平成7年度　農林水産省補助事業
低コスト住宅資材供給体制整備事業

木造軸組構法住宅接合部
設計技術開発事業報告書
（筋かい試験部会）

平成８年３月

（財）日本住宅・木材技術センター

まえがき

阪神淡路大震災を契機として、木造軸組構法住宅の耐震性に関する技術開発の重要性が高まっている。当財団では関係業界や行政の協力を得て、震災後、木造住宅の現地調査や神戸海洋地震波を用いた実大木造住宅による振動実験を実施してきた。その結果、現行建築基準法に適合している住宅では、阪神淡路大震災と同程度の地震においても大きな被害が生じないことが確認できた。

しかし、さらに耐震性能を向上させるためには、定量的に評価する技術開発が重要である。一般に木造住宅の破壊は接合部から発生することが多く、躯体の変形も接合部の変形によるものが大きい。また、店舗付住宅や間口の狭い住宅などでは建築基準法の規定に基づいて壁量を確保することが困難である。

本事業では以上の状況をふまえ、接合部の強度性能における定量的な評価法や木質ラーメン形式の架構法の開発を行おうとするものである。

事業の実施にあたっては関係業界や行政の協力を得て、接合部設計法委員会を設置し、接合部の部位により筋かい、梁受け・柱脚、木質ラーメンの３つの試験部会を設け活動を行った。

なお、平成７年度は接合部の強度性能評価実験に重点をおいて活動を行った。

多忙な時間を割いて、実験及び報告書のとりまとめをいただいた委員各位とこの事業にご協力をいただいた関係の皆様に厚くお礼を申し上げる。

平成８年３月

（財）日本住宅・木材技術センター

理事長　　岡　　勝　男

要約

木造軸組構法住宅の接合部を定量的に評価するため、筋かい接合部について実験方法及び評価方法の標準化を目的とした強度性能実験を実施した。具体的には以下のとおりである。

①筋かいプレート（ＢＰ－２）、筋かいボックス（ＳＳＢ－３）による筋かい壁において面内せん断試験を実施して考察を行った。

②筋かいプレート（ＢＰ－２）、ジャスティプレート（ＪＰ）、ジャスティガゼット（ＪＧ）による筋かい壁において面内せん断試験を実施して考察を行った。

③かたぎ大入れびんた延ばし釘止め、ブレースボックス、ヘキサプレート、筋かいボックスによる筋かい壁において面内せん断試験を実施して考察を行った。

④筋かいプレート（ＢＰ）による３つ割筋かい壁において面内せん断試験を実施して考察を行った。

⑤２倍用フリーガゼット（ＦＧ－Ｂ）による３つ割筋かい壁において面内せん断試験を実施して考察を行った。

キーワード

木造軸組構法住宅、実験方法、評価方法、スギ、ベイマツ、荷重ー変位曲線、単調載荷、繰り返し載荷、剛性、最大荷重、割裂、含水率、比重、変位、筋かい、筋かいプレート、筋かいボックス、筋かい壁、面内せん断試験、ジャスティプレート、ジャスティガゼット、かたぎ大入れびんた延ばし釘止め、ブレースボックス、ヘキサプレート、３つ割、フリーガゼット、壁倍率、せん断変形角

目　次

ﾍﾟｰｼﾞ

第１章　事業概要
1　趣旨 ---------- 1
2　事業の内容 ---------- 1

第２章　筋かい壁強度性能評価実験－筋かいプレート、筋かいボックスによる接合
1　目的 ---------- 4
2　実験 ---------- 4
3　結果と考察 ---------- 4
4　まとめ ---------- 6

第３章　筋かい壁強度性能評価実験－筋かいプレート、ジャスティプレート、
　　ジャスティガゼットによる接合
1　目的 ---------- 39
2　試験体 ---------- 39
3　試験方法 ---------- 42
4　試験結果と考察 ---------- 44
5　まとめ ---------- 45

第４章　筋かい壁強度性能評価実験－かたぎ大入れびんた延ばし釘止め、
　　ブレースボックス、ヘキサプレート、筋かいボックスによる接合
1　実験概要 ---------- 84
2　試験体及び実験方法 ---------- 84
3　材料実験 ---------- 87
4　実験結果 ---------- 87
5　まとめ ---------- 107

第５章　筋かい壁強度性能評価実験－筋かいプレート接合による３つ割筋かい壁
1　目的 ---------- 111
2　試験 ---------- 111
3　結果と考察 ---------- 115

第６章　筋かい壁強度性能評価実験－フリーガゼット接合による３つ割筋かい壁
1　試験条件 ---------- 126
2　試験結果 ---------- 127

第1章　事業概要

1．趣旨

木造軸組構法住宅は、開口部を広くとれること、設計の自由度が高いことなどの特性があるため、そのニーズは高いものがある。しかし、今年発生した阪神・淡路大震災では、倒壊など大きな被害を受けた住宅が多かったため、国民の間に、その耐震性に対する疑問感が広がっており、その需要は減少する動きを示している。

このような中で、木造軸組構法住宅に対する国民の信頼を確保するためには、その耐震性を定量的に評価し得るようにするとともに、耐震性の高い住宅を安定的に供給できるようにすることが必要で、そのための技術を開発することが緊要となっている。

木造住宅の破壊は、一般に、部材そのものから起きるのではなく接合部から発生する。また、躯体の変形も部材よりも接合部のほうがはるかに大きい。したがって、耐震性能を明らかにするとともに、木造軸組構法の耐震性を高めるためには、接合部の定量的な評価法を開発するなど接合部に関する技術開発を図ることが必要である。特に、店舗付住宅、間口の狭い住宅、開口部を広くとりたい住宅などでは、建築基準法の規定に基づいて壁量を確保することは困難な事情にあり、こうしたネックを解消するための接合方法を開発することが急がれている。

そこで、本事業では、上述のような観点から接合部の強度性能の定量的な評価法を開発するとともに、ラーメン形式の架構法の開発を行おうとするものである。

2．事業の内容

（1）各種接合部の強度試験

柱脚接合部、筋かいの接合部、柱梁接合部、梁・梁桁接合部の強度試験

（2）住宅用ラーメンに関する強度試験

柱と梁の軸組のみで、水平力に耐える耐震性の高い架構を開発するための接合部強度試験

（3）住宅用ラーメンに準じた架構に関する強度試験

幅が狭い壁、袖壁などと土台・柱・梁を接合した耐震性の高い架構を開発するための接合部強度試験

（4）接合部の強度性能評価法及びラーメン形式による架構法の開発

（1）及び（2）の試験成果に基づいて各種接合部の強度性能評価法をの開発するとともに、ラーメン形式による架構法を開発する。

接合部設計法委員会　委員名簿

（平成7年度）

委員長	坂本　功	東京大学工学部建築学科　教授
委　員	宮沢　健二	工学院大学工学部建築学科　助教授
〃	大橋　好光	東京大学工学部建築学科
〃	山口　修由	建築研究所第三研究部
〃	小松　幸平	森林総合研究所木材利用部接合研究室長
〃	軽部　正彦	森林総合研究所木材利用部接合研究室
〃	稲山　正弘	稲山建築設計事務所　代表取締役
〃	伊東　洋路	日本集成材工業協同組合（セブン工業(株)）
〃	西谷嘉寿夫	(社)全国木材組合連合会専務理事
〃	日野　壽郎	(社)日本木造住宅産業協会　技術開発部長
〃	宮越　喜彦	一級建築士事務所　木住研
〃	中野　栄吉	(社)全日本建築士会（中野工務店）

試験部会委員一覧（順不同、敬称略）

氏　　名	所　　属	試験部会名
前田典昭	北海道立林産試験場構造利用科長	筋かいＷＧ
尾内俊夫	足利工業大学工学部建築学科講師	筋かいＷＧ
徳田迪夫	三重大学生物資源学部木質資源工学科教授	筋かいＷＧ
村上雅英	近畿大学理工学部建築学科専任講師	梁受け・柱脚ＷＧ
藤田　誠	愛媛県林業試験場	梁受け・柱脚ＷＧ
西内　豊	高知県工業技術センター総括主任	筋かいＷＧ　梁受け・柱脚ＷＧ
井上正文	大分大学工学部建設工学科助教授	梁受け・柱脚ＷＧ
福留重人	鹿児島県工業技術センター主任研究員	梁受け・柱脚ＷＧ
鈴木祥之	京都大学防災研究所助教授	筋かいＷＧ
入江康隆	宇都宮大学工学部建設学科助教授	木質ラーメンＷＧ
秦　正徳	高岡短期大学産業工芸学科助教授	木質ラーメンＷＧ
後藤正美	金沢工業大学建築学科助手	木質ラーメンＷＧ
平井卓郎	北海道大学農学部森林科学科教授	梁受け・柱脚ＷＧ

筋かい試験部会（ＷＧ）	○大橋好光 前田典昭 尾内俊夫 徳田迪夫 鈴木祥之 西内　豊 宮澤健二

梁受け・柱脚試験部会（ＷＧ）	○村上雅英 藤田　誠 西内　豊 井上正文 福留重人 平井卓郎

木質ラーメン試験部会（ＷＧ）	○稲山正弘　入江康隆 秦　正徳　宮澤健二 後藤正美　小松幸平 軽部正彦

事業協力者の一覧（アイウエオ順）

団体名又は社名	協力委員	代表者名
（株）カナイ	山本　一成	金井　宏樹
（株）カネシン	島田　俊一	吉田　孝志
全国ＬＶＬ協会	秋山　禎孝	阿部　善政
タナカスチール工業（株）	木村　　薫	田中　　豊
（株）タツミ	佐藤　　彰	山口　龍二
中央住宅（株）	新居　健二	中内　俊三
日本集成材工業協同組合	金子　吉汪	中島　道夫
木造住宅優良接合金物推進協議会	屋代　栄久	秋山　啓司

第２章　筋かい壁強度性能評価実験－筋かいプレート、筋かいボックスによる接合

1.　目的

軸組工法の筋かい壁において、引張り筋かいの端部止め付け方法が耐力壁の水平せん断耐力にどのような影響を及ぼすかを実験によって調べた。

2.　実験

2.1　実験材料

［木材］土台、柱、桁および筋かいとしてスギ（比重 0.36-0.56、平均 0.44、含水率 11.7%-21.2%、平均 15.2%）とベイマツ（比重 0.49-0.70、平均 0.59、含水率18.0% -27.0%、平均 20.2%）を用いた。一試験体内の柱、土台、桁、筋かいは同一樹種を用いた。

［筋かい止め付け金物］（図 1）

i)　筋かいプレート　ＢＰ-２（2 倍用、Ｚ金物）

ii)　皿ビス筋かいボックス（2 倍用、SSB-3, カナイ）

2.2　試験体および試験方法

筋かいの挿入角度の影響をみるために、1Ｐと2Ｐの試験体を作製した（図 2）。試験体数は｛金物 (2) x 樹種 (2) x 角度 (2) x 繰り返し (6) = 48｝である。同一条件で6体の試験を行ったが、その内訳は、単調加力3体、片振れ加力2体、押し引き繰り返し加力1体である。ただし一部のシリーズで単調加力4体、片振れ加力1体のものがある。

試験体は床に寝かせ、コンクリート床と試験体との間に6本の鉄パイプをはさみ、摩擦の軽減をはかった。柱と土台および桁とは短ほぞで、コーナー部を固めるために4隅に引き寄せ金物を取付けた。筋かいは突き付けで、両端部に筋かい取付け金物を配置した。

水平荷重を桁に加えたときに筋かいに流れる力を測定するために、筋かいの中央部を切断して、5トンのロードセルを取付けた。変形の測定位置は図 2に示した通りである。変位計 9、10で筋かい端部の開きを筋かい軸線に沿って測定した。

3.　結果と考察

表 1-1と表1-2に筋かい壁のせん断試験結果を示した。Ｎmaxは最大荷重時に筋かいに加わった引張り荷重で、γ_{max}は最大荷重時のみかけのせん断変形角、γ_{0max}は最大荷重時の真のせん断変形角（見かけのせん断変形角-柱の浮き沈みによる回転角）である。ここで、みかけのせん断変形角と真のせん断変形角は、筋かいのロードセル取付け部での遊びを補正した値である。すなわち、本実験では、筋かいの中央部を切断して、そこにロードセルを挿入したので、加力した時に遊びが生じ、壁全体の変形が見かけ上大きくでた。表中、網掛けをした数値は壁倍率を決定した値である。

図3は水平力と筋かい中央部の遊びの実測値を示したものである。水平荷重がかかり始めると、遊びによる伸びが急速に増えていき、200 kgあたりから傾きが大きくなり、加力初期よりもしまってくる。この遊び量を単純に幾何学的な考え方を使って、変形角の補正をした。

補正方法は図2で、筋かいと土台とのなす角をθとすると、

$$\delta_c = \delta_0 - (\delta_{11} + \delta_{12}) \cos\theta$$

と表せる。

ここで、δ_c　　：補正後の水平変位

δ_0　　：$\delta_1 - \delta_2$（補正前の水平変位）

δ_{11}、δ_{12}：それぞれ、変位計11と12の伸び量

図4は荷重とせん断変形角の関係のグラフである。破線の「見かけ」は、補正前の曲線である。No.6の両振れは補正後の曲線のみを記した。

試験体の破壊形態は、筋かいプレートでは、まず釘の引抜けと曲げ降伏が起こり（写真1）、最後には角根ボルトの所から発生した亀裂が、筋かい端部にまで達して破壊に至った（写真2）。中に最終段階で、桁の釘打ち部分での割裂によるものがあった（写真3）。一体だけ、目切れのため筋かいが破断したものがあった（写真4）。皿ビス筋かいボックスでは、破壊点近くで金物の変形と柱と桁または土台に打ち付けたネジの引き抜けが生じ（写真5）、最終的にはネジ頭が飛んだ（写真6）。

図5は壁体に加えた水平力と、その時筋かいにかかる力との関係である。これを見ると、両者はほぼ直線関係にあり、しかも試験体間のばらつきが極めて少なかった。筋かいに確実に力が流れていたことが読み取れる。

図6は筋かいにどの程度の力が流れているかを示したもので、縦軸が筋かいに加わる力と 水平荷重の比で、横軸は筋かい切断部の遊びを補正する前のせん断変形角である。節点が完全なピンと仮定した時には、曲線は図中の水平な実線と重なる。これを見ると、水平力の約80%が筋かいに流れていることがわかる。

図7に筋かい壁の壁倍率を試験体別にプロットした。1Pと2Pの壁倍率の差は少ないが、樹種による変動が大きい。特に皿ビス筋かいボックスは釘の引抜きで決まるので、筋かいプレート以上に、スギの壁倍率がベイマツより小さく、壁倍率2に達しなかった。しかしながら、全体的に見ると、筋かい金物がしっかりしていれば、筋かいに引張りがかかる場合でも所定の壁耐力があることが判明した。

図8は荷重に対する安全率（最大荷重 / 許容耐力）と、壁の水平方向の変形に対する安全率（最大荷重時の変形角 / 許容耐力時の変形角）の関係である。いずれも、正の相関があり、文献（1）とほぼ同様の傾向があった。

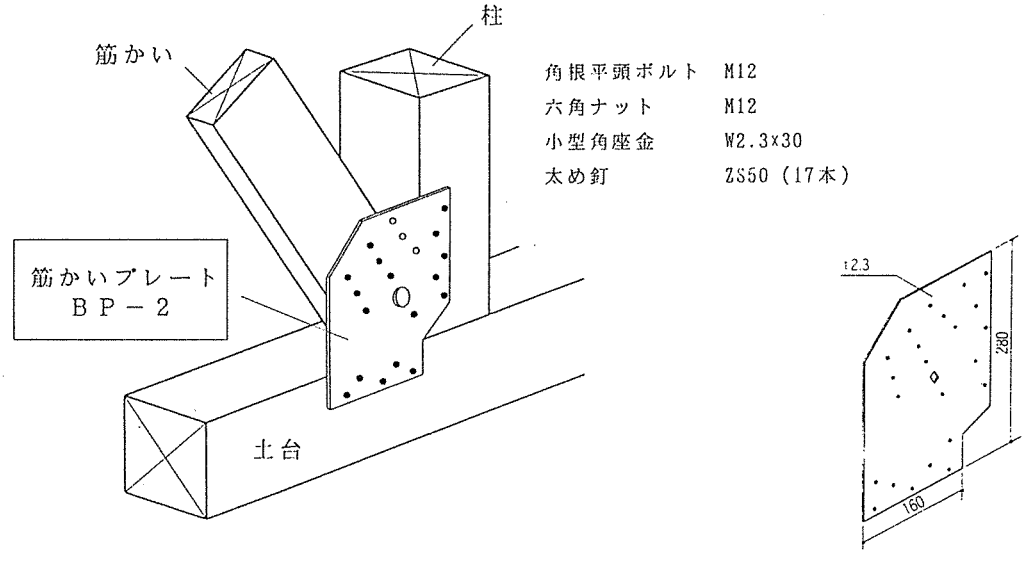
4. まとめ

1) 筋かいには、耐力壁に加えた水平力の約80%が流れ、しかも、水平力と筋かいに加わる力とは最大荷重付近まで直線関係にあった。言い換えると、筋かいに確実に力が流れていた。
2) 筋かい壁の壁倍率は、試験体サイズの差は少なかった。一方、壁の変形や耐力が、筋かい金物に打ち付けた釘のせん断と引抜きによって決まったので、樹種による変動は大きかった。
3) 皿ビス筋かいボックスは釘の引抜きで決まるので、筋かいプレート以上に、スギの壁倍率がベイマツより小さく、壁倍率2に達しなかった。
4) 全体的に見ると、本実験で用いた筋かい金物は、筋かいに引張りがかかる場合でも所定の壁耐力を有していた。

文献

(1) 平嶋義彦他4名、筋違入り軸組の剪断性能とその構造解析（第1報）軸組の水平剪断試験）、木材学会誌、Vol.27,No.12(1981)
(2) 平嶋義彦他4名、筋違入り軸組の剪断性能とその構造解析（第2報）軸組の構造解析）、木材学会誌、Vol.27,No.12(1981)

（文責：徳田迪夫）



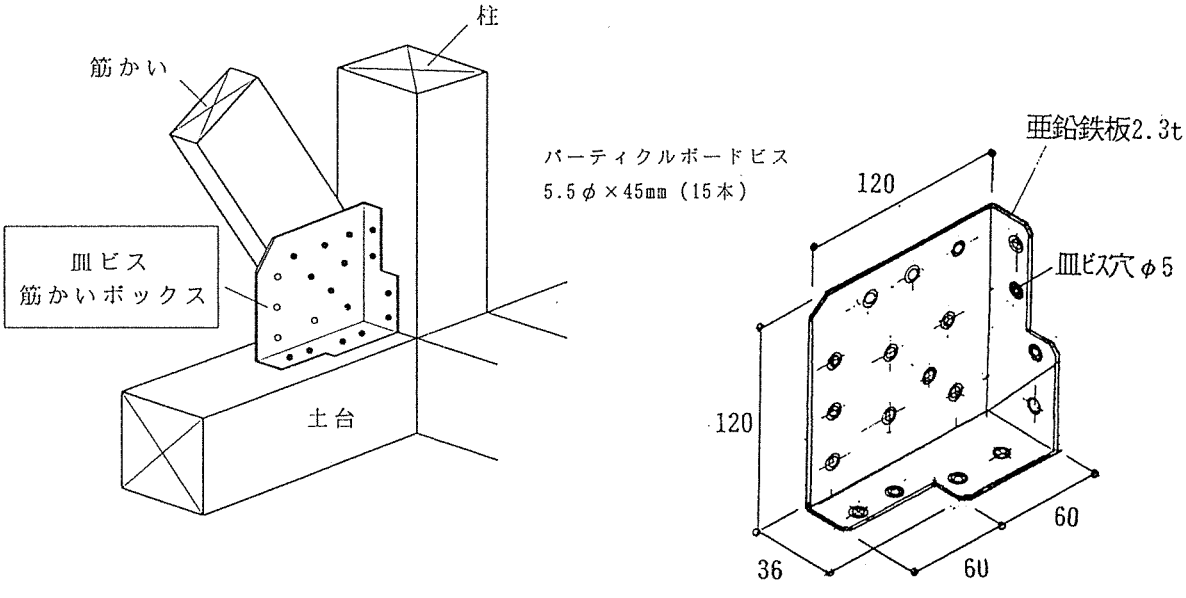
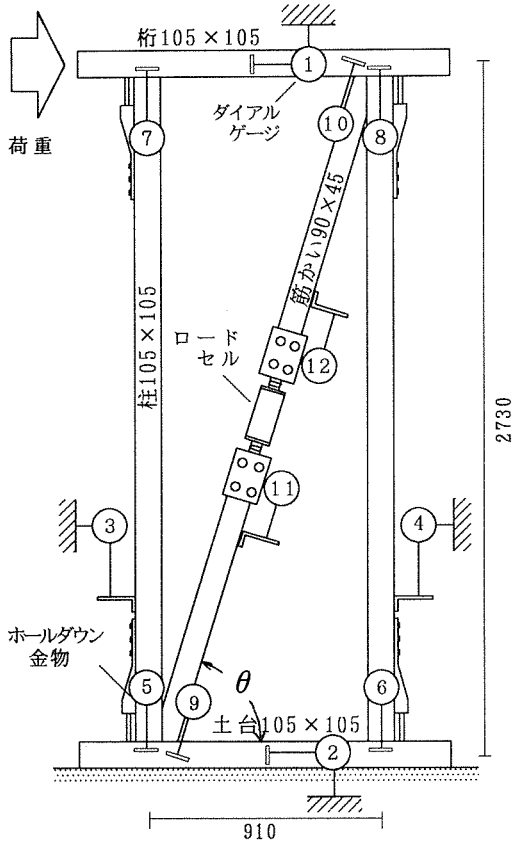
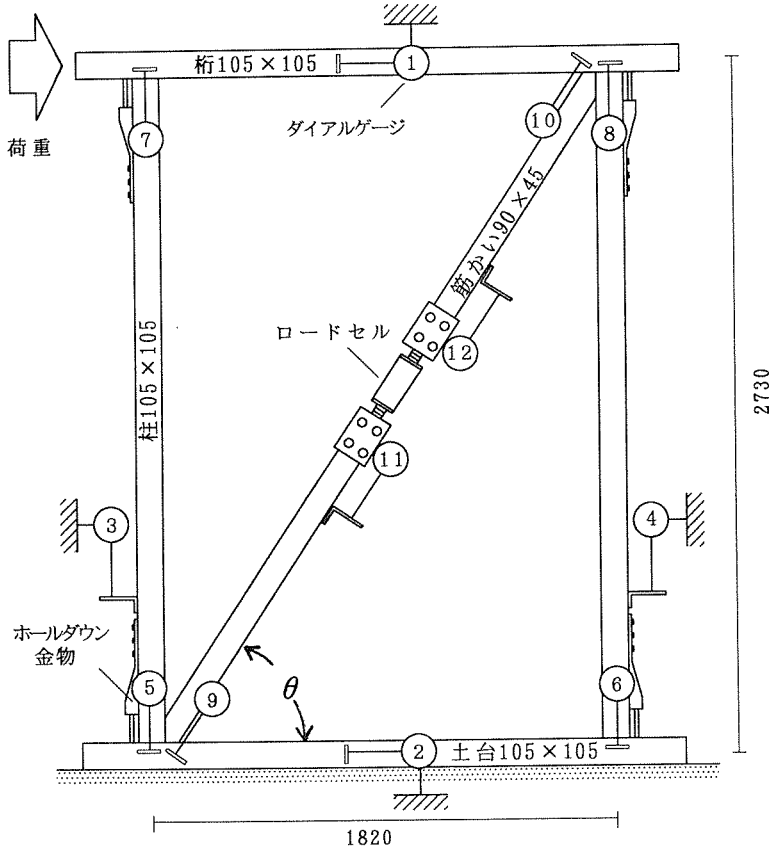


図 1.　筋かい金物の形状・寸法

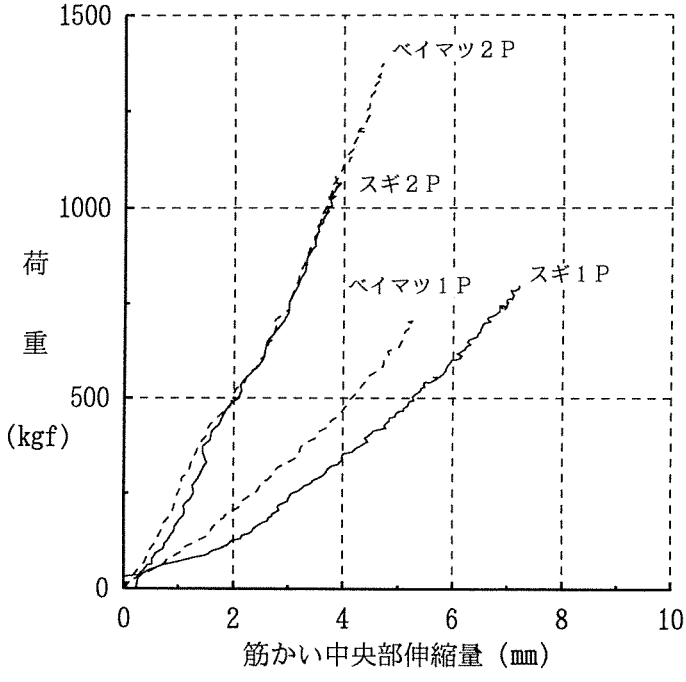


a）1P試験体

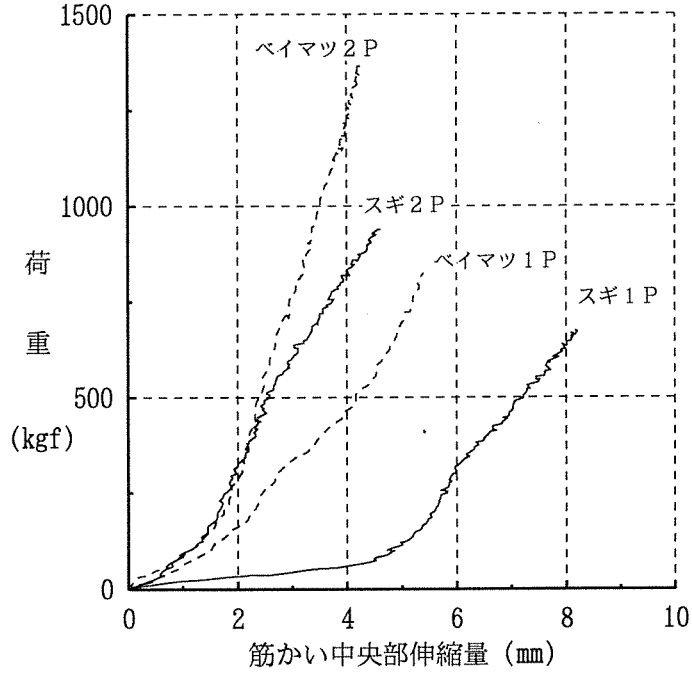


b）2P試験体

図2.　筋かいフレーム試験体の形状・寸法および試験方法



筋かいプレートＢＰ－１



Ⅲビス筋かいボックス

図 3.　せん断試験時の水平力と筋かい中央部の切断部分の伸び量の関係の一例
（いずれも試験体No.1）

表１－１　筋かい壁の水平せん断試験結果（筋かいプレート，ＢＰ－２）

（ａ）　フレームの樹種：スギ　　壁形状：１Ｐ

試験体 No.	加力方法	P_{max} (kgf)	N_{max} (kgf)	γ_{max} (rad)	γ_{0max} (rad)	壁倍率の評価 $\frac{2}{3}P_{max}$ (kgf)	$P_{1/120}$ (kgf)	$P_{\gamma_{max}/2}$ (kgf)	壁倍率	破壊形態
1	単調増加	798	2122	46.7	40.8	532	374	618	2.4	P_1
2	〃	688	1845	33.0	28.9	459	373	524	2.4	〃
3	〃	806	2120	48.4	44.1	537	350	650	2.2	〃
4	〃	745	1905	41.1	36.1	497	315	607	2.0	〃
5	片振れ	868	2320	39.5	31.0	579	353	615	2.2	〃
6	両振れ	934	2482	63.7	36.1	623	300	751	1.9	〃
平均 1～4		759	1998	42.3	37.5	506	353	600	2.3	
平均 1～6		807	2132	45.4	36.2	538	344	628	2.2	

（ｂ）　フレームの樹種：スギ　　壁形状：２Ｐ

試験体 No.	加力方法	P_{max} (kgf)	N_{max} (kgf)	γ_{max} (rad)	γ_{0max} (rad)	壁倍率の評価 $\frac{2}{3}P_{max}$ (kgf)	$P_{1/120}$ (kgf)	$P_{\gamma_{max}/2}$ (kgf)	壁倍率	破壊形態
1	単調増加	1081	1773	10.6	8.8	721	1025	862	2.3	P_1
2	〃	1124	1878	14.3	10.9	749	868	781	2.4	〃
3	〃	1068	1755	13.8	11.4	712	855	767	2.3	〃
4	〃	1166	1953	14.6	10.7	777	859	792	2.5	〃
5	片振れ	989	1640	13.3	10.7	659	807	696	2.1	〃
6	両振れ	1523	2643	29.2	20.1	1015	846	1169	2.7	P_2
平均 1～4		1110	1840	13.3	10.5	740	902	801	2.4	
平均 1～6		1159	1940	16.0	12.1	772	877	845	2.4	

註）1）１Ｐ：壁長 910mm，２Ｐ：壁長 1820mm

2）加力方法

片振れ；

$$0 \rightarrow \frac{1}{5}P_{max} \rightarrow 0 \rightarrow \frac{2}{5}P_{max} \rightarrow 0 \rightarrow \frac{3}{5}P_{max} \rightarrow \text{破壊}$$

両振れ；

$$0 \nearrow \frac{1}{5}P_{max} \searrow -\frac{1}{5}P_{max} \nearrow \frac{2}{5}P_{max} \searrow -\frac{2}{5}P_{max} \nearrow \frac{3}{5}P_{max} \searrow -\frac{3}{5}P_{max} \nearrow \text{破壊}$$

3）N_{max} ：P_{max}時に筋かいにかかる力（kgf）

γ_{max} ：P_{max}時の見かけのせん断変形角（$\times 10^{-3}$ rad）（筋かい切断部の遊びを補正）

γ_{0max}：P_{max}時の真のせん断変形角（$\times 10^{-3}$ rad）（筋かい切断部の遊びを補正）

$\gamma_0 = \gamma - \theta$（$\theta$;柱の浮き沈みによる回転角）

$P_{1/120}$：γ=1/120 rad 時の荷重（kgf）

$P_{\gamma_{max}/2}$：γ_{max}の 1/2 変形した時の荷重（kgf）

4）破壊形態

P_1：土台、桁、柱に打った釘の引き抜けおよび筋かい部ボルトより生じた筋かいの割れ（筋かいプレート）

P_2：桁に打った釘部分での桁材の割れ（筋かいプレート）

P_3：筋かい部分の木ネジのせん断および土台、桁、柱に打った木ネジの引き抜け（皿ビス筋かいボックス）

Ｂ　：筋かいの破断

表１－１　筋かい壁の水平せん断試験結果（筋かいプレート，ＢＰ－２）

（ｃ）　フレームの樹種：ベイマツ　壁形状：１Ｐ

試験体 No.	加力方法	P_{max} (kgf)	N_{max} (kgf)	γ_{max} (rad)	γ_{0max} (rad)	壁倍率の評価 $\frac{2}{3}P_{max}$ (kgf)	$P_{1/120}$ (kgf)	$P_{\gamma_{max}/2}$ (kgf)	壁倍率	破壊形態
1	単調増加	707	1815	21.0	18.4	471	484	553	3.0	P_1
2	〃	675	1625	21.4	20.0	450	426	495	2.7	〃
3	〃	740	1960	19.0	15.5	493	443	485	2.8	B
4	〃	876	2340	29.4	24.3	584	391	597	2.5	P_1
5	片振れ	743	1952	21.8	18.9	495	450	643	2.9	〃
6	両振れ	993	－	44.5	23.4	662	387	780	2.5	〃
平均 1～4		750	1935	22.7	19.6	500	436	533	2.8	
平均 1～6		789	1938	26.2	20.1	526	430	592	2.7	

（ｄ）　フレームの樹種：ベイマツ　壁形状：２Ｐ

試験体 No.	加力方法	P_{max} (kgf)	N_{max} (kgf)	γ_{max} (rad)	γ_{0max} (rad)	壁倍率の評価 $\frac{2}{3}P_{max}$ (kgf)	$P_{1/120}$ (kgf)	$P_{\gamma_{max}/2}$ (kgf)	壁倍率	破壊形態
1	単調増加	1375	2322	17.6	14.4	917	964	1004	2.9	P_1
2	〃	1261	2100	15.3	11.0	841	990	903	2.7	〃
3	〃	1284	2105	13.8	10.6	856	992	880	2.7	〃
4	片振れ	1183	1942	12.5	9.9	789	1036	843	2.5	〃
5	〃	1408	2382	13.7	10.0	939	1157	1084	3.0	〃
6	両振れ	1377	2300	16.1	10.4	918	979	943	2.9	〃
平均 1～3		1307	2176	15.6	12.0	871	982	929	2.8	
平均 1～6		1315	2192	14.8	11.1	877	1020	943	2.8	

註）1）１Ｐ：壁長 910mm，２Ｐ：壁長 1820mm

2）加力方法

片振れ；

$$0 \rightarrow \frac{1}{5}P_{max} \rightarrow 0 \rightarrow \frac{2}{5}P_{max} \rightarrow 0 \rightarrow \frac{3}{5}P_{max} \rightarrow \text{破壊}$$

両振れ；

$$0 \nearrow \frac{1}{5}P_{max} \searrow -\frac{1}{5}P_{max} \nearrow \frac{2}{5}P_{max} \searrow -\frac{2}{5}P_{max} \nearrow \frac{3}{5}P_{max} \searrow -\frac{3}{5}P_{max} \nearrow \text{破壊}$$

3）N_{max} ：P_{max}時に筋かいにかかる力（kgf）

γ_{max} ：P_{max}時の見かけのせん断変形角（$\times 10^{-3}$ rad）（筋かい切断部の遊びを補正）

γ_{0max}：P_{max}時の真のせん断変形角（$\times 10^{-3}$ rad）（筋かい切断部の遊びを補正）

$\gamma_0 = \gamma - \theta$（$\theta$;柱の浮き沈みによる回転角）

$P_{1/120}$：γ=1/120 rad 時の荷重（kgf）

$P_{\gamma max/2}$：γ_{max}の 1/2 変形した時の荷重（kgf）

4）破壊形態

P_1：土台、桁、柱に打った釘の引き抜けおよび筋かい部ボルトより生じた筋かいの割れ（筋かいプレート）

P_2：桁に打った釘部分での桁材の割れ（筋かいプレート）

P_3：筋かい部分の木ネジのせん断および土台、桁、柱に打った木ネジの引き抜け（皿ビス筋かいボックス）

B ：筋かいの破断

表１－２　筋かい壁の水平せん断試験結果（皿ビス筋かいボックス）

（ａ）　フレームの樹種：スギ　　壁形状：１Ｐ

試験体 No.	加力方法	P_{max} (kgf)	N_{max} (kgf)	γ_{max} (rad)	γ_{0max} (rad)	壁倍率の評価 $\frac{2}{3}P_{max}$ (kgf)	$P_{1/120}$ (kgf)	$P_{\gamma_{max}/2}$ (kgf)	壁倍率	破壊形態
1	単調増加	675	1680	44.7	41.2	450	314	506	2.0	P_3
2	〃	634	1565	43.9	41.1	423	294	477	1.9	〃
3	〃	579	1392	46.6	45.2	386	278	456	1.8	〃
4	片振れ	649	1640	45.2	43.0	433	281	493	1.8	〃
5	〃	640	1600	43.9	40.5	427	281	474	1.8	〃
6	両振れ	706	1845	46.3	25.5	471	273	513	1.7	〃
平均 1～3		629	1546	45.1	42.5	420	295	480	1.9	
平均 1～6		647	1620	45.1	39.4	432	287	487	1.8	

（ｂ）　フレームの樹種：スギ　　壁形状：２Ｐ

試験体 No.	加力方法	P_{max} (kgf)	N_{max} (kgf)	γ_{max} (rad)	γ_{0max} (rad)	壁倍率の評価 $\frac{2}{3}P_{max}$ (kgf)	$P_{1/120}$ (kgf)	$P_{\gamma_{max}/2}$ (kgf)	壁倍率	破壊形態
1	単調増加	940	1552	19.4	17.3	627	629	684	2.0	P_3
2	〃	1020	1665	27.3	25.0	680	638	807	2.0	〃
3	〃	945	1532	20.5	17.3	630	602	682	1.9	〃
4	片振れ	1025	1605	30.3	28.8	683	577	802	1.8	〃
5	〃	915	1495	16.7	14.3	610	659	659	1.9	〃
6	両振れ	1143	1887	21.9	16.0	762	616	763	2.0	〃
平均 1～3		968	1583	22.4	19.9	646	623	724	2.0	
平均 1～6		998	1623	22.7	19.8	665	620	733	1.9	

註）1）１Ｐ：壁長 910mm，２Ｐ：壁長 1820mm

2）加力方法

片振れ；

$$0 \rightarrow \frac{1}{5}P_{max} \rightarrow 0 \rightarrow \frac{2}{5}P_{max} \rightarrow 0 \rightarrow \frac{3}{5}P_{max} \rightarrow \text{破壊}$$

両振れ；

$$0 \nearrow \frac{1}{5}P_{max} \searrow -\frac{1}{5}P_{max} \nearrow \frac{2}{5}P_{max} \searrow -\frac{2}{5}P_{max} \nearrow \frac{3}{5}P_{max} \searrow -\frac{3}{5}P_{max} \nearrow \text{破壊}$$

3）N_{max}　：P_{max}時に筋かいにかかる力（kgf）

γ_{max}　：P_{max}時の見かけのせん断変形角（$\times 10^{-3}$ rad）（筋かい切断部の遊びを補正）

γ_{0max}：P_{max}時の真のせん断変形角（$\times 10^{-3}$ rad）（筋かい切断部の遊びを補正）

$\gamma_0 = \gamma - \theta$（$\theta$;柱の浮き沈みによる回転角）

$P_{1/120}$：γ=1/120 rad 時の荷重（kgf）

$P_{\gamma_{max}/2}$：γ_{max}の 1/2 変形した時の荷重（kgf）

4）破壊形態

P_1：土台、桁、柱に打った釘の引き抜けおよび筋かい部ボルトより生じた筋かいの割れ（筋かいプレート）

P_2：桁に打った釘部分での桁材の割れ（筋かいプレート）

P_3：筋かい部分の木ネジのせん断および土台、桁、柱に打った木ネジの引き抜け（皿ビス筋かいボックス）

Ｂ　：筋かいの破断

表１－２　筋かい壁の水平せん断試験結果（皿ビス筋かいボックス）

（ｃ）　フレームの樹種：ベイマツ　壁形状：１Ｐ

試験体 No.	加力方法	P_{max} (kgf)	N_{max} (kgf)	γ_{max} (rad)	γ_{0max} (rad)	壁倍率の評価 $\frac{2}{3}P_{max}$ (kgf)	$P_{1/120}$ (kgf)	$P_{\gamma max/2}$ (kgf)	壁倍率	破壊形態
1	単調増加	824	2130	32.9	29.2	549	394	575	2.5	P_3
2	〃	767	1943	31.8	29.7	511	366	543	2.3	〃
3	〃	826	2085	40.1	37.0	551	322	589	2.0	〃
4	片振れ	845	2150	39.1	37.0	563	373	618	2.4	〃
5	〃	880	2268	40.7	37.8	587	401	649	2.5	〃
6	両振れ	755	-	37.1	22.2	503	319	527	2.0	〃
平均 1～3		806	2053	34.9	32.0	537	361	569	2.3	
平均 1～6		816	2115	37.0	32.2	544	363	584	2.3	

（ｄ）　フレームの樹種：ベイマツ　壁形状：２Ｐ

試験体 No.	加力方法	P_{max} (kgf)	N_{max} (kgf)	γ_{max} (rad)	γ_{0max} (rad)	壁倍率の評価 $\frac{2}{3}P_{max}$ (kgf)	$P_{1/120}$ (kgf)	$P_{\gamma max/2}$ (kgf)	壁倍率	破壊形態
1	単調増加	1366	2230	23.8	21.3	911	806	988	2.6	P_3
2	〃	1281	2103	18.1	16.0	854	865	900	2.7	〃
3	〃	1155	1880	20.1	17.8	770	727	816	2.3	〃
4	片振れ	1155	1848	19.3	17.5	770	740	822	2.3	〃
5	〃	1226	2015	19.4	17.5	817	851	933	2.6	〃
6	両振れ	1217	-	22.5	16.6	811	662	814	2.1	〃
平均 1～3		1267	2071	20.7	18.4	845	799	901	2.5	
平均 1～6		1233	2015	20.5	17.8	822	775	879	2.4	

註）1）１Ｐ：壁長 910mm，２Ｐ：壁長 1820mm

2）加力方法

片振れ；

$$0 \rightarrow \frac{1}{5}P_{max} \rightarrow 0 \rightarrow \frac{2}{5}P_{max} \rightarrow 0 \rightarrow \frac{3}{5}P_{max} \rightarrow \text{破壊}$$

両振れ；

$$0 \nearrow \frac{1}{5}P_{max} \searrow -\frac{1}{5}P_{max} \nearrow \frac{2}{5}P_{max} \searrow -\frac{2}{5}P_{max} \nearrow \frac{3}{5}P_{max} \searrow -\frac{3}{5}P_{max} \nearrow \text{破壊}$$

3）N_{max} ：P_{max}時に筋かいにかかる力（kgf）

γ_{max} ：P_{max}時の見かけのせん断変形角（$\times 10^{-3}$ rad）（筋かい切断部の遊びを補正）

γ_{0max}：P_{max}時の真のせん断変形角（$\times 10^{-3}$ rad）（筋かい切断部の遊びを補正）

$\gamma_0 = \gamma - \theta$（$\theta$;柱の浮き沈みによる回転角）

$P_{1/120}$：γ=1/120 rad 時の荷重（kgf）

$P_{\gamma max/2}$：γ_{max}の 1/2 変形した時の荷重（kgf）

4）破壊形態

P_1：土台、桁、柱に打った釘の引き抜けおよび筋かい部ボルトより生じた筋かいの割れ（筋かいプレート）

P_2：桁に打った釘部分での桁材の割れ（筋かいプレート）

P_3：筋かい部分の木ネジのせん断および土台、桁、柱に打った木ネジの引き抜け（皿ビス筋かいボックス）

Ｂ　：筋かいの破断

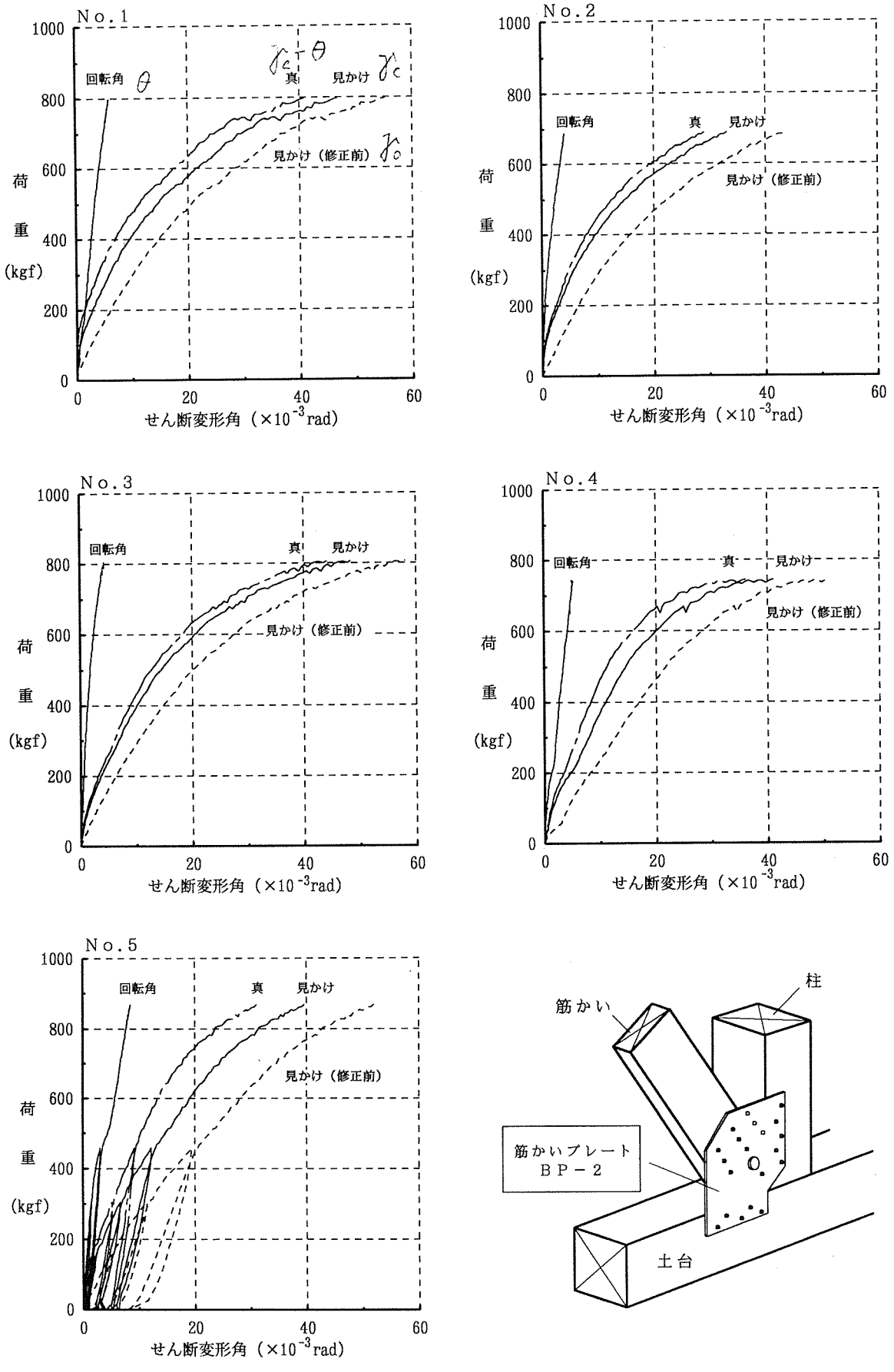
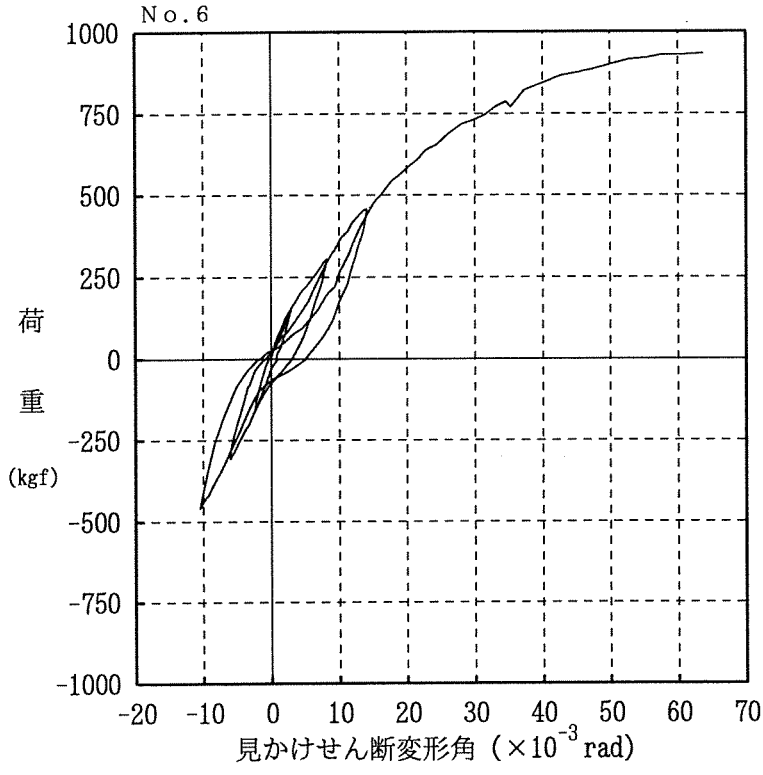


図 4-1.　せん断試験における荷重-変形曲線
（スギ、1P、筋かいプレートＢＰ-2、試験体 No.1-5）



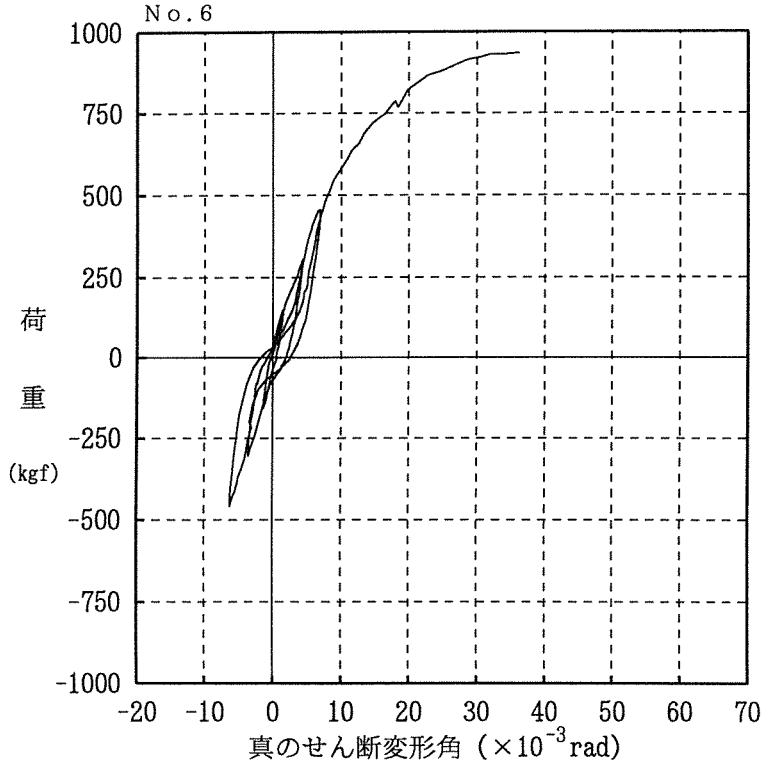


図 4-2.　せん断試験における荷重-変形曲線
（スギ、1P、筋かいプレートＢＰ-2、試験体 No.6）

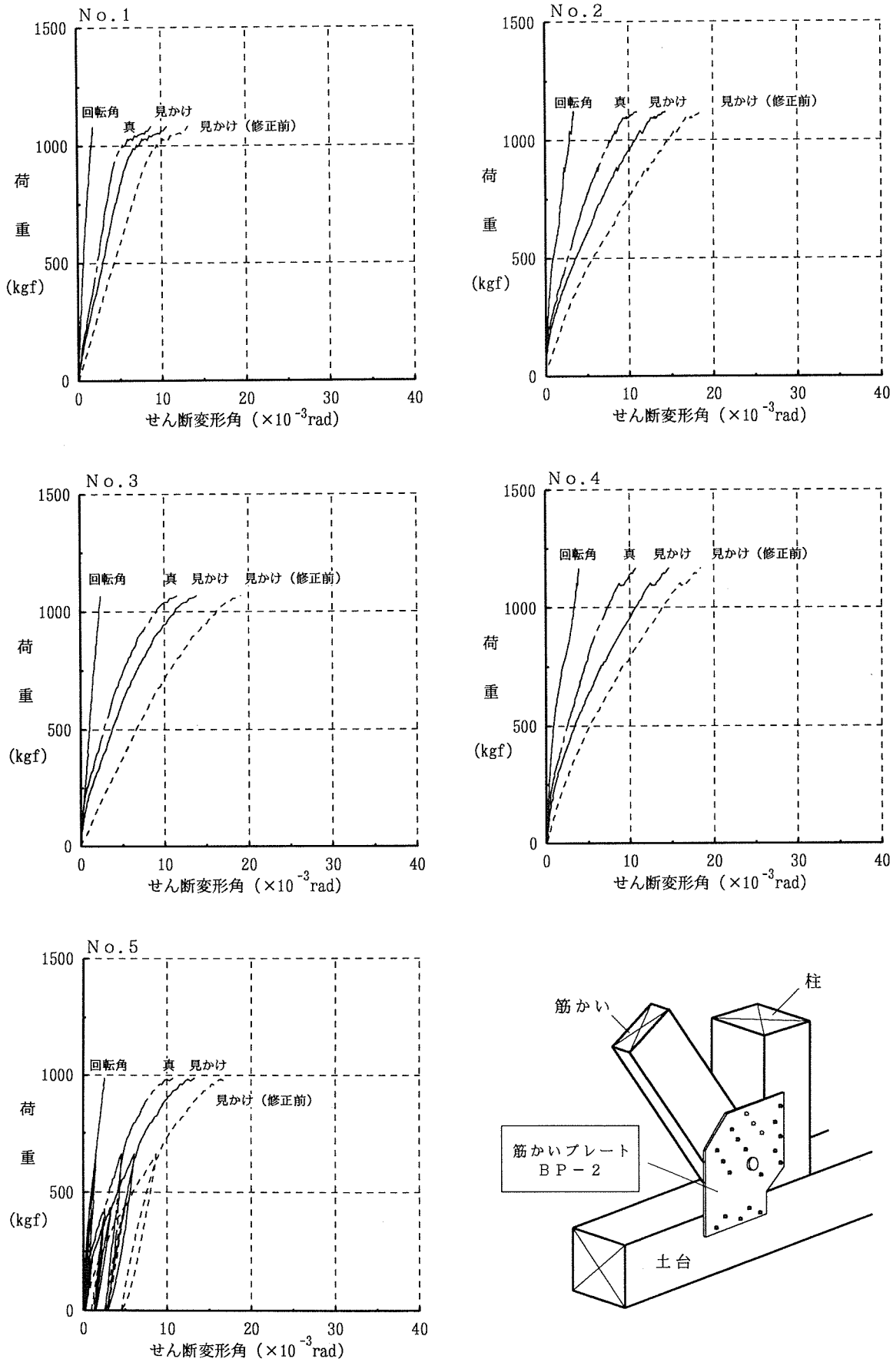
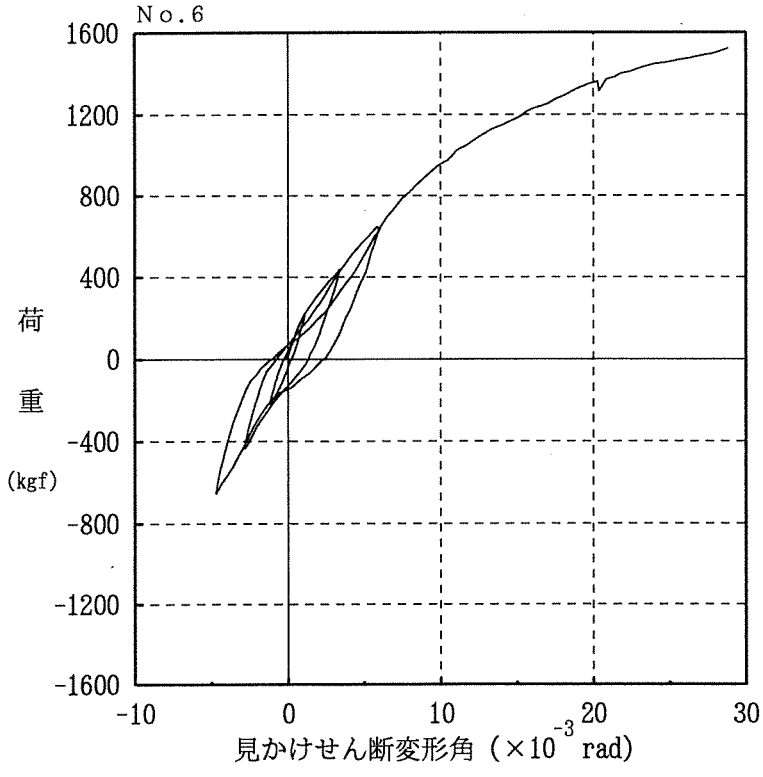


図 4-3.　せん断試験における荷重-変形曲線
（スギ、2P、筋かいプレートＢＰ-2、試験体 No.1-5）



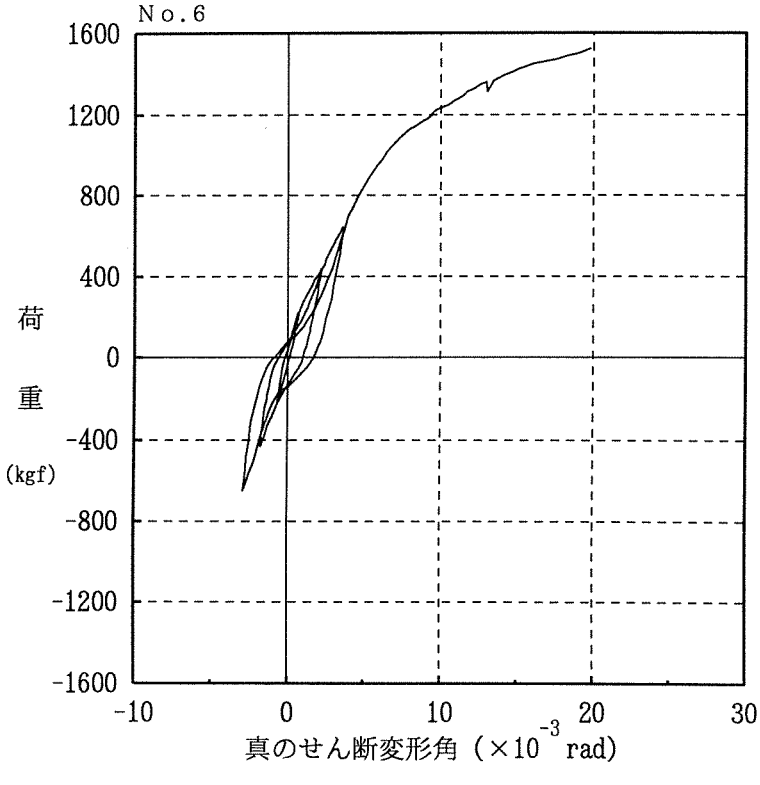


図 4-4.　せん断試験における荷重-変形曲線
（スギ、2P、筋かいプレートＢＰ-2、試験体 No.6）

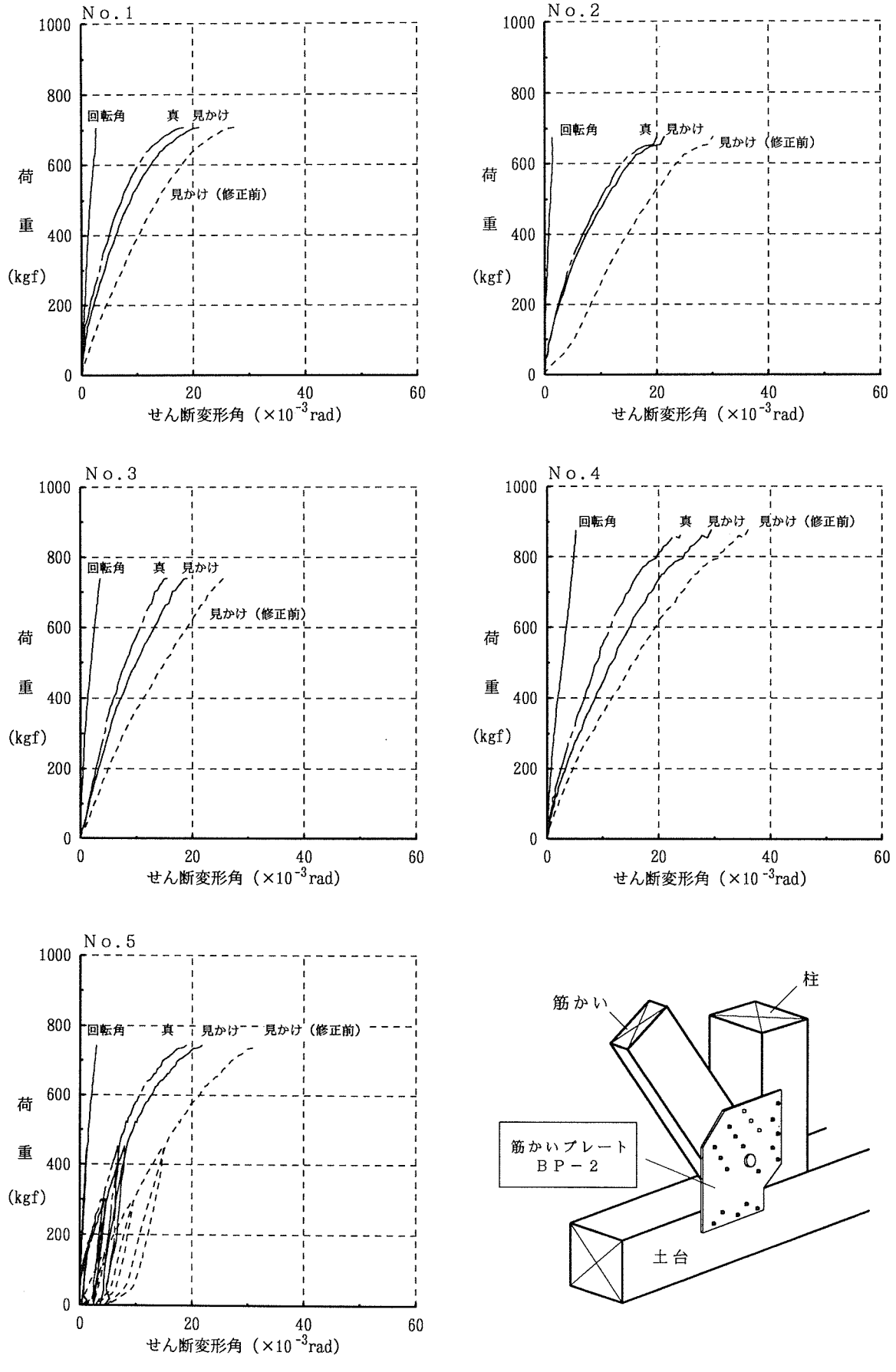
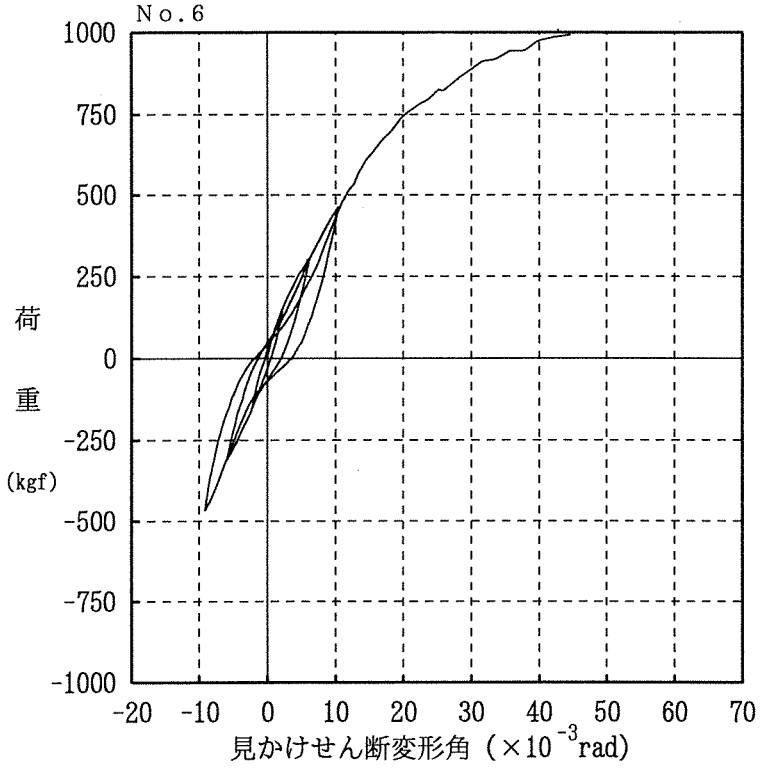


図 4-5.　せん断試験における荷重-変形曲線
（ベイマツ、1P、筋かいプレートＢＰ-2、試験体 No.1-5）



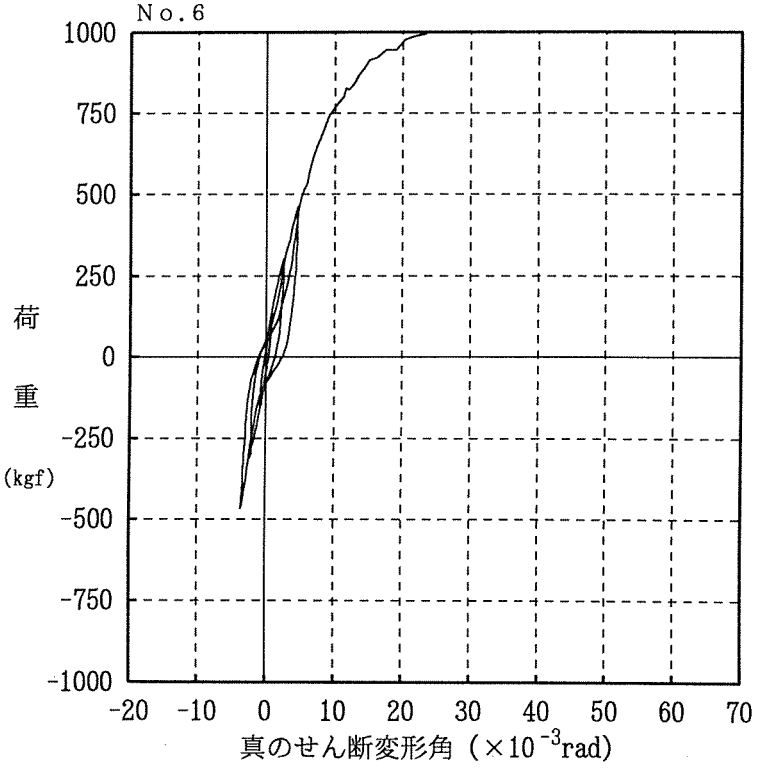
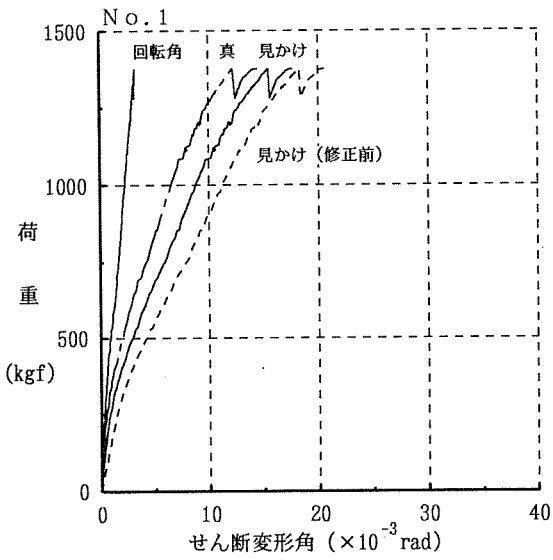
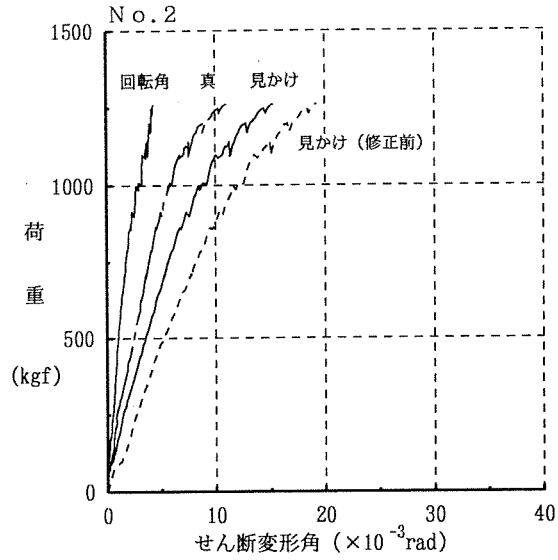
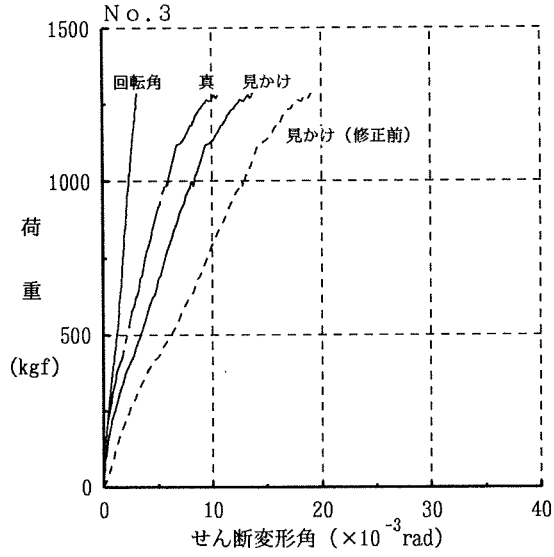
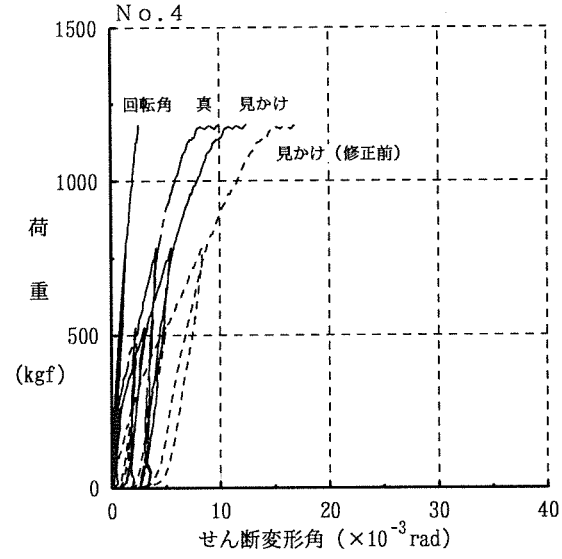


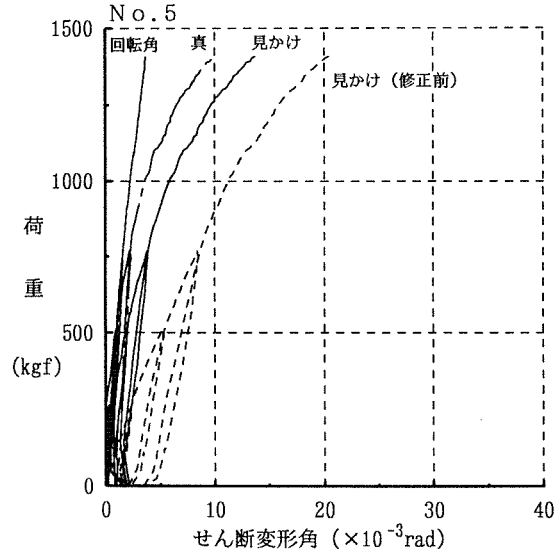
図 4-6.　せん断試験における荷重-変形曲線
（ベイマツ、1P、筋かいプレートＢＰ-2、試験体 No.6）











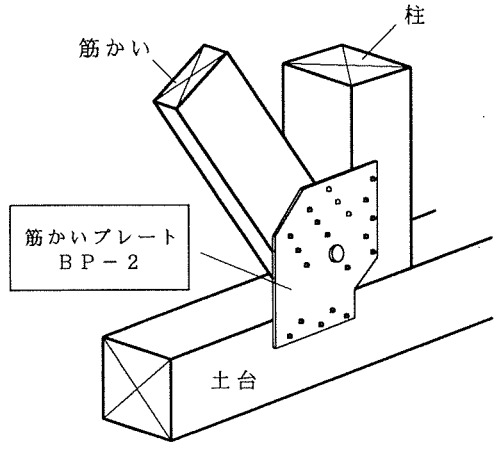
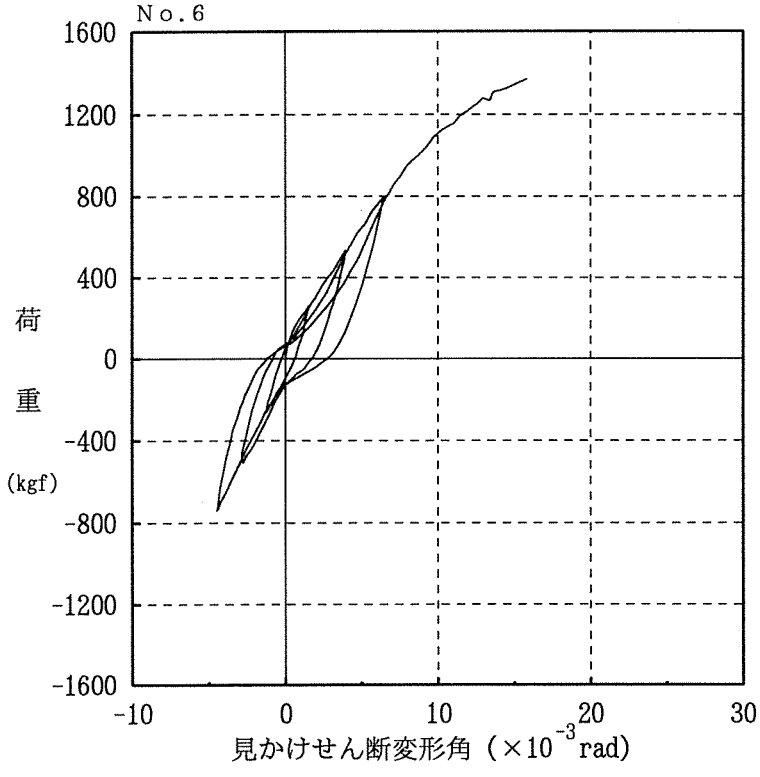


図 4-7.　せん断試験における荷重-変形曲線
（ベイマツ、2P、筋かいプレートＢＰ-2、試験体 No.1-5）



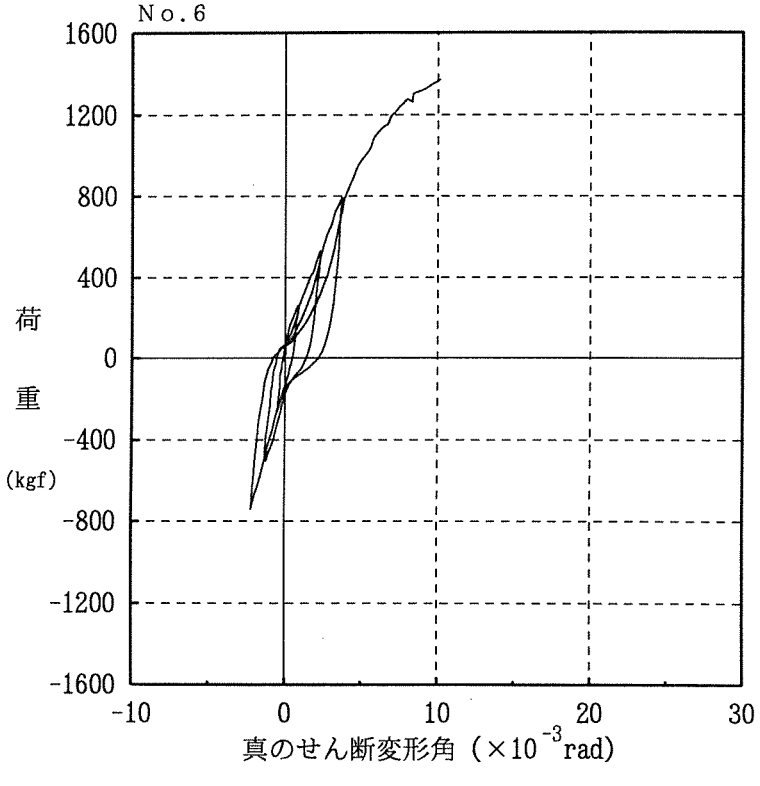
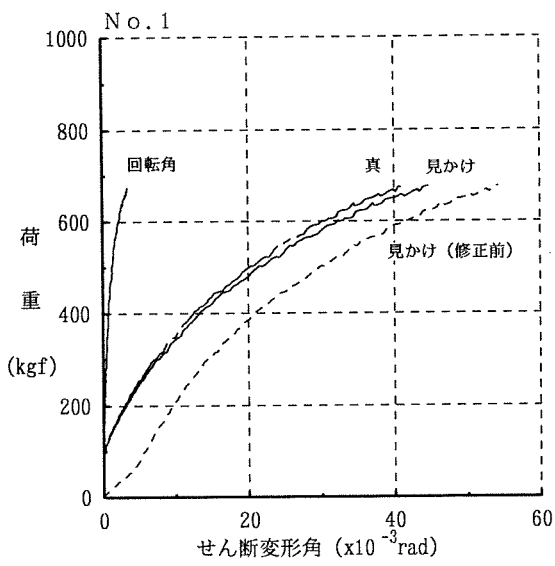
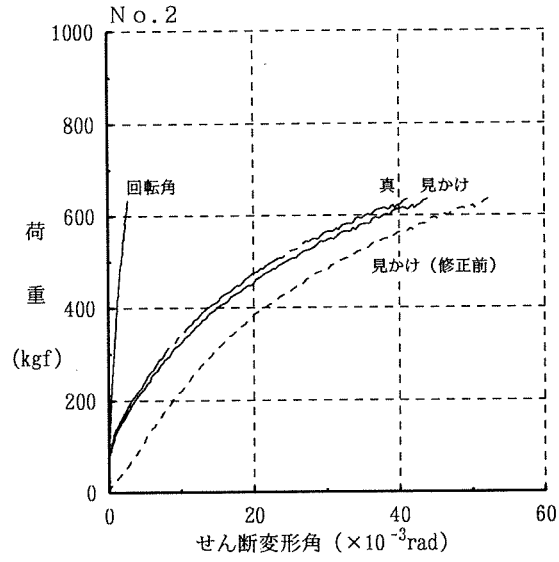
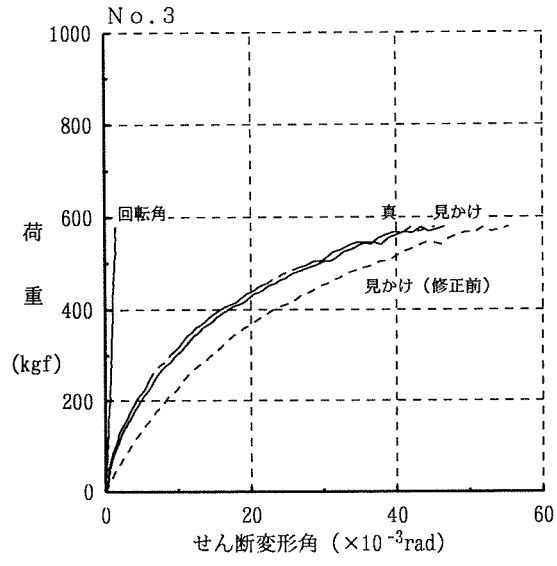
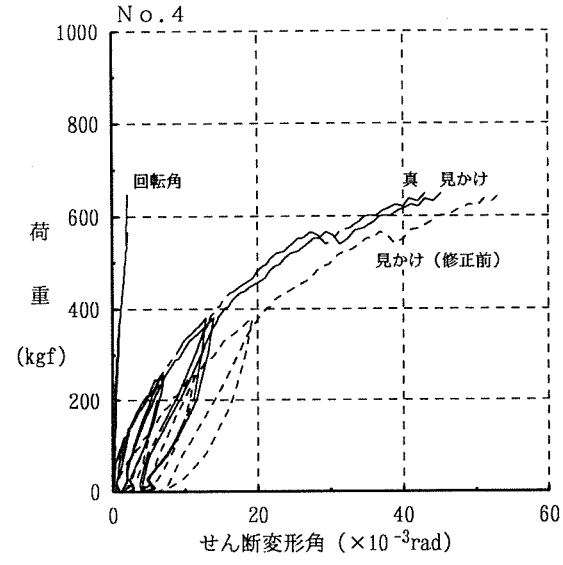


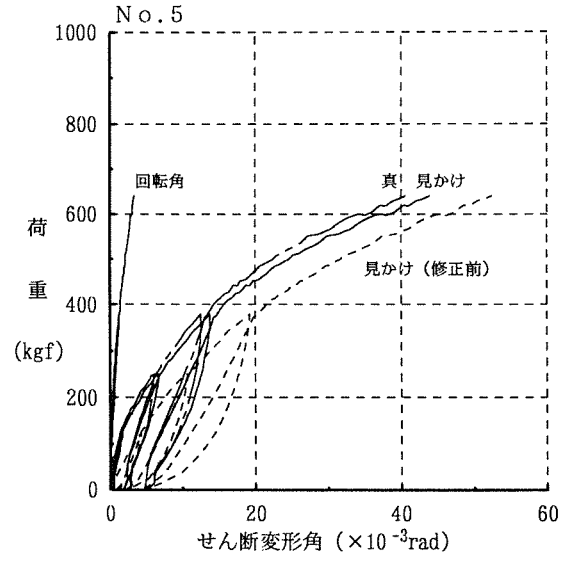
図 4-8.　せん断試験における荷重-変形曲線
（ベイマツ、2P、筋かいプレートＢＰ-2、試験体 No.6）











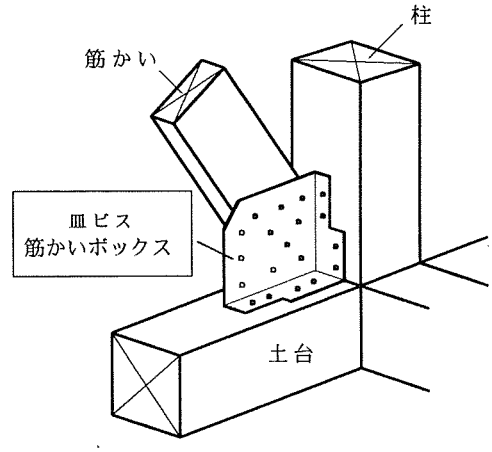
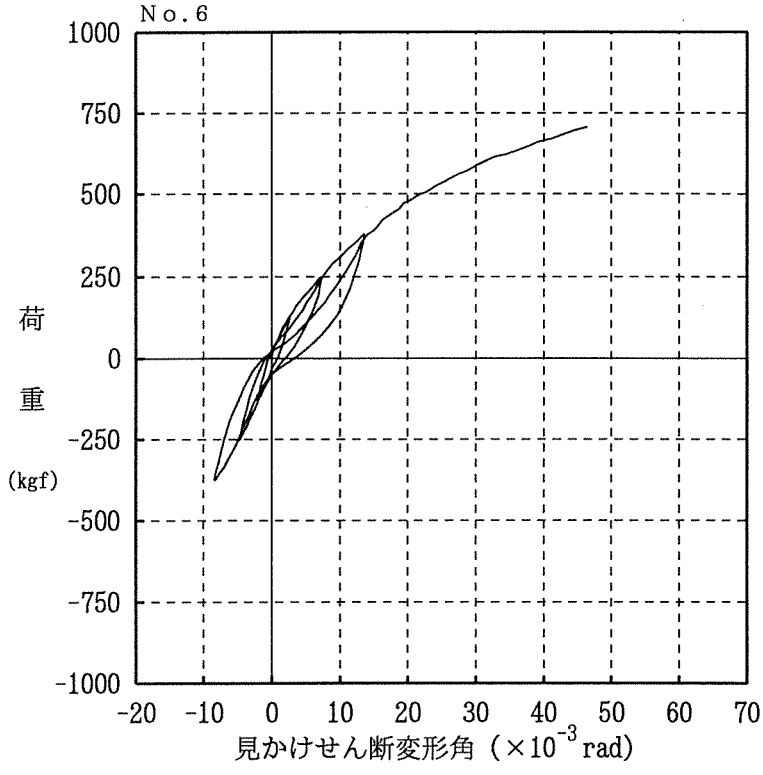


図 4-9.　せん断試験における荷重-変形曲線
（スギ、1P、皿ビス筋かいボックス、試験体 No.1-5）



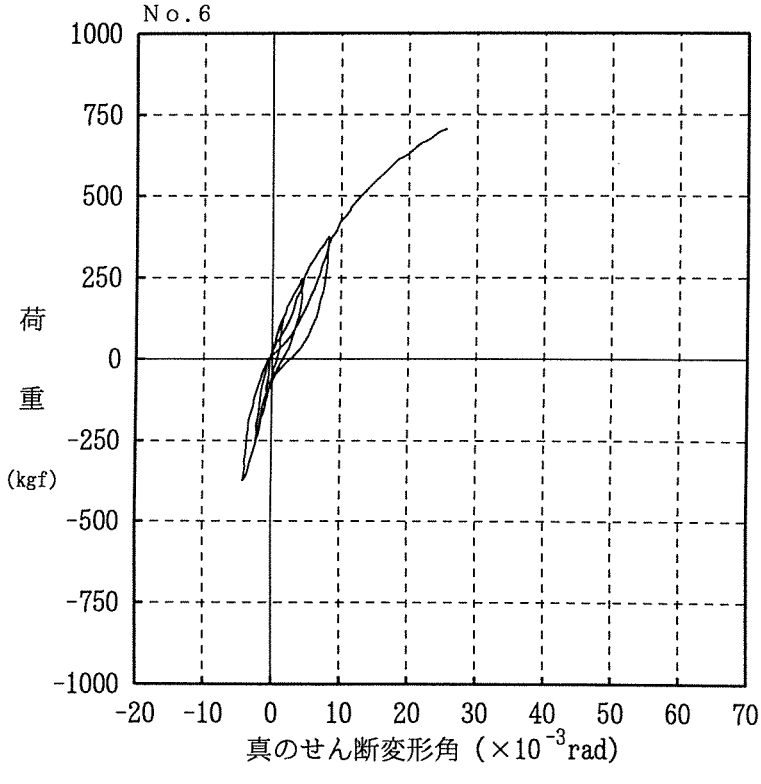


図 4-10.　せん断試験における荷重-変形曲線
（スギ、1P、皿ビス筋かいボックス、試験体 No.6）

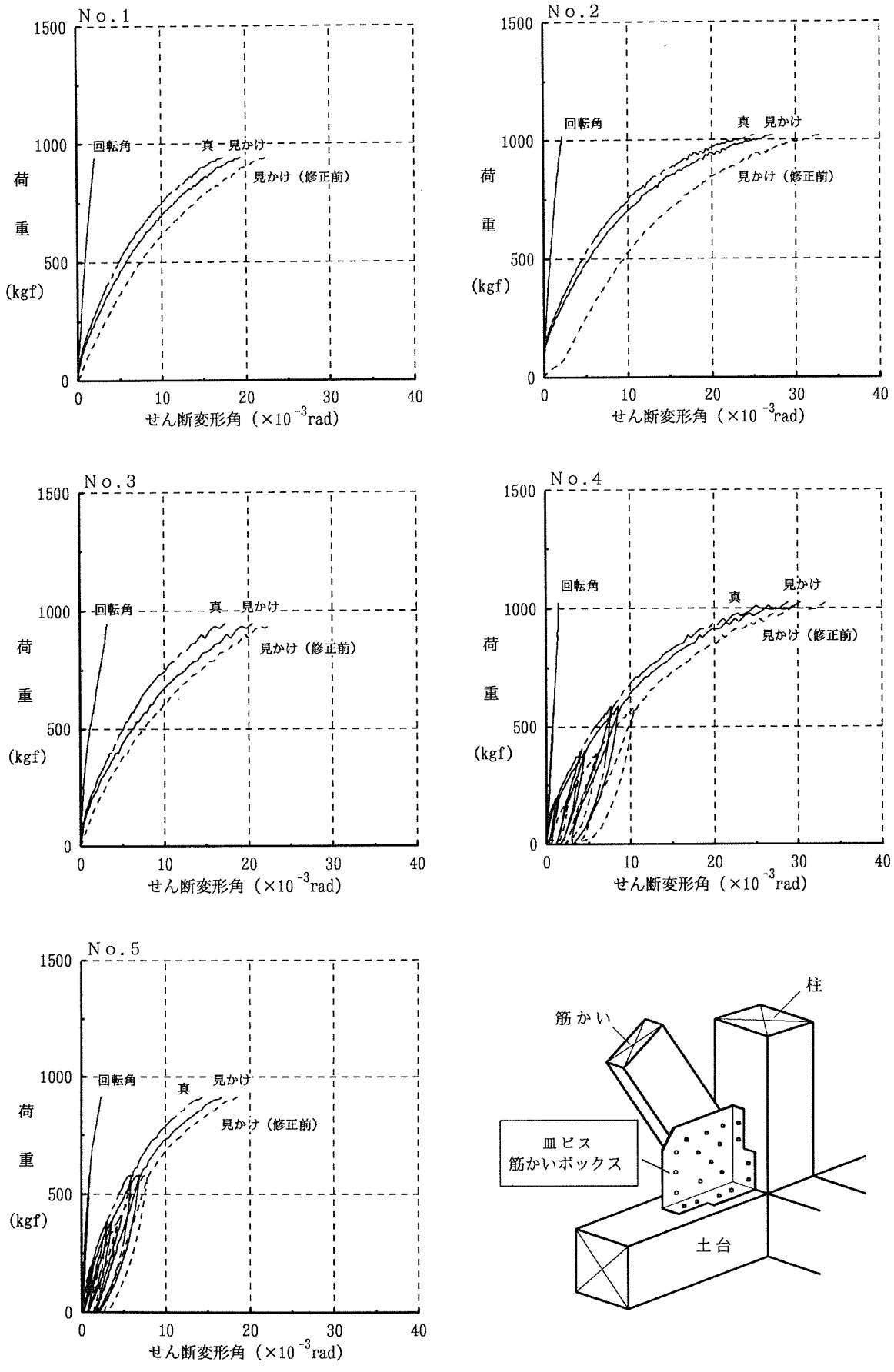
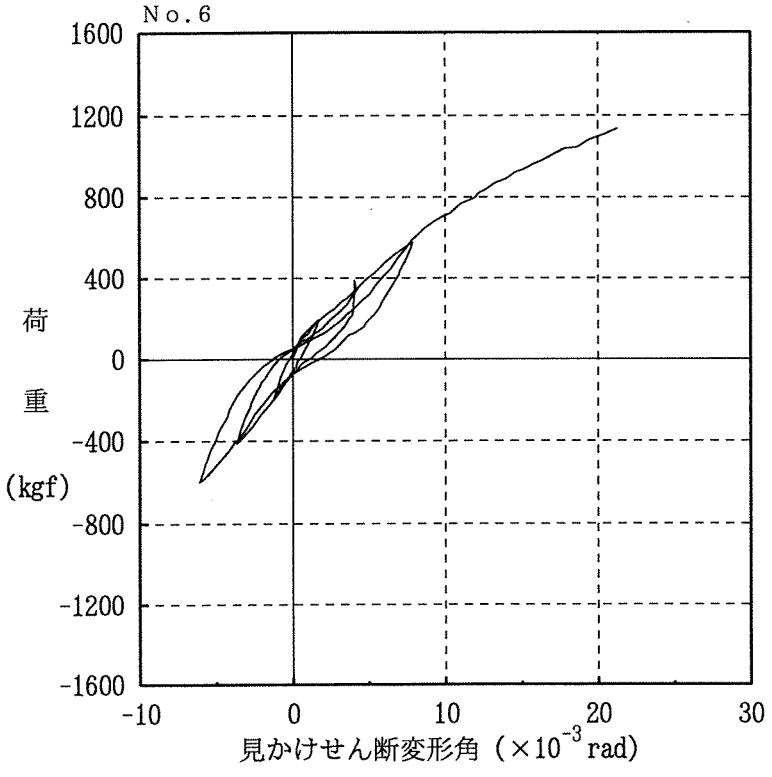


図 4-11. せん断試験における荷重-変形曲線
（スギ、2P、皿ビス筋かいボックス、試験体 No.1-5）



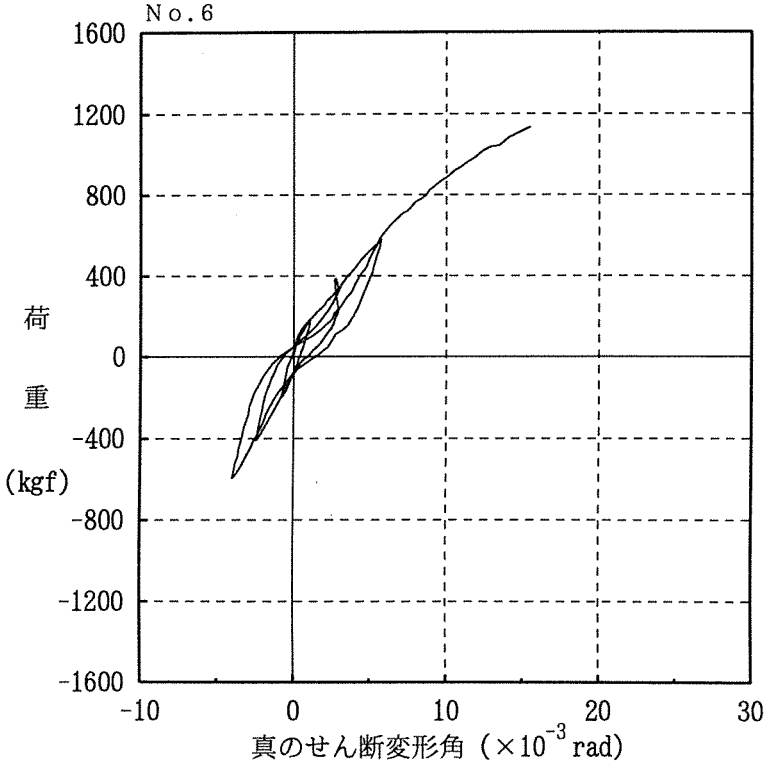
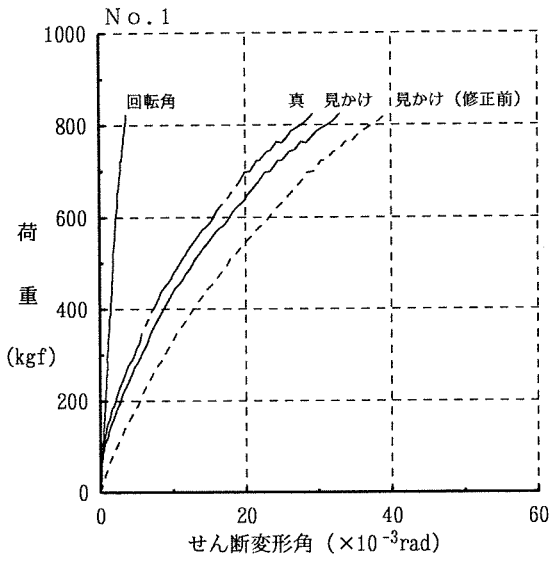
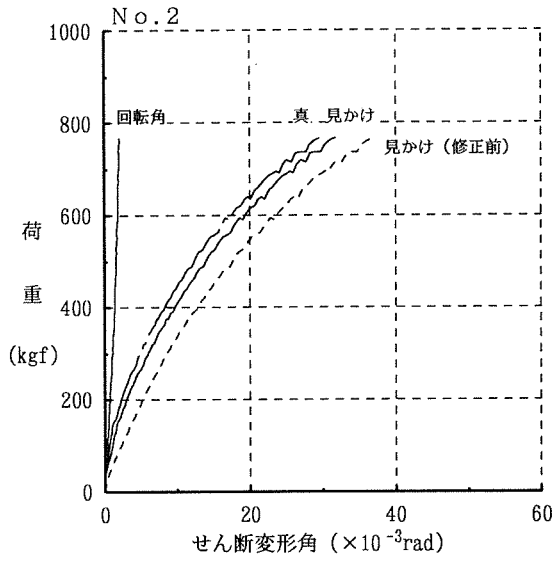
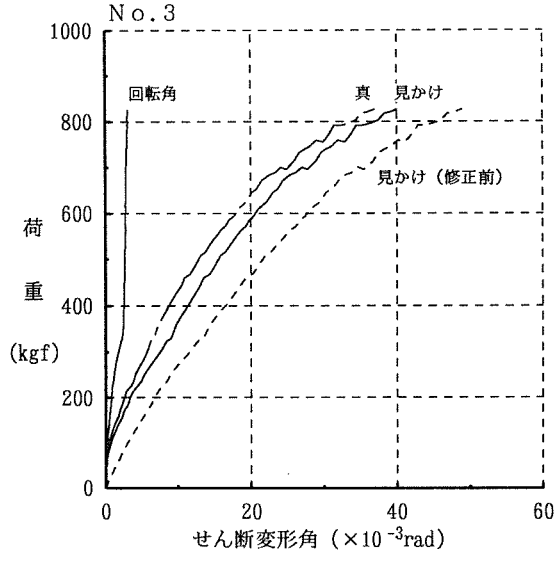
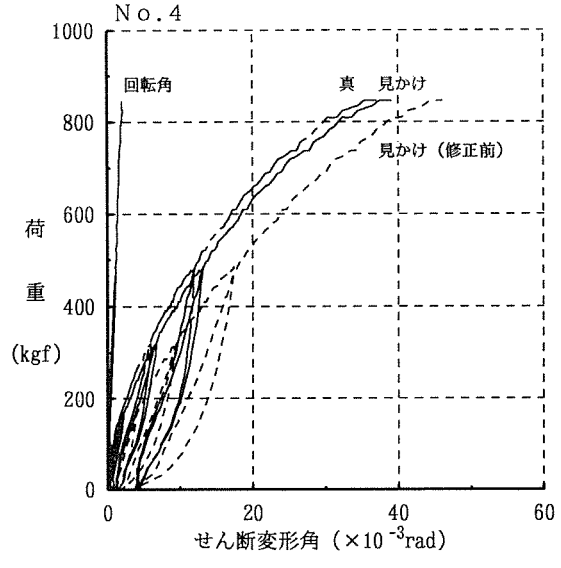


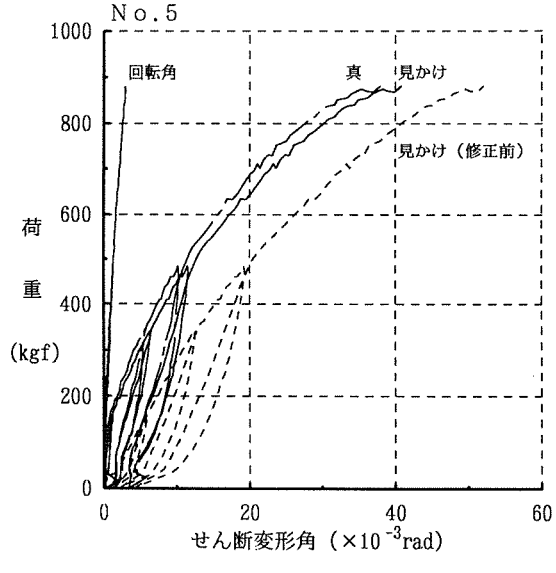
図 4-12.　せん断試験における荷重-変形曲線
（スギ、2P、皿ビス筋かいボックス、試験体 No.6）











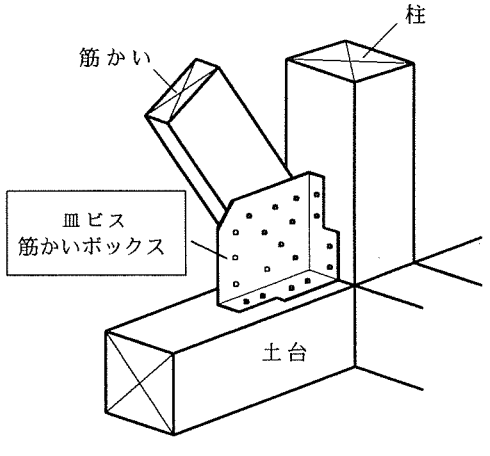
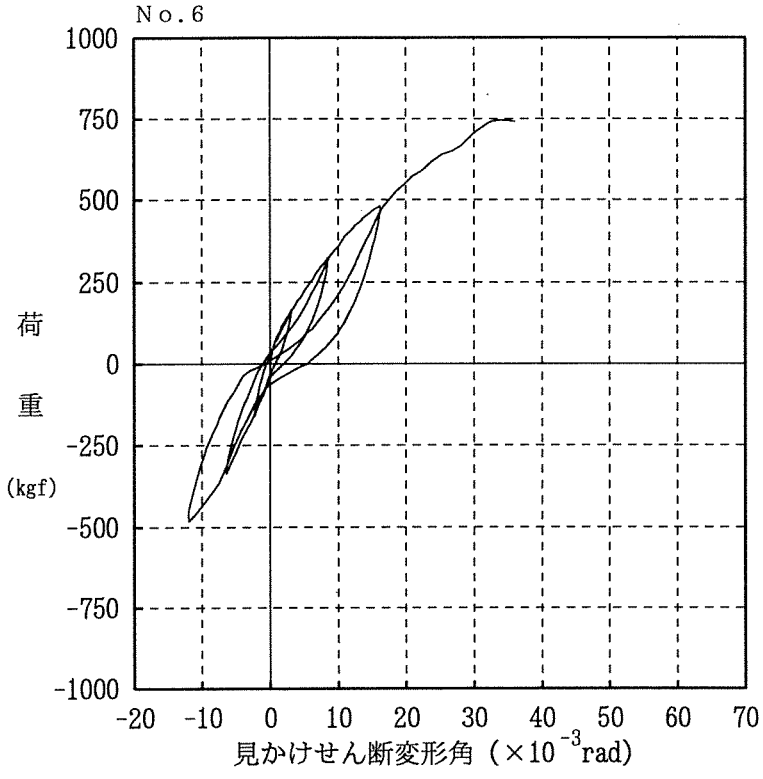


図 4-13.　せん断試験における荷重-変形曲線
（ベイマツ、1P、皿ビス筋かいボックス、試験体 No.1-5）



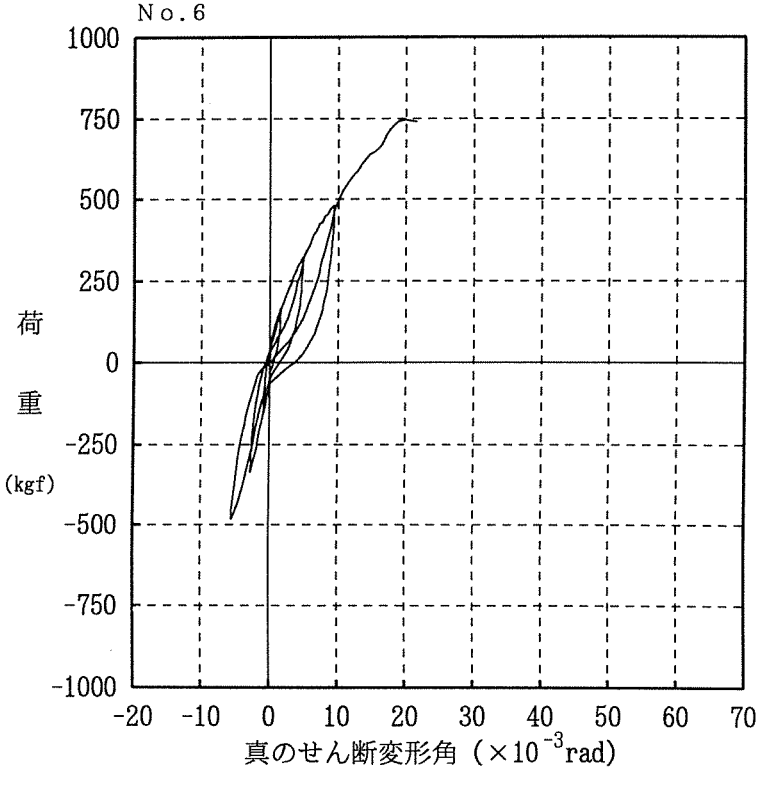


図 4-14.　せん断試験における荷重-変形曲線
（ベイマツ、1P、皿ビス筋かいボックス、試験体 No.6）

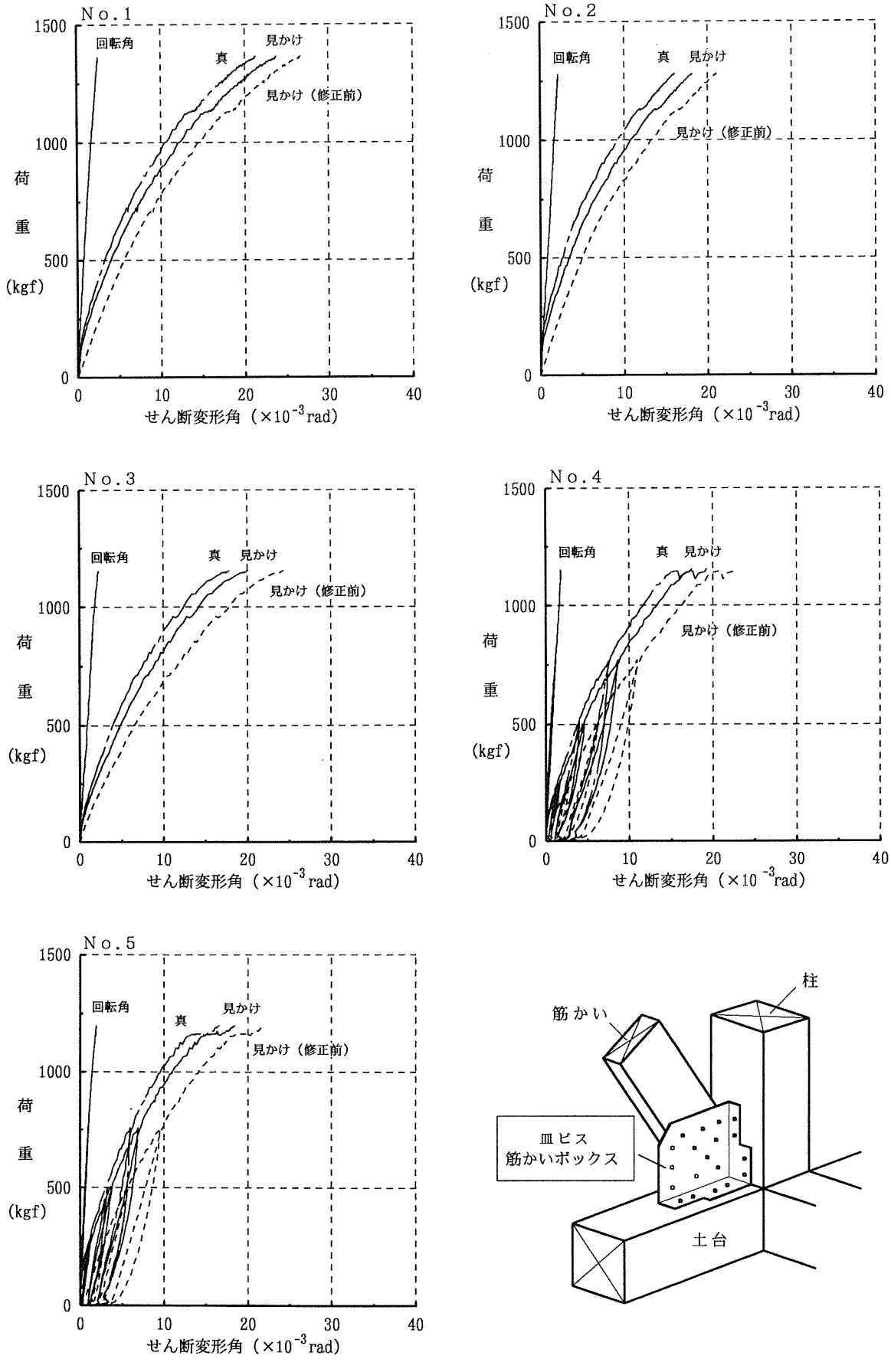
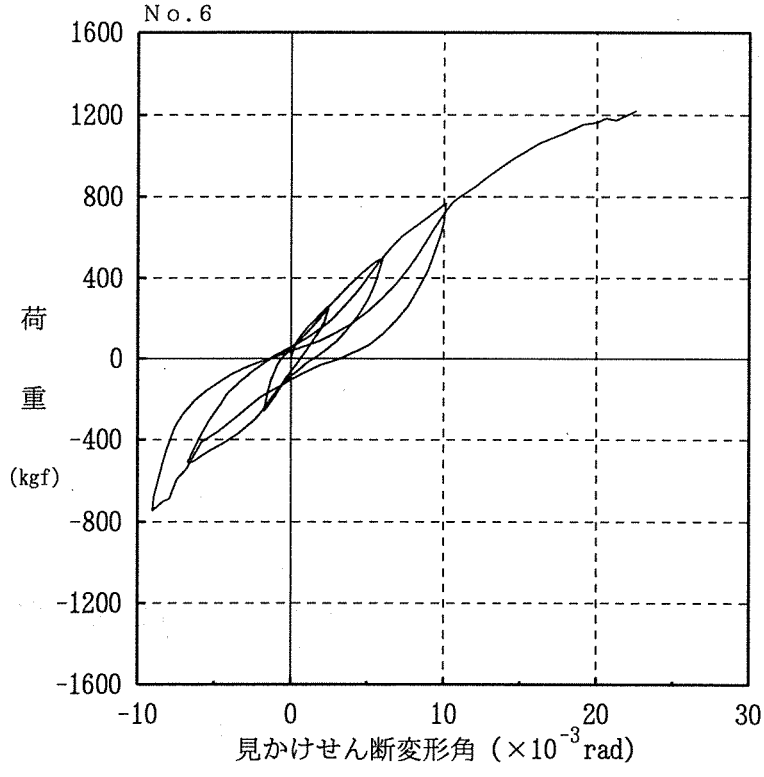


図 4-15.　せん断試験における荷重-変形曲線
（ベイマツ、2P、皿ビス筋かいボックス、試験体 No.1-5）



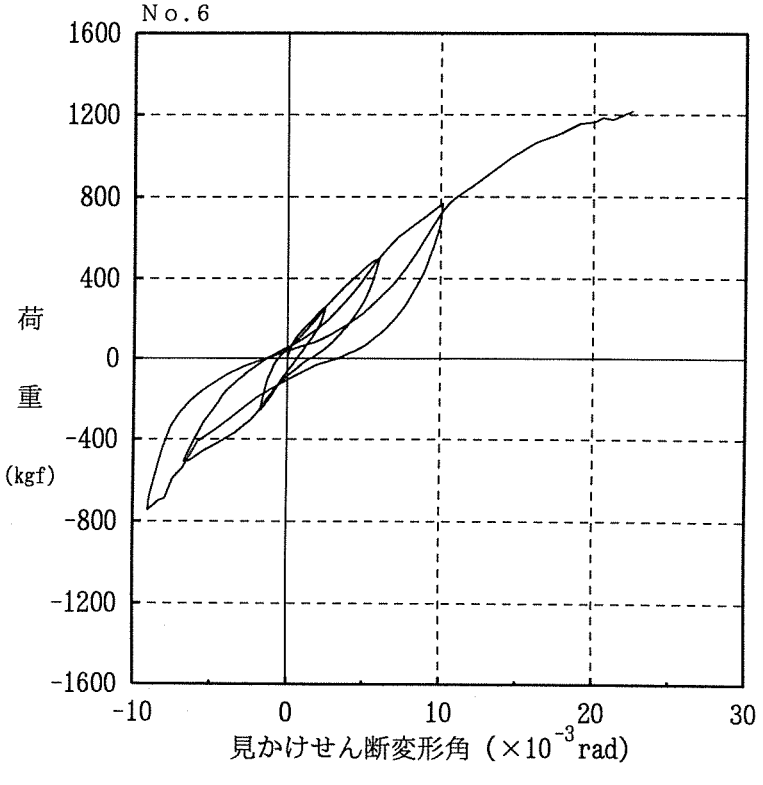


図 4-16.　せん断試験における荷重-変形曲線
（ベイマツ、2P、皿ビス筋かいボックス、試験体 No.6）

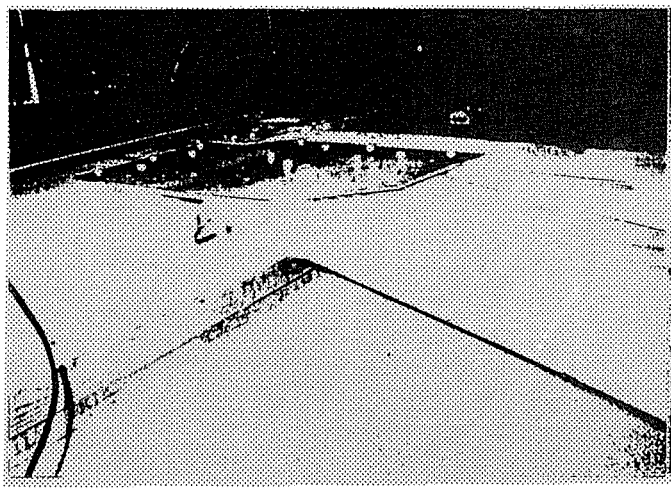


写真 1.　筋かいプレート
釘の引抜けと曲げ降伏

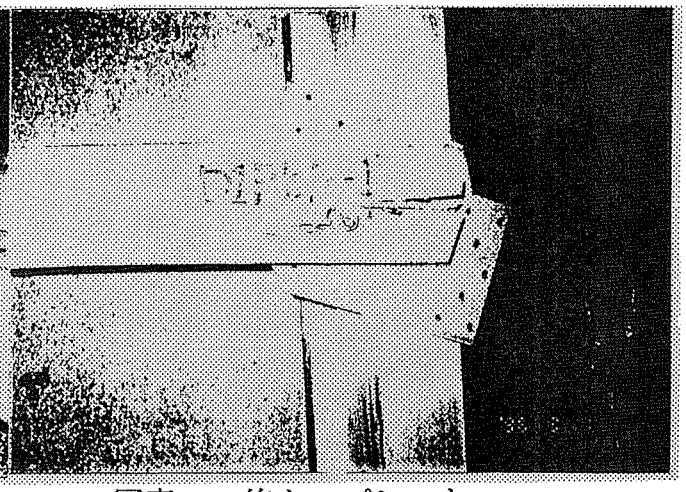


写真 2.　筋かいプレート
角根ボルトの所から発生した亀裂

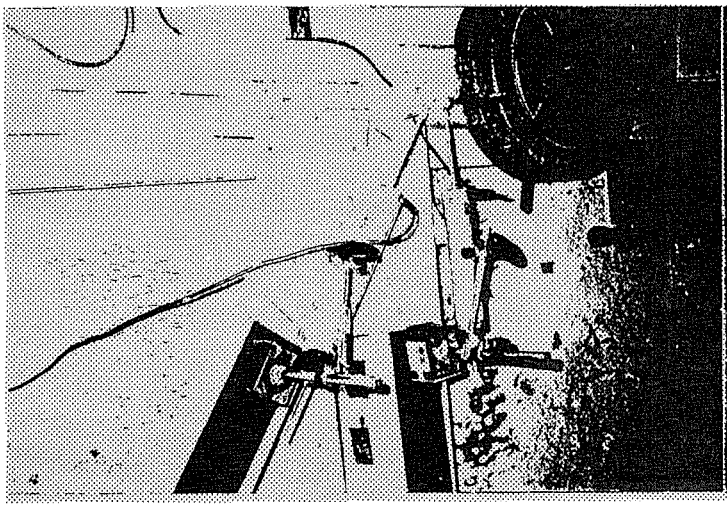


写真 3.　筋かいプレート
桁の釘打ち部分での割裂

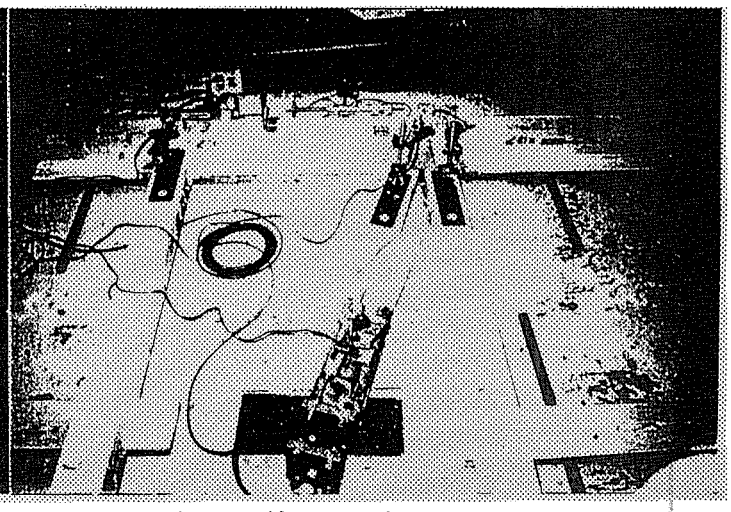


写真 4.　筋かいプレート
目切れのため筋かいが破断

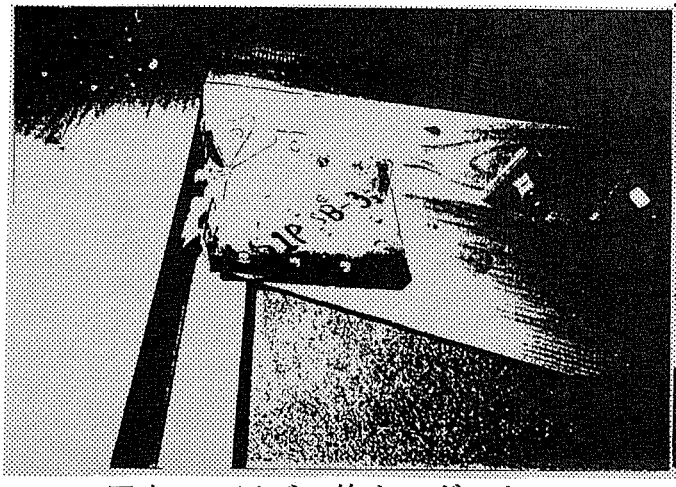


写真 5.　皿ビス筋かいボックス
金物の変形と柱と桁に打ち
付けたネジの引き抜け

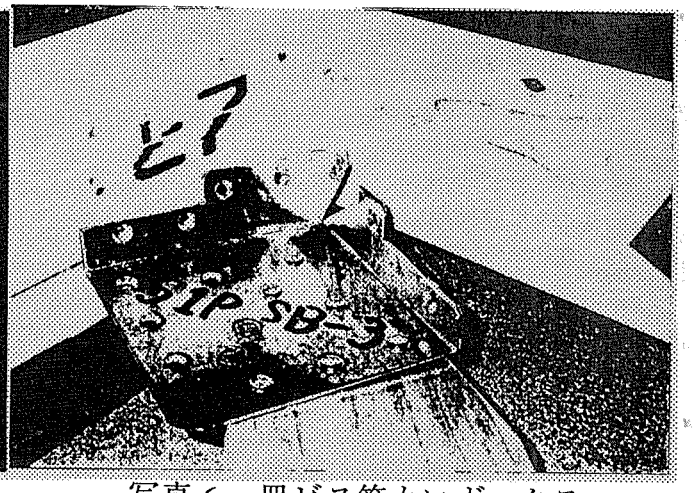
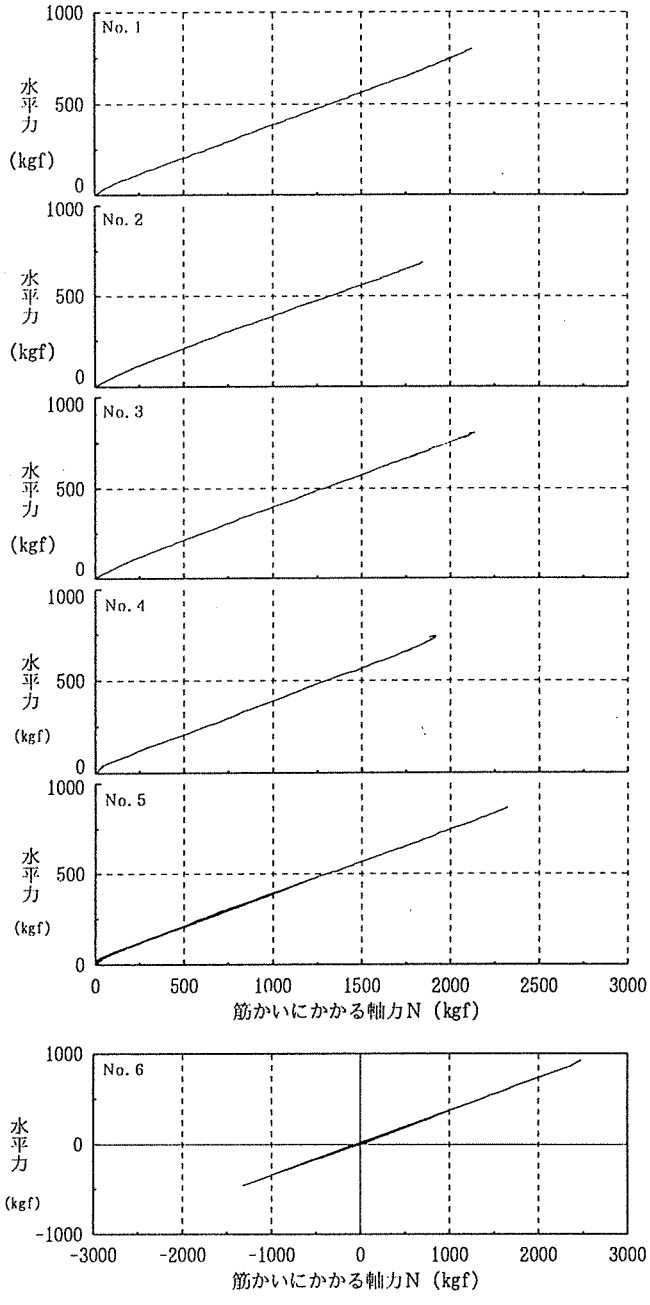
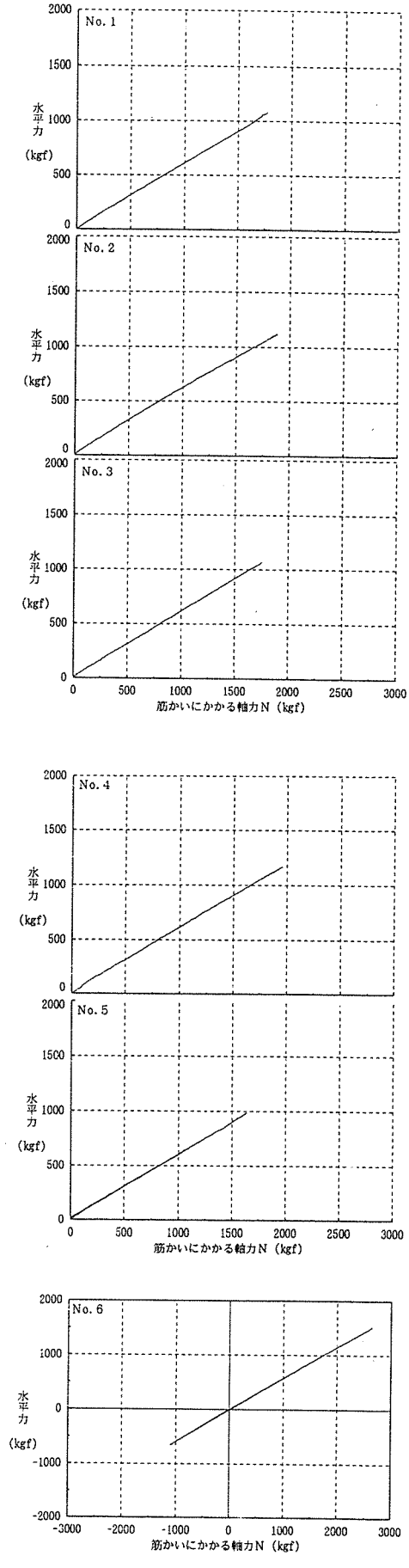


写真 6.　皿ビス筋かいボックス
ネジ頭の飛散

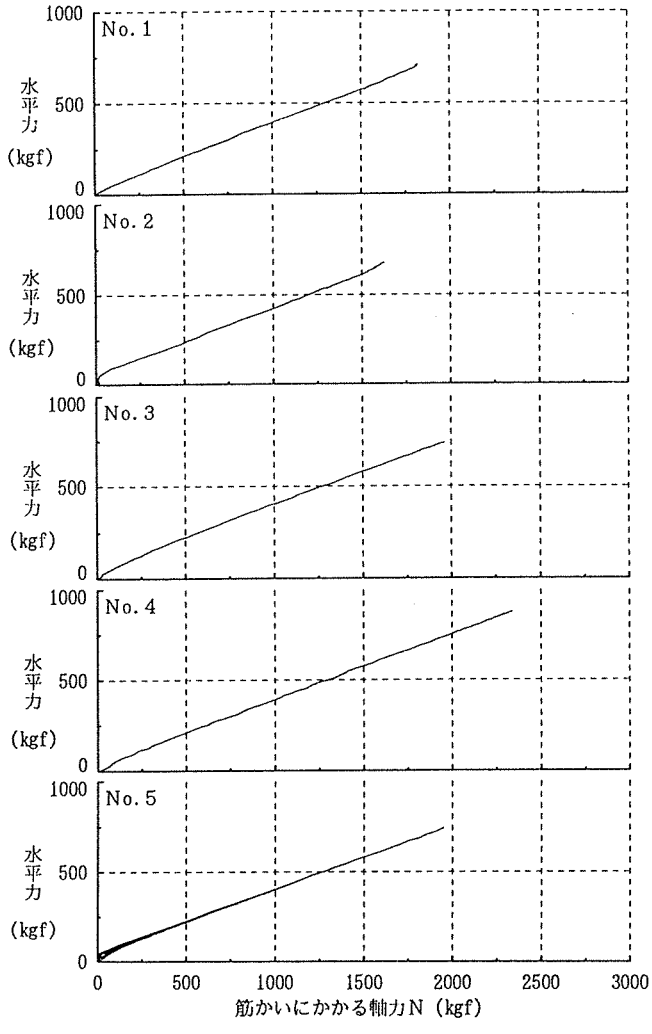


筋かいプレートＢＰ-2、スギ、1Ｐ

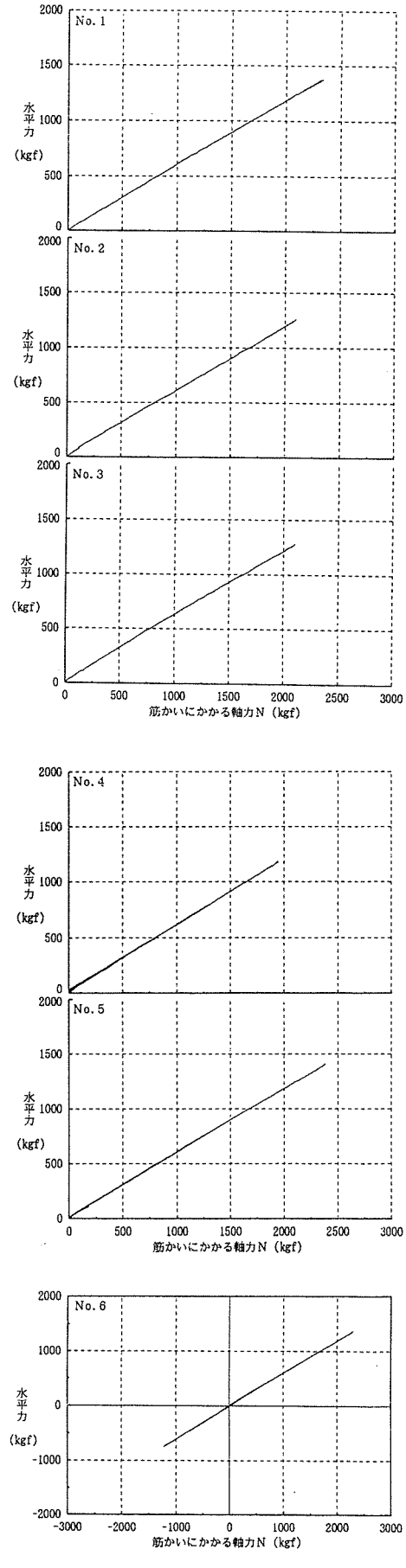


筋かいプレートＢＰ-2、スギ、2Ｐ

図 5-1.　水平力と筋かいに加わる軸力の関係

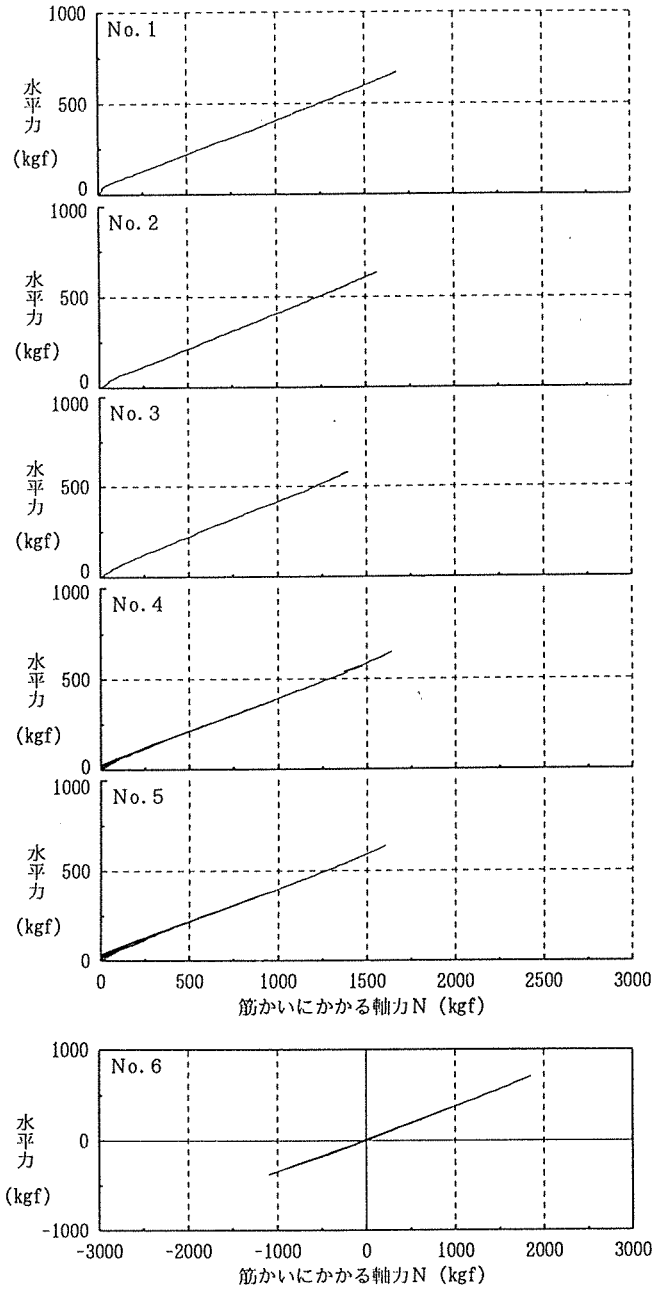


筋かいプレートＢＰ-2、ベイマツ、1Ｐ

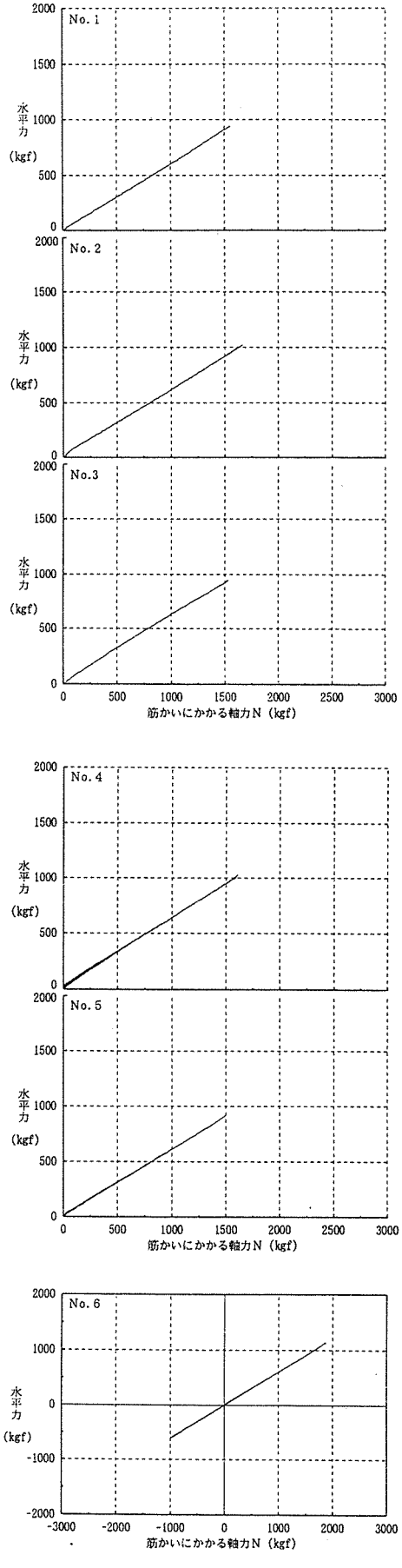


筋かいプレートＢＰ-2、ベイマツ、2Ｐ

図 5-2.　水平力と筋かいに加わる軸力の関係

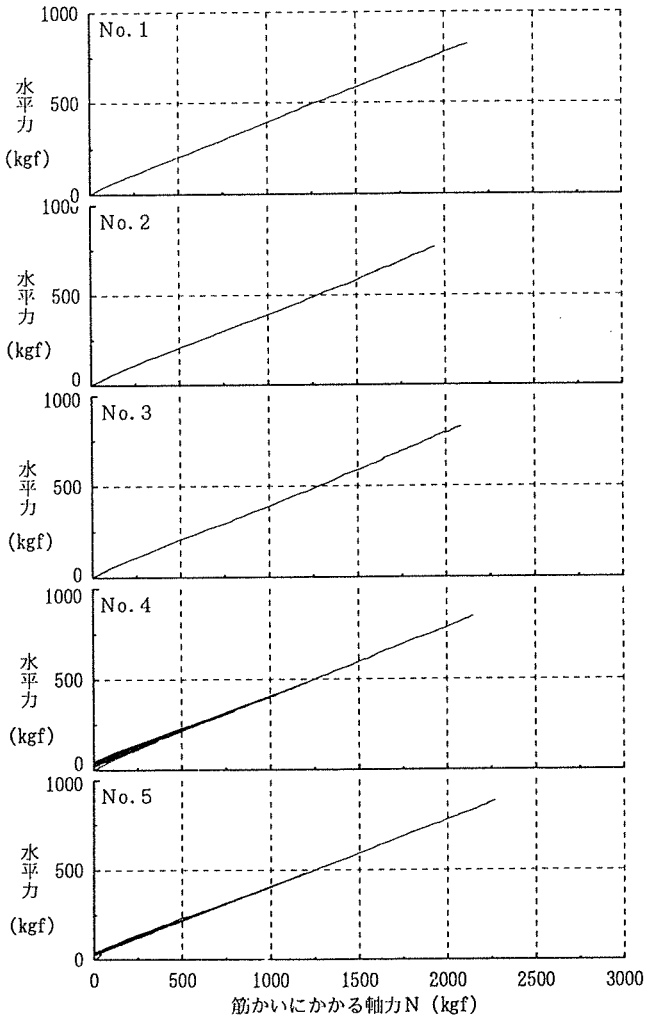


Ⅲビス筋かいボックス、スギ、1P

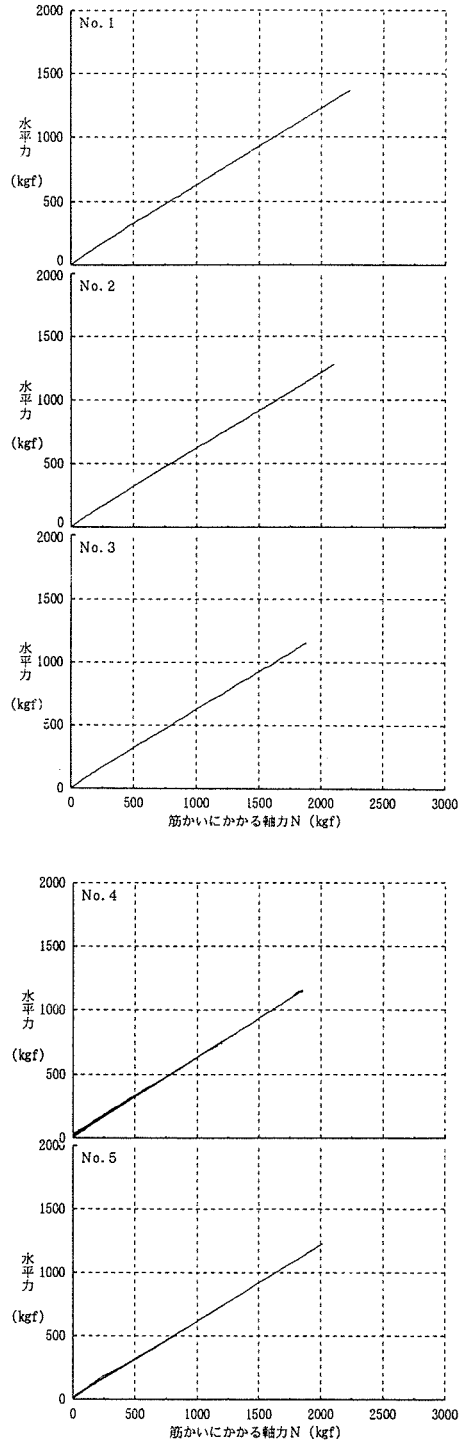


Ⅲビス筋かいボックス、スギ、2P

図 5-3. 水平力と筋かいに加わる軸力の関係

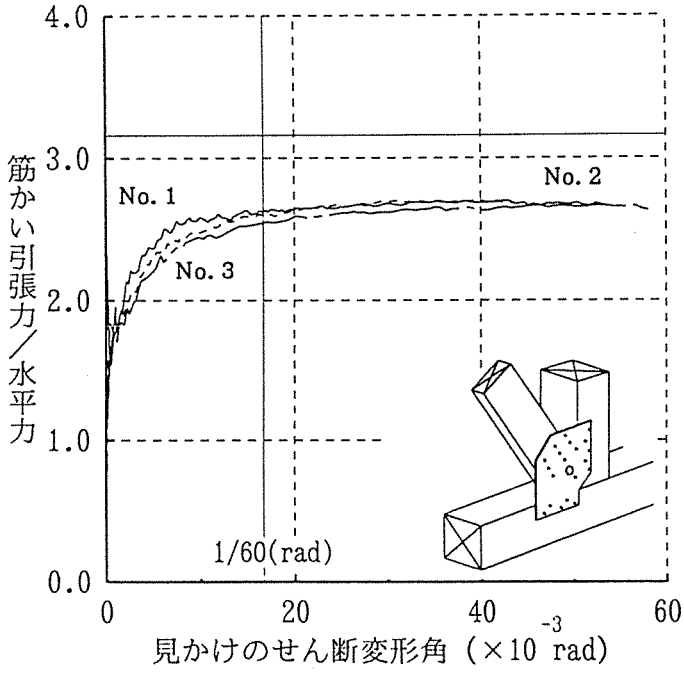


Ⅲビス筋かいボックス、ベイマツ、1P

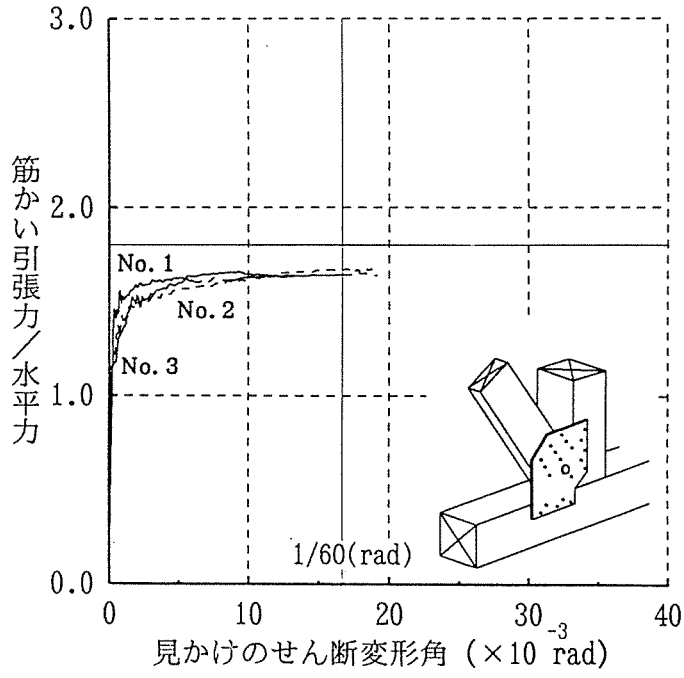


Ⅲビス筋かいボックス、ベイマツ、2P

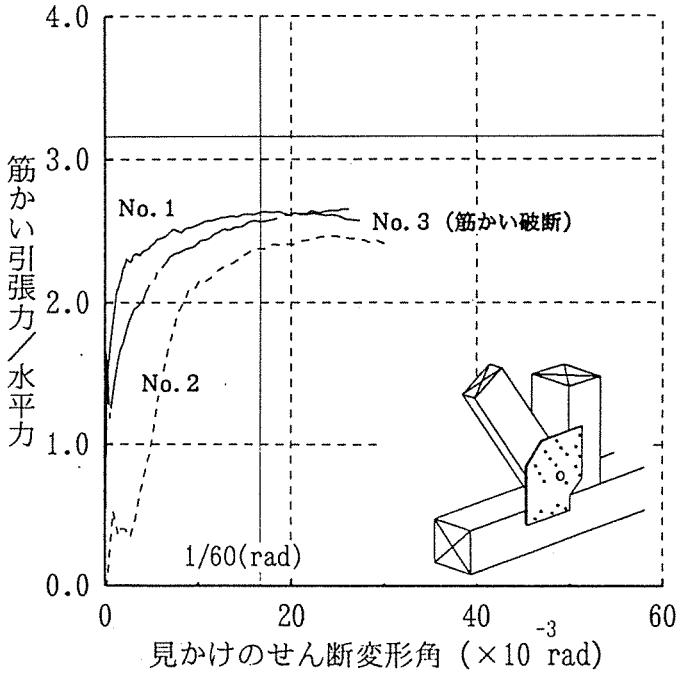
図 5-4　水平力と筋かいに加わる軸力の関係



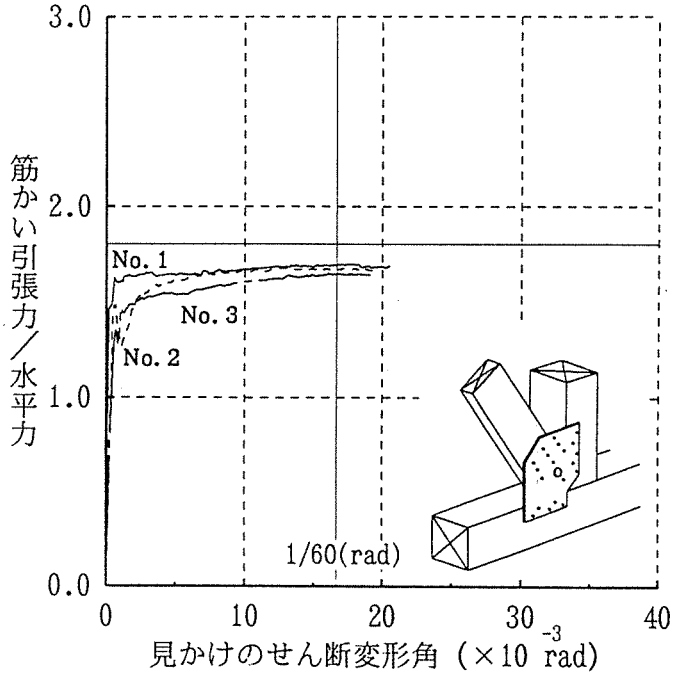
筋かいプレート　スギ、1P



筋かいプレート　スギ、2P

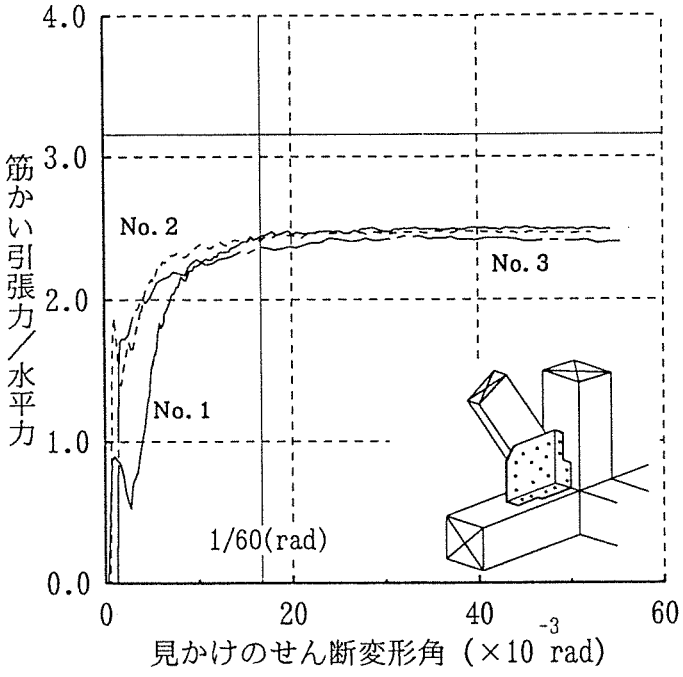


筋かいプレート　ベイマツ、1P

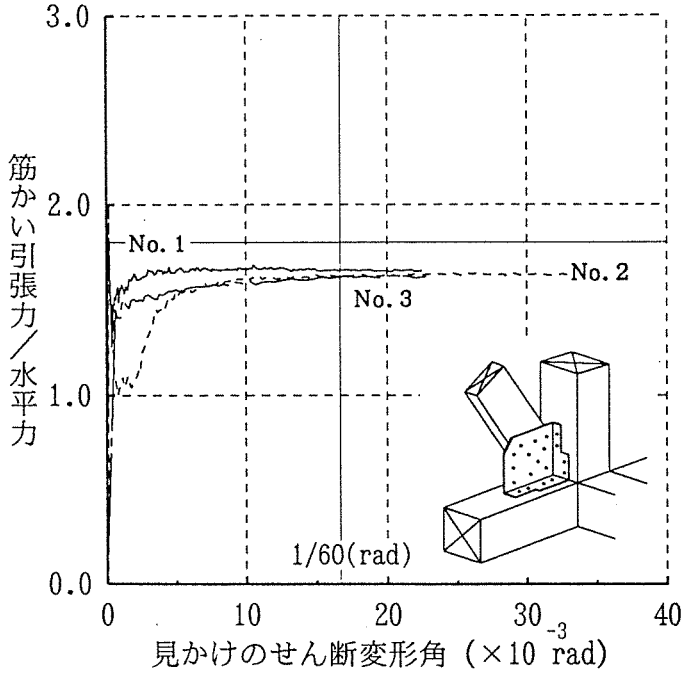


筋かいプレート　ベイマツ、2P

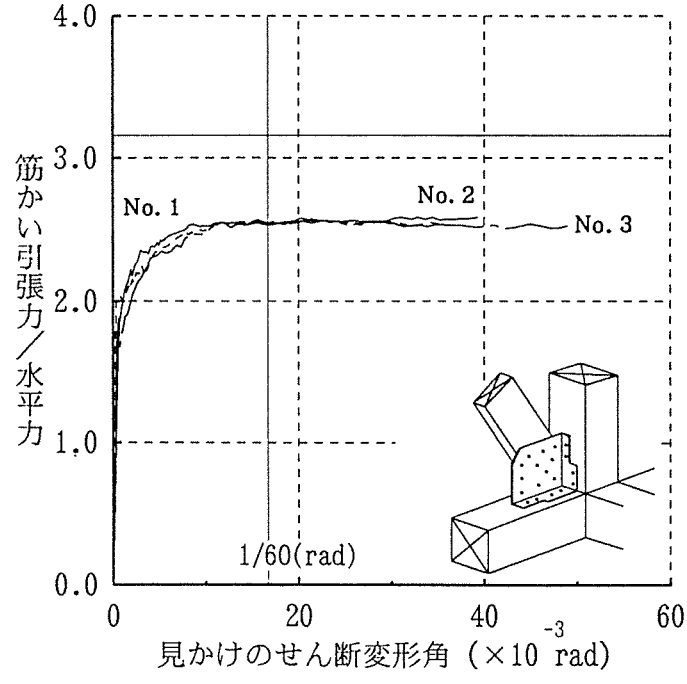
図 6-1.　筋かいに加わる引張力と水平力の比
筋かいプレート



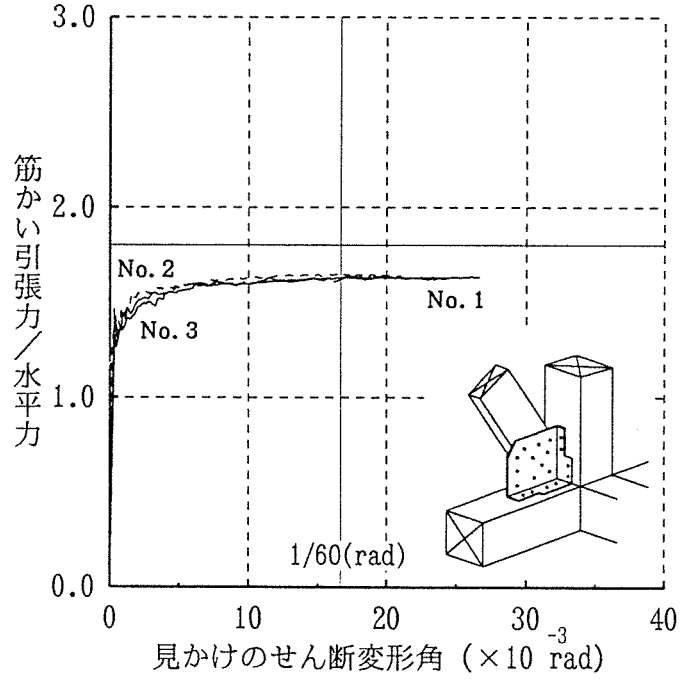
Ⅲビス筋かいボックス　スギ、1P



Ⅲビス筋かいボックス、スギ、2P

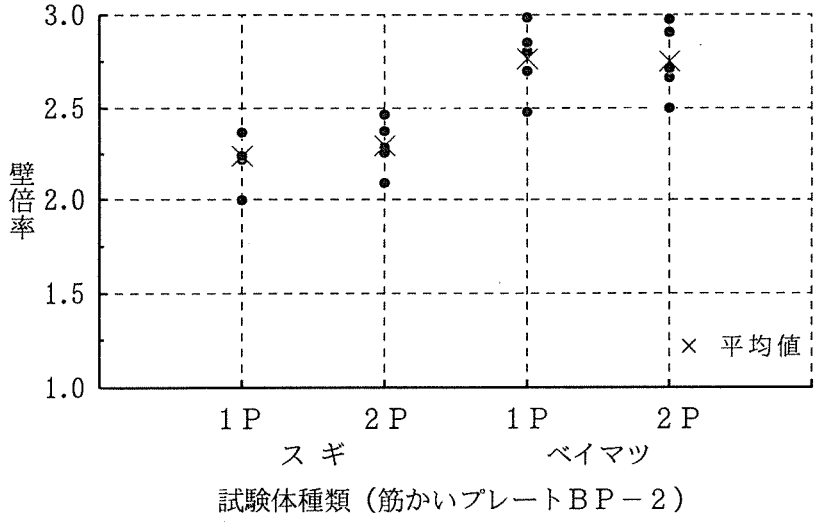


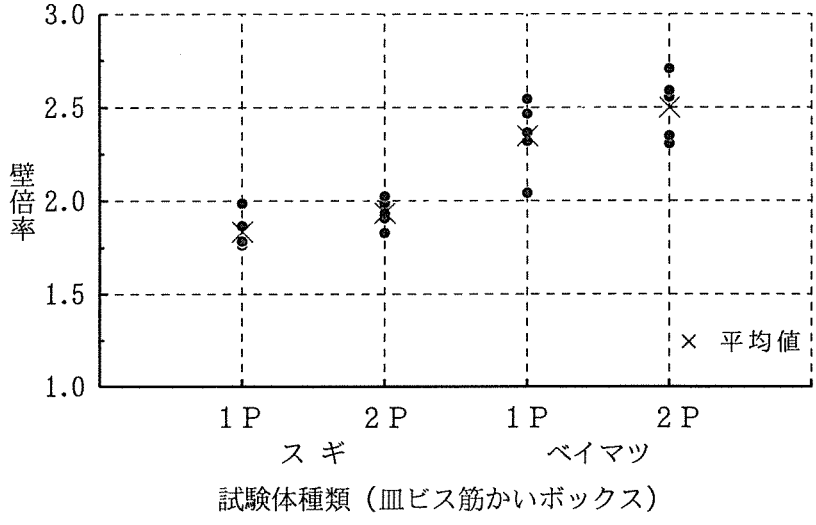
Ⅲビス筋かいボックス　ベイマツ、1P



Ⅲビス筋かいボックス　ベイマツ、2P

図 6-2.　筋かいに加わる引張力と水平力の比
Ⅲビス筋かいボックス





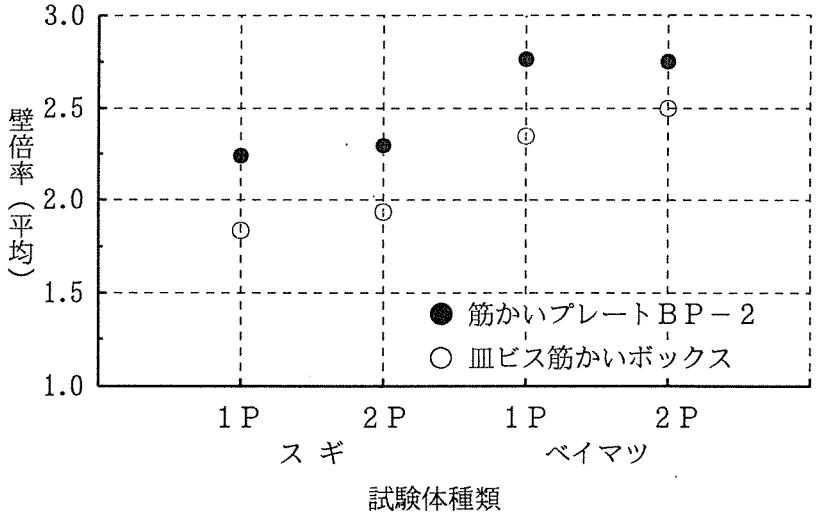
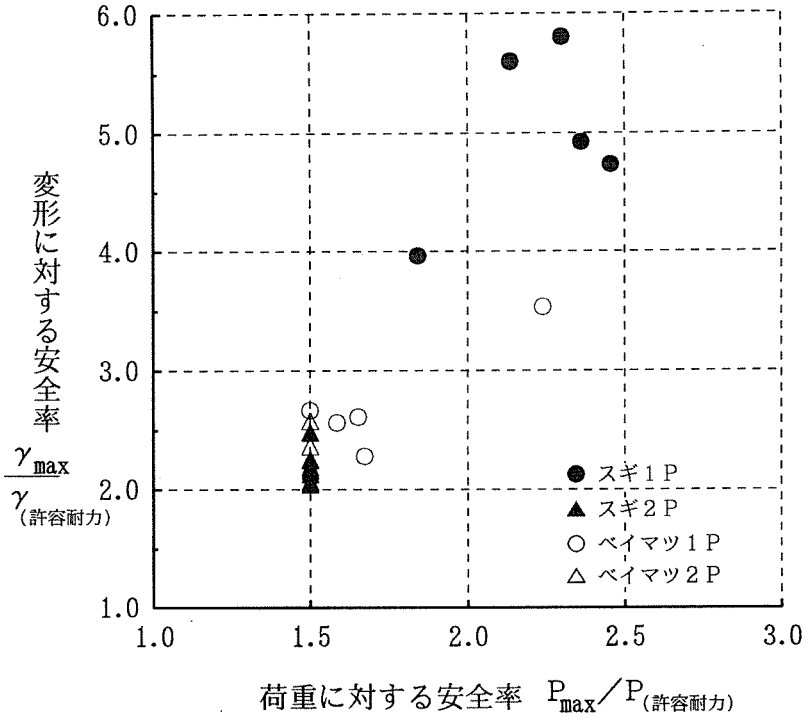
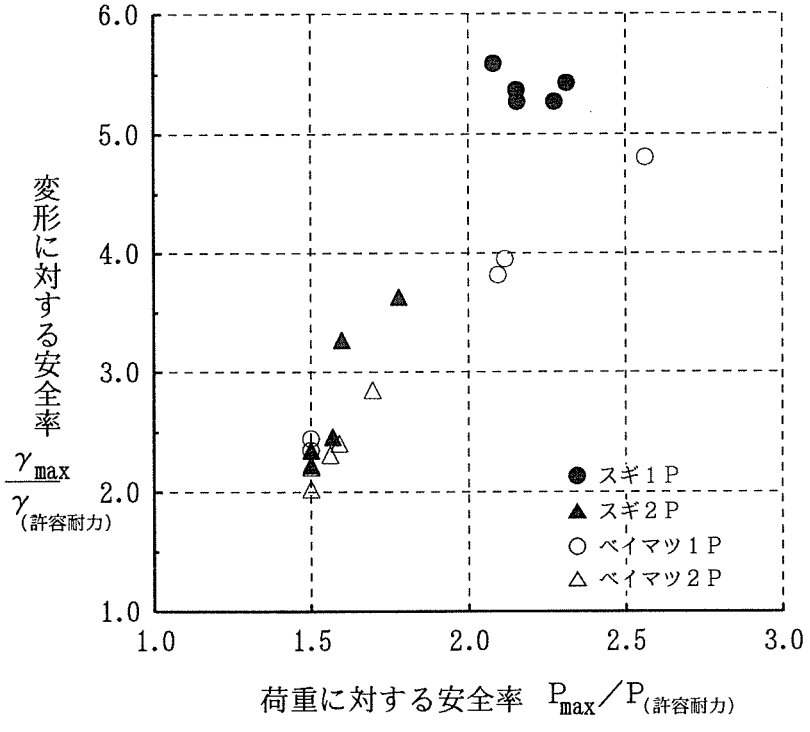


図 7.　各試験体の壁倍率のプロット



筋かいプレートＢＰ－２



皿ビス筋かいボックス

図 8.　壁の変形に対する安全率と荷重に対する安全率の関係

第３章　筋かい壁強度性能評価実験－筋かいプレート、ジャスティプレート、ジャスティガゼットによる接合

１．目的

木造の在来軸組構法における水平耐力の確保の方法として、柱間に筋かいを組み入れることは一般化しているが、その取合い部分に関する接合方法は多岐にわたり、個々の仕様に対する性能評価基準は明瞭には規定されていない。これら多くの接合方法の中で、金物による補強は簡易かつ確実な方法であり、耐震性を付与した構造躯体に今後一層活用されていくものと考えられる。

ここで試験の対象とした２つ割り材程度の断面を有する筋かいは、通常圧縮筋かいとして機能することが予定されているが、補強金物を併用した場合には引張筋かいとしての効果も十分期待される。

本実験は、いくつかの筋かい金物を適用した筋かい入り軸組壁体について、引張筋かいとして水平力を負担させた場合の、剛性ならびに耐力を評価するための資料を蓄積することを目的とするものである。

２．試験体

筋かい壁の試験体の軸組は、断面105mm×105mmの材に短ほぞ加工をして組み立て、接合箇所にはホールダウン金物(HD-N15)を取付けて緊結したものである。この軸組内部に突付けで断面105mm×45mmの筋かいを入れ、所定の筋かい金物により軸材と接合して、図２－１に示すような壁幅が柱心々で910mm(1P)と1,820mm(2P)の２タイプの壁体を作成した。引張筋かいとしての挙動観察に主眼を置くため、間柱等の主要耐力部材と見なされない部材は取付けられていない。部材の樹種はスギ(S)とベイマツ(D)、使用した筋かい金物は、以下の３種類である。金物の形状等の詳細は、図２－２に示すとおりである。

(1) ２倍用ジャスティープレート(JP)　カネシン　　略号：KJP
(2) ２倍用ジャスティーガセット(JG)　カネシン　　略号：KJG
(3) 筋かいプレート(IBP-2)　　イケヤ　　略号：IBP

筋かいの材軸中心は、柱材と桁材・土台との心々交点より壁幅1Pでは水平方向壁体内側に20mm、壁幅2Pでは鉛直方向壁体外側に10mmずらし、金物を固定する釘あるいはビスの縁距離が確保できるようにした。

試験体数は、同一条件各６体の計72体である。

金物(3)×樹種(2)×壁幅(2)×繰返し数(6)=72体

なお、試験体の作成のうち筋かいの取付けは、原則的に試験加力開始の数時間以内となるように行い、接合具の時間的な影響を除いた。

部材の鉋削・裁断ならびにほぞ加工等は、プレカット機械によって行っており、筋かい端部の裁断角度が若干異なるものもごく少数あったが、寸法・加工精度は概して高いと判断された。

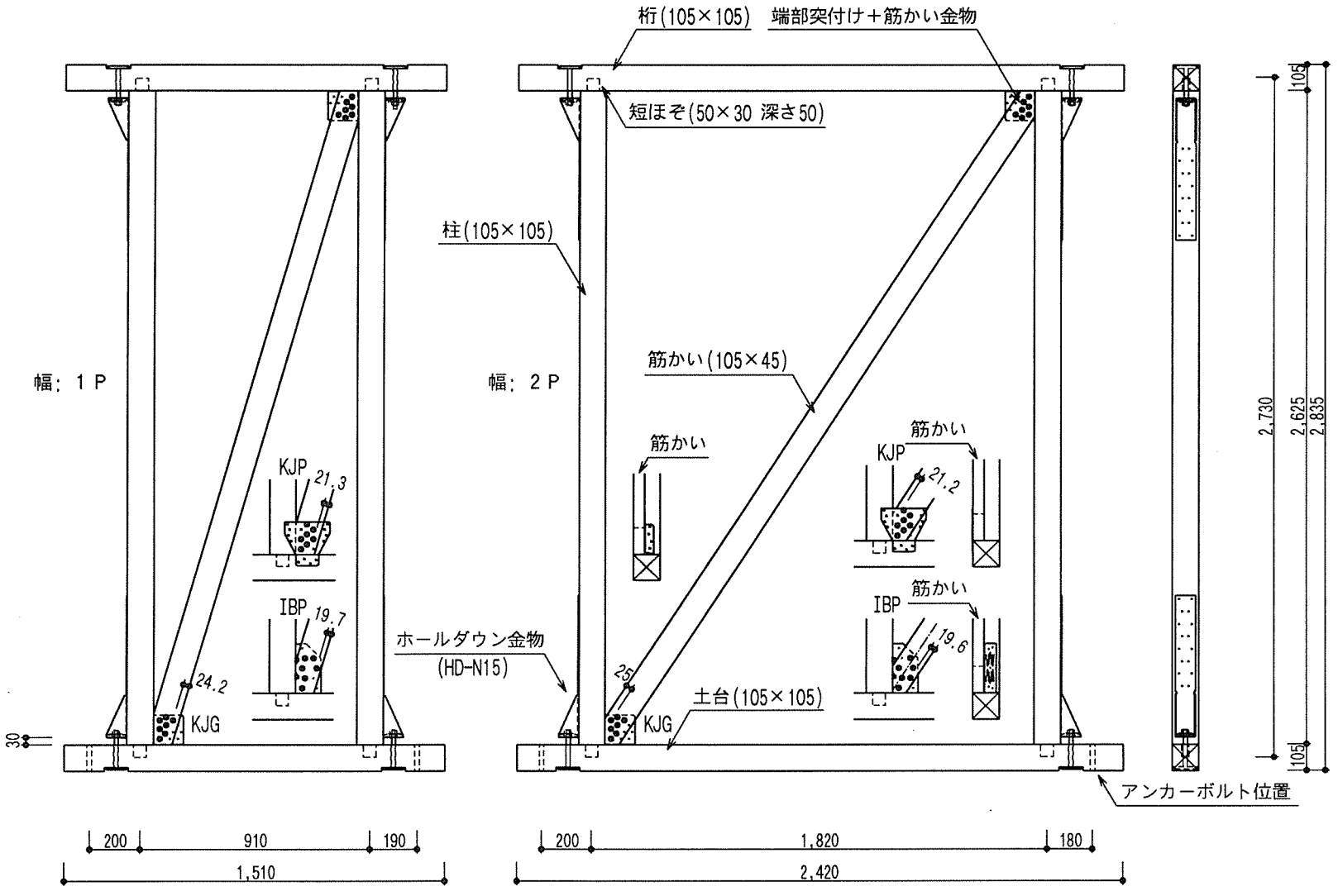
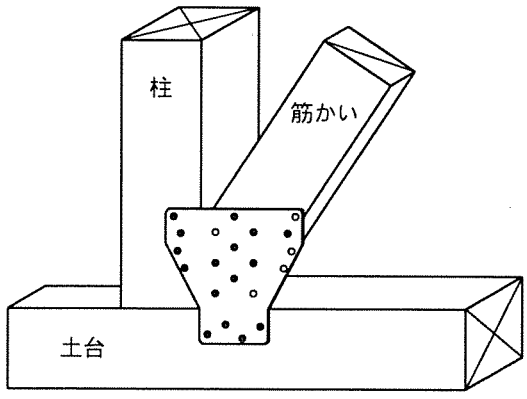
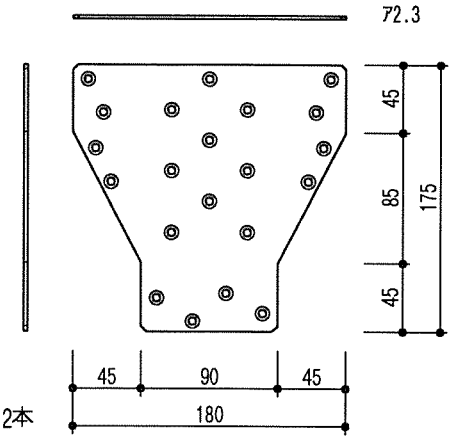
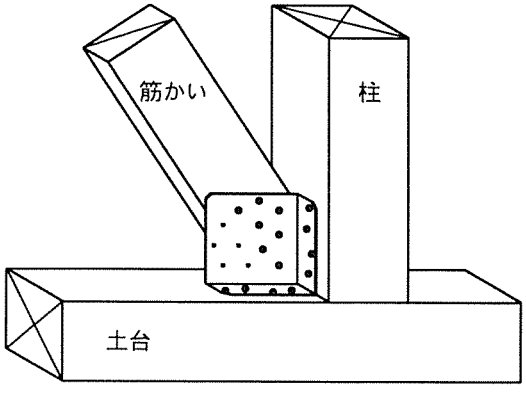


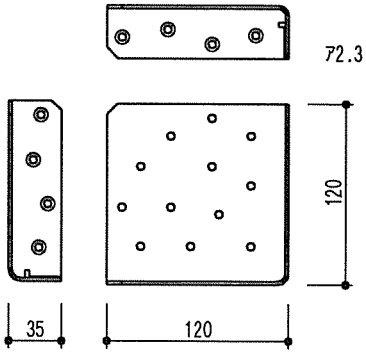
図２－１　筋かい壁試験体の形状



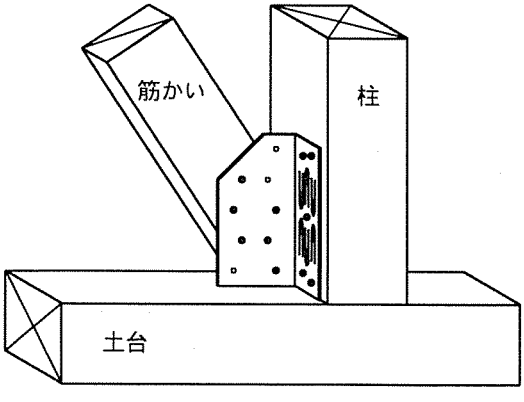


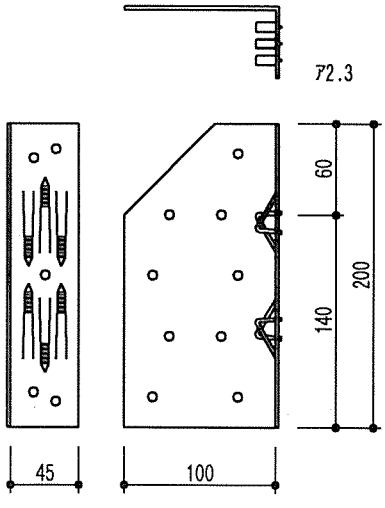
2倍用ジャスティープレート（カネシン）：KJP
接合具　軸　組：リングネイル（FRN-55 φ4.5×55）4×2本
筋かい：リングネイル（FRN-45 φ4.5×45）7本





2倍用ジャスティーガセット（カネシン）：KJG
接合具　軸　組：リングネイル（FRN-55 φ4.5×55）4×2本
筋かい：リングネイル（FRN-45 φ4.5×45）7本





筋かいプレート（イケヤ）：IBP
接合具　軸　組：ビス（＋サラ Aタイプ ユニクロ φ5×30）5本
筋かい：ビス（＋サラ Aタイプ ユニクロ φ5×30）6本

図２－２　筋かい金物の詳細

３．試験方法

筋かい壁の面内せん断試験は、JIS A1414のB試験（タイロッドなしの無載荷方式）に準じて実施した。試験体は、鋼製の支持用ベースプレート上に設置し、アンカーボルトに相当する径12mmのボルト２本（座金は、40mm×40mm×4.5mm）で土台の両端を固定した。

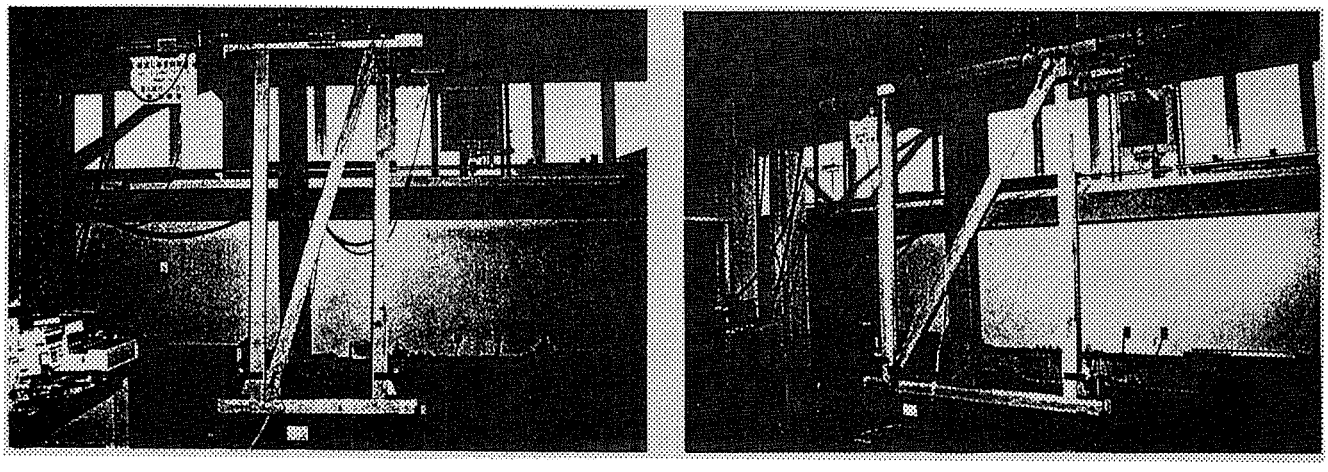
試験体へのせん断荷重は、正荷重については桁材端部（木口面）に、負荷重については桁材の中央部に設けた径30mmのドリル穴に取付けた鋼製のロッドを介して与えた。

加力は同一条件６体の内、３体は単調増加、２体は片側繰り返し、残り１体は両側繰り返し加力とした。繰り返しの荷重段階は、同一条件の試験体で試験の実施済みの３体あるいは５体の最大耐力の平均値の1/5、2/5、3/5の荷重を基準とした。ただし、単調増加試験においても、初期荷重として100kgfを加えた後に一度除荷している。

変位等の計測は、図３－１に示すように電気抵抗式変位変換器（精度1/100mm 、有効ストローク50mm ないし200mm）を使用して、柱材の水平・鉛直方向、筋かいと軸材との相対移動量等について行った。また、筋かいの軸力を取得するため、ほぼ中央部分での材面のひずみを２枚のひずみゲージ(30mm長の箔ゲージ)により計測した。計測データは、せん断荷重値の増減約20kgf毎に記録した。

筋かいは、面内せん断試験後にひずみゲージ位置を中心に約1200mm長に裁断し、曲げ剛性試験を行って曲げヤング係数を求めた。筋かいの引張・圧縮ヤング係数が曲げヤング係数と一致するものと見なして、面内せん断試験で得たひずみの値を筋かいに発生する軸力に換算した。

また、使用した各部材の気乾比重と含水率を得るため、厚さ25mm～30mm程度の小試験片を採材して基礎材質試験に供した。含水率の測定は、全乾法によった。



壁幅：１Ｐ　　壁幅：２Ｐ

写真３－１　面内せん断試験の実施状況

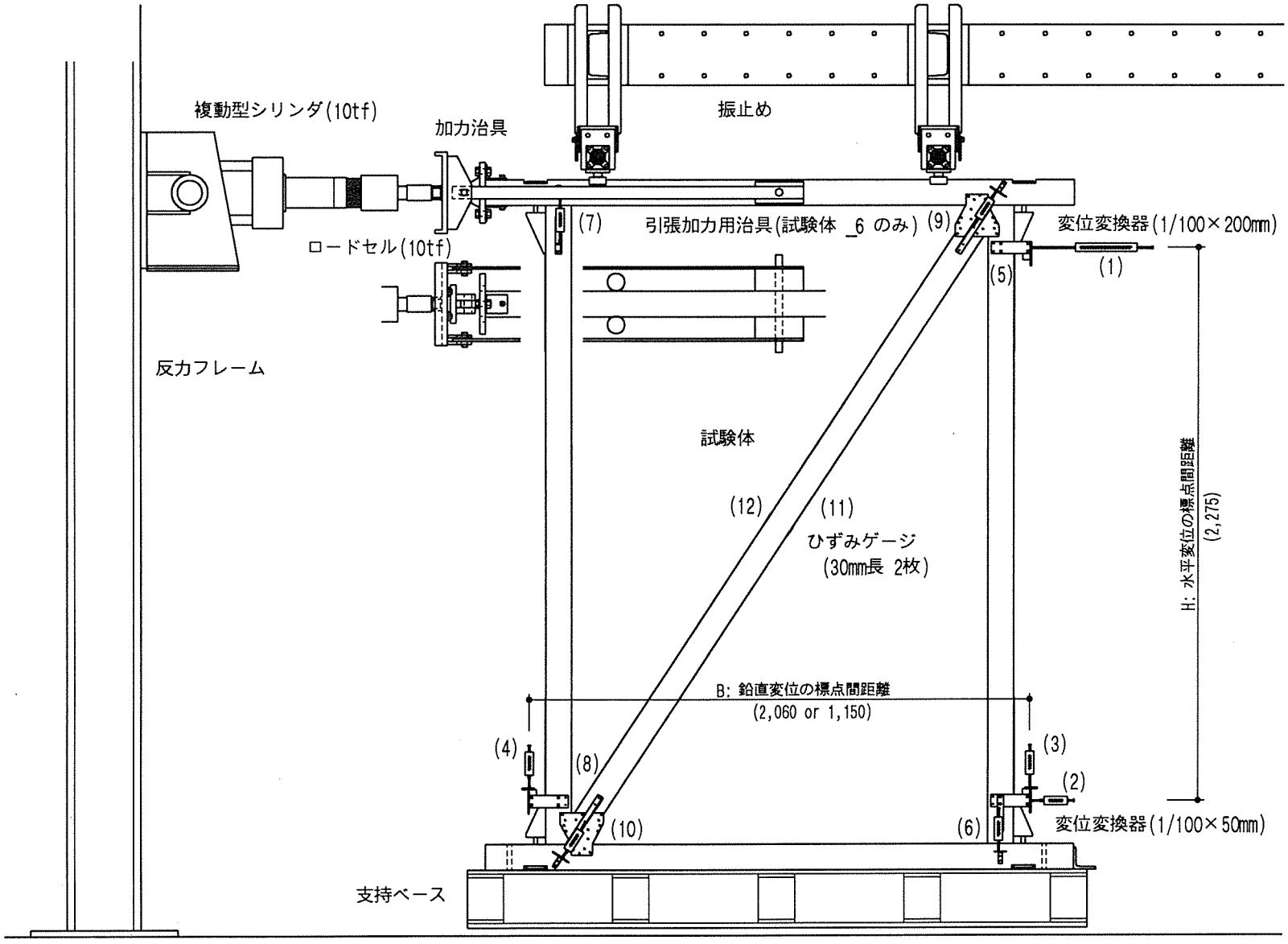


図３－１　筋かい壁の面内せん断試験の方法

4．試験結果と考察

試験体部材の比重と含水率の計測値を表４－１に、面内せん断試験の結果を表４－２～４に示す。また、壁倍率一覧を図４－１に示す。

なお、試験体IBP_S2_6及びIBP_D2_6の２体については、計測機器の障害のため最大荷重を含むデータを消失したため表からは除外した。

荷重－せん断変形角の関係曲線を図４－３～14に示す。せん断変形角は、いずれも脚部の回転成分を除いた真の値である。

ベイマツはほぼ気乾状態にあり、比重も標準的であるが、スギでは含水率が高く、このため比重も標準値を上回っており、これは断面の大きな軸材で顕著である。ただし、小試験片の木取りは材の中央に近い部分であるため、材の木口に近い筋かい金物の取付け位置での含水率は、これよりも若干低いものと考えられる。

各試験体の破壊状況を金物別に表４－８～10に示す。このうち特徴的な破壊状況と思われる例を、写真４－１～12 に示す。ジャスティープレート(KJP)では、樹種や壁幅によらず筋かいに打込まれた釘のせん断変形による筋かいの抜出しが顕著であった。土台や桁材に割れ生じたものも若干観察された。ジャスティーガセット(KJG) では、ジャスティープレートと同様な筋かいの抜出しと同時に、壁幅1Pについては土台・桁材からの、壁幅2Pでは柱材からの釘の引抜けが認められ、この傾向はスギ材で顕著であった。これと同一の部位では、金物の変形も観察された。また、筋かいプレートでは、柱材から金物（メタルプレート状の突起）及びビスの引抜けが、大半の試験体で認められた。

繰り返し荷重での引張加力時に変形角の増大が観察されるKJP_S1_6では、筋かいの面外への座屈変形が認められた。

ジャスティープレートや筋かいプレートのような釘あるいはビスを引抜きで抵抗させる形式の金物では、引張筋かいとして機能させることに不安感が拭えない。

表４－１　試験体部材の比重と含水率

	スギ						ベイマツ					
	軸材		筋かい		全体		軸材		筋かい		全体	
	n_u	M_c	n_u	M_c	n_u	M_c	n_u	M_c	n_u	M_c	n_u	M_c
Ave.	0.463	39.4	0.437	28.0	0.458	37.1	0.522	18.9	0.508	14.3	0.519	18.0
S.D.	0.059	13.1	0.048	8.9	0.058	13.2	0.054	1.7	0.073	1.2	0.058	2.4
Min.	0.382	15.3	0.335	17.6	0.335	15.3	0.410	14.6	0.393	12.3	0.393	12.3
Max.	0.651	82.0	0.578	65.3	0.651	82.0	0.699	24.6	0.710	17.3	0.710	24.6

n_u：気乾比重，M_c：含水率(%)

壁倍率は、ジャスティープレートで2.09～3.33、ジャスティーガセットで1.72～2.69、筋かいプレートで0.95～2.26であり、樹種間の比較では、ベイマツがスギに優っているものの筋かいプレートに関してはバラツキが大きい。壁幅による差異は、筋かいプレートを除き余り大きいとは言えず、変動傾向も一定ではない。ジャスティープレートとジャスティーガセットでは、壁幅1Pは変形角により、壁幅2Pは耐力により壁倍率が規定される傾向にあるが、最大耐力の小さい筋かいプレートでは、ほぼ全数が耐力により壁倍率が定まっている。

試験時に筋かいに生じた軸力の一覧を表４－５～７に、節点を完全ピンとみなしたときの筋かいに発生すると想定される軸力と実測値との比を筋かいの軸力負担率としたとき、この負担率とせん断変形角との関係曲線を図４－13～24に示す。このうち、せん断変形角が1/200rad. のときと最大荷重時に対応する筋かいの軸力負担率を図４－２に示す。壁幅2Pでは、ベイマツと筋かいプレートとの組み合わせの場合を除き、負担率は100%近辺に分布している。一方、壁幅1Pでは試験時の壁体軸組の観察でも柱材の曲げ変形が認められており、負担率は70%～90%程度に低下しており、この傾向は筋かいプレートを使用した場合に顕著であった。軸組材を緊結したホールダウン金物の柱材の回転拘束がかなり大きいことが予想された。変形角1/200rad. 時と最大荷重時の負担率の変動は、ジャスティープレートとジャスティーガセットでは小さいが、筋かいプレートではおおむね減少傾向が認められる。

５．まとめ

建築金物により接合した筋かい壁についての面内せん断試験を実施した結果から、今後の課題と思われるものは以下のとおりである。

(1) 既存の筋かい金物を引張筋かいとして機能させた場合には、金物の種別毎の破壊形態がほぼ類似しており、接合金物としての弱点が顕著に現れる。圧縮・引張両用の筋かい金物の設計が必要と思われる。

(2) 壁倍率は、筋かい金物の種類や壁幅等の影響により、変形で規定される場合と最大耐力で規定される場合とが混在しており、壁体の剛性評価ならびに耐力評価に適用し得る新たな指標が求められる。

(3) 筋かい接合部の変形が壁体としてのせん断変形に大きく影響する幅の狭い筋かい壁の場合には、ホールダウン金物など柱材の回転を拘束する可能性の高い軸材の接合を採用したせん断試験では、筋かい金物の性能を正当に評価できない可能性がある。

（文責：前田典昭）

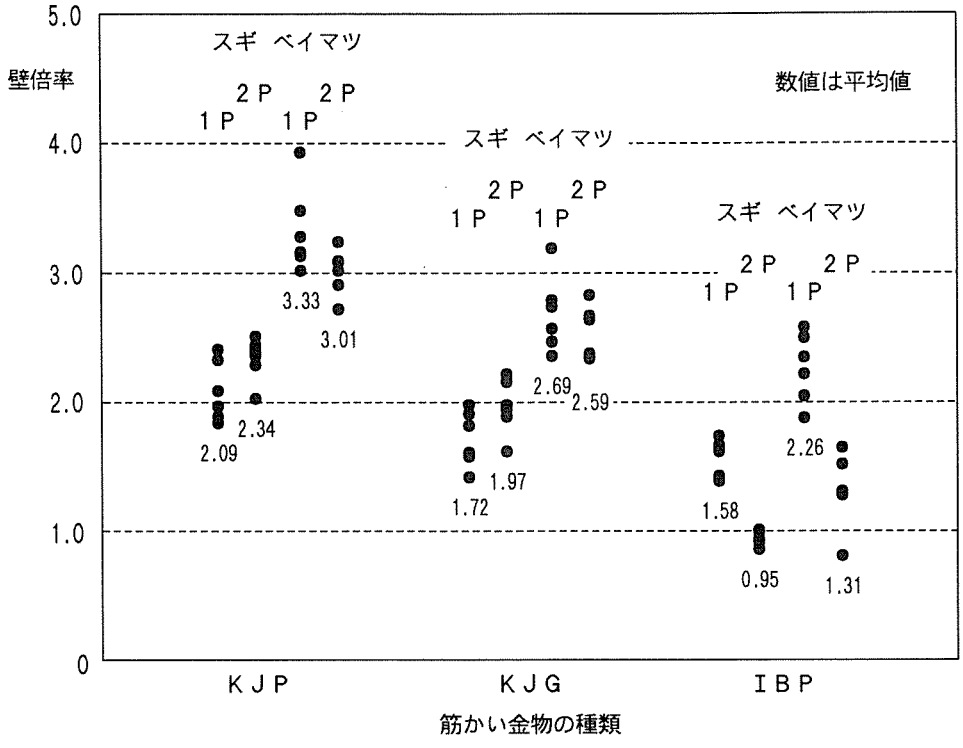


図４－１　筋かい壁試験体の壁倍率

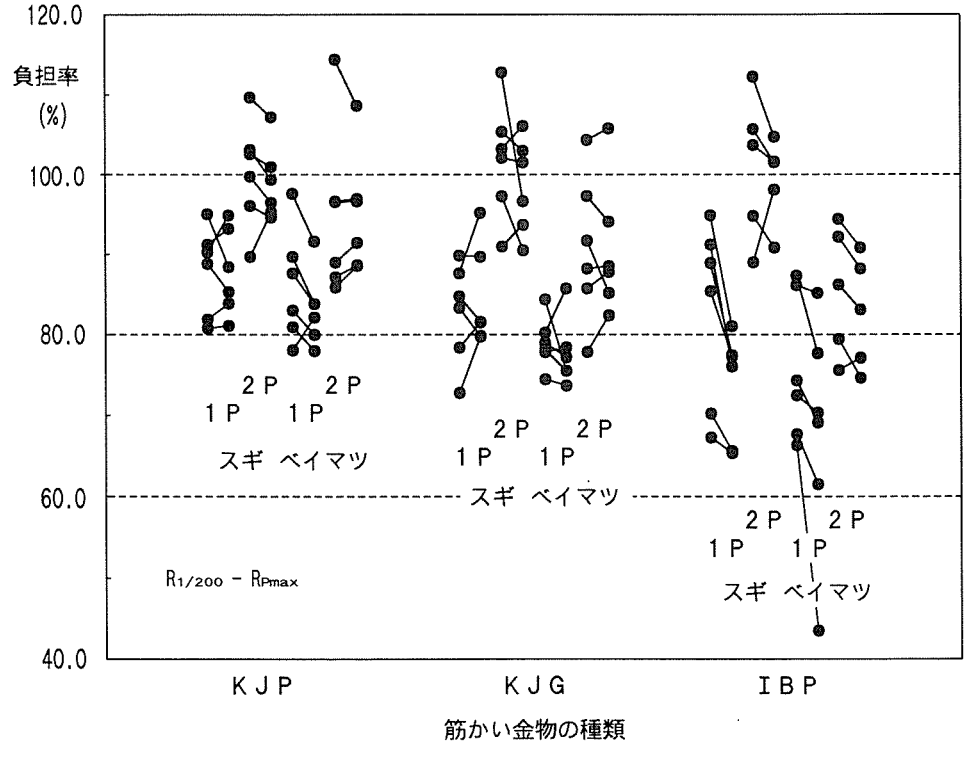


図４－２　筋かいの軸力負担率

表４－２　面内せん断試験の結果（筋かい金物：２倍用ジャスティープレート）

No.	$P_{1/200}$	$P_{1/120}$	$P_{1/60}$	$P_{1/2\gamma max}$	$2/3P_{max}(\gamma)$	$P_{max}(\gamma)$	K
KJP_S1_1	205.6	*310.5	497.6	621.3	504.0(0.0170)	756.0(0.0508)	1.97
KJP_S1_2	245.9	*367.6	561.0	609.8	500.7(0.0137)	751.0(0.0401)	2.33
KJP_S1_3	193.4	*290.1	471.0	514.6	417.3(0.0139)	626.0(0.0412)	1.84
KJP_S1_4	250.4	*379.9	582.7	591.0	480.7(0.0115)	721.0(0.0348)	2.41
KJP_S1_5	202.7	*298.6	471.4	512.7	407.3(0.0128)	611.0(0.0404)	1.89
KJP_S1_6	224.7	*330.0	522.4	567.8	484.0(0.0145)	726.0(0.0384)	2.09
Ave.	220.4	329.5	517.7	569.5	465.7(0.0139)	698.5(0.0410)	2.09
S.D.	23.8	37.0	46.6	46.9	42.4(0.0018)	63.6(0.0053)	0.24
KJP_S2_1	544.7	777.8	1086.2	916.6	*768.7(0.0081)	1153.0(0.0221)	2.44
KJP_S2_2	597.3	862.6	1077.0	775.1	*721.3(0.0064)	1082.0(0.0142)	2.29
KJP_S2_3	570.5	828.6	1101.4	869.1	*744.7(0.0073)	1117.0(0.0184)	2.36
KJP_S2_4	517.3	711.9	960.5	706.2	*641.3(0.0069)	962.0(0.0165)	2.03
KJP_S2_5	558.5	833.5	1177.0	898.1	*791.3(0.0078)	1187.0(0.0187)	2.51
KJP_S2_6	523.7	*756.1	1159.8	974.1	872.0(0.0104)	1308.0(0.0247)	2.40
Ave.	552.0	795.1	1093.7	856.5	756.6(0.0078)	1134.8(0.0191)	2.34
S.D.	30.0	56.4	76.7	98.5	76.6(0.0014)	114.9(0.0038)	0.17
KJP_D1_1	345.7	*516.6	797.3	877.5	714.7(0.0136)	1072.0(0.0410)	3.28
KJP_D1_2	402.9	*619.8	969.6	963.3	778.0(0.0113)	1167.0(0.0329)	3.93
KJP_D1_3	336.1	*493.9	793.4	773.3	618.0(0.0112)	927.0(0.0317)	3.13
KJP_D1_4	342.6	*498.2	767.3	718.8	601.3(0.0108)	902.0(0.0295)	3.16
KJP_D1_5	382.3	*548.5	824.8	827.6	671.3(0.0115)	1007.0(0.0337)	3.48
KJP_D1_6	299.8	*477.1	759.6	619.3	568.0(0.0104)	852.0(0.0240)	3.02
Ave.	351.6	525.7	818.7	796.6	658.6(0.0115)	987.8(0.0321)	3.33
S.D.	36.4	52.1	77.5	121.1	78.4(0.0011)	117.5(0.0056)	0.33
KJP_D2_1	806.1	1130.8	1260.7	1083.7	*858.7(0.0055)	1288.0(0.0156)	2.72
KJP_D2_2	833.7	1170.6	1458.0	1169.7	*972.0(0.0061)	1458.0(0.0166)	3.08
KJP_D2_3	718.4	1061.8	1430.8	1146.2	*975.3(0.0074)	1463.0(0.0189)	3.09
KJP_D2_4	767.5	1106.8	1420.5	1193.6	*952.0(0.0066)	1428.0(0.0189)	3.02
KJP_D2_5	740.6	1115.1	－	954.2	*918.7(0.0064)	1378.0(0.0134)	2.91
KJP_D2_6	707.5	1029.2	1452.4	1322.3	*1022.0(0.0083)	1533.0(0.0253)	3.24
Ave.	762.3	1102.4	1404.5	1145.0	949.8(0.0067)	1424.7(0.0181)	3.01
S.D.	49.9	50.3	81.8	122.1	55.9(0.0010)	83.9(0.0041)	0.18

$P_{1/200}$　$P_{1/120}$　$P_{1/60}$：変形角1/200，1/120，1/60rad.のときのせん断荷重　(kgf)

$P_{1/2\gamma max}$　：最大荷重時の変形角の1/2のときのせん断荷重　(kgf)

$2/3P_{max}(\gamma)$　：最大荷重の2/3(対応するせん断変形角)　(kgf(rad.))

$P_{max}(\gamma)$　：最大荷重(対応するせん断変形角)　(kgf(rad.))

K　：壁倍率

*印は、壁倍率を規定するせん断荷重

表４－３　面内せん断試験の結果（筋かい金物：２倍用ジャスティーガセット）

No.	$P_{1/200}$	$P_{1/120}$	$P_{1/60}$	$P_{1/2\gamma max}$	$2/3P_{max}(\gamma)$	$P_{max}(\gamma)$	K
KJG_S1_1	204.7	*301.9	469.2	445.4	404.0(0.0130)	606.0(0.0303)	1.91
KJG_S1_2	200.3	*286.8	446.0	401.0	370.7(0.0123)	556.0(0.0280)	1.82
KJG_S1_3	206.0	*312.2	473.2	472.2	417.3(0.0135)	626.0(0.0331)	1.98
KJG_S1_4	146.3	*224.3	364.1	390.3	344.0(0.0150)	516.0(0.0372)	1.42
KJG_S1_5	161.9	*248.7	391.9	429.1	380.7(0.0160)	571.0(0.0392)	1.58
KJG_S1_6	170.2	*253.5	403.8	459.6	387.3(0.0156)	581.0(0.0419)	1.61
Ave.	181.6	271.2	424.7	432.9	384.0(0.0142)	576.0(0.0349)	1.72
S.D.	25.5	34.3	44.7	32.4	25.7(0.0015)	38.6(0.0054)	0.22
KJG_S2_1	375.9	512.5	741.7	534.4	*510.7(0.0083)	766.0(0.0180)	1.62
KJG_S2_2	432.5	618.3	876.6	646.1	*594.7(0.0078)	892.0(0.0179)	1.89
KJG_S2_3	474.4	660.5	905.9	709.9	*611.3(0.0072)	917.0(0.0187)	1.94
KJG_S2_4	488.2	667.4	881.0	768.3	*624.7(0.0073)	937.0(0.0228)	1.98
KJG_S2_5	492.5	*701.9	991.4	815.0	708.0(0.0084)	1062.0(0.0213)	2.22
KJG_S2_6	482.9	*681.5	981.7	776.2	684.7(0.0084)	1027.0(0.0206)	2.16
Ave.	457.7	640.4	896.4	708.3	622.4(0.0079)	933.5(0.0199)	1.97
S.D.	45.6	68.5	90.5	103.6	70.1(0.0006)	105.2(0.0020)	0.21
KJG_D1_1	337.3	*502.5	780.6	720.5	631.3(0.0116)	947.0(0.0289)	3.19
KJG_D1_2	281.2	*431.9	712.8	743.7	681.3(0.0154)	1022.0(0.0355)	2.74
KJG_D1_3	265.9	*405.6	651.2	711.7	601.3(0.0145)	902.0(0.0383)	2.57
KJG_D1_4	251.4	*372.9	596.9	709.6	638.0(0.0187)	957.0(0.0437)	2.36
KJG_D1_5	296.3	*439.8	676.2	732.0	651.3(0.0157)	977.0(0.0389)	2.79
KJG_D1_6	273.9	*390.3	581.0	656.0	578.0(0.0166)	867.0(0.0433)	2.47
Ave.	284.3	423.8	666.5	712.3	630.2(0.0154)	945.3(0.0381)	2.69
S.D.	30.0	46.0	74.4	30.4	36.5(0.0024)	54.8(0.0055)	0.29
KJG_D2_1	623.6	*892.0	1273.8	1023.4	894.7(0.0084)	1342.0(0.0207)	2.83
KJG_D2_2	568.7	843.4	1131.8	1021.9	*838.7(0.0082)	1258.0(0.0241)	2.66
KJG_D2_3	590.0	856.2	1165.7	1022.1	*832.0(0.0079)	1248.0(0.0224)	2.64
KJG_D2_4	557.6	811.5	1094.6	847.4	*738.0(0.0072)	1107.0(0.0180)	2.34
KJG_D2_5	506.7	*749.4	1133.3	975.3	852.0(0.0101)	1278.0(0.0254)	2.38
KJG_D2_6	580.0	878.7	1261.4	876.7	*841.3(0.0078)	1262.0(0.0166)	2.67
Ave.	571.1	838.5	1176.8	961.1	832.8(0.0083)	1249.2(0.0212)	2.59
S.D.	38.8	51.9	74.0	79.4	51.6(0.0010)	77.3(0.0034)	0.19

$P_{1/200}$　$P_{1/120}$　$P_{1/60}$：変形角1/200，1/120，1/60rad.のときのせん断荷重　(kgf)

$P_{1/2\gamma max}$　：最大荷重時の変形角の1/2のときのせん断荷重　(kgf)

$2/3P_{max}(\gamma)$　：最大荷重の2/3(対応するせん断変形角)　(kgf(rad.))

$P_{max}(\gamma)$　：最大荷重(対応するせん断変形角)　(kgf(rad.))

K　：壁倍率

*印は、壁倍率を規定するせん断荷重

表４－４　面内せん断試験の結果（筋かい金物：筋かいプレート）

No.	$P_{1/200}$	$P_{1/120}$	$P_{1/60}$	$P_{1/2\gamma max}$	$2/3P_{max}(\gamma)$	$P_{max}(\gamma)$	K
IBP_S1_1	207.6	259.4	328.6	242.7	*220.0(0.0058)	330.0(0.0146)	1.39
IBP_S1_2	198.2	*255.3	374.7	277.4	270.0(0.0092)	405.0(0.0197)	1.62
IBP_S1_3	188.2	242.8	315.0	*225.0	233.3(0.0078)	350.0(0.0150)	1.43
IBP_S1_4	238.8	305.0	390.5	311.4	*263.3(0.0061)	395.0(0.0173)	1.67
IBP_S1_5	200.2	262.4	369.7	280.0	*256.7(0.0080)	385.0(0.0190)	1.63
IBP_S1_6	229.7	290.1	400.0	317.4	*274.0(0.0075)	411.0(0.0194)	1.74
Ave.	210.5	269.2	363.1	275.6	252.9(0.0074)	379.3(0.0175)	1.58
S.D.	19.7	23.5	34.0	36.6	21.6(0.0013)	32.4(0.0023)	0.14
IBP_S2_1	314.3	420.0	－	341.9	*314.0(0.0050)	471.0(0.0115)	1.00
IBP_S2_2	386.8	421.7	－	341.9	*297.3(0.0027)	446.0(0.0075)	0.94
IBP_S2_3	388.8	467.6	－	374.5	*317.3(0.0033)	476.0(0.0093)	1.01
IBP_S2_4	354.7	－	－	303.9	*270.0(0.0025)	405.0(0.0068)	0.86
IBP_S2_5	285.3	387.1	－	305.5	*290.7(0.0051)	436.0(0.0110)	0.92
IBP_S2_6	－	－	－	－	－(　　－)	－(　　－)	－
Ave.	346.0	424.1	－	333.5	297.9(0.0037)	446.8(0.0092)	0.95
S.D.	45.4	33.1	－	29.5	19.1(0.0012)	28.7(0.0021)	0.06
IBP_D1_1	278.6	367.6	434.9	357.4	*297.3(0.0057)	446.0(0.0197)	1.88
IBP_D1_2	314.2	428.7	591.8	466.3	*407.3(0.0076)	611.0(0.0195)	2.58
IBP_D1_3	289.9	409.5	－	379.2	*350.7(0.0066)	526.0(0.0148)	2.22
IBP_D1_4	291.6	381.5	－	355.0	*324.0(0.0061)	486.0(0.0147)	2.05
IBP_D1_5	313.5	428.0	571.0	452.8	*394.0(0.0072)	591.0(0.0189)	2.50
IBP_D1_6	286.2	406.3	－	374.1	*370.7(0.0073)	556.0(0.0148)	2.35
Ave.	295.7	403.6	532.6	397.5	357.3(0.0068)	536.0(0.0171)	2.26
S.D.	14.8	24.7	85.2	49.2	41.9(0.0007)	62.8(0.0025)	0.27
IBP_D2_1	512.8	－	－	452.7	*404.0(0.0030)	606.0(0.0077)	1.28
IBP_D2_2	520.3	663.2	－	565.0	*520.7(0.0050)	781.0(0.0118)	1.65
IBP_D2_3	486.2	587.2	－	493.5	*414.0(0.0036)	621.0(0.0103)	1.31
IBP_D2_4	521.4	680.7	－	521.0	*480.7(0.0039)	721.0(0.0099)	1.52
IBP_D2_5	374.6	－	－	334.4	*256.7(0.0022)	385.0(0.0064)	0.81
IBP_D2_6	－	－	－	－	－(　　－)	－(　　－)	－
Ave.	483.1	643.7	－	473.3	415.2(0.0035)	622.8(0.0092)	1.31
S.D.	62.3	49.7	－	87.8	100.8(0.0010)	151.2(0.0022)	0.32

$P_{1/200}$　$P_{1/120}$　$P_{1/60}$：変形角1/200，1/120，1/60rad.のときのせん断荷重　(kgf)

$P_{1/2\gamma max}$　：最大荷重時の変形角の1/2のときのせん断荷重　(kgf)

$2/3P_{max}(\gamma)$　：最大荷重の2/3(対応するせん断変形角)　(kgf(rad.))

$P_{max}(\gamma)$　：最大荷重(対応するせん断変形角)　(kgf(rad.))

K　：壁倍率

*印は、壁倍率を規定するせん断荷重

表４－５　面内せん断試験時の筋かい軸力（筋かい金物：２倍用ジャスティープレート）

No.	$F_{1/200}$ (R)	$F_{1/120}$ (R)	$F_{1/60}$ (R)	$F_{2/3Pmax}$ (R)	F_{Pmax} (R)
KJP_S1_1	524.9(80.8)	790.1(80.5)	1275.2(81.1)	1278.1(80.2)	1937.5(81.1)
KJP_S1_2	690.6(88.8)	1055.3(90.8)	1551.5(87.5)	1381.6(87.3)	2025.0(85.3)
KJP_S1_3	558.1(91.2)	832.2(90.7)	1358.2(91.2)	1202.1(91.1)	1845.0(93.2)
KJP_S1_4	714.5(90.3)	1109.3(92.3)	1728.5(93.8)	1421.5(93.5)	2163.0(94.9)
KJP_S1_5	609.6(95.1)	906.6(96.0)	1389.3(93.2)	1195.3(92.8)	1707.5(88.4)
KJP_S1_6	582.5(81.9)	859.4(82.4)	1371.1(83.0)	1241.7(81.1)	1926.0(83.9)
Ave.	613.4(88.0)	925.5(88.8)	1445.6(88.3)	1286.7(87.7)	1934.0(87.8)
S.D.	74.9(5.6)	128.4(6.0)	165.3(5.4)	94.6(5.9)	154.9(5.4)
KJP_S2_1	1008.0(102.6)	1433.4(102.2)	1980.9(101.1)	1402.9(101.2)	2100.5(101.0)
KJP_S2_2	1075.2(99.8)	1547.1(99.5)	1843.8(95.0)	1288.8(99.1)	1883.0(96.5)
KJP_S2_3	1061.1(103.1)	1481.4(99.2)	1981.3(99.8)	1345.5(100.2)	2001.0(99.4)
KJP_S2_4	1023.4(109.7)	1391.2(108.4)	1862.1(107.5)	1251.6(108.2)	1859.5(107.2)
KJP_S2_5	967.3(96.1)	1423.4(94.7)	2007.9(94.6)	1361.7(95.4)	2026.0(94.7)
KJP_S2_6	846.9(89.7)	1265.1(92.8)	1971.4(94.3)	1487.3(94.6)	2248.0(95.3)
Ave.	997.0(100.2)	1423.6(99.5)	1941.2(98.7)	1356.3(99.8)	2019.7(99.0)
S.D.	83.0(6.8)	94.7(5.6)	69.7(5.2)	83.7(4.9)	143.8(4.7)
KJP_D1_1	957.5(87.6)	1433.6(87.8)	2194.5(87.0)	1968.7(87.1)	2841.5(83.8)
KJP_D1_2	1242.8(97.6)	1876.9(95.8)	2870.0(93.6)	2319.2(94.3)	3379.5(91.6)
KJP_D1_3	859.7(80.9)	1304.8(83.5)	2077.9(82.8)	1615.8(82.7)	2286.0(78.0)
KJP_D1_4	971.7(89.7)	1388.9(88.2)	2119.5(87.4)	1673.8(88.0)	2389.0(83.8)
KJP_D1_5	1002.9(83.0)	1467.0(84.6)	2148.6(82.4)	1737.8(81.9)	2546.0(80.0)
KJP_D1_6	740.6(78.1)	1214.3(80.5)	1959.0(81.6)	1481.8(82.5)	2212.0(82.1)
Ave.	962.5(86.2)	1447.6(86.7)	2228.3(85.8)	1799.5(86.1)	2609.0(83.2)
S.D.	167.4(7.0)	229.4(5.3)	324.4(4.5)	301.0(4.8)	438.6(4.7)
KJP_D2_1	1248.7(85.9)	1801.0(88.3)	2002.4(88.1)	1351.0(87.3)	2058.5(88.6)
KJP_D2_2	1453.0(96.7)	2075.1(98.3)	2551.1(97.0)	1704.0(97.2)	2550.5(97.0)
KJP_D2_3	1129.2(87.2)	1704.1(89.0)	2293.3(88.9)	1557.2(88.5)	2340.0(88.7)
KJP_D2_4	1231.1(89.0)	1841.6(92.3)	2363.5(92.3)	1543.3(89.9)	2356.5(91.5)
KJP_D2_5	1527.4(114.4)	2224.9(110.7)	-(-)	1859.6(112.3)	2697.5(108.6)
KJP_D2_6	1232.5(96.6)	1806.8(97.4)	2561.8(97.8)	1798.0(97.6)	2672.5(96.7)
Ave.	1303.6(95.0)	1908.9(96.0)	2354.4(92.8)	1635.5(95.5)	2445.9(95.2)
S.D.	152.4(10.6)	198.0(8.3)	228.8(4.5)	188.1(9.4)	242.8(7.5)

$F_{1/200}$, $F_{1/120}$, $F_{1/60}$：変形角1/200, 1/120, 1/60rad. のときの筋かい軸力 (kgf)

$F_{2/3Pmax}$　：最大荷重の2/3のときの筋かい軸力　(kgf)

F_{Pmax}　：最大荷重のときの筋かい軸力　(kgf)

(R)　：筋かいの軸力負担率　(%)

表４－６　面内せん断試験時の筋かい軸力（筋かい金物：２倍用ジャスティーガセット）

No.	$F_{1/200}$ (R)	$F_{1/120}$ (R)	$F_{1/60}$ (R)	$F_{2/3Pmax}$ (R)	F_{Pmax} (R)
KJG_S1_1	539.5(83.3)	770.6(80.7)	1202.1(81.0)	1030.0(80.6)	1526.5(79.7)
KJG_S1_2	555.1(87.6)	823.4(90.8)	1312.3(93.1)	1118.3(95.4)	1673.5(95.2)
KJG_S1_3	473.8(72.8)	757.7(76.7)	1149.3(76.8)	1041.9(79.0)	1580.5(79.8)
KJG_S1_4	392.2(84.8)	575.2(81.1)	976.1(84.8)	916.1(84.2)	1331.5(81.6)
KJG_S1_5	460.6(89.9)	671.5(85.3)	1083.2(87.4)	1065.9(88.6)	1619.0(89.7)
KJG_S1_6	421.3(78.4)	663.5(82.8)	1063.0(83.3)	1037.1(84.7)	1497.5(81.5)
Ave.	473.8(82.8)	710.3(82.9)	1131.0(84.4)	1034.9(85.4)	1538.1(84.6)
S.D.	64.1(6.3)	90.1(4.8)	117.6(5.6)	66.5(5.9)	119.3(6.4)
KJG_S2_1	764.2(112.8)	950.5(102.9)	1296.5(97.0)	957.0(104.0)	1336.0(96.7)
KJG_S2_2	709.8(91.0)	1051.9(94.4)	1467.5(92.8)	992.7(92.6)	1507.5(93.7)
KJG_S2_3	832.6(97.3)	1144.6(96.1)	1484.8(90.9)	1045.7(94.9)	1496.5(90.5)
KJG_S2_4	898.4(102.1)	1227.5(102.0)	1633.5(102.8)	1156.0(102.6)	1715.0(101.5)
KJG_S2_5	936.0(105.4)	1309.6(103.5)	1877.7(105.1)	1324.0(103.7)	1971.5(103.0)
KJG_S2_6	898.4(103.2)	1346.3(109.6)	1867.7(105.5)	1352.0(109.5)	1965.0(106.1)
Ave.	839.9(102.0)	1171.7(101.4)	1604.6(99.0)	1137.9(101.2)	1665.3(98.6)
S.D.	88.1(7.4)	152.7(5.5)	233.5(6.4)	169.2(6.3)	263.8(6.0)
KJG_D1_1	830.1(77.8)	1241.8(78.1)	1965.0(79.6)	1580.1(79.1)	2348.0(78.4)
KJG_D1_2	713.3(80.2)	1155.4(84.6)	1953.2(86.7)	1857.3(86.2)	2770.0(85.7)
KJG_D1_3	656.3(78.1)	992.0(77.4)	1626.8(79.0)	1478.8(77.8)	2154.0(75.5)
KJG_D1_4	627.1(78.9)	954.8(81.0)	1488.4(78.9)	1610.7(79.8)	2336.0(77.2)
KJG_D1_5	697.4(74.5)	1044.5(75.1)	1605.7(75.1)	1538.5(74.7)	2277.0(73.7)
KJG_D1_6	731.2(84.4)	1005.5(81.5)	1456.2(79.3)	1453.4(79.5)	2070.5(75.5)
Ave.	709.2(79.0)	1065.7(79.6)	1682.5(79.8)	1586.5(79.5)	2325.9(77.7)
S.D.	70.4(3.3)	110.3(3.4)	224.0(3.8)	145.3(3.8)	242.9(4.3)
KJG_D2_1	1093.7(97.3)	1563.8(97.2)	2198.6(95.7)	1568.4(97.2)	2276.0(94.1)
KJG_D2_2	1069.2(104.3)	1566.4(103.0)	2137.1(104.7)	1555.3(102.9)	2399.0(105.8)
KJG_D2_3	975.9(91.7)	1382.4(89.5)	1829.9(87.1)	1346.5(89.8)	1916.0(85.2)
KJG_D2_4	781.9(77.8)	1193.5(81.6)	1634.4(82.8)	1094.1(82.2)	1645.0(82.4)
KJG_D2_5	783.1(85.7)	1183.8(87.6)	1803.7(88.3)	1368.8(89.1)	2023.5(87.8)
KJG_D2_6	922.0(88.2)	1402.6(88.5)	2012.0(88.5)	1332.8(87.9)	2013.5(88.5)
Ave.	937.6(90.8)	1382.1(91.2)	1936.0(91.2)	1377.7(91.5)	2045.5(90.6)
S.D.	135.3(9.2)	168.7(7.6)	216.7(7.8)	174.0(7.4)	267.1(8.4)

$F_{1/200}$, $F_{1/120}$, $F_{1/60}$：変形角1/200, 1/120, 1/60rad. のときの筋かい軸力(kgf)

$F_{2/3Pmax}$　：最大荷重の2/3のときの筋かい軸力　(kgf)

F_{Pmax}　：最大荷重のときの筋かい軸力　(kgf)

(R)　：筋かいの軸力負担率　(%)

表４－７　面内せん断試験時の筋かい軸力（筋かい金物：筋かいプレート）

No.	$F_{1/200}$ (R)	$F_{1/120}$ (R)	$F_{1/60}$ (R)	$F_{2/3Pmax}$ (R)	F_{Pmax} (R)
IBP_S1_1	560.5(85.4)	668.8(81.5)	765.2(73.6)	592.5(85.2)	806.5(77.3)
IBP_S1_2	440.1(70.2)	554.0(68.6)	827.4(69.8)	581.5(68.1)	839.5(65.6)
IBP_S1_3	400.4(67.3)	498.7(65.0)	544.4(54.7)	481.6(65.3)	723.5(65.4)
IBP_S1_4	688.9(91.2)	822.9(85.3)	940.2(76.1)	742.3(89.1)	951.0(76.1)
IBP_S1_5	600.7(94.9)	727.4(87.7)	1008.4(86.3)	720.5(88.8)	986.5(81.0)
IBP_S1_6	645.5(88.9)	778.8(84.9)	977.4(77.3)	718.1(82.9)	1005.5(77.4)
Ave.	556.0(83.0)	675.1(78.8)	843.8(73.0)	639.4(79.9)	885.4(73.8)
S.D.	114.3(11.5)	127.4(9.6)	173.4(10.5)	103.7(10.5)	112.7(6.6)
IBP_S2_1	635.5(112.2)	837.4(110.6)	−(−)	635.0(112.2)	889.5(104.7)
IBP_S2_2	620.7(89.0)	737.6(96.8)	−(−)	520.9(97.1)	788.5(98.1)
IBP_S2_3	664.2(94.8)	777.7(92.2)	−(−)	563.2(98.4)	779.5(90.8)
IBP_S2_4	663.5(103.7)	−(−)	−(−)	501.0(103.0)	742.0(101.6)
IBP_S2_5	543.7(105.7)	729.1(104.5)	−(−)	556.0(106.1)	798.0(101.5)
IBP_S2_6	−(−)	−(−)	−(−)	−(−)	−(−)
Ave.	625.5(101.1)	770.4(101.0)	−(−)	555.2(103.4)	799.5(99.3)
S.D.	49.4(9.2)	49.4(8.2)	−(−)	51.3(6.1)	54.6(5.3)
IBP_D1_1	584.4(66.3)	757.1(65.1)	655.3(47.6)	626.1(66.6)	613.0(43.5)
IBP_D1_2	855.1(86.1)	1178.2(86.9)	1619.5(86.5)	1144.8(88.9)	1646.5(85.2)
IBP_D1_3	800.0(87.3)	1082.5(83.6)	−(−)	931.5(84.0)	1292.5(77.7)
IBP_D1_4	668.3(72.5)	856.6(71.0)	−(−)	713.8(69.7)	1080.0(70.3)
IBP_D1_5	671.0(67.7)	908.6(67.1)	1109.1(61.4)	836.4(67.2)	1148.5(61.5)
IBP_D1_6	671.9(74.3)	929.8(72.4)	−(−)	840.5(71.7)	1214.5(69.1)
Ave.	708.5(75.7)	952.1(74.3)	1128.0(65.2)	848.9(74.7)	1165.8(67.9)
S.D.	99.6(9.0)	153.4(8.9)	482.4(19.7)	180.3(9.4)	335.5(14.4)
IBP_D2_1	797.1(86.2)	−(−)	−(−)	630.1(86.5)	908.0(83.1)
IBP_D2_2	744.5(79.4)	907.3(75.9)	−(−)	744.7(79.3)	1051.0(74.6)
IBP_D2_3	807.5(92.2)	942.0(89.0)	−(−)	697.7(93.4)	987.0(88.2)
IBP_D2_4	887.7(94.4)	1103.0(89.9)	−(−)	825.6(95.3)	1181.0(90.8)
IBP_D2_5	510.7(75.6)	−(−)	−(−)	332.6(72.0)	535.5(77.1)
IBP_D2_6	−(−)	−(−)	−(−)	235.3(73.9)	344.0(72.0)
Ave.	749.5(85.6)	984.1(84.9)	−(−)	577.7(83.4)	834.4(81.0)
S.D.	143.0(8.1)	104.4(7.8)	−(−)	238.2(9.9)	324.2(7.6)

$F_{1/200}$, $F_{1/120}$, $F_{1/60}$：変形角1/200, 1/120, 1/60rad. のときの筋かい軸力 (kgf)

$F_{2/3Pmax}$　：最大荷重の2/3のときの筋かい軸力　(kgf)

F_{Pmax}　：最大荷重のときの筋かい軸力　(kgf)

(R)　：筋かいの軸力負担率　(%)

表４－８　筋かい壁の破壊状況（筋かい金物：２倍用ジャスティープレート）

No.	破壊部位と形態
KJP_S1_1	柱材下部での釘のせん断
_2*	土台・桁材の割れ、筋かい両端部の割れ
_3	筋かい両端部での釘のせん断と割れ
_4	筋かい上端部での釘のせん断と割れ
_5*	筋かい両端部での釘のせん断と割れ
_6	筋かい下端部での釘のせん断、桁材の割れ
KJP_S2_1	筋かい下端部の割れと釘のせん断
_2	筋かい下端部の割れと釘のせん断
_3	筋かい両端部での釘のせん断、筋かい下端部の割れ
_4*	筋かい上端部の割れと釘のせん断
_5	筋かい上端部の割れと釘のせん断
_6*	筋かい上端部の割れと釘のせん断、桁材の割れ
KJP_D1_1	筋かい下端部での釘のせん断、筋かい下端部・桁材の若干の割れ
_2	桁材・柱材上部での釘のせん断、桁材の割れ
_3*	筋かい上端部でのせん断、土台の割れ
_4	筋かい上端部での釘のせん断
_5*	筋かい下端部の割れと釘のせん断
_6	筋かい上端部の割れと釘のせん断
KJP_D2_1	筋かい上端部での釘のせん断
_2*	筋かい下端部での釘のせん断と割れ、土台の割れ
_3*	筋かい下端部での釘のせん断と割れ
_4	筋かい下端部での釘のせん断
_5	筋かい上端部での釘のせん断
_6	筋かい上端部での釘のせん断

*印は写真を掲載した試験体

表４－９　筋かい壁の破壊状況（筋かい金物：２倍用ジャスティーガセット）

No.	破壊部位と形態
KJG_S1_1	土台・柱材下部での釘の引抜け、金物の変形
_2	桁材での釘の引抜け、金物の変形
_3	筋かい下端部での釘のせん断、土台での釘の引抜け、金物の変形
_4	筋かい両端部での釘のせん断、桁材・土台での釘の引抜け、金物の変形
_5*	筋かい下端部での釘のせん断、桁材での釘の引抜け
_6*	筋かい上端部での釘のせん断、桁材での釘の引抜け、金物の変形
KJG_S2_1*	筋かい上端部での釘のせん断、土台での釘の引抜け、金物の変形
_2	筋かい下端部での釘のせん断、柱材下部での釘の引抜け
_3	土台・柱材下部での釘の引抜け、金物の変形
_4	柱材下部での釘の引抜け、筋かい下端部での釘のせん断
_5*	柱材上部・桁材での釘のせん断を伴う引抜け
_6	柱材上部・桁材での釘のせん断を伴う引抜け
KJG_D1_1	土台・桁材での釘の引抜け、筋かい下端部での若干の釘のせん断
_2*	筋かい下端部の割れと釘のせん断、金物の変形
_3	筋かい両端部での釘のせん断
_4*	筋かい両端部での釘のせん断、桁材での釘の引抜き、金物の変形
_5	筋かい両端部での釘のせん断、金物の変形
_6	筋かい両端部での釘のせん断、筋かい両端部の割れ
KJG_D2_1	筋かい両端部での釘のせん断、柱材両側での釘の引抜け、金物の変形
_2	筋かい両端部での釘のせん断、柱材両側での釘の引抜け、金物の変形
_3	筋かい下端部での釘のせん断、柱材下部での釘の引抜け、金物の変形
_4*	筋かい上端部での釘のせん断、柱材上部での釘の引抜け、金物の変形
_5	筋かい両端部での釘のせん断、柱材両側での釘の引抜け、金物の変形
_6*	筋かい下端部での釘のせん断、柱材両側での釘の引抜け

*印は写真を掲載した試験体

表４－10　筋かい壁の破壊状況（筋かい金物：筋かいプレート）

No.	破壊部位と形態
IBP_S1_1	柱材下部での金物・ビスの引抜け
_2	柱材下部での金物・ビスの引抜け
_3*	柱材上部の割れ
_4*	柱材下部での金物・ビスの引抜け
_5	柱材上部での金物・ビスの引抜け
_6	柱材下部での金物・ビスの引抜け
IBP_S2_1	柱材下部での金物・ビスの引抜け
_2	柱材上部での金物・ビスの引抜け
_3	柱材下部での金物・ビスの引抜け
_4*	柱材下部の割れ
_5	柱材下部での金物・ビスの引抜け
_6*	柱材上部での金物・ビスの引抜け
IBP_D1_1	柱材上部での金物・ビスの引抜け
_2	柱材下部での金物・ビスの引抜け
_3*	柱材上部の割れ
_4	柱材下部での金物・ビスの引抜け
_5*	柱材上部での金物・ビスの引抜け
_6	柱材下部の割れ
IBP_D2_1*	柱材上部の割れ
_2	柱材下部での金物・ビスの引抜け
_3	柱材下部での金物・ビスの引抜け、柱下部の割れ
_4	柱材上部での金物・ビスの引抜け
_5*	柱材上部での金物・ビスの引抜け、筋かいの割れ
_6	柱材上部での金物・ビスの引抜け

*印は写真を掲載した試験体

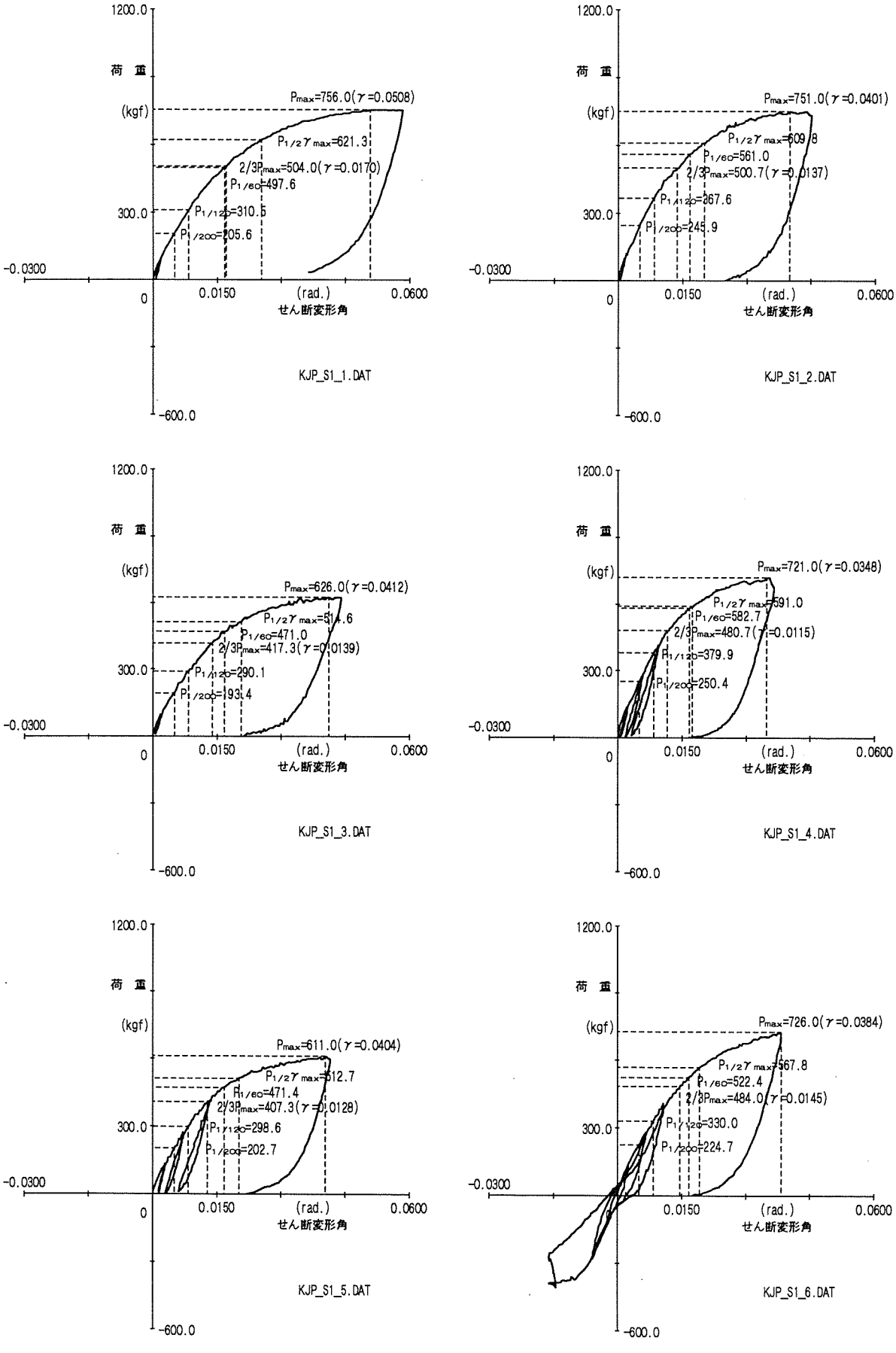
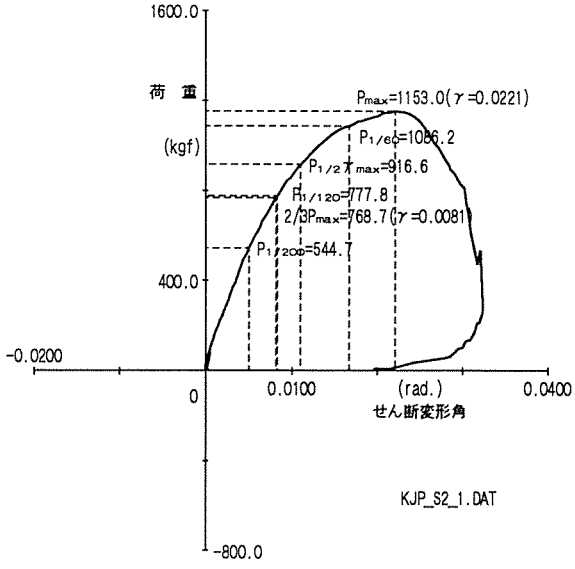
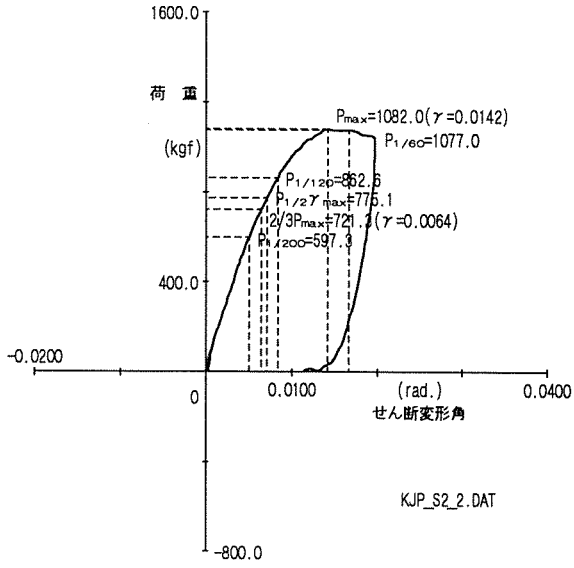
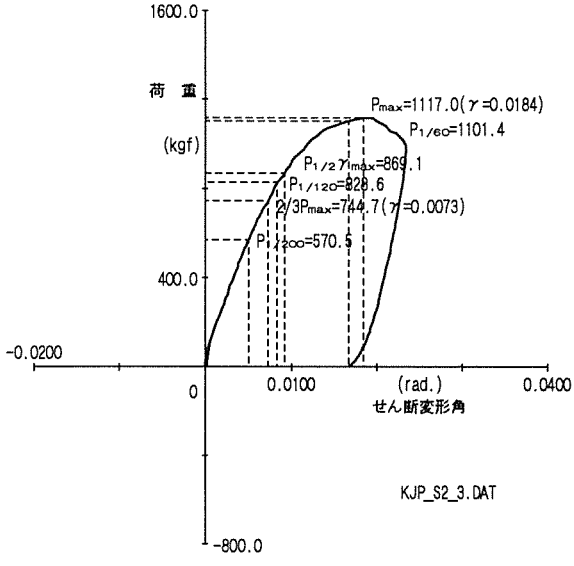
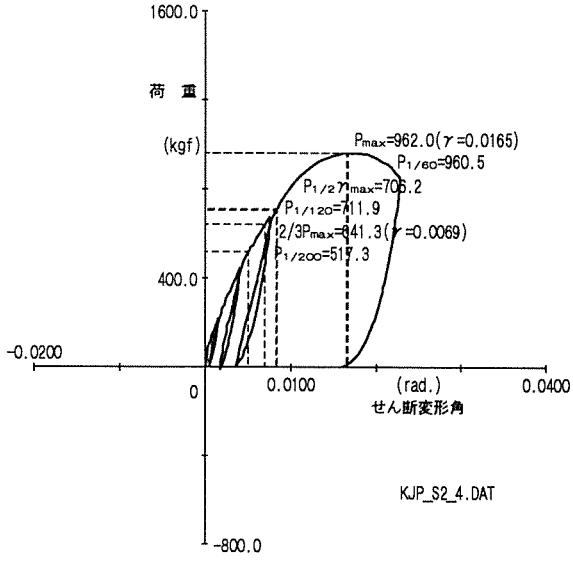


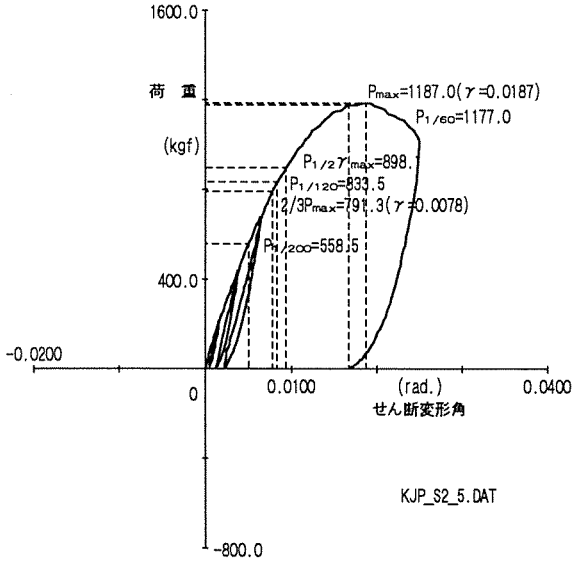
図４－３　荷重－変形角曲線(KJP，スギ，1P)











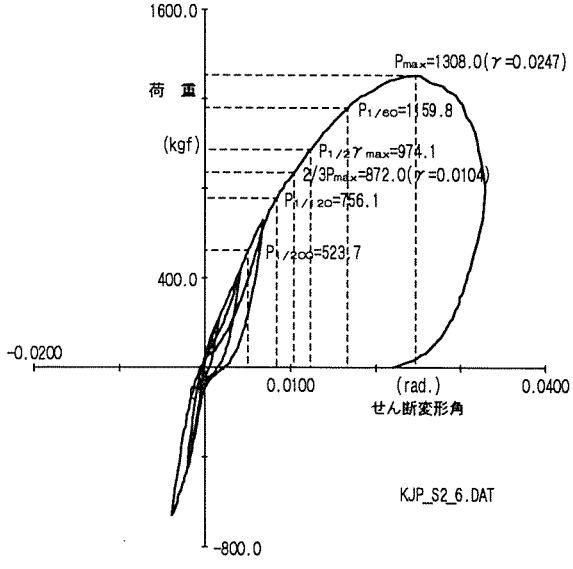
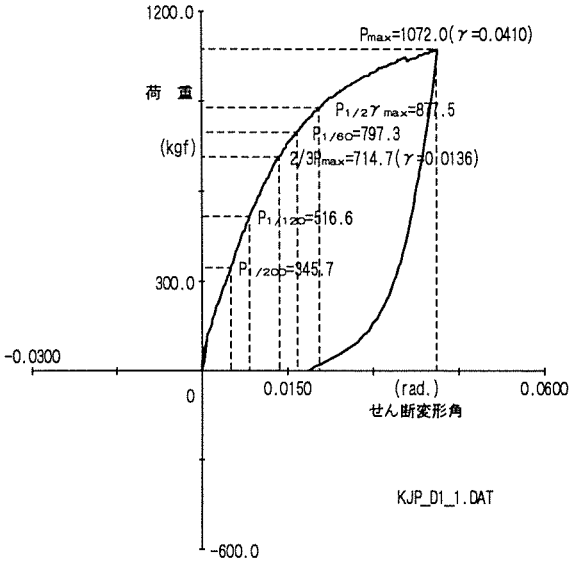
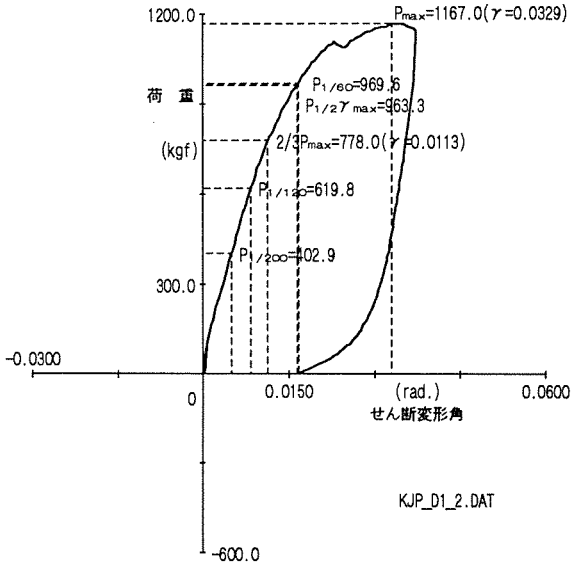
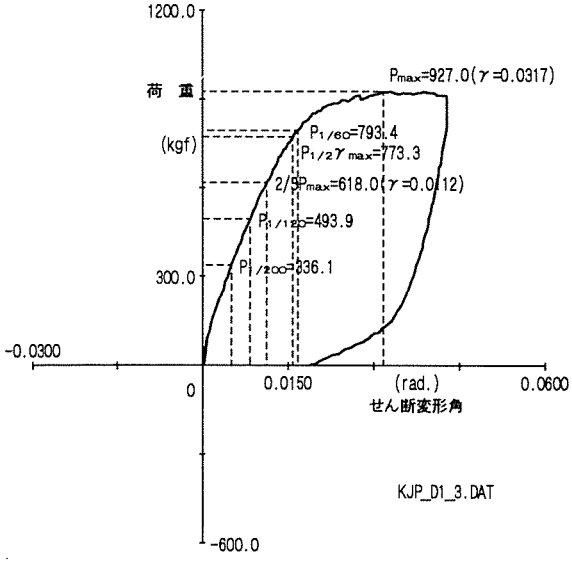
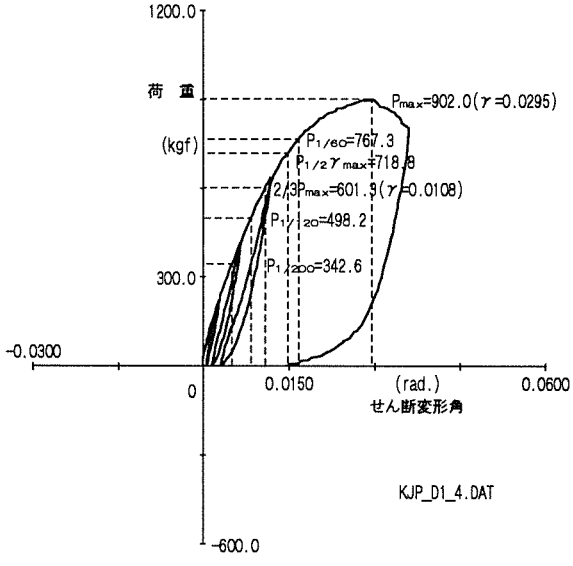


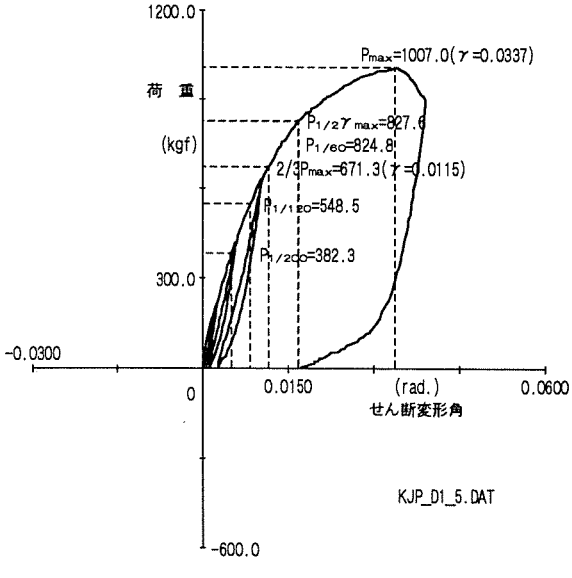
図４－４　荷重－変形角曲線(KJP，スギ，2P)











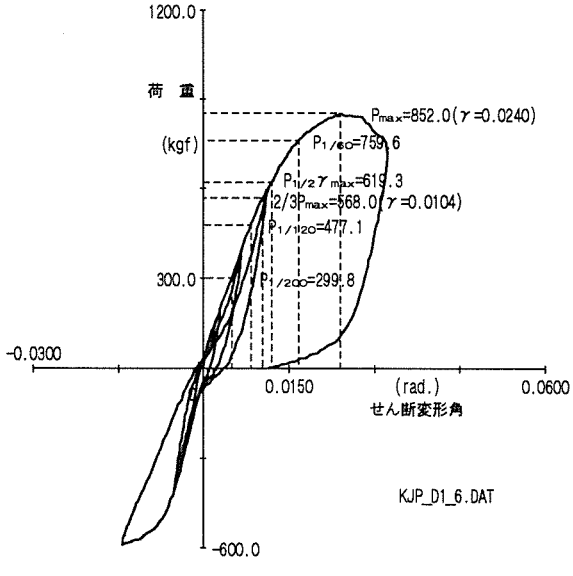
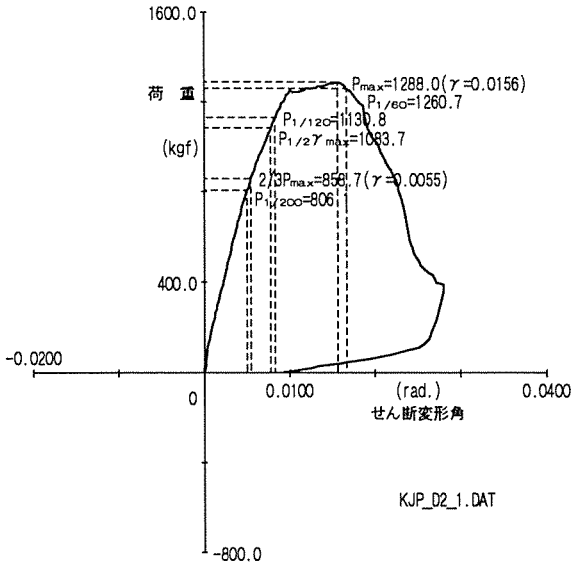
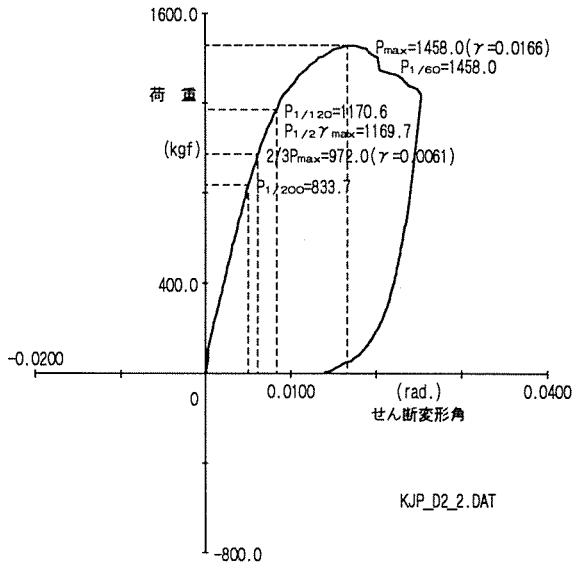
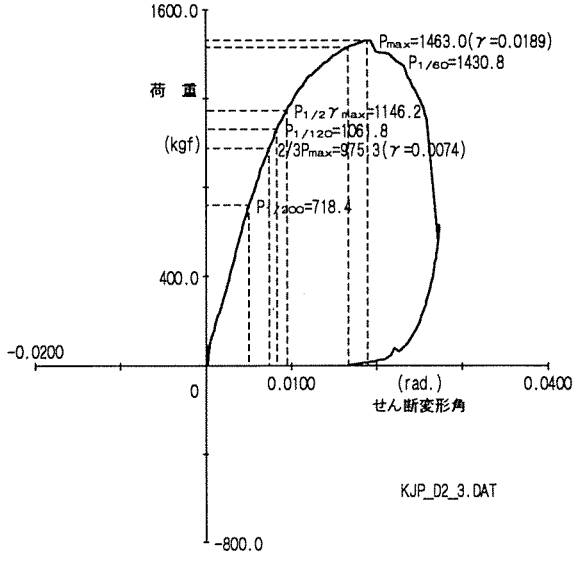
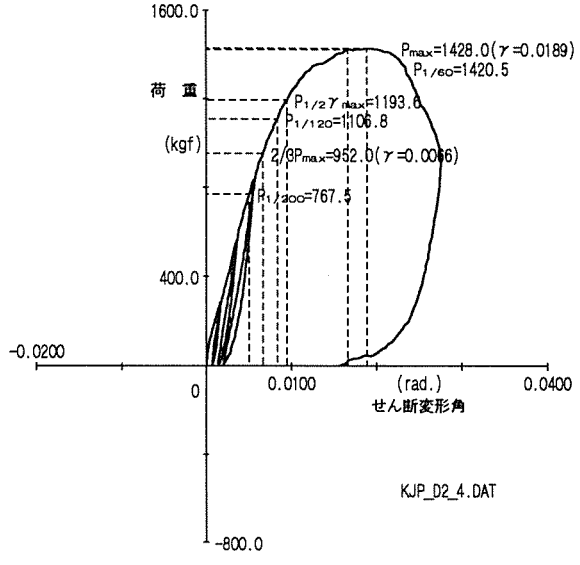


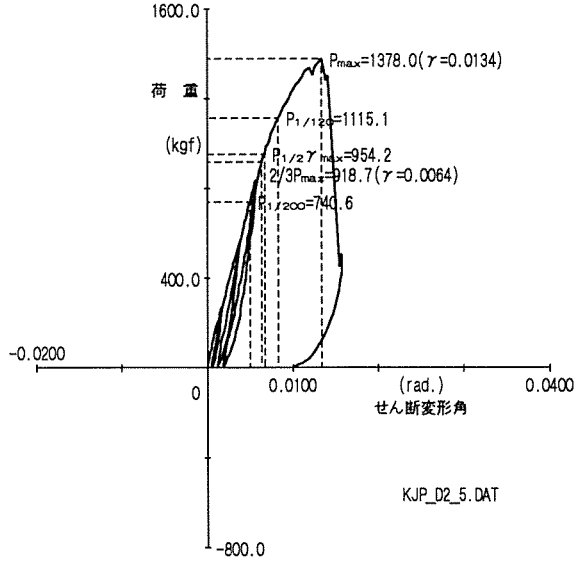
図４－５　荷重－変形角曲線(KJP，ベイマツ，1P)











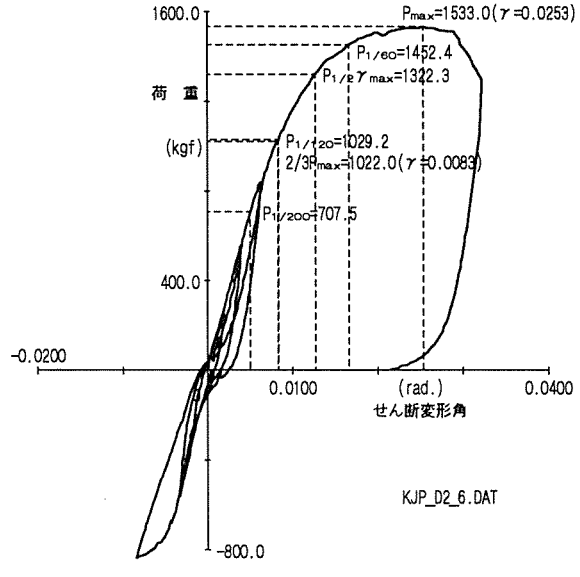


図４－６　荷重－変形角曲線(KJP，ベイマツ，2P)

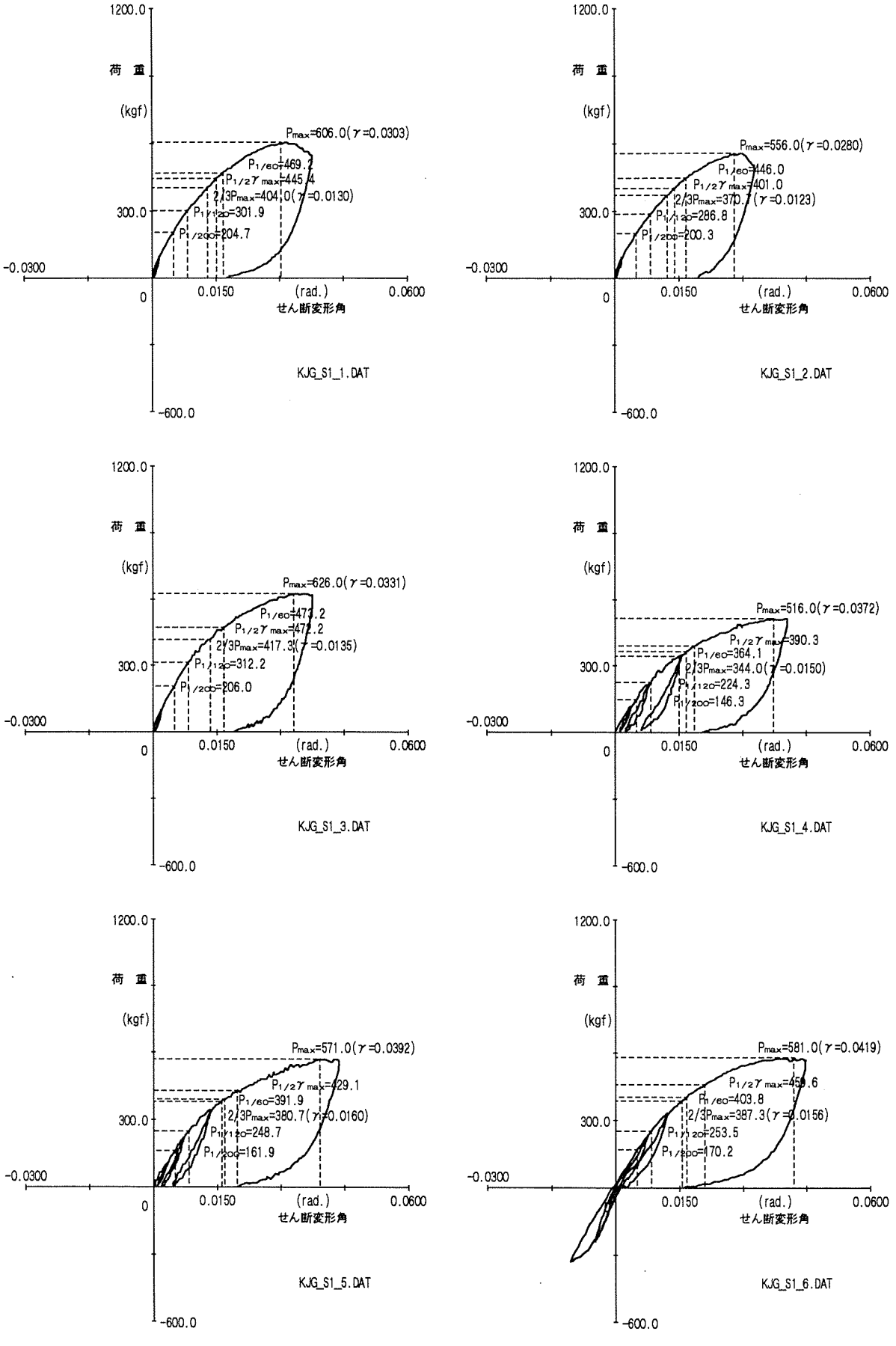
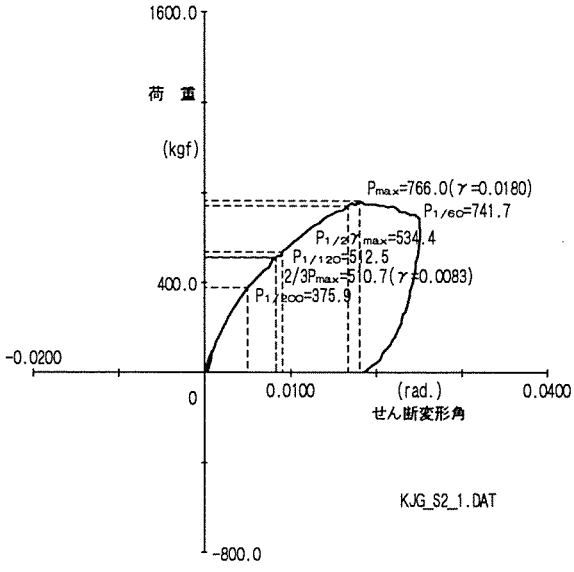
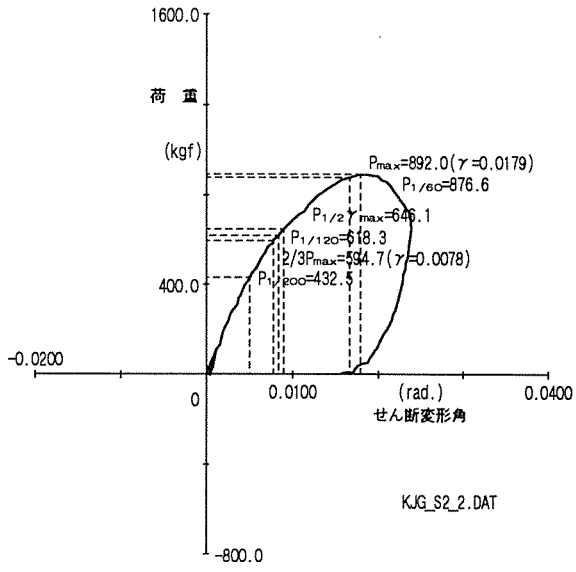
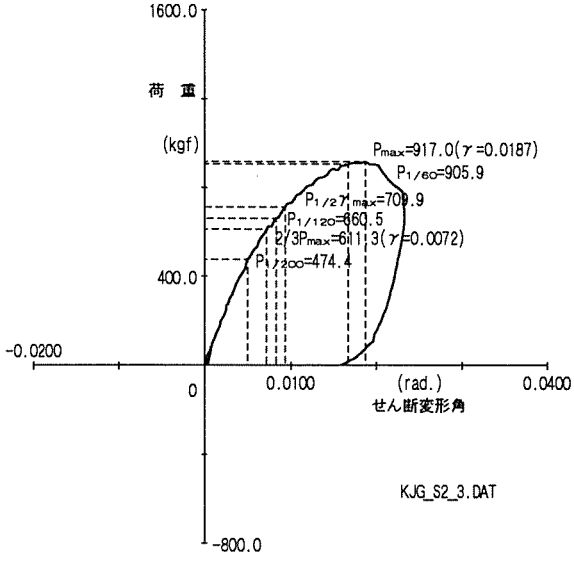
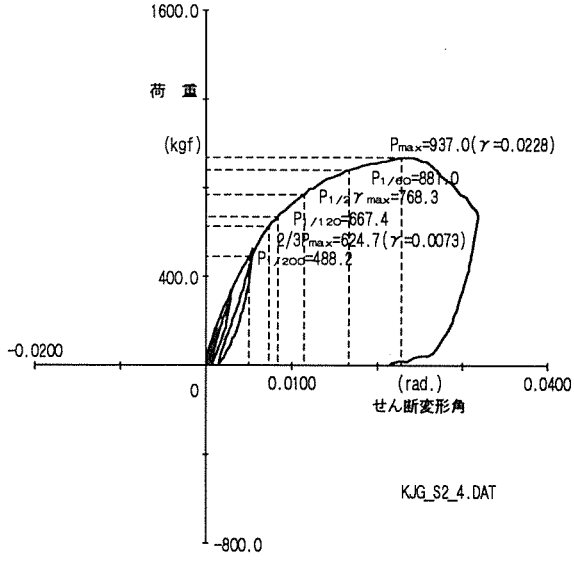


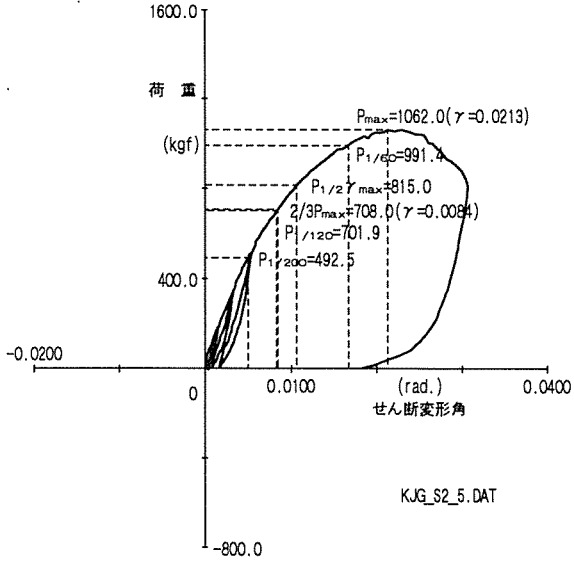
図４－７　荷重－変形角曲線(KJG, スギ, 1P)











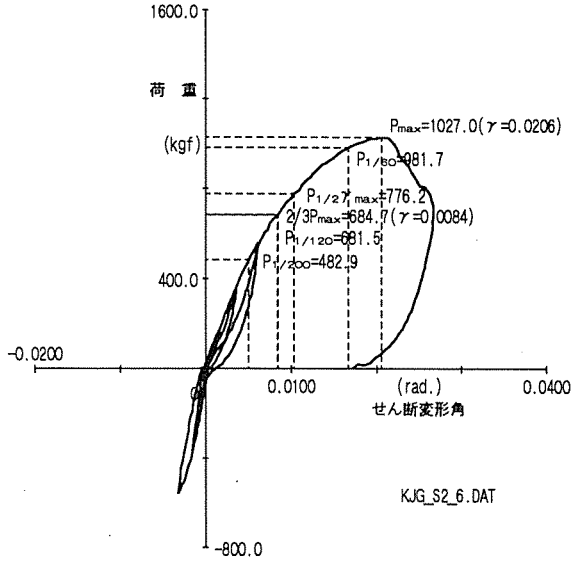
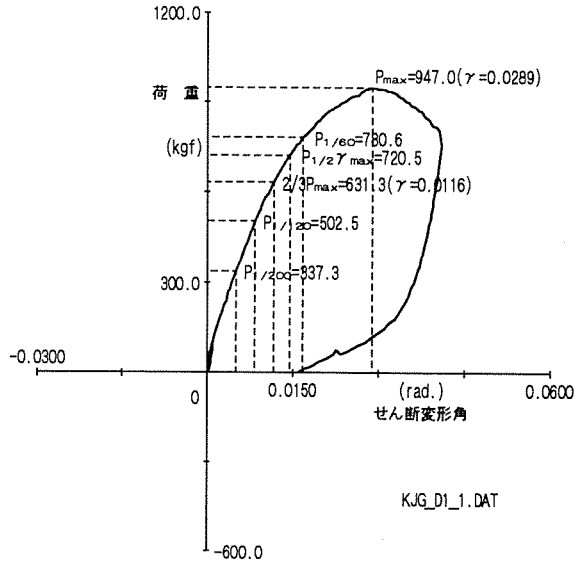
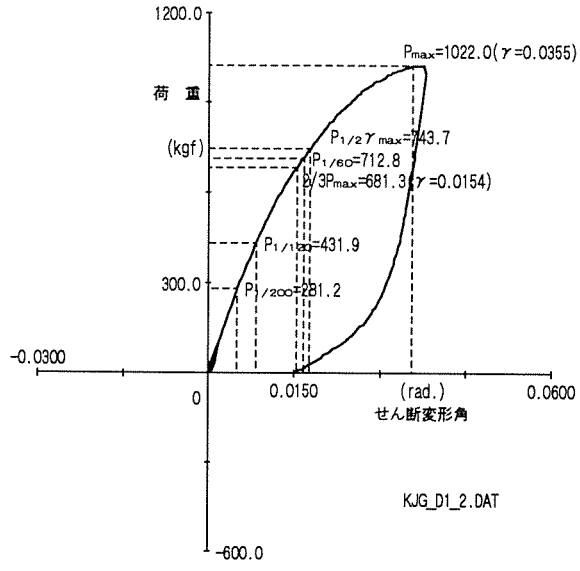
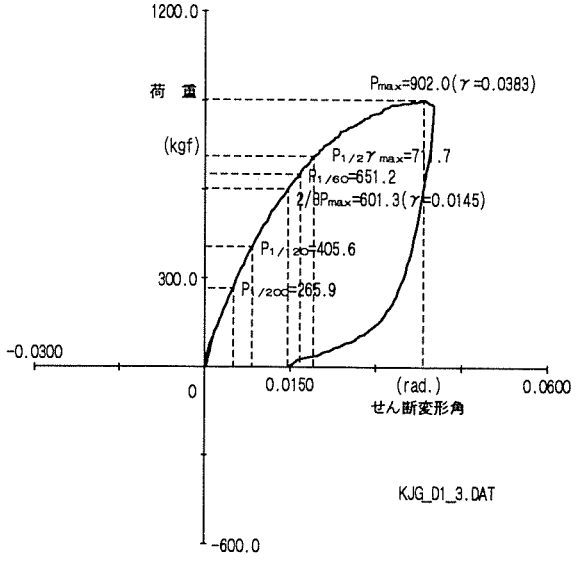
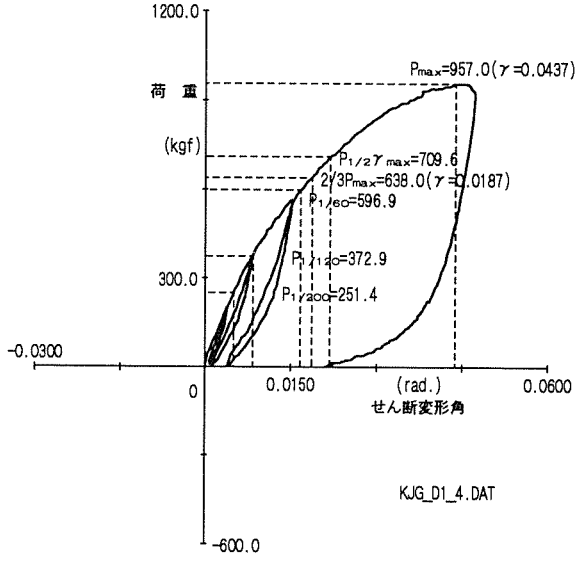


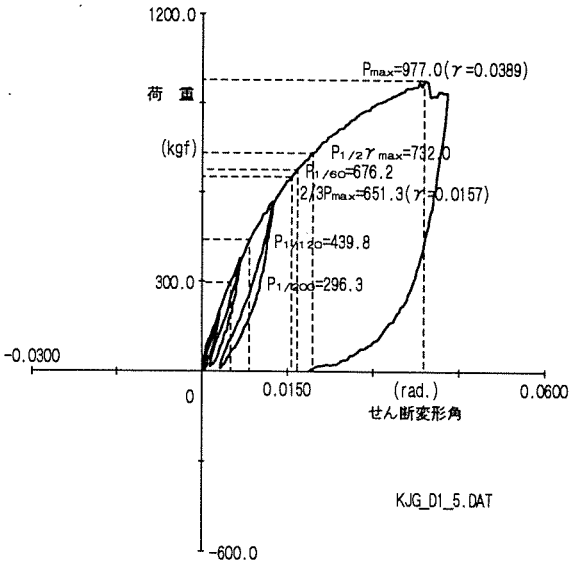
図４－８　荷重－変形角曲線(KJG，スギ，2P)











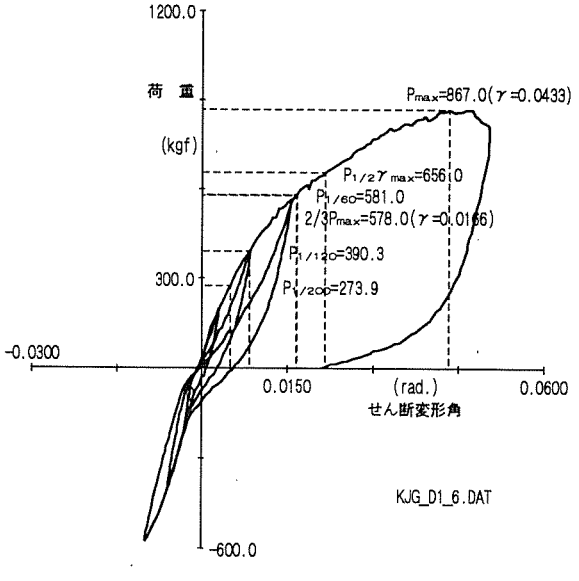
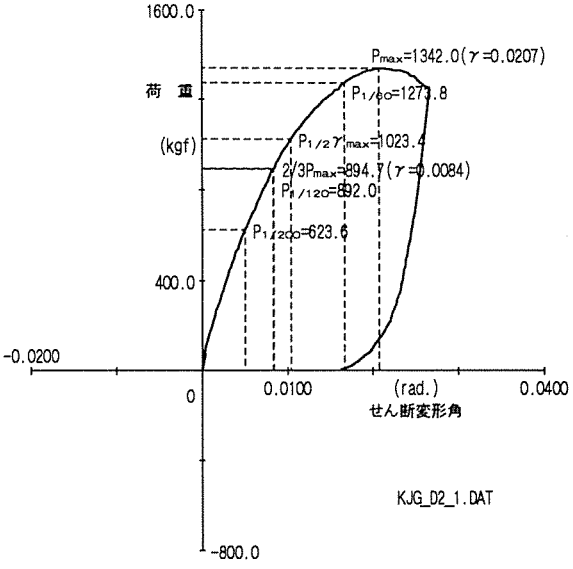
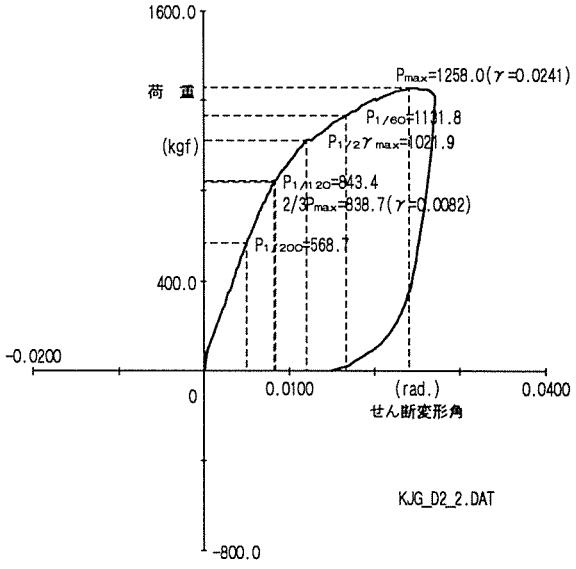
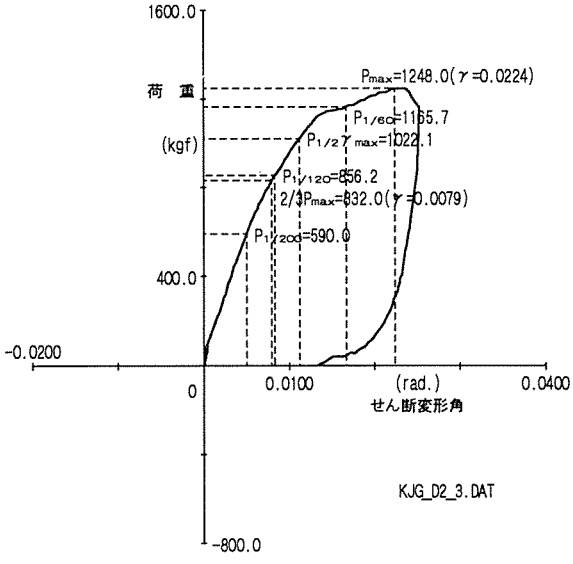
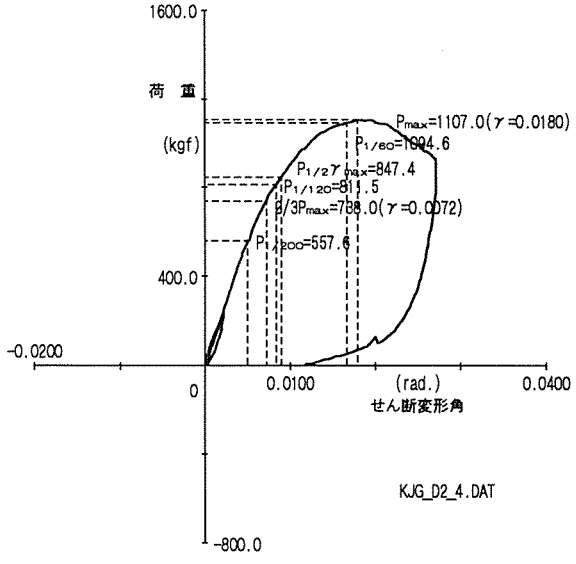


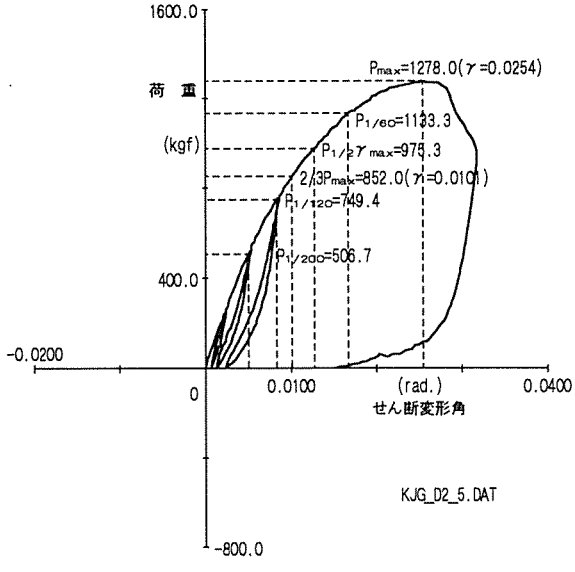
図４－９　荷重－変形角曲線(KJG, ベイマツ, 1P)











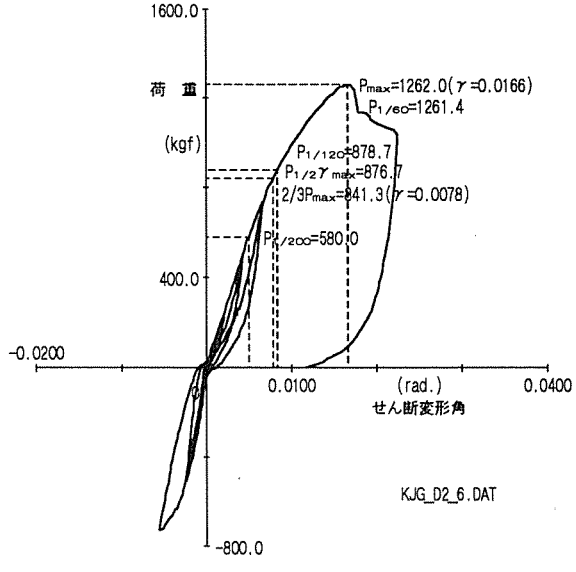


図４－10　荷重－変形角曲線(KJG, ベイマツ, 2P)

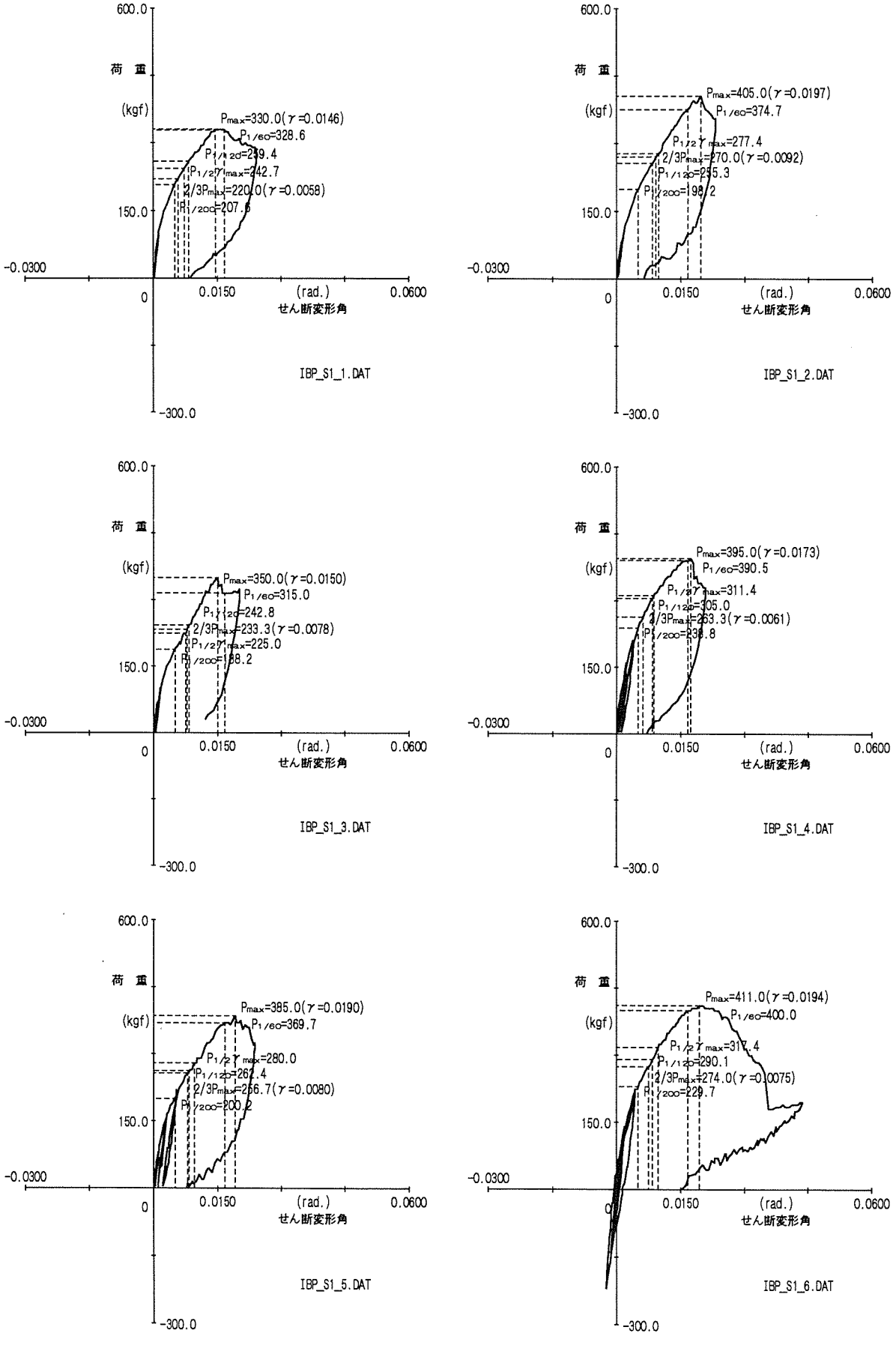


図４－11　荷重－変形角曲線(IBP，スギ，1P)

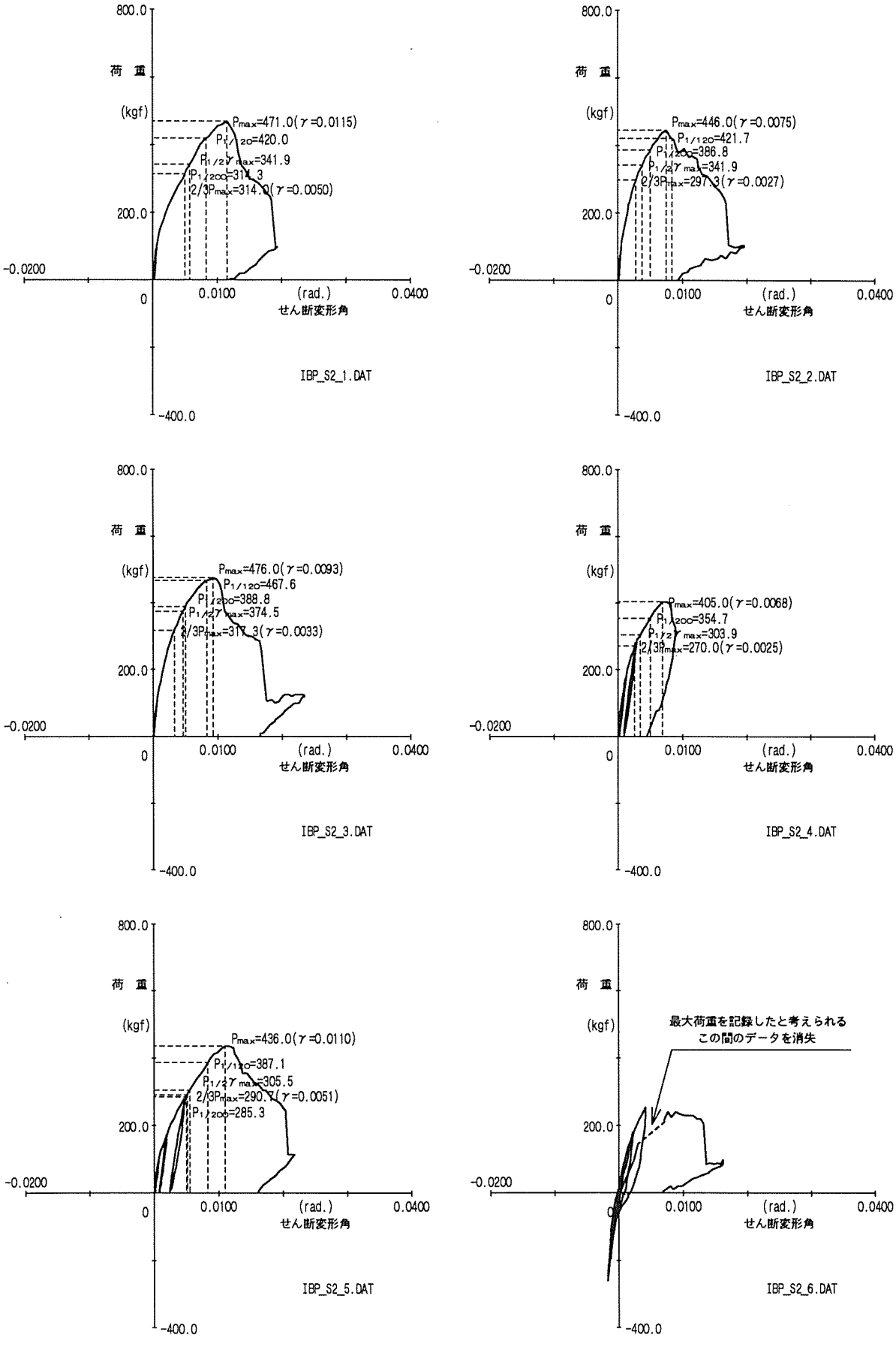
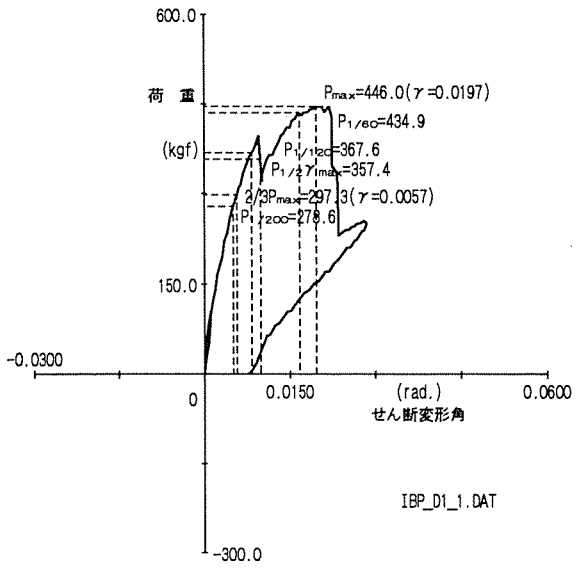
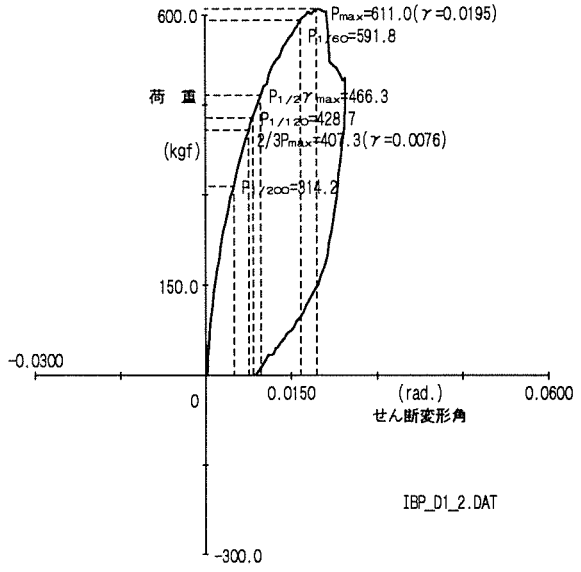
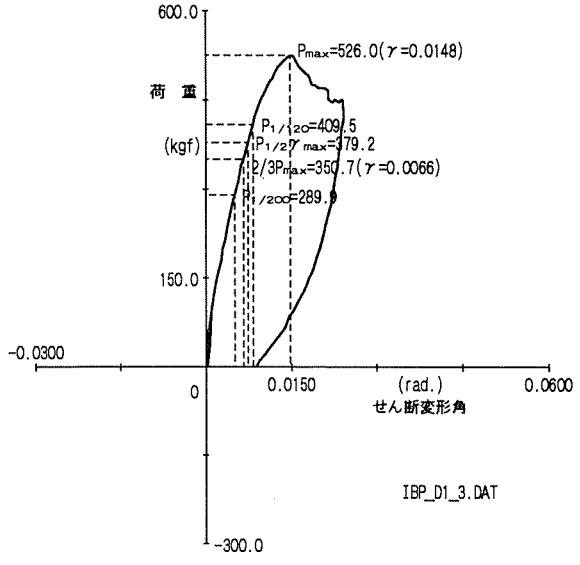
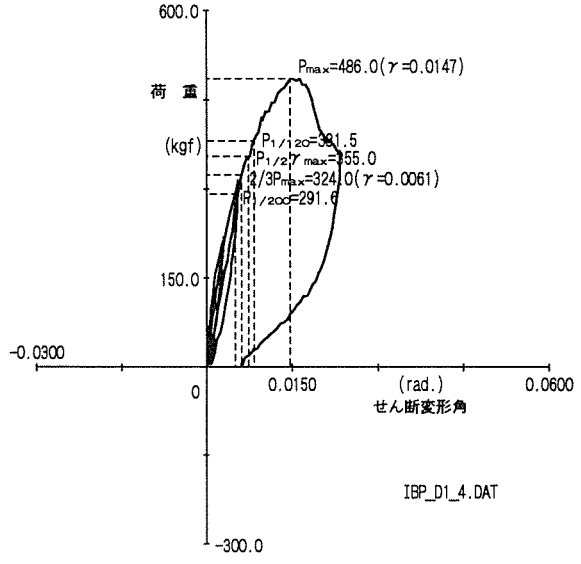


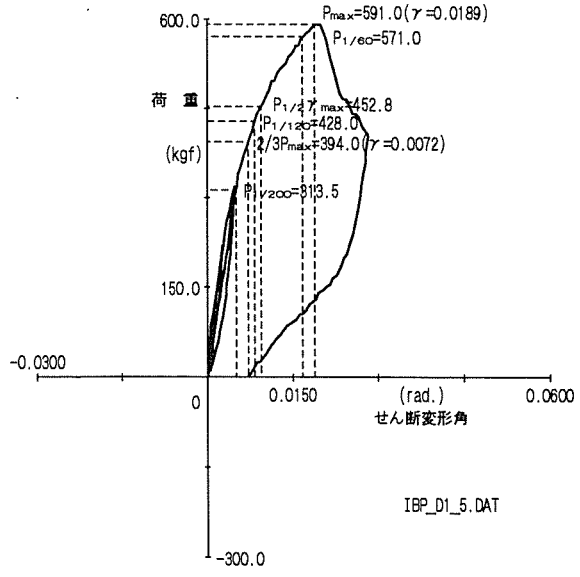
図4－12　荷重－変形角曲線(IBP，スギ，2P)











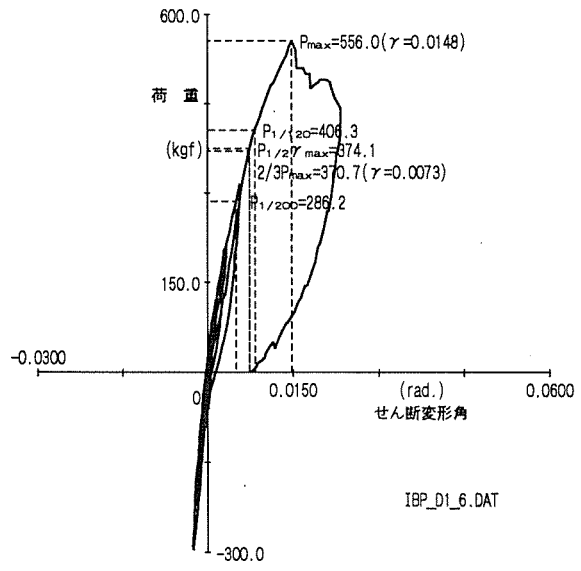
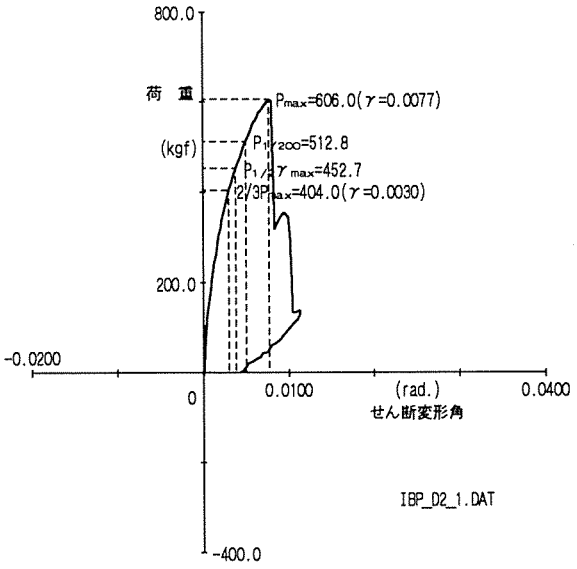
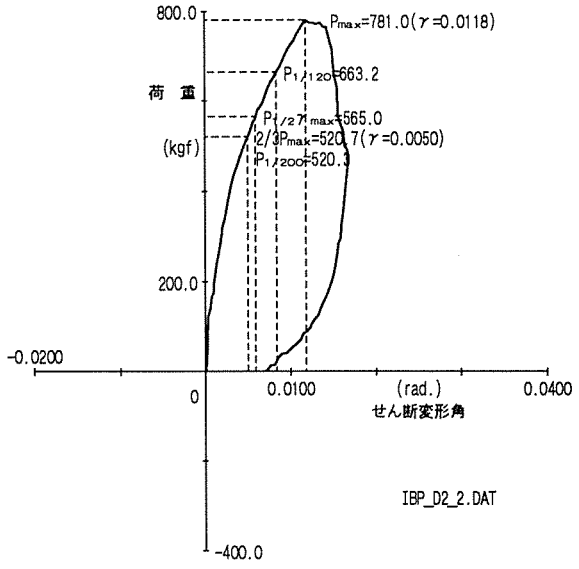
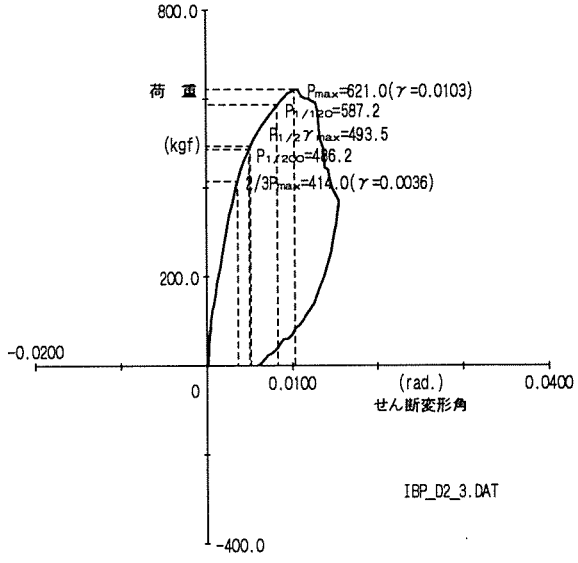
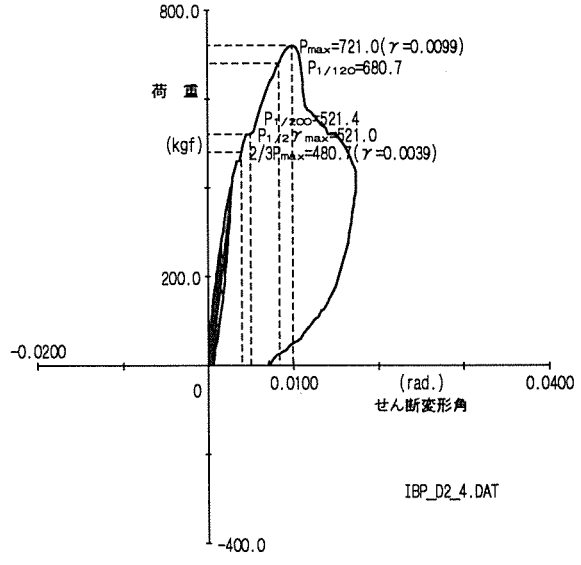


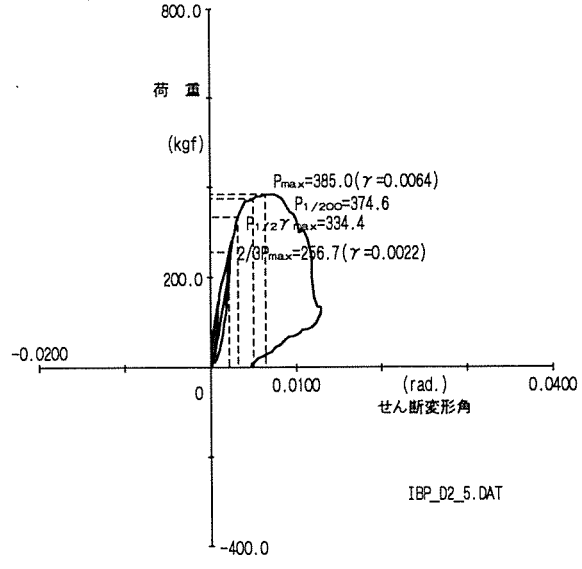
図４－13　荷重－変形角曲線(IBP，ベイマツ，1P)











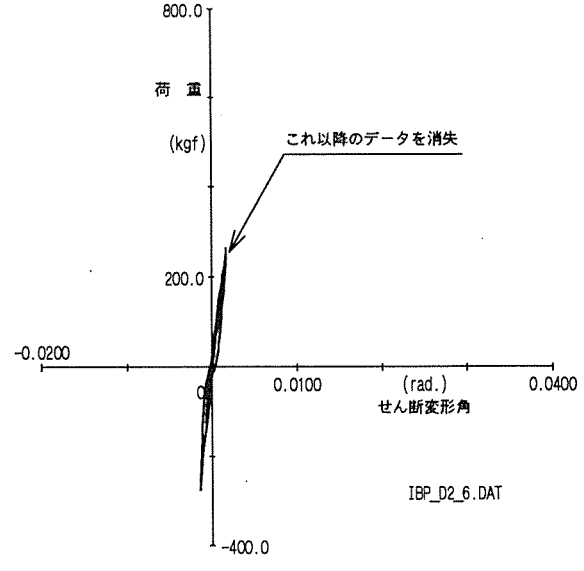


図４－14　荷重－変形角曲線(IBP，ベイマツ，2P)

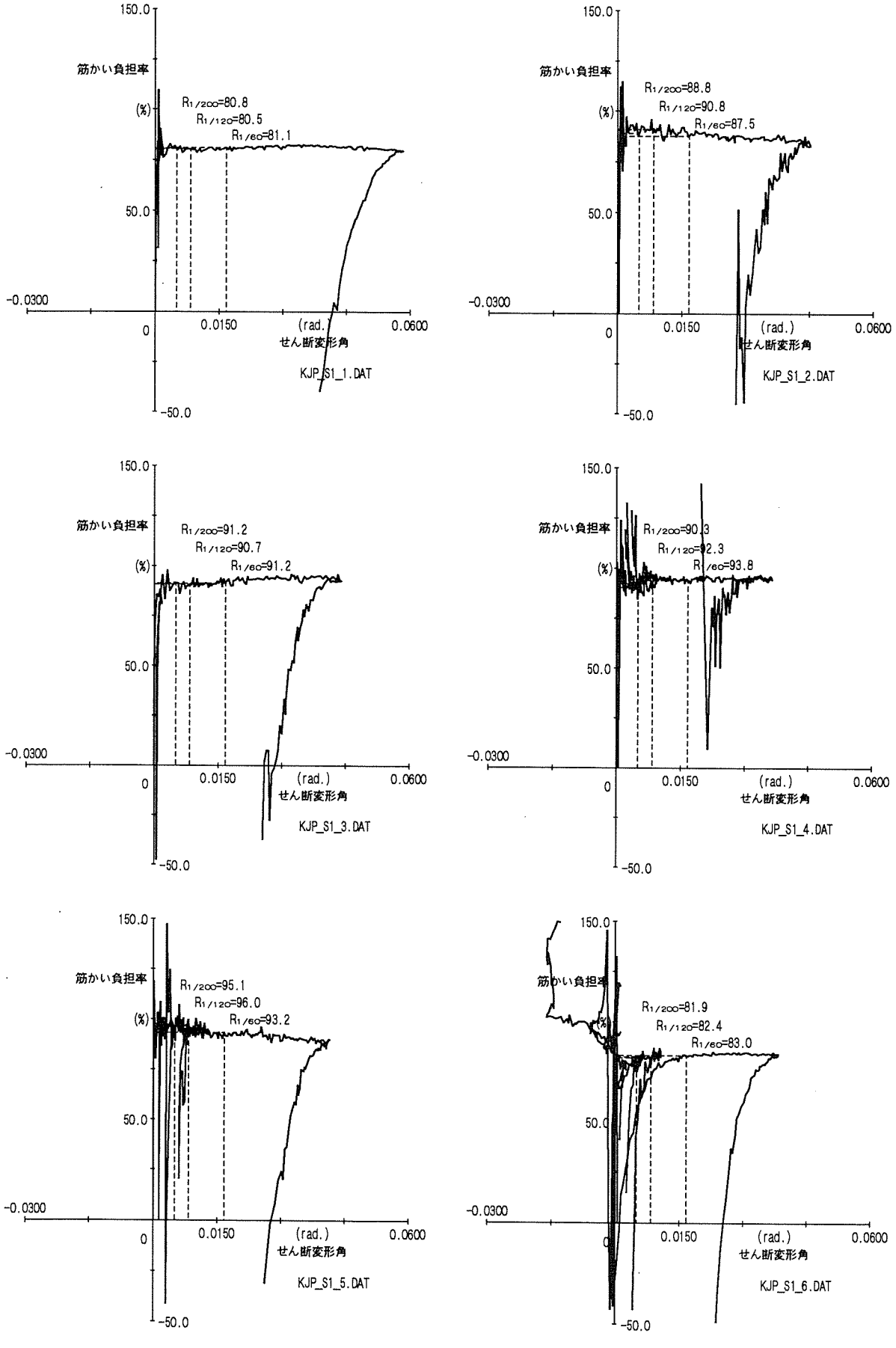
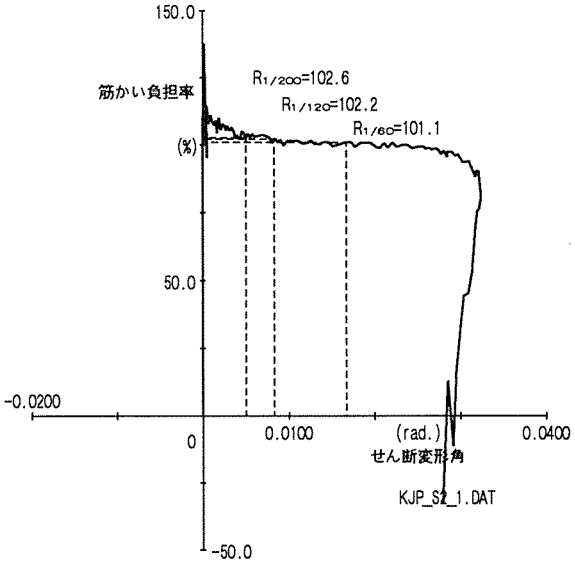
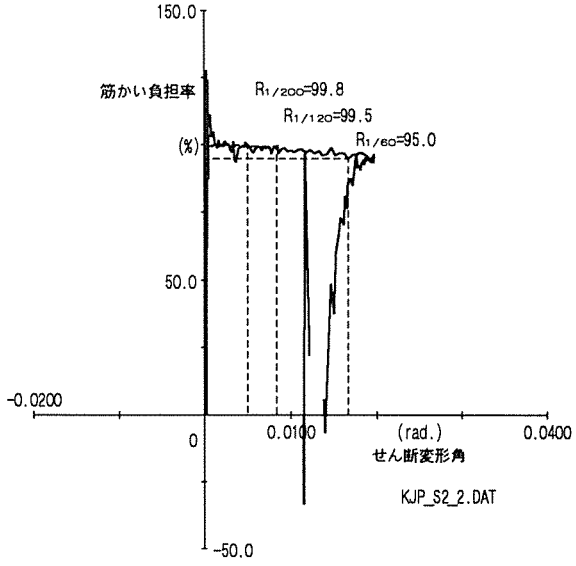
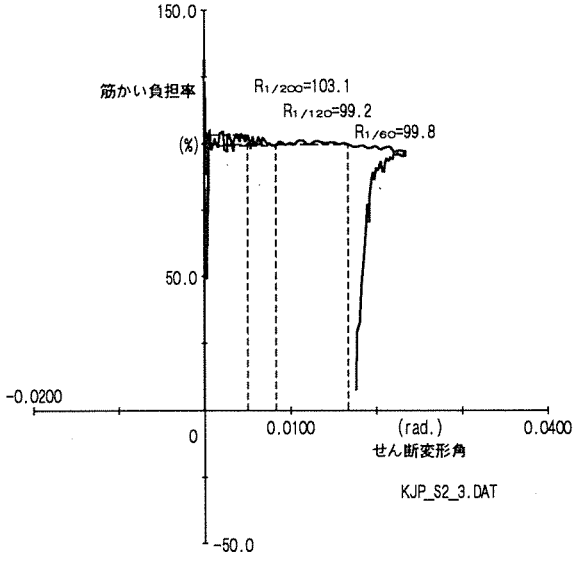
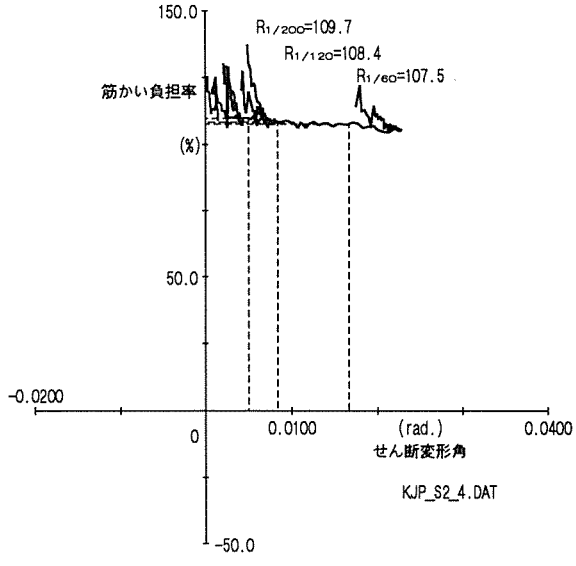


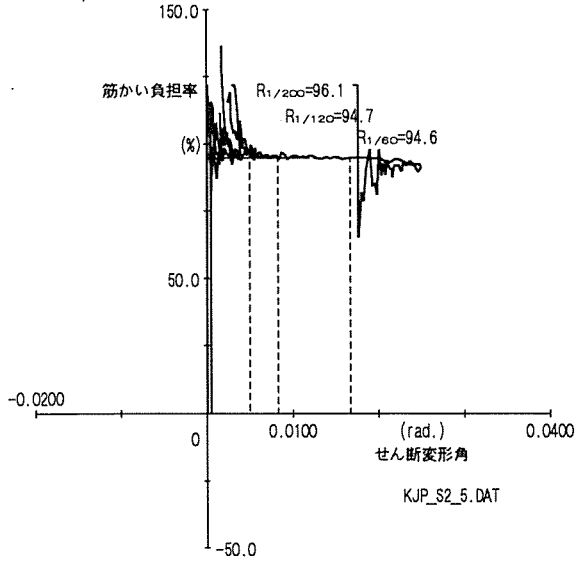
図４－15　筋かい負担率－変形角曲線(KJP，スギ，1P)











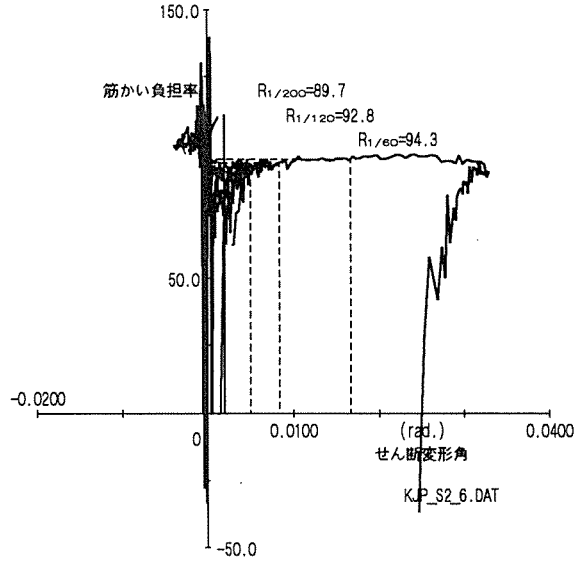


図４－16　筋かい負担率－変形角曲線(KJP，スギ，2P)

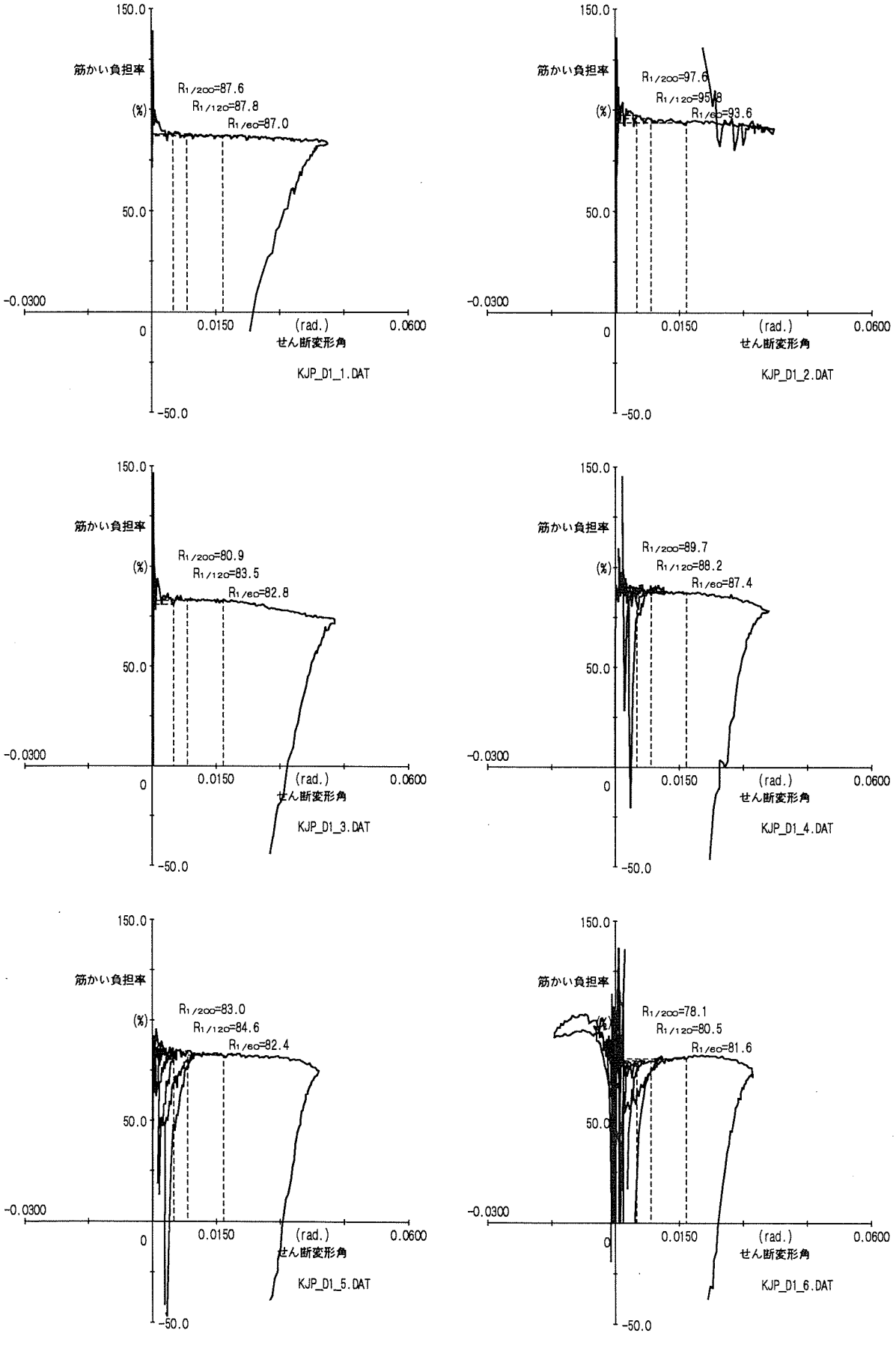


図４－17　筋かい負担率－変形角曲線(KJP，ベイマツ，1P)

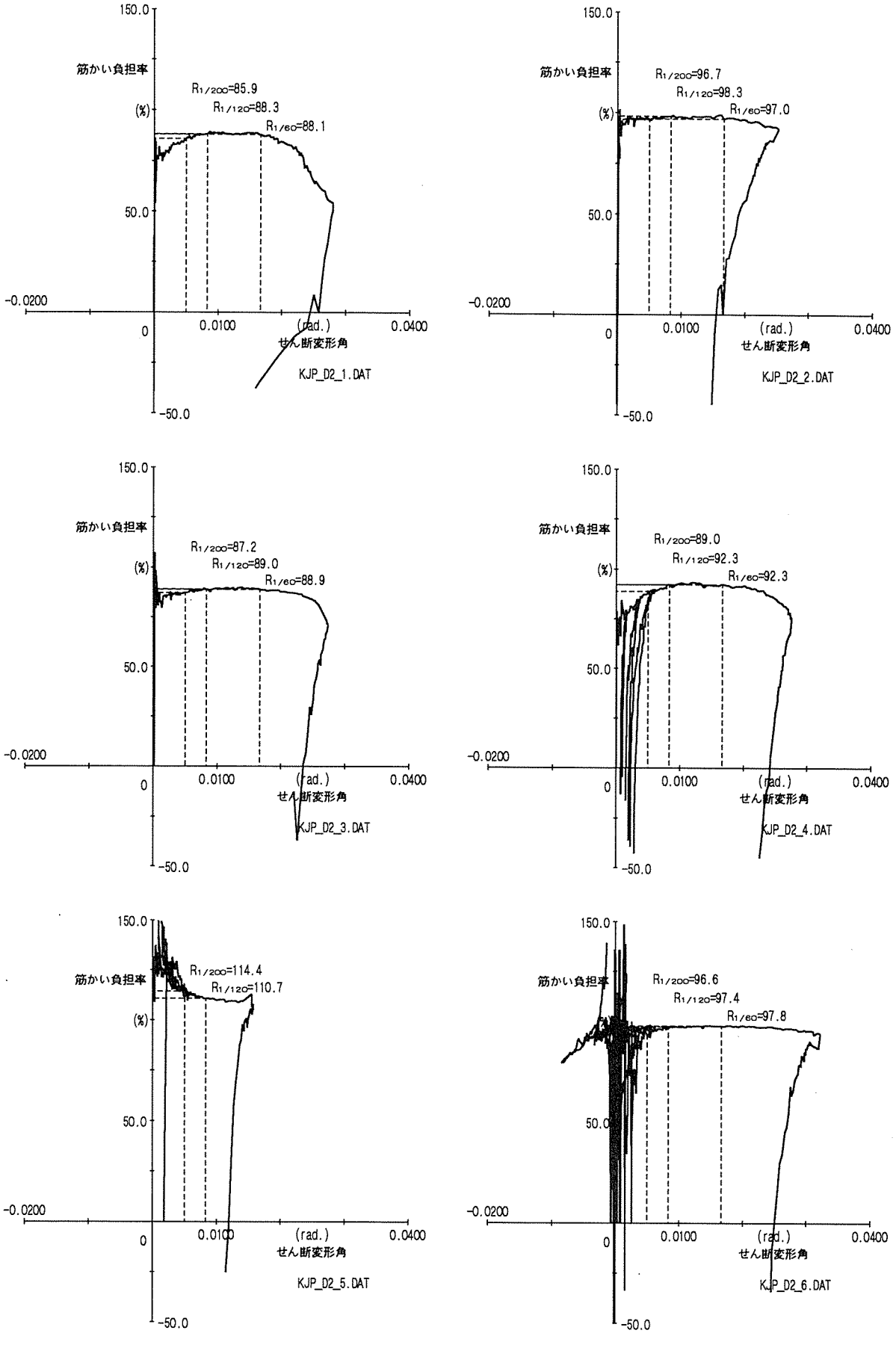


図４－18　筋かい負担率－変形角曲線(KJP，ベイマツ，2P)

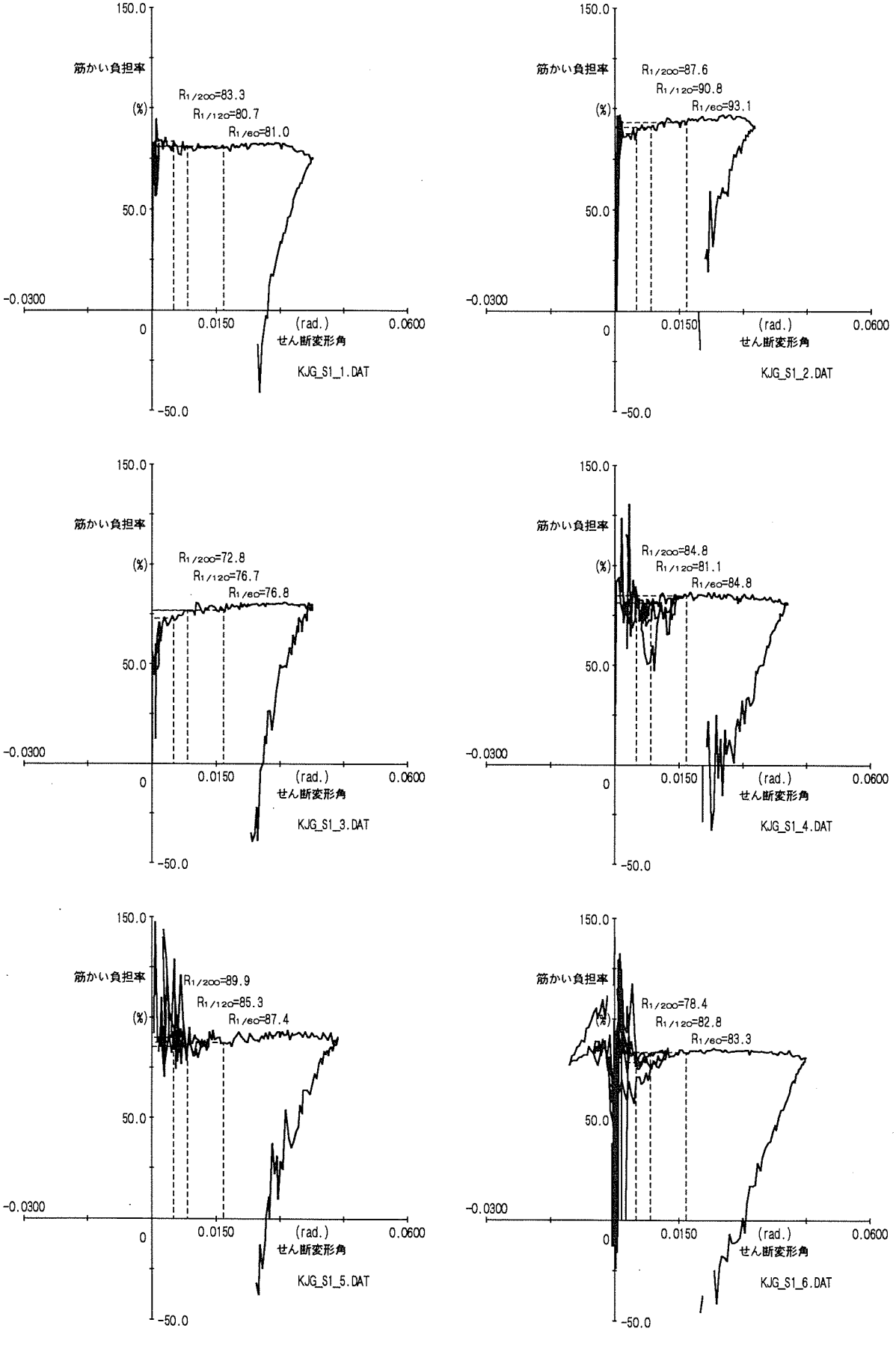


図４－19　筋かい負担率－変形角曲線(KJG，スギ，1P)

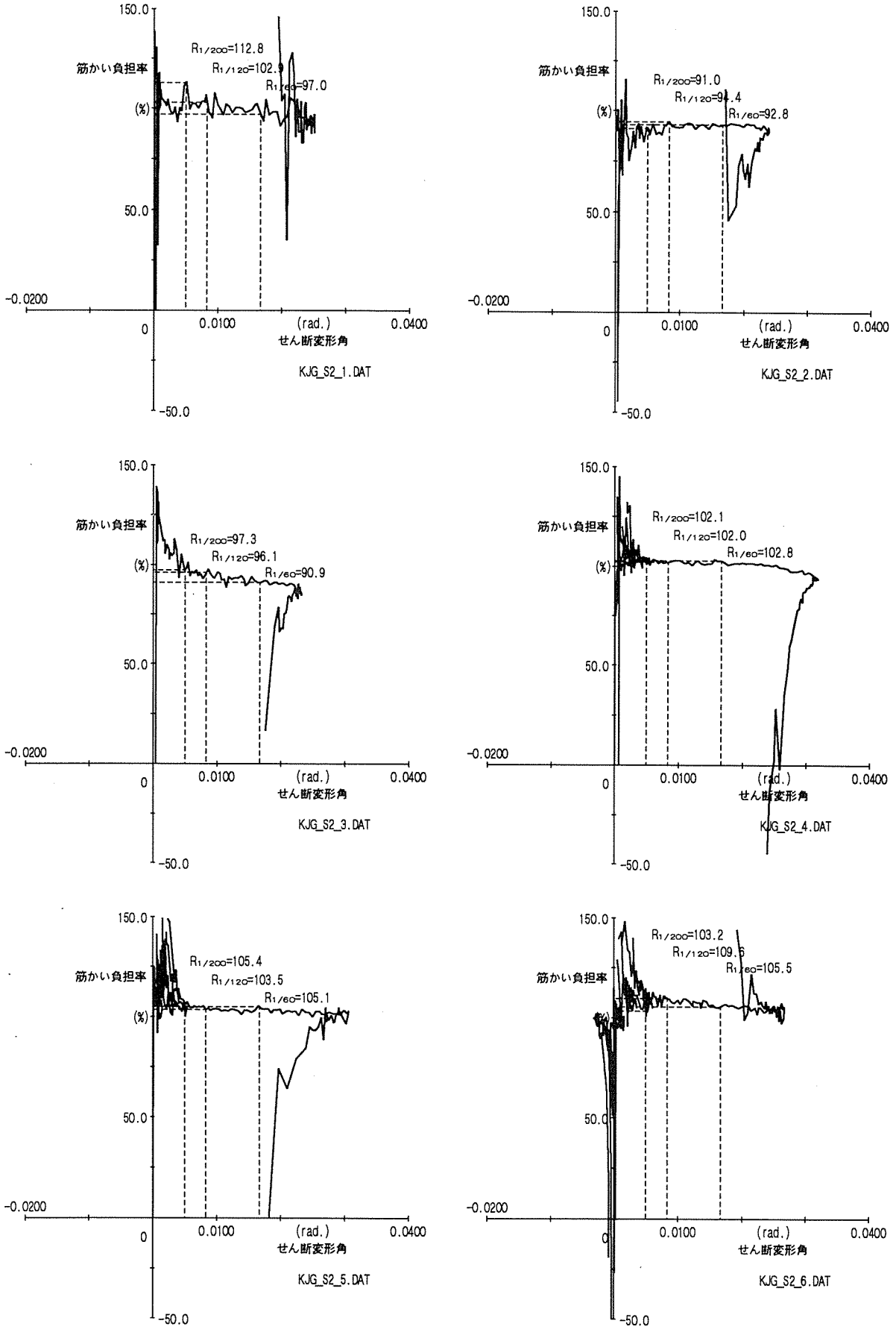


図４－20　筋かい負担率－変形角曲線(KJG，スギ，2P)

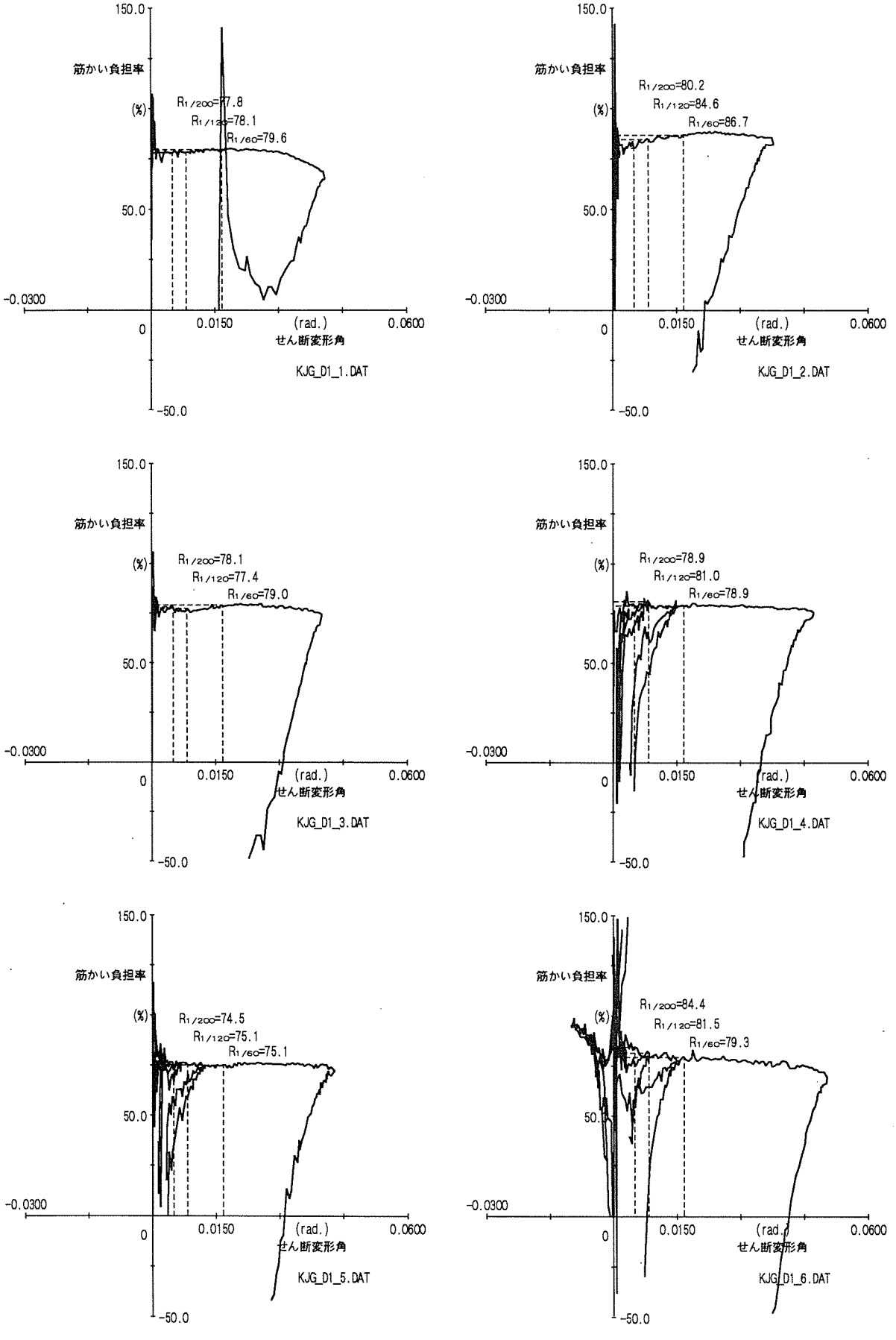


図４－21　筋かい負担率－変形角曲線(KJG，ベイマツ，1P)

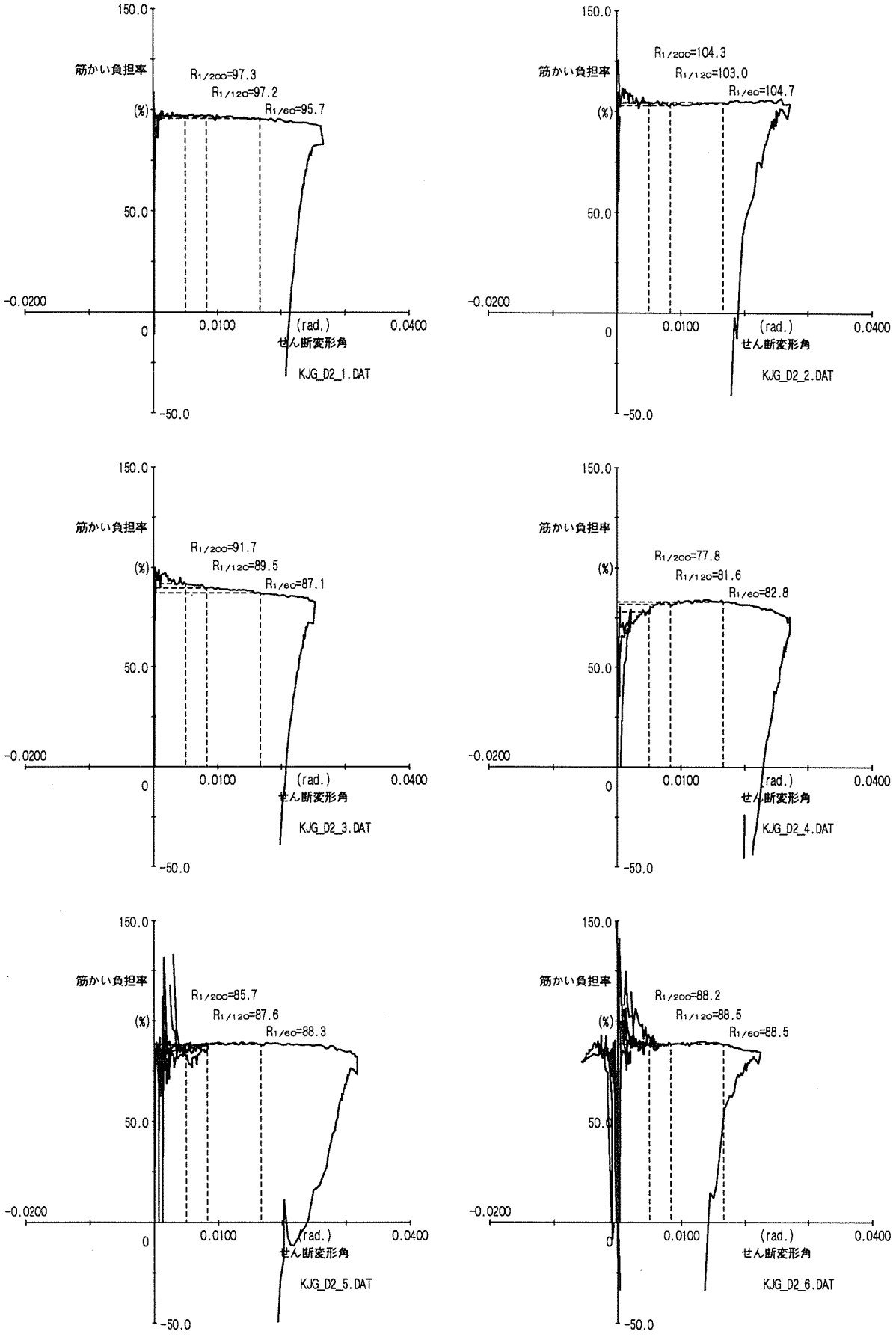
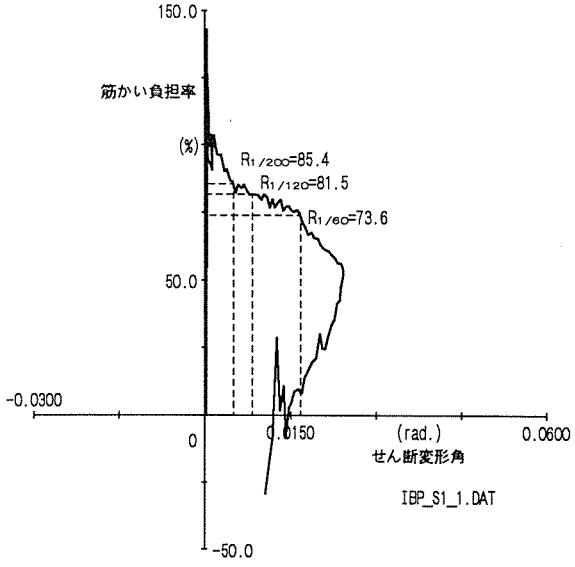
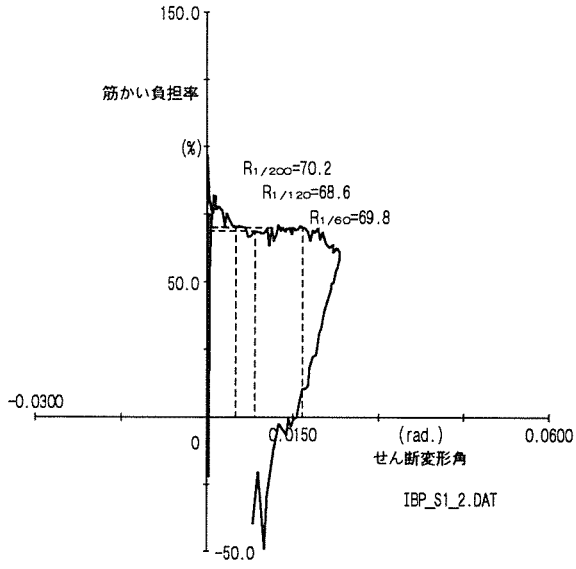
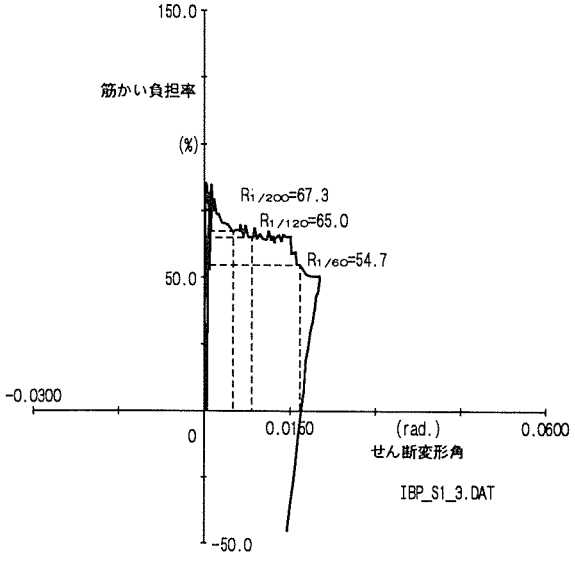
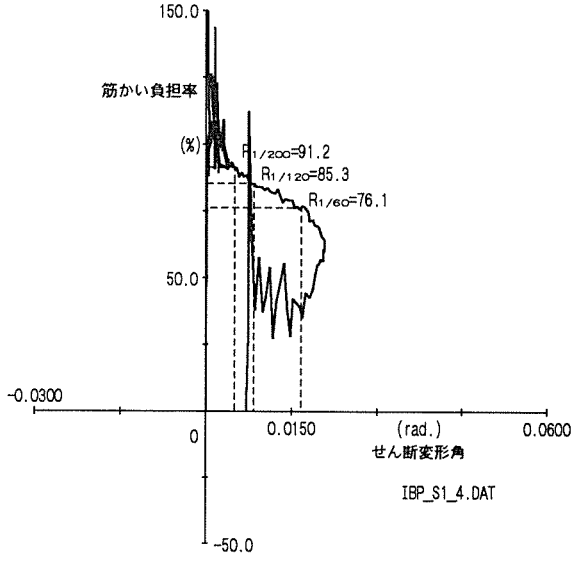


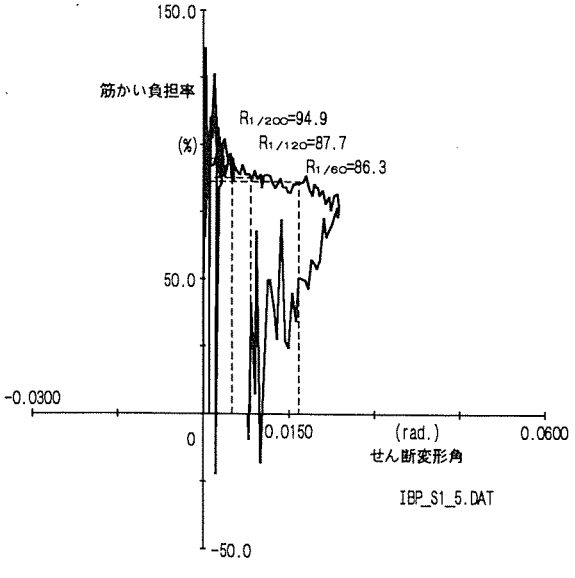
図４－22　筋かい負担率－変形角曲線(KJG，ベイマツ，2P)











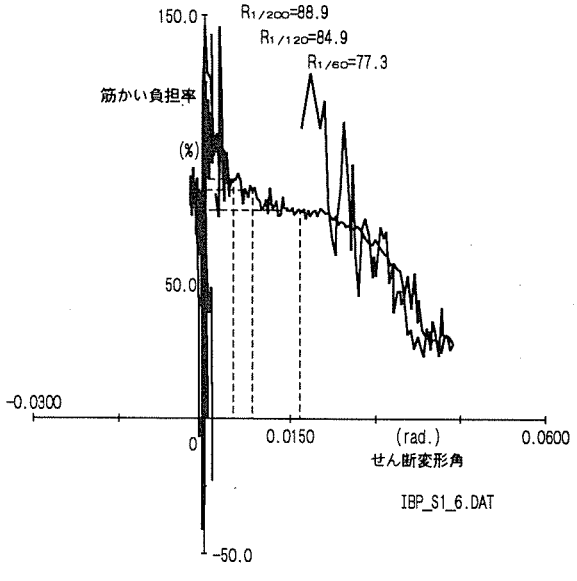
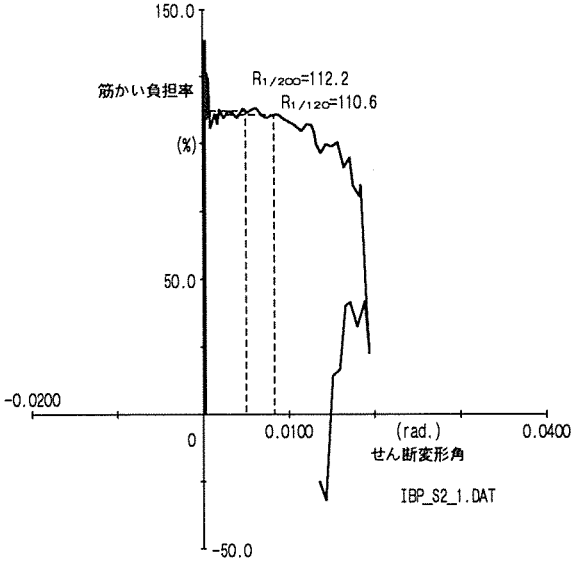
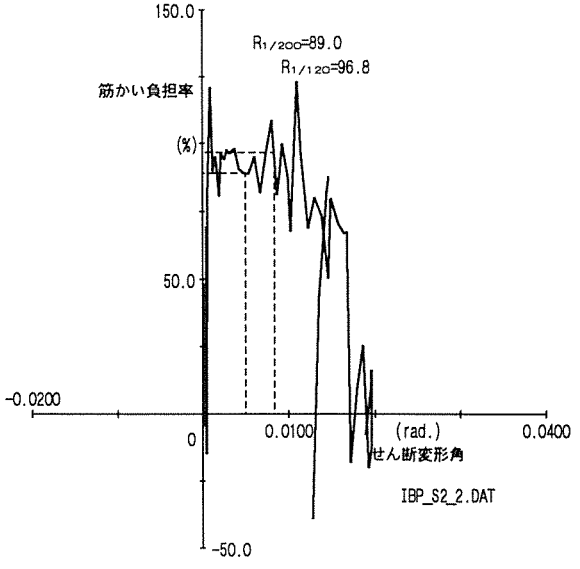
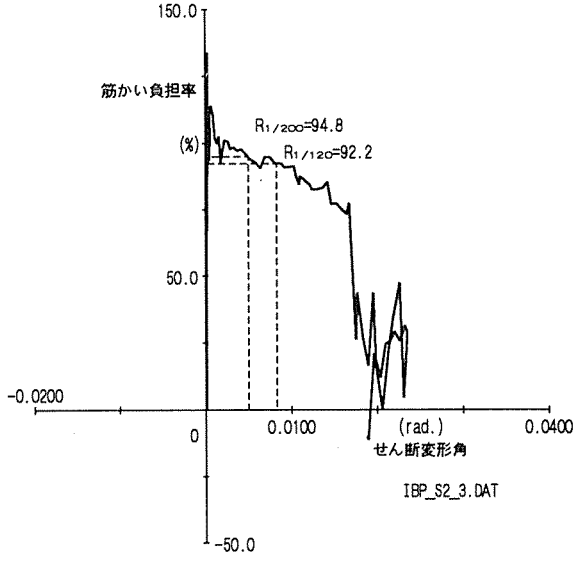
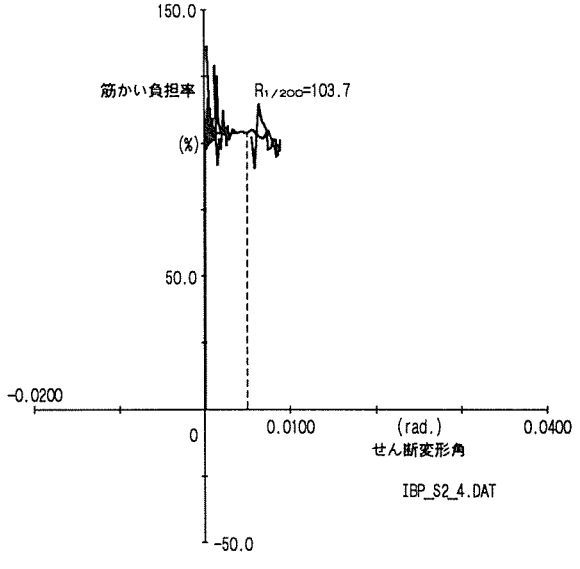


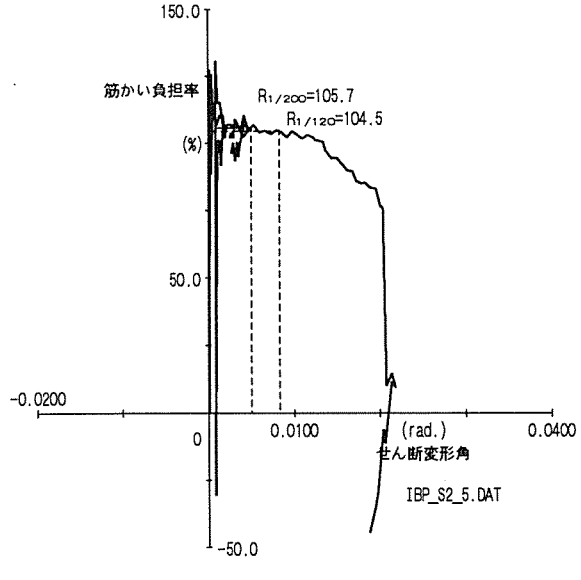
図４－23　筋かい負担率－変形角曲線(IBP，スギ，1P)











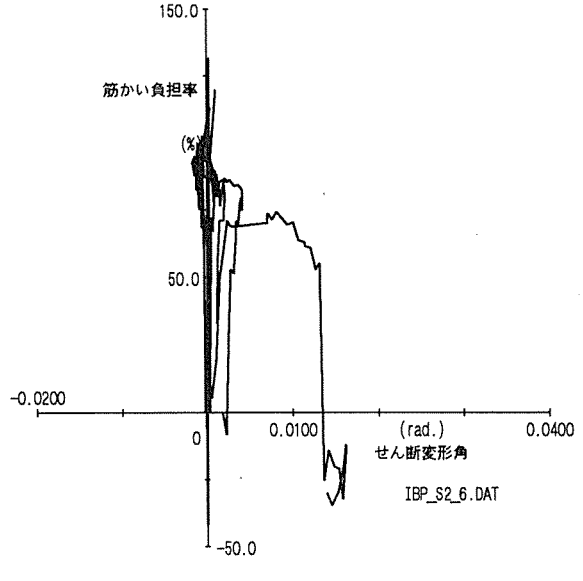


図４－24　筋かい負担率－変形角曲線(IBP，スギ，2P)

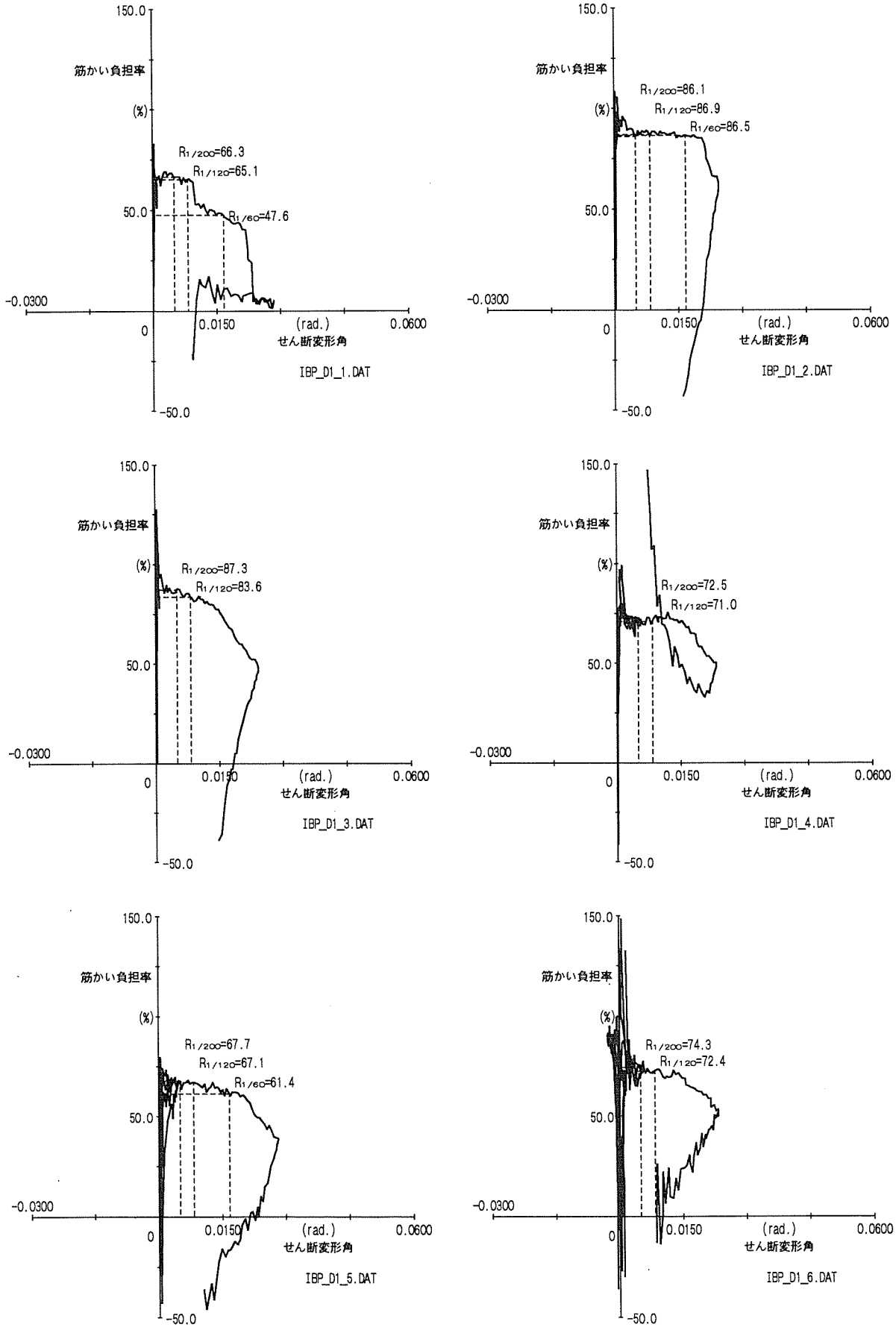
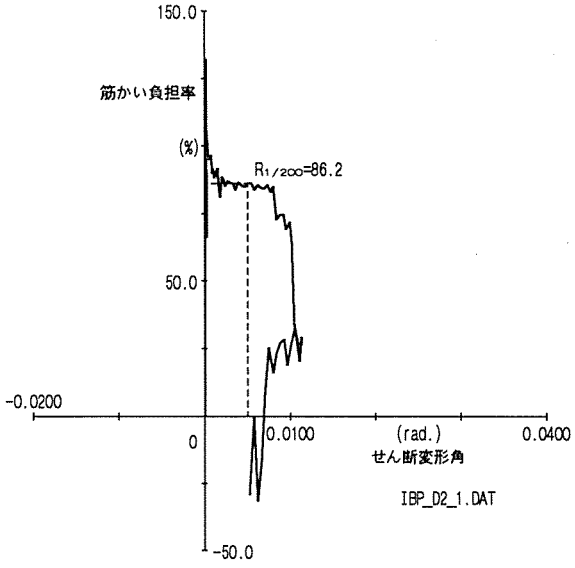
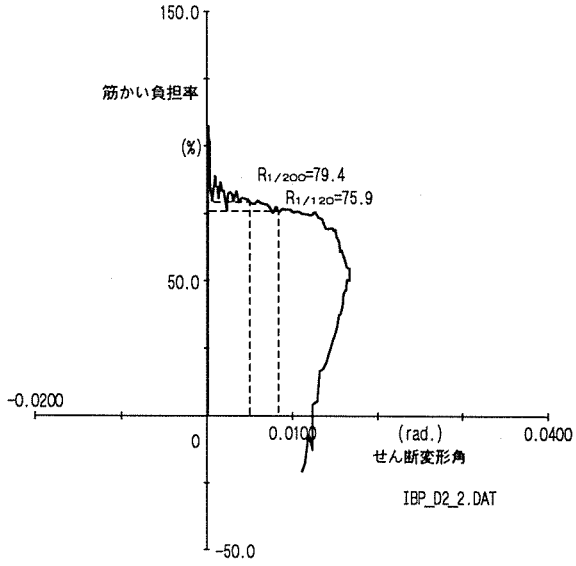
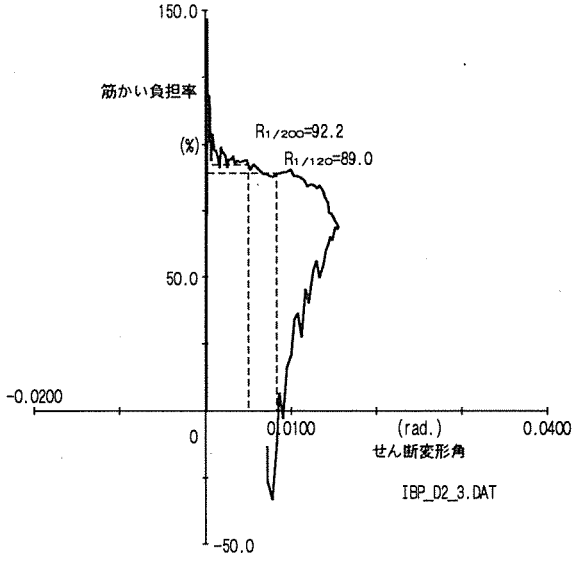
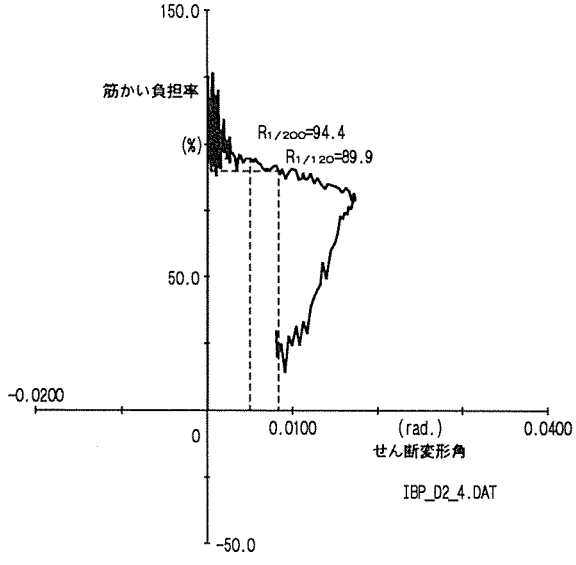


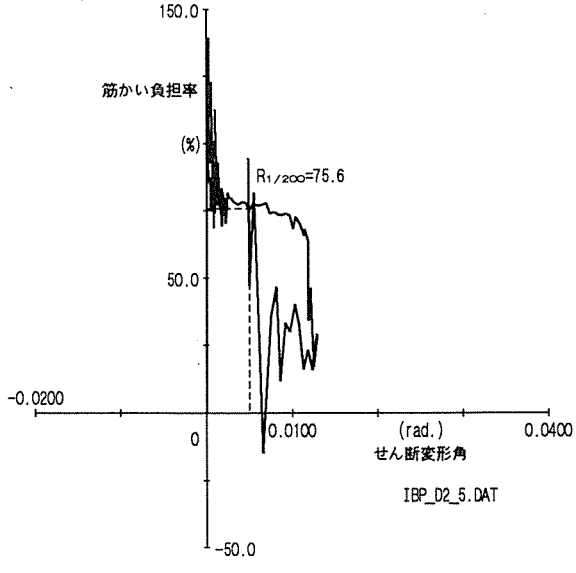
図４－25　筋かい負担率－変形角曲線(IBP，ベイマツ，1P)











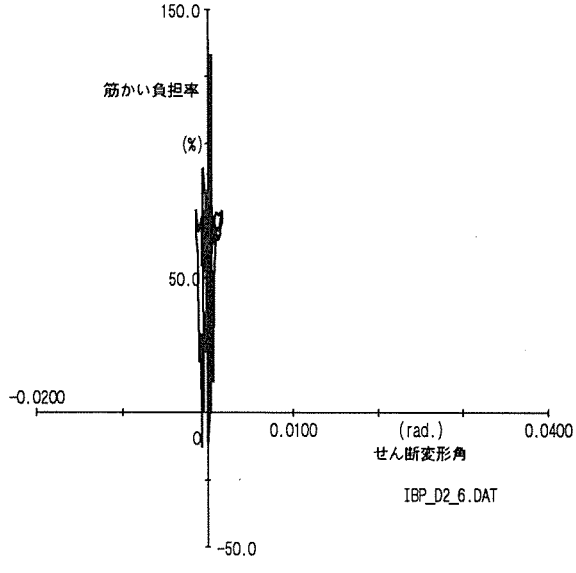
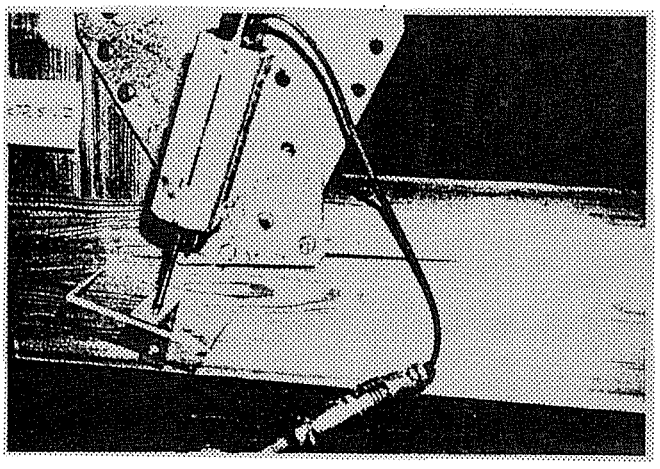
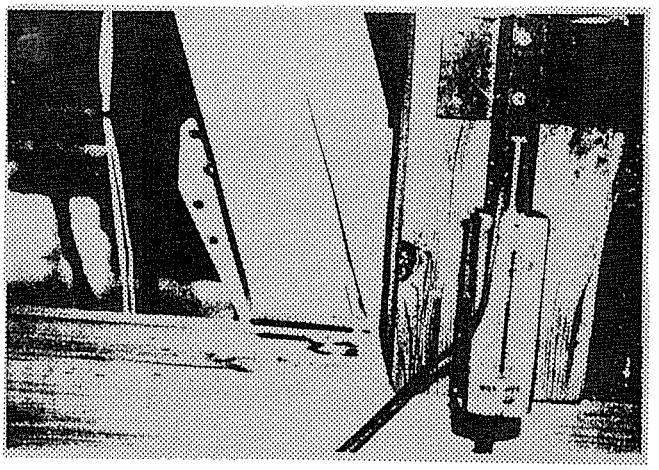


図４－26　筋かい負担率－変形角曲線(IBP，ベイマツ，2P)

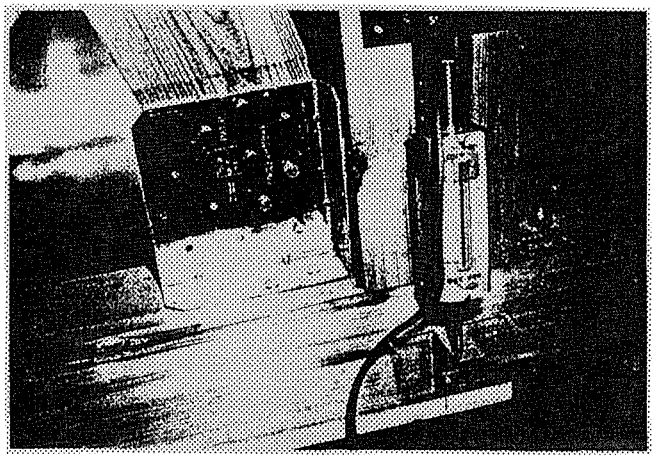


土台の割れ

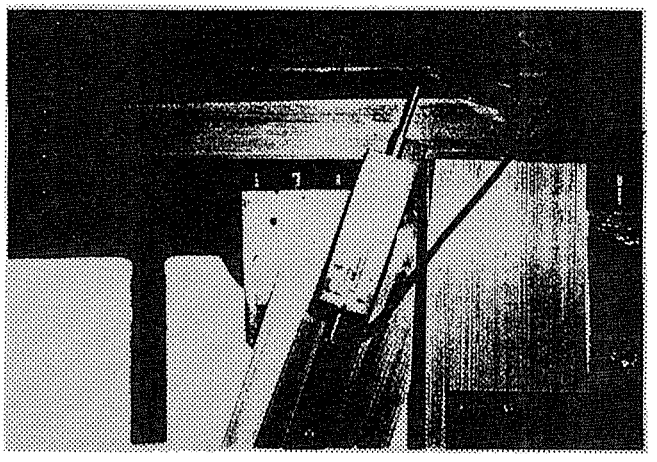


筋かい部での釘のせん断と割れ

写真４－１　ジャスティープレートの破壊状況（スギ、１Ｐ）

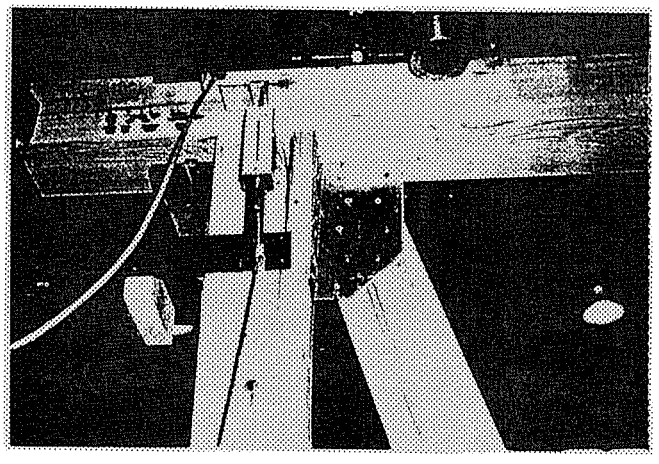


筋かい部での釘のせん断

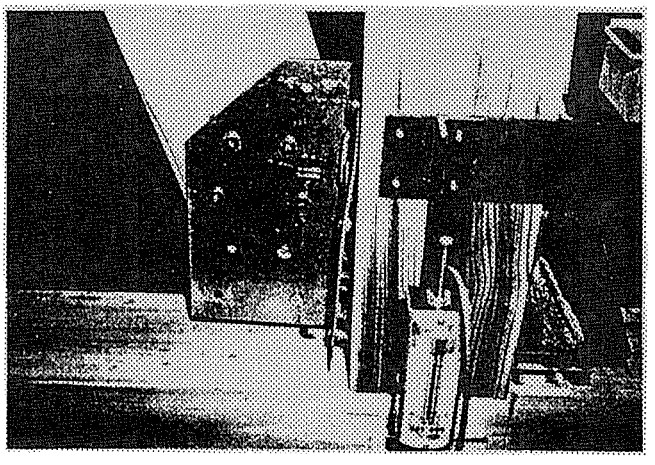


桁材からの釘の引抜け、金物の変形

写真４－２　ジャスティーガセットの破壊状況（スギ、１Ｐ）

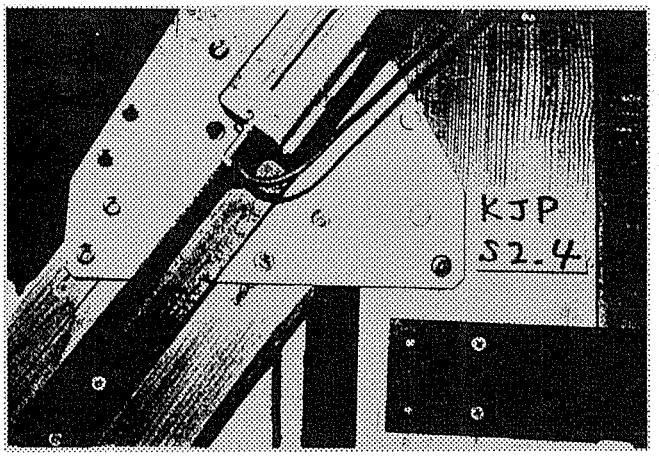


柱材の割れ

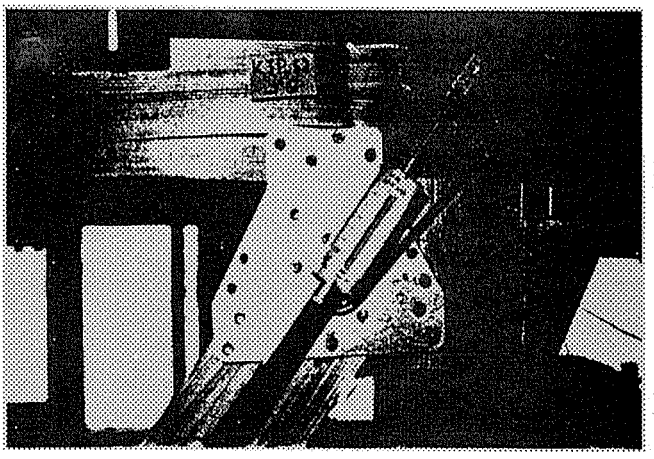


筋かい部でのビスのせん断、柱材からの金物・ビスの引抜け

写真４－３　筋かいプレートの破壊状況（スギ、１Ｐ）

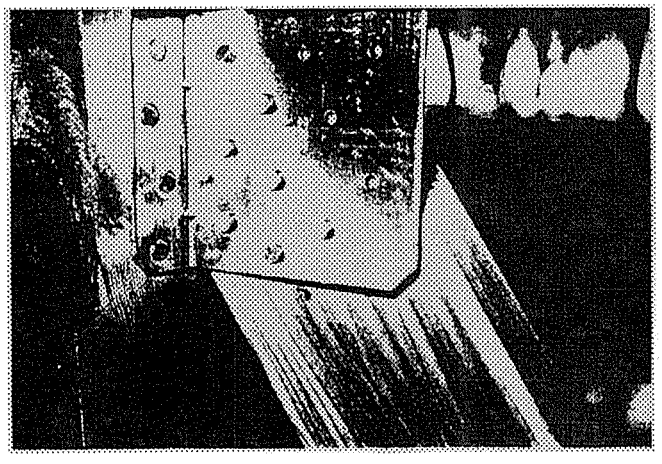


筋かい部の釘のせん断と割れ

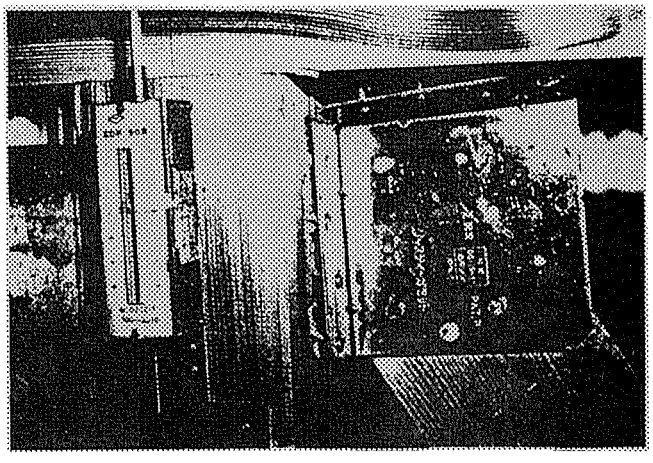


筋かい部の釘のせん断、桁材の割れ

写真４－４　ジャスティープレートの破壊状況（スギ、２Ｐ）

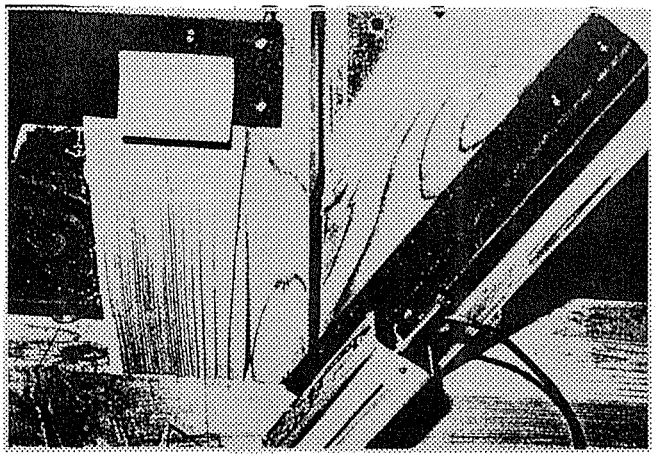


筋かい部での釘のせん断

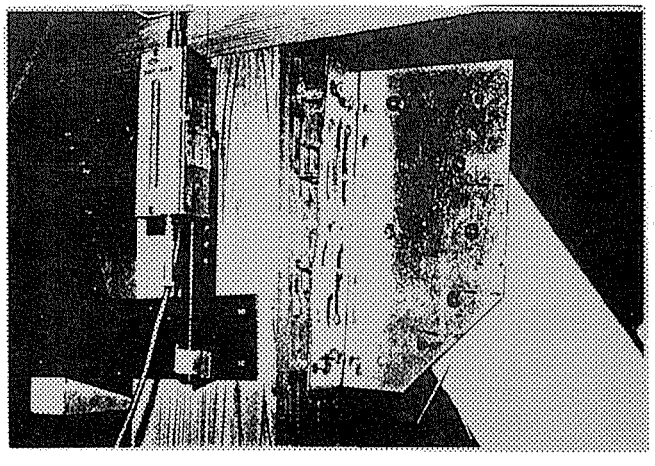


柱材・桁材からの釘のせん断を伴う引抜き、金物の変形

写真４－５　ジャスティーガセットの破壊状況（スギ、２Ｐ）

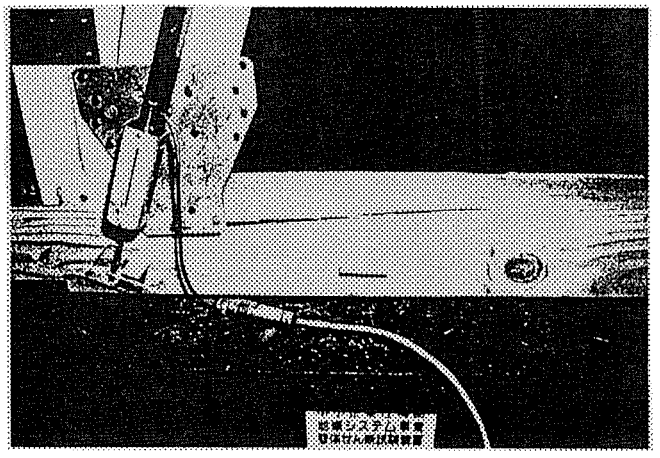


柱材下部の割れ

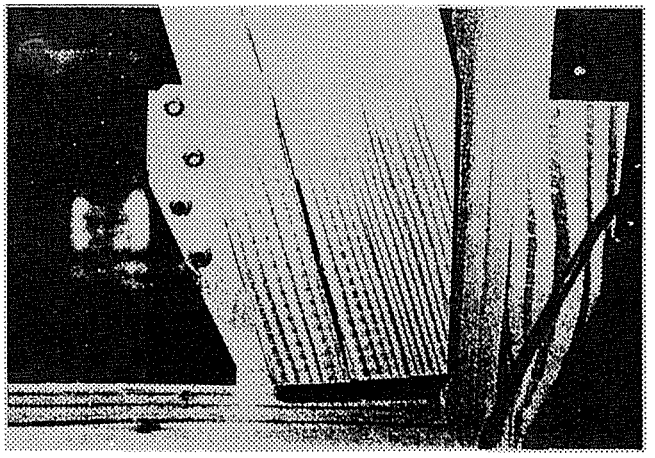


柱材からの金物・ビスの引抜け

写真４－６　筋かいプレートの破壊状況（スギ、２Ｐ）

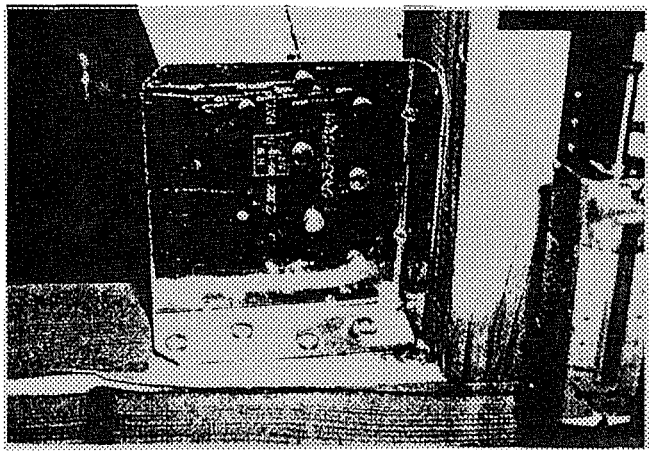


土台の割れ

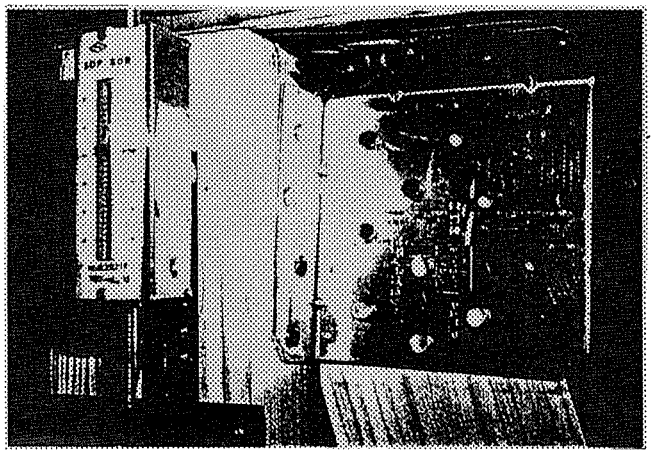


筋かい部の割れ

写真４－７　ジャスティープレートの破壊状況（ベイマツ、１Ｐ）

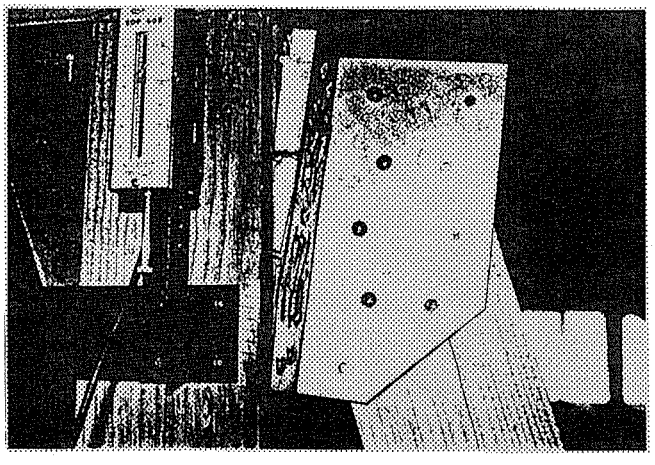


筋かい部の釘のせん断と割れ、金物の変形

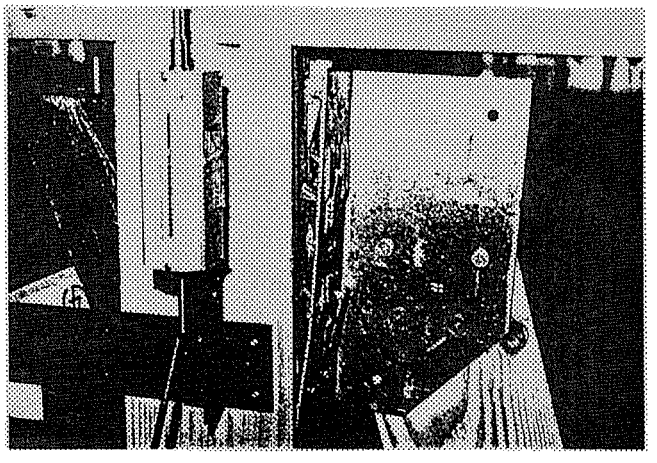


筋かい部の釘のせん断、桁材からの釘の引抜け、金物の変形

写真４－８　ジャスティーガセットの破壊状況（ベイマツ、１Ｐ）

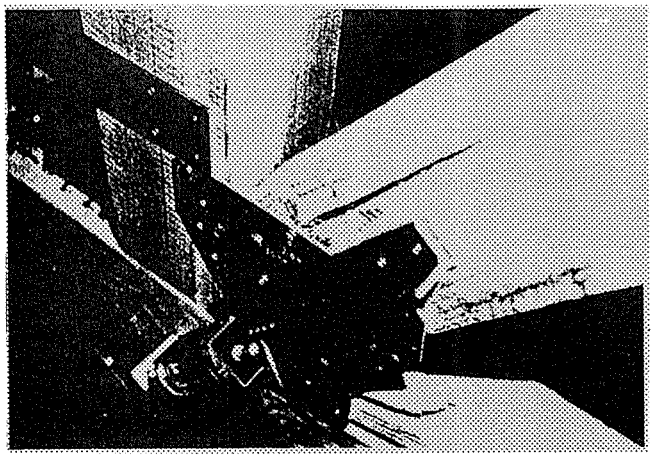


柱材上部の割れ

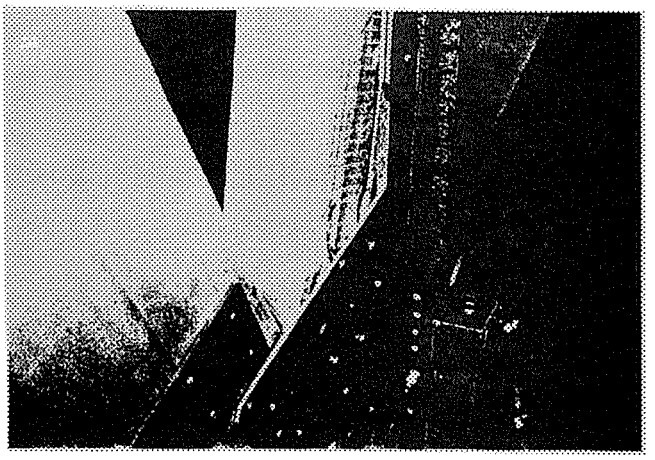


柱材からの金物・ビスの引抜け

写真４－９　筋かいプレートの破壊状況（ベイマツ、１Ｐ）

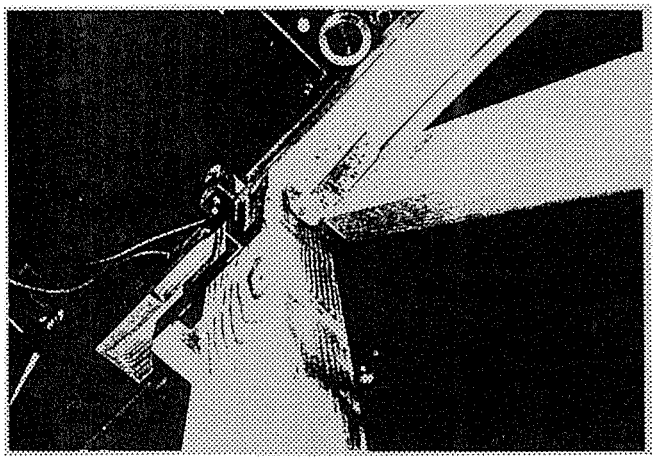


筋かい部の釘のせん断と割れ、土台の割れ

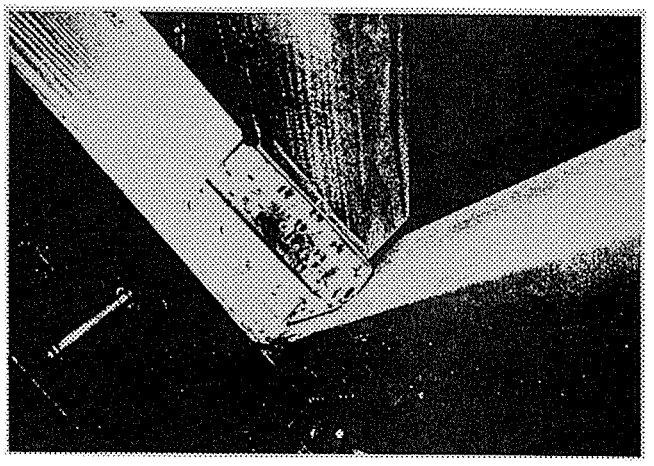


筋かい部の釘のせん断と割れ

写真４－10　ジャスティープレートの破壊状況（ベイマツ、２Ｐ）

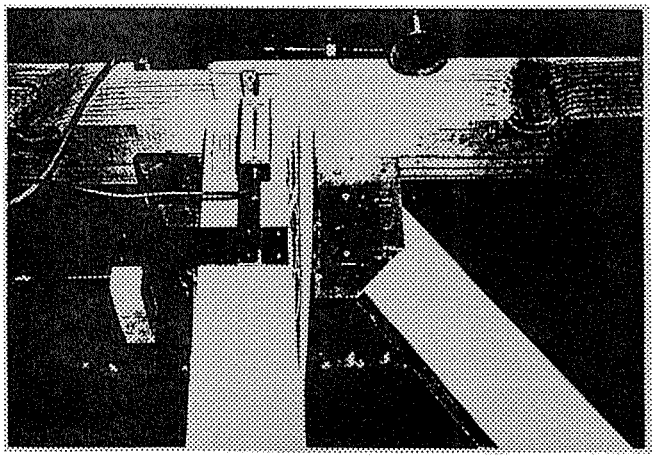


柱材上部からの釘の引抜け、金物の変形

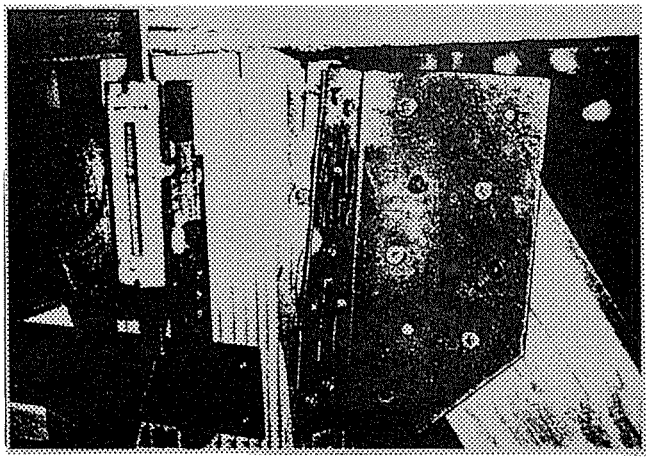


筋かい部の釘のせん断

写真４－11　ジャスティーガセットの破壊状況（ベイマツ、２Ｐ）



柱材上部の割れ



柱材からの金物・ビスの引抜け

写真４－12　筋かいプレートの破壊状況（ベイマツ、２Ｐ）

第４章　筋かい壁強度性能評価実験－かたぎ大入れびんた延ばし釘止め、ブレースボックス、ヘキサプレート、筋かいボックスによる接合

１．実験概要

圧縮筋かい付耐力壁はその筋かいの施工された方向により圧縮力が筋かいに作用する場合有効に水平力に抵抗する。地震力を想定した場合の水平力は交番荷重になり耐力壁もこれに応じていずれの方向にも抵抗できるよう、向きの異なった筋かいを持ったものを１対として設けることが耐力壁の設け方の基本である。

近年の住宅では敷地をはじめとする設計条件の制約により充分な構造計画的な検討を加えた上の耐力壁の配置が行われず施工される例も少なからずある。

従来圧縮力に抵抗する断面４．５×１０．５cm の筋かいの耐力壁について引張力が生じるように水平力を加え、筋かい端部の接合法（４種）、材種（２種）さらに耐力壁の巾（1820mm, 910mm）、単調増加と暫増繰り返しの加力方法を変えて、その変形性状や耐力について比較し、さらにJISA1414に従い壁倍率を求め引張筋交いの定量化について検討することを目的とした。

２　試験体及び実験方法

２．１　　試験体形状寸法及び試験体数

試験体寸法は、実寸法1820×2730ｍｍと実寸法910×2730ｍｍの２タイプとし、柱、桁と土台は 105×105mm､筋かいには45×105mmを用いた。使用材種はスギ（Ｃ）、米マツ（Ｄ）の２種類を用いた。接合金物は図２．４に示すように、かたぎ大入れびんた延ばし釘（Ｎ７５）止め（Ｎタイプ）、ブレースボックス（Ｂタイプ）、２倍筋かい金具（Ｐタイプ）、ヘキサプレート（Ｈタイプ）の４種類である。柱と桁、土台の接合は柱による短ほぞさし（90×30×80mm）とし、ＨＤ－Ｎ１５ タイプのホールダウン金物を柱外側に釘打ちし、桁及び土台に緊結した。アンカーボルトは柱芯より200mm外側位置に16φボルトにより反力フレームに緊結した。試験体数は各接合方法を３体を基本として、各材種、各載荷方法、各試験体寸法により合計９６体実験を行った。

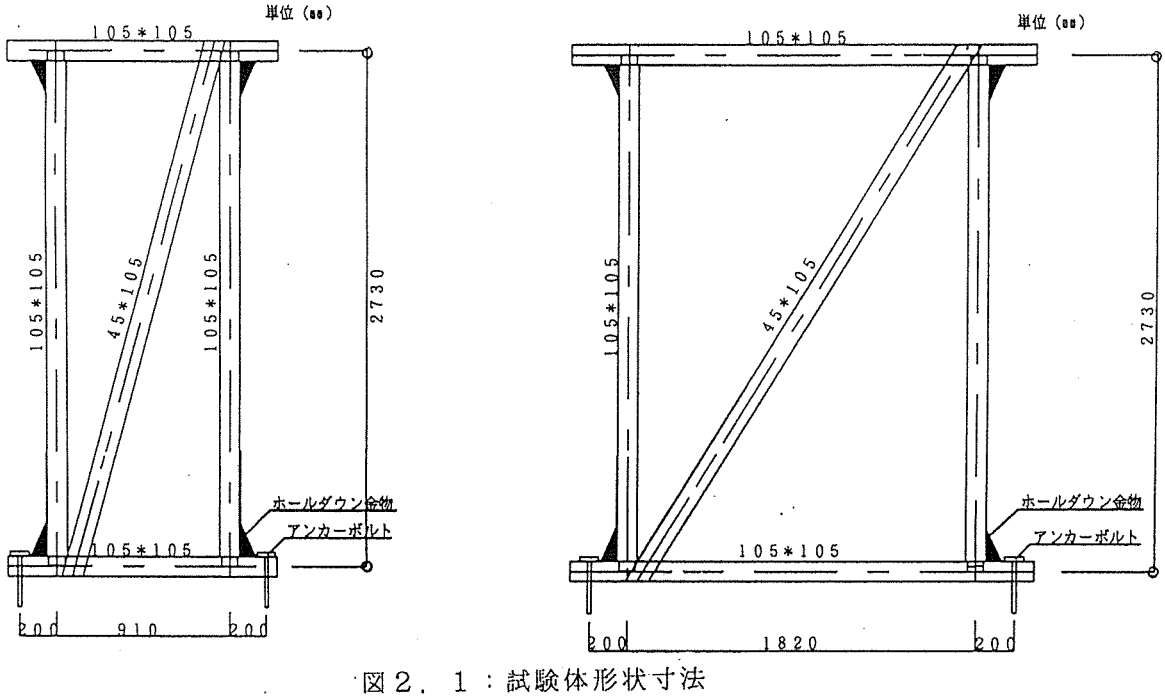


図２．１：試験体形状寸法

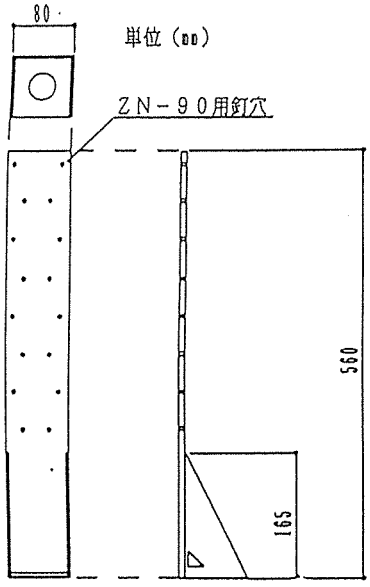


図２．２：ホールダウン金物詳細

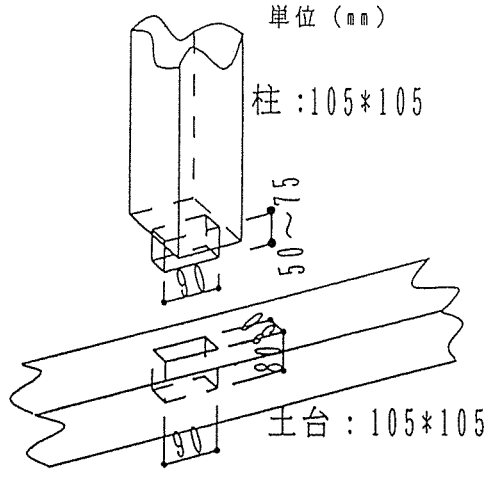
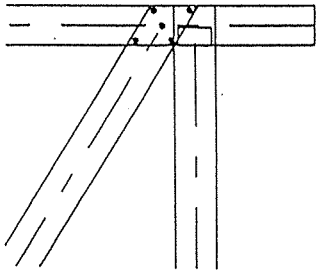
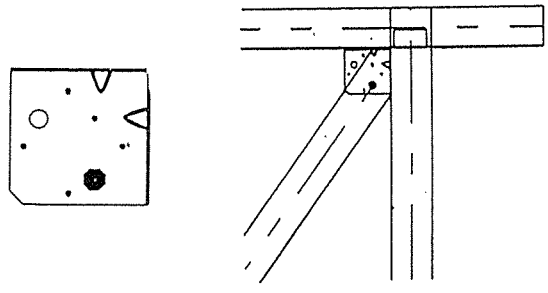


図２．３：柱の短ほぞ詳細



接合部（N）かたぎ大入れびんた延ばし

釘　N－75　　5本

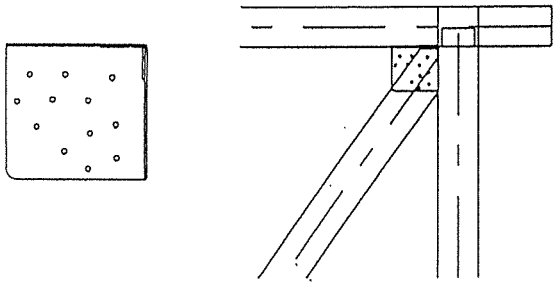


接合部（B）：ブレースボックス

ボルト　座付平頭ボルト　1本

釘　スクリュー釘　BN－60　　10本　　*柱・梁　接合部

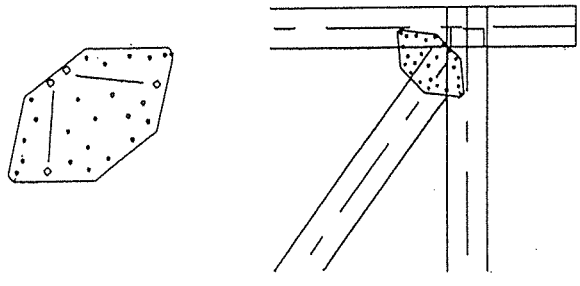
スクリュー釘　ZN－40　　3本　　*筋かい接合部



接合部（P）：２倍筋かい金具　(HW 93－12－1)

釘　スクリュー釘　ZS－50　　8本　　*梁・柱接合部

スクリュー釘　TS－45　　7本　　*筋かい接合部



接合部（H）：ヘキサプレート

釘　スクリュー釘　TS－45　　17本

図２．４：筋かい接合部詳細

2．2　実験方法

2．2．1　実験方法概要

試験体を反力フレーム内に設置し、試験体の土台にはアンカーボルトを柱芯から200mmの場所に先もみしたボルト穴に取り付け、筋かいにはロードセル（図2．7）を取り付けた。水平加力用油圧ジャッキ検力用（ロードセル付き）を用い梁端部の軸芯を加力した。変位及び接合部スリップの計測は図2．5に示す11点と、筋かいのロードセルにより、筋かいの軸力を測定した。加力方法は単調載荷（T），漸増繰り返し載荷（C）とし、漸増繰り返し載荷は、概ね最大耐力の1/5, 2/5, 3/5を目安に繰り返し加力を行うことにした。結果の表示は図2．6に示めす。

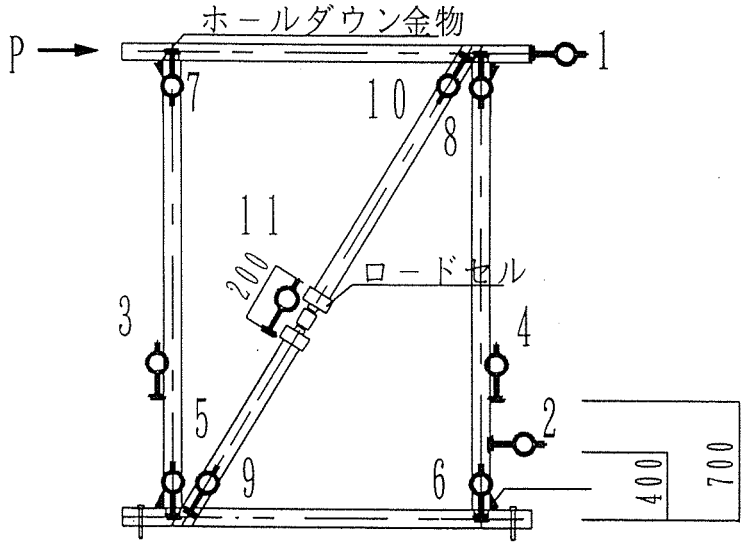


図2．5：実験方法概要

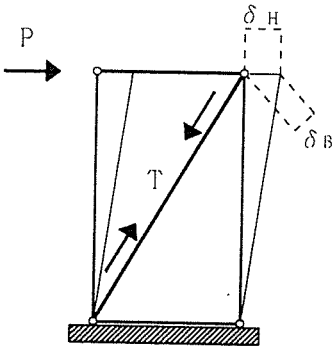


図2．6：結果表示

試験体名称の意味

例

T	C	D	N
1	2	3	4

1　載荷方式　　（T：単調載荷，C：漸増繰り返し載荷）

2　材種　　（C：スギ，D：米マツ）

3　試験形状　　（D＝1820×2730mm，S＝910×2730mm）

4　筋かい接合方法（※図　2．4　参照）

2．2．2　ロードセルつかみ治具取り付け手順

まず筋かい中間部の軸力検力用のロードセルの取り付けは図2．7のつかみ治具を用い以下の手順で行った。筋かいの材軸のずれとロードセル取り付け部のあそびを極力なくすことに注意した。まず反力フレーム内に設置する。次に試験体の筋かい中央部を切断する。なお切断時に中心軸がずれないように前もってガイドを付けた。ロードセルの取り付けを行い遊びが生じないようにつかみ治具を締め付けロードセル部のボルトにより微調整をし、筋かいを固定していた。

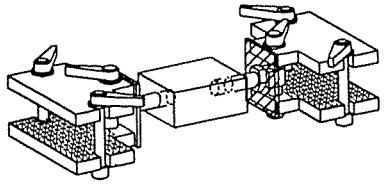


図2．7：ロードセルつかみ治具詳細

3　材料実験

実験に用いた試験体から取り出した試験片（平均4.5×5.0×10.0ｃｍ）の圧縮試験は万能試験機（50ｔ容量）により加力した。また、実験結果の平均を表3．1（フレームについては２０体を任意に抽出したものである。）に示した。筋かいに用いられた材料についての圧縮強度と含水率についての分布状況を図3．1に示す。

表3．1　試験体の圧縮強度と含水率の関係

	すぎ	米マツ
	フレーム	
含水率(%)	14	17
圧縮強度(kg/cm²)	292.6	418.3
	すじかい	
含水率(%)	11	12
圧縮強度(kg/cm²)	292.4	470.7
比重	0.36	0.54

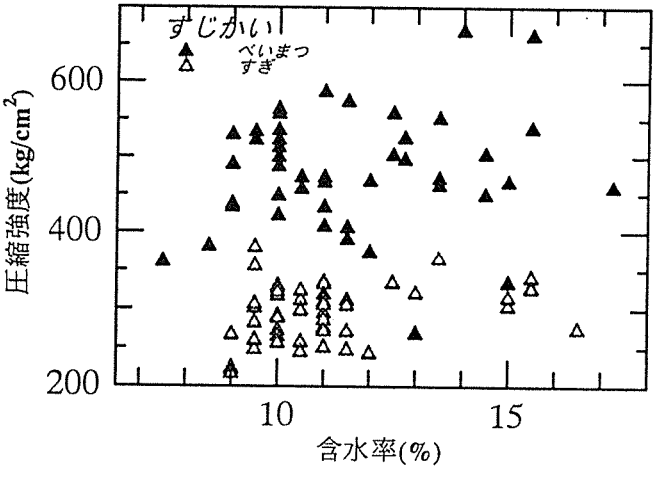


図3．1　分布状況

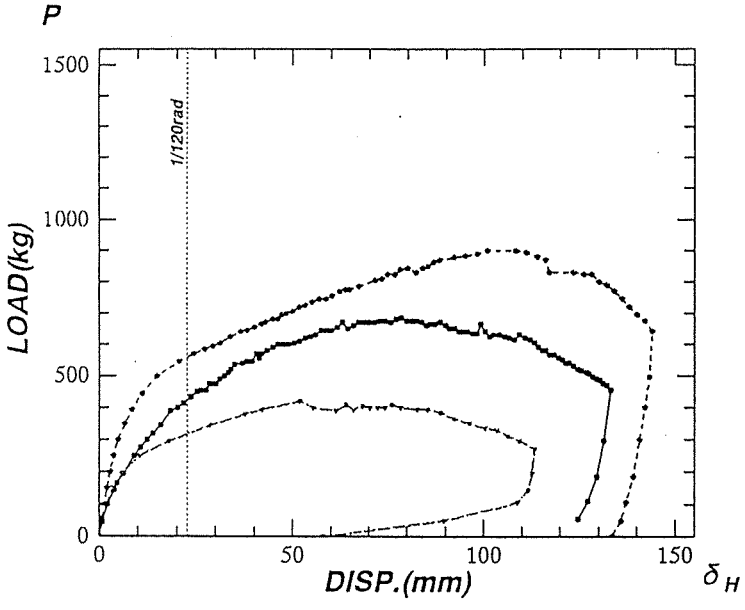
4　実験結果

4．1　タイプ別結果

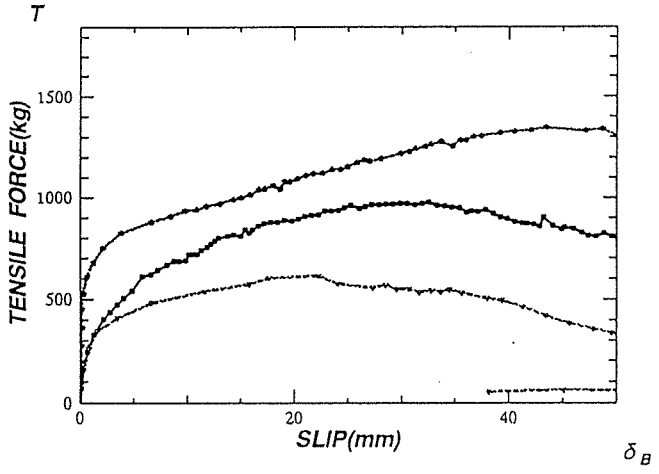
以下に材種別、形状寸法別、使用金物別の水平荷重における水平変位の関係、筋かいに生じる軸力と両端部のスリップの関係のグラフを載荷方法ごとに3体にまとめて示し、破壊の概要と代表的なその状況を図示した。

すぎ・１８２０ｍｍ巾（金具：大入れビンタ　釘止め）　ＴＣＤＮ　ＣＣＤＮ試験体

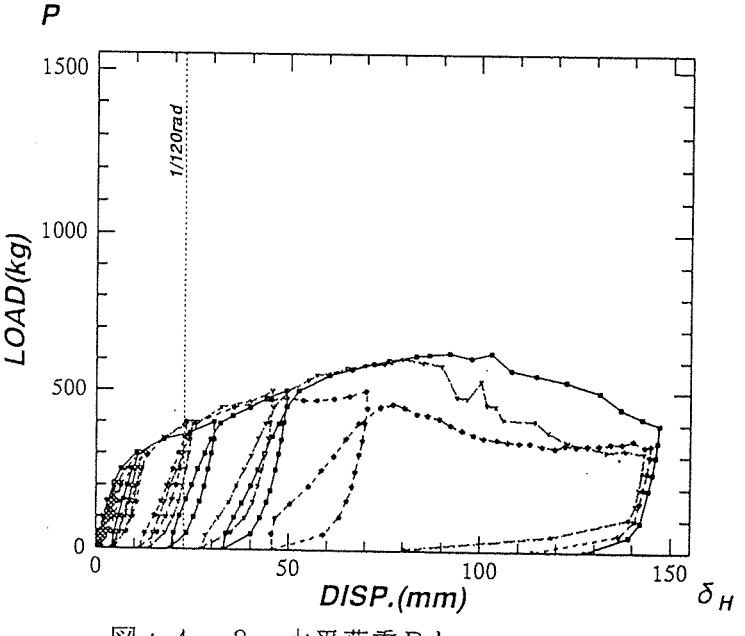
単調載荷（図４．１及び図４．２）　漸増載荷（図４．３及び図４．４）



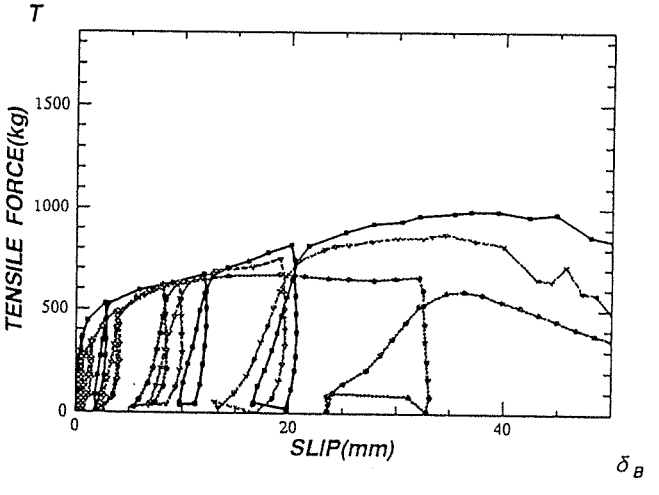
図：４．１　水平荷重Ｐと
水平変位δHの関係



図：４．２　筋かいの軸力Ｔと
両端部のスリップ



図：４．３　水平荷重Ｐと
水平変位δHの関係

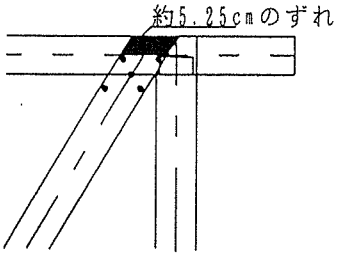


図：４．４　筋かいの軸力Ｔと
両端部のスリップ

破壊状況

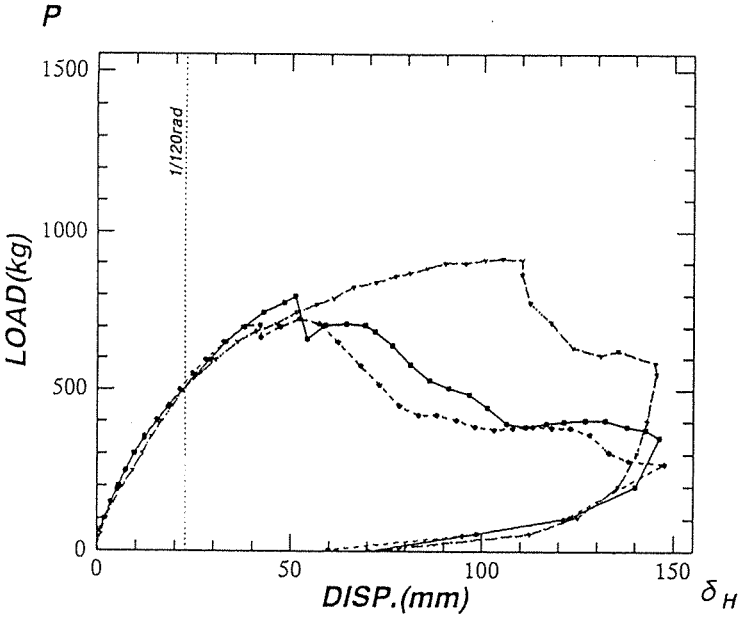
・切り欠き部からの筋かい部のずれ

（上端部４体　下端部１体　両端部１体）

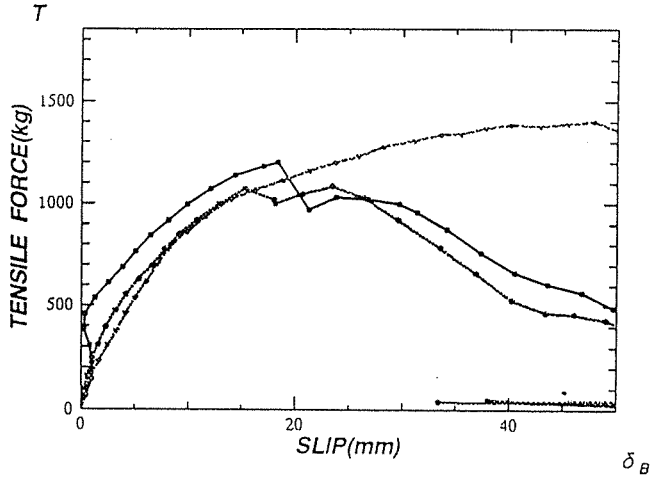


すぎ・１８２０ｍｍ巾（金具：ブレースボックス）　ＴＣＤＢ　ＣＣＤＢ試験体

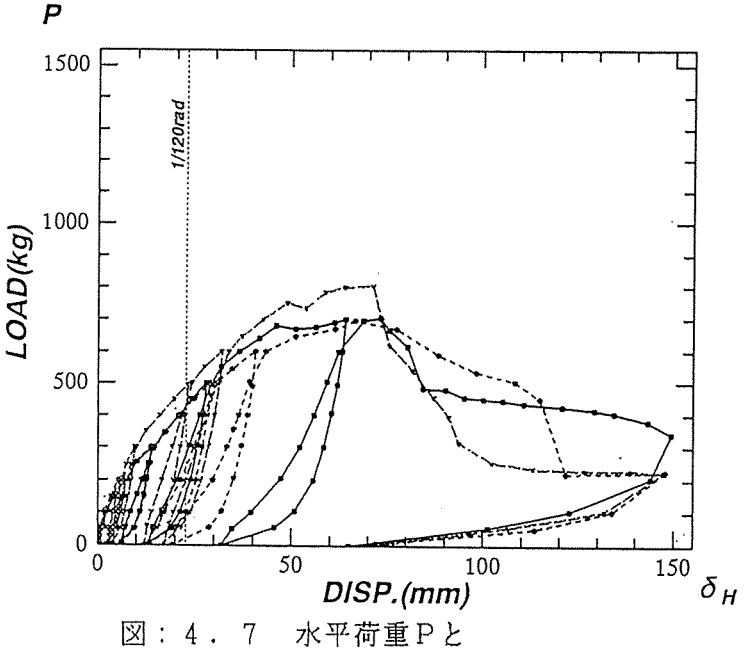
単調載荷（図４．５及び図４．６）　漸増載荷（図４．７及び図４．８）



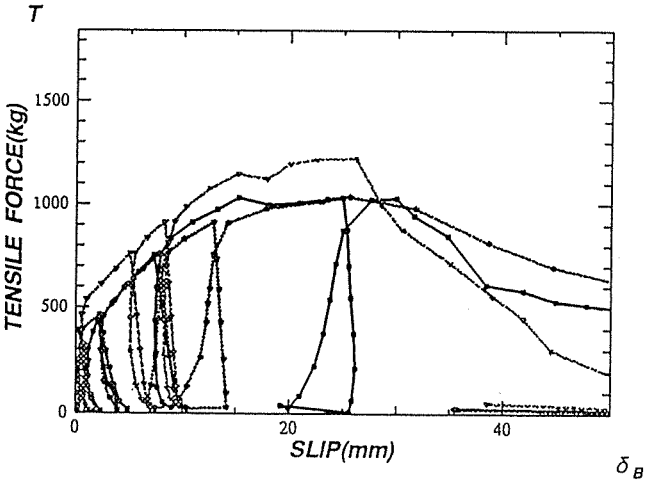
図：４．５　水平荷重Ｐと
水平変位δ$_H$の関係



図：４．６　筋かいの軸力Ｔと
両端部のスリップ



図：４．７　水平荷重Ｐと
水平変位δ$_H$の関係

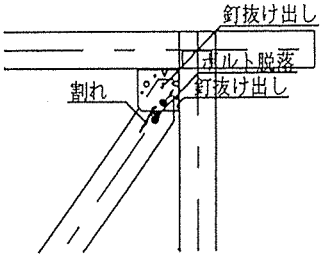


図：４．８　筋かいの軸力Ｔと
両端部のスリップ

破壊状況

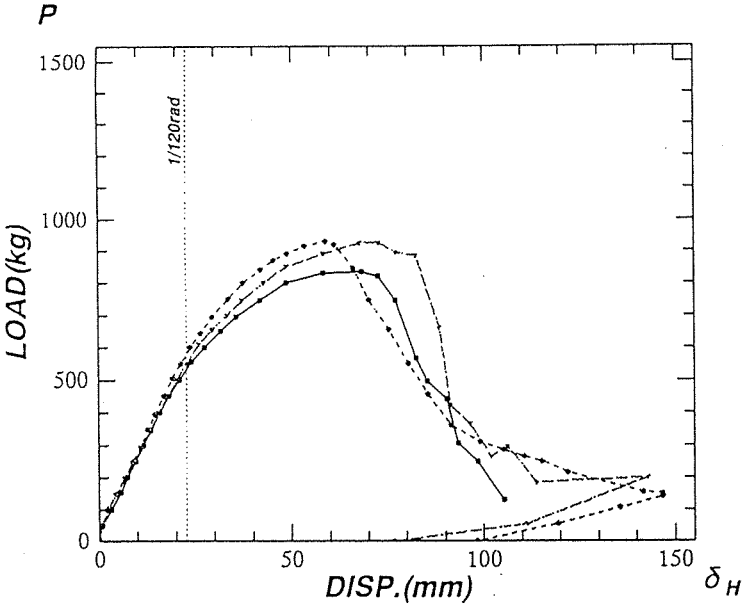
・柱、梁からの金具のずれなし

・金具からの筋かいのずれ（上端部５体　下端部１体）

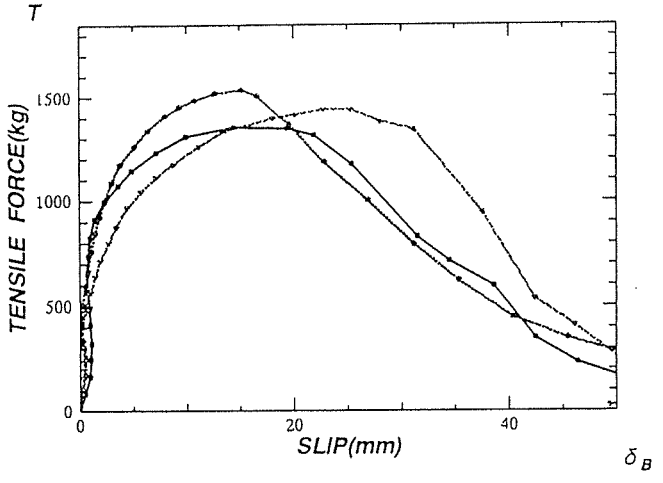


すぎ・１８２０ｍｍ巾（金具：２倍筋かい金具）　ＴＣＤＰ　ＣＣＤＰ試験体

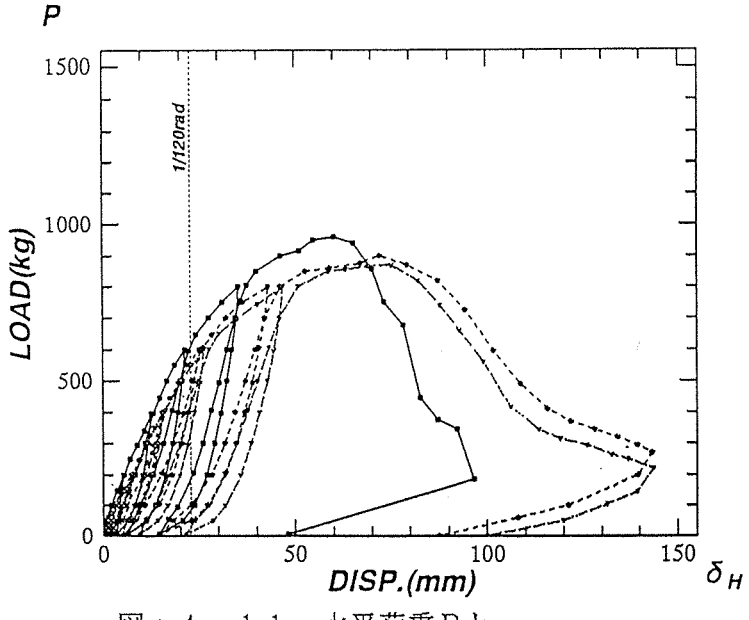
単調載荷（図４．９及び図４．１０）　漸増載荷（図４．１１及び図４．１２）



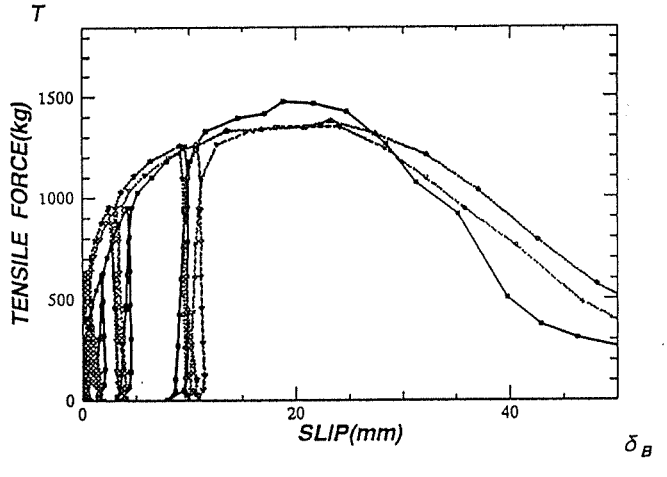
図：４．９　水平荷重Ｐと水平変位δHの関係



図：４．１０　筋かいの軸力Ｔと両端部のスリップ



図：４．１１　水平荷重Ｐと水平変位δHの関係

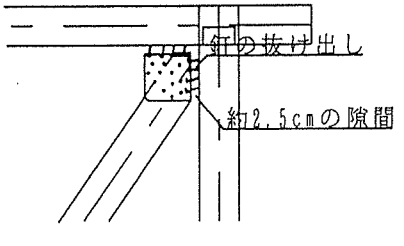


図：４．１２　筋かいの軸力Ｔと両端部のスリップ

破壊状況

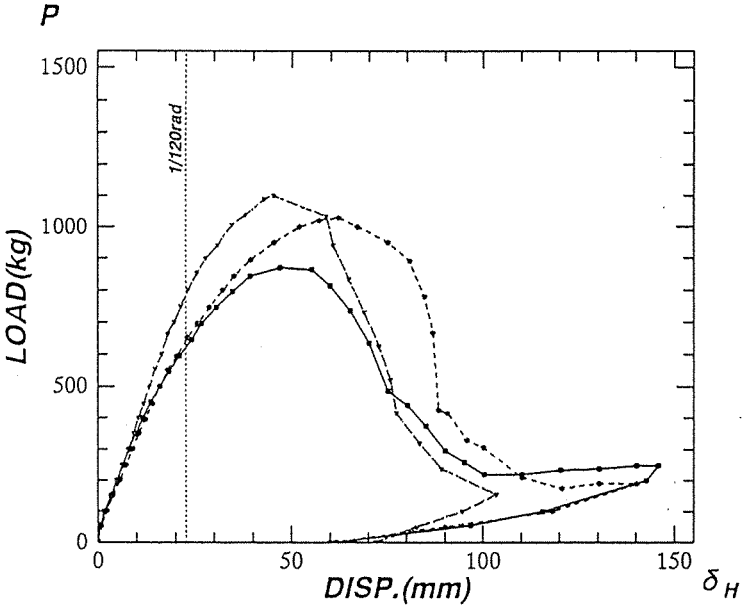
・柱、梁からの金具のずれ（上端部３体　下端部０体）

・金具からの筋かいのずれ（上端部１体　下端部２体）

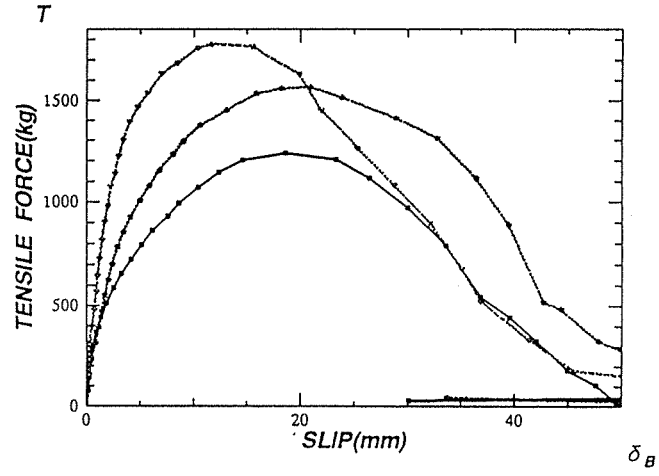


すぎ・１８２０mm巾（金具：ヘキサプレート）　ＴＣＤＨ　ＣＣＤＨ試験体

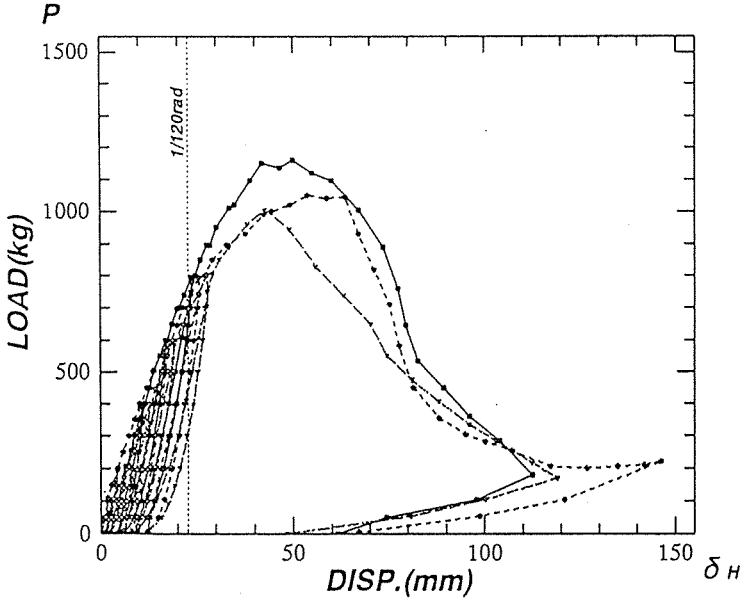
単調載荷（図４．１３及び図４．１４）　漸増載荷（図４．１５及び図４．１６）



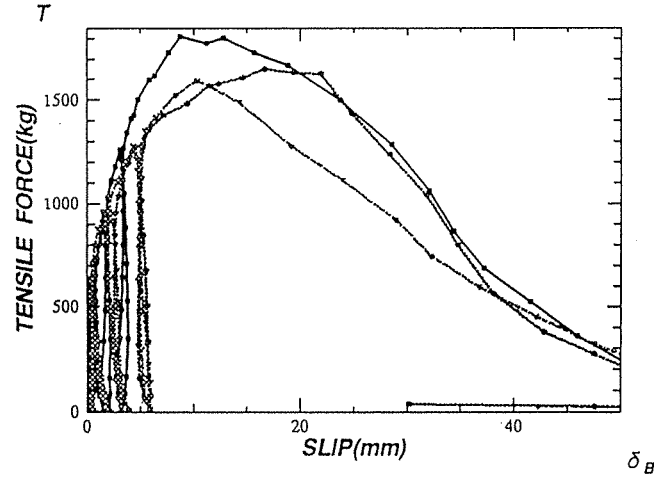
図：４．１３　水平荷重Ｐと水平変位δHの関係



図：４．１４　筋かいの軸力Ｔと両端部のスリップ



図：４．１５　水平荷重Ｐと水平変位δHの関係



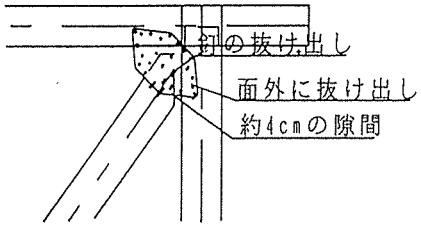
図：４．１６　筋かいの軸力Ｔと両端部のスリップ

破壊状況

・柱、梁からの金具のずれなし

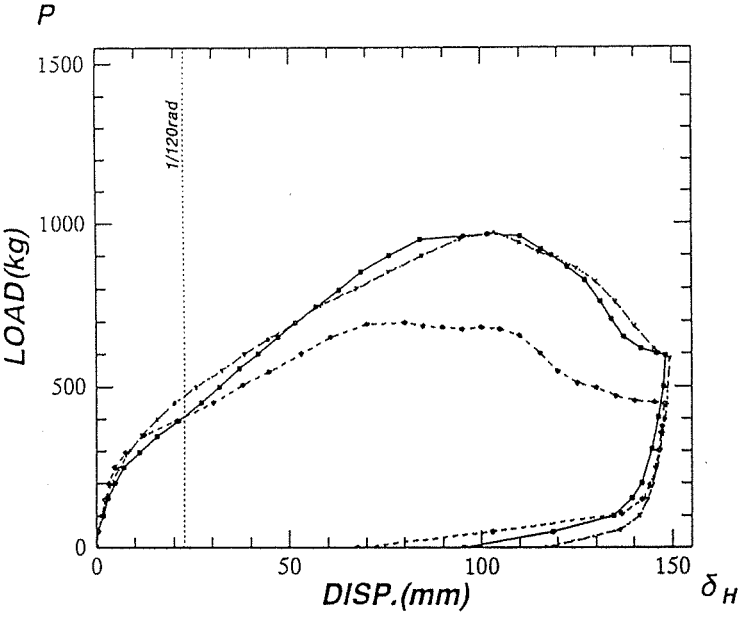
・金具からの筋かいのずれ（上端部４体　下端部２体）

・接合金物付近のひび割れ

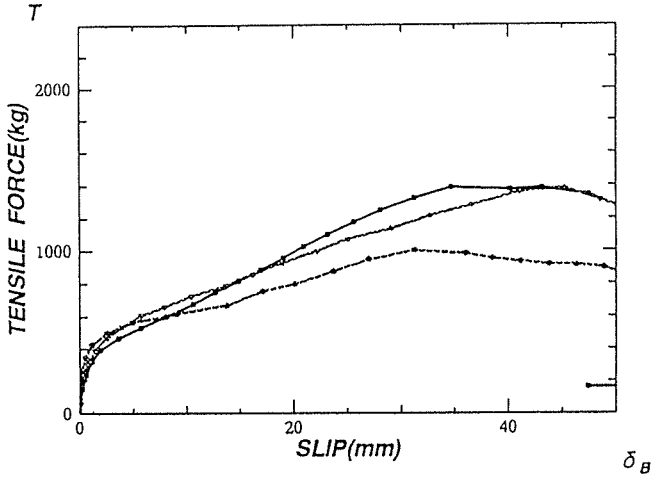


米マツ・１８２０ｍｍ巾（金具：大入れビンタ　釘止め）　ＴＤＤＮ　ＣＤＤＮ試験体

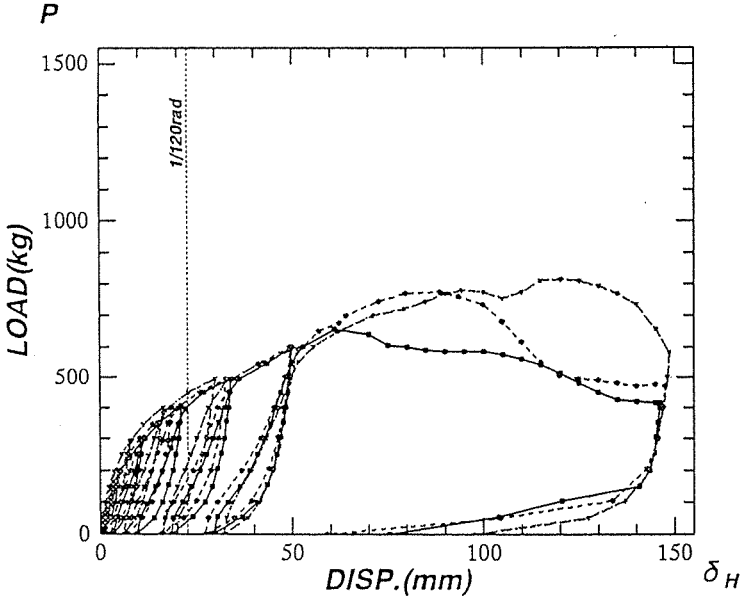
単調載荷（図４．１７及び図４．１８）　漸増載荷（図４．１９及び図４．２０）



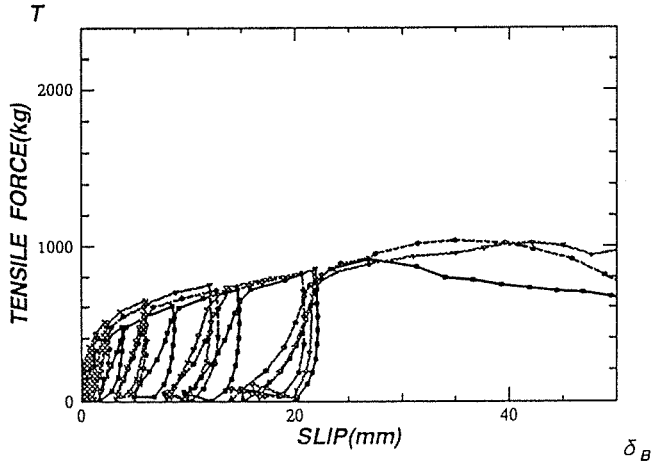
図：４．１７　水平荷重Ｐと
水平変位δHの関係



図：４．１８　筋かいの軸力Ｔと
両端部のスリップ



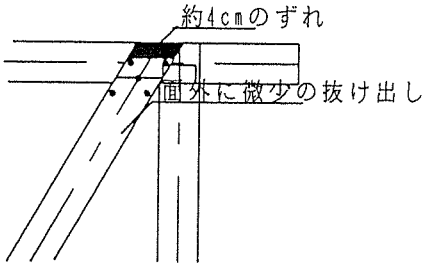
図：４．１９　水平荷重Ｐと
水平変位δHの関係



図：４．２０　筋かいの軸力Ｔと
両端部のスリップ

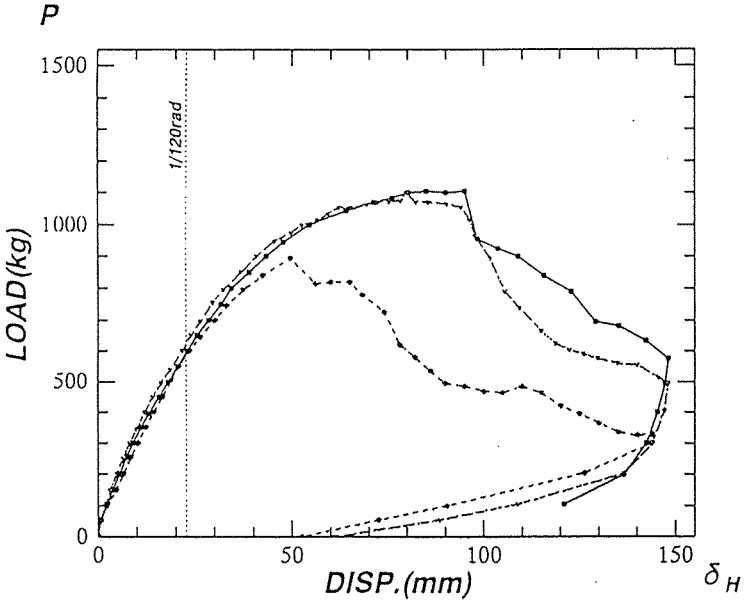
破壊状況

・切り欠き部からの筋かいのずれ
（両端部６体）

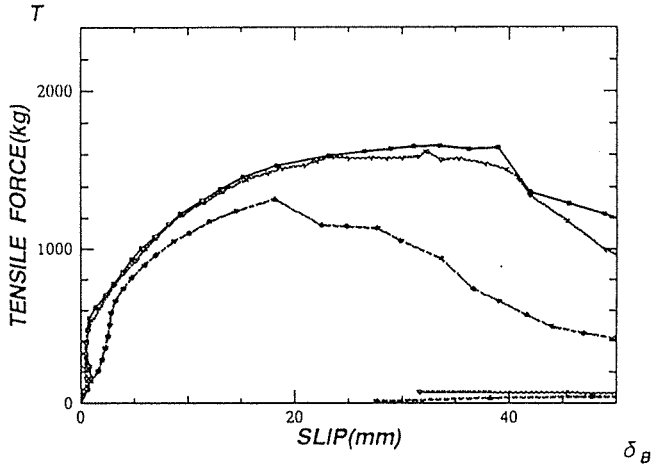


米マツ・１８２０ｍｍ巾（金具：ブレースボックス）　ＴＤＤＢ　ＣＤＤＢ試験体

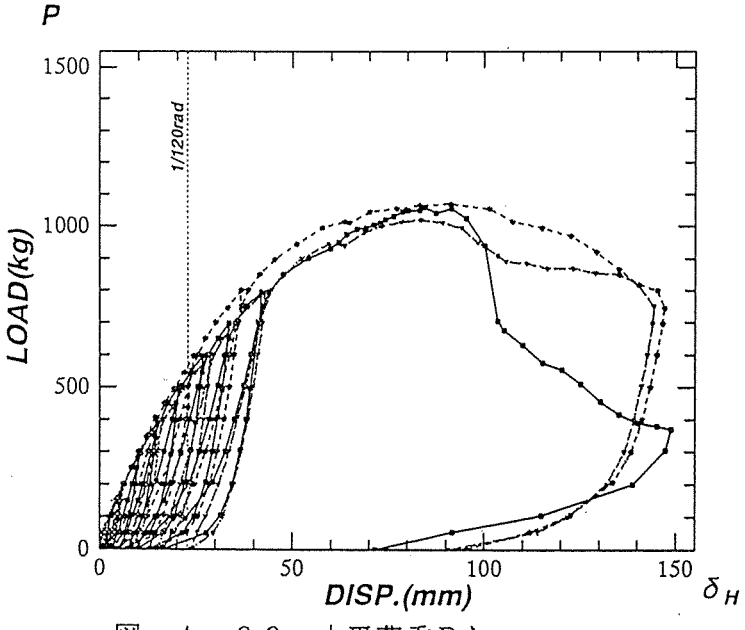
単調載荷（図４．２１及び図４．２２）　漸増載荷（図４．２３及び図４．２４）



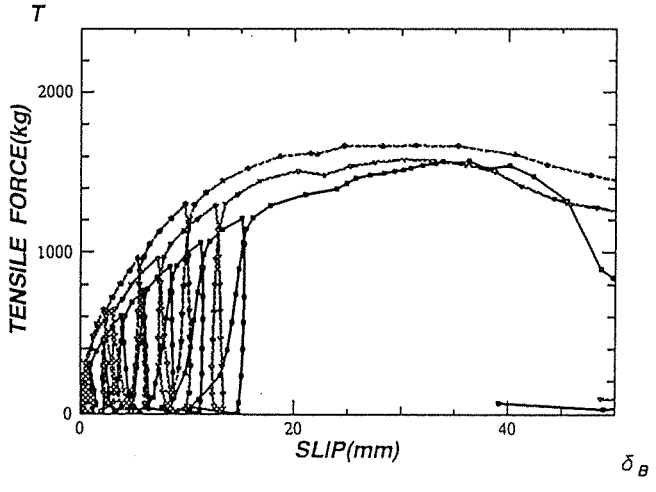
図：４．２１　水平荷重Ｐと
水平変位δHの関係



図：４．２２　筋かいの軸力Ｔと
両端部のスリップ



図：４．２３　水平荷重Ｐと
水平変位δHの関係



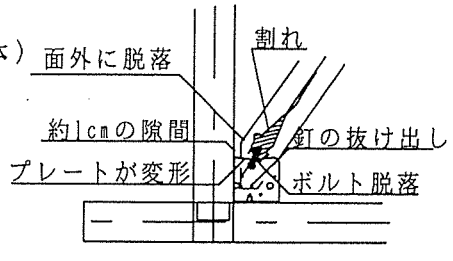
図：４．２４　筋かいの軸力Ｔと
両端部のスリップ

破壊状況

・柱、梁からの金具のずれ（上端部１体　下端部１体）

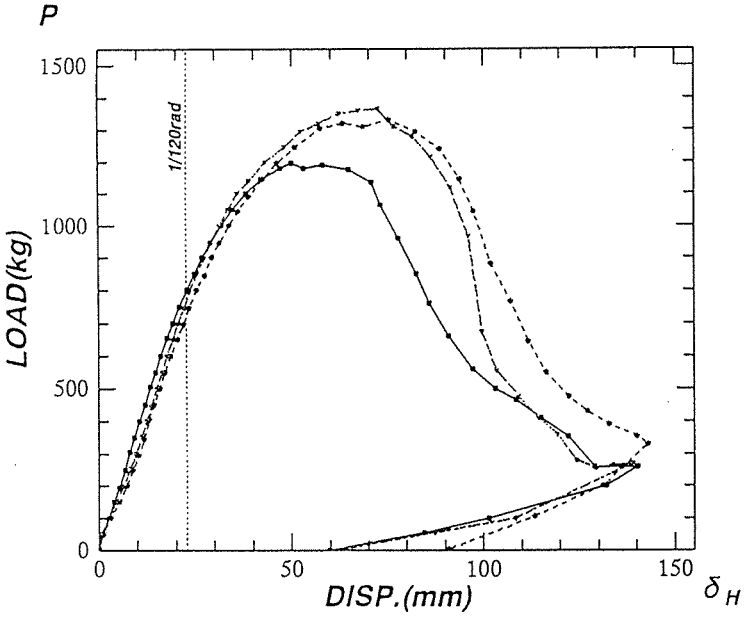
・金具からの筋かいのずれ（上端部２体　下端部１体　両端部１体）

そのうちボルト部分からひび割れ（上端部２体　下端部１体）

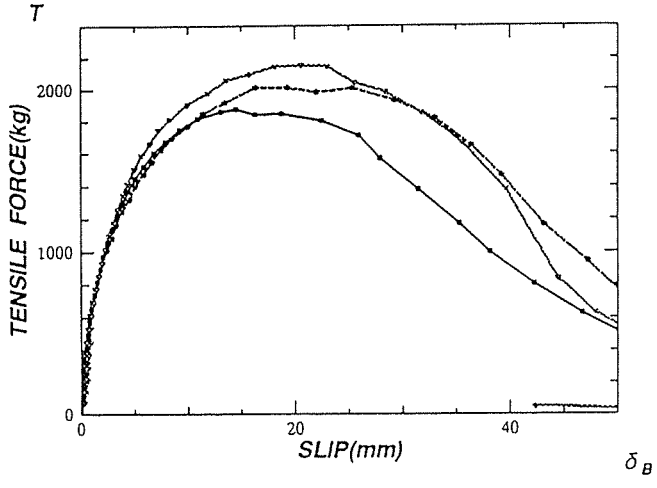


米マツ・１８２０ｍｍ巾（金具：２倍筋かい金具）　ＴＤＤＰ　ＣＤＤＰ試験体

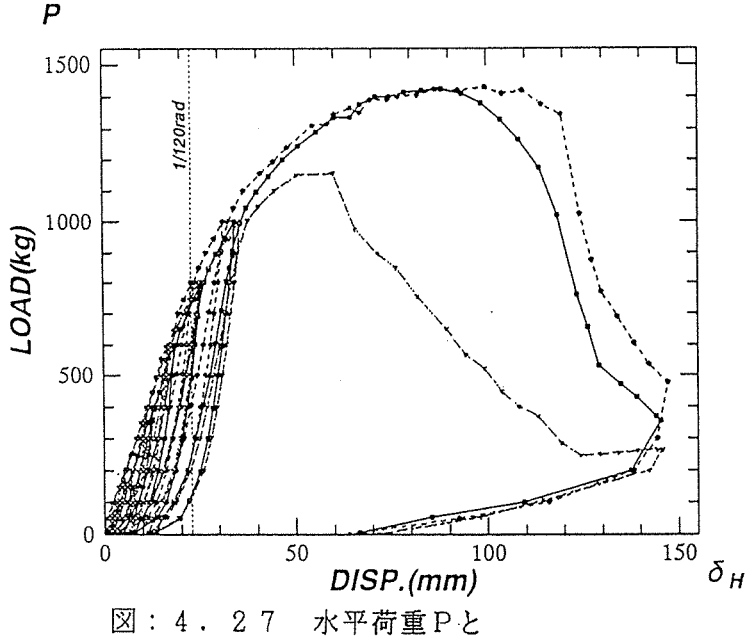
単調載荷（図４．２５及び図４．２６）　漸増載荷（図４．２７及び図４．２８）



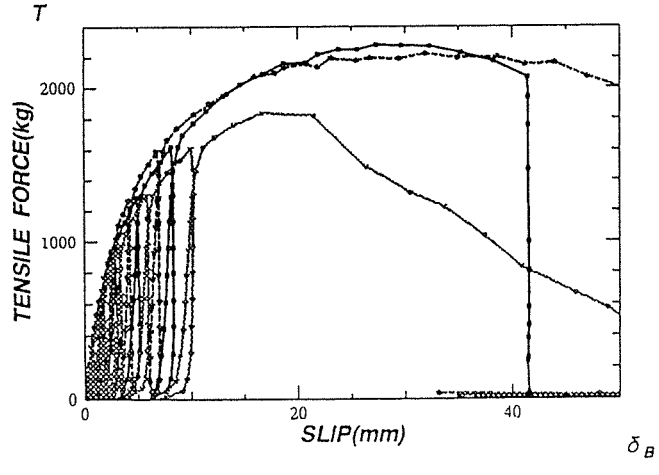
図：４．２５　水平荷重Ｐと
水平変位δHの関係



図：４．２６　筋かいの軸力Ｔと
両端部のスリップ



図：４．２７　水平荷重Ｐと
水平変位δHの関係

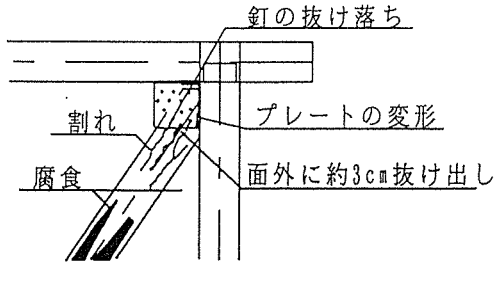


図：４．２８　筋かいの軸力Ｔと
両端部のスリップ

破壊状況

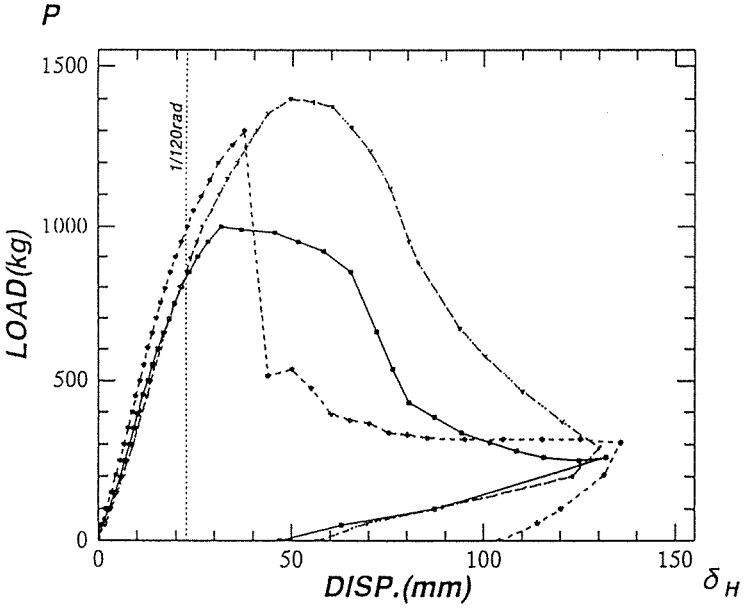
・柱、梁からの金具のずれ（上端部３体　下端部１体）

・金具からの筋かいのずれ（上端部１体　下端部１体）

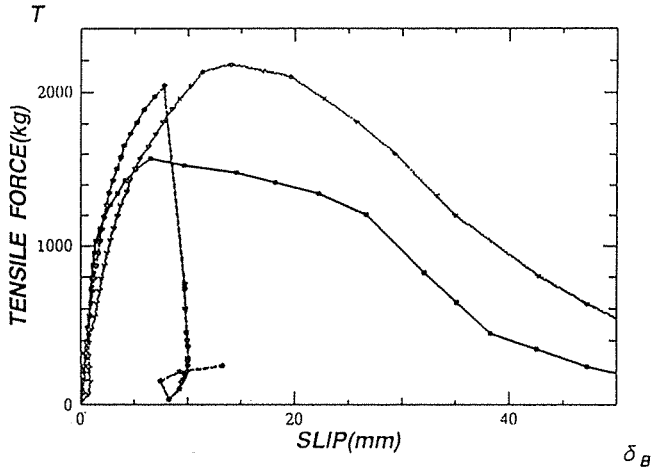


米マツ・１８２０ｍｍ巾（金具：ヘキサプレート）　ＴＤＤＨ　ＣＤＤＨ試験体

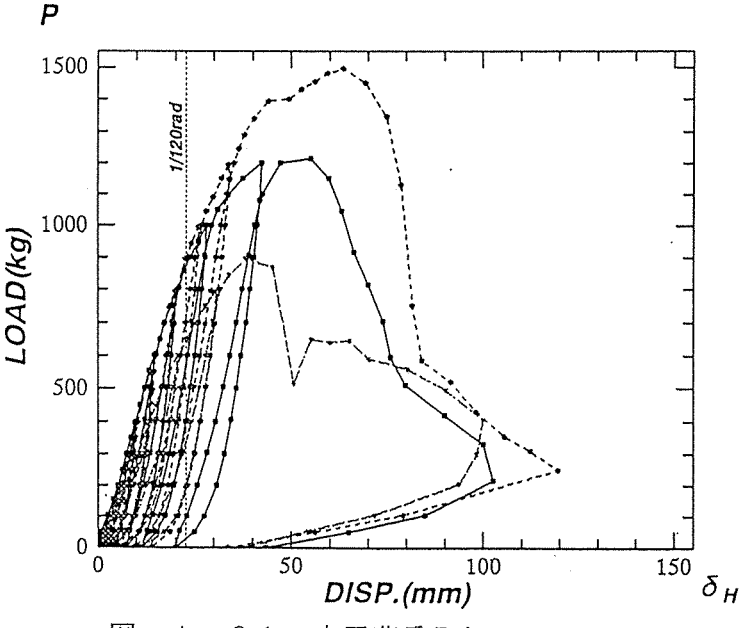
単調載荷（図４．２９及び図４．３０）　漸増載荷（図４．３１及び図４．３２）



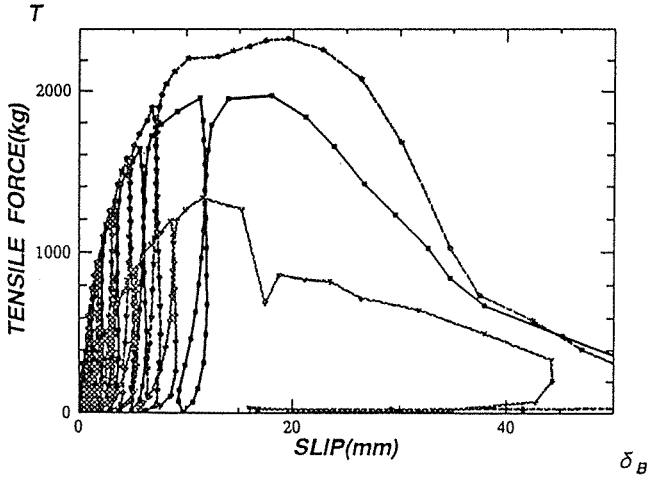
図：４．２９　水平荷重Ｐと
水平変位δHの関係



図：４．３０　筋かいの軸力Ｔと
両端部のスリップ



図：４．３１　水平荷重Ｐと
水平変位δHの関係

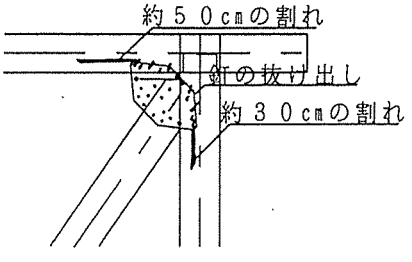


４．３２　筋かいの軸力Ｔと
両端部のスリップ

破壊状況

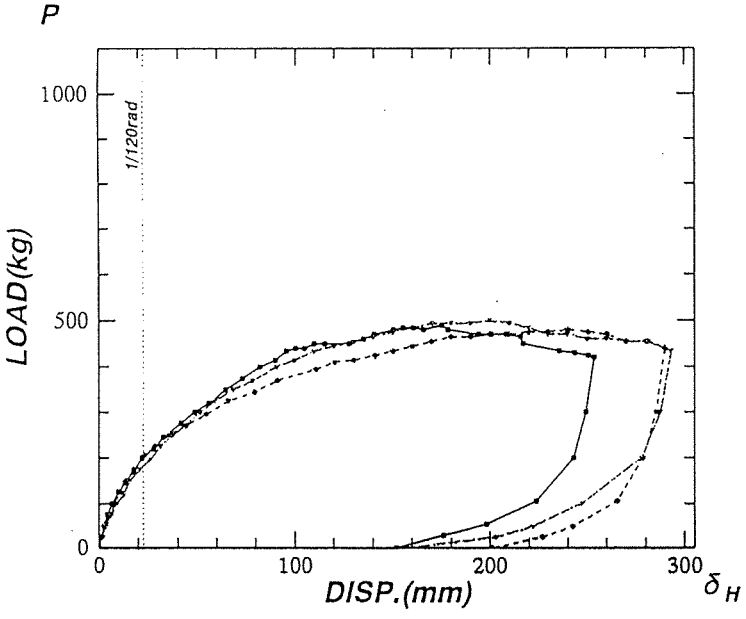
・柱、梁からの金具のずれ（上端部１体　下端部３体）

・筋かい端部のひび割れ

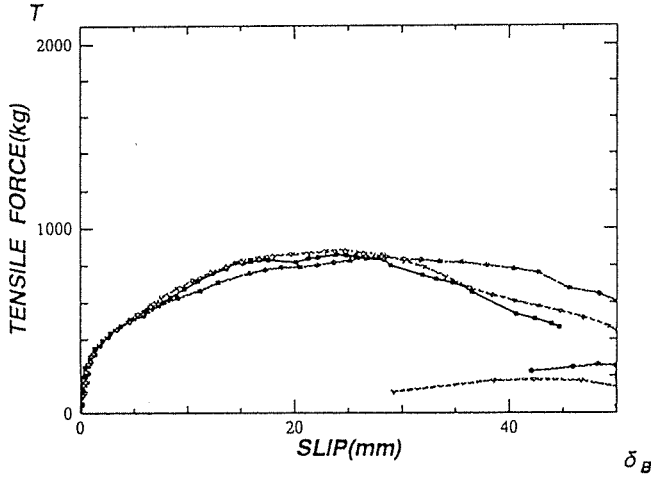


すぎ・９１０ｍｍ巾（金具：大入れビンタ　釘止め）　ＴＣＳＮ　ＣＣＳＮ試験体

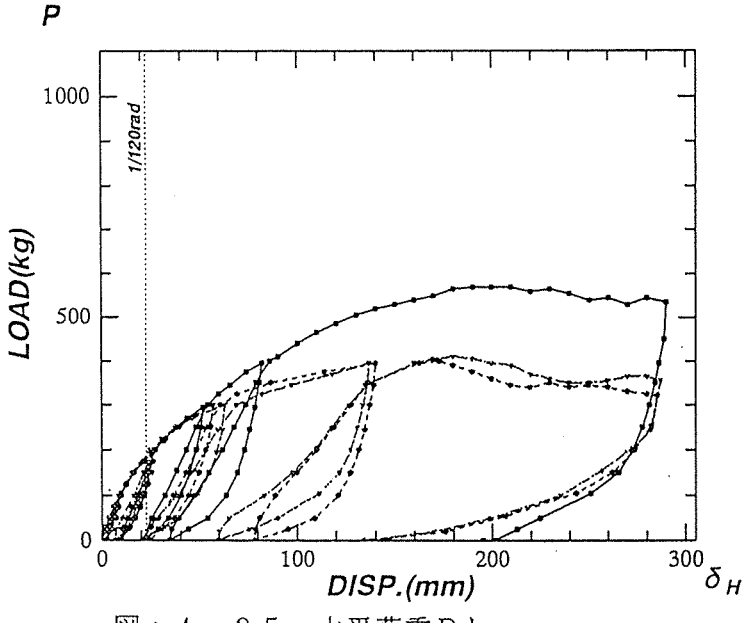
単調載荷（図４．３３及び図４．３４）　漸増載荷（図４．３５及び図４．３６）



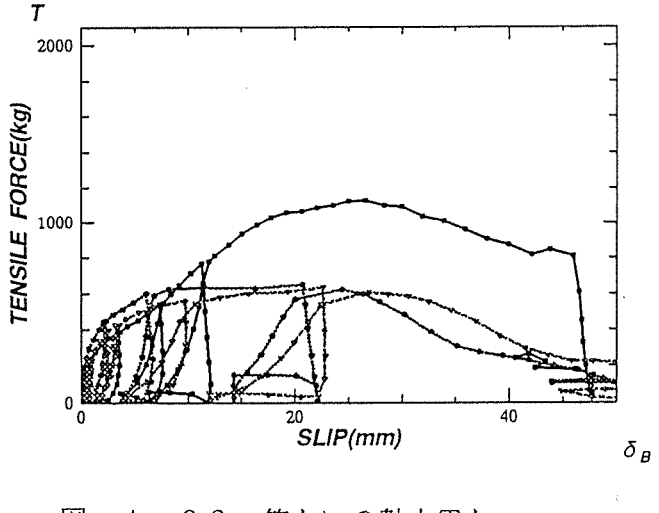
図：４．３３　水平荷重Ｐと
水平変位δHの関係



図：４．３４　筋かいの軸力Ｔと
両端部のスリップ



図：４．３５　水平荷重Ｐと
水平変位δHの関係

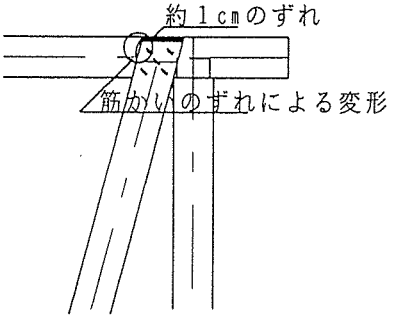


図：４．３６　筋かいの軸力Ｔと
両端部のスリップ

破壊状況

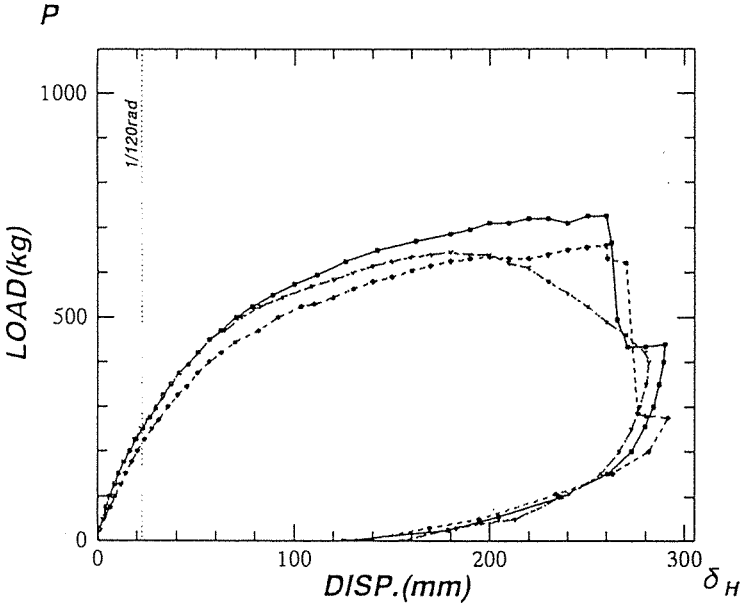
・　切り欠き部からの筋かい部のずれ

（上端部１体　下端部１体　両端部４体）

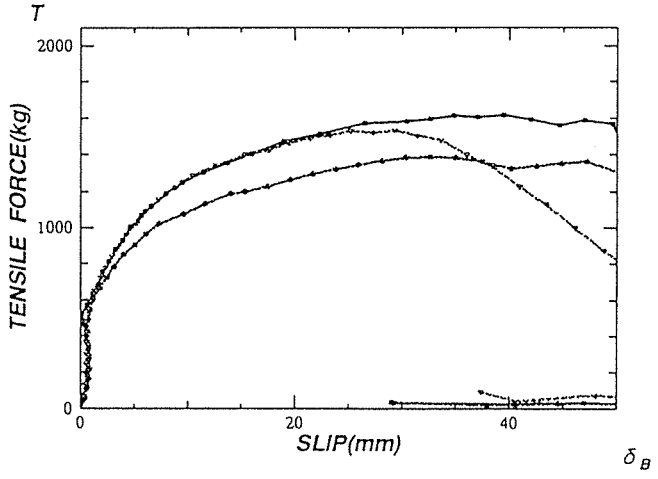


すぎ・９１０ｍｍ巾（金具：ブレースボックス）　ＴＣＳＢ　ＣＣＳＢ試験体

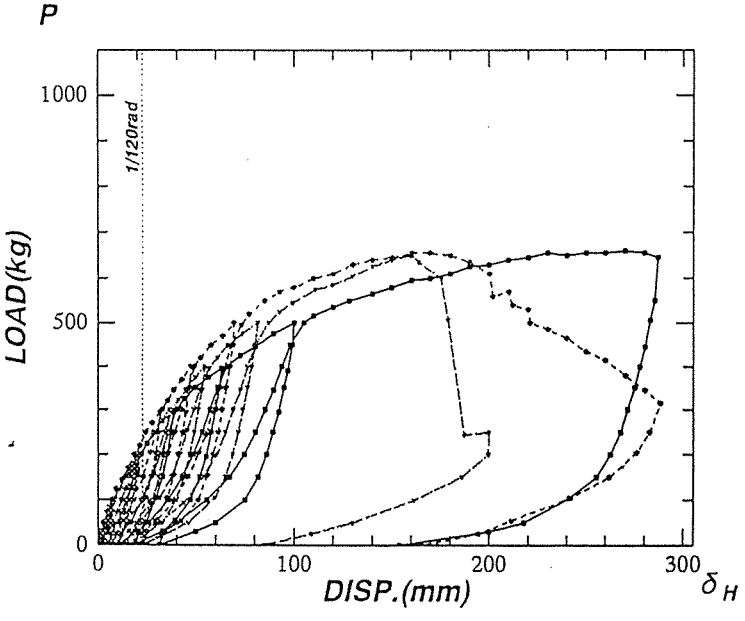
単調載荷（図４．３７及び図４．３８）　漸増載荷（図４．３９及び図４．４０）



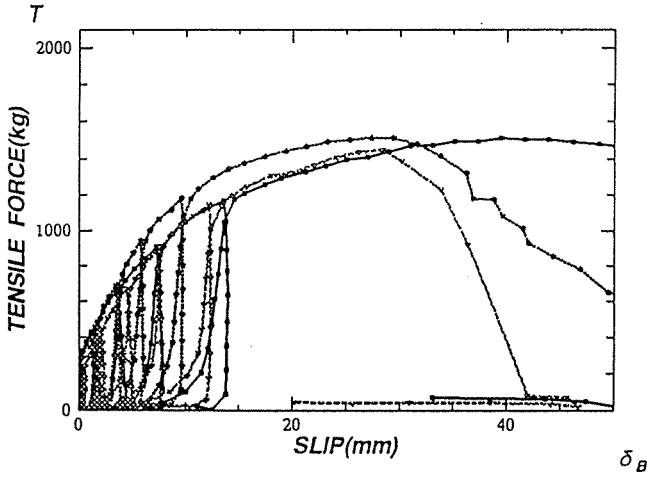
図：４．３７　水平荷重Ｐと
水平変位δHの関係



図：４．３８　筋かいの軸力Ｔと
両端部のスリップ



図：４．３９　水平荷重Ｐと
水平変位δHの関係



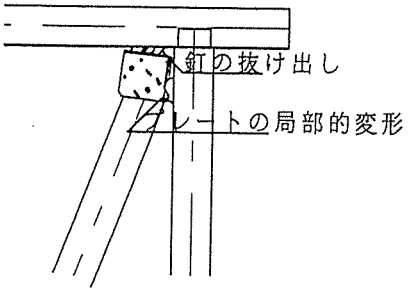
図：４．４０　筋かいの軸力Ｔと
両端部のスリップ

破壊状況

・柱、梁からの金具のずれ（上端部２体　下端部０体）

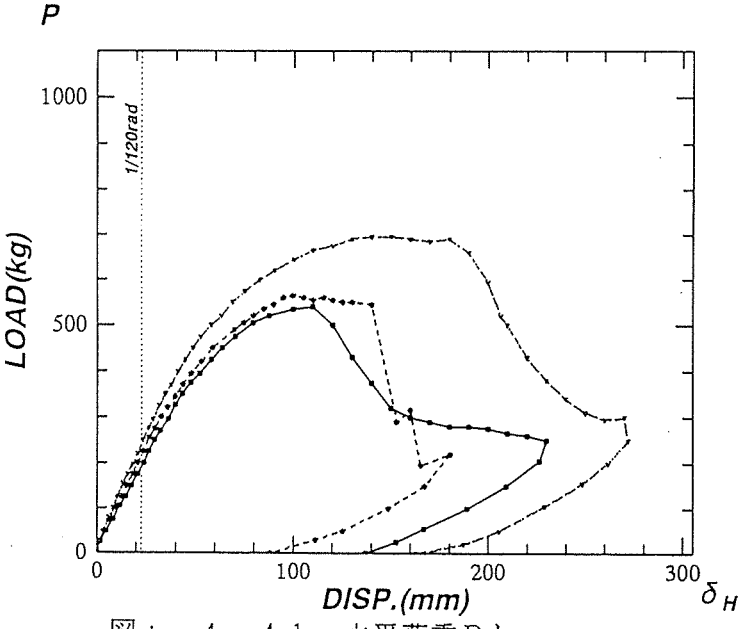
・金具からの筋かいのずれ（上端部３体　下端部１体）

そのうちボルト部分からひび割れ（上端部１体　下端部１体）

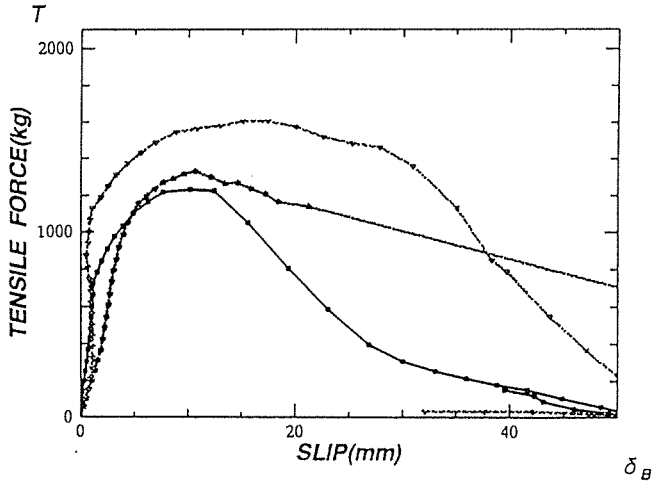


すぎ・９１０ｍｍ巾（金具：２倍筋かい金具）　ＴＣＳＰ　ＣＣＳＰ試験体

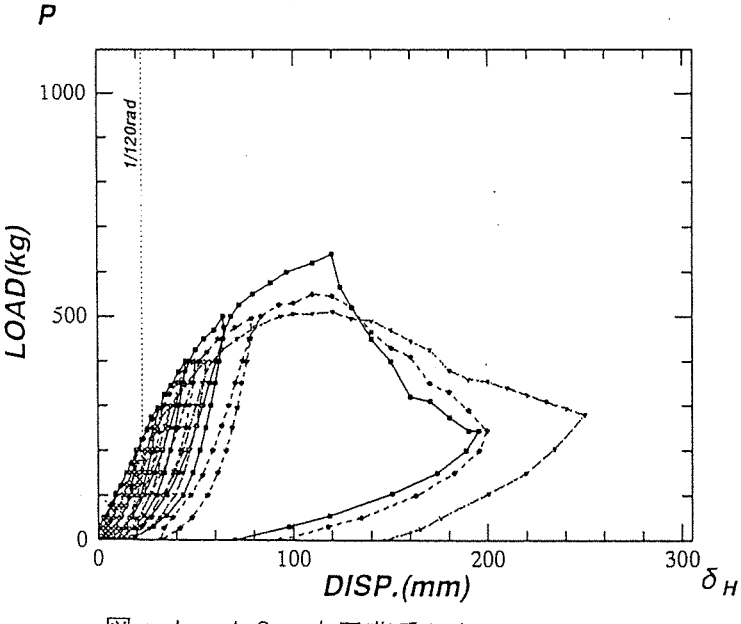
単調載荷（図４．４１及び図４．４２）　漸増載荷（図４．４３及び図４．４４）



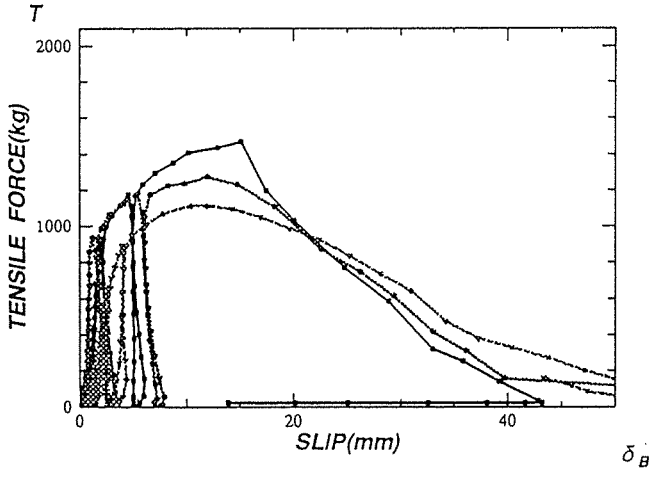
図：　４．４１　水平荷重Ｐと水平変位δ$_H$の関係



図：４．４２　筋かいの軸力Ｔと両端部のスリップ



図：４．４３　水平荷重Ｐと水平変位δ$_H$の関係

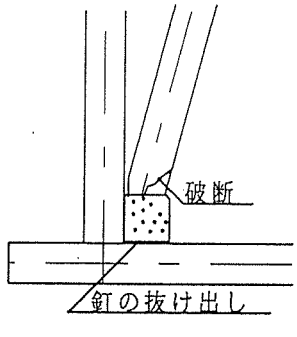


図：４．４４　筋かいの軸力Ｔと両端部のスリップ

破壊状況

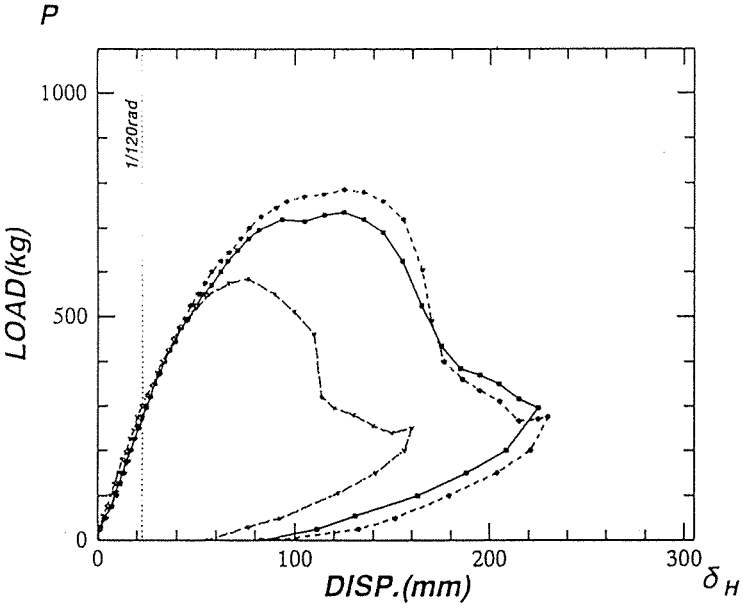
・柱、梁からの金具のずれ（上端部２体　下端部１体）

・金具からの筋かいのずれ（上端部１体　下端部２体）

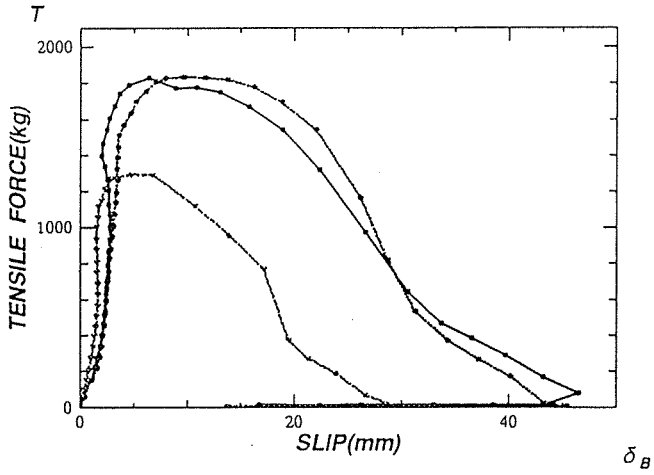


すぎ・９１０ｍｍ巾（金具：ヘキサプレート）　ＴＣＳＨ　ＣＣＳＨ試験体

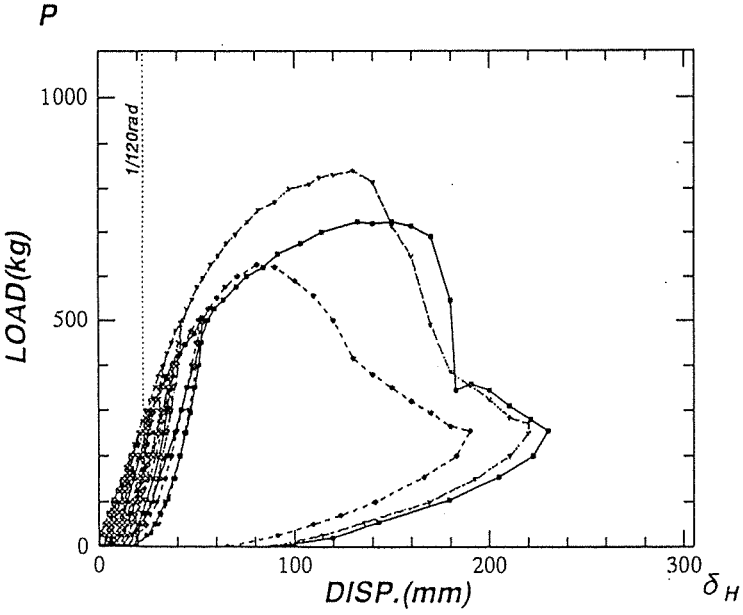
単調載荷（図４．４５及び図４．４６）　漸増載荷（図４．４７及び図４．４８）



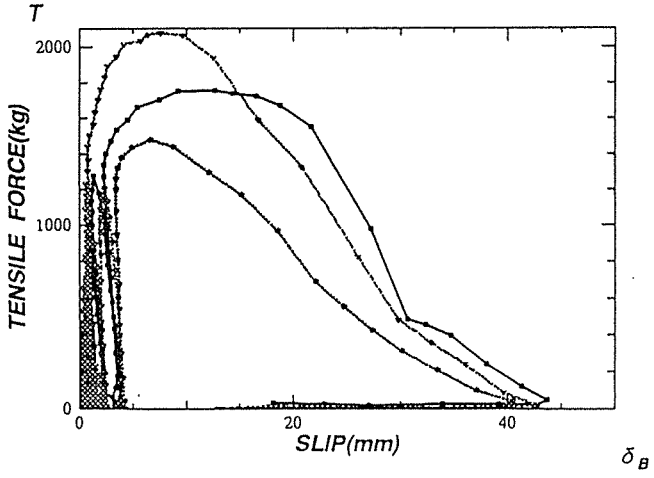
図：４．４５　水平荷重Ｐと水平変位δHの関係



図：４．４６　筋かいの軸力Ｔと両端部のスリップ



図：４．４７　水平荷重Ｐと水平変位δHの関係

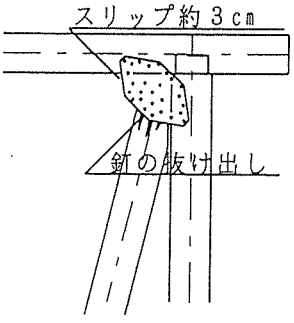


図：４．４８　筋かいの軸力Ｔと両端部のスリップ

破壊状況

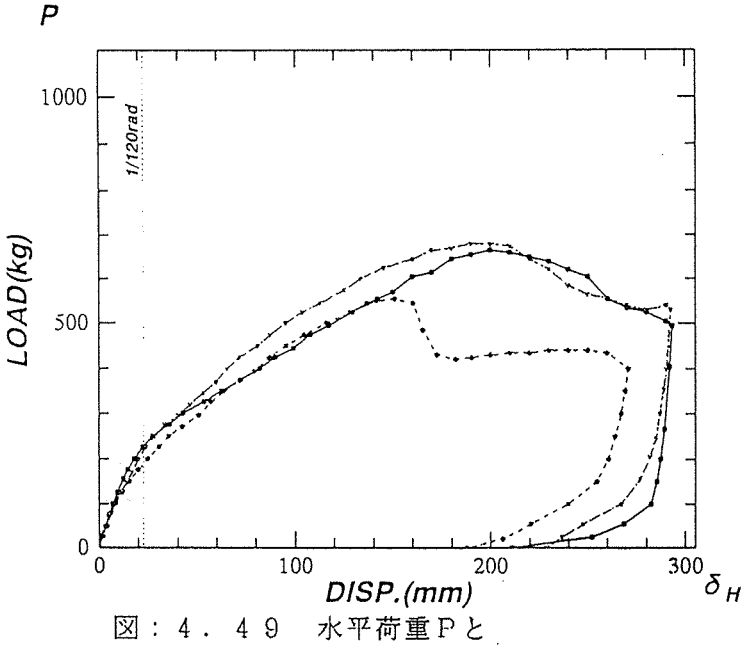
・柱、梁からの金具のずれなし

・金具からの筋かいのずれ（上端部３体　下端部３体）

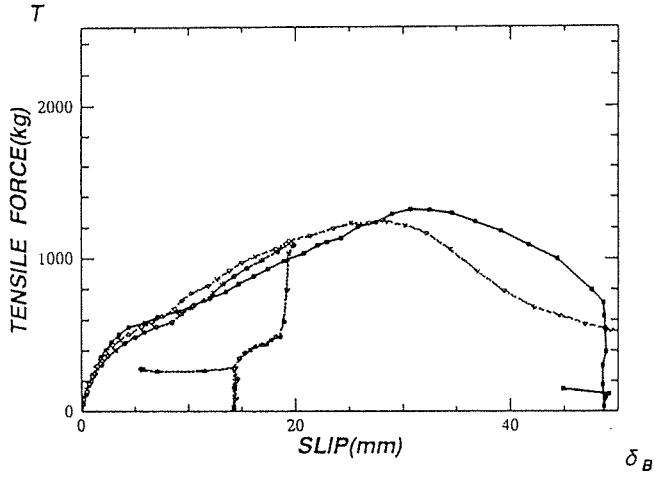


米マツ・９１０ｍｍ巾（金具：大入れビンタ　釘止め）　ＴＤＳＮ　ＣＤＳＮ試験体

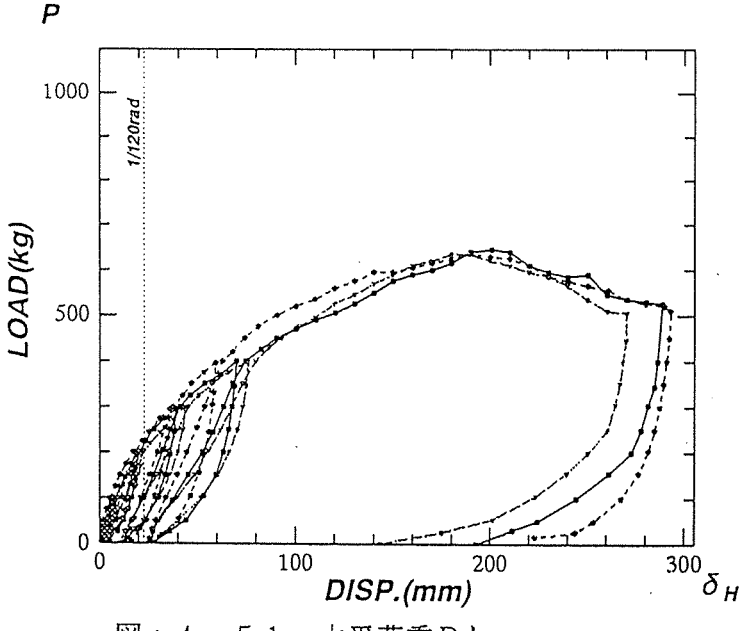
単調載荷（図４．４９及び図４．５０）　漸増載荷（図４．５１及び図４．５２）



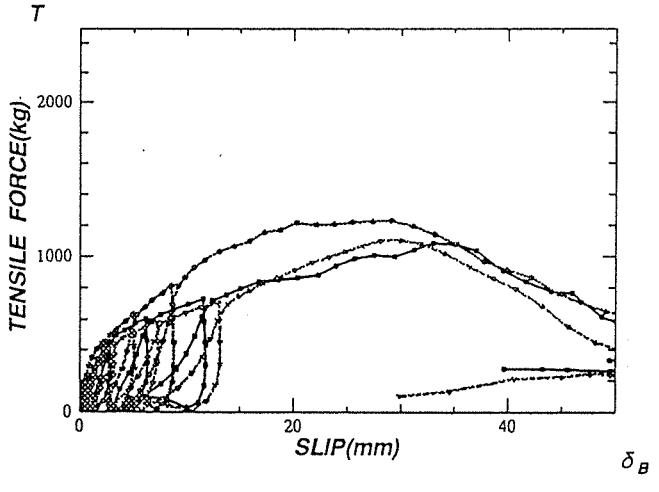
図：４．４９　水平荷重Ｐと水平変位δHの関係



図：４．５０　筋かいの軸力Ｔと両端部のスリップ



図：４．５１　水平荷重Ｐと水平変位δHの関係

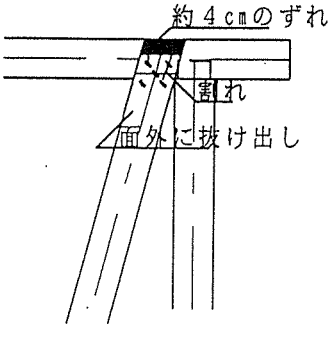


図：４．５２　筋かいの軸力Ｔと両端部のスリップ

破壊状況

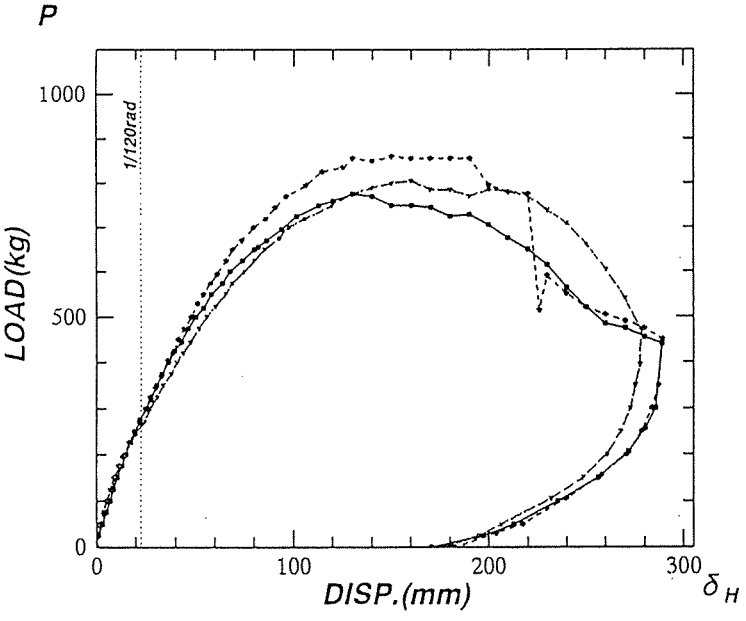
・切り欠き部からの筋かい部のずれ

（上端部１体　下端部１体　両端部３体）

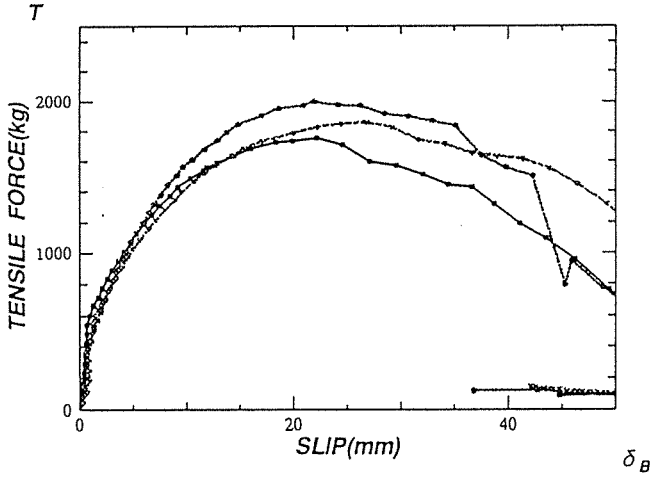


米マツ・９１０ｍｍ巾（金具：ブレースボックス）　ＴＤＳＢ　ＣＤＳＢ試験体

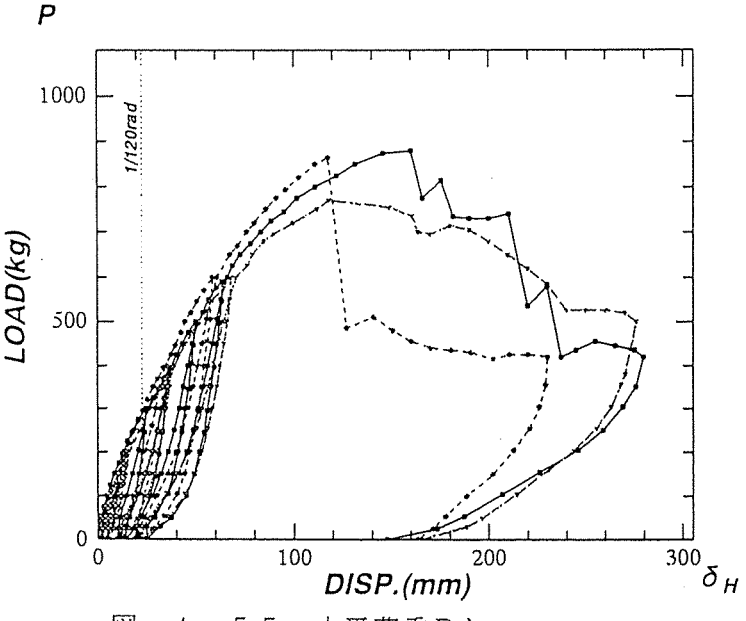
単調載荷（図４．５３及び図４．５４）　漸増載荷（図４．５５及び図４．５６）



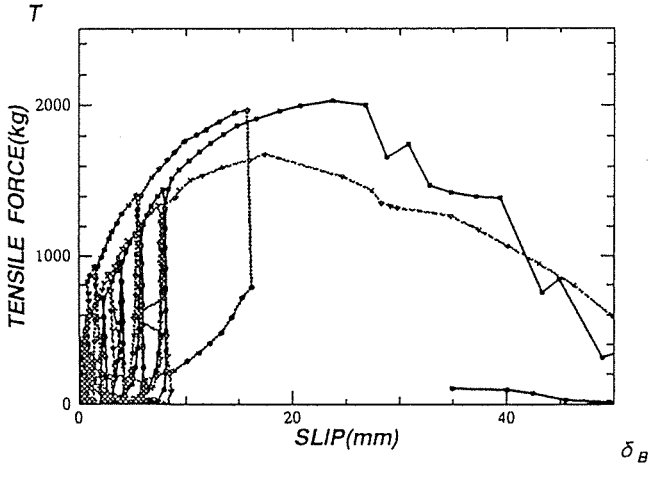
図：４．５３　水平荷重Ｐと水平変位δ$_H$の関係



図：４．５４　筋かいの軸力Ｔと両端部のスリップ



図：４．５５　水平荷重Ｐと水平変位δ$_H$の関係

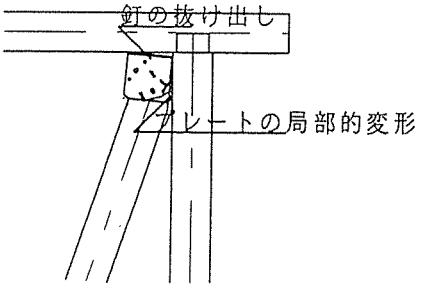


図：５．５６　筋かいの軸力Ｔと両端部のスリップ

破壊状況

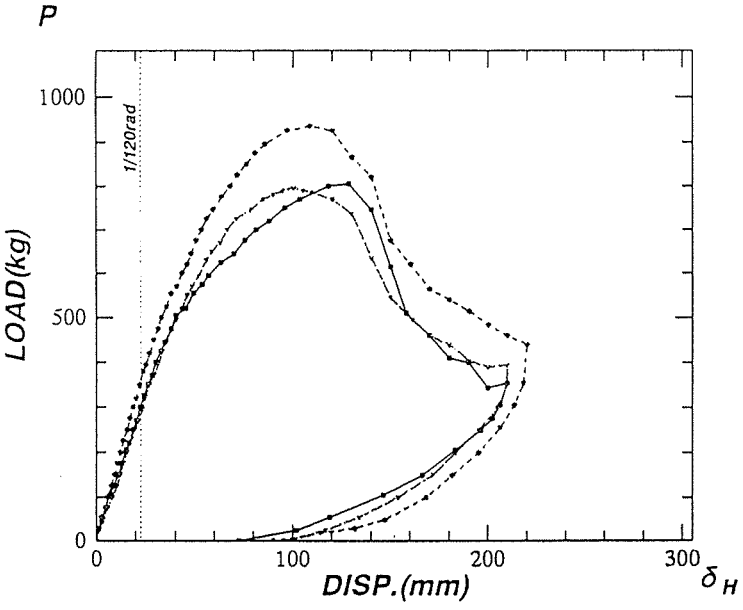
・柱、梁からの金具のずれ（上端部４体　下端部１体）

・金具からの筋かいのずれなし

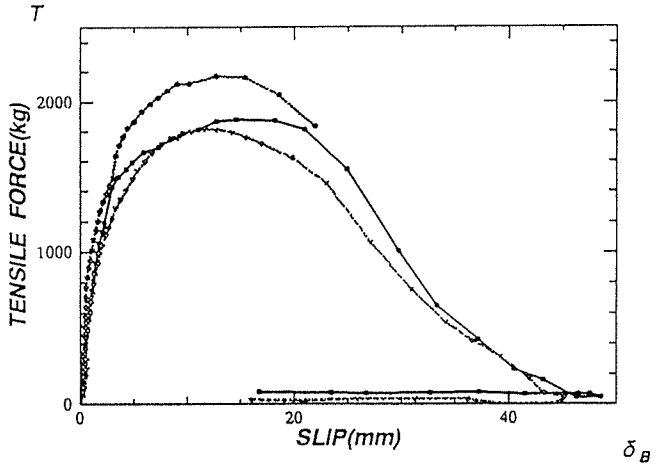


米マツ・９１０ｍｍ巾（金具：２倍筋かい金具）　ＴＤＳＰ　ＣＤＳＰ試験体

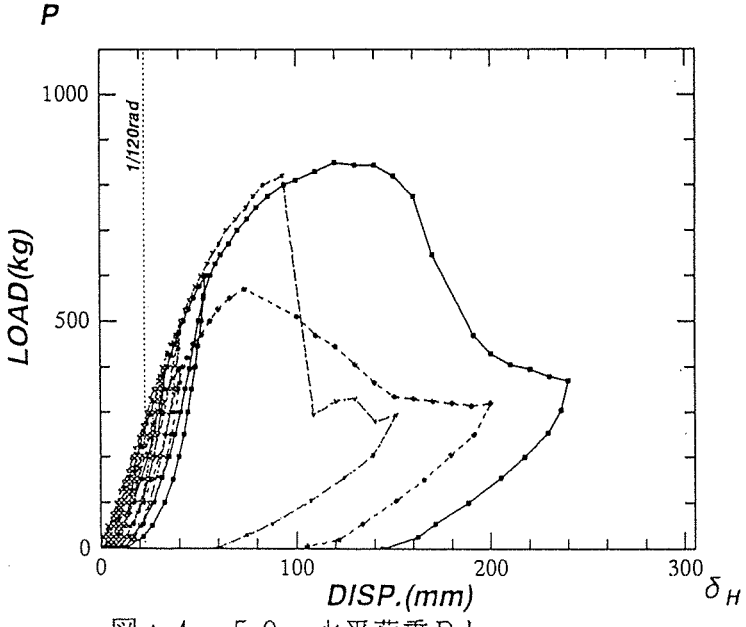
単調載荷（図４．５７及び図４．５８）　漸増載荷（図４．５９及び図４．６０）



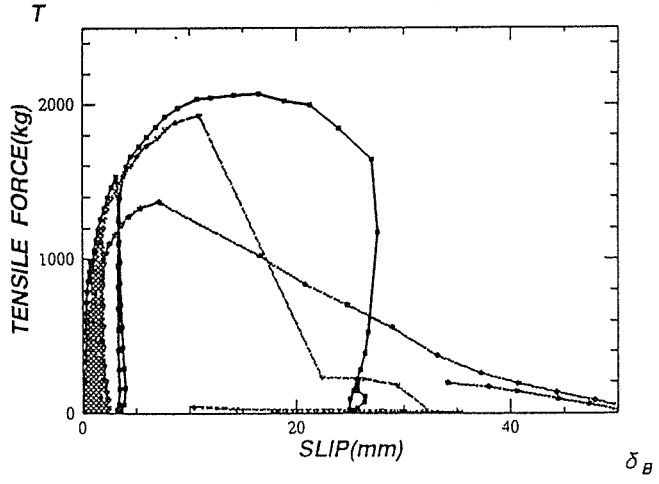
図：４．５７　水平荷重Ｐと水平変位δ$_H$の関係



図：４．５８　筋かいの軸力Ｔと両端部のスリップ



図：４．５９　水平荷重Ｐと水平変位δ$_H$の関係

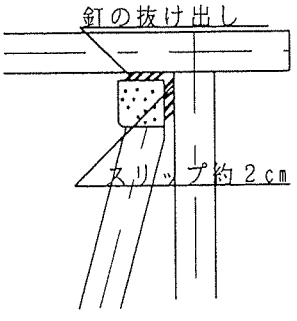


図：４．６０　筋かいの軸力Ｔと両端部のスリップ

破壊状況

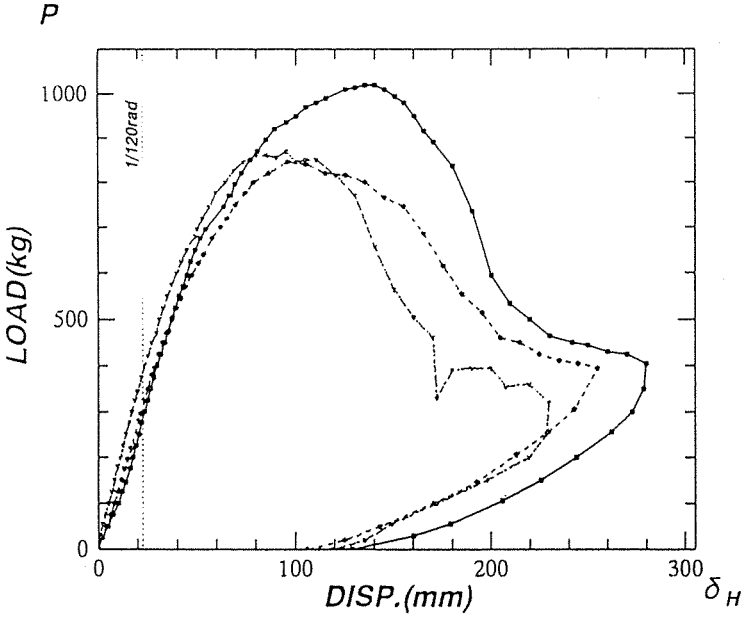
・柱、梁からの金具のずれ（上端部２体　下端部０体）

・金具からの筋かいのずれ（上端部４体　下端部０体）

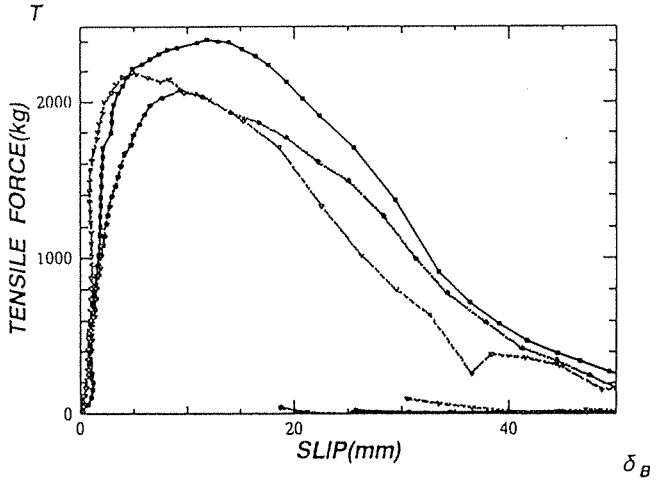


米マツ・９１０ｍｍ巾（金具：ヘキサプレート）　ＴＤＳＨ　ＣＤＳＨ試験体

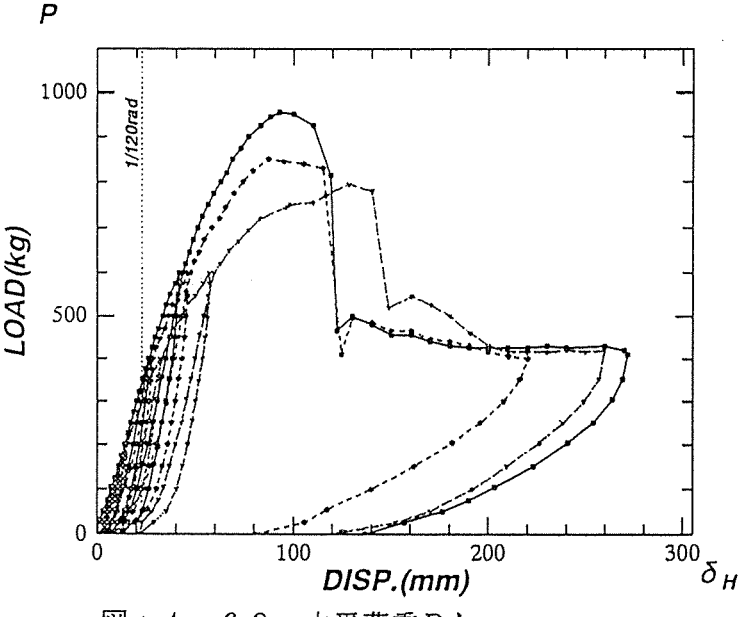
単調載荷（図４．６１及び図４．６２）　漸増載荷（図４．６３及び図４．６４）



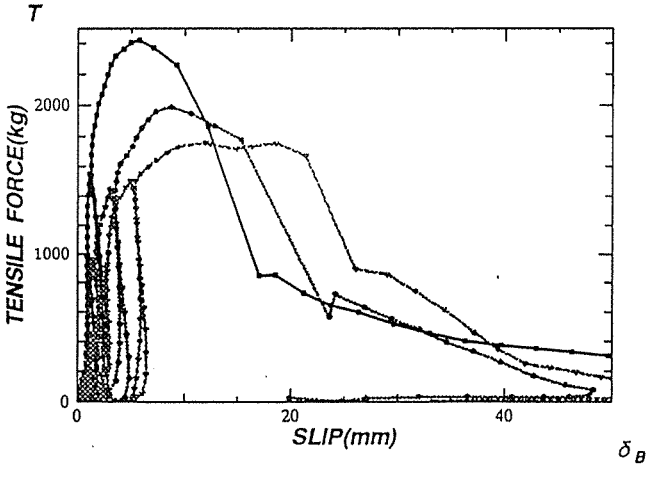
図：４．６１　水平荷重Ｐと水平変位δHの関係



図：４．６２　筋かいの軸力Ｔと両端部のスリップ



図：４．６３　水平荷重Ｐと水平変位δHの関係

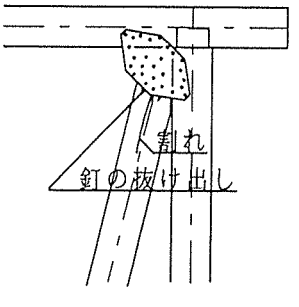


図：４．６４　筋かいの軸力Ｔと両端部のスリップ

破壊状況

・柱、梁からの金具のずれ（上端部１体　下端部０体）

・金具からの筋かいのずれ（上端部２体　下端部２体　両端部１体）



４．２　グラフの特徴及び破壊状況

４．２．１　グラフの特徴

（１）初期剛性について

・材種及び載荷方法による初期剛性の差はない。

（２）最大耐力とその時の変計量について

・材種ごとに最大耐力を比較すると米マツがすぎよりもやや高い。

・接合方法による違いは２倍筋かい金具（Ｐタイプ）、ヘキサプレート（Ｈタイプ）の２つが同程度で最も高く、以下ブレースボックス（Ｂタイプ）、大入れビンタ延ばし(Ｎタイプ)であった。と続く。また最大耐力の変位量では、大入れビンタ延ばし（Ｎタイプ）が最も大きく以下、ブレースボックス（Ｂタイプ）、２倍筋かい金具（Ｐタイプ）、ヘキサプレート（Ｈタイプ）の順となった。

（３）残留変形について

・材種ごとに比較するとすぎの方が残留変形が大きい。

（４）グラフの傾向について

・単調載荷・すぎ・1820mm巾大入りびんた釘止め（ＴＣＤＮ）は、特にばらつきが目立った。また初期剛性でもすぎ材を用いたものは変動が大きい。

４．２．２　破壊状況

（１）大入れびんた延ばし（Ｎタイプ）

・筋かいを止める釘のせん断力による変形と土台、桁側からの抜け出しにより全試験体が破壊に至った。

（２）ブレースボックス（Ｂタイプ）

・柱、桁にプレートを止める釘の抜け出しが生じた。同時にプレートの局部的変形が見られた。

・プレートと筋かいを止めたせん断ボルト部より筋かい材の繊維に沿って割れが生じた。

・910mm巾に比べ1820mm巾のタイプは、割れや釘の抜け出しが顕著であった。

（３）２倍筋かい金具（Ｐタイプ）

・桁、柱にプレートを止める釘の抜け出しが生じた。

・プレートと筋かいを止めた釘にせん断力による変形が生じた。

（４）ヘキサプレート（Ｈタイプ）

・プレートと筋かいを止めた釘にせん断力による変形が生じた。

・プレートと筋かいを止めたせん断釘部より筋かい材の繊維に沿って割れが生じた。また一部には、柱、桁部に打ち付けた釘が桁、柱の樹肉部をはぎ取り破壊に至った。

表４．１は、壁倍率を算出するために、特定の荷重及び変形をそれぞれ1/120radでの荷重、最大荷重の2/3での荷重と最大荷重時の変位量の1/2の時での荷重を求め、結果一覧として示した。それらの値の最も小さな数値を検索した。全タイプの約97.5%は1/120rad時の荷重で決定された。最大荷重の2/3の荷重で評価されたものが32タイプ中3タイプ（約9.4%）であり、最大荷重時変位量の　1/2の時での荷重で評価されたものが1タイプ（約3.1%）であった。1/120radによって決定されたタイプ以外の値によって判定されたタイプはいずれも1820mm巾を持つヘキサプレート金物を用いた試験体であった。

表４．１．実験結果における特定の数値

	P(1/120RAD) (kg)	δ(2/3Pmax) (mm)	(rad)	2/3Pmax (kg)	P[1/2γ(Pmax)] (kg)	δ(Pmax) (mm)	(rad)	Pmax (kg)
TCDN	**425**	24.19	0.0089	446	536	79.60	0.0292	668
CCDN	**377**	25.94	0.0095	384	465	80.58	0.0295	577
TDDN	**421**	41.29	0.0151	584	634	95.30	0.0349	877
CDDN	**421**	34.93	0.0128	499	558	89.99	0.0330	748
TCDB	**498**	25.76	0.0094	541	622	69.73	0.0255	812
CCDB	**445**	26.13	0.0096	490	585	70.41	0.0258	735
TDDB	**599**	27.68	0.0101	689	798	71.48	0.0262	1033
CDDB	**530**	33.46	0.0123	700	810	86.38	0.0316	1050
TCDP	**553**	25.06	0.0092	598	647	65.00	0.0238	897
CCDP	**562**	25.56	0.0094	607	736	69.16	0.0253	910
TDDP	**746**	26.55	0.0097	864	983	65.84	0.0241	1297
CDDP	**748**	27.73	0.0102	891	1106	82.55	0.0302	1337
TCDH	683	22.17	0.0081	**667**	733	51.64	0.0189	1000
CCDH	728	22.51	0.0082	**714**	753	48.92	0.0179	1072
TDDH	887	20.53	0.0075	822	**791**	39.62	0.0145	1233
CDDH	806	22.67	0.0083	**801**	901	52.24	0.0191	1202
TCSN	**194**	61.53	0.0225	327	412	205.03	0.0751	490
CCSN	**184**	54.99	0.0201	307	370	181.03	0.0663	460
TDSN	**210**	83.49	0.0306	422	444	180.37	0.0661	633
CDSN	**217**	78.93	0.0289	426	474	190.30	0.0697	638
TCSB	**240**	62.88	0.0230	451	578	233.37	0.0855	677
CCSB	**212**	65.62	0.0240	437	528	196.70	0.0721	655
TDSB	**271**	58.04	0.0213	542	628	146.67	0.0537	813
CDSB	**283**	57.08	0.0209	559	602	131.83	0.0483	838
TCSP	**218**	47.07	0.0172	400	456	116.77	0.0428	600
CCSP	**205**	45.51	0.0167	378	433	116.73	0.0428	567
TDSP	**307**	46.13	0.0169	563	637	112.57	0.0412	845
CDSP	**250**	44.43	0.0163	498	521	95.77	0.0351	747
TCSH	**283**	41.03	0.0150	468	557	108.93	0.0399	702
CCSH	**263**	46.59	0.0171	487	551	114.43	0.0419	730
TDSH	**321**	44.87	0.0164	608	689	110.40	0.0404	912
CDSH	**325**	45.04	0.0165	578	615	102.70	0.0376	867

表４．２は、せん断変形角が1/120rad時の荷重、最大荷重の2/3の荷重、また最大荷重時の変位量の1/2時の荷重のうち最小のもの（Ｐｏ）の３／４の値を耐力壁の短期許容せん断耐力（Ｐａ）とし、それをもとに壁倍率を求めた。尚、壁倍率１当たりの許容水平耐力は１３０kg/mとした。

表４．２　みかげ変形角における壁倍率

	Ｐｏ (kg)	Ｐａ (kg)	Ｐａ (kg/m)	壁倍率 130kg/m		Ｐｏ (kg)	Ｐａ (kg)	Ｐａ (kg/m)	壁倍率 130kg/m
TCDN	425	319	175	1.35	TCSN	194	146	160	1.23
CCDN	377	283	155	1.19	CCSN	184	138	151	1.16
TDDN	421	316	173	1.33	TDSN	210	158	173	1.33
CDDN	421	316	174	1.34	CDSN	217	163	179	1.37
TCDB	498	374	205	1.58	TCSB	240	180	198	1.52
CCDB	445	334	183	1.41	CCSB	212	159	174	1.34
TDDB	599	449	247	1.90	TDSB	271	203	223	1.72
CDDB	530	397	218	1.68	CDSB	283	212	233	1.79
TCDP	553	415	228	1.75	TCSP	218	163	179	1.38
CCDP	562	422	232	1.78	CCSP	205	154	169	1.30
TDDP	746	559	307	2.36	TDSP	307	230	253	1.94
CDDP	748	561	308	2.37	CDSP	250	188	206	1.58
TCDH	667	500	275	2.11	TCSH	283	212	233	1.79
CCDH	714	536	294	2.26	CCSH	263	197	217	1.67
TDDH	791	593	326	2.51	TDSH	321	241	265	2.04
CDDH	801	601	330	2.54	CDSH	325	244	268	2.06

表４．３は、表４．２で示した見かけの変形角による壁倍率を、柱脚の浮き上がり、浮き沈みによる水平変位への影響を補正したものを示す。

表４．３にて、最も高い壁倍率となったものは二材種とも試験体巾に関係なくヘキサプレートを用いたタイプであった。1820mm,910mm巾のそれぞれが約2.8,2.2の壁倍率となった。　続いて高い倍率であったのは、米マツ材では両試験体巾とも２倍筋かい金具を用いたものであった。すぎ材では試験体巾により異なり、910mm巾のものではブレースボックスを用いたものであり、1820mm巾の試験体では前途の米マツ材同様２倍筋かい金物を用いたものであった。　大入れビンタによる試験体は壁倍率がいずれも最も低く、1.2～1.4程度の値であり、これらの最高値のものである米マツ材910mmタイプ（壁倍率1.4）でもほかのタイプと比べるとすぎ材を用いたブレースボックスと同程度であった。　全試験体を材種によって比べると、壁倍率は米マツ材を使用したタイプがすぎ材に対してそれぞれ20～30%程度高い値を示す傾向にあるが大入れビンタについては材種による違いは顕著ではない結果となった。

表４．３　真の変形角における壁倍率

	Ｐｏ (kg)	Ｐａ (kg)	Ｐａ (kg/m)	壁倍率 130kg/m		Ｐｏ (kg)	Ｐａ (kg)	Ｐａ (kg/m)	壁倍率 130kg/m
TCDN	450	338	186	1.43	TCSN	208	156	171	1.32
CCDN	389	292	160	1.23	CCSN	192	144	158	1.22
TDDN	424	318	175	1.35	TDSN	220	165	181	1.39
CDDN	425	318	175	1.35	CDSN	225	169	186	1.43
TCDB	507	380	209	1.61	TCSB	254	191	210	1.61
CCDB	454	340	187	1.44	CCSB	217	163	179	1.38
TDDB	612	459	252	1.94	TDSB	288	216	238	1.83
CDDB	546	410	225	1.73	CDSB	300	225	247	1.90
TCDP	597	448	246	1.89	TCSP	230	172	189	1.46
CCDP	585	438	241	1.85	CCSP	214	161	176	1.36
TDDP	781	585	322	2.47	TDSP	326	244	268	2.06
CDDP	784	588	323	2.49	CDSP	265	198	218	1.68
TCDH	731	548	301	2.32	TCSH	308	231	253	1.95
CCDH	791	594	326	2.51	CCSH	297	223	245	1.88
TDDH	941	706	388	2.98	TDSH	363	273	300	2.30
CDDH	861	646	355	2.73	CDSH	352	264	290	2.23

5　まとめ

5．1水平力と筋かいに働く軸力の関係

図5．1は、骨組みの接点を全てピン支持にした場合における計算上の骨組み水平荷重Ｐとその時筋かいに働く軸力Ｔの関係を示したものである。1820mm巾ではＴ1=1.80ＰH1、910mm巾ではＴ2=3.16ＰH2の割合で水平力ＰHに対し筋かいの軸力Ｔが生じることになる。また、表5．1は1/120rad付近の実験値から水平荷重Ｐとその時の軸力Ｔの測定値から割合を算出したものである。1820mm巾の場合は計算値の筋かい軸力の83%から91%、910mm巾の場合は同様に66%から75%の値が実際に筋かいに働く結果となった。ホールダウンによって柱脚、柱頭が土台及び柱に緊結されたことにより、架構に水平剛性が存在し一部を負担した結果、測定による筋かいの軸力が低い値となったと考えられる。また、図5．2、図5．3は水平荷重Ｐと軸力Ｔのグラフの一例であり概ねいずれも比例関係にあり直線的な傾向がみられた。大入れびんた延ばし釘止め（Ｎタイプ）においては荷重中期に直線性が弱く緩やかな曲線を示す傾向がみられた。

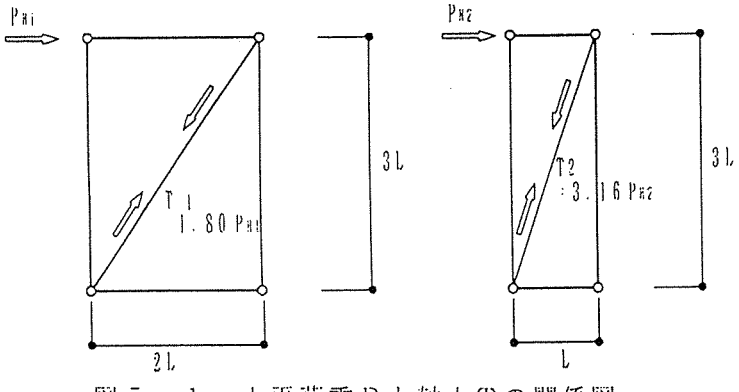


図5．1　水平荷重Ｐと軸力Ｔの関係図

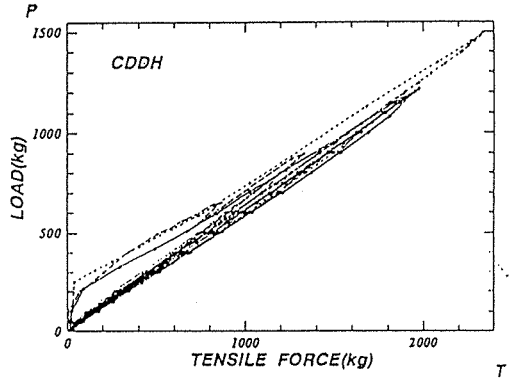


図5．2　水平荷重Ｐと軸力Ｔのグラフ

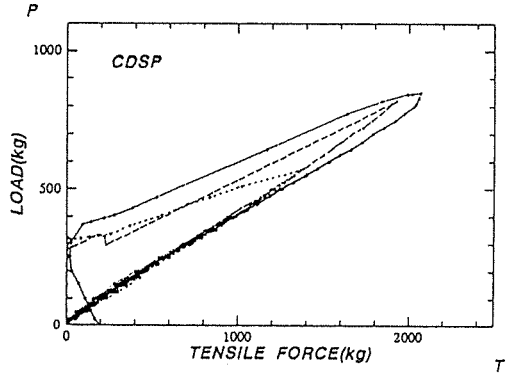


図5．3　水平荷重Ｐと軸力Ｔのグラフ

表5．1　水平荷重Ｐと軸力Ｔの割合

	P(kg)	T(kg)	T/P		P(kg)	T(kg)	T/P
TCDN	413	663	1.60	TCSN	200	418	2.09
CCDN	363	593	1.63	CCSN	198	417	2.10
TDDN	430	646	1.50	TDSN	217	459	2.12
CDDN	435	652	1.50	CDSN	217	477	2.20
TCDB	498	772	1.55	TCSB	242	550	2.28
CCDB	465	707	1.52	CCSB	217	482	2.23
TDDB	617	942	1.53	TDSB	272	645	2.37
CDDB	547	870	1.59	CDSB	290	668	2.30
TCDP	568	931	1.64	TCSP	225	491	2.18
CCDP	567	901	1.59	CCSP	208	446	2.14
TDDP	747	1184	1.59	TDSP	307	703	2.29
CDDP	748	1203	1.61	CDSP	250	587	2.35
TCDH	665	1031	1.55	TCSH	282	662	2.35
CCDH	715	1138	1.59	CCSH	267	629	2.36
TDDH	800	1267	1.58	TDSH	325	778	2.39
CDDH	767	1209	1.58	CDSH	325	713	2.19

5．2　特定の数値における荷重・変位の関係

図5．4から図5．7はＴＣＤＮ（単調載荷・すぎ・1820mm巾・大入れびんた）の単位長さ当たりの水平荷重の最大値とその時の耐力壁頂部の水平変位量を基準として、各試験体の許容耐力を決定する特定の荷重・変位（Ｐ(1/120rad)・2/3Ｐmax・Ｐ[1/2δ(Ｐmax)]・Ｐmax）の各点の平均値を用いて比率で表示し、試験体ごとに直線で結びグラフ化した。図5．5のＴＤＤＨ・ＣＤＤＨについては各試験体の変形性状の差異が大きく、補正を加えたものをＴＤＤＨ'・ＣＤＤＨ'として図中に加えた。全体的に載荷方法による差異は顕著ではなく近似した傾向を示した。910mm巾の試験体は1820mm巾の試験体に比べて単位長さ当たりの荷重値は高い傾向を示し、靭性も高い値を示した。

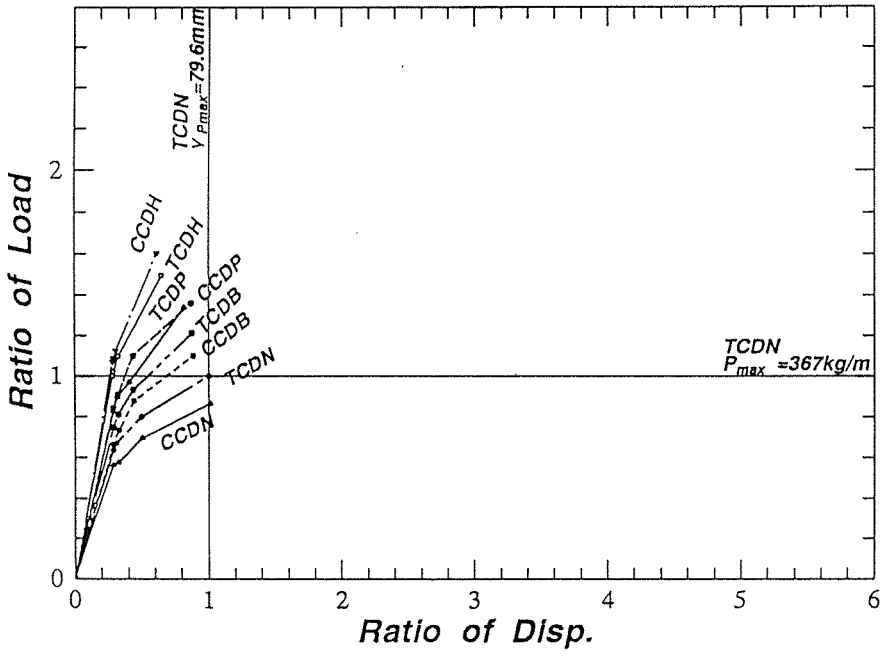


図5．4　すぎ・1820mm巾試験体

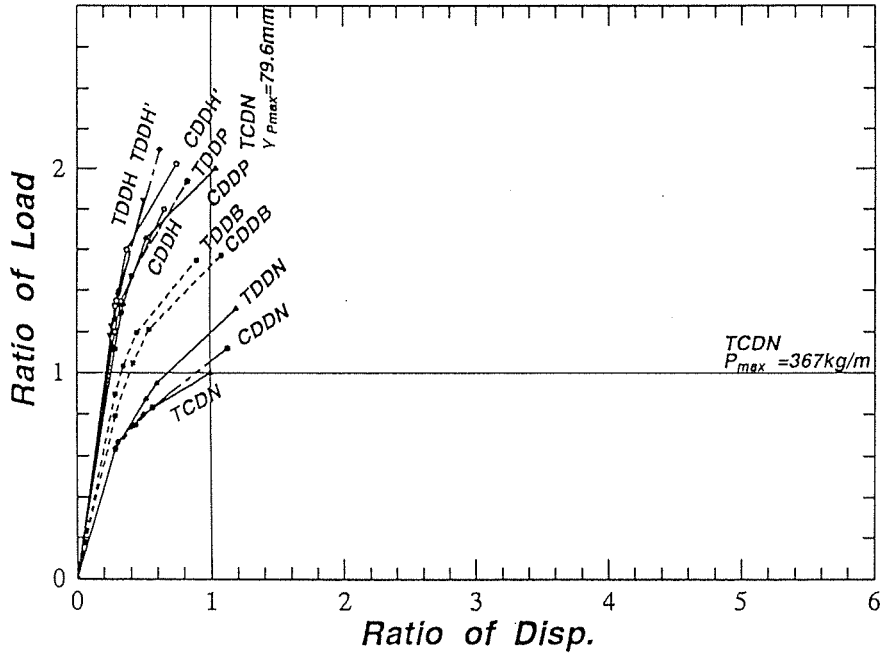


図5．5　米マツ・1820mm巾試験体

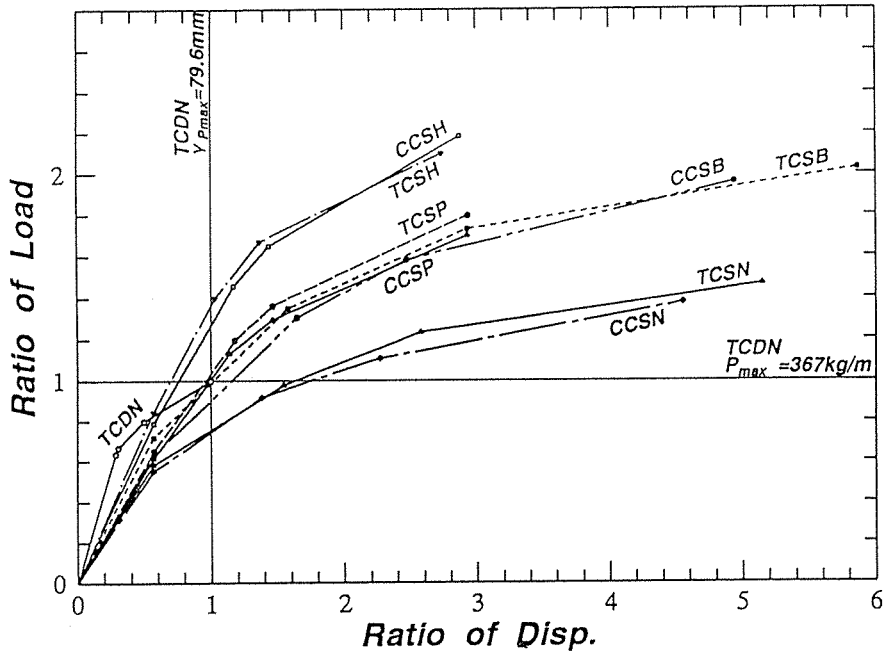


図５．６　すぎ・910mm巾試験体

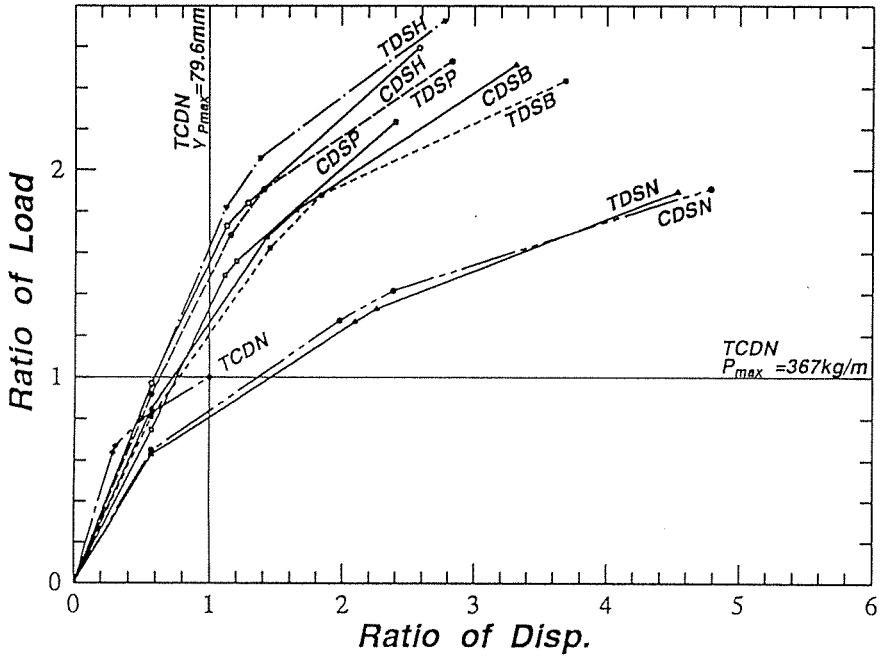


図５．７　米マツ・910mm巾試験体

５．３　まとめ

５．３．１　試験体の変形性状、耐力について

筋かいに引張力が作用した場合の、耐力壁の変形性状、耐力は、筋かい端部の接合法の違いにより異なる傾向を示した。　大入れビンタの試験体では、特定の変形角（1/120rad）における時点で、既に比例限界を超えるか、あるいはその近傍に達する。その後変形は増加の傾向となる。最大荷重時以降の耐力低下は緩やかであり、靭性は高い傾向にあることが分かった。これに対して、ヘキサプレートや２倍筋かい金具では、荷重の初期より最大荷重に至る直前まで、

ほぼ比例関係を保ち直線的な関係で変位が進む。最大荷重以降の耐力低下は急激であり、接合部が釘によるせん断接合であることから、筋かい両端のスリップに関しては靭性が低く、耐力低下は急なものとなると考えられる。ブレースボックスは桁，柱の釘の接合部が引き抜きにより変形が進行することからこれら２者の中間的な傾向を持っているが、ボルトの筋かいせん断接合部の割れが生じることにより急激な耐力低下を起こすことがある。

５．３．２　水平力と筋かいの軸力について

５．１で示したように計算上生じる筋かいの軸力の１５％（1820mm巾）程度、及び３０％（910mm）程度は外周部分の骨組みが、水平力に抵抗する結果となった。仕口部に取り付けられた1.5tonタイプのホールダウン金物により、曲げに抵抗する半剛節の性状となり、幅の狭い耐力壁では有効な抵抗要素となっていることが考えられ、引き抜き力以外に定量的な水平抵抗力の評価が必要ではないかと考える。

５．３．３　評価された壁倍率について

実験結果より得られた引張筋かいの壁倍率は筋かい端部の接合法により大きく異なった結果となった。このうち圧縮筋かいの２．０の倍率と同等かそれ以上と評価されたものは、ヘキサプレートによる接合法と２倍筋かい金具の１部（倍率２．３から２．９）のみであり、ブレースボックスではやや下回った。大入れビンタの接合法は倍率１．２から１．４程度であり、圧縮筋かいとしての倍率に比し、許容耐力は60～70％となり、評価は低い値であった。

線材による接合部では、接合部分の採りうる面積が限られており、筋かい材や桁柱材のいずれかの強度的に低い材料によって接合部の耐力が支配される傾向にあり、各部材が安定した均一な材料強度を持つことが重要であるといえる。

また接合部接合法は高い剛性の確保の観点からは、せん断接合が望ましく、引っ張り力の生じる釘接合は剛性評価では不利であり、許容値が低くせざるを得ない結果となる。

筋かい端部の接合部の耐力低下により各耐力壁の評価が支配されており、母材には充分な余力がある。このことは接合部の剛性耐力を高めるような接合方法の検討、周辺骨組みとの協働効果で水平力に抵抗する力学的なメカニズムの方法などを探ることで、筋かい耐力壁の許容耐力を高めることができると考える。

（文責：尾内俊夫）

第５章　筋かい壁強度性能評価実験－筋かいプレート接合による３つ割筋かい壁

１．目的

在来軸組み工法における筋かい端部の接合方法、及び補強金物の違いと水平せん断耐力との関係を検討することを目的として、以下のような試験を行った。

２．試験

２．１　試験材料

試験に供した柱、土台、筋かい、及び桁等の材料は、スギ、及びベイマツを用いた。試験終了後含水率と比重を測定したところ、スギは平均２４％（最小１４％　－　最大５１％）、ベイマツは平均１６％（最小１３％　－　最大２０％）であった。また、気乾比重は、スギは平均 0.42（最小 0.35　－　最大 0.47）、ベイマツは平均 0.50（最小 0.46　－　最大 0.55 ）であった。試験片を採取したサンプリング箇所は、それぞれの部材の中央部とし、全試験体中から無作為に抽出して、測定した。

２．２　筋かい金物

今回、試験に使用した接合金物は、Ｚマーク表示金物のうち筋かいプレートＢＰで、以下の図にその形状等を示す。

使用接合具	：角根平頭ボルト	Ｍ１２（１本）
	六角ナット	Ｍ１２（１個）
	小型角座金	Ｗ2.3＊30（１枚）
	太めくぎ	ＺＮ 65（１０本）

なお、施工状況を写真で示す。

２．３　試験体及び試験方法

試験体は、３ツ割（30*90）の筋かいを筋かいプレートＢＰで接合して、柱と横架材（103角）を単ほぞ差しのホールダウン（ＨＤ－１５）固定とした。試験体寸法のうち、壁長は 91（１Ｐ）と 182cm（２Ｐ）の２種類、階高は 2730 一定とした。試験体数は、１条件あたり６体として、今回は１Ｐと２Ｐ、スギとベイマツ、ＢＰ使用から、合計２４体であった（ただし、２Ｐについてはスギ、ベイマツそれぞれに１体追加して試験を行った）。加力方法は、５体を同一方向の単調増加方式、残りの１体をＰ max に対して１／５、２／５、３／５、Ｐ max までを各１回繰り返して負荷する方式の試験を、ＪＩＳ　Ａ　１４１４「建築用構成材（パネル）およびその構造部分の性能試験方法」に規定されている「面内せん断試験（Ｂ）」に準じて、行った。筋かいに作用する引張り力を測定するために、筋かいを中央部で切断して、図に示すようなロードセル（ミネベア製１０トン）を設置した。また、各部の変位量を測定するために、水平変位と、柱の浮き上がりを測定する変位計を含

めて、試験体の各コーナーに全１１個取り付けて挙動を調べた。

なお、引き寄せ金物に使用した接合具を以下に示す。

接合具　：太めくぎ　　ＺＮ 90（６～２６本）

六角ボルト　Ｍ 16（１本）

六角ナット　Ｍ 16（１個）

角座金　　Ｗ 6.0＊54（１～２枚）

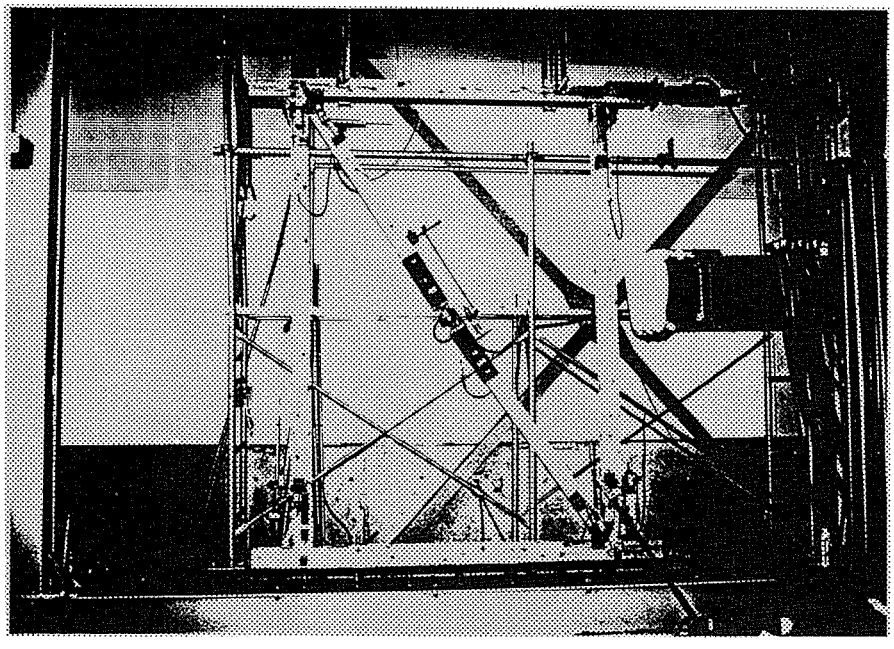
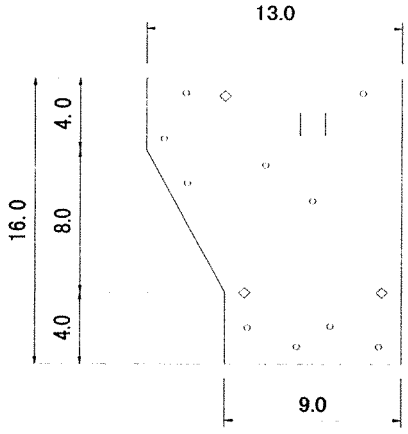
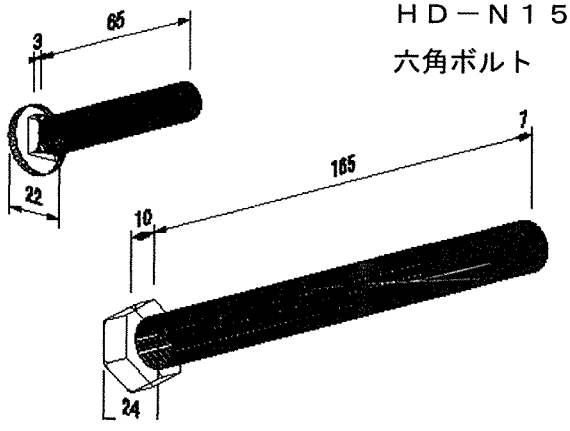


写真　２Ｐスギのセッティング及び接続風景

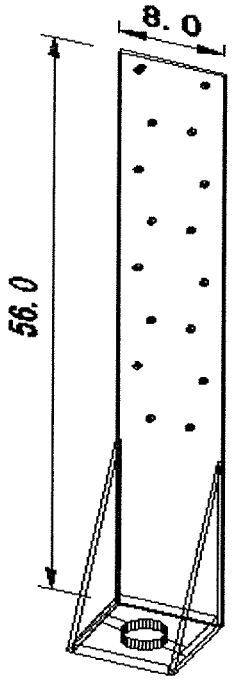


H筋かいプレート
ＢＰ

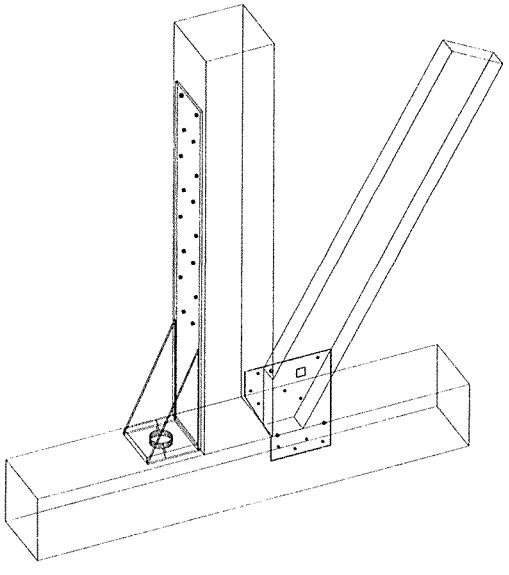
筋かい金物ＢＰ用
角根平頭ボルト



ＨＤ－Ｎ１５用
六角ボルト



引き寄せ金物
ＨＤ－Ｎ１５



金物接合状況

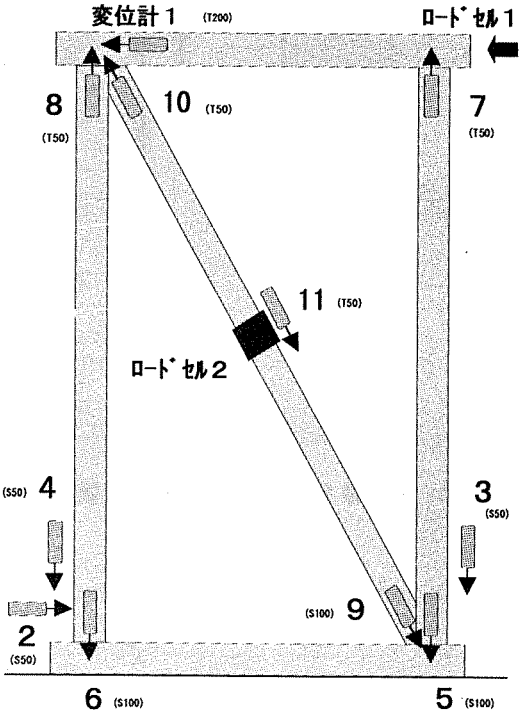


図１　試験体と変位計のセッティング風景

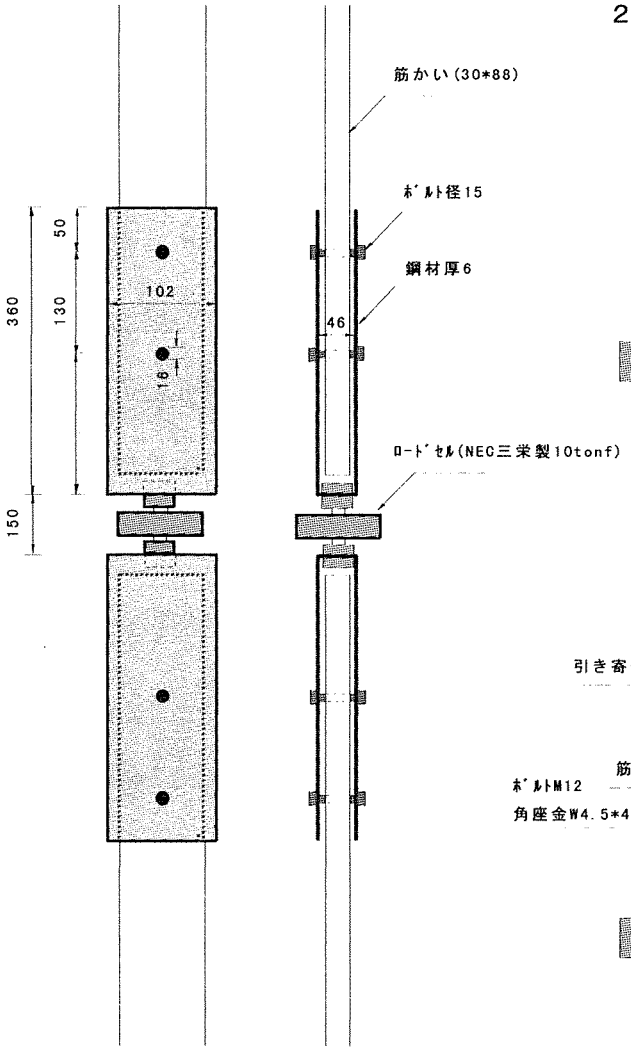


図2 筋かい引張り力測定用治具の概要

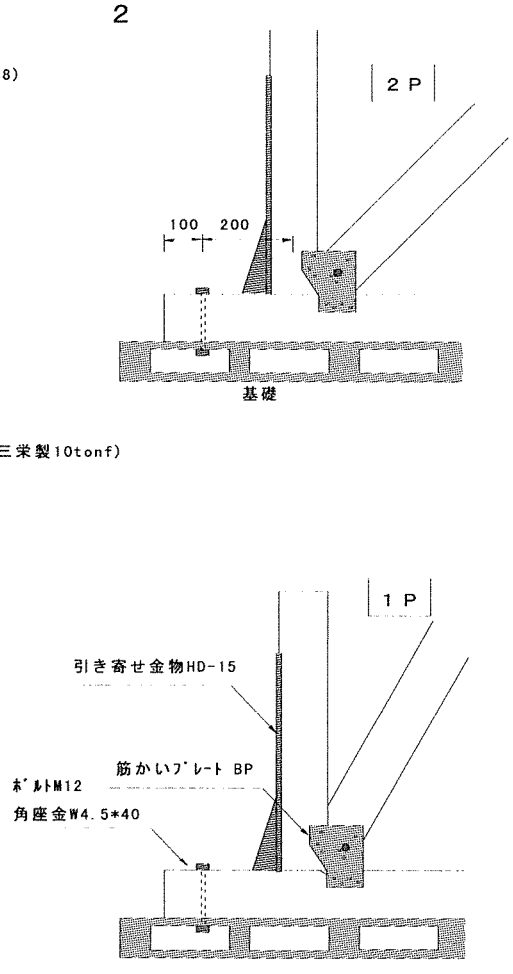


図3 筋かい及び柱の接合状況(1P、2P)

３．結果と考察

試験結果を図、表、及び写真に示す。

３．１　せん断変形角補正

筋かいを切断したことによるたるみと、筋かいに設置した治具のすべりの影響を補正するために、徳田が提案する手法を用いた。

補正式は、

$$\delta_c = \delta_0 - (\delta_{11}) \cos\theta$$

δ_c　：補正後の水平変位

δ_0　：補正前の水平変位

δ_{11}　：筋かいに設置された変位計値

３．２　試験体の破壊形態

試験体の破壊形態を写真に示す。

破壊形態としては、筋かい端部の上下とちらかから亀裂が材長方向い走り、破壊する。全般的には、プレート用ボルト、またはくぎにより引き裂かれる形で、亀裂がはしり、破壊していった。この要因としては材質的な問題、ボルトやくぎと材端部の端距離が少ないことが要因の１つではないかと考える。この他にみられた破壊形態は、筋かい端部近くに節が有り、その箇所から破壊していったケースも２、３見られた。

３．３　耐力壁の壁倍率

表に示すように、倍率１．５をクリアしなかったのは、ベイマツは１Ｐと２Ｐをあわても全１３体中１体であった。しかし、スギについては逆に全１３体中に１１体も基準倍に達しておらず、材質的な問題が影響しているものと考える。

また、表に示す各試験体の倍率を算定する上で、基準となる値と 1/120、Ｐ 1/2、及び 2/3 Ｐｍａｘ時の値を比較検討すると、２Ｐについては Ｐ 1/2 か 2/3 Ｐ max から出現する傾向にある。１Ｐについては、1./120 かＰ 1/2 から算定される。

（文責：西内　豊）

表１　一定変形角時の荷重(kgf)と壁倍率

	一定変形角時の荷重						
	1/200	1/120	1/60	P1/2	2/3Pmax	Pmax	壁倍率
2Pﾍﾞｲﾏﾂ							
1	582	710	583	540	**481**	722	1.5
2	533	755	538	**482**	519	778	1.5
3	562	693	328	482	**472**	708	1.5
4	607	807	430	630	**607**	910	1.9
5	603	780		553	**535**	803	1.7
6	458	675	923	765	**648**	972	2.1
7	460	673	910	688	**612**	918	1.9
AVE	544	728	619	591	553	830	1.7
MAX	607	807	923	765	648	972	2.1
MIN	458	673	328	482	472	708	1.5
SD	63	53	247	107	69	104	0.2
2Pｽｷﾞ							
1	291	428	610	420	**412**	618	1.3
2	347	300	220	**270**	278	417	0.9
3	340	330		280	**270**	405	0.9
4	370	507		**330**	345	518	1.0
5	327	346	333	**240**	262	393	0.8
6	240	365	228	**285**	307	461	0.9
7	370	**213**		292	279	418	0.7
AVE	326	356	348	302	308	461	0.9
MAX	370	507	610	420	412	618	1.3
MIN	240	213	220	240	262	393	0.7
SD	47	93	182	58	54	81	0.2
1Pﾍﾞｲﾏﾂ							
1	152	**240**	465	434	429	644	1.5
2	144	**222**	409	515	480	720	1.4
3	155	**255**	460	497	465	698	1.6
4	150	**240**	431	480	452	678	1.5
5	190	**294**	450	310	313	469	1.9
6	165	**282**	485	412	409	613	1.8
AVE	159	256	450	441	425	637	1.6
MAX	190	294	485	515	480	720	1.9
MIN	144	222	409	310	313	469	1.4
SD	17	28	27	75	60	91	0.2
1Pｽｷﾞ							
1	168	**259**	397	396	349	524	1.6
2	161	237	103	**194**	225	337	1.2
3	133	**196**	350	305	315	472	1.2
4	120	**196**	343	245	263	395	1.2
5	123	182	320	**158**	213	319	1.0
6	165	**250**	399	377	333	500	1.6
AVE	145	220	319	279	283	425	1.3
MAX	168	259	399	396	349	524	1.6
MIN	120	182	103	158	213	319	1.0
SD	22	33	110	97	58	87	0.2

注：太字、下線付きデータは壁倍率算定に採用した値

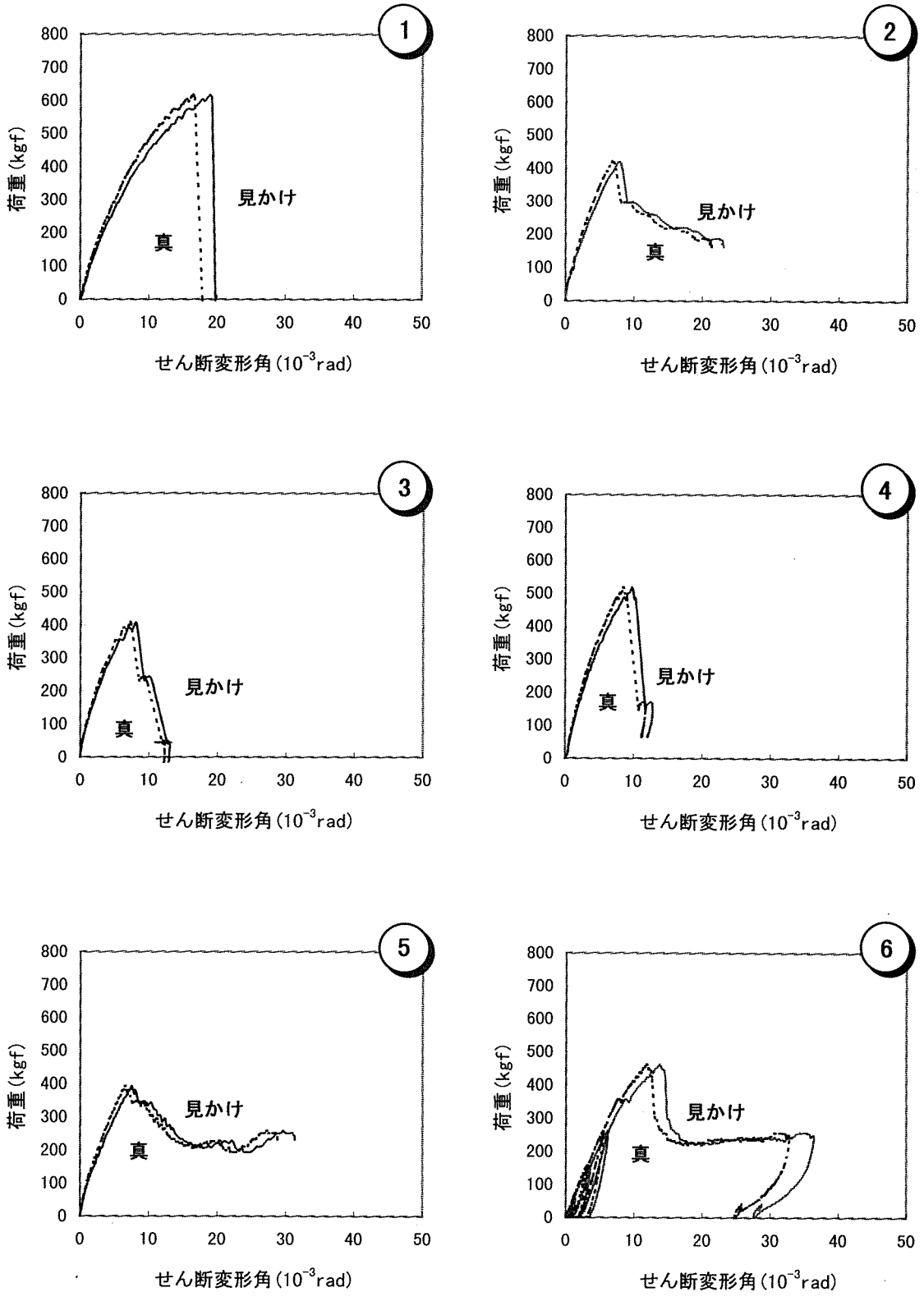
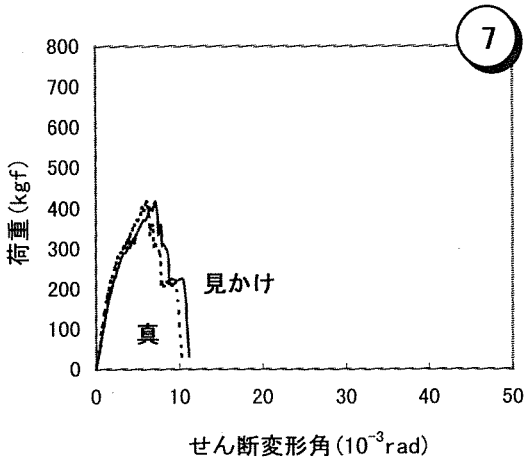


図５　荷重－変形曲線（2Pｽｷﾞ）


7
800
700
600
500
400
300
200
100
0
荷重(kgf)
見かけ
真
0
10
20
30
40
50
せん断変形角(10^{-3}rad)

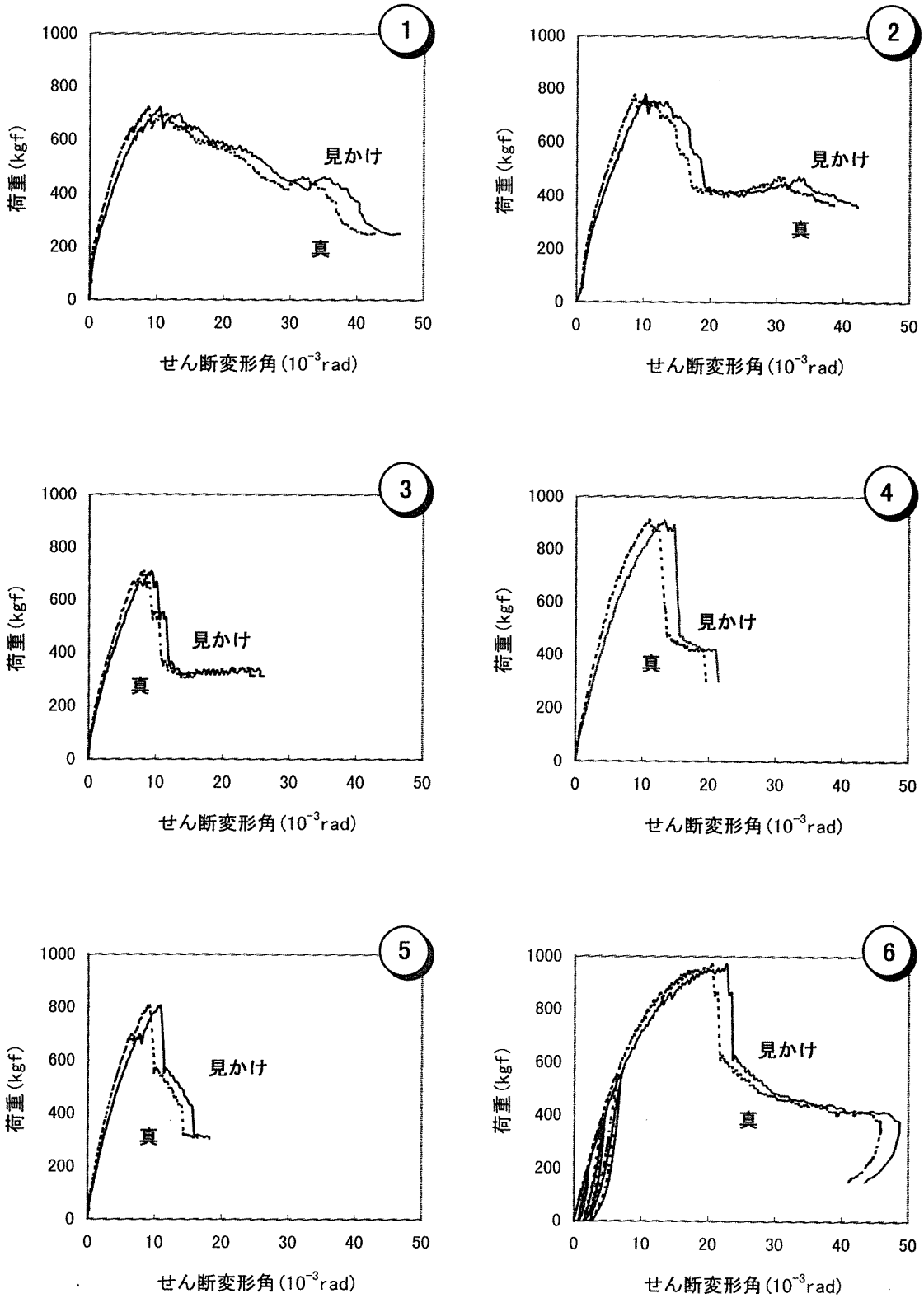
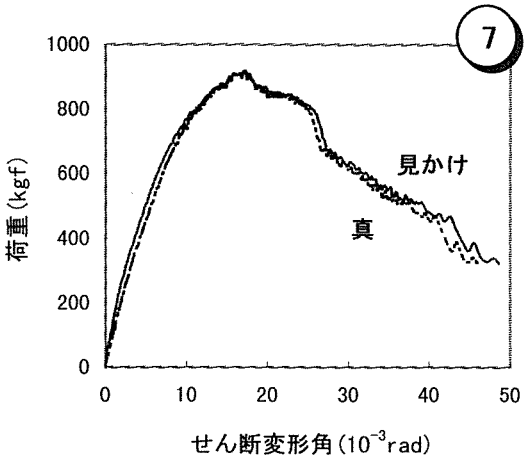


図４　荷重－変形曲線（2Pﾍﾞｲﾏｯ）


7
1000
800
600
400
200
0
荷重(kgf)
0
10
20
30
40
50
せん断変形角(10^{-3}rad)
見かけ
真

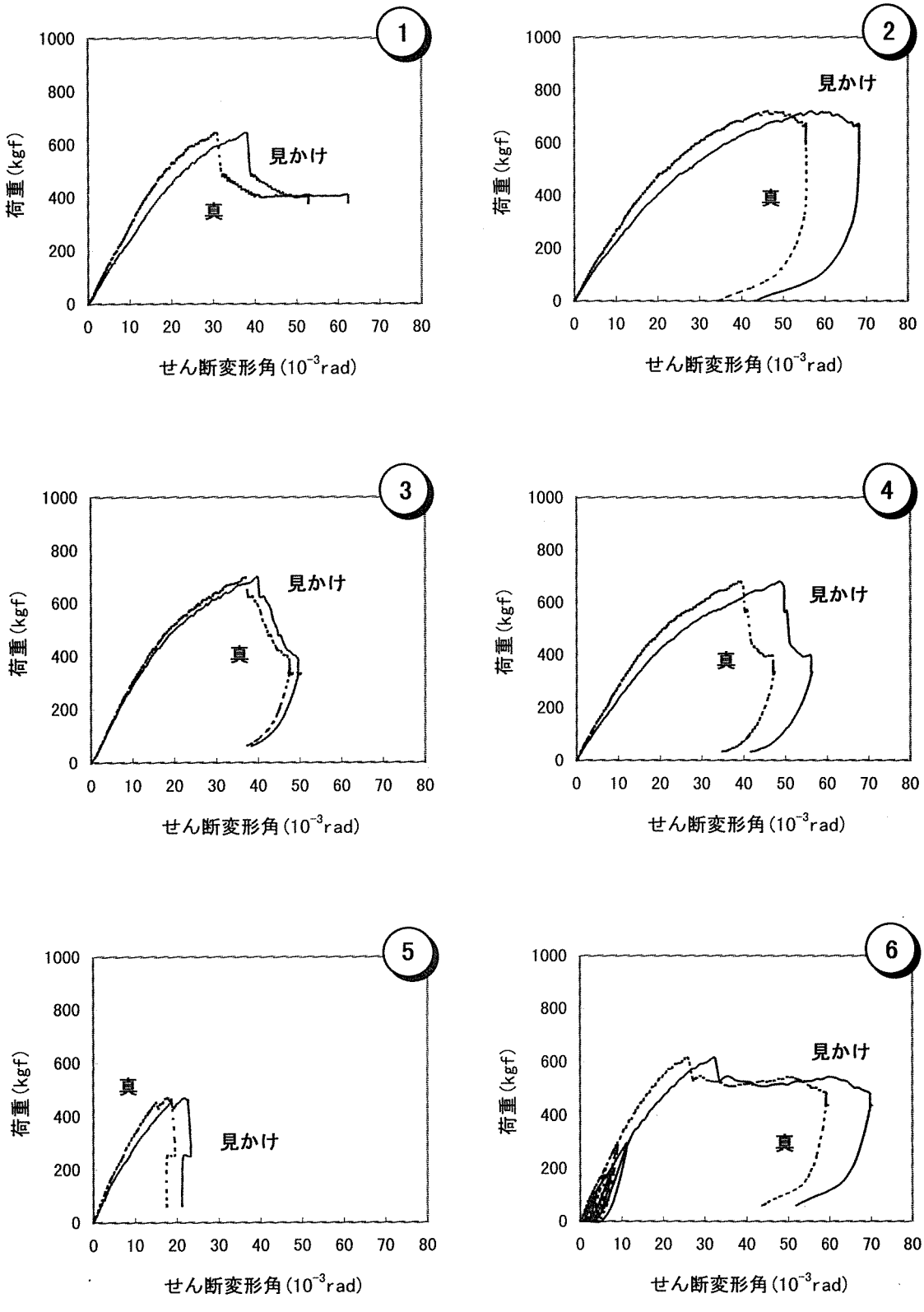


図６　荷重－変形曲線（1Pﾍﾟｲﾏｯ）

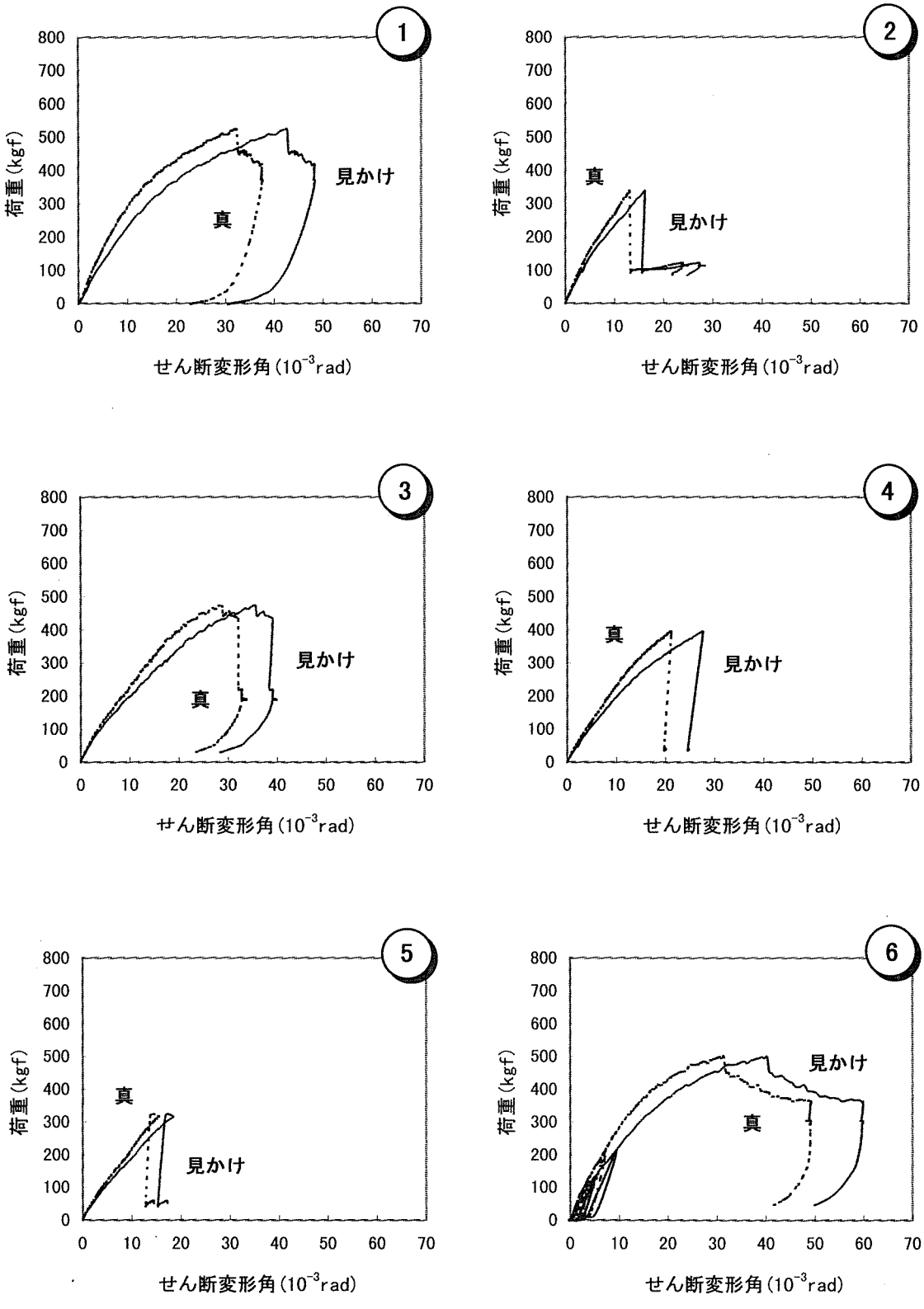


図７　荷重－変形曲線（1Pｽｷﾞ）

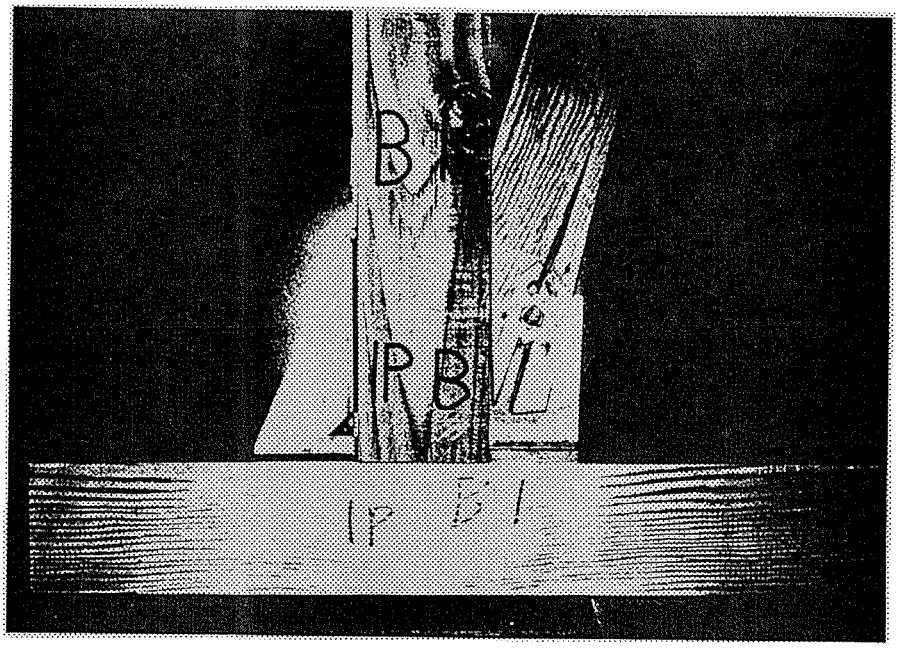


写真　破壊形態１

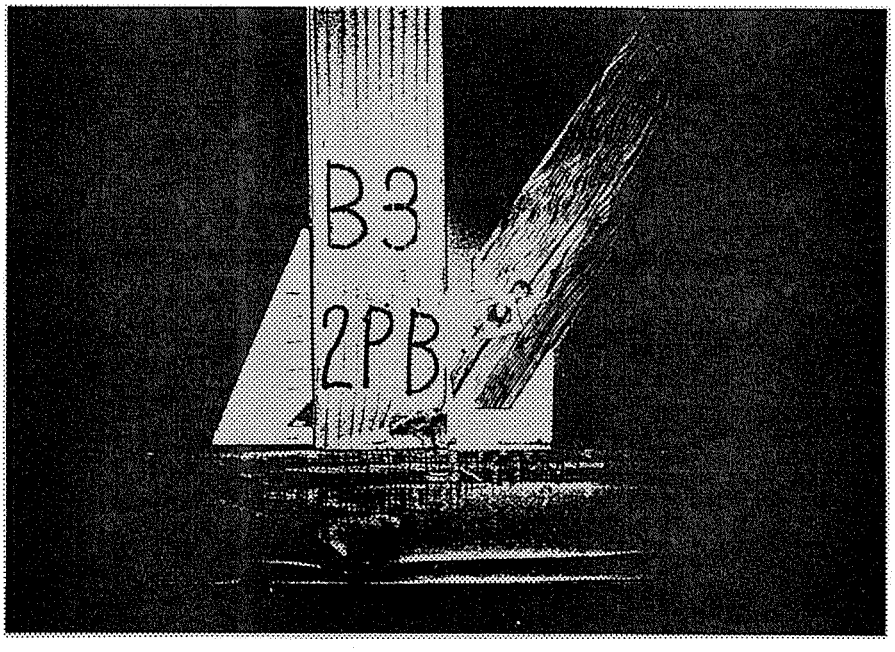


写真　破壊形態２

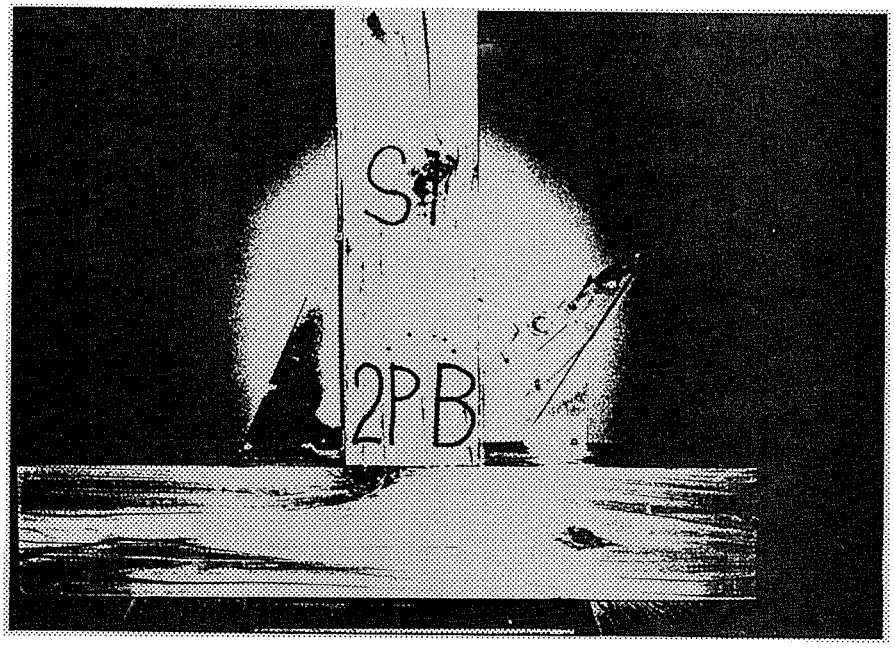


写真　破壊形態３

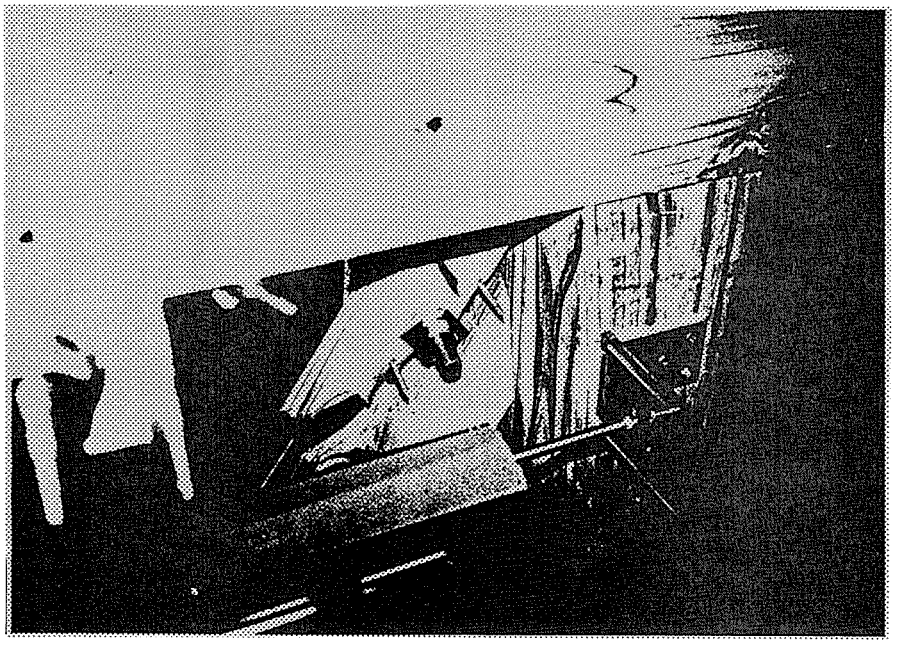


写真　破壊形態４

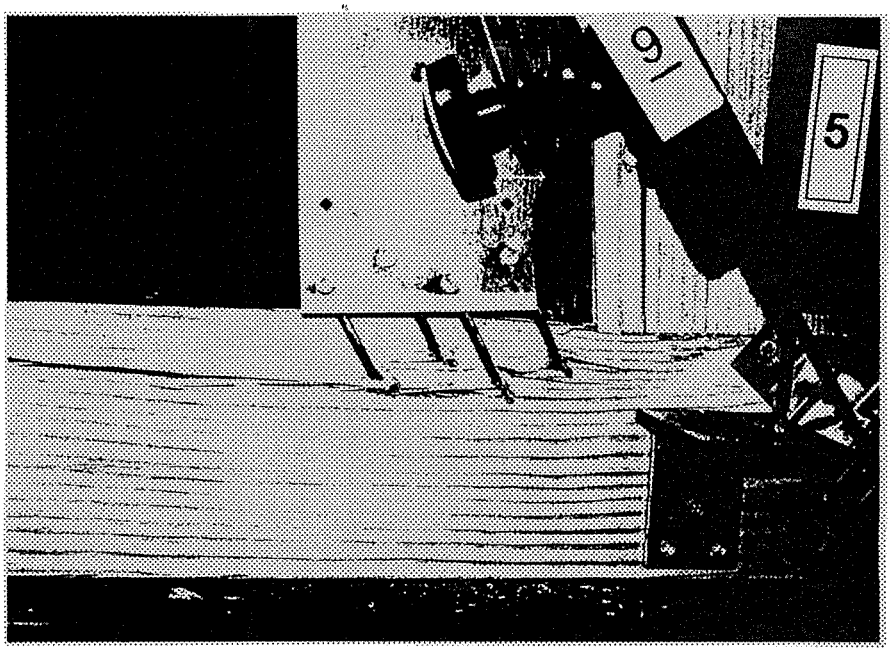


写真　破壊形態５

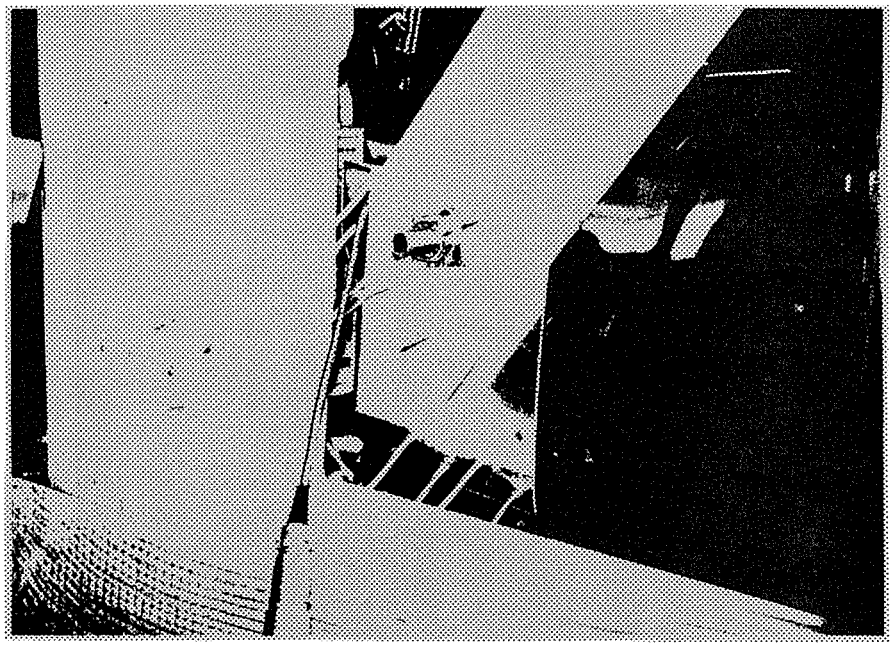


写真　破壊形態６

第６章　筋かい壁強度性能評価実験－フリーガゼット接合による３つ割筋かい壁

1 試験条件

1-1 試験体

試験体の形状は図１の通りである。樹種はスギとベイマツの２種類、スパンは910㎜(1P)と1820㎜(2P)の２種類、筋かい接合金物はＡ(2倍用フリーガセットF(G-B)、Ｂ(未定)の２種類である。試験体数は、樹種、スパン、筋かい接合金物の組を１つの条件として、各条件６体ずつの計48体である。載荷方法を、単調載荷、１方向繰返し載荷、正負繰返し載荷の３通りとし、それぞれの載荷方法で２体ずつ試験を行った。

試験体名称は以下のように定めた。

例　　ＡＳ１Ｍ１　　金物Ａ、スギ、１Ｐ、単調載荷、１体目

ここに、

Ａ	：金物種類	Ａ，Ｂ
Ｓ	：樹種	スギ、ベイマツ
１	：壁幅	910㎜、1820㎜
Ｍ	：載荷方法	単調載荷(M) 1方向繰返し(C) 正負繰返し(R)
１	：試験体	１、２

である。

柱･桁･土台には公称105㎜角の、筋かいには三ツ割(105×30)の材をそれぞれ使用した。試験を行う前に図２のように測定した各部材の断面寸法を表１に示す。これを樹種毎に平均したものが表２である。いずれも公称寸法をほぼ満足している。

1-2 載荷方法

JIS A1414-1973に従い、タイロッドなし無載荷の面内せん断試験を行った。載荷方法は以下の通りである。載荷にはスクリュージャッキ(日本ギヤ工業(株)、容量2.5tonf、ストローク600㎜)を用いた。また、電動モータを使って、ストローク速度が一定になるように載荷した。試験体並びに試験装置を水平に置いて載荷を行った。装置は鉄骨でフレームを組み、木造筋かい付フレームをφ12mmのアンカーボルト２本でそれに固定した(写真１、図３)。また、載荷による試験体の構面外変形を防止するため、桁部分をニードルベアリングを介して鉄板で挟み付けた(写真２)。

各条件６体ずつの試験体を３つに分け、単調載荷、１方向繰返し載荷、正負繰返し載荷をそれぞれ２体ずつ行った。繰返し載荷は、1Pの試験体では載荷点の荷重が100kg、200kg、300kgを目安に、2Pの試験体では200kg、400kg、600kgを目安に荷重階を定めて行った。正負繰返し載荷の場合、それぞれの荷重階を２度経験させるように繰返しを行った。ただし、負の載荷で筋かい材の面外座屈で破壊することがないようにしたため、負の荷重はあまり大きくしなかった。また、単調載荷であっても一旦除荷したあと再び載荷した場合もある。

スクリュージャッキのストロークにより、載荷点での水平変位が±30cm になるまで変形させることができるので、最大荷重に達して筋かいが破断した後も、見かけの変形角がおよそ 1/10rad 程度になるまで変形させた。

1-3 計測方法

載荷点の荷重は、容量 2tonf(定格出力 2000×10^{-6})の荷重計を用いて、また、筋かいに生じる引張力は容量 5tonf(定格出力 2000×10^{-6})の荷重計を用いてそれぞれ計測した。変形は変位計を 13 点設置して計測した(図 3)。

2 試験結果

載荷荷重と見かけの変形角の関係を図 3 に示す。見かけの変形角は変位計⑫及び⑬から求めた。最大荷重は試験体によりばらつきが大きいが、平均を取ると、AS1 のシリーズは 532.2kg、AS2 では 892.6kg、AM1 では 563.5kg、AM2 では 1037.5kg であった。破壊は AS1M1 を除いて、すべて筋かいと筋かい金物の接合部で、釘やボルトによって引き裂かれる形で起こっている。AS1M1 のみは筋かい中央部の荷重計取り付け部で破壊した。

見かけの変形角が 1/200rad、1/120rad、1/60rad 時の荷重、最大荷重、その時の見かけの変形角、最大変形角、そして筋かいの破断した位置を表 3 に示す。この試験結果から現在わかっていることは、以下のようである。

1. 破壊は筋かいの接合部で起こっている。
2. 最大耐力付近でまず筋かい接合部に割れが生じ、筋かいの軸力が徐々に減ると同時に載荷点の荷重も減少するが、筋かいの軸力がなくなっても、変形の増大と共に載荷荷重のわずかな上昇が見られる。
3. 単調載荷の場合で比較すると、ベイマツの最大耐力はスギの最大耐力より、およそ 100kgf 大きい。スパンにより最大耐力を比較すると、スギの場合で 2P が 1P より 300～400kgf 大きい。また最大荷重時の変形角は、スギの 1 方向繰返し載荷で大きくなっている他は、スパンにより同程度であり、樹種による違いは明確でない。
4. スギに限られるが、1 方向繰返しの場合最大耐力が 100kgf 程度上昇した。特にスギの 1P では最大荷重時の変形角も大きくなっている。正負繰返しの場合には単調載荷と比べて最大荷重やその時の変形角が大きくなることはなく寧ろ最大荷重は少し低くなっている。

以下に壁幅による挙動の違いを述べる。ただし繰返し載荷についてはスギの挙動である。

2-1 壁幅が 1P の場合

単調載荷の場合、最大荷重に達すると同時に表 3 で示す破断位置で筋かいが割れ、200～300kg 程度の耐力の減少を示す。その後筋かいが完全に外れてしまうまで耐力はほぼ一定であるが、筋かいが外れて柱・梁のみの構造になると再び耐力の向上が見られた。1 方向繰返し載荷の場合、最大荷重を経過後、一旦耐力が減少してから筋かい接合部での破壊が生じる。また、最大荷重は単調載荷の時よりも大きくなっている。正負繰返し載荷の場合、スリップ現象が明確に見られた。また、負の載荷(筋かいに圧縮力がかかる)では、載荷荷重が 200kg を超えると筋かいが座屈して孕みだしてくる。そのため荷重が上がらなくなり、変形だけが進行するようになる。何度か正負の繰返しを行った後

は、1方向繰返し載荷のときと同様、最大荷重から少し下がった荷重のときに筋かい接合部で破壊が生じる。変形を進めた後再度繰返し荷重を作用させると、低い剛性で荷重と変形が進行する。

2-2 壁幅が 2P の場合

単調載荷では最大荷重に達するのとほぼ同じに筋かいが割れて、耐力が減少する。その後は荷重と変形角の関係が双曲線状になり、筋かいが外れると再び荷重が上昇してくる。1方向繰返しの場合、幅 1P のものと同様最大荷重から少し荷重が下がったときに筋かいが接合部で割れ、以後は単調載荷と同様の挙動を示す。正負繰返しの場合、負の載荷に対しては筋かいの座屈により変形だけが進むようになる。筋かい接合部での破壊の後、再び繰返し荷重を作用させると、低い剛性で荷重が上昇して、変形が大きくなると1方向繰返し載荷における筋かい破壊以後の荷重・変形角関係と同様の挙動を示す。

（文責：鈴木祥之）

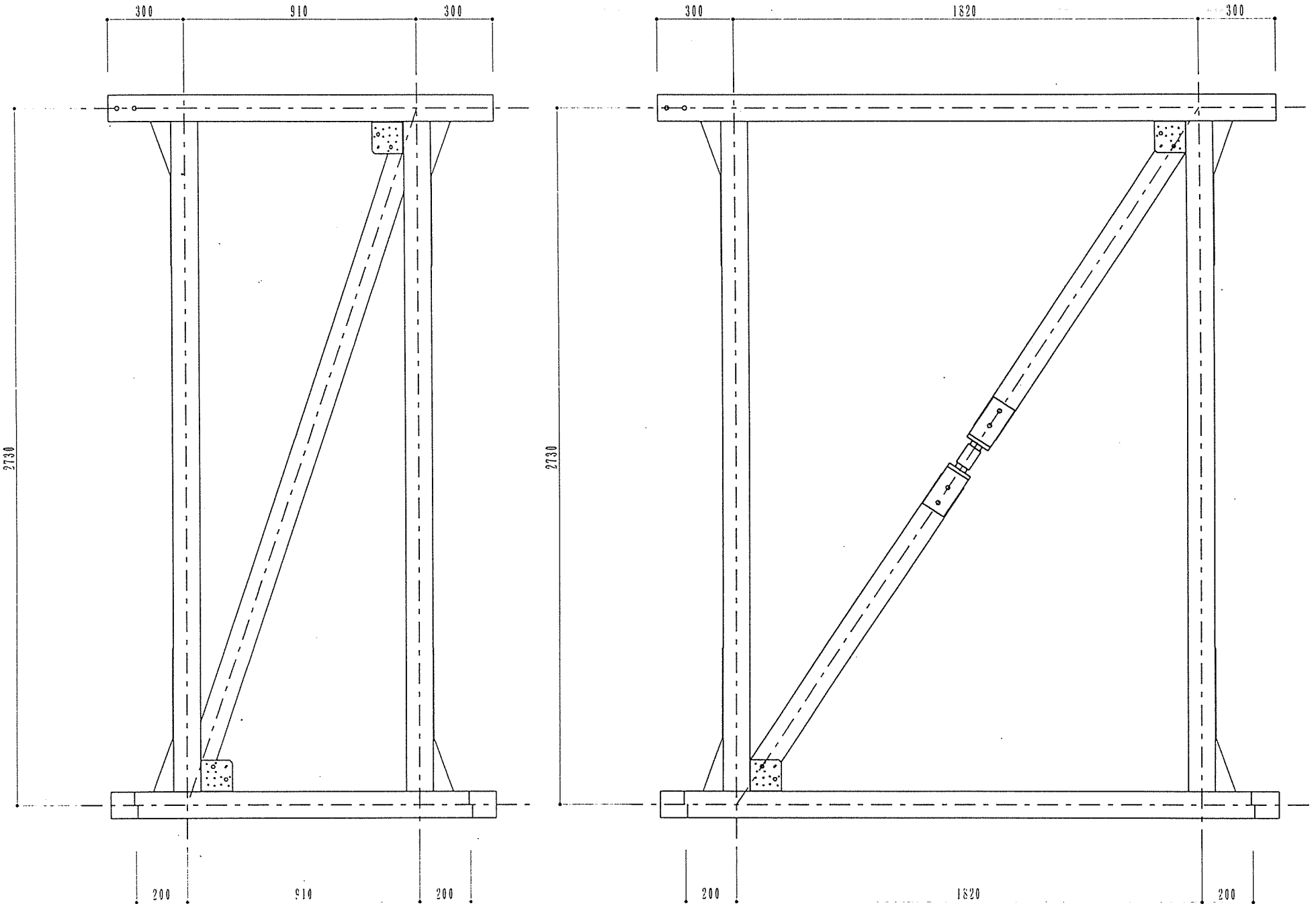


図１：試験体形状

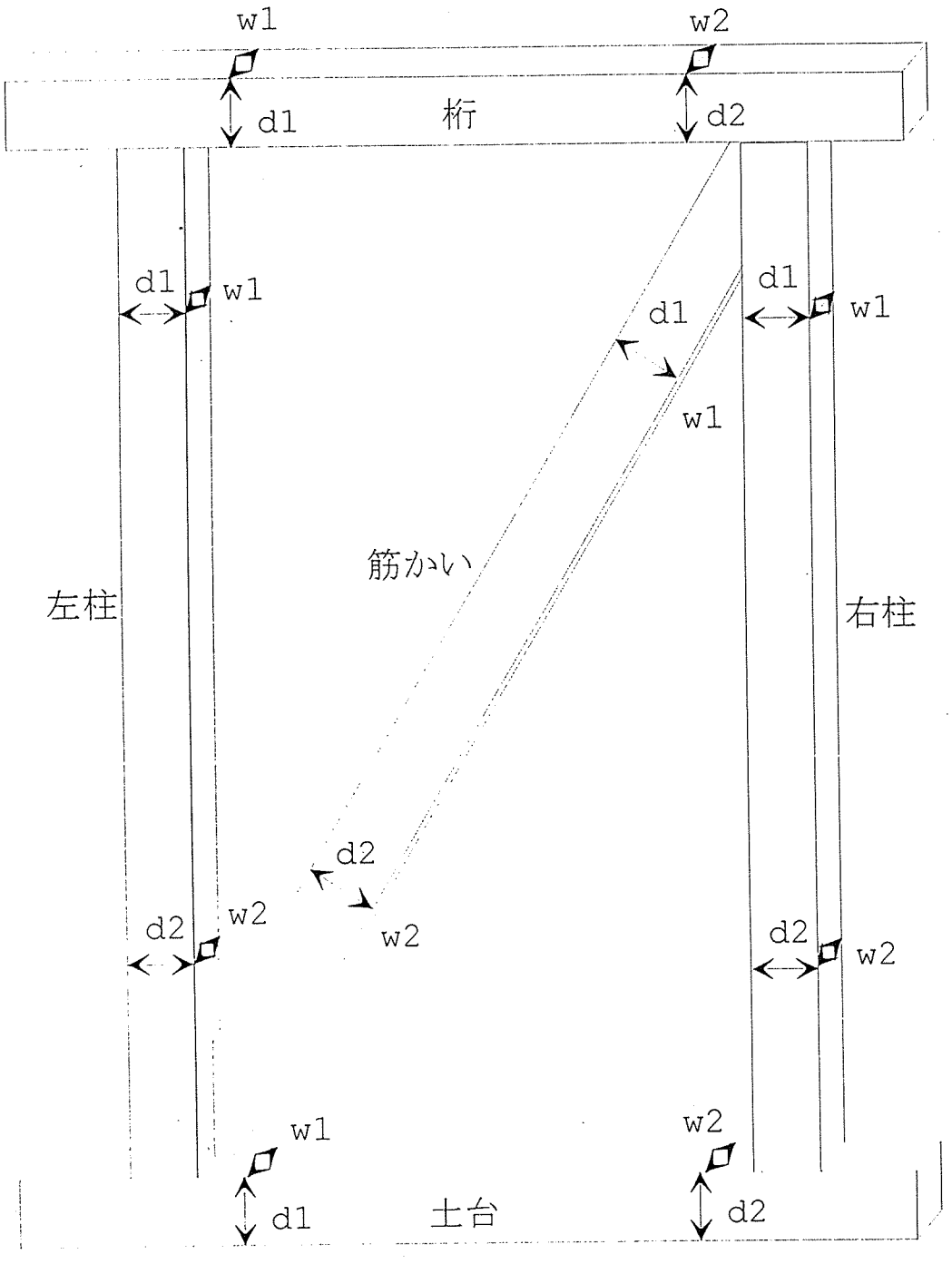


図2：部材の寸法

図に示すように各部材の幅(d)と奥行き(w)を部材毎に2ヶ所ずつ計測した。

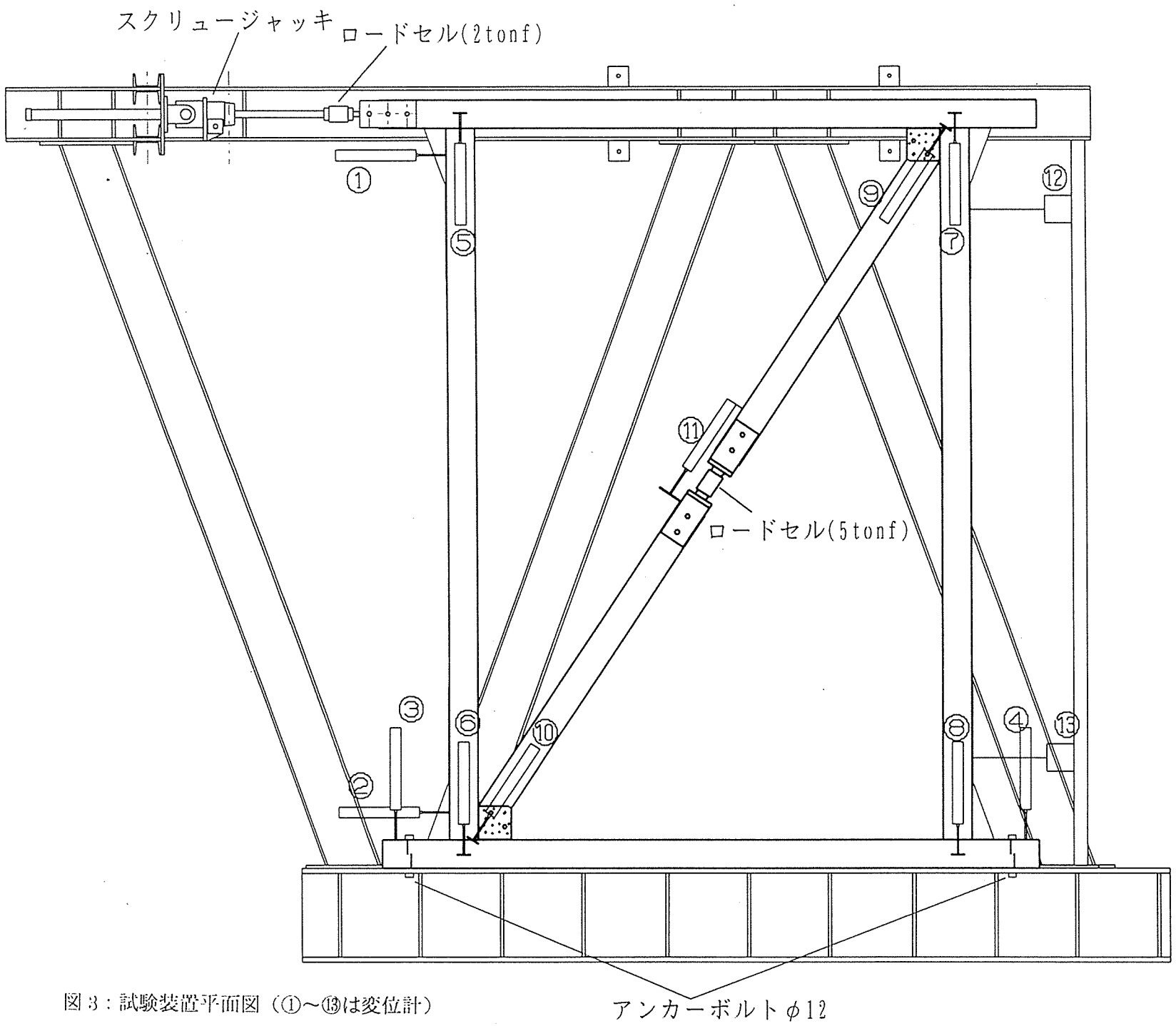
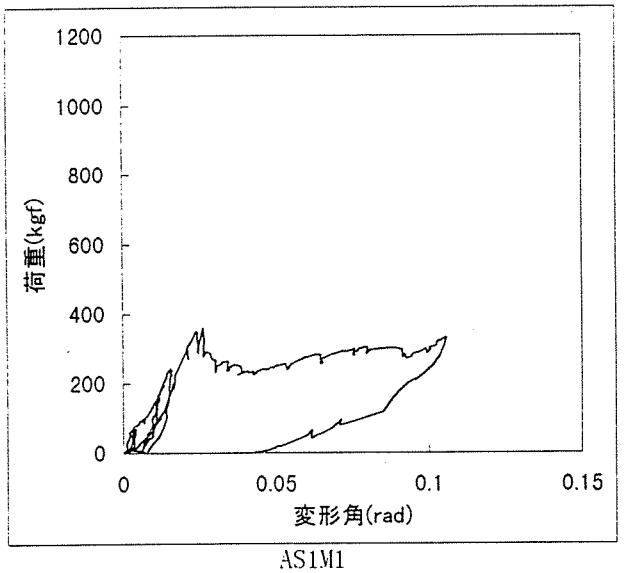
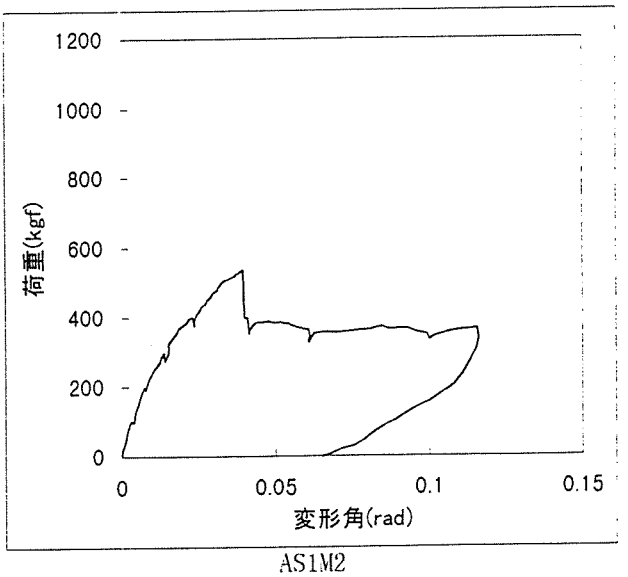


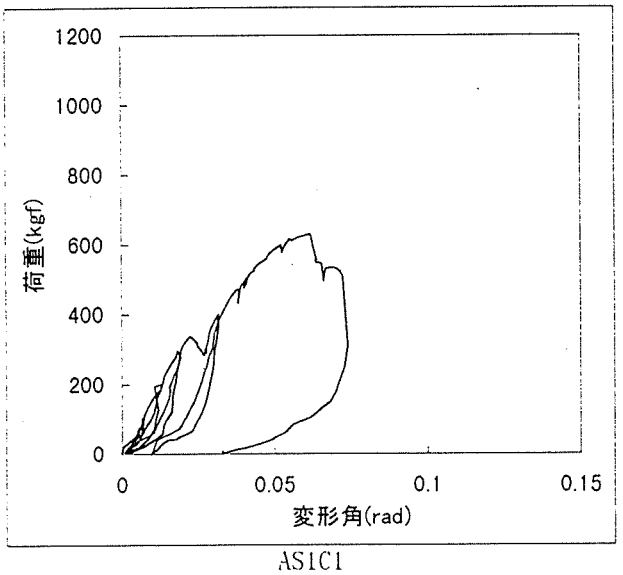
図3：試験装置平面図（①～⑬は変位計）



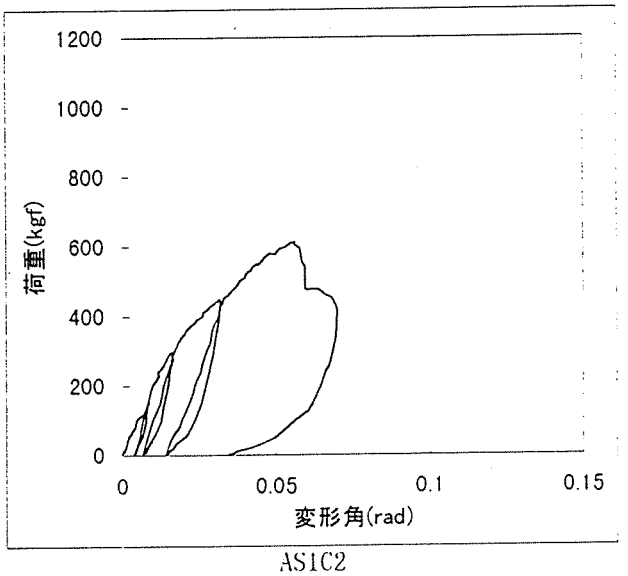
AS1M1



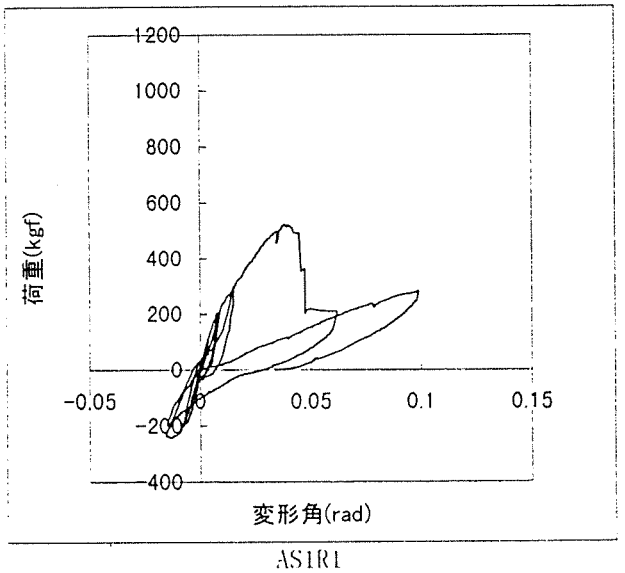
AS1M2



AS1C1



AS1C2

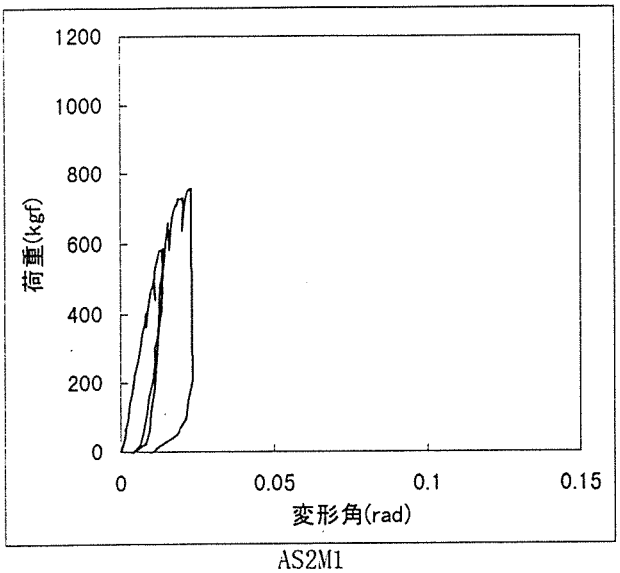


AS1R1

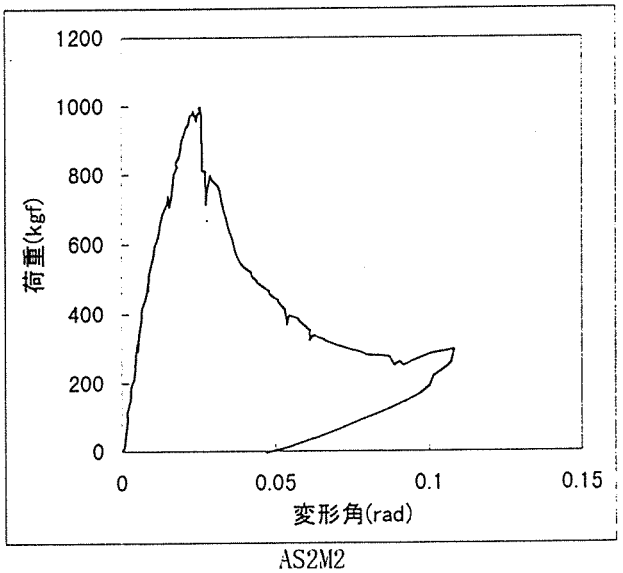
AS1R2

(a) 金物A、スギ、1P

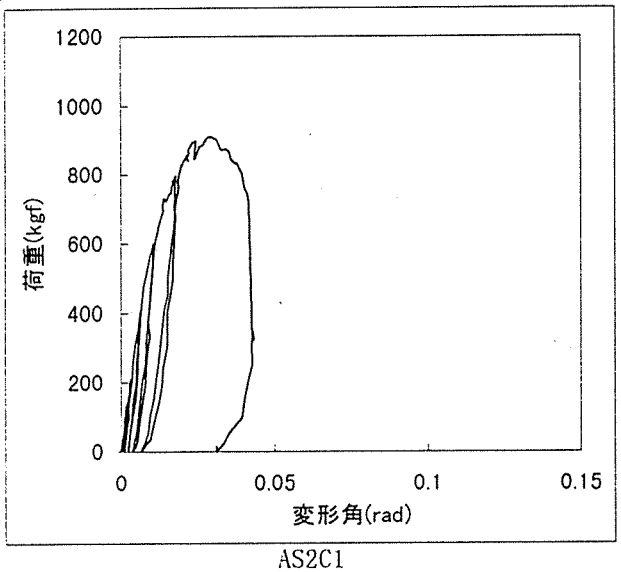
図4：荷重と変形角の関係



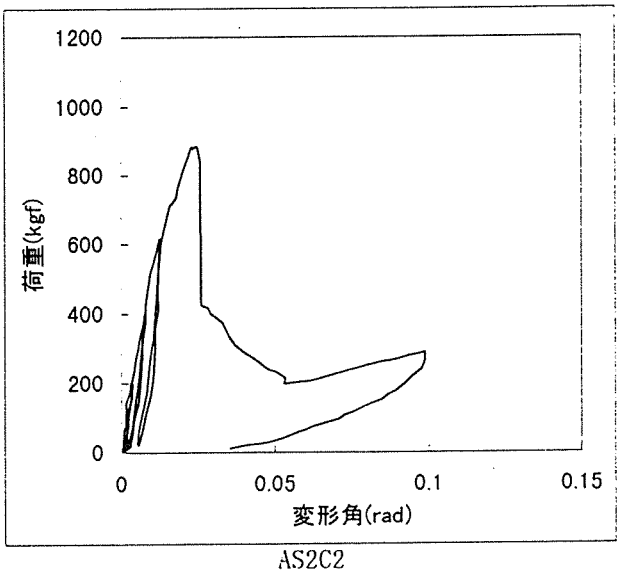
AS2M1



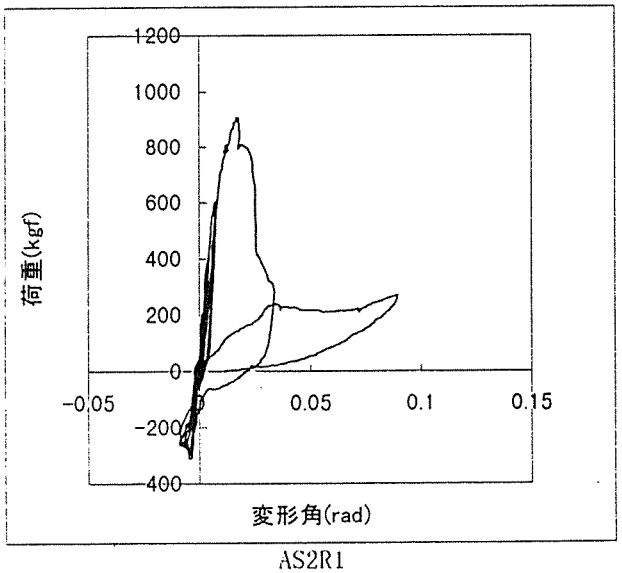
AS2M2



AS2C1



AS2C2

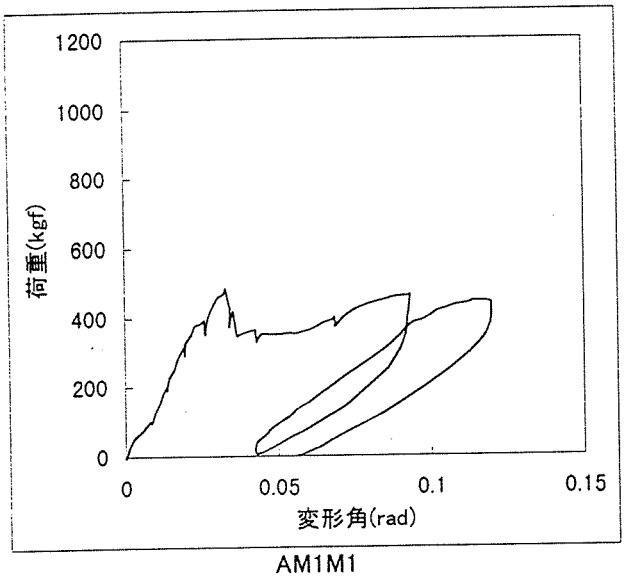


AS2R1

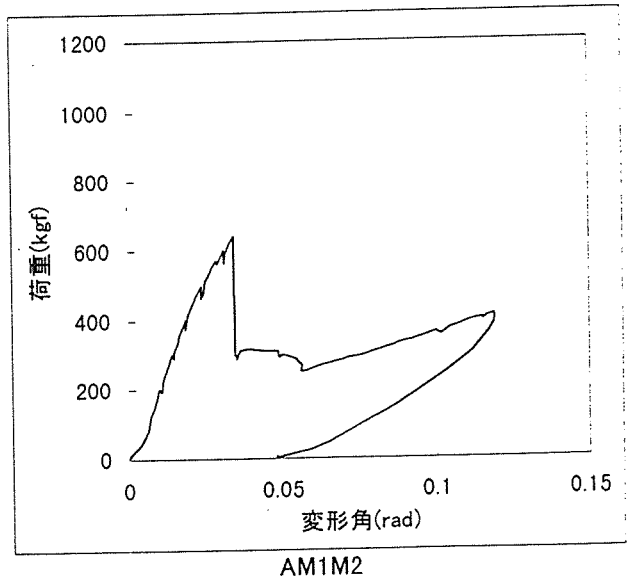
AS2R2

(b) 金物A、スギ、２Ｐ

図4：荷重と変形角の関係



AM1M1



AM1M2

AM1C1

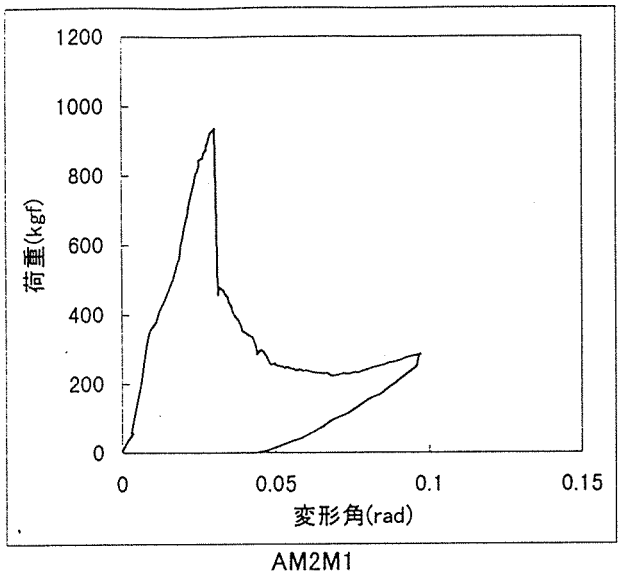
AM1C2

AM1R1

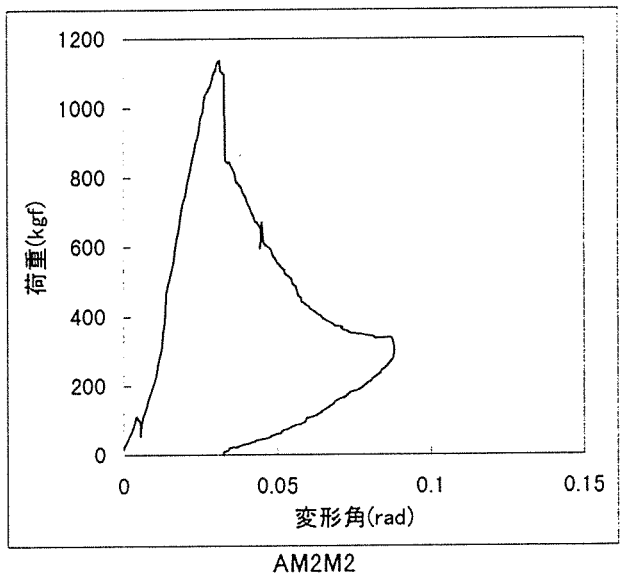
AM1R2

(c) 金物A、ベイマツ、ＬＰ

図4：荷重と変形角の関係



AM2M1



AM2M2

AM2C1

AM2C2

AM2R1

AM2R2

(d) 金物A、ベイマツ、２Ｐ

図4：荷重と変形角の関係

表１：各部材の断面寸法(図2参照)

AS1M1	d 1	d 2	w 1	w 2	d	w
桁	104.83	104.78	105.1	105.22	104.8	105.2
土台	105.1	105.63	104.51	104.76	105.4	104.6
柱左	105.05	104.84	104.5	104.51	104.9	104.5
柱右	105.15	105.2	104.9	104.76	105.2	104.8
筋かい	106.47	107.09	30.31	31.12	106.8	30.7

AS1M2	d 1	d 2	w 1	w 2	d	w
桁	104.48	103.51	104.45	105.04	104.0	104.7
土台	104	105.21	104.91	104.76	104.6	104.8
柱左	104.69	104.94	104.32	104.69	104.8	104.5
柱右	104.68	104.49	104.85	105.09	104.6	105.0
筋かい	107.16	105.97	34.92	30.25	106.6	32.6

AS1C1	d 1	d 2	w 1	w 2	d	w
桁	104.78	104.89	105.01	105.98	104.8	105.5
土台	103.86	104.04	104.68	105.06	104.0	104.9
柱左	104.31	104.48	104.41	104.12	104.4	104.3
柱右	104.63	104.62	105.39	104.74	104.6	105.1
筋かい	106.74	106.56	28.84	30.91	106.7	29.9

AS1C2	d 1	d 2	w 1	w 2	d	w
桁	104.87	104.91	104.36	104.06	104.9	104.2
土台	103.6	103.8	104.83	104.87	103.7	104.9
柱左	104.46	104.71	105.07	104.76	104.6	104.9
柱右	104.65	104.65	104.62	105.07	104.7	104.8
筋かい	107.34	107.54	30.79	29.38	107.4	30.1

AS1R1	d 1	d 2	w 1	w 2	d	w
桁	104.61	104.18	104.26	104.43	104.4	104.3
土台	104.54	104.6	105.25	104.89	104.6	105.1
柱左	104.04	103.92	103.87	103.83	104.0	103.9
柱右	104.62	104.94	104.88	104.86	104.8	104.9
筋かい	107.24	107.79	29.47	29.68	107.5	29.6

AS1R2	d 1	d 2	w 1	w 2	d	w
桁						
土台						
柱左						
柱右						
筋かい						

AS2M1	d 1	d 2	w 1	w 2	d	w
桁	104.78	104.53	104.93	104.39	104.7	104.7
土台	102.84	102.34	103.92	104.15	102.6	104.0
柱左	104.13	103.97	104.24	104.23	104.1	104.2
柱右	104.5	104.25	104.34	104.61	104.4	104.5
筋かい	106.26	106.52	25.31	29.68	106.4	27.5

AS2M2	d 1	d 2	w 1	w 2	d	w
桁	104.17	104.23	104.43	103.78	104.2	104.1
土台	104.39	104.25	104.26	103.94	104.3	104.1
柱左	104.49	104.3	104.42	104.28	104.4	104.4
柱右	104.09	103.88	104.22	104.05	104.0	104.1
筋かい	105.52	107.91	28.8	28.97	106.7	28.9

AS2C1	d 1	d 2	w 1	w 2	d	w
桁	104.09	103.88	104.69	104.49	104.0	104.6
土台	104.95	104.94	104.61	104.59	104.9	104.6
柱左	103.84	103.88	104.52	104.5	103.9	104.5
柱右	104.03	104.33	104.48	104.21	104.2	104.3
筋かい	106.89	106.33	26.56	30.07	106.6	28.3

AS2C2	d 1	d 2	w 1	w 2	d	w
桁	104.4	104.39	104.85	104.69	104.4	104.8
土台	104.25	103.43	104.66	105.36	103.8	105.0
柱左	104.89	104.55	105.78	104.95	104.7	105.4
柱右	104.65	104.4	105.12	105.12	104.5	105.1
筋かい	106.67	106.29	27.76	25.99	106.5	26.9

AS2R1	d 1	d 2	w 1	w 2	d	w
桁	104.55	104.69	104.12	104.46	104.6	104.3
土台	103.78	103.54	103.91	104.03	103.7	104.0
柱左	103.95	103.82	104.29	104	103.9	104.1
柱右	105.38	104.46	105.99	105.07	104.9	105.5
筋かい	105.48	105.14	29.88	30.47	105.3	30.2

AS2R2	d 1	d 2	w 1	w 2	d	w
桁						
土台						
柱左						
柱右						
筋かい						

表１：各部材の断面寸法(つづき)

AM1M1	d 1	d 2	w 1	w 2	d	w
桁	104.7	103.26	103.89	104.52	104.0	104.2
土台	106.33	106.65	103.96	102.54	106.5	103.3
柱左	102.82	102.97	104.79	104.63	102.9	104.7
柱右	104.23	104.34	103.83	103.45	104.3	103.6
筋かい	102.91	103.62	30	30.01	103.3	30.0

AM1M2	d 1	d 2	w 1	w 2	d	w
桁	104.56	104.26	102.38	103.15	104.4	102.8
土台	103.3	102.81	104.55	104.06	103.1	104.3
柱左	104.92	104.86	103.46	103.03	104.9	103.2
柱右	102.51	103.19	103.14	103.17	102.9	103.2
筋かい	103.76	103.24	30.46	29.66	103.5	30.1

AM1C1	d 1	d 2	w 1	w 2	d	w
桁						
土台						
柱左						
柱右						
筋かい						

AM1C2	d 1	d 2	w 1	w 2	d	w
桁						
土台						
柱左						
柱右						
筋かい						

AM1R1	d 1	d 2	w 1	w 2	d	w
桁						
土台						
柱左						
柱右						
筋かい						

AM1R2	d 1	d 2	w 1	w 2	d	w
桁						
土台						
柱左						
柱右						
筋かい						

AM2M1	d 1	d 2	w 1	w 2	d	w
桁	102.48	104.36	106.68	106.13	103.4	106.4
土台	103.61	103.85	106.31	106.06	103.7	106.2
柱左	105.19	104.5	103.66	104.5	104.8	104.1
柱右	104.33	104.28	106.21	104.66	104.3	105.4
筋かい	104.05	103.55	29.67	29.79	103.8	29.7

AM2M2	d 1	d 2	w 1	w 2	d	w
桁	106.11	104.04	104.03	103.82	105.1	103.9
土台	102.75	103.07	102.69	103.68	102.9	103.2
柱左	105.07	105.23	104.81	104.37	105.2	104.6
柱右	104.4	104.42	103.28	103.78	104.4	103.5
筋かい	103.25	103.21	29.97	29.9	103.2	29.9

AM2C1	d 1	d 2	w 1	w 2	d	w
桁						
土台						
柱左						
柱右						
筋かい						

AM2C2	d 1	d 2	w 1	w 2	d	w
桁						
土台						
柱左						
柱右						
筋かい						

AM2R1	d 1	d 2	w 1	w 2	d	w
桁						
土台						
柱左						
柱右						
筋かい						

AM2R2	d 1	d 2	w 1	w 2	d	w
桁						
土台						
柱左						
柱右						
筋かい						

表２：実験を行った全試験体寸法の平均値

スギ	d 1	d 2	w 1	w 2	d	w
桁	104.56	104.40	104.62	104.65	104.5	104.6
土台	104.13	104.18	104.55	104.64	104.2	104.6
柱左	104.39	104.34	104.54	104.39	104.4	104.5
柱右	104.64	104.52	104.88	104.76	104.6	104.8
筋かい	106.58	106.71	29.26	29.65	106.6	29.5

ベイマツ	d 1	d 2	w 1	w 2	d	w
桁	105.37	103.90	103.58	103.83	104.6	103.7
土台	103.78	103.90	103.47	103.49	103.8	103.5
柱左	104.47	104.57	104.47	104.10	104.5	104.3
柱右	103.89	104.09	103.38	103.55	104.0	103.5
筋かい	103.29	103.32	30.10	29.87	103.3	30.0

表３：主要変形角時の荷重

試験体	P(1/200)	P(1/120)	P(1/60)	Pmax	γ(Pmax)	γmax	破断位置
AS1M1	84.44	113.42	186.00	360.00	0.026173	0.105679	中央
AS1M2	140.63	207.50	339.36	537.00	0.039506	0.115802	下
AS1C1	64.06	128.25	267.86	629.00	0.060741	0.073827	下
AS1C2	104.50	146.29	292.00	613.00	0.056049	0.069877	下
AS1R1	147.50	202.00	315.50	522.00	0.038025	0.098765	上
AS1R2							
AS2M1	238.81	372.75	658.00	760.00	0.022963	0.023457	上
AS2M2	319.17	468.75	770.17	998.00	0.025432	0.108148	上
AS2C1	335.92	516.60	768.00	911.00	0.028642	0.04321	上
AS2C2	274.50	446.33	720.30	886.00	0.024444	0.098765	下
AS2R1	474.00	621.25	894.00	908.00	0.016543	0.089383	上
AS2R2							
AM1M1	71.27	105.00	267.25	487.00	0.03284	0.119753	下
AM1M2	58.58	145.80	357.75	640.00	0.034568	0.119012	下
AM1C1							
AM1C2							
AM1R1							
AM1R2							
AM2M1	151.19	324.75	500.44	938.00	0.030123	0.097037	下
AM2M2	93.56	169.08	582.00	1137.00	0.030864	0.088148	下
AM2C1							
AM2C2							
AM2R1							
AM2R2							

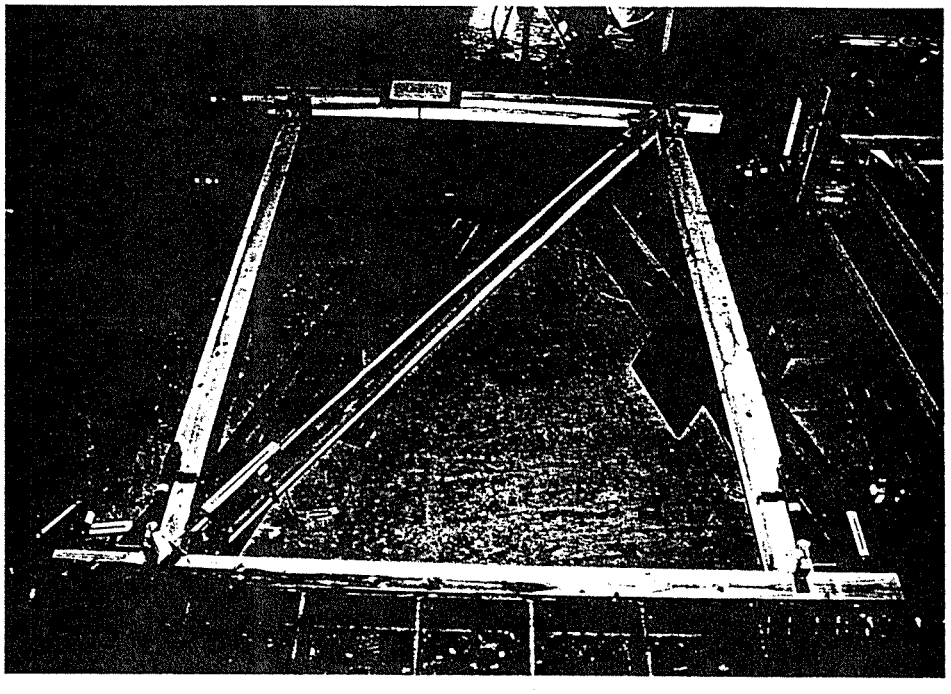


写真１：試験装置全景

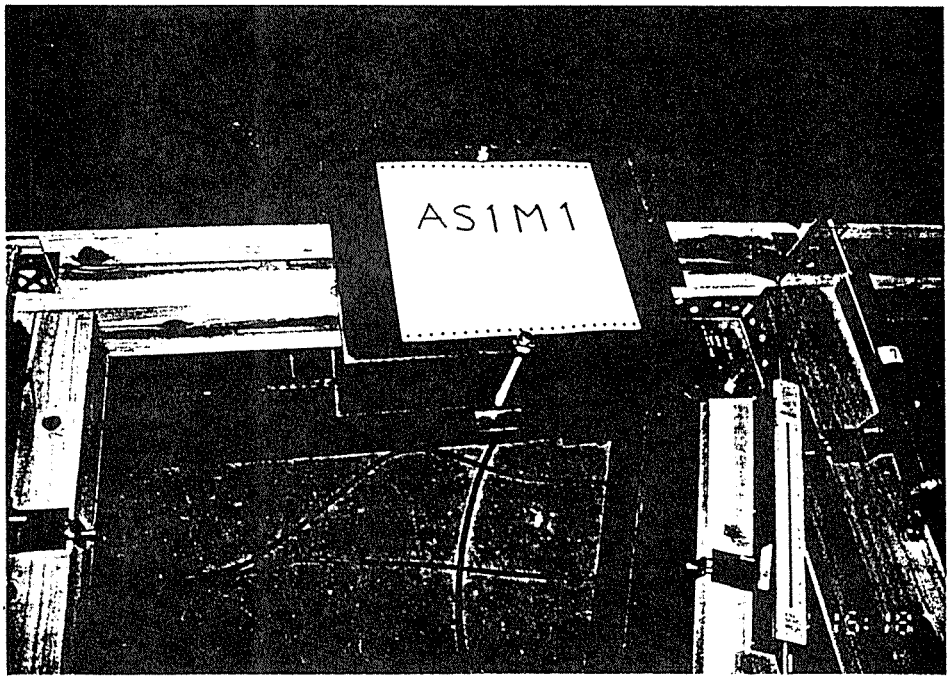


写真２：桁部分を鉄板で挟み付けて試験体の構面外変形を防止