

愛媛大学工学部 正員 大賀 水田生  
 (株) 長大 正員 高上 顕  
 愛媛大学大学院 学生員 ○崎濱 忍

## 1. はじめに

本研究では、有限要素法を用いた軸圧縮力を受ける薄肉断面部材の耐荷力解析(FEM 耐荷力解析)での初期不整として、線形座屈荷重に対する座屈モードを導入して解析を行い、初期不整が部材の非線形挙動および耐荷力に及ぼす影響を検討した。初期不整として、伝達マトリックス法により得られる部材の座屈時の変形モードを用いており、FEM 耐荷力解析ではアイソパラメトリック要素を用い、幾何学的および材料学的非線形性を考慮している。

## 2. 伝達マトリックス法による薄肉断面部材の座屈解析

1) 格間伝達マトリックス 板パネルの微小要素に関する断面力の釣合方程式、ひずみ-変位関係式および断面力-ひずみ関係式より状態量  $Z = \{w, \varphi_y, M_y, V_y, v, u, N_y, N_{yx}\}^T$  に関する連立偏微分方程式を誘導し、相対する 2 辺( $x=0, a$ )が単純支持されていることを考慮して  $x$  方向成分を三角関数で表現することにより、次のような一階の連立常微分方程式が得られる(図-1)<sup>1)</sup>。

$$\frac{d}{dy}Z = Z^* = A(y)Z \quad (1)$$

上記の常微分方程式(1)を数値積分することにより格間伝達マトリックス  $F$  が得られる<sup>4)</sup>。

$$Z = \exp(Ay)Z_0 = FZ_0 \quad (2)$$

2) 座標変換マトリックス (図-2)示すように、薄肉断面部材の各板パネルでの状態量は局所座標系に依存しており、隣接する板パネル間で状態量を伝達させるためには、隣接する板パネルの接合線上での状態量を関係づける必要がある。そこで本研究では接合線上での状態量を関係づける座標変換マトリックス  $P_i$  を用いて、隣接する板パネル間の状態量を関係づけている<sup>1)</sup>。

$$Z_i^L = P_i Z_i^R \quad (3)$$

ここに、上添字の  $L$  および  $R$  は接合線  $i$  の左右の状態量であることを示す。

## 3. FEM 耐荷力解析

伝達マトリックス法により得られた座屈モード  $m=1, 2, 3, 4$  に対する変形モードを初期不整として導入し、一様な面内圧縮力を受ける U 型、箱型および I 型断面部材の FEM 耐荷力解析を行い、初期不整が部材の非線形挙動に及ぼす影響を検討した。本研究では、9 節点を有するアイソパラメトリック退化シェル要素を用

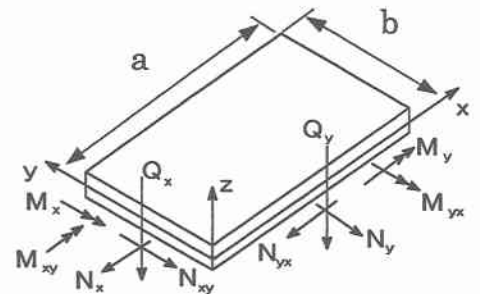


図-1 板パネルの断面

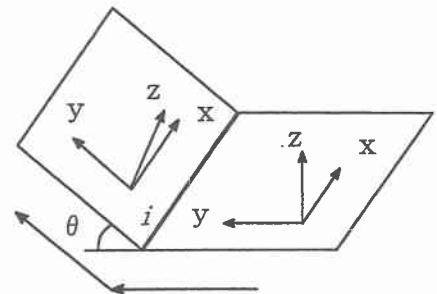


図-2 接合線  $i$  での状態量の関係

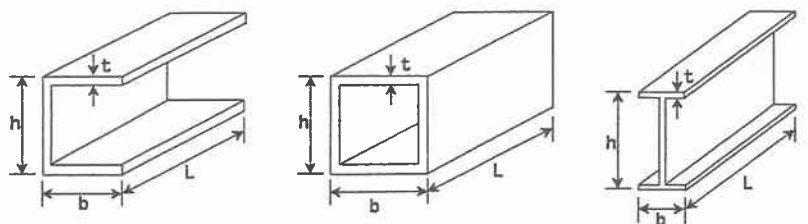


図-3 薄肉断面部材

いており、解析では幾何学および材料的非線形性を考慮している。材料は von Mises の降伏条件に従うものとするとともに、Prandtl-Reuss の応力-ひずみ関係式を採用している。非線形計算には荷重増分法を用いているが、各荷重増分段階における載荷法として部材端部に変位を加える方法を用いている。なお初期不整の振幅の大きさは、いずれのモデルにおいても  $w_0=0.01 t$  ( $t$ : パネル厚) とした。

#### 4. 解析結果

図-4 に箱型断面部材(図-3(b); 板幅比:  $h/b=1.0$ , 板厚比:  $h/t=100$ , 部材長比:  $L/h=0.5 \sim 5.0$ ,  $\sigma_y=235.2.6\text{Mpa}$ )での TMM による座屈係数  $k$  と部材長比  $L/h$  の関係を示しているが、この部材の座屈係数は 4 辺単純支持板に対する結果と全く一致している。なお、図-4 には参考のため、パネル間の接合条件を固定(C-C)とした場合の板パネルの結果も同時に示している。

図-5 に部材長比  $L/h=4.0$  での箱型断面部材に部材軸方向モード  $m=1,2,3$  および 4 に対する座屈時の変形モードを初期不整として与えた場合の FEM 耐荷力解析により得られた平均応力度  $\sigma/\sigma_y$  と初期不整の最大となる点における面外変位  $w$  の関係を示すとともに、TMM により得られたそれぞれの座屈モードに対する座屈荷重をも同時に示している。さらに、図-6 には座屈発生付近、最大耐荷力付近における変形図を示している。

図-5 より明らかなように、座屈モード  $m=1$  に対する初期不整を与えた場合、 $m=3$  に対する座屈荷重付近 ( $\sigma_{k,m=3}/\sigma_y=0.34$ ) で面外変形が急激に大きくなる座屈現象が認められる。その後、面外変形の増加に伴い幾何学的非線形が生じ、TMM による座屈荷重の約 1.7 倍 ( $\sigma_{k,m=3}/\sigma_y=0.57$ ) の耐荷力が得られている。変形図は初期不整( $m=1$ )から  $m=3$  の変形形状に変化している(図-6)。最小座屈荷重に対する初期不整( $m=4$ )を与えた場合、最小座屈荷重より少し小さい荷重段階から変形が徐々に増大している(図-5)。また、変形形状は図-6 に示すように初期不整と類似の変形を解析を通じて維持している。座屈モード  $m=2$  および 3 に対する初期不整を与えた場合、それぞれ  $m=1$  および 4 での結果と同様な結果が得られている。

#### 参考文献

1)Ohga, M., Hara T. and Kawaguchi K. (1995),“Buckling Mode Shapes of Thwin-Walled Members”, *Computers & Structures*, 54(4), 767-773.

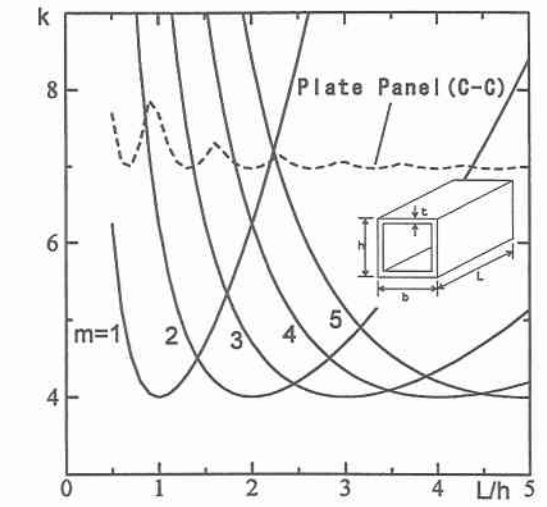


図-4 座屈係数曲線(箱型)

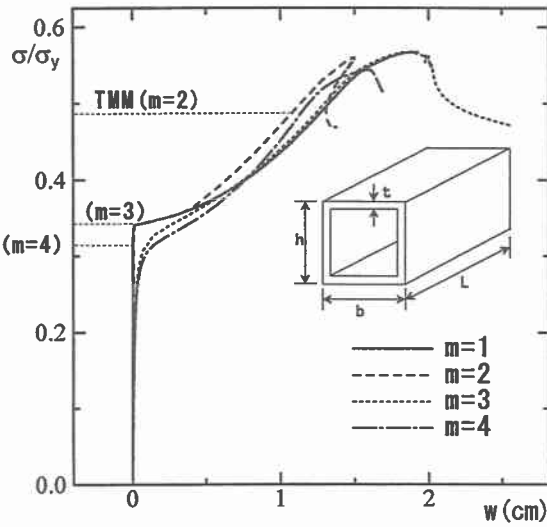


図-5 荷重-変位曲線(箱型,  $L/h=4$ )

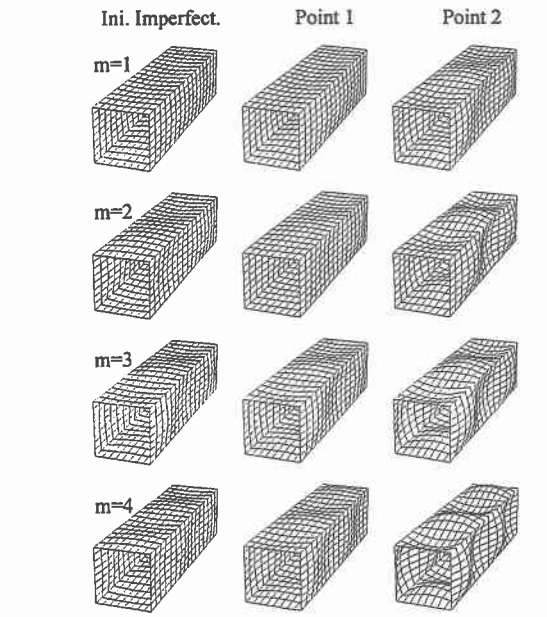


図-6 変形形状(箱型,  $L/h=4$ )