

遷移要素を導入した非線形構造解析について

愛媛大学工学部	正 員	大賀水田生
阪神高速道路公団	正 員	高地 淳也
愛媛大学大学院	学生員	○高上 顕
徳 山 高 専	正 員	原 敬

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)）は、変位関数のみならず要素の幾何形状をも節点座標を用いて内挿しているため、他の要素に比較して任意の形状を有する部材を少ない要素数で精度良くモデル化できる特徴を有している。しかしながら、このシェル要素は、断面の厚さが急激に変化する部材の断面急変部を正確にモデル化することができない。そこで本研究では、アイソパラメトリック遷移要素（遷移要素；図-1(c)）を導入することにより、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)）とを連結して用いることができるFEM構造解析プログラムを非線形領域まで拡張するとともに、板厚が急激に変化する変断面片持板の解析に適用し、従来のシェル要素のみを用いた解析方法による解と比較することにより本解析法の妥当性及び有効性について検討した。

2. 遷移要素を導入したFEMによる非線形解析

本研究で導入した遷移要素は図-1(b)に示すようにソリッド要素との連結面に8節点、シェル要素との連結面に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($K=1\sim 8$)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($K=9\sim 13$)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。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との連結接点に対してそれぞれの要素の形状関数を導入することにより与えられ、この補間式を用いてソリッド及びシェル要素の場合と同様の手順により、遷移要素に対する剛性マトリックスが誘導される。なお、非線形解析においては材料学的及び幾何学的非線形性を考慮しており、また材料は完全弾塑性体で、Von-Misesの降伏条件式及びPrandtl-Reussの流れ則に従うものとし、非線形計算は荷重増分法に基づいて行っている。

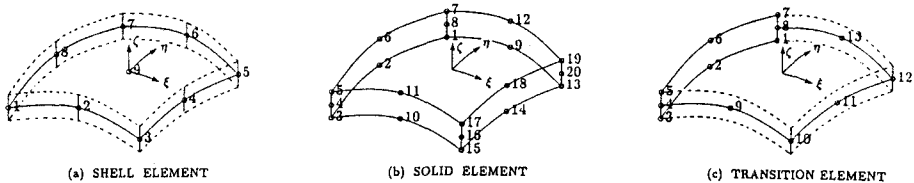


図-1 アイソパラメトリック要素

3. 板厚が急激に変化する断面を有する片持変断面板

図-2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-3に示すような従来のシェル要素のみを用いたモデル(MODEL-A)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-B)を用いて非線形解析を行った。なお、材料定数は肉厚部分では弾性係数 $E_1=1.5\times 10^5\text{ kgf/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu_1=0.166$ 、降伏応力 $\sigma_{y1}=300\text{ kgf/cm}^2$ 、また薄肉部分では $E_2=2.1\times 10^5\text{ kgf/cm}^2$ 、 $\nu_2=0.3$ 、 $\sigma_{y2}=2400\text{ kgf/cm}^2$ とした。

①自由端に鉛直荷重を受ける場合

図-4に鉛直荷重を受ける場合のMODEL-A及びMODEL-Bによる自由端（図-2：点C）での鉛直方向変位 w の比較を、図-6及び図-7に3つの荷重段階（図-4：点1, 2, 3

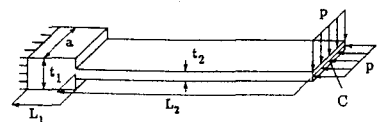
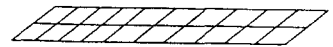
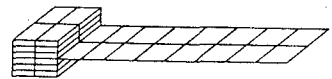


図-2 解析モデル



(a) MODEL-A



(b) MODEL-B

図-3 分割モデル

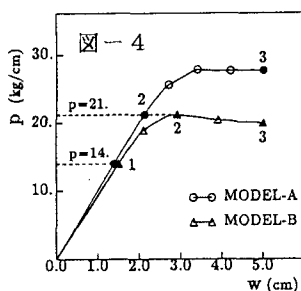
)での $t=3\text{cm}$ の肉厚部の垂直応力分布及び軸方向変位の比較を示している。図-4により明かなように両モデルによる解は、小さな荷重段階ではほぼ一致しているが、荷重が増大するとともに誤差が大きくなっており、最大38.3%の誤差が生じている。これは、図-6に示す垂直応力分布において、遷移要素を導入したMODEL-BではMODEL-Aでは見られない板厚急変部周辺での応力集中が現れ(図6-(b))、このためMODEL-Aに比較してより小さな荷重段階(図-4:点2)で塑性域が現れたためと思われる。さらにMODEL-Aでは、いずれの断面においても同様の応力分布を示しているのに対し、MODEL-Bでは断面ごとの応力分布に相違が見られ、特に図-6(c)においては断面急変部と固定端付近での応力分布が大きく異なっている。また図-7に示す軸方向変位においても、MODEL-Aでは単純な直線的な変化であるのに対し、MODEL-Bでは板厚の急激な変化が解に及ぼす影響を表現できている。

②自由端に水平荷重を受ける場合

図-5に水平荷重を受ける場合のMODEL-A及びMODEL-Bによる自由端(図-2:点C)での水平方向変位 u の比較を、図-8及び図-9に3つの荷重段階(図-5:点1,2,3)での肉厚部分の垂直応力分布及び軸方向変位の比較を示している。図-5に示す荷重と変位の関係において両モデルによる解は、鉛直荷重の場合と同様、小さな荷重段階ではほぼ一致しているが、荷重が増大するとともに誤差が大きくなっており、最大8.4%の誤差を生じている。これは、図-8に示す垂直応力分布において、鉛直荷重の場合と同様、遷移要素を導入したMODEL-Bによる解では板厚の急変部周辺で応力集中が現れたためと思われる。また図-9に示す軸方向変位においても、応力分布の場合と同様、MODEL-Bでは板厚の急激な変化が解に及ぼす影響を表現できている。

4.あとがき

本解析法を用いることにより、非線形領域での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。



荷重一変位曲線 (鉛直)

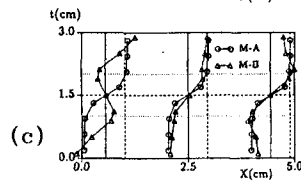
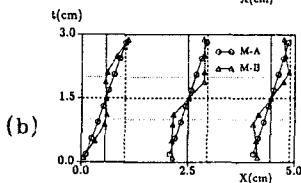
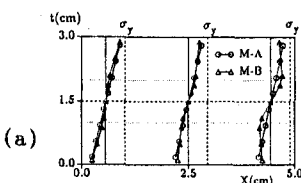


図-6 応力分布 (鉛直)

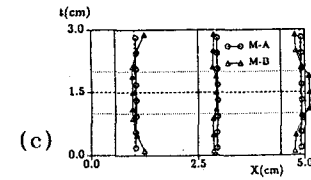
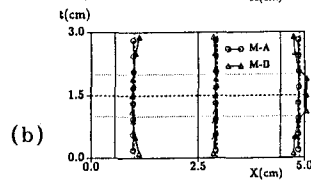
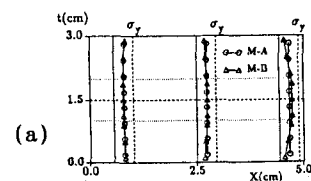
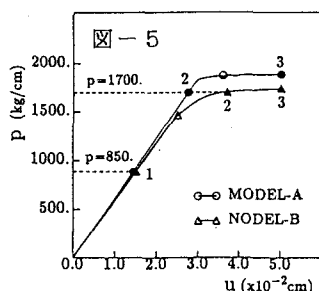


図-8 応力分布 (水平)



荷重一変位曲線 (水平)

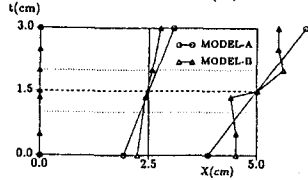
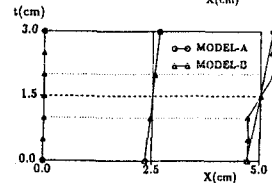
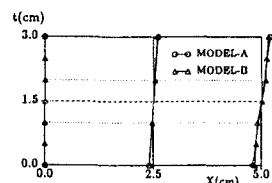


図-7 変位図 (鉛直)

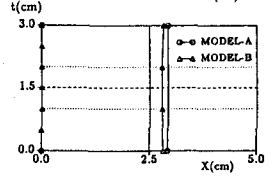
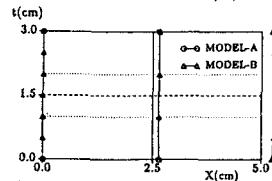
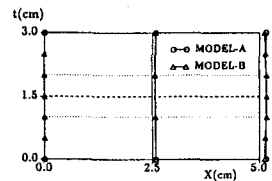


図-9 変位図 (水平)