

離散的に補剛された円筒パネルの線形弾性解析

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
 関西大学大学院 学生員 山科 純
 関西大学大学院 学生員 田中 克弘

1. まえがき これまで補剛された円筒シェルを直交異方性シェル理論¹⁾と、簡易補剛シェル理論^{3),5)}で解析し、模型実験を行ない、^{1),2),4)}理論の妥当性を検討した。^{6),7)}これらの理論では局所的な挙動がとらえられない場合が生じてきた。本報告では、①面外および面内変位、②パネルと補剛材間に作用する母線・円周・半径方向の力およびモーメント、③補剛材の偏心を考慮し、離散的に補剛された円筒シェルをより精密に解析し、理論値と実験値との比較を行なった。

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円周方向補剛材を n 本有し、両直線縁に円周方向強制変位 U_m を受ける場合を考える。補剛材位置の円筒パネル微小部分に作用する断面力を図-2に示す。 $g_x, g_y, g_z, T_x, T_y, T_z$ はそれぞれ円筒パネルが受ける単位面積当たりの力およびモーメントである。補剛材微小部分に作用する断面力を図-3に示す。 $p_x, p_y, p_z, T_x, T_y, T_z$ はそれぞれ補剛材が受ける単位長さ当たりの力およびモーメントである。以下では T_x, T_y, T_z および T_z を無視する。

図-2の円筒パネルのつり合いは次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} N_{x,x} + N_{yz,y} + g_x &= 0 \\ N_{y,y} + N_{xz,z} + g_y &= 0 \\ M_{x,xx} + 2M_{xy,xy} + M_{y,yy} + \frac{N_x}{R} + g_x + T_{y,x} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

図-3の補剛材のつり合いは次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} p_x &= \frac{R}{R-d} M_{hs,yy} + \frac{1}{R-d} M_{ths,y} \\ p_y &= N_{ys,y} \\ p_z &= \frac{R}{R-d} M_{hs,yy} + \frac{Rd}{R-d} N_{ys,yy} + \frac{N_{ys}}{R} \\ T_y &= \frac{Rd}{R-d} M_{hs,yy} + \frac{R}{R-d} M_{ths,y} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

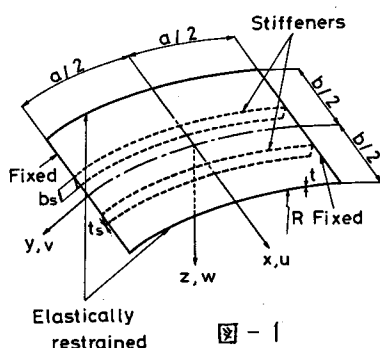


図-1

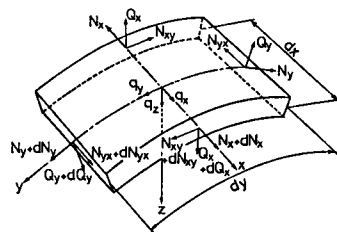


図-2

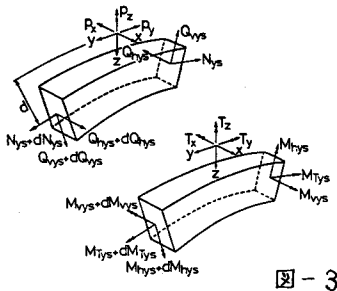


図-3

ここに d は円筒パネル中央面からの補剛材重心の偏心量である。

差分法を用いて解析することにし、図-4の円筒パネルの $\Delta x \Delta y$ 部分に作用する力およびモーメントと補剛材の Δy 部分に作用する力およびモーメントがそれぞれ等しいとすると、次の関係が得られる。

$$q_x = p_x / \Delta x, \quad q_y = p_y / \Delta x, \quad q_z = p_z / \Delta x, \quad T_y = T_y' / \Delta x \quad (3)$$

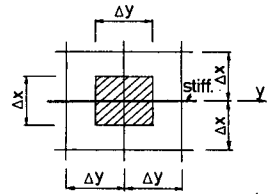


図-4

円筒パネルの断面力と変位の関係には線形シェル理論⁸⁾を、補剛材の断面力と変位の関係には Vlasov の曲線ばり理論⁹⁾を用いると、次の3つの基礎方程式が得られる。

$$U_{,xx} + \frac{1-\nu}{2} U_{,yy} + \frac{1+\nu}{2} U_{,zy} = \frac{U}{R} w_{,x} - \frac{1}{\Delta x B} \left\{ -E J_z \frac{R}{R-d} \kappa_{hs,yy} + G J_T \frac{1}{R-d} \kappa_{ws,y} - E C_w \frac{R^3}{(R-d)^3} \kappa_{ws,yyy} \right\} \quad (4.a)$$

$$\frac{1-\nu}{2} U_{,xx} + \left(1 + \frac{1}{\Delta x B} E A_s \right) U_{,yy} + \frac{1+\nu}{2} U_{,zy} = \frac{1}{R} \left(1 + \frac{1}{\Delta x B} E A_s \frac{R}{R-d} \right) w_{,y} + \frac{1}{\Delta x B} E A_s \frac{R d}{R-d} w_{,yy} \quad (4.b)$$

$$\begin{aligned} & w_{,xxxx} + 2 w_{,xxyy} + \left\{ 1 + \frac{1}{\Delta x D} \frac{R^2}{(R-d)^2} (E A_s d^2 + E J_x \frac{R}{R-d}) \right\} w_{,yyy} + \frac{1}{\Delta x D} \left\{ E A_s d + E A_s \frac{R d}{R-d} + E J_x \frac{R}{(R-d)^2} \right\} w_{,yy} \\ & + \frac{12}{E^2 R^2} \left(1 + \frac{1}{\Delta x B} E A_s \frac{R}{R-d} \right) w = \frac{12 U}{E^2 R} U_{,x} + \frac{12}{E^2 R} \left(1 + \frac{1}{\Delta x B} E A_s \right) U_{,y} - \frac{1}{R} \left\{ (2-\nu) U_{,xx} + U_{,yy} \right\} \\ & + \frac{1}{\Delta x D} E A_s \frac{R d}{R-d} U_{,yy} + \frac{1}{\Delta x D} \left\{ -E J_z \frac{R d}{R-d} \kappa_{hs,yy} + G J_T \frac{R}{R-d} \kappa_{ws,zy} - E C_w \frac{R^3}{(R-d)^3} \kappa_{ws,yyy} \right\} \end{aligned} \quad (4.c)$$

これらの式は補剛材取り付け位置における円筒パネルに対して成立する。補剛材のない位置では下線を付した項を取り除く。なお、種々の係数については講演会当日述べる。

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 および y 方向の分割数 $n_x = n_y = 18$ 、2 本の場合、 $n_x = 24$ 、 $n_y = 18$ とした。誤差は 2% 以下と思われる。

図-5は断面 $\varphi = 0$ における外側表面の円周方向応力の分布について、理論値と実験値とを比較したものである。実線はこの精密理論による解で、他の理論^{1), 3), 7)}による解に比べて実験値とよい近似を示している。精密に解くことにより、局所的な挙動をとらえることができた。

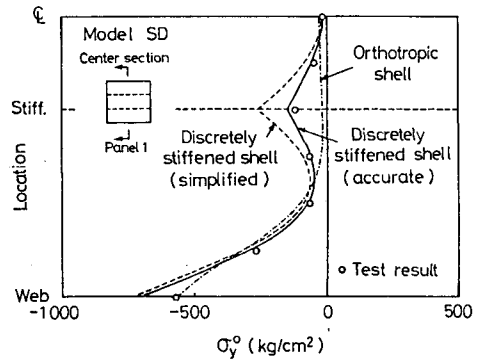


図-5

- 1) 三上・森沢：土木学会年講，1981。 2) 三上・森沢：関西支部年講，1982。 3) 三上・森沢：土木学会年講，1982。 4) 三上・森沢・夏秋：関西支部年講，1983。 5) 三上・森沢：土木学会年講，1983。 6) Mikami and Morisawa：Tech. Rep. of Kansai Univ., No. 24, 1983。 7) Mikami and Morisawa：ibid., No. 25, 1984。 8) 三上・米沢：土木学会論文報告集，No. 315, 1981。 9) Vlasov：等肉弾性ばりの理論，技報堂。