

幅広集成筋かいを使用した住宅耐力壁の開発 (第2報) 耐力壁の面内せん断試験

柳川靖夫・中田欣作

前報では、幅広のスギ集成材を筋かいとし、試作したボックス型およびプレート型の2種類の形状の金物を使用した、筋かい-柱-土台接合部(筋かい接合部)の引張試験を行った。本報では、筋かい接合部の引張試験の結果を基にボックス型金物を選択し、筋かいに200mm幅のスギ集成材を使用した耐力壁を作製し、面内せん断試験を行った。耐力壁の幅は910mmおよび1820mmとし、最終加力は筋かいに引張力が作用する方向(引張筋かい方向)および圧縮力が作用する方向(圧縮筋かい方向)とした。面内せん断試験の結果、壁倍率相当値は4.1~4.9倍であった。引張筋かい方向では、引き抜き力が生じる土台側の柱の割れ、引き寄せ金物を取り付けた部分での柱の割れ、または筋かい端部での引張破断が発生し、圧縮筋かい方向では間柱の曲げ破壊が発生して、それぞれ荷重が低下した。

1. はじめに

近年、筋かい耐力壁の筋かい幅を広げて耐力を向上させることが研究^{1,2)}され、一部は実用化されている²⁾。筆者等は、幅広の集成材を筋かいに使用し、大型の金物を筋かい-柱-土台(桁)の接合部(以下「筋かい接合部」とする)に使用した筋かい耐力壁の開発を試みている。前報³⁾では、幅広の集成材筋かいと大型金物を使用した筋かい接合部の引張試験を行い、大型金物の形状、大型金物取り付けの木ねじ形状および使用本数と、筋かい接合部の引張強度との関係について調べた。その結果、筋かい接合部の引張強度は、大型金物の形状および取り付け木ねじの使用本数や形状により変化し、ボックス型の大型金物(以下LB金物)とする)が最も高い引張強度を示した。本研究ではこれらの結果を基に、LB金物および幅広のスギ集成材を筋かいに使用した耐力壁を作製し、面内せん断試験を行い壁倍率を調べた。

2. 材料および方法

2.1 作製した試験体

試験体の種類および構成を図1に示す。

作製した試験体は2種類で、幅910mm(以下半間幅試験体とする)および1820mm(以下1間幅試験体とする)である。試験体に使用した部材は表1のとおりで、筋かいには幅200mm、厚さ45mmのE85-F300同一等級構成の7プライススギ集成材を使用した。柱および土台には、断面が105mm角の背割り無しスギ製材品を使用した。桁には、幅105mm、厚さ180mmのベイマツ製材品を使

用した。半間幅試験体の間柱は幅方向中央の1本とし、幅45mm、厚さ102mmのスギ集成材を使用した。1間幅試験体の間柱は、幅方向の中央は半間幅試験体と同じとし、中央間柱と柱との中間の間柱には幅30mm、厚さ102mmのスギ製材品を使用した。間柱と筋かいとが交差する部分は間柱を切り欠いた。なお、使用した木材および集成材の含水率は13~15%であった。

柱と土台、柱と桁とはほぞにより接合し、ほぞは幅85mmで厚さ30mmとし、長さは50mmとした。ほぞ穴は幅31×87mmとし、深さは55mmとした。ほぞ穴にはほぞを差し込み仮固定した後、N90くぎ2本で固定した。

筋かい接合部には、図2(a)に示すLB金物を使用した。鋼材は厚さ2.3mmのSS400で、幅100mm、高さ400mm、折り曲げ幅は45mmとした。LB金物の取り付けに使用した木ねじの形状は図2(b)のとおりで、使用本数を表1に示す。柱への取り付けには、直径6mm長さ90mmの木ねじを14本使用した。土台または桁への取り付けには、同じ木ねじを10本使用した。筋かいへの取り付けには、直径6mm長さ45mmの木ねじを17本使用した。なお、LB金物の取り付け方向は図3に示すとおりとした。これは、筋かいが圧縮力を受けてたわみ、それに伴い間柱が曲げ変形した場合を考慮したためである。すなわち、図3に示す取り付け方法では筋かいが間柱を押す方向(図3では向こう側)にたわむため、間柱の切り欠き部分は、曲げ変形する間柱の圧縮側に位置することとなる。LB金物を逆向きに取り付けると、切り欠き部分が曲げ変形する間柱の引張側に位置するため、早期に破壊することが予想される。

間柱の土台または桁への固定は、間柱の取り付け部分

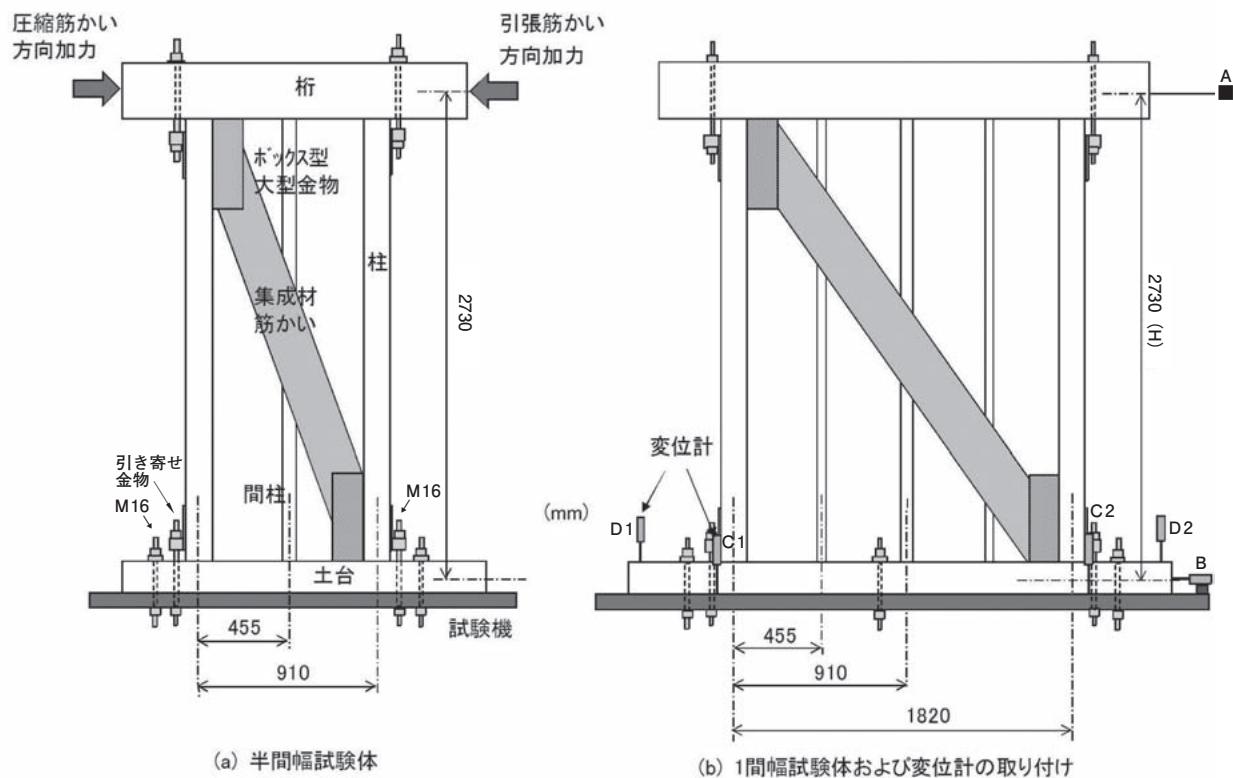
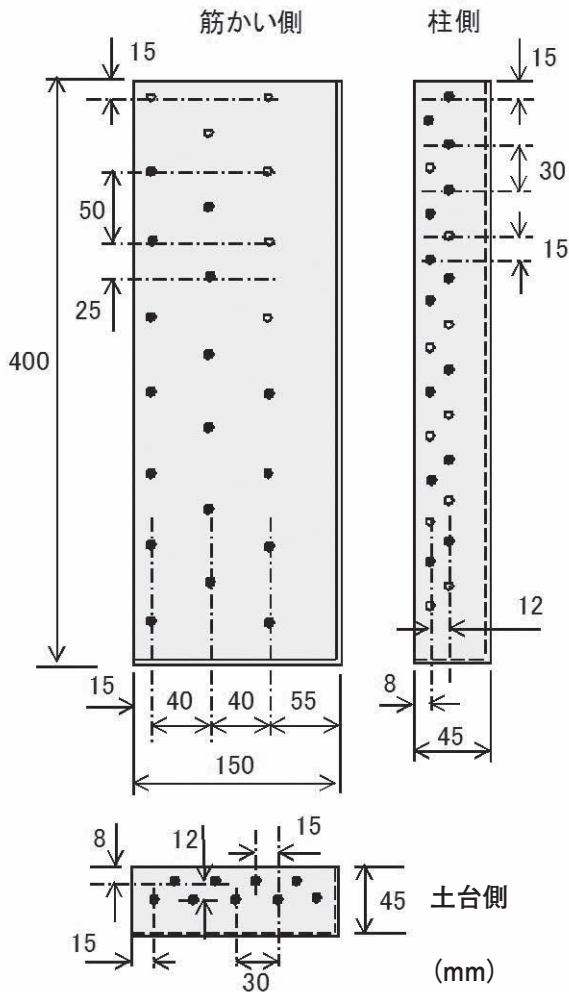


図1 作製した試験体の形状と試験方法

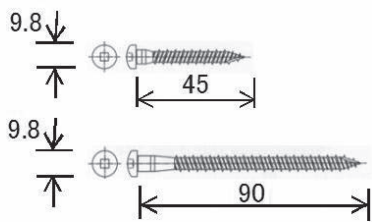
注：A～D2：変位計。

表1 試験体を使用した部材および接合部の仕様

部 材				
部材	試験体幅	位置	寸法 (幅×厚さ) (mm)	樹種等
筋かい	半間・1間	—	200 × 45	スギ集成材
柱	半間・1間	—	105 × 105	スギ材
土台	半間・1間	—	105 × 105	スギ材
桁	半間・1間	—	105 × 180	ベイマツ材
間柱	半間	—	45 × 102	スギ集成材
	1間	幅方向中央	45 × 102	スギ集成材
		幅方向1/4	30 × 102	スギ材
接合部の仕様				
接合部	部材	接合具と使用数		
筋かい—柱—土台・桁	柱	木ねじ	φ 6mm L90mm	14本
	土台・桁	木ねじ	φ 6mm L90mm	9本
	筋かい	木ねじ	φ 6mm 半間	21本
間柱—筋かい		L45mm	1間	17本
間柱—土台・桁		木ねじ	φ 6mm L90mm	3本
柱—土台・桁のほぞ		くぎ	N90	2本
		くぎ	N90	2本



(a)金物の形状



(b)木ねじの形状

図2 大型のボックス型金物および木ねじの形状

注：鋼板厚さは2.3mm。木ねじ径は6.0mm。黒丸は木ねじの取り付け位置。

に幅31mmもしくは46mmで深さ10mmの溝加工を行い、間柱を挿入しN90くぎを2本打ちとした。

引き寄せ金物（以下HD金物とする）には（株）栗山百造製のクリホールダウンKHD-40を使用し、金物の下端を土台もしくは桁より50mm離し、直径6mm、長さ90mmの木ねじを10本使用して柱に固定した。HD金物と試験機もしくは桁との固定には、直径16mmの全ねじ



図3 大型のボックス型金物の取り付け方向

ボルトを使用した。土台の試験機への固定には直径16mmのボルトを使用し、半間幅試験体は2カ所で、1間幅試験体は3カ所で固定した。なお、作製した試験体数は、半間幅試験体が2体、1間幅試験体は3体であった。

2.2 面内せん断試験

木造軸組工法住宅の許容応力度設計⁴⁾に示された手法に基づき、面内せん断試験を行った。正負交番繰り返し加力は、見かけのせん断変形角が1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50radの順とし、同一変形段階で3回の繰り返し加力を行った。1/50rad終了後引き続き加力し、最大荷重に達した後、最大荷重の80%の荷重に低下するまで加力した。なお、破壊方向は、半間幅試験体および1間幅試験体とも、筋かいに引張力が作用する方向（以下「引張筋かい方向」とする）および圧縮力が作用する方向（以下「圧縮筋かい方向」とする）それぞれについて行った。荷重速度は30mm/minとし、図1に示す変位計A～D2で変位を測定した。なお、変位計はいずれも（株）東京測器研究所製を使用し、AはDP-500CS（精度1/20mm）、BはCDP-25（同1/500mm）、C

およびDはCDP-50(同1/200mm)であった。荷重は、(株)東京測器研究所製ロードセルTCLP-200KNB(精度1/100kN)で測定した。変位計およびロードセルは(株)東京測器研究所製のデータロガーTDS-303に接続し、1秒間隔で測定を行った。試験終了後、以下のとおり見かけのせん断変形角 θ (以下せん断変形角とする)を求めた。

$$\theta = (\delta A - \delta B) / H$$

ここで、 δA および δB は図1(b)の変位計AおよびBにおける変位、Hは試験体高さ(2730mm)である。荷重-せん断変形角曲線に完全弾塑性モデルを適用⁵⁾して、以下のとおり壁倍率を算出した。

$$\text{壁倍率} = P_o / (1.96L)$$

ただし、 P_o は短期基準せん断耐力で、以下の①~④で求めた値の最小値。

- ① P_y 、② $P_u \times 0.2 \times \sqrt{2\mu-1}$ 、③ $P_{max} \times (2/3)$ 、④ P_{120}

ここで、 P_y は降伏耐力、 P_u は完全弾塑性モデルでの終局耐力、 P_{max} は最大耐力、 P_{120} は見かけのせん断変形角が1/120rad時の耐力、Lは試験体幅(910mmまたは1820mm)、 μ は塑性率である。

3 結果と考察

3.1 面内せん断試験の結果

表2に、面内せん断試験の結果を示す。なお、半間幅試験体の試験体番号はSH-1~2であり、1間幅試験体はS1~3である。

3.1.1 半間幅試験体

図4には半間幅試験体の荷重-せん断変形角曲線を示す。

表2に示すとおり、引張筋かい方向(SH1)および圧縮筋かい方向(SH2)とも、壁倍率は終局耐力(P_u)および塑性率(μ)で決定され($P_u \times 0.2 \times \sqrt{2\mu-1}$)、SH1は4.9倍、SH2は4.1倍であった。図4(a)に示すように、SH1は最終破壊が発生するまで荷重が増加した。その破壊は図5に示すとおり土台側の筋かい接合部で発生し、木ねじや節、あるいはフィンガージョイントに沿って筋かいが破断した。柱および土台の損傷は比較的少なく、また筋かいで木ねじの引き抜けが発生しなかった。最終破壊はせん断変形角が約1/20radで発生した。一方、SH2は、図4(b)に示すとおりせん断変形角が約1/50radで最大荷重に達し、その後は約1/30radまで荷重は横ばいで変形が進行した。これは、筋かいの曲げ変形が進行したためであり、最終的には図6に示すとおり間柱が曲げ破壊して荷重が低下した。

表2 面内せん断試験の結果

試験体幅 番 号	910mm (半間)		1820mm (1間)		
	SH1	SH2	S1	S2	S3
破壊方向 ^{a)}	引張	圧縮	引張		圧縮
最大耐力 (kN)	24.27	17.49	41.27	39.92	39.79
初期剛性 (kN/rad)	1131	1334	4011	3866	4287
塑性率 (μ)	2.75	2.95	2.76	3.06	2.48
破壊形態	筋かい接合部の破断	間柱の曲げ破壊	土台および柱の割れ	引寄せ物の引き抜け	間柱の曲げ破壊
壁倍率 ^{b)}					
算出要素	SH1	SH2	S1	S2	S3
降伏耐力(P_y)	7.0	5.5	6.1	6.3	6.1
終局耐力 $0.2 \times \sqrt{2\mu-1}$	4.9	4.1	4.2	4.5	4.1
最大耐力 X(%)	9.1	6.5	7.7	7.5	7.4
1/120rad 時耐力	6.0	6.1	7.0	7.9	8.6

注：^{a)}：引張：最終加力は筋かいに引張力が作用する方向。圧縮：最終加力は筋かいに圧縮力が作用する方向。

^{b)}：低減係数を1として算出。

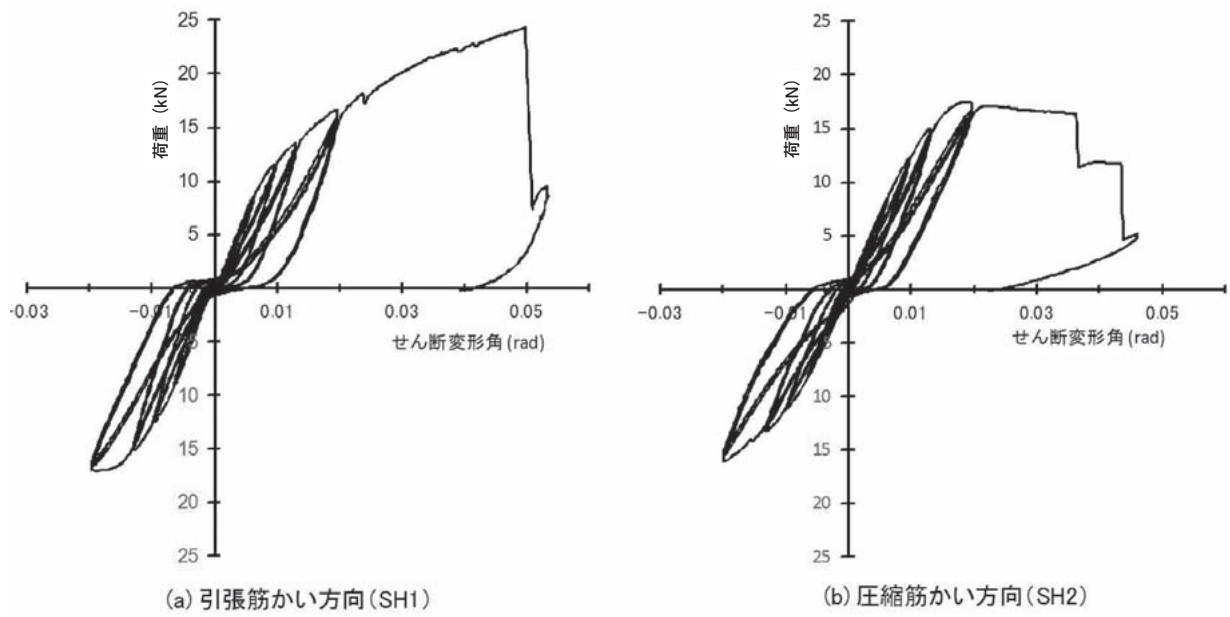


図4 半間幅試験体の荷重—せん断変形角曲線



図5 半間幅試験体の破壊



注：引張筋かい方向 (SH1)

一般に、筋かきの壁倍率は、圧縮筋かい方向が引張筋かい方向より高く、また、圧縮筋かい方向の剛性は引張

筋かい方向の約2倍とされている⁶⁾。本研究では表2に示すとおり壁倍率は、引張筋かい方向 (SH1) > 圧縮筋かい方向 (SH2)、であり、また、SH1の最大耐力はSH2の約1.4倍であった。一方、初期剛性はSH2 > SH1であり、圧縮筋かい方向 (SH2) の初期剛性は引張筋かい方向 (SH1) の約1.2倍であった。これらの結果より、LB金物と幅広の筋かいを使用することにより、引張筋かい方向の性能が向上したことが分かる。



図6 半間幅 試験体の破壊
注：圧縮筋かい方向 (SH2)

3.1.2 1間幅試験体

図7に、1間幅試験体の荷重—せん断変形角曲線を示す。表2に示すとおり、すべての試験体の壁倍率は4倍以上であり、引張筋かい方向 (S1およびS2) は圧縮筋かい方向 (S3) よりも高い壁倍率を示した。しかし、その差は半間幅試験体より小さかった。また、図7に示すとおり、せん断変形角が1/50ra以後は荷重および変形は増加することなく破壊に至った。S1の破壊形態を図8に示す。LB金物取り付け部分の柱が木ねじに沿ってせん断破壊し (図8中の①)、柱の割れも発生した (同②)。土台では、木ねじを打ち込んだ部分の木材が木ねじと一緒に引き抜けた (同③)。S2の破壊形態を図9に示す。S1と同様に引張力が加わる柱下部で破壊が発生し、HD金物が木材と一緒に引き抜ける破壊が発生した。

以上のとおり、引張筋かい方向では、1間幅試験体 (S1、S2) の破壊形態は半間幅試験体 (SH1) とは異なっていた。この破壊形態の相異が、引張筋かい方向で1間幅試

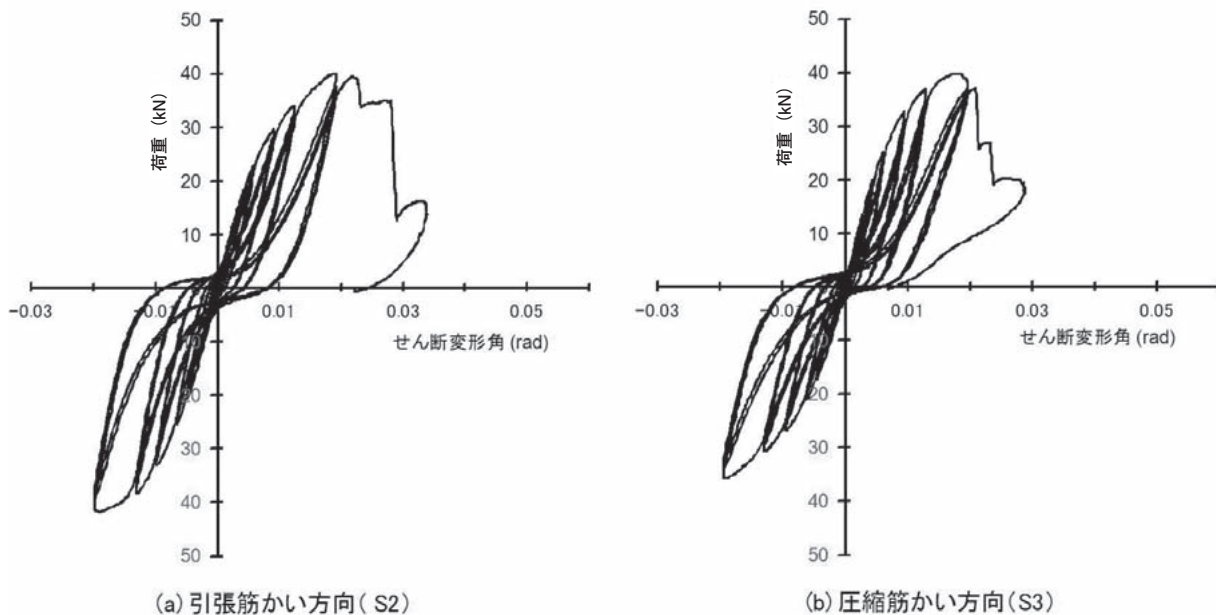


図7 1間幅試験体の荷重—せん断変形角曲線

験体が半間幅試験体より壁倍率が低かった一因と推測される。柱下部に生じる引き抜き力は、(耐力壁高さ÷耐力壁幅)×最大荷重より見積もることができ、水平荷重をPとすると、半間幅試験体は3Pで、1間幅試験体は1.5Pである。これより、筋かいに生じた引張力は、半間幅試験体では約3.2P、1間幅試験体では1.8Pとなる⁷⁾。したがって、最終破壊時に筋かいに作用したであろう引張力は、半間幅試験体 (SH1) で約77kN、1間幅試験体のS1で約74kN、S2では72kNとなる。一方、LB金物を使用した筋かい接合部の引張試験では、最大荷重平均値は約59kNであった³⁾。したがって、引張筋かい方向試験体の破壊時に筋かい接合部に作用した引張力は、いずれも筋かい接合部の引張強度を上回っていたと推測される。そのため、引張筋かい方向における半間幅試験体と1間幅試験体との壁倍率の相異は、筋かい接合部の作製に問題があったとは考え難い。原因は、荷重が加わる方向であったものと推測される。つまり、柱と筋かいとが成す角度は、1間幅試験体では半間幅試験体よりも大きかった。そのため、筋かいに引張力が作用した際、柱へのLB金物取り付けに使用した木ねじに加わった力の方向およびその大きさを推測すると、木ねじを引き抜こうとする方向の力は、1間幅試験体では半間幅試験体よりも大きかったものと考えられる。これに加え、柱の反対面にはHD金物が取り付けられていた。そのため、図8中の②に示すように、柱の割裂破壊が発生したものと考えられる。柱の割裂破壊を抑止する対策としては、柱下部のHD金物をより上方に取り付けることが考えられる。

1間幅試験体の圧縮筋かい方向 (S3) の壁倍率は4.1で、半間幅 (SH2) と同じであった。破壊形態も同じで、図10に示すとおり、間柱の曲げ破壊により荷重が低下した。したがって、圧縮筋かい方向の壁倍率を高めるには、間柱の曲げ強度を高めるか、あるいは筋かいの曲げ変形を拘束する等の方法が有効と思われる。

4. 結論

幅200mmのスギ集成材を筋かいとし、大型のボックス型金物を使用した耐力壁を作製し、面内せん断試験を行って壁倍率を求めた。半間幅および1間幅の試験体それぞれについて、最終加力の方向を、筋かいに引張力が作用する方向および圧縮力が作用する方向として試験を行った。その結果、試験体の幅および最終加力の方向にかかわらず、すべての試験体の壁倍率は4倍以上であった。ただし、最終加力の方向を筋かいに引張力が作用する方向とした場合、半間幅の壁倍率は1間幅よりも高かつ

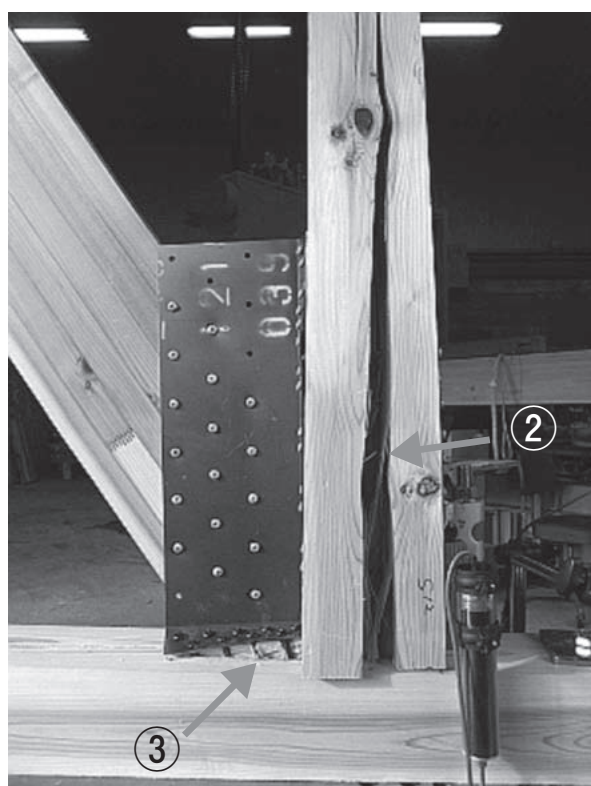


図8 1間幅試験体の破壊 (1)

注:引張筋かい方向 (S1)。①～③は破壊が生じた位置。

た。これは、筋かいに引張力が作用した際、大型ボックス金物を取り付けるため柱に打ち込んだ木ねじに対して、1間幅では半間幅よりも大きな引き抜き力が作用したためと考えられた。

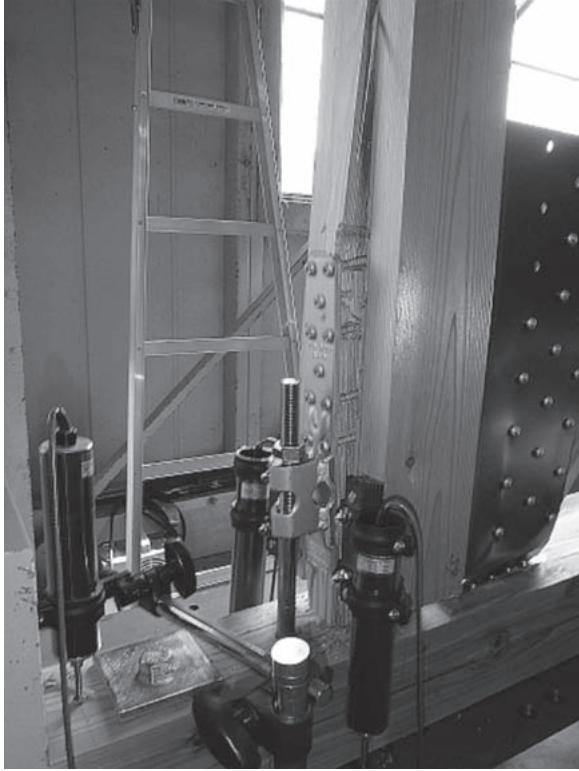


図9 1間幅試験体の破壊(2)
注:引張筋かい方向(S2)

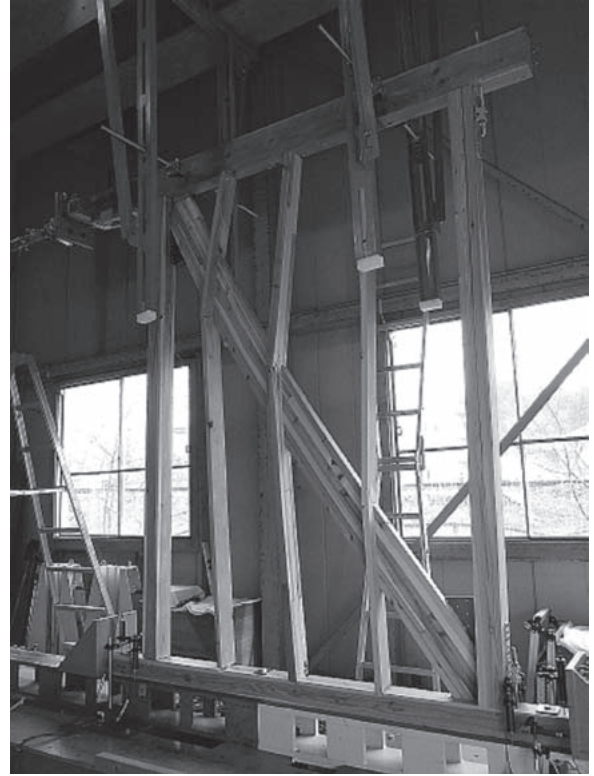


図10 1間幅試験体の破壊(3)
注:引張筋かい方向(S3)

引用文献

- 1) 上 廣 太：Journal of Timber Engineering, 21 (2), 39-41 (2008).
- 2) 村上 了, 玉岡富彦, 門脇秀伸, 横尾國治, 小松幸平：第58回本木材学会大会研究発表要旨集, 227-228 (2008).
- 3) 柳川靖夫：奈良県森林技術センター研究報告, 41, 73-80 (2012).
- 4) (財)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 (2008年版). 東京, 株式会社 研恒社, 2008.
- 5) 軽部正彦：PickPoint324, (2004).
- 6) 平井卓朗、宮澤健二、小松幸平：木質構造[第3版], 東京, (株)東洋書店, 2009. 69.
- 7) 杉山英男：建築学の基礎①木質構造, 東京, 共立出版 (株), 2000. 161-162.

(2013年4月8日受理)