

B219 部分積み時における LNG 船球形タンクの座屈強度に関する検討

原井厚次 (指導教員：正岡)

1. 緒言

世界的な LNG 需要の高まりで LNG 船の新造船が急速に増加しており、この LNG 船球形タンクシステムの高度な解析手法が望まれている。

本研究の目的は非線形有限要素法解析を用いて、LNG 船タンクシステム全体にかかる荷重条件を想定して柔軟に変更可能な構造設計支援システムを開発することである。¹⁾

2. 解析理論

船舶のような薄板構造の最終強度解析を行うためには、幾何学的非線形性と材料的非線形性を考慮する必要がある。座屈のような幾何学的非線形性の場合には歪の大変形影響を考慮する必要がある。塑性化のような材料的非線形性を考慮する場合はフックの法則に従わない応力歪関係の非線形関係を考慮しなければならない。線形解析の場合は考えられる荷重ごとにまず単独計算を行い、それらの応答値の重ね合わせにより複合荷重下での応力評価を行うことができるが、非線形計算の場合は応答値の重ね合わせはできない。したがって、非線形計算を行う場合には考えられる複合荷重をすべての組み合わせについて計算する必要がある。この非線形計算は線形計算に比べてかなりの計算コストを要する。すべての荷重条件について考えることはできないので、LNG 船タンクシステムが受ける荷重は崩壊につながる代表的な場合のみを考えた。

3. 解析モデル

本研究で使用されている LNG 球形タンクはモスローゼンベルク社 (ルウェー) が開発した独立球形タンク方式(モス方式)である。本解析ではこのタンクシステムを解析し Fig. 1 に示すようにタンクシステムは球形タンクとそれを支える円筒型のスカート、防撓材で構成されている。

直接強度計算を行うにあたり、各荷重成分を次のように扱う。

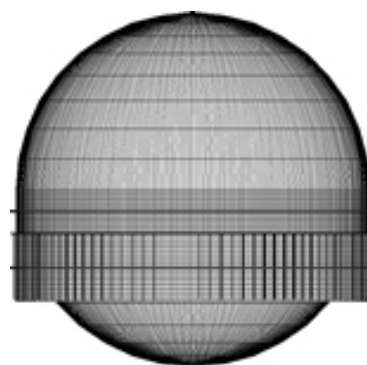


Fig. 1 解析モデル

タンクシステム自荷重

重力加速度も含めた加速度方向に質量×加速度の荷重をかける。タンクシステム自荷重は最終強度の解析時の増分パラメータとなる。

液体重量

重力加速度も含めた加速度方向に質量×加速度の荷重をかける。ただし、部分積みの時は Fig. 2 に示すように、液体法線と加速度方向は一致すると仮定して、荷重を算定する。液体重量は最終強度の解析時の増分パラメータとなる。

内外圧差

球殻の法線方向に作用させる。内外圧差は初期条件として与え、最終強度の増分解析時には変化しない。

ハルガーダの曲げモーメントの影響

曲げモーメントにより台座は水平に変位し、ホギング状態では横長の楕円形状になる。また、サギング状態では縦長の楕円形状になる。この形状を強制変位としてスカート下部に与える。曲げモーメントの影響は初期条件として与え、最終強度の増分解析時には変化しない。

温度荷重

球殻とスカートの ALH 部に温度荷重をかける。温度変化による熱歪を初期歪として要素に作用させる。温度荷重は初期条件として与え、最終強度の増分解析時には変化しない。

Table 1 に今回の解析で想定する荷重を示す。

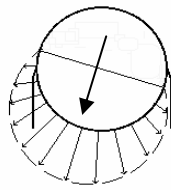


Fig. 2 積荷液体荷重の重力加速度

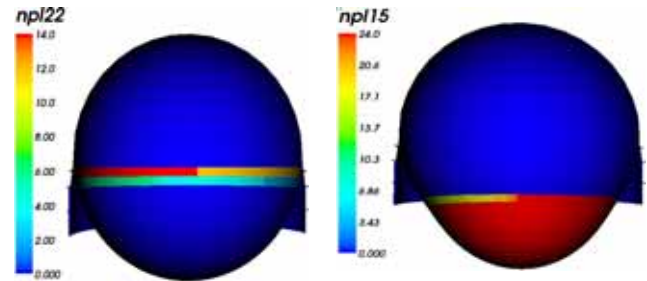
Table 1 想定荷重

(1)	自重 (防熱剤も含む)
(2)	積荷 (部分積み, 傾斜荷重, 垂直・水平成分)
(3)	内外圧差
(4)	熱応力
(5)	ハルガードからの相関力

4. 解析結果

球殻 25mm 充填率 30~90%の直立状態(液面傾き 1 度)や液面傾きを 20 度として、材料的・幾何学的非線形性と温度荷重を考慮したモデル(以下モデル A とする)、材料的非線形性と温度荷重を考慮したモデル(以下モデル B とする)、幾何学的非線形性と温度荷重を考慮したモデル(以下モデル C とする)を解析した。Table 2 に示した 3 種類の解析法により解析を行った。球殻 25mm 充填率 30~90%の直立状態(液面傾き 1 度)の解析結果を示す。Fig. 3 は球殻 25mm 充填率 40,80%の直立状態(液面傾き 1 度)の塑性分布、Fig. 4 はモデル A、B、C の球殻の強度を示した。Fig. 3 より充填率 40%のモデルは赤道直下 90 度の部分、充填率 80%のモデルはスカート部には塑性変形が見られなかったが、タンクの自荷重により南半球の部分が塑性変形を起こしタンクシステムが崩壊していることがわかる。変形は 6 倍である。Fig. 4 より

初期降伏は充填率が上がることによりさがっている。モデル A はモデル B と比較してみると、モデル A のほうが初期降伏は高くなっており最終強度も全体的に高い挙動を見せている。モデル C は充填率 60%を超えると 10G では発散しないので最終強度は 10G 以上となる。



(a) filling ratio 40% model (b) filling ratio 80% model

Fig. 3 塑性分布

(板厚 25mm 直立状態幾何学的材料的非線形性を考慮)

Table 2 解析法

モデル A	材料的・幾何学的非線形性を考慮
モデル B	材料的非線形性を考慮
モデル C	幾何学的非線形性を考慮

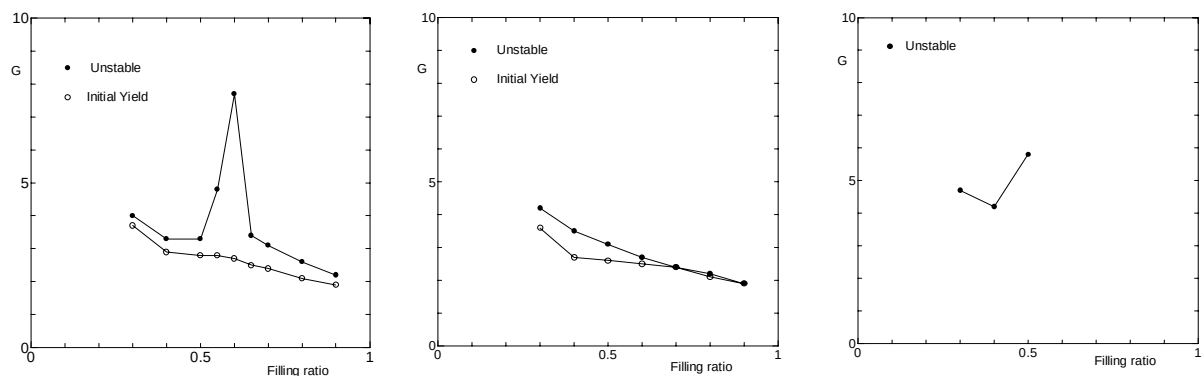
5. 結言

非線形有限要素法解析を用いて、LNG タンクシステム全体にかかる荷重条件をより实际的に想定して解析を行った。

3 種類の非線形モデルを想定して解析を行うことにより各非線形の強度に与える影響について検討を行った。

6. 参考文献

- 1) 大道典子: LNG 船球形タンクシステムの座屈強度直接計算手法の構築に関する研究, 平成 16 年度大阪府立大学卒業論文



(a)板厚 25mm 液面傾き 1 度

材料的幾何学的非線形性を考慮(モデル A)

(b)板厚 25mm 液面傾き 1 度

材料的非線形性を考慮(モデル B)

(c)板厚 25mm 液面傾き 1 度

幾何学的非線形性を考慮(モデル C)

Fig. 4 球殻の強度