

愛媛大学工学部	正員	大賀	水田生
(株)長 大	正員	○高上	顕
建設省		山崎	元司
徳山高専	正員	原	隆

1. まえがき

土木構造物の非線形解析の分野において、有限要素法(FEM)は最も有効で一般的な方法であり種々の要素や非線形計算法に基づく汎用プログラムが開発されている。しかしながら、このFEMを用いて薄肉断面部材の部材軸方向の外力を受ける場合の解析(耐荷力解析)を行う場合、構造モデルによっては解が不安定になることがあるという問題点が指摘されている。そこで本研究では、この原因として、解析で導入される初期変形に問題があると考え、座屈時の変形モードをFEM耐荷力解析における初期変形として用いることを提案し、板構造および複数の板パネルで構成される薄肉断面部材の耐荷力解析を行い、従来の三角関数による初期変形により得られた解と比較することにより、この提案した初期変形の妥当性および有効性について検討した。

2. 薄肉断面部材の座屈応力および変形モードの決定方法

本研究において、薄肉断面部材の座屈応力および変形モードの決定に用いた伝達マトリックス法(TMM)は、他の解析法に比較して著しく少ない変数および計算量で高精度の解(線形解)を得ることが可能な効率的な方法である。まず、薄肉断面部材を構成する板/パネルの支配方程式より誘導される格間伝達マトリックス F_i および各板/パネル間の状態量を関係づける座標変換マトリックス P_i を用いることにより、例えば図-1に示すU型断面部材の両端での状態量を関係づける伝達式が次式のように得られる。

$$Z_3 = F_3 \cdot P_2 \cdot F_2 \cdot P_1 \cdot Z_0 = U \cdot Z_0$$

そして、両端の境界条件を考慮することにより、座屈応力および初期状態量を求め、再び伝達計算を行うことにより、変形モードを決定する。

3. 座屈時の変形モードを初期変形として用いることの妥当性と有効性の検討

i) 板構造

図-2に示す四辺単純支持板(幅: $a=80\text{cm}$ 、長さ $L=240\text{cm}$ 、板厚: $t=0.8\text{cm}$)に、三角関数(図-3(a))および座屈時の変形モード(図-3(b))を初期変形として用いて、FEM耐荷力解析を行った。なお、各荷重段階での載荷方法として、実際の荷重を直接載荷する荷重載荷法1、荷重載荷法1において任意点の変位を制御する荷重載荷法2、および端部の強制変位により荷重を与える強制変位法を用いた。図-4に示す、平均応力度 $\bar{\sigma}/\sigma_y$ と板中心における面外変位の関係より明かなように、三角関数による初期変形を用いた場合(白抜き)、荷重載荷法1では最大耐荷力は得られているが、板中心が初期変形とは逆方向へと変形している。また荷重載荷法2では、小さな荷重段階で解が発散し、面外変形もほとんど現れていない。また強制変位法においても、最大耐荷力発生以降、不安定な挙動を示している。一方、座屈時の変形モードを初期変形として用いた場合(黒印)、全ての載荷法において安定した解が得られて

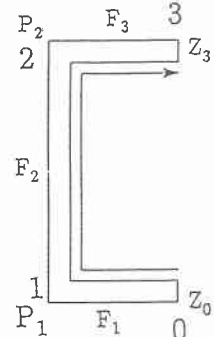


図-1 C型断面部材

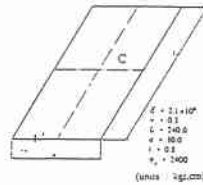


図-2 解析モデル

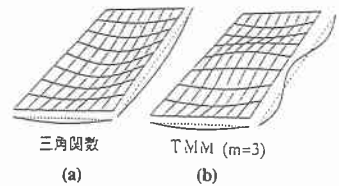


図-3 初期変形

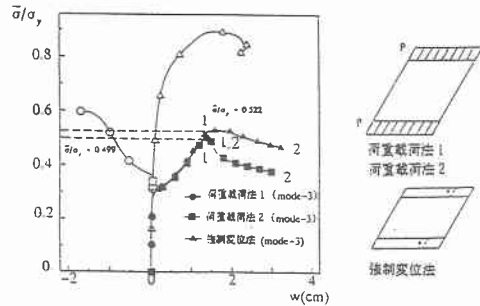


図-4 平均応力-変位曲線

おり、TMM座屈解析より得られた座屈応力 $\sigma_k = 758.4 \text{ kgf/cm}^2$ ($\bar{\sigma}/\sigma_y = 0.316$) 付近で面外変形が急激に大きくなる座屈現象が生じている。また図-5に示す解析終了時における変形図において、三角関数による初期変形を用いた場合(図-5(a))、荷重載荷法1では板中心が逆方向へと変形するモード数 $m=3$ へと移行している。このため初期変形と同じ方向へ変位制御量を規定した荷重載荷法2では、この挙動に追尾できず早い段階で発散してしまったものと考えられる。また強制変位法においても、初期変形と異なる形状へと移行している。一方、座屈時の変形モードを初期変形として用いた場合(図-5(b))、いずれの載荷法とも初期変形と類似の形状を維持している。

ii) 薄肉断面部材

図-6に示す曲げ面内力を受けるI型断面部材(フランジ幅: $a=20\text{cm}$ 、長さ $L=96\text{cm}$ 、高さ $h=80\text{cm}$ 、板厚: $t=0.8\text{cm}$)に、三角関数(図-7(a))および座屈時の変形モード(図-7(b))を初期変形として与え、FEM耐荷力解析を行った。図-8に示す曲げモーメント M/M_y と板中心における面外変位の関係より明らかなように、三角関数による初期変形を用いた場合、 $M/M_y=0.85$ 付近で解が不安定になっているが、座屈時の変形モードを用いた場合、全体を通じて安定した解が得られているとともに、その最大耐荷力は三角関数による初期変形を与えた場合に比較して大幅に減少している。図-9に示す、解析終了時における変形図において、三角関数による初期変形を用いた場合(図-9(a))、初期変形と異なる形状すなわちフランジおよび腹板の中央部が突き出た形状へと移行しているのに対し、座屈時の変形モードを用いた場合(図-9(b))、いずれの載荷法とも初期変形と類似の形状を維持している。

4. 結論

本研究により得られた主な結論は次のとおりである。

- 1) 座屈時の変形モードを初期変形として用いた場合、いずれの載荷方法においても安定した解が得られるとともに、初期変形と類似の形状を維持することが明かとなった。
- 2) 三角関数による初期変形を用いて安定した解を得られる場合においても、その最大耐荷力は座屈時の変形モードによる最大耐荷力と比較して大きくなる場合があることが明かとなり、FEM耐荷力解析で得られた解の信頼性については十分に検証することが必要である。

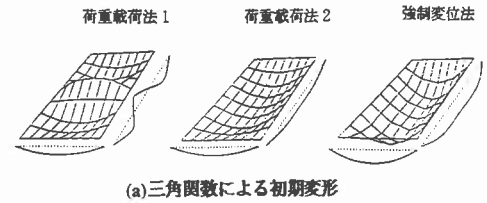


図-5 変形図

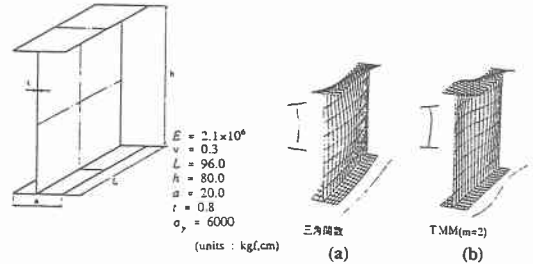


図-7 初期変形

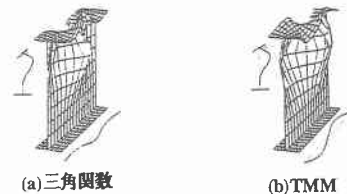
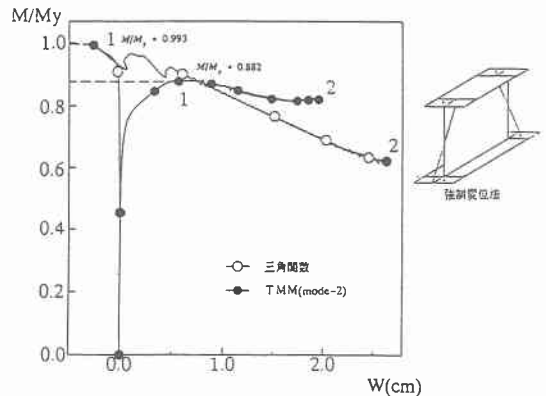


図-9 変形図