

引張・圧縮を受ける円形鋼管部材の局部座屈および履歴挙動

正会員 ○ 越智健之^{*1}

(曲げ座屈と局部座屈の特性を表現する数式)

同 黒羽啓明^{*2}

| | | |
|---------|--------------------|------------------|
| X4. 解析解 | Y2. 筋かい トラス構成部材 | Z3. 曲げ座屈 局部座屈 |
|---------|--------------------|------------------|

1.はじめに 文献1)に述べた解析法を使用すれば局部座屈を伴う曲げ座屈後の挙動を大略説明することができる。しかし、曲げ座屈後の挙動にはさらに簡単な表現が必要であり²⁾、局部座屈により耐力が低下を始める変形についても同様である。ここでは文献1)と同じ考え方に基づいた近似解を提案する。ただし、力学的に厳密性のある解ではなく、前報¹⁾の解析法の特徴を捉えるように、M-N相関線などを適当に仮定した解析である。

2.局部座屈前の挙動 井上³⁾は理想サンドイッチ断面の曲げ座屈後の荷重-変形関係を陽関数で与えている。ただし、理想サンドイッチ断面では図.1の破線が相関式となり、実線で示した円形断面の相関式と大きく異なる。しかし、曲げ座屈後の荷重-変形関係は相関式の形状にあまり依存しない³⁾ので直線とし、断面2次モーメントを薄肉円形鋼管の断面と一致させた理想サンドイッチ断面の全塑性モーメント M_p' (1.11 M_p)の相関式(図.1中一点鎖線)を用いる。すなわち、円形断面の部材であっても、曲げ座屈後は井上の結果³⁾をそのまま使用する。 U_o : 軸方向塑性変形

$$n = \pm \frac{1}{\sqrt{1 + 0.5 \lambda^2 \cdot U_o / l}} \quad (1) \text{ 文献3)}$$

軸力比 n の正は圧縮、負は引張である。無次元化径厚比との関連で、(1)式に無次元化細長比 λ' を用いると次式となる。 U_y : 降伏軸方向変形

$$n = \pm \frac{1}{\sqrt{1 + 0.5 \cdot \pi^2 \cdot \lambda'^2 \cdot U_y / U_o}} \quad (2)$$

3.局部座屈後の挙動 局部座屈前の相関線が図.3の実線であるとすれば、局部座屈後は一定比で相関線が小さくなることとして図.3の破線とする。また、二段の剛塑性モデル¹⁾の局部座屈後の応力 σ_d から μ を次式とする。

$$\mu = (1 + \sigma_d / \sigma_y) / 2 \quad (3)$$

$$\sigma_d / \sigma_y = 1.29 (\sqrt{D/t} + 2.94 - \sqrt{D/t} - 1) \text{ 文献1)}$$

理想サンドイッチ断面では局部座屈後の断面力が全塑性モーメントの半分以下にはならないので、(3)式を仮定した。局部座屈後は(1)式の仮定³⁾に基づいて(4)式が得られる。

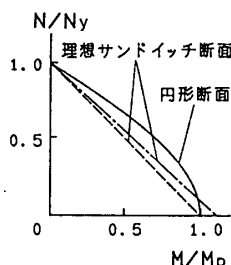


図.1 曲げモーメントと軸方向力の相関式

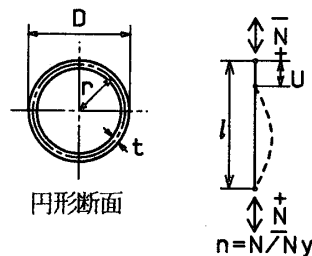


図.2 変形状態

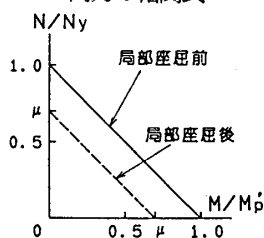


図.3 局部座屈後のM-N相関式(圧縮側)

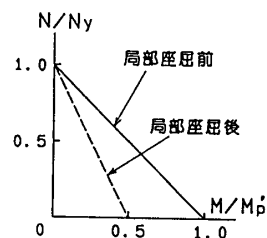


図.4 局部座屈後のM-N相関式(引張側)

$$n = \frac{\mu}{\sqrt{1 + 0.5 \cdot \pi^2 \cdot \lambda'^2 \cdot U_o / U_y}} \quad (4)$$

局部座屈後に引張領域へ荷重が反転した場合には、圧縮側よりも耐力が低いので、相関式の M_p' の比率は μ より小さい1/2とする。また、横たわみが消滅すると軸方向力は引張降伏応力に復帰することから、図.4の破線の相関式を仮定する。(1)式の仮定³⁾に基づいて次式となる。

$$n = - \frac{1}{2\sqrt{1 + 0.5 \cdot \pi^2 \cdot \lambda'^2 \cdot U_o / U_y} - 1} \quad (5)$$

4.局部座屈前後の境界 耐力が低下を始めるときのひずみ ϵ_m を既知とするので、曲率 ϕ と横たわみ W の関係が必要である。文献1)と同様に ϕ が次式で与えられるとする。

$$\phi = (\pi/l)^2 \cdot W \quad (6)$$

理想サンドイッチ断面では中立軸が一方のフラジ内にあるので、圧縮側のひずみ ϵ_o は次式となる。

$$\frac{\epsilon_o}{\epsilon_y} = \frac{2i\phi}{\epsilon_y} = \frac{2}{\lambda'^2} \left(\frac{1}{n} - 1 \right)$$

ϵ_m に次式の実験式を使用する。

$$\frac{\epsilon_m}{\epsilon_y} = 0.205 \left(\frac{\sigma_y}{E} \cdot \frac{D}{t} \right)^{-1.39} \quad (7)$$

$\varepsilon_o = \varepsilon_m$ とすると耐力が低下時の軸力比 n_m は

$$n_m = \frac{1}{\left(1 + \frac{\varepsilon_m \cdot \lambda'^2}{\varepsilon_y \cdot 2}\right)} \quad (8)$$

(2)式が n_m と等しいときに耐力が低下を始めるとして、塑性変形 $U_{p,max}$ を求めると

$$\frac{U_{p,max}}{U_y} = \frac{2}{\pi^2} \cdot \frac{\varepsilon_m}{\varepsilon_y} + \frac{\lambda'^2}{2\pi^2} \cdot \left(\frac{\varepsilon_m}{\varepsilon_y}\right)^2 \quad (9)$$

なお、 $\varepsilon_m/\varepsilon_y$ は(7)式である。また、圧縮領域において軸方向変形が(9)式の値になれば荷重-変形関係は(2)式から(5)式に移行することとする。(2)式から(5)式に荷重-変形関係が変わっても相関式が変化するのみであるので、横たわみは連続することになる。

5. 弾性変形領域 横たわみがある状態での曲げの弾性変形を軸方向の変形に換算すると塑性変形と同じような挙動を示す。弾性除荷領域の横たわみと軸方向力の関係は次式となる。

$$n = \frac{1}{\lambda'^2} \left(1 - \sqrt{\frac{2W_0^2}{l U_E}}\right) \quad (10)$$

$n=0$ の時点の残留横たわみ W_0 には、荷重が反転した時点の荷重 N_1 と横たわみ W_1 が必要である。前述の仮定に従うと横たわみ W_1 は軸方向変形の関数となる。すなわち、

$$W_1 = i \left(\sqrt{1 + 0.5 \cdot \pi^2 \cdot \lambda'^2 \cdot U_1 / U_y} - 1\right)$$

となり、反転した時点の軸方向の塑性変形 U_1 を与えると W_1 が計算できる。また、

$$W_0 = (1 - N_1 / N_E) \cdot W_1$$

となり、反転時の荷重と軸方向変形が分かれば弾性領域の荷重-変形関係を与えることができる。

以上の解析手順を図.5に示す。これらの仮定に基づいた解析結果を図.6に示す。実線は実験結果^{1),4)}である。ただし、変形 U は U_p に弾性変形を足している。また、圧縮側の最大耐力は接線係数理論 N_c を基に加している¹⁾。

6. 結論 繰返し軸方向力を受ける部材の解析モデルに局部座屈の影響を単純な形で当てはめた。繰返し定変位振幅を受けた場合に耐力が低下していく挙動など表現できない挙動もあるが、局部座屈前後の耐力の違いと局部座屈により耐力が低下する変形量などの特徴は捉えている。

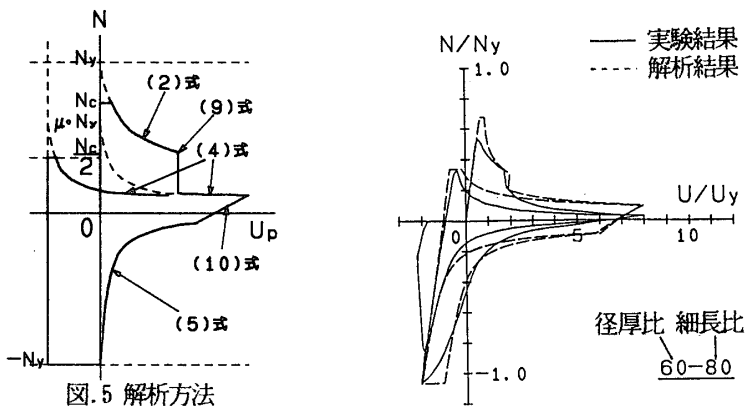


図.5 解析方法

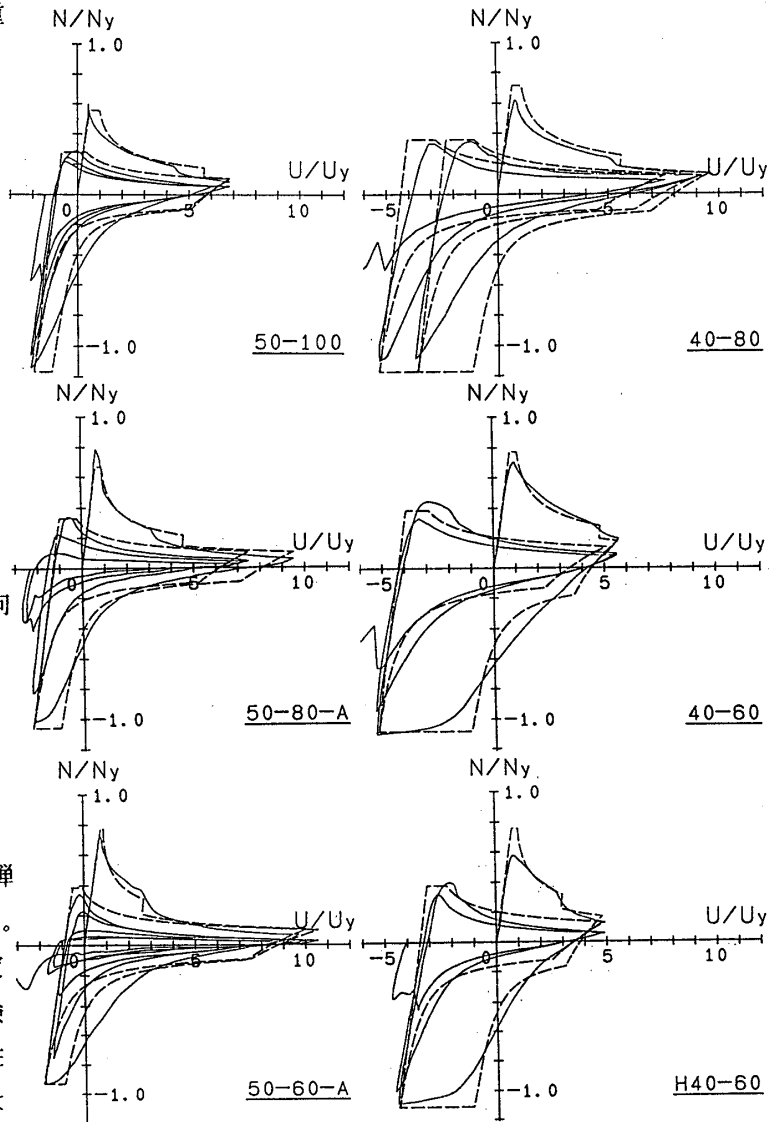


図.6 実験結果と解析結果

参考文献 1)越智,山下,小川,黒羽,村瀬:引張・圧縮を受ける円形鋼管部材の局部座屈および履歴挙動,日本建築学会構造系論文報告集,第417号,1990.11 2)日本建築学会:鋼構造限界状態設計規準(案),1990 3)井上,清水:ブレース架構の保有水平耐力に関する考察,日本建築学会構造系論文報告集,第388号,1988.6 4)Matsumoto, Yamashita, Murase, Harada, Hashinaka, Sakamoto, Iida.: POST-BUCKLING BEHAVIOR OF CIRCULAR TUBE BRACE UNDER CYCLIC LOADINGS, Safety Criteria in Design of Tubular Structures, Tokyo 1987.2

*1熊本大学 助手・学博 *2熊本大学 教授・工博