

# 鉄骨充腹ばりの横座屈に関する研究 (その1)

若林 実・中村 武・山本春樹

## STUDIES ON LATERAL BUCKLING OF WIDE FLANGE BEAMS, Report No. 1

By *Minoru WAKABAYASHI, Takeshi NAKAMURA*  
and *Haruki YAMAMOTO*

### Synopsis

Lateral buckling tests of wide flange beams were performed in the inelastic range of material. Test specimens were made of H-200×100×5.5×8 of SS41 steel. All specimens consisted of three spans and were braced laterally at loading points and supporting points. Twelve specimens were tested; four testing span lengths and three end-moment ratios. As a result of the tests, it was confirmed that the rotation capacity at a plastic hinge became larger as the bracing spacing was shorter, and as the moment gradient was larger. The tests results agreed, with a reasonable accuracy, in the relationship between the rotation capacity and the bracing spacing with the formulae given by M.G. Lay<sup>1),2)</sup>. The lateral force exerted by the bracings was about 1.6% of the limit force of one flange in pure compression at the time of lateral buckling, and the lateral force was measured up to about 4.1% at maximum.

### 1. はじめに

はりの横座屈現象は、鉄骨構造物のはりの耐力を決める要素としては最も重要である。充腹型鉄骨ばりの横座屈耐力を求める理論解は、材の弾性範囲を対象とした場合には、いわゆる古典理論に多く見られる通りである<sup>3)</sup>が、非弾性を対象とした場合には、解析例は極めて数少ない<sup>4)</sup>。解析例は、非弾性的場合には単一のはりが単純な支持方法がとられた場合のものが多く、はりの中間に横方向変位あるいは断面の捩れに対する補剛点がある場合、また曲げモーメント分布に勾配のある一般的な場合の解析は不十分である。また一般的には、はりの耐力を高めるべく配される横方向変位あるいは断面の捩れに対する補剛材に目を転ずると、はりの許容応力度設計に対しては、横方向補剛材の軸方向耐力に関する規定はあるが、その設置間隔、設置位置、所要剛性、また補剛材として必要な性質などについては設計資料が与えられるに到っていない。一方塑性設計に対しては、補剛材は、はりの横座屈耐力を高めるという目的よりは、むしろはりが荷重をうけてどこかの点で全塑性状態が達成されることのため、またその後横座屈が起ってもはり全体としての耐力を低下することなく必要なだけの塑性関節の回転を保証するために必要な材となってくる。したがって、これらの条件を満足させるために補剛材に要求される設置間隔、所要軸方向強さ、曲げ強さ、所要軸方向剛性、曲げ剛性、取付け位置、取付け方法、これらの諸量に及ぼす曲げモーメント分布の影響が明らかにされなくてはならない。これらに関する研究は数少ない例が見出されるに過ぎず<sup>1),5)</sup>、今後も深く研究が進められる必要がある。ここに発表する実験は、主に材の塑性設計を対象として、鉄骨よりなる充腹型はりの弾塑性横座屈性状を把握するとともに、横方向補剛材の設計方法に関する資料を得るべく企画したものである。

## 2. 実験計画

はりの横座屈挙動に関する研究を始めるに当たって第1番目の実験として、充腹型鉄骨はりの代表的な断面であらH形鋼を供試体として取り上げ、次のような観察主眼を置いて横座屈実験を行なうこととした。実験目的としては、

- (1) H形鋼を用いたはりの非弾性横座屈現象を実感として捕えること。
- (2) はりの横座屈耐力および弾塑性変形状が横方向補剛材間隔あるいは材長に沿っての曲げモーメント変化によって如何なる影響をうけるか。
- (3) はりの横座屈に伴なって横方向補剛材に如何なる力が生ずるか。

という点を観察することにある。試験体としては、SS41材H形鋼H-200×100×5.5×8を選んだ。試験スパン長( $l_2$ )は、100cm, 150cm, 200cm, 300cmの4種類とし、試験スパン両端での曲げモーメント比( $\alpha$ )は、+1, 0, -1の3種類とした。試験スパンの両端よりそれぞれ載荷用の100cmの張出し部分( $l_1$ )を設けた。また、試験体両端部にあたる載荷点位置および試験スパン端にあたる支持点部分の上下フランジ先端にはそれぞれ横方向補剛材を設けることとした。各試験体の寸法、断面諸量、ならびに試験体と同一素材の引張試験より得た諸性質をTable 1に示す。なおTable 1中の試験体の記号は、例えばS100+1で100は試験スパン長をcm単位で表わしたもので、+1は試験スパン両端での曲げモーメント比が+1であることを示す。その他の試験体名についてもこの原則を適用する。

Table 1 Test specimens.

	+1 Series				+0 Series				-1 Series			
	S100 +1	S150 +1	S200 +1	S300 +1	S100 +0	S150 +0	S200 +0	S300 +0	S100 -1	S150 -1	S200 -1	S300 -1
$l_1$ (cm)	101.4	101.0	100.9	101.2	101.2	101.2	101.2	101.2	101.2	101.2	101.2	101.2
$l_2$ (cm)	100.0	150.0	200.0	300.0	100.0	150.0	200.0	300.0	100.0	150.0	200.0	300.0
$A$ (cm <sup>2</sup> )	27.93	28.74	28.94	28.32	28.34	28.36	28.41	28.43	29.21	29.15	28.44	28.47
$I_x$ (cm <sup>4</sup> )	1907.4	1945.3	1955.5	1918.6	1871.0	1916.4	1928.4	1917.0	1988.5	1891.7	1928.8	1926.8
$I_y$ (cm <sup>4</sup> )	139.6	142.4	143.2	140.6	142.7	139.7	140.9	140.2	147.4	143.6	141.9	139.1
$Z_x$ (cm <sup>3</sup> )	189.1	192.8	195.1	190.7	188.0	191.3	190.9	191.1	198.0	187.8	191.4	191.3
$Z_y$ (cm <sup>3</sup> )	28.4	28.3	28.4	28.0	28.3	27.9	28.2	27.9	29.3	28.6	28.2	27.7
$Z_{xp}$ (cm <sup>3</sup> )	216.1	221.2	222.4	218.1	215.7	218.1	219.1	218.5	226.3	223.5	219.2	219.2
$i_y$ (cm)	2.24	2.23	2.22	2.23	2.24	2.22	2.23	2.22	2.25	2.22	2.23	2.21
$l_2/i_y$	44.6	67.3	90.1	134.5	44.6	67.6	89.8	135.1	44.5	67.6	89.5	135.7
$f$	1.14	1.15	1.14	1.14	1.15	1.14	1.15	1.14	1.14	1.19	1.15	1.15
$\sigma_y$ (t/cm <sup>2</sup> )	3.19	3.19	3.45	3.10	3.09	3.09	3.35	3.19	3.22	3.22	3.21	3.25
$M_p$ (t·m)	6.89	7.05	7.67	6.76	6.66	6.74	7.34	6.97	7.29	7.20	7.04	7.13
$E_{st}$ (t/cm <sup>2</sup> )	31	31	36	36	32	32	36	38	38	38	30	31
$h = E/E_{st}$	67.8	67.8	58.1	58.1	65.4	65.4	58.4	55.3	55.0	55.0	70.0	67.8
$s = \epsilon_{st}/\epsilon_y$	11.7	11.7	13.3	13.8	12.2	12.2	15.7	13.0	16.0	16.0	14.6	13.8

## 3. 実験装置および実験方法

実験装置の概観はFig. 2およびPhoto. 1に示す通りである。載荷は試験体の張出しスパンの両端において、能力10トンの手動式油圧ジャッキを用いて鉛直方向に力を加える方法をとった。試験体の載荷点および支持点での条件は鉛直方向、水平方向には単純支持、水平面内での回転は自由となるように、試験体断面

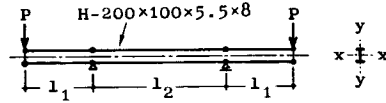


Fig. 1 Test specimen.

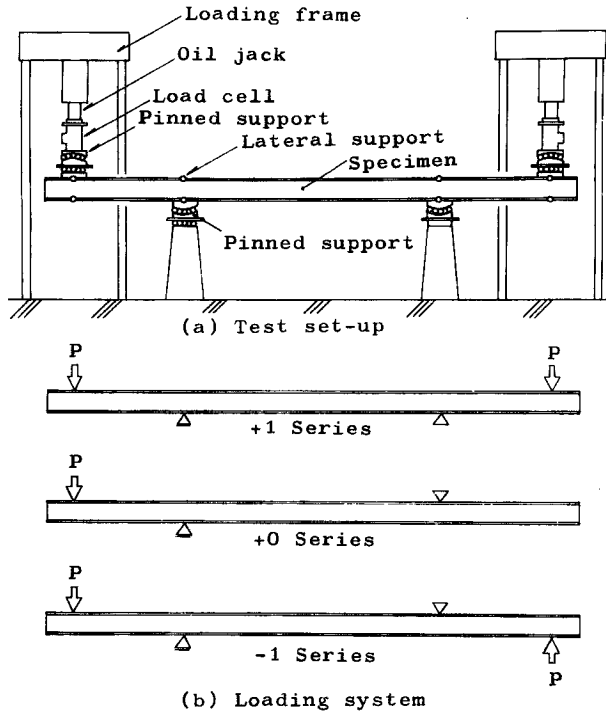


Fig. 2 Test set-up and loading system.

高さの中央に回転中心をもつ球座および水平面ローラーを製作使用した。載荷点、支持点において試験体上下フランジ先端に、前記の変形条件を満足するように製作された横方向補剛材を取り付けた。この補剛材は **Photo. 2, Photo. 3** に示すように、フランジに取り付けるための割込み部をもつ頭部、この頭部との間に鉛直、水平面内の回転を自由にするためのスチールボールを介在させた、16 mm 径の円断面鋼棒よりなる横方向補剛力測定部および鉛直方向変位を自由にするための脚部よりなる。補剛力測定部の鋼棒には2枚のワイヤストレインゲージ (W.S.G.) を対称位置に貼付し、実験中にこの W.S.G. にあらわれる歪度を測定してあらかじめ補剛材に軸方向力を加えて力と歪度の関係を求めた較正図により補剛力を算出した。試験スパン内の曲げモーメント勾配は **Fig. 2(b)** に示すように、ジャッキによる加力点架構と支持点を適宜入れかえることによって与えた。変位の測定は、載荷点の鉛直方向変位は最小目盛 1/20 mm, 検長 50 mm のダイヤルゲージで行ない、支点位置での水平変位と断面の回転角は最小目盛 1/100 mm, 検長 30 mm のダイヤルゲージで行なった。また試験スパン内での上下フランジ中央点の鉛直方向および水平方向変位ならびに上下フランジの回転角は **Photo. 4** に示すような2個のL字型治具を用いて6個の最小目盛 1/100 mm, 検長 30 mm のダイヤルゲージで測定した。この6個のダイヤルゲージの読みから次式によって上記の変位、回転角が計算できる。(Fig. 3 参照)

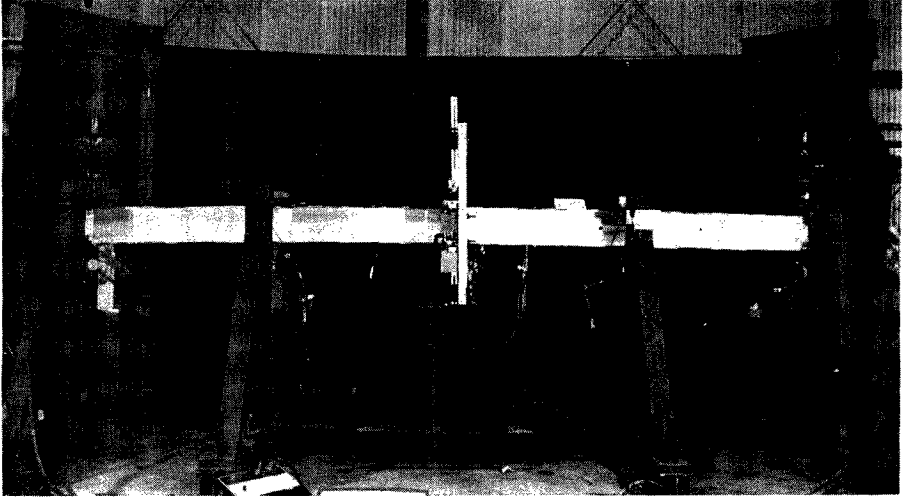


Photo. 1 (a) Test apparatus (S200+1).

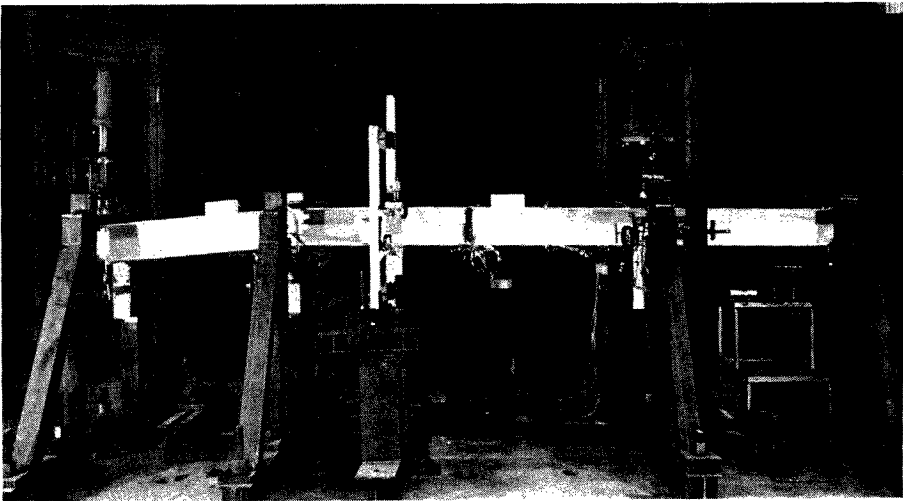


Photo. 1 (b) Test apparatus (S200+0).

$$\phi_1 = \tan^{-1} \left( \frac{l_2 - l_1}{B} \right) \dots\dots\dots(1 \cdot a)$$

$$u_1 = \frac{\left( 1 - \frac{1}{\cos \phi_1} \right) \left( \frac{B}{2} + L - 30 \tan \phi_1 \right) - \frac{B}{2} \tan^2 \phi_1 - l_1 \tan \phi_1 + l_3}{1 + \tan^2 \phi_1} \dots\dots\dots(1 \cdot b)$$

$$v_1 = \frac{\left( 1 - \frac{1}{\cos \phi_1} \right) \left\{ \left( \frac{B}{2} + L \right) \tan \phi_1 + 30 \right\} + \left( l_3 + \frac{B}{2} \right) \tan \phi_1 + l_1}{1 + \tan^2 \phi_1} \dots\dots\dots(1 \cdot c)$$

$$\phi_2 = \tan^{-1} \left( \frac{l_2' - l_1'}{B'} \right) \dots\dots\dots(1 \cdot d)$$

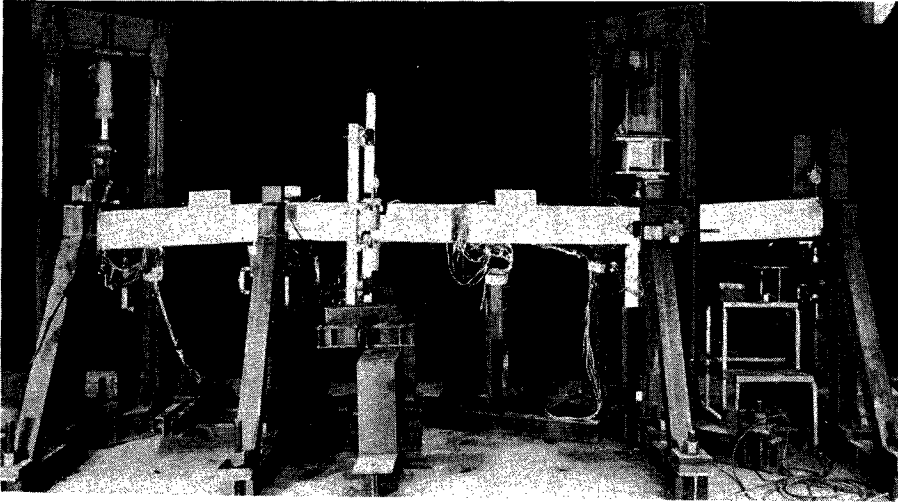


Photo. 1(c) Test apparatus (S200-1).

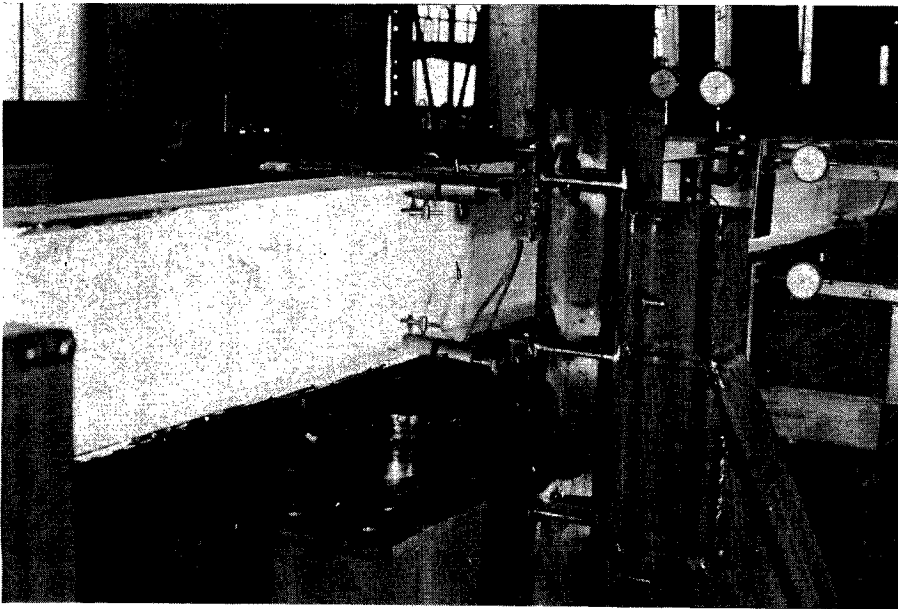


Photo. 2 Supporting point.

$$u_2 = \frac{\left(1 - \frac{1}{\cos \phi_2}\right) \left(\frac{B'}{2} + L' + 30 \tan \phi_2\right) - \frac{B'}{2} \tan^2 \phi_2 - l_1' \tan \phi_2 + l_3'}{1 + \tan^2 \phi_2} \dots\dots\dots(1\cdot e)$$

$$v_2 = \frac{\left(1 - \frac{1}{\cos \phi_2}\right) \left\{ \left(\frac{B'}{2} + L'\right) \tan \phi_2 - 30 \right\} + \left(l_3' + \frac{B'}{2}\right) \tan \phi_2 + l_1'}{1 + \tan^2 \phi_2} \dots\dots\dots(1\cdot f)$$

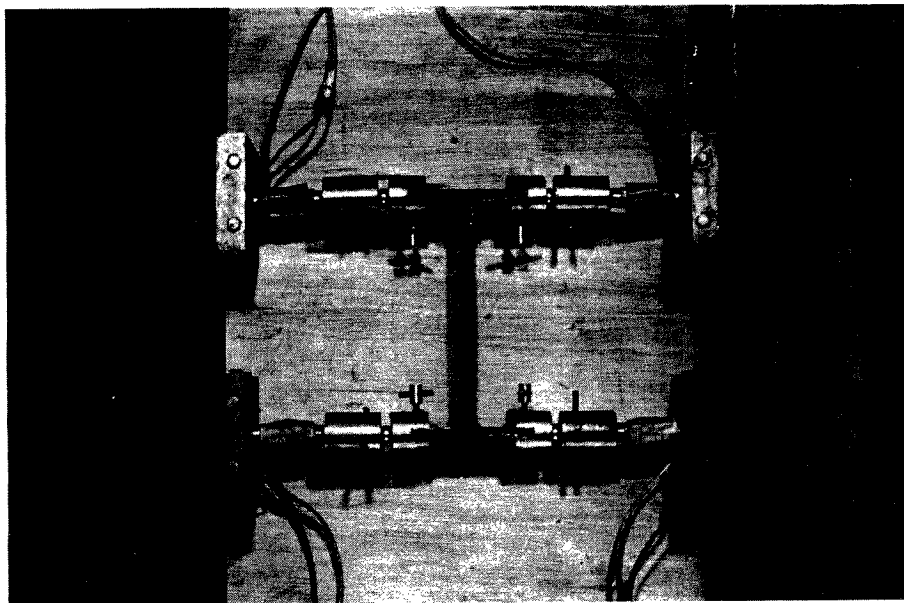


Photo. 3 Lateral support.

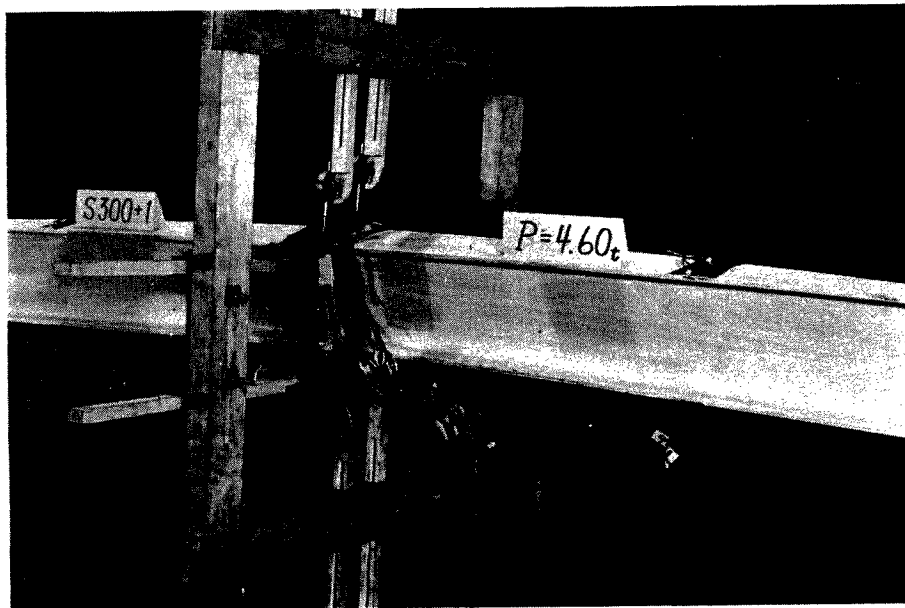


Photo. 4 Deformation measurements.

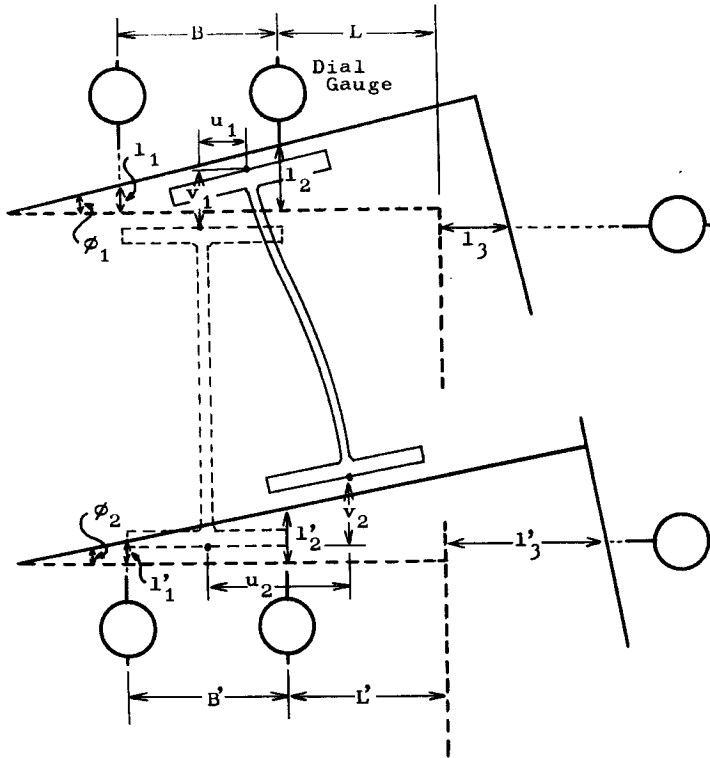


Fig. 3 Deformation measurements.

歪度は試験スパン内5箇所、上下フランジ外面の軸方向歪度を、またスパン中央のウェブ面の材軸に直角方向の歪度を5箇所で W.S.G. にて測定した。使用した W.S.G. は検長 10 mm でポリエステルベースのものである。本実験装置は構造物試験台の反力床上に高力ボルトを用いて設置されたものである。

#### 4. 実験結果

実験より得られた結果を次に示す。Fig. 4(a) は、試験体中央スパン（試験スパン  $l_2$ ）内での曲げモーメント分布が一様な場合（+1 Series）の  $l_2$  スパン端モーメント（ $M$ ）と節点回転角（ $\theta$ ）との関係である。また縦軸、横軸について無次元化するために用いた  $M_p$ ,  $\theta_p$  はそれぞれ

$M_p$ ：試験体H形鋼の全塑性モーメント

$$M_p = \sigma_y \cdot z_{x,p} \quad \dots \dots \dots (2)$$

$\theta_p$ ：完全弾塑性の  $M-\theta$  関係をもつ単純ばりが両端に等しい曲げモーメントをうけて、 $M_p$  に達する時の節点回転角の2倍

$$\theta_p = 2 \times \frac{M_p l_2}{2EI_x} \quad \dots \dots \dots (3)$$

である。図中▼印で示してあるのは、試験体圧縮フランジに貼付した W.S.G. の指示値の逆転によって知った横座屈が起った点である。この図より材の全塑性モーメントが達成された後に横座屈が起ったのは  $l_2 = 100$  cm のものだけであり、その他のものは横座屈は  $M_p$  以下のところで起っているのがわかる。また、はりが最大耐力を維持した状態に変形し続ける能力は  $l_2$  スパンが短い程大きいことがわかる。この図より、

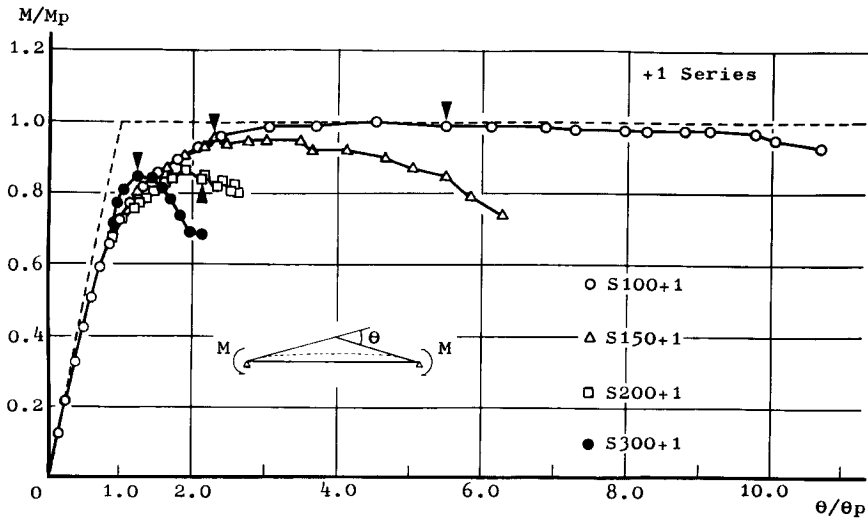


Fig. 4(a) Bending moment vs relative slope angle (+1 Series).

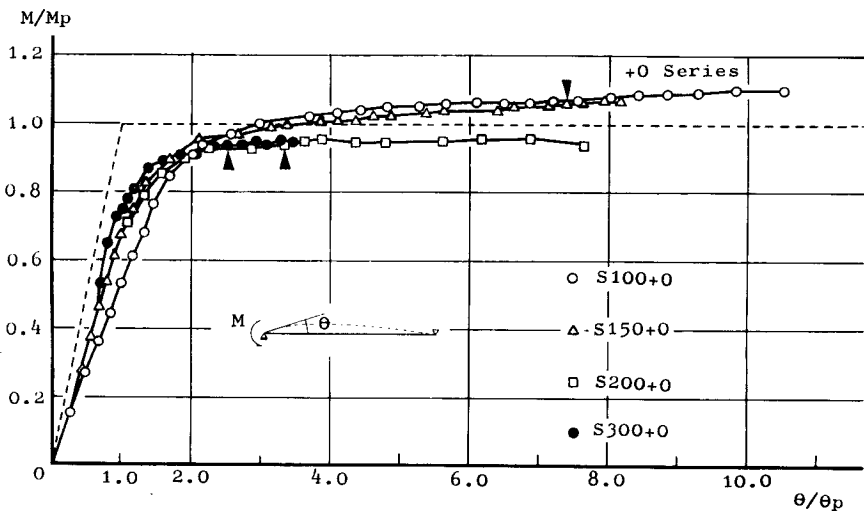


Fig. 4(b) Bending moment vs slope angle (+0 Series).

M.G. Lay によって定義された回転容量  $R = \theta_0/\theta_p - 1$  を  $l_2/i_y$  について整理すると Table 2 のようになる。ここで  $k$  は M.G. Lay による<sup>1),6)</sup>隣接スパンの影響による有効長さ係数で、ここでは隣接スパン内に弾性部分が残っている場合の値  $k=0.54$  を用いている。回転容量  $R$  と等価補剛間隔  $kl_2/i_y$  との関係を示したものが Fig. 5 である。図中○印が実験より得た値であり、実線で示される曲線は M.G. Lay によって与えられた<sup>1),2)</sup>  $R$  と  $kl_2/i_y$  の関係式である。これを次に示す。

$R < 0.8(s-1)$  のとき

$$\frac{kl_2}{i_y} \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon_y}}{\pi} = \lambda = \frac{1}{\sqrt{1 + 0.7 \frac{hR}{s-1}}} \dots\dots\dots(4.a)$$



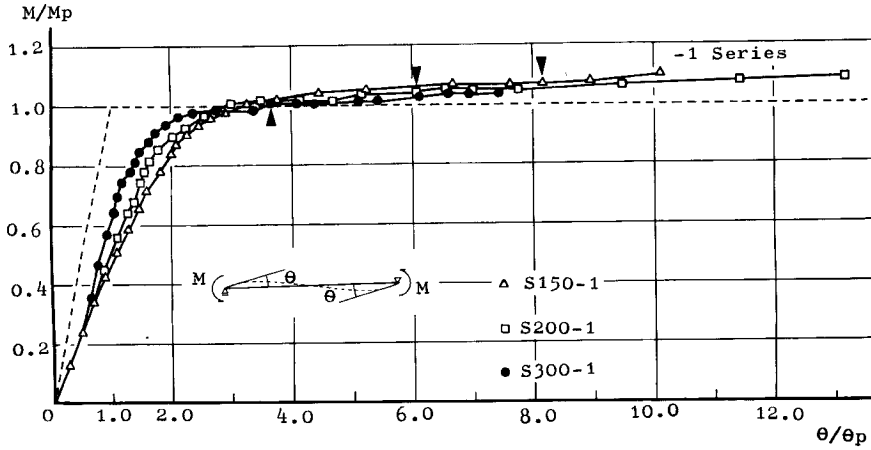


Fig. 4(c) Bending moment vs slope angle (-1 Series).

Table 2 Rotation capacity in +1 series.

$l_2$ (cm)	$l_2/i_y$	$kl_2/i_y$	$\theta_0/\theta_p$	$R$
100	44.6	24.1	7.00	6.00
150	67.3	36.4	3.50	2.50
200	90.1	48.6	2.15	1.15
300	134.5	72.6	1.40	0.40

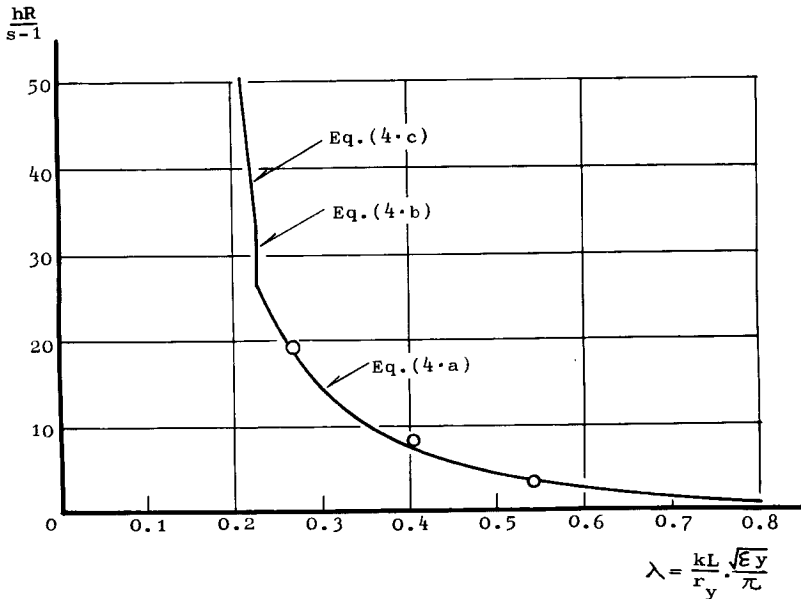


Fig. 5 Rotation capacity vs bracing spacing (+1 Series).

$0.8(s-1) \leq R \leq (s-1)$  のとき

$$\frac{kl_2}{i_y} \cdot \frac{\sqrt{\epsilon_y}}{\pi} = \lambda = \frac{1}{\sqrt{1+0.56h}} \dots\dots\dots(4\cdot b)$$

$R > (s-1)$  のとき

$$\frac{kl_2}{i_y} \cdot \frac{\sqrt{\epsilon_y}}{\pi} = \lambda = \frac{1}{\sqrt{(1+0.56h)\left(1+\frac{R-(s-1)}{h}\right)}} \dots\dots\dots(4\cdot c)$$

式中の記号およびその値は Fig. 6 の鋼材の応力-歪曲線を参照して

$$h = \frac{E}{E_{st}} = 33 \dots\dots\dots(5\cdot a)$$

$$s = \frac{\epsilon_{st}}{\epsilon_y} = 11.5 \dots\dots\dots(5\cdot b)$$

$$\epsilon_y = 0.00122 \dots\dots\dots(5\cdot c)$$

である。Fig. 5 によると M.G. Lay による曲線と実験値は非常によく一致しているといえる。なお1968年改訂 A.I.S.C. 塑性設計規準では、鉄骨充腹ばりの塑性関節が耐力を維持して、十分な回転容量を發揮するために必要な横方向補剛材間隔は、補剛材間で最大曲げモーメントと最小曲げモーメントの比 ( $\alpha$ ) が  $0.5 \leq \alpha \leq 1$  の範囲では、SS41 材の場合に換算すると  $L/i_y \approx 38$  と規定されている。この実験の場合には、補剛材の軸方向剛性および曲げ剛性は非常に大きく剛に近いが、このように補剛材が剛に近い場合には、この実験における  $l_2 = 100$  cm の時の、 $l_2/i_y = 44.6$  に対して回転容量  $R = 6.0$  が保証されることが S100+1 の実験よりわかる。Fig. 4(b) は  $l_2$  スパン端のモーメント比 ( $\alpha$ ) が零の場合 (+0 Series) の  $M/M_p - \theta/\theta_p$  関係を示したものである。ここで用いた  $\theta_p$  は、

$$\theta_p = \frac{M_p l_2}{3EI_x} \dots\dots\dots(6)$$

である。また Fig. 4(c) は  $l_2$  スパン端のモーメント比 ( $\alpha$ ) が-1の場合 (-1 Series) の  $M/M_p - \theta/\theta_p$  関係を示したものである。この場合の  $\theta_p$  は、

$$\theta_p = \frac{M_p l_2}{6EI_x} \dots\dots\dots(7)$$

である。図中▼印は W.S.G. の歪逆転より知った横座屈の起った位置である。 $l_2$  スパン内で曲げモーメント勾配のある場合にも、曲げモーメント勾配のない場合同様に  $l_2$  が短い程 ( $l_2/i_y$  が小さい程) 回転容量は大きい。横座屈を起す時の最大モーメントは +1 Series の時に比して大きくなっている。+0 Series の場合には  $l_2 = 100$  cm, 150 cm のもの、-1 Series の場合には全部のものが  $M_p$  に到達して以後かなりの塑性

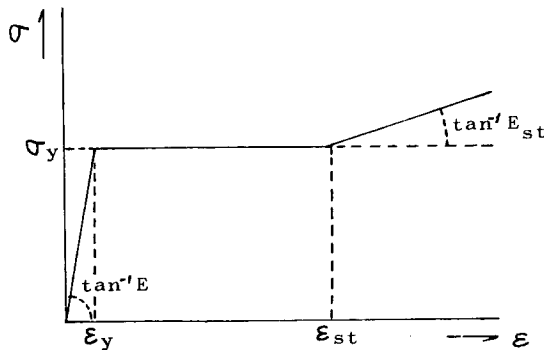


Fig. 6

関節の回転が起り、その後横方向変形が生ずる。横方向変位が生じた以後も耐力は徐々に上昇し続ける。**Fig. 7(a)~Fig. 7(d)** は  $l_2/i_y$  の値の等しい試験体について、+1, +0, -1 Series の  $M/M_p - \theta/\theta_p$  関係をまとめて示したものである。**Fig. 7(a)** は  $l_2=300$  cm の場合、**Fig. 7(b)** は  $l_2=200$  cm の場合、**Fig. 7(c)** は  $l_2=150$  cm の場合、**Fig. 7(d)** は  $l_2=100$  cm の場合である。この図より同一の  $l_2/i_y$  の場合には、 $l_2$  スパン内での曲げモーメント勾配の大きい程回転容量  $R$  は大きくなることわかる。1968年改訂 A.I.S.C. 塑性設計標準での曲げモーメント比 ( $\alpha$ ) が  $-1.0 \leq \alpha \leq 0.5$  の範囲での所要横方向補剛材の間隔は SS41 材に換算すると  $l_2/i_y=63$  となるが、この実験のように補剛材の剛性が剛な場合には、 $l_2=150$  cm の場合 ( $l_2/i_y=67.3$ ) には  $\alpha=0$  で  $\theta_0/\theta_p=8.0$ ,  $R=7.0$  が確保され、 $\alpha=-1$  の場合には  $\theta_0/\theta_p > 10.0$ ,  $R > 9.0$  が確保されることがわかる。これより  $l_2/i_y$  の大きい  $l_2=200$  cm の場合 ( $l_2/i_y=90.1$ ) には  $\alpha=0$  で  $\theta_0/\theta_p=7.0$ ,  $R=6.0$ ,  $\alpha=-1$  で  $\theta_0/\theta_p > 11.0$ ,  $R > 10.0$  となっている。 $l_2=300$  cm の場合には  $\alpha=0$  で、 $\theta_0/\theta_p=3.5$ ,  $R=2.5$ ,  $\alpha=-1$  で  $\theta_0/\theta_p > 7.5$ ,  $R > 6.5$  が確保されていることが認められる。実験中に観察された耐力と変形状の関係で特徴的なものを書けば、大きくわけて次の5つに分類されよう。

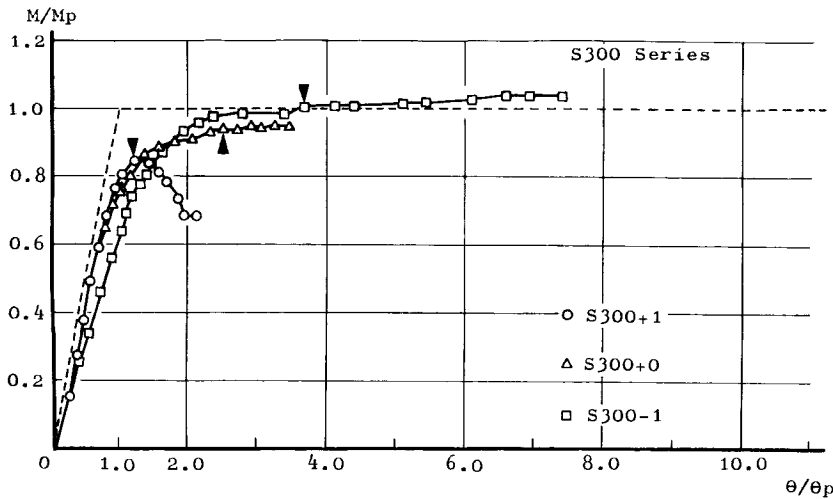


Fig. 7(a) Bending moment vs slope angle (S300 Series).

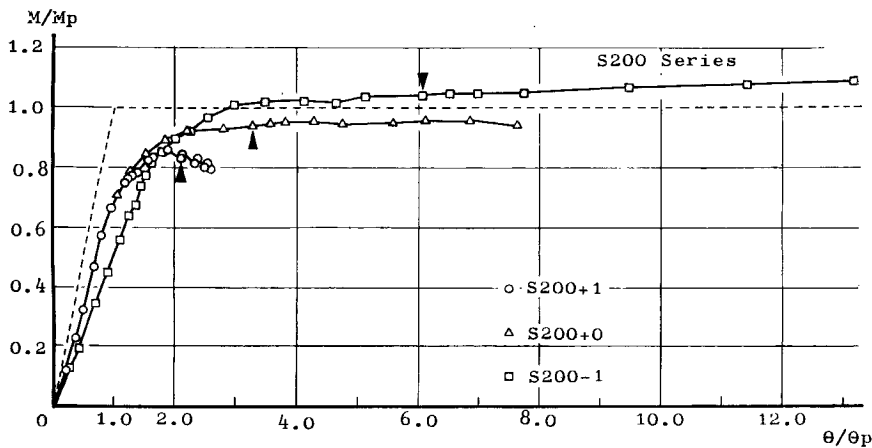


Fig. 7(b) Bending moment vs slope angle (S200 Series).

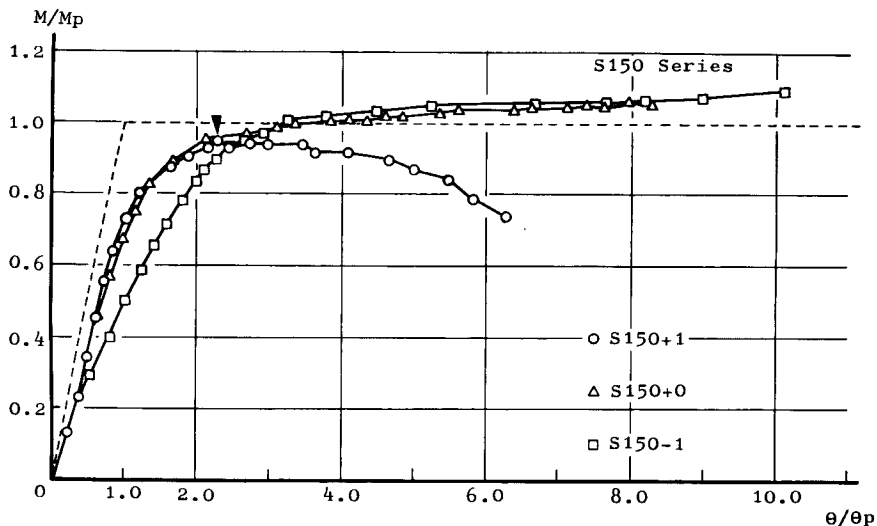


Fig. 7(c) Bending moment vs slope angle (S150 Series).

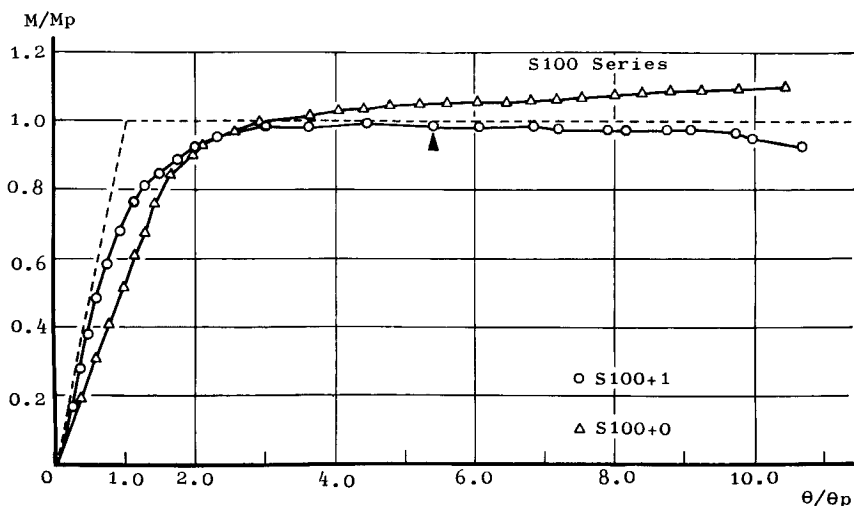


Fig. 7(d) Bending moment vs slope angle (S100 Series).

- (1)  $M_p$  に達する以前に横座屈が起り、同時に耐力の低下したもの。(S300+1)
- (2)  $M_p$  に達する以前に横座屈が起り、しばらく耐力を維持したまま変形が増大しその後に耐力の低下したもの。(S200+1, S150+1)
- (3)  $M_p$  に達した後に横座屈を起し、 $M_p$  を維持した状態で変形が進み、圧縮側フランジの最大曲げ圧縮力を受ける点で局部座屈が起り耐力の低下したもの。(S100+1, S200+0, S150+0)
- (4)  $M_p$  に達した後に横座屈を起したが、その後も耐力を維持したまま、または耐力が少しずつ上昇しながら変形の進んだもの。(S300-1, S200-1)
- (5)  $M_p$  に達し変形が進んでも、圧縮側の軸方向歪に逆転が認められず、耐力は上昇を続け、途中局部

座屈は認められたが耐力は低下することなく上昇を続けたもの。(S150-1, S100+0)

なお(4)と(5)ではまだはりの耐力は上昇しつつあるが、球座の回転容量、ジャッキのストローク、載荷架構の都合で実験を中止し、耐力低下が起る点を確認できなかったことは残念なことであり、今後実験装置に改良を加えなければならない点である。

次にはり断面の変位性状について述べる。実験値としてはS100+1の場合を例としてとりあげる。Fig. 8は圧縮側、引張フランジの中央点の水平方向ならびに鉛直方向変位( $u, v$ )と試験体に加わった最大曲げモーメント( $M$ )との関係を示す。縦軸は試験体に加わった曲げモーメント( $M$ )、横軸は変位 $u, v$ である。変位 $u, v$ の添字1, 2は1は引張側フランジ, 2は圧縮側フランジを示す。Fig. 9は圧縮側、引張側フランジの回転角( $\phi$ )と最大曲げモーメント( $M$ )との関係である。 $\phi$ の添字1, 2はそれぞれ引張側、圧縮側フランジを指す。Fig. 8およびFig. 9より次のようなことが観察される。

- (1) 横座屈後圧縮側フランジの水平変位 $u_2$ は急激に増大するが引張側フランジの水平変位 $u_1$ は極めて小さい。
- (2) 圧縮側フランジの回転角は横座屈以後ある程度進行するが引張側フランジの回転角に比べて小さい。

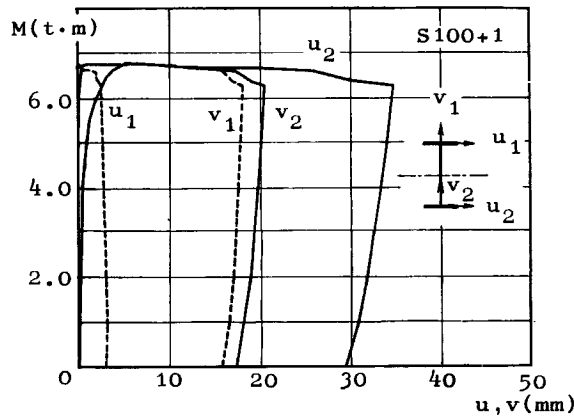


Fig. 8 Bending moment vs flange displacements (S100+1).

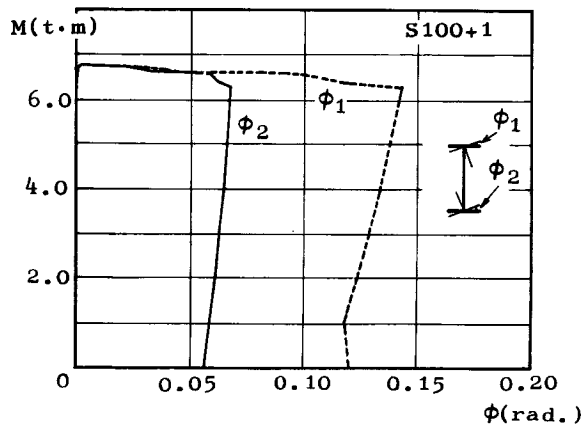


Fig. 9 Bending moment vs flange rotation

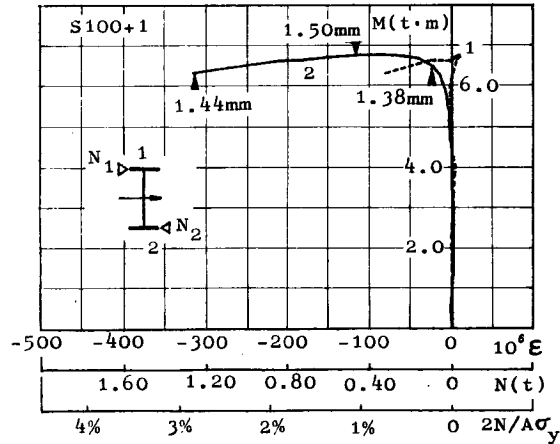


Fig. 10 Bending moment vs bracing force (S100+1).

(3) (1), (2) の変形性状より、圧縮側フランジは横座屈以後回転よりはむしろ水平変位が卓越した変形を起す。すなわちウェブが面外にかなり曲げ変形を起し、試験体の断面形は横座屈によってかわる。

(4) 引張側、圧縮側フランジの鉛直方向変位 ( $v_1, v_2$ ) にはほとんど差はない。

なお各変位,  $u_1, u_2, v_1, v_2, \phi_1, \phi_2$  は上下フランジにつけた L 字型治具によっても 6 個のダイヤルゲージより得た読みを, (1・a)~(1・f) の換算式によって計算して求めたものである。

次に载荷点、支持点に取り付けた横方向補剛材に生じた力の測定例を示す。Fig. 10 に示したのは S100+1 試験体の支持点に設けた補剛材より得た値である。図の縦軸は試験体に与えた最大曲げモーメント ( $M$ )、横軸は補剛材に貼付した W.S.G. の読み ( $\epsilon$ )、W.S.G. の読みより換算図を用いて得た横方向力 ( $N$ ) および横方向力 ( $N$ ) と試験体の  $\frac{1}{2}$  の断面積の材に対する降伏軸圧縮力 ( $2N/A\sigma_y$ ) との比を百分率で示したものである。図中実線は圧縮側フランジに取り付けた補剛材より得た値、破線は引張側のそれである。この図に示した S100+1 の試験体の場合の圧縮側フランジに取り付けた補剛材に生じた力は、材の横座屈時においては、約 0.46 トンではりの降伏圧縮力の  $\frac{1}{2}$  に対する割合は約 1.0% である。また片側フランジの降伏圧縮力に対する割合は約 1.7% である。それ以後変形が増大するに従って横方向補剛材に生ずる力も増大し、最大約 1.25 トン、試験体の  $\frac{1}{2}$  降伏圧縮力の約 2.8%、片側フランジの降伏圧縮力の約 4.8% まで測り得た。実験中における支点の補剛材位置での水平変位の最大値は約 1.5 mm でありこれは  $l_2$  スパン長 100 cm の約  $1/670$  にあたる。各補剛材測定位置での水平変位を図中に併せ記した。また  $l_2$  スパン長が 300 cm の場合には、この横方向補剛材に生ずる圧縮力は、横座屈時においては約 0.22 トン、材の  $\frac{1}{2}$  降伏圧縮力の約 0.5%、片側フランジの降伏圧縮力の約 0.8% であり、最大約 0.8 トン、材の  $\frac{1}{2}$  降伏圧縮力の約 1.9%、片側フランジの降伏圧縮力の約 3.3% まで測り得た。またこの時の横方向補剛材位置での水平変位は約 0.68 mm で  $l_2$  スパン長の約  $1/4410$  である。なお Table 3 に各試験体の支持点位置で測定した、横座屈時の横方向補剛材に生じた圧縮力、補剛モーメントおよびそれらの測定し得た最大値ならびにその時の支点の水平変位を示した。また実験終了後の各試験体の写真を Photo. 5(a)~Photo. 5(e) に示す。

## 5. む す び

ここで行なった実験より得られた結果をまとめてむすびとする。

(1) 鉄骨充腹ばりの横座屈後、耐力を維持したままで変形を増大する能力は、横方向補剛材間隔が小さい程大きい。

Table 3 Lateral constraints observed in the test.

	Values at the time of lateral buckling						Maximum values					
	$N$ (t)	$M$ (t·cm)	$\frac{2N}{A\sigma_y}$ (%)	$\frac{N}{A_f\sigma_y}$ (%)	$\delta$ (mm)	$\frac{\delta}{l_2}$	$N$ (t)	$M$ (t·cm)	$\frac{2N}{A\sigma_y}$ (%)	$\frac{N}{A_f\sigma_y}$ (%)	$\delta$ (mm)	$\frac{\delta}{l_2}$
S100+1	0.46 0	4.6	1.0	1.7	1.50	1/670	1.25 0.32	15.7	2.8	4.8	1.44	1/700
S150+1	0.38 0	3.8	0.9	1.4	0.92	1/1630	1.50 0.28	17.8	3.4	5.7	1.69	1/890
S200+1	0.60 0	6.0	1.3	2.3			0.64 0	6.4	1.4	2.5		
S300+1	0.22 0.08	3.0	0.5	0.8	0.68	1/4410	0.86 0.18	10.4	1.9	3.3	0.46	1/6510
S100+0							0.55 0	5.5	1.2	2.1	0.47	1/2130
S150+0	0.12 0	1.2	0.3	0.5	0.53	1/2830	0.20 0.03	2.3	0.5	0.8	0.50	1/3000
S200+0	0.36 0	3.6	0.8	1.4	0.38	1/5260	0.38 0	3.8	0.9	1.5	0.48	1/4160
S300+0	0.08 0	0.8	0.2	0.3	0.63	1/4760	0.12 0	1.2	0.3	0.5	0.71	1/4240
S100-1							0.86 0	8.6	1.9	3.3	0.60	1/1670
S150-1	0.37 0	3.7	0.8	1.4	0.64	1/2340	0.48 0	4.8	1.1	1.8	1.03	1/1460
S200-1	0.43 0	4.3	1.0	1.6	0.67	1/2990	1.05 0	10.5	2.4	4.0	1.45	1/1380
S300-1	0.26 0.04	3.0	0.6	1.0	0.70	1/4290	0.36 0.07	4.3	0.8	1.4	0.92	1/3260



(a) +1 Series



(b) +0 Series



(c) -1 Series

Photo. 5 Specimens after test.

(2) スパン内に曲げモーメント勾配のないはりの横座屈後の回転容量と横方向補剛間隔との関係は M. G. Lay による式と実験値とはよく一致する。

(3) 同一の横方向補剛間隔の場合には、曲げモーメントに勾配のある方が回転容量は大きくなる。

(4) 断面の変形性状では、圧縮側フランジは引張側フランジに比べて横座屈に伴う回転は小さく、水平方向の変位が卓越する。また引張側フランジの水平方向変位は極めて小さい。この結果横座屈に伴ってウェブが徐々に変形して断面形が変わることがわかる。

(5) 横座屈に伴って横方向補剛材に生ずる力は、曲げモーメント勾配のない場合には横座屈時においてフランジの降伏圧縮力の約1.6%、この実験で測り得た最大値の平均は約4.1%であった。また横方向補剛位置に生じた補剛モーメントは座屈時において平均 4.4 t·cm, 最大値の平均は 12.6 t·m であった。また補剛点で起った水平変位の補剛間隔に対する比は1/670~1/6510であった。

以上がここで遂行された実験により得られた結果である。

さらに一連の、実際に即した実験を続け行なうと同時に、理論解析をも行なうつもりである。

#### 参 考 文 献

- 1) Lay, M.G.: The Static Load-Deformation Behavior of Planar Steel Structures. Ph. D. Dissertation, Lehigh University, 1964.
- 2) Galambos, T.V. and Lay, M.G.: Studies of the Ductility of Steel Structures. Proc. A.S.C.E., ST4, August, 1965, pp. 125~151.
- 3) 例えば Timoshenko, S.P. and Gere, J.M.: Theory of Elastic Stability. 2nd ed., pp. 251-277, McGRAW Hill, New York, 1961.
- 4) Galambos, T.V.: Inelastic Lateral Buckling of Beams. Proc. A.S.C.E., ST5, October, 1963, pp. 217~242.
- 5) Lay, M.G. and Galambos, T.V.: Bracing Requirements for Inelastic Steel Beams. Proc. A.S.C.E., ST2, April, 1966, pp. 207~228.
- 6) Lay, M.G. and Galambos, T.V.: Inelastic Steel Beams under Uniform Moment. Proc. A.S.C.E., ST6, December, 1965, pp. 67~93.
- 7) Lay, M.G. and Galambos, T.V.: Inelastic Beams under Moment Gradient. Proc. A.S.C.E., ST1, February, 1967, pp. 381~399.
- 8) Lee, G.C. and Galambos, T.V.: Post-Buckling Strength of Wide-Flange Beams. Proc. A.S.C.E., EM1, February, 1962, pp. 59~75.