

十字補剛を有する鋼製円形断面部材の終局ひずみに関する検討

熊本大学 学生員○ 石井 善太 熊本大学 学生員 王 占飛
熊本大学 学生員 松村 新也 熊本大学 正 員 山尾 敏孝

1.はじめに

著者らは、円形鋼製橋脚の耐震性能を向上させる一方法として、基部に鋼板を十字型に組んだ補剛壁を持つ橋脚を提案してきた¹⁾。現在、鋼製橋脚の設計法は、「力」を指標とする保有水平耐力照査法から、「曲率やひずみ」を指標とする耐震性能照査法に移行しつつある。しかし、この手法を十字補剛を有する橋脚に用いるには、終局状態を定義し、終局点を求める必要があると思われる。そこで本研究では、円形橋脚の耐震性能照査法の一つである静的／動的併用法を確立するために、十字補剛断面の短柱部材のパラメトリック解析を行い、短柱の終局状態における破壊ひずみ（終局ひずみ）を求めた。また、これらの結果を基に終局ひずみの定式化の検討も試みた。

2.解析モデルと解析概要

解析に用いた解析モデルの断面形状等を図1に示す。解析パラメータは断面の径厚比パラメータを R_t とし、次式で表わした。

$$R_t = \frac{R}{t} \frac{\sigma_y}{E} \sqrt{3(1-\nu^2)} \quad (1)$$

ここに、 R ：半径、 t ：円柱母材の板厚、 σ_y ：降伏応力、 E ：ヤング係数、 ν ：ポアソン比である。解析モデルは $R_t=0.10 \sim 0.50$ の範囲として各 R_t ごとに有効破壊長を算出し、その値により各モデルの寸法を決定した。モデル計7本の諸元は表1に示す。なお有効破壊長とは、短柱の高さと直径の比 L/D の値を0.05～0.20の間で変化させて純圧縮解析を行い、短柱の最大強度が最も小さいときの高さと定義した。表より、有効破壊長は R_t が大きくなるほど小さくなる関係であることがわかる。また、円柱母材と十字補剛板には残留応力と初期たわみ ω も考慮し式(2)で表した。使用鋼材はSS400、降伏応力 $\sigma_y=235\text{N/mm}^2$ 、ヤング率 $E=206\text{kN/mm}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ とした。一定圧縮力 P の下で、漸増曲げモーメント M （十字壁の45度方向に载荷）を作用させた解析を行い、この結果より $M-\theta$ の関係を求めた。载荷は、軸力比

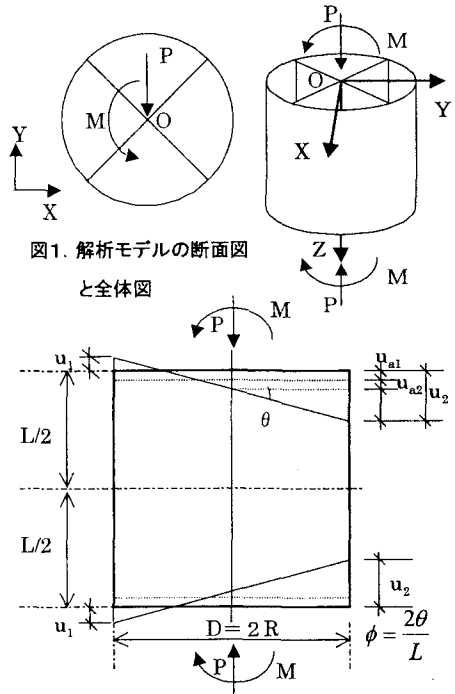


図1. 解析モデルの断面図と全体図

u_1, u_2 ：最外縁の変位， u_{a1} ：軸圧縮力による変位， u_{a2} ：中立軸移動による変位， θ ：曲げによる変位， L ：短柱高さ， D ：短柱直径

図2. 圧縮と曲げを受ける時の変位と曲率の関係

$$\omega = \omega_{\max} \sin\left(\frac{\pi z}{L}\right) \quad (2)$$

$\omega_{\max}$ ：最大初期たわみ， z ：短柱の高さ方向の座標

表1. 解析モデルの諸元

径厚比 パラメータ R_t	有効 破壊長 L/D	母材 厚さ t (mm)	補剛板 厚さ t_s (mm)	半径 R (mm)	短柱 高さ L (mm)	母材最大 たわみ $\omega_{\max}$	補剛板最大 たわみ $\omega_{\max}$
0.10	0.12	4.5	5.5	239	57.36	0.143	0.500
0.15	0.10	4.5	8.0	358	71.60	0.179	0.781
0.20	0.08	4.5	11.0	477	76.32	0.191	1.015
0.25	0.075	4.5	13.5	597	89.55	0.234	1.300
0.30	0.069	4.5	15.9	716	98.81	0.247	1.592
0.40	0.062	4.5	21.0	955	118.42	0.296	2.151
0.50	0.058	4.5	26.5	1194	138.50	0.346	2.670

P/P_y (P_y : 全断面降伏軸荷重) を 0.0~0.4 と変化させた。なお解析プログラムは汎用プログラム MARC を用いた²⁾。

3. 解析結果及び考察

解析の結果得られた M を降伏曲げモーメント M_y で無次元化した M/M_y と、対応する θ を降伏時の変位 θ_y で除した θ/θ_y との関係を図 3 に示す。このようなグラフを基に、ピークが 95% 強度が低下した点を終局強度とし、この時の ϕ_u を終局曲率とした。さらに図 2 で示すように、軸圧縮力による軸ひずみ ε_{a1} と曲げモーメントによる中立軸の移動によって生じた軸ひずみ ε_{a2} を考慮して求められた圧縮側最外縁のひずみを終局ひずみ ε_u とした。図 4 は M_u/M_y (M_u : 終局曲げモーメント) と R_t との関係を示したものである。図より、 R_t が増加するにつれて終局強度は減衰していくことがわかる。また軸力比が 0.0 に近づくにつれて同様である。図 5、図 6 は $\phi_u/\phi_y - R_t$ の関係と $\varepsilon_u/\varepsilon_y - R_t$ の関係を表す。各終局点がプロットしてあり、それらを式 (3)、(4) で近似曲線として示している。同図では、 R_t が 0.1 より小さくなると終局ひずみは急速に増加することがわかる。また、軸力が小さくなるにつれて同様に大きくなった。

$$\frac{\phi_u}{\phi_y} = \frac{0.5}{(R_t - 0.045)^{1.6} \left(1 + \frac{P}{P_y}\right)^{2.9}} + 9 \left(1 - \frac{P}{P_y}\right) \quad (3)$$

(0.045 ≤ R_t ≤ 0.05)

$$\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y} = \frac{1.2 \left(1 - \frac{P}{P_y}\right)}{(R_t - 0.045)^{1.3} \left(1 + \frac{P}{P_y}\right)^{1.4}} + 6.5 \left(1 - \frac{P}{P_y}\right) \quad (4)$$

(0.045 ≤ R_t ≤ 0.05)

ϕ_u : 終局曲率, ϕ_y : 降伏曲率, ε_u : 終局ひずみ,
 ε_y : 降伏ひずみ

4. おわりに

本研究で求めた式 (3)、(4) は、耐震性能照査法の一つである静的/動的併用法に用いて動的解析ができると考えられる。しかしながら、既往の研究³⁾の中空断面の場合の解析結果と比べると、純曲げ解析 ($P/P_y=0.0$) における ϕ_u/ϕ_y 、 $\varepsilon_u/\varepsilon_y$ は共にばらついた値となった。この原因について、今回上部に剛板を用いた載荷方法を含めて、今後検討が必要と思われる。

参考文献:

- 1) 伊東宗昭: 円形鋼製橋脚の強度と変形性能の向上に関する研究, 熊本大学修士論文 (2000 年)
- 2) 日本 MARC 株式会社: MARC Manual Volume A-F
- 3) Shengbin Gao, Tsutomu Usami, Hanbin Ge: Ductility Of Steel Short Cylinders In Compression And Bending, JOURNAL OF ENGINEERING MECHANICS/FEBRUARY 1998

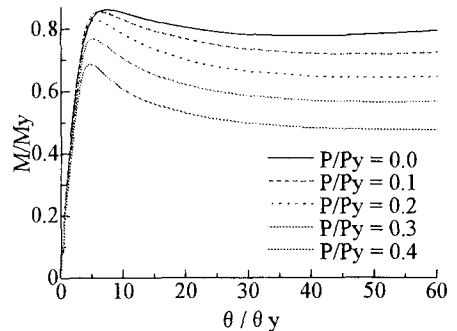


図3. $M/M_y - \theta/\theta_y$ 包絡線 ($R_t=0.25$)

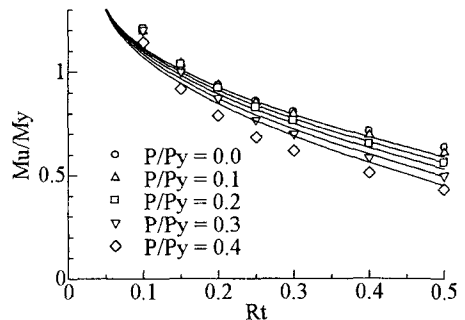


図4. 終局状態における R_t および P/P_y の影響

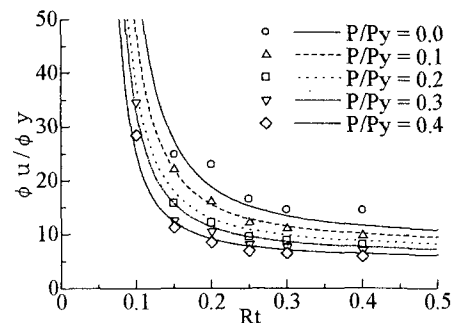


図5. ϕ_u/ϕ_y と R_t の関係

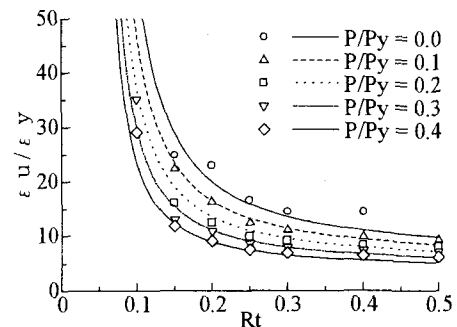


図6. $\varepsilon_u/\varepsilon_y$ と R_t の関係