

補剛材を有するオープンシエルの座屈解析について

徳山高専 正員 重松 恒美
 愛媛大学工学部 正員 大賀水田生
 徳山高専 正員 原 隆
 愛媛大学工学部 学員 杉山 忠司

1 まえがき

軸圧縮力を受ける円筒シエルの座屈解析は線形および非線形理論により数多く行われているが、オープンタイプの円筒シエル、特に補剛材を有するオープンシエルの座屈解析についてはあまりその例をみないようである。そこで、本研究では縦補剛材を有するオープンシエルの座屈解析を行い、補剛材の剛性および取り付け方法の違いによる座屈強度の検討を行った。解析方法としては伝達マトリックス法を用いたが、その際、シエル部分には円筒シエルに関する格間伝達マトリックスを、補剛材には面内力の影響を考慮した平板の格間伝達マトリックスを使用した。また、上下に補剛材を取り付けた場合のシエルと補剛材の全体および局部座屈を統一的に解析するために拡張伝達マトリックスを適用した。

2 解析方法

解析の対象としたものは、図-1に示すように軸圧縮力を受ける長さ方向に補剛材を有するオープンシエルである。本論文では、円周方向に伝達を行なうので、変位を長さ方向に級数展開する方法で伝達マトリックスを誘導した。また、シエルと補剛材の接合点での状態量のつり合いより拡張伝達マトリックスを誘導し、これを解析モデルに適用し、境界条件を考慮することにより座屈条件式を求めた。

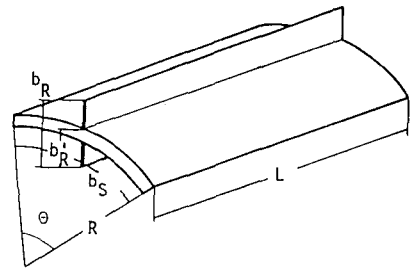


図-1 補剛材を有するオープンシエル

1) シエルの格間伝達マトリックス

図-2に示す微小シエル要素の断面力のつり合いと変形条件より得られる状態量間の関係式を長さ方向に級数展開することにより、状態量ベクトル Z_s に関する一階の連立常微分方程式が得られる。

$$\frac{d}{dx} Z_s = A Z_s \quad (1)$$

ここに、 $Z_s = \{\bar{w}, \bar{\psi}, \bar{M}_\psi, \bar{Q}_\psi, \bar{v}, \bar{u}, \bar{N}_\psi, \bar{N}_{\psi x}\}$ 、 A : 係数マトリックス
 式(1)を積分することにより、円筒シエルに関する格間伝達マトリックス F_s が次のように得られる。

$$Z_s = e^{A \Delta x} Z_{s0} = F_s Z_{s0} \quad (2)$$

2) 補剛材の格間伝達マトリックス

薄肉断面部材の微小要素の断面力のつり合いにより、面内力の影響を考慮した補剛材の格間伝達マトリックス F_R が次のように得られる。

$$Z_R = F_R Z_{R0} \quad (3)$$

3) 拡張伝達マトリックス

接合点での変位の連続条件と断面力のつり合いより変位および断面力について次のような関係式が得られる。

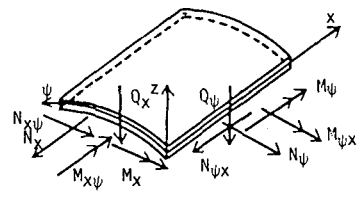


図-2 断面力

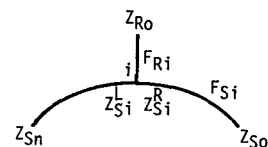


図-3 中間補剛材モデル

$$\text{変位の連続条件} \quad \mathbf{Z}_{Si}^S = \mathbf{P}^S \mathbf{Z}_{Ri}^S \quad (4)$$

$$\text{断面力のつり合い条件} \quad \mathbf{Z}_{Si}^L = \mathbf{Z}_{Si}^R + \mathbf{P}^F \mathbf{Z}_{Ri} \quad (5)$$

ここに、 $\mathbf{Z}^S$: 状態量ベクトルの変位成分、 $\mathbf{P}^S, \mathbf{P}^F$: それぞれ変位および断面力の格点マトリックス、 $\mathbf{Z}_{Si}^L, \mathbf{Z}_{Si}^R$: 補剛材前後の状態量ベクトル式(4),(5)を考慮すると、補剛材での左側の状態量 $\mathbf{Z}_{Si}^L$ と初期状態量 $\mathbf{Z}_{So}, \mathbf{Z}_{Ro}$ との関係が次のように得られる。(図-3参照)

$$\begin{pmatrix} \mathbf{Z}_{Si}^L \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{F}_{Si}^L & \mathbf{P}^F \mathbf{F}_{Ri} \\ \mathbf{F}_{Si}^S & \mathbf{P}^S \mathbf{F}_{Ri}^S \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{Z}_{So} \\ \mathbf{Z}_{Ro} \end{pmatrix} \quad (6)$$

または、

$$\mathbf{Z}_i^L = \mathbf{F}_{Ei} \mathbf{Z}_0 \quad (7)$$

上式の $\mathbf{F}_{Ei}$ が拡張伝達マトリックスである。

3 数値計算結果および考察

両端に補剛材を有する場合の数値計算結果を図-4,5,6に長さ L/R をパラメータとして示している。なお、横軸は補剛材幅比 b_R/b_S を、縦軸に座屈荷重パラメータ $k (= \frac{R^2 \sigma^2 P_x}{\pi^2 K})$ (ここに、 P_x : 座屈荷重、 K : シェルの曲げ剛性)をとっており、シェルの中点角 $\theta = 60^\circ$ である。図-4は上側に補剛材を取り付けた場合であり、図-5、図-6はそれぞれ上下および下側に補剛材を取り付けた場合の結果である。図-4,5,6より明らかにように、補剛材幅比が小さい間は、補剛材幅比、つまり補剛材の剛性の増大とともに座屈荷重も増大するが、ある値でピークを示し、それ以後は逆に減少している。これは、補剛材幅比が小さい間は補剛材とシェルが一体となって座屈する全体座屈を生じ、ある値以上では、補剛材が局部座屈を生じていることを示している。また、いずれの場合も L/R が大きくなるとピーク座屈荷重を生じる補剛材幅比が大きくなる傾向がある。さらに、取り付け方法の違いによる比較を行なうと、同一補剛材幅比では、ピーク座屈荷重が最も大きいのは上下に補剛材を取り付けた場合であり、次は下側に取り付けた場合であるが、両者はほとんど同一程度のピーク荷重を示している。また、ピーク値を生ずる補剛材幅比は、下側に補剛材を取り付けた場合が最も小さくなっており、これらのことを考慮した場合、強度の面では下側取り付けが最も有効である。

4 結論

本解析により、上下に補剛材を取り付けた場合やシェルの中間に補剛材を取り付けた場合も、拡張伝達マトリックスを用いることにより、補剛材・シェル各々の局部座屈・全体座屈を統一的に解析できることが明らかになった。

参考文献

- 1) 見沢他: 薄肉断面部材の座屈解析について 第32回中四国支部年次学術講演概要集, 1982.5
- 2) 大賀他: 軸圧縮力を受けるオープンシエルの座屈解析について 第37回土木学会年次学術講演概要集, 1982.10

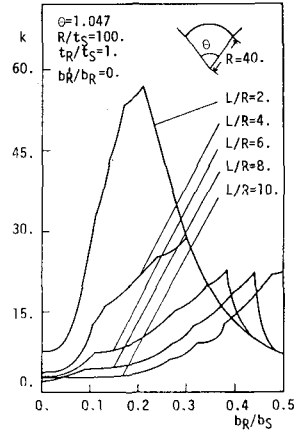


図-4 座屈強度曲線

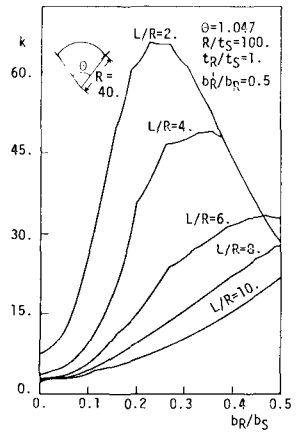


図-5 座屈強度曲線

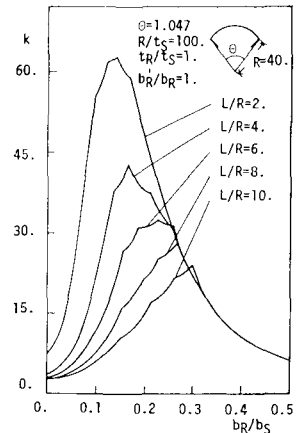


図-6 座屈強度曲線