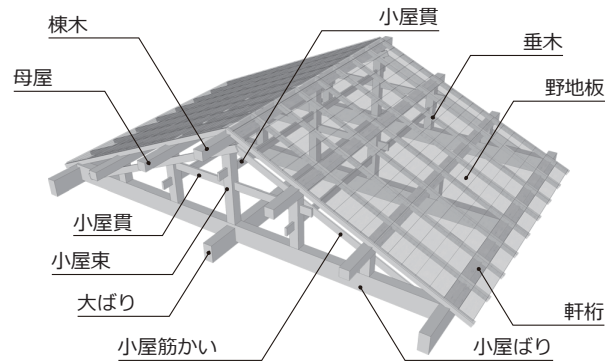


## 概要

### ○用語の定義



### ○力の伝達方法

本試験では、地震荷重を想定し、小屋組重量の大部分を占めると考えられる屋根構面（棟木・母屋・軒桁）に等分布に载荷する方法とした。その力の流れは図1のようになると考えられる。

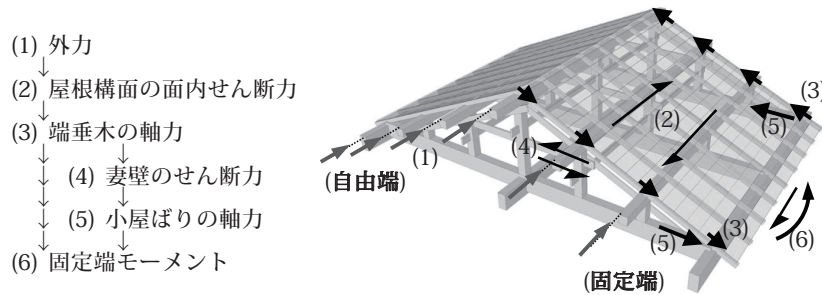


図1 切妻屋根における地震時の力の流れ

### ○変形挙動

本試験では、屋根構面（棟木・母屋・軒桁）に対して等分布に载荷する方法とした。その力は鉛直構面を介して小屋ばり構面に伝達されるため、多少の変形遅れがあり得るが、図2に示すように、屋根構面と小屋ばり構面はほぼ同様の変形を示すことが確認できる。No.15 せん断力-真のせん断変形角関係の図に示すように、屋根構面と小屋ばり構面の加算則が成立することの裏付けと言える。

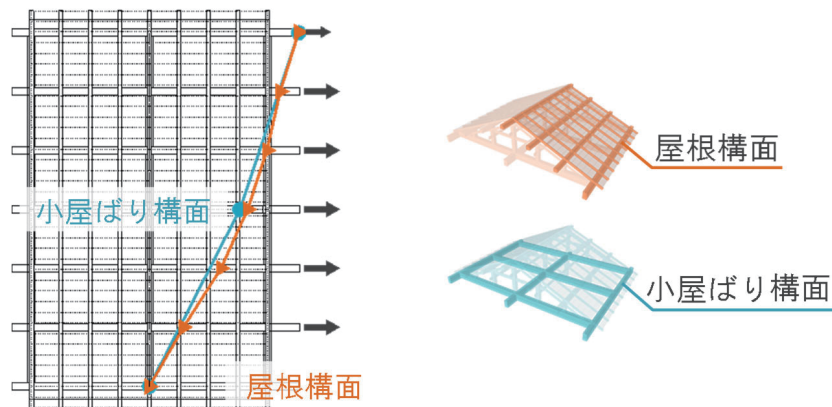


図2 1/15rad時の水平変位モード

### ○モーメントに対する抵抗

図1に示すように、屋根構面に生じるせん断力に対し、垂木軸方向の反力の大部分は端垂木に流れ、その一部は軒桁に直接伝達されるが、残りは妻壁のせん断力、そして小屋ばりの軸力となる。図3左に示すボルトAに生じる小屋ばりの軸力成分をTと呼ぶと、固定端モーメントは $M = TH$  ( $H$ は小屋ばり長さ)と評価され、これを外力から求めた固定端モーメントと比較すると図3右のようになる。グラフの横軸はロッキング変形角 $\theta_R$ 、すなわち小屋ばり接合部の軸方向変形により生じる変形角であり、 $\theta_R = 0.0015\text{rad}$ 程度までは両者がほぼ一致するが、それ以上の変形角では羽子板ボルト軸力より算出されるモーメントが下回った。この差分に対応するモーメントは、端垂木から直接軒桁に伝達されたと考えられる。

以上から、図4のようにせん断力は主に屋根構面で、モーメントは主に外周部横架材(小屋ばり)の軸力で抵抗していると言え、小屋ばり端部に羽子板ボルト等の引張抵抗用の金物を設けることは重要である。

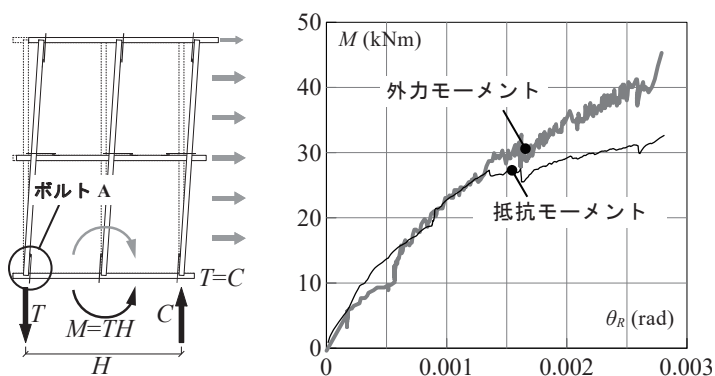


図3 小屋梁組に生じるモーメント

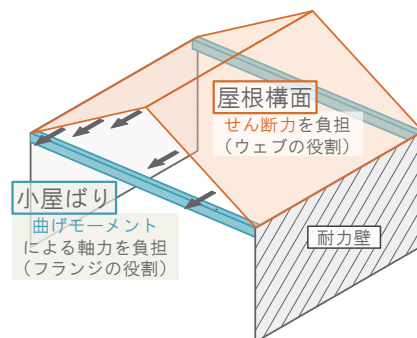


図4 小屋ばり組に生じるせん断力とモーメントに対する抵抗

### ○屋根構面のせん断性能

別途実施した屋根構面の面内せん断試験結果を図5に示す。垂木の転びも若干見られたが、野地板のずれが顕著であり、野地板の釘のせん断性能が全体の性能を決定づけていると考えられる。床倍率は0.28である。

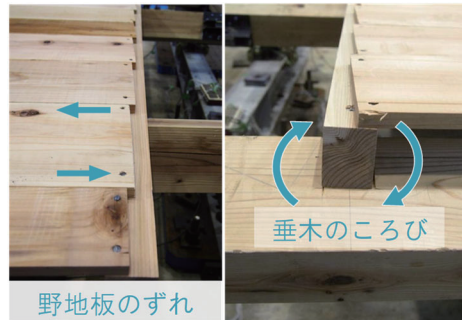
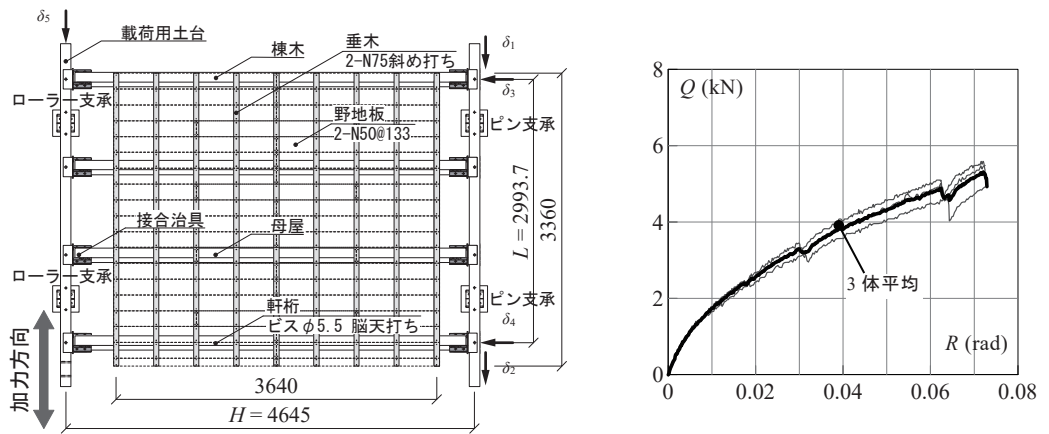


図5 屋根構面の面内せん断試験結果

### ○野地板の釘 (N50) のせん断性能

野地板の釘のせん断試験結果を図6、表1に示す。

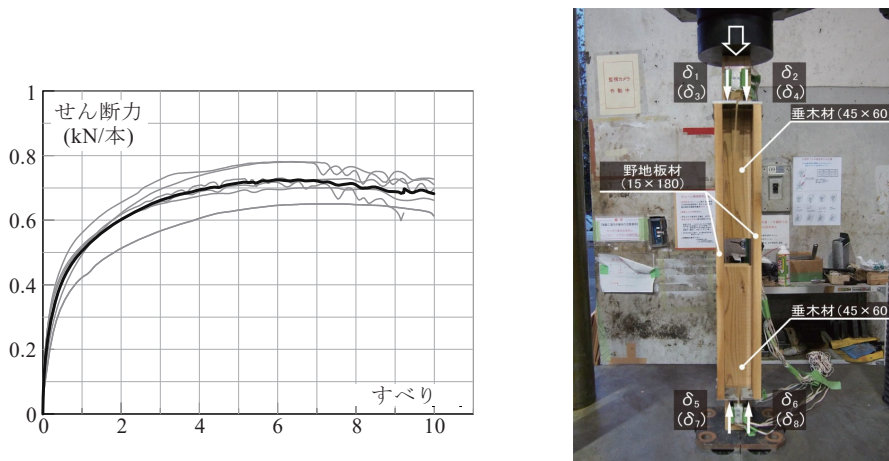


図6 野地板の釘のせん断試験結果

表1 野地板の釘の特性値

	最大耐力 [kN]	一本当たりの釘の最大せん断耐力 [kN]	初期剛性K [kN/mm]	一本当たりの釘の初期剛性K [kN/mm]
No.1	2.83	0.71	4.85	2.43
No.2	2.60	0.65	2.69	1.34
No.3	3.13	0.78	3.09	1.54
No.4	2.96	0.74	4.02	2.01
平均	2.88	0.72	3.66	1.83

## ○小屋組内耐力壁の省略のための条件

文献1では、小屋組に作用した水平力が、最上階における各耐力壁に的確に伝達されることを担保するため、最上階耐力壁は小屋組内まで張り上げること（小屋組内耐力壁の設置）を要求している。ここで、図7のように小屋ばりが1820mm間隔、母屋および小屋束が910mm間隔で配置され、各小屋束に小屋貫（27×105mmの通し貫）および長ほぞ（30×90×120mm、上端のみ強軸で有効とし、下端は無効とする）があるとした場合、これが小屋組内耐力壁の代替となる条件を示す。

詳細は文献2に示されるが、張間方向長さ $2l$ における中央 $l$ の区間に存在する小屋貫と長ほぞによる水平剛性寄与を小屋組内耐力壁と見做すと、これは図8のように張間中央部2.94mの区間における必要壁量（ただし、品確法において2階建ての2階、一般地域、重い屋根、等級1相当（等級2の1/1.25倍）、総2階建てを想定）を満たす耐力壁の反力を受けることができる。したがって、張間方向中央部における内壁量は、負担幅3m程度の必要壁量以下とすることが考えられる。これを満たさない場合、内壁には小屋ばりの弱軸曲げによってせん断力を伝達する必要があるため、応力解析時に注意を要する。

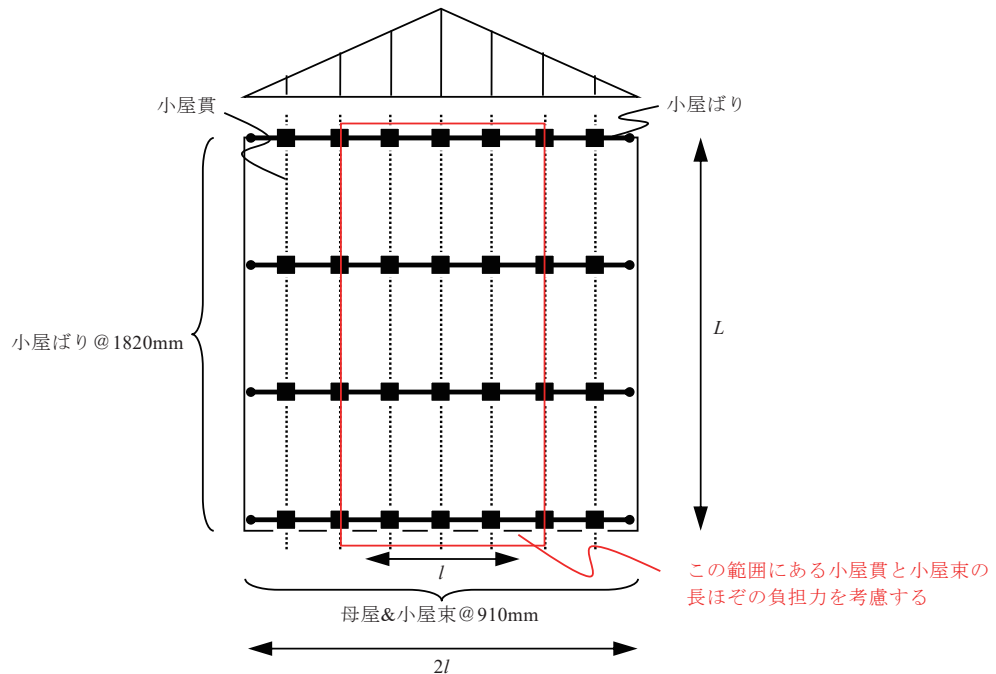


図7 鉛直構面の負担力計算用モデル

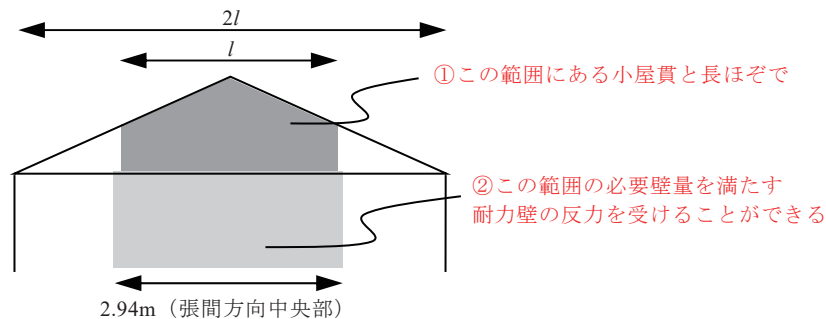


図8 鉛直構面内の小屋貫と長ほぞで反力をとることができる範囲

## 文献

- 1) (公財)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（2017年版），2017年3月
- 2) 基整促事業（S25）断面の大きい軸材料等を用いる木造建築物の技術基準に関する検討報告書，2018.03

○データ収集の対象とした文献

使用データ No.	文献
No.15	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 基整促事業（S25）断面の大きい軸材料等を用いる木造建築物の技術基準に関する検討報告書,2018.03</li> <li>• 山崎義弘, 根本夏帆, 五十田博, 荒木康弘, 坂田弘安: 伝統的木造建築物における小屋ばり組切妻屋根のせん断性能に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 84 巻, 第 765 号, pp.1453-1463, 2019.11</li> </ul>

●姿図・寸法



図1 試験体セットアップ

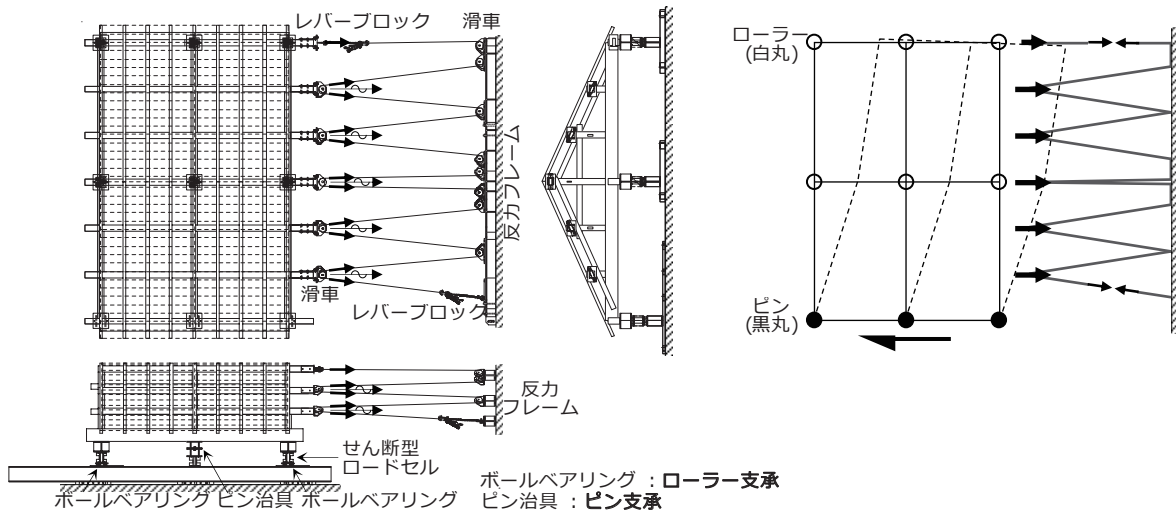


図2 荷重方法

【使用材料・試験体諸元】

屋根形状 : 切妻 (寄棟・方形は切妻以上の性能が見込め、本 DS の数値を使用可能)

梁桁 : スギ、120 × 240mm

小屋ばり一軒桁 : かぶと蟻掛け + 羽子板ボルト (Z マーク金物 (SB-E2) 同等品) (図3)

小屋ばり一大ばり : 渡りあご (欠き込み深さ = 120mm)

棟木・母屋・束 : スギ、120 × 120mm

小屋束は棟木・母屋 (上部) に長ほぞ差し両面かすがい 図3 かぶと蟻掛け + 羽子板ボルト打ち、小屋ばり (下部) に短ほぞ差し両面かすがい打ち

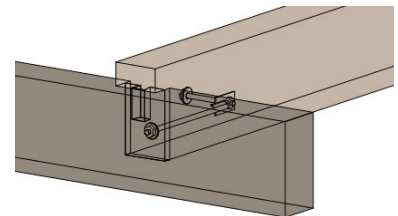
貫 (張間方向・桁方向) : スギ、27 × 105mm

小屋筋かい (張間方向※) : スギ、15 × 90mm

垂木 : スギ、45 × 60mm @455mm

野地板 : スギ 15 × 180 × 2000mm、N50-2 本 @135mm/ 垂木毎

垂木 - 母屋・棟木 : N75-2 本斜め打ち



垂木 - 軒桁 : ビスφ 5.5 脳天打ち

屋根勾配 : 4.5 寸勾配

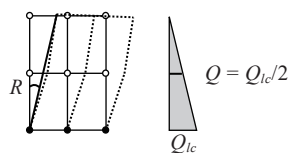
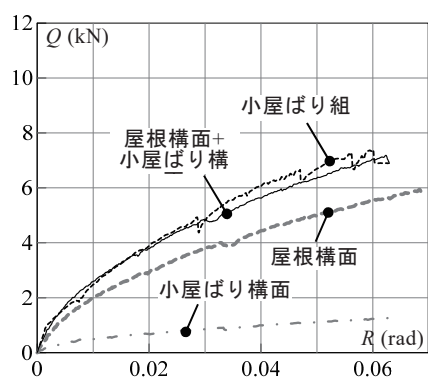
屋根荷重 (1.3kN/m<sup>2</sup>) を想定して、14.6kN の錘を積載

※本来は妻面に土塗り壁等があると考えられ、これが小屋束の張間方向への倒れを抑制する。本実験では妻壁の代わりに桁行筋かい (15 × 90mm、小屋束に 2-N50 で接合) を設けているが、これを土塗り壁で代替することは可能と考えられる。

### ●参照先

- ・ 基整促事業 (S25) 断面の大きい軸材料等を用いる木造建築物の技術基準に関する検討報告書, 2018.03
- ・ 山崎義弘, 根本夏帆, 五十田博, 荒木康弘, 坂田弘安: 伝統的木造建築物における小屋ばり組切妻屋根のせん断性能に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 84 巻, 第 765 号, pp.1453-1463, 2019.11

### ●荷重変形



$Q_{ic}$ : 固定端せん断力

- (\*) 等分布外力のため、厳密には位置によりせん断力およびせん断変形角が異なるが、平均値に均している
- (\*) 屋根構面は勾配を考慮し、せん断変形角  $R$  を勾配の余弦で除している

図 4 せん断力-真のせん断変形角関係

### ●破壊性状



写真 1 野地板のズレと垂木のねじれ



写真 2 小屋束の傾斜

- ・ 野地板の釘接合部におけるすべりが顕著であり、野地板同士のずれが見られた。
- ・ その他、明確な破壊は生じなかったが、垂木のねじれや小屋束の傾斜が確認された。

## ●特性値一覧

表1 特性値一覧

$K$ kN/rad/m	$Q_y$ kN/m	$Q_u$ kN/m	$Q_{max}$ kN/m	$R_y$ rad	$R_v$ rad	$R_u$ rad	$\mu$	$D_s$
52	1.15	1.89	2.17	0.022	0.036	0.067	1.84	0.61

表2 特定変形時のせん断力 (kN/m)

1/600	1/450	1/300	1/200	1/150	1/120	1/100	1/75	1/50	1/30	1/15
0.22	0.30	0.36	0.45	0.51	0.57	0.68	0.82	1.07	1.48	2.17

信頼水準 75% の 50% 下限値にするための低減は行っていない。

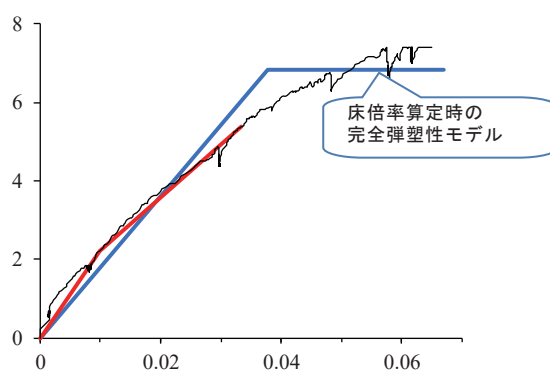


図5 せん断力-真のせん断変形角関係の完全弾塑性モデル

鉛直構面とは異なり、必ずしも水平構面を終局変形角まで変形させた状態が建物としての終局状態ではない。水平構面の許容変形角（図5 赤線では 1/30rad とした）を定めた上で、その範囲内でバイリニア近似をする程度が適当であると思われる。



## 切妻以外の屋根形状に適用可能かの判断材料（参考）

No.15 のデータシートに示すデータの適用範囲については、【使用材料・試験体諸元】にて「屋根形状：切妻（寄棟・方形は切妻以上の性能が見込め、本 DS の数値を使用可能）」としている。

伝統的構法による木造建築物においては、対象としている【一般的な2階建て住宅（下野付きの新築）】に限定したとしても、屋根の形状は切妻以外の寄棟や方形であることも多い。No.15 のデータシートでは、これらも含めて適用範囲とすることを提案しているが、その根拠となる検討はデータシートのデータ元となる資料の基整促事業と同じ事業で行われている。その抜粋を参考として示す。

### ○切妻・寄棟・方形の比較

伝統仕様、在来仕様とも、切妻、寄棟、方形の順に、剛性・最大耐力とも大きくなった(図1, 図2)。伝統仕様に着目すると、切妻は野地板を留めている釘のせん断性能でほぼ耐力が決まっていたが、寄棟と方形ではさらに後述（2. 寄棟の場合）の立体トラス抵抗が寄与することで、切妻に比べ剛性、耐力とも大幅に増加したと考えられる。ただし、切妻では  $1/15\text{rad}$  以上まで野地板のすべり以外に明確な損傷が見られなかったのに対し、寄棟、方形では  $1/30\text{rad}$  を超えたあたりで明確な損傷（隅木の外れ）および耐力低下が生じている。ゆえに、後述の検討においては、小屋ばり組の変形制限として  $1/30\text{rad}$  を目安にしつつ、切妻のみを対象として、寄棟、方形の場合の耐力上昇は余力として考える。

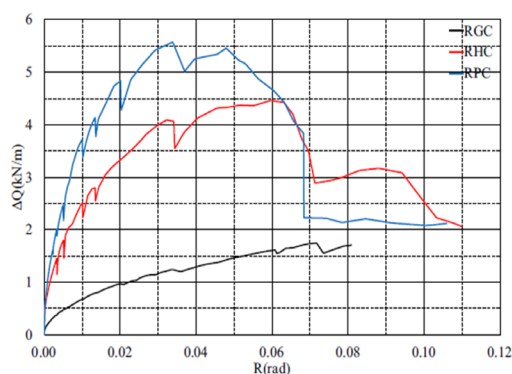


図1 伝統仕様における単位長さあたりのせん断力  $Q$  - 変形角  $R$  関係の包絡線の比較（文献1）より抜粋

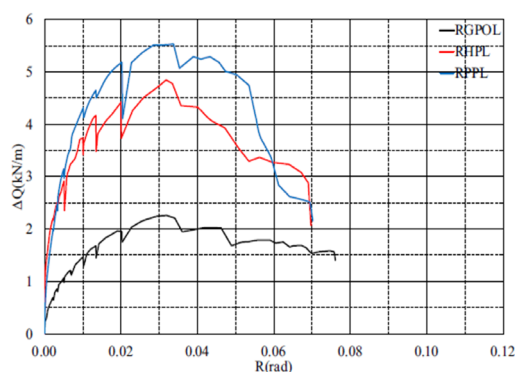


図2 在来仕様における単位長さあたりのせん断力  $Q$  - 変形角  $R$  関係の包絡線の比較（文献1）より抜粋

## ○小屋ばり組の水平力に対する抵抗メカニズム

### 1. 切妻の場合

ここでは切妻に限定して、小屋ばり組の水平力に対する抵抗メカニズムを検討する。地震力や風圧力などの水平力に対する、小屋ばり組の必要性能として、(a) 最上階の水平構面としての面内せん断性能（以下、面内せん断）、(b) 小屋ばり組単体の水平抵抗性能（以下、水平抵抗）、がある（図3）。また、切妻では張間方向と桁行方向では水平抵抗メカニズムが大きく異なることを考慮し、図4～図7のように分類して、それぞれの抵抗メカニズムを示す。各抵抗要素の説明を以下に示す。なお、図4～図7において括弧書きとした抵抗要素（面内せん断抵抗における、「鉛直構面のせん断抵抗」および「妻壁のせん断抵抗」）は、屋根構面と小屋ばり構面の一体性を確保する点で、間接的に関与する。

- ・ 屋根構面のせん断抵抗：野地板を留めている釘が寄与する抵抗機構（図 2.3.1-6, 参考文献 2.2）。
- ・ 鉛直構面のせん断抵抗：小屋貫や小屋筋かいが寄与する抵抗機構。
- ・ 小屋ばり構面のせん断抵抗：火打ち梁や接合部のモーメント抵抗が寄与する抵抗機構。
- ・ 妻壁のせん断抵抗：妻壁（土塗り壁）が寄与する抵抗機構。
- ・ 垂木のトラス抵抗：垂木がトラスとして寄与する抵抗機構。張間方向載荷時の水平抵抗性能にのみ寄与する。

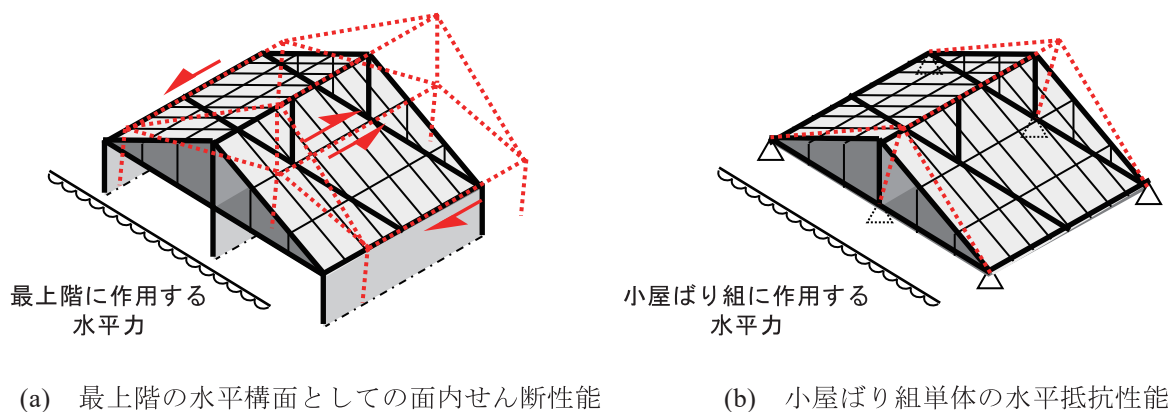


図3 小屋ばり組の必要性能

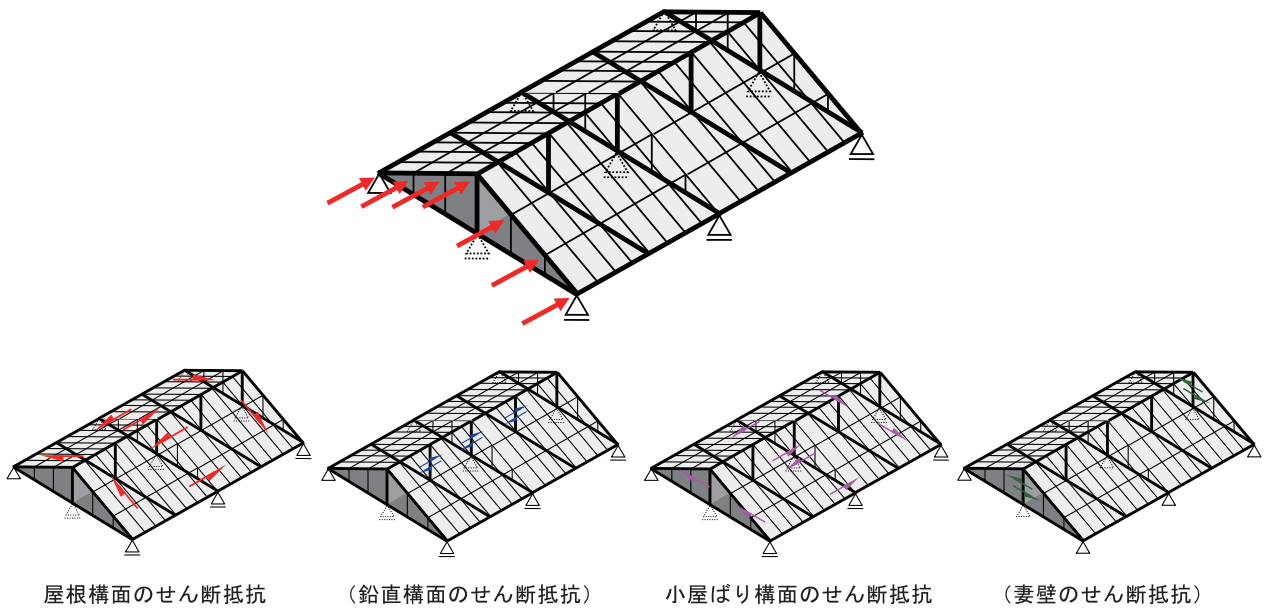


図4 桁行方向載荷時の面内せん断抵抗

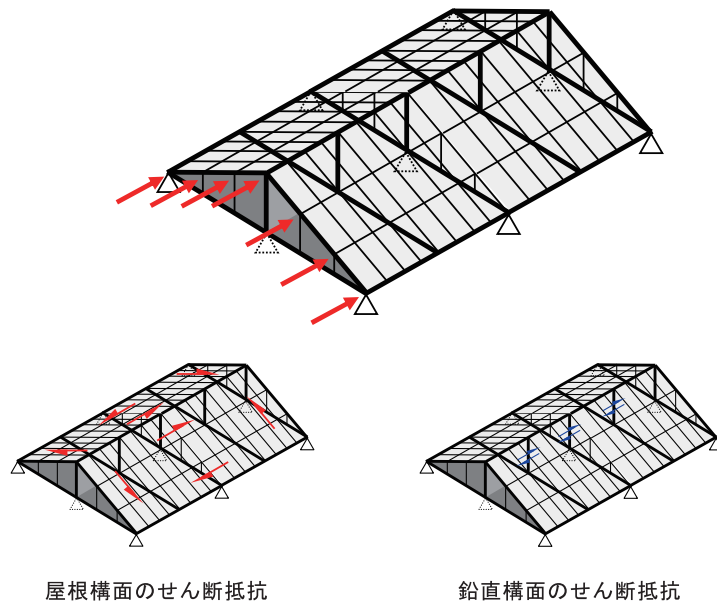


図5 桁行方向載荷時の水平抵抗

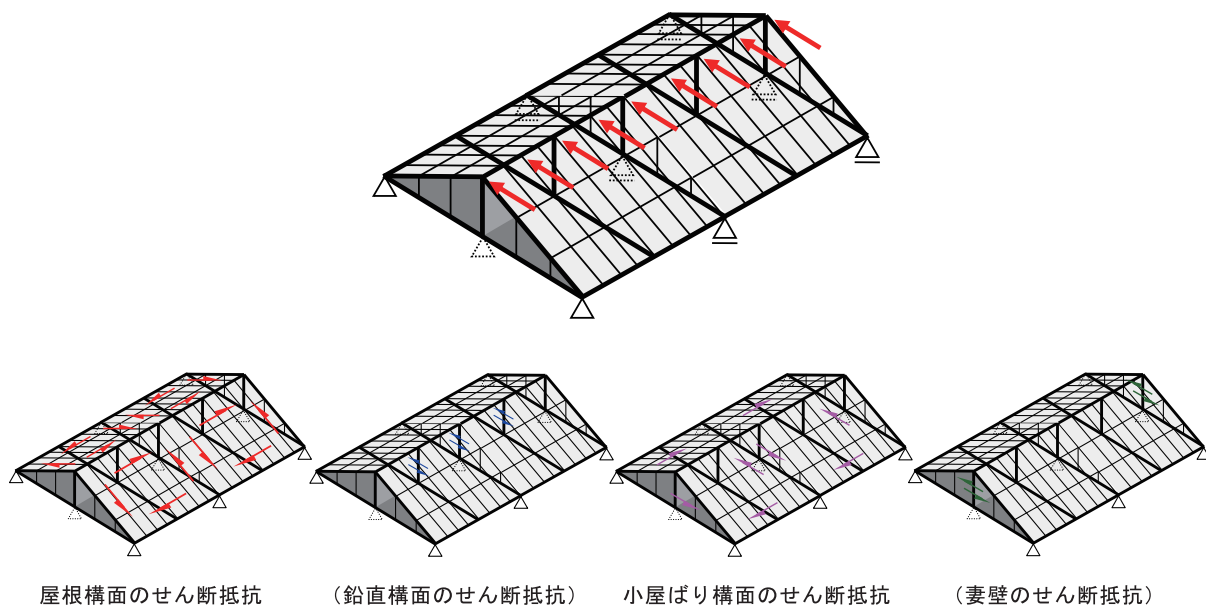


図6 張間方向載荷時の面内せん断抵抗

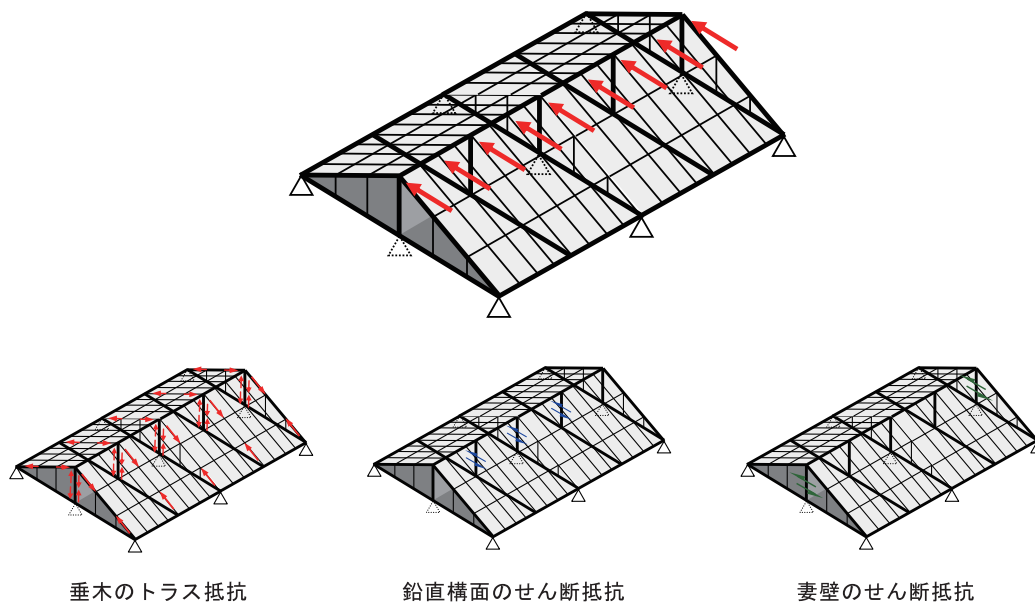


図7 張間方向載荷時の水平抵抗

主要な要素である屋根構面のせん断抵抗は、文献 2) においてその変形成分が示されており (図 8)、伝統仕様では面材釘のすべりが卓越する。

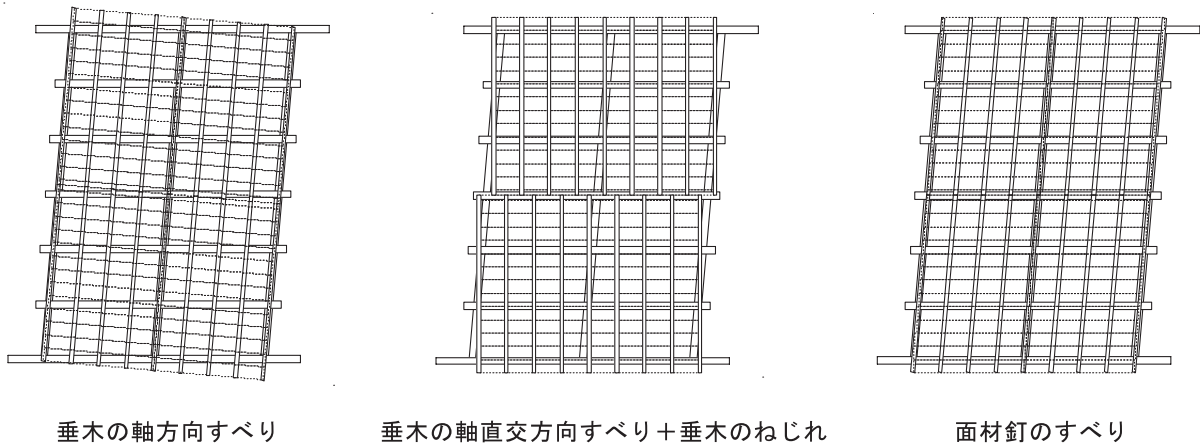


図 8 屋根構面のせん断抵抗による変形成分

張間方向載荷時の水平抵抗 (図 7) に寄与する、鉛直構面の垂木によるトラス抵抗を図 9 のように考える。垂木が 2-N75 で接合されているとすれば、軸方向せん断耐力は  $q_{//} = 2.6\text{kN}$  程度 (文献 2) であり、垂木端部の接合部破壊で決まる水平耐力  $p$  (垂木 1 本あたり) が次式のように求まる。

$$p = 2q_{//} \cos \theta \quad \dots\dots\dots (式 1)$$

垂木のピッチを 0.455m、桁行長さを  $L$  とすれば、水平耐力の総和  $P$  は、

$$P = \frac{pL}{0.455} = \frac{2q_{//}L \cos \theta}{0.455} \quad \dots\dots\dots (式 2)$$

また、小屋ばり組重量を  $W = wL$  ( $w$  = 小屋ばり組の単位面積重量、 $l$  = 張間長さ) とすると、小屋ばり組の層せん断力係数を表す  $P/W$  は、

$$\frac{P}{W} = \frac{2q_{//} \cos \theta}{0.455wl} \quad \dots\dots\dots (式 3)$$

であり、 $w = 1.3\text{kN/m}^2$ 、 $\cos \theta = 0.926$  (4 寸勾配) を代入すれば、

$$\frac{P}{W} = \frac{8.16}{l} \quad \dots\dots\dots (式 4)$$

となる。すなわち、層せん断力係数は  $l$  に反比例にするが、 $l = 10\text{m}$  としても 0.816 が確保されており、十分高い性能を有していると言える。

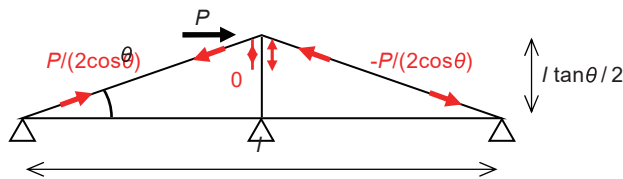


図 9 張間方向鉛直構面の垂木によるトラス抵抗

## 2. 寄棟の場合

寄棟の場合には、切妻の場合の抵抗要素に加え、さらに棟木、隅木、小屋束で構成される立体トラス抵抗も寄与する。そのメカニズムの説明として、図 10, 図 11 のような、隅木の角度を  $45^\circ$ 、張間長さを  $2l$ 、棟木長さを  $l$  (桁行長さは  $2l + l$ ) とした力学モデルを考える。 $l = 0$  とすれば、方形となる。

面内せん断抵抗 (図 10) では妻ばりへの集中荷重を、水平抵抗 (図 11) では棟木への等分布荷重を考慮しているが、両モデルの力の分布に着目すると、どちらも隅木に生じる軸力は  $l$  に依らない (平面形状に依存しない) が、面内せん断抵抗では  $l$  が長くなるほど、隅木の偶力によって棟木に生じるモーメント  $M_r (= Pl)$  が大きくなる。このため、棟木の回転に対して抵抗する、垂木の軸方向抵抗や野地板の曲げせん断抵抗 (図 12) が確保されていないと、棟木の回転が生じ、立体トラス抵抗が十分に発揮されない。図 10 右に示すように、棟木の回転剛性  $K_r$  が十分大きければ  $\theta_r \doteq 0$  となり、棟木と軒桁が平行に回転する。

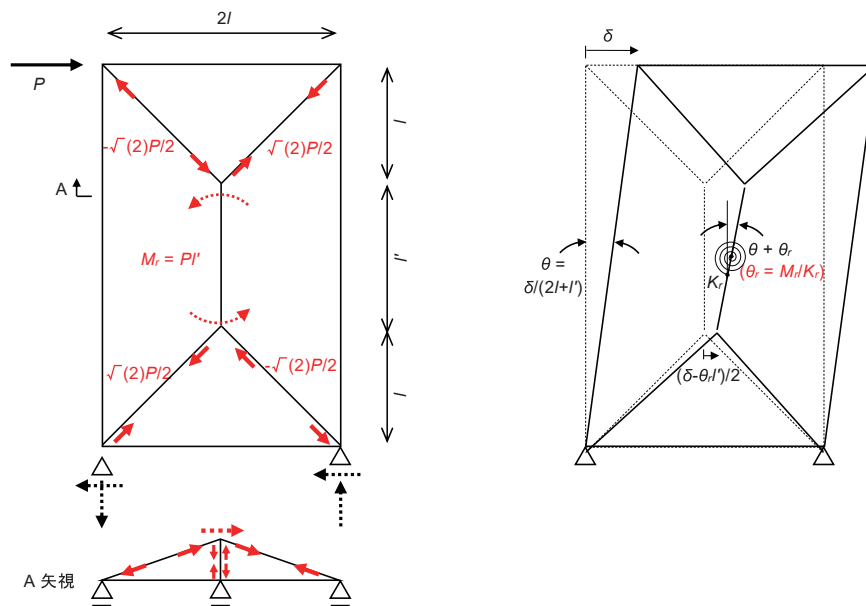


図 10 寄棟の立体トラスによる面内せん断抵抗

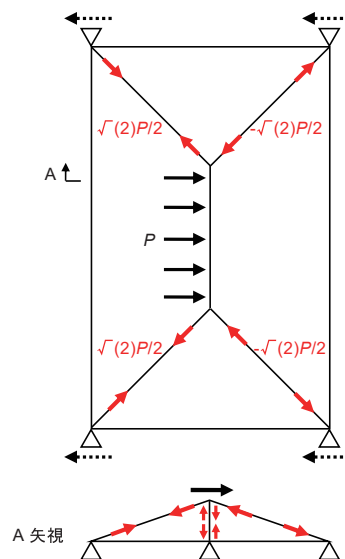


図 11 寄棟の立体トラスによる水平抵抗

写真(文献1) 2.2.3 寄棟試験体の特徴)で示した、野地板の千鳥配置と整列配置の比較により、整列配置で棟木の回転が生じたのは、図12右に示す野地板の曲げせん断抵抗が発揮されないためだと考えられる。結果として、垂木の軸方向抵抗の負担が大きく、垂木の軸方向すべりで最大耐力が決まった。千鳥配置で野地板の曲げせん断抵抗が加算される場合は、棟木が回転せずに隅木が外れるまで隅木の軸力が増加するため、耐力が高かったと考えられる。

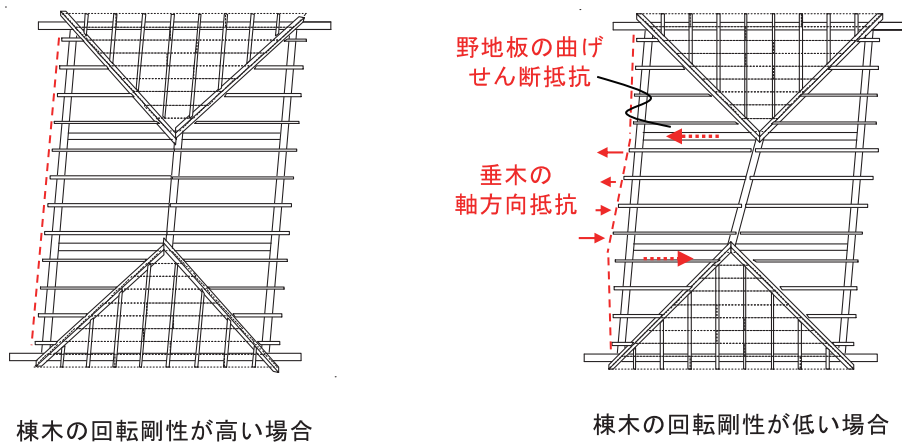


図12 隅木の偶力に対する棟木の回転抵抗

ここで、棟木の回転剛性の試算を行う。

■垂木の軸方向抵抗の寄与

図13のように、向かい合う棟木と軒桁に対し、相対回転 $\theta_r$ が生じたとする。位置 $x$ における垂木の軸方向すべり $\delta_{r(x)}$ と軸力 $P_{r(x)}$ は、次式のように表される。

$$\delta_{r(x)} = x\theta_r, \quad P_{r(x)} = \bar{K}_r \delta_{r(x)} \quad \dots\dots\dots (式5)$$

ここで、 $\bar{K}_r$ は単位長さあたりの垂木接合部による軸方向剛性であり、垂木接合部1箇所あたりの軸方向剛性 $\hat{k}_r$ を用い、屋根勾配を $\phi$ 、垂木が0.455m間隔で配置されていると考え、次式より求める。

$$\bar{K}_r = \frac{\hat{k}_r \cos^2 \phi}{2 \times 0.455} \quad \dots\dots\dots (式 6)$$

棟木に対し垂木が両側にあることを踏まえ、棟木の回転剛性  $K_{\theta_r}$  を求めると、

$$K_{\theta_r} = \frac{2 \int_{-l'/2}^{l'/2} P_r(x) \cdot x dx}{\theta_r} \quad \dots\dots\dots (式 7)$$

$$= \frac{l'^3 \hat{k}_r \cos^2 \phi}{12 \cdot 0.455}$$

となる。 $l' = 1.82\text{m}$ 、 $\hat{k}_r = 939\text{kN/m}$  (2-N75)、 $\cos \phi = 0.912$  を代入すると、

$$K_{\theta_r} = 826 \text{ kNm/rad} \quad \dots\dots\dots (式 8)$$

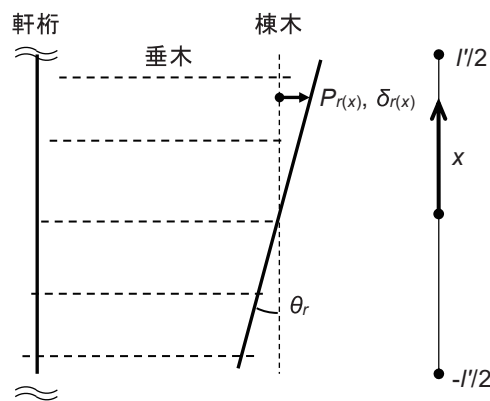


図 13 棟木の回転抵抗における垂木の軸方向抵抗の寄与

■野地板の曲げせん断抵抗

図 14 のように、棟木に  $\theta_r$  の回転が生じたときの、垂木の軸方向変位分布を考えると、図中赤線のようになる。すなわち、棟木に  $\theta_r/2$  の回転、棟木端部で  $l\theta_r/4$  の軸方向変位が生じるが、この棟木端部をまたぐような野地板の曲げせん断抵抗を考慮する。釘は垂木の軸直交方向へは抵抗しないと考え、さらに釘が野地板内で均一に分布していると仮定すると、野地板短手方向の力およびモーメントの釣り合いから、野地板に対する釘のすべり分布が求まり、野地板に作用するせん断力  $Q_b$ 、および曲げモーメント  $M_b$  を求めることができる。なお、以下の計算および図 14 は野地板の長手中心が棟木端部位置にあり、野地板の長さが  $l'$  に等しい場合を例示している。

まず、野地板の釘の反力は垂木を介して棟木や軒桁に伝達されることを考え、野地板の釘接合部 (3-N45) における釘 1 本あたりのすべり柔性に垂木接合部のすべり柔性を加えつつ、野地板長手方向の単位長さあたりの剛性に変換する。

$$\bar{K}_n = \frac{1}{\frac{1}{3\hat{k}_n} + \frac{2}{\hat{k}_r}} \frac{n}{l'} \quad \dots\dots\dots (式 9)$$

ここで、 $n$  は釘列数であり、5 とする。野地板中央に生じるせん断力  $Q_b$ 、および曲げモーメント  $M_b$  は、

$$Q_b = \frac{1}{32} \bar{K}_n l'^2 \theta_r \cos^2 \phi, \quad M_b = \frac{1}{384} \bar{K}_n l'^3 \theta_r \cos^2 \phi \quad \dots\dots\dots (式 10)$$



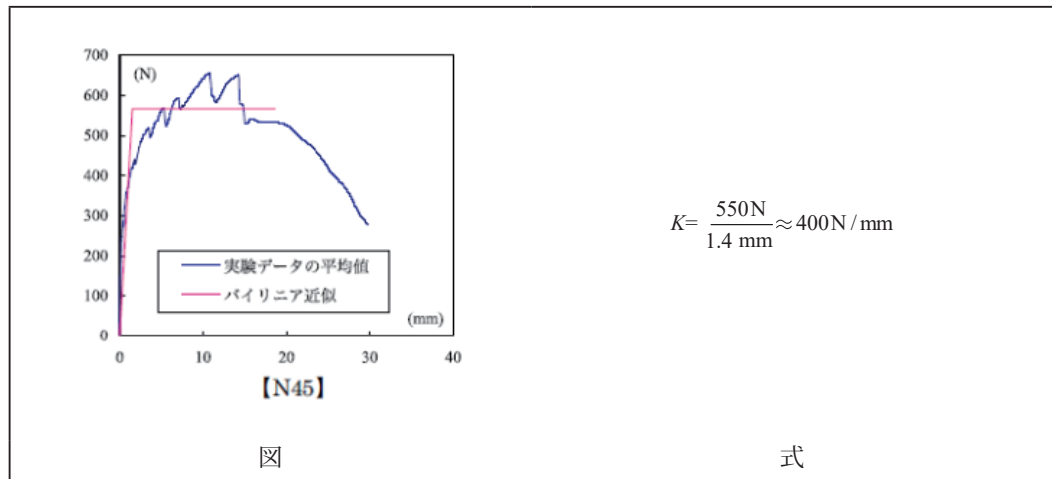
これより、棟木両側にある野地板による回転剛性  $K_{ob}$  を求めると、

$$K_{\theta r} = \frac{2(Q_b l' + 2M_b)}{\theta_r} \dots\dots\dots (式 11)$$

$$= \frac{7}{96} \bar{K}_n l'^3 \cos^2 \phi$$

となり、 $\hat{k}_n = 400\text{kN/m}$  (N45, 図, 式) を代入すると、

$$K_{\theta r} = 338 \text{ kNm/rad} \dots\dots\dots (式 12)$$



野地板と棟木端部の位置関係は様々にあり得るが、図 14 のような位置関係にある野地板が 3 列ほどあるとすれば、 $3K_{ob} = 1015\text{kNm/rad} > K_{\theta r}$  であり、垂木の軸方向抵抗のみの場合より、棟木の回転を半分以下に抑えられるため、野地板の曲げせん断抵抗の寄与は大きいと言える。

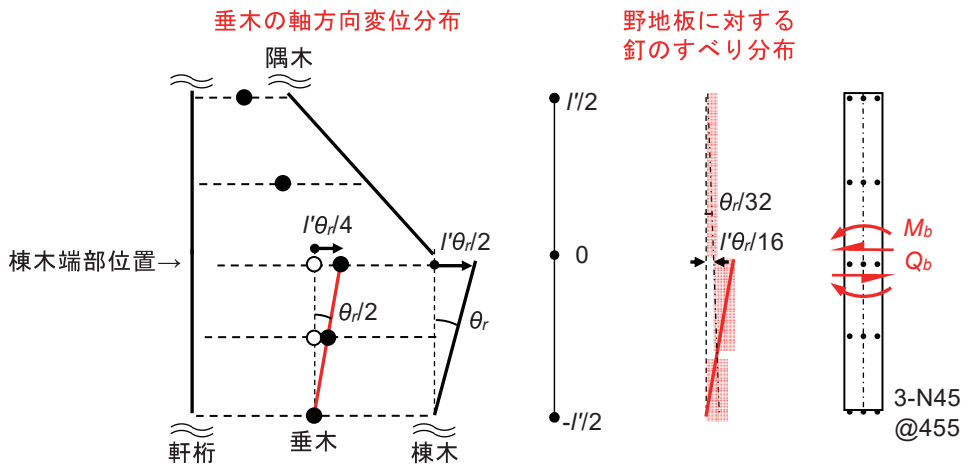


図 14 棟木の回転抵抗における野地板の曲げせん断抵抗の寄与

なお、図 10 に示した通り、立体トラス抵抗によって棟木に生じるモーメント  $M_r$  の最大値は、隅木接合部の耐力で決まる場合、 $l'$  に比例するが、垂木の軸方向抵抗による棟木の抵抗モーメントの最大値は  $l'^2$  に比例する。したがって、 $l' =$  小のときは野地板の曲げせん断抵抗にも期待する必要がある一方、 $l' =$  大になると、垂木の軸方向抵抗のみでも賄えるようになる。

## 文献

- 1) 伝統的構法の設計法作成及び性能検証実験検討委員会：平成 23 年度事業報告書
- 2) (公財) 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（2017 年版），2017 年 3 月
- 3) 土屋登喜彦，村上雅英，稲山正弘，岩崎敏之：在来軸組工法木造住宅の構造設計手法の開発 その 11 切妻屋根の水平力の流れに関する実験的研究 -2（切妻屋根の剛性マトリクス），日本建築学会大会学術講演梗概集，C-1 分冊，pp.199-200, 1998 年 7 月
- 4) 日本建築学会，丸善：木質構造接合部設計マニュアル，2009 年 11 月
- 5) 日本建築防災協会：2012 年改訂版木造住宅の耐震診断と補強方法 指針と解説編，2012 年 6 月
- 6) 建築技術：木造住宅の構造設計 [ 改正基準法と品確法 ] 別冊 6, 2001 年 3 月
- 7) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS11 木工事，2005 年 11 月
- 8) 清水秀丸，向坊恭介，堀川恵巳子，槌本敬大，河合直人，大橋好光：実大震動台実験による伝統的な木造建物の耐震性能検証に関する研究 - 部材断面がやや小さい都市近郊型試験体の震動台実験結果 -，日本建築学会構造系論文集，第 663 号，pp.943-950, 2011 年 5 月