

熊本大学 正員 崎元 達郎
 “ “ 山尾 敏孝
 “ “ 坂田 力

1. まえがき

鋼構造物が終局状態に近づいたときの挙動を解析することは、終局強度設計法などの設計基準の確立の上で重要なことである。そこで、著者らは、薄肉弾性はり理論を基礎に、そりねじりを考慮した薄肉開断面部材から成る鋼構造物の有限変位弾塑性理論の開発および定式化を行なった¹⁾。本論文では、この理論によって得られた数値解析結果を他の解析結果および実験結果と比較することにより、本理論の妥当性を検証するものである。

2. 解析上の仮定および増分つりあい方程式

本理論においては、次のような仮定を設けた。

- 1) 骨組は理想的な硬化型弾塑性材料の薄肉開断面ばかりで構成されている。
- 2) 断面が一部塑性化した後も、曲げひずみは平面保持し、そり拘束によるひずみは、弾性理論のそり関数で表わせる。
- 3) 板厚は断面寸法に比べて十分小さく、断面のそりは板厚中心のそりで表わされる。
- 4) 曲げおよび曲げねじりによる板厚中心面内のせん断応力によるせん断ひずみは小さく、無視できる。
- 5) 降伏基準は、von Mises の降伏条件式が成立し、非弾性域では、Prandtl - Reuss の応力-ひずみ式が成立する。
- 6) 断面の一部が塑性化した後も St. Venant のねじりによるせん断ひずみは、板厚方向に直線分布する。
- 7) 変位は大きくても、ひずみは微小である。

以上のような仮定を基にして、系のポテンシャルエネルギーの増分を求め、その停留条件から、節点外力増分と節点変位増分との関係を表わす増分つりあい方程式が次式のように導かれる。

$$(K_{ep} + K_g) U = P - (\bar{f} - \bar{P}) \quad (1)$$

ここに、 U は節点変位増分ベクトル、 P は節点外力増分ベクトル、 \bar{P} は全節点外力ベクトル、 \bar{f} は全節点断面カベクトル、 K_{ep} は弾塑性剛性マトリックス(14×14)、 K_g は幾何剛性マトリックス(14×14)、 $(\bar{f} -$

$\bar{P})$ は不つりあい力を表わす。なお、 K_{ep} および K_g マトリックスについては、参考文献(2)を参照のこと。

増分つりあい方程式を解くためには、Newton - Raphson 法および荷重増分法を用い、不つりあい力が収束するまで繰返し計算を行なう。

ここで、本解析法の特徴をまとめると以下のとおりである。

- 1) 任意の形状と境界条件を有する周断面部材の解析ができる。
- 2) そり拘束を考慮した非弾性ねじりの解析ができる。
- 3) 相当応力、相当ひずみの概念を用いることで、二軸応力状態の材料の弾塑性およびひずみ硬化挙動を、単軸応力状態の Tri-linear 関係で表現できる。
- 4) 任意に分布した残留応力およびプレストレスの効果を考慮できる。
- 5) 増分荷重ごとに、部材断面の応力分布および塑性域の広がりを表わすことができる。
- 6) ひずみの反転の効果を考慮できる。
- 7) 非比例負荷を受ける構造物の解析ができる。
- 8) 横方向外力が部材断面の圆心以外に作用しても解析が可能である。

3. 数値解析結果

1) 非弾性域における横座屈解析例

図1に示すような、H形鋼ばりの中央に 7.0 (in.-kip) のねじりモーメントを与えておき、はり中央部の横方向へわみが拡散するまで、はり両端の荷重 P を徐々に増加させる。そのときの、はり中央部での y, z 方向の変位を示したものが図2である。この図より明らかのように、Murray らの解析結果および Lee, Galambos の実験結果⁴⁾と本解析結果は非常によく一致していることがわかる。なお、本解析では要素分割を、部材長さ方向に12分割し、断面要素としては、フランジおよびウェブの厚さ方向にそれぞれ6層分割、フランジ中方向に12分割、ウェブ高さ方向に8分割した。

2) 偏心荷重を受ける柱の弾塑性解析例

図3の中に示すような断面諸量を有するH形鋼柱は

偏心荷重Pが作用したときの、柱中央部におけるy-z方向変位 v, w および θ の挙動について、本解析結果とMurrayらの解析結果およびBirnstielの実験結果との比較が、図3, 4に示されている。これらの結果は非常によく一致していることがわかる。なお、本解析の要素分割については、部材長さ方向に10分割、フランジおよびウェブの厚さ方向にそれぞれ8分割し、フランジ巾方向およびウェブ高さ方向にそれぞれ8分割したものである。

4. 結論

数値解析結果において示されたように、薄肉開断面部材の有限変位弾塑性問題に関して、本理論による解析結果が十分信頼できるものであることが確認できた。

今後は、現実的な荷重状態に対し、非弾性の不安定性挙動を示すような複雑な鋼構造物に対してより多くの数値解析を行なう予定である。

〈参考文献〉

- 1) 崎元・山尾「薄肉開断面ばりの非線形解析」第35回土木学会年講概要集 1980.9
- 2) 崎元・山尾「薄肉開断面ばりの弾塑性有限変位解析」昭和59年度土木学会西部支部年講概要集 1985.2
- 3) Epstein & Murray「Large Displacement Inelastic Analysis of Beam-Columns, Proc. of ASCE, Vol. 104, May 1978
- 4) Galambos「Structural Members and Frames, Prentice Hall, Inc., 1968
- 5) Birnstiel「Experiments on H-columns under Bi-axial Bending», Proc. of ASCE, Vol. 94, April 1968.

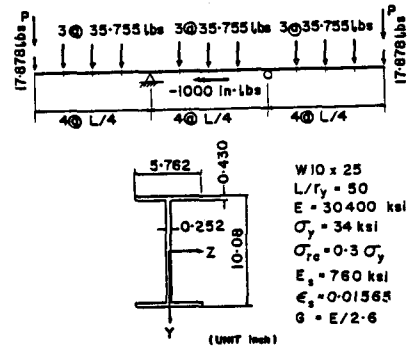


図1 解析モデル

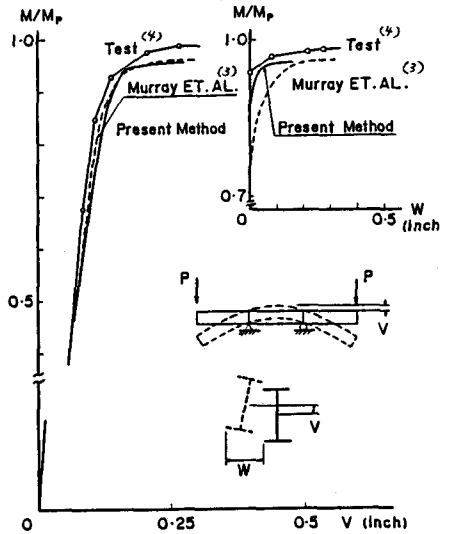


図2 非弾性横座屈の荷重変位曲線

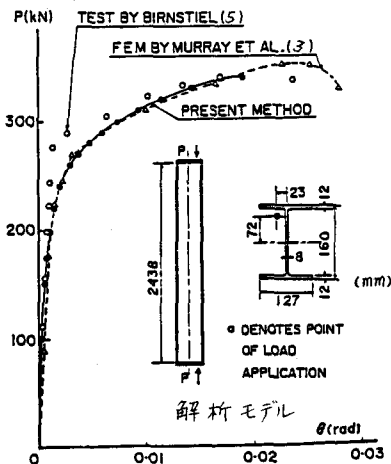


図3 偏心荷重を受ける柱の荷重-回転角

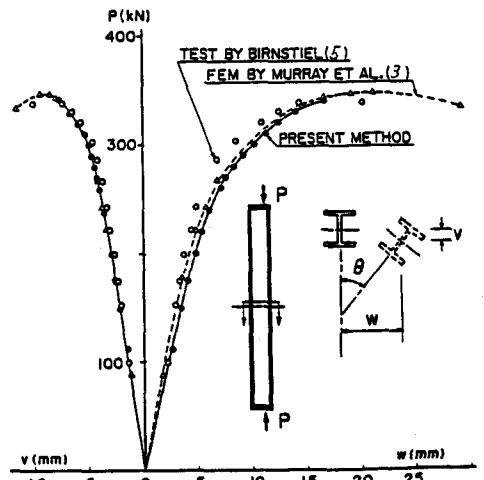


図4 偏心荷重を受ける柱の荷重変位曲線