

不等辺二枚折れ板の弾塑性局部座屈挙動に関する基礎的研究

九州東海大学大学院 学生会員 砂塚 努

九州東海大学都市工学科 正会員 右田 泰弘

1. はじめに

従来、鋼柱構造に用いられる断面形状は、箱型・円柱が主であったが、最近、斜張橋の主塔や橋脚に偏平八角形断面が採用され、また、アングル材やパイプ部材より構成されていた送電線鉄塔や街路灯の支柱に多角形断面が用いられ始めている。しかしながら、多角形断面鋼柱の終局挙動を扱った研究は少なく、設計の基準も十分ではない。鋼柱の耐荷力に影響する要素には、支持条件、使用鋼材の材質、断面形状、構成板要素のアスペクト比、幅厚比パラメータがあり、一般には局部座屈強度は構成板要素の幅厚比パラメータの関数として評価されている。今後多様な断面形状が採用されることが考えられ、その断面形状の一つとして不等辺多角形断面が挙げられる。不等辺多角形断面の場合は、これらの影響要素に加え、構成板要素の板幅の比および折れ曲げ内角が耐荷力に影響すると考えられる。

本報告文は、耐荷力に対する各影響要素の基本的影響を把握するために不等辺二枚折れ板の弾塑性挙動解析を行って、最大平均圧縮応力と折れ曲げ角、板幅比、アスペクト比、幅厚比パラメータおよび応力ひずみ特性について考察を加えたものである。解析には、汎用構造プログラムMARC[®]を用いた。

2. 解析モデル

解析モデルは、図-1に示すように長さを a 、板幅方向を b とし、添字0,1で各々基準パネル、第1パネルを表し、板厚を t 、折れ曲げ内角を θ とした。材料定数(弾性係数 E 、降伏応力 σ_y 、ポアソン比 ν)を表-1に示す。ここで、アスペクト比 a/b_0 、板幅比 b_1/b_0 をそれぞれ α 、 β と表し、解析対象とした各諸量を表-2に示す。幅厚比パラメータ R は、式(1)で定義されている。

$$R = \sqrt{\frac{\sigma_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}} \quad \dots (1)$$

ここで、 σ_{cr} は板の弾性座屈応力、 k は板の弾性座屈係数を示している。板の弾性座屈係数 $k=4.0$ としている。

初期たわみ δ は式(2)とし、断面方向、長さ方向については sine 半波数を 1 とする ($m=n=1$)。

$$\delta = \delta_0 \cdot \sin\left[\frac{n \pi y_1}{a}\right] \cdot \sin\left[\frac{m \pi z_1}{b}\right] \quad \dots (2)$$

ここで、 y_1 は長さ方向座標、 z_1 は軸方向の座標を示している。初

期たわみ δ_0 の最大値は、道路橋示方書 (JHB)²⁾ の部材製作上の許容値である板幅の $1/150$ とした。

境界条件は、A-D-E 間は X 軸、Y 軸、Z 軸方向の変位を拘束し、B-C-F 間、A-B 間、E-F 間は X 軸、Z 軸方向を拘束する。断面分割数は、正方形パネルについて 10×10 を基準としている³⁾。また、座標軸、載荷方向は図-1に示している。

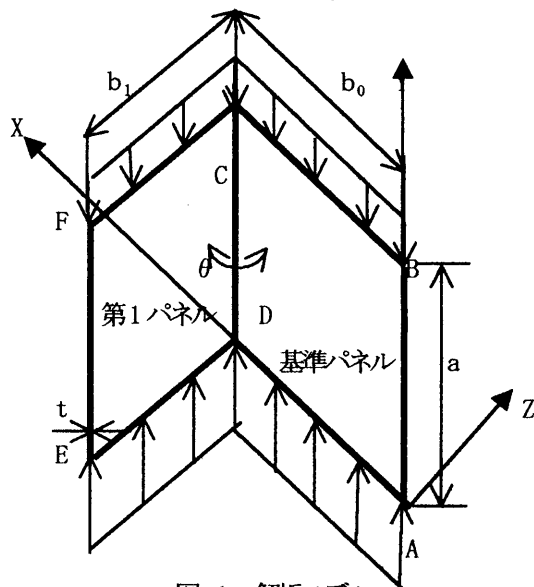


図-1 解析モデル

表-1 材料定数

弾性係数 E	(N/mm^2)	2.0×10^5
降伏応力 σ_y	(N/mm^2)	235
ポアソン比 ν		0.3
鋼 種		SS400

表-2 各諸量

板厚 t	(mm)	10
基準パネル b_0	(mm)	300, 393, 600, 787
幅厚比パラメータ R_0		0.53, 0.70, 1.07, 1.40
板幅比 β		1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0
アスペクト比 α		0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 1.0, 1.2
折れ曲げ内角 θ		$5^\circ \sim 180^\circ$

3. 解析結果と今後の課題

板幅比 $\beta=1.0 \sim 2.0$ 、折れ曲げ内角 $\theta=30^\circ \sim 150^\circ$ 、幅厚比パラメータ $R_0=0.7 \sim 1.4$ について、次の定性的な結果を得た。

- ① $\sigma_{max}/\sigma_y \sim \theta$ 関係を、初期たわみの形状が凸凹モード、 $\beta=1.0$ として、 $R_0=0.53, 1.07$ について図-2に示す。 σ_{max}/σ_y は $\theta=5^\circ \sim 30^\circ$ 間で上昇し、 $30^\circ \sim 170^\circ$ までほぼ一定、 $170^\circ \sim 180^\circ$ ではやや上昇する傾向がある。

$\theta=150^\circ \sim 180^\circ$ では初期たわみの形状が凸凹、凹凹モードについても解析結果を示している。 $R_0=0.53, 1.07$ のいずれについても σ_{max}/σ_y が凸凹モードの初期たわみの場合より小さくなる角度が存在する。このことから、折れ曲げ内角が大きくなる、すなわち多角形断面では、角数が多くなると、座屈モードは凸凹モードのみでないことが考えられる。

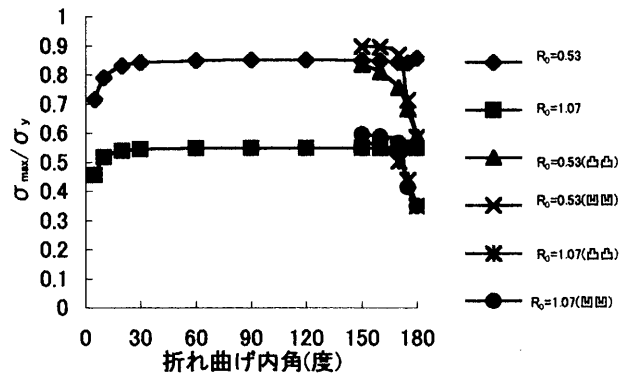


図-2 最大平均圧縮応力と折れ曲げ内角 ($\beta=1.0$)

- ② 図-3には、case1: $\alpha=0.5, \beta=1.0, R_0=R_1=1.07$ と case2: $\alpha=0.8, \beta=2.0, R_0=0.53, R_1=1.07$ について $\sigma/\sigma_y \sim \varepsilon/\varepsilon_y$ 曲線を示している。両曲線の形状はやや異なるものの、 σ_{max}/σ_y は R の大きい方に支配されるものと考えられる。

- ③ 最大平均圧縮応力の最小値を示すアスペクト比 α を幅厚比パラメータ R_0 について図-4に示している。 β が小さくなるにしたがって、 α も小さくなる傾向を示し、全体として α は式(3)、式(4)の間にあると言える。

$$\alpha = 0.5 \quad (0.53 \geq R_0 \geq 1.40) \quad \cdots (3)$$

$$\alpha = -0.4R_0 + 1.0 \quad (0.53 \geq R_0 \geq 1.40) \quad \cdots (4)$$

- ④ 図-4に、 $\sigma_{max}/\sigma_y \sim R_0$ 関係を β について示している。 $R_0=0.7, \beta=2.0, R_1=1.4$ の場合と $R_0=1.4, \beta=1.0, R_1=1.4$ の場合で、 σ_{max}/σ_y が同じ値であることから、最大平均圧縮応力は幅厚比パラメータの大きい板要素の最大平均圧縮応力に支配されることが考えられる。

本研究では、上述のような不等辺二枚折れ板についての定性的な挙動について考察を加えた。今後、本研究で得られた結果に基づいて不等辺多角形断面鋼柱の弾塑性座屈挙動解析を行う予定である。

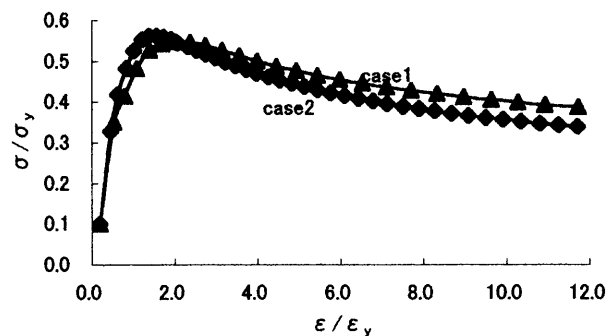


図-3 応力-ひずみ曲線 ($\theta=120^\circ$)

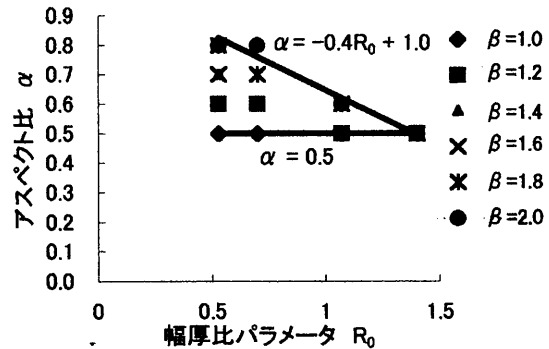


図-4 $R_0 \sim \alpha$ 関係 ($\theta=120^\circ$)

参考文献

- 1) 日本マーク株式会社 マニュアル K-4, K-6, A~E 編, 1995 年
- 2) 日本道路協会編: 道路示方書・同解説 II (鋼橋), 丸善, 2002 年
- 3) 足立正和, 右田泰弘, 福永久博: 不等辺多角形断面鋼柱の耐力に関する考察, 平成十年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.20~21, 1999 年

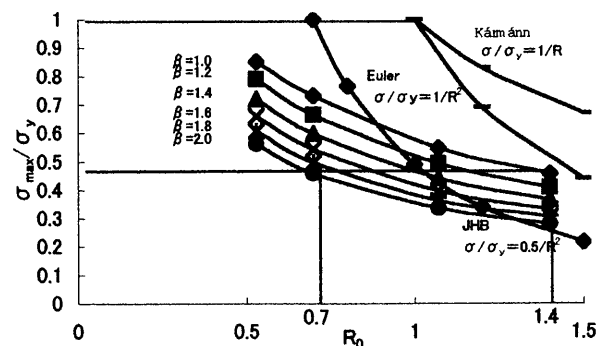


図-5 最大平均圧縮応力と幅厚比パラメータ ($\theta=120^\circ$)