

旧網走監獄舎房ほかにおける横板落とし込み板壁、石膏ボード壁、縦格子仕口の性能及び補強性能試験

- 種別：材料試験 [木材・煉瓦・鉄・コンクリート・その他]、重量測定、
要素試験 [接合部・軸組・壁・水平構面 (床・天井・小屋組・屋根)・非構造部材・その他]、
補強性能試験 [接合部・軸組・壁・水平構面 (床・天井・小屋組・屋根)・非構造部材・その他]

●基本情報

文化財名称：旧網走監獄、旧網走刑務所二見ヶ岡刑務支所（二見ヶ岡農場）
文化財種別（指定年月日）：重要文化財（平成 28 年 2 月 9 日）
所在地：北海道網走市呼人一番地
所有者（管理団体）：公益財団法人網走監獄保存財団
構造形式：(旧網走監獄舎房) 木造、建築面積 3,333.84 m²、一階建、鉄板葺
建築年：明治 45 年（1912）
事業名称：重要文化財旧網走監獄庁舎ほか 7 棟耐震診断業務
事業期間：平成 29 年 6 月～令和 2 年 3 月
工事種別：耐震診断
事業者：公益財団法人網走監獄保存財団
設計監理：(公財)文化財建造物保存技術協会
実験計画者：(公財)文化財建造物保存技術協会
実験機関：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
実験年月日：平成 30 年（2018）5 月 30 日～6 月 4 日、8 月 5 日～9 日
引用・参考文献：－

●実験に至る経緯と目的

旧網走監獄の舎房や旧網走刑務所二見ヶ岡刑務支所の舎房では、既存壁に横板落とし込み板壁、舎房の雑居房、庁舎や教誨堂において石膏ボード壁が用いられ、柱梁の材種や、下地の枠組み及び板の納まり等について既往実験研究等のデータを用いることが困難であった。また、舎房においては、木の縦格子の壁が用いられ、格子の断面や端部は特殊な形状で構成されていた。さらに、構成部材の樹種はタモが用いられ、材料強度が不明であった。

以上より、既存壁のせん断性能や、木格子接合部の性能を把握し、既存の性能をできるだけ見込み、補強量を減らすために、数種類の既存壁のせん断性能試験を実施し、その結果を耐震診断に利用した。

さらに、性能試験結果を見込んだ現状建物の診断の結果、目標値を満足できないことが分かったため、既存の壁下地や納まりを生かした数種類の補強壁を考案し、水平加力試験を行い、補強壁の施工性やせん断性能等を確認し補強案策定時に利用した。

● 姿図・寸法

【使用材料】

使用した木部の材種を以下に示す。各試験体の壁仕様等は下記表及び試験体図に示す。

- ・ 壁試験体：トドマツ
- ・ 接合部試験体：タモ

【試験体寸法】

以下表に示す 8 種類の壁試験体（現状の壁 4 種類、補強の壁 4 種類）と 3 種類の接合部試験体を用いた。

< 壁試験体（現状） >

試験体名	内容			試験体数	実験データ名	備考
試験体1	壁1	横板落とし込み	現状	1	absr_01	横板厚:24mm
試験体2	壁2	石膏ボード（雑居房）	現状	1	absr_04	石膏ボード厚:9mm
試験体3	壁3	石膏ボード（一般建屋）	現状	1	absr_03	石膏ボード厚:12.5mm
試験体4	壁4	柱梁の軸組のみ	現状	1	absr_02	

< 壁試験体（補強） >

試験体名	内容			試験体数	実験データ名	備考
試験体5	壁5	横板落とし込み①	補強	1	absr_06	受材を追加し横板を釘留め
試験体6	壁6	横板落とし込み②	補強	1	absr_05	横板を柱に釘留め
試験体7	壁7	横板落とし込み③	補強	1	absr_08	厚物合板（厚さ28mm）を柱間にはめ込む。実験では横板はなしとし、合板のみ試験体に設置した。
試験体8	壁8	石膏ボード（雑居房）	補強	1	absr_07	構造用石膏ボード（厚さ9.5mm）を使用

※試験体 7 では補強材として厚物合板（厚さ 28mm）3 枚を真鍮プレートで一体化し、柱梁間にはめ込む形状とした。

<接合部 試験体>

試験体名	内容		試験体数	実験データ名	
試験体a	接合部1	格子（菱形）	補強	3	absrc_1_01,02,03
試験体b	接合部2	格子（矢羽形）	補強	3	absrc_3_01,02,03
試験体c	接合部3	柱（長ほぞ）	補強	3	absrc_2_01,02,03

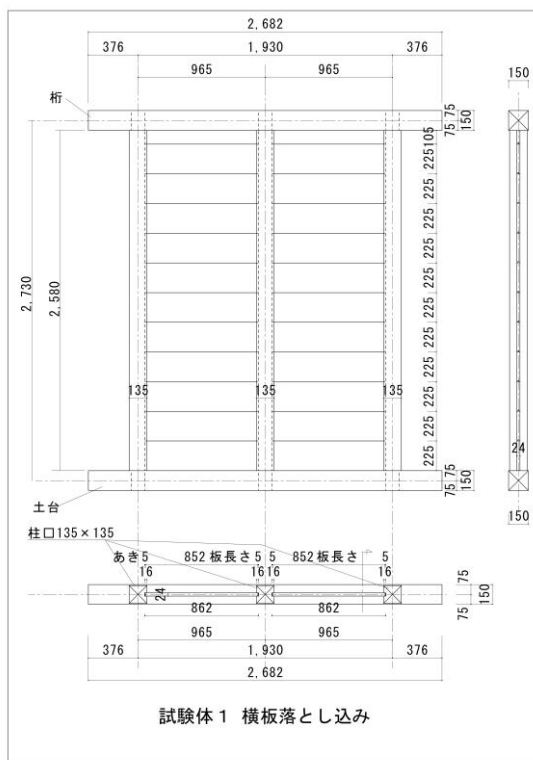


図 試験体1

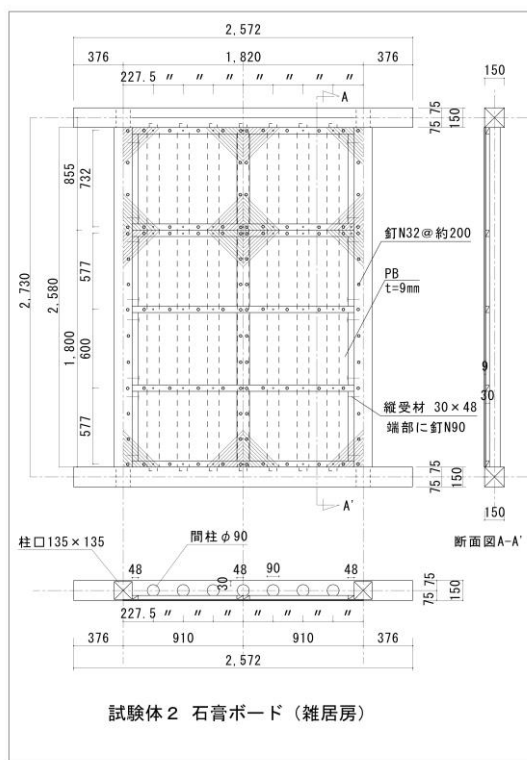


図 試験体2

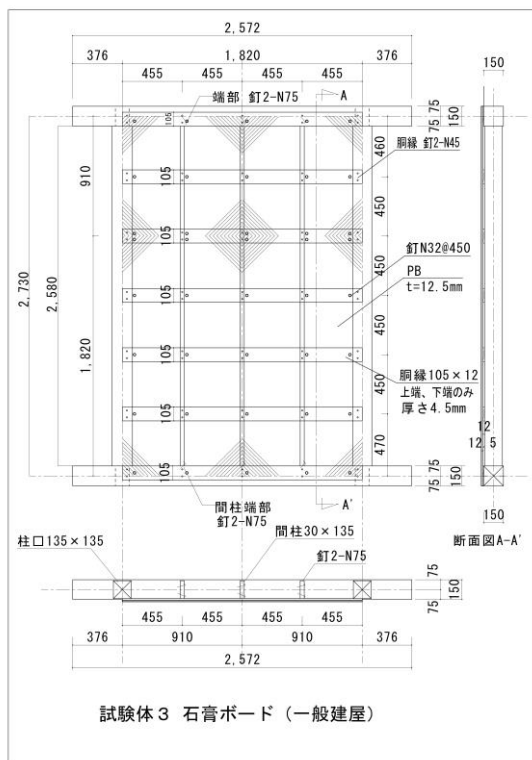


図 試験体3

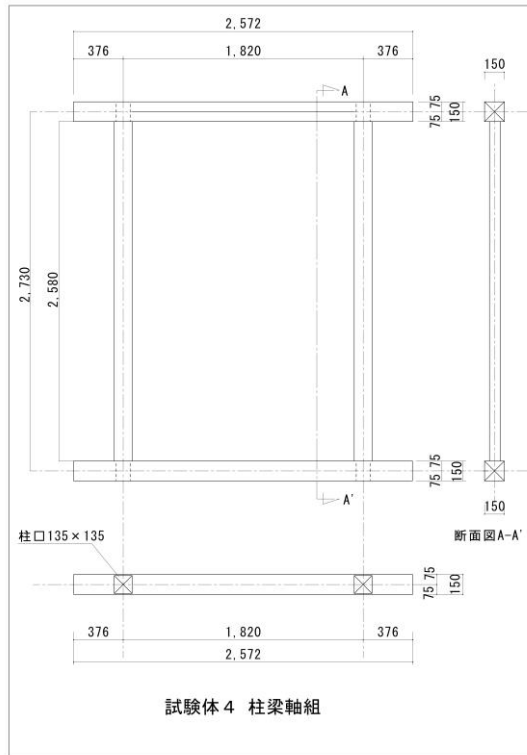


図 試験体4

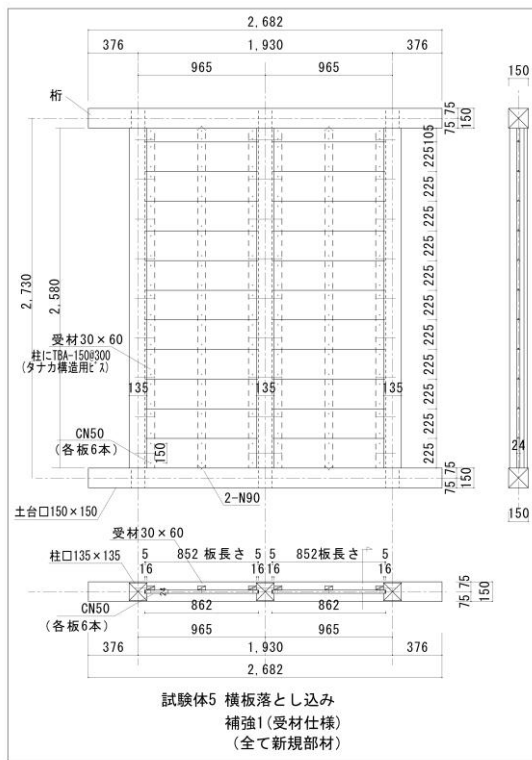


図 試験体5

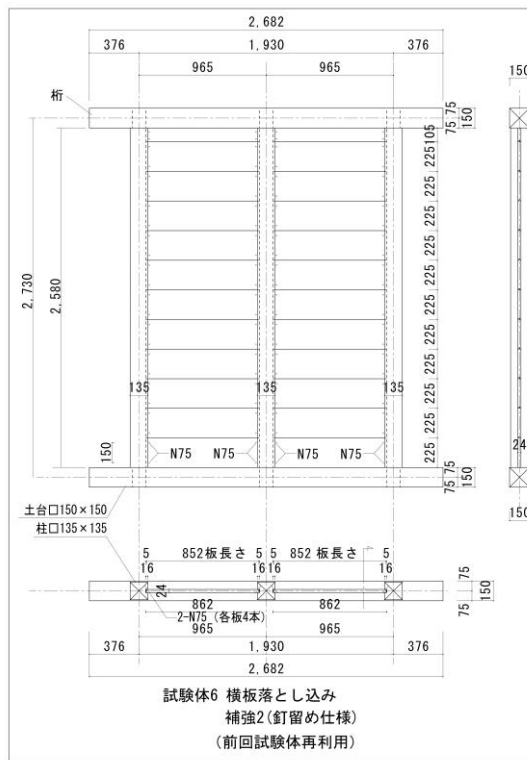


図 試験体6

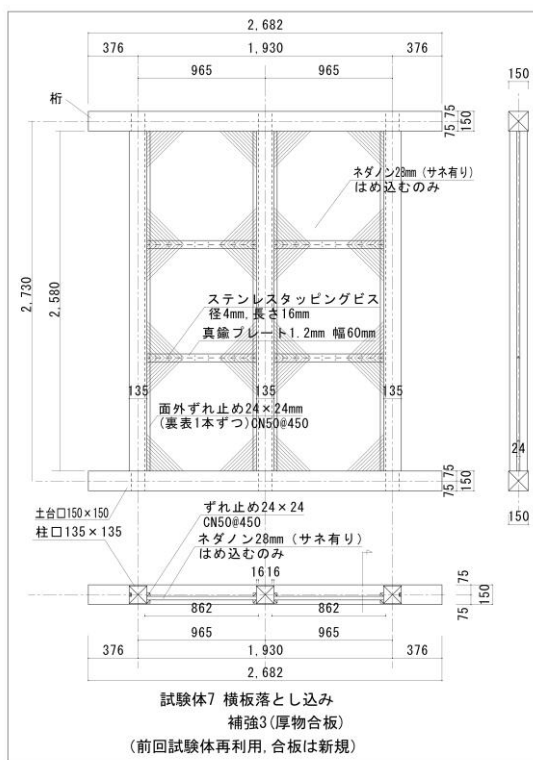


図 試験体 7

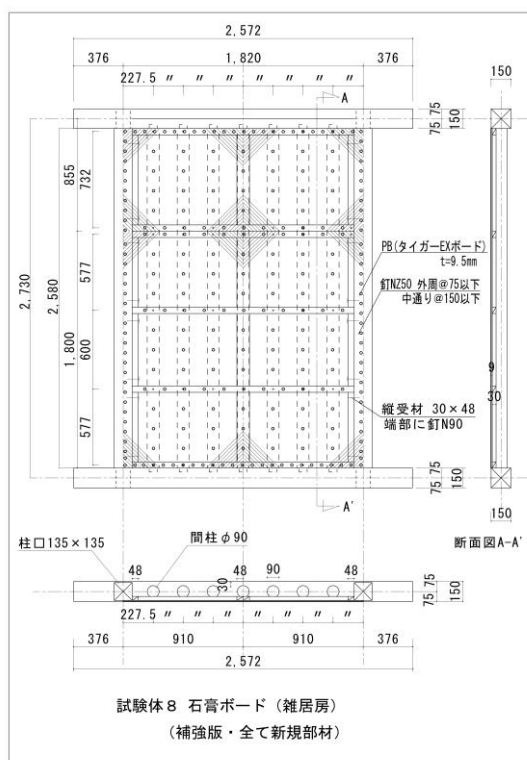
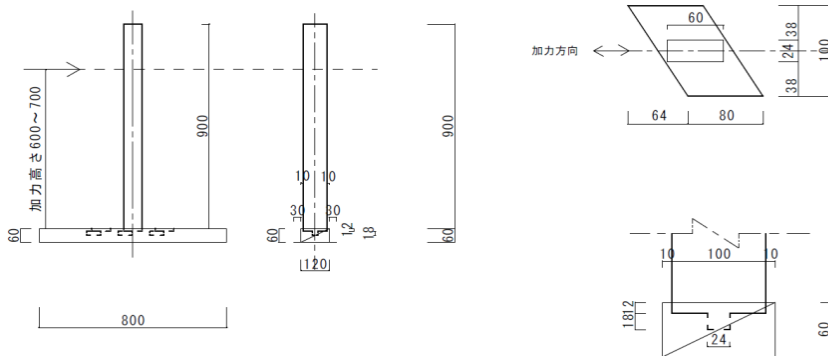


図 試験体 8



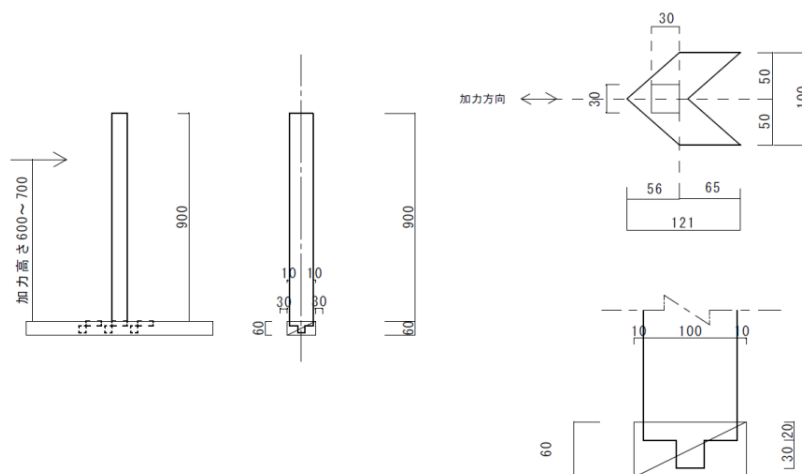


図 試験体 b (矢羽形)



図 試験体 c (柱ほぞ)

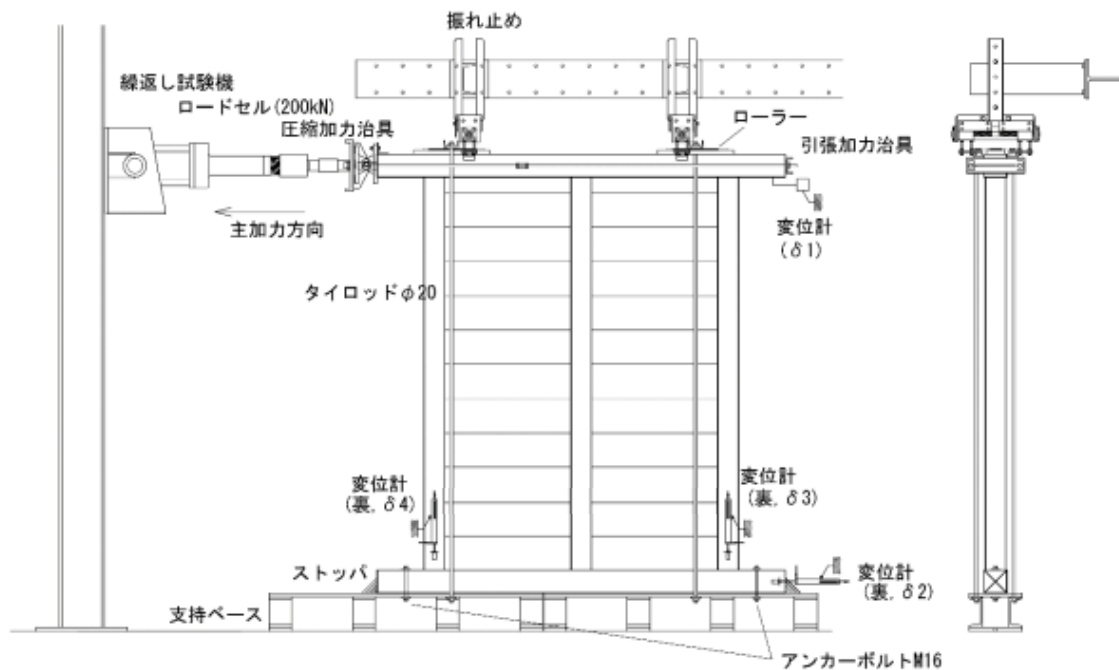
●概要

現状で使用されている 4 種類の壁についてせん断性能を確認した。また、試験体 1 の横板落とし込み板壁について 3 種類の方法で補強した壁と、試験体 2 について構造用石膏ボードで補強した壁について、せん断性能を確認した。試験体 6、7、8 の試験体の柱梁の軸組は、試験体 5 の軸組を再利用し試験を実施した。いずれも各試験 1 体ずつ加力した。

さらに、舎房に利用されている格子の端部の接合部の形状は、矩形のほぞではなく菱形や矢羽形であったことや、格子の樹種がタモであったため、3 種類 (各 3 試験体ずつ) の接合部についてめり込み剛性と耐力を確認した。

●実験方法

・壁試験



試験方法（壁試験）

「木造軸組工法住宅の許容応力度設計（編集：木造軸組工法住宅の許容応力度設計改訂委員会，企画発行：公益財団法人日本住宅・木材技術センター，発行：平成29年5月（第1版2刷）」に記載の「鉛直構面及び水平構面の剛性と許容耐力を算定するための試験」に従い、タイロッド式で実施した。正負交番繰り返し試験とし、真のせん断変形角が $\pm 1/600$ 、 $1/450$ 、 $1/300$ 、 $1/200$ 、 $1/150$ 、 $1/100$ 、 $1/75$ 、 $1/50\text{rad}$ 、各3回ずつ加力し、その後最大荷重の80%まで低下するか、または変形角が $1/15\text{rad}$ 以上に達するまで加力した。

ただし、試験体7については、変位計測の際に生じたノイズを繰り返し履歴制御プログラムが繰り返し履歴の目標変位とみなして次の加力ステップに移行したため、繰り返し履歴が $\pm 1/600$ 、 $1/450\text{rad}$ 、各3回ずつ、 $+1/300\text{rad}$ が2回、 $-1/300\text{rad}$ が3回、 $\pm 1/200$ 、 $1/150$ 、 $1/100$ 、 $1/75\text{rad}$ 、各3回ずつ、 $+1/50\text{rad}$ が2回、 $-1/50\text{rad}$ が3回で実施した。

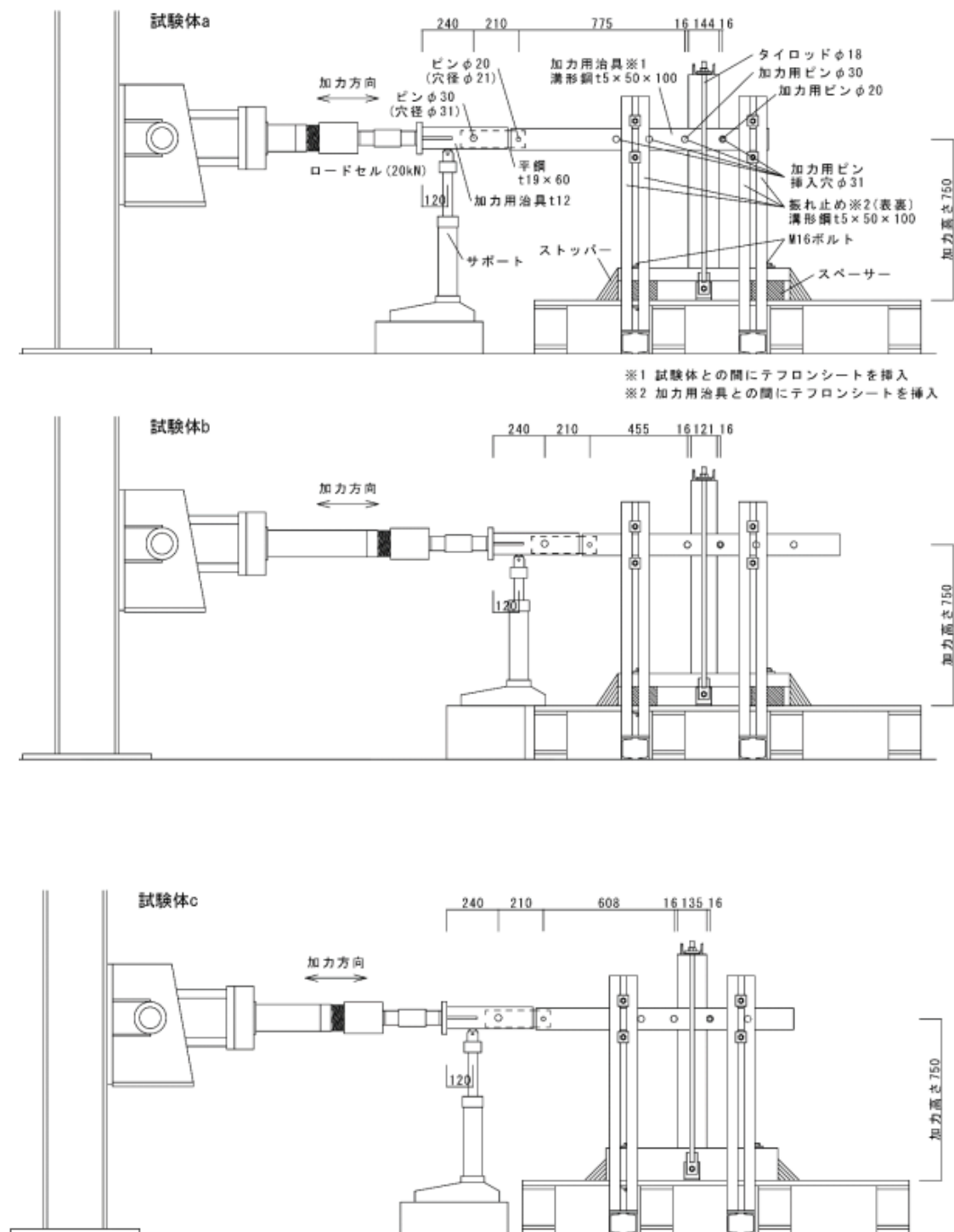
なお真のせん断変形角は以下の式により算出した。

$$\text{真のせん断変形角} = (\delta 1 - \delta 2) / H - (\delta 3 - \delta 4) / V \quad (\text{rad})$$

ここで、 H ： $\delta 1$ と $\delta 2$ の標点間距離（mm）、 V ： $\delta 3$ と $\delta 4$ の標点間距離（mm）

試験体a～bを用いた接合部試験は、浮き上がりが想定されたため、浮き上がり防止の補強を施すことを想定し、柱芯にタイロッドを用いて浮き上がりを拘束することによりめり込み耐力を確認した。

・ 接合部試験



加力は柱上部を、加力用治具を用いて押し引きすることによって行い、加力シリンダに取付けた容量 20kN のロードセルで荷重値を検出した。変位はひずみゲージ式変位変換器を用いて、柱の水平方向 変位 ($\delta 1$ および $\delta 2$)、土台の水平変位 ($\delta 3$) を計測した。なお、試験体と加力用治具の間、ならびに加力用治具と振れ止めの上に生じる摩擦を低減する目的でテフロンシートを挿入した。

繰り返し履歴は、見かけのせん断変形角が $\pm 1/480, 1/240, 1/120, 1/90, 1/60, 1/45, 1/30, 1/20, 1/15\text{rad}$ 、各 3 回ずつとし、その後最大荷重の 80%まで低下するかまたは変形角が $1/10\text{rad}$ 以上に達するまで加力した。ただし、試験体 $c_1\sim 3$ については、変位計測の際に生じたノイズを繰り返し履歴制御プログラムが繰り返し履歴の目標変位とみなして次の加力ステップに移行したため、下記の繰り返し履歴で実施した。

試験体 c_1 : $\pm 1/480, 1/240, 1/120, 1/90, 1/60\text{rad}$ を各 3 回ずつ, $\pm 1/45\text{rad}$ を 4 回,
 $\pm 1/30, 1/20, 1/15\text{rad}$ を各 3 回ずつ

試験体 c_2 : $\pm 1/480, 1/240, 1/120, 1/90, 1/60, 1/30, 1/20\text{rad}$ を各 3 回ずつ, $\pm 1/15\text{rad}$
を 4 回

試験体 c_3 : $\pm 1/480\text{rad}$ を 3 回, $+1/240\text{rad}$ を 1 回, $-1/40\text{rad}$ を 1 回, $\pm 1/240\text{rad}$ を
2 回, $\pm 1/120, 1/90, 1/60, 1/30, 1/20, 1/15\text{rad}$ を各 3 回ずつ

なお見かけのせん断変形角は以下の式により算出した。

見かけのせん断変形角 = $(\delta 1 \cdot \delta 2) / H$ (rad) ここで、 H : $\delta 1$ と $\delta 2$ の標点間距離(mm)

●特性値

・壁試験

試験結果を以下表に示す。試験体 7 については、真のせん断変形角が $1/17.05\text{rad}$ 付近で試験体を拘束する治具が外れ、タイロッドに過剰な軸力が生じたため、真のせん断変形角が $1/17.05\text{rad}$ で荷重を頭打ちとした試験結果(試験体 7※)を参考として併記する。

壁倍率は以下の式により試算した。

(木造軸組工法住宅の許容応力度設計 (2017 年版) (平成 29 年 5 月第 1 版 2 刷))

$$\text{壁倍率} = P_a \times (1/1.96) \times (1/L)$$

ただし、 P_a : 短期許容せん断耐力 = 短期基準せん断耐力 $P_0 \times \alpha$

1.96 : 壁倍率 = 1 を算定する数値 (kN/m)

L : 壁の長さ

α : 耐力に影響を及ぼす係数で、耐力壁の構成材料の耐久性・使用環境の影響、施工性の影響、壁量計算の前提条件を満たさない場合の影響等を勘案して定める係数。

ここでは $\alpha=1$ とした。

短期基準せん断耐力は、(a),(b),(c),(d)のうちの最小値とする。

表 試験結果（壁試験）

試験方法	タイロッド式					
	試験体4	試験体5	試験体6	試験体7	試験体7※	試験体8
最大耐力 P_{max} (kN)	2.30	11.74	8.42	32.95	28.30	24.82
最大耐力時変形角 $\gamma_{P_{max}}$ ($\times 10^{-3}$ rad)	66.67	66.67	66.67	65.11	58.40	19.03
降伏耐力 P_y (kN) (a)	1.39	6.09	4.20	15.93	13.92	14.03
降伏変形角 γ_y ($\times 10^{-3}$ rad)	11.93	31.24	30.09	23.44	18.75	5.43
終局耐力 P_u (kN)	2.14	12.10	—	26.53	24.42	21.75
終局変形角 γ_u ($\times 10^{-3}$ rad)	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	31.27
降伏点変形角 γ_v ($\times 10^{-3}$ rad)	18.39	62.05	—	39.06	32.89	8.42
剛性 K (kN/rad)	116	195	140	679	743	2584
塑性率 μ	3.62	1.07	—	1.71	2.03	3.71
構造特性係数 D_s	0.40	0.93	—	0.64	0.57	0.39
$P_u \cdot (0.2/D_s)$ (kN) (b)	1.07	2.59	—	8.24	8.54	11.03
$2/3P_{max}$ (kN) (c)	1.53	7.83	5.61	21.96	18.87	16.55
特定変形時(1/150rad)耐力 (kN) (d)	0.92	2.88	2.79	5.70	5.70	16.46
短期基準せん断耐力 (kN)	0.92	2.59	2.79	5.70	5.70	11.03
壁長さ (m)	1.82	1.93	1.93	1.93	1.93	1.82
壁倍率(試算値)	0.26	0.69	0.74	1.51	1.51	3.09

・ 接合部試験

試験結果を以下表に示す。信頼水準 75%における 95%下側許容限界値 (5%下限値) は、各特性値の平均値に、それぞれのばらつき係数を乗じて算出した。ばらつき係数は以下の式より計算した。

$$\text{ばらつき係数} = 1 - CV \times k$$

ここで、CV: 変動係数, k: 信頼水準 75%における 95%下側許容限界値を求めるための係数 (試験体数が 3 の場合は 3.152)。

表 試験結果（接合部試験）

	最大耐力 P_{max} (kN)	最大耐力時の変形角 $\theta_{P_{max}}$ (10^{-3} rad)	最大耐力の2/3 $2/3P_{max}$ (kN)	降伏耐力 P_y (kN)
試験体a_1	0.88	99.87	0.59	0.50
試験体a_2	1.23	99.84	0.82	0.83
試験体a_3	1.14	99.73	0.76	
平均	1.08		0.72	0.66
変動係数	0.17		0.17	0.35
ばらつき係数	0.48		0.48	—
5%下限値	0.52		0.34	—
試験体b_1	0.82	99.01	0.54	0.61
試験体b_2	0.92	100.00	0.61	
試験体b_3	0.66	100.00	0.44	0.42
平均	0.80		0.53	0.51
変動係数	0.16		0.16	0.27
ばらつき係数	0.48		0.48	—
5%下限値	0.39		0.26	—
試験体c_1	5.21	100.00	3.47	2.67
試験体c_2	5.13	100.00	3.42	3.09
試験体c_3	5.20	99.98	3.47	2.73
平均	5.18		3.45	2.83
変動係数	0.01		0.01	0.08
ばらつき係数	0.97		0.97	0.75
5%下限値	5.05		3.36	2.12

● 荷重変形

・ 壁試験

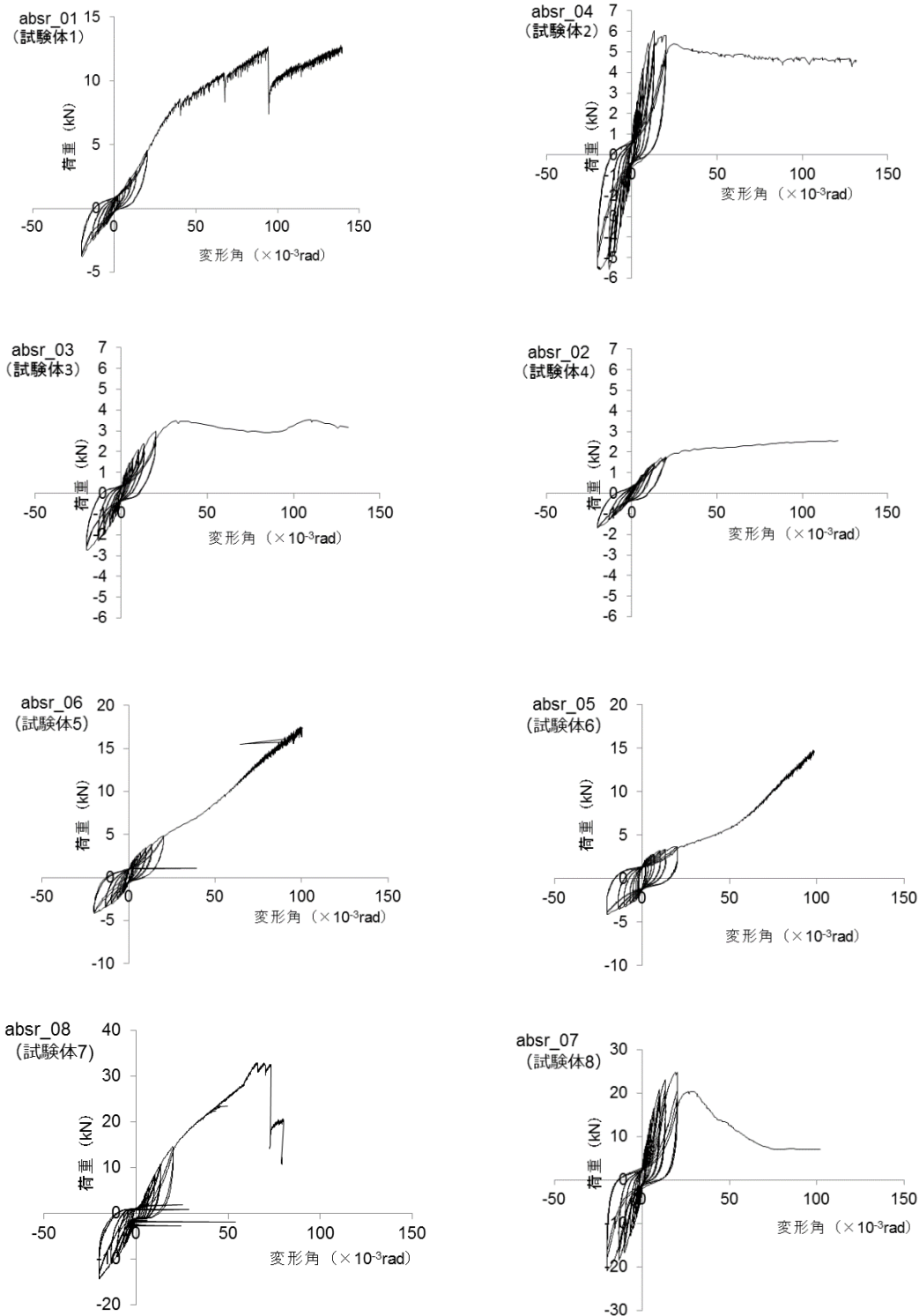


図 荷重変形曲線 (試験体 1~8)

・ 接合部試験

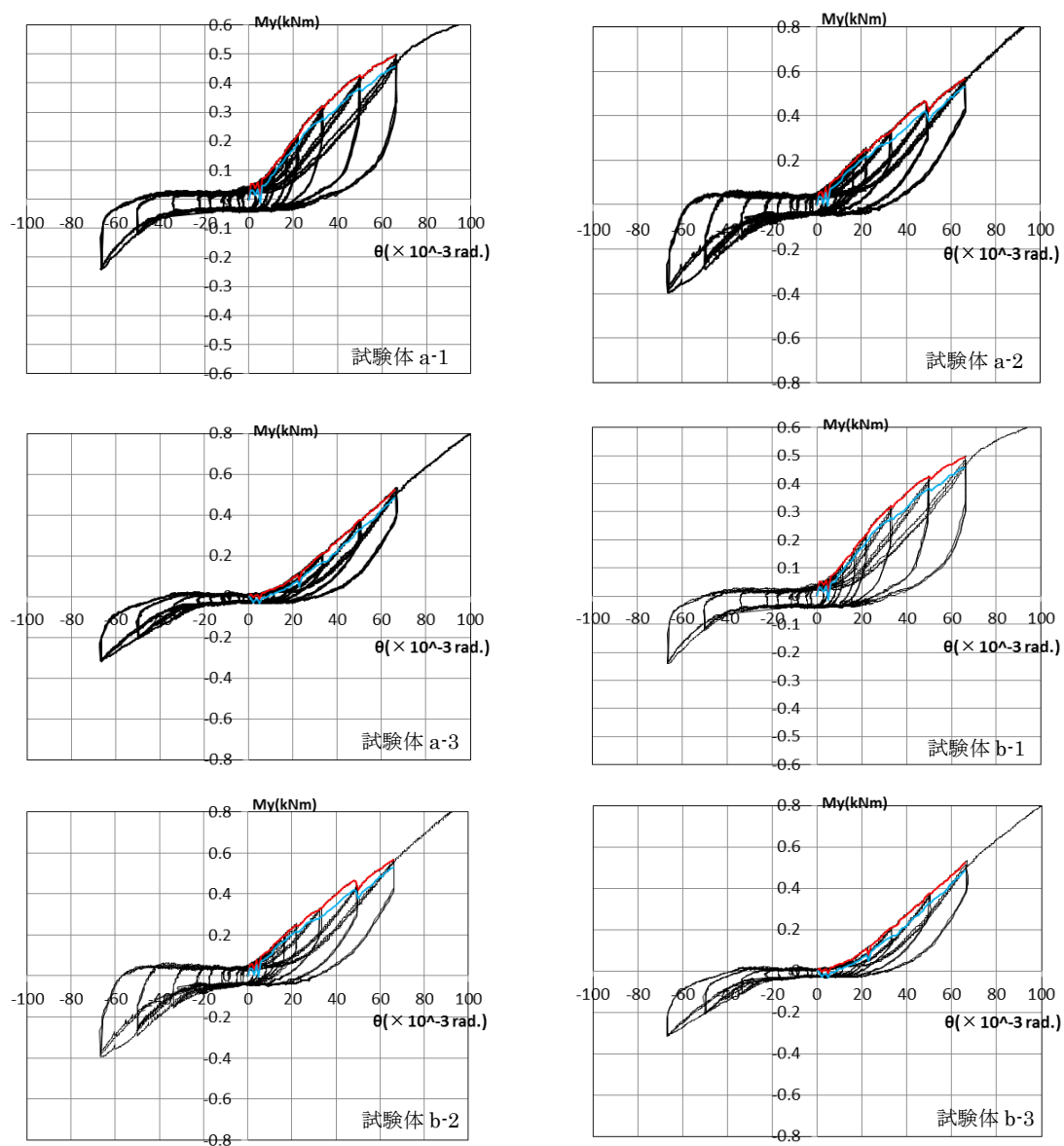


図 荷重変形曲線 (試験体 a,b)

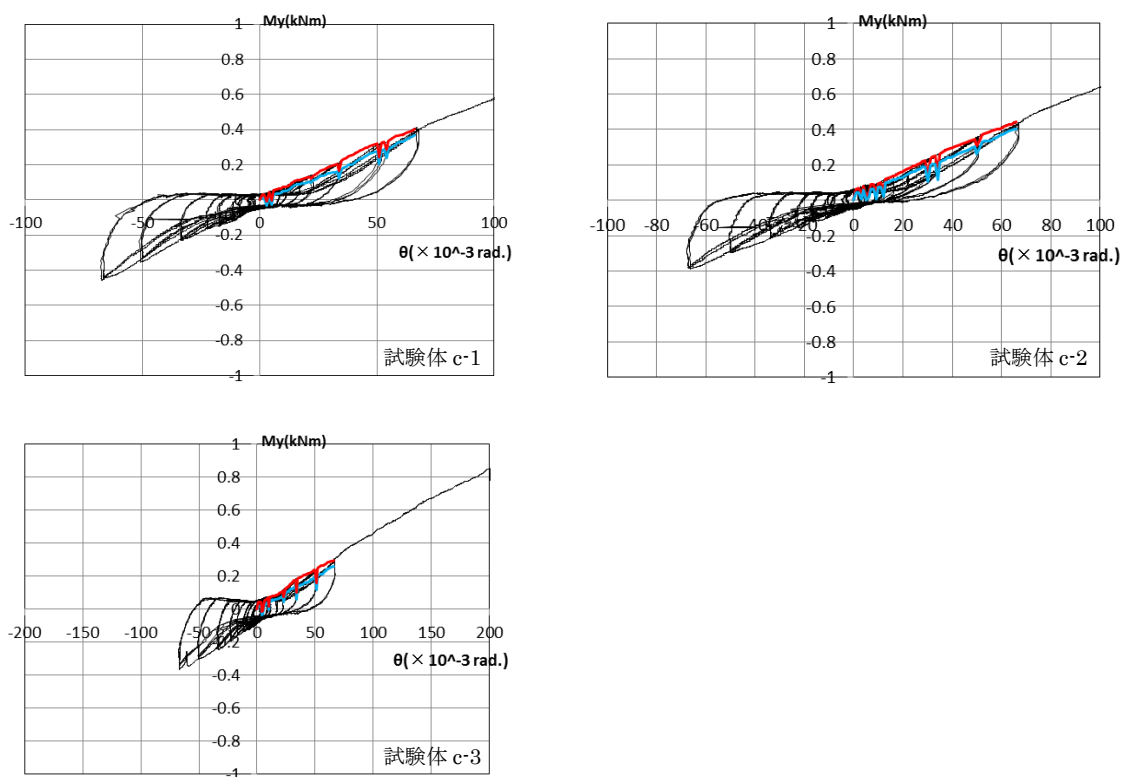


図 荷重変形曲線（試験 c）

●破壊形状

・壁試験

試験体 1：大変形に至るほど壁全体が圧縮力を受ける側で横板同士がめり込み、 $1/15\text{rad.}$ までせん断耐力の低下は見られなかった。

試験体 2：変形が進むにつれて大壁として柱梁に貼られた石膏ボードの釘周囲が変形し、約 $1/50\text{rad.}$ で石膏ボードの一部が脱落し、耐力が低下した。丸太の間柱の端部は短ホゾであったため柱脚に引抜の変形は見られたが、ホゾの全長が抜けだすことはなかった。

試験体 3：約 $1/30\text{rad.}$ で最大耐力が確認され、その後、石膏ボードの一部が脱力し耐力が低下した。

試験体 4 : 柱頭柱脚のホゾは長ホゾであったので、大変形時に柱頭、柱脚の浮き上がりは見られたが、ホゾが抜けだすことはなく、約 $1/15\text{rad.}$ で最大耐力を維持するような荷重変形関係が確認された。

試験体 5 : 横板の両端を釘で枠材に留め付けたことにより、横板同士が離れることなく変形が進み、 $1/15\text{rad.}$ を超えて変形しても耐力の増加が見られた。

試験体 6 : 横板の両端を直接柱に釘留めしたことにより横板同士の離れはなくなったが、変形が進むにつれて、釘の頭が水平に移動し、横板の変形が見られた。 $1/15\text{rad.}$ を超えて変形しても大きな耐力の低下は見られなかった。

試験体 7 : 補強材として柱あるいは間柱と梁、土台にはめ込んだ厚物合板（厚さ 28mm ）の角が梁や土台にめり込むことにより、耐力に上昇が見られた。変形が進むにつれて、柱頭柱脚に浮き上がりが見られ、耐力の上昇率は下がる傾向にあったが、約 $1/15\text{rad.}$ で最大耐力が確認された。

試験体 8 : 約 $1/50\text{rad.}$ を過ぎたあたりで、一部の石膏ボードの角が破壊され耐力の低下が見られた。

・接合部試験

試験体 a : 初期に滑りのような変形が見られる試験体もあったが、 $1/15\sim 1/10\text{rad.}$ まで、急激な耐力の低下はなく、ほぼ線形の荷重変形が得られた。

試験体 b : $1/10\text{rad.}$ 程度まで、急激な耐力の低下はなく、ほぼ線形の荷重変形関係が得られた。

試験体 c : 初期に滑りのような変形が見られ、降伏変形角は $1/20\text{rad.}$ 程度であったが、その後も耐力は上昇し、 $1/10\sim 1/5\text{rad.}$ まで加力し、ほぞのめり込み耐力が得られた。



試験体 1



試験体 2



試験体 3



試験体 4



試験体 5



試験体 6



試験体 7



試験体 8

各試験体の試験終了後の様子



試験体 a_1



試験体 a_1



試験体 a_2



試験体 a_3



試験体 b_1



試験体 b_1



試験体 b_2



試験体 b_3

各試験体の試験終了後の様子



試験体 c_1



試験体 c_1



試験体 c_2



試験体 c_3

各試験体の試験終了後の様子

●理論式

—

●モデル化

—

●考察

試験体 1~4 を用いて、現状の壁せん断性能を確認した。試験体 3 の横板落とし込み板壁に対する補強として試験体 4, 5 にて、横板の両端を拘束する補強方法を考案した。受材を介して柱に釘留めする試験体 4 のほうが、柱に直接釘留めする試験体 5 よりも両端の拘束効果は高いことが確認された。試験体補強方法については、試験体 5~7 のうち、試験体 7 が最もせん断耐力が高く補強の効果が高かったため、試験体 7 を設計用モデルとして採用した。

試験体 a~c の接合部試験では浮き上がりが想定されたため、浮き上がり防止の補強を施すことを想定し、柱芯にタイロッドを用いて浮き上がりを拘束することにより格子端部のめり込み耐力を確認した。また、現状の建物では、柱頭柱脚には長ほぞがあると思われ、実験からも柱頭柱脚の接合部にて、ある一定のめり込み耐力が見込まれることが分かった。しかし、浮き上がりが生じた場合の耐力は実験値と異なるため、モデル化には含まず、診断、補強設計では余力として考慮することとした。