

愛媛大学工学部 正員 大賀 水田生
愛媛大学大学院 学生員 ○井澤 広 志

1. はじめに

本研究では、まず伝達マトリックス法を用いて軸方向圧縮力を受ける薄肉断面部材の座屈解析を行い、部材の座屈強度および座屈モードについて考察する。次に部材の FEM 弾性非線形解析を行い、部材の非線形挙動と座屈強度および座屈モードとの関連性を検討するとともに、全体および局部座屈の連成について考察した。

2. 伝達マトリックス法による薄肉断面部材の座屈解析

薄肉断面部材を構成する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-ひずみ関係式より求められる状態量 $\mathbf{z} = \{w, \phi_y, M_y, V_y, v, u, N_y, N_{yx}\}^T$ に関する一階の連立常微分方程式を数値積分することにより得られる格間伝達マトリックス $\mathbf{F}$ 、および隣接する板パネルの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 $\mathbf{P}$ を掛け合わせることで解析を行う。

3. FEM 耐荷力解析

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いており、解析では幾何学的非線形性を考慮している。非線形計算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強制的に変位を加える強制変位法を用いている。なお、解析は初期不整無し、局部的初期不整 ($w_0/t = 0.42$) および全体的初期不整 ($w_0/t = 0.83, 1.67, 3.33$) について行った。

4. 解析結果

図-1 に TMM により得られた U 型断面部材(板幅: $a/h=1$ 、部材長比: $t/h=0.01$)の座屈係数 $k(=tb^2/\{\pi^2 D\} \cdot \sigma$ 、 D : 板パネルの曲げ剛性)と板幅比 L/h の関係(座屈強度曲線)を示しており、図-2 には板幅比 $L/h=40$ での部材軸方向モード $m=16 \sim 20$ に対する座屈係数 k および変形状を示している。これらの図より明らかなように、最低座屈係数は $m=18$ で得られているが、座屈モード $m=16 \sim 20$ に対する座屈係数 k は非常に接近している。

図-3 には FEM 非弾性挙動解析により得られた荷重-変位曲線を示している。なお、縦軸に平均応力を TMM により得られた座屈荷重で除した値 σ/σ_k 、横軸に部材中央のフランジ端部における面外変位 w を板厚 t で除した値 w/t をとっている。図-3 より明らかなように、いずれの場合も $\sigma/\sigma_k = 1.1$ 付近で面外変形が突然大きくなる座屈現象が生じている。

図-4 に局部的初期不整を導入した場合の変形状の変化の様子を示している。座屈発生前(図-4(a):点 A)では部材中央部に面外変形が局部的に発生し、荷重が B_b, B, B_a と増加するにつれて中央部の変形が両端部に伝播している。座屈発生後(図-4(a):点 C)の変形状は点 B_a での変形状と類似しており($m=15$)、座屈発生後

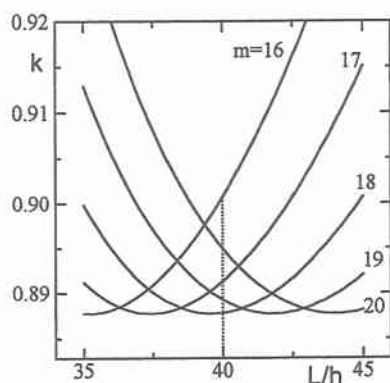


図-1 座屈係数曲線

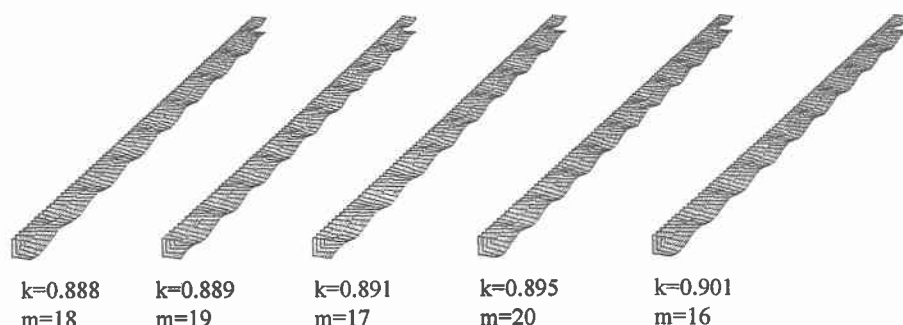


図-2 変形モード ($L/h=40$)

は同一の変形状を維持していることが推察される．図-4(a)には TMM で得られた座屈モード $m=15$ に対する座屈強度も同時に示しているが、この値は座屈発生時(図-4(a):点 B)での荷重と非常によく一致している．なお、全体を通じて部材の全体的変形は殆ど見られない．

図-5 には全体的初期不整($w_0/t=0.83$)を導入した場合の変形状の変化の様子を示している．座屈発生前(図-5(a):点 A)では初期不整と類似の変形のみが見られ、局部的変形は殆ど生じていない．座屈発生直前(図-5(a):点 B_b)では部材両端部に局部的変形が生じ、座屈発生時(点 B)から座屈発生直後(点 B_a)にかけて部材中央に変形が伝播する様子が見られ、全体変形と局部変形が混在した変形状となっている．座屈発生後(点 C)の変形状は点 B_a での変形状と類似している($m=15$)．図-5(a)には TMM で得られた座屈モード $m=15$ に対する座屈強度も同時に示しているが、この値は座屈発生時(図-5(a):点 B)での荷重と非常によく一致している．

図-6 には初期不整を与えない場合の変形状の変化の様子を示している．座屈発生以前(図-6(a):点 A)では部材の変形は殆ど見られないが、座屈発生直前(点 B_b)で部材の両端部に小さな局部的面外変位が発生し、座屈発生(点 B)から座屈発生直後(点 B_a)にかけて部材両端部から中央に変形が伝播している．

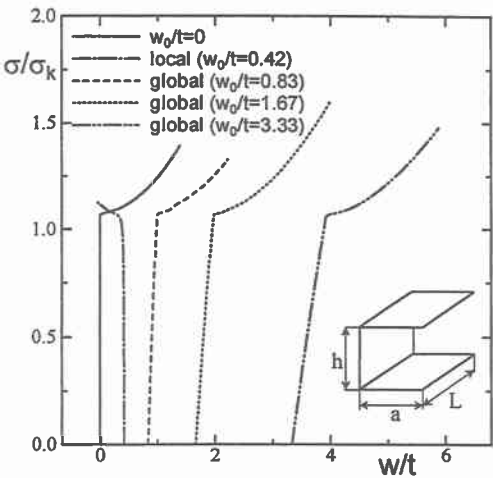


図-3 荷重－変位曲線 (U 型, $L/h=40$)

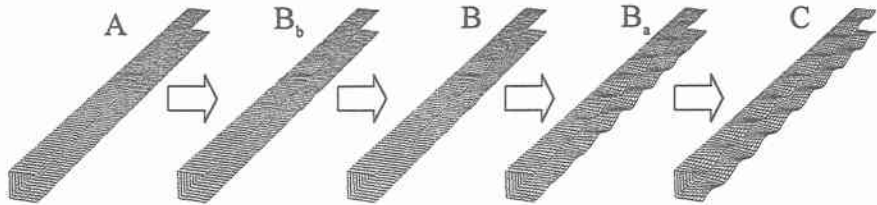
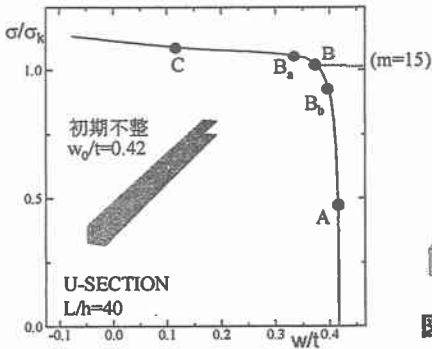


図-4 変形状の変化 (局部的初期不整, $w_0/t=0.42$)

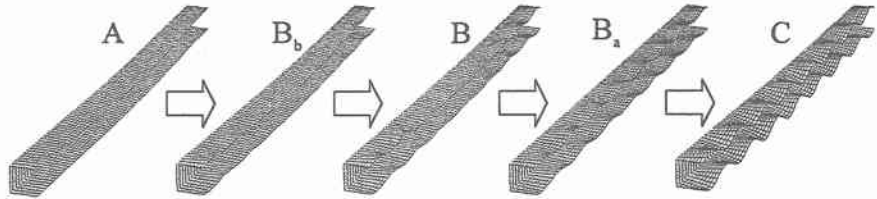
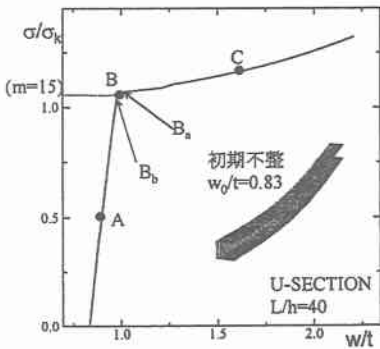


図-5 変形状の変化 (全体的初期不整, $w_0/t=0.83$)

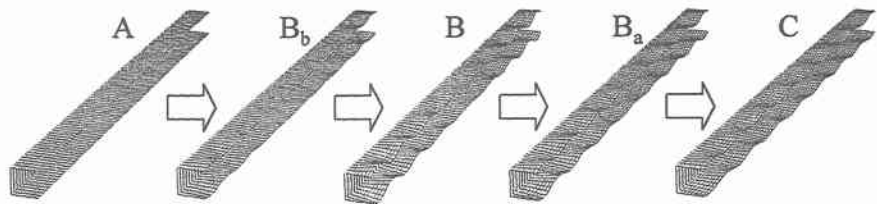
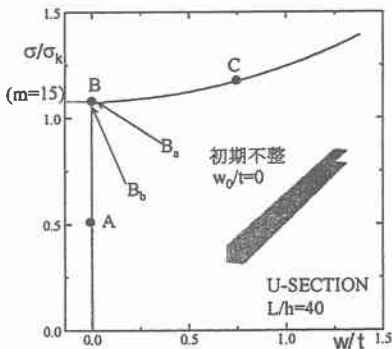


図-6 変形状の変化 (初期不整無し, $w_0/t=0$)