鋼製補剛箱形断面部材の弾塑性曲げ挙動に及ぼす軸力変動の影響

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　　高橋 和雄　　長崎大学工学部　正会員　呉 慶雄

1．はじめに

アーチ橋や門形ラーメン橋脚などの場合，その面内に地震力が作用すると部材に大きな軸力変動が生じることが明らかにされている．現在までに軸力が一定の場合の弾塑性挙動に関しては詳細に検討されている．しかし，軸力が変動する場合に関する報告についてはあまりなされていない．そこで本研究では，鋼製補剛箱形断面のダイアフラム間を対象とし，補剛板の幅厚比，軸力変動などの主要パラメータを変化させた弾塑性有限変位解析を行い，軸力変動が生じる場合の弾塑性曲げ挙動を明らかにし，軸力変動が，耐荷力や変形能に及ぼす影響について検討する．

2．解析概要

2.1 解析モデルの諸元

本研究では，既往の研究[1)]を参考に**表－1** に示す補剛板の幅厚比パラメータ R_f が 0.3 から 0.65 までの 8 種類のモデルを作成し，補剛板の板厚 t と補剛材の板厚 t_s を一律 20mm，補剛材剛比 γ/γ^*=1.0 として解析を行う．断面形状は，補剛材を一辺に 2 本均等に配置した正方形箱形断面とし，縦横比 A については短柱の最小強度となる 0.7 とする．なお，補剛板幅などの諸数値は式(1)～(4)より算出している．

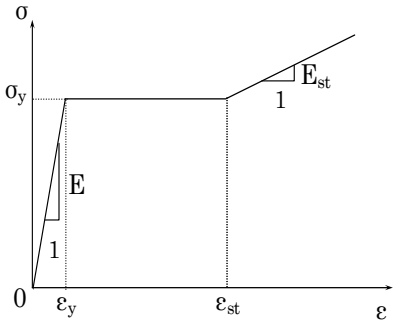
表－1 解析モデルの諸元

model	1	2	3	4	5	6	7	8
R_f	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65
b(mm)	1013.3	1182.2	1351.1	1520.0	1688.8	1857.7	2026.6	2195.5
t(mm)	20	20	20	20	20	20	20	20
a(mm)	709.3	827.5	945.8	1064.0	1182.2	1300.4	1418.6	1536.8
b_s(mm)	90.6	94.5	98.2	101.6	104.7	107.7	110.5	113.1
t_s(mm)	20	20	20	20	20	20	20	20
$\bar{\lambda}_s$	0.29	0.34	0.39	0.44	0.50	0.56	0.62	0.69

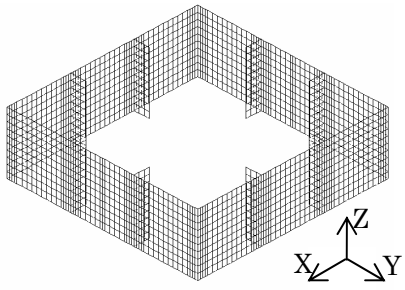
$$R_f = \frac{b}{t}\sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}}\sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \quad (1) \qquad \bar{\lambda}_s = \frac{1}{\sqrt{Q}}\frac{a}{r_s}\frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \quad (2)$$

$$Q = \frac{1}{2R_f}[\beta - \sqrt{\beta^2 - 4R_f}] \quad (3) \qquad \beta = 1.33R_f + 0.868 \quad (4)$$

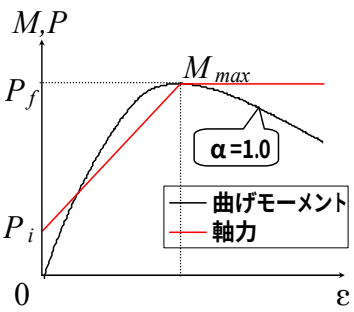
ここで，b:補剛板幅，t:板厚，σ_y:降伏応力，E:弾性係数，ν:ポアソン比，n:サブパネル数，b_s:補剛材高，t_s:補剛材板厚，a:ダイアフラム間隔，$\bar{\lambda}_s$:補剛材の細長比パラメータ，r_s:補剛材 1 本を含む T 型断面の断面 2 次半径，Q:縦補剛材で囲まれた板パネルの局部座屈強度である．モデルは鋼材 SS400 を想定し，σ_y=235N/mm^2，E=2.06×10^{5}N/mm^2，ν=0.3 とする．応力－ひずみ関係は**図－1** に示すようにトリリニアモデル(E_{st}=E/40, ε_{st}=10ε_y)としている．解析には MARC K7.3 を用いる．高さ方向の対称性を考慮し，解析対象部材の上半分をシェル要素(No.75)で，**図－2** のようにモデル化する．要素分割については，高さ方向 10 分割，サブパネル 17 分割，補剛材 3 分割とし，モデルの下端は対称条件から Z 軸方向変位および，X，Y 軸回りの回転を固定し，上端については平面保持の法則が成り立つような拘束条件を与えている．初期不整として，溶接による残留応力と初期たわみを考慮する．残留応力は，補剛材と断面端部の溶接部に隣接する要素において引張残留応力 σ_y を，他の要素は圧縮残留応力 0.3σ_y を与えている．初期たわみの与え方は，文献 2)と同様である．



図－1 応力－ひずみ曲線



図－2　解析モデル



図－3　軸力変動

2.2 載荷方法

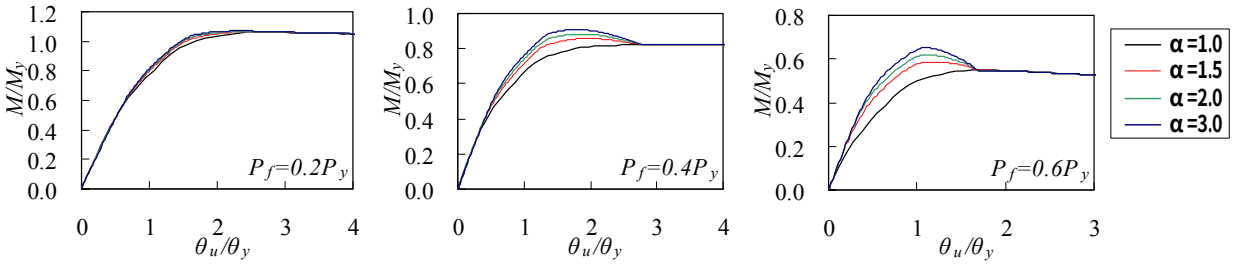
載荷方法については，モデル上端中心部に軸力 P と回転変位 θ を同時に与える．軸力は，**図－3** のように

軸力変動がない場合に曲げモーメントが最大値に達する時間と一致するように，初期軸力 P_i から最終軸力 P_f まで線形に増加させる．本解析では，軸力変動の大きさを表すパラメータとして式(5)で定義される α を用いる．P_f は降伏軸力の 0.2，0.4，0.6 倍を想定し，α を 1.0，1.5，2.0，3.0 と変化させて解析する．断面に作用する曲げモーメントは，θ に対する反力として与えられる．

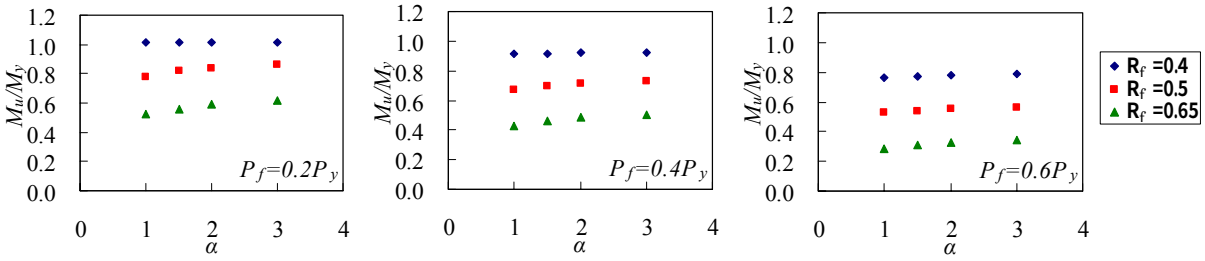
$$P_i = \frac{1}{\alpha} P_f \qquad (5)$$

3．解析結果

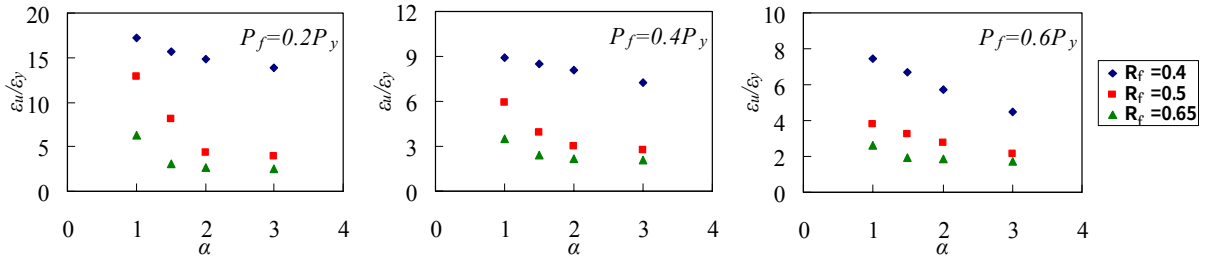
本研究では，M-θ 曲線において曲げモーメントの最大値を耐荷力，ピークから 95%に強度が低下した時点での圧縮側最外縁のひずみを変形能とする．以下のグラフには，解析結果から代表的な解析モデル R_f=0.4，0.5，0.65 について，耐荷力，変形能を軸力が作用しない場合の降伏曲げモーメント M_y，降伏ひずみ ε_y で無次元化して示している．**図－4** の M-θ 曲線をみると α の増加とともに最大曲げモーメントが左上に推移しているおり，耐荷力は増加するがそれに対する変形は小さくなることを示している．また P_f の増加に伴い耐荷力，変形能は著しく低下し，最大曲げモーメントに到達した後の耐荷力の劣化が急であることが認められる．**図－5，6** には耐荷力および変形能に対する α の影響を示している．耐荷力は，解析モデルすべてにおいて線形的な増加を示しており，R_f が 0.5 以上ではやや傾きが急になり約 2 割程度の増加となるが，それ以外では大きな差は見られない．変形能については，P_f=0.2，0.4P_y で R_f が 0.5 を超えると α=1.0～2.0 での低下が顕著な曲線的な変化をしているが，P_f =0.6P_y や R_f が 0.4 以下ではほぼ線形的に減少している．以上の結果から，軸力の変動は耐荷力より変形能に大きな影響を及ぼしており，軸力変動が生じる場合には，限界ひずみの算定式にこれらの影響を考慮すべきであると思われる．



図－4　曲げモーメント－回転角履歴曲線



図－5　耐荷力に対する軸力変動率の影響



図－6　変形能に対する軸力変動率の影響

4．まとめ

曲げおよび軸力の変動を受ける鋼製補剛箱形断面部材では，軸力変動は変形能への影響が著しいことが確認された．今後は，軸力変動を考慮した限界ひずみ算定式の確立を目的とする検討を実施したい．

参考文献 1) 葛ら：圧縮と曲げを受ける鋼部材セグメントの終局ひずみと鋼アーチ橋の動的耐震照査への応用,土木学会，構造工学論文集，Vol.50A，pp.1479～1488　2) 北田ら：圧縮と曲げを受ける無補剛･補剛薄肉箱形断面の終局強度相関曲線に関する研究，土木学会，　構造工学論文集，Vol.40A，pp.331～342