

軸力変動を受ける鋼製補剛箱形断面部材の弾塑性曲げ挙動

東急建設株式会社 正会員 ○稲吉紘彰 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 長崎大学工学部 正会員 呉 慶雄

1. 研究目的

地震発生時、特定構造物の主要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。本研究では、鋼製補剛箱形断面部材を対象として、補剛板の幅厚比パラメータや補剛材の細長比パラメータ、軸力変動率、補剛材剛比および最終軸力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、耐荷力や変形能、吸収エネルギーに対して各パラメータが及ぼす影響について検討する。

2. 解析概要

文献¹⁾を参考に、表-1のようにモデルを作成し解析を行う。同表の諸数値は、設定した補剛板の幅厚比パラメータ R_f 、補剛材の細長比パラメータ $\bar{\lambda}_s$ 、板厚 t の値に対して、式(1)、(2)、(3)および(4)より算出している。断面形状は正方形箱形断面とし、補剛材を一辺に3本均等に配置する。縦横比は短柱の最小強度となる0.7とする。

$$R_f = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{4n^2\pi^2}} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \quad (1) \quad \bar{\lambda}_s = \frac{1}{\sqrt{Q}} \frac{L_d}{r_s} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \quad (2)$$

$$Q = \frac{1}{2R_f} [\beta - \sqrt{\beta^2 - 4R_f}] \leq 1.0 \quad (3) \quad \beta = 1.33 R_f + 0.868 \quad (4)$$

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、 L_d ：ダイヤフラム間隔、 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。鋼材SS400を想定し、 $\sigma_y=235\text{N/mm}^2$ 、 $E=2.06 \times 10^5\text{N/mm}^2$ 、 $\nu=0.3$ とする。応力-ひずみ関係は図-1に示すトリリニアモデル($E_{st}=E/40$ 、 $\epsilon_{st}=10\epsilon_y$)とし、解析にはMARC K7.3を用いる。図-2に解析モデルを示す。要素分割は、高さ方向10分割、サブパネル12分割、補剛材3分割とし、モデル下端には対称条件、上端には平面保持が成り立つような拘束条件を与えている。初期不整は初期たわみと残留応力を考慮し、初期たわみは補剛板の全体的たわみ δ_G と補剛材間のサブパネルの局所的たわみ δ_L の和として与える。たわみ形状は δ_G と δ_L のそれぞれについて、最大値をダイヤフラム間隔の1/1000、縦補剛材間隔の1/150とする正弦波状とする。残留応力は図-3のように分布し、部材の高さ方向に一樣に生じているとする。なお、補剛材における残留応力は考慮していない。載荷条件として、モデル上端面中心部に回転変位と軸力を与える。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(回転変位)に対して線形に増加させる。なお、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。

表-1 解析モデルの諸元

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10
R_f	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80
$\bar{\lambda}_s$	0.18	0.21	0.24	0.32	0.29	0.58	0.50	0.46	0.48	0.61
γ/γ^*	2.84	2.73	2.67	1.95	2.99	0.89	1.49	2.24	2.47	1.75
$\bar{\lambda}$	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
L_d (mm)	1103	1261	1419	1576	1734	1892	2049	2207	2364	2522
h (mm)	9928	11431	12930	14479	15897	17572	19003	20433	21910	23461
b (mm)	1576	1801	2027	2252	2477	2702	2927	3153	3378	3603
t (mm)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
b_s (mm)	185	188	192	176	211	140	172	203	215	194
t_s (mm)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

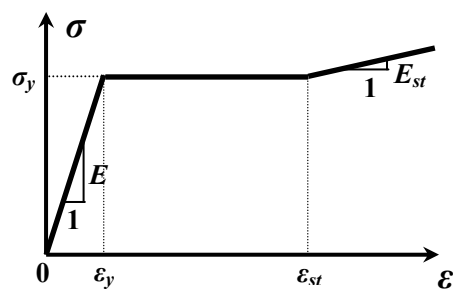


図-1 応力-ひずみ関係

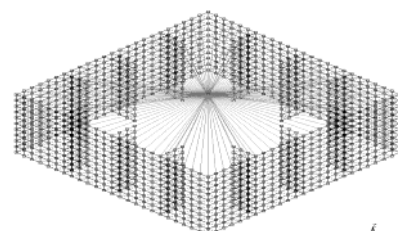


図-2 解析モデル

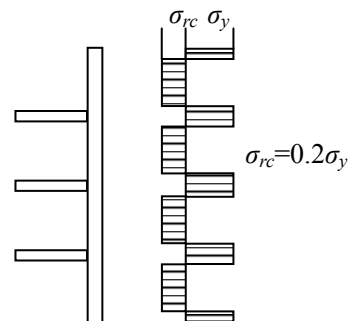


図-3 補剛板の残留応力

キーワード：鋼製補剛箱形断面、軸力変動、弾塑性挙動、耐荷力、変形能、吸収エネルギー

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

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

最終軸力は、 $0.2P_y$ 、 $0.4P_y$ 、 $0.6P_y$ 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と変化させて解析を行う．軸力が最終軸力に到達する点は、 $\alpha=1.0$ の場合に曲げモーメントが最大となる時間(回転変位)とし、到達後は一定値を保つとする．

3. 解析結果と考察

解析により得られた $M-\theta$ 履歴曲線より、耐荷力を最大曲げモーメント M_u で、変形能を終局ひずみ ε_u で評価する． ε_u はモーメントが M_u を過ぎてその95%まで低下した時点での圧縮側最外縁のひずみとする．吸収エネルギー U については、履歴曲線において曲げモーメントが M_u に到達するまでになした仕事とする．図-5より軸力変動率 α が増加すると耐荷力は増加している．軸力変動が及ぼす影響は、最終軸力が大きく、補剛板の幅厚比パラメータが小さい場合に顕著に現れることがわかる．変形能に対する軸力変動の影響を図-6に示す．軸力変動率 α が増加すると変形能が低下している．特に補剛板の幅厚比パラメータが小さくなるに従い、変形能は増加し、軸力変動率 α に対するその変化量も大きくなる．また、最終軸力が大きくなるほど変形能の低下率が大きくなっている．図-7より軸力変動率が増加すると吸収エネルギーが減少することがわかる．その傾向は変形能と同じ傾向である．つまり、最大曲げモーメントがあまり変化していないため、変形能が低下すると吸収エネルギーも減少していくことになる．

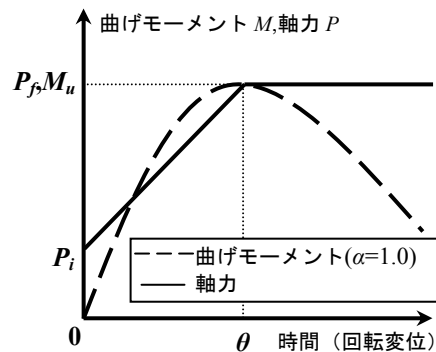


図-4 荷条件

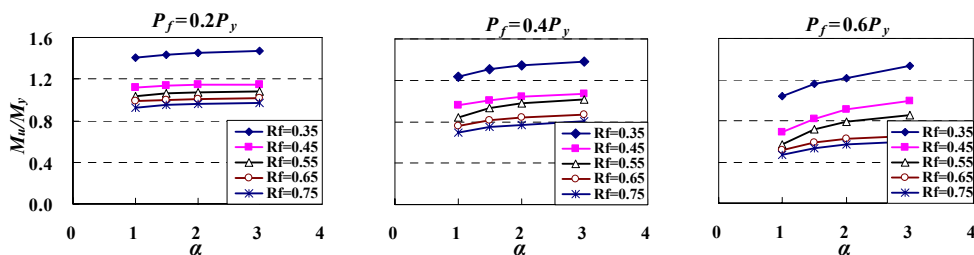


図-5 耐荷力に及ぼす軸力変動の影響

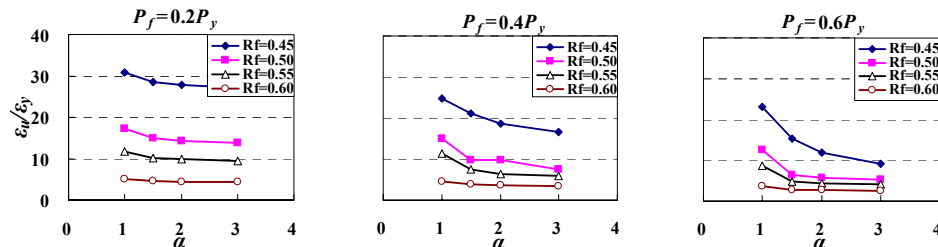


図-6 変形能に及ぼす軸力変動の影響

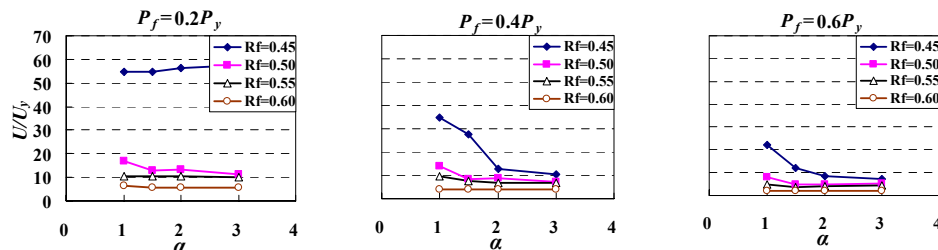


図-7 吸収エネルギーに及ぼす軸力変動の影響

4. 結論

本研究では、曲げとともに軸力の変動を受ける鋼製補剛箱形断面部材において、各パラメータが耐荷力や変形能、吸収エネルギーに及ぼす影響について明らかにした．今後の検討課題として、繰り返し载荷の場合や、補剛材の初期不整などの影響を明らかにすることが挙げられる．

[参考文献]1)葛漢彬，宇佐美勉，高聖彬：鋼製補剛箱形断面橋脚の繰り返し弾塑性挙動に関する解析的研究，構造工学論文集，vol.46A,pp.109-118,2000.3.