

木質パネル構造に関する研究 (第1報)

耐力壁の面内剪断性能に及ぼす
試験方法ならびに壁長さの影響神谷文夫⁽¹⁾・平嶋義彦⁽²⁾
畑山蟻男⁽³⁾・金谷紀行⁽⁴⁾Fumio KAMIYA, Yoshihiko HIRASHIMA, Yoshio HATAYAMA and
Noriyuki KANAYA : Studies on Wood-Panel Construction (I)
Effect on racking resistances of bearing wall due
to testing methods and wall length

要旨：本報は、木構造の設計に有効な基礎資料を整備するため、耐力壁の面内剪断性能が、試験方法の違い、壁の長さの変化によって受ける影響、ならびに開口部を持つ耐力壁の剪断性能が盲張り部分の位置、または開口に隣接する腰壁等によって受ける影響を実験的に検討したものである。

実験に用いた耐力壁は、間伐小径材の枠組に構造用合板を釘打ちしたパネルで、試験方法の違いによる検討には、日本式、ASTM式、鉛直荷重載荷方式を採用したが、他の検討に用いた方法は、すべて載荷方式である。

その結果、試験方法の違いによって見かけの剪断歪み γ_1 は影響を受けるが、 γ_1 より壁体の回転角 γ_2 を差し引いた剪断歪み γ_3 には、 γ_1 ほどの影響がみられないこと、 γ_3 をベースにした特定歪み値に対する荷重（壁長さ 1 m 当り）は、壁長さの影響を受けないこと、および壁が長くなると、 γ_1 は γ_3 に接近する傾向があること等がわかった。

さらに、荷重-歪み曲線は、試験法や壁長さ、歪みの選択 (γ_1 または γ_3) が異なっても、強い相似性を有するという知見が得られた。

また、開口壁中の盲張り部分は、中央に位置するほど強い抵抗を発揮すること、それに隣接する腰壁は、浮き沈みに対して補強効果を与えること等がわかった。

1. はじめに

当場では、間伐木の建築材料としての利用分野開拓と、それに関する、1次および2次加工の合理化を進める目的で、昭和53年度から55年度の3年間にわたり、特別研究「間伐材の利用技術に関する研究」を行っているが、筆者らは、その中で、種々の条件下における耐力壁の面内剪断性能と、それらの耐力壁によって構成された、実大建物の水平耐力について研究する機会を得た。

本報告の第1報は、壁の面内剪断性能について、第2報は、実大建物の水平耐力について報告するものである。

本研究で用いた耐力壁は、間伐小径木からの製材品で枠組みをなし、これに構造用合板を釘打ちしたもので、7 cm × 7 cm の断面寸法の角材を基本として使用することから、7 × 7 (セブンバイセブン) 工法と呼ばれ、すでに日本住宅・木材技術センターを中心として、開発研究が行われているものである¹⁾。

このように、間伐材を利用した耐力壁を用いて研究を行ったが、得られた成果は、他のパネル工法（枠

組壁工法、プレファブ工法等)にも適用できるものと思われる。

なお、本実験を行うにあたり、山井良三郎木材利用部長のご指導と、性能開発研究室各位のご援助を得た。ここに深く感謝します。

2. 研究の背景と問題点

建物が風や地震等の水平力に抵抗する要素として、筋違い等を入れた軸組みによらず、面材を張り付けてその剪断抵抗に期待する構造は、わが国ではプレファブ工法や枠組み壁工法にみられるが、その歴史は未だ20年に満たない。この間、耐力壁に関して多くの研究がなされ、また実大建物の試験も行われてきた。しかしながら、これらの研究の背後には、新工法の早期確立、実現という社会的要請もあって、力学的な解析よりもむしろ設計に必要なデータを求めるという傾向が強く、実大建物試験においても、安全性の確認に主眼を置いてなされたものが多かった。

壁単体の試験から、実大建物の試験に至る解析を系統的に行った研究は少なく、僅かに杉山らのもの²⁾~¹²⁾があるにすぎない。

壁の面内剪断試験法には、加力条件の違いにより、片持梁式のいわゆる日本式、タイロッドを用いて純粋の剪断変形をねらったいわゆる ASTM 式、さらに日本式に近いが、鉛直荷重を載荷して行う載荷式等がある。また変形の測定に際しても、桁の水平変位量を基準とするもの、柱の部材角を基準とするもの、さらには、これから壁の回転角を差し引いた値を基準とするもの等がある。

このように壁耐力の評価方法にはいろいろあり、設計の種類によって、適宜、加力方法、変形の測定方法、および許容変形量が選択されているのが現状である。評価方法の確立を困難にさせている原因について考えると、以下のようなものである。

壁単体や建物に水平力が作用すると、それに応じて転倒モーメントが発生し、壁や建物下部の接合部には、引抜き力、あるいは圧縮力が働く。一般に壁耐力評価を目的とする試験体は、長さ 2P (1,820 mm, 1P を 910 mm の単位とする) が標準であるが、その形状が比較的たて長であるために転倒しやすく、また構造的に単純なので引抜き力、圧縮力の集中が著しい。この傾向は剛な壁ほど強くなる。一方、建物内の壁は、開口部を有することがあっても、全体としては横長で転倒し難く、外力の伝達も壁体内部の多くの接合部を経過するために、変形が吸収されるので、引抜き力、圧縮力の集中は緩められると思われる。また建物内の耐力壁と称せられる部分についてみると、荷重条件が位置によって異なるばかりでなく、隣接する小壁や直交する壁等が、耐力壁の浮き上り等に対して、協力して抵抗すること等が考えられる。

このように、単体の壁と建物内に組み込まれた壁とが、その形状、組み込まれる位置、隣接する部品の種類や接合法等によって、耐力発揮のメカニズムが異なることが、壁耐力評価方法の確立を困難にさせている原因である。

本報告(第1報)は、種々の試験方法による 2P 壁単体の面内剪断試験と、建物内の荷重条件をシミュレートした鉛直荷重載荷方式による、比較的長い 4P、および 6P の壁(開口壁を含む)の試験を行い、面内剪断性能に対する試験方法の違いによる影響、および寸法効果、あるいは内包する小壁の効果等について検討を加えたものである。

3. 実 験

3-1 材料および試験体

試験体は、スギ小径間伐木からの製材品で、断面 7 cm × 7 cm、および 7 cm × 3.5 cm のものを用いて壁枠組みを行い、これに厚さ 7.5 mm の構造用合板 (通称ラワン、1 級) を釘打ちしたもので、その構

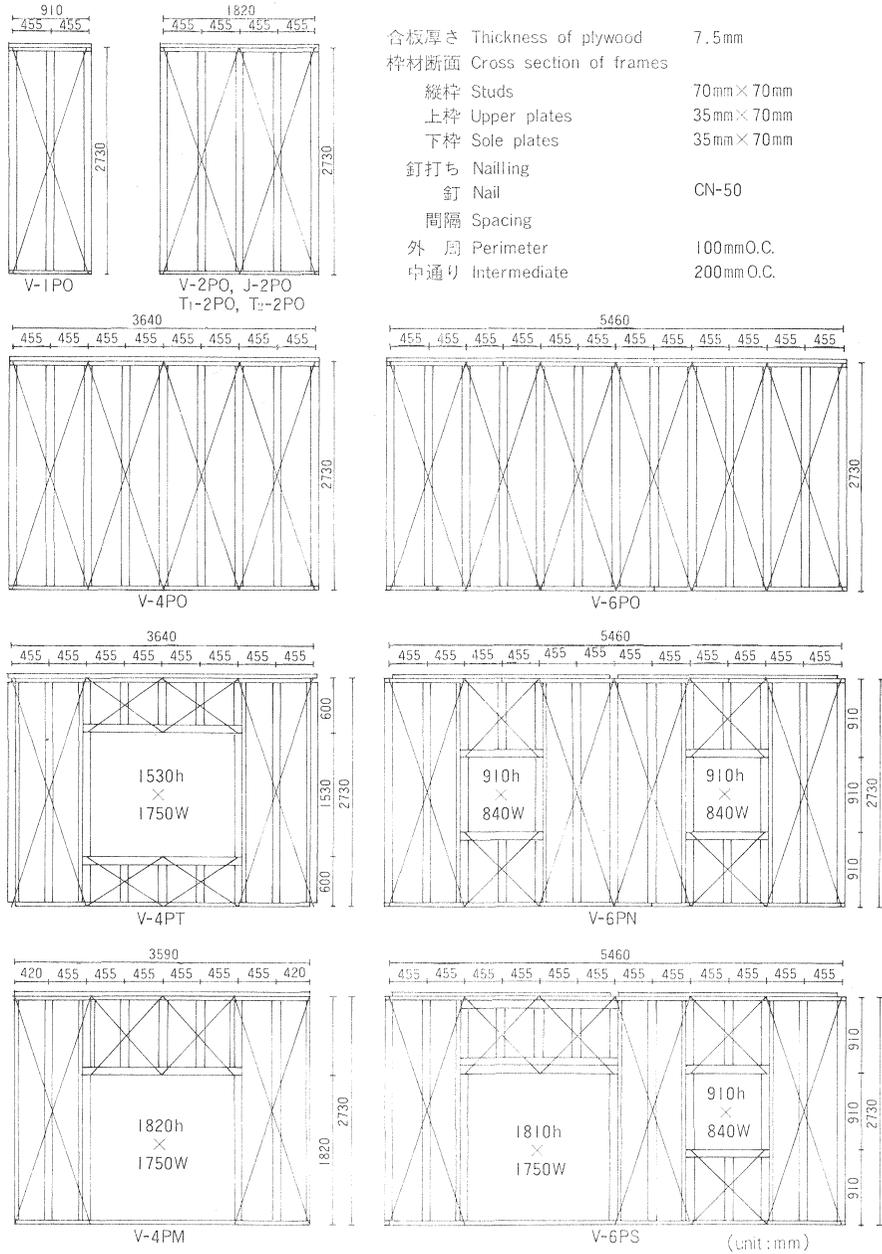


Fig. 1 試 験 体
Specimens

成や釘打ちは、7×7 工法、あるいは枠組壁工法に準じたものである。

試験体の高さは 2,730 mm で、試験体の種類は、盲壁が 4 種類（長さ 1P, 2P, 4P, 6P）、開口壁が 4 種類（4P 2 種類、6P 2 種類）である。試験体数は盲壁が各 3 体（2P は各試験方法ごとに 3 体）、開口壁は各 1 体である。試験体の種類を Fig. 1 に示した。

試験体の製作にあたっては、各試験体の合板の平均比重と、縦枠の平均曲げやヤング係数（含水率 30% 以上の状態で測定）が、試験体間で、できるだけ等しくなるよう配慮した。

2P 盲壁の 3 体と他の全ての試験体（これらの試験体は後述する載荷試験法によった）は、枠材含水率が 30% 以上の状態で製作し、約 3 か月間実験棟内に立てかけて自然乾燥を行った後、試験に供した。この間に、枠材には若干の割れと狂いが生じたが、狂いは実験に支障をきたすほどのものではなかった。試験時の枠材の含水率は、13~15% であった。

2P 盲壁の他の 9 体は、屋外で積み上げて自然乾燥させた材料を、枠材として使用したもので、試験時の枠材含水率は、13~15% で、前のグループと同じ値であった。

枠材と合板の諸数値を Table 1 に示した。

3-2 試験方法

2P 盲壁の 12 体のうち 9 体は、次の 4 種類の加力方法で試験を行った。すなわち、タイロッド式 (T₁ と記す)、タイロッド式ではあるが、壁の脚部を金物で補強した方式 (T₂ と記す)、および日本式 (J と記す) である。残りのすべての試験体は、載荷式 (V と記す) によった。以下に各試験法について説明する。

3-2-1 試験法の種類

(1) タイロッド式 (T₁)

この方法は、ASTM E 72-68 Racking Test を参考にしたもので、JIS A 1414 の A 法に相当する (Fig. 2)。

本実験では、壁の両側に配置した、2 本の油圧ジャッキを交互に用いて、正負の交番荷重を加えたので、2 組のタイロッドを準備した。また正加力側のタイロッドには、センターホール型のロードセルを挿入し、タイロッドに加わる力を検出した (Photo. 3)。

(2) 脚部補強型タイロッド式 (T₂)

これは (T₁) と同じ方法であるが、Fig. 3 に示すように、帯金物と釘 ZN-40 を用いて、壁脚部を補強したものである。

Table 1. 材 料
Materials

材 料 Materials	含 水 率 MC (%)	比 重 SG	曲げヤング係数 MOE (ton/cm ²)	平均年輪幅 Annual ring width (mm)
Plywood	11~13	0.45~0.61	90~102~118	—
Stud	13~17	0.35~0.55	25~50~87*	2.5~4.6~8.1

* 試験体製作時の値。この時の含水率は30%以上であった。
Values when specimens were made (MC was over 30%)。

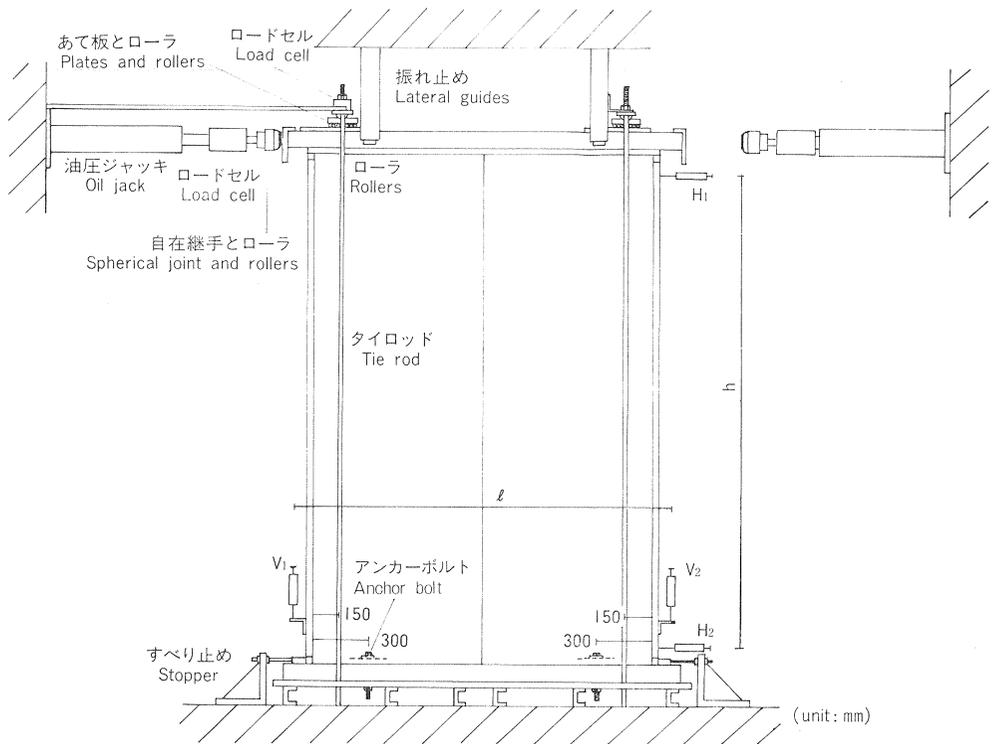


Fig. 2 タイロッド式試験法 (T₁, T₂)
Testing method with tie rod.

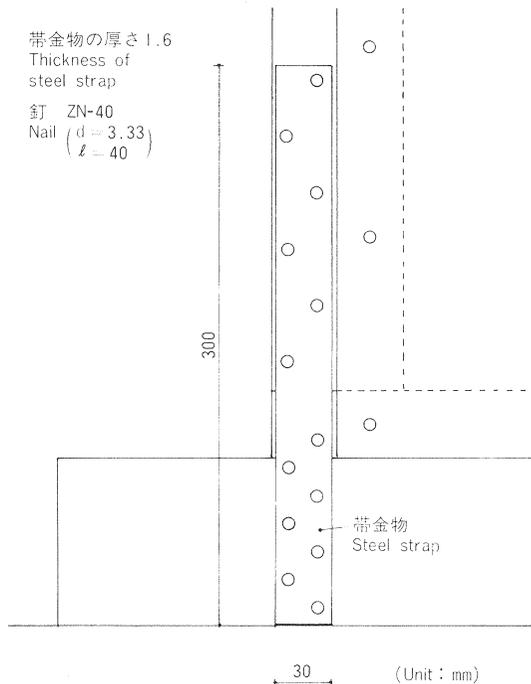


Fig. 3 帯金物による脚部の補強
Steel straps were used for specimens T₂-2 PO and series-V

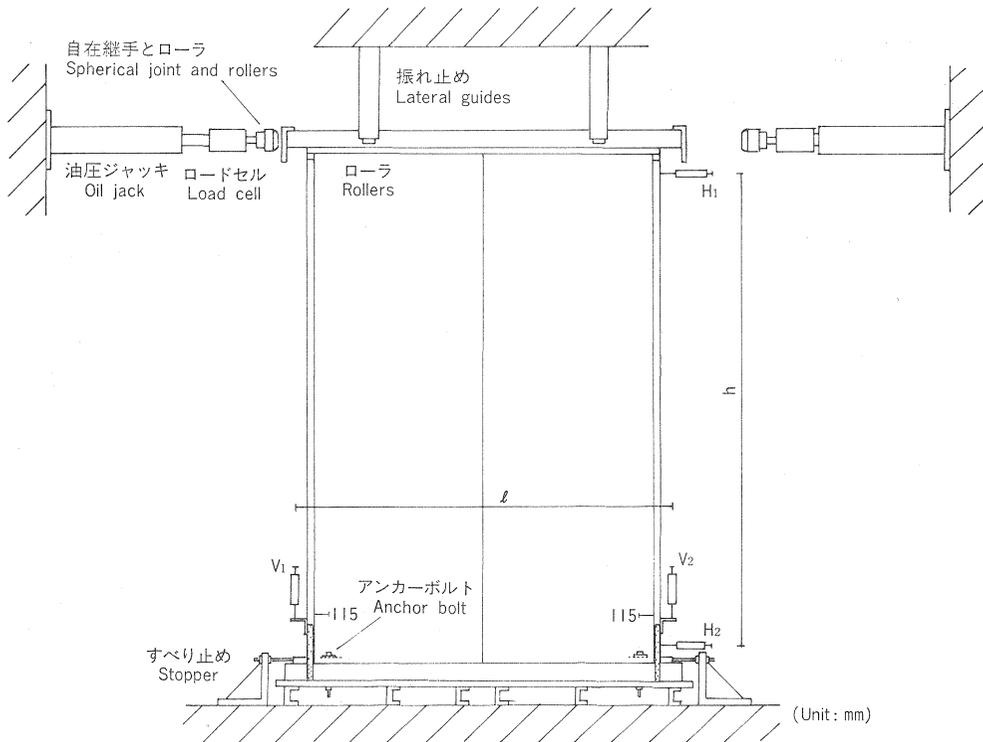


Fig. 4 日本式試験法 (J)
Testing method without tie rod.

タイロッドは、壁の浮き上がりを防止するものであるが、実際には、引張側となる縦枠が上枠にめり込むこと等により、浮き上がりを生じるので帯金物でこの部分を補強し、(T₁)よりさらに純粋な剪断をねらったものである。

(3) 日本式 (J)

この方式は、JIS A 1414 の B 法に相当するものである (Fig. 4)。

この方式では、壁の変形や最大耐力等が、固定方法の影響を受けることが知られているが、本実験では前述の (T₂) や次の (V) と同じ帯金物を用いて、脚部の補強を行った。

(4) 載荷式 (V)

この方法では、鉛直力の大きさが試験結果に影響を与えることが報告されている¹⁴⁾¹⁵⁾。

本実験では、鉛直力には油圧ジャッキを用い、試験期間中、壁長 1 m 当り 200 kg 一定とした (Fig. 5)。油圧ジャッキは、1 P および 2 P 試験体では 2 本、4 P 試験体では 4 体、6 P 試験体では 6 本を使用し、壁頂部に載せた桁 (ミズナラ集成材、幅 94 mm、高さ 102 mm) を介して、壁全体にできるだけ等分に、載荷されるよう配慮した (Photo. 4)。

各ジャッキの先端には、ロードセルとベアリングが取付けてあり、荷重値を監視するとともに、試験体の水平方向の動きを拘束しないようにした。

これら油圧ジャッキのポンプには、定荷重装置と称する、コイルバネを利用して油圧を一定に保つ装置

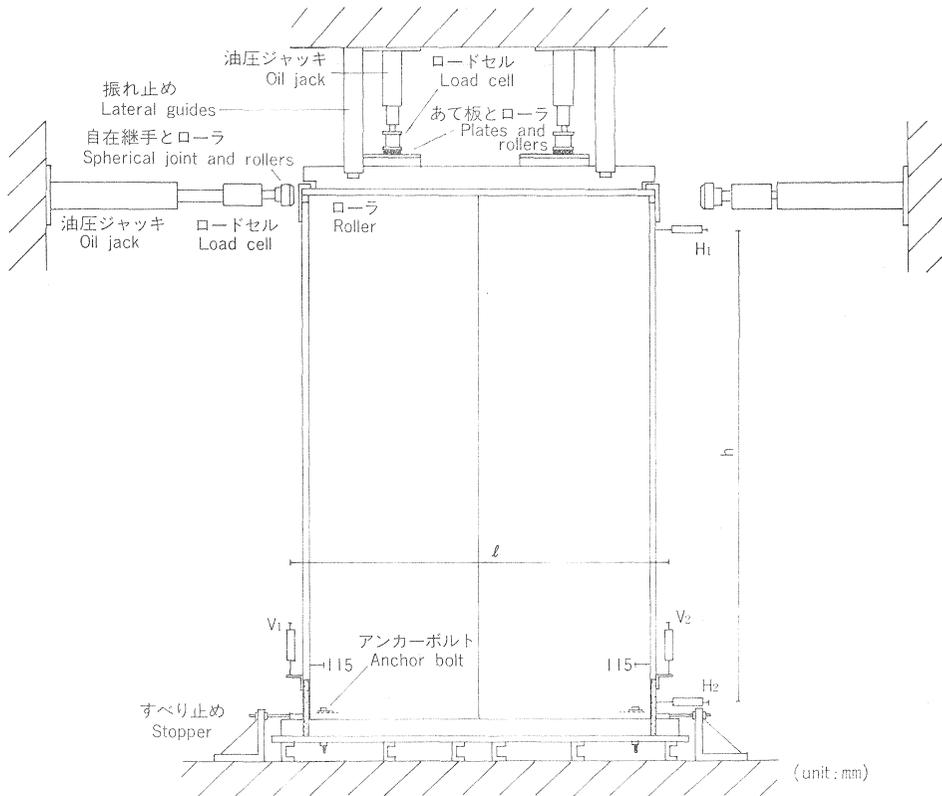


Fig. 5 載荷式試験法 (V)
Testing method with vertical load.

がついており、試験体の上下方向の動きに対して、ジャッキシリンダは定荷重を保持しながら追従するようになっている。

鉛直荷重の 200 kg/m は、建物内の壁の荷重状態をシミュレートしたもので、過去において久田ら¹³⁾は、在来工法の鉛直荷重は柱 1 本当たり 200~160 kg とし、柱の間隔が 1 間の壁に 200 kg/m の載荷をして実験を行っているので、同じ値を採用したものである。

3-2-2 桁材の取付け

桁材の試験体への取付けは、載荷式試験法の場合を除き、2 本のボルト (12 mmφ) を用いて行った。載荷式試験法の場合、釘 (CN-90, 間隔 205 mm) を用いて行い、水平力の加力は桁を介さずに、直接壁頂部に行った。この理由の一つは、桁を介して加力するには、桁と試験体とをボルトで緊結する必要があるが、これは結果的に上枠材等の曲げ剛性を補強し、長い壁や開口壁に予想される上枠材等の曲げ変形 (Photo. 11, 12 参照) を拘束して不都合であること、さらにもう一つの理由は、桁を介して加力すれば、ジャッキにより与える変形は壁頂部に一様に伝わるであろうが、建物内に組み込まれた長い壁を想定するとき、変形は各接合部において吸収される可能性があり、このような加力方法は現実的でないと考えたからである。

3-2-3 試験体の脚部固定

壁の固定は、1P 当り 12mmφ ボルト 1 本 (1P 試験体は 2 本) を用いて行い、下枠と基礎相当の鉄板とを、土台を介して緊結した。その配置は次のようである。すなわち、壁の端部から 110mm の位置でアンカーし、他のボルトは等間隔になるように配置した。

さらに、日本式および載荷式試験法の場合、下枠と土台を釘 (CN-90, 間隔 223mm) を用いて接合した。

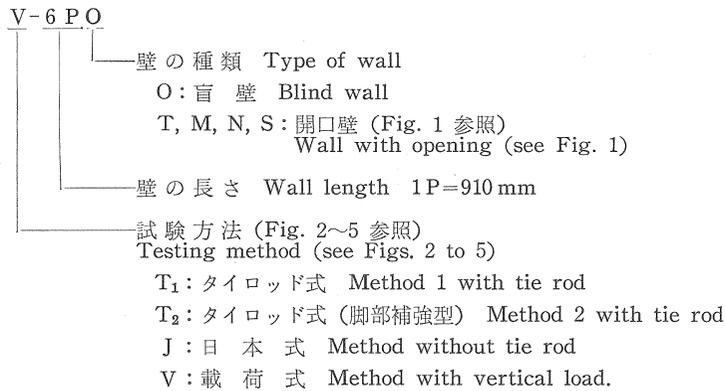
3-2-4 変位の測定

変位の測定には歪み変換式の変位計を用い、水平力の検出にはロードセルを用いた。

変位計は、4P および 6P の盲壁の場合でも長さ 2P ごとに、縦枠の部材角 (後述の γ_1) および壁の回転角 (同 γ_2) が求められるように取付けた (Photo. 1, 2 参照)。

3-2-5 試験体の記号

試験体の記号は次の様式によった。



4. 結果と考察

試験結果を整理するにあたって、壁体の変形量を次のように定義した (Fig. 2, 4 および 5 参照)。

見かけの剪断歪み γ_1

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

壁の回転角 γ_2

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

剪断歪み γ_3

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

ここで、 H_1 および H_2 は、2 点で測定した縦枠の水平変位、 h はその標点間距離、 V_1 および V_2 は、2 本の縦枠の鉛直変位、 l はその標点間距離である (Fig. 2, 4 および 5 参照)。なお、 γ_3 の中には、剪断変形の他に曲げ変形も含まれている。

Fig. 6 は、荷重-変形曲線の一例を示したものである。正負両方向の加力に対して、変形の間には特に著しい差異は認められなかったので、以下の論議では、正方向加力時の変形を用いた。

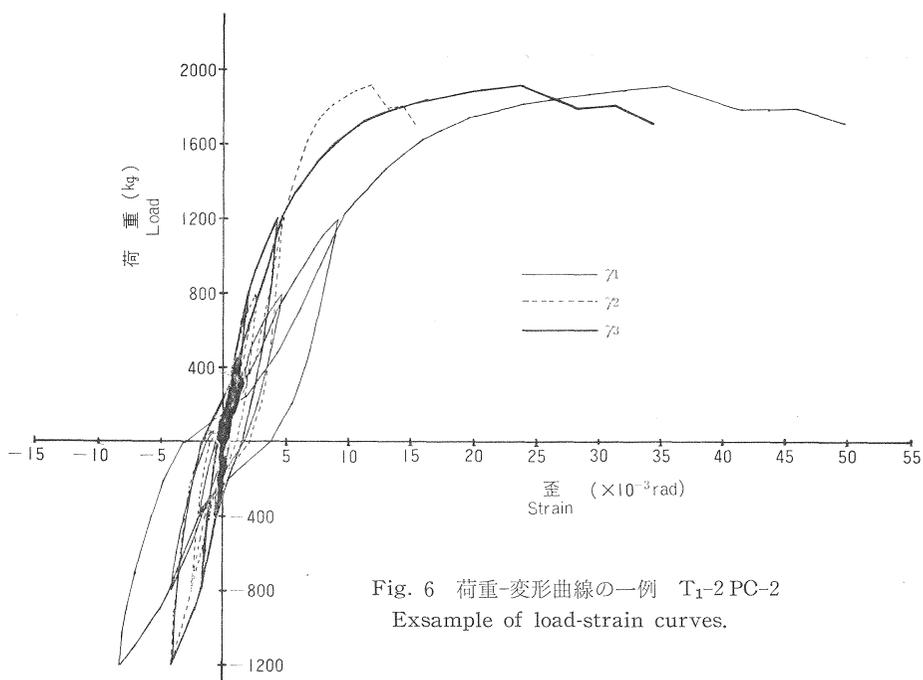


Fig. 6 荷重-変形曲線の一例 T₁-2 PC-2
Exsample of load-strain curves.

Table 2. 特定の見かけの剪断歪み γ_1 に対する荷重と最大荷重 (2P 盲壁)
Load corresponding to the indicated strain γ_1 and maximum load
for specimens 2 PO

試験方法 Testing method	γ_1 に対する 荷重 Load corresponding to the strain γ_1 (kg/m)							P_{\max} (kg/m)
	1/600 rad	1/300 rad	1/200 rad	1/150 rad	1/120 rad	1/100 rad	1/60 rad	
T ₁	211	378	490	593	670	730	927	1,108
T ₂	250	411	530	624	690	752	1,039	1,186
J	221	339	421	489	529	563	—	682
V	193	298	381	453	523	586	750	889

Table 3. 特定の剪断歪み γ_3 に対する荷重 (2P 盲壁)
Load corresponding to the indicated strain γ_3 for specimens 2 PO

試験方法 Testing method	γ_3 に対する 荷重 Load corresponding to the strain γ_3 (kg/m)						
	1/600 rad	1/300 rad	1/200 rad	1/150 rad	1/120 rad	1/100 rad	1/60 rad
T ₁	429	613	725	818	888	942	1,061
T ₂	404	591	696	779	847	899	1,052
J	358	537	—	—	—	—	—
V	264	432	581	675	750	810	—

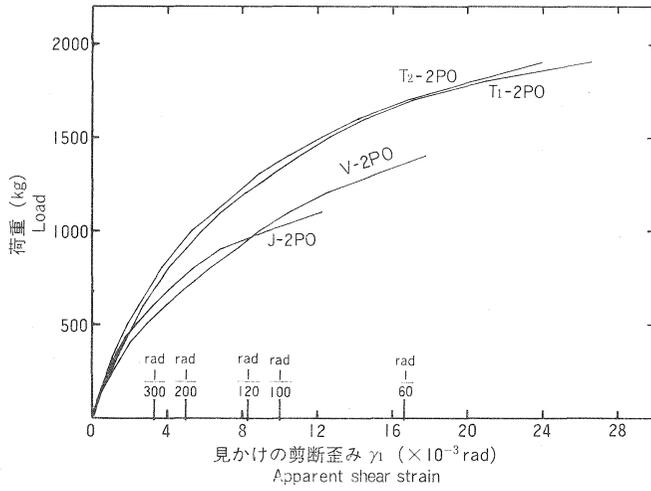


Fig. 7 2 PO 試験体における荷重-見かけの剪断歪み曲線
Load-apparent shear strain curves for specimens 2 PO.

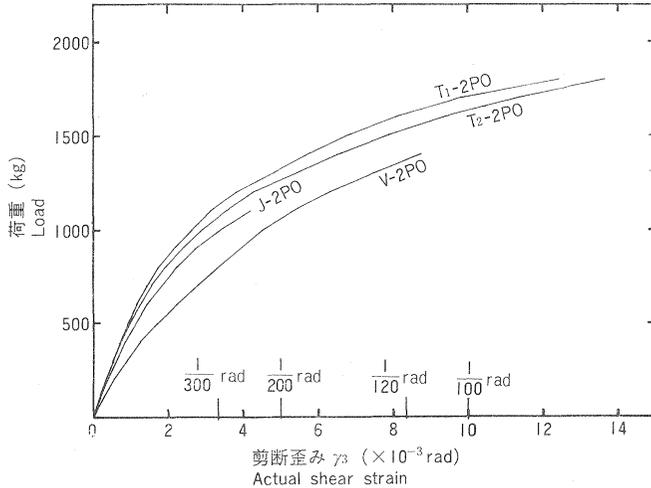


Fig. 8 2 PO 試験体における荷重-剪断歪み曲線
Load-actual shear strain curves for specimens 2 PO.

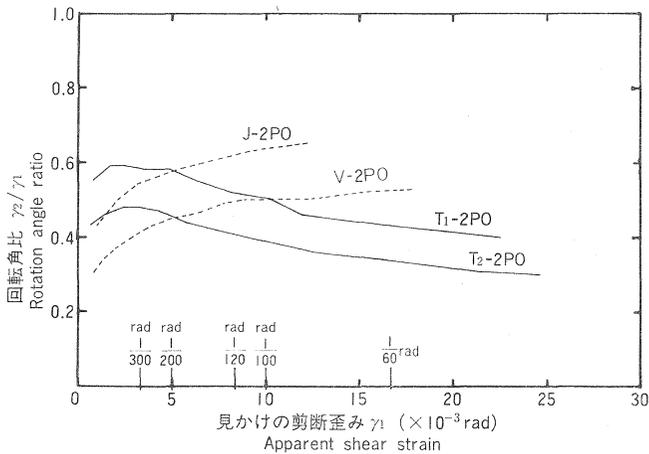


Fig. 9 2 PO 試験体における回転角比-見かけの剪断歪み曲線
 γ_2/γ_1 - γ_1 curves for specimens 2 PO.

4-1 2P 盲壁における, 試験方法の影響

標準試験体である 2P 盲壁は, 4 種類の方法で試験を行ったが, その結果を, Table 2, 3 および Fig. 7, 8 に示した。

まず γ_1 についてみると (Fig. 7), γ_1 が $1/120$ rad 以下の範囲での荷重は, 大きい順からタイロッド式 (T_1 と T_2 はほぼ同じ), 載荷式 (V), 日本式 (J) となる。

タイロッド式と他の 2 つの方式の間には, 明らかな違いがみられる。この違いについて詳しく検討するために, 杉山らにならって, 回転角比および中立点比について調べた。

回転角比は γ_2/γ_1 で表わされるが, これは見かけの剪断歪みの中に占める回転角の割合を示すものである。回転角比と見かけの剪断歪みとの関係を見ると (Fig. 9), タイロッド式 (T_1, T_2) では, γ_1 の増加と共に回転角比は減少するが, 載荷式 (V) および日本式 (J) では逆に増加している。これは, タイロッド式が, 次第に剪断変形を起こしていくのに対して, 後 2 者では, 回転変形が支配的になることを示している。

また, タイロッド式の場合, 脚部補強型 (T_2) の方が補強なし (T_1) よりも回転角比は小さく, 載荷式 (V) は, 日本式 (J) よりも回転角比は小さい。これは, 脚部の補強あるいは鉛直力の存在が, 回転変形を抑えることを示している。

中立点比 X_n は, $X_n = V_2/(V_1 - V_2)$ で表わされるが, これは壁の回転が, 浮き上がりとしみのどちらに, より多く依存しているかをみるもので, X_n の値が小さくなるほど, 浮き上がりの影響が大きいことを示すものである。

X_n と見かけの剪断歪みとの関係を見ると (Fig. 10), タイロッド式 (T_1, T_2) では γ_1 に関係なくほぼ一定の値を保持しているが, 日本式 (J) および載荷式 (V) では, γ_1 の増加と共に X_n は減少している。これは浮き上がりによって回転変形が増大することを示している。

載荷式試験法は, その荷重条件から, タイロッド式と日本式との中間的な試験法であると考えられるが, 以上の傾向から, 日本式に近い試験法であると考えられる。

次に γ_3 についてみると (Fig. 8), 荷重の大きい順は, タイロッド式 (T_1), 脚部補強型タイロッド式 (T_2), 日本式 (J), 載荷式 (V) となる。

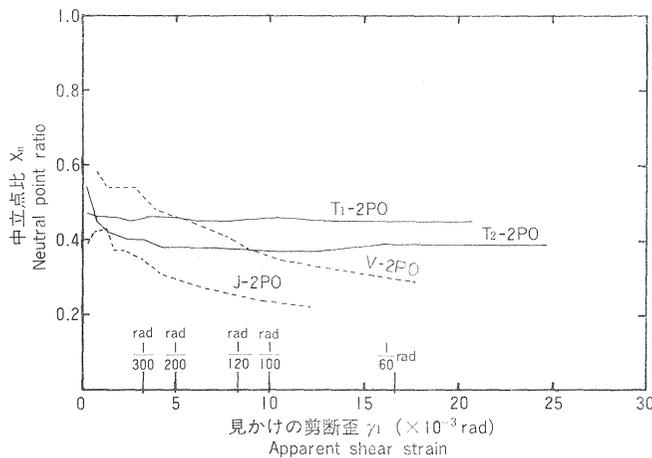


Fig. 10 2 PO 試験体における中立点比-見かけの剪断歪み曲線
 X_n - γ_1 curves for specimens 2 PO.

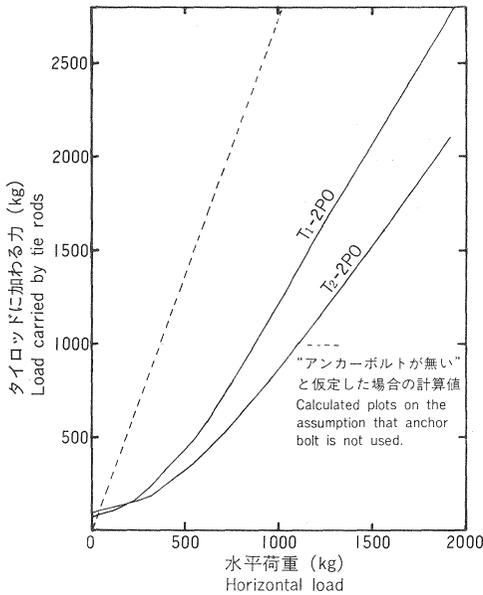


Fig. 11 タイロッドに加わる力
Load carried by tie rods.

参照)等が影響したとも考えられる。

有馬の実験結果を採用すれば、載荷式での荷重は、日本式の場合より高くなり、全体的にみて、試験法の違いによる γ_3 への影響は、 γ_1 の場合と比較して少なくなると推定される。

日本式(J)での荷重-歪み曲線について、Fig. 7 と Fig. 8 とを比べると、最大荷重近くで γ_1 が急激に増加するのに対して、 γ_3 ではこのような傾向はみられず、他の試験法による曲線と相似形を保っているように思われる。これは注目すべき点であると思われるので、項を改めて考察する。

タイロッド式の試験において、タイロッドに加わる力をロードセルを用いて測定し、その結果を Fig. 11 に示した。点線は引張り側のアンカーボルトがないと仮定し、杉山の式を用いて計算した値である。この計算値と実測値との差に相当する荷重が、引張り側のアンカーボルトによって負担されていると考えられる。

脚部補強型 (T_2) は補強なし (T_1) よりも、タイロッドに加わる力は3割前後少ない。この差に相当する力は、補強金物が負担してアンカーボルトに流れていると考えられる。

破損状態は、タイロッド式の場合、合板をとめている全面の釘接合部分が剪断され、中には釘頭によって合板がパンチングシアを受けた試験体もあった。

日本式、または載荷式の場合、引張り側の帯金物による補強部分で、釘接合部の剪断、釘の頭部切断、釘の引き抜け、帯金物の引張破損等がみられ、最終的には縦枿が下枿より引き抜けた。また同時に、引張り側の合板は、下枿との釘接合部で、釘頭によるパンチングシアを受けた。なお、破損時における圧縮側の脚部は、縦枿が下枿にめり込み、帯金物の座屈がみられた (Photo. 5~10)。

建設省総プロ「小規模住宅の新施工法の開発」の提案¹⁶⁾ にならって、次式により壁の許容耐力(壁倍率)の試算を行った。

タイロッド式では、脚部補強型のほうが、補強なしより荷重が若干低いが、これは試験体のばらつき範囲にあると考えられ、大差はないものと思われる。

2つのタイロッド式を平均したものと、日本式とを比べると、日本式のほうが荷重は低いが、その差は10~15%と僅かである(ただし γ_3 が 1/250 rad 以下の範囲)。

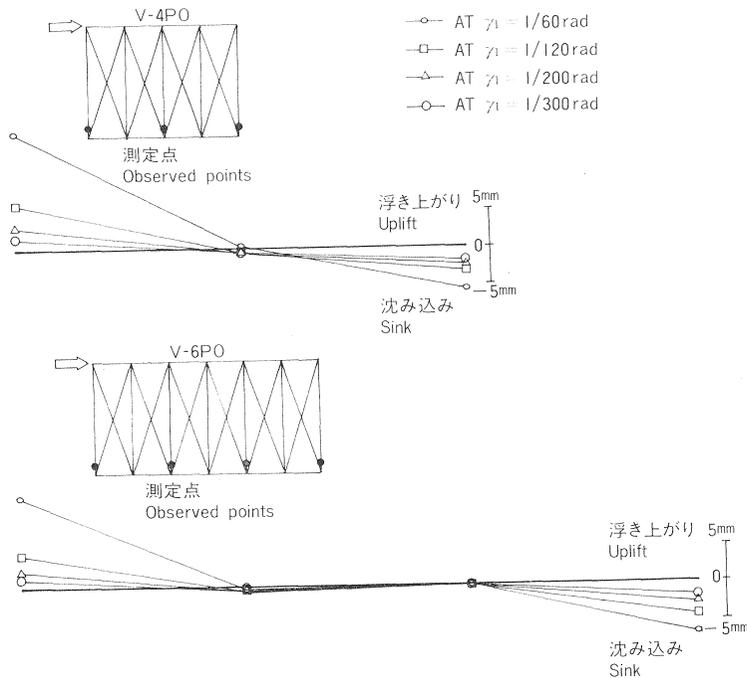
載荷式は、タイロッド式と日本式との中間的な試験法であることから、日本式の場合より高い荷重を示すことが期待される。また、有馬¹⁴⁾¹⁵⁾の報告によれば、鉛直荷重を大きくするほど、 γ_3 をベースにした荷重は上昇している。しかしながら、本実験では、載荷式は、日本式の場合よりも荷重が低く、この傾向に合致しなかった。

この理由についてはさらに検討を要するが、材料のロットの違い、乾燥履歴の違い(3-1の項を

Table 4. 壁倍率
Allowable load

試験方法 Testing method	$P 1/300^1$ (kg/m)	壁倍率 ² Allowable load	$P 1/300$ の時の γ_1 γ_1 at $P=P 1/300$ (rad)
T ₁	613	3.54	1/143
T ₂	591	3.41	1/166
J	537	3.10	1/115
V	432	2.49	1/163

- $\gamma_1=1/300$ rad 時の荷重 Load at $\gamma_1=1/300$ rad
- 許容耐力 (kg/m) はこの値に 130 をかけて得られる。Allowable load (kg/m) is obtained by multiplying this value by 130.

Fig. 12 縦枠の鉛直変位 V-4 PO, V-6 PO
Vertical movement of studs for specimens V-4 PO and V-6 PO.

$$\text{壁倍率} = P 1/300 \times \frac{3}{4} \times \frac{1}{130}$$

ここで、 $P 1/300$ は γ_3 が $1/300$ rad のときの荷重（壁長さ 1 m 当りに換算, kg/m）、 $3/4$ はばらつきによる低減係数、130 は荷重を壁倍率へ単位変換するための値である。

計算結果を Table 4 に示したが、これによると、間伐木を利用した本仕様の耐力壁の壁倍率は、枠組壁工法の同種の壁と同じ、2.5 倍前後になると思われる。

4-2 載荷式試験法による、壁長さとの関係

4P や 6P のように長い壁の場合、壁頂部の水平変位は、長さ方向の位置によって異なっていた。すなわち、その値は加力側から遠ざかるに従って減少し、試験体によってばらつきがあったが、その減少割合

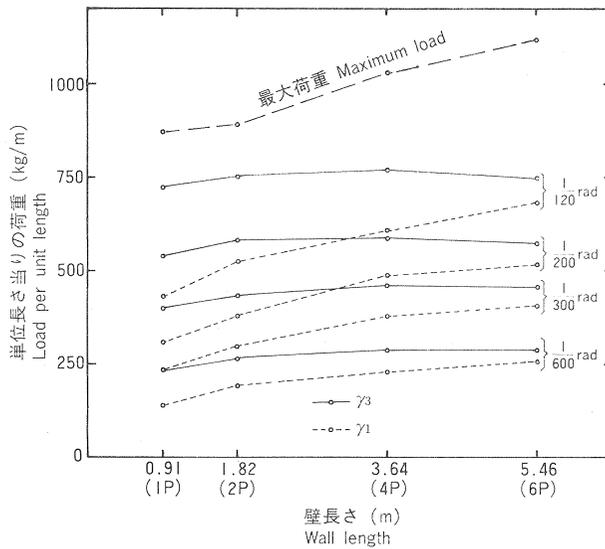


Fig. 13 載荷式試験法 (V) における壁長さとの関係
特定剪断歪み時との関係

Relationship between load per unit length corresponding to the indicated strain and wall length under testing method with vertical load (V).

…ラジアンのように特に定めて、これを特定剪断歪みと仮称する) における単位壁長さ当りの荷重と壁長さとの関係を示した。

これをみると、 γ_3 をベースにした荷重は、2P 以上になると壁長さにかかわらず、ほぼ一定値となる。この理由は、4-1 の項で述べたように、負荷条件が変わっても、 γ_3 はさほど変わらないことによるものと思われる。

次に γ_1 をベースにした荷重についてみると、壁が長くなるに従って上昇し、 γ_3 をベースにした荷重に接近していく傾向がみられ、6P においては、その 90% 以上の値にまで接近している。この傾向について解析すると、次のようである。

Fig. 12 は、4P および 6P 壁の、2P ごとに測定した縦樫の浮き沈みを示したものであるが、6P 壁に注目すると、壁の中間部では浮き沈みはほとんどみられない。測定点は 2P ごとであるが、細かに測定すれば、この領域はさらに広がっていると思われる。 γ_2 が小さい部分では、 $\gamma_1 \approx \gamma_3$ で、この部分が広いほど、 γ_1 をベースにした荷重は、 γ_3 をベースにした荷重に近づくことになる。

次に、負荷条件が変わっても、 γ_3 への影響は少ないことを利用して、試験体 V-2PO の P- γ_3 の関係を用い、4P、6P の盲壁の各 2P 部分の γ_3 から、剪断力の分布を求めた。

計算結果を Table 5, 6 に示した。各部の剪断力の総和は、実験値の荷重とよく一致し、この計算が妥当であることを示している。

6P 盲壁の場合、中央の 2P 部分が、両側の 2P 部分より、最高 40% も高い剪断力を負担していることがわかる。

最大荷重は、壁が長くなるほど上昇する傾向にあるが、6P 盲壁の最大荷重は、平均 1,113 kg/m で、

は長さ 2P ごとに 0~10% の範囲である。変位の差は、荷重がある程度上昇すれば、それ以上に大きくならない傾向がみられるので、これは壁体内の接合部のガタによるものと思われる。したがって以後の見かけの剪断歪みは、2P ごとに測定した平均値をもってその試験体の代表とした。

また、回転角 γ_2 は、Fig. 12 をみてもわかるように、壁の最外側における縦樫の浮き沈みから求めることは意味がない。ここでは γ_1 の場合と同様に、2P ごとに γ_2 を求め、各部で計算した γ_3 の平均値を γ_3 の代表値とした。

Fig. 13 に、特定剪断歪み時 (剪断歪みを 1/600, 1/300, 1/200, …

Table 5. V-4 PO 試験体における剪断力分布
Shear load distribution calculated from γ_3 of each 2P part for 4 PO walls

試験体 Specimen	γ_1 (rad)	P _{obs.} (kg)	$\gamma_3(\times 10^{-3}\text{rad})$		P _{cal.} (kg)		$\frac{\sum P_{cal.}}{P_{obs.}}$
			A	B	A	B	
V-4 PO-1	1/300	1,279	2,684	2,038	678	556	0.97
	1/200	1,710	3,881	3,576	875	828	1.00
	1/120	2,311	5,962	6,513	1,162	1,215	1.03
V-4 PO-2	1/300	1,343	2,404	2,649	672	672	0.97
	1/200	1,689	3,474	3,700	812	847	0.98
	1/120	2,322	5,417	6,456	1,105	1,211	1.00
V-4 PO-3	1/300	1,513	2,331	2,607	614	664	0.85
	1/200	1,932	3,301	4,099	784	911	0.88
	1/120	2,523	4,966	6,870	1,053	1,245	0.91

A : 加力側 2P 部分 2P part of loading side

B : A と反対側の 2P 部分 2P part of opposite side to A

Table 6. V-6 PO 試験体における剪断力分布
Shear load distribution calculated from γ_3 of each 2P part for 6 PO walls

試験体 Specimen	γ_1 (rad)	P _{obs.} (kg)	$\gamma_3(\times 10^{-3}\text{rad})$			P _{cal.} (kg)			$\frac{\sum P_{cal.}}{P_{obs.}}$
			A	B	C	A	B	C	
V-6 PO-1	1/300	2,115	2,633	3,572	2,213	669	827	591	0.99
	1/200	2,729	3,833	5,446	3,581	867	1,017	829	0.99
	1/120	3,670	6,079	8,652	5,750	1,174	1,391	1,140	1.01
V-6 PO-2	1/300	2,393	2,666	3,544	2,267	675	823	602	0.88
	1/200	3,028	3,814	5,253	3,500	864	1,087	816	0.91
	1/120	3,971	6,183	8,523	6,270	1,185	1,380	1,194	0.95
V-6 PO-3	1/300	2,157	2,584	3,499	2,275	660	816	603	0.96
	1/200	2,635	3,459	4,888	3,287	807	1,044	782	1.00
	1/120	3,561	5,638	8,729	6,339	1,128	1,397	1,201	1.05

A : 加力側 2P 部分 2P part of loading side

B : 中央の 2P 部分 Central 2P part

C : A と反対側の 2P 部分 2P part of opposite side to A

これは 2P 盲壁のタイロッド式 (T_1 および T_2) による, 平均最大荷重 1,147 kg/m と, ほぼ同じ値である。

4P および 6P 盲壁の破損状態は, すでに 4-1 の項で述べた載荷式, 日本式試験法による 2P 盲壁のそれと同じであった。なお, 最大耐力近くでは, 圧縮側縦枠の座屈現象がみられた。座屈の方向は, 壁面に対して直角で, 合板を張った側, 張られていない側の両方がみられた。

4-3 各試験体における, 荷重-歪み曲線の相似性

いま, 載荷式試験法による 6P 盲壁の γ_1 を基準にとり, 単位壁長さ当りの同じ荷重に対する, 他の試験体の γ_1 または γ_3 との関係をプロットしてみた (Fig. 14)。

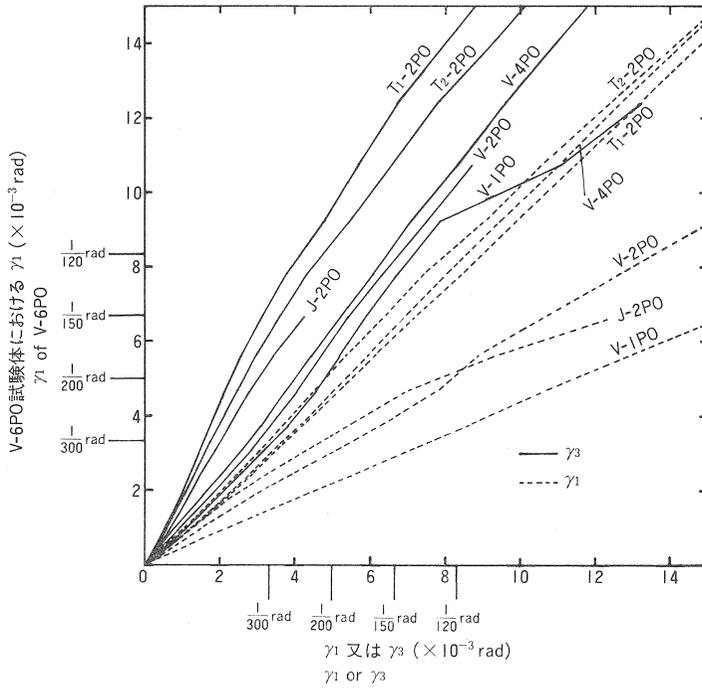


Fig. 14 単位長さ当りの同じ荷重に対する V-6 PO の γ_1 と他の試験体の γ_1 または γ_3 との関係
Relationship between γ_1 of V-6 PO and γ_1 or γ_3 of the other specimens at the same load per unit length.

この図を見れば、変形が大きくなった（破壊に近づいた）ところで、若干の例外がみられるものの、いずれの試験体においても、これらの関係は高い直線性を示している。

すなわち、直線の傾きを k (k' , k'' , k''' , ...) とすると、

$$\begin{aligned} (V-6PO)\gamma_1 &= k' \cdot (V-2PO)\gamma_1 = k'' \cdot (V-2PO)\gamma_3 \\ &= k''' \cdot (T_1-2PO)\gamma_1 = k'''' \cdot (T_1-2PO)\gamma_3 \\ &= \dots \end{aligned}$$

の関係が存在する。ただし $(V-6PO)\gamma_1$ は、試験体 V-6 PO の γ_1 であることを示す。

これは、試験法や壁長さが違っても、それらの歪み量相互の間には、荷重に関係なく一定の比率が存在し、各試験体における、荷重-歪み曲線を、歪み軸のスケールを k 倍して書けば、すべて 1 本の曲線に重なることを示唆している。いま 6P 盲壁の γ_1 を基準にとったが、基準は、他の試験体であってもよいし、また γ_3 であっても差し支えない。

以上を数学的に表現すれば、次のようである。すなわち、V-6 PO における P- γ_1 の関係を

$$P = f(\gamma_1)$$

とすると、他の試験体のそれは、同じ関数で表わされ

$$P = f(k \cdot \gamma)$$

となる。ただし、 P は単位長さ当りの荷重、 γ は γ_1 または γ_3 、 k は試験方法、壁長さ、 γ の種類によって決まる定数である。

Table 7. 定数 k の値
Values of constant k

γ	Specimens						
	V-1 PO	V-2 PO	V-4 PO	V-6 PO	T ₁ -2 PO	T ₂ -2 PO	J-2 PO
γ_1	0.44	0.62	0.93	1.00	0.92	1.04	0.70
γ_3	1.16	1.19	1.28	1.20	1.92	1.89	1.56

Table 8. 開口壁における盲部分の剪断力
Shear load calculated from γ_3 of each blind part of walls with openings

試験体 Specimen	γ_1 (rad)	P _{obs.} (kg)	$\gamma_3(\times 10^{-6}\text{rad})$			P _{cal.} (kg)			$\frac{\sum P_{cal.}}{P_{obs.}}$
			A	B	C	A	B	C	
V-4 PT	1/300	757	3,139	—	1,928	378	—	267	0.85
	1/200	1,007	4,657	—	2,852	508	—	354	0.86
	1/120	1,438	7,665	—	4,833	656	—	519	0.82
V-4 PM	1/300	823	1,611	—	635	234	—	108	0.42
	1/200	1,022	2,539	—	802	326	—	131	0.45
	1/120	1,253	4,362	—	1,418	484	—	213	0.57
V-6 PN	1/300	2,097	1,660	3,511	2,918	239	818	360	0.68
	1/200	2,712	2,607	5,073	4,319	332	1,066	479	0.69
	1/120	3,564	4,247	8,321	7,223	471	1,364	638	0.69
V-6 PS	1/300	1,196	1,718	2,751	2,673	245	345	338	0.78
	1/200	1,614	2,493	3,550	3,677	322	412	421	0.72
	1/120	2,312	4,172	5,201	5,901	463	540	578	0.68

A : 加力側の盲部分 Blind part of loading side
 B : 中央の盲部分 Central blind part
 C : Aと反対側の盲部分 Blind part of opposite side to A

k の値を Table 7 に示す。これら k の値が既知であれば、一つの試験の結果から、他の試験法を用いた場合や、壁長さを変えた場合の変形が予測できる (ただし最大荷重付近を除く)。

6P の壁は、建物の一面を構成する現実的寸法の壁であり、載荷式による実験は、建物内の壁の動きをシミュレートしたものであると考えて、2P の標準試験体との対応をみると、次のようになる。

同じ載荷式試験法による 2P 壁で、 $\gamma_3 = 1/300 \text{ rad}$ のときの荷重を許容耐力とした場合、6P 壁の変形は、 $\gamma_1 \approx 1/250 \text{ rad}$ となる。

4-4 開口を有する壁の変形

この項では、開口を有する壁の盲張り部分が、その壁中における位置や、隣接する小壁の種類等によって、耐力発揮のメカニズムに、どのような影響を受けるかについて検討した。

Table 8 は、開口壁中の盲張り部分の剪断力の分担を、4-2 と同じ方法で求めたものである。

実験値の荷重と、各盲張り部分の剪断力の総和との差が、小壁の効果であると考えられるが、開口を有することにより、盲壁の場合とは異なる変形状態を呈しているため、この点については後で考察する。

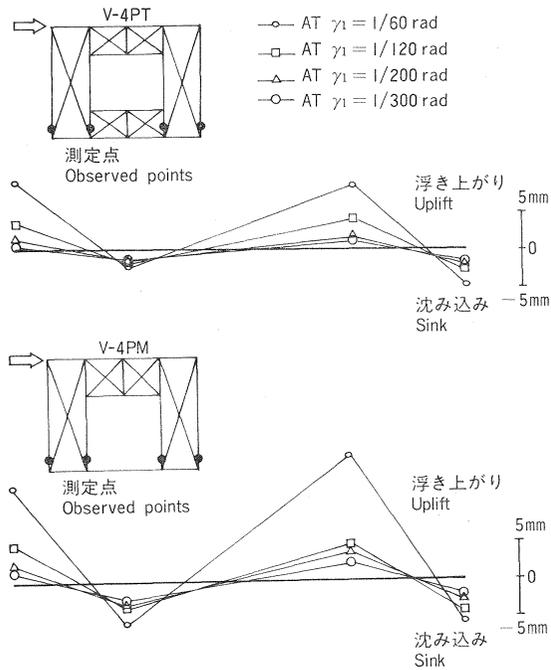


Fig. 15 縦枠の鉛直変位 V-4 PT, V-4 PM
Vertical movement of studs for specimens V-4 PT and V-4 PM.

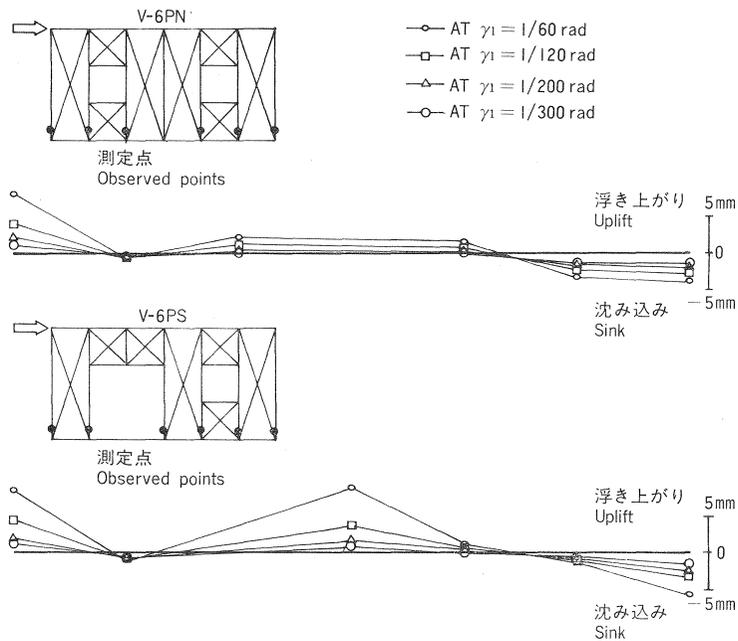


Fig. 16 縦枠の鉛直変位 V-6 PN, V-6 PS
Vertical movement of studs for specimens V-6 PN and V-6 PS.

Fig. 15, 16 は脚部の浮き沈みを示したものである。以下に試験体ごとに順を追って述べる。

まず、V-4PT であるが、加力側 1P 部分の剪断力の分担は、反対側 1P 部分のそれより大きい。この理由は、脚部の浮き上がりに起因すると考えられる。すなわち、両者の浮き上がりとなる部分をみれば、加力側 1P 部分が帯金物で補強されているのに対して、反対側の 1P 部分には帯金物がなく、隣接する腰壁が補強効果を与えていると考えられるものの、両者の γ_2 を比較すれば、補強金物の効果の方が大きいと考えられる。

次に V-4PM について、V-4PT と比較すれば、腰壁の効果がよくわかる。開口側の二つの測定点での浮き沈みをみれば、腰壁のない V-4PM は、浮きと沈みの両方とも変位が大きく、腰壁が浮き上がりだけでなく、沈み込みに対しても補強効果を発揮することを示している。

次に V-6PN をみると、中央 2P 部分の浮き沈みは小さく、中央が回転の生じにくい位置であることを示している。したがってこの部分が分担する剪断力は大きい。

壁の圧縮側となる 1P 部分は、全体的に沈み込みとなるが、回転も小さく、剪断力の分担は引張側の 1P 部分より大きい。

引張側の 1P 部分は、全体的に浮き上がる傾向にあり、回転も比較的大きく、分担する剪断力は小さい。

V-6PS についても、V-6PN と同様なことはいえるが、中央の 1P 部分は、浮き上がりとなる側に、補強金物や腰壁がないにもかかわらず、圧縮側 1P 部分と同程度の剪断力を分担している。これは回転しにくい中央の位置によるものであろう。

これまでは剪断変形だけについて考えてきたが、Photo. 11 をみると、まぐさが圧縮側の 1P 部分を押ししているのがみられる。すなわち小壁と盲張り部分との接合部で 2 次応力が発生し、それによって盲張り部分は、少なからず変形を生じているものと思われる。

ちなみに V-4PM の圧縮側縦枠の矢高（部材角を測定している標点間における中央部の矢高）は、 γ_1 が 1/300 rad, 1/200 rad, 1/120 rad のとき、それぞれ 1.26 mm, 1.87 mm, 2.74 mm であった。

したがって、開口壁における耐力機構の解析を行うには、さらに細かに変形を測定し、2 次応力による変形についても考慮する必要があると思われる。

各壁の盲張り部分の合計長さは、2P~4P であるが、 $\gamma_1 = 1/300$ rad 時の荷重をこの合計長さで除した値を Table 9 に示した。いずれの試験体も、V-2PO における $\gamma_3 = 1/300$ rad 時の荷重 432 kg/m に対して、同程度かそれ以上の値を示している。

Table 9. 開口壁における盲部分の合計長さ当りの荷重
Load per total length of blind part of walls with opening

試験体 Specimen	盲部分の合計長さ① Total length of blind parts (m)	$\gamma_1 = 1/300$ rad 時の①当り荷重 Load per length ① at $\gamma_1 = 1/300$ rad (kg/m)	①当り最大荷重 Maximum load per length ① (kg/m)
V-4PT	1.82 (2P)	416	1,000
V-4PM	1.82 (2P)	452	893
V-6PN	3.64 (4P)	576	1,482
V-6PS	2.73 (3P)	438	1,290

また全長の等しい、V-4 PO あるいは V-6 PO における $\gamma_1 = 1/300 \text{ rad}$ 時の荷重、379 kg/m、406 kg/m に対しても 8~42% 高い値を示した。この高い分は小壁の効果であると考えられる。

最大耐力（盲張り部分の合計長さ当り）は Table 9 に示したとおりであるが、いずれも、盲張り部分の合計長さと同じ長さの盲壁のそれを上回った。

破損状態は、同じ載荷式による盲壁の試験と同様の現象がみられたが、その他に、小壁と盲張り部分との接合部において発生した。2次応力による破損がみられた。特に圧縮力は、盲張り部分の局部に集中し、この付近の合板が、とめている釘の頭にパンチングシアされながら、面外へはらんで座屈するといった現象がみられた (Photo. 11~14)。

さらに、壁の上部においては、頭つなぎと上枠とが、上下方向のうねりを呈した (Photo. 12)。

5. 結 言

スギの小径間伐木からの製材品を枠材とし、これに厚さ 7.5 mm の構造用合板を釘打ちした耐力壁を用い、試験方法、壁長さ、開口の存在等が剪断性能に及ぼす影響について検討した。得られた結果を要約すると、次のようである。まず間伐木を利用した壁の耐力は、

1) 本仕様の耐力壁は、枠組壁工法の同種のもの、ほぼ同等の壁耐力（倍率で 2.5）を有すると考えられる。

試験方法の影響は、

2) 見かけの剪断歪み γ_1 は、試験法の影響を受けるが、 γ_1 より壁の回転を差し引いた剪断歪み γ_3 は、比較的影響が少ない。

次に、載荷式試験法による壁長さ (1P~2P) の影響は、次の 3)、4)、5) の様である。

3) γ_3 をベースにした、特定歪みに対する荷重（壁の単位長さ当り）は、2P 以上になると、壁長さに関係なく、ほぼ一定となる。

4) γ_1 をベースにした、特定歪みに対する荷重は、壁が長くなるに従って上昇し、 γ_3 をベースにした荷重に接近する。この理由は、壁長さがある程度以上になると、壁中央に回転変形の生じない部分ができ、この部分では $\gamma_1 \approx \gamma_3$ となる。壁が長くなるとこの領域は広がって、壁全体として、 γ_1 は γ_3 に接近するためであると考えられる。

5) 長い壁の場合、剪断力の長さ方向の分布は、中央が最大で、ついで圧縮側が大きい。

次に、同一仕様の試験体の場合、その荷重-歪み曲線相互の間には、破壊近くの部分を除き、次の様な相似性が存在することがわかった。すなわち、

6) 試験法、壁長さの違い、変形の選択 (γ_1 か γ_3) 等にかかわらず、同じ荷重（単位長さ当り）に対する歪みの間には、一定の比率が存在する。すなわち、すべての試験体について、荷重-歪み曲線は、一つの函数形 $P=f(k \cdot \gamma)$ で表わすことができる。ここで P は単位長さ当りの荷重、 γ は γ_1 または γ_3 、 k は試験方法、壁長さ、 γ の種類によって決まる定数である。

したがって、種々の条件における k が判れば、一つの試験結果から、他の条件下における壁の変形の予測が可能であり、 k の値について資料を蓄積することが、今後とも望まれる。

開口壁については、

7) 開口を有する壁の盲張り部分は、その位置、隣接する腰壁等の影響によって、分担する剪断力が異

なる。すなわち、中央付近に位置するほど、回転変形は小さくなって、分担する剪断力は大きくなり、腰壁が隣接すると、壁の浮き沈みに対して補強効果を発揮するので、分担する剪断力は大きくなる。

しかしながら、開口壁は、盲壁の場合と違って、小壁と盲部分との接合部に2次応力が発生し、耐力機構が異なっていると推定されるので、さらに細かな研究を行うことが、今後とも必要である。

引用文献

- 1) 佐野 弘・伊藤友一：間伐材を利用した試作住宅に関する実大実験，建築学会，大 53 構，(1978)
 - 2) 杉山英男・野口弘行・鈴木秀三：枠組壁工法を用いた実大建物における耐力壁要素の挙動とその分析（第1報），建築学会，大 49 構，(1974)
 - 3) 杉山英男・野口弘行・鈴木秀三：同（第2報），建築学会，大 49 構，(1974)
 - 4) 杉山英男・鈴木秀三・野口弘行：同（第3報），建築学会，大 49 構，(1974)
 - 5) 鈴木秀三・杉山英男：枠組壁工法を用いた耐力壁のせん断性状に及ぼす水平長さの影響に関する実験的研究，建築学会，大 50 構，(1975)
 - 6) 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・シーリング材・釘打ちの影響に関する実験的研究（第1報），建築学会，論 232，(1975)
 - 7) 杉山英男・鈴木秀三：同（第2報），建築学会，論 233，(1975)
 - 8) 杉山英男・菊池重昭・野口弘行：実大建物加力試験を通して見た枠組壁工法による合板張り耐力壁のせん断耐力，建築学会，論 247，(1976)
 - 9) 野口弘行・杉山英男：枠組壁工法建物内における層せん断力の流れについて（第1報），建築学会，論 248，(1976)
 - 10) 野口弘行・杉山英男：同（第2報），建築学会，論 261，(1977)
 - 11) 鈴木秀三・杉山英男・竹村喜次：枠組壁工法実大建物における耐力壁の挙動分析（第1報），建築学会，論 269，(1978)
 - 12) 鈴木秀三・杉山英男・野口弘行：同（第2報），建築学会，論 271，(1978)
 - 13) 久田俊彦・木造壁体の耐力に関する研究，建築学会，論 42，(1951)
 - 14) 有馬孝礼：木質系壁パネルの鉛直加力下の水平交番加力に対する面内せん断性能の実験的研究（第1報），建築学会，大 51 構，(1976)
 - 15) 有馬孝礼：同（第2報），建築学会，大 51 構，(1976)
 - 16) 建設省建築研究所：昭和 49 年度総合技術開発プロジェクト小規模住宅の新施工法の開発，(1975)
- 注) 大 53 構は，昭和 53 年度大会学術講演梗概集（構造系）を，大 51 構は，昭和 51 年度関東支部学術研究発表会梗概集（構造系）を，および論 217 は，論文報告集 217 号を示す。

Studies on Wood-Panel Construction (I)
Effect on racking resistances of bearing wall due to
testing methods and wall length

Fumio KAMIYA⁽¹⁾, Yoshihiko HIRASHIMA⁽²⁾, Yoshio HATAYAMA⁽³⁾
 and Noriyuki KANAYA⁽⁴⁾

Summary

This paper presents the influence of test methods and wall length in the shearing properties of a wooden bearing wall.

The results of the full-scale tests in several types of walls with openings are also reported. These walls are used as the components of a building of which test results will be reported in part II.

1. Specimens

The types of wall specimens are shown in Fig. 1. The walls were constructed with 7 cm × 7 cm studs, 3.5 cm × 7 cm plates and 7.5 mm-thick plywood sheathings. The wall lengths were divided into 0.91 m (1P), 1.82 m (2P), 3.64 m (4P) and 5.46 m (6P) types. Three specimens from each type were tested except for walls with openings.

2. Testing methods

Four testing methods were adopted for specimens 2P, i. e. method with tie rods (T₁, T₂), a method without tie rods (J) and a method with a vertical load (V) (see Figs. 2 to 5 and Photos. 1 to 4).

Method T₂ is different in the way of wall setting from method T₁. In the case of T₂, J and V steel straps were used in order to prevent the uplifting movement of the stud (see Fig. 3).

For other specimens, a method with the vertical load (V) was adopted. The vertical load was kept at 200 kg/m while testing. This value of load was determined in consideration of the dead load which operated on the walls in the actual building.

3. Test results and discussion

The deformation of walls was estimated by using the apparent shear strain γ_1 , the rotation angle γ_2 and the actual shear strain γ_3 . γ_1 , γ_2 and γ_3 are calculated as follows (see Figs. 2, 4 and 5)

$$\gamma_1 \text{ (rad)} = (H_1 - H_2) / h$$

$$\gamma_2 \text{ (rad)} = (V_1 - V_2) / l$$

$$\gamma_3 \text{ (rad)} = \gamma_1 - \gamma_2$$

An example of load-deformation curves is shown in Fig. 6.

3. 1 Influence of testing methods

The results of tests for specimens 2P under all testing methods are shown in Tables 2 and 3 and Figs 7 and 8.

The apparent shear strain γ_1 due to tie rod methods (T₁, T₂) was greater than that due

Received October 17, 1980

(1) (2) (3) (4) Wood Utilization Division

to other methods (J, V). But, the influence of test methods on the actual shear strain γ_3 was very slight.

It seems to be unreasonable that γ_3 of J-2 PO was greater than that of V-2 PO. This is possibly due to the different way of making specimens. The series of specimens V were made when the moisture content of the members was over 30%, and were tested after indoor natural drying of three months, while other specimens were made of naturally dried members.

The relationship between rotation angle ratio (γ_2/γ_1) and apparent shear strain (γ_1) is shown in Fig. 9.

Under non-rod methods (J, V), γ_2/γ_1 increased as γ_1 increased. This indicates that the influence of the rotation of the wall on the apparent shear strain became great as γ_1 increased.

Under tie rod methods (T_1, T_2), the contrary phenomenon was presented.

The relationship between the neutral point ratio (X_n) and the apparent shear strain (γ_1) is shown in Fig. 10. X_n is determined as follows (see Figs. 2, 4 and 5)

$$X_n = V_2 / (V_1 - V_2)$$

Under non-rod methods (J, V), X_n decreased as γ_1 increased. This indicates that the uplifting movement became greater than the sinking movement as γ_1 increased.

Under tie rod methods (T_1, T_2), X_n was almost constant.

3. 2 Influence of wall length

In the case of long wall specimens (4 P, 6 P), the values of γ_1 and γ_3 were different at the points where they were measured. Therefore, averaged γ_1 and γ_3 which were measured at each 2 P (1.82 m) part of the walls were used.

The relationship between the load per unit length of wall corresponding to the indicated strain γ_1 or γ_3 and the wall length is shown in Fig. 13.

The load corresponding to the indicated strain γ_3 is almost constant regardless of wall length for lengths over 1.82 m.

The other load corresponding to the indicated strain γ_1 was increased and approached to the load corresponding to the same strain γ_3 as the wall length increased.

The vertical movements of studs are shown in Fig. 12. It can be seen that the vertical movements around the central part of the wall are very slight. Therefore, at the central part of the wall γ_1 was almost equal to γ_3 .

For this reason, the load corresponding to γ_3 approached the load corresponding to γ_1 as the wall length increased.

The shear load distribution of the wall is shown in Tables 5 and 6. The shear load was calculated from γ_3 of each 2 P part using the averaged P- γ_3 curve for specimens V-2 PO.

For specimens V-6 PO, the shear load of the central 2 P part was greater than that of other parts.

The relationship between γ_1 of V-6 PO and γ_1 and γ_3 of the other blind walls at the same load per unit strength is shown in Fig. 14.

These relationships were almost linear. This indicates that the P- γ curves for the walls which are made according to the same specifications, regardless of the type of testing method and the wall length, can be expressed as the same formula

$$P = f(k \cdot \gamma)$$

where P is load per unit length, k is constant and γ is γ_1 or γ_3 .

The values of k for the other blind walls under each testing method when the P- γ_1 curves of V-6 PO are expressed as $P = f(\gamma_1)$ are shown in Table 7.

3. 3 Reaction of walls with opening

The vertical movement of the studs of walls with openings are shown in Figs. 7 and 8. It can be seen that the rotation of blind parts are influenced considerably by openings.

The shear load distribution calculated in the same way for V-4 PO and V-6 PO is shown in Table 8.

In Japan only blind parts are generally considered to be bearing walls. Therefore, the load per total length of blind parts was calculated and is shown in Table 9.

These loads at $\gamma_1=1/300$ rad were almost equal to or greater than the load per unit length for V-2 PO, at 432 kg/m.

3. 4 Types of failure

Specimens 2 PO under tie rod methods; All nails which fastened the plywood to frames yielded due to shearing and the plywood was punched out by the nails (see Photos. 5 and 9).

Specimens 1 PO, 2 PO, 4 PO and 6 PO under non-rod methods; At the loading side of the wall, the steel strap joint was damaged and studs were uplifted. At the same time, the nails which fastened the bottom of the plywood in the sole plate yielded and this part of the plywood was punched out by these nails (see Photos. 7 and 8).

The studs of the compression side of the wall were buckled, but this seems to hardly affect maximum load (see Photos. 9 and 10).

Specimens of walls with openings; The types of failure were almost the same as with blind walls. In addition, the following failure was observed.

The secondary forces occurred where blind parts and small walls were joined were concentrated at local part and brought about the buckling of the plywood (see Photos. 11 to 14).

4. Conclusion

1. The apparent shear strain γ_1 is significantly influenced by the type of testing method. On the other hand, there is slight effect on the actual shear strain γ_3 .

2. The actual shear strain γ_3 corresponding to the same load per unit length is independent of walls which were tested in this study, and the shear strain γ_1 increases and approaches to γ_3 as the wall length is increased.

3. From the above it seems to be appropriate that the allowable strength of the bearing wall is estimated on the basis of the actual shear strain γ_3 .

4. In long walls, the shear load distribution is localized. i. e. shear load is maximum around the center part of the wall.

5. P- γ curves for blind walls which were tested in this study, regardless of the type of testing method and the wall length, can be expressed as the same formula

$$P=f(k\cdot\gamma)$$

where P is load per unit length, k is constant and is decided upon according to the testing method, wall length and selection of γ , and γ is γ_1 or γ_3 .

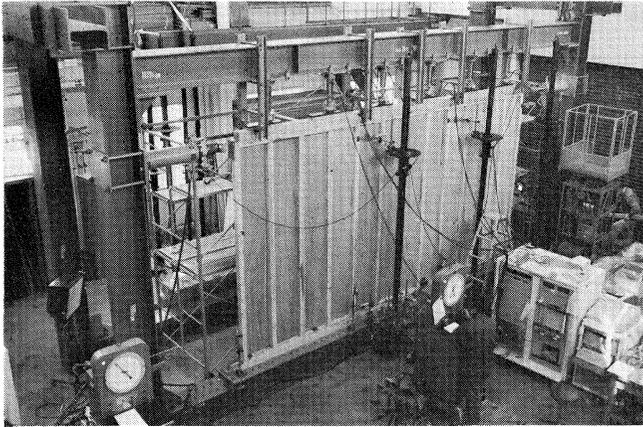


Photo. 1 加力装置全景
General view of testing apparatus.

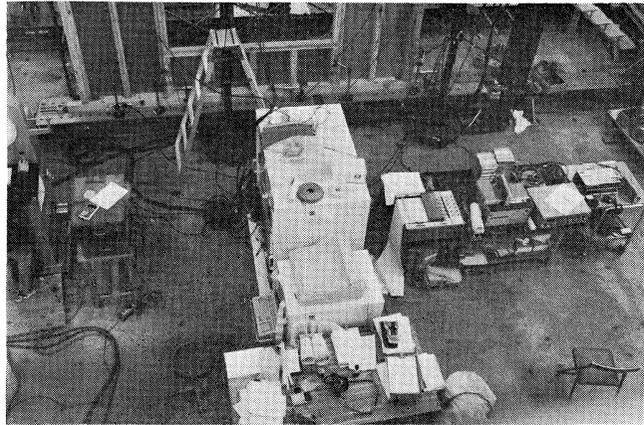


Photo. 2 測定装置一式
Data acquisition system.

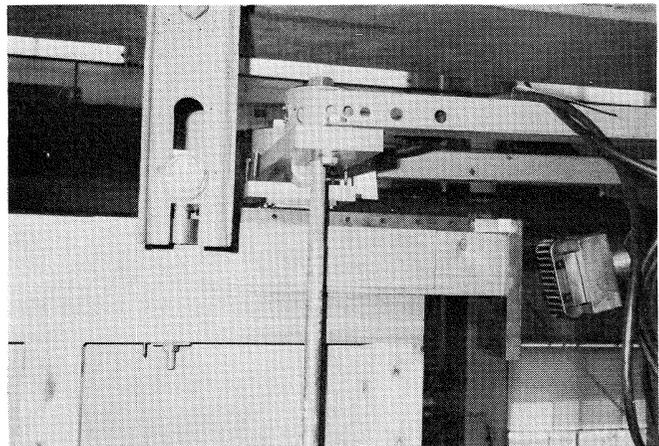


Photo. 3 タイロッド式試験法
Testing method with tie rod.

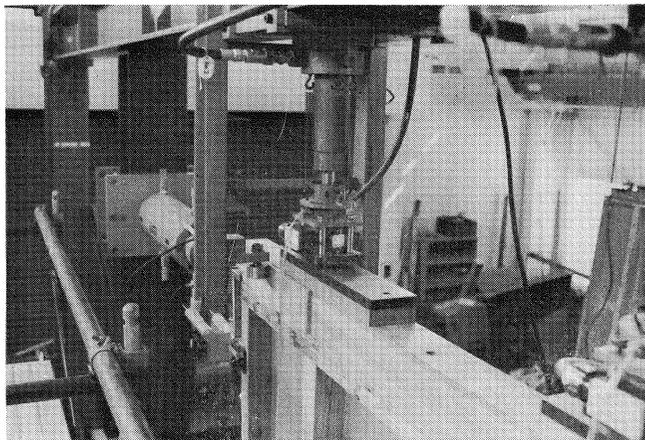


Photo. 4 載荷式試験法
Testing method with vertical load.

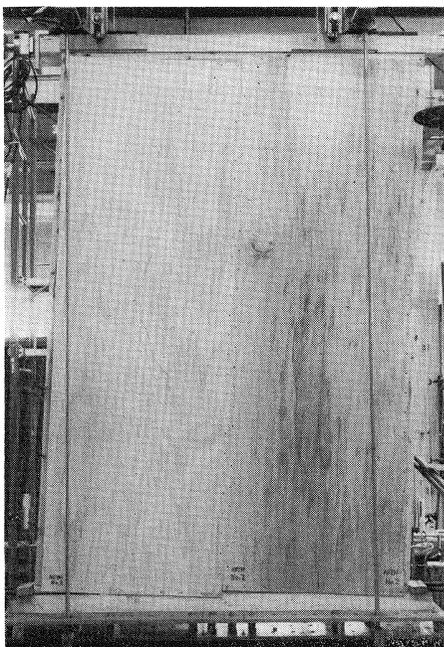


Photo. 5 タイロッド式試験法による
壁の変形
Whole view of deformation of wall under tie rod method.

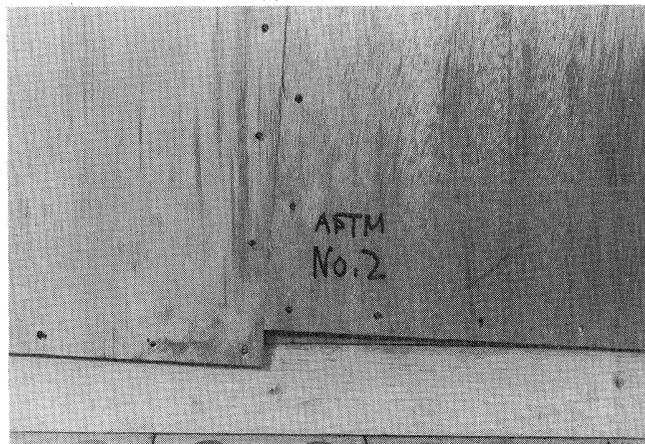


Photo. 6 同 (下部)
Deformation of wall under tie rod method at the lower part.

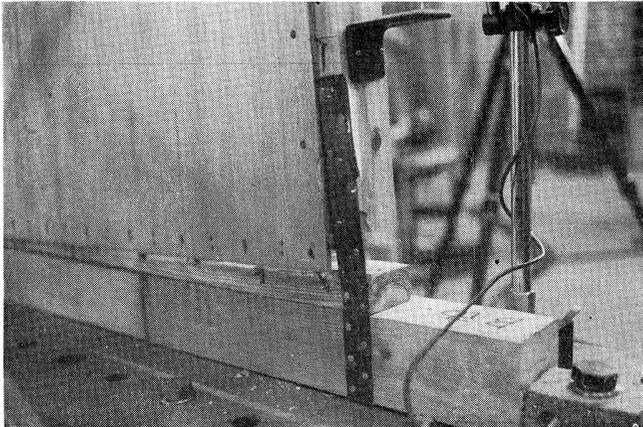


Photo. 7 帯金物補強部分の破損と
下枠釘列による合板のパン
チングシア

Damage of steel strap joint
and punching out of plywood
by nails.

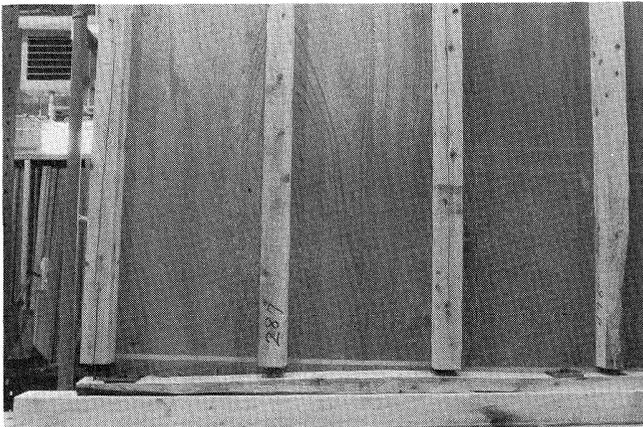


Photo. 8 縦枠の浮き上り
Uplifting movement of studs.

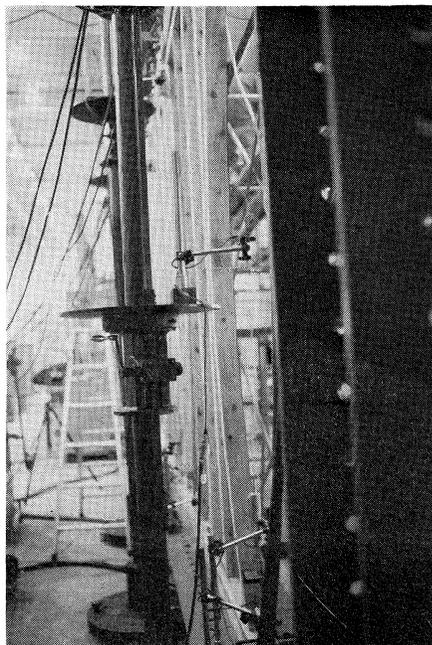


Photo. 9 壁の圧縮側における縦枠の
座屈

Buckling of stud at compression
side of wall.

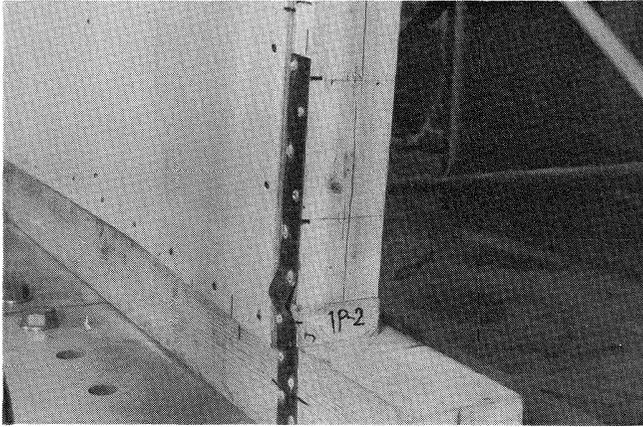


Photo. 10 帯金物の座屈
Buckling of steel strap.



Photo. 11 開口壁の変形(全体)
Whole view of deformation of wall with opening.

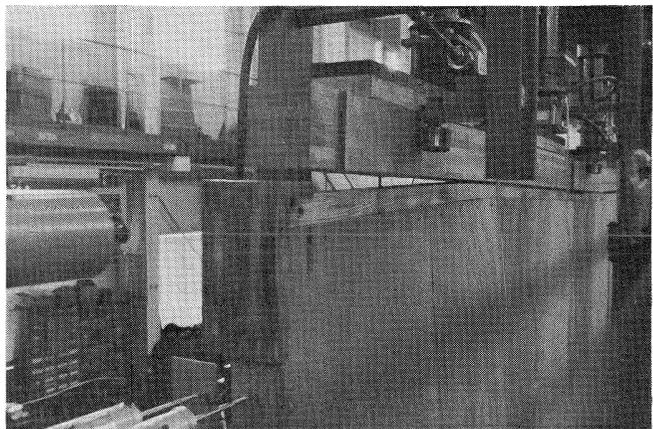


Photo. 12 開口壁の変形(上部)
Deformation of wall with opening at the upper part.



Photo. 13 開口壁において二次的に発生した圧縮力による合板の座屈破損（掃き出し開口部）
Buckling failure of plywood by secondary forces for specimen V-4 PM.

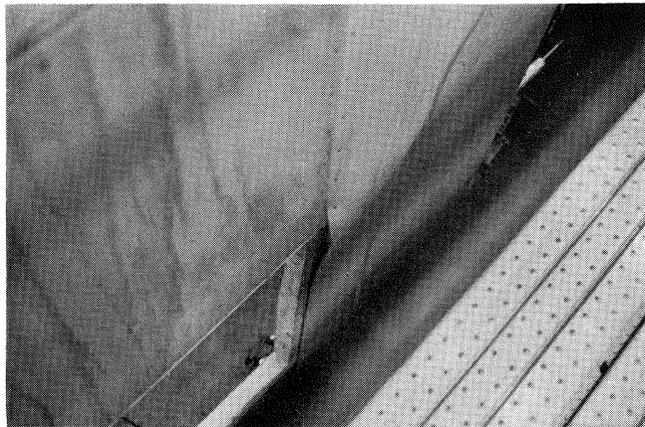


Photo. 14 同（窓型開口部）
Buckling failure of plywood by secondary forces for specimen V-6 PS.