

健全時および損傷後の船体縦曲げ最終強度に関する研究

藤, 公博

<https://doi.org/10.15017/1500714>

出版情報：九州大学, 2014, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

氏 名 : 藤 公博

論文題名 : 健全時および損傷後の船体縦曲げ最終強度に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

船体縦曲げ最終強度は、船体の構造安全性を保証するうえで最も基本的な強度の 1 つであり、縦曲げ荷重のもとで板および防撓パネルが逐次的に降伏、座屈・塑性崩壊して船体構造が梁としての全体曲げ崩壊に至るまでの挙動を究明することは極めて重要な課題である。これを受け、これまでに板および防撓パネルの面内圧縮荷重作用下での座屈・塑性崩壊挙動や船体縦曲げ最終強度に関する実験的・理論的研究が数多く行われている。

本論文では、船体横断面の縦曲げ逐次崩壊挙動の代表的な計算法として広く用いられている Smith の方法および動的陽解法による弾塑性 FE 解析を適用して、逐次崩壊挙動を解析し、健全時および損傷後の船体縦曲げ最終強度に関する様々な検討を行った。

第 1 章の緒論に続いて、第 2 章では、防撓パネルによって構成される断面の最終強度算定法として広く用いられている Smith の方法に関して、国際船級協会連合 (International Association of Classification Societies; IACS) によるバルクキャリアに対する共通構造規則 (Common Structural Rules for Bulk Carriers; CSR-BC) に準拠した船体縦曲げ最終強度計算プログラム ULST を作成し、パナマックスバルクキャリアを対象に縦曲げ最終強度計算を行い、hogging および sagging モーメント作用下での縦曲げ最終強度ならびに最終強度に至るまでの挙動について力学的な考察を行った。また、Smith の方法に基づく逐次崩壊解析手法を船体損傷後の縦曲げ最終強度計算に適用するために、まず系統的な弾塑性 FE 解析を実施し、同じ損傷量であってもその隣接部材の損傷量が異なると、損傷部材の一軸圧縮引張荷重作用下での平均応力～平均ひずみ関係に差が生じることを示すとともに、その結果に基づいて損傷部材に圧縮引張荷重が作用した際の平均応力～平均ひずみ関係の近似式を作成した。また、上記の対称断面を対象とした逐次崩壊解析手法に基づく船体の縦曲げ最終強度の解析プログラムに対して、損傷によって生じた断面の中立軸の傾きの影響を正確に考慮できるような改良を行うとともに、前述の損傷部材の平均応力～平均ひずみ関係の近似式を組み込んだ。さらに開発した解析プログラムを用いて損傷箇所や損傷領域の広がりによって縦曲げ最終強度がどの程度低下するかについて検討した。

第 3 章では、汎用 FE 解析プログラム LS-DYNA の動的陽解法を用いて、防撓パネル、ボックスガーター構造および船体構造に関する最終強度解析を実施し、座屈・塑性崩壊のような静的な崩壊挙動を動解析によって準静的に再現する場合の荷重速度について検討した。その結果、対象とする構造やメッシュサイズが異なるモデルに対しても、荷重速度に関する指標として、1 ステップ当たりの応力増分に注目することで、動解析によって準静的な崩壊解析を再現することが可能であることを確認するとともに、従来の弧長増分法 (RIKS 法) を用いた静的解析では安定的に最終強度を求めることが困難な船体構造のような大規模構造に対しても、動的解析手法を用いて準静的な解析を行

うことによって安定的な最終強度が得られることを示した。また、各構造モデルに対して、メッシュ分割に関する検討や理論計算による崩壊モードに関する考察を行った。

第4章では、汎用FE解析プログラムLS-DYNAを用いて、船体縦曲げ最終強度に及ぼす損傷、初期不整および横荷重の影響を調べるために、hoggingおよびsaggingモーメント作用下で、隔倉積み付け状態、損傷ケース、初期不整の形状および大きさなどの条件が異なる弾塑性FE解析を実施した。その結果、縦曲げ最終強度に及ぼす損傷の影響は、甲板部に損傷を受けた場合に顕著であり、特にsaggingモーメント作用下での最終強度低下率が著しいことを確認した。また、縦曲げ最終強度に及ぼす初期不整の影響は、saggingモーメント作用下で顕著であり、従来の多くの計算で仮定されている座屈モードに比べて実パネルにおいて支配的なやせ馬モードの方が高めの最終強度を与えることを示した。加えて、縦曲げ最終強度に及ぼす横荷重の影響は、hoggingモーメント作用下で顕著であり、saggingモーメント作用下ではその影響は軽微であることを確認した。また、初期不整ならびに横荷重の影響による最終強度の低下は見られるものの、互いに影響を及ぼす荷重条件が異なるため、双方が同時に縦曲げ最終強度に顕著な影響を及ぼすことはないことを示した。また、横荷重を考慮した場合の弾塑性FE解析結果とIACSによって策定が進められている調和化共通構造規則で規定される許容値との間に定性的かつ定量的に比較的良好な一致が見られることを示した。また、上記の弾塑性FE解析結果とSmithの方法に基づくULSTによる簡易計算結果とを比較し、ULSTによる簡易計算では、最終強度までの挙動は比較的精度よく推定可能であるが、最終強度後の挙動および横荷重の影響を考慮した場合などに課題が残ることを確認した。

第5章では、Smith法に基づく最終強度の推定精度に影響を及ぼすと考えられる防撓パネルの一軸圧縮荷重作用下での平均応力～平均ひずみ関係近似式の推定精度向上を目指し、防撓パネルに対して弾性大たわみ解析および剛塑性解析に基づく定式化を行い、一軸圧縮荷重作用下での平均応力～平均ひずみ関係を解析的に導出する手法について検討を行った。その結果、防撓材深さが比較的低く、全体座屈によって崩壊する防撓材寸法においては、防撓パネルを梁としてモデル化し、初期不整を考慮した梁の大たわみ理論に基づく弾性解析解と剛塑性解析解を組み合わせた計算結果がFEMを用いた弾塑性大変形解析結果と比較的良く一致することが確認できたものの、防撓材深さが高くなると防撓材の横倒れを伴うような崩壊モードとなるために、有意な差異が生じていることを確認した。そこで、防撓材の捩れ変形を考慮したエネルギー法に基づく弾性大たわみ解析を行い、同手法と剛塑性解析を組み合わせることによって推定精度が向上することを確認した。また、隣接防撓パネルとの連成影響を考慮するための手法を提案した。

第6章では、本論文における研究結果をまとめて総括した。