

オープン部品としての鉄骨造柱・梁システム

——その接合部の耐力実験と考察——

内 田 祥 哉
坂 本 功
松 木 一 浩
松 本 信 二

§ 1 はじめに

本研究は、オープン部品としての軸組鉄骨造柱・梁システムの構造耐力、施工性、量産化の可能性などについて検討を行うことを目的としている。

このオープン部品としての軸組鉄骨造柱・梁システムは、東京大学内田研究室で行なわれている一連のシステムビルディングのプロジェクトであるGUP計画の6番目（1970年）の中で提案されたものである。

このシステムにおける柱・梁の接合部は、鉄製部品のかみ合わせとモルタルのグラウトによって構成されている。ここで報告する初年度の研究では、このような接合メカニズムの力学的挙動、すなわち、破壊性状と最大耐力の絶対値を調べることによって、その強度とねばりを知ることを目的とした。そのために、接合部を含む実物大部分模型を試作し、特に、はり端部の曲げ耐力に焦点をしばった実験を行った。

§ 2 GUP 6 の設計概要

2-1 全体のシステムの考え方

この計画では、住宅をひとつのトータルシステムと考えたときに、その共通項となるいくつかのサブシステムの設計をテーマとしている。そのサブシステムとは

- GSSS (GUP STEEL SKELETON SYSTEM) 骨組システム
- GPWS (GUP PELIMETER WALL SYSTEM) 外壁システム
- GICS (GUP INTERIOR COMPONENTS SYSTEM) 内装システム

の3つである。

これらのそれぞれのサブシステムを構成する部品は、相互に特別な結びつきがあるわけではなく、全く独立したオープンな部品で、それぞれが既存のものと共に共存しうるだけでなく、寄り集まれば、トータルなひとつのシステムを作ることができるように意図されている。

2-2 GUP 6 の柱・梁システム (GSSS)

どんな間取りにも使え、床・屋根回り、壁などはどんなものでも取り付けられる、というオープンシステムの理想から云うと、骨組は、柱・梁だけで安定した架構を作り、床・壁・天井などはすべて積載荷重と考えてもそれらを支えることができるものであること、また、どんなB・E構成材でも取り付けられるよう、接合部の待受け方は広い範囲の相手を予想することが要求される。

以上の主旨に従って、このシステムは、純ラーメンの柱・梁を作り、あらゆるB・E構成材が取り付けられ、かつ、2階建以下であれば、あらゆる間取りに対応できる強度をもつよう設計されている。

モジュラーコーディネーションとしては、B・E構成材の納まるB・Eグリッドの他に、ダブルグリッドを設け、ここに柱・梁を納めて、相互に干渉しない方式をとっている。スパンは、90, 180, 270, 360 cmである。

この骨組システムでは、階高を一定にし、スパンも90 cmとびにしており、柱・梁も断面を一種に絞っているために、部品の数は極度に少ない。柱は既製の角パイプを用いることができ、大梁はコールドフォーミングによる製作が可能である。接合金物は、鉄の押出材とすることが意図されている。

このシステムでは、個々の部品の重さが、人手で扱える程度なので、大がかりな機械を用いることなく組立てができる。また、接合方法も、順次載せてグラウティングという簡単な方法であるので、手間、時間共に少なく済み、かつ、逃げが多い上に剛な接合が可能である。

柱・梁の接合は、図-1のようになっている。

- 柱せき板（底板）は、柱の切れ目に載せるだけ。
- 接合金物も、柱の切れ目にさし込むだけで位置が定まる。
- 大梁は、グラウティングで位置を固定するために、位置に逃げがある。従って、治具などを工夫して、位置をきめるべきである。
- せき板は、柱・梁接合金物の、梁のない面に内側からあてるだけ。
- グラウティングは、要所に発泡スチロールなどのパッキングを入れればすべてセルフフォーミングになっていて、流し込むだけでよい。ただし、硬化の早

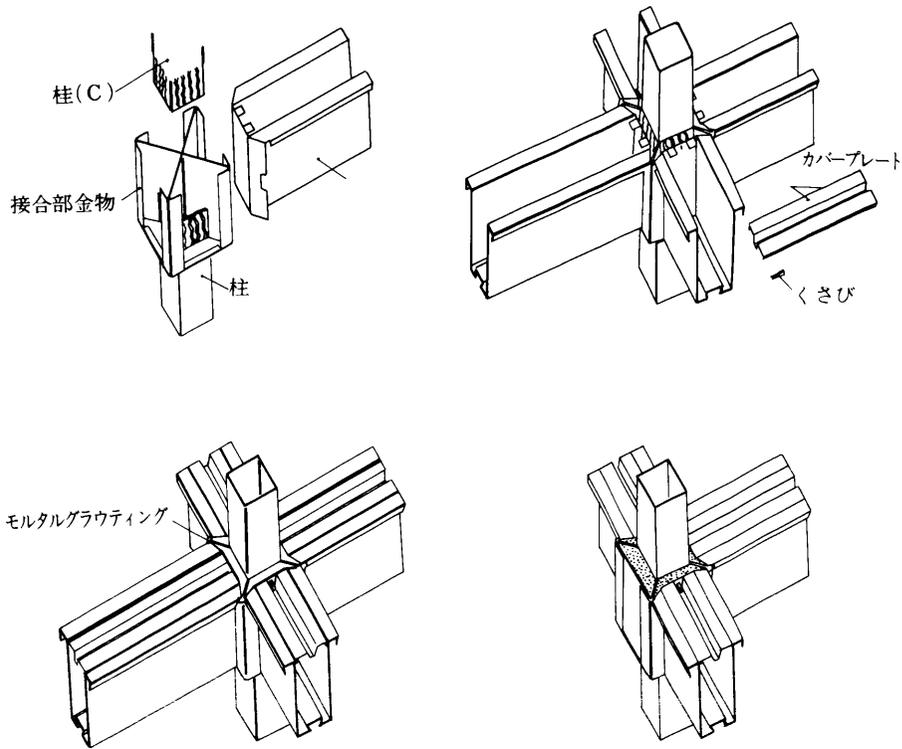


図-1 柱・はり接合部見取図

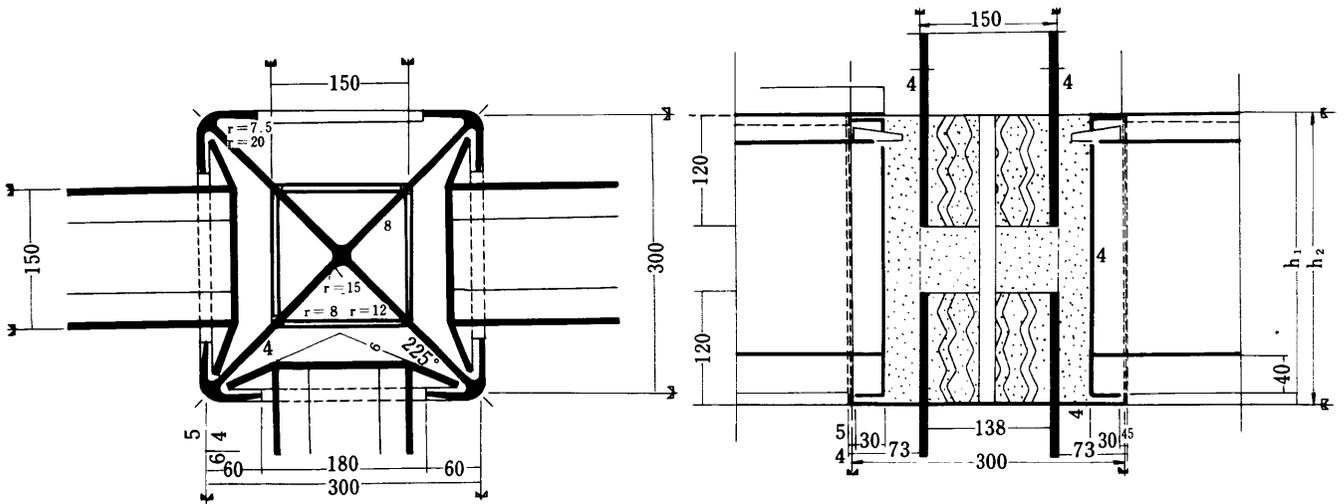


図-2-a 柱・はり接合部平面および断面

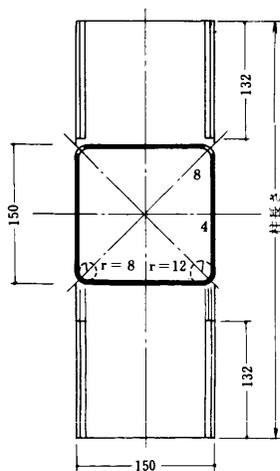


図-2-b 柱断面

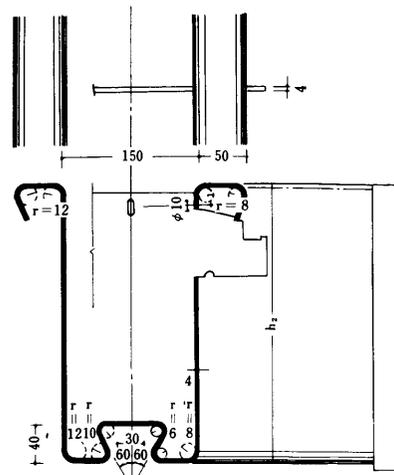


図-2-c 大はり断面

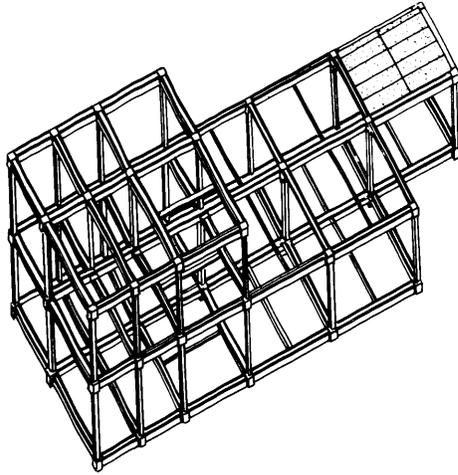


図-3 組立見取図

いセメントを用いると次の作業を早く進めることができよう。

図-2-a~cに、接合部と、柱、梁の断面を示す。なお、図-3は、このGSSSを用いた設計例における組立見取図を示したものである。

§ 3 接合部の耐力実験

3-1 実験の概要

本年度の実験は、先に述べたオープン部品としての軸組鉄骨造柱・梁システムの、梁端部の曲げ耐力に焦点をあてて行なわれた。試験体は、実物大の接合部模型の両側に適当な長さの梁をつけたもので、これを両端単純支持として、中央に載荷し、曲げモーメントを与えた。試験はアムスラー型曲げ試験機(20 ton)を用いた。

実験は、次のように、2回に分けて行った。

- 第1回：原設計(GUP6の提案=GSSS)になるべく忠実に作った梁付きの接合部実大模型1種類4体について、表側載荷(3体)と裏側載荷(1体)を行った。
- 第2回：第1回の実験結果を検討して改良を加えた試験体6種類各2体について、表側・裏側載荷(各1体)を行った。

3-2 試験体の材料

(1) 鋼材

第1回、第2回ともにSS41($F=2.4 \text{ ton/cm}^2$)を用いた。

(2) モルタル

グラウティング用であるために、膨張性のあることが望ましいので、プレバクトモルタルを使用した。第2回では日程の都合上、超早強セメントを用いた。

強度は、第1回が4週強度(実験2日前) 273 kg/cm^2 、第2回が1週強度(実験第2日) 522 kg/cm^2 であった。

3-3 試験体の種類

(1) 第1回実験の試験体(図-4)

原設計になるべく忠実に作ったものであるが、押し出し加工のところは、代りに鉄板のビルトアップにしている。接合金物、梁、柱それぞれ1種類のみで、合計4体製作した。

接合金物は、 $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ の平面で高さ 25 cm 、梁せいは 25 cm 、ボックス形柱の1辺は 15 cm である。外観は、寸法的にやや過大であったほか、つめどうしのかみ合せに、遊び(ガタ)が大きかった。以下この試験体の種類をNo0と呼ぶ。

(2) 第2回実験の試験体(図-5)

第2回目は、種々の改良を施した試験体を6種類各2体、合計12体製作した。

寸法は、第1回目のものに較べてひとまわり小さく、接合金物は $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ 、梁せいは 20 cm 、ボックス柱の1辺は 10 cm となっている。

接合金物は2種類で、試験体各3種類に対して共通して使っている。梁はそれぞれ異なり6種類、柱は1種ですべて共通である。

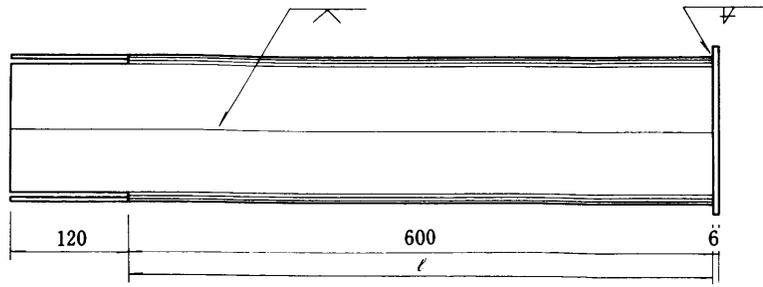
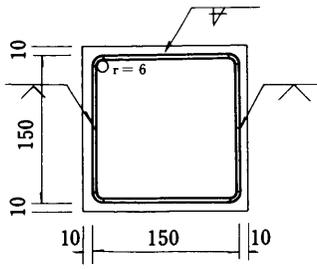
これらの接合金物と梁の特徴およびそれらの組合せは、次のとおりである。

(i) 接合金物

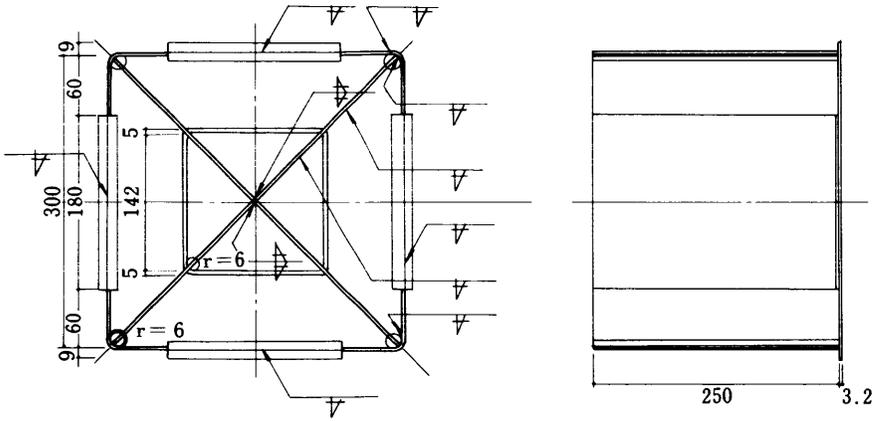
- 1 : X部分を<形に加工した鉄板を4枚溶接して作ったもので、つめ部分には、外側上下2か所にあて金物をつけて、曲げに対する補強をしてある。
- 2 : X部分は鉄板を溶接して作り、その4隅(端部)に、けずり出しによる剛強なつめを溶接してある。

(ii) 梁

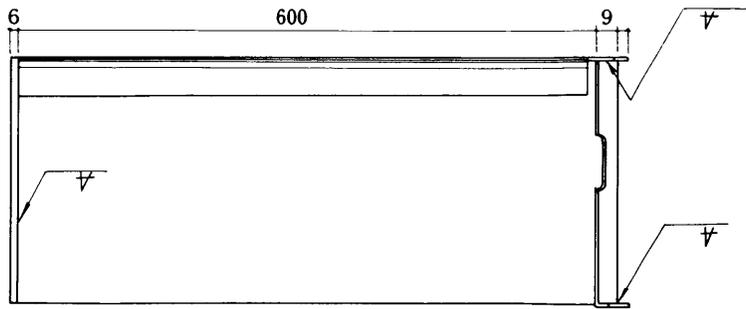
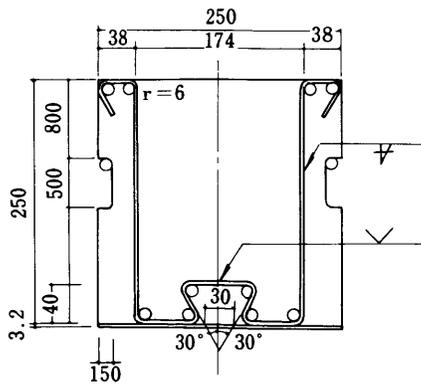
- 1-1 : 1枚の鉄板を曲げて作ったつめつきの妻板を端部に溶接したもの。
- 1-2 : 1-1のつめつき妻板の他に、接合金物のつめがのびるのを防ぐための押え鉄板と、せん断破壊(すべり)防止用のだぼ(ボルトで代用)とをもったもの。
- 2 : けずり出しによる剛強なつめをもち、押え鉄板とだぼをもったもの。
- 3-1 : 1-1のつめつき妻板の他に、だぼをもったもの。
- 3-2 : 3-1とほぼ同じであるが、梁の上端フランジ部分がつめにかぶさるまでのびて、互に溶接されており、かつだぼをもったもの。
- 4 : 2と同様、けずり出しによる剛強なつめをもち、だぼも備えているが、押え鉄板のないもの。



(柱)

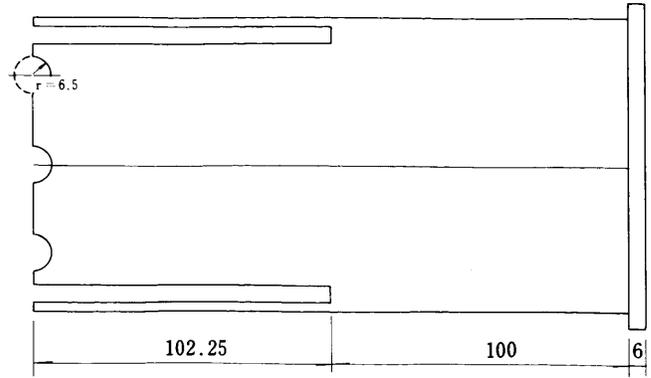
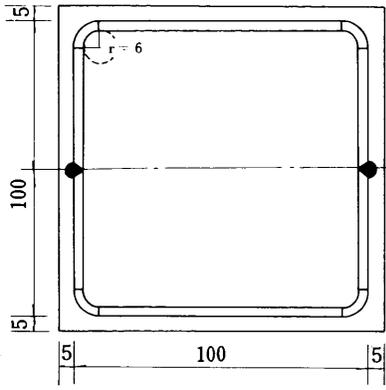


(接合金物)

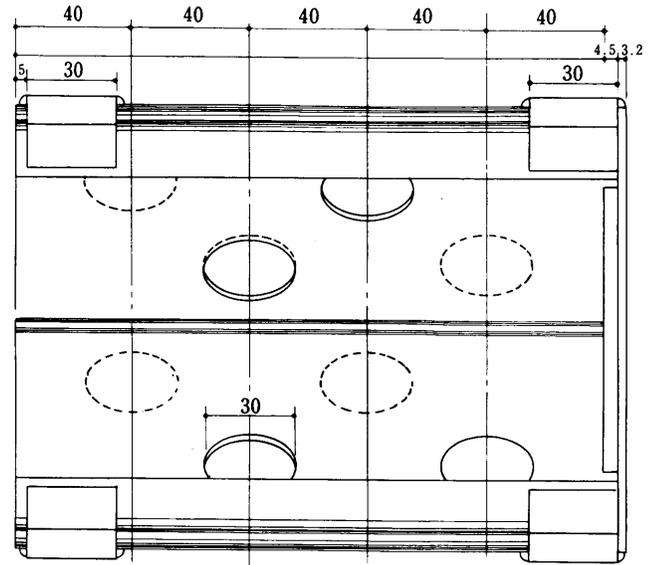
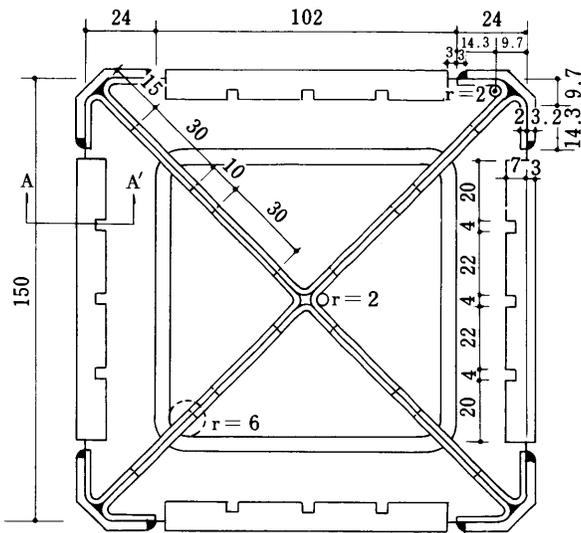


(梁)

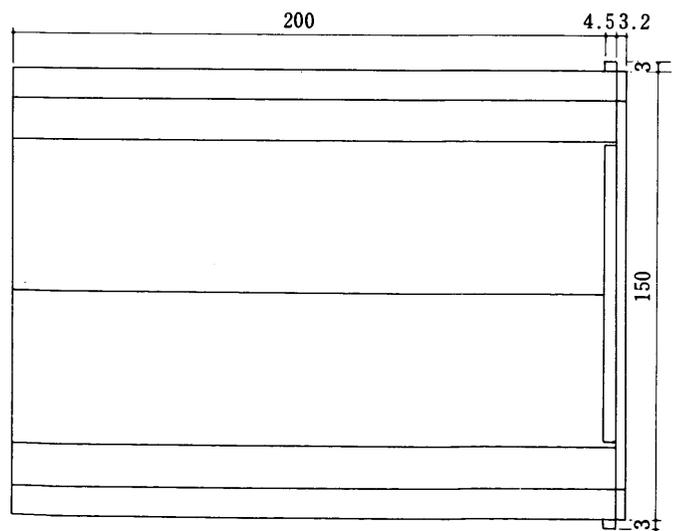
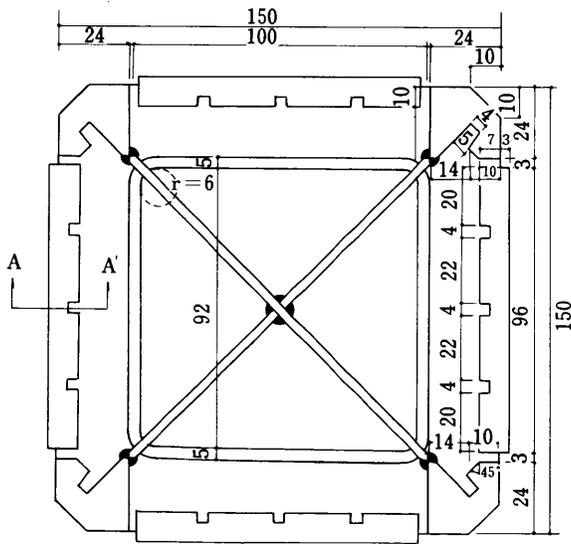
図4 第1回実験部品図



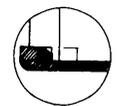
(柱：1種類のみ)



(接合金物 1)

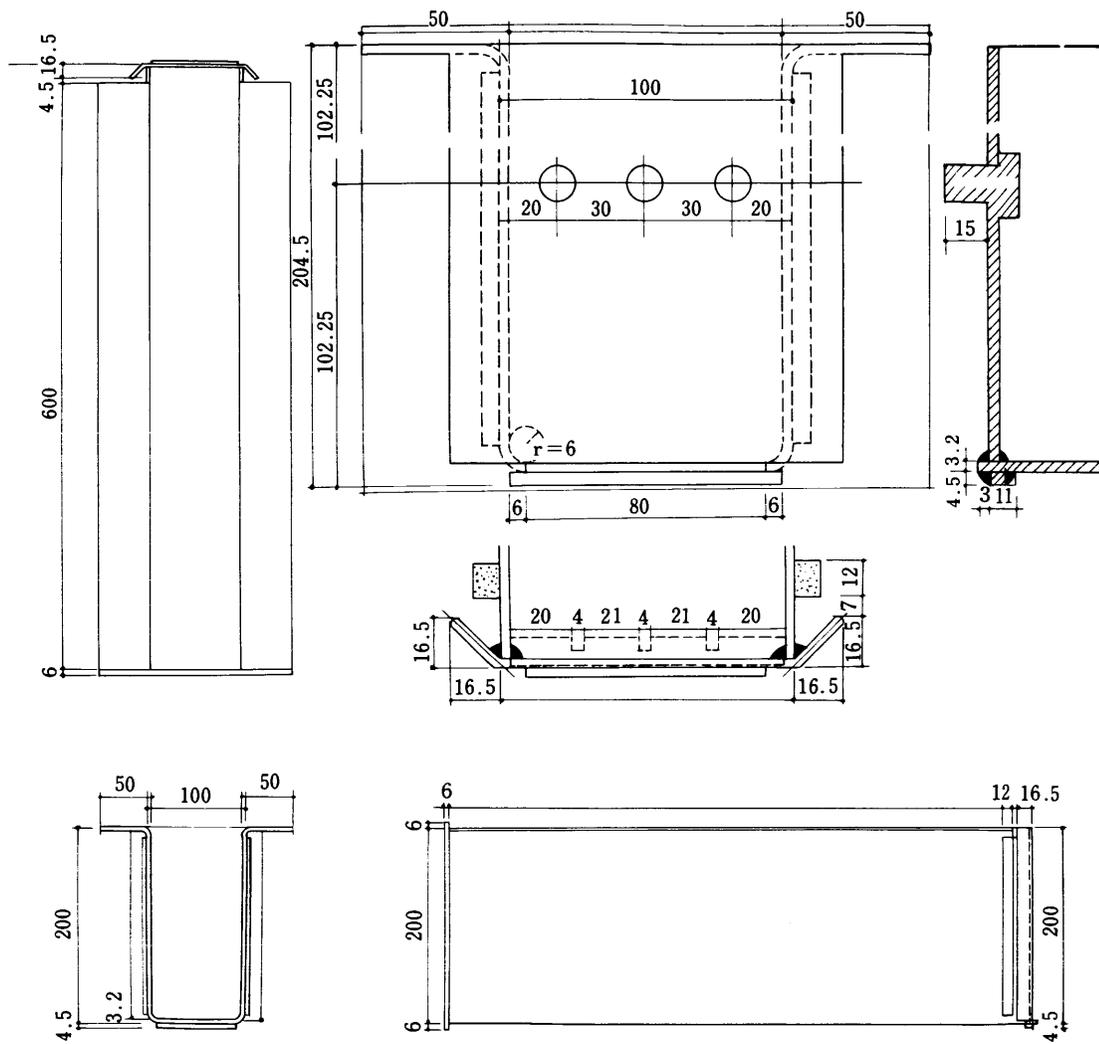


(接合金物 2)



A ~ A 断面

図-5-1 第2回実験部品図



(梁 1-1 および 1-2 ; 後者は、だぼと押え鉄板つき)

図-5-2 第2回実験部品図

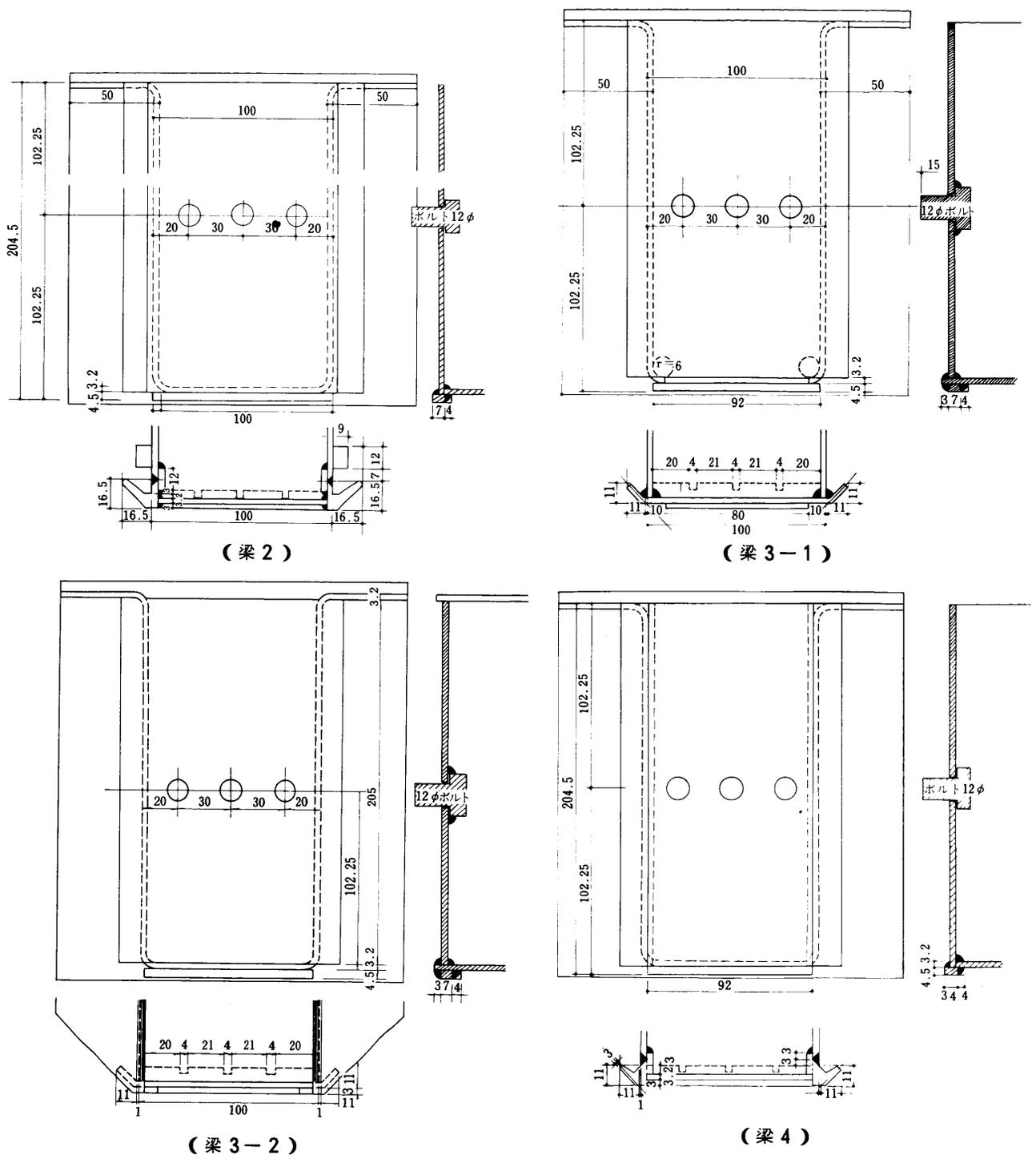


図-5-3 第2回実験部品図

(iii) 接合金物と梁の組合せ

接合金物と梁の組合せは、表-1のとうりである。試験体の種類名として、梁と同じ番号がつけられている。柱は載荷板を兼ねる目的で、短かく（接合金物からの出 10 cm）してある。

以上6種の試験体を、写真に示す。

表-1 接合金物と梁の組合せ

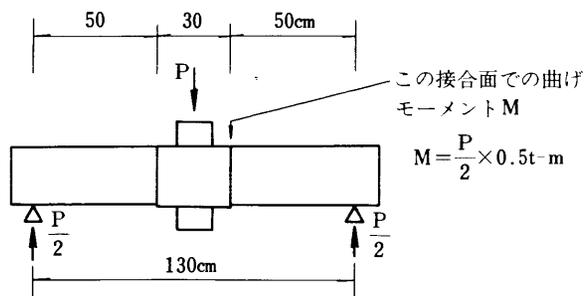
試験体	接合金物	梁	柱
1-1	1	1-1	すべて共通
1-2		1-2	
2		2	
3-1	2	3-1	
3-2		3-2	
4		4	

3-4 載荷方法と測定方法

(1) 支持および加力

接合部分に曲げモーメントを与えるために、両端を単純支持し、中央に鉛直荷重を加えた。第1回と第2回とでは、試験体の寸法に違いがあるので、支点間距離も若干変更した。寸法関係を図-6に示す。

〔第1回〕



〔第2回〕

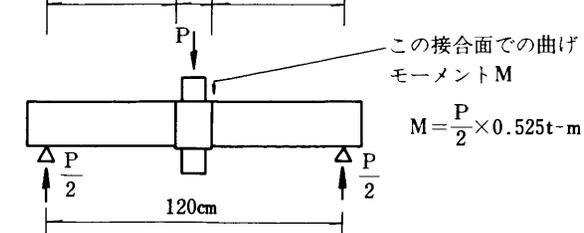


図-6 試験体の載荷方法

なお、実際に使われる場合と同じむきに試験台に載せた場合を「表側載荷」（下端が引張側）と呼び、上下逆にして載せた場合を「裏側載荷」（実際の上端が引張側）と呼ぶことにする。

(2) 荷重履歴

荷重は 100 kg または 200 kg のきざみで、途中除荷することなく単調に増加させた。最大耐力に達した後は、速やかに除荷した。

(3) 変位の測定

図-7に示すように、試験体下面にダイヤルゲージを設置し、変位が追跡できなくなった段階で撤去した。そのため、最大耐力に近づいたあたり以降の変位は不明である。

なお、測定は、図中 C、L、R の 3 点に重点を置き、他は適宜省略した場合もある。

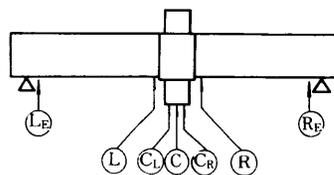


図-7 変位測定点

3-5 実験結果

(1) 荷重-変形曲線と最大耐力

以上の実験によって得られた C 点（接合部下面）の荷重-変形曲線を、表側載荷と裏側載荷に分けて、図-8-a、図-8-b に示す。各曲線のプロットは、ダイヤルゲージを撤去するまでのもので、最大耐力に達するところまでは届いていない。

なお、最大耐力の一覧表を表-2に示す。

表-2 最大耐力一覧表

実験	試験体	表側載荷		裏側載荷	
		最大荷重 P_{ton}	最大耐力 M_{t-m}	最大荷重 P_{ton}	最大耐力 M_{t-m}
第1回	0	6.94	1.73	2.63	0.66
第2回	1-1	5.62	1.47	3.75	0.98
	1-2	5.68	1.48	3.83	1.01
	2	7.25	1.90	4.60	1.20
	3-1	6.33	1.66	8.80	2.31
	3-2	8.57	2.24	9.60	2.52
	4	9.96	2.61	11.40	3.00

(2) 破壊性状と耐力発揮のメカニズム

各実験終了後の試験体の状態を写真（破壊）に示す。また、目で観察された破壊状態を表-3に示す。

第1回の試験体（写真省略）は、最大耐力としては、きわめて不満足な結果に終わった。つめの剛性が小さく、かつ、かみ合わせの精度も低かったため、

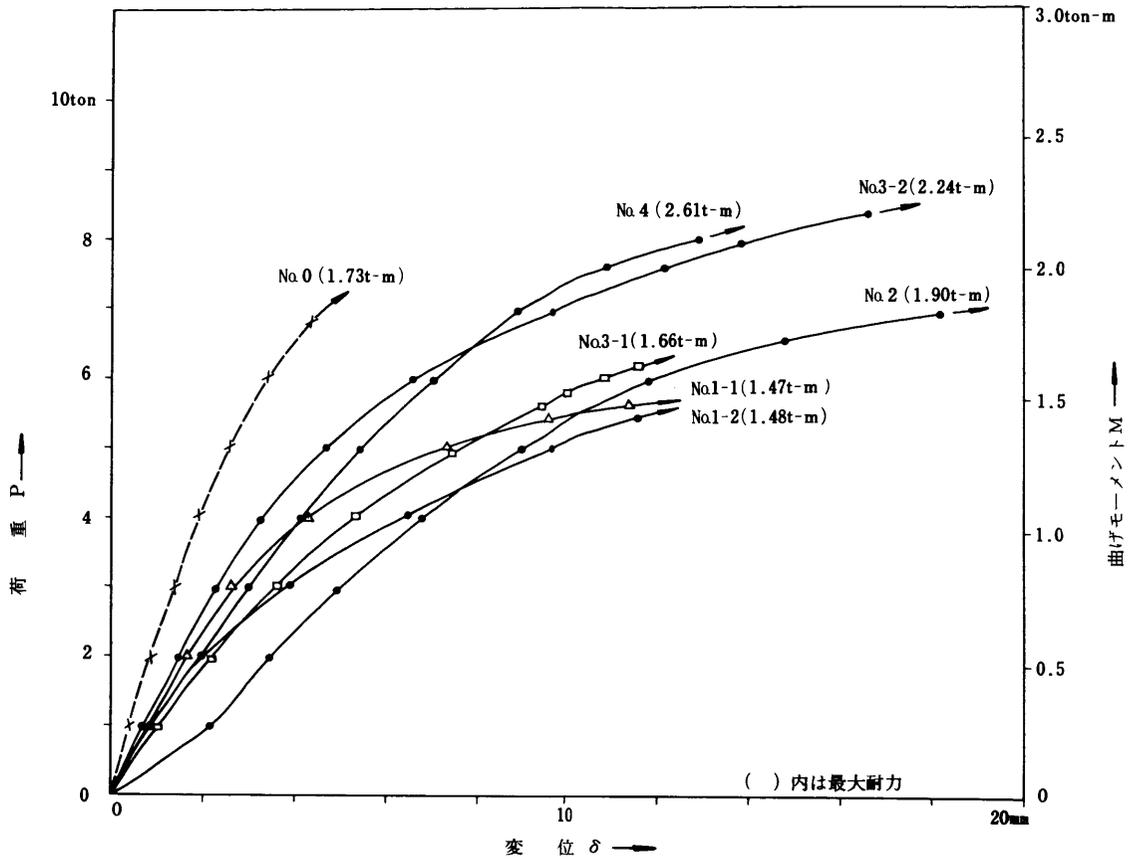


図-8-a 荷重-変形曲線 (表側載荷)

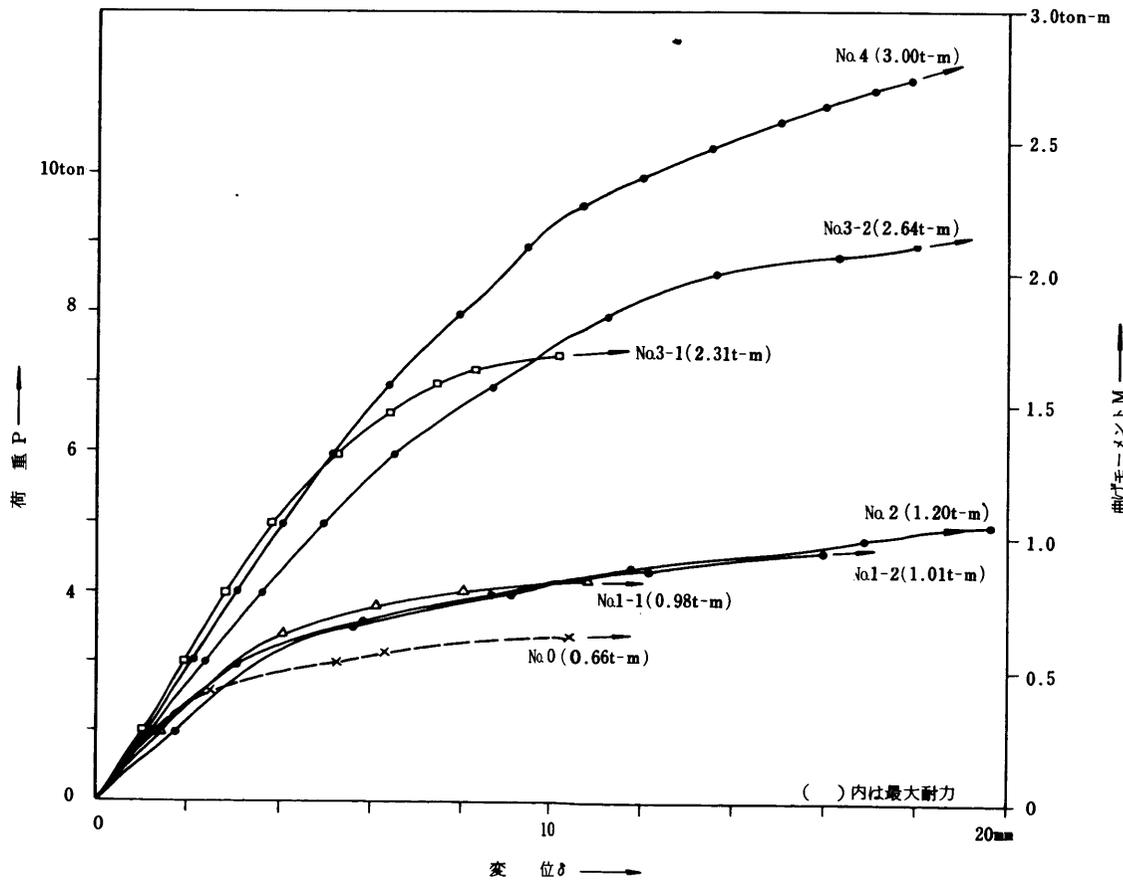


図-8-b 荷重-変形曲線 (裏側載荷)

表-3 破壊状態

(太わくで囲んだのが主な破壊形式)

試験体	表側 載荷					裏側 載荷			
	あごめくれ	つめ変形	つめ溶接破断	(接) X型開口 (梁) 裏板変形		下端板座屈	つめ変形	つめ溶接破断	(接) X型開口 (梁) 裏板変形
0					接合金物				
					梁				
1-1					接合金物				
					梁				
1-2					接合金物				
					梁				
2					接合金物				
					梁				
3-1					接合金物				
					梁				
3-2					接合金物				
					梁				
4					接合金物				
					梁				

このつめが容易に変形してしまった。

第2回目の実験結果は、No. 1-1からNo. 4に至る6種類に対して、ほぼ順次最大耐力が上っており、設計時の意図が十分反映したと云えよう。例外は、No. 3-1の表側載荷のときの梁のウェブ部分の座屈によるものであった。

試験体No. 3-2およびNo. 4では、いずれもつめどろしのかみ合わせは十分な耐力を発揮しており、このことは、あごのかみ合わせの利く表側載荷の場合よりも、あごに関係のない裏側載荷の場合に大きな最大耐力を示していることでも、裏づけられている。

また、No. 3-2の裏側載荷のとき、梁のフランジに相当する底板の局部座屈によって最大耐力が決っていることは、梁自体の断面の耐力に対して、この接合部の耐力が上まわっていることを意味している。

§ 4 接合部に要求される耐力

4-1 架構の仮定

今回の実験の対象である柱・梁システムは、オープン性をもつものであり、従って架構の自由度を保証しうるだけの耐力が要求される。

ここでは、このシステムによって構成される架構のうちでも、特に条件が厳しいと思われる場合を想定して、梁端部に生じる曲げモーメントを概算し、先の実験結果と比較検討する。

さて、常識的に考えて、2層以下で風圧力に対する部材の曲げモーメントが最も厳しくなるのは、図-9のように、2層1スパンのラーメンが、横に無限に並んでいるような架構の場合である。この場合、柱1本あたりの受圧面積が、他の架構に較べて最も大きい。

なお、地震力に対しては、平面的に無限に広がっている場合が、厳しいと思われるが、概算によると、風圧力の厳しさには及ばないので、説明を省略する。

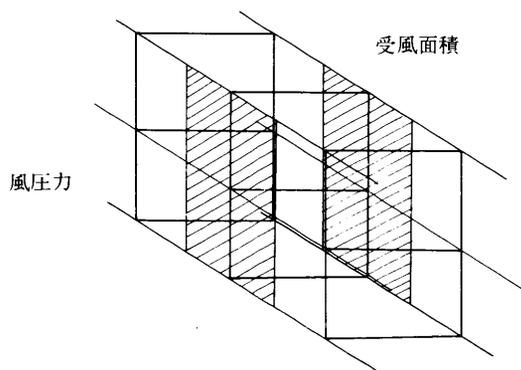


図-9 想定した架構

4-2 部材の仮定

(1) 梁

梁の断面は、第2回の試験体と同一とする。なおスパンは360cmとする。図-10-aを参照して、以下の諸量が求まる。

$$\begin{aligned} I &= 1,066 \text{ cm}^4 \\ Z &= 107 \text{ cm}^3 \\ M_a &= 2.57 \text{ t-m (許容曲げモーメント)} \\ \ell &= 360 \text{ cm} \\ K &= 2.96 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

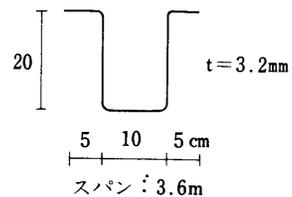


図-10-a 梁の断面仮定

(2) 柱

図-10-bに示すような断面を仮定すれば、以下の諸量が求まる。

$$\begin{aligned} I &= 400 \text{ cm}^4 \\ Z &= 80 \text{ cm}^3 \\ M_a &= 1.92 \text{ t-m} \\ \ell &= 288 \text{ cm} \\ K &= 1.38 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

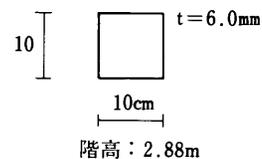


図-10-b 柱の断面仮定

4-3 応力計算

(1) 常時荷重による応力

床の固定荷重として 70 Kg/m^2 を仮定し、積載荷重 130 Kg/m^2 を加えた 200 Kg/m^2 が、屋根、2階床、1階床に載っているものとすれば、 $\ell = 3.6 \text{ m}$ 、両側スラブとして

$$\begin{aligned} C &= 0.50 \text{ t-m} \\ M &= 0.78 \text{ t-m} \end{aligned}$$

となる。結果として、曲げモーメント図は、図-11のようになる。

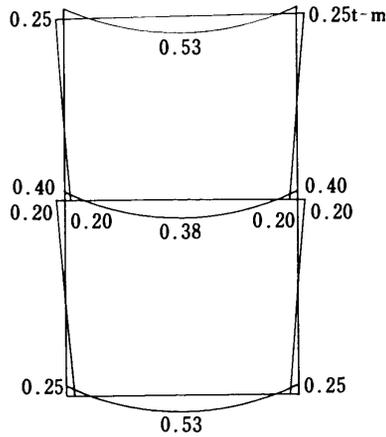


図-11 常時荷重時曲げモーメント図

(2) 風圧力による応力

風圧力 $P = CqA$ において、

$$C = 1.2 \text{ (風上側 + 風下側)}$$

$$q = 60\sqrt{h} = 60\sqrt{4} = 120 \text{ Kg/m}^2$$

$A = \text{ひとつのラーメンの負担巾} \times \text{高さ}$

$$= \begin{cases} 3.6 \times \frac{2.88}{2} & \text{(屋根面)} \\ 3.6 \times 2.88 & \text{(2階床面)} \end{cases}$$

とすれば、屋根面、2階床面に加わる風圧力 P_2, P_1 は、1 ラーメン (柱 2 本) あたりそれぞれ

$$P_2 = 0.74 \text{ ton}$$

$$P_1 = 1.48 \text{ ton}$$

となる。このとき曲げモーメント図は、図-12 のようになる。

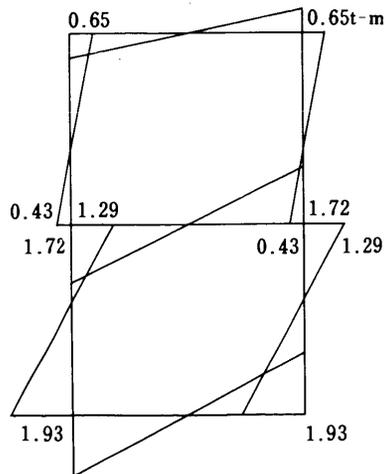


図-12 水平荷重 (風圧力) 時曲げモーメント図

(3) 梁端部に生じる曲げモーメント

以上の結果から、短期の状態における梁端部の曲げモーメントは、表-4のようになる。

表-4 梁端部に生じる曲げモーメント

(ton-m)

	常時=長期	風圧力	短期
屋上階の梁	0.25	0.65	0.90
2階の梁	0.40	1.72	2.12
1階の梁	0.25	1.93	2.18

4-4 梁端部に要求される耐力

以上の応力計算では、架構としてはきわめて厳しい条件の場合を想定しており、そのため、例えば1階柱脚では、軸力を考えるまでもなく曲げ耐力が不足している。しかし、普通の場合には、そのままの断面でも十分であると判断してもよからう。

従って、梁端部に要求される曲げ耐力も、表から判断して、短期で、2.0 t-m 程度あれば、架構に十分な自由度を与えうると考えられる。

§5 むすび

今回の実物大部分模型による接合部の耐力実験では、けずり出しのつめのかみ合わせによって、梁端接合面で、最大 3.0 t-m もつことがわかった。

このような接合部分の短期の許容耐力を、最大耐力の $\frac{2}{3}$ で決めることにすれば、短期許容曲げモーメント M_a は、 $M_a = \frac{2}{3} \times 3.0 \text{ t-m} = 2.0 \text{ t-m}$ となる。

一方、きわめて厳しい条件の架構を想定した場合、その梁端部に生じる曲げモーメントは、短期 (風圧による) で、最大数 2.0 t-m 程度である。

従って、今回の試験体のうち、最大耐力を発揮したのは、オープンシステムの柱・梁接合部として、耐力上実用の可能性があると言えよう。

ただその反面、耐力に関して次のような問題点も挙げられよう。

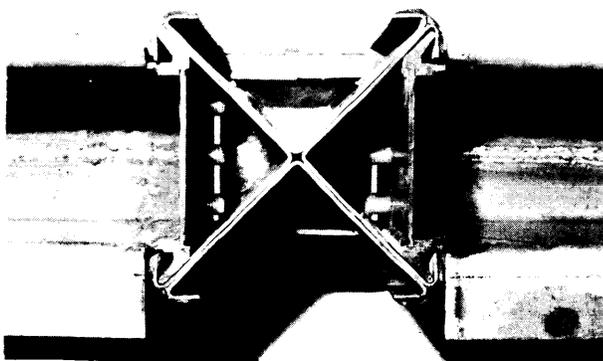
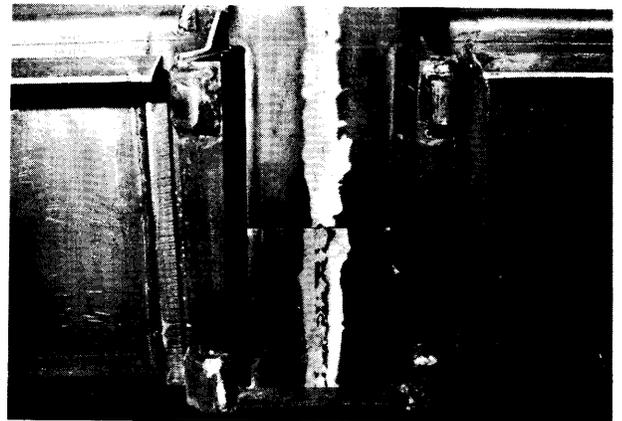
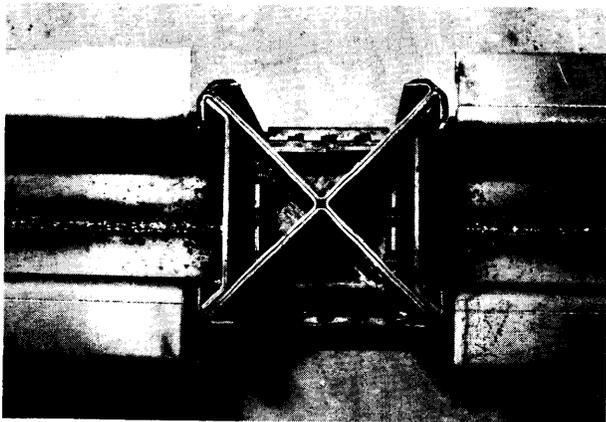
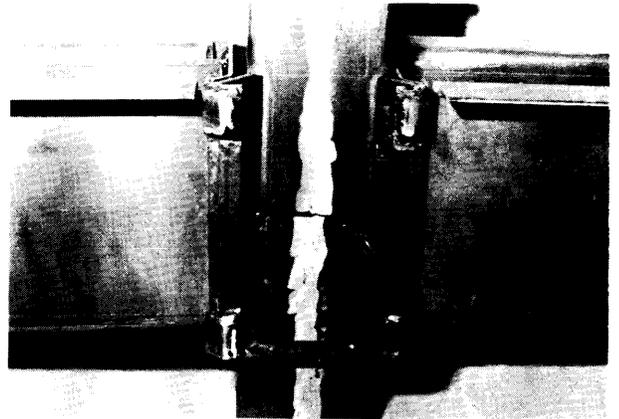
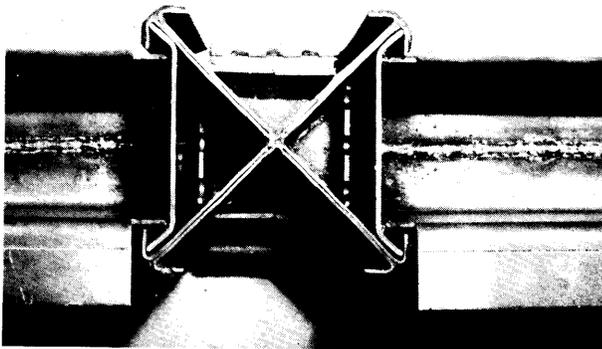
- (i) 今回の実験は、梁端部の接合面の強度のみに着目したものであり、柱端部 (柱頭・柱脚) に関しては、検討が今後に残されていること。
- (ii) 荷重が一方向かつ単調増加で行なわれたので、正負くりかえしによる耐力・ねばりが不明であること。
- (iii) 最大耐力時の鉄製部分の変形およびグラウトしたモルタルの圧壊のいずれも相当著しいので、くりかえし荷重では、剛性・耐力の低下のおそれが少ないこと。

<研究担当者>

東京大学工学部教授 工博 内田 祥哉
 東京大学工学部助教授 坂本 功
 棕建築研究所 松木 一浩
 清水建設(株)研究所 松本 信二

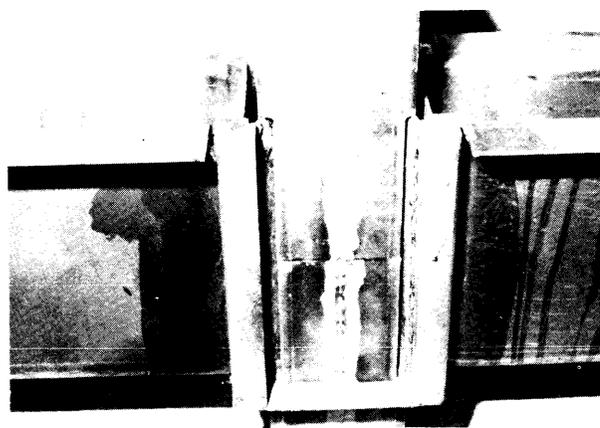
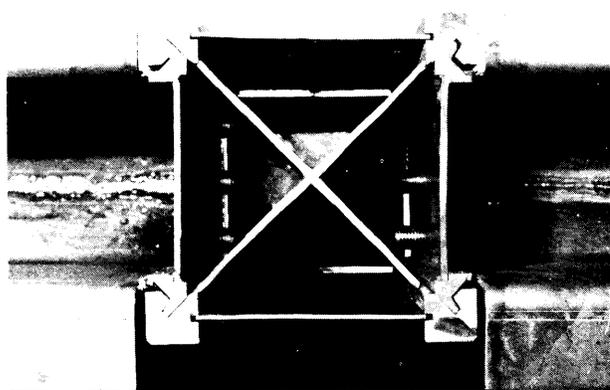
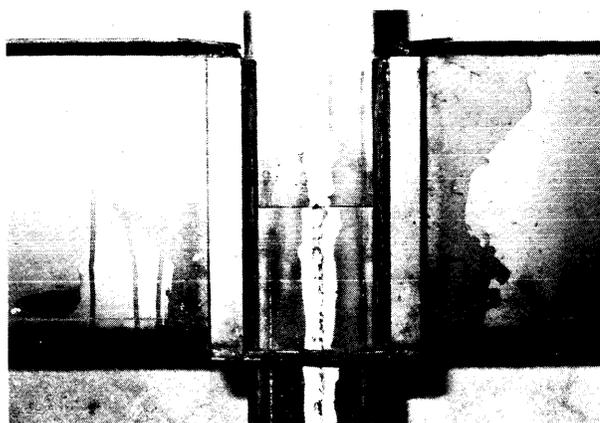
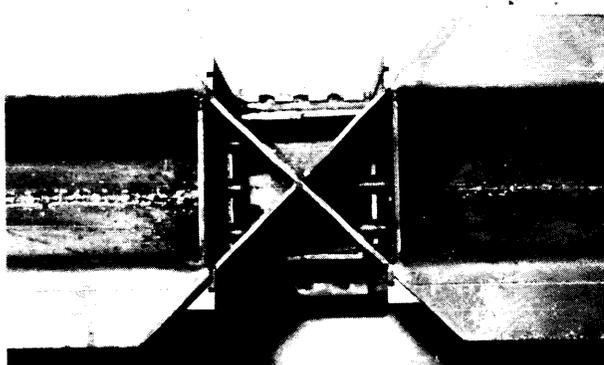
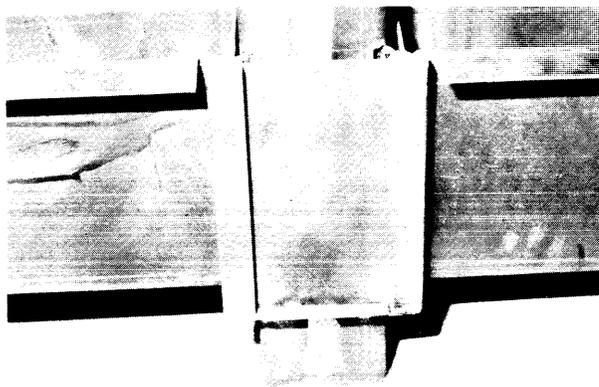
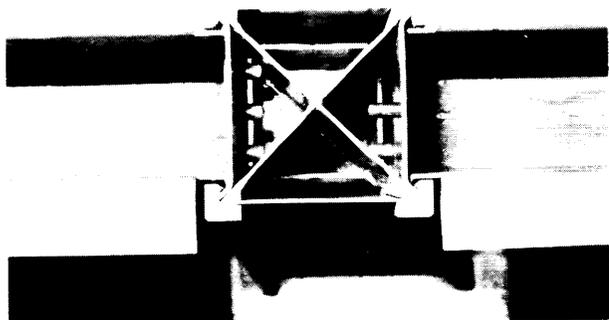
部 品 写 真

No.	1 - 1
No.	1 - 2
No.	2



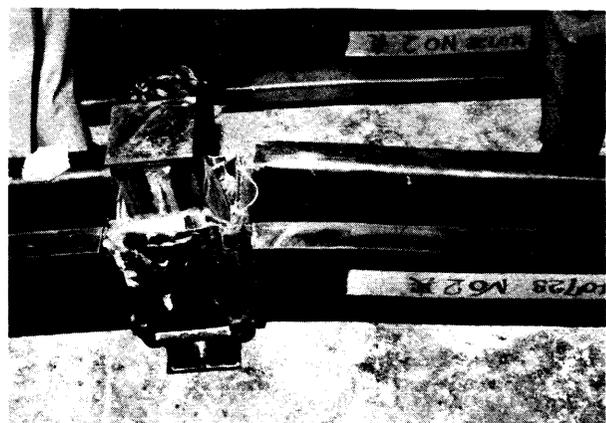
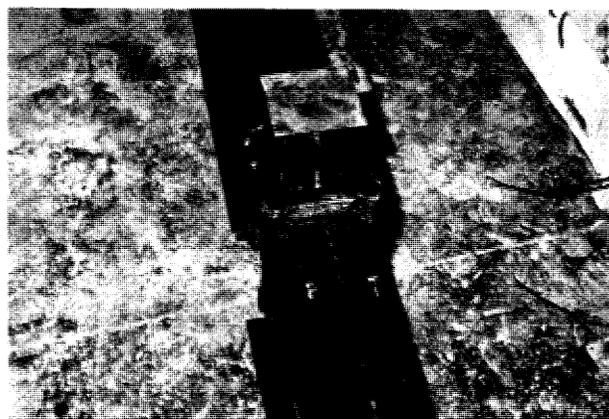
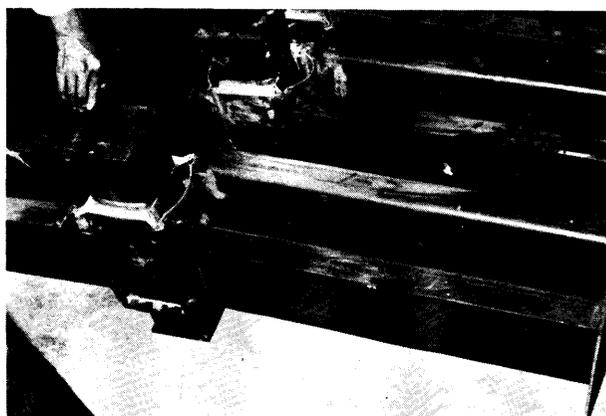
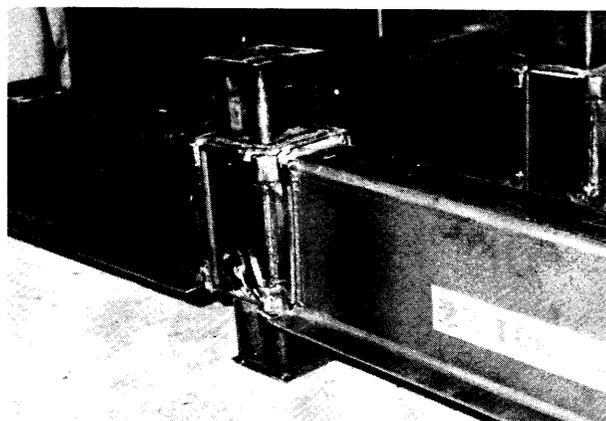
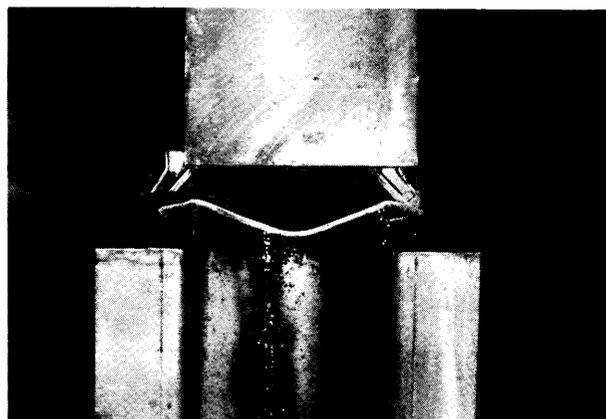
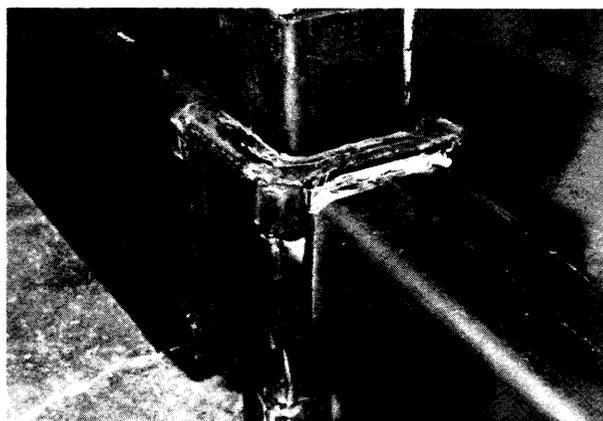
部 品 写 真

No.	3 - 1
No.	3 - 2
No.	4



破壊写真

No.	1 - 1
No.	1 - 2
No.	2



破壞写真

No.	3 - 1
No.	3 - 2
No.	4

