

室蘭工業大学 学生員 谷山 剛
 室蘭工業大学 正 員 岸 徳光
 日 本 大 学 正 員 能町 純雄

1. まえがき 構造物の衝撃応答解析は、非常に困難であり現在は主に、有限要素法 (FEM) あるいは有限差分法 (FDM) を用いた解析が行われている。ここでは、任意形状の軸対称シェルの対象として有限要素法的な考え方に基づた有限帯板理論により解析式を定式化し、リブ円筒体シェルに衝撃内圧が作用したときの応答解析を行い、リブの有効性について検討を行った。尚、解析は周方向に有限Fourier 変換を施し、時間方向にはModal-Analysis法を適用して行った。

2. 解析理論 軸対称シェルのリング状の要素を円錐台要素として、定式化することにする。定式化の方法は文献1)の誘導過程に従って行うこととした。以下にその概要を示す。

(1) 要素内の変位仮定 円錐台要素において、図-1のように変位成分を仮定する。任意点の変位分布を、面内変位 U, V に対して S の線形変化に、また法線変位 W を3次放物線に仮定する。すると i, j 要素内の各変位は、

$$\begin{aligned} U &= u^{(i)} u_i + u^{(j)} u_j, & V &= v^{(i)} v_i + v^{(j)} v_j \\ W &= w^{(i)} w_i + w^{(j)} w_j + \beta^{(i)} \beta_i + \beta^{(j)} \beta_j \end{aligned} \quad \dots (1)$$

ただし、

$$\begin{aligned} u^{(i)} &= v^{(i)} = 1 - \xi, & u^{(j)} &= v^{(j)} = \xi \\ w^{(i)} &= 1 - 3\xi^2 + 2\xi^3, & w^{(j)} &= 3\xi^2 - 2\xi^3 \\ \beta^{(i)} &= L(\xi - 2\xi^2 + \xi^3), & \beta^{(j)} &= L(-\xi^2 + \xi^3) \end{aligned} \quad \dots (2)$$

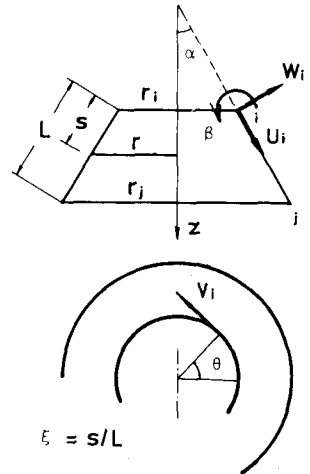


図-1

(2) ひずみと変位の関係式 文献1)に従って各ひずみ成分を変位成分で表すと、

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{\partial U}{\partial s}, & \epsilon_\theta &= \frac{\partial V}{r \partial \theta} + \frac{1}{r} (U \sin \alpha + W \cos \alpha) \\ \gamma_{s\theta} &= \frac{\partial V}{\partial s} - \frac{\sin \alpha}{r} V + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial \theta}, & \kappa_s &= -\frac{\partial^2 W}{\partial s^2}, & \kappa_\theta &= -\frac{\partial^2 W}{r^2 \partial \theta^2} + \frac{\cos \alpha}{r^2} \frac{\partial V}{\partial \theta} - \frac{\sin \alpha}{r} \frac{\partial W}{\partial s} \\ \tau_n &= 2 \left(-\frac{1}{r} \frac{\partial^2 W}{\partial s \partial \theta} + \frac{\sin \alpha}{r^2} \frac{\partial W}{\partial \theta} + \frac{\cos \alpha}{r} \frac{\partial V}{\partial s} - \frac{\cos \alpha \sin \alpha}{r^2} V \right) \end{aligned} \quad \dots (3)$$

上式に(1)式を代入して整理すると、ひずみベクトルは変位の θ に関する2階の微分方程式として、求められる。ここで、 θ 方向に有限Fourier 変換を施して、1次数だけ減ずる。これをMatrixの形で整理すると以下のようになる。

$$\{ \bar{C}_m[\epsilon] \} = [B] \{ \bar{C}_m[\Delta] \} \quad \dots (4) \quad \text{ここで} \{ \bar{C}_m[\] \} \text{は有限Fourier 変換を意味する。}$$

(3) 断面力とひずみの関係式 要素を等方性シェルと仮定すると、断面力ベクトルはひずみ成分を用いて容易に表すことができる。(4)式と同様、像関数として示すと以下の様になる。

$$\{ \bar{C}_m[F] \} = [D] \{ \bar{C}_m[\epsilon] \} \quad \dots (5)$$

(4) 運動方程式 仮想仕事の原理を用いて、要素の剛性関係式を求め、全体座標形へ変換して、力の

釣合いと変位の適合条件を考慮して重ね合せを行い、構造全体の剛性関係式を得ることができる。さらに、固有値、固有ベクトルを求め直交関係を考慮して非連成一次運動方程式に変換する。Duhamel 積分を施して像関数の基準ベクトルを求め、これを θ 方向に変換して真の動的変位が求まる。従ってひずみあるいは断面力も容易に求めることができる。

3. 解析結果および考察

リブ付円筒体シェルの解析モデルとして図-3のようなリブの本数が0本、2本、4本、6本のものを考えた。荷重としては、図-2のような分布をする衝撃内圧が作用する3タイプを考えた。要素は10 cmごとに分割しリブ部も1つの要素として考慮している。材料はスチールを想定している。²⁾

内圧の立上がり時間 Δt が $200 \mu\text{sec}$ のときの各地点の周方向応力の変化を調べ、図-4にはその結果を示した。結果は、円筒に静的内圧が作用したときの周方向応力で除した値で示している。これによると、リブ地点の応力の減少はリブ2本の方が他のものよりも大きく、リブ近傍では逆にリブ0本の場合よりも大きくなっている。さらに端部でも応力の増加がみられる。その他の地点ではあまり大きな変化が見受けられない。

次に円筒体の周部の厚さを図-3の2倍と0.5倍のものを考えた。その結果を図-5、図-6に示す。これの結果と図-4と比較すると、2倍のときはリブ2本の場合応力の減少が大きくなり、他の場合は逆に小さくなっている。0.5倍のときはリブ2本の場合応力の減少が小さくなり、他の場合は逆に大きくなっている。

以上、衝撃内圧が作用する場合のリブ付円筒体のリブの効果について検討を行った。解析は1例ではあるが、衝撃初期にはリブの効果はリブの局所的なものであり、荷重分担の効果が小さいことが明らかになった。詳細は今後検討を進めて行きたい。

*参考文献 1) 川股重也 著：シェル構造解析、日本鋼構造協会編、倍風館

2) 谷山剛、岸徳光、松岡健一、能町純雄：リブ付円筒体の衝撃応答解析について、土木学会北海道支部論文報告集、第41号、pp. 77~80、1985

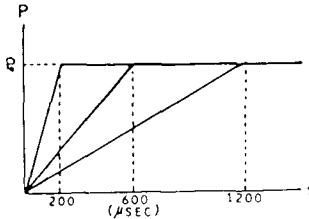
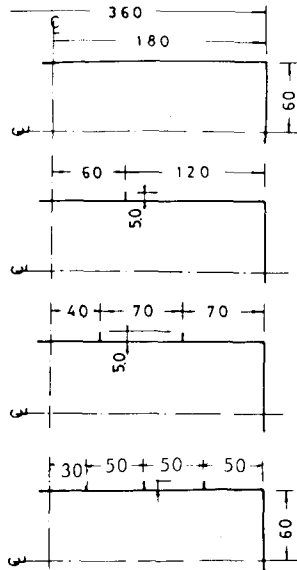


図-2



h = 1.2 : cm
図-3

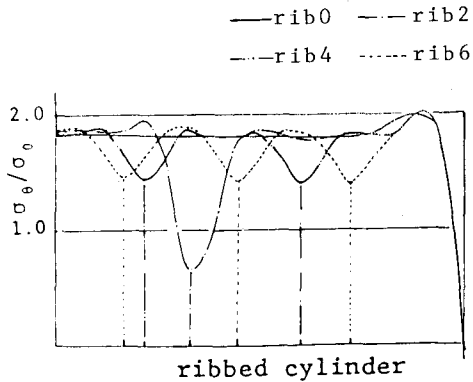


図-4

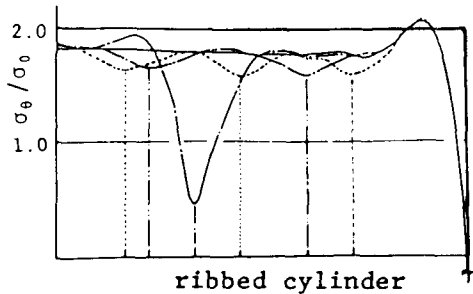


図-5

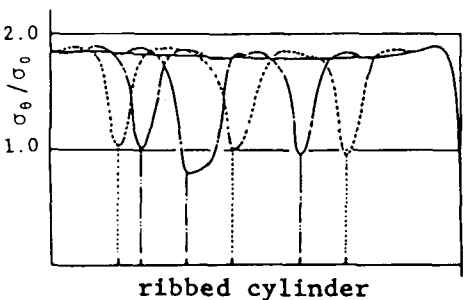


図-6