

非線形有限要素法によるLNG船球殻タンクの構造設計法に関する研究

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

研究背景

天然ガスは他の化石燃料と比べクリーンなエネルギー
世界的にLNG船の需要が高まり建造量が急増
造船競争が激化

LNG船球形タンク設計基準
従来の設計法
タンクシステム各部位に対して強度を評価
設計式には DNV式、Odland式など
非線形FEMによる直接計算
具体的な解析法、基準が定められていないが高精度計算が可能(球の軽量化など)

モス型LNG船

非線形FEMによる LNG球殻
タンクの設計法の提案

研究目的

LNG船球形タンクをモデル化し、非線形FEMを用いて崩壊挙動を解析
LNG球形タンクの部分積み時における座屈強度設計法を提案

MITC曲面シェル要素
アイソパラメトリック要素
幾何学的非線形性(座屈)
力学的非線形性(塑性)

非線形FEMの適用可能性の検討

Odlandの実験モデルを解析対象
球の一部をカットしたモデルを本研究で開発した非線形FEMを用いて解析、座屈強度を設計式と比較し、有用性を示す
降伏応力: 127[MPa] ヤング率: 70000[MPa]

工作時などに発生する初期不整を考慮
初期不整形状は sinカーブ 様々な初期不整形状を仮定

解析条件

解析範囲は周方向に初期不整 1半波分のみ
周方向 対称性を考慮 計算時間の効率化 解析モデル
荷重条件は上下方向に引っ張り
応力状態 1軸引張 1軸圧縮

解析結果

荷重たわみ曲線
Rule Odland DNV FEM 初期不整ごとの曲線

Odlandの実験モデルに関して解析を行い、設計式と座屈強度を比較した結果、座屈強度は設計式と良好に一致

本研究における非線形FEM解析が有効

実タンクモデルにおける非線形FEM適用

実タンクを解析対象
実タンク構造が本研究で開発した解析システムによって設計に応用可能であることを示す
LNGタンクの球殻および支持部をモデル化 実際のLNG船の寸法
LNG部分積み時における赤道直下の座屈の検討
工作時などに発生する初期不整を考慮
初期不整形状は sinカーブ 様々な初期不整形状を仮定

解析条件

解析範囲は周方向に初期不整 1半波分のみ
周方向 対称性を考慮 計算時間の効率化 解析モデル
荷重条件 液体圧
球殻内部にLNGを充填 さまざまな充填率を考慮

解析結果

荷重たわみ曲線 (充填率30%、周方向初期不整30波)
座屈 本解析によって赤道直下の座屈強度を算出

崩壊挙動
赤道直下が座屈 (変形量は20倍)
応力大 応力小

本研究で開発した座屈強度解析システムは設計にも応用が可能

設計法への検討

実タンクの解析においてさまざまな充填率と初期不整を考え、最も座屈点の低い条件を設計点とする

充填率ごとの座屈荷重

充填率 20% 30% 40%

結論

非線形FEMの適用可能性の検討で本研究で用いた非線形FEMの有用性が示された
実タンクモデルにおけるFEM適用において座屈強度を算出
最も座屈点の低い条件を設計点

今後の展望

従来の設計式を用いた場合の座屈強度と本研究で開発した解析システムの座屈強度を比較、検討
タンクの板厚削減、軽量化、建造コスト削減、運用コストの削減など高付加価値のLNG船の設計可能性