

論文の要旨

題目 船体構造のスティフナーレイアウトを考慮した有限要素解析手法及び最適化手法に関する研究
(Finite Element Analysis and Optimization Method Considering Stiffener Layout of Ship Structures)

氏名 野波 諒太

近年国内の造船業では海外企業との価格競争が激しくなっており、コストを抑えるための船舶の設計・建造が重要となってきた。船舶のコストは大きく分けると原材料費と工費(人件費を含む)の2つになる。この2種類のコストの内の原材料費を削減するために、必要以上の強度を持たないように船体を設計する構造最適化が行われている。船体の構造最適化では、熟練設計者の経験則による構造最適化が行われる場合がある。しかしながら、経験則は個人の力量に依存するため、得られた最適構造よりもより良い設計案が存在する可能性がある。そのため、経験則に頼ることなく確実に最適な構造を探索することのできる方法が求められている。経験則によらない構造最適化を行う場合、膨大な数の設計案を検討する必要がある最適化に要する計算時間が長くなるという問題が生じる。船体構造の強度評価には FEM が用いられることが一般的であるが、FEM による構造計算では、FEM モデルの作成及び大規模なマトリックスの演算処理が必要である。そのため、最適化の過程で検討する設計案全てに対して FEM モデルの作成・解析を行うため、最適化に必要な時間が長くなり実用的な時間内で最適解を得ることができない。この最適化時間の問題を解決するためには、FEM モデルの作成・解析時間を短縮する手法と最適化の過程での繰り返し計算の回数を低減することのできる効率的な最適化手法が必要である。以上のような要求から、FEM による計算時間を短縮する手法と効率的な最適化手法を船体に適用した船体構造最適化に関する研究は複数行われており、それぞれの研究で成果をあげている。しかし、これらの研究では船体に多数取り付けられているスティフナー本数とスティフナー配置を設計変数とした構造最適化は行われていない。その理由は以下のようにまとめられる。

- 船体構造最適化は設計変数の種類が多く、組み合わせ最適化問題となるため、GA が有効な手法である。スティフナー本数を設計変数とすることにより、求めるべき板厚の数やスパンの数が増えるため、スティフナー本数が異なる設計案同士ではそれぞれ設計変数の数が異なる。GA は設計変数を遺伝子として表現し、優秀な個体の遺伝子同士を交叉し、新たな設計案を創出し最適解を探索する手法である。そのため、各設計案ごとに設計変数の数が異なる場合、遺伝子の長さも異なり、交叉を実行することができない。以上の理由から、GA を使用してのスティフナー本数を設計変数とした構造最適化は行われていない。
- スティフナー本数及び配置を変更すると、FEM モデルを作り直す必要が生じる。特にスティフナー本数を変更する場合、新たにスティフナーを配置するために節点を追加する必要がある。そのため FEM モデルの自由度が増えるためメッシュの大幅な作り直しが必要となる。また、最適化による構造変更箇所が全体の数%以下の場合においても全体 FEM モデルの解析を実行する必要があり計算負荷が高い。最適化では複数の設計案の検討を行う必要があり、検討すべき全設計案に対して FEM モデルの作成・解析を行うことは時間的制約から困難である。
- スティフナー本数とスティフナー配置を設計変数とした最適化問題では、他の設計変数としてスティフナー間の板厚、スティフナー形状が想定される。これら4種類の設計変数の最適化問題は設計変数の数が多く、組み合わせ数が膨大となる。そのため、GA による最適化では、最適解へ到達しない場合や数多くの設計案を検討する必要が生じる。また、GA で連続変数を含んだ最適化問題を解くと、連続変数を離散変数として扱う必要があり、設計変数の値を表現するために非

常に多くの bit 数を必要とし、前述したものと同様の問題が生じる。以上の問題点から連続変数を含む多くの設計変数を有する最適化を GA で行うことは困難である。

以上3つの問題点からスティフナー本数及びスティフナー位置を設計変数とした船体構造最適化は困難であるが、実行することができればより良い構造を創生することが可能であると考えられる。そこで、本研究ではスティフナー本数及びスティフナー位置を設計変数として含む構造最適化の実行を目的とし、現状での問題点を解決するための有限要素解析手法及び、最適化手法について検討する。その成果を以下に示す。

- 第1章「緒言」では、本研究の背景、目的、関連研究、論文構成について述べている。
- 第2章「設計変数の数が変化する最適化問題」では、最適化を行う過程設計変数の数が変化するという問題点を解決する最適化手法を提案している。提案する手法は隠れ遺伝子を導入することにより、設計変数の数が異なる個体同士においても GA での最適化が可能となる。この隠れ遺伝子を用いた GA を船体を模擬した検証用モデルに適用し、設計変数をスティフナー本数とスティフナー間の板厚とし構造最適化を行う。この場合スティフナー本数により板厚の設計変数の数は異なるため、設計案には考慮しない板厚を隠れ遺伝子として扱う。その結果、妥当な最適構造を得られることを示している。単純 GA ではスティフナー本数を設計変数に含めて最適化を行うことはできないが、スティフナー本数を予め設定した複数のパターンの最適化を行うことで最適解を取得することが可能となる。上述の単純 GA による最適化と本提案手法の計算量を比較することにより、提案する隠れ遺伝子を用いた GA は単純 GA と比較して少ない計算量で最適解が得られることを示している。
- 第3章「設計領域を考慮した FEM 計算手法と最適化への応用」では、スティフナー本数の変更に伴う FEM モデルの再生成と構造強度評価のための FEM 解析による計算時間の増加という問題点を解決するための FEM 計算手法を提案している。これは、スティフナー本数等の変更による剛性の変化を直接 FEM 計算に取り入れる方法である。この手法を用いることによりスティフナー本数を変更した場合においても FEM モデルを再生成することなく強度評価が可能である。また、構造変更領域のみを計算するため計算負荷低減の効果もある。この提案する FEM 計算手法と第2章で提案した隠れ遺伝子を使用した GA を用いて、船体を模擬した検証用モデルのスティフナー本数、スティフナー位置、板厚を設計変数とし、荷重条件を等分布荷重と三角分布荷重の2種類とした最適化により妥当な最適構造が得られることを示している。
- 第4章「多種類の設計変数を有する構造最適化」では第3章で行った構造最適化の設計変数である、スティフナー本数、スティフナー位置、板厚にスティフナー形状を加えた4種類の設計変数を持つ最適化問題を扱っている。この最適化問題では設計変数の数が多く、GA を使用しての最適化では最適解への収束性に問題があるため、収束性の向上が可能な Hybrid GA を検討する。Hybrid GA は GA と他の最適化手法を組み合わせた手法であり、GA と組み合わせる最適化手法は既存の手法を用いることも可能であるが、本研究では計算量を低減させるためにスティフナー位置、及び板厚を最適化するために特化した手法を提案している。これは弾性力学に基づいた簡易的な推測式と FEM による計算を組み合わせた最適化手法である。この最適化手法は最も計算負荷の高い FEM 計算の回数を必要最小限に抑えることが可能であり、既存の勾配を用いた最適化手法に比べ最適化に必要な計算時間を短縮することができる。この提案手法を用いて変位制約、及び応力制約での最適化の結果、妥当な結果を得ることが可能であることを示している。次に、このスティフナー位置と板厚の最適化に特化した提案手法と第2章で提案した隠れ遺伝子を使用する GA を組み合わせた Hybrid GA を構築し、第3章で提案した FEM 計算手法を

使用して船体を模擬した検証用モデルの構造最適化を行うことにより、安定して妥当な最適解を得られることを示している。また、Hybrid GA と GA 単体での最適化計算量を比較した結果、Hybrid GA を使用することで少ない計算量で最適化に到達することが可能であることも示している。

- 第5章「結論」では本研究での成果から得られた結論と、今後の課題について述べている。今後の課題は船体 FEM モデルに実際の設計に用いられている境界条件と荷重条件を適用し、提案手法による最適化を行うことである。

以上の研究成果から、本研究で提案した手法を用いることで、既往の研究では行われていないステイフナー本数、ステイフナー位置を設計変数として含んだ構造最適化が可能となることを示している。