

コンクリートを充填した八角形断面鋼柱の応力レベルでの復元力モデル

熊本大学 学生会員○川部 知範 熊本大学 正会員 崎元 達郎
熊本大学大学院 学生会員 尾口 浩二 大分工業高校 正会員 足立 正和

1. はじめに

先の兵庫県南部地震以来、鋼製橋脚の耐震性の向上が重要視されてきているが、近年ではそれとともに機能性、耐久性、景観性なども求められる。八角形断面鋼柱にコンクリートを充填した構造は、充填効果による耐荷力の向上、八角形断面のもつ景観性や耐風性など、それらを満たす有効な構造と言える。しかし、その終局挙動と耐震設計法に関する研究は十分でない。そこで本研究では、無補剛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、その履歴挙動を FEM 解析により明らかにする。そして、その結果より局部座屈を考慮した平均応力・平均ひずみによる等価な応力-ひずみ関係を定式化し、復元力モデルとして提案する。ここで用いる平均ひずみは、部材両端の変位差を部材長で除したもので、材料の軸ひずみに局部座屈変形による短縮を加えた見かけのひずみである。この復元力モデルを 3 次元骨組解析に導入することで、簡易的に局部座屈を考慮した骨組解析による耐震設計ツールが開発可能となる。

2. 解析上の設定

図-1 のように対称条件を考慮した 1/4 モデルに純圧縮荷重を行った。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。

- ①材料は弾塑性かつ等方性で、von Mises の降伏条件に従う
- ②大変形解析、有限塑性ひずみ解析を行う
- ③アップデート ラグランジェ法を用いる

また、内部コンクリートに関しては直接考慮するのではなく「鋼板が内部への変位をしない」という節点拘束条件を与えることとする。解析モデル高さ a は b_0 に等しくし、要素分割は既往の研究¹⁾を参考に検討を進めた結果、板幅方向を 10 分割、高さ方向を 20 分割とした。鋼種は SM490Y とし、その応力度-ひずみ関係には Multi-linear タイプを用いた。初期たわみは内部コンクリートの拘束効果や平面保持の法則、ダイヤフラムの存在などを考慮して、図-2 のような 1 波長を与えた。

また、初期たわみの最大値については実測値²⁾を参考に、幅厚比の関数として $\delta/b = 1.0 \times 10^{-4}(b/t)$ で与えることとした。製作方法は曲げ加工を施した半割り板 2 枚を板中央で溶接する「中間溶接」を採用した。その残留応力分布として実測値³⁾をモデル化したものを用いる(図-3 参照)。

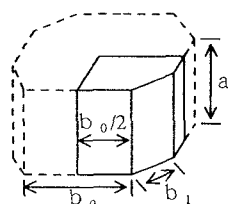


図-1. 解析モデル

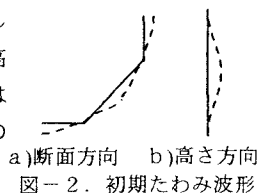


図-2. 初期たわみ波形

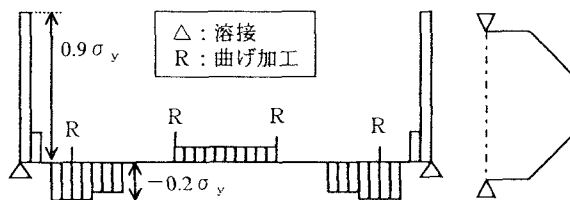


図-3. 残留応力分布と溶接位置(展開図)

3. 解析パラメータ

不等辺八角形の場合、幅厚比パラメータ R やアスペクト比 a/b が複数存在することから、板幅ごとに異なる挙動を示したり、2つの板の相互作用が生じることが考えられる。そこで、本解析における変動パラメータを幅厚比パラメータ R と、隣り合う板の幅比(板幅比) b_1/b_0 の2つとする。また、幅厚比パラメータ R の式は以下の式(1)に示す通りである。

$$R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \frac{1 - \nu^2}{4\pi^2}} \dots \dots (1)$$

$$\begin{aligned} \sigma_y &= 353 \text{ MPa} \quad (3.6 \text{ tf/cm}^2) \\ E &= 206 \text{ GPa} \quad (2,100 \text{ tf/cm}^2) \quad \nu = 0.3 \end{aligned}$$

4. 解析結果

図-4は単調純圧縮荷重時における平均応力-平均ひずみ曲線である。板幅比の変化に対して最大強度はほぼ同じ結果となるが、それ以降の終局挙動が異なる。これは b_1 パネルの幅厚比パラメータ R_1 による影響と考えられる。これを既往の研究結果⁴⁾と比較してみると、板幅比が小さくなるにつれて箱型断面の結果に収束する事が分かった。また図-4 a)b)より R_0 が小さい

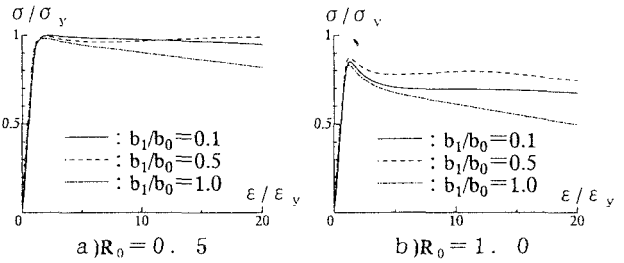


図-4. 解析結果 (板幅比による比較)

さい時はひずみ硬化の影響が現れるが、 R_0 が大きいと σ_y に達する前に座屈による劣化が生じる事が分かる。

5. 定式化

(1) 等価幅厚比パラメータ R^* の提案：前章より不等辺八角形断面では2枚板の相互作用が生じるため、 R_0 や R_1 などの単一パラメータだけではその挙動を捉えられない事が分かった。そこで、複数のパラメータを総合的に評価できるパラメータが必要である。検討を進めた結果、式(2)に示す R^* を用いることで各挙動に相関性を持たせることが出来た。

$$R^* = \sqrt{\frac{(R_0^2 + R_1^2)}{2}} \dots (2)$$

(2) 定式化の流れ：図-4に示すような平均応力-平均ひずみ関係を近似式で表すことを考える。定式化は初期降伏点A、最大応力点B、 $5\epsilon_y$ の点C、 $20\epsilon_y$ の点Dの4点に対するFEM解析値について、最小二乗法を用いて前述の等価幅厚比パラメータ R^* の関数として定義し、それを直線でむすぶ形で進める(図-5参照)。ただし、B点の応力とひずみは板幅比の影響が小さいので単一パラメータ R_0 で整理し、A点の応力は σ_u の95%、その時のひずみは求めたY座標とヤング率Eで求めることとした。具体的な式などは図-6に示す通りである。

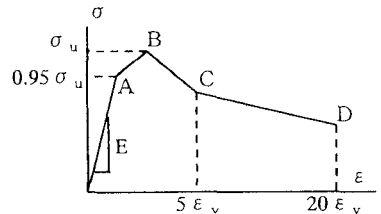


図-5. 定式化の流れと概形

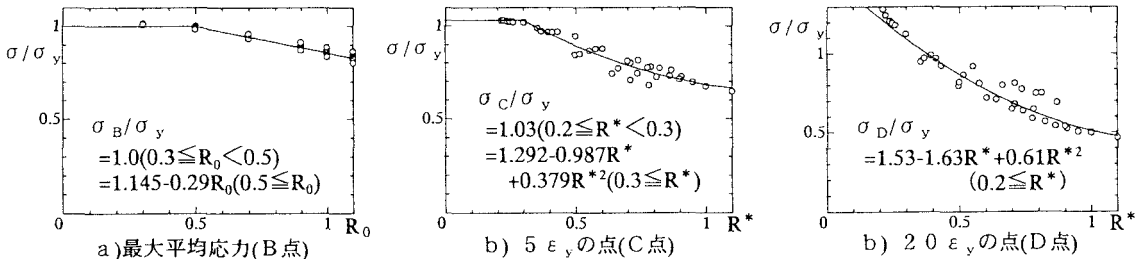


図-6. 定式化の具体例 (応力)

(3) FEM解析結果と定式化した平均応力-平均ひずみ関係の比較

図-7はここで定式化した等価な応力-ひずみ関係とFEM解析結果との比較である。板幅比や R_0 などを変動させてみたが、どのモデルについても曲線の概形はきちんと捉えており、精度良く近似できたと言える。

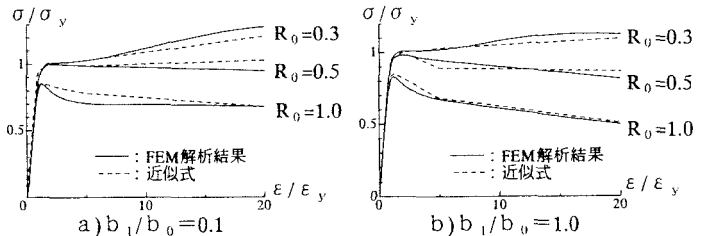


図-7. FEM解析結果と提案式の比較

【参考文献】

- 1) 足立正和：不等辺多角形断面鋼柱の局部座屈挙動に関する基礎的研究 九州東海大学修士論文 1999
- 2) 小松定夫 他：補剛板の溶接残留応力及び初期たわみに関する… 土木学会論文集第265号 pp.25-35 1977.7
- 3) 右田泰弘：多角形閉断面鋼柱の局部座屈と連成座屈に関する基礎的研究 大阪大学学位論文 1994
- 4) 渡辺・崎元：コンクリートを充填した角形鋼管柱の… 土木学会論文集 No.647/I-51, pp.357-368 2000.4