

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vo2. (1970) No.1

Hフレームの柱はり接合部の実験的研究

Experimental Study of Column-Beam Joint in the H-Frame

荻野 英也(Hideya Ogino) 山口 修一(Shuichi Yamaguchi) 田口 武一(Takekazu Taguchi)

要旨：

当社ではH形鋼によるプレハブ山形フレームを“Hフレーム”と名づけて販売している。その力学的性状を知り合理的設計に資するため、種々の型式を有する柱はり隅角部の剛性および強度について比較実験した結果次のことがわかった。(1)ハンチは接合部の剛性および耐力を十分に高めている。(2)ハンチ始端柱はりウェブの補強リブの省略は可能である。(3)柱はり継手の突合せ溶接部分に用いている補強プレートは省略できる。

Synopsis：

Since 1968, Kawasaki Steel has been marketing its prefabricated steel gable with H-shapes by the name of "H-Frame". This report deals with the experimental study of the column-beam joint of the H-Frame. In the experiment we tested two specimens without haunch and four specimens with haunch in order to make clear the following points: (1) The effects of the haunch. (2) The effects of the stiffness at haunch's beginning point. (3) The behavior of web in panel zone. (4) The strength of welding part in joint. The result of the above experiment was found very useful for the H-Frame design.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

H フレームの柱はり接合部の実験的研究

Experimental Study of Column-Beam Joint in the H-Frame

荻野 英也*

Hideya Ogino

山口 修一**

Shuichi Yamaguchi

田口 武一***

Takakazu Taguchi

Synopsis :

Since 1968, Kawasaki Steel has been marketing its prefabricated steel gable with H-shapes by the name of "H-Frame".

This report deals with the experimental study of the column-beam joint of the H-Frame.

In the experiment we tested two specimens without haunch and four specimens with haunch in order to make clear the following points:

- (1) The effects of the haunch.
- (2) The effects of the stiffness at haunch's beginning point.
- (3) The behavior of web in panel zone.
- (4) The strength of welding part in joint.

The result of the above experiment was found very useful for the H-Frame design.

1. まえがき

当社では昭和43年4月以来、工場、倉庫、体育館などを対象としてH形鋼によるプレハブフレームを「Hフレーム（山形タイプ）」と名づけて販売している。

Hフレームは経済設計を目指しているため、柱はり隅角部にハunchを設け、強度および剛性を高

めたものを一部採用しているが、この力学的性状を知り合理的設計に資するため、実験研究を行った。

本実験では

- (1) ハンチおよびそれに付随する補強リブの効果
- (2) 接合部の溶接強度の検討
- (3) 隅角部パネルゾーンの応力状態や補強の必要性の有無の確認などを目的とした。

* 建材開発部建築開発室課長

*** 横浜国立大学工学部教授

** 建材開発部建築開発室部長

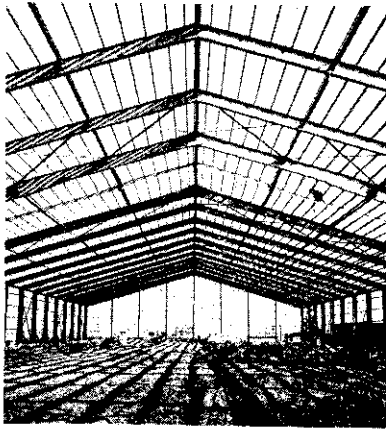


写真 1 Hフレーム

2. 試験体および実験方法

2.1 試験体

実験に用いた素材の機械的性質を表1に示す。

表 1 試験材料の機械的性質

材 料	板厚 (mm)	降伏点 (t/cm^2)	引張強さ (t/cm^2)	伸び (%)	ヤング率 ($10^3 t/cm^2$)
SS 41 H 250×125 ×6×9	8.3	2.94	4.38	28.6	2.24
" R 6	5.8	2.97	4.51	28.2	2.10
" R 9	9.0	2.81	4.36	26.9	2.14

* H 形鋼の試験片はワランジより切り出した

実際のHフレームが屋根勾配3/10であるため、試験体も、はり柱の交角が約 107° になるようにした。図1に示す試験体A-1, A-2, A-3は、はり柱の長さを等しくし、交角が水平軸で2等分され、このため柱、はりおよびパネルゾーンに生ずる応力が水平軸に關し対称になるようにした。図2に示す試験体B-1, B-2, B-3は実際のHフレームの柱はりに想定される軸方向力の比とはほぼ等しい割合で、軸方向力が導入されるように柱はりの長さを変えた。またB-1, B-2, B-3では、実際のHフレームに準じて、柱はりの突合せ溶接による接合部に補強プレートを用いて補強した。

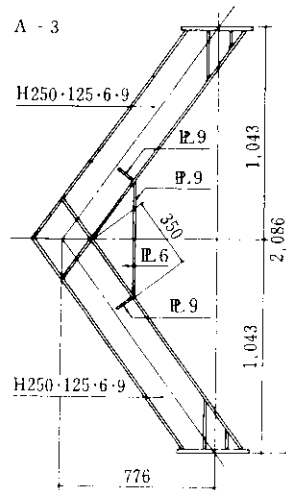
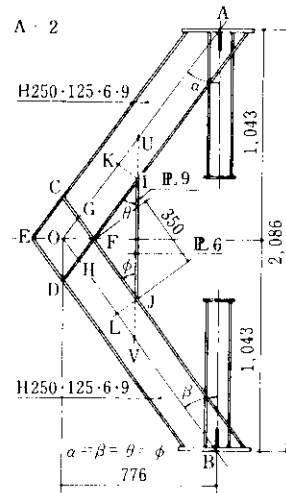
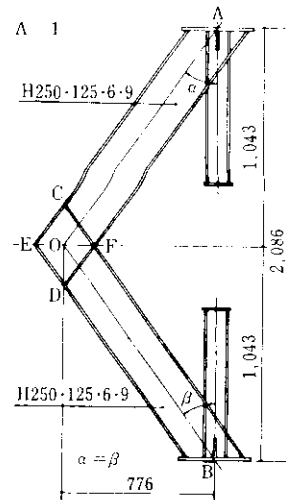


図 1 試験体 A

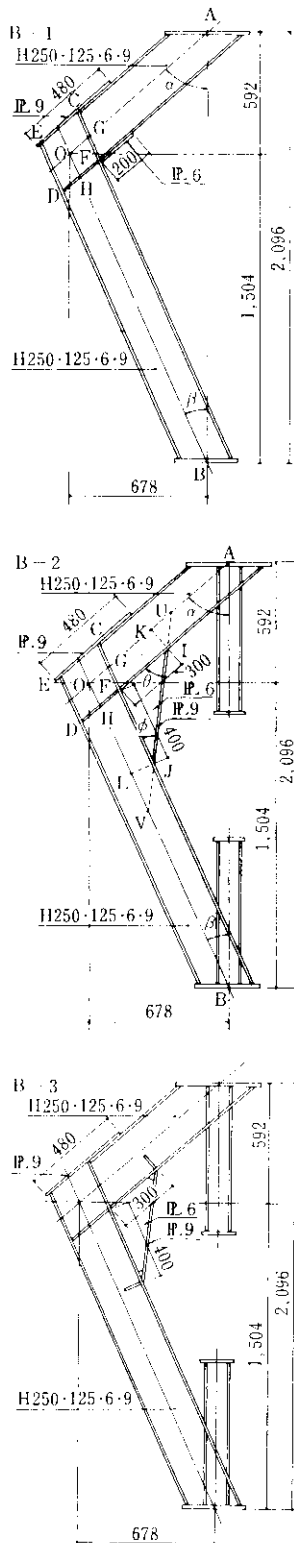


図 2 試験体 B

A-1, B-1 はハンチのないもので、A-2, B-2 はハンチをもち、A-3, B-3 は、さらにハンチ始端の柱はりウェブをリブで補強している。

2・2 実験方法

载荷は、図 3 に示すように試験体の上下から内

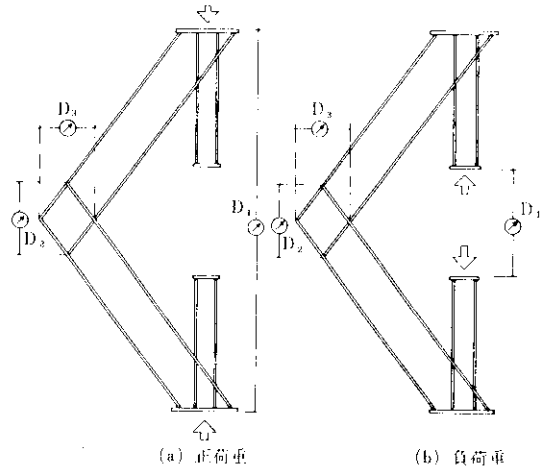


図 3 载荷方法および変形測定位置

側へ加力するものを正荷重、内側から外へ向けて加力するものを負荷重とし、正荷重载荷は 100 t プラスター型圧縮試験機で、負荷重载荷は 50 t 分離式油圧ジャッキで行なった。

写真 2 に試験体 A-1 および実験装置を示す。

载荷による上下载荷点間距離の変化およびパネルブーンの角度変化の測定には、1/100 mm ダイヤルゲージを用い、柱はりのフランジ、ウェブ、

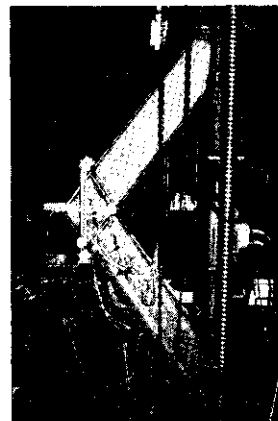


写真 2 実験装置および試験体 A-1

表 2 試験体および荷重一覧表

試験体	柱長 はり長	ハンチ	補強リブ	柱軸方向力 はり軸方向力	荷重方法	試験体	柱長 はり長	ハンチ	補強リブ	柱軸方向力 はり軸方向力	荷重方法
A-1	1.0	なし	なし	1.0	正負繰返し	B-1	1.83	なし	なし	1.39	正荷重繰返し
A-2	同上	有り	なし	同上	同上	B-2	同上	有り	なし	同上	正負繰返し
A-3	同上	有り	有り	同上	正荷重繰返し	B-3	同上	有り	有り	同上	同上

パネルゾーンおよびハンチフランジの歪測定には、ワイヤストレーンゲージを用いた。なおパネルゾーンの角度変化量はパネルゾーンの対角線方向の長さ l_1 , l_2 の変化量 Δl_1 , Δl_2 をダイヤルゲージで測定し、次式で求めた。

$$\gamma = \frac{2(\Delta l_1 l_2 + \Delta l_2 l_1)}{l_1^2 + l_2^2} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 1)$$

試験体および荷重方法を表 2 にまとめて示す。

3. 実験結果

図 4, 5 は試験体 A, B のそれぞれについて、荷重 P と上下荷重点間の距離の変化量 δ の関係を示したものである。

A-1 では 3 サイクル目の繰返し正荷重 12.2 t で、パネルゾーンの座屈が始まり、これにより終局耐力状態となった。なお最大荷重は $P_{max} = 12.32$ t である。A-2 では 2 サイクル目正荷重で試験体が面外へ変形し、このため、2 サイクル負荷重 12.8 t で、試験体全体の面外座屈を起こし、荷重が -2.6 t まで下った。3 サイクル正荷重 17.4 t で、ハンチ付根部分のウェブが座屈した。最大荷重は $P_{max} = 18.5$ t である。A-3 では 3 サイクル目の正荷重 20.3 t でハンチ付根のウェブが座屈した。座屈位置は、補強リブの外側である。最大荷重は $P_{max} = 20.45$ t である。

B-1 では 4 サイクルの正荷重 16.5 t で接合部、柱付根のフランジ（圧縮側）がわずかに座屈し、続いてパネルゾーンが座屈し終局状態となった。最大荷重 $P_{max} = 17.8$ t である。

B-2 では 2 サイクルの正荷重 20.5 t で柱ハンチ付根部分のフランジおよびウェブがほぼ同時に、局部座屈を生じ試験体がわずかに面外へ変形した。ここで荷重を下げさらに負荷重を加えたが、負荷重 15 t で、面外座屈を起こした。3 サイクル目の正荷重 10 t を過ぎるころからフランジとウェブ

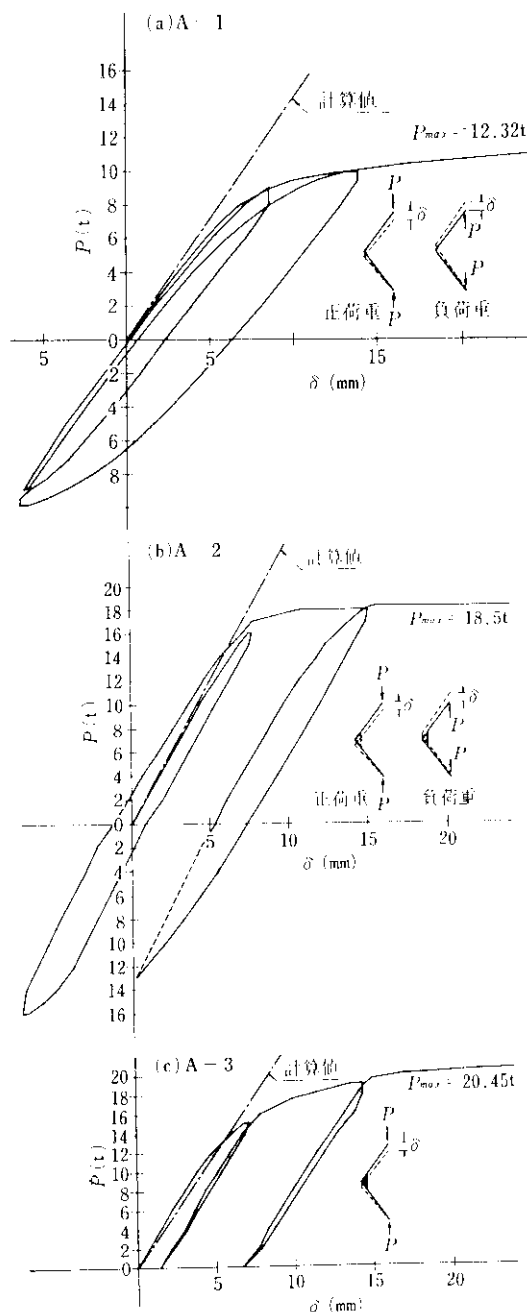


図 4 試験体 A の荷重—変位曲線

ブの変形が増大した。最大荷重は $P_{max}=20.8\text{ t}$ である。

B-3では2サイクル正荷重の19.5tで柱ハンチ付根のフランジが座屈を生じた。3サイクル目正荷重で破壊に至らしめた。フランジおよびウェブ

が同時に座屈した。最大荷重は $P_{max}=19.73\text{ t}$ である。

図6, 7はそれぞれ、試験体 A-1, A-2, およびB-1, B-2についての荷重 P とパネルゾーンの角度変化 γ との関係を示したものである。

図8, 9はそれぞれ試験体 A-2, A-3 およびB-2, B-3について荷重 P とハンチフランジの歪みの関係を示したものである。

なおすべての試験体の溶接部には全く異常はみられなかった。

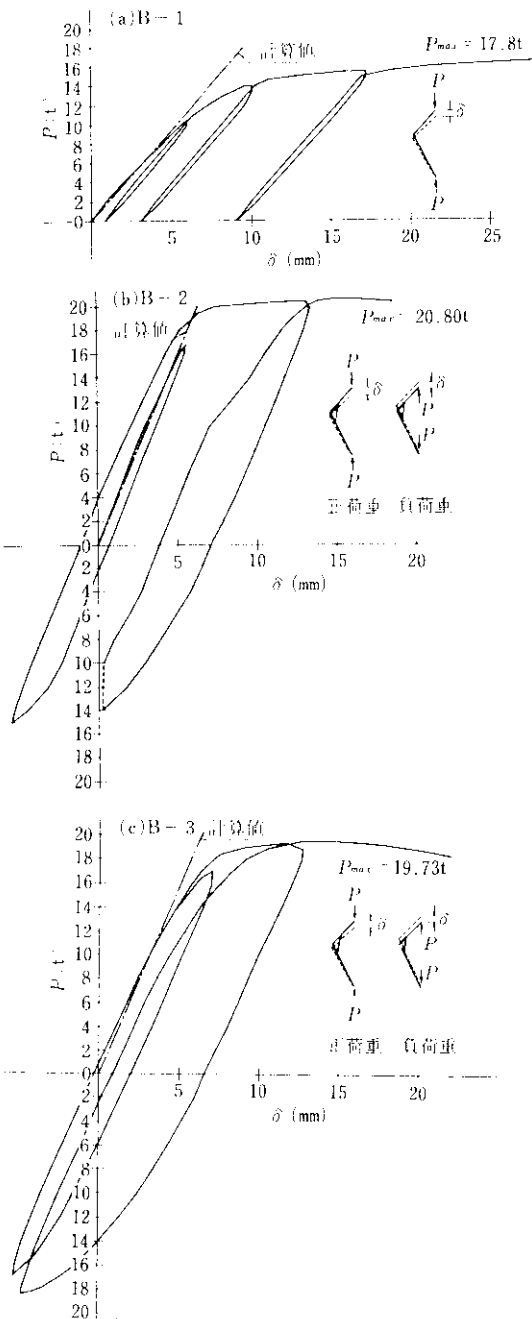


図5 試験体Bの荷重—変位曲線

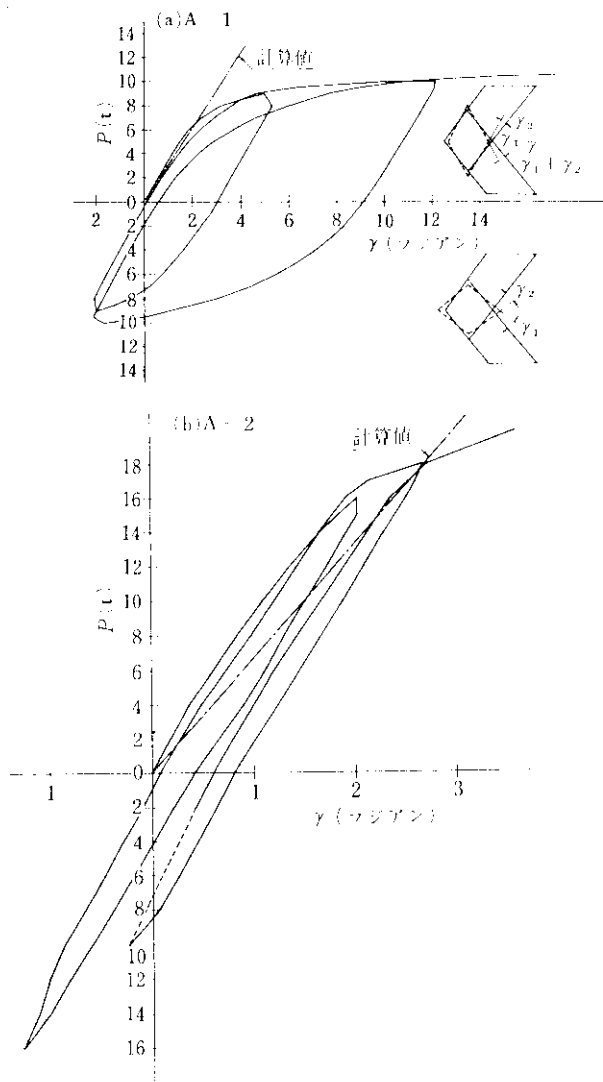


図6 試験体Aの荷重—パネルゾーン角度変化曲線

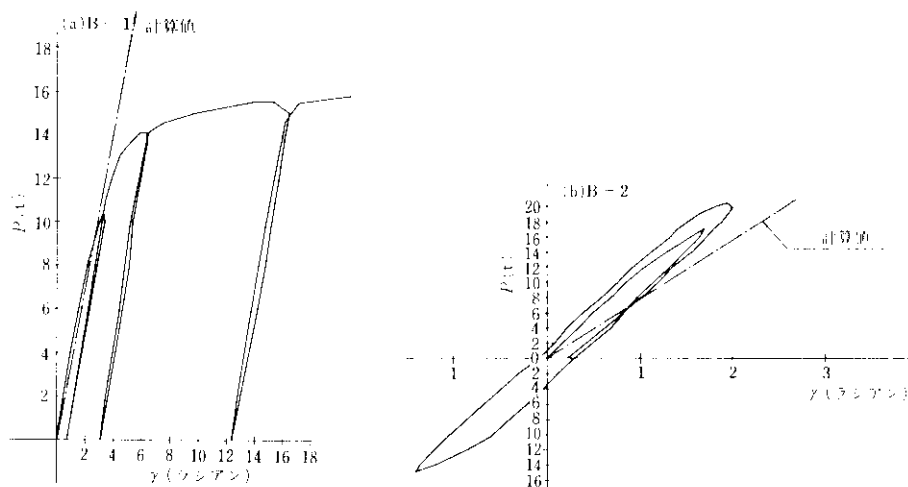
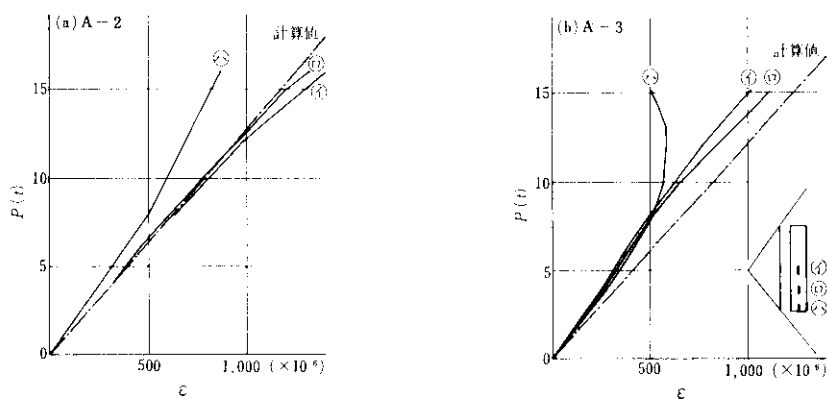
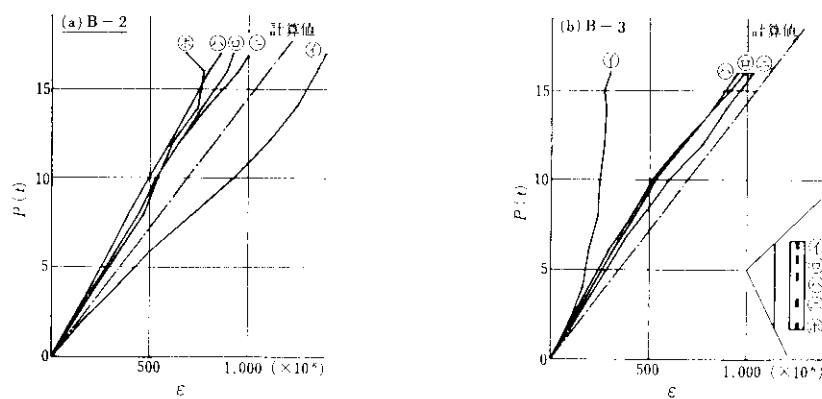


図 7 試験体Bの荷重・パネルゾーン角度変化曲線

図 8 試験体Aのハンチフランジ部の P - ϵ 曲線図 9 試験体Bのハンチフランジ部の P - ϵ と曲線

4. 降伏荷重終局耐力および変形の計算

4.1 試験体 A-1

(1) 柱はりの降伏荷重

図1, A-1において, AO, BOを材軸とする。
GおよびHにおける曲げモーメント M , 軸方向力 N , 応力度 σ および $\overline{AG} = \overline{BH} = l$ とすると

$$M = Pl \sin \alpha = 69.79 P \text{ (t cm)} \quad (4.1)$$

$$N = P \cos \alpha = 0.802 P \text{ (t)} \quad (4.2)$$

$$\sigma = -\frac{N}{A} + \frac{M}{Z} \quad (4.3)$$

A : 部材の断面積

Z : 部材の断面係数

となり σ に部材の降伏点 2.94 t/cm^2 を入れると
柱はりの降伏荷重 P_V が求まる。

$$P_V = 12.42 \text{ (t)} \quad (4.4)$$

(2) 柱はりの終局耐力

部材の全断面が, 軸方向力および曲げモーメントをうけて降伏点に達した場合を, 終局耐力時とすれば, 柱はりの終局耐力 P_B は,

$$P_B = 14.55 \text{ (t)} \quad (4.5)$$

となる。

(3) パネルゾーンの降伏荷重

柱はりの軸方向力はフランジのみが負担するものと仮定し, パネルゾーンの4辺に働くせん断力 Q を求める。 P の各辺方向の分力を P_1 とすれば,

$$Q = \frac{M}{I} \times \frac{H}{2} \times A_F - \frac{P_1}{2} = 2.024 P$$

ここに

I : 部材の断面2次モーメント (cm^4)

H : H形鋼のフランジ中心間距離 (cm)

A_F : H形鋼のフランジ断面積 (cm^2)

また, 曲げモーメント M によってフランジ中央に生ずる応力度を σ_m とすると,

$$\begin{aligned} \sigma_m &= \frac{M}{I} \times \frac{H}{2} \times \cos\left(\frac{\pi}{2} - 2\alpha\right) \\ &= 0.1915 P \text{ (t/cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

となる。パネルゾーンの周辺は, 直交していないが, 計算を簡略にするため, 周辺が直交しているものとして解析する。パネルゾーンの境界条件を

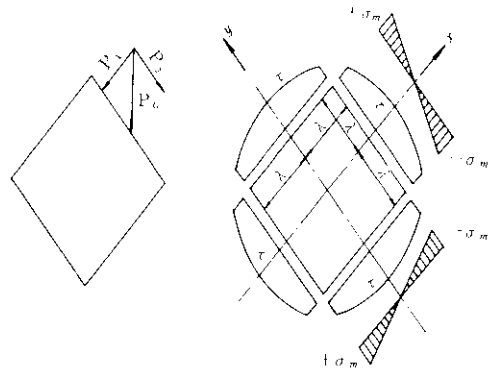


図10 パネルゾーンの境界条件

図10のごとく仮定する。Airy の応力関数 F を

$$\begin{aligned} F &= \frac{\sigma_m}{12} \left(\frac{x^3 y}{\lambda^2} + \frac{xy^3}{\lambda^2} - \frac{x^3}{\lambda} + \frac{y^3}{\lambda} \right) \\ &\quad - \left(\frac{Q}{2t\lambda} + \frac{\sigma_m}{3} \right) xy \quad (4.6) \end{aligned}$$

ただし

λ : パネルゾーンの一边の長さの1/2

t : パネルゾーンの厚さ

とすれば, これは次の適合条件式を満足している。

$$\frac{\partial^4 F}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 F}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 F}{\partial y^4} = 0 \quad (4.7)$$

また x 方向, y 方向の応力度を σ_x , σ_y , せん断応力度を τ_{xy} とすると

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} = \frac{\sigma_m}{2\lambda^2} xy + \frac{\sigma_m}{2\lambda} y \\ \sigma_y &= \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = \frac{\sigma_m}{2\lambda^2} xy - \frac{\sigma_m}{2\lambda} x \\ \tau_{xy} &= -\frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} = -\frac{\sigma_m}{4\lambda^2} x^2 - \frac{\sigma_m}{4\lambda^2} y^2 \\ &\quad + \left(\frac{Q}{2t\lambda} + \frac{\sigma_m}{3} \right) \end{aligned} \right\} \quad (4.8)$$

で, σ_x , σ_y に $x = \pm\lambda$, $y = \pm\lambda$ を代入すると, 仮定した境界条件を満足している。 τ_{xy} を $y = \pm\lambda$ において x について積分すると

$$\begin{aligned} \int_{-\lambda}^{\lambda} \tau_{xy} t dx &= \int_{-\lambda}^{\lambda} \left\{ -\frac{\sigma_m}{4\lambda^2} x^2 - \frac{\sigma_m}{4\lambda^2} y^2 \right. \\ &\quad \left. + \left(\frac{Q}{2t\lambda} + \frac{\sigma_m}{3} \right) \right\} t dx = Q \end{aligned}$$

となり, 境界条件を満足している。パネルゾーンの降伏は, せん断力に支配され, $x=y=0$ の点で

生ずるものとすれば、この点において、

$$\tau_{xy} = \frac{Q}{2t\lambda} + \frac{\sigma_m}{3} = 2.03 P \quad (4.9)$$

となり、せん断弾性歪エネルギー説より

$$\tau_{xy} = \sqrt{\frac{\sigma_y}{3}} = 1.697$$

で降伏するとすれば、パネルゾーン降伏荷重 P_P は (4.9) 式より

$$P_P = 8.36 (t) \quad (4.10)$$

と求まる。

(4) パネルゾーンの終局耐力

終局耐力時には全面にわたり降伏するので図10で放物線状分布を仮定したせん断応力度が一様分布に変わるものと考えられる。したがって

$$\tau_{xy} = \frac{Q}{2t\lambda} = \sqrt{\frac{\sigma_y}{3}}$$

$$Q = 2.024 P$$

より、パネルゾーンの終局耐力 P_P が求まる。

$$P_P = 12.19 (t) \quad (4.11)$$

(5) パネルゾーンの角度変化

パネルゾーンの x , y 方向の歪度およびせん断歪度を ε_x , ε_y , γ_{xy} とすれば、

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} (\sigma_x - \nu \sigma_y) = \frac{1}{E} \left\{ \frac{\sigma_m}{2\lambda^2} xy(1-\nu) + \frac{\sigma_m}{2\lambda} (y + \nu x) \right\}$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} (\sigma_y - \nu \sigma_x) = \frac{1}{E} \left\{ \frac{\sigma_m}{2\lambda^2} xy(1-\nu) - \frac{\sigma_m}{2\lambda} (x + \nu y) \right\}$$

$$\gamma_{xy} = \frac{1}{G} \tau_{xy} = \frac{2(1+\nu)}{E} \left\{ -\frac{\sigma_m}{4\lambda^2} (x^2 + y^2) + \left(\frac{Q}{2t\lambda} + \frac{\sigma_m}{3} \right) \right\} \quad (4.12)$$

ただし

E : ヤング率

ν : ポアソン比

G : せん断弾性係数

となる。 ε_x , ε_y を積分して、 x 方向、 y 方向の変位 u , v を求めると、 $f(y)$, $g(x)$ を任意関数として、

$$\begin{aligned} u &= \frac{1}{E} \left\{ \frac{\sigma_m}{4\lambda^2} (1-\nu) x^2 y + \frac{\sigma_m \nu}{4\lambda} x^2 \right. \\ &\quad \left. + \frac{\sigma_m}{2\lambda} xy \right\} + f(y) \\ v &= \frac{1}{E} \left\{ \frac{\sigma_m}{4\lambda^2} (1-\nu) xy^2 - \frac{\sigma_m \nu}{4\lambda} y^2 \right. \\ &\quad \left. - \frac{\sigma_m}{2\lambda} xy \right\} + g(x) \end{aligned} \quad (4.13)$$

となる。また

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}$$

であるから、これから次の関係が得られる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(y)}{\partial y} &= -\frac{(3+\nu)\sigma_m}{4E\lambda^2} y^2 + \frac{\sigma_m}{2E\lambda} y + a_1 \\ \frac{\partial g(x)}{\partial x} &= -\frac{(3+\nu)\sigma_m}{4E\lambda^2} x^2 - \frac{\sigma_m}{2E\lambda} x + b_1 \end{aligned}$$

ただし、

$$a_1 + b_1 = \frac{2(1+\nu)}{E} \left(\frac{Q}{2t\lambda} + \frac{\sigma_m}{3} \right)$$

したがって、 m , n を積分定数とすれば、

$$\begin{aligned} f(y) &= -\frac{(3+\nu)\sigma_m}{12E\lambda^2} y^3 + \frac{\sigma_m}{4E\lambda} y^2 \\ &\quad + a_1 y + m \\ g(x) &= -\frac{(3+\nu)\sigma_m}{12E\lambda^2} x^3 - \frac{\sigma_m}{4E\lambda} x^2 \\ &\quad + b_1 x + n \end{aligned} \quad (4.14)$$

となる。パネルゾーンの角度変化を γ とすると、

$$\gamma = \frac{1}{2\lambda} \left\{ u \left(\frac{x}{y=1} \right) - u \left(\frac{x}{y=-1} \right) \right\} + \frac{1}{2\lambda} \left\{ v \left(\frac{y}{x=1} \right) - v \left(\frac{y}{x=-1} \right) \right\} \quad (4.15)$$

これに (4.13), (4.14) を代入すると、

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{1}{2\lambda} \left\{ \frac{\lambda \sigma_m}{E} (3-\nu) - \frac{\lambda \sigma_m}{3E} (3+\nu) \right. \\ &\quad \left. + 2\lambda(a_1 + b_1) \right\} = \frac{5}{3E} \sigma_m + \frac{1}{G} \frac{Q}{2t\lambda} \\ &= 0.324 \times 10^{-3} P \quad (4.16) \end{aligned}$$

これは図6(a)中の計算値を示す。

(6) 試験体全体の変位

パネルゾーンを除いた柱部分の軸方向力、曲げモーメント、せん断力による垂直方向の変位を δ_A とすると、仮想仕事の定理から

$$\begin{aligned} \delta_A &= \frac{1}{EA} \int N \bar{N} ds + \frac{1}{EI} \int M \bar{M} ds \\ &\quad + \frac{k}{GA} \int Q \bar{Q} ds \quad (4.17) \end{aligned}$$

ここに $\bar{N}$, $\bar{M}$, $\bar{Q}$ はそれぞれ仮想力による軸方

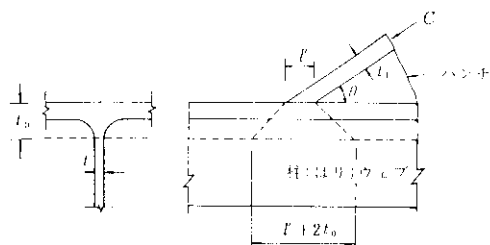


図 11 ハンチからの応力

向力、曲げモーメントおよびせん断力を表わす。 k は形状係数である。積分は図 1 A-1 において A から G まで行なう。これを計算すると、次のようになる。

$$\delta_A = 24.70 \times 10^{-3} P$$

はりの変位 δ_B も同様で

$$\delta_B = \delta_A$$

パネルゾーンの角度変化による AB 間の変位を $\delta\gamma$ とし、図 1 において $\overline{AG} = l$, $\overline{FG} = s$ とすれば、

$$\begin{aligned} \delta\gamma &= \gamma l \sin \alpha - \gamma s \sin \beta \\ &= 20.08 \times 10^{-3} P \end{aligned} \quad (4.18)$$

したがって全体の変位 δ は

$$\begin{aligned} \delta &= \delta_A + \delta_B + \delta\gamma \\ &= 69.48 \times 10^{-3} P \text{ (cm)} \end{aligned} \quad (4.19)$$

図 4 の計算値は(4.19)による。

4.2 試験体 A-2, A-3

(1) 柱はりの降伏荷重

柱はりは図 1 A-2 の LK 線上、JL 線上で降伏するものとし、 $\overline{AK} = a$ とおけば

$$M = Pa \sin \alpha = 51.16 P \text{ (t cm)}$$

$$N = P \cos \alpha = 0.802 P$$

$$\frac{N}{A} + \frac{M}{Z} = \sigma_r = 2.94$$

より降伏荷重 P_r が求まる。

$$P_r = 16.41 \text{ (t)} \quad (4.20)$$

(2) 柱はりの終局耐力

試験体 A-1 と同様に終局耐力 P_B が求められる。

$$P_B = 19.54 \text{ (t)} \quad (4.21)$$

(3) ハンチの降伏荷重

図 11 において、ハンチ部分のウェブを無視し、

ハンチのフランジを方杖とみなして計算する。試験体に荷重 P が働いたとき、ハンチのフランジには軸方向力 C が導入される。 C を仮想仕事の定理から求めると、

$$C = 1.512 P \quad (4.22)$$

となる。ハンチフランジの断面積を nA_F とするとハンチの降伏荷重 nP_r は

$$\frac{C}{nA_F} = \sigma_r = 2.81 \text{ (t/cm}^2\text{)}$$

より

$$nP_r = 16.73 \text{ (t)}$$

が求まる。

(4) パネルゾーンの角度変化

パネルゾーンの角度変化を γ 、パネルゾーンに働くせん断力を Q および曲げ応力度を σ_m とすると、図 1 において $\overline{AG} = l$, $\overline{AU} = m$ とすれば

$$\begin{aligned} Q &= \frac{Pl \sin \alpha - C(l-m) \sin \theta}{I} \times \frac{H}{2} \\ &\times A_F - \frac{1}{2} \frac{(P-C) \sin \alpha}{\cos(\pi/2 - 2\alpha)} \\ &= 2.024 P - 0.633 C \end{aligned} \quad (4.23)$$

$$\begin{aligned} \sigma_m &= \frac{Pl \sin \alpha - C(l-m) \sin \theta}{I} \times \frac{H}{2} \\ &\times \cos\left(\frac{\pi}{2} - 2\alpha\right) = 0.192 P - 0.077 C \end{aligned} \quad (4.24)$$

(4.16) 式から

$$\gamma = -\frac{5}{3E} \sigma_m + \frac{1}{G} \frac{Q}{2tl} = 0.150 \times 10^{-3} P \quad (4.25)$$

図 6 (b) の計算値は(4.25)による。

(5) 試験体全体の変位

試験体 A-1 と同様に仮想仕事の定理から求める。

$$\delta = 41.47 \times 10^{-3} P \quad (4.26)$$

が求まる。これは図 4 (b) (c) の計算値を示す。

(6) ハンチフランジからの応力集中

図 11 に示すようにハンチ始端において、柱またははりウェブに、ハンチフランジによる応力集中が起きている。鋼構造設計規準案 (日本建築学会) の式を適用する。

$$\frac{C \sin \theta}{t(l' + 2t_0)} = \frac{1.5}{1.3} \times \sigma_r \quad (4.27)$$

上式に $t = 0.6 \text{ cm}$, $l' = t_1 / \sin \theta = 1.5 \text{ cm}$

$t_0 = 2.1 \text{ cm}$, $C = 1.512 P$ を代入すると、ウェブ

応力集中から決まる耐力 wP は

$$wP=12.85 \text{ (t)} \quad (4\cdot28)$$

となる。

4・3 試験体 B-1

(1) 柱はりの降伏荷重

図 2B-2 において AO, BO, を材軸として, H 点における曲げモーメント M , 軸方向力 N は次式で表わされる。部材の降伏は H を通る断面で生ずるものと考えられる。 $\overline{BH}=l$ とおけば

$$M=Pl \sin \beta=62.43 P \text{ (tcm)}$$

$$N=P \cos \beta=0.912 P$$

$$\frac{N}{A} + \frac{M}{Z} = \sigma_r$$

より部材降伏荷重 P_r が求まる。

$$P_r=13.55 \text{ (t)} \quad (4\cdot29)$$

(2) 柱はりの終局耐力

A-1 と同様にして終局耐力 P_B が求まる。

$$P_B=16.08 \text{ (t)} \quad (4\cdot30)$$

(3) パネルゾーンの降伏荷重

荷重 P をパネルゾーンの周辺 CE, CF に平行な力 P_1, P_2 に分解する。

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= \frac{\sin \beta}{\cos(\pi/2 - \alpha - \beta)} P = 0.429 P \\ P_2 &= \frac{\sin \alpha}{\cos(\pi/2 - \alpha - \beta)} P = 0.786 P \end{aligned} \right\} \quad (4\cdot31)$$

柱はり軸力をフランジのみに負担させると, パネルゾーンの x 方向 y 方向の辺に働くせん断力 Q_x, Q_y は G 点, H 点の曲げモーメントを M_G, M_H とすると

$$\left. \begin{aligned} Q_x &= \frac{M_G}{I} \times \frac{H}{2} \times A_F - \frac{P_1}{2} = 1.7237 P \\ Q_y &= \frac{M_H}{I} \times \frac{H}{2} \times A_F - \frac{P_2}{2} = 1.6967 P \end{aligned} \right\} \quad (4\cdot32)$$

また材軸に直交し, G を通る断面, H を通る断面に曲げモーメントにより生ずるフランジ応力度 σ_{mG}, σ_{mH} は,

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{mG} &= \frac{M_G}{I} \times \frac{H}{2} \times \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha - \beta\right) \\ &= 0.159 P \\ \sigma_{mH} &= \frac{M_H}{I} \times \frac{H}{2} \times \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha - \beta\right) \\ &= 0.171 P \end{aligned} \right\} \quad (4\cdot33)$$

応力関数を F とすると

$$\begin{aligned} F &= \frac{\sigma_{mH}}{12\lambda^2} x^3 y + \frac{\sigma_{mG}}{12\lambda^2} xy^3 - \frac{\sigma_{mH}}{12\lambda} x^3 + \frac{\sigma_{mG}}{12} y^3 \\ &\quad - \left(\frac{Q_x}{2\lambda l} + \frac{3\sigma_{mG} + \sigma_{mH}}{12} \right) xy \end{aligned} \quad (4\cdot34)$$

F は適合条件式 (4・7) を満足し, また

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} = \frac{\sigma_{mG}}{2\lambda^2} xy + \frac{\sigma_{mG}}{2\lambda} y \\ \sigma_y &= \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = \frac{\sigma_{mH}}{2\lambda^2} xy - \frac{\sigma_{mH}}{2\lambda} x \\ \tau_{xy} &= -\frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} = -\frac{\sigma_{mH}}{4\lambda^2} x^2 \\ &\quad - \frac{\sigma_{mG}}{4\lambda^2} y^2 + \frac{Q_x}{3\lambda l} + \frac{3\sigma_{mG} + \sigma_{mH}}{12} \end{aligned} \right\} \quad (4\cdot35)$$

で, σ_x, σ_y に $x=\pm\lambda, y=\pm\lambda$ を代入すると, 境界条件を満足しており, τ_{xy} を $y=\pm\lambda$ にお

表 3 実験値と計算値の一らん表

	実 験 結 果		計 算 値 **				P_{max} P_0	P_{max} P_B	全体のたわみ δ $\times 10^{-3} P$ (cm/t) 計 算 値
	最大荷重 P_{max} (t)	破 壊 個 所	終局耐力 P_B (t)	降伏荷重 P_r (t)	設計荷重 P_0	破壊箇所			
A 1	12.32	パネルゾーン	12.19	8.36	6.89	パネルゾーン	1.81	1.01	69.48
A 2	18.50	ハンチ始端ウェブ座屈	19.54	16.41	13.40	ハンチ始端	1.38	0.95	41.47
A-3	20.45	同 上	19.54	16.41	13.40	同 上	1.53	1.04	
B 1	17.80	パネルゾーン	14.31	9.81	8.01	パネルゾーン	2.22	1.24	52.21
B-2	20.80	ハンチ始端柱ウェブ, フランジ座屈	20.69	17.19	14.03	ハンチ始端柱	1.48	1.01	31.15
B-3	19.73	ハンチ始端柱フランジ 座屈	20.69	17.19	14.03	同 上	1.41	0.95	

* 設計荷重は, 鋼材許容応力度を, 2.4 t/cm^2 として求めたものである。

** 各試験体の計算値は, H 形鋼の断面実測値により算出した断面積, 断面係数による。

いて x について積分すると、 Q_x となり、これも境界条件を満足する。パネルゾーンの降伏は、 $x=0, y=0$ の点で、せん断応力 τ_{xy} が $\tau_{xy} = \sigma_Y / \sqrt{3}$ のとき生ずるものとすれば、

$$\tau_{xy} = \frac{Q_x}{2\lambda l} + \frac{1}{12} (3\sigma_{mG} + \sigma_{mH}) = 0.1739 P \quad (4.36)$$

より、パネルゾーン降伏荷重 P_{PY} が求まる。

$$P_{PY} = 9.81 (t) \quad (4.37)$$

(4) パネルゾーンの終局耐力

A-1 の場合と同様な仮定をすれば、パネルゾーン終局耐力 P_{PB} は

$$P_{PB} = 14.31 (t)$$

(5) パネルゾーンの角度変化

A-1 の場合と同様に求めれば、角度変化 γ は

$$\gamma = \frac{1}{6E} \left\{ 6\sigma_{mG} + 4\sigma_{mH} + \nu(\sigma_{mH} - \sigma_{mG}) \right\} + \frac{1}{G} \frac{Q_x}{2\lambda l} = 0.276 \times 10^{-3} P \quad (4.38)$$

(4.38) 式は図 7(a) の計算値を示す。

(6) 試験体全体の変位

A-1 と同様にして求めると次式が得られる。

$$\delta = 52.21 \times 10^{-3} P \quad (4.39)$$

図 5(a) の計算値を表わす。

4.4 試験体 B-2, B-3

試験体 B-2, B-3 についての計算は、A-2, A-3 と同様に行なえばよい。以下計算結果のみを示す。

(1) 柱はりの降伏荷重

$$P_Y = 17.19 (t) \quad (4.40)$$

(2) 柱はりの終局耐力

$$P_B = 20.69 (t) \quad (4.41)$$

(3) ハンチの降伏荷重

$$C = 1.319 P \quad (4.42)$$

$$H P_Y = 19.17 (t) \quad (4.43)$$

(4) パネルゾーンの角度変化

$$\gamma = 0.127 \times 10^{-3} P \quad (4.44)$$

図 7(b) の計算値は (4.44) 式を表わしたものである。

(5) 試験体全体の変位

$$\delta = 31.15 \times 10^{-3} P \quad (4.45)$$

(6) ハンチフランジからの応力集中

図 2 にみるように、ハンチは柱と J 点で、はりと

I 点で交るが、交角の大きい I 点の方が応力の集中度が大きいと思われる。この点できまる耐力 $W P$ は

$$W P = 12.58 (t) \quad (4.46)$$

表 3 に実験結果と上記各計算値をまとめて示した。

5. 考 察

5.1 ハンチなし試験体

ハンチなし試験体 A-1, B-1 の破壊箇所はパネルゾーンで、予想位置と一致した。B-1 については、柱フランジが座屈を起したが、これは、パネルゾーンの座屈とほとんど同時に起きたものと思われる。B-1 のパネルゾーンの予想終局耐力は 14.31 t、柱材の予想終局耐力は 16.08 t である。

$P-\delta$ 曲線によって全体の変形量については、実験値と計算値はよく近似している。また $P-\gamma$ 曲線によって、パネルゾーンのみの変形をみると、実験値に比して計算値の方がわずかに大きくなっている。これは、パネルゾーンが、平行四辺形であるのを矩形とみなして解析したためであると思われる。

表 3 に示したように、A-1 については終局耐力の実験値と計算値はよく一致している。B-1 については実験値に対する計算値の比は 1.24 となりやや差が大きいとその理由は明らかではない。

5.2 ハンチ付き試験体

A-2, A-3, B-2, B-3 の破壊は、いずれも予想したとおり、ハンチ付根で起きた。また終局耐力も計算値とよく一致している。図 8, 図 9 に示したハンチ部分の歪度の計算値はそれぞれ (4.22) 式、(4.42) 式のハンチフランジの軸方向力 C を用いて計算したものである。計算値は実験値に対し 25~30% 程度の相異となるが、これはハンチのウェブを無視したためと考えられる。

$P-\delta$ 曲線は、図 4(b), (c), 図 5(b), (c) に示したごとく、計算値と実験値はよく近似している。 $P-\gamma$ 曲線は、実験値と計算値の間に大きな差が出ている。これは計算式に、ハンチのウェブ

剛性が考慮されていないことに原因するものと考えられる。

補強リブについて考察すると、実験結果の $P-\delta$ 曲線から判断するかぎり、補強リブの効果はあまり明らかでない。すなわち、A-3 の勾配は、A-2 に比し大きい、B-3 の勾配は、B-2 の勾配に比し小さい。また最大荷重も、A-3 は A-2 より大であるが、B-3 は B-2 より小さい。このことから弾性範囲内においては、補強リブの効果はあまりないと思われる。ただし、柱はりのウェブの座屈に注目すると、ウェブの座屈荷重は、リブ付き試験体の方が大きくなっており、補強リブがウェブの座屈阻止に寄与していることがわかる。

6. 結 論

以上の実験結果により、H フレームの隅角部に対し以下のような結論が得られた。

(1) ハンチは、接合部の剛性および耐力を十分に高めている。その設計方法は、本報告に述べた略算で行ないうる。

(2) ハンチ始端のはり柱ウェブの補強リブは、鋼構造設計規準案によれば必要となるが、本

実験においては、弾性範囲内では、ほとんど効果がなかった。終局耐力に対しても、ほとんど関係していない。このことから補強リブの省略が可能であると考えられる。

(3) 本実験では、溶接部分の破断がなかった。溶接部の補強を施さない試験体 A においても、溶接部の降伏、破壊がみられなかったことは、H フレームの柱はり継手の突合わせ溶接部分に用いている補強プレートは省略出来ることを示している。

(4) 本報告の計算式に従って、各サイズの H フレームについて、パネルゾーンに生ずる応力度を検討した結果、すべて弾性範囲内におさまった。ただ、フランジ部分が降伏するよりわずかに先に、パネルゾーンが降伏する傾向にあるが、この部分の補強をとくに必要とするものではない。

本研究にあたり実験ならびに解析にご協力いただいた横浜国立大学工学部建築科大学院学生梅田幹夫氏および同研究室の諸氏に謝意を表する。