

曲げおよび軸力の変動を受ける円筒断面鋼製部材の弾塑性挙動

長崎大学大学院 学生会員 ○林浩二郎 長崎大学工学部 正会員 中村聖三
 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 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、耐荷力、変形能および吸収エネルギー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9種類のモデルについて解析を行う。板厚中心の直径 D 、部材長 L は設定したパラメータ R_t 、 t を用いて式(1) (2) より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を与えている。載荷条件としては、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わ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

モデル	D (mm)	t (mm)	L (mm)	D/t	Rt	L/D
1	1062	20	173.6	53.1	0.050	0.1635
2	1328	20	199.2	66.4	0.063	0.1500
3	1988	20	252.6	99.4	0.094	0.1271
4	2656	20	292.2	132.8	0.125	0.1100
5	3980	20	350.2	199.0	0.188	0.0880
6	5308	20	398.0	265.4	0.250	0.0750
7	6636	20	411.4	331.8	0.313	0.0650
8	7962	20	420.0	398.1	0.375	0.0528
9	10616	20	407.0	530.8	0.500	0.0383

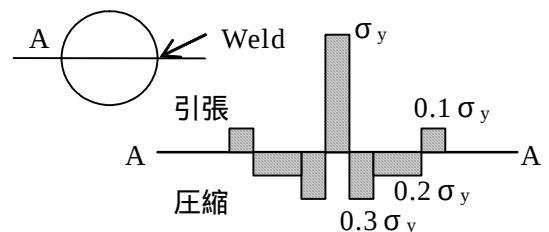


図-1 残留応力の分布

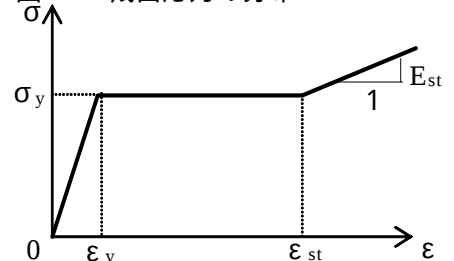


図-2 応力-ひずみ関係

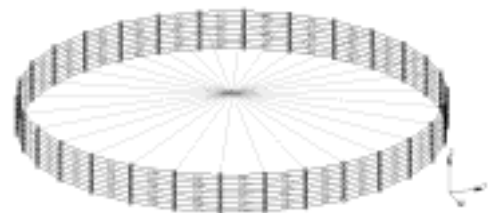


図-3 解析モデル

キーワード：円筒断面鋼製部材，軸力変動，弾塑性挙動，耐荷力，変形能

連絡先：〒852-8521 長崎市文教町 1-14 長崎大学工学部社会開発工学科（TEL & FAX）095-819-2613

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、1.5、2.0、3.0 と変化させて解析する。 $\alpha = 1.0$ の場合は軸力変動がなく、 $0.2P_y$ 、 $0.4P_y$ 、 $0.6P_y$ の軸力を一定に载荷していることを意味する。なお、軸力が P_f 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、到達後は一定値とする。

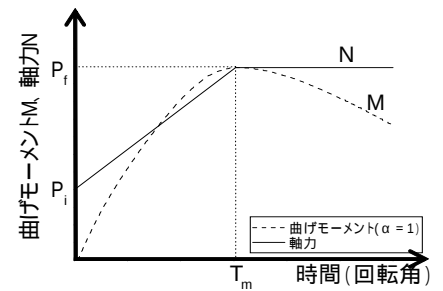


図 - 4 载荷方法

3. 解析結果および考察

解析により得られたモーメント - 回転角履歴曲線データから、曲げモーメントの最大値 M_u とそれに対する圧縮縁でのひずみ ε_u を算定し、耐荷力を M_u で、変形能を ε_u で評価する。吸収エネルギー U については、同履歴曲線において M_u に達するまでに曲げモーメントがなした仕事とする。図 - 5 からわかるように、最大耐荷力は α が増加するに従って増加する。最終軸力が $0.2P_y$ と $0.4P_y$ の場合には、径厚比パラメータの値にかかわらず、最大耐荷力はやや増加している程度であるが、 $0.6P_y$ で径厚比パラメータが小さい場合にはその増加が顕著に現れてくる。また変形能は、図 - 6 に示すように α の増加に対して $\alpha = 1.5$ までに大きく低下し、それ以降はなだらかに低下する。吸収エネルギーに対する軸力変動率 α の影響は、変形能の場合に類似している。すなわち、図 - 7 のように α が 1.0 から 1.5 に増加するときに著しい低下を示している。

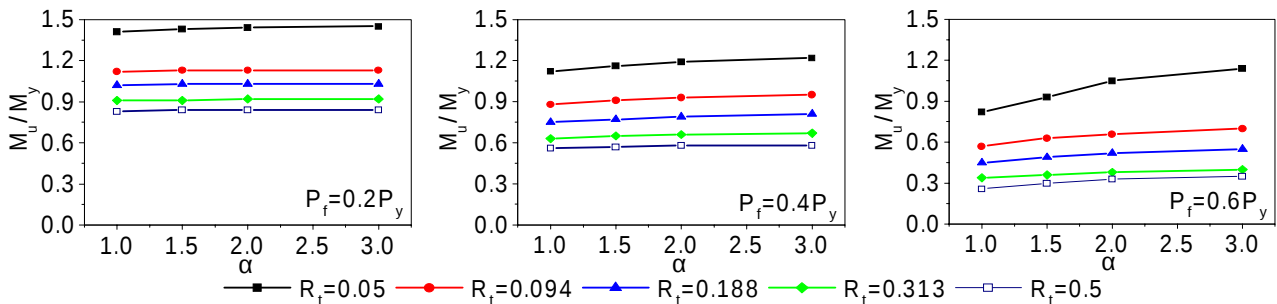


図 - 5 耐荷力に及ぼす軸力変動率の影響

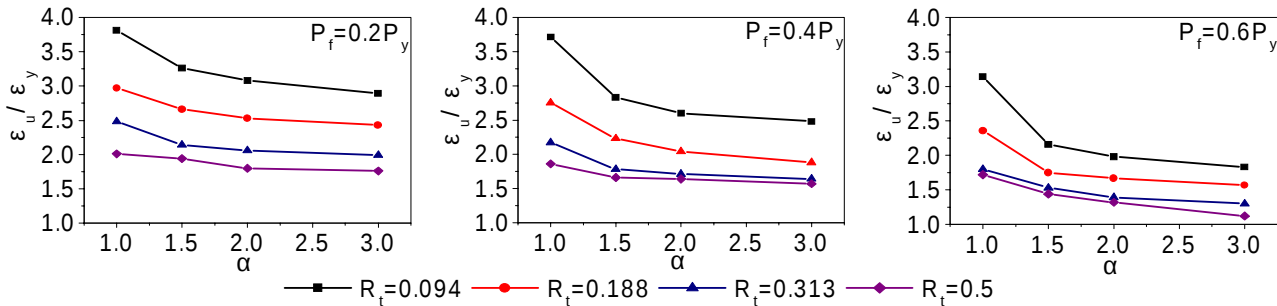


図 - 6 変形能に及ぼす軸力変動率の影響

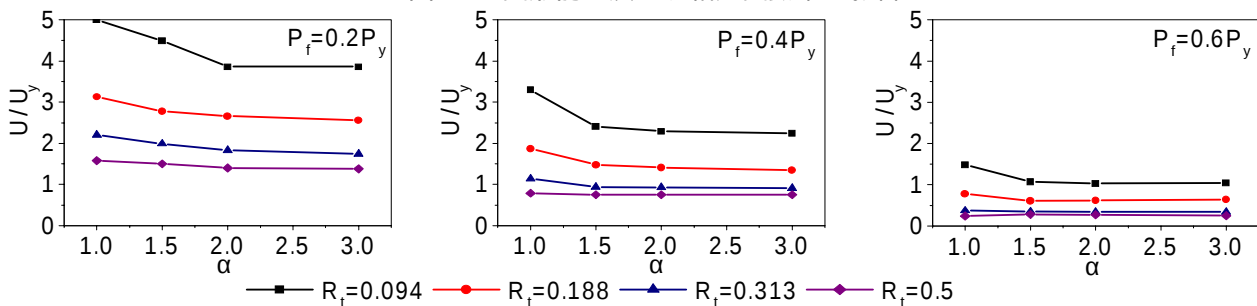


図 - 7 吸収エネルギーに及ぼす軸力変動率の影響

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 - θ 関係から、最大耐荷力、変形能、および吸収エネルギーに対する軸力変動の影響を調査した。今後は、断面形状の異なる場合も解析し、最終的には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 ら : Ductility of steel short cylinders in compression and bending, J. Engrg. Mech., ASCE, 124(2), pp.176 ~ 186, 1998