

## Residual Ultimate Strength of Axially Compressed Tube after Collision or Corrosion

李, 若轩

<https://hdl.handle.net/2324/1959122>

---

出版情報 : Kyushu University, 2018, 博士 (工学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :

氏 名 : 李 若 軒 (リー ルシュアン)

論 文 名 : Residual Ultimate Strength of Axially Compressed Tube  
after Collision or Corrosion  
(衝突または腐食後に軸圧縮荷重を受ける円管部材の残存最終強度  
に関する研究)

区 分 : 甲

### 論 文 内 容 の 要 旨

ジャケット式海洋プラットフォームは石油や天然ガスなどの海洋資源の掘削や生産の現場で広く使用されている。プラットフォームを支えるジャケット構造は数多くの円管部材で構成されており、これらの部材は軸荷重や曲げ荷重を受ける。特に軸圧縮荷重下で部材が座屈崩壊すると、構造全体の安全性を脅かす危険性があることから、軸圧縮荷重下の最終強度の把握は重要な検討項目となる。

海洋プラットフォームと陸地の間では船舶を使って物資の運搬が行われるが、その船舶が時としてジャケット構造に衝突し、円管部材に損傷を与えることがある。また、飛沫帯に設置された部材では腐食による損傷が広がる場合もあり、これら損傷によって部材の耐荷重が著しく低下することも考えられる。板部材の軸圧縮強度や、円管部材の曲げ強度に対して衝突や腐食の影響を検討した事例は見受けられるものの、軸圧縮荷重下の円管部材を対象にしてこれら損傷が及ぼす影響を検討した例は少ない。

そこで本研究では、ジャケット構造に使用されるような大型円管部材を対象に、船舶を想定した剛体による衝突損傷と、円錐型孔食による断面損失を受けた場合を考え、これらが軸圧縮最終強度の低下（残存圧縮最終強度）にもたらす影響を、FEM（有限要素法）による数値解析を実施して調査した。また、得られた解析結果に基づき、大規模な数値解析なしに残存最終強度を推定できる簡易式の導出を行った。最後に得られた簡易強度推定式を使った工学的検討の例を示した。

本論文の第1章では、ジャケット構造の現状と構成する円管部材に対する規則の説明、円管の座屈や腐食などの既存の研究の調査結果、さらには本研究の研究目的と研究項目を示した。

第2章では、衝突損傷を生じた円管部材が軸圧縮荷重を受ける場合の残存最終強度の検討を行った。船舶の球状船首を模擬した球体が円管部材に垂直に衝突し、その後円管に軸圧縮荷重が作用する負荷順序の下、FEMによる動的構造解析を実施した。その際、円管の寸法、衝突球体の大きさと運動エネルギー、衝突位置を変化させ、これらが残存最終強度に与える影響を調査した。その結果、衝突後に円管部材に生じた変形量に応じて残存最終強度が低下することを明らかにした。さらに、残存強度を支配する、衝突体の運動エネルギー、円管の降伏強度と寸法から構成されるパラメータ $\lambda$ を提案し、このパラメータを使用した残存最終強度推定式を導出した。また、API（米国石油協会）規則で定められている円管部材の許容軸応力と残存最終強度の比較から、パラメータ $\lambda$ の許容限界値を提案した。

第3章では、腐食として円錐状孔食が生じた板部材を対象として、FEM解析を実施して面内圧縮

荷重下の残存最終強度を調査し、第4章で実施する円管部材の検討に必要な腐食のモデル化の方法の提案をするとともに、腐食が残存最終強度に与える基本的な知見を得た。最初に円錐状孔食を有する板をシェル要素でモデル化する方法を提案し、ソリッド要素を使った詳細モデルとの比較から提案モデル化が妥当であることを確認した。次に、孔食の形状（深さと幅）や腐食の領域の大きさや位置、板のアスペクト比などが、腐食損傷板の残存最終強度に及ぼす影響を調べ、腐食による断面損失率が残存最終強度に支配的であるが、厚板と薄板では断面損失率が与える影響度が異なること、また、板の角部に腐食領域があると残存最終強度が最も低くなることを明らかにした。さらに、解析結果に基づき、残存最終強度推定式を提案した。この推定式では、腐食による断面損失率をパラメータとして使うものの、厚板と薄板で損失率の影響が変化するように、板の有効幅で補正した等価断面損失率を適用している。推定値と FEM 解析結果との比較から提案式の妥当性を確認している。

第4章では、円錐状孔食が生じた円管部材に対して FEM 解析を実施し、軸圧縮荷重下の残存最終強度の検討を行った。本章でも第3章で提案したシェル要素を用いた腐食のモデル化を適用している。解析では腐食領域の軸方向長さと周方向幅、孔食の深さを変化させて、これらが残存最終強度に与える影響を調査し、腐食領域の軸方向長さは残存最終強度に大きな影響を及ぼさないことを明らかにした。次に、解析結果に基づき、円管部材の寸法（長さ、直径、板厚）、孔食の深さと腐食領域の周方向幅をパラメータとする残存最終強度推定式を導出し、FEM 解析結果との比較から十分な精度を有していることを確認した。

第5章では、第2章と第4章で導出した円管部材の残存最終強度に対する簡易推定式を適用した工学的検討例を示した。まず、衝突後の円管部材について、円管板厚、鋼材の降伏応力、衝突物の質量と衝突速度を確率変数として取り扱い、第2章で検討したパラメータ $\lambda$ の許容限界を超える場合を破損と定義して、破損確率の計算を行った。また、目標破損確率を下回るための衝突速度の限界値も計算し、これを運搬船の接近限界速度として提案した。腐食後の円管部材については、腐食推定モデルから経年数と孔食深さの関係、簡易強度推定式から孔食深さと残存最終強度の関係を求め、これらの関係から経年数と残存最終強度の関係を予測して、ある検査時から次の検査時までに残存最終強度が許容値を下回ると予測される場合には部材の切り替えを行うメンテナンス指針を提案した。

第6章では、本研究における研究結果をまとめて総括した。