

I-13

面内曲げを受けるI型断面曲がり桁の腹板の局部座屈特性

長崎大学工学部 正 員 ○高橋和雄
 備 吉 田 組 正 員 平山賢治
 日本工営 備 正 員 平川倫明
 備 片 山 鉄 工 所 正 員 夏秋義広

1. まえがき 構造物の腹板の動的安定性を明らかにする場合、まず座屈挙動を明らかにしておくことが必要である。著者らは、先に、アーチリブやラーメンの隅角部の腹板に使用される扇形板が面内曲げを受ける場合の座屈¹⁾および動的安定性²⁾を報告した。これらの研究においては、面内曲げに伴う面内力を求めるにあたって、フランジの影響を考慮していない。しかし、フランジの有無によって、面内力の分布がかなり異なるために、これらの結果を薄肉I型断面曲がり桁の腹板に適用するには無理がある。³⁾⁴⁾そこで、本研究は、Chu³⁾によって二次元弾性論と薄肉円筒シェル理論を用いて得られた厳密な面内力の分布形状を用いて、腹板の局部座屈解析を行うものである。扇形平板の基礎微分方程式を振動の固有関数を試行関数としたガラーキン法を用いて離散化して、座屈特性に及ぼすフランジの影響を各種のパラメーターのもとに明らかにするものである。

2. 基礎式および解法 図-1に示す1軸対称の薄肉I型断面曲がり桁を考える。この曲がり桁の直線辺に、曲げモーメントMが作用する。図のような座標系のもとに、扇形板の面内力 $N_r, N_\theta, N_{r\theta}$ は腹板に対して二次元弾性論と、フランジに対する薄肉円筒シェルの理論に基づいて、次のように表わされる³⁾。

$$N_r = \frac{M}{a^2} \frac{1}{G_4} \left\{ \frac{G_1}{(r/a)^2} + 2G_2 + 2G_3 (1 + 2 \ln \frac{r}{a}) \right\} \quad (1)$$

$$N_\theta = \frac{M}{a^2} \frac{1}{G_4} \left\{ -\frac{G_1}{(r/a)^2} + 2G_2 + 2G_3 (3 + 2 \ln \frac{r}{a}) \right\} \quad (2)$$

$$N_{r\theta} = 0 \quad (3)$$

図-1 一般図および座標系

ここに、 G_1, G_2, G_3, G_4 ：断面の形状およびポアソン比によって定まる定数。

これらの面内力を受ける扇形板の基礎微分方程式は次のように表わされる。

$$L(w) = D \nabla^4 w - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r N_r \frac{\partial w}{\partial r}) - \frac{1}{r^2} N_\theta \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} = 0 \quad (4)$$

ここに、 $D = Ed^3 / (12(1 - \nu^2))$ ：板剛度、 ν ：ポアソン比、 E ：ヤング率

本研究では、フランジの変形は考慮せず、腹板の局部座屈のみを取り扱う。したがって、扇形板の境界条件は、直線辺を単純支持とし、円弧辺は次の2ケースを考える。

case I：単純支持 case II：固定

式(4)の解を次のように仮定する。

$$w = \sum_{s=1}^{\infty} a_{sn} W_{sn}(r, \theta) \quad (5)$$

ここに、 a_{sn} ：未定定数、 W_{sn} ：境界条件を満足する座標関数。

上式の座標関数として、扇形板の自由振動の基準関数を用いる。これを、式(4)に代入して、ガラーキン法を適用すれば、次のような座屈条件式が得られる。

$$[I] \{X\} = M_w / D [G] X \quad (6)$$

ここに、 $[I]$ ：単位行列、 $[G]$ ：係数行列、 $X = (a_{1n} \ a_{2n} \ \cdots)^T$ 、 M_w ：腹板の受けもつ曲げモーメント ($M_w = \delta M$, δ ：修正係数)。

フランジ付きの扇形腹板の形状を表わすパラメーターには、平板の形状を表わす開き角 α 、内外径比 $\beta (= b/a)$ および縦横比 μ の他に、フランジの幅厚比 $e_f (= b_f/t_f)$ 、腹板の幅厚比 $e_w (= c/d)$ およびフランジの無次元

板厚 $t_f (=t_r/c)$ がある。以下の計算にあたって、上下フランジの断面の寸法を同じにした。

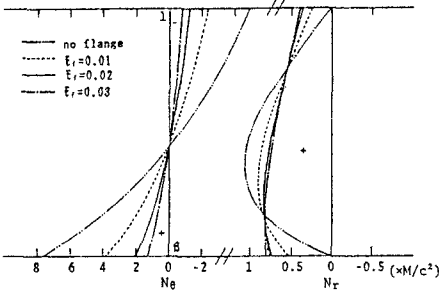


図-2 面内力の分布（フランジ厚の影響）

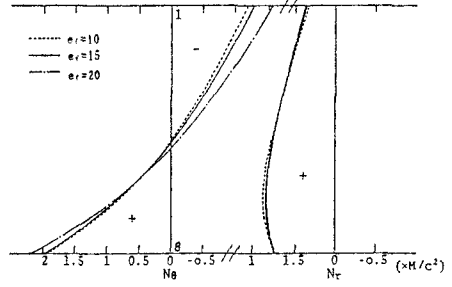


図-3 面内力の分布（フランジ幅の影響）

3. 数値結果 (1) 面内力の分布 図-2,3は、フランジを考慮した場合の面内力の分布 ($\beta=0.5$) をフランジ厚さと幅をパラメーターにして、比較したものである。フランジの存在を考慮すると、フランジなしの場合に比べて、円周方向の面内力 N_θ が小さくなる。また、半径方向面内力 N_r は、内外周辺で零にならない。図-2のように、フランジ厚が大きくなるにしたがって、円周方向面内力 N_θ が減少する。一方、半径方向 N_r は、内外径側で値が大きくなって、その分布形状が平坦になってくる。図-3のように、フランジ幅の影響は小さい。

(2) 座屈曲線 図-4,5は内外径比 $\beta=0.5$ の扇形腹板に対して、フランジ厚および幅をそれぞれ変化させて得られた座屈曲線を示したものである。横軸は、扇形腹板の縦横比 μ （直線辺長/平均円弧長）で、縦軸は、腹板のみが受け持つ座屈固有値 λ_w ($=M_w/D$)である。なお、図中のcase-a, case-bはそれぞれ正、負の曲げに対する固有値曲線である。これらの図より、フランジの剛性（厚さ、幅）が増大するに従って、case-aとcase-bの値の差が大きくなる。また、フランジ厚の変化の方が、フランジ幅の変化よりも座屈モーメントに及ぼす影響が大である。フランジがあると、負の座屈固有値はないものよりも低下する。

4. まとめ 本論文は、面内曲げを受ける薄肉I型断面曲線桁の腹板の座屈解析の定式化をするとともに、フランジ断面の影響を評価した。他の手法との比較、内外径比および境界条件の影響は当日発表する。

参考文献 1) 夏秋・高橋・小西・平川：構造工学論文集，Vol.34A,1988, 2) 高橋・小西・平川・夏秋：構造工学論文集，Vol.34A,1988, 3) Chu,K.Y.: Stahlbau,35Jg.,H.5,1966. 4) 三上、赤松、武田：土木学会論文報告集，No.230,1974

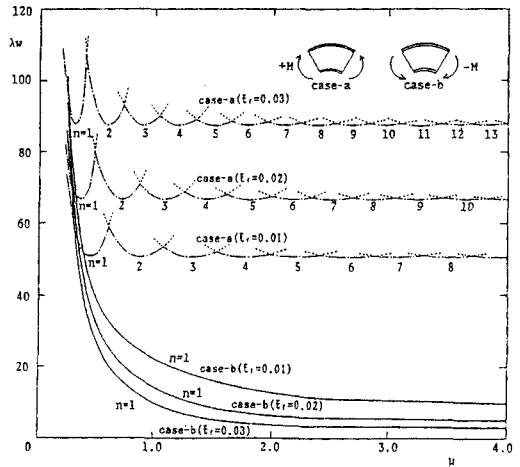


図-4 扇形腹板の座屈曲線（フランジ厚の影響）

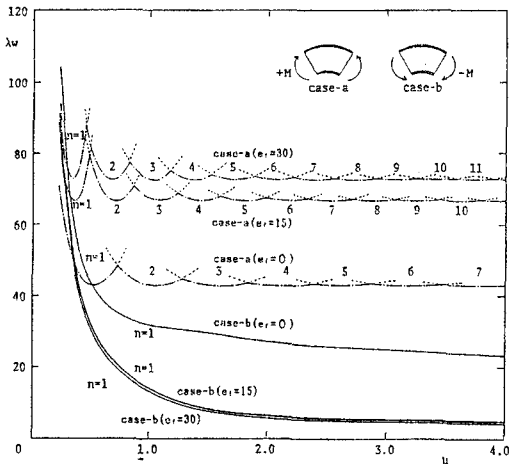


図-5 扇形腹板の座屈曲線（フランジ幅の影響）