

フランジを有する扇形腹板の座屈について

正 員 渡辺 昇 *
 学生員 川上 洵 **
 学生員 ○堺 孝司 ***

1 ま え が き

本研究は、扇形平板の座屈問題を取り扱ったもので、その断面は、工一形とした。フランジをシェルとして解析し、そのフランジから腹板への力の作用を考慮し、扇形腹板の座屈を検討した。

2 仮 定

- i). 材料は *Hooke* の法則を適用出来る等方等質である。
- ii). 平板は、周辺単純支持である。
- iii). 荷重載荷位置は、板の中央面である。
- iv). 板の半径方向の補剛は、板の中央面に対して対称になされ、補剛材のねじり剛性は無視する。
- v). 平面応力状態を基礎としてシャイベの計算を行う。
- vi). 板は、*Kirchhoff* の板の理論による。

vii). I - 断面を有する扇形平板の応力を見つける際、フランジは円筒シェルとして考えた。

3 記 号

E : 弾性係数、 μ : ポアソン比、 h : 板厚

$\Delta = \partial^2 / \partial r^2 + \partial / r \partial r + \partial^2 / r^2 \partial r^2$: 極座標におけるラプラス演算子。

$K = Eh^3 / 12(1 - \mu^2)$: 板剛度

t_i, b_i : フランジの厚さ及び幅。

P_{BK}, P_{AK} : $r = B, r = A$ における荷重状態 k でのフランジからウェブに作用する力。

$\gamma_i = EI_i / K(B-A), EI_i$: 半径方向補剛材 i の曲げ剛性。

$C_{i,k}$: 荷重状態 k におけるシャイベの解の定数。

$M_{s,o}^i, N_{s,o}^i$: 腹板の $\varphi = 0$ における断面力。

M_o, N_o, S_o : I - 断面を有する $\varphi = 0$ での三つの荷重状態による全断面力。

$p = \bar{p} \cdot M_{s,o} / B^2 h, C_{i,k} = \bar{C}_{i,k} \cdot M_{s,o} / K$

4 三つの荷重状態とその応力

図-1~図-3を参照して $N_{s,o}, Q_o, N_o$ を次の如く定義する。

$$N_{s,o} = \xi \cdot M_{s,o} / B, Q_o = \psi \cdot M_{s,o} / B = \beta \cdot M_o / (B-A), N_o = v \cdot M_o / (B-A)$$

$$\text{但し、} M_{s,o} = M_s^1 + M_{sp}^3, N_{sp} = N_s^1 + N_{sp}^3$$

又、三つの荷重状態による応力は

$$\sigma_\varphi = \frac{M_{s,o}}{B^2 h} \left\{ \left[-\frac{\bar{C}_{11}}{(\gamma/B)^2} + (2\bar{C}_{31} - C_{11} - F_{B1}) + 2\bar{C}_{31} \ln \frac{\gamma}{B} \right] + \left[\frac{\bar{C}_{31}}{\gamma/B} + \frac{2\bar{C}_{12}}{(\gamma/B)^3} + 6\bar{C}_{22} \cdot \frac{\gamma}{B} \right] \sin \varphi \right. \\ \left. + \left[\frac{\bar{C}_{33}}{\gamma/B} + \frac{2\bar{C}_{13}}{(\gamma/B)^3} + 6 \cdot C_{23} \cdot \frac{\gamma}{B} \right] \cos \varphi \right\}$$

$$\tau_{\varphi\varphi} = \frac{M_{s,o}}{B^2 h} \left\{ -\left[\frac{\bar{C}_{32}}{\gamma/B} - \frac{2\bar{C}_{12}}{(\gamma/B)^3} + 2\bar{C}_{22} \frac{\gamma}{B} \right] \cos \varphi + \left[\frac{\bar{C}_{33}}{\gamma/B} - \frac{2\bar{C}_{13}}{(\gamma/B)^3} + 2\bar{C}_{23} \frac{\gamma}{B} \right] \sin \varphi \right\}$$

* 北海道大学工学部教授

** 北海道大学大学院博士課程

*** 北海道大学大学院修士課程

$$\sigma_r = \frac{M_{so}}{B^2 h} \left\{ \left[\frac{\bar{C}_{11}}{(\gamma/B)^2} - (\bar{C}_{11} + \bar{P}_{B1}) + 2\bar{C}_{31} \ln \frac{\gamma}{B} \right] + \left[\frac{\bar{C}_{32}}{\gamma/B} - \frac{2\bar{C}_{12}}{(\gamma/B)^3} + 2\bar{C}_{22} \frac{\gamma}{B} \right] \sin \varphi \right. \\ \left. + \left[\frac{\bar{C}_{33}}{\gamma/B} - \frac{2\bar{C}_{13}}{(\gamma/B)^3} + 2\bar{C}_{23} \frac{\gamma}{B} \right] \cos \varphi \right\}$$

ここで、 $\bar{C}_{i,k}$ は次の如くである。

$$\bar{C}_{11} = \frac{d^2 \{ 4 \ln d [1 + \frac{\gamma}{B} (\xi + \bar{p}_{B1} - d \bar{p}_{A1}) - (\bar{p}_{B3} - d^2 \bar{p}_{A3})] + (1-d^2) (\bar{p}_{A1} - \bar{p}_{B1}) + 2 \ln d (p_{B1} - d^2 P_{A1}) \}}{[4d^2 (\ln d)^2 - (1-d^2)^2]}$$

$$\bar{C}_{21} = \frac{1}{4 \ln d} \left\{ \frac{\bar{C}_{11}}{d^2} (1-d^2-2d^2 \ln d) - [\bar{p}_{B1} (1+2 \ln d) - \bar{p}_{A1}] \right\}$$

$$\bar{C}_{31} = \frac{1}{2 \ln d} \left\{ -\left(\frac{1}{d^2} - 1\right) \bar{C}_{11} + (\bar{p}_{B1} - \bar{p}_{A1}) \right\}$$

$$\bar{C}_{12} = \frac{d^2 \{ \psi + \frac{1}{2} (-\bar{p}_{B2} + d \bar{p}_{A2}) - \frac{d \ln d}{1-d^2} (\bar{p}_{B2} \cdot d - \bar{p}_{A2}) \}}{2 [\ln d (1+d^2) + (1-d^2)]}$$

$$\bar{C}_{22} = -\frac{\bar{C}_{12}}{d^2} - \frac{(\bar{p}_{B2} - d \bar{p}_{A2})}{2(1-d^2)}$$

$$\bar{C}_{32} = 2(1 + \frac{1}{d^2}) \bar{C}_{12} + \frac{d}{1-d^2} (d \bar{p}_{B2} - \bar{p}_{A2})$$

$$\bar{C}_{13} = -\frac{d^2 \{ \xi - (d \bar{p}_{A1} - \bar{p}_{B1}) + \frac{3}{2} (-\bar{p}_{B3} + d \bar{p}_{A3}) + \frac{d \ln d}{1-d^2} (\bar{p}_{A3} - d \bar{p}_{B3}) \}}{2 [\ln d (1+d^2) + (1-d^2)]}$$

$$\bar{C}_{23} = -\frac{\bar{C}_{13}}{d^2} + \frac{(\bar{p}_{B3} - d \bar{p}_{A3})}{2(1-d^2)}, \quad \bar{C}_{33} = 2(1 + \frac{1}{d^2}) \bar{C}_{13} - \frac{d}{1-d^2} (d \bar{p}_{B3} - \bar{p}_{A3})$$

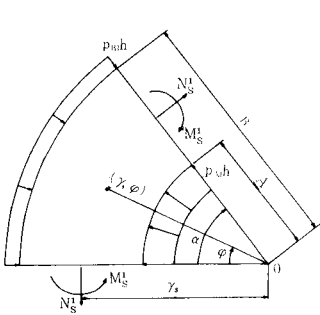


図-1

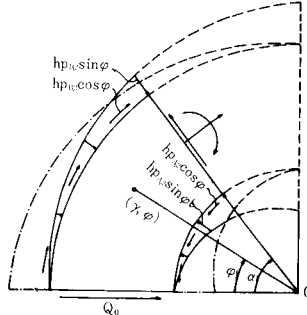


図-2

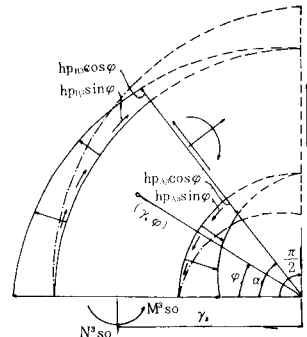


図-3

5 Ritzの方法による解析

座屈曲面を(2)式と仮定する。

$$w(\rho, \varphi) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N A_{mn} \cdot \sin \frac{m\pi\varphi}{\alpha} \cdot \sin \frac{n\pi\rho}{\rho_d} \quad (2)$$

但し、 $r/B = e^\ell$, $\ell = \ln d$

次に、扇形平板のポテンシャルエネルギーは

$$\delta^2 \Pi = \frac{1}{2} \int_a^b \int_0^\alpha \left\{ [n_r(\dot{w})^2 + n_\varphi \left(\frac{1}{\gamma} \dot{w} \right)^2 + 2 \cdot n_{r\varphi} \left(\frac{1}{\gamma} \dot{w} \dot{w}' \right)] + K [(\Delta w)^2 - 2(1-\mu) \times \right. \\ \left. \times (w'' \langle \frac{1}{\gamma^2} \dot{w}'' + \frac{1}{\gamma} \dot{w}' \rangle - \langle \frac{1}{\gamma} \dot{w}'' - \frac{1}{\gamma^2} \dot{w}' \rangle^2)] \right\} \gamma \cdot d\varphi \cdot d\gamma = 0 \quad (3)$$

$$\text{但し、 } w' = \frac{\partial w}{\partial \gamma}, \quad w'' = \frac{\partial w}{\partial \varphi}$$

ポテンシャルエネルギーを最小とする係数行列式を求め

ると

$$\frac{\partial \delta^2 \Pi}{\partial A_{mm}} = 0 \quad (4)$$

すなわち

$$\begin{aligned} & \{ \sum_q A_{mq} \cdot R_{mnmq} + \sum_p \sum_q A_{p,q} \cdot S_{mnpq} \} - k_M \{ A_{mn} \cdot B_{mnmn}^{(1)} + \sum_q A_{mq} \cdot B_{mnmq}^{(2)} \\ & + \sum_q A_{mq} \cdot B_{mnmq}^{(3)} + \sum_p \sum_q A_{pq} \cdot B_{mnpq}^{(4)} \} = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

ここで

$$\begin{aligned} R_{mnmq} &= \alpha \frac{nq \left(\frac{\pi}{\rho_d} \right)^2 \{ 1 - (-1)^{n+q} d^2 \}}{\left(4 + \frac{(n-q)^2 \pi^2}{\rho_d^2} \right) \left(4 + \frac{(n+q)^2 \pi^2}{\rho_d^2} \right)} \times \{ 4 \left(\frac{m\pi}{\alpha} \right)^2 + \left(\frac{n\pi}{\rho_d} \right)^2 \left[\left(\frac{m\pi}{\alpha} \right)^2 + \left(\frac{q\pi}{\rho} \right)^2 \right] \\ &+ \{ (n^2 - q^2) \left(\frac{\pi}{\rho_d} \right)^4 + 8(n^2 + q^2) \left(\frac{\pi}{\rho_d} \right)^2 + 16 \} \} \\ S_{mnpq} &= 2(1-d) nq \left(\frac{\pi}{\rho_d} \right)^2 \{ 1 - (-1)^{n+q} d^{-3} \} \times \frac{27 + 12(n^2 + q^2) \left(\frac{\pi}{\rho_d} \right)^2 + 6n^2 q^2 \left(\frac{\pi}{\rho_d} \right)^4 + (n^2 - q^2) \left(\frac{\pi}{\rho_d} \right)^4}{\left(9 + \frac{(n-q)^2 \pi^2}{\rho_d^2} \right) \left(9 + \frac{(n+q)^2 \pi^2}{\rho_d^2} \right)} \times \end{aligned}$$

$$\sum_{i=1} \gamma_i \cdot \sin \frac{m\pi\varphi_i}{\alpha} \cdot \sin \frac{p\pi\varphi_i}{\alpha}$$

$$B_{mnmn}^{(1)} = -\frac{\rho_d}{2} \cdot \alpha \cdot \left\{ \left(\frac{m\pi}{\alpha} \right)^2 \{ 2\bar{C}_{31} (1 + \frac{\rho_d}{2}) - \bar{C}_{11} - \bar{P}_{B1} \} + \left(\frac{n\pi}{\rho_d} \right)^2 \{ \bar{C}_{31} \rho_d - \bar{C}_{11} - \bar{P}_{B1} \} \right\}$$

$$\begin{aligned} B_{mnmq}^{(2)} &= \alpha \cdot \bar{C}_{11} \{ 1 - (-1)^{n+q} d^{-2} \} \times \left\{ \left(\frac{m\pi}{\alpha} \right)^2 \left(\frac{1}{4 + \frac{(n-q)^2 \pi^2}{\rho_d^2}} - \frac{1}{4 + \frac{(n+q)^2 \pi^2}{\rho_d^2}} \right) - \right. \\ &\left. - nq \left(\frac{\pi}{\rho_d} \right)^2 \left(\frac{1}{4 + \frac{(n-q)^2 \pi^2}{\rho_d^2}} - \frac{1}{4 + \frac{(n+q)^2 \pi^2}{\rho_d^2}} \right) \right\} \end{aligned}$$

$$B_{mnmq}^{(3)} = 2\alpha \bar{C}_{31} \left\{ \left(\frac{m\pi}{\alpha} \right)^2 \left(\frac{1}{\frac{(n-q)^2 \pi^2}{\rho_d^2}} - \frac{1}{\frac{(n+q)^2 \pi^2}{\rho_d^2}} \right) + nq \left(\frac{\pi}{\rho_d} \right)^2 \left(\frac{1}{\frac{(n-q)^2 \pi^2}{\rho_d^2}} + \frac{1}{\frac{(n+q)^2 \pi^2}{\rho_d^2}} \right) \right\}$$

$$\begin{aligned} B_{mnpq}^{(4)} &= \frac{1}{2} \{ \bar{C}_{32} [1 - (-1)^{m+p} \cos \alpha] + \bar{C}_{33} (-1)^{m+p} \sin \alpha \} \cdot [1 - d^{-3} (-1)^{n+q}] \times \\ &\times \left[\begin{aligned} & (P_{mp} + Q_{mp}) m \cdot p \left(\frac{\pi}{\alpha} \right)^2 (F_{na} - H_{na}) + (P_{mp} - Q_{mp}) \cdot n \cdot q \left(\frac{\pi}{\rho_d} \right)^2 (F_{na} - H_{na}) - \\ & - \left(\frac{\pi}{\alpha} \right)^2 \left(\frac{\pi}{\rho_d} \right)^2 \left\{ m \cdot q (m-p) \cdot P_{mp} - (m+p) Q_{mp} \right\} [(n-q) F_{na} + (n+q) H_{na}] + \\ & + n \cdot p \{ (m-p) \cdot P_{mp} + (m+p) \cdot Q_{mp} \} [(n-q) F_{na} - (n+q) H_{na}] \end{aligned} \right] \\ &+ \{ \bar{C}_{12} [1 - (-1)^{m+q} \cos \alpha] + \bar{C}_{31} (-1)^{m+p} \sin \alpha \} \cdot [1 - d^{-3} (-1)^{n+q}] \times \\ &\times \left[\begin{aligned} & 3(P_{mp} + Q_{mp}) \cdot \left(\frac{\pi}{\alpha} \right)^2 \left(\frac{1}{9 + \frac{(n-q)^2 \pi^2}{\rho_d^2}} - \frac{1}{9 + \frac{(n+q)^2 \pi^2}{\rho_d^2}} \right) - \\ & - 3(P_{mp} - Q_{mp}) \cdot n \cdot q \left(\frac{\pi}{\rho_d} \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{9 + \frac{(n-q)^2 \pi^2}{\rho_d^2}} - \frac{1}{9 + \frac{(n+q)^2 \pi^2}{\rho_d^2}} \right) + \\ & + \left(\frac{\pi}{\alpha} \right)^2 \left(\frac{\pi}{\rho_d} \right)^2 \{ m \cdot q \cdot [(m-p) P_{mp} - (m+p) Q_{mp}] \left(\frac{n+q}{9 + \frac{(n+q)^2 \pi^2}{\rho_d^2}} + \frac{n-q}{9 + \frac{(n-q)^2 \pi^2}{\rho_d^2}} \right) - \\ & - n \cdot p \{ (m-p) P_{mp} + (m+p) Q_{mp} \} \left(\frac{n+q}{9 + \frac{(n+q)^2 \pi^2}{\rho_d^2}} - \frac{n-q}{9 + \frac{(n-q)^2 \pi^2}{\rho_d^2}} \right) \end{aligned} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \{ \bar{C}_{22} [1 - (-1)^{m+p} \cdot \cos \alpha] + \bar{C}_{23} \cdot (-1)^{m+p} \cdot \sin \alpha \} \cdot [1 - (-1)^{n+q} \cdot d] \times \\
& \times \left[-3 (P_{m,p} + Q_{m,p}) \cdot m \cdot p \left(\frac{\pi}{\rho_d} \right)^2 (F_{n,q} - H_{n,q}) - (P_{m,p} - Q_{m,p}) \cdot n \cdot q \left(\frac{\pi}{\rho_d} \right)^2 (F_{n,q} + H_{n,q}) - \right. \\
& \left. - \left(\frac{\pi}{\alpha} \right)^2 \left(\frac{\pi}{\rho_d} \right)^2 \left\{ m \cdot q [(m-p) \cdot P_{m,p} - (m+p) Q_{m,p}] [(n+q) H_{n,q} + (n-q) F_{n,q}] - \right. \right. \\
& \left. \left. - n \cdot p [(m-p) P_{m,p} + (m+p) Q_{m,p}] [(n+q) H_{n,q} - (n-q) F_{n,q}] \right\} \right]
\end{aligned}$$

ここで

$$\begin{aligned}
P_{m,p} &= \frac{1}{(m-p)^2 \left(\frac{\pi}{\alpha} \right)^2 - 1} & Q_{m,p} &= \frac{1}{(m+p)^2 \left(\frac{\pi}{\alpha} \right)^2 - 1} \\
F_{n,q} &= \frac{1}{(n-q)^2 \left(\frac{\pi}{\rho_d} \right)^2 + 1} & H_{n,q} &= \frac{1}{(n+q)^2 \left(\frac{\pi}{\rho_d} \right)^2 + 1}
\end{aligned}$$

6 I-形断面を有する扇形腹板の座屈

シャイべの問題としての腹板の変形は

$$u^{steg} = \frac{1}{EB} \{ -\bar{C}_{11} (1+\mu) \frac{1}{\gamma/B} + 2\bar{C}_{21} (1-\mu) \frac{\gamma}{B} + \bar{C}_{31} \frac{\gamma}{B} [-(1+\mu) + 2(1-\mu) \ln \frac{\gamma}{B}] \}$$

フランジをシェルとして解くと (図-4 参照)、その変形は

$$\begin{aligned}
u^{sur} &= K_1 \cdot \cosh \frac{\lambda_i \cdot z}{\gamma_{ci}} \cos \frac{\lambda_i \cdot z}{\gamma_{ci}} + K_2 \cosh \frac{\lambda_i \cdot z}{\gamma_{ci}} \sin \frac{\lambda_i \cdot z}{\gamma_{ci}} + K^3 \cdot \sinh \frac{\lambda_i \cdot z}{\gamma_{ci}} \cos \frac{\lambda_i \cdot z}{\gamma_{ci}} \\
&+ K^4 \cdot \sinh \frac{\lambda_i \cdot z}{\gamma_{ci}} \cdot \sin \frac{\lambda_i \cdot z}{\gamma_{ci}} - \frac{4C_{31} \cdot \gamma_{ci}}{EB^2}
\end{aligned}$$

但し

$$\begin{aligned}
\gamma_{c1} &= B + t_1/2 & \lambda_1 &= \sqrt[3]{3(1-\mu^2)} \cdot \sqrt{\gamma_{c1}/t_1} \\
\gamma_{c2} &= B \cdot d - t_2/2 & \lambda_2 &= \sqrt[3]{3(1-\mu^2)} \cdot \sqrt{\gamma_{c2}/t_2}
\end{aligned}$$

次に、フランジと腹板との境界条件は

- i) $u^{sur} = u^{steg}$
- ii) $Q_z = \mp \frac{1}{2} \cdot \sigma_r (\gamma = \gamma_c \mp t/2) \cdot h \cdot \frac{\gamma_c \mp t/2}{\gamma_c}$
(- : 外フランジ、+ : 内フランジ)
- iii) 釣り合い条件 (図-5 参照)

$$N_1 \cdot \bar{B} + N_2 \cdot \bar{A} + h \int_A^B \gamma \cdot \sigma_r d\gamma = \bar{M}$$

以上の境界条件より

$$\bar{C}_{11} = \frac{G_1}{G_4} \cdot \frac{\bar{M}}{\bar{M}_{s0}}, \quad \bar{C}_{21} = \frac{G_2}{G_4} \cdot \frac{\bar{M}}{\bar{M}_{s0}}, \quad \bar{C}_{31} = \frac{G_3}{G_4} \cdot \frac{\bar{M}}{\bar{M}_{s0}}$$

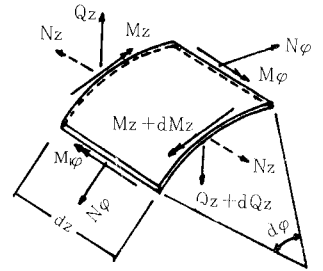


図-4

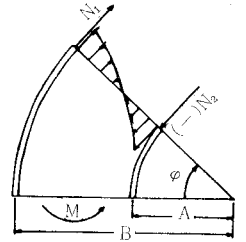


図-5

但し

$$\begin{aligned}
G_1 &= 4d^2 \{ (1-\mu)^2 \ln d - (1-\mu) \left(\frac{t_1}{B} + \frac{t_2}{dB} + (1-\mu) \ln d \right) + \\
&+ \chi_2 \{ 1 + \frac{t_1}{B} - (1-\mu) \ln d \} - \chi_1 \cdot \chi_2 \cdot \ln d \} \\
G_2 &= -(1-\mu) \{ (3-\mu) (1-d^2) + 2 \left(\frac{t_1}{B} + \frac{dt_2}{B^2} \right) - 2d^2 (1-\mu) \ln d \} - \chi_1 \{ (1+\mu) + (3-\mu) d^2 - \\
&- 2 \frac{dt_2}{B} + 2d^2 (1-\mu) \ln d \} - \chi_2 \{ (3-\mu) + \frac{2t_1}{B} + d^2 (1+\mu) \\
&(1+2 \ln d) \} - \chi_1 \cdot \chi_2 \cdot (1-d^2 - 2d^2 \ln d) \\
G_3 &= (1-\mu^2) (1-d^2) + \chi_1 \{ (1+\mu) + (1-\mu) d^2 \} + \chi_2 \\
&\{ (1-\mu) + (1+\mu) d^2 \} + \chi_1 \cdot \chi_2 (1-d^2) \\
G_4 &= G_1 \{ \ln d - \frac{1}{2} \left(\frac{t_1}{B} + \frac{t_2}{dB} \right) \} - G_2 \{ (1-d^2) + \left(\frac{t_1}{B} + \frac{dt_2}{B^2} \right) \} \\
&+ 2G_3 \{ d \left(d - \frac{t_2}{B} \right) \ln d - \frac{1}{2} \left(\frac{t_1}{B} + \frac{dt_2}{B^2} \right) \}
\end{aligned}$$

ここで

$$\chi_1 = \frac{\lambda_1 \cdot h (2 + \cosh \frac{\lambda_1 b_1}{B} + \cos \frac{\lambda_1 b_1}{B})}{2t_1 (\sinh \frac{\lambda_1 b_1}{B} + \sin \frac{\lambda_1 b_1}{B})}$$

$$\chi_2 = \frac{\lambda_2 h (2 + \cosh \frac{\lambda_2 b_2}{A} + \cos \frac{\lambda_2 b_2}{A})}{2t_2 (\sinh \frac{\lambda_2 b_2}{A} + \sin \frac{\lambda_2 b_2}{A})}$$

腹板に作用する断面力は

$$N_{s0}^1 = \eta \cdot \bar{M} / B, M_{s0}^1 = \delta \cdot \bar{M}$$

ここで

$$\eta = \frac{1}{G_4} \{ G_1 (1 - \frac{1}{d}) + 2G_2 (1-d) + 2G_3 (1-d-2d \ln d) \}$$

$$\delta = \{ 1 + \frac{1}{G_4} (G_1 + 2G_2 + 2G_3) [1-d + \frac{1}{2} (\frac{t_1}{B} + \frac{t_2}{B})] + \eta (d - \frac{1}{2} \frac{t_2}{B}) \}$$

フランジの有効幅は

$$\bar{b} = \frac{2 \int_0^{\frac{1}{2}} N \varphi dz}{N \varphi (z=0)} = \frac{2\gamma_c (\sinh \frac{\lambda b}{\gamma_c} + \sin \frac{\lambda b}{\gamma_c})}{\lambda (2 + \cosh \frac{\lambda b}{\gamma_c} + \cos \frac{\lambda b}{\gamma_c})}$$

ここに

$$\zeta_B = \frac{4(d^2-1) \cdot \frac{\bar{b}_1}{h} \cdot \frac{t_1}{B} \cdot \{ d(1-d^2) + (1+3d^2) \cdot \frac{\bar{b}_2}{h} \cdot \frac{t_2}{B} \}}{-d \{ (1-d^2) + (3-d^2) \cdot \frac{\bar{b}_1}{h} \cdot \frac{t_1}{B} \} + \frac{\bar{b}_2}{h} \cdot \frac{t_2}{B} \{ (1-3d^2) + 3(1-d^2) \cdot \frac{\bar{b}_1}{h} \cdot \frac{t_1}{B} \}}$$

$$\zeta_A = \frac{4(d^2-1) \cdot \frac{\bar{b}_2}{h} \cdot \frac{t_2}{B} \cdot d^{-1} \{ (1-d^2) + (3+d^2) \cdot \frac{\bar{b}_1}{h} \cdot \frac{t_1}{B} \}}{-d \{ (1-d^2) + (3-d^2) \cdot \frac{\bar{b}_1}{h} \cdot \frac{t_1}{B} \} + \frac{\bar{b}_2}{h} \cdot \frac{t_2}{B} \{ (1-3d^2) + 3(1-d^2) \cdot \frac{\bar{b}_1}{h} \cdot \frac{t_1}{B} \}}$$

$$\zeta = 2 \{ (1+d^2) \ln d + (1-d^2) \} - d^2 \{ \frac{1}{2} (\zeta_B + d \cdot \zeta_A) + \frac{d \cdot \ln d}{1-d^2} (\zeta_A - d \zeta_B) \}$$

$$\xi = \frac{\zeta [\eta (1-d + \nu \cdot R/B) + \nu] - \nu \cdot d^2 (-\zeta_B + d \cdot \zeta_A)}{\zeta [\delta \cdot (1-d + \nu \cdot R/B) - \nu \cdot \gamma_s/B] + d^2 \nu \cdot \gamma_s/B \cdot (-\zeta_B + d \zeta_A) + \nu \cdot d^2 (\zeta_B - d^2 \zeta_A)}$$

$$\psi = \frac{\beta}{1-d} \{ \frac{1 + \xi \cdot \frac{\gamma_s}{B} - \frac{R}{B} (\xi \cdot \delta - \eta) - (\bar{P}_{B3} - d^2 \bar{P}_{A3}) (1 + \eta \frac{R}{B})}{\delta + \eta \cdot \gamma_s/B} + \frac{R}{B} (\bar{P}_{B3} - d \cdot \bar{P}_{A3}) \}$$

7 フランジから腹板に作用する力

モーメント、前断力、軸力が載荷された時、フランジから腹板に作用する力は、内応力との釣り合いにより、次の如くなる。

$$\bar{p}_{B2} = \psi \cdot \zeta_B \cdot \frac{d^2}{\xi}$$

$$\bar{p}_{A2} = \psi \cdot \zeta_A \cdot \frac{d^2}{\xi}$$

$$\bar{p}_{B3} = \frac{\zeta_B \cdot d^2 \cdot \frac{\xi \cdot \delta - \eta}{\delta + \eta \cdot \gamma_s/B}}{\xi + d^2 (\zeta_s - d \zeta_A) - \frac{\eta d^2 (\zeta_B - d^2 \zeta_A)}{\delta + \eta}}$$

$$\bar{p}_{A3} = \bar{p}_{B3} \cdot \frac{\zeta_A}{\zeta_B}$$

$$\bar{p}_{B1} = - \frac{1 + \xi \cdot \gamma_s/B - (\bar{p}_{B2} - d^2 \cdot \bar{p}_{A2})}{(\delta + \eta \cdot \gamma_s/B) G_4} \cdot (G_1 + 2G_2 + 2G_3)$$

$$\bar{p}_{A1} = - \frac{1 + \xi \cdot \gamma_s/B - (\bar{p}_{B2} - d^2 \cdot \bar{p}_{A2})}{(\delta + \eta \cdot \gamma_s/B) G_4} \cdot \{ \frac{G_1}{d^2} + 2G_2 + 2G_3$$

$$\times (1 + 2 \ln d) \}$$

8 数値計算例

(5)式より実際に数値計算を行なった。 d に対する k_M を図化したものが図6である。図中、 $r_f=1$ の場合は45の所に半径方向の補剛材を挿入しその補剛材の曲げ剛性

の、腹板の板剛度に対する比が1となる状態を示す。

又、純曲げモーメントを載荷した場合の応力分布の一例を図7に示す。

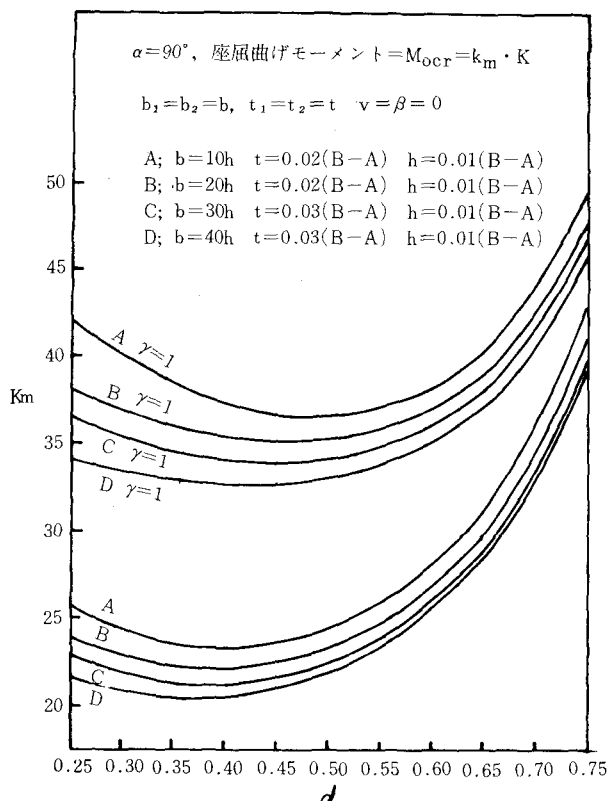


図-6

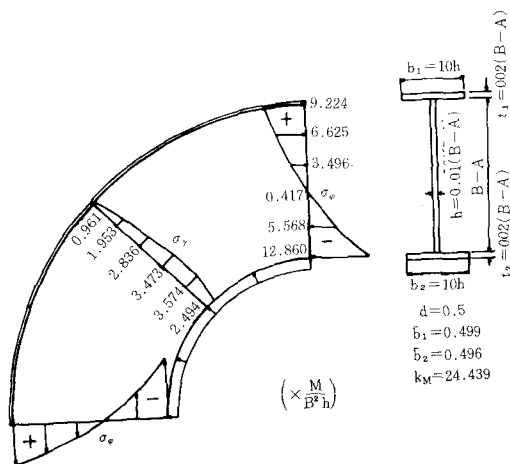


図-7

9 考 察

数値計算で得られた腹板の座屈値 k_M は、フランジの大きさによって変化した。すなわち、 k_M は、フランジが大きくなればなる程、小さくなった。(図8参照) この結果は、次の理由によるものと思われる。

i) フランジ幅が大きくなる程、 $r=A$ での σ_ϕ は小さくなるが、腹板の座屈に関しては、 σ_ϕ より大きな影響を有する σ_r が大きくなる。

ii) 外フランジ、内フランジの大きさが等しい場合、外フランジの有効幅は、内フランジの有効幅より大きくなる。その差は、フランジ幅が増せば増す程著しい。(図8参照) 又、フランジ幅が増すと、外境界の方に中立軸が移動し、 σ_ϕ の圧縮領域が大きくなる。

次に、図9に、フランジを考えず単に周辺単純支持として得られた座屈値 k_M とフランジを考慮した場合の k_M との比較を示した。これを見ると、フランジを考慮しない場合に得られた k_M の方が危険側になっている。これは、フランジを考慮しない場合、 $r=A, B$ での σ_r が零であり、従って、フランジから腹板に作用する力がないためであると思われる。

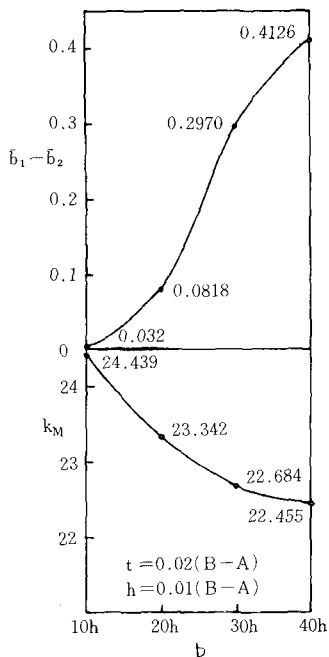


図-8

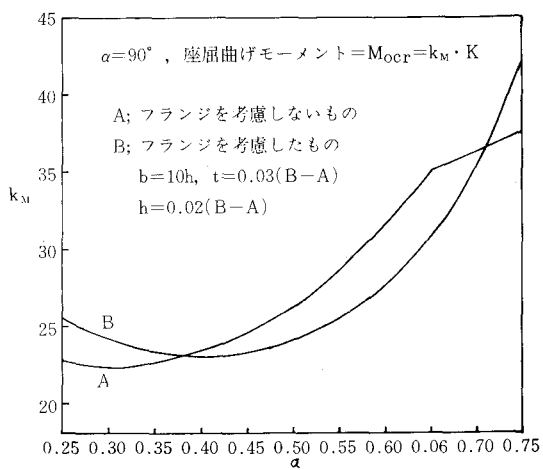


図-9

10 参 考 文 献

"ラーメン隅角部の腹版の座屈値について" 第27回
 年次学術講演会講演概要集(昭和47年): 渡辺, 川上,
 堺