

論文の内容の要旨

論文題目 船体構造の設計と現図における最適化手法の適用に関する研究

氏名 岡田 哲男

自然環境や安全に対する社会的要求の高度化、コンテナ船の大型化、造船所の人員構成の変化等、船体構造を取り巻く社会的・経済的環境は年々変化してきており、造船所は様々な激しい変化に的確に対応し、順応していくことが求められている。

著者は、造船所において構造基本計画、詳細設計、生産設計及び最終的に生産工程に送るデータまで作成する工程である現図を歴任してきたが、上記の課題に対応するために、それらの業務を「最適化」という共通の視点で捉え、最適化手法の適用に関する研究を続けてきた。有限要素解析におけるメッシュ最適化や、現図工程のネスティング作業における歩留り最適化はもとより、商船基本計画の最適化や構造解析と融合した構造最適化等を通して、最適化技術によって社会的・経済的環境の変化に対する素早く的確に対応し、安全性・経済性に資することが明らかとなったので、ここに論文としてまとめる。

1. 最適設計を支える船体構造解析と最適メッシュ分割

- (1) 自動要素分割法の満足すべき条件と現状を整理するとともに、船体構造解析に適した自動要素分割法として、TRIQUAMESH 法および BOUNDARY-FIT 法を取り上げて、実際の様々な問題に適用した。TRIQUAMESH 法はほとんど幾何情報のみからメッシュ分割ができるという極端な自動化能力を持っており、また生成される要素も比較的正方形に近い四辺形で、全体的な誤差評価値も小さく好ましいものである。著者は、TRIQUAMESH 法の持つ上記利点を生かしつつ、円弧状の辺では放射状、平行部では格子状のメッシュを生成しや

すくする工夫を独自に加えた。BOUNDARY-FIT 法は滑らかで領域の凹部が密となるメッシュが自然に生成できる場所に特徴があり、他の手法と比べると自然に高応力部で良い精度が得られる利点があるが、領域を四辺形に写像できるサブ領域に分割する必要があり、ユーザにとって煩雑な面もある。

- (2) メッシュ分割を自動化した上で、満足のゆく精度を得るためには、有限要素解の誤差を評価し、それに応じてアダプティブメッシュリファインメントを行うことが必要になってくる。メッシュ分割の最適化である。本論文では、隣接要素間の応力の不連続に基づく簡単な誤差評価値に基づいて、BOUNDARY-FIT 法のメッシュの粗密を制御する r-method 及び誤差の大きい要素を十文字に分割する h-method について述べた。BOUNDARY-FIT 法については、重調和方程式を支配方程式として全領域の粗密の制御を二つのパラメータのみで行う手法を新たに開発し、メッシュの最適化により高応力部の精度を効率よく向上させることができることを示した。この方法は総自由度数が一定であるから、最適化しても所期の精度が得られるという保証はない。それに対して、h-method では、初期メッシュにかかわらず、再分割することによっていずれ欲しい精度を得ることができる。ここでは、様々な初期メッシュに対して h-method を適用し、その効果を調べた。解析モデル作成の全体的な自動化と精度の確保の両立という側面から見た場合、自動要素分割法としては自動化率の高い TRIQUAMESH 法が非常に有力であること、これに著者らが独自に加えた工夫により、応力集中部のメッシュサイズを適切に与えれば再分割の必要がない程度に良いメッシュが得られること、これに必要な応じ h-method によるアダプティブメッシュリファインメントを組み合わせた方法が有力であることなどが示された。
- (3) 一般に船体構造解析は大規模解析となるため、誤差評価値によりメッシュを動かしたり、メッシュを細分割したりする過程での計算量や、最終的に得られるメッシュでの再計算に要する時間が問題となる。そこで、メッシュ再分割過程での誤差評価値の計算においては、もとのメッシュによる解析結果のみを用いて精度良く誤差評価することができることを示した。また、最終的に得られるメッシュでの再計算についても、もとのメッシュによる解析結果から補間により求めた変位を初期値として、ICCG 法を適用することにより、再解析に要する時間を大幅に短縮することができた。

2. 船体構造最適設計

- (1) 安全で信頼性が高く、なおかつコストの安い経済的な船体構造を設計するためには、最適化技術が重要となる。船体構造設計の視点から見ると、最適化技術を効果的に適用できるステージが二つ考えられる。ひとつは、船体の初期計画段階における最適化であり、もう一つは、横強度部材や局部強度部材の形状・寸法の最適化である。本論文では、これらの最適化に遺伝的アルゴリズムを適用した。

- (2) 遺伝的アルゴリズムは最適構造設計に適した手法であり、特に多種多様で多数の離散的独立変数を持つ複雑で大規模な最適化問題に対して、効率良く最適に近い解を与えることができる。ハッチカバーの最小重量化問題を題材として、遺伝的アルゴリズムの手法や遺伝的パラメータの調整を行った。その結果、特に周辺探索を重視した手法を新たに開発し、様々な構造最適化問題に適用した。これにより、ダブルハルタンカーやコンテナ船の初期計画における最適化では、人手による設計や SUMT による最適解と比べて、短時間に良い解を得ることができた。
- (3) 船体の初期計画における最適化では、本手法の採用により、一般配置、主要寸法や推進性能にかかわる船型パラメータなども構造配置、骨間隔、部材の材質などとともに同時に最適化できるようになった。これにより、従来の他部門にわたるデザインスパイラルでは不可能であった、高速で精度の高い効果的な初期計画シミュレーションが可能となった。また、規則の変化や、鋼材価格・労賃などの経済的環境の変化を、最適な設計に素早く的確に反映させることができることが明らかとなった。
- (4) 横強度部材・局部強度部材の形状・寸法最適化では、ここに述べた遺伝的アルゴリズムによる最適化技術に、CAD を用いたパラメトリックな形状表現や柔軟かつ頑健な TRIQUAMESH 法による自動要素分割などの有限要素解析技術を融合することにより、効果的な構造最適化システムを構築することができた。これにより、コンテナ船のハッチコーナー形状を長手方向楕円から正円に変えるなど、より安全で経済的な構造に設計変更することができた。このように、有限要素解析はただ強度を評価するためのツールではなく、設計を最適化していくツールとなった。

3. 新しい手法によるネスティングの最適化

- (1) 大量のデータを扱う生産設計・現図は、人手と時間の掛かる工程であり、ヴェテラン層の減少に対する対策という面からも、作業の合理化という面からも、高度な自動化の推進が望まれる。特にネスティングに関しては、近年の鋼材価格の高騰からも歩留りが重要となっており、単に自動化するだけでなく、歩留りや切断加工性に関して最適なネスティングが求められる。
- (2) そのような背景から、部材の重なりから反発力を演算することと、乱雑さの指標（温度）の導入により確率論的に部材を移動・回転させ最適配置を探索することの2点を柱とする、全く新しい手法に基づく自動ネスティングシステム FINEST を開発した。歩留り最大化を目指して部材を確率論的に移動・回転させるシミュレーションに加えて、部材配置に関して、歩留り最大化と板枚数最小化の組み合わせを目的関数とする、遺伝的アルゴリズムによる最適化手法を導入した。
- (3) 詳細ネスティング、取材用ネスティングに FINEST を適用した結果、完全自動のネスティングシステムでありながら、従来困難とされてきた非常に高い歩留り率を実現するこ

とができた。これにより、手作業でのネスティングを簡略化・合理化できることはもとより、最適ネスティングによる高い歩留り率を達成でき、従来多大の労力を要していたネスティング作業を革命的に変えることができた。

おわりに

船の建造におけるあらゆる活動は、始めから終わりまで最適化の繰り返しである。大きなループの最適化から小さなループの最適化まで、様々なレベルで最適化すべき問題がある。

本論文では、船体構造の設計と現図での様々なステージにおける最適化手法の適用に関する研究について述べた。即ち、有限要素解析におけるメッシュ最適化やネスティングにおける歩留り最適化はもとより、全体的な商船基本計画の最適化、構造解析と融合した構造最適化に関する研究などである。結論として、最適化技術の適用によって、スピードを持って、莫大なケースの設計案をシミュレートすることができることが、とりもなおさず設計のループを早く回し、船体構造を取り巻く社会的・経済的環境の変化に素早く的確に対応し、安全性・経済性のメリットにつながることを示された。

本論文で述べたあらゆる例題で、目的関数、設計変数、制約条件をどう設定するかが大変重要であった。船体構造の設計と現図に関わる様々なステージで最適化手法の適用について研究を進めた結果、物事を目的関数、設計変数、制約条件に置き換えて単純化して考えることと、定量化が難しい項目もあえて定量化しプログラムに置き換えることが出来さえすれば、解決が非常に難しいと思っている込み入った問題もコンピュータで解けることがわかってきた。

世の中の社会的・経済的環境はこれからもどんどん変化していく。本論文の成果は、これらの変化にスピードをもって柔軟に対応できるための基礎となる。