

関西大学工学部 正会員 三 上 市 蔵
 関西大学工学部 正会員 森 沢 敬 文

1. まえがき 先に補剛円筒パネルを簡略化された直交異方性シェル理論により解析¹⁾し、その妥当性を検討するために模型実験を行ったが、¹⁾²⁾その理論では局所的な挙動がとらえられなかった。本報告では補剛された円筒シェルとして簡易的な方法で解析し、理論的検討を行うとともに実験値との比較を行った。

2. 基礎方程式 図-1に示す弧に沿った長さ a 、幅 b 、厚さ t 、中央面の曲率半径 R の円筒パネルが等間隔に配置された n_s 本の円周方向補剛材を有し、円周方向面内引張応力 σ_m を受ける場合を解析する。基礎微分方程式は次のようになる。³⁾

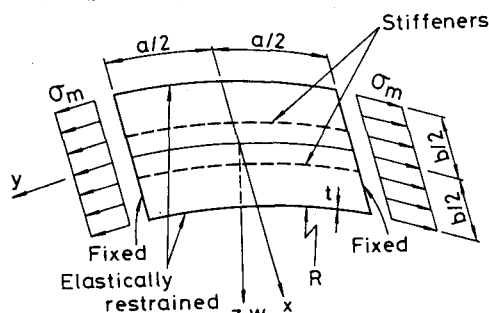


図-1

ここに、 w = z 方向のたわみ、 $D = Et^3/12(1-\mu^2)$ 、 E = 弾性係数、 μ = ポアソン比、 γ = 単位面積あたりの z 方向の横荷重である。また、補剛材(図-2)の基礎微分方程式は次のようになる。

$$EI_s \frac{d^4 w}{dy^4} + \frac{EA_s}{R^2} w = \frac{A_s}{R} \sigma_m + p \quad (2)$$

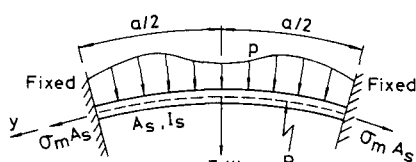


図-2

ここに、 p = 単位長さあたりの横荷重である。差分法によって解析することにし、図-3の円筒パネルの斜線部に作用する横荷重 $\gamma \lambda_x \lambda_y$ と補剛材の長さ λ_y 部分に作用する横荷重 $-p \lambda_y$ とを等しくおき、幅 b を $2n_x$ 分割するものとするれば次の関係が得られる。

$$p = -\gamma b / 2n_x \quad (3)$$

補剛材の位置では、式(1)、(2)、(3)から次式が得られる。

$$\frac{\partial^4 \bar{w}}{\partial \xi^4} + \frac{2}{\alpha^2} \frac{\partial^4 \bar{w}}{\partial \xi^2 \partial \eta^2} + \frac{(1+2n_x \gamma_s)}{\alpha^4} \frac{\partial^4 \bar{w}}{\partial \eta^4} + 12(1-\mu^2) Z^2 (1+2n_x \delta_s) \bar{w} = k_m \pi^2 Z (1+2n_x \delta_s) \quad (4)$$

補剛材以外の位置では次のようになる。

$$\frac{\partial^4 \bar{w}}{\partial \xi^4} + \frac{2}{\alpha^2} \frac{\partial^4 \bar{w}}{\partial \xi^2 \partial \eta^2} + \frac{1}{\alpha^4} \frac{\partial^4 \bar{w}}{\partial \eta^4} + 12(1-\mu^2) Z^2 \bar{w} = \pi^2 Z k_m \quad (5)$$

ただし、 $\xi = x/b$ 、 $\eta = y/a$ 、 $\bar{w} = w/t$ 、 $\alpha = a/b$ 、 $Z = b^2/Rt$ 、 $k_m = \sigma_m b^2 t / \pi^2 D$ 、 $\gamma_s = EI_s / bD$ 、 $\delta_s = A_s / bt$ である。

3. 数値計算結果 対称性を考慮してパネルの1/4領域を解析した。補剛材1本の場合、 x 方向および y 方向の分割数 $n_x = 12$ 、 $n_y = 12$ で外挿値に対する誤差は0.8%である。以後、この分割を用いる。また、 ψ = 側辺の拘束係数である。

図-4は種々の補剛材の剛比 γ_s および断面面積比 δ_s に対する中央横断面 $y=0$ のたわみ分布を調べたものである。先の実験¹⁾において3つのたわみ分布形(

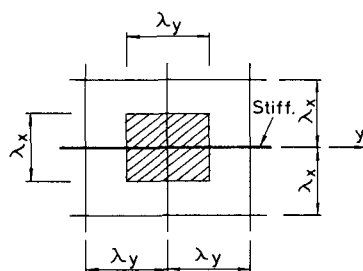


図-3

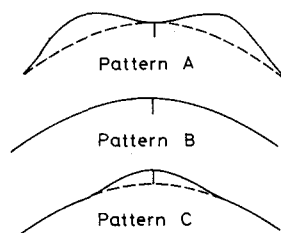
Section $y=0$ 

図-5

図-5) が観測されたが、そのうち Pattern A と B がこの図に見られる。補剛材の γ_s が大きくなると補剛材近傍のたわみの小さい Pattern A が生じ、 γ_s があまり大きくない場合、Pattern B が生じる。

図-6 は補剛材に作用する円筒パネルからの反力を調べたもので、一般的には Pattern A, B で反力は正であるが、中央横断面 ($y=0$) 付近で反力が負になる場合があり、また δ_s が大きいと端近で負の反力が生じる。これらの位置の2方向たわみ分布から Pattern C が生じており、Pattern A とは逆向きの反力が生じ、補剛材付近のたわみを大きくする。

図-7~10 は理論値と実験値^{1), 2)}と比較したものである。図-7~9 は y 方向曲率外側表面応力 σ_y^o の断面 $y=0$ における分布を示す。図-7 は実験で Pattern A が生じた場合である。破線は直交異方性シェル理論¹⁾の値で、この理論ではパネルの局所変形がとらえられていないが、本理論による応力分布は実験値をよく説明している。

図-8 は Pattern B の生じる場合で、直交異方性シェル理論、本理論とも大差がなく、実験値に近い分布を与えている。

図-9 は Pattern C が生じる場合で、本理論値と実験値とは比較的良く合っている。直交異方性シェル理論は補剛材付近で若干異なった値を与えるが、この点を明らかにするため x 方向曲げ応力 σ_x^b を調べると図-10 のようになる。実験値から Pattern C の特徴として補剛材付近の曲げ応力が腹板付近のそれと逆であることがわかる。直交異方性シェル理論ではこれを表わせないが、本理論値にはこの傾向が見られる。

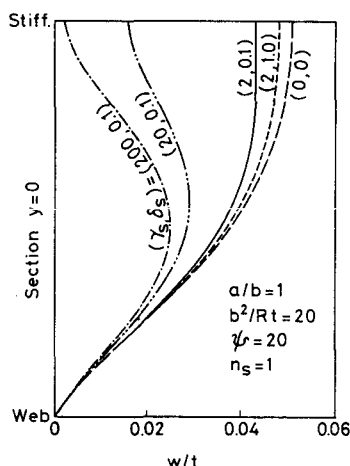


図-4

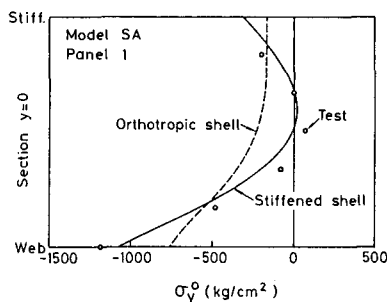


図-7

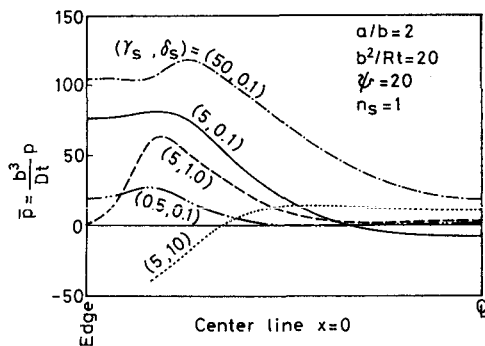


図-6

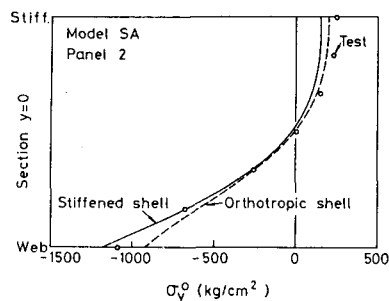


図-8

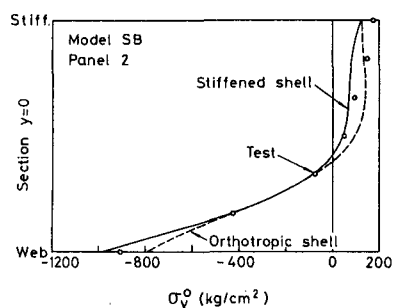


図-9

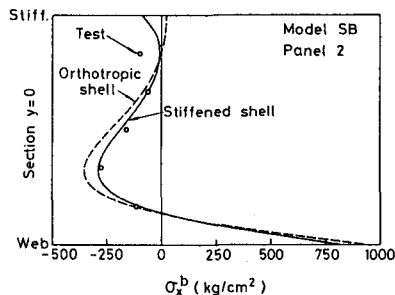


図-10

- 1) 三上・森沢: 補剛円筒パネルのたわみおよび応力, 土木学会年次学術講演会, I-22, 1981.
- 2) 三上・森沢: 補剛円筒パネルのたわみおよび応力 (第2報), 関西支部年次学術講演会, 1982.
- 3) 三上・米沢: 曲りばり円筒フランジの応力分布と有効幅, 土木学会論文報告集, No. 135, pp. 13~26, 1981-11.