

平成元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2年3月

(財)日本住宅・木材技術センター

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) 各種接合具の接合強度（引張許容応力度）実験を行い材料強度に見合った接合法の開発検討
 - (2) 板倉耐力壁の水平せん断耐力試験を行い、壁体の力学的性状を調べ壁倍率の算定及び施工法・経済性の検討
 - (3) 小角材の木口接合法開発のための試験研究
 - (4) 木材等と金属の接着接合部の温度変化による接着耐久性の試験研究
- を行い取りまとめた。

事業の実施にあたっては、次の方々の御指導御協力をいただき、厚く御礼申し上げるとともに、実験等にご協力いただいた多くの方々に衷心より感謝の意を表する次第である。

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
鈴木 秀三	職業訓練大学
野口 弘行	明治大学工学部
黒田 重義	黒田工務店代表

平成2年3月

(財)日本住宅・木材技術センター

理事長 下川 英雄

目 次

第1章 スギ芯持小径材の高強度継手の引張強度（その2）

1. はじめに	1-1
2. 試験体	1-2
2.1 使用材料	1-2
2.2 試験体の種類	1-2
3. 試験方法	1-3
4. 試験結果	1-3
4.1 破壊モード	1-3
4.2 耐力と変形	1-4
5. 結 論	1-4

第2章 国産材小径木を利用した耐力壁の水平せん断耐力

1. 序	2-1
2. 実 験	2-1
2.1 試験体	2-1
2.1.1 耐力壁	2-1
2.1.2 ダボの2面せん断試験	2-14
2.2 試験方法	2-16
2.2.1 耐力壁の水平せん断試験	2-16
2.2.2 ダボの2面せん断試験	2-16
3. 結果及び考察	2-20
3.1 せん断耐力の評価方法	2-20
3.2 耐力壁の水平せん断試験結果	2-21
3.3 水平せん断剛性に及ぼすダボの効果	2-45
3.4 鉄筋すじかいにかかる力	2-56
4. 結 論	2-58

第3章 スギ間伐小径木の高強度継手の引張強度

1. はじめに	_____	3-1
2. 試験体	_____	3-1
3. 試験方法	_____	3-2
4. 試験結果	_____	3-2
4.1 最大荷重及び最大荷重時の変位	_____	3-2
4.2 破壊性状	_____	3-3
4.3 各変位段階における荷重	_____	3-4
4.4 各試験体の剛性	_____	3-5
5. 結論	_____	3-5

第4章 スギ間伐材とスチールプレートの接着接合部の耐久性

1. はじめに	_____	4-1
2. 実験	_____	4-1
2.1 供試材料	_____	4-1
2.2 接着	_____	4-2
2.3 劣化促進処理	_____	4-3
2.4 試験方法	_____	4-3
3. 結果及び考察	_____	4-4
3.1 無処理時の接着強さ	_____	4-4
3.2 劣化処理中のひずみ	_____	4-4
3.3 処理後の接着強さ	_____	4-6
4. まとめ	_____	4-7

第1章 スギ芯持小径木の高強度継手の引張強度（その2）

1. はじめに

国産材需要の拡大を目的として住宅より規模の大きい木造建築物の振興が図られている。国産材の大宗はスギを中心とする芯持中小径木であるため、規模の大きい木造建築物を建てるには、これを貼り合せて集成材とするか、または、短材を接合してトラス構造とする方法がとられている。しかしながら、スギの集成材の製造には技術的な問題点が残されているほか、コスト的にも高くなるため、トラス構造とすることが多い。

トラスの設計で問題となるのは、一般に、部材断面がその許容応力度一杯に設計されるので、その接合部にも、部材強度と同程度の高い強度が要求されることである。しかしながら、木造の接合では接合具近辺に応力が集中し、また接合のための加工孔が部材の断面欠損となるため、接合強度は部材強度を下回ることになる。このため、日本建築学会の「木構造計算規準」では、このことに注意を促し、また、部材の設計に際しては、断面欠損部を差し引いた正味断面を有効面積として使用するよう謳っているが、実験が容易でないこともあって、十分な裏付けがなされていないのが実情である。このため、初めて木造のトラスを手がける設計者は、コンピュータを用いて設計した後、どうすれば問題なく接合ができるかと問い合わせることが多いが、答える側も十分な回答ができず、実験を行って確認することを勧めるなど、十分な対応ができない状態にある。

以上の背景に鑑み、昨年度は10cm角スギ芯持材のボルト接合法について、母材と同等の接合強度を得るべく接合法の改良を試みた。その結果、接合箇所に合板を接着した上で継手を設けると、合板が母材の割れやせん断破壊を拘束し、高い接合強度が得られることがわかった。

実験を行った接合部のボルトの配置は、建築学会の木構造計算規準に準じたものであったが、合板の補強効果によって端あきや間隔はこれより縮められる可能性がある。一般にトラスの接合部は大きくなり、金物の材料費が製材の価格を上回ることもめずらしくない。

そこで、本年度は合板補強を行う継手の低コスト化を図るために、接合部の端距離と間隔を縮めた引張試験を行い、強度低下を引き起こさないその最小端距離と間

隔を求めることを目的とした。

2. 試験体

2. 1 使用材料

使用した製材は、木材店より購入した長さ3m、断面105×105mmの芯持スギ正角である。等級は1等、背割りなしの未乾燥材である。品質は外観や年輪構成からごく平均的なものとみなすことができる。これらの材料は前年度の実験の残りを使用した。実験時の含水率は30%以上であった。

2. 2 試験体の種類

製材を未乾燥のまま100×100mmにプレーナ掛けし、中央で切断した後、図1に示すような継手を施した。

建築基準法の施行令によれば、スギの短期引張許容応力度は90kgf/cm²である。したがって100×100mmの角材の短期許容応力は9tf、材料強度は13.5tfとなる。ボルトM16を用い、ボルト孔の断面欠損を無視して母材の短期許容引張応力(9tf)を越えるボルト本数を計算すると5本(ボルトの許容耐力の合計=9.16tf)となる。これより、全ての試験体はボルトM16を5本使用することとした。なお前年度はボルトM20を用いているが、本年度にM16を使用した理由は、添板鋼板を短くできるからである。また、鋼板の厚さも経済性を考慮して6mm(前年度は9mm)とした。

ボルト孔の直径は鋼板、合板、母材とも17mmとし、合板と母材は金鋼用ドリルであけた。

図1で記号D7の試験体はコントロール試験体(2体)で、端距離と縁距離は木構造計算規準に準じ7d(dはボルトの直径)としている。記号に"P"がつく試験体は合板補強の試験体(合板は接合部中央で切れているので添板の働きはない)で、端距離と縁距離を7d、6d、5d、4d、3d(各3体)と変えた。

合板は構造用1級、12mm厚で、接着剤はポリウレタン(商品名ウッドロック)を使用した。塗布量は約50g/長さ1m(500g/m²)である。接着剤を塗布した後、ただちに添板鋼板をあてがってボルトを締め付けた。締め付けトルクは約500kgf・mと推定される。引張試験は接着後2日以上経てから行った。

ボルト孔による断面欠損を考慮すれば、母材の短期引張許容応力は5.94tf、合板

補強の場合、その引張抵抗（短期許容引張応力度＝90kgf/cm²、学会規準）が単純に加算できるとすれば、7.366tf となる。引張破壊がクリティカルとなる箇所は、端部から2列目のボルト孔の部分であるから、ボルトが均等に力を負担すると仮定すると、試験体の許容引張応力は合板の補強がない場合7.43tf、ある場合9.16tf（ボルトで決定。母材と合板のそれは9.21tf）となる。

3. 試験方法

加力には図2に示す油圧ジャッキ式の引張試験装置を使用した。この装置は加力する前にチャックを中央に押し出して試験体を挟む方式であるため、接合部の初期ガタを大きくする傾向がある。加力速度はチャック速度で2mm/分程度とした。荷重は容量50tfのロードセルで、変形は接合部を中央とする標点間距離1m（ただし、ボルト1本及びシアプレート1対の試験体では、これより縮めた）の伸びを歪変換式の変位計で測定し、自動レンジ切換式のX-Yレコーダ（チャート100mm＝5tonf及び変形1mm）で記録した。記録した荷重－変形関係はデジタイザを用いてコンピュータに読み取った。

4. 試験結果

4. 1 破壊モード

破壊のスケッチを図3に示す。破壊モードを大別すると、接合部の破壊と接合部以外の部分での母材の破壊（以下、母材の破壊と称す）の2つに分けられる。母材で破壊した試験体は、チャック付近で生じたものが5体、チャックから離れた位置で生じたものが3体あった。チャック付近で破壊を生じたものは、チャックの端部が母材の繊維を横断する形でややめり込んでいるので、得られた最大耐力はその影響を受けていると考えられる。接合部の破壊は引張とせん断とが組み合わさった形であるが、どちらが先に生じたかを特定することはできない。

試験体の種類と破壊モードとの関係は、合板補強のないD7では2体とも接合部で破壊しているが、合板補強のある試験体では、P7dが3体とも母材、P6dとP5dでは3体中2体が母材（残りは接合部）、P4dでは3体中1体が母材（残りは接合部）、P3dでは3体とも接合部と、配置を狭くするほど接合部で破壊する割合が増加している。

4. 2 耐力と変形

全試験体の荷重－変形関係を図4に、最大耐力と試験体との関係を図5に示した。また、最大耐力とその時の変形を表にまとめた。

最大耐力はP3dの1体を除いて、正味断面の短期許容引張応力の1.5倍をクリアーしている。バラツキがあるので明確な事は云えないが、最大耐力の平均値でみると合板補強のないD7 および補強のあるP7d、P6d、P5d、P4dでは大差がない。しかしながら、P3dの最大耐力はこれらより低い。これより、合板補強を行えば、端距離と間隔を現行規準の7d から4d へ縮めても良いと考えられる。

次に最大耐力と破壊モードとの関係を見る。P7d、P6d、P5d では、接合部で破壊した試験体の最大耐力は母材で破壊した試験体（チャックの影響がなかった3体を含む）のそれより高い。したがって、合板で補強した接合部自体の強度は、端距離・間隔が5d 以上では、継手のない母材の強度と同等以上であると云える。

破壊に至るまでの荷重－変形関係は、試験体の種類によらずほぼ同じである。すなわち、最大耐力が高いほどねぼりが大きい。

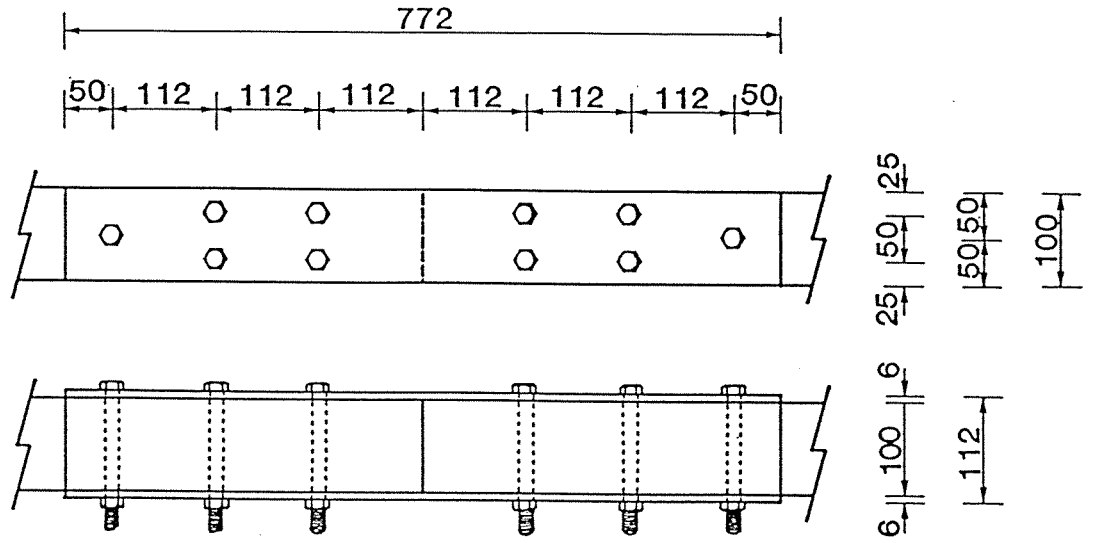
5. 結論

今回の実験の範囲で得られた知見を整理すると次のようになる。

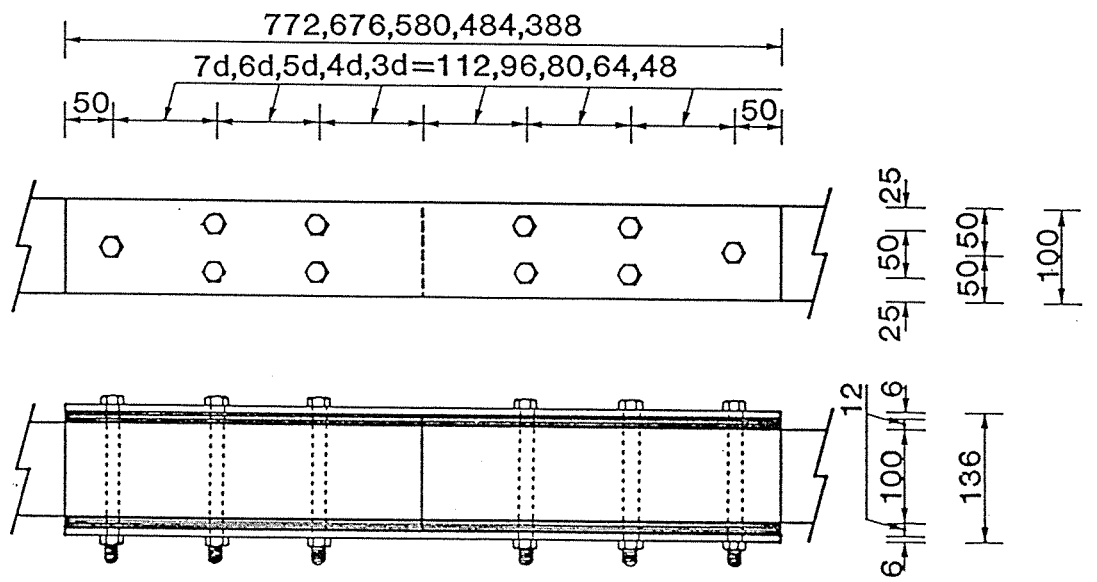
- 1) 母材に合板を接着した上で接合すると、接合部自体の強度を母材の強度以上とすることができる。
- 2) しかしながら、母材の強度が低ければ、接合部以外の場所で破壊しその強度は通常のボルト接合の強度と近い。
- 3) 合板補強を行うことによって、端距離と間隔を従来の7d から4d まで縮めることができる。これによって添板鋼板の長さを60%程度に節約することができる。

表 各試験体の最大耐力とその時の変形など（カッコ内は平均）

試験体	合板補強の有無	最大耐力 (tf)	最大耐力時の変形 (mm)	破壊箇所
D 7	無	20.3 18.7 (19.5)	16.7 10.1 (13.4)	接合部 接合部
P 7 d	有	25.1 18.0 21.6 (21.6)	16.5 10.5 14.2 (13.7)	母材 (チャック付近) 母材 (チャック付近) 母材 (チャック付近)
P 6 d		16.8 18.5 25.2 (20.2)	9.1 10.7 27.4 (15.7)	母材 (目切れ) 接合部 接合部
P 5 d		21.0 23.1 23.9 (22.7)	14.3 18.6 15.8 (16.3)	母材 (チャック付近) 母材 接合部
P 4 d		16.1 23.0 18.3 (19.1)	6.8 13.8 11.4 (10.7)	母材 接合部 接合部
P 3 d		15.9 17.0 13.5 (15.5)	9.6 10.7 7.3 (9.2)	接合部 接合部 接合部



試験体 D 7



試験体 P 7 d, P 6 d, P 5 d, P 4 d, P 3 d

図 1. 継手の試験体

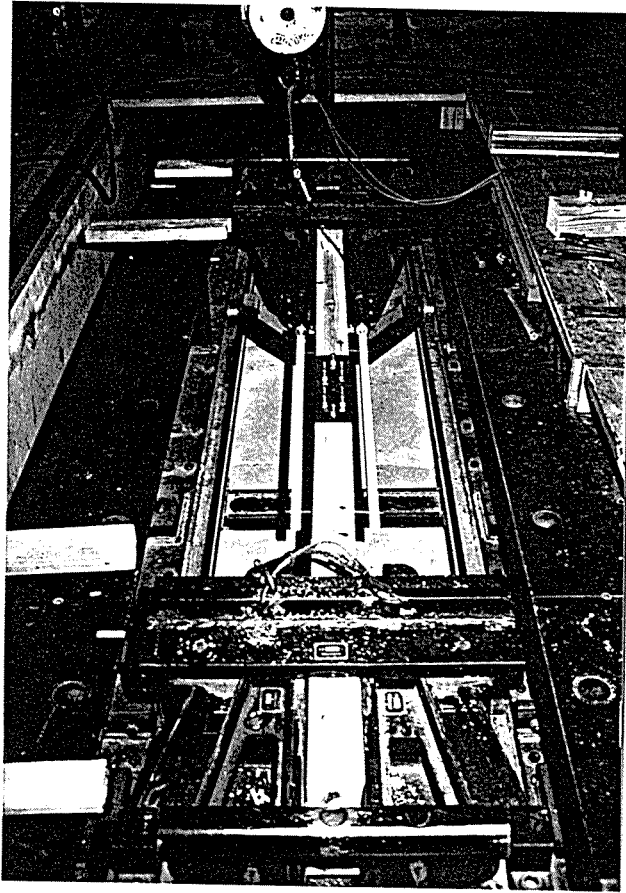
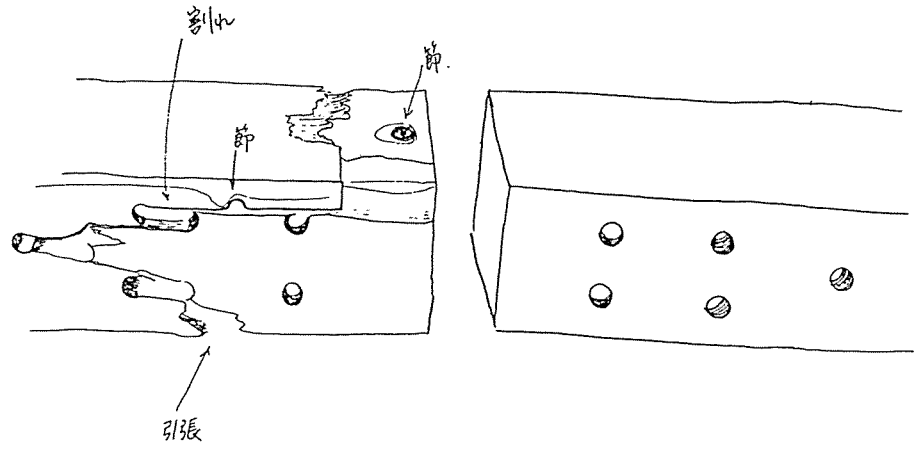


図 2. 試験方法（スパンは約2.37m）

D7-1



D7-2

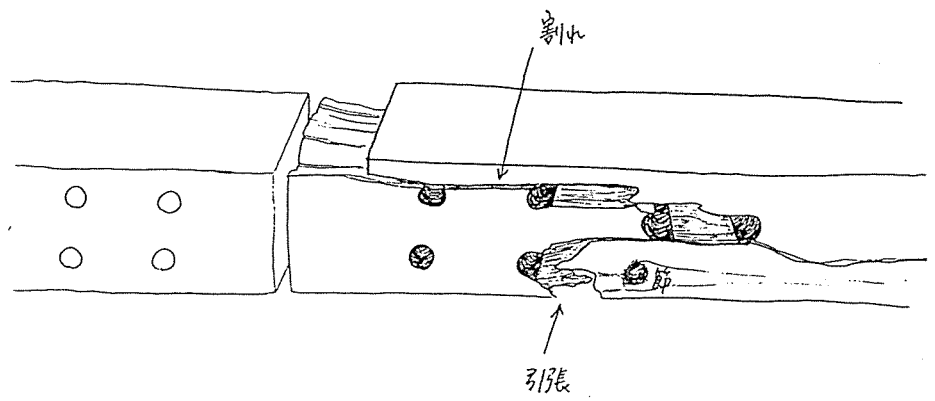
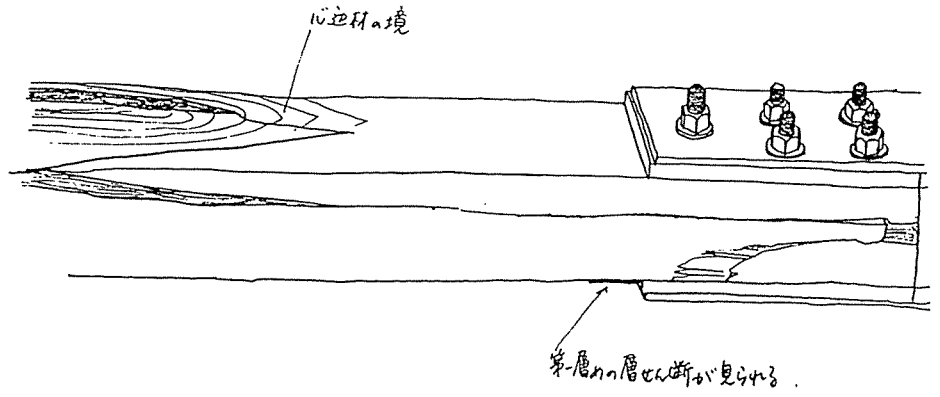
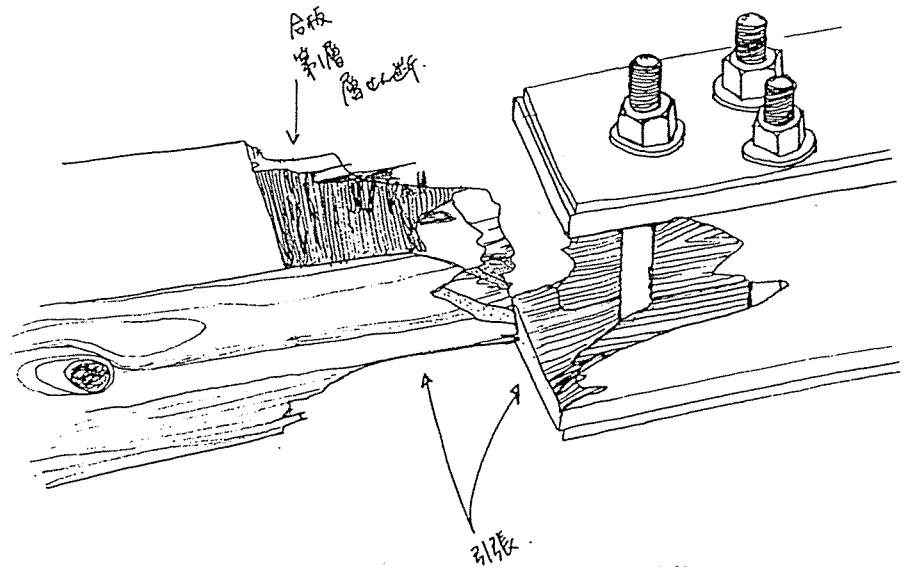


図 3 a. 破壊性状 (D 7)

P6d-1



P6d-2



P6d-3

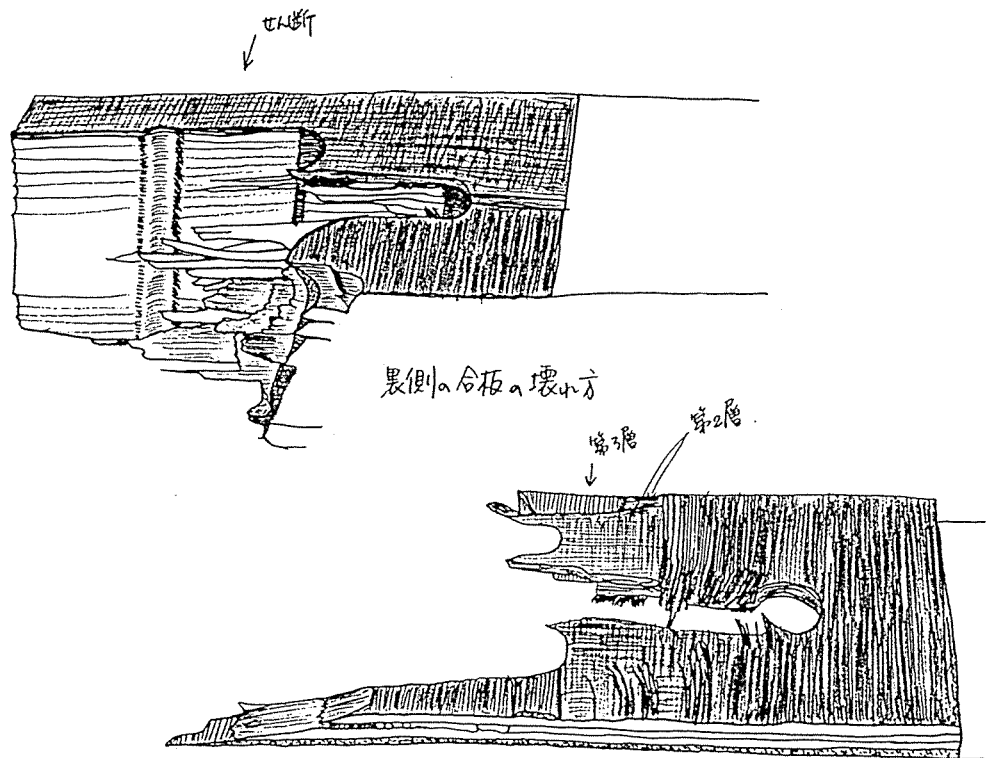
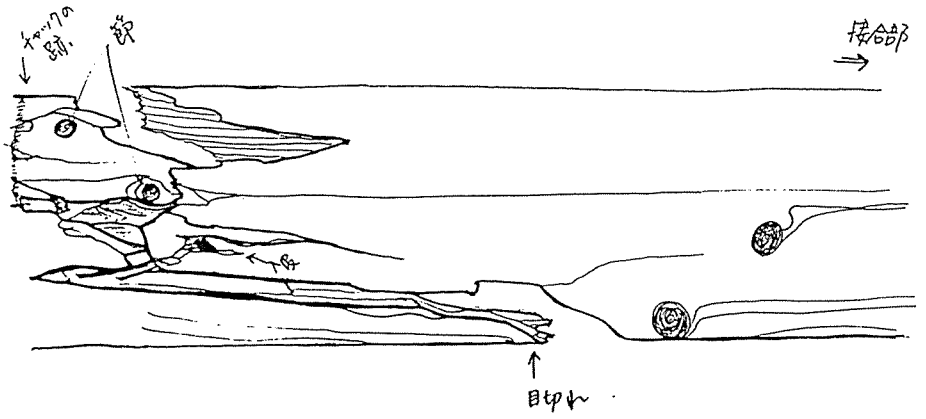
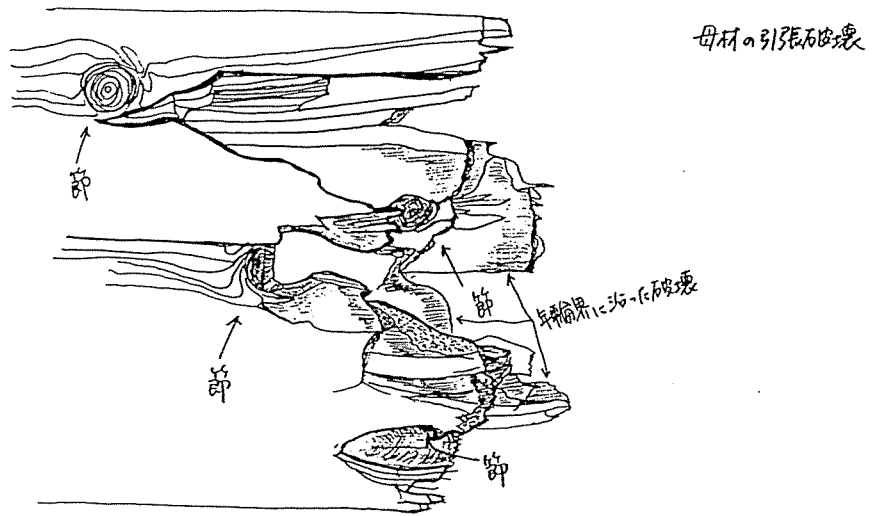


図3c. 破壊性状 (P6d)

P5d-1



P5d-2



P5d-3

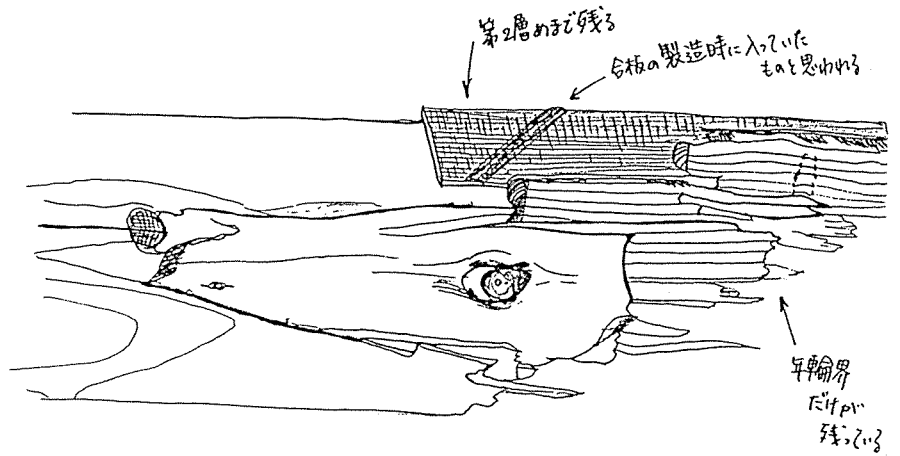
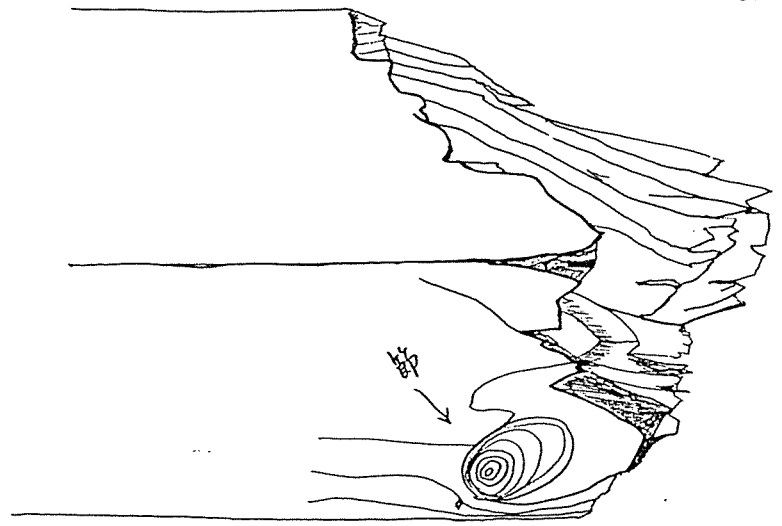


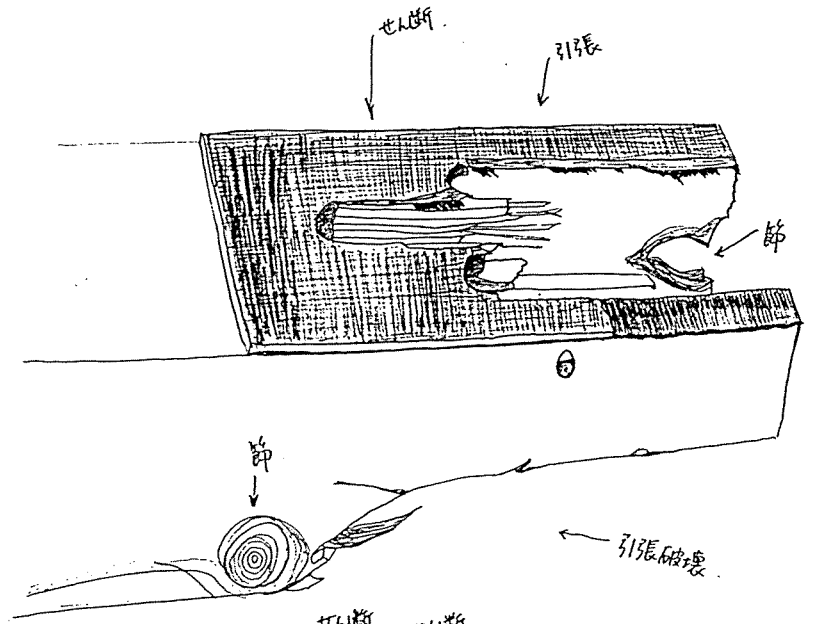
図3 d. 破壊性状 (P5d)

母材引張破壞

P4d-1



P4d-2



P4d-3

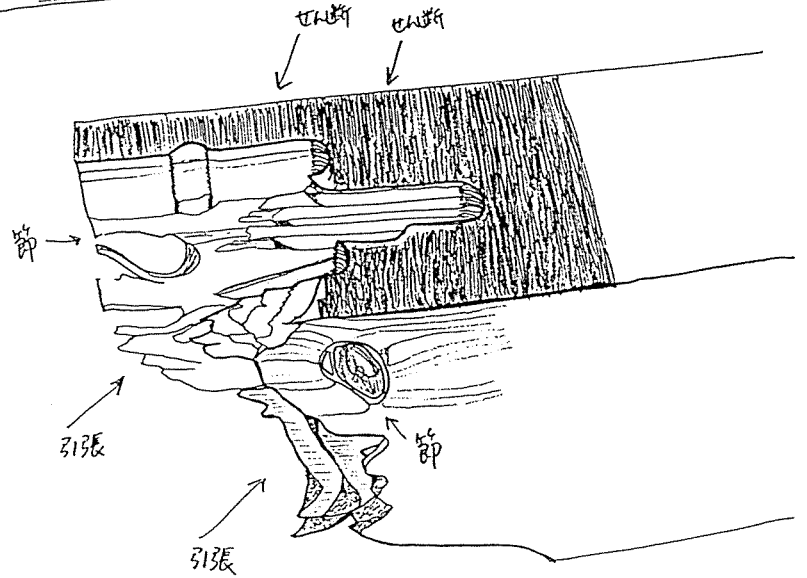
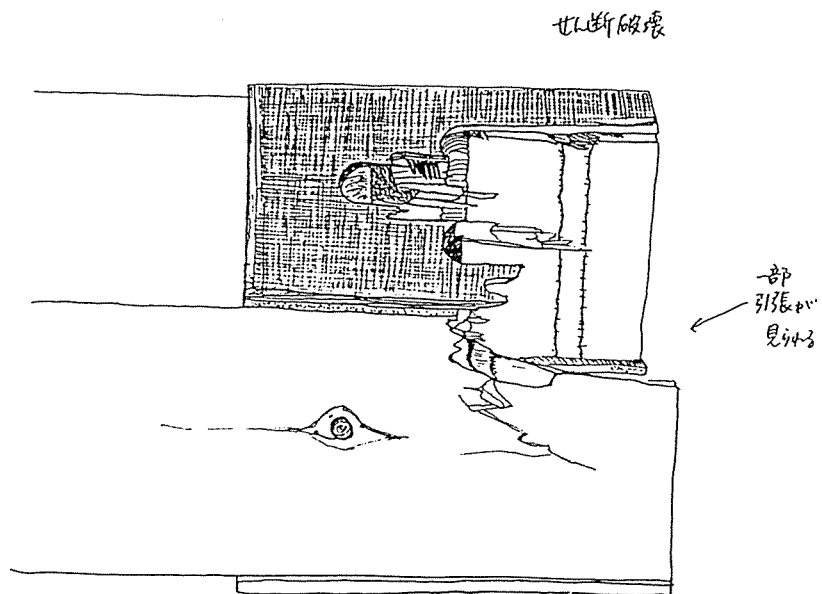
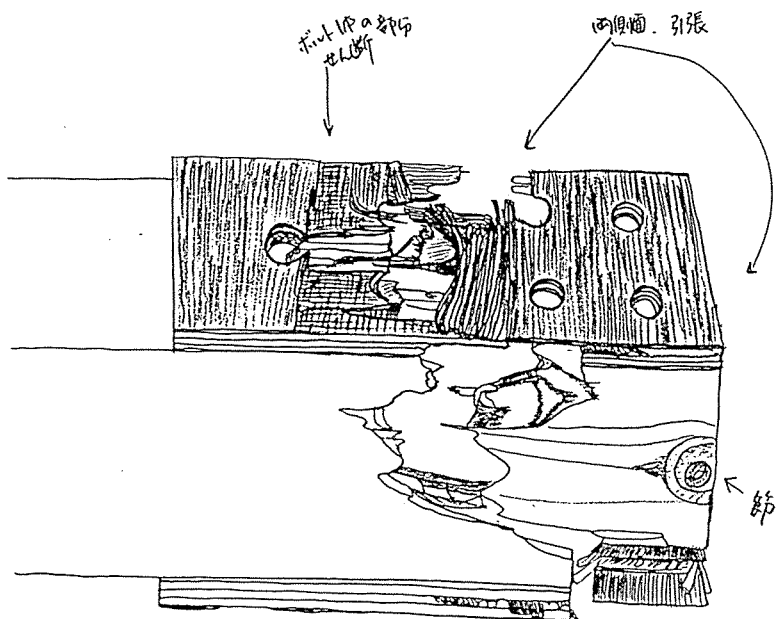


圖 3 e. 破壞性狀 (P4d)

P3d-1



P3d-2



P3d-3

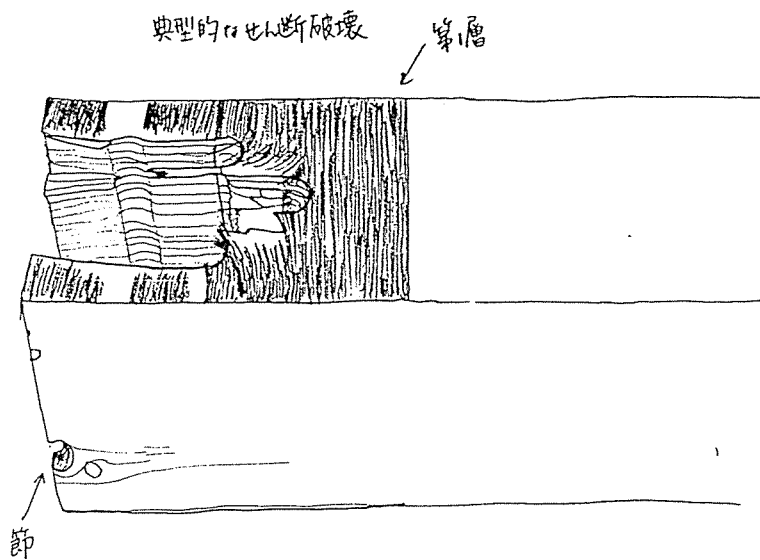


図3 f. 破壊性状 (P3d)

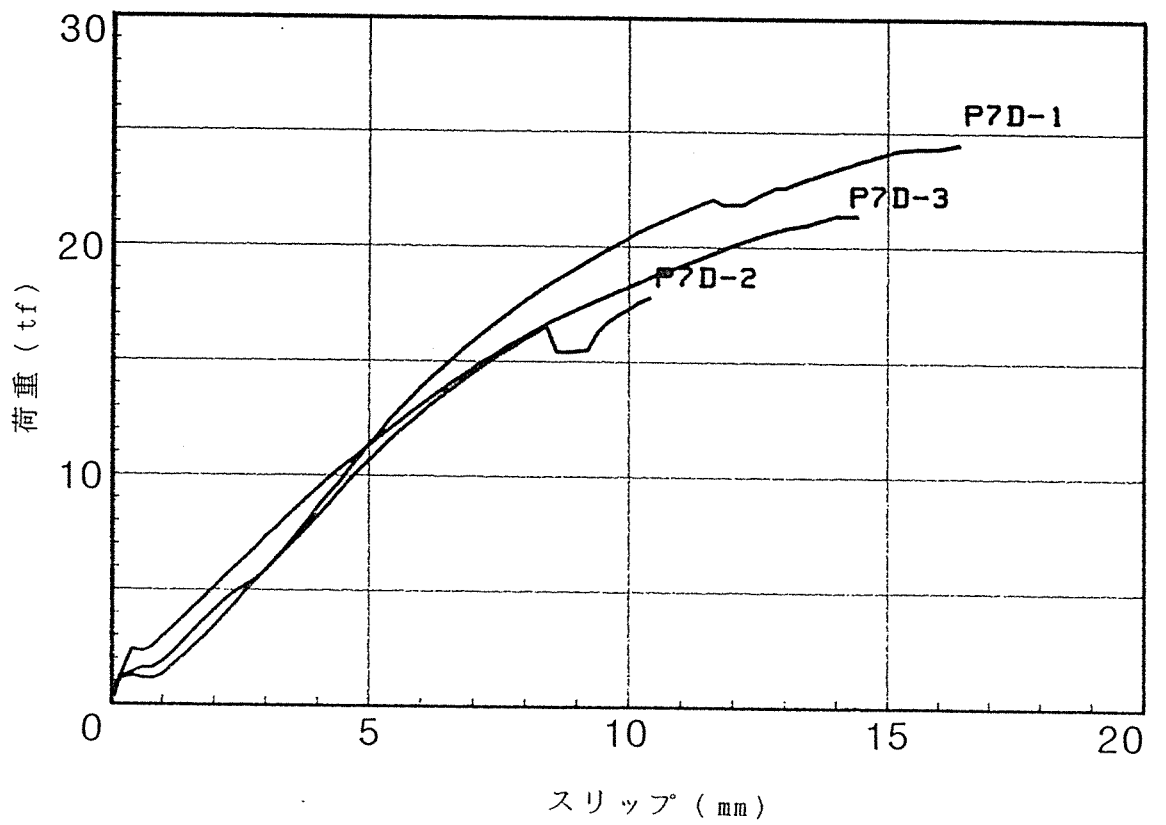
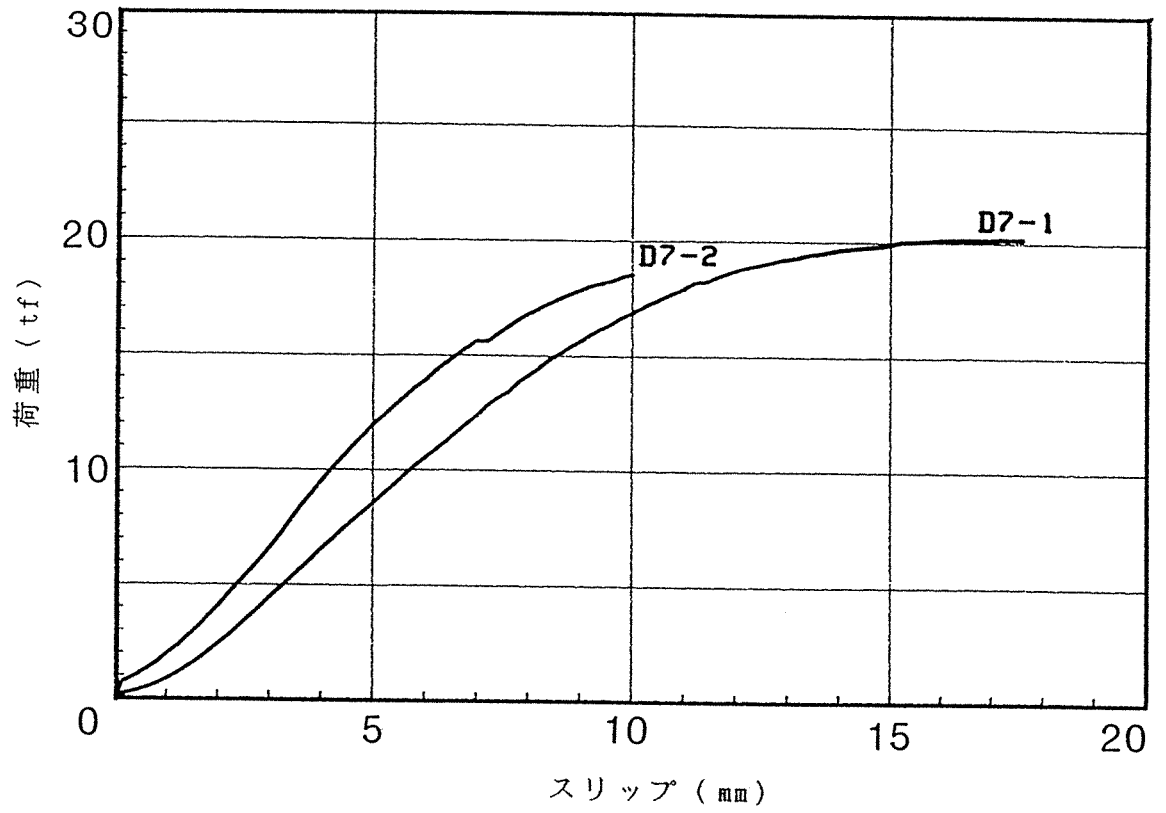


図4. 荷重-変形関係 (その1)

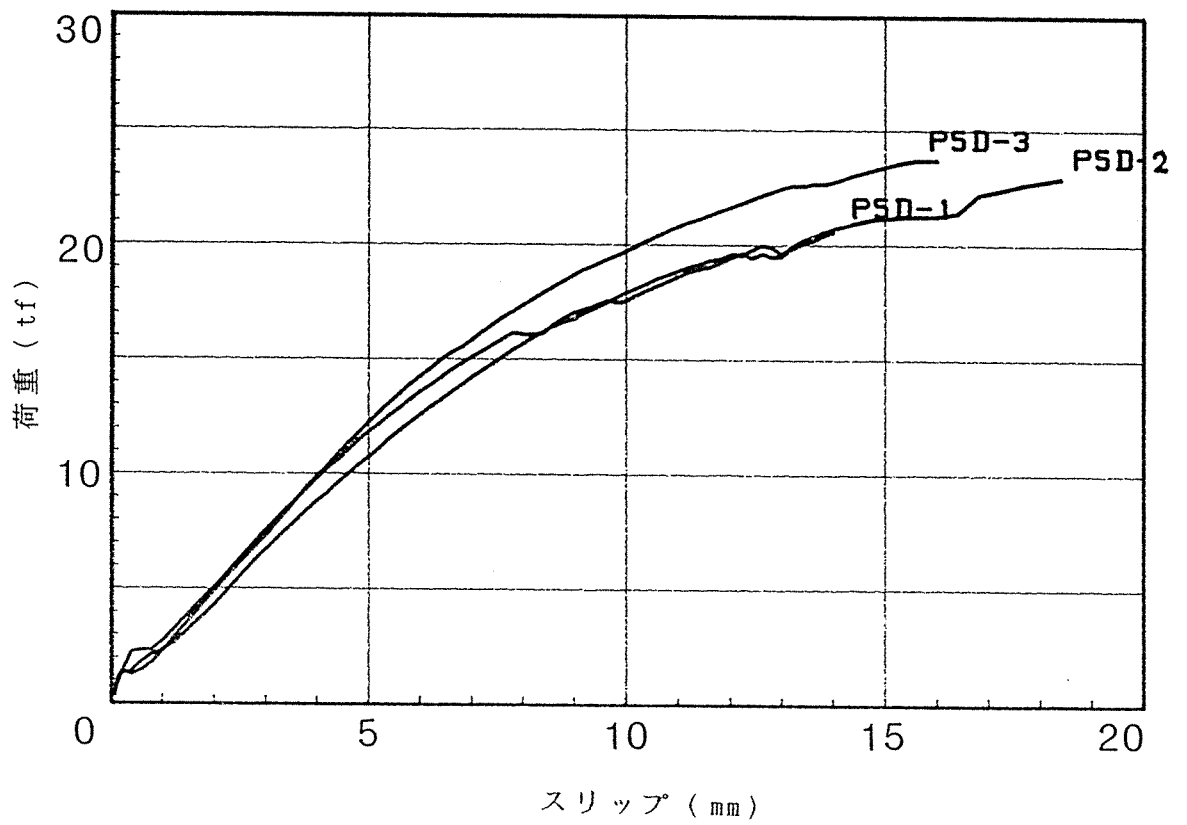
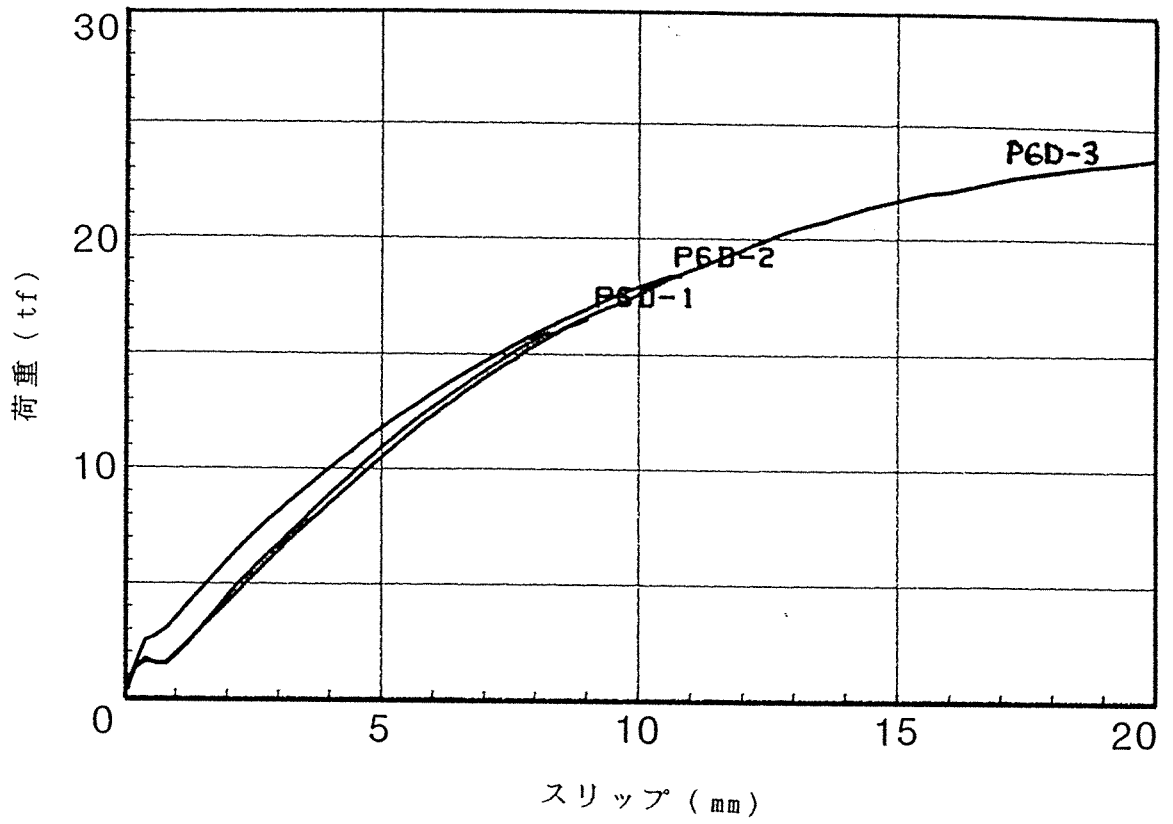


図4. 荷重-変形関係(その2)

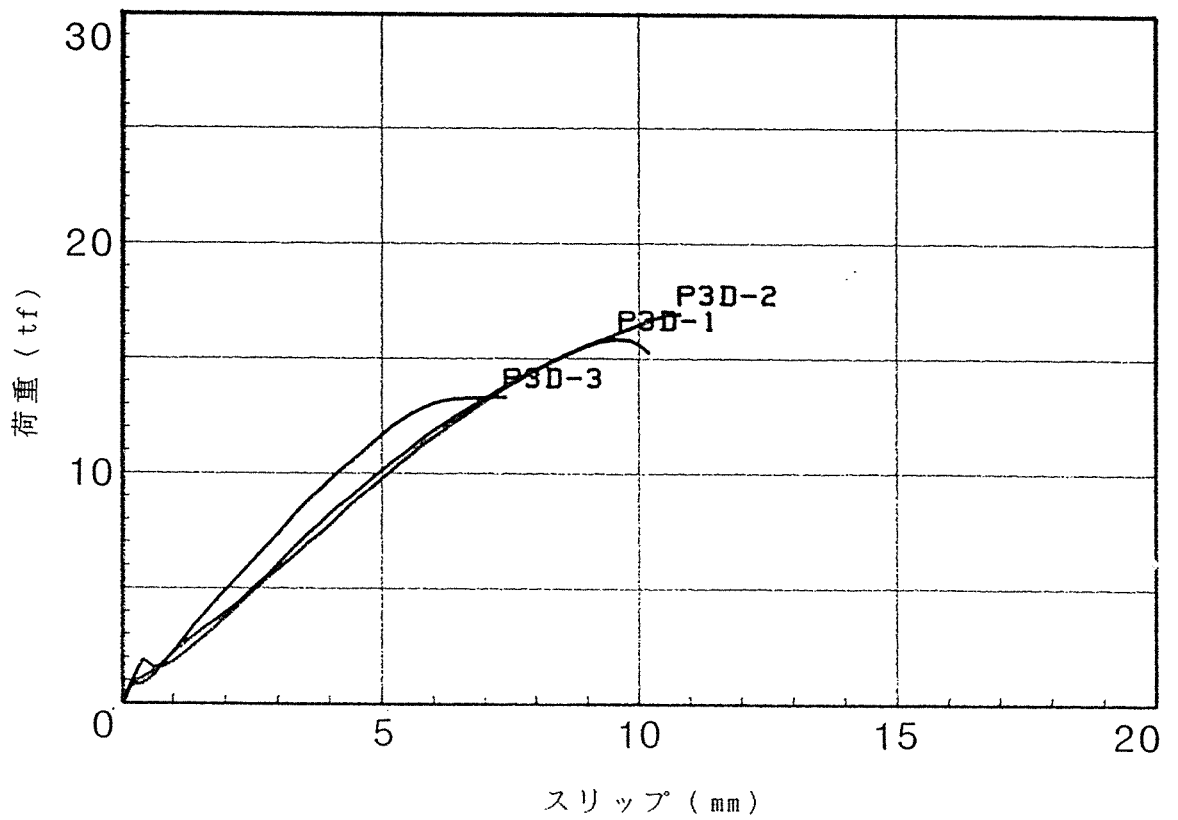
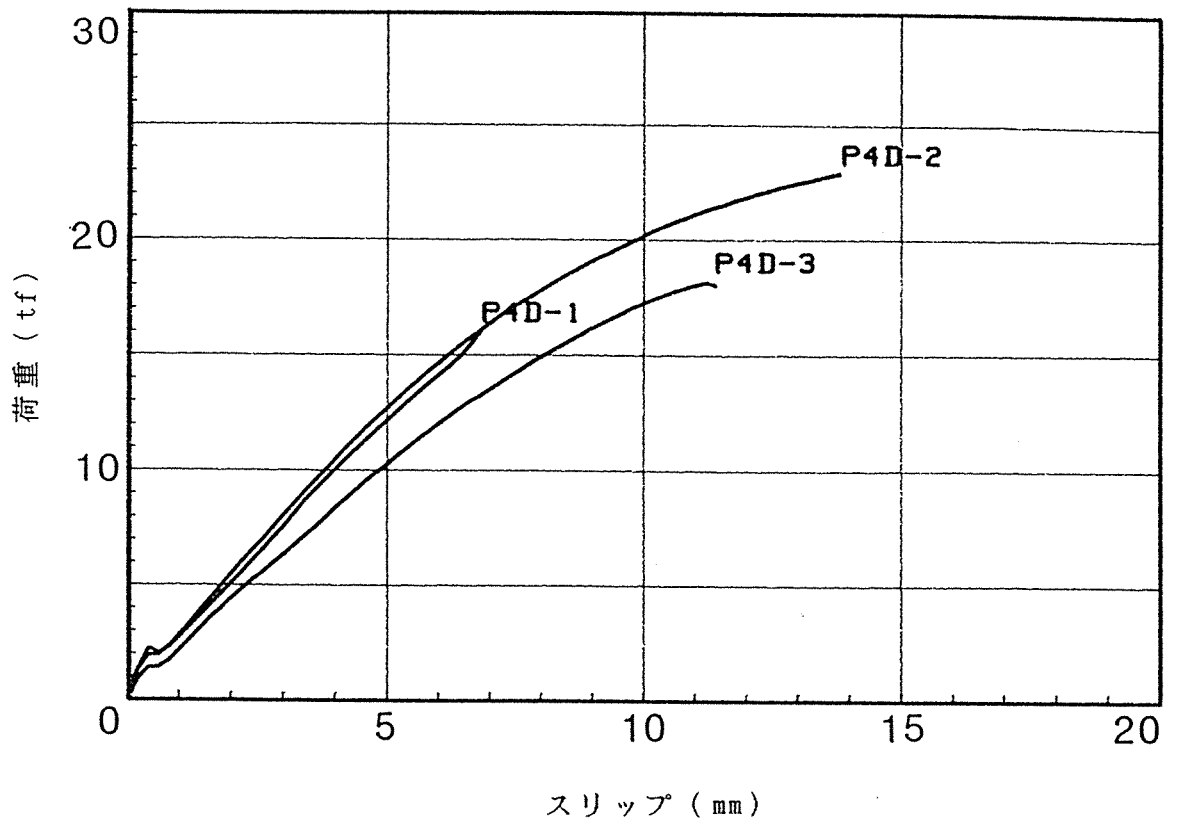


図4. 荷重-変形関係 (その3)

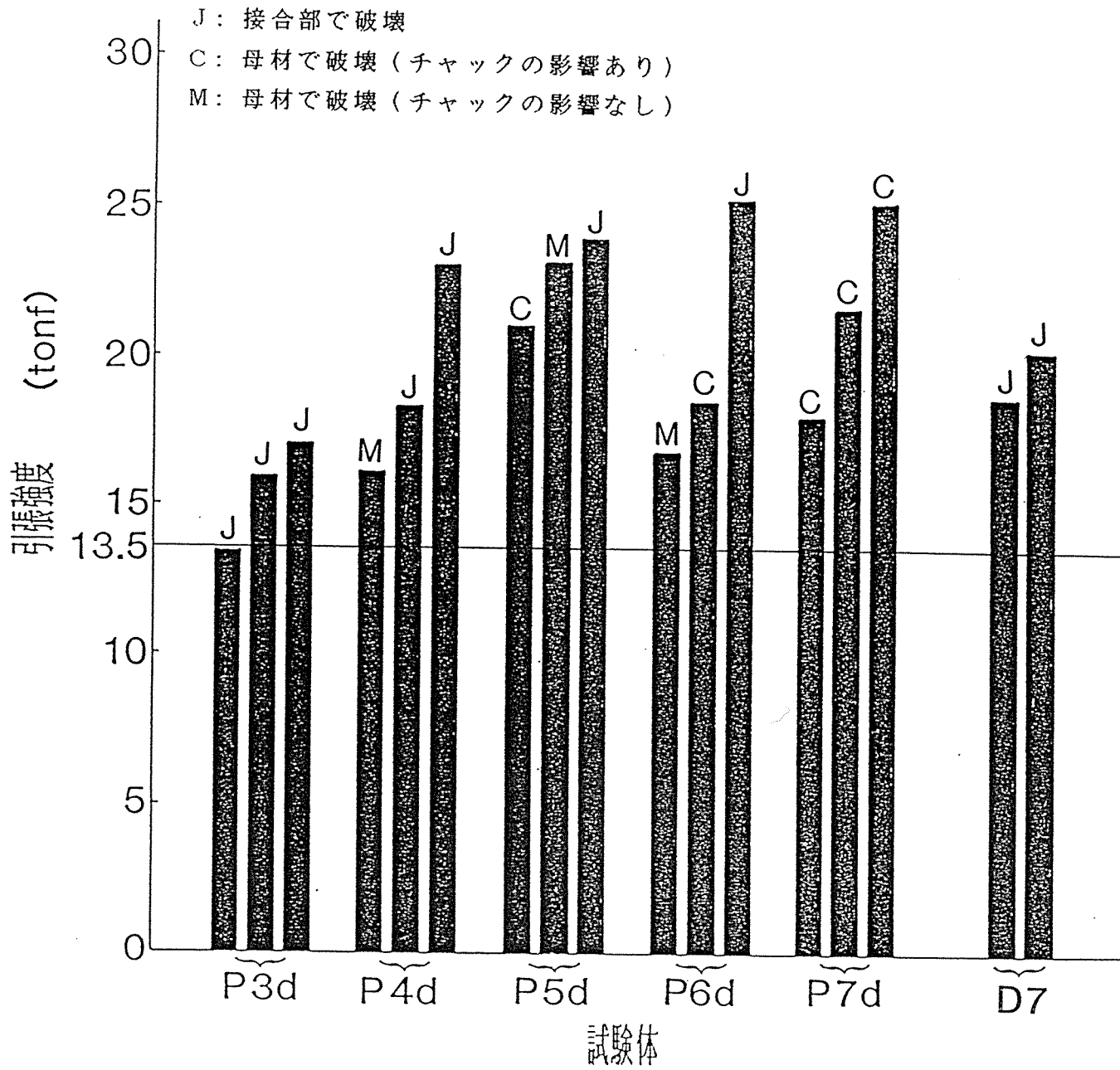


図5. 各試験体の最大耐力の比較

第2章 国産小径木を利用した耐力壁の水平せん断耐力

1. 序

過去2年間の成果を基にして、国産小径木を壁体に用いた耐力壁のまとめの実験を行い、その水平せん断耐力の評価を試みた。本年度は、ダボの施工精度とせん断耐力の関係および、新たに、鉄筋すじかいを用いた壁について検討した。鉄筋すじかいを取り付ける際に角ナットボルトを使用した。これは、黒田氏の考案によるもので、木材同士を接合するのに極めて優れている。特に軸方向の接合に用いると相当の耐力がある。このことについては、別の節で述べる。

本年度は、壁横張り材間のスリップ防止方法および柱と梁、柱と土台、横張り材と土台間の止めつけ方法等についてどの方法が優れているかを判定してみた。

2. 実験

2.1 試験体

2.1.1 耐力壁

実験に用いた壁体は、幅1820mm、高さ2700mmのいわゆる2Pパネルである。その製造は以下の通りで、図1にその概略を示した。また表1に全試験体の詳細を掲げた。

どの試験体も壁体を構成する横張り材は短ほぞで、柱に組み入れた。ただし、中央の横張り材は長ほぞで、断面17×17mmのカシの込み栓を打ち込んだ。

No.1～No.5の試験体は、柱は長ほぞで、土台と桁に差し込み、カシの込み栓を打った(図7-1)。

さらに下から2段目のスギ横張り材と土台の間に16φ、250mmのラグスクリューを2本打ち込み、壁体と土台を緊結を計った。

No.6試験体の柱と桁の接合と、No.7試験体の柱と土台及び桁の接合には角ナットボルトを用いた(図7-2)。

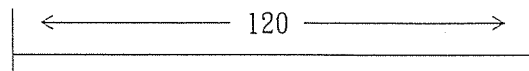
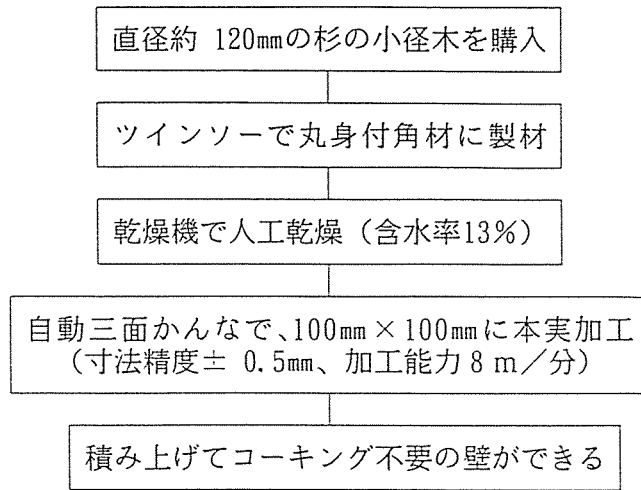
角ナットボルトは大阪の黒田氏の考案した接合具(図8)で、長さ60mm、幅30mm、厚さ10mmの肉厚の短形のナットを木材中に埋め込み、2部材を木材の軸線上で引き寄せる金物である。ナットと座金の両方の役割を果す。羽子板ボルトに比べると、軸線で引き合うため、部材同士をしっかりと緊結することが可能である。図9にその応用例

を示した。No. 6 と No. 7 は土台と壁体が一体となっているので、壁体と土台との間にラ
グスクリューは打ち込まなかった。

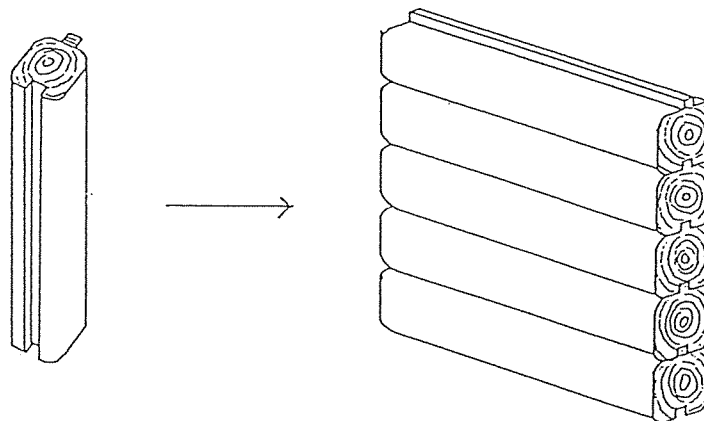
表 1 試験体の詳細

試験体 番号	横張り材間 の補強方法	柱と土台および 柱と桁の接合方法	横張り材と 土台の緊結方法	図
No. 1	積み上げただけで補強 なし	長ほぞ 込み栓 (17mm×17mm)	16φ ラグスクリュー (16φ)	図 2
No. 2	幅方向の 3 等分点に長さ 300mm にわたって部 分接着 (ポリウレタン樹脂)	長ほぞ 込み栓 (17mm×17mm)	16φ ラグスクリュー (16φ)	省略
No. 3	全面接着 (ポリウレタン樹脂)	長ほぞ 込み栓 (17mm×17mm)	16 ラグスクリュー (16φ)	省略
No. 4	ケヤキの角ダボ (30mm×30mm×800mm) を中央一列に挿入	長ほぞ 込み栓 (17mm×17mm)	16φ ラグスクリュー (16φ)	図 3
No. 5	ケヤキの角ダボ (30mm×30mm×800mm) を 3 等分点 2 列に挿入	長ほぞ 込み栓 (17mm×17mm)	16 ラグスクリュー (16φ)	図 4
No. 6	No. 5 と同じ。ただしカ ンで、ダボは桁と土台 にも貫通。 ダボのつなぎ部分はオ ーバーラップ	柱と土台は込み栓、柱 と桁は角ナットボルト (M12)	ダボ (30mm×30mm)	図 5
No. 7	12 (鉄筋すじかいを予 め穴を開けておいて挿 入)	柱と土台、柱と桁とも 角ナットボルト (M12)	12φ 鉄筋すじかい (12φ)	図 6

カンの角ダボ
30mm×30mm×1000mm
を 3 等分点 2 列に挿入



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1 壁体の構成部品

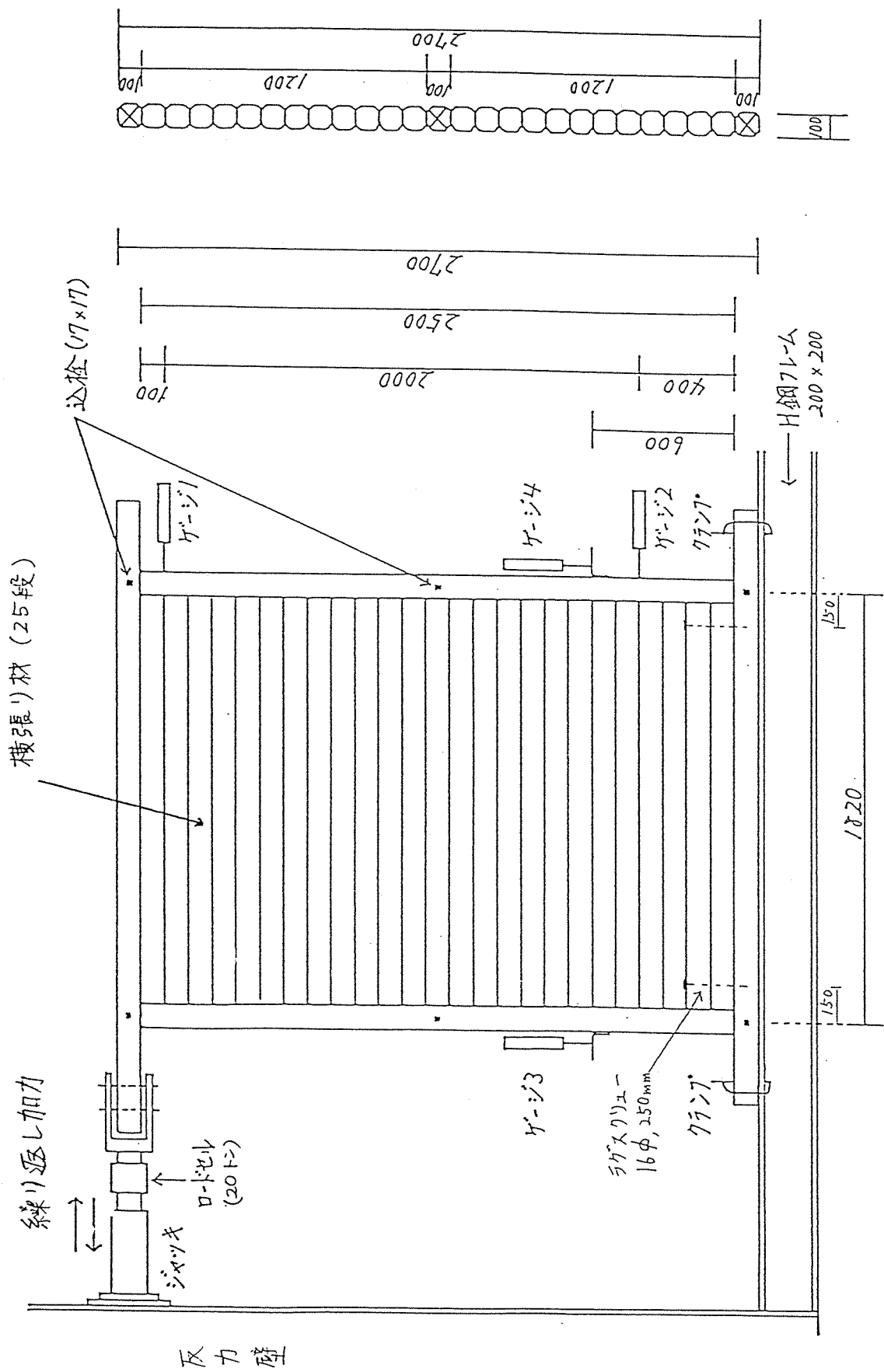


図2 試験体及び試験方法、No.1試験体（補強なし）

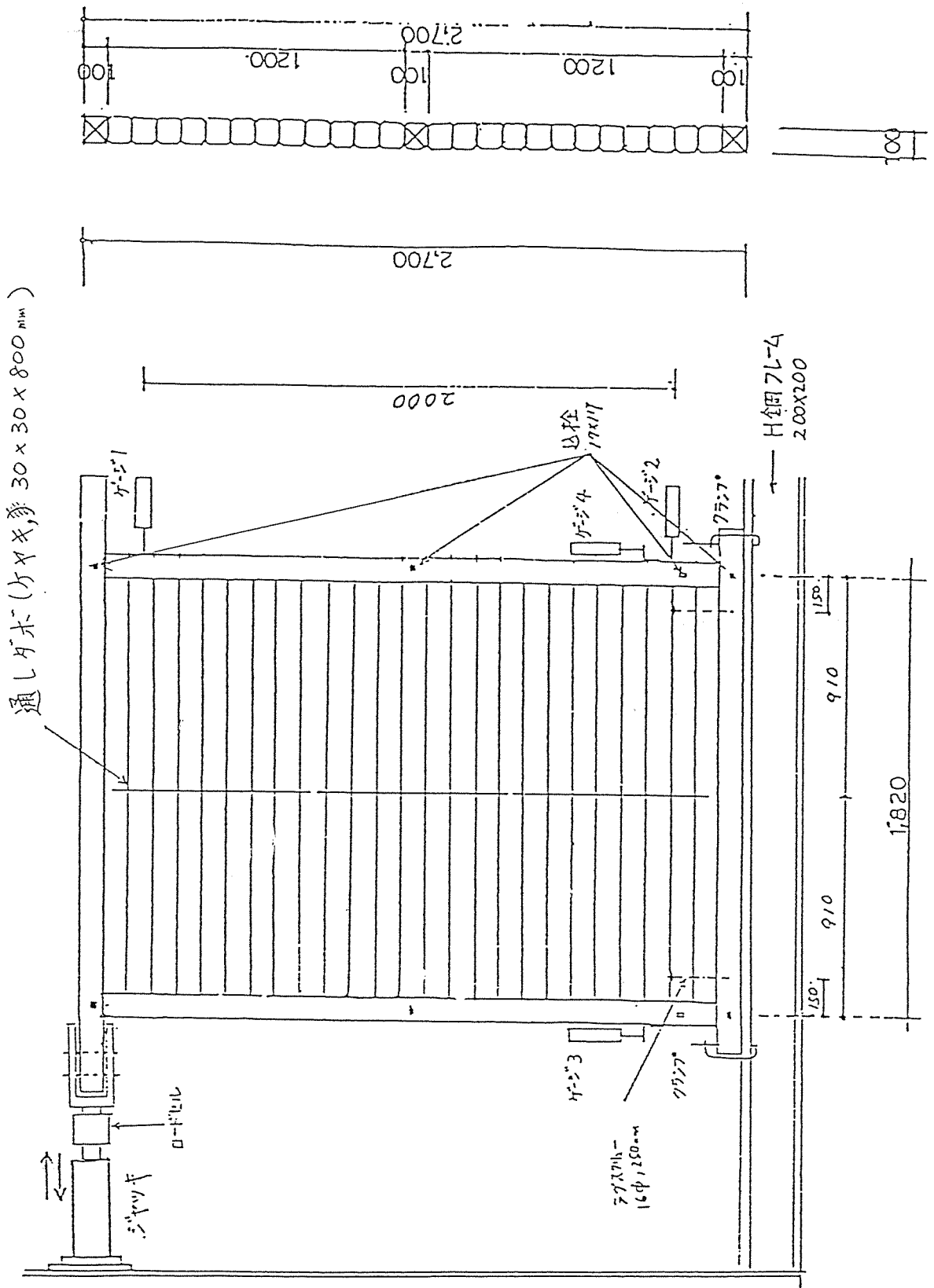


図3 試験体及び試験方法、No.4 試験体 (通しダボ1列)

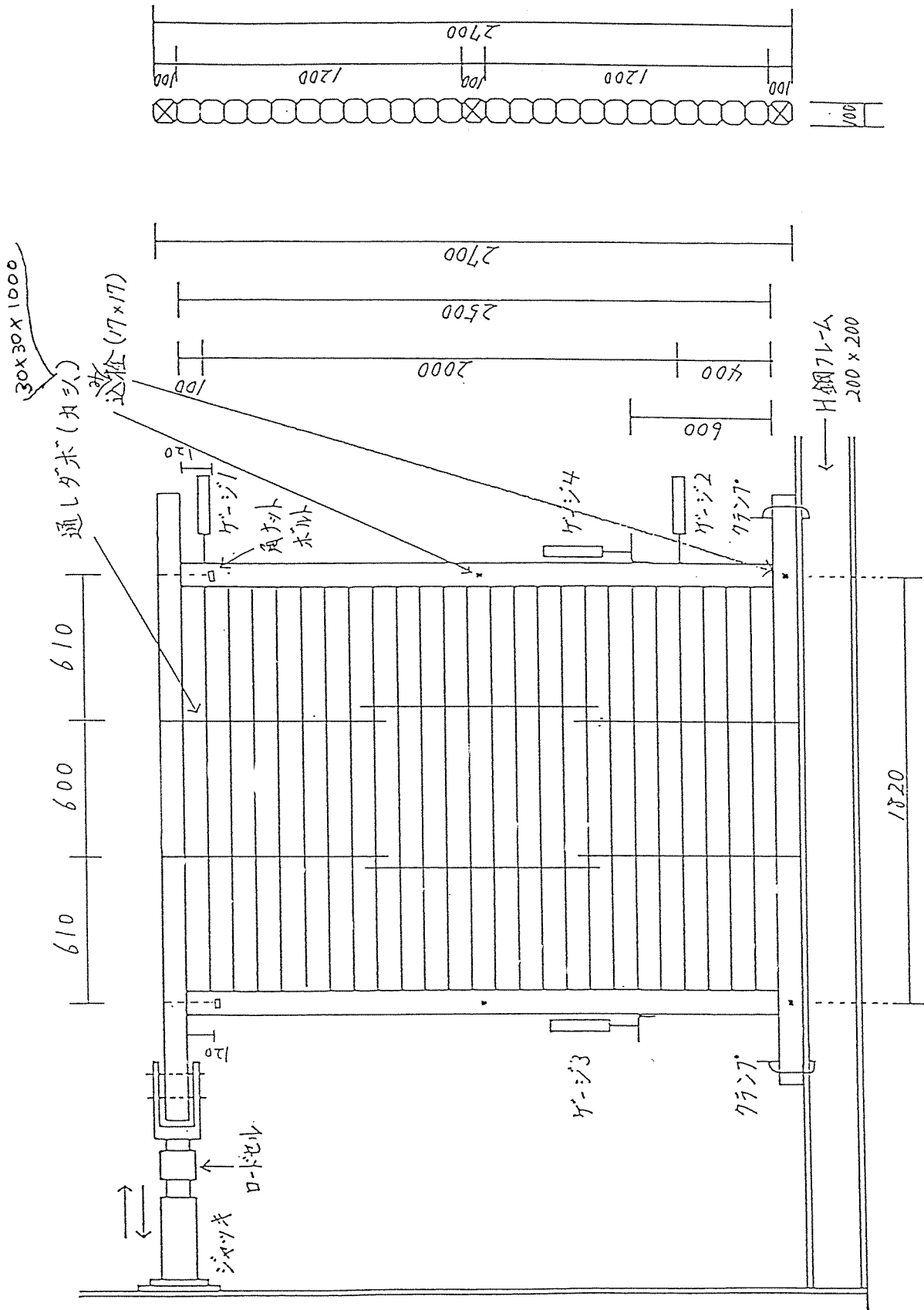


図5 試験体及び試験方法、No.6試験体(通しダボ2列、オーバーラップ)

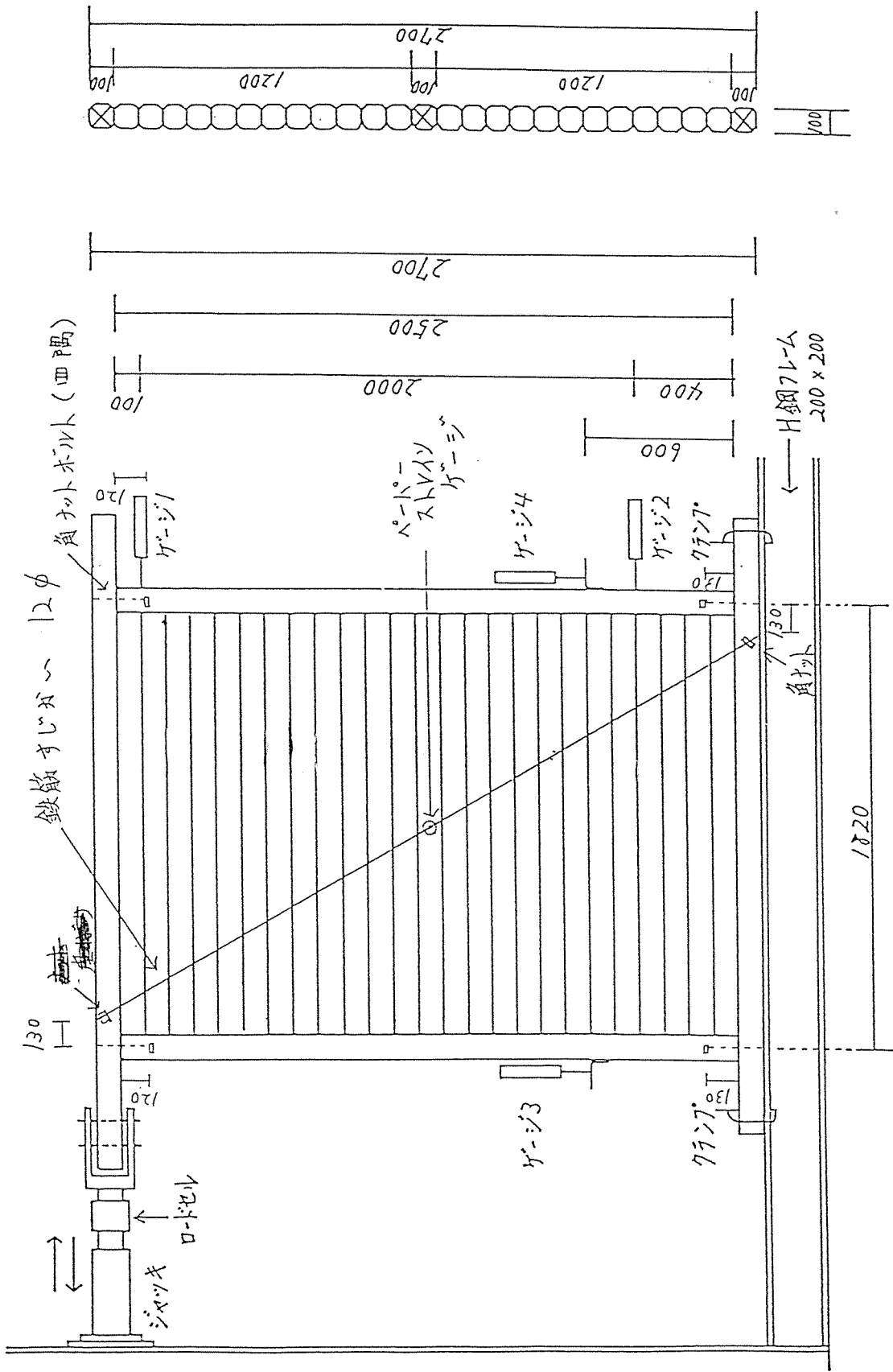


図 6 試験体及び試験方法、No. 7 試験体 (12φ鉄筋すじかい)

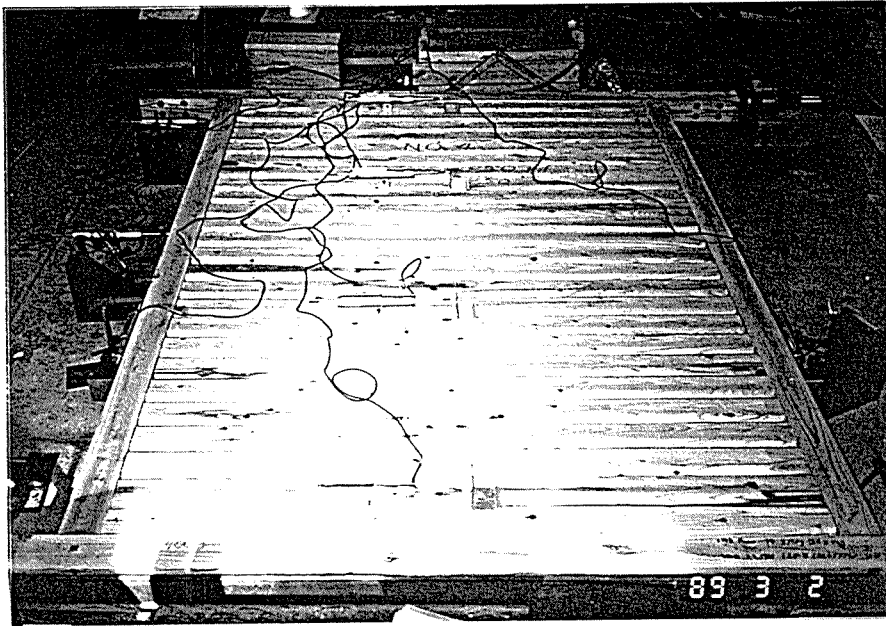


写真1 試験の様子 (No.7 試験体)

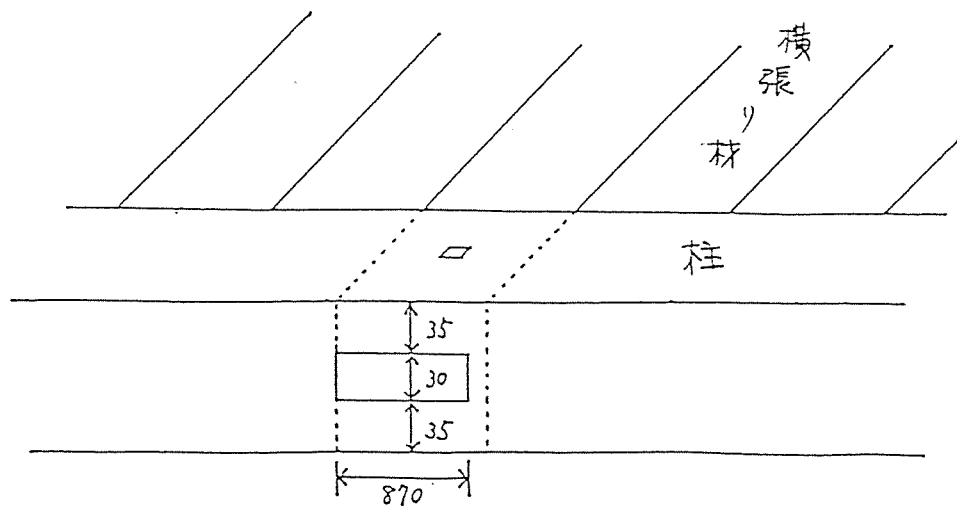
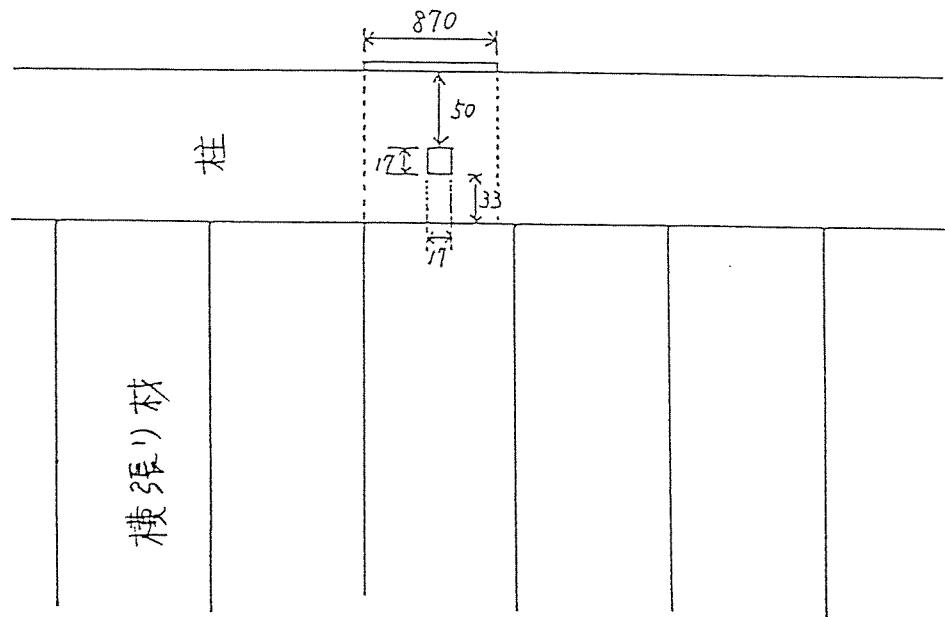
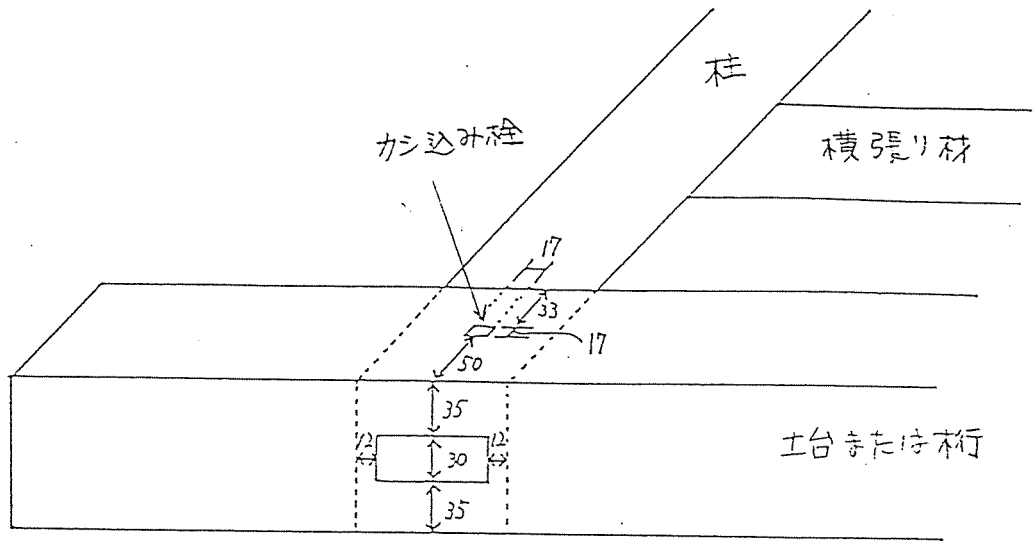


図 7 - 1 柱と壁体の接合詳細図、ほぞと込み栓

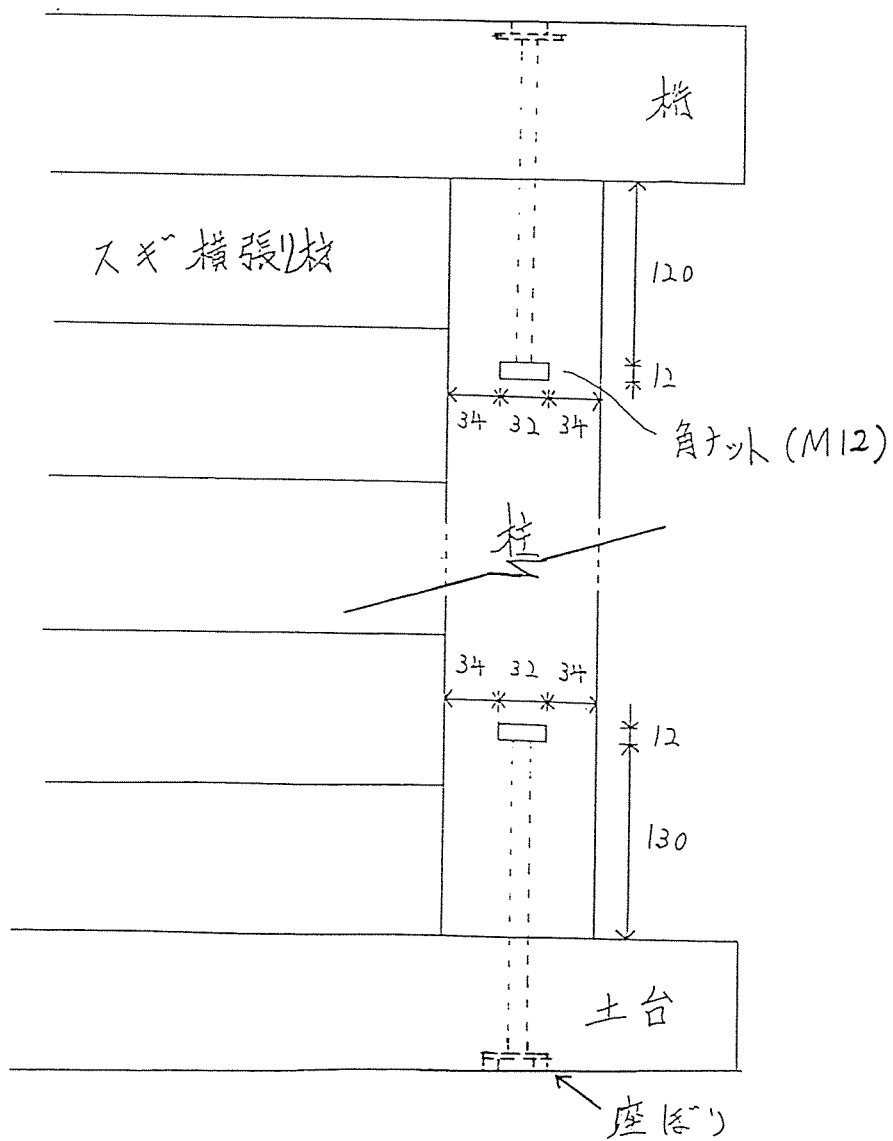
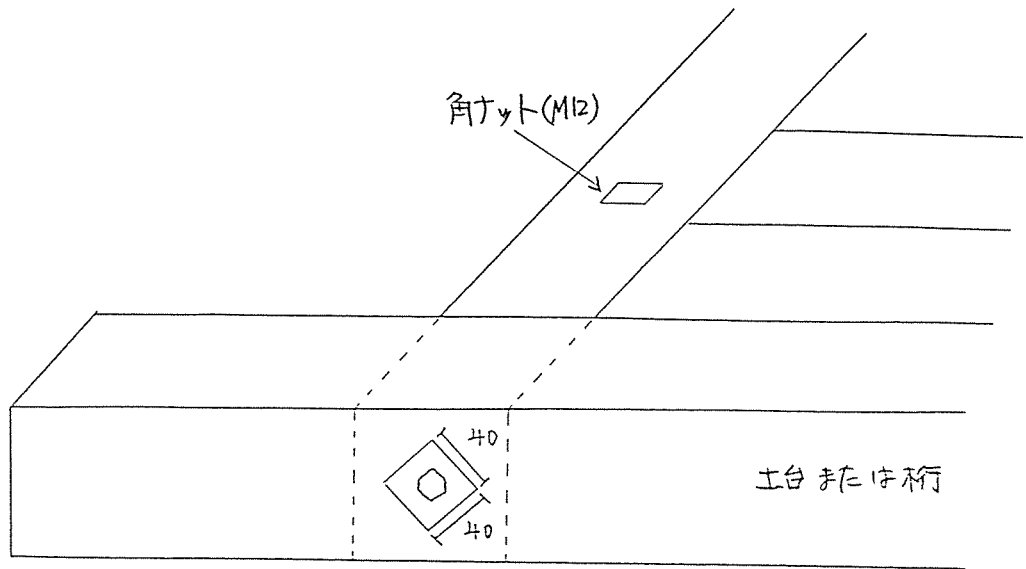
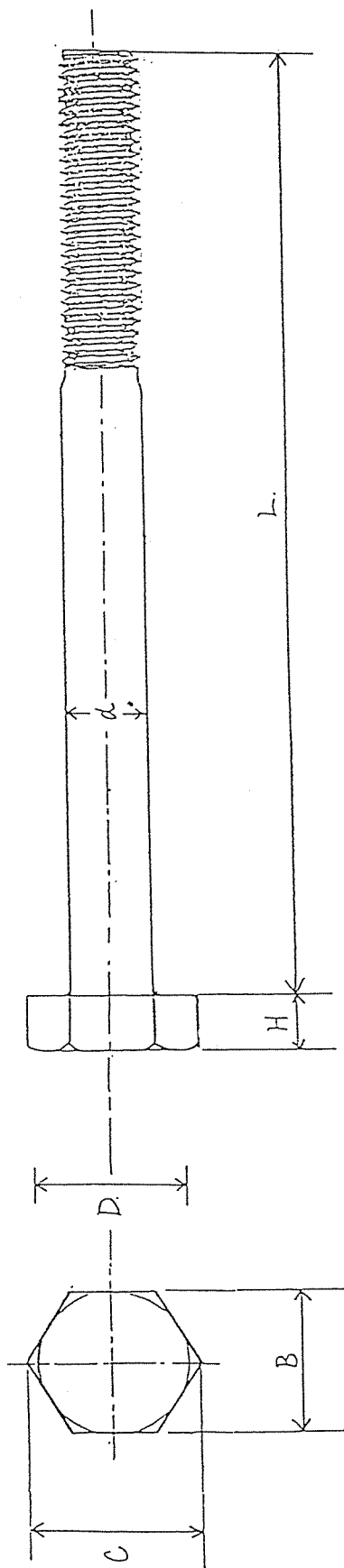


図7-2 柱と壁体の接合詳細図、角ナットボルト

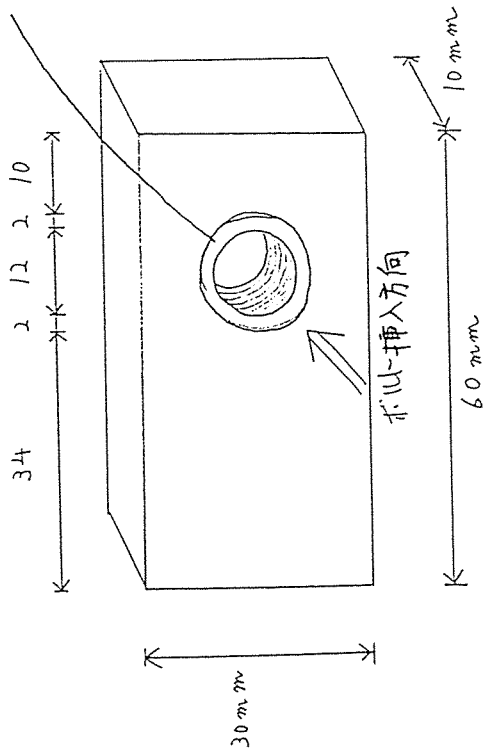
(1) ボルト (M12)



$B = 18 \text{ mm}$, $C = 20 \text{ mm}$, $D = 18 \text{ mm}$, $H = 7 \text{ mm}$, $L = 240 \text{ mm}$, $d = 12 \text{ mm}$

(2) 角ナット

ボルトがスムーズに入るように皿状に加工してある



(3) 座金

$12 \times 15 \times 12$

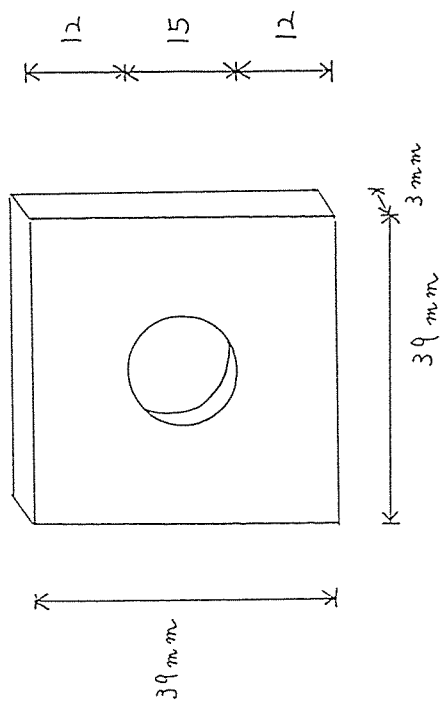


図8 角ナット、ボルトおよび座金の形状と寸法

2.1.2 ダボと2面せん断試験

耐力壁に用いた 100mm × 100mmの本実加工したスギ材を長さ 650mmに切断して、図10のように角ダボ（断面30mm × 30mm）を打ち込んで、2面せん断試験体を作製した。

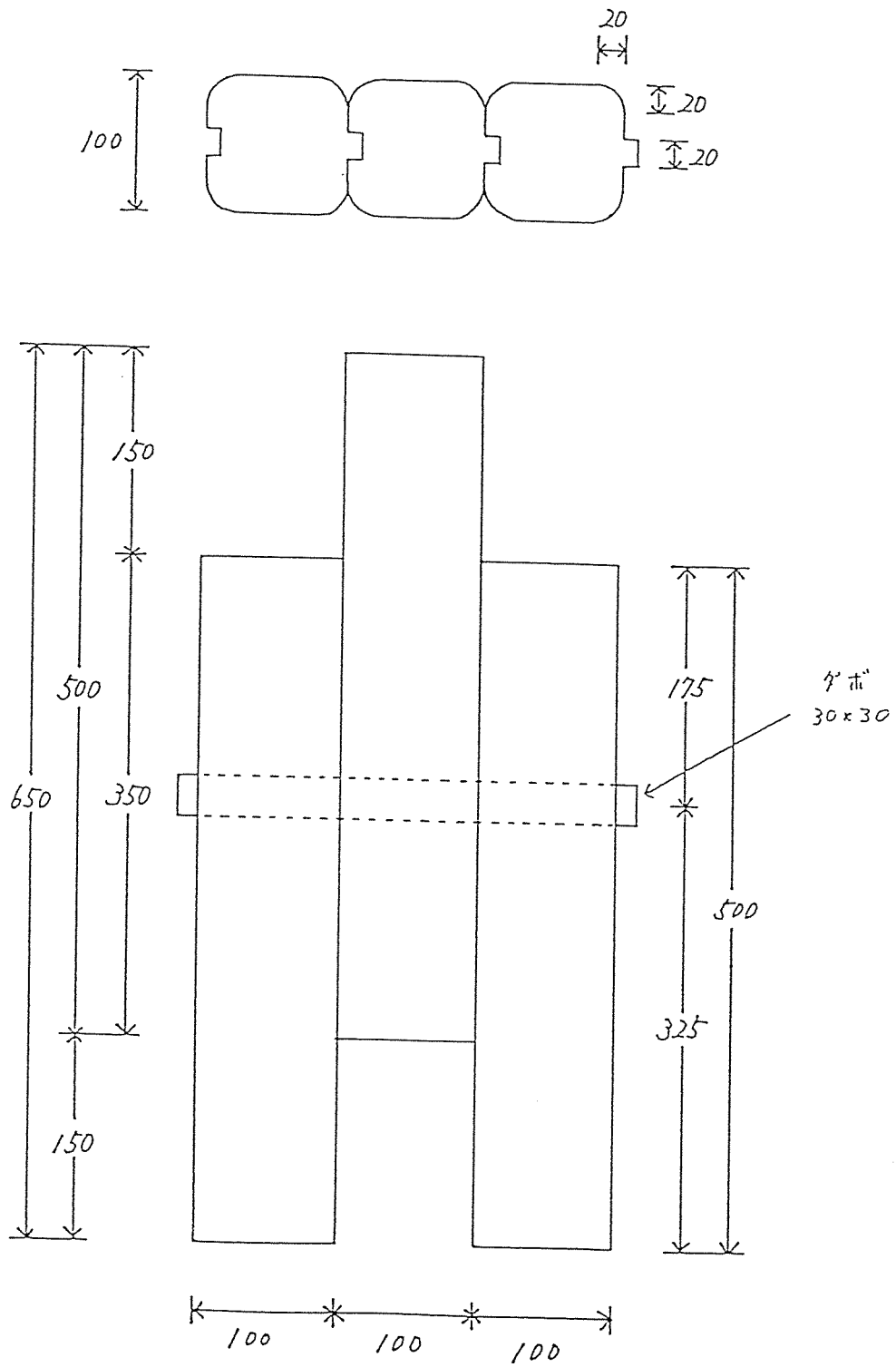


図10 ダボの2面せん断試験体

2.2 試験方法

2.2.1 耐力壁の水平せん断試験

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ーをはさみ、摩擦を少なくした。加力は20トン、ストロークが300mmの押し引き兼用のオイルジャッキを用い、オイルジャッキの先端の治具と桁とを4本のボルトで接続した(図11)。

荷重は両振れ繰り返して、200kgf、400kgf、600kgfの荷重段階で押し引きの繰り返し加力を加えた。ただし、No.7試験体については、引き方向のみ行った。

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、2の中間点にゲージ5を取り付けた。さらに、スギ横張り材相互のスリップを測定した。測定位置は25段のスギ材を上から1、2、3……、25と番号付けすると、1と2(ゲージ6)、8と9(ゲージ7)、16と17(ゲージ8)、24と25(ゲージ9)の間の4ヶ所である(図12)。

また、No.7試験体には鉄筋すじかいに引張力が加わる方向に一方向加力を加えた。鉄筋すじかいに加わる引張力を検出するために、中央のスギ材にドリルで穴をあけて、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)を中点に貼った。

2.2.2 ダボの2面せん断試験

試験体を20ton万能試験機のベット上にセットし、中央のスギの小径木に上から荷重を加えた。最大荷重に達するまで加力した。中央の材と側材とのスリップ量を調べるために、2本のダイヤルゲージを取り付けた(図13)。そして、2本の平均値を中央材と側材間のスリップとした。

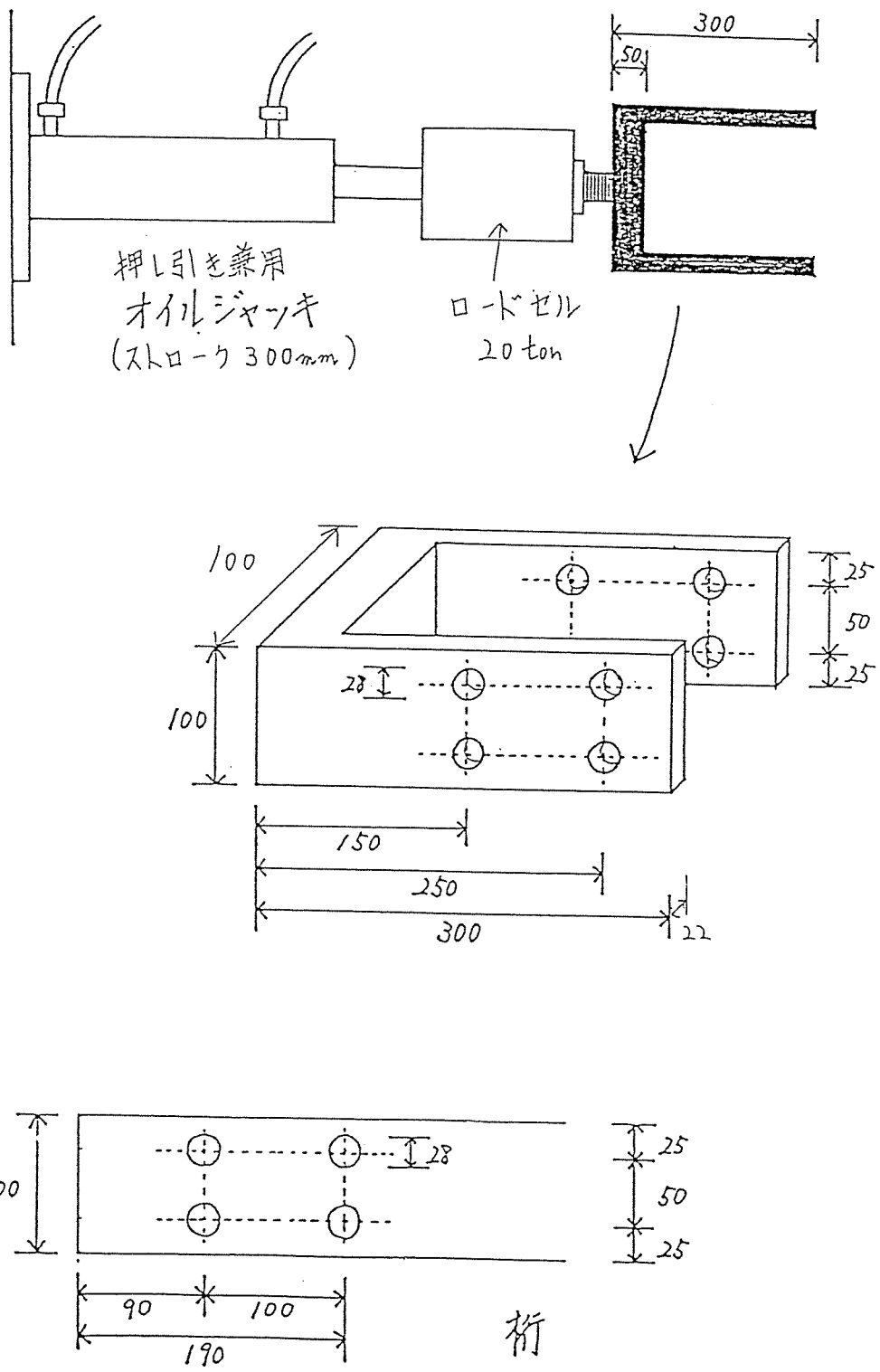


図11 加力装置の詳細図

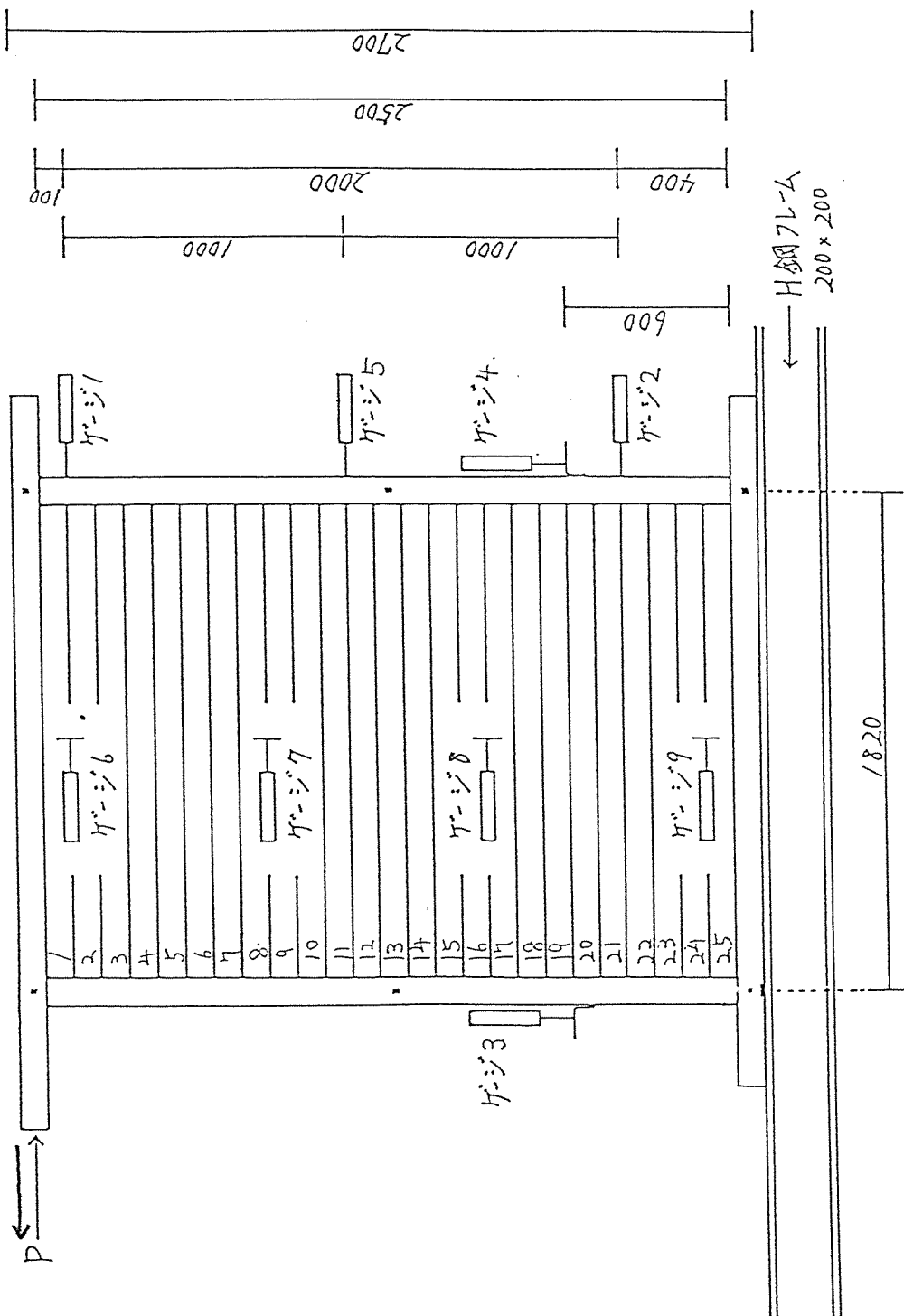


図12 横張り材間のスリップ測定位置
 1と2、8と7、16と17、24と25の相対スリップを測定した。

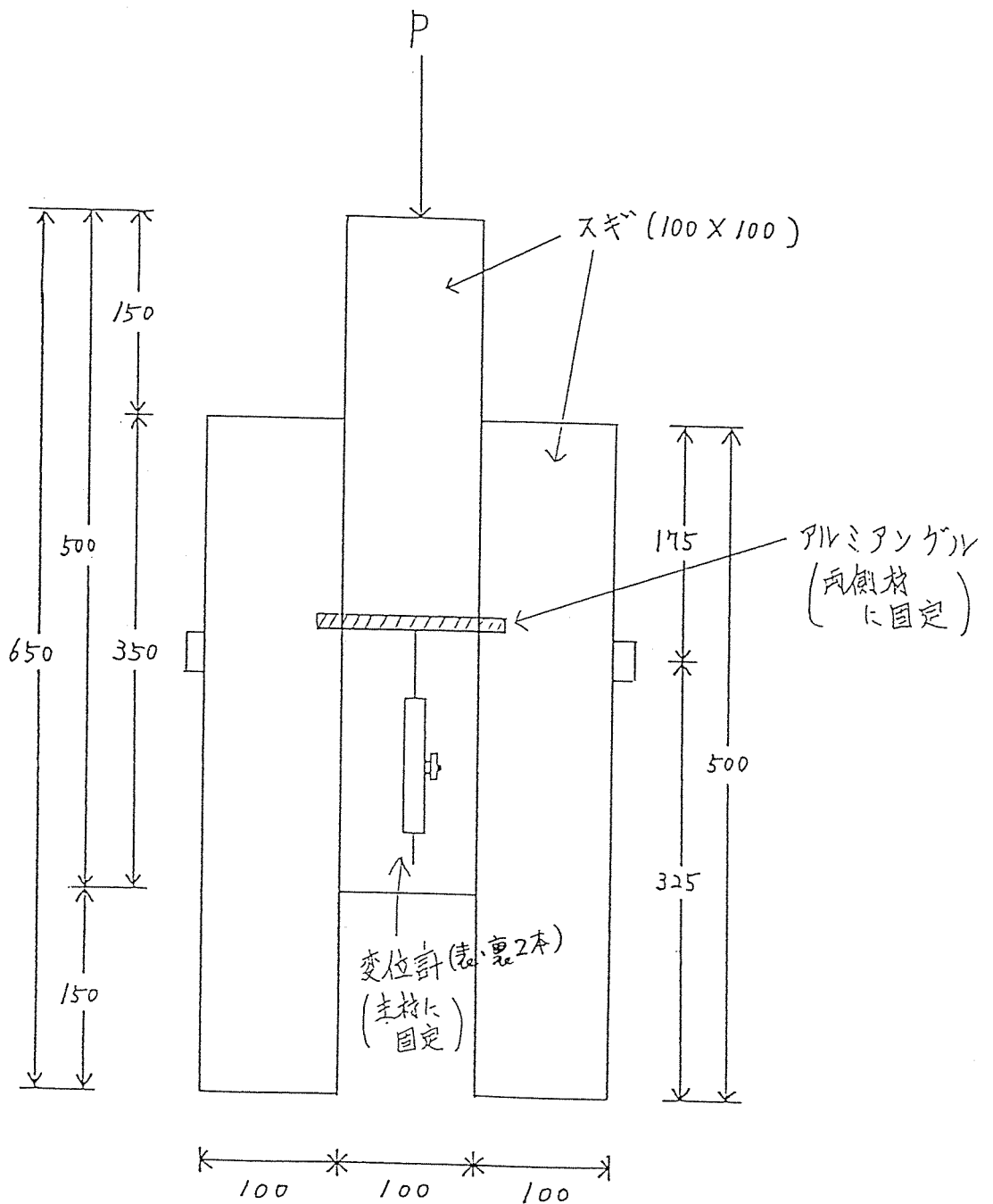


図13 ダボの2面せん断試験

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」における規定に基づいて行った

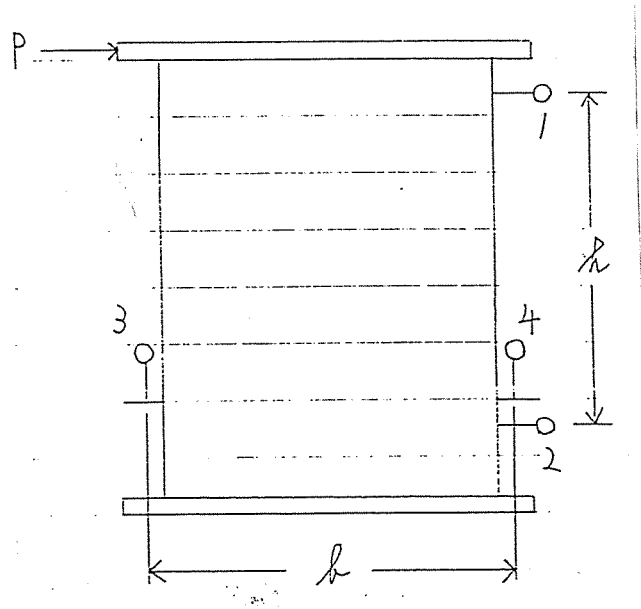


図 せん断変形角の測定

- 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、

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

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

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

・許容耐力の決定

許容耐力は、荷重と見掛けのせん断変形角のグラフより求めた。見掛けのせん断変形角が $\gamma = 1/120\text{rad}$. の時の、荷重を 1 m 当たりとして表し、これに安全を考慮し、 $3/4$ を乗じた値を許容耐力とした。

・壁倍率の決定

壁倍率は倍率1がせん断応力に換算すると130kgfであることと見ることができ、許容耐力を130kgf/mで割ることにより算出することができる。また、壁倍率が分かればその耐力壁の許容せん断耐力が定量的に表現できるのである。

3.2 耐力壁の水平せん断試験結果

写真2にNo.2、3、6、7試験体に現われた破壊の様子を示した。すべて足元の浮き上がりであった。一方No.1、4、5試験体は横張り材のすべりでPmaxに達した。写真3は横張り材がスリップした様子である。

各試験体の荷重と見掛けのせん断変形角との関係を図14、浮き上がりによる回転角との関係を図15、真のせん断変形角との関係を図16にそれぞれ示した。また、壁倍率は表2に示した。これらの図と表に基づいて、各壁体について考えてみることにする。

No.1（補強なし）はスギ材同士がすべり出すと、変形がどんどん進むことがわかる。また壁倍率は在来構法での土塗壁・木ずりの0.5程度の強さしかない。

No.2（部分接着）、No.3（全面接着）の2体は極めて剛で、Pmaxに達しても、弾性体に近い変形をしている。壁倍率も3以上で最も強度があった。但し、No.3は1/120rad.に達する前に破壊したので、変位曲線を1/120rad.まで外挿した推定値である。

次にダボで補強した3体、No.4（ケヤキダボ1列）、No.5（ケヤキダボ2列、No.6（カシダボ2列））についてであるが、ダボがケヤキとカシの違いによる壁体の強度に及ぼす影響の差はほとんどないと思われるが、結果を見てみると変形の進み方、壁倍率のどちらの点から見てもかなりの差が現われている。これはNo.4およびNo.5の試験体は作製時にダボとダボ穴の間はかなりゆるみがあって、スギ横張り材間のスリップが大きくなり、壁体の耐力が弱くなったためである。

このことは図17を見ると明らかである。図17-1は、No.1試験体、図17-2と17-3はそれぞれNo.4とNo.5試験体における荷重と横張り材相互のスリップの様子である。

17-4はNo.6でダボのかん合度が良好である。横張り材間のスリップは、No.1 > No.4 > No.5 > No.6の順で、No.4とNo.5は補強のないNo.1より、スリップは少ないものの、No.6と比べると、1オーダー違うスリップ量である。

後に考察するが、このスリップ量の違いが壁倍率に大きく影響を及ぼしている。すなわち、ダボを用いる際は、施工方法が壁耐力に大きく影響を及ぼすことが判明した。

最後にNo.7（鉄筋すじかい）であるが、これはダボよりは強いが、接着よりは弱いという結果が出た。横張り材のスリップはNo.6のダボよりさらに少ない（図17-4）。ただ、この試験体は鉄筋が水平力の大部分を支えるため、ナットのめり込みによって、土台がかなり弓なりになった。鉄筋すじかいを用いる場合には、土台部分での座金のめり込みや、土台の割裂が生じないようにする必要がある。

以上を総合して、壁の評価を行ってみる。

まず、耐力的にみると、接着が一番優れ、次に鉄筋すじかい、ダボの順となる。昨年の実験からラグスクリュー（16φ）を用いた場合は、ダボと同等と評価できる。しかし接着は確かに大きな壁倍率が得られるが、あまりに剛であって、破壊までのねばりが乏しく、応力が集中して、かえってまわりの土台や、桁が破損する恐れがある。鉄筋すじかいは、壁倍率が2.5で、耐力壁として優れている。

ダボは、木材同士の接合なので、ねばりも十分にあり、壁倍率も、ダボのかん合度が良いければ約2が期待できる。

一方、施工性を考えてみる。ダボは施工の良否が耐力に大きく影響してくるため、大工の技術が低下している情勢を考えると、一般に普及させるのは難しいかも知れない。

接着は、技術的に難しくないが、現場接着であるため、管理面で難点がある。鉄筋すじかいは、工場で予め、筋かいの通る穴を加工しておけば、現場での手間はダボや接着に比べると、はるかにかからない。ここでは角ナットの存在が大きい。鉄筋すじかいは、横張り材の中にかくれるので、美観上、防火上問題がない。

耐力および施工性の面から、総合評価すると、角ナットを用いた鉄筋すじかいは優れている。

表3に、評価の一覧を示した。

表2 壁倍率の算定

試験体番号	1/120rad.時の荷重(kgf)	壁倍率 *1
No.1 (補強なし)	185	0.59
No.2 (部分接着)	955	3.03
No.3 (全面接着)	1000~1200 *2	3.17~3.80 *2
No.4 (ケヤキダボ1列)	175	0.55
No.5 (ケヤキダボ2列)	225	0.71
No.6 (カシダボ2列)	615	1.95
No.6 (鉄筋すじかい)	790	2.50

*1 $(P \text{ 1/120rad.} \div 1.82) \times 0.75 \div 130$
 (kgf) (m) (ばらつき) (kgf/m)

*2 推定値

表3 横張り材補強方法の評価

補強方法	耐力	施工	総合評価 *1
ダボ (30mm×30mm)	かん合度が良ければ壁倍率 1.5~2。ただし、かん合度が悪いと、壁倍率は1以下となる	ダボのかん合度の良否が耐力に大きく影響する。手間がかかる	B
ラゲスクリュー (16φ)	ダボと同程度の壁倍率	ダボより施工はやや容易	B
接着 (ポリウレタン樹脂)	壁倍率3以上で極めて剛	施工は容易だが、接着の管理がやや難しい	B
鉄筋すじかい (12φ)	壁倍率 2.5が期待できる	現場での施工は他より容易	A

*1 A : 優れている
 B : 優れているが、難点もある。
 C : 普通



写真2 足元の浮き上がりによる破壊
(No. 2、3、6、7 試験体)



写真3 スギ横張り材のスリップ

No. 1 (補強なし)

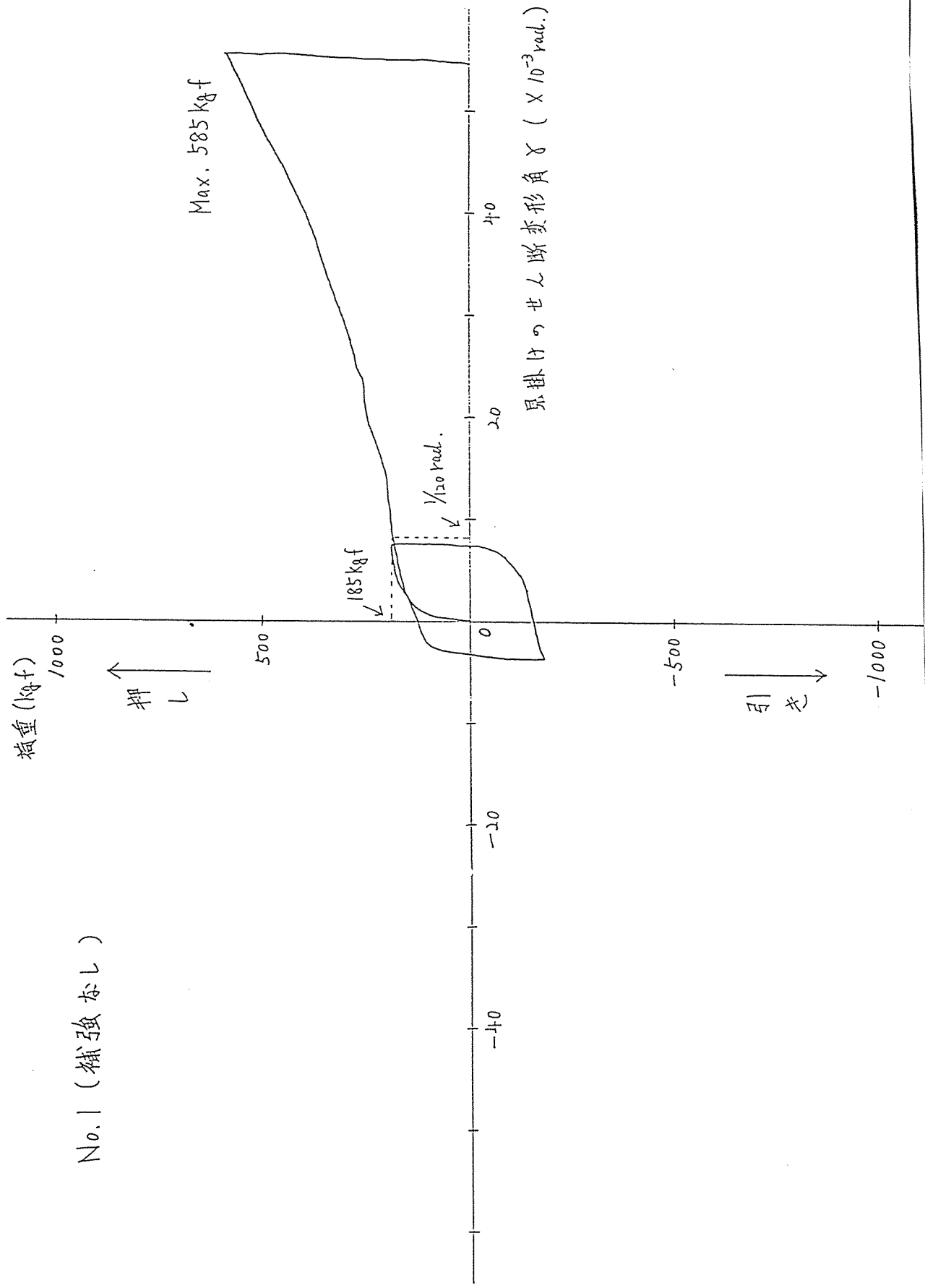


図14-1 荷重と見掛けのせん断変形角 γ の関係、No. 1 試験体

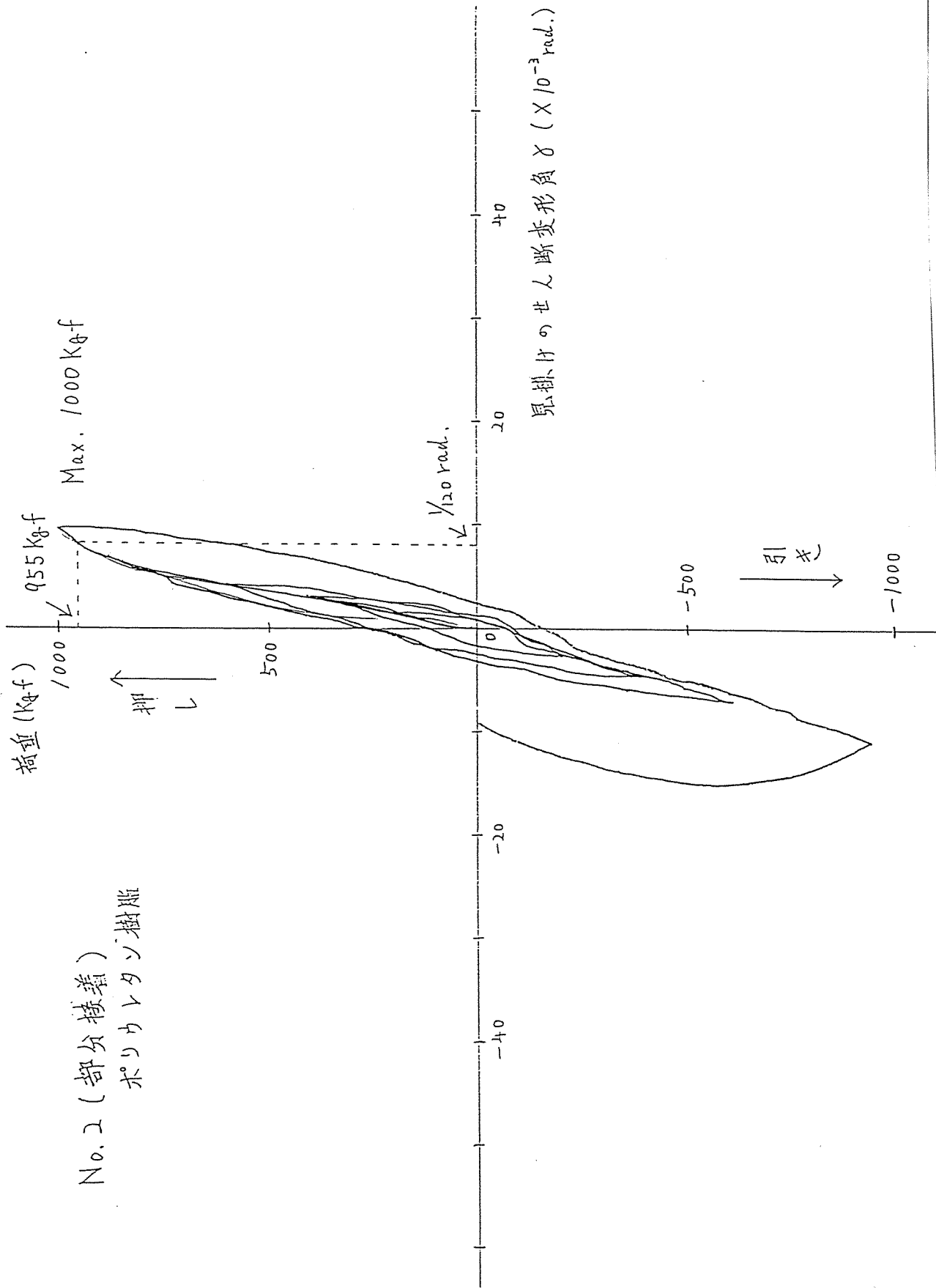


図14-2 荷重と見掛けのせん断変形角 γ の関係、No. 2 試験体

No. 3 (全面接着)
ポリウレタン樹脂

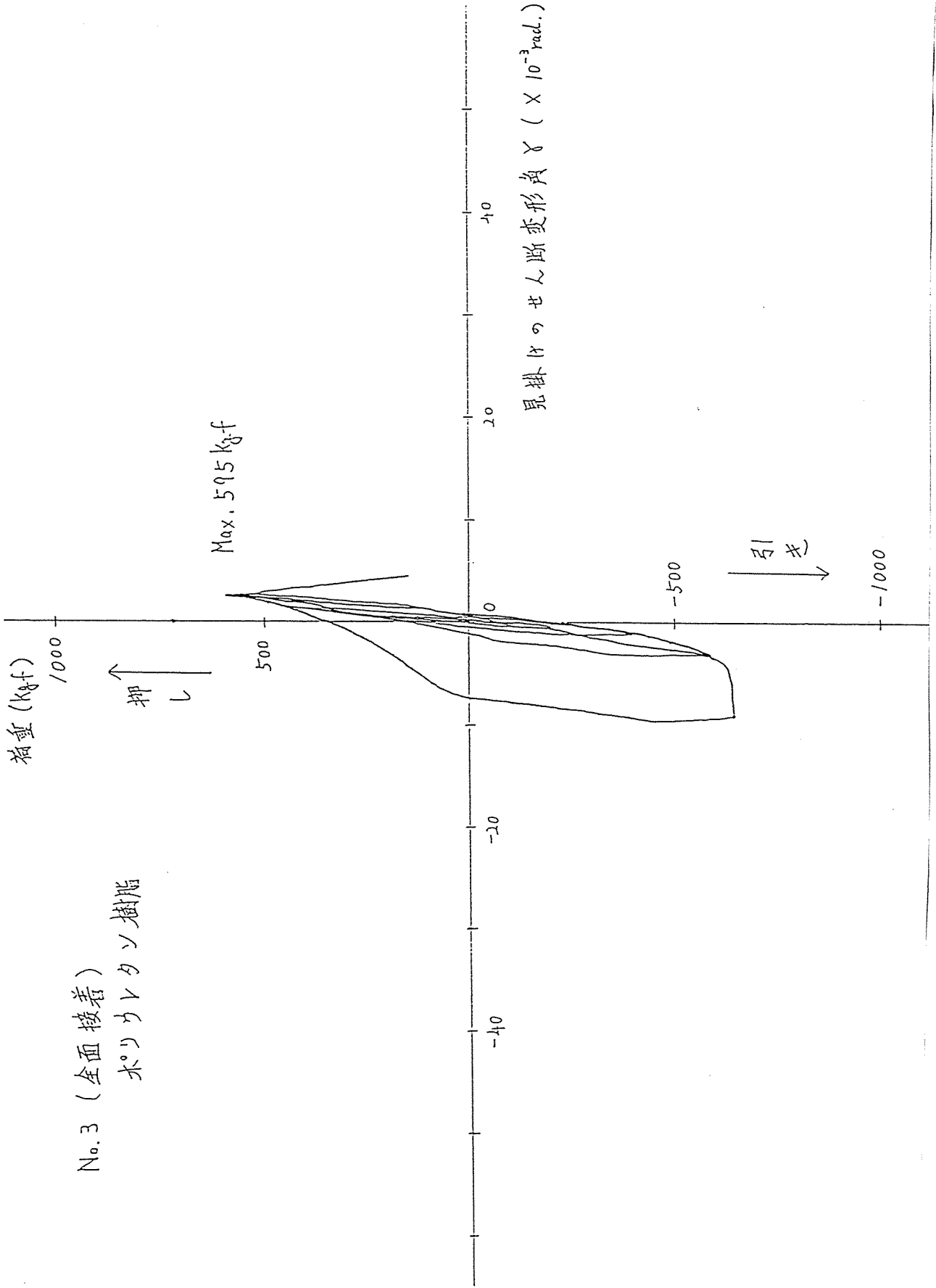


図14-3 荷重と見掛けのせん断変形角 γ の関係、No. 3 試験体

No. 4 (タヤタボ1型)

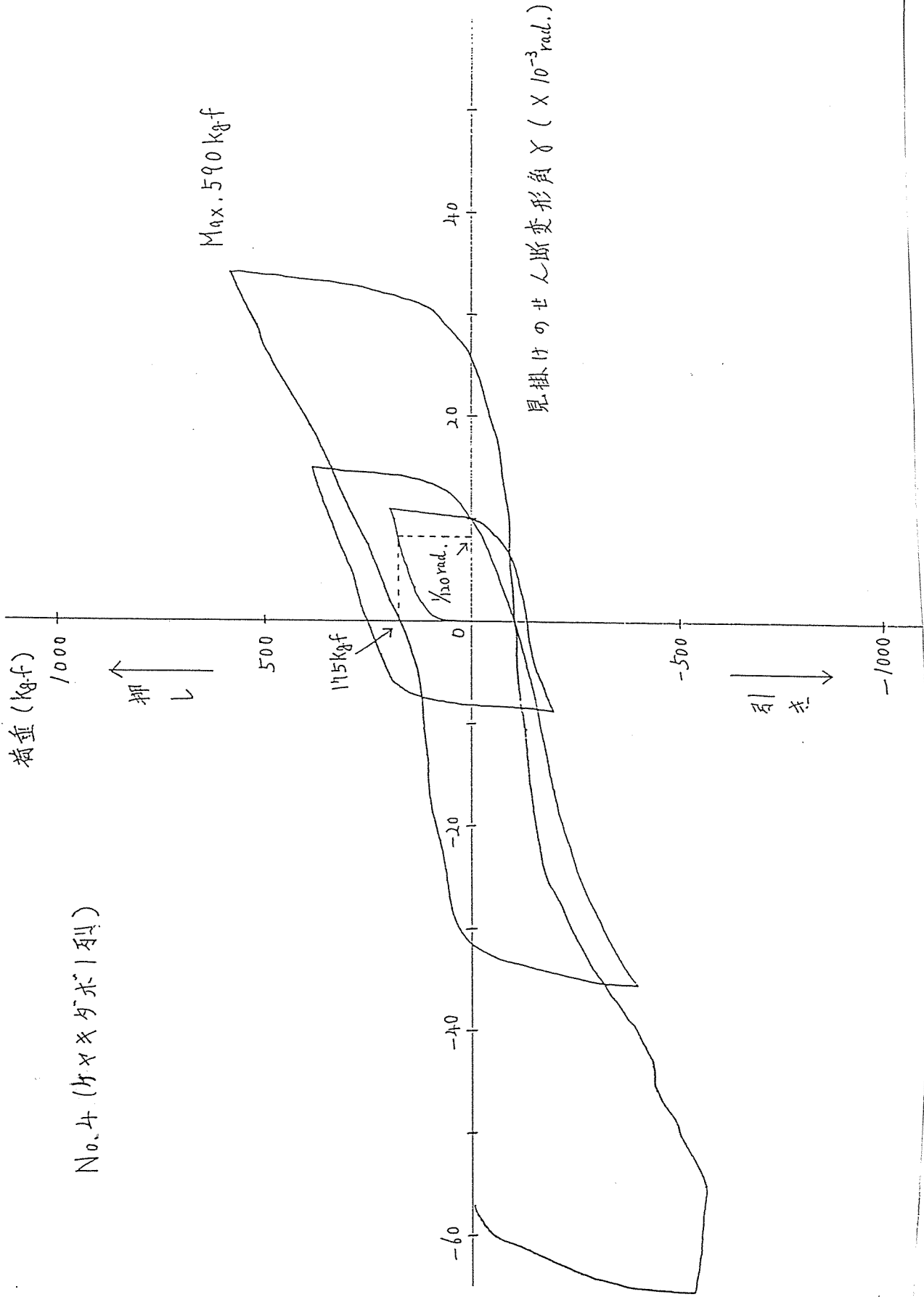


図14-4 荷重と見掛けのせん断変形角 γ の関係、No. 4 試験体

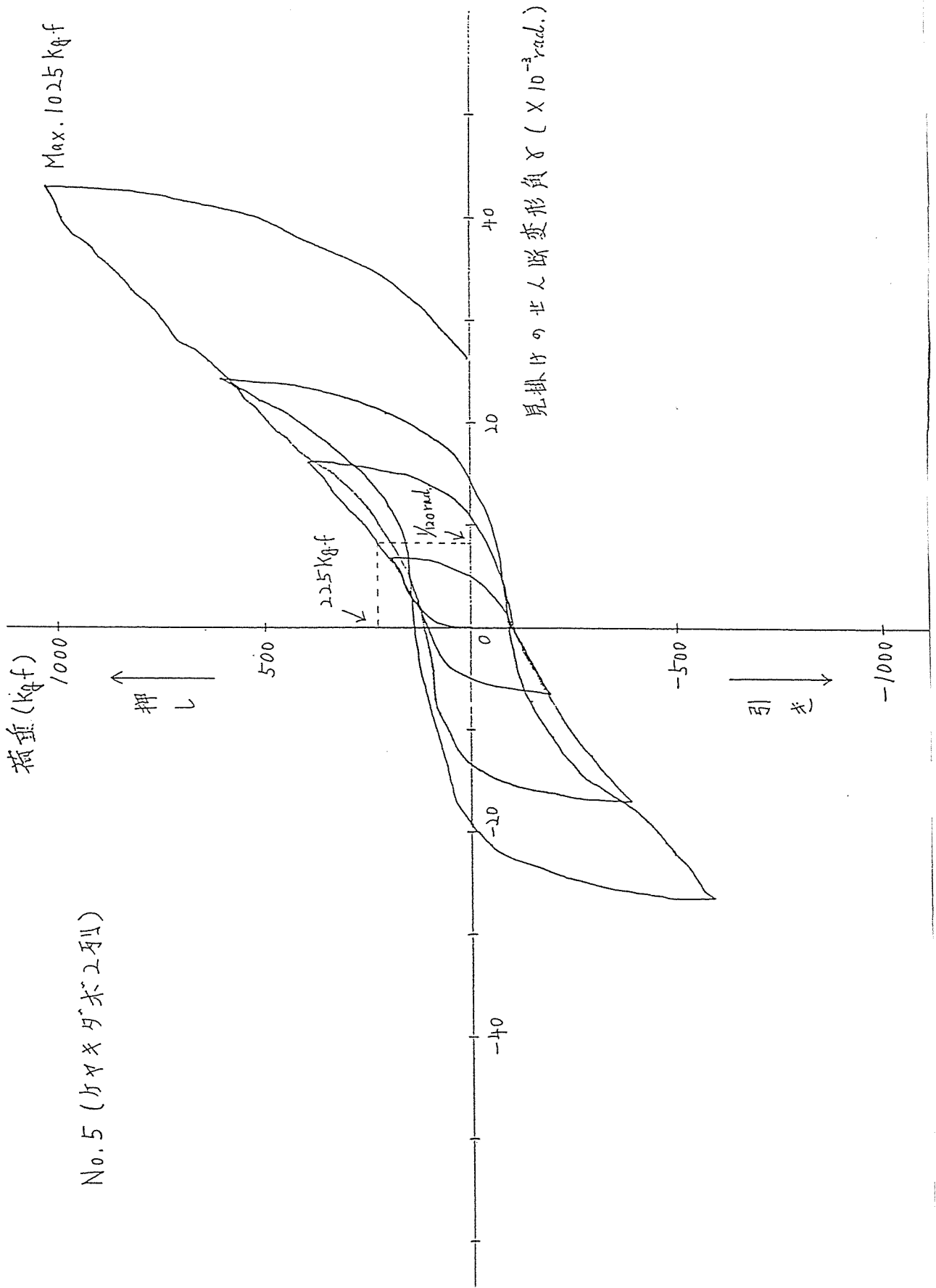


図14-5 荷重と見掛けのせん断変形角 γ の関係、No. 5 試験体

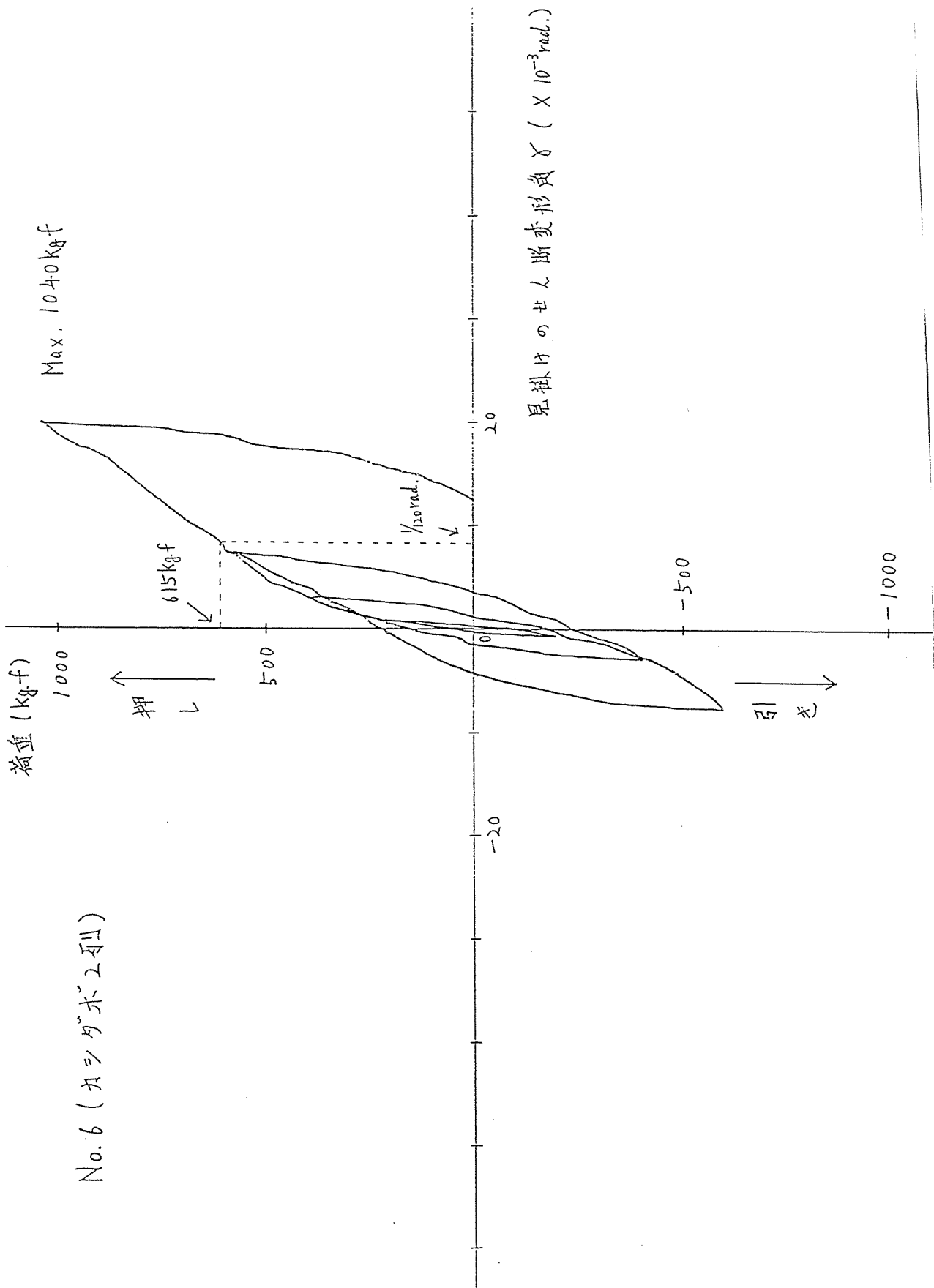


図14-6 荷重と見掛けのせん断変形角 γ の関係、No. 6 試験体

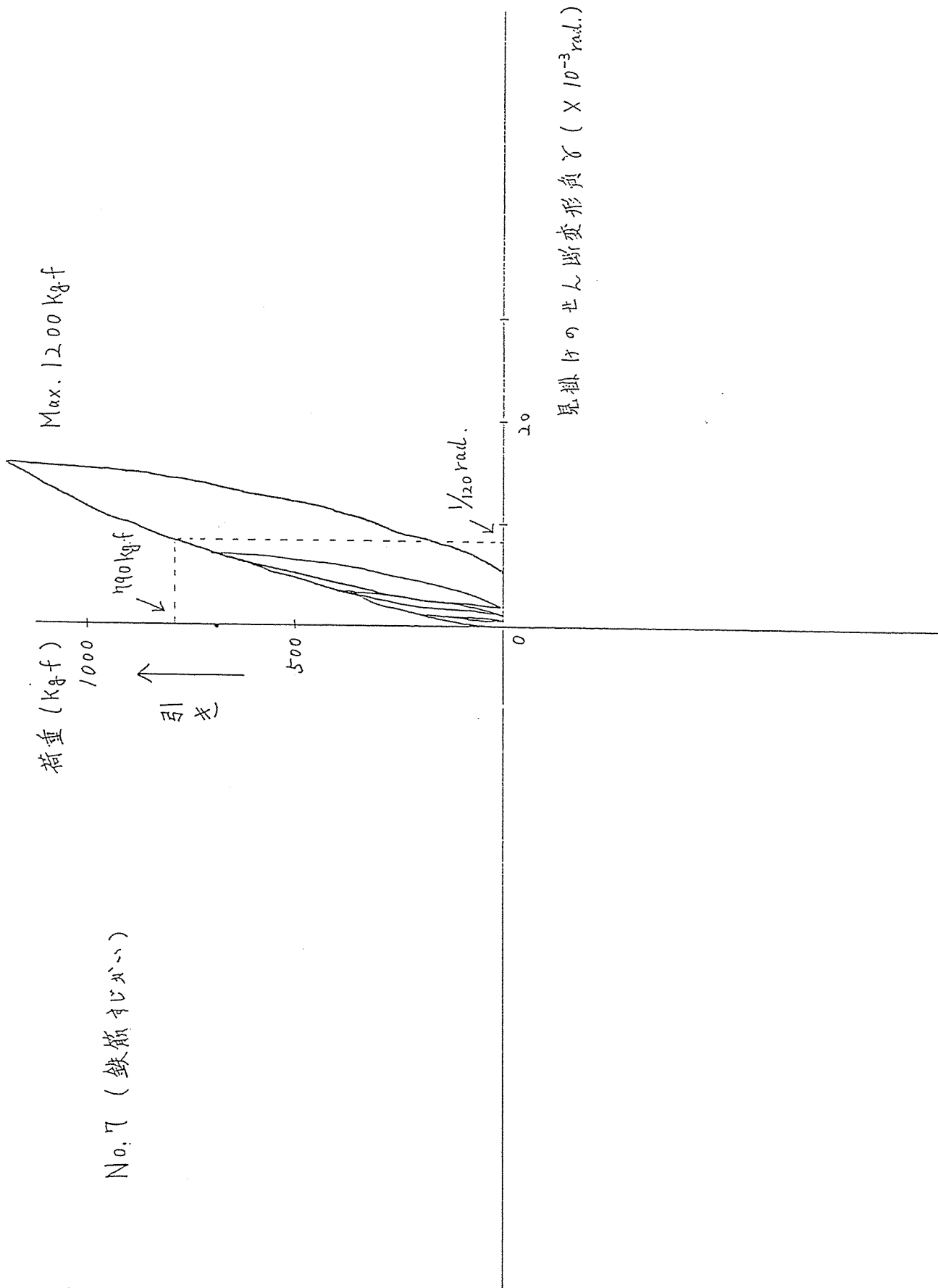


図14-7 荷重と見掛けのせん断変形角 γ の関係、No. 7 試験体

No. 1 (補強なし)

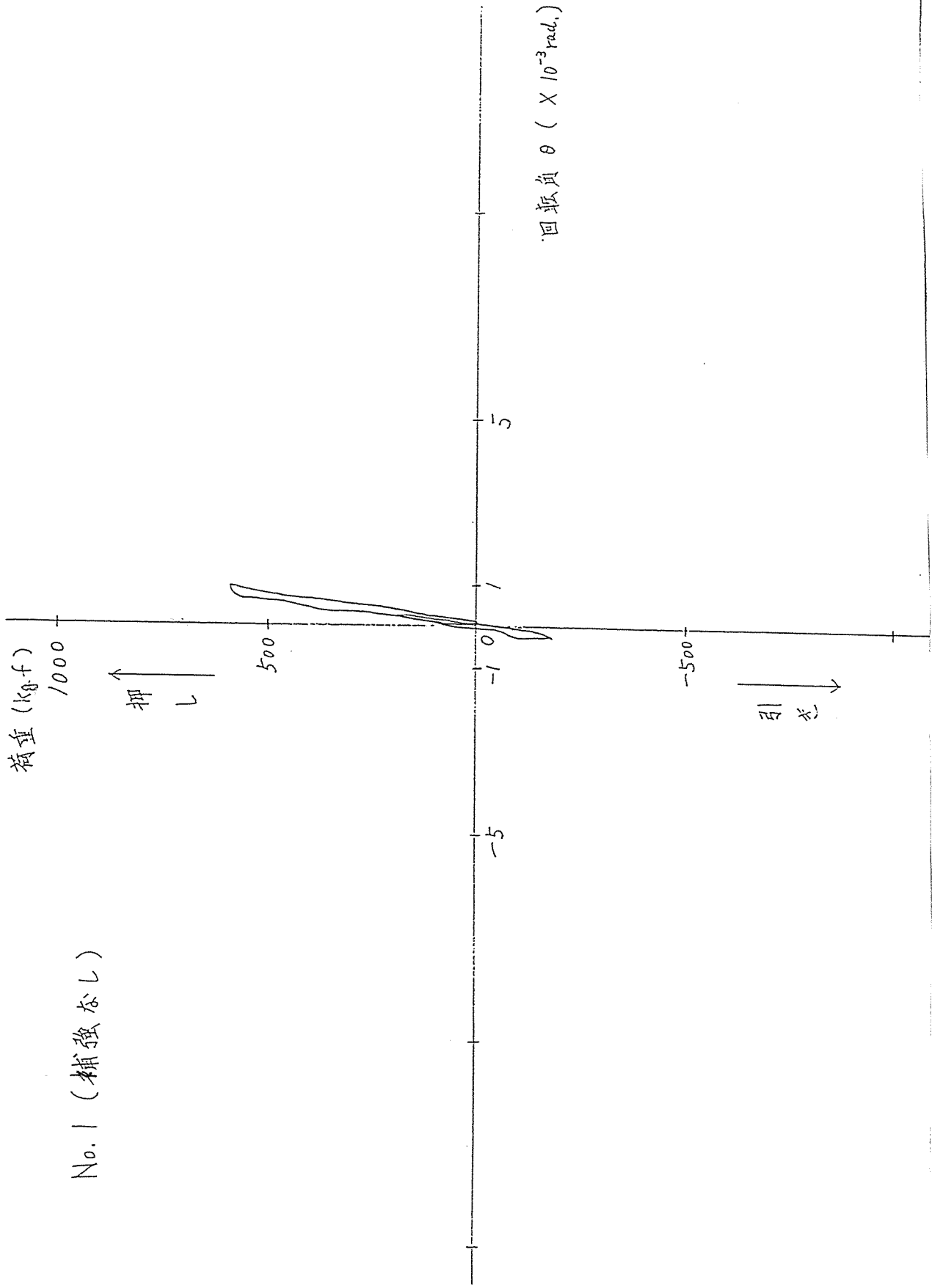
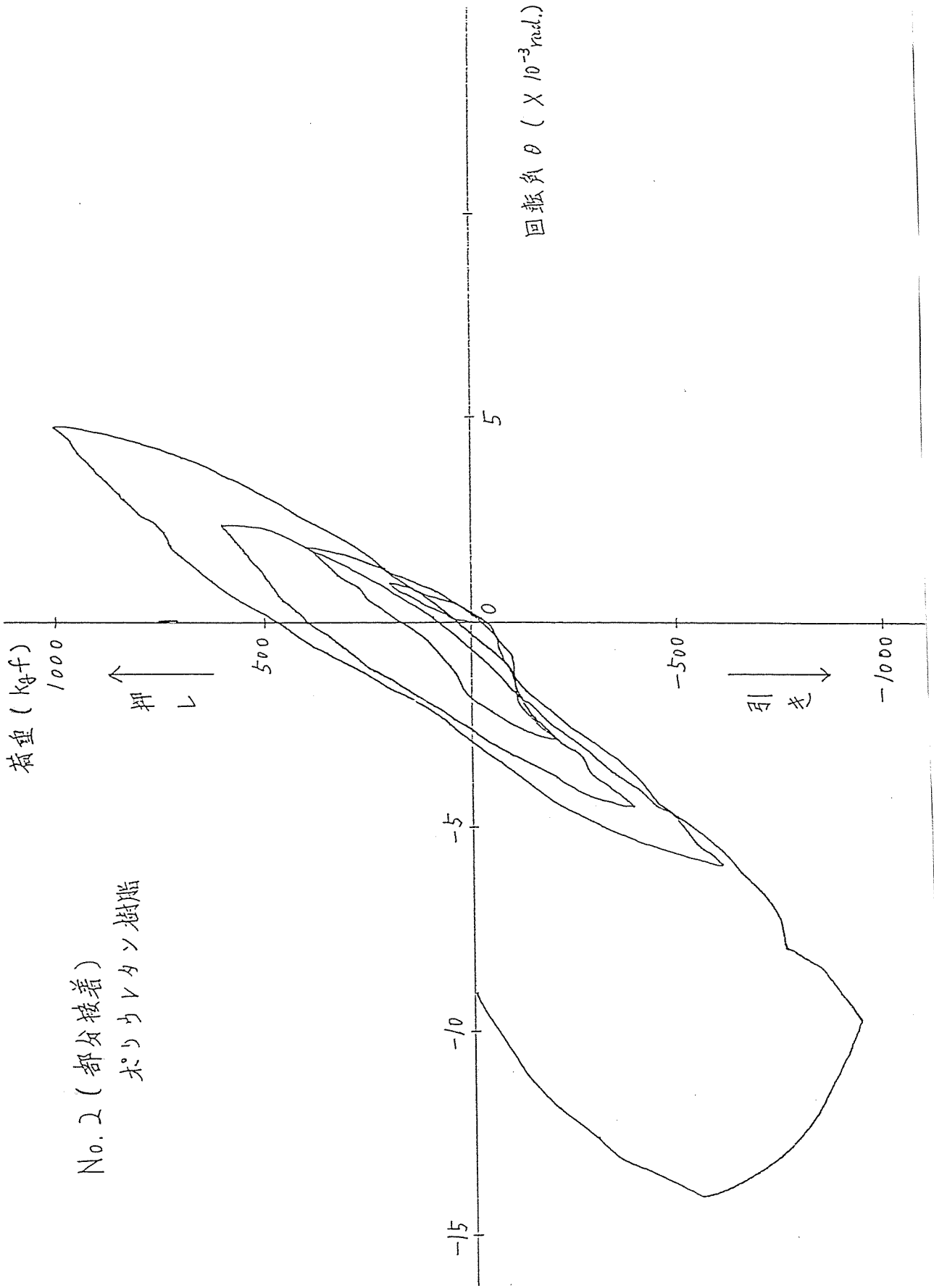


図15-1 荷重と浮き上がりによる回転角の θ の関係、No. 1 試験体



No. 2 (部分接着)
ポリウレタン樹脂

図15-2 荷重と浮き上がりによる回転角の θ の関係、No. 2 試験体

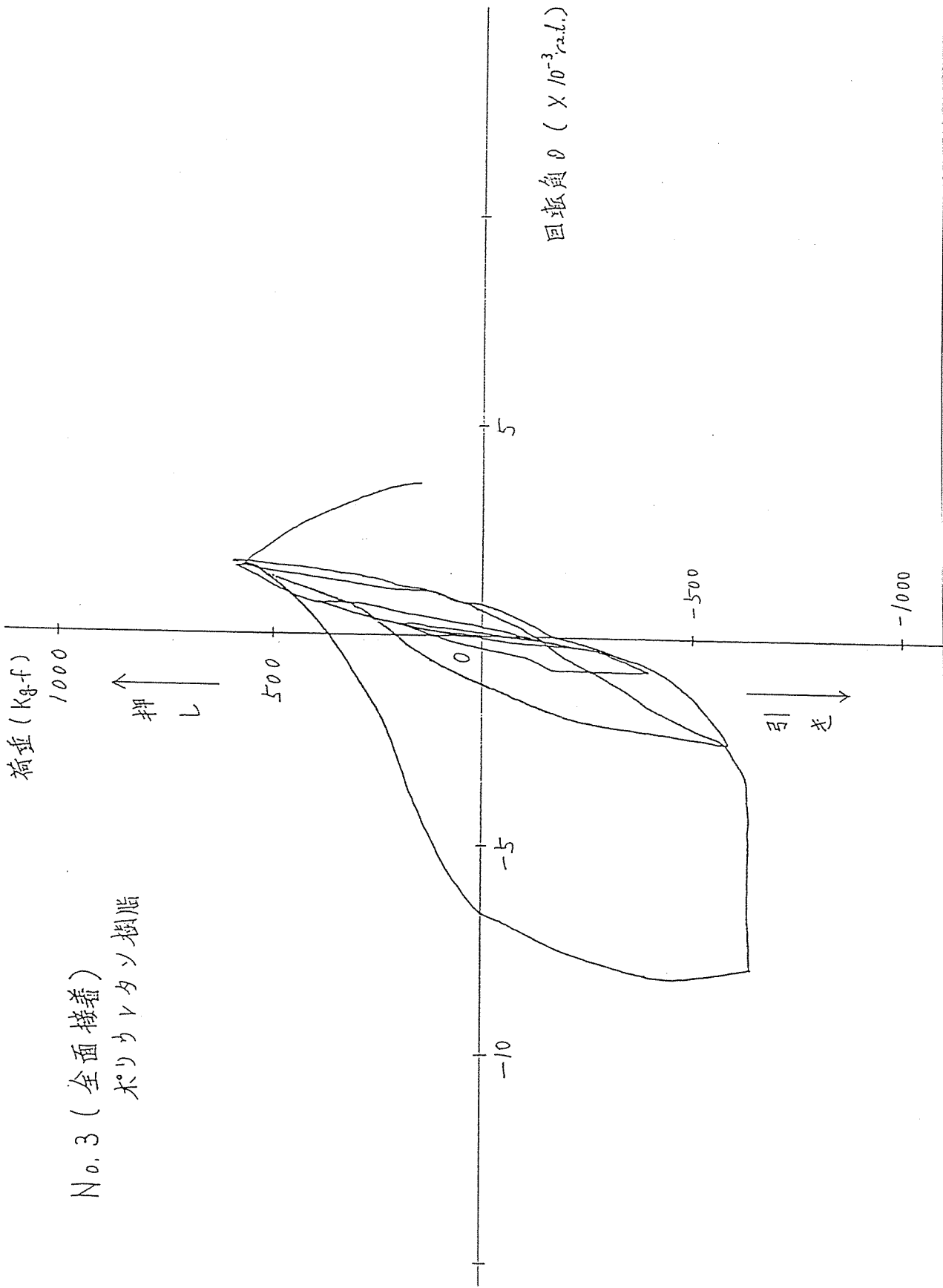


図15-3 荷重と浮き上がりによる回転角の θ の関係、No. 3 試験体

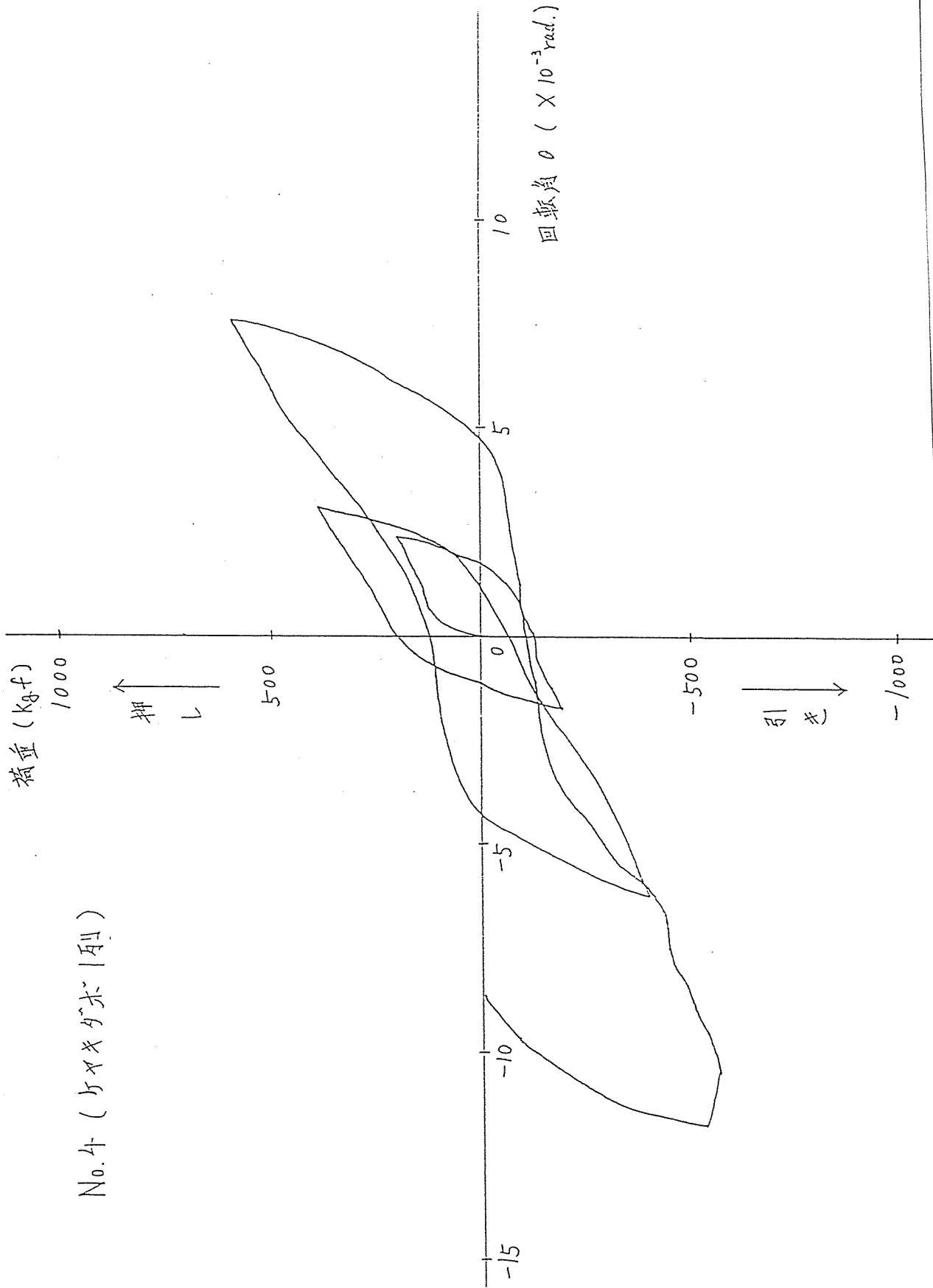


図15-4 荷重と浮き上がりによる回転角の θ の関係、No. 4 試験体

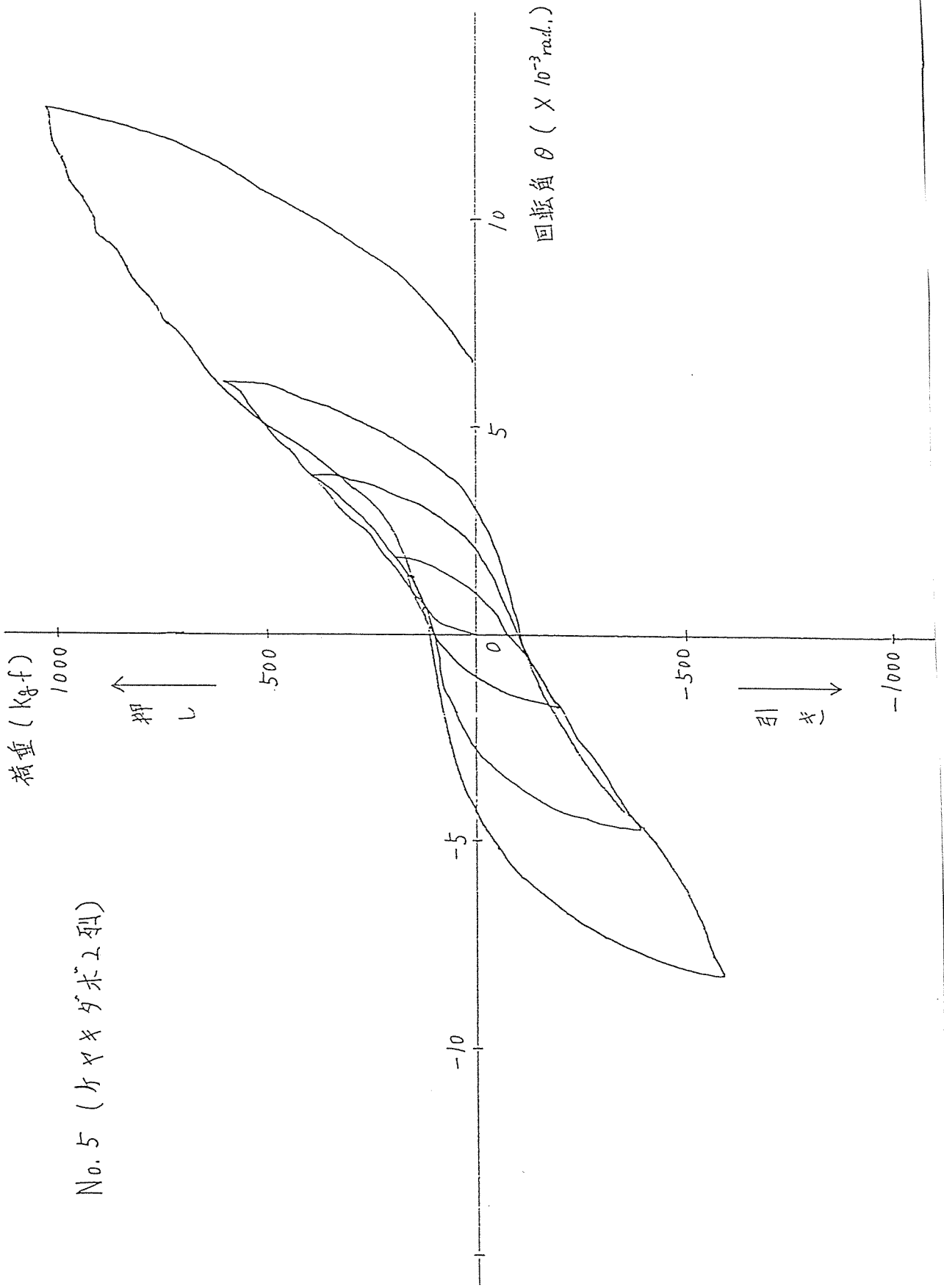


図15-5 荷重と浮き上がりによる回転角の θ の関係、No. 5 試験体

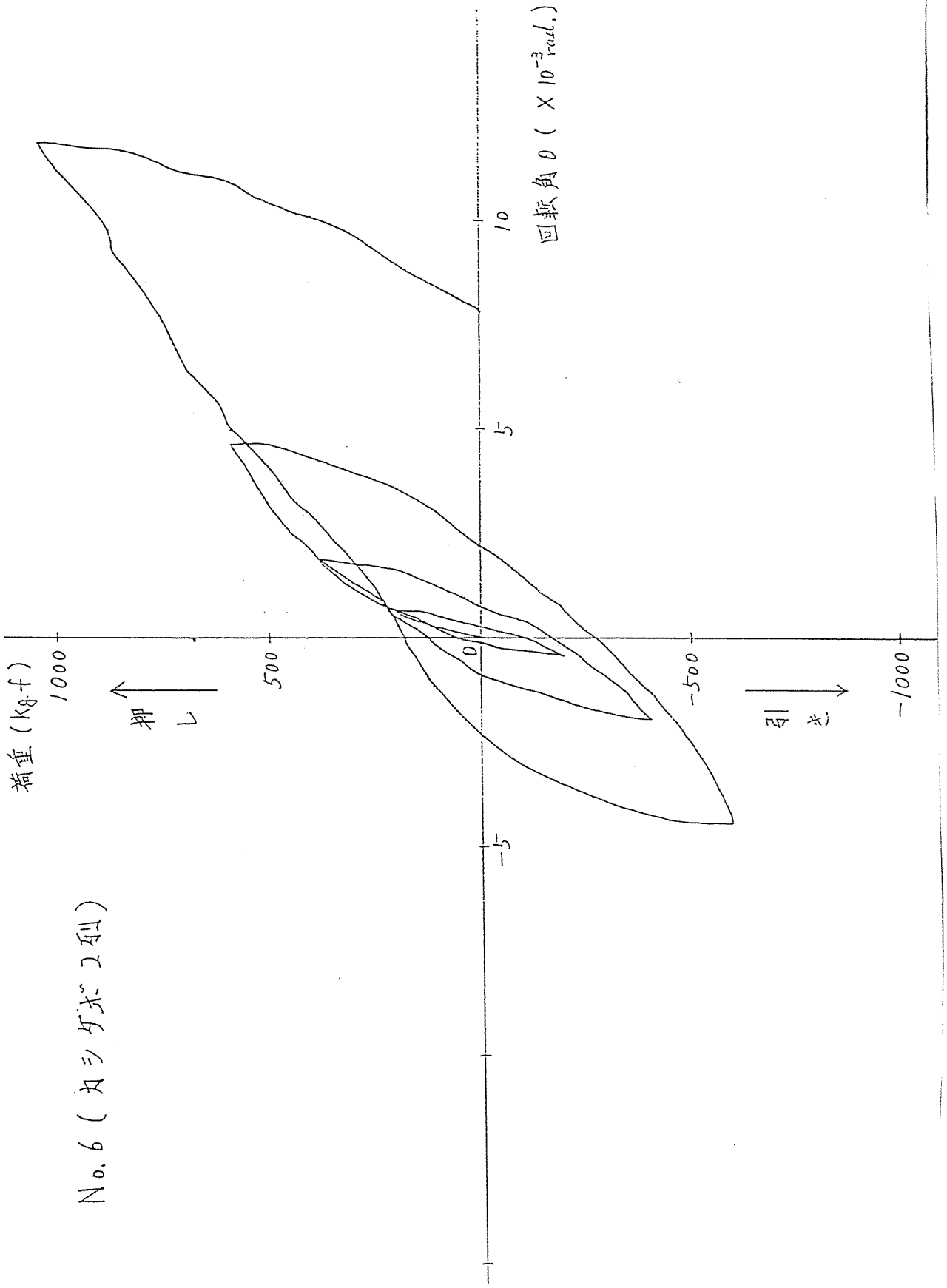


図15-6 荷重と浮き上がりによる回転角の θ の関係、No. 6 試験体

No. 7 (鉄類すじがこ)

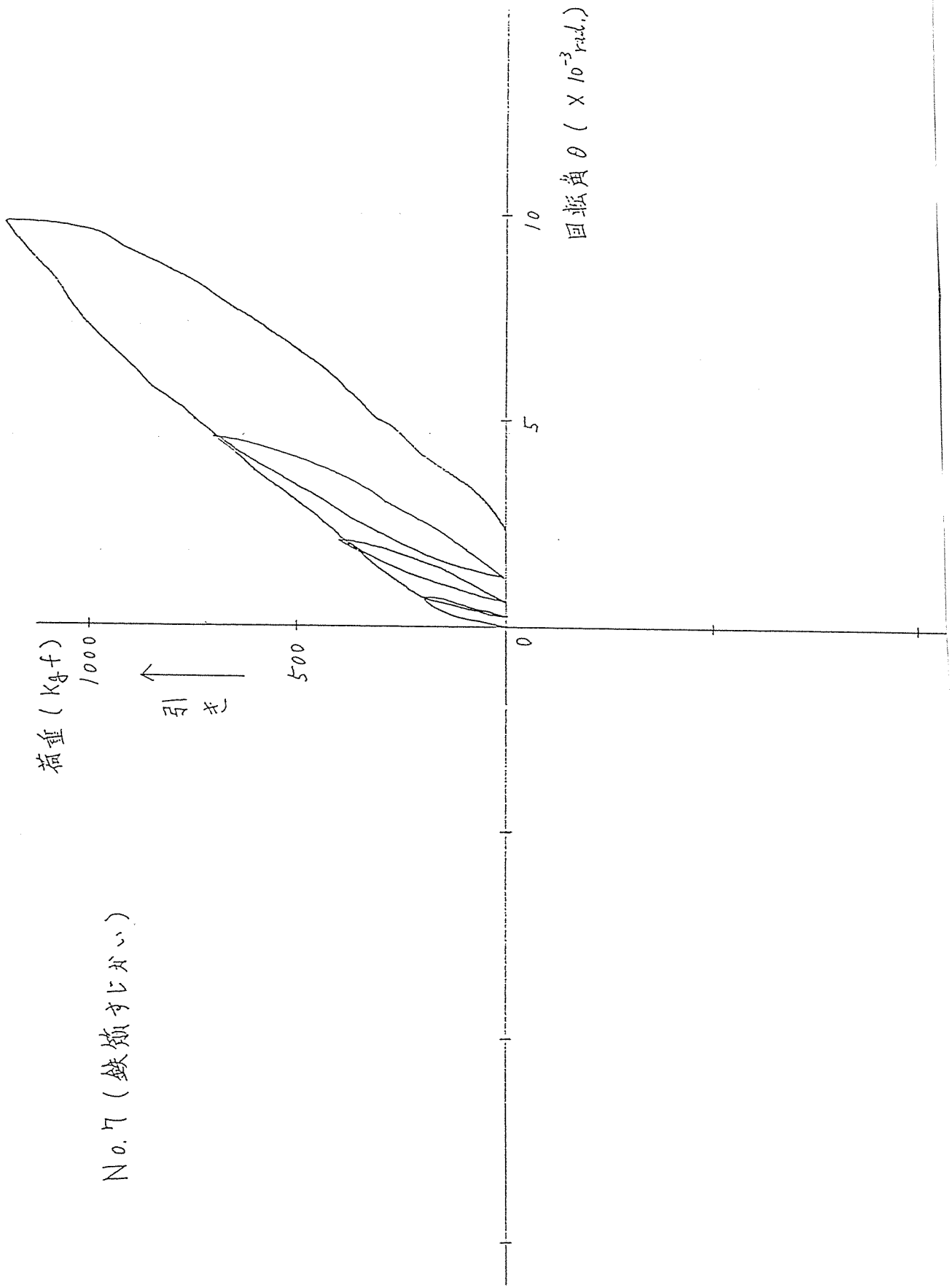


図15-7 荷重と浮き上がりによる回転角の θ の関係、No. 7 試験体

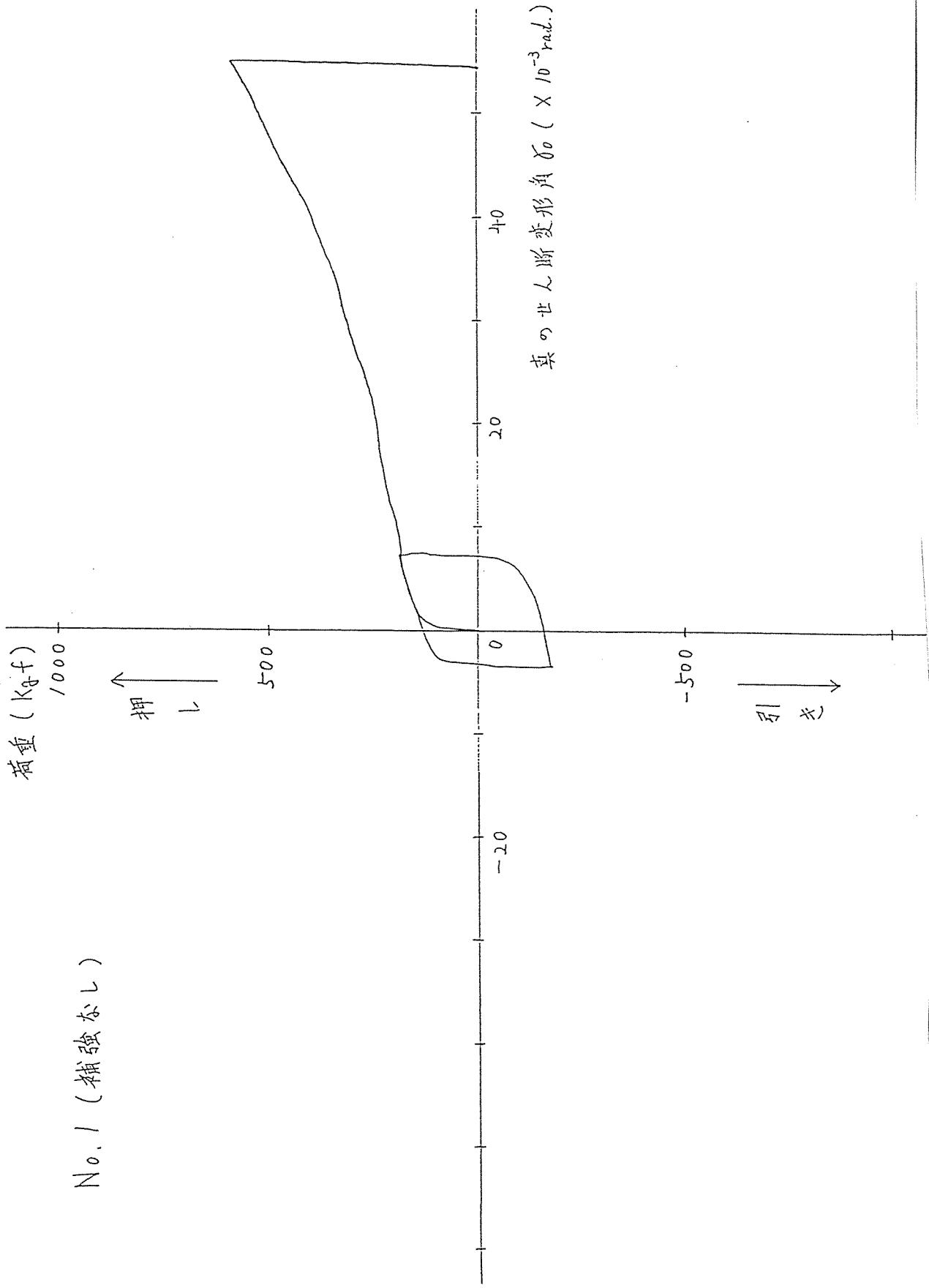


図16-1 荷重と真のせん断変形角 γ の関係、No. 1 試験体

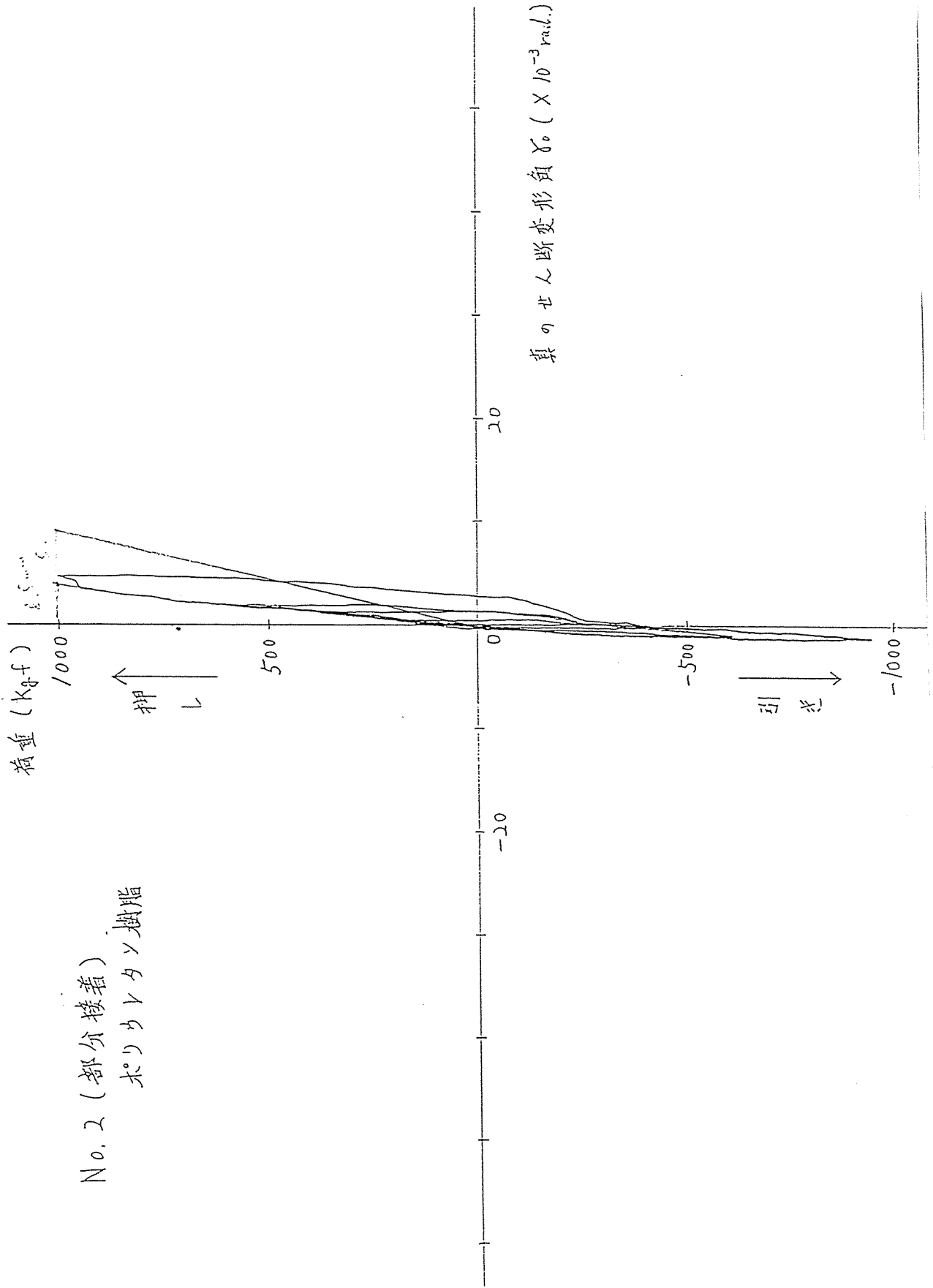


図16-2 荷重と真のせん断変形角 γ_0 の関係、No. 2 試験体

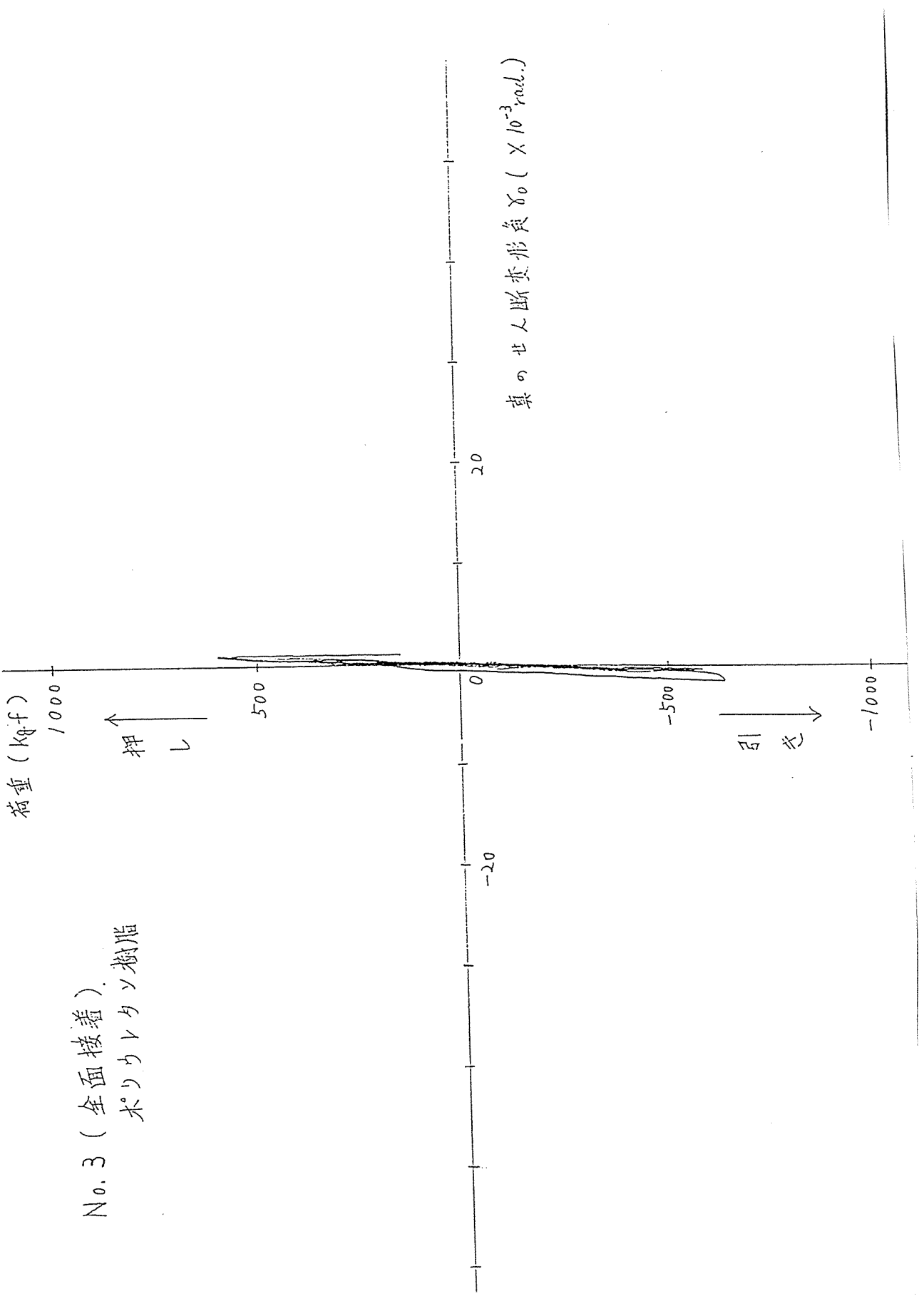
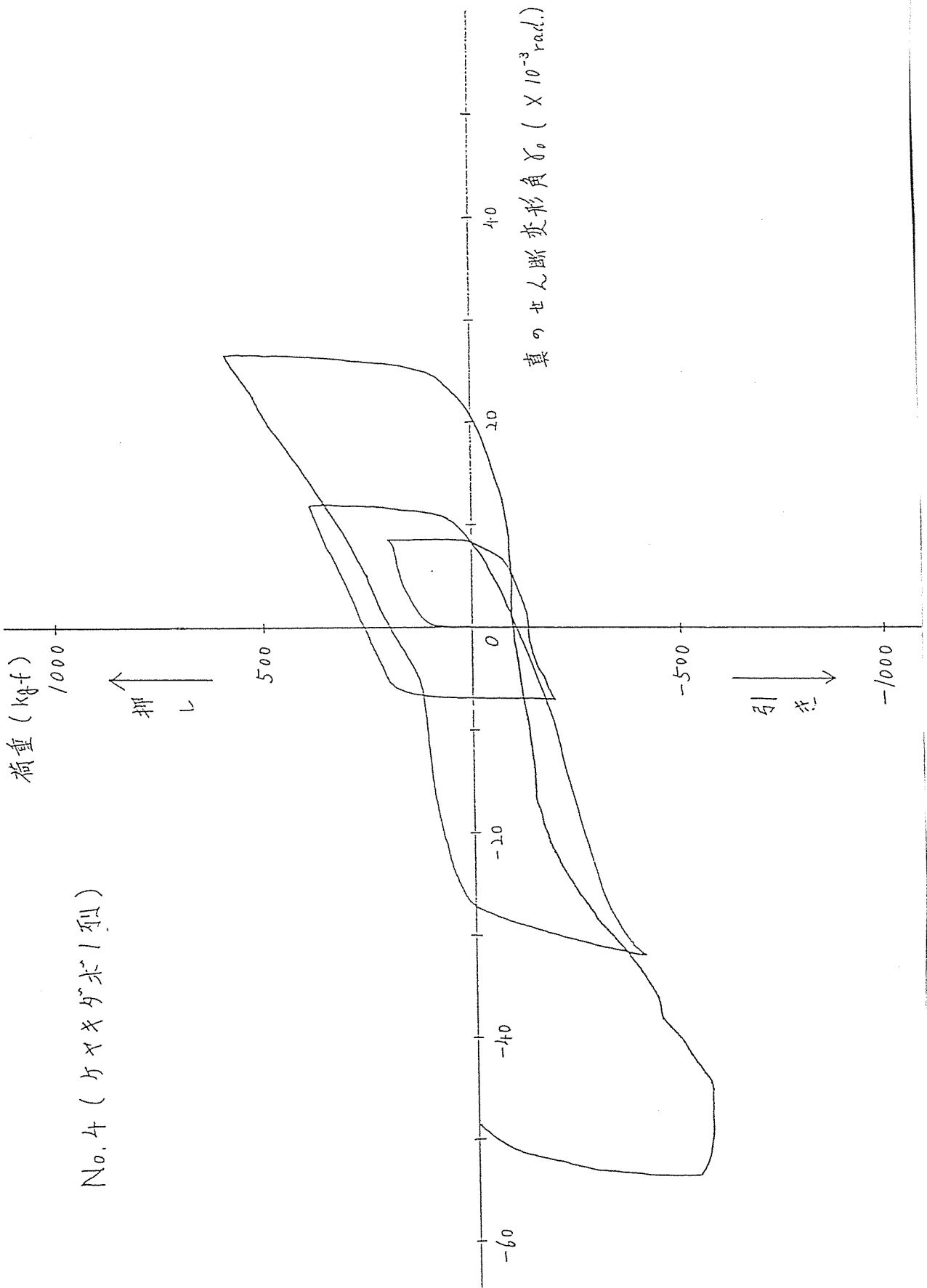


図16-3 荷重と真のせん断変形角 γ の関係、No. 3 試験体



No. 4 (ケヤキダボ1型)

No. 5 (ケヤキがボロボロ)

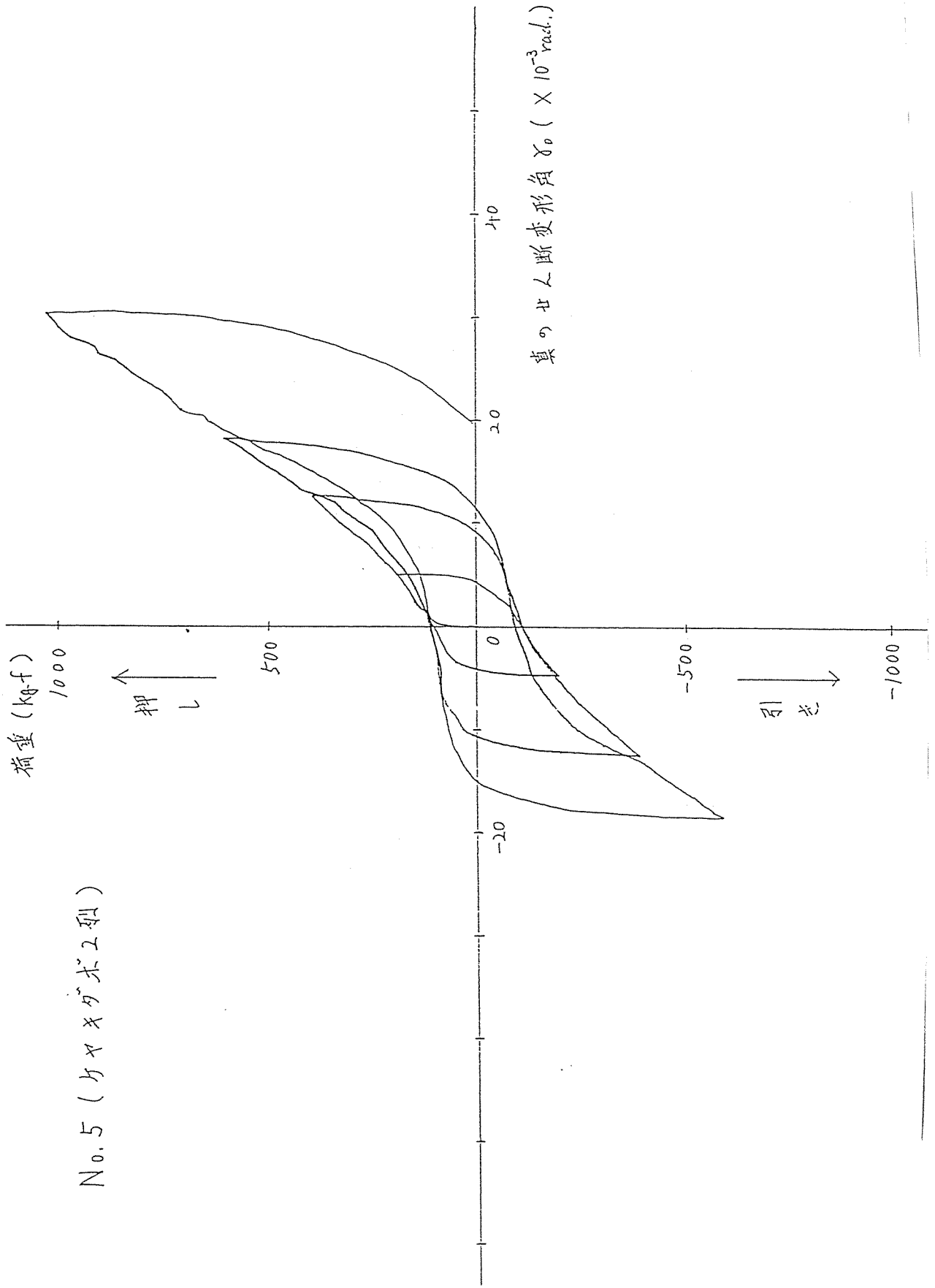
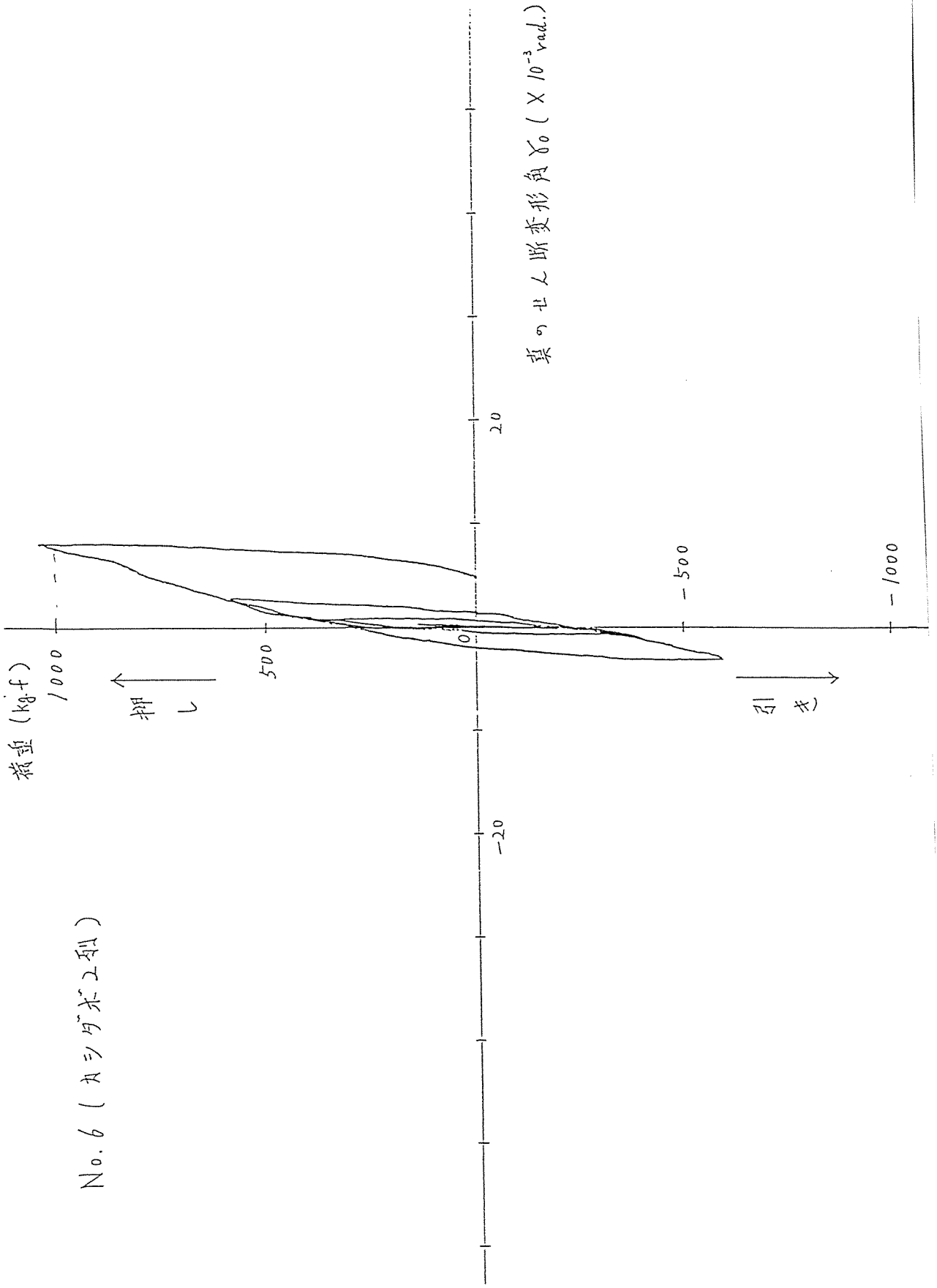


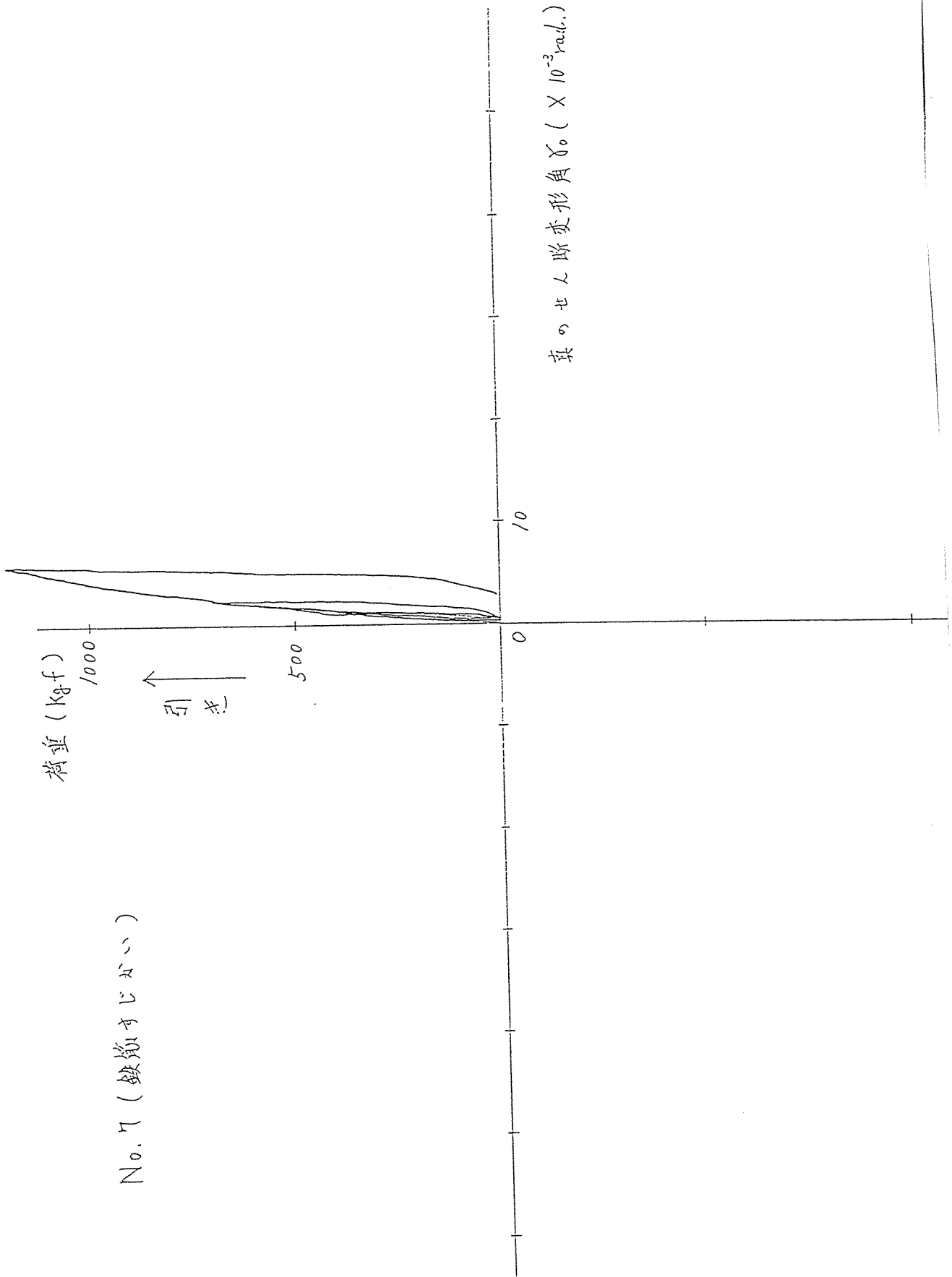
図16-5 荷重と真のせん断変形角 γ_0 の関係、No. 5 試験体



No. 6 (カシダゴボユ型)

図16-6 荷重と莫のせん断変形角 γ_0 の関係、No. 6 試験体

No. 7 (鉄筋すじがい)



3.3 水平せん断剛性に及ぼすダボの効果

ダボによって補強を施した試験体について、壁体の水平せん断剛性に及ぼすダボの効果を検討してみた。

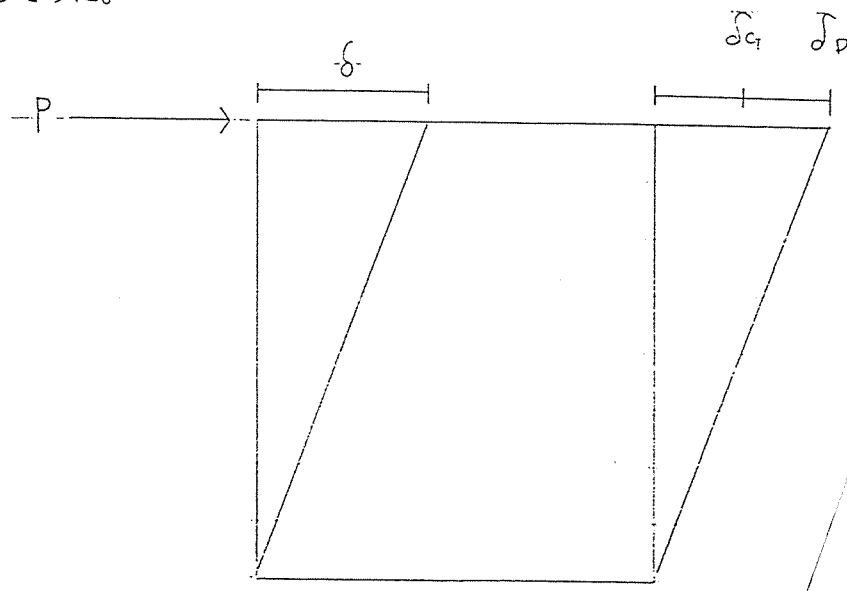


図18からNo.5ゲージはNo.1とNo.2ゲージの和の約 $\frac{1}{2}$ になっている。すなわち柱はほとんど曲げ変形をしていないと考えてよい。従って、水平力Pを受けた時のせん断変形量 δ は、

$$\delta = \delta_g + \delta_D$$

と表すことができる。

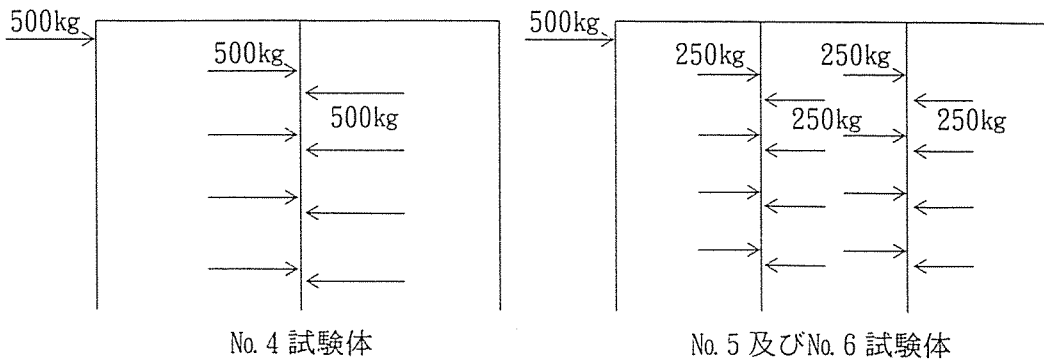
ここで、

δ_g : 接着パネルの真のせん断変形量 (スギ横張り材間以外の接合部のゆるみによる変形と曲げ変形を含む)。

δ_D : スギ横張り材を貫通しているダボ接合部のスリップ

接着パネルではスギ横材間のすべりは無視できるので、 δ_g はこの壁体の持つ基本的なせん断変形と考えることができる。

δ_D はダボの2面せん断試験の結果(図19)を用いる。壁の水平せん断試験でスギ横材間のスリップを測定した結果(図17)、ゲージ6~9の荷重とスリップ量の関係は、ほぼ同じと考えることができる。すなわち、頂部の桁にかけた水平力は、スギ横材に均等にかかっている。このことから、例えば $P = 500\text{kg}$ をかけた時、No.4試験体のダボには一節点当り、 500kg の力がかかり、No.5およびNo.6試験体のダボには一節点当り、 250kg の力がかかることになる。



ここで、No. 6 試験体について試算をしてみる。

水平せん断試験によって、 $P = 500\text{kg}$ の時の回転を引いたせん断変形量 δ は図16-6より、

$$\delta = 2.4 \times 10^{-3} \times 2700 = 6.48(\text{mm})$$

真のせん断変形 δ_s は、全面接着パネルの真のせん断変形(図16-3)より、

$$\delta_s = 0.5 \times 10^{-3} \times 2700 = 1.35(\text{mm})$$

試験体には、2本の通しダボがあるから、1本当たり250kgの力がかかる。ダボの2面せん断試験に用いた試験体には、2ヶ所の接合部があり、共に250kgの力を受けるには、500kgの加力が必要である。よって、500kgの時のダボの2面せん断試験のスリップ(図19)は、3体の平均から、

$$(0.17 + 0.28 + 0.38) \div 3 = 0.28(\text{mm})$$

250kgの力がいずれのダボにも均等にかかると考えられるので、24の接合部があるからダボのスリップ δ_{sL} は、

$$\delta_{sL} = 0.28 \times 24 = 6.72(\text{mm})$$

$$\therefore \delta_s + \delta_{sL} = 1.35 + 6.72 = 8.07(\text{mm})$$

計算値の方が実験値より24%大きな値になっている。これは、ダボの2面せん断試験では、ダボの両端が自由端になっているが、実際にはダボは左右にさらに連続しているため、 δ_{sL} がやや大きめに出たためと考えられる。

この結果、ダボで補強した壁体の水平変位量は、接着パネル試験とダボの2面せん断試験を行えば推定できることが判明した。また、その推定値は実験値よりやや大きいので、安全側である。

No. 1 (補強なし)

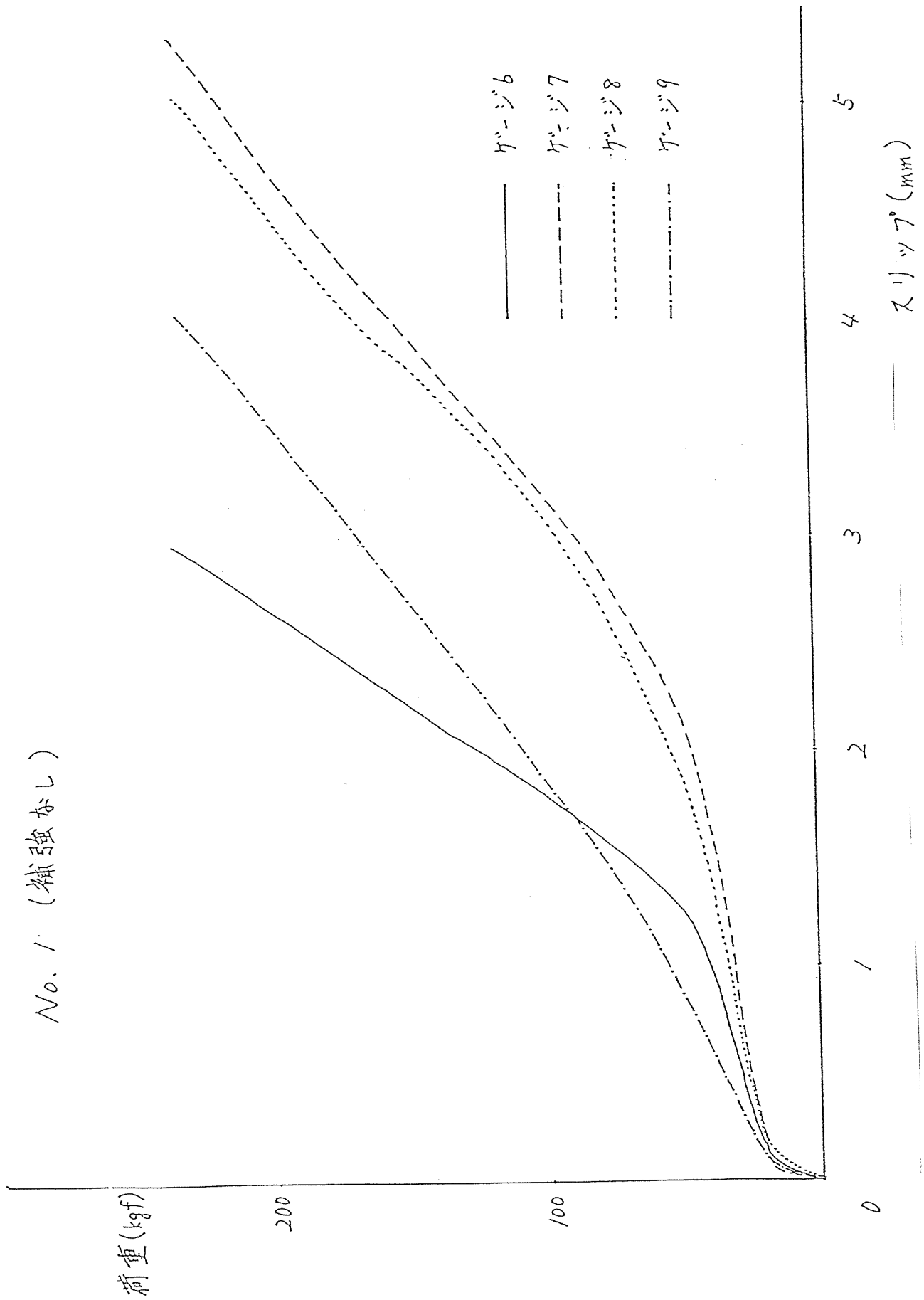


図17-1 荷重とスギ横材間のスリップの関係、No. 1 試験体

No. 4 (ケヤキダボ1型)



図17-2 荷重とスギ横材間のスリップの関係、No. 4 試験体

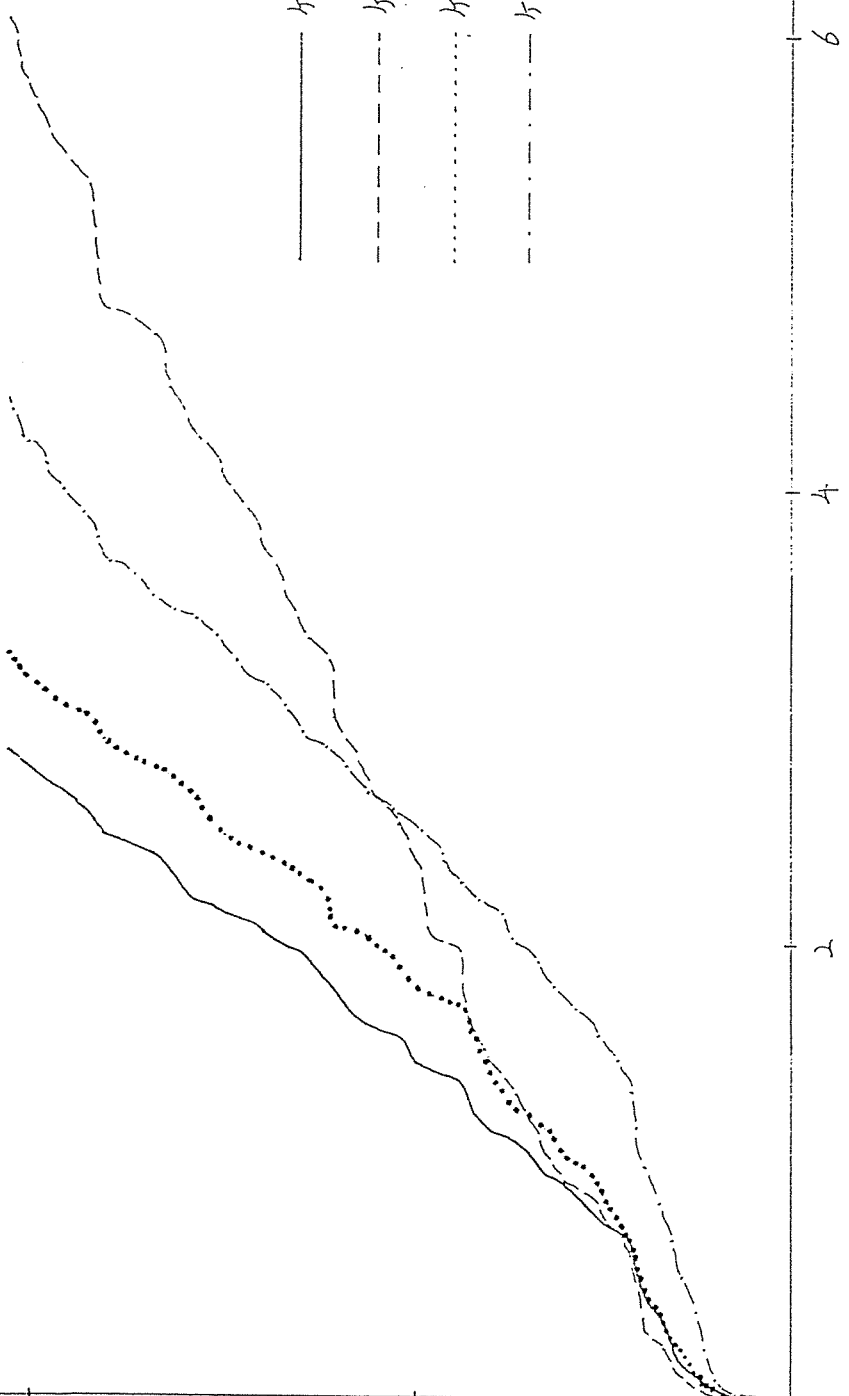
No.5 (ケヤキダボ2利)

荷重 (kgf)

1000

500

0



スリップ (mm)

図17-3 荷重とスギ横材間のスリップの関係、No.5試験体

No. 6 (カシダボコ型)

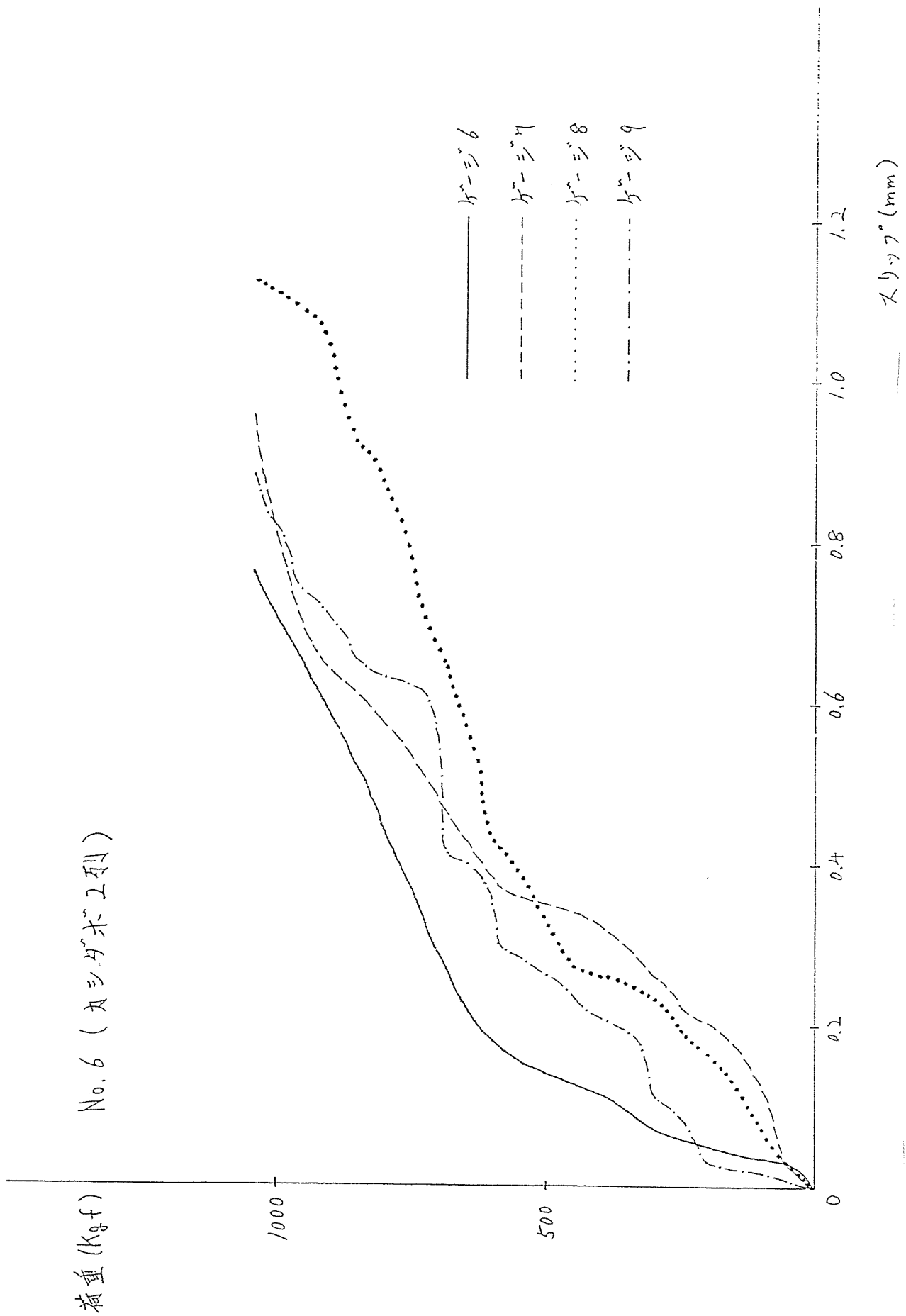


図17-4 荷重とスギ横材間のスリップの関係、No. 6 試験体

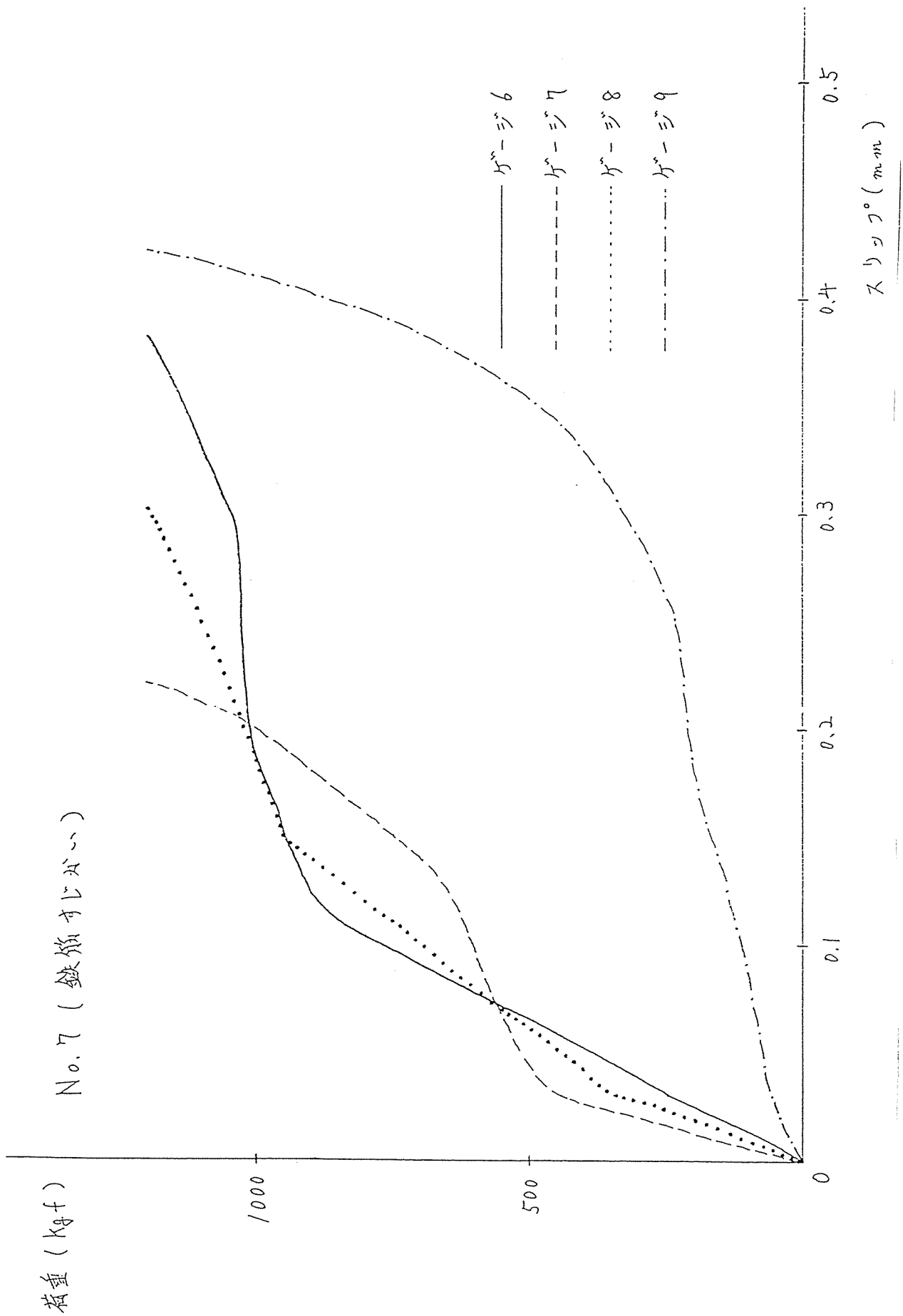


図17-5 荷重とスギ横材間のスリップの関係、No. 7 試験体

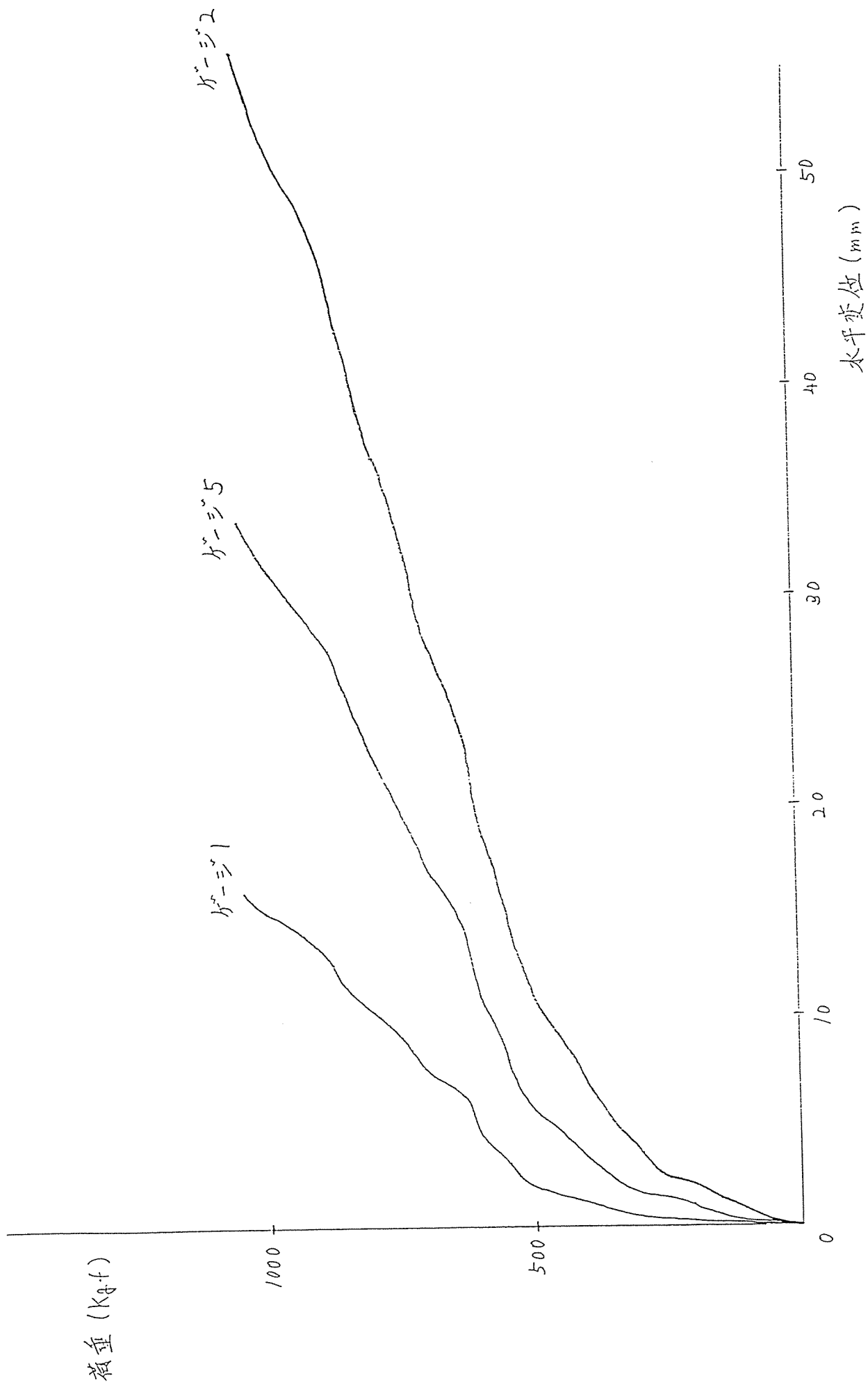
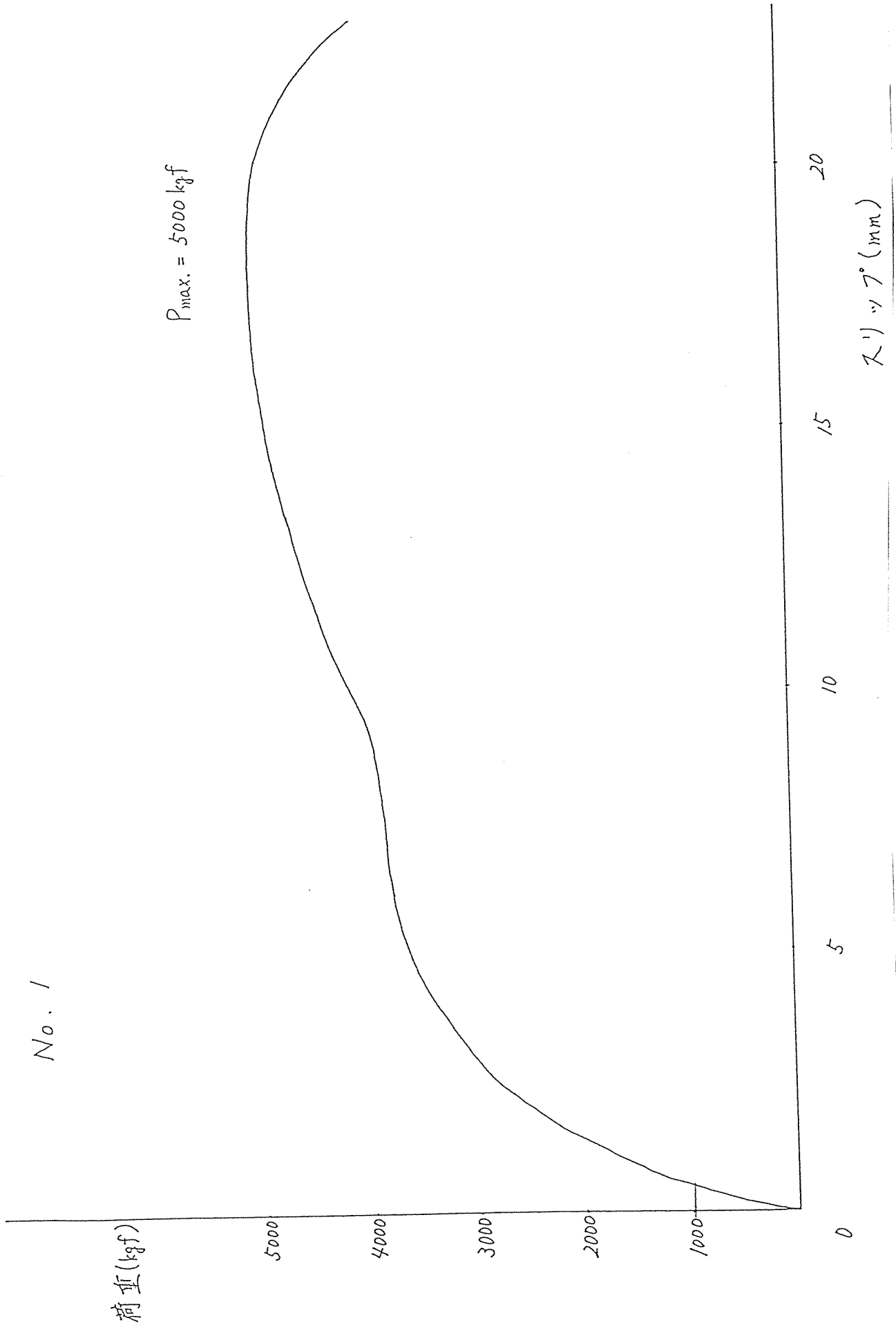


図18 荷重と柱の水平変位の関係、No. 6 試験体

No. 1



No. 2

荷重 (kgf)

$P_{max.} = 4460 \text{ kgf}$

5000

4000

3000

2000

1000

0

5

10

15

20

スリップ (mm)

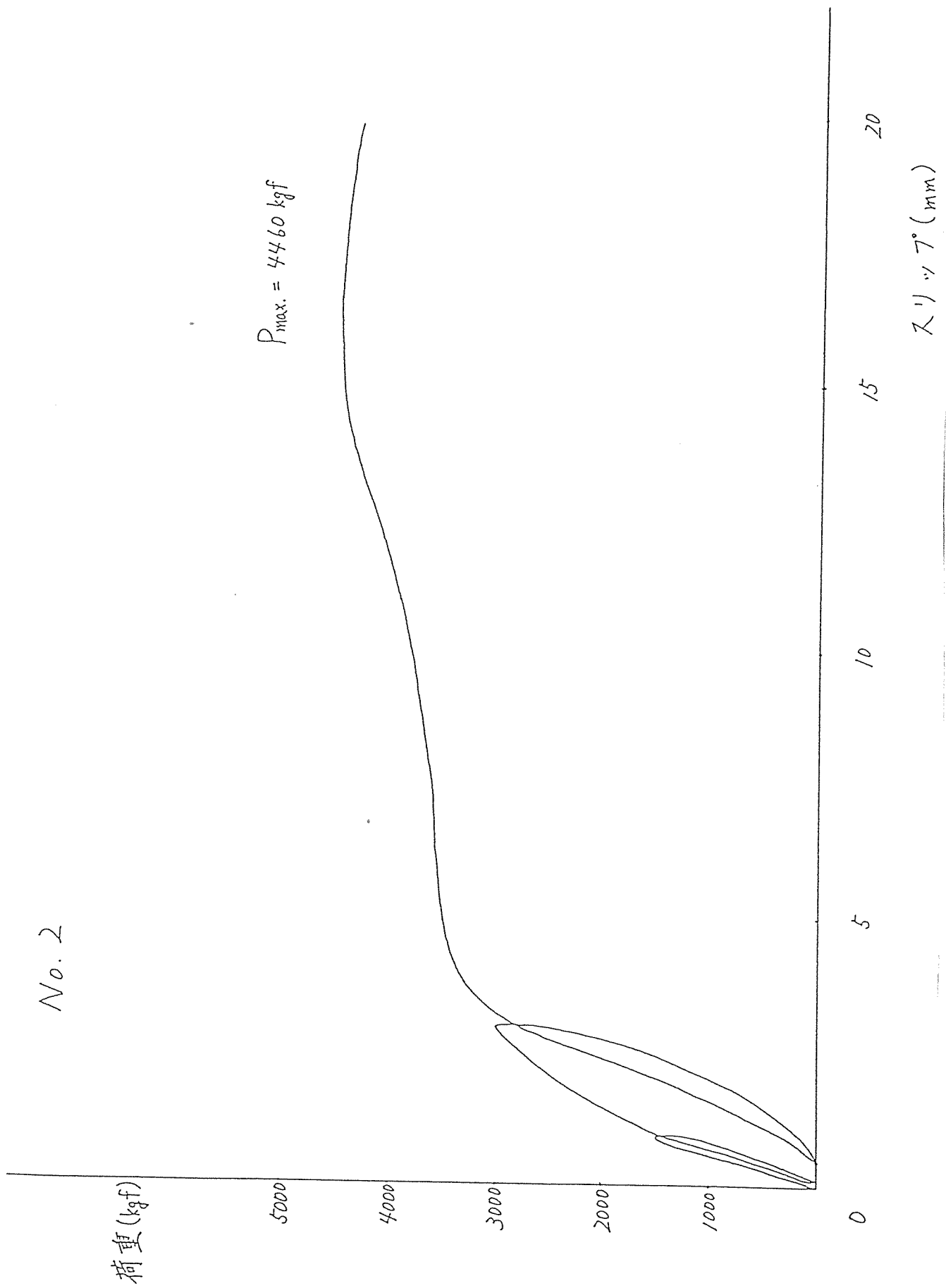


図19-2 ダボの2面せん断試験の荷重とスリップの関係、その2

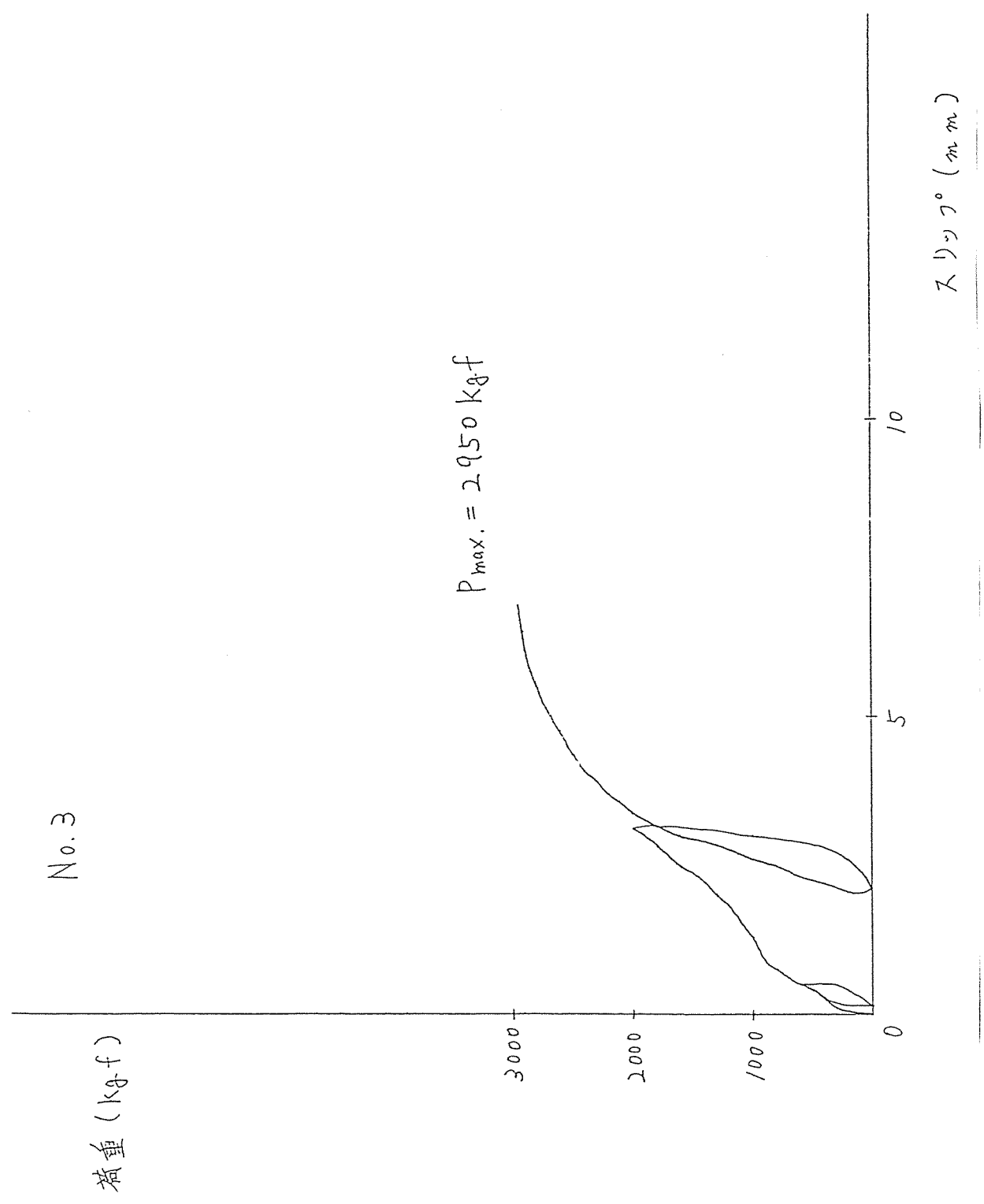


図19-3 ダボの2面せん断試験の荷重とスリップの関係、その3

3.4 鉄筋すじかいにかかる力

ゲージを鉄筋に付け、鉄筋の伸びを測定することによって、鉄筋にかかる力を算定した。算式は、鉄筋にかかる力を P_s 、鉄筋の伸びを α マイクロストレイン、鉄筋のヤング係数を $2100000\text{kg}/\text{cm}^2$ とすると、

$$P_s = \alpha \times 210000 \times \pi \times 0.6^2$$

である。これと水平加力荷重の関係を図20に示した。この図を見ると、傾き 45° の直線になっていることから、ジャッキで加えた力がそのまま鉄筋に流れていることがわかる。

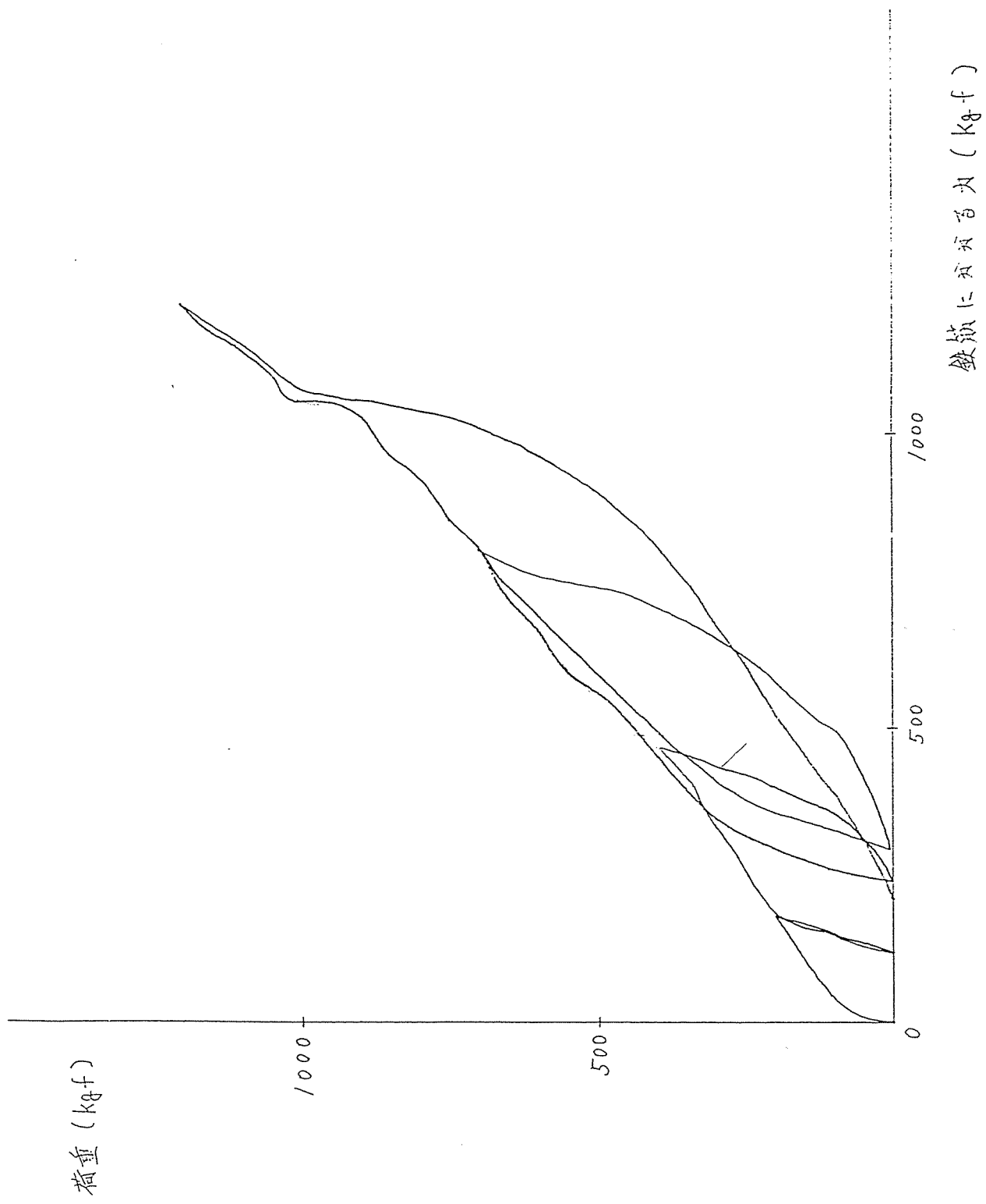


図20 荷重と鉄筋にかかる力の関係、No. 7 試験体

4. 結論

- (1) ダボで補強すると壁倍率約2が得られる。しかし、かん合度に注意しないと、ダボの効果が現れず、補強なしの壁体と強度があまり違わなくなってしまう。
- (2) 接着で補強する場合、部分接着にしても強度は低下しないので（壁倍率約3）、施工性、経済性を考えると部分接着で十分である。
- (3) 角ナットを利用した鉄筋すじかいは壁倍率 2.5が得られ、しかも鉄筋が厚い木材で保護されるので、防火上、また美観上も優れている。
- (4) ダボで補強した壁体のせん断変形は、接着パネルのせん断変形と、スギ横材間のスリップの和として推定が可能である。
- (5) 国産小径木を利用した壁体を強度、施工性の面からも総合評価すると、鉄筋すじかい（角ナット使用）が最も優れている。

第3章 スギ間伐小径木の高強度継手の引張強度

1. はじめに

現在の森林は戦時中の乱伐の後始末状態で、天然林を伐採利用してその収入の一部を再生産にあてるというものでなく、植林してから換金までに長い年月を必要とし造林にもその後の手入れにも特別な金融措置が必要であるという。また、山村の過疎にともなう木材生産における労働力の不足、外材輸入の圧力などの多くの問題点を抱えている。

しかし、都市化や工業化により林地を奪われてゆくことに耐えながら、戦後の拡大造林は着実に進められ、人工造林地は世界でも稀な900万㌦まで達している。しかし、まだその大部分が伐期に達しているわけではなく若い林のストックが大部分である。この若年人工林が現在直面している大きな問題が間伐材の利用である。林は生長して混んでくると適当に切りすかして光を林内に入れ、生長を促進する操作をくりかえさなければならない。このとき伐採される木が間伐材である。間伐小径材の需要が減少した現在では間伐を実行しない放置林が増え主伐木の材質にも悪影響を与えようとしている。

本編の研究は、昨年度の研究に引き続き将来の木材生産を確保するための急務となっている間伐材の利用拡大を意図し間伐材で長尺材を得るために、建築学会基準にとらわれず従来継手の断面欠損を生じるという問題点を解消し全強を目標とした高強度接合構法を考案し、引張試験を実施し、その結果から破壊性状、変形、及び剛性等の力学的性状について検討を加えたものである。

2. 試験体

高強度継手の試験体には、間伐材タイプと鉄筋タイプとの二つのタイプがある。

間伐材タイプの試験体は、90×90杉間伐材を母材とし側材を用いず母材を接合した型のものと母材を側材で挟み込み接合した型のものである。

側材無し試験体には母材カット方法の違いにより以下に述べる5種類がある。母材を繊維方向に垂直にカットし接着した接着接合。

母材をVカットしそのカット方法の違いによる4種類の接着接合。

側材あり試験体には以下に述べる5種類がある。

母材を繊維方向に垂直にカットし側材（唐松材）の大小2種類に分けて、母材を側材で挟み接着した接着接合の2種類。

母材をVにカットし母材を側材（唐松材）で挟み接着した接着接合。

母材を繊維方向に垂直にカットし側材（唐松材）をボルトで接合した型と側材に鉄板を用いてボルト（M12）で接合したボルト接合の2種類。

以上計10種類の試験体に接合無しの母材杉の試験体を加えた計11種類で

ある。

尚、試験体詳細は図 2. 1 を参照

鉄筋タイプの試験体は、 $100 \times 50 \times 1000$ 杉材と米桐材を図のように加工しそれぞれの穴に接着剤（ウレタン樹脂接着剤）を注入し鉄筋（磨き棒鋼）をそれぞれの定着長をもって埋め込み鉄筋と母材のみを接着したものである。

試験体の種類は母材は杉とべいつがであり、鉄筋の直径 $\phi 9$, $\phi 13$, $\phi 16$ の 3 種類の合計 6 種類である。また、挿入長さは全試験体とも $20d$ とした。

尚、試験体詳細は図 2. 1 を参照

3. 試験方法

加力方法は接着接合、鉄筋接合とも図 3. 1 に示すように試験体端部からの引張荷重とした。変位の測定は、試験体母材中心部（接合部）に変位計を図 3. 1 に示すように片面 1 個、合計 2 個を取り付けチャンネル 0, チャンネル 1 とし母材間の変位とした。

接着接合の歪度の測定は、図 3. 2 の示す位置にストレインゲージを貼付し測定を行った。

鉄筋接合の歪度の測定は、図 3. 3 の示す位置にストレインゲージを貼付し測定を行った。

各変位及び各歪度の測定には、多点デジタル歪計を用いた。

4. 試験結果

4.1 最大荷重及び最大荷重時の変位

各試験体の最大荷重及び最大荷重時の変位を表 4. 1. 1、表 4. 1. 2 にまとめた。また図 4. 1. 1、図 4. 1. 2 に最大荷重を棒グラフにまとめた。

<間伐材タイプ>

表 4. 1. 1、図 4. 1. 1 から A10, A11, A12, A13 と V カットの量が増えるほど最大荷重が増大していくことがわかる。そして A12, A13 は N00（接合部のないもの）にせまる値であり、試験体によっては接合部のあるもののほうが最大荷重の高いものもある。またせいと V カットの比が 1:0 と 1:1, 1:1 と 1:2 の最大荷重の差は 1:2 と 1:3 の差に比べるとかなり大きく、カット量を 1:0 から 1:2 ぐらいまで増やしていくことによる効果は大きいと断言できよう。しかし、ばらつき具合を考えると、A10 が最もまとまっていて、A13 には A12 とほぼ同等の最大荷重しかでない試験体もある。このことは N00 の試験体がかんりのバラツキを示しており、材そのものの強度にバラツキがあるので予測の範囲内であろう。

また特殊なカットを施した A1 は、カット量は A12 と同じではあるが、強度的

にはA12より少し低い。

AS10, AL10はA10に側板（カラマツ製）を付けたものであるが、側板の大きさによる違いと、大きめの側板を付けることによる補強効果ははっきりと最大荷重にでることがわかる。しかし A12に側板を付けたAL12はAIと同等である。母材どうしがしっかりと接合されている場合には側板はむしろ邪魔になることもあるということがわかる。

一方最大荷重時の変位についてみると、これはどの試験体もほぼ同じでありN00とも同程度といえる。ただしVカット量が増えるほど最大荷重時の変位も増大する傾向にあるといえる。

ボルト接合の試験体については、BP10およびBL10は最大荷重に付いてはほぼ同等、多少BP10が高いといった程度で、最大荷重時の変位については、BL10の変形が大きいといえる。

<鉄筋タイプ>

表4. 1. 2、図4. 1. 2を見ると母材樹種の違いによる最大荷重の差はないといえる。しかし鉄筋径 $\phi 9$ の最大荷重は他の二種（ $\phi 13$ と $\phi 16$ ）に比べ、多少低いように思われる。

最大荷重時の変位については、どの試験体もほぼ同程度である。

4.2 破壊性状

各試験体の破壊性状を表4. 1. 1、表4. 1. 2にまとめた。

<間伐材タイプ>

A10については、木口の接着面から破壊しているが、母材自体には破壊は及んではない。

A11, A12は接着面の破壊だけにとどまらず、試験体によっては接着面の母材破壊を起こしている試験体が多い。

A13になると接着面、接着部の母材破壊の他に接着部以外の母材の破壊を起こしている。これらの試験体では、節等の条件によっては、接合部の強度が母材の強度を上回ることも有り得るといえる。またAIでは主に接合部での母材が破壊している。AS10, AL10とも母材自体はA10と同様、木口の接着面で破壊しているが、側材か側材との接着面の母材が破壊している。

ボルトを用いた試験体ではプレートを側材とするタイプの破壊は、BP10-3を除き、片側の母材の4つのボルト穴において、片方の繊維方向の母材のボルト穴間の抜けを生じ、その先に割れを生じた。そしてそれは、どの試験体にも一ヶ所のみ破壊を生じた。尚、プレートの損傷はみられなかった。

べいつがを側材とするタイプの破壊は、BL10-2を除き、片側の母材の4つのボルト穴において、片方の繊維方向の2つのボルト穴の間に、BL10-5は母材のボル

ト穴間の抜けを生じ、その他はBP10と違って母材のボルト穴間の割れを生じた。そしてそれは、どの試験体にも一ヶ所にのみ破壊を生じた。

また側材には、BL10-3、BL10-5に片方の繊維方向の2つのボルト穴の間に抜けを生じた以外は、ほとんど割れによる破壊であった。

なお、母材が破壊した試験体については破壊性状をスケッチにし、図4. 2. 1とした。

<鉄筋タイプ>

鉄筋タイプの破壊のほとんどは鉄筋の抜けによる破壊であるが、米桐を母材とし、直径 ϕ 13の鉄筋二本を使用して接合するSH13だけは接合部以外の母材は破断している。

母材の材質に関係なく ϕ 16のSC16、SH16は母材隅角部を破壊して鉄筋が引き抜けている。

なお、母材が破壊した試験体については破壊性状をスケッチにし、図4. 2. 2とした。

4.3 各変位段階における荷重

<間伐材タイプ>

各変位段階における荷重を表4. 3. 1～3にまとめた。

A10、A11はほぼ同レベルの荷重が出ているといえる。A12、A13についても同様である。しかし、A12、A13はA10、A11に比べ、明らかに高い荷重が出ていることがわかる。このことは、母材のVカットの量が同変位時の荷重に差を生じさせるのではないかと思われる。しかし、A12とカット量が同じA1を見ると荷重ではA10と同レベルであることから、カット量が同じでも接着面積によっても荷重は変化することがわかる。

AS10、AL10はA10に側板を付けたものである。小ぶりの側板を付けたAS10はA10に比べ荷重は低めである。対して、大きい側板を付けたAL10はA12より高い値になっていて、0.1mm以下では最も大きな値を示す。

AL10は側板を付けないA10よりも高い荷重が出て側板が有効であることがわかるのだが、A12に大きい側板を付けたAL12は逆に荷重が落ちていて、側板によって必ずしも荷重が上がらないこともある。側板の大きさ、母材接合部の形状等で側板は有益にも有害にも成り得るといえる。

BP10、BL10はともにボルトによる接合であるが、0.1mm以下の変位では、荷重はほぼ同じである。しかし、BL10は0.1mmを超えたあたりから、荷重の増加の割合が上がるがBP10は3mmまでは荷重はそれほど上がらない。これは、鉄板の穴が大きめにあけてあったためであり、3mm位まですべりを生じていたものと思われる。3mmを越えるとBP10の荷重は急激に上昇し、最大荷重はBL10を越える。

<鉄筋タイプ>

各変位段階における荷重を表4. 3. 4にまとめた。

表より母材の材質にかかわらず $\phi 13$ の鉄筋を二本で接合したものが最も高い値である。母材の樹種による差はわずかながらあって、杉よりも米桐を母材とする試験体のほうが荷重が高い。また、杉を母材とする試験体は鉄筋径によって荷重に差がある($\phi 9$ の値が低い)が、米桐を母材とする試験体は比較的差がないように思われる。

4. 4 各試験体の剛性

実験値における荷重と変位の関係から、各試験体の引張剛性に相当する値(各試験体の実験結果の直線部分の傾き)を算出し、それを表4. 4. 1、表4. 4. 2にまとめた。

<間伐材タイプ>

表4. 4. 2からVカットによって若干ながら剛性が向上するといえるが、接合部なしのN00には及ばなかった。A10とA11ではA11のほうが剛性が低い、これはほぼ同等とみなしてよく、剛性について相対適に見ればVカットの効果は一応認められ、A12, A13程度あるとよいといえよう。A10に短い側板を付けたAS10の剛性はA10よりも低い。しかし、A12に長い側板を付けたAL12の剛性は上昇しており、同様に長い側板を設けたAL10に至ってはN00をも凌ぐ剛性を示している。

ボルトを用いたBP10, BL10は他の接着剤を用いたもののほぼ1/40程度の剛性しかない。

<鉄筋タイプ>

母材の材質にかかわらず $\phi 9$ の鉄筋を四本で接合したものが最も低い値であるが、 $\phi 13$ と $\phi 16$ の差は僅かである。母材の樹種による差はわずかながらあって、べいつがよりも杉を母材とする試験体のほうが剛性が高い。

5. 結論

接着剤を使用した試験体はVカット量を増やせば最大荷重、剛性とも高くなるといえる。しかし、カット量がある量を越えると最大荷重の上昇率は低下し、接着の作業が難しくなるというデメリットもでてくる。

また側板の付加による効果はVカットを施したものよりも、全く施さないもののほうが顕著にあらわれる。特に剛性における効果は目を見張るものがある。

ボルトを使用した試験体は側板の違いによる最大荷重及び剛性の違いは今回はほぼ無かった。

鉄筋タイプは母材樹種の違いによる最大荷重の差はなく、鉄筋径 $\phi 9$ を除けば最大荷重は他の二種（ $\phi 13$ と $\phi 16$ ）はほぼ同等といえ、そのときの変位も差はない。

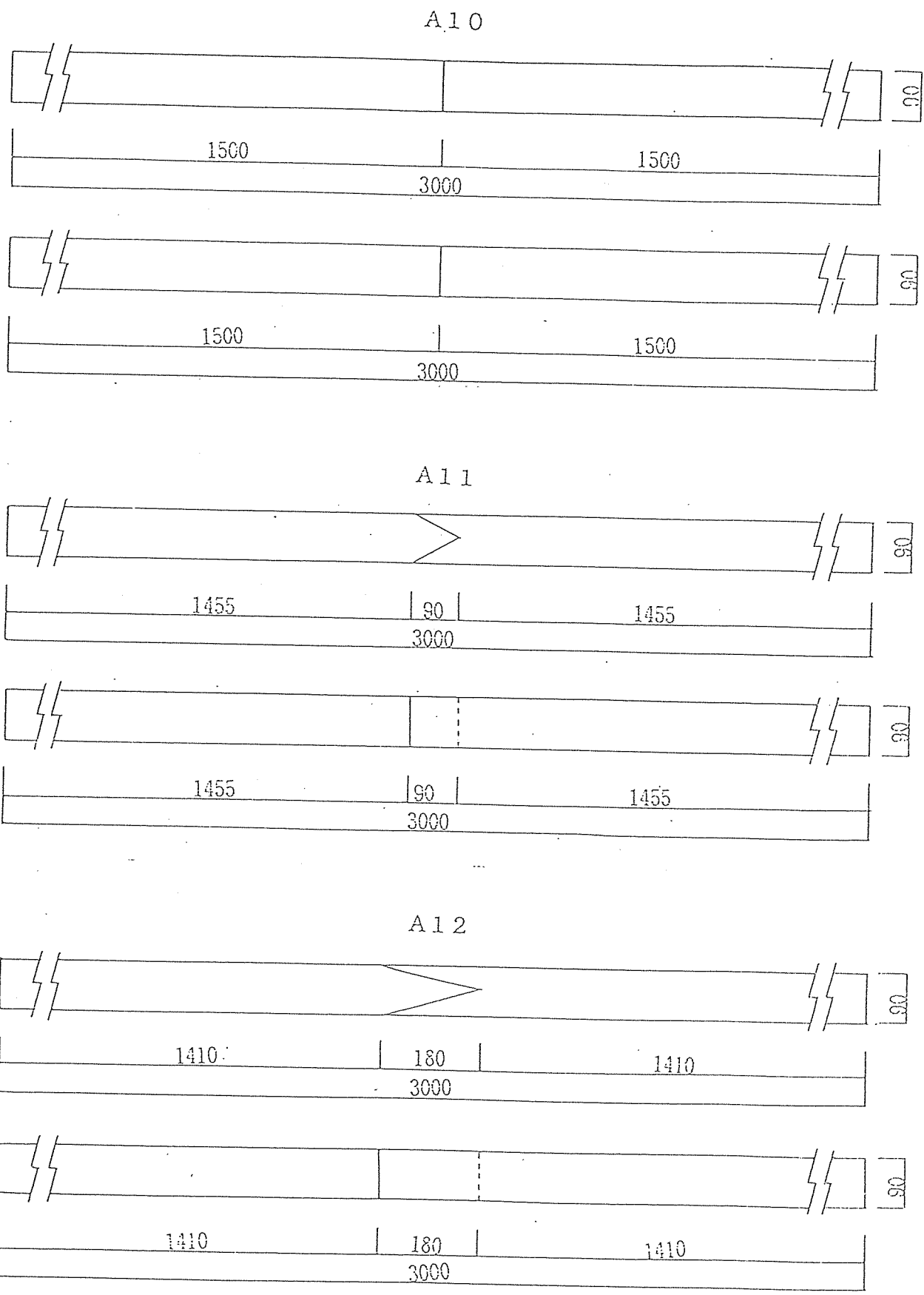
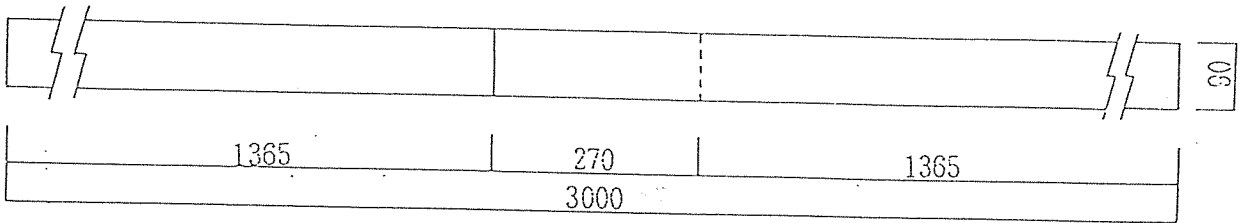
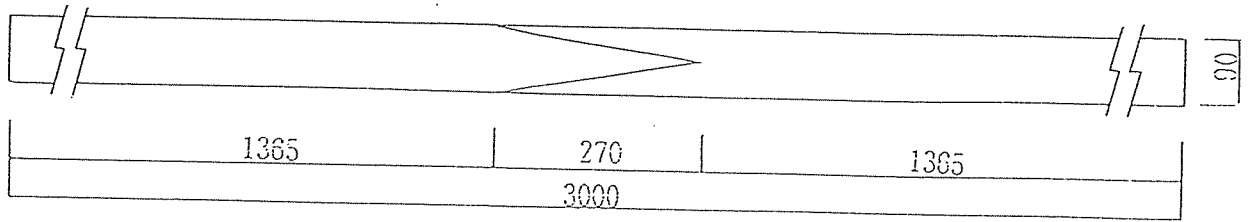
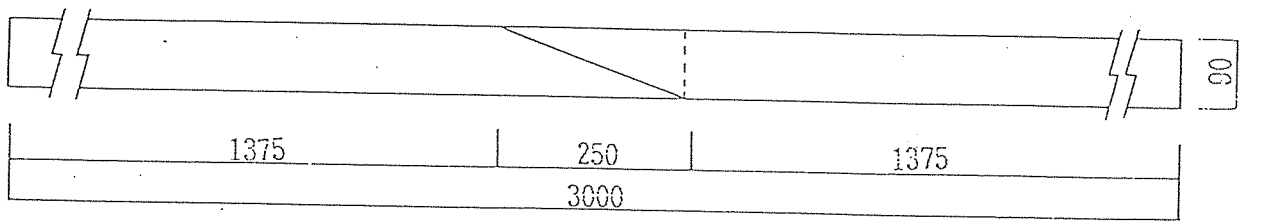
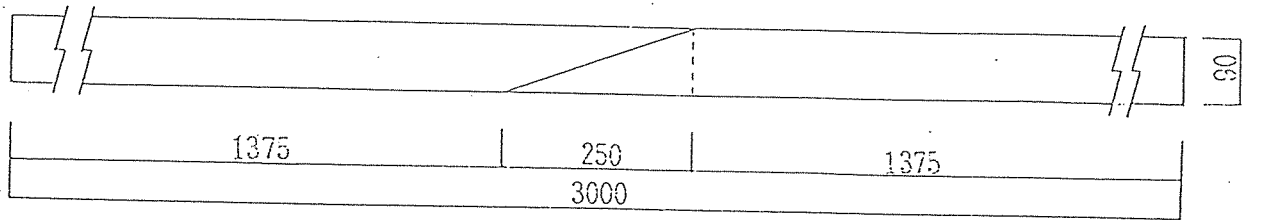


図 2. 1 試験体図 (その 1)

A 1 3



A I



A S 1 0

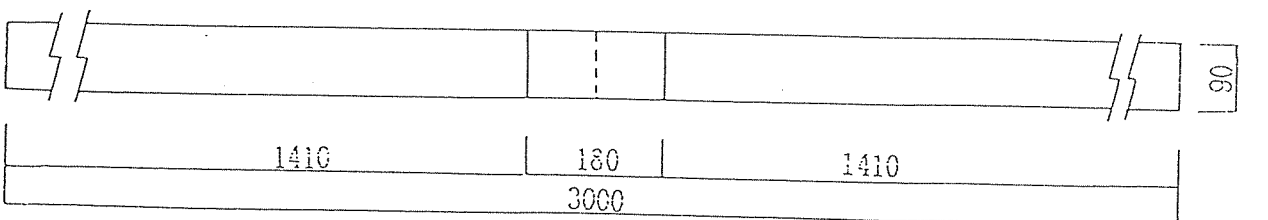
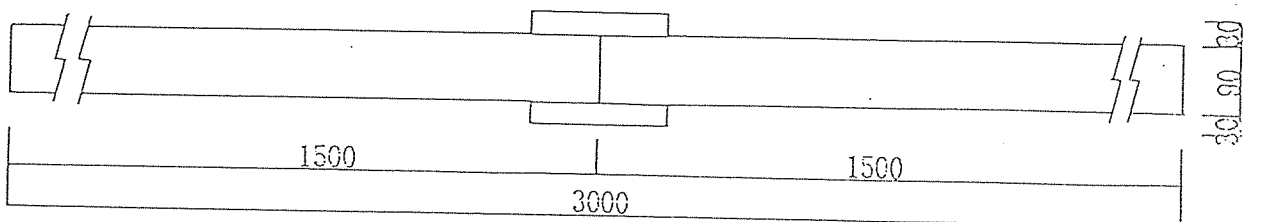


図 2. 1 試験体図 (その 2)

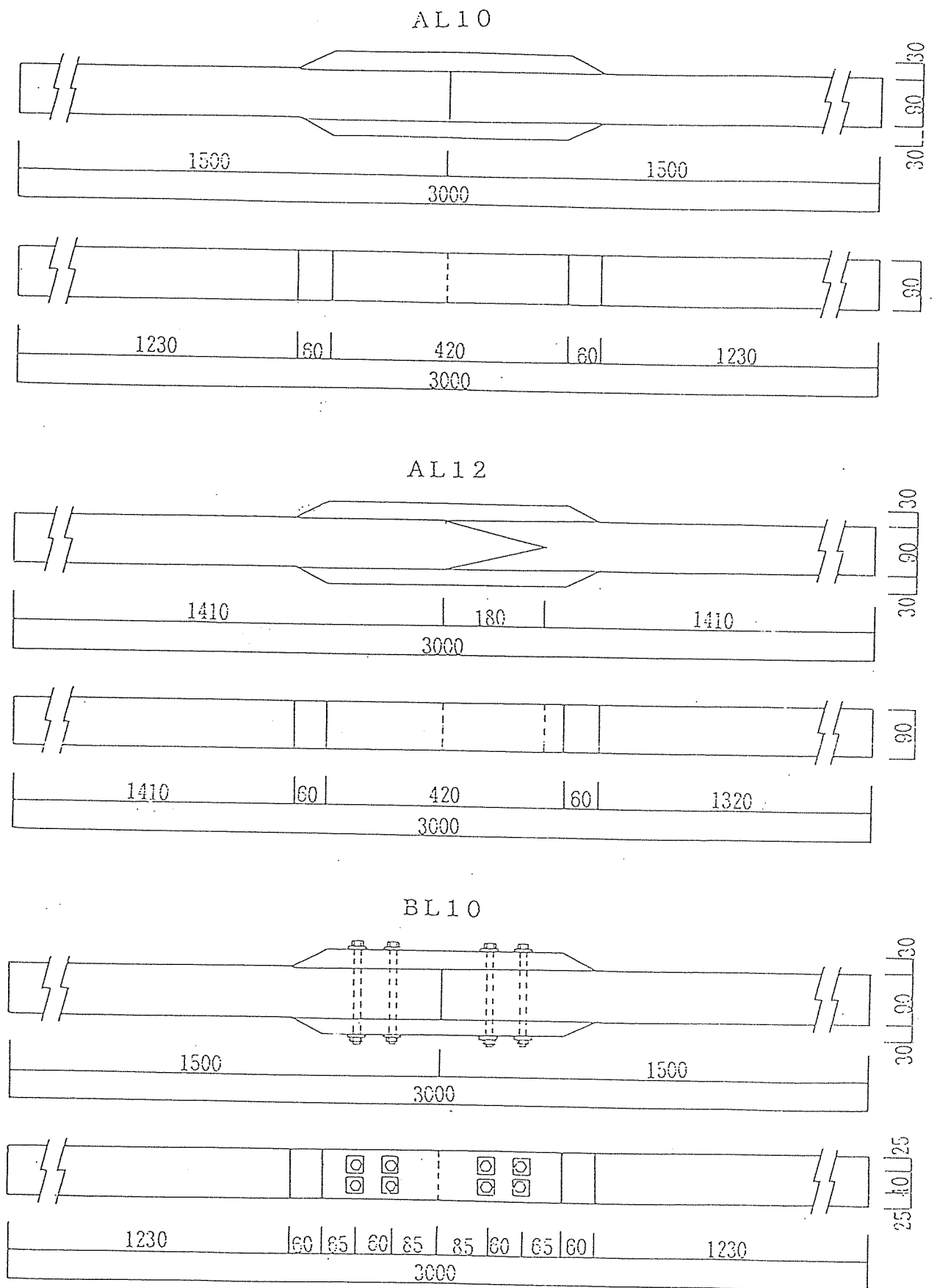


図 2. 1 試験体図 (その 3)

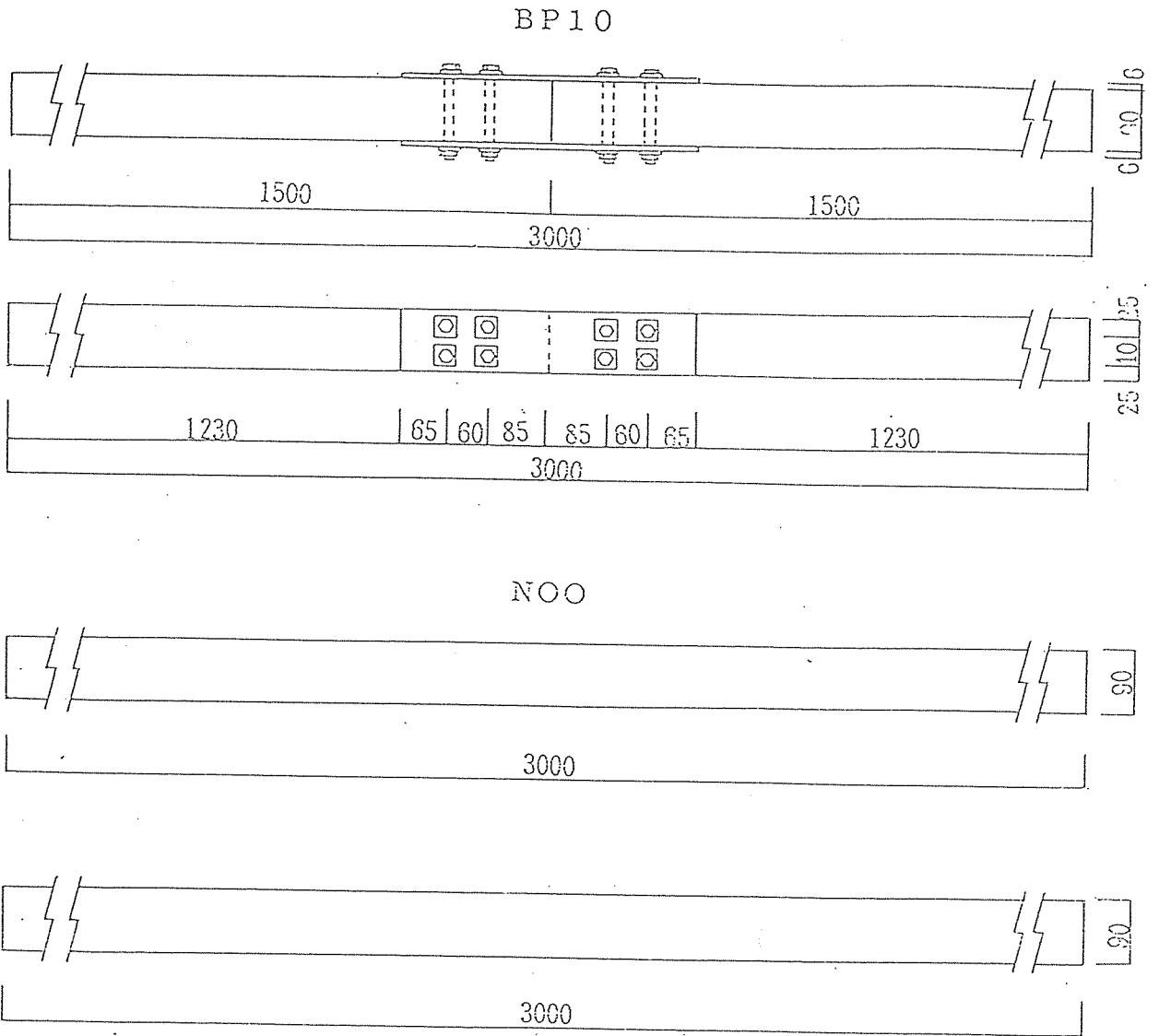
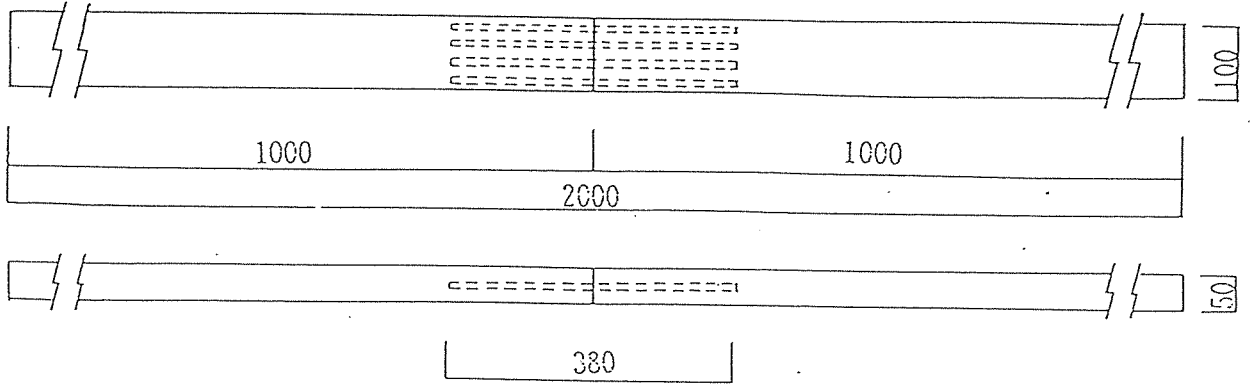
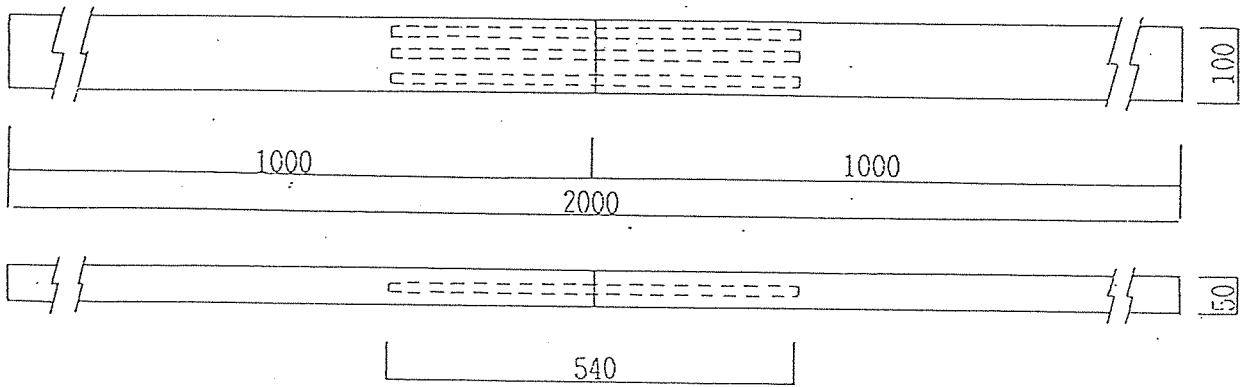


図 2. 1 試験体図 (その 4)

SC09



SC13



SC16

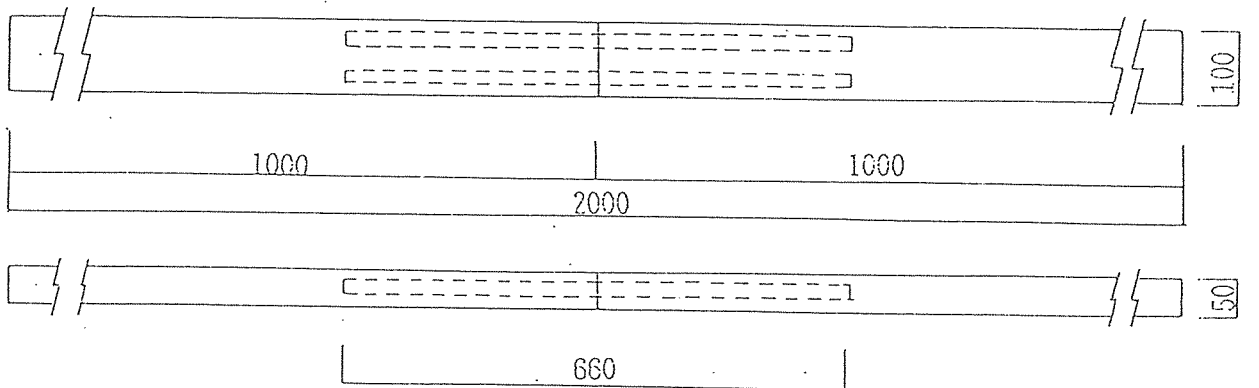
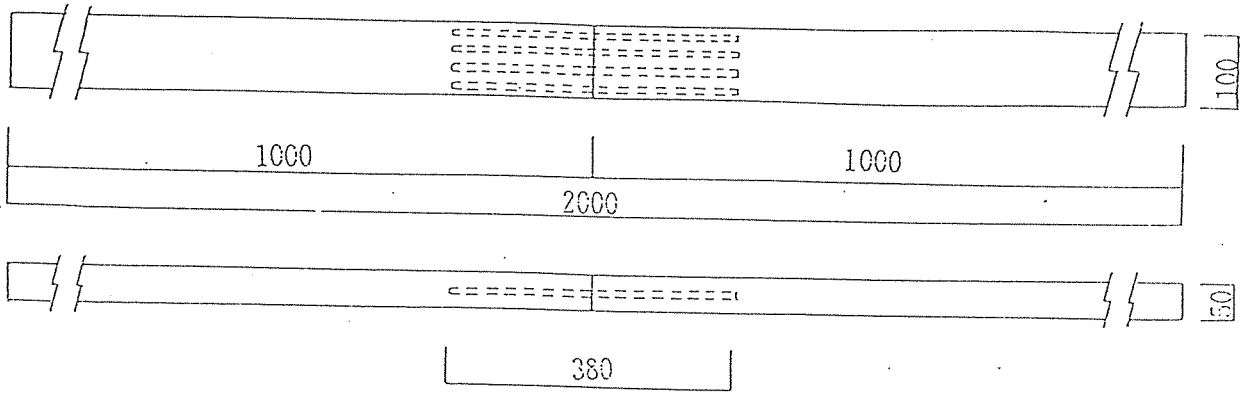
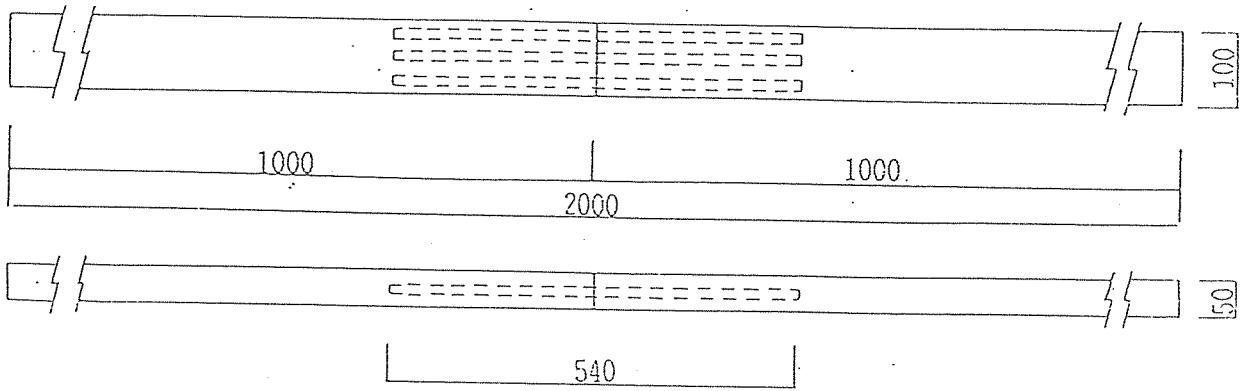


図 2. 1 試験体図 (その 5)

SH09



SH13



SH16

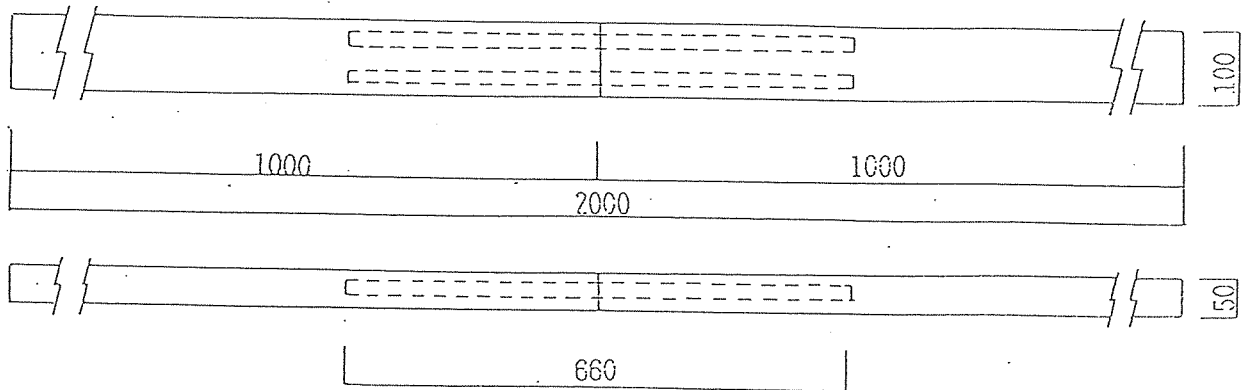


図2. 1 試験体図 (その6)

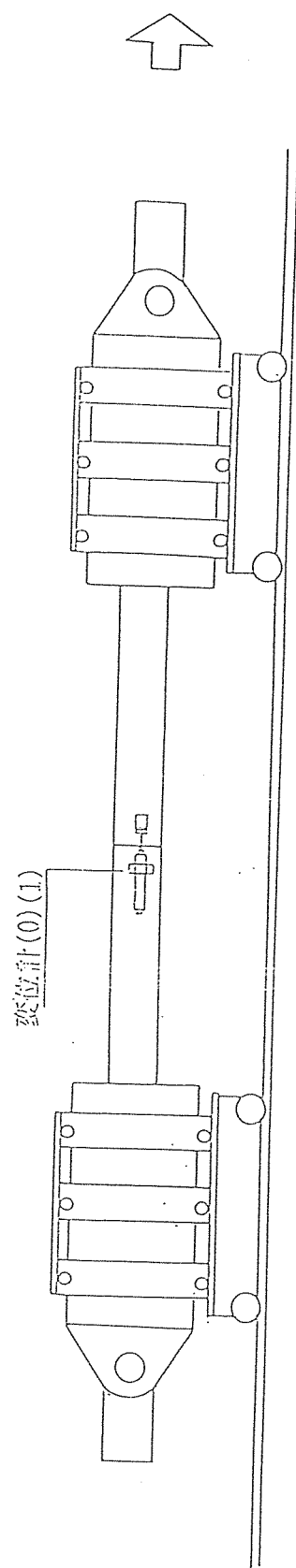
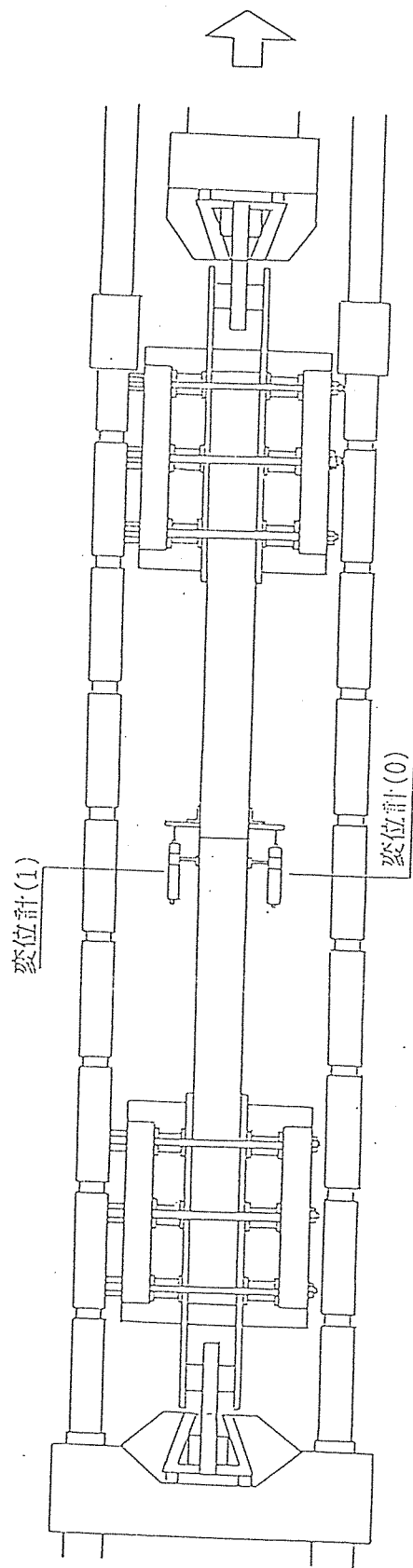
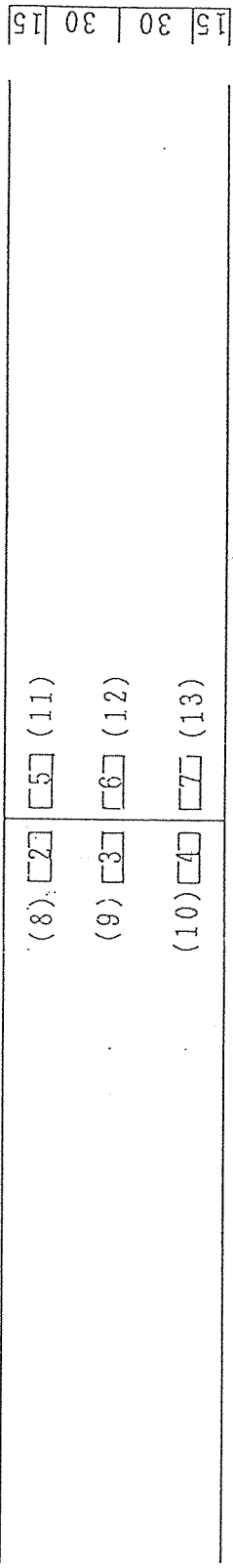
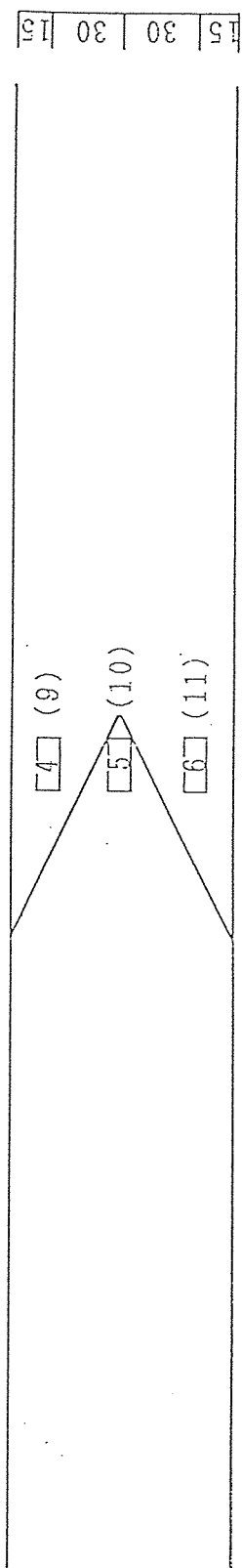


图 3. 1 試驗裝置圖



A 1 0



A 1 1

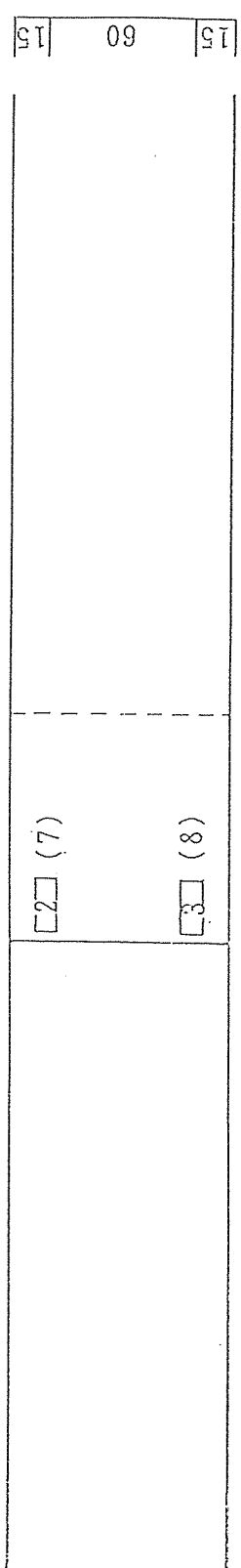
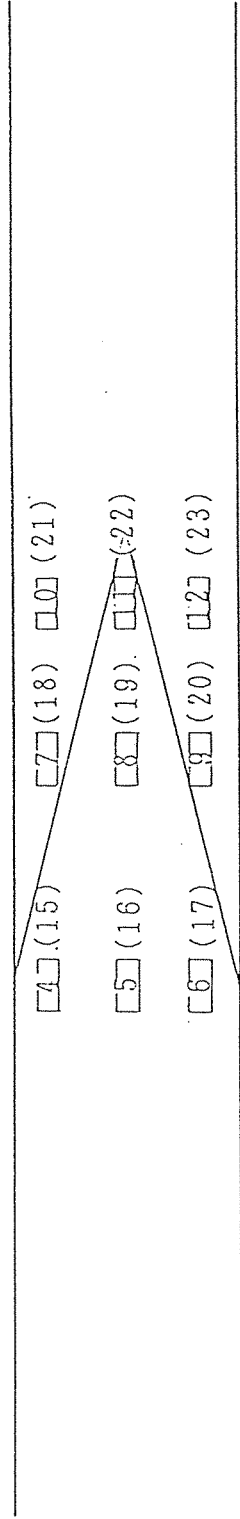


図 3. 2 間伐材タイプゲージ位置 (その1)

15 | 30 | 15



15 | 60 | 15

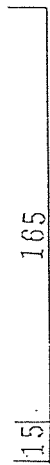
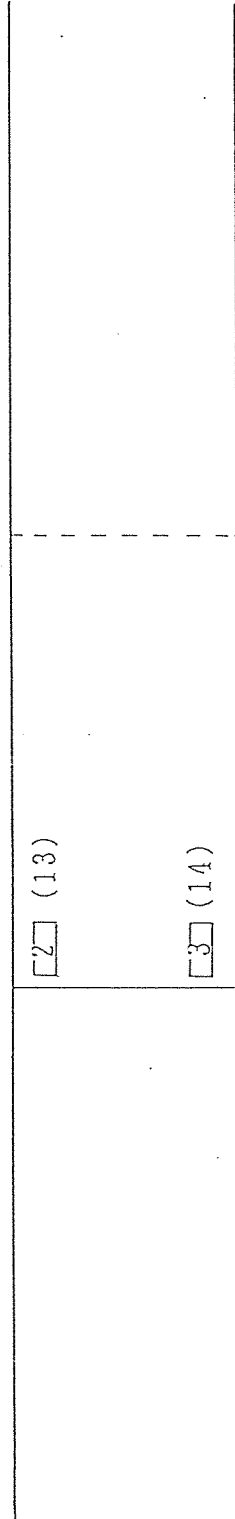
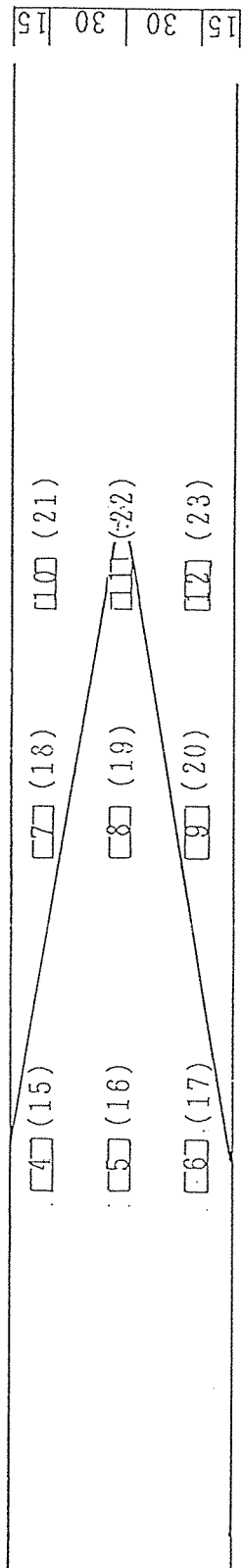


図 3. 2 間伐材タイプゲージ位置 (その 2)

A 1 2



A 13

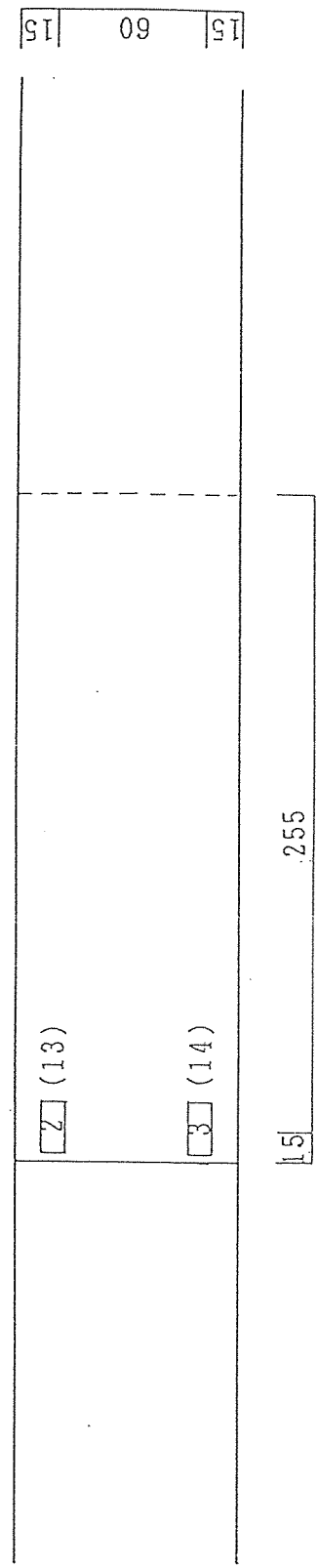


図 3. 2 間伐材タイプゲージ位置 (その3)

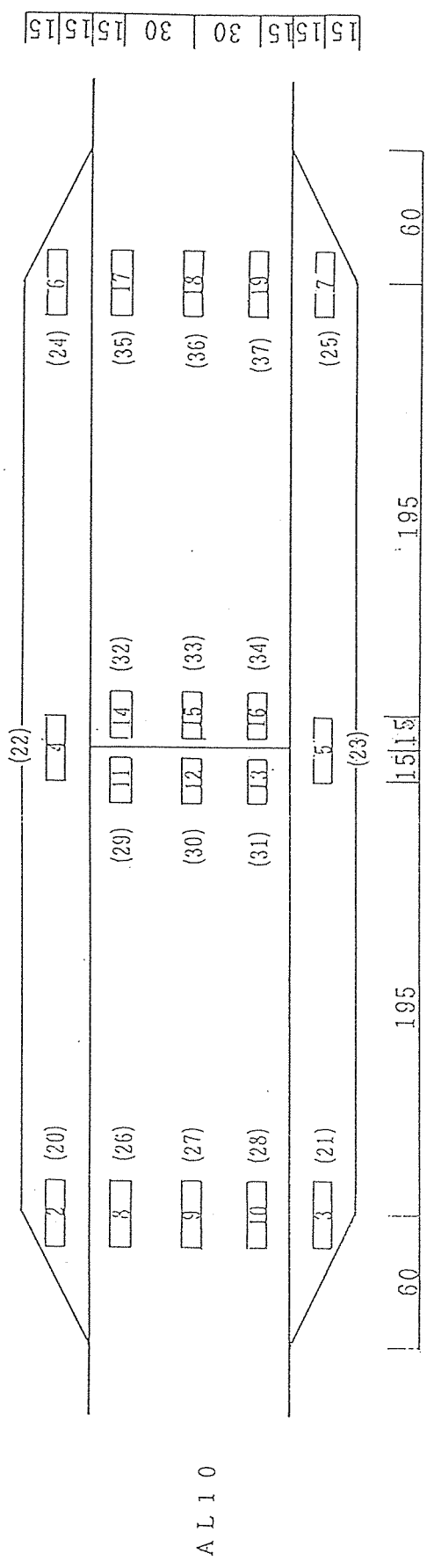
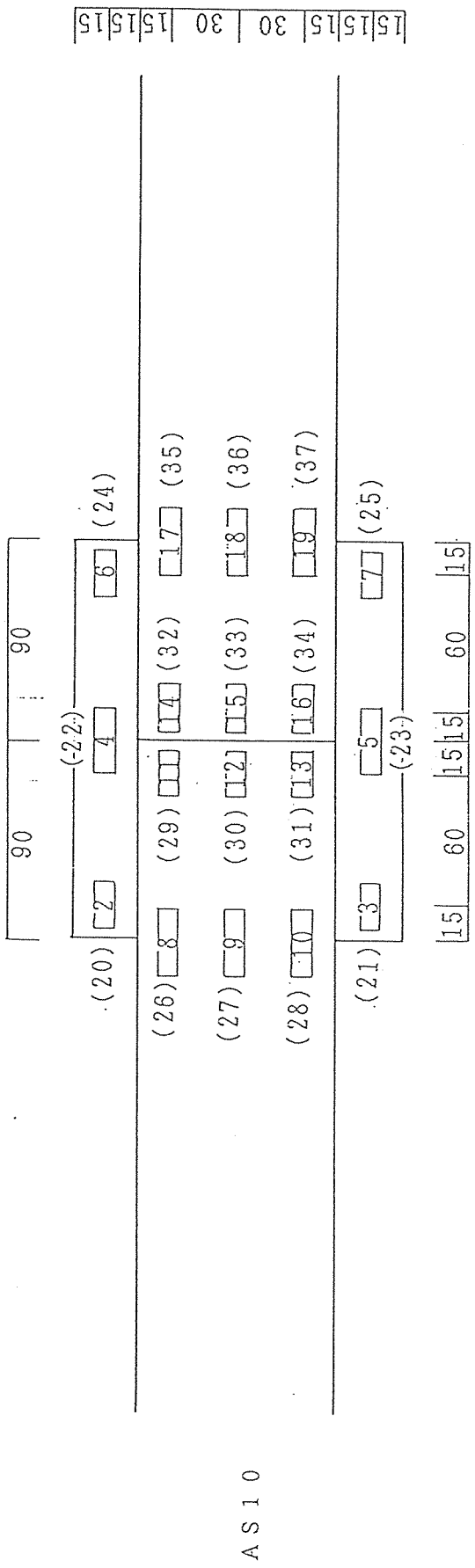


図 3. 2 間伐材タイプゲージ位置 (その 4)

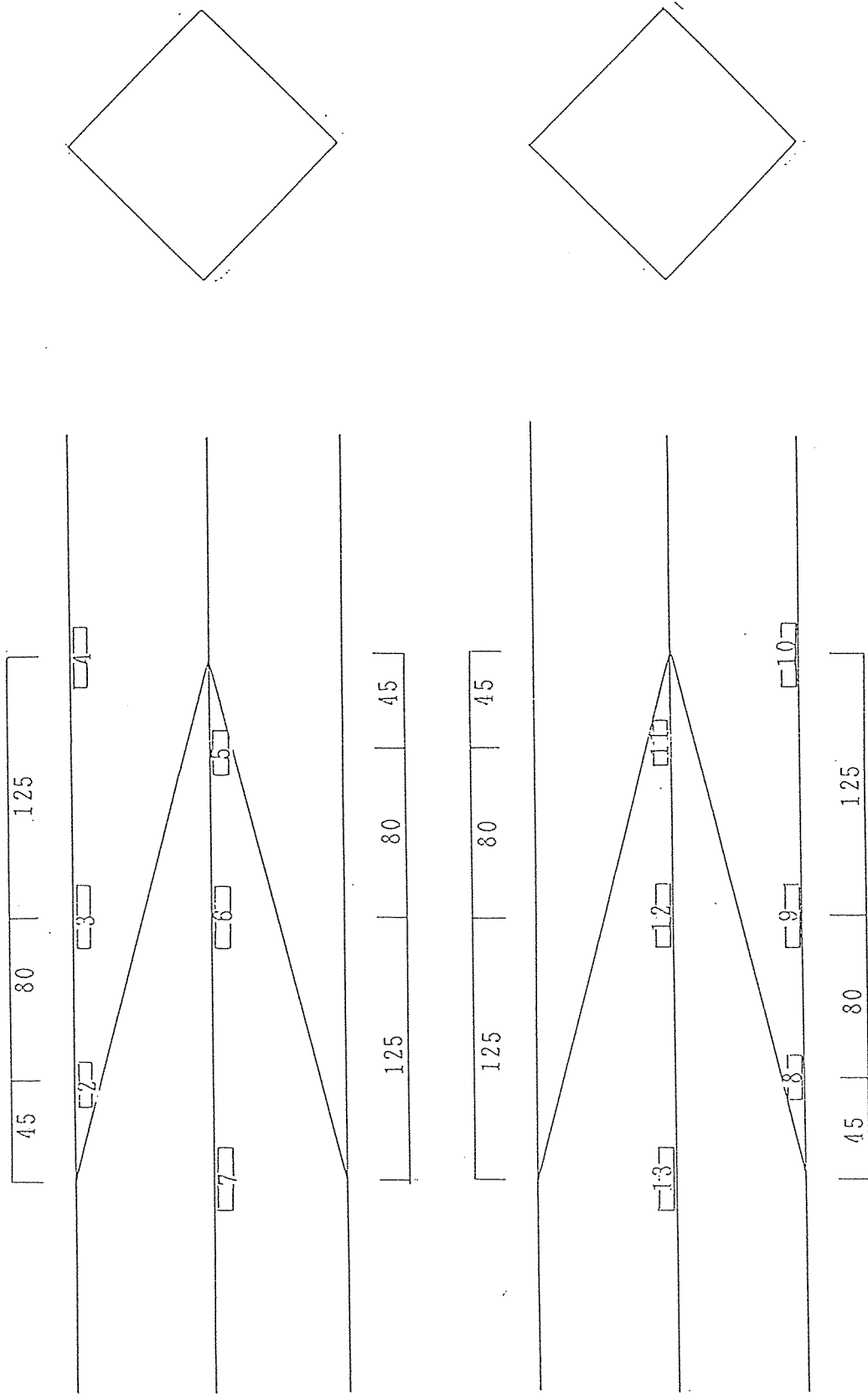
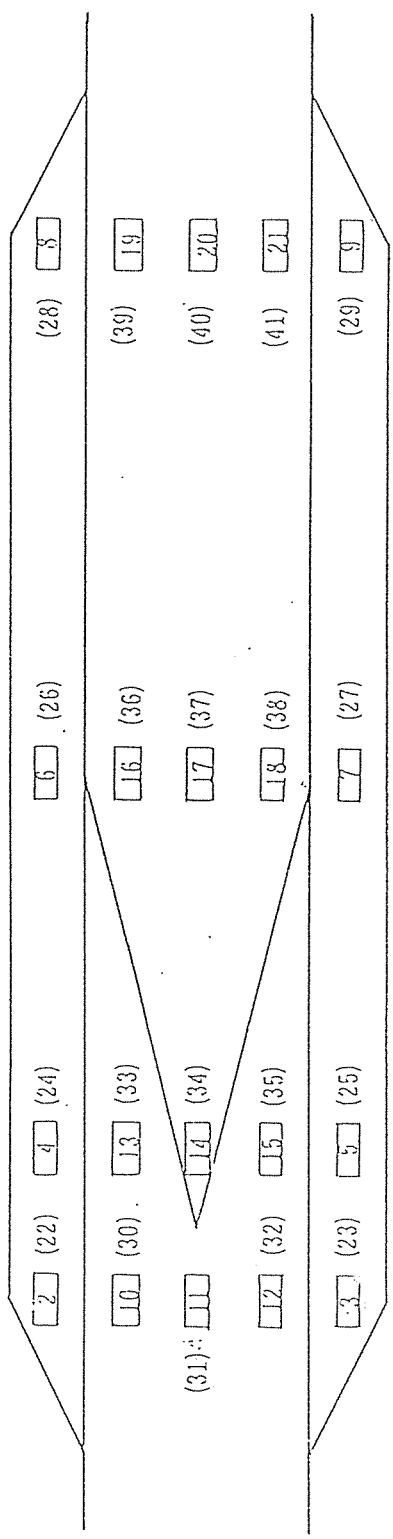


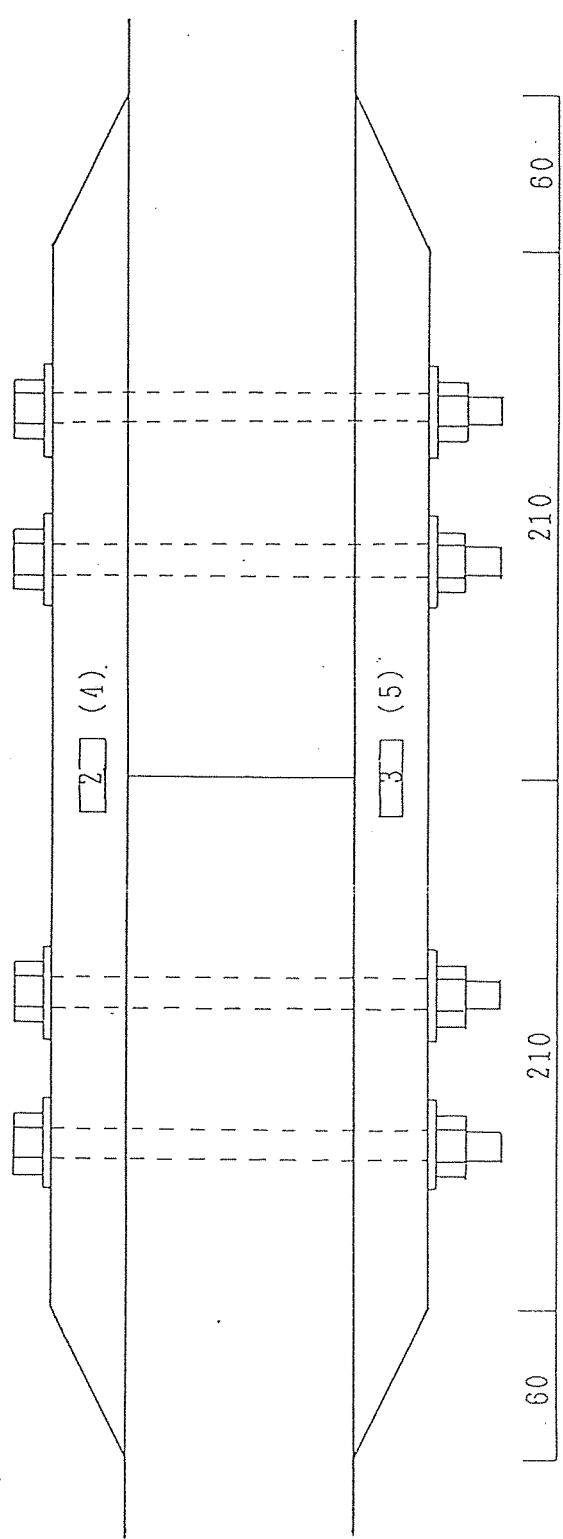
図3. 2 間伐材タイプゲージ位置 (その5)

15|15|15|30|30|15|15|15



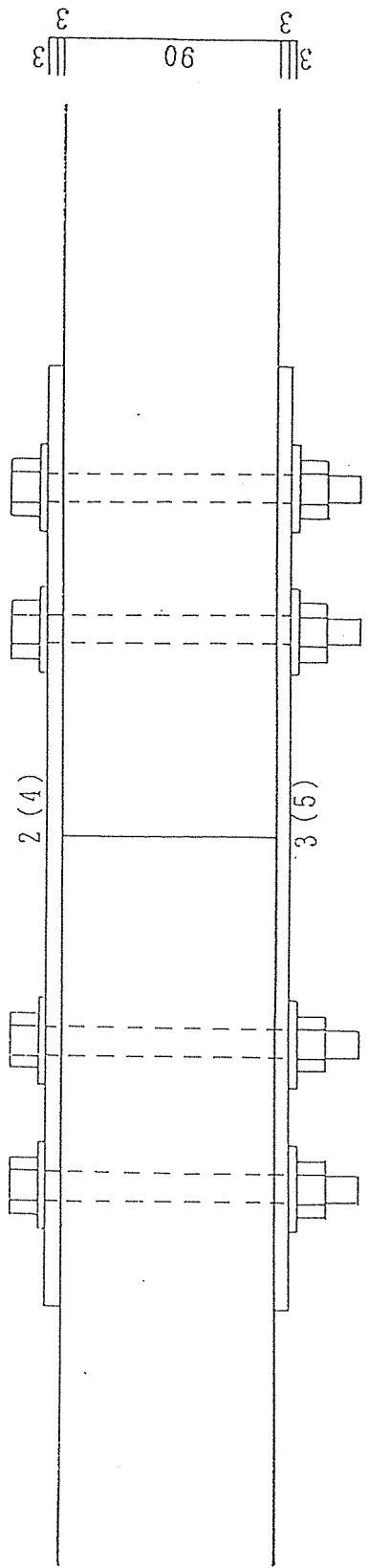
AL12

15|15|90|15|15



BL10

図 3. 2 間伐材タイプゲージ位置 (その 6)



BP10

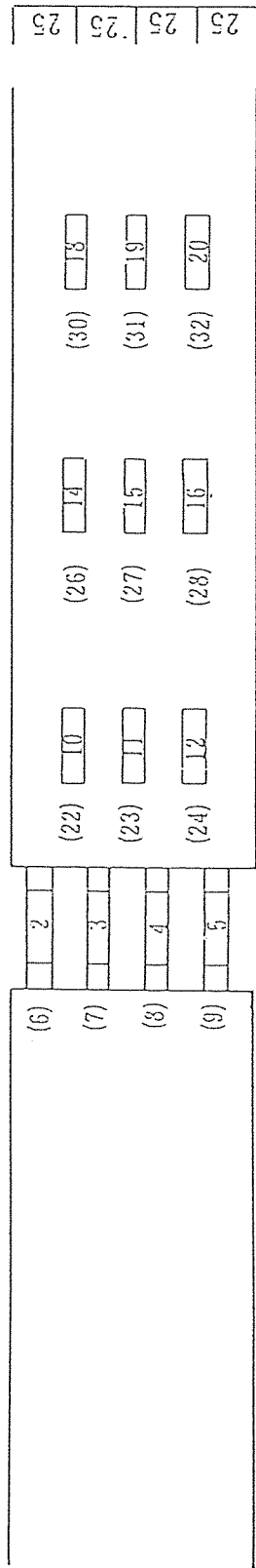
15	30	30	15
----	----	----	----

- 2 (5)
- 3 (6)
- 4 (7)

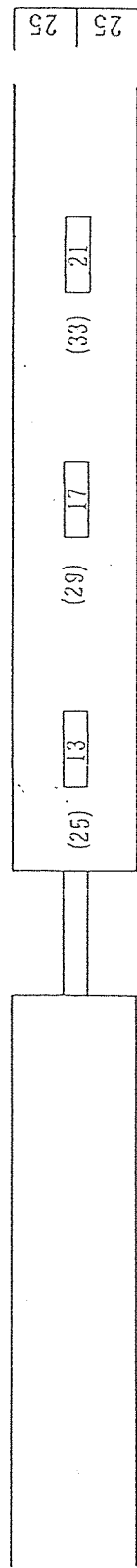
N00

図3. 2 間伐材タイブゲージ位置 (その7)

12.5 | 25 | 25 | 25 | 12.5



15 | 15 | 50 | 100 | 100



50 | 100 | 100

図 3. 3 鉄筋タイプゲージ位置 (φ 9)

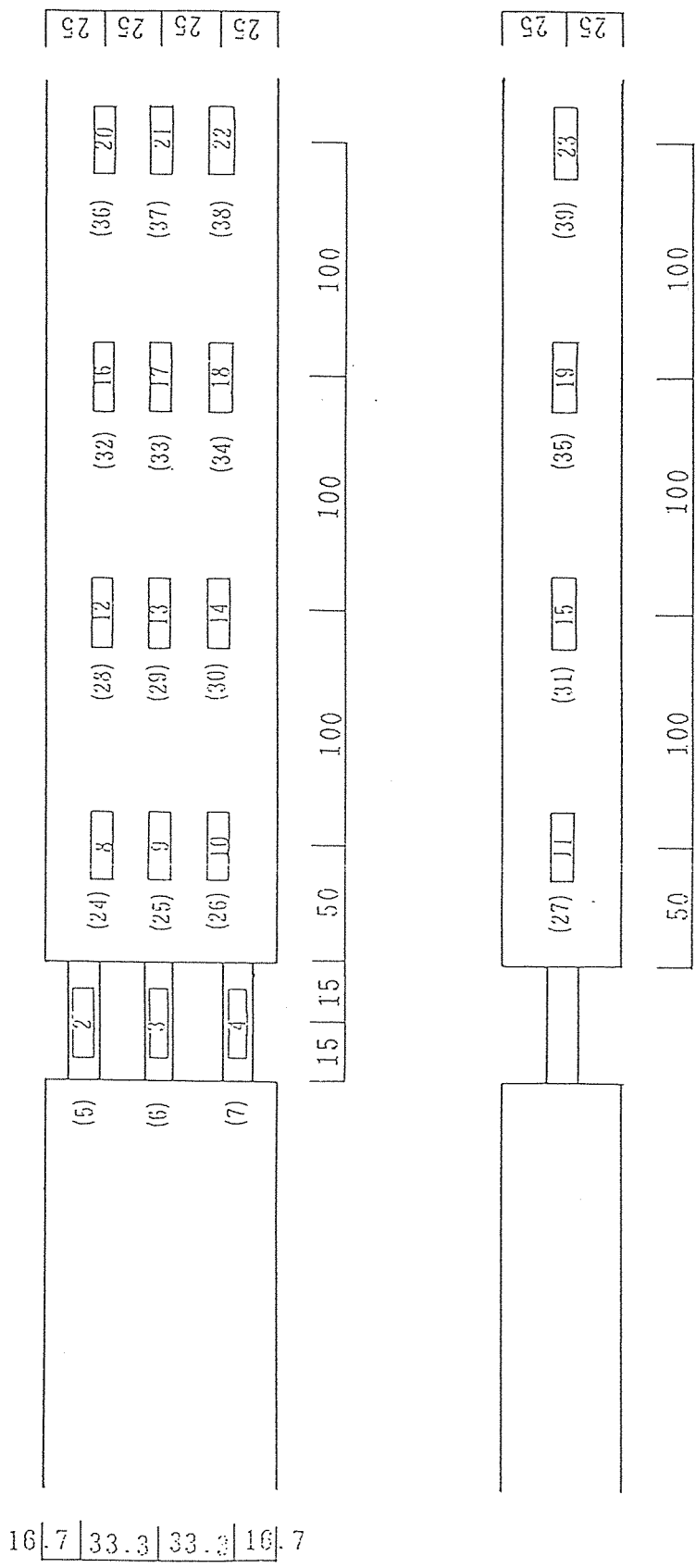


図 3. 3 鉄筋タイプゲージ位置 (φ 13)

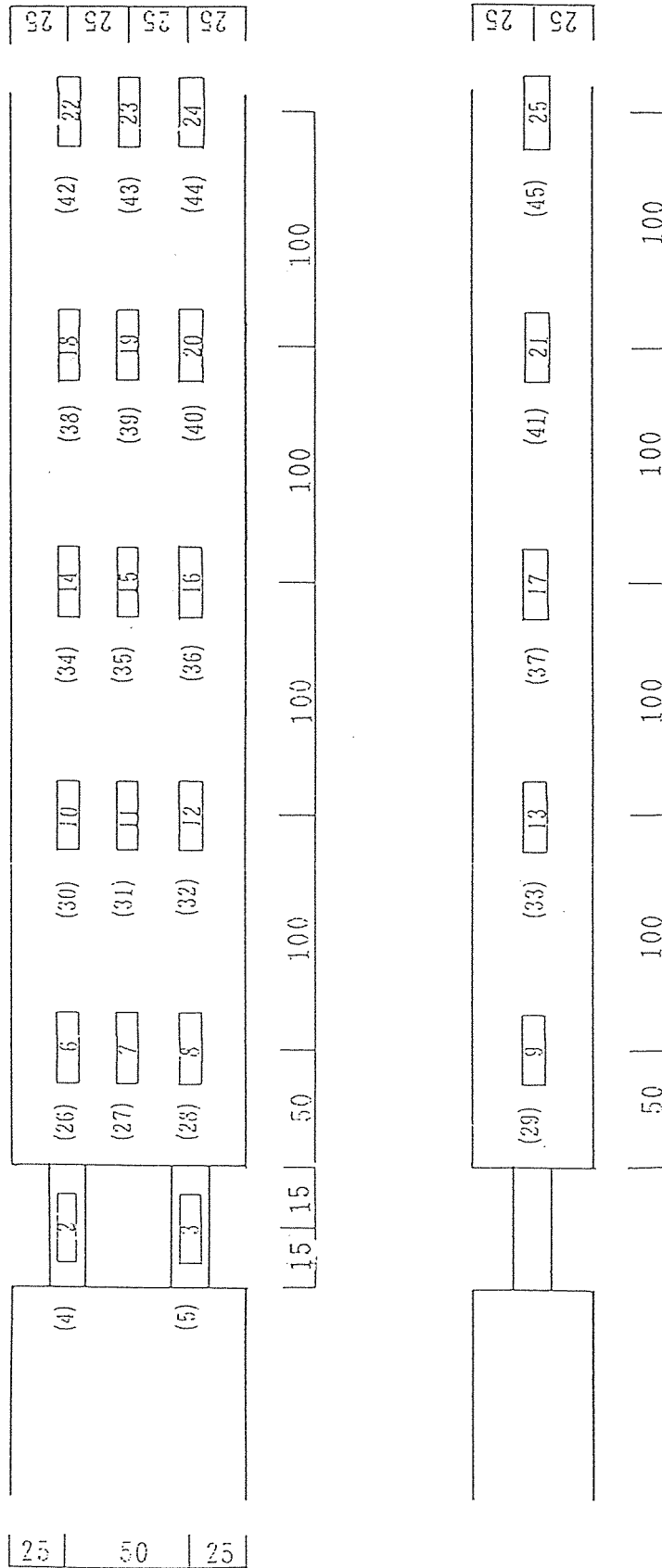


図3. 3 鉄筋タイプゲージ位置 (φ16)

表4. 1. 1 各試験体の破壊性状・最大荷重・最大荷重時変位（間伐材タイプ）

試験体名	破壊性状		最大荷重(kgf)		最大荷重時変位(mm)	
	主な破壊	その他の破壊	測定値	平均値	測定値	平均値
N00-1	母材破断		29940	27330	0.338	0.453
-2	〃		26850		0.319	
-3	〃		27220		0.679	
-4	〃		23550		0.477	
-5	〃		29090		*3.857	
A10-1	接着面		5320	6013	0.129	0.107
-2	〃		5335		0.099	
-3	〃		5950		0.097	
-4	〃		7045		0.103	
-5	〃		6415		0.106	
A11-1	接着面	接着部の母材破壊	14320	14326	0.256	0.346
-2	接着部の母材破壊	接着面	11480		0.223	
-3	接着面		15790		0.464	
-4	〃		15570		0.444	
-5	〃		14470		0.342	
A12-1	接着部の母材破壊	接着面	23620	24122	0.441	0.620
-2	接着面	接着部の母材破壊	22900		0.616	
-3	〃	〃	21330		0.422	
-4	〃	〃	28070		0.733	
-5	接着部の母材破壊	接着面	24690		0.888	
A13-1	接着部外の母材破壊		28840	24742	0.746	0.513
-2	〃		28800		0.545	
-3	接着部の母材破壊	接着面	21710		0.399	
-4	接着面	接着部の母材破壊	22580		0.332	
-5	接着部の母材破壊	接着面	21780		0.542	
A1-1	接着部の母材破壊	〃	21350	21878	0.457	0.680
-2	接着面	接着部の母材破壊	28220		0.975	
-3	接着部の母材破壊	接着面	19420		0.541	
-4	接着部外の母材破壊		19010		0.973	
-5	接着部の母材破壊		21390		0.452	
AS10-1	接着面	接着面の側材破壊	7970	7252	0.142	0.372
-2	〃	〃	7027		0.552	
-3	〃	接着面の側材破壊	6101		0.448	
-4	〃		7205		0.464	
-5	〃		7955		0.252	
AL10-1	接着面	接着部の母材破壊	15602	13006	0.107	0.249
-2	〃	〃	12560		0.186	
-3	接着部の母材破壊	接着面	12697		0.217	
-4	接着面		11510		0.369	
-5	〃		12660		0.368	
AL12-1	接着面	接着部の母材破壊	21680	21158	0.371	0.475
-2	接着部の母材破壊		15820		0.239	
-3	接着部外の母材破壊		20610		0.706	
-4	接着部の母材破壊	接着面	23110		*1.525	
-5	接着面	接着部の母材破壊	24570		0.582	
BP10-1	母材のボルト抜け		7975	10421	15.825	17.165
-2	〃		11720		17.054	
-3	〃		10870		17.071	
-4	〃		11030		22.584	
-5	〃		10510		13.291	
BL10-1	側材のボルト抜け	母材のボルト抜け	8325	8358	17.328	21.992
-2	〃	〃	9410		33.173	
-3	〃	〃	8120		22.444	
-4	〃	〃	7490		15.031	
-5	〃	〃	8445		21.985	

*: 平均値から除く

表4. 1. 2 各試験体の破壊性状・最大荷重・最大荷重時変位（鉄筋タイプ）

試験体名	破壊性状		最大荷重(kgf)		最大荷重時変位(mm)	
	主な破壊	その他の破壊	測定値	平均値	測定値	平均値
SC09-1	鉄筋抜け		8252	6726	0.385	0.313
-2	〃		7960		0.300	
-3	〃		7250		0.399	
-4	〃		5672		0.245	
-5	〃		4498		0.313	
SC13-1	母材破壊&鉄筋抜け	鉄筋抜け	12872	11431	0.511	0.357
-2	鉄筋抜け		12190		0.375	
-3	〃	母材破壊&鉄筋抜け	11077		0.268	
-4	〃		12017		0.287	
-5	母材破壊&鉄筋抜け	鉄筋抜け	9000		0.343	
SC16-1	鉄筋抜け		8380	9575	0.201	0.248
-2	〃	母材破壊&鉄筋抜け	10485		0.368	
-3	〃	〃	9970		0.248	
-4	〃	〃	10137		0.288	
-5	〃	〃	8905		0.317	
SH09-1	鉄筋抜け		6732	6876	0.341	0.385
-2	〃		7700		0.483	
-3	〃		6032		0.239	
-4	〃		7000		0.381	
-5	〃		6915		0.483	
SH13-1	母材破壊&鉄筋抜け	鉄筋抜け	10780	9820	0.299	0.323
-2	接着部外の母材破壊		11460		0.390	
-3	〃		7695		0.162	
-4	鉄筋抜け		11060		0.398	
-5	接着部外の母材破壊		8105		0.367	
SH16-1	鉄筋抜け		10970	10025	0.489	0.381
-2	〃	母材破壊&鉄筋抜け	10315		0.460	
-3	〃	〃	10960		0.343	
-4	〃		9777		0.276	
-5	〃		8105		0.335	

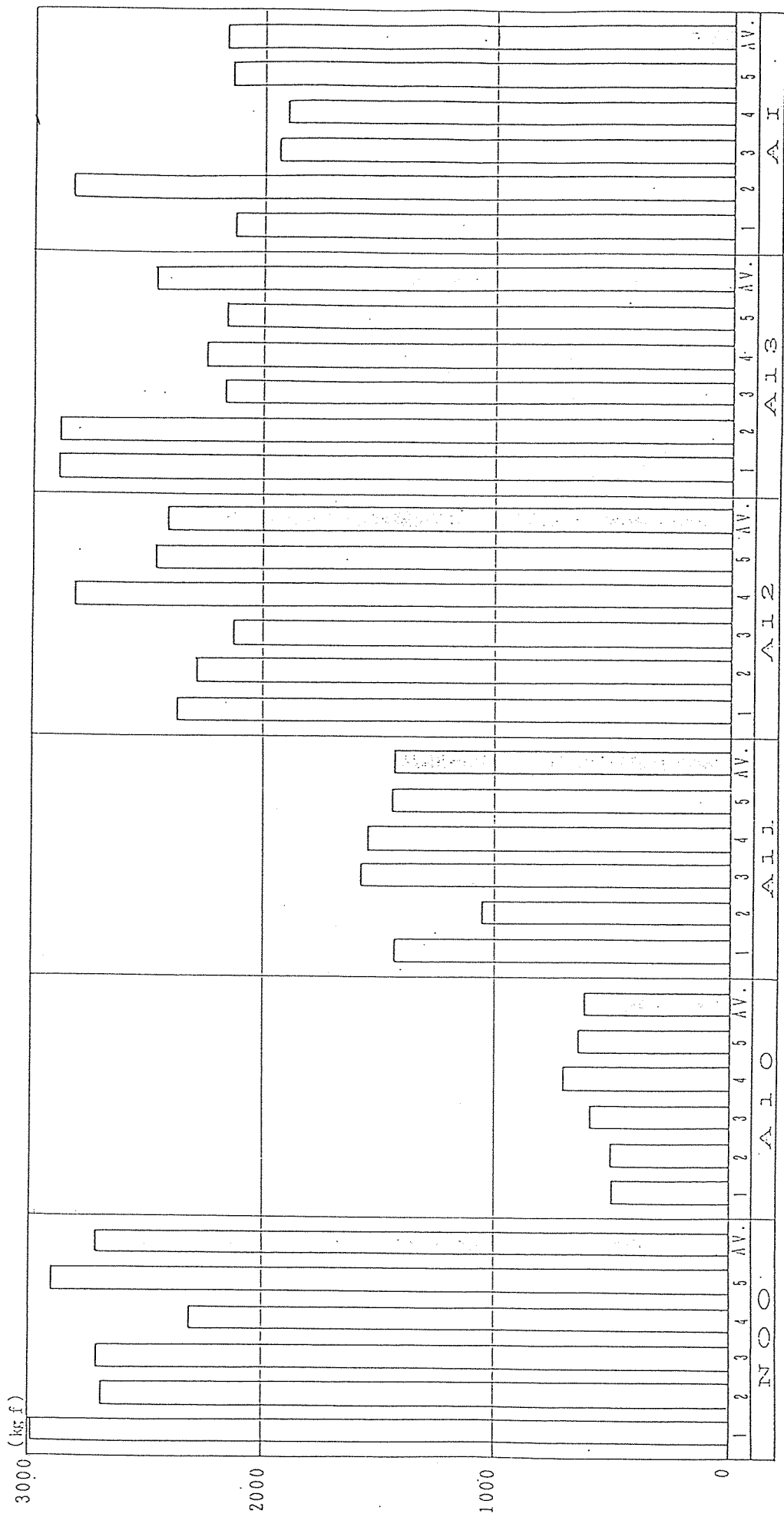


図 4. 1. 1 各試験体の最大荷重 (間伐材タイプその 1)

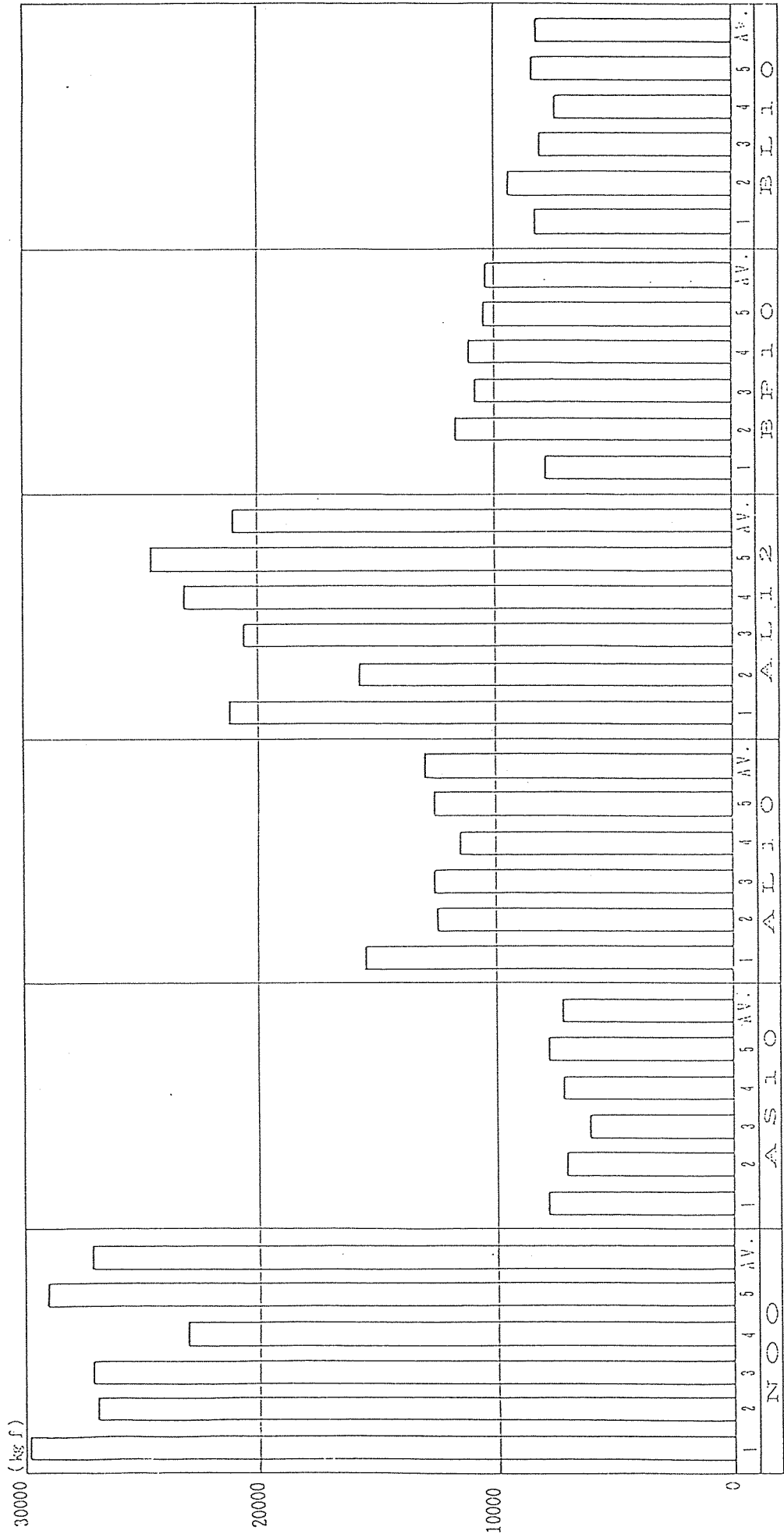


図4. 1. 1 各試験体の最大荷重 (間伐材タイプその2)

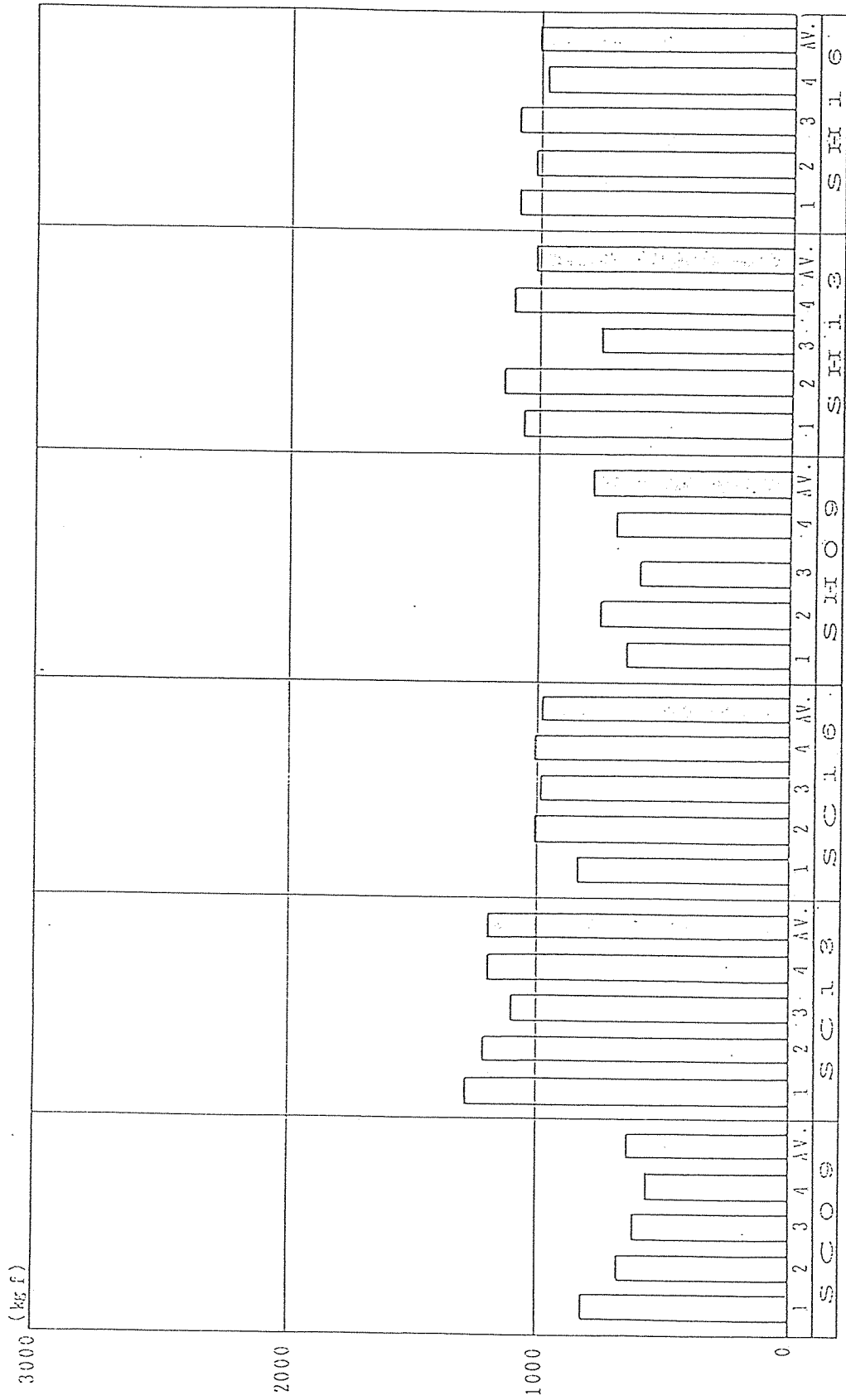
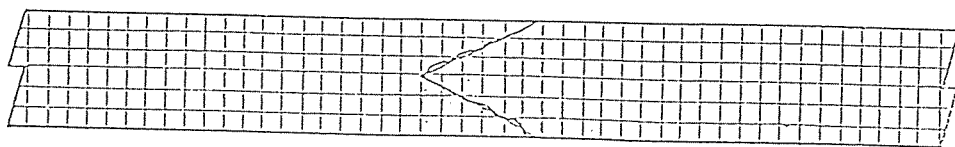
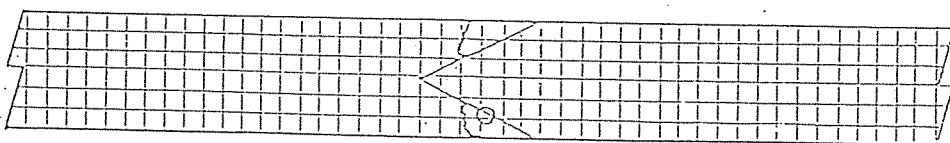


図 4. 1. 2 各試験体の最大荷重 (鉄筋タイプ)

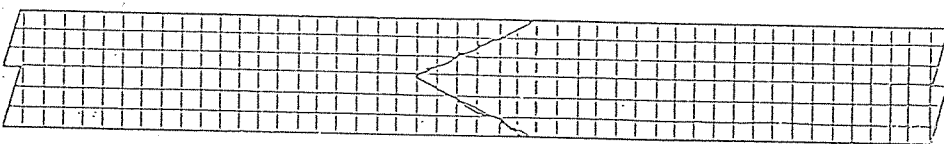
A11-1



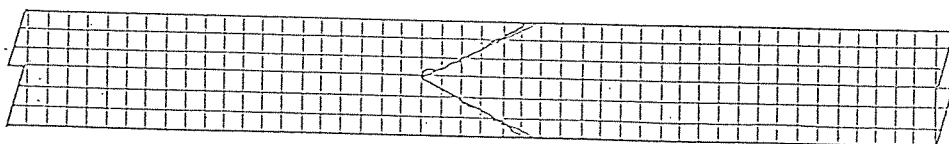
A11-2



A11-3



A11-4



A11-5

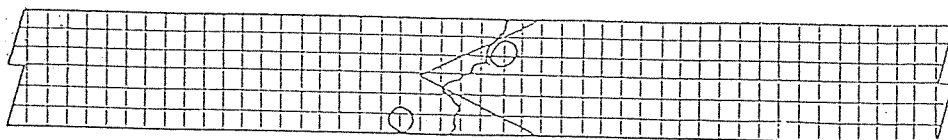
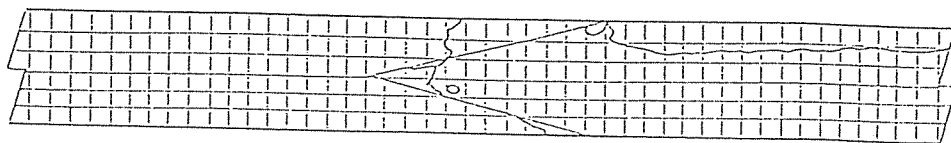
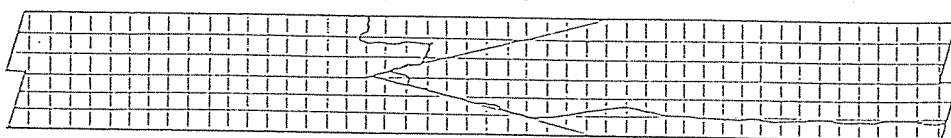


図4. 2. 1 破壊性状 (その1)

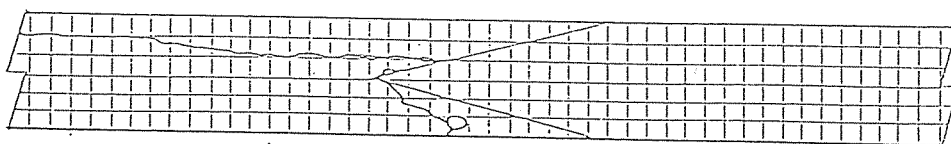
A12-1



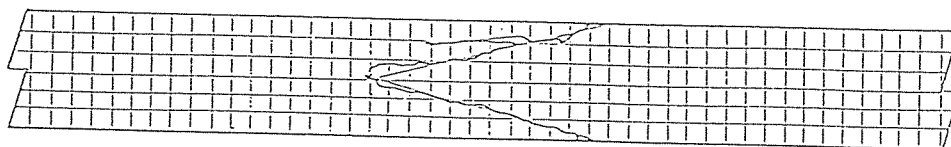
A12-2



A12-3



A12-4



A12-5

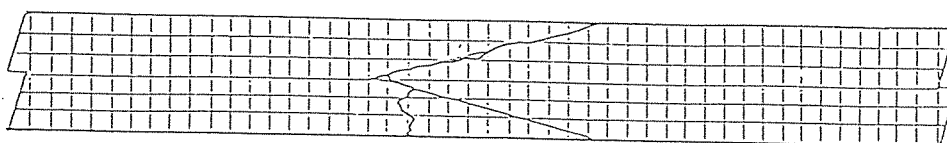
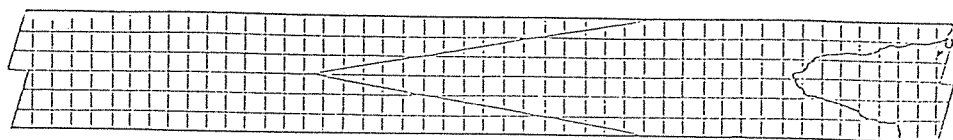
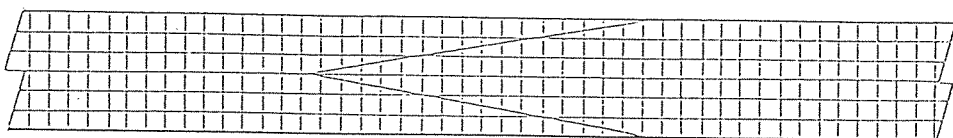


図4. 2. 1 破壊性状 (その2)

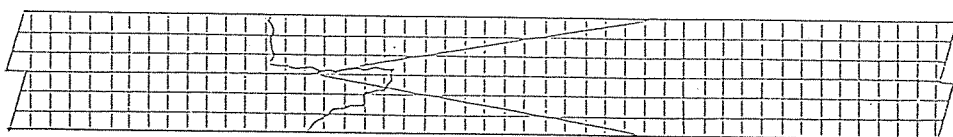
A13-1



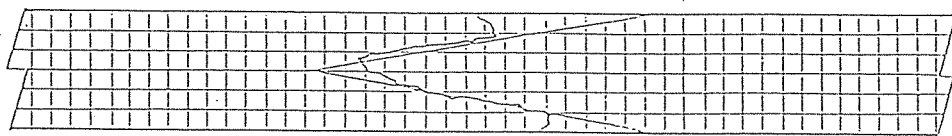
A13-2



A13-3



A13-4



A13-5

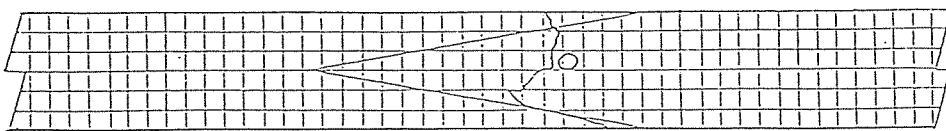
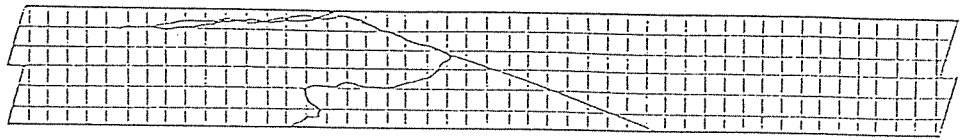
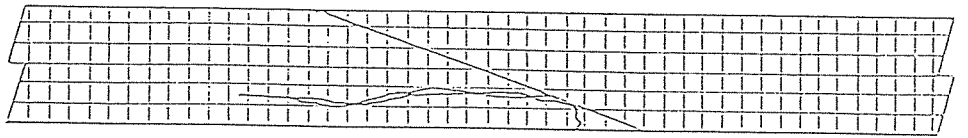


図4. 2. 1 破壊性状 (その3)

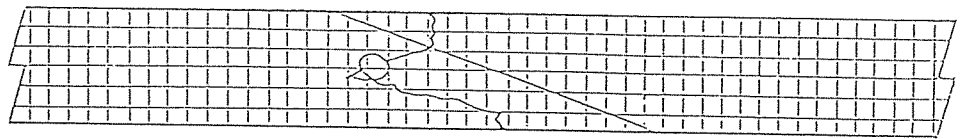
AI-1



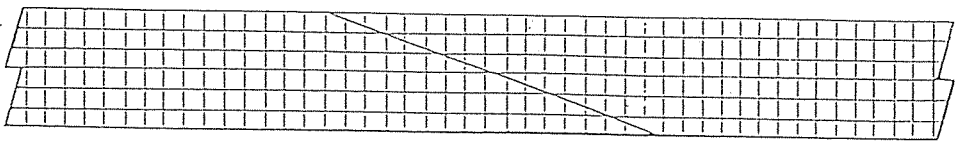
AI-2



AI-3



AI-4



AI-5

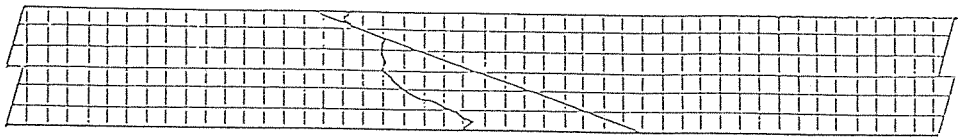
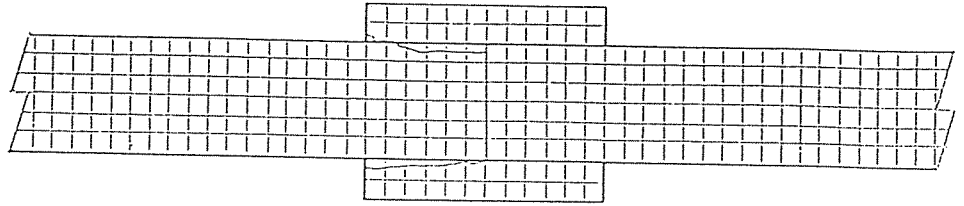
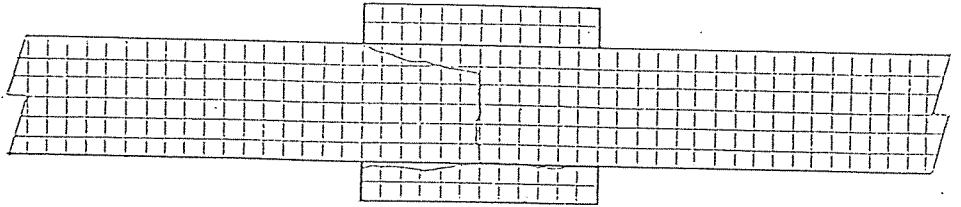


図4. 2. 1 破壊性状 (その4)

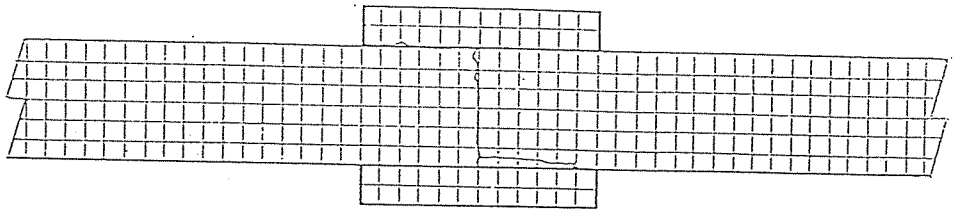
AS10-1



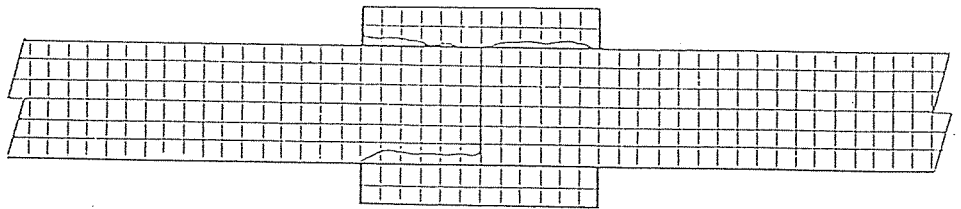
AS10-2



AS10-3



AS10-4



AS10-5

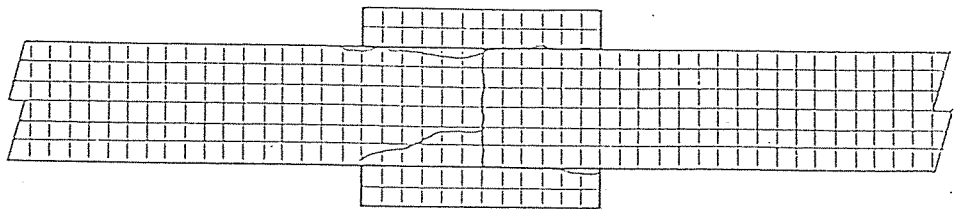
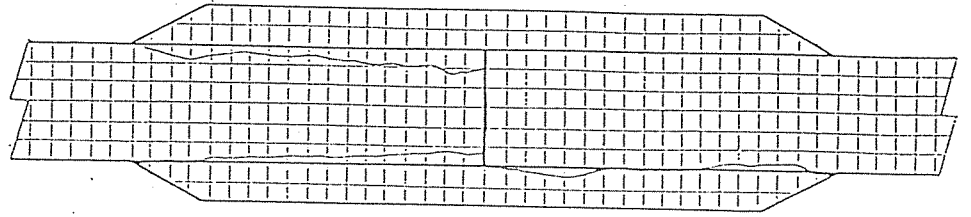
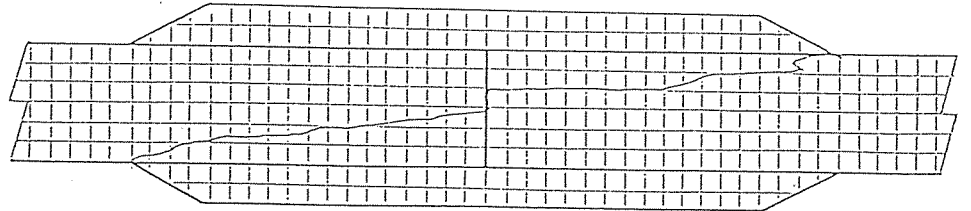


図4. 2. 1 破壊性状 (その5)

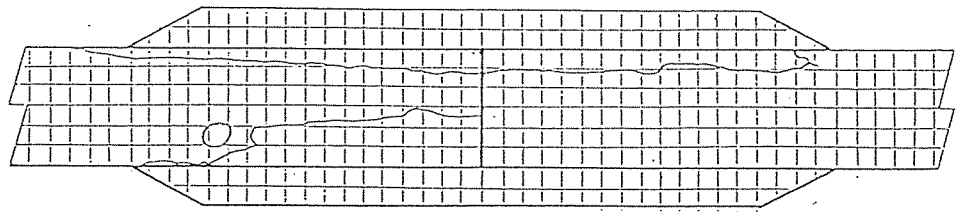
AL10-1



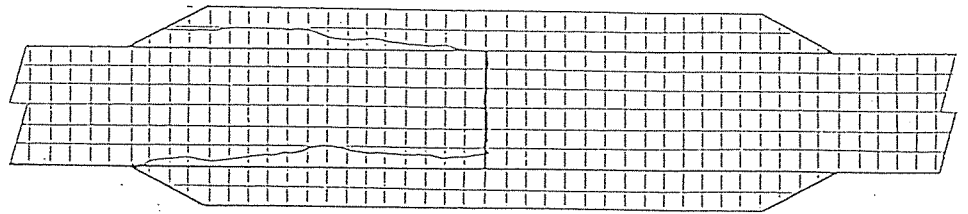
AL10-2



AL10-3



AL10-4



AL10-5

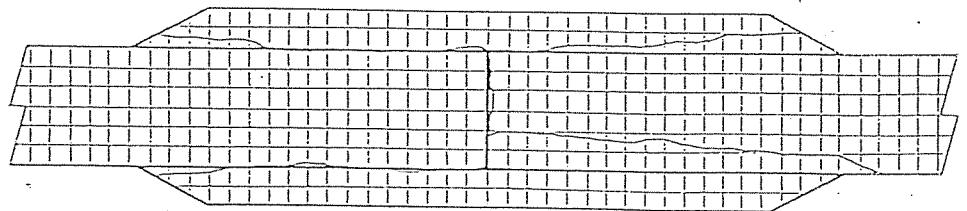
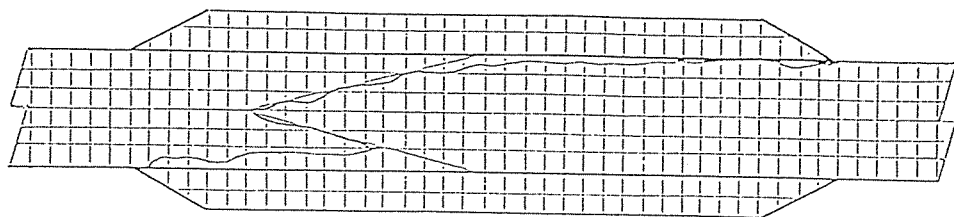
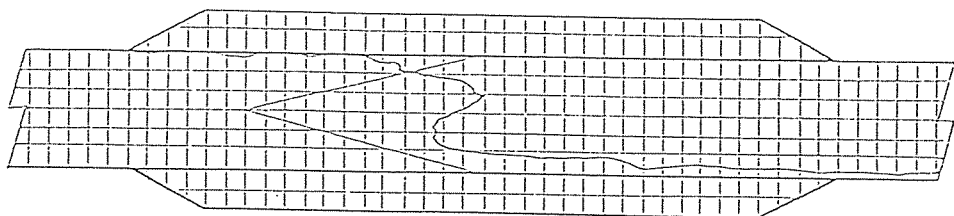


図4. 2. 1 破壊性状 (その6)

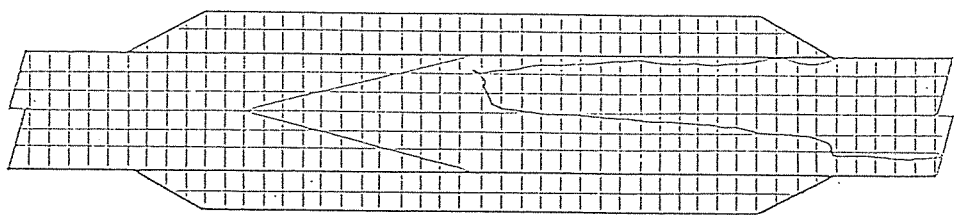
AL12-1



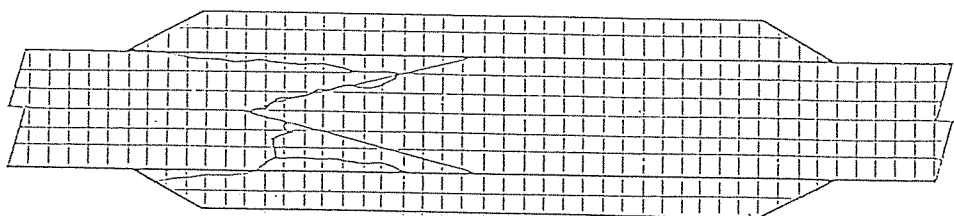
AL12-2



AL12-3



AL12-4



AL12-5

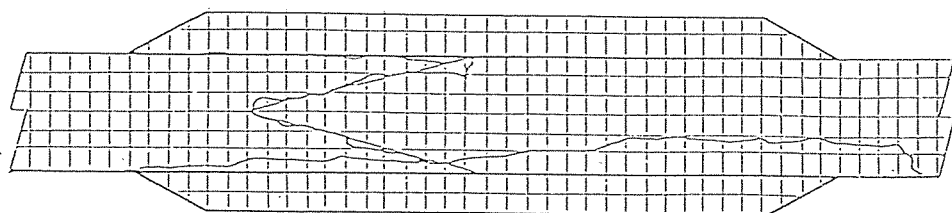
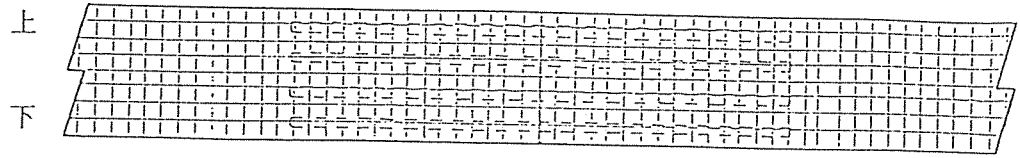
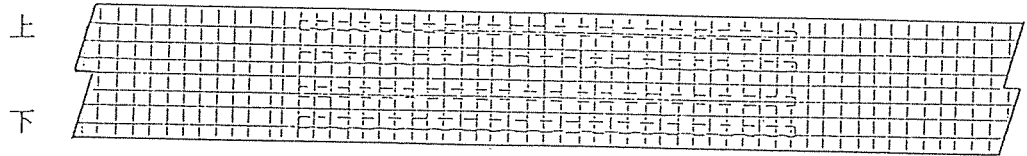
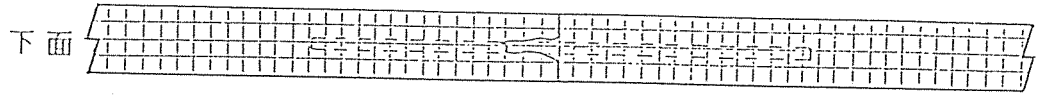


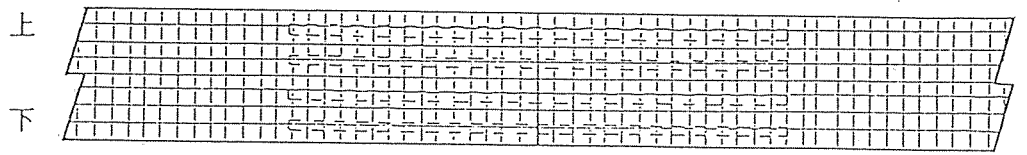
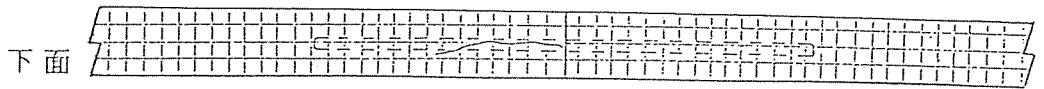
図4. 2. 1 破壊性状 (その7)



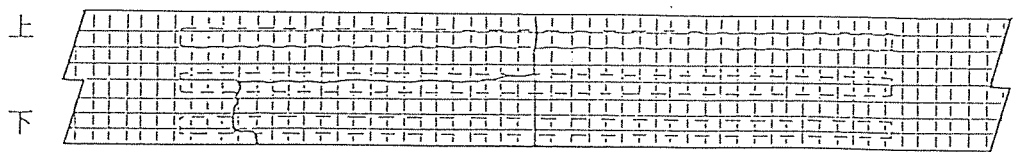
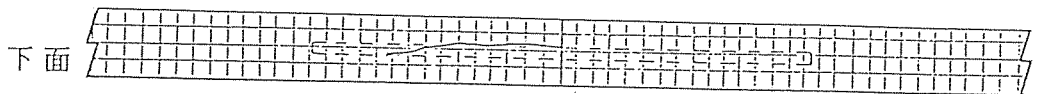
SC09-2



SC09-3



SC09-4



SC13-1

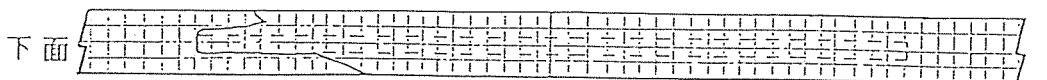
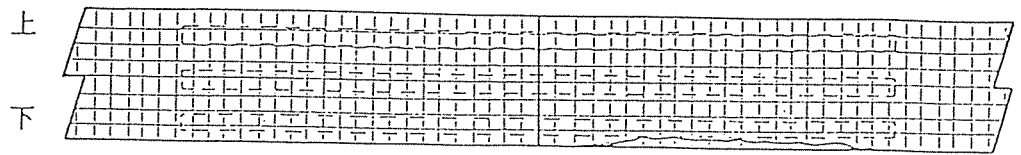
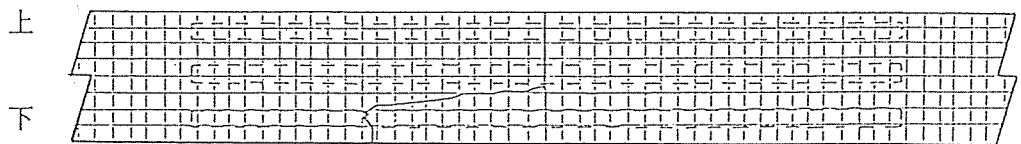
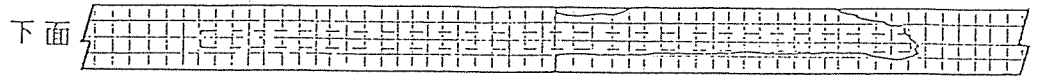


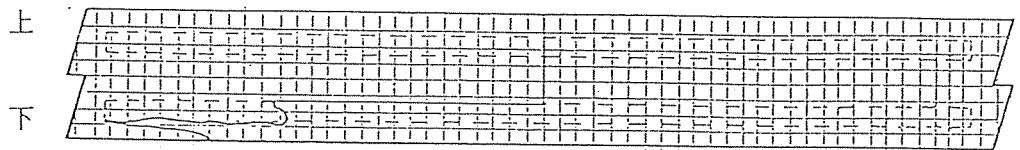
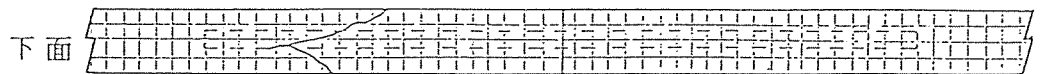
図 4. 2. 2 破壊性状 (その 1)



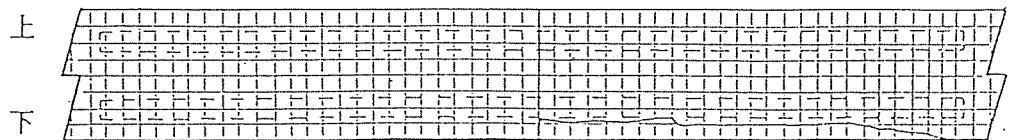
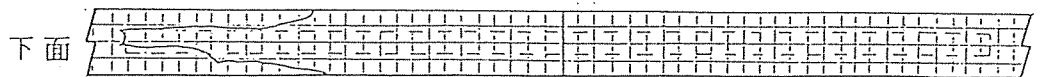
SC13-3



SC13-5



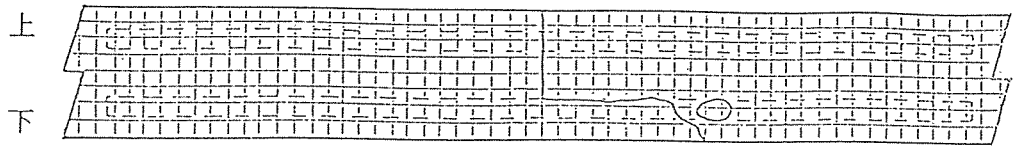
SC16-2



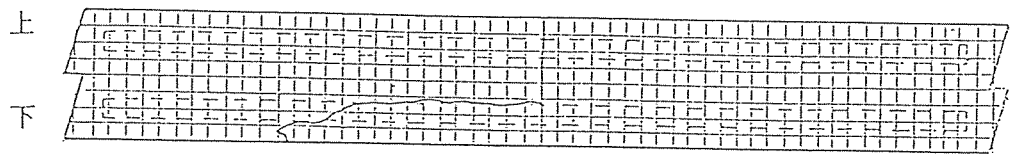
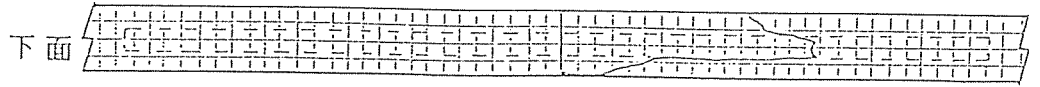
SC16-3



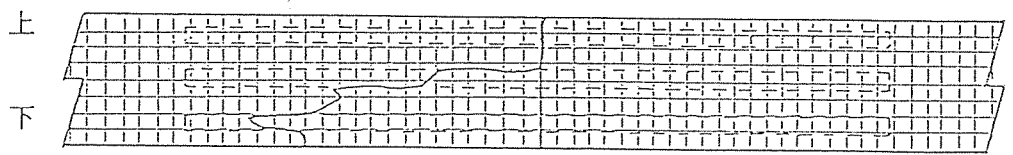
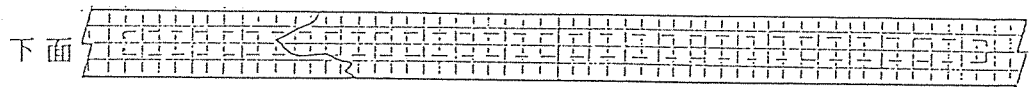
図4. 2. 2 破壊性状 (その2)



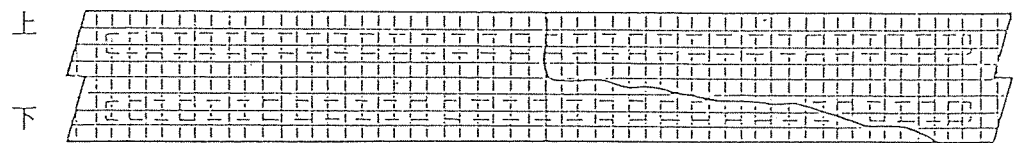
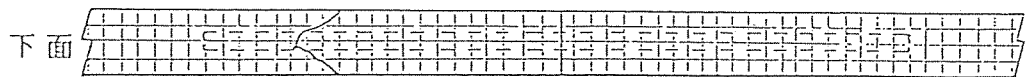
SC16-4



SC16-5



SH13-1



SH16-3

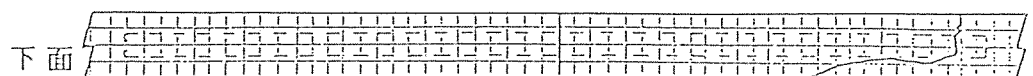
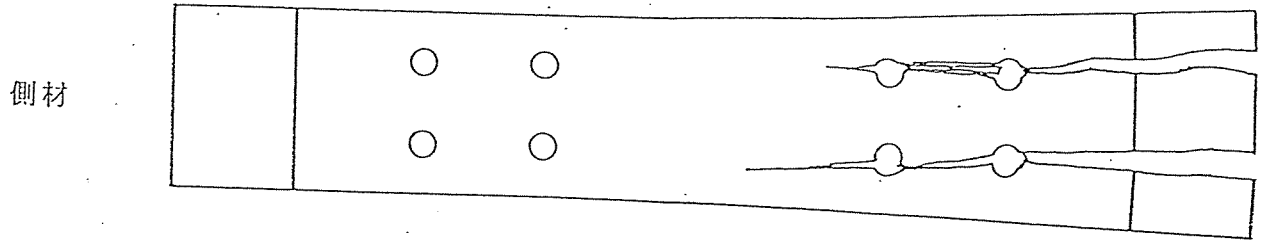
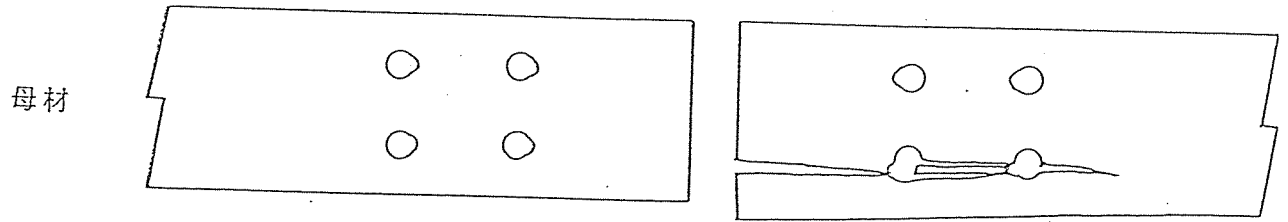
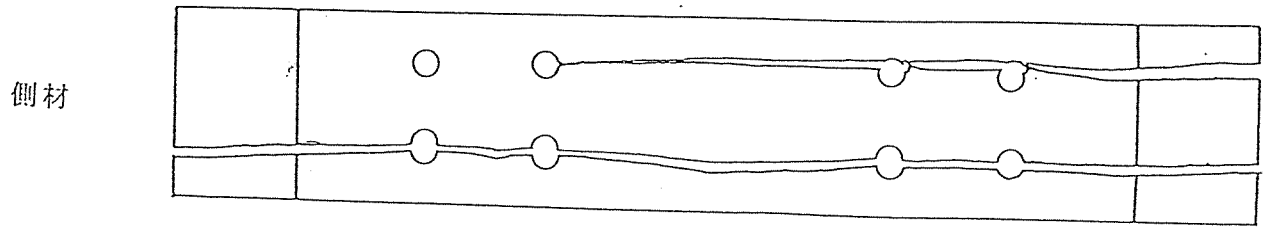


図4. 2. 2 破壊性状 (その3)

BL10



BP10

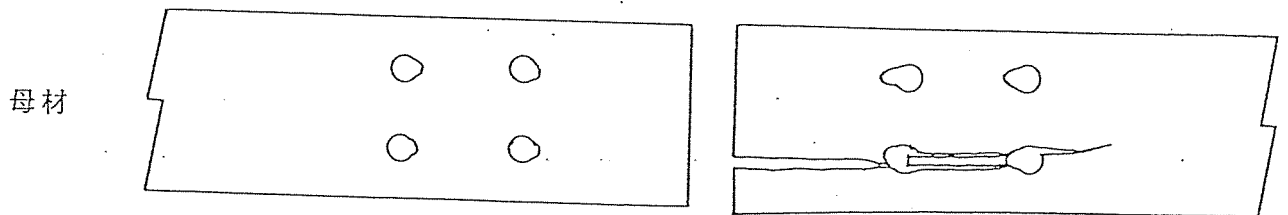


図4. 2. 1 破壊性状 (その8. ボルト接合)

表4. 3. 1 各変位段階における荷重 (単位: kgf)

DISP(mm)	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	2.00	3.00
N00-1	3800	6700	8200	10167	12039	20250						
-2	2900	5000	7100	9000	10750	18667						
-3	3929	6125	7625	9000	10364	18433	25233	25125				
-4	1944	3167	4222	5350	6278	11944	20833	29434				
-5	3667	6000	8167	9786	12250	22600	24119	27436	27508	27579	28267	28340
平均	3248	5398	7063	8661	10336	18379	23395	27332	27508	27579	28267	28340
A10-1	1333	2150	2925	3700	4425							
-2	2200	3020	3850	4538								
-3	1650	2767	3950	5033								
-4	1800	3250	4675	5975	6925							
-5	1600	2700	3800	4950	6125							
平均	1717	2777	3840	4839	5825							
A11-1	2433	3700	5100	6367	7500	12300						
-2	1550	2750	3950	5200	6200	10500	20448					
-3	1467	2450	3450	4450	5350	9086	14583					
-4	1800	3067	4040	5200	6200	10867	15007					
-5	1250	2200	3114	3950	4800	9055						
平均	1700	2833	3931	5033	6010	10362	16679					
A12-1	4050	5200	6267	7267	8320	13333	22100					
-2	1950	3450	4933	6400	7800	14550	22600	22099	22436			
-3	1944	3250	4629	5929	7333	13467	21014					
-4	1944	3125	4182	5333	6350	11722	20675	24992				
-5	2929	4286	5611	6786	8083	14000	23502	23543	23585			
平均	2563	3862	5124	6343	7577	13414	21978	23545	23011			
A13-1	1400	2850	4000	5250	6375	20024	26600					
-2	1667	3017	4444	5750	6944	13500	25412					
-3	1875	3227	4450	6167	7333	13325						
-4	3167	4714	5656	7357	8233	15039						
-5	2125	3250	4200	5167	5900	10526	17341					
平均	2047	3412	4550	5938	6957	14483	23118					
AI -1	1220	2500	3583	4938	6111	11733	20167					
-2	2833	5300	6333	7350	8049	11038	18629	24231	27705			
-3	1182	2000	2864	3731	4591	8667	15730					
-4	1000	1700	2367	3031	3667	6844	12167	16467	17960			
-5	1950	2950	4056	5200	6222	11050	19533					
平均	1637	2890	3841	4850	5728	9866	17245	20349	22833			

表 4. 3. 2 各変位段階における荷重 (単位: kgf)

DISP(mm)	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	2.00	3.00
AS10-1	1833	2857	3727	4656	5667							
-2	1083	1850	2550	3360	4100	5328	5473					
-3	1600	2600	3257	3850	4550	4718	5750					
-4	1867	2800	3800	4188	4757	5466						
-5	1000	1625	2233	2850	3483	6550						
平均	1477	2346	3113	3781	4511	5516	5612					
AL10-1	4267	7100	9900	13250	14490							
-2	4333	6064	6600	8720	10300							
-3	2933	5200	6169	8600	9569	12300						
-4	3933	5618	5800	7341	7975	9169						
-5	3600	5733	7375	10142	11733	12138	12179					
平均	3813	5943	7169	9611	10813	11202	12179					
AL12-1	4036	5200	6417	7500	8500	13840						
-2	1571	2813	4143	5500	7000	15343						
-3	1000	1750	2464	3208	3964	7950	14900	20101				
-4	1000	2000	3000	3673	4667	9632	14623	19757	22702	22731		
-5	2286	3786	5313	6857	8357	14133	22058					
平均	1979	3110	4267	5348	6498	12180	17194	19929	22702	22731		

表 4. 3. 3 各変位段階における荷重 (単位: kgf)

DISP(mm)	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
BP10-1	533	817	1050	1168	1250	1250	1250	1250	1250	1272
-2	600	914	1160	1206	1214	1251	1277	1313	1468	1577
-3	613	950	1221	1380	1406	1450	1517	1534	1550	1563
-4	575	825	1000	1055	1061	1092	1117	1137	1180	1267
-5	710	1017	1112	1131	1150	1235	1365	1472	1590	1608
平均	606	905	1109	1188	1216	1256	1305	1341	1408	1457
BL10-1	550	838	1040	1214	1357	1488	2009	2317	2669	2893
-2	433	675	900	1088	1263	1500	1644	1821	1992	2234
-3	463	675	908	1067	1193	1443	1744	1981	2208	2454
-4	300	525	700	867	1000	1333	1566	1694	1926	2120
-5	450	700	930	1125	1272	1468	1633	1886	2031	2213
平均	439	683	896	1072	1217	1446	1719	1940	2165	2383

DISP(mm)	2.00	3.00	4.00	5.00	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0
BP10-1	1478	1848	3039	4557	7287	7902				
-2	2028	3142	4704	6451	10206	11437				
-3	1790	2108	2677	4088	9520	10753				
-4	1439	1906	3149	4960	9245	10350	10811			
-5	1648	1977	2911	4417	9549	10300				
平均	1677	2196	3296	4895	9161	10148	10811			
BL10-1	4186	5141	5710	6101	7203	7921				
-2	3619	4823	5557	6041	7208	7786	8325	8896	9181	
-3	3663	4723	5367	5768	6781	7372	7894			
-4	3548	4807	5535	5988	6922	7445				
-5	3417	4663	5482	5994	7161	7743	8269			
平均	3687	4831	5530	5978	7055	7653	8163	8896	9181	

表 4. 3. 4 各変位段階における荷重 (単位: kgf)

DISP(mm)	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.20	0.30	0.40
SC09-1	583	1278	2031	2639	3206	5725	7613	
-2	1292	2139	2667	3120	3529	6060	7800	
-3	328	667	1000	1526	2050	4473	6500	
-4	475	817	1196	1636	2111	4686		
-5	255	615	945	1380	1760	3783		
平均	587	1103	1568	2060	2531	4945	7304	
SC13-1	1400	2360	3318	4389	5591	9425	10816	10975
-2	1250	2071	2808	2556	4462	9000	12100	
-3	1286	2667	3600	4550	5583	9333		
-4	1722	2833	3950	5000	6000	10600	11919	
-5	600	1308	2250	3250	4429	7767	8817	
平均	1252	2248	3185	3949	5213	9225	10913	10975
SC16-1	1222	2375	3389	4563	5800	8191		
-2	1071	1808	2500	3188	3955	7120	9376	10233
-3	1545	2500	3409	4350	5250	9120		
-4	861	1773	2750	3722	4727	9000		
-5	955	1500	2447	3100	3735	6911	8758	
平均	1131	1991	2899	3785	4693	8068	9067	10233
SH09-1	907	1259	1615	2000	2417	4582	6418	
-2	1458	1775	2289	2773	3260	5229	6589	7467
-3	1321	2033	2714	3367	3956	5653		
-4	896	1341	1825	2361	2941	5311	6600	
-5	476	865	1283	1679	2034	3720	5229	6382
平均	1012	1455	1945	2436	2922	4899	6627	6925
SH13-1	692	1500	3233	4050	4850	8600		
-2	1050	2100	2900	3850	4760	8306	10325	
-3	2250	3000	3840	4633	5560			
-4	1633	2346	3044	3743	4467	7950	10125	
-5	432	905	1400	1848	2361	4725	6908	
平均	1211	1970	2883	3625	4400	7395	9119	
SH16-1	1667	2462	3286	4040	4833	7689	9529	10558
-2	537	907	1357	1967	2600	6240	8720	9955
-3	1654	2367	2971	3857	4500	8567	10615	
-4	1750	2813	3960	5040	5840	8517	10544	
-5	850	1412	1972	2500	3025	5822	7629	
平均	1292	1992	2709	3481	4160	7367	9407	10257

表 4. 4. 1 各試験体の剛性

試験体名	剛性(kgf/mm)	試験体名	剛性(kgf/mm)	試験体名	剛性(kgf/mm)
N00-1	843,880	A10-1	384,620	A11-1	593,220
-2	747,170	-2	401,790	-2	560,000
-3	788,180	-3	563,380	-3	375,000
-4	513,700	-4	692,310	-4	503,880
-5	1,016,040	-5	555,560	-5	423,650
AVE.	781,794	AVE.	519,532	AVE.	491,150
A12-1	508,290	A13-1	561,220	AI-1	556,960
-2	673,580	-2	651,040	-2	359,850
-3	629,140	-3	677,970	-3	408,240
-4	498,530	-4	634,920	-4	303,030
-5	580,200	-5	437,790	-5	491,800
AVE.	577,948	AVE.	592,588	AVE.	423,976
AS10-1	473,680	AL10-1	1,516,670	AL12-1	594,590
-2	376,150	-2	1,714,290	-2	681,820
-3	448,280	-3	944,450	-3	395,760
-4	553,190	-4	937,500	-4	486,110
-5	306,700	-5	1,169,810	-5	743,590
AVE.	431,600	AVE.	1,256,544	AVE.	580,374
BP10-1	12,720	BL10-1	14,560		
-2	15,440	-2	10,790		
-3	15,050	-3	11,380		
-4	14,960	-4	11,180		
-5	14,770	-5	9,820		
AVE.	14,588	AVE.	11,546		

試験体名	N00	A10	A11	A12	A13	AI	AS10	AL10	AL12	BP10	BL10
測定長さ	77	98	60	67	73	74	98	98	67	98	98

単位: mm

表 4. 4. 2 各試験体の剛性

試験体名	剛性(kgf/mm)	試験体名	剛性(kgf/mm)
SC09-1	279,720	SH09-1	195,120
-2	239,230	-2	218,980
-3	234,740	-3	323,810
-4	244,600	-4	245,990
-5	197,180	-5	161,290
AVE.	239,094	AVE.	229,038
SC13-1	558,820	SH13-1	379,080
-2	382,170	-2	404,580
-3	426,570	-3	390,240
-4	493,420	-4	348,040
-5	324,070	-5	225,160
AVE.	437,010	AVE.	349,420
SC16-1	561,220	SH16-1	350,320
-2	326,800	-2	335,330
-3	444,450	-3	384,620
-4	478,870	-4	556,960
-5	307,690	-5	282,210
AVE.	423,806	AVE.	381,888

第4章 スギ間伐材とスチールプレートの接着接合部の耐久性

1. はじめに

木材と金属の接合には、従来より釘、タッピングねじ等による機械的接合が用いられている。一方、木材と金属との接合に接着剤を使用した場合、その最大の長所は、接着面の全体に応力が均一に分布し機械的接合に比べ応力の局部的集中がないことである。すなわち、接着剤は表面の連続的接触を与えるので、無数の、しかも微少な釘やタッピングねじと同様な働きをし、各々が荷重を支持するため、接着面全体に荷重が均一に分布することになる。これは接着が面と面の接合に基づく利点である。

しかし、従来より木材と金属の接着接合が使用されていない原因としては、温度変化の激しい環境でそれを使用する場合、木材と金属では互いの線膨張係数が異なるため、温度変化により発生する内部応力によって結合が破壊される恐れがあると考えられているからである。しかしながら、接着接合部の耐力におよぼす温度変化の影響についてはほとんどデータがなく、前述のように木材と金属の接着接合の利点があるにも関わらず、その可否について明確な論拠がないまま現在に至っているように思われる。

そこで本実験では、スギ間伐材にスチールプレートを2種類の接着剤を用い接着した試験片に外周雰囲気 $+1^{\circ}\text{C}\sim+80^{\circ}\text{C}$ の温度変化を繰り返し与え、接着接合部の耐力、換言すれば耐久性におよぼす温度変化の影響について検討するための基礎データを得ることとした。

2. 実験

2. 1 供試材料

供試体は断面 $70\text{mm}\times 70\text{mm}$ 、長さ 85mm または 160mm のスギ材である。長さを2

種類としたのは接着面積の影響を検討するためである。供試体を採り出した木材は、長さ3 m、断面75mm×75mmの背割りなしのスギ間伐材で特等芯持ち正角未乾燥材である。この材を天然乾燥させたのち、プレーナーを用いて断面70mm×70mmに仕上げ、所定の長さに切断した。試験片の接着時の気乾比重は平均0.38で、含水率の平均は14.7%であった。表1-1、1-2には全ての試験片の気乾比重を、図1に含水率測定用試片の採取位置および表2に含水率一覧表が示してあるので参照されたい。

スチールプレートは厚さ9 mmの普通鋼材（SS41）で、プレートの大きさは幅75mm、長さ85mmまたは160mmの2種類である。表面は特に研磨したものではなく、接着に際し接着面はアセトンを用いて脱脂した。また、プレートを再度使用したが、このときは#320の研磨布紙を用い表面に残留した接着剤を除去した。

接着剤には、ポリウレタン系構造用接着剤（日本ポリウレタン工業株式会社、ウッドロック）ならびにエポキシ樹脂接着剤（大鹿振興株式会社、TE-128S）を用いた。

2. 2 接着

接着は接着剤メーカーが推奨する条件に準じて行うこととしたが、圧縮時間については実験実施時間の関係上ポリウレタン系構造用接着剤、エポキシ樹脂接着剤いずれの場合も推奨時間の1/2としている。接着条件については表3に一覧表を示してあるので参照されたい。なお、通常の接着試験とは異なりスギの接着面は板目面で、さらに節、目切れなどの欠陥が存在しているものを使用している。図2-1、2-2には試験片の形状が示してある。

接着後、試験片は含水率の変化を生じないように、木材部をゴム系接着剤とアルミホイルを用いてシールし、20℃、55%RH（平衡含水率10%）の恒温恒湿

室内で1週間養生した。

試験片の名称は、ポリウレタン系構造用接着剤の接着面積の小さいもの（長さ85mm）をUSタイプ、大きいもの（160mm）をULタイプ、同様にエポキシ樹脂接着剤もそれぞれES、ELタイプとした。

2. 3 劣化促進処理

養生後、恒温恒湿器（タバイ エスペック製 PR-3G）を用い、制御盤の温度表示値に基づき1℃→80℃→1℃の温度変化を1サイクル（所要時間3時間）とした劣化促進処理を行うこととした。わが国の年間平均気温の幅は一般に40℃程度であることを勘案すれば、本実験の劣化促進条件は実際使用時の温度変化に比べかなりきびしい条件を想定している。なお、湿度については何ら制御を行っていない（湿度は成行き）。処理サイクル数は基本的に100,200,300,400サイクル（ただしULタイプは250サイクルについても行った）とした。所定のサイクル数に達したものについては恒温恒湿器から取り出し、常温になるまで室内に放置した後、圧縮せん断試験によって接着強さを求めることとした。

なお、接着・養生後、サイクル終了時の接着強さ残存率を算出するために劣化促進処理を行わないものをコントロールとして用意した。

また、処理サイクル中の恒温恒湿器内およびスチールプレートの温度変化、ならびに木材およびスチールプレートに生じるひずみをワイヤーストレインゲージを用いて測定した。

試験片数は、一条件10個である。

2. 4 試験方法

接着強さは、図3に示すようなせん断試験によって求めることとした。試験機には容量50tの万能試験機（島津製作所製JH-50A）を用い、加力速度は

0.5mm/min.とした。なお、加力中の試験片下部の開きを防ぐために治具（プレート、ボルト）を用いた。

3. 結果および考察

3. 1 無処理時の接着強さ

表4-1,4-2には無処理（劣化促進処理を行っていないもの）の試験片についての試験結果が示してある。同表より次のことがわかる。

ポリウレタン系構造用接着剤使用のUS、ULタイプ、エポキシ樹脂接着剤使用のES、ELタイプの接着強さは、それぞれ61.1kgf/cm²、45.6kgf/cm²、46.1kgf/cm²、40.3kgf/cm²（ただしESタイプは木部破断率の低い3個を除いた平均）であり、木部破断率はESタイプを除いた3タイプで80%～90%と高い値を示している。

スギ素材のせん断強さは、平均60kgf/cm²、最小値40 kgf/cm² 程度であり、本実験で得られた接合部の接着強さは40kgf/cm²以上ある。さらに木部破断率の値を考慮すると、この結果は被着材の強度に支配されていると考えられ、木材と金属の接着接合部について十分な接着がなされていたと考えられる。

つぎに接着面積の影響についてみると、接着強さの比US/ULおよびES/ELは、それぞれ1.3、1.1で、接着面積の小さいタイプは大きいタイプに比べ接着強さが大きいことがわかる。接着面積の増加にともなう接着強さの低下は、接着面の欠陥数が増加するために起こると考えられる。

3. 2 劣化処理中のひずみ

恒温恒湿器の表示盤による1サイクル中（1℃→80℃→1℃）の恒温恒湿器内とスチールプレートの実測温度変化、および木材とスチールプレートのひずみ変化をそれぞれ図4、図5に示してある。

図3より、恒温恒湿器の表示温度が1℃→80℃であっても、スチールプレートの実際の温度変化は約10℃から60℃までで、その温度差は約50℃であることがわかる。この時、スチールプレートと接着層、スギと接着層間に発生する内部応力の大きさについて考えてみる。接着層の単位面積当たりの内部（熱）応力は熱ひずみとヤング係数により次式によって求められる。

$$p = \varepsilon E = \Delta t \Delta \alpha$$

ここに

p = 接着層の単位面積あたりの内部（熱）応力

ε = 熱ひずみ

E = 接着剤のヤング率

Δt = 温度差

$\Delta \alpha$ = 線膨張係数の差

さて、エポキシ樹脂の α を 5.0×10^{-5} ²⁾、 E を $2.0 \times 10^4 \text{ kg f/cm}^2$ ³⁾

スチールプレートの α を 1.2×10^{-5} ²⁾

スギの α_1 を $0.17 \sim 0.25 \times 10^{-5}$ 、 α_t を 1.49×10^{-5} ⁴⁾ とすれば、それぞれの接着界面に発生する内部応力は温度差50℃の場合、約40～50 kg f/cm^2 と算出される。

つぎに、スチールプレートおよびスギのひずみ変化と恒温恒湿器内の温度変化の関係をみると、スギのひずみ変化は、時間的なずれはあるものの恒温恒湿器内の温度変化に追従しているのに対し、スチールプレートのひずみはそれとは異なった変化を示す。すなわち、ひずみはスギとスチールプレートでは逆の変化を示す。本来、線膨張係数はスギのそれに比べスチールプレートの方が10倍以上大きいにもかかわらず、接着された場合にはスチールプレートのひずみ変化の幅はスギの1/3程度となっている。

スギとスチールプレートのひずみ度の差は、恒温恒湿器内の温度が最低値（5℃）の時最も大きく、その値は330 μ である。このとき接着層の受ける変形はせん断変形となる。

3. 3 処理後の接着強さ

表5-1～9に処理後の試験結果を示す。また、その結果に基づいてそれらをグラフ化した接着強さと処理サイクル数の関係を図6に、接着強さ残存率と処理サイクル数の関係を図7に示してある。同表および同図より次のことがわかる。

ポリウレタン系構造用接着剤を使用した接着面積の小さいUSタイプは100サイクル処理後の接着強さ43.5kgf/cm²を示し、無処理の接着強さ（61.1kgf/cm²）に比べて残存率は約70%となっている。それ以降400サイクルまでについては強度の顕著な低下は認められず、ほぼ一定の強度を保つ傾向を示している。

エポキシ樹脂接着剤を使用した接着面積の小さいESタイプについても、ポリウレタン系構造用接着剤の場合と同様に400サイクル処理後も接着強さ残存率約70%を保持しており、本実験の範囲内では著しい強度の低下を示さなかった。

これに対し、ポリウレタン系構造用接着剤を使用した接着面積の大きいULタイプは250サイクル処理後、接着強さ残存率約90%を保持しているが、300サイクル処理後はその強度は急速に低下し、400サイクル処理後に至っては10個の内9個の試験片について、その強度がほぼ0であった。

また、エポキシ樹脂接着剤を使用した接着面積の大きいELタイプもULタイプほどの急速な強度低下は示さなかったが、400サイクル処理後の接着強さ残存率は50%程度まで低下している。

処理後のポリウレタン系構造用接着剤の接着面積による接着強さの比をみる

と、US/ULは100, 200サイクルとも約 1.2で、これは無処理の場合 (1.3) と変わらない。一方、エポキシ樹脂接着剤の場合、ES/ELは 200, 300, 400 サイクルで1.3~1.8の値を示し、これは無処理 (1.1) の時より大きく、無処理時の試験結果と同様に接着面積が大きいと強度が小さく、接着面積による影響がうかがえる。

以上のことは、温度変化による接着接合部の強度低下の傾向は接着剤の種類によって異なり、また、接着面積の増大は欠陥数の増加に加え、温度変化によって生じるひずみの絶対量が増加するため、接着接合部の耐久性を著しく低下させる要因となることを示唆している。

また、本実験では接着強さのばらつきが非常に大きかった。これは本実験に用いたスギには多数の節、目切れが存在していたことが原因と考えられる。

接着剤別のばらつきをみるとポリウレタン系構造用接着剤はエポキシ樹脂接着剤に比べばらつきが大きかった。そのため、大きな接着強さを示したにも関わらず、信頼性に欠ける結果となった。

4. まとめ

スギ間伐材とスチールプレートとを2種類の接着剤を用い接着した試験片に外周雰囲気+1℃~+80℃の温度変化を繰り返し与え、その接着接合部の耐久性について検討した。得られた結果の大要は以下の通りである。

①本実験で得られた無処理の試験片の接着強さは、4タイプとも 40kgf/cm²以上あった。スギ素材のせん断強さ (平均60kgf/cm²、最小値40kgf/cm²程度) および試験片の木部破断率の値を考慮すると、木材と金属の接着接合部は、被着材の強度に支配されており十分な接着がなされていたと考えられる。また、接着強さの比US/UL、ES/ELは、それぞれ1.3、1.1であり、接着面積の小さなタイプは大きなタイプに比べ大きな接着強さを示した。

② 処理サイクル中のスギのひずみ変化は時間的なずれはあるものの恒温恒湿器内の温度変化に追従しているのに対し、スチールプレートのひずみはそれとは異なった変化を示した。接着層の受ける変形はせん断変形であり、スギとスチールプレートのひずみ度の差は恒温恒湿室内器内の温度が最低値（5℃）の時最も大きな値（330 μ ）を示した。

③ 温度変化による接着接合部の強度低下の傾向は接着剤の種類によって異なり、また、接着面積の増大は接着面の欠陥数の増加に加え、温度変化によって生じるひずみの絶対量が増加するため、接着接合部の耐久性を著しく低下させる要因となる。

④ ポリウレタン系構造用接着剤はエポキシ樹脂接着剤に比べ大きな接着強さを示したが接着強さのばらつきが大きいため信頼性に欠ける結果となった。

文献

- 1) 林業試験場編：木材工業ハンドブック，235，新版（丸善，1973）
- 2) 芝崎一郎：接着百科（上），76（高分子刊行会，1975）
- 3) 日本接着協会編：接着ハンドブック，764（日刊工業新聞社，1971）
- 4) 梶田茂編：木材工学，249（養賢堂，1961）

表 1 - 1 全ての試験片の気乾比重

U S タイプ						
N o .	気乾比重	N o .	気乾比重	N o .	気乾比重	
6A	11	0.42	28	0.43	25B 65	0.37
	12	0.40	8C 29	0.40	66	0.34
6B	13	0.38	30	0.39	67	0.35
	14	0.42	31	0.38	68	0.33
6C	15	0.38	32	0.38	25C 69	0.37
	16	0.40	9A 33	0.34	70	0.36
	17	0.43	34	0.35	26A 71	0.37
	18	0.37	35	0.36	72	0.36
	19	0.38	36	0.37	73	0.39
	20	0.40	9B 37	0.34	26B 74	0.34
7A	21	0.37	38	0.35	75	0.36
	22	0.39	39	0.38	76	0.37
7B	23	0.39	40	0.37	77	0.41
	24	0.36	25A 61	0.38	26C 78	0.32
7C	25	0.42	62	0.35	79	0.35
	26	0.38	63	0.36	80	0.36
8A	27	0.38	64	0.37		
U L タイプ						
N o .	気乾比重	N o .	気乾比重	N o .	気乾比重	
5B	3	0.44	23	0.40	53	0.38
5C	4	0.41	24	0.40	54	0.37
	5	0.43	8B 25	0.37	55	0.37
	6	0.45	26	0.38	20C 56	0.37
6A	7	0.38	27	0.40	57	0.37
	8	0.40	28	0.39	58	0.36
	9	0.39	8C 29	0.38	59	0.41
6B	10	0.39	30	0.39	60	0.37
	11	0.38	31	0.39	25A 61	0.36
	12	0.39	9A 32	0.35	25B 62	0.38
7A	13	0.39	33	0.36	63	0.36
	14	0.40	34	0.35	64	0.35
	15	0.37	9B 35	0.35	25C 65	0.36
7B	16	0.40	36	0.36	26A 66	0.36
7C	17	0.39	37	0.36	26B 67	0.39
	18	0.37	9C 38	0.34	68	0.35
	19	0.42	39	0.36	69	0.37
	20	0.38	40	0.37	26C 70	0.40
8A	21	0.39	20B 51	0.37		
	22	0.38	52	0.40		

表 1 - 2 全ての試験片の気乾比重

E S タイプ								
N o .	気乾比重	N o .	気乾比重	N o .	気乾比重			
9C	1	0.39	12C	18	0.43	35	0.43	
10A	2	0.37		19	0.37	36	0.38	
	3	0.35		20	0.39	37	0.38	
	4	0.37		21	0.41	38	0.37	
	5	0.38		22	0.40	39	0.40	
10B	6	0.38		23	0.39	40	0.38	
	7	0.38		24	0.37	41	0.41	
	8	0.37		25	0.40	17C	42	0.37
	9	0.36		26	0.39	43	0.38	
10C	10	0.38	13A	27	0.36	44	0.39	
12B	11	0.39		28	0.37	45	0.41	
	12	0.39		29	0.40	46	0.38	
	13	0.42		30	0.37	47	0.39	
	14	0.41	17A	31	0.39	48	0.36	
	15	0.41		32	0.44	49	0.40	
	16	0.45	17B	33	0.38	50	0.38	
	17	0.40		34	0.36			
E L タイプ								
N o .	気乾比重	N o .	気乾比重	N o .	気乾比重			
10A	1	0.37		28	0.39	45	0.38	
	2	0.38		29	0.41	19B	46	0.34
	3	0.37		30	0.46	47	0.33	
10B	4	0.39	13A	31	0.35	48	0.34	
	5	0.37		32	0.36	49	0.34	
	6	0.38	13B	33	0.38	50	0.32	
10C	7	0.38		34	0.39	22A	71	0.39
	8	0.38		35	0.40	22B	72	0.39
	9	0.38		36	0.38	73	0.38	
	10	0.40		37	0.35	74	0.38	
11C	21	0.34		38	0.35	22C	75	0.38
	22	0.34	13C	39	0.37	76	0.36	
	23	0.37		40	0.38	77	0.39	
	24	0.36	19A	41	0.35	78	0.36	
	25	0.39		42	0.38	25A	79	0.36
12A	26	0.44		43	0.31	80	0.35	
	27	0.39		44	0.31			

MAX.	0.46
MIN.	0.31
AVE.	0.38
STD.	0.02

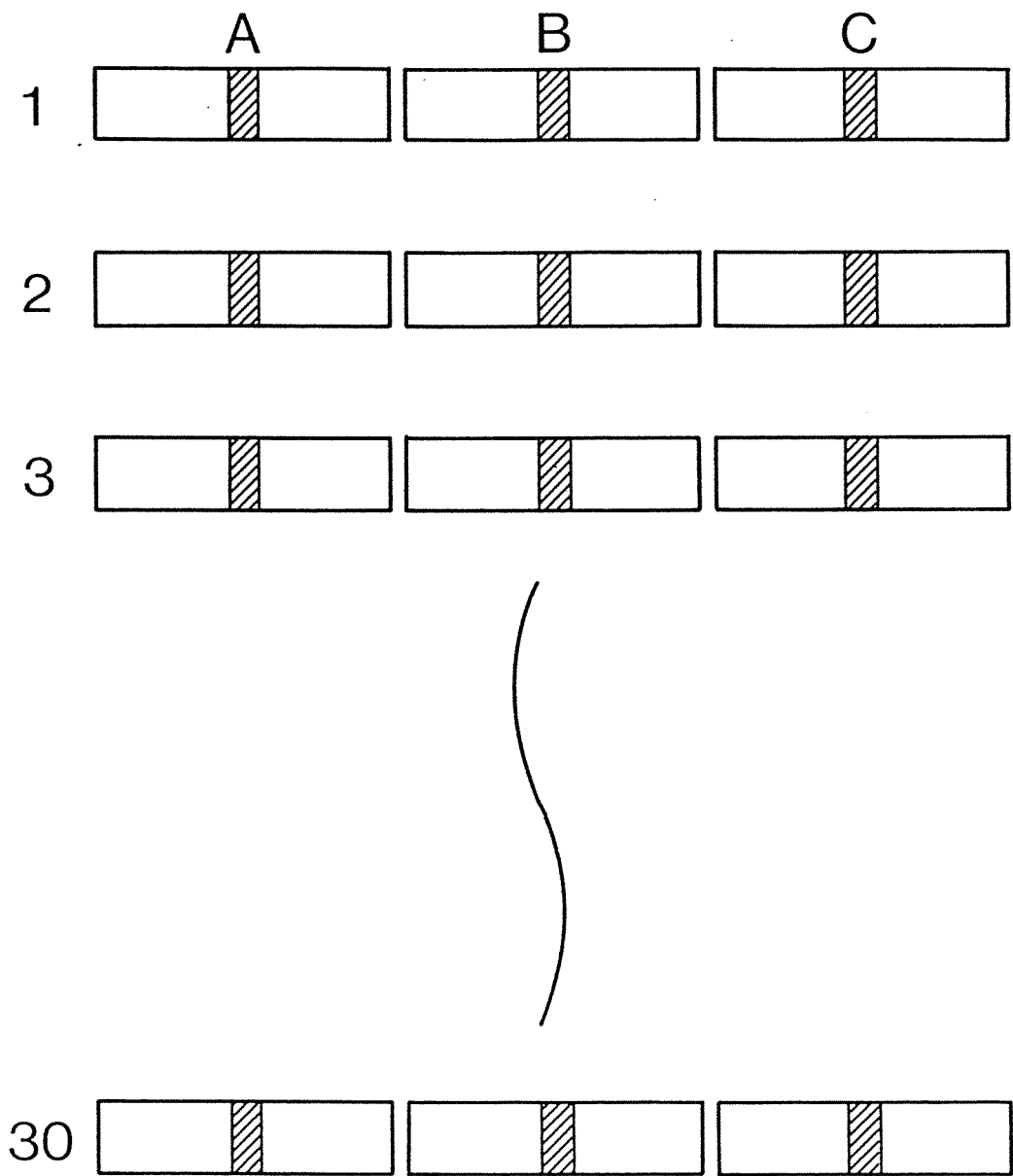


図 1 含水率測定用試片の採取位置

表 2 含水率一覽表

No.	含水率 (%)	No.	含水率 (%)
5B	15.7	15C	13.4
5C	15.0	17A	15.3
6A	14.5	17B	14.1
6B	15.8	17C	15.1
6C	16.3	19A	14.1
7A	16.3	19B	13.9
7B	15.0	19C	13.9
7C	15.3	20A	14.6
8A	16.3	20B	13.4
8B	16.6	20C	13.8
8C	16.3	21A	14.1
9A	16.1	21B	14.2
9B	15.9	21C	14.3
9C	15.8	22A	14.6
10A	14.7	22B	14.3
10B	15.4	22C	14.0
10C	15.3	25A	13.3
11A	14.9	25B	13.8
11B	15.1	25C	14.0
11C	15.2	26A	14.1
12A	16.4	26B	13.9
12B	14.7	26C	14.3
12C	13.6	28A	13.0
13A	14.6	28B	13.9
13B	15.2	28C	14.3
13C	14.3	29B	14.8
15A	15.3	30A	14.2
15B	14.4		
		AVE.	14.7
		STD.	0.90

表 3. 試験片の接着条件

接着条件		
	ポリウレタン	エポキシ
接着剤塗布量	一接着層当り 300 g / m ²	
堆積時間 (オープン)	10分	0分
圧縮圧	7 kg / cm ²	
圧縮時間	3時間	12時間
養生時間 (20℃, 55% RH)	1週間	

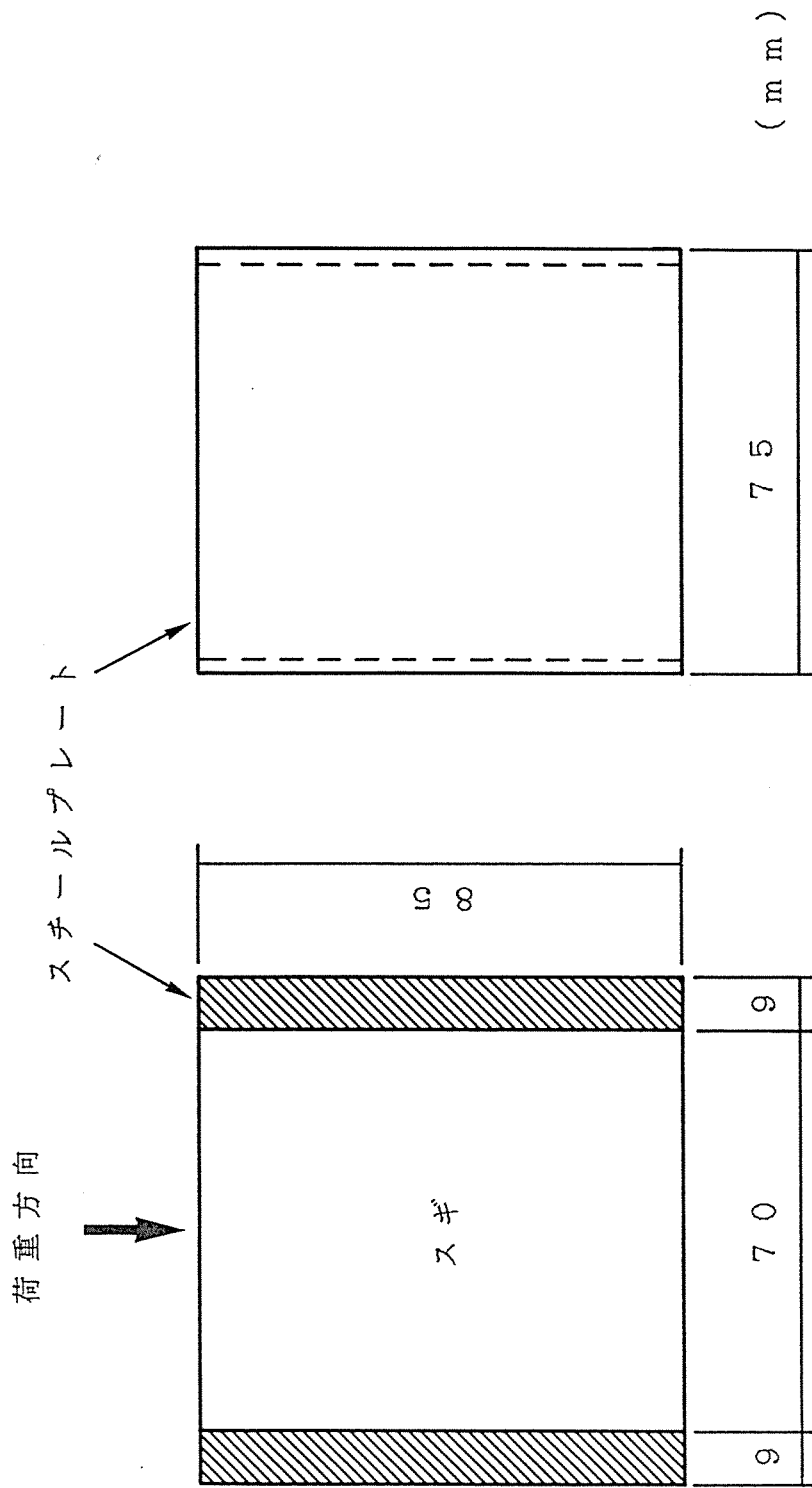


図 2 - 1 試験片の形状

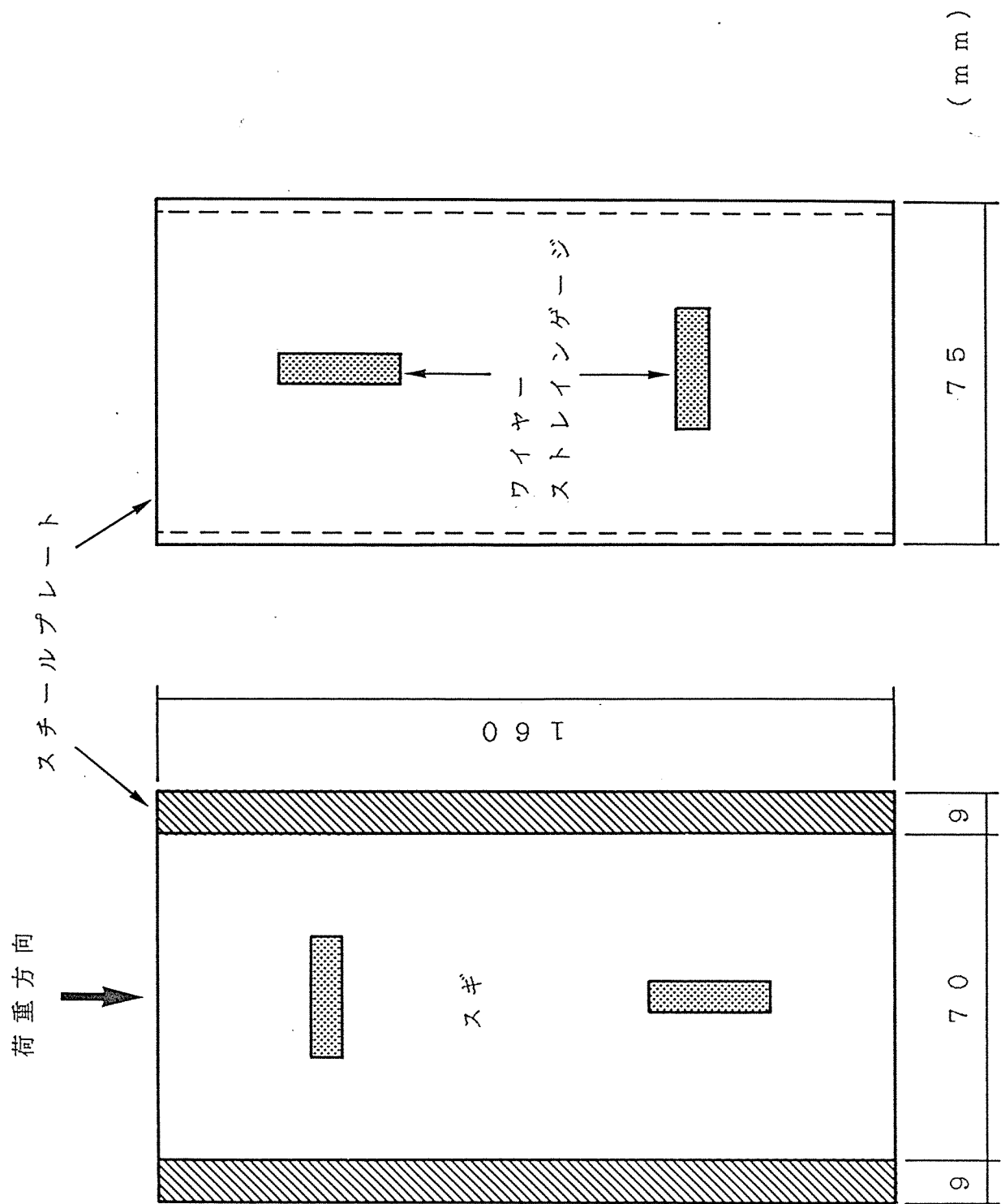


図 2 - 2 試験片の形状

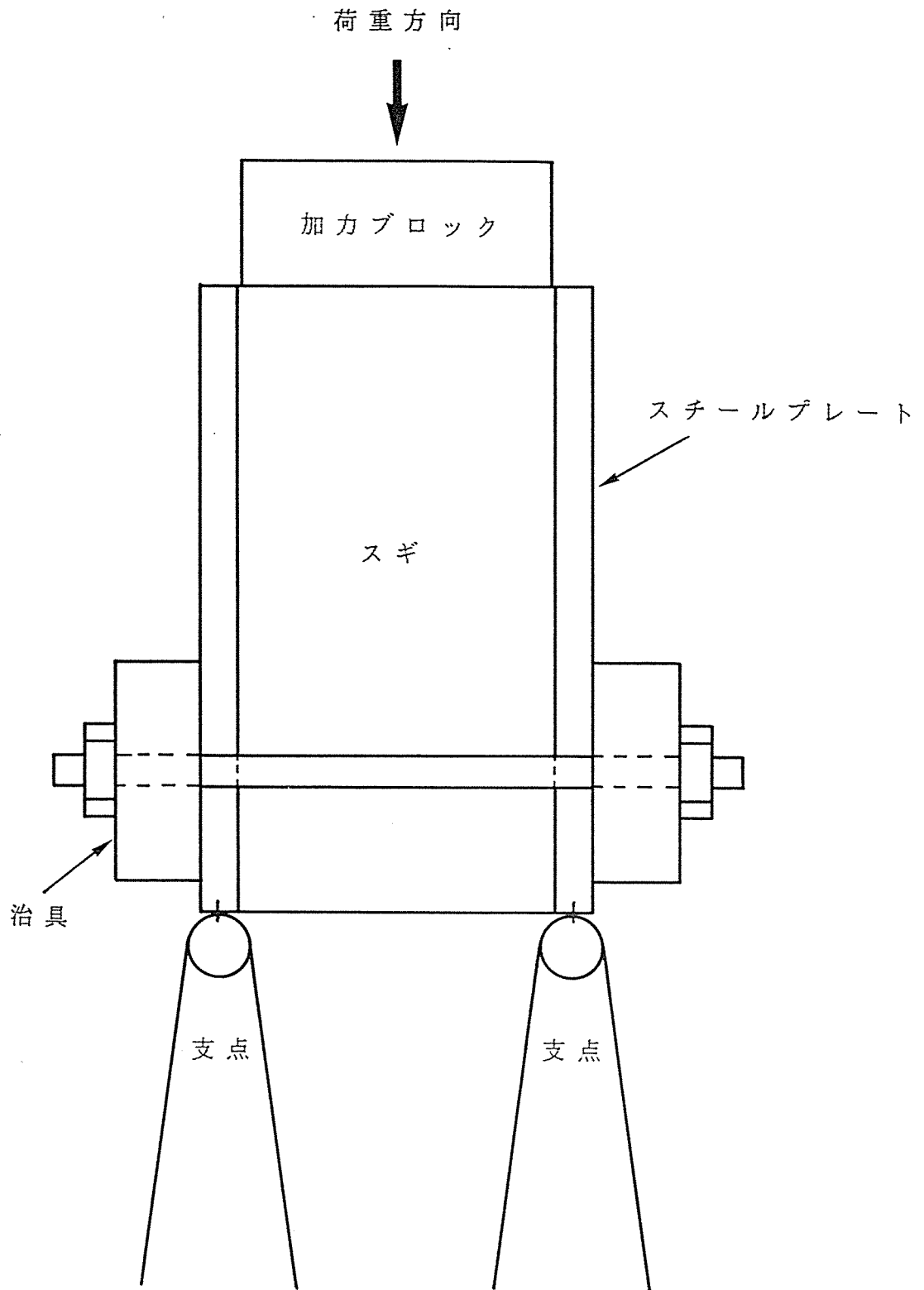


図 3 試験方法

表 4 - 1 無処理の試験結果

U S タイプ					
N o .		最大荷重 (kg f)	接着強さ (kg f/cm ²)	木部破断率 (%)	接着強さ 残存率 (%)
無処理					
25A	61	8560	71.9	80	
	62	8175	68.7	100	
	63	8565	72.0	100	
	64	7610	63.9	90	
25B	65	6810	57.2	100	
	66	7480	62.9	80	
	67	7110	59.7	90	
	68	6600	55.5	90	
25C	69	6370	53.5	80	
	70	5425	45.6	90	
AVE.			61.1	90.0	100.0

U L タイプ					
N o .		最大荷重 (kg f)	接着強さ (kg f/cm ²)	木部破断率 (%)	接着強さ 残存率 (%)
無処理					
25A	61	11880	53.0	100	
25B	62	11570	51.7	90	
	63	11970	53.4	100	
	64	11330	50.6	90	
25C	65	6625	29.6	90	
26A	66	10500	46.9	90	
26B	67	10550	47.1	80	
	68	10760	48.0	80	
	69	8325	37.2	80	
26C	70	8530	38.1	50	
AVE.			45.6	85.0	100.0

表 4 - 2 無処理の試験結果

E S タイプ					
N o .		最大荷重 (kg f)	接着強さ (kg f/cm ²)	木部破断率 (%)	接着強さ 残存率 (%)
無処理					
9C	1	3320	* 27.9	10	
10A	2	5900	49.6	50	
	3	4800	40.3	60	
	4	4100	34.5	30	
	5	5200	43.7	50	
10B	6	2700	* 22.7	10	
	7	5700	47.9	60	
	8	7700	64.7	60	
	9	5000	42.0	70	
10C	10	2500	* 21.0	20	
AVE.			46.1	42.0	100.0

E L タイプ					
N o .		最大荷重 (kg f)	接着強さ (kg f/cm ²)	木部破断率 (%)	接着強さ 残存率 (%)
無処理					
22A	71	11150	49.8	80	
22B	72	6340	28.3	90	
	73	8180	36.5	90	
	74	7935	35.4	80	
22C	75	9720	43.4	90	
	76	7925	35.4	90	
	77	9880	44.1	60	
	78	9830	43.9	100	
25A	79	9390	41.9	50	
	80	9980	44.6	70	
AVE.			40.3	80.0	100.0

* 平均より値を算定する場合には除外した

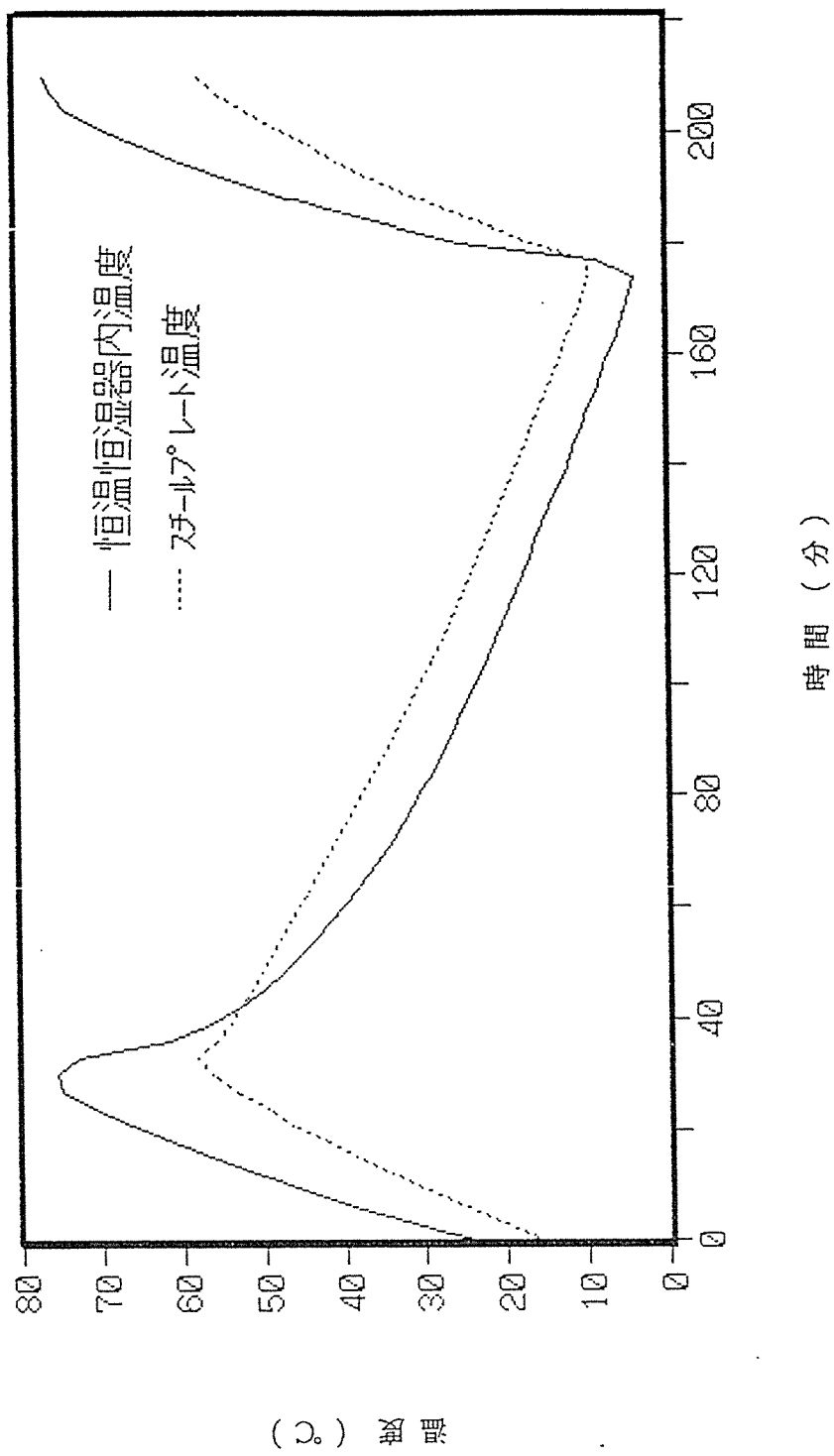
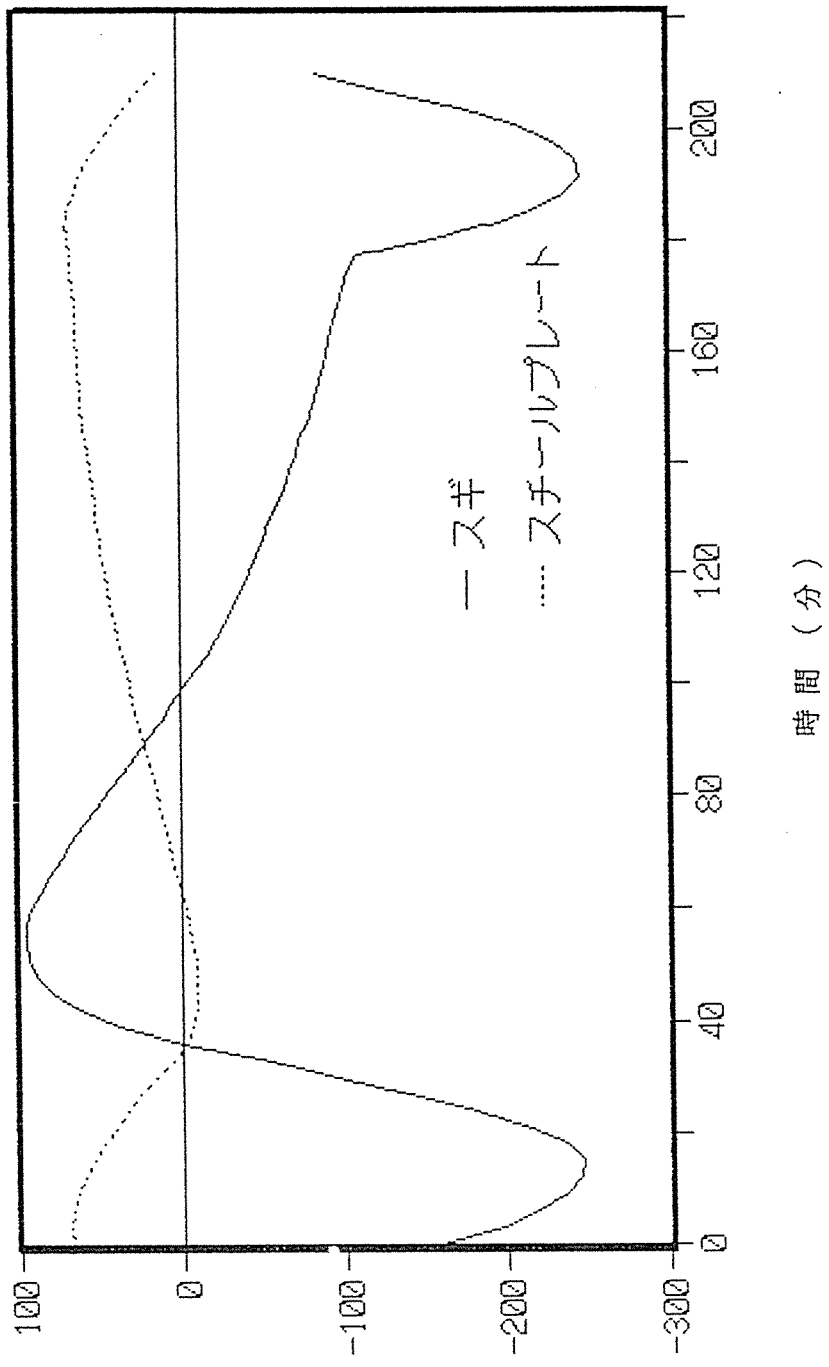


図4 1 サイクル中の恒温恒湿器内およびスチールプレートの温度変化



(11) 20 年

図5 1 サイクル中のスギおよびスチールプレートひずみの変化

表 5 - 1 処理後の試験結果

U S タイプ					
N o .		最大荷重 (kg f)	接着強さ (kg f/cm ²)	木部破断率 (%)	接着強さ 残存率 (%)
100cycle					
6A	11	5900	49.6	70	
	12	4800	40.3	90	
6B	13	8100	68.1	80	
	14	4400	37.0	20	
6C	15	4700	39.5	50	
	16	4400	37.0	50	
	17	3900	32.8	70	
	18	3900	32.8	30	
	19	5900	49.6	90	
	20	5800	48.7	90	
AVE.			43.5	64.0	71.2

U L タイプ					
N o .		最大荷重 (kg f)	接着強さ (kg f/cm ²)	木部破断率 (%)	接着強さ 残存率 (%)
100cycle					
5B	3	6700	29.9	60	
5C	4	8000	35.7	70	
	5	8300	37.1	90	
	6	8500	37.9	80	
6A	7	7500	33.5	60	
	8	8000	35.7	60	
	9	6500	29.0	60	
6B	10	9380	41.9	90	
	11	8500	37.9	50	
	12	7000	31.3	20	
AVE.			35.0	64.0	76.8

表 5 - 2 処理後の試験結果

E S タイプ				
N o .	最大荷重 (kg f)	接着強さ (kg f/cm ²)	木部破断率 (%)	接着強さ 残存率 (%)
100cycle				
12B 11	3325	27.9	10	
12	4065	34.2	30	
13	4635	38.9	20	
14	4045	34.0	20	
15	4625	38.9	10	
16	5075	42.6	50	
17	4650	39.1	80	
12C 18	4087	34.3	20	
19	4515	37.9	20	
20	1492	12.5	10	
AVE.		34.0	27.0	73.8

E L タイプ				
N o .	最大荷重 (kg f)	接着強さ (kg f/cm ²)	木部破断率 (%)	接着強さ 残存率 (%)
100cycle				
10A 1	7700	34.4	60	
2	7300	32.6	20	
3	6400	28.6	50	
10B 4	7300	32.6	40	
5	5600	25.0	50	
6	7100	31.7	50	
10C 7	8200	36.6	80	
8	8600	38.4	80	
9	8500	37.9	90	
10	7500	33.5	50	
AVE.		33.1	57.0	82.1

表 5 - 3 処理後の試験結果

USタイプ					
No.		最大荷重 (kg f)	接着強さ (kg f/cm ²)	木部破断率 (%)	接着強さ 残存率 (%)
200cycle					
7A	21	5730	48.2	100	
	22	4875	41.0	90	
7B	23	5475	46.0	50	
	24	5460	45.9	80	
7C	25	8415	70.7	80	
	26	5315	44.7	90	
8A	27	6070	51.0	90	
	28	7240	60.8	10	
8C	29	444	* 3.7	0	
	30	184	* 1.5	0	
AVE.			51.0	59.0	67.8

ULタイプ					
No.		最大荷重 (kg f)	接着強さ (kg f/cm ²)	木部破断率 (%)	接着強さ 残存率 (%)
200cycle					
7A	13	8795	39.3	70	
	14	8845	39.5	90	
	15	8610	38.4	80	
7B	16	10720	47.9	60	
7C	17	459	* 2.0	0	
	18	9670	43.2	90	
	19	926	* 4.1	0	
	20	8845	39.5	80	
8A	21	7910	35.3	70	
	22	9425	42.1	90	
AVE.			40.6	63.0	72.6

* 平均より値を算定する場合には除外した

表 5 - 4 処理後の試験結果

E S タイプ					
No.		最大荷重 (kg f)	接着強さ (kg f/cm ²)	木部破断率 (%)	接着強さ 残存率 (%)
200cycle					
12C	21	4632	38.9	50	
	22	6125	51.5	70	
	23	4172	35.1	0	
	24	7690	64.6	90	
	25	6770	56.9	90	
	26	3540	29.7	80	
13A	27	6370	53.5	90	
	28	5230	43.9	30	
	29	4530	38.1	90	
	30	6040	50.8	50	
AVE.			46.3	64.0	100.4

E L タイプ					
No.		最大荷重 (kg f)	接着強さ (kg f/cm ²)	木部破断率 (%)	接着強さ 残存率 (%)
200cycle					
11C	21	5975	26.7	50	
	22	4855	21.7	50	
	23	4042	18.0	20	
	24	4575	20.4	20	
	25	4215	18.8	40	
12A	26	8430	37.6	40	
	27	4830	21.6	60	
	28	7275	32.5	40	
	29	6395	28.5	70	
	30	5770	25.8	20	
AVE.			25.2	41.0	62.5

表 5 - 5 処理後の試験結果

ULタイプ					
No.		最大荷重 (kg f)	接着強さ (kg f/cm ²)	木部破断率 (%)	接着強さ 残存率 (%)
250cycle					
20B	51	1590	* 7.1	0	
	52	920	* 4.1	0	
	53	2205	* 9.8	0	
	54	11270	50.3	100	
20C	55	9100	40.6	90	
	56	8350	37.3	100	
	57	3407	15.2	0	
	58	9950	44.4	90	
	59	9860	44.0	100	
	60	9950	44.4	100	
AVE.			39.5	58.0	65.1

* 平均より値を算定する場合には除外した

表 5 - 6 処理後の試験結果

U S タイプ					
N o .		最大荷重 (kg f)	接着強さ (kg f/cm ²)	木部破断率 (%)	接着強さ 残存率 (%)
300cycle					
26A	71	6105	51.3	90	
	72	5400	45.4	90	
	73	5125	43.1	80	
26B	74	5095	42.8	80	
	75	6335	53.2	90	
	76	7235	60.8	100	
	77	6215	52.2	90	
26C	78	5530	46.5	90	
	79	6025	50.6	90	
	80	5155	43.3	70	
AVE.			48.9	87.0	80.1

U L タイプ					
N o .		最大荷重 (kg f)	接着強さ (kg f/cm ²)	木部破断率 (%)	接着強さ 残存率 (%)
300cycle					
8A	23	753	3.4	0	
	24	252	1.1	0	
8B	25	1060	4.7	0	
	26	619	2.8	0	
	27	358	1.6	0	
	28	1645	7.3	0	
8C	29	852	3.8	0	
	30	442	2.0	0	
	31	1133	5.1	0	
9A	32	211	0.9	0	
AVE.			3.3	0.0	7.2

表 5 - 7 処理後の試験結果

E S タイプ				
N o .	最大荷重 (kg f)	接着強さ (kg f/cm ²)	木部破断率 (%)	接着強さ 残存率 (%)
300cycle				
17A	31	6590	55.4	30
	32	2455	20.6	0
17B	33	4022	33.8	100
	34	6925	58.2	60
	35	3452	29.0	60
	36	4100	34.5	80
	37	4100	34.5	20
	38	4055	34.1	10
	39	6680	56.1	80
	40	3650	30.7	20
AVE.			38.7	46.0
				83.9

E L タイプ				
N o .	最大荷重 (kg f)	接着強さ (kg f/cm ²)	木部破断率 (%)	接着強さ 残存率 (%)
300cycle				
13A	31	5705	25.5	40
	32	7035	31.4	50
13B	33	7090	31.7	40
	34	6375	28.5	30
	35	6005	26.8	30
	36	6945	31.0	30
	37	7220	32.2	20
	38	5920	26.4	70
13C	39	8190	36.6	90
	40	8880	39.6	70
AVE.			31.0	47.0
				76.9

表 5 - 8 処理後の試験結果

U S タイプ				
N o .	最大荷重 (kg f)	接着強さ (kg f/cm ²)	木部破断率 (%)	接着強さ 残存率 (%)
400cycle				
8C 31	0	* 0.0	0	
32	0	* 0.0	0	
9A 33	5550	46.6	100	
34	3287	27.6	70	
35	3110	26.1	90	
36	4905	41.2	90	
9B 37	5975	50.2	100	
38	5760	48.4	100	
39	3875	32.6	60	
40	6740	56.6	90	
AVE.		41.2	70.0	53.8

U L タイプ				
N o .	最大荷重 (kg f)	接着強さ (kg f/cm ²)	木部破断率 (%)	接着強さ 残存率 (%)
400cycle				
9A 33	0	0.0	0	
34	1248	* 5.6	0	
9B 35	0	0.0	0	
36	0	0.0	0	
37	0	0.0	0	
9C 38	0	0.0	0	
39	0	0.0	0	
40	0	0.0	0	
AVE.		0.0	0.0	0.0

* 平均より値を算定する場合には除外した

表 5 - 9 処理後の試験結果

E S タイプ				
N o .	最大荷重 (kg f)	接着強さ (kg f/cm ²)	木部破断率 (%)	接着強さ 残存率 (%)
400cycle				
17B 41	3802	31.9	30	
17C 42	3860	32.4	90	
43	3615	30.4	100	
44	3907	32.8	50	
45	2590	21.8	50	
46	2158	18.1	90	
47	4510	37.9	80	
48	4637	39.0	90	
49	4825	40.5	80	
50	3792	31.9	50	
AVE.		31.7	71.0	68.8

E L タイプ				
N o .	最大荷重 (kg f)	接着強さ (kg f/cm ²)	木部破断率 (%)	接着強さ 残存率 (%)
400cycle				
19A 41	5985	26.7	10	
42	3812	17.0	0	
43	4905	21.9	20	
44	3357	15.0	0	
45	4950	22.1	10	
19B 46	4382	19.6	0	
47	5740	25.6	50	
48	2205	9.8	0	
49	3977	17.8	10	
50	5715	25.5	50	
AVE.		20.1	15.0	49.9

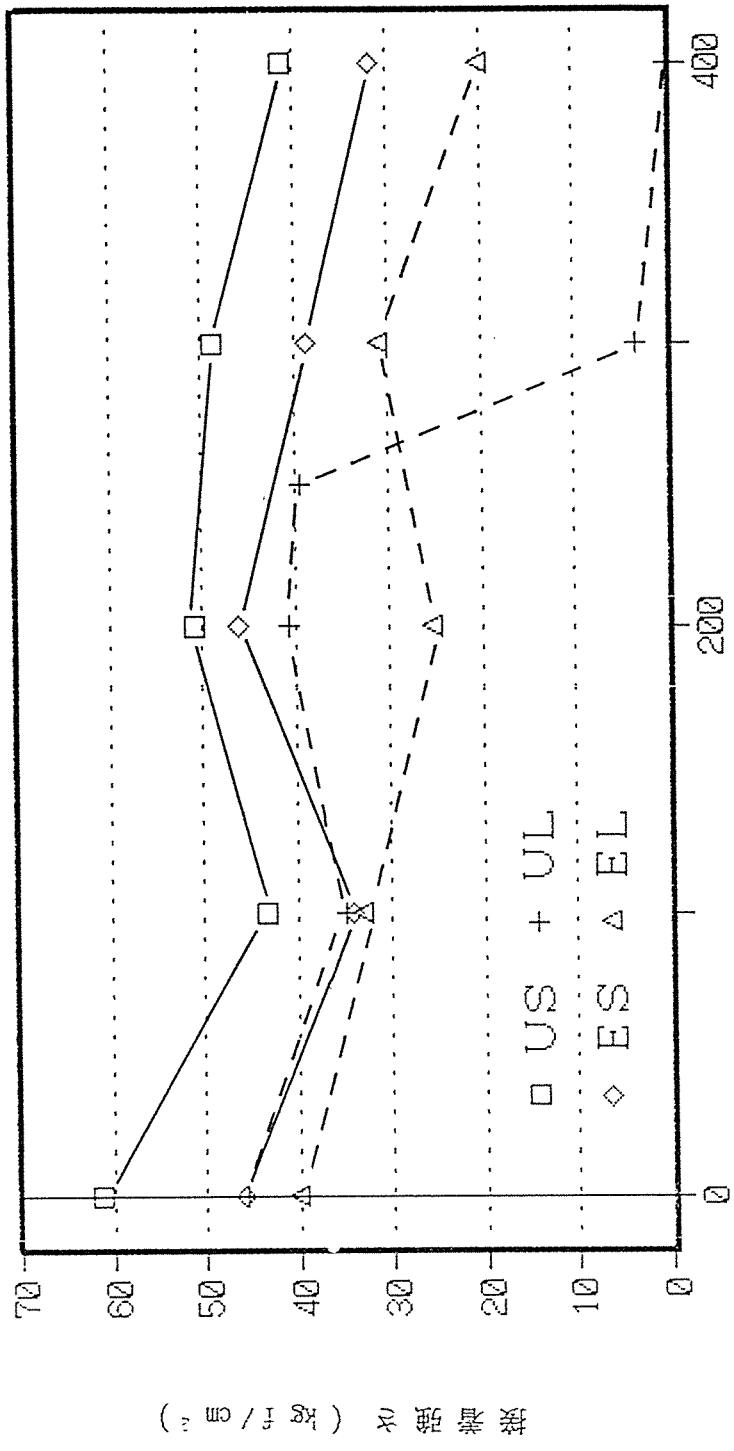
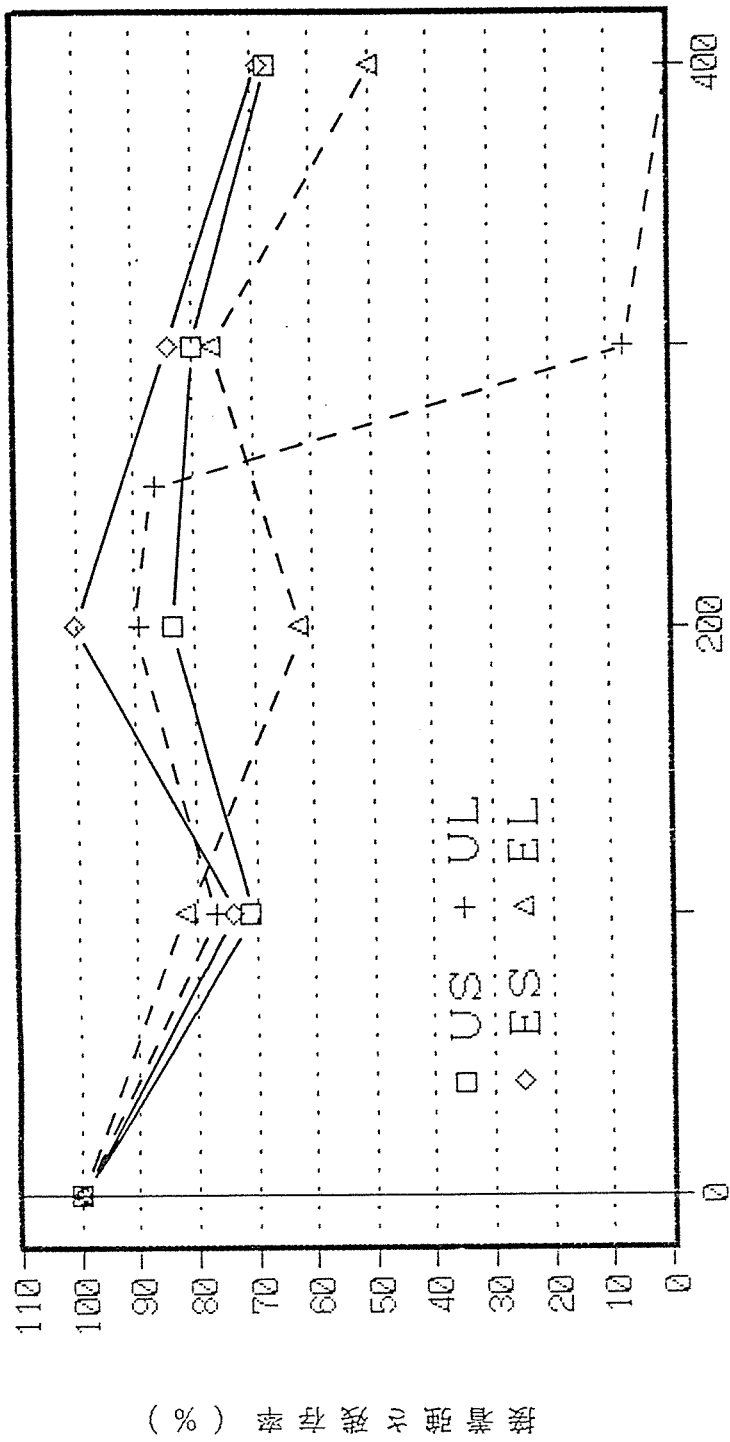


図 6 接合強さと処理サイクル数の関係

図 6 接合強さと処理サイクル数の関係



処理サイクル数 (回)

図 7 接着強さ残存率と処理サイクル数の関係