

I - A77

繰り返し水平力を受ける箱形断面鋼柱の終局挙動の簡易解析法

(株)建設技術研究所 正 員 〇富田 聡 熊本大学 正 員 崎元達郎
熊本大学 正 員 渡辺 浩 熊本大学 学生員 中島黄太

1. まえがき

繰り返し水平力を受ける鋼製橋脚が局部座屈をともなって破壊する場合の FEM 解析には、膨大な労力と計算時間が必要であり、個別の橋脚に対する解析にとどまっている。今後、パラメータ解析を行って鋼橋脚の耐震設計法の確立やその基礎データを得るためには、何らかの簡易解析法も必要となる。そこで、本研究では、局部座屈を考慮した短柱の有限要素解析の結果に基づいて、等価な平均応力-ひずみ曲線を陽な形で求め、それを棒要素の有限変位解析プログラムに組み込んで解析する手法を提案する。

2. 汎用プログラム MARC による短柱の解析

図-1 に示す様な無補剛正方形箱形断面の短柱が、圧縮を受ける場合、曲げを受ける場合及び圧縮-引張の繰り返し荷重を受ける場合について、汎用プログラム MARC により解析を行った。SM490Y、及び SS400 の鋼材を想定し、 $\sigma_{rc}=0.3 \sigma_y$ 、 $\sigma_{rt}=0.9 \sigma_y$ の長方形分布の残留応力と $\delta/b=5 \times 10^{-5} (b/t)$ で表される δ を最大値とする正弦波形の初期たわみを与えた。素材の応力-ひずみ関係は、引張試験の結果を忠実にモデル化し multi-linear タイプを用いた。その他、移動硬化則、von Mises の降伏条件、有限塑性ひずみ条件を用いて式(1)で表される幅厚比パラメータ R を 0.25~1.50 の範囲で変化させて解析を行った。

$$R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y 12(1-\nu^2)}{E 4\pi^2}} \quad \dots \dots (1)$$

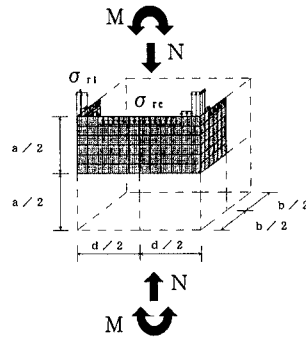


図-1 解析モデル

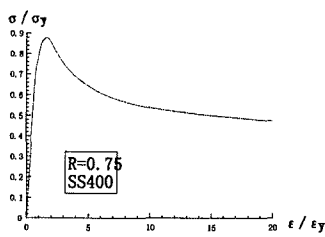
3. 等価な平均応力-ひずみ関係の定式化

図-2 (a)は、MARC による解析から得られた純圧縮を受ける短柱の平均応力-平均ひずみ関係の例である。これを図-2 (b)に示す様に3本の直線で近似する。直線の表現に必要な点の座標 (σ_u , ϵ_u , σ_{mid} , σ_{low}) は、 R を変化させた解析値に対して、誤差2乗を最小化する回帰式として R の関数として陽に表現する。図-3 (a)は、純曲げを受ける短柱の解析結果から得られたウェブ板の各断面要素(中立軸からの位置が異なる)の応力-ひずみ関係である。これを図-3 (b)に示す様に3本の直線で近似する。図-4 (a)は、圧縮-引張の繰り返し荷重を受ける短柱の解析結果の例である。この関係を幅厚比パラメータ R と鋼種を変動させた解析結果の性状を整理し、先の単調荷重の図-2 (b)、図-3 (b)を基本にして図-4 (b)に示す様に近似する。その際、最大圧縮強度の繰り返しによる低下、除荷域の勾配変化(パウシング効果)、最大引張強度、再載荷時の最大圧縮強度等に一定の規則性を読み取って、ルールを作成した。

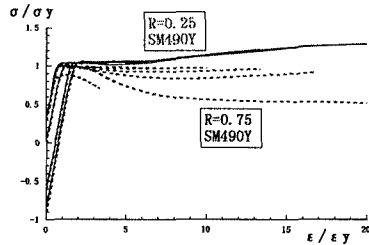
4. 実験との比較による解析法の検証

上記の方法によって求めた鋼の等価な平均応力-ひずみ関係を、棒要素を用いた有限変位解析プログラムに組み込んで簡易解析法が完成する。ここでは、別途実施した模型実験結果と比較して、その妥当性を検証する。実験供試体は、無補剛箱形断面を有する片持柱であり、その自由端に降伏軸力の15%の一定軸圧縮力と水平繰り返し変位を与える。水平繰り返し変位は、下記の降伏変位 δ_{y0} を基準に $\pm \delta_{y0}$ 、 $\pm 2 \delta_{y0}$ と変位制御で与え、その反力を H として得た。これらの実験供試体に対して、ここで提案する簡易解析を行った結果と実験結果を共に図-5に示す。図の無次元化で用いた降伏変位 δ_{y0} 、降伏荷重 H_{y0} は、水平荷重のみをキーワード：繰り返し水平力、箱形断面鋼柱、復元力特性、簡易解析法

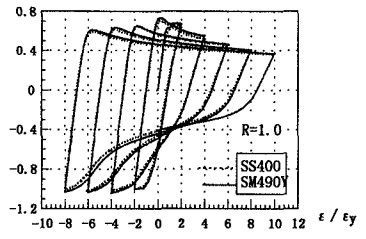
連絡先 : 〒860 熊本市黒髪2丁目39-1 熊本大学工学部環境システム工学科



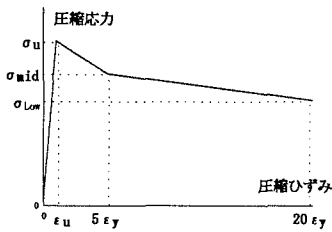
(a)FEM 解析



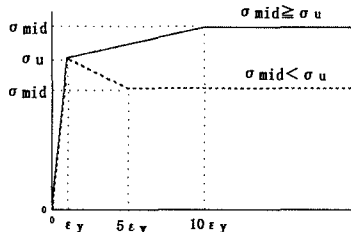
(a)FEM 解析



(a)FEM 解析



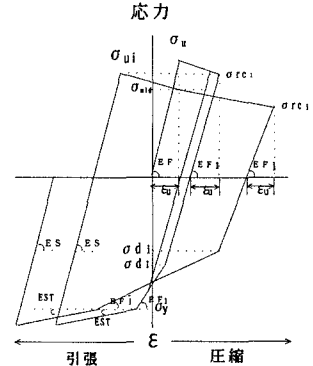
(b)関数近似



(b)関数近似

図-2 単調圧縮の応力-ひずみ関係

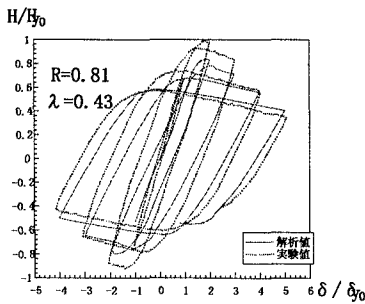
図-3 単調圧縮の応力-ひずみ関係



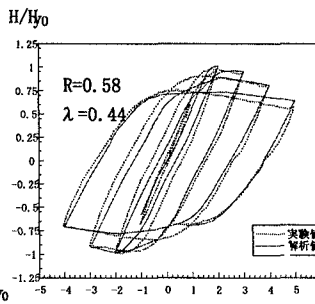
(b)関数近似

図-4 単調圧縮の応力-ひずみ関係

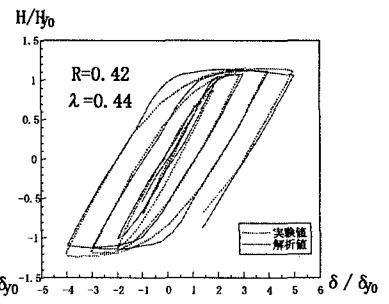
載荷したときの、柱基部において初期降伏が生じるときの理論値、 $\delta_{y0} = H_{y0}h^3/3EI$ 、 $H_{y0} = M_y/h$ として算出した。ここで、 M_y は降伏モーメント、 h は柱長、 EI は供試体の曲げ剛性である。図-5 は、細長比パラメータ λ をほぼ同じにして、幅厚比パラメータ R を変化させた場合を示しているが、局部座屈の有無にかかわらず、非常に良い精度で解析されることが分かる。



(a)



(b)



(c)

図-5 実験値と解析値の比較

5. あとがき

本論文の解析対象を板要素で分割して FEM 解析する場合は、EWS でも数日のオーダーの解析時間を要すると思われるが、本手法を用いれば、パソコン（Pentium 85）で数分の解析時間であり計算機が進歩した現在でも、十分実用的な解析法と思われる。今後、補剛断面への適用へ発展させたいと考えている。

【参考文献】 崎元、渡辺、富田、中島：繰り返し水平力を受ける鋼柱の終局挙動の簡易解析法；

鋼製橋脚の非線形数値解析と耐震設計に関する論文集

1997. 5