長期たわみ (たわみ増大係数を2として):

$${}_L \delta = 2 \cdot {}_L \delta_0 = 6.0 \text{ mm} \quad 20 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

スパン比:

$${}_L \delta / l = 6.0 / 6500$$

$$= 1/1083 \quad 1/300 \quad \text{OK}$$

SSP のスパン表

下表のパラメータの組み合わせによってかけ渡すことのできる最大スパンについてスパン表に示した。計算方法は前項の計算例と同様である。以下にスパン計算における要点をまとめる。

- 1. たわみの制限については「木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2008）」に従い、変形増大係数を2とした場合のたわみについてスパン比1/300、20mm以下として検討した。
- 2. ビス接合の接合性能については、LVL材の1面せん断試験によって得られた下表の参考データの値を使っている。ビス接合については全ての場合について@50で留めつけた場合を計算に用いた。
- 3. フランジのせん断遅れを考慮した有効幅については考慮していない。
- 4. 長スパン時の振動障害等については考慮していない。

スパン表の読み方

H	h_w	現場施工型				
		455 ($B_e = p$)	500 ($B_e = p$)	600 ($B_e = p$)	910 ($B_e = p$)	455 ($B_e = p$)
220 180(T-Shape)	140	7.6 3.4 (5.2)	7.6 3.3 (4.7)	7.6 3.1 (4.0)	7.6 2.8 (2.7)	4.1 3.2 (4.0)
230 190(T-Shape)	150	7.8 3.5 (5.4)	7.8 3.4 (5.0)	7.9 3.2 (4.2)	7.9 2.9 (2.8)	4.3 3.4 (4.2)

Box: SSPの形式(図参考)
 ウェブのピッチ(フランジ有効幅)
 上段: 接着を考慮した剛性によるたわみで決定される最大スパン
 中段: 接着・ビス等によるせん断接合を無視した応力で決定される最大スパン
 下段: ビスによるせん断接合(@50)を考慮して決定される最大スパン

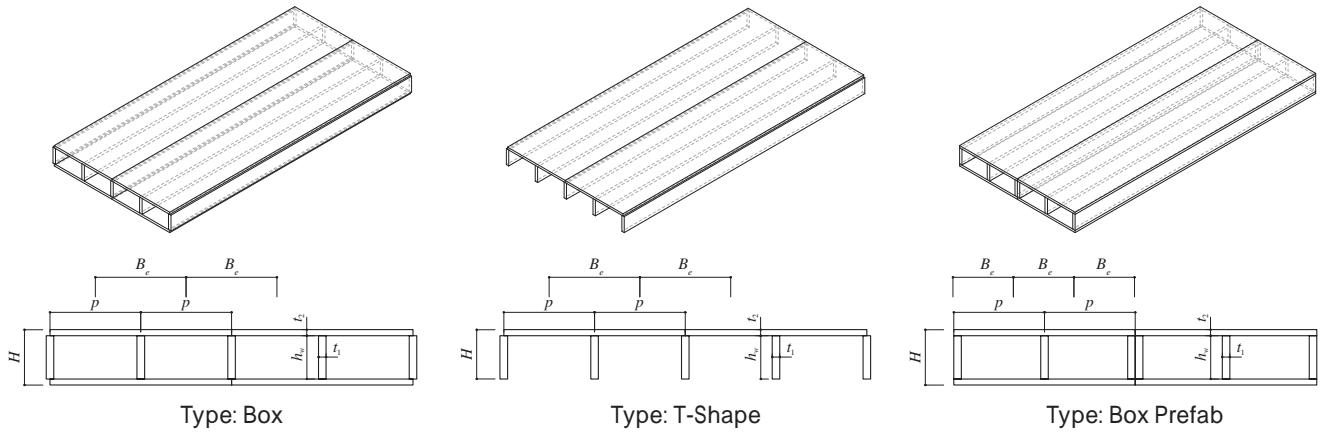
SSP スパン表のパラメータ

Function Type	住宅 ($l_e P = 1.3 \text{ kN/m}^2$, $l_{ed} P = 0.6 \text{ kN/m}^2$, $W_{G_finish} = 0.4 \text{ kN/m}^2$)	事務所 ($l_e P = 1.8 \text{ kN/m}^2$, $l_{ed} P = 0.8 \text{ kN/m}^2$, $W_{G_finish} = 1.2 \text{ kN/m}^2$)	教室 ($l_e P = 2.1 \text{ kN/m}^2$, $l_{ed} P = 1.1 \text{ kN/m}^2$, $W_{G_finish} = 1.2 \text{ kN/m}^2$)										
Type	Box	T-shape	BoxPrefab										
E_1 [kN/mm ²]	E90-1級 (ラジアータバイン)	E90-1級 (カラマツ)	E60-1級 (スギ)										
E_2 [kN/mm ²]	E90-1級 (ラジアータバイン)	E90-1級 (カラマツ)											
t_1 [mm]	50												
t_2 [mm]	40												
h_w [mm]	140	150	184	200	235	250	286	300	350	400	450	500	

LVL フランジ ウェブ間ビス接合の参考データ (1面せん断試験、試験体数: N=6)

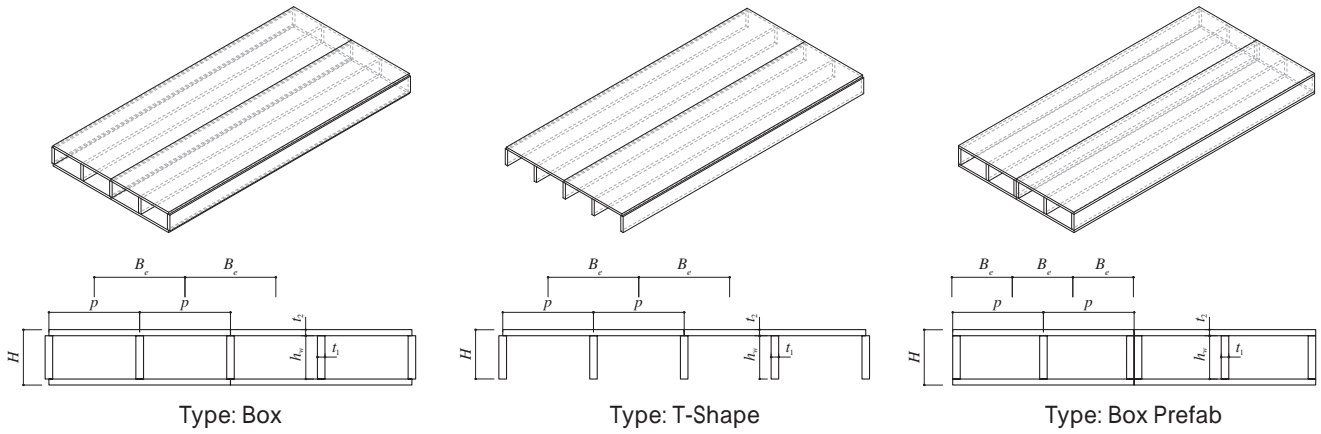
ビス種類	LVL 材種		評価要素	短期基準耐力	基準許容せん断耐力 P_0 [kN]	初期剛性 k [kN/mm]
	shokigousei	ウェブ				
P6 x 90 +	スギ E60	スギ E60	Py	1.42	0.71	3.36
			2/3Pmax	1.81		
P6 x 90 +	カラマツ E90	カラマツ E90	Py	1.78	0.79	5.95
			2/3Pmax	2.30		
P6 x 90 +	カラマツ E90	スギ E60	Py	1.38	0.69	4.45
			2/3Pmax	1.72		
P6 x 90 +	スブルース E90	スブルース E90	Py	1.84	0.92	4.32
			2/3Pmax	2.36		
P6 x 90 +	ラジアータバイン E90	ラジアータバイン E90	Py	2.28	1.14	4.94
			2/3Pmax	3.21		

* 東日本パワーファスニング株式会社提供



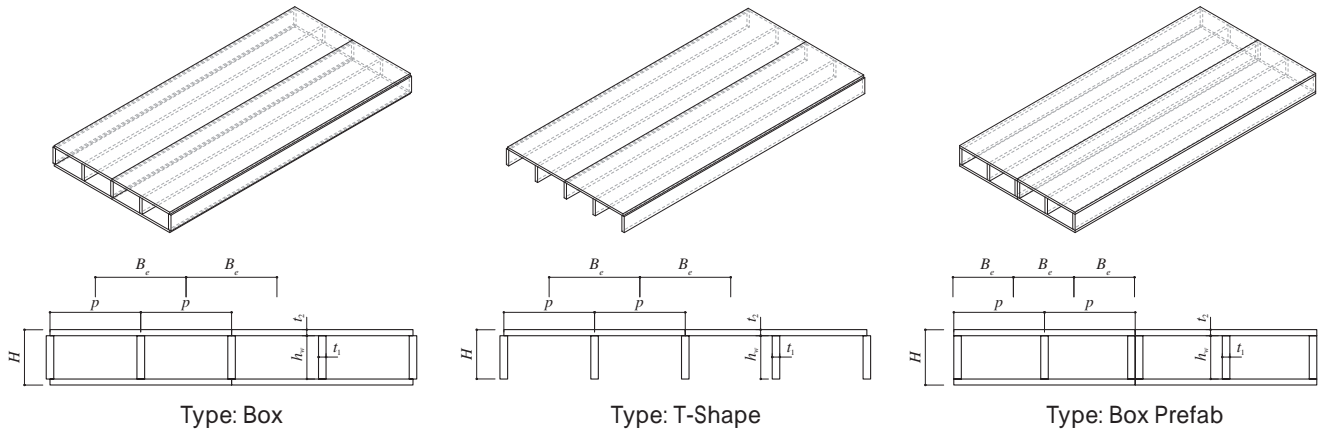
LVL スパン表 【住宅の場合： $L P = 1.3 \text{ kN/m}^2$, $L_d P = 0.6 \text{ kN/m}^2$, $W_{G_finish} = 0.4 \text{ kN/m}^2$ 】

E_1 : ウェブ材種		E60-1 級											
E_2 : フランジ材種		E90-1 級 (
t_1 : ウェブ厚さ [mm]		50											
t_2 : フランジ厚さ [mm]		40											
H	h_w	現場施工型								プレファブ型			
		Box				T-Shape				Box			
p : ウェブピッチ [mm]													
		455 ($B_c = p$)	500 ($B_c = p$)	600 ($B_c = p$)	910 ($B_c = p$)	455 ($B_c = p$)	500 ($B_c = p$)	600 ($B_c = p$)	910 ($B_c = p$)	455 (910 Box) ($B_c = 303$)	500 (1000 Box) ($B_c = 333$)	600 (1200 Box) ($B_c = 400$)	910 (910 Box) ($B_c = 455$)
220 180(T-Shape)	140	7.6 3.4 (5.2)	7.6 3.3 (4.7)	7.6 3.1 (4.0)	7.6 2.8 (2.7)	4.1 3.2 (4.0)	4.0 3.1 (3.7)	3.8 3.0 (3.2)	3.4 2.6 (2.5)	7.5 3.8 (7.6)	7.5 3.7 (6.9)	7.5 3.5 (5.8)	7.6 3.4 (5.1)
230 190(T-Shape)	150	7.8 3.5 (5.4)	7.8 3.4 (5.0)	7.9 3.2 (4.2)	7.9 2.9 (2.8)	4.3 3.4 (4.2)	4.2 3.3 (3.9)	4.0 3.1 (3.4)	3.6 2.7 (2.6)	7.8 4.0 (8.0)	7.8 3.8 (7.3)	7.8 3.6 (6.1)	7.8 3.5 (5.4)
264 224(T-Shape)	184	8.7 3.9 (6.4)	8.7 3.8 (5.8)	8.8 3.5 (4.9)	8.8 3.1 (3.3)	5.0 3.9 (5.0)	4.9 3.8 (4.6)	4.7 3.5 (4.0)	4.3 3.0 (2.9)	8.6 4.5 (9.3)	8.7 4.4 (8.5)	8.7 4.1 (7.2)	8.7 3.9 (6.3)
280 240(T-Shape)	200	9.1 4.1 (6.8)	9.1 4.0 (6.2)	9.2 3.7 (5.2)	9.2 3.2 (3.5)	5.4 4.2 (5.4)	5.3 4.1 (4.9)	5.1 3.8 (4.2)	4.5 3.2 (3.1)	9.0 4.8 (10.0)	9.0 4.7 (9.1)	9.1 4.3 (7.7)	9.1 4.1 (6.8)
315 275(T-Shape)	235	9.9 4.7 (7.8)	10.0 4.5 (7.1)	10.0 4.2 (5.9)	10.1 3.5 (4.0)	6.1 4.8 (6.3)	6.0 4.6 (5.7)	5.8 4.3 (4.9)	5.2 3.6 (3.5)	9.8 5.5 (11.4)	9.9 5.3 (10.4)	9.9 4.9 (8.7)	9.9 4.7 (7.7)
330 290(T-Shape)	250	10.3 4.9 (8.2)	10.3 4.7 (7.4)	10.4 4.4 (6.2)	10.4 3.7 (4.2)	6.4 5.1 (6.7)	6.3 4.9 (6.1)	6.1 4.5 (5.1)	5.5 3.8 (3.7)	10.2 5.8 (11.9)	10.2 5.6 (10.9)	10.3 5.2 (9.2)	10.3 4.9 (8.1)
366 326(T-Shape)	286	11.1 5.5 (9.1)	11.1 5.3 (8.3)	11.2 4.9 (7.0)	11.2 4.1 (4.7)	7.2 5.8 (7.7)	7.0 5.5 (6.9)	6.8 5.1 (5.8)	6.1 4.2 (4.1)	11.0 6.5 (13.4)	11.0 6.2 (12.2)	11.1 5.8 (10.3)	11.1 5.5 (9.1)
380 340(T-Shape)	300	11.4 5.7 (9.5)	11.4 5.5 (8.7)	11.5 5.1 (7.3)	11.6 4.3 (4.9)	7.5 6.0 (8.1)	7.3 5.8 (7.3)	7.0 5.3 (6.1)	6.4 4.4 (4.3)	11.3 6.8 (13.9)	11.3 6.5 (12.7)	11.4 6.0 (10.7)	11.4 5.7 (9.4)
430 390(T-Shape)	350	12.3 6.5 (10.9)	12.4 6.2 (9.9)	12.4 5.7 (8.3)	12.5 4.8 (5.6)	8.4 6.8 (9.6)	8.3 6.6 (8.7)	8.0 6.1 (7.1)	7.3 5.0 (4.9)	12.2 7.7 (15.9)	12.2 7.4 (14.5)	12.3 6.8 (12.2)	12.3 6.5 (10.8)
480 440(T-Shape)	400	13.1 7.2 (12.2)	13.1 6.9 (11.1)	13.1 6.4 (9.4)	13.2 5.3 (6.2)	9.4 7.7 (11.4)	9.2 7.4 (10.1)	8.9 6.8 (8.2)	8.2 5.6 (5.5)	12.9 8.6 (17.8)	13.0 8.2 (16.3)	13.0 7.6 (13.7)	13.1 7.2 (12.1)
530 490(T-Shape)	450	13.8 8.0 (13.6)	13.8 7.7 (12.4)	13.8 7.1 (10.4)	13.9 5.9 (6.9)	10.3 8.5 (13.3)	10.1 8.1 (11.8)	9.8 7.5 (9.5)	9.0 6.3 (6.2)	13.6 9.4 (20~)	13.7 9.1 (18.1)	13.7 8.4 (15.2)	13.8 8.0 (13.4)
580 540(T-Shape)	500	14.4 8.7 (14.9)	14.5 8.4 (13.6)	14.5 7.7 (11.4)	14.6 6.5 (7.6)	11.2 9.2 (15.5)	11.0 8.9 (13.6)	10.7 8.2 (10.7)	9.9 6.9 (6.9)	14.3 10.3 (20~)	14.3 9.9 (19.8)	14.4 9.2 (16.7)	14.4 8.7 (14.8)



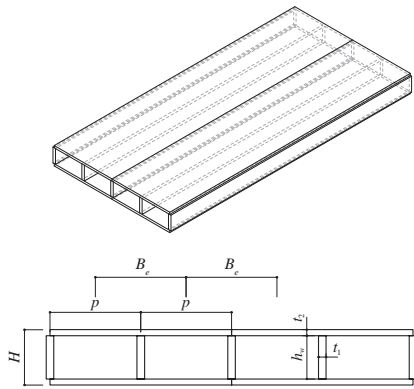
LVL スパン表 【事務所の場合： $L_P = 1.8 \text{ kN/m}^2$, $L_d P = 0.8 \text{ kN/m}^2$, $W_{G_finish} = 1.2 \text{ kN/m}^2$ 】

E_1 : ウェブ材種		E60-1級											
E_2 : フランジ材種		E90-1級 (
t_1 : ウェブ厚さ[mm]		50											
t_2 : フランジ厚さ[mm]		40											
H	h_w	現場施工型								プレファブ型			
		Box				T-Shape				Box			
		p : ウェブピッチ[mm]											
		455 ($B_e = p$)	500 ($B_e = p$)	600 ($B_e = p$)	910 ($B_e = p$)	455 ($B_e = p$)	500 ($B_e = p$)	600 ($B_e = p$)	910 ($B_e = p$)	455 (910 Box) ($B_e = 303$)	500 (1000 Box) ($B_e = 333$)	600 (1200 Box) ($B_e = 400$)	910 (910 Box) ($B_e = 455$)
220 180(T-Shape)	140	6.5 2.7 (3.4)	6.5 2.7 (3.1)	6.5 2.5 (2.6)	6.5 2.3 (2.0)	3.4 2.6 (2.8)	3.3 2.5 (2.6)	3.2 2.3 (2.3)	2.9 2.0 (2.0)	6.5 3.1 (5.0)	6.5 3.0 (4.6)	6.5 2.8 (3.8)	6.5 2.7 (3.4)
230 190(T-Shape)	150	6.7 2.8 (3.6)	6.7 2.7 (3.3)	6.8 2.6 (2.7)	6.8 2.3 (2.0)	3.6 2.7 (3.0)	3.5 2.6 (2.8)	3.4 2.4 (2.4)	3.0 2.1 (2.0)	6.7 3.2 (5.3)	6.7 3.1 (4.8)	6.7 2.9 (4.1)	6.7 2.8 (3.6)
264 224(T-Shape)	184	7.5 3.2 (4.2)	7.5 3.0 (3.8)	7.5 2.9 (3.2)	7.5 2.5 (2.1)	4.2 3.1 (3.5)	4.1 3.0 (3.2)	4.0 2.8 (2.8)	3.5 2.3 (2.2)	7.5 3.7 (6.2)	7.5 3.6 (5.7)	7.5 3.3 (4.8)	7.5 3.2 (4.2)
280 240(T-Shape)	200	7.9 3.3 (4.5)	7.9 3.2 (4.1)	7.9 3.0 (3.4)	7.9 2.6 (2.3)	4.5 3.3 (3.7)	4.4 3.2 (3.5)	4.2 3.0 (3.0)	3.8 2.5 (2.3)	7.8 3.9 (6.7)	7.8 3.8 (6.1)	7.9 3.5 (5.1)	7.9 3.3 (4.5)
315 275(T-Shape)	235	8.6 3.8 (5.1)	8.6 3.6 (4.7)	8.6 3.4 (3.9)	8.6 2.9 (2.6)	5.2 3.8 (4.3)	5.1 3.7 (4.0)	4.8 3.4 (3.4)	4.3 2.8 (2.6)	8.6 4.5 (7.6)	8.6 4.3 (7.0)	8.6 4.0 (5.8)	8.6 3.8 (5.1)
330 290(T-Shape)	250	8.9 4.0 (5.4)	8.9 3.8 (4.9)	8.9 3.5 (4.1)	9.0 3.0 (2.7)	5.4 4.1 (4.6)	5.3 3.9 (4.2)	5.1 3.6 (3.6)	4.6 3.0 (2.7)	8.9 4.7 (8.1)	8.9 4.6 (7.3)	8.9 4.2 (6.1)	8.9 4.0 (5.4)
366 326(T-Shape)	286	9.6 4.5 (6.1)	9.6 4.3 (5.5)	9.7 4.0 (4.6)	9.7 3.3 (3.1)	6.1 4.6 (5.3)	6.0 4.4 (4.8)	5.7 4.0 (4.1)	5.1 3.3 (3.0)	9.6 5.3 (9.1)	9.6 5.1 (8.3)	9.6 4.7 (6.9)	9.6 4.5 (6.1)
380 340(T-Shape)	300	9.9 4.7 (6.3)	9.9 4.5 (5.8)	9.9 4.1 (4.8)	9.9 3.4 (3.2)	6.3 4.8 (5.5)	6.2 4.6 (5.1)	5.9 4.2 (4.3)	5.4 3.5 (3.1)	9.9 5.6 (9.5)	9.9 5.3 (8.6)	9.9 4.9 (7.2)	9.9 4.7 (6.3)
430 390(T-Shape)	350	10.9 5.3 (7.3)	10.9 5.1 (6.6)	10.9 4.7 (5.5)	10.9 3.9 (3.7)	7.2 5.5 (6.6)	7.0 5.2 (6.0)	6.8 4.8 (5.0)	6.1 4.0 (3.6)	10.8 6.3 (10.9)	10.8 6.1 (9.9)	10.8 5.6 (8.2)	10.9 5.3 (7.3)
480 440(T-Shape)	400	11.8 5.9 (8.2)	11.8 5.7 (7.5)	11.8 5.2 (6.2)	11.8 4.3 (4.1)	8.0 6.1 (7.8)	7.9 5.9 (7.0)	7.6 5.4 (5.7)	6.9 4.5 (4.0)	11.7 7.1 (12.3)	11.7 6.8 (11.2)	11.7 6.3 (9.3)	11.8 5.9 (8.2)
530 490(T-Shape)	450	12.5 6.6 (9.1)	12.5 6.3 (8.3)	12.5 5.8 (6.9)	12.5 4.8 (4.6)	8.8 6.8 (9.1)	8.7 6.5 (8.1)	8.4 6.0 (6.5)	7.6 5.0 (4.4)	12.4 7.8 (13.7)	12.4 7.5 (12.5)	12.4 6.9 (10.4)	12.5 6.6 (9.1)
580 540(T-Shape)	500	13.1 7.2 (10.1)	13.1 6.9 (9.2)	13.1 6.3 (7.6)	13.1 5.2 (5.1)	9.6 7.5 (10.6)	9.5 7.2 (9.3)	9.1 6.6 (7.4)	8.3 5.4 (4.9)	13.0 8.6 (15.2)	13.0 8.2 (13.8)	13.1 7.6 (11.5)	13.1 7.2 (10.1)

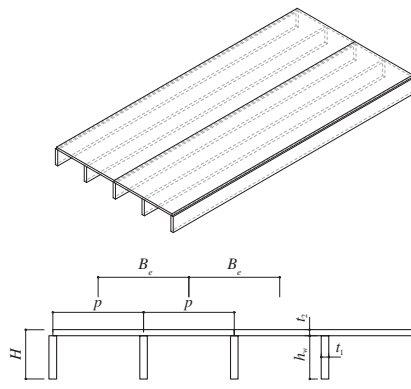


LVL スパン表 【事務所の場合： $L_c P = 1.8 \text{ kN/m}^2$, $L_d P = 0.8 \text{ kN/m}^2$, $W_{G_finish} = 1.2 \text{ kN/m}^2$ 】

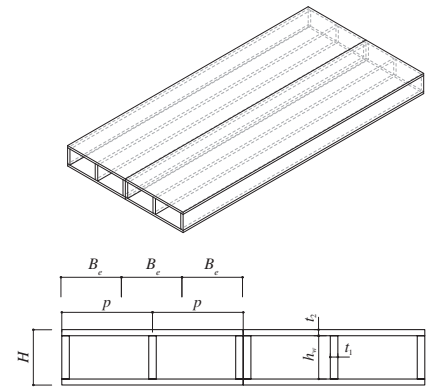
E_1 : ウェブ材種		E90-1 級)											
E_2 : フランジ材種		E90-1 級)											
t_1 : ウェブ厚さ [mm]		50											
t_2 : フランジ厚さ [mm]		40											
H	h_w	現場施工型								プレファブ型			
		Box				T-Shape				Box			
p : ウェブピッチ [mm]													
		455 ($B_c = p$)	500 ($B_c = p$)	600 ($B_c = p$)	910 ($B_c = p$)	455 ($B_c = p$)	500 ($B_c = p$)	600 ($B_c = p$)	910 ($B_c = p$)	455 (910 Box) ($B_c = 303$)	500 (1000 Box) ($B_c = 333$)	600 (1200 Box) ($B_c = 400$)	910 (910 Box) ($B_c = 455$)
220 180(T-Shape)	140	6.5 3.1 (4.4)	6.5 3.0 (4.0)	6.5 2.8 (3.4)	6.5 2.5 (2.2)	3.8 3.0 (3.3)	3.7 2.9 (3.0)	3.5 2.7 (2.6)	3.2 2.3 (2.0)	6.5 3.6 (6.6)	6.5 3.5 (6.0)	6.5 3.3 (5.0)	6.5 3.1 (4.4)
230 190(T-Shape)	150	6.8 3.2 (4.7)	6.8 3.1 (4.2)	6.8 2.9 (3.5)	6.8 2.6 (2.4)	4.0 3.2 (3.5)	3.9 3.0 (3.2)	3.7 2.8 (2.8)	3.4 2.4 (2.1)	6.8 3.8 (7.0)	6.8 3.6 (6.3)	6.8 3.4 (5.3)	6.8 3.2 (4.7)
264 224(T-Shape)	184	7.6 3.7 (5.5)	7.6 3.6 (5.0)	7.6 3.3 (4.2)	7.6 2.9 (2.8)	4.7 3.7 (4.1)	4.6 3.6 (3.8)	4.4 3.3 (3.2)	4.0 2.8 (2.4)	7.6 4.4 (8.2)	7.6 4.2 (7.5)	7.6 3.9 (6.2)	7.6 3.7 (5.5)
280 240(T-Shape)	200	7.9 4.0 (5.9)	7.9 3.8 (5.3)	7.9 3.6 (4.5)	7.9 3.0 (3.0)	5.0 4.0 (4.4)	4.9 3.9 (4.1)	4.7 3.6 (3.5)	4.2 3.0 (2.6)	7.9 4.7 (8.8)	7.9 4.5 (8.0)	7.9 4.2 (6.7)	7.9 4.0 (5.9)
315 275(T-Shape)	235	8.7 4.6 (6.8)	8.7 4.4 (6.1)	8.7 4.0 (5.1)	8.7 3.4 (3.4)	5.7 4.7 (5.2)	5.6 4.5 (4.7)	5.4 4.1 (4.0)	4.9 3.4 (2.9)	8.7 5.4 (10.2)	8.7 5.2 (9.3)	8.7 4.8 (7.7)	8.7 4.6 (6.8)
330 290(T-Shape)	250	9.0 4.8 (7.1)	9.0 4.6 (6.5)	9.0 4.3 (5.4)	9.0 3.6 (3.6)	6.0 4.9 (5.5)	5.9 4.7 (5.0)	5.7 4.3 (4.2)	5.1 3.6 (3.0)	9.0 5.7 (10.8)	9.0 5.5 (9.8)	9.0 5.1 (8.1)	9.0 4.8 (7.1)
366 326(T-Shape)	286	9.7 5.4 (8.0)	9.7 5.2 (7.3)	9.7 4.8 (6.1)	9.7 4.0 (4.0)	6.7 5.6 (6.3)	6.6 5.4 (5.7)	6.3 4.9 (4.8)	5.7 4.1 (3.4)	9.7 6.5 (12.2)	9.7 6.2 (11.1)	9.7 5.7 (9.2)	9.7 5.4 (8.0)
380 340(T-Shape)	300	10.0 5.7 (8.4)	10.0 5.4 (7.6)	10.0 5.0 (6.3)	10.0 4.1 (4.2)	7.0 5.8 (6.7)	6.8 5.6 (6.0)	6.6 5.1 (5.0)	6.0 4.2 (3.5)	10.0 6.8 (12.8)	10.0 6.5 (11.6)	10.0 6.0 (9.6)	10.0 5.7 (8.4)
430 390(T-Shape)	350	11.0 6.5 (9.7)	11.0 6.2 (8.8)	11.0 5.7 (7.3)	11.0 4.7 (4.8)	7.9 6.7 (8.0)	7.8 6.4 (7.2)	7.5 5.9 (5.9)	6.8 4.9 (4.0)	11.0 7.7 (14.8)	11.0 7.4 (13.4)	11.0 6.8 (11.1)	11.0 6.5 (9.7)
480 440(T-Shape)	400	11.9 7.2 (11.0)	11.9 6.9 (10.0)	11.9 6.4 (8.3)	11.9 5.3 (5.4)	8.8 7.5 (9.5)	8.6 7.2 (8.5)	8.3 6.6 (6.8)	7.6 5.5 (4.6)	12.0 8.7 (16.9)	12.0 8.3 (15.3)	11.9 7.7 (12.6)	11.9 7.2 (11.0)
530 490(T-Shape)	450	12.6 8.0 (12.4)	12.6 7.7 (11.2)	12.6 7.1 (9.3)	12.6 5.8 (6.1)	9.7 8.3 (11.2)	9.5 8.0 (9.9)	9.2 7.4 (7.9)	8.4 6.1 (5.1)	12.6 9.6 (19.0)	12.6 9.2 (17.2)	12.6 8.5 (14.2)	12.6 8.0 (12.4)
580 540(T-Shape)	500	13.3 8.8 (13.7)	13.3 8.4 (12.4)	13.2 7.8 (10.3)	13.2 6.4 (6.7)	10.5 9.1 (13.1)	10.4 8.8 (11.4)	10.0 8.1 (9.0)	9.2 6.7 (5.7)	13.3 10.5 (20~)	13.3 10.1 (19.1)	13.3 9.3 (15.7)	13.3 8.8 (13.7)



Type: Box



Type: T-Shape



Type: Box Prefab

LVL スパン表 【教室の場合： $L P = 2.1 \text{ kN/m}^2$, $L_d P = 1.1 \text{ kN/m}^2$, $W_{G_finish} = 1.2 \text{ kN/m}^2$ 】

E_1 : ウェブ材種		E90-1級											
E_2 : フランジ材種		E90-1級											
t_1 : ウェブ厚さ[mm]		50											
t_2 : フランジ厚さ[mm]		40											
H	h_w	現場施工型								プレファブ型			
		Box				T-Shape				Box			
		p : ウェブピッチ[mm]											
		455 ($B_e = p$)	500 ($B_e = p$)	600 ($B_e = p$)	910 ($B_e = p$)	455 ($B_e = p$)	500 ($B_e = p$)	600 ($B_e = p$)	910 ($B_e = p$)	455 (910 Box) ($B_e = 303$)	500 (1000 Box) ($B_e = 333$)	600 (1200 Box) ($B_e = 400$)	910 (910 Box) ($B_e = 455$)
220 180(T-Shape)	140	6.3	6.3	6.3	6.3	3.6	3.6	3.4	3.1	6.3	6.3	6.3	6.3
		3.0	2.9	2.7	2.4	2.9	2.8	2.6	2.2	3.5	3.4	3.1	3.0
		(5.2)	(4.8)	(4.0)	(2.6)	(3.8)	(3.5)	(3.0)	(2.3)	(7.8)	(7.1)	(5.9)	(5.2)
230 190(T-Shape)	150	6.5	6.5	6.5	6.5	3.8	3.8	3.6	3.2	6.5	6.5	6.5	6.5
		3.1	3.0	2.8	2.5	3.0	2.9	2.7	2.3	3.6	3.5	3.3	3.1
		(5.5)	(5.0)	(4.2)	(2.8)	(4.0)	(3.7)	(3.2)	(2.4)	(8.3)	(7.5)	(6.3)	(5.5)
264 224(T-Shape)	184	7.3	7.3	7.3	7.3	4.5	4.4	4.2	3.8	7.3	7.3	7.3	7.3
		3.6	3.5	3.2	2.7	3.6	3.4	3.2	2.7	4.3	4.1	3.8	3.6
		(6.5)	(5.9)	(4.9)	(3.3)	(4.8)	(4.4)	(3.8)	(2.8)	(9.8)	(8.9)	(7.4)	(6.5)
280 240(T-Shape)	200	7.7	7.7	7.7	7.6	4.8	4.7	4.5	4.1	7.7	7.7	7.7	7.7
		3.8	3.7	3.4	2.9	3.9	3.7	3.4	2.8	4.6	4.4	4.0	3.8
		(7.0)	(6.3)	(5.3)	(3.5)	(5.1)	(4.7)	(4.0)	(2.9)	(10.5)	(9.6)	(7.9)	(7.0)
315 275(T-Shape)	235	8.4	8.4	8.4	8.4	5.5	5.4	5.2	4.7	8.4	8.4	8.4	8.4
		4.4	4.2	3.9	3.3	4.5	4.3	3.9	3.3	5.2	5.0	4.6	4.4
		(8.0)	(7.3)	(6.1)	(4.0)	(6.0)	(5.5)	(4.6)	(3.3)	(12.1)	(11.0)	(9.1)	(8.0)
330 290(T-Shape)	250	8.7	8.7	8.7	8.7	5.8	5.7	5.4	4.9	8.7	8.7	8.7	8.7
		4.6	4.4	4.1	3.4	4.7	4.5	4.2	3.4	5.5	5.3	4.9	4.6
		(8.5)	(7.7)	(6.4)	(4.2)	(6.4)	(5.8)	(4.9)	(3.5)	(12.8)	(11.6)	(9.6)	(8.5)
366 326(T-Shape)	286	9.4	9.4	9.4	9.4	6.5	6.3	6.1	5.5	9.4	9.4	9.4	9.4
		5.2	5.0	4.6	3.8	5.4	5.1	4.7	3.9	6.3	6.0	5.5	5.2
		(9.6)	(8.7)	(7.2)	(4.7)	(7.4)	(6.7)	(5.6)	(3.9)	(14.5)	(13.2)	(10.9)	(9.6)
380 340(T-Shape)	300	9.7	9.7	9.7	9.7	6.7	6.6	6.3	5.8	9.7	9.7	9.7	9.7
		5.4	5.2	4.8	4.0	5.6	5.4	4.9	4.1	6.5	6.3	5.8	5.4
		(10.0)	(9.1)	(7.5)	(4.9)	(7.8)	(7.0)	(5.9)	(4.1)	(15.2)	(13.8)	(11.4)	(10.0)
430 390(T-Shape)	350	10.6	10.6	10.6	10.6	7.6	7.5	7.2	6.6	10.7	10.7	10.7	10.6
		6.2	6.0	5.5	4.5	6.4	6.2	5.7	4.7	7.5	7.2	6.6	6.2
		(11.5)	(10.5)	(8.7)	(5.7)	(9.4)	(8.4)	(6.9)	(4.7)	(17.6)	(16.0)	(13.2)	(11.5)
480 440(T-Shape)	400	11.6	11.5	11.5	11.5	8.5	8.3	8.0	7.4	11.6	11.6	11.6	11.6
		7.0	6.7	6.2	5.1	7.2	6.9	6.4	5.2	8.4	8.0	7.4	7.0
		(13.1)	(11.9)	(9.9)	(6.4)	(11.2)	(9.9)	(8.0)	(5.3)	(20~)	(18.2)	(15.0)	(13.1)
530 490(T-Shape)	450	12.3	12.3	12.3	12.3	9.3	9.2	8.9	8.1	12.4	12.4	12.3	12.3
		7.7	7.4	6.8	5.6	8.0	7.7	7.1	5.8	9.3	8.9	8.2	7.7
		(14.7)	(13.3)	(11.0)	(7.2)	(13.2)	(11.6)	(9.2)	(5.9)	(20~)	(20~)	(16.9)	(14.7)
580 540(T-Shape)	500	13.0	12.9	12.9	12.9	10.2	10.0	9.7	8.9	13.0	13.0	13.0	13.0
		8.5	8.1	7.5	6.2	8.8	8.4	7.8	6.4	10.1	9.7	9.0	8.5
		(16.4)	(14.8)	(12.2)	(8.0)	(14.5)	(13.4)	(10.5)	(6.6)	(20~)	(20~)	(18.8)	(16.4)

試験データおよび計算との比較

試験体の概要

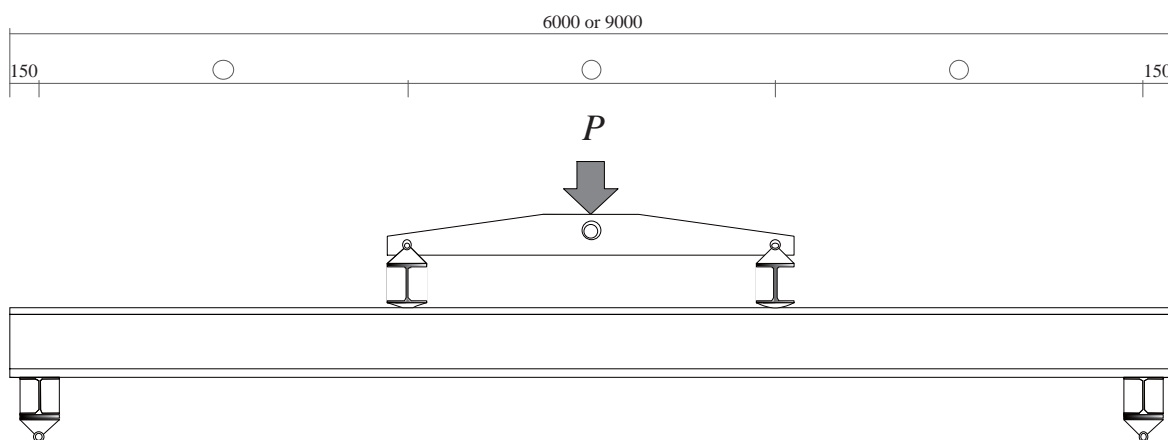
試験体に応じてウェブとフランジを接合するビスの間隔が異なる（表）ため、確認を容易にするために試験体名称の最後にビス間隔を付加する事とした。試験体はいずれも幅が 1200mm であり、梁せいは上フランジ形のもの 362mm、上下フランジ形のもの 364mm となっている。軸方向のスパンに関しては 6000mm スパンのものと 9000mm スパンのものが存在する。試験体の主なパラメータ、形状および命名法を以下に示す。

試験方法

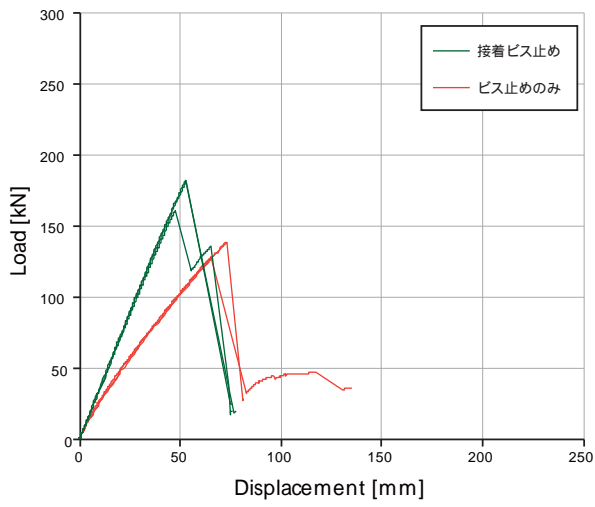
試験は三等分点単調加力による四点曲げによるものとした。荷重速度は $P_{max} / 10kN \text{ min}$ とし、支点・加力点には幅拡張用治具の H 鋼を取り付けた。これらの治具は何れも同じ仕様で 1300mm のスパンを持ち、加力点には試験体へのめり込みを緩和するために端部に丸みを持たせたナラ材が取り付けられた。支点・加力点は共にピン支点かつナイフエッジであり、前後左右にある程度自由回転が出来るような仕様のものを用いた。曲げスパンは 9000mm 試験体が 8700mm、6000mm 試験体が 5700mm となるよう値を設定した。



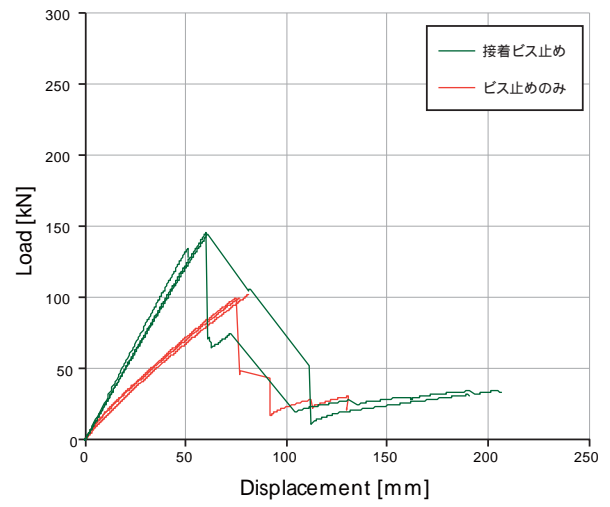
名称	LVL 材種	接着剤	フランジ数	スパン	試験体数	ビス間隔
L1-6000	スギ	x	1	6000	各 3 体	200
L1-9000				9000		
L2-6000			2	6000		150
L2-9000				9000		100
LB1-6000			1	6000		200
LB1-9000				9000		
LB2-6000			2	6000		150
LB2-9000				9000		100
C1-6000	カラマツ	x	1	6000	各 3 体	200
C1-9000				9000		
C2-6000			2	6000		150
C2-9000				9000		100
CB1-6000			1	6000		200
CB1-9000				9000		
CB2-6000			2	6000		150
CB2-9000				9000		100



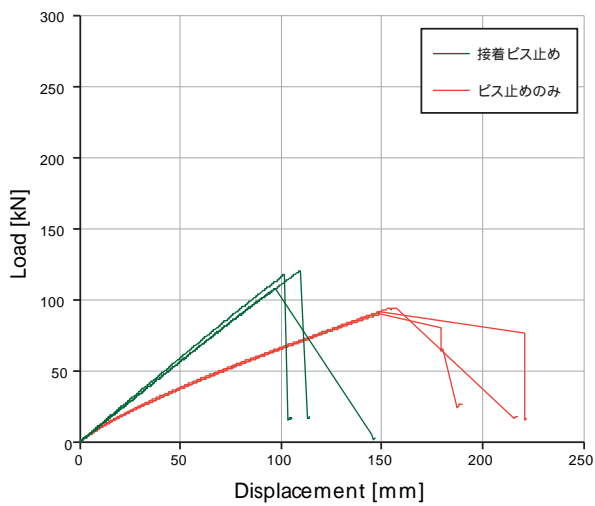
フランジ数：1 T形断面の場合



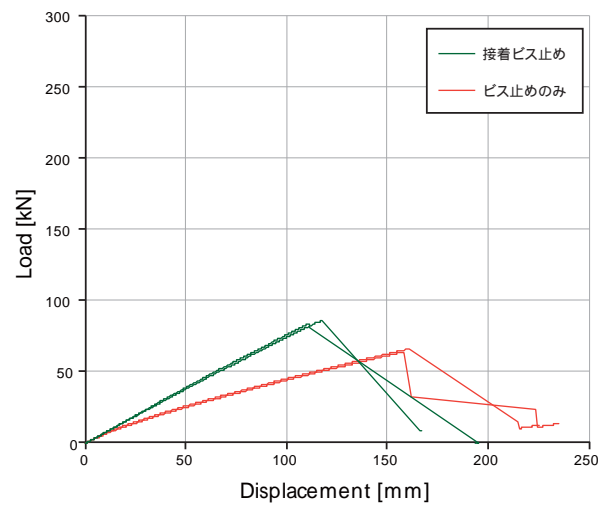
L1-6000, LB1-6000



C1-6000, CB1-6000



L1-9000, LB1-9000



C1-9000, CB1-9000



全体の破壊状況 (L1-6000)



全体の破壊状況 (LB1-6000)

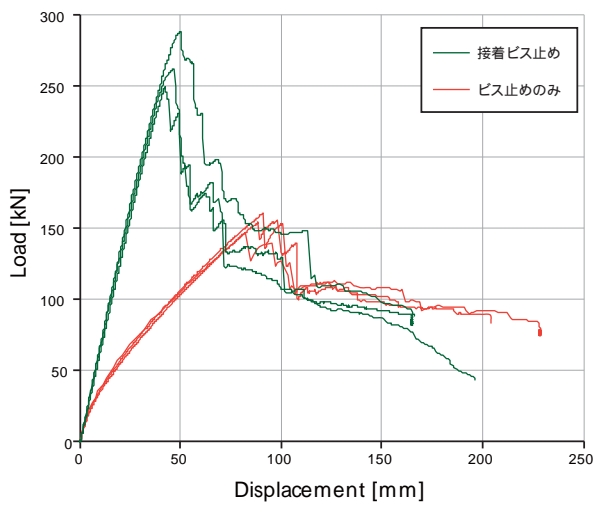


曲げ破壊 (左) およびウェブ端部の割裂 (右)

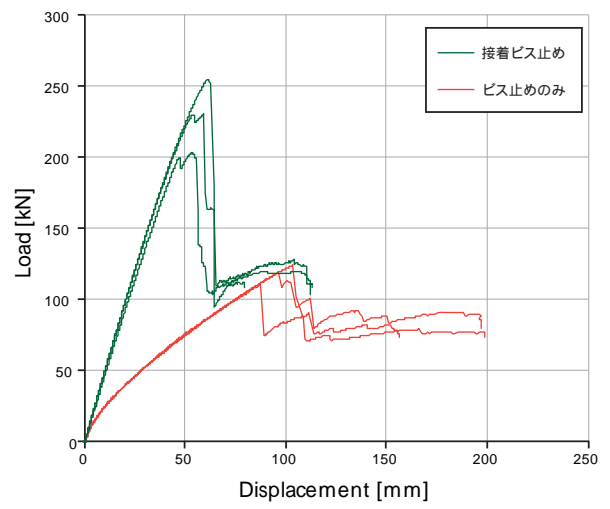


曲げ破壊 (左) およびウェブ端部の割裂なし (右)

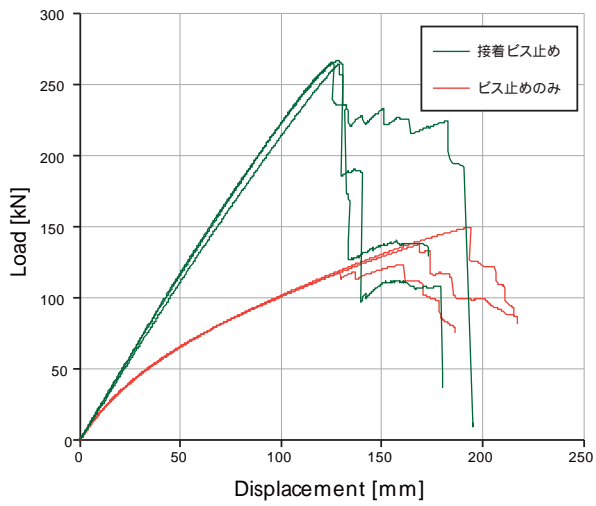
フランジ数：2 BOX形断面の場合



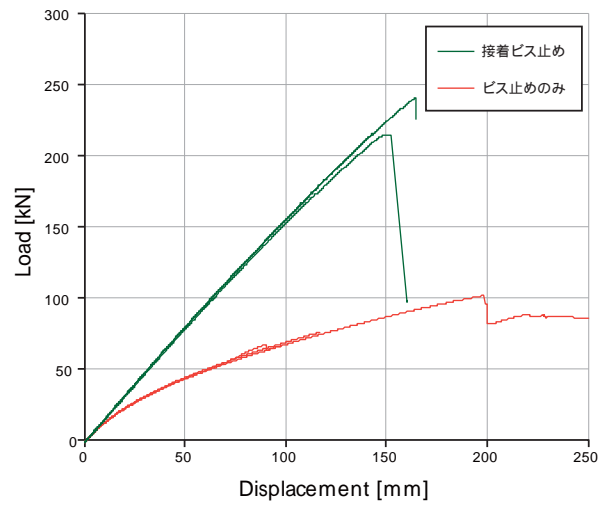
L2-6000, LB2-6000



C2-6000, CB2-6000



L2-9000, LB2-9000



C2-9000, CB2-9000



全体の破壊状況 (L2-6000)



全体の破壊状況 (LB2-6000)



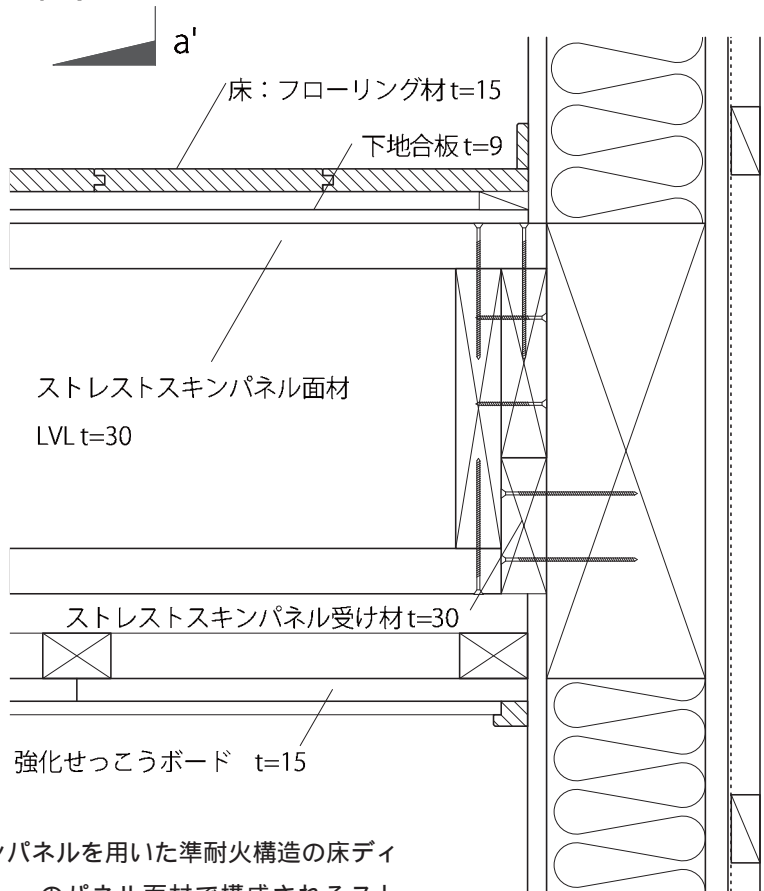
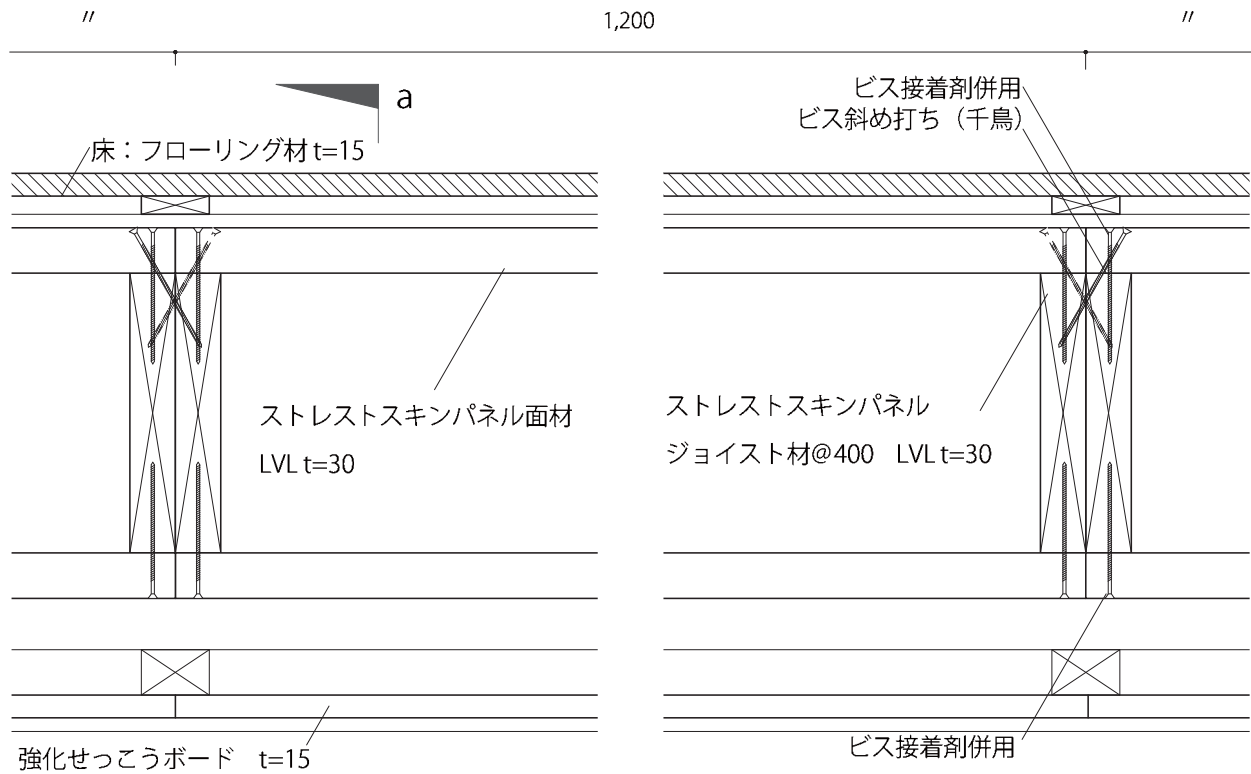
曲げ破壊 (左) およびウェブ端部の割裂 (右)



曲げ破壊 (左) およびフランジ端部の単板のせん断 (右)

ディテール例

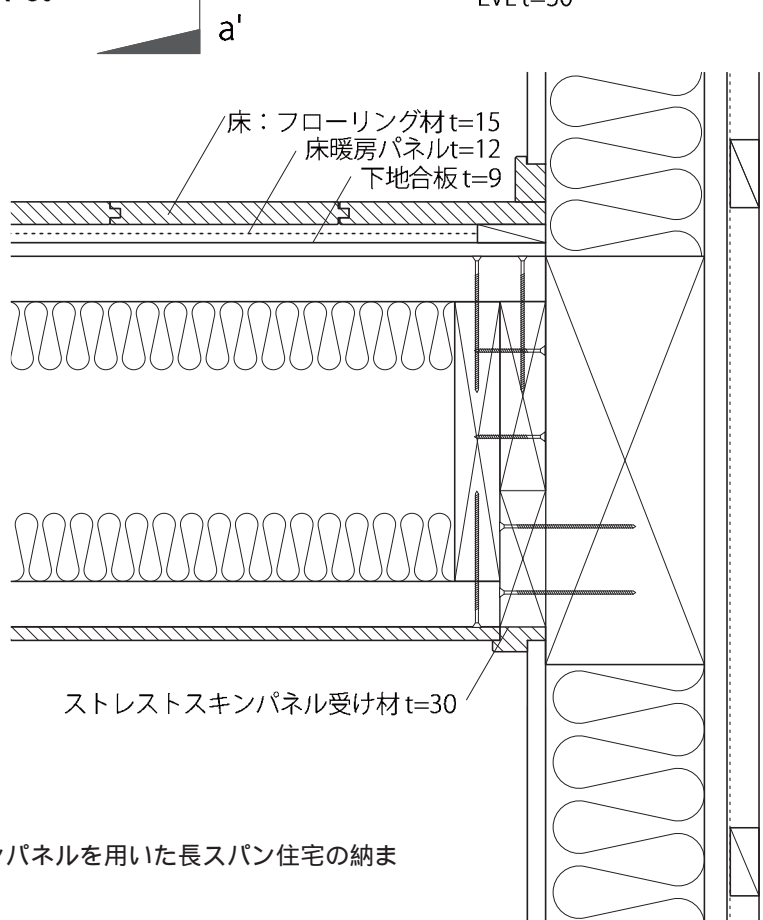
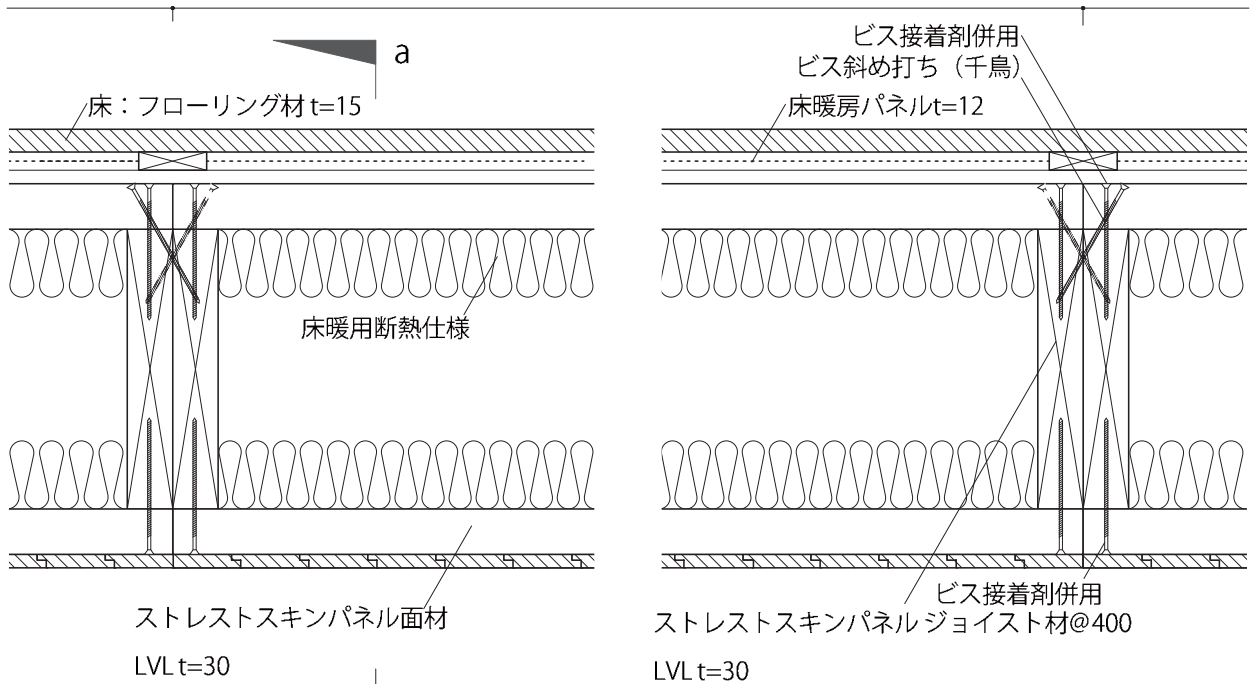
ストレートスキンパネルを用いた準耐火構造の床ディテール例



ストレートスキンパネルを用いた準耐火構造の床ディテール例。厚み 30mm のパネル面材で構成されるストレートスキンパネルを用いた場合、天井下地に強化せっこうボード t=15 を貼ることで基準をクリアできる。

床 a-a' 断面詳細図 S=1:5

建設省告示第 1358 号 第 3 ニイ (3) 口 (1)



床断面詳細図 S=1:5

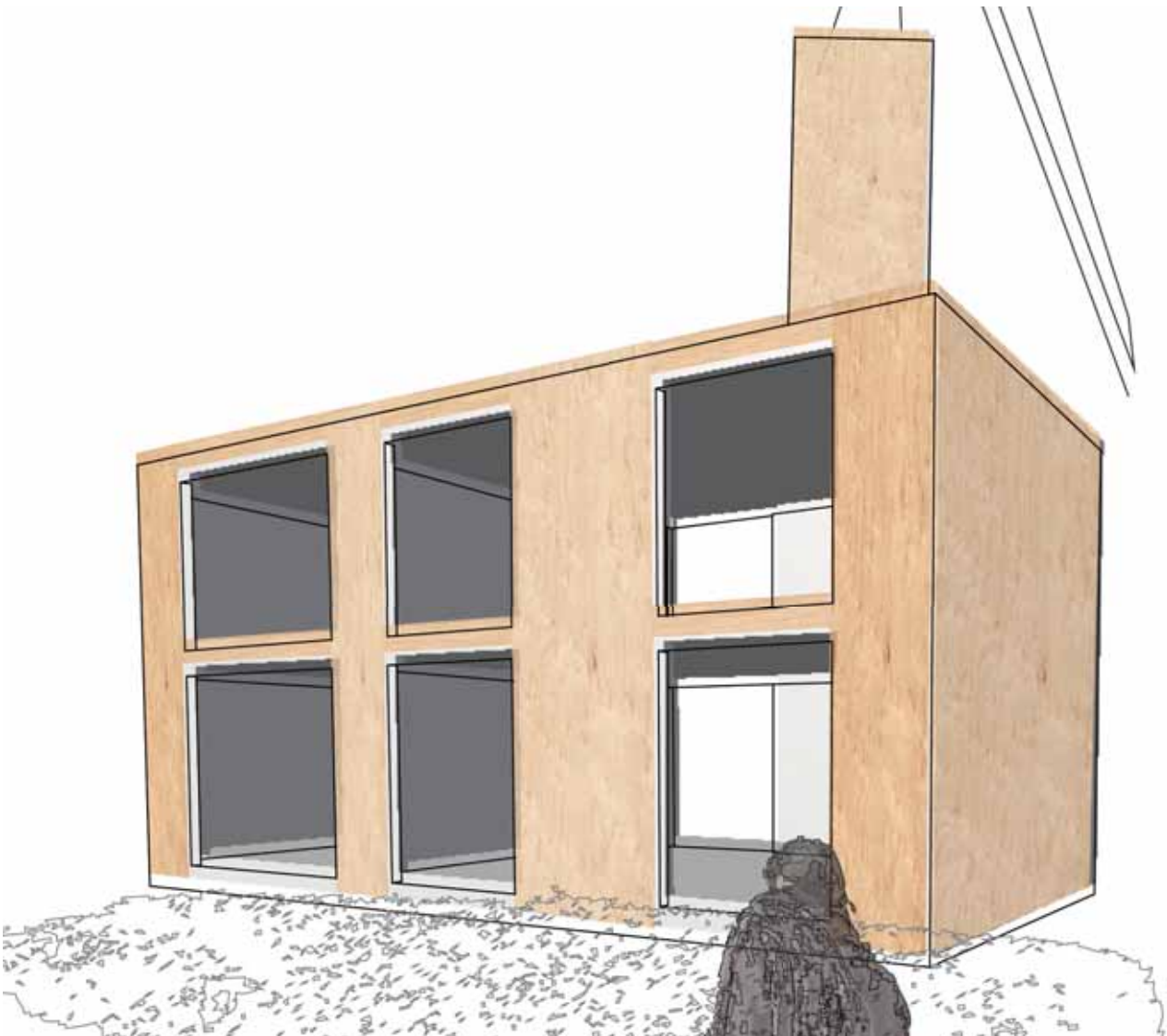
ストレススキンパネルを用いた長スパン住宅の納まりのディテール例。

本案では、ストレススキンパネルに断熱材と天井仕上げ材を工場施工したものを運び込む事で、現場での作業の省力化を計ることができる。

床 a-a' 断面詳細図 S=1:5

2.4

厚板耐力壁



LVL 厚板耐力壁とは

LVL 厚板耐力壁の特徴は、幅広の LVL 版単体が、鉛直荷重を受ける柱であり、かつ水平力を負担する壁の役割を同時に担う主要構造体である。通常の軸組工法では、上下の横架材と両側の柱の間に筋かいや面材などのせん断要素を取り付けた複合部材として耐力壁を構成するのに対し、LVL 厚板耐力壁は幅広の LVL 版そのものだけで耐力壁となっており RC 造の壁式構造のような「壁柱」である。

LVL 厚板耐力壁の特徴

耐力壁としての力学的な特徴としては、面内せん断加力によって LVL 壁自体がせん断降伏・破壊することはなく、壁柱周辺の柱脚柱頭接合部のほうが必ず先行降伏・破壊する、という性状である。通常の軸組工法の耐力壁では、筋かいや構造用合板の釘などのせん断要素を降伏させ、せん断要素で靱性と終局耐力が決まるよう、柱脚柱頭接合部は先行破壊させないように構造設計することで、負担鉛直荷重の大小や連層か否かにかかわらず、単体耐力壁の剛性・耐力の単純和で層の剛性・耐力を計算できるようになっている。つまり、現在の許容応力度設計法は、柱脚柱頭接合部を先行破壊させないことにより、単体耐力壁の面内せん断試験の結果から得られた剛性・短期許容せん断耐力の加算則が成立する、という前提で成り立っているのである。したがって、LVL 厚板耐力壁の場合には、単体耐力壁の剛性・耐力の加算則による設計法が使えないため、周辺接合部が先行降伏する新たな設計法か、接合部を弾塑性バネに置換した鉛直構面の増分解析によって、接合部の塑性ヒンジ化による鉛直構面終局 耐力の評価を行うことが必要となってくる。

建築基準法上の位置づけと鉛直構面水平耐力評価法の考え方

LVL 厚板耐力壁を壁柱として用いる構法の、現在の建築基準法における位置づけとしては、LVL 厚板を柱とした木造軸組工法であるとみなすのが最も妥当な解釈と考えられる。この場合、LVL 厚板による柱は、鉛直荷重を負担する柱であるとともに、水平力を負担する柱でもある。つまり、木造ラーメン構法の柱と同じものと位置づけられる。そのように考えれば、LVL 壁柱の柱脚柱頭接合部は、モーメント抵抗接合部の引張側フランジ接合部とみなし得るので、接合部を先行降伏させて塑性変形によって靱性をかせぎながら壁柱周辺に塑性ヒンジを形成させていくという考え方は一般的なものとして理解される。この場合、接合部に十分な塑性変形能力がある場合には、鉛直構面の終局耐力 P_u は、 $\{ (\text{接合部の終局引張耐力 } T_u \times \text{応力中心間距離 } j) \} / \text{水平力心までの高さ } H$ で簡単に計算できる。同様の考え方により、壁や梁を剛体と考えれば初期剛性も簡単に計算でき、最初に接合部が降伏するときの耐力を降伏耐力とすればよい。

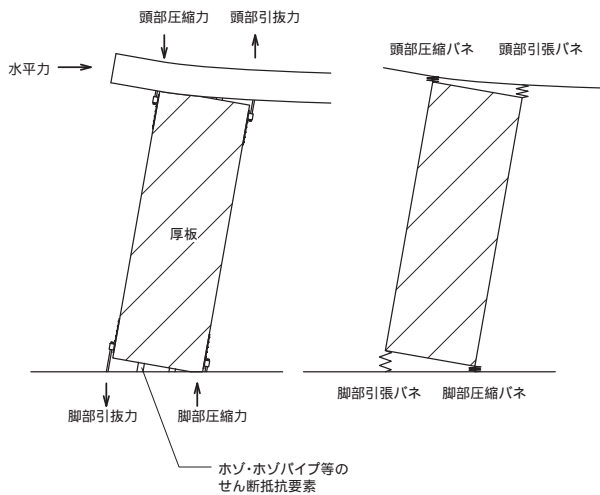
建築基準法における構造計算ルート

上述のとおり LVL 厚板耐力壁を壁柱として用いる構法は木造ラーメン構法と同じ扱いとなるため、建築基準法における構造計算ルートは、令 46 条第 2 項ルートのいわゆる集成材等建築物の計算ルートとなる。次ページの図に木造建築物の構造計算フローを示すが、フロー中における「令 46 条第 2 項の適用」で Yes となり右に進むルートである。したがって、昭 62 建告 1898 号の材料規定を遵守しなければならないが、JAS の構造用 LVL はこの告示に入っているため問題ない。また、昭 62 建告 1899 号の構造計算規定、すなわち、ルート 1 の許容応力度計算 + 層間変形角の制限 + 偏心率の規定を満たさなければならないが、これらは一般的な耐力壁形式の在来軸組木造の許容応力度計算で要求されるものと大差ない。問題は、現在、令 46 条第 2 項ルートの木造ラーメン系の構造計算を自前で判断してもらえる確認検査機関が少なく、建築センターの評価や住木センターの新工法認証などの公的機関によるお墨付きがないと受け付けられない、という確認検査機関が多いことである。つまり、LVL 厚板耐力壁を壁柱として用いる構法の剛性・耐力評価法が専門家から見て妥当であることが、何らかのかたちで立証されることが求められているのである。これに対しては、少なくともここで提案する設計法による剛性・耐力が、今回の厚板耐力壁の通し壁および 2 層鉛直構面の実験結果に対して妥当かつ安全側の評価であることが検証されなければならない。

厚板耐力壁の力学モデル

厚板耐力壁の水平力に対する耐力発現メカニズムは、図に示すように水平力によって生じる厚板の回転を、接合部の引き抜き抵抗によって拘束する機構を有するものの総称を指し示すものである。厚板自体のせん断変形や曲げ変形は、接合部の変形に比べ極めて小さいために、これを剛体と見なすことができる。従って、引き抜きと圧縮に対する接合部の力学特性を軸方向バネとして横架材と厚板を連結したモデル化によって鉛直構面を解析することができる。ただし、水平力に対するせん断力は、ホゾやホゾパイプ等のせん断抵抗要素によって負担することが必要である。厚板の上下を横架材耐力壁の剛性や耐力、靱性は、接合部の荷重変形特性に依存し、特に構面の靱性を確保するにあたっては、梁その他の周辺部材が曲げや、接合部のせん断による先行破壊が生じないように留意することが重要である。

壁面の構成は、次の図に示すように、横架材と厚板との取り合いによって大きく3種類に区別することができる。



厚板耐力壁の水平力に対する抵抗機構と力学モデル

(6) 通し壁脚部固定型

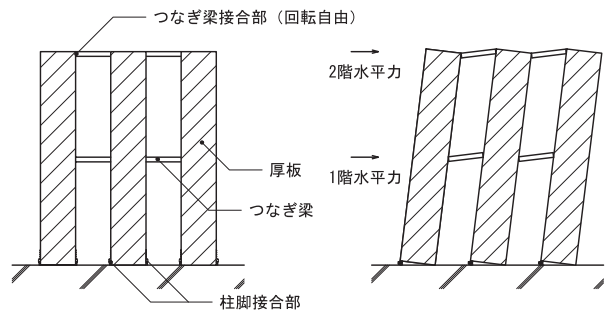
壁を最上階まで単一材によって通し脚部を基礎に緊結し、単純梁によって厚板をつなぐことで構面を構成する。厚板頭部および梁端部はピンであるため、水平力に対する厚板の回転は、脚部の引き抜き抵抗によって拘束される。

(7) 通し壁脚部・梁固定型

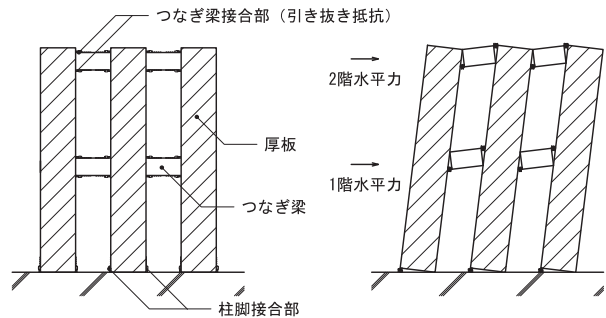
厚板を最上階まで単一材によって通し、脚部を基礎に緊結した上で、梁端部の上下面接合部に引き抜き抵抗を与えることでモーメント抵抗性能を与えたパターン。

(8) 通し梁脚部・頭部固定型

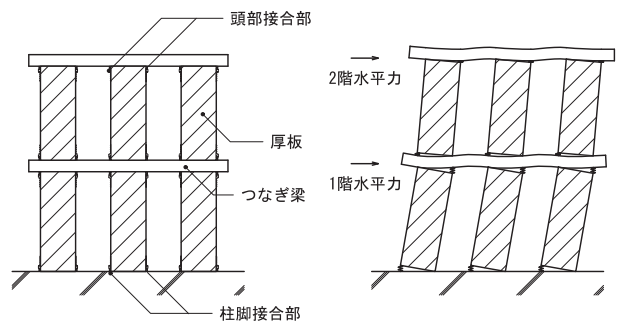
梁勝ちとして、各階毎に厚板を分割し、脚部と頭部を横架材に緊結したパターン。



(a) 通し壁脚部固定型



(b) 通し壁脚部・梁固定型



(c) 通し梁脚部・頭部固定型

接合部の荷重変形特性を完全弾塑性と見なすことによって、厚板耐力壁による鉛直構面の荷重変形特性は図のように表わすことができる。各特性値とその区間の荷重変形挙動は以下の通りである。

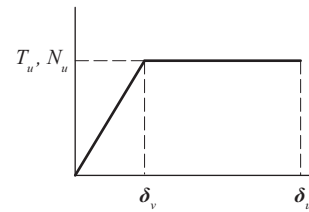
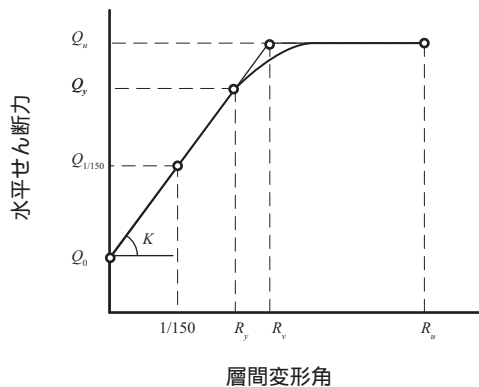
- $0 - Q_0$
鉛直荷重によるカウンターウェイトによって脚部浮き上がりが拘束されたまま、水平力が増加し、引抜き力がカウンターウェイトとつい合う時の水平せん断力 Q_0 に達する。
- $Q_0 - Q_{1/150}$
鉛直構面の弾性時における水平せん断剛性 K を保ったまま荷重が増加し、特定変形角 $1/150\text{rad}$ 変形時のせん断力 $Q_{1/150}$ に達する。
- $Q_{1/150} - Q_y$
弾性剛性 K のまま荷重が増加し、接合部が降伏を開始する時の水平力 Q_y に達する。
- $Q_y - Q_u$
接合部が順次降伏しながら、荷重増加が徐々に緩やかになり、やがて全ての接合部が塑性化してメカニズムを形成する時の終局せん断力 Q_u に到達する。

区間における完全弾塑性降伏点 R_y は、弾性時の剛性 K による直性と、終局せん断力 Q_u による水平線の交点によって得られる。終局変形角 R_u は、崩壊メカニズムにおいていずれかの接合部が破壊し、荷重維持機能を失うときの層間変形角である。

終局耐力の算出方法

弾性時における各部応力や変形解析は、各厚板をモデル化してフレーム解析等によって求めることができる。

終局せん断力 Q_u は、崩壊メカニズムが既知、あるいはモードが特定されている場合には、各モードにおける荷重を仮想仕事法を用いて算出し、それらの最小値から



接合部の荷重変形関係のモデル化

真の崩壊メカニズムと、終局せん断力を求めることができる。高次の不静定で崩壊機構の特定が困難な場合は、荷重増分解析か、厚板を柱と見なして両端の圧縮力と引張力を偶力とした柱脚塑性モーメントと考え、フロアモーメント分配法によって崩壊メカニズムを知ることができる。ただし、梁の曲げは脆性的であるため、この時の塑性ヒンジは全て柱頭柱脚金物接合部に形成されることを確認することが重要である。

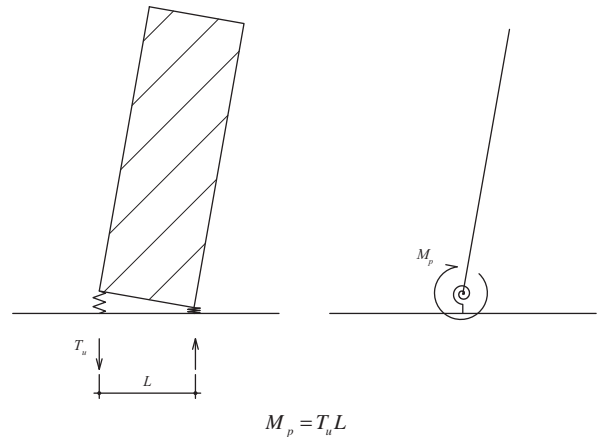
鉛直構面許容耐力の算定方法

ルート1及びルート2の許容応力度計算において、厚板耐力壁から構成される鉛直構面の短期許容せん断耐力は、上記によって得られる特定変形角 $1/150\text{rad}$ 変形時の耐力 Q_y 、降伏耐力 Q_y および終局耐力 Q_u に $0.2/D_s$ を乗じて得られる値の最小値とする。

$${}_s Q_a = \min \begin{cases} Q_{1/150} \\ Q_y \\ 0.2Q_u \sqrt{2\alpha - 1} \end{cases}$$

ただし、上式中の μ は塑性率を表わし、次式から求めることができる。

$$\mu = \frac{R_u}{R_y}$$



厚板を柱と見なした時の材端塑性ヒンジのモデル化

終局耐力計算式の例

図に示すような一層鉛直構面を例にとって、終局せん断力の算出過程を示す。この構面の取りうる崩壊メカニズムは図に示すように、厚板端部の接合部が個々に塑性化する場合（モード ）と、構面全体の転倒による場合（モード ）の2通りの可能性がある。

まず、モード において、外力仕事 W は、

$$W = Q_u H \theta$$

接合部が降伏引張応力 T_u に達しているとき、内部仕事 U は、

$$U = 4T_u L \theta$$

以上から、

$$Q_u = \frac{4T_u L}{H}$$

一方、モード の場合、

$$W = Q_{ua} H \theta$$

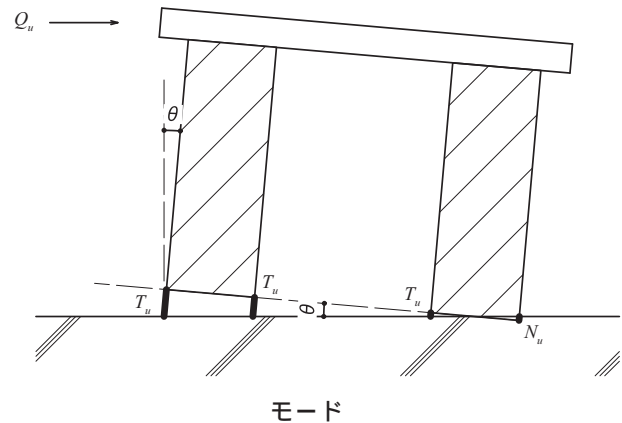
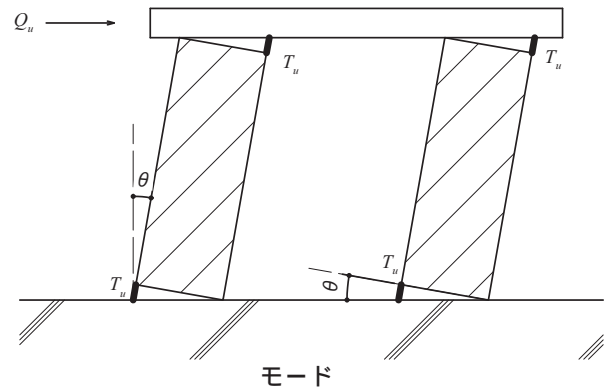
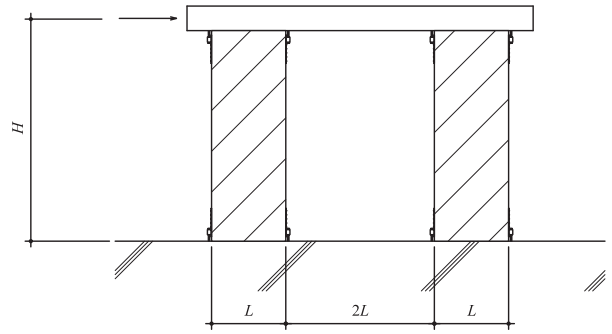
構面の回転中心は、圧縮によって塑性化している右端の端部の圧縮反力 N_u と、その他の引張降伏している端部 T_u の合力がつり合う位置から求めることができる。これを用いて内部仕事 U を求めると、

$$\begin{aligned} U &= N_u \cdot \frac{4N_u L}{N_u + 3T_u} \theta + T_u \cdot \frac{9T_u L - N_u L}{N_u + 3T_u} \theta + T_u \cdot \frac{12T_u L}{N_u + 3T_u} \theta \\ &= \frac{(4N_u^2 - N_u T_u + 21T_u^2)L}{N_u + 3T_u} \theta \end{aligned}$$

以上から、

$$Q_{ua} = \frac{(4N_u^2 - N_u T_u + 21T_u^2)L}{(N_u + 3T_u)H}$$

メカニズム形成時の終局せん断力は Q_u 、 Q_{ua} の小さい方から決定することができる。



厚板耐力壁構面の計算例

下図に示す鉛直構面について、増分解析を行った結果を計算例として示す。使用した部材および接合金物を下記の通りである。

柱・土台：スギ LVL-60E、105 × 105

壁柱：スギ LVL-60E、t105

梁：スギ LVL-60E、105 × 210

柱脚金物：ホールダウン金物

* 引張剛性5kN/mm、短期許容引張耐力 (= 完全弾塑性降伏耐力) を30kNとし、塑性率を $\mu = 5$ と仮定する

圧縮側の壁柱木口の横架材に対する面圧剛性は、20kN/mm とし、短期支圧強度を 50kN とした計算を示す。ここでは、横架材に曲げ破壊が生じないよう、1階の壁柱左右の独立柱の柱頭・柱脚にも壁柱と同様の金物が取り付けられているものと仮定する。

鉛直荷重はここでは考慮しないものとして、水平力は、風圧力を想定し、1階水平力が2階水平力の2倍、すなわち、1階せん断力は2階せん断力の3倍として検討した。塑性化は、1階柱脚金物の引張降伏 1階柱脚圧縮側の面圧降伏 1階柱頭金物の引張降伏という過程を経て、最終的に1階壁柱の柱頭・柱脚が塑性ヒンジとなるメカニズムを形成した。接合部降伏によって得られる折れ点は表の通りである。

増分解析結果から得られた荷重変形関係

	γ 10 ⁻³ rad	Q_1 kN
1/150rad	6.67	47.48
柱脚金物降伏	8.65	61.64
柱脚面圧降伏	13.99	93.31
柱頭金物降伏	17.09	111.30
柱頭金物破壊	43.27	111.30

まず完全弾塑性モデルにおける降伏変形角 R_v を算出する。1階のせん断剛性 K は、

$$K = \frac{61.64}{8.65 \times 10^{-3}} = 7126.01 \text{ kN/rad}$$

これを用いて、

$$R_v = \frac{Q_u}{K} = \frac{111.30}{7126.01} = 0.0156 \text{ rad}$$

従って、塑性率 μ は、

$$\mu = \frac{R_u}{R_v} = \frac{0.0433}{0.0156} = 2.77$$

以上から、

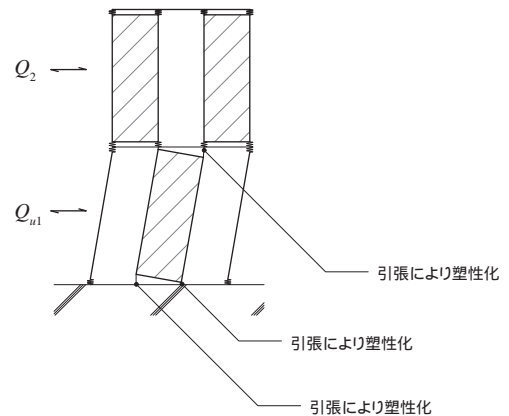
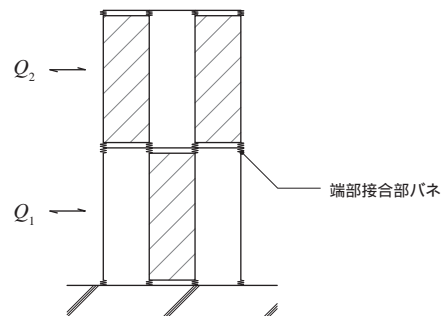
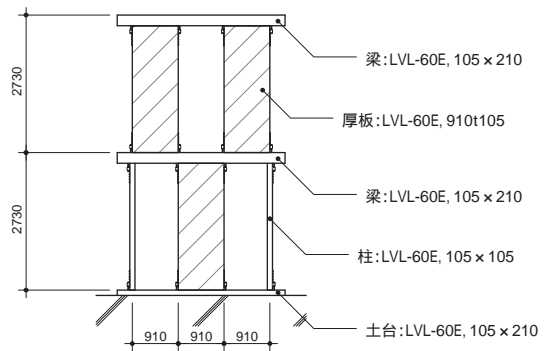
$$0.2Q_u \sqrt{2\mu - 1} = 0.2 \times 111.3 \times \sqrt{2 \times 2.77 - 1} = 47.43 \text{ kN}$$

次に、 R_y 1/150radであるから、

$$Q_{1/150} = \frac{K}{150} = 47.48 \text{ kN}$$

$$Q_y = 61.64 \text{ kN}$$

以上から、1階鉛直構面の短期許容せん断耐力は、



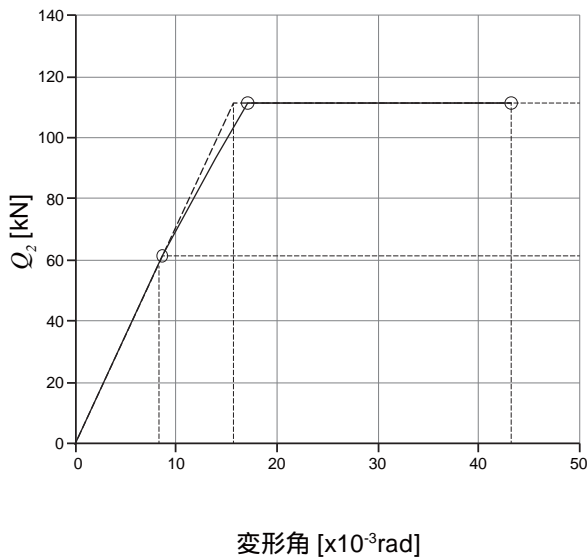
解析用鉛直構面（上）と解析モデル（中）およびメカニズム（下）

$$Q_{1a} = \min \begin{cases} Q_{1/150} = 47.48\text{kN} \\ Q_y = 61.64\text{kN} \\ 0.2Q_u \sqrt{2\alpha - 1} = 47.43\text{kN} \end{cases}$$

$$= 47.43\text{kN}$$

2階部分は1階せん断力の1/3であるから、

$$Q_{2a} = \frac{Q_{1a}}{3} = 15.81\text{kN}$$



市松に配置した2層LVL厚板耐力壁の水平せん断試験

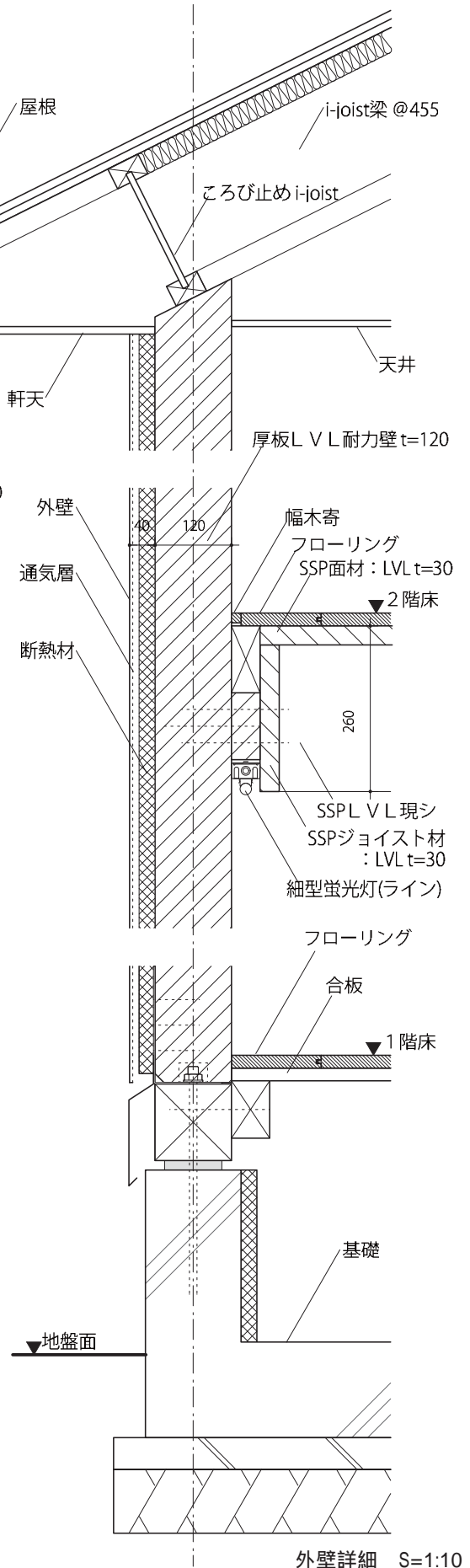
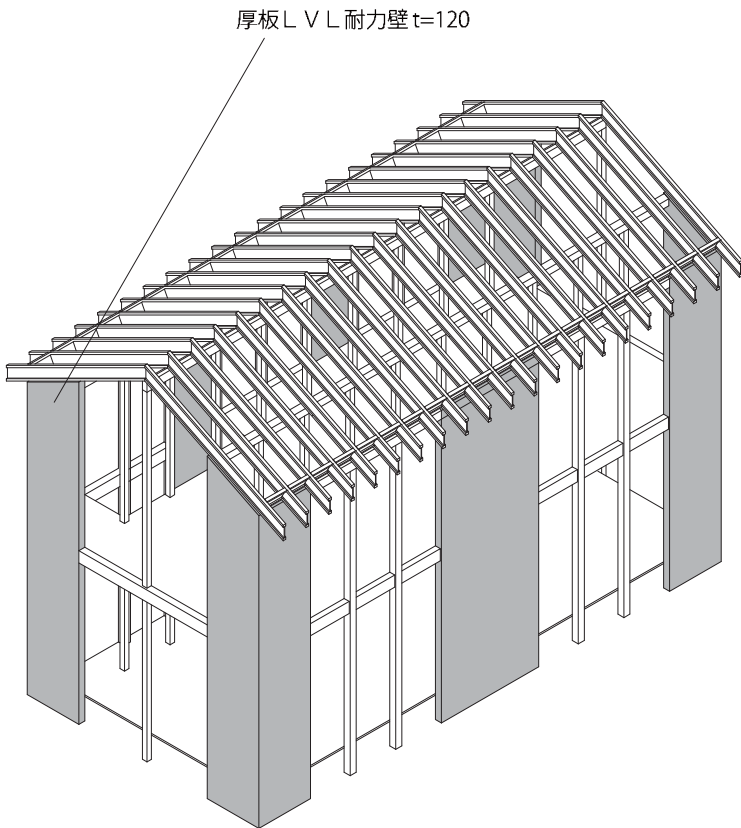
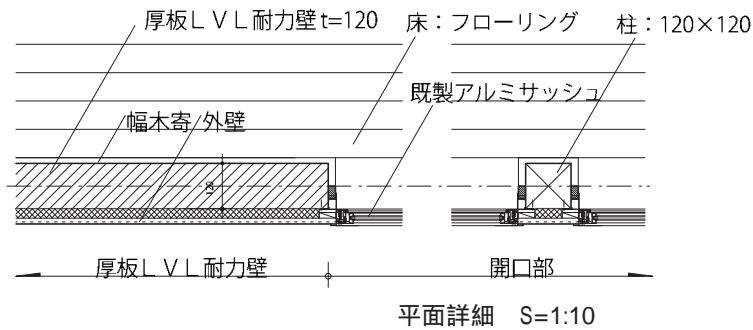
以上簡単な場合を例に許容耐力の算出を示した。実際の鉛直構面は、通常横架材に継手が存在することや、鉛直構面がメカニズムを形成する前に水平構面の降伏に伴う荷重再配分が起こり得る。また、壁柱柱脚柱頭の接合部バネ剛性は、塑性化に伴う軸力の再配分によって、壁柱の回転中心が変化するため、例えば、壁柱木口の面圧剛性による圧縮バネ定数は、厳密には荷重ステップ毎に計算することが必要である。従って、ここで示した方法による許容耐力の誘導は、極めて単純な形状に対して適用可能なものであり、水平力の伝達経路が複雑で、高次の不静定であるような場合には今後さらに研究が進められ、多くの実験データの蓄積によって、実用的な手法が確立されるのを待たねばならない。

ディテール例

厚板 LVL 耐力壁を外壁に用いたディテール例 (1)

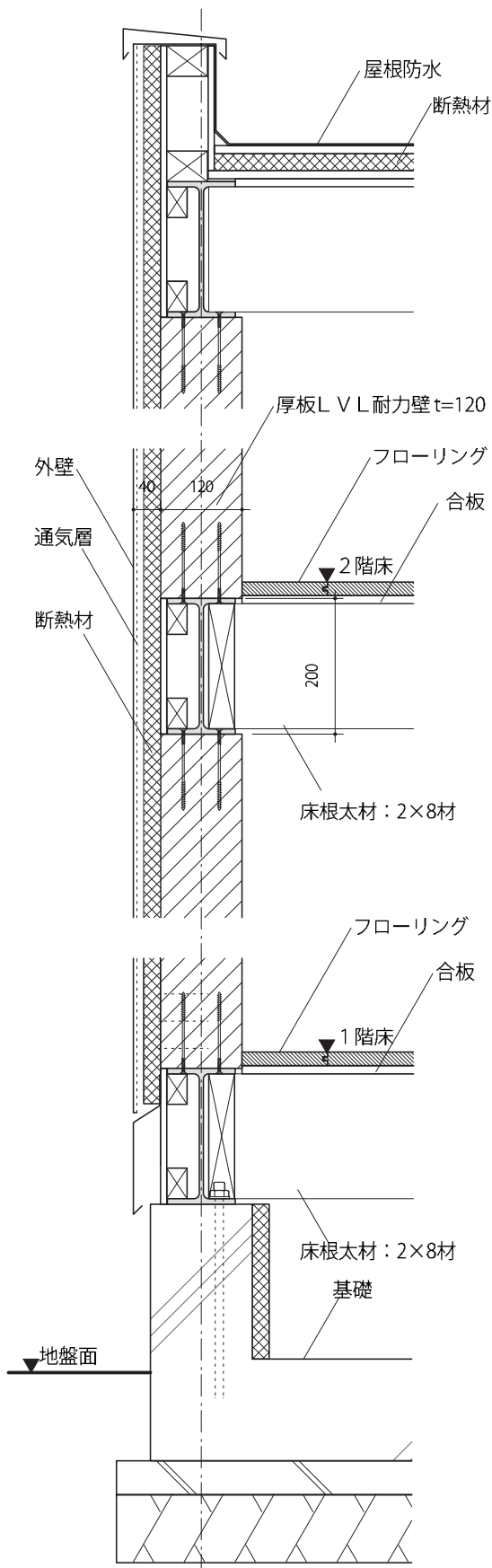
外壁ユニットとして LVL を使用した厚板耐力壁を工場製作して納めることで、接合部は比較的自由度が高く部の種類や数量を減少させることができる。現場における工数を減らし、施工の簡易化につながる。

本案は厚板耐力壁が持つ厚みを利用し、直接厚板に二階床スラブの荷重を負担させて納めたディテール例である。床壁の取り合いをシンプルにすることで、様々な発想が可能になる。ここでは、その隙間を照明ボックスとして活用している。



厚板 LVL 耐力壁による 2 階建住宅 構造アクセメ 1

厚板 LVL 耐力壁を外壁に用いたディテール例 (2)

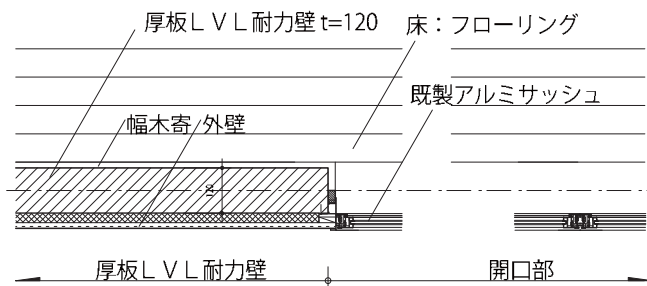


外壁詳細 S=1:10

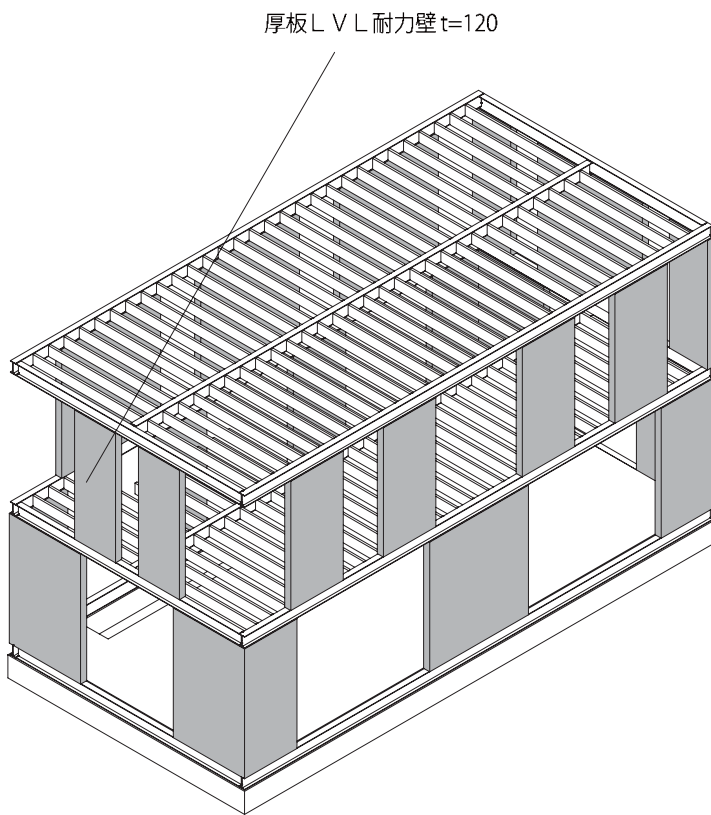
本案は厚板 L V L 耐力壁と既製鋼材梁を用いた複合構造案である。一般的な住宅において高耐力を期待する壁を設置する場合は、柱頭柱脚部および梁の破壊によって最大耐力が決定されるが、本案においてはその弱点を補いながら長スパンの実現が可能となり、開口部も広く確保できる。

床の根太材に 2 × 8 材を用い、それを鉄骨梁の下フランジに架ける事で部材数を減らし、シンプルで無駄のない納まりとする。

(河野泰治アトリエ)



平面詳細 S=1:10



厚板 L V L 耐力壁による 2 階建住宅 構造アクソメ 2

3

事例研究

東京大学弥生講堂アネックスにおけるLVL使用の実例

LVLの多様性を活かし、実現した空間



弥生講堂アネックス1階ギャラリー内部

LVLの活用事例として、2008年東京大学農学部構内に建てられた、東京大学弥生講堂アネックスを取り上げる。本建築は東大キャンパス内でも、本郷通り沿いにあり、当初は緑地帯として本郷界限と大学を緩やかに繋ぐバッファゾーンに建てられたものである。

周辺の保存樹木を中心とした自然環境・本郷や東大が持つ歴史・通りが培ってきた景観に配慮し、80人収容のギャラリー、講義室、演習室等から構成される地上2

階建て、延床面積約480㎡である。また、新たな木質構造建築の実現が設計の与条件であったため、構造や仕上に様々なエンジニアリングウッドが用いられており、LVLは建築の実現のために大きな役割を占めている。

HPシェルの境界梁

1階ギャラリー部分の壁・天井を構成する特徴的なHPシェル面は、合板によるウェブとフランジで構成される曲面のストレススキンパネルであり、その境界梁にLVLが用いられている。

7.2mのスパンを無柱空間とするだけでなく、周辺環境に溶け込む空間を造るために、十分な大きさを持った開口部であるトップライトやサッシュが必要とされた。また、敷地が埋蔵文化財の包蔵地で基礎を深く掘り下げられない点や周辺の保存樹木を極力残すことが要求され重機の使用が制限される等、構造や施工計画にも制約が多かった。

そこで、HPシェルの組み立ては、基礎かつ1階の床である厚さ300mmのマットスラブを作業プラットフォームとして、HPシェルを横に寝かせて地組する方法をとした。

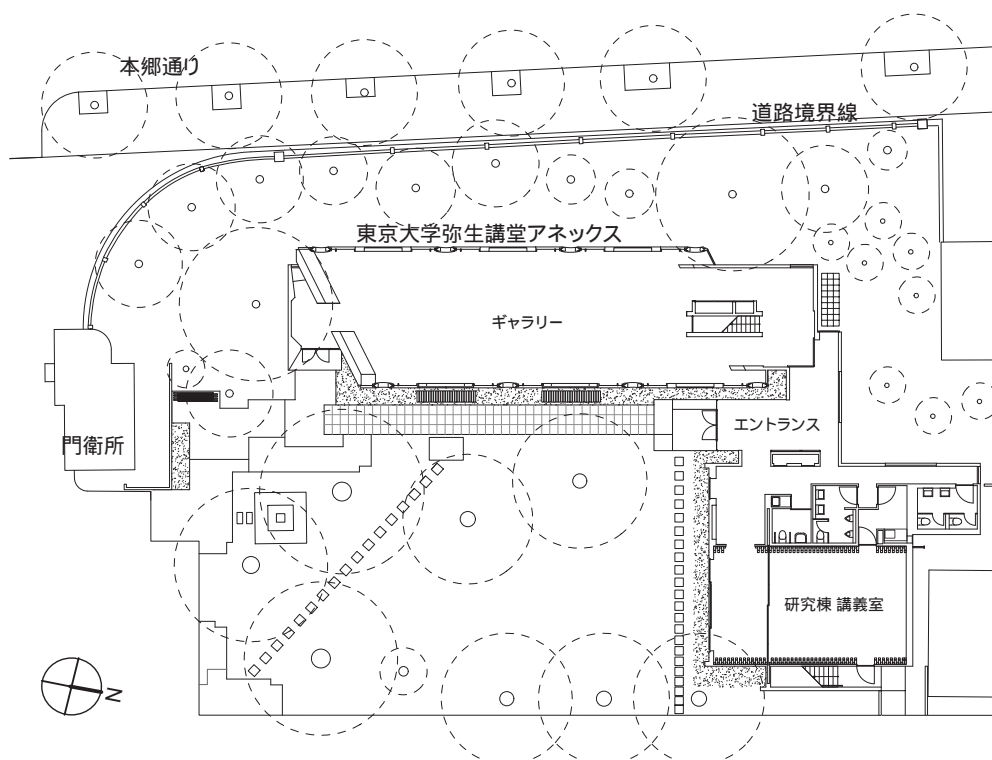
境界梁であるLVL(180×200mm、L=7100)をシェルの四辺とし、これに短冊に切り出したt=12の合板を格子状に組み、フランジ材のt=9の合板を表側に2枚、裏側に2枚それぞれ直交に張り、ストレススキンパネルを構成した。その後、外部仕上である銅板、内部仕上げであるレッドシダーの羽目板を張ることでHPシェルができる。一基の重量は約1.6t、設計段階から検討した重機による吊り込みを行いこれを8基建てギャラリーとなる。



シェルの骨組製作 4辺の境界梁がLVL



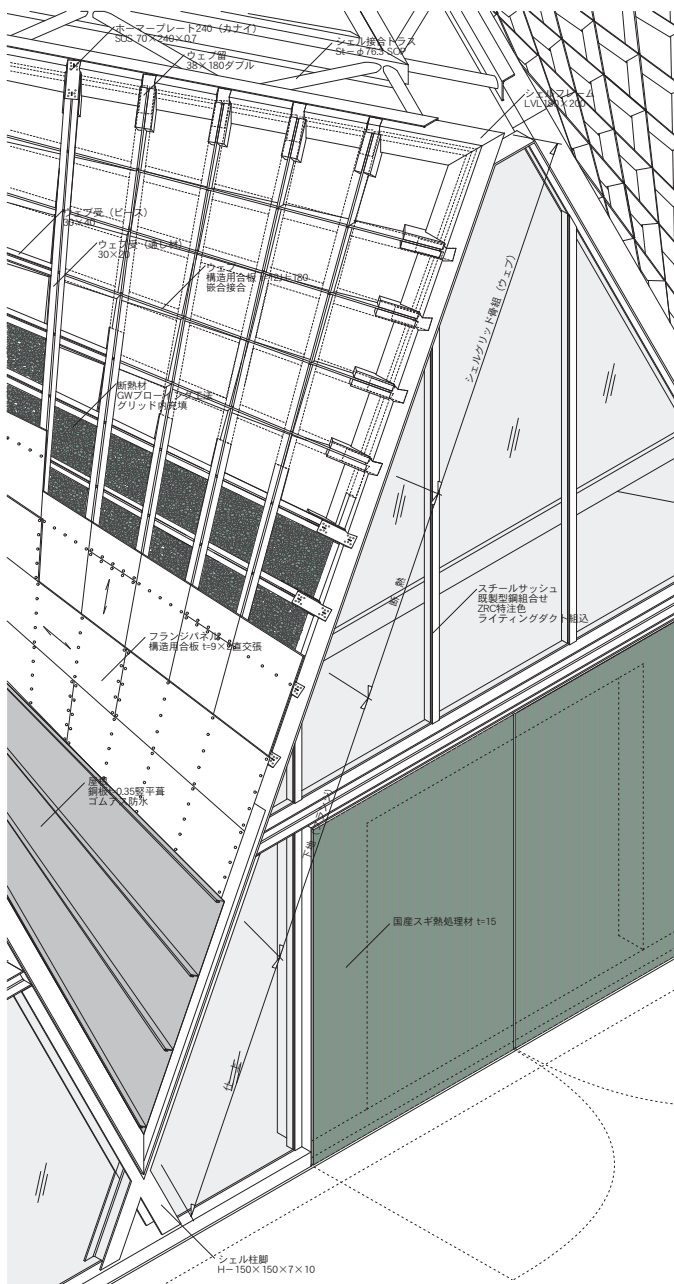
シェルの建て方



弥生講堂アネックス 1階平面図 S = 1 : 400



シェル部分外観



弥生講堂アネックスシェル部詳細

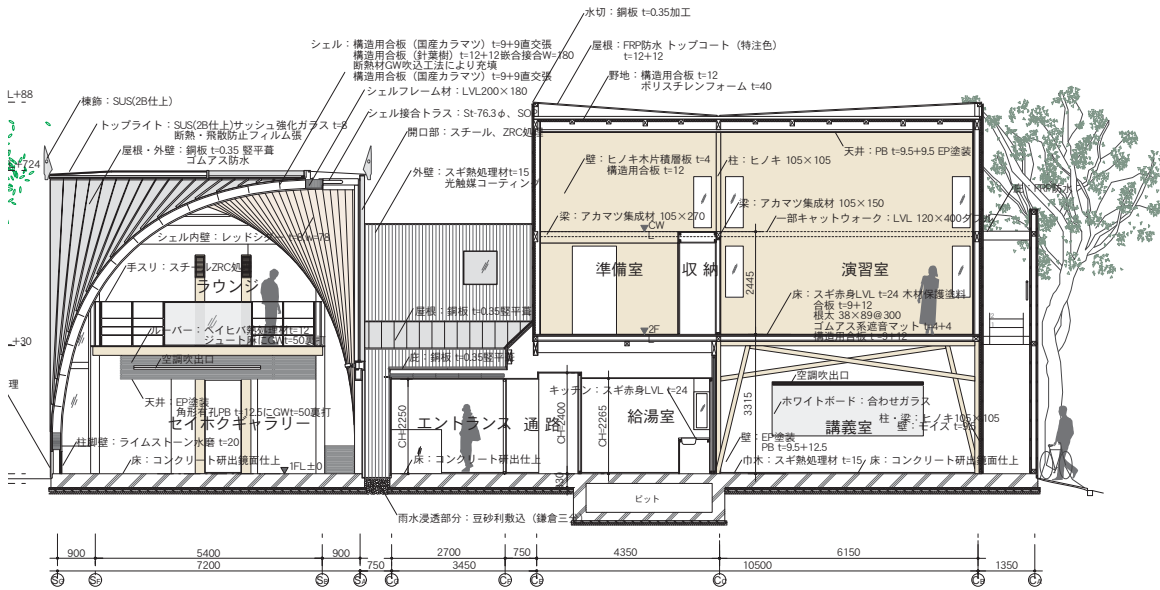
HPシェルの境界梁は施工のどの段階においても、構造強度（曲げヤング係数E 120）だけでなく寸法の安定性や施工の容易さが求められたため、LVLの強度的性質から採用した。建て方に際しては、V字型に加工したH鋼の柱脚やトップライト直下にある鉄骨トラスをHPシェルと接合する際に、予め鉄骨に対して穴を開けておき、境界梁であるLVLとの接合は構造用ビス接合とした。HPシェルはこの木質構造ならではの施工の容易さと、LVLがエンジニアリングウッドの材としての性質と性能の高さが、うまく合致した例であろう。

HPシェルのような曲面がある場合、設計図書や模型だけでは実際の施工まで検討できない点や見えてこない部分がある。今回のHPシェルの製作に際して、1/20の模型、1/2の模型、モックアップと多くの検討を重ねつつ、実現へと向かっていった。

LVLは単に境界梁としての材料ではなく、空間全体を仕上げるために、木質材料とその他の材料を結びつける重要な材料になっている。強度・寸法・加工性この3つの要素を満たす材料によって、合理的で無駄のないシンプルなディテールが出来上がった。それによってHPシェル同士のすきまであるトップライトや開口部のサッシュから降り注ぐ木漏れ日の光や風に揺れ動く樹々の葉を感じられるギャラリー空間が生み出された。



サブエントランス外観



弥生講堂アネックス西 - 東断面詳細 S = 1 : 180

キャットウォーク

研究棟の2階にある演習室は、10.5 m四方の平面に高さ約5 mの空間である。この中に、キャットウォークが設けられており、ここにLVLが使用されている。

通常の戸建て住宅の2層吹き抜けよりは少し高さが低いですが、床仕上は後述する国産スギ赤身のLVL、壁は国産ヒノキの木片積層板、天井はEP塗装と内装全体は比較的なシンプルかつ木質材料のやわらかく暖かいイメージがメインなので、キャットウォークは素材もできるだけ金属ではなく木質材料で設計段階から検討された。

ところが、キャットウォークの設置位置があまり高くないので、できるだけ薄く仕上げて、スパンは約6 m可能な材料となるとなかなか見つからず苦慮していたところ、LVLでt = 120、W = 800で長さも6 m十分に可

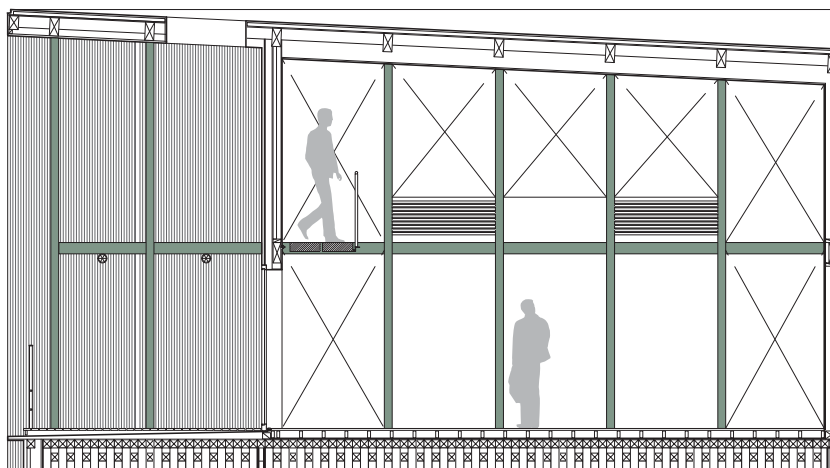
能であることがわかった。今回は壁からLVLを離しスパンの端部のみで2辺支持で使うこととした。

結果、演習室内では特別な強い印象を与えることなく室内に存在するキャットウォークとなった。

ここでは、製材で実現できないような空間が、LVLを用いることで、木質材料の持つやわらかな表情、暖かみのある風合いを醸しだし、機能を損なうことなく、室内全体をまとめるのに役立っている。

LVLをほぼそのまま仕上げることなく使用しているが、演習室の内部は全体として木質空間が持つ落ち着いた空間だといえる。

LVLは構造材としてだけではなく、その単板を積層した独特な断面を活かすことで、意匠上も含めて空間全体を構成する素材として用いることができる。



キャットウォーク断面



2階演習室キャットウォーク



エントランス庇

片持ち梁のエントランス庇

ギャラリーと研究棟の間にエントランスがあり、銅板 $t=0.35$ 豎平葺きの庇がある。この構造にLVLを使用している。

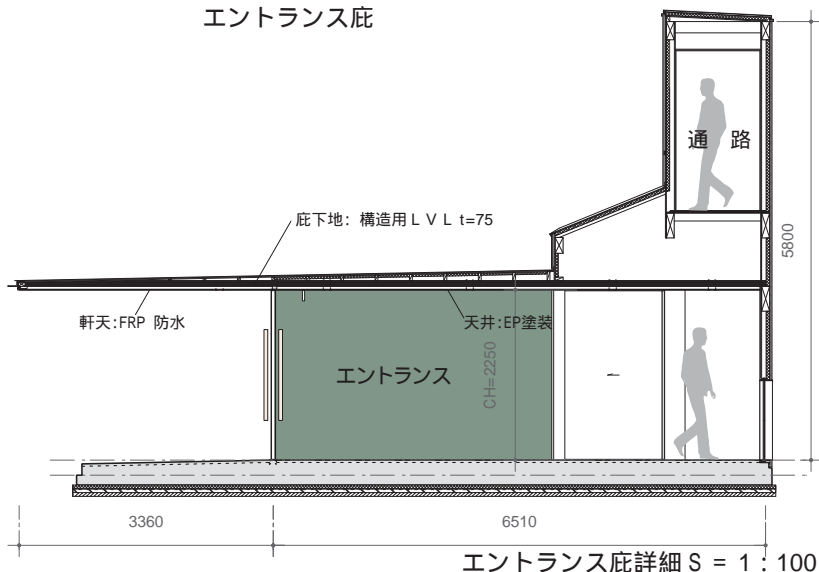
ギャラリーのHPシェルと研究棟の箱形の形態との間で単純に利用する人々を迎え入れる要素を表現したもので、庇はできる限り薄く、柱などが現れないものを検討した。そのため、強く軽い板状の材料を考えた結果構造としてLVLを採用したものである。

LVLのサイズは、 $t=75$ 、 $W=530$ を5枚並べているのだが、 $L=9800$ と長尺である。

これを支持しているのは、エントランスのサッシの枠材としても機能している、スチールのフラットバーで $32\text{mm} \times 32\text{mm}$ の無垢材である。これを柱・梁のフレームとみなして、その上に庇のLVLが載っている状態である。このLVLを建物内部側に約6.5mの位置まで飲み込ませて梁に固定しており、庇先端部は約3.3mの片持ち梁としている。

先端での庇の厚みは仕上を含めても約120mmであり見た目の印象ではかなり軽くてきたのでは、と思う。サッシの枠が柱には見えず、庇だけが跳ね出して見えるので、シンプルで他の建築の部分と比べて目立たない。それでも、利用する人々はすぐにここがエントランスだと理解し、最初にこの庇の扉を開けに来る。

LVLという木質材料をサッシの枠材であるスチールが支えているという点で、部分的にはハイブリッド構造ではあるが、建築を実現するために必要な条件を整理した結果、このような解決方法も重要だといえよう。



フローリングとしてのLVL

2階床の仕上は、国産スギ赤身のLVLを使用している。構造として使用しているのではなく、エンジニアリングウッドの持つ可能性を意匠的に検討した結果である。ここでは、国産スギの赤身を中心に造られているLVLをフェノール系の接着層が見える側を小口だてして使用することで、スギの持つ暖かみのある質感に加え、柔らかさのある歩行感、接着層がもたらす耐摩耗性能が採用した理由である。

施工時には、実際にサンプルを $t=24, 21, 18$ と製作し、表面の塗装を施した上で歩行して確かめた。

塗装はその後テストを行い、結果 $t=24$ mmを大学の使用に十分耐えうることを確認して採用に踏み切った。



2階ラウンジ



緑多い弥生キャンパスに佇む弥生講堂アネックス

実加工はせずに下地には接着併用ビス留めとした。竣工後の利用状況は予想以上に歩行感がよいため、靴を脱いで使用していた。また、表面がラミナと接着層の小さな厚みの繰り返しで構成されているため、視覚的には均質な印象を与えつつ、多少のキズも目立たずに使える。

演習室を構成する壁は国産ヒノキの木片積層板、天井はプラスターボードにEP塗装としているため、建材が持つ素材としての面白みを引き出すことができた。

またこのLVLフローリングは素材をそのまま活かすという意味でも和の空間にも違和感無く溶け込むことだろう。例えば畳を使用しない和室にも十分採用可能である。今後の住宅を含めた広範な使用に期待したいところだ。

まとめ

東京大学弥生講堂アネックスは、さまざまな木質材料が使用されており、それらは構造、仕上にかかわらず、適材適所に用いられている。

中でも今回取り上げたLVLは強度における信頼性の高さから主要なHPシェルの境界梁に用いられただけでなく、必要長の確保の点からも含めて設計当初から各部分で検討していた材料である。

LVLは構造における厚板的な使用、幅広の板としての使用に限らず、意匠性においても十分に使用に耐えられる材料の一つだと考えられる。今後さらに木質材料が環境への配慮や意匠性の豊かさも含めて利用範囲が拡大される中、LVLは特に将来性が高く適用範囲が広い木質材料の一つだと云える。小径木の利用は林業を含むヤマの問題解決の糸口であり、エンジニアリングウッドの生産は、木材だけではなく関連する業種の技術的發展にかぎらず、多くの企業にまで影響を与えるものである。さらには、LVLをはじめとした多様な木質材料の発展は、木質構造による建築の発展そのものであり、今後のまちづくりにもよい結果をもたらすだろう。

製材だけでなく、エンジニアリングウッドを含めて、木質材料をもっとしてもらえる機会になればと思う。

東京大学弥生講堂アネックスへ足を運んでくださる方が増え、LVLや木質材料を通して環境や日々の生活を少しでも考えていただければ幸いである。

河野泰治アトリエ主宰 / 河野泰治