

外圧を受けるリング補強円筒殻の座屈・最終強度に関する研究

塩満, 大祐

<https://hdl.handle.net/2324/4475065>

出版情報 : Kyushu University, 2020, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 塩満 大祐

論 文 名 : 外圧を受けるリング補強円筒殻の座屈・最終強度に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

潜水船等の高圧環境で作業する構造物では、リング補強円筒殻が主構造となっており、構造安全性の確保のためには、設計の早い段階から座屈・最終強度を精度良く推定する必要がある。座屈や降伏のような非線形現象を伴う強度推定には、有限要素解析 (FEA) が用いられることが多いが、モデル作成から計算まで多大な労力を必要とするため、効率良く強度推定をするために、簡易的な設計式が必要とされる。リング補強円筒殻の座屈モードは、局部座屈 (胴板座屈、補強リングの横倒れ座屈) と全体座屈に大きく分けることができ、これまでに、各座屈モードに対する強度推定式が提案され、設計式として用いられている。しかしながら、これらの推定式は、様々な仮定のもと簡略した物理モデルが使われており、寸法等によっては著しく精度を損なう場合がある。また、補強リングの配置方法には、胴板の内側に配置した内リング補強方式と外側に配置した外リング補強方式の 2 種類があるが、これらの方式に完全に対応した座屈強度推定式は、今現在まで開発されていない。さらに、リング補強円筒殻の崩壊挙動を精査し、最終強度を推定する設計式を導出する試みも少ない状況にある。

そこで本研究では、外圧を受けるリング補強円筒殻の座屈・最終強度推定式を開発することを目的として、初めに、リング補強円筒殻の座屈前変形時の応力推定式を提案する。次に、その応力推定式を用いた弾性局部・全体座屈強度推定式を開発する。最後に、開発した座屈前応力推定式から導出できる降伏強度と弾性座屈強度推定式を用いた新たな細長比と、これを使った最終強度推定手法を提案する。

第 1 章では、本研究が行われた背景、本研究に関連するリング補強円筒殻の座屈・最終強度に関する従来研究について調査した。さらに、本研究の目的と構成を述べた。

第 2 章では、外圧を受けるリング補強円筒殻の座屈前変形時の応力推定式を提案した。提案式の推定値は、FEA 結果と比較して 1%未満の誤差に留まっており、従来式で問題となっていたウェブ高さが変化した場合の精度を確保できることを確認した。また、提案式は、内外リング補強方式の違いに対応することができ、どちらの方式においても応力を高精度で推定できる。

第 3 章では、2 種類のアプローチに基づいて弾性局部座屈強度 (胴板座屈および補強リングの横倒れ座屈) に関する推定式を提案した。それぞれ、曲り梁モデルの力のつり合いから導出した提案式 (CBM) と、板モデルに生じる変位関数を仮定し、エネルギー法を適用して導出した提案式 (FSM) である。CBM 提案式は、横倒れ座屈強度を簡易的に推定できる利点があるものの、座屈波数が小さいときに FEA 結果よりも非常に大きく強度推定する問題が残った。一方、FSM 提案式は、FEA 結果と良く一致した値を推定可能であり、従来式では推定が不可能であった全周同方向横倒れ座屈モードにも対応できることを確認した。

第 4 章では、弾性全体座屈強度推定式を提案した。全体変形と局部変形を混合させた変位関数を

仮定し、この変位関数のもと、エネルギー法を適用して推定式を導出した。また、導出の際には、曲り梁効果とウェブの面内せん断変形の影響も考慮した。提案式は、従来式より精度が向上し、内外リング補強方式の違いを正しく評価することができることを確認した。

第5章では、局部座屈を伴う場合のリング補強円筒殻の崩壊挙動と最終強度を調査した。また、第2章で提案した座屈前応力推定式を用いた降伏強度と、第3章で提案した板モデルに基づく局部座屈強度推定式を用いることで、新たな細長比を提案し、これを用いた最終強度推定式を開発した。崩壊挙動の調査から、局部座屈を伴う場合の崩壊モードは、胴板座屈崩壊（変形局所化モード SB-1 および均一変形モード SB-2）、横倒れ座屈崩壊（変形局所化モード TB-1 および均一変形モード TB-2）、および複合座屈崩壊 STB の5つに分類できることを確認した。次に、定義した細長比を用いて最終強度を2つのグループ（Group 1 および Group 2）に分けることができ、Group 1 の最終強度は、細長比の関数として推定が可能であり、Group 2 の最終強度は、補強リング間中央での応力が降伏応力に達したときの強度から推定できることを確認した。なお、Group 1 と 2 は、第3章で提案した局部座屈強度推定式から得られる弾性座屈モードに基づき分類することができる。

第6章では、全体座屈を伴う場合の最終強度推定式を提案した。加えて、第5章で開発した局部座屈を伴う場合の最終強度推定式から計算される値と、本章の全体座屈を伴う場合の最終強度推定式から計算される値とを比べ、両者のうち小さい方を選択することで、リング補強円筒殻のすべての崩壊モードに対応した最終強度推定を可能にした。推定結果を FEA 結果と比較すると約 10%未満の誤差で、強度を推定できることを確認した。

第7章では、本研究の成果をまとめて総括した。