

I-55 ハイブリッドプレートガーダーの曲げ耐力に関する実験的研究(続)

大阪大学工学部 正 員 前田幸雄
川 崎 製 鉄 , 村田勝弘
大阪大学工学部 学生員 小川井 豊

1. まえがき 軽量で効率の良いプレートガーダーとして、高張力鋼を有効な部分にのみ用いるハイブリッド・ガーダー(混成桁)が考えられてきた。大阪大学ではこのハイブリッド・ガーダーの実用性を検討するため、昨年より静的曲げに関する一連の実験を行ってきた。今回の実験では、昨年のSM58(フランジ)-SM50(ウェブ)の組合せよりハイブリッド性状を強化した、SM58(圧縮フランジ)-SS41(ウェブ)-HT80(引張フランジ)の組合せで、圧縮引張フランジの断面積を要する上下非対称なハイブリッド・プレートガーダーについて、腹板パネルの形状係数(アスペクト比) α 、腹板細長比 β 、補剛材剛比 γ をパラメーターとし、曲げ挙動、曲げ耐力、フランジ金り合い断面等を実験的に研究した。

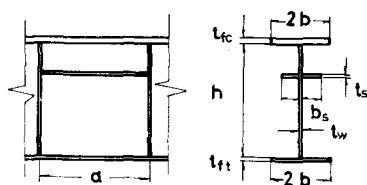
2. 実験 全長6.3^m(4体)、5.8^m(3体)、3.3^m(1体)計8体の実験桁は、Table 1に示す如き諸元をもつテストパネル、支点と載荷点間の支持パネル、載荷点とテストパネル間の側方パネルから成り立つ。実験桁は大別して、アスペクト比 α が0.5のAL桁と1.0のBL桁の2種類あり、おのれの腹板細長比 β を1.50~3.00迄5.0おきに変化させてある。圧縮フランジ寸法は、歪硬化に達する延塑性局部座屈を生じない³⁾と定められ、水平補剛材は最小剛比の4~6.5倍(Table 1の γ)とし、垂直補剛材と圧縮フランジ、垂直補剛材と水平補剛材を溶接により連結している。使用鋼材は、圧縮フランジSM58、腹板SS41、引張フランジHT80、補剛材SM50で、引張試験の結果、夫々の降伏点はSM58: $\sigma_{yc} = 53.6 \text{ kg/mm}^2$, SS41: $\sigma_{yw} = 30.1 \text{ kg/mm}^2$, HT80: $\sigma_{yt} = 84.3 \text{ kg/mm}^2$, SM50: $\sigma_{ys} = 36.8 \text{ kg/mm}^2$ を得た。実験装置及び測定装置は昨年の装置をそのまま用い、200トン油圧ジャッキ2基で下方より載荷し、載荷点間のテストパネル及び側方パネルに純曲げを与えた。但し、AL-4のみは、片側1P、片側1.5P²⁾を載荷し、曲げ-剪断の組合せテストとした。

3. 実験結果と考察

(1)桁の挙動 ハイブリッド・ガーダーでは、ホモジニアス・ガーダー(均質桁)と異なり腹板の降伏が先行する。今回の実験桁では、フランジ材と腹板材の降伏応力の差が大きいため、最終耐荷荷重の1/3~1/2の荷重(腹板降伏荷重)から、歪み率のみは非線型となるが、フランジが最終耐荷荷重近辺まで弾性範囲内において枠組としての作用を果している。

Table 1. Dimensions of Test Girders

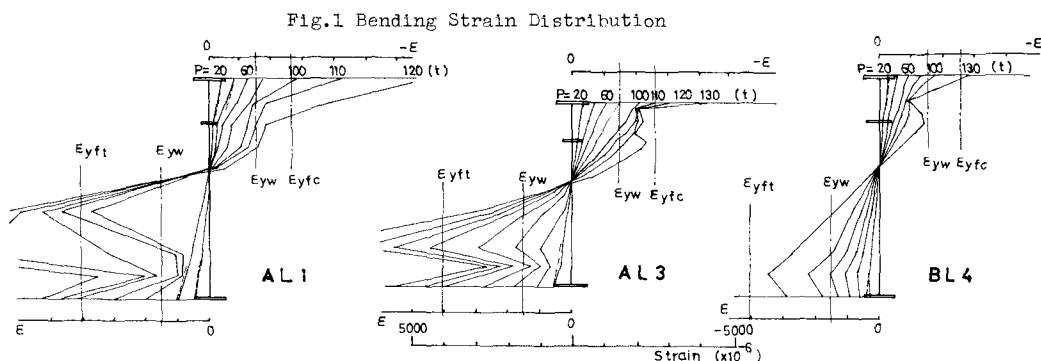
GIRDER	COMP. FLG. (2bxt _{fc})	TENS. FLG. (2bxt _{ft})	WEB (hxt _w)	$\beta = \frac{h}{t_w}$	$\alpha = \frac{a}{h}$	$\frac{b}{t_{fc}}$	$\frac{A_w}{A_{fc}}$	γ/γ^*
AL-1	200x12.9	200x8.0	675x4.8	141	0.50	7.75	1.26	4.0
AL-2	"	"	900x4.8	188	"	"	1.67	4.5
AL-3	"	"	1125x4.8	234	"	"	2.09	5.2
AL-4	"	"	1350x4.8	281	"	"	2.51	5.9
BL-1	"	"	675x4.8	141	1.00	"	1.26	5.3
BL-2	"	"	900x4.8	188	"	"	1.67	5.7
BL-3	"	"	1125x4.8	234	"	"	2.09	6.1
BL-4	"	"	1350x4.8	281	"	"	2.51	6.5



(mm)

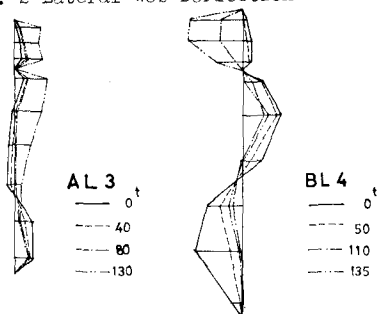
その後、フランジも降伏するが、フランジが降伏した時点では桁は破壊せず、フランジ歪が降伏歪をはるかに越えた後に、圧縮フランジの塑性局部座屈で破壊した。

(2) 断面の曲げ歪分布 Fig.1はAL桁、BL桁の曲げ歪分布の代表例を示している。腹板降伏前は、断面の曲げ歪分布は、弾性はり理論によるものと一致している。腹板降伏後、歪の分布型は乱れを生ずるが、フランジ棒組が腹板歪の塑性流れを拘束しているのが判る。腹板座屈による応力歪の欠損部は、 $\beta=300$ の桁において、腹板圧縮側縁端が降伏する以前に生じ、 $\beta \leq 250$ の桁では腹板の弾性座屈現象は見られなかった。



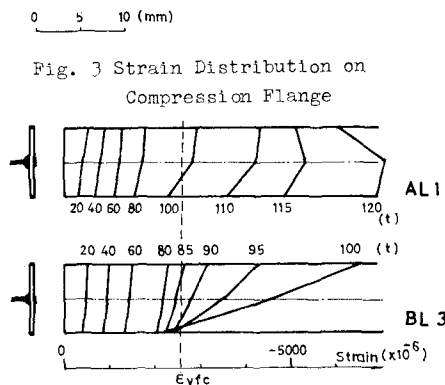
(3) 腹板横撓み 今回の実験桁の最大初期撓みは、最大パネルをもつBL-4桁で板厚の1.08倍、最小パネルをもつAL-1桁で板厚の0.12倍であった。Fig.2はテストパネル中央の腹板撓み形を示している。荷重の増加に伴ない、曲率の教(数倍教)はそのまかもしくは増加し引張側腹板の横撓みは減少、圧縮側で増加する。しかし、その形状は必ずしも初期撓みの増大形とはなっていない。

Fig. 2 Lateral Web Deflection



(4) 圧縮フランジの歪分布 Fig.3に水平座屈を生じた桁の代表例と、水平座屈を生じなかったAL1の圧縮フランジの歪分布を示す。水平座屈を生じた桁では、圧縮フランジの歪が降伏歪を越えて間もなく歪の反転を生じているが、この荷重では桁は破壊しておらず、未だ耐力を示している。

(5) 水平補剛材の効果 Fig.1を見れば、水平補剛材が腹板座屈後、圧縮フランジと同様棒組としての働きをしている。AL桁においてはテストパネル内の水平補剛材を、側方パネル迄延長せず、曲げパネル全長にわたり連続していないのでアンカーの不足から軸力の伝達が不完全となった。このことから、最小剛度の数倍大きな断面をもつ水平補剛材を、両端のアンカーを完全に用い、かつ水平補剛材と垂直補剛材、垂直補剛材と圧縮フランジとの交点を着度で連結すれば、腹板座



屈荷重の向上の効果の他に、最終耐荷力近辺までフランジと共に枠組作用を維持し、後座屈強度の向上に有効な働きを示すことが判る。

(6) フランジ釣り合い断面積比 圧縮引張フランジにも異種の鋼材(SMSBとHT80)を使用するため、両フランジが同時に降伏する様な上下フランジの断面積比 $a (=A_{fc}/A_{tc})$ を全の平面保持の仮定と応力の釣り合い式から求め、実験桁の引張側フランジ断面を定めた。

$$a = \frac{S_{yw}}{S_{ytc}} \left(\frac{S_{yfc}}{S_{yw}} - \frac{A_w}{A_{fc}} \frac{S_{ytc} - S_{yfc}}{S_{ytc} + S_{yfc}} \right) \quad (1) \quad A_{fc}, A_{tc}, A_w \text{ は 次々 圧縮・引張フランジ及び腹板の断面積を表す。}$$

全の測定値より、上下フランジの歪が夫々の降伏歪に達する荷重をみると、ほとんど同じ(5%前後の相違程度で降伏している。この結果、腹板降伏後断面の歪分布が非線型になっても、平面保持を仮定して求めた簡略式(1)で断面積を定めても誤差は少ないと思われる。

(7) 最終耐荷力と破壊形式 桁の破壊形式、破壊位置、終局モーメント M_u を Table 2 に示す。

ここで注目すべきことは、垂直座屈を生じた桁であり、均質桁の場合 Basler⁴⁾によれば無補剛で腹板の細長比 β が 345、その後の Cooper⁵⁾の研究によれば水平補剛を有する桁で β が 407 以下の桁では垂直座屈は生じないとしている。ところが、腹板とフランジの降伏応力の差を大きく混成した本実験桁では、 β が 150 の桁で既にねじりを伴った垂直座屈を生じ破壊している。このことは、1964年 U.S. Steel Corp. Applied Res. Lab. で行なわれたフランジ ASTM-A574、腹板 ASTM-A212 のハイブリッドプレートガーダーの実験で、 $\beta = 200$ 以上で垂直座屈を生じた例と類似した結果である。ASTM-A574(フランジ)、ASTM-A36(腹板)の組合せで行なわれた Toprac⁶⁾の実験では、 $\beta \geq 277$ で起っており、やや高い β の値を示しているが、これらのことから、ハイブリッドプレートガーダーの垂直座屈を起さないう β の限界値は均質桁よりもかなり低い値である。

Table. 2 Summary of Test Result

	R_u	M_u	t_{tm}	MODE	Location of Failure
AL1	130	130		V. B. T. B.	
AL2	85	170		V. B. L. B.	
AL3	132	232		V. B. L. B.	
AL4	127	274 243		V. B. L. B.	
BL1	62.5	125		T. B. V. B. L. B.	
BL2	85	170		V. B. L. B.	
BL3	110	220		V. B. L. B.	
BL4	147	257		V. B. L. B.	

V. B. Vertical Buckling
T. B. Torsional "
L. B. Lateral "

最終耐荷力が、 α, β をパラメーターとしてどの様に変化するかを知るために、規準荷重として全塑性モーメント M_p^{th} 、及びフランジ降伏モーメント M_{yf}^{th} をとり、それらと実験による終局モーメント M_u との比と α, β の関係を表わしたのが Table 3 である。 $Q = 0.175 P^t$ 程度の剪断が入った AL-4 桁ではパネル平均曲げモーメントでみる限り、ほとんど曲げ耐荷力の低下はないのがわかる。

GIRDER	α	β	M_u	t_h M_{yf}	t_h M_u/M_{yf}	M_p	t_h M_u/M_p
AL-1	0.5	141	130	110	1.18	112	1.16
AL-2	"	188	170	154	1.10	158	1.08
AL-3	"	234	232	202	1.15	207	1.12
AL-4	"	281	(258)	255	1.01	261	(0.99)
BL-1	1.0	141	125	111	1.23	113	1.11
BL-2	"	188	170	156	1.09	160	1.06
BL-3	"	234	220	205	1.07	210	1.05
BL-4	"	281	257	259	0.99	265	0.97

Table 3. Ultimate Moment

(t·m)

M_u/M_{yf}^H , M_u/M_p^H が β と直線関係にあるとして、 $\alpha=0.5$, $\alpha=1.0$ について関係式を求めると、

$$\alpha=0.5 \text{ に対して, } M_u/M_{yf}^H = -0.001001\beta + 1.323, \quad M_u/M_p^H = -0.001007\beta + 1.299 \quad (2)$$

$$\alpha=1.0 \text{ に対して, } M_u/M_{yf}^H = -0.00900\beta + 1.260, \quad M_u/M_p^H = -0.00909\beta + 1.238 \quad (3) \text{ を得る。}$$

この実験式から $M_u/M_{yf}^H \geq 1$ において、フランジ降伏モーメント以上の曲げ耐力が保証される腹板細長比 β_0 が、 $\alpha=0.5$ に対し $\beta_0=323$, $\alpha=1.0$ に対し $\beta_0=289$ となることから、アスペクト比を小さくすることにより、腹板細長比の限界値を高め得ることが出来、わずかながらも曲げ耐力の向上を期待し得ることが判る。又、ハイブリッドガーダーの耐力の特徴の一つとして M_{yf}^H/M_p^H が 1.0 に近いことがあげられ、今回の実験でも M_u が M_{yf}^H を越えたものは、ほとんど M_p^H に達している。このことから、フランジの降伏に対して安全率をとり設計すれば、ハイブリッドガーダーは均質桁に比較して、非常に効率のよいプレートガーダーとなる。

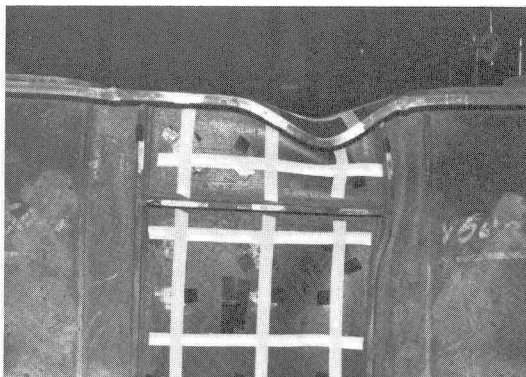


写真1. AL-1 破壊状況

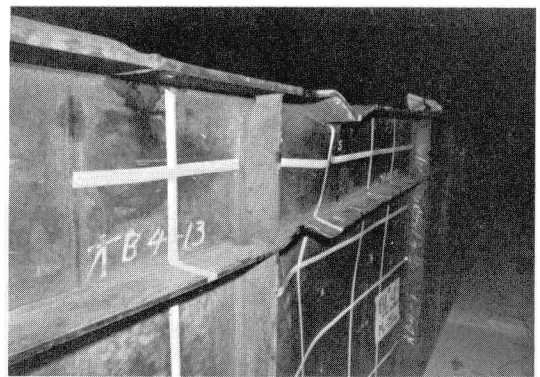


写真2. BL-4 破壊状況

- 参考文献
- 1) 前田幸雄 “プレートガーダーの曲げ強度の実験的研究” 土木学会 第25回年次学術講演会講演会集 昭和45年11月
 - 2) 前田 村田 川井 安原 “ハイブリッドプレートガーダーの曲げ耐力に関する実験的研究” 関西支部 年次学術講演要 昭和46年5月に一部発表。
 - 3) Haaijer, G., "Plate Buckling in the Strain-hardening Range" ASCE Journal 83(EM2) April 1952
 - 4) Basler, K. & B. Thürlimann, "Strength of plate girders in bending" Proc. ASCE VOL. 87, ST2 1957
 - 5) Cooper, P.B. "Strength of longitudinally stiffened plate girders" Proc. ASCE Vol. 93, ST2 1967
 - 6) Hai Sang Lew, A. Anthony Toprac "Strength of hybrid plate girders" S.F.R.L. Tech. Rpt. p. 550-11. University of Texas.
 - 7) "Design of Hybrid Steel Beams" Report of the Subcommittee 1 on Hybrid Beams and Girders Joint ASCE-AASHTO Committee on Flexural Members, Proc. ASCE ST6, June 1968