

## H形鋼柱の耐荷力性状について

熊本大学工学部 正 員 山尾敬孝

正 員 崎元達郎

学生員 小林敏彦

正 員 平井一男

1. まえがき: 現道路橋示方書<sup>1)</sup>では、局部座屈と全体座屈を伴う鋼柱の限界応力を、全体座屈を起す柱の基準耐荷力、局部座屈を起す板の基準耐荷力とを個々に算出したものから決定する方法を用いている。これは、ひとりの実用的便法であり、全体座屈と局部座屈の連成問題が、残留応力や初期たわみ等の初期不整を含めた全体構造の耐荷力として解明されている訳ではない。そこで著者らは、薄肉開断面部材の連成座屈挙動を板要素と梁要素を結合して解析する手法を開発し、その有効性と検討してきた<sup>2)</sup>。しかしながら、従来の解析例が局部座屈しにくい断面寸法であったので、本研究では、著者らが行ったH形鋼柱の連成座屈実験<sup>3)</sup>を解析対象に選り、板要素部分の分割数や結合位置について実験結果との比較検討を行なう。その妥当性を確認し、H形鋼柱の連成座屈性状について調べようとするものである。

2. 解析理論: 本解析法の仮定や、板要素及び梁要素の剛性マトリックスの誘導、そして結合する方法についての詳細は文献2)に示してある。これまで本法を使って解析を行ってきたモデルは、部材のスパン中央点と中心に初期たわみ等の初期不整が、部材軸方向に左右対称であるものとして考え、そのモデルは、全部材長の半分と板-梁(結合点1ヵ所)として解析してきた。しかし、今回は、実験造材を解析するにあたって、その初期たわみは左右非対称であるため、全部材長にわたって初期たわみを考慮して解析できるように、図1に示すような、梁-板-梁(結合点2ヵ所)にモデル化したものを用いた。

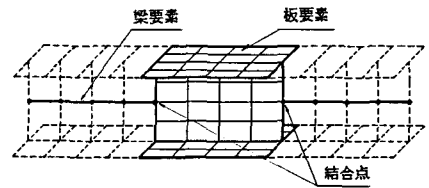


図1 結合解析のモデル

$$\left[ \begin{array}{c} \diagup \\ \diagdown \end{array} \right] = \frac{1}{2} \left( \left[ \begin{array}{c} \diagup \\ \diagdown \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{c} \diagdown \\ \diagup \end{array} \right] \right)$$

図2 四角形板要素

この系の釣合い方程式も、系の全ポテンシャルエネルギー増分の停留条件より次のように導かれた。

$$K \cdot \Delta U = \Delta P - (P - f) \quad (1)$$

ここに  $K$ : 剛性マトリックス

$$\text{板要素: } \begin{bmatrix} K_{mm} + K_{m\phi} & K_{mb} \\ K_{bm} & K_{bb} + K_g \end{bmatrix} \quad \text{梁要素: } (K_{op} + K_g)$$

添字  $m$  は面内成分、 $b$  は面外成分、 $\phi$  は面内回転成分、 $g$  は幾何学的非線形性、 $ep$  は弾塑性性を表わすものである。

3. 数値計算法: 初期たわみを有する板要素領域では板を平

面三角形要素の集合体で近似し、初期たわみは座標値として与える。残留応力は任意節点に外力を加え、初期たわみに変化を与えないよう各節点に生ずる不釣り合い力を消去する方法を用いる<sup>4)</sup>。また、板要素は、図2に示すように全て三角形要素4つの剛性を平均した四辺形要素を使用している。さらに、図3のように板厚方向の塑性域の拡がりを考慮できるように、板厚方向に層割し、各層内で応力 $\sigma$ 、応力-ひずみマトリックス $D$ は直線分布とする<sup>2)</sup>。梁要素では、塑性域の拡がりを追跡するため、材軸及び断面方向に分割している。計算は、まず式(1)の釣り合い方程式を多点拘束処理<sup>2)</sup>しておき、与えられた荷重増分に対してNewton-Raphson法を用いて、実用上充分な精度をもって平衡状態が満足するまで反復計算を行なう。そして次の荷重段階へ移行する。各荷重段階に於ける収束の判定は、増分変位と全変位との比、及び不釣り合い力と節点力との比について検討している。

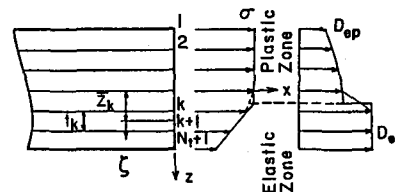


図3 板厚方向の応力、剛性状態

また、釣合式を解く際には、問題により荷重制御あるいは、変位制御の計算が可能である。

4. 数値計算例と考察：今回、本解析法の対象とした実験供試体の断面諸量は、図4に示すとおりであり、 $E$ はヤング係数、 $\nu$ はポアソン比、 $\sigma_y$ は降伏応力を表す。この実験では、ウェブの局部座屈と全体曲げ座屈挙動を調べたので、図4に示すようなモデル化を行なった。部材端は、実験と同じようにY軸まわりの回転だけを許す両端ヒンジの条件としている。また、分割された各節点には、実験で測定された残留応力、初期たわみを考慮する。図4のモデルは、要素分割を軸方向に22分割(板要素8分割、梁要素14分割)、フランジ、ウェブをそれぞれ6,4分割とし $DL=40\text{cm}$ としたもので、このモデルをModel-1とする。次に、Model-1と同じ $DL$ と軸方向分割数で、フランジ、ウェブの分割数を8,6としたモデルをModel-2とした。図5は、板要素分割数での相違を調べたものであり、スパン中央ウェブ中心点でのZ方向変位( $w$ )と荷重( $P$ )の関係を示している。最大荷重は、Model-2の方が、実験値に幾分近い様である。また、最大荷重前後の変位性状は、両モデルとも実験値に似ていることが判る。そこで、Model-1の $DL$ を60cmに、軸方向分割数を26(板要素12分割、梁要素14分割)に変えたモデルをModel-3として、これとModel-1との比較をした結果を図6に示す。板要素部分を長くしたにもかかわらずModel-1とほぼ変らない結果となった。板要素部分を長くし、要素分割を多くしたModel-3の解析値は、Model-1よりも実験値に近づくことが予想されたが、図6のような結果となった。

また、図7は、最高荷重時に於ける実験値と各モデルのウェブ中央部の板要素部分の局部座屈変形モードを示しており、各モデルとも実験値とほぼ一致している。しかし、最大荷重は実験値との差が10%以上生じた。この要因としては、①解析に用いた圧縮残留応力が、実験値より少し低い値であったこと。②節点数が多く、計算時間上の制約より、多少収束状態が悪いまま計算を実行したこと。が考えられるが、実験の信頼性を含め検討中である。

計算は、九州大学大型計算機センターのFACOM-382を用いて行なった。他に、細長比の異なる実験供試体の解析も行なっているが、その結果等については、発表当日に報告する。本報告は、昭和60年度科研費(一般研究C)で行なった研究の一部である。

#### <参考文献>

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、1980.2
- 2) 山尾崎元：「板要素とはり要素」『構造工学論文集Vol.32A, 1986.3
- 3) 山尾佐藤、荒牧崎元：土木学会第40回年講概要集、1985.9, PP.133.
- 4) 小松北田、宮崎：土木学会論文報告集、第244号、1975.12, PP.1-14.

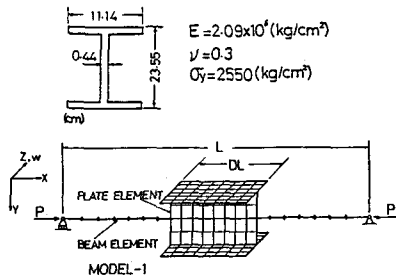


図4 解析モデル

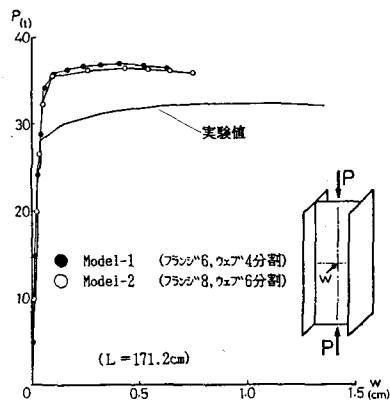


図5 スパン中央点での荷重-変位曲線 ( $DL=40\text{cm}$ )

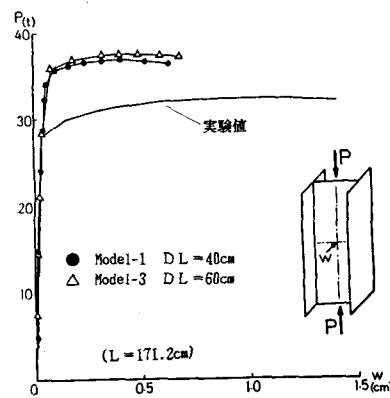


図6 スパン中央点での荷重-変位曲線 (フランジ、ウェブ同分割数)

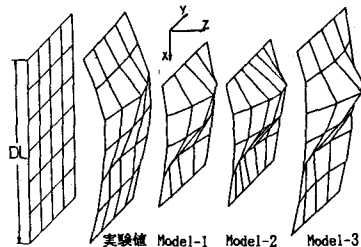


図7 ウェブの局部座屈の変形モード