

一軸引張一軸圧縮を受ける薄板の圧壊挙動について

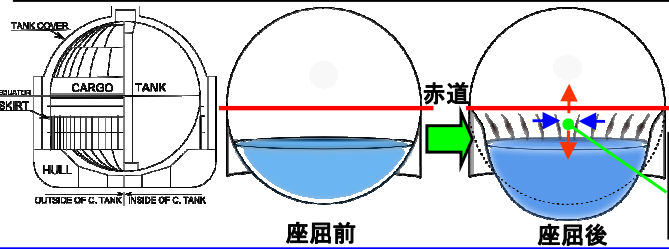
—LNG船球殻タンクの座屈強度の検討—

大阪府立大学大学院 工学研究科 航空宇宙海洋系専攻 正岡研究室 M1 紙谷 洋一

1. 研究背景

LNG船球殻タンク

LNG船球殻タンクはLNG部分積み時に液面と赤道の間で一軸引張一軸圧縮の応力状態になるため座屈強度の検討が必要となる



過去のLNG船球殻タンクの研究

Odlandの研究¹⁾
ノルウェー船級協会のガイダンス

実験的な知見、簡易計算に基づく

解析について非線形FEMを用いることが有効

非線形→座屈、塑性などを考慮
¹⁾Jonas Odland: Theoretical and Experimental Buckling Loads of Imperfect Spherical Shell Segments, 1981.

2. 研究の目的・流れ

LNG船球殻タンクのLNG部分積み時における赤道直下の座屈強度を推定する

一軸引張一軸圧縮応力状態における平板の座屈のメカニズムを理論的に検討

複雑な構造物であるLNG船球殻タンクの座屈強度を非線形FEMにより精度良く解析をする

3. 一軸引張一軸圧縮を受ける平板の解析

簡単なモデルである平板を用いることにより非線形FEMの精度の確認、圧壊挙動の理論的検討をする

板理論

Z方向の平衡条件式

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{q}{D}$$

$$q = -\sigma_1 t \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \sigma_2 t \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \quad w = w_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}$$

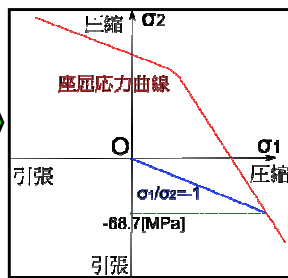
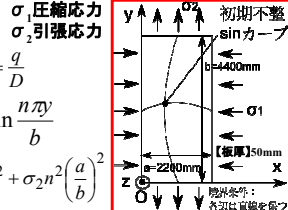
$$\text{たわみ} w \text{ と 荷重 } q \text{ を代入} \rightarrow \frac{\pi^2 D}{b^2 t} \left(\frac{m^2 b^2 + n^2 a^2}{a^2 + b^2} \right)^2 = \sigma_1 m^2 + \sigma_2 n^2 \left(\frac{a}{b} \right)^2$$

材料定数(平板)

【材質】アルミニウム 【ヤング率】70610[MPa]
【降伏応力】127[MPa] 【ポアソン比】0.3

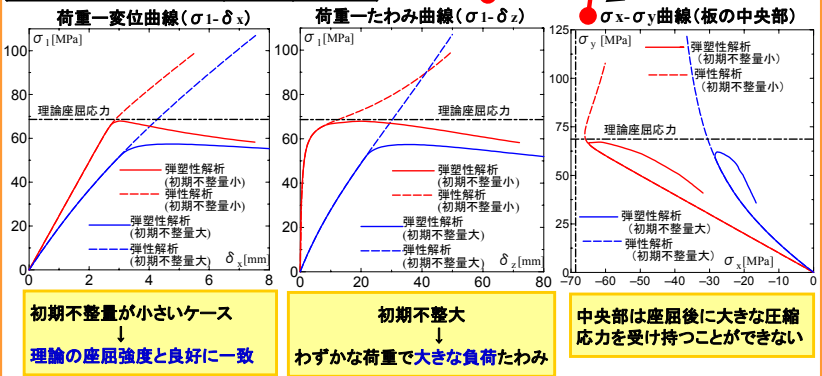
種々のm,nの組に対し、 σ_1 - σ_2 面のグラフを描くとき、原点が一番近いグラフの連なりが座屈応力 σ_{1E} 、 σ_{2E} を与える

$\sigma_1 = -\sigma_2$ とすると座屈応力の大きさは68.7[MPa]となる



非線形FEMによる解析

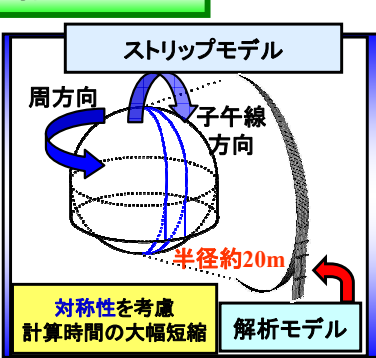
解析ケース	弾性体		弾塑性体	
	初期不整量小(板厚の1%)	初期不整量大(板厚の50%)	初期不整量小	初期不整量大
荷重-変位曲線(σ_1 - δ_x)	---	---	---	---
荷重-たわみ曲線(σ_1 - δ_z)	---	---	---	---
σ_x - σ_y 曲線(板の中央部)	---	---	---	---



以上より非線形FEMの精度の確認をするとともに一軸引張一軸圧縮を受ける平板の性質がわかった

4. 非線形FEMを用いたLNG船球殻タンク高精度解析

解析モデル



赤道直下にsinカーブとなる初期不整を仮定
初期不整量は15mm, 25mmの2ケースを考慮

LNG自重による荷重を変化させる

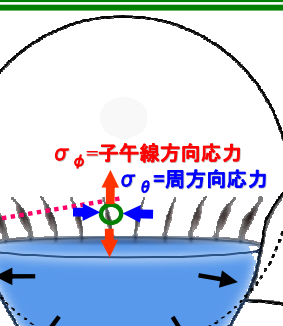
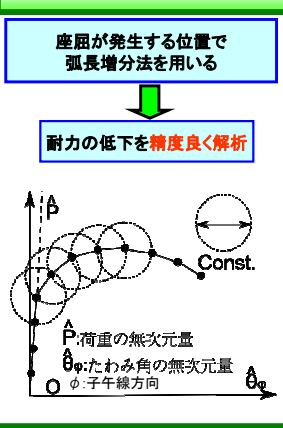
材料定数(球殻)
【材質】アルミニウム 【ヤング率】70610[MPa]
【降伏応力】127[MPa] 【ポアソン比】0.3

座屈挙動追跡箇所

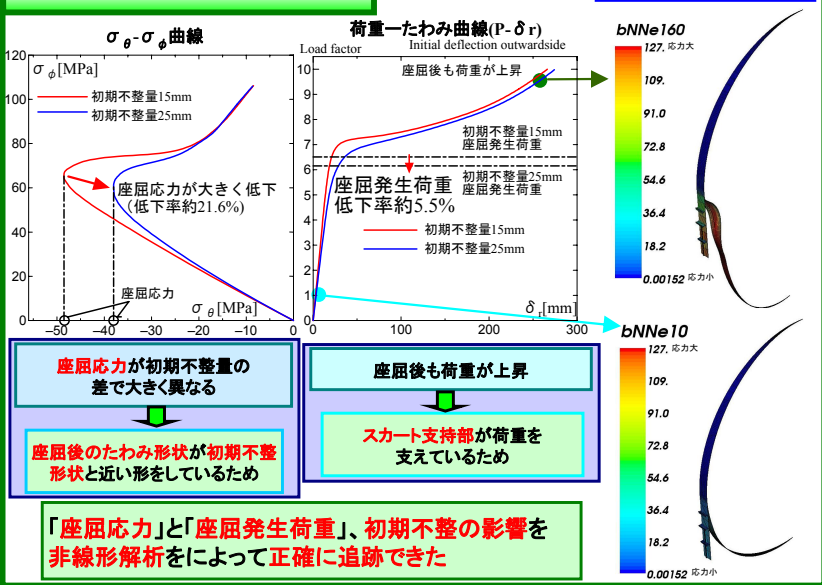
δr = 半径方向変位量(絶対値)

F[N] = LNG重量[N] × Load factor
Load factor: 荷重の無次元量

弧長増分法を適用



非線形FEMによる解析



結論

一軸引張一軸圧縮の圧壊挙動を平板およびLNG船球殻タンクにおいて解析し以下の知見を得た
●平板の座屈応力は理論と良好に一致
●LNG船球殻タンクの解析では非線形解析をすることによって高精度に座屈強度を解析できた