

## スギ落とし込み板壁における厚板ねじ留めの効果<sup>\*1</sup>

中田欣作

スギ厚板を用いた落とし込み板壁の性能向上を目的として、厚板表面の溝に正方形のダボを挿入するとともに厚板を各種の方法でねじ留めした板壁の水平加力試験を行った。

本ざね加工した厚板を横張りした後に、補強板として壁の垂直方向の縦板および交差させた斜め板をねじ留めした。真のせん断変位角が $1/150\text{rad}$ 時の耐力から求めた壁倍率相当値は、ダボのみの板壁では1.8倍であったが、縦板、斜め板およびこれらを複合させた板壁では、それぞれ2.5、3.4および4.7倍になり、大幅な性能の向上がみられた。

縦板の板壁では、ダボのみの板壁に比べて壁の圧縮変形および横架材への板のめり込みが減少した。斜め板の板壁では、壁の圧縮変形および板相互のずれが減少し、壁の半分の幅で交差させるよりも壁全体の幅で交差させる方の耐力が高くなった。複合板の板壁では、縦板と斜め板の相乗効果が認められた。

ダボのみの板壁では、面内せん断変形のうち横架材への板のめり込みが16%、板相互のずれが40%、壁の圧縮変形が25%、壁の水平移動が19%であったが、複合板の板壁では、それぞれ11、28、16および44%となった。複合板の板壁においては、板相互のずれと壁の圧縮変形が小さいために壁が一体となって水平せん断力に抵抗することができ、かつ、横架材への板のめり込みも小さいため、面内せん断変形が小さくなるとともに耐力が向上したと考えられる。

### 1. はじめに

木造住宅の耐力壁は、柱、梁桁等の横架材、土台、筋かい、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、筋かい耐力壁や合板張り耐力壁などの現代構法の壁とともに、土塗り壁、面格子壁および落とし込み板壁などの伝統構法の壁があり、それら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、筋かい耐力壁や合板張り耐力壁などの現代構法の壁が一般的であるが、伝統構法の耐力壁である落とし込み板壁を望んでいる施主がいる。従来は落とし込み板壁の耐震性が評価されていなかったため、落とし込み板壁を住宅に用いることが難しかった。しかし、近年では一定の仕様規定を満たすことにより壁倍率は0.6とすることができるようになり<sup>1)</sup>、落とし込み板壁を住宅に用いることが可能になってきている。

伝統構法である落とし込み板壁は、現在一般的に用いられている筋かいや合板を用いた耐力壁と比べると、

最大耐力は十分高いが、初期剛性が低いために耐力壁としての性能の指標である壁倍率が低いのが現状である。落とし込み板壁では木材のダボを用いて厚板に作用する水平せん断力に抵抗させるが、主に板相互のずれと壁の圧縮筋かいゾーンの圧縮変形により板壁の面内せん断変形が決定される<sup>1)</sup>。そこで、高強度の木質材料をダボに用いて板相互のずれを減少させるとともに、補強板をねじ留めすることにより圧縮変形を減少させれば、板壁の面内せん断変形を大幅に減少させることができると考えられる。

本研究では、板壁の水平加力試験を行い、厚板のねじ留めによる面内せん断変形の減少の可能性について検討した。

### 2. 材料と方法

#### 2.1 供試材料

図1に板壁の種類を示す。柱は幅105×厚さ105×長さ2587mm、ヤング係数E90、土台は幅105×厚さ105×長さ2420mm、ヤング係数E90、梁は幅105×厚さ180×長さ2720mm、ヤング係数E90のスギ製材品を用いた。柱および梁には長さ方向に幅68×深さ15mmの片側が開放された溝加工、土台には長さ方向に幅31×深さ15mmの溝加工を行った。厚板は本ざね加工した幅150×厚さ30

<sup>\*1</sup> 本研究の一部は、第60回日本木材学会大会（2010年3月、宮崎）および第61回日本木材学会大会（2011年3月、京都）において発表した。

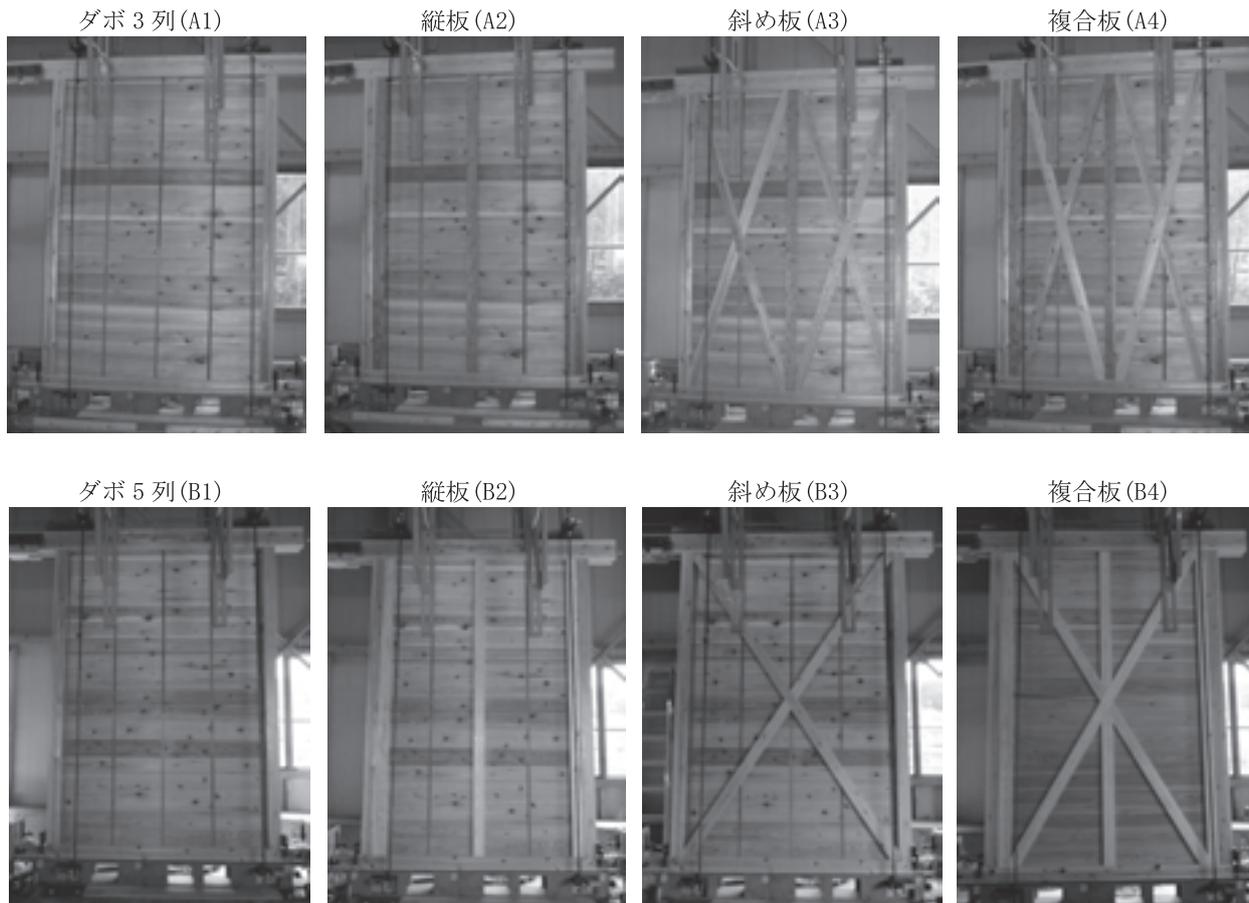


図1 板壁の種類

注) 上段：Aシリーズ、下段：Bシリーズ

×長さ1743mm、ヤング係数E90のスギ製材品を用いて、図2に示すように幅方向に幅21×深さ21mmの溝加工を行った。補強板は幅90×厚さ30mmのスギ製材品を用いた。柱と梁および土台を長ほぞ込栓接合した。ほぞは幅75×厚さ30×長さ90mmとし、込栓には直径20mmの強化LVL<sup>2)</sup>を用いた。

ダボのみの試験体A1およびB1では、厚板を柱、梁および土台の軸組の中に梁と平行に18枚並べ（以下、横張り」と記す。）、厚板の溝に幅21×厚さ21×長さ（下から順に、525、600、600、600および292mm）の強化LVL<sup>2)</sup>をはめ込んだ。ダボの本数は、図3に示すようにA1、A2、A3、A4およびB4では3本、B1、B2およびB3では5本とした。最上段の板の幅は、1つ下の板と梁との隙間を測定してそれと同じ寸法に加工した。その後、図4に示すように幅38×厚さ15×長さ2587および2720mmのスギ製材品の受材を、直径3.3×長さ35mm、ねじ部長さ22mmの半ねじタイプの細目スリムねじを用いてピッチ150mmで柱および梁にねじ留めした。

縦板試験体A2およびB2では、後述するようにダボのみの試験体A1およびB1の試験後に、壁の両側および中

央部において垂直方向に幅90×厚さ30×長さ2587mmの補強板（以下、縦板」と記す。）をねじ留めした。壁の両側では、補強板を柱の受材に接触させるようにねじ留めを行った。AおよびBシリーズでは、それぞれ直径3.8×長さ51mmの全ねじタイプのコーススレッドおよび直径4.2×長さ55mm、ねじ部長さ40mmの半ねじタイプの木ねじを用いて、ピッチ150mmで厚板1枚につき各2本

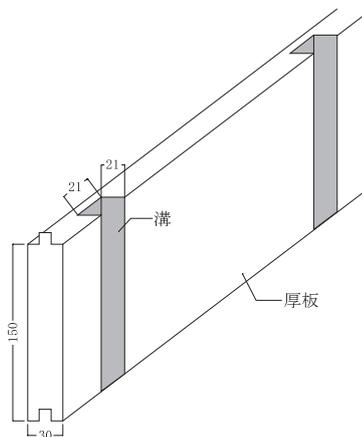


図2 厚板

ねじ留めした。

斜め板試験体A3では、試験体A2の試験後に縦板を取り外し、壁中央に縦板をねじ留めした後、縦板の左右にV字状の斜め方向に補強板（以下、斜め板と記す。）をねじ留めし、さらにこの斜め板で2つに分断される斜め板をねじ留めした。試験体B3では、試験体B2の試験後に縦板を取り外し、中央部で交差するように相欠き加工した斜め板2枚をねじ留めした。斜め板試験体A3およびB3では、木ねじのピッチは垂直方向に150mmとした。

複合板試験体A4では、試験体A3の試験後に縦板および斜め板を取り外し、壁の両側に縦板2枚および壁中央に縦板をねじ留めした後、試験体A3と同様の方法で斜め板をねじ留めした。試験体B4では、新たな試験体を

用いて、厚板を横張りし、両側の縦板2枚と斜め板2枚をねじ留めした。さらに斜め板と接触するように先端を加工した縦板2枚を壁中央にねじ留めした。斜め板の先端部分は、試験体A3およびA4では柱、梁および土台側はすべて76mmとなるように加工し、試験体B3およびB4では同様に65mmに加工した。斜め板の長さは、柱、土台、梁および縦板で囲まれる部分の寸法を測定し、それと同じ寸法に加工した。

2.2 板壁の水平加力試験

図5に板壁の水平加力試験の方法を示す。板壁の水平加力試験は、標準的な試験方法<sup>3)</sup>に準拠して行った。板壁の寸法は、幅1820mm、高さ2730mmとした。試験体の設置方法はタイロッド式とし、土台の2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

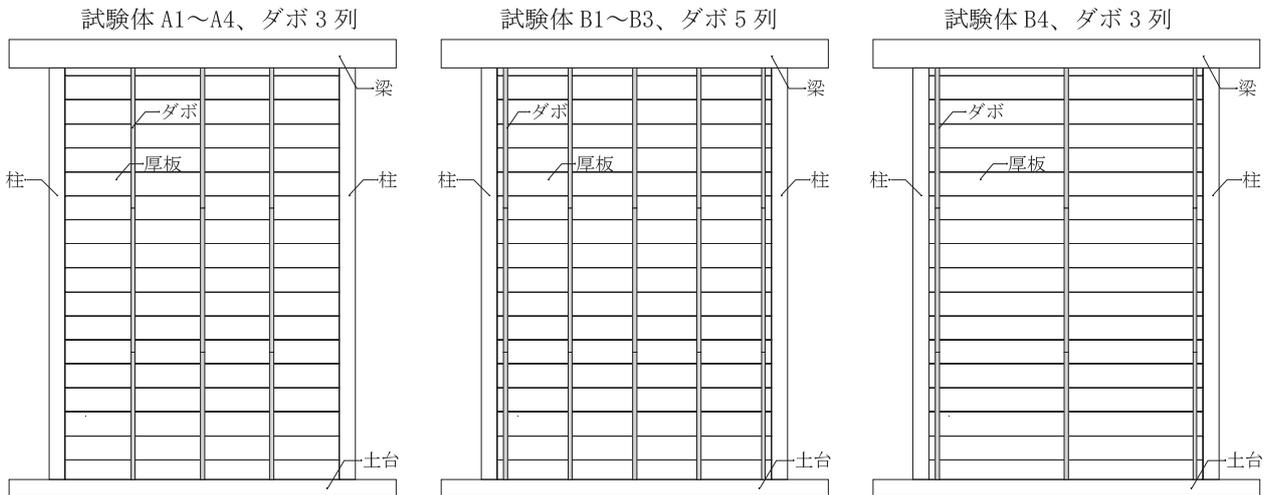


図3 ダボの位置

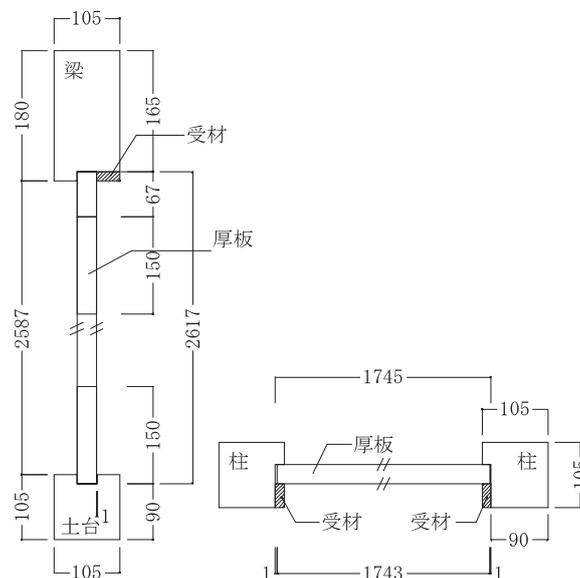


図4 受材の留め方

り返し加力とし、原則的には、見かけの変形角が1/600, 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。荷重速度は30mm/minとした。表1に示すように、試験体の変位を測定した。荷重は精度1/100kNの(株)東京測器研究所製ロードセルTCLP-200KNB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。

見かけのせん断変形角 および脚部のせん断変形角は式(1)および(2)により求め、真のせん断変形角は式(3)により求めた。

$$\theta_1 = \frac{\delta_A - \delta_B}{H} \tag{1}$$

$$\theta_2 = \frac{\delta_{CL} - \delta_{CR}}{W_C} \tag{2}$$

$$\theta_3 = \theta_1 - \theta_2 \tag{3}$$

ただし、 $\delta_A$  : 梁の水平変位、 $\delta_B$  : 土台の水平変位、 $\delta_C$  : 柱の垂直変位、添え字 : L : 左側、R : 右側、H : 梁の高さ (=2730mm)、 $W_C$  : 変位計Cの間隔 (=1974mm)。

柱、土台、梁および厚板の試験時の含水率は10.7、9.8、13.0および12.4%であった。

Aシリーズの試験では、ダボのみの試験体A1でせん断変形1/600~1/50radの正負加力を3回繰り返した後1/25radまで加力した。縦板および斜め板をねじ留めし

表1 変位の測定項目

測定項目	記号	数量	変位計	精度
梁の水平変位	A	1	DP-500CS	1/20
土台の水平変位	B	1	CDP-25	1/500
柱の垂直変位	C	4	CDP-50	1/200
土台の垂直変位	D	2	CDP-50	1/200
壁と梁との垂直相対変位	E	2	CDP-100	1/100
壁と土台との垂直相対変位	F	2	CDP-100	1/100
壁と梁との水平相対変位	G	1	CDP-50	1/200
壁と土台との水平相対変位	H	1	CDP-50	1/200
板相互の水平相対変位	I	5	CDP-25	1/500
壁全体の圧縮変位	J	2	DP-500CS	1/20
壁上半分の圧縮変位	K	2	DP-500CS	1/20

変位計は(株)東京測器研究所製ひずみゲージ式変位計

た試験体A2およびA3では、せん断変形角1/50radまでの正負加力を1回行った。複合板試験体A4では、せん断変形1/600~1/50radの正負加力を3回繰り返した後、試験体が破壊するまで加力を行った。A2~A4のそれぞれの試験の前には、補強板のねじ留めの効果を知るために、補強板を取り外してA1と同様のダボのみの状態にしてせん断変形角1/50radまでの正負加力を1回行った。

Bシリーズの試験では、ダボのみの新たな試験体B1でせん断変形1/600~1/50radの正負加力を3回繰り返して

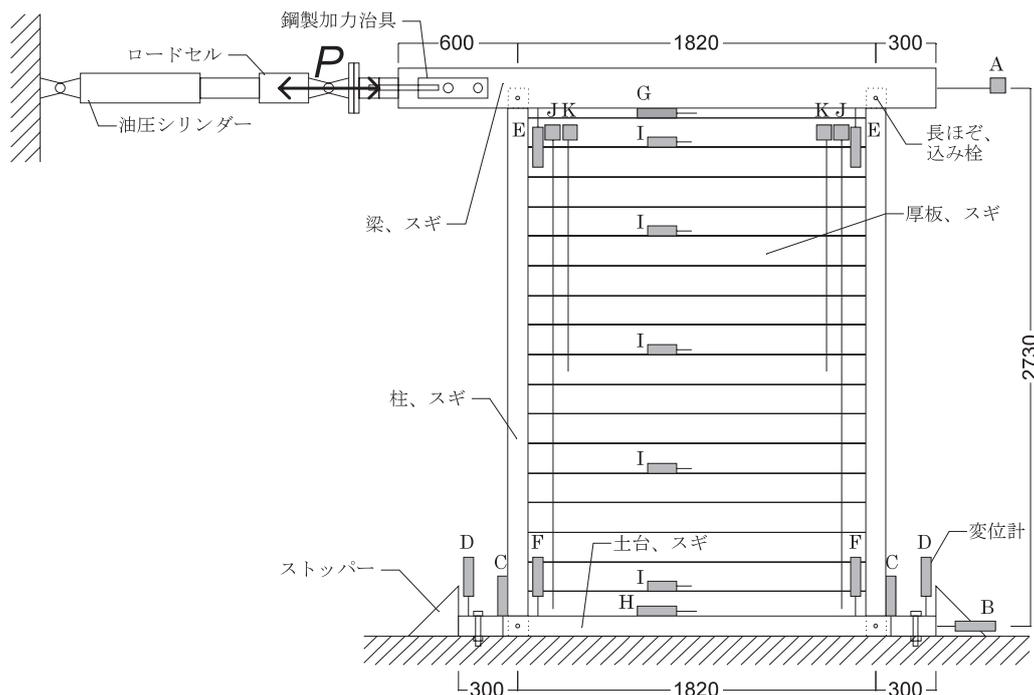


図5 板壁の水平加力試験 注) 変位計Cは柱の前後に各2個。

た後、縦板および斜め板をねじ留めした試験体B2およびB3にせん断変形角1/50radまでの正負加力を1回行った。B2およびB3のそれぞれの試験の前には、再度ダボのみの状態にしてせん断変形角1/50radまでの正負加力を1回行った。複合板試験体B4では新たな試験体を用いて、せん断変形角1/600~1/50radの正負加力を3回繰り返した後、試験体が破壊するまで加力を行った。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 板壁の水平加力試験の結果

図6に板壁の水平加力試験における荷重-せん断変形角曲線を示す。なお、せん断変形角は見かけのせん断変形角から脚部のせん断変形角を減じた真のせん断変形角を用いた。試験体A1あるいはB1と同一の試験体を用いたA2、A3、A4、B2およびB3では、試験体に荷重履歴が残っているため板壁本来の性能よりも低い性能を示すことが予測された。そこで、図7に示すように、ダボのみの初期の試験体A1およびB1の試験（図中のa）の後に、A1あるいはB1と同様のダボのみの試験体の試験（図中のb）および補強板をねじ留めした試験体の試験（図中のc）を行い、両試験での荷重の差（図中の

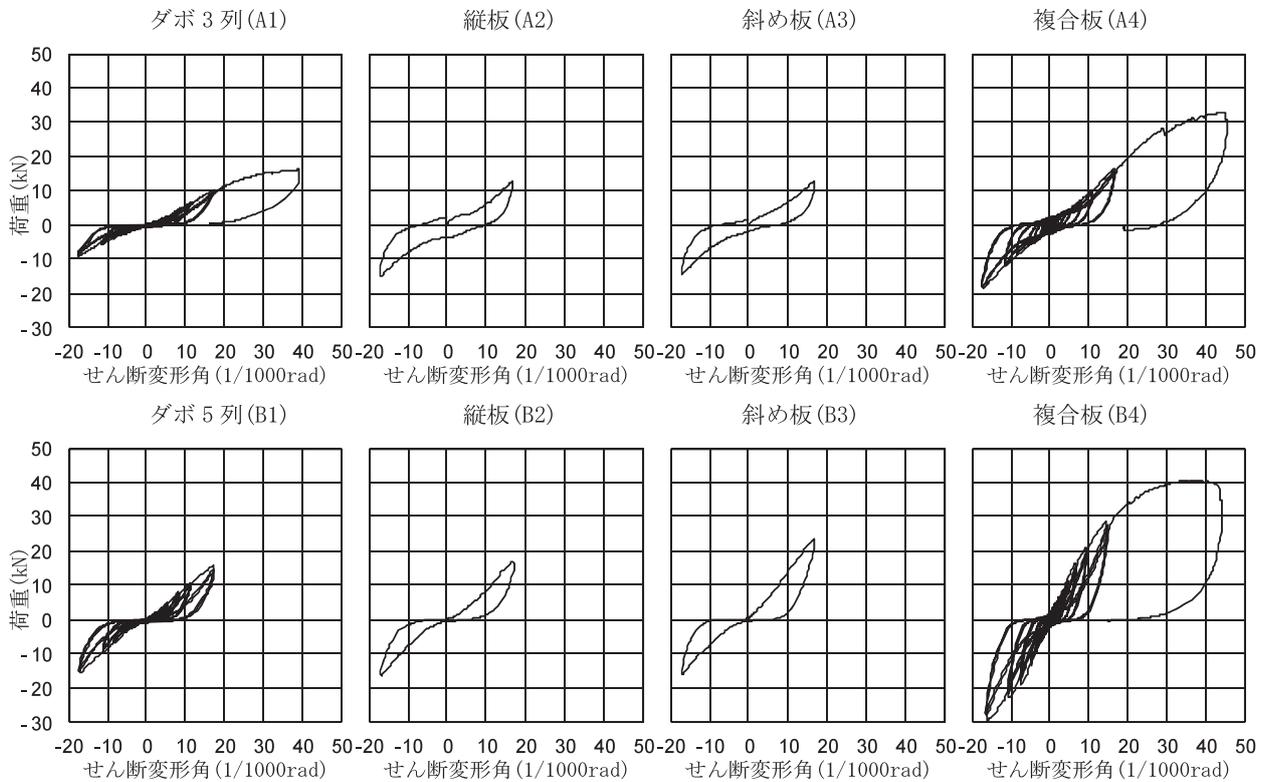


図6 板壁の荷重-せん断変形角曲線

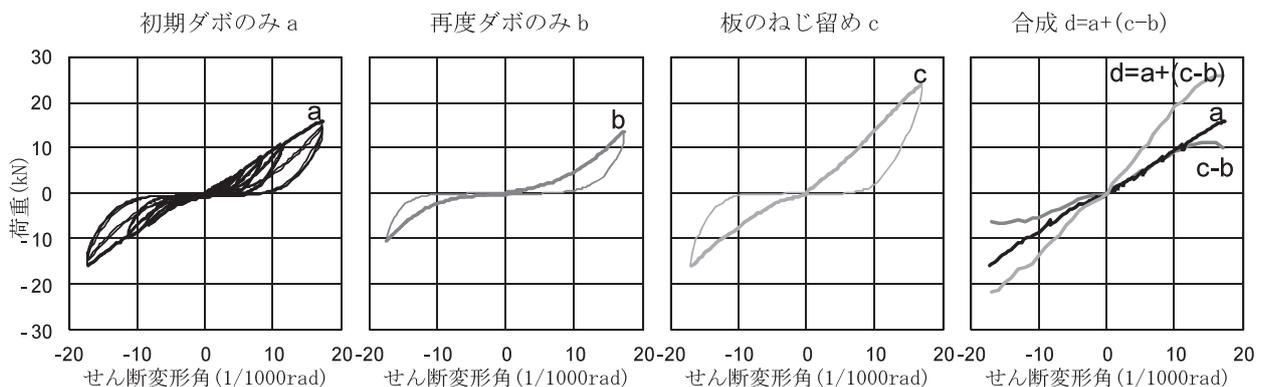


図7 板のねじ留めによる荷重増加の予測

c-b) を補強板のねじ留めによる荷重増加の予測値とした。この荷重増加の予測値とダボのみの初期の試験体での荷重値 (図中のa) との合計をねじ留め試験体の本来の荷重値の予測値 (図中のd) とした。

図8に各種条件での荷重とせん断変形角との関係を包絡線で示す。せん断変形角が1/150 (6.7/1000) rad時の耐力は、AシリーズのA1、A2、A3およびA4では、それぞれ3.4、3.5、5.2および6.1kN、BシリーズのB1、B2、B3およびB4では、それぞれ6.3、9.1、12.3および16.9kNとなった。変形角16/1000rad時の耐力は、A1、A2、A3およびA4ではそれぞれ9.3、13.1、14.2および16.7kN、B1、B2、B3およびB4ではそれぞれ14.9、18.5、25.9および28.7kNとなった。変形角1/150rad時の耐力を係数 (=1.96) および柱間隔 (=1.82m) で除して求めた壁倍率相当値は、A1、A2、A3およびA4ではそれぞれ1.0、1.0、1.4および1.7倍、B1、B2、B3およびB4ではそれぞれ1.8、2.6、3.4および4.7倍となった。

図9に荷重増加比とせん断変形角との関係を包絡線で示す。荷重増加比はダボのみの試験体との比とした。変形角1/150rad時の荷重増加比は、AシリーズのA2、A3およびA4では、それぞれ1.0、1.5および1.8倍、BシリーズのB2、B3およびB4では、それぞれ1.4、2.0および2.7

倍となった。変形角16/1000rad時での荷重増加比は、A2、A3およびA4ではそれぞれ1.4、1.5および1.8倍、B2、B3およびB4ではそれぞれ1.2、1.7および1.9倍となった。これらより、板のねじ留めによる耐力増加の効果を示す荷重増加比は、1/150rad以上のせん断変形角においてAシリーズではせん断変形角によらずにほぼ一定、Bシリーズではせん断変形角の増加とともにやや減少するといえる。

3.2 板壁のせん断変形における変形成分

図10に荷重と各部位の変位との関係を示す。

横架材への板のめり込みについては、正加力時には、梁の左側および土台の右側では板壁のめり込みが生じ、逆側の梁の右側および土台の左側では板壁の沈み込みおよび浮き上がりが生じた。変形角1/50radまでの繰り返しの最大変形時において、土台右側における厚板のめり込みは、A1では3.2mmであったが、A2、A3およびA4ではそれぞれ2.0、2.5および2.3mmとなり、板のねじ留めにより減少した。B1のめり込みは1.7mmであったが、B2、B3およびB4ではそれぞれ0.9、0.5および1.5mmに減少した。

壁の圧縮変形については、正加力時には、壁の左上および右下側では圧縮変形が生じ、逆側の壁の右上および左下側ではこれらより小さい圧縮変形あるいは伸び変形が生じた。左上側における板壁の圧縮変形はA1では6.2mmであったが、A2、A3およびA4ではそれぞれ3.1、3.6および2.5mmに減少した。B1の圧縮変形は4.8mmであったが、B2、B3およびB4ではそれぞれ1.9、4.5および3.1mmに減少した。

板相互のずれについては、荷重の増加とともに変位が大きくなり、垂直方向の部位での比較では、上下端よりも中央部での変位が大きくなる傾向があった。中央部の板相互のずれはA1では0.9mmであったが、A2、A3およびA4ではそれぞれ1.6、1.2および1.4mmにやや増加した。B1のずれは1.2mmであったが、B2、B3およびB4ではそれぞれ1.1、1.1および0.8mmにやや減少した。

壁の水平移動については、荷重の増加とともに変位が大きくなり、壁上部および下部における変位は同程度であった。壁上部の水平移動はA1では2.6mmであったが、A2、A3およびA4ではそれぞれ3.4、2.7および3.3mmにやや増加した。B1の水平移動は6.2mmであったが、B2、B3およびB4ではそれぞれ8.5、7.6および6.0mmに増加した。

図11に面内せん断変形の変形成分の変形角と荷重との関係、図12に変形成分の比率とせん断変形角との関係を示す。横架材への板のめり込みによる変形角  $\theta_4$

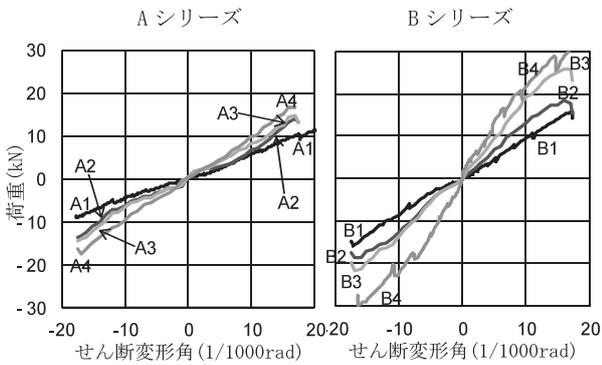


図8 荷重とせん断変形角との関係

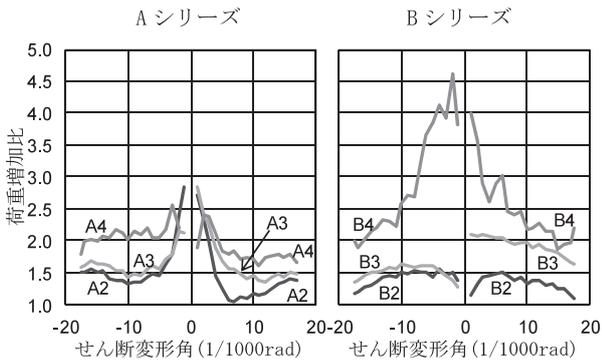


図9 荷重増加比とせん断変形角との関係

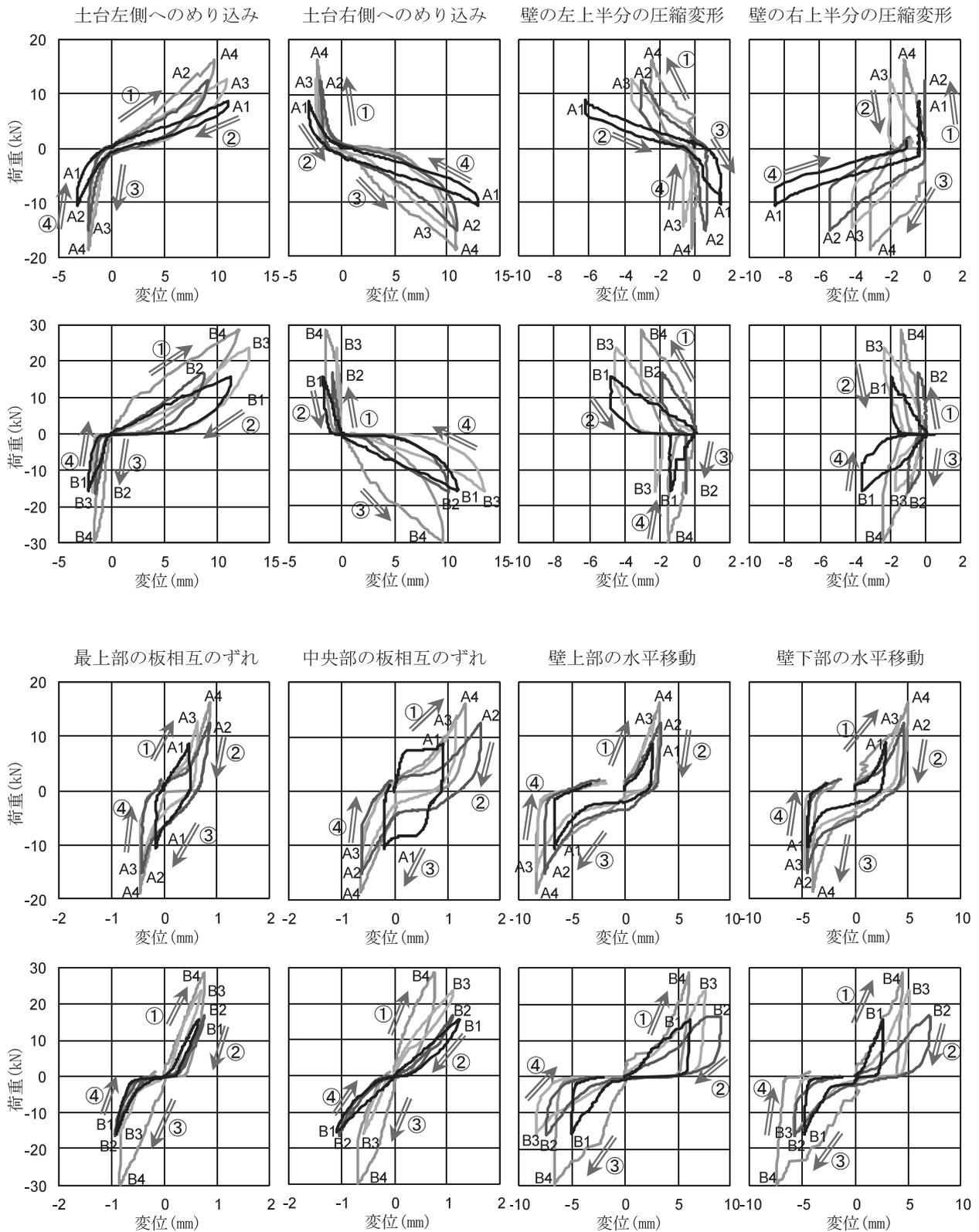


図10 荷重と各部位の変位との関係

注) 上段：Aシリーズ、下段：Bシリーズ、矢印：①：正加力、②：戻り、③：負加力、④：戻り

板相互のずれによる変形角  $\theta_5$ 、壁の圧縮変形による変形角  $\theta_6$ 、壁の水平移動による変形角  $\theta_7$  は式 (4) ~ (7) を用いて求めた。板相互のずれでは、最上段の板幅は他の板幅の半分以下であるため、この部分のずれは無視した。

正加力時

$$\theta_4 = \frac{W_E(\delta_{EL} - \delta_{FR}) + \frac{(L_x - W_E)}{2}(\delta_{EL} - \delta_{ER} + \delta_{FL} - \delta_{FR})}{W_E L_x} \quad (4)$$

負加力時

$$\theta_4 = \frac{W_E(\delta_{ER} - \delta_{FL}) + \frac{(L_x - W_E)}{2}(\delta_{ER} - \delta_{EL} + \delta_{FR} - \delta_{FL})}{W_E L_x} \quad (4)$$

$$\theta_5 = \sum_{i=1}^5 \delta_{Fi} \times \frac{16}{5 \times L_y} \quad (5)$$

正加力時

$$\theta_6 = \frac{\sqrt{L_x^2 + L_y^2} \left( \sqrt{L_x^2 + L_y^2} - \sqrt{L_x^2 + \left( L_y - \delta_{JR} \frac{L_y}{H_J} \frac{L_x}{W_J} \right)^2} \right)}{L_x L_y} \quad (6)$$

負加力時

$$\theta_6 = \frac{\sqrt{L_x^2 + L_y^2} \left( \sqrt{L_x^2 + L_y^2} - \sqrt{L_x^2 + \left( L_y - \delta_{JL} \frac{L_y}{H_J} \frac{L_x}{W_J} \right)^2} \right)}{L_x L_y} \quad (6)$$

$$\theta_7 = \frac{\delta_G + \delta_H}{L_y} \quad (7)$$

ただし、右方向および上方向が正、 $\delta_E$ ：壁と梁との垂直相対変位、 $\delta_F$ ：壁と土台との垂直相対変位、 $\delta_G$ ：壁と梁との水平相対変位、 $\delta_H$ ：壁と土台との水平相対変位、 $\delta_I$ ：板相互の水平相対変位、 $\delta_J$ ：壁全体の圧縮変位、添え字： $L$ ：左側、 $R$ ：右側、 $L_x$ ：内法幅 (=1715mm)、 $L_y$ ：横架材間の内法寸法 (=2587.5mm)、 $W_E$ ：変位計Eの間隔 (=1587mm)、 $W_J$ ：変位計Jの水平方向の間隔 (=1415mm)、 $H_J$ ：変位計Jの垂直方向の間隔 (=2462.5mm)。

表2に荷重8kN時の変形成分の変形角とその比率を示す。ダボのみの試験体A1およびB1の8kN時の変形成分の比率は、横架材への板のめり込みが31および16%、板相互のずれが22および40%、壁の圧縮変形が34および25%、壁の水平移動が13および19%であった。

落とし込み板壁の面内せん断変形の要因は、板と軸材間の隙間による初期すべり、板相互のずれ、板のせん断変形、壁の圧縮筋かいゾーンの縮み、板端部の柱へのめり込み、板端部の横架材へのめり込みである<sup>1)</sup>。一般的な板壁では、これらの変形成分の占める比率は、板相互のずれと壁の圧縮変形の合計で90%以上を占め、

その他の変形成分の影響は少ない<sup>4)</sup>。また、1/2モジュールの幅910×高さ1782mmの板壁の試験では、圧縮変形が56%、板相互のずれが33%、横架材へのめり込みが6%、柱へのめり込みが3%、せん断変形が1%であった<sup>5)</sup>。

本研究のダボのみの試験体A1およびB1では、これらの既往の実験結果に比べて、板相互のずれはほぼ同等であるが、横架材へのめり込みが大きく、壁の圧縮変形が小さくなった。この理由として、本研究の横架材へのめり込みには、横架材そのものの圧縮変形に加えて上下端の板の幅方向の圧縮変形が含まれていることによると考えられる。また、既往の研究<sup>4,5)</sup>では板の各層ごとに独立した比較的短い円形のダボを用いているが、本研究では板幅全体を貫いて各層に連続した長い通しダボを用いているため、ダボによる壁の圧縮変形を抑制する効果があったと考えられる。本研究においても横架材へのめり込み、板相互のずれおよび壁の圧縮変形の合計値は81~87%であり、既往の研究と同様の結果となる。また、前述の6つの要因のうち、初期すべりと柱へのめり込みの合計値は本研究の水平移動による変形であり、本研究で測定を行っていない板のせん断変形は1%程度である<sup>5)</sup>ため、本研究ではほぼすべての変形成分を把握できたといえる。

縦板試験体A2およびB2では、ダボのみの試験体と比較して、壁の圧縮変形が大きく減少し、試験体A2では横架材へのめり込みも減少した。これは壁の垂直方向の圧縮力を縦板が負担することにより壁の圧縮変形が減少するとともに、横架材への接触面積が縦板により増加することによりめり込みが減少したためと考えられる。板相互のずれと壁の水平移動は同程度であった。

斜め板試験体A3およびB3では、ダボのみの試験体と比較して、壁の圧縮変形が減少し、試験体B3では板相互のずれも減少した。壁の圧縮変形は壁の対角線上の圧縮筋かいゾーンで最も大きくなるため、その方向にある斜め板が効果的に圧縮変形を減少させたといえる。また、斜め板は板相互のずれを減少させる効果もあるといえる。横架材へのめり込みと板壁の水平移動は同程度であった。

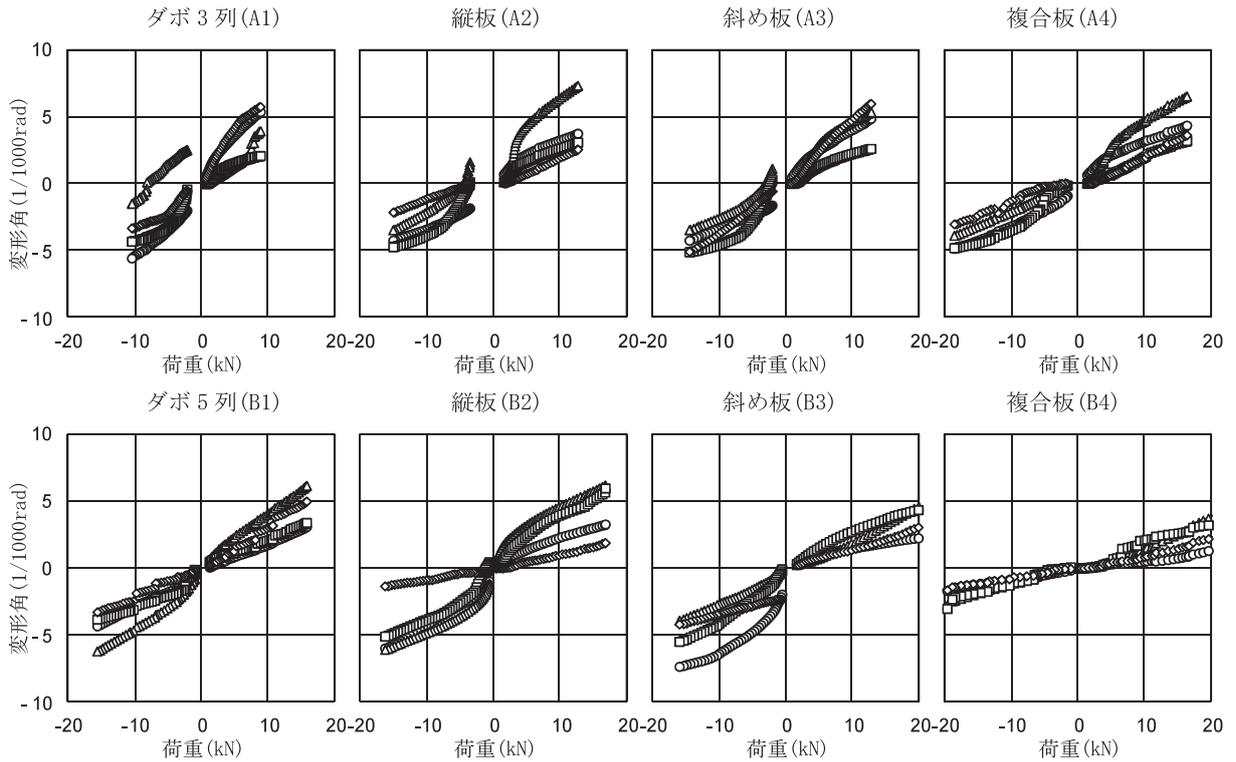


図11 変形成分の変形角と荷重との関係

○：横架材へのめり込み、△：板相互のずれ、◇：壁の圧縮変形、□：壁の水平移動

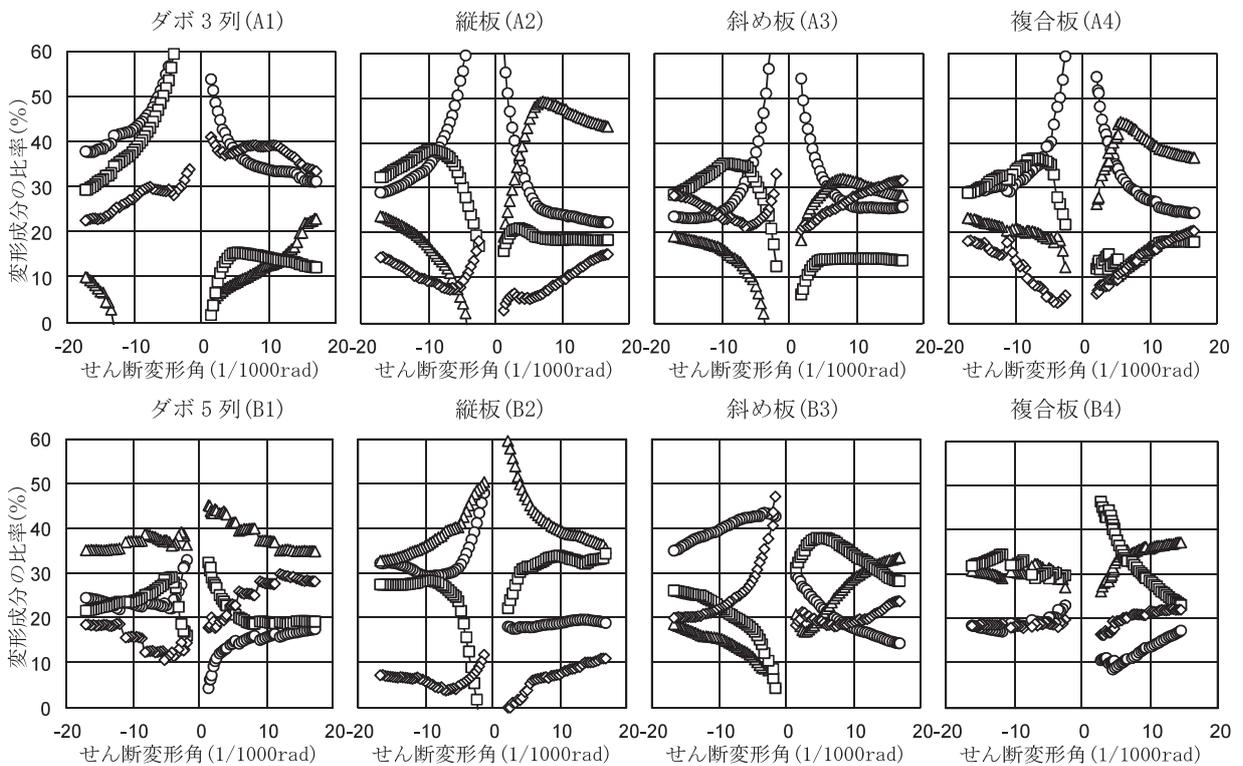


図12 変形成分の比率とせん断変形角との関係

○：横架材へのめり込み、△：板相互のずれ、◇：壁の圧縮変形、□：壁の水平移動

表2 荷重8kN時の変位成分の変形角と比率

試験体	変形成分の変形角( $\times 10^3$ rad)					変形成分の比率(%)			
	めり込み	板のずれ	圧縮変形	水平移動	合計	めり込み	板のずれ	圧縮変形	水平移動
A1	5.1	3.6	5.5	2.0	16.2	31	22	34	13
A2	2.9	5.8	1.5	2.3	12.5	23	46	12	19
A3	3.5	4.1	4.0	1.9	13.6	26	30	30	14
A4	2.8	4.1	1.5	1.4	9.9	28	42	15	15
B1	1.4	3.4	2.1	1.6	8.4	16	40	25	19
B2	1.9	4.1	0.7	3.5	10.2	19	40	7	34
B3	1.3	1.4	1.2	2.3	6.2	21	23	19	38
B4	0.4	1.0	0.6	1.6	3.6	11	28	16	44

複合板試験体A4およびB4では、ダボのみの試験体と比較して、横架材へのめり込みおよび壁の圧縮変形が減少し、試験体B4では板相互のずれも減少した。これは、縦板および斜め板の両者の効果によるものであるといえる。板壁の水平移動は同程度であった。

以上より、複合板試験体においては、板相互のずれと壁の圧縮変形が小さいために壁が一体となって水平せん断力に抵抗することができ、かつ、横架材への板のめり込みも小さいため、面内せん断変形が小さくなるとともに耐力が向上したと考えられる。

## まとめ

スギ厚板を用いた落とし込み板壁の性能向上を目的として、厚板表面の溝に正方形のダボを挿入するとともに厚板を各種の方法でねじ留めした板壁の水平加力試験を行った。

本ざね加工した厚板を横張りした後に、補強板として壁の垂直方向の縦板および交差させた斜め板をねじ留めした。真のせん断変位角が $1/150$ rad時の耐力から求めた壁倍率相当値は、ダボのみの板壁では1.8倍であったが、縦板、斜め板を複合させた板壁では4.7倍になり、大幅な性能の向上がみられた。

複合板の板壁においては、板相互のずれと壁の圧縮変形が小さいために壁が一体となって水平せん断力に抵抗することができ、かつ、横架材への板のめり込みも小さいため、面内せん断変形が小さくなるとともに耐力が向上したと考えられる。

## 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，p.138.

- 2) 中田欣作、小松幸平：強化LVL接合板および接合ピンを用いた木質構造フレームの開発（第1報）：弾性床上の梁の曲げ理論を用いて求めた強化LVL接合のせん断性能、木材学会誌 **53** (6), 313-319 (2007).
- 3) 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，2008，p.563-592.
- 4) 竹村雅行、稲山正弘、村上雅英：在来軸組工法住宅の構造設計手法の開発：その62落とし込み板壁の面内せん断試験、日本建築学会大会学術講演梗概集、北陸，2002，p.381-382.
- 5) 戸田正彦、平間昭光、佐藤司、野田康信：落とし込み板壁の性能評価、林産試験場報、**18**(4)、9-15(2004)  
(2012年1月16日受理)