

問題 1-1-1 内圧を受けるトロイダルシェル

鉛直軸のまわりに円を回転して得られる輪環面（ドーナツ形）形状は、サークライン蛍光灯、浮き袋、原子炉格納容器圧力プール室、円環形ベンチなどにみられる。

図 1 に示す円形断面のトロイダルシェル（完全円環かく）が内圧を受ける場合について構造特性を調べる。材料は低合金鋼で、ヤング率は200GPa, ポアソン比0.3、降伏応力300MPa, 引張強さ 600MPa である。

（1）次に実構造を模擬し、以下の条件に対して解析を行う。

$P=1\text{MPa}$, $R=5000\text{mm}$, $r=1500\text{mm}$, $t=30\text{mm}$ ($R/r=10/3=3.3$, $t/r=0.02$)

トロイダルシェルと薄肉円筒の力学的な違いは何かについて考察する。具体的には、変形図、子午線方向応力 σ_ϕ と周方向応力 σ_θ の応力分布図の定量値・定性値について考察せよ。

（2）塑性崩壊強度について評価し、最大許容圧力 $P_{a, \max}$ を検討せよ。

（3）*（2）のトロイダルシェルの断面形状を、正方形に置き換える。また、図 2 のように、角部には適当な曲率をつけて角部での応力集中は回避する。変形特性、応力特性と最大応力について円形断面の場合と比較せよ。

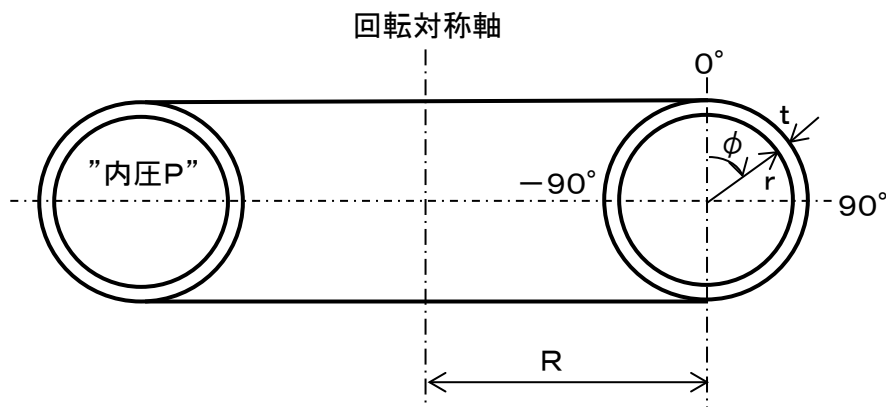
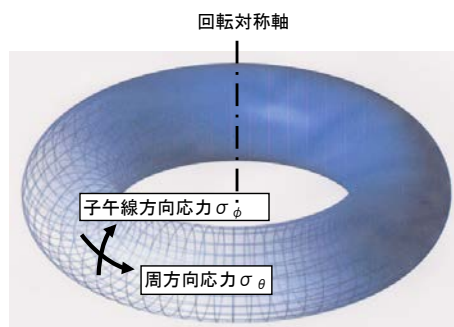


図1 トロイダルシェル



付図 応力成分

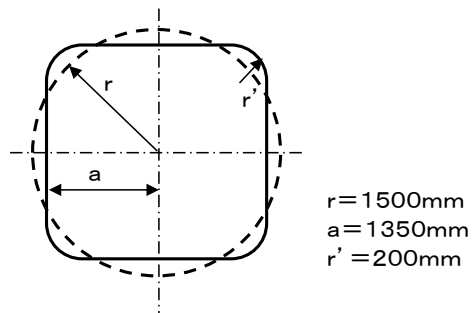


図2 等価な(擬)正方形断面
 $(2a)^2 \doteq \pi r^2$

<参考> トロイダルシェルの膜理論解			
TIMOSHENKO : "Theory of Plates and Shells"			
$\sigma_{\phi} = \left(\frac{Pr}{t} \right) \frac{2 \left(\frac{R}{r} \right) + \sin \phi}{2 \left\{ \left(\frac{R}{r} \right) + \sin \phi \right\}} \quad \sigma_{\theta} = \frac{Pr}{2t}$			
$\sigma_{\phi, \max} = \left(\frac{Pr}{t} \right) \frac{2 \left(\frac{R}{r} \right) - 1}{2 \left\{ \left(\frac{R}{r} \right) - 1 \right\}} \quad , \quad \text{at } \phi = -90^{\circ}$			

(略解)

特徴)

- ・回転対称軸の位置は異なるが、形状を比較してみるとどちらも断面が円形の軸対称形状である。
 - ・長さ方向（トロイダルは周方向、円筒は子午線方向）にトロイダルは曲率をもち（半径 R ），円筒は曲率 0 （半径無限大）。
 - ・トロイダルの子午線方向応力の膜理論解において、 $R \rightarrow \infty$ とすると薄肉円筒の周方向応力の解が得られる。
 - ・トロイダルの周方向応力の膜理論解は薄肉円筒の子午線方向応力に等しい。
- (2) 塑性崩壊強度は十分に尤度がある
- (3) 曲げにより応力は非常に大きくなる。