

薄肉閉断面部材の非線形解析について

愛媛大学工学部
愛媛大学大学院
徳山 高 専

正 員
学生員
正 員

大賀水田生
○高橋 徹
原 隆

1.まえがき 本研究ではアイソパラメトリック要素を用いた有限要素法を薄肉閉断面部材に適用する場合の基本的特性を明らかにするため、平板及び箱型断面モデルを用いて要素剛性マトリックス作成での数値積分法、層数及び板厚比を種々変化させ、解の収束性の比較・検討を行うとともに、簡単な薄肉閉断面部材の線形及び非線形解析を行った。

2.立体構造への拡張 図-1(a)に本法で用いた8節点を有するアイソパラメトリック要素を、図-1(b)に要素節点kでの節点座標系及び5つの節点自由度(u,v,w,β₁,β₂)を示している。本要素を図-2(a)に示すような折板部材に適用する場合、板パネルの接合辺上の節点では二つの節点座標系が存在する(図-2(b))。ところで、前述の5節点自由度のうち回転成分(β₁,β₂)は節点座標系に依存しているので、これらの成分の適合性を保持するため、座標系を統一する必要がある。そこで、本研究では一方の要素(要素2)の節点座標系に関する回転変位の他方の座標系(要素1)への変換を行った。まず要素2の節点座標系に関する回転変位(²φ_i=[²β_{1i},²β_{2i},0]^T)の全体座標系(⁰φ_i)への変換式は次式で与えられる。

$${}^0\phi_i = [{}^2r] \cdot {}^2\phi_i \qquad \dots\dots (1)$$

ここに、下添字は回転変位の属する要素節点番号を、上添字は座標系の属する要素番号を示しており、またrは節点座標系と全体座標系を関係づける座標変換マトリックスである。さらに、全体座標系に関する回転変位⁰φ_iの要素1の節点座標系への変換式は次式となる。

$${}^1\phi_i = [{}^1r] \cdot {}^0\phi_i \qquad \dots\dots (2)$$

式(1)、(2)より回転変位成分²φ_iの座標変換式は次式で与えられる。

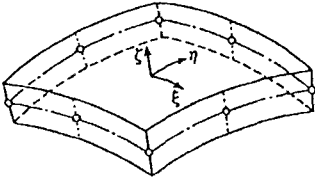
$${}^1\phi_i = [{}^1r] \cdot [{}^2r] \cdot {}^2\phi_i \qquad \dots\dots (3)$$

ここで、変位成分(u,v,w)は全体座標系で定義されることを考慮すると、5つの節点自由度²u_iの変換式は次式となる。

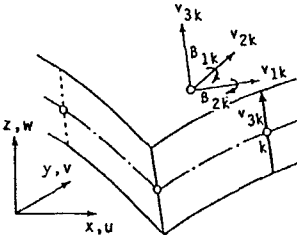
$${}^1u_i = [R_i] \cdot {}^2u_i \qquad \dots\dots (4)$$

ここに
$${}^1u_i = [u_i, v_i, w_i, {}^1\beta_{1i}, {}^1\beta_{2i}, {}^1\beta_{3i}]^T$$
$${}^2u_i = [u_i, v_i, w_i, {}^2\beta_{1i}, {}^2\beta_{2i}, 0]^T$$
$$[R_i] = \begin{bmatrix} 1 & & & & \\ & 1 & & & \\ & & 1 & & \\ & & & [{}^1r] & \\ & & & & [{}^2r] \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} 1 & & & & \\ & 1 & & & \\ & & 1 & & \\ & & & [{}^1r] & \\ & & & & [{}^2r] \end{bmatrix}$$

要素2に属する全ての接合辺上の節点1,7及び8(図2-(a))について座標変換式(4)を考慮すると要素剛性マトリックスの変換は次式で与えられる。

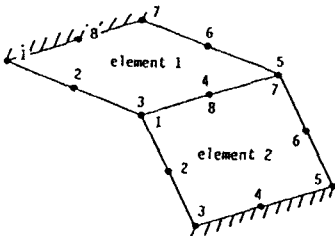


(a)アイソパラメトリック要素

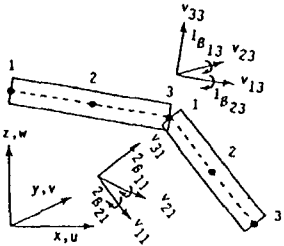


(b)節点座標系及び自由度

図-1



(a)折板部材



(b)座標系

図-2

$$k_2 = c^T \cdot 2 \cdot k_2' \cdot c \quad [c] = \begin{bmatrix} R_1 \\ I \\ \vdots \\ I \\ R_7 \\ R_8 \end{bmatrix}$$

I: 単位マトリックス

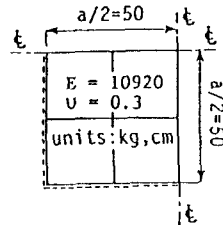
3. 数値計算結果及び考察

(i) 解の収束性 本法の収束性を検討するため、図-3(a,b) に示す等分布荷重を受ける四辺単純支持板及び両端単純支持箱型断面モデルについて数値積分法

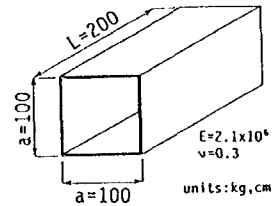
(減少、選択、普通積分)、層数(N=1~10)及び板厚比(平板:t/a=0.01~0.1,箱型:t/a=0.01~0.2)を種々に変化させ解析を行った。

図-4(a,b) に箱型断面モデルのt/a=0.01及びt/a=0.1 での解の収束状態の比較を、さらに図-5にt/a=0.1 での計算時間の比較を示している。なお、図-4の縦軸には、3節点を有する3角形要素を用いた有限要素(144要素)により得られた結果との誤差をとっている。収束解はいずれの板厚比においても数値積分法に関係なくN=8 でほぼ一定値に達しているが、減少積分、選択積分に比較して、普通積分による収束解の精度は著しく劣っており、その誤差はt/a=0.01では70%、t/a=0.1では19%となっている。計算時間については、いずれの板厚比においても層数Nの増加とともに増加しているが、減少積分を用いた場合、最も少ない計算量で収束解が得られており、N=8 においては選択積分、普通積分と比較して 63%以下の計算時間となっている。図-6、7に平板及び箱型モデルでの板厚比(t/a)と収束解の精度の関係を示している。なお、本数値例では層数N=8 とし、縦軸に選択積分による解との誤差をとっている。箱型モデルでの普通積分による解の収束性は平板モデルと比較して少し劣っているが、両者は良く似た傾向を示している。

(ii) 数値計算例 図-8に等分布荷重を受ける箱型断面モデルの選択積分かつ層数N=8 とした場合の解析結果を示している。なお、本数値例では対称性を考慮し、1/4部分を8要素に分割し、幾何学的及び材料学的非線形性を考慮している。

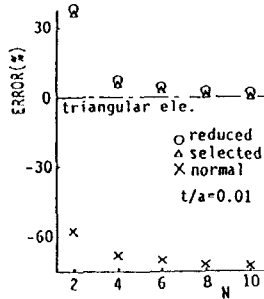


(a) 四辺単純平板

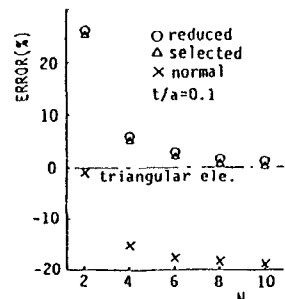


(b) 両端単純箱型断面

図-3 解析モデル



(a) t/a=0.01



(b) t/a=0.1

図-4 収束状態の比較

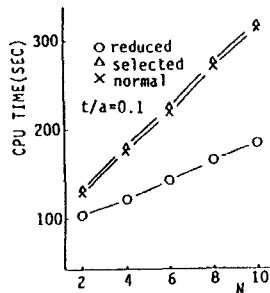


図-5 計算時間の比較

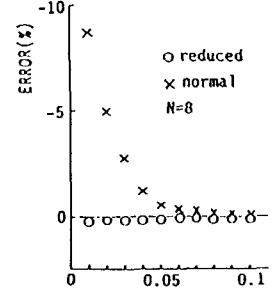


図-6 収束解の精度 (平板)

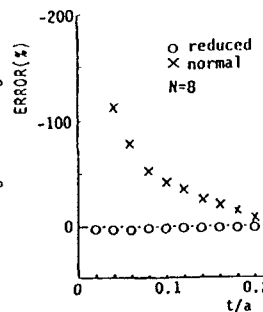


図-7 収束解の精度 (箱型)

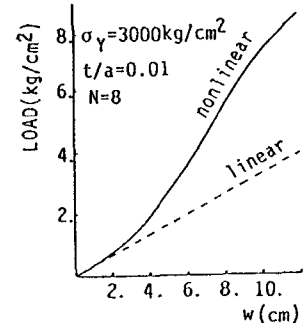


図-8 荷重-変位曲線