

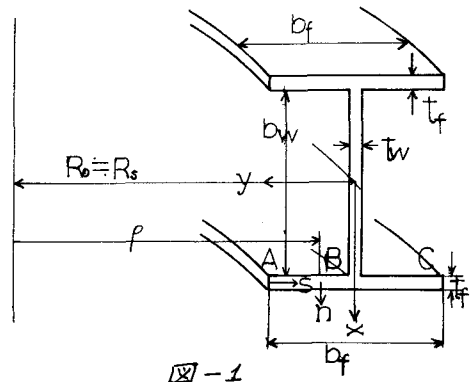
曲線折の最適設計について

秋田大学 正員 藤 本 征 三
秋田大学 学生員 萩 原 久 男

1. 諸言 曲線折はその横断面内での応力分布が直折にくらべて複雑である。すなわち、曲げ、せん断、ねじり、曲げねじりの組合せ応力下にある。従って、最小鋼材量を求める1方法であるfully stress の段階においても多くの問題を含んでいる。本報告は現行示方書の規定に全面的には拘束を與えずとなく断面決定法に於いてZ, 3の考察を試みたいと思う。

座屈に関しては曲線折の特徴として、その曲率の大きさに圧縮フランジでは局部座屈に対する照査のみで、ウェブでは支点上の座屈を考慮するに十分であると思われる。また鋼材の降伏に関しては、現在腹板の突合せ溶接継手の検算に用いられている von Mises の合成応力度に対する条件を適用するのが妥当である。これを前提として以下曲線プレートガーダーの支として最小鋼材量設計について述べる。構造解析は薄肉曲線折の理論を用いている。

2. 断面決定の方法 図-1において、 x, y 軸を曲げ主軸、 (s, n) を断面内の位置を表わす曲線座標、 O, S は中立点、せん断中心とし、 R_0, R_s はこれらの点を連ねる円率半径とする。図のようなZ軸対称I型折では $R_s \approx R_0$ として、円率半径に比してフランジ中の b_f は十分小さいから $(R_0 \text{ または } R_s)/\rho \approx 1$ として差しおえよう。よって軸方向応力 σ 、せん断応力 (s に沿う) τ は次のように表わされる。 J_y, J_T, C_w はそれぞれ曲げ、ねじり、曲げねじり剛性である。



$$\left. \begin{aligned} \sigma &= \frac{M_y}{J_y} \cdot x + \frac{M_n}{C_w} \cdot \omega \\ \tau &= -\frac{Q_x}{J_y} \cdot g_y(s) - \frac{T_w}{C_w t} \cdot g_w(s) + z \frac{T_n}{J_T} \cdot n \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

$$\therefore g_y(s) = \int_0^s x t ds, \quad g_w(s) = \int_0^s \omega t ds \quad \dots (2)$$

であり、 ω はせん断中心に関する関数である。断面力の符号は曲げ、せん断については通常の約束、ねじりは軸に向って時計方向を正とする。von Mises の降伏条件は

$$\sigma_v^2 = \sigma^2 + 3\tau^2 \leq (K \cdot \sigma_a)^2 \quad \dots (3)$$

であり、 K は引張降伏応力 σ_a に対する適当な割り増し率とする。式(1), (2)を

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= \sigma_m + \sigma_w \\ \tau &= \tau_g + \tau_w + \tau_n \end{aligned} \right\} \quad \dots (4)$$

とかく、フランジの垂直軸まわりの曲げによる σ_w と、それに伴う残物線分布のせん断流 T_w 、フランジ許す向に一定の T_s を受けてゐるから、降伏条件式 (4) を評価する点はフランジ端とフランジ中央の2点で行う。ウェブは水平軸まわりの曲げによる σ_m と放物線分布のせん断流 T_g 、およびウェブ中方向に一定の T_s を受けてゐるからウェブ中央とウェブとフランジの結合点の2点を評価する。したが、21断面内で4点で応力を照査することにゐるが、桁の端点付近ではせん断とねじり (T_s) が卓越するから、ウェブ中央の応力で決まり、交角中央部ではねじりとねじりが卓越するからフランジ中央またはフランジとウェブ結合点の応力で決まることにゐるが、外れとしてねじりモーメントをも考慮する場合、円弧曲率半径が小さい場合フランジ端で降伏することもありうる。断面内の応力分布の対称性と逆対称性を考慮すれば、これらの4点での応力は (応力の方向を考慮しないうけ) 決まるように考えられる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= \alpha \cdot \frac{|M_y|}{S_y} + \beta \cdot \frac{|M_w|}{S_w} \\ \tau &= \gamma \cdot \frac{|Q_x|}{V_g} + \delta \cdot \frac{|T_w|}{V_o} + \epsilon \cdot \frac{|T_s|}{V_s} \end{aligned} \right\} \dots (5)$$

ここで $\alpha, \beta, \dots, \epsilon$ は断面内4点で決まる1または0の数、 S_y, S_w, V_g, V_o, V_s は断面係数である。これを一括表示するに下表のようになる。

断面内位置	α	β	γ	δ	ϵ	S_y	S_w	V_g	V_o	V_s
1 フランジ端	1	1	0	0	1	$k(b_f b_f + t_w k)/6$	$t_f b_f^2 k/6$	—	—	$(2t_f^3 b_f + t_w^3 k)/3t_f$
2 フランジ中央	1	0	1	1	1	$k(b_f b_f + t_w k)/6$	—	$k(b_f t_f + t_w k)/3t_f$	$2t_f b_f k/3$	$(2t_f^3 b_f + t_w^3 k)/3t_f$
3 フランジとウェブ結合点	1	0	1	0	1	$k(b_f b_f + t_w k)/6$	—	$k(b_f t_f + t_w k)/6t_f$	—	$(2t_f^3 b_f + t_w^3 k)/3t_w$
4 ウェブ中央	0	0	1	0	1	—	—	$2t_w k(b_f t_f + t_w k)/3(t_f k + t_f b_f)$	—	$(2t_f^3 b_f + t_w^3 k)/3t_w$

式 (6) の右辺の各項を式 (4) の右辺の対応する記号であらわすと

$$\sigma_{vi}^2 = (\sigma_{mi} + \sigma_{wi})^2 + 3(T_{gi} + T_{wi} + T_{si})^2$$

および b_f, b_w, t_w をパラメータとして

$$(k \cdot \sigma_a)^2 = \max \{ \sigma_{vi}^2 \} \quad (i=1 \sim 4)$$

が成立するものにフランジ厚を適当な値から減ずせしめる。2のとき3の t_f と $\hat{t}_{fj} (j=1 \sim N_f+1)$ とする。この条件の他にフランジ最小校厚 t_{fmin} 、フランジの局部座屈に対して与えられた条件を用いることにする。

$$t_{fj} = \max \left\{ t_{fmin}, \frac{b_f - t_w}{\alpha_o}, \hat{t}_{fj} \right\} \quad (j=1 \sim N_f+1)$$

により所要校厚を定める。もちろんパラメータ t_w も下記の範囲に示すようにする。

$$t_w \geq t_{wmin}$$

このように定められた断面のうち、鋼材費

$$C = b_w t_w C_w(b_w, t_w) + \sum_{j=1}^{N_f+1} 2b_f d_j t_{fj} C_w(b_f, t_{fj})$$

を最小とする (b_w, t_w, b_f, t_{fj}) の組合せを求めよとにゐる。ただしこの t_{fj} に対して C が最小になるのは厚さ t_w と直折と同様に Normal Action と Hybrid Action に対する検討と行なわれなければならない。又 $\sigma_a \in \sigma_{ai} (i=1 \sim 4)$ とすれば Hybrid Girder に近接することもある。

図解 1) R. Razani, G. Goble OPTIMUM DESIGN OF CONSTANT-DEPTH PLATE GIRDER
Proc. ASCE, April, 1966

2) 山田善一, 国弘昌史 桁の最適設計についての一研究 土木学会26周年学術講演会講演集 1971.10