# 第4章 大型パネル構面水平加力実験

## 第4章 大型パネル構面水平加力実験

## 4.1 試験計画

## 4.1.1 試験体の仕様

試験は腰壁が無い条件(以下C型)腰壁がある条件(以下O型)、腰壁が無い条件を3点で ピン接合した条件の3つ条件を行った。試験体の全体図を図4.1.1-1、4.1.1-2、4.1.1-3に、試験体を構成するラミナの概要を表4.1.1-1 にそれぞれ示す。



### 図4.1.1-1 C型試験体



図4.1.1-2 0型試験体



図4.1.1-3 Pin型試験体

表 4.1.1-1 試験体を構成するラミナ

種	スギ	<b>=</b> 4 1 1 0	きしん オーチャー・シー
ひき板幅	100mm	衣 4.1.1-2	試験体を 構成する フミア
	強軸:6.0~7.9kN/mm <sup>2</sup>	C 型	3 体
ひき板材質	記軸:3.0~5.0kN/mm <sup>2</sup>	O 型	3体
された可と		Pin 型	1体
いさ板厚さ	30mm		ļ
接着剤	イソシアネート系接着剤		

試験体は高さ2700mm、幅4000mm、厚み150mmの大型CLTパネルから切り出して作成した。柱 脚の引きボルト接合にはΦ24mmのボルトを用い、座金は終局時に曲がらないよう厚み 30mm(100×140×30mm)の鋼板を用いた。

# 4.1.2 加力方法

図 4.1.2-1 に試験木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2008 年度版)に基づき、1/450 ~1/30rad.の正負変形加力を行った。



図 4.1.2-1 試験体設置状況

# 4.1.3 実験計画

各条件の変位計とひずみゲージの設置状況を図 4.1.3-1、-2、-3 にそれぞれ示す。また、 表 4.1.3-1 にはチャンネルリストを示した。



図 4.1.3-1 C型試験体計測器位置



図 4.1.3-2 0 型試験体計測器位置



図 4.1.3-3 Pin 型試験体計測器位置

表 4.1.3-1 計測器リスト

No.	測定場所	測定内容	測定器
Act 荷重	アクチュエーター	アクチュエーター荷重	内蔵
Act 変位	アクチュエーター	アクチュエーター変位	内蔵
#1	加力点高さ 2300mm-南側-側面	加力点高さ絶対変位	ひずみ式変位計
#2	北側脚部−北	架台一壁相対鉛直変位	ひずみ式変位計
#3	北側脚部−南	架台一壁相対鉛直変位	ひずみ式変位計
#4	北側脚部-南鉄骨架台より上へ100mm	架台一壁相対水平変位	ひずみ式変位計
#5	南側脚部−北	架台一壁相対鉛直変位	ひずみ式変位計
#6	南側脚部−南	架台一壁相対鉛直変位	ひずみ式変位計
#7	南側脚部-南鉄骨架台より上へ100mm	架台一壁相対水平変位	ひずみ式変位計
#8	北側脚部−北側ボルト	ボルト軸力	センターホール型荷重計
#9	北側脚部−南側ボルト	ボルト軸力	センターホール型荷重計
#10	南側脚部−北側ボルト	ボルト軸力	センターホール型荷重計
#11	南側脚部−南側ボルト	ボルト軸力	センターホール型荷重計
#12	北側まぐさ下付け根-東側-上	木材せん断ひずみ	30mm ひずみゲージ
#13	北側まぐさ下付け根-西側-上	木材せん断ひずみ	30mm ひずみゲージ
#14	南側まぐさ下付け根-東側-上	木材せん断ひずみ	30mm ひずみゲージ
#15	南側まぐさ下付け根-西側-上	木材せん断ひずみ	30mm ひずみゲージ
#16	北側まぐさ下付け根-東側-下	木材せん断ひずみ	30mm ひずみゲージ
#17	北側まぐさ下付け根-西側-下	木材せん断ひずみ	30mm ひずみゲージ
#18	南側まぐさ下付け根-東側-下	木材せん断ひずみ	30mm ひずみゲージ
#19	南側まぐさ下付け根-西側-下	木材せん断ひずみ	30mm ひずみゲージ
#20	北側脚部−せん断金物ボルト−北側	ボルトひずみ	5mm ひずみゲージ
#21	北側脚部-せん断金物ボルト-中央	ボルトひずみ	5mm ひずみゲージ
#22	北側脚部−せん断金物−南側	ボルトひずみ	5mm ひずみゲージ
#23	南側脚部−せん断金物ボルト−北側	ボルトひずみ	5mm ひずみゲージ
#24	南側脚部−せん断金物ボルト−中央	ボルトひずみ	5mm ひずみゲージ
#25	南側脚部−せん断金物−南側	ボルトひずみ	5mm ひずみゲージ
#26	南側鉄骨架台	地面一鉄骨架台の絶対 水平変位	ひずみ式変位計
#28 (Pin 型のみ)	北側脚部	北側壁の鉛直変位	ひずみ式変位計
#29 (Pin 型のみ)	南側脚部	南側壁の鉛直変位	ひずみ式変位計

#### 4.2 事前解析

大型パネルを用いた場合の耐力の事前解析を行った。この時、「引きボルトと木材の圧縮の釣り合い」と「CLT の面内せん断変形」が直列バネとして全体に作用していると仮定した。以下に「引きボルトと木材の圧縮の釣り合い」と「CLT の面内せん断変形」を求める方法を示した。

#### 4.2.1 引きボルトと木材の圧縮の釣り合いから求めた回転抵抗

前年の検討「CLT パネルを用いた中高層建築物の構造計画と接合部性能の検証事業報告書」にならい、耐力壁の引抜けに対しては引きボルト形式の接合部、せん断に対しては前年までの木ねじ-U字型金物の接合部を用いたときの設計の提案を行った。

- ① CLT 壁端部の木材のめり込み力 C と、引きボルトの抵抗 T が釣り合う。
- ② 引きボルト形式の接合部はせん断に作用せず、木ねじ-U 字型金物の接合部は引張りに作用 しないものとする。
- ③ 壁の系全体の降伏耐力は一番端の引きボルト接合部の性能により決定される。

CLT 耐力壁が水平荷重を受けた場合のモデルを図2に示す。外力Pに対して、 $C \ge T$ によって抵抗する。ここで、試験体高さをH、試験体長さをL、試験体幅をW、引張り側の試験対端からOまでの距離をX、Oから引きボルトの距離を $x_i$ 、仮想の回転中心をOとそれぞれ定義した。



図 4.2.1-1 CLT 壁回転変形モデル

荷重 Pを受けて、0回転した場合のCを以下のように求めることができる。

$$X \ge l_r \qquad \qquad C = \frac{1}{2} \nu (l - X)^2 \theta \qquad (4-1)$$

$$l_r \ge X \qquad \qquad C = \frac{1}{2} v (l - X) (l - l_r) \theta \qquad (4-2)$$

$$v = mtk_{\parallel} + ntk_{\perp} \tag{4-3}$$

n:CLT の繊維平行方向層の数	k//∶繊維平行方向面圧常数(N/mm²)
m:繊維直交方向層の数	$k_{\perp}: 繊維平行方向面圧常数(N/mm2)$
t:1ラミナの厚み (mm)	

ここで、*k*<sub>//</sub>と *k*\_は以下の式により表すことができる<sup>\*)</sup>。

$$k_{\prime\prime} = \frac{E_{\prime\prime}}{31.6 + 109t} \tag{4-4}$$

$$k_{\perp} = \frac{E_{\prime\prime\prime}}{3.7(31.6 + 10.9t)} \tag{4-5}$$

*E*//は繊維平行方向ヤング率を表す。次に引きボルトによる抵抗 T はのうち、1本の引き

ボルト接合部の初期剛性 KP は前年度の試験結果を用いる。

この時、Tは以下の式によって表すことができる。

$$T = \sum_{i=1}^{r} K_{P} \left( X - x_{i} \right) \theta \tag{4-6}$$

仮定③より、CとTは等しいため、回転中心Oの位置が求まる。

$$C = T \tag{4-7}$$

式(4-7)に式(4-6)と式(4-1)または(4-2)を代入し、Xについて解くと式(4-8)、(4-9)となる。

$$X \ge l_{r} \qquad X = \frac{2lv + rK_{p} + \sqrt{(2lv + rK_{p})^{2} - 4v\left(vl^{2} + 2K_{p}\sum_{i=1}^{r}x_{i}\right)}}{2v}$$
(4-8)

$$l_r \ge X$$
  $X = \frac{vl^2 + vll_r + 2K_P \sum_{i=1}^r x_i}{vl - vl_r - 2rK_P}$  (4-9)

 $K_P$ : 引きボルト接合部の初期剛性 (N/mm)

r: Oの位置までの引きボルト接合部数

外力*P*によるモーメントは木材の圧縮によるモーメント*M*<sub>C</sub>と引きボルト接合部によるモ ーメントにより表すことができる。

$$Ph = M_C + M_T \tag{4-10}$$

式(4-6) と式(4-1) もしくは(4-2) にぞれぞれのモーメント距離を掛けて式(4-10) に代入 すると、以下の式によって表すことができる。

$$X \ge l_r \qquad Ph = K\delta = C \times \frac{2}{3}(l - X) + T \times \sum_{i=1}^r (X - x_i)\theta \qquad (4-11)$$

$$l_r \ge X \qquad Ph = K\delta = C \times (X - y) + T \times \sum_{i=1}^r (X - x_i)\theta \qquad (4-12)$$

$$y = \frac{(l - l_r)(l + 2l_r - 3X)}{3(l + l_r - 2X)}$$
(4-13)

式(4-11)、(4-12)を展開して、初期剛性 K は以下のように得ることができる。

$$X \ge l_r \qquad K = \left\{ \frac{1}{3} \nu (l - X)^3 + \sum_{i=1}^r K_p (X - x_i)^2 \right\} \frac{1}{h^2}$$
(4-14)

$$l_r \ge X \qquad K = \left\{ \frac{1}{2} v (l - X) (X - y) (l - l_r) + \sum_{i=1}^r K_P (X - x_i)^2 \right\} \frac{1}{h^2}$$
(4-15)

また、一番端にある引きボルト接合部の耐力が昨年度の実験における降伏変形量 $\delta_{PY}$ に達した時の耐力壁耐力 $P_Y$ を以下の式により求めることができる。

$$\theta_Y = \frac{\delta_{PY}}{X - x_1} \tag{4-16}$$

$$P_{Y} = Kh\theta_{Y} \tag{4-17}$$

## 4.2.2 CLT の面内せん断変形

CLTの面内せん断変形を把握するために、有限要素法(以下FEM)を用いた弾性解析を行った。解析にMSC,MARC(ver.2011)を用い、解析に代入した弾性定数は以下に示す。

 $E_{//}=6000$ MPa,  $E_{\perp}=240$ MPa,  $N_{//\perp}=0.38$ ,  $N_{\perp//}=0.025$ , N13=0.5,  $G_{\perp//}=400$ MPa,  $G_{\perp//}=40$ MPa

解析に用いたメッシュを図4.2.1-2~-5にそれぞれ示す。足下図に赤丸で示した箇所が 自由回転し、メッシュ上部の接点全てに一律の強制変位を与えた。



図4.2.1-2 C型メッシュ正面



図4.2.1-4 O型メッシュ正面

![](_page_10_Figure_11.jpeg)

図4.2.1-3 C型メッシュ斜め

![](_page_10_Figure_13.jpeg)

図4.2.1-5 O型メッシュ斜め

上記を計算した上で、各条件の予測性能は表 4.2.1-1 にそれぞれまとめた。

	初期剛性	釣り合いから 求めた回転抵 抗剛性	FEM から求 めたパネルの せん断剛性	降伏 耐力	降伏 変形角	接合部の引き ボルトが降伏 する耐力
	$(10^3 \times kN/rad)$	$(10^3 \times kN/rad)$	$(10^3 \times kN/rad)$	(kN)	(rad.)	(kN)
C型試験	37.0	107.7	56.3	174.6	1/233	244.0
O 型試験	42.9	107.7	71.4	199.1	1/229	244.0
Pin 型	56.3		56.3	174.6	1/322	

表 4.2.1-1 事前予測による各試験条件の性能

## 4.3 実験結果

# 4.3.1 耐力及び変形性能

各試験結果における荷重-変形角の関係を図 4.3.1-1~7 にまた、各結果の包絡線をまとめたものを図 4.3.1-8 それぞれ示す。

![](_page_12_Figure_3.jpeg)

![](_page_13_Figure_0.jpeg)

図 4.3.1-7 Pin 荷重-変形角関係

図 4.3.1-8 包絡線による比較

O型が最も初期剛性、最大耐力が高くついで O型、Pin の順番となる。また C型、O型共に耐力性能のばらつきは少ない。前項で求めた事前解析の初期剛性と降伏耐力を C型、O型の包絡線 とそれぞれ重ねたものを図 4.3.1−10,−11 にそれぞれ示す。C型の場合、初期剛性は事前解析の 結果が実験結果を少し上回っている。降伏耐力は良く合っている。一方 O型の場合初期剛性、降 伏耐力共に事前解析とよく合っている。今後、引きボルト接合部の引き抜き性能を把握した上で、 より精密な解析を行いたい。

試験結果の各種算定値を算出するにあたり、初期剛性は最大荷重  $P_{\text{max}}$ に対して、0.2  $P_{\text{max}}$  と 0.5  $P_{\text{max}}$ の点を結んだ線分の傾きとした。降伏モーメントは、Initial stiffness line を 0.001rad.オフセットさせた線分とモーメント-変形角曲線との交点のとし、この時の変形角を降伏変形角とした(図 4.3.1-9)

![](_page_13_Figure_5.jpeg)

図 4.3.1-9 試験結果の各種算定値を算出法

![](_page_14_Figure_0.jpeg)

図 4.3.1-10 C型実験結果と事前解析の比較

図 4.3.1-11 0 型実験結果と事前解析の比較

表 4.3.1-1 谷棟算定値
-----------------

	最大耐力	降伏耐力	初期剛性	終局変形角	降伏変形角
	(kN)	(kN)	(kN/rad.)	(rad.)	(rad.)
c-1	234.67	161.81	26.49	0.015	0.006
c-2	268.21	134.74	30.15	0.009	0.005
c-3	243.11	163.48	27.35	0.010	0.006
平均	248.66	153.34	28.00	0.011	0.006
標準偏差	17.45	16.13	1.91	0.003	0.001
解析結果		174.63	36.96		
o-1	317.74	230.46	41.79	0.0087	0.0061
o-2	361.87	238.89	41.38	0.0092	0.0059
0-3	303.71	277.72	42.69	0.0086	0.0067
平均	327.77	249.02	41.95	0.0088	0.0062
標準偏差	30.35	25.21	0.67	0.0004	0.0004
解析結果		199.10	42.94		
Pin	159.65	80.71	16.39	0.0123	0.0051

表4.3.1-1の結果からも最大耐力、降伏耐力、そして初期剛性のばらつきが比較的少ないこと が分かる。また腰壁のあるO型は腰壁のないC型の試験結果に対して高い性能を有している。最 大耐力、降伏耐力、初期剛性はそれぞれ、1.3、1.6、1.5倍O型の平均値はC型と比べそれぞれ高 かった。

![](_page_15_Figure_1.jpeg)

図 4.3.2-2 0 型柱脚北足下外側(#2-#8)

![](_page_15_Figure_3.jpeg)

![](_page_15_Figure_4.jpeg)

![](_page_15_Figure_5.jpeg)

![](_page_16_Figure_0.jpeg)

![](_page_16_Figure_1.jpeg)

![](_page_16_Figure_2.jpeg)

![](_page_17_Figure_0.jpeg)

図 4.3.2-11 C型足下の引抜き荷重-変位関係 図 4.3.2-12 0型足下の引抜き荷重-変位関係 (#5-#10) (#5-#10)

![](_page_18_Figure_0.jpeg)

図 4.3.2-15 C型足下の引抜き荷重-変位関係 図 4.3.2-16 0型足下の引抜き荷重-変位関係 (#6-#11) (#6-#11)

C型の脚部の性能において、外側の引きボルト型接合部と内側の接合部とを比較した時、同程 度もしくは内側の方が抵抗している。一方、0型の脚部では外側の接合部の方が多く力が作用し ている。また接合部の変形量は多くの場合最大2~4mmであるがC型の条件で内側の接合部は8 近く変形を受ける。

![](_page_20_Figure_1.jpeg)

図 4.3.3-1 C 型損傷確認位置

![](_page_20_Picture_3.jpeg)

写真 4.3.3-1 C 型試験終了後全体

![](_page_20_Picture_5.jpeg)

写真 4.3.3-2 北側まぐさ付け根の損傷

![](_page_20_Picture_7.jpeg)

写真 4.3.3-3 南側まぐさ付け根の損傷

![](_page_20_Picture_9.jpeg)

写真 4.3.3-4 北側脚部

本試験ではほぼ全ての条件で、**写真 4.3.3-2**の様にまぐさ付け根からの引っ張り破壊によって 壊れた。C型の条件では引きボルト接合部における切り欠き端の割裂等の破壊は見られなかった。

![](_page_21_Picture_0.jpeg)

図 4.3.3-2 0 型損傷確認位置

![](_page_21_Picture_2.jpeg)

写真 4.3.3-5 0 型試験終了後全体

![](_page_21_Picture_4.jpeg)

写真 4.3.3-6 北側まぐさ付け根の損傷

![](_page_21_Picture_6.jpeg)

写真 4.3.3-7 南側まぐさ付け根の損傷

![](_page_21_Picture_8.jpeg)

写真 4.3.3-8 腰壁から接合部切り欠きへの亀裂

0型試験では写真のように腰壁の箇所から引きボルト接合部切り欠き部へ亀裂が進展するのが 見られた。

![](_page_22_Figure_0.jpeg)

図 4.3.3-3 Pin 型損傷確認位置

![](_page_22_Picture_2.jpeg)

写真 4.3.3-9 Pin 型試験終了後全体

![](_page_22_Picture_4.jpeg)

写真 4.3.3-10 北側まぐさ付け根の損傷

![](_page_22_Picture_6.jpeg)

写真 4.3.3-11 南側まぐさ付け根の損傷

Pin の条件は C型の破壊条件とほぼ同じでまぐさ付け根の引っ張り破壊であった。

#### 4.4 まとめ

形状の異なる3種類のCLTパネルの耐力性能を確認した。

O型が最も初期剛性、最大耐力が高くついで C型、Pin の順番であった。また C型、O型共に耐力性能のばらつきは少なかった。腰壁のある O型は腰壁のない C型の試験結果に対して高い性能を有している。最大耐力、降伏耐力、初期剛性はそれぞれ、1.3、1.6、1.5 倍 O型の平均値は C型と比べそれぞれ高かった。

C型の脚部の性能において、外側の引きボルト型接合部と内側の接合部とを比較した時、同程度もしくは内側の方が抵抗していた。一方、0型の脚部では外側の接合部の方が多く力が作用している。また接合部の変形量は多くの場合最大2~4mmであるがC型の条件で内側の接合部は8mm近く変形を受ける。

最終的に本試験ではほぼ全ての条件で、まぐさ付け根からの引っ張り破壊によって壊れた。C 型の条件では引きボルト接合部における切り欠き端の割裂等の破壊は見られなかった。一方の 0 型試験では腰壁の箇所から引きボルト接合部切り欠き部へ亀裂が進展するのが見られた。

\*) 日本建築学会:木質構造設計基準・同解説, 602 曲げ降伏型接合具を用いた接合, 233, 丸善, 2006