

## スギ板材を斜め張りした屋根構面の強度試験

柳川靖夫・中 晶平・加藤修身\*1・中西直己\*2

野地板、垂木、および母屋を使用した、在来軸組工法の木造住宅屋根において、野地板にスギを使用し、斜め張りすることにより屋根構面の面内せん断強度を向上させることを試みた。直立させた屋根試験体において、垂木を垂直に配置した試験体、および垂木を水平に配置した試験体を、それぞれ2体ずつ作成し面内せん断試験を行った。垂木を水平に配置した試験体においては、野地板の取り付け方向を2種類とした。面内せん断試験の結果、壁倍率相当値は、垂木を垂直に配置した試験体で1.4および1.6であり、壁倍率相当値は特定変形角(1/120rad)時の荷重により算出された。一方、垂木を水平に配置した試験体では1.5および1.7であり、壁倍率相当値は終局耐力により算出された。初期剛性は、垂木を垂直に配置した試験体は671kN/radおよび523kN/radであり、垂木を水平に配置した試験体では839kN/radおよび885kN/radであった。この差の理由として、垂木を水平に配置した試験体では垂木の使用本数が多かったことが考えられた。

### 1. はじめに

過去の在来軸組工法においては、壁、床および屋根には板材が汎用されていたものの、近年の在来軸組工法では、合板等の面材が使用されることが多い。この理由として、施工が容易であること、安価で大量に入手できること、また面内せん断強度が高く強度の異方性が小さいこと、等が考えられる。しかし、近年は木材使用への関心が高まっていることから、国産材を多用した家造りの取り組み事例が増加している。それら木造住宅では、主として地域のスギ製材およびヒノキ製材が使用されており、地域産材の需要先として今後有望と考えられる。そのような木造住宅の技術的課題の一つとして、合板等の面材を使用せずに、如何にして水平構面のせん断強度を確保するかが挙げられる。壁では筋交いが使用できるものの、床や屋根では筋交いは使用できないため、何らかの手法を開発せねばならない。以前の在来軸組工法の屋根構面では、垂木に対して90度、すなわち母屋と平行に野地板が釘打ちされていた。このような構成では水平構面のせん断強度の異方性は大きく、壁倍率相当値として評価した場合、野地板張り耐力壁に近い数値と予想される。そこで、スギ板材を垂木に対して45度の角度で釘打ちした屋根構面を2種類作成し、面内せん断試験を実施してその強度性能を調べた。

### 2. 材料および方法

#### 2.1 垂木を垂直に配置した試験

図1に示すとおり、直立させた状態において垂木を垂直に配置した試験体(以下「垂直構成試験体」とする)であり、軒桁および母屋には垂木転び止めが釘打ちされていた。野地板は、右上がりに釘打ちされていた(以下Rとする)。

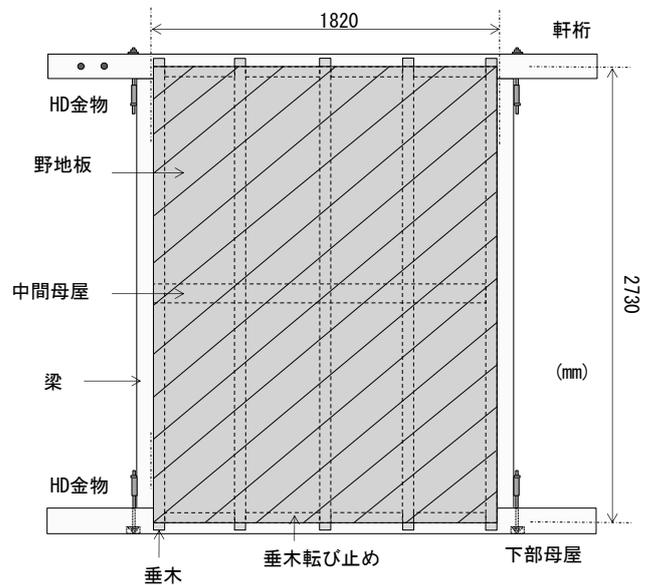


図1 垂直構成試験体

注：右上がり、V1-RおよびV2-R試験体。

\*1 一般社団法人 安心・安全住宅供給協議会

\*2 輪和建設株式会社

各材の断面寸法および固定に使用した金物は以下のとおりであった。

- 軒桁：幅 150mm 厚さ 105mm
- 梁：幅 150mm 厚さ 105mm  
軒桁と梁および母屋と梁との接合部は大入れ蟻掛け+ホールダウン金物 (30kN)
- 母屋：幅 150mm 厚さ 105mm
- 垂木：幅 45mm 厚さ 90mm  
タルキック TK5×135Ⅱ 軒桁、中間母屋、下部母屋に各 1 本打ち @455mm
- 垂木転び止め：幅 45mm 厚さ 90mm N75 釘  
2 本斜め打ち
- 野地板：幅 180mm 厚さ 12mm FC50V8(50N)釘  
1~3 本脳天打ち

試験体数は 2 体であり、以下 V1-R および V2-R とする。

2.2 垂木を水平に配置した試験

直立した状態で垂木を水平に配置した試験体(以下「水平構成試験体」とする)であり、両側の梁には垂木転び止めが釘打ちされていた。野地板の貼り付け方向は 2 種類であり、図 2 に示す試験体を右上がり (H1-R) で、図 3 に示す試験体を左上がり (H2-L) で、試験体数は各 1 体ずつとした。各材の断面寸法および固定に使用した金物は以下のとおりであった。

- 軒桁：幅 150mm 厚さ 105mm
- 梁：幅 150mm 厚さ 105mm  
軒桁と梁および母屋と梁との接合部は大入れ蟻掛け+ホールダウン金物 (30kN)
- 母屋：幅 150mm 厚さ 105mm
- 垂木：幅 45mm 厚さ 90mm  
タルキック TK5×135Ⅱ 軒桁、中間母屋、下部母屋に各 1 本打ち @455mm
- 垂木転び止め：幅 45mm 厚さ 90mm N75 釘  
2 本斜め打ち
- 野地板：幅 180mm 厚さ 12mm FC50V8(50N)釘  
1~3 本脳天打ち

2.3 面内せん断試験

公益財団法人日本住宅・木材技術センター発行の、木造軸組工法住宅の許容応力度設計<sup>1)</sup>の 4.3.3(5)に示された、「面材張り屋根構面(垂木工法勾配屋根水平構面)の面内せん断試験」に準拠して、試験体の面内せん断試験を実施した。試験は柱脚固定式とし、図 4 に示すとおり、M20 ボルトおよび 50mm 角座金を使用して 2ヶ所で試験機に緊結した。

加力は正負交番加力とし、見かけの変形角が 1/450、

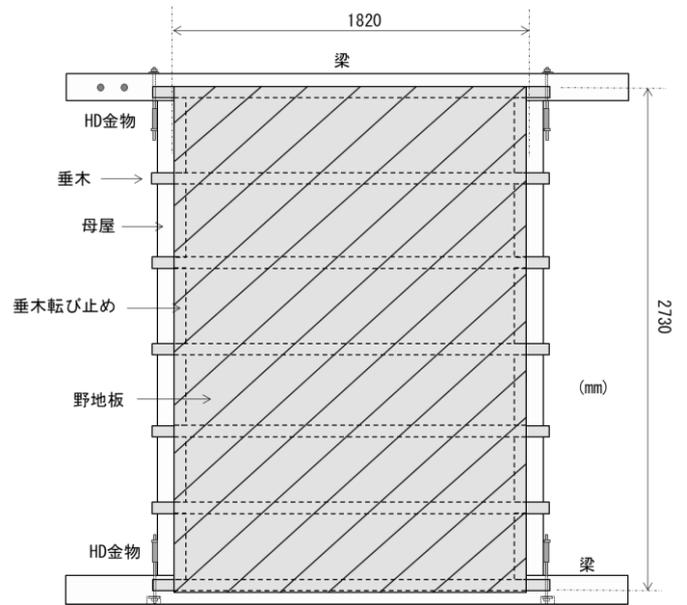


図 2 水平構成試験体

注：右上がり、H1-R試験体。

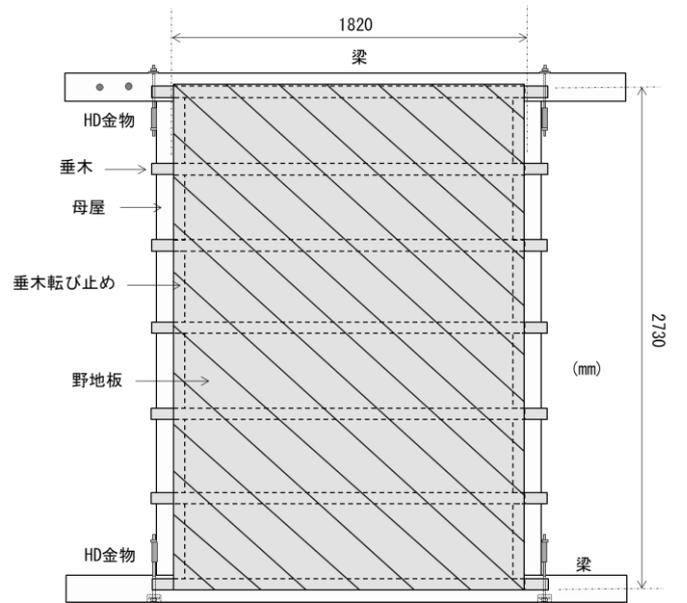


図 3 水平構成試験体

注：左上がり、H2-L試験体。

1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、および 1/50 において、それぞれ 3 回の繰り返し加力を行い、その後破壊するまで、図 4 に示す「正」方向に加力した。加力速度は 30mm/min とし、精度 1/100kN のロードセルを使用して荷重を測定した。変位計の取り付け位置は図 5 に示すとおりで、No.1 は水平変位で精度 1/20mm のひずみゲージ式ワイヤー変位計を使用した。No.2 は基部水平変位で、精度 1/200 の変位計を使用した。No.3 および No.4 は、垂木垂直構成試験体では梁の浮き上がりを測定し、

水平構成試験体では母屋の浮き上がりを測定し、いずれも精度 1/200 の変位計を使用した。また、No.5 および No.6 により、垂直構成試験体では下部母屋の試験機からの浮き上がりを測定し、水平構成試験体では、下部梁の試験機台からの浮き上がりを測定した。いずれも、精度 1/200 の変位計を使用した。なお、No.2~No.6 は測定子を備えた変位計であった。

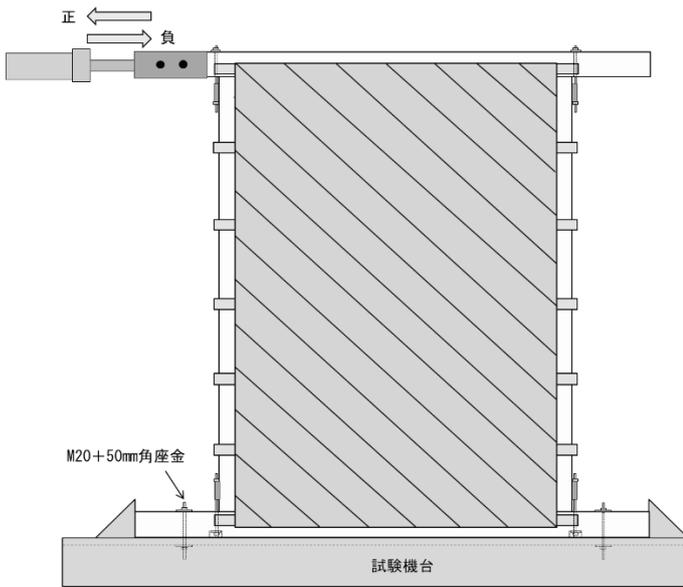


図4 面内せん断試験の方法

注；正および負：加力の方向。

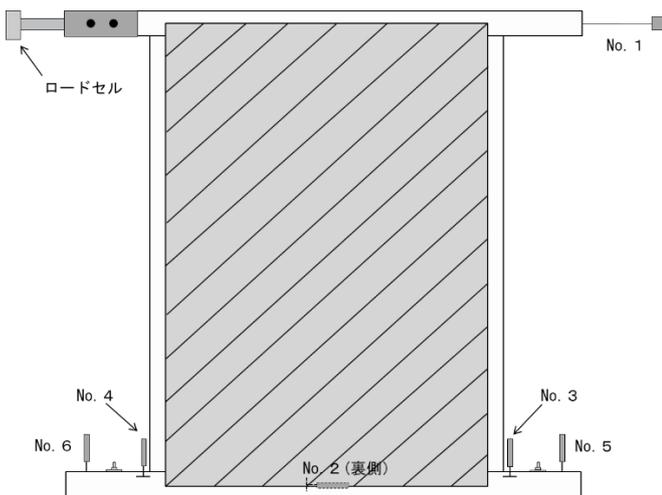


図5 変位計の取り付け位置

3. 結果と考察

3.1 壁倍率相当値の算出

試験終了後、以下のとおり真のせん断変形角を算出した。

見かけのせん断変形角

$$\gamma = (\text{No.1 変位計} - \text{No.2 変位計}) / 2730 \quad (\text{rad, ラジアン})$$

脚部のロッキング変形角

$$\theta = (\text{No.3 変位計} - \text{No.4 変位計}) / 1820 \quad (\text{rad})$$

$$\text{真のせん断変形角} \quad \gamma_0 = \gamma - \theta \quad (\text{rad})$$

横軸を真のせん断変形角、縦軸を荷重とした図を作成し、木造軸組工法住宅の許容応力度設計<sup>1)</sup>の 2.4.1 に準拠して完全弾塑性解析を行い、壁倍率相当値を算出した。まず荷重-変形角図より、

- (a) 降伏耐力
- (b) 終局耐力 × 0.2√(2μ - 1)
- (c) 最大耐力 × 2/3
- (d) 特定変形角 (1/120rad) 時の耐力

を求めた<sup>2)</sup>。次に、(a) ~ (d) の値の中、最小値を短期基準耐力 (P) とし、次式により壁倍率相当値を算出した。

$$\text{壁倍率相当値} = \frac{\text{短期基準耐力 (P)}}{\text{試験体幅 (1.82m)} \times 1.96 \text{ [kN/m]}}$$

3.2 面内せん断試験の結果

すべての試験体の完全弾塑性解析の結果を表 1 に示す。また、各試験体の荷重-変形角図を図 6(a)~(d) に、完全弾塑性解析の結果図を図 7(a)~(d) に示す。

3.2.1 垂直構成試験体

垂直構成試験体 V1-R の破壊の様子を、図 7(b)~(e) に示す。また、V2-R の破壊の様子を図 8(b)~(e) に示す。

垂直構成試験体の野地板は、右上がり釘打ちされていた。そのため、図 4 の「正」方向に加力した場合、野地板間に隙間が生じており、この隙間は荷重が大きくなるほど大きくなった。その様子を、図 7 および図 8 の (b) および (d) に示す。破壊としては、図 7 (c) および図 8 (c) に示す梁と下部母屋との接合部周辺における木材 (母屋) の破壊、図 7 (d) および図 8 (d) に示す野地板を固定している釘周辺での割裂破壊、および図 7 (e) および図 8 (e) に示す垂木を軒桁もしくは母屋に固定している木ネジ (タルキック) の引き抜け等が発生した。

表 1 完全弾塑性解析の結果

	垂直構成試験体		水平構成試験体	
	V1-R	V2-R	H1-R	H2-L
最大耐力 (kN)	12.65	11.40	10.62	13.09
終局耐力 (kN)	11.04	10.35	9.40	11.70
初期剛性 (kN/rad)	671	523	839	885
塑性率 ( $\mu$ )	5.51	4.79	4.51	3.76
$D_s(1/\sqrt{2\mu-1})$	0.32	0.34	0.35	0.39
降伏耐力	5.97	5.83	5.88	6.93
終局耐力 $\times 0.2\sqrt{2\mu-1}$ (kN)	6.99	6.07	<b>5.32</b>	<b>5.98</b>
最大耐力 $\times 2/3$	8.43	7.60	7.08	8.73
特定変形角 (1/120rad) 時の耐力	<b>5.80</b>	<b>5.06</b>	6.58	7.11
壁倍率相当値	1.6	1.4	1.5	1.7

注：R、L：野地板の釘打ち方向。図1～図3を参照。太字の数値により壁倍率相当値を算出。

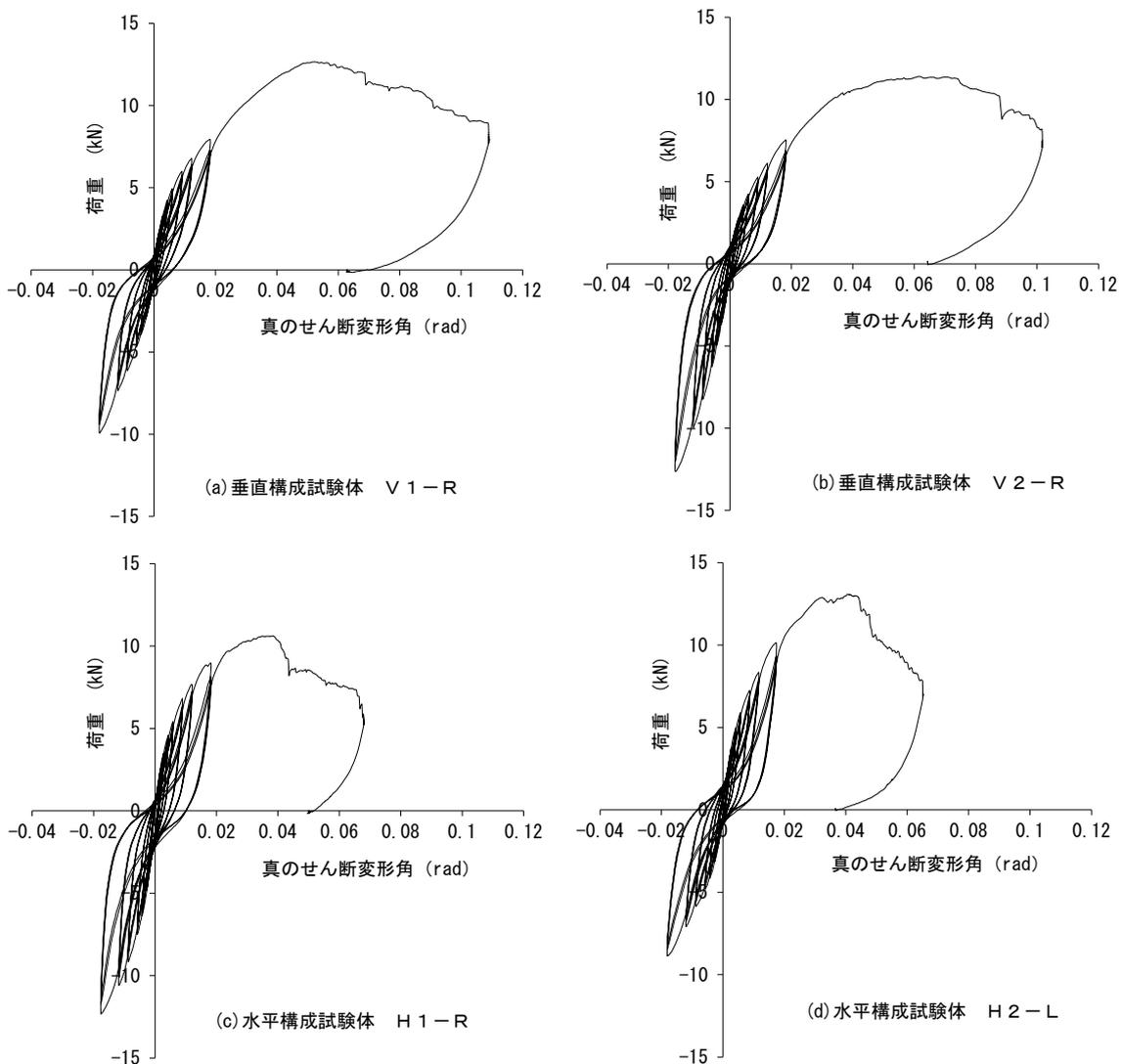
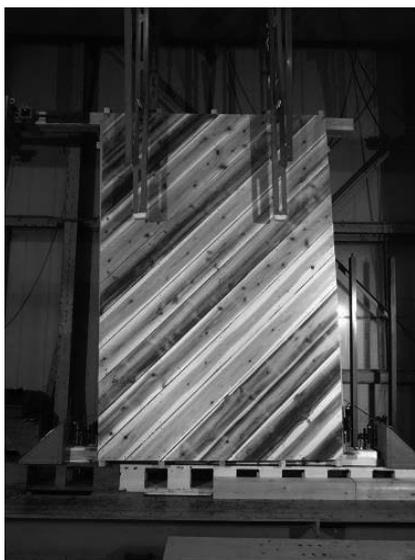
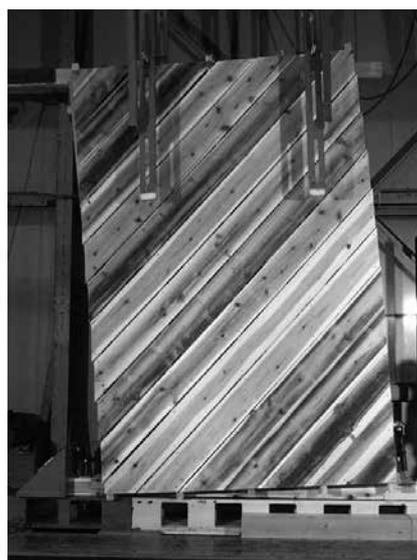


図 6 面内せん断試験の結果 荷重—変形角図



(a) 試験前の試験体



(b) 最終破壊時の試験体



(c) 下部母屋と梁との接合部での破壊

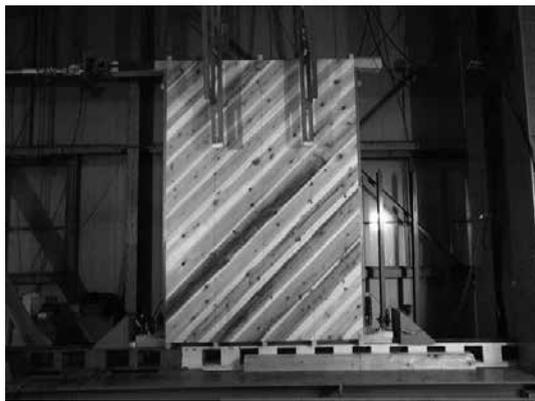


(d) 最終破壊時の野地板の隙間と釘打ち部の割裂破壊

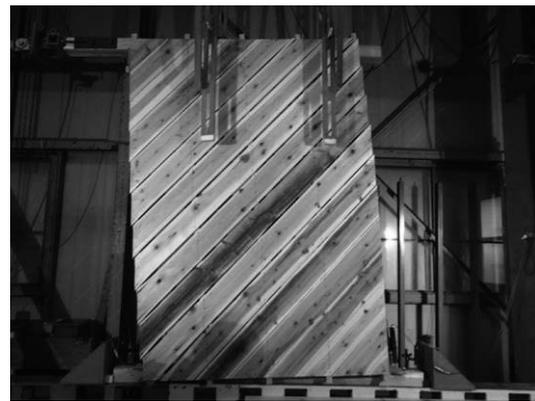


(e) 垂木を固定している木ネジの引き抜け

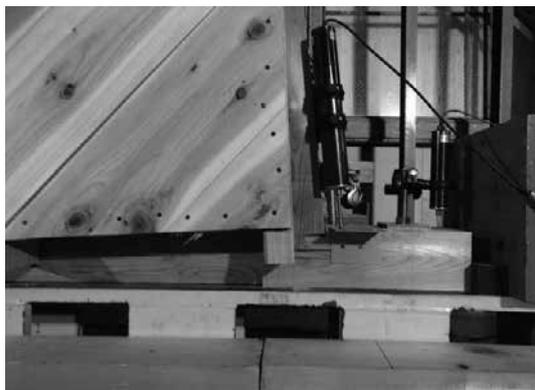
図7 垂直構成試験体V1-Rの破壊



(a) 試験前の試験体



(b) 最終破壊時の試験体



(c) 下部母屋と梁との接合部での破壊



(d) 最終破壊時の野地板の隙間と釘打ち部の割裂破壊



(e) 垂木を固定している木ネジの引き抜け

図8 垂直構成試験体V2-Rの破壊

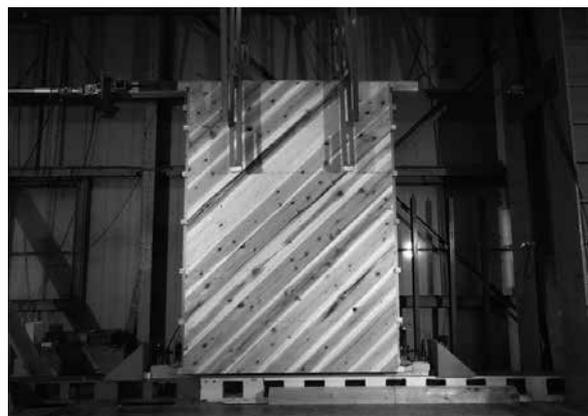
下部母屋と梁との接合部周辺で発生した、下部母屋の水平方向の割裂破壊は、仕口の形状の影響と考えられる。また、荷重低下の主たる原因は、垂木を母屋または梁に固定している木ネジの引き抜けと推測される。

垂直構成試験体の壁倍率相当値は、表1に示すとおりV1-Rが1.6で、V2-Rが1.4であった。いずれも、特定変形角(1/120rad)時の耐力が最小値であった。初期剛性は、V1-Rが671kN/radで、V2-Rは523kN/radであり、いずれも後述する水平構成試験体よりも低かつ

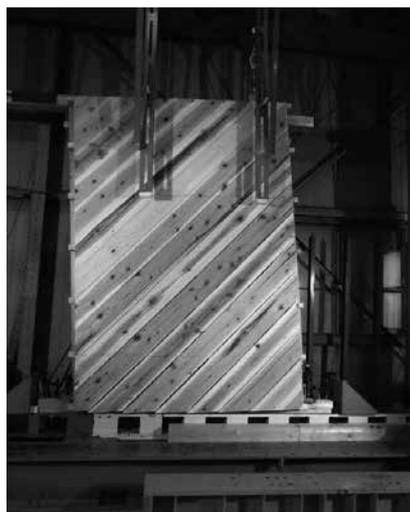
た。建設省告示1100号の木造軸組住宅の耐力壁壁倍率で示された、木張り板を釘打ちした耐力壁の壁倍率(0.5)と比較すると、本試験の壁倍率相当値は低減係数を乗じてはいないものの、垂木に対し野地板を斜めに釘打ちすることにより屋根構面の面内せん断強度は向上したものと考えられる。

### 3.2.2 水平構成試験体

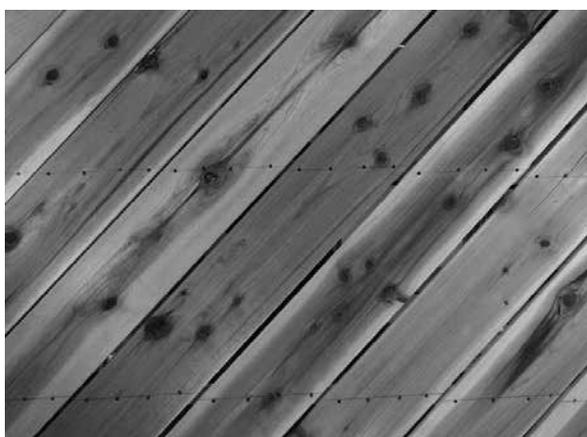
図9には、水平構成試験体H1-Rの破壊形態を、図10には水平構成試験体H2-Lの破壊形態を示す。



(a) 試験前の試験体



(b) 最終破壊時の試験体



(c) 野地板間に生じた隙間



(d) 最終破壊時の野地板の隙間と釘打ち部の割裂破壊



(e) 垂木を固定している木ネジの引き抜け

図9 水平構成試験体H1-Rの破壊



(a) 試験前の試験体



(b) 最終破壊時の試験体



(c) 母屋と梁との接合部



(d) 最終破壊時の野地板の様子



(e) 垂木を固定している木ネジの引き抜け

図10 水平構成試験体H2-Lの破壊

水平構成試験体 H1-R は、垂直構成試験体と同様に野地板は右上がり釘打ちされていた。そのため、図 5 の正方向に加力すると図 9(b)および(c)に示すとおり野地板間に隙間が生じ、試験終了時には、図 9(d)に示すとおり野地板端部の釘周辺で割裂破壊が生じた。しかし、垂直構成試験体とは異なり、試験体下部の接合部、すなわち母屋-梁接合部周辺では顕著な破壊は発生しなかった。この理由として、野地板と垂木とが一体となって挙動したため、破壊は垂木を固定している木ネジの引き抜けが優先したことが考えられる。すなわち、水平構成試験体に使用されていた垂木は 7 本で、一方、垂直構成試験体では 5 本の垂木が使用されていた。そのため、水平構成試験体では垂木と野地板とが一体化して挙動する傾向が強まっており、図 9(e)に示すとおり、垂木を母屋および梁に固定している木ネジの引き抜けが顕著に発生した。

水平構成試験体 H2-L のみ、野地板は左上がりに釘打ちされていた。この配列では、図 4 の正方向に加力すると野地板が相互に密着しようとする力が加わった。そのため、図 10(b)に示すとおり試験終了時においても、野地板間にほとんど隙間は生じていなかった。このため、垂木と野地板とは H1-R 試験体よりも一体化してあたかも面材のように挙動したと考えられ、図 10(e)に示すとおり、垂木を固定していた木ネジの引き抜けにより、垂木と野地板がそのまま梁および母屋からはずれる破壊が発生した。このような破壊であったため、図 10(c)に示すとおり母屋と梁との接合部に顕著な破壊は発生せず、また図 10(d)に示すとおり、野地板端部の釘周辺での割裂破壊は顕著ではなかったものと考えられる。

表 1 に示すとおり、水平構成試験体の壁倍率相当値は H1-R が 1.5 であり、H2-L が 1.7 であった。水平構成試験体では、終局耐力が壁倍率相当値を決定した。H2-L は最大耐力が 4 試験体中最も大きく、また、表 1 に示すとおり終局耐力は最も大きかった。そのため、4 試験体中で最も高い壁倍率相当値であったと考えられる。終局耐力が大きかった理由として、使用した垂木本数が垂直構成試験体よりも多かったことに加え、既述のとおり野地板が左上がり釘打ちされていたことから加力時に野地板間に隙間が生ぜず、野地板と垂木とが一体となって挙動したことが考えられる。H1-R については、垂直構成試験体と同様に野地板が右上がりに釘打ちされていたことから、最終破壊に至らしめた正方向の加力の際、野地板間が開いたため最大耐力が H2-L よりも低く、壁倍率も低くなったと考えられる。

一方、初期剛性については、表 1 のとおり H1-R が

839kN/rad で、H2-L が 885kN/rad と、両試験体の間に大きな差は無かった。したがって、野地板の取り付け方向は、荷重初期の変形に対しては大きな影響を及ぼすものではないと考えられる。

#### 4. 結論

スギ板材を下地として使用した屋根構面において、スギ板材を垂木に対して 45 度の角度で釘打ちし、屋根構面の面内せん断強度の向上を試みた。垂木を垂直に配置した試験体および垂木を水平に配置した試験体を作成し、面内せん断試験を実施した結果、壁倍率相当値は低減係数を乗じる前で 1.4~1.7 であり、木ずり板耐力壁の壁倍率 0.5 と比較して、面内せん断強度の向上が認められた。壁倍率相当値は、垂木を垂直に配置した試験体では特定変形角時の耐力により算出され、垂木を水平に配置した試験体では終局耐力により算出された。初期剛性は、垂木を水平に配置した試験体の方が垂木を垂直に配置した試験体よりも大きく、この理由として試験体で使用された垂木本数の相違が考えられた。

#### 引用文献

- 1) 公益財団法人 日本住宅・木材技術センター刊：木造軸組工法住宅の許容応力度設計，(2017)
- 2) 軽部正彦：PickPoint3292，(2010)

(2021 年 3 月 24 日 受理)