

川崎重工業 正会員 当麻 庄 司
 Purdue Univ. W. F. Chen
 Exxon Prod. Res. Co. L. D. Finn

1. ま え が き

最近海洋構造物によく用いられるようになった溶接鋼管は、従来より構造用材としてよく使われていた圧延型鋼材に比べより複雑な製造過程を経るために、部材内部に種々の不完全性を含んでいる。まずその第1は、管のシーム溶接による軸方向の残留応力と、板曲げに伴う円周方向の残留応力による材料の不均一性があり、次に out-of-straightness と out-of-roundness の形状の不完全性がある。その外、溶接線部の板の目違いも挙げられる。このような溶接鋼管の軸圧縮強度に関してはすでに実験研究の報告があり、これに対してビームカラムアプローチの1つである Newmark の数値解法を用いて解析した結果も報告されている。ここでは、溶接鋼管が海洋構造物や海底パイプラインに使用されて静水圧を受ける場合、その静水圧の軸圧縮強度への影響を調べるために同じ Newmark 法を用いて解析した結果を示す。

2. ビームカラム解析法³⁾

ビームカラムの解析は次の2つの段階に分けられる。

(1) 部材断面のモーメント-曲率関係の解析 (2) 部材の軸圧縮力-たわみ関係の解析

部材断面のモーメント-曲率関係は、部材を柱として解析し軸圧縮力-たわみ関係を求める時の基礎となるものである。弾性範囲内では、モーメント-曲率関係は線形となるが、非弾性範囲では現象が複雑となり、現時点では電子計算機を利用した数値解析が最も有効な手段である。

今、ここで考慮される断面力と変形量は図1に示す通りであり、これらの間には次のような関係がある (Tangent Stiffness Method)。

$$\begin{Bmatrix} \dot{M}_x \\ -\dot{M}_y \\ \dot{P} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{13} \\ Q_{21} & Q_{22} & Q_{23} \\ Q_{31} & Q_{32} & Q_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\phi}_x \\ \dot{\phi}_y \\ \dot{\epsilon}_0 \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ここに剛性マトリックス $[Q]$ は、断面を細分化した各要素の剛性を数値積分することによって求められるが、弾性範囲内では対角項は弾性梁理論から求められる値と同じになり、その他の項は零となる。

また、非弾性範囲では各項とも零以外の値をもつ。そして、この式(1)を用いて繰返し計算を行なうことにより、結局図3に示すような断面のモーメント-曲率曲線が得られる。これは即ち、ビームカラム解析における広義の応力-歪関係とも解され、柱の解析における外力との釣合い条件を求めるのに用いられる。

3. 二軸応力状態における応力-歪曲線

今溶接管内におけるある点を考える時、この点には軸方向及び円周方向に予め残留応力が存在している。これに静水圧による円周方向の応力が加わり、更に軸圧縮力あるいは曲げモーメントによってこの点の軸方向応力が増加した場合、図2中の Tresca の降伏図に示すように応力点は始め鉛直に移動し、降伏の境界線上に到達した後はこの線上に沿って進むことになる。従って、初期降伏は一軸応力状態の降伏よりもずっと早く起こることになる。今ここで、応力点が初期降伏応力 σ_i に到達するまでは弾性挙動であり、この時のヤング率は E (弾性) に等しいことは明らかである。そして、この応力点が降伏境界線上を移動しついに σ_y に到達した時 (即ち一軸応力状態)、ヤング率は零になる (材料は完全弾塑性体と仮定)。

今、この間のヤング率の変化を線形と仮定すれば、この等価ヤング率は次の式で表わされることになる。

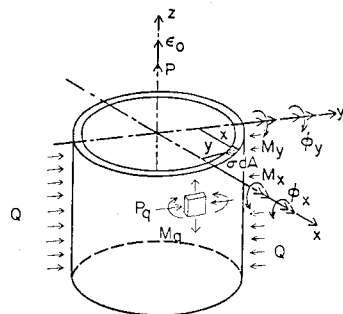


図1. Column Segment

$$E_{eff} = \frac{E}{\sigma_i - \sigma_y} (\sigma - \sigma_y) \quad (2)$$

このように定義された等価ヤング率は、式(1)中の剛性マトリックスの計算に用いられる。また、式(2)より、これを積分することによってその点の応力-歪関係を次のような式で表わすことができる(図2参照)。

$$\sigma = B e^{a\epsilon} + \sigma_y \quad (3)$$

ここに、Bとaは材料の強度や初期降伏応力によって決る定数である。

4. 計算結果

図3に式(1)を使って求めた断面のモーメント-曲率線を残留応力の影響、そして静水圧の影響を比較しながら示す。即ち、残留応力の影響は、弾性域から塑性域に移り変わる部分で剛性の低下が見られる。一方静水圧の影響は、軸力の小さい時に曲げモーメントの最大耐力に顕著な減少があるが、軸力が大きくなると静水圧による影響はほとんど見られない(ここに Q_{cr} は弾性解析によって求められる耐圧力である)。計算例では $D/t = 4.8$ とした。

このモーメント-曲率曲線を用いて、部材の軸圧縮強度を Newmark 法によって求めた結果を図4に示す。図中“+”印で示す点は、電算プログラムの精度確認のために理論値と比較したもので、両者がよく一致していることが解る。また、同図には比較のためにCRC(Column Research Council)曲線も示してあるが、溶接鋼管の軸圧縮強度はこれよりも低い。静水圧の影響は、形状誤差(out-of-straightnessとout-of-roundness)の2つのケースについて示してあるが、これによると形状誤差が大きくなると静水圧の影響が大きくなる。形状誤差が小さいと静水圧の軸圧縮強度への影響は非常に小さく、静水圧が非常に大きい時($Q/Q_{cr} = 0.8$)わずかに軸圧縮強度が低下する程度である。

参考文献

- 1) Chen, W.F., and Ross, D.A., "Test of Fabricated Tubular Columns," Journal of Structural Div., ASCE, Vol. 103, No. ST3, Mar., 1977.
- 2) Toma, S., and Chen, W.F., "Analysis of Fabricated Tubular Columns," Journal of the Structural Div., ASCE, Vol. 105, No. ST11, Nov., 1979.
- 3) Chen, W.F. and Atsuta, T., "Theory of Beam-Column, Vol. 1, In-Plane Behavior and Design", McGraw-Hill, New York, 1976.

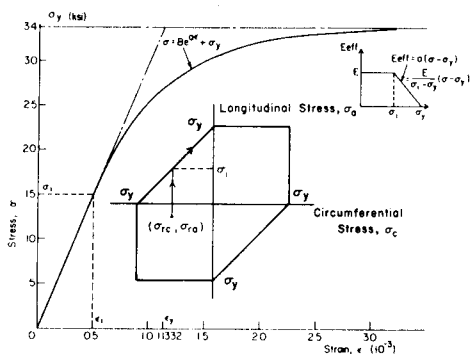


図2. Biaxial Stress-Strain

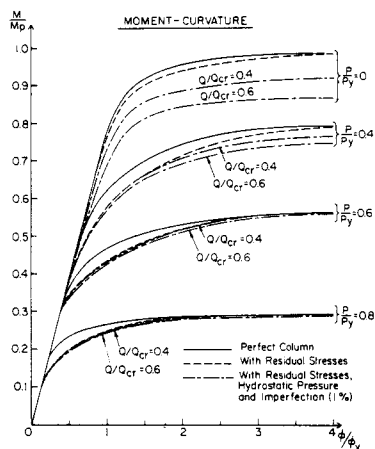


図 M-P-φ-Q Relations

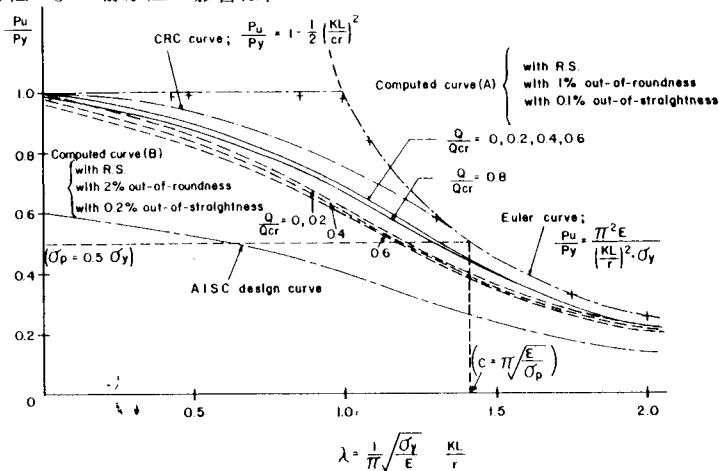


図4. Axial Strength of Tubular Columns