

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

名古屋大学工学部 石原順一

名古屋大学大学院 水野英二

1. はじめに

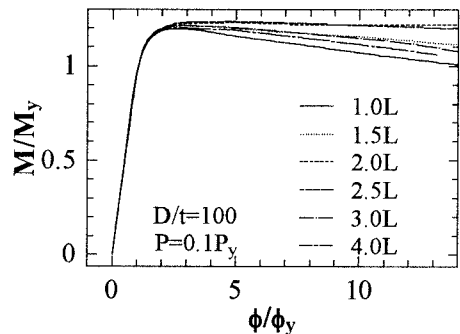
本研究では、一定軸力および漸増水平荷重を受ける鋼製パイプ橋脚の荷重－変形特性をパイプ断面の局部座屈の影響を考慮することにより求める。ここでは、まず、1) 汎用プログラムABAQUS (シェル要素) を用いることにより、局部座屈を考慮した短柱 (最適長さを有する短柱) の曲げモーメント (M)－軸力 (P)－平均曲率 (Φ) 関係を求め、つづいて、2) この M － P － Φ 関係を有限要素法に適用することにより、鋼製パイプ橋脚の荷重－変形挙動を求める。本解析結果と汎用プログラム ABAQUS による解析結果とを比較し、本解析法の妥当性について検討する。

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、解析に適用する短柱のモーメント (M)－軸力 (P)－平均曲率 (Φ) 関係は短柱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、「短柱の最適長さ (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、基本とする短柱の長さを L としたとき、 αL ($\alpha = 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, \dots$) の長さを有する短柱の M － Φ 関係を汎用プログラム ABAQUS によるシェル要素解析^[1]より求める。一例として、図－1 は、 $D/t = 100$ 、長さ $= \alpha L$ ($\alpha = 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0$)、軸力比 $P/P_y = 0.1$ の短柱の曲げモーメント M －平均曲率 Φ 関係を示す。図より明らかなように、短柱の長さ 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、局部座屈発生後のエネルギー吸収能は大きくなる。さらに、 α 値が 2.0～4.0 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) を越えると短柱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、吸収エネルギーが低減し始める時の短柱の長さを「軸圧縮力と曲げモーメントが作用する短柱の最適長さ」と定義する。パイプ断面の形状 (D/t) ならびに軸力比 (P/P_y) によって最適長さは異なると思われるので、これに関するパラメトリック解析が必要となる。



図－1 異なる長さにおける M － ϕ 関係

(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－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－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－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－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-2(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-2(b)に示すパイプ断面である。一方、汎用プログラム ABAQUS を用いた解析モデルは、局部座屈は柱基部近辺に発生することから、柱基部に直径 D の二倍の高さ $2D$ までシェル要素を用い、残りの部分は、はり要素を用いた^[2]。

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短柱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-3(ケース1)、4(ケース2)に示す。これらの結果を比較すると、本解析手法は全体の变形挙動を比較的精度良く計算していることが分かる。最大荷重後における变形挙動の多少の違いは、柱基部での局部座屈発生状況の違いによるものと考えられる。ABAQUS では、実際の局部座屈の発生状況と同様に、基部では完全に拘束されているので局部座屈によるモーメントの低下が生じないという仮定の基で解析を行っている。しかし、本解析では、この点について考慮していない。従って、この違いによって最大荷重後の違いが生じたと考えられる。また、図-4の解析結果を比較すると、弾性域の部分で違いが見られる。この原因としては、ABAQUS の解析では Timoshenko のはり理論に基づく解析を行っているが、本解析ではせん断力によるはりの変形は考慮しておらず、その影響による違いと考えられる。せん断力の影響は、短柱になるほど大きく現れるので、図-4のケースのような比較的短柱の場合にその影響が現れると思われる。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短柱の最適長さ」の決定法は適切であることが分かる。

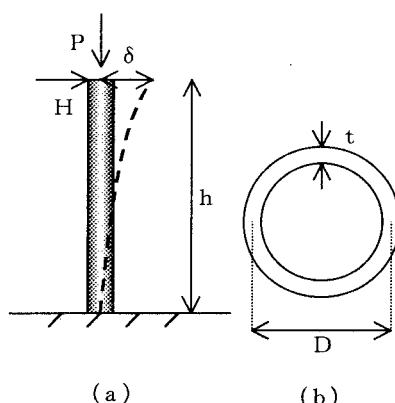


図-2 解析モデル

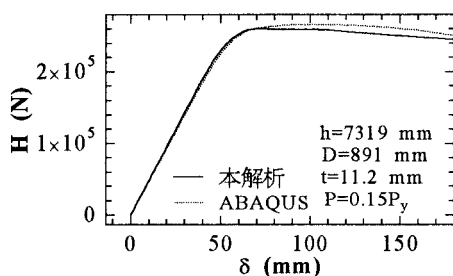


図-3 H- δ 関係 (ケース1)

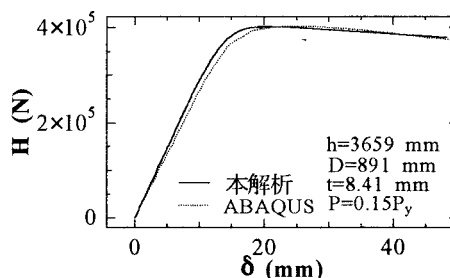


図-4 H- δ 関係 (ケース2)

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、最適長さを有する短柱のモーメント-軸力-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-変形挙動を求めることができることが分かった。これにより、汎用プログラム ABAQUS による繰り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] Mohd Zaid Yusof: 局部座屈を考慮した鋼部材断面の $M-\phi-P$ 特性に関する研究、名古屋大学大学院修士論文、1997.
- [2] 葛漢彬、高聖彬、宇佐美勉、松村寿男: 繰り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.