

多角形断面柱の局部座屈を考慮した終局挙動について

熊本大学 学生会員○今田 進平 熊本大学 正会員 崎元 達郎
熊本大学大学院 学生会員 村上 秀樹 大分工業高校 正会員 足立 正和

1. はじめに 都市高速道路では、矩形あるいは円形断面をもつ鋼製橋脚が多く用いられているが、最近では景観上の配慮から 8 角形断面を用いた橋脚も建設されている。8 角形断面は、光の影により実際の寸法よりも細長く見える点や、耐風性能が良い為、吊橋・斜張橋の主塔や送電線鉄塔、街路灯の支柱にも用いられるようになっている。しかし、多角形断面柱の終局挙動についての研究は少なく、また実験的研究や局部座屈をともなつて破壊する場合の F E M 解析には、膨大な労力と時間が必要である。そこで、局部座屈を考慮した短柱の有限要素解析の結果に基づいて、等価な応力-ひずみ曲線を幅厚比パラメータの陽な関数として求め、それをファイバー要素を用いた骨組解析プログラムに組み込んで解析する簡易解析法が考えられる。

本研究では局部座屈を考慮した等価な応力-ひずみ関係を定式化する為、汎用プログラム MARC により弾塑性有限変位解析を行い、6 角形及び 8 角形断面鋼柱の終局挙動の一端を明らかにした。

2. 汎用プログラム MARC による短柱の解析

図-1 に示すような無補剛多角形断面の短柱が、純圧縮を受ける場合について汎用プログラム MARC により解析を行った。要素分割数は既往の研究¹⁾を参考にして板幅、高さ方向とも 10 分割とした。MARC 解析上の設定として、①材料は弾塑性かつ等方性②von Mises の降伏条件③大変形・アップデート ラグランジェ法・有限塑性ひずみ条件を用いた。鋼材は SM490Y とし、素材の応力度-ひずみ関係は multi-linear タイプを用いた。初期たわみは、実測値²⁾を参考にして図-2 のように $\delta/b = 1.0 \times 10^{-4}$ (b/t) で表される δ を最大値とする正弦波形で与えた。製作方法として、曲げ加工をした半割り板 2 枚を板中央で溶接する「中間溶接」と、全隅角部を溶接する「角溶接」の 2 種類を想定し、それぞれ図-3 (a) 及び (b) に示す残留応力分布と値を仮定した。中間溶接は実験で測定された残留応力³⁾をモデル化し、角溶接は圧縮残留応力 $\sigma_{rc} = 0.25 \sigma_y$, 引張残留応力 $\sigma_{rt} = 0.75 \sigma_y$ の長方形分布とし、圧縮と引張応力で平衡を保つようにした。図-1.2.3 は、6 角形モデルについて示している。

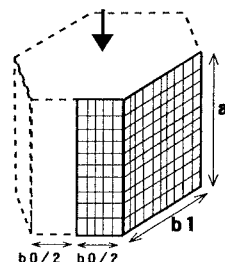


図-1 FEM 解析モデル

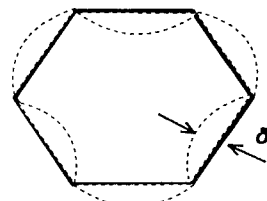
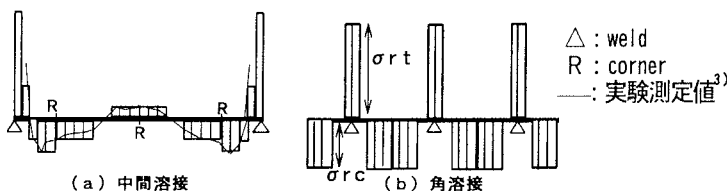


図-2 初期たわみ波形

3. パラメータについて

薄肉鋼構造部材の局部座屈強度を支配するパラメータには、断面形状・支持条件・構成板要素のアスペクト比・幅厚比パラメータ・材質・初期不整などがある。また、



(a) 中間溶接 (b) 角溶接
図-3 仮定した残留応力分布形

不等辺断面の場合、隣り合う 2 枚の板幅の比である板幅比も局部座屈強度に影響するものと考えられるので、以下のパラメータを解析に考慮した。①アスペクト比は、既往の解析結果¹⁾によると $a/b = 0.4$ の時に最小強度となるが、 $a/b = 1.0$ としても強度差は小さいことと、後の解析の便を考え $a/b = 1.0$ とした。②支持条件は、周辺単純支持 ③板幅比パラメータを、 b_1/b_0 (b_0 を基準の板幅とする) と定義し、0.3~1.0 の範囲で変化させた。④式 (1) で表される幅厚比パラメータ R を 0.25~1.10 の範囲で変化させた。以下では、板幅 b_0 , b_1 に対応する幅厚比パラメータ R をそれぞれ R_0, R_1 と表わす。

$$R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y l^2 (1 - \nu^2)}{4 \pi^2}} \dots \dots (1)$$

$$\sigma_y = 3.6 \text{tf/cm}^2 \text{ (353MPa)} \quad k = 0.4$$

$$E = 2,100 \text{tf/cm}^2 \text{ (206GPa)} \quad \nu = 0.3$$

一般的に、断面の強度を支配するのは、断面の中で幅厚比の大きな板と考えられるが、不等辺多角形の場合、R0とR1の組み合わせによって断面強度を支配する割合が変わる。ちなみにR0で整理した場合を図-4に示すが、統一的に整理ができない事が分かる。そこで、 $\sqrt{R0R1}$ 、 $(R0+R1)/2$ 、 $\sqrt{(R0^2+R1^2)/2}$ などを検討した結果、式(2)で表すR*を用いると最も良い相関が得られる事が明らかになった。

$$R^* = \sqrt{(R0^2 + R1^2) / 2} \dots \dots (2)$$

4. 平均応力～平均ひずみ関係

図-5は、MARCによるFEM解析から得られた純圧縮を受ける正六角形及び正八角形短柱の平均応力～平均ひずみ関係の例である。ここで、平均ひずみは、両端断面の相対変位を部材長で除したもので局部座屈変形を含む見かけのひずみを意味する。図-5 (a) (b) より下記のことが読み取れる。

- ①角数による挙動の顕著な差は見られない。
- ②製作方法(残留応力)による違いは、幅厚比パラメータRが大きい場合にのみ最大強度で見られる。
- ③幅厚比パラメータRが小さい場合(R=0.33)では、ひずみ硬化による強度増が見られる。

図-6に、正六角形及び正八角形断面について周辺単純支持板⁴⁾と箱型断面⁵⁾との最大強度の比較を示した。多角形断面の「角溶接」と箱型断面の強度がほぼ等しいのは、溶接箇所が多い分多角形断面の強度が低下すると考えられる。通常用いられる「中間溶接」の場合は、多角形断面は強度上有効と言える。

5. 最大平均応力とR* 最大平均応力とR*との関係を図-7に示す。幅厚比R*が0.58より大きい範囲では製作方法(残留応力)の違いにより強度に差があるが、板幅比、角数(6,8)に関係なく多角形断面の局部座屈強度式を統一的に評価できる。これらのプロットを最小自乗法により近似すると式(3)が得られる。

$$\sigma_{\max} / \sigma_y = \begin{cases} 1.0 & (R^* \leq 0.58) \\ 1.442 - 0.763 R^* & (0.58 < R^* \leq 1.10) \text{ 角溶接} \dots (3) \\ 1.302 - 0.521 R^* & (0.58 < R^* \leq 1.10) \text{ 中間溶接} \end{cases}$$

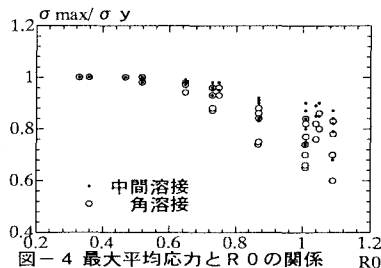


図-4 最大平均応力とR0の関係

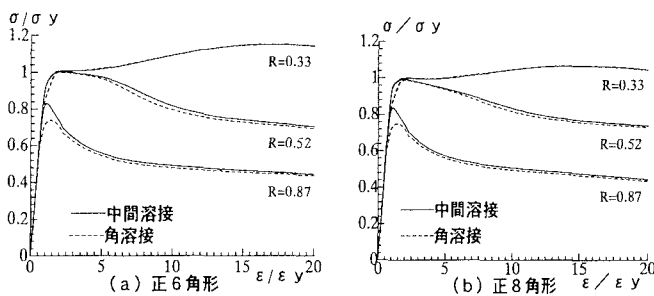


図-5 平均応力～平均ひずみ関係

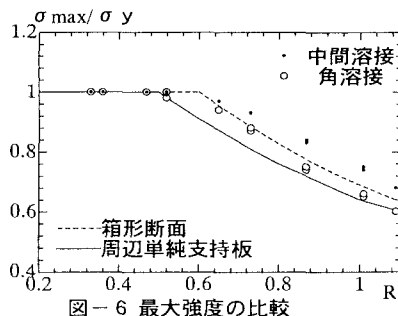


図-6 最大強度の比較

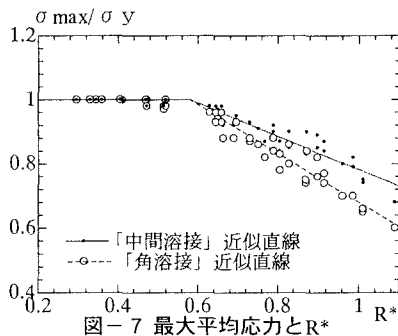


図-7 最大平均応力とR*

- 【参考文献】1) 足立正和:不等辺多角形断面鋼柱の局部座屈挙動に関する基礎的研究 九州東海大学修士論文 1999
- 2) 小松 定夫 他:補剛板の溶接残留応力及び初期たわみに関する実験的研究 土木学会論文集 第265号 1977
- 3) 右田泰弘:多角形閉断面鋼柱の局部座屈と連成座屈に関する基礎的研究 大阪大学学位論文 1994
- 4) 座屈設計ガイドライン 土木学会 P164～165 1987
- 5) 中島黄太:局部座屈を考慮した等価な応力ひずみ関係のモデル化 熊本大学修士論文 1998