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
（木質ラーメン試験部会）

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

間口の狭い敷地に建つ住宅の耐震性を確保するために、木質ラーメン形式架構法の技術的検討を行った。具体的には以下のとおりである。

①木質ラーメン形式架構法における実験方法及び評価方法の標準化を目的として強度性能実験を実施した。

②在来工法、合板充複梁、頬杖、貫タイプの４種類の木質ラーメン形式架構法について加力実験を実施した。

③１階を木質ラーメン構造、２、３階を在来軸組構造とした木造住宅を想定して構造設計を行い、１層門型ラーメン部の実大加力実験を実施して考察を行った。接合部には鋼板挿入ドリフトピン接合を採用した。

キーワード

木造軸組構法住宅、実験方法、評価方法、ベイマツ集成材、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、アンカーボルト、変位、塑性率、木質ラーメン、在来工法、合板充複梁、頬杖、貫、鋼板挿入ドリフトピン接合、タイロッド、ＦＥＭ、

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　木質ラーメン強度性能評価実験－在来工法、合板充複梁、方杖、貫タイプ
1　はじめに ---------- 4
2　試験体 ---------- 4
3　試験方法 ---------- 5
4　試験結果 ---------- 5

第３章　木質ラーメン強度性能評価実験－１階ラーメン構造
（鋼板挿入ドリフトピン接合）、２・３階在来軸組構造木造住宅
1　想定住宅の概要 ---------- 31
2　仮定荷重 ---------- 31
3　地震力の算定 ---------- 32
4　梁に加わる鉛直荷重の算定 ---------- 32
5　門型ラーメンの設計 ---------- 32
6　接合部の設計 ---------- 38
7　実大実験 ---------- 45
8　まとめ ---------- 62

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　木質ラーメン強度性能評価実験ー在来工法、合板充複梁、方杖、貫タイプ

１　はじめに

間口の狭い敷地に建つ住宅の耐震性を確保するために、強度と粘りのある軸組みを提案する。さらに、この軸組みについて加力実験を行い、実際の耐震性能を確かめる。

２　試験体

試験体は、次の４種とし、それぞれ２体づつ作成した。

①在来工法タイプ（接合部の金物の影響を見るため、２種作成した。）

②合板充複梁タイプ

③方杖タイプ

④貫タイプ

スパンは、全て、柱芯芯で、３．６４ｍ、階高は２．７ｍとした。

試験体の図を、図２－１～４に示す。

３　試験方法

１）加力装置、加力方法

加力装置を図３－１に示す。性能は、最大載加荷重は±５０ｔｆ、ストロークは、±１００ｍｍである。木造軸組みの靭性能を考えると、ストロークが不足なので、加力の最終段階では、破壊までの実験が可能なように工夫をして行った。すなわち、引きで壊す場合は加力点を盛り替え、押しで壊す場合は、間詰めをして加力した。加力点は、梁中央部に直径２４ｍｍの穴を開け、その周囲を厚さ６ｍｍの鉄板で巻き、そこと加力治具とに、写真１に示すようにＰＣ鋼棒を挿入した。治具に穴が３個あるのは、ストローク不足の場合の盛り替えようである。加力は、まず引っぱりから始め、層間変位制御で、±１／２４０、±１／１２０、±１／８４．９、±１／６０、±１／４２．４、±１／３０、と６回繰り返し加力を行い、最後に破壊までという具合に行った。

２）変位計の設置

軸組み全体の相対水平変位、および各接合部における柱と梁との相対回転角とせん断滑りを測定するために、図２－１～４に示したように、１試験体につき１

３個の変位計を設置した。貫タイプについては、柱脚部の柱と梁の相対回転角を測定するために、さらに、変位計を追加設置した。

４　試験結果

１）荷重変位曲線

繰り返し載荷時の荷重変位曲線を、図４－１～８に示す。縦軸は、上が引き、下が押しである。１、２、５、６ループを実線で、３、４ループを破線で表した。各試験体の最大耐力とその時の相対変位を、表４．１に示す。最大荷重は、在来タイプが約５００ｋｇｆ、合板充複梁タイプが約４ｔｆ、方杖タイプが約約７ｔｆ、貫タイプが約８．５ｔｆである。

また、各接合部の相対回転角を、図４．９～１６に示す。

２）破壊形式

各試験体の破壊時の様子を、写真２～に示す。

①在来タイプ　筋交い端部を山形プレートで繋いだ場合のタイプの終局時の軸組みの全景を写真２に示す。土台端部の割裂破壊の様子を写真３に示す。筋交いプレートを用いた場合も同様の壊れかたをした。

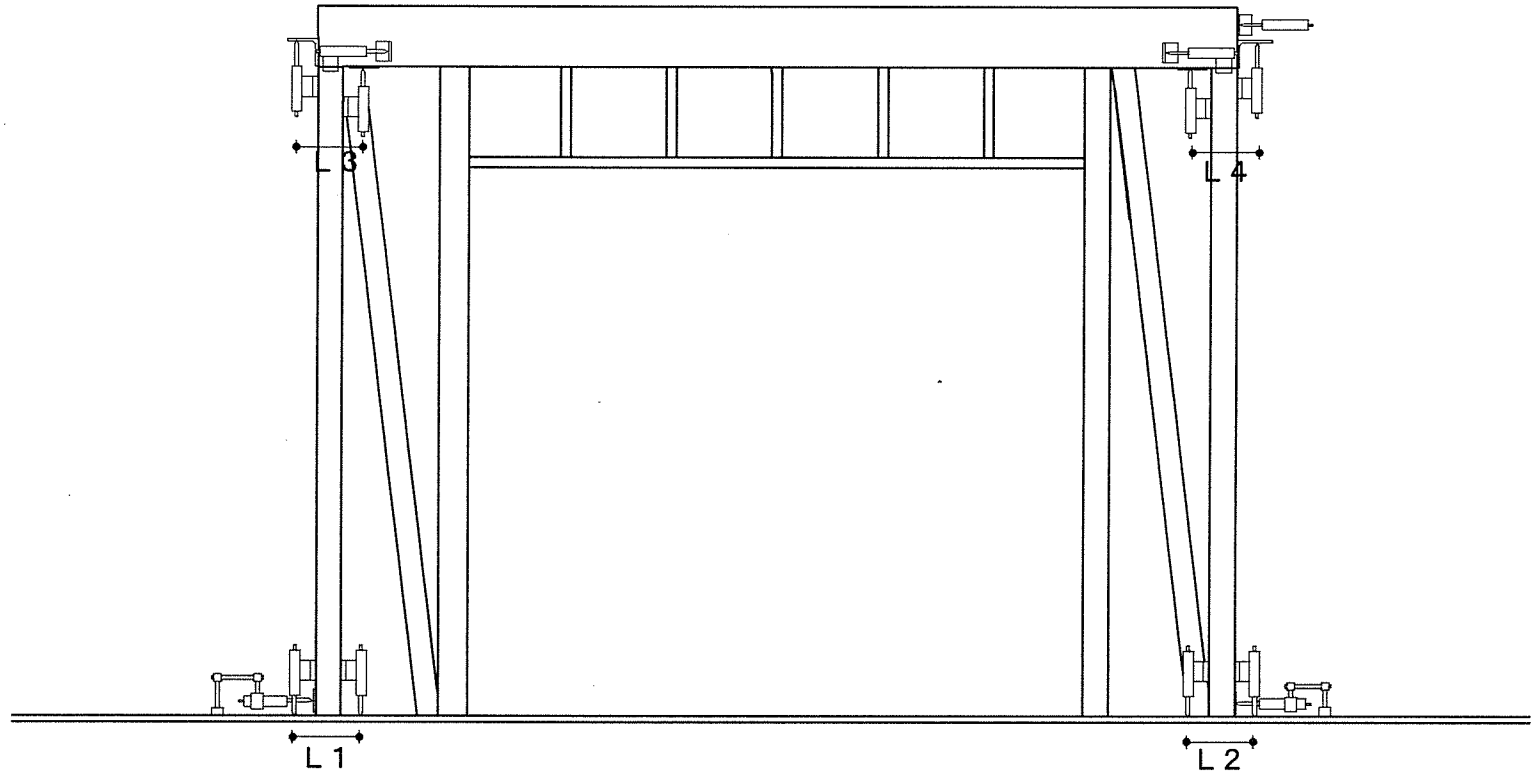
②合板充複梁　終局時の全景を写真４に、柱脚部を写真５に、柱頭部を写真６に示す。梁と柱との相対回転に釘の接合が追随できず、引き抜きが起きていることが分かる。写真７は、圧縮側の合板の破壊の様子である。

③方杖タイプ　破壊時の全景を写真８に、柱頭、柱脚の様子を、それぞれ、写真９、１０に示す。土台Ｈ鋼の強度不足のため、Ｈ鋼フランジが浮き上がり（写真１０）、そのため、応力が柱頭部に集まり柱頭部の割裂破壊となったものと思われる。なお、２体目は、土台にリブを入れ（写真１１）補強して行った。破壊形式は、アンカーボルト周囲の柱脚部の割裂であった。

④貫タイプ　終局時の全景を写真１２に、柱脚部の様子を、写真１３～１５に示す。アンカー方法が弱いため、応力は接合部に集中し、木だぼの内部破壊となっている。また、これが柱脚の割裂を招いている。

（文責：入江康隆）

在来タイプ　変位計設置位置



○「ＺＲ１」　……Ｌ１＝22.0　Ｌ２＝20.5　Ｌ３＝19.5　Ｌ４＝19.5

○「ＺＲＰ１」　…Ｌ１＝18.0　Ｌ２＝20.5　Ｌ３＝19.5　Ｌ４＝19.4　（単位：cm）

図　２－１－１

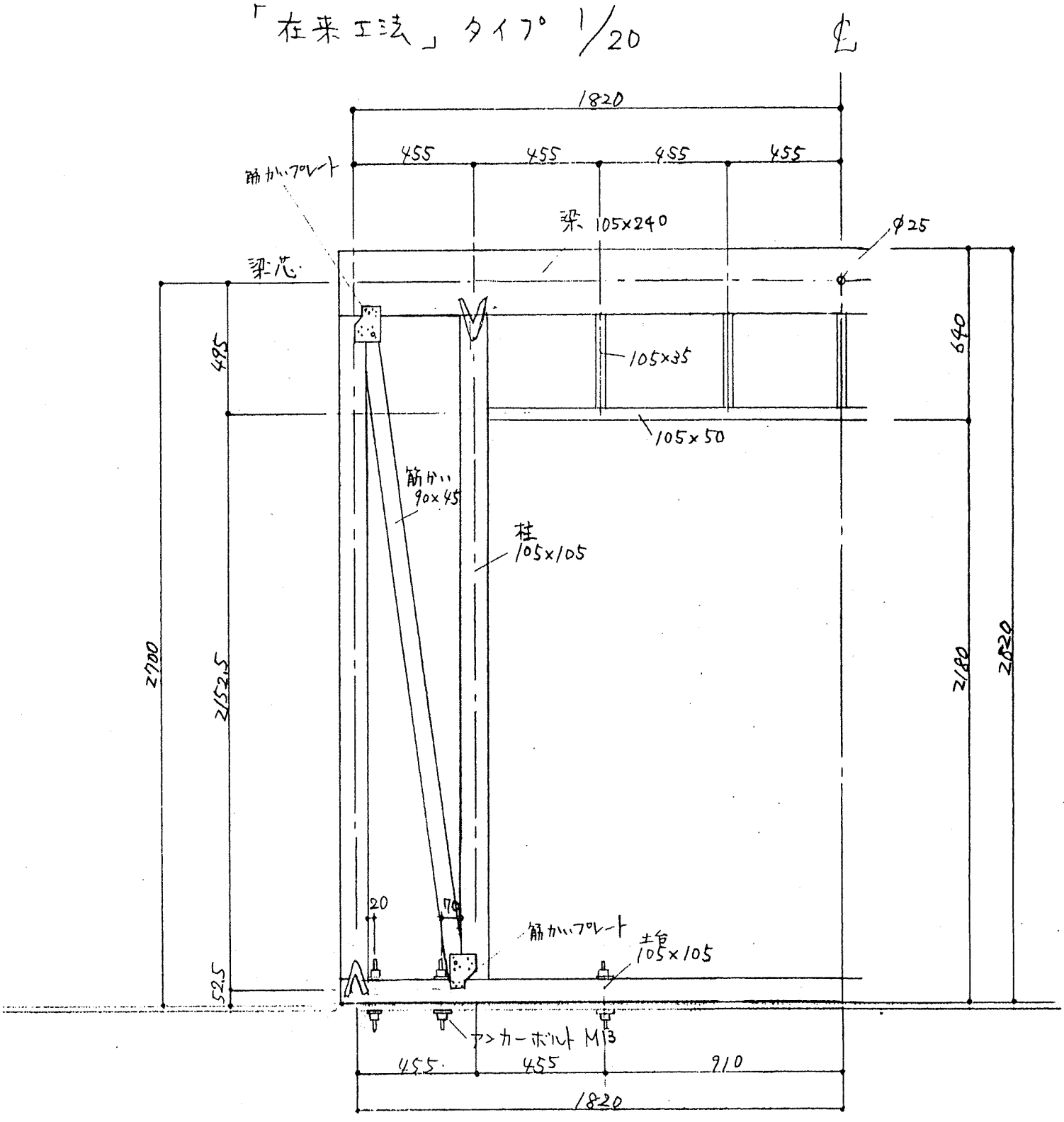
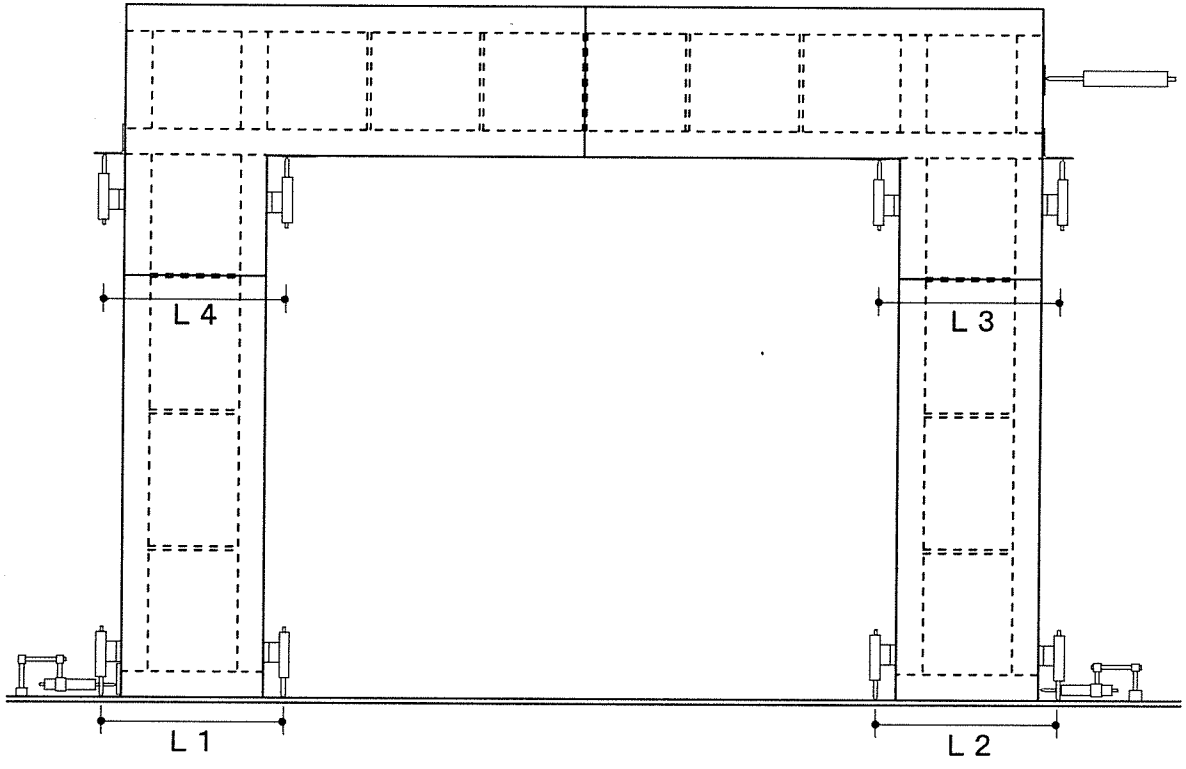

「在来工法」タイプ 1/20
℄
1820
455
455
455
455
筋かいプレート
梁 105×240
φ25
梁芯
485
640
105×35
105×50
筋かい
90×45
柱
105×105
2700
2152.5
2180
2820
20
70
筋かいプレート
土台
105×105
52.5
アンカーボルト M13
455
455
910
1820

図 2－1－2

合板充複梁タイプ　変位計設置位置

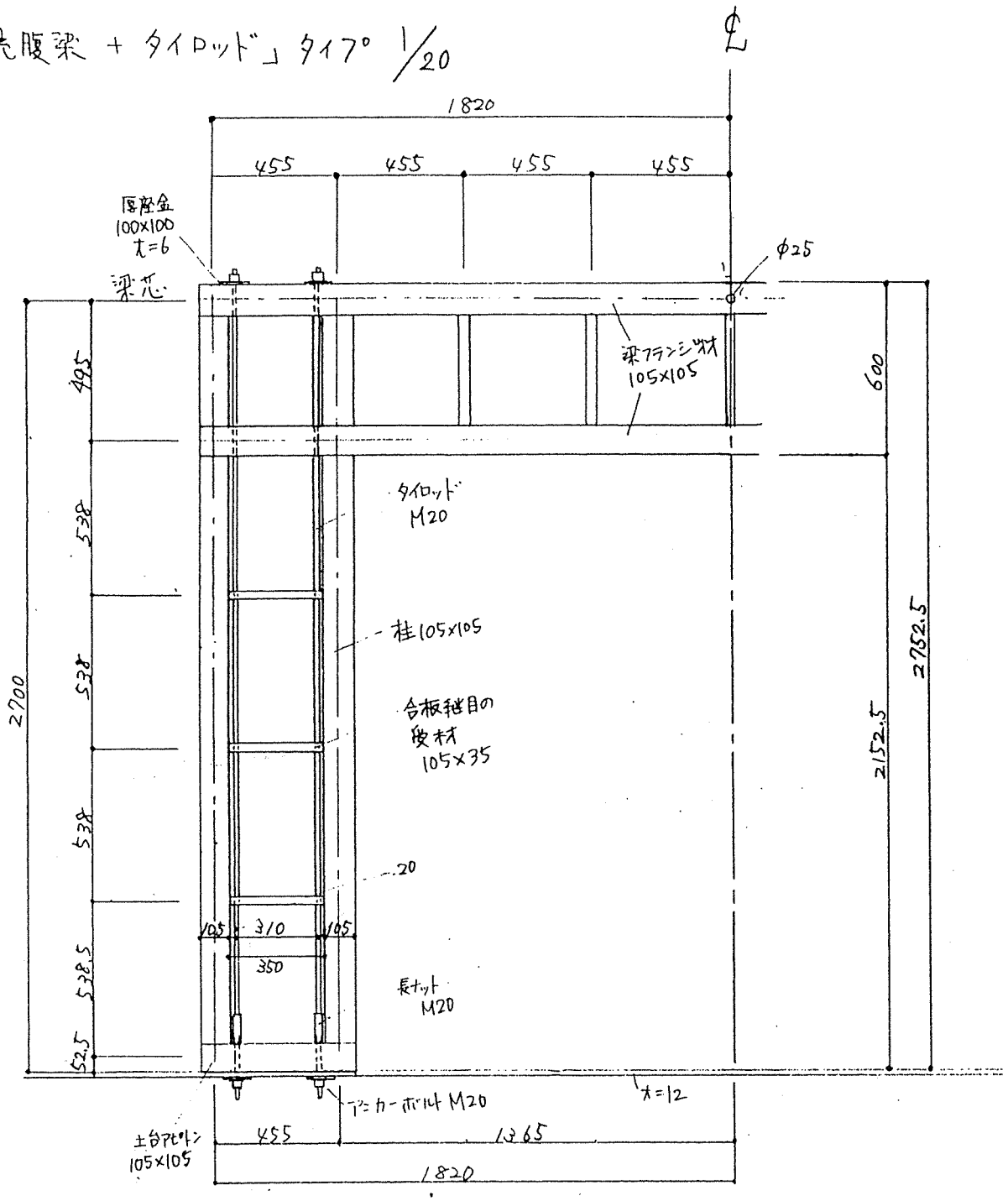


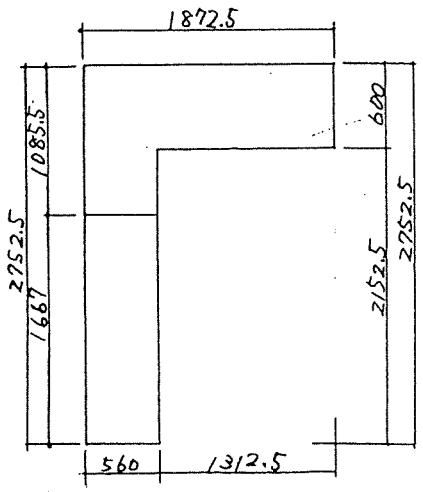
○「ＧＪ１１」　……Ｌ１＝65.3　Ｌ２＝64.4　Ｌ３＝65.3　Ｌ４＝65.1

○「ＧＪ２１」　……Ｌ１＝65.4　Ｌ２＝66.3　Ｌ３＝66.6　Ｌ４＝65.1（単位：cm）

図　２－２－１

「合板充腹梁 + タイロッド」タイプ 1/20





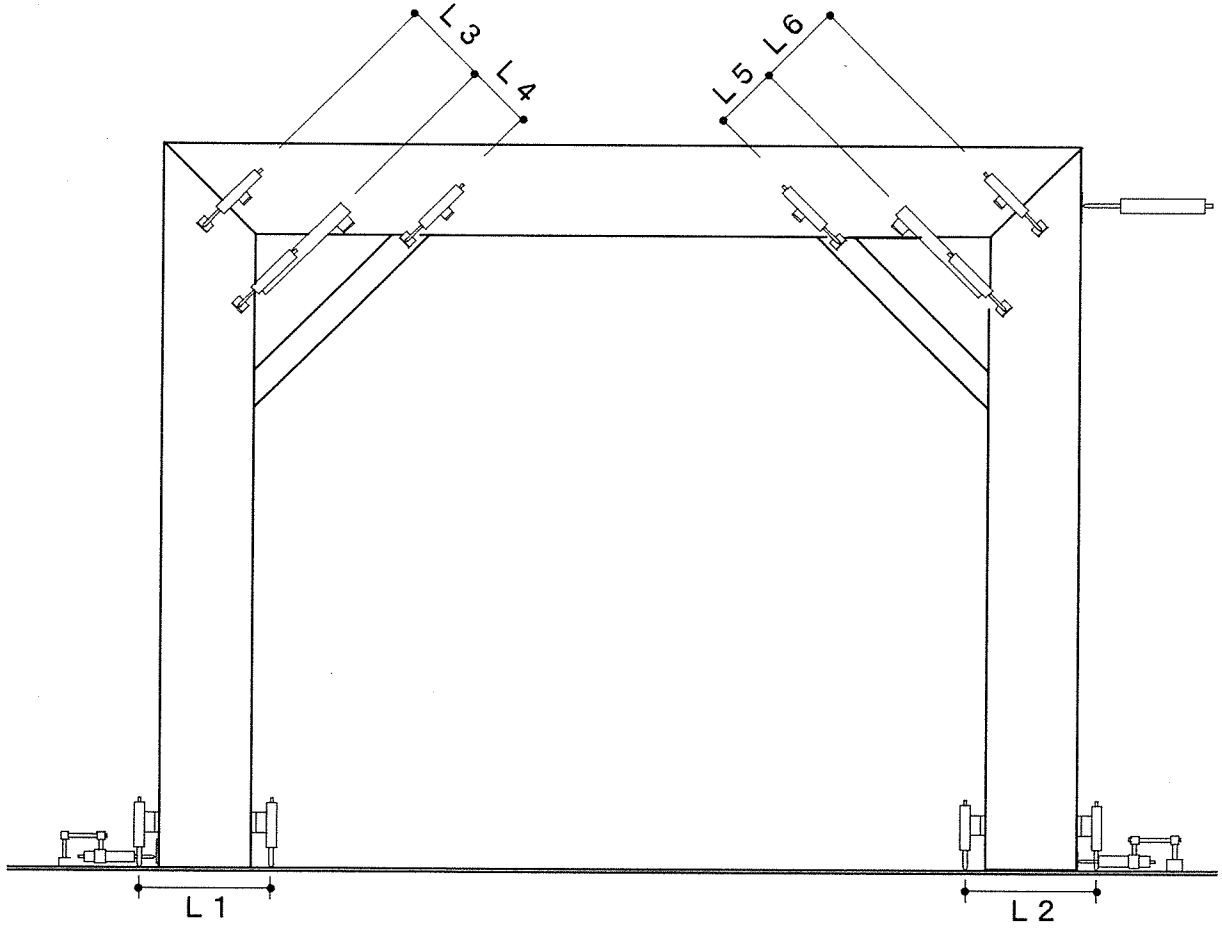
構造用合板 ⑦12
針 CN50 @75

両面ベニヤ貼り

このタイプに貼り付ける

図 2－2－2

方杖タイプ　変位計設置位置



○「ＨＺ１１」　……Ｌ１＝45.6　Ｌ２＝45.2　Ｌ３＝23.2
Ｌ４＝22.0　Ｌ５＝16.5　Ｌ６＝27.2

○「ＨＺ２１」　……Ｌ１＝45.1　Ｌ２＝45.2　Ｌ３＝20.6
Ｌ４＝21.5　Ｌ５＝19.5　Ｌ６＝27.3　（単位：cm）

図　２－３－１

「方づえ方式」タイプ 1/20

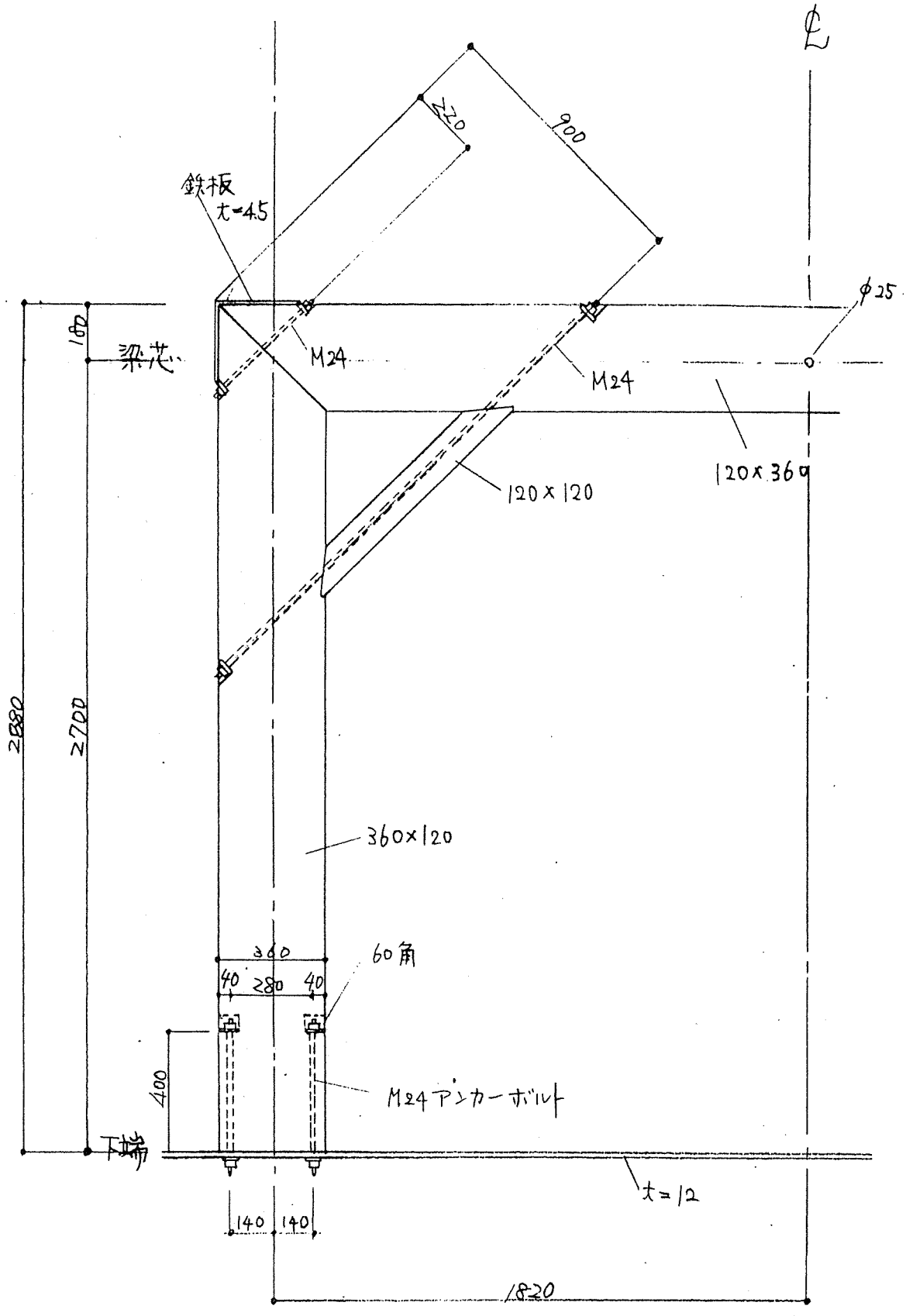
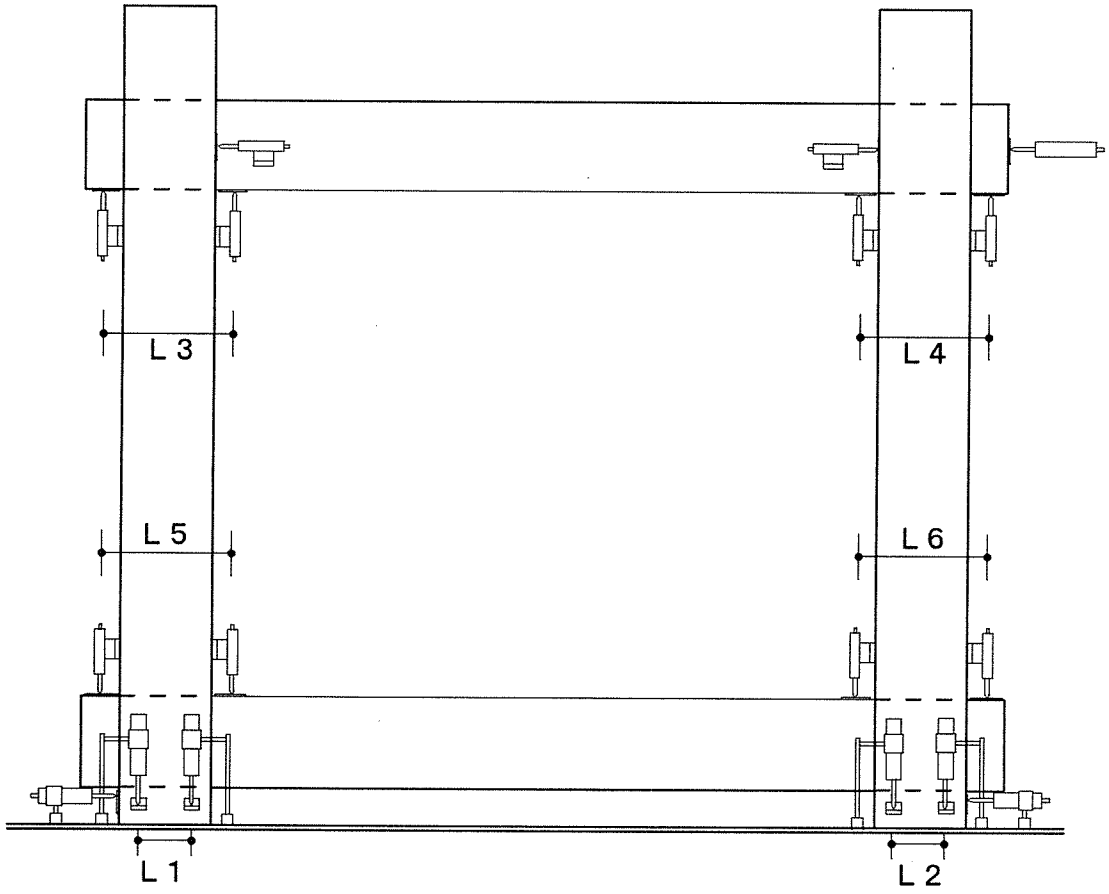


図 2－3－2

貫タイプ　変位計設置位置



○「ＮＫ１１」　……Ｌ１＝30.0　Ｌ２＝28.5　Ｌ３＝43.8
Ｌ４＝45.0　Ｌ５＝59.5　（Ｌ６はなし）

○「ＮＫ２１」　……Ｌ１＝30.6　Ｌ２＝21.3　Ｌ３＝45.3
Ｌ４＝45.3　Ｌ５＝61.4　Ｌ６＝64.4（単位：cm）

図　２－４－１

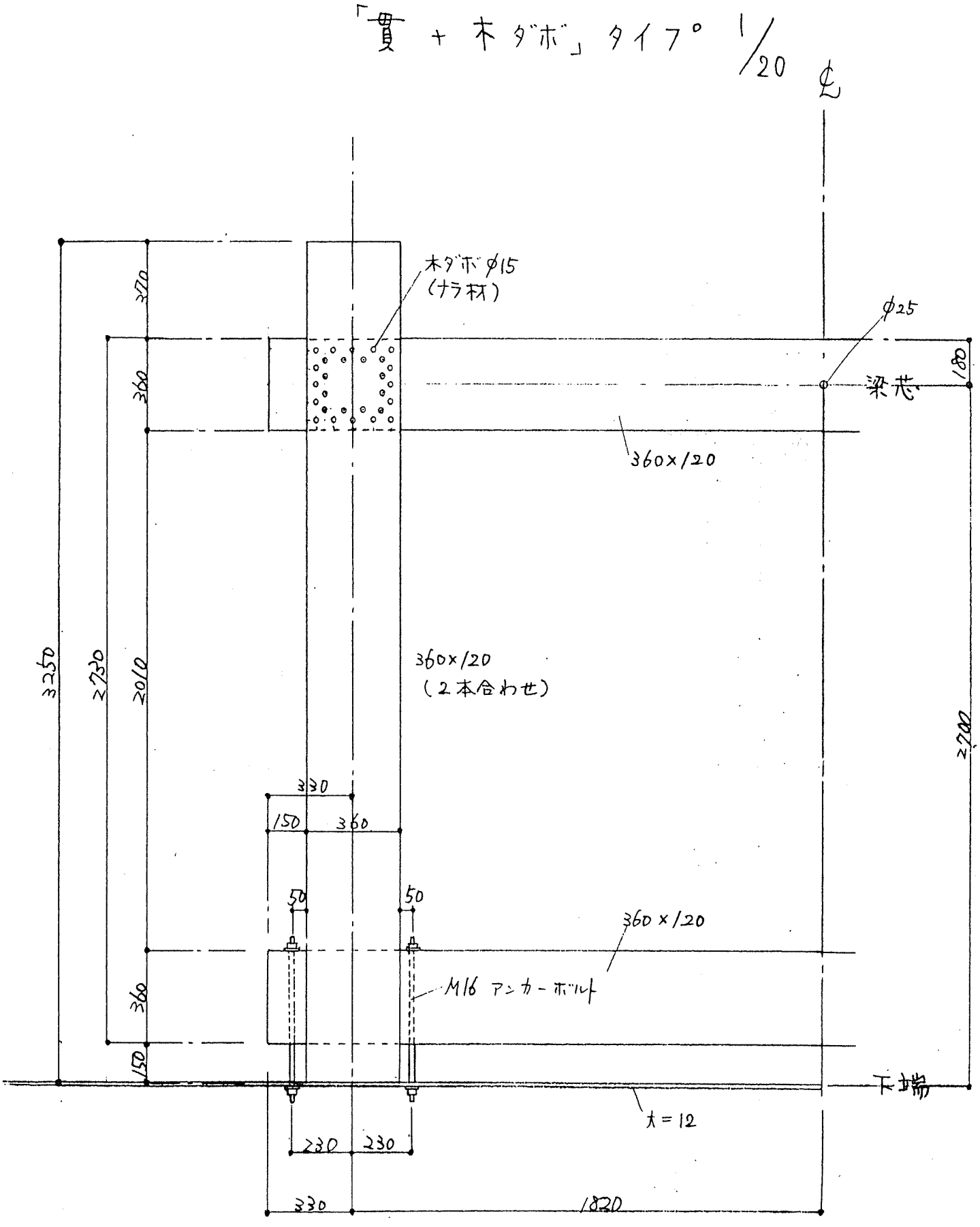

「貫 + 木ダボ」タイプ 1/20
℄
木ダボ φ15
(ナラ材)
φ25
梁芯
360×120
360×120
(2本合わせ)
330
150
360
50
50
360×120
M16 アンカーボルト
下端
t=12
230
230
330
1820
370
360
360
150
3250
2730
2010
1080
2700

図 2－4－2

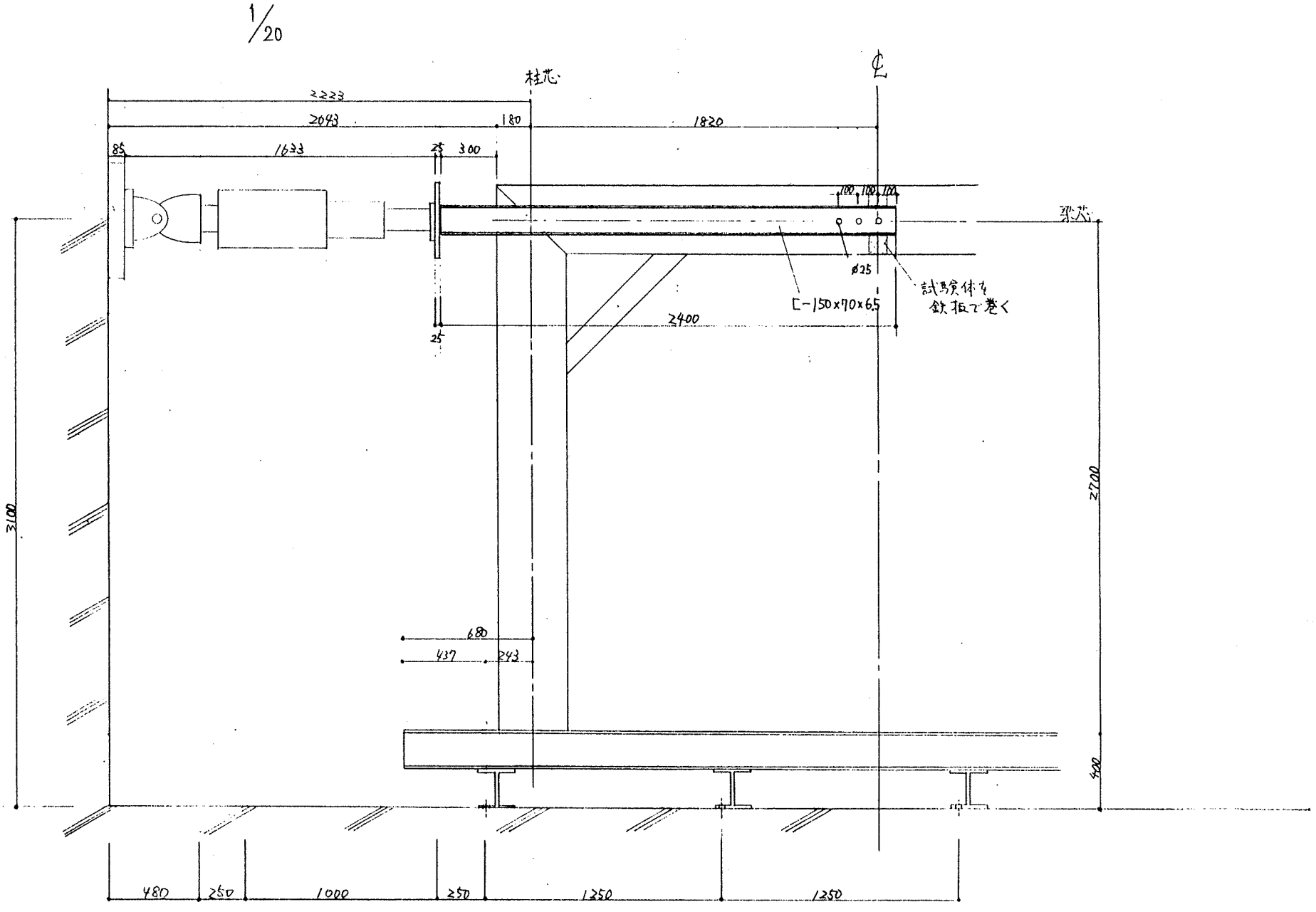
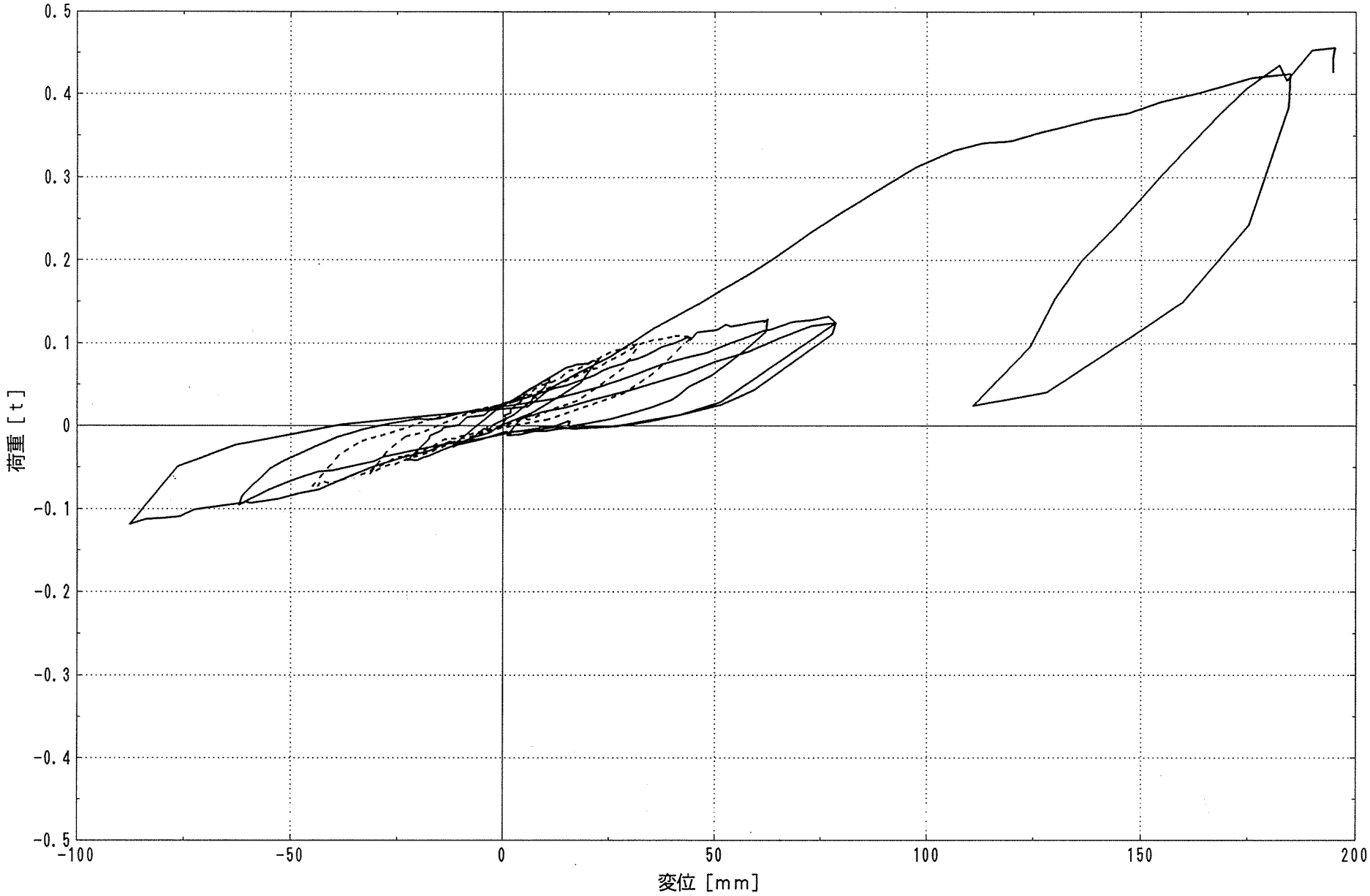
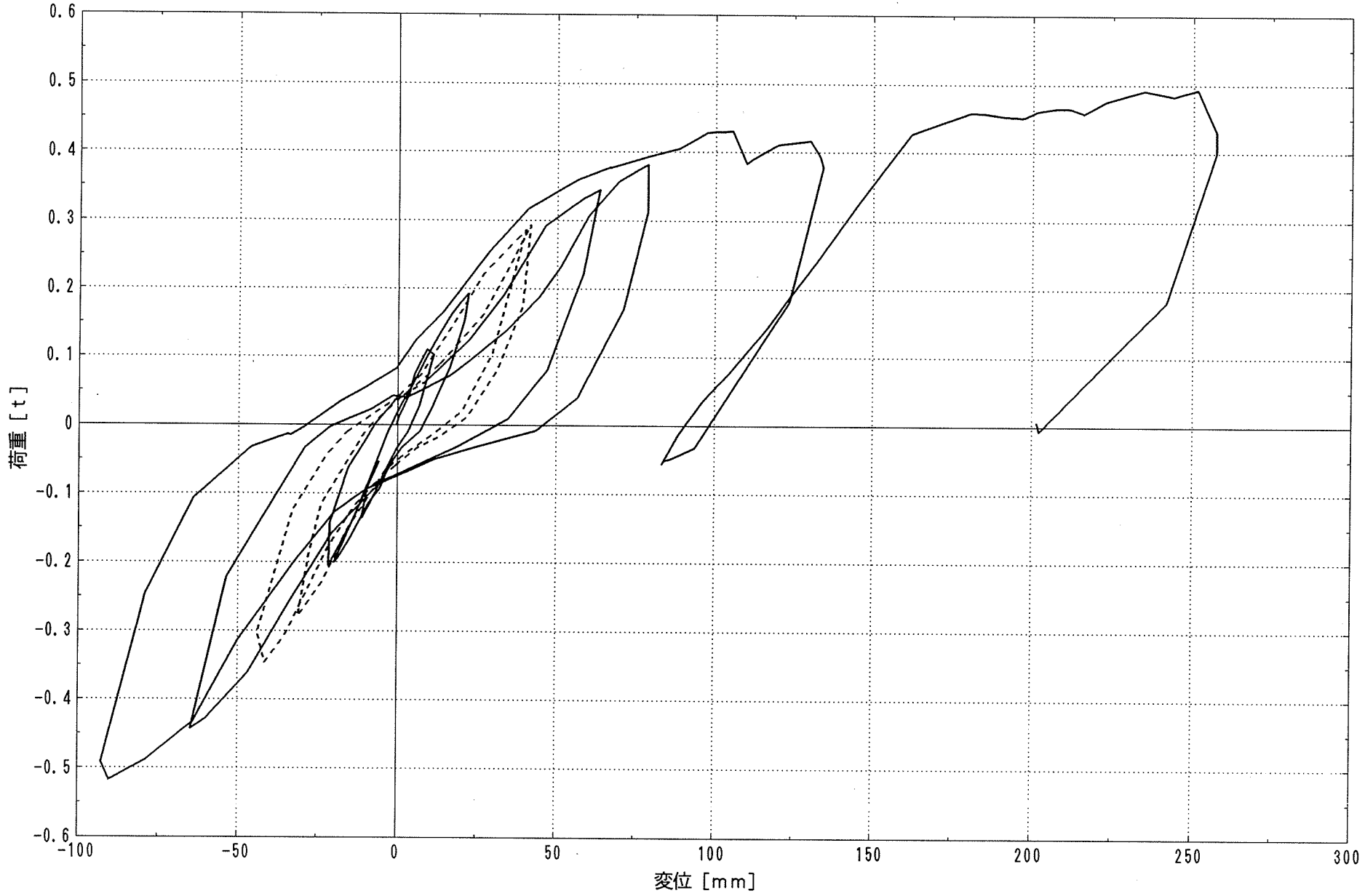

1/20
柱芯
℄
梁芯
2223
2043
180
1820
85
1633
25
300
100
100
100
φ25
試験体を
鉄板で巻く
[-150×70×6.5
2400
25
3100
2700
400
680
437
243
480
250
1000
250
1250
1250

図 3 − 1



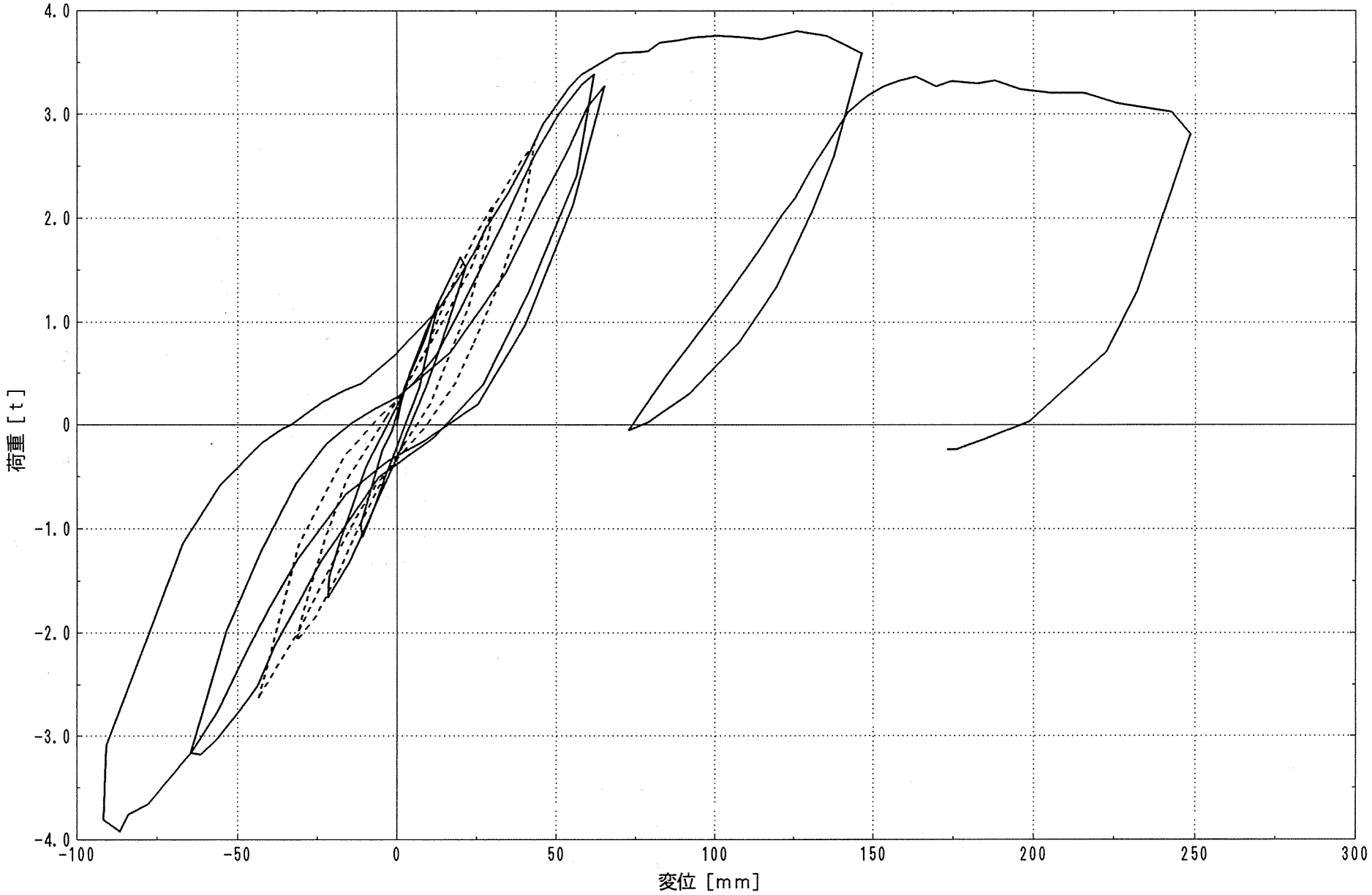
在来タイプ「ＺＲ１」

図　４－１



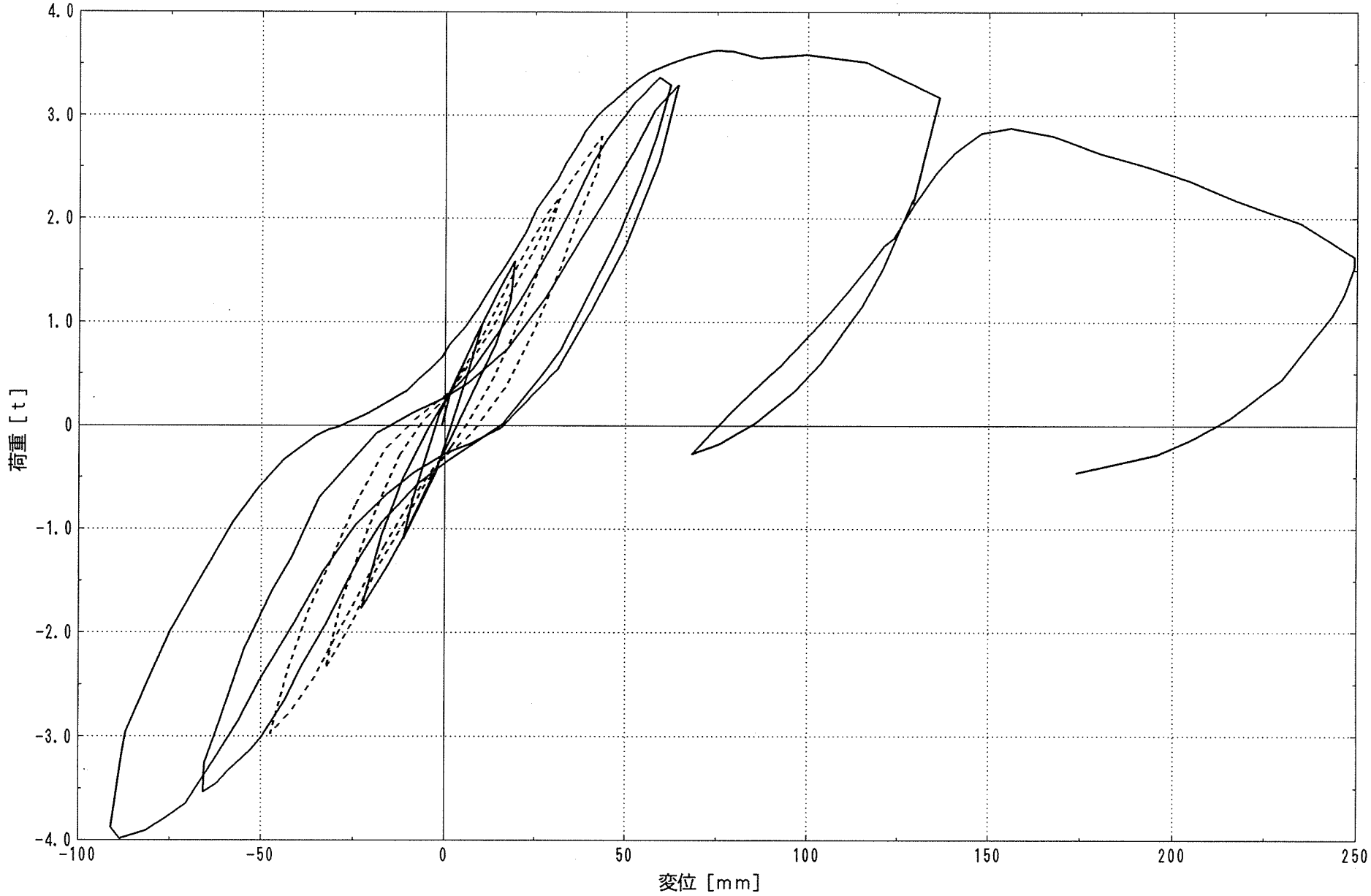
在来タイプ「ＺＲＰ１」

図　４－２



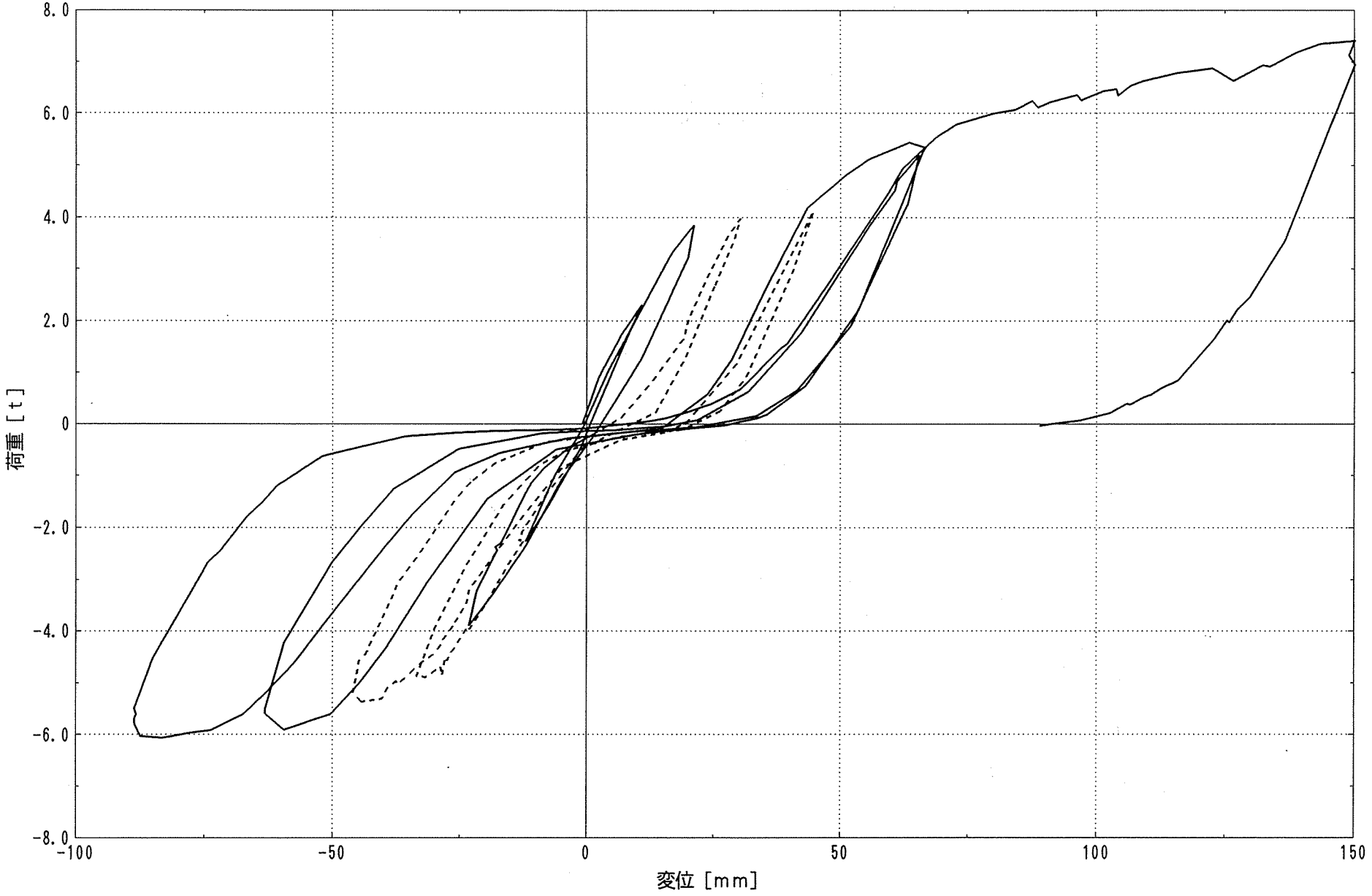
合板充腹梁タイプ「ＧＪ１１」

図　４－３



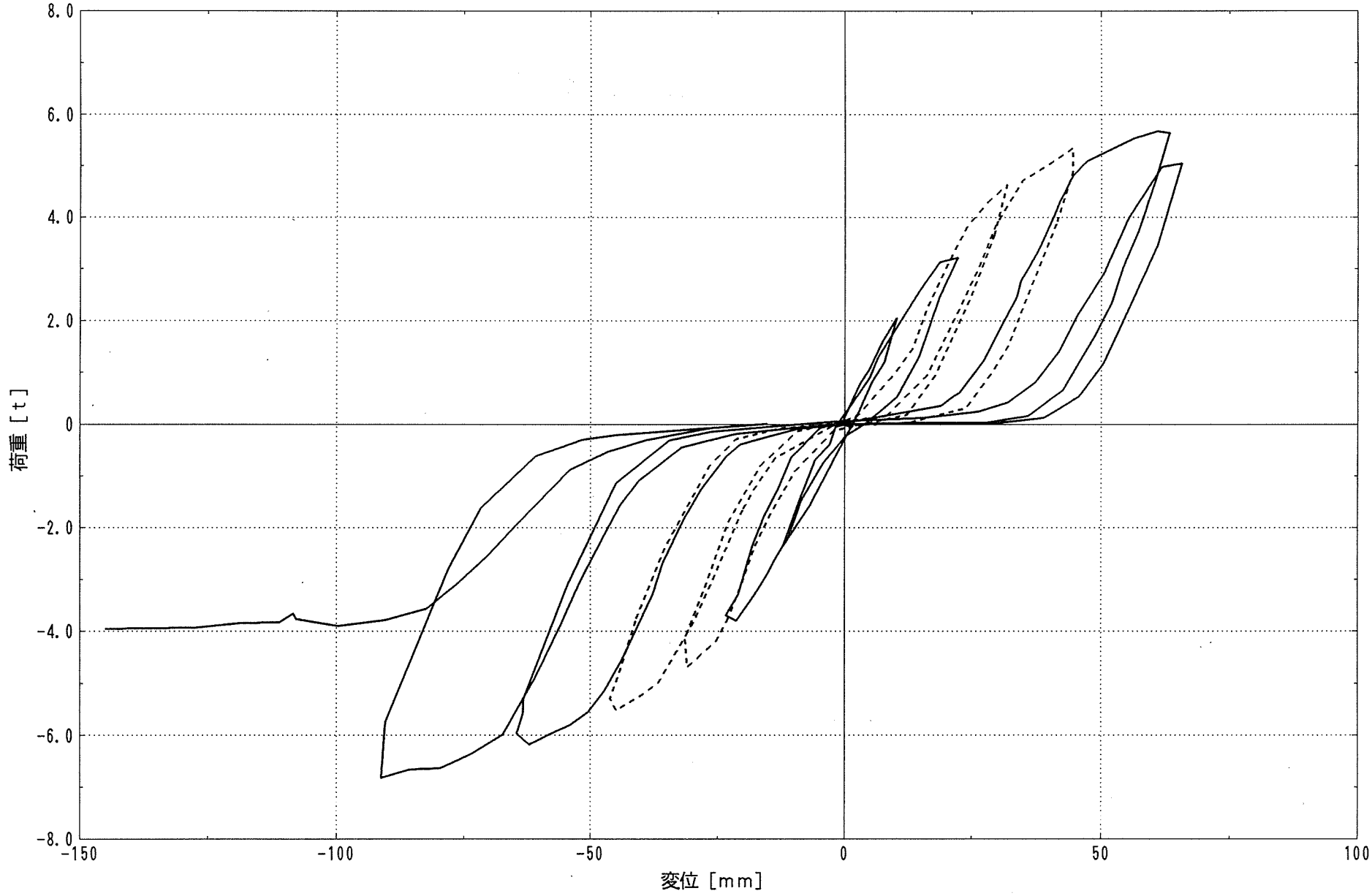
合板充腹梁タイプ「ＧＪ２１」

図　４－４



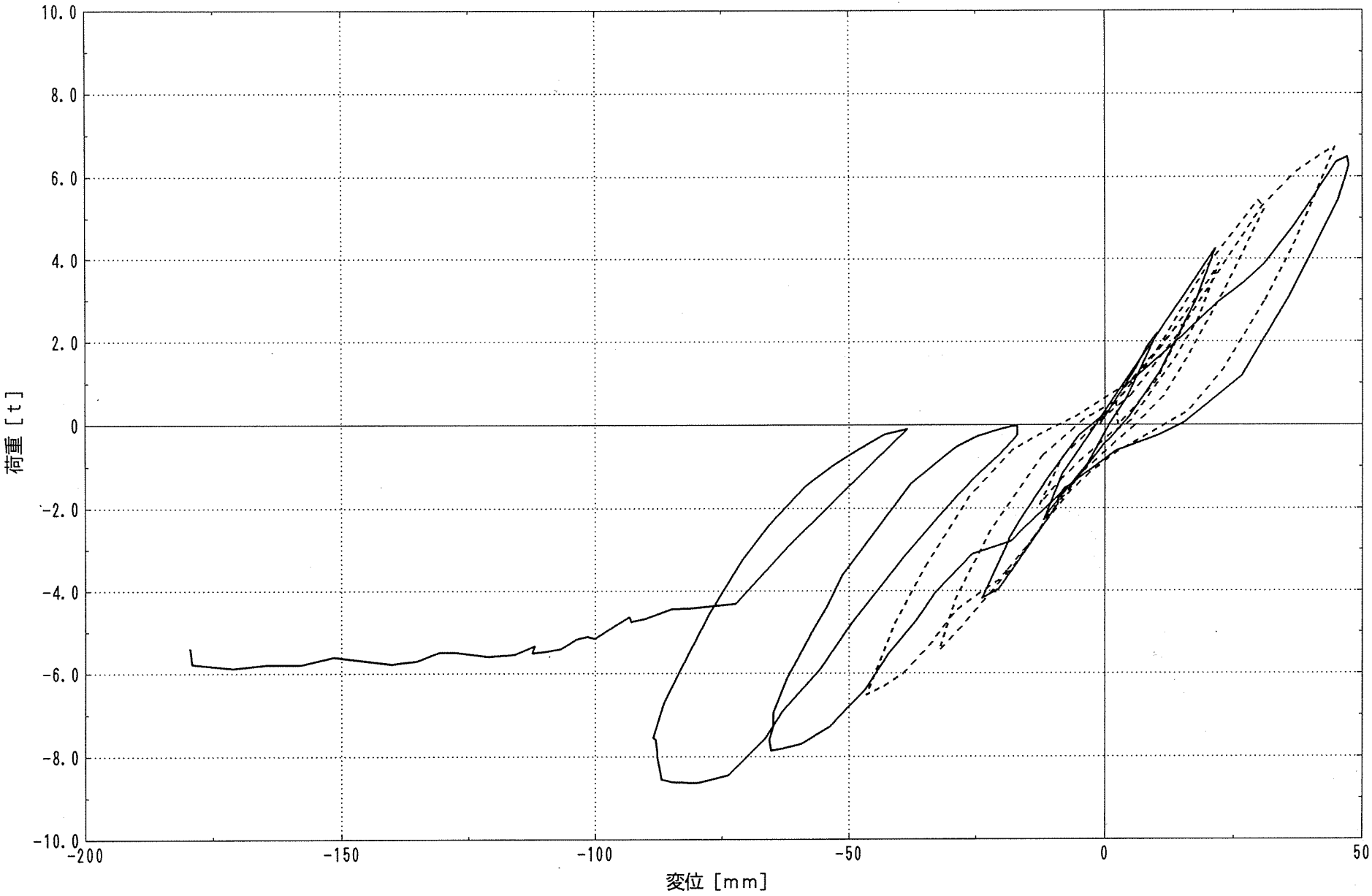
方杖タイプ「ＨＺ１１」

図　４－５



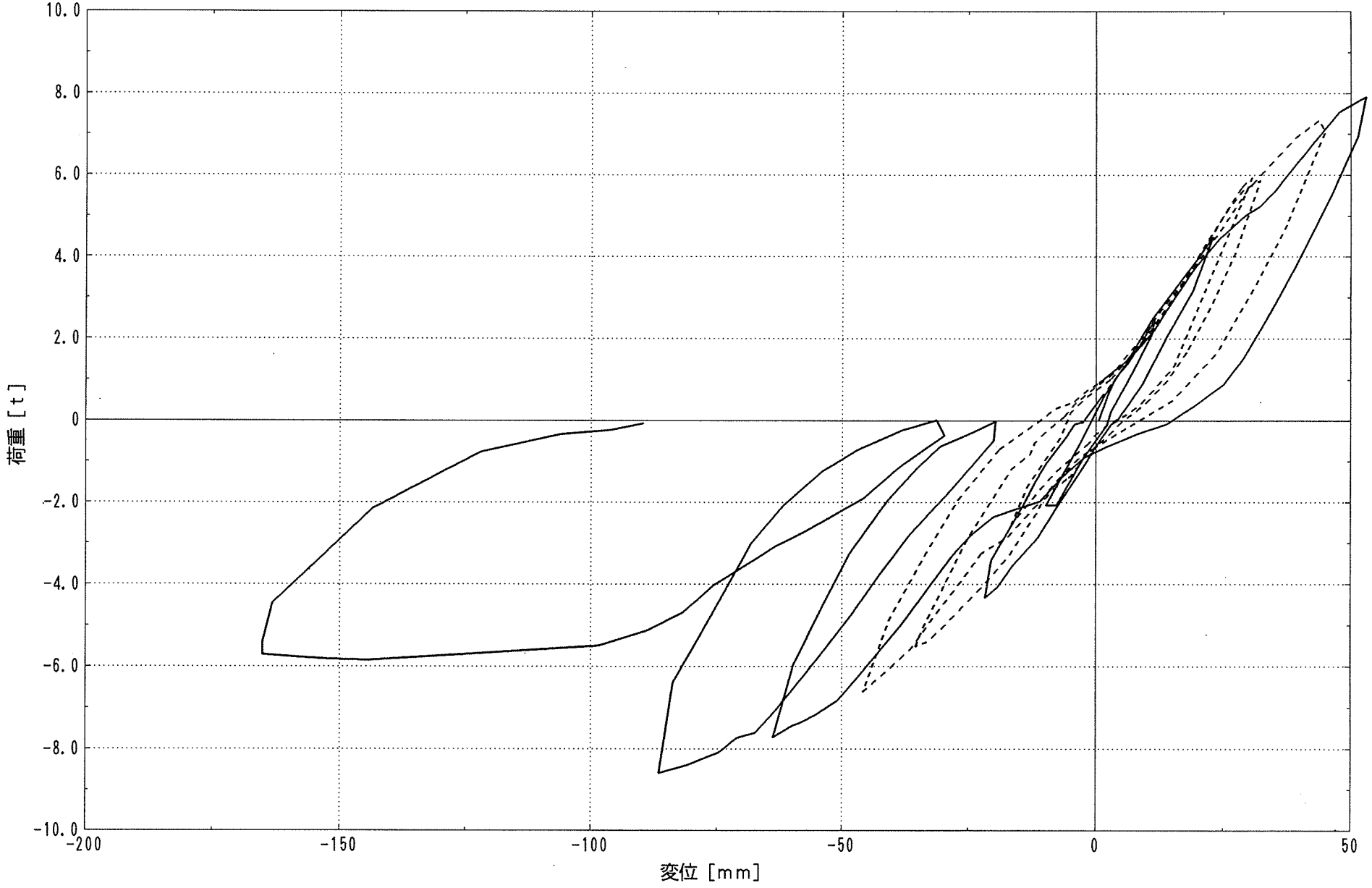
方杖タイプ「ＨＺ２１」

図　４－６



貫タイプ「ＮＫ１１」

図　４－７



貫タイプ「ＮＫ２１」

図　４－８

表 4－1　各試験体の荷重と相対変位

タイプ	試験体名	変形状態					
		1/120の時		1/60の時		破壊時	
		荷重（t）	変位（mm）	荷重（t）	変位（mm）	荷重（t）	変位（mm）
在来	ＺＲ１	0.08	22.5	0.11	44.5	0.46	195.1
	ＺＲＰ１	0.21	21.5	0.35	41.5	0.52	90.3
合板充腹梁	ＧＪ１１	1.66	21.7	2.72	42.9	3.92	86.5
	ＧＪ２１	1.77	22.7	2.97	47.5	3.98	88.7
方杖	ＨＺ１１	3.90	23.2	5.36	44.3	7.41	150.1
	ＨＺ２１	3.79	21.3	5.52	44.9	6.82	91.2
貫	ＮＫ１１	4.26	21.4	6.70	44.5	8.64	79.7
	ＮＫ２１	4.49	23.0	7.33	43.7	8.60	86.5

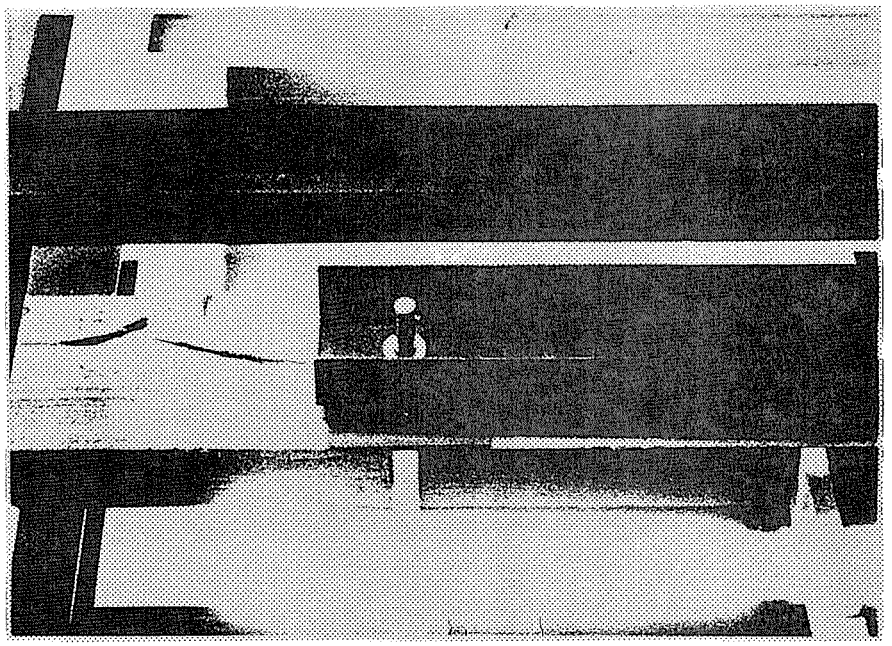


写真　1

（ＺＲ　1）

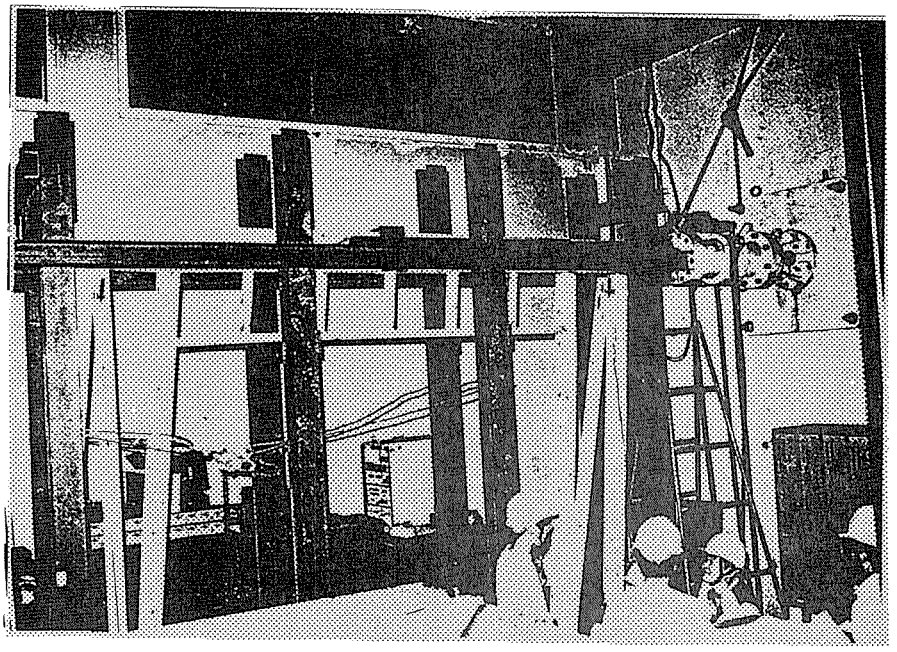


写真　2

（ＺＲ　2）

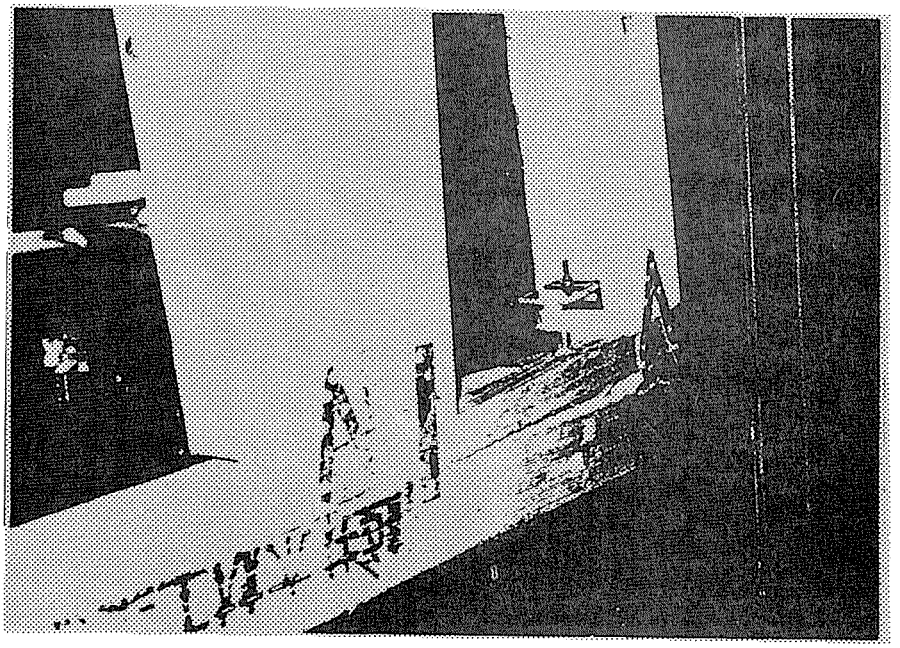


写真　3

（ＺＲ　3）

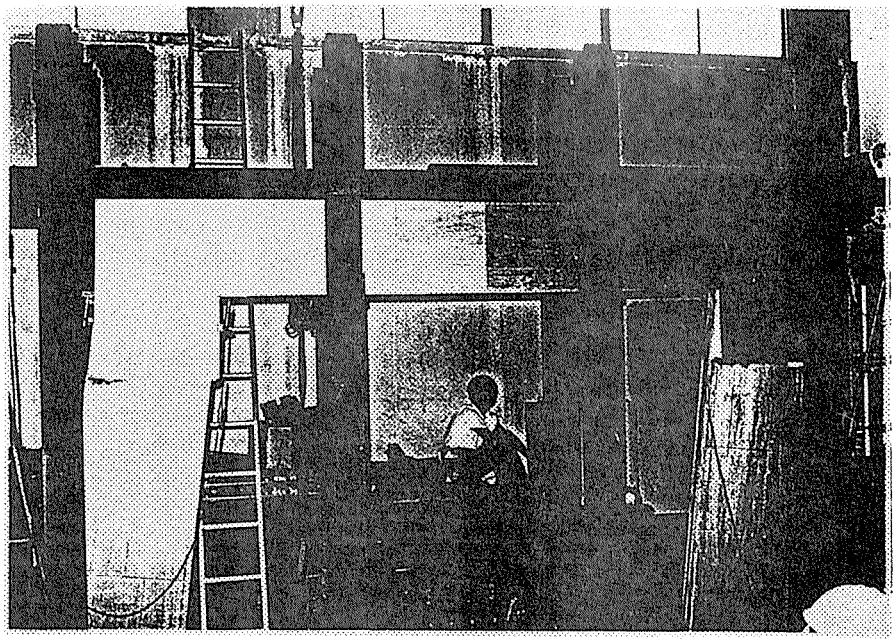


写真　4（ＧＪ　1）

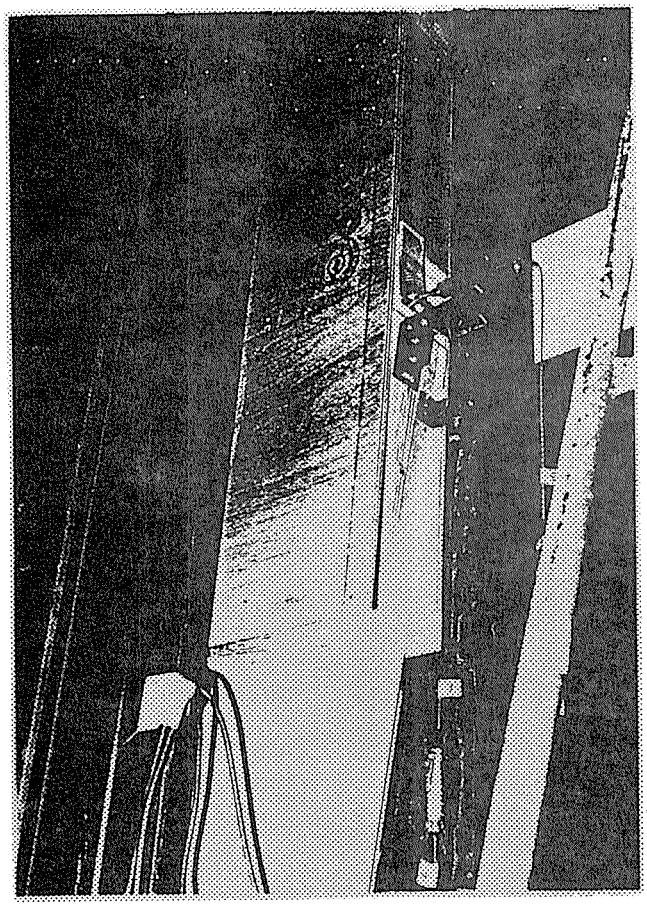


写真　5（ＧＪ　1）

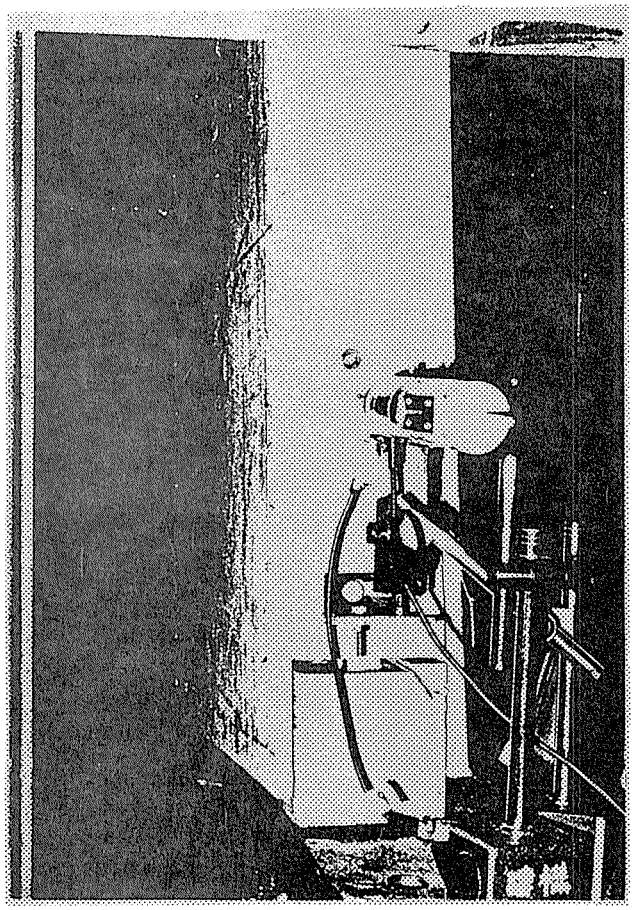


写真　6（ＧＪ　6）

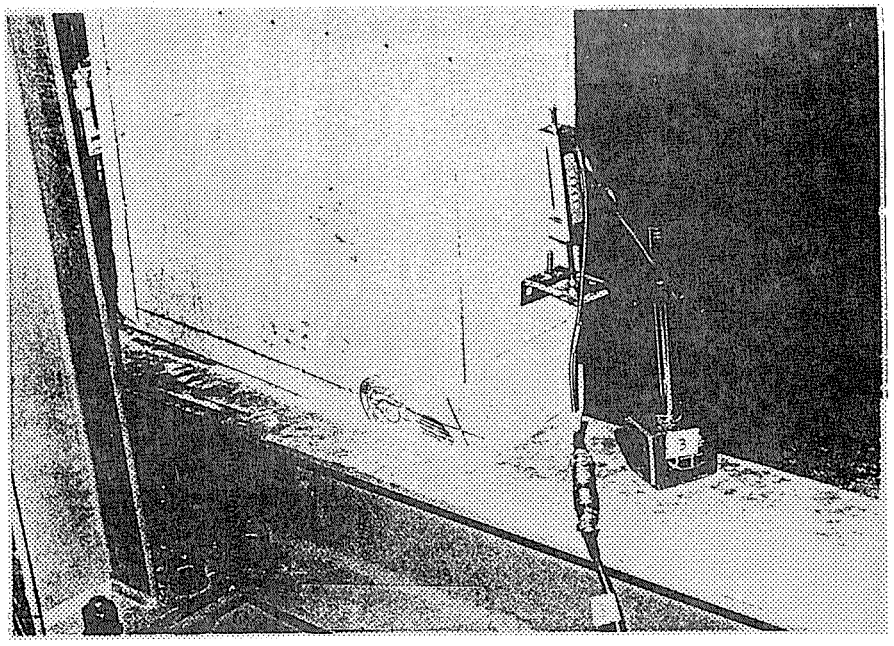


写真　7（ＧＪ　1）

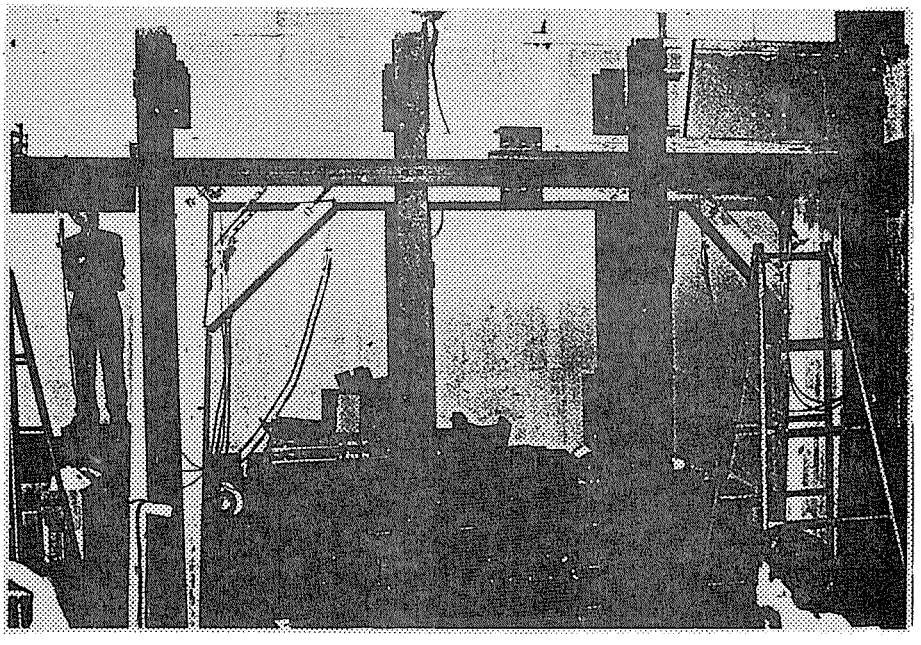


写真　8（ＨＺ　1）

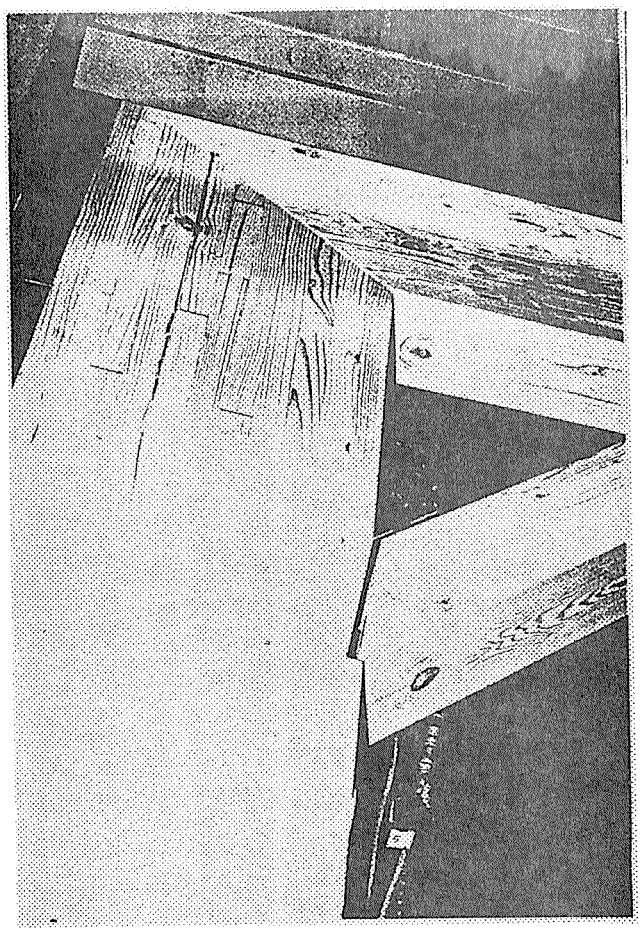


写真　9（ＨＺ　1）

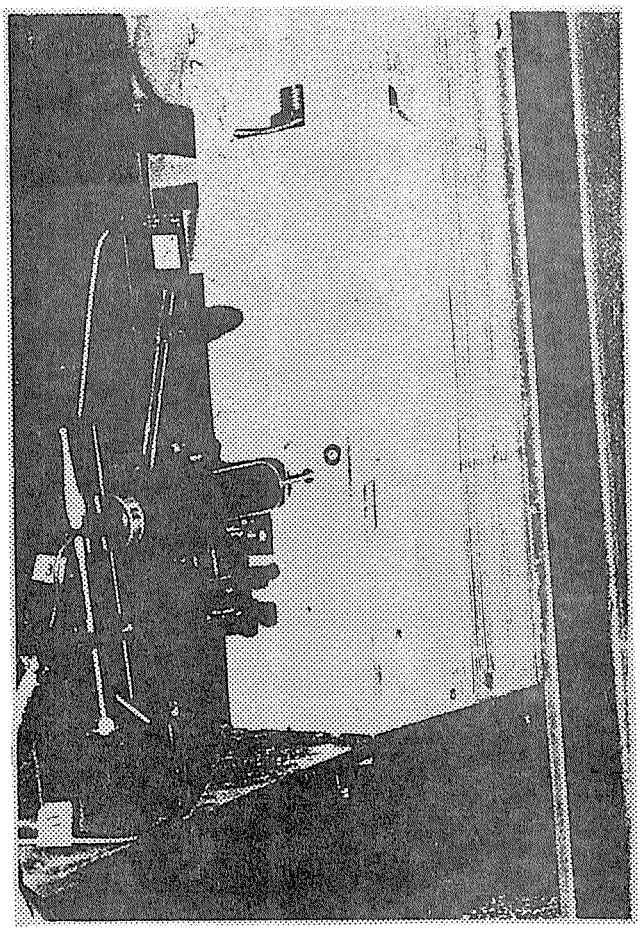


写真　１０（ＨＺ　1）

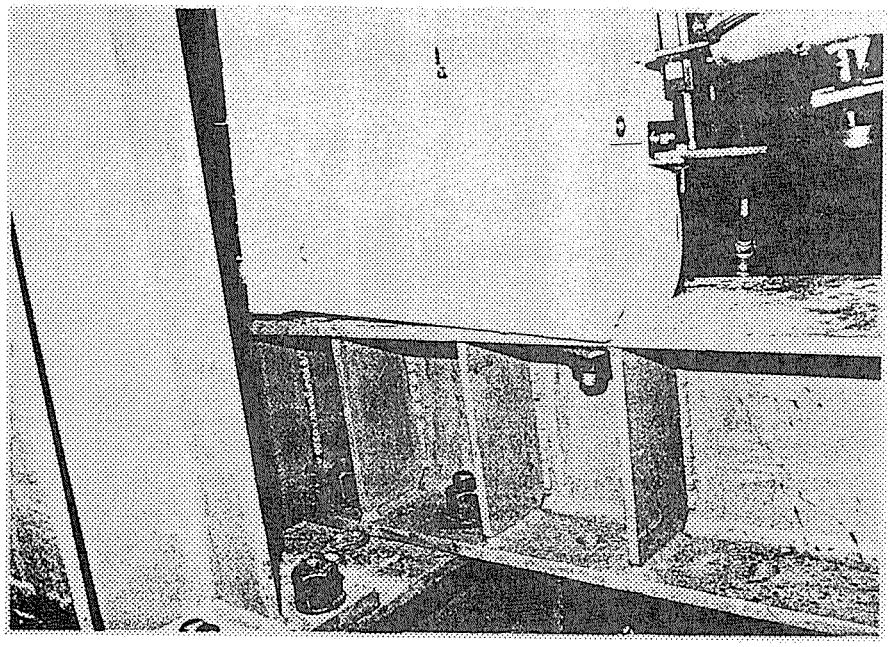


写真 １１（ＨＺ ２）

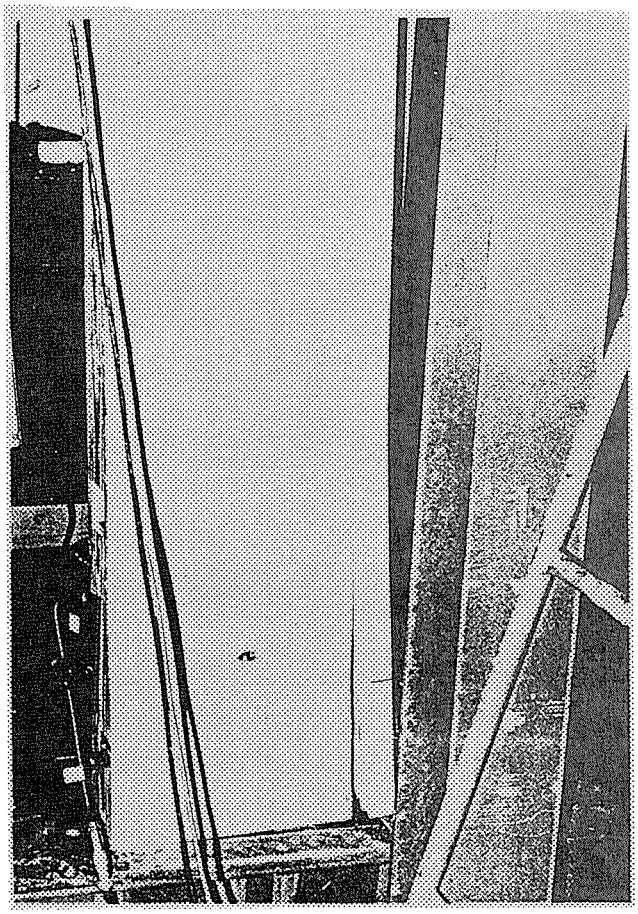


写真 １２（ＨＺ ２）

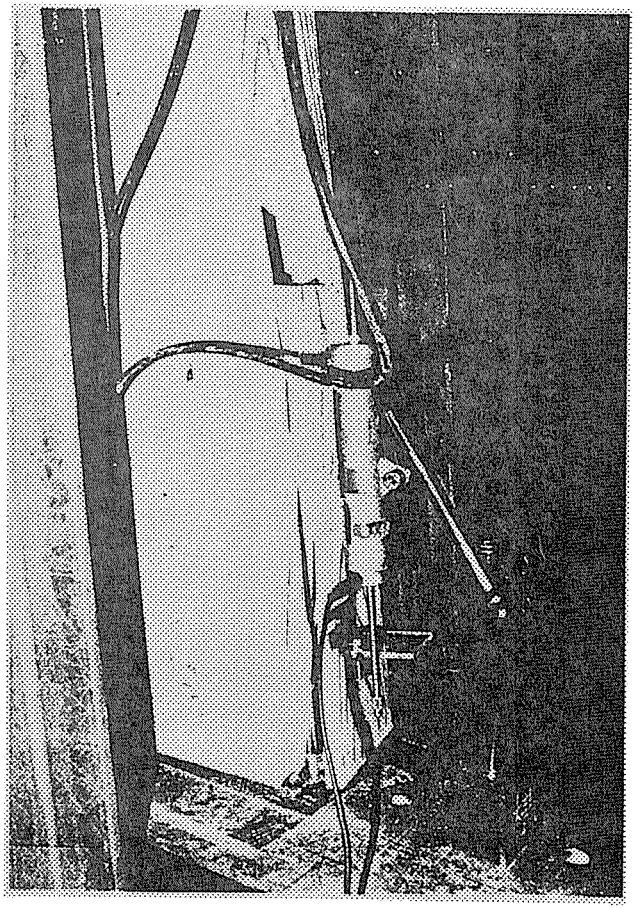


写真 １３（ＨＺ ２）

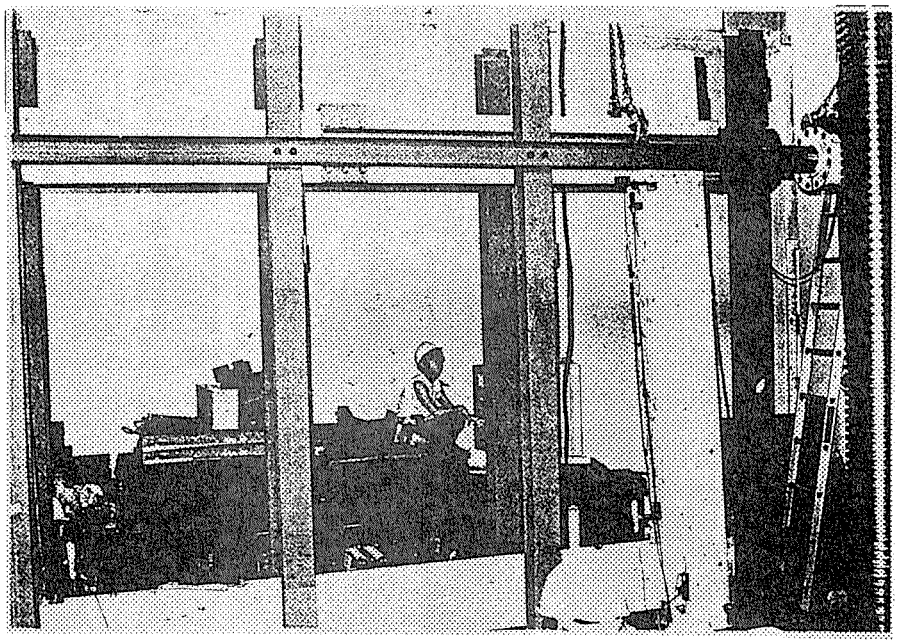


写真 １４（ＮＫ ２）

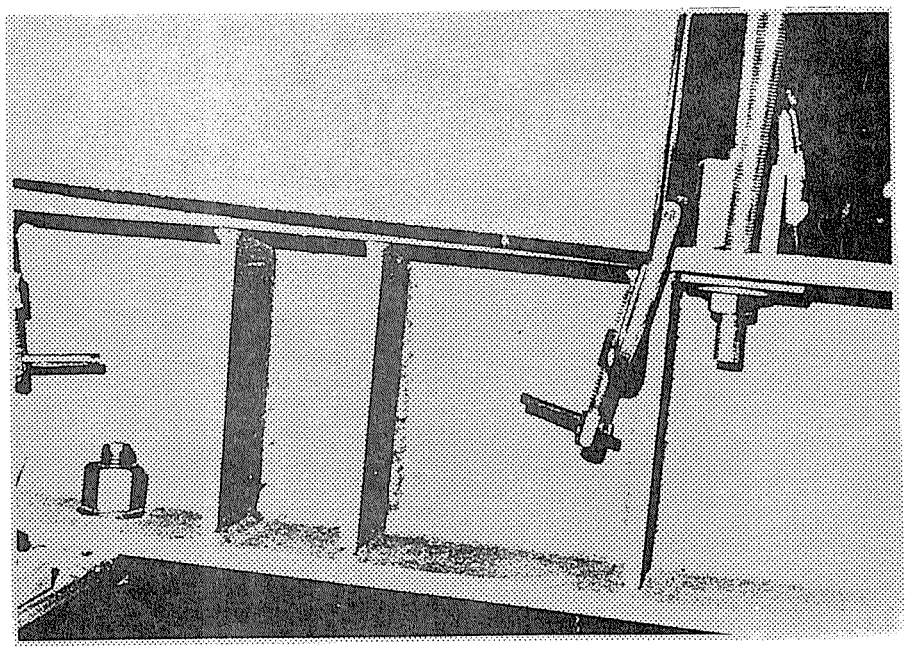


写真 １５（ＮＫ ２）

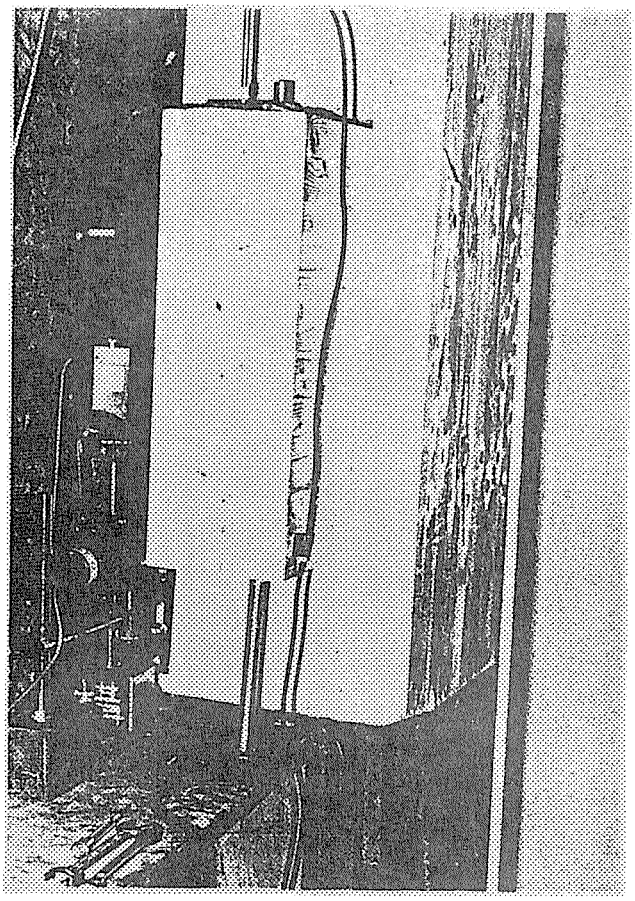


写真　１６（ＮＫ　２）

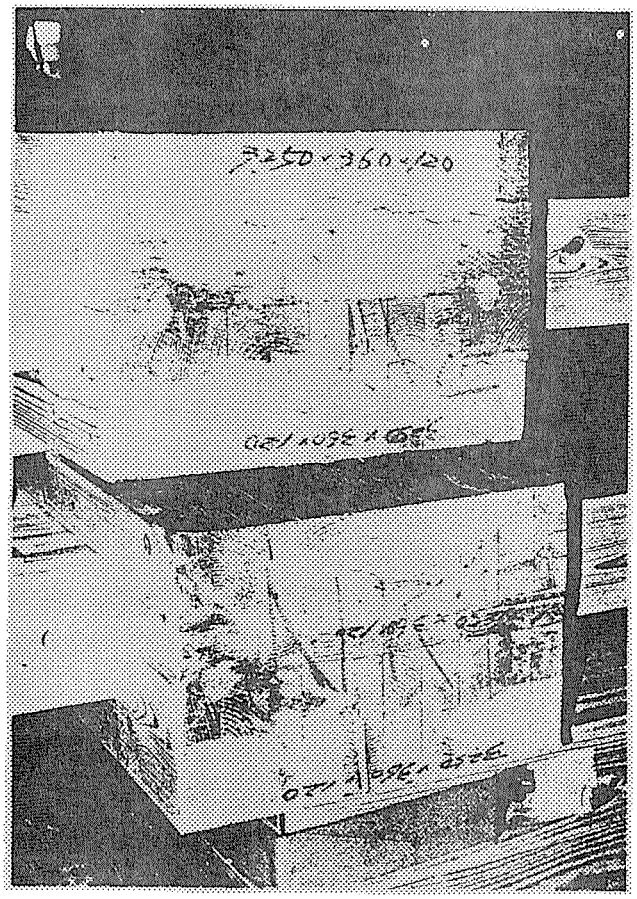


写真　１７（ＮＫ　１、２）

第３章　木質ラーメン強度性能評価実験－１階ラーメン構造（鋼板挿入ドリフトピン接合）、２・３階在来軸組構造木造住宅

１．想定住宅の概要

構造としては、図１に示すように１階が張り間方向ラーメン構造、２、３階が在来軸組構造の建物を想定する。１階の桁行き方向は在来型の筋違入り耐力壁構造を想定する。

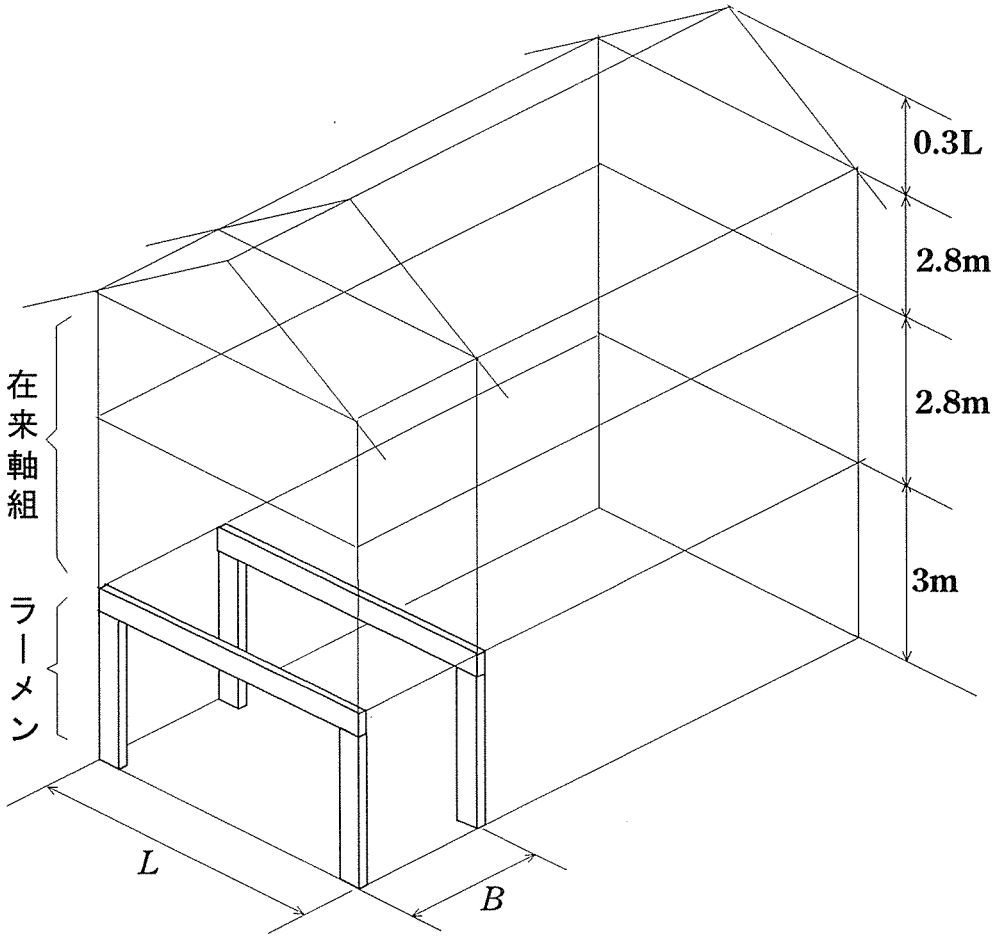


図１　想定した構造

２．仮定荷重

第１回接合部設計委員会において、稲山委員提出の資料 No.1-5に示された仮定荷重をここでも採用する。

・屋根荷重（瓦葺きの比較的重い屋根）　：150kg/m^2
・外壁荷重（モルタル等の比較的重い壁）：100kg/m^2　（床面積当たり）
・床荷重（固定＋積載）　：130kg/m^2　（地震算定用）
・大梁計算用床荷重　：200kg/m^2

3．地震力の算定

表１に地震力の算定根拠を示す。表１において、Lはラーメン架構のスパン、Bは単位骨組みの荷重負担幅である。

表１　地震力の算定

階		荷重	W_i	ΣW_i	α_i	A_i	C_i	Q_i
3	屋　根 外　壁	150LB 50LB	200LB	200LB	0.303	1.450	0.290	58LB
2	床 外　壁	130LB 100LB	230LB	430LB	0.652	1.180	0.236	101LB
1	床 外　壁	130LB 100LB	230LB	660LB	1.000	1.000	0.200	132LB

ただし、

$$A_i = 1 + \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha_i}} - \alpha_i\right) \times \left(\frac{2T}{1 + 3T}\right)$$

$$T = 0.03H = 0.03 \times 9 = 0.27 \text{ sec}$$

$$C_i = Z \cdot R_t \cdot A_i \cdot C_o = 1 \times 1 \times A_i \times 0.2 = 0.2A_i$$

以上より、１階門型ラーメンに作用する地震層せん断力は $Q_1 = 132LB$ として設計する。

4．梁に加わる鉛直荷重の算定

１階木質系ラーメン構造、２、３階が在来軸組構造の場合、１階ラーメン架構の梁には、上階からの荷重が鉛直荷重として作用する。実際には、外側の柱を通じてかなりの部分が外壁に直接流れるが、一部の荷重は直交壁や、床梁を通じてラーメンの梁に作用する。

設計上はこれを単位長さ辺りの分布荷重wと考えて計算する。仮定荷重、並びに、表１より、上階からの荷重は

３階：150LB（屋根）　＋ 50LB（外壁）
２階：200LB(大梁算定用）＋100LB（外壁）

合計　350LB

上記のうち、外壁荷重は直接柱に流れると仮定し、350LBの鉛直荷重がラーメンの梁に作用するものとする。ラーメン架構の荷重負担幅をB=1.82m　とすれば、梁に作用する鉛直分布荷重は、

$$w = 350 \times 1.82 = 637 \text{ kgf/m} \fallingdotseq 6.40 \text{ kgf/cm}$$

5．門型ラーメンの設計

5．１　仮定する部材断面寸法等

荷重負担幅B=182cmと固定し、以下の３スパンについて、ラーメン架構を設計する。

・スパン　　：L=4.095m (4.5P)、L=5.005m (5.5P)、L=5.915m (6.5P)
・設計用水平力　：Q=132 LB=132 × 1.82 × L=240.24L kgf

・設計用鉛直荷重：w=6.40 kgf/cm
図２に設計対象とする門型ラーメンと作用する外力を示す。

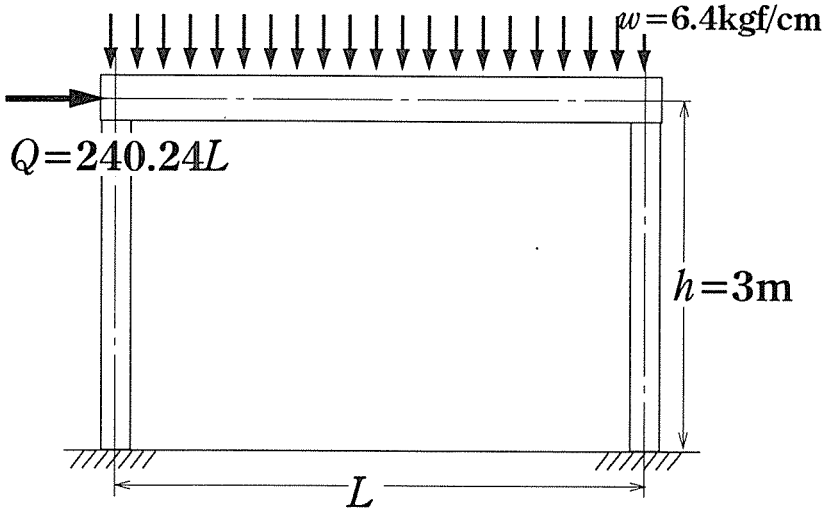


図２　一層門型ラーメンに作用する外力

５．２仮定断面

一層門型ラーメンの梁材の仮断面は、大梁に作用する鉛直荷重によるたわみ制限から予備的に決定する。

単純梁の場合、梁せいhの計算式は；

$$\delta = \frac{L}{360} = \frac{5wL^4}{384EI} \quad \rightarrow \quad h_1 = L\cdot\left(\frac{56.25\cdot w}{Eb}\right)^{1/3}$$

両端固定梁のスパン中央たわみは単純梁の 1/5 となって、

$$\delta = \frac{L}{360} = \frac{wL^4}{384EI} \quad \rightarrow \quad h_2 = L\cdot\left(\frac{11.25\cdot w}{Eb}\right)^{1/3}$$

両極端の場合、およびその平均値として算定される梁せいを表２に示す。なお、算定にあたっては、長期荷重によるクリープ変形を考慮して、ヤング係数を北米規格に習って短期の 2/3、すなわちE_{long}=73tf/cm^2（E_{short}=110tf/cm^2：ベイマツ相当集成材、LVL を仮定）程度に低減したヤング係数を用いた。

表２　両極端の場合から算定される梁せい

スパンL (cm)	単純梁 h_1(cm)	固定梁 h_2(cm)	仮梁せい $(h_1+h_2)/2$ (cm)
409.5	34.23	20.02	27
500.5	41.84	24.47	33
591.5	49.45	28.92	39

５．３　完全剛節ラーメンとしての応力計算

５．３．１ 柱せいの仮定

既往の２ｘ４住宅用ラーメン架構の研究[1)]では、一層門型ラーメンの柱せい h_c と梁せい h_b の比 $k=h_c/h_b$ はおよそ 0.9 程度であった。本研究でも、この比を 0.9 と仮定して柱の仮断面を表３のように決定した。なお、梁せいに関しては、水平荷重によるたわみも加算されることを考慮して、安全側を見て決定した。

表３　最終的に決定された３種類のラーメン架構の部材断面寸法

梁スパン L_b(cm)	柱長さ L_c(cm)	梁せい h_b(cm)	柱せい h_c(cm)	比 $k=h_c/h_b$
409.5	300	28	26	0.9
500.5	300	36	32	0.9
591.5	300	41	37	0.9

材幅一定：b=15cm

５．３．２ CASE １　：L=409.5cm, B=182cm　の場合

１）FEM モデルと入力データ

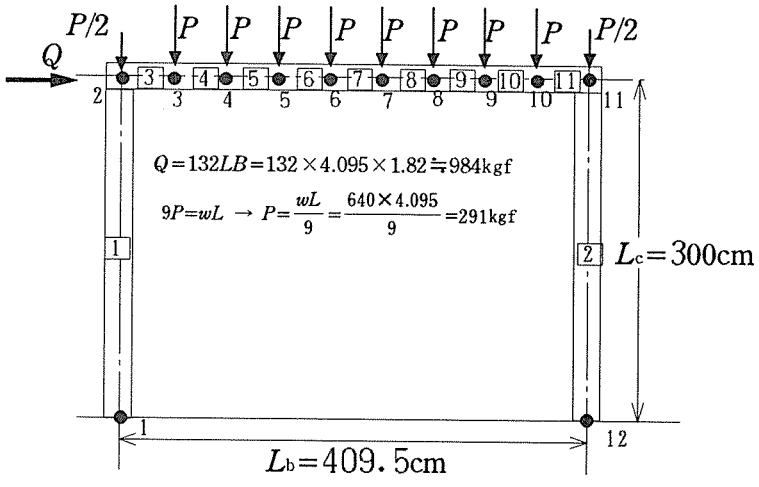


図３　スパン L_b =409.5cm　の場合の要素分割と外力

２）FEM 計算結果

a) 部材　　梁：150mm × 280mm、　柱：150mm × 260mm
集成材：ベイマツ（AIJ ２級：E =110tf/cm^2）

b) 計算結果

Node	U(cm)	V(cm)	Sita(rad.
1	0.000	0.000	0.0000
2	0.675	-0.007	-0.0033
3	0.674	-0.153	-0.0029
4	0.673	-0.271	-0.0021
5	0.672	-0.346	-0.0010
6	0.672	-0.367	0.0001
7	0.671	-0.336	0.0012
8	0.670	-0.262	0.0019
9	0.669	-0.163	0.0022
10	0.668	-0.067	0.0018
11	0.668	-0.011	0.0004
12	0.000	0.000	0.0000

最大鉛直たわみ: δ_{max} = 0.367cm < L/360=1.1375cm　o. k.
層間変形角　　: γ = 0.675/300 ≒ 1/444rad. < 1/200　o. k.

c）接合部設計用応力

Elem. No.	N(i) (Kg)	Q(i) (Kg)	M(i) (Kgcm)	N(j) (Kg)	Q(j) (Kg)	M(j) (Kgcm)	Length (cm)	Area (cm2)	(cm:
1	1005	191	55333	-1005	-191	1973	300.0	390.0	16
2	1614	793	122743	-1614	-793	115152	300.0	390.0	16
3	793	859	-1973	-793	-859	41078	45.5	420.0	19
4	793	568	-41078	-793	-568	66942	45.5	420.0	19
5	793	277	-66942	-793	-277	79566	45.5	420.0	19
6	793	-14	-79566	-793	14	78949	45.5	420.0	19
7	793	-305	-78949	-793	305	65091	45.5	420.0	19
8	793	-596	-65091	-793	596	37994	45.5	420.0	19
9	793	-887	-37994	-793	887	-2345	45.5	420.0	19
10	793	-1178	2345	-793	1178	-55923	45.5	420.0	19
11	793	-1469	55923	-793	1469	-122743	45.5	420.0	19

・柱脚部分における最大モーメント
　M=115152kgfcm、　Q=793kgf、　N=1614kgf
・梁端接合部における最大モーメント
　M=122743kgfcm、　Q=1469kgf、　N=793kgf

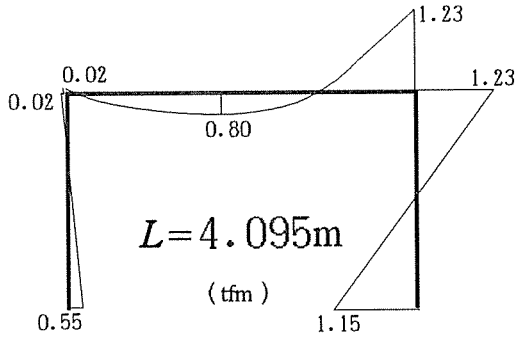


図４　モーメント図（L=4.095m の場合）

５．３．３ CASE ２　：L=500.5cm, B=182cm　の場合

１）FEM モデルと入力データ

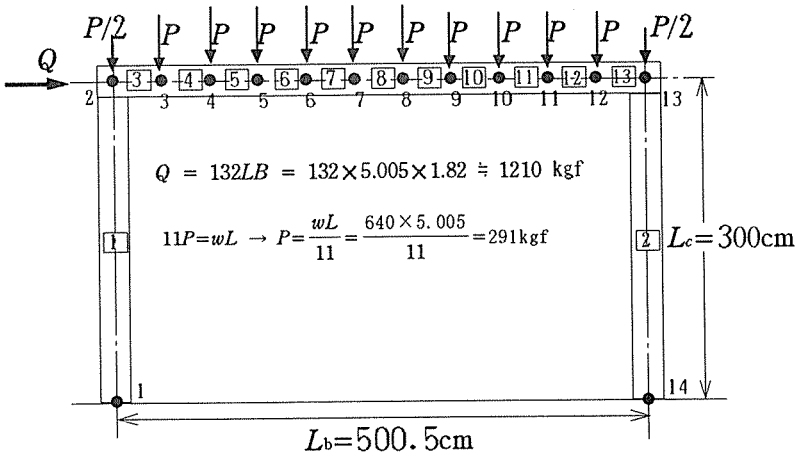


図４　スパン L=500.5cm　の場合の要素分割と外力

2） FEM 計算結果

a) 部材　　梁： 150mm × 360mm、　柱： 150mm × 320mm
集成材：ベイマツ（AIJ２級：E =110tf/cm ^{2}）

b) 計算結果

Node	U(cm)	V(cm)	Sita(rad
1	0.000	0.000	0.0000
2	0.456	-0.007	-0.0025
3	0.455	-0.123	-0.0024
4	0.454	-0.229	-0.0020
5	0.453	-0.310	-0.0014
6	0.452	-0.360	-0.0007
7	0.451	-0.374	0.0001
8	0.451	-0.352	0.0008
9	0.450	-0.299	0.0014
10	0.449	-0.223	0.0018
11	0.448	-0.137	0.0018
12	0.447	-0.059	0.0014
13	0.447	-0.011	0.0005
14	0.000	0.000	0.0000

・最大鉛直たわみ

δ_{max} = 0.374cm < L/360
=1.390cm　o. k.

・層間変形角

γ = 0.456/300 ≒ 1/658rad. < 1/120 o. k.

c) 接合部設計用応力

Elem. No.	N(i) (Kg)	Q(i) (Kg)	M(i) (Kgcm)	N(j) (Kg)	Q(j) (Kg)	M(j) (Kgcm)	Length (cm)	Area (cm2)	(cm
1	1297	145	60137	-1297	-145	-16564	300.0	480.0	25
2	1904	1065	168237	-1904	-1065	151190	300.0	480.0	25
3	1065	1152	16564	-1065	-1152	35850	45.5	540.0	32
4	1065	861	-35850	-1065	-861	75024	45.5	540.0	32
5	1065	570	-75024	-1065	-570	100957	45.5	540.0	32
6	1065	279	-100957	-1065	-279	113649	45.5	540.0	32
7	1065	-12	-113649	-1065	12	113101	45.5	540.0	32
8	1065	-303	-113101	-1065	303	99313	45.5	540.0	32
9	1065	-594	-99313	-1065	594	72284	45.5	540.0	32
10	1065	-885	-72284	-1065	885	32014	45.5	540.0	32
11	1065	-1176	-32014	-1065	1176	-21496	45.5	540.0	32
12	1065	-1467	21496	-1065	1467	-88246	45.5	540.0	32
13	1065	-1758	88246	-1065	1758	-168237	45.5	540.0	32

・柱脚部分における最大モーメント
　M=151190kgfcm、 Q=1065kgf、 N=1904kgf （柱脚部分）
・梁端接合部における最大モーメント
　M=168237kgfcm、 Q=1078kgf、 N=1065kgf （柱－梁接合部）

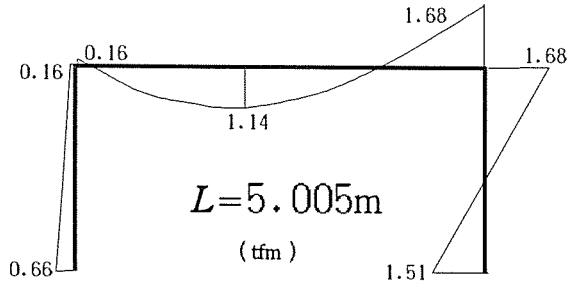


図５　モーメント図（L=5.005m の場合）

5．3．4 CASE 3　：L=591.5cm, B=182cm の場合

1） FEM モデルと入力データ

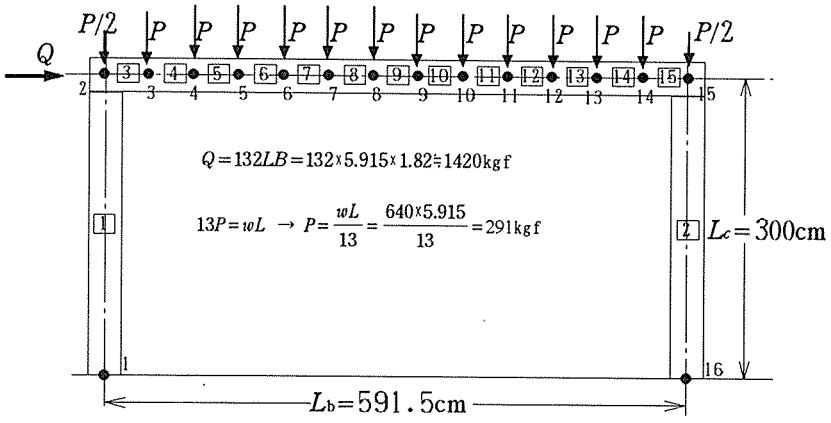


図６　スパン L=591.5cm　の場合の要素分割と外力

2） FEM 計算結果

a) 部材　　梁：150mm × 410mm、　柱：150mm × 370mm

集成材：ベイマツ（AIJ２級：E =110tf/cm ^{2}）

b) 計算結果

Node	U(cm)	V(cm)	Sita(rad.
1	0.000	0.000	0.0000
2	0.370	-0.008	-0.0024
3	0.369	-0.120	-0.0024
4	0.368	-0.230	-0.0022
5	0.367	-0.326	-0.0018
6	0.366	-0.398	-0.0012
7	0.365	-0.442	-0.0006
8	0.364	-0.453	0.0000
9	0.363	-0.433	0.0007
10	0.362	-0.385	0.0013
11	0.361	-0.313	0.0017
12	0.361	-0.226	0.0019
13	0.360	-0.137	0.0018
14	0.359	-0.059	0.0014
15	0.358	-0.011	0.0006
16	0.000	0.000	0.0000

・最大鉛直たわみ

δ_{max} = 0.453cm < L/360 =1.643cm　o. k.

・層間変形角

γ = 0.370/300 ≒ 1/811rad.　o. k.

c) 接合部設計用応力

Elem. No.	N(i) (Kg)	Q(i) (Kg)	M(i) (Kgcm)	N(j) (Kg)	Q(j) (Kg)	M(j) (Kgcm)	Length (cm)	Area (cm2)
1	1602	29	60174	-1602	-29	-51397	300.0	555.0
2	2181	1391	222783	-2181	-1391	194441	300.0	555.0
3	1391	1456	51397	-1391	-1456	14862	45.5	615.0
4	1391	1165	-14862	-1391	-1165	67881	45.5	615.0
5	1391	874	-67881	-1391	-874	107660	45.5	615.0
6	1391	583	-107660	-1391	-583	134198	45.5	615.0
7	1391	292	-134198	-1391	-292	147495	45.5	615.0
8	1391	1	-147495	-1391	-1	147552	45.5	615.0
9	1391	-290	-147552	-1391	290	134369	45.5	615.0
10	1391	-581	-134369	-1391	581	107945	45.5	615.0
11	1391	-872	-107945	-1391	872	68280	45.5	615.0
12	1391	-1163	-68280	-1391	1163	15375	45.5	615.0
13	1391	-1454	-15375	-1391	1454	-50770	45.5	615.0
14	1391	-1745	50770	-1391	1745	-130156	45.5	615.0
15	1391	-2036	130156	-1391	2036	-222783	45.5	615.0

・柱脚部分における最大モーメント
M=194441kgfcm、 Q=1391kgf、 N=2181kgf （柱脚部分）

・梁端接合部における最大モーメント
M=222783kgfcm、 Q=2036kgf、 N=1391kgf （柱－梁接合部）

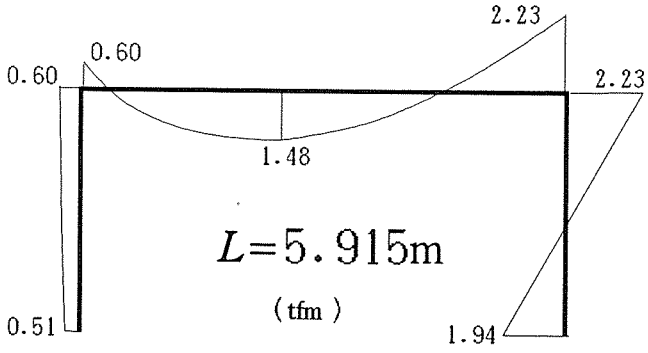


図７　モーメント図（L=5.915m の場合）

6．接合部の設計

6．１　設計法の基本方針

基本的な計算方法は、AIJ木質構造設計ノートの「モーメント抵抗接合部の設計法」に記載された方法を用いる。ただし、ドリフトピンの短期許容耐力については、EYT式で算定される降伏耐力P_yそのものを採用する。その理由は、ドリフトピンの配置（端距離e_e、縁距離e_h、相互間隔等p）と径長比l/dに十分な余裕を見込んだ場合は、１本のピンが降伏しても、その時の荷重を維持したまま変形だけが進行するという「弾塑性的挙動」が期待でき、接合部全体としては、十分な靭性を持ち、耐震性能はむしろ増強されるからである。設計法の詳細については、木質架構委員会平成６年度報告集「１－２．鋼板添板／挿入型接合」による。

６．２　CASE－１：スパン 4.095m の場合

ａ）柱脚接合部

・柱脚接合部設計用外力
M=115152kgfcm、 Q=793kgf、 N=1614kgf

・部材材料常数
E=110tf/cm^2、 TD=500kg/m^3 （ベイマツ集成材想定）

・接合部の仕様
ドリフトピン直径：d=9mm
ガセット板寸法　：260mm ×300mm
端距離e_e=$7d$、縁距離e_h=$3.94d<4d$ （例外的）、接合具間隔p=$7d$、材幅b=150mm
径長比l/d=141/9=15.7 ＞ 10　o. k.

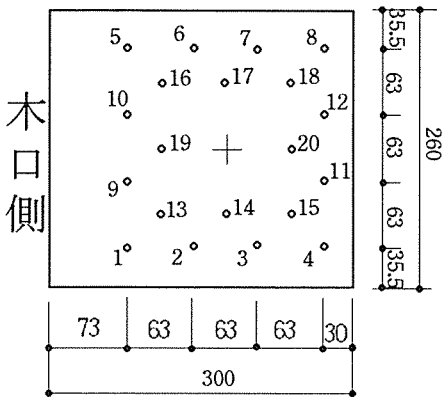


図８　スパン4.095m（CASE-1）柱脚接合部のドリフトピン配列

各ドリフトピンの耐力照査結果を表４に示す。

表４　スパン4.095m（CASE-1）柱脚接合部のドリフトピン耐力照査表

No.	x(cm)	y(cm)	r(cm)	ϕ(rad.)	K_ϕ (kgf/cm)	P_s (kgf)	P_Q (kgf)	P_N (kgf)	F_x (kgf)	F_y (kgf)	ω(rad.)	F_{res} (kgf)	P_ω (kgf)	F_{res}/P_ω
1	−9.5	−9.5	13.4	0.7854	7043	359	20	40	−214	274	−0.9082	347	369	0.9421
2	−3.2	−9.5	10.0	0.3218	10988	418	20	40	−356	152	−0.4034	387	541	0.7151
3	3.2	−9.5	10.0	2.8198	10988	418	20	40	−356	−112	0.3055	373	578	0.6458
4	9.5	−9.5	13.4	2.3562	7043	359	20	40	−214	−234	0.8312	317	389	0.8154
5	−9.5	9.5	13.4	2.3562	7043	359	20	40	294	274	0.7493	402	413	0.9733
6	−3.2	9.5	10.0	2.8198	10988	418	20	40	437	152	0.3348	462	567	0.8149
7	3.2	9.5	10.0	0.3218	10988	418	20	40	437	−112	−0.2517	451	596	0.7563
8	9.5	9.5	13.4	0.7854	7043	359	20	40	294	−234	−0.6720	376	439	0.8575
9	−9.5	−3.2	10.0	1.2491	5182	197	20	40	−22	207	−1.4650	208	295	0.7051
10	−9.5	3.2	10.0	1.8926	5182	197	20	40	103	207	1.1099	231	328	0.7032
11	9.5	−3.2	10.0	1.8926	5182	197	20	40	−22	−167	1.4402	169	296	0.5698
12	9.5	3.2	10.0	1.2491	5182	197	20	40	103	−167	−1.0199	196	344	0.5698
13	−6.3	−6.3	8.9	0.7854	7043	239	20	40	−129	189	−0.9723	229	354	0.6469
14	0.0	−6.3	6.3	0	12777	307	20	40	−267	20	−0.0742	268	636	0.4209
15	6.3	−6.3	8.9	2.3562	7043	239	20	40	−129	−150	0.8590	197	381	0.5180
16	−6.3	6.3	8.9	2.3562	7043	239	20	40	210	189	0.7340	282	418	0.6757
17	0.0	6.3	6.3	0	12777	307	20	40	348	20	0.0570	348	637	0.5462
18	6.3	6.3	8.9	0.7854	7043	239	20	40	210	−150	−0.6194	258	457	0.5630
19	−6.3	0.0	6.3	1.5708	4861	117	20	40	40	137	1.2838	143	306	0.4653
20	6.3	0.0	6.3	1.5708	4861	117	20	40	40	−97	−1.1768	105	318	0.3300

ピン本数	回転剛性 R_J (kgfcm/rad.)	せん断剛性 S_J (kgf/cm)	軸力剛性 D_J (kgf/cm)
20	30172600	194455	511092

b) 梁端接合部

・梁端接合部設計用外力

M=122743kgfcm、　Q=1469kgf、　N=793kgf

・部材材料常数

E=110tf/cm^2、　TD=500kg/m^3　（ベイマツ集成材想定）

・接合部の仕様

ドリフトピン直径：d=9mm

ガセット板寸法　：280mm ×320mm

端距離 $e_e=7d$、縁距離 $e_h=5d$、接合具間隔 $p=7d$、材幅 b=150mm

径長比 l/d=141/9=15.7 ＞ 10　o. k.

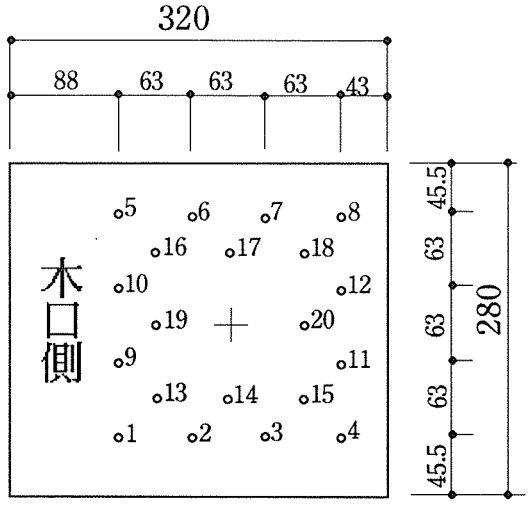


図９　スパン4.095m（CASE−１）梁端接合部のドリフトピン配列

表５　スパン4.095m（CASE−１）梁端部接合部のドリフトピン耐力照査表

No.	x(cm)	y(cm)	r(cm)	ϕ (rad.)	K_ϕ (kgf/cm)	P_s (kgf)	P_Q (kgf)	P_N (kgf)	F_x (kgf)	F_y (kgf)	ω(rad.)	F_{res} (kgf)	P_ω (kgf)	F_{res}/P_ω
1	−9.45	−9.45	13.36	0.785	7734	383	37	20	−251	307	−0.886	397	401	0.9904
2	−3.15	−9.45	9.96	0.322	12068	445	37	20	−403	178	−0.415	440	555	0.7927
3	3.15	−9.45	9.96	2.82	12068	445	37	20	−403	−104	0.253	416	609	0.6831
4	9.45	−9.45	13.36	2.356	7734	383	37	20	−251	−234	0.751	343	438	0.7827
5	−9.45	9.45	13.36	2.356	7734	383	37	20	291	307	0.814	423	420	1.0074
6	−3.15	9.45	9.96	2.82	12068	445	37	20	442	178	0.382	477	567	0.8404
7	3.15	9.45	9.96	0.322	12068	445	37	20	442	−104	−0.231	454	615	0.7390
8	9.45	9.45	13.36	0.785	7734	383	37	20	291	−234	−0.678	373	461	0.8086
9	−9.45	−3.15	9.96	1.249	5690	210	37	20	−47	236	−1.376	240	326	0.7383
10	−9.45	3.15	9.96	1.893	5690	210	37	20	86	236	1.220	251	340	0.7392
11	9.45	−3.15	9.96	1.893	5690	210	37	20	−47	−162	1.292	169	332	0.5086
12	9.45	3.15	9.96	1.249	5690	210	37	20	86	−162	−1.083	184	360	0.5116
13	−6.30	−6.30	8.91	0.785	7734	255	37	20	−161	217	−0.934	270	389	0.6940
14	0.00	−6.30	6.30	0	14034	328	37	20	−308	37	−0.119	310	639	0.4851
15	6.30	−6.30	8.91	2.356	7734	255	37	20	−161	−144	0.730	216	445	0.4848
16	−6.30	6.30	8.91	2.356	7734	255	37	20	200	217	0.826	295	417	0.7093
17	0.00	6.30	6.30	0	14034	328	37	20	347	37	0.105	349	641	0.5451
18	6.30	6.30	8.91	0.785	7734	255	37	20	200	−144	−0.623	247	480	0.5135
19	−6.30	0.00	6.30	1.571	5338	125	37	20	20	161	1.449	163	322	0.5048
20	6.30	0.00	6.30	1.571	5338	125	37	20	20	−88	−1.349	90	328	0.2749

ピン本数	回転剛性 R_J (kgfcm/rad.)	せん断剛性 S_J (kgf/cm)	軸力剛性 D_J (kgf/cm)
20	33133400	213509	561344

6．3　CASE−2：スパン 5.005m の場合

a）柱脚接合部

・柱脚接合部設計用外力

M=151190kgfcm

Q=1065kgf

N=1904kgf

・部材材料常数

E=110tf/cm^2

TD=500kg/m^3

（ベイマツ集成材想定）

・接合部の仕様

ドリフトピン直径：d=9mm

ガセット板寸法　：320mm ×360mm

端距離 $e_e=7d$、縁距離 $e_h=7.2d$（例外的）

接合具間隔 $p=7d$、材幅 b=150mm

径長比 l/d=141/9=15.7 ＞ 10　o. k.

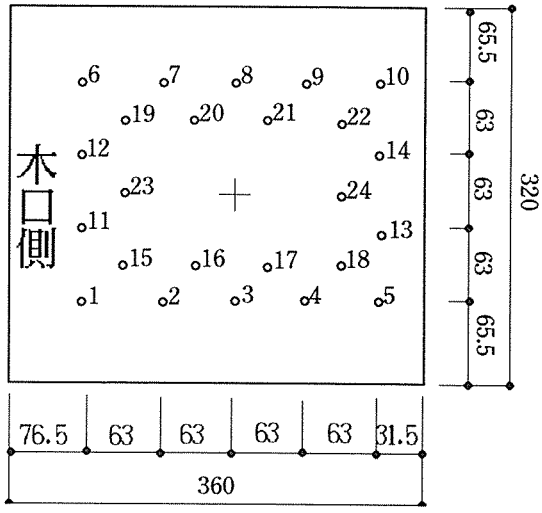


図 10　スパン5. 005m（CASE−2）柱脚接合部のドリフトピン配列

各ドリフトピンの耐力照査結果を表６に示す。

表６　スパン5. 005m（CASE−2）柱脚接合部のドリフトピン耐力照査表

No.	x(cm)	y(cm)	r(cm)	ϕ(rad.)	K_ϕ (kgf/cm)	P_s (kgf)	P_Q (kgf)	P_N (kgf)	F_x (kgf)	F_y (kgf)	ω(rad.)	F_{res} (kgf)	P_ω (kgf)	F_{res}/P_ω
1	−12.60	−9.45	15.75	0.9273	6257	336	22	40	−162	291	−1.0630	333	336	0.9909
2	−6.30	−9.45	11.36	0.5880	8512	330	22	40	−235	205	−0.7182	312	423	0.7366
3	0.00	−9.45	9.45	0.0000	12777	412	22	40	−372	22	−0.0596	373	637	0.5850
4	6.30	−9.45	11.36	2.5536	8512	330	22	40	−235	−161	0.6005	284	464	0.6124
5	12.60	−9.45	15.75	2.2143	6257	336	22	40	−162	−247	0.9898	295	350	0.8425
6	−12.60	9.45	15.75	2.2143	6257	336	22	40	241	291	0.8786	378	376	1.0052
7	−6.30	9.45	11.36	2.5536	8512	330	22	40	314	205	0.5786	375	473	0.7935
8	0.00	9.45	9.45	0.0000	12777	412	22	40	451	22	0.0491	452	638	0.7084
9	6.30	9.45	11.36	0.5880	8512	330	22	40	314	−161	−0.4730	353	514	0.6867
10	12.60	9.45	15.75	0.9273	6257	336	22	40	241	−247	−0.7964	345	399	0.8654
11	−12.60	−3.15	12.99	1.3258	5045	223	22	40	−15	239	−1.5101	239	294	0.8154
12	−12.60	3.15	12.99	1.8158	5045	223	22	40	94	239	1.1965	257	316	0.8127
13	12.60	−3.15	12.99	1.8158	5045	223	22	40	−15	−195	1.4963	195	294	0.6639
14	12.60	3.15	12.99	1.3258	5045	223	22	40	94	−195	−1.1214	216	326	0.6618
15	−9.45	−6.30	11.36	0.9828	6006	233	22	40	−89	216	−1.1781	234	318	0.7336
16	−3.15	−6.30	7.04	0.4636	9638	232	22	40	−167	126	−0.6441	209	448	0.4668
17	3.15	−6.30	7.04	2.6780	9638	232	22	40	−167	−81	0.4523	186	522	0.3567
18	9.45	−6.30	11.36	2.1588	6006	233	22	40	−89	−171	1.0901	193	331	0.5831
19	−9.45	6.30	11.36	2.1588	6006	233	22	40	169	216	0.9072	274	369	0.7424
20	−3.15	6.30	7.04	2.6780	9638	232	22	40	247	126	0.4713	277	514	0.5384
21	3.15	6.30	7.04	0.4636	9638	232	22	40	247	−81	−0.3185	260	573	0.4532
22	9.45	6.30	11.36	0.9828	6006	233	22	40	169	−171	−0.7932	240	400	0.6017
23	−9.45	0.00	9.45	1.5708	4861	157	22	40	40	179	1.3526	183	301	0.6093
24	9.45	0.00	9.45	1.5708	4861	157	22	40	40	−134	−1.2840	140	306	0.4577

ピン本数	回転剛性 R_J (kgfcm/rad.)	せん断剛性 S_J (kgf/cm)	軸力剛性 D_J (kgf/cm)
24	44333700	233346	613310

b）梁端接合部

・梁端接合部設計用外力

M=168237kgfcm

Q=1078kgf

N=1065kgf

・部材材料常数

E=110tf/cm^2

TD=500kg/m^3

（ベイマツ集成材想定）

・接合部の仕様

ドリフトピン直径：d=9mm

ガセット板寸法　：360mm ×420mm

端距離 e_e =7d、縁距離 e_h =6d （例外的）

接合具間隔 p=7d、材幅 b=150mm

径長比 l/d=141/9=15.7 ＞ 10　o. k.

各ドリフトピンの耐力照査結果を表７に示す。

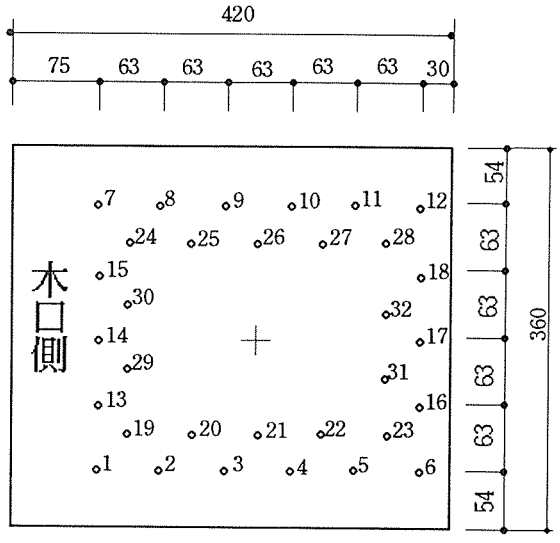


図１１　スパン5.005m（CASE−２）
梁端接合部のドリフトピン配列

表７　スパン5.005m（CASE−２）梁端接合部のドリフトピン耐力照査表

No.	x(cm)	y(cm)	r(cm)	ϕ(rad.)	K_ϕ (kgf/cm)	P_s (kgf)	P_Q (kgf)	P_N (kgf)	F_x (kgf)	F_y (kgf)	ω(rad.)	F_{res} (kgf)	P_ω (kgf)	F_{res}/P_ω
1	−15.75	−12.60	20.17	0.8961	6411	213	17	17	−116	183	−1.0047	217	347	0.6247
2	−9.45	−12.60	15.75	0.6435	8055	209	17	17	−150	142	−0.7571	207	411	0.5039
3	−3.15	−12.60	12.99	0.2450	11660	249	17	17	−225	77	−0.3307	238	569	0.4185
4	3.15	−12.60	12.99	2.8966	11660	249	17	17	−225	−44	0.1913	229	614	0.3738
5	9.45	−12.60	15.75	2.4981	8055	209	17	17	−150	−108	0.6247	185	455	0.4071
6	15.75	−12.60	20.17	2.2455	6411	213	17	17	−116	−149	0.9091	189	368	0.5138
7	−15.75	12.60	20.17	2.2455	6411	213	17	17	150	183	0.8856	236	374	0.6316
8	−9.45	12.60	15.75	2.4981	8055	209	17	17	184	142	0.6585	232	443	0.5238
9	−3.15	12.60	12.99	2.8966	11660	249	17	17	258	77	0.2906	270	583	0.4626
10	3.15	12.60	12.99	0.2450	11660	249	17	17	258	−44	−0.1672	262	620	0.4230
11	9.45	12.60	15.75	0.6435	8055	209	17	17	184	−108	−0.5333	213	490	0.4353
12	15.75	12.60	20.17	0.8961	6411	213	17	17	150	−149	−0.7846	211	402	0.5255
13	−15.75	−6.30	16.96	1.1903	5316	148	17	17	−38	155	−1.3269	159	303	0.5266
14	−15.75	0.00	15.75	1.5708	4861	126	17	17	17	143	1.4548	144	295	0.4872
15	−15.75	6.30	16.96	1.9513	5316	148	17	17	72	155	1.1363	170	324	0.5258
16	15.75	−6.30	16.96	1.9513	5316	148	17	17	−38	−121	1.2628	127	308	0.4115
17	15.75	0.00	15.75	1.5708	4861	126	17	17	17	−109	−1.4195	110	297	0.3722
18	15.75	6.30	16.96	1.1903	5316	148	17	17	72	−121	−1.0353	141	341	0.4122
19	−12.60	−9.45	15.75	0.9273	6257	162	17	17	−81	147	−1.0677	167	335	0.4990
20	−6.30	−9.45	11.36	0.5880	8512	159	17	17	−116	105	−0.7372	156	417	0.3750
21	0.00	−9.45	9.45	0.0000	12777	199	17	17	−182	17	−0.0922	183	633	0.2887
22	6.30	−9.45	11.36	2.5536	8512	159	17	17	−116	−71	0.5528	136	482	0.2819
23	12.60	−9.45	15.75	2.2143	6257	162	17	17	−81	−113	0.9504	139	359	0.3868
24	−12.60	9.45	15.75	2.2143	6257	162	17	17	114	147	0.9100	186	368	0.5042
25	−6.30	9.45	11.36	2.5536	8512	159	17	17	149	105	0.6142	182	459	0.3971
26	0.00	9.45	9.45	0.0000	12777	199	17	17	215	17	0.0781	216	635	0.3400
27	6.30	9.45	11.36	0.5880	8512	159	17	17	149	−71	−0.4469	165	524	0.3154
28	12.60	9.45	15.75	0.9273	6257	162	17	17	114	−113	−0.7808	160	403	0.3977
29	−12.60	−3.15	12.99	1.3258	5045	108	17	17	−10	121	−1.4926	122	294	0.4144
30	−12.60	3.15	12.99	1.8158	5045	108	17	17	43	121	1.2321	129	312	0.4132
31	12.60	−3.15	12.99	1.8158	5045	108	17	17	−10	−88	1.4628	88	295	0.2994
32	12.60	3.15	12.99	1.3258	5045	108	17	17	43	−88	−1.1172	98	327	0.2986

ピン本数	回転剛性 R_J (kgfcm/rad.)	せん断剛性 S_J (kgf/cm)	軸力剛性 D_J (kgf/cm)
32	102222000	311128	817747

6．4．CASE−3：スパン 5.915m の場合

a）柱脚接合部

・柱脚接合部設計用外力

M=194441kgfcm

Q=1391kgf

N=2181kgf

・部材材料常数

E=110tf/cm^2

TD=500kg/m^3

（ベイマツ集成材想定）

・接合部の仕様

ドリフトピン直径：d=9mm

ガセット板寸法　：370mm ×450mm

端距離 $e_e=7d$、縁距離 $e_h=6.5d$（例外的）

接合具間隔 $p=7d$、材幅 b=150mm

径長比 l/d=141/9=15.7 ＞ 10　o. k.　各ドリフトピンの耐力照査結果を表８に示す。

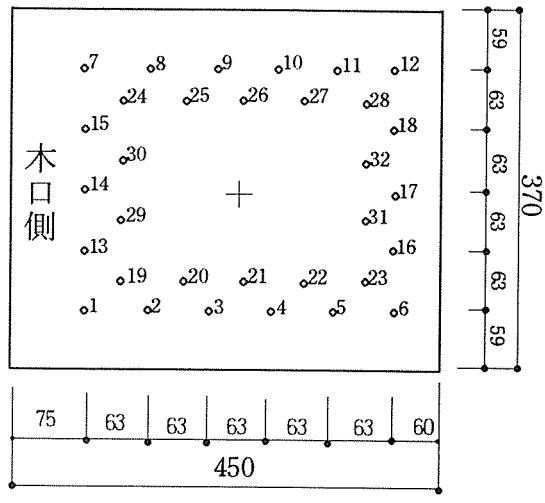


図１２　スパン5.915m（CASE−3）
柱脚接合部のドリフトピン配列

表８　スパン5.915m（CASE−3）柱脚接合部のドリフトピン耐力照査表

No.	x(cm)	y(cm)	r(cm)	ϕ (rad.)	K_ϕ (kgf/cm)	P_s (kgf)	P_Q (kgf)	P_N (kgf)	F_x (kgf)	F_y (kgf)	ω(rad.)	F_{res} (kgf)	P_ω (kgf)	F_{res}/P_ω
1	−15.75	−12.60	20.17	0.8961	6411	246	22	34	−120	214	−1.0608	245	337	0.7280
2	−9.45	−12.60	15.75	0.6435	8055	241	22	34	−159	167	−0.8086	230	395	0.5826
3	−3.15	−12.60	12.99	0.2450	11660	288	22	34	−245	92	−0.3573	262	559	0.4686
4	3.15	−12.60	12.99	2.8966	11660	288	22	34	−245	−48	0.1937	250	613	0.4080
5	9.45	−12.60	15.75	2.4981	8055	241	22	34	−159	−123	0.6587	201	443	0.4535
6	15.75	−12.60	20.17	2.2455	6411	246	22	34	−120	−170	0.9587	208	357	0.5831
7	−15.75	12.60	20.17	2.2455	6411	246	22	34	188	214	0.8502	285	384	0.7419
8	−9.45	12.60	15.75	2.4981	8055	241	22	34	227	167	0.6326	282	453	0.6223
9	−3.15	12.60	12.99	2.8966	11660	288	22	34	314	92	0.2842	327	585	0.5580
10	3.15	12.60	12.99	0.2450	11660	288	22	34	314	−48	−0.1523	317	623	0.5093
11	9.45	12.60	15.75	0.6435	8055	241	22	34	227	−123	−0.4965	258	504	0.5122
12	15.75	12.60	20.17	0.8961	6411	246	22	34	188	−170	−0.7369	254	417	0.6079
13	−15.75	−6.30	16.96	1.1903	5316	172	22	34	−30	181	−1.4086	183	297	0.6170
14	−15.75	0.00	15.75	1.5708	4861	146	22	34	34	167	1.3699	171	300	0.5703
15	−15.75	6.30	16.96	1.9513	5316	172	22	34	98	181	1.0755	206	334	0.6160
16	15.75	−6.30	16.96	1.9513	5316	172	22	34	−30	−138	1.3586	141	300	0.4685
17	15.75	0.00	15.75	1.5708	4861	146	22	34	34	−124	−1.3024	129	305	0.4218
18	15.75	6.30	16.96	1.1903	5316	172	22	34	98	−138	−0.9527	169	358	0.4710
19	−12.60	−9.45	15.75	0.9273	6257	187	22	34	−78	172	−1.1425	189	323	0.5838
20	−6.30	−9.45	11.36	0.5880	8512	184	22	34	−119	124	−0.8052	172	396	0.4332
21	0.00	−9.45	9.45	0.0000	12777	230	22	34	−196	22	−0.1107	197	631	0.3120
22	6.30	−9.45	11.36	2.5536	8512	184	22	34	−119	−80	0.5937	143	467	0.3073
23	12.60	−9.45	15.75	2.2143	6257	187	22	34	−78	−128	1.0221	150	344	0.4372
24	−12.60	9.45	15.75	2.2143	6257	187	22	34	147	172	0.8643	226	380	0.5943
25	−6.30	9.45	11.36	2.5536	8512	184	22	34	187	124	0.5844	224	470	0.4768
26	0.00	9.45	9.45	0.0000	12777	230	22	34	264	22	0.0822	265	635	0.4169
27	6.30	9.45	11.36	0.5880	8512	184	22	34	187	−80	−0.4053	204	540	0.3767
28	12.60	9.45	15.75	0.9273	6257	187	22	34	147	−128	−0.7188	195	423	0.4605
29	−12.60	−3.15	12.99	1.3258	5045	125	22	34	4	143	1.5438	143	293	0.4868
30	−12.60	3.15	12.99	1.8158	5045	125	22	34	64	143	1.1473	156	323	0.4851
31	12.60	−3.15	12.99	1.8158	5045	125	22	34	4	−99	−1.5320	99	293	0.3384
32	12.60	3.15	12.99	1.3258	5045	125	22	34	64	−99	−0.9956	118	349	0.3387

ピン本数	回転剛性 R_J (kgfcm/rad.)	せん断剛性 S_J (kgf/cm)	軸力剛性 D_J (kgf/cm)
32	102222000	311128	817747

b）梁端接合部

・梁端接合部設計用外力

M=222783kgfcm

Q=2036kgf

N=1391kgf

・部材材料常数

E=110tf/cm^2

TD=500kg/m^3

（ベイマツ集成材想定）

・接合部の仕様

ドリフトピン直径：d=9mm

ガセット板寸法　：410mm ×500mm

端距離 e_e =7d、縁距離 e_h =5.2d

接合具間隔 p=7d、材幅 b=150mm

径長比 l/d=141/9=15.7 ＞ 10　o. k.

各ドリフトピンの耐力照査結果を表９に示す。

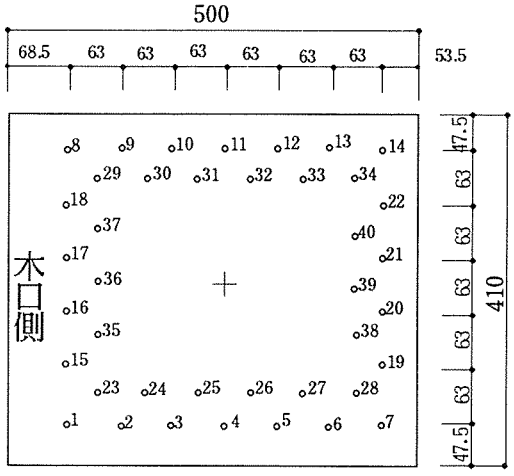


図１３　スパン5.915m（CASE−３）
梁端接合部のドリフトピン配列

表９　スパン5.915m（CASE−３）梁端接合部のドリフトピン耐力照査表

No.	x(cm)	y(cm)	r(cm)	ϕ(rad.)	K_ϕ (kgf/cm)	P_α (kgf)	P_Q (kgf)	P_N (kgf)	F_x (kgf)	F_y (kgf)	ω(rad.)	F_{res} (kgf)	P_ω (kgf)	F_{res}/P_ω
1	−18.90	−15.75	24.60	0.8761	6516	181	25	17	−98	164	−1.0316	191	342	0.5598
2	−12.60	−15.75	20.17	0.6747	7813	178	25	17	−121	136	−0.8439	183	385	0.4738
3	−6.30	−15.75	16.96	0.3805	10434	199	25	17	−168	100	−0.5353	195	489	0.3989
4	0.00	−15.75	15.75	0.0000	12777	227	25	17	−209	25	−0.1209	211	629	0.3354
5	6.30	−15.75	16.96	2.7611	10434	199	25	17	−168	−49	0.2821	175	586	0.2981
6	12.60	−15.75	20.17	2.4669	7813	178	25	17	−121	−85	0.6140	148	459	0.3230
7	18.90	−15.75	24.60	2.2655	6516	181	25	17	−98	−113	0.8565	150	382	0.3928
8	−18.90	15.75	24.60	2.2655	6516	181	25	17	133	164	0.8899	211	373	0.5664
9	−12.60	15.75	20.17	2.4669	7813	178	25	17	156	136	0.7182	207	423	0.4900
10	−6.30	15.75	16.96	2.7611	10434	199	25	17	203	100	0.4567	226	520	0.4340
11	0.00	15.75	15.75	3.1416	12777	227	25	17	244	25	0.1038	246	632	0.3886
12	6.30	15.75	16.96	0.3805	10434	199	25	17	203	−49	−0.2356	208	601	0.3466
13	12.60	15.75	20.17	0.6747	7813	178	25	17	156	−85	−0.5012	178	503	0.3541
14	18.90	15.75	24.60	0.8761	6516	181	25	17	133	−113	−0.7056	175	427	0.4091
15	−18.90	−9.45	21.13	1.1072	5549	132	25	17	−42	144	−1.2882	150	306	0.4889
16	−18.90	−3.15	19.16	1.4057	4944	107	25	17	0	131	−1.5695	131	293	0.4462
17	−18.90	3.15	19.16	1.7360	4944	107	25	17	35	131	1.3097	135	304	0.4452
18	−18.90	9.45	21.13	2.0344	5549	132	25	17	76	144	1.0815	163	333	0.4889
19	18.90	−9.45	21.13	2.0344	5549	132	25	17	−42	−93	1.1482	102	322	0.3154
20	18.90	−3.15	19.16	1.7359	4944	107	25	17	0	−80	1.5687	80	293	0.2725
21	18.90	3.15	19.16	1.4057	4944	107	25	17	35	−80	−1.1584	87	321	0.2716
22	18.90	9.45	21.13	1.1072	5549	132	25	17	76	−93	−0.8812	120	375	0.3202
23	−15.75	−12.60	20.17	0.8961	6411	146	25	17	−74	139	−1.0843	158	332	0.4739
24	−9.45	−12.60	15.75	0.6435	8055	143	25	17	−97	111	−0.8537	148	383	0.3858
25	−3.15	−12.60	12.99	0.2450	11660	171	25	17	−148	67	−0.4237	163	533	0.3049
26	3.15	−12.60	12.99	2.8966	11660	171	25	17	−148	−16	0.1072	149	631	0.2361
27	9.45	−12.60	15.75	2.4981	8055	143	25	17	−97	−60	0.5565	114	481	0.2375
28	15.75	−12.60	20.17	2.2455	6411	146	25	17	−74	−88	0.8759	115	377	0.3053
29	−15.75	12.60	20.17	2.2455	6411	146	25	17	108	139	0.9092	177	368	0.4791
30	−9.45	12.60	15.75	2.4981	8055	143	25	17	132	111	0.7011	172	429	0.4022
31	−3.15	12.60	12.99	2.8966	11660	171	25	17	183	67	0.3503	195	562	0.3469
32	3.15	12.60	12.99	0.2450	11660	171	25	17	183	−16	−0.0869	184	634	0.2896
33	9.45	12.60	15.75	0.6435	8055	143	25	17	132	−60	−0.4294	145	531	0.2730
34	15.75	12.60	20.17	0.8961	6411	146	25	17	108	−88	−0.6837	140	435	0.3219
35	−15.75	−6.30	16.96	1.1903	5316	102	25	17	−20	120	−1.4025	122	298	0.4084
36	−15.75	0.00	15.75	1.5708	4861	86	25	17	17	112	1.4164	113	297	0.3810
37	−15.75	6.30	16.96	1.9513	5316	102	25	17	55	120	1.1395	132	324	0.4074
38	15.75	−6.30	16.96	1.9513	5316	102	25	17	−20	−69	1.2836	72	306	0.2345
39	15.75	0.00	15.75	1.5708	4861	86	25	17	17	−61	−1.2925	63	306	0.2071
40	15.75	6.30	16.96	1.1903	5316	102	25	17	55	−69	−0.8960	88	372	0.2374

ピン本数	回転剛性 R_J (kgfcm/rad.)	せん断剛性 S_J (kgf/cm)	軸力剛性 D_J (kgf/cm)
40	197666000	388910	1022180

７．実大実験

７．１　試験体

表１０に示すベイマツ GLT ３体、ベイマツ LVL ３体の計６体の実大門型ラーメン試験体を供試した。

なお、設計条件では、柱長さ L_c は全て 300cm として計算したが、実大実験では、反力床のジャッキ固定点と柱脚基礎梁の固定位置との関係から、柱長を 320cm として実験したた。

表１０　供試ラーメン試験体一覧

呼称	部材種類	梁スパン L_b (cm)	柱長さ L_c (cm)	梁せい h_b (cm)	柱せい h_c (cm)	材幅 b (cm)
GLT1	ベイマツ集成材	409.5	320	28	26	15
GLT2	ベイマツ集成材	500.5	320	36	32	15
GLT3	ベイマツ集成材	591.5	320	41	37	15
LVL1	ベイマツLVL	409.5	320	28	26	15
LVL2	ベイマツLVL	500.5	320	36	32	15
LVL3	ベイマツLVL	591.5	320	41	37	15

図１４～図１６に最終的に決定された各試験体の詳細を示す。

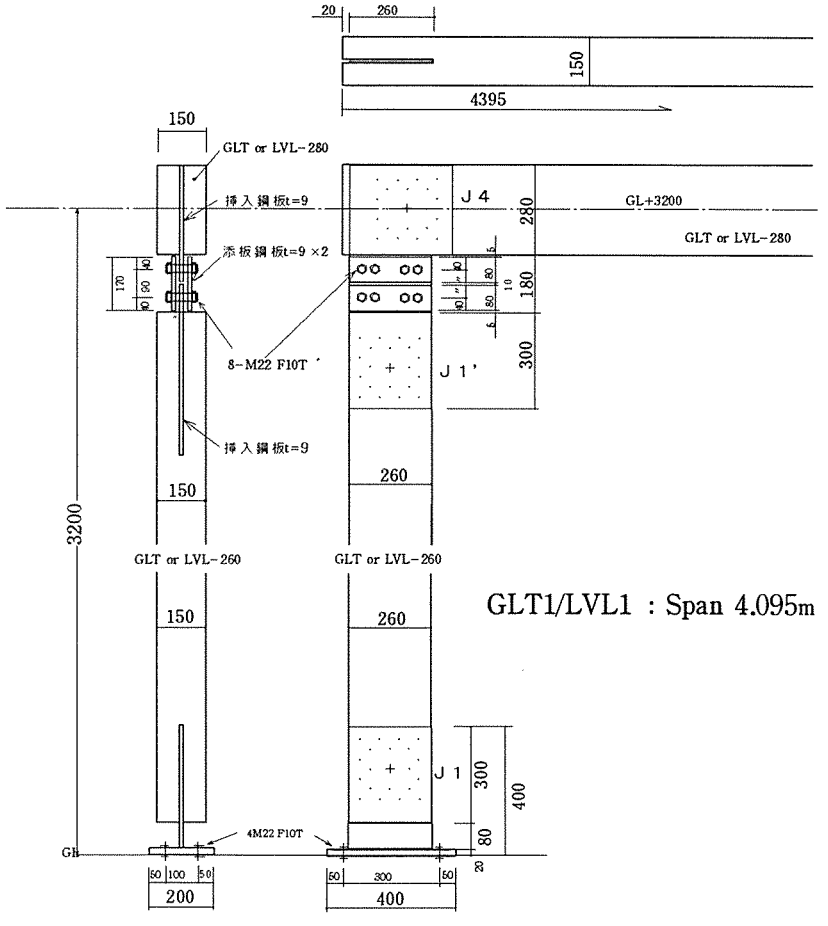


図１４　GLT1 および LVL1 試験体詳細

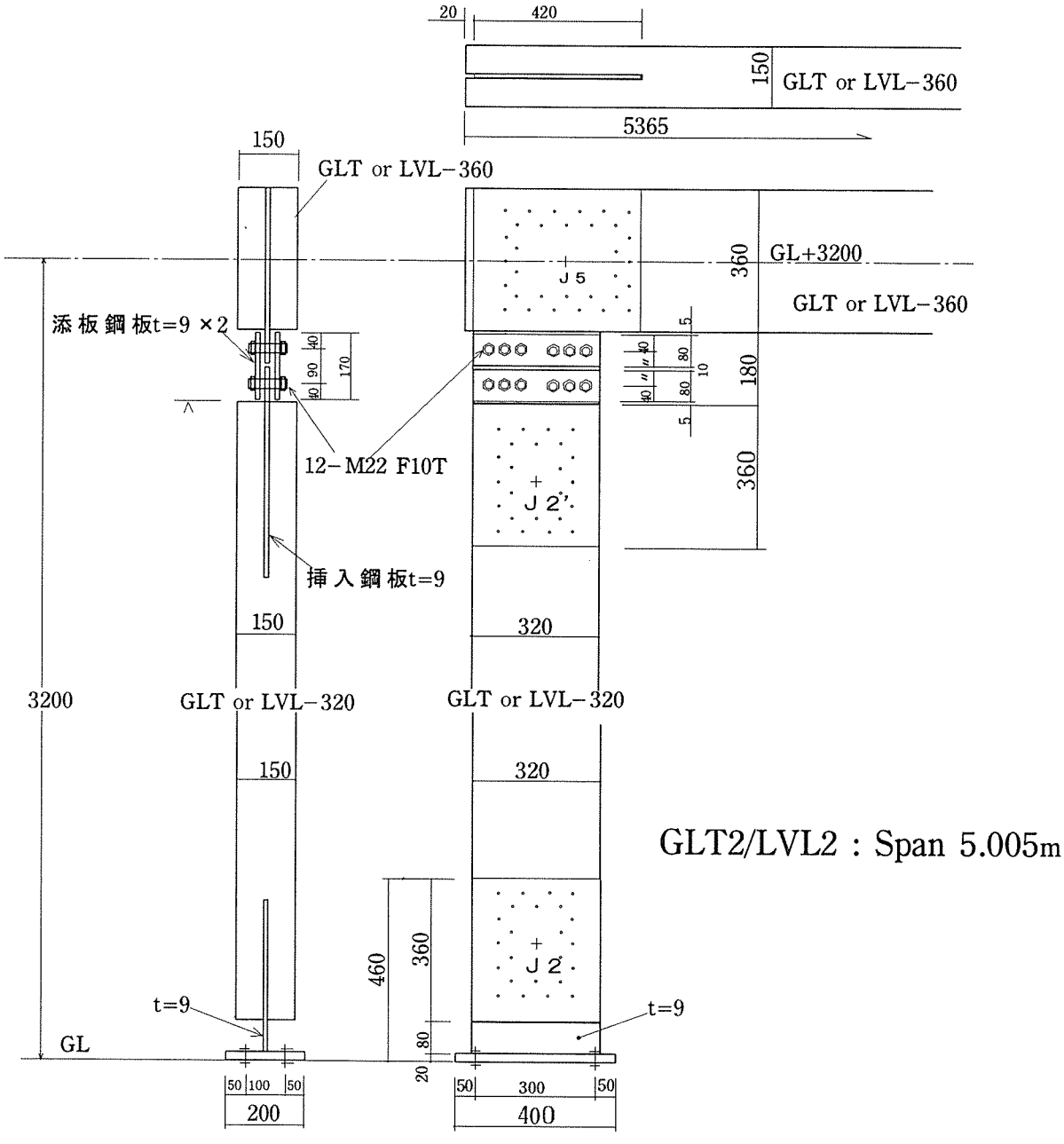


図１５　GLT2 および LVL2 試験体詳細

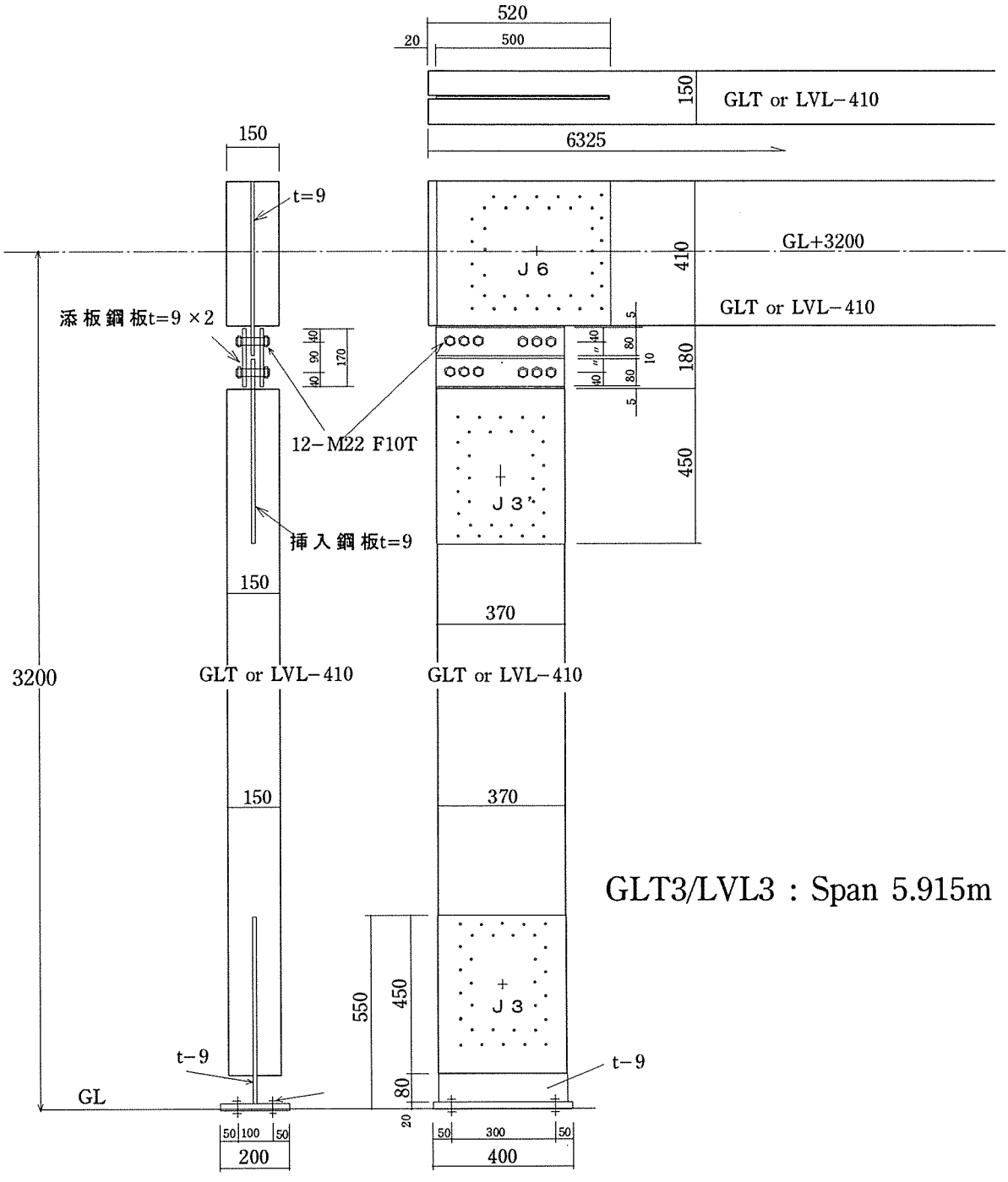


図１６　GLT3 および LVL3 試験体詳細

7.2 加力

7.2.1 加力システム

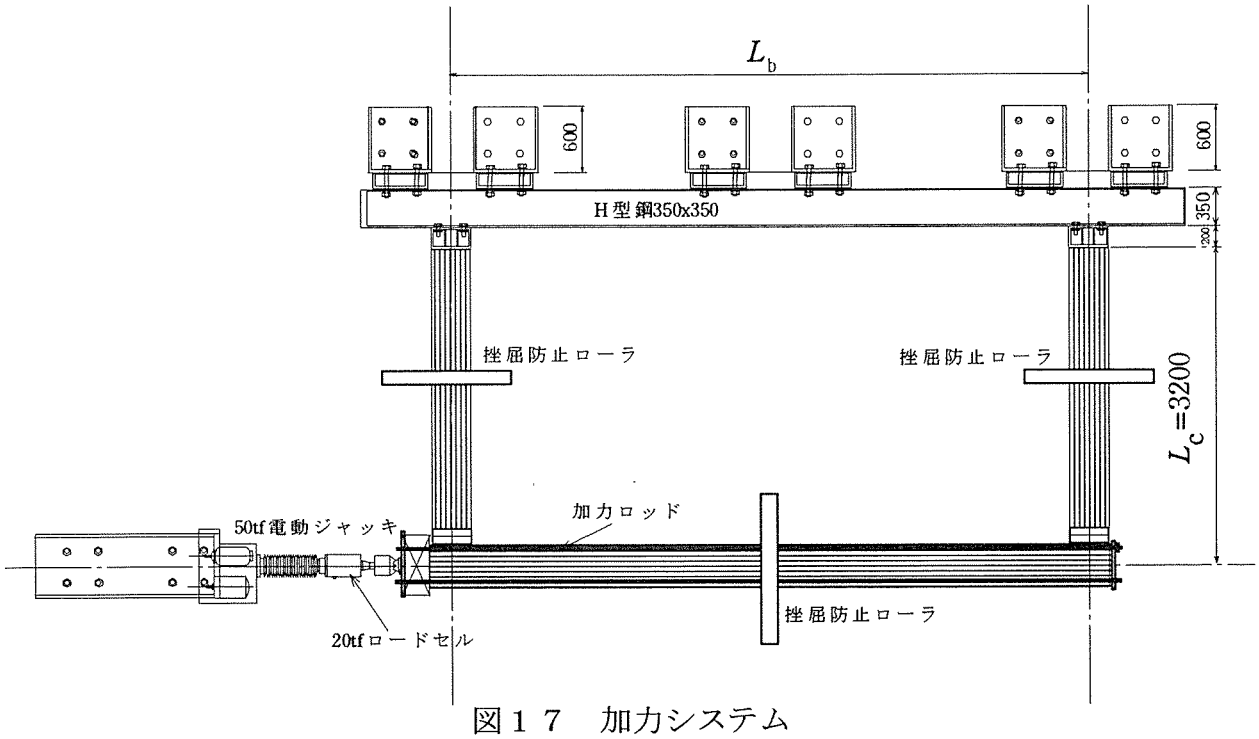


図１７　加力システム

反力床上にフラットワイズに設置された試験体と加力装置の関係を図１７に示す。全ての試験体は柱脚固定用H型鋼 350x350 に M22HTB で固定された。また、H型鋼は剛体回転をしないように、２ｍおきに６カ所で反力床に固定した。水平荷重は最大容量± 50tf の電動ジャッキにより与えた。また、試験体の局部挫屈を防止するために、柱および梁をローラーで拘束した。

7.2.2 加力スケジュール

加力は表１１に示すスケージュールに従って変位制御で行った。

表１１　電動ジャッキの加力スケジュール

```
1860  DATA  14,   :  REM ( 正負繰り返しのチェックポイント数
1870  '
1880  '-----------------------------------------------------------
1890  '        チェックポイント        変位制御値(mm)          備ﾗ
1900  '                                CHN%(001)の値
1910  '-----------------------------------------------------------
1920  'DATA          0,          +10.00   ,          : REM (1/30
1930  DATA          1,          -10.00   ,          : REM (1/30
1940  DATA          2,          +15.00   ,          : REM (1/20
1950  DATA          3,          -15.00   ,          : REM (1/20
1960  DATA          4,          +20.00   ,          : REM (1/15
1970  DATA          5,          -20.00   ,          : REM (1/15
1980  DATA          6,          +30.00   ,          : REM (1/10
1990  DATA          7,          -30.00   ,          : REM (1/10
2000  DATA          8,          +50.00   ,          : REM (1/60
2010  DATA          9,          -50.00   ,          : REM (1/60
2020  DATA         10,         +100.00   ,          : REM (1/30
2030  DATA         11,         -100.00   ,          : REM (1/30
2040  DATA         12,         +200.00   ,          : REM (1/15
2050  DATA         13,         -200.00   ,          : REM (1/15
2060  DATA         14,         +Max      ,          : REM (MAX
2070  '-----------------------------------------------------------
```

7.2.3 測定機器類のセッティング

図１８～１９に各試験体における測定機器類のセッティングを示す。

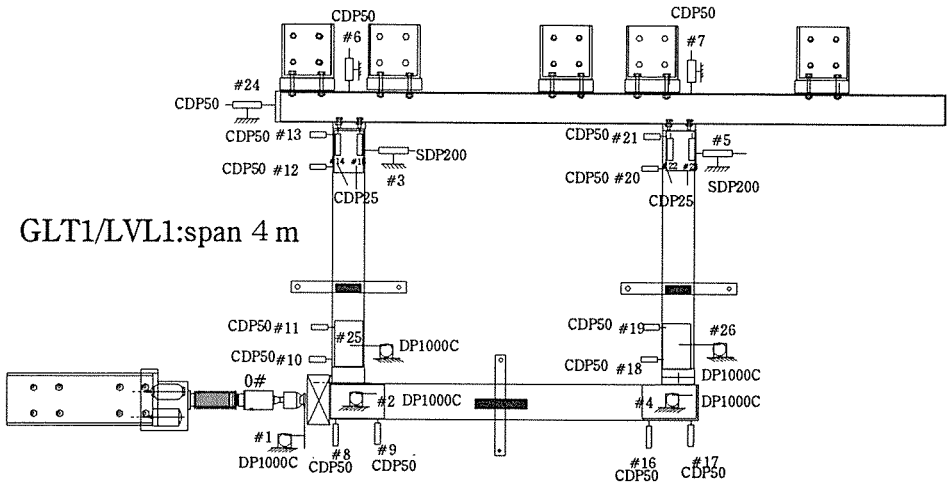


図１８　GLT1/LVL1 における測定機器類のセッティング

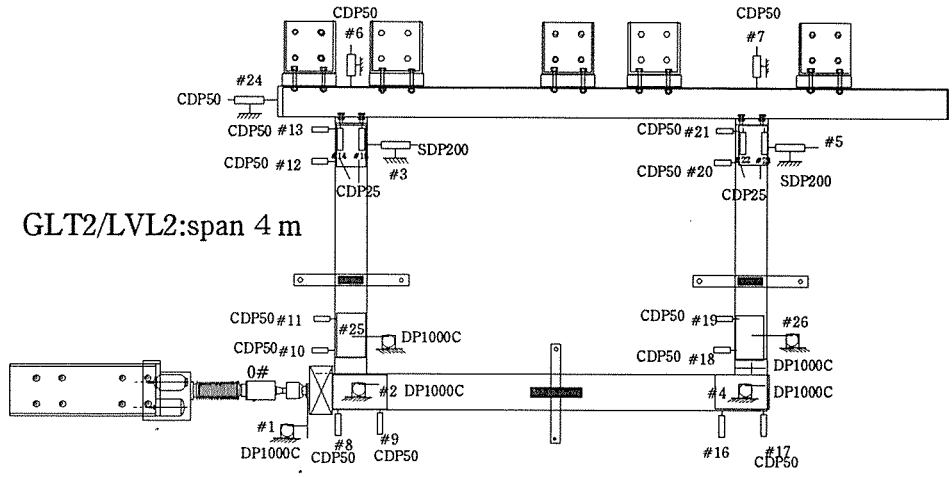


図１９　GLT2/LVL2 における測定機器類のセッティング

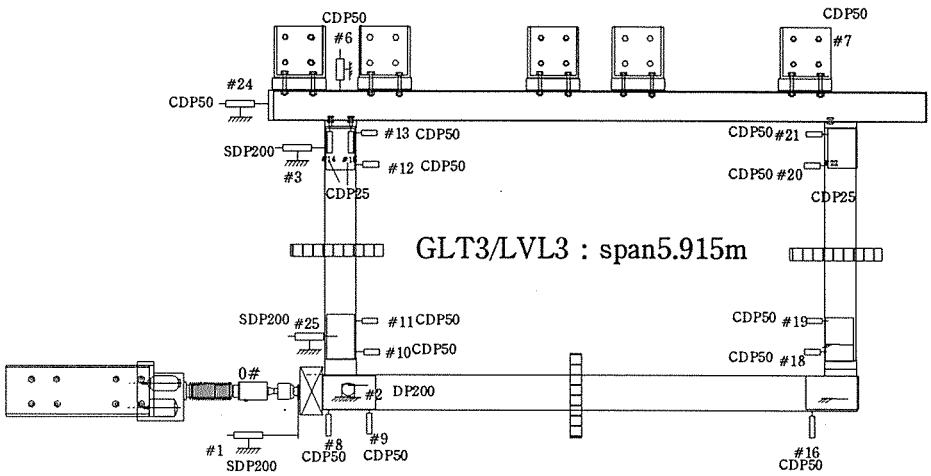


図２０　GLT3/LVL3 における測定機器類のセッティング

7.3　等価設計荷重 P_{EQ}

設計条件と実験条件では、想定した柱長さL_cが異なる上に、荷重条件が異なる（設計条件：水平荷重＋鉛直荷重、実験条件：水平荷重のみ）ことに起因して、接合部の応力状態が異なるため、図２１の説明図に示す「等価設計荷重 P_{EQ}」を定義する。

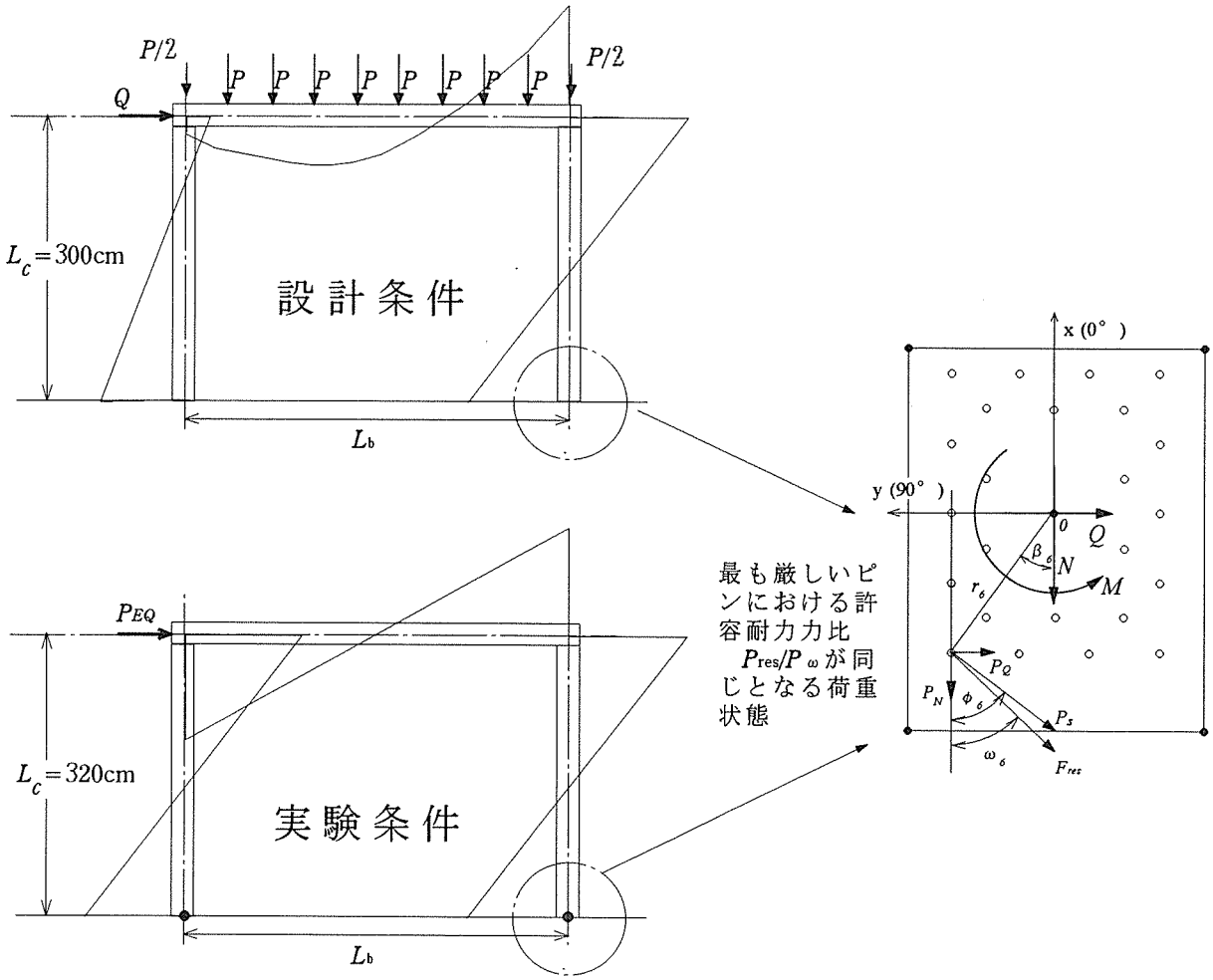


図２１　等価設計荷重 P_{EQ}の定義

表１１に設計荷重条件と実験荷重条件において最も厳しいピンに作用する荷重状態がほぼ同じとなる実験時の等価設計荷重 P_{EQ}を示す。

表１１　等価設計荷重 P_{EQ}

呼称	部材種類	梁スパン L_b (cm)	等価設計荷重 P_{EQ} (Kgf)
ＧＬＴ１	ベイマツ集成材	409.5	1294
ＧＬＴ２	ベイマツ集成材	500.5	1670
ＧＬＴ３	ベイマツ集成材	591.5	2114
ＬＶＬ１	ベイマツLVL	409.5	1294
ＬＶＬ２	ベイマツLVL	500.5	1670
ＬＶＬ３	ベイマツLVL	591.5	2114

7.4 実験結果

7.4.1 スパン 4.095m 試験体の荷重 P ー変形関係 δ

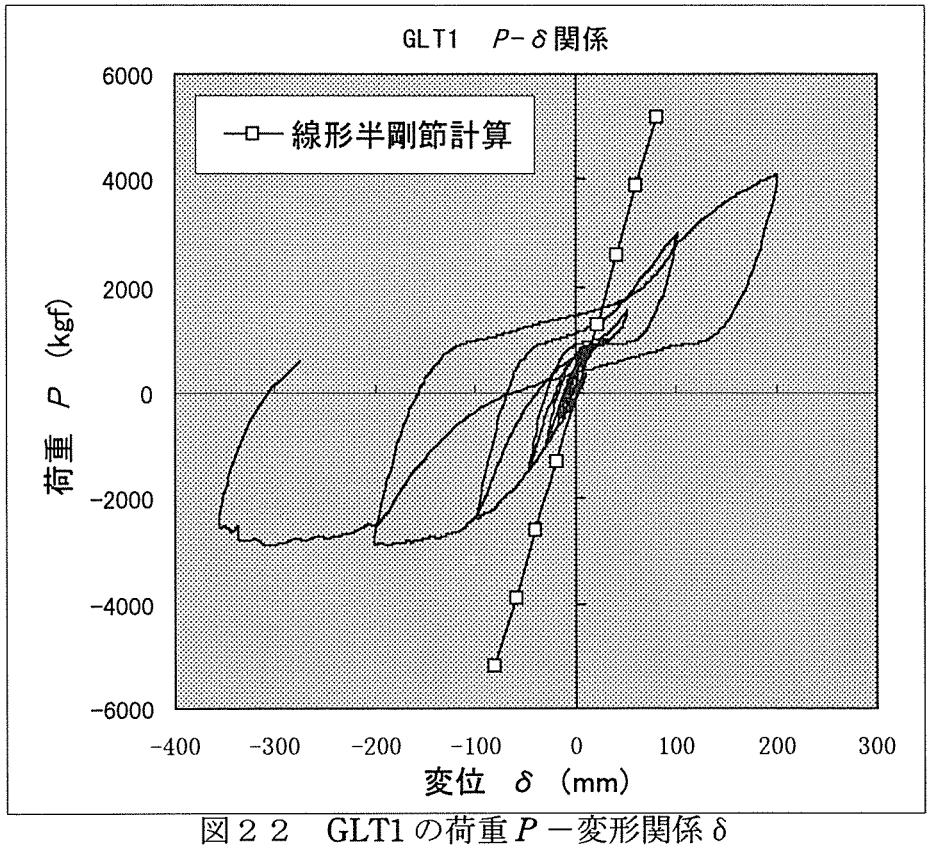


図２２　GLT1 の荷重 P ー変形関係 δ

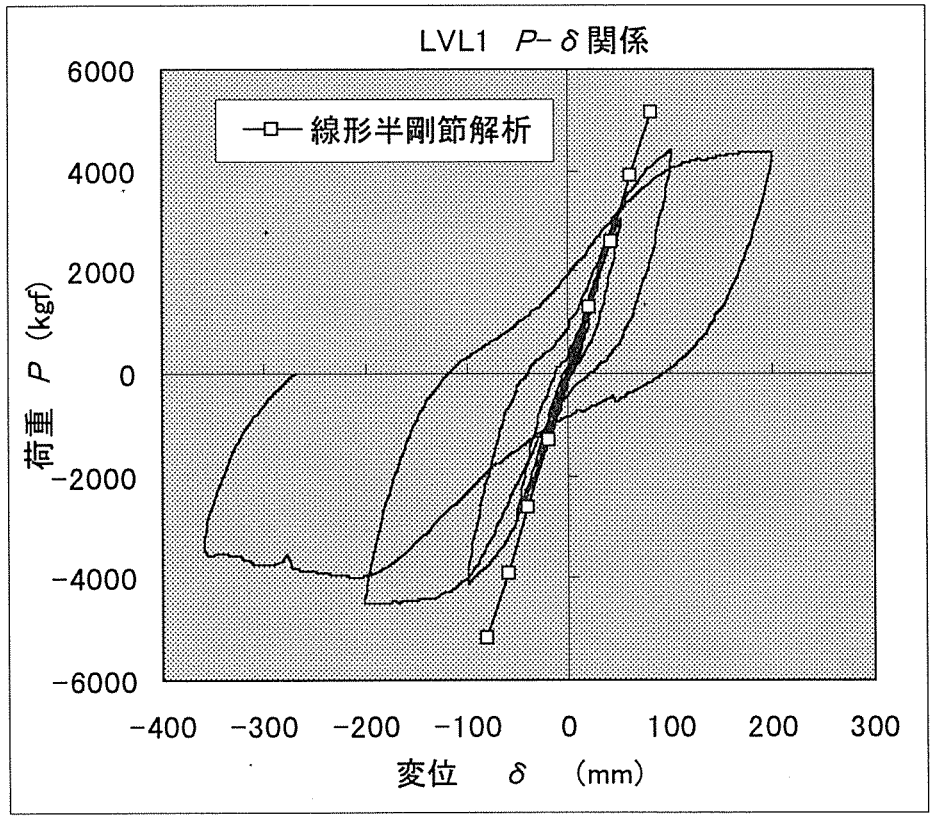


図２３　LVL1 の荷重 P ー変形関係 δ

7.4.2 スパン 5.005m 試験体の荷重 P －変形関係 δ

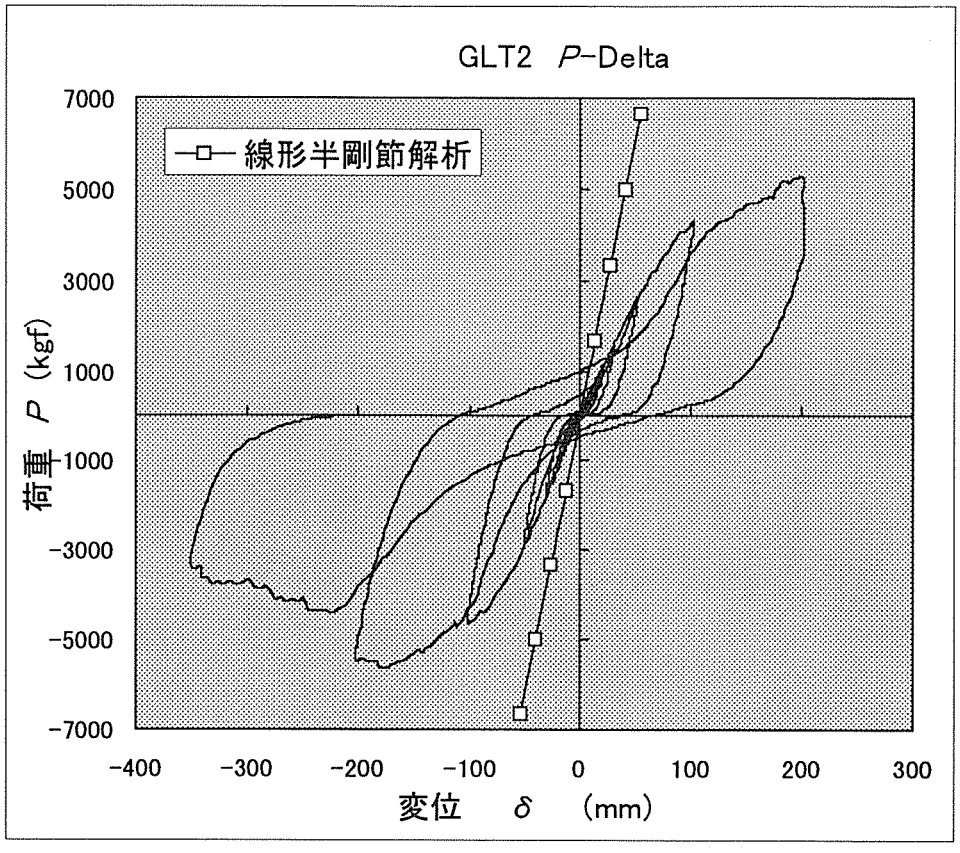


図２４　GLT2 の荷重 P －変形関係 δ

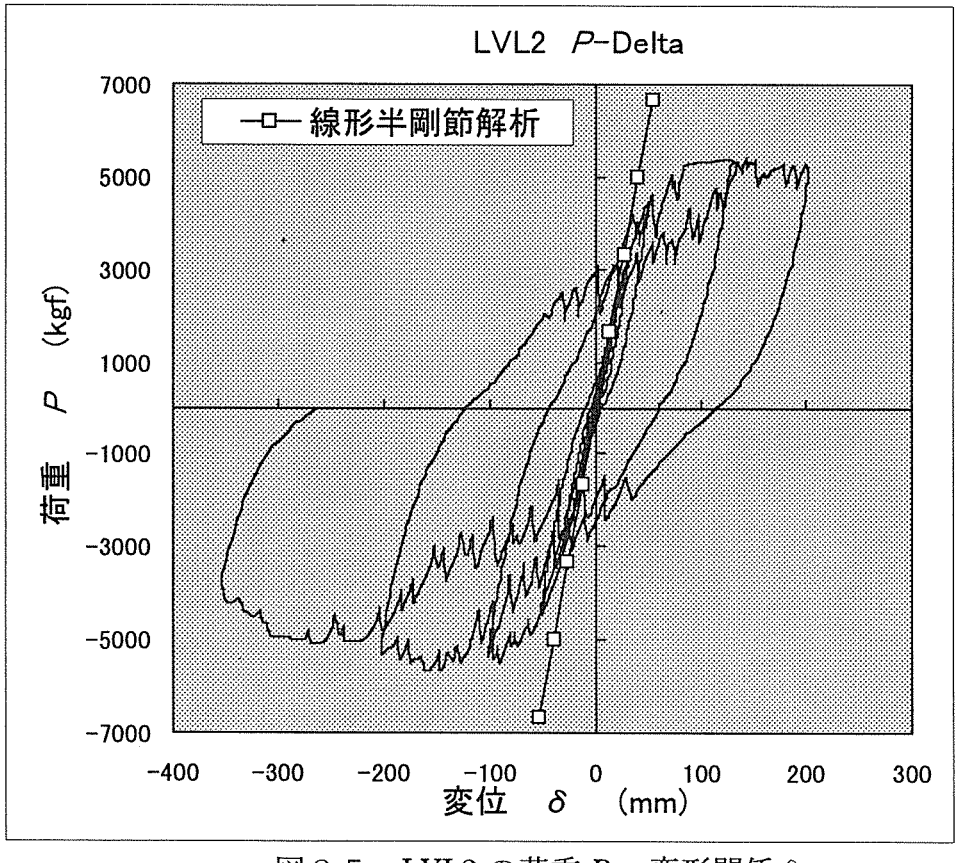


図２５　LVL2 の荷重 P －変形関係 δ

7.4.3 スパン 5.915m 試験体の荷重 P －変形関係 δ

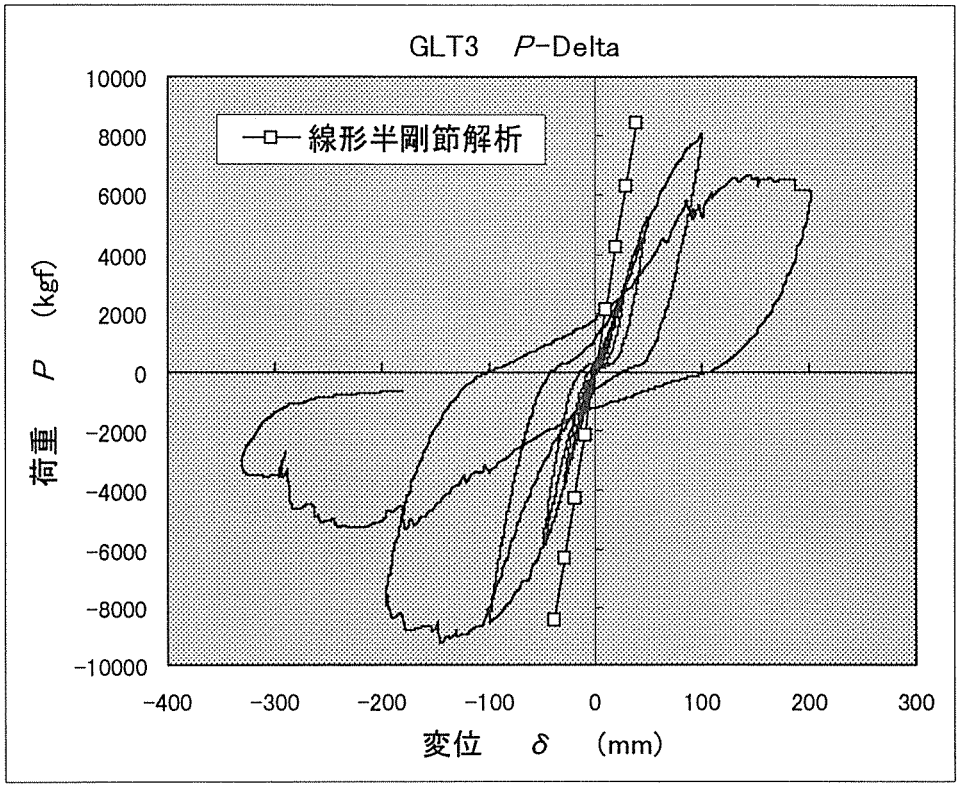


図２６　GLT3 の荷重 P －変形関係 δ

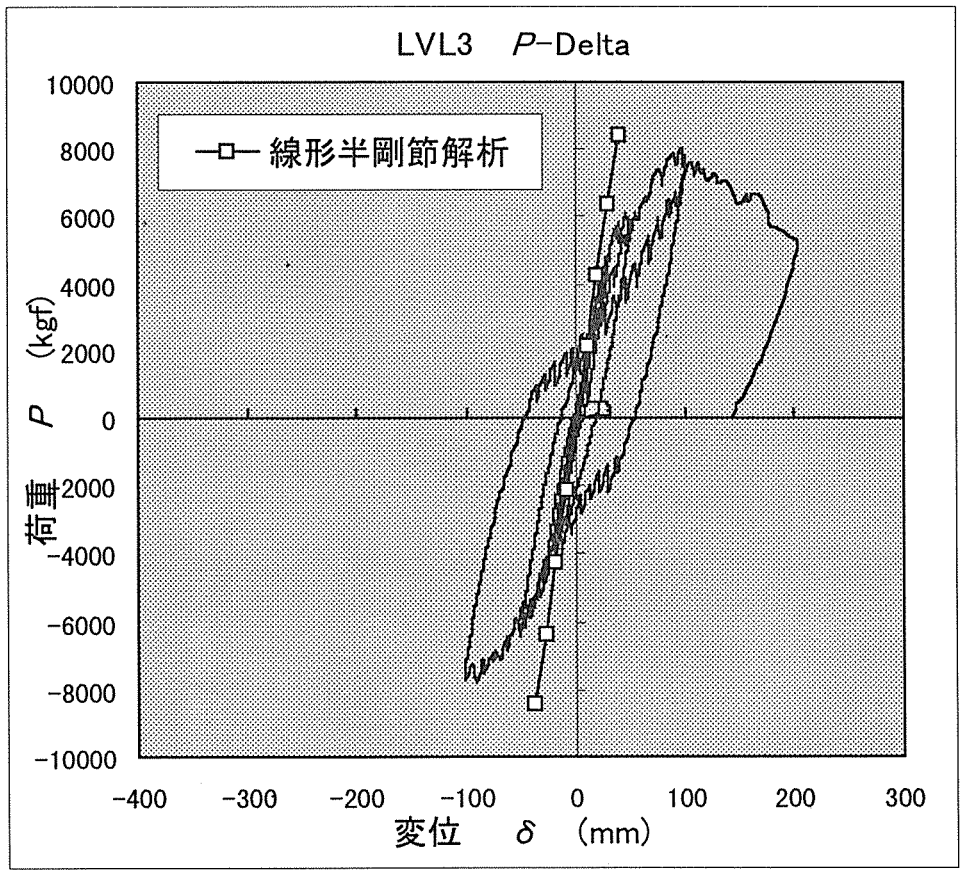


図２７　LVL3 の荷重 P －変形関係 δ

7.4.4 線形半剛節解析

図２２～２７において、実験結果との対比の意味で線形半剛節解析の結果（－□－プロット）を示した。この際用いた線形半剛節解析では、次式に示す〔節点荷重〕－〔節点変位〕関係式を有する「接合部質点バネ要素」を接合部に連結する部材要素と部材要素の間に挿入して FEM 計算を行った。

$$\begin{Bmatrix} M \\ Q \\ N \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} R_J & & \\ & S_J & \\ & & D_J \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta \\ v \\ u \end{Bmatrix}$$

図２８に FEM モデルの一例を示す。

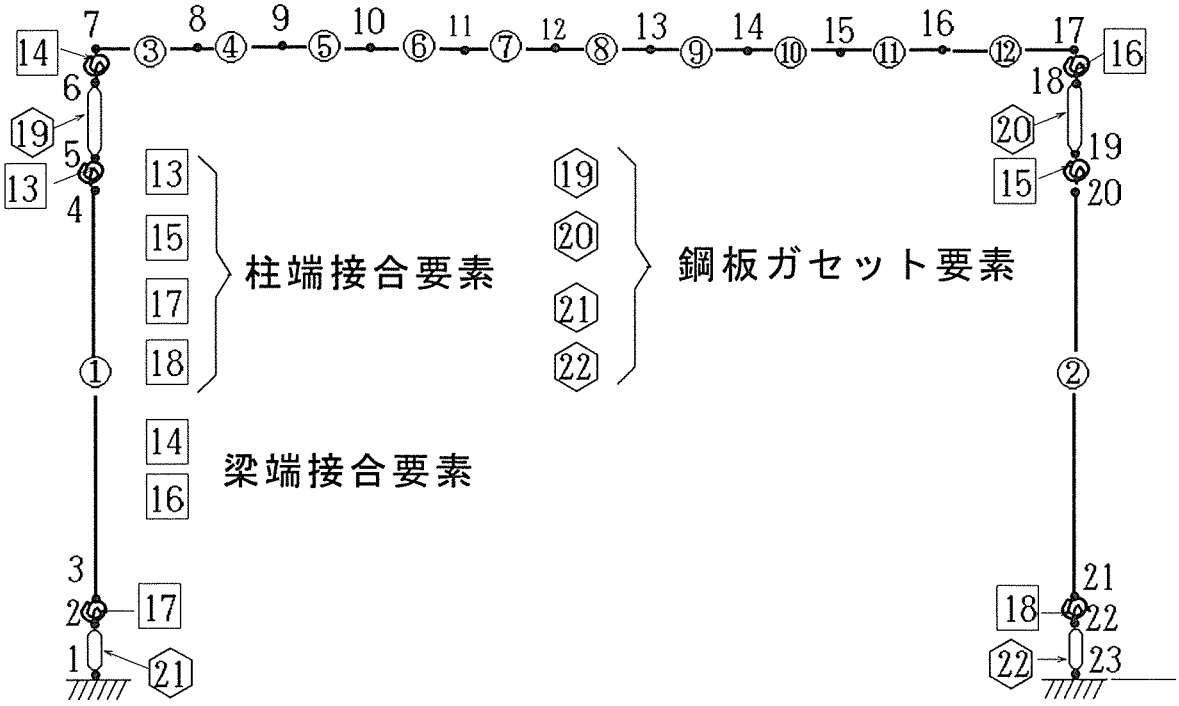


図２８　線形半剛節解析用 FEM モデルの例

接合要素のバネ常数である、回転剛性 R_J、せん断剛性 S_J、軸力剛性 D_J については、CASE−1 ～ CASE−3 のドリフトピン耐力照査表の表４～表９の下部に添付したデータを用いた。

図２２～図２７に示した実測 P− δ 関係と線形半剛節解析結果（－□－プロット）とを比較すると、集成材を用いた GLT1 ～ GLT3 においては、実測値の方が計算値よりかなり大きな変形量を示していることが分かる。

一方、GLT より比重の高い LVL の場合は、計算値と実測値はほぼ一致している。

接合要素の計算において想定した GLT のヤング係数は E=110tf/cm^2、密度は TD=500kg/m^3 で、実測値とほぼ同一のレベルであった。他方、LVL の実測ヤング係数や密度は付録に示すように、設計計算で想定した材料常数値（GLT と同じと想定）の約 1.2 倍程度であった。これらの状況から判断すると、本研究で採用した接合要素の剛性計算法は実際よりやや高めの剛性を与える傾向にあるのかもしれない。

7.5 安全率および塑性率等

表１２に今回実験した６体の実大ラーメン試験体で得られた安全率並びに塑性率等を示す。

表１２　ラーメン試験体の安全率、塑性率等

		GLT1	LVL1	GLT2	LVL2	GLT3	LVL3
(1)	$+P_{crit}$ (kgf)	3015	3840	3840	4495	6200	5830
	$+\delta_{Pcrit}$ (mm)	112	70	81	51	63	44
	$-P_{crit}$ (kgf)	−2300	−3950	−3695	−4465	−5840	−6200
	$-\delta_{Pcrit}$ (mm)	−91	−100	−65	−49	−49	−54
(2)	$+P_{EQ}$ (kgf)	1294	1294	1670	1670	2114	2114
	$+\delta_{PEQ}$ (mm)	40	18	30	13	20	11
	$-P_{EQ}$ (kgf)	−1294	−1294	−1670	−1670	−2114	−2114
	$-\delta_{PEQ}$ (mm)	−40	−18	−28	−14	−17	−11
(3)	$+P_{max}$ (kgf)	4100	4425	5305	5465	8110	8040
	$+\delta_{Pmax}$ (mm)	200	102	199	141	99	98
	$-P_{max}$ (kgf)	−2885	−4500	−5650	−5700	−9185	−7885
	$-\delta_{Pmax}$ (mm)	−328	−194	−175	−145	−146	−91
(4)	$+\delta_{\mu}$ (mm)	200	200	214	200	135	146
	決定要因	δ_{max}	δ_{max}	δ_{max}	δ_{max}	$0.8P_{max}$*	$0.8P_{max}$*
	$-\delta_{\mu}$ (mm)	−328	−320	−197	−323	−199	−102
	決定要因	δ_{Pmax}	$0.8P_{max}$*	$0.8P_{max}$*	$0.8P_{max}$*	$0.8P_{max}$*	$-\delta$max
(5)	$+\delta_{max}$	200	200	214	200	200	203
	$-\delta_{max}$	−356	−359	−348	−351	−331	−102
(6)	$+\mu=+(\delta_{\mu}/\delta_{PEQ})$	200/40 =5.00	200/18 =11.11	214/30 =7.13	200/13 =15.38	135/20 =6.75	146/11 =13.27
	$-\mu=-(\delta_{\mu}/\delta_{PEQ})$	328/40 =8.20	320/18 =17.78	197/28 =7.04	323/13 =24.85	199/17 =11.71	102/11 =9.27
(7)	$+\alpha=+(P_{max}/P_{EQ})$	4100/1294 =3.17	4425/1294 =3.42	5305/1670 =3.18	5465/1670 =3.27	8110/2114 =3.84	8040/2114 =3.80
	$-\alpha=-(P_{max}/P_{EQ})$	2885/1294 =2.23	4500/1294 =3.48	5650/1670 =3.38	5700/1670 =3.41	9185/2114 =4.34	7885/2114 =3.73

(1)：接合部のドリフトピン近傍から最初にクラックが発生した荷重
(2)：等価設計荷重時
(3)：最大荷重時
(4)：塑性率決定用変位の定義
(5)：最大変形時
(6)：塑性率
(7)：安全率
*：設計法委員会WGの村上先生の提案による

7.6 終局状態

以下に各試験体の終局状態の写真を示す。

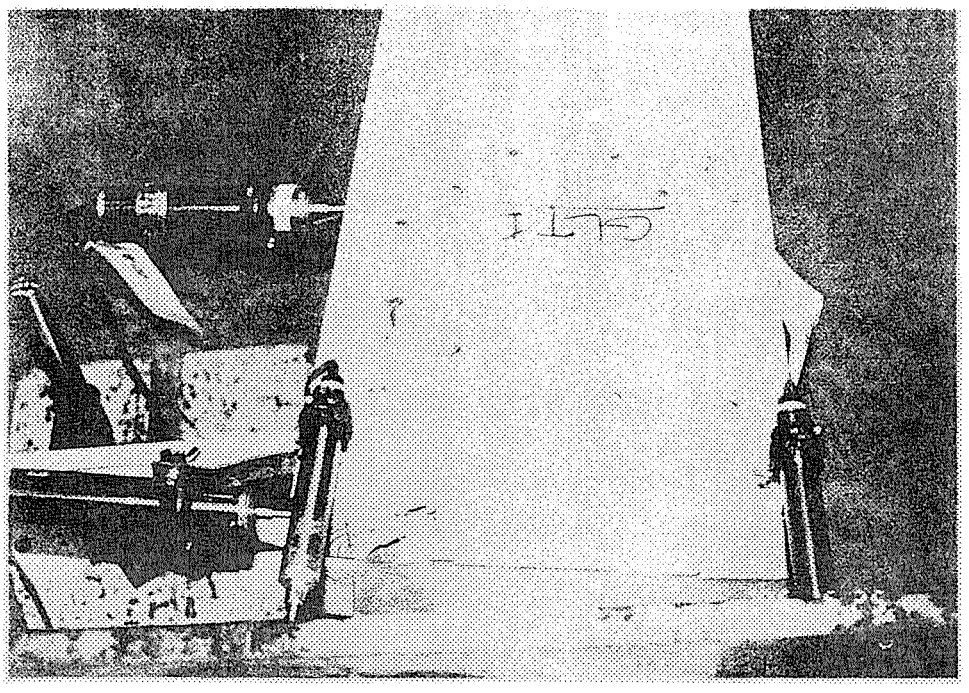


写真１　GLT1 柱脚接合部

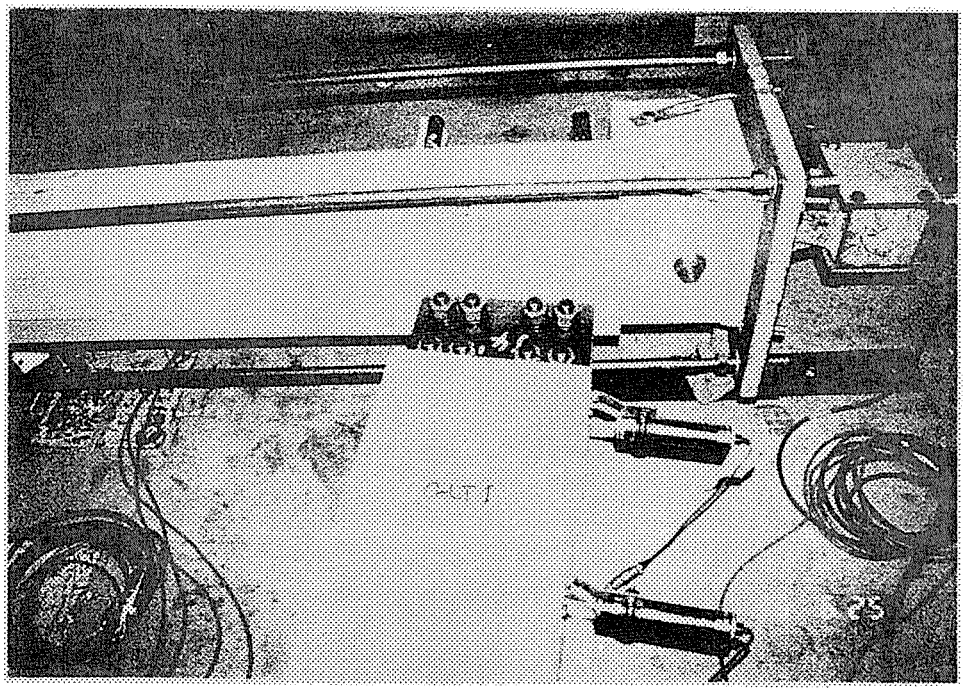


写真２　GLT1 梁端接合部

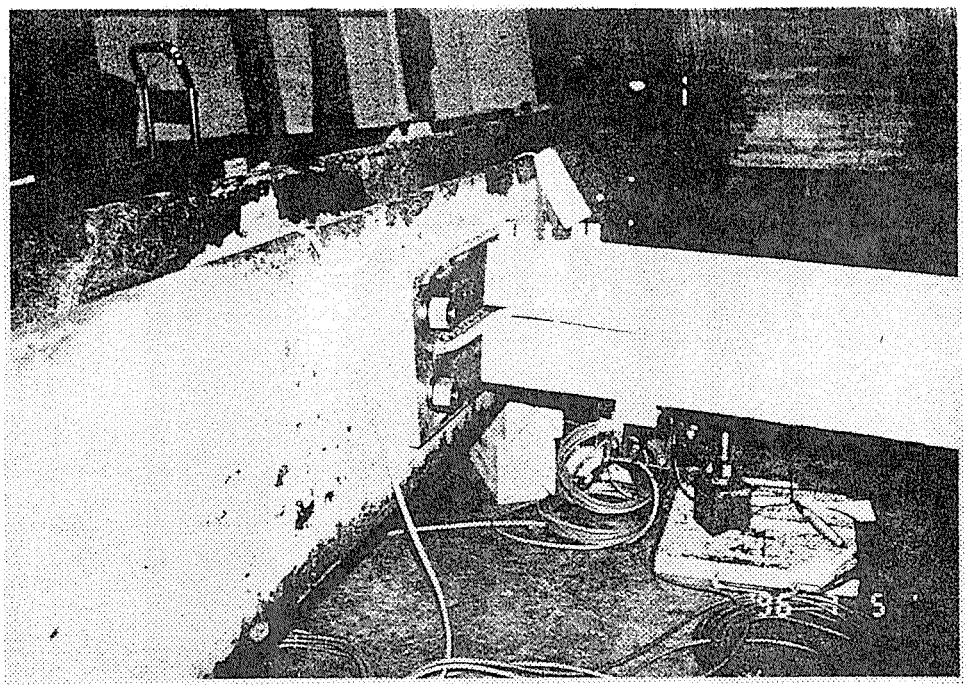


写真３　LVL1 柱脚接合部

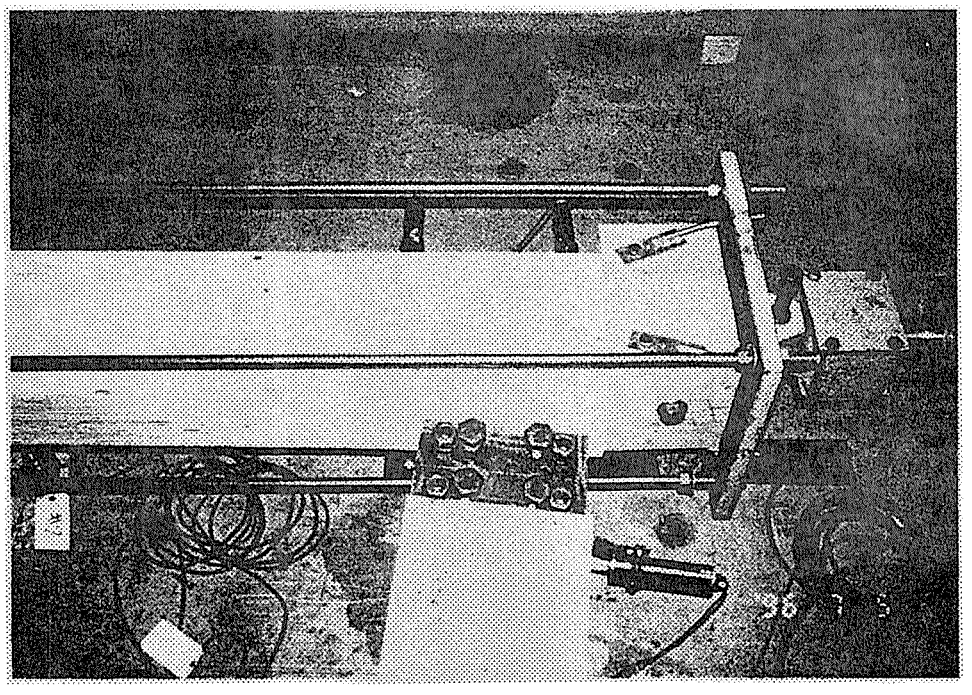


写真４　LVL1 梁端接合部

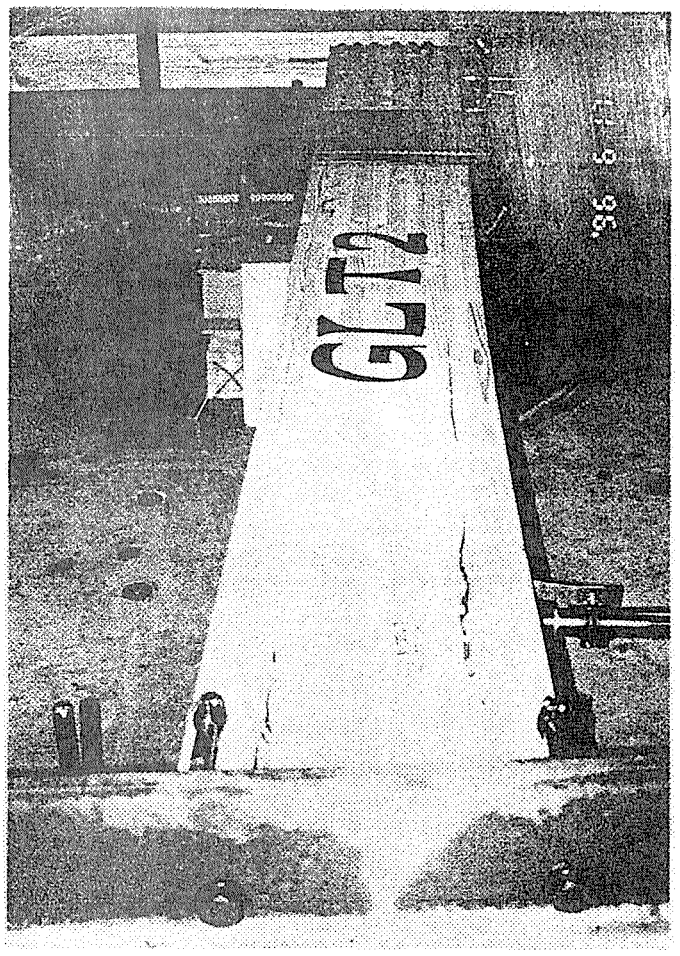


写真5　GLT2 柱脚接合部

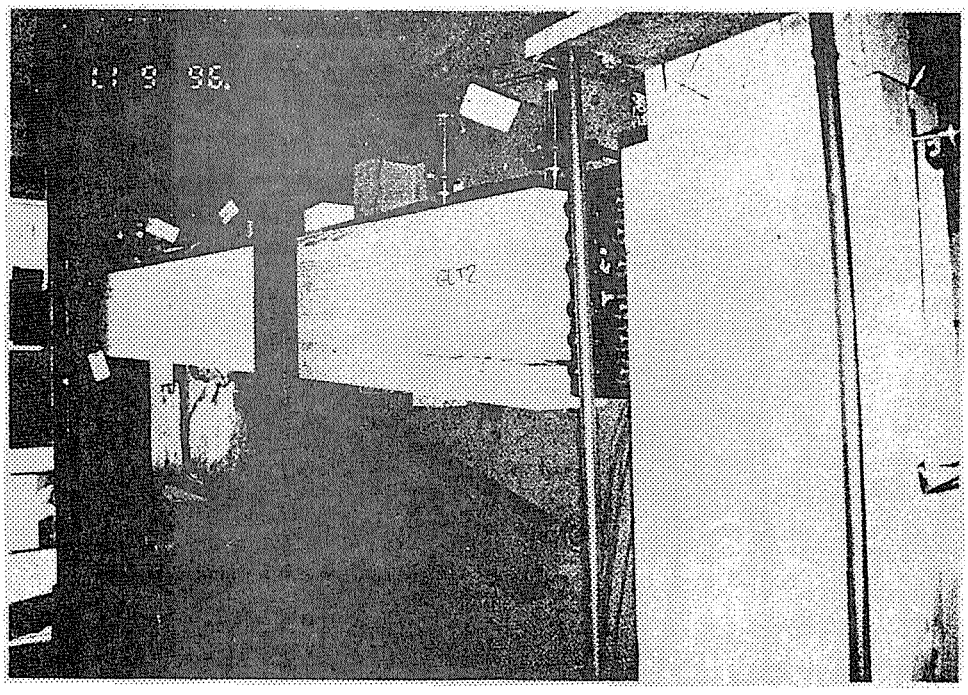


写真6　GLT2 梁端接合部

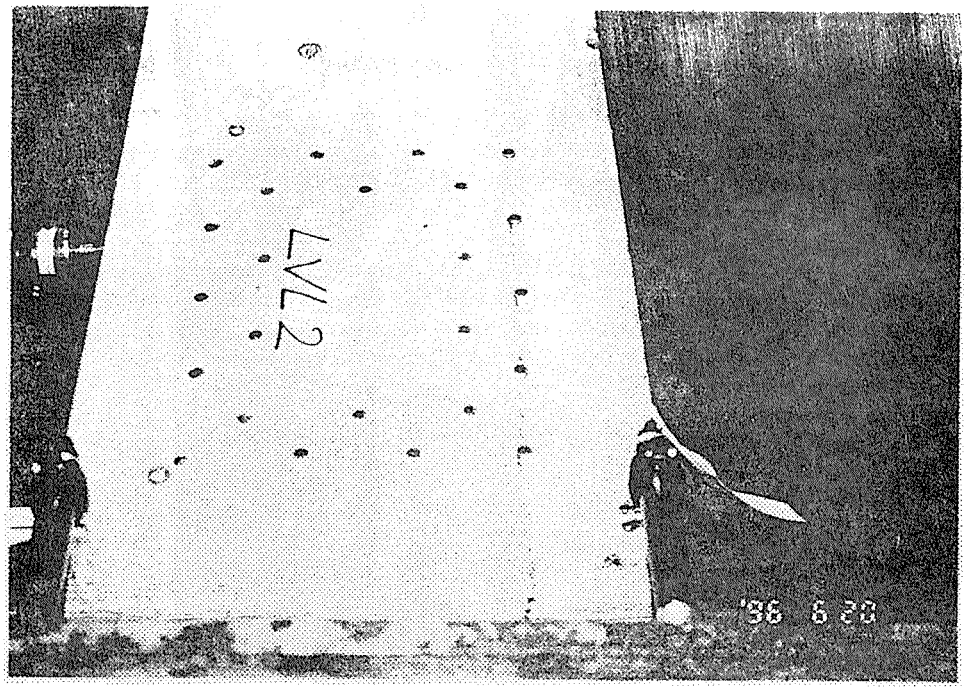


写真７ LVL2 柱脚接合部

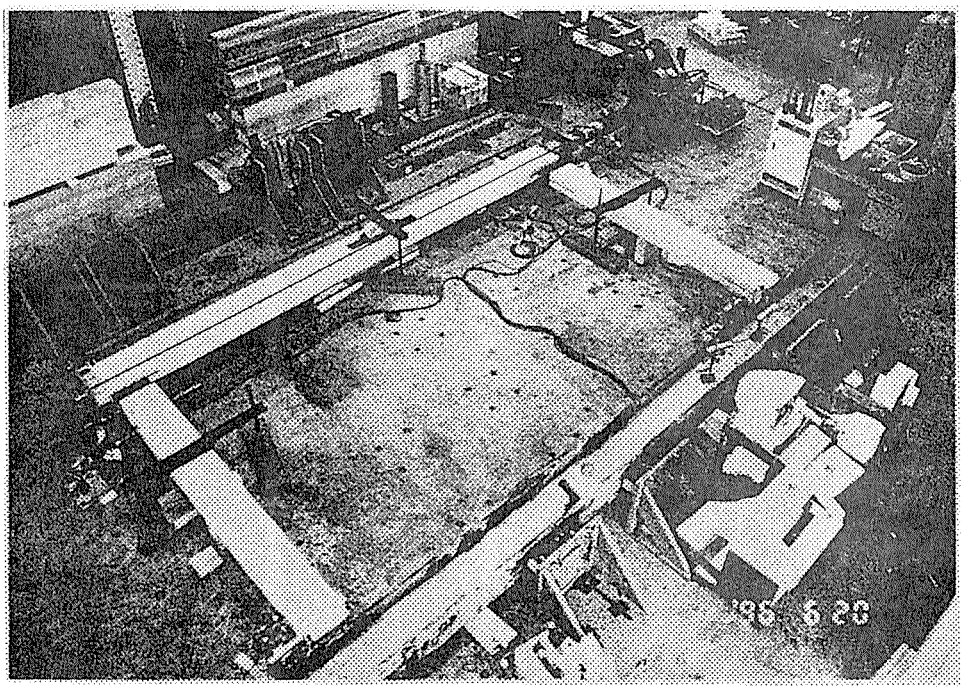


写真８ LVL2 梁端接合部

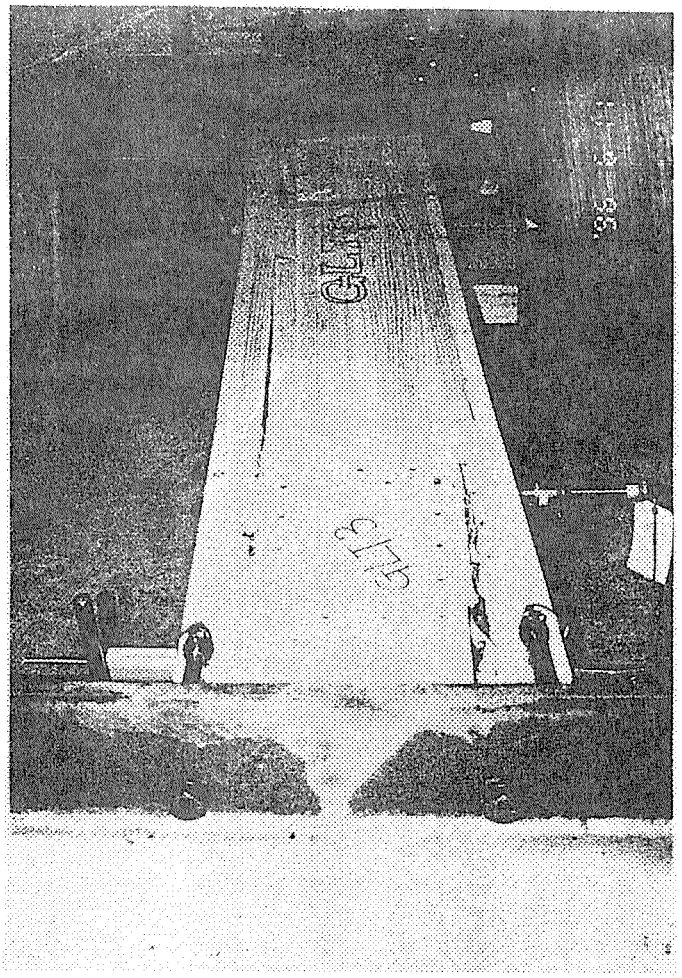


写真９ GLT3 柱脚接合部

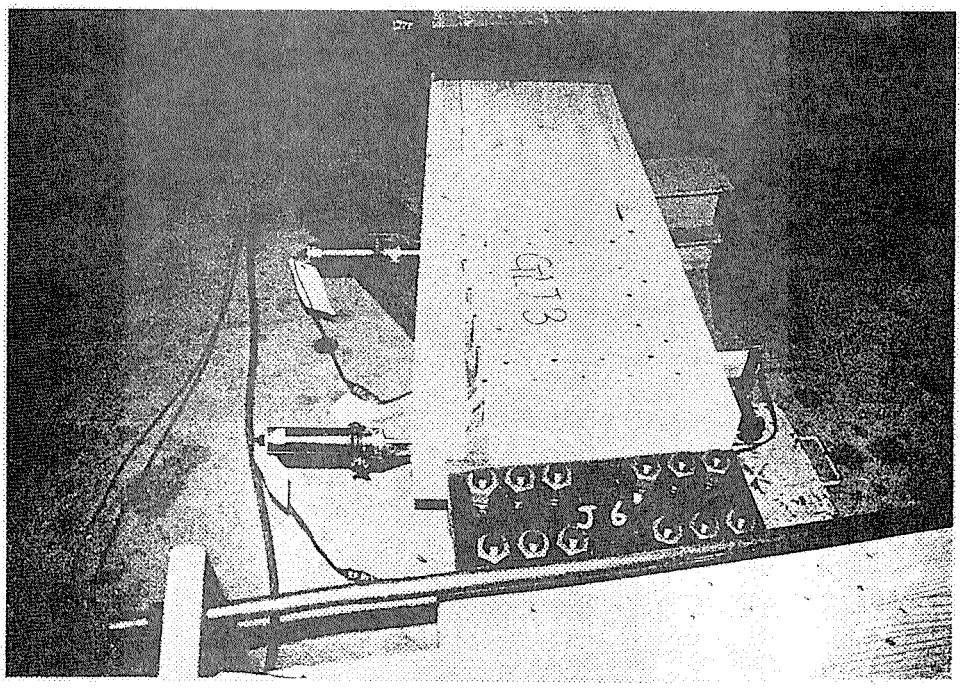


写真１０ GLT3 梁端接合部

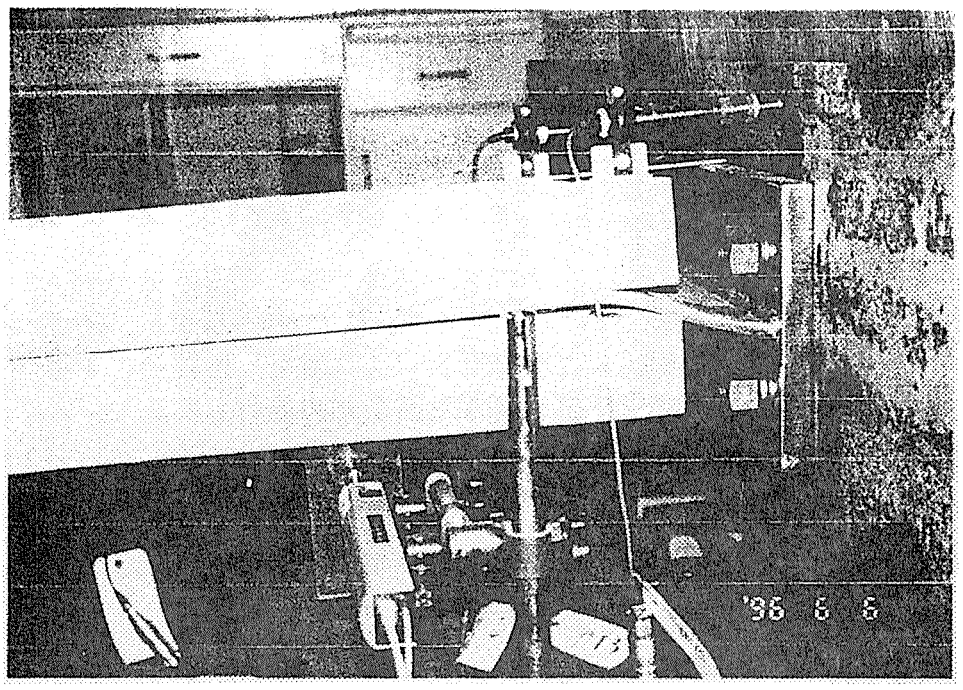


写真１１ LVL3 柱脚接合部

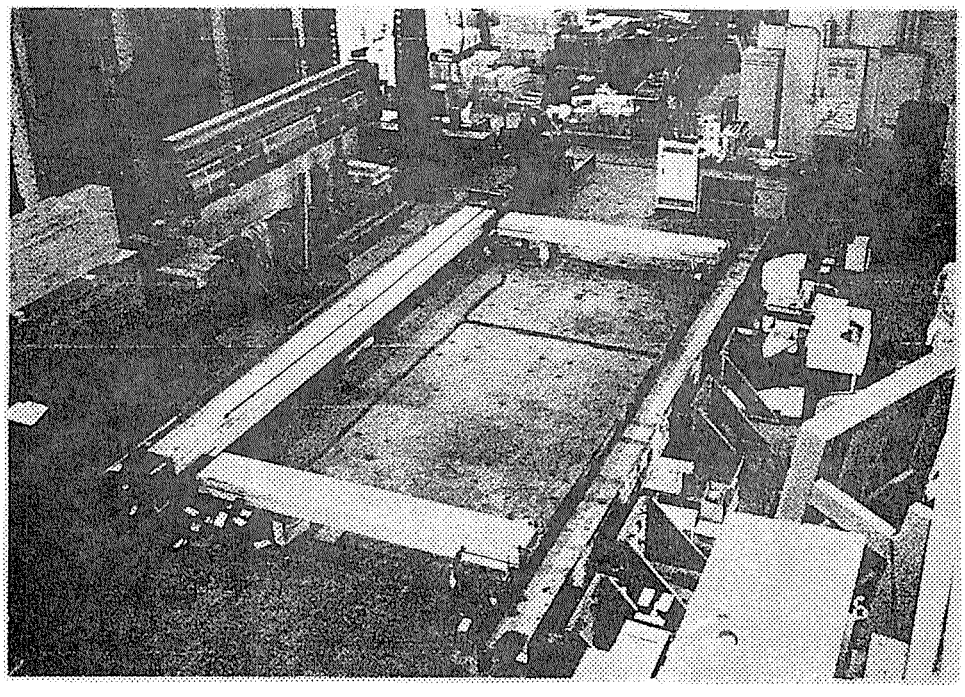


写真１２ LVL3 梁端接合部

8. まとめ

木造軸組構法住宅は、軸組で構成される耐力壁の平面的、立体的な配置の量とバランスで耐震性能が決定される。そのため、１階の道路に面した壁を全面開口としがちな店舗付き住宅では、大きな地震の度に甚大な被害が発生してきた。

本研究の目的は、このような店舗付き軸組木造住宅（３階建て）を大地震に対しても十分な安全率と塑性率をもって設計できるように、１階部分を１方向ラーメン架構、２階、３階部分を従来からの軸組構法住宅とするような住宅を想定して、ラーメン架構の構造計算法について検討を加えた。

得られた結果は以下のように要約できる。

１．荷重負担幅 B=182cm、階高さ 300cm、スパン L_b =409.5cm、 500.5cm、 591.5cm の３条件について、地震を想定した構造計算（１次設計）を行い、１層門型ラーメンの部材断面、柱脚接合部、梁端部接合部等を許容耐力設計した。

２．部材として、ヤング係数 E=110tf/cm ^{2} のベイマツ集成材およびベイマツ LVL を想定し、全ての設計を行った。

３．梁の断面は２階、３階の固定荷重によるたわみ制限で決定された。

４．柱の断面は梁断面の 0.9 倍程度として決定した。

５．接合部には鋼板挿入ドリフトピン接合法を採用し、ドリフトピンの短期許容耐力として、 EYT 式で求められる降伏耐力を充当した。これは、十分な靭性を確保することが狙いである。

６．階高さを 320cm とした実大１層門型ラーメン試験体を、想定した３スパン条件について、ベイマツ集成材（ GLT ）、およびベイマツ LVL （ LVL ）で各１体づつ制作した。

７．静的正負繰り返し加力実験を行った。実験条件において最も厳しい力が作用するドリフトピンの許容耐力比 F_{res}/P_{ω} と、設計条件におけるその比が同じとなるような水平荷重を「等価設計荷重 P_{EQ}」と定義し、安全率 α 、塑性率 μ 等はこの荷重を基に評価した。

８．実験結果と線形半剛節解析の結果を対比した結果、接合部の剛性値は実際よりやや高めに算定されていたように思えた。

９．実大門型ラーメン試験体の安全率（最大荷重／短期等価設計荷重）は 3.17 ～ 4.34 程度で、ほぼ妥当な水準であった。

１０．実大門型ラーメン試験体の塑性率（塑性変位／短期等価設計荷重時変位）は 5.00 ～ 24.85 程度で、非常に大きな値であった。しかし、塑性の定義自体が曖昧であるため、今後の更なる検討が必要である。

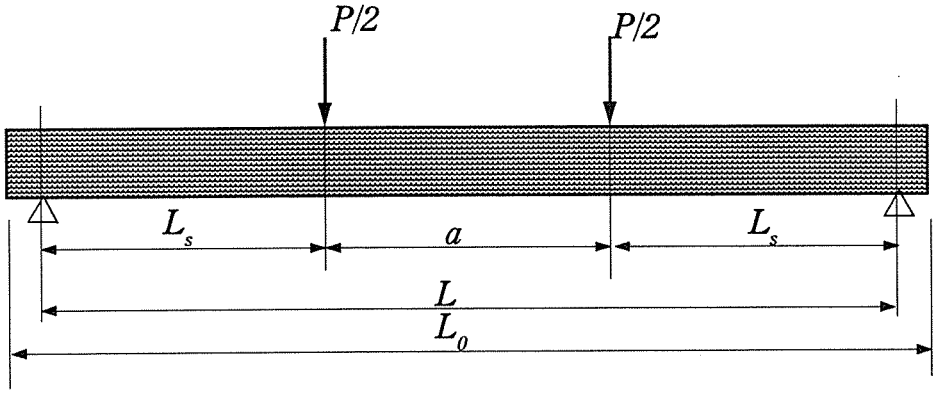
１１．等価設計荷重時の層間変形角の制限値を越えた試験体が１体存在した（ GLT1 ）。しかし、この試験体に関する荷重－変形データは異常な形態をしており、実験に際し、何らかの不具合があったものと考えられる。

１２．以上を総括すると、今回設計・供試した門型ラーメン試験体は剛性、強度、靭性のいずれにおいても、一定以上の性能が発揮されたと判断できる。

（文責：小松幸平、軽部正彦）

A.1 供試材料の曲げ強度性能

殆ど破損しなかった各試験体の梁部材について、図Ａ１に示す４点曲げ試験を行い、曲げヤング係数Ｅと曲げ破壊係数MoRを測定した。



図Ａ１　曲げ試験の方法と寸法の定義

表A1に結果の一覧を示す。

表A1　曲げ試験結果一覧

試験体	L_0 (cm)	L (cm)	h (cm)	L_s (cm)	a (cm)	L_s/h	a/h	L/h	L_s/a
GLT1	439.5	392	28	138	116	4.93	4.14	14.00	1.19
LVL1	439.5	392	28	138	116	4.93	4.14	14.00	1.19
GLT2	536.5	494	36	180	134	5.00	3.72	13.72	1.34
LVL2	536.5	494	36	180	134	5.00	3.72	13.72	1.34
GLT3	632.5	590	41	205	180	5.00	4.39	14.39	1.14
LVL3	632.5	590	41	205	180	5.00	4.39	14.39	1.14

試験体	TD (kg/m^3)	E (kgf/cm^2)	MoR (kgf/cm^2)
GLT1	540	97	412
LVL1	638	97	487
GLT2	522	138	312
LVL2	613	138	490
GLT3	513	140	339
LVL3	604	140	463