

軸力変動下で曲げを受ける鋼製補剛箱形断面部材の終局ひずみ

長崎大学工学部 学生会員 ○吉田亜希子 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 Osman Tunc CETINKAYA 長崎大学工学部 フェロー 高橋和雄

1. まえがき

アーチ橋や門形ラーメン橋脚など, その面内に地震力が作用した場合に軸力変動を伴う部材の終局ひずみに対しては, 生じる最大軸力が一定して作用したものととして考え, 一定軸力条件下で構築された式を準用しているのが現状である. 安全側の設計という観点からはこうした方法は適切であると考えられるが, 軸力変動を考慮した算定式を確立することでより合理的な設計が可能となる可能性がある. このような背景から, 本研究では, 軸力の変動を生じる鋼製補剛箱形断面のダイアフラム間に着目し, 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要素解析を行い, 軸力変動が耐力力や変形能に及ぼす影響について検討し, 軸力変動の影響を考慮した終局ひずみの算定式を提案する.

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, 補剛材を一辺に 2 本ずつ等間隔に配置した正方形断面に対して, R_f を 0.35 ~ 0.65, 補剛材剛比を $\gamma/\gamma^*=1.0, 3.0$ と変化させ, 補剛板の板厚 t と補剛材の板厚 t_s を一律 20mm とし解析を行う. 解析モデルの諸元を表 - 1 に示す. 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.

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

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

ここで, R_f : 幅厚比パラメータ, b : 箱形断面のフランジ幅, t : 板厚, σ_y : 降伏応力, E : 弾性係数, ν : ポアソン比, a : ダイアフラム間隔, $\bar{\lambda}_s$: 縦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. 鋼材は SS400 を想定し, $E=2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_y = 235 \text{ N/mm}^2$, $\nu=0.3$ としている. 応力 - ひずみ関係は図 - 1 に示すようなモデルとする. 解析には MARC 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, モデルの下端は対象条件から 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を, 他の要素には圧縮残留応力を与えている. 初期たわみの与え方は, 文献 2) と同様である.

2.2 載荷方法

図 - 3 に載荷方法を示す. モデル上端中心部に軸力 P と回転変位 θ が同

表-1 鋼製補剛箱形断面部材モデルの諸元

model	R_f	b (mm)	t, t_s (mm)	h_s (mm)	a (mm)	$\bar{\lambda}_s$
1	0.35	1202.2	20	141.0	827.5	0.21
2	0.4	1371.1	20	146.1	945.8	0.25
3	0.45	1540.0	20	150.8	1064.0	0.28
4	0.5	1708.8	20	155.2	1182.2	0.31
5	0.55	1877.7	20	159.3	1300.4	0.35
6	0.6	2046.6	20	163.3	1418.6	0.39
7	0.65	2215.5	20	167.0	1536.8	0.43

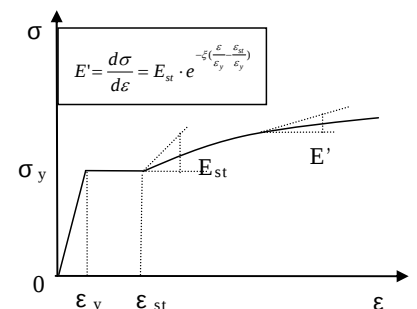


図 - 1 応力—ひずみ関係

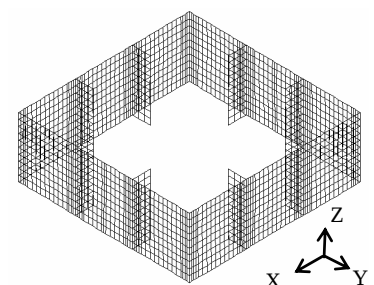


図 - 2 解析モデル

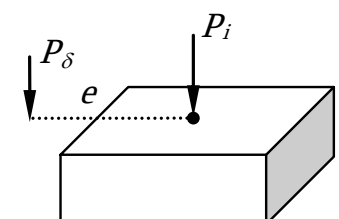


図 - 3 変動軸力の載荷方法

時に作用するように、モデル上端中心部には初期軸力 P_i を一定に与え、中心から e の位置に変位 P_δ を与え線形的に増加させる。モデル上端中心部と変位載荷点は剛な弾性ばりで結合し、与えた変位 P_δ と初期軸力 P_i の和がモデルごとに設定した最大軸力に達するよう偏心距離 e を定めた。曲げモーメントあるいは軸力とモデル上端中心部回転角の関係の一例を図 - 4 に示すが、両者が同時に最大値に到達していることがわかる。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。

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

3. 解析結果

本研究では、 $M-\theta$ 曲線において曲げモーメントが最大値から 95% または 90% に低下した時点での圧縮側最外縁のひずみを終局ひずみとする。図 - 5 には、95% 強度に対する終局ひずみへの軸力変動の影響を示す。縦軸には一定軸力下の終局ひずみに対する軸力変動を考慮した場合の終局ひずみの比を取っているが、各 α の値に対して幅厚比によらず軸力変動の影響はほぼ一定であると考えられる。また、図示はしていないが、軸力変動の影響は軸力変動率 α と最終軸力 P_f の影響を著しく受けることが確認された。これらの知見に基づき、95% および 90% 強度に対する軸力変動の影響を考慮した終局ひずみの算定式として、それぞれ式(6)および(7)を提案する。

$$\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y} = F(\alpha, P_u/P_y) \cdot \left(\frac{0.7}{(R_f \bar{\lambda}_s^{-0.18} - 0.18)^{1.8} (1 + N/N_y)^{2.2}} + \frac{3.2}{(1 + N/N_y)} \right) \quad (6)$$

$$F(\alpha, P_u/P_y) = (0.034\alpha + 0.253)P_u/P_y + 0.008\alpha + 0.930$$

$$\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y} = F(\alpha, P_u/P_y) \cdot \left(\frac{76}{(3R_f \bar{\lambda}_s^{-0.18} - 0.18)^{2.7} (90 + 181N/N_y)^{0.77}} + \frac{8.6}{(0.48 + 3.3N/N_y)} \right) \quad (7)$$

$$F(\alpha, P_u/P_y) = (0.105\alpha + 0.350)P_u/P_y + 0.004\alpha + 0.920$$

ここに、 $F(\alpha, P_u/P_y)$ は軸力変動の影響を示す補正係数である。本提案式の適用範囲は、 $0.35 \leq R_f \leq 0.6$, $1.5 \leq \alpha \leq 3.0$ である。算定式より導いた終局ひずみと解析値のばらつきを図 - 6 に示す。算定値に対する解析値の誤差は点線で示した +20%, -30% の範囲内にほぼ収まっている。-30% の誤差は大きいですが、安全側の誤差範囲であるので問題ないと考えられる。

4. まとめ

本研究では、鋼製補剛箱形断面部材の終局ひずみに対する軸力変動の影響を検討し、その影響を考慮した終局ひずみの算定式を提案した。今後、より合理的な設計を可能とするために、算定式の精度向上および適用範囲の拡大を目指した検討を行う予定である。

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

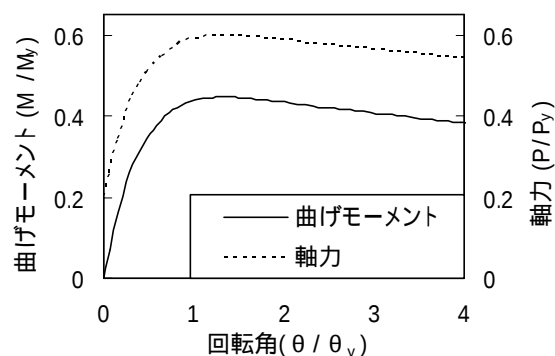


図 - 4 軸力変動パターン
(Model 3)

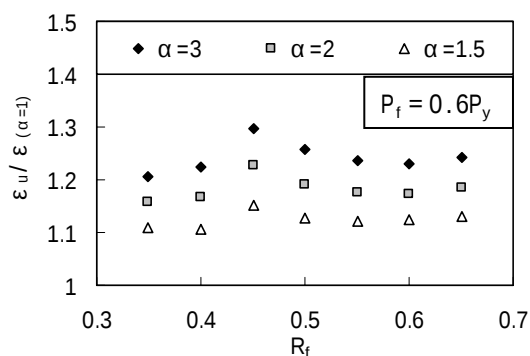


図 - 5 終局ひずみに対する軸力変動の影響

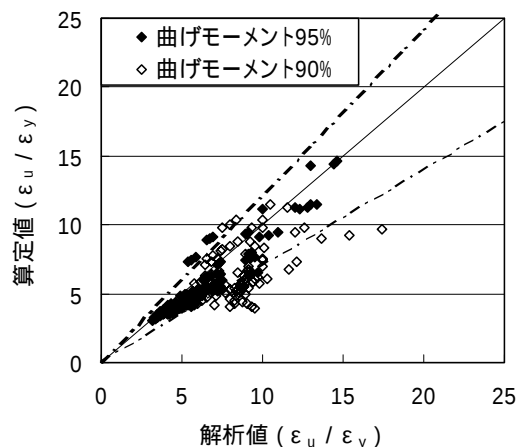


図 - 6 終局ひずみに対する算定値と解析値の比較