

〈資料〉

木組みブロック構法耐力壁の水平加力試験

中田欣作・糸井謙一郎*¹

スギ、ヒノキ材の一般住宅への需要拡大を目的として、側板2枚と数多くの仕切り板で組み立てられる木組みブロックによる耐力壁を考案した。木組みブロックに用いる側板および仕切り板の寸法、柱の固定方法、側板と梁および土台の固定方法等が異なる6種類の実大寸法の耐力壁を作製して水平加力試験を行った。その中で通しボルト5本で柱と梁および土台を固定、側板と梁および土台を強化LVLピンで固定したタイプは耐力が最も高くなったが、破壊がやや急激であった。一方、側板および仕切り板の寸法が小さく、通しボルト3本で柱と梁および土台を固定、側板と梁を強化LVLピンで固定、土台にスペーサーを取り付けたタイプは、耐力は前述のタイプより低くなったが最も粘り強い破壊形態を示した。このタイプが耐力および粘り強さの両面で優れている耐力壁であると考えられ、短期基準せん断耐力はみかけの変形角が1/120rad時の耐力で決定される14.0kNであり、壁倍率は4.6と試算された。

1. はじめに

木造住宅の耐力壁は、柱、梁桁等の横架材、土台、筋交い、間柱および壁材料で構成されており、住宅に作用する鉛直荷重や水平荷重に抵抗して、住宅が過度に変形したり倒壊したりすることを防止している。耐力壁には、土塗り壁、木摺り壁、筋交い壁、合板や各種パネルによる壁があり、その耐力は壁倍率として建築基準法で定められている。これらの中では、合板や各種パネルの耐力壁にクロス張りしたものが一般的である。しかし、これらの壁では木材が隠れてしまうため、木材を直接手に触れることができる壁を望んでいる施主がいる。このような木材をあらわしとして用いる耐力壁としては、落とし込み板壁や面格子壁等²⁾があるが、標準的な仕様では認められている壁倍率がそれぞれ0.6および1.0と低いのが難点である。そこで、スギ、ヒノキの板をあらわしとして用いて、しかも高い強度性能を有すると考えられる耐力壁を考案した。

新規な壁を耐力壁として用いるためには、建築基準法の指定性能評価機関での試験に基づく性能評価を受けて壁倍率の大臣認定を取得する必要がある。しかし、実大の耐力壁の試験では予想しなかった箇所での破壊が生じて所定の耐力に到達しない等の不測の事態が発生することが想定される。そこで、各種の実大の耐力壁を作製して予備的に試験を行い、試験結果から弱点となる箇所を見つけ出して、十分な強度性能を発揮することのできる構法とする必要がある。

本研究では、各種条件の実大の耐力壁を作製して水平加力試験を行い、壁の構成要素の最適な組合せを検討した。また、完全弾塑性モデル化による強度特性を求めるとともに壁倍率を試算して耐力壁としての耐震性の評価を行った。

なお、木組みブロック構法は創工舎が特許出願を行っており、本試験は創工舎からの受託研究として行ったものである。

2. 材料および方法

図1に示すように、木組みブロックは側板2枚とそれらの溝にはめ込まれた多くの仕切り板で構成される。100cm程度の一定の長さのブロックとその半分の長さのブロックを交互に組み合わせて積み上げることにより耐力壁を作製する。仕切り板は組上げる際には上下のブロックのガイドとなるとともに、直交する壁のブロックに対するガイドとなる。また、仕切り板は耐力壁の鉛直荷重を受け持つ間柱として作用し、かつ、水平荷重に抵抗することを目的としている。

表1および図2に木組みブロック構法で組み立てた耐力壁を示す。木組みブロックの側板と仕切り板の寸法がA～DタイプとEおよびFタイプで異なり、それぞれ耐力壁の厚さは201mmと184mmになる。柱と梁および土台は、AおよびBタイプではホールダウン金物、C～Eタイプでは通しボルト、Fタイプでは柱に組み込んだ長ほぞを木ねじで固定した。側板と梁は、Aタイプでは木ねじ、

*¹: 創工舎

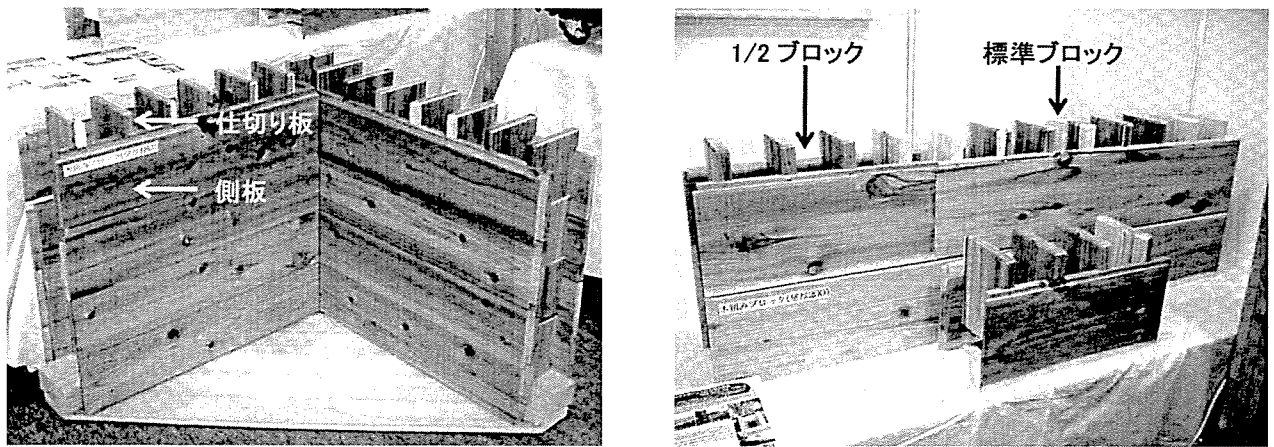


図1 木組みブロック

表1 供試した耐力壁

部 位	項 目	A	B	C	D	E	F
耐 力 壁	幅×高さ mm	1680×2655	←	←	1680×2730	1540×2610	1760×2580
	厚さ mm	201	←	←	←	184	←
側 板	幅×厚さ mm	210×27	←	←	←	150×27	←
	樹種	スギ	←	←	←	←	←
仕切り板	幅×厚さ mm	147×27	←	←	←	130×20	←
	樹種	スギ	←	←	←	←	←
梁	幅×厚さ mm	147×150	←	←	147×300	130×300	130×180
	樹種	ヒノキ	←	←	ベイマツ	スギ	←
	固定方法	木ねじ	強化LVLピン	←	←	←	なし
柱	幅×厚さ mm	90×90	←	←	←	←	←
	樹種	スギ	←	←	←	←	←
	固定方法	金物 ^{a)}	金物 ^{b)}	ボルト ^{c)}	←	ボルト ^{d)}	木ねじ
土 台	幅×厚さ mm	147×120	←	←	←	130×120	←
	樹種	スギ	←	←	←	←	←
	固定方法	木ねじ	強化LVLピン	←	←	スペーサー	なし

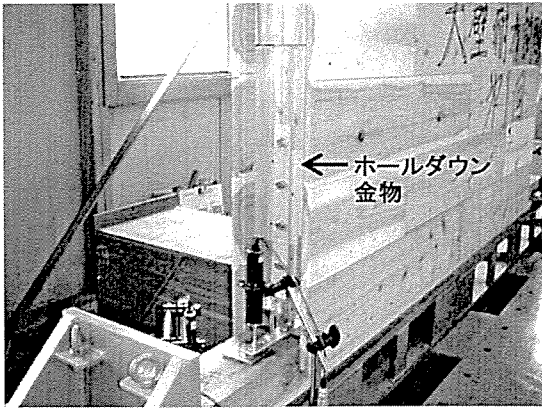
a)ホールダウン金物をコーチボルト4本で柱に固定、b) ホールダウン金物をコーチボルト5本で柱に固定、c)左右各2本と中央1本の合計5本の通しボルト、d)左右および中央各1本の合計3本の通しボルト

B～Eタイプでは直径20mm、長さ241mmあるいは224mmの強化LVLピン4本で固定した。側板と土台は、Aタイプでは木ねじ、B～Dタイプでは直径20mm、長さ241mmあるいは224mmの強化LVLピン4本と木ねじの併用で固定した。Eタイプでは長さ130mm、幅100mm、厚さ45mmのスペーサー12個をコーチボルトで土台に固定し、最下段の木組みブロックの仕切り板を差し込んだ。Fタイプでは幅53mm、厚さ18mmの貫を木ねじで縦継ぎして14本の間柱として用いた。また、土台に欠いた溝に仕切り板を差し込んだ。

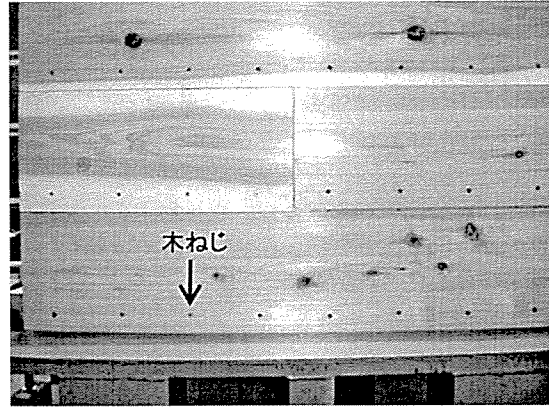
図3に耐力壁の水平加力試験の方法を示す。耐力壁の水平加力試験は、建築基準法施工令第46条第4項表1の

(八)に基づく試験方法²⁾に準拠して行った。試験体の設置方法は無載荷柱脚固定式とし、土台の3ヶ所をボルトと座金で試験装置に固定した。加力方法は正負交番繰り返し加力とし、見かけの変形角が1/450, 1/300, 1/200, 1/150, 1/100, 1/75および1/50radの正負変形時において、それぞれ3回の繰り返し加力を行った後、圧縮方向の加力で破壊するものとした。これらの見かけの変形角は、精度1/10mmの(株)東京測器研究所製ひずみゲージ式ワイヤー変位計DP-1000CS (DP-1000Cの分解能を2倍にしたもの)を用いてシリンダーの水平変位を測定して用いた。荷重速度は30mm/minとした。荷重は精度1/100kNの(株)東京測器研究所製ロードセルTCLP-2

Aタイプ



柱と梁、土台の固定方法

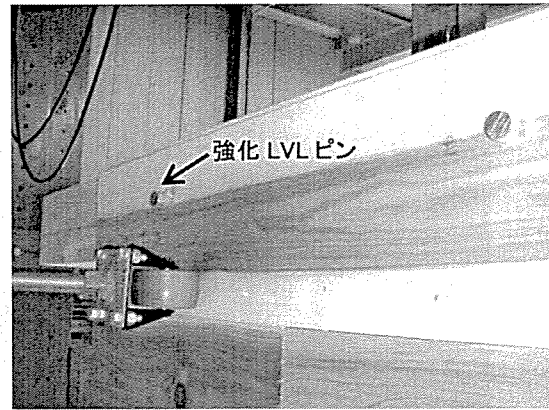


側板と土台の固定方法

Bタイプ

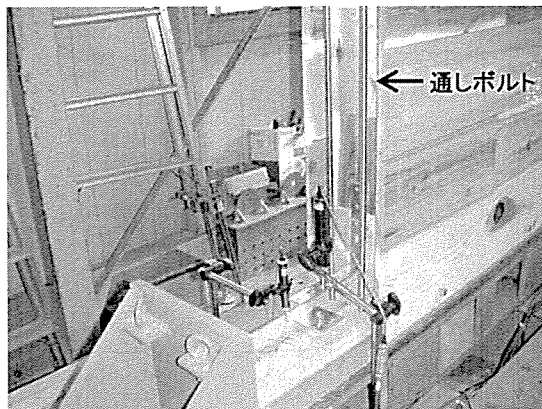


柱と梁、土台の固定方法

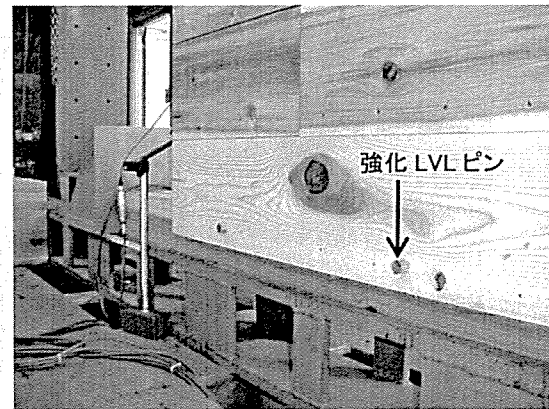


側板と梁の固定方法

Cタイプ



柱と梁、土台の固定方法



側板と土台の固定方法

図 2-1 耐力壁の各部

00KNBで測定した。試験体の水平変位は精度1/20mmの(株)東京測器研究所製ひずみゲージ式ワイヤー変位計DP-500CS(DP-500Cの分解能を2倍にしたもの)を用いて梁で、精度1/200mmの(株)東京測器研究所製ひずみゲージ式変位計CDP-50を用いて土台で測定した。垂直変位は精度1/200mmの(株)東京測器研究所製ひずみゲージ式変位計CDP-50を用いて左右の柱で、精度1/500mmの(株)東京測器研究所製ひずみゲージ式変位計CDP-25を用いて土台の両端で測定した。以上の測定は(株)

東京測器研究所製データロガーTDS-303を用いて1秒間隔の設定で行った。

図4にせん断試験の方法を示す。仕切り板が4枚の木組みブロックを3個用いて、中央のブロックを両側のブロックに対して仕切り板の位置を1段ずらして組み付け、中央のブロックの側板をインストロン万能試験機5583を用いて圧縮加力した。荷重速度を1mm/minとし、ロードセルにより荷重を測定するとともに荷重ヘッドの位置を測定して試験体の相対変位とした。側板の幅は210mm

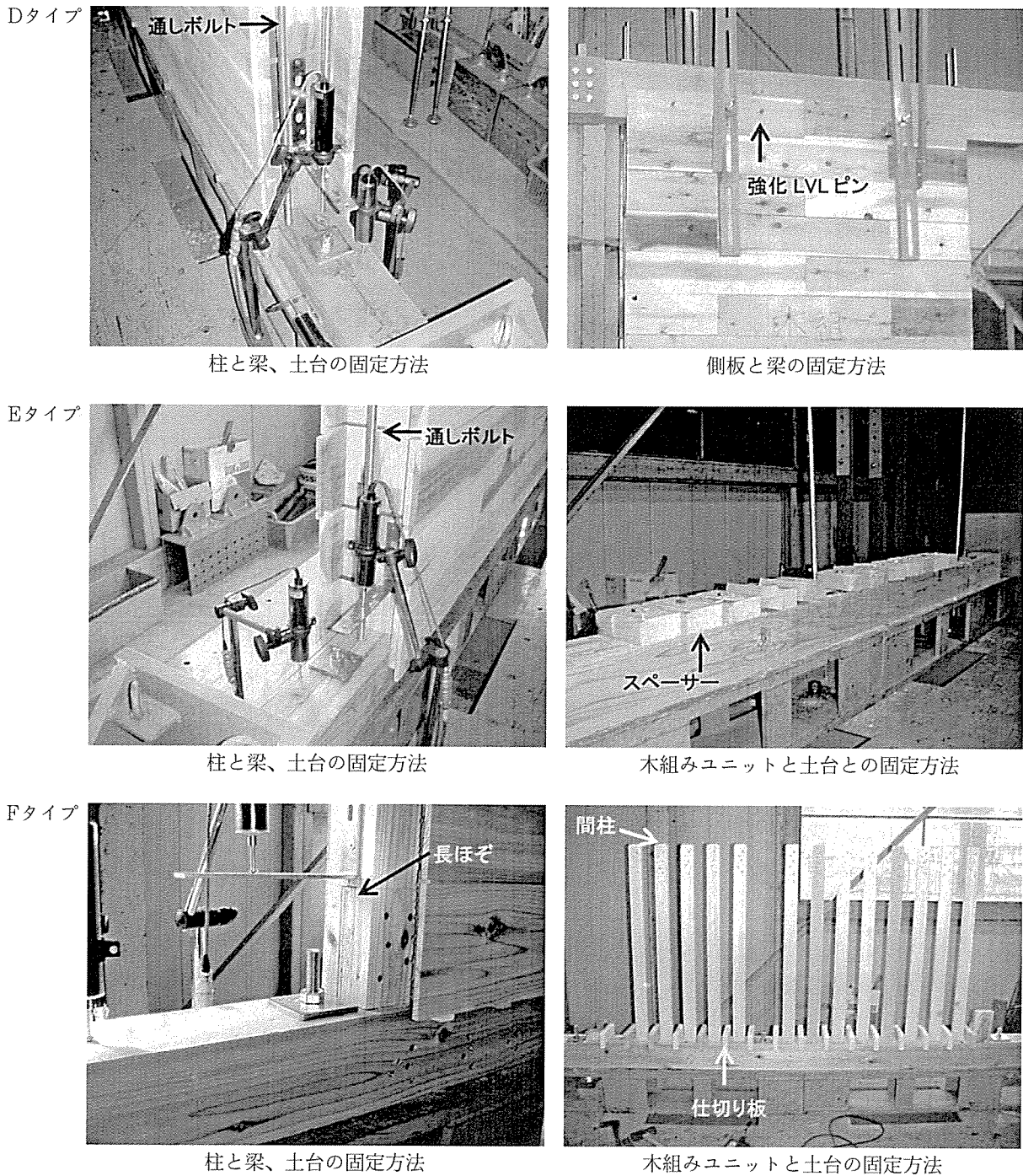


図2-2 耐力壁の各部

および105mm、厚さは27mmとし、仕切り板の厚さおよび側板から出っ張る長さを変えた4条件とした。なお、せん断試験は各種タイプの耐力壁の水平せん断試験の前後において予備的に行ったものであり、せん断試験のaタイプとbタイプの仕切り板はそれぞれ耐力壁のA～DタイプとEおよびFタイプの仕切り板に相当するものである。また、cおよびdタイプに相当する耐力壁の水平加力試験は行っていない。

3. 結果および考察

図5に耐力壁の荷重—せん断変形角曲線および破壊形態を示す。Aタイプでは側板と梁を固定した木ねじがせん断破壊すると同時に、上部の木組みブロックの仕切り板が柱に押されて割裂破壊して荷重が低下した。柱と土台を固定したホールダウン金物のボルトの曲げ変形が生じた。木組みブロック相互の変形はほとんど生じなかった。Bタイプでは柱と土台を固定したホールダウン金物

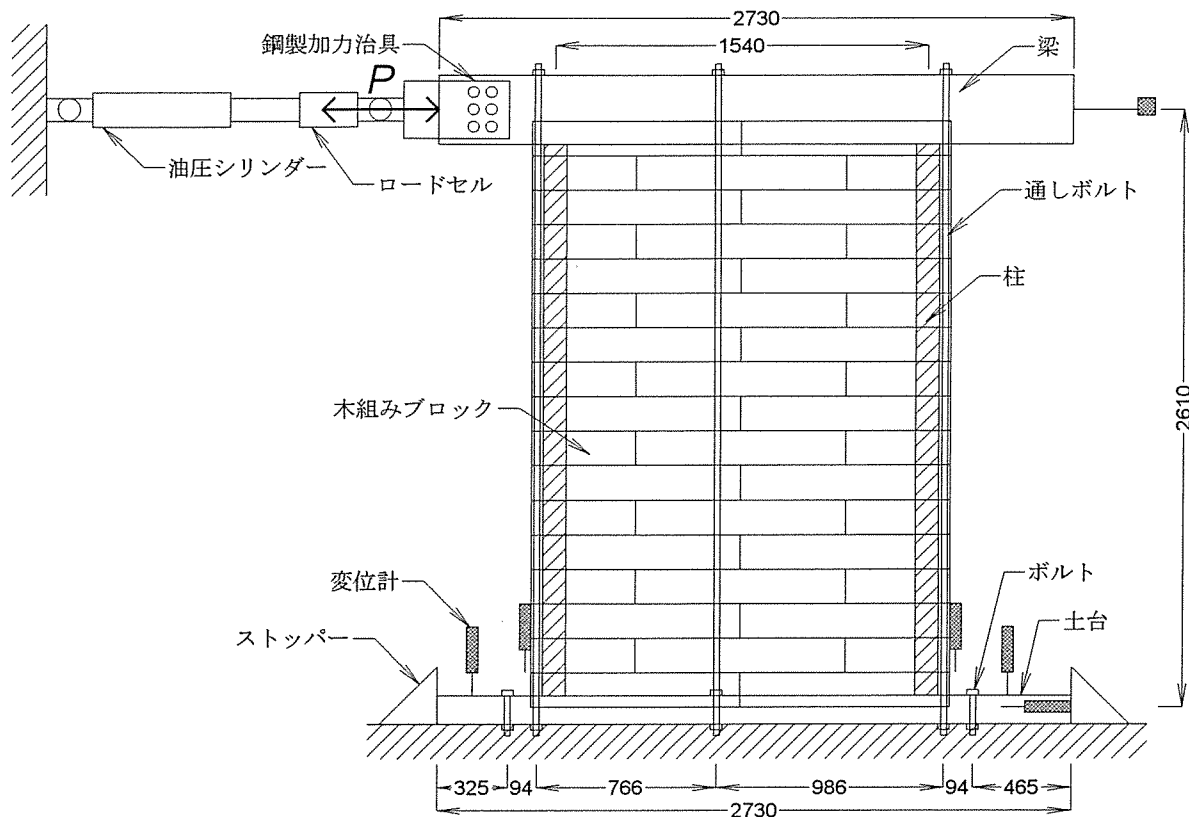
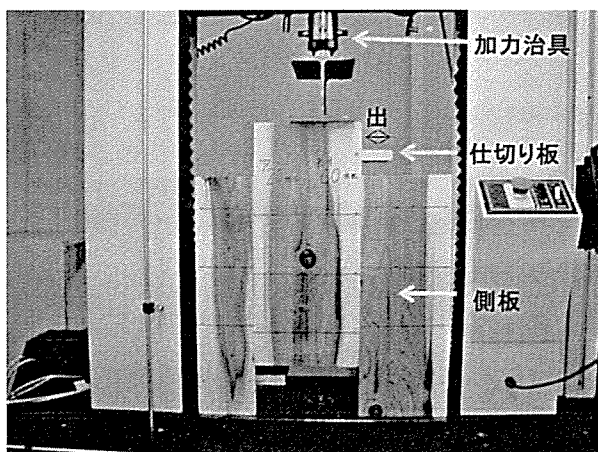


図3 耐力壁の水平加力試験の方法 (Eタイプ)



条件	側板		仕切り板		
	幅 (mm)	厚さ (mm)	幅 (mm)	厚さ (mm)	出 (mm)
a	210(105)	27	147	27	60
b	210(105)	27	147	20	60
c	210(105)	27	147	20	105
d	210(105)	27	147	13	60

図4 セン断試験の方法

のボルトが引張破壊して急激に荷重が低下した。強化LVLピンで土台に固定した側板が割裂破壊した。木組みブロック相互の変形はほとんど生じなかった。Cタイプでは加力治具の位置で梁が割裂破壊して急激に荷重が低下した。強化LVLピンで土台に固定した側板が割裂破壊した。木組みブロック相互の変形はほとんど生じなかった。Dタイプでは木組みブロック相互の変形が生じるとともに、最下段の木組みブロックが破壊して急激に荷重が低下した。強化LVLピンで土台に留めた側板が割裂破壊するとともに、仕切り板が割裂破壊した。Eタイプでは木組みブロック相互の変形が生じるとともに、最下段の木組みブロックが破壊した。仕切り板が割裂破壊して荷重が低下した。木組みブロック相互の変形が生じた。また、梁に通しボルトの座金が大きくめり込んだ。Fタイプでは加力側の土台が破壊して荷重が低下した。木組みブロック相互の変形はほとんど生じなかった。

図6にせん断試験における荷重-変位曲線を示す。aタイプは仕切り板の端部が側板にめり込むとともに部分的な割裂破壊が発生して荷重がやや低下した。bタイプはaタイプと同様な荷重-変位曲線を示したが、aタイプよりやや耐力が低く、割裂破壊の発生により荷重が低下した。cタイプは厚さが同じbタイプよりも初期剛性が低くなった。また、仕切り板の出が大きいため仕切

り板の曲げ変形が大きく変位が大きくなったが、耐力はbタイプと同程度であった。dタイプはcタイプと同程度の剛性であり、耐力は最も低くなった。仕切り板との関係では、仕切り板が薄くなるに従って耐力が低下するとともに最大荷重時の変位が減少した。また、仕切り板の出が大きいほうが初期剛性は低下したが、耐力の低下

は小さかった。耐力壁では初期剛性および耐力が高いことが望まれるため、aタイプが最も性能が高く、bタイプはこれよりもやや性能が劣り、cおよびdタイプはさらに性能が劣るといえる。ここで、CおよびDタイプの耐力壁では木組みブロック以外の部位での脆性的な破壊が生じているため、bタイプを用いて木組みブロックで

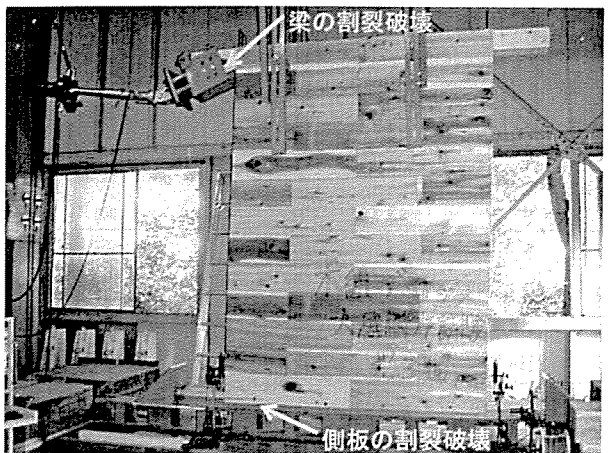
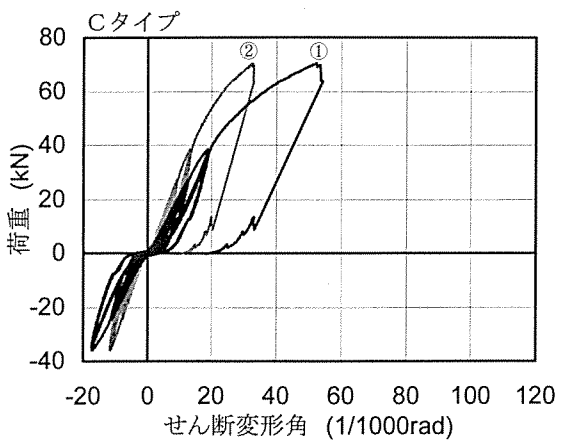
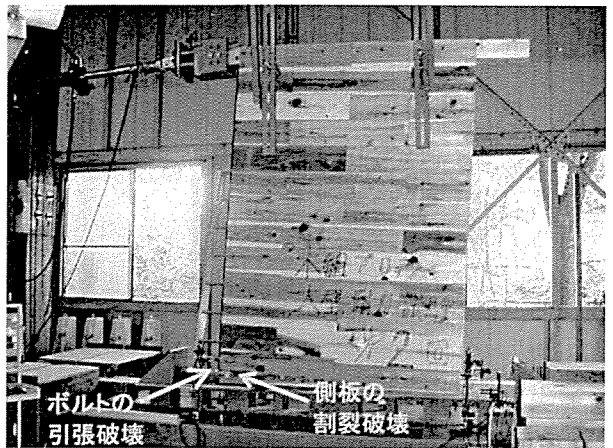
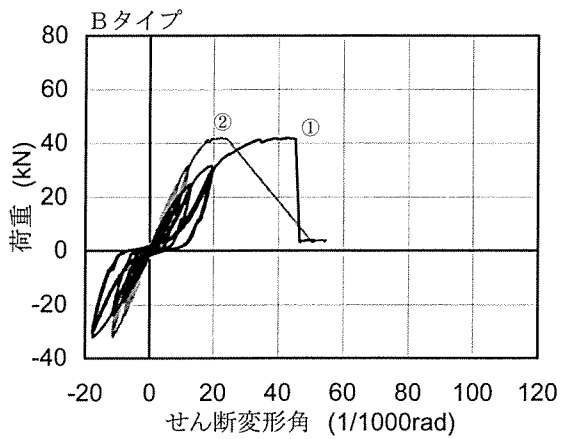
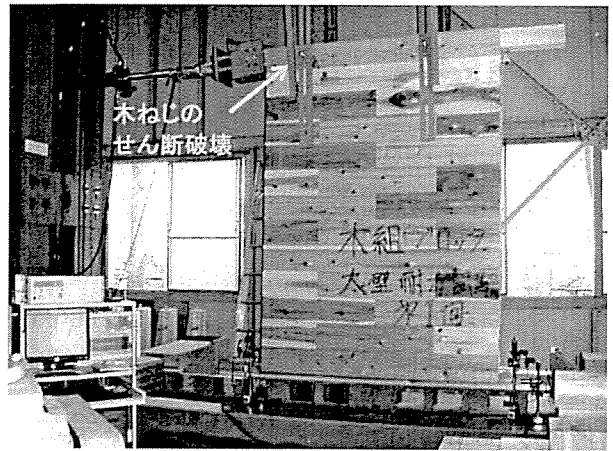
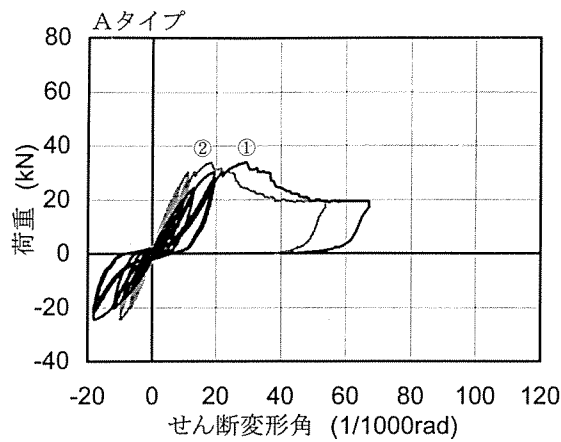


図5-1 耐力壁の荷重—せん断変形角曲線および破壊形態
 ①：みかけのせん断変形角、②：真のせん断変形角

の破壊を生じさせることによりそのような脆性的な破壊を防止することができると考えた。

PickPoint[®]を用いて水平加力試験における荷重-せん断変形角曲線の特徴点の抽出と完全弾塑性モデル化を行い、図7に示すように強度特性を決定した。以下にその概要を示す。

1. 最大荷重 P_{max} を求め、包絡線上の $0.1P_{max}$ と $0.4P_{max}$ を結ぶ第I直線を引く。
2. 包絡線上の $0.4P_{max}$ と $0.9P_{max}$ を結ぶ第II直線を引く。
3. 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。
4. 第I直線と第III直線との交点の荷重を降伏耐力 P_y と

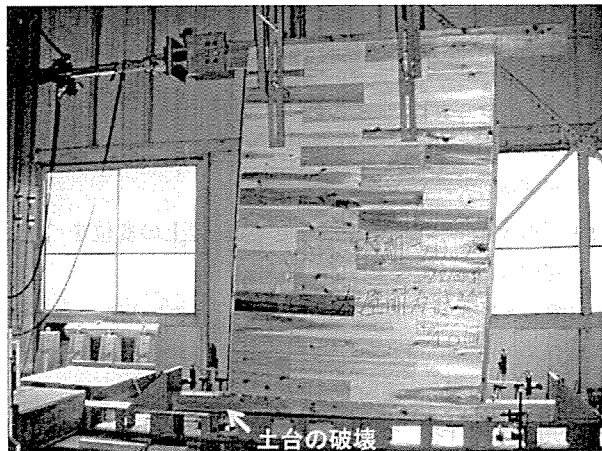
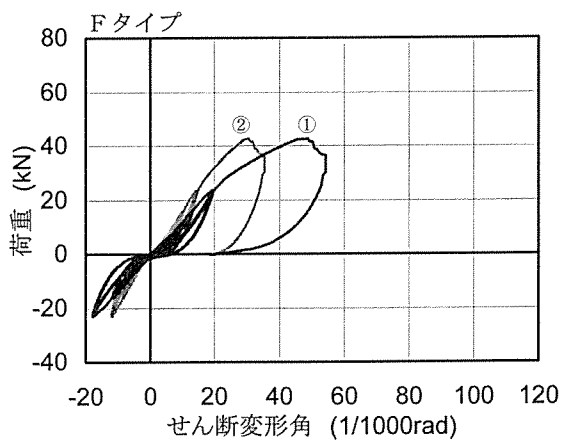
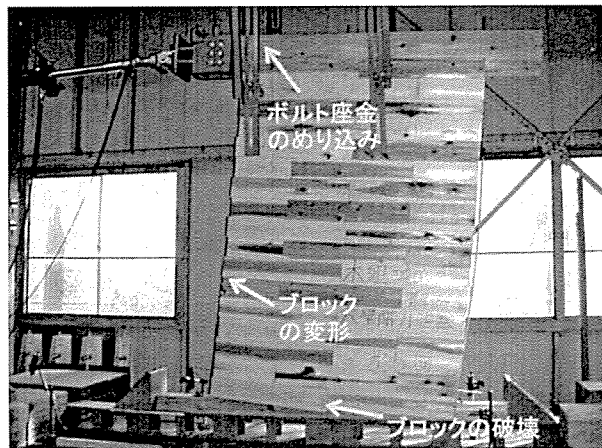
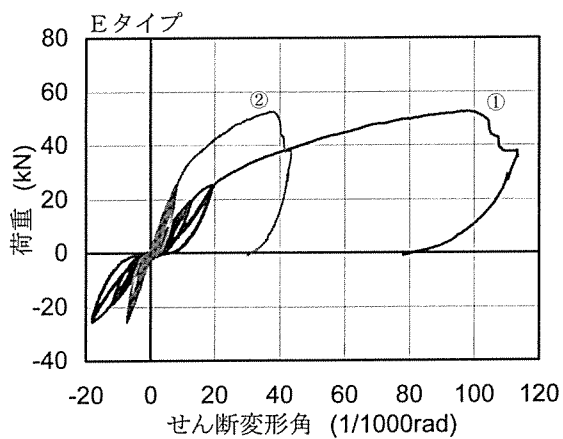
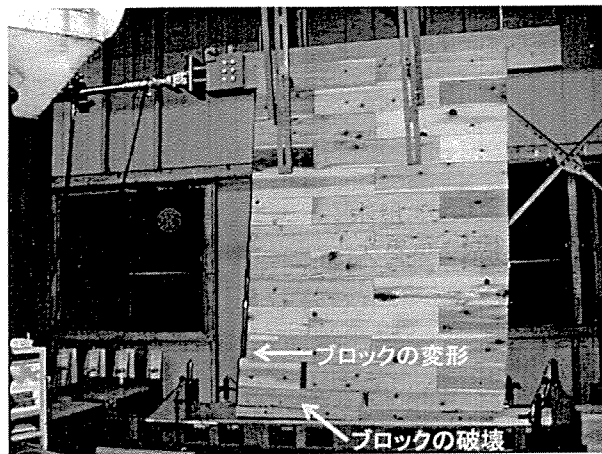
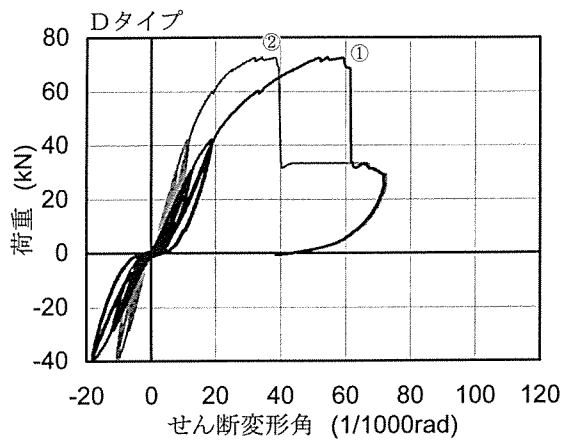


図5-2 耐力壁の荷重-せん断変形角曲線および破壊形態
①：みかけのせん断変形角、②：真のせん断変形角

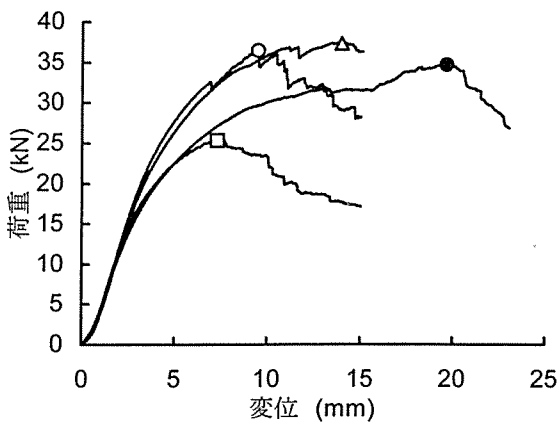


図6 せん断試験での荷重-変異曲線形態

△: aタイプ、○: bタイプ、●: cタイプ、□: dタイプ

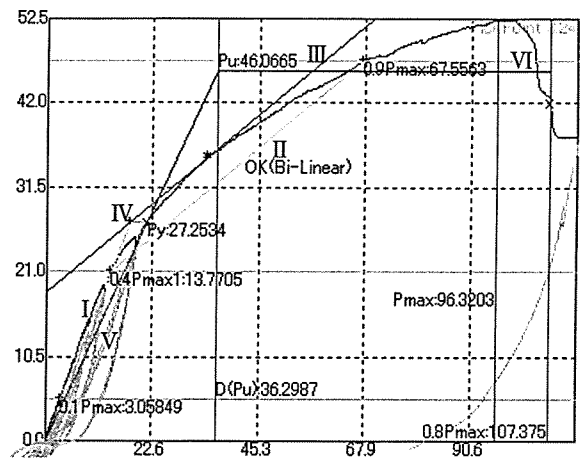


図7 PickPointで抽出した特徴点 (Eタイプ)

表2 耐力壁の強度特性

項目	単位	A	B	C	D	E	F
最大荷重 P_{max}	kN	33.8	42.0	70.3	72.6	52.5	42.6
降伏耐力 P_y	kN	21.9	22.5	39.4	39.9	27.3	26.0
終局耐力 P_u	kN	31.0	38.0	63.9	65.6	46.1	38.7
特定耐力 P_{120}	kN	18.1	19.3	18.1	21.0	14.0	8.9
最大変形角 δ_{max}	1/1000rad	28.9	43.2	52.2	54.4	96.3	48.1
降伏変形角 δ_y	1/1000rad	10.9	10.5	19.8	17.0	21.5	21.5
終局変形角 δ_u	1/1000rad	36.8	45.2	54.3	61.4	107.4	54.2
降伏点変形角 δ_v	1/1000rad	15.5	17.8	32.2	28.0	36.3	32.1
初期剛性 K	kN/rad	2.00	2.14	1.99	2.34	1.27	1.21
塑性率 μ		2.38	2.54	1.69	2.19	2.96	1.69
構造特性係数 D_s		0.52	0.49	0.65	0.54	0.45	0.65
破壊部位		側板	金物	梁	仕切り板	仕切り板	土台

特定耐力: みかけの変形角が1/120rad時の耐力、最大変形角: 最大耐力時の変形角、太字は最大値、ただし構造特性係数は最小値

- この点からX軸に平行に第IV直線を引く。
- 第IV直線と包絡線との交点の変位を降伏変位 δ_y とする。
- 原点と (δ_y, P_y) を結ぶ直線を第V直線とし、それを初期剛性 K と定める。
- 最大荷重後の $0.8P_{max}$ 荷重低下域の包絡線上の変位を終局変位 δ_u と定める。
- 包絡線とX軸および δ_u で囲まれる面積を S とする。
- 第V直線と δ_u とX軸およびX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X軸に平行な第VI直線を引く。
- 第V直線および第VI直線との交点の荷重を完全弾塑性モデルの終局耐力 P_u と定め、その時の変位を完全弾塑性モデルの降伏点変位 δ_v とする。

- 塑性率 $\mu = (\delta_u / \delta_v)$ とする。
- 構造特性係数 D_s は、塑性率 μ を用い、 $D_s = 1 / \sqrt{2(\mu - 1)}$ とする。

表2にPickPointを用いて求めた耐力壁の強度特性を示す。Aタイプは最大耐力および最大耐力時の変形角(最大変形角と記す。)が最も小さくなった。このタイプでは側板と梁の固定方法が耐力を決定したが、弱点となる箇所を改良することにより、B、C、Dタイプの順に耐力が向上するとともに変形角が増大して粘りの性能が向上した。すなわち、Bタイプでは側板と梁および土台との固定に強化LVLピンを用い、Cタイプでは柱と梁および土台との固定に通しボルトを用い、Dタイプでは梁にベイマツ製材品を用いることにより性能が向上した。Dタイプは最大、降伏、終局およびみかけの変形角が

表3 耐力壁の短期基準せん断耐力および壁倍率

項目	単位	A	B	C	D	E	F
最大荷重 $2/3P_{max}$	kN	22.5	28.0	46.9	48.4	35.0	28.4
降伏耐力 P_y	kN	21.9	22.5	39.4	39.9	27.3	26.0
終局耐力 $0.2P_u/D_s$	kN	12.0	15.4	19.7	24.1	20.4	11.9
特定耐力 P_{120}	kN	18.1	19.3	18.1	21.0	14.0	8.9
壁の長さ	m	1.68	1.68	1.68	1.68	1.54	1.76
壁倍率		3.7	4.7	5.5	6.4	4.6	2.6

最大荷重：最大荷重 $\times(2/3)$ 、終局耐力：終局耐力 $\times(0.2/D_s)$ 、特定耐力：みかけの変形角が $1/120\text{rad}$ 時の耐力、太字は短期基準せん断耐力の最小値

$1/120\text{rad}$ 時の耐力（以下、特定耐力と記す。）と初期剛性が最も高くなったが、塑性率はAおよびBタイプよりも低くなった。一方、Eタイプは各種の耐力はCおよびDタイプより劣るが、最大、降伏、終局および降伏点変形角と塑性率が最も高く非常に粘り強い性能を有していた。これは、Eタイプで用いた木組みブロックがA～Dタイプのものとは異なるためであると考えられ、仕切り板の厚さを薄くすることにより粘り強い強度性能が得られたといえる。ここで、DタイプとEタイプに対応するaタイプとbタイプのせん断試験では初期剛性が同等であったが、耐力壁の水平せん断試験ではEタイプの初期剛性はDタイプよりも大きく低下した。これは、Eタイプでは梁に用いたスギ製材品に通しボルトの座金が大きくめり込んだためと考えられる。また、このめり込みは塑性率の増大に大きく寄与したともいえる。Fタイプでは柱と梁および土台を金物類を使用しないで固定したが、耐力および変形角の性能は低いため、柱と梁および土台の固定には金具類が必要であるといえる。

表3に耐力壁の短期基準せん断耐力および壁倍率を示す。短期基準せん断耐力は降伏耐力、終局耐力、最大荷重および特定耐力から求めた耐力値の最小値として求めた。AおよびBタイプでは終局耐力から求めた耐力が最小値となり、その他のタイプでは特定耐力が最小値となった。壁倍率は短期基準せん断耐力を係数(=1.96)および壁の長さで除して求めた。CおよびDタイプでは壁倍

率が5.0を超えており、非常に耐震性が高い耐力壁であるといえる。Eタイプは壁倍率が4.6であり、CおよびDタイプよりやや耐震性が低い、塑性率で示される耐力壁の粘り強さが最も優れており、このタイプが耐力および粘り強さの両面で優れた耐力壁であるといえる。

木組みブロック構法と同様に板壁をあらわして使用する落とし込み板壁の壁倍率は0.6である。木組みブロック構法耐力壁はこれより非常に大きい壁倍率を持つことが確認できたので耐震性を重視する住宅の耐力壁として有望であると考えられる。

引用文献

- 1) 土塗壁等告示に係る技術解説書作製編集委員会：“土塗壁・面格子壁・落とし込み板壁の壁倍率に係る技術解説書”。東京、日本住宅・木材技術センター，2004.
- 2) 日本住宅・木材技術センター：“木造軸組工法住宅の許容応力度設計”。東京、日本住宅・木材技術センター，2001，p.128-132.
- 3) 軽部正彦、原田真樹、林 知行：荷重変形曲線のモデル化とその問題点共有のための提案：特徴点抽出の自動化ツールについて。日本建築学会学術講演梗概集C-1構造Ⅲ。関東，2001，p.215-216.

(2007年12月13日受理)