2412 船体構造最適化システムを利用した 造船設計プロセスのシミュレーション

Simulation of ship design process by using ship structure optimization system

○正 濱田 邦裕 (広島大) 正 北村 充 (広島大) 正 上寺 哲也 (呉高専)

Kunihiro HAMADA, Hiroshima University, Kagamiyama 1-4-1, Higashi-Hiroshima, Hiroshima
Mitsuru KITAMURA, Hiroshima University
Tetsuya UEDERA, Kure College of Technology

In order to sustain advantages of Japanese manufacturing industries, it is very important to organize appropriate design process in consideration of its quality, cost, lead time and so on.

In this paper, design processes of ship structure are paying attention to. At first, multi-step optimization system for ship structural design was developed. The characteristic of the system is to reproduce designer's solution by considering the feature and the relation of design information. Next, some new processes for ship structural design are proposed by the use of Design Structure Matrix. As a result, influences of design process on ship structure are discussed by using above optimization system.

Key Words: Design Process, Optimum Design, Ship Structure, Design Structure Matrix

1. はじめに

近年、製造業の国際競争は益々激化しており、これまで以上に多様で高品質な製品を、安価かつ短期間に設計・製造することが要求されている。この要求に対応するためには、野間口らが指摘するように、品質・コスト・リードタイム等を総合的に考慮して、適切な製品の設計プロセスを構成することが極めて重要である[1]。

本研究では船体構造の設計プロセスに着目する。船舶は典型的な個別受注産業の製品であるが、その部材構造や設計手順は前例を踏襲する傾向が強い[2]。そこで、設計者の解を再現可能な最適化システムを開発・利用することにより、設計プロセスの相違が船体構造に与える影響を考察する。

2. 研究対象と基本方針

2-1 船体構造設計プロセスの概要

造船設計プロセスは、大きく以下の3つのプロセスに分けて捉えることができる(Fig.1)。

- 1) 主要目の決定：船主の要求を基に、船の長さ・幅等を決定する。
- 2) 概略一般配置：船の安定性や積載量等の要求を考慮し、貨物倉等の配置を決定する。
- 3) 船体構造設計：船体の強度や生産上の制約を考慮し、構造部材を決定する。

上記 3)の船体構造設計は部分構造毎に行われることが一般的である。例えば、ばら積貨物船と呼ばれる船種の場合、以下の手順で船体構造は設計される(Fig.2)。

- ① 二重底部 (図中：D.B.) の設計
- ② ビルジホッパー部 (図中：B.H.) の設計
- ③ トップサイドタンク部 (図中：T.S.T.) の設計
- ④ 全体強度を考慮した一部部材の修正

Fig.1 Design Process of a Ship

2-2 本研究の目標と基本方針

本研究では、上述したばら積貨物船の船体構造設計プロセスに着目する。具体的には、船体構造設計プロセスを部分構造の最適化を段階的に実施する過程としてモデル化し、上記①～④の最適化を順次行う。その後に、設計変数・制約条件・目的関数等の組み合わせを変更した段階的最適化を実施し、得られた最適解を設計者の解と比較する。

3. 船体構造最適化システムの構築と検証

3-1 船体構造最適化システムの課題

これまでも船体構造最適化については数多くの研究が実施されている。しかし、以下の二点が主要な問題となり、現状では実用化されているケースは極めて少ない。

- 制約条件・目的関数の問題：船体構造設計プロセスでは、数多くの要求を考慮する必要がある。強度的な制約は船級協会ルール等によって定型化されているものの、生産制約等は設計者のノウハウに依存しており、この定型化が困難である。
- 設計変数の問題：船体構造は数十万の部材で構成されるため設計変数が莫大な数となり、現実的な時間内で最適化問題を解くことが困難である。

3-2 実用的な船体構造最適化システムの構築のために

上述した問題を解決するために、本研究では以下の方針を採用する。なお、本研究の船体構造最適化システムは常石造船(株)との共同研究によって開発している。

- 現実の設計における要求を、制約とその他に分類する[3]。最適化システムでは、制約のみを考慮する。
- 設計変数同士の関係および各種制約と設計変数との関

Fig.2 Cross section of the Bulk Carrier

係を考慮し、他の変数や制約から一意に定まる変数（以降、従属変数と呼ぶ）を特定する。従属変数については、最適化システムでは変数から除外し、その計算のためのアルゴリズムを用意する。なお、最適化の対象となる変数を以降、独立変数と呼ぶことにする。

3-3 最適化システムの構築と検証

2-1 節①に示した二重底部は、④のプロセスにおける修正対象となり、構造が比較的単純という特徴を有する。そこで、二重底部の最適化システムを構築し、その最適解を設計者の解と比較することにより、3-2 節の方針の妥当性を検証する。なお、最適化は以下の諸条件の下、GA（遺伝的アルゴリズム）を用いて実施した。

- 対象船舶：52000t 型ばら積貨物船
- 独立変数：構造部材の数・配置間隔・寸法等、約 20 個
- 制約条件：2004 年度版日本海事協会ルールおよび 3-2 節で特定された各種制約
- 目的関数：重量最小

以上の最適化の結果、独立変数・従属変数ともに、設計者の解とシステムの解は一致した。そこで、その他の部分構造の最適化システムも同様の手法で構築した。

4. 船体構造設計プロセスのシミュレーション

4-1 DSM を利用した設計プロセスの候補の抽出

本研究では、DSM(Design Structure Matrix)[4]を利用して、船体構造設計プロセスの候補を抽出する。本研究で用いた Matrix は、以下の二種類である。

- 独立変数と従属変数のみを対象としたもの
- 上記に、制約条件と目的関数を追加したもの

なお、上記の Matrix では、独立変数、従属変数、制約条件等は、その特徴を考慮してグルーピングしている。また、項目間の関係の強さは、1：強い、2：中程度、3：弱い、の 3 段階とし、これらの重みは現状の設計にとらわれることなく、主観に基づいて自由に記述するよう、設計者に依頼した。

この結果を分析した結果、以下の知見を得た。

知見 1：独立変数・従属変数の分析結果からの知見

2-1 節③のトップサイドタンク部の設計における変数と、④の全体強度を考慮した修正プロセスにおける変数とは相互に強く影響を有する。このため、両者を総合的に最適化することにより、軽量化が期待できる。

知見 2：制約条件等を考慮した分析結果からの知見

2-1 節①の二重底部の設計における独立変数であるフロアスペース(Fig.3)は、その他の部分構造の変数や制約に大きな影響を与える。したがって、二重底部の設計の独立変数として取り扱うことに疑問が残る。

4-2 船体構造設計プロセスの比較結果

前節の知見に基づき、本研究では以下の 3 つのプロセスの最適化を実行し、その結果を比較する(Fig.4)。なお、対象船舶は 3-3 節と同一の 52000t 型ばら積貨物船である。

(1) 現状の船体構造設計プロセスに基づく段階的最適化

ビルジホッパー部およびトップサイドタンク部の部材寸法の一部に設計者の解と異なる部分があるものの、構造自体

Fig.3 Floor Space

に大きな変更はなく、重量の削減効果は微小であった。また、二重底部については設計者の解と同一であった。

(2) 知見 1 に基づく段階的最適化

知見 1 に基づき、2-1 節の③と④に相当する最適化システムを統合し、① → ② → ③+④ の三段階で最適化を実行した。その結果、トップサイドタンク部の強度確保の方針が板部材中心から骨部材中心へと変化し、上記(1)の十倍程度の重量が削減された。

(3) 知見 1 と知見 2 の両者を考慮した段階的最適化

フロアスペースは多くの変数に影響を与える。そこで、フロアスペースについては予め適当な値を入力し、その後、上記(2)と同様のプロセスで最適化を実行した。つまり、二重底部の最適化システムでは、フロアスペース以外の独立変数を最適化している。以上の最適化の結果、二重底部の重量は上記(2)より増大したが、ビルジホッパー部の重量が二重底部の増加分の 3 倍程度軽減された。また、トップサイドタンク部については、構造は異なるものの重量は上記(2)とほぼ同様であり、今回のシミュレーションでは最軽量となった。

5. おわりに

本研究では、船体構造設計における各種要求の定型化、および変数と制約との関係を定型化して段階的に最適化を実施することにより、船体構造設計プロセスにおける設計者の解を最適化システムによってほぼ再現できることを示した。

さらに、構築したシステムを利用して、現状の設計プロセスに基づく最適解、DSM を利用して抽出した新たなプロセスの最適解、および設計者の解を比較した。その結果、現在の設計者の解は同一のプロセスを利用した場合の最適解とほぼ一致すること、および設計プロセスを変更することにより軽量化の可能性があることを示した。

なお、最適化システムの構築および DSM 分析では、常石造船(株)の全面的なご支援をいただいた。また、本研究の一部は徳岡慶輔氏および矢野佳苗氏の卒業研究として実施された。ここに記して御礼申し上げる。

文 献

- [1] 野間口、井上、藤田：設計プロセスの計画・評価のためのシステムの構想、日本機械学会第 14 回設計工学・システム部門講演会講演論文集、(2004)、pp.363-366.
- [2] 増田宏：設計支援技術の現状と将来、日本造船学会講演会論文集第 5 号、(2005)、pp.3-4.
- [3] 石井浩介：経営戦略と設計方法論研究、日本機械学会誌、Vol.108, NO.1034, (2005)、pp.47-50.
- [4] C. Y. Baldwin, K. B. Clark : Design Rules, The MIT Press, (1999).

Fig.4 Compared Design Processes in this study