

I-A99 局部座屈を考慮した鋼製パイプ断面橋脚の繰返し変形挙動解析

名古屋大学 学生会員 石原順一

中部大学 正会員 水野英二

1. はじめに

本研究では、一定軸力および繰返し水平荷重を受ける鋼製パイプ橋脚の荷重－変形特性をパイプ断面の局部座屈の影響を考慮することにより求める。解析方法としては、まず、1) 汎用プログラム ABAQUS（シェル要素）を用いることにより、局部座屈を考慮した部材（最適長さを有する部材）の曲げモーメント（ M ）－軸力（ P ）－平均曲率（ ϕ ）関係を求め、2) この M － P － ϕ 関係を有限要素法に適用することにより、鋼製パイプ橋脚の荷重－変形挙動を求める。本解析結果と汎用プログラム ABAQUS による解析結果^[1]とを比較し、本解析法の妥当性について検討する。

2. 解析方法

(1) 最適長さ

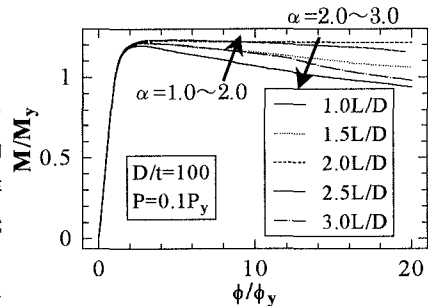
部材断面の局部座屈を考慮する場合、解析に適用する部材のモーメント（ M ）－軸力（ P ）－平均曲率（ ϕ ）関係は部材の軸方向長さに依存する。ここでは、軸圧縮力と曲げモーメントが作用する場合、局部座屈を考慮したはりの有限要素解析に適用可能な、「部材の最適長さ（局部座屈の有効範囲）」の求め方に関する提案を行う。このことは、後述するように本研究の有限要素解析にて要素分割を行う際に重要な意味を有する。

まず、基本とする部材の長さを L としたとき、 αL （ $\alpha = 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, \dots$ ）の長さを有する部材の M － ϕ 関係を汎用プログラム ABAQUS によるシェル要素解析より求める。一例として、図－1 は、径厚比 $D/t = 100$ 、長さ $= \alpha L$ （ $\alpha = 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0$ ）、軸力比 $P/P_y = 0.1$ の部材の曲げモーメント M －平均曲率 ϕ 関係を示す。なお、 D は直径、 t は板厚である。図より明らかなように、部材の長さ αL の違いにより、局部座屈が発生した後の曲げモーメントの低減状態に違いが生じる。図－1 によれば、 α の値が 1.0 から 1.5, 2.0 と大きくなるに従い、局部座屈発生後の単位長さあたりのエネルギー吸収能は大きくなる。さらに、 α 値が 2.0～3.0 と増加するにつれ、逆に吸収エネルギーは減少する。これは α 値がある値（特定の長さ）を越えると部材内に局部座屈を生ずる領域と除荷が生ずる領域とが混在するようになり、結果として曲げモーメントが低下し、吸収エネルギーも低下すると考えられる。よって、本研究では、塑性吸収エネルギーと部材の長さの関係を 2 次曲線で近似し、その最大値を示す部材の長さを「軸圧縮力と曲げモーメントが作用する部材の最適長さ」と定義する（図－2 参照）。ここで、塑性吸収エネルギーは $\phi = 15 \phi_y$ までのエネルギーとした。

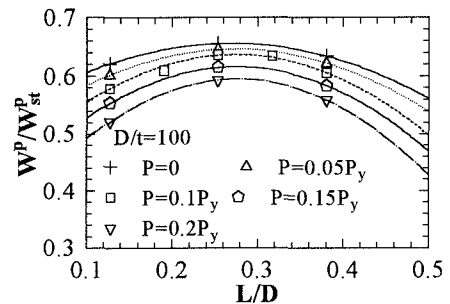
(2) 要素分割

有限要素解析における数値積分法は、Gauss-Legendre の 2 点積分公式を用いる。ここでは、ガウスの 2 点積分キーワード：局部座屈、部材の最適長さ、要素分割

連絡先（〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200, 0586-51-1111）



図－1 異なる長さにおける M － ϕ 関係



図－2 塑性吸収エネルギーの変化

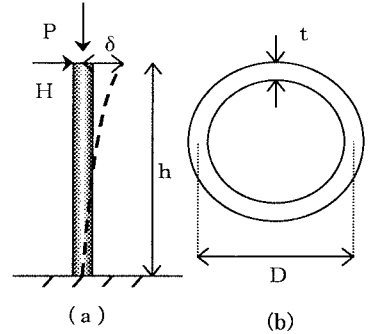
分法（重み係数が 1.0）により，はり部材の剛性マトリックスを作成する。2 点積分の場合，はり要素の半分の領域での曲げモーメントー平均曲率関係はそれぞれのガウス点での曲げモーメントー曲率関係によって代表される。一要素を長さの同じ二つの領域に分けて，それぞれの領域に対して，前節で提案した「局部座屈を考慮したモーメントー曲率関係」を適用すれば，鋼製橋脚全体として局部座屈を考慮した荷重ー変形挙動を求めることができる。本研究では，一分割要素の長さを最適長さの 2 倍として解析を行う。

（3）解析モデル

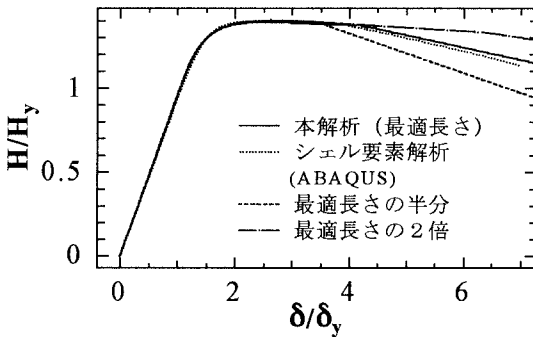
解析モデルは，図－3(a)に示すように，柱頂部に一定鉛直力および水平荷重を受ける鋼製橋脚で，断面形状は図－3(b)に示すパイプ断面である。解析パラメータは， $h=7319\text{mm}$ ， $D=891\text{mm}$ ， $t=11.2\text{mm}$ ， $P/P_y=0.15$ である。

3. 解析結果および考察

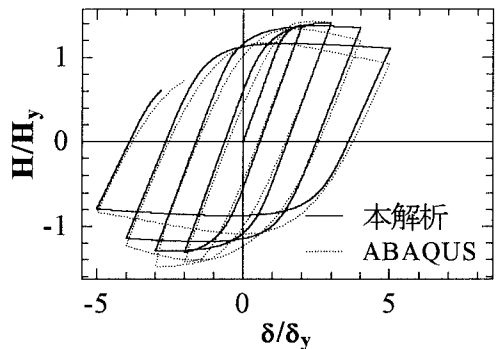
本研究で定義した，軸圧縮力と曲げを受ける部材の最適長さに合わせて，要素分割を行った解析結果と汎用プログラム ABAQUS でのシェル要素解析結果を図－4 および 5 に示す。図－4 については局部座屈を考慮した部材の最適長さの有効性について検証を行うため，最適長さの半分，最適長さの 2 倍に要素分割を行った解析結果も示した。これにより，本研究で定義した最適長さが最大荷重後の変形挙動を精度良く示していることが分かる。一方，図－5 に示す繰返し載荷の解析結果からも，繰返し変形挙動をある程度良く予測していることが分かる。なお，繰返し載荷の解析にあたっては，塑性仕事量をパラメータとし，弾性域の大きさ，弾性域の傾き，曲げモーメントのピーク値および軟化域の傾きの低減を $M-\phi$ 関係に採り入れ，解析を行っている。以上の考察より，本研究で定義した「軸圧縮力と曲げを考慮した部材の最適長さ」は有限要素解析において適切な分割長さを与えることが分かる。



図－3 解析モデル



図－4 単調載荷の解析結果



図－5 繰返し載荷の解析結果

4. 結論

局部座屈を考慮したパイプ鋼製橋脚の弾塑性有限要素解析では，最適長さを有する部材のモーメントー軸力ー平均曲率関係を適用して，分割要素の長さに注意を払えば，精度良く鋼製橋脚の荷重ー変形挙動を求めることができることが分かった。繰返し載荷の解析には弾性域の大きさ，弾性域の傾き，曲げモーメントのピーク値および軟化域の傾きの低減を考慮する必要があることが分かった。これにより，汎用プログラム ABAQUS による繰返し弾塑性有限変形解析と比較して計算時間を格段に短縮することができるものと期待できる。

5. 参考文献

- [1] 葛漢彬，高聖彬，宇佐美勉，松村寿男：繰返し荷重を受ける鋼製パイプ断面橋脚の強度と変形能に関する解析的研究，第 2 回阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集 1997 年 1 月，pp.377－384。