

薄肉断面部材隅角部のモデル化に関する一考察

愛媛大学工学部

正 員

大賀水田生

愛媛大学大学院

学生員

○高地 淳也

愛媛大学大学院

学生員

植村 亮

徳山高専

正 員

原 隆

1. まえがき

FEMによる薄肉断面部材の解析に数多く用いられているアイソパラメトリックシェル要素を用いて、断面が急激に変化する部材や多くの板パネルが接合して構成される薄肉断面部材を、正確にモデル化することは困難である。そこで本研究では、このような複雑な部材を正確に取り扱うために、従来のアイソパラメトリックシェル要素に加えて、肉厚部分に適したソリッド要素、及びこの二つの要素を結合するための遷移要素を導入したFEM構造解析プログラムを開発し、簡単な数値計算を行い、開発した解析法の妥当性と有用性に関して基本的な考察を行った。

2. 遷移要素に対する剛性マトリックスの誘導

本研究で導入した遷移要素(図-1(c))は、ソリッド要素(図-1(a))とシェル要素(図-1(b))を組み合わせることにより誘導される。ソリッド要素に対応する節点(図-1(c)1~8)に対する補間式はソリッド要素に対する補間式を、シェル要素に対応する節点(図-1(c)9~13)にはシェル要素に対する補間式を用いて次のように表される。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \underbrace{\sum_{J=1}^8 N'_J(\xi, \eta, \zeta) \begin{bmatrix} X_J \\ Y_J \\ Z_J \end{bmatrix}}_{\text{ソリッド要素}} + \underbrace{\sum_{J=9}^{13} N_J(\xi, \eta) \begin{bmatrix} X_J \\ Y_J \\ Z_J \end{bmatrix}}_{\text{シェル要素}} + \sum_{J=9}^{13} N_J(\xi, \eta) \frac{\zeta}{2} \mathbf{V}_{3J} \quad \cdots \cdots (1)$$

$$\begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} = \underbrace{\sum_{J=1}^8 N'_J(\xi, \eta, \zeta) \begin{bmatrix} U_J \\ V_J \\ W_J \end{bmatrix}}_{\text{ソリッド要素}} + \underbrace{\sum_{J=9}^{13} N_J(\xi, \eta) \begin{bmatrix} U_J \\ V_J \\ W_J \end{bmatrix}}_{\text{シェル要素}} + \sum_{J=9}^{13} N_J(\xi, \eta) \frac{\zeta}{2} t_J [\bar{\mathbf{v}}_{1J}, -\bar{\mathbf{v}}_{2J}] \begin{bmatrix} \beta_{1J} \\ \beta_{2J} \end{bmatrix} \quad \cdots \cdots (2)$$

ここで、 N_J, N'_J はそれぞれシェル及びソリッド要素の形状関数である。上式に示す補間式を用いて得られるひずみ-節点変位マトリックス $\mathbf{B}$ 、応力-ひずみマトリックス $\mathbf{D}$ を用いて、遷移要素の剛性マトリックス $\mathbf{K}$ が次のように得られる。

$$\mathbf{K} = \int_V \mathbf{B}^T \cdot \mathbf{D} \cdot \mathbf{B} dV \quad \cdots \cdots (3)$$

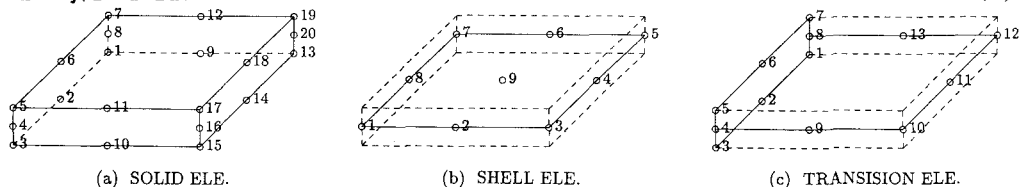


図-1 要素モデル

3. 数値計算例及び考察

1) 遷移要素の妥当性の検討

誘導した遷移要素(TR)の特性、ソリッド要素(SO)及びシェル要素(SH)との結合の妥当性を検討するために、上記の3種類の要素を種々組み合わせて、図-2に示す自由端に線荷重を受ける片持板の数値計算を行った。本数値計算で用いた5種類のモデル化を図-3に示している。図-4にそれぞれの解析モデルにおける中央断面での変位の比較を示している。モデルの種類により、結果に多少の誤差は生じているが、これはシェル要素とソリッド要素の特性の違いに起因するものであり、誘導した遷移要素の妥当性が確認できる。

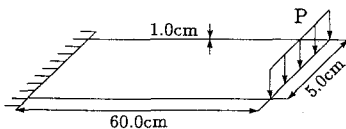


図-2 解析モデル

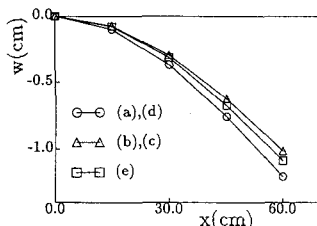


図-4 変位曲線

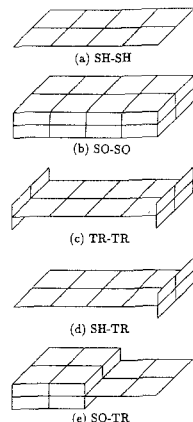


図-3 分割モデル

2) 変断面片持板への適用例

図-5に示す変断面片持板が自由端に鉛直方向荷重及び水平方向荷重を受ける場合について、シェル要素のみによるモデル(図-6(a))、ソリッド、遷移及びシェル要素を組み合わせたモデル(図-6(b))で解析を行った。

図-7,8,9に鉛直方向荷重を受ける場合の結果を示している。図-7は変位曲線の比較であり、両モデルによる変位は最大4.0%以内の誤差で一致している。図-8,9はそれぞれ肉厚部の軸方向変位と垂直応力の比較を示している。

遷移要素を用いることにより、板厚の急激な変化が軸方向変位や応力状態に及ぼす影響を表現できている。図-10,11に水平荷重を受ける場合の肉厚部の軸方向変位と応力分布の比較を示している。この場合も鉛直荷重同様、遷移要素を用いたモデル(図-6(b))では板厚の変化による影響が反映されている。

3) L型断面部材への適用例

従来のアイソパラメトリック要素のみを用いて図-12に示すL型断面部材を解析する場合、図-13(a)に示すようなモデル化を行っており、板パネル接合部を正確に取扱っているとはいえない。そこで本研究では、上記の3種類の要素を用いて板パネル接合部を正確にモデル化し(図-13(b))、数値計算を行った。図-14に中央断面の変位形状を示しており、両解法による解の誤差は5.3%以内で一致している。

4. 結論

本研究により得られた主な結論は次の通りである。(1)本研究で開発した遷移要素を用いることにより、シェル及びソリッド要素を結合することが可能である。(2)本解析法を用いることにより、断面形状が複雑な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。

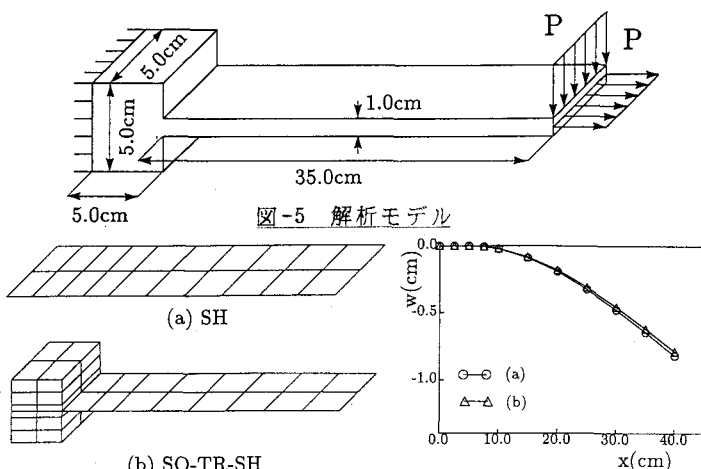
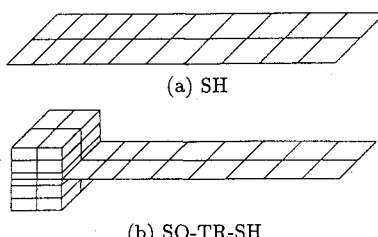


図-5 解析モデル



(b) SO-TR-SH

図-6 分割モデル

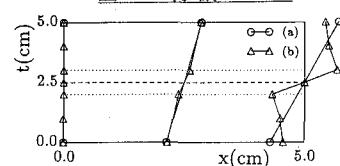


図-8 軸方向変位図(鉛直)

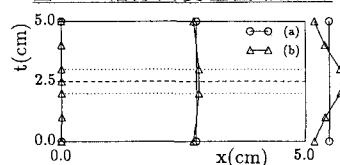


図-10 軸方向変位図(水平)

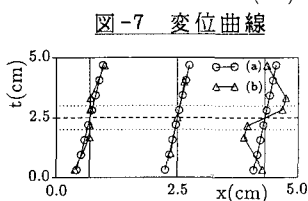


図-9 応力分布(鉛直)

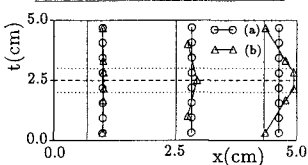


図-11 応力分布(水平)

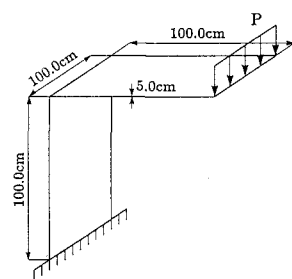


図-12 解析モデル

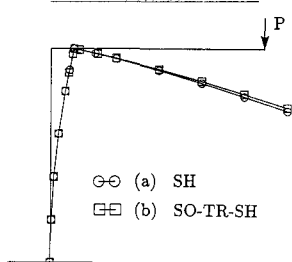
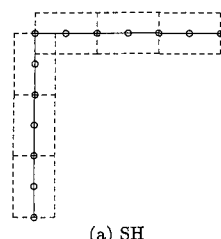
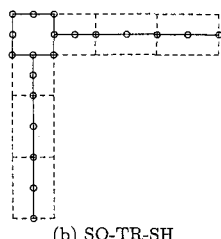


図-14 変位図



(a) SH



(b) SO-TR-SH

図-13 分割モデル