

平成2年度農林水産省補助事業
日本住宅・木材技術センター事業

間伐材等小径材利用住宅工法 開発事業報告書

平成3年3月

(財)日本住宅・木材技術センター

目 的

第 1 章 国産小径木を利用した耐力壁の水平せん断力

1. 序	1
2. 実 験	1
2.1 試 験 体 1	
2.2 試験方法 2	
3. 結果および考察	3
3.1 せん断耐力の評価方法 3	
3.2 せん断試験結果 4	
3.2.1 Aシリーズ 4	
3.2.2 Bシリーズ 4	
3.2.3 横張りパネルと縦張りパネルの比較 5	
4. 結 論	25
5. 文 献	25

第2章 「天秤鎌継ぎ」型接合部のモーメント抵抗性能

1. 「天秤鎌継ぎ」(自称)の特徴	26
2. 小断面(105角材)の仕口および継手	27
2.1 試験体 27	
2.2 試験方法 27	
2.3 実験結果(SBタイプ, PBタイプ) 28	
3. 「天秤鎌継ぎ」工法を木造大断面架構(重木構造)の 柱-はり接合に使用した場合の実験	29
3.1 実験計画 29	
3.2 実験結果 39	

〔付録〕 天秤鎌継ぎに関する実験的研究

1. はじめに	53
2. 実験計画	53
2.1 試験体 53	
2.2 試験体の分類 53	
2.3 実験方法 54	
3. 実験結果	54
3.1 最大耐力 54	
3.2 履歴ループと破壊性状 55	
4. エネルギー吸収性状	56
5. まとめ	56

第 3 章 204 サイズのスキ間伐材における鋼板添板式 ボルト接合部の耐力

1. 目 的	57
2. 試 験 材	57
3. 試験結果および考察	58

第 4 章 間伐材等芯持小径材の接合強度データ

1. はじめに	66
2. 接合強度データの整備状況	66
3. 接合具 1 本または 1 個の基礎的接合強度	66
(1) 合板を側材とする釘接合	67
(2) ボルト接合	67
(3) シアプレート接合	68
4. 接合法の改良	68
5. 高強度継手の強度	69

はじめに

本事業は、かねてより間伐材等小径材の需要拡大を推進するため、当財団が開発したトラス及びパネル等を複合部材化して利用する「7×7工法住宅(70及び75シリーズ)」並びに丸太を壁に利用した校倉構法住宅「森林の家」の普及啓発に努めてきた。

本年度は、新たな観点から間伐材等の部材化利用の推進を図るため、間伐材等小径材を利用した

- (1)校倉耐力壁(縦張りタイプ)の水平せん断耐力試験、壁体の力学的性状、耐力壁の算定及び施工性の検討。
 - (2)接合金物による間伐材等の接合実験と接合効率の検討。
 - (3)スギ間伐 204材の鋼材添板式ボルト接合による耐力試験、耐力に及ぼすボルト径及び端距離の影響の検討。
 - (4)間伐材等心持小径材の接合強度に関するデータの収集整備。
- を行い取りまとめた。

事業に実施にあたっては、次の方々の御指導御協力をいただき、厚く御礼申し上げますとともに、実験等の際し便を図っていただいた多くの方々に衷心より感謝の意を表す次第である。

神谷文夫 農林水産省森林総合研究所木材利用部構造性能研究室長

徳田迪夫 三重大学生物資源学部教授

定方 啓 豊橋技術科学大学建設工学系教授

平成3年3月

(財)日本住宅・木材技術センター
理事長 下川英雄

第1章 国産小径木を利用した耐力壁の 水平せん断耐力

1. 序

昨年までに、国産のスギ小径木を横張りにした在来構法用の耐力壁について、その水平せん断耐力を実験によって求め、壁耐力の評価を試みた。この種の壁は、小径木間のスリップが顕著なため、壁倍率を上げるにはスリップ防止方法を講ずる必要がある。そこで、接着、ダボ、鉄筋すじかいの3方法を取り上げ、最適スリップ防止方法を検討した。

本年度は、横張りと同様に使用頻度の高い縦張りについて、実験を行った。まず、スギ材間のスリップ防止は特に施さず、縦張り材端部のほぞに込み栓を何本か入れて補強をする方式について、実験を行った。次に、昨年までの実験成果によると、ダボと鉄筋すじかいがスギ材間のスリップ防止方法として優れていたもので、この2つの方法を取り上げた。なお接着については、部分接着でも、剛な壁体を構成したので、縦張りになっても、同様に十分な剛性を持っていると考えられるので、実験から省いた。

本年度の実験結果を基にして、横張りと同様の比較を行い、本工法のまとめとした。

2. 実験

2.1 試験体

実験に用いたのは、幅約1800mm、高さ約2700mmのいわゆる2Pパネルと、一部、幅2880mm、高さ2710mmの壁体である。試験体には大きく分けてAシリーズとBシリーズがある。

Aシリーズはスギ小径丸太の一面に丸身を残した断面をしており、これらを雇いざねで組んだ(図1-a、図1-b、写真1、2)。Aシリーズには5種類の壁を用意した。その詳細を表1に示した。A-1, 2は縦張りのスギ材端部のほ

ぞに木製の込み栓（20mm径）を打ち込んだ壁で、その数を上下各3本と6本とした。A-3は込み栓を6本打ち込んだ上に、壁の両端で、桁と土台を通しボルトで締め付けた（図2）。A-4とA-5は壁の長さが長く、込み栓は上下7本ずつとした。A-4は盲壁で、A-5はこれに窓開口を開けた壁である（図3）。

Bシリーズは昨年の実験に用いた壁と材料は同じで、横張りが縦に変わっただけである。図4に構成ユニットを示した。B-1は3箇所計6本のダボ（30mm x 30mm x 1100mm）を打ち込んだ（図5）。B-2は角ナットボルトを土台に埋め込んで、M12の鉄筋すじかいを取り付けた。すじかいはスギ材の中に隠れる。詳細を図6と表1に示した。

2.2 試験方法

試験体を床に寝かせ、土台を基礎のH鋼フレームにしっかりとクランプした。タイロッドは用いなかった。壁体と床の間には、ローラを挟み、摩擦を少なくした。

加力は容量20トン、ストロークが300mmの押し引き両用のオイルジャッキを用いた（図5、6、写真3）。加力は、基本的には一方向で、B-1試験体のみ、両振れとした。

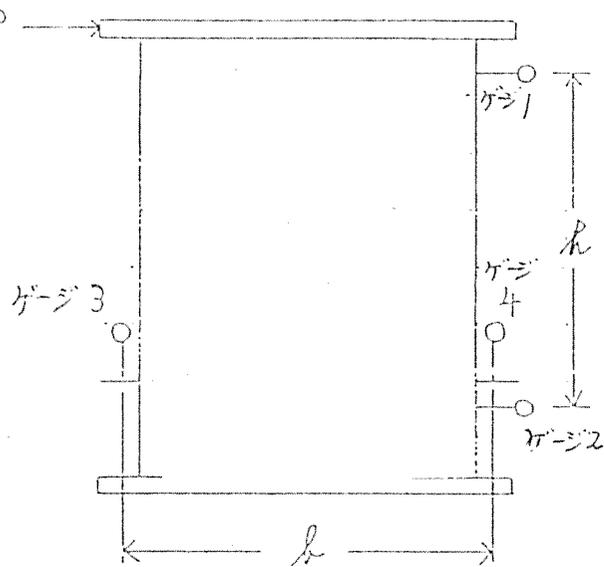
壁体の変形は、壁頂部の水平変位（ゲージ1）、脚元の水平変位（ゲージ2）、加力点側の柱の浮沈（ゲージ3）、加力点と反対側の柱の浮沈（ゲージ4）の4点で測定した。また、柱の曲げを調べるために、ゲージ1、ゲージ2の中間点にゲージ5を取り付けた。さらに、スギ縦張り材相互のスリップを測定した。測定位置は18本のスギ材を右から1、2、3・・・、17と番号付けすると、1と2、6と7、11と12、16と17の間の4箇所である。

B-2試験体は、鉄筋すじかいに加わる引張力をはかるために、中央の縦張り材に穴を開けて鉄筋を露出させ、そこにペーパーストレインゲージ（共和電業製、ゲージ長さ10mm、ゲージファクター2.10を貼った（写真5）。

3. 結果及び考察

3.1 せん断耐力の評価方法

日本建築センターの「低層建築物の構造耐力の性能評定に関する内部規程」に基づいて行った。



せん断変形角の測定

- δ_1 : 点1の水平変位
 - δ_2 : 点2の水平変位
 - δ_3 : 点3の鉛直変位
 - δ_4 : 点4の鉛直変位
- } 右向きを正とする。
} 上向きを正とする。

とすれば、

$$\text{見掛けのせん断変形角} : \gamma = \frac{\delta_1 - \delta_2}{h}$$

$$\text{浮き上がりによる回転角} : \theta = \frac{\delta_3 - \delta_4}{l}$$

$$\text{真のせん断変形角} : \gamma_0 = \gamma - \theta$$

許容耐力は、荷重と見かけのせん断変形角のグラフより求めた。見かけのせん断変形角 (γ') が $1/120 \text{ rad}$. 時の壁長さ 1 m 当りの荷重に $3/4$ を乗じた値を許容耐力とした。壁倍率はこの許容耐力を 130 kgf で割ったものである。

3. 2 せん断試験結果

3. 2. 1. Aシリーズ

Aシリーズ試験体はすべて、壁全体のせん断変形が限りなく進んで行った。図7に、試験体 A-1、A-2、A-3の見かけの荷重と見かけのせん断変形 (γ)、脚元の回転角 (θ)、および真のせん断変形角 (γ_0) の関係を示した。また図7には、A-4とA-5のものを示した。図7を眺めると、込み栓の効果はあるものの、壁全体の剛性に及ぼす影響は微々たるものである。また、通しボルトを用いることによって、耐力は増加するが、壁倍率にすると0.3程度である。

A-4とA-5を比較すると、開口部の有無は壁の耐力にほとんど影響がない(図8)。これは、壁自体の強度が低かったためと考えられる。

以上Aシリーズを総合すると、縦張り材間の補強を施さないと、壁倍率は高々1である。また、込み栓程度では数を増やしても、壁倍率の増加にはつながらない。

壁の長さが増すと、壁単位長さ当りの見かけのせん断変形は小さくなり、壁倍率が見かけ上かなり増加する。このことは、神谷らの行った合板張りの耐力壁と傾向は似ている¹⁾。

3. 2. 2 Bシリーズ

図9にB-1試験体(ダボ)とB-2(鉄筋すじかい)の荷重と見かけのせん断変形角、脚元の回転角、真のせん断変形角の関係を示した。図10はB-1試験体の見かけのせん断変形角の詳細で、図11はB-2試験体のものである。これを見ると、よく似ているが、ダボは鉄筋すじかいに比べると荷重200-300kgfでのスリップがやや大きい。B-1はスリップ型の変形をしている。図12は縦張り材間のスリップの実測値であるが、これも、B-1とB-2は似ている。

1/100rad.を過ぎると、B-1は脚元の浮き上がりが見られたが、荷重はいくらでも徐々に増加して行った。一方、B-2は角ナットの木材へのめり込みによって破壊した(写真6)。

図13は縦張り材間のスリップの総和から求めたせん断変形およびB-1については、ダボ単体のせん断試験結果から求めた荷重とせん断変形の関係を比較してみた。前者は、図12の平均曲線を引き、それを1.8倍（縦張り材間の数）した値を試験体の幅で割ったものである。後者は昨年度的方式で求めた（文献2）。

これらを眺めると、この種の壁のせん断変形は縦張り材間のスリップの総和および、ダボ試験体についてはダボ単体のせん断試験から推定できることが分かった。この点は今年の横張りの場合と同様である。

3.2.3 横張りパネルと縦張りパネルの比較

表2に縦張りパネルの壁倍率をまた、参考として横張りパネルの壁倍率も併せて示した。ここで比較対象となるのは、A-1と補強なし、B-1とダボ2列、B-2と鉄筋すじかいである。いずれを比べても、縦張りパネルと横張りパネルでほとんど壁倍率の差が見られない。ダボについては、2列と3列の違いはあるものの、ダボの総長さは縦張りパネルが5400mm、横張りパネルが5000mmと、大差はない。

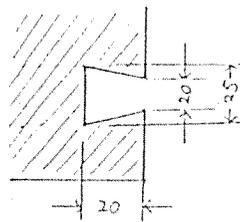
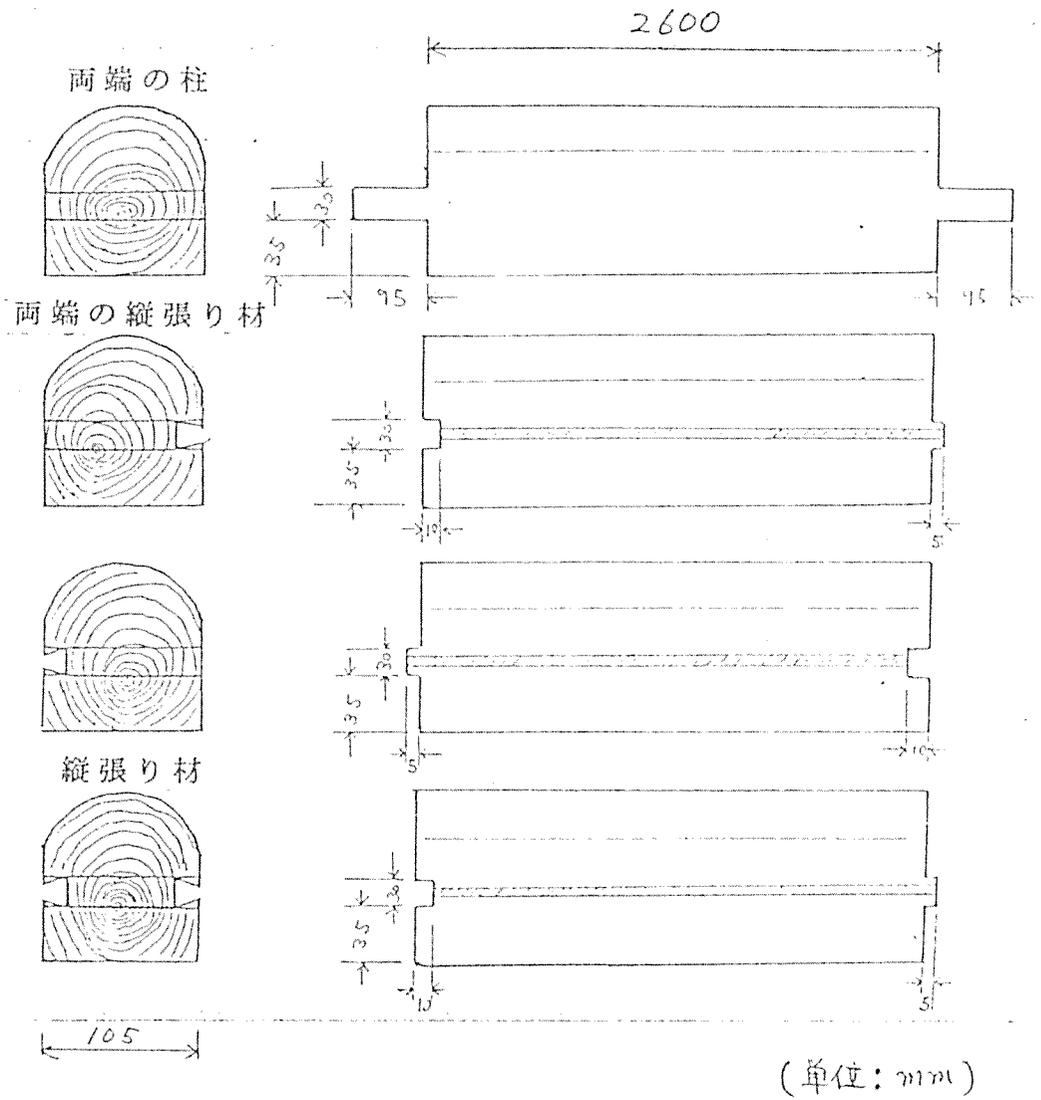
表1. 試験体の詳細

試験体	縦張り材間の補強方法	柱と土台および柱と桁の補強方法
A-1	雇いざね*	込み栓3本** 雇いざね
A-2	雇いざね	込み栓6本 雇いざね
A-3	雇いざね	込み栓6本 雇いざね
A-4	雇いざね	込み栓7本 雇いざね
A-5***	雇いざね	込み栓7本 雇いざね
B-1	ダボ	ボルト 上下各3箇所
B-2	鉄筋すじかい 12φ	ボルト 上下各3箇所

* 図1-b参照

** 込み栓は20mm径

*** 窓開口



溝の寸法

図1-a. Aシリーズ試験体の詳細図 (縦張り材のユニット)

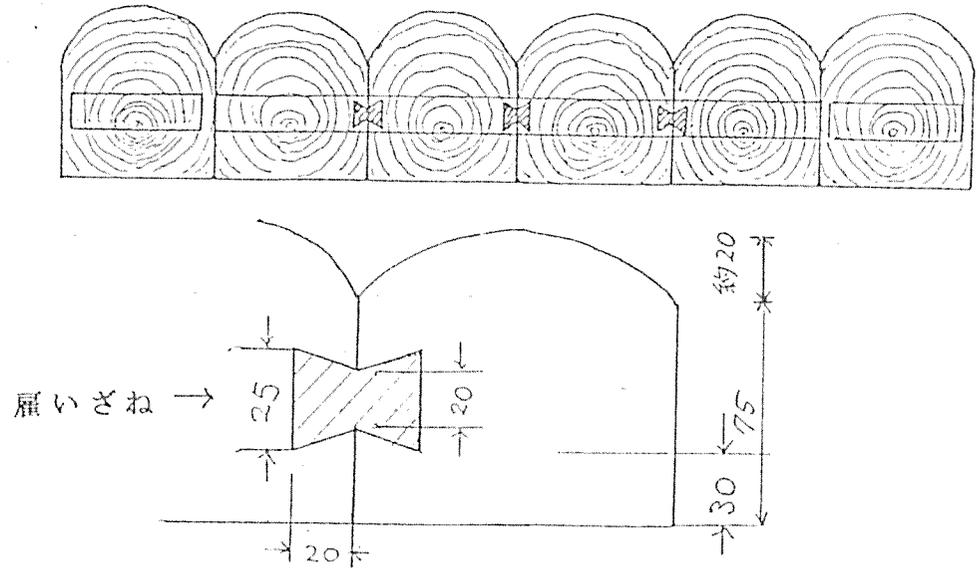


図1-b. Aシリーズ試験体の詳細図 (縦張り材の連結方式)

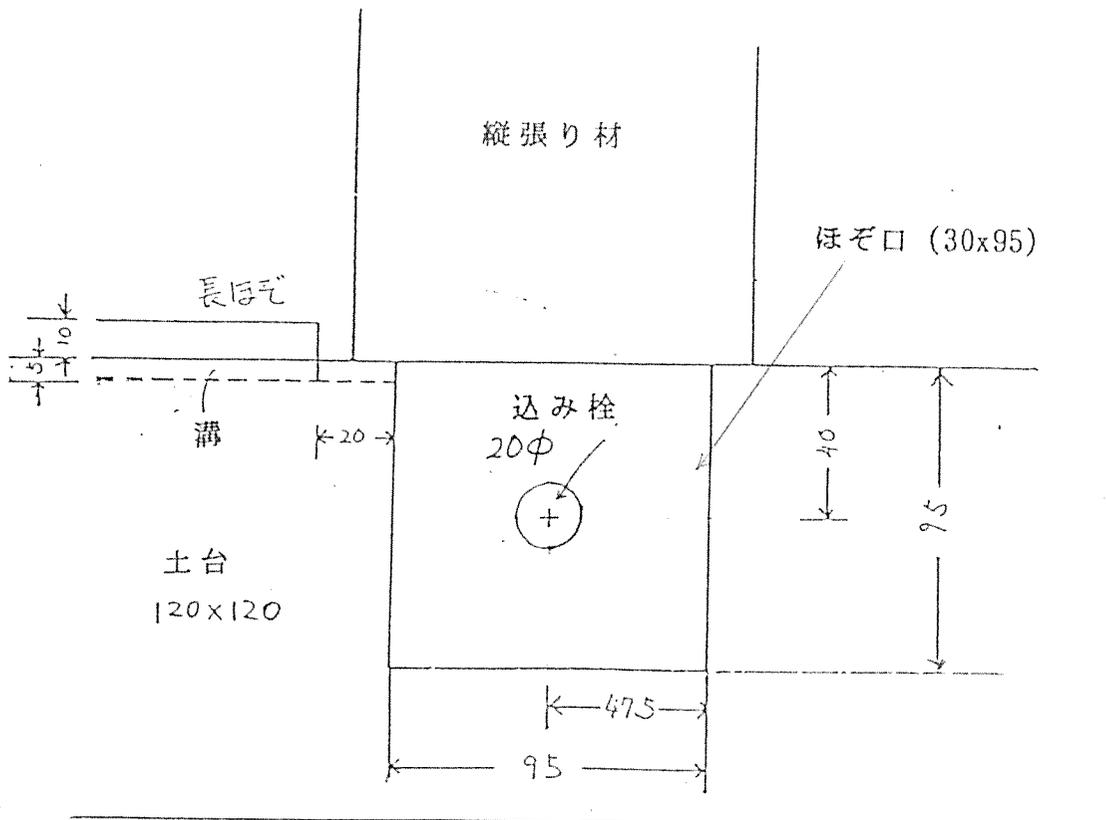


図1-c. Aシリーズ試験体の詳細図 (土台と柱との取り合い)

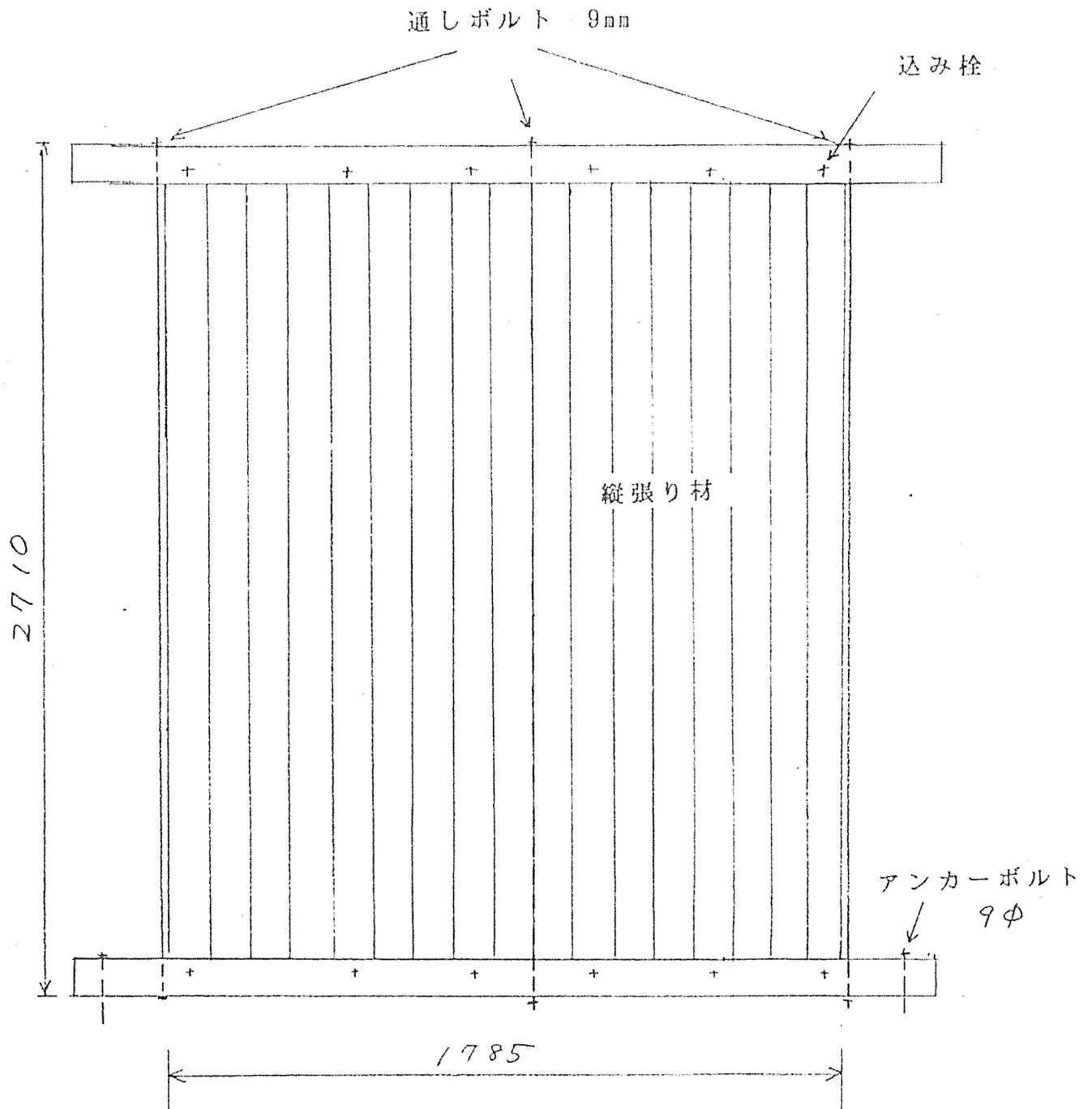


図2. Aシリーズ試験体の詳細図 (全体図、A-3の例)

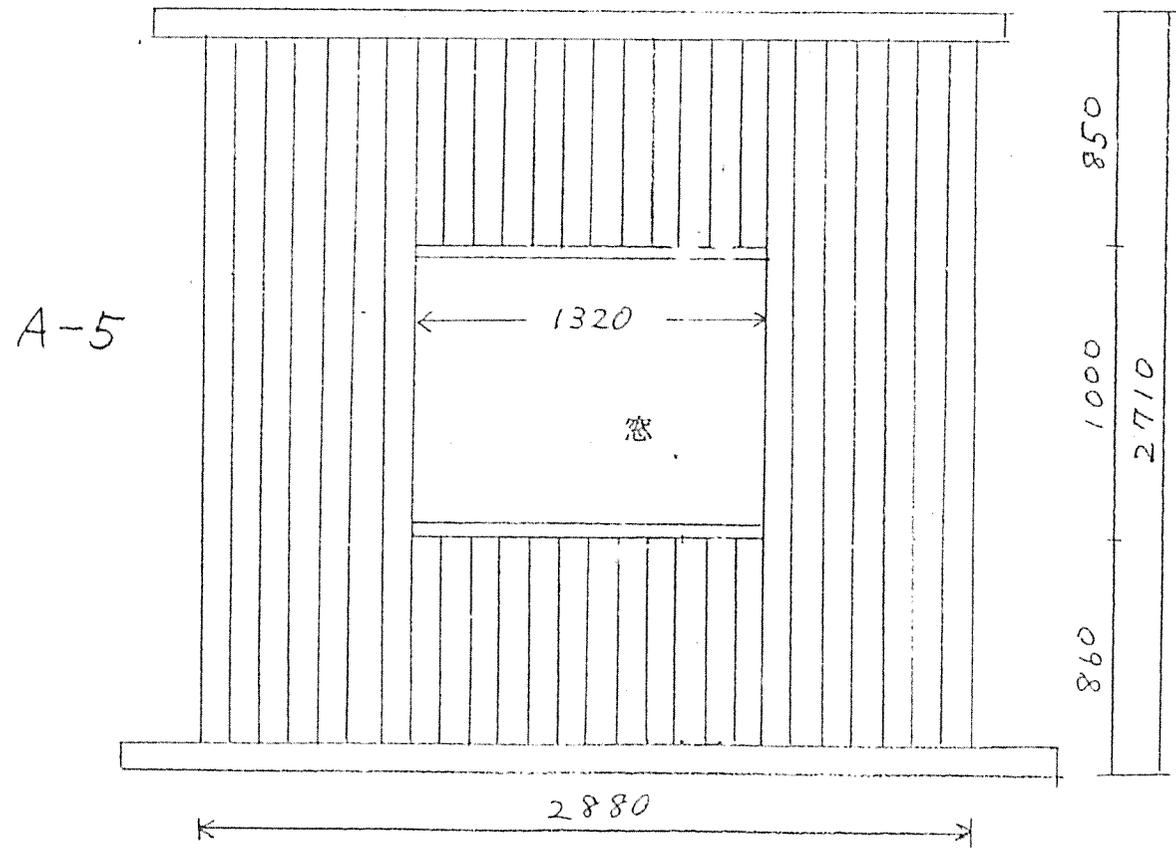
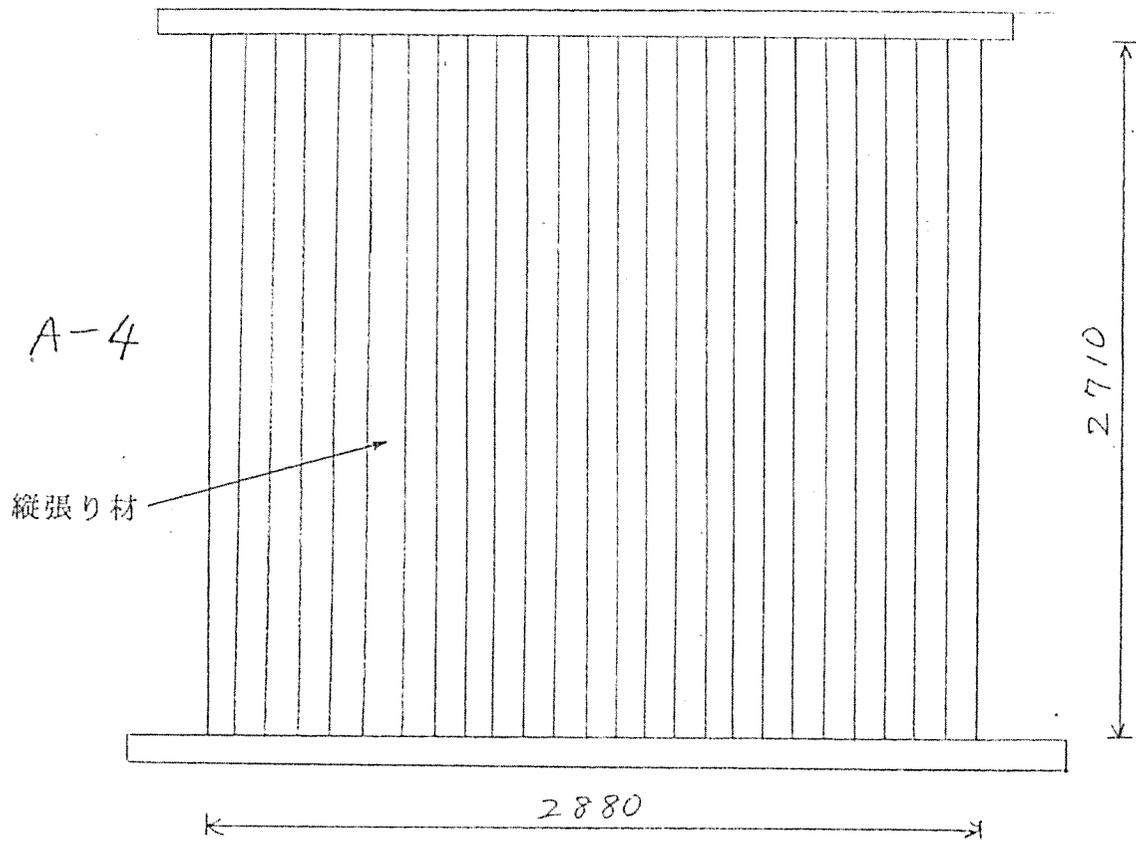


図3. A-4とA-5試験体の詳細

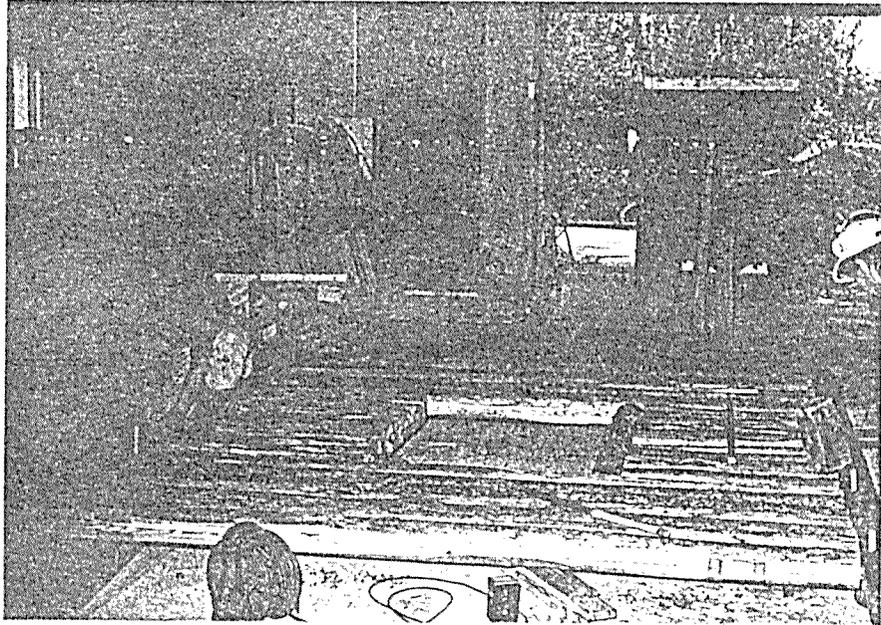


写真1. A-5 試験体、製作中

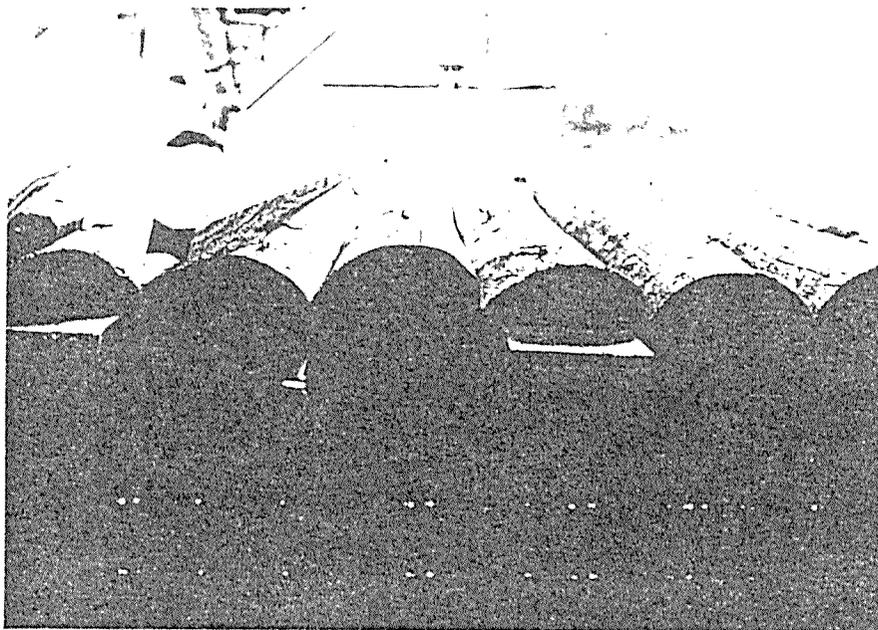
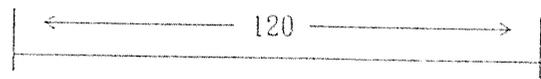
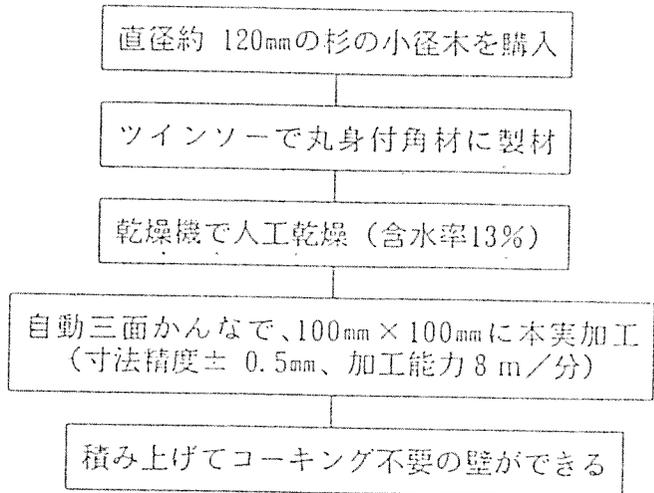
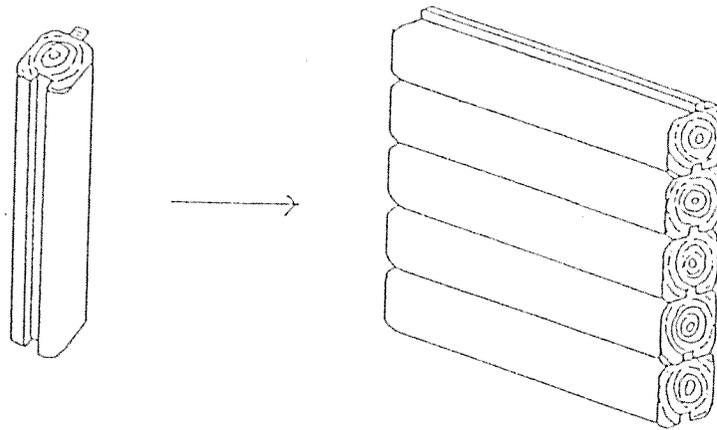


写真2. 縦張り材の端部

(A-1 ~ A-5)



直径約 120mmの小径木を最も歩留りのよい形に本実加工する。部材はすべて木表が見える。



積み上げるだけでコーキング不要の壁になる。
内装と外装を兼用することができる。

図4. Bシリーズ試験体の構成ユニット

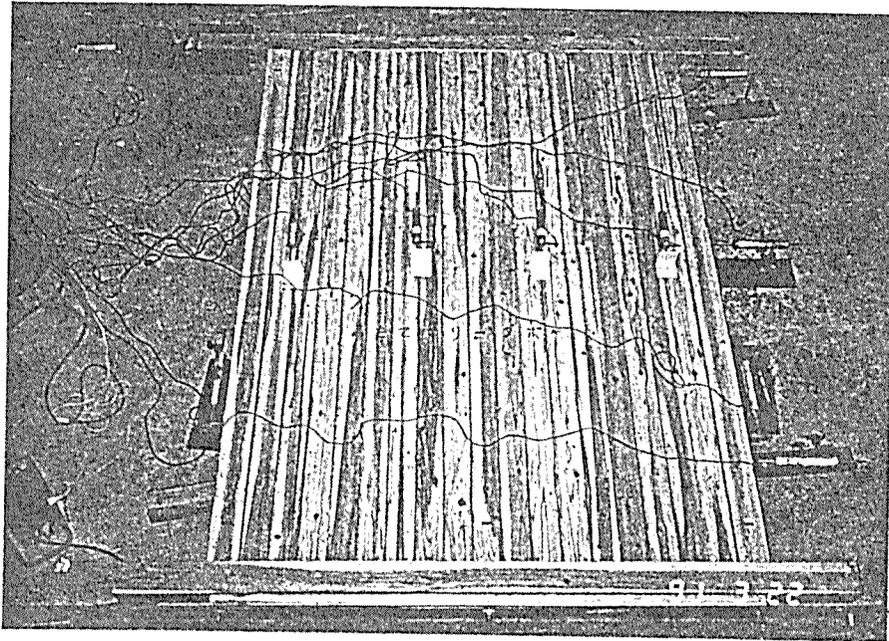


写真3. B-1 試験体をセットしたところ

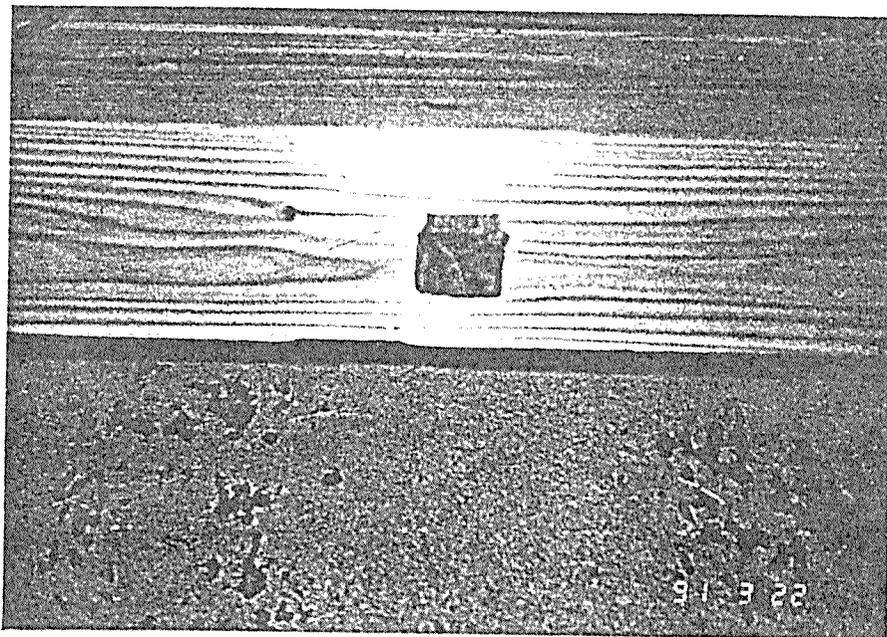


写真4. B-1 試験体の柱側から見たダボ

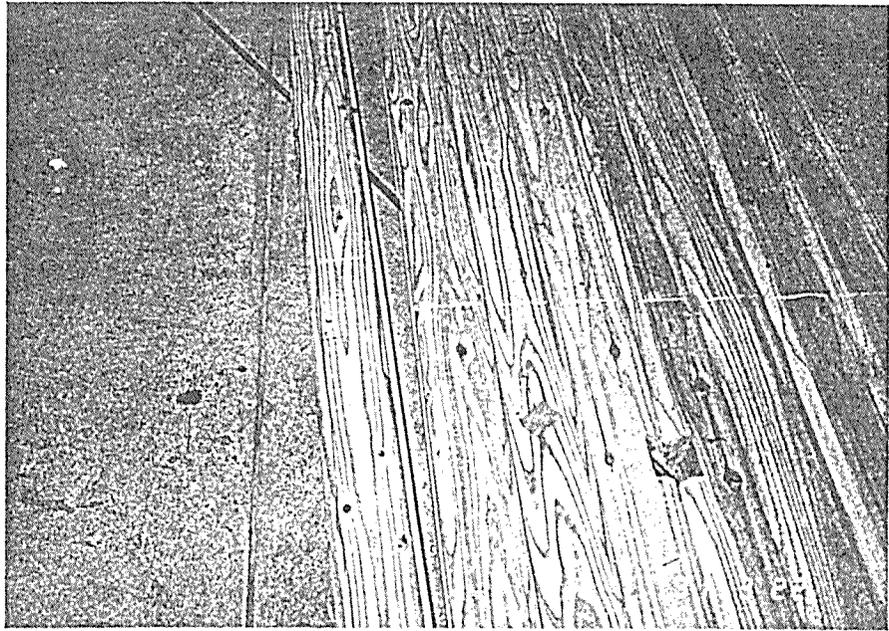


写真5. B-2試験体を試験後に解体しているところ。

右下の角型の穴から見える鉄筋すじかいにストレインゲージをはる。

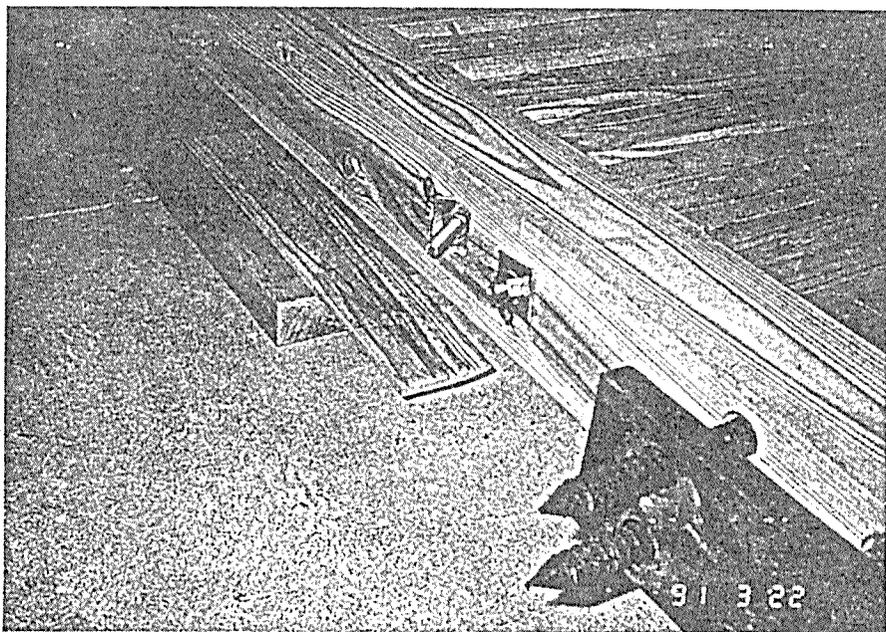


写真6. B-2試験体、
桁部分の角ナットのめり込みが見える。
右下は加力点

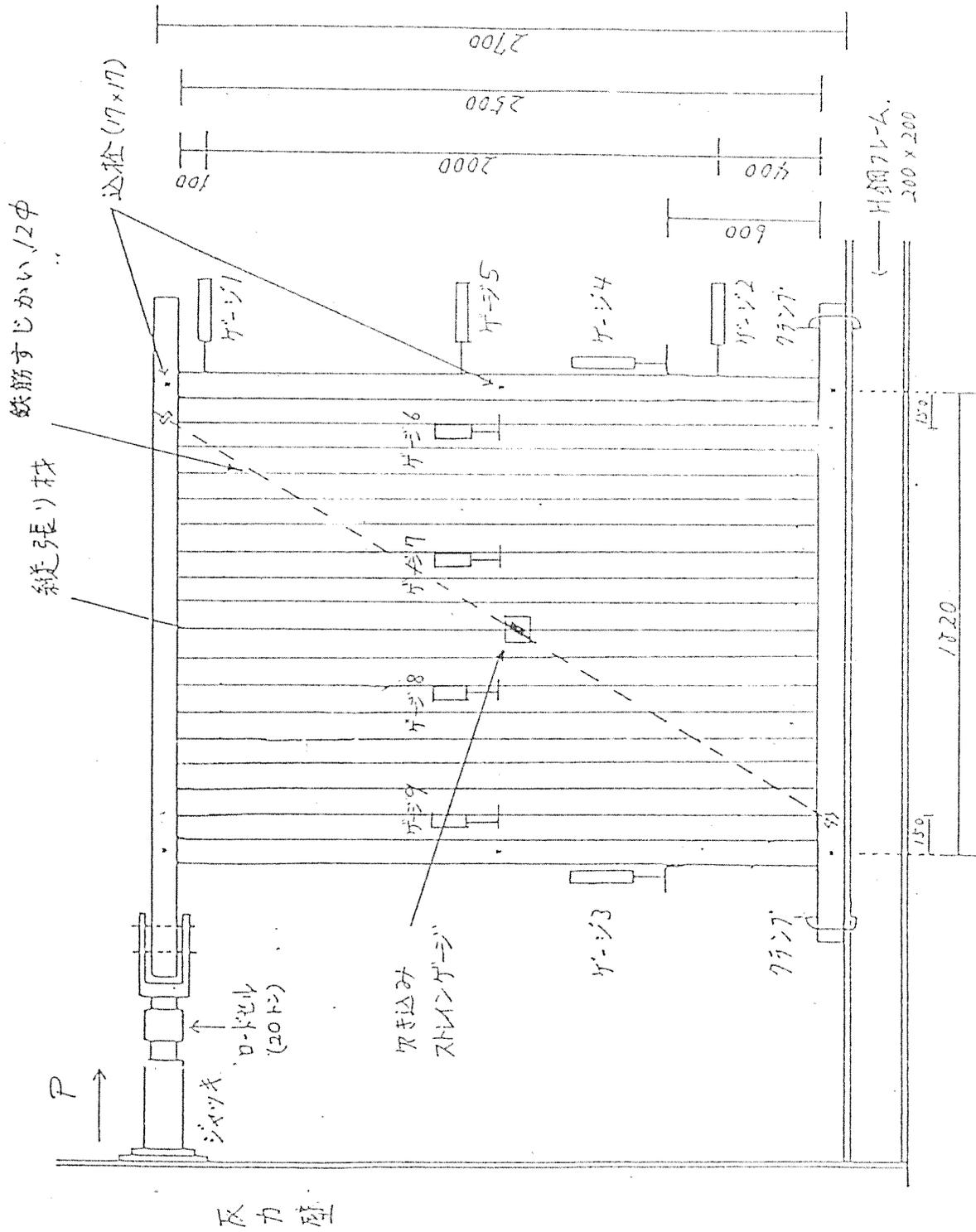


図6. B-2試験体 (鉄筋すじかい) およびその試験方法 (一方向加力)

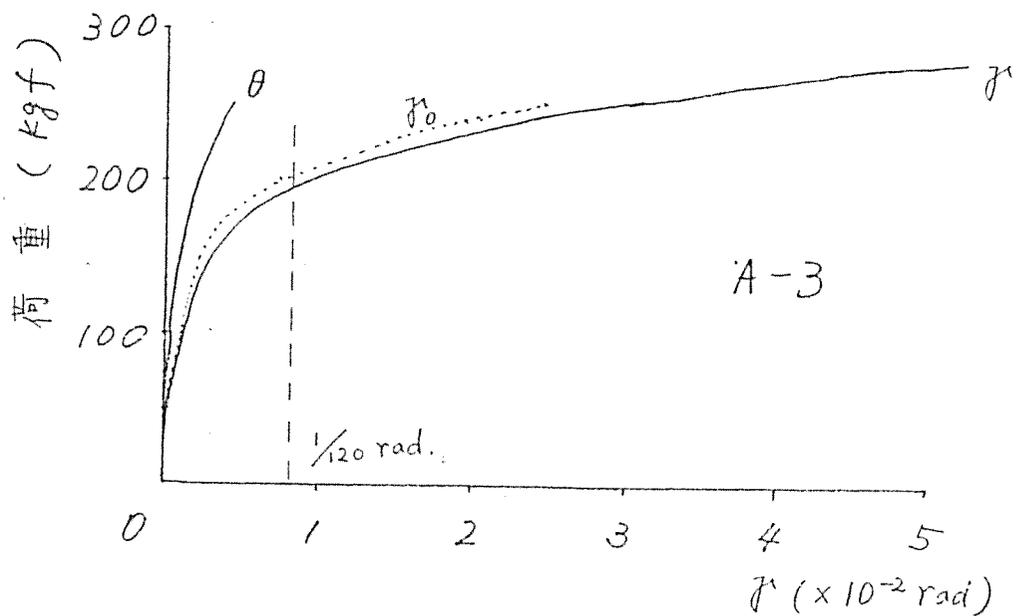
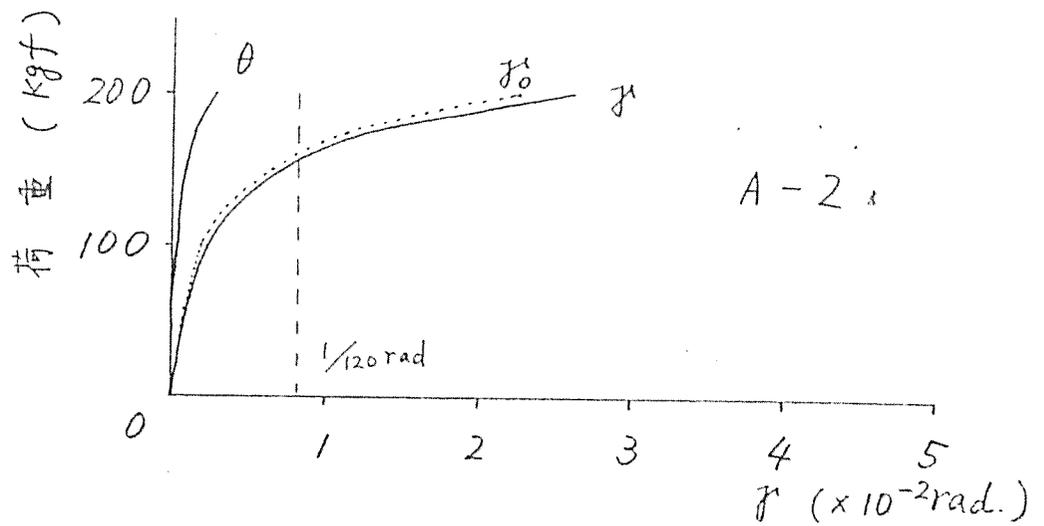
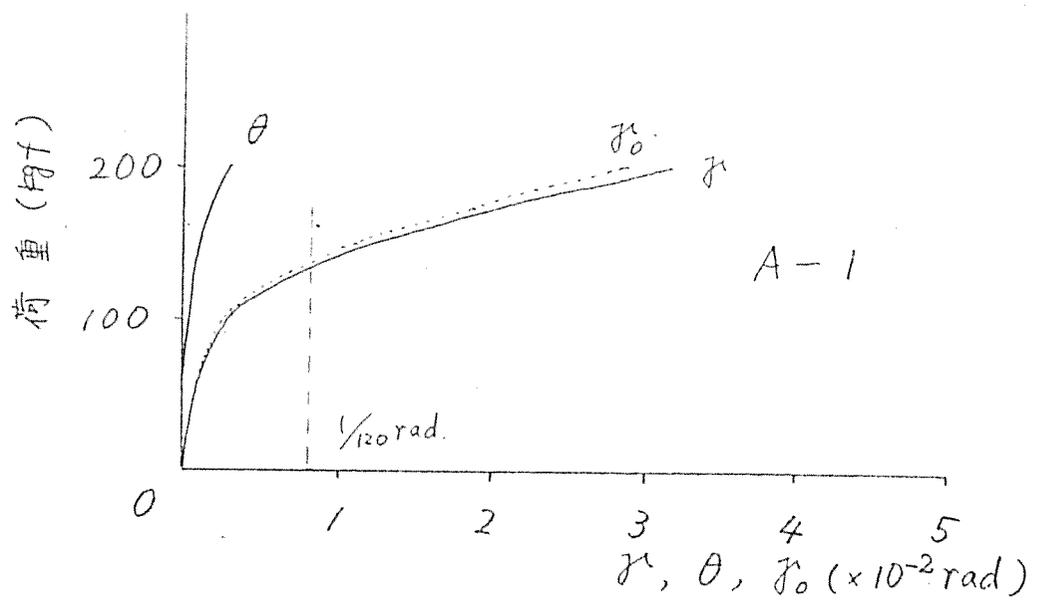


図7. A-1, A-2, A-3 試験体における荷重と、 γ 、 θ 、 γ_0 の関係

γ : 見かけのせん断変形

θ : 脚元の回転角

γ_0 : 真のせん断変形

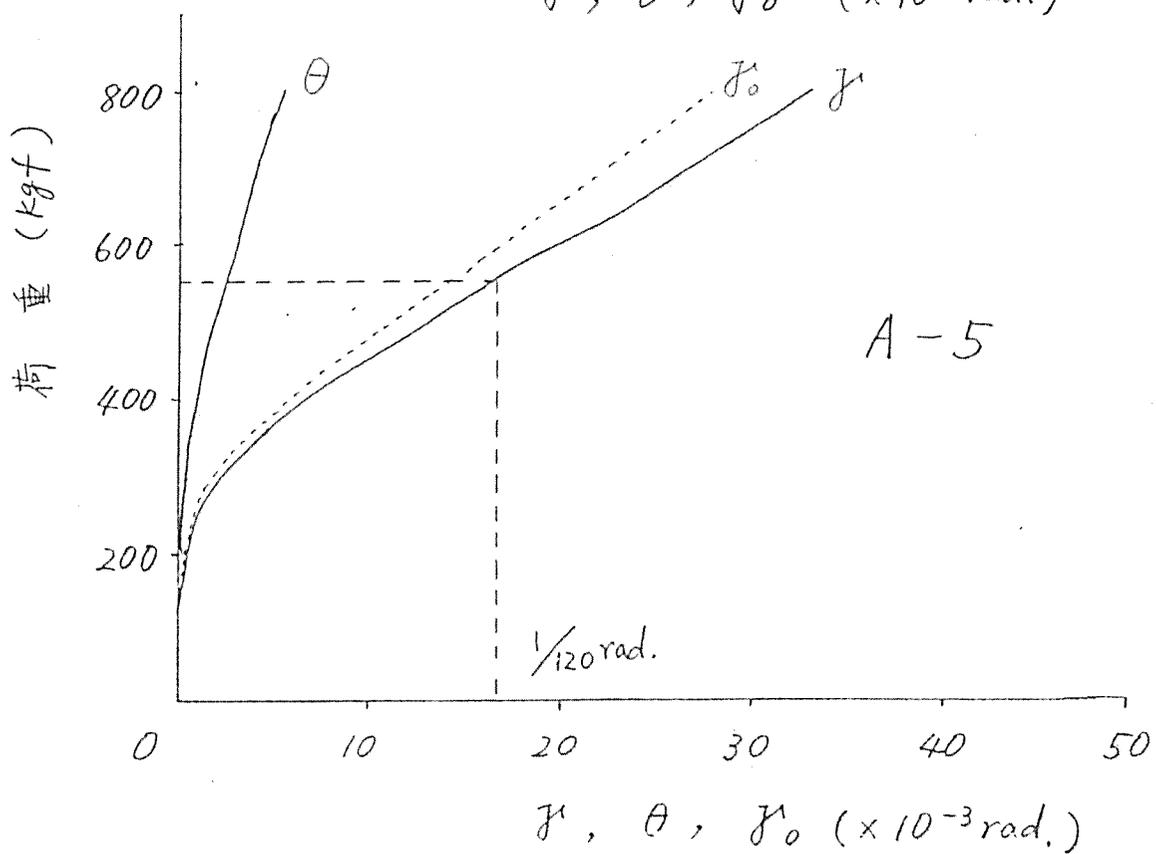
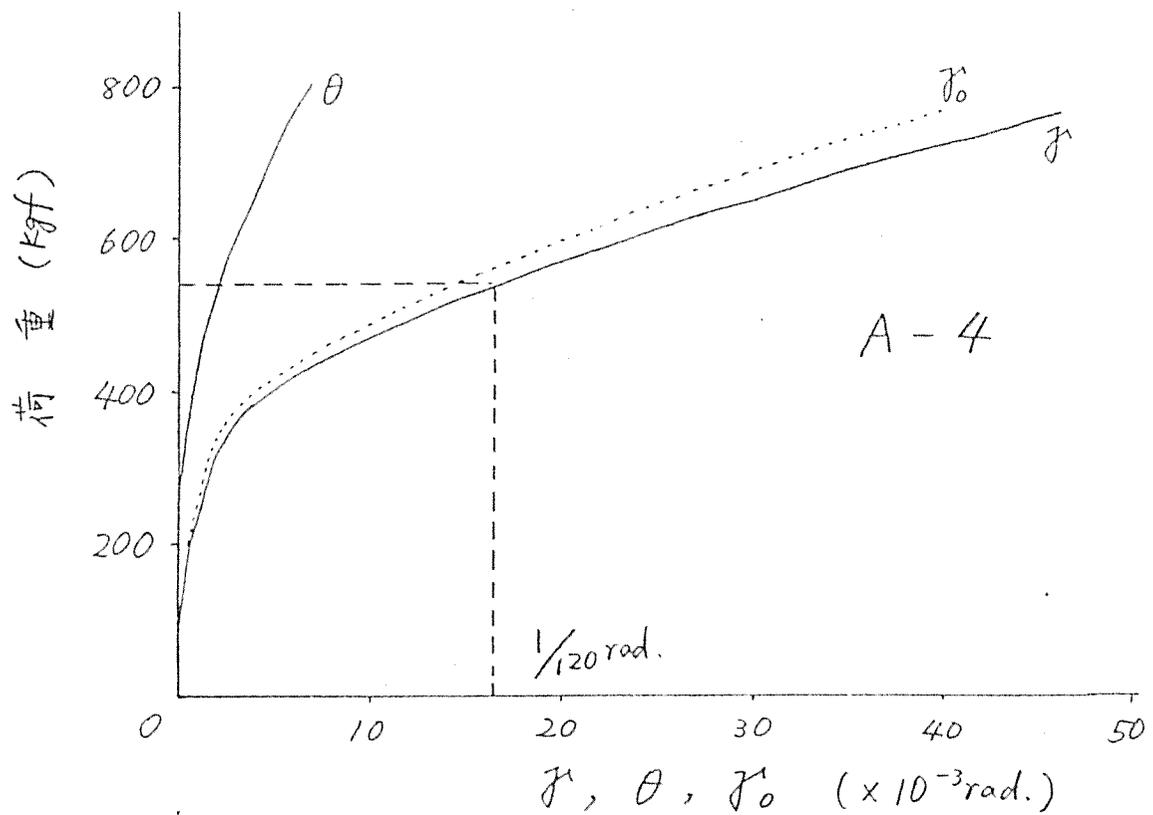


図8. A-4, A-5試験体における荷重と、 J 、 θ 、 J_0 の関係

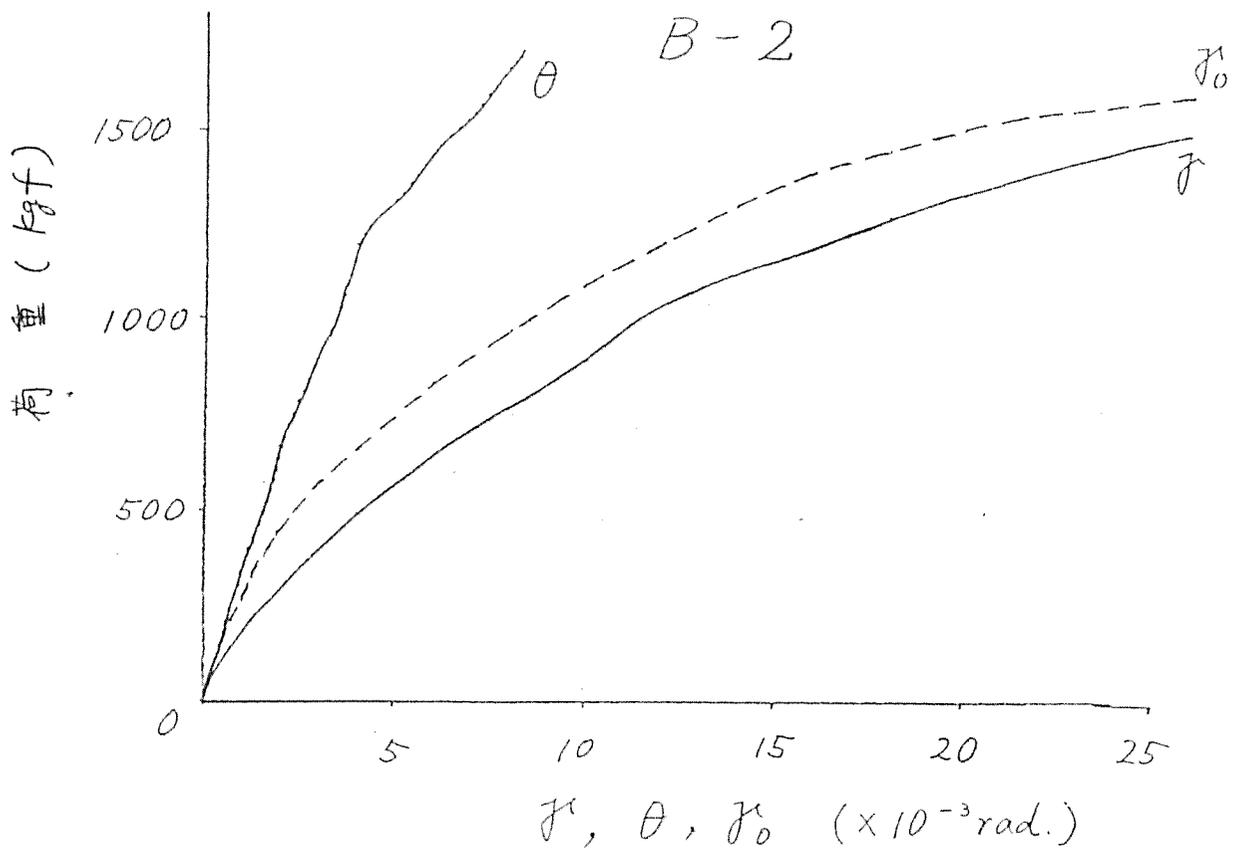
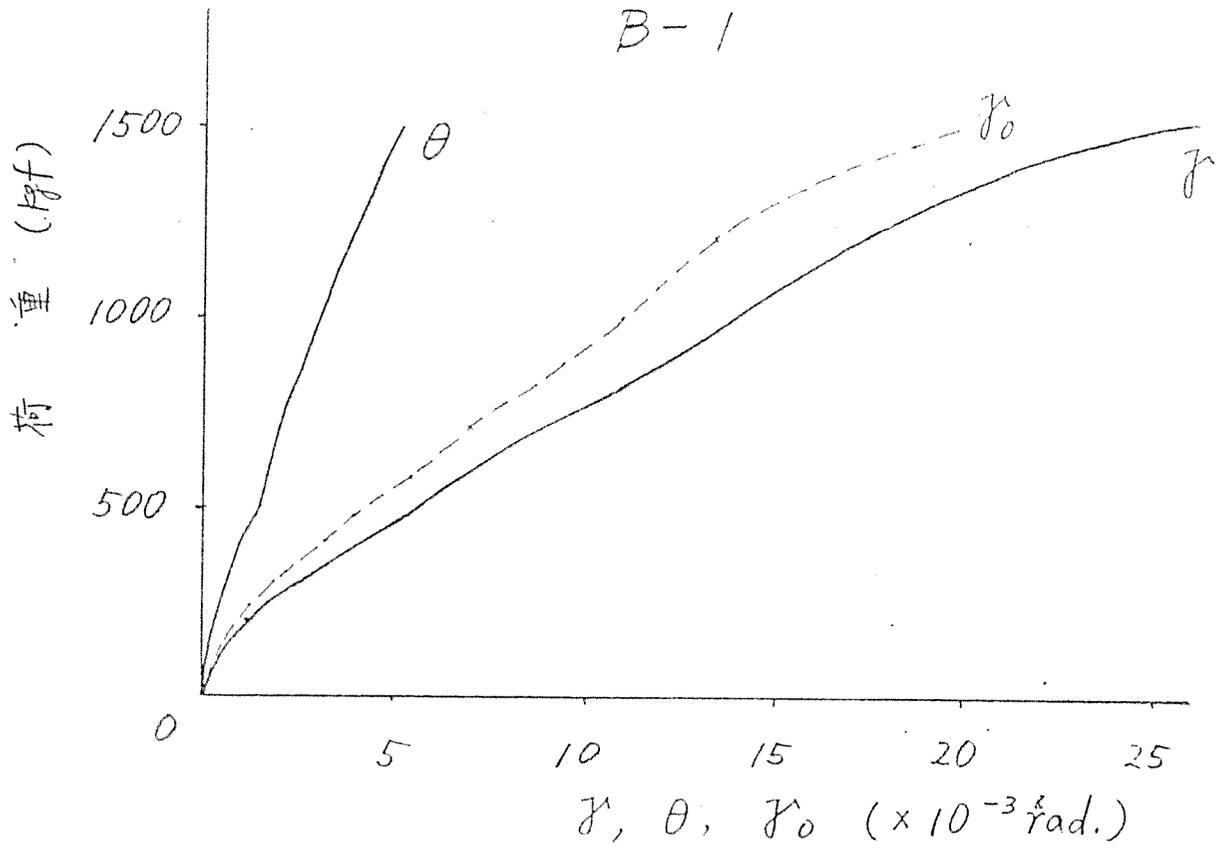


図9. B-1, B-2 試験体における荷重と、 γ 、 θ 、 γ_0 の関係、
押し側の包絡線

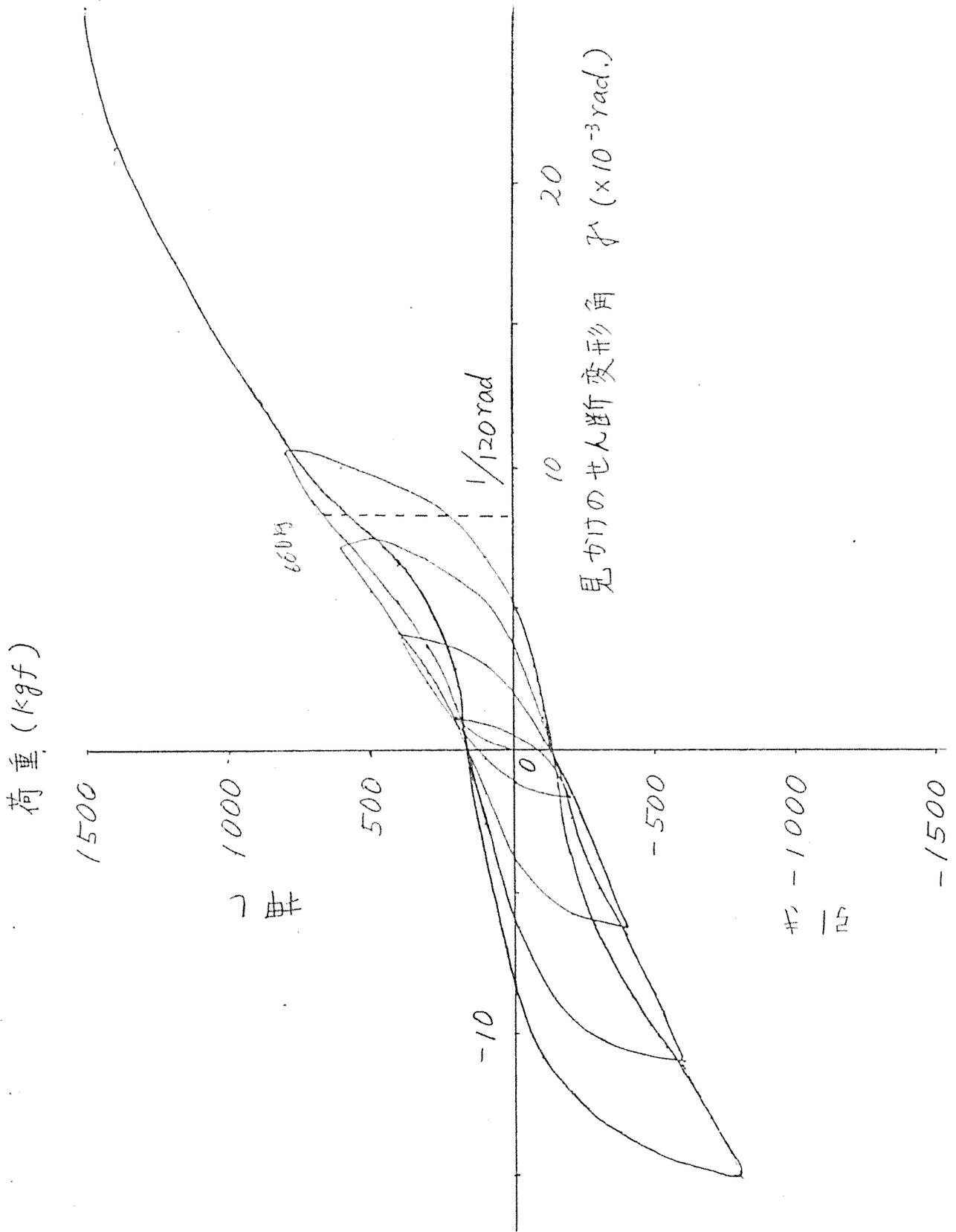


図10. B-1試験体における荷重と見かけのせん断変形 ϕ の関係

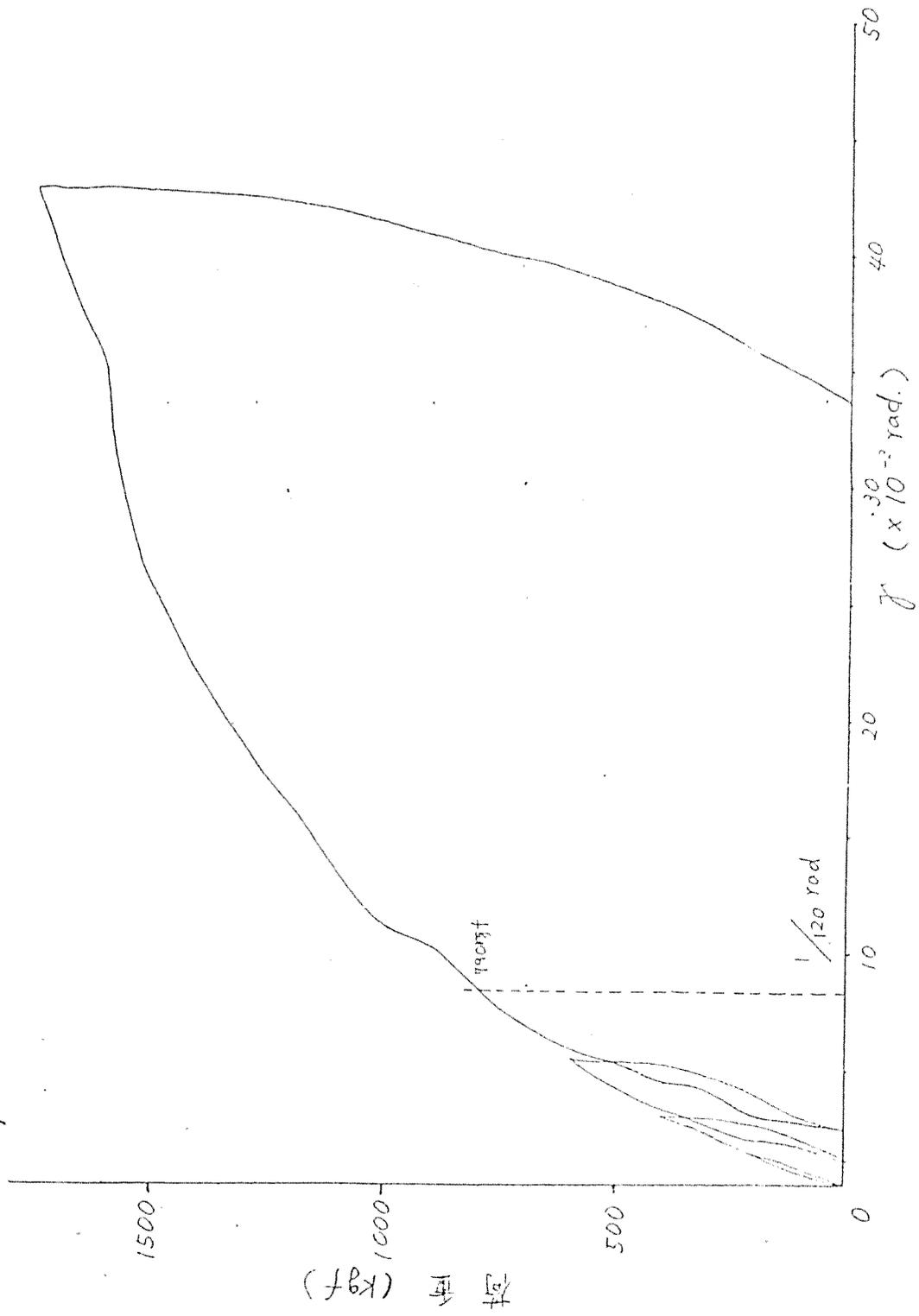


図11. B-2試験体における荷重と見かけのせん断変形 の関係

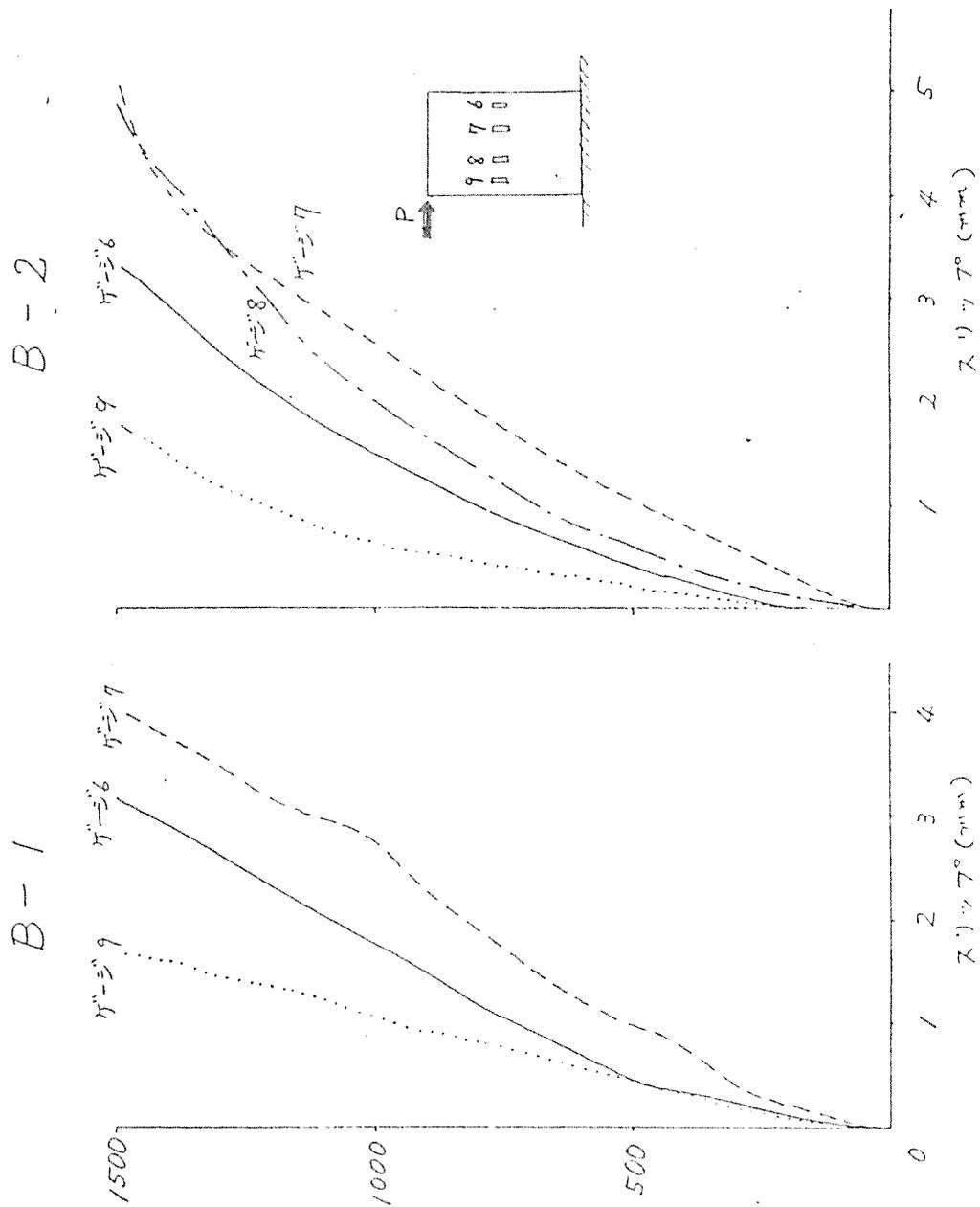


図12. B-1, B-2試験体における縦張り材間のスリップの実測値

(註) B-1のゲージ8不調

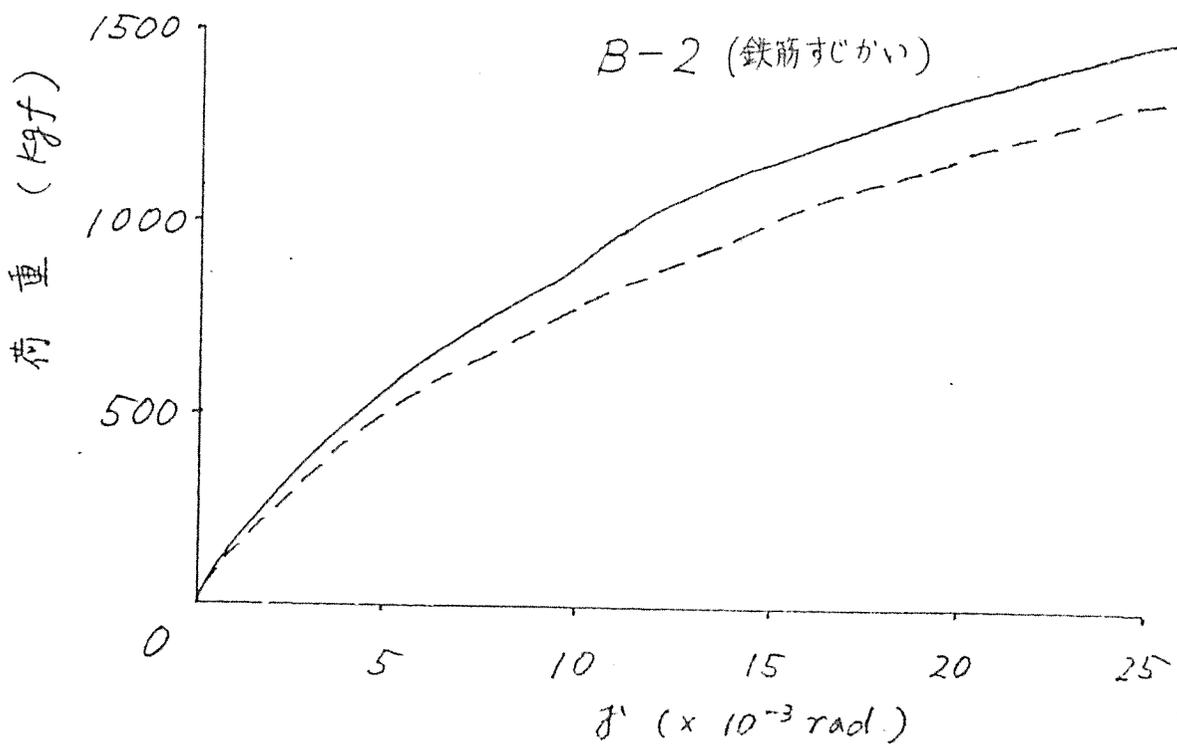
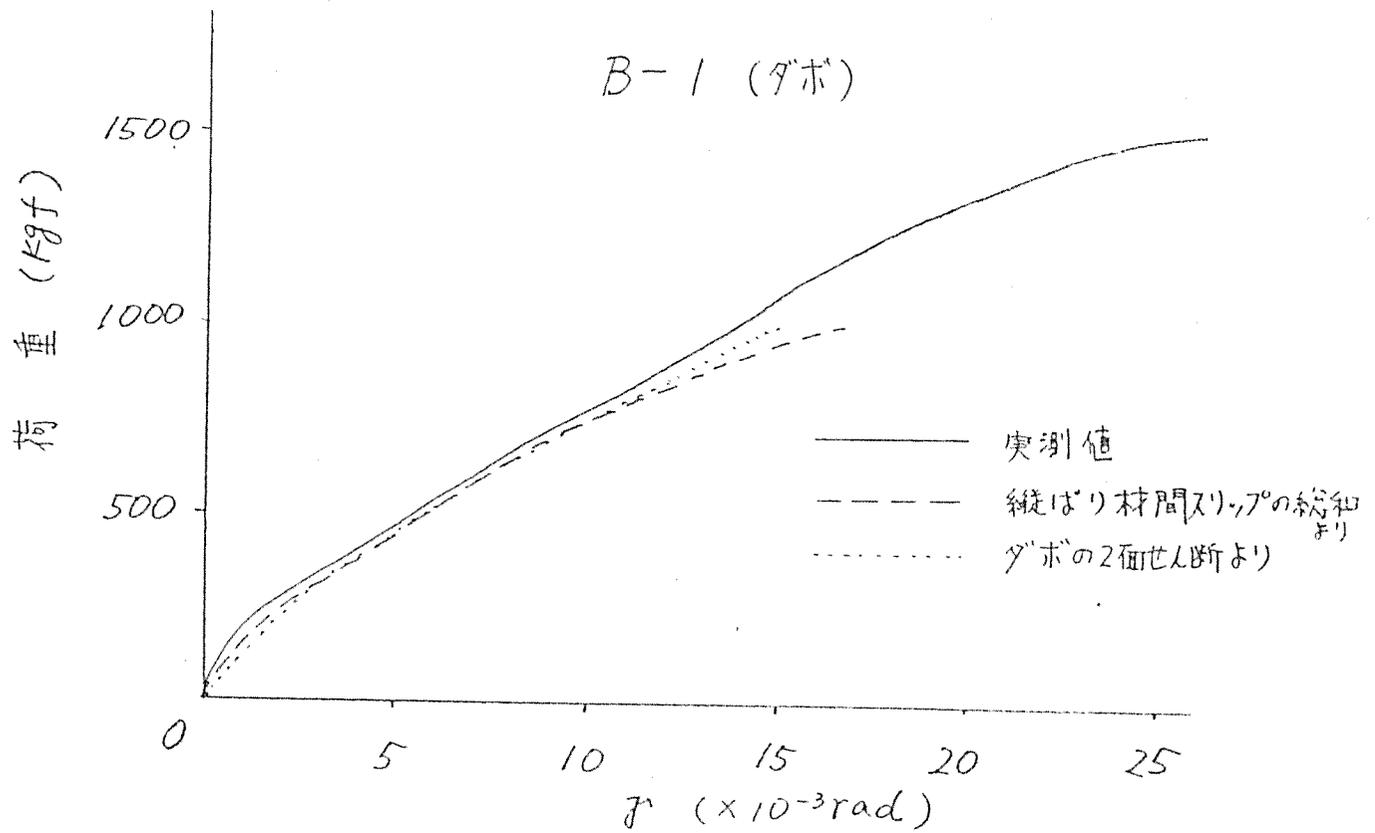


図13. B-1, B-2試験体における、縦張り材間のスリップの総和およびダボ単体の2面せん断試験より求めた見かけのせん断変形の比較。

表2. 壁倍率の一覧表

試験体	1/120rad時の荷重(kgf/m)	壁倍率
A-1	140	0.81
A-2	140	0.81
A-3	190	1.10
A-4	188	1.08
A-5	190	1.10
B-1	370	2.13
B-2	434	2.50

(参考) 横張りパネルの壁倍率 . . . 文献2

試験体	1/120rad時の荷重(kgf/m)	壁倍率
補強なし	100	0.59
ダボ2列	340	1.95
鉄筋すじかい	435	2.50

$$\text{壁倍率} = (1/120\text{rad.時の荷重}) \times 3/4 \div 130$$

4. 結 論

- 1) Aシリーズでは込み栓以外に縦張り材間のスリップ防止の措置を取らなかつたので、壁倍率は1程度であった。
- 2) 試験の際、通しボルトを付けると耐力は増加するが、高々0.3であった。
- 3) 壁長さが増すと、壁倍率は大きく評価される。
- 4) 窓開口があっても、壁倍率には影響がなかった。従って、この種の耐力壁では、耐力壁長さの考えを、面材を張った壁と区別する必要があるだろう。
- 5) Bシリーズにおいて、ダボと鉄筋すじかいはほぼ同等の壁倍率を有した。
- 6) A、B両シリーズとも、ほぼ同程度の補強を施した横張りパネルと同等の壁倍率を示した。

5. 文 献

- 1) 神谷、平嶋、畑山、金谷、木質パネルに関する研究（第1報）、耐力壁の面内せん断性能に及ぼす試験方法ならびに壁長さの影響、林試研報、No.315、1981
- 2) 日本住宅・木材技術センター、間伐材等小径材利用住宅工法開発事業報告書 p.2-23、1990.

第2章 「天秤鎌継ぎ」型接合部の モーメント抵抗性能

1. 「天秤鎌継ぎ」(自称)の特徴

この接合手法の特徴は

第一に、和風継手の「鎌継ぎ」の鎌首の部分を鋼板に置き換え、これの上下にフランジプレート(鋼構造の梁での所謂カバープレート)を取り付けてH形断面を形成している。このために、「接合金物」本体が高い曲げ及び剪断剛性を持つことになった。

第二に、この「接合金物」が二つの部材(例えば柱あるいは梁)との間には入って、仲立ちして、部材を結び付ける役を演ずる。「天秤鎌継ぎ」では「接合金物」と柱との結合には引張ボルトを用いた。つぎに、梁との結合には伝統的な和風継手の工法である「だぼ」(又は、せん)あるいは「くさび(楔)」を利用した。引張ボルト手法+木の側圧変形特性および「だぼ(くさび)」の靱性は既に実験及び経験に依って実証されている

第三に、柱の梁との接触部分を欠き込み、「接合金物」のエンドプレートをその中へ埋め込むことによって外部に露出させない。これに加えて上下のカバープレートも木材で覆えふことで和風継手の伝統を引き継ぐと共に耐火性能の向上も期待できる。

2. 小断面(105角材)の仕口および継手に

に使用した場合の実験

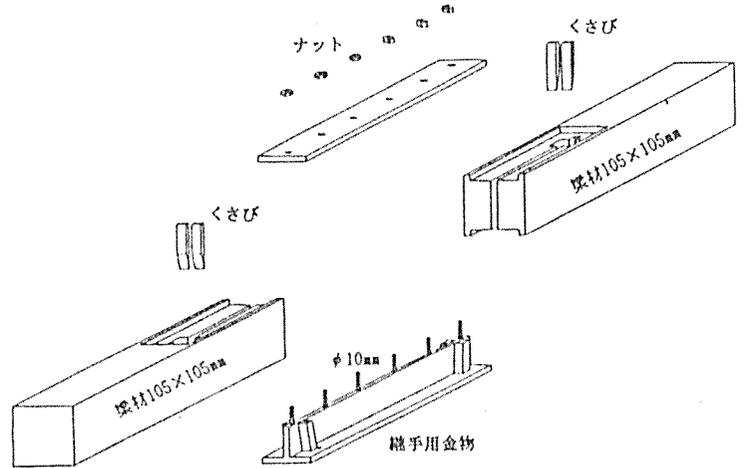


Fig. 1 SBタイプ試験体

2-1 試験体

試験体は、梁継手用のものをSBタイプとし、柱-梁接合用をPBタイプとした。柱材、梁材とも断面が105×105mmの杉を使用した。木材の含水率は15.9%、繊維方向の圧縮強度は235.8Kgf/cm²であった。金物はSS41を使用し、金物に溶接した全ネジボルトと、PBタイプに使用した柱-梁接合用ボルトの径はいずれも10mmである。

SBタイプはFig. 1、PBタイプはFig. 2のように組み立てられ、各部材はくさびの打ち込みとボルト締めによって固定される。

2-2 試験方法

SBタイプはFig. 3に示した実験装置を使用し、油圧ジャッキによって試験体の中央に載荷する単調載荷実験を行った。支点間距離は1mとした。PBタイプはFig. 4に示した実験装置を使用し、油圧ジャッキによって単調載荷と正負交番載荷をおこなった。載荷プログラムは1/360, 1/240, 1/120, 1/60, 1/30, 1/15の変位制御でおこない、最後に実験装置のストロークの限界まで載荷した。

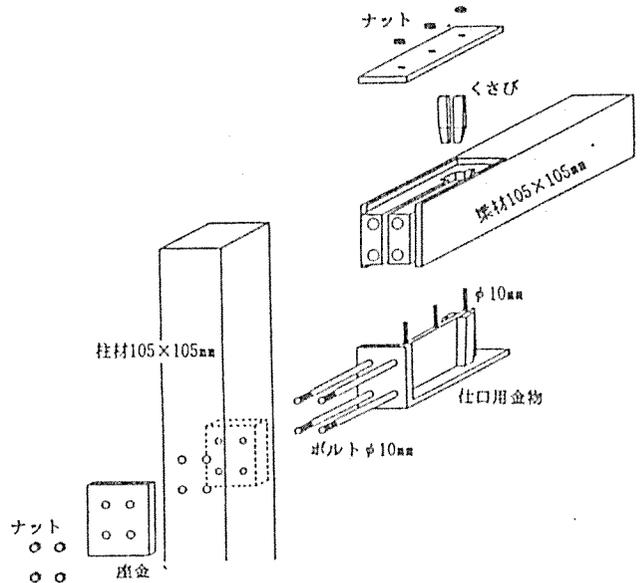


Fig. 2 PBタイプ試験体

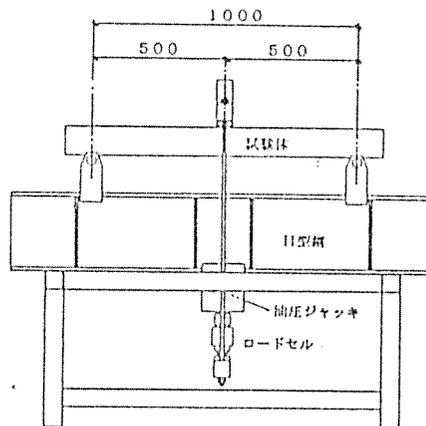


Fig. 3 実験装置概略図

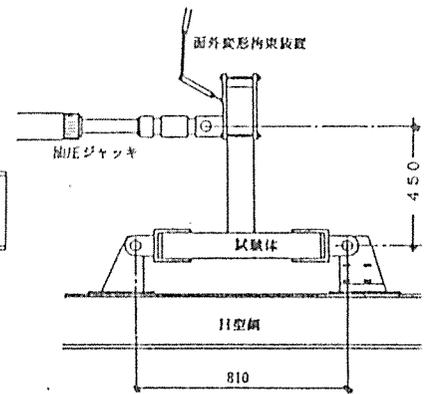


Fig. 4 実験装置概略図

2-3 実験結果 (SBタイプ, PBタイプ)

SBタイプ

荷重-変位曲線をFig. 5に、最大荷重をTable. 1に示す。試験体は中心部の下側から材端方向に向かって斜め上に、側面にひび割れが入り曲げ破壊により破壊した。梁材の曲げ強度を圧縮強度の1.25倍とすると継手のない場合の梁の P_{max} は2275kgf程度と考えられる。試験体の P_{max} の平均は2023kgfであるから約9割の強度がえられた。

PBタイプ

履歴曲線をFig. 6に、各変位における荷重と最大耐力をTable. 2に示す。Fig. 6にみられるように第3ループ(1/120rad)までほとんど減衰がみられず、紡錘型ループとなっている。これは変形の初期段階においては、くさびを打ち込んだ部分(繊維方向)のめり込みによる影響が出ているためと考えられる。第4ループ(1/60rad)以降においては柱材のほぞ部分(繊維と直角方向)のめり込みによる影響でスリップが大きくなる。最大耐力は実験装置のストロークの限界によって試験体の破壊までには至らなかったが、履歴曲線から判断すると実験値よりも高くなると考えられる。

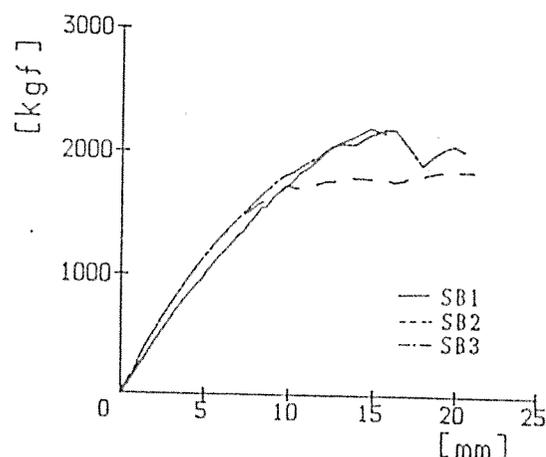


Fig. 5 荷重-変位曲線

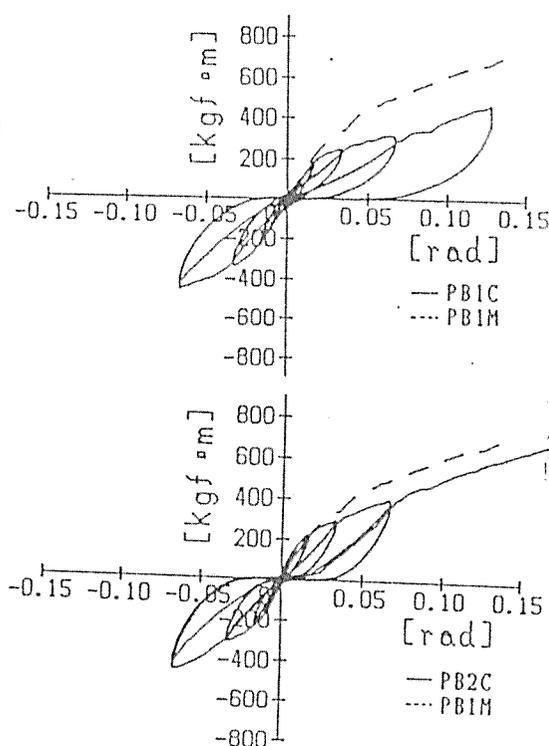


Fig. 6 履歴曲線

Table. 1 SBタイプ実験結果

試験体名	最大荷重	変位量
SB 1	2200 kgf	14.5 mm
SB 2	1850 kgf	21.1 mm
SB 3	2020 kgf	20.5 mm

Table. 2 PBタイプ実験結果

試験体名	(rad)	1/360	1/240	1/120	1/60	1/30	1/15	M_{MAX}
PB 1M	(kgf·m)	37.1	49.5	109.1	216.0	336.4	499.5	690.8 (1/7.5rad)
PB 1C	(kgf·m)	42.8	58.5	103.5	180.0	248.6	304.7	468.0 (1/7.5rad)
PB 2C	(kgf·m)	68.6	95.6	153.0	218.3	289.1	394.9	717.8 (1/5 rad)

3. 「天秤鎌継ぎ」工法を木造大断面架構（重木構造）の柱－はり接合に使用した場合の実験

3-1 実験計画

(1) 試験体

試験体の接合金物と梁との緊結方法として、縦あるいは横方向にくさびを打ち込む方法およびだぼ（大柄）をねじによって締める方法とを用いた。これを梁に取り付けた引張ボルト（軸ボルト）4本によって柱材に接合した。柱材、梁材は共に集成材（米松、ラミナ厚3.6 cm）を用い、含水率約22%、圧縮強度は繊維方向で約400 kg/cm²（平均値）であった。断面寸法は柱材（140 × 290 mm）、梁材（140 × 400 mm）である。接合金物はSS41を使用し、金物の板厚は15 mm、重量は約30 kg、金物に装着した全ネジボルトと柱－梁接合用のボルトの径はいずれも16 mmである。座金の寸法は130 × 130 × 15 mmとした。

(2) 試験体の分類

試験体は、前述の接合方法によって縦くさび式（V Kタイプ）、横くさび式（H Kタイプ）、ねじ締め式（S Bタイプ）の三種類に大別される。Fig 1 - 1, 1 - 2, 1 - 3にその接合詳細図と名称を示す。Fig. 1 - 1に示すように縦くさび式（V Kタイプ）は、梁材を欠き込み、ボルト（ $\phi 16$ ）を金物に通してから金物を埋め込む。その際に縦方向にくさび（ $20 \times 20 \times 350$ mm）を打つ事によって梁材と金物を固定している。横くさび式（H Kタイプ）は、Fig. 1 - 2のように梁材と金物を穴あけ加工をし、水平方向にくさび（ $65 \times 32 \times 120$ mm）を打ち込む事によって固定している。ねじ締め式（S Bタイプ）は、Fig. 1 - 3のようにだぼ（ $65 \times 32 \times 120$ mm）を差込み、金物に装着されているナットを締める事によって金物を固定している。

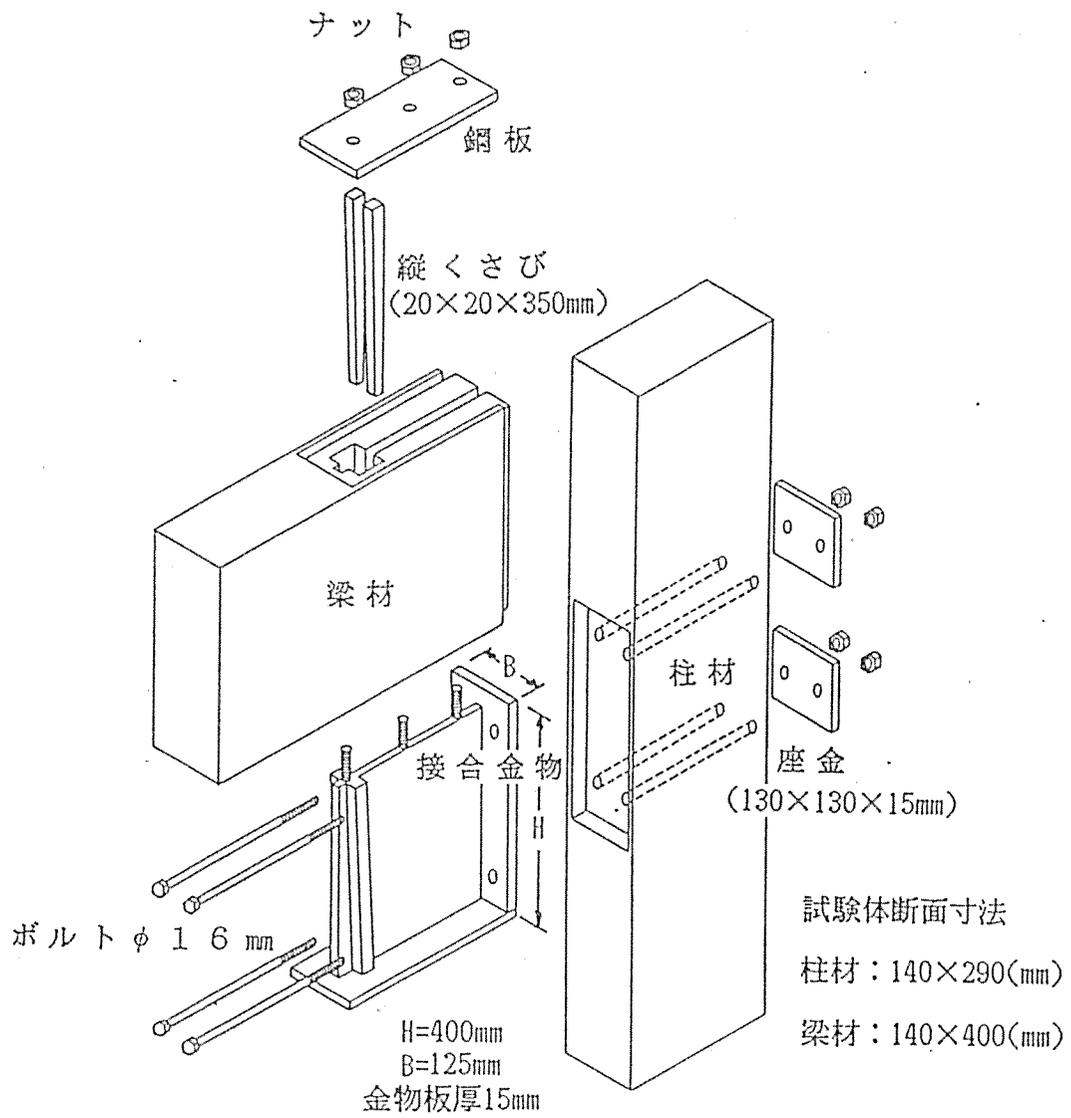


Fig. 1-1 LT-VK (縦くさび式)

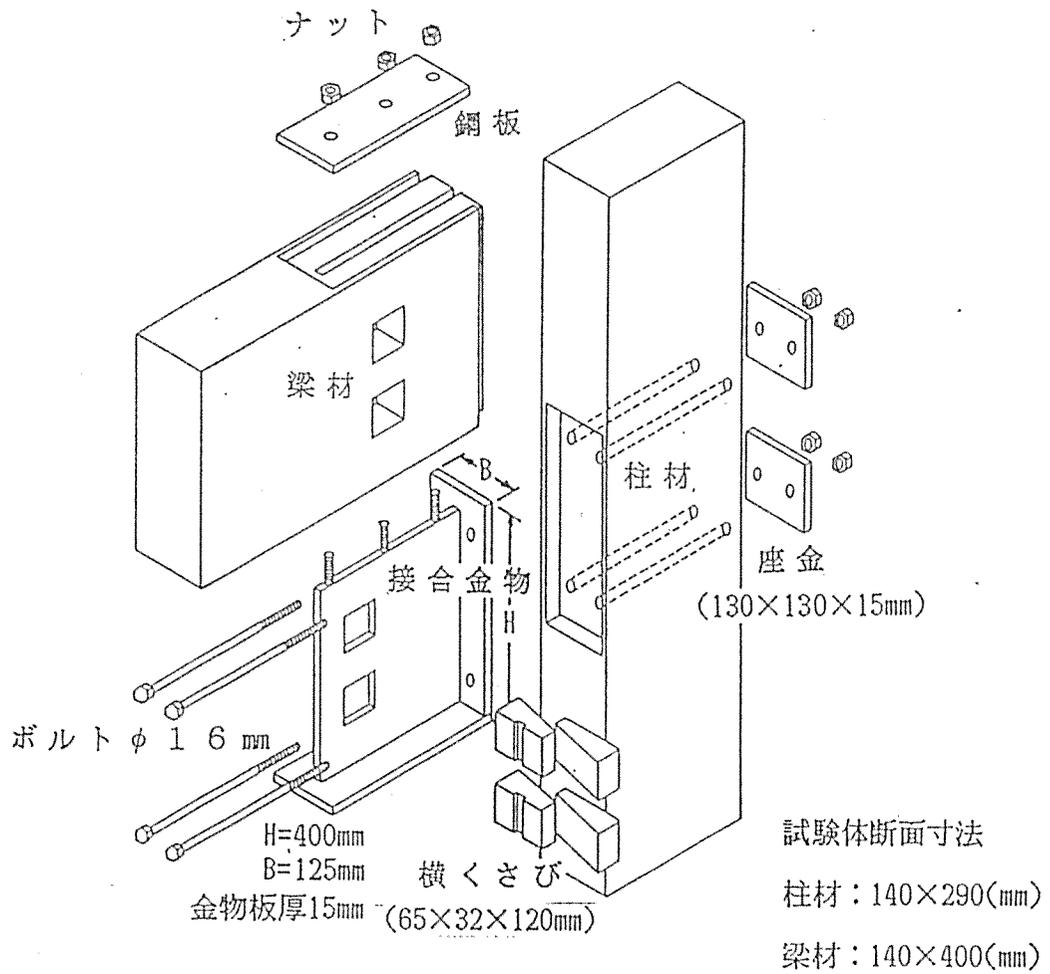


Fig. 1-2 LT-HK (横くさび式)

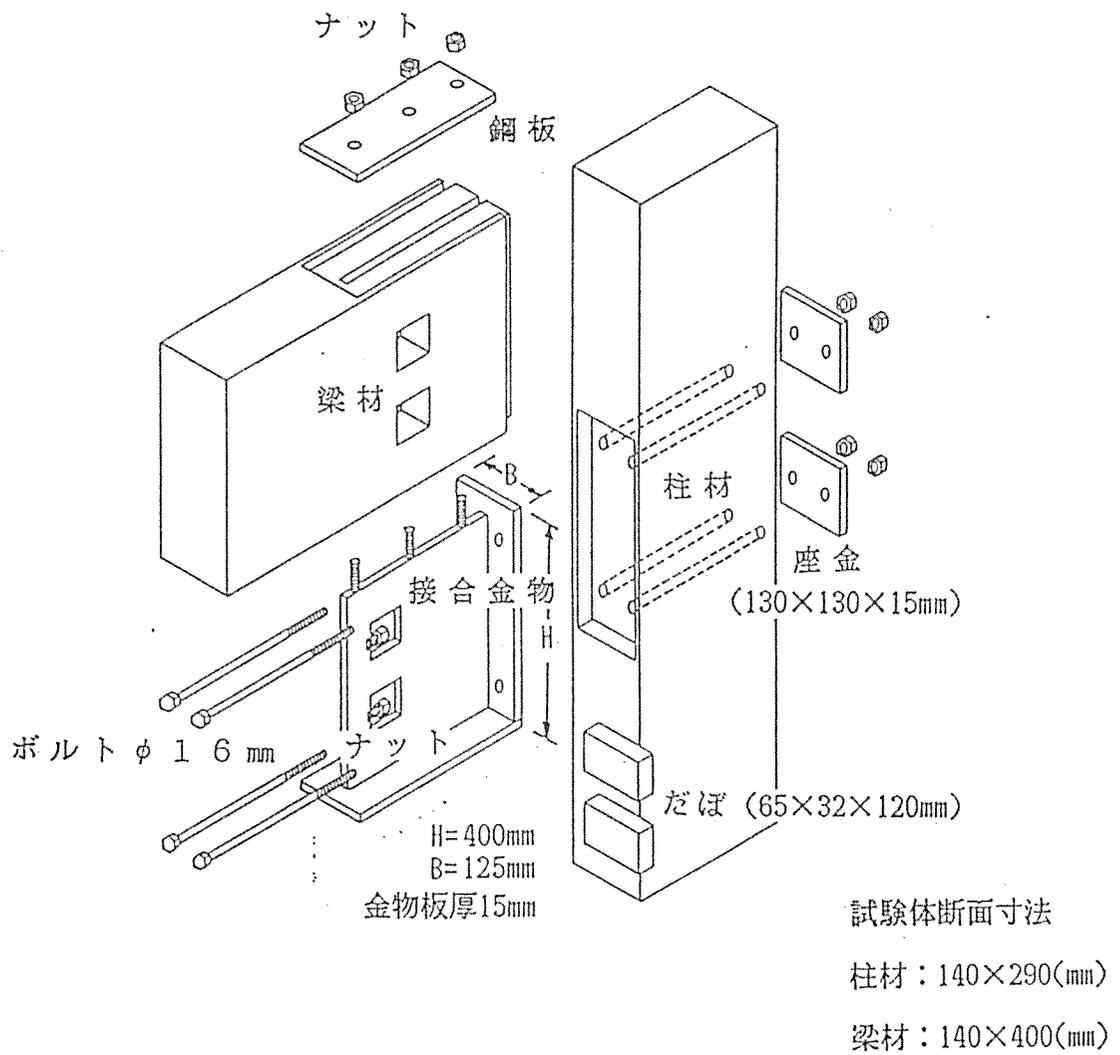


Fig. 1-3 LT-SB (ねじ締め式)

(3) 実験方法

試験体は各種類3体ずつ用意し片振り載荷を1体、正負交番載荷を2体とし実験を行った。Fig.2には実験装置概略図を示した。試験体を床に平行に置き、柱材は両端ピン接合としベースプレートに固定した。梁材端部には面外変形拘束装置を取り付けた。柱材中心線から1200mmの位置に梁材中心線と直角方向に油圧ジャッキ(20tf)を用いて載荷した。電気式変位計により変位を測定し、変位計測定位置図をFig.3に、変位計測定精度と変位計測定目的をそれぞれTable.1(a), Table.1(b)に示す。荷重の検出はロードセル(10t/2000 μ)を用いて荷重を読み取った。正負交番載荷の載荷プログラム(Fig.4)は、0 \rightarrow \pm 1/240rad. \rightarrow 0 \rightarrow \pm 1/120 \rightarrow 0 \rightarrow \pm 1/60 \rightarrow 0 \rightarrow \pm 1/30 \rightarrow 0 \rightarrow \pm 1/15 \rightarrow 0 \rightarrow P_{max}とし、片ぶり載荷の載荷プログラムは、0 \rightarrow +1/240rad. \rightarrow 0 \rightarrow +1/120 \rightarrow 0 \rightarrow +1/60 \rightarrow 0 \rightarrow +1/30 \rightarrow 0 \rightarrow +1/15 \rightarrow 0 \rightarrow P_{max}とした。P_{max}は油圧ジャッキのストロークの限界まで載荷した。

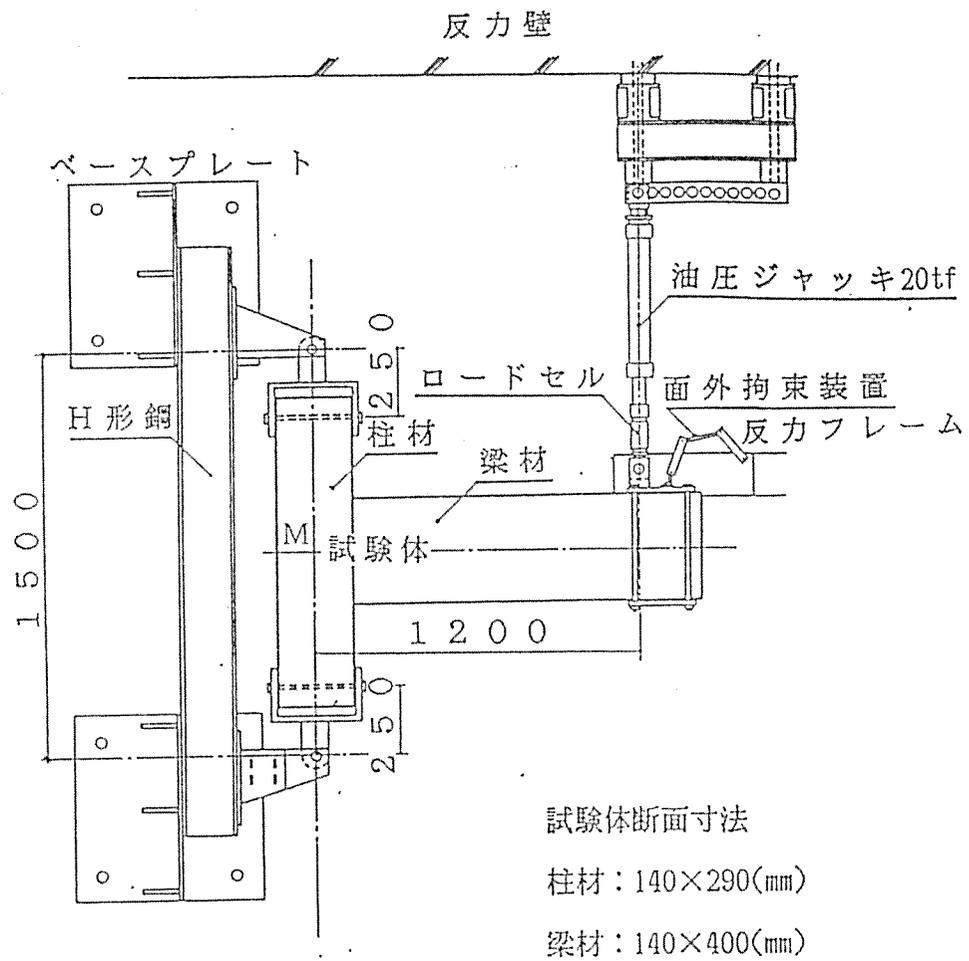


Fig. 2 実験装置概略図

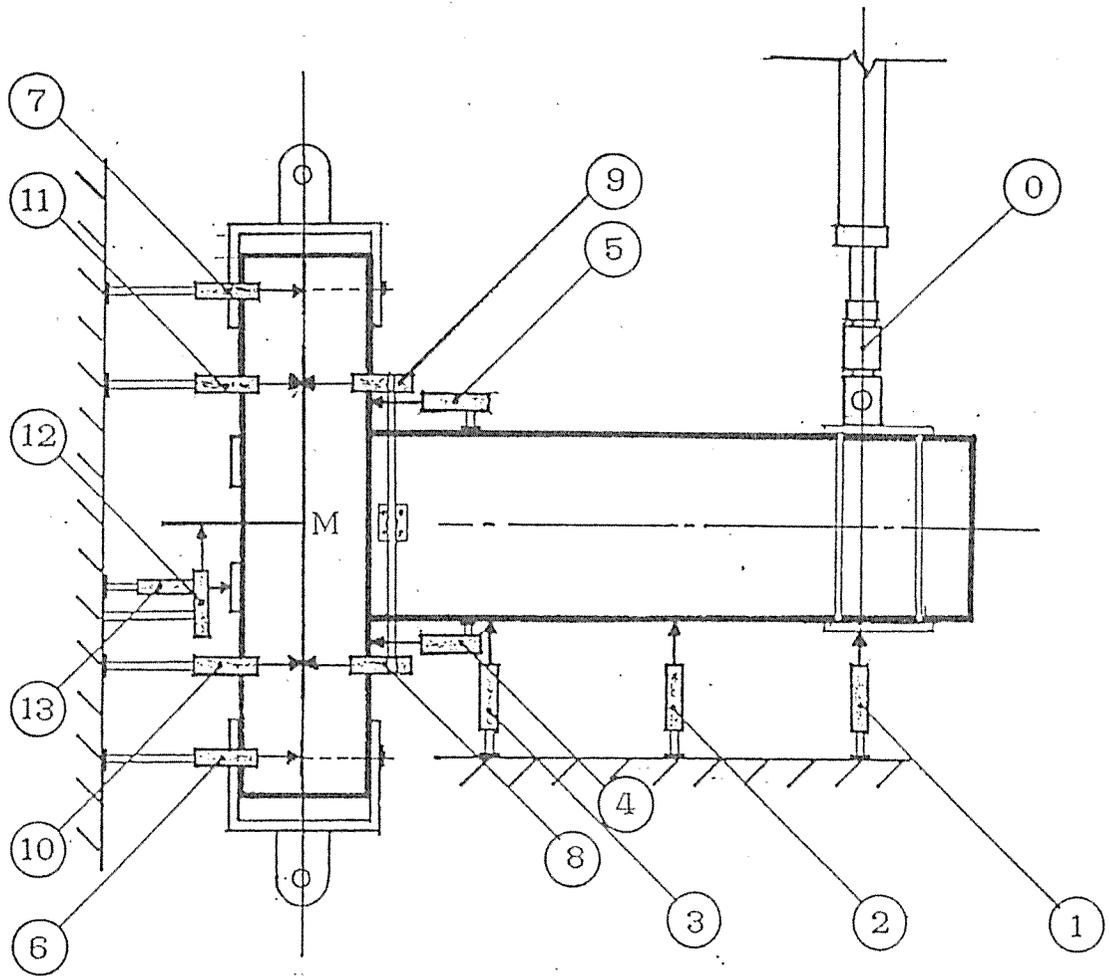


Fig. 3 変位計測定位置図

Table.1 (a) 変位形精度表

変位形 No.	精度 (mm/mic)
0	2,000
1	100
2, 3	50
4, 5	50
6, 7	500
8, 9	200
10, 11	500
12, 13	500

Table.1 (b) 変位計測定目的

変位形 No.	測定変位
0	載荷力
1	載荷点位置の絶対変位
2	載荷点より柱材中心線までの1/3位置の絶対変位
3	載荷点より柱材中心線までの2/3位置の絶対変位
4, 5	柱材と梁材の相対変位 (めり込み量)
6, 7	柱材支点の絶対変位
8, 9	柱材と梁材の相対変位
10, 11, 12	柱材M点の回転角、側方変位
13	座金のめり込み量

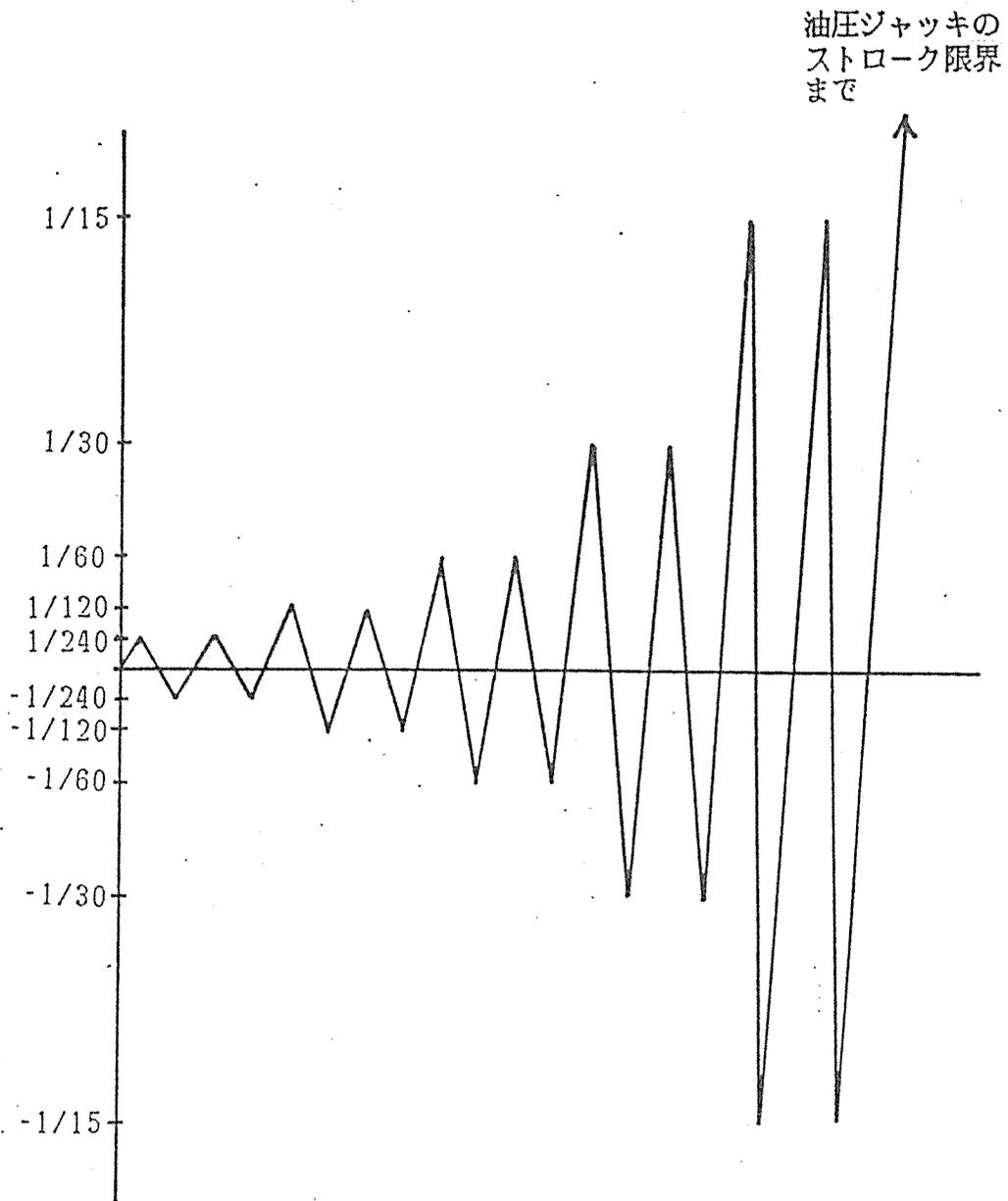


Fig.4 | 正負交番载荷プログラム

3-2 実験結果

(1) 最大耐力

Table. 2 に $1 / 120$ rad. におけるモーメント荷重および最大モーメント荷重とその時点での変位を示す。VK, HK, SB タイプいずれも $1 / 120$ rad. では、モーメント荷重の差はほとんど見られない。しかし最大モーメント荷重を比較すると、HK タイプは VK タイプに比べ 5% 荷重が高く、SB タイプに比べ 10% 高い。梁材の曲げ強度を圧縮強度の 1.3 倍とすると、継手の無い場合の梁の M_{max} を計算すれば $11,002 \text{ kgf}\cdot\text{m}$ となる。本報告における 3 種類の試験体の M_{max} の平均は $5066 \text{ kgf}\cdot\text{m}$ であるから接合部強さは梁全断面曲げ強さの約 46% (柱は 42%) の強度を示す。接合部強さの計算を以下に示す。

接合部の強さの計算

集成材の強度比を用いて計算を行う。

集成材 の等級	集成材の 強度比			
	曲げ	引張り	圧縮	せん断
特級	0.78	0.78	0.92	(0.50)
1級	0.67	0.45	0.86	(0.50)
2級	0.56	0.37	0.73	(0.50)

Table.2 実験結果

試験体名		M(1/120rad) (kgf・m)	M _{max} 最大耐力 (kgf・m)	変位 (rad)	平均値 (kgf・m)
縦 く さ び	LT-VK-C1	1742.0	4806	1/14	4899
	LT-VK-C2	1878.7	4992	1/14	
	LT-VK-M	1535.1	5586	1/12	5586
横 く さ び	LT-HK-C1	1812.4	5034	1/13	5181
	LT-HK-C2	1656.6	5328	1/13	
	LT-HK-M	1704.0	5658	1/12	5658
ね じ 締 め	LT-SB-C1	1785.7	4752	1/13	4713
	LT-SB-C2	1800.4	4674	1/13	
	LT-SB-M	1344.1	4770	1/13	4770

(2) 履歴ループと終局性状

Fig. 5 に各試験体の $M - \theta$ 曲線を示す。M は Fig. 2 の M 点におけるモーメント荷重を示し、 θ は M 点の回転角を示す。点線は片振り載荷を示す。Fig. 6 (a), (b) (c) には、それぞれ 3 タイプのモーメント荷重 (M) - 座金のめり込み量 (Δ) 関係を示している。

LT - VK タイプ

Fig. 5 (a) に VK タイプの $M - \theta$ 曲線を示す。

1 / 240 rad. では約 2.7×10^5 (kgf·m / rad.) の勾配で荷重が直線的に上昇し、1 / 60 rad. までは紡錘形で、1 / 30 rad. からスリップ形に移行した。

1 / 60 rad. では引張ボルトの座金 (130 × 130 × 15 mm) が柱側面にめり込み始め、モーメント荷重 4,000 kgf·m (1 / 15 rad.) で座金は 10 mm めり込んだ。また曲げモーメントに伴う引張力よって、ボルトは降伏点を越えて伸びが生じた。

LT - HK タイプ

Fig. 5 (b) に HK タイプの $M - \theta$ 曲線を示す。

1 / 240 rad. では約 2.5×10^5 (kgf·m / rad.) の勾配で上昇し、VK タイプと同じように 1 / 60 rad. まで紡錘形を示し 1 / 30 rad. からスリップ形に移行した。

1 / 60 rad. で座金がめり込み始め、モーメント荷重 4300 kgf·m (1 / 15 rad.) で座金は 6 mm めり込んだ。また曲げに伴う引張力によりボルトに伸びが生じた。

LT-SBタイプ

Fig. 5 (c) にSBタイプのM- θ 曲線を示す。

1 / 240 rad.では約 2.7×10^5 (kgf·m/rad.) の勾配で上昇し、1 / 60 rad.まで紡錘形を示し1 / 30 rad.からスリップ形に移行した。またSBタイプは正負交番载荷による耐力低下が小さい。座金のめり込みは、1 / 60 rad.で座金がめり込み始め、モーメント荷重4,300 kgf·m (1 / 15 rad.) で座金は9 mmめり込んだ。ボルトは曲げに伴う引張力により伸びが生じた。

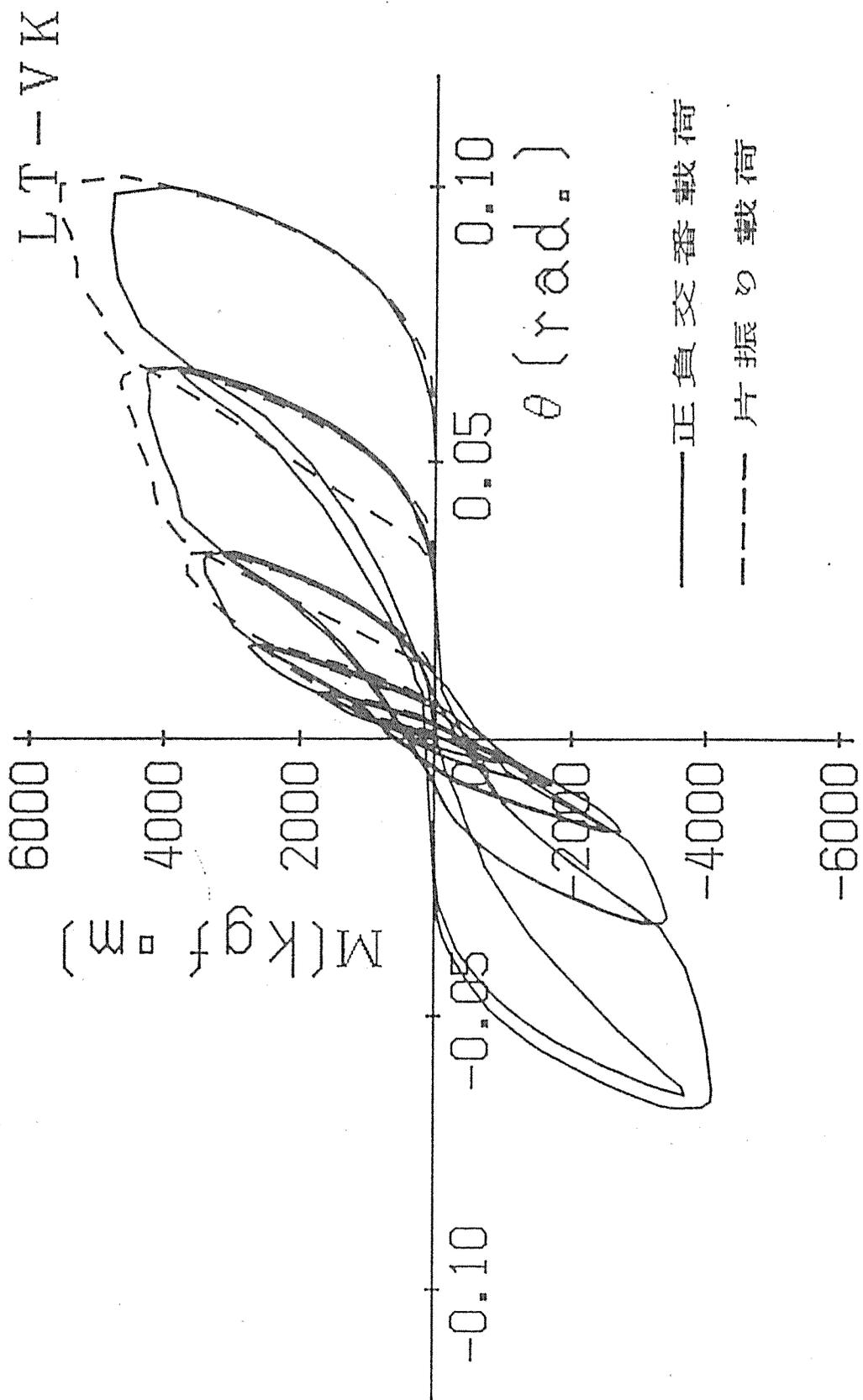


Fig.5 (a) M— θ 曲線

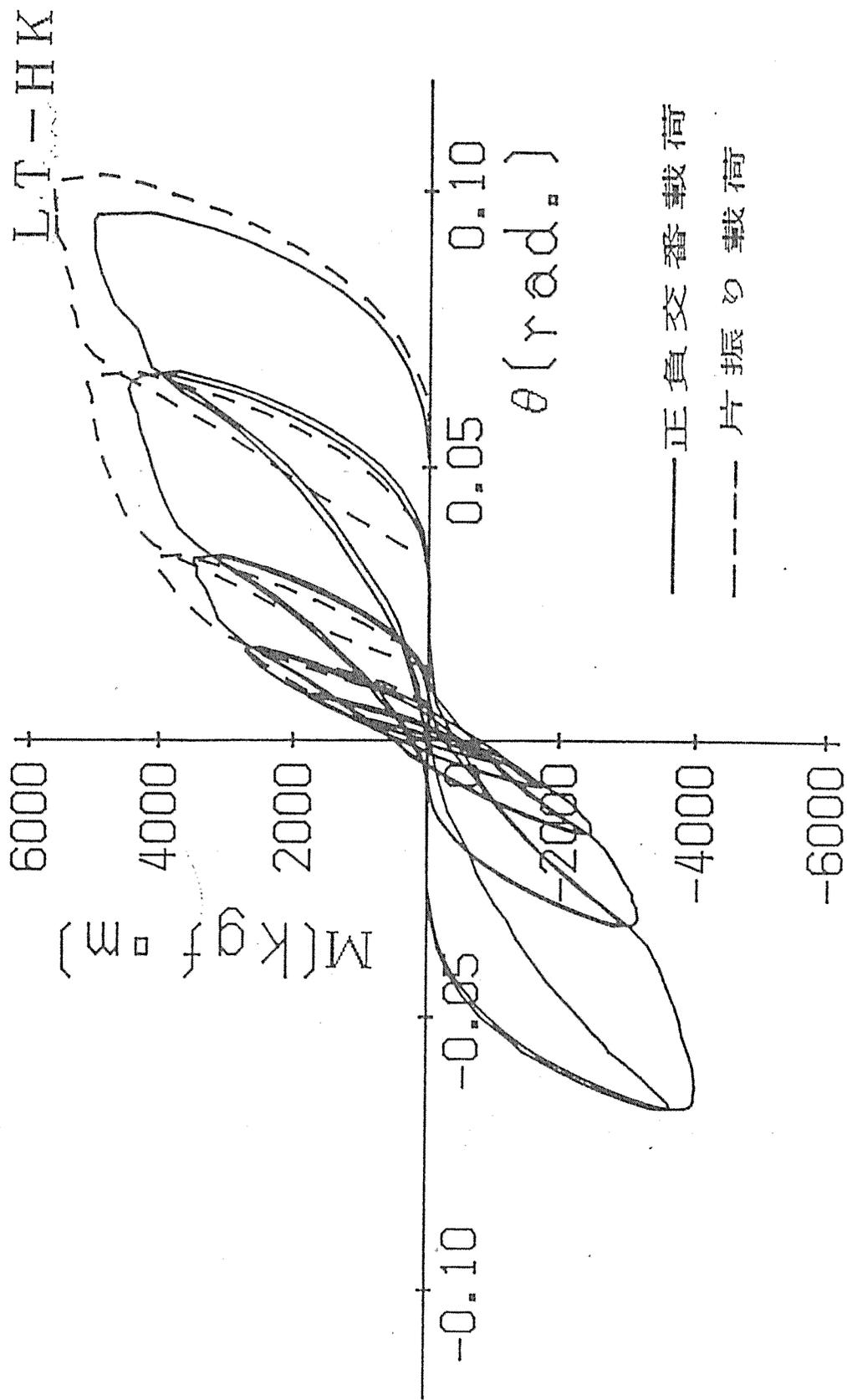


Fig.5 (b) MI- θ 曲線

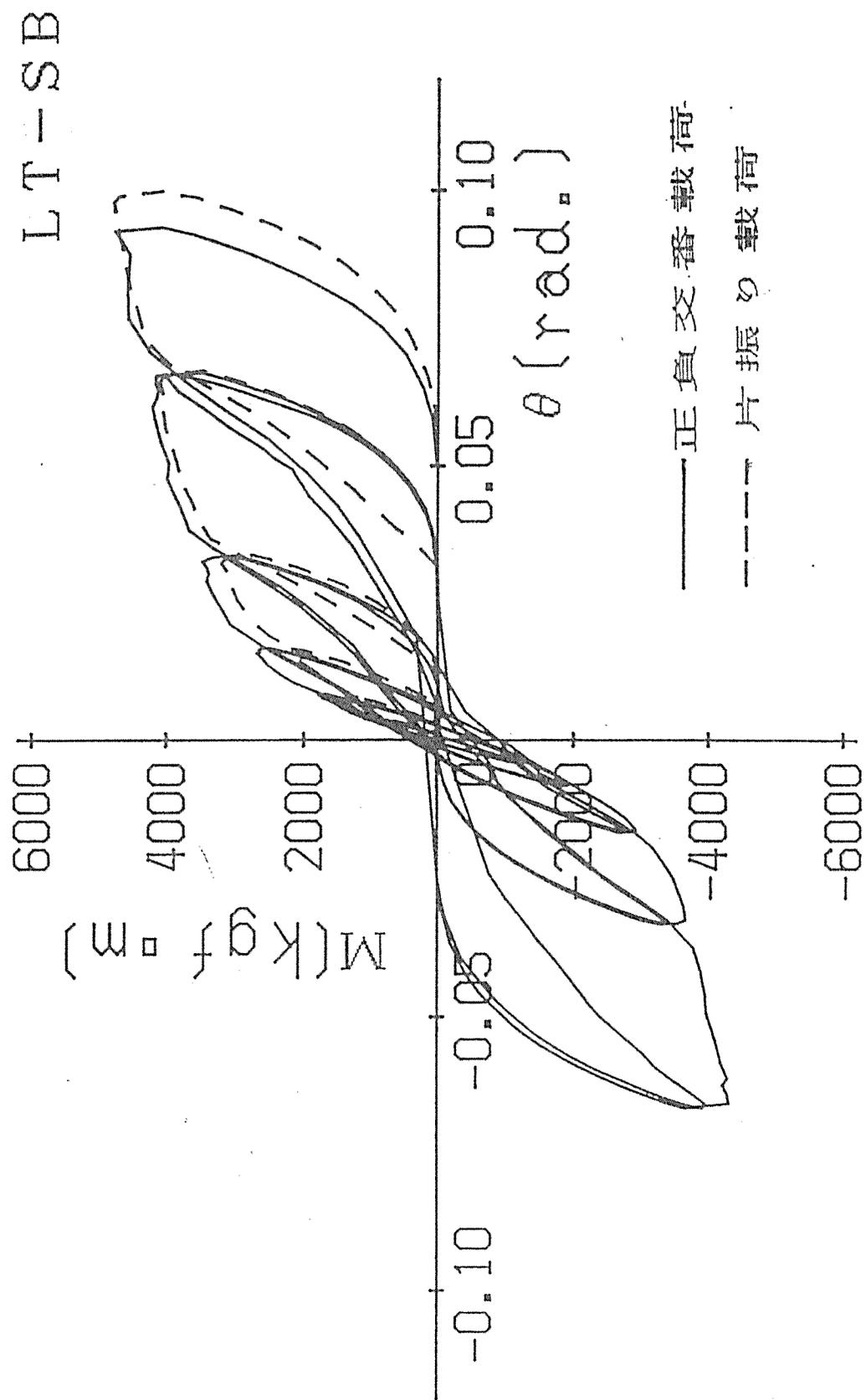


Fig.5 (c) M— θ 曲線

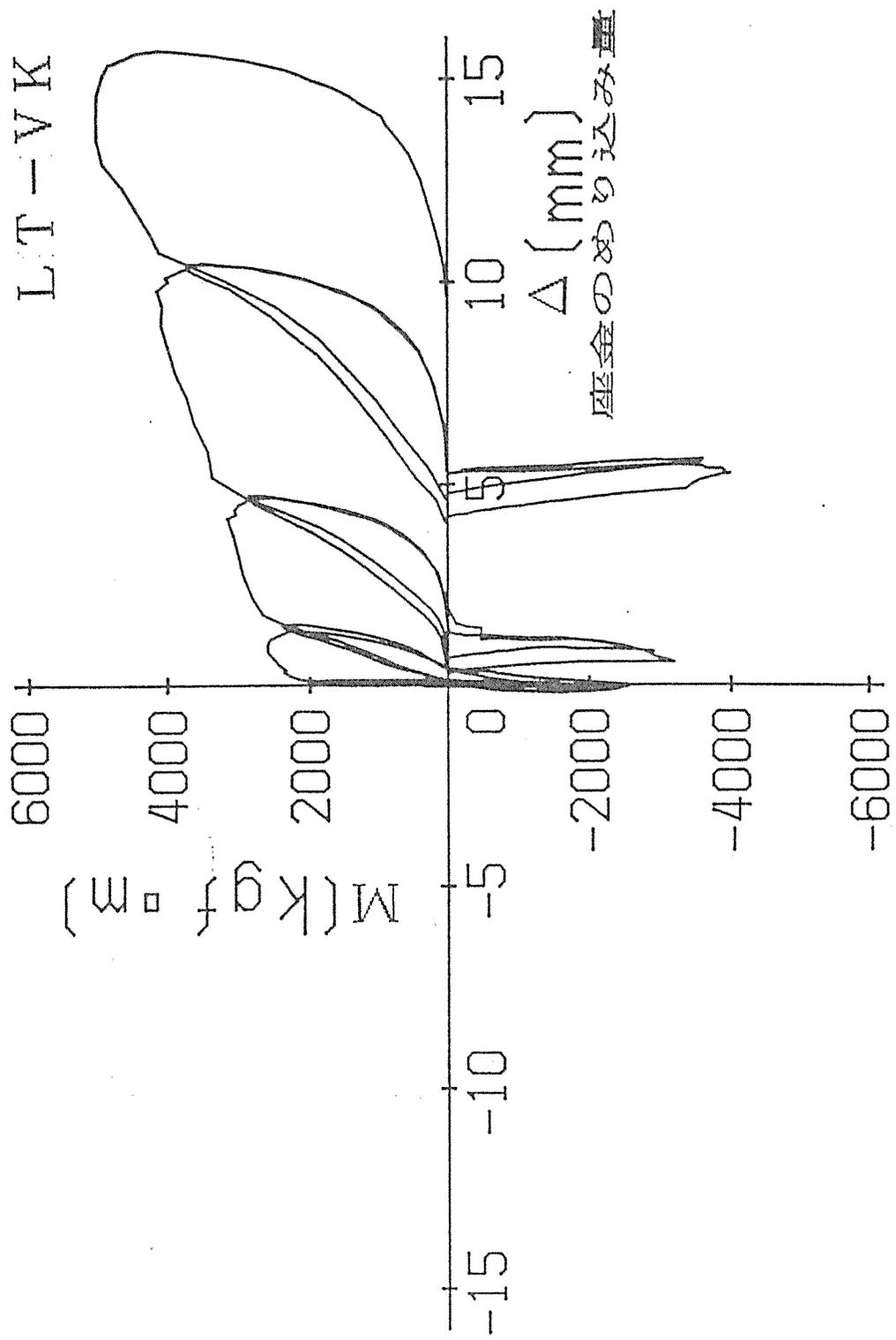


Fig.6 (a) モーメント荷重-めり込み量関係

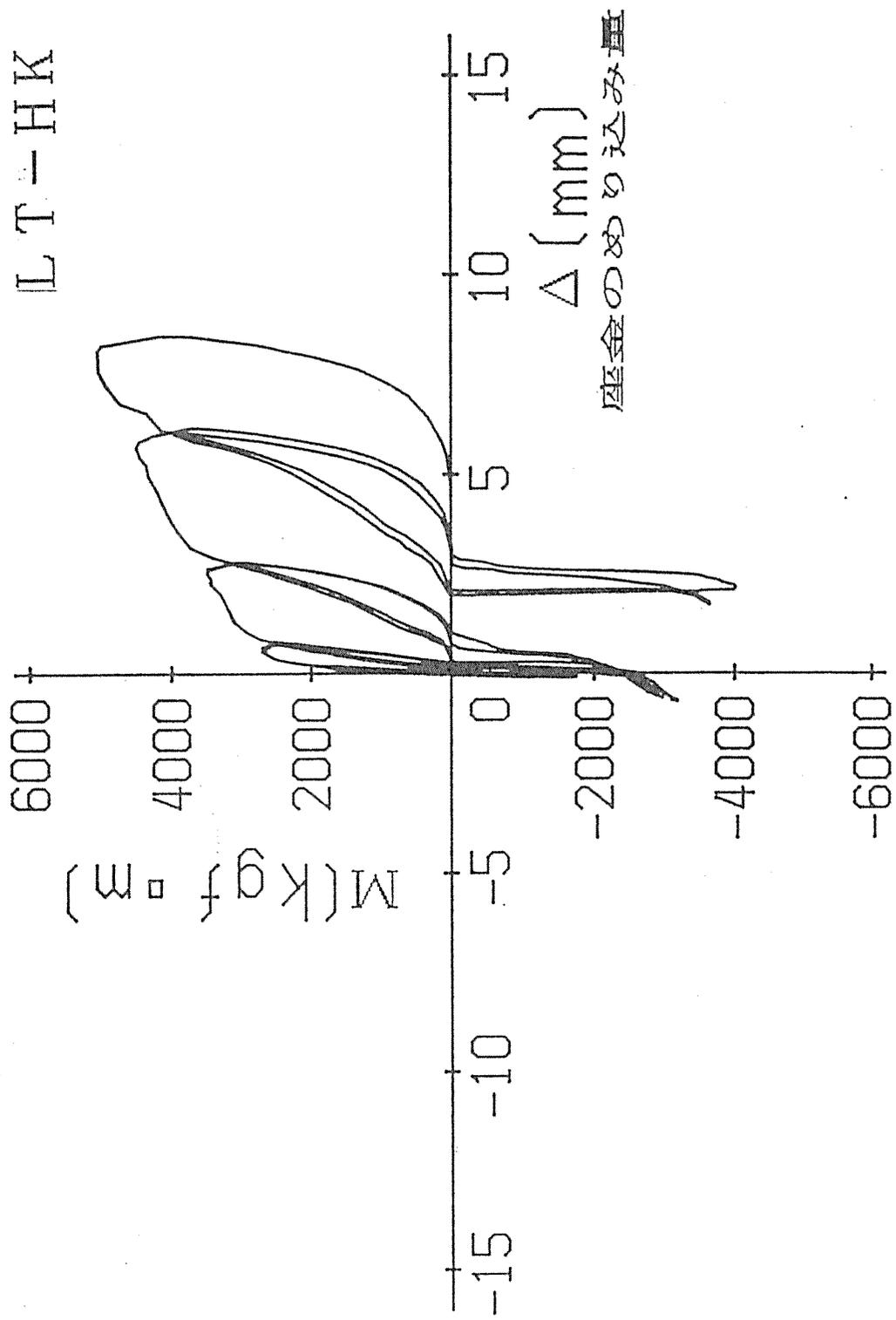


Fig.6 (b) モーメント荷重-めり込み量関係

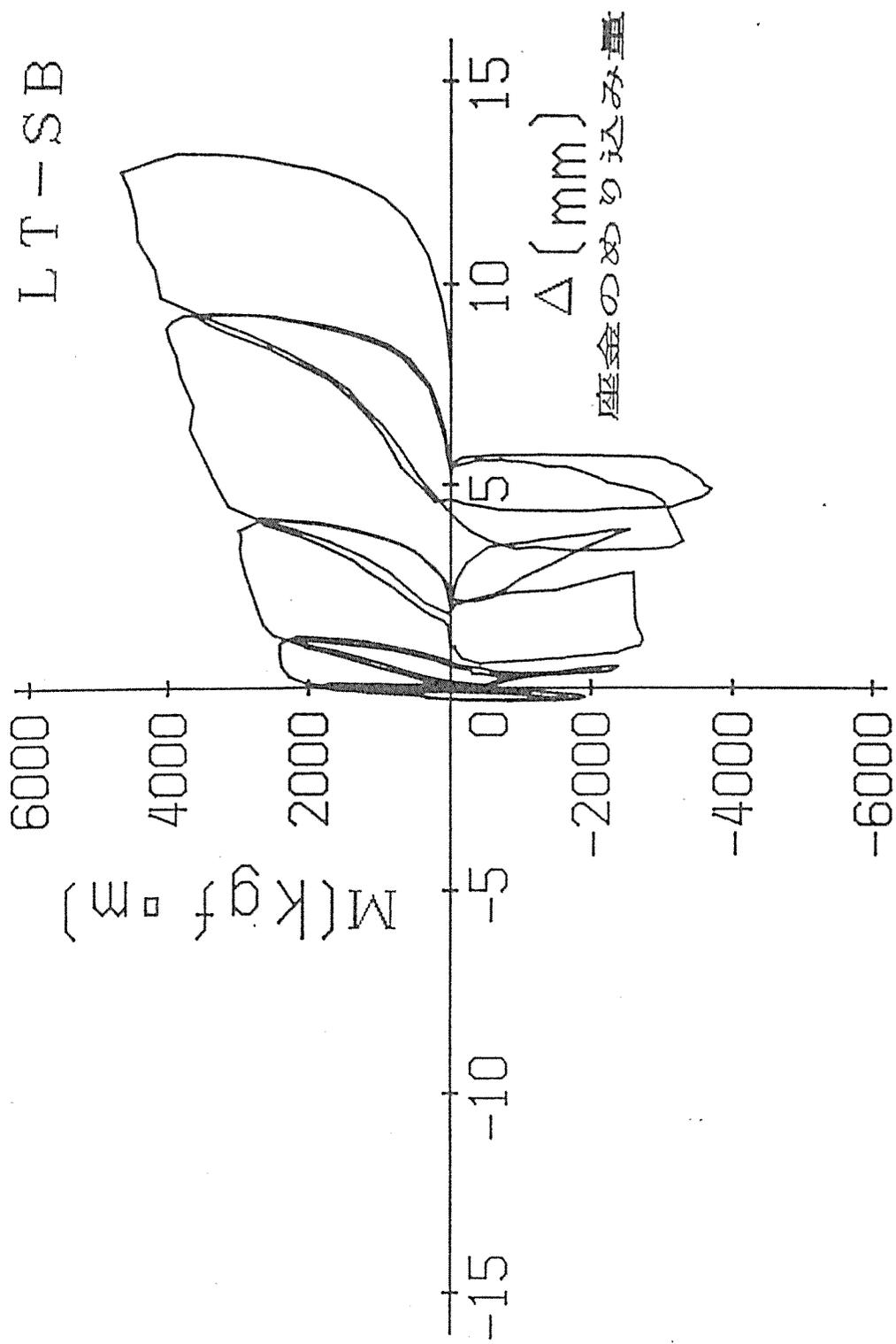


Fig.6 (c) モーメント荷重-めり込み量関係

2-4. エネルギー吸収性状

$E_d - \theta_r$ マップ (Fig. 7) を用いエネルギー吸収性状を考慮した。縦軸に正負交番载荷による各1次サイクル当りの履歴ループの囲む面積 E_d 「 $M \times \theta$ (kgf \cdot m \cdot rad.)」、横軸に各サイクル毎の残留変位量 θ_r (rad.) をとり、 $E_d - \theta_r$ 関係を Fig. 8 (a), (b), (c) に示す。 E_d 曲線は 1. 標準型 2. 柔性型 3. 靱性型タイプに分けられる。本実験の $E_d - \theta_r$ グラフより 3 タイプ共に第一次ループは靱性型を示し、第二次ループはほぼ標準形を示している。第一次ループと第二次ループを比較し第二次ループの方がエネルギー吸収が小さいのは引張ボルトを受ける座金の木材へのめり込みが原因と考えられる。

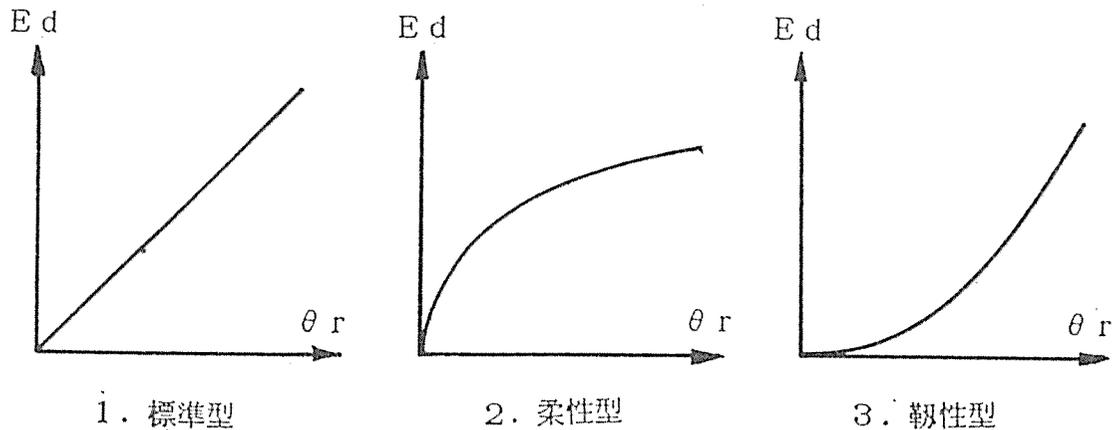


Fig. 7. $E_d - \theta_r$ マップの形状タイプ

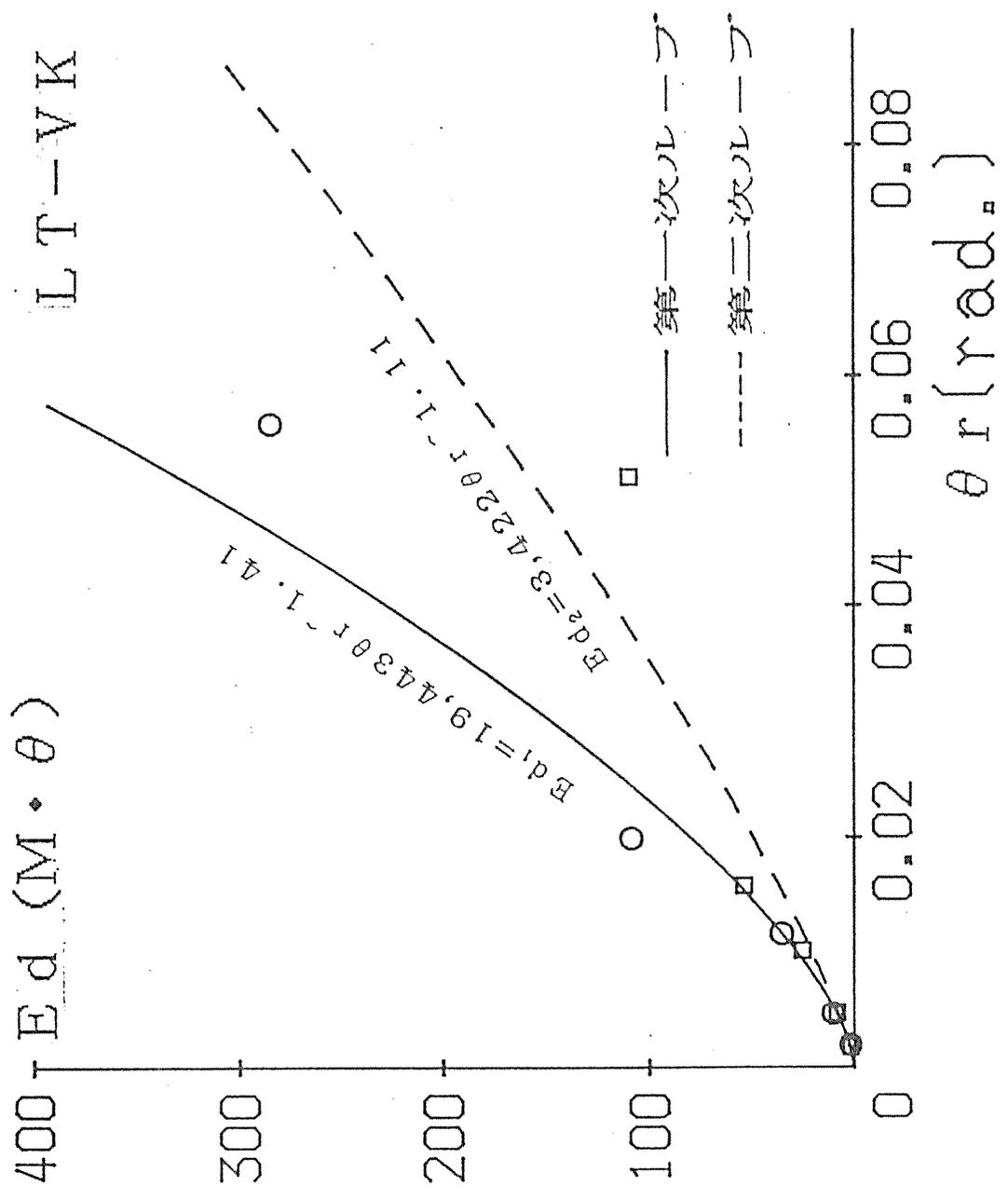


Fig. 8 (a) $E_d - \theta_r$ 曲線

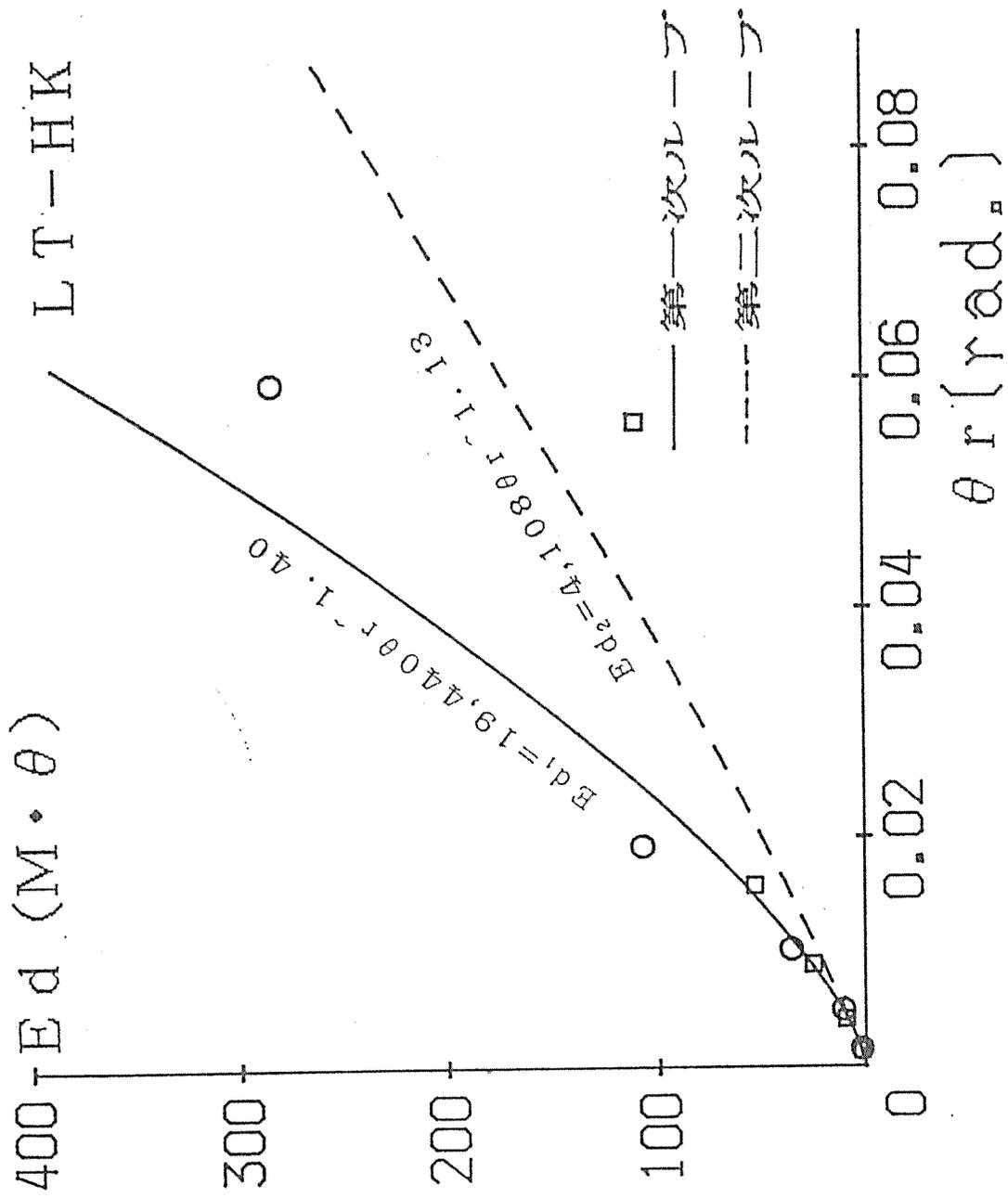


Fig. 8 (b) $E d - \theta$ 曲線

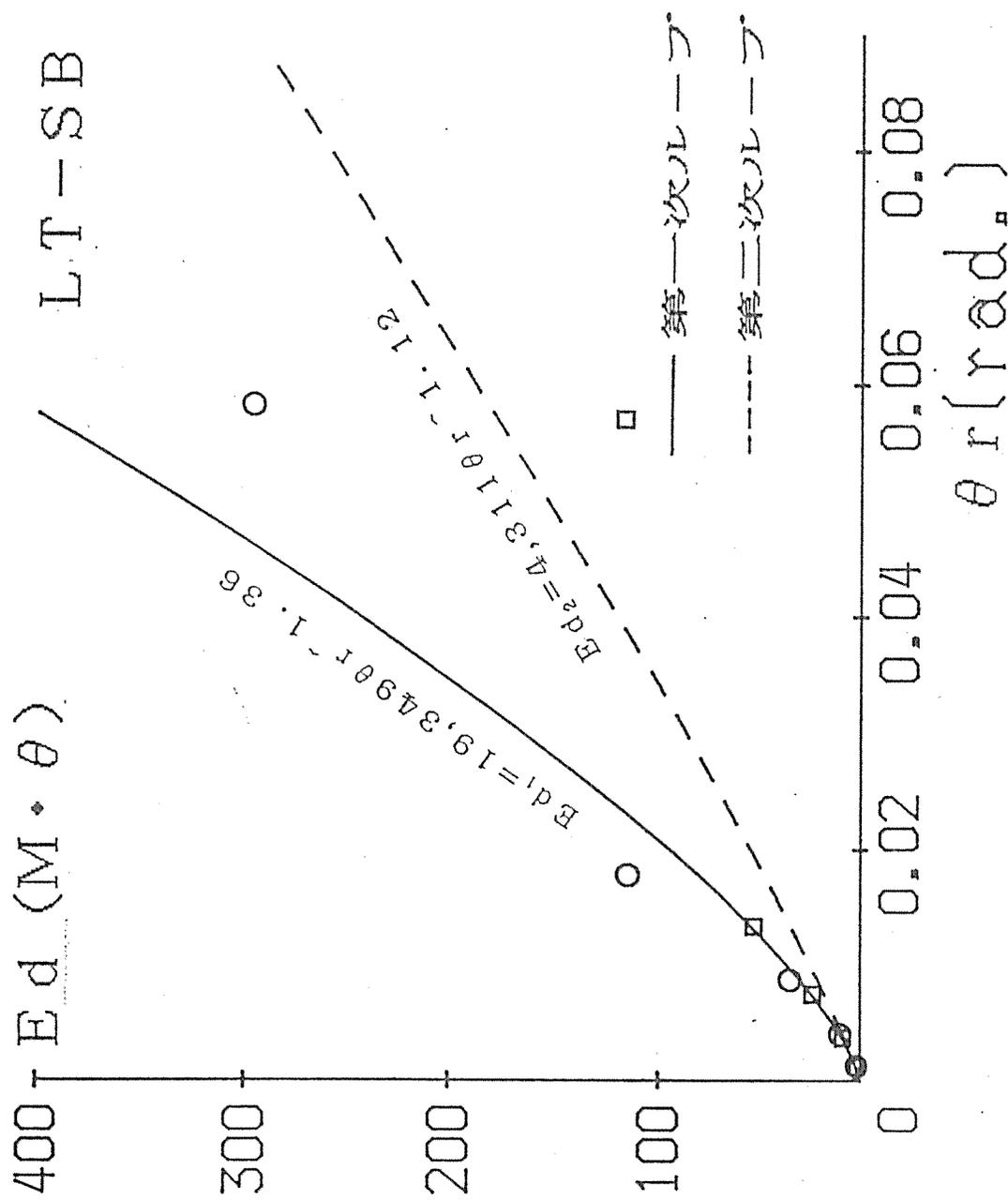


Fig.8 (c) $E_d - \theta r$ 曲線

天秤鎌継ぎに関する実験的研究

(重木構造の柱-梁接合部に応用した場合)

正会員 ○定方 啓¹⁾ 同 長屋 学²⁾ 同 細川清司⁴⁾
 汪 虹²⁾ 渡会 聡³⁾

1. はじめに

本報告は前報¹⁾の予備実験をもとにして、集成材の柱と梁とのモーメント接合に著者等が設計・製作した接合金物を用いて組み立て、載荷実験を行った結果について述べたものである。この接合方式は、接合部分①が強度及び粘りを持ち、さらに金物が木部に取付られていて耐火性の高い接合方法である。梁材にI形の金物を埋め込み、木材の靱性を活用した和風継手の手法を応用した木のくさび(榑)を用いて梁と緊結している。その接合金物と柱材とを引張ボルトで接合する。この方法を「天秤鎌継ぎ接合」と名付けた。接合方法により3タイプの試験体を作成し、これらについて片振りおよび正負交番載荷を行いその耐力及び履歴特性の検討を行った。

2. 実験計画 2-1 試験体

試験体の接合金物と梁との緊結方法として、縦あるいは横方向にくさびを打ち込む方法およびだぼ(大柄)をねじによって締める方法とを用いた。これを梁に取り付けた引張ボルト(軸ボルト)によって柱材に接合した。柱材、梁材は共に集成材(米松、ラミナ厚3.6cm)を用い、含水率約22%、圧縮強度は繊維方向で約4700kg/cm²(平均値)であった。断面寸法は柱材(140×290mm)、梁材(140×400mm)である。接合金物はSS41を使用し、金物の板厚は15mm、重量は約30kg、金物に装着した全ネジボルトと柱-梁接合用のボルトの径はいずれも16mmである。

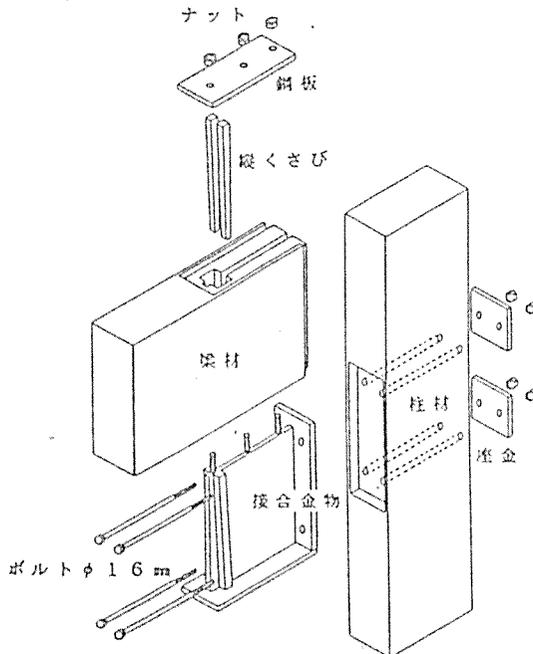


Fig. 1 LT-VK (縦くさび式)

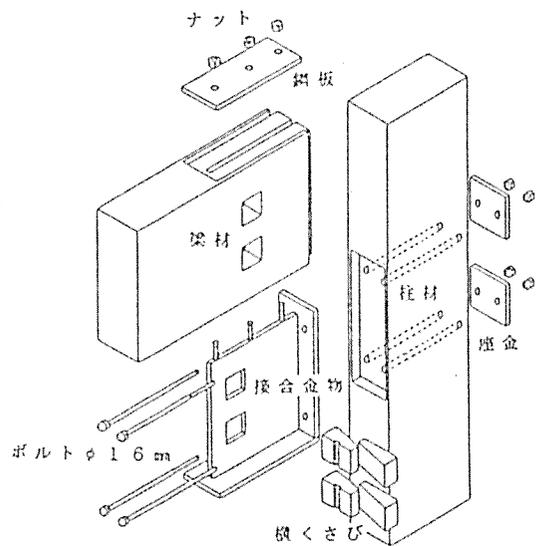


Fig. 2 LT-HK (横くさび式)

2-2 試験体の分類

試験体は、前述の接合方法によって縦くさび式(VK)横くさび式(HK)、ねじ締め式(SB)の三種類に大別される。Fig. 1, 2, 3にその接合詳細図と名称を示す。Fig. 1に示すように縦くさび式(VKタイプ

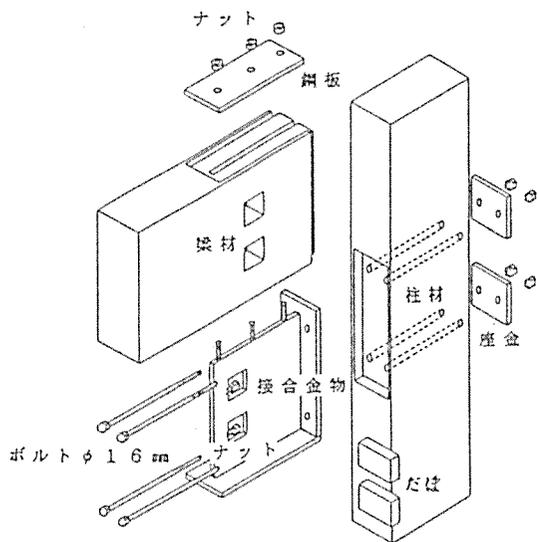


Fig. 3 LT-SB (ねじ締め式)

ブ)は、梁材を欠き込みボルトを金物を通してから金物を埋め込む。その際に縦方向にくさび(20×20×350mm)を打つ事によって梁材と金物を固定している。横くさび式(HKタイプ)は、Fig. 2のように梁材と金物を穴あけ加工をし、水平方向にくさび(65×32×120mm)を打ち込む事によって固定している。ねじ締め式(SBタイプ)は、Fig. 3のようにだば(65×32×120mm)を差し込み、金物に装着されているナットを締める事によって金物を固定している。

2-3 実験方法

試験体は各種類3体ずつ用意し片振り载荷を1体、正負交替载荷を2体とし実験を行った。Fig. 4には実験装置概略図を示した。試験体を床に平行に置き、柱材は両端ピン接合としベースプレートに固定した。梁材端部には面外変形拘束装置を取り付けた。柱材中心線から1200mmの位置に梁材中心線と直角方向に油圧ジャッキを用いて载荷した。電気式変位計により変位を測定し、荷重の検出はロードセル(10t/2000μ)を用いて荷重を読み取った。载荷プログラムは0→±1/240rad→0→±1/120→0→±1/60→0→±1/30→0→±1/15→0→P_{max}とし、P_{max}は油圧ジャッキのストロークの限界まで载荷した。

3. 実験結果 3-1 最大耐力

Table. 1に1/120radにおけるモーメント荷重および最大モーメント荷重とその時点での変位を示す。VK, HK, SBタイプいずれも1/120rad.では、モーメント荷重の差はほとんど見られない。しかし最大モーメント荷重を比較すると、HKタイプはVKタイプに比べ5%荷重が高く、SBタイプに比べ10%高い。

梁材の曲げ強度を圧縮強度の1.3倍とすると、継手の無い場合の梁のM_{max}を計算すれば11,463kgf・mとなる。本報告における3種類の試験体のM_{max}の平均は5066kgf・mであるから接合部強さは梁全断面曲げ強さの約44% (柱は42%)の強度を示す。

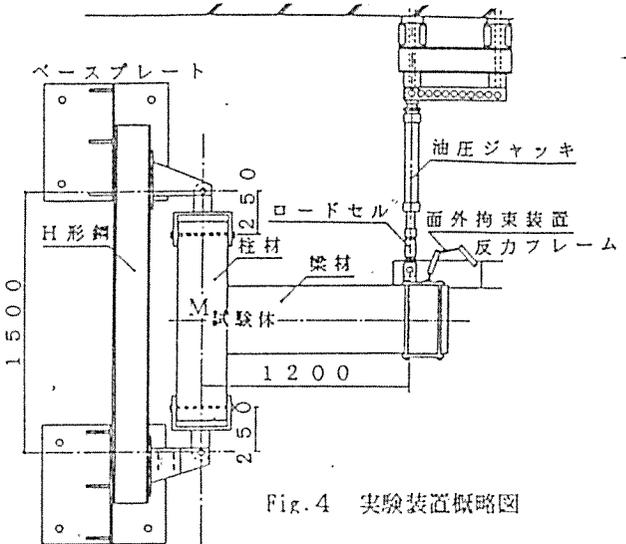


Fig. 4 実験装置概略図

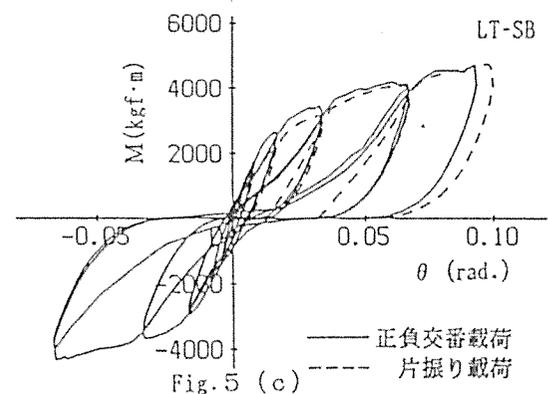
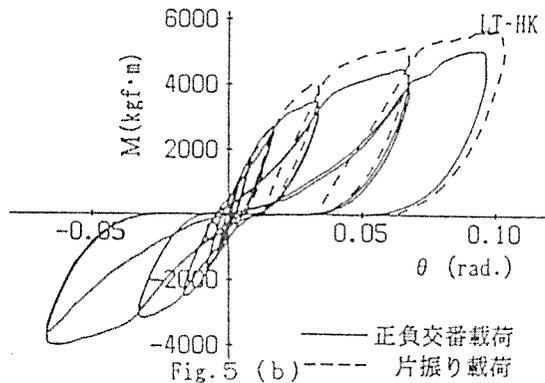
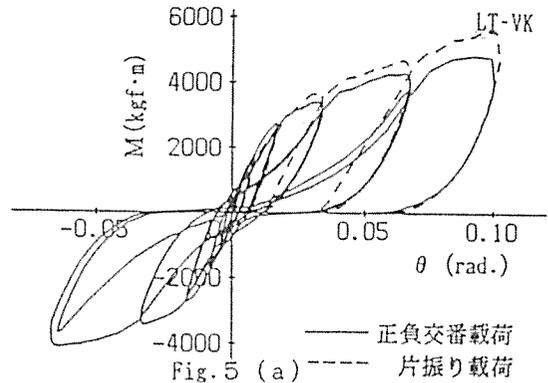
Table. 1 実験結果

試験体名		M(1/120rad) (kgf・m)	M _{max} 最大耐力 (kgf・m)	変位 (rad)
縦くさび	LT-VK-C1	1742.0	4806.0	1/14
	LT-VK-C2	1878.7	4992.0	1/14
	LT-VK-M	1535.1	5586.0	1/12
横くさび	LT-HK-C1	1812.4	5034.0	1/13
	LT-HK-C2	1656.6	5328.0	1/13
	LT-HK-M	1704.0	5658.0	1/12
ねじ締め	LT-SB-C1	1785.7	4752.0	1/13
	LT-SB-C2	1800.4	4674.0	1/13
	LT-SB-M	1344.1	4770.0	1/13

3-2 履歴ループと破壊性状

Fig. 5に各試験体のM- θ 曲線を示す。MはFig. 4のM点におけるモーメント荷重を示し、 θ はM点の回転角を示す。点線は片振り載荷を示す。Fig. 6には、モーメント荷重-座金のめり込み量関係を示している。

LT-VKタイプ Fig. 5 (a)にVKタイプのM- θ 曲線を示す。1/240rad.では約270,000 (kgf·m/rad.)の勾配で荷重が直線的に上昇し、1/60rad.までは紡錘形で、1/30rad.からスリップ形に移行した。1/60rad.では引張ボルトの座金(130×130×15mm)が柱側面にめり込み始め、モーメント荷重4000kgf·m (1/15rad.)で座金は10mmめり込んだ。また曲げモーメントに伴う引張力によって、ボルトは降伏点を越えて伸びが生じた。



LT-HKタイプ Fig. 5 (b)にHKタイプのM- θ 曲線を示す。1/240rad.では約250,000 (kgf·m/rad.)の勾配で上昇し、VKタイプと同じように1/60rad.まで紡錘形を示し1/30rad.からスリップ形に移行した。1/60rad.で座金がめり込み始め、モーメント荷重4300kgf·m (1/15rad.)で座金は6mmめり込んだ。また曲げに伴う引張力によりボルトに伸びが生じた。

LT-SBタイプ Fig. 5 (c)にSBタイプのM- θ 曲線を示す。1/240rad.では約270,000 (kgf·m/rad.)の勾配で上昇し、1/60rad.まで紡錘形を示し1/30rad.からスリップ形に移行した。またSBタイプは正負交番載荷による耐力低下が小さい。座金のめり込みは1/60rad.で座金がめり込み始め、モーメント荷重4300kgf·m (1/15rad.)で座金は9mmめり込んだ。ボルトは曲げに伴う引張力により伸びが生じた。

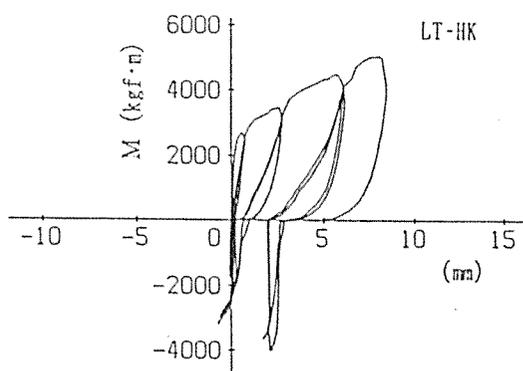
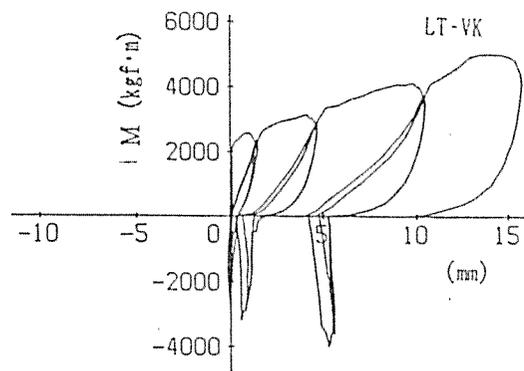


Fig. 6 モーメント荷重-めり込み量関係

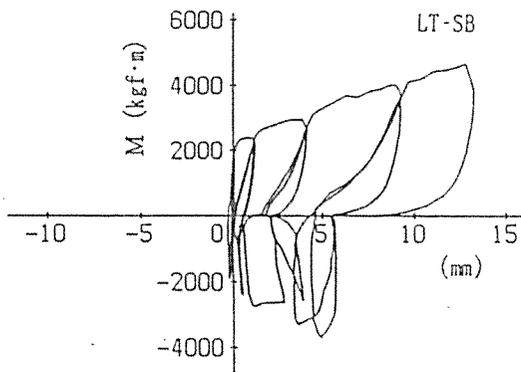


Fig. 6 モーメント-めり込み量関係

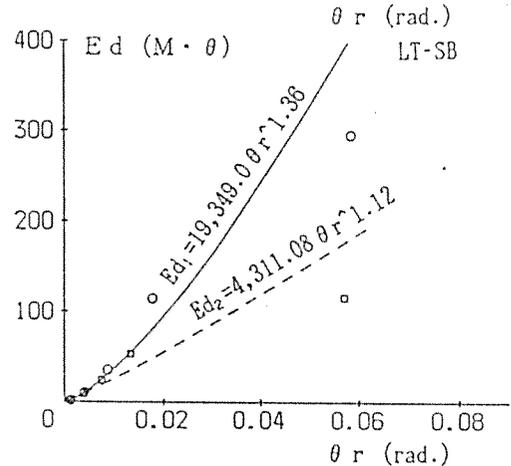
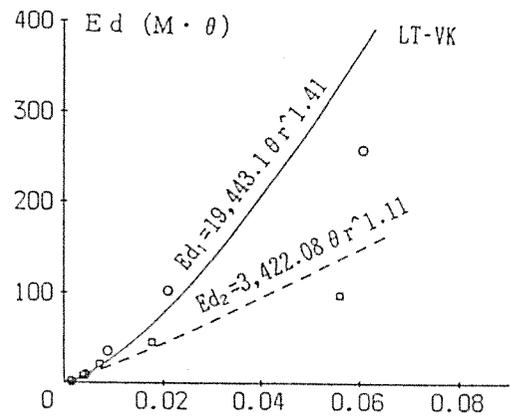
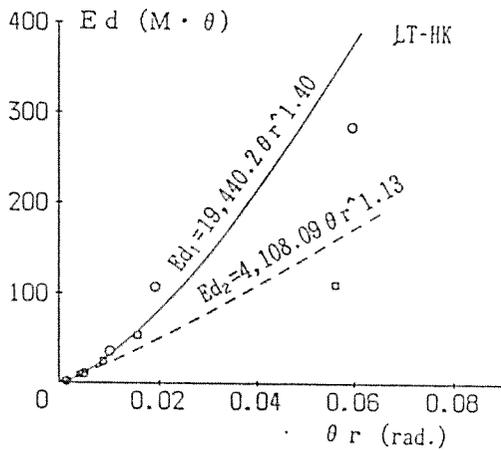


Fig. 7 $E_d - \theta_r$ 曲線 — 第一次ループ 第二次ループ

4. エネルギー吸収性状

$E_d - \theta_r$ マップを用いエネルギー吸収性状を考慮した。縦軸に正負交番載荷に於いて各1次サイクル当りの履歴ループの面積 E_d 「 $M \times \theta$ (kgf·m·rad.)」、横軸に各ループのピーク時の変位 θ_r (rad.) をとり $E_d - \theta_r$ 関係をFig. 7に示す。 E_d 曲線は1. 靱性型 2. 標準型 3. 柔性型タイプに分けられる。
 2) グラフより3タイプ共に第一次ループは靱性型を示し、第二次ループはほぼ標準形を示している。

5. まとめ

VK, HK, SBタイプを比較すると初期剛性はいずれも $1/240$ rad.において約250,000 (kgf·m/rad.)であった。最大耐力はHKタイプが他のタイプに比べ5~10%高い値を示した。実験の終局状況は座金のめり込み、ボルトの塑性伸びであった。施工性を考慮に入れるとVKタイプ, HKタイプが望ましいといえる。しかし接合金物の構造全体に対する重量比が問題である。今後としては接合金物の軽量化が課題である。

【参考文献】

- 1) 定方 啓, 丸井良修, 細川清司 「天秤継ぎ接合についての実験的研究」日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)1990年10月No.2886.PP.108/109
- 2) 定方 啓 「木質系構造要素の減衰靱性についての実験的研究」第7回日本地震工学シンポジウム(1986年)No.234.PP.1399/1403

* 1) 豊橋技術科学大学教授・工博 * 2) 同大学院生 * 3) 同学部学生 * 4) 細川工務店

第3章 204サイズのスギ間伐材における 鋼板添板式ボルト接合部の耐力

1. 目的

スギ材の基礎的な接合性能を把握するため204サイズのスギ間伐材における鋼板添板式ボルト接合部の耐力試験を行い、ボルト径および端距離が耐力に及ぼす影響を調べた。

2. 試験材はスギ間伐材を用いた。断面が9cm×9cmで長さ4mの丸身の認められる柱材から、断面38mm×90mmの204サイズで、試験条件に応じて長さ470mm～570mmに切断し試験材とした。

添板用鋼板は厚さ6mm、幅100mmであった。部材先孔径、ボルト径、鋼板先孔径はクリアランスをとらず、いずれも同一寸法とした。ナットは軽く手で閉める程度であった。

供試ボルトの直径は、8mm、12mm、16mmの3種類で、端距離は、ボルト径8mmと12mmの場合は50mm、75mm、100mmの3種類、ボルト径16mmの場合は50mm、100mm、150mmであった。試験条件は9種類、繰り返し数は3体であった。鋼板添板ボルト接合試験体の形状を図-1に示した。治具取付孔径はスギ側は30mmで、鋼板側は40mmであった。

試験体組立図を図-2に示した。引張試験機は最大容量30tfの縦型引張試験機（前川試験機製）を用いて行った。荷重は容量10tfのロードセル（共和電業製LO-10TE）を用いて測定した。変位は、試験体の両側に変位計（東京測器製C DP-50、容量50mm）を2本設置し、鋼板とスギ材間の相対変位を測定した。変位と荷重はパーソナルコンピュータ（NEC製PC-9801VM2）で制御されるデータロガー（東京測器製TDS-301S）を用い、GP-1Bインターフェースを通してパーソナルコンピュータのフロッピーディスクに収録した。

3. 試験結果および考察

試験の荷重－相対変位曲線を図－3に示した。図－3では相対変位10mm以上は省略した。

試験結果を表－1に示す。また、試験結果の平均値と、一定変位時の平均等を表－2に示した。

ボルト径が大きいほど、また端距離が長くなるほど最大耐力は増加した。また、ボルト径が大きいほど、最大変位は減少する傾向を示したが、平均値では、端距離100mmの場合、ボルト径12mmと16mmの間で逆の傾向を示した。

最大荷重は、全乾比重が0.5近くあったボルト径12mmの端距離75mmと100mmの条件のそれぞれ1体づつは、同じ条件の他の2体と比較して、とくに高い値を示した。

最大変位は、最大荷重のばらつきにくらべて、全体的にばらつきが大きく、全乾比重との関係はあまり見られなかった。

破壊形態は図－4に示すように、a. 割裂型、b. せん断型、c. 中間型の3つのパターンに分類できた。破壊形態別試験体数を表－3に示す。

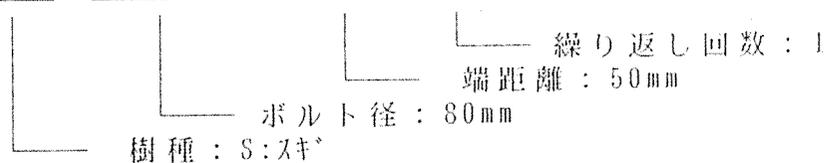
端距離の大きいものほど、また、ボルトの径が大きいものほどせん断型破壊形態が多くなる傾向を示した。

表-1 ボルト接合引張試験結果

番号※	ボルト径 (mm)	端距離 (mm)	P _{max} (kgf)	D _{max} (mm)	試験時 比重	全乾 比重	試験時 含水率(%)
BS080501	8	50	802.5	5.560	0.38	0.33	18.0
BS080502	8	50	690.0	3.680	0.37	0.31	20.4
BS080503	8	50	717.5	8.950	0.41	0.33	23.8
BS080751	8	75	875.0	12.230	0.47	0.39	19.2
BS080752	8	75	727.5	15.970	0.41	0.34	19.9
BS080753	8	75	785.0	16.100	0.39	0.31	25.3
BS081001	8	100	800.0	19.820	0.38	0.32	20.3
BS081002	8	100	1172.5	17.900	0.38	0.32	19.8
BS081003	8	100	645.0	27.420	0.43	0.33	29.2
BS120501	12	50	955.0	0.990	0.59	0.49	20.7
BS120502	12	50	950.0	2.300	0.50	0.34	46.9
BS120503	12	50	810.0	1.970	0.45	0.36	22.3
BS120751	12	75	1600.0	2.890	0.59	0.48	21.1
BS120752	12	75	975.0	6.910	0.48	0.33	47.6
BS120753	12	75	847.5	1.780	0.44	0.36	22.0
BS121001	12	100	1925.0	2.520	0.58	0.48	20.7
BS121002	12	100	1107.5	13.450	0.46	0.33	40.4
BS121003	12	100	1115.0	3.340	0.42	0.34	20.6
BS160501	16	50	1327.5	0.760	0.42	0.35	20.3
BS160502	16	50	1295.0	2.350	0.37	0.31	20.9
BS160503	16	50	1057.5	1.220	0.49	0.35	40.9
BS161001	16	100	1645.0	17.620	0.42	0.35	19.8
BS161002	16	100	1447.5	7.150	0.38	0.31	21.4
BS161003	16	100	1460.0	5.640	0.48	0.35	38.5
BS161501	16	150	1795.0	28.860	0.47	0.38	22.1
BS161502	16	150	1632.5	15.860	0.37	0.31	21.5
BS161503	16	150	1532.5	20.260	0.50	0.34	45.7

※試験体番号の意味

例：B S 080 50 1



表一 2 ボルト接合引張試験結果 (3体平均値)

ボルト 直径 (mm)	端距 離 (mm)	気乾 比重	絶乾 比重	試験時 含水率 (%)	最大 荷重 (kgf)	最大 変位 (mm)	直線の 傾き (kgf/mm)	比例限 荷重 (kgf)	比例限 変位 (mm)	一定変位別荷重 (kgf)							
										0.5 (mm)	1.0 (mm)	1.5 (mm)	2.0 (mm)	2.5 (mm)	3.0 (mm)	4.0 (mm)	5.0 (mm)
8	50	0.39	0.32	20.7	736.7	5.991	464	413	0.884	231	451	599	683	718	727	753	757
	75	0.43	0.35	21.5	795.8	14.698	509	455	0.901	240	488	614	676	701	709	716	723
	100	0.40	0.32	23.1	872.5	21.610	532	413	0.796	266	484	611	674	702	716	724	725
12	50	0.51	0.40	30.0	905.0	1.496	1042	722	0.836	519	611	793	950				
	75	0.50	0.39	30.2	1140.8	3.767	1057	673	0.631	536	878	1028	1213	1249	923	945	956
	100	0.48	0.38	27.2	1382.5	6.346	1630	861	0.518	835	1137	1261	1323	1347	1070	1036	1049
16	50	0.43	0.33	27.4	1226.7	1.382	1398	871	0.702	676	989	1096	1258				
	100	0.43	0.34	26.6	1517.5	9.788	1405	811	0.594	690	1100	1260	1374	1417	1439	1463	1471
	150	0.45	0.34	29.8	1653.3	21.290	1265	792	0.625	638	1046	1246	1344	1386	1408	1435	1445

表 - 3 破壊形態別試験体数

ボルト径 (mm)	破壊形態	端 距 離 (mm)				総 数
		50	75	100	150	
8	割 裂	(1) 3	3	3	-	(1) 9
	せ ん 断				-	
12	割 裂	2	2	3	-	7
	せ ん 断	1	1		-	2
16	割 裂	2	-	2	2	6
	せ ん 断	1	-	1	1	3
総 数	割 裂	(1) 7	5	8	2	(1) 22
	せ ん 断	2	1	1	1	5

注) () 内の数字は中間型と判定されたものの数を示す。
破壊形態は、図 - 4 参照

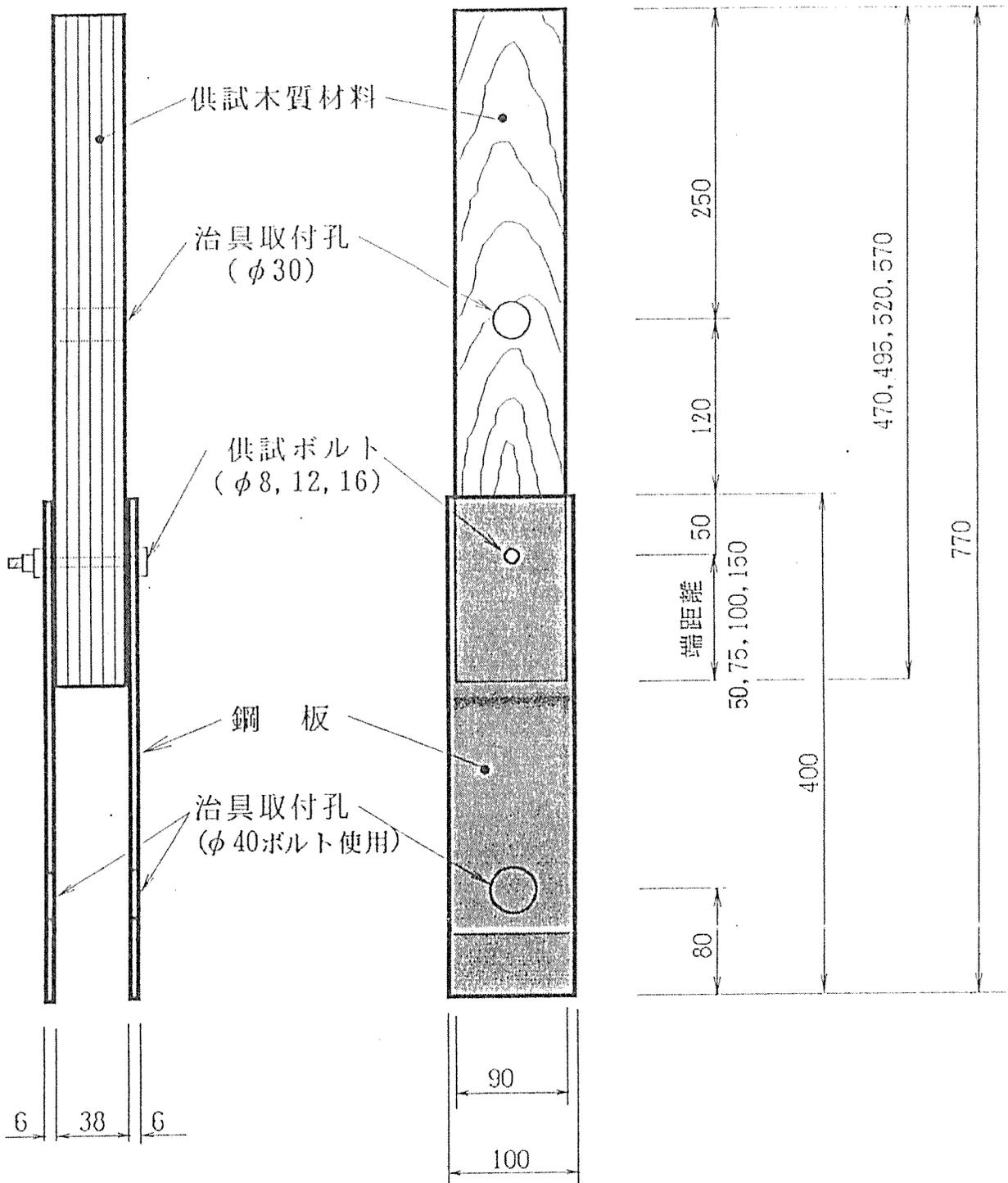


図-1 鋼板添板ボルト接合試験体の形状

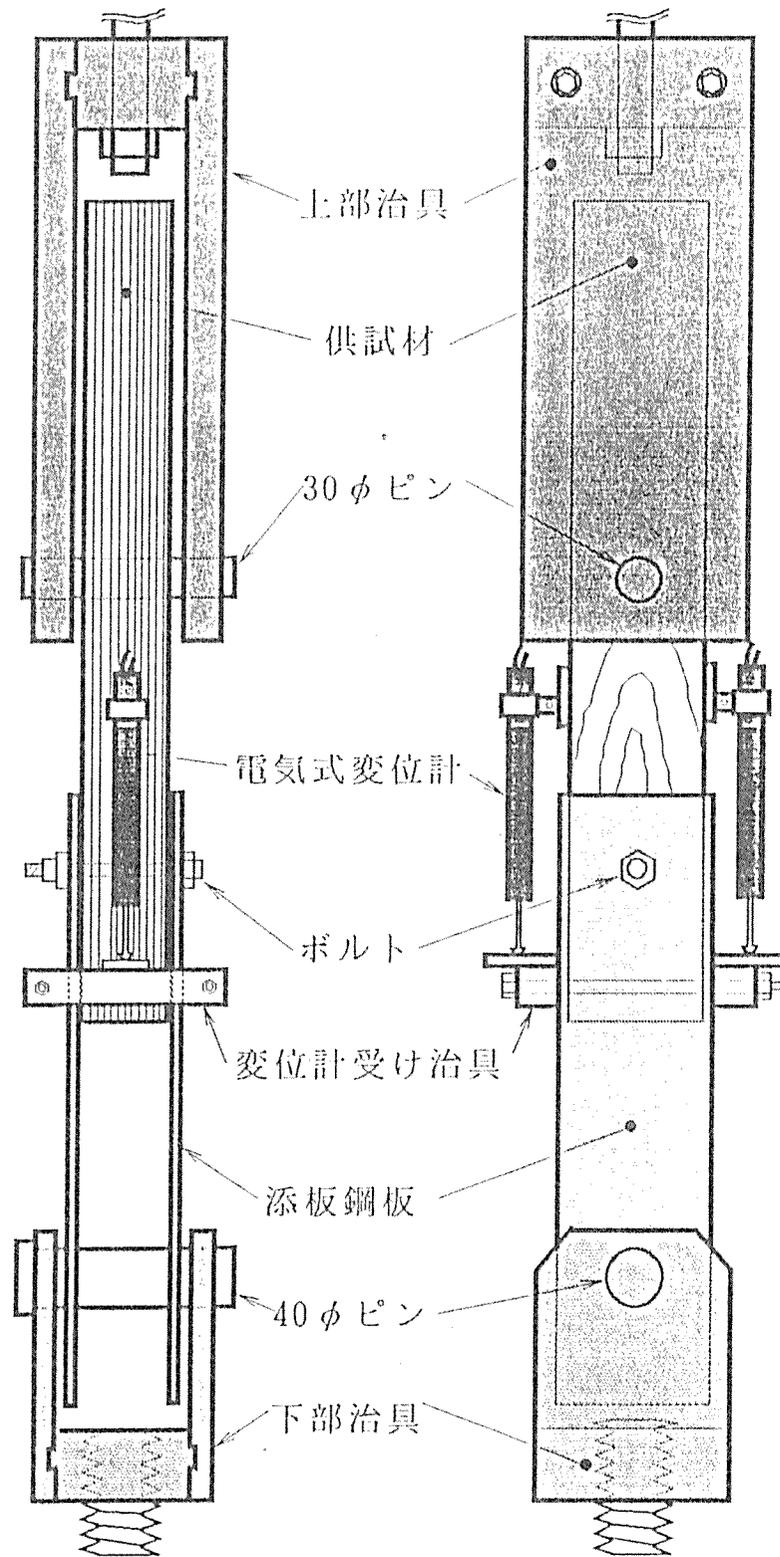
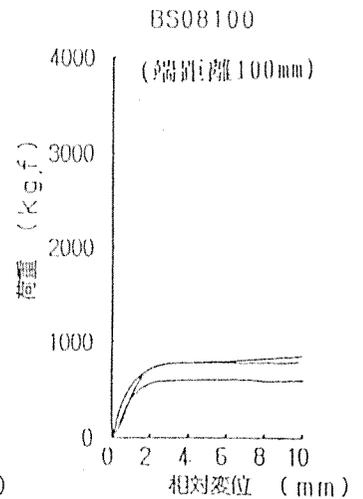
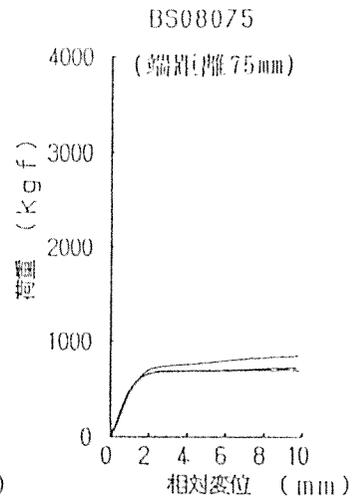
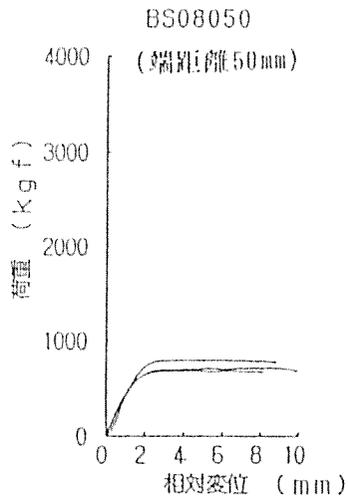
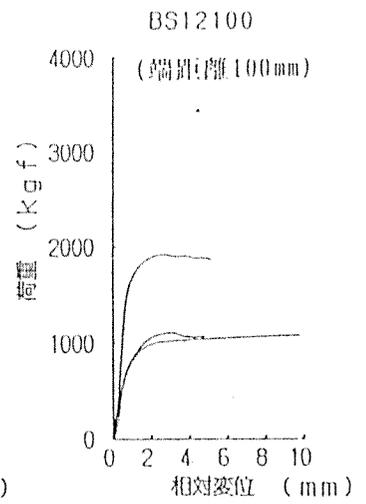
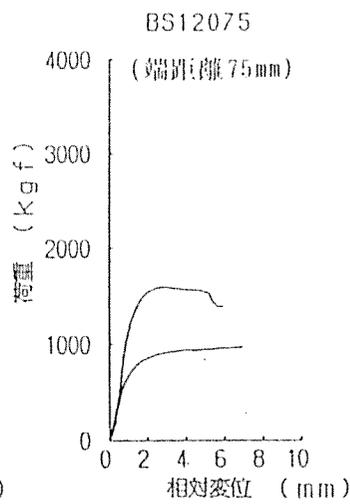
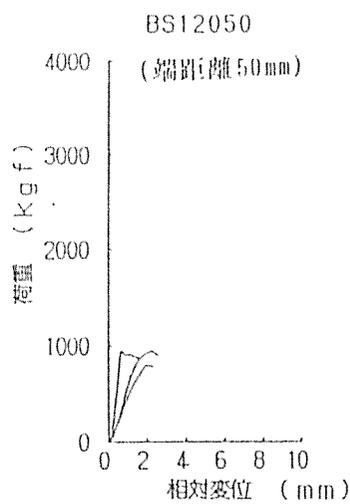


図-2 試験の概観

ボルト直径
φ 8mm



ボルト直径
φ 12mm



ボルト直径
φ 16mm

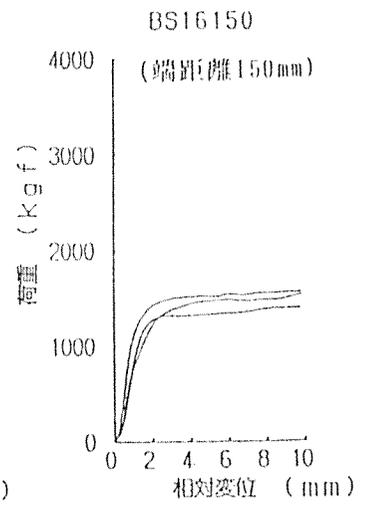
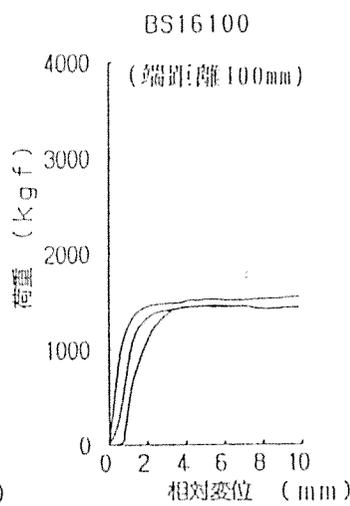
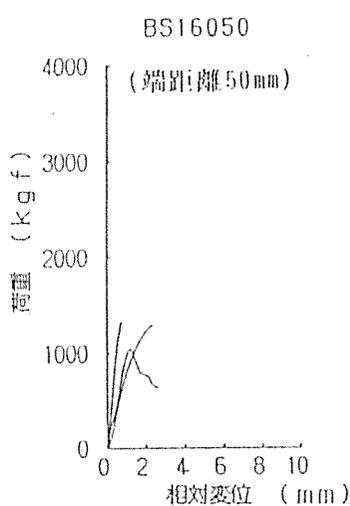
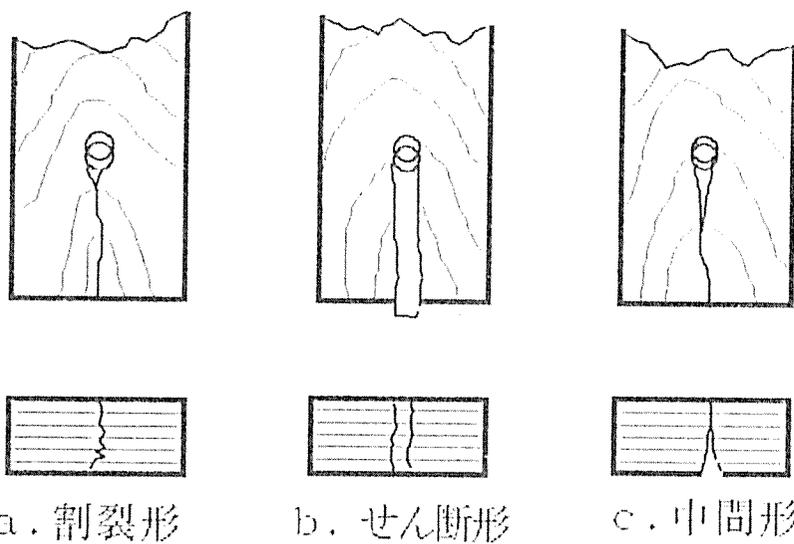


図-3 荷重-変位曲線



図一 4 破壊形態

第4章 間伐材等芯持小径材の 接合強度データ

1. はじめに

間伐材等の芯持小径材からの製材は、組織的に未成熟の部分が大半を占めるため、芯去りの製材と比べて強度・剛性が低い、乾燥に伴って割れを生じ易いなどの傾向がある。そのため、ここ10年来にわたって強度試験が行われ、その曲げ、引張、圧縮等の強度データが整備されてきた。しかしながら、その接合強度については研究が少なく、十分な建築設計資料が整っているとは言い難い。ここでは接合強度データの整備状況を取りまとめる。

2. 接合強度データの整備状況

日本では、戦後、木構造が低迷したことがあって、木材強度や木材の接合強度に関するデータが非常に乏しい。それらの整備が始まったのは、木構造に構造計算による設計の途が開かれた昭和62年前後のことである。

接合強度の実験の大半は、ベイツガを対象としている。その理由は、ベイツガが最も使用量の多い樹種であるためであるが、安価で節や目切れのない材、すなわち、比較的安定した強度値が得られる材であることも理由の一つになっている。

国産材の需要拡大の施策に沿って、スギの接合強度についてもデータの蓄積が進んでいるが、その大部分は集成材を対象としている。

未成熟部分が多く割れ易い芯持材は、実験対象として研究者から敬遠されてきた傾向がある。これ迄に行われた芯持材の接合強度の研究をまとめると、表1のようになる。

3. 接合具1本または1個の基礎的接合強度

表中の接合具による接合法の項目は、建築学会の木構造計算規準で許容耐力が提案されている接合法を列記したものであるが、芯持のスギ製材については、かなりのデータの欠落が見られる。また、データのある接合法でも、実験は一部の条件に限られており、試験体数も非常に少ない。以下に、これ迄に行われた実験の結果の概要を示す。

(1) 合板を側材とする釘接合

この接合強度は合板張り耐力壁の耐力と密接に係わるもので、データの整備状況は比較的良好である(文献1,2)。

7cm角のスギ芯持製材(比重0.23~0.56)に厚さ7.5mm構造用合板(比重0.44~0.61)を釘CN50で打ちつけた接合の強度は、97体の平均で94.2kgf/本、5%下限値で69.1kgf/本である。木構造計算規準の短期許容耐力、42kgf/本に対する余裕は、平均値で2.2倍、5%下限値で1.6倍となる。この結果から見れば、芯去り材の実験から誘導された釘接合許容耐力をスギ芯持製材に対して適用しても危険はない。

実験によると釘接合強度は時間の経過と共に低下し、特に乾燥を伴う場合はそれが著しい。製材直後(但し、丸太の状態で半年間自然乾燥した材)に釘打ちし、3ヶ月を経てほぼ気乾状態になった接合部は、釘打ち部分に割れが入り、また、釘の抜け出し(正確に云えば、主材の収縮によって釘が抜け出したように見える)が見られる。この状態での接合強度は、当初の70~80%になる。このような耐力の低下は、芯去り材でも生じるが、芯持材ではその程度がやや大きくなる傾向がある。

(2) ボルト接合

これ迄に行われた実験は次の3つである。

①人工乾燥した10cm角の芯持スギ製材の中央にスリットを設け、厚さ4.5mmの鋼板を挿入してボルトM20、1本で接合した。試験体数は9本。文献4。

②未乾燥の10.5cm角の芯持スギ製材を厚さ4.5mmの鋼板を添板として、ボルトM20、1本または4本で接合した。試験体数はボルト1本もの3体、ボルト4本もの2体。文献5。

③自然乾燥した10cm角の芯持スギ製材を、厚さ30mmのスギ板材あるいは厚さ6mmの鋼板を添板として、ボルトM12、4本で接合した。試験体数は各5体。文献11。

試験①の接合強度の平均値は7381kgf/本で、木構造計算規準の短期接合許容耐力、2029kgf/本に対して3.6倍の余裕がある。

試験②の接合強度の平均値は6210kgf(ボルト1本による場合)、5030kgf/本(ボルト4本による場合)で、構造計算規準の短期接合許容耐力、2400kgf/本

に対してそれぞれ2.6倍、2.1倍の余裕がある。なお、ボルト本数が増えるとボルト1本当りの強度が低下するのは、芯去り材でも同じで、芯持に起因することではない。

試験③の接合強度の平均値は2090kgf/本（スギ添板の場合）、2605kgf/本（鋼板添板の場合）で、木構造計算規準の短期接合許容耐力、540kgf/本、1030kgf/本に対してそれぞれ3.9倍、2.6倍の余裕となっている。

（3）シアプレート接合

67mmシアプレート1対による接合試験が3体、3対による試験が2体行われている（文献4）。接合強度の平均値は3880kgf/個（1対の場合）、3500kgf/個で、木構造計算規準の短期接合許容耐力、1620kgf/個に対してそれぞれ2.4倍、2.2倍の余裕となっている。

以上の（1）～（3）の結果をみる限り、実験が行われた接合法については、木構造計算規準の短期接合許容耐力に対して必要とされる1.5倍以上の余裕があり、特に芯持であるからと云って許容耐力を低減させる必要性を示唆するようなデータは出ていない。

しかしながら、これ迄の実験の殆どは、接合を施した直後に実験を行っており、未乾燥材を用いた場合の乾燥割れによる接合強度の低下については未知の部分が多い。木構造計算規準では、未乾燥状態で施工もしくは使用される場合の許容耐力は2/3に低減することを推奨しているので、これでカバーできるようなと思われるが、実験的裏付けが必要であろう。

4. 接合法の改良

接合具による接合法の最大の欠点は、“ガタ”によって変形が大きくなることである。この欠点を解消するために次の2つの方法が提案されている。

1つは接着剤をボルト孔に充填する方法で、これによって接合部の変形は無視できる範囲にまで減少する。また、強度が幾分か上昇する効果もある（文献4）。

もう一つは長さ方向の中央にタップを切った丸型あるいは角型のドリフトピンを入れ、木口面からボルトを差してドリフトピンと継ぐ方法である。木口に

は鋼板をあてがい、この鋼板とドリフトピンで製材を繊維方向に締めあげることで、ドリフトピンのガタは解消される。この場合の強度は5～6.5tonf/本（直径あるいは一辺の長さが30mmのピンの場合）で、ボルトM20と同程度の値となっている。ただし、許容耐力と目される荷重（強度の1/2程度）での変形は0.5mm前後と非常に小さい。

ボルト接合では、木材の割裂で接合強度が律せられ、この割裂を防ぐために、端距離や間隔を十分にとらなければならない。その結果、多数のボルトを用いて高強度の接合を施したい場合、添板が非常に長くなる問題がある。この問題を解消するために、ボルト接合面に合板を接着（表板の繊維方向を製材の繊維方向と直角にする）することによって割裂に対する補強を行うことが試みられた（文献5）。この結果、端距離と間隔は木構造計算規準で提案されている7d（dはボルトの直径）を4dまで縮められることが分かっている。

5. 高強度継手の強度

トラス等を設計するときは、製材の強度と同等の強度を持つ接合を施す必要がある。このような高強度継手の試みが、昨年度および一昨年度の本事業で試みられた。表2はその結果をまとめたものである。表には、参考のために和風の継手の強度を併記した。

実験された継手は次のようなものである。

①通常のボルトあるいはシアプレートを多数用いたもの。割裂防止の効果を期待して、それらを2面に差し、あるいは4面に当てがったもの。合板により割裂防止を図ったもの（文献4,5）。

②接着剤（ポリウレタン）で、バット、スカーフ、あるいはV型スカーフ接合を施したもの（文献5）。

③木材の木口にドリル穴をあけ、鋼棒を差し込んで接着したもの（文献5）。

各々の接合強度はまちまちであるが、コントロール材（継手なし）の強度に対する比（接合効率）は、合板補強では1以上を示したものもある。接合効率が1以上というのは、試験体数が少なかったためとも考えられるが、合板によって母材の弱い部分が補強されたためとも考えられる。ちなみに接合効率が1以下の試験体の大半は、接合部以外の“つかみ部分”で破壊を生じている。

いずれにせよ、どの方法でも木材の材料強度（ $180\text{kgf/cm}^2 \times \text{断面積}$ ）以上の値が得られており、施行令の材料強度を上回る接合は可能である。接着による接合は剛性が高いが、現場接着の安全性が保証されない限り、接着剤と接合部とを併用した接合法が現実的であろう。

表1 スギ芯持製材の接合強度データの有無

接合法	側材	データの有無 ○:有 ×:無	含水率 未:20%上 乾:20%下	文献 (注)	接合法	側材	データの有無 ○:有 ×:無	含水率 未:20%上 乾:20%下	文献 (注)
接合具による接合					和風継手・仕口				
釘	製材	×	未・乾	1, 2	追掛大栓	—	○	未	6
	合板	○			鎌継ぎ	—	○	未	7
	鋼板	×			アノカト	—	○	乾	8
スクリュー釘	製材	○	未	3	接着				
木ねじ	—	×							
ボルト	製材	×	未・乾	4, 5, 11	フィンガー	—	○		9
	鋼板	○			鋼板・添板	鋼板	○	乾	10
ラグスクリュー	製材	×			改良・開発				
	鋼板	×							
ドリフトピン	製材	×			改良・開発				
	鋼板	×							
スプリットリング	製材	×			改良・開発				
シアプレート	鋼板	○	未	4					
圧入ジベル	製材	×			球芯充填ボルト接合			乾	5
メタルプレート	—	×			木口埋め込み接着ボルト			乾	11
					変形スカーフジョイント			乾	11
					木口挿入引き寄せボルト			未	12
					合板割れ止め補強ボルト			未	13

表2 試みられた高強度継手の強度

接合法の概要	接合強度 (tonf)	接合効率	材料強度に 対する比
ボルト等による接合法 (断面10×10cm)			
(母材)	(25.7)	(1)	(1.90)
67mmシアプレート 3対、通常施工	21.0	0.82	1.56
67mmシアプレート 3対、4面施工	17.4	0.67	1.29
ボルトM20 4本、通常施工	20.1	0.78	1.49
ボルトM20 4本、2方差し	19.7	0.77	1.46
ボルトM20 4本、合板補強、間隔等7d	33.2	1.29	2.46
ボルトM16 5本、通常施工	19.5	0.76	1.44
ボルトM16 5本、合板補強、間隔等7d	21.6	0.84	1.60
ボルトM16 5本、合板補強、間隔等6d	20.2	0.79	1.50
ボルトM16 5本、合板補強、間隔等5d	22.7	0.88	1.68
ボルトM16 5本、合板補強、間隔等4d	19.1	0.74	1.41
ボルトM16 5本、合板補強、間隔等3d	15.5	0.60	1.15
スカーフ接着による接合法 (断面 9×10cm)			
(母材)	(27.0)	(1)	(2.50)
バット	6.0	0.22	0.55
スカーフ、傾斜 1/2.8	21.9	0.80	2.00
V型スカーフ、傾斜 1/2	14.3	0.52	1.31
V型スカーフ、傾斜 1/4 (a)	24.1	0.88	2.20
V型スカーフ、傾斜 1/6	24.7	0.90	2.25
木材添板接着、添板長さ18cm	7.3	0.27	0.66
木材添板接着、添板長さ50cm (b)	13.0	0.48	1.19
(a)と(b)の併用	21.2	0.78	1.94
木口埋め込み接着鋼棒による接合法 (断面 5×10cm)			
φ9mm 長さ38cm、4本	6.7	—	1.01
φ13mm 長さ54cm、3本	11.4	—	1.70
φ16mm 長さ66cm、2本	9.6	—	1.43
追掛大栓 (断面 9×9~12cm、参考)			
(形状を変化させた)	2.5~3.9	—	0.7~0.9
釘N90を片側に付6本打って補強	5.57	—	1.1

(注)

1. 神谷文夫他、木質パネル構造に関する研究(第3報)解析的手法による耐力壁の評価法、林試研報、第322号、73～94、1983.3
2. 神谷文夫、乾燥を伴う時間経過が接合部の剪断性能に与える影響、木材学会誌、29(12)、925～929、1983.12
3. 安藤幸喜他、スクリークぎの止め付け耐力機構に関する研究、建築学会大会学術講演梗概集、1771～1772、S54.9
4. スギ芯持小径木の高強度継手の引張強度、本事業昭和63年度報告書、1-1～23、H元.3
5. エポキシ樹脂を充填したボルト接合部のせん断耐力、本事業昭和62年度報告書、S63.3
6. 後藤一雄、追掛大栓継の引張強度について、建築学会大会学術講演梗概集、1769～1770、S54.9
7. 後藤一雄他、鎌継の引張り強さについて、建築学会大会学術講演梗概集、2053～2054、S57.10
8. 金谷紀行他、プレカット加工部材接合部の強度性能、全国木造住宅機械プレカット協会、S63.3
9. 星通、ミニフィンガージョイントによる高含水率製材品の縦つぎ、木材工業、34(1)、19～24、1979.1
10. スギ間伐材とスチールプレートの接着接合部の耐久性、本事業報告書、4-1～31、H2.3
11. スギ間伐小径木の高強度継手の引張強度、本事業平成元年度報告書、3-1～45、H2.3
12. 小径木立体トラス用ドリフトピン接合部の強度性能の改良、本事業昭和62年度報告書、S63.3
13. スギ芯持小径材の高強度継手の引張強度(その2)、本事業平成元年度報告書、1-1～17、H2.3