

愛媛大学工学部 正 員 大賀水田生
 愛媛大学大学院 学生員 ○高上 顕
 徳山高専 正 員 原 隆

1. まえがき

本研究ではアイソパラメトリックシェル要素(シェル要素;図-1(a))を用いて複数の板パネルで構成される薄肉断面部材の隅角部を正確にモデル化する一解法として、アイソパラメトリック遷移要素(遷移要素;図-1(c))を導入し、シェル要素とアイソパラメトリックソリッド要素(ソリッド要素;図-1(b))を連結して用いることのできるFEM構造解析プログラムを開発した。さらに、本解析法の妥当性及び有効性を検討するため、板、L型、箱型断面部材の解析を行い、シェル要素及びソリッド要素によるモデルを用いた解析により得られた解との比較、検討を行った。

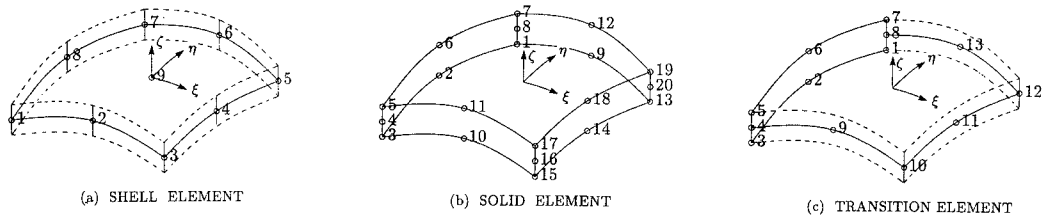


図-1 アイソパラメトリック要素

2. 遷移要素を導入したFEM構造解析

本研究で導入した遷移要素はソリッド及びシェル要素との連結面に8及び3節点、さらにその中間に2節点を有する要素であり、ソリッド要素との連結節点ではソリッド要素と同一の節点自由度(u, v, w)を、シェル要素との連結節点ではシェル要素と同一の節点自由度($u, v, w, \beta_1, \beta_2$)を有している(図-1(c))。したがって、本要素を用いることによりソリッド要素とシェル要素を無理なく結合することが可能である。なお、遷移要素の幾何形状及び変位の補間式は、ソリッド及びシェル要素に対応する節点にそれぞれの要素に対応する形状関数を導入することにより与えられる。

3. 数値計算例及び考察

i) 一方向面内圧縮力を受ける四辺単純支持板

図-2に示すような四辺単純支持板(長さ $L=100\text{cm}$ 、板幅 $a=80\text{cm}$ 、板厚比 $t/a=0.01$)が両端の一様な強制変位 Δ により一方向面内圧縮力を受ける場合について、図-3に示すようなシェル要素のみによるモデル(MODEL-A)、遷移要素を導入したモデル(MODEL-B)を用いて非線形解析を行った。なお本数値計算での材料定数は弾性係数 $E=2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ とした。図-4は平均応力と板中心での z 方向変位 w の関係を示している。2種類のモデルによる解は2.2%以内の誤差で一致しており、遷移要素を導入し、シェル要素とソリッド要素を結合して用いることの妥当性が確認できた。

ii) 2枚の板パネルで構成されるL型断面部材

図-5に示すようなL型断面部材(板幅 $a=50\text{cm}$ 、高さ $h=50\text{cm}$ 、長さ $L=50\text{cm}$ 、板厚比 $t/a=0.01\text{cm}$)が自由端に鉛直または水平荷重を受ける場合について、図-6に示す

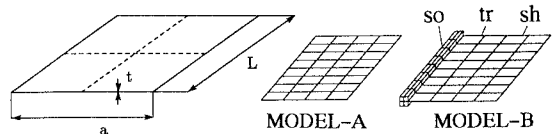


図-2 解析モデル

図-3 要素パターン

$\bar{\sigma} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$

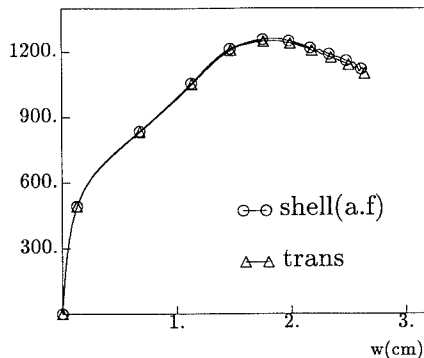


図-4 平均応力-変位曲線

ような3種類のモデルを用いて線形解析を行った。なお、シェル要素を用いたMODEL-Aでは板パネル接合線上の節点でのみ回転自由度を加えることにより回転変位の連続性を保持する方法（付加自由度法;a.f）により解析を行った。また、材料定数は弾性係数 $E=2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ とした。図-7は鉛直荷重を受ける場合のMODEL-A,B,Cの中央断面での変位の比較を、図-8は垂直応力の比較を示している。図-7,8より明かなように、3種類のモデルによる変位は互いに2.5%以内の誤差で一致するとともに、垂直応力分布も全体的によく一致しているが、MODEL-B,CではMODEL-Aでは見られない隅角部における応力の変化を表現できている。

水平荷重を受ける場合も鉛直荷重の場合と同様3種類のモデルにより得られた解は3.8%以内の誤差で、よく一致している。

iii) 一方向面内圧縮力を受ける箱型断面部材

図-9に示すような箱型断面部材（フランジ幅 $a=80\text{cm}$ 、腹板幅 $h=80\text{cm}$ 、長さ $L=100\text{cm}$ 、 $h/a=0.01$ ）が両端に一樣な面内圧縮力を受ける場合について、図-10に示すような2種類のモデルを用いて非線形解析を行った。なお、MODEL-Aに関しては、付加自由度法(a.f)及び板パネル接合線上での回転変位は等しいと仮定する方法（変位仮定法;a.d）により解析を行った。本数値計算では部材の対称性を考慮して全体の1/4部分を解析対象とするとともに、材料定数は弾性係数 $E=2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ 、降伏応力 $\sigma_y=2400 \text{ kg/cm}^2$ とした。図-11は平均応力と上フランジ中心での面外変位 w の関係を示している。最大耐荷力発生以前では、いずれのモデルによる解も互いに1.2%以内の誤差で一致しているが、付加自由度法では $\bar{\sigma}=1158 \text{ kgf/cm}^2$ （図-11:点A）で解が発散し、それ以降解析が行えなかった。一方、変位仮定法及び本解析法においては、最大耐荷力以降も安定した解が得られているが、両者には最大7.4%の誤差が生じている。これは変位仮定法における仮定の妥当性が失われたためと思われる。

4.あとかき

本解析法を用いることにより、隅角部を有する薄肉断面部材のモデル化をより正確に行うことができるとともに、シェル要素のみを用いた従来の方法に比較して、非線形領域でも安定した解が精度良く得られることが明らかとなった。

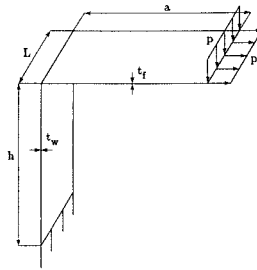


図-5 解析モデル

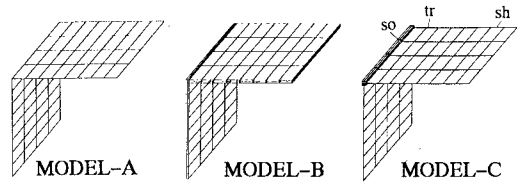


図-6 要素パターン

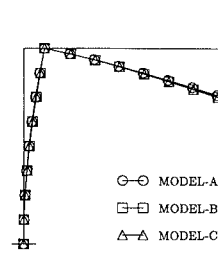


図-7 変位図

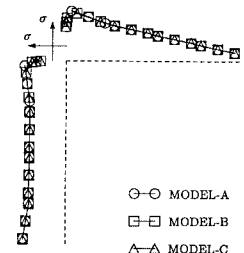


図-8 垂直応力分布図

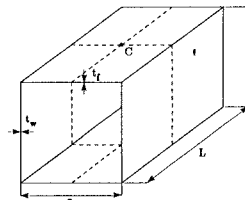


図-9 解析モデル
 $\bar{\sigma} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$

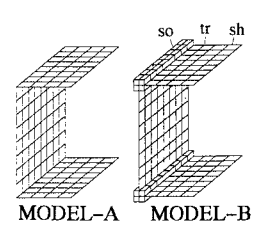


図-10 要素パターン

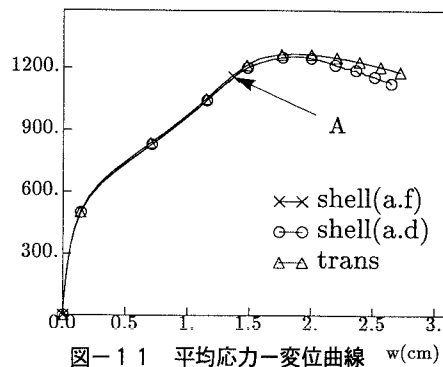


図-11 平均応力-変位曲線 $w \text{ (cm)}$