

(株) 神戸製鋼所 正員 森脇 良一
 “ “ 藤野 真之
 “ “ 〇 滝本哲二郎

1. まえがき

プレートガーダーの曲げ耐荷力については従来から多くの実験ならびに研究がなされてきているが、本研究では最終的な崩壊がウェブの有効中と圧縮フランジで構成されるT型断面部の座屈という形で表わされることに注目し、断面内の残留応力分布を仮定して弾性および非弾性域における曲げ耐荷力について幾何学モデルを使って解析したものである。ただし、崩壊モードは一般に、垂直座屈、横座屈、接れ座屈があるが本研究では主に横座屈および接れ座屈モードにおける耐荷力について検討した。

2. 残留応力分布の仮定

プレートガーダーの非弾性域での挙動を考える場合、断面内の残留応力分布を仮定する必要がある。筆者らは、残留応力はガーダー製作中、次の3行程において発生するものと考えた。

- (1) 部材の板取りのときガス切断の熱影響によって発生する。
- (2) 断面に集成するとき溶接の熱影響によって発生する。
- (3) ひずみ取りするとき点加熱することによって発生する。

文献(1)(2)などの従来の実験で求められた結果から、(1)(2)の工程による残留応力分布は板の中厚比の平方根を指数部に持つ指数関数に、また(3)の工程による残留応力分布は加熱点数(N)を基準にした直線分布にほぼ近似することが判った。このことから各工程で発生する残留応力の値は表-1で計算されるものと仮定する。

表-1

Step	Flange	Web
1	$R_{f1} \sigma_y (X^{n_f} - \frac{1}{n_f})$	$R_{w1} \sigma_y [(1-Y)^{n_w} - \frac{1}{n_w}]$
2	$R_2 (\sigma_{yf} + \sigma_{yw}) [(1-X)^{n_f} - \frac{1}{n_f}]$	$R_2 (\sigma_{yf} + \sigma_{yw}) [(1-Y)^{n_w} - \frac{1}{n_w}]$
3	$-R_3 \sigma_y (\frac{dx}{b_f t_f})$	$R_3 \sigma_y (\frac{dy}{d_w})$

$$R_{f1} = 0.9 - \frac{t_f}{10} ; R_{f1} \leq \frac{n_w - 1}{n_f} \cdot 0.7, R_{f1} \geq 0$$

$$R_2 = 20 / \sqrt{\sigma_{yw}} ; R_2 \leq \frac{0.7(n_f + 1)}{(\sigma_{yf} + \sigma_{yw}) n_f} (0.7 - \frac{R_{f1}}{n_f})$$

$$R_{w1} = 0.9 - \frac{t_f}{10} ; R_{w1} \leq 0.7 \frac{n_w - 1}{n_w} - R_2 (1 + \frac{\sigma_{yf}}{\sigma_{yw}}), R_{w1} \geq 0$$

$$R_3 = 0.05 n ; R_3 \leq 0.7 + \frac{1}{n_w - 1} (R_{w1} + R_2 (1 + \frac{\sigma_{yf}}{\sigma_{yw}}))$$

$$n_f = \sqrt{b_f / t_f} \quad n_w = \sqrt{d_w / t_w}$$

$$X = \frac{2x}{b_f} \quad Y = \frac{2y}{d_w}$$

unit; kg, cm

この仮定式による残留応力分布を実験値と比較したもののうちから代表的なものを図-1に示す。

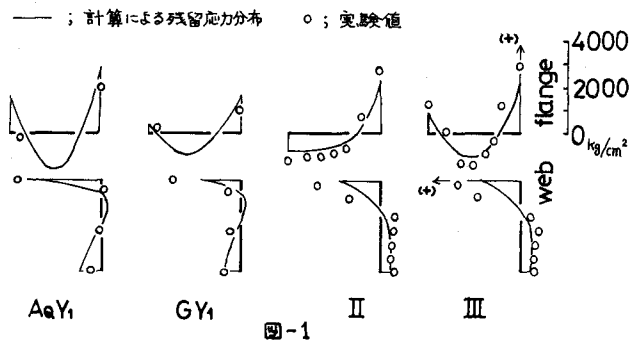
$A\sigma_y$ および $G Y_1$ は文献(1)から、IIおよびIIIは文献(2)から引用した。なおIIは他の試験体とは異なりユニバーサルミルによる板を使用しており、(1)の工程による残留応力はないものとして計算した。また表中無次元化されていない変数の値の単位は kg, cm である。

3. 崩壊時の断面内ひずみ分布のモデル化

崩壊は前述のようにウェブの有効中と圧縮フランジによって構成されるT型断面部の座屈という形で現われる。このときの断面内のZ軸方向ひずみ分布について図-2に示すようなモデルを考える。図-2の点(B, C, D, ...)で示されるひずみの量を($\epsilon_b, \epsilon_c, \epsilon_d, \dots$)で表わすとすると、これらの値は次のようにして決定される。

ϵ_c は $\square ABCD$ のひずみから計算される変荷重 $P = \int_A \sigma dA$ が次式で表わされる一軸対称断面柱の非弾性横接れ座屈方程式(両端単純支持)を満足することから決定される。

$$P^2 \gamma^2 + \{P - (\pi^2 EI_y / L^2)\} \{(\pi^2 EI_w / L^2) + GK_T + K\} = 0 \quad \text{----- (1)}$$



ここに諸剛性はT型断面の非弾性時のものであり、 $\bar{K} = \int_A \sigma^2 dA$ 、その剛性 EI_w は弾性核のみ有効、St. Venantの捩り定数 K_T は全断面有効とする。Lは有効な横構間隔を示す。

ϵ_B および ϵ_t は曲げによるウェブ座屈時の縁ひずみであり、曲げ耐荷力計算結果への影響を考えると ϵ_c ほど精度を要求されないから次式で計算される。

$$\epsilon_B = -M_{in} \{ \epsilon_{cr}, \epsilon_{yw}, |\epsilon_c| \} \dots (2) \quad \epsilon_t = -\epsilon_B \eta_t / \eta_c \dots (3)$$

$$\text{ここに } \epsilon_{cr} = k_b \cdot \pi^2 \cdot t_w^2 / \{ 12(1-\nu^2) \cdot d_w^2 \}, \epsilon_{yw} = \sigma_{yw} / E$$

ϵ_y は崩壊時の引張側の縁ひずみであり、 $\square BCDE$ のひずみによる軸荷重と $\triangle G I J$ のひずみによる軸荷重の和が零になることから決定される。

また、T型柱の座屈は、(1)式で示される横接れ座屈とは独立に垂直方向の座屈がある。この座屈モードの場合、有効巾に連なるウェブは垂直方向の弾性支承として働くと筆者らは推測するが、ばね定数その他の未解決な問題があり本研究では触れない。

4. 計算結果と実験値との比較

2の残留応力の分布仮定と3の崩壊時ひずみ分布のモデル化を使って、従来の実験で使われた試験体の解析を行なった。計算値と実験値の比較を表2に示す。計算に際しては $\epsilon_c = \epsilon_d$ とし、ひずみを漸増しながら(1)式の解を数値的に得た。またこのときの有効巾については、圧縮フランジの板厚の10倍で $(\eta_c - t_f)$ を超えないものとした。有効な横構間隔Lについては、カバープレートを用いられている等断面部の長さと同接れ防止板間隔のうち小さい方を用いた。また図-3は断面形状と部材鋼種を一定とし、横構間隔Lを変化させることによって(4)式で表わされる形状細長比 λ と曲げ耐荷力との関係を示したものである。図中丸印は実験値である。

$$\lambda = \sqrt{(t_w \cdot E_w \cdot \sigma_{yw} + t_f \cdot b_f \cdot \sigma_{yf}) / e P_{cr}} \dots (4) \quad \frac{M_u}{M_y}$$

ここに $e P_{cr}$ はT型断面柱の弾性横接れ座屈荷重である。

5. あとがき

本研究は、残留応力分布を仮定し、崩壊時のひずみ分布をモデル化して、プレートガーダーの曲げ耐荷力解析を行なったものであるが、表2にみるように数値的に実験値とよく一致する結果を得た。座屈モードの分岐の問題などについてはまた違った観点からの研究が必要となる。

最後に本研究に協力していただいた田中悟朗君にここで感謝する次第である。

《参考文献》

- (1) 森脇一 他, "プレートガーダーの曲げ耐荷力に関する研究", 土木学会46年度 年次学術講演全集, 昭和46年10月。
- (2) N.R. NAGARAJARAO et al., "Welded Hybrid Steel Columns," Welding Journal, vol. 51, Sep. 1972.
- (3) T.V. Galambos 著, 福本晴士 監訳, 鋼野放産鉄鋼, 全鋼構造部材と骨組, 文芸株式会社, 昭和45年10月。
- (4) C. Chern and A. Ostapenko, "Bending Strength of Unsymmetrical Plate Girders," Frity Eng. Lab. Rep., No. 328.8, Sep. 1970.

《記号説明》

- | | | | | |
|------------------------|------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|
| A; T断面部面積 | E; 弾性定数 | K_T ; ねじり定数 | t_f ; 圧縮フランジ板厚 | σ_{yf} ; フランジ降伏応力 |
| Q_0 ; せん断中心と断面各部との距離 | G; せん断弾性定数 | L; 有効横構間隔 | t_w ; ウェブ板厚 | σ_{yw} ; ウェブ降伏応力 |
| b_f ; 圧縮フランジ板巾 | I_y ; y軸周りの断面2次モーメント | η ; 有効係数 | t_f' ; 引張フランジ板厚 | λ ; 形状細長比 |
| d_w ; ウェブ高さ | I_w ; そり2次モーメント | R; 残留応力係数 | γ_0 ; せん断中心の座標 | μ ; ポアソン比 |
| e_w ; ウェブ有効巾長さ | k_b ; 板の曲げ座屈係数 | M_y ; 降伏モーメント | M_u ; 極限モーメント | σ ; 断面応力 |

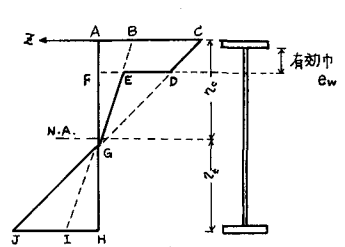


図-2

表-2

NO.	TEST NAME	λ	M_u^E	M_u^C	MODE
1	G1-T1	1.29	139.	102.	T
2	G2-T1	0.53	232.	93.	L
3	G2-T2	0.53	248.	97.	L
4	G4-T1	0.48	202.	93.	L
5	G4-T2	0.48	214.	97.	V
6	A-1	0.95	191.	103.	V
7	A-2	0.94	210.	105.	T
8	A-3	0.92	229.	107.	T
9	B-1	0.93	176.	100.	V
10	B-2	0.92	192.	108.	V
11	B-3	0.92	203.	109.	T
12	B-4	1.43	76.	98.	T
13	B-5	1.09	110.	84.	T
14	C-4	0.92	187.	99.	T
15	C-5	0.93	190.	100.	T
16	A	0.64	116.	97.	T
17	C	0.86	240.	109.	T
18	AaY1	0.69	126.	96.	T
19	AaY1	0.77	147.	98.	T
20	BY1	0.68	128.	100.	T
21	GY1	0.44	141.	112.	L

unit --- Ton-m % ---
 MODE; L= Lateral Buckling
 T= Torsional Buckling
 V= Vertical Buckling
 M_u^E ; Experimental Value
 M_u^C ; Calculated Value

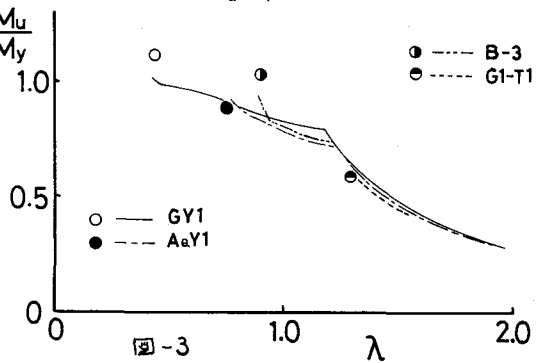


図-3