押し引き両荷重に対し同等の性能を発揮する片筋違いの開発

IMPROVEMENT OF SINGLE-BRACED SHEAR WALL SYSTEM HAVING SAME PERFORMANCE FOR PUSH AND PULL LOAD

村上 了 — * 1 玉岡富彦 — * 2
門脇秀伸 — * 3 小松幸平 — * 4

Satoru MURAKAMI — * 1 Tomihiko TAMAOKA — * 2
Hidenobu KADOWAKI — * 3 Kohei KOMATSU — * 4

キーワード：
筋違い, LVL, 木ねじ, 壁倍率

Keywords:
Brace, LVL, Wood screw, Shear wall factor

The objective of this research is to realize a single-braced shear wall system, which has same performance when the diagonal brace is subjected to compression and tension. To improve performance in brace joint, a new LVL product made of alternately laminating rubber wood and falcate wood was introduced and wood screws which have high shear resistance were used for them. Then developed brace system was investigated to confirm its shear performance in both loading directions. Consequently, improved shear wall had 3.5 at compression and 3.8 at tension in the shear resistance factor.

1. はじめに

在来軸組構法において、筋違い耐力壁はよく使用される耐震要素の一つである。この筋違い耐力壁は建築基準法施行令 46 条で「筋かいを入れた軸組を鈎合い良く配置しなければならない」と指示されており、実際の施工では片筋違い耐力壁をハの字型に配置するか、若しくは筋違いをたすき掛けに配置しなくてはならない。これは、片筋違い耐力壁の筋違い材に引張荷重が作用する時の性能と、圧縮荷重が作用する時の性能とが大きく異なるためである。しかし、ハの字型に筋違い耐力壁を配置することは、2P(壁長 1820mm)以上の空間が必要となり、設計条件によっては困難な場合がある。また、筋違いをたすき掛けにすることも、施工上不便な場合がありうる。たとえ片筋違いであっても筋違いが圧縮、引張に対して同等の耐力性能を発揮できるものが開発できれば、特に外部からの施工が難しいとされる隣地との間隙が狭い住宅の耐力壁や、一般建築物の室内耐力壁等には、このような正負均等な性能を有する片筋違い耐力壁が有効であると考えられる。

片筋違い耐力壁の筋違い材に引張荷重が作用する場合と圧縮荷重が作用する場合に性能が異なる理由は、それぞれ荷重に対する抵抗要素と抵抗機構が異なるためである。引張荷重が作用する場合は筋違い材と横架材とを緊結する接合具のせん断抵抗によって抵抗するのに対し、圧縮荷重が作用する場合は筋違い突きつけ部の圧縮によって抵抗する。また終局耐力の低下は、引張荷重が作用する場合、筋違い端部の木部破壊によるのに対し、圧縮荷重が作用する場合は筋違い材の座屈破壊によって耐力の低下が生じる。一般的には、筋違い材に引張荷重が作用する時の性能は圧縮荷重が作用する時の性能より劣る。しかし、その原因となっている筋違い端部の接合について、国土交通省告示 1460 条では既往の筋違い接合部の仕様を提示するだけで、特に具体的な必要性能については規定していない。

そこで、本研究では断面 45×90mm の筋違い材に圧縮荷重が作用する時と引張荷重が作用する時と同等の性質を示し、かつ合板耐力

壁を上回る壁倍率 3.0 以上の高い性能を有するべく片筋違い耐力壁の改良を目的とし、特に筋違い接合部性能向上を目指した開発研究を行った。断面 45×90mm の筋違いの端部における仕口は、金物と木ねじにより構成されることが一般的である。そこで、次の 2 点の改良を行った。1 つ目は筋違い材に力学的性能のばらつきが少ない、エンジニアード・ウッドである LVL を用いた。2 つ目に径が大きくせん断耐力の高い木ねじを新たに作製した。これらの改良を評価するため、筋違い材の力学性能試験と木ねじの鋼板添え板一面せん断試験を行い木ねじ一本あたりのせん断耐力を求めた。この結果から壁倍率 3.0 の性能を発揮するのに必要な木ねじ本数を定めて筋違い耐力壁を設計し、最終的に、設耐力壁の実大試験を行い、設計方針の妥当性を検証した。

2. 試験

2.1 筋違い材の力学性能

本研究では筋違い材にラバーウッド/ファルカータ異樹種 LVL¹⁾を用いた。ラバーウッド(*Hevea brasiliense*)は天然ゴムを生産するプランテーションにおいて、ゴムの取れなくなった材である。材としての特徴は比較的高密度、高強度な一方、乾燥によるねじれが生じやすく脆性的に壊れる欠点がある。ファルカータ(*Paraserianthes falcata*)はマレーシアやインドネシアで広く栽培されている早生樹である。特徴として多孔質であり低密度、加工しやすいが比較的低強度が小さい。この 2 種類の樹種を交互に積層することにより、この異樹種 LVL は適度な強度、加工性を持つ²⁾。

LVL である点から、この異樹種 LVL は製材と比べ節や目切れなどの影響が少なく、力学性能においてもばらつきが少ない。この性能が筋違い端部の性能のばらつきを少なくし、結果その耐力を高く見積もることができると考えた。また、ラバーウッドとファルカータはどちらの材も交錯木理を持つ。この交錯木理をもつ樹種同士を交互に積層することにより、繊維が層ごとに交錯した状態で積層され

¹⁾ 京大生生存圏研究所博士課程 修士 (農学)
(〒 611-0011 宇治市五ヶ庄木質ホール 2F)
²⁾ タカヤマ金属工業(株)研究室 室長
³⁾ (株)コクブ営業課 主任
⁴⁾ 京大生生存圏研究所 教授・農博

¹⁾ Graduate Student, Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto Univ., M. Agr.
²⁾ Chief of research dept., Takayama Metal Industrial Corporation
³⁾ Chief of business dept., Kokubu Corporation
⁴⁾ Prof., Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto Univ., Dr. Agr.

ると考えられる。この交錯積層には材自身の割裂の発生を抑制する効果³⁾があるため(図1)、筋違い端部の性能を高めるものと考えた。

この異樹種 LVL の力学的性能を相対的に評価するため、現在筋違い材として一般的に利用されているバイマツ製材(*Pseudotsuga menziesii*)をコントロール材として動的ヤング係数・曲げヤング係数・曲げ強度・せん断強度及び面圧性能に於いて比較を行った。断面 45×105mm、長さ 3000mm の LVL160 体、バイマツ 80 体を縦振動法により動的ヤング率を測定した。また同材に対してスパン 1000mm でフラットワイズの中央集中載荷実験をそれぞれ 10 体ずつ行い、曲げヤング率、曲げ強度を算定した。また JIS の規格⁴⁾に基づくブロックせん断試験を行い、せん断強度の測定を行った(図2)。年輪または積層面に対するせん断破壊面をパラメータとしたが、異樹種 LVL に関しては積層方向に対し破壊面が垂直なものを R、平行なものを T とし、各条件 15 体につき試験を行った。さらに直径 4.4mm の円形断面鋼棒を図3に示すように軸が年輪・積層面に対し直交する方向に設置し、繊維方向に加力することで、部材の面圧特性を把握した。鋼棒をめり込ませる箇所にはあらかじめ径 4.5mm の半円を設け、その他の条件は ASTM の規準に基づいた⁵⁾。

図1 交錯積層された単板積層材

図2 異樹種 LVL せん断試験体
(左: T 方向、右: R 方向)

図3 面圧試験体

2.2 木ねじの鋼板添え板一面せん断試験

異樹種 LVL を筋違い材として用いた時の木ねじ 1 本あたりのせん断耐力を把握するために、鋼板を添え板とした一面せん断試験を行った。図4に木ねじの形状を、図5に試験体概要を示す。試験では主材—鋼板間の初期摩擦をできる限り小さくするため、鋼板が自由回転するくらいの隙間を設けた。また主材—鋼板間に厚さ 0.1mm のテフロンシート(ポリテトラフルオロエチレンシート)を挟み、ロープ効果⁶⁾による二次的摩擦の影響を小さくするよう配慮した。図6に示すように木ねじは単板の積層方向に対し垂直に挿入し、繊維方

図4 木ねじの形状

図5 一面せん断試験体図

図6 木ねじの挿入位置

写真1 一面せん断試験の様子

向に速度 2mm/min で加力した。木ねじの形状は、1 本あたりのせん断耐力が高くなるよう、通常の木ねじより太短い径長比が約 8 の木ねじを作製した。用いた線材は SWRCH22A⁷⁾、熱処理は光輝焼き入れ、低温焼き戻しを行った⁸⁾。有効径は Eurocode5⁹⁾の定義に従って、ネジ部谷径の 1.1 倍(4.84mm)とした。この時、先孔径も同様に Eurocode5 の定義に従って、円筒部の 0.70 倍(4.06mm)程度、直径 4mm とした。

木質構造設計規準・同解説¹⁰⁾によれば、JIS 規格の木ねじを挿入するにあたり、材の割裂を防ぐために先孔を設けるよう規定しているが、一般的に実際の建築現場では木ねじを使用するとき、手間の面から先孔を設けずに打ち込まれることがある。また現状として、建築物に木ねじを使用するとき、その全てにおいて先孔を設けて木ねじを挿入することは現実的とは考えられない。これを踏まえ、先孔の有無がせん断性能に及ぼす影響に対し検討を行った。また前項と同様、LVL とバイマツ製材を主材とした場合とを比較した。よって試験は異樹種 LVL の先孔を設けた場合と設けない場合、バイマツ製材の先孔を設けた場合と設けない場合の、計 4 条件につき各 5 体ずつ行った。

2.3 片筋違い耐力壁試験

筋違い耐力壁の性能を確認するため、長さ 910mm、高さ 2730mm の試験体を作製して柱脚固定式、見かけのせん断変形角を基準とした静的正負繰り返し水平加力実験を行った(図7)。試験における見かけのせん断変形角は梁材の水平方向変位(図7:変位計#1)を試験体せいで除した値を用いた。柱、土台、梁にはスプルース集成材を用い、短期許容引張耐力が 35kN のホールダウン金物を軸組の四隅に取り付けた。

図7 耐力壁試験体図

写真2 耐力壁試験の様子

筋違い材は異樹種 LVL とバイマツ製材(45mm x 105mm x 2617mm)を用いた。筋違いの座屈破壊を遅らせるために 2 つの柱の中央にバイマツ製材の間柱(45mm x 105mm x 2610mm)を設けた。間柱は中央をかき込み、首下長さ 90mm のビス 2 本によって筋違い材に留めつけた。フレームと間柱の両端との取り付けは CN90 を斜めに 2 本打ち付けた。

筋違い端部の接合金物は、より多数本の木ねじで筋違い材を柱—横架材に緊結するよう新たに設計した。図8にその形状と、柱—土台への取り付けを示した。木ねじ接合が降伏するまでビス穴近辺で金物自身の面圧降伏が生じないよう、その厚みは 3.2mm とした。

表1 筋違い材の力学性能

		Density (kg/m ³)	MOE _d (kN/mm ²)	MOE _b (kN/mm ²)	MOR (N/mm ²)	Shear Strength(N/mm ²)		Bearing Strength (N/mm ²)
						T	R	
LVL	Ave.	556.29	10.10	8.38	52.63	6.46	8.46	33.07
	C.V.(%)	1.44	3.09	8.90	6.63	27.76	13.87	5.17
	E.V.		10.08	8.22	38.67	2.99	6.20	29.07
Douglas Fir	Ave.	501.59	13.46	9.97	54.05	7.99	9.14	39.70
	C.V.(%)	10.03	20.70	21.47	19.30	17.97	21.27	11.01
	E.V.		13.22	9.50	13.46	5.13	5.27	29.49

(注)MOE_d: 動的ヤング係数, MOE_b: 曲げヤング係数, Ave.: 平均値, C.V.: 変動係数, E.V.: 下限値

図8 筋違い金物の形状とその取り付け概要

図8で示すように金物と柱・横架材の留めつけは首下長さ90mmの木ねじで行ったが、その本数は筋違いに壁倍率3.0に相当する軸力が生じることを想定し、金物と柱・横架材の接合部が降伏せぬよう決定した。なお木ねじのせん断耐力と引き抜き耐力は木質構造設計基準・同解説に準じてそれらの値を求め¹⁰⁾、結果として柱・横架材にそれぞれ8本ずつ打ち付けた。金物と筋違い材を留めつける木ねじの本数は10本とした。この本数の決定については3章において述べる。筋違い材に圧縮荷重が作用する場合と引張荷重が作用する場合とで耐力壁が同等の性能を持つように、筋違い端部とフレームとの間に5mmの隙間を設けた。これは1/60rad変形する時までの初期段階で筋違いとフレームとが接触せず、筋違いの耐力が木ねじの抵抗のみによって発現することを目的としたものである。

正負交番繰返し加力の履歴は、見かけのせん断変形角で $\pm 1/300$, $\pm 1/200$, $\pm 1/150$, $\pm 1/100$, $\pm 1/60$, $\pm 1/30$, $\pm 1/15$ (rad.)とし、その他の試験条件は木造軸組工法住宅の許容応力度設計¹¹⁾に従った。筋違いが圧縮力を受けて加力が終了する試験体と、引張力を受けて加力で終了する試験体をそれぞれ3体ずつ、計12体について試験を行った。

3. 結果と考察

3.1 筋違い材の力学性能

表1に筋違い材の各種力学的性能を示す。ヤング係数の下限値は信頼性水準75%の50%下側許容限界を、強度の下限値は信頼性水準75%の95%下側許容限界を示す。密度は異樹種LVLの方がベイマツ製材に比べ1割ほど大きかったものの、動的ヤング係数、曲げヤング係数はその平均値、下限値とも異樹種LVLがベイマツ製材を下回

った。一方、曲げ強度は平均値において異樹種LVLがベイマツ製材を下回ったが、下限値ではばらつきの影響が大きく現れ、異樹種LVLの値がベイマツ製材のそれを大きく上回った。せん断強度に関して、異樹種LVLの積層面に対し平行に破断面が生じる時(T)、比重の低いファルカタの単板が破壊することによってベイマツ製材と比較してばらつきが大きく、低い下限値を示した。一方、異樹種LVLの積層面に垂直に破断面が生じる時(R)、ばらつきが低くベイマツ製材の下限値を上回った。面圧強度の平均値はベイマツ製材が高かったが、下限値はばらつきの影響により異樹種LVLとベイマツ製材で同等の値を示した。

材のせん断試験、面圧試験の結果から、異樹種LVLの単板の積層方向に対し垂直に接合具を挿入した時、ばらつきが少なくベイマツ製材と同じ程度のせん断性能を示すと考えられる。

3.2 木ねじの一面せん断試験

図9に試験から得られた木ねじ一本あたりの荷重-変位曲線を示す。この時のすべり係数は荷重-変位曲線において $0.1P_{max}$ と $0.4P_{max}$ を示す点の傾き、 P_{y-off} は $0.1P_{max}$ と $0.4P_{max}$ との接線を有効径で5%offsetした値と荷重-変位曲線との交点とした¹⁰⁾。表2に各種算出値をそれぞれ示す。表2において P_{max} と P_{y-off} は信頼水準75%の

図9 木ねじの一面せん断試験、荷重-変位曲線

表2 木ねじ鋼板添え板一面せん断試験結果：各種算出値

		P_{max} (kN)			K (kN/mm)			P_{y-off} (kN)			δ_u (mm)	
		Ave.	C.V.(%)	E.V.	Ave.	C.V.(%)	E.V.	Ave.	C.V.(%)	E.V.	Ave.	C.V.(%)
LVL	not pre-drilled	3.91	4.09	3.51	2.17	8.66	2.11	2.00	6.07	1.73	26.11	9.37
	pre-drilled	3.85	2.28	3.63	1.63	21.87	1.52	2.04	8.75	1.60	24.26	1.98
Douglas Fir	not pre-drilled	4.00	2.51	3.75	2.33	49.11	1.95	2.41	15.43	1.49	16.10	62.62
	pre-drilled	3.86	7.56	3.14	1.90	24.24	1.74	1.97	11.35	1.42	22.91	19.76

(注) P_{max} : 最大荷重, K : すべり係数, P_{y-off} : 5%offset法で求めた降伏荷重, δ_u : 最大荷重経過後、 $0.8P_{max}$ 荷重低下した点の変位

表3 木ねじ鋼板添え板一面せん断試験結果：完全弾塑性モデルにおける耐力算出値¹¹⁾

	LVL				Douglas fir			
	Ave.(kN)	C.V.(%)	E.V.(kN)	required number	Ave.(kN)	C.V.(%)	E.V.(kN)	required number
P_{y-BL}	2.20	8.75	1.73	10	2.29	17.36	1.31	13
$P_u \times (0.2/D_s)$	2.93	8.76	2.30	8	1.94	9.40	1.49	12
$2/3P_{max}$	2.60	4.13	2.34	8	2.66	2.51	2.50	7
$P_{1/150rad.}$	3.24	13.99	2.12	8	2.73	31.89	0.58	30

(注) $P_{1/150rad.}$: 耐力壁の 1/150rad.変形時に相当する木ねじ変形時の荷重, required number: 壁倍率 3.0 を満足する木ねじ本数

95%下側許容限界を、 K は信頼水準 75%の 50%下側許容限界を示した。

P_{max} 、 P_{y-off} において、4条件の間であまり明確な差は見られなかったが、 P_{y-off} において若干ベイマツ製材にばらつきが高い傾向が見られた。また K において異樹種 LVL、ベイマツ製材ともに先孔を空けていない場合が先孔を空けた場合に比べ高くなる傾向を示した。試験体の破壊性状として異樹種 LVL には2条件ともに割裂破壊が見られなかった。一方、ベイマツ製材では先孔なしの場合5体中3体、先孔ありの場合で5体中1体において、主材に割裂破壊が生じた。図9の荷重－変位曲線における点線で示した曲線が割裂を生じた試験体の曲線である。

交錯積層の効果によって異樹種 LVL は割裂が抑制されたと考えられる。よって異樹種 LVL はこの木ねじ程度の径をもつ木ねじを用いる際、先孔を設けずとも、先孔を設けた時と同程度の P_{max} 、 P_{y-off} を示し、なおかつ割裂による急激な耐力の低下を生じないと考えられる。そこで、耐力壁試験では実務での利便性を考慮し、先孔を空けずに木ねじを挿入することとした。

3.3 木ねじ本数の算定

筋違い耐力壁をトラスとして捉え、力の釣合い、変形の適合条件よりその性能はよく把握できることが知られている¹²⁾。本研究では、壁倍率 3.0 以上の性能を持つ耐力壁を設計するに当たって、以下の仮定の下、金物と筋違い端部を緊結する木ねじの本数を決定した。

図10 筋違い耐力壁モデル

①筋違い耐力壁は図10に示すようなトラス構造で、変形後も平行四辺形を保つ。この時、部材の弾性変形、および柱－横架材節点のめり込み、浮き上がりは筋違い端部の接合の変形に比べ十分小さいと考えられることから、それらの変形を無視し、筋違い接合部の変形のみ生じるものとする。②木ねじのせん断性能は完全弾塑性体として振舞うものとする。このとき木ねじのせん断性能は 2.2 で行った試験結果を鉛直構面及び水平構面の短期基準せん断耐力の算出方法に沿って完全弾塑性置換した信頼水準 75%の 50%下側許容限界値の性能を用いた¹¹⁾。③木ねじを多数本打ち付けた時の、最大耐力、降伏耐力、すべり係数の低減は起こらない。この仮定は別に行った

同等条件の多数本ビス打ち仕口の一面せん断試験結果を 2.2 の試験結果と比較して得た。

先孔を空けない場合の木ねじせん断試験より得た木ねじ一本の接合部の完全弾塑性モデルにおいて、耐力壁の壁倍率の決定に関わる4因子を算出した。結果を表3に示す。ここで示す降伏荷重は完全弾塑性モデルにより算出したものであり、以後 P_{y-BL} と表記する。構造特性係数 D_s は塑性率 μ を用い、 $D_s = 1/\sqrt{2\mu - 1}$ とし、塑性率 μ は完全弾塑性モデルの終局変位をその降伏点変位で除したものである。 $P_{1/150rad.}$ は、仮定より片方の筋違い端部に生じる変位は 2.9mm であるので、完全弾塑性置換におけるすべり係数 K に 2.9mm を乗じた値と、木ねじの降伏を考慮し終局荷重 P_u の値のうち最小の値を用いた。また、表中の下限値は信頼性水準 75%の 95%下側許容限界値を示す。 n 本の木ねじを用いた接合部の性状はこれらの数値の n 倍とした。筋違い耐力壁の上部にかかる水平荷重と筋違いの軸力との関係を幾何学的に算定することで、壁倍率 3.0 に相当する水平せん断力を満たす木ねじ本数をそれぞれの因子において算出した。

異樹種 LVL を主材とするとき4因子のうち P_{y-BL} が最も低い下限値を示した。異樹種 LVL に比べ、ベイマツ製材はばらつきが多いため、 P_{y-BL} 、 $P_u \times (0.2/D_s)$ 、 $P_{1/150rad.}$ の3つの条件で異樹種 LVL に劣っていた。ただし今回、壁の条件によらず、耐力壁試験の筋違い端部で金物と筋違いを緊結する木ねじの本数は異樹種 LVL 材において目標耐力を満足する最小本数である 10 本とした。

3.4 片筋違い耐力壁試験

図11に荷重－変形曲線のそれぞれ条件で代表的なものを示す。ここで示す変形角は梁材の水平方向変位(図7:変位計#1)から土台の水平方向変位(図7:変位計#2)を引いた値を試験体せいで除したものであり、以後変形角はこの定義とする。異樹種 LVL とベイマツ製材の両方で筋違いに圧縮荷重を受けて破壊した場合と、引張荷重を受けて破壊した場合を比較すると圧縮荷重を受けて破壊した場合の方が最大荷重において高い値を示した。これは 1/60rad.以上変形している時には筋違い材が異樹種 LVL、ベイマツ製材ともにその端部が柱－横架材に接触し、筋違い端部の圧縮抵抗により高い耐力を示したと考えられる。圧縮方向での破壊は異樹種 LVL、ベイマツ製材のいずれも、最初に間柱が筋違いによる欠き込みされた箇所 で曲げ破壊が生じ、その直後に筋違いが座屈破壊を生じた。間柱の横架材に止め付けた CN90 釘 2 本は引き抜けが生じた。

図12に各条件の包絡線と完全弾塑性モデルの平均を示す。また各条件の壁倍率を決定する4つの要素と壁倍率を表4に示す。表4で示した耐力壁の性能を評価する指標のうち、特に引張破壊・ベイマツ製材筋違いの条件における $P_u \times (0.2/D_s)$ の項が他のものより低かった。写真3に見られるようにベイマツ製材を用いた試験体では、筋違い材の端部に於いて木ねじが繰り返し変形を受けることにより、

図 11 耐力壁試験：代表的荷重－変位曲線

図 12 耐力壁試験：包絡線と完全弾塑性置換

小さな変形で割裂が生じたためと考えられる。写真 4 で示す様に、異樹種 LVL とベイマツ製材との間で圧縮により破壊した場合の筋違いの破壊性状が異なった。今回の条件では圧縮方向に 1/60rad.以

表 4 耐力壁試験結果：完全弾塑性置換における特性値と壁倍率

	LVL						Douglas Fir					
	Compression			Tension			Compression			Tension		
	Ave.(kN)	C.V.(%)	E.V.(kN)	Ave.(kN)	C.V.(%)	E.V.(kN)	Ave.(kN)	C.V.(%)	E.V.(kN)	Ave.(kN)	C.V.(%)	E.V.(kN)
P_{y-BL}	10.8	11.5	10.2	7.7	16.4	7.1	11.1	12.5	10.4	6.2	8.7	5.9
$P_u \times (0.2/D_s)$	6.8	18.9	6.2	7.0	5.9	6.8	7.3	11.3	6.9	4.7	26.9	4.1
$2/3P_{max}$	12.2	17.0	11.3	8.5	5.3	8.3	12.0	10.8	11.4	7.5	3.0	7.3
$P_{1/150rad.}$	7.7	3.1	7.6	7.2	6.1	7.0	8.0	11.4	7.6	8.0	7.7	7.8
SRF		3.5			3.8			3.9			2.3	
Determinant on SRF	$P_u \times (0.2/D_s)$			$P_u \times (0.2/D_s)$			$P_u \times (0.2/D_s)$			$P_u \times (0.2/D_s)$		

(注)SRF:壁倍率

写真 3 1/30rad. 変形時における筋違い端部の様子
(左：異樹種 LVL、右：ベイマツ製材)

写真 4 筋違い材座屈破壊の様子
(左：異樹種 LVL、右：ベイマツ製材)

上の変形を受けた時に筋違い材が柱－横架材に金物を通して接触する。その後筋違い材にかかる軸力が座屈荷重に達すると異樹種 LVL の場合、筋違い材は面外にはらんだ後座屈破壊を生じた一方、ベイマツ製材では初期に発生した割裂破壊が進展し、写真 4 の右に示すように筋違い端部に複数の不規則な割裂が生じて荷重が低下した。よって、異樹種 LVL の筋違い材の圧縮荷重が作用する時、最大耐力がベイマツ製材のそれに劣るのは、筋違い材としてのヤング係数が異樹種 LVL の方が若干低かったため、座屈が先行して発生したものと推察された。初期条件として筋違い材と金物との間でより大きなクリアランスを設けることで、破壊時変形量を増大させ壁倍率を引き上げることが出来たと考えられる。

また、異樹種 LVL、ベイマツ製材でそれぞれ $P_{1/150rad.}$ が圧縮、引張の時ではほぼ同等な耐力を発揮した。初期段階で筋違いとフレームとが接触することを防ぎ、筋違い耐力壁の耐力が木ねじの抵抗のみによって発現している結果だと考えられる。

壁倍率は全ての条件において $P_u \times (0.2/D_s)$ によって決まった。ベイマツ製材の場合、圧縮の壁倍率が 3.9 であるが、引張時の壁倍率は 2.3 と大きく異なっているのに対し、異樹種 LVL を筋違い材に用い

た場合、その壁倍率は僅かに引張時の性能が高いとはいえ、引張時と圧縮時ともに 3.0 を超えた。

4. まとめ

ラバーウッド/ファルカータ異樹種 LVL の筋違い材としての各種力学性能の評価と異樹種 LVL を主材とした木ねじのせん断試験を行った結果、異樹種 LVL を筋違い材として用いた時、この LVL のばらつきが少なく、かつ積層効果を併せ持つことから、筋違い端部の接合性能のばらつきを抑えることができることを確認した。また、木ねじ一本あたりのせん断性能から壁倍率 3.0 の性能を有する筋違い耐力壁を実現させるために必要となる筋違い端部に必要な木ねじの本数を求め、この本数の木ねじで筋違い端部を施工した耐力壁の実大試験を行ったところ、その壁倍率は筋違い材に引張荷重が作用する時と圧縮荷重が作用する時とともに 3.0 を超え、かつ引張と圧縮との差はベイマツ製材を筋違い材として用いた時に生じる差よりも小さかった。このことから筋違い材に圧縮荷重が作用する時と引張荷重が作用する時とで同等で、かつ合板耐力壁を上回る壁倍率 3.0 以上の高い性能を持つ片筋違い耐力壁を開発できた。

5. 謝辞

本研究の一部は H19 年度 JST イノベーションプラザ京都・可能性試験(実用化検討)研究予算により行いました。また、試験を行うにあたり(株)ユニウッドコーポレーションより異樹種 LVL 試験体の提供を、中国木材(株)よりベイマツ製材の提供を受けました。併せて、本研究を進めるにあたり、在籍する研究室の諸先輩、後輩達から多くの助言、助力をいただきました。

本紙面をお借りして、御支援に対し厚く御礼申し上げます。

引用・参考文献

- 1) (株)ユニウッドコーポレーション:横尾國治, 増田稔, 村田功二:積層複合木質材およびその製造方法,特願 2003-537885,2005
- 2) 村田功二,増田稔,横尾國治:ラバーウッド/ファルカータ交互積層による LVL の反りの緩和とその膨潤挙動の観察,木材学会誌,50(5), 294-300,2004
- 3) 村田功二,小薮洋,中野隆人:交錯積層が単板積層材の面圧試験の破壊形態に与える影響,材料,57(4),322-327,2008
- 4) 日本規格協会:木材の試験方法,JIS Z2101,2002
- 5) ASTM Intl.: Standard Test method for Evaluating Dowel-Bearing Strength of Wood and Wood-Based Products, D 5764-97a, 2002
- 6) 西山誕生,安藤直人:ローブ効果を考慮したボルト接合部の 2 面せん断特性の予測 幾何学的非線形解析の適用,木材学会誌,49(5),355-364,2003
- 7) 日本規格協会:冷間圧造用炭素鋼—第一部:線材,JIS G3507-1,2005
- 8) 日本規格協会:金属製品熱処理用語,JIS B6905,1995
- 9) EN1995-1-1:2004(E): Eurocode 5 Design of timber structure,2004
- 10) 日本建築学会編:木質構造設計規準・同解説,pp279-285,369-371,日本建築学会,2006
- 11) 日本住宅・木材技術センター編:木造軸組工法住宅の許容応力度設計, pp565-578,日本住宅・木材技術センター,2008
- 12) 平嶋義彦、金谷紀行、畑山義男、神谷文夫:筋違い入り軸組の剪断性能とその構造解析(第二報) 軸組の構造解析,木材学会誌,27(12), 855-862,1981

[2008 年 10 月 20 日原稿受理 2008 年 12 月 25 日採用決定]