

局部座屈を考慮した断面力表示型構成モデルの開発

名古屋大学大学院修士課程 近藤智之
名古屋大学大学院助教授 水野英二

1. はじめに

従来の応力-ひずみ型構成モデルを用いた鋼構造部材の弾塑性解析は、一般に部材の断面を有限個の要素に分割して各要素毎にモデルパラメーターの記憶や収束計算を行うため、膨大な記憶容量と計算時間を要することから、いまだ現実的な手法と言えるまでにはなっていない。

本研究では、名古屋大学構造力学研究室で開発された断面力表示型構成モデル¹⁾において、局部座屈の影響を考慮するために曲げモーメント-軸力空間で局部座屈曲面を設定した新しい構成モデルを提案し、種々の構造解析に適用する。

2. シェル要素解析における $M-\phi$ 関係の特徴

まず、汎用有限要素プログラム ABAQUS を用いて、図-1のように円形鋼管短柱のシェル要素解析を行った。この試験体は、図のように断面形状が直径 $D=900.0\text{mm}$ 、厚さ $t=9.0\text{mm}$ 、径厚比 $D/t=100.0$ で、石原・水野による最適長さ L^0 を有している。この最適長さは、現断面において局部座屈による塑性吸収エネルギーが最も大きくなる長さ、すなわち座屈モードの一波長分の長さを意味しており、本研究で鋼部材の有限変位解析を行う際に非常に重要になってくる。

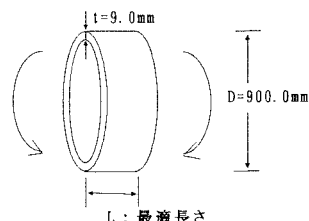


図-1 シェル要素解析の試験体

一例として、ABAQUS による短柱の $M-\phi$ 関係を示したものが図-2である。繰り返し挙動より、次のような特徴が確認できる。

- ・局部座屈が発生した後、モーメントの低下が起こり、その傾きは次第に低減する。
- ・除荷を行うと、弾性域の傾きが低減する、すなわち曲げ剛性 EI が小さくなる。
- ・その後、滑らかな硬化域が現れ、あるピークを境にして再び軟化域が現れる。

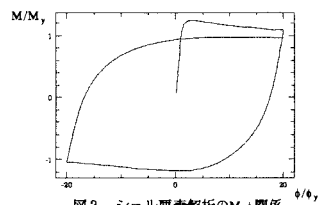


図2 シェル要素解析の $M-\phi$ 関係

以上の特徴を考慮できるように、以下では局部座屈を考慮した断面力構成モデルを構築する。

3. 断面力構成モデルの構築

(a) 初期状態

本研究室で開発した従来の断面力構成モデルに従い、軸力 N を降伏軸力 N_y で無次元化した n 、曲げモーメント M を初期降伏モーメント M_y で無次元化した m による (m, n) 空間で本モデルを定義する。初期降伏曲線(YS)、降伏棚曲線(YPS)、境界曲線(BS)を従来通り使用し、新たに局部座屈発生点を規定する局部座屈曲線(LBS)を設定した。(この初期曲線の設定方法は後述する。) よって、本モデルの初期状態は図-3のようになる。

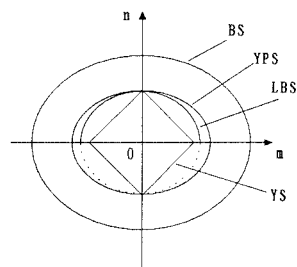


図-3 初期状態

(b) 局部座屈発生前

荷重点が局部座屈曲線に到達するまでの段階では、荷重点、及び各種曲線の動きは従来のモデルに従うものとする。

(c) 局部座屈発生時

荷重点が局部座屈曲線に到達して座屈が発生したと判断された場合、降伏曲線と局部座屈曲線は境界曲線と相似な形状へと変化し、境界曲線もパラメトリック解析(後述)によって決定される大きさに変形すると仮定する(図

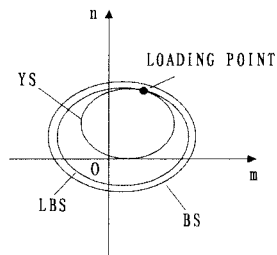
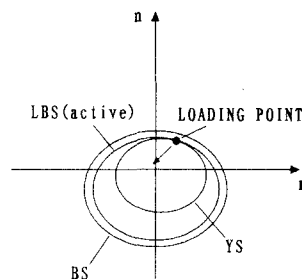


図-4 局部座屈発生時

－4)。この時、境界曲線は正の剛性 E_0^P 、局部座屈曲線は負の剛性 E_b^P をそれぞれ有するものとする。

(d)軟化挙動

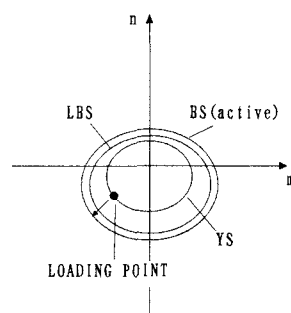
本モデルでは降伏曲線と局部座屈曲線が荷重点で接している時は局部座屈曲線をアクティブな曲線であると認識し、軟化挙動を示す。荷重点は負の剛性を持って図－5のように降伏曲線、及び局部座屈曲線と共に(m,n)空間を移動する。



図－5 軟化挙動

(e)除荷・再載荷挙動

ある点で除荷した時、荷重点は降伏曲線の内側（弾性域）を移動し、再び降伏曲線に到達する。その後、図－6のように降伏曲線と局部座屈曲線が荷重点が接触していないケースでは、境界曲線をアクティブな曲線と認識し、荷重点は正の剛性を持って図－6のように硬化挙動を示す。その後、再び荷重点が局部座屈曲線に到達した場合、前述(d)のように局部座屈曲線を対象として軟化挙動を生じる。



図－6 除荷・再載荷挙動

4. 各種パラメーターの設定

・初期局部座屈曲面の定式化

前述の最適長さにおけるシェル要素解析と、局部座屈を考慮しないはり要素解析とのズレが生じる点を初期の局部座屈発生点と仮定することにより、種々の径厚比 D/t に対して軸力 n 、曲げモーメント m の組み合わせによる発生点を(m,n)空間にプロットさせた。この結果を非線形最小二乗法で近似することにより、初期局部座屈曲線を次式のように径厚比 D/t の関数で定めた。

$$\left| \frac{m}{C_1} \right| + |n|^{C_2} = 1 \quad (1)$$

ここで、 C_1 、 C_2 が D/t の関数となる。

但し、圧縮曲げと引張曲げでは局部座屈発生形態が異なることも考慮する必要があり、この曲線式(1)は圧縮曲げ空間でのみ有効であることに注意されたい。

・その他のパラメーターの設定

従来の断面力構成モデルでの各種パラメーターは、断面保持の仮定に基づいた値であるために、局部座屈が発生した後に、そのまま各種パラメーターを使用できるとは限らない。そこでパラメトリック解析を行うことにより、局部座屈後の初期塑性係数、境界曲線の大きさ及び傾きの変化・弾性域の低減率などを塑性仕事量 W^P に関連づけて設定した。新たなパラメータの一覧については、紙面の都合上、当日報告する。

5. 一断面での繰り返し挙動予測の結果及び考察

有限変位解析へ移る前のステップとして、開発された断面力構成モデルを一断面での単調、及び繰り返し載荷に適用する。まず第一に、軸力 $n=0$ のケース、つまり(m,n)空間で定義した本モデルの m 軸上に沿った荷重点の動きを追うことにする。ここでは、曲率制御により曲げモーメントを算出した、 m 軸上での動きを精巧に表現できることを確認した後、(m,n)空間での挙動予測及び有限変位解析へと応用する。なお、種々の解析結果については当日発表する。

6. 参考文献

- 1) 水野英二、劉芸芸、近藤智之、鈴木健泰：断面力表示型二曲面モデルによる鋼構造部材の有限変位解析、構造工学論文集、Vol.44A（投稿中）。
- 2) 石原順一、水野英二：局部座屈を考慮した鋼製パイプ断面橋脚の変形挙動解析、平成9年度土木学会中部支部講演概要集、1998。