

局部座屈を考慮した十字型補剛円形断面部材の等価な応力 - ひずみ関係について

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 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⁾。一般的に、鋼構造物を骨組構造として解析するためにファイバーはり要素を用いることは、簡便で実用性に優れている。しかし、これまでにファイバーはり要素に適用可能な構成則には、局部座屈による劣化と履歴特性を精度良く考慮できるものが少なかった。既往の研究において局部座屈を考慮した等価な応力 - ひずみ関係を求め、これを応力 - ひずみの構成則として用いる方法が提案された²⁾。そこで本研究では十字型補剛断面を有する橋脚の動的解析に用いる為、十字型補剛断面短柱部材のパラメトリック解析を行い、局部座屈を考慮した等価な応力 - ひずみ関係の定式化を試みたものである。

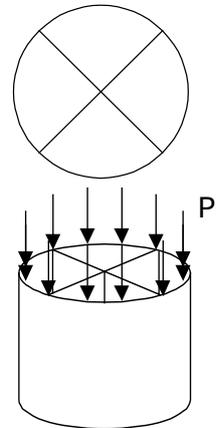


図1 解析モデル全体

2. 解析モデルと FEM 解析結果

十字型補剛断面部材の等価な応力 - ひずみ関係を定式化するにあたって、単調圧縮荷重の場合における検討を行い、これを用いて繰り返し荷重の場合の挙動を定義した。解析に用いた解析モデルの全体図を図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、 $R_t = 0.05 \sim 0.50$ 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。モデルの諸元を表1に示す。また、円柱母材と十字補剛板には初期不整として残留応力と初期たわみを考慮した。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。ただし、荷重方法は図1に示すように軸方向変位を直接作用させた。なお解析プログラムは汎用プログラム MARC を用いた³⁾。

図2は降伏ひずみの20倍までの単調圧縮荷重を行った場合の解析結果である。なお、縦軸は軸力を断面積で除して得られた等価な応力を鋼材の降伏応力 σ_y で、また横軸は両端断面の変位差を短柱高さで除して得られた等価なひずみを降伏ひずみ ϵ_y で無次元化してある。 R_t が大きくなる程、終局強度は小さくなり、全体挙動の差異は顕著となる。図3は繰り返し荷重における解析結果である。このとき圧

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)
0.05	0.20	4.5	2.7	119	47.60
0.10	0.12	4.5	5.5	239	57.36
0.15	0.10	4.5	8.0	358	71.60
0.20	0.08	4.5	11.0	477	76.32
0.25	0.075	4.5	13.5	597	89.55
0.30	0.069	4.5	15.9	716	98.81
0.40	0.062	4.5	21.0	955	118.42
0.50	0.058	4.5	26.5	1194	138.50

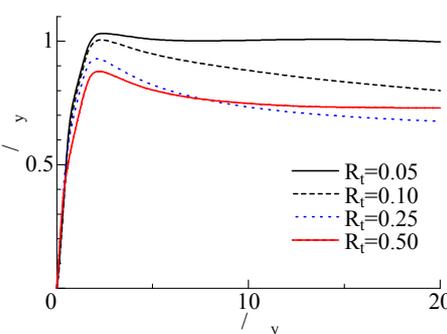


図2 解析による $\sigma - \epsilon$ 関係 (単調荷重)

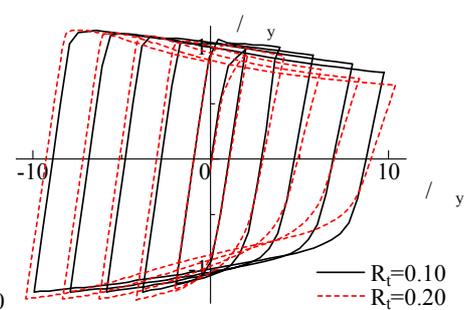


図3 解析による $\sigma - \epsilon$ 関係 (繰り返し荷重)

キーワード：等価な応力 - ひずみ関係，局部座屈，十字型補剛壁，短柱部材

連絡先：〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1 熊本大学工学部環境システム工学科・電話 096-342-3533・FAX096-342-3507

縮・引張力は変位制御で $\sigma / y = 0 \quad 2 \quad -2 \quad 4 \quad \dots \quad 10 \quad -10 \quad 0$ となるように与えている。局部座屈による強度劣化の様子はほぼ同じであることがわかる。

3. 単調載荷時の等価な応力 - ひずみ関係の定式化

単調載荷における等価な応力 - ひずみ関係を定式化するにあたって、図4のように 原点、初期降伏点 (A)、最大応力 (B)、 $\sigma / y = 5$ のときの応力 (C)、 $\sigma / y = 20$ のときの応力 (D)、の5点を結んだ4直線で近似することにした。なお定式化にあたっては、解析パラメータである径厚比パラメータ R_t を変数として用い、最小二乗法で近似した。このようにして定式化された各点を直線で結び、局部座屈を考慮した等価な応力 - ひずみ関係を作ることができる。図5に単調載荷時の解析値と近似した提案式を比較した一例を示す。この図より提案式は、解析結果の挙動を精度良く再現できていることがわかる。

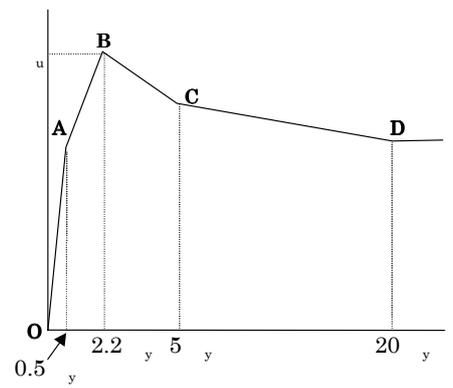


図4 等価な - 関係 (単調載荷)

4. 繰り返し載荷時の等価な応力 - ひずみ関係の定式化

繰り返し載荷の場合における等価な応力 - ひずみ関係は、FEM 解析によって得られる結果から図6のような簡便性を考慮したモデルを作り、これを利用して定式化を行った。ただし圧縮応力を正、引張応力を負とし、添字の i は i 回目の繰り返しであることを示す。弾性範囲 (直線 OB) 内で除荷された場合は直線 OB 内で応力は変化しない。単調載荷によって求められた最大応力 σ_u に達すると、勾配 E_{BC} によって圧縮応力は低下する。圧縮領域の C_i 点から引張り荷を受ける場合には、 $C_i - D_i - E_i - F_i$ のような経路を辿るものとする。 F_i 点に到着後は、右図より、 G_i 点まで一律 E_0 の勾配で応力は変化しない。圧縮応力が G_i 点に達した後は、低下勾配 E_{BC} で応力は減少し、 C_{i+1} 点に移動する。以上のような各点間の挙動を定式化することによって、繰り返し載荷を受ける十字型補剛部材の平均応力 - ひずみ関係を作ることができる。提案式による応力 - ひずみ関係と FEM 解析値と比較したものが図7である。これより、解析値を精度よく近似できていると考えられる。

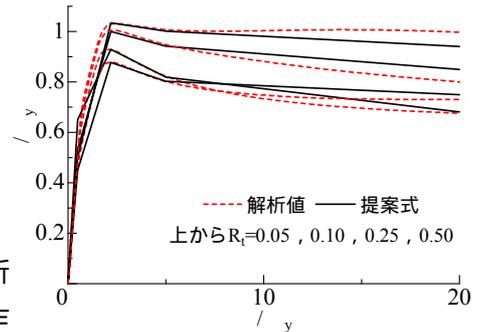


図5 解析結果と提案式の比較

5. まとめ

本研究では、十字型補剛円形断面部材において、局部座屈を考慮した等価な応力 - ひずみ関係を提案した。しかし、単調載荷時において $R_t = 0.05$ など一部解析値が提案式を上回ってしまうものが見られた。提案式が危険側に評価してしまう可能性があるため、この点については今後検討が必要である。また、第2象限で $\sigma / y > 1$ となっている部分があることなど、FEM 解析結果も一部問題がある。これは解析プログラム自体の移動硬化則の影響によるものであると考えられる。今後、構造用鋼材の繰り返し弾塑性挙動を更に精度よく表現できるプ

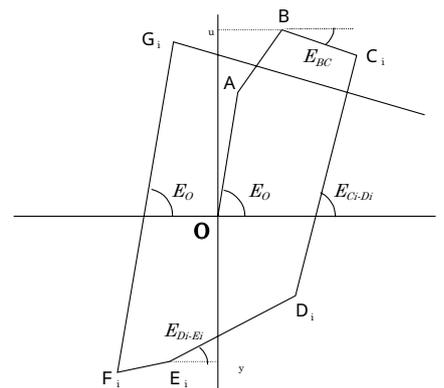


図6 等価な - 関係 (繰り返し載荷)

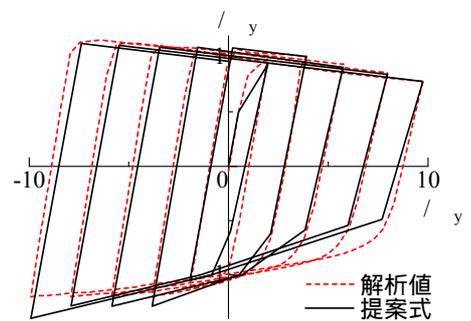


図7 解析結果と提案式の比較 ($R_t = 0.10$)

ログラムを用いて、現実に近い解析結果による近似式を提案し、比較検討する必要がある。

【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) 崎元達郎、渡辺浩、中島黄太：局部座屈を考慮した鋼箱形断面部材の復元力モデル、土木学会論文集、No.647/I-51、pp.343-355、2000
- 3) 日本 MARC 株式会社: MARC Manual Volume A-F