

## 報 文

構造用合板貼り耐力壁の剪断性状  
に関する一考察東京職業訓練短期大学校 建築科 西森 進  
情報処理科 李 成一The Shear Characteristic of Sheathed Wall under Statically  
Horizontal Loading

Susumu Nishimori, Sung Il Rhee

**要 約** 木質構造における面材(構造用合板、シーキングボード、石膏ボードなど)を貼った耐力壁は地震、風などの水平力に対する抵抗要素である。この面材貼り耐力壁を合理的に用いているのが枠組壁工法(2×4工法)である。この耐力壁の構成は枠組を構成する枠材とこれに釘打ちされた面材から成り立っている。剪断耐力はこの壁の力学的性状如何に関わっている。本論文は、枠組壁工法耐力壁の構造用合板と枠材の相対すべりに着目して2次元有限要素法による弾性解析結果と静的載荷実験結果を比較検討したものである。これらから、釘の剛性が及ぼす耐力壁の剪断性状について次のような結果を得た。

(1)実験で求める加力初期の枠材と面材の相対すべり、相対すべり比(上下枠の相対すべりに対する縦枠の相対すべりの比)は解析で求める値に比較して低い値を示す。(2)枠組みと面材の方の釣り合いは釘を介して力の授受が行われ枠組みは枠組み内で、面材は面材内でそれぞれ力の釣り合いを保つ。(3)実験的に求める耐力壁の剪断変形角1/300rad時の剪断力は釘一面剪断試験より得られる相対すべり0.38mm時の剛性から求めた解析結果と極めて良い一致をみた。

## I はじめに

最近、建築基準法が改正されたことにより準防火地域でも枠組壁工法による3階建木造建築物が容易に建てられるようになった。

枠組壁工法は面材を枠材に釘で接合した床、壁、小屋などで構成されており、水平力による剪断力は枠材、面材、釘で負担するところに特徴がある。このような、木質構造物に地震や風のような水平力が作用すると、それぞれの構成部材に剪断力が生じ、枠材と面材間に相対すべりが生じることが知られている<sup>(1)</sup>。この相対すべりは剪断力と剪断変形角に密接な関係があり、これらの関係を明らかにする必要があると考えられる。

こうした問題に対して、従来から多くの実験的研究<sup>(2), (3), (4)</sup>が行われており、筆者らも枠材と面材の相対すべりを実験的に求め、特に、初期の相対すべりについて検討している<sup>(5), (6), (7)</sup>。しかし、実験的な方法は釘の本数や

合板の大きさ等、構造を構成する部材の違いに応じた実験を行う必要があり、多大な時間と労力を必要とする。加えて、測定の困難さとその精度にも問題点があると考えられる。一方、実験的研究と並行して理論的研究も報告されており、Tuomiらは面材4隅の釘接合部における枠材と面材の相対すべりのベクトル方向が面材の形状によって決定されると仮定し<sup>(8)</sup>、剪断力と剪断変形角の関係を理論的に求めている。また、Easleyらは剪断力と剪断変形角の関係を示し<sup>(9)</sup>、上枠における鉛直方向の相対すべりについて示している。さらに、野口<sup>(10), (11)</sup>は非線形有限要素法解析により、剪断力と剪断変形角の関係を求め、数値的に、数個所の枠材と面材の相対すべりを示している。しかし、これら一連の理論的研究は部分的な相対すべりについて検討しているものの、枠材と面材の全接合部についての議論はなされていない。本論文は、許容耐力決定の基準となる剪断変形角1/300radにおけるすべての枠材、面材の接合部の相対すべりについて注目し、その剪断性状を明らかにすることを目的としたもので、接合部における釘の剛性を変化させた2次元有限要素法解析により、

剪断力、相対すべり及び相対すべり比を求め、解析モデルに対応する静的載荷実験から得た実験値と比較検討し、解析条件とその結果の妥当性及び問題点について言及しようとするものである。

## II 解析

### 1. 解析モデル

解析の対象は枠組壁工法による構造用合板(182cm×91cm,  $T=0.9$ cm) 2枚を枠材(3.8cm×8.9cm)に釘打ちした耐力壁である。解析では、枠材の剪断変形に対し構造用合板が各々独立して挙動するものと仮定し、解析上の負荷を考慮し、図2.1に示すような構造用合板1枚貼り耐力

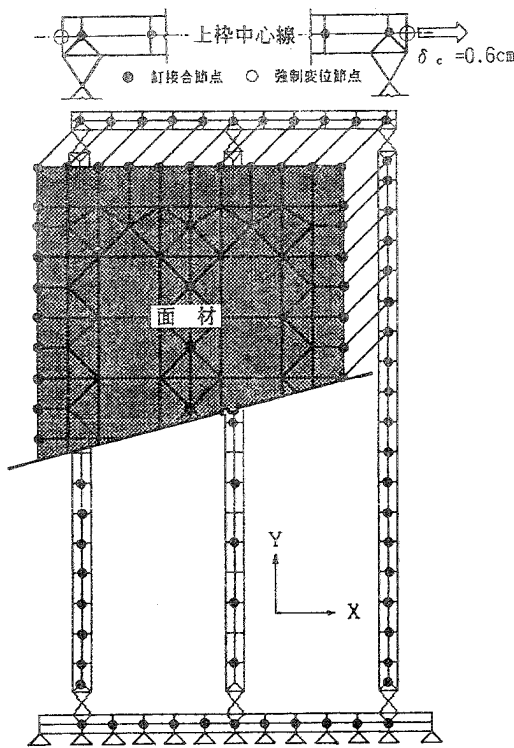


図 2.1 解析モデル

壁モデルとして取り扱った。この耐力壁の釘打ち間隔は縦枠が9cm、上下枠が8.9cm、中間枠が18cmである。したがって、面材一枚当たりの釘の本数は縦枠42本、上下枠22本、中間枠11本である。

### 2. 解析モデルの仮定

2.1 面材：面材は図2.2に示すような面要素とし、釘接合点を配慮した分割(要素数は198、節点数は165)である。縦弾性係数  $[E_w]$  及びポアソン比  $[\nu_w]$  は構造用合板の引張試験(繊維方向に対して45°)により求め、そ

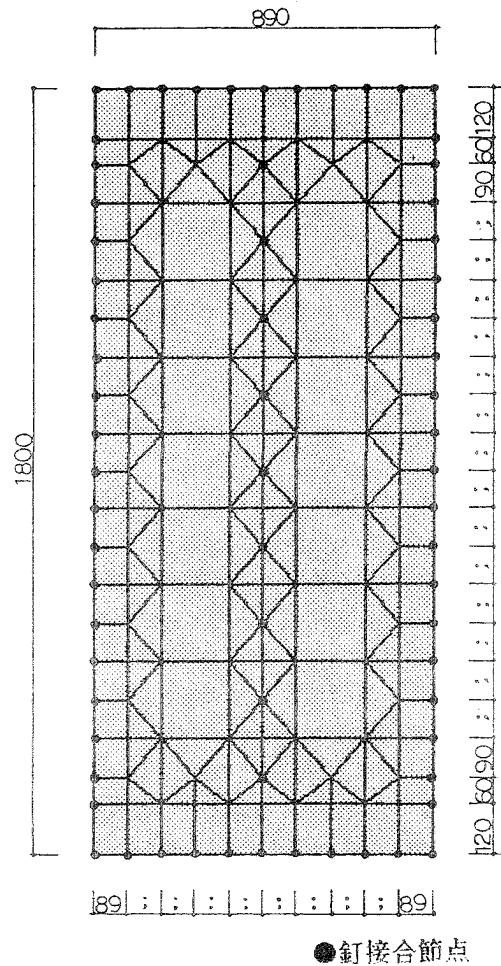


図 2.2 面材の要素 (寸法単位: mm)

れぞれの値を  $E_w=1,257 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $\nu_w=0.7265$  とした。また、材厚  $[T_w]$  は構造用合板の厚さと同値の  $T_w=0.9$  cmとした。

2.2 枠材：枠組みは図2.3に示すように枠材を組み合わせて構成され、水平力に対し理想的に剪断変形するように枠材相互の接合部(4ヶ所)をピン接合とし、更に枠材が曲げ変形を生じないよう配慮し、縦弾性係数  $[E_f]$ 、ポアソン比  $[\nu_f]$ 、材厚  $[T_f]$  をそれぞれ  $E_f=2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $\nu_f=0.333$ ,  $T_f=100$  cmとした。枠組みを構成する枠材は面要素とし、面材の釘接合点と枠材のそれを一致させた分割(要素数は180、節点数は259)とした。

2.3 釘接合：図2.1に示すように枠材と面材が釘で接合されている。この接合要素は図2.4に示すような長さのないバネで、X、Y両方向に力と変位を授受するものとし、このバネ要素の総数を69とした。また、このバネの剛性  $[K]$  はX、Y両方向同値とし、10種類(Kの値は2000kgf/cm, 1500kgf/cm, 1000kgf/cm, 750kgf/cm, 500

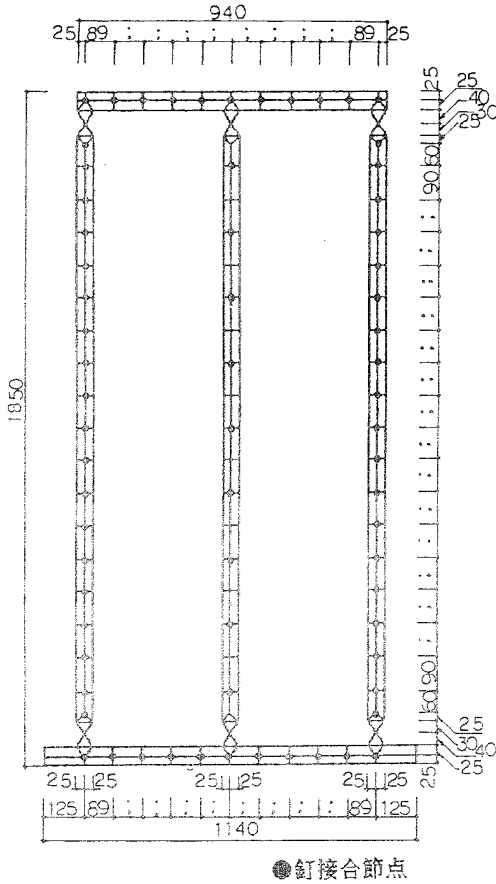


図 2.3 枠組みの要素 (寸法単位: mm)

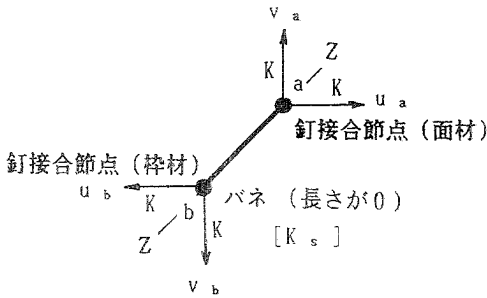


図 2.4 釘接合要素

kgf/cm, 300kgf/cm, 100kgf/cm, 75kgf/cm, 50kgf/cm, 30kgf/cm) とした。

### 3. 拘束条件と変形条件

拘束条件と変形条件は図 2. 1 に示すように下枠下端 13 節点を固定し剪断変形角が  $1/300\text{rad}$  になるように上枠中心線上の両端 2 節点を水平方向に 0.6cm 強制変形させ

た。

### 4. 解析の理論

解析は有限要素法による 2 次元弾性解析であり、枠材と面材は 3 角形要素 (図 2. 2 に示されている四角形はこの節点の内の 3 節点を選ぶ組み合わせとする 3 角形要素として取扱った。) とし、釘接合はバネ要素とした。これらの剛性マトリクスは

$$[K_e] = \int [B]^T [D] [B] dV \dots\dots\dots(1)$$

であり、 $[K_e]$  は枠材と面材の要素剛性マトリクス、

$[B]$  は要素の形状と節点座標で定まるマトリクス、

$[D]$  は応力とひずみの関係を示したマトリクスである。

また、バネ要素の剛性マトリクス  $[K_s]$  は

$$[K_s] = \begin{bmatrix} K & 0 & K & 0 \\ 0 & K & 0 & K \\ K & 0 & K & 0 \\ 0 & K & 0 & K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_a \\ v_a \\ u_b \\ v_b \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2)$$

と書くことができる。ここで  $K$  はバネの剛性  $u_a, v_a, u_b$  及び  $v_b$  は  $u, v$  が X 方向、Y 方向の変位を示し、添字の  $a, b$  が節点を示す。

これらの要素剛性マトリクスの重ね合わせにより全体の剛性マトリクスを作り、釣り合い方程式

$$[K] \{U\} = \{F\} \dots\dots\dots(3)$$

から目的とする変位または力を得る。但し、 $[K]$  は全体の剛性マトリクス、 $\{U\}$  は全体の変位ベクトル及び  $\{F\}$  は全体の荷重ベクトルを示している。

### III 静的載荷実験

解析結果の妥当性を検討するために静的載荷実験を行った。

#### 1. 試験体及び試験方法

試験体は枠材を米ツガ、面材を構造用合板とし、枠材に面材を釘打ち (CN50) したものであり、試験体数は試験体名 T210\_10\_1 と T210\_10\_2 の 2 体である。試験装置は図 3. 1 に示すように枠材を鋼材で挟みつけ、接合部をピン接合とした耐力壁の試験装置である。このように、試験体及び試験方法は解析モデルとその仮定及び解析条件を満足するよう配慮した。

なお、耐力壁の剪断試験終了後、この枠材と面材から釘一面剪断試験と構造用合板の引張試験 (繊維方向に対し  $45^\circ$ ) を行っている。

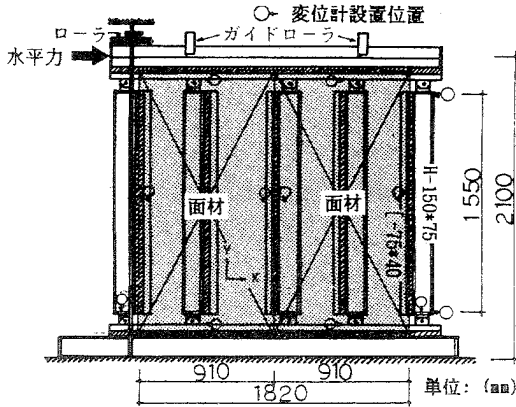


図 3.1 試験装置

IV 解析結果と実験結果及びその比較検討

1. 解析結果

図 4.1 ~ 図 4.4 には釘接合点の相対すべりが示してある。図 4.1 には上下枠 X 方向、図 4.2 には上下枠 Y 方向、図 4.3 には縦枠 X 方向及び図 4.4 には縦枠 Y 方向の相対すべりの分布を示した。なお、図中の網掛け部分は相対すべり 0.3mm 以内の範囲が示してある。これらの図から、図 4.2 及び図 4.3 に示す各々の釘接合点の相対すべりは中心位置にある釘接合点に対して点対称であり、図 4.1 及び図 4.4 に示す各々の釘接合点の相対すべりは中心位置にある釘接合点を通る中心線 (CL) に対して対称であ

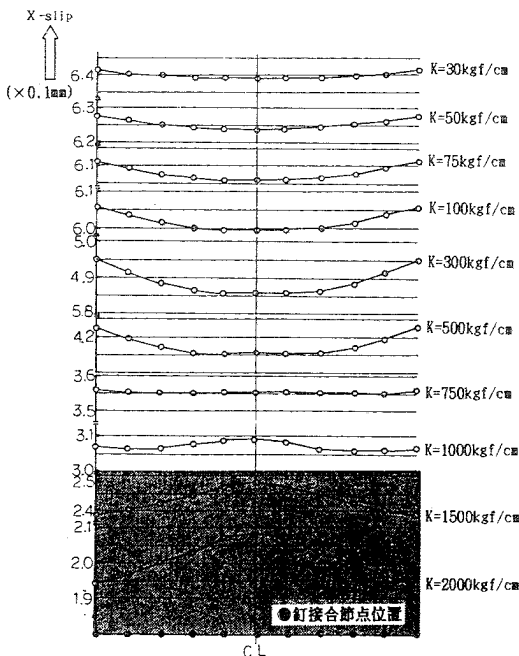


図 4.1 上下枠の X 方向の相対すべり (解析結果)

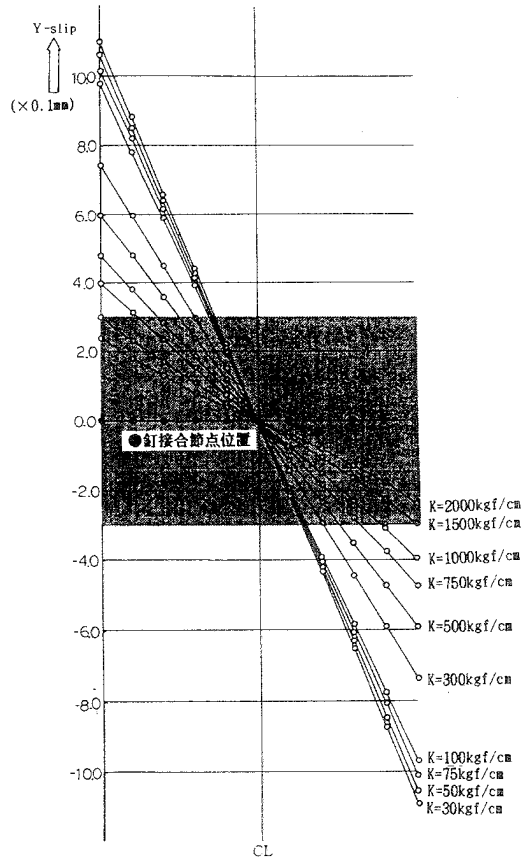


図 4.2 上下枠の Y 方向の相対すべり (解析結果)

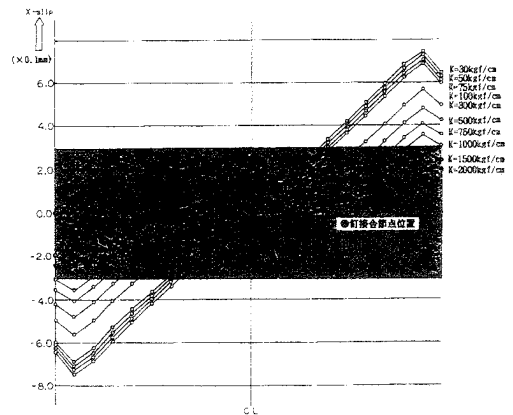


図 4.3 縦枠の X 方向の相対すべり (解析結果)

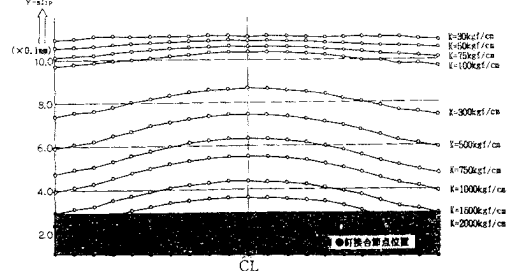


図 4.4 縦枠の Y 方向の相対すべり (解析結果)

ることがわかる。また、釘の剪断剛性の高いものは中心位置にある相対すべりが大きく(図4.1, 図4.4)、相対すべり分布が曲線を示している(図4.1~図4.4)。なお、図4.3の折れ曲がりには枠材相互の接合部がピン接合であるための影響であると考えられる。

図4.5に剪断力、相対すべり比(面材各辺の中心位置における上下枠の相対すべりに対する縦枠の相対すべりの比)と釘の剪断剛性(パネの剛性)の関係を示した。また、図中に釘の剪断剛性1500kgf/cmに対する剪断力(660kgf)と相対すべり比(1.77)が示してある。

図4.6~図4.8に釘の剪断剛性1500kgf/cmに対する主応力、相対すべり、面材・枠組みの応力中心距離と力の釣り合いを示した。図4.6は枠材の主応力ベクトルが軸方向力のみであること、面材のそれは面材の中心点に対し点対称(圧縮主応力ベクトルと引張主応力ベクトルが対応する)であることを示している。図4.7には面材端部の釘接点における相対すべりとその4隅の値を示した。図4.8には力の釣り合いを示し、その釣り合い状態は枠組みは枠組み内で、面材は面材内で釣り合っていることを示している。また、図中には応力中心距離とX, Y方向の合力の大きさと力の作用線の位置が示してある。この合力の作用線位置が面材では面材の中心から等距離であり、枠材では拘束接点位置の水平反力に対し強制変形を作用させた位置に対応して存在することがわかる。

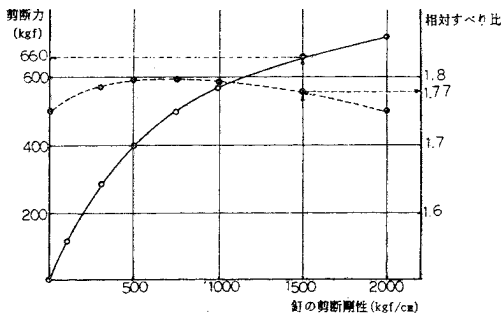


図4.5 剪断力・相対すべり比と釘の剪断剛性 (1/300rad解析結果)

2. 実験結果

図4.9に単調漸増載荷時の剪断力と剪断変形角の関係を示した。ここで示す剪断力は水平力を面材一枚当たりに換算した値(水平力×0.5)である。この図から2本の直線による対数近似が試験結果と良好な一致を示していることがわかる。また、この近似に基づき、剪断変形角1/300radに対応する剪断力の値(631kgf, 643kgf)を算出し、図中に示した。

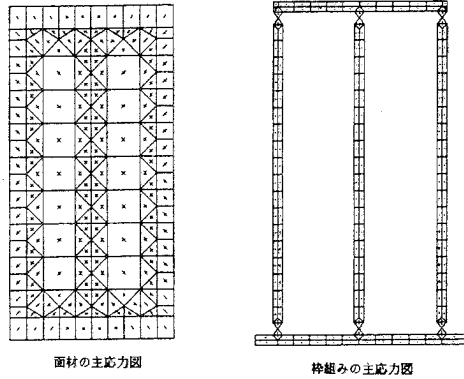


図4.6 主応力図(解析結果, K=1500kgf/cm)

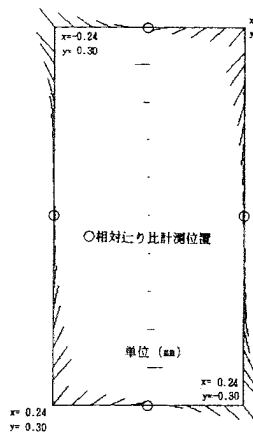


図4.7 枠材と面材の相対すべり (解析結果, K=1500kgf/cm)

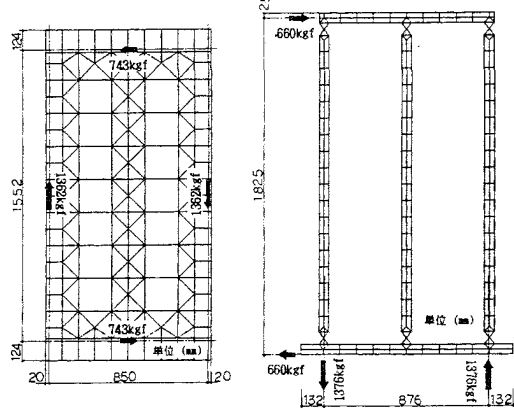


図4.8 枠材と面材の力の釣り合い (解析結果, K=1500kgf/cm)

表4.1に計測結果より得た剪断変形角約1/100radまでの相対すべりと相対すべり比を示した。相対すべりは図3.1の変位計位置(面材の各辺の中心位置)におけるX(水平), Y(鉛直)両方向、それぞれ4ヵ所の絶対値の平均である。表中のx-slipはX方向の相対すべりを示

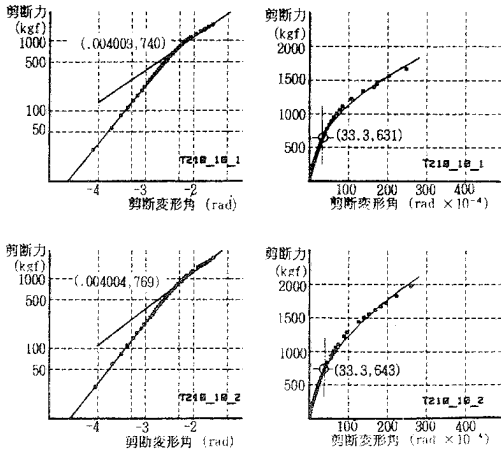


図 4.9 剪断力と剪断変形角 (実験結果)

表 4.1 剪断変形角と相対すべり・相対すべり比 (実験結果)

T210-10-1				T210-10-2			
剪断変形角 (rad×10 <sup>-4</sup> )	相対すべり比 ( - )	x-slip (mm)	y-slip (mm)	剪断変形角 (rad×10 <sup>-4</sup> )	相対すべり比 ( - )	x-slip (mm)	y-slip (mm)
10.9	.64	.025	.016	10.9	.17	.026	.004
15.2	.83	.042	.035	15.3	.19	.044	.008
20.0	.91	.063	.057	19.6	.40	.069	.024
25.2	1.00	.099	.098	25.2	.53	.094	.050
29.0	1.07	.126	.135	31.4	.71	.131	.093
36.9	1.15	.195	.224	35.1	.83	.161	.134
41.5	1.21	.236	.286	39.2	.75	.196	.149
57.6	1.36	.420	.573	56.4	.86	.436	.375
109.0	1.67	1.200	2.000	97.6	1.25	1.120	1.400

し、y-slipはY方向の相対すべりを示している。これによると、剪断変形角1/300radに対するX、Y方向の相対すべりは0.12mm~0.18mm、相対すべり比は0.9~1.0であり、相対すべり比は剪断変形角の増加とともに増加することがわかる。

図 4.10に2試験体の相対すべり比と剪断変形角の関係を示した。この図から相対すべり比は剪断変形角の増

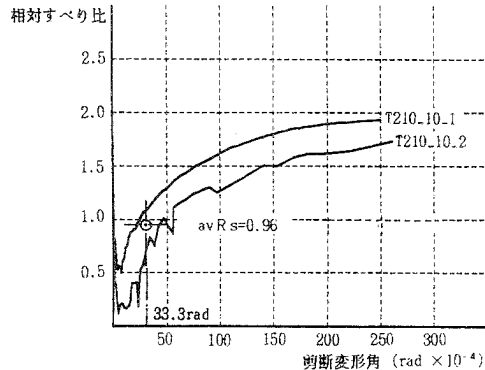


図 4.10 相対すべり比と剪断変形角 (実験結果)

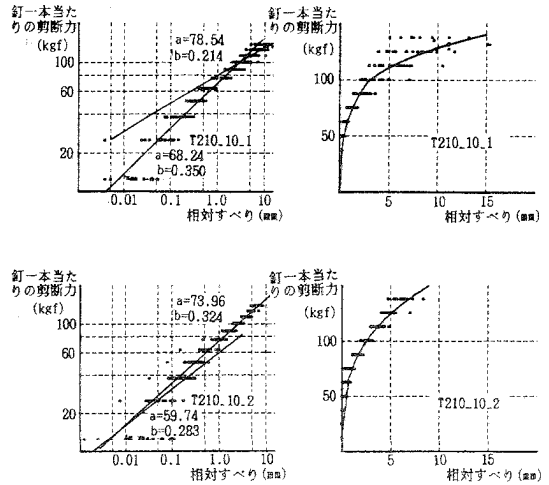


図 4.11 釘一本当たりの剪断力と相対すべり (実験結果)

加とともに増加するが、剪断変形角が1/40rad程度になると1.7~1.9の値に漸近することがわかる。また、剪断変形角1/300radに対する平均相対すべり比[avRs]の値(avRs = 0.96)を図中に示した。

図 4.11に釘一面剪断試験結果より得られた釘一本当たりの剪断力 [P] と相対すべり [δ] の関係を示した。図中に対数近似による直線の係数 [a] と定数 [b] の値を示した。この係数 [a] と定数 [b] により推定曲線 (P = a×δ<sup>b</sup>) を求めると、この推定曲線と実験結果が良好な一致を示していることがわかる。この推定曲線から相対すべり0.1mm~0.4mmまで0.1mm刻みの剛性(2試験体の平均値)を算出すると P<sub>(0.1)</sub> は3279kgf/cm, P<sub>(0.2)</sub> は2069kgf/cm, P<sub>(0.3)</sub> は1581kgf/cm, P<sub>(0.4)</sub> は1306kgf/cmである。但し、添字は相対すべりを示す。

### 3. 比較検討

実験により求めた耐力壁の剪断変形角1/300radに対する剪断力、相対すべり比及び相対すべりはそれぞれ637kgf (図 4.9, 2試験体の平均値), 0.96 (図 4.10) 及び0.12mm~0.18mm (表 4.1) である。これに対し釘の剪断剛性を1500kgf/cmとする解析結果では剪断力、相対すべり比及び相対すべりはそれぞれ660kgf, 1.77 (図 4.5) 及びX方向の相対すべり0.248mm (図 4.1), Y方向の相対すべり 0.439mm (図 4.4) である。このことから相対すべり及び相対すべり比の値がかなり相違していることがわかる。この原因は本解析が弾性解析であり、特に、釘の剪断剛性変化の激しいところでの解析であったためと考えられる。

## V 考察

静的荷重実験では、枠材を鋼材で挟み付け曲げ変形を防ぎ、鋼材相互の接合部をピン接合とし、更に、タイロッドで浮き上がりを防ぐ配慮がなされているが、試験体の形状・寸法から受ける鋼材寸法の制約、ピン接合部のクリアランス及び剪断変形に伴う高さ方向の減少等、試験装置自体が有する特性がある。また、計測面でも計測位置の制約、計測系の精度、剪断変形に伴う計測誤差等があり、計測上の問題点もある。これに対して、解析では、解析条件の設定により剪断変形を理想化でき、数値的に結果を得ることができる。本解析でも、枠材に作用する主応力は軸方向力が卓越していること、固定接点の反力に対し強制変形作用線上に同値の水平力が生じること、相対すべりが面材の中心点に対して点対称であること及び力の釣り合いが枠組みは枠組み内で、面材は面材内で釣り合っていること等釘の剪断剛性に及ぼす剪断性状が明確に看取でき、想定した解析条件を満足している。

本解析方法で剪断力を求める場合には、釘の剪断剛性が必要である。このためには本研究結果から解析結果と実験結果の関係づけをしておく必要がある。この関係づけは実験で得られた剪断力(637kgf)と解析で得られた剪断力を対応させ、この剪断力から得られる釘の剪断剛性(図4.5, 1380kgf/cm)と図4.11の推定曲線から得られる相対すべり値(0.38mm)の対応である。解析結果と実験結果の関係づけがなされることで、釘の剪断剛性を釘一面剪断試験結果に基づき求め、この剛性から剪断力を解析的に求めることができることがわかる。

本解析が弾性解析であることから、相対すべり及び相対すべり比にかなりの相違が生じたが、解析的に剪断力を求める場合にはそれなりの意味がある。

## VI まとめ

III, IV節の結果に基づいて、2次元有限要素法による弾性解析による剪断変形角 $1/300\text{rad}$ に対する剪断性状についてまとめると次のようになる。

- (1) 実験で求める加力初期の相対すべり、相対すべり比は解析で求める値に比較して低い値を示す。
- (2) 枠組みと面材の力の釣り合いは釘を介して力の授受が行われ枠組みは枠組み内で、面材は面材内でそれぞれ力の釣り合いを保つ。
- (3) 実験的に求める耐力壁の剪断変形角 $1/300\text{rad}$ 時の剪断力は釘一面剪断試験より得られる相対すべり $0.38\text{mm}$ 時の剛性から求めた解析結果と極めて良い

一致をみた。

今後、更に、相対すべりに着目し、釘の非線形剪断性状を考慮した解析モデル、解析方法を提案し、耐力壁の剪断性状を明らかにしていく予定である。

## 謝辞

本報告の解析に際し、解析プログラムとこれに関する御助言を戴いた東京工業大学 助教授 林 静雄 博士ならびに本校校長 黒正清治 博士に深く感謝致します。

## 参考文献

- (1) 杉山英男, 徳田迪夫: 複数の合板を釘打ち張りした壁がせん断力を受けたときの合板・枠材の相対的動き 木材学会誌, Vol.31, No.12, P.1004~1014 (1985)
- (2) 杉山英男, 鈴木秀三: 枠組壁工法を用いた耐力壁のせん断性状に及ぼす試験方法・シーシング材・釘打ちの影響に関する実験的研究(第1報), 日本建築学会論文報告集, 第232号, 1975年6月
- (3) 石山裕二: 枠組壁工法による耐力壁の面内せん断試験の考察, 日本建築学会学術講演梗概, 1975年10月
- (4) 徳田迪夫, 海老原 徹, 大熊幹彦, 鈴木秀三, 杉山英男: パーティクルボード張り耐力壁の剪断性状, 木材工業, Vol.31-2, 1976年
- (5) 西森 進: 合板張り耐力壁の剪断エネルギー, 日本建築学会学術講演梗概(近畿), 昭和60年10月
- (6) 西森 進: 構造用合板張り耐力壁の枠材と面材の相対すべり, 日本建築学会学術講演梗概(関東), 昭和63年10月
- (7) 西森 進: 釘一面剪断に及ぼす釘頭めり込みの影響 日本建築学会学術講演梗概(北海道), 昭和61年8月
- (8) R. L. Tuomi and W. J. McCutcheon: "Racking Strength of Light Frame Nailed Walls", Journal of Structural Division, ASCE, 1978
- (9) John T. Easley, M. ASCE, Mehdi Foomani, Robert H. Dodds, A. M, ASCE "Formulas for Wood Shear Walls", Journal of Structural Division, ASCE, 2460(1), 1982
- (10) 野口弘行: 有限要素法による木質パネルの剪断性状(弾・塑性)の解析, 日本建築学会学術講演梗概(北海道), 昭和53年9月
- (11) 野口弘行: 有限要素法による木質パネルの剪断性状(弾・塑性)の解析-その2, 日本建築学会学術講演梗概(関東), 昭和54年9月