

熊本大学工学部 正員 山尾敏孝
 熊本大学工学部 正員 坂田力
 京都市 正員 塚田守男
 熊本大学工学部 正員 崎元達郎

1. まえがき: 圧縮力または圧縮力と曲げを受ける薄肉鋼構造部材の連成座屈挙動を解析する一解析手法として、薄板要素の有限変位弾塑性解析法と骨組要素の有限変位弾塑性解析法を結合する手法を提案してきた^{1,2)} この手法において用いる板要素は、通常用いられている一定ひずみの三角形要素に、平面応力問題においては存在しない面内回転剛性を文献4)に用いられている方法で導入して、一節点も自由度に拡張したものである。この板要素により部材を立体構成すれば、板と板の接合線上の適合条件を満足することが可能となる。本報告は、若干の数値計算例を通して本法の妥当性を検討したものである。

2. 解析手法の概要: 解析に用いた主な仮定は、i) 材料は完全弾塑性体。ii) von Mises の降伏条件式が成立し、塑性域では Prandtl-Reuss の応力-ひずみ式が成立。板要素は、iii) 変形前板の中央面に垂直であった位置の横断面は、変形後も変形した中央面に垂直である。iv) 板厚方向への塑性域の拡がりを考えて板厚方向に層割りし、各層内で応力、面内剛性は直線分布する。また、棒要素については文献3)と同じである。さらに鋼構造物の強度に影響を及ぼす初期たわみや接合残留応力もこの解析において考慮することができるようになっている。

そして、荷重増分段階ごとに变形する物体とともに座標系を移動させる移動座標系を用いており、これにより非常に大きな変形まで解析が可能となる。さて、要素の局所座標系 (x, y, z) を図1に示すように設定し、局所座標系での増分節点変位、増分節点力をそれぞれ $\Delta u, \Delta P$ とする。(図1は板要素の場合) また別に全体座標系を定める。いま、図2に示すように i から $i+1$ 状態に変形する時、系の全ポテンシャルエネルギー増分の停留条件より増分節点力と増分節点変位を関係づける次の増分つり合い式が導かれる。

$$k \cdot \Delta U = \Delta P - (P - f)$$

ここに k は、接線剛性マトリックスで板要素および棒要素は次式となる。

$$\text{板要素: } \begin{bmatrix} k_{mn} + k_{\phi} & k_{mb} \\ k_{bn} & k_{bb} + k_g \end{bmatrix} \quad \text{棒要素: } (k_{ep} + k_g)$$

なお添字 m は板の面内成分、 ϕ は面内回転成分、 b は面外成分、 g は幾何学的非線形性、 e_p は弾塑性性をそれぞれ表わす。上式を座標変換マトリックスにより全体座標系に変換し、全要素について集積すれば全体座標系での増分つり合い式が得られる。この時、外荷重 P_{M+1} と i における節点力 F_i の差が不釣り合い力となる。(図2) この式を結合部において多点拘束処理をしておき、与えられた増分荷重に対して Newton-Raphson 法を用いて解き、不釣り合い力による増分変位と増分応力が平衡状態を満足するまで反復計算を行なう。そして次の荷重段階に移行する。

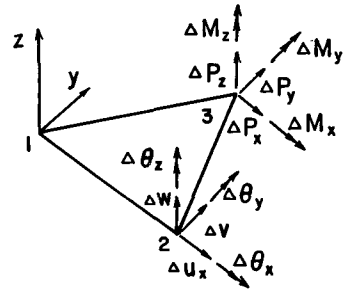


図1 要素の局所座標系、増分節点変位及び増分節点力

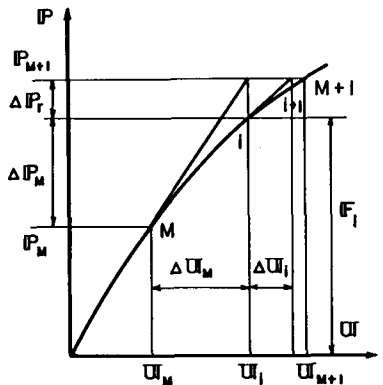


図2 荷重-変位曲線

3. 計算例： 幾何学的非線形問題の例として図4に示すような片持りの大変形問題について解析した。はりの断面諸量や分割方法は図3に示すとおりで、A点を自由端として載荷した。また、図中のDLは板要素部分の長さを表わしている。板要素の分割数は、フランジ部を6分割、ウェブ部を4分割および材軸方向に5分割した。棒要素は材軸方向に8分割である。図4の実線は楕円積分分解であり、点線は線形解である。DL=10, 15cmの二通りについて行なったが、この程度の分割数、結合位置でよいことがわかる。

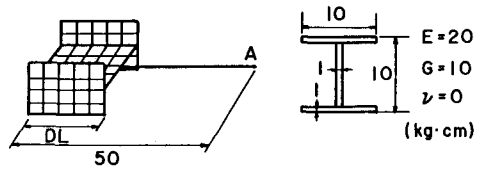


図3 解析モデル

図5は、はり-柱の解析例でスパン中央部の荷重-変位曲線を示したものである。解析モデルは図3に示すH形断面で、要素の分割等は前の例と同じである。また、解析は単純はりなので右半分について行ない、A点が右支点になるよう定め、DL=10cmとした。横荷重Qは最大初期たわみ v_0 が $L/1000$ および $L/100$ になるように載荷する二通りについて行なった。図中の実線は楕円積分分解である。図には骨組解析の結果も示してあるが、これと比較すると結合解析の方の変形が多少小さくできているようである。

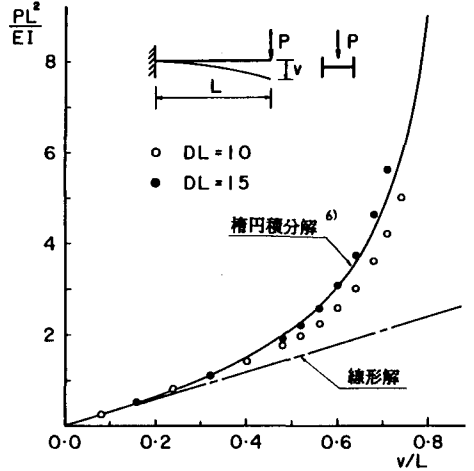


図4 片持りの荷重-変位曲線

図6は弾塑性問題の例として軸圧縮力を受けるH形鋼柱の弾塑性座圧解析を行なったもので、スパン中央部の荷重-変位曲線である。要素の分割、結合位置および材料定数は図中に示してある通りである。また解析では図中に示すような正弦波形の初期変形を与えている。藤田らの実験結果⁷⁾と比較すると、最大荷重は少し大きくできているがよく一致していると思われる。なお計算は荷重点の軸方向圧縮変位を制御して行なった。

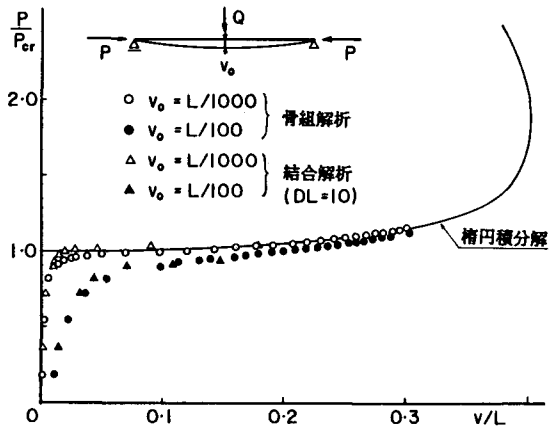


図5 はり-柱の荷重-変位曲線

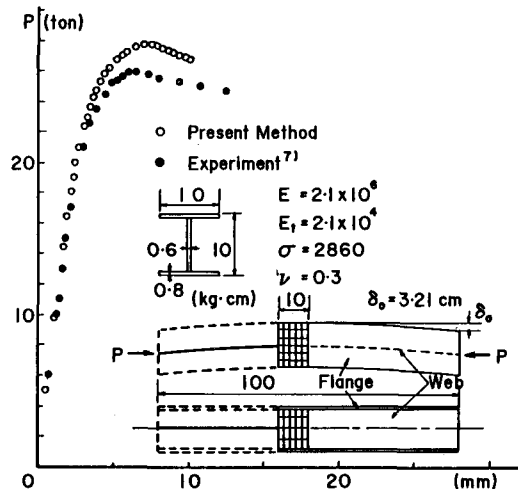


図6 H形鋼柱の荷重-変位曲線

<参考文献>

- 1) 山尻・若上・宮田・通元：西部支部講演概要集，1984.2
- 2) 山尻・若上・宮田・通元：土木学会第37回年講概要集，1984.10
- 3) 山尻・坂田・崎元：西部支部講演概要集，1985.2
- 4) 鈴木・金子：日本建築学会論文報告集，第316号，1982.6
- 5) 小松・北田・宮崎：土木学会論文報告集，第244号，1975.12
- 6) Bishop & Drucker：Quart. of Appl. Math. Vol. II, No.3, 1945
- 7) 藤田・吉田・高沢：日本造船学会論文集，第122号，1973