

変断面円筒シェルの振動解析

愛媛大学工学部
愛媛大学大学院
徳山 高 専

正 員 大賀 水田生
学生員 ○高尾 英樹
正 員 重松 恒美

1. まえがき

今日、断面に曲率を有する変断面薄肉断面部材が作成されるようになり、構造部材としての変断面円筒シェルパネルの重要性が増大しており、その振動特性を明らかにすることが重要になっている。そこで本研究では、少ない自由度及び計算時間で高次モードの固有振動数をも正確に求めることのできる伝達マトリックス法を用いて等断面及び変断面を有する円筒シェルパネルの固有振動数及び振動モードを求めることのできる解析プログラムを開発し、さらに本法を等断面及び変断面を有する円筒シェル部材に適用し、本解析法の妥当性を検討するとともに、変断面円筒シェルパネルの固有振動数及び振動モードに関する基本的な検討を行った。

2. 解析理論

変断面シェルパネルの微小要素に関する断面力の釣合式、ひずみ-変位関係式及び断面力-ひずみ関係式より状態量 $Z = \{w, \phi, M, V, v, u, N_x, N_x, \}^T$ に関する連立偏微分方程式を誘導し、相対する2辺 ($x=0, a$) が単純支持されていることを考慮して x 方向成分を三角関数 $w = w \sin(m\pi x/a)$ (m : 振動モード) で置き換えることにより、次のような連立常微分方程式が得られる。

$$dZ/d\psi = A(\psi) \cdot Z \quad \dots\dots (1)$$

変断面シェルパネルでは係数マトリックス $A(\psi)$ が変数 ψ の関数であるため、式(1)は非線形となり容易に解くことができない。そこで本研究では、数値積分法の一つであるRomberg積分法を用いて、式(1)を数値積分することにより格間伝達マトリックス F を求めた。求めた格間伝達マトリックスを用いて、図-1に示す左右の状態量 Z_0 及び Z_1 を関係づけ、両端の境界条件を考慮することにより、固有振動式が得られる。さらに得られた固有振動数を用いて再び伝達計算を行うことにより、振動モードが求められる。

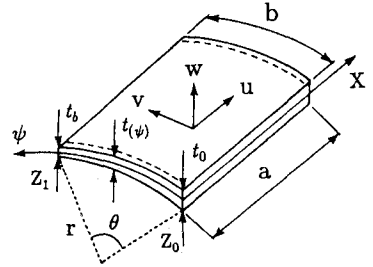


図-1 変断面シェルパネル

3. 等断面円筒シェルパネルでの解の妥当性の検討

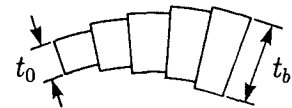
本解析法を等断面シェルパネルに適用した場合の妥当性を検討するため、等断面シェルパネル ($a/b=2.5, t_0/b=0.01, \theta=0.14$, 単純-単純, 及び, 固定-固定; 図-1参照) の解析を行い、従来の解 (厳密解及びFEMによる解) との比較を行った。本法による解はいずれの境界条件においても従来の解と1.0%以内の誤差で一致し、本法を用いて等断面シェルパネルの固有振動数が正確かつ効率的に求められることが明らかになった。

4. 変断面シェルパネルでの比較検討

(1) 解の収束状態の検討 Romberg法を用いて誘導した変断面シェルパネルに対する格間伝達マトリックスの妥当性を検討するため、種々の境界条件 (単純-単純, 固定-固定, 自由-自由, 単純-自由, 固定-自由)、形状比 ($a/b=1.0, 2.0, 3.0$)、板厚比 ($t_0/t_a=1.2, 1.5, 2.0, 3.0, 5.0$) 及び中心角 ($\theta=0, 0.14, 0.28, 1.0$) を有する変断面シェルパネル ($t_0/b=0.01$) を用いて振動解析を行い、図-2(b)に示すように変断面を階段状に近似し、等断面シェルパネルに対する格間伝達マトリックスを用いて



(a) Romberg Method



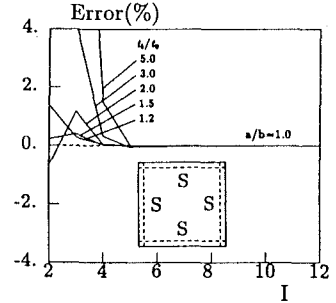
(b) Step Division Method

図-2 解析方法

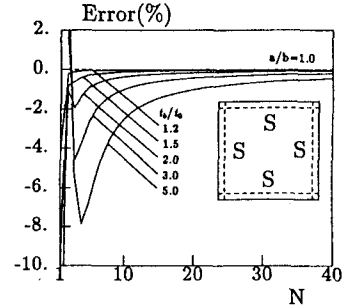
解析した場合(Step分割法)との比較を行った。その際、Romberg法では分割数 $m=2^I$ の分割パラメータを $I=1\sim 12$ 、Step分割法では分割数を $N=1\sim 40$ と変化させた。図-3に両解析法による四辺単純支持の変断面シェルパネル($a/b=1.0, \theta=0.12$)の1次固有振動数の収束状態の比較を示している。

縦軸にはRomberg法での収束値との誤差を、横軸には分割パラメータ I 及び分割数 N をとっている。Romberg法での収束状態は板厚比にほとんど関係なく、いずれの板厚比においても $I=8$ で有効桁4桁で収束しているのに対し、Step分割法では板厚比の増大とともに解の収束状態が低下しており、 $t_b/t_a=5.0$ の場合 $N=40$ においても0.46%の誤差が生じている。その他の境界条件及び形状比においても同様の結果が得られており、これらのことによりRomberg法を用いることにより、板厚比に関係なく精度の良い解が得られることが明らかとなった。

(2)固有振動数及び振動モードの比較検討 変断面シェルパネルにおいて、板厚比の変化が固有振動数及び振動モードに及ぼす影響を検討するため、種々の境界条件及び断面形状(図-4)を有する変断面シェルパネル($a/b=1.0, t_a/b=0.01, \theta=1.0, t_b/t_a=1.0, 2.0$)の振動解析を行なった。図-4に四辺単純支持円筒シェルパネルに対する1~5次の振動モード、 ψ 方向の振動形状、固有振動数及び x 方向のモードを示している。変断面モデルB,Cでの固有振動数は、いずれも等断面モデルAに比較して増大しているが、モデルB,C間においては、その大小関係がモードにより異なっている。また、変断面を有するシェルパネル(モデルB,C)においては板厚の薄い部分の変形が厚い部分に比較して大きくなっているなど、モデルA,B,Cの振動モードにかなりの相違が見られる。また、板パネルの場合と比較して ψ 方向の変形が複雑な場合が多く、 ψ 方向モード数を決定することが困難な場合がある。



(a) Romberg Method



(b) Step Division Method

図-3 解の収束状態

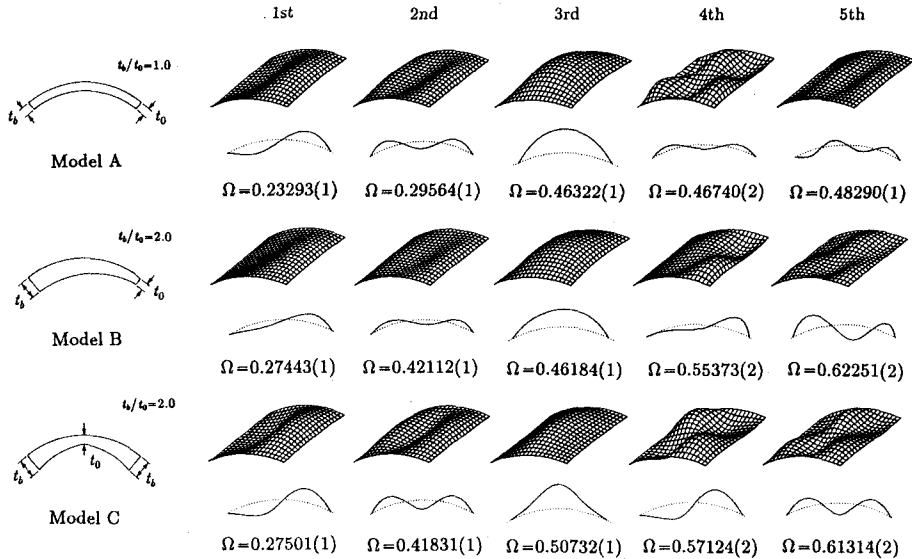


図-4 固有振動数及び振動モード