

平成8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

木質建材利用合理化事業報告書

(木質ラーメン試験)

平成9年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

はじめに

兵庫県南部地震を契機に、木造住宅の耐震性を高める新しい試みが木造住宅メーカー、工務店を中心に積極的に行われている。筋かいにかわる構造用合板、OSB等を用いてパネル化した耐力壁や床の水平構面、仕口にかわる接合金物、部材寸法の標準化、乾燥した木材の採用など、耐震性のある安全な住宅を提供しようとする住宅メーカーの積極的な姿勢が感じられる。

しかし、残念ながら在来軸組構法の構造的問題については、その複雑さから細部にわたる検討が、未だ十分になされていないのが現状であり、仕様規定から性能規定に向かうにあたり、多くの問題に積極的に取り組む必要がある。とくに接合金物については、地震以降、多品種の金物が開発され、使用されているが、設計のための剛性、耐力の求め方について、一定の提案された方法があるわけではなく、種々のやり方で実務を行っているのが実状である。

以上のような状況を踏まえて、本事業では、各種の接合金物、筋かい耐力壁、木質ラーメン等の設計に必要な剛性、強度、靱性等の誘導方法の提案を前提として、各種の実務的な実験を行い、その誘導方法について検討を行った。

本年度の事業の実施にあたり、関係業界、行政の多大な御協力を得た。また、実験および報告書の作成には、委員各位にご尽力いただいた。ここに関係者各位に厚くお礼申し上げます。

平成9年3月

(財)日本住宅・木材技術センター

接合部設計法委員会委員名簿（平成8年度）

	氏 名	所 属
委員長	坂本 功	東京大学大学院工学系研究科建築学専攻教授
委 員	宮澤 健二	工学院大学工学部建築学科助教授
〃	大橋 好光	東京大学大学院工学系研究科建築学専攻
〃	山口 修由	建築研究所第三研究部耐風研究室
〃	小松 幸平	京都大学木質科学研究所構造機能分野助教授
〃	村上 雅英	近畿大学理工学部建築学科専任講師
〃	榎部 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
〃	伊東 洋路	日本集成材工業協同組合（セブン工業）
〃	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WG委員一覧（順不同、敬称略）

氏名	所属	試験部会名
○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
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
藤田 誠	愛媛県林業試験場	梁受け・柱脚WG
井上正文	大分大学工学部建設工学科助教	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
西内 豊	高知県工業技術センター総括主任	梁受け・柱脚WG
○大橋好光	東京大学工学部建築学科	筋かいWG
宮澤健二	工学院大学工学部建築学科助教	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
武田孝志	信州大学農学部森林資源学科	筋かいWG
野地清美	高知県工業技術センター研究員	筋かいWG
鈴木祥之	京都大学防災研究所助教	筋かいWG
前田典昭	北海道立林産試験場構造利用科長	筋かいWG
○稲山正弘	稲山建築設計事務所代表	木質ラーメンWG
宮澤健二	工学院大学工学部建築学科助教	木質ラーメンWG
小松幸平	京都大学木質科学研究所助教	木質ラーメンWG
五十田博	信州大学工学部社会開発工学科	木質ラーメンWG
岩崎敏之	日本建築専門学校	木質ラーメンWG
秦 正徳	高岡短期大学産業工芸学科助教	木質ラーメンWG
入江康隆	宇都宮大学工学部建設学科助教	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

本事業に御協力いただいた団体または会社は下記のとおりです。

事業協力者一覧表

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

[要 約]

第1章 木造戸建て住宅用耐震的オープンフレームの水平加力実験

狭小間口用の4タイプ（合板+タイロッド、木栓+方杖+引きボルト、木栓+アンカーボルト、合板充填梁+ホールダウン金物）の実大オープンフレームの静的加力実験を行い、その実用性について検討した。

第2章 木造戸建て住宅用楔締めラーメン架構の開発

木造住宅の狭小間口用の木質ラーメン架構として、接合金物と堅木楔により柱脚部、柱-梁接合部をモーメント抵抗型の接合部に構成する。3タイプの柱脚接合部の一層門型試験体による実大加力試験により実用性を検討した。

第3章 「貫+木栓」接合による十字曲げ試験

貫と木栓を併用した剛接合部の開発を目的として、各種因子の組合せにより、十字型接合部の実大実験を行い、今後の開発の基礎データとする。

[キーワード]

オープンフレーム、貫通ボルト、木栓、方杖、合板充填はり、ホールダウン金物、柱-梁接合部、変位制御、降伏点、狭小間口、せん断変形角、履歴曲線、復元力特性、楔締めラーメン架構、モーメント抵抗部、S型柱脚、U型柱脚、T型柱脚、相対回転角、柱-梁回転角、柱脚回転角、鋼板ガセット、安全率、荷重係数、許容耐力、ファスナー、十字型柱梁接合部、貫接合、せん断破壊、余長部分、柱変形角-モーメント

目 次

第1章 木造戸建て住宅用耐震的オープンフレームの水平加力実験	1
1. はじめに	1
2. 提案構法・試験体・試験方法等	1
3. 結果	1
4. まとめ	3
第2章 木造戸建て住宅用楔締めラーメン架構の開発	28
1. はじめに	28
2. 楔締めラーメンとは	28
3. 一層門型架構の水平耐力実験の概要	30
4. 結果	33
5. まとめ	42
第3章 「貫+木栓」接合による十字曲げ試験	43
1. 目的	43
2. 試験体	43
3. 試験方法	44
4. 試験結果	45
5. 考察	45

第1章 木造戸建て住宅用耐震的オープンフレームの水平加力実験

1. はじめに

本実験は、昨年度に引き続き間口の狭い敷地に建つ住宅の開口間口面の耐震化を図るべく提案した新構法に対して、その軸組の水平面内せん断性能を把握することを目的とする。

2. 提案構法・試験体・試験方法等

提案構法は4種類である。以下それらをA～D試験体と呼ぶ。A試験体は柱間隔455mmの在来の軸組に対して両面合板張りし、アンカーから立ち上がる貫通ボルトを上下で接合したものである。B試験体は柱はり接合部を木栓によりモーメントに抵抗できるように接合し、さらに方杖で補強し、そして脚部にボルトを挿入し固定したものである。C試験体はB試験体と同様に木栓のせん断力により柱はり接合部の剛節度を確保した上で、さらに柱はり接触により剛性・靱性を高め、脚部にボルトを挿入し固定したものである。D試験体は合板充填はりを用い、柱はり接合部に接触面を意図的につくり剛性を高め、脚部にはホールダウン金物を用いたものである。なお、試験体寸法は、幅が柱外々で3,640mm、高さがベースー床レベル間で3,000mmである。それらの概要を図1に示した。

試験方法は、図2に示したとおり、はり左右端から静的な水平力（以後、この力を単に荷重と呼ぶ）を加えるものである。なお、鉛直荷重を考慮しない、いわゆる日本式である。載荷計画を図3に示した。方法ははりに設置した変位計の測定値（以後、この変位を見かけの変位と呼ぶ）を元にした変位制御で、最初のサイクルを $\pm 1/480\text{rad}$ （見かけの変位 $\div 3,000$ ）とし、次のサイクルを変形を2倍とした $\pm 1/240$ 、次の $\pm 1/120\text{rad}$ を3度繰り返し、以後 $\pm 1/30\text{rad}$ までは $\sqrt{2}$ 倍変形を増加させ、その後ストローク限界までの加力である。試験はこの変位履歴下で同じ試験体種類を2体実施した。

3. 結果

3.1 履歴曲線

全試験体の荷重－見かけの変位曲線を図4に、荷重－変形角曲線を図5に示した。ここで変形角とは、見かけの変位から柱脚の水平方向の変位を引き試験体高さで割ったものである。また、参考値として柱脚の最大水平変位を表1に示した。図5中には●で最大荷重点を記してある。なお、B-1試験体は実験ミスにより予定の変位履歴となっていない。

履歴はいつれの試験体も第2、第4象現をほとんど通らないスリップ形と見なせる曲線を描いている。降伏点は明確ではなく、初期サイクルの $1/480\text{rad}$ 以内の変形角であってもループ形状となった。最大荷重点は $1/30\text{rad}$ の繰り返し履歴後の破壊に向かうサイクルで得られており、また、最大荷重後であっても、限界ストロークまで最大荷重に近い荷重を保っている。荷重の低下が見られるB-2では、 $1/25\text{rad}$ 付近で柱の曲げ破壊が起こったが、その後荷重は持ち直している。同様にD-2でははりの下フランジの重なり部でせん断力によると考えられる割れにより一時的に荷重

が低下したが、その後はB-2と同様に持ち直している。このようにいずれの試験体も限界ストロークまで、抵抗力を失う状態には至っていない。

図6に全試験体の包絡線の比較を示した。ここでマイナスサイクルはプラスサイクルと比較できるように荷重、回転角ともに $\times -1$ した。同一試験体種類で見かけの変形角 $1/30\text{rad}$ の範囲においてはプラスサイクルとマイナスサイクルによる挙動の違いや個体誤差はさほど見られないが、それ以後の範囲においてはA試験体を除いて荷重が上昇するものと減少増加を繰り返すものがあるなど個体誤差が見られる。初期の剛性と最大荷重を比較すると、B試験体とC試験体で剛性がBが大きく最大荷重がほぼ同じという傾向は見られるが、概ね初期剛性の大きいものが最大荷重も大きいという傾向が伺える。

3. 2 主な変形角における荷重、壁倍率相当値等

表2に主な変形角における荷重、壁倍率、余裕度等を示した。各用語について表脚注を参照願いたい。壁倍率相当値は最小のA試験体で2.15であり、455mm幅の両面張り合板が2カ所有効と考えた場合には1.25倍($2.5 \times 4 \times 4.55 / 3.64$)と算出され、タイロッド、たれ壁等により約70%の倍率の向上と考えることができる。さらに、B試験体のように大断面材を用い柱はり接合部の剛節度を高めかつ方杖の補強をすることにより倍率は4.5以上に、C試験体のように柱はり脚部の固定度を高めることにより3.5倍以上に、同様にはりの剛性を大きくすることにより5.0倍以上にと、オープンプレームであっても5.0を上回る木造軸組が可能であることがわかった。

また、壁倍率を決定している荷重はすべて $1/120\text{rad}$ 時の荷重であった。変形余裕度と荷重余裕度については、若干のばらつきがあるもの的大まかには耐力余裕度が2.0前後、変形余裕度が6.0前後の値であった。

3. 3 破壊性状

写真1には初期の破壊、終局状態の破壊などを示した。前述したように急激な荷重低下を引き起こすような破壊は今回の加力ストロークの範囲では見られなかったが、各所で破壊が見られた。各試験体の具体的な破壊状況をまとめて表3に示した。

3. 4 層間変形角・柱はり回転角・柱脚回転角の関係

図7に荷重と柱はり接合部の回転角、柱脚接合部の回転角の関係、並びにそれらの代表的な曲線と荷重-変形角曲線をあわせたものを包絡線として示した。ここでマイナスサイクルは荷重、回転角とも正側になるように -1 をかけている。また、各回転角の求め方は図8に示す変位計の測定値を元としている。なお、A-2試験体の柱はり接合部は測定ミスにより曲線が他より少ない。全試験体について、柱はり接合部の剛節度の方が柱脚接合部の剛節度が小さいこと、柱脚接合部の回転角と変形角がほぼ等しいこと、プラスサイクルとマイナスサイクルによって挙動の違いは見られないこと、などがわかる。さらに、変形角と同様に接合部も回転が進んでいることより、

フレームの挙動が接合部の剛性・変形性能に大きく左右されると考えられる。

4. まとめ

狭小間口を想定した耐震的なオープンフレームの開発を目的に木造軸組を提案し、水平加力実験の結果以下のことが明らかとなった。

- ・オープンフレームであっても柱に 240mm 角を用い、はりせいのあるはりとするることにより 5.0 を越える壁倍率相当を得ることができる (D 試験体)。
- ・455mm の袖壁をタイロッドを用いて上下を締め固めることにより 70%壁倍率が上昇する。(A 試験体)
- ・今回提案した軸組の接合部の剛節度は、総じて柱脚接合部より柱はり接合部が高かった。
- ・今回提案した軸組の復元力特性は、すべてスリップ形に近いものであった。
- ・壁倍率を算出するために、変形角、最大荷重、最大荷重時変形角についてクリティカルポイントを設けたが、提案軸組すべてで $1/120\text{rad}$ がもっとも小さな値を示した。

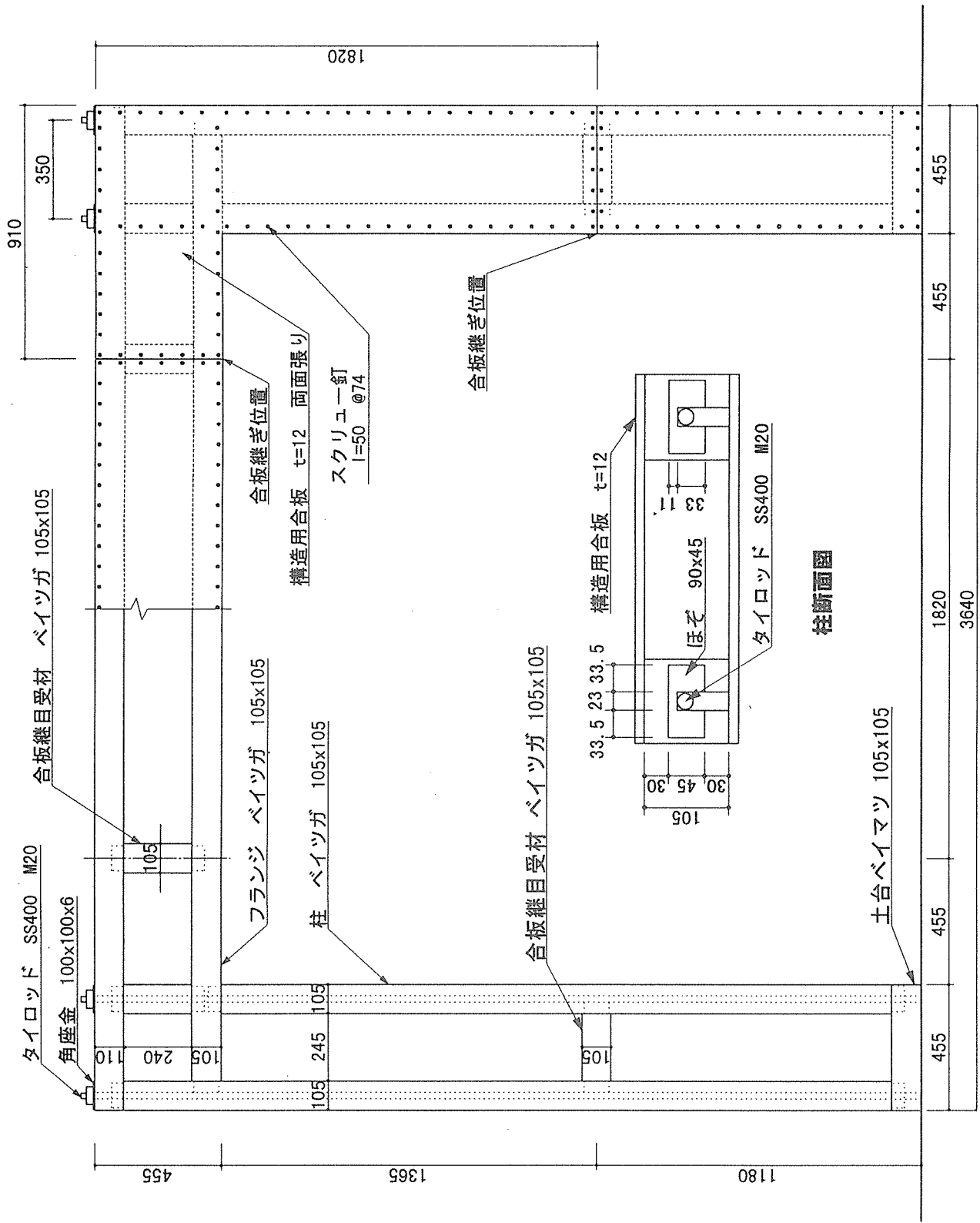
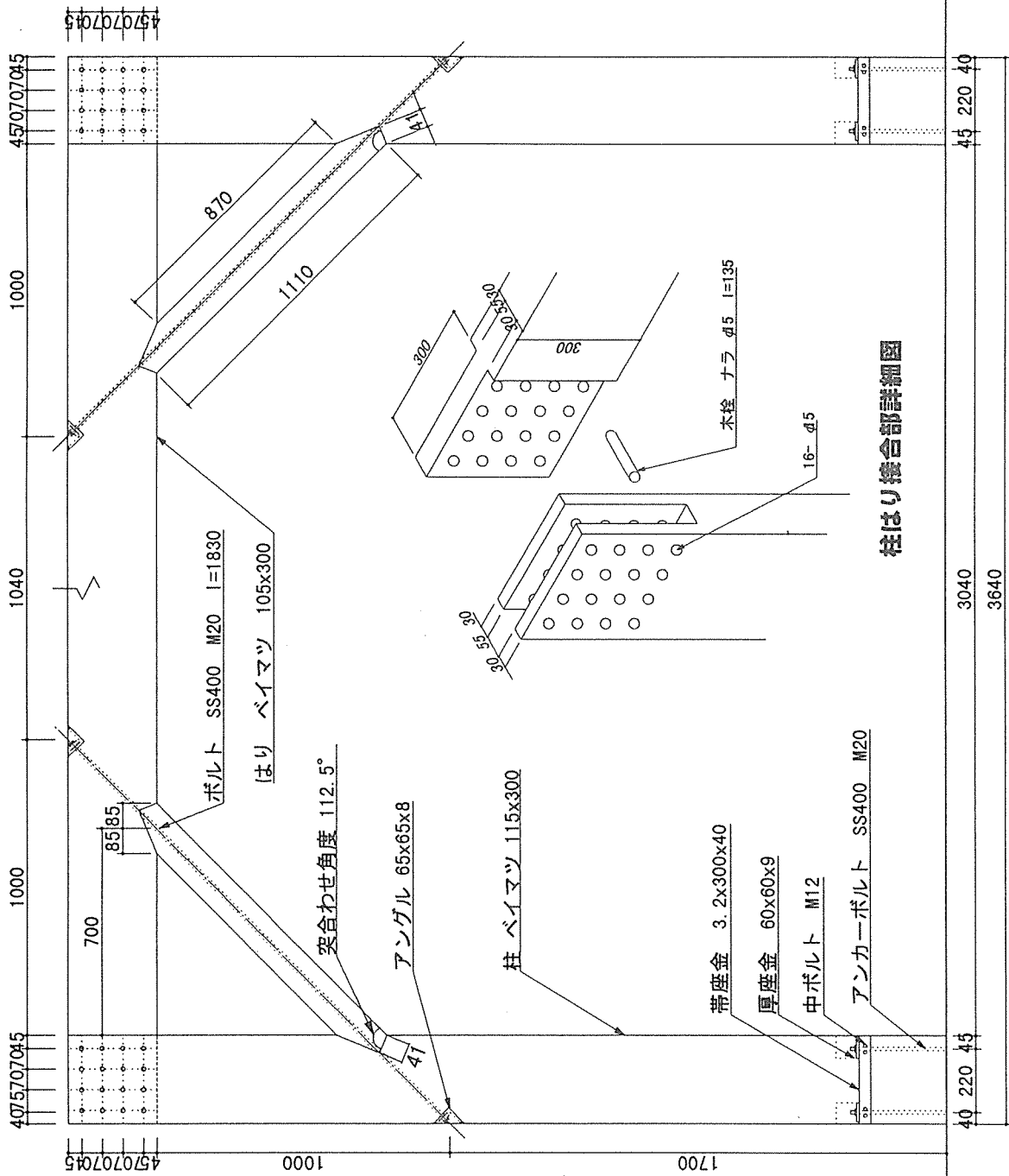
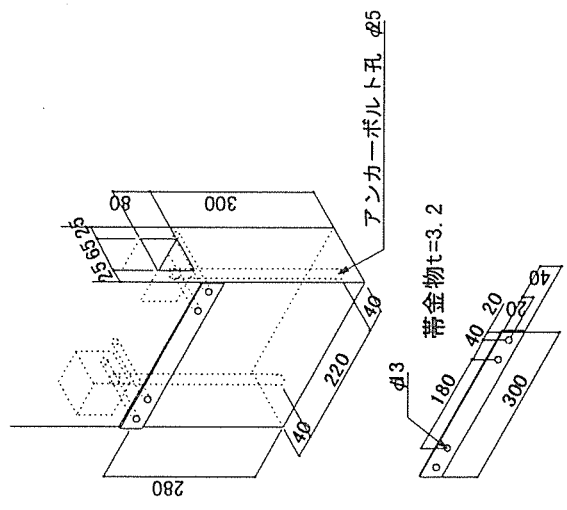


図 1 試験体図 (その I : A 試験体)

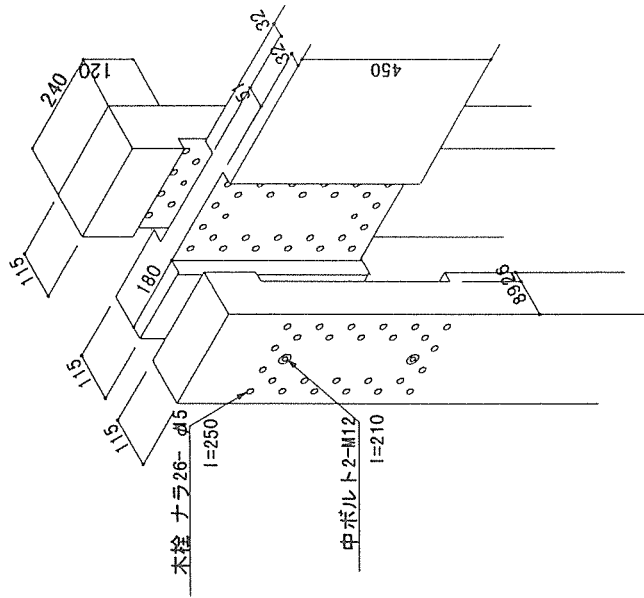
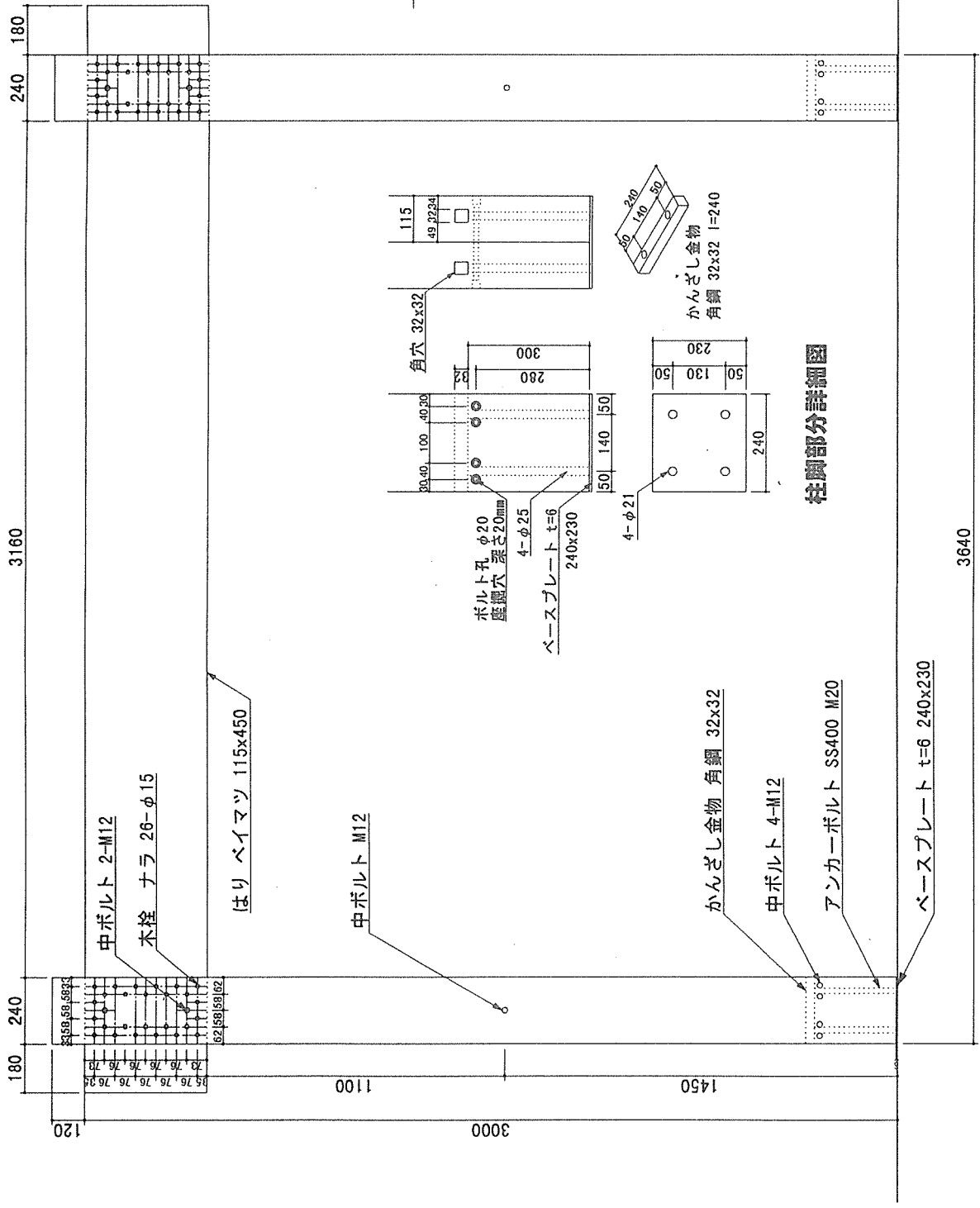


柱はり接合部詳細図



柱脚部分詳細図

図1 試験体図 (その2: B試験体)



柱はり接合部詳細図

柱脚部分詳細図

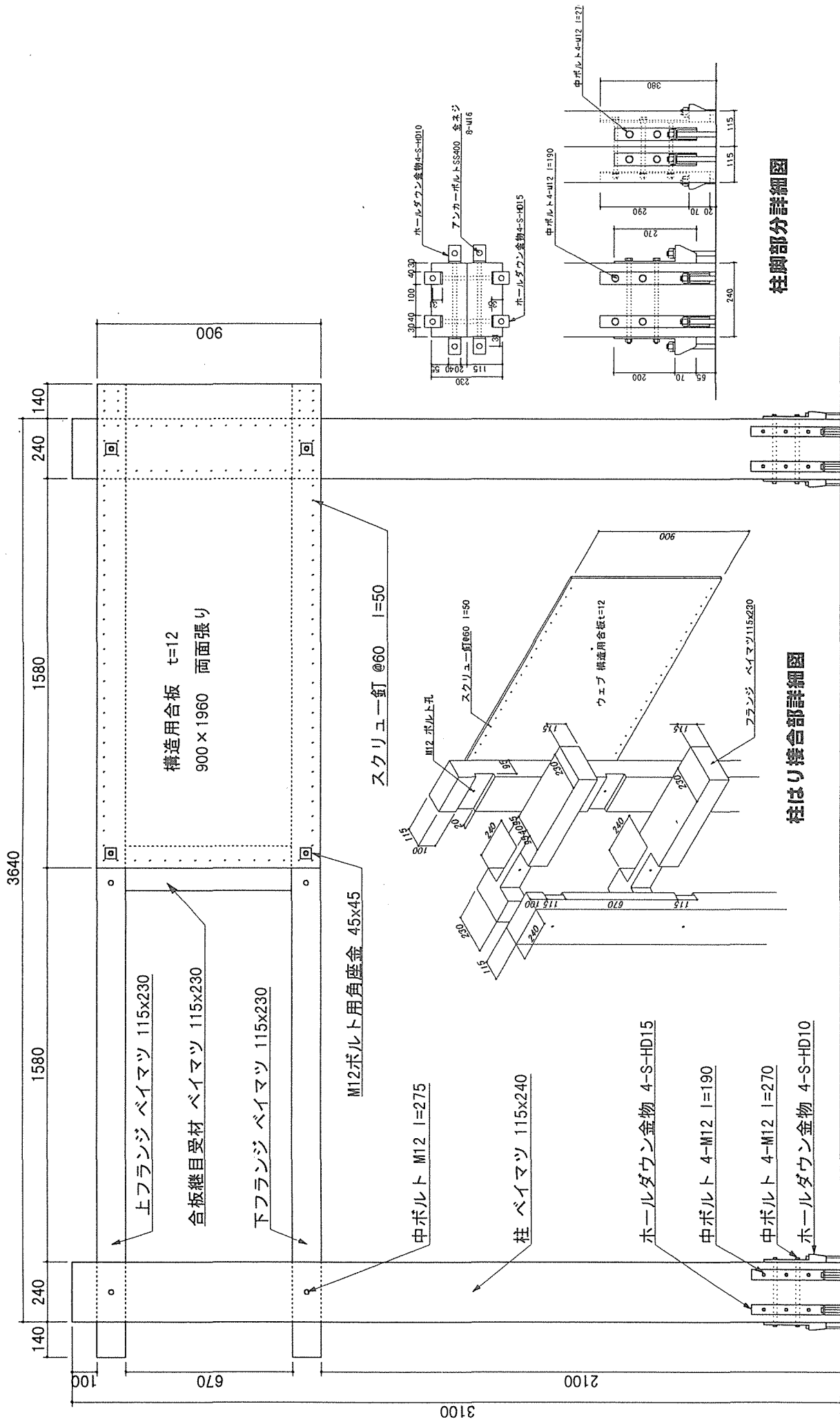


図1 試験体図 (その4 : D 試験体)

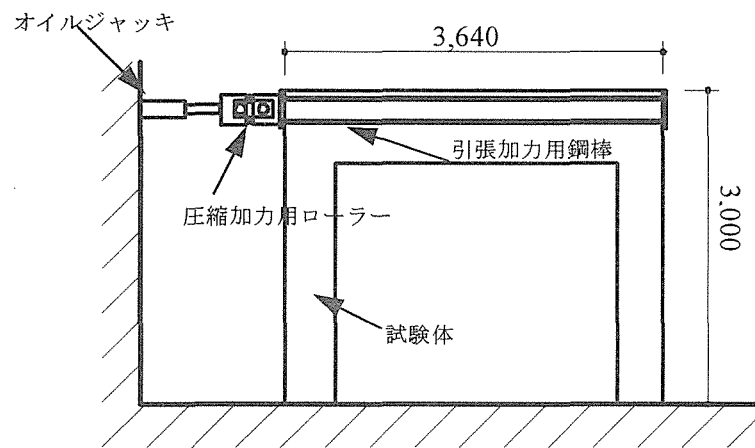


図2 試験方法

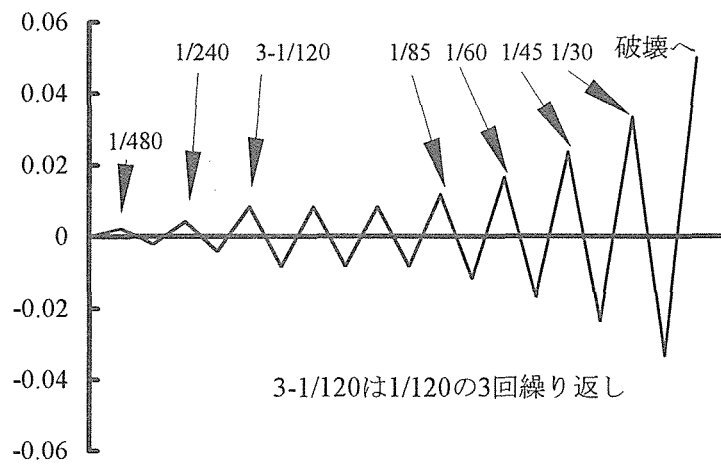
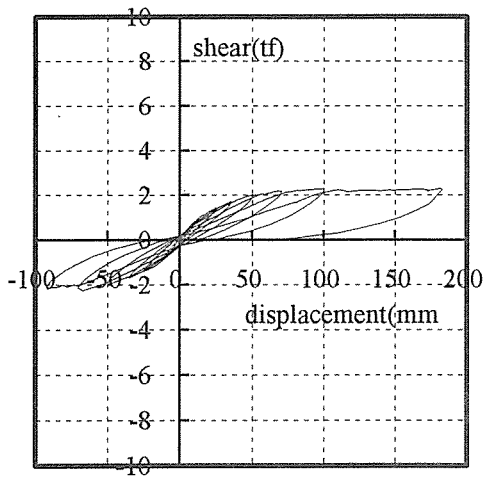
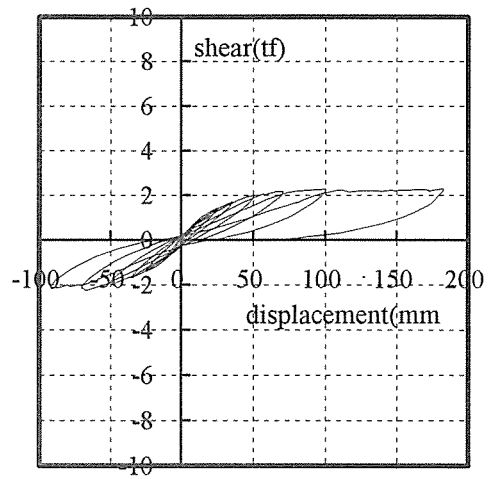


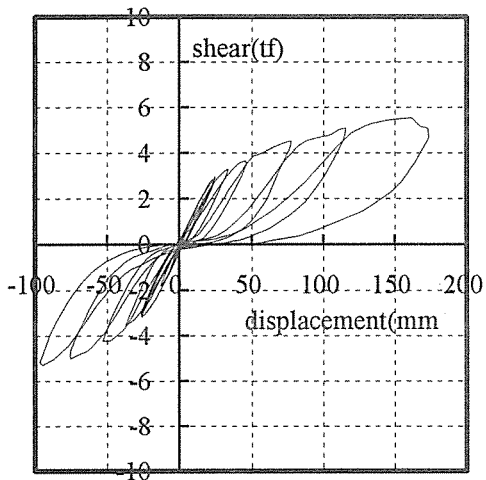
図3 変位履歴



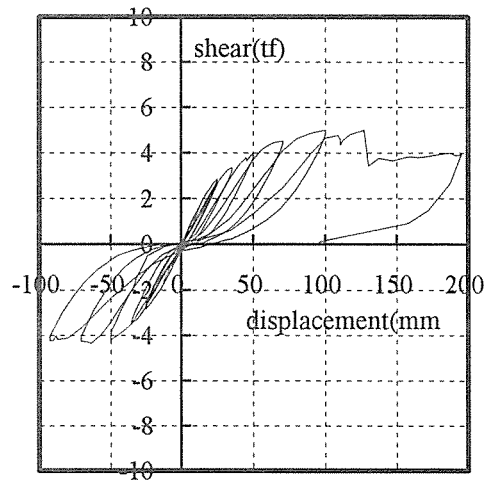
A-1



A-2

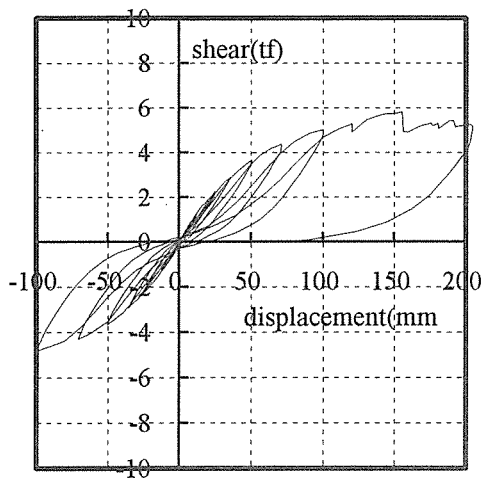


B-1

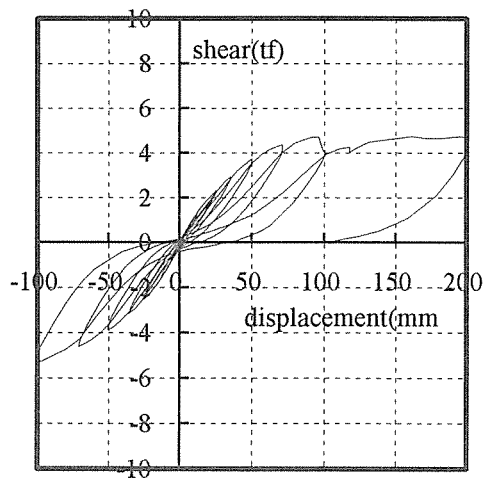


B-2

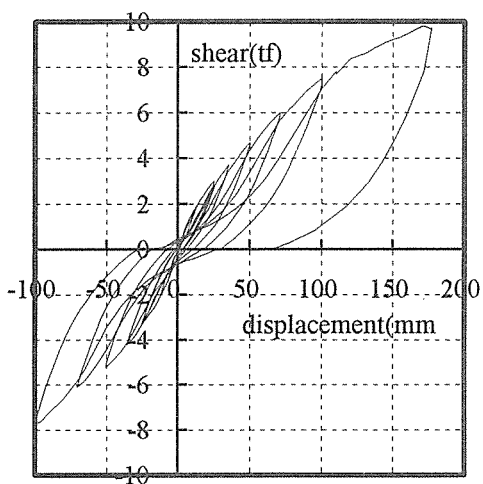
図4 荷重一見かけの変位曲線 (その1)



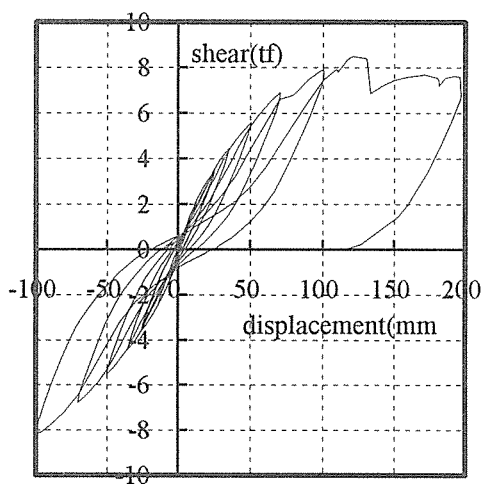
C-1



C-2

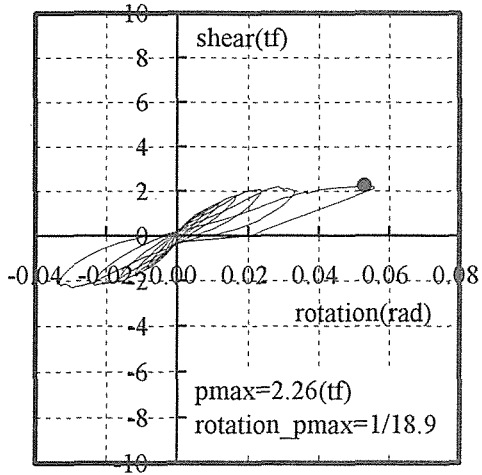


D-1

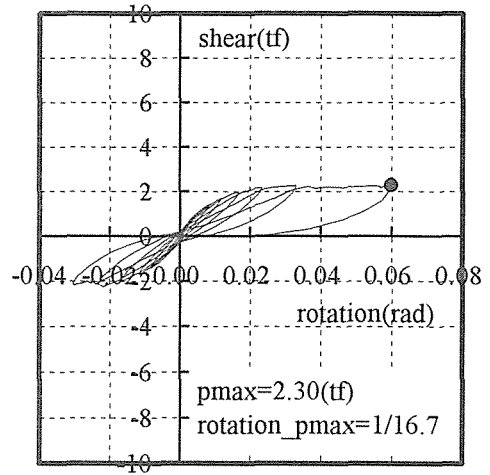


D-2

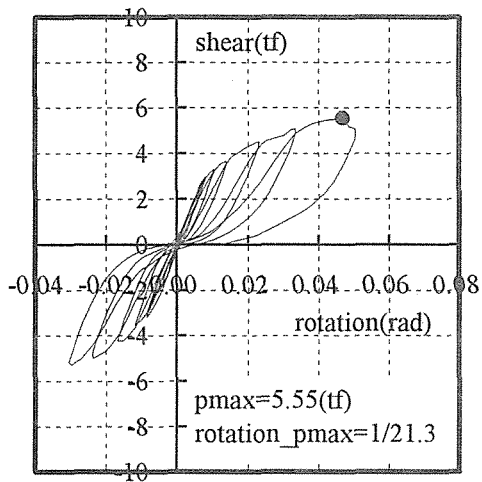
図4 荷重一見かけの変位曲線 (その2)



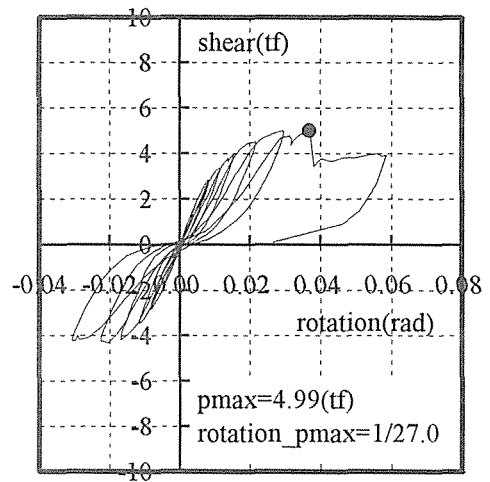
A-1



A-2

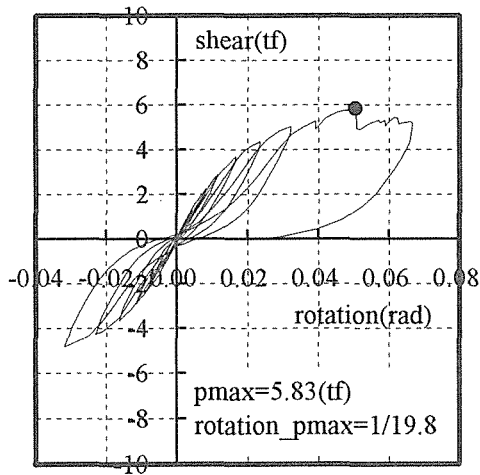


B-1

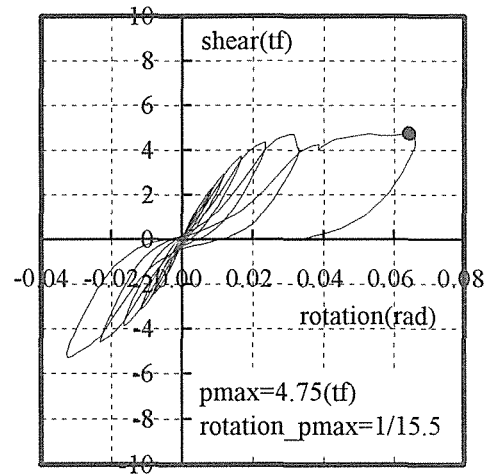


B-2

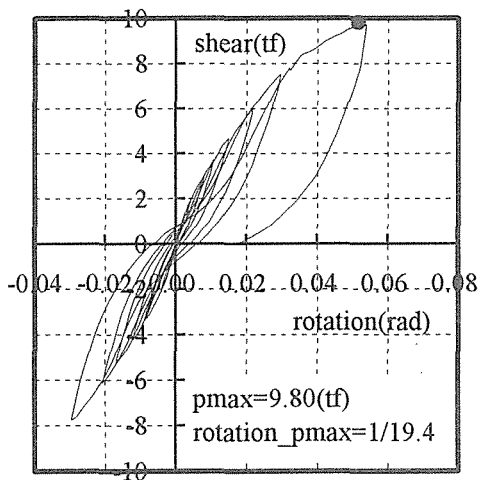
図5 荷重-変形角曲線 (その1)



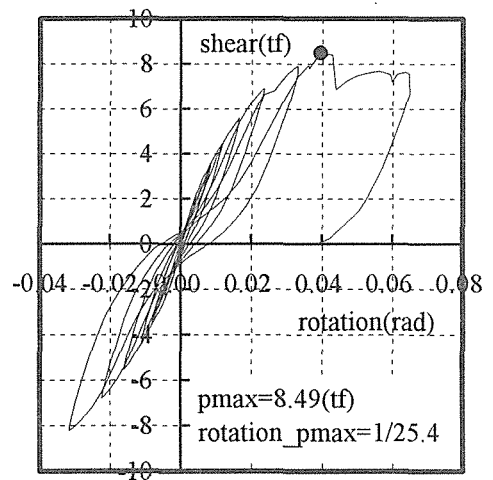
C-1



C-2



D-1



D-2

図5 荷重-変形角曲線 (その2)

表1 柱脚部の水平移動最大値 (単位: mm)

	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2	D-1	D-2
プラス	1.46	2.04	21.91	19.55	5.36	2.68	11.18	5.59
マイナス	-1.28	-1.28	-5.54	-4.29	-5.11	-3.15	-15.67	-3.22

注) D-1 はアンカボルトを 18φ 穴の開いたフランジに通し下で固定。D-2 はアンカボルトをフランジ上下でナットにより固定している。

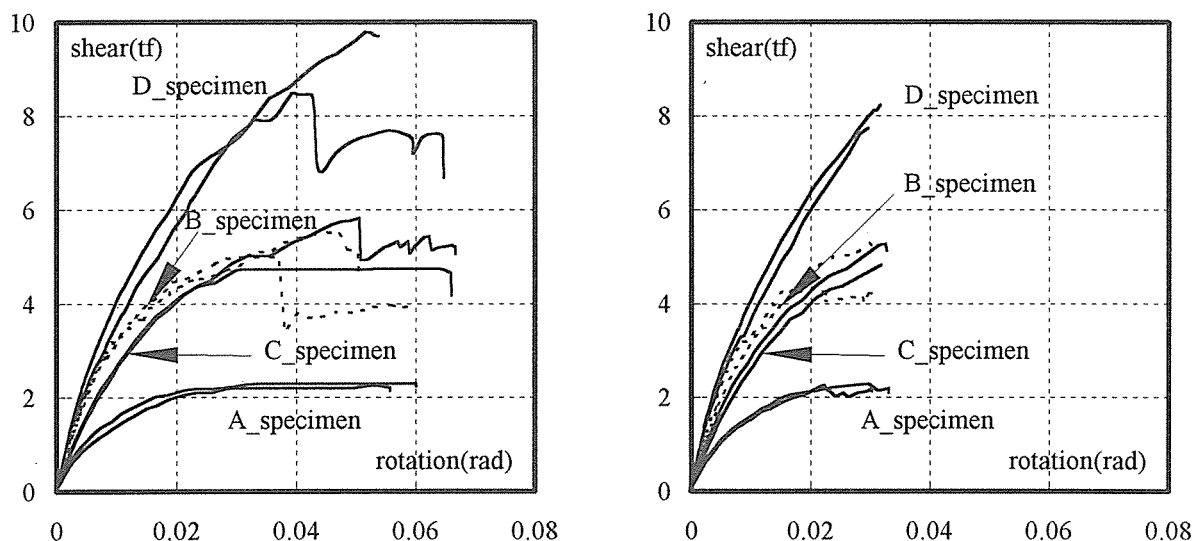


図6 全試験体の包絡線 (左：プラスサイクル 右：マイナスサイクル)
 注：B試験体はC試験体と区別のため点線で表示してある。

表2 主な変形角における荷重、壁倍率、余裕度等

		A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2	D-1	D-2
1/240時荷重	+	0.84	0.96	1.74	1.68	1.32	1.38	1.92	2.16
	-	1.00	0.94	1.80	1.72	1.34	1.52	2.08	2.28
1/120時荷重	+	1.24	1.43	2.97	2.87	2.26	2.34	3.10	3.55
	-	1.46	1.40	3.16	2.84	2.30	2.54	3.29	3.58
1/60時荷重	+	1.83	2.01	3.97	4.12	3.70	3.75	4.95	5.61
	-	2.06	1.96	4.24	4.17	3.67	3.91	5.20	5.67
1/30時荷重	+	2.19	2.28	5.08	4.99	5.02	4.73	8.02	7.93
最大荷重		2.26	2.30	5.55	4.99	5.83	4.75	9.80	8.49
最大荷重時変形角		1/18.9	1/16.7	1/21.3	1/27.0	1/19.8	1/15.5	1/19.4	1/25.4
1/120平均(*1)		1.35	1.42	3.06	2.86	2.23	2.44	3.19	3.57
2/3×最大荷重(*2)		1.51	1.53	3.70	3.32	3.88	3.16	6.53	5.66
$P_{1/2\delta P_{max}}$ (*3)		2.12	2.23	4.51	4.33	4.48	4.73	6.91	6.19
壁倍率相当値		2.15	2.25	4.86	4.53	3.62	3.86	5.06	5.65
耐力余裕度		1.67	1.62	1.81	1.75	2.55	1.95	3.07	2.38
変形余裕度		6.37	7.21	5.62	4.44	6.06	7.72	6.19	4.73

注： 1/120 平均：変形角 1/120 時の荷重のプラスサイクルとマイナスサイクルの平均値

$P_{1/2\delta P_{max}}$ ：最大荷重時変形角の 1/2 の変形角時の荷重

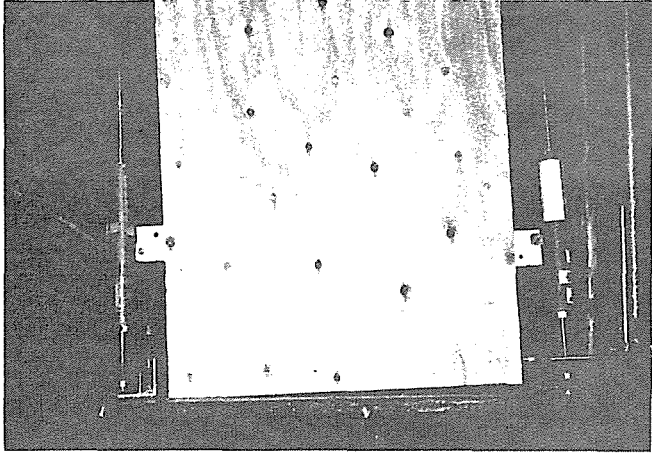
壁倍率相当値： $P_o \times \frac{3}{4} \div \text{壁長}$

ここで P_o は(*1)~(*3)の最小値 (網掛けで示した数値)

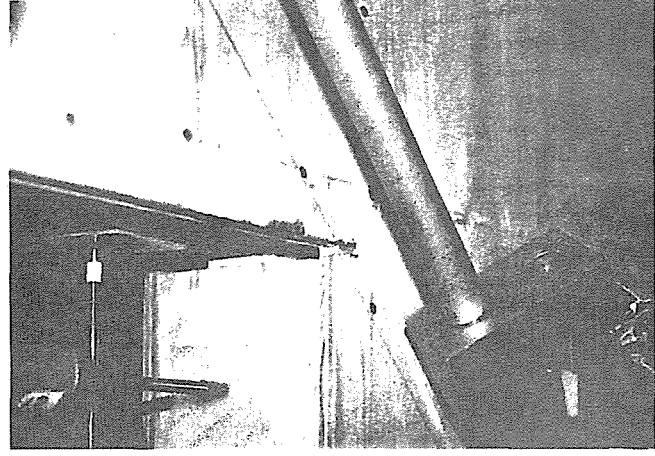
壁長は 3.64m

耐力余裕度：(最大荷重) / (1/120 時の荷重)

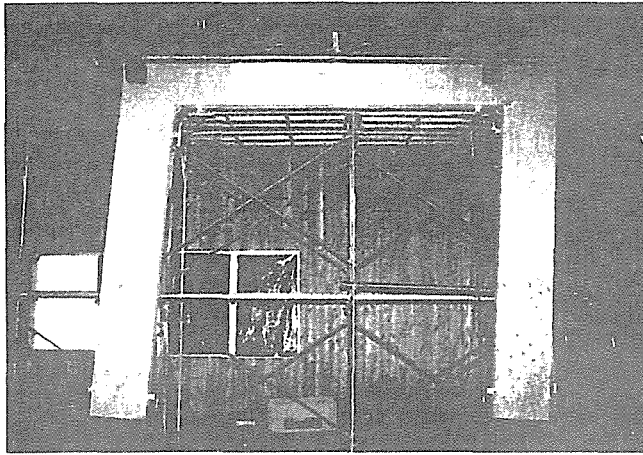
変形余裕度：(最大荷重時変形角) / (1/120)



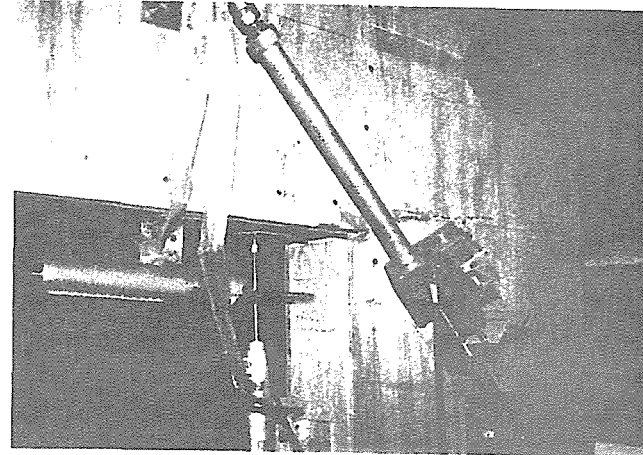
柱脚の回転
(見かけのせん断変形角= $-1/42.5$)



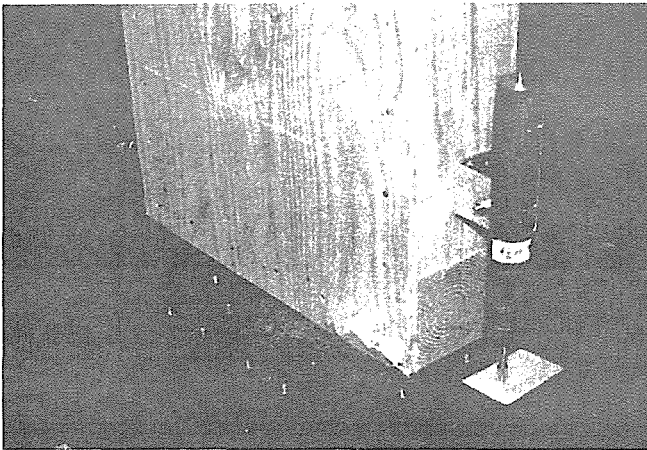
柱-はり接合部 (左) 合板の裂け
(見かけのせん断変形角= $-1/30$)



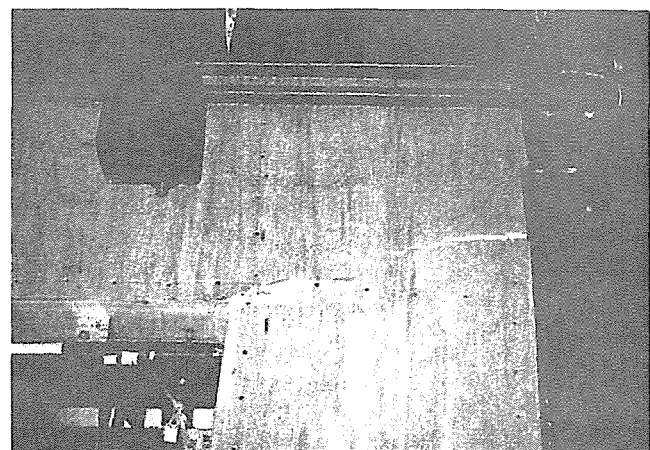
最大変形時全体



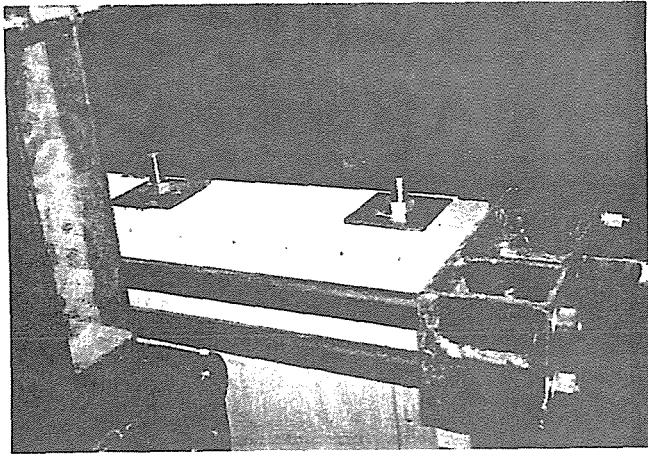
柱-はり接合部 (左) 合板の裂け
(最大変形時)



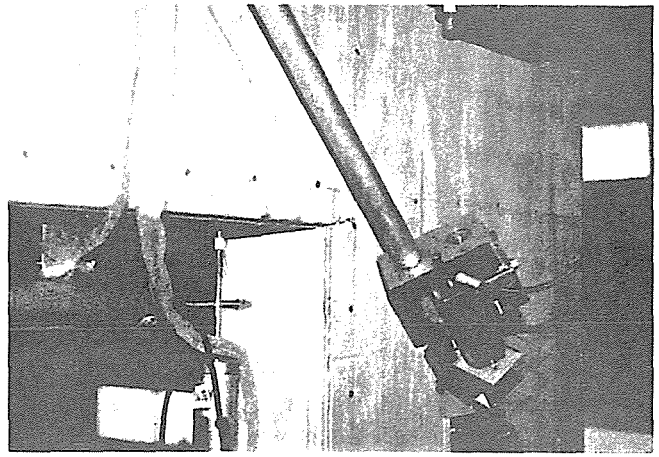
柱脚 (左) の土台めり込み
(最大変形時)



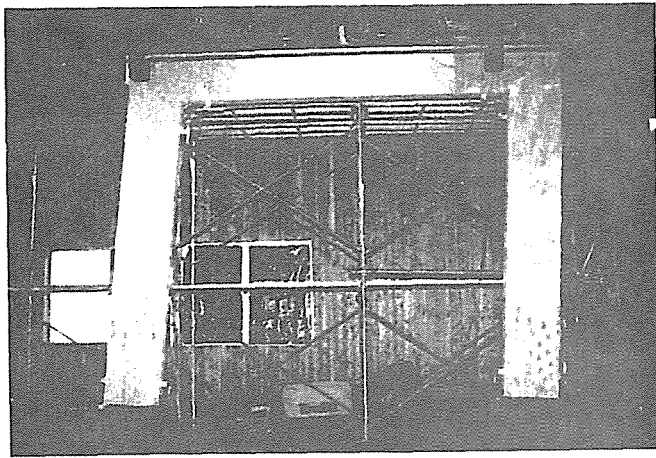
柱-はり接合部 (右) 合板の裂け
(最大変形時)



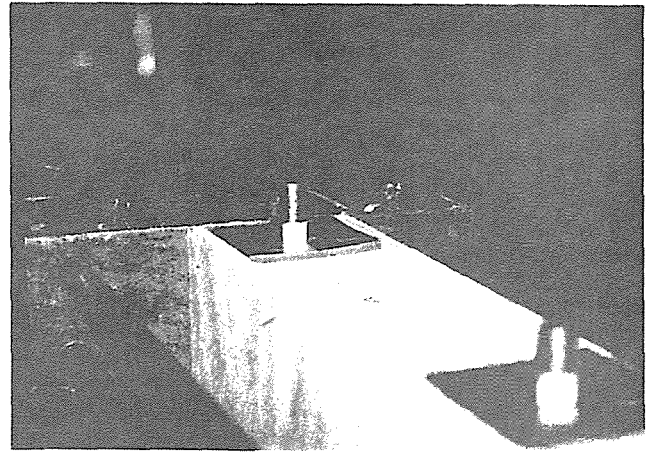
座金（左柱頭）のめり込み変形
（見かけのせん断変形角=1/60）



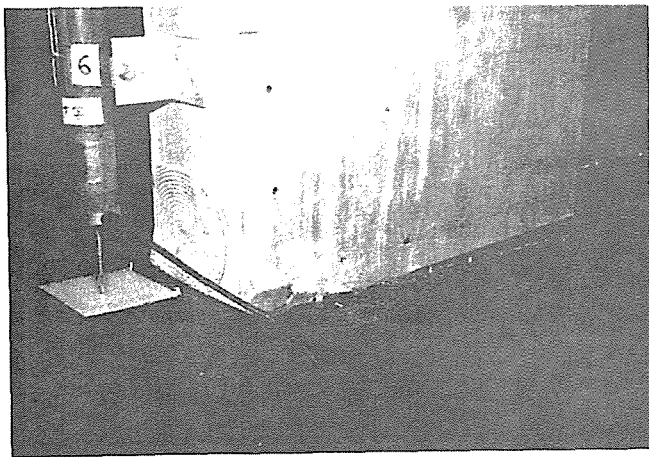
柱-はり接合部（右）合板の裂け
（見かけのせん断変形角=1/60）



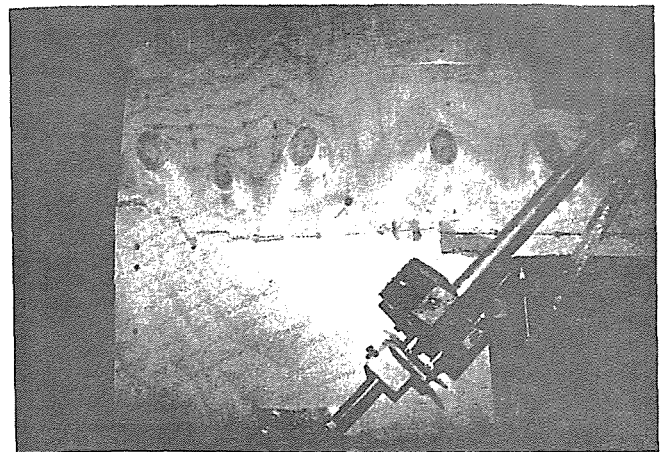
最大変形時全体



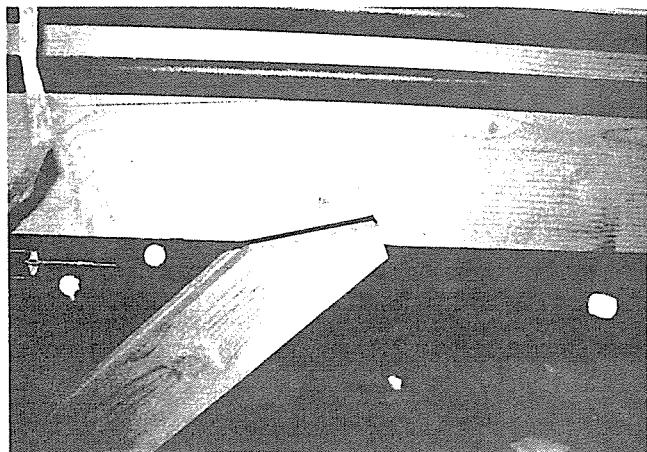
座金（右柱頭）のめり込み変形
（最大変形時）



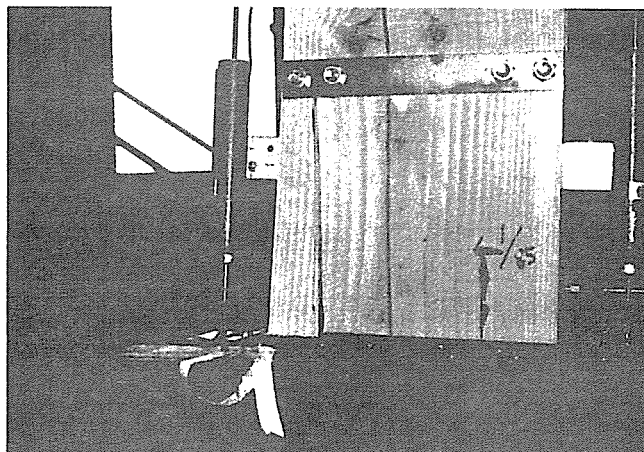
柱脚（左）の土台めり込み
（最大変形時）



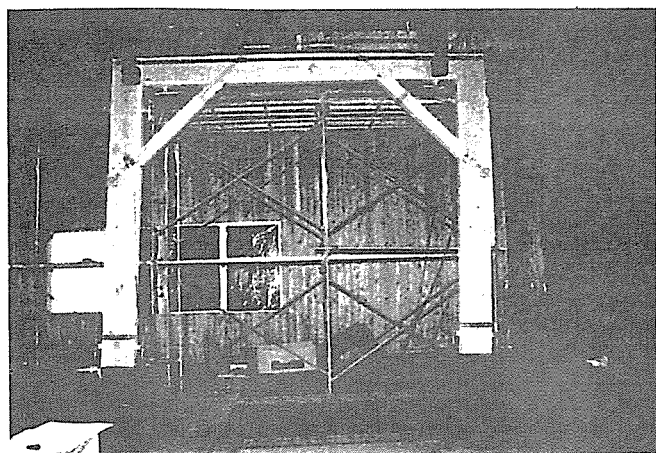
柱-はり接合部（右）合板の裂け
（最大変形時）



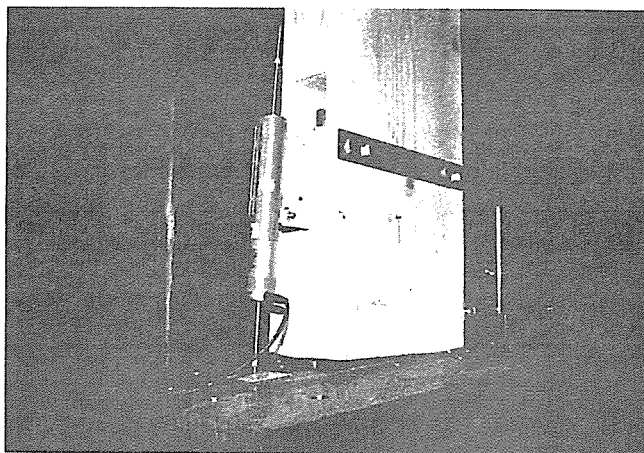
方杖の引き離れ (右)
(見かけのせん断変形角=1/85)



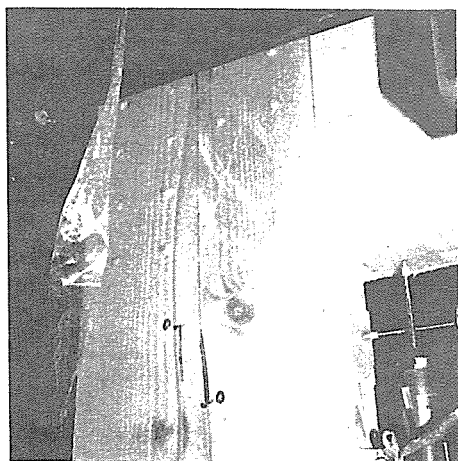
柱脚 (左) の割裂
(見かけのせん断変形角=1/30)



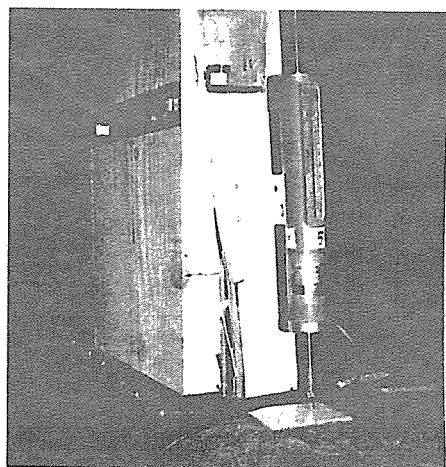
最大変形時全体



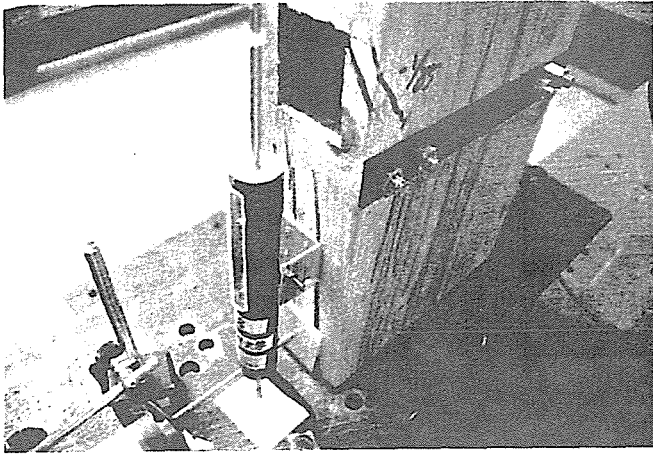
柱脚 (右) の回転
(最大変形時)



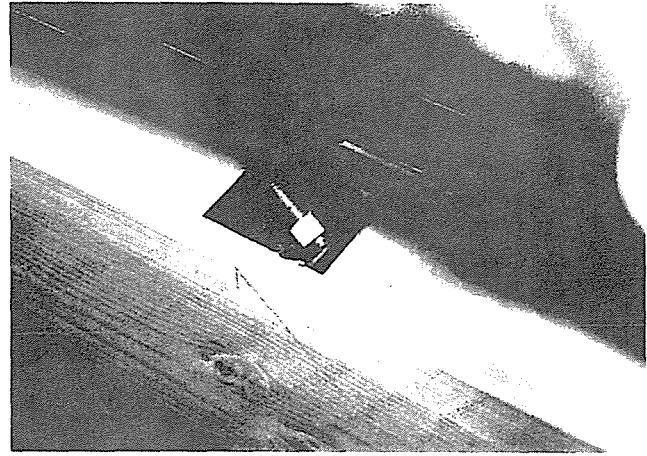
柱-はり接合部 (右) の回転
(最大変形時)



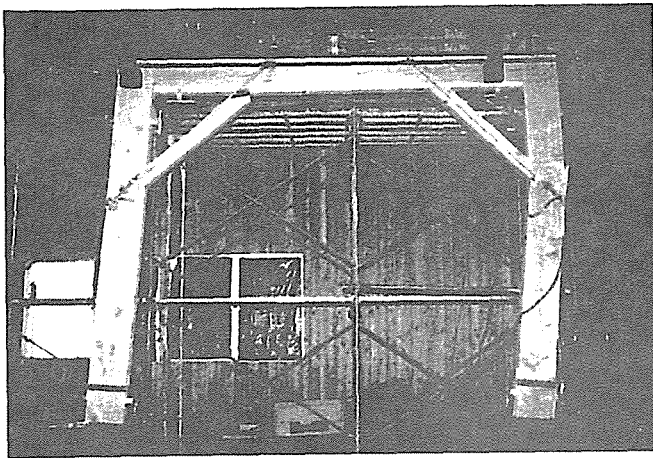
柱脚 (左) の割裂
(最大変形時)



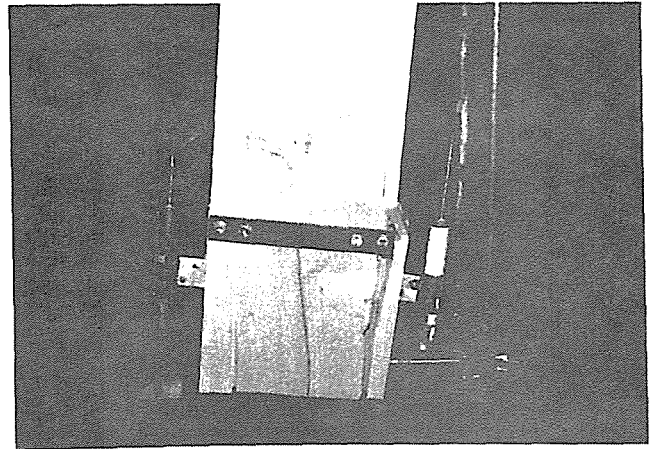
柱脚（右）の割裂
（見かけのせん断変形角=1/60）



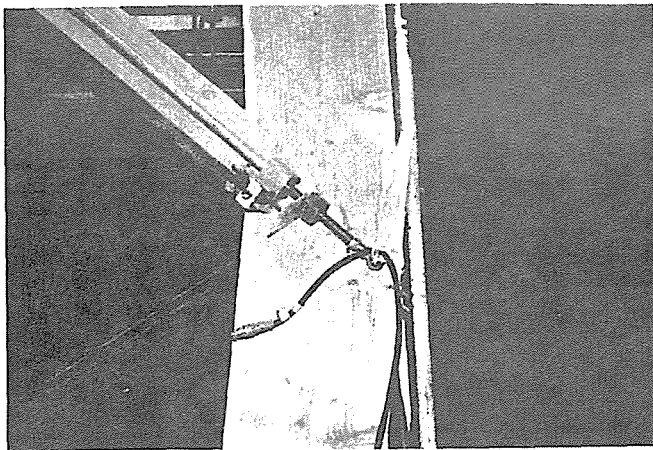
方杖長ボルト用ナット（M20）の緩み



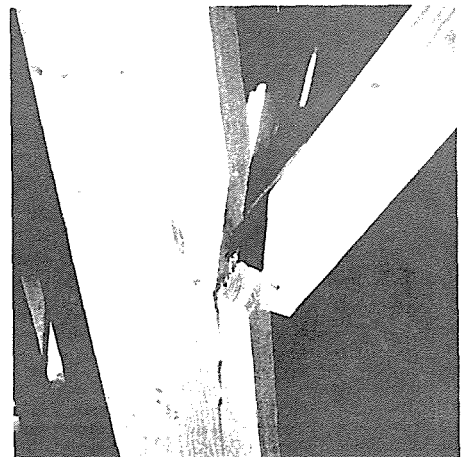
最大変形時全体



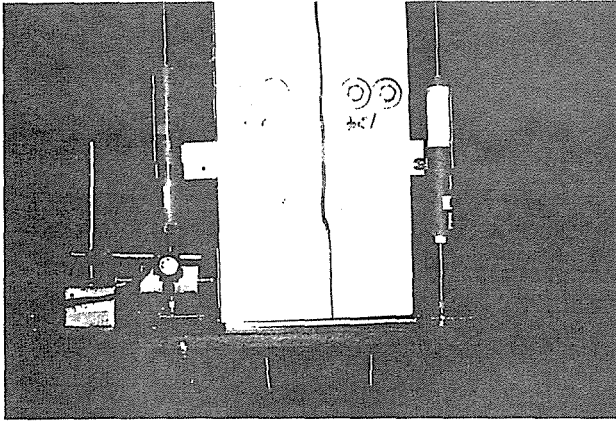
柱脚（右）の回転・割裂
（最大変形時）



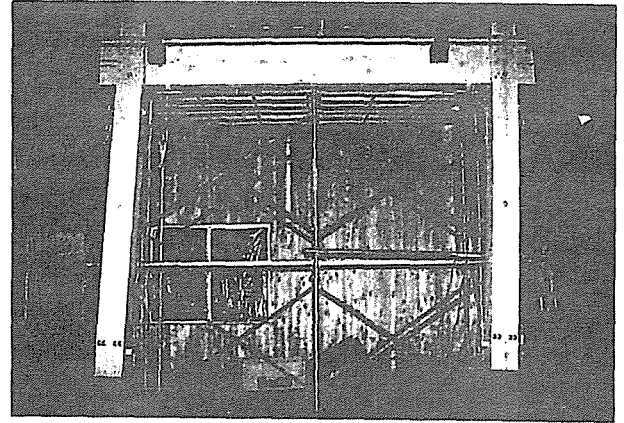
右柱の曲げ破壊状況
（最大変形時）



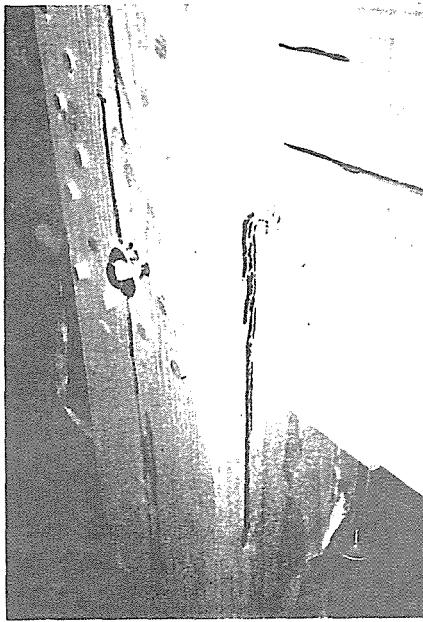
方杖の落下・左柱の割裂
（最大変形時）



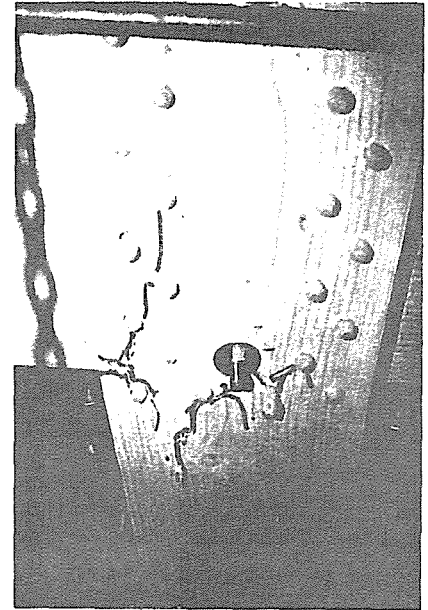
柱脚（右）の回転
 (見かけのせん断変形角=-1/30)



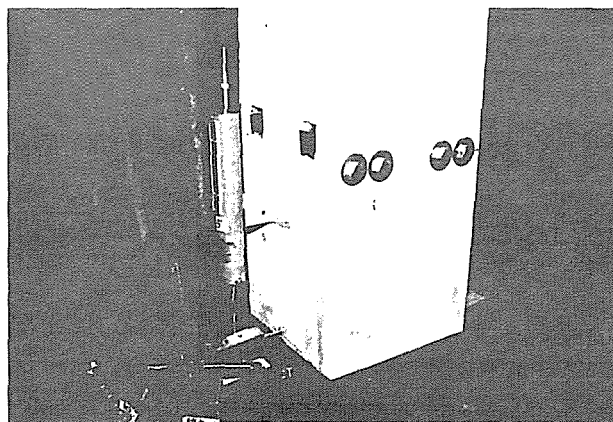
最大変形時全体



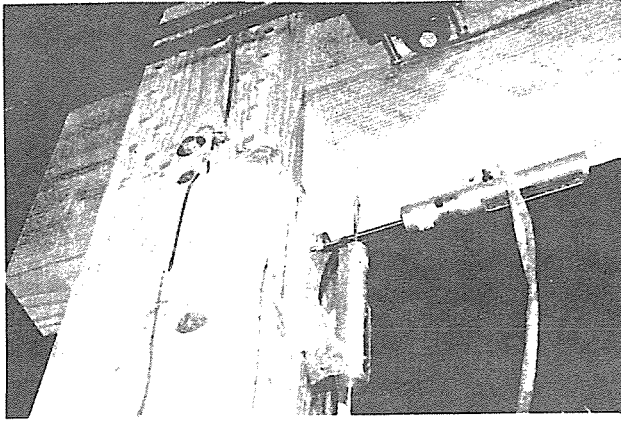
柱-はり接合部（左）節を発端とした割裂
 (最大変形時)



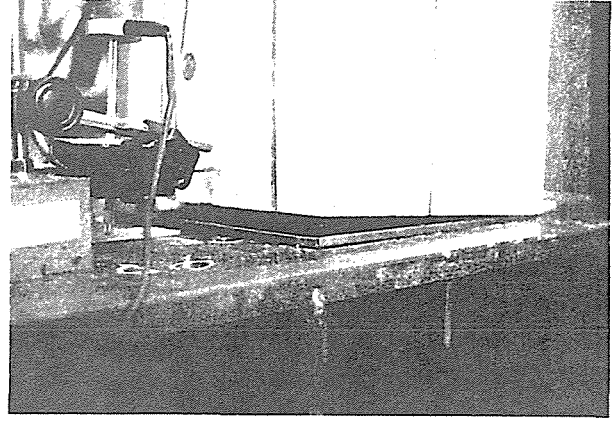
柱-はり接合部（左）曲げ破壊
 (最大変形時)



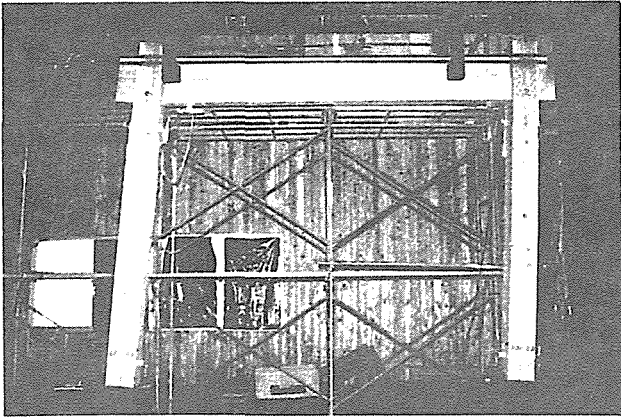
柱脚（左）の回転
 (最大変形時)



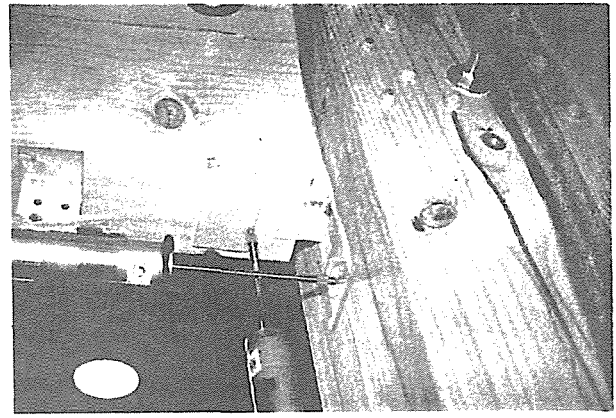
柱-はり接合部（左）の回転
（見かけのせん断変形角=1/30）



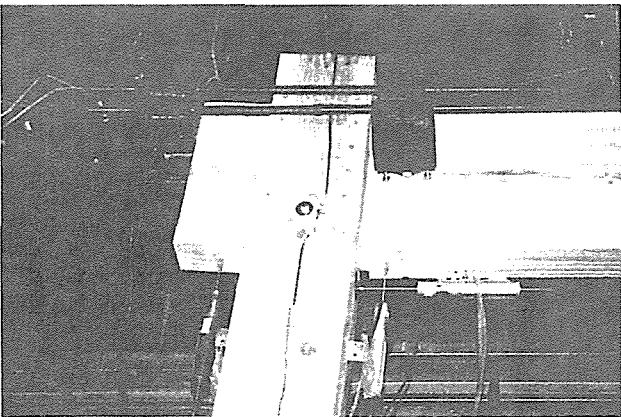
柱脚（右）の回転
（最大変形への载荷途中）



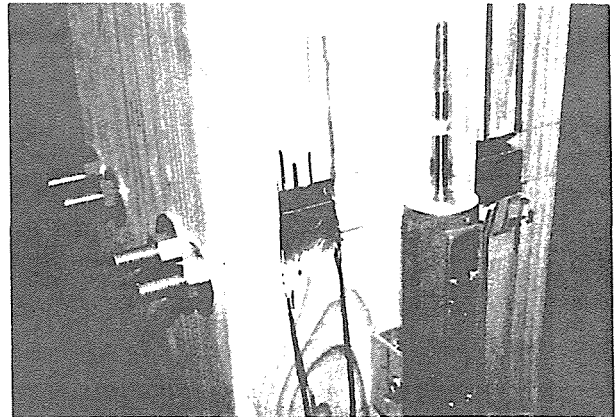
最大変形時全体



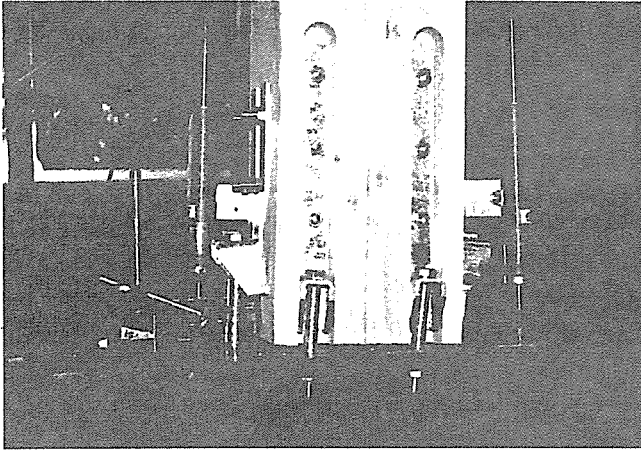
柱-はり接合部（左）の回転
（最大変形時）



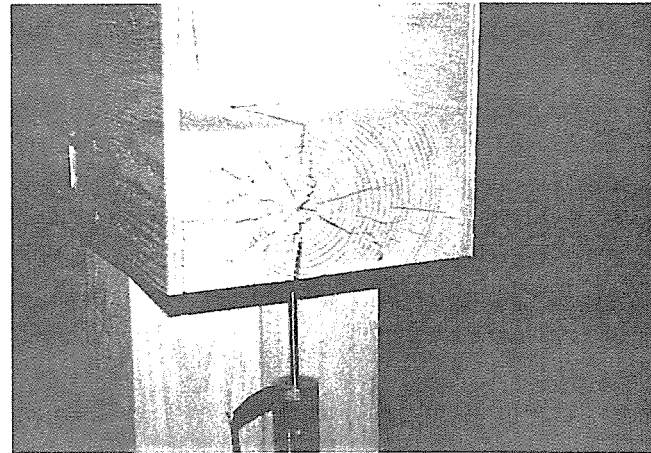
柱-はり接合部（左）の回転による梁の割裂
（最大変形時）



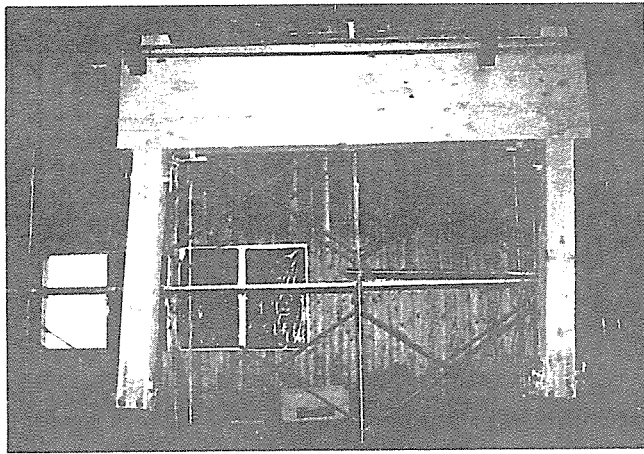
柱脚（右）のかんざし金物のめり込み
（最大変形時）



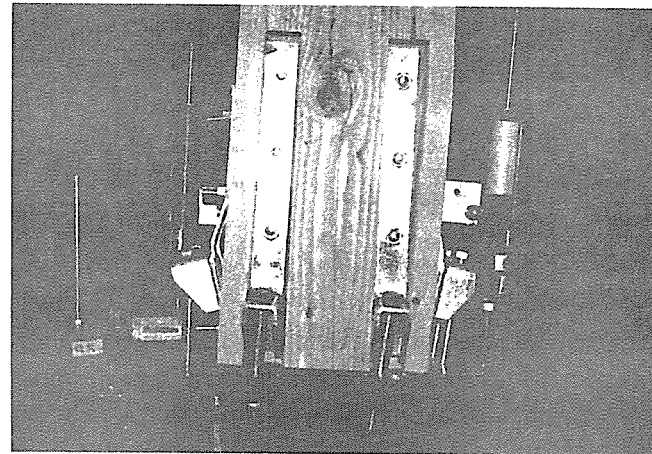
柱脚（左）の回転によるHD金物の変形
（見かけのせん断変形角=1/30）



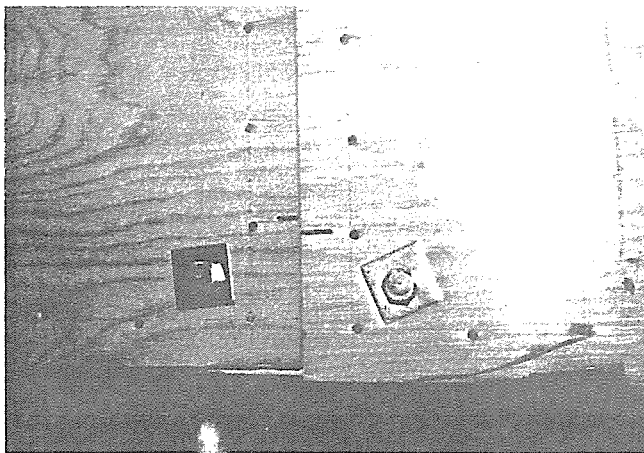
柱-はり接合部（右）下フランジ材の割裂
（見かけのせん断変形角=1/30）



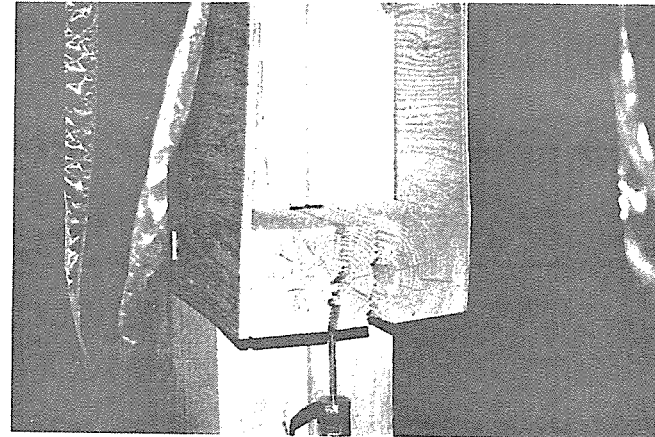
最大変形時全体



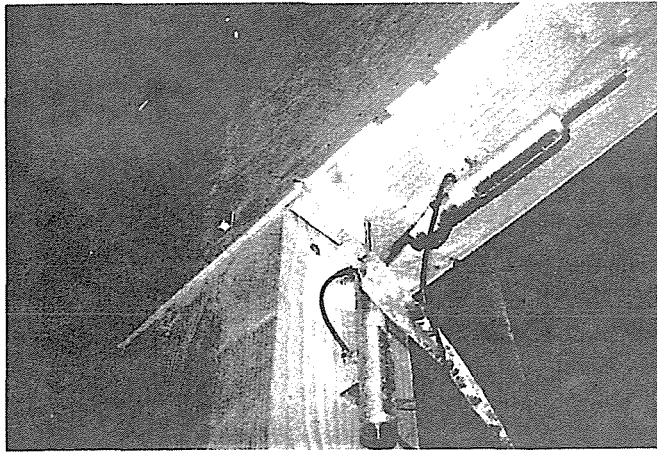
柱脚（右）の回転によるHD金物の変形
（最大変形時）



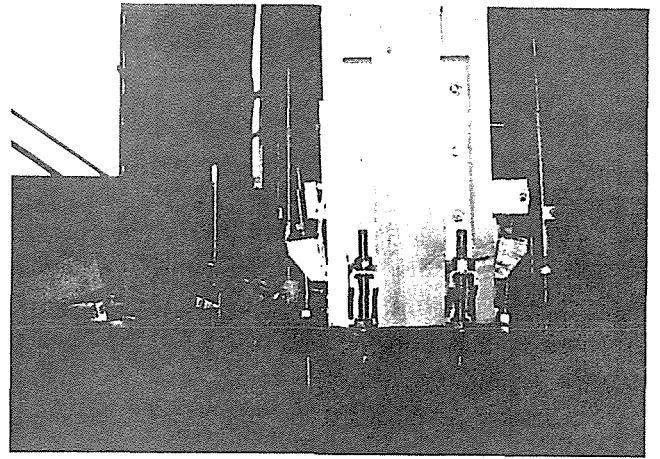
はり合板の中央部ズレ
（最大変形時）



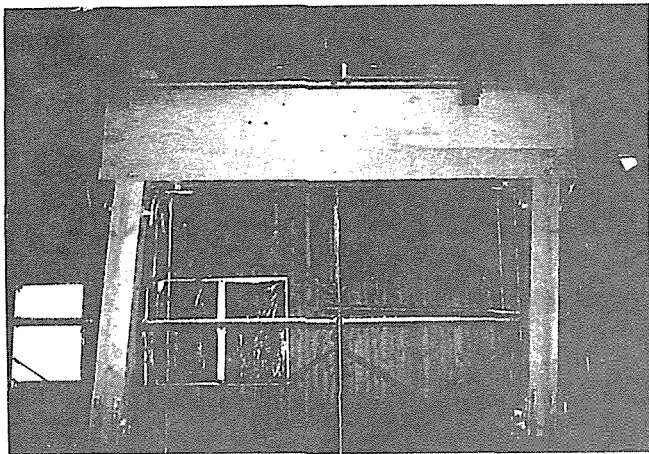
柱-はり接合部（左）下フランジ材の割裂
（最大変形時）



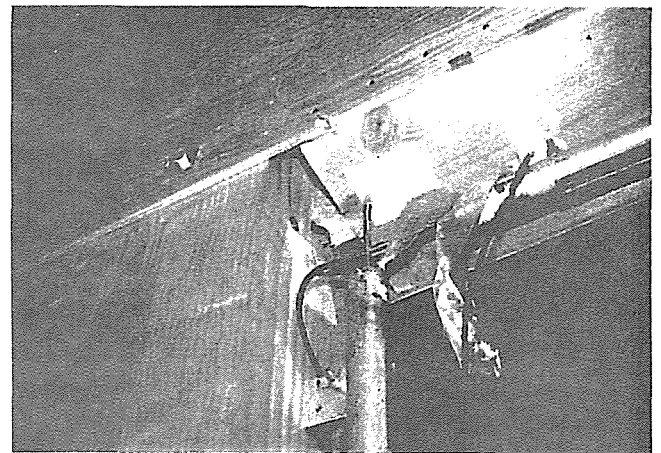
柱-はり接合部（左）下フランジ材の抜け
（見かけのせん断変形角=1/30）



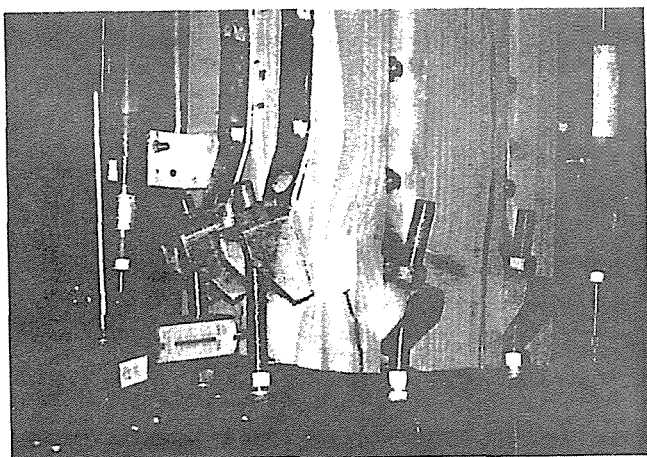
柱脚（左）の回転によるHD金物の変形
（見かけのせん断変形角=1/30）



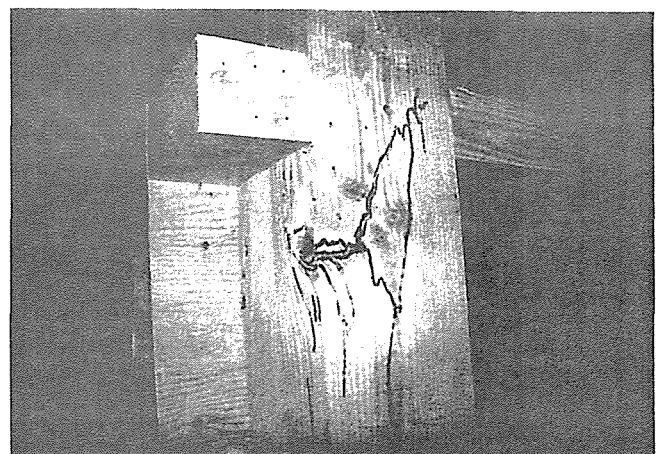
最大変形時全体



柱-はり接合部（左）下フランジ材の抜け破壊
（最大変形時）



柱脚（右）の回転によるHD金物の変形
（最大変形時）



柱-はり接合部（右）柱の曲げ破壊
（最大変形時）

表3 主な破壊状況

試験体名	1/120	1/60	1/30	最大変形時
A-1	目立った変化なし	柱はり接合部の合板の隅部に亀裂		柱はり接合部の合板の亀裂が進行
A-2	柱はり接合部の合板の隅部で1cmほどの亀裂発生	亀裂の進行	亀裂部で合板の剥離	亀裂、剥離の進行
B-1	音が聞こえものもの目立った変化なし	柱脚部分でアンカーボルトの引張力によりせん断亀裂の発生	柱脚部分せん断破壊	
B-2	柱脚部分でアンカーボルトの引張力によりせん断亀裂の発生	せん断亀裂の進行	せん断亀裂の進行	右柱中央節部より曲げ破壊 はりで木栓加工穴を発端とする亀裂
C-1	目立った変化なし	柱とはりの接触によりはりに亀裂発生	亀裂の進行	
C-2	柱脚部分でアンカーボルトの引張力によりせん断亀裂の発生	音が聞こえるものもの目立った変化なし	柱とはりの接触によりはりに亀裂発生	柱脚部分せん断破壊
D-1	音が聞こえものもの目立った変化なし	アンカーボルト、HD金物の変形が目立つ	柱と下フランジの接触により下フランジに亀裂発生	下フランジのせん断破壊
D-2	音が聞こえものもの目立った変化なし	アンカーボルト、HD金物の変形が目立つ	アンカーボルト、HD金物の変形が目立つ	合板を留めつけている釘が引き抜ける

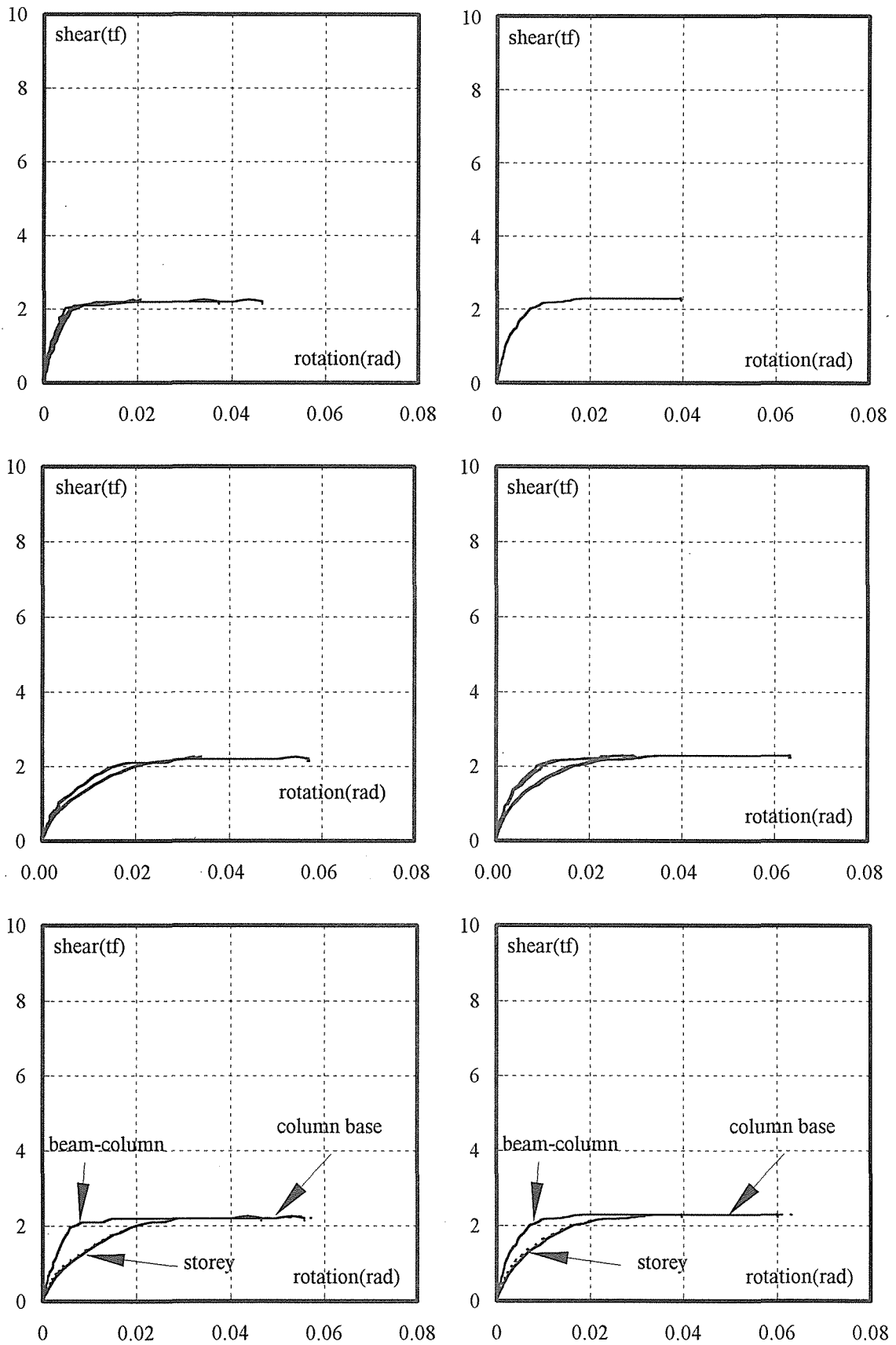


図7 各回転角 (その1: A 試験体)

注: 上から柱はり接合部、柱脚接合部、相関変形角との比較、左: A-1、右: A-2

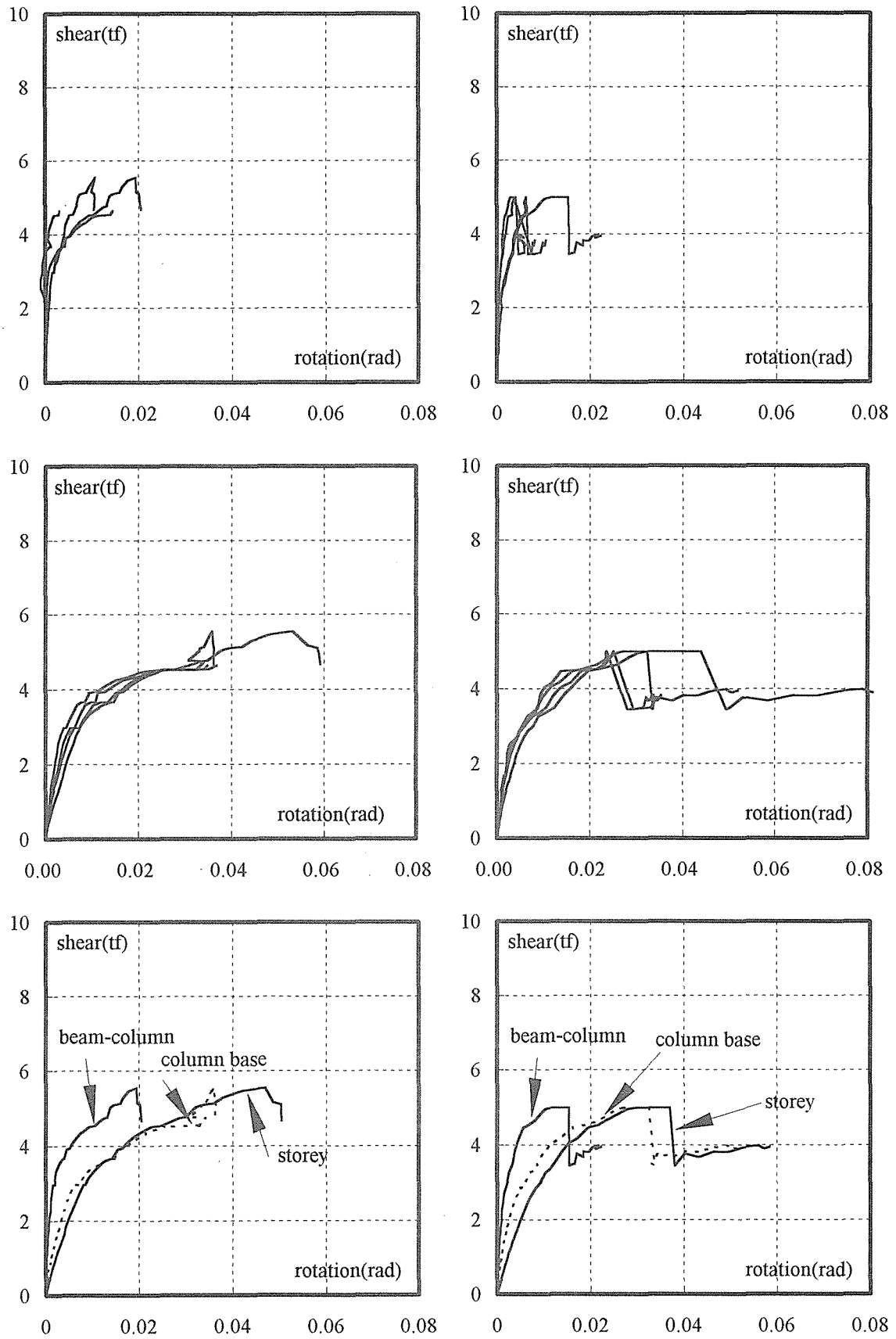


図7 各回転角 (その2 : B 試験体)

注 : 上から柱はり接合部、柱脚接合部、相関変形角との比較、左 : B-1、右 : B-2

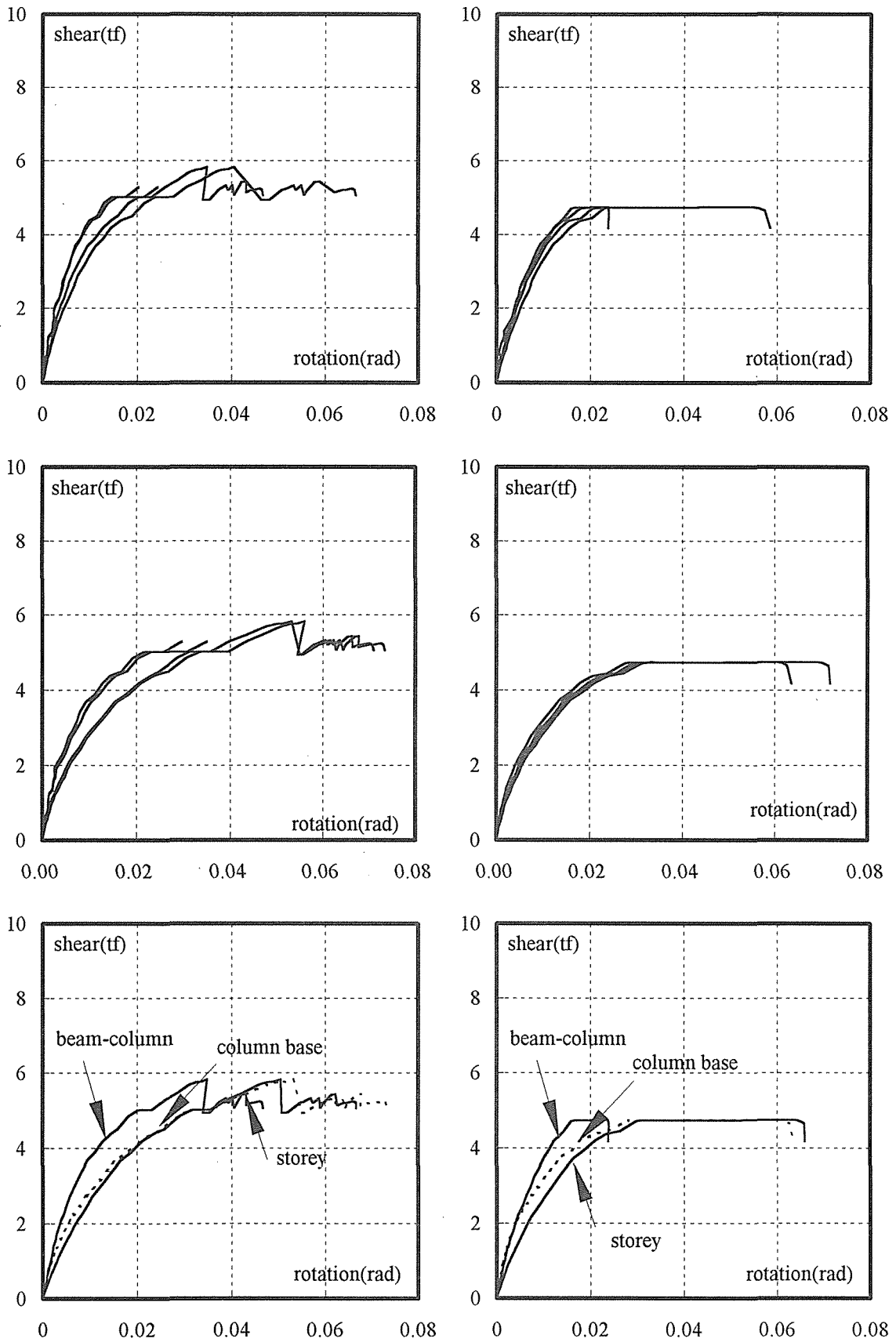


図7 各回転角 (その3 : C試験体)

注 : 上から柱はり接合部、柱脚接合部、相関変形角との比較、左 : C-1、右 : C-2

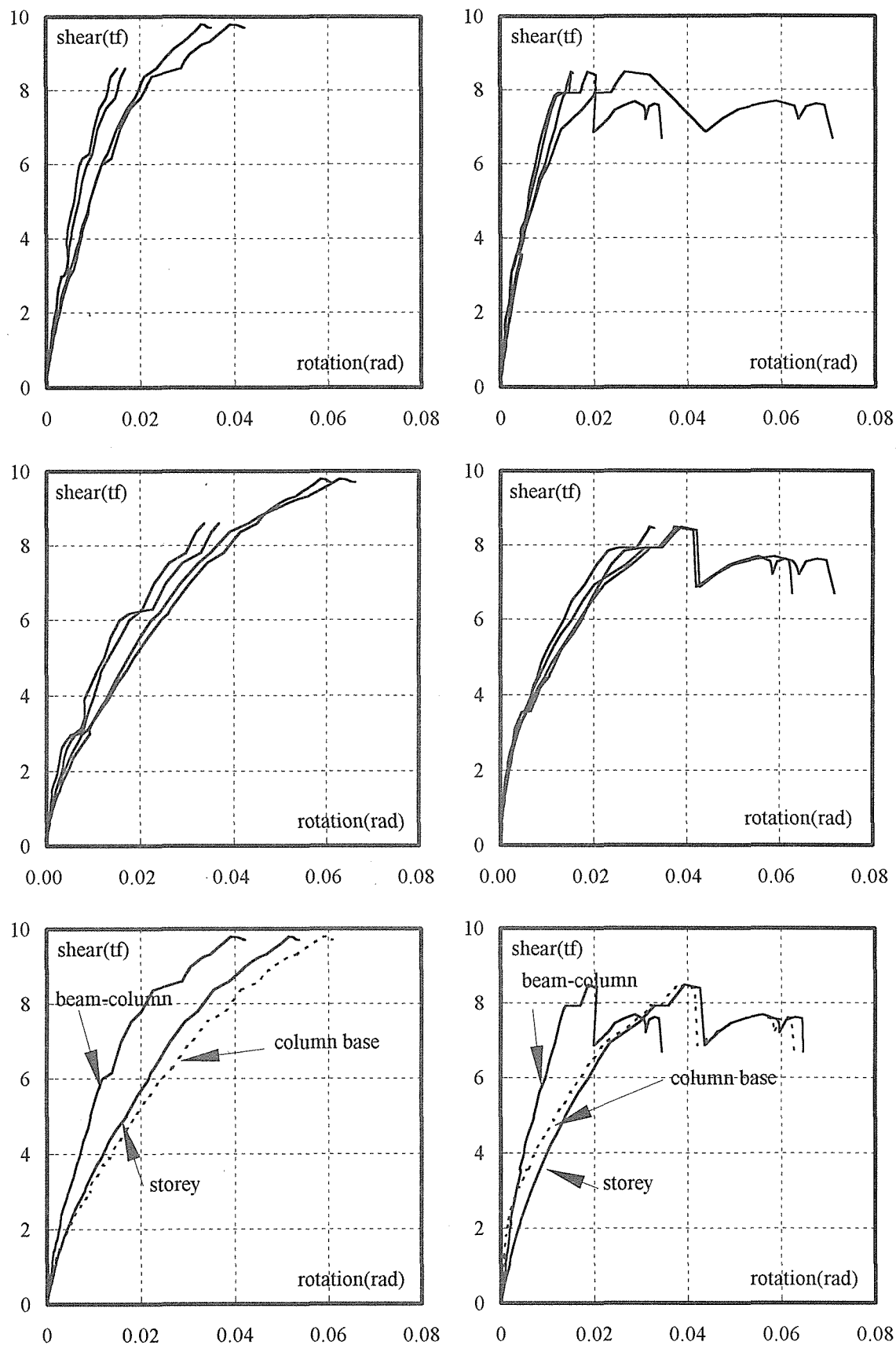
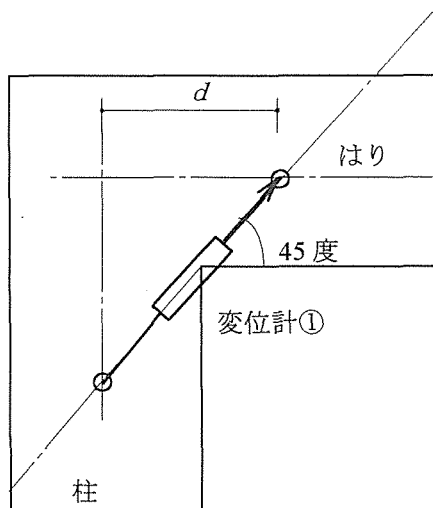
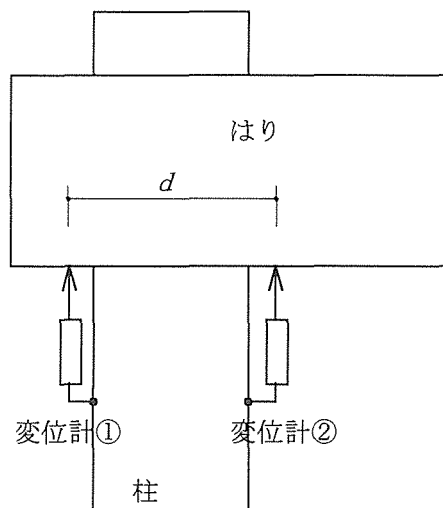


図7 各回転角 (その4 : D 試験体)

注 : 上から柱はり接合部、柱脚接合部、相関変形角との比較、左 : D-1、右 : D-2

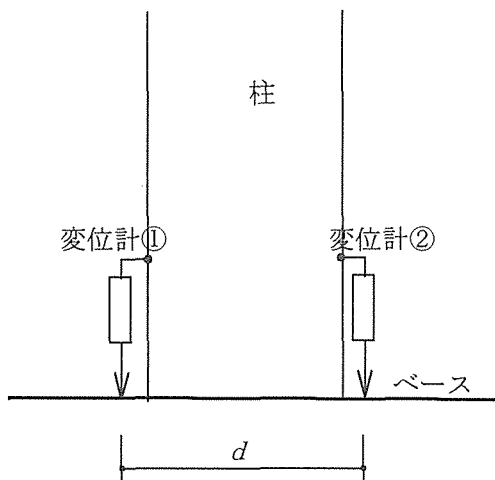


A 試験体
 回転角=変位計①× $\sqrt{2}$ / d



B、C、D 試験体
 回転角= (変位計①-変位計②) / d

柱はり接合部回転角



回転角= (変位計①-変位計②) / d

柱脚接合部回転角

図8 回転角の求め方

注：柱はり接合部、柱脚接合部とも同様の方法で左右計測しており、包絡線は左右プラスとマイナスで計4本得られる。

1. はじめに

本研究が対象とする建物は、十分な耐力壁を確保することのできない狭小間口を有する在来軸組構法住宅で、その一壁面を以下に示す楔締めラーメン架構で構成することによって、狭小間口でありながら、解放的でかつ耐震的な軸組構造を実現させることが目的である。

昨年度までの研究では、鋼板挿入ドリフトピン接合法による集成材ラーメン架構を採用していたが、本年度は、接合部の構造に伝統的な楔締めのメカニズムを導入して、特別の加工機械のない業者によっても、比較的簡単に骨組みが制作でき、かつ組立が容易な構法を採用した。なお、本研究は、(有)木構造技研との共同研究である。

2. 楔締めラーメンとは

接合部の概要としては、図1～図4に示すように、集成材の柱、梁接合部並びに柱脚接合部に堅木の楔（材種：俗名モガビー）を挿入してモーメン抵抗部を構成するものである。

柱脚接合部に関しては、T型（図1）、S型（図2）、U型（図3）の3種類の接合方法を、また柱-梁接合部については、図4に示す一種類の方法を共通して使用した。

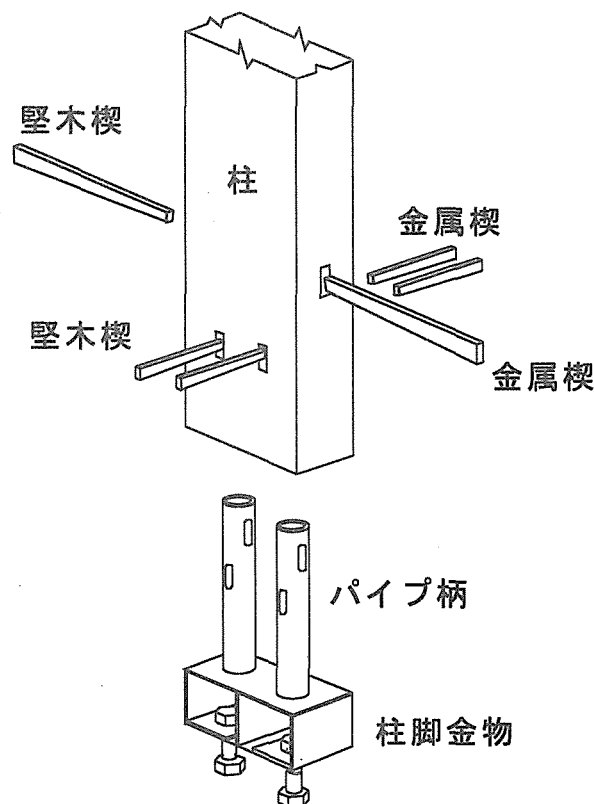


図1 S型柱脚接合部

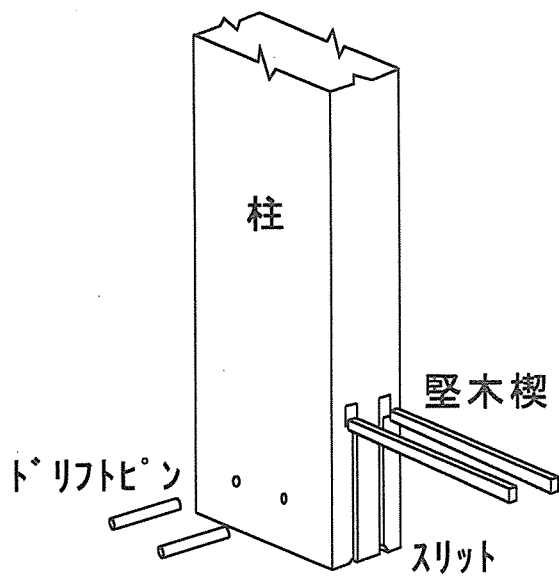


図2 T型柱脚接合部

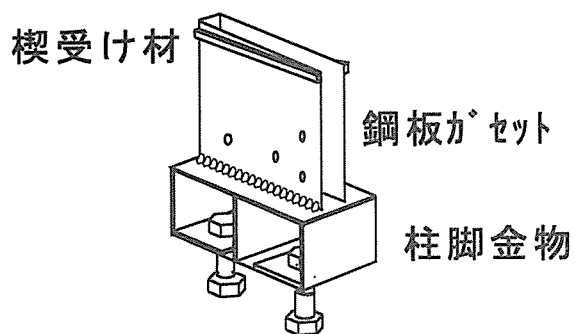
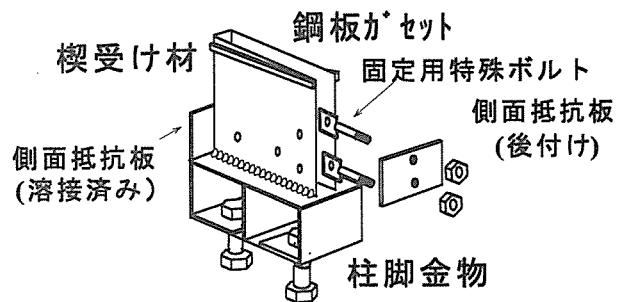
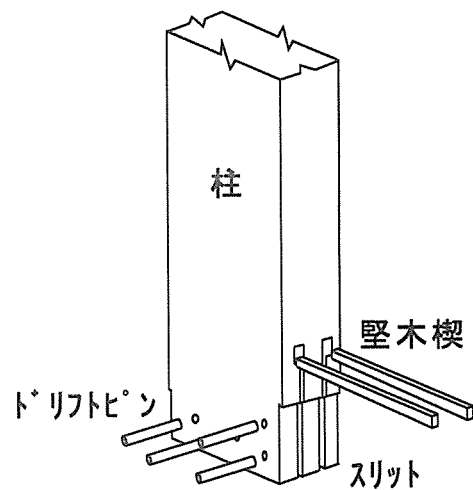


図3 U型柱脚接合部



S型柱脚は柱に金属パイプを挿入し、パイプにあけた孔に楔を打ち込んで柱脚を固定するものである。T型柱脚は、柱-梁接合部と同様に、楔受け材が溶接された薄鋼板のガセットを柱のスリットに挿入し、楔を打ち込んで固定するものである。U型柱脚は、T型柱脚の側面をさらにの側面抵抗用の金属板で補強したものである。補強板を取り付けるため、特殊な固定用ボルトを使用している。

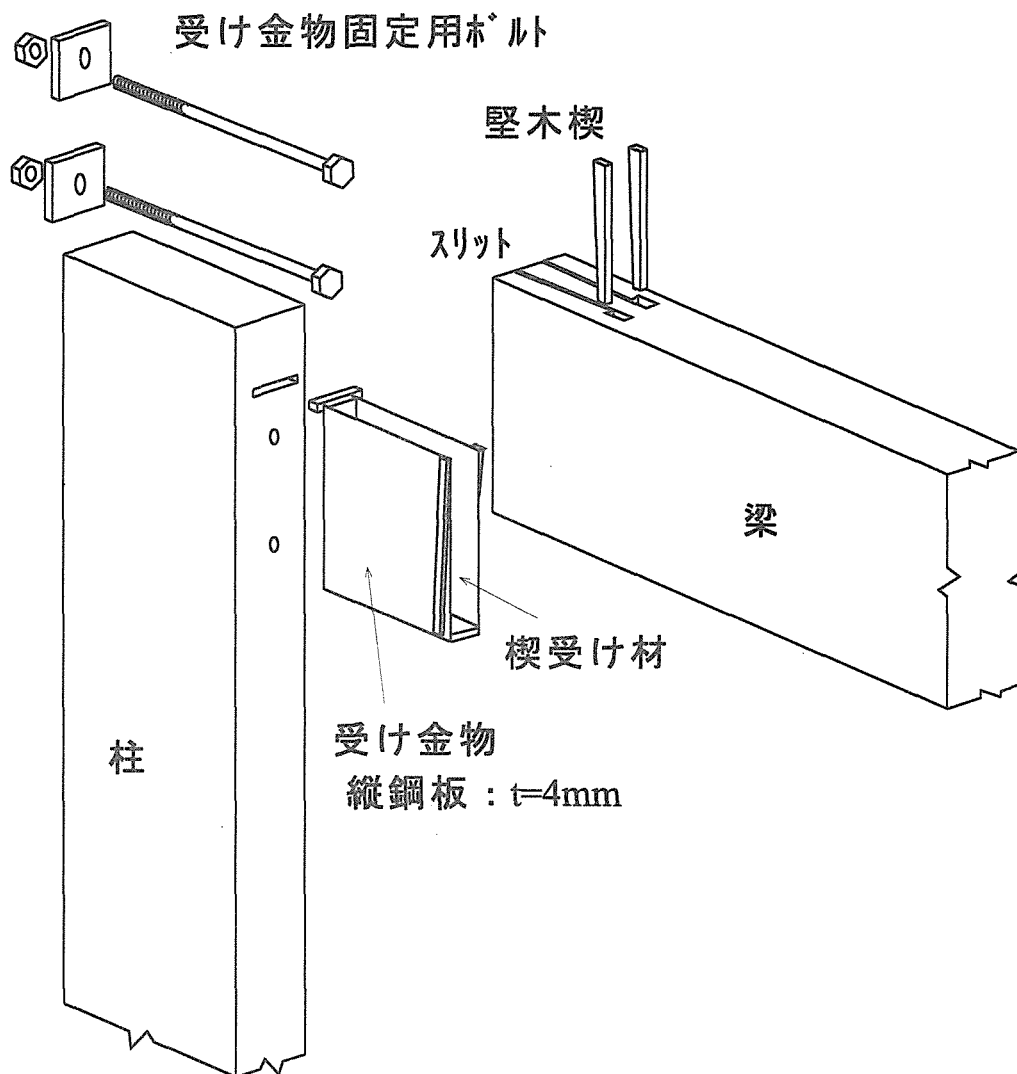


図4 S型、T型、U型共通の柱-梁接合部

3. 一層門型架構の水平耐力実験の概要

3.1 試験法

図5に示すセットアップで静的正負繰り返し加力実験を行った。

- ・ 架構スパン : $L=194\text{cm}$
- ・ 階高 : $H=260.5\text{cm}$

・加力サイクルは以下の5サイクル：

± 1/300 ± 1/200 ± 1/120 ± 1/60 ± 1/30 P_{max}

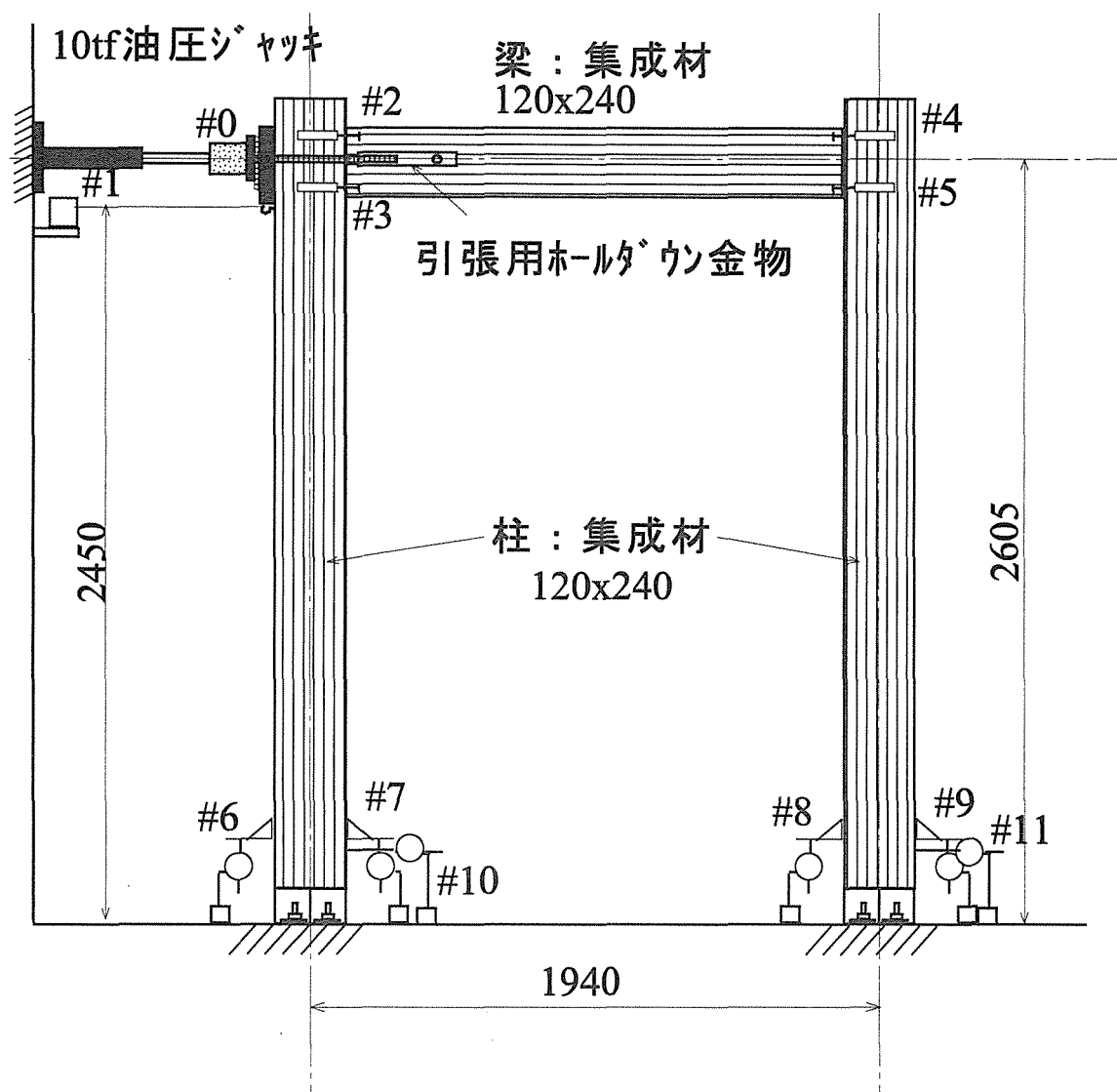


図5 一層門型架構の水平加力試験の方法

3.2 測定機器と変形角の定義

柱-梁接合部の相対回転角を測定するため、変位計#2、#3、並びに#4、#5を柱側に取り付けた。一方、柱脚-基礎間の相対回転角を測定するため#6、#7および#8、#9の変位計をベース金物上面10cmの位置に取り付けた。架構の見かけのせん断変形角を測定するため、#1、#10の変位計を所定の位置に取り付けた。#11の変位計は柱脚の水平変位測定用である。

架構の水平せん断変形角 $\gamma = (\#1 - \#10) / 2350$

柱-梁回転角 $\theta_1 = (\#2 - \#3) / h_{23}$, $\theta_2 = (\#4 - \#5) / h_{45}$

柱脚回転角 $\theta_3 = (\#6 - \#7) / h_{67}$, $\theta_4 = (\#8 - \#9) / h_{89}$

3. 3 試験状況と測定機器の取付状況

写真1に反力フレーム内にセットされた試験体の全景を示す。

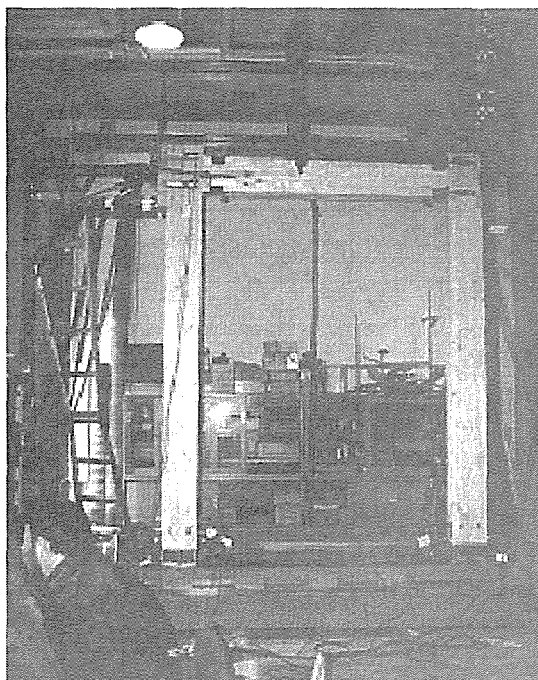


写真1 試験装置全景
(CNA46608/20)

写真2、写真3に測定機器の取付状況を示す。

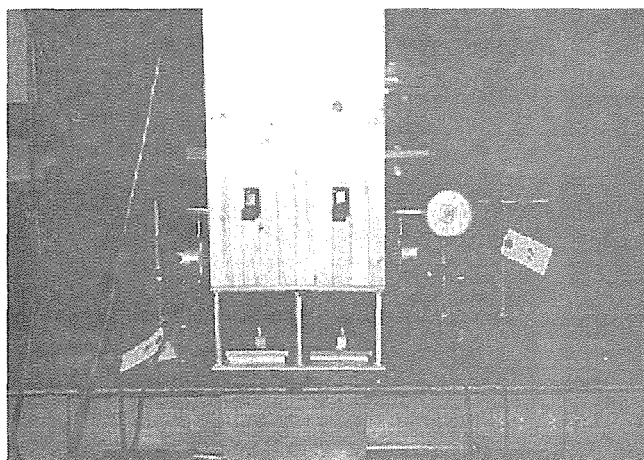
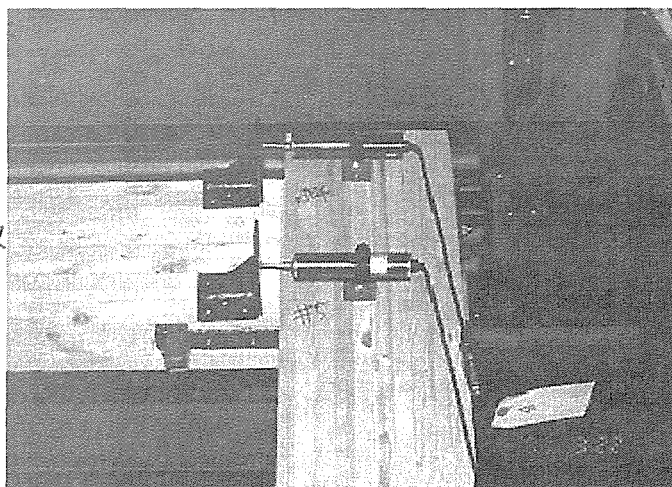


写真2 柱脚接合部変位計の取付状況
(CNA46608/21)

写真3 梁-柱接合部変位計の取付状況 (CNA46608/23)



4. 結果

4. 1 荷重(P)—せん断変形角(γ)の関係

4. 1. 1 S型 (パイプ柄柱脚タイプ)

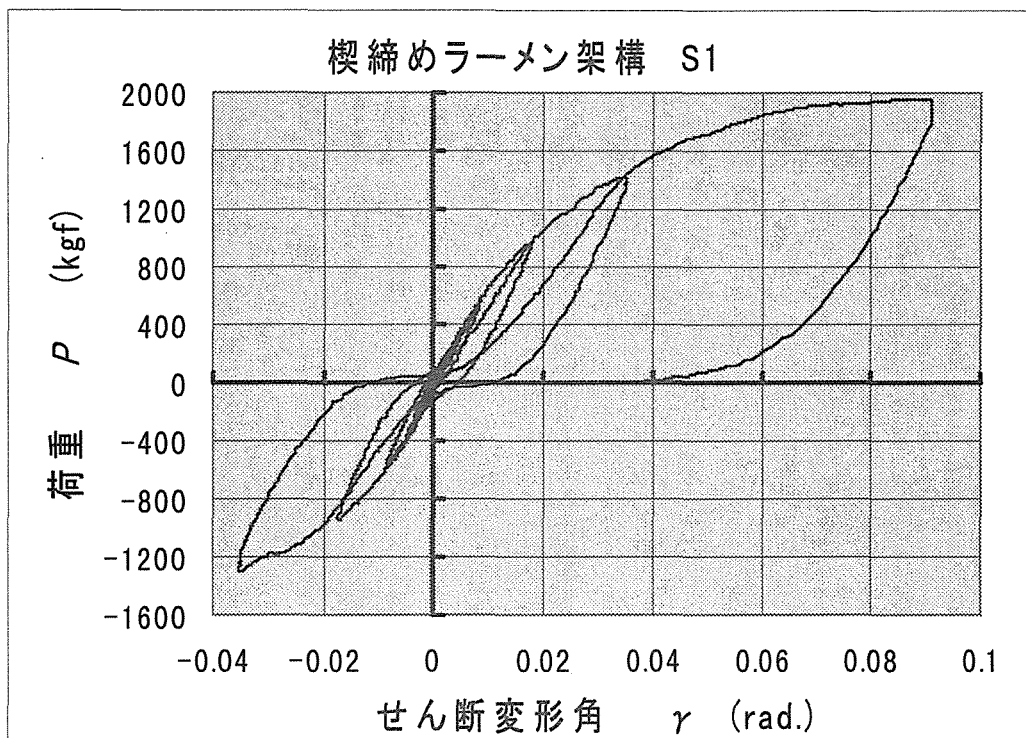


図6 S1の荷重(P)—せん断変形角(γ)の関係

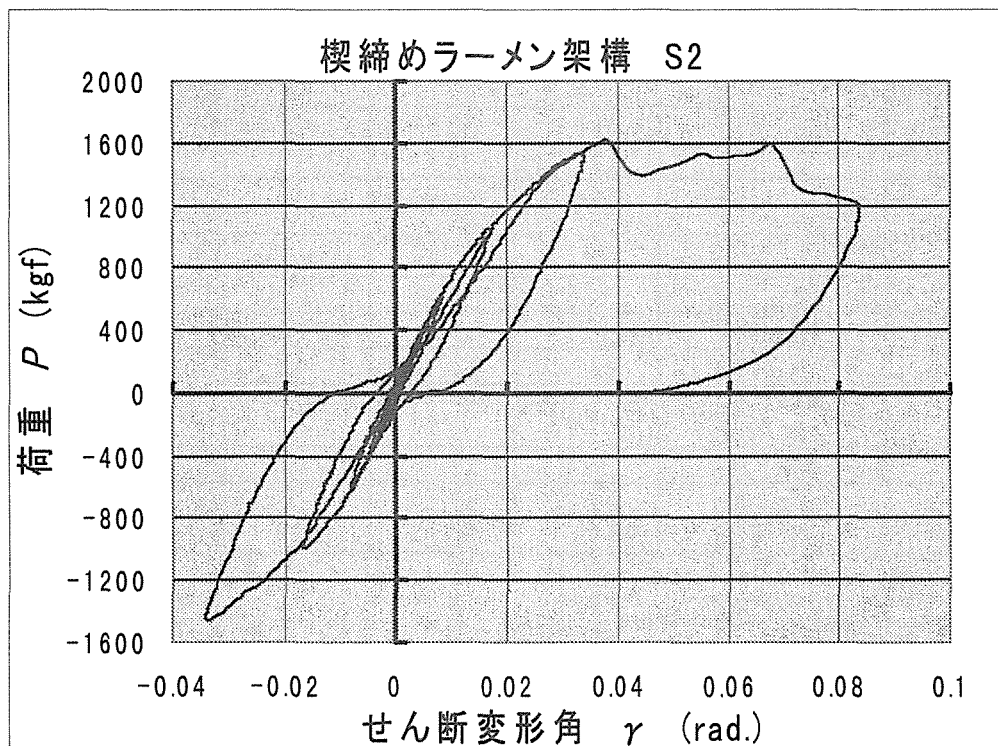


図7 S2の荷重(P)—せん断変形角(γ)の関係

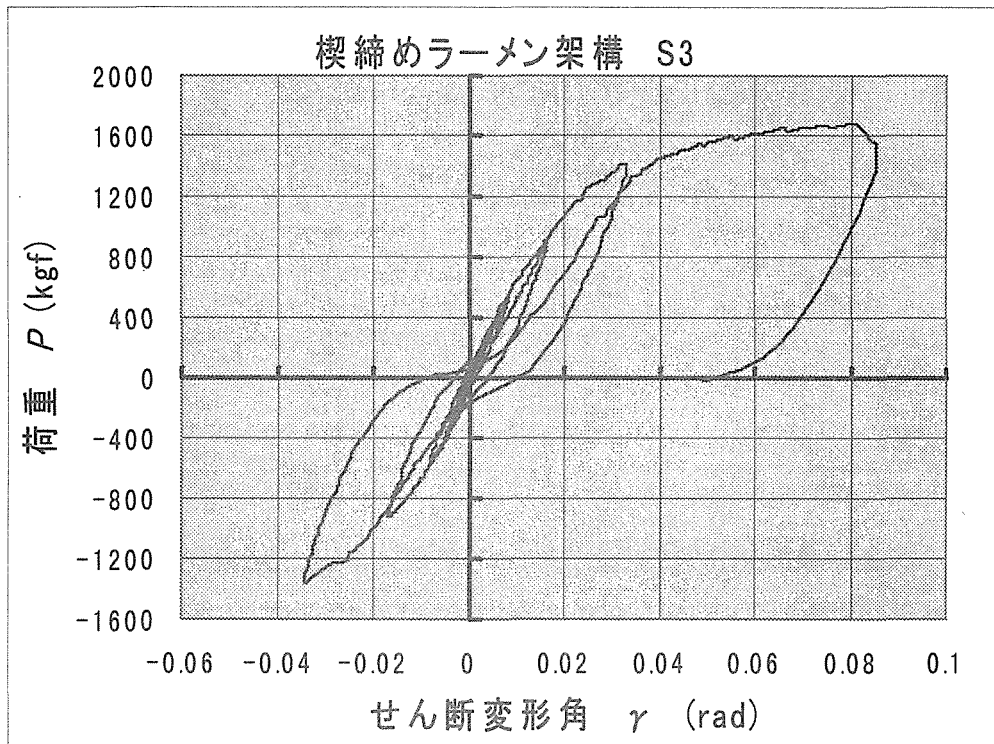


図8 S3の荷重(P)－せん断変形角(γ)の関係

表1 Sタイプ試験体の結果一覧

S1	1/300	1/200	1/120	1/60	1/30	P_{max}	$\gamma_{P_{max}}$ (rad.)
押し	264	375	580	966	1427	1964	1/11.2
引き	298	410	590	949	1293		
平均	281	393	585	958	1360		
S2	1/300	1/200	1/120	1/60	1/30	P_{max}	$\gamma_{P_{max}}$ (rad.)
押し	290	416	621	1048	1534	1621	1/26.3
引き	285	406	620	994	1459		
平均	288	411	621	1021	1497		
S3	1/300	1/200	1/120	1/60	1/30	P_{max}	$\gamma_{P_{max}}$ (rad.)
押し	262	367	538	907	1420	1678	1/12.5
引き	292	402	558	927	1355		
平均	277	385	548	917	1388		

Sタイプ平均 $P_{1/120} = 585$

Sタイプ平均許容耐力 $P_{1/120} * 3/4 = Q_a = 438$ (kgf)

4. 1. 2 T型 (鋼板ガセット柱脚タイプ)

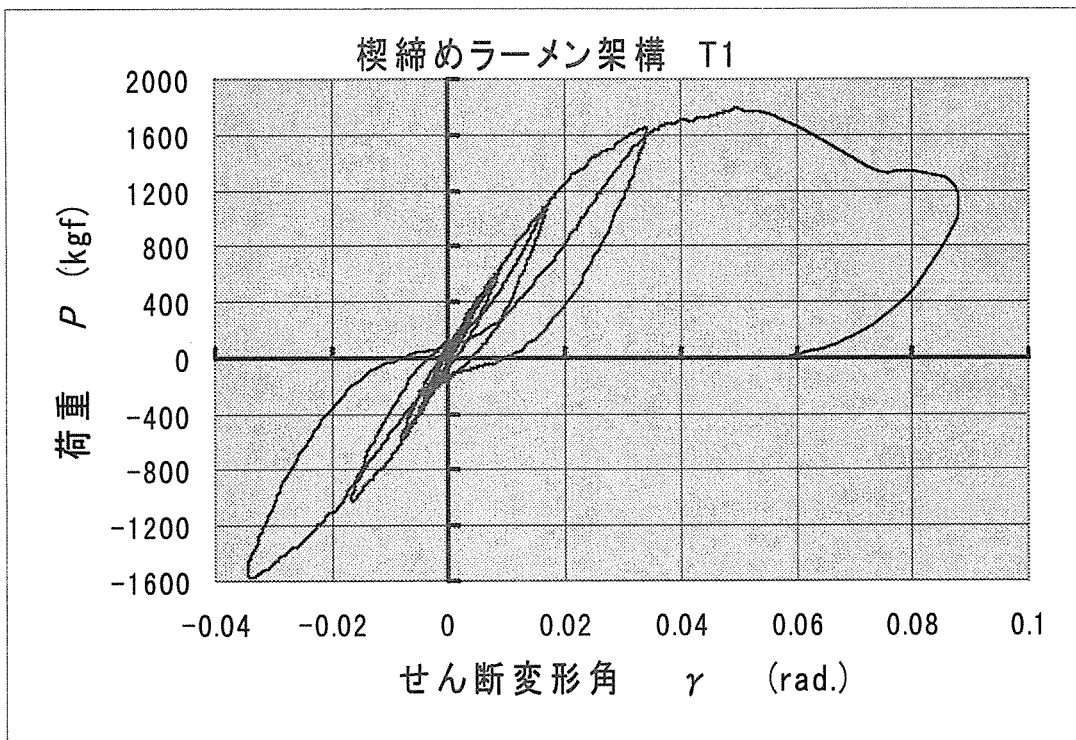


図9 T1の荷重 (P) -せん断変形角 (γ) の関係

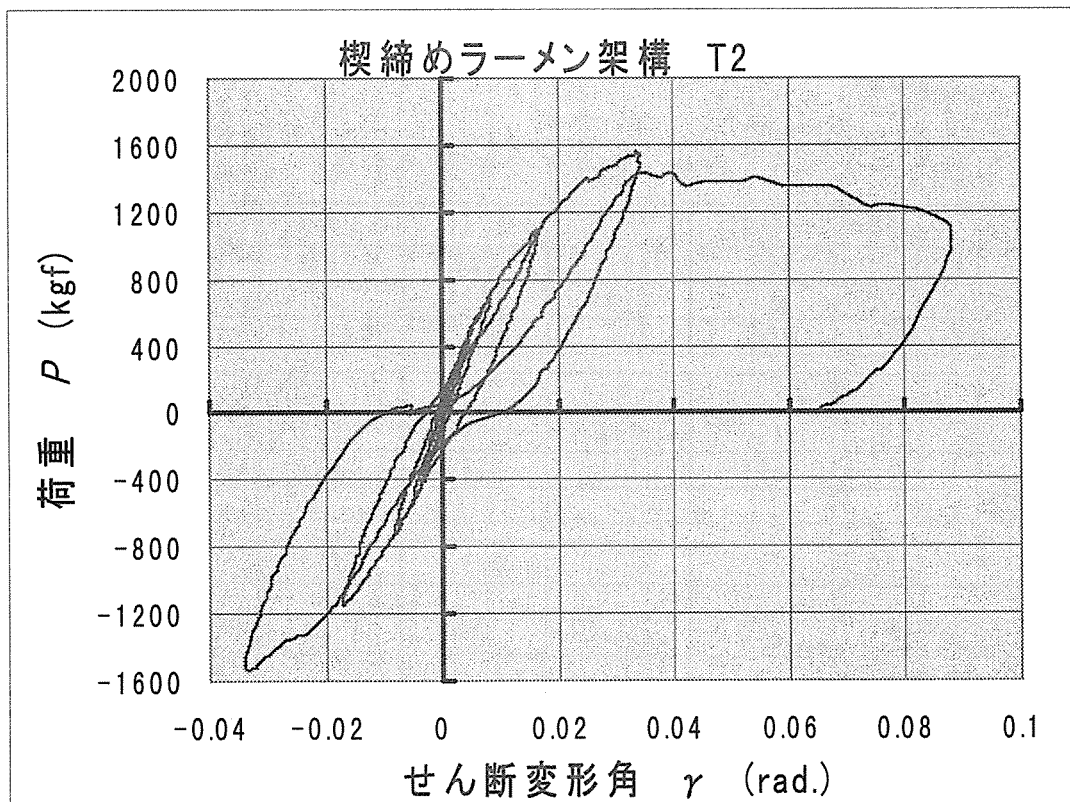


図10 T2の荷重 (P) -せん断変形角 (γ) の関係

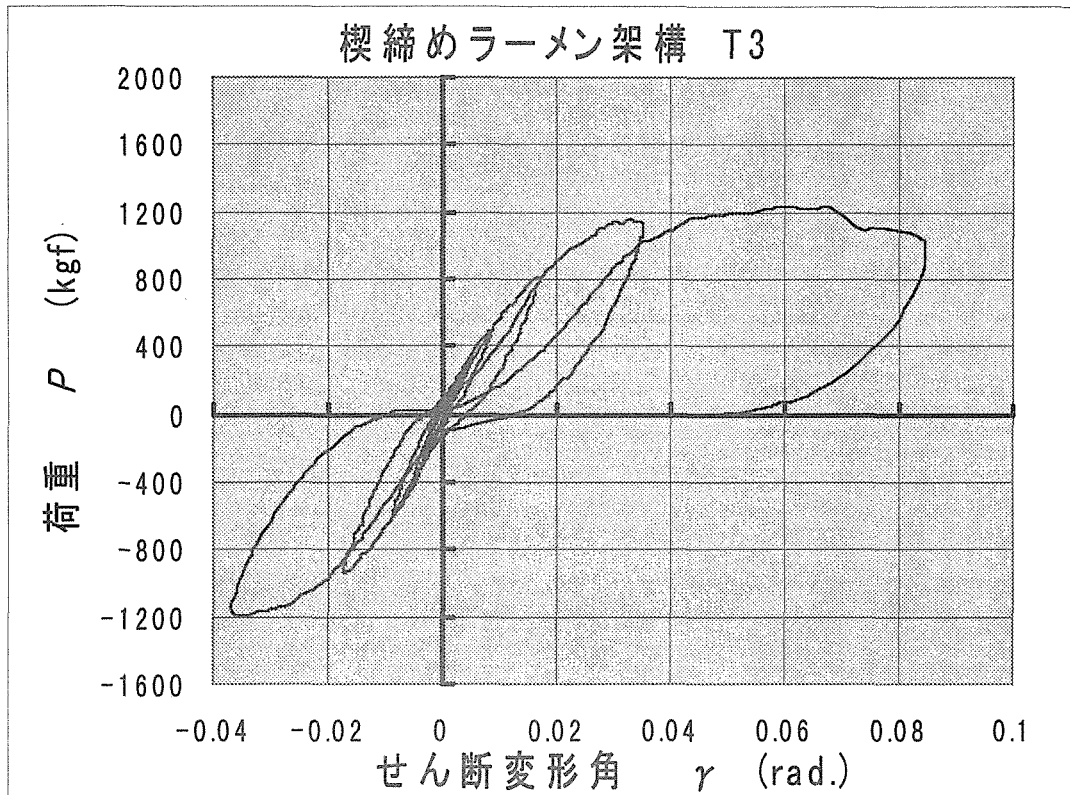


図 1 1 T3 の荷重 (P) -せん断変形角 (γ) の関係

表 2 Tタイプ結果の一覧

T1	1/300	1/200	1/120	1/60	1/30	P_{max}	γ_{Pmax} (rad.)
押し	310	430	605	1049	1644	1792	1/20.1
引き	276	386	595	985	1575		
平均	293	408	600	1017	1610		
T2	1/300	1/200	1/120	1/60	1/30	P_{max}	γ_{Pmax} (rad.)
押し	361	499	694	1087	1551	1560	1/29.7
引き	375	515	726	1134	1538		
平均	368	507	710	1111	1545		
T3	1/300	1/200	1/120	1/60	1/30	P_{max}	γ_{Pmax} (rad.)
押し	254	349	499	814	1153	1236	1/16.5
引き	286	406	590	929	1191		
平均	270	378	545	872	1172		

Tタイプ平均 $P_{1/120} = 618$

Tタイプ平均許容耐力 $P_{1/120} * 3/4 = Q_a = 464$ (kgf)

4. 1. 3 U型 (鋼板ガセット+側面補強柱脚タイプ)

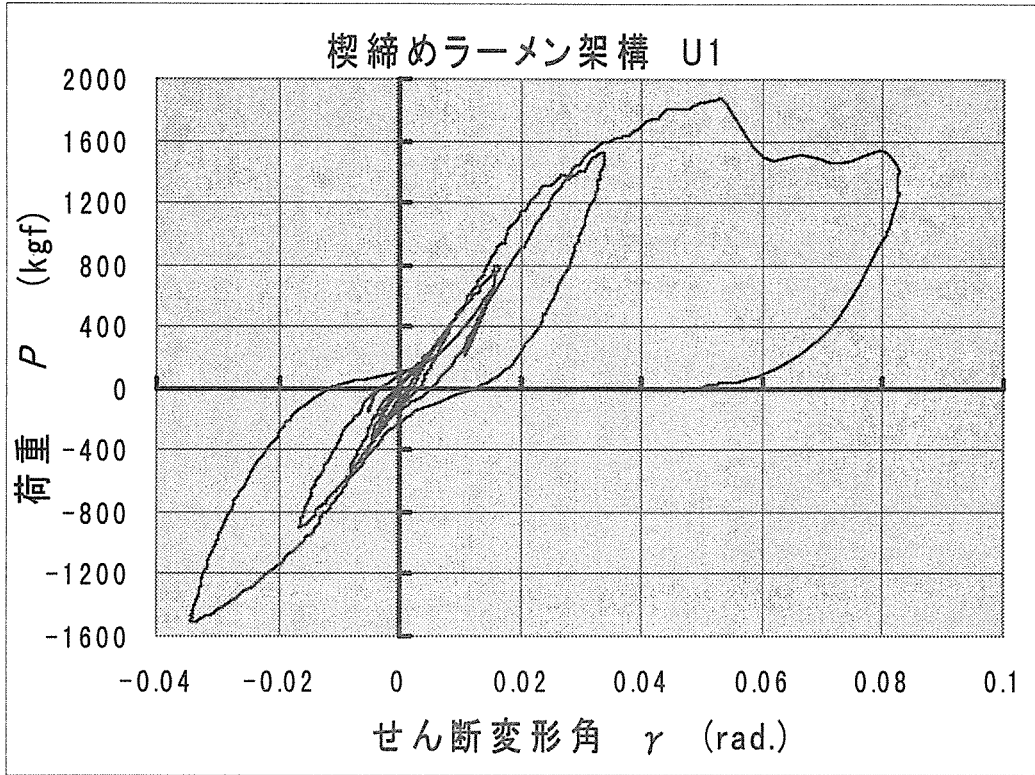


図 1 2 U1 の荷重 (P) -せん断変形角 (γ) の関係

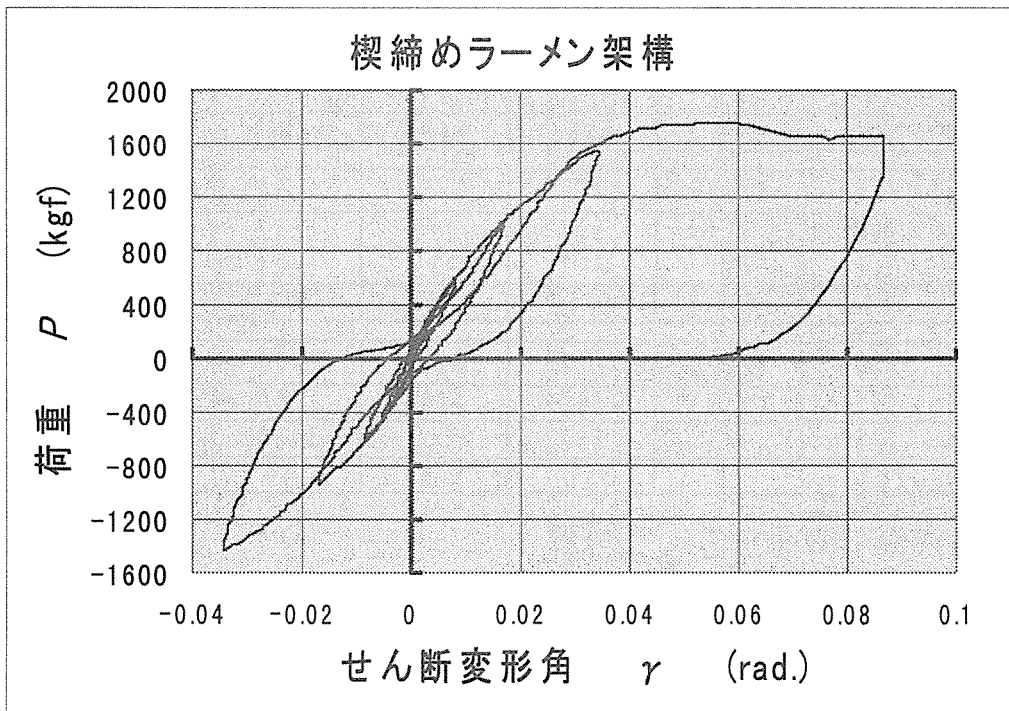


図 1 3 U2 の荷重 (P) -せん断変形角 (γ) の関係

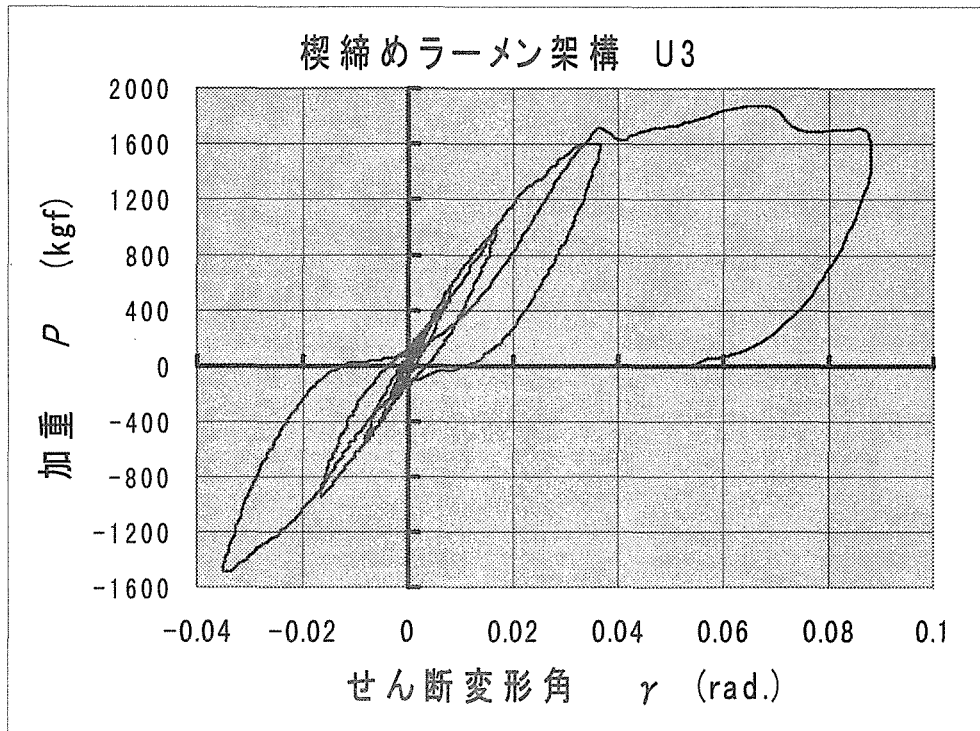


図 1 4 U3 の荷重 (P) -せん断変形角 (γ) の関係

表 3 Uタイプ結果の一覧

U1	1/300	1/200	1/120	1/60	1/30	P_{max}	γ_{Pmax} (rad.)
押し	154	231	390	799	1530	1875	1/18.5
引き	244	347	521	899	1508		
平均	199	289	456	849	1519		
U2	1/300	1/200	1/120	1/60	1/30	P_{max}	γ_{Pmax} (rad.)
押し	298	424	599	999	1542	1761	1/16.8
引き	319	444	608	935	1404		
平均	309	434	604	967	1473		
U3	1/300	1/200	1/120	1/60	1/30	P_{max}	γ_{Pmax} (rad.)
押し	252	359	562	1004	1600	1865	1/15.1
引き	276	381	552	942	1480		
平均	264	370	557	973	1540		

Uタイプ平均 $P_{1/120} = 539$

Uタイプ平均許容耐力 $P_{1/120} * 3/4 = Q_a = 404$ (kgf)

4. 2 破壊形態

4. 2. 1 S型 (パイプ柄柱脚タイプ)

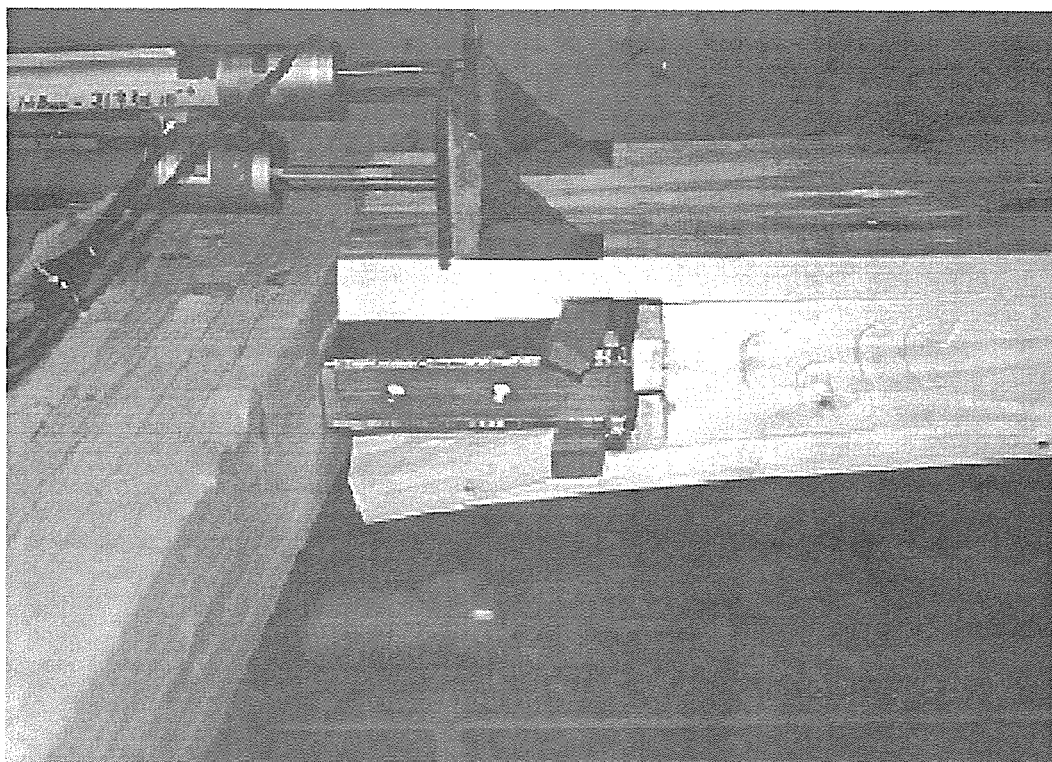


写真4 柱-梁接合部における梁端部の開き、及び楔の回転 (CNA46607/6)

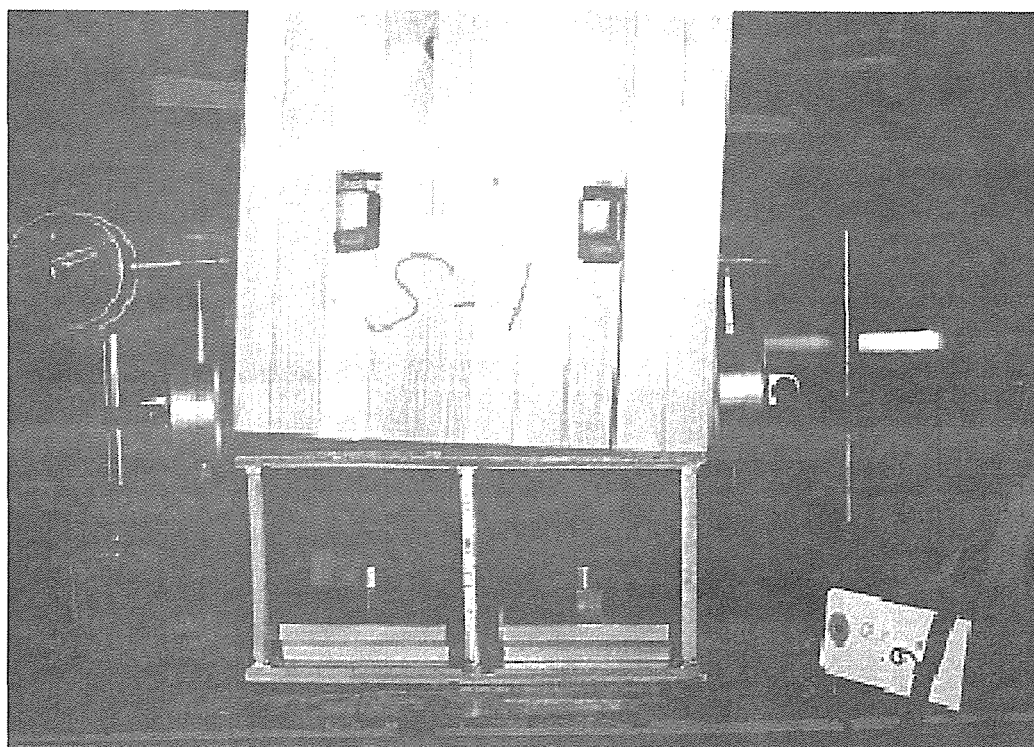


写真5 柱脚接合部における梁端部での楔孔からの割れ (CNA46607/8)

4. 2. 2 T型（鋼板ガッсет柱脚タイプ）

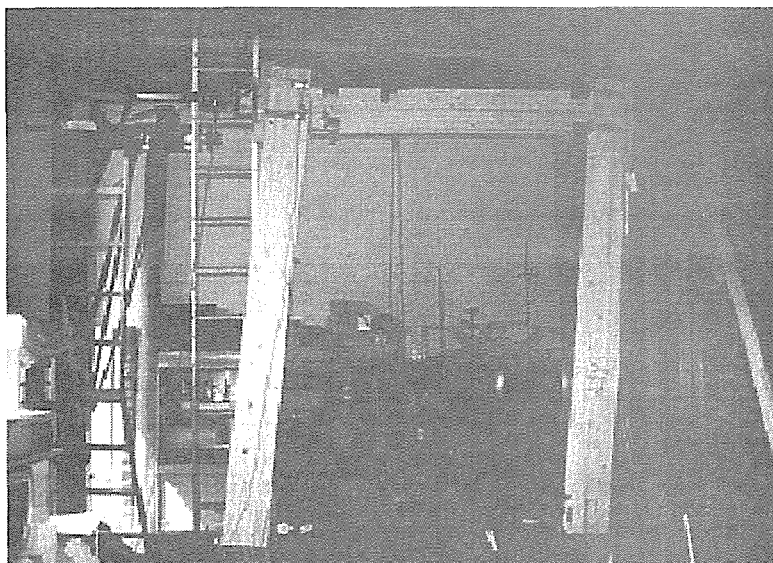


写真 6

架構の全体的大変形。終局状態：およそ $1/20\text{rad}$. 変形時(CNA46607/24)

写真 7

終局時における柱脚接合部の状況。柱端部が開き、楔が回転によってバラバラに割れ、更に楔孔の角から割れ発生 (CNA46607/22)

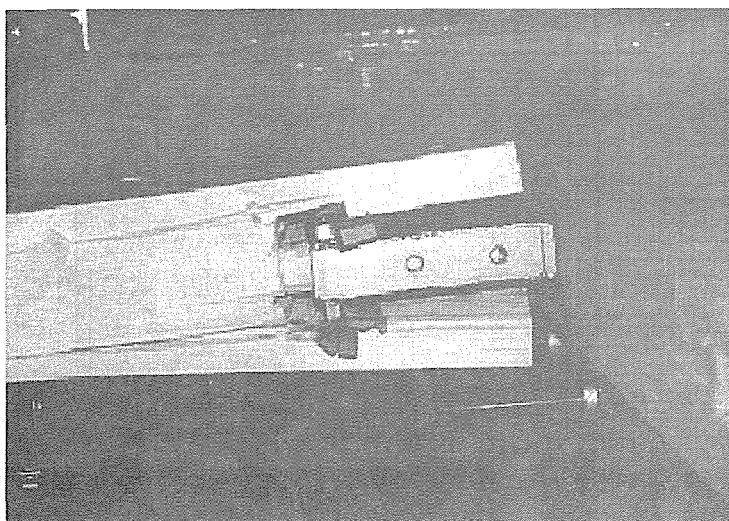
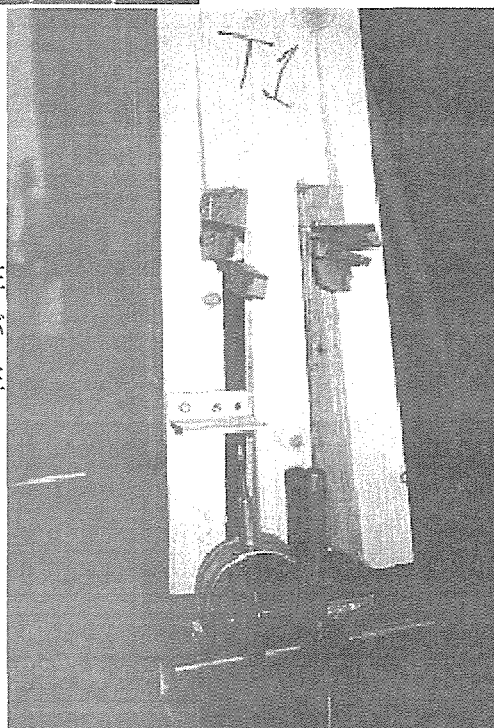


写真 8

柱-梁接合部における梁端部の開き、及び楔の回転による割れと楔孔の角から割れ発生 (CNA46607/23)

4. 2. 3 U型（鋼板ガッセト+側面補強柱脚タイプ）

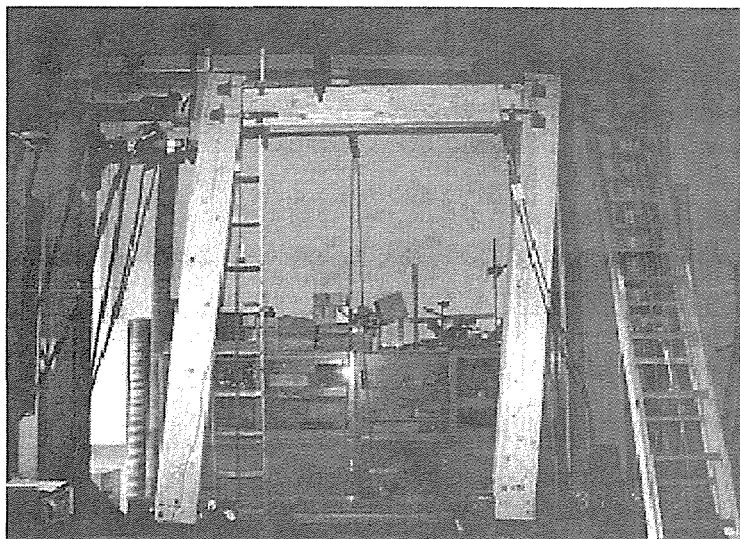


写真 9

架構の全体的大変形。終局状態：およそ $1/20\text{rad}$.変形時 (CNA60229/10)

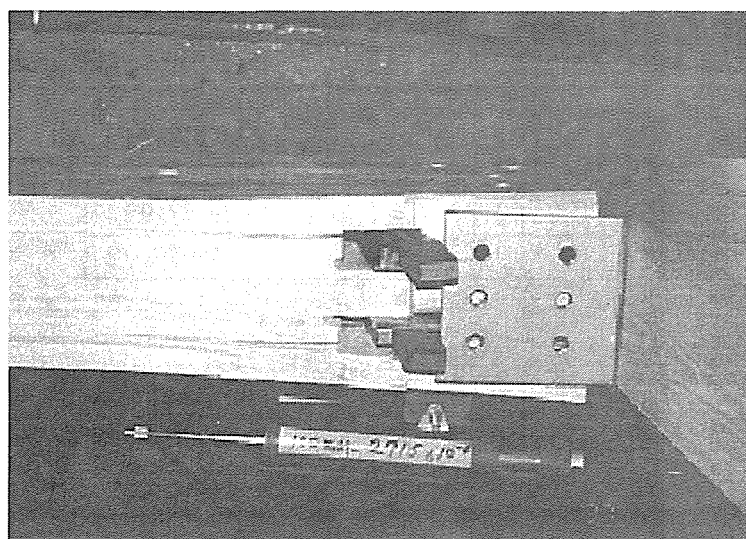
写真 10

終局時における柱脚接合部の状況。補強版接合用のドリフトピン孔から割れ発生。楔の位置からも破壊が発生している (CNA60229/8)



写真 11

終局時における柱-梁接合部の状況。楔孔角から割れ発生。楔自体も一部破損している。梁下端に見える金物は筋連接合用の金物で、本実験では直接剛性、耐力には関与していない (CNA60229/13)



5. まとめ

表4に試験結果のまとめを示す。本試験から以下のことが判明した。

- 1) 1/120rad.時の荷重にバラツキ係数 3/4 を掛けて算定した「架構の許容せん断耐力」が最も高かったのは、鋼板ガセット型柱脚を有する Tタイプであった。平均で $Q_a = 464 \text{ kgf}$ であった。
- 2) 平均最大耐力が最も大きかったのは補強版を付けた Uタイプであった。
- 3) 最大荷重時の変形量が最も大きかったのはパイプ柄柱脚型の Sタイプであった。
- 4) 安全率もしくは荷重係数が最も大きかったのは Uタイプであった。これは、最大荷重が大きく、許容耐力が低く算定されたことによる。
- 5) 粘りが最も大きかったのは Sタイプであった。
- 6) パイプ柄型柱脚は許容耐力、粘りの両面においてバランスのとれた性能を発揮した。
- 7) Uタイプの側面補強は、加工手間と施工手間の割には、剛性向上には殆ど効果はなかった。

表4 試験結果のまとめ

試験体	$P_{1/120}$	Q_a	P_{max}	γ_{Pmax}	P_{max}/Q_a	$\gamma_{Pmax}/\gamma_{1/120}$
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	kgf	kgf	kgf	rad.		
S1	585	439	1964	0.0893	4.476	10.716
S2	621	466	1621	0.0380	3.480	4.560
S3	548	411	1678	0.0800	4.083	9.600
平均	585	439	1754	0.0691	4.013	8.292
T1	600	450	1792	0.0498	3.982	5.976
T2	710	533	1560	0.0337	2.930	4.044
T3	545	409	1236	0.0601	3.024	7.212
平均	618	464	1529	0.0479	3.312	5.744
U1	456	342	1875	0.0541	5.482	6.492
U2	604	453	1761	0.0595	3.887	7.140
U3	557	418	1865	0.0662	4.464	7.944
平均	539	404	1834	0.0599	4.611	7.192

- (1) 1/120rad.時の荷重（押し、引きの平均）
- (2) 1/120rad.時の荷重に 3/4 を掛けて算定した許容せん断耐力
- (3) 最大荷重
- (4) 最大荷重時のせん断変形角
- (5) 最大荷重を許容せん断力で割った一種の安全率（荷重係数）
- (6) 最大荷重時変形角を 1/120rad.で割った粘りを表す指標

1 目的

現在、大断面の木造におけるファスナーには、ボルトやドリフトピンが多く用いられている。それに対して、木材を用いたファスナーとして、木栓がその候補として挙げられる。木栓を用いた接合方法の一つとして、貫接合と併用した接合方法が考えられる。しかしながら、大断面の木造に関して、木栓を用いた接合方法ならびに貫接合の試験は、今までほとんど行われていない。そこで、今回、木栓を用いることの効果と比較するために、木栓を用いない貫接合だけの接合部に関する試験を行い、さらに貫接合と木栓を併用した場合の試験を行った。

2 試験体

2.1 試験体形状

試験体は十字型柱梁接合部で、柱、梁ともに材長は2mである。試験体の形状ならびに、各部寸法を表す記号を図3-1、図3-2に示す。さらに、木栓の打ち込みに関して、3タイプを図3-3に示す。なお、木栓の下穴は、木栓の径と同径とする。

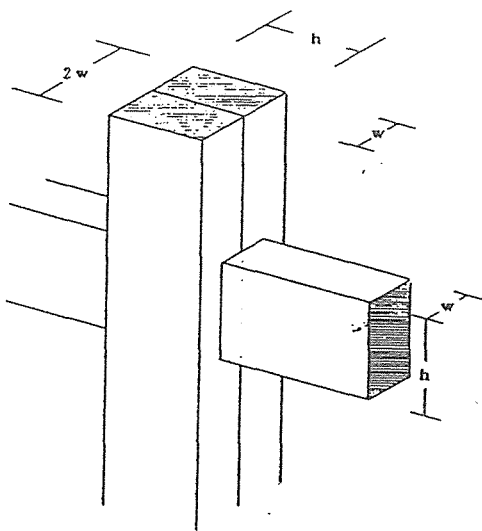


図3-1 各部の寸法

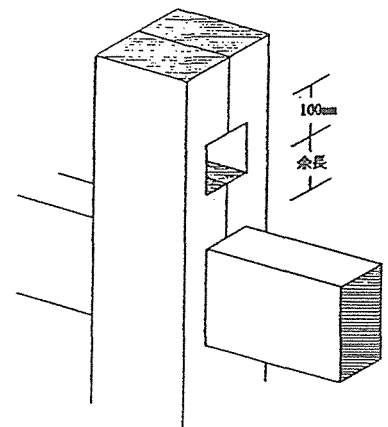


図3-2 余長の寸法

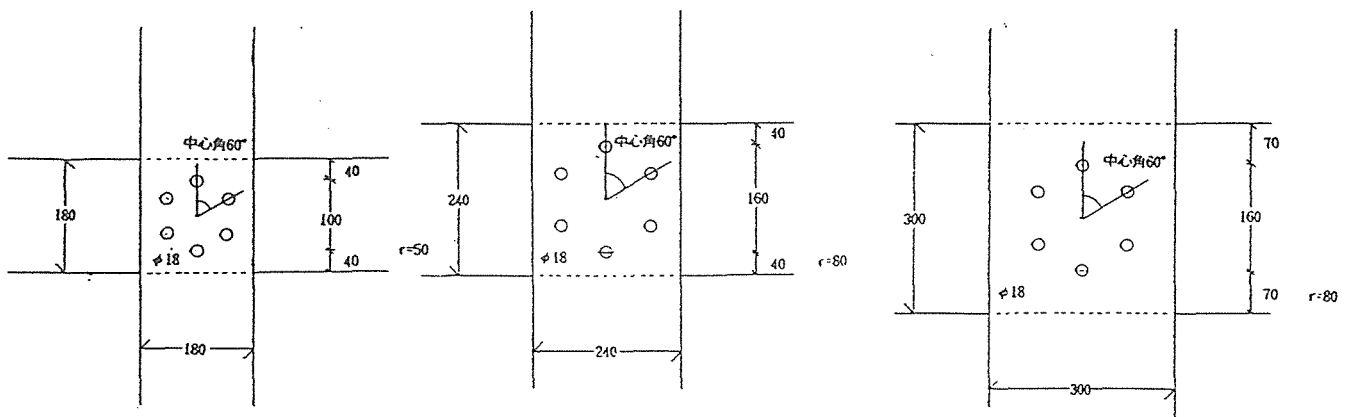


図3-3 木栓の打ち込み形状

2.2 材種

試験体には、カラマツおよびスギの集成材を用いた。また、木栓には、ナラの丸栓を使用した。

2.3 試験体寸法

試験体の一覧を表3-1に示す。

表3-1 試験体の一覧表

no	size	b1	h1	b2	h2	l1	g1	l2	g2	木栓の打ち込み	余長の種類
1		90	180	90	180	90	0	45	45	5種類	なし
2		90	180	90	180	90	0	45	45	なし	3種類
3		120	240	120	240	120	0	60	60	5種類	なし
4		120	240	120	240	120	0	60	60	なし	3種類
5		150	300	150	300	150	0	75	75	5種類	なし
6		150	300	150	300	150	0	75	75	なし	3種類
7		120	310	120	240	90	15	75	45	なし	3種類
8		120	420	120	240	60	35	75	45	なし	3種類
9		120	420	120	240	90	15	75	45	なし	3種類

3 試験方法

試験体ならびに治具、変位計の取付位置を図3-4に示す。加力は、正負繰り返しの水平交番とした。载荷スケジュールを表3-2に示す。変形は、柱、梁それぞれに取り付けた変位計により、柱梁の変形角を測定した。

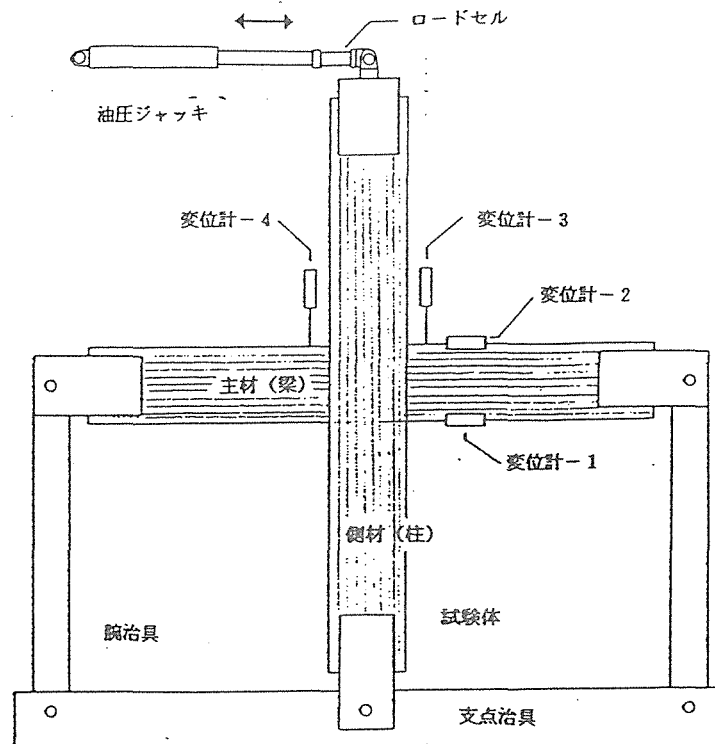


図3-4 試験体ならびに治具と変位計

表3-2 載荷スケジュール

サイクル	1	2	3	4	5	6	7	8
正	1/480	1/240	1/120	1/82.5	1/60	1/40	1/30	1/15
負	-1/480	-1/240	-1/120	-1/82.5	-1/60	-1/40	-1/30	-1/15

4 試験結果

表3-3に試験結果の一覧を示す。また、以下のページに表3-3中の試験体のモーメント-柱変形角の荷重変形曲線を示す。

表3-3 試験結果一覧

	1/480時の モーメント tcm		1/240時の モーメント tcm		1/120時の モーメント tcm		1/85時の モーメント tcm		1/60時の モーメント tcm		1/42.5時の モーメント tcm		1/30.0時の モーメント tcm		γ max
K1-Y100	6.8425	-5.0575	12.495	-7.735	22.3125	-15.47	27.6675	-19.9325	35.9975	-30.6425	44.3275	-38.9725	49.6825	-42.5425	-0.04672
K1-Y200	9.8175	-10.4125	14.5775	-15.1725	21.7175	-20.5275	27.37	-25.8825	33.6175	-33.6175	43.1375	-42.245	50.8725	-49.0875	-0.04706
K1-Y300	6.2475	-5.95	8.33	-10.71	18.445	-15.7675	25.2875	-21.7175	33.6175	-30.94	39.5675	-35.9975	48.195	-48.79	-0.04694
K4-Y100	17.6	-14	32.1	-20.2	45.2	-55.9	51.5	-69	58	-63.1	22.3	-74.7			-0.05212
K4-Y200	11.6	-1.5	23.2	-2.7	42.5	-11	54.7	-24.7	70.5	-50.9	82.4	-70.5	104.4	-104.1	-0.05521
K4-Y300	5.9	-5.9	11.9	-12.5	35.4	-35.4	44.6	-56.5	70.5	-74.7	85.1	-73.2	108		0.0255
K6-100	32.13	-31.535	45.22	-60.3925	58.0125	-83.895	63.3675	-83.5975	69.3175	-87.1675	54.4425	-83.895	48.79	-59.2025	-0.04593
K6-Y200	34.8075	-30.94	51.4675	-46.7075	81.515	-79.135	96.39	-95.4975	131.198	-120.19	140.42	-133.28			-0.03697
K6-Y300	19.9325	-21.7175	30.94	-29.155	54.4425	-56.8225	74.375	-78.54	103.828	-105.91	142.8	-139.825			-0.0335
K8-Y100	37.19	-27.97	50.87	-39.57	74.97	-78.24	88.06	-107.99	143.1	-155.89	158.87	-181.18	203.79		0.02521
K8-Y200	17.55	-13.09	40.46	-41.35	87.46	-110.07	121.38	-144.29	156.19	-177.9	186.24	-213.9			-0.03355
K2-S6	10.71	-10.115	19.3375	-13.9825	33.32	-30.345	40.46	-37.485	52.6575	-51.4675	63.3675	-64.5575	73.4825	-76.4575	-0.04378
K3-S6	21.42	-19.635	30.6425	-38.3775	42.245	-55.0375	53.8475	-67.235	72.2925	-83.3	86.87	-92.5225	112.455	-118.108	-0.04694
K5-S6	65.45	-63.665	101.15	-96.985	136.85	-125.843	157.08	-143.395	170.765	-184.153					-0.0332
S1-Y300	1.785	-1.19	3.2725	-4.165	6.8425	-5.95	9.8175	-7.735	13.9825	-10.71	19.635	-16.66	25.2875	-25.585	-0.04722

5 考察

結果の一覧より、木栓を打ち込んだものは、打ち込まないものに比べて、耐力、剛性ともに上昇が見られた。

また、木栓の打ち込まないタイプにおいて、異なる余長により、耐力の違いが見られた。余長が100mmのものは、いずれも余長部分がせん断破壊した。せん断破壊した余長部分を写真-1に示す。

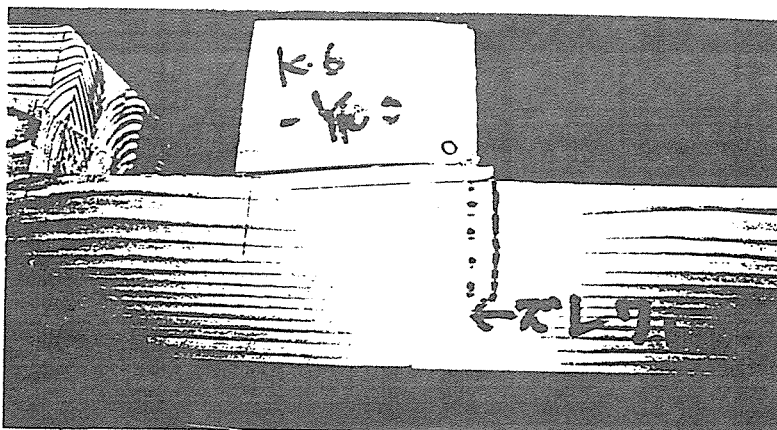


写真3-1 K6-Y100の余長部分の破壊状況

