

I-A278

局部座屈を考慮した3次元骨組の終局挙動解析

川重工事(株) 正員 木下 照章

熊本大学 正員 崎元 達郎

1、まえがき

既存の3次元骨組解析プログラムを用いて鋼骨組構造を解析する際、通常は、局部座屈を考慮することができない。したがって、局部座屈による強度低下を把握する必要がある時は、別途部分的なFEM解析などが行われている。そこで、骨組解析により局部座屈の影響を考慮して全体挙動が解析可能なプログラムの開発が望まれる。本研究では、純ねじり及び圧縮とねじりを受ける部材の局部座屈を考慮した最大強度相関曲線を求め、3次元骨組の弾塑性有限変位解析プログラムに導入し解析する手法を提案する。

2、解析法と解析モデル

まず、無補剛正方形箱型断面部材が、純ねじり、及び圧縮とねじりを受ける場合についてFEM解析を行い、最大強度相関曲線を求める。解析には、汎用プログラムMARC¹⁾を使用した。要素としては、4辺形4節点のシェル要素を用いた。なお、解析ではvon Misesの降伏条件、等方硬化則、有限塑性ひずみ条件等を導入して行った。板厚は9.0mmとし、幅厚比パラメータRを0.75~1.5と変化させた。ただし、純ねじりの解析結果の整理については、幅厚比パラメータは R_t も用いた。またアスペクト比 α は1.0で統一した。解析モデルの材質は、SM490Yを想定し、その必要な材料諸元については、過去の引張試験の結果²⁾(表-1)を用いた。要素分割数は、構成板パネルを12×12とした。

$$R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}} \quad (k=4.0) \quad (1)$$

$$R_t = 0.497R(\alpha=1.0) \quad (2)$$

表-1 材料諸元

E(GPa)	198
ν	0.3
σ_y (MPa)	407.4

次に解析モデルに作用させる断面力は、以下のように導入した。まず、純ねじりを与える場合の作用ねじりモーメントTは、図-1に示すように、荷重辺に剛体板要素を取り付け、剛体板要素の中心に強制ねじり角 θ を与えることによって導入した。そして、そり変位を拘束しないように固定側の荷重辺において、軸方向変位は各辺の中心点のみを拘束した。

次に、圧縮とねじりとの組み合わせ断面力については、図-2に示すように、強制ねじり角 θ と強制軸方向変位 u に見合う強制変位を、荷重辺の各節点に変位増分比が一定となるように与えることによって導入した。³⁾ また、各解析共に変位増分法を用いた。

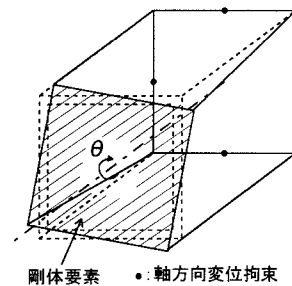


図-1 ねじりモーメントの導入方法

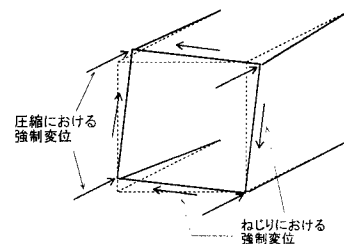


図-2 圧縮力とねじりモーメントの同時荷重方法

キーワード：ねじり、連成座屈、最大強度相関曲線

〒860-0862 熊本市黒髪2-39-1 熊本大学工学部環境システム工学科 Tel 096-342-3532 Fax 096-342-3507

3、解析結果及び考察

図-3には、純ねじりを受ける場合における最大応力度曲線を示す。縦軸は、最大せん断応力 τ_u を降伏せん断応力 τ_y で除した値、横軸は、 R_τ を示す。本解析値より、断面全体についての平均応力度の最大値を求める式を、最小二乗法を用いて次式のように定めた。

$$\begin{aligned} \tau_0 &= \tau_u / \tau_y = 1.0 & (R_\tau \leq 0.52) \\ &= -0.89 R_\tau^2 + 0.79 R_\tau + 0.83 & (0.52 < R_\tau \leq 0.87) \\ &= 0.40 R_\tau^2 - 1.32 R_\tau + 1.68 & (R_\tau > 0.87) \end{aligned} \quad (3)$$

図-4には、圧縮とねじりを受ける場合の終局状態における変形図の一例を示す。 β は変位増分比を表す無次元パラメータで、(4)式で表される。また、図-5には変位増分比 β を種々変化させた時の局部座屈を考慮した最大強度相関曲線を示す。ここで、圧縮とねじりを同時に受ける場合の最大強度曲線を(5)式のように定義する。

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{\theta / \theta_y}{\varepsilon / \varepsilon_y} \quad (4) & \left(\frac{\sigma}{\sigma_0 \sigma_y} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_0 \tau_y} \right)^2 &= 1.0 \quad (5) \\ \sigma_0 &= \sigma_u / \sigma_y = 1.0 & (R \leq 0.6) \\ &= 0.44 R^2 - 1.48 R + 1.73 & (R > 0.6) \end{aligned} \quad (6)$$

$\sigma_0 (= \sigma_u / \sigma_y)$ 、 $\tau_0 (= \tau_u / \tau_y)$ は、圧縮、ねじりをそれぞれ単独で受けた場合の最大応力度の算定式であり、 σ_0 は別途実施した FEM 解析結果に対して最小二乗法を用いて定めた結果、式(6)の様に与えられる。²⁾ τ_0 は式(3)を用いて表される。この式は、von Mises の降伏条件式の σ_y 、 τ_y を、局部座屈を考慮した最大応力 σ_u 、 τ_u に置き換えた時の楕円型相関曲線である。図-5より、変位増分比を一定としたため、断面力比は一定とはならなかったが、最大応力状態では、どの β の値においても、式(5)の相関曲線に良好に適合していることがわかる。以上の結果、von Mises の降伏条件の代りに式(5)を用いて、局部座屈の判定と、塑性域での応力-ひずみ関係関連流れ則を導入すれば弾塑性有限変位解析が可能になる。

次に、プログラムの検証を行う。本来ならば、ねじり挙動を含んだ3次元骨組の解析例を示すべきであるが、比較対象にできる既往の実験も解析も存在しない。そこで、図-6に示すような軸圧縮力と水平力を受けるはり-柱部材を用いて他の解析結果との比較検討を行った。図-6の水平荷重-水平変位曲線により、本解析法と2次元骨組の簡易解析法と比較すると、最大強度は、ほぼ同じであり局部座屈の影響を正確に把握できるプログラムが開発されたといえる。

参考文献

- 1) MARC Users Manual Vol. A-E, 日本マーク
- 2) 富田 聡：繰り返し水平力を受ける箱形鋼柱の終局挙動の簡易解析法、熊本大学提出 平成8年度 修士論文
- 3) 中井、北田、村山、室塚：曲げとねじりを受ける箱桁の終局強度に関する解析的研究 構造工学論文集 Vol.42A 1996.3

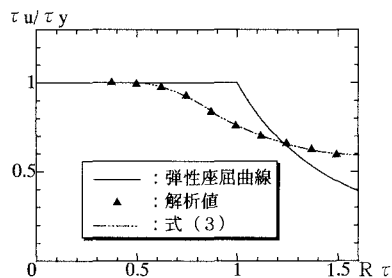


図-3 最大応力度曲線

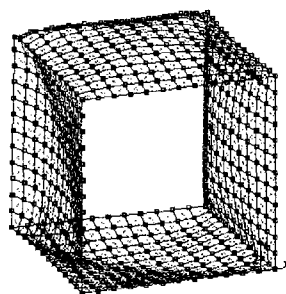


図-4 終局状態の変形図
($\beta=0.33$, $R=1.5$)

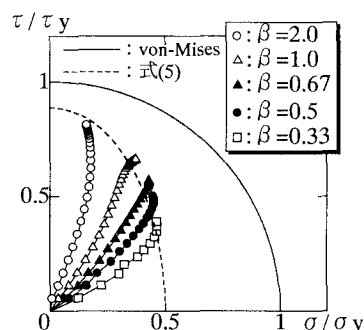


図-5 最大強度相関曲線 ($R=1.5$)

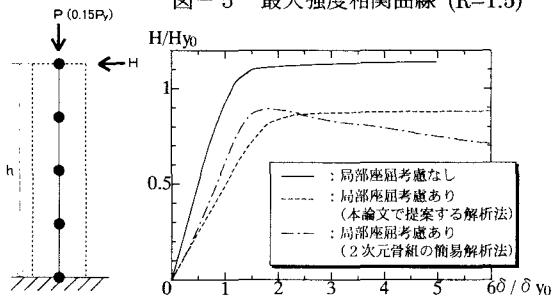


図-6 解析モデルと水平荷重-水平変位曲線