

軸力変動を受ける鋼製補剛箱形断面部材における弾塑性曲げ挙動

長崎大学工学部 学生会員 ○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. 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大きな軸力変動が部材に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、既往の研究により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、補剛箱形断面をもつ鋼部材を対象として、補剛板の幅厚比や補剛材細長比、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、耐荷力や変形能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. 解析モデルの諸元

文献¹⁾を参考に、表-1のように3種類のモデルを作成して解析を行う。補剛板幅 b やダイアフラム間隔 L_d などの諸数値に関しては、補剛板の幅厚比パラメータ R_f 、補剛材細長比パラメータ $\bar{\lambda}_s$ 、板厚 t を設定し、式(1)、(2)、(3)および(4)よりそれぞれ算出している。断面形状と縦横比については、正方形断面の箱形断面とし、補剛材を一辺に3本均等に配置する。縦横比はほぼ短柱の最小強度となる長さである0.7を用いて解析を行う。なお、解析において、初期不整の初期たわみと残留応力は考慮しない。

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

$$\bar{\lambda}_s = \frac{1}{\sqrt{Q}} \frac{L_d}{r_s} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \quad (2)$$

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

$$\beta = 1.33 R_f + 0.868 \quad (4)$$

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 ($n=4$)、 b_s : 補剛材高、 t_s : 補剛材板厚、 L_d : ダイアフラム間隔、 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。使用鋼種はSS400とし、表-1の値を求めるにあたり、 $\sigma_y=235\text{N/mm}^2$ 、 $E=2.06 \times 10^5\text{N/mm}^2$ 、 $\nu=0.3$ を用いている。鋼材の応力-ひずみ関係は図-1に示すトリニアモデル($E=E_{st}/40$ 、 $\epsilon_{st}=10\epsilon_y$)とする。

解析には、MARC K7.3を用いる。構造と荷重の対称性から解析時間短縮のため、高さ方向の上側半分をシェル要素(No.75)で図-2のようにモデル化する。要素分割については、高さ方向に10分割、補剛板を24分割、補剛材を3分割とする。

3. 解析方法

モデルの下端は対称条件よりZ軸方向変位および、X、Y軸回り

表-1 解析モデルの諸元

	R_f	γ/γ^*	L_d	$\bar{\lambda}_s$	b	t	b_s	t_s
No.1	0.50	1.95	1576	0.32	2252	20	176	20
No.2	0.55	2.99	1734	0.29	2477	20	211	20
No.3	0.60	0.89	1892	0.58	2702	20	140	20

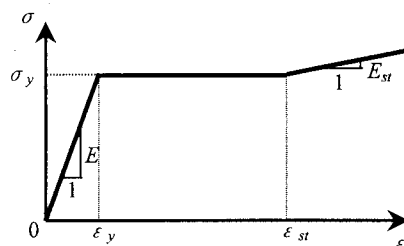


図-1 応力-ひずみ曲線

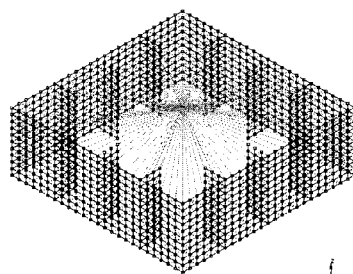


図-2 解析モデル

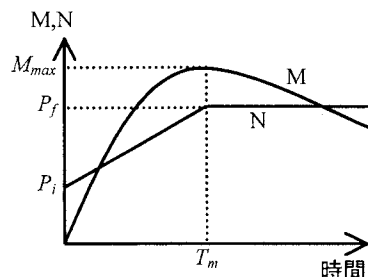


図-3 載荷方法

の回転モーメントを固定する。上端には、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、モデル上端面中心部に全体座標系のY軸回りに回転変位 θ を与えると同時に、同じ箇所にも軸力を与える。軸力は図-3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(5)で定義される α を用いる。

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

最終軸力 P_f の最大値として降伏応力の6割程度までを考え、 $0.2P_y$ 、 $0.4P_y$ 、 $0.6P_y$ 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、3.0と変化させて解析を行う。 $\alpha=1.0$ 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表す。なお、軸力が最終軸力に到達する点は、図-3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ときの時間(回転角)とし、 P_f に到達後は一定値を保つものとする。終局状態については、軸力と回転変位を加えた箇所の変曲げモーメントが、最大値を過ぎてその95%まで強度が低下した点とし、その時点での圧縮側最外縁のひずみを終局ひずみ ε_u とする。

4. 解析結果および考察

得られた解析結果の例を図-4、5に示す。図-4の $M-\theta$ 曲線より、軸力変動率が大きくなるに従い、曲げモーメントのピークが左上に移動していることが分かる。これは、線形的に増加する場合には、軸力が一定の場合と比較して耐力は増加し、変形能は低下することを示している。さらに、このことは最終軸力が大きいときほど顕著に現われている。このように、軸力変動率が耐力や変形能に対して大きな影響を及ぼしていることが分かる。また、耐力が、

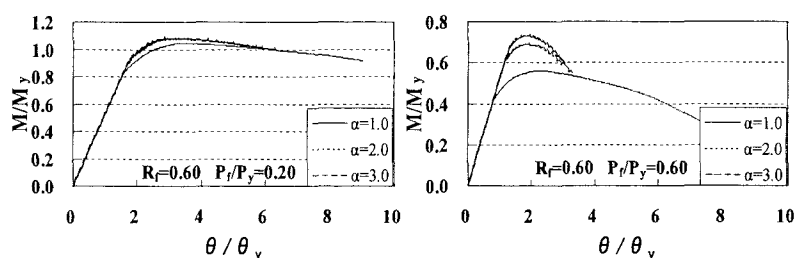


図-4 M- θ 曲線

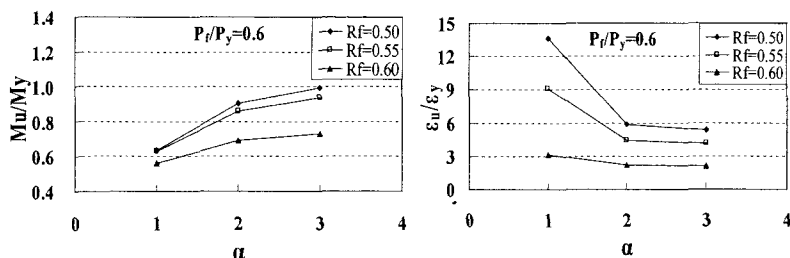


図-5 耐力、変形能に対する軸力変動の影響

変形能(終局ひずみ)に対する軸力変動の影響を示した図-5から分かるように、幅厚比パラメータが小さくなるに従い、変形能は向上し、軸力変動率 α に対するその変化量も大きくなる。また耐力についても、幅厚比パラメータが小さいほど α の影響が大きくなっている。すなわち、耐力、変形能ともに幅厚比パラメータが小さい場合に軸力変動の影響が大きくなるといえる。

5. まとめ

本研究では、軸力変動を受ける鋼製補剛箱形断面部材における弾塑性曲げ挙動について示し、幅厚比パラメータや軸力変動などの主要パラメータが、変形能および耐力に及ぼす影響について調査した。今後は幅厚比パラメータの範囲を広げ、それぞれのパラメータが及ぼす影響について、より詳細な検討をする予定である。

[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. 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.