

結合解析によるはりの有限変位解析

熊本大学 正 員 山尾敏孝
 熊本大学 学正員 堀田守男
 熊本大学 学正員 坂田 力
 熊本大学 正 員 崎元達郎

1. まえがき： 近年 構造解析においては、有限要素法が一般的な手法である。しかしながら、長大かつ複雑な薄肉構造物を解析する場合、全体を板要素に分割して計算することは、記憶容量、計算時間が膨大なものとなる欠点がある。そこで著者は、構造物全体の解析手法として図1に示すように板要素と棒要素の有限要素法を結合した解析手法を提案し、さらにこの解析手法を初期たわみや残留応力等の初期不整や幾何学的、材料学的非線形性などを考慮した解析法に拡張して、薄肉構造物の非線形挙動や耐荷力解析が可能な解析手法の開発を試みてきた。^{1), 2)} 本報告は、T形鋼断面の片持ち梁を解析例にとりフランジ分割数および結合位置を変化させた場合について本法の妥当性を調べてみたものである。

2. 解析方法の概要：

解析に用いた仮定ならびに接線剛性マトリックスの誘導については、文献2)に述べた方法と同じである。しかし、板要素については、結合時の定式化に多少無理な点が存在することがわかったので、ここでは通常用いられている三角形平板要素に、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5)に用いられている方法で導入し、一節点6自由度に拡張した板要素を用いて解析した。板要素および棒要素の局所座標系(x, y, z)は、図2に示すように設定する。また別に全体座標系(X, Y, Z)を定めるものとする。さらに、局所座標系での節点変位、節点力を図に示すように設定している。

いま、増分つり合い式は節点力増分を Δp 、節点変位増分を Δu とすれば次式のように表わされる。²⁾

$$k \cdot \Delta u = \Delta p - (p - f) \quad (1)$$

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。

$$\text{板要素} ; \begin{bmatrix} k_{mm} & k_{bm} \\ k_{bm} & k_{bb} + k_g \end{bmatrix} \quad \text{棒要素} ; (k_{ep} - k_g)$$

なお添字 m は板の面内成分、 b は面外成分、 g は幾何学的変化を考慮する成分、 ep は弾塑性を考慮する成分である。また式(1)右辺の $(p - f)$ は不つり合い力である。式(1)を座標変換マトリックスにより全体座標系に変換し、これを全要素について集成すれば全体座標系での増分つり合い式が得られる。この式を多点拘束処理を行い、与えられた荷重増分に対してニュートン・ラアソン法を用いて解き、不つり合い力による増分変位と増分応力が収束条件を満足する

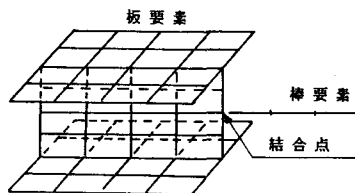
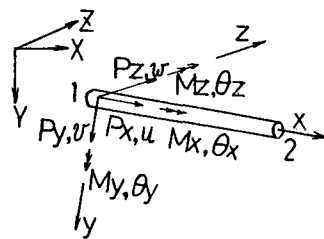
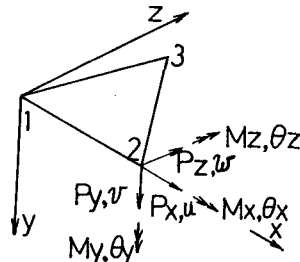


図-1 結合解析モデル



a) 棒要素



b) 板要素

図-2 要素座標系、節点変位及び節点力

まで反復計算を行う。そして次の荷重段階に移行する。

3. 数値解析例：

本法の妥当性を検証するために、図3～5に示すI形断面を有する片持梁を解析例とし、本法と骨組解析法および他の解析法との比較を行なった。モデルの形状寸法、荷重条件、ヤング率E、ポアソン比 ν はそれぞれ図中に示すものを使用した。

図3は、横方向荷重を受けた梁の大変形問題である。板要素のウェブの分割数は4で、フランジ部を4～6分割と変化させた。なお固定端より結合部までの長さをDLとし、材軸方向に5分割している。図中の縦軸は自由端に作用する面外荷重、横軸はたわみを表す。また実線は橋口積分解であり、点線は線形解である。これよりフランジの分割数が6程度で十分、積分解に一致することがわかる。さらに、結合部までの長さは0.2～0.3L程度で良いことがわかる。

図4は、片持梁が自由端にねじり荷重を受けた場合、フランジ部の分割数とその精度について調べたものである。ウェブの分割数は4とし、結合部までの長さは0.3Lとし、フランジ部の分割数を2～6と変化させた。縦軸にねじり角、横軸は固定部よりの距離を表す。分割数が増えるにつれて、骨組解析の値に近づいていることがわかる。これは、必ずみ一定の板要素を使用している関係上、どうしても分割数を多くしなければ、精度があがらないためであると考えられる。

図5は、初期変形を有する片持梁の自由端に横荷重が作用した時の弾性座屈解析である。本法は、ウェブ6分割、フランジを2～4と変化させて解析した。なお結合部までの距離は固定部より16.25inとした。図中、縦軸は横荷重、横軸は自由端の面外変位である。また、エプスタインらの解析⁶⁾、実験結果⁷⁾および骨組解析の結果も図示してある。これらの結果と本法を比較すると、実験の座屈荷重付近に達してもまだ変位が小さく、座屈荷重が大きき計算されていることがわかる。これは、フランジの分割数の少なさや結合部までの長さが短いことが考えられるが、今後検討すべき問題であると思われる。

＜参考文献＞

- 1) 山尾 浩上・宮田 満元：西都支部 講演概要集，1984. 2
- 2) 山尾 浩上・宮田 満元：土木学会才39回年議 概要集 1984. 10
- 3) 山尾 満元・菊池：土木学会才35回年議 概要集 1980. 9
- 4) 鈴木・金子：日本建築学会 論文報告集才316号 1982. 6
- 5) Bisshop and Drucker: Quart. of Appl. Math. Vol. III, No. 3, 1945
- 6) Epstein and Murray: Int. J. Solids Structures Vol. 12 1976
- 7) Trahair and Woolcock: J. Engng Mech. Div. ASCE 100 1974

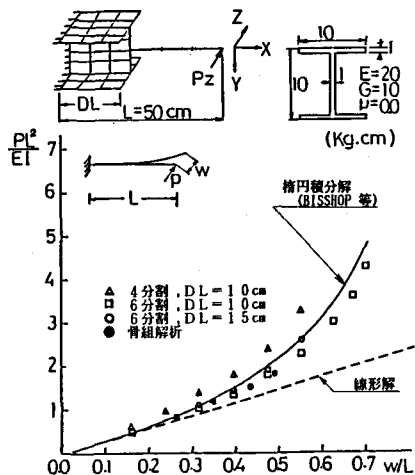


図-3 荷重-変位曲線 (7x7" 4分割)

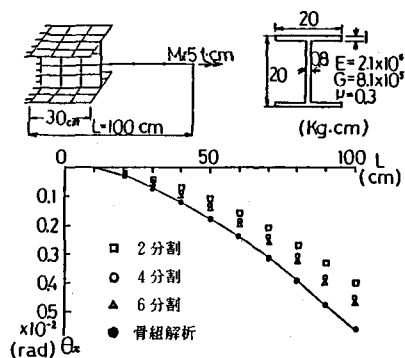


図-4 ねじり角の分布 (7x7" 4分割)

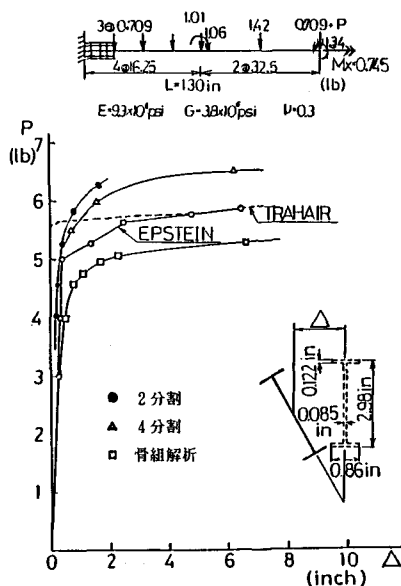


図-5 荷重-面外変位曲線 (7x7" 6分割)