

I-A175

局部座屈を考慮した断面力表示型構成モデルの開発とその応用

J R東海 正会員 近藤智之
中部大学 正会員 水野英二

1. はじめに

本研究では、鋼部材の局部座屈の影響を考慮するために、名古屋大学構造システム工学研究室で開発された断面力表示型構成モデル¹⁾を拡張することにより、曲げモーメント(m)—軸力(n)空間にて局部座屈曲線を設定した新たな断面力表示型構成モデルを提案する。また、本提案モデルをパイプ断面鋼製橋脚の解析に適用し、局部座屈を考慮したシェル要素解析結果と比較することにより、本提案モデルの有効性について確認する。

2. シェル要素解析における $M-\phi$ 関係の特徴

はじめに、汎用有限要素プログラム ABAQUS のシェル要素を用いて、石原・水野²⁾による最適長さを有する短柱（パイプ断面）の繰返し圧縮曲げ載荷解析を行った。その解析結果の曲げモーメント(M)—平均曲率(ϕ)関係から、主に以下の特徴を確認した。

- ・局部座屈発生後、モーメントの低下を生じて局部座屈挙動を示し、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、断面変形により曲げ剛性 EI が小さくなる。
- ・その後、滑らかな硬化域が表れ、あるピークを境にして再び局部座屈挙動を生じる。
- ・再載荷を行うと、モーメントのピーク値が低減する。

以上の特徴を考慮できるように、局部座屈を考慮した断面力表示型構成モデルを以下に構築する。

3. 局部座屈を考慮した断面力表示型構成モデルの構築

(a)初期状態 本モデルを、軸力 N を降伏軸力 N_y で無次元化した n 、同様に曲げモーメント M を初期降伏モーメント M_y で無次元化した m から成る無次元化(m, n)空間で設定する。初期降伏曲線(YS)、降伏棚曲線(YPS)、境界曲線(BS)については従来の断面力表示型モデルに従い、新たに局部座屈発生点を規定する初期局部座屈曲線(LBS)を設定する。よって、本モデルの初期状態は図1のようになる。なお、 m 軸よりも下側に位置する引張曲げ状態では、明確な局部座屈発生点が得られなかったため、現段階では図1において破線で示すに留めておく。

(b)局部座屈発生前 荷重点が弾性域を経て塑性域に入り、初期局部座屈曲線に到達するまでは、荷重点および各種強度曲線の動きは従来の断面力表示型モデルに従うものとする。

(c)局部座屈発生時 荷重点が初期局部座屈曲線に到達した時点で降伏曲線と局部座屈曲線は図2のように境界曲線と相似な形状へと変化し、二曲線は荷重点で接するものとする。また降伏棚曲線は消失し、境界曲線は中心点を局部座屈曲線と共有する曲線に変形すると仮定する。

(d)局部座屈挙動 本モデルでは、降伏曲線と局部座屈曲線が荷重点で

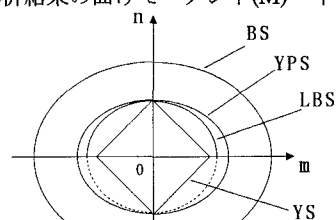


図1 初期状態

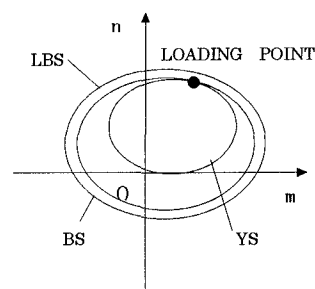


図2 局部座屈発生時

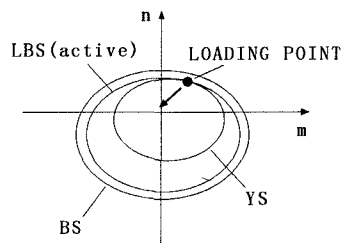


図3 局部座屈挙動

キーワード：局部座屈，断面力表示型構成モデル，修正二曲面モデル，最適長さ

連絡先：〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200 TEL (0568)-51-1111

接しているケースでは局部座屈曲線をアクティブな曲線であるとし、これによって局部座屈挙動を生じさせる。荷重点は負の剛性を持って図3のように降伏曲線および局部座屈曲線と共に(m,n)空間を移動する。
 (e)除荷および再載荷挙動 ある点で除荷した時、荷重点は降伏曲線の内側を移動し、図4に示すように再び反対側の降伏曲線に到達する。その後、降伏曲線と局部座屈曲線が荷重点で接していないケースでは降伏曲線をアクティブな曲線であるとし、荷重点は正の剛性を持って境界曲線を対称として図4のように硬化挙動を示す。その後、再び荷重点が反対側の局部座屈曲線に到達した場合、前述のように局部座屈曲線をアクティブな曲線として局部座屈挙動を示す。

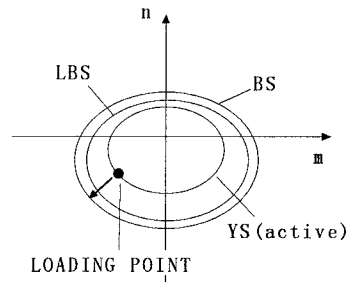


図4 除荷・再載荷挙動

4. モデルパラメータの設定

(a) 初期局部座屈曲線の設定 最適長さを有する短柱において、局部座屈を考慮できるシェル要素と局部座屈を考慮しないはり要素のそれぞれについて圧縮曲げ解析を行って $M-\phi$ 関係を比較し、両者にズレが生じる点を初期の局部座屈発生点と規定する。種々の径厚比に対して一定軸力 n 、曲げモーメント m の組み合わせによる局部座屈発生点を(m,n)空間にプロットし、この結果を非線形最小二乗法で近似し、初期局部座屈曲線を求める。

(b) その他のパラメータ 局部座屈発生後の新たなパラメータとして、局部座屈曲線の大きさおよび塑性係数、境界曲線の大きさ、弾性域の傾きの低減率などを塑性仕事量 W^p の関数として設定する。詳細については別途報告する。

5. 最適長さにおける繰返し載荷挙動

本提案モデルを最適長さを有するパイプ断面での繰返し載荷に適用する。解析に用いる円管断面の寸法は、外径 $D=900\text{ mm}$ 、肉厚 $t=2.3\text{ mm}$ であり、径厚比 $D/t=100$ である。なお、最適長さは 240.2 mm である。曲率を制御することにより一軸曲げ繰返し載荷挙動を予測した結果を図5に示す。これによれば、本モデルによる結果は最初の載荷ステップで局部座屈挙動が表れた後、第2節で述べた特徴を踏まえた挙動を示している。

6. 鋼製橋脚の繰返し有限変位解析

本提案モデルを鋼製橋脚の有限要素解析に適用する。剛性方程式の数値積分に Gauss-Legendre の二点積分法を用いることにより、一要素の長さを最適長さの2倍と考えると長さ方向の分割数を決定する。図6(a)に示す解析モデルを用いた解析結果（荷重 Q -変位 v 関係）を図6(b)に示す。これより、本モデルによる結果は鋼製橋脚基部の局部座屈発生に伴う荷重の低下を表現できており、全体的な形状もおおむね良く表現できているといえる。また、従来のシェル要素解析では数日を要した計算が、汎用のワークステーションを用いて1時間足らずで結果を得ることができた。

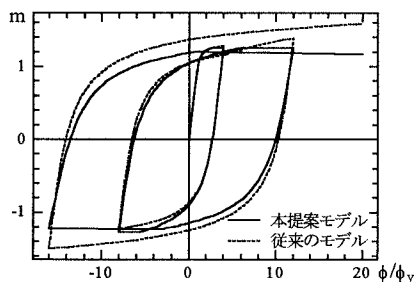


図5 有効長さでの挙動予測結果

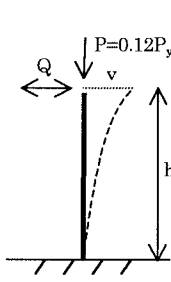


図6(a) 解析モデル

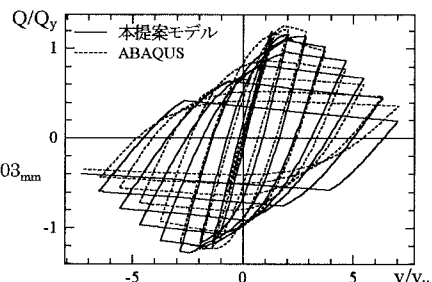


図6(b) 鋼製橋脚の解析結果

参考文献

- 1) 水野英二、近藤智之ら：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、1998.4
- 2) 石原順一、水野英二：局部座屈を考慮した鋼製橋脚の繰返し変位挙動解析、平成10年全国大会講演概要集