

(I - 38) 静的軸圧縮力を受ける変断面鋼管の局部座屈モードに関する検討

武蔵工業大学 学生会員 鈴木一孝 武蔵工業大学 フェロー 増田陳紀
防衛大学校 正会員 森 雅美 防衛大学校 フェロー 石川信隆

1. はじめに

兵庫県南部地震により鋼製円筒橋脚の変断面部直上に提灯座屈と呼ばれる損傷が見られた。この構造物の損傷の原因として、主として水平繰返し荷重によって発生した可能性があるとの見解¹⁾と、主として衝撃的上下動によって発生した可能性があるとの見方²⁾と見解が2つに分かれており、それぞれの立場から研究が進められている。一方、実橋脚に存在するダイヤフラムの寸法および補剛効果を考慮した検討は少なく、一般に円筒殻の座屈発生位置は幾何学的条件に大きく影響を受けるため³⁾、ダイヤフラム間を取り出した局所的な部分について検討することは有用であると考えられる。そこで本報告では、静的軸圧縮载荷の下で変断面鋼管の径厚比、径長比、肉厚比をパラメータとして、ダイヤフラム間の寸法を考慮したに有限要素法による弾塑性解析を行い、これらのパラメータが座屈モードに及ぼす影響を検討した。

2. 解析対象およびそのモデル化

解析対象は、図-1に示す変断面鋼管であり、外径 $D=140\text{mm}$ と一定とし、断面変化部を管長 L_0 の中央に有している。幾何パラメータである径厚比を $D/t_1=70\sim 100$ の10刻み、径長比を $L/D=0.8\sim 1.1$ 、肉厚比を $t_2/t_1=1.0\sim 2.0$ の0.1刻みの範囲でパラメトリック弾塑性解析を行った。有限要素法解析は鋼管の軸対称性を考慮した図-2のモデルとした。使用した要素は1要素3節点、1節点3自由度の軸対称シェル要素を用い、要素寸法は1要素の長さを1.0mmとした。鋼管のヤング率 $E=205\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ 、降伏応力 $\sigma_y=235\text{MPa}$ とし、応力～ひずみ関係はひずみ硬化係数が $E/100$ のバイリニアモデルでモデル化した。幾何学的境界条件として円筒殻端部を完全固定(図-2のNo.1, No.2の点の変形を $w_x=w_z=\theta_y=0$)とし、荷重条件は図-2のNo.1を z 方向に強制変位させることで圧縮力を载荷した。硬化則および流動則はそれぞれ移動硬化則および Von-Mises の降伏関数を用いた。なお、解析には汎用コード DIANA を用いた。

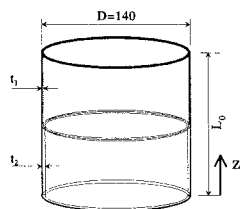


図-1 解析対象の変断面鋼管

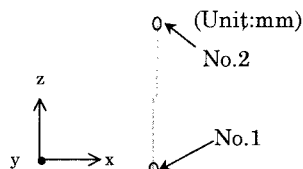


図-2 有限要素法解析モデル

3. 解析結果

3-1 肉厚比の影響

図-3は $D/t_1=100$ 、 $L/D=0.9$ と一定、 t_2/t_1 をパラメータとして1.0mm軸方向に変位させた時の半径方向の座屈形状を示した図である。図の縦軸は鋼管軸方向の位置 z を鋼管長 L_0 で除し、横軸は最大変形量 w_0 で半径方向の変形量 w を除すことで無次元化している。この図より座屈モードは肉厚比に依存し、このケースの場合、 $t_2/t_1=1.3\sim 1.5$ の範囲で変断面部直上の変形が他の個所に比べて卓越した。これは、変断面部直上で座屈するためには、変断面部直下部分も若干変形する必要があり、上下の肉厚の差が相対的に少ない $t_2/t_1=1.3\sim 1.5$ の範囲において変断面部に局部座屈が発生しやすくなり、逆に下部が相対的に厚い $t_2/t_1>1.5$ になると変断面部直下の剛性が高く、変形しにくくなるため、変断面部直上の座屈が発生する前に鋼管上端部が座屈したと考えられる。

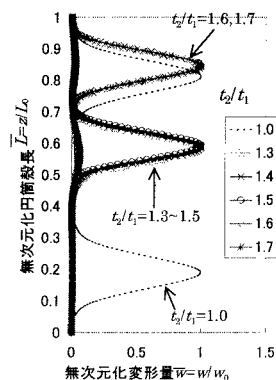


図-3 肉厚比が座屈波形に及ぼす影響

($D/t_1=100, L/D=0.9$)

Key Words : 衝撃的上下動、環状軸対称局部座屈、ダイヤフラムの拘束効果

連絡先 : 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 武蔵工業大学土木工学科 TEL : 03-3703-3111 内線 3264

3-2 径厚比の影響

図-4は、 $t_2/t_1=1.3$ で $L/D=1.1$ 時の D/t_1 をパラメータとして1.0mm軸方向に変位させた時の鋼管半径方向の座屈形状を示した図である。この図より円筒殻の座屈モードは D/t_1 の変化に依存し、 D/t_1 が小さくなるに従い、座屈発生位置が上昇していく傾向にある。これは、鋼管上部の肉厚が大きくなることにより、変断面による偏心の影響に対して鈍感になったため、幾何学的境界条件の影響によって変断面部直上よりも先に鋼管上端部において座屈が発生したと考えられる。

3-3 径長比の影響

図-5は、 $t_2/t_1=1.3$ で $D/t_1=70$ 時の L/D をパラメータとして1.0mm軸方向に変位させた時の鋼管半径方向の座屈形状を示した図である。この図より円筒殻の変形形状は L/D の変化に依存し、今回の計算の範囲内においては L/D が大きくなるに従い、座屈発生位置が上昇していく傾向にあることがわかる。この現象は等断面殻の座屈波形についてまとめた文献³⁾にも L/D の上昇と共に座屈波形の上昇という同様の傾向が見て取れ、この現象が変断面殻についても適応できるのではないかと考えられる。

3-4 変断面部で局部座屈する幾何形状の範囲

今回の解析範囲内において変断面部で局部座屈する変断面鋼管の幾何寸法を図-6にまとめる。図-6より変断面部で局部座屈する幾何寸法は非常に限られた範囲内であることがわかる。兵庫県南部地震の変断面部で局部座屈した鋼製円筒橋脚のダイヤフラム間の形状は、本報告の解析範囲内にあり、鋼製円筒橋脚が局部座屈した原因の一つとして、衝撃的な上下動の可能性が考えられ、これについて別途報告⁴⁾した。

4. おわりに

本報告では、鋼製円筒橋脚のダイヤフラム間の形状に注目し、幾何パラメータである径厚比、径長比および肉厚比をパラメータとした弾塑性パラメトリック解析を行い、静的軸圧縮载荷の下で幾何形状が変断面鋼管の局部座屈モードに及ぼす影響を検討した。以下にその結果を述べる。

1. 変断面鋼管の上記パラメータの値によって座屈モードは変化し、変断面部直上もしくは鋼管上端部付近に座屈が発生するという2つのモードに大別できる。また、径厚比が大きいほど、径長比が小さいほど、肉厚比が小さいほど、変断面部直上で局部座屈しやすくなる。
2. 変断面部で局部座屈する幾何形状は、実際の鋼製円筒橋脚の諸元を考慮すると、図-6に示す $L/D=0.9, D/t_1=85, t_2/t_1=1.4$ を中心とする比較的狭い範囲内にあり、兵庫県南部地震で局部座屈が発生した鋼製円筒橋脚のダイヤフラム間の形状はこの範囲内にあることが確認された。

[参考文献]

- 1) 三木ら:断面変化部を有する円形断面鋼製橋脚の耐震性能の検討,土木学会論文集 No.605/I-45,117-127,1998.10
- 2) 奥田ら:高架橋橋脚モデルの線爆装置による衝撃破壊実験,第54回年次学術講演会 I-B298,1999.9
- 3) N. Yamaki: Elastic stability of circular cylindrical shells, Amsterdam, North-Holland, 1984
- 4) 森, 石川, 鈴木, 増田:衝撃的突き上げを受ける変断面鋼管の局部座屈現象に関する実験的研究,土木学会第28回関東支部技術研究発表会,2001.3

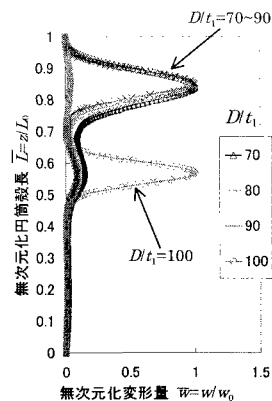


図-4 径厚比が座屈波形に及ぼす影響
($t_2/t_1=1.3, L/D=1.1$)

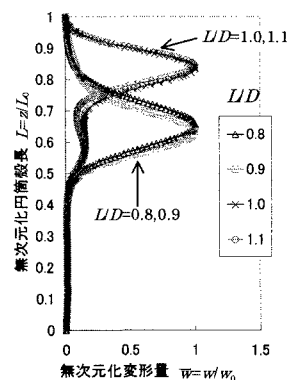


図-5 径長比が座屈波形に及ぼす影響
($t_2/t_1=1.3, D/t_1=70$)

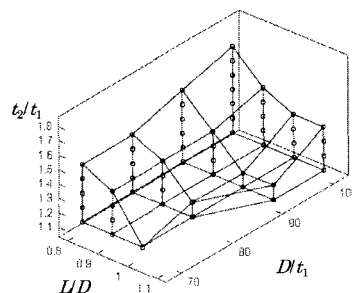


図-6 変断面部で局部座屈する幾何形状の範囲