

## ハの字型ブレース架構の実験的研究

坂 口 昇  
杉 田 稔  
宮 野 照 雄

## § 1. はじめに

鉄骨ラーメン構造物において、地震荷重や風荷重などの、水平外力に対する耐力や安全性を考えると、架構に組み込まれるブレースが非常に重要な役割を演ずる。つまりブレースを含む鉄骨架構の水平剛性、水平耐力、履歴特性などは、ブレースの形状やその強度によって決定される。

ブレースは主として架構の水平耐力を高めるために用いられるのであるが、架構の水平耐力のほとんどをブレースが負担するため、ブレースに過大な応力が生ずることになる。ブレースの耐力を大きくすれば、架構の水平耐力も高くなるのであるが、反面、架構の水平剛性が大きくなりすぎたり、架構の変形能力が小さくなってしまふ。さらにはブレースが座屈することによって、架構に不安定な破壊性状をきたす場合が多い。

しかし高層建築物の耐震設計や塑性設計が行なわれるにしたがい、単に水平耐力が大きだけでなく、むしろ適正な剛性や変形能力、あるいは安定した履歴特性をもつ架構をつくるのがより強く望まれるようになった。この考え方に立って、ブレース形状やその用い方について種々の考案工夫が多くなされているが、図-1の「ハの字型ブレース架構」もそのひとつである。

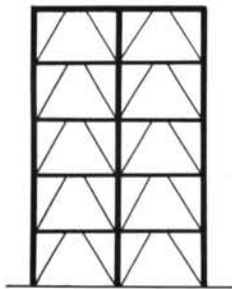


図-1 ハの字型ブレース  
架構

「ハの字型ブレース架構」とは、2本のブレースを「ハ」の字型に組込み、かつ、ブレースの軸心がはり軸心上で交差せずに、ある間隔をもって取付けられている架構である。したがって、はりの中央部にスチフナとフランジで囲まれるパネルゾーンが形成されるが、このパネルゾーンをせん断降伏あるいは曲げ降伏させることにより、ブレース

の座屈を防ぎ、架構の変形能力を伸ばし、安定した履歴特性が得られるように意図したものである。またパネルゾーンの大きさや強度を変えることにより、架構の水平剛性や耐力を任意に変えることができるであろう。

今回の実験の目的は、「ハの字型ブレース架構」について(1)その剛性、耐力、変形能力等の力学的特性、(2)架構の崩壊過程、(3)架構の安定性、(4)架構の応力状態、(5)解析方法の問題点について調べることにある。ブレースの軸心がはり軸心上で交わる架構、およびブレースを持たない架構についても、比較検討のため同様に実験を行なった。

## § 2. 実験方法

試験体は、Aタイプ、Bタイプ、Cタイプの3体である。Aタイプ、Bタイプ試験体の形状、寸法を図-2に示す。Aタイプはブレースの軸心がはり軸心上で交わる架構であるが、実際には図にみられるように、はり中央部に若干のパネルゾーン(以後単にパネルゾーンと呼ぶ)が形成されている。Bタイプが「ハの字型ブレース架構」であり、パネルゾーン中央に中間スチフナを取り付けてある。Cタイプはブレースを持たない単純な架構であるが、ブレースの効果のみを抽出するために、ブレース取付け仕口部等はBタイプと同じ条件とした。

今回用いたブレースは Box 断面Ⅱ-100×120×6×6で、端部をH型断面に絞り、高力ボルト(F 8 T, 1/2' P. I ナット)を用いて Box 断面柱□-300<sup>2</sup>×9のダイヤフラムおよびフランジプレートに取付けた。はりには H-300×150×4.5×9で、パネルゾーンは H-300×150×6×9である。柱とはりの接合は溶接接合とした。使用鋼材の機械的性質を表-1に示す。鋼材はブレース取付け仕口には SM50A を使用し、他はすべて SS 41 を使用した。

加力方法は、図-3に示すように上ばりの軸心位置で水平交番加力を行なったが、左右の柱にかかる水平力を

等しくするために、2台のジャッキを連動して押し引き同時加力とした。すなわち、一方のジャッキでテフロン杓を介して試験体を押しと同時に、他方はφ42の鋼棒で引張り加力を行なった。試験体の柱脚部は、水平反力伝達フレームを介して、左右2台のジャッキで両側から固定されている。水平反力伝達フレームとは、□-

300×90×9×13を2本用いて試験体をその下がり位置ではさみ込む形に組んだフレームで、試験体とは曲げ抵抗を緩和させるためにプレート凡12を介して両側の柱に結合されている。これで左右の柱から均等に水平反力がとれるようにした。さらに、ジャッキにはユニバーサルヘッドを取付けて回転拘束を避けた。柱には柱頭柱脚

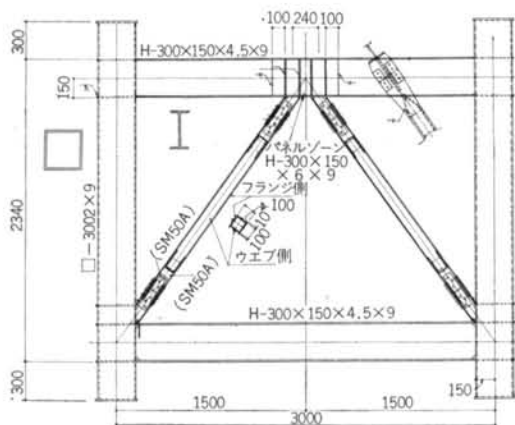


図-2(a) Aタイプ試験体

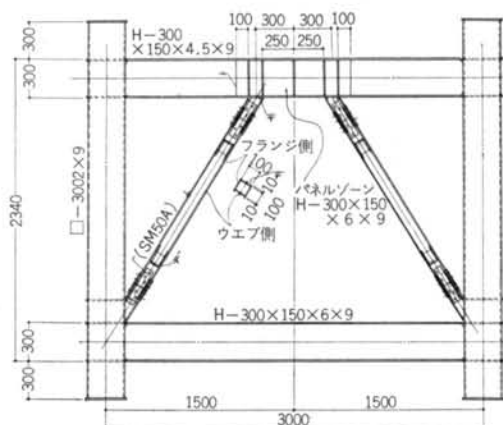


図-2(b) Bタイプ試験体 (ハの字型ブレース架構)

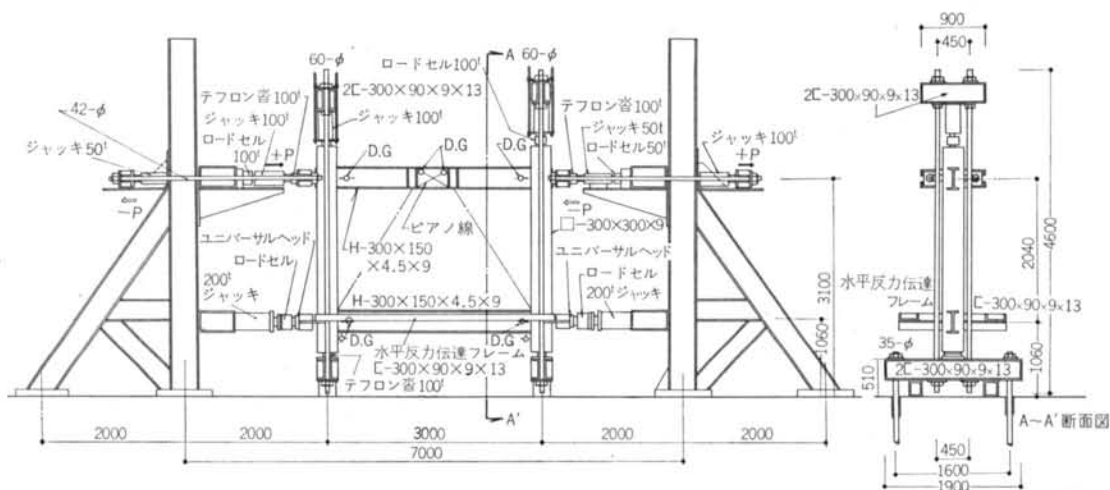


図-3 加力装置

鋼材	降伏強度 ( $t/cm^2$ )	引張強度 ( $t/cm^2$ )	ヤング係数 ( $\times 10^3 t/cm^2$ )	伸び率 (%)	使用箇所
凡4.5 SS41	2.82	4.02	1.94	37.7	はりウェブ
凡6 SS41	3.27	4.70	2.07	32.7	上がり中央部パネルゾーン、ブレース
凡9 SS41	2.80	4.48	2.04	34.3	Aタイプ柱、はりフランジ
凡9 SS41	2.81	4.47	2.01	34.7	Bタイプ柱、はりフランジ
凡9 SS41	2.75	4.41	1.91	35.9	Cタイプ柱、はりフランジ
凡6 SM50	4.08	5.15	1.98	30.4	ブレース端部

表-1 使用鋼材の機械的性質

間をφ=60の鋼棒とジャッキで締めて一定軸力80tを加えた。加力サイクルについては、1)弾性域内の加力、2)降伏点までの加力、3)層間変形角 $R=1/100$ までの加力、4) $R=1/50$ までの加力、5) $R=1/30$ までの加力を目安とした。加力装置の限界から $R=1/30$ 以上の加力は行なわなかった。

層間変形の測定にあたっては、図-3に示すように、柱頭柱脚部ではり軸心位置の変形量をダイヤルゲージにて測定して求めた。パネルゾーンのせん断変形については、パネルゾーンの四隅、ウェブ上にボルトを取り付け、ピアノ線とダイヤルゲージを用いて、対角方向の変形量を測定し、せん断変形量を求めた。また、ワイヤーストレインゲージにて各部のひずみ量を測定した。

### § 3. 解析方法

解析はマトリックス変位法にて行なった。ある増分外力に対する増分変形、増分応力を順次計算し、それぞれの累加量として外力に対する変形および応力を求める方法をとった。また各部材の降伏状態にあわせて、剛性マトリックスの修正および過剰応力の再分配を逐次行なった。解析上の仮定は次のとおりである。

- (1)部材はすべて線材に置換する。
- (2)部材変形は軸方向変形、曲げ変形、せん断変形を考慮する。
- (3)曲げモーメント-曲率の関係( $M-\phi$ )は完全弾塑性とする。
- (4)せん断降伏後のせん断剛性は、弾性時の $1/100$ とする。
- (5)全塑性モーメントの算定にあたっては、建築学会「鋼構造塑性設計規準案」に従って軸力方向の影響を考慮する。
- (6)降伏せん断力は次式で求める。

$$Q_{pc} = \sqrt{1 - (N/N_Y)} \cdot Q_p$$

$$Q_p = (\sigma_Y / \sqrt{3}) \times \frac{A_w}{\kappa}$$

ここで、 $Q_{pc}$ : 軸方向力を考慮した降伏せん断力

$Q_p$ : 降伏せん断力

$N$ : 軸方向力

$N_Y$ : 降伏軸力

$\sigma_Y$ : 降伏強度

$A_w$ : ウェブプレート断面積

$\kappa$ : 形状係数

なおブレースの座屈、はりフランジの局部座屈は考慮しないが、軸力によるブレースの降伏後は増加応力をゼ

ロとする。また、ひずみ硬化の影響は考慮していない。

## § 4. 実験結果と検討

### 4.1 実験経過と架構の崩壊過程

荷重と層間変形との関係( $P-\delta$ 曲線)を図-4に示す。図-5は、 $P-\delta$ 包絡線と架構の崩壊過程を示したもので、解析結果もそれぞれに対応させて示してある。また、実験結果および解析結果の一覧を表-2に示した。

次に、実験経過に従って各架構の崩壊過程を記す。 $P$ は1/2の総水平荷重を表わし、 $R$ は架構の層間変形角を表わす。なお各部の降伏については、ひずみ測定量より判定した。

#### Aタイプ試験体の崩壊過程

$P=26t$ ,  $R=2.40 \times 10^{-3} \text{rad} \sim P=28t$ ,  $R=2.69 \times 10^{-3} \text{rad}$ でパネルゾーンがせん断降伏する(図-5の①)。

$P=48t$ ,  $R=6.13 \times 10^{-3} \text{rad}$ で下ばり両端部が曲げ降伏する(図-5の②)。

$P=54t$ ,  $R=8.77 \times 10^{-3} \text{rad}$ で上ばりの押し加力側端部が曲げ降伏する(図-5の③)。

$P=55.9t$ ,  $R=11.1 \times 10^{-3} \text{rad}$ でブレースの高力ボルトが滑り荷重が一気に41.2tまで低下する(図-5の④)。以後は高力ボルトが頻りに滑りようになる。ただし図-4では、高力ボルトの滑りによる荷重低下の様子は省略し、記号(●H.T.B.)によってその点のみを示した。

$P=62t$ ,  $R=16.9 \times 10^{-3} \text{rad}$ で圧縮側ブレースが座屈し始めるとともに引張り側ブレースも降伏する。さらに下ばりの圧縮フランジが局部座屈を起こし、上ばりの引張り加力側についても曲げ降伏が起きる(図-5の⑤)。この後 $P_{\max}=3.2t$ ,  $R=25.7 \times 10^{-3} \text{rad}$ まで耐力が上がるが、圧縮ブレースの座屈変形が顕著になり、またブレースの高力ボルトの滑りも伴って、荷重が急激に低下し始める。この状態から一度除荷し再び加力しても $P=50.5t$ ,  $R=30.6 \times 10^{-3} \text{rad}$ までしか耐力は上昇しなかった。

実験の最終状態 $R_{\max}=36.6 \times 10^{-3} \text{rad}$ ,  $P=48.2t$ ではパネルゾーンの変形が著しく、左右のはりに約2~3cmの落差が生じている。圧縮側ブレースの座屈状態は、フランジの内側がくぼみ、側面ウェブが盛り上がり、他は逆にくぼんでいる(写真-1, 2)。

#### Bタイプ試験作の崩壊過程

$P=20t$ ,  $R=2.45 \times 10^{-3} \text{rad} \sim P=24t$ ,  $R=3.14 \times 10^{-3} \text{rad}$ で、パネルゾーンがせん断降伏する(図-5の

①).

$P=27.7\text{ t}$ ,  $R=5.05 \times 10^{-3}\text{ rad} \sim P=34\text{ t}$ ,  $R=7.84 \times 10^{-3}\text{ rad}$  で下ばりが曲げ降伏する。パネルゾーンのせん断変形も顕著になる(図-5の②~③)。

$P=39.6\text{ t}$ ,  $R=20.4 \times 10^{-3}\text{ rad}$  で下ばりの圧縮側フランジが局部座屈を起こし、同時にパネルゾーンのウェブ

も局部座屈するため、荷重が低下し始めるが、パネルゾーンが張力場となって抵抗するので、急激な耐力低下はみられなかった(図-5の④)。逆方向加力の後、再び  $P_{\text{max}}=40.0\text{ t}$ ,  $R=21.5 \times 10^{-3}\text{ rad}$  まで耐力が回復する。実験の最終状態  $R_{\text{max}}=35.1 \times 10^{-3}\text{ rad}$ ,  $P=38.0\text{ t}$  では圧縮ブレースに若干のしま模様がみられたが、変形

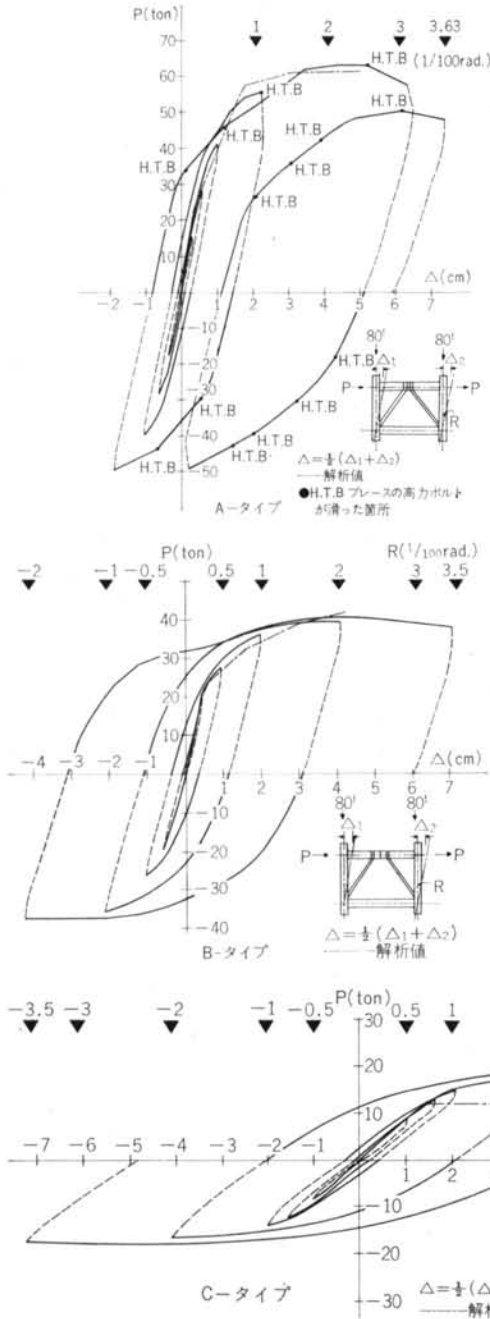


図-4 荷重-層間変形曲線

	Aタイプ	Bタイプ	Cタイプ	
各 部 の 降 伏	降伏箇所	パネルゾーン せん断降伏	パネルゾーン せん断降伏	—
	荷重 $P_{y1}$ (t)	27.0 (23.0)	22.0 (23.5)	—
	変形 $R_{y1}$ ( $\times 10^{-3}\text{ rad}$ )	2.50 (1.69)	2.70 (2.79)	—
剛 性	降伏箇所	下ばり両端 曲げ降伏	下ばり両端 曲げ降伏	上下はり端部曲 げ降伏
	荷重 $P_{y2}$ (t)	48.0 (52.0)	34.0 (33.0)	12.6 (12.7)
	変形 $R_{y2}$ ( $\times 10^{-3}\text{ rad}$ )	6.13 (8.12)	7.84 (8.38)	7.11 (7.30)
最 大 耐 力	初期剛性 $K$ ( $\times 10^8 \frac{\text{t}}{\text{rad}}$ )	10.8 (13.6)	8.16 (8.40)	1.69 (1.74)
	第2剛性 $\alpha K$ ( $\times 10^8 \frac{\text{t}}{\text{rad}}$ )	7.83 (6.41)	4.34 (3.94)	—
	剛性低下率 $\alpha$	0.73 (0.47)	0.53 (0.42)	—
最大耐力	崩壊箇所	引張りブ レース降伏, 圧縮 ブレース座屈	パネルゾーン, 下ばりフランジ 局部座屈	上下はりフラン ジの局部座屈
	最大耐力 $P_{\text{max}}$ (t)	63.2	40.0	19.3
	最大耐力時の変 形 $R_{p\text{max}}$ ( $\times 10^{-3}\text{ rad}$ )	25.7	21.5	23.9

( ) は解析値

表-2 実験結果および解析結果一覧

がほとんど認められず、ストレインゲージの測定によっても座屈が起っていないことがわかる(写真-3, 4).

**Cタイプ試験体の崩壊過程**

$P=12\text{ t}$ ,  $R=7.21 \times 10^{-3}\text{ rad}$  で、上下はりの端部が曲げ降伏する(図-5の①).

$P=18.0\text{ t}$ ,  $R=20.0 \times 10^{-3}\text{ rad}$  で、上下はりの圧縮フランジがすべて局部座屈を起こすが(図-5の②)徐々に耐力が上昇し、 $P_{\text{max}}=19.3\text{ t}$ ,  $R=23.9 \times 10^{-3}\text{ rad}$  を記録した後、耐力が低下し始める。しかし、実験の最終状態  $R_{\text{max}}=30.4 \times 10^{-3}\text{ rad}$  でも  $P=19.1\text{ t}$  の耐力を保

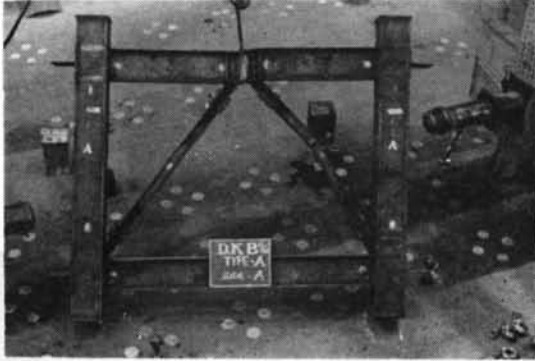


写真-1 Aタイプ最終状態(全体)

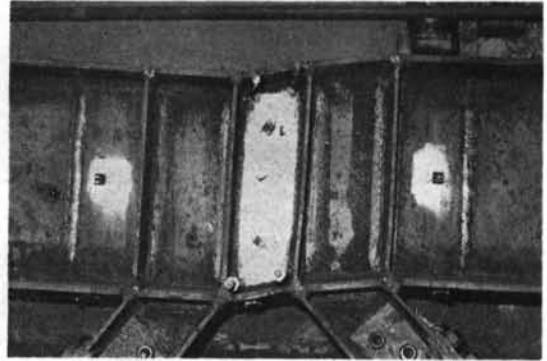


写真-2 Aタイプ最終状態(パネルゾーン)

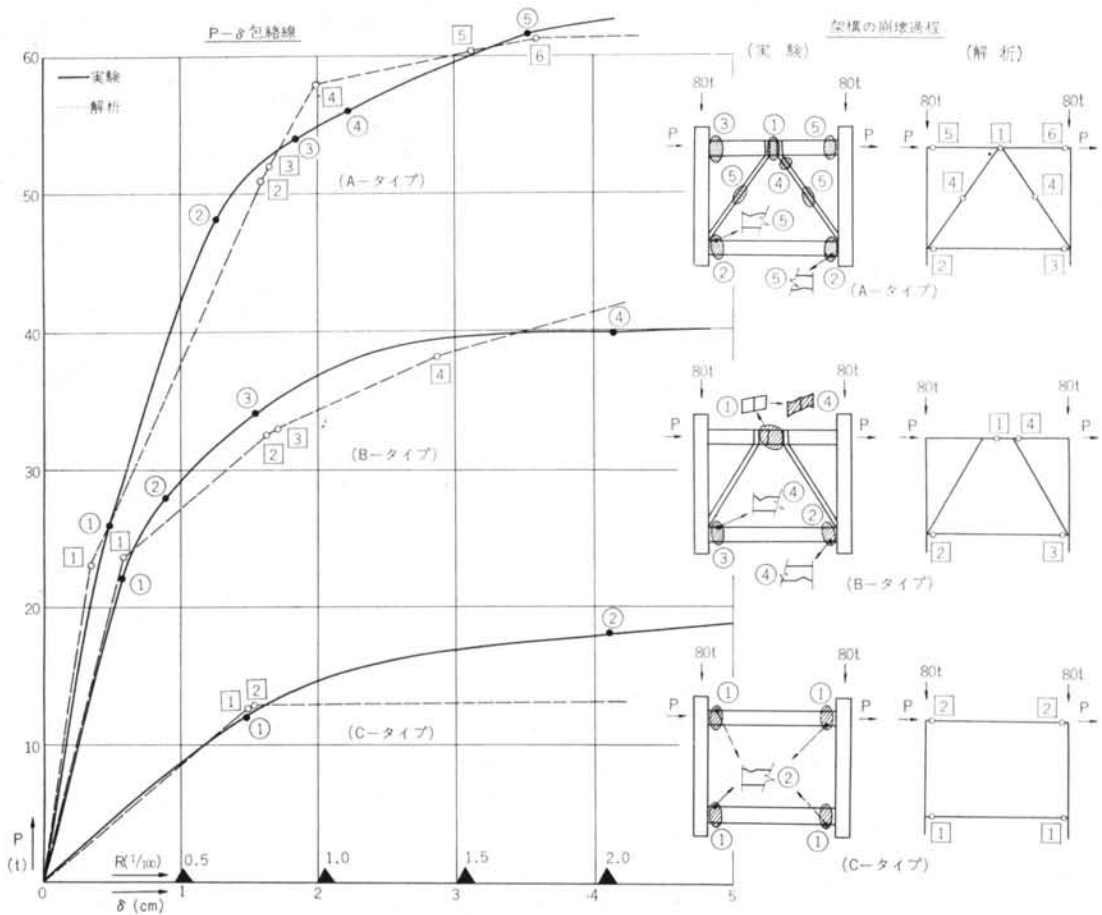


図-5 P-δ 包絡線と架橋の崩壊過程

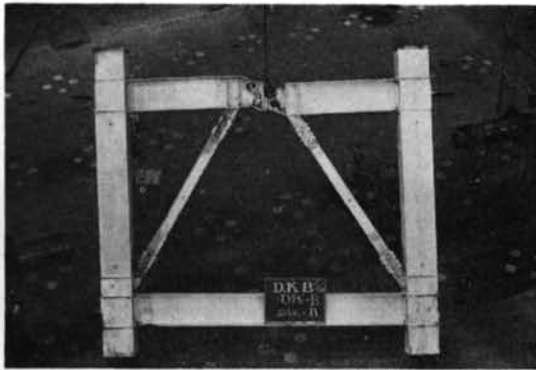


写真-3 Bタイプ最終状態（全体）

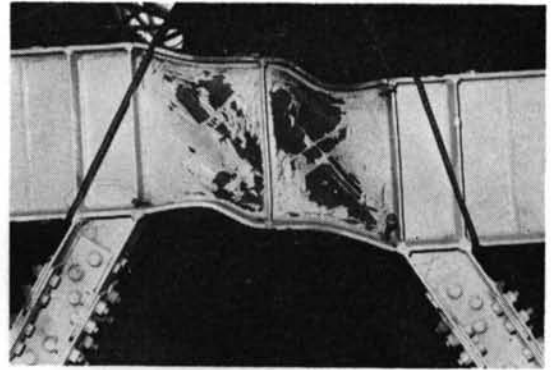


写真-4 Bタイプ最終状態（パネルゾーン）



写真-5 Cタイプ最終状態（全体）  
持っている（写真-5、6）。



写真-6 Cタイプ最終状態（はりフランジ局部座屈）

以上のように実験で明らかになった各架構の崩壊過程と、解析による崩壊過程を比較してみる（図-5および表-2）。Aタイプ、Bタイプともにパネルゾーンがせん断降伏し、次に下ばりが曲げ降伏する順序は実験結果および解析結果ともに全く同じである（図-5の①~②、①~③）。それぞれの降伏荷重についても、実験値と解析値の差は3%~17程度である。

しかしその後、崩壊順序において、実験結果と解析結果では多少の違いがみられる。まずAタイプの場合、実験では上ばり端部の曲げ降伏（図-5の③）が、ブレースの高力ボルトの滑りに（図-5の④）先行しているのに対し、解析ではブレースの降伏（図-5の④） $P=58\text{ t}$ 、 $R=9.80 \times 10^{-3}\text{ rad}$ が先行し、その後、上ばりの曲げ降伏（図-5の⑤、⑥） $P=50.4\text{ t}$ 、 $R=15.5 \times 10^{-3}\text{ rad}$ ~ $P=61.3\text{ t}$ 、 $R=17.7 \times 10^{-3}\text{ rad}$ によって架構の崩壊に至っている。一方、Bタイプの場合、実験ではパネルゾーンのウェブが局部座屈したのち張力場に移行するときに、フランジでも局部座屈を起こす。したがって、パネルゾーンの曲げ剛性が大きく低下していると考えられる。しかし解析では、これらのことを全く考慮していない

ために、架構の耐力は上昇し続ける結果となってしまった。Cタイプの解析結果では、 $P=12.7\text{ t}$ 、 $R=7.30 \times 10^{-3}\text{ rad}$ で下ばりの両端部で曲げ降伏し（図-5の①）、次いで $P=12.8\text{ t}$ 、 $R=7.45 \times 10^{-3}\text{ rad}$ で上ばりも曲げ降伏する（図-5の②）。これで理論的には不安定架構となるために、実験値のように耐力は上昇しない。

#### 4.2 架構の降伏荷重、剛性、耐力、変形能力

前節で述べたようにそれぞれの試験体は、架構の各部が順に降伏することにより全体の崩壊が進むのであるが、荷重-層間変形曲線の接線勾配が大きく変化する点を考えると、Aタイプ、Bタイプではともにパネルゾーンがせん断降伏するときと、下ばりが両端部で曲げ降伏するときである。また、Cタイプでは上下のはりが端部で曲げ降伏することにより架構が降伏している。それぞれの降伏荷重は表-2に示すとおりである。

パネルゾーンのせん断降伏荷重は、Aタイプの方がBタイプよりいく分高くなっているが、そのときの変形は逆にBタイプの方が若干大きくなっている。下ばりの曲げ降伏荷重については、Aタイプ、Bタイプ、Cタイプの比率が（4：2.8：1）となり、パネルゾーンの変形能



力が大きいBタイプの降伏荷重が、Aタイプの約70%と低くなっている。しかしそのときの変形量が、すべての試験体についてほぼ等しいことからみて、下ばりの曲げ降伏は架構の層間変形がある一定値に達すると生ずると考えられる。

#### 架構の水平剛性

各架構の初期剛性を比較するとAタイプ、Bタイプ、Cタイプの順に(6.4:4.8:1)となる。したがってパネルゾーンの大きいBタイプが、Aタイプの約75%と低下しているものの、Cタイプに比べると非常に高い値を示している。このことから、ブレースの有無が架構の初期剛性に大きい影響を及ぼしていることがわかる。次に、下ばりの曲げ降伏時の剛性(第2剛性)をみれば、BタイプがAタイプの約半分に低下しており、パネルゾーンの大きさがかなり関係している。このことは初期剛性に対する第2剛性の割合(剛性低下率)にも端的に現われている。つまり、パネルゾーンの小さいAタイプの場合剛性低下率は73%にすぎず、どんどん荷重が上昇するのに対し、Bタイプでは53%の剛性低下率を示し、パネルゾーンの降伏後は荷重上昇の割合がにぶっている。

#### 最大耐力

最大耐力については、表-2に示すようにAタイプ、Bタイプ、Cタイプの比率が(3.3:2.1:1)となっている。Aタイプはブレースの耐力を限界まで使うことによって架構の耐力を高めているが、Bタイプではパネルゾーンの局部座屈が先行するために、ブレースに余力を残している。したがって、Bタイプの最大耐力はAタイプほどは高くないが、Cタイプに比べては約2倍の耐力を有していることがわかる。

#### 変形能力

変形能力とは、架構が最大耐力に達し、耐力低下し始めるまでに期待できる架構の変形量を意味している。今回の実験で得られた各架構の変形能力は表-2の最大耐力時の変形量に示されているが、Aタイプの場合については、ブレースの高力ボルトが滑っているため、表の値には疑問が残る。そこで高力ボルトが滑らなかった場合の変形を次のように仮定して求めた。つまり架構の荷重-層間変形曲線は高力ボルトが滑った点の傾きで上昇し続けるとし、さらにブレースの座屈で決まる架構の最大耐力は高力ボルトの滑りに関係しないと考えた。するとAタイプの最大耐力点は $P_{max}=63.2t$ 、 $R=15.7 \times 10^{-3} \text{rad}$ となる。この値をとれば、最大耐力時の変形量はAタイプ、Bタイプ、Cタイプの順に(0.66:0.90:1)の比率となり、BタイプがほぼCタイプと等しい変形能力をもつのにに対し、AタイプではCタイプの2/3程

度である。

#### 4.3 架構の安定性

安定した架構とは、変形能力が大きく、耐力の急激な低下をきたさず、繰返し荷重を受けても初期の剛性、耐力を保つ履歴特性の良い架構をいう。その意味では、Aタイプの場合は、図-4にみられるように、ブレースの座屈および降伏による耐力低下が大きいことや、高力ボルトの滑りによって荷重低下を何度もくり返していることから、安定性が良いとはいえない。これに対しBタイプは、パネルゾーンが局部座屈を起こしてもブレースが健全であるため急激な耐力低下はみられず、層間変形角 $R$ が $1/30$ に達しても、耐力の低下は最大耐力の約4%にすぎない(Aタイプの耐力低下の割合は $R \approx 1/30$ で25%である)。また $R=1/30$ での繰返し加力に対しても十分初期の剛性、耐力を保持しており、安定した履歴特性を示している。Cタイプの場合は、はりフランジの局部座屈が架構の耐力低下の原因となっているが、その低下の割合は $R \approx 1/30$ で約3%にすぎず、履歴特性の安定した架構であることを示している。

AタイプとBタイプとで架構の安定性が著しく異なる原因は、ブレースとパネルゾーンの挙動に関係している。図-6はブレースの軸方向ひずみ $\epsilon_b$ とパネルゾーンのせん断ひずみ $\gamma$ との関係を示したものである。

パネルゾーンが弾性域にあるときの両ひずみ量の比 $\epsilon_b/\gamma$ の値はAタイプが0.20で、Bタイプが0.13であるから、Bタイプの方がブレースのひずみ増加の割合が小さいことがわかる。また、パネルゾーンのせん断降伏時におけるブレースのひずみ量はAタイプが $\epsilon_b=766 \times 10^{-6}$ であるのに対して、Bタイプでは $\epsilon_b=503 \times 10^{-6}$ と小さい。さらに、パネルゾーンの降伏後の $\epsilon_b/\gamma$ の値をみるとAタイプのパネルゾーンの方が1.4倍のせん断剛性を示しており、ブレースのひずみの増加を促していることがわかる。

Aタイプでは $\epsilon_b$ が $1541 \times 10^{-6}$ まで増加し続けた後ブレースが座屈しているが、Bタイプでは $\epsilon_b=840 \times 10^{-6}$ でパネルゾーンのウェブが局部座屈を起こした後は $\epsilon_b/\gamma \leq 0$ となり、ブレースのひずみは全く増加せず、パネルのせん断変形のみが一方向的に進んでいる。したがってBタイプでは、架構の水平耐力がブレースによって一定に保持されながら、架構の変形はパネルゾーンの変形とともに増加することがわかる。

また、繰返し荷重に対しても、パネルゾーンがほぼ初期のせん断剛性を保ち、ブレースの軸方向ひずみが $\epsilon_b=600 \sim 800 \times 10^{-6}$ まで回復している。

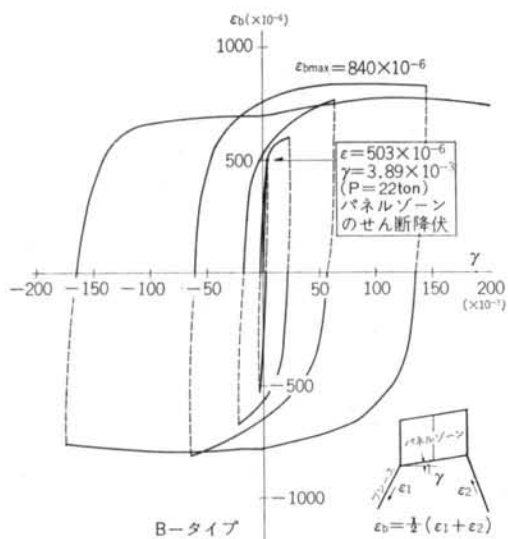
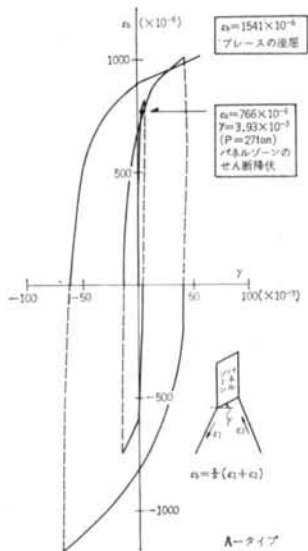


図-6  $\epsilon_b$ - $\gamma$  曲線

#### 4.4 架構の応力状態

弾性時における各架構の応力分布状態を、図-7に示す。Aタイプでは、ブレースに大きい応力が集中しているが、Bタイプでは柱、はりに応力が分散されているために、ブレースの応力がAタイプよりは小さくなっている。架構の水平耐力は柱とブレースによって分担されるが、その割合はAタイプでは柱が約75%でブレースが約85%となっているのに対し、Bタイプでは柱が20~25%で、ブレースが70~75%の割合になっている。また、Bタイプの上ばり中央部に大きいモーメントが生じてお

り、この部分でのエネルギー吸収が大きいことがわかる。

図-8はAタイプ、Bタイプのパネルゾーンの主応力を示したものである。両タイプとも、ブレースの取付け部から局部的にパネルゾーンの降伏が始まっている。この傾向は、パネルゾーンの小さいAタイプにおいて特に顕著である。

#### 4.5 解析方法の問題点

解析により得られた架構の水平剛性、降伏荷重、変形、崩壊過程、応力状態はすべて実験値とよく一致している(図-4、図-5、表-2、図-7)。しかし、Aタイプのパネルゾーンについてはその幅が小さく、図-8にみられるように応力分布が均一でないため、パネルゾーンを単なる線材として扱うことに多少問題のあることが

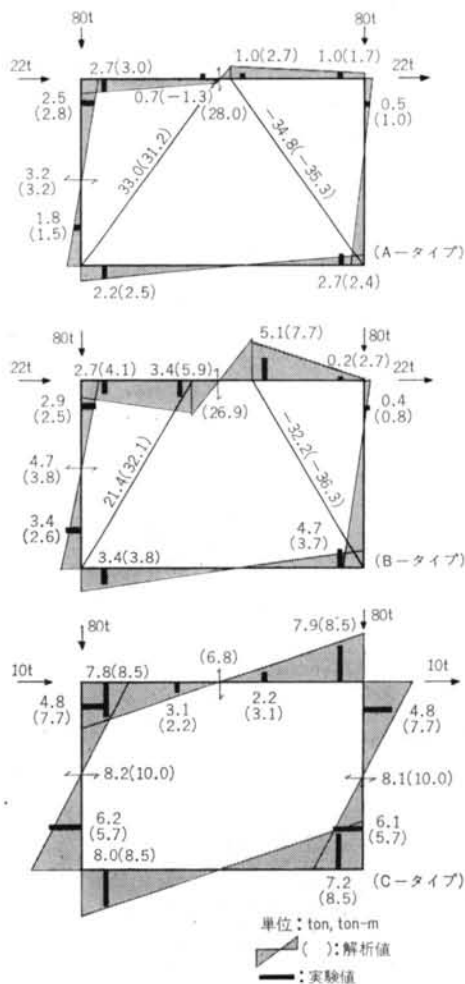


図-7 架構の応力



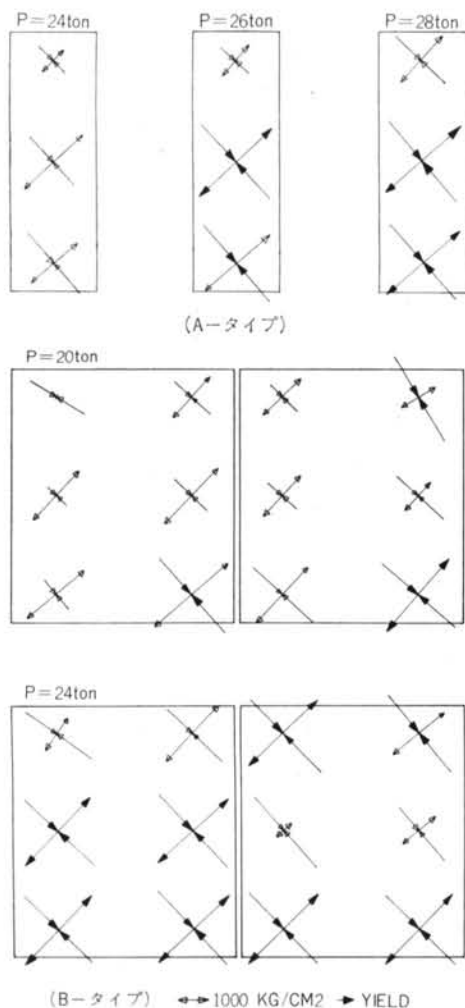


図-8 パネルゾーンの主応力

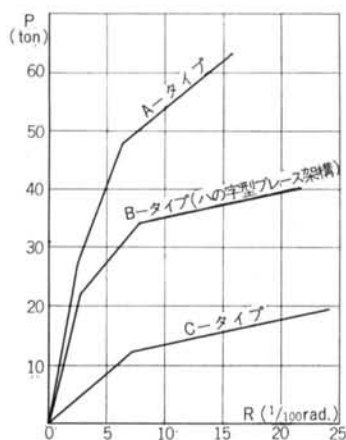


図-9 荷重一層間変形角折線置換

初期剛性の違いとなって現われている。Bタイプについては、解析ではパネルゾーンのウェブ座屈を考慮していないため、最大耐力や崩壊過程において実験結果とうまく一致していない。また、ひずみ硬化の影響がCタイプの最大耐力の実験値と解析値に誤差を生じているものと考えられる。これらのことが、今後の解析方法の問題点として残っている。また、Bタイプ、Cタイプにおいて、わずかではあるが耐力低下を起こす原因は、はりフランジの局部座屈にあると考えられる。これらのことを考慮すればより正確な解析が行なわれるであろう。

## § 5. まとめ

架構の荷重一層間変形曲線を Bi-Linear あるいは Tri-Linear の折線に置換することは、架構の地震応答解析や塑性設計の弾塑性解析において通常よく行なわれる手法であるが、ここでは各架構の崩壊過程をもとにして、パネルゾーンのせん断降伏点、下ばりの曲げ降伏点、および最大耐力点を結ぶ折線に置換して、それぞれの架構の特性を比較してみる(図-9)。ただし、Aタイプの場合、高力ボルトの滑り分を差引いた変形量で考える。

ブレースの軸心をはり軸心で交差させた場合(Aタイプ)は、ブレースに大きい応力を負担させて、その耐力の限界まで活用するために、架構の水平耐力、水平剛性は高くなるが、逆に変形能力はあまり期待できないことがわかる。一方、ブレースを持たない架構(Cタイプ)では、大きい変形能力を有し、安定した履歴特性を示しているが、柱でのみ水平力に抵抗するため、架構の水平耐力、剛性は小さくなってしまふ。

それに対して、「ハの字型ブレース架構」(Bタイプ)はAタイプとCタイプの中間に位置し、両者の特性を十分生かした架構といえる。初期剛性については、ブレースの働きによってAタイプの70%を有し、パネルゾーンの降伏荷重も、Cタイプ架構の降伏荷重の約2倍まで上昇している。さらに、パネルゾーンのせん断降伏後は、Cタイプの特性に近づき始め、その変形能力においてはCタイプの90%を有している。しかもブレースの働きによって、下ばりの曲げ降伏荷重はCタイプの3倍、最大耐力についてもCタイプの2倍まで上がっている。最大耐力後は、パネルゾーンが張力場となって抵抗するとともにブレースには余力を残すため、Aタイプと異なってブレースの座屈、降伏にともなう急激な耐力低下をき

たさず、安定した履歴特性を示すことが明らかになった。

設計、解析の面からみても「ハの字型ブレース架構」では、パネルゾーンの大きさや強度を適当に選ぶことにより、所定の剛性、耐力を得ることが可能であるばかりでなく、Bタイプ程度のパネルゾーン(スパンの約20%)であれば、線材として解析し得ることが今回の実験と解析の比較からわかる。このことは、Aタイプのようにブレースやはりの軸心を合わせる設計であっても、必然的にはり中央部に狭いパネルゾーンを形成することになり、かえって解析方法が複雑になることを考えれば大きな利点といえる。

## § 6. おわりに

今回の実験で「ハの字型ブレース架構」は、当初意図したとおり十分な剛性、耐力を保持するとともに、満足すべき変形能力を有し、繰返し荷重によっても安定した履歴特性を示すなどの特性が明らかになったが、今後はさらに、パネルゾーンの大きさ、強度と架構の剛性および水平耐力との関係を定量的に把握し、設計の指針とな

り得る資料を作ることが必要である。

また、パネルゾーンのウェブや、はりフランジの局部座屈、ひずみ硬化等を考慮した解析法を進めること、およびスラブが架構に与える影響や、多層建物に組み入れられた場合の挙動等を明らかにすることなどが今後の研究課題として残っている。

## 謝辞

本実験は第一勧業銀行様のご厚意、ご協力によって行なわれたものであります。ここに謹んでお礼申し上げます。

実験全般にわたってご指導を下さいました坪井善勝当社顧問、横浜国大の石丸麟太郎助手各位に対して、さらに実験場所や設備を快く提供して下さいました川崎製鉄㈱鋼構造研究所の盛岡純一主任研究員、川島義克氏の各位に対し、ここに謹んで感謝の意を表します。また、実験計画および実施にあたっては建築部の水上良夫課長、設計部の坪沼義雄課長、宇野寿郎氏吉村昌宏氏、小川雄一郎氏のご協力が多大であること、解析については船岡忠雄氏にご助言いただいたことを記すとともに、ここに深く感謝の意を表します。

## 〈参考文献〉

- 1) 若林実：“鉄骨構造における筋かいの性状について” カラム
- 2) 藤本盛久他：“繰返し水平荷重をうける筋違付鉄骨ラーメンの弾塑性性状に関する研究”日本建築学会大会梗概集，昭和46年
- 3) 田中尚：“建築構造の現状と問題点” JSSC, No. 15
- 4) 坂本順也：“弾塑性とう角式とその応用”日本建築学会大会梗概集，昭和44年
- 5) 鈴木敏郎：“横座屈理論概説ならびに設計公式” JSSC, No. 17
- 6) R. W. Clough: “Inelastic Earthquake Response of Tall Building”
- 7) 藤本盛久，青柳司，和田章：“偏心K型ブレース架構の特性に関する研究”日本建築学会論文報告集，No. 195
- 8) 日本建築学会：“鋼構造塑性設計規準案”