

軸力変動を受ける円筒断面鋼製部材の $M-\Phi$ 関係

長崎大学工学部 学生会員 ○林浩二郎
長崎大学工学部 フェロー会員 高橋和雄

長崎大学工学部 正会員 中村聖三
長崎大学大学院 学生会員 呉 慶雄

1. はじめに

本研究では、曲げとともに軸力の変動を生じる円筒断面鋼製部材に着目し、径厚比、細長比などの構造パラメータおよび軸力変動の大きさをパラメトリックに変化させた FEM 解析を行い、 $M-\Phi$ 曲線の形状に及ぼすそれらの影響を調査する。

2. 解析概要

2. 1 解析モデルの諸元

文献¹⁾のモデルを参考に設定した表-1のような5種類のモデルについて解析を行う。板厚中心の直径 D 、有効破壊長 L は設定したパラメータ R_t 、 t を用いて式 (1)、(2) よりをそれぞれ算定している。解析には初期不整として初期たわみと溶接による残留応力を考慮している。初期たわみについては、部材軸方向に式 (3) に示される半波のサイン波を仮定し、 $\omega_{\max}$ を 0.0025L とする。また、残留応力は図-1 のように設定する。

$$R_t = \sqrt{3(1-\nu^2)} \cdot \frac{\sigma_y}{E} \cdot \frac{r}{t} \quad (1)$$

$$\frac{L}{D} = \frac{0.585}{R_t^{0.08}} - 0.580 \quad (2)$$

$$\omega = \omega_{\max} \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot z}{L}\right) \quad (3)$$

ここに、 σ_y : 降伏応力、 E : ヤング率、 ν : ポアソン比、 r : 板厚中心半径、 t : 板厚、 D : 板厚中心直径、 L : モデル高さである。なお、表-1 に示した値を求めるに際しては $\sigma_y = 235 \text{ N/mm}^2$ 、 $E = 2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 、 $\nu = 0.3$ としている。鋼材の応力-ひずみ関係は、図-2 に示したようにトリリニア (3 次勾配 $E_{st} = E/40$) とする。

解析には MARC K7.3 を用いる。高さ方向の対称性を考慮し、解析対象部材の上側半分をシェル要素 (No.75) で図-3 のようにモデル化する。要素 75 は、全体座標系での変位と回転角を自由度として有する 4 節点厚肉シェル要素である。要素分割については、高さ方向に 8 分割、断面の周方向に 30 分割する。

2. 2 解析方法

モデルの下端は対称条件から Z 軸方向変位および X 、 Y 軸周りの回転を固定し、上端については、平面保持が成り立つような拘束条件²⁾を与えている。载荷条件としては、モデル上断面中心部に溶接部分が引張を受けるように全体座標系の Y 軸回りに回転変位 θ を与えると同時に、同じ位置に軸力を与える。軸力は図-4 に示すように、初期軸力 P_i から最終軸力 P_f まで時間 (回転角) に対して線形に増加させる。ここでは軸力変動の大きさを表すパラメータとして、式 (4) で定義される α を用いる。

$$P_i = \frac{1}{\alpha} \cdot P_f \quad (4)$$

表-1 解析モデルの諸元

	D (mm)	t (mm)	L (mm)	D/t	R_t	L/D
1	3980	20	350.2	199.0	0.188	0.0880
2	5308	20	398.0	265.4	0.250	0.0750
3	6636	20	411.4	331.8	0.313	0.0620
4	7962	20	420.0	398.1	0.375	0.0528
5	10616	20	407.0	530.8	0.500	0.0383

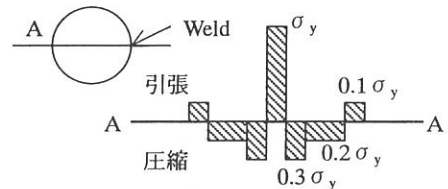


図-1 残留応力の分布

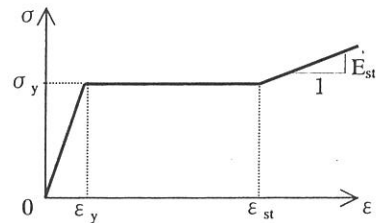


図-2 応力-ひずみ曲線

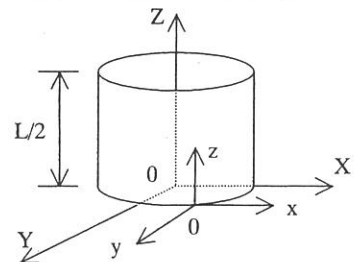


図-3 解析モデル

最終軸力 P_f の最大値として降伏軸力の 6 割程度までを考え、現実的な値として、 $0.2P_y$ 、 $0.4P_y$ 、 $0.6P_y$ の 3 通りについて調査する。軸力変動の大きさは最大でも初期軸力の 3 倍程度と想定し、3 種類の P_f に対して α を 1.0、2.0、3.3 と変化させて解析する。 $\alpha=1.0$ の場合は軸力変動がなく、 $0.2P_y$ 、 $0.4P_y$ 、 $0.6P_y$ の軸力を一定に載荷していることを意味する。なお、軸力が最終軸力に到達する点は、図-4 に示すように、 $\alpha=1.0$ の場合に曲げモーメントが最大となる時間（回転角）とし、 P_f に到達後は一定値を保つものとする。

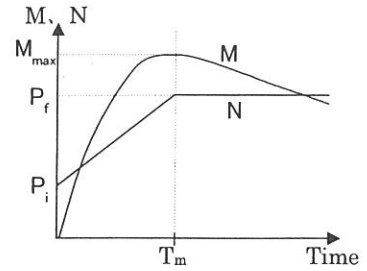


図-4 載荷方法

3. 解析結果および考察

曲げモーメント M と回転変位 θ の関係を、降伏曲げモーメント M_y 、降伏回転角 θ_y でそれぞれ無次元化して図-5 に示す。他の条件が同じ場合、径厚比 R_t が大きくなるにつれて耐荷力およびそれに対する変形能が低下している。同じ R_t 、 P_f で軸力変動 α の大きさの影響を見ると、 α が 1.0 から 2.0 になることにより、最大曲げモーメントに対する変形能が大きく減少している。 α の増大に伴い、すべての図で $M-\theta$ 曲線のピークが左上に推移していることから、最大耐荷力は増すがその変形能は小さくなることがわかる。この傾向は P_f の増加に伴い顕著に現れてくる。

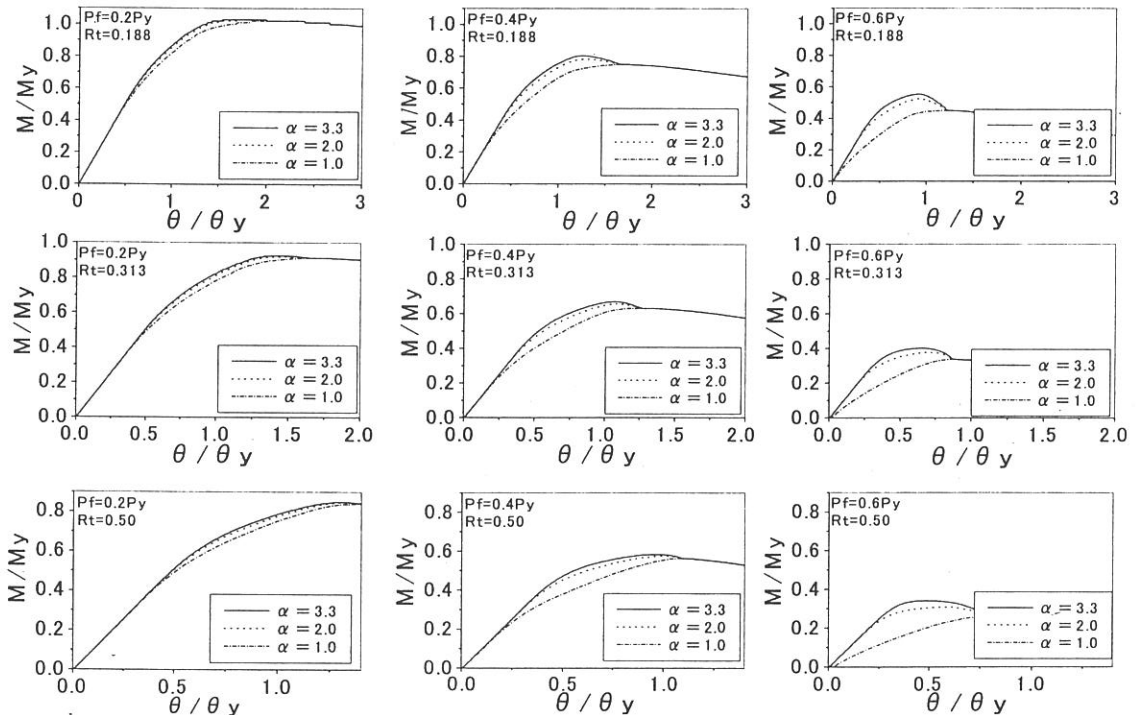


図-5 解析結果

4. まとめ

今回の研究では、変動軸力を受ける円筒断面鋼製部材の $M-\Phi$ 関係を示し、最大耐荷力およびそれに対する変形能に関して軸力変動の影響を調査した。今後、本研究成果をもとに、軸力変動を考慮した対象部材の限界ひずみの算定式について検討する予定である。

[参考文献] 1) Gao, S.B., Usami, T. and Ge, H.B.: Ductility of steel short cylinders in compression and bending, J. Engrg. Mech., ASCE, 124(2), pp.176-183, 1998. 2) 中村聖三、小林明弘、高橋和雄: 円筒断面鋼製橋脚の弾塑性挙動に及ぼす軸力変動の影響、鋼構造年次論文集報告集第 9 巻, pp.345-352, 2001.11.