

Title	船体の縦曲げ最終強度解析法の精密化とその安全性評価に関する研究
Author(s)	前野, 嘉孝
Citation	大阪大学, 2005, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/45907">https://hdl.handle.net/11094/45907</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	前野嘉孝
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第19528号
学位授与年月日	平成17年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科船舶海洋工学専攻
学位論文名	船体の縦曲げ最終強度解析法の精密化とその安全性評価に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 矢尾 哲也 (副査) 教授 富田 康光 教授 村川 英一 助教授 大沢 直樹

### 論文内容の要旨

縦強度は船体の強度設計において、最も重要かつ基本的な強度であるが、設計時に行われる縦強度の評価は、弾性範囲内での挙動を想定したものであった。一方、近年の設計の合理化、高張力鋼の多用など、船体を構成する部材の板厚は減少してきた。その結果、設計時の想定を超えるような荷重が船体に作用したとき、船体横断面の最終強度を精度よく計算することが重要な課題となってきた。本論文は、このような状況を背景として、船体に縦曲げ荷重が作用したときの船体横断面の最終強度計算法の精密化とその安全性評価について実施した研究成果を報告するものである。

第1章では、本研究を始めるに至った背景、本研究に関連した従来の研究および本論文の構成を説明した。

第2章では、本研究で船体の逐次崩壊解析に適用した Smith の方法について、その基本的な考え方を説明した。さらに、本方法で解析する際に用いる平均応力と平均ひずみ関係の求め方について概説した。

第3章では、船体ビルジ部を対象に有限要素法による弾塑性大たわみ解析を行い、船体を構成する円弧部の座屈・塑性崩壊挙動を明らかにした。さらに、ビルジ部の強度に関わる設計因子を変化させて系統的に有限要素法解析を行い、この結果から、軸圧縮荷重のもとでビルジ部が示す平均応力～平均ひずみ関係を構築した。続いて、この平均応力～平均ひずみ関係を、逐次崩壊解析過程に組み込み、最終強度解析を実施した。その結果、ハードコーナー要素を用いて計算した場合と比較して、新しいビルジ要素を用いて計算した縦曲げ最終強度にはほとんど差がないこと、一方、最終強度後の耐力低下はより大きくなることを確認した。

第4章では、剪断力によって生じる剪断応力と反り応力の計算方法について説明した。船体の縦曲げ最終強度を考える場合、積付条件によっては、曲げモーメントが最大となる断面の近傍で、大きな剪断力が発生する断面が存在することがある。この場合、曲げモーメント最大の断面よりも、曲げモーメントと大きな剪断力が作用する断面の方が、耐力が低くなることも考えられる。剪断力が作用したとき、断面に発生する剪断応力と反り応力を求めるために、本章では、船体を薄肉断面梁として取り扱い、剪断力によって断面に発生する反りを求めるための計算方法を説明した。さらに、任意の薄肉断面梁への適用方法について述べ、試算により、本方法の精度について確認した。

第5章では、剪断力による剪断応力と反り応力の影響を考慮した逐次崩壊解析をパナマックスサイズのバルクキャリアに対して実施した。その結果、剪断力の影響で、ホギング状態の縦曲げ最終強度が、最大10%程度高くなることが判明した。

第6章では、縦曲げ最終強度の観点から見た船体構造の安全性評価を実施した。すなわち、船体構造の安全性評価のためには、船体横断面が耐え得る最大の曲げモーメントを明らかにすると同時に、船体に作用する極限荷重も明らかにする必要がある。また、両者とも確定量ではなく、統計量として取り扱う必要がある。そこで、逐次崩壊解析を実施して縦曲げ最終強度を計算すると同時に、最終強度に影響を与える変動因子を取り上げ、これらの因子に関する縦曲げ最終強度の感度を計算した。さらに、この感度を用いて1次近似2次モーメント法(MVFOSM法)を適用し、縦曲げ最終強度の標準偏差を計算した。一方、船体に作用する極限荷重に関しては、非線形ストリップ法を適用した船体運動の時系列解析を実施し、統計的処理により、その平均値と標準偏差を求めた。両者の計算結果を用いて信頼性指標を計算し、縦曲げ最終強度の観点から見た船体構造の安全性評価を実施した。その結果、対象としたバルクキャリア、タンカー、チップ船とも、縦曲げ崩壊の観点からは十分に安全であることが確認できた。

第7章では、本論文で得られた成果を総括すると共に、今後の課題を示した。

## 論文審査の結果の要旨

船体の縦曲げに対する強度は、船体設計において最も重要かつ基本的な強度である。この縦強度は、船体の安全性を最終的に担保する強度であるため、降伏強度に加えて、各縦強度部材の座屈強度など万全の強度検証が行われている。しかしながら、ときには船体が完全に折損するというような重大事故も未だ皆無ではない。これは、設計時の縦強度の検証が、必ずしもこのような極限状態を見通したのではなく、主に弾性範囲内での挙動を想定したものであることによる。一方、設計の合理化、高張力鋼の多用など、船体の軽量化は著しく、船体を構成する部材の板厚も減少している。したがって、設計時の想定を超えるような荷重が作用したときの船体横断面の挙動や最終強度を精度よく解析することが、船舶の安全性に対する社会的要望に答える意味でも、重要な課題となっている。本論文では、このような状況を背景として、縦曲げ荷重が作用したときの船体横断面の最終強度計算の精密化とその安全性評価の方法について実施した研究成果を取り纏めている。本研究で得られた成果は、以下の通りである。

- (1) ビルジ外板部の座屈・塑性崩壊挙動を明らかにするために、弾塑性大たわみ解析を実施し、一般的な形状のビルジ外板では、弾性域での座屈は発生しないが、降伏応力以下で最終強度に到達し、その後に塑性崩壊が発生し、たわみの増加とともに耐力が低下することを明らかにしている。
- (2) ビルジ部の構造に関連する設計因子を取り上げ、パラメトリックスタディを行った結果から、ビルジ部の崩壊挙動を平均応力～平均ひずみ関係で表す簡易近似式を提案し、この近似式が有限要素法の結果と比較して精度のよいことを示している。
- (3) 上記の近似式を用いて、ビルジ部の崩壊挙動を反映させた船体横断面の逐次崩壊解析を実施し、従来の方法と比較している。その結果、船体の最終強度には余り差はないものの、最終強度後の耐力低下には、ビルジ部の座屈の影響があり、最終強度後の挙動を正確に再現するにはビルジ部の挙動を考慮する必要があるとの新たな知見を示している。
- (4) 船体の縦曲げ最終強度に対する垂直剪断力の影響を考慮するために、精度のよい反りの計算方法について提案している。定式化は従来の研究に倣っているが、一般的な船体横断面に対して容易に適用できるように展開していることが評価される。
- (5) 矩形断面とバルクキャリアの中央断面を対象に、解析解や他の方法による計算結果と比較して上記方法の精度を検証し、剪断応力が大きい箇所では誤差が1%以下の精度で求められることを示し、本方法が船体横断面に対して適用できることを実証している。
- (6) Panamax型のバルクキャリアを対象として、縦曲げモーメントと剪断力の大きさが異なる組み合わせで作用する21断面について、前記の反りの計算を導入した逐次崩壊解析を実施し、剪断力による反り応力が各部材の崩壊挙動に影響を与え、船体横断面が最終強度に至るまでの崩壊過程が純曲げ状態と異なることを明らかにしている。

- (7) 21 断面の逐次崩壊解析の結果では、剪断力の影響によって縦曲げ最終強度は、最大で約 11%上昇することを示し、剪断力の影響を具体的に評価している。以上の研究を通して、剪断力の影響を考慮できる実用的な船体横断面の縦曲げ最終強度計算法を確立することに成功している。
- (8) 信頼性理論に基づき、縦曲げ最終強度の安全性評価を実施するために、船体横断面の逐次崩壊解析を行い、最終強度の平均値と変動係数を求めている。その過程で、サギング時の最終強度がホギング時に比べて低くなること、最終強度の変動に最も寄与しているのは降伏応力であることを新たに見いだしている。
- (9) 極限波浪縦曲げモーメントを求めるために、甲板冠水、船底スラミング、船体縦揺れをパラメータとして、航行可能な最悪短期海象を決定している。さらに、本海象下の時系列シミュレーションを実施し、非線形曲げサギングモーメントが線形曲げモーメントよりも平均値が 10%程度小さい値となるが、標準偏差は非線形サギングモーメントの方が大となること、また、非線形ホギングモーメントは、非線形サギングモーメントよりも約 50~40%程度小となることを明らかにしている。
- (10) 信頼性解析を実施し、ホギング時の  $\beta$  (信頼性指標) は十分に安全と思われる値であるが、サギング時では  $\beta$  がおおむね小さな値となることを明らかにしている。その理由として、主に、サギング時の最終強度がホギング時の最終強度より低いためとの知見を得ている。

以上のように、本論文は、船舶海洋工学、とりわけ、バルクキャリアやタンカーなどの一般商船の設計において、最も基本的かつ重要な強度である縦強度の研究を深化させ、従来、主に弾性設計の範囲内で評価されていた船体の縦強度に関し、船体の最終強度解析法の精密化を通して、極限設計の実用化と適用範囲の拡大化を推進せしめるものである。また、信頼性解析に基づいた安全性評価は、今後の商船設計の一つの指針となりうるものと評価され、商船の安全性向上に大いに寄与するものと期待できる。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。