

局部座屈を考慮した 3 次元骨組の終局挙動解析

熊本大学 学生員 ○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、移動硬化則、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(Mpa)	1.98×10^5
ν	0.3
σ_y (Mpa)	407.4

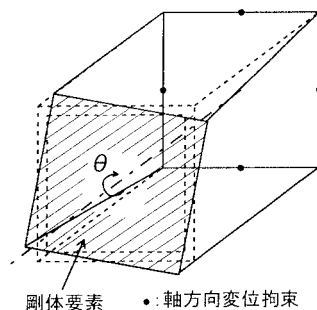


図-1 ねじりモーメントの導入方法

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、載荷辺に剛体要素を取り付け、剛体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軸方向変位を自由とした。また、固定側の載荷辺においても、そり変形を拘束しないように、軸方向変位については、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、載荷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。

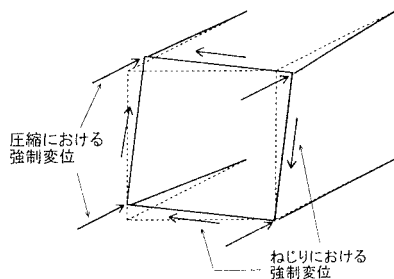


図-2 圧縮力とねじりモーメントの同時載荷方法

3、解析結果及び考察

図-3には、せん断応力-ねじり角曲線を示す。図の縦軸は作用せん断応力 τ を降伏せん断応力 τ_y で、また横軸は作用ねじり角 θ を降伏ねじり角 θ_y で除した値である。このせん断応力 τ は、固定側断面の平均せん断応力とする。この図より、幅厚比 R_τ の値が大きくなるほど、最大応力 τ_u が低下し、低い荷重レベルから非線形性が現れていることがわかる。また、最大強度時におけるせん断応力状態を見たところ、幅厚比 R_τ が0.746より大きい値では応力が一定分布とはならず、局部座屈の影響と考えられる。

図-4には、解析モデルの終局状態における変形図の一例を示す。この図よりすべての板パネルにおいてせん断座屈の発生により大きく変形していることがわかる。

図-5には、純ねじりにおける幅厚比パラメータ R_τ と最大せん断応力 τ_u との関係を示す。本解析値より平均せん断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。

$$\begin{aligned} \tau_0 &= \tau_u / \tau_y = 1.0 \quad (R_\tau \leq 0.56) \\ &= -0.34 R_\tau + 1.19 \quad (R_\tau > 0.56) \end{aligned} \quad (3)$$

図-6には、圧縮とねじりの変位増分比 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。 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。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。

$$\beta = \frac{\theta / \theta_y}{\varepsilon / \varepsilon_y} \quad (4) \quad \left(\frac{\sigma}{\sigma_0} \right)^2 + 3 \left(\frac{\tau}{\tau_0} \right)^2 = \sigma_y^2 \quad (5)$$

$\sigma_0 (= \sigma_u / \sigma_y)$ 、 $\tau_0 (= \tau_u / \tau_y)$ 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 は文献2)より、 τ_0 は式(3)を用いる。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-6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。

参考文献

- 1) MARC Users Manual Vol. A-E, 日本マーク
- 2) 富田 聡：繰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

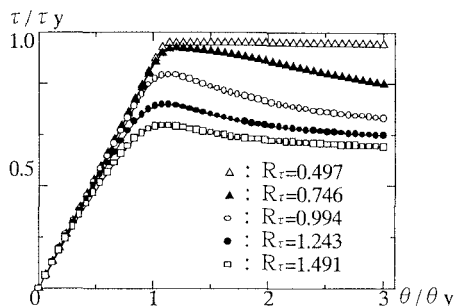


図-3 せん断応力-ねじり角曲線

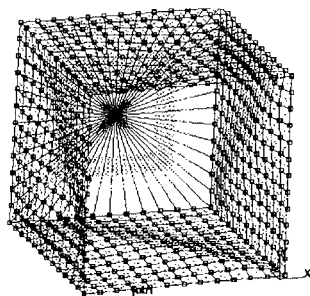


図-4 終局状態の変形図
(純ねじり、 $R_\tau=1.491$)

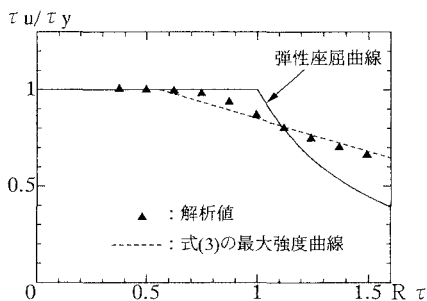


図-5 最大強度曲線

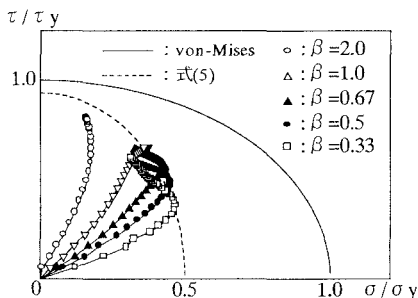


図-6 最大強度相関曲線 ($R=1.5$)