

I形断面の合成応力度の照査に関する一考察

鬼頭省吾*

1. まえがき

曲げモーメントおよび曲げに伴うせん断力が作用する断面では、垂直応力度および曲げに伴うせん断応力度がともにそれぞれの許容応力度の45%をこえる場合は、合成応力度の照査が必要とされる¹⁾。これは、垂直応力度およびせん断応力度がともにそれぞれの許容応力度以下であっても、合成応力度が許容応力度をこえると鋼材の塑性流動破壊に対する安全率が低下するからである²⁾。

プレートガーダーの合成応力度の照査には、設計実務上せん断応力度は慣用的に一樣分布と仮定して算出された値 ($\tau_b = S/A_w$) を用いて行われ、合成応力度が示方書の検算式を満足するように断面が決められる。合成応力度が検算式を満足しない場合、垂直応力度またはせん断応力度のどちらかを低く抑えるのがよいか、の判断基準には特に定説がなく、設計者の経験的判断に任されている。

こゝでは、合成応力度の照査について次の点から考察を試みるものである。

- 1) せん断流理論によるせん断応力度の分布を考慮した場合はどのようなになるか。
- 2) 垂直応力度またはせん断応力度のどちらかを低く抑えるのがよいか、鋼重の面から検討する。

2. せん断流理論によるせん断応力度

(1) せん断応力度の基本式

せん断流理論によるせん断応力度の基本式は次式である。

$$\tau = \frac{S}{It} \int ty ds \dots \dots \dots (1)$$

ここに、

- τ : せん断応力度
- S : せん断力

- I : 総断面の中立軸まわりの断面2次モーメント
- t : 着目点の板厚
- y : 総断面の中立軸からの距離
- s : 板厚中心線に沿った周辺座標

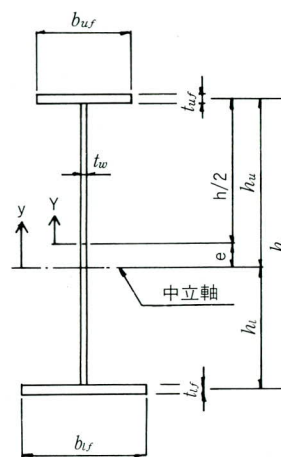


図-1. 記号

(2) せん断応力度

(a) 各点のせん断応力度

図-1を参照して、

上フランジ中央のせん断応力度 τ_{uf}

$$\tau_{uf} = \frac{S}{It_{uf}} \int_0^{\frac{b_{uf}}{2}} t_{uf} h_{uf} ds = \frac{S h_u b_{uf}}{2I} \dots \dots \dots (2)$$

腹板上縁のせん断応力度 τ_{wu}

$$\tau_{wu} = \frac{2\tau_{uf} t_{uf}}{t_w} = \frac{S h_u b_{uf} t_{uf}}{I t_w} \dots \dots \dots (3)$$

中立軸から y の位置における腹板のせん断応力度 τ_{wy}

$$\begin{aligned} \tau_{wy} &= \tau_{wu} + \frac{S}{I t_w} \int_0^{h_u - y} t_w y ds \\ &= \frac{S}{I} \left(\frac{h_u b_{uf} t_{uf}}{t_w} + \frac{h_u^2 - y^2}{2} \right) \dots \dots \dots (4) \end{aligned}$$

* 千葉工場製造部生産技術課課長

腹板下縁のせん断応力度 τ_{wl}

$$\tau_{wl} = \frac{S}{I} \left(\frac{h_u b_{uf} t_{uf}}{t_w} + \frac{h_u^2 - h_l^2}{2} \right) \dots\dots\dots (5)$$

下フランジ中央のせん断応力度 τ_{lf}

$$\tau_{lf} = \frac{S h_l b_{lf}}{2I} \dots\dots\dots (6)$$

(b) 平均せん断応力度を生ずる位置

腹板のせん断応力度が平均せん断応力度 ($\tau_o = S/A_w$) と等しくなる位置 y_o は、式(4)を $\tau_{wy} = S/A_w$ とおくことによつて、

$$y_o^2 = 2h_u b_{uf} t_{uf} / t_w + h_u^2 - 2I/A_w$$

ここで、

$$\begin{aligned} A_{uf} &= b_{uf} t_{uf}, \quad A_w = h t_w, \quad A_{lf} = b_{lf} t_{lf} \\ A &= A_{uf} + A_w + A_{lf}, \quad e = h (A_{lf} - A_{uf}) / 2A \\ h_u &= h/2 + e, \quad h_l = h/2 - e \\ I &= A_{uf} h_u^2 + A_{lf} h_l^2 + t_w h^3 / 12 + A_w e^2 \end{aligned}$$

であることから、

$$\begin{aligned} y_o^2 &= \frac{h^2}{4A^2} \left\{ A^2 + (A_{lf} - A_{uf})^2 \right\} - \frac{h^2}{6} \\ y_o &= \pm \frac{h}{2} \sqrt{\frac{1}{3} + \left(\frac{A_{lf} - A_{uf}}{A} \right)^2} \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

上下フランジ等断面の場合は、 $A_{lf} = A_{uf}$ とおくことによつて求まり、フランジ断面の大きさに関係なく、

$$y_o = \pm h/2\sqrt{3} \quad \text{となる。}$$

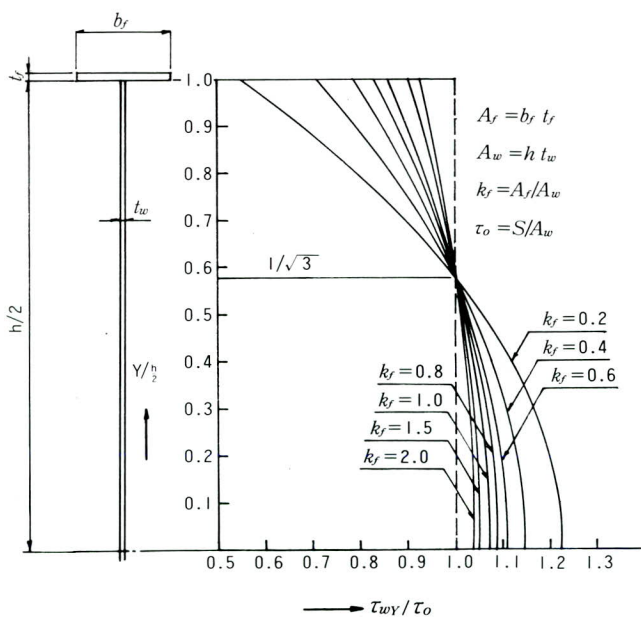


図-2. 上下フランジ等断面の場合の腹板せん断応力度

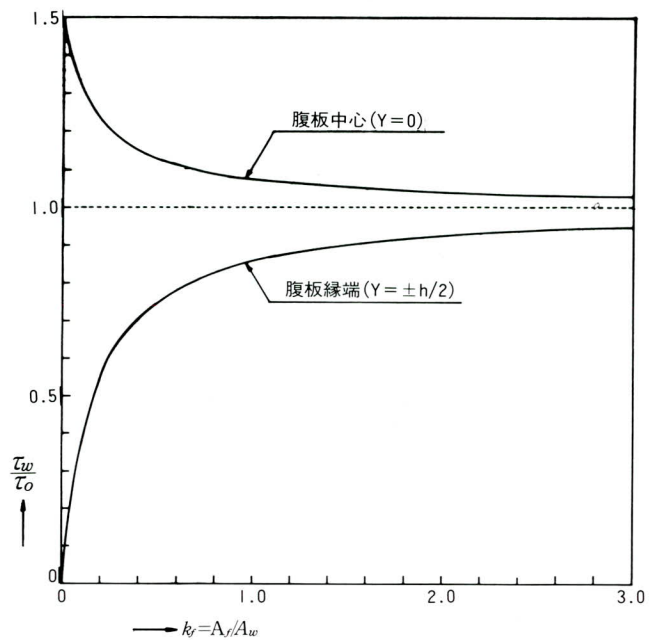


図-3. フランジと腹板の断面積比と τ_w/τ_o の関係

合成桁のように上フランジと下フランジの断面積の差が大きくなると、 y_o は腹板外側に存在する。 $A_{uf} > A_{lf}$ とすると y_o が腹板内にある条件は次のようになる。

$y_o \leq h_u$ であるから

$$\frac{h}{2} \sqrt{\frac{1}{3} + \left(\frac{A_{lf} - A_{uf}}{A} \right)^2} \leq \frac{h}{2} \cdot \frac{A_w + 2A_{lf}}{A}$$

式を整理すると

$$(A_{uf} - A_{lf})/A \leq 1/3$$

すなわち、 $(A_{uf} - A_{lf})/A > 1/3$ となる断面の場合は、腹板上縁のせん断応力度は平均せん断応力度よりも大きくなる。

(c) せん断応力度の分布図

上下フランジが等断面の場合

(4)式において、

$$b_{uf} t_{uf} = A_f, \quad h_u = h/2, \quad A_f/A_w = k_f, \quad A_w = h t_w$$

$$I = A_f (h/2)^2 \times 2 + t_w h^3 / 12 = h^2 (6A_f + A_w) / 12$$

とおくと、

$$\frac{\tau_{wy}}{\tau_o} = \frac{3}{2(6k_f + 1)} \left\{ 4k_f + 1 - \left(\frac{Y}{h/2} \right)^2 \right\} \dots\dots\dots (8)$$

いくつかの k の値について τ_{wy}/τ_o を図-2に示す。

腹板縁端および腹板中心における k_f と τ_{wy}/τ_o の関係を図-3に示す。腹板中心におけるせん断応力度は常に平均せん断応力度よりも大きく、 k_f が0.2以下で急激に増大する。

上下フランジの断面が異なる場合

$$A_{uf}/A_w = k_u, A_{lf}/A_w = k_l,$$

$$(A_{uf} + A_w + A_{lf})/A_w = k$$

$$e/(h/2) = k_e = (k_l - k_u)/(1 + k_u + k_l)$$

とおくと、

$$\frac{\tau_{wY}}{\tau_o} = \frac{2k(1+2k_l)k_u + (1+2k_l)^2/2 - k^2\{Y/(h/2) + k_e\}^2/2}{k_u(1+2k_l)^2 + k_l(1+2k_u)^2 + (k_u - k_l)^2 + k^2/3} \dots\dots\dots(9)$$

いくつかの k_l 、 k_u について τ_{wY}/τ_o を図-4に示す。

3. 合成応力度

(1) 腹板の合成応力度

垂直応力度 σ_Y は、図-5を参照して

$$\sigma_Y = \frac{Y+e}{h/2-e} \sigma_o = \left(\frac{Y}{h/2} + k_e \right) \sigma_o / (1 - k_e)$$

せん断応力度 τ_{wY} は式(9)より

$$\tau_{wY} = \frac{2k(1+2k_e)k_u + (1+2k_l)^2/2 - k^2\{Y/(h/2) + k_e\}^2/2}{k_u(1+2k_l)^2 + k_l(1+k_u)^2 + (k_l - k_u)^2 + k^2/3} \tau_o$$

上式の σ_Y 、 τ_{wY} を用いることによって、腹板の各位置における合成応力度 σ_v^2 は、次式によって求められる。

$$\sigma_v^2 = \left(\frac{\sigma_Y}{\sigma_a} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{wY}}{\tau_a} \right)^2 \dots\dots\dots(10)$$

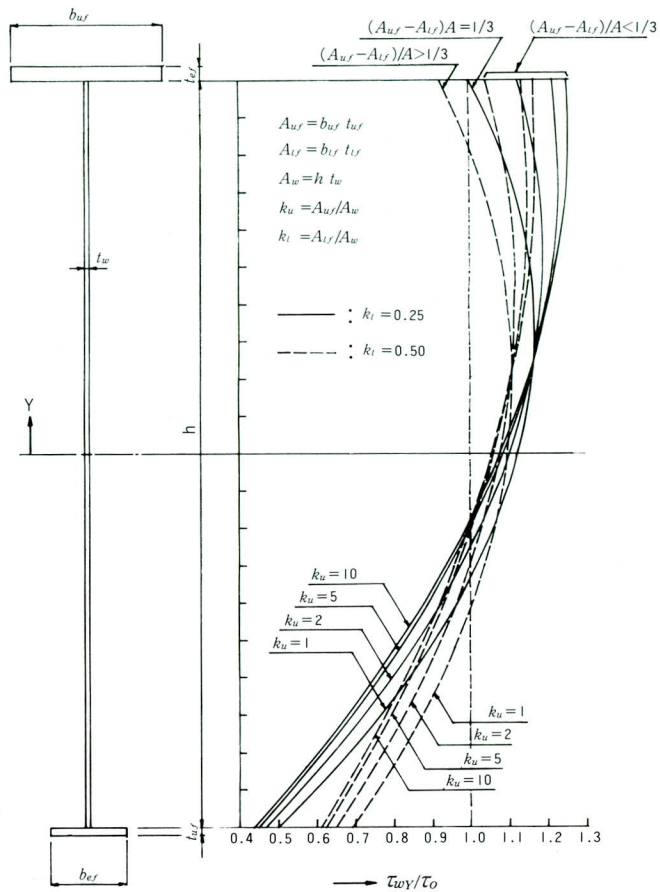


図-4. 上下フランジの断面が異なる場合の腹板せん断応力度

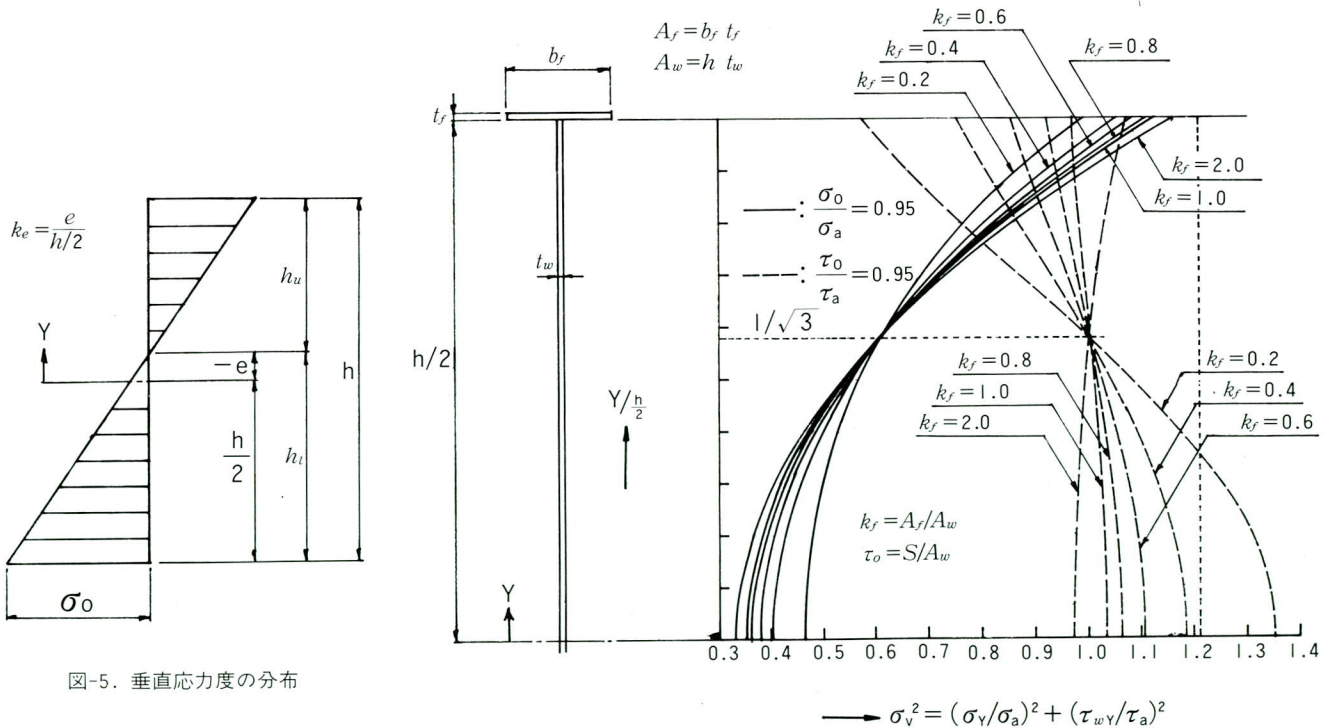


図-5. 垂直応力度の分布

図-6. 上下フランジ等断面の場合の腹板の合成応力度分布 ((\sigma_o/\sigma_a)^2 + (\tau_o/\tau_a)^2 = 1.21とした場合)

$\sigma_v^2 = \left(\frac{\sigma_o}{\sigma_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau_o}{\tau_a}\right)^2 = 1.1^2$ の場合の合成応力度を図-6、7に示す。図-6、7からわかるように、垂直応力度が支配的な場合には腹板のどの位置においても合成応力度は 1.1^2 以下であるが、せん断応力度が支配的かつフランジ断面が小さい場合には腹板中心付近の合成応力度は 1.1^2 を越えるようになる。 τ_o/τ_a と腹板縁端および腹板中心における合成応力度との関係をフランジ断面積をパラメータにして表わすと図-8、9のようになる。

図-6において、合成応力度は $Y = \pm h/(2\sqrt{3})$ で一定値となる。これは次のように導びくことができる。

上下のフランジが等断面であるから、

$$k_f = k_u = k_l, k_e = 0, k = 1 + 2k_f$$

とおくことによって、

$$\sigma_v = \frac{Y}{h/2} \sigma_o$$

$$\tau_{wv} = \left\{ 4k_f + 1 - \left(\frac{Y}{h/2} \right) \right\} \tau_o / (4k_f + 2/3)$$

したがって、

$$\sigma_v^2 = \left(\frac{\sigma_o}{\sigma_a}\right)^2 \left(\frac{Y}{h/2}\right)^2 + \left(\frac{\tau_o}{\tau_a}\right)^2 \cdot \left[\left\{ 4k_f + 1 - \left(\frac{Y}{h/2} \right) \right\} / (4k_f + 2/3) \right]^2$$

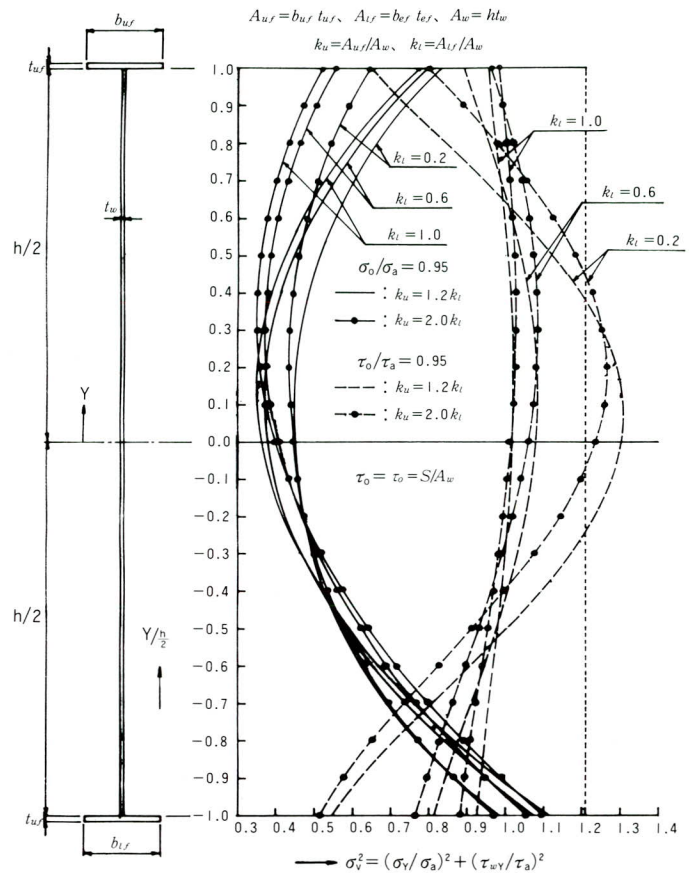


図-7. 上下フランジの断面が異なる場合の腹板の合成応力度分布 ($(\sigma_o/\sigma_a)^2 + (\tau_o/\tau_a)^2 = 1.21$ の場合)

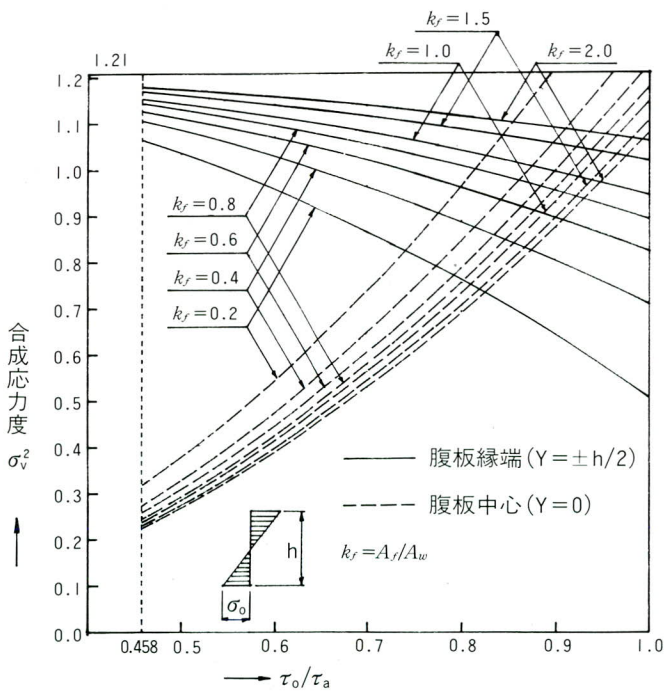


図-8. 上下フランジ等断面の場合の τ_o/τ_a と腹板の縁端および中心の合成応力度の関係 ($(\sigma_o/\sigma_a)^2 + (\tau_o/\tau_a)^2 = 1.21$ の場合)

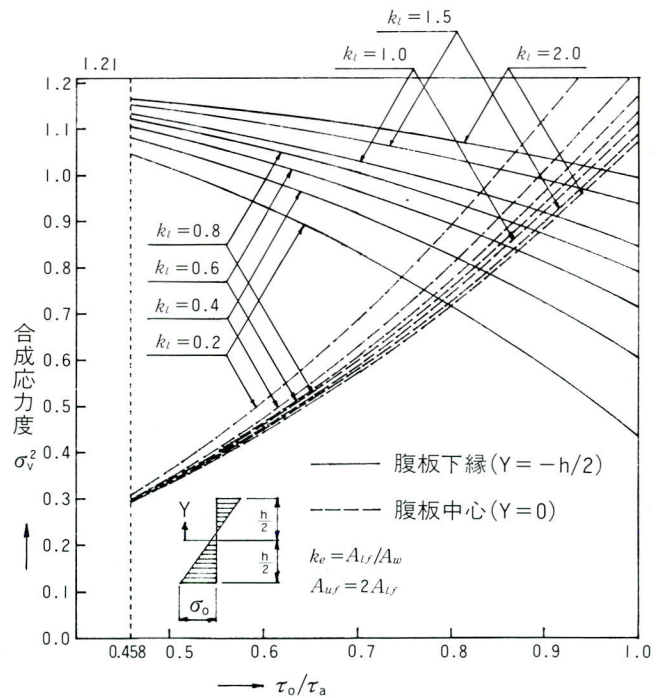


図-9. 上下のフランジ断面が異なる ($A_{wf} = 2A_{lf}$) 場合の τ_o/τ_a と腹板下縁および中心の合成応力度の関係 ($(\sigma_o/\sigma_a)^2 + (\tau_o/\tau_a)^2 = 1.21$ の場合)

$$\frac{d}{dk_f} \sigma_{vY}^2 = 2\tau_o^2 \frac{4k_f + 1 - \{Y/(h/2)\}^2}{(4k_f + 2/3)^3} \left\{ 4 \left(\frac{Y}{h/2} \right)^2 - \frac{4}{3} \right\},$$

$\frac{Y}{h/2} = \pm \frac{1}{\sqrt{3}}$ のとき k_f の値に関係なく $\frac{d}{dk_f} \sigma_{vY}^2 = 0$ となる。したがって、 $Y = \pm h/(2\sqrt{3})$ においては σ_{vY} は k_f に関係なく一定となり、式(11)で求められる。

$$\sigma_{vY}^2 = \frac{1}{3} \left(\frac{\sigma_o}{\sigma_a} \right)^2 + \left(\frac{\tau_o}{\tau_a} \right)^2 \dots \dots \dots (11)$$

式(11)は σ_{vY} の微分をもち出すまでもなく次のように簡単に導びかれる。

即ち、2.(2) (b) で述べたように、上下のフランジが等断面の場合は、フランジ断面積に無関係に $Y = \pm h/(2\sqrt{3})$ において $\tau_{wY} = \tau_o$ である。これを式(10)に代入すればただちに式(11)が得られる。

4. 鋼重の検討

(1) 応力度

合成応力度が許容値を超過する場合、垂直応力度とせん断応力度のどちらかを低く抑えるのが有利となるかを鋼重増加の面から検討する。ここでは簡単にするため、上下のフランジ断面積が等しい場合のみを考えることとする。

合成応力度を許容値に入れるためにフランジ断面積を m 倍、腹板厚を n 倍すると、各々の断面積は A_f 、 A_w は

$$A_f = mA_f, A_w = nA_w$$

ここに、 A_f 、 A_w は元の断面のフランジおよび腹板の断面積。以下の記号でダッシュ付は m 、 n 倍後を表わす。

断面 2 次モーメント

$$I = h^2 A_w (6k_f + 1) / 12$$

$$I' = h^2 A_w (6mk_f + n) / 12$$

垂直応力度

$$\sigma_Y = \frac{MY}{h^2 A_w (6k_f + 1) / 12}, \sigma'_Y = \frac{12MY}{h^2 A_w (6mk_f + n)}$$

せん断応力度

$$\tau_Y = \frac{3\tau_o}{2(6k_f + 1)} \left\{ 4k_f + 1 - \left(\frac{Y}{h/2} \right)^2 \right\}$$

$$\tau'_Y = \frac{3\tau_o}{2n(6mk_f + n)} \left\{ 4mk_f + n - n \left(\frac{Y}{h/2} \right)^2 \right\}$$

$\sigma_Y / \sigma_a = p$ 、 $\tau_o / \tau_a = q$ 、 $q/p = \alpha$ とすると、

$$p' = \frac{\sigma'_Y}{\sigma_a} = \frac{\sigma_Y}{\sigma_a} \cdot \frac{\sigma'_Y}{\sigma_Y} = p \frac{6k_f + 1}{6mk_f + n}$$

$$q' = \frac{\tau'_Y}{\tau_a} = \frac{\tau_o}{\tau_a} \cdot \frac{\tau'_Y}{\tau_o} = \alpha p \frac{3}{2n(6mk_f + n)} \cdot \left\{ 4mk_f + n - n \left(\frac{Y}{h/2} \right)^2 \right\}$$

(2) せん断流理論によるせん断応力度の分布を考慮する場合

(a) フランジだけを増す場合 ($n=1$)

$Y = h/2$ 、 $n=1$ とすると、

$$p'^2 + q'^2 = p^2 \left(\frac{6k_f + 1}{6mk_f + 1} \right)^2 + \alpha^2 p^2 \left(\frac{6mk_f}{6mk_f + 1} \right)^2$$

$$p'^2 + q'^2 = 1.1^2 \text{ とおくと、}$$

$$m = \frac{1.21 - \sqrt{1.21^2 - (\alpha^2 p^2 - 1.21) \{ p^2 (6k_f + 1)^2 - 1.21 \}}}{6(\alpha^2 p^2 - 1.21) k_f}$$

断面積の増加分 ΔA_f は、

$$\Delta A_f = 2(m-1)A_f$$

増加率は、

$$\frac{\Delta A_f}{A} = \frac{2(m-1)A_f}{2A_f + A_w} = \frac{2(m-1)k_f}{2k_f + 1}$$

(b) 腹板だけを増す場合 ($m=1$)

$Y = h/2$ 、 $m=1$ として、

$$p'^2 + q'^2 = p^2 \left(\frac{6k_f + 1}{6k_f + n} \right)^2 + \frac{\alpha^2 p^2}{n^2} \left(\frac{6k_f}{6k_f + n} \right)^2$$

$$p'^2 + q'^2 = 1.1^2 \text{ において } n \text{ に関して整理すると、上式は、} \\ 1.21n^4 + 14.52k_f n^3 + \{ 43.56k_f^2 - (6k_f + 1)^2 p^2 \} n^2 - (6k_f \alpha p)^2 = 0$$

上式より n が求まると、断面積の増加分 ΔA_w は

$$\Delta A_w = (n-1)A_w$$

増加率は

$$\frac{\Delta A_w}{A} = \frac{(n-1)A_w}{2A_f + A_w} = \frac{n-1}{2k_f + 1}$$

(c) 応力度の比と断面積増加率の関係

前項(a)、(b)の式を用いて断面積増加率を算出し、 $\alpha = q/p$ との関係を探ると **図-10** のようになる。腹板増による断面積増加率は α にほぼ比例しているが、フランジ増による増加率は放物線状に変化する。垂直応力度が許容応力度に等しい ($p=1$) 場合、 $k_f \leq 0.8$ でかつせん断応力度が小さい範囲ではフランジを増して垂直応力度を下げた方がやや有利であるが、せん断応力度が大きい範囲では腹板を増してせん断応力度を下げた方が有利となる。フランジが大きい ($k_f > 0.8$) 断面では、せん断応力度が比較的小きくても腹板を増した方が有利である。垂直応力度に余裕がある場合 ($p=0.9$) は腹板を増した方がよい。

(3) 平均せん断応力度による場合

(a) フランジだけを増す場合 ($n=1$)

$$p' = p \frac{6k_f + 1}{6mk_f + n}, \quad q' = \frac{q}{n} = \frac{\alpha p}{n}$$

上式で $n=1$ とすると、

$$p'^2 + q'^2 = p^2 \left\{ \left(\frac{6k_f + 1}{6mk_f + 1} \right)^2 + \alpha^2 \right\}$$

$p'^2 + q'^2 = 1.1^2$ とおくと、

$$m = \frac{1}{6k_f} \left\{ \frac{p(6k_f + 1)}{\sqrt{1.1^2 - \alpha^2 p^2}} - 1 \right\}$$

断面積増加率は、

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{2(m-1)k_f}{2k_f + 1}$$

(b) 腹板だけを増す場合 ($m=1$)

$$p'^2 + q'^2 = p^2 \left\{ \left(\frac{6k_f + 1}{6k_f + n} \right)^2 + \frac{\alpha^2}{n^2} \right\}$$

$p'^2 + q'^2 = 1.1^2$ とおくと、

$$1.1^2 n^4 + 14.52 k_f n^3 + \{43.56 k_f^2 - p^2(6k_f + 1)^2 - \alpha^2 p^2\} n^2 - 12\alpha^2 p^2 k_f n - 36\alpha^2 p^2 k_f^2 = 0$$

上式により n が求まると、

$$\text{断面積増加率は、} \frac{\Delta A}{A} = \frac{n-1}{2k_f + 1}$$

(c) 応力度の比と断面積増加率の関係

前項(a)、(b)の式を用いて断面積増加率を算出し、 $\alpha=q/p$ との関係を求めると図-11のようになる。図-10に比較して、腹板を増した場合の勾配がかなり大きく、また図-10とは逆にフランジ断面 (k_f) が小さい程急勾配となる。これは、平均せん断応力度は実せん断応力度よりも大きく、その比 (τ_w/τ_o) は k_f が大きい程大きいからである (図-3参照)。断面積増加率は、計算に用いたせん断応力度が大きいため、図-10に比べてフランジを増した方が有利となる範囲が広がる。また、図-10と同様に、垂直応力度が小さくなる程、フランジおよびせん断応力度が大きくなる程腹板を増した方が断面積の増加率は小さい。

(4) 断面積が最小となる α

上下のフランジが等しい断面で、 $p^2 + q^2 = \beta^2$ のもとに $A = 2A_f + A_w$ を最小にする $\alpha = q/p$ を求める。せん断応力度としては平均値 τ_o を用いる。但し、 β は定数である。

$$\sigma_o = \frac{6M}{hA_w(6k_f + 1)}, \quad \tau_o = \frac{S}{A_w}$$

ここに、

M = 曲げモーメント、 S = せん断力

合成応力度は、 $\tau_a = \sigma_a/\sqrt{3}$ として、

$$\begin{aligned} p^2 + q^2 &= \left(\frac{\sigma_o}{\sigma_a} \right)^2 + \left(\frac{\tau_o}{\tau_a} \right)^2 = \left\{ \frac{6M}{hA_w(6k_f + 1)\sigma_a} \right\}^2 + \left(\frac{\sqrt{3}S}{A_w\sigma_a} \right)^2 \\ &= \frac{1}{\sigma_a^2 A^2} (2k_f + 1)^2 \left[\left\{ \frac{6M}{h(6k_f + 1)} \right\}^2 + 3S^2 \right] = \beta^2 \\ \sigma_a^2 \beta^2 \frac{d}{dk_f} A^2 &= \frac{12(2k_f + 1)}{h^2(6k_f + 1)^3} \{ S^2 h^2 (6k_f + 1)^3 - 24M^2 \} \\ &= 0 \end{aligned}$$

とおくと、

$$k_f = \frac{1}{6} \left\{ \left(\frac{24M^2}{S^2 h^2} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right\}$$

この k_f を $\frac{d^2}{dk_f^2} A^2$ に代入すると $\frac{d^2}{dk_f^2} A^2 > 0$ であるから、

k_f が上式の値のとき断面積 A は最小となる。

$$\alpha = \frac{q}{p} = \frac{\sqrt{3}Sh/h(6k_f + 1)}{6M}$$

上式に、 $k_f = \frac{1}{6} \left\{ \left(\frac{24M^2}{S^2 h^2} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right\}$ を代入すると、

$$\alpha = \frac{\sqrt{3}Sh}{6M} \left(\frac{24M^2}{S^2 h^2} \right)^{\frac{1}{3}} = 0.8327 \left(\frac{Sh}{M} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$\beta = 1.1$ とすると、最小断面積を与える p 、 q は、

$$p = \frac{\sigma_o}{\sigma_a} = \frac{1.1}{\sqrt{1 + \alpha^2}}, \quad q = \frac{1.1\alpha}{\sqrt{1 + \alpha^2}}$$

で求められる。ここに、

$$\alpha = 0.8327 \left(\frac{Sh}{M} \right)^{\frac{1}{3}}$$

<計算例>

$M = 550 \text{ t}\cdot\text{m}$ 、 $S = 110 \text{ ton}$ 、 $h = 1.7 \text{ m}$ 、 $\sigma_a = 2100 \text{ kg/cm}^2$
 $\tau_a = 2100/\sqrt{3} \doteq 1200 \text{ kg/cm}^2$ とする。

$$\alpha = 0.8327 \times \left(\frac{110 \times 1.7}{550} \right)^{\frac{1}{3}} = 0.5812$$

$$p = \frac{1.1}{\sqrt{1 + 0.5812^2}} = 0.951, \quad q = 0.951 \times 0.5812 = 0.553$$

$$\sigma_o = p\sigma_a = 0.951 \times 2100 = 1997 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_o = q\tau_a = 0.553 \times 1200 = 664 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{腹板厚 } t_w = \frac{S}{\tau_o h} = \frac{110 \ 000}{664 \times 170} = 0.976 \text{ cm} \rightarrow t_w = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{フランジ断面積 } A_f &= \frac{M}{\sigma_o h} - \frac{A_w}{6} = \frac{55 \ 000 \ 000}{1997 \times 170} \\ &\quad - \frac{1.0 \times 170}{6} = 133.7 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

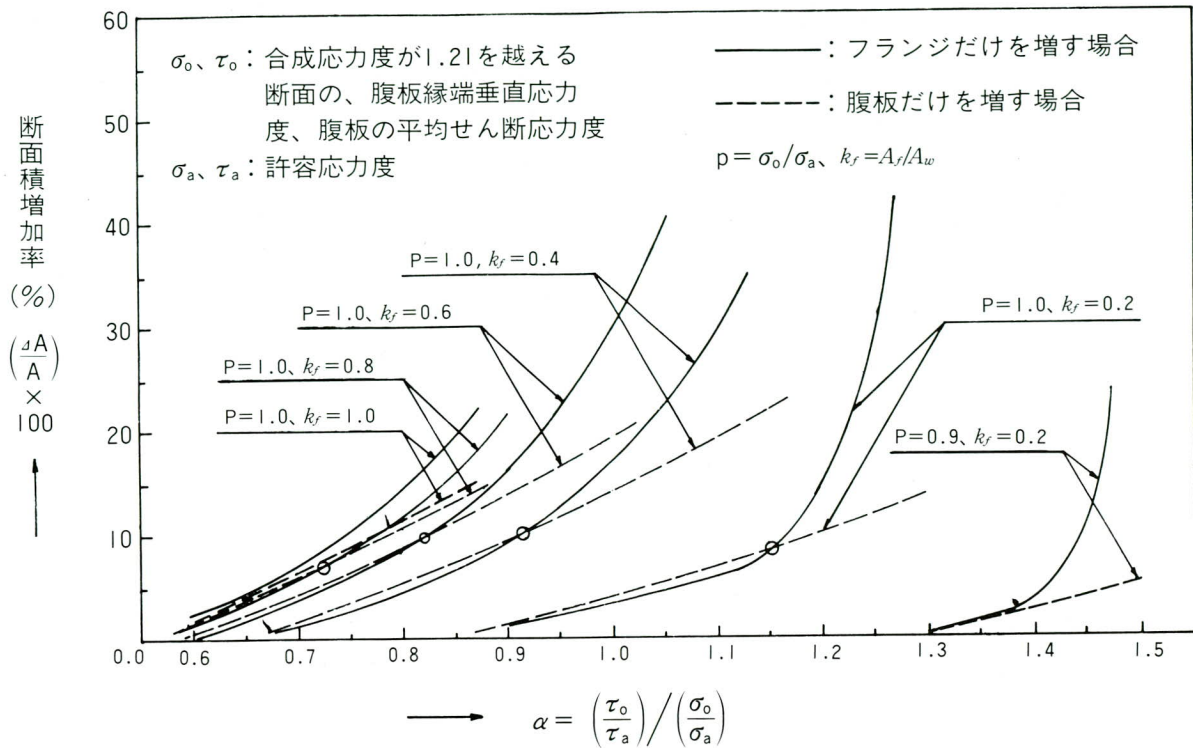


図-10. 腹板縁端における合成応力度を1.21にするために、断面を増す場合の断面積の増加率 (せん断応力度の分布を考慮した場合)

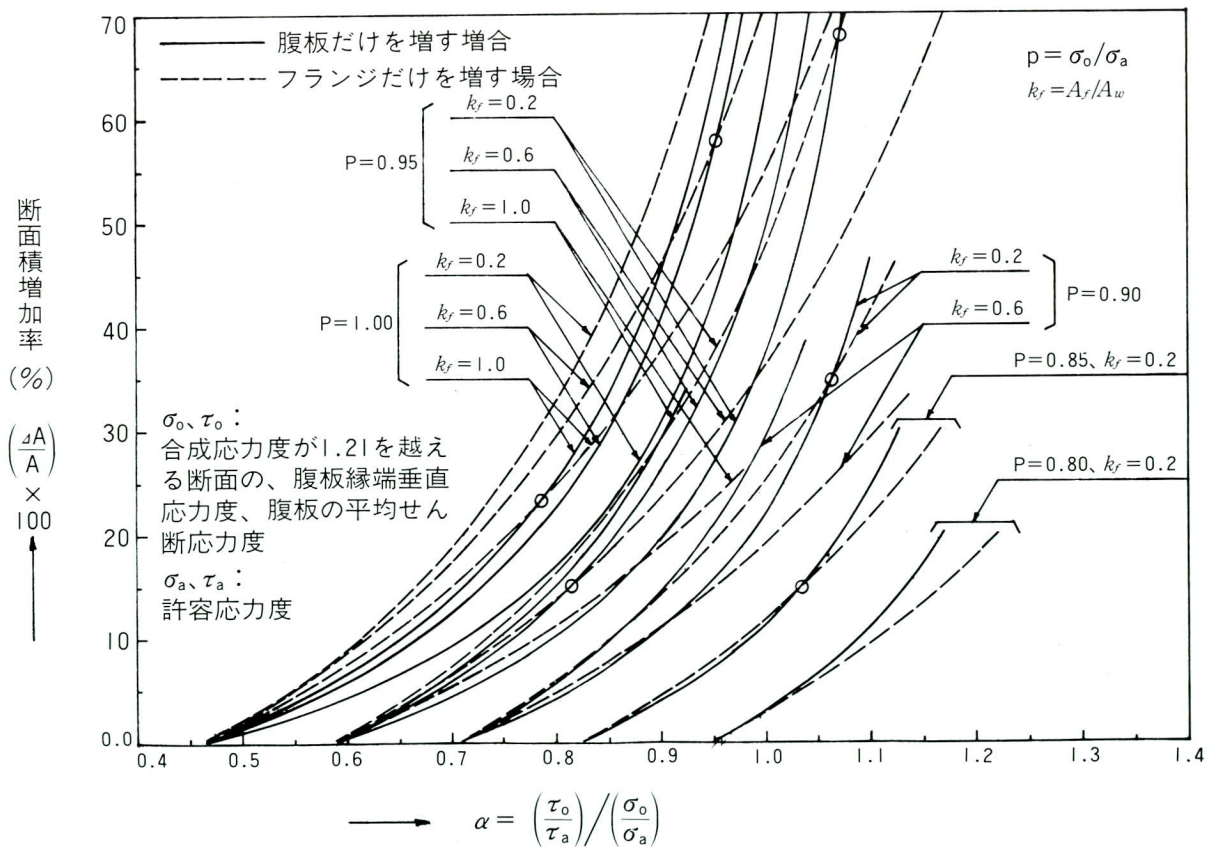


図-11. 腹板縁端における合成応力度を1.21にするために、断面を増す場合の断面積の増加率 (せん断応力度を等分布とした場合)

5. 結 論

(1) 腹板のせん断応力度の分布

(a) 上下のフランジが等しい断面では、平均せん断応力度に比べて、せん断応力度は腹板縁端部で小さく断面中立軸付近で大きくなる。この傾向はフランジが小さい程顕著で、フランジが無い断面のせん断応力度は、縁端でゼロ中心では平均値の1.5倍である。フランジ断面の増大にしたがって、縁端部中心部とも急激に平均せん断応力度に近づく。

また、腹板中心から $h/2\sqrt{3}$ の位置におけるせん断応力度は、フランジ断面に無関係に平均せん断応力度に等しい(図-2、3)。

(b) 上下のフランジが異なる断面では、フランジ断面積の差と全断面積との比が1/3を超えると、大きい方のフランジ側の縁端におけるせん断応力度は平均せん断応力度よりも大きくなる(図-4)。

(2) 合成応力度

上下のフランジの差が小さい一般的な断面では、腹板縁端の合成応力度は平均せん断応力度を用いた合成応力度より小さいので、道路橋示方書8、2、4の照査式は安全側である。しかし、フランジ断面が小さくかつせん断応力度が大きい場合は危険側となる(図-6、7、8、9)。

(3) 鋼重の増加

(a) 腹板縁端の合成応力度が許容値を超過するために断面を大きくする場合、鋼重増を少なくするには、フランジが小さくかつせん断応力度が小さい範囲ではフランジを増した方が有利であるが、せん断応力度の分布を考慮した場合は腹板厚を増しても殆んど差はない。フランジが大きくまたせん断応力度も大きい範囲では、腹板厚を増した方が有利である(図-10、11)。

(b) 曲げモーメント、せん断力および桁高が与えられると、合成応力度を許容値内に抑えて最小断面を得る応力度の比は

$$\frac{(\tau_o/\tau_a)}{(\sigma_o/\sigma_a)} = 0.8327 \left(\frac{Sh}{M} \right)^{\frac{1}{3}} \text{ で与えられる。}$$

以上により、合成応力度が許容値を超過する場合には、①腹板厚を厚くしてもフランジを大きくした時との鋼重増加に大きな差はないこと、②中立軸付近のせん断応力

度は平均よりも大きくなっていること。③腹板の座屈強度が増大することにより桁の耐荷力増加にも寄与すること、を考慮すると、腹板厚を増した方がよいと考えられる。

本文をまとめるにあたって多くの示唆をいただいた名古屋高速道路公社工務部の佐藤主幹に心からお礼申し上げます。

<参考文献>

- 1) 道路橋示方書・同解説 P208：昭和55年2月 日本道路協会
- 2) 道路橋設計便覧 P109：昭和55年8月改訂 日本道路協会