

## 正負繰り返し負荷を受ける合板釘着張り耐力壁のせん断性能<sup>1</sup>

今西 祐志<sup>2</sup>・佐々木康寿<sup>2</sup>

合板釘着張り耐力壁について一定変位での正負繰り返し加力による疲労試験を行い、せん断荷重と変形との関係を求め、繰り返し変形量および繰り返し数と耐力との関連について考察した。正負繰り返し加力による疲労試験では、繰り返し数の増加にともなってせん断荷重のピーク値は対数的に低下し、大きな繰り返し変形を与えた方がより大きく低下した。残留変形は、繰り返し変形量に関係なく繰り返し 50 回あたりまでは増加し、その後減少に転じ、大きな繰り返し変形を与えた方がより急激に減少した。疲労試験により得られたせん断荷重一見かけのせん断変形角曲線から求めた吸収エネルギーは、繰り返し数の増大とともに減少し、とくに繰り返し 3 回程度で激減した。疲労試験後の単調増加加力試験では、より大きな繰り返し変形履歴をもった壁体の方が性能の低下が大きいたことが明らかとなった。また壁倍率については、繰り返し変形量が $\pm 1/300$  rad の場合には 1.95、繰り返し変形量が $\pm 1/120$  rad の場合には 0.738 であり、前者は後者の約 2.6 倍であった。

キーワード: 正負繰り返し加力, 耐力壁, せん断性能, 繰り返し変形量, 繰り返し数

### 1. はじめに

木質構造の実験的・理論的研究の発展により、今日では構成材料や接合部の力学的情報から構造要素の非線形挙動や耐力を予測することが可能である。面材釘着張り耐力壁に関しては、例えば、Tuomi の線形理論 (Tuomi and McCutcheon 1978) をもとに、釘着接合部の非線形挙動や面材の剛性を用いた木質耐力壁の非線形強度解析に関して理論誘導が行われ、その妥当性が検証された (神谷 1981; Itani and Obregon 1984)。この理論によるせん断耐力の計算法は、後にいくつかの解析上の仮定を導入することにより簡略化され、その仮定の有効性が検討された (杉山・松本 1993a, b)。また、杵材の 2 次元半剛節骨組構造解析と面材の 2 次元半剛節平面構造解析の結果の受け渡しを釘点を介して繰り返し行って値を取れんさせていく方法により、せん断荷重と変位との非線形関係が終局耐力に至るまで正確に予測された (秦・佐々木 1987)。このように、木質耐力壁が一方に静的な力を受ける場合についての研究はこれらの他にも数多くなされており、その非線形挙動の予測が可能となっている。

一方、木質耐力壁が繰り返し荷重を受ける場合の研究例は、一方に静的荷重の場合のそれに比べると非常に少ない。繰り返し荷重下での木質耐力壁の荷重-変形関係は著しいヒステリシス曲線を描く複雑なものとなるが、木質耐力壁の動的 (振動) 特性を捉えるためにはそのヒステリシス特性を知る必要がある。そこで実大の木質耐力壁に関する正負繰り返し加力試験から得たヒステリシス曲線に対し、これをできるだけ忠実にトレースし得るモデルが作成され、振動解析に用いられた。例えば、バイリニヤ型とスリップ

型のモデルを加え合わせた振動モデルが提案され、これと実験により得られる情報とを結びつけた解析結果と実験値との適合性が検討された (大橋・坂本 1985)。また、木質耐力壁の疲労を考慮に入れたヒステリシスモデルが考案され、それによる応答解析と実験の結果の良好な適合性が示され (神谷 1988)、その他にも様々な方法でモデル化が試みられた (Doran 1990; 富田・宮沢 1994; Deam and King 1994)。しかし、木質耐力壁のヒステリシス特性は接合部のそれに起因するところが大きく、材料や接合金物の種類、接合方法が変わればヒステリシスの型や変形の具合が変化するので、理想的には、接合部のヒステリシス曲線から解析的に耐力壁のそれを予測できることが望ましい。これについて、実験から得た釘接合部のヒステリシス曲線をモデル化し、それにより木質耐力壁のヒステリシス曲線を計算した研究が報告された (神谷 1989; 杉山・井上 1996a, b)。釘接合以外の接合部についても、そのヒステリシス性状を捉えた実験結果がいくつか報告されており (例えば、神谷・杉本 1993)、さらに釘接合部について、残留変形を考慮した木材のめり込み性状と釘の弾塑性性状から、接合部のヒステリシス性状を理論的に解析しようとする研究が始められている (若島・平井 1993a, b)。このように、木質耐力壁の動的性状や履歴特性に関して様々な研究が進められている中で、一定変位での多数回の繰り返し加力過程における木質耐力壁の疲労特性に関する研究が行われた例もあるが (徳田 1986)、そのような研究例はごくわずかである。

そこで、この研究は木質耐力壁のヒステリシス性状の解析のための予備的研究として位置づけ、繰り返し負荷を受ける木質耐力壁の履歴挙動および繰り返しによる耐力低下に関する資料を得る目的で、合板釘着張り耐力壁のラッキ

<sup>1</sup>本研究の一部は第 47 回日本木材学会大会 (1997 年 4 月, 高知) で発表した。

<sup>2</sup>名古屋大学農学部 生物材料工学研究室

Laboratory of Bio-material Engineering, School of Agricultural Sciences, Nagoya University, Nagoya 464-8601, Japan.

(受理: 1997 年 11 月 18 日)

ング試験を、一定変位を 1000 回与える正負繰り返し加力により行い、得られたせん断荷重と変形との関係をもとに繰り返し変形量および繰り返し数と耐力との関連について考察した。

## 2. 実 験

### 2.1 試験体

図-1 に示すように、試験体の軸組寸法は 2440×1820 mm で、柱、土台および桁には断面 105×105 mm の JAS 構造用 1 級集成材（スプルース、5 層）を用いた。この集成材の比重は 0.46 で、試験時含水率は 8.9% であった。面材用の合板は厚さ 9 mm（5 プライ）の構造用合板 1 級で、寸法は 2430×910 mm である。この合板の比重は 0.63 で、試験時含水率は 11% であった。

柱、土台および桁の接合はほぞ差しのみによって行い、柱と横架材とのセパレーションを防止するような金具等を用いていない。柱間隔は 910 mm で間柱は用いていない。合板は釘 N 50（JIS A 5508）を用いて軸組の片面に止め付けた。釘打ち間隔は 150 mm（またはそれ以下）で、水平および垂直方向の合板における端あきは 25 mm である。釘打ちの際、合板の四隅から内側に向かって順に打ち付けた。したがって、水平方向（合板の短辺）および垂直方向（合板の長辺）に打った釘の本数は、それぞれ 7 本と 17 本である。試験体は 3 体を用意した。

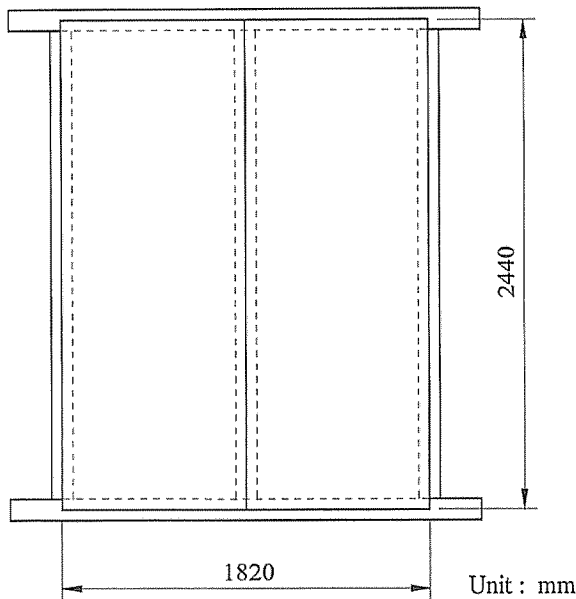


図-1. 試験体の寸法形状  
Fig. 1. Test specimen.

### 2.2 正負繰り返し加力疲労試験

合板釘着張り耐力壁のせん断性能をみるため、JIS A 1414 面内せん断試験 B（タイロッドを用いない方法）に

基づいて試験を行うこととした。

図-2 にせん断試験の方法を示す。使用した試験機は島津製作所製構造物疲労試験機（EHF-JB-20 L）で、鉄骨製門型フレームを有し、その側面に電気油圧式サーボジャッキ（水平動的アクチュエータ）を組み込んだものである。試験体は、試験体桁部を振れ止めで押さえ、試験体土台部を試験機基礎部にアンカーボルトで緊結し、反力フレームに固定した。アンカーボルトはほぼ等間隔に、左右対称の位置に 4 本使用した。

変位スケジュールは、変位制御により以下に定義する見かけのせん断変形角（ $\gamma_1$ ）が  $\pm 1/300$  rad あるいは  $\pm 1/120$  rad の点で折り返す正弦波によるものとした。繰り返し速度は 0.05 Hz（1 cycle/20 sec、最大ストローク速度約 6.3 mm/sec）であり、1000 回の繰り返しを行った。これらの制御には島津製作所製サーボパルス用制御装置 4825 型を用いた。

荷重の測定にはロードセル（容量 10 tonf）を使用し、変位の測定にはひずみゲージ式変位計（東京測器研究所製 DP-500 C および CDP-50、それぞれの感度は  $10 \times 10^{-6}/\text{mm}$  および  $200 \times 10^{-6}/\text{mm}$ ）を用いた。計測にはデータアキュイジションコントローラ（日本電気三栄製 7 V-14）を用い、その制御には GP-IB インターフェイスを介してパーソナルコンピュータを用いた。

これらにより得られた測定値から次式により見かけのせん断変形角（ $\gamma_1$ ）、回転角（ $\gamma_2$ ）、真のせん断変形角（ $\gamma_3$ ）を算出した。

$$\gamma_1 = \frac{H_1 - H_2}{DA}$$

$$\gamma_2 = \frac{V_1 - V_2}{DB}$$

$$\gamma_3 = \gamma_1 - \gamma_2$$

ただし、図-2 に示すように  $H_1$ 、 $H_2$  は水平方向変位、 $V_1$ 、 $V_2$  は垂直方向変位であり、 $DA$ 、 $DB$  はそれぞれ水平・垂直方向の変位測定間距離である。今回の試験では  $DA = 2350$  mm、 $DB = 1820$  mm とした。

### 2.3 単調増加加力試験

正負繰り返し加力による疲労試験を終えた試験体について、単調増加加力によるラッキング試験を行い、壁体のせん断性能を調べた。試験方法および計測方法は先の疲労試験と同じである。加力はストローク速度が 24 mm/min の変位制御で行い、せん断荷重にかなりの低下がみられるところまで加力した。なお、本研究におけるせん断荷重とは実験時にロードセルから得られた荷重（加力値）を試験体の加力方向の壁長（1.82 m）で割った値であり、単位壁長あたりの荷重（kgf/m）である。

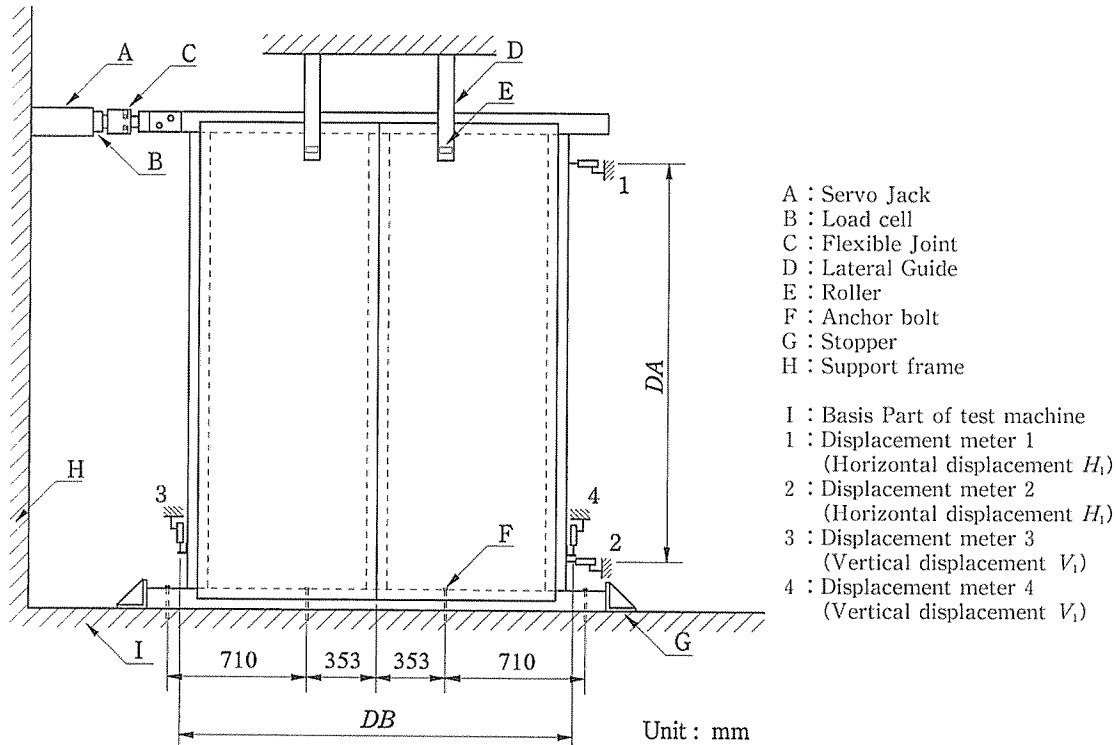


図-2. 試験方法

Fig. 2. Method of racking test.

### 3. 結果と考察

#### 3.1 正負繰り返し加力疲労試験

##### 3.1.1 荷重一変形ループ

3体の試験体のうち、試験体 A 1, A 2 には  $\pm 1/120$  rad, 試験体 B 1 には  $\pm 1/300$  rad の繰り返し変形を与えたが、図-3 はそれぞれ試験体 A 1, B 1 についてのせん断荷重と見かけのせん断変形角の関係曲線（以後、荷重一変形ループと称す）の変化を示したものである。なお、この図では荷重一変形ループは 1000 回の繰り返しのうちの 1, 2, 3, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000 回目のものを示してある。これらの荷重一変形ループは概して図-4 に示すような形状をしている。同図において B~C 間あるいは E~F 間では小さな荷重で簡単に変形が元に戻る（スリップする）が、これは F~A 間あるいは C~D 間で柱と横架材の接合が緩んだり、釘着点で釘が変形するなど、耐力壁に損傷が生じるためである（杉山 1996; 定方 1986）。図-3 の A 1 では繰り返し 2 回目でスリップ成分が大きく出ており、繰り返し数が大きくなるとともにスリップ成分がさらに大きくなり、最終的にはほぼスリップ成分のみの形状となる。それに比べて B 1 の荷重一変形ループは、紡錘形とは言えないがスリップ成分は小さく、繰り返し数が大きくなってもスリップ成分は A 1 ほどには大きくない。このような、より大きな繰り返し変形を与えた方がより多くのスリップ成分を生じるという傾向は、製材一合板の釘接合部についての正負繰り返し試験でも報告されている（神谷ら 1997）。

##### 3.1.2 せん断荷重のピーク値の変化

図-5 は、各試験体の荷重一変形ループから正負のせん断荷重のピーク値（折り返し点でのせん断荷重）を求め、それらの絶対値の平均値を繰り返し数との関係で示したものである。繰り返し数の目盛りは対数でとってあるが、どの試験体においてもせん断荷重のピーク値の大きさは、繰り返し数の増大とともに直線的に減少していく傾向にあった。その勾配は  $\pm 1/120$  rad の変形を与えた場合 (A 1, A 2) の方が大きく、 $\pm 1/300$  rad の変形を与えた場合 (B 1) よりもせん断荷重のピーク値の低下が激しくなっている。そしていずれの試験体でも、せん断荷重のピーク値と繰り返し数との相関はきわめて高く、すべての場合に相関係数は 0.97 を上回った。

処女変形時のせん断荷重のピーク値を 1 とし、繰り返しによるせん断荷重のピーク値の低下の割合を図-6 に示した。1000 回の繰り返しを与えた時点で、 $\pm 1/120$  rad の変形を与えた場合 (A 1, A 2) にはせん断荷重のピーク値の低下は約 70% であるが、 $\pm 1/300$  rad の変形を与えた場合 (B 1) にはせん断荷重のピーク値の低下は約 15% にすぎない。

ここで各試験体の荷重一変形ループから、見かけのせん断変形角が  $1/300$  rad であるときのせん断荷重に着目し、これを求めた結果を図-7 に示す。なお、 $\pm 1/120$  rad の繰り返し変形を与えた場合のせん断荷重は、A 1 と A 2 の結果の平均値を図中に示した。見かけのせん断変形角が  $1/300$  rad の時のせん断荷重は処女変形時には約 210 kgf/m で、

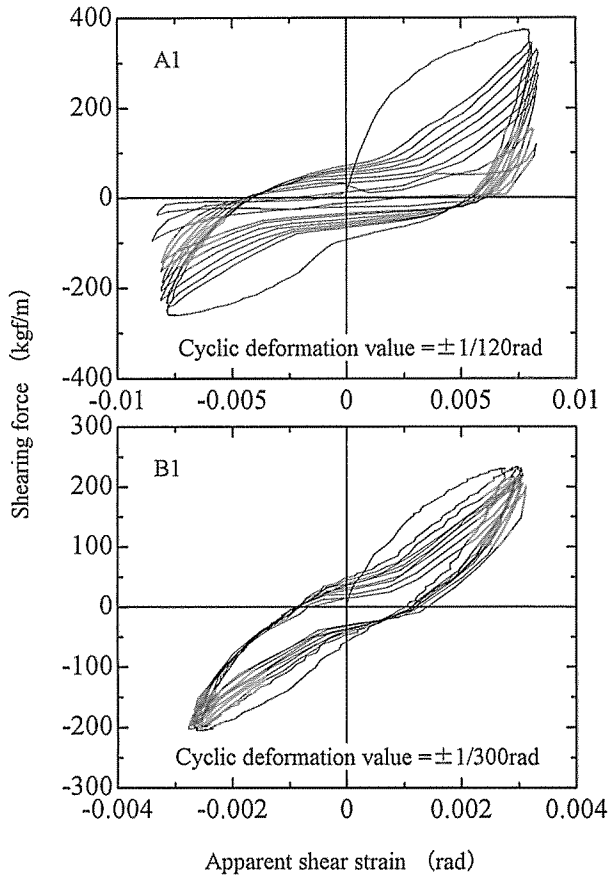


図-3. せん断荷重一見かけのせん断変形角曲線  
 Fig. 3. Relationships between shearing forces and apparent shear strains under fatigue tests.

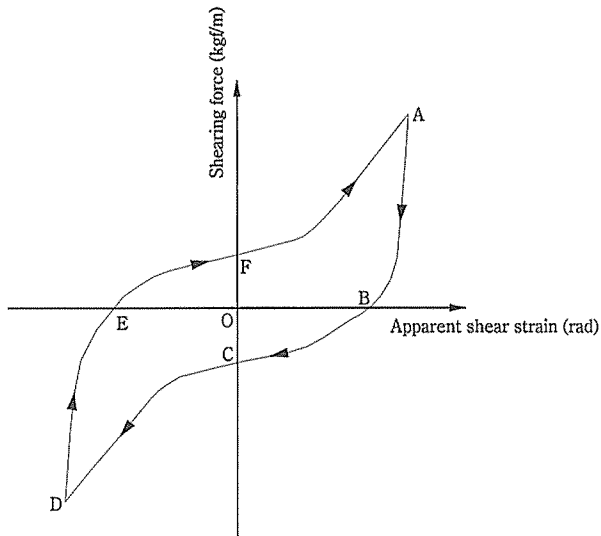


図-4. せん断荷重一見かけのせん断変形角曲線の模式図  
 Fig. 4. Model for relationships between shearing forces and apparent shear strains under fatigue tests.

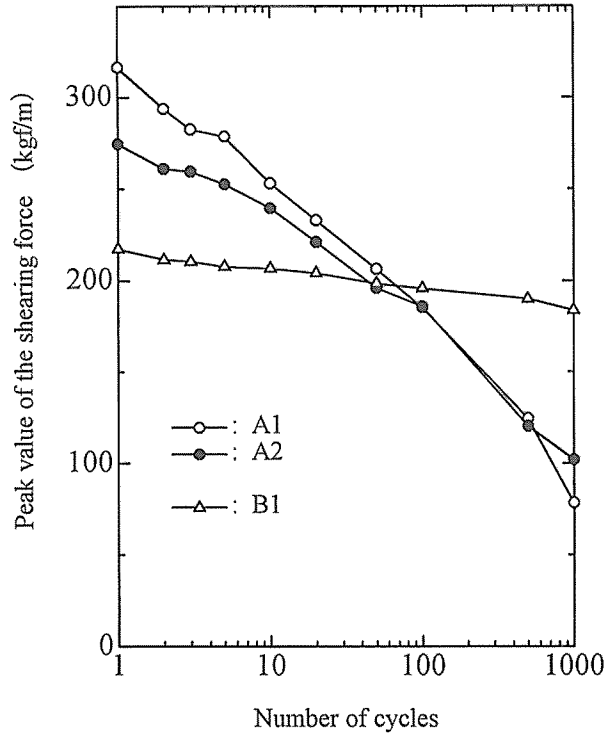


図-5. せん断荷重のピーク値と繰り返し数との関係  
 Fig. 5. Relationships between the peak values of the shearing force and the number of cycles.

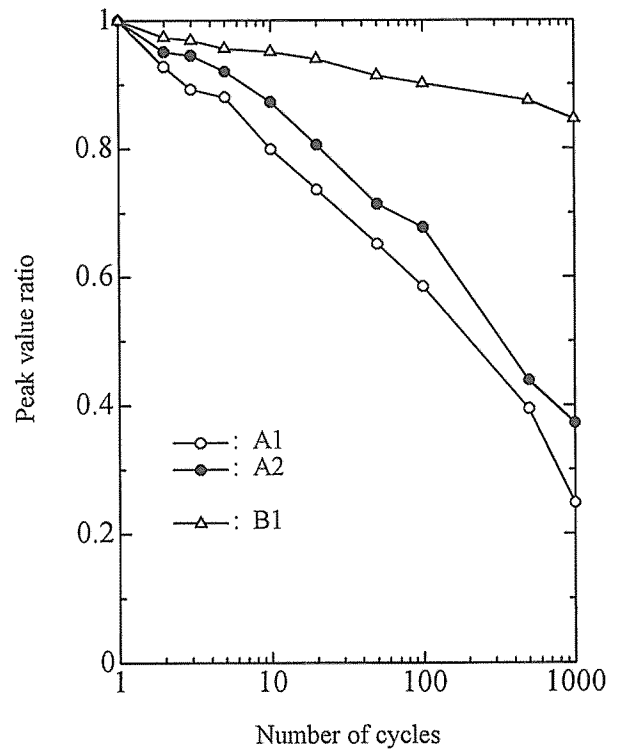


図-6. 繰り返し加力にともなうせん断荷重のピーク値の低下  
 Fig. 6. Decreases of the peak value ratio after cyclings.  
 Note: Peak value ratio = (Peak value after cyclings) / (Peak value in the first cycle)

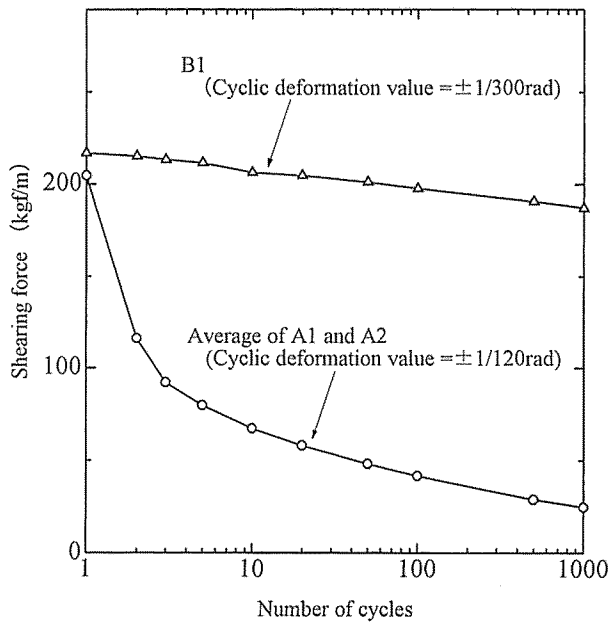


図-7. 見かけのせん断変形角 1/300 rad 時のせん断荷重と繰り返し数との関係

Fig. 7. Relationships between the shearing forces when apparent shear strain was 1/300 rad and the number of cycles.

繰り返し数の増加にともない低下する傾向にある。その低下の様子は繰り返し変形量の大小により大きく異なり、 $\pm 1/120$  rad の繰り返し変形を与えた場合には繰り返し 2 回目ですでに処女変形時の約 57% まで低下し、繰り返し 5 回目で 40% を下回り、繰り返し 1000 回目には約 12% にまで低下している。一方、 $\pm 1/300$  rad の繰り返し変形を与えた場合には、せん断荷重は緩やかに直線的に低下し、繰り返し 1000 回目にも処女変形時の 85% を上回っている。

### 3.1.3 残留変形

図-8 は、繰り返し加力過程において、せん断荷重が 0 となったときにも試験体に生じている見かけのせん断変形角（残留変形）の変化を、試験体に与えた繰り返し変形に対する割合で示したものである。なお、1 つの荷重-変形ループに正負 2 つの残留変形（図-4 における OB および OE）を見ることができるが、この図ではそれらの絶対値を平均して 1 つのループに対する残留変形とした。処女変形時の残留変形の繰り返し変形量に対する割合を見ると、 $\pm 1/120$  rad の変形を与えた場合（A 1, A 2）は約 53% であるが、 $\pm 1/300$  rad の変形を与えた場合（B 1）は約 28% であり、より大きな繰り返し変形を与えた場合の方が、変形が回復しないで残留変形として残る割合が大きいことが分かる。

繰り返し数との関係を見ると、いずれの試験体でも 50 回程度の繰り返しまでは残留変形は増加するが、その後は一転して減少する傾向が見られる。その減少の様子はより大きな繰り返し変形を与えた A 1, A 2 の場合の方が激しく、

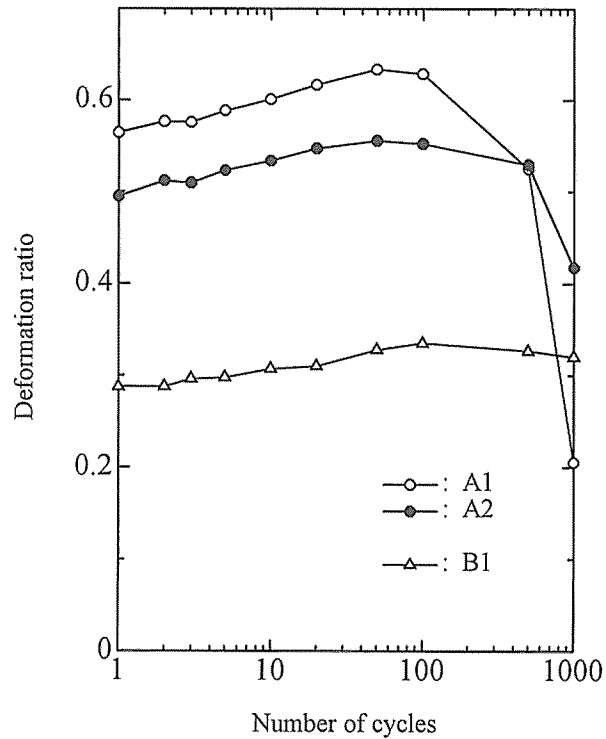


図-8. 繰り返し変形量に対する残留変形の割合と繰り返し数との関係

Fig. 8. Relationships between the deformation ratio and the number of cycles.

Note: Deformation ratio = (Residual deformation after cyclings) / (Cyclic deformation value)

A 1 について見れば、100 回の繰り返しを与えた時点で繰り返し変形量の 60% を越えていた残留変形が、1000 回の繰り返しを与えた時点では約 20% にまで減少する。残留変形が減少する原因としては、枠材と面材とを一体化させている釘が 50 回程度の繰り返し加力の後には引き抜けや破断を生じ、各部材の接合が十分でなくなって、枠材のみに対して繰り返し加力を行っている状態に近づいていくからであると考えられる。写真-1 は繰り返し加力疲労試験の最中に破断した釘の様子である。

処女変形時の残留変形を 1 とした場合の、繰り返しによる残留変形の変化の様子を図-9 に示した。50 回程度の繰り返しまでを見るといずれの試験体でも残留変形が増大しており、処女変形時の残留変形に対する割合はほぼ同じ値となっている。これは、繰り返し変形量の大小に関わらず、繰り返し数の増大にともなう残留変形の増加の割合が同じであることを示している。それ以後の繰り返し数との関係を見ると、どの試験体でも残留変形は減少する傾向にあり、1000 回の繰り返しを与えた時点で、 $\pm 1/120$  rad の変形を与えた場合（A 1, A 2）は処女変形時の残留変形よりも小さくなるが、 $\pm 1/300$  rad の変形を与えた場合（B 1）には約 10% 大きい残留変形を示している。先に、釘着点での釘の引き抜けや破断が原因となって残留変形が減少しはじめる

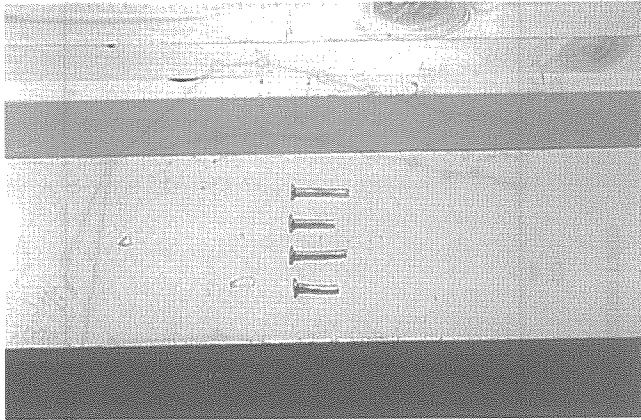


写真-1. 釘の破断  
Photo 1. Breaking-off failure of the nail.

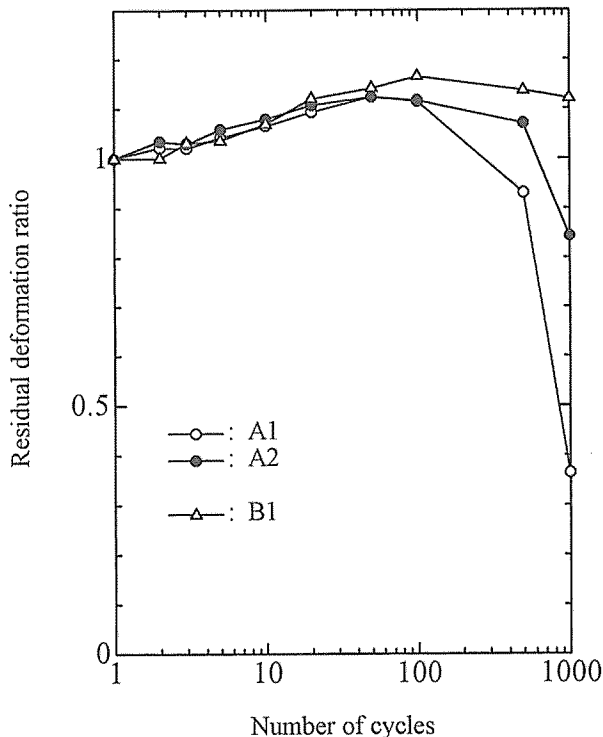


図-9. 繰り返し加力にともなう残留変形の変化  
Fig. 9. Transition of the residual deformation ratio after cyclings.

Note: Residual deformation ratio = (Residual deformation after cyclings) / (Residual deformation in the first cycle)

ということを述べたが、より大きな繰り返し変形を与えた方が釘に対するダメージが大きかったと考えられ、そのため $\pm 1/120$  radの変形を与えた場合 (A 1, A 2) での残留変形の減少が $\pm 1/300$  radの変形を与えた場合 (B 1) よりも大きかったと思われる。

### 3.1.4 残留荷重

強制的に変形をゼロまで戻すために必要な荷重を、こ

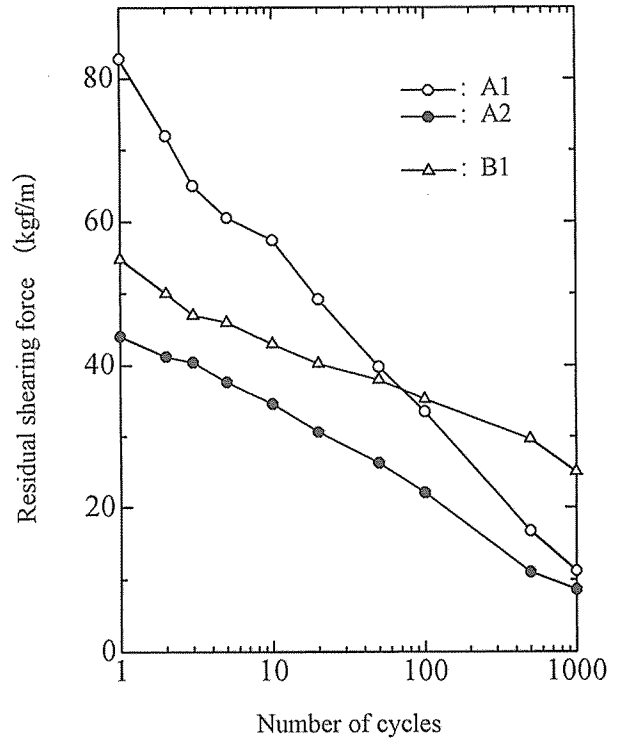


図-10. 残留荷重と繰り返し数との関係  
Fig. 10. Relationships between the residual shearing forces and the number of cycles.

では残留荷重と呼ぶことにする。図-10は、繰り返し数の増大にともなう残留荷重の変化を示したものである。なお、残留変形と同様に、1つの荷重-変形ループに正負2つの残留荷重(図-4におけるOCおよびOF)を求めることができるが、この図ではそれらの絶対値を平均して1つのループに対する残留荷重とした。いずれの試験体でも繰り返し数の増大とともに残留荷重はほぼ直線的に減少する傾向にある。残留荷重を繰り返し変形量との関係で見ると、先に述べた残留変形の場合にはより大きな繰り返し変形を与えた方 (A 1, A 2) が残留変形は大きかったが、残留荷重ではそのような明確な差は見られない。それよりも、同じ仕様の試験体に同じ繰り返し変形を与えた A 1, A 2 の両者の残留荷重の差が大きく、個体差が現れた。

処女変形時の残留荷重を1とした場合の、繰り返し数の増大にともなう残留荷重の低下を図-11に示した。図-10においては残留荷重に差が認められた A 1 と A 2 であるが、それぞれの残留荷重を処女変形時の残留荷重に対する割合という形で見れば、両者の残留荷重はおおむね同様な傾向で減少していることが分かる。そしてそれらの勾配はより小さな繰り返し変形を与えた B 1 よりも大きい。1000回の繰り返しを与えた時点での残留荷重は、 $\pm 1/120$  radの変形を与えた場合 (A 1, A 2) は処女変形時の残留荷重の約20%まで低下しているのに対し、 $\pm 1/300$  radの変形を与えた場合 (B 1) には処女変形時の残留荷重の約40%を示した。

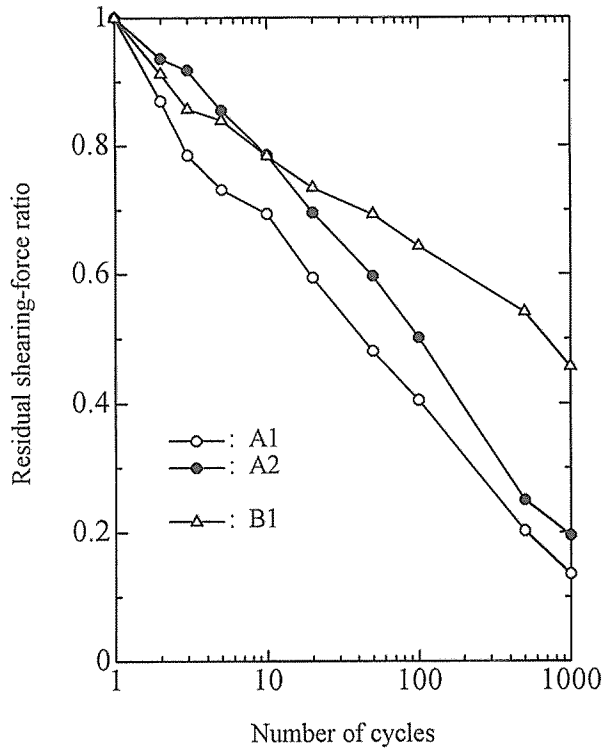


図-11. 繰り返し加力にともなう残留荷重の低下

Fig. 11. Decreases of the residual shearing-forces ratio after cyclings.

Note: Residual shearing-force ratio = (Residual shearing force after cyclings) / (Residual shearing force in the first cycle)

### 3.1.5 吸収エネルギー

図-12 に示したような 1 サイクルごとの荷重-変形ループで囲まれる面積は、1 サイクルあたりの吸収エネルギーを表している。図-13 は、図-3 の荷重-変形ループから各サイクルごとに吸収エネルギーを求め、その変化を繰り返し数との関係で示したものである。全体的にみて、繰り返し数の増加とともに吸収エネルギーは減少するが、繰り返し 3 回あたりまでの減少がとりわけ大きい。すなわち、わずか 3 回の繰り返し加力でエネルギー吸収能力は激減しており、その後は直線的に減少していく傾向が見られる。そして吸収エネルギーは  $\pm 1/120$  rad の変形を与えた場合の方が  $\pm 1/300$  rad の変形を与えた場合よりも当然大きいのであるが、繰り返し 1000 回あたりでは両者の差はほとんどない。また、 $\pm 1/120$  rad の変形を与えた A1 と A2 とは試験体の仕様が全く同じであるにもかかわらず、両者の吸収エネルギーの間には個体差が見られる。

図-14 に、処女変形時の吸収エネルギーを 1 とした場合の、繰り返しによる吸収エネルギーの低下を示した。繰り返し数の増加に伴い吸収エネルギーは減少し、繰り返し 3 回の時点で処女変形時の吸収エネルギーの約 60% にまで低下している。そして繰り返し 1000 回目をみると、 $\pm 1/120$  rad の変形を与えた場合の吸収エネルギーは処女変形時に

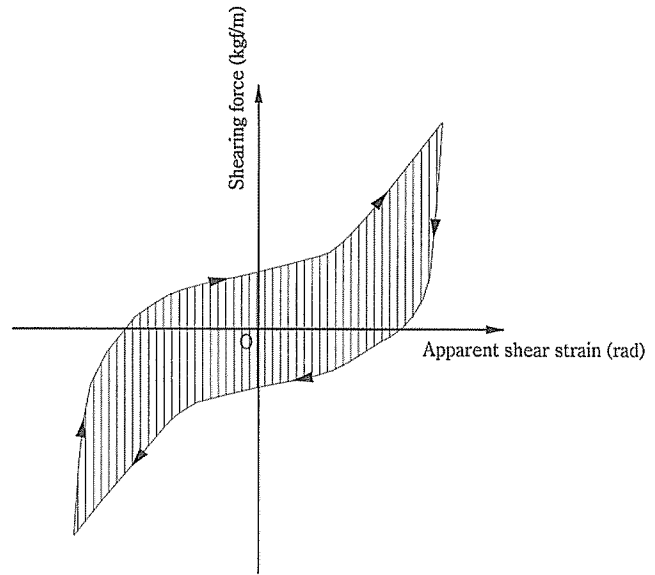


図-12. せん断荷重一見かけのせん断変形角曲線における吸収エネルギー

Fig. 12. Absorbed energy determined from relationships between shearing forces and apparent shear strains under fatigue tests.

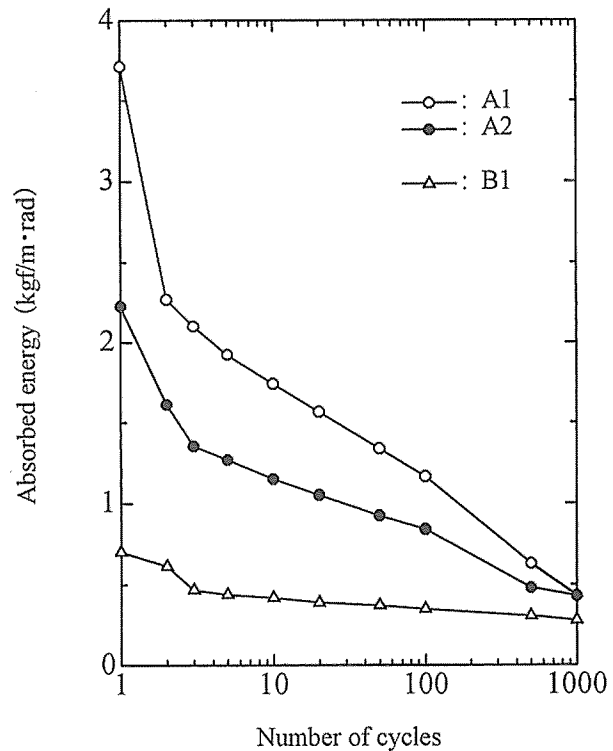


図-13. 吸収エネルギーと繰り返し数との関係

Fig. 13. Relationships between the absorbed energy shown in Fig. 3 and the number of cycles.

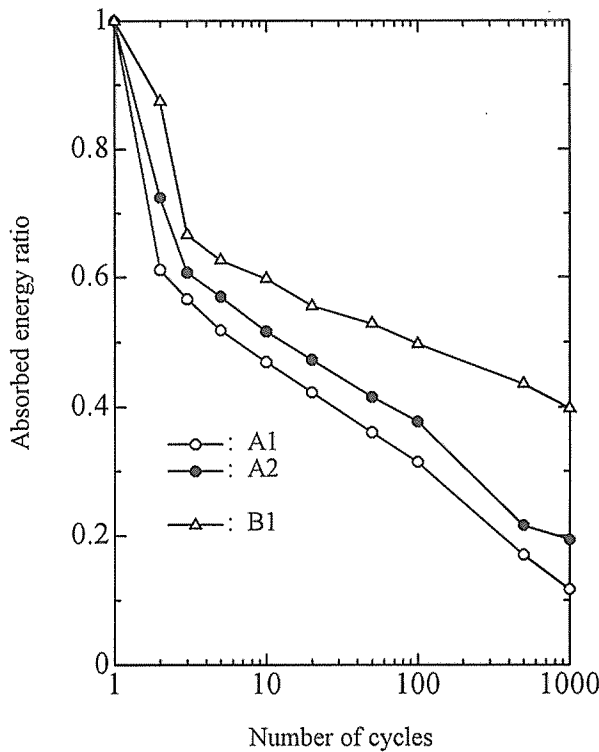


図-14. 繰り返し加力にともなう吸収エネルギーの低下  
 Fig. 14. Decreases of the absorbed energy ratio after cyclings.  
 Note: Absorbed energy ratio = (Absorbed energy after cyclings) / (Absorbed energy in the first cycle)

比べて20%以下にまで低下しているが、 $\pm 1/300$  radの変形を与えた場合の吸収エネルギーは処女変形時のその約40%である。また、図-13においてA1およびA2の両試験体の吸収エネルギーには差がみられたが、吸収エネルギーの低下率はほとんど同等である。

### 3.2 単調増加加力試験

前述の正負繰り返し加力による疲労試験の後、単調増加加力によるラッキング試験を行った。これより得られた見かけのせん断変形角とせん断荷重との関係を図-15に示す。また、図-15のせん断荷重—見かけのせん断変形角関係から、特定せん断変形角に対するせん断耐力、最大せん断耐力、許容せん断耐力、壁倍率を求め、表-1に示した。なお、許容せん断耐力の評価は、まず、せん断耐力 $\tau$ と見かけのせん断変形角 $\gamma$ の関係から次の3種の値を求めた。

$$\frac{2}{3} \tau_{\max}, \tau_{\gamma_{\max/2}}, \tau_{1/120}$$

ここで、 $\tau_{\max}$ は最大せん断耐力、 $\tau_{\gamma_{\max/2}}$ は最大せん断変形角の1/2のせん断変形角時のせん断耐力、 $\tau_{1/120}$ はせん断変形角が1/120 radであるときのせん断耐力である。次に上記3種の値のうちの最小値をとり、それをもって許容せん断耐力とした。A1, B1では $\frac{2}{3} \tau_{\max} < \tau_{\gamma_{\max/2}} < \tau_{1/120}$ の順に

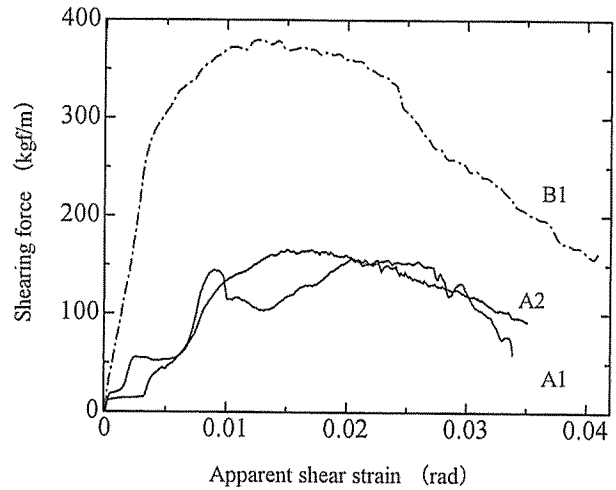


図-15. せん断荷重と見かけのせん断変形角との関係  
 Fig. 15. Relationships between shearing forces and the apparent shear strains under monotonic loading tests.

なっており、 $\frac{2}{3} \tau_{\max}$ が最も小さかった。またA2では、 $\tau_{\gamma_{\max/2}} < \tau_{1/120} < \frac{2}{3} \tau_{\max}$ となっており、 $\tau_{\gamma_{\max/2}}$ が最も小さかった。これらのことから、各試験体の許容せん断耐力はA1, B1では $\frac{2}{3} \tau_{\max}$ 、A2では $\tau_{\gamma_{\max/2}}$ の各値をもって決定した。

実際には、許容せん断耐力の計算は上記3種の値の最小値に、実験値のばらつきを考慮した下限値推定用の係数である3/4を乗じて行うが、今回の実験では試験体数が1あるいは2であるため、3/4は乗じなかった。壁倍率は、許容せん断耐力に1/130を乗じて決定した。

最大せん断耐力は、 $\pm 1/300$  radの繰り返し変形を1000回与えた場合(B1)には、 $\pm 1/120$  radの繰り返し変形を1000回与えた場合(A1, A2)に比べて約2.3倍の381 kgf/mの耐力値を示した。これは、繰り返し変形量(疲労履歴)の違いにより壁の耐力に明確な差が生じることを示しており、繰り返し変形量が大きい方が壁の耐力の低下が大きいことが分かる。

許容せん断耐力は、上述の最大せん断耐力と同様のことがいえて、 $\pm 1/300$  radの繰り返し変形を与えた場合(B1)には、 $\pm 1/120$  radの変形を与えた場合(A1, A2)に比べて約2.6倍の254 kgf/mの耐力値を示した。

壁倍率は、 $\pm 1/300$  radの繰り返し変形を与えた場合(B1)には1.95、 $\pm 1/120$  radの変形を与えた場合(A1, A2)には0.738(平均値)であり、前者は後者に比べて2.6倍程度の値を示した。先の最大せん断耐力および許容せん断耐力と同様に、繰り返し変形量の違いにより壁倍率にも明確な差が生じており、 $\pm 1/120$  radの変形を与えた場合(A1, A2)、疲労による壁倍率への影響は極めて大きい。すなわち、この種の耐力壁は建設省告示により壁倍率2.5が与えられているが、今回の繰り返し加力の影響により



表-1. 単調増加加力試験結果 (その1)

Table 1. Results of the racking test under monotonic loading condition (I).

Specimen No.	Shearing force at a specific apparent shear strain				Maximum shearing force (kgf/m)	Maximum shear strain ( $10^{-3}$ rad)	$\frac{2}{3}\tau_{\max}$ (kgf/m)	$\tau_{\gamma_{\max}/2}$ (kgf/m)	Allowable shearing force (kgf/m)	Shear load factor
	$\tau_{1/300}$ (kgf/m)	$\tau_{1/200}$ (kgf/m)	$\tau_{1/120}$ (kgf/m)	$\tau_{1/60}$ (kgf/m)						
A1	53.9	53.2	138	129	157	20.5	105	115	105	0.808
A2	27.3	47.0	111	166	169	15.1	113	86.8	86.8	0.668
B1	265	310	357	372	381	12.4	254	329	254	1.95

表-2. 単調増加加力試験結果 (その2)

Table 2. Results of the racking test under monotonic loading condition (II).

Specimen No.	Shearing force at a specific apparent shear strain				Maximum shearing force (kgf/m)	Maximum shear strain ( $10^{-3}$ rad)	$\frac{2}{3}\tau_{\max}$ (kgf/m)	$\tau_{\gamma_{\max}/2}$ (kgf/m)	Allowable shearing force (kgf/m)	Shear load factor
	$\tau_{1/300}$ (kgf/m)	$\tau_{1/200}$ (kgf/m)	$\tau_{1/120}$ (kgf/m)	$\tau_{1/60}$ (kgf/m)						
A1	131	147	94.7	—	157	6.19	105	130	105	0.808
A2	123	122	103	—	169	1.57	113	92.3	92.3	0.710
B1	363	365	212	—	381	4.58	254	325	254	1.95

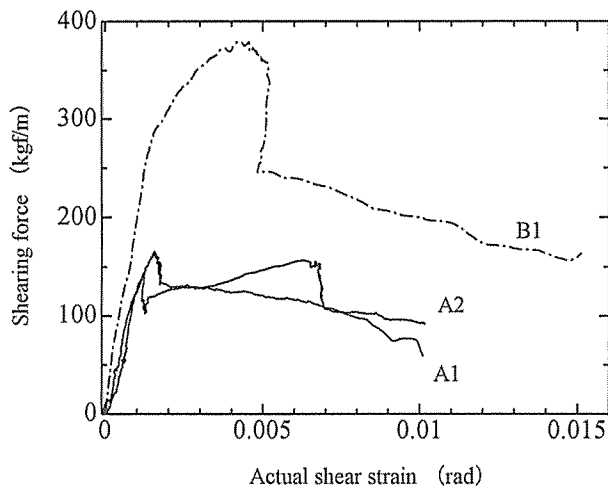


図-16. せん断荷重と真のせん断変形角との関係

Fig. 16. Relationships between shearing forces and the actual shear strains under monotonic loading tests.

A1, A2では告示値の約30%しか保持していない。一方、 $\pm 1/300$  radの繰り返し変形を与えたB1では、告示値の約78%を保持している。

なお、参考のため図-16にはせん断荷重と真のせん断変形角との関係も示した。また表-2は、表-1と同様な結果の整理を図-16に基づいてまとめたものである。ただし、この場合の許容耐力の評価は、前述の $\tau_{1/120}$ を $\tau_{1/300}$ に置き換えて考えた。図-15のせん断荷重—見かけのせん断変形角曲線と図-16のせん断荷重—真のせん断変形角曲線とを比較

すると、 $\pm 1/120$  radの繰り返し変形を与えた場合(A1, A2)の曲線に大きな差異が認められ、写真-1からも明らかのように1000回の繰り返しによる疲労の影響(ダメージ)を大きく受けて、見かけのせん断変形角の中に回転変形成分を大きく含んでいることが推察される。 $\pm 1/300$  radの繰り返し変形を与えた場合(B1)には、その傾向は比較的小さい。なお、両図から算定した許容せん断耐力、壁倍率には表-1, 表-2に示したようにほとんど違いが見られなかった。

試験体の破壊は、正負繰り返し加力を行っている時点では、 $\pm 1/120$  radの繰り返し変形を与えた試験体(A1, A2)では土台部分において合板を釘着した釘が引き抜け、数本の釘はねじ切れた(写真-1)。 $\pm 1/300$  radの繰り返し変形を与えた試験体(B1)では、それほど大きな変化はみられなかった。その後の単調増加加力による破壊は、いずれの試験体でも土台部分における釘の引き抜けであった。

#### 4. 結 論

実大の合板釘着張り耐力壁について一定変位での正負繰り返し加力疲労試験を行い、以下のような結果を得た。

- 1) 正負繰り返し加力の繰り返し数の増大に伴い、せん断荷重のピーク値は対数的に減衰し、大きな繰り返し変形を与えた方がより減衰が激しい。
- 2) 見かけのせん断変形角が $1/300$  radのときのせん断荷重は、繰り返し変形量が $\pm 1/120$  radの場合には繰り返し

- し2回目ではほぼ半減,繰返し1000回目で処女変形時の約12%まで低下したが,繰返し変形量が $\pm 1/300$  radの場合には直線的に緩やかに低下し,繰返し1000回目にも処女変形時の85%を上回った。
- 3) 残留変形は繰返し50回あたりまでは繰返し変形量に関係なく増加するが,それ以後は減少し,大きな繰返し変形を与えた方がより急激に減少する。
- 4) 正負繰返し加力により得られたせん断荷重一見かけのせん断変形角曲線から求めた吸収エネルギーは,繰返し数の増大とともに減少し,とくに繰返し3回あたりまでの減少が著しい。
- 5) 正負繰返し加力疲労試験後の単調増加加力試験から,より大きな繰返し変形履歴をもった壁の耐力・壁倍率の低下が大きいことが明らかとなった。

今回の実験により,一定変位での正負繰返し変形を受ける耐力壁の挙動の一端が明らかになった。疲労の影響は明らかであり,とくに繰返し3回までの性能低下は著しかった。繰返し変形量や繰返し速度などの影響とともに,今後さらに詳細な検討が必要であると思われる。

#### 引用文献

- Deam B.L. and King A. (1984) The Seismic Behaviour of Timber Structures. State of the Art. Proceedings, Pacific Timber Engineering Conference, Gold Coast Australia. 1: 215-221.
- Doran J.D. (1984) A Numerical Model to Predict the Dynamic Response of Timber Shear Walls. Proceedings, International Timber Engineering Conference, London. 4: 338-345.
- 秦 正徳・佐々木 光 (1987) 釘打ちパネルのせん断変形と釘点の力伝達挙動の解析 (第1報). 木材学会誌 33: 12-18.
- Itani R.Y. and Obregon S.A. (1984) Nonlinear racking analysis of nailed walls. Wood and Fiber Science 16 (3): 454-465.
- 神谷文夫 (1981) 面材を釘打ちした耐力壁のせん断剛性および強度に関する理論的研究. 日本建築学会論文報告集 309: 86-94.
- 神谷文夫 (1988) 合板釘打ち耐力壁の仮動的応答実験とその履歴モデル. 日本建築学会大会学術講演梗概集, 関東: 27-28.
- 神谷文夫 (1989) 木質構造の履歴性を解析的に求める一つの方法. 日本建築学会大会学術講演梗概集, 九州: 49-50.
- 神谷文夫・杉本健一 (1993) ボルト・ドリフトピン・ラグスクリュー接合の正負繰返し加力試験 (その2 履歴ループと減衰). 日本建築学会大会学術講演梗概集, 関東: 955-956.
- 神谷文夫・杉本健一・三井信宏 (1997) 合板一製材釘接合部の履歴特性に関する実験的研究. 木材学会誌 43: 474-481.
- 大橋好光・坂本 功 (1985) 木造住宅の地震応答解析その2 (荷重一変形曲線をトレースする復元力モデルによる解析). 日本建築学会大会学術講演梗概集, 東海: 1237-1238.
- 定方 啓 (1986) 正負交番荷時における木質系構造要素の変形エネルギー吸収性状についての研究 (その5) <はり, 柱一はり接合部の場合>. 第36回日本木材学会大会研究発表要旨集, 静岡: 97.
- 杉山英男 (1996) 地震と木造住宅. pp. 227-228. 丸善.
- 杉山英男・井上尚子 (1996a) 水平荷重を繰返し受ける枠組壁工法開口壁の挙動の理論解析 (第1報 解析方法の検討). 日本建築学会大会学術講演梗概集, 近畿: 85-86.
- 杉山英男・井上尚子 (1996b) 水平荷重を繰返し受ける枠組壁工法開口壁の挙動の理論解析 (第2報 シミュレーションから得られた開口壁の特性). 日本建築学会大会学術講演梗概集, 近畿: 87-88.
- 杉山英男・松本忠史 (1993a) 多数の開口を持つ合板釘打ち張り耐力壁のせん断耐力略算法 (第1報) 無開口壁ユニットのせん断耐力評価. 木材学会誌 39: 75-79.
- Sugiyama H. and Matsumoto T. (1993b) A simplified method of calculating the shear strength of a plywood-sheathed shear wall with opening II. Mokuzai Gakkaishi 104: 924-929.
- 徳田迪夫 (1986) 釘接合部及び釘打ち壁パネルの疲労特性. 第36回日本木材学会大会研究発表要旨集, 静岡: 101.
- 富田裕之・宮沢健二 (1994) 枠組壁構造の構造特性に関する研究 (その10 履歴特性と仮動的応答実験). 日本建築学会大会学術講演梗概集, 東海: 77-78.
- Tuomi R.L. and Mccutcheon W.J. (1978) Racking strength of light-frame nailed walls. ASCE Journal of Structural Division 104 (ST7): 1131-1140.
- 若島嘉朗・平井卓郎 (1993a) 繰返し負荷を受ける木材と合板の釘接合部の履歴特性 (第1報) 静的正負繰返し負荷試験. 木材学会誌 39: 1259-1266.
- 若島嘉朗・平井卓郎 (1993b) 繰返し負荷を受ける木材と合板の釘接合部の履歴特性 (第2報) 弾性床土上の梁理論による数値解析. 木材学会誌 39: 1377-1385.

### Shearing performance of plywood nailed walls under cyclic loading

Hiroshi IMANISHI and Yasutoshi SASAKI

Racking tests under the conditions of cyclic loading with constant deformation ( $\pm 1/120$  rad and  $\pm 1/300$  rad) and monotonous increase of loading were conducted on plywood nailed walls. The shearing performance of the walls is discussed in relation to the cyclic deformation value and to the number of cycles. The cyclic loading fatigue tests showed that maximum values for the shearing force decreased logarithmically with increases in the number of cycles and that the decreasing ratios were larger for  $\pm 1/120$  rad cyclic deformation. The residual deformation increased until about the 50th cycle, regardless of the cyclic deformation value, and then decreased with increases in the number of cycles. The absorbed energy, which were calculated from the shearing force-deformation curves obtained from the fatigue tests, decreased as the number of cycles increased, the decrease being especially sharp until about the 3rd cycle. The monotonous increase loading tests after the fatigue tests showed that the shearing performance of the walls decreased with increases in the cyclic deformation value. For example, the shear load factor in case of  $\pm 1/300$  rad cyclic deformation was 1.95, and that in case of  $\pm 1/120$  rad cyclic deformation was 0.738, the former being about 2.6 times larger than the latter.

**Keywords:** cyclic load, plywood nailed wall, shearing performance, cyclic deformation value, number of cycles.