

FEM構造解析に関する一考察

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

アイソパラメトリックシェル要素(シェル要素;図-1(a))の問題点を克服するためアイソパラメトリック遷移要素(遷移要素;図-1(c))を導入したFEM構造解析プログラムが開発されており、断面が急激に変化する部材などに対する本解析法による解は従来のシェル要素のみによる解とかなり異なることが報告されている。そこで本研究では、本解析法の妥当性及び有効性を数値的に検討するため、従来のシェル要素のみによるモデルに加えて、新たに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))によるモデルを用いて解析を行い、3種類のモデルにより得られた解の比較、検討を行った。

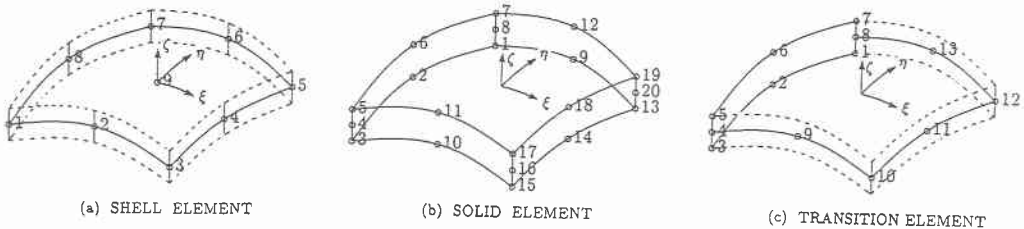


図-1 アイソパラメトリック要素

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。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次のように与えられる。

$$[x, y, z]^T = \sum_{k=1}^8 N_k(\xi, \eta, \zeta) [x_k, y_k, z_k]^T + \sum_{k=9}^{13} N_k(\xi, \eta) + \sum_{k=9}^{13} N_k(\xi, \eta) \frac{\zeta_k}{2} \bar{V}_{3k} \quad \dots \dots (1)$$

$$[u, v, w]^T = \sum_{k=1}^8 N_k(\xi, \eta, \zeta) [u_k, v_k, w_k]^T + \sum_{k=9}^{13} N_k(\xi, \eta) + \sum_{k=9}^{13} N_k(\xi, \eta) \zeta \frac{t_k}{2} [\bar{V}_{1k}, \bar{V}_{2k}] [\beta_{1k}, \beta_{2k}]^T \quad \dots \dots (2)$$

ここで、 k は要素節点番号、 N_k, N_k' はそれぞれシェル及びソリッド要素の形状関数、 t_k は節点 k における板厚、 $\bar{V}_{1k}, \bar{V}_{2k}, \bar{V}_{3k}$ はそれぞれ節点座標軸 V_{1k}, V_{2k}, V_{3k} の単位ベクトルを示している。

3. 数値計算例及び考察

i) 板厚が一定断面を有する等断面片持板

等断面片持板(板厚: $t=1\text{cm}$ 、板幅: $a=5\text{cm}$ 、長さ: $L=50\text{cm}$)の自由端に鉛直及び水平荷重を受ける場合について シェル要素(MODEL-A)、ソリッド要素(MODEL-B)、及び遷移要素を導入したモデル(MODEL-C)を用いて解析を行った(図-5参照)。なお、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-2に鉛直荷重を受ける場合のMODEL-A, B, Cによる中央断面での変位の比較を、図-3に固定端からの距離 $X=0, 2.5, 5.0\text{cm}$ での垂直応力分布の比較を示している。3

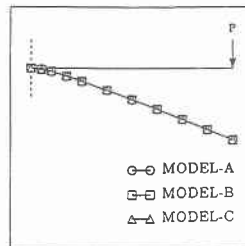


図-2 変位図

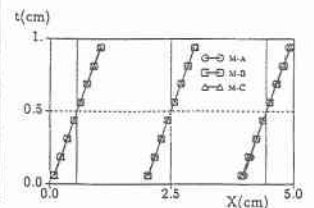


図-3 垂直応力分布図

種類のモデルにより得られた解は3.8%以内の誤差で、一致している。

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0.4%以内の誤差で、一致している。

ii) 板厚が急激に変化する断面を有する変断面片持板

図-4に示すように板厚が $t_1=3\text{cm}$ から $t_2=1\text{cm}$ へ急激に変化する断面を有する変断面片持板(板幅 $a=5\text{cm}$,長さ:肉厚部分 $L_1=5\text{cm}$,薄肉部分 $L_2=45\text{cm}$)が自由端に鉛直方向または水平方向荷重を受ける場合について、図-5に示すようなシェル要素のみ(MODEL-A)、ソリッド要素のみ(MODEL-B)及び遷移要素を導入し、 $t_1=3\text{cm}$ の肉厚部分にソリッド要素、 $t_2=1\text{cm}$ の薄肉部分にシェル要素を用いたモデル(MODEL-C)を用いて解析を行った。なお、材料定数は弾性係数 $E=1.5 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.166$ とした。図-6に鉛直荷重を受ける場合のMODEL-A,B,Cによる中央断面での変位の比較を、図-7に $t=3\text{cm}$ の肉厚部の垂直応力分布比較を示している。図-6,7より明らかなようにMODEL-B,Cによる解は0.1%以内の誤差で一致しているのに対し、MODEL-Aによる解は他の2つのモデルによる解と最大16.5%の誤差が生じている。これは、MODEL-B,CではMODEL-Aでは見られない板厚急変部周辺の応力集中を表現できているためと思われる。

水平荷重を受ける場合も鉛直荷重の場合と同様、MODEL-B,Cによる解は0.1%以内の誤差で一致しているがMODEL-Aによる解とは最大4.3%の誤差が生じている。

iii) 2枚の板パネルで構成されるL型断面部材

図-8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-9に示すような3種類のモデルを用いて解析を行った。なお、材料定数は弾性係数 $E=2.1 \times 10^6 \text{kgf/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ である。図-10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-11は垂直応力の比較を示している。図-10,11より明らかなように、3種類のモデルによる変位は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では見られない隅各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。

4. あとがき

本解析法を用いることにより、断面形状の変化が解に及ぼす影響をより詳細に解明できる。

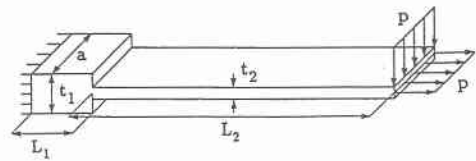


図-4 解析モデル

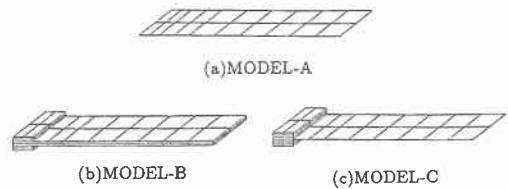


図-5 要素パターン

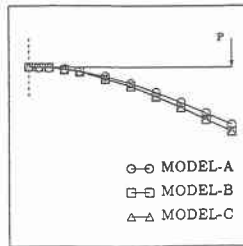


図-6 変位図

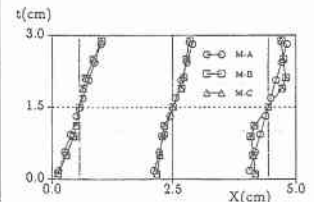


図-7 垂直応力分布図

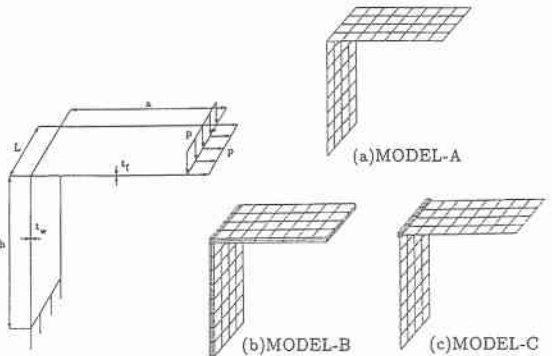


図-8 解析モデル

図-9 要素パターン

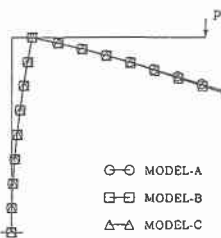


図-10 変位図

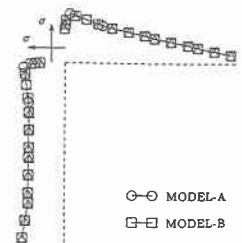


図-11 垂直応力分布図