

# コンクリートを充填した補剛八角形断面鋼部材の終局挙動と復元力モデル

大牟田市役所 正会員 尾口浩二 熊本大学 正会員 崎元達郎  
熊本大学大学院 学生会員 川部知範 大分工業高校 足立正和

## 1.はじめに

本解析で対象とするコンクリートを充填した八角形断面モデルは靱性、耐力に優れた構造であるとともに耐風性、景観性に優れていると考えられる。この種の構造物の局部座屈を考慮した終局挙動を解明するために実験的研究が行われているが<sup>1)2)</sup>、膨大な時間と労力がかかる。そこで、本研究では、補剛正八角形断面鋼柱に充填コンクリートの拘束効果を考慮したモデルを想定し、局部座屈を考慮した FEM 解析結果から外側鋼板の平均応力 - ひずみ関係を定式化し、復元力モデルとして提案する。この復元力モデルと別途実験等により求められるコンクリートの復元力モデルをファイバー要素を用いた骨組解析プログラムに導入する事によって、設計に適した解析法が確立される。

## 2.解析上の設定

図 - 1 のように対称条件を考慮して 1/4 部分を取り出し、純圧縮の単調荷重と圧縮 - 引張の繰り返し荷重を行った。FEM 解析に用いた汎用プログラム MARC における設定は以下の通りである。

材料は弾塑性かつ等方性で、von Mises の降伏条件に従う

大変形解析、有限塑性ひずみ解析を行う

アップデートラグランジェ法を用いる

繰り返し荷重における解析の場合、移動硬化則を用いる

また充填コンクリート部分については直接考慮をしておらず、外側鋼管が内側に変形しない条件を与えることとした。鋼種は SM490Y、補剛材は 2 本、アスペクト比は補剛板全体に対して  $\alpha = 1.0$  (パネルに対しては  $\alpha = 3.0$ ) とし、初期たわみは図 - 2 のように補剛板の全幅を 1 波長とするもの、補剛材間を 1 波長とするものを重ね合わせ、安全側を考慮して外側に与えるものとし、供試体の高さ方向には全幅を 1 波長として与えた。また製作方法は、図 - 3 のように板パネルの中間で溶接する「中間溶接」を採用し、残留応力分布は図 - 4 のように実測値<sup>1)</sup>をモデル化し用いた。

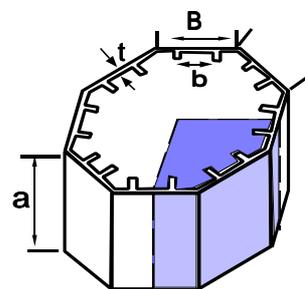


図 - 1 解析モデル

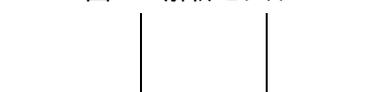


図 - 2 初期たわみ

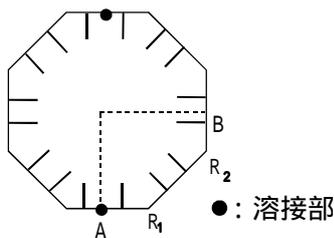
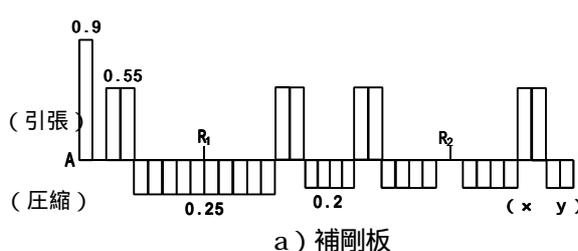
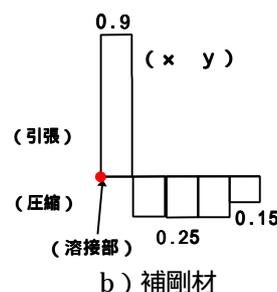


図 - 3 中間溶接の溶接部



a) 補剛板



b) 補剛材

図 - 4 残留応力の分布

## 3.解析パラメータ

変動パラメータとして幅厚比パラメータ  $R_R$  (式 1) と補剛材剛比  $\gamma$  (式 2) が挙げられる。

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

$$\sigma_y = 353 \text{ MPa} \quad (3.6 \text{ tf/cm}^2)$$

$$E = 206 \text{ GPa} \quad (2100 \text{ tf/cm}^2)$$

$$\nu = 0.3$$

$n$  : 補剛材で区切られる一辺のパネル数

$$\gamma = \frac{I}{Bt^3} \quad \gamma^* = 4\alpha^2 n(1+n\delta) - \frac{(\alpha^2 + 1)^2}{n} \quad (2)$$

$I$  : 縦補剛材 1 本の断面二次モーメント

$\delta$  : 縦補剛材 1 本の断面積比 ( $\delta = A/Bt$ )

$A$  : 縦補剛材 1 本の断面積

key words : concrete-filled steel piers、octagon-section、local buckling、hysteresis model

〒860-8555 熊本県熊本市黒髪 2 丁目 39 番地 1 号 096-342-3532

### 4.解析結果

純圧縮荷重における平均応力 - 平均ひずみ関係を図 - 5 に示す。平均応力は荷重面の全反力を断面積で除し、平均ひずみは局部座屈の考慮を含む両端の相対変位を元の部材長で除して求めている。単調荷重の解析結果において  $R_R$  が 0.3 の場合に最大応力度は  $\sigma^*$  が小さくなるにつれて高い値を示していることが分かる。しかし検討を進めた結果、 $R_R$  が小さなモデルの強度は  $\sigma^*$  にあまり影響されず、平均応力は全反力を補剛材を含む全断面積で除しているため、結果として  $\sigma^*$  の大きいモデルの（無次元化）強度が低めに現れた事が分かった。

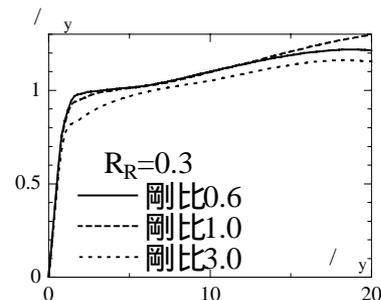


図 - 5 解析結果

### 5.定式化

#### (1) 単調荷重における流れ

定式化する際、図 - 6 のように補剛される板と補剛材からなる T 型断面柱の局部座屈を考慮した細長比パラメータが提案されている<sup>3)</sup>。を利用すれば  $R_R$  や  $\sigma^*$  などの影響に関係無く評価する事ができた。

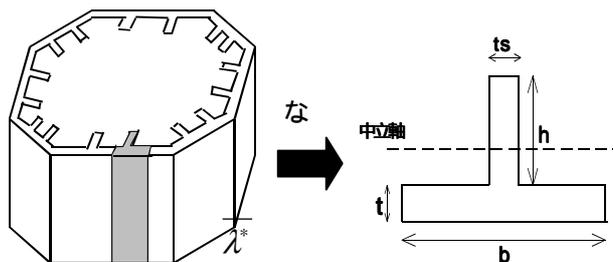


図 - 6 の定義に用いる T 型断面

平均応力 - 平均ひずみ関係を図 - 7 に示すように 原点、初期降伏点、最大応力点、 $\epsilon = 5$ 、 $\epsilon = 20$  時の応力点を結んだ 4 直線で近似した。それぞれの点は FEM 解析を  $\epsilon$  に対してプロットし、最小二乗法を用いて定めた。具体的な式の一列を図 - 8 に示す。

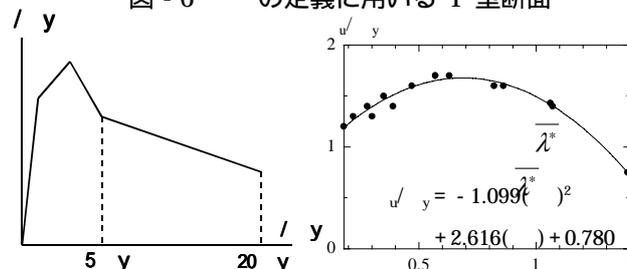


図 - 7 定式化の流れ(単調)

図 - 8 定式化の具体例

#### (2) 繰り返し荷重における流れ

定式化をする際、精度よく近似させるために解析結果の最大応力点から  $\epsilon = 4$ 、 $\epsilon = 10$  時の応力点を結んだ包絡線を定義する事にした。また、平均応力 - 平均ひずみ関係を図 - 9 に示すように C、D、E、F 点を結んで近似した。C 点の応力  $\sigma_c$  の関数として勾配  $E_{cd}$ 、 $\sigma_c$ 、 $\sigma_s$ 、補剛材細長比パラメータ  $\lambda^*$  の関数として  $\sigma_c$  を最小二乗法を用いて定めた。なお、A 点から B 点までは単調荷重時の定式化を用いるものとし、F 点からは再び C 点に戻り、C' 点までは包絡線上を辿るものとした。具体的な式の一列を図 - 10 に示す。

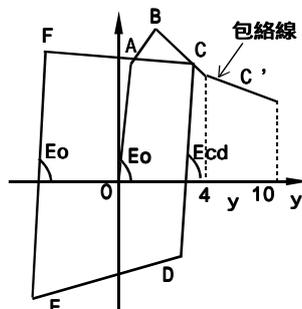


図 - 9 定式化の流れ(繰り返し)

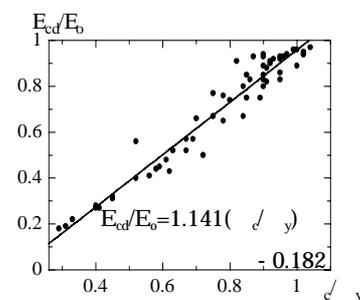


図 - 10 定式化の具体例

### 6.解析結果と定式化した近似値との比較

ここで定式化した応力 - ひずみ関係の FEM 解析結果と近似値との比較の一列を図 - 11 に示す。 $R_R$  や  $\sigma^*$  を変動させてみたが、どのモデルに対しても精度よく近似できており、あらゆる荷重作用に対して対応できる復元力モデルが提案できたといえる。本研究で得られた応力 - ひずみ型の復元力モデルを骨組解析プログラムに導入する事によって、設計に適した解析法が確立される事が期待される。

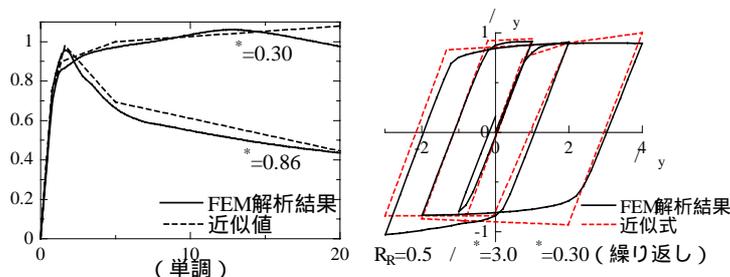


図 - 11 FEM 解析結果と近似値との比較

### 【参考文献】

- 1) 右田泰弘：多角形閉断面断面鋼柱の局部座屈と連成座屈に関する基礎的研究 九州東海大学修士論文 1994
- 2) 前野裕文他：コンクリート部分充填鋼製八角形断面橋脚の..... 構造工学論文集 Vol.44A pp189-199 1998
- 3) 奈良敬：縦補剛材で補剛された連続圧縮版の極限強度の評価法 構造工学論文集 Vol.38 pp223-230 1992