

広島大学工学部 正 藤井 堅
 広島大学工学部 学 河野 泰直
 広島大学工学部 正 大村 裕

1. はじめに

現在、曲線桁はその必要性から多くの架設例があるが、この曲線桁に荷重が作用した場合、曲げモーメントのほかにはねじりモーメントを連成するため直桁と比較し解析も複雑となり、その崩壊状態も直桁のものとは異なった状態が存在する。すなわち、曲線桁の耐荷力と決定する要因として梁としての曲げモーメント、ねじりモーメント、さらに相互の影響による塑性崩壊のほか、横倒れ座屈、局部座屈が考えられる。本研究では前述の耐荷力を決定する要因の中で、ねじりによる付加応力を伴う曲線桁フランジの局部座屈に着目し、有限帯板法を用いて解析を行なった。そして、曲線桁の場合の座屈解析値と直桁の場合とを比較検討するとともに、ねじりによる付加応力の影響について明らかにするものである。

2. 解析理論

図1に示すような向い合う2辺が単純支持された1要素を考え、その変位関数を次式で与える。

$$w(r, \theta) = \sum_n [\eta^n, \eta^{-n}, \eta^{n+2}, \eta^{-n+2}] \sin m\theta \{Q\} \quad (1)$$

ここに、 $\eta = r/a_e$, $m = n\pi/\theta_0$ ($n=1, 2, 3, \dots$), $\{Q\}$ は一般化座標を表わす。

平板の座屈問題の仮想仕事方程式は、 $\delta U = \delta W^{(0)}$ で与えられ、 $\delta U, \delta W^{(0)}$ はそれぞれひずみエネルギーの増分および初期応力ポテンシャルの増分である。各々を極座標表示すると次のように与えられる。

$$\delta U = \iint D \left[(w_{,rr} + \frac{w_{,r}}{r} + \frac{w_{,\theta\theta}}{r^2}) (\delta w_{,rr} + \frac{\delta w_{,r}}{r} + \frac{\delta w_{,\theta\theta}}{r^2}) - (1-\nu) \left\{ w_{,rr} (\frac{\delta w_{,r}}{r} + \frac{\delta w_{,\theta\theta}}{r^2}) + (\frac{w_{,r}}{r} + \frac{w_{,\theta\theta}}{r^2}) \delta w_{,rr} - 2(\frac{w_{,r\theta}}{r} - \frac{w_{,\theta}}{r^2}) (\frac{\delta w_{,r\theta}}{r} - \frac{\delta w_{,\theta}}{r^2}) \right\} \right] r dr d\theta \quad (2)$$

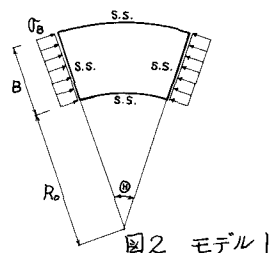
$$\delta W^{(0)} = \iint (w_{,r} N_r \delta w_{,r} + w_{,r} N_{\theta} \frac{\delta w_{,\theta}}{r} + \frac{w_{,\theta}}{r} N_r \delta w_{,r} + \frac{w_{,\theta}}{r} N_{\theta} \frac{\delta w_{,\theta}}{r}) r dr d\theta \quad (3)$$

ここに、 $D = Eh^3/12(1-\nu^2)$, $N_r = h\sigma_r$, $N_{\theta} = h\sigma_{\theta}$, $N_{r\theta} = h\tau_{r\theta}$ (h は板厚) を表わす。本報告では σ_{θ} 以外の2つの応力 $\sigma_r, \tau_{r\theta}$ に比べ大きな影響を及ぼすとみなし、 θ 方向の応力 σ_{θ} のみを考慮した。また、座屈強度 σ_{cr} と座屈係数 K_{min} との関係は次式で与えられる。

$$\sigma_{cr} = K_{min} \left[\frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)(B/h)^2} \right], \quad B \text{ は板の } r \text{ 方向の幅である。}$$

3. 形状関数の精度

図2に示すような周辺単純支持の扇形板を考える。ここでは比較として式(1)の変位関数において r 方向の多項式を3次式で表わした場合についても解析した。図3からわかるように、本解析の方が同じ分割数とった場合により高い精度が得られる。また本解析において、 r 方向の必要分割数としては4程度の少ないもので十分である。



4. 曲線I桁フランジの局部座屈解析

1) 解析モデル

図4に示すようにI形筋フランジをウェブとの溶接線で外側フランジと内側フランジに分け、応力として曲げによる圧縮応力 σ_b と付加応力 σ_w を考える。

また、ウェブとフランジとの溶接線上での拘束条件としては、回転バネ定数 K_t なるウェブの影響をもって弾性回転支持されていると仮定する。このとき K_t はウェブの形状を用いて次式で与えられる。¹⁾

$$K_t = E t^3 / 3 d w (1 - \nu^2) \quad (5)$$

ここに、 t はウェブ厚、 d はウェブ高である。

2)弾性回転支持の影響

図5から、薄肉部材の場合、極端に縦横比が大きくなりければ弾性回転支持は単純支持とみなしてさしつかえないと言える。

3)縦横比 b/R_w と座屈係数 K_{min} との関係

板の縦横比と座屈係数との関係を表わすと図6のようになる。外側フランジでは同じ縦横比で比較した場合、 b/R_w の増加に伴って座屈係数の値が小さくなっている。

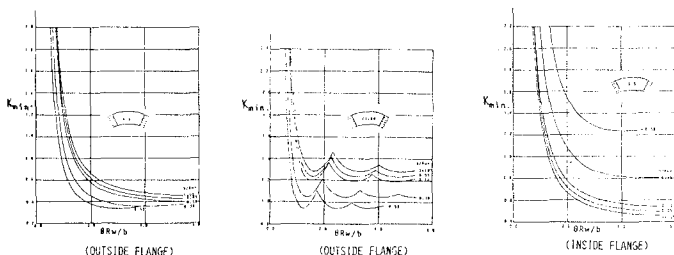


図6 縦横比と座屈係数の関係

4)曲げによる圧縮応力 σ_b と付加応力 σ_w の相互作用曲線

曲げによる圧縮応力 σ_b と付加応力 σ_w が連成する場合の座屈時の応力状態を図7のように表わす。図8は σ_b と σ_w の相互作用曲線を表わしたものであるが、 N_{crb}/N_{ocr} と N_{crw}/N_{ocr} は

$$N_{crb}/N_{ocr} + N_{crw}/N_{ocr} = 1,$$

の関係で近似できる。したがって付加応力 σ_w は曲げ座屈応力に大きな影響を及ぼすことがわかる。

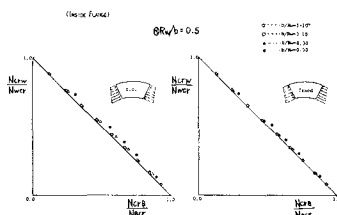


図8 σ_b と σ_w の相互作用曲線

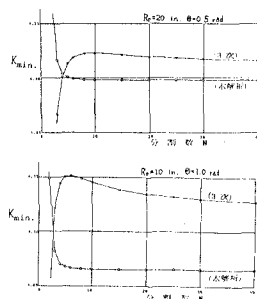


図3 分割数による精度

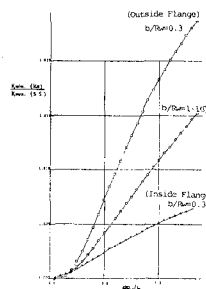


図5 弾性回転支持の影響

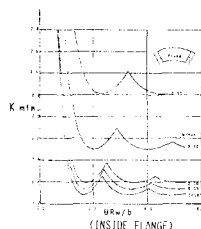


図7 座屈時の応力状態

〔参考文献〕 1) 福本、伊藤：フランジの局部座屈強度とフランジ隔厚比制限，土木学会論文報告集，第160号，pp.27~38，昭和43年12月。2) 吉田宏一郎：帯板系による平面構造の座屈解析，日本造船学会論文集，第130号，pp.161~171，1973。3) 川村、大塚、彦坂：有限帯板法による曲線I形フランジの局部座屈強度解析，土木学会第4回年次学術講演会講演概要集，pp.250~251，昭和54年10月。4) Culver C.G.， R.E.Frampton: Local Instability of Horizontally Curved Members, Proc. of ASCE, Vol. 96, S T 2, pp.245~265, Feb. 1970.