

# 短い軸組材を使用した木造壁体の耐震改修性能評価

岩井 哲\*・佐藤 立美\*・坪山 宗由\*\*

(平成23年10月31日受付)

## Evaluation of earthquake resistant improvement performance of wooden walls using short members

Satoshi IWAI, Tatsumi SATO and Muneyoshi TSUBOYAMA

(Received Oct. 31, 2011)

### Abstract

This study aims to reuse timber building materials pulled down from an old existing house for earthquake-resistant improvement. Totally seven specimens, composed with four kinds of structural types, were used to subjected to static repeated load horizontally. The load carrying capacity, deformability, hysteretic energy absorption, and failure mode of the specimens were investigated. It is found that the specimens installed three sets of crossed short-diagonal members show the highest load-carrying capacity, those were about 2.0 of wall unit multiplier, which is equivalent to the wall with crossing braces of the same size cross-section. The hysteretic energy absorption quantities of these specimens were also large, comparing the other specimens. However, the members failed in splitting and brittle manner at the ultimate stage of loading, so there must be change in the failure mode.

**Key Words:** wooden frame, earthquake resistant improvement, static loading test, wall unit multiplier, hysteretic energy absorption, failure property

## 1. 研究目的

本研究は、木造の解体家屋から得た柱・はり材などの資材を既存建物の耐震改修用に再使用することを目指したものである。解体資材はほぞ孔の加工などがあり、傷がなく2~3m以上の長さをもった同一の材種が数多く揃うとは限らない。耐震改修に資材を数多く提供できることが見込めるように、できるだけ短い軸組材を斜材に用いることにした。

ここでは提案する木造壁体の耐震性能を調査することを目的として、古材ではなく新しい建築資材を使って、斜材の断面寸法と段組数で形態を変え、架構への接合位置を違えて、数種の耐力壁を用意し、破壊に至るまでの載荷実験を行った。

## 2. 実験計画

### 2.1 試験体

図1に示す形状の試験体を合計7体用意した。柱芯間距離は910mm、土台-はり芯高さは2730.5mmとした。材種はすべてスギを用いた。部材断面は、柱と土台には105mm×105mm、はりには105mm×180mmを用いた。試験体名と形態の関係を表1に示す。斜材断面は40mm×105mm [B40試験体と称する] 以下、同様の表記とする。30mm×105mm [B30試験体] の2種、斜材を対角に設置した [D試験体] と中央に設置した [C試験体] の2種とし、斜材段組数を1段、2段、3段の3種を組み合わせた。斜材と柱・横架材との接合は、図2、図3に示すSS400材相当2.3mmの鋼製金物を製作し、径10mmの普通ボルト1本と釘6本を用いた。

\* 広島工業大学工学部建築工学科

\*\* 広島工業大学大学院工学系研究科建設工学専攻

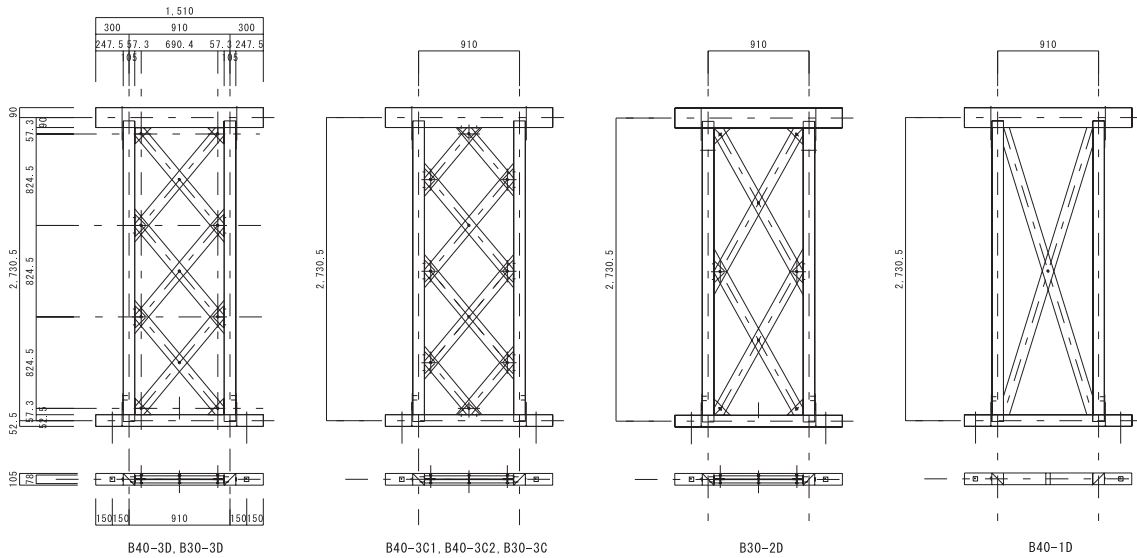


図1 試験体

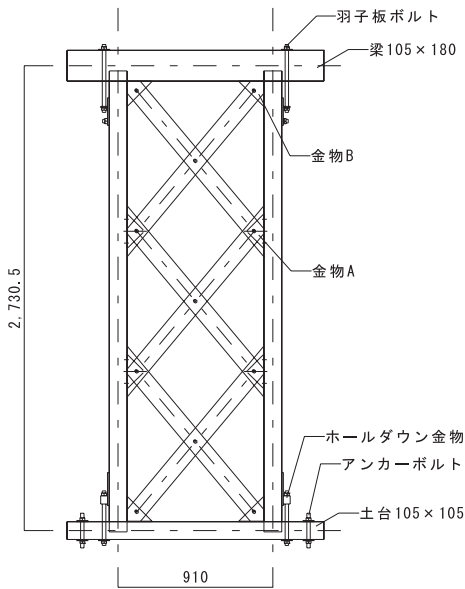


図2 試験体の接合金物

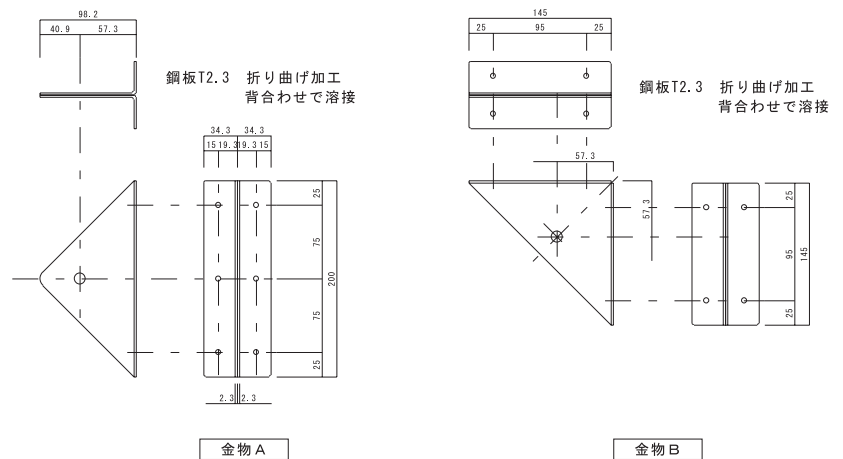


図3 鋼製金物詳細

表1 試験体名と形態

試験体名	斜材 (mm)	段組数 (段)	設置形態
B40-3D	40×105	3	対角止め
B40-3C1	40×105	3	中央止め
B40-3C2	40×105	3	中央止め
B40-1D	40×105	1	対角止め
B30-3D	30×105	3	対角止め
B30-3C	30×105	3	中央止め
B30-2D	30×105	2	対角止め

## 2.2 実験装置と加力方法

実験装置は写真1、図4に示す広島県立総合技術研究所 林業技術センター（三次高平施設木材実験棟）の壁体内面

せん断試験機（100 kN 加力用）を用いた。実験方法は「柱脚固定式の鉛直構面の面内せん断試験」<sup>1)</sup> によっており、短期基準せん断耐力  $P_0$  ならびに短期許容せん断耐力  $Pa$  の評価方法もこれによる。試験体上部のほりに、正負繰り返し加力を見かけの層間変形角で、1/450, 1/300, 1/200, 1/150, 1/100, 1/75, 1/50, 1/15 rad において、油圧ジャッキにより水平方向変位を制御して与えた。同一変形域で繰り返しを各3回行った。最大荷重に達した後の加力は、最大荷重の80%に低下するか、層間変形角が1/15 rad 以上に達するまでとした。全実験を通じて鋼製金物接合部で破壊は生じていない。試験体 B40-3D と B40-3C1 は、層間変形角 1/12 rad 前後で土台部が割裂破壊を生じた段階で実験終了した。これらの試験体は斜材に顕著な損傷は認められなかった。B40-3C1 は後に、B30-3C の骨組架構と接

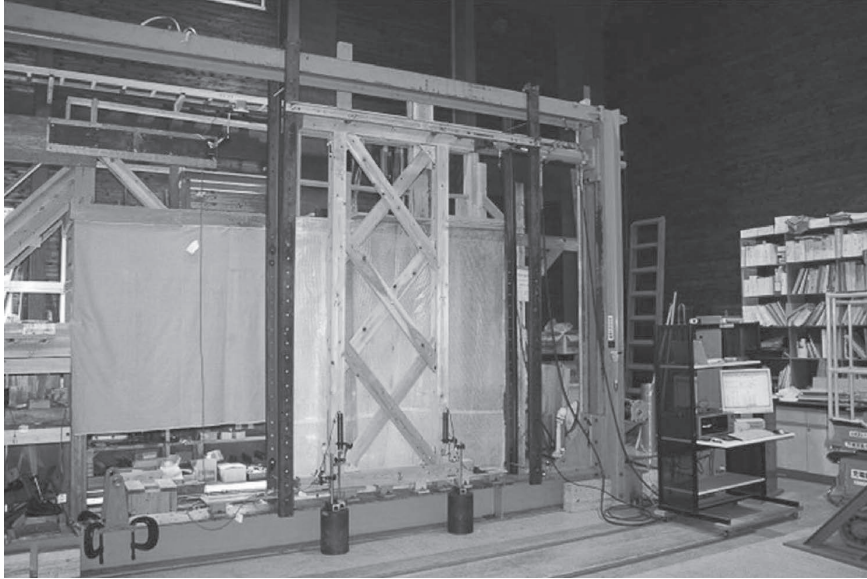


写真1 壁体内せん断試験機

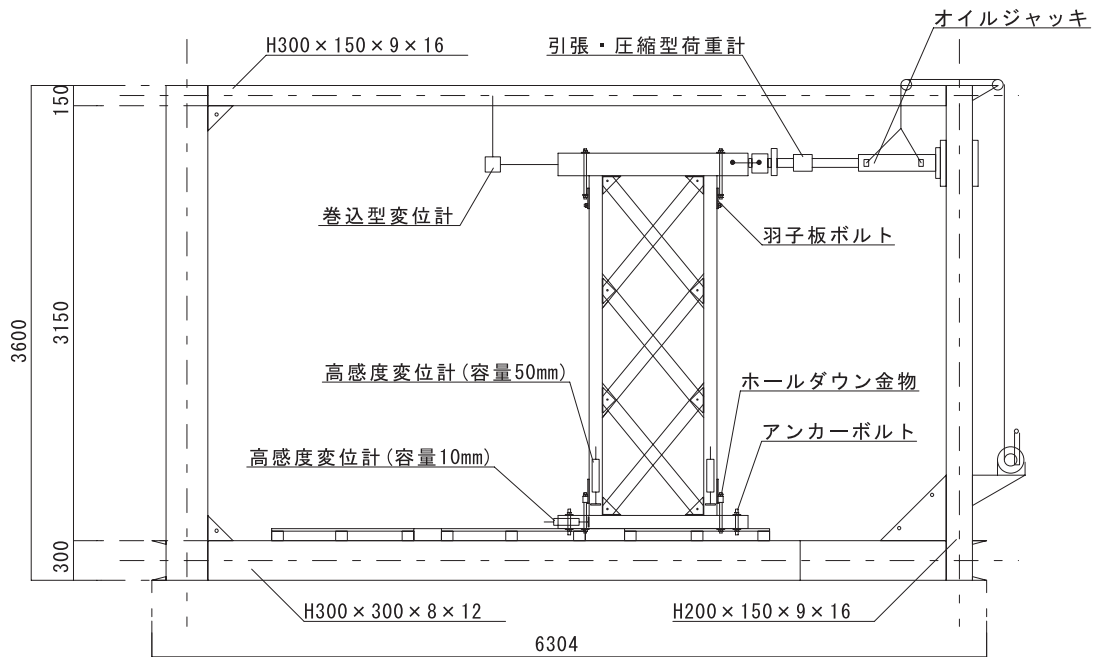


図4 荷重並びに計測の方法

合金物を再使用して、斜材だけを新規に入れ替えたB40-3C2を用意し、層間変形角 1/50 rad の繰り返し荷重段階から加力を開始した。断面寸法 40×105 mm のB40 斜材が破壊に到るまでの経緯を確認するためである。

### 2.3 壁倍率の評価方法

試験体の壁倍率の計算式<sup>1)</sup>を以下に示す。短期許容せん断耐力  $P_a$  [kN] は

$$P_a = P_0 \cdot (1 - CV \cdot k) \quad \dots (1)$$

である。但し、 $P_0$  [kN]: 短期基準せん断耐力で、①「降伏

耐力  $P_y$ ], ②「終局耐力  $P_u \cdot (0.2/D_s)$ 」, ③「最大荷重  $P_{max}$  の2/3」, ④「特定変形時の耐力」の4つの値の中で最も小さい値、 $CV$ : 変動係数、 $k$ : 信頼水準75%における50%下側許容限界値を求めるための係数とした。定数  $k$  は、3体試験して平均値と仮定したときの値として0.471を用いた。(1)式で求めた  $P_a$  を使って壁倍率を求めた。

$$\text{壁倍率} = P_a \cdot (1/1.96) \cdot (1/L) \quad \dots (2)$$

ここで、1.96[kN/m]: 壁倍率 = 1を算定する数値、 $L$  [m]: 壁の長さである。

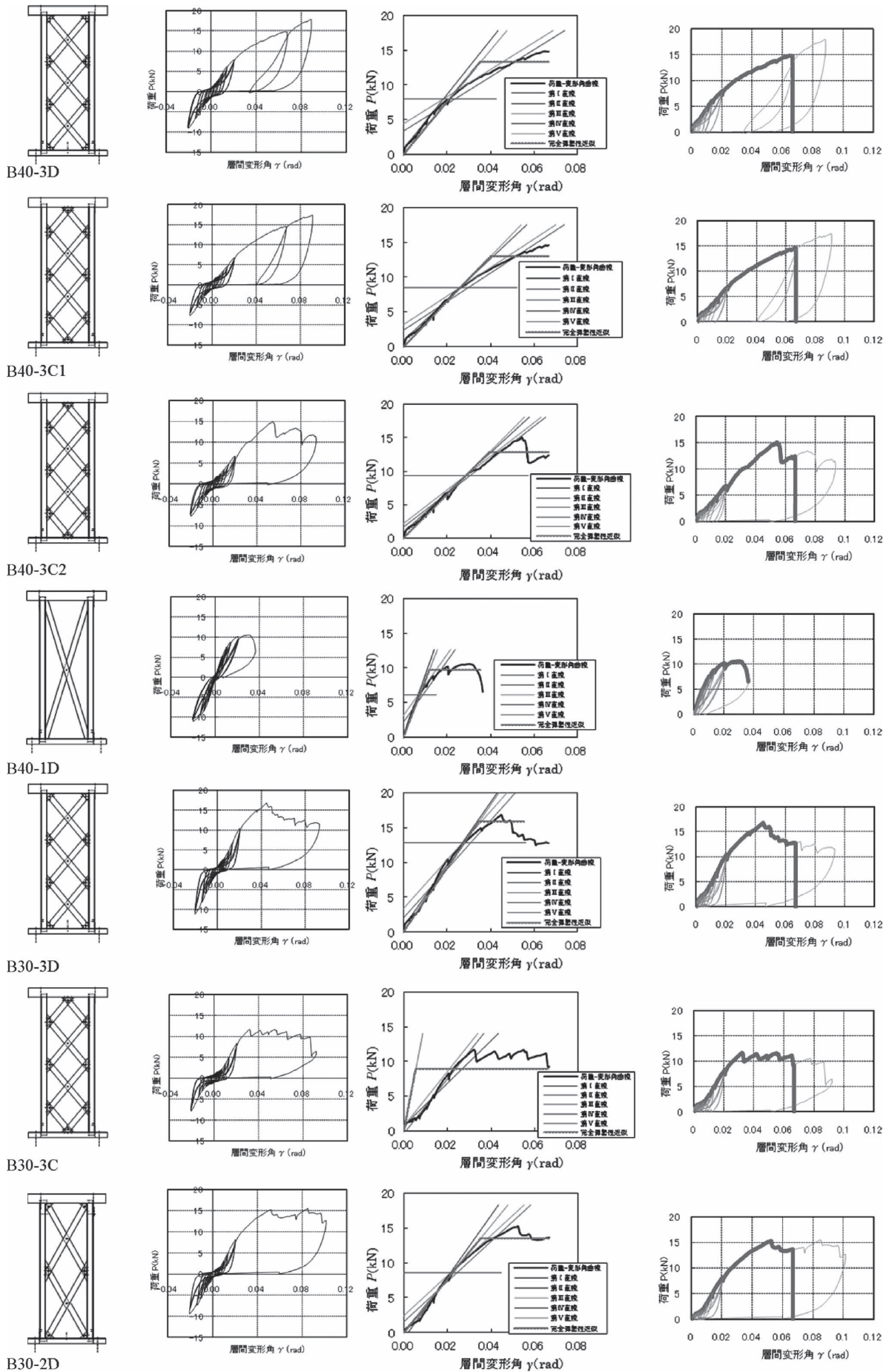


図5 (a)試験体形状, (b)荷重一層間変形角関係, (c)完全弾塑性表示, (d)荷重一層間変形角包絡曲線

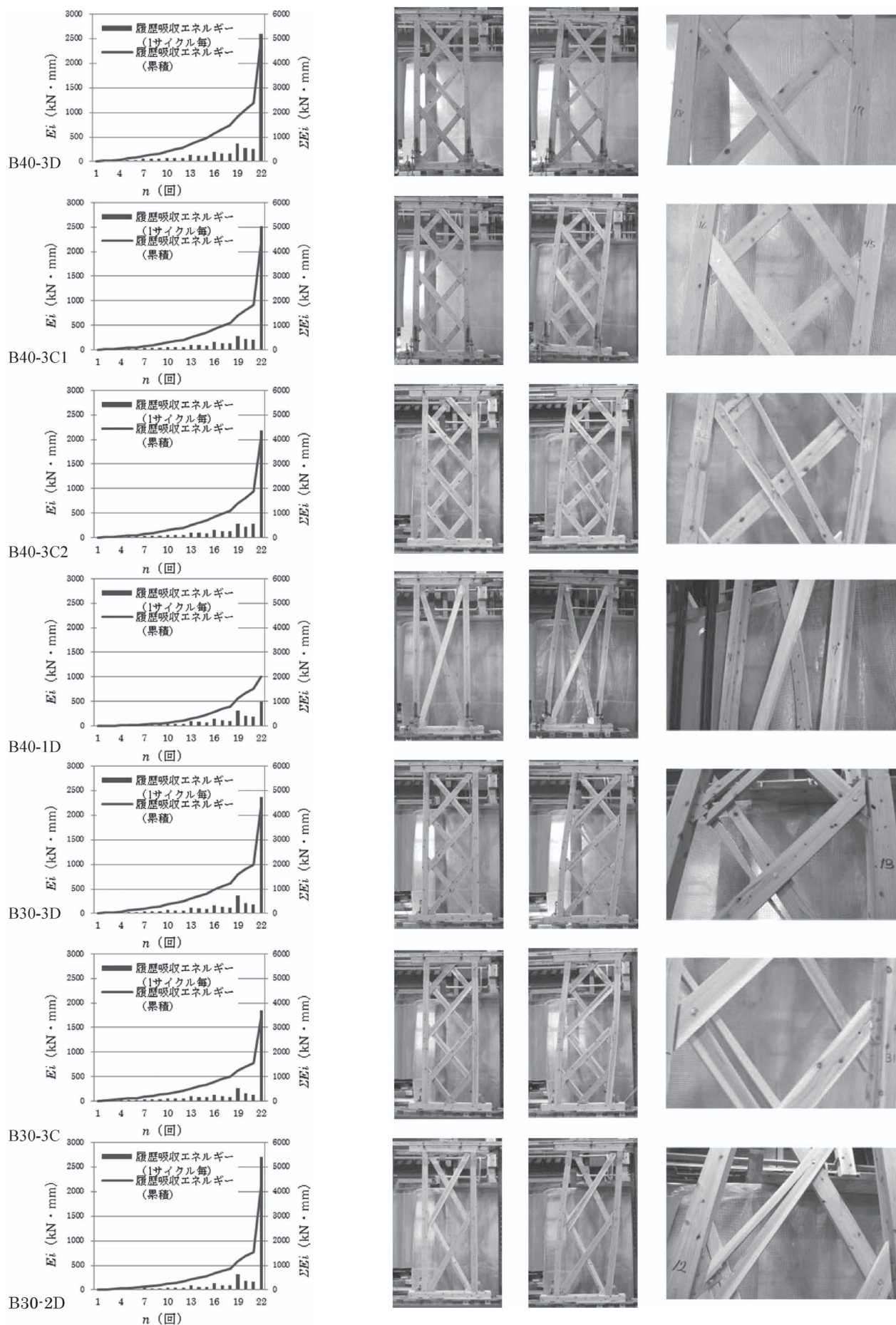


図6 エネルギー吸収量

写真2 (a)初期段階, (b)最終破壊, (c)斜材の詳細

### 3. 実験結果

#### 3.1 荷重一層間変形角関係

全試験体について図5に、(a)試験体形状、(b)荷重一層間変形角関係、(c)完全弾塑性モデルによる降伏耐力および終局耐力の表示、(d)層間変形角 1/15 rad までの荷重一層間変形角関係の包絡曲線を示す。なお途中からの荷重を行った B40-3C2 の層間変形角 1/15 rad までの荷重一層間変形角履歴は B40-3C1 のデータを繋いで完成した。

#### 3.2 壁倍率評価

壁倍率の一覧を表2に示す。比較の対象としたたすき掛け筋かい試験体 B40-1D は壁倍率2.19となった。たすき掛け筋かいは他の試験体と較べて、剛性が2倍程度高いが、構面外への座屈により粘りがなかったため、完全弾塑性モデルによる終局耐力で壁倍率が決定している。

断面寸法 40×105 mm の B40 斜材の場合、試験体 B40-3D は1.96でたすき掛け筋かいとほぼ同等の壁倍率を得た。たすき掛け筋かい以外は初期剛性が低い、粘りがあって降伏耐力および終局耐力は高い。いずれも特定変形 (1/120 rad) 時の耐力で壁倍率が決定する結果となっている。斜材段組数を3段で、斜材を対角に設置した [D 試験体] と中央に設置した [C 試験体] の2種を較べると、試験体 B40-3C1 は1.50で B40-3D の1.96に較べてやや低い。

断面寸法 30×105 mm の B30 斜材を持つ試験体の場合も、斜材を対角に設置した [D 試験体] と中央に設置した [C 試験体] の2種を較べると、B30-3D が壁倍率1.96で、壁

倍率1.33の B30-3C より高く、B40 斜材と同じ傾向が認められる。また斜材段組数を2段と、3段で較べると、B30-3D が壁倍率1.96で壁倍率1.20の B30-2D より高い。壁倍率の評価からは対角に設置した [D 試験体] で、斜材段組数が3段の B40-3D と、B30-3D がいずれも優れていると確認出来る。

#### 3.3 履歴吸収エネルギー

図6に全試験体のエネルギー吸収量を示した。棒グラフは履歴ループの1サイクル毎のエネルギー吸収量  $E_i$  (左軸で表示) の推移を、折れ線グラフは累積エネルギー吸収量  $\Sigma E_i$  (右軸で表示) の推移を表したものである。表3に層間変形角 1/100 rad, 1/50 rad, 1/15 rad における1サイクル毎のエネルギー吸収量  $E_i$  と累積エネルギー吸収量  $\Sigma E_i$  を示した。図7に B40 試験体と B30 試験体の比較を示す。

B40 斜材の場合、斜材段組数が3段で、斜材を対角に設置した [D 試験体] である B40-3D が履歴ループの1サイクル毎のエネルギー吸収量  $E_i$  も、累積エネルギー吸収量  $\Sigma E_i$  も、他の試験体に較べて大きい。たすき掛け筋かい試験体 B40-1D は他の試験体と較べて、粘りがなく、エネルギー吸収量において性能は低くなる。短い軸組材を斜材に用いた今回提案した試験体は、この従来型筋かい耐力壁のもつ弱点を克服している点が評価できる。B30 斜材の場合も同様に、3段で、斜材を対角に設置した [D 試験体] である B30-3D が両者のエネルギー吸収量も大きい。

表2 各種耐力と壁倍率

試験体名	B40-3D	B40-3C1	B40-3C2	B40-1D	B30-3D	B30-3C	B30-2D
降伏耐力 $P_y$ (kN)	8.02	8.48	9.34	6.12	12.82	近似不可	8.60
終局耐力 $P_u \cdot (0.2/\text{構造特性係数 } D_s)$ (kN)	4.42	3.97	3.97	4.32	4.68	近似不可	4.51
最大荷重 $P_{max} \cdot 2/3$ (kN)	9.90	9.75	10.05	7.05	11.22	7.80	10.17
特定変形 (1/120 rad) 時の耐力 (kN)	3.86	2.95	同左	6.62	3.86	2.62	2.36
短期基準せん断耐力 $P_o$ (kN)	3.86	2.95	2.95	4.32	3.86	2.62	2.36
短期許容せん断耐力 $P_a$ (kN)	3.50	2.67	2.67	3.91	3.49	2.37	2.13
壁倍率 (変動係数20%)	1.96	1.50	1.50	2.19	1.96	1.33	1.20

表3 各サイクル毎のエネルギー吸収量  $E_i$  と累積エネルギー吸収量  $\Sigma E_i$

試験体名	B40-3D		B40-3C1		B40-3C2		B40-1D		B30-3D		B30-3C		B30-2D	
	$E_i$ (kN·mm)	$\Sigma E_i$ (kN·mm)	$E_i$ (kN·mm)	$\Sigma E_i$ (kN·mm)	$E_i$ (kN·mm)	$\Sigma E_i$ (kN·mm)	$E_i$ (kN·mm)	$\Sigma E_i$ (kN·mm)	$E_i$ (kN·mm)	$\Sigma E_i$ (kN·mm)	$E_i$ (kN·mm)	$\Sigma E_i$ (kN·mm)	$E_i$ (kN·mm)	$\Sigma E_i$ (kN·mm)
1/100	140.80	702.64	102.91	514.30	同左		96.19	296.66	122.86	615.08	94.61	523.2	90.45	430.62
1/50	357.87	1838.25	288.79	1400.83			319.34	1123.10	363.21	1587.18	260.56	1254.05	316.74	1181.97
1/15	1452.97	3827.69	1344.82	3161.82	2175.87	4079.23	494.97	2008.32	2367.33	4352.22	1854.71	3395.06	2707.01	4240.57

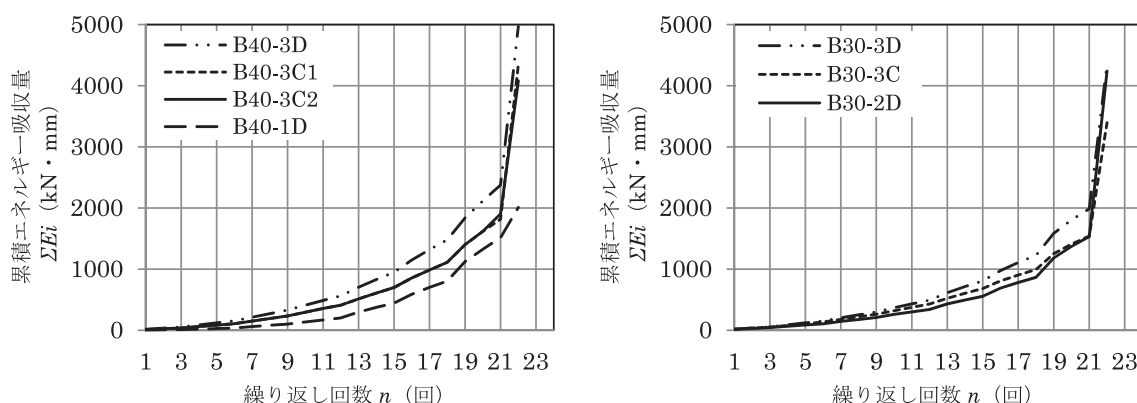


図7 B40 試験体 (左) と B30 試験体 (右) の累積エネルギー吸収量  $\Sigma E_i$  の比較

表4 最終破壊状況

試験体名	破壊状況
B40-3D	土台が割裂破壊
B40-3C1	土台が割裂破壊
B40-3C2	斜材が割裂破壊
B40-1D	筋かいが構面外座屈し、接合金物から筋かいが抜けて破壊
B30-3D	斜材が割裂破壊 左側柱が折れた
B30-3C	斜材が割裂破壊
B30-2D	斜材が割裂破壊

### 3.4 破壊状況

写真2と表4に各試験体の最終破壊に到る状況を示した。B40-3DとB40-3C1の2体では、柱の浮き上がり防止を担う引き寄せ金物の固定先を土台にしたため、大変形時に土台が先行して割裂破壊し、斜材の損傷にまで到らなかった。その後の実験では、載荷装置の下の鋼製の試験体受け台に引き寄せ金物を取り付け、柱を引っ張ることにした。たすき掛け筋かい試験体B40-1Dは筋かいが構面外に座屈するとともに、接合金物から筋かいが抜けて破壊に到った。たすき掛け筋かい試験体B40-1Dを除くその他の試験体は、斜材が割裂破壊するまでの載荷が可能となり、短い軸組材を斜材に使用した木造壁体の耐震改修性能の評価ができることになった。斜材は、引っ張り力を受けた際に個々の材が徐々に接合金物のボルトにより損傷し、個材が一つずつ割裂破壊していく過程を経ている。従って、短い軸組斜材のそれぞれが十分に機能を発揮しながら損傷していくため、破壊性状として非常に好ましい。ただし問題点は、斜材が割裂破壊で縦に割れ、最終状況では脆性破壊的な側面があることである。今後改善の余地があると考えられる。

## 4. 結論

- 1) 壁倍率の評価では斜材を対角に接合した [D 試験体] で、段組数が3段のB40-3Dと、B30-3Dがいずれも壁倍率1.96で優れている。これは同じ断面寸法の材を用いたたすき掛け筋かい壁とほぼ同等の壁倍率である。斜材をはり材中央に接合した [C 試験体]、ならびに斜材段組数を2段にした試験体は、壁倍率で0.5ほどこれらより劣る。
- 2) 斜材を対角に設置した [D 試験体] が、履歴ループの1サイクル毎のエネルギー吸収量  $E_i$  も、累積エネルギー吸収量  $\Sigma E_i$  も、他の試験体に比較して大きい。たすき掛け筋かい壁は他の試験体と較べて、粘りがなく、エネルギー吸収量において性能が低い。この弱点を克服している点が評価できる。
- 3) 斜材の破壊は、引っ張りを受けた際に個々の材が接合金物のボルトにより徐々に損傷し、個材が一つずつ破壊していく過程を経ている。短い軸組材のそれぞれが十分に機能を発揮しながら損傷していくため、破壊性状として好ましい。ただ最終状況で斜材が割裂破壊する点については、今後改善の余地がある。

## 謝 辞

本研究は、平成22年度中小企業組合等活路開拓事業として補助を受けました (広島耐震診断設計協同組合、代表者：金井三郎)。ここに記し、ご関係の各位に感謝いたします。また広島県立総合技術研究所林業技術センターの藤田和彦氏には実験の計画ならびに実施に関して大変お世話になりました。深甚の謝意を表します。

## 文 献

- 1) (財)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 (2008年版), pp. 561-574.