

○名古屋大学 学生員 小瀬古信博
愛知工業大学 正 員 青木 敏彦
名古屋大学 正 員 福本 晴士

1. はじめに

鋼構造物を構成する部材の断面形状のうち、閉断面形としては箱形断面、パイプ断面が代表的なものである。断面を構成する板要素の局部座屈と全体座屈、初期不整と構造安定との関連については、箱形とパイプ断面とではかなり異なる性状を示している。両者の中間に位置する多角柱の安定問題を扱った研究は少ない。本研究は多角柱(4~10角形)の座屈安定についての検討を行う。その中で、板要素座屈、パイプ形(断面変形)座屈、オイルー(長柱)座屈の三種類のモードと多角形形状との関連性を調べ、塔状構造物としての多角柱の力学特性を明らかにし、設計のための基礎的資料を得ることを目的としている。

2. 解析法

多角柱を折板閉断面柱と看做し、有限帯板要素法により固有値解析を行う。各帯板要素の両端を単純支持とし、Cheung¹⁾の著書などにもあるように、要素幅方向に多項式、長さ方向に三角関数の変位関数を仮定し、次の特性方程式を得る。

$$([K] - \lambda[K_0])\{\delta\} = \{0\} \quad (1)$$

ここに $[K]$ は板曲げと平面応力とを重複合わせた剛性マトリックス、 $[K_0]$ は幾何剛性マトリックスである。

2-1. 弾性座屈解析

弾性の場合には係数行列内に定数項のみを含み、変化するパラメーターがないので容易に固有値が計算できる。たとえば文献2)などには $[K]$, $[K_0]$ の内容が明示されている。固有値は座屈応力 σ_{cr} として求められる。

2-2. 非弾性座屈解析

塑性域では Bifurcation³⁾の塑性変形理論に従うものとする。ひずみの規範を考えないので次式が成立する。

$$\begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{Et^3}{12} \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & 0 \\ k_{21} & k_{22} & 0 \\ 0 & 0 & k_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -\partial^2 w / \partial x^2 \\ -\partial^2 w / \partial y^2 \\ 2\partial^2 w / \partial x \partial y \end{Bmatrix}, \quad \begin{Bmatrix} \Delta \sigma_x \\ \Delta \sigma_y \\ \Delta \sigma_{xy} \end{Bmatrix} = E \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & 0 \\ k_{21} & k_{22} & 0 \\ 0 & 0 & k_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta \epsilon_x \\ \Delta \epsilon_y \\ \Delta \epsilon_{xy} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

k_{ij} の内容は、たとえば文献4), 5) などにも与えられている。この場合の固有値は次式で表わされるような無次元基準幅厚比 $(\lambda^*)^2$ となっている。

$$\lambda = (\lambda^*)^2 = \left(\frac{b^*}{t^*} \right)^2 \frac{12(1-\nu^2)}{E} \frac{\sigma_y}{E} \quad (3)$$

ここに、 b^* : 基準幅、 t^* : 基準板厚、 σ_y : 降伏点応力度。

本研究においては、文献4)と同様、各要素には残留応力を含めた圧縮応力度の平均値が、均等に作用しているものとする。よって数値積分の必要がなく簡明でよいが、分割数を多くとらねばならない。

3. 数値計算

弾性座屈解析では固有値がそのまゝ座屈応力として求まる。非弾性解析では式(3)のように、固有値は幅厚比の形で与えられる。よって外力ひずみを与えて、設定した材料の応力-ひずみ関係から割線係数 E_0 、応力 σ を求め、式(1)の $[K]$, $[K_0]$ を作成する。固有値として得られた λ^* が、あらかじめ設定した b^* , t^* , σ_y , E から求めた λ に一致するまで外力ひずみを修正し、反復計算する。

4. 計算結果と考察.

ここには弾性座屈解析の結果のみを示す。計算例は断面形として、4, 5, 6, 7, 8, 10角形について柱の長さおよび構成板厚を変えて行、 k 。荷重は柱の両端で一様圧縮とした。多角形の辺数の変化による挙動を調べるために、周長をすべて $40^{(cm)}$ とおいた。Fig. 1. に座屈モードを示す記号と定義する。Fig. 2. では $t=0.50^{(cm)}$ とした。4角形から5, 6, ..., 10角形まで辺数を増やしていくと、8角形すなわち一辺の幅厚比が10以下になるとパイプモード Δ が現われてくる。特にパイプの2次モード $\oplus$ が生じると、 σ_{cr} はかなり減少する。辺数の増加により、一辺の板要素の幅厚比 b/t は当然小さくなり、板の局部座屈強度はその辺数の自乗に大まくなる。これを座屈係数に代表するとパイプモードによる強度低下が明確になる。このモードは多角形の折角部、節線が座屈により変位している。Fig. 3. では Fig. 2. の板厚を半分にして $t=0.25$ とした。幅厚比はすべて10以上となっており、板の局部座屈のみが現われ、パイプモードは起こらない。これと比べると、傾斜筋の多角柱では $k=4$ の単純支持板となっている。各数辺では板の束縛モードがうまく連続しないため、5角形では $k=4.27$ となり、パネルの局部座屈に対しては形式的にやや有利である。Fig. 4. に8角形で板厚 t を $0.25 \sim 0.50$ まで変化させて、パイプモードの現われる様子も示す。8角形では幅厚比が13以下で $\oplus$ モードが生じる。Fig. 5. は8角形の辺中央と隅角部とに補剛材(脚長 $3t \sim 6t$)を入れたものである。わずかの補剛でも辺中央に入るとパイプモードが現われ強度が低下する。ここには多角柱の弾性座屈解析のみを示し、現われる座屈モードの性質を考察した。非弾性座屈解析結果については当日発表の予定である。

参考文献. 1). Cheung, Finite Strip Method in Structural Analysis, Pergamon. 2) 吉田宏一郎. 帯板要素による平板の座屈解析. 日本産総学会論文集第130号, 1972年. 3) Bijaard, Theory and Tests on the Plastic Stability of Plates and Shells. J. of Aero. Sci. Sep. 1949. 4) 小松, 年展. 圧縮補剛板の弾塑性座屈強度と合理的设计法について. 土木学会論文報告集第279号, 1978年10月. 5) 吉田博. H型鋼柱の局部座屈と曲げ座屈の連成座屈強度. 土木学会論文報告集第243号, 1975年11月.

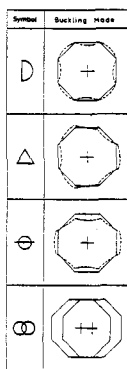


Fig. 1.

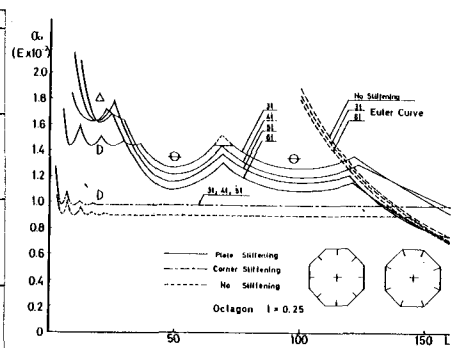


Fig. 5.

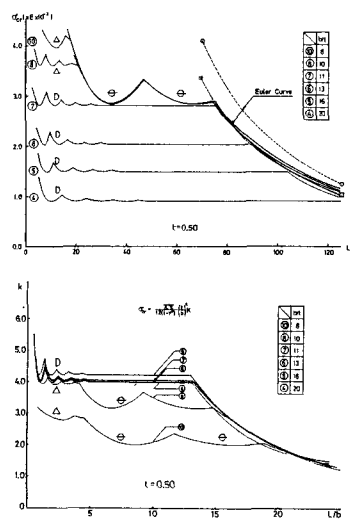


Fig. 2.

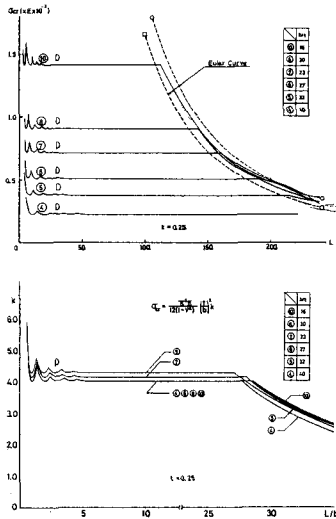


Fig. 3.

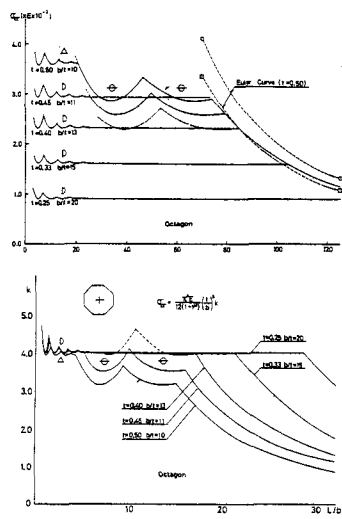


Fig. 4.