

部材認識機能を利用した船体構造の形状最適化システムに関する研究

— 船体構造二重底部の形状最適化 —

正員 北 村 充* 正員 上 寺 哲 也**
正員 濱 田 邦 裕* 正員 竹 澤 晃 弘*

A Shape Optimization System of Ship Structures Using a Function Recognizing Structure Members
— Shape Optimization of Double Bottom Part of Ship Structure —

by Mitsuru Kitamura, Member Tetsuya Uedera, Member
Kunihiro Hamada, Member Akihiro Takezawa, Member

Summary

A structure optimization for the initial design stage using FEM of ship is under consideration in this paper. General bulk carrier is selected for the object of the optimization. Shapes of a bottom structure of ship are taken as design variable. Individual mesh-subdivision technique and multi-point constraint method are introduced for making this optimization possible. However, creating FEM data sets for them requires a lot of human power. In order to remove this drawback, PrimeShip-HULL is used since it has a function recognizing structure members of ship. A FEM data set which can be applied individual mesh-subdivision technique and multi-point constraint method is made from structure members of PrimeShip-HULL automatically. Five design variables for shape optimization of ship structure are considered here and a numerical example is shown. Genetic algorithm is used for this optimization in this study.

1. 結 言

船舶の基本設計では、主要目、概略一般配置、中央断面の順に、段階的に設計を行うことが一般的である^{1,2)}。これらの設計ステージで決定される各種構造や寸法の間には関連性があるため、より良い設計案を作成するためには、各設計ステージ間に密な連携を与えることが望まれる^{3,4)}。しかし、船舶設計の複雑さや設計に使用できる時間的制約等のため、十分な連携を取ることは困難である。

これらの問題を解決するため、筆者らは、ばら積み貨物船を対象として、船体構造二重底部の形状と板厚の最適設計に関する研究を行った。この研究は、構造設計の観点から、概略一般配置で検討される二重底高さ等を最適化することを目的としており、「独立要素分割」、「多点拘束(Multiple Point Constraint : 以降 MPC)」、および「設計変数の影響度を考慮した近似式作成」を利用した船体構造最適化手法を提案した(詳細は2章において述べる)^{5~7)}。しかし、既研究

の手法では、FEM メッシュ分割を行った後に、設計者の手で独立要素分割モデルの生成およびMPCの設定を行う必要があり、多大な労力が要求されるという課題が残されていた。

一方、CSR (Common Structural Rules) 施行以降、船舶の基本設計では、日本海事協会が開発した船舶設計支援システムである PrimeShip HULL (以降 PSH) が必要不可欠な存在となっており、国内の殆どの造船会社を導入されている。PSH は MSC.Patran をプラットフォームとした設計支援システムであり、Microsoft Excel シートを用いた算式計算ソフトウェア (Rule Calculations)、および FEM による構造解析と強度評価を実施する直接強度計算システム (Direct Strength Analysis, Fig.1 参照) により構成されている⁸⁾。このうち、直接強度計算システムを利用するためには、PSH に入力す

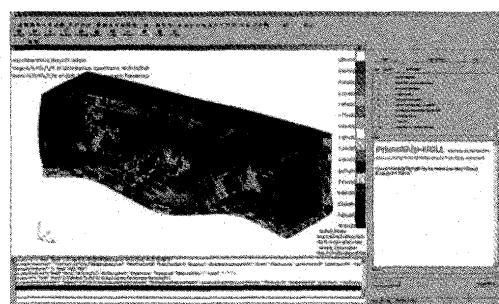


Fig.1 PSH operate window (Direct strength analysis)

* 広島大学大学院工学研究科

** 呉工業高等専門学校機械工学科

るための FEM モデルデータが必要であり, PSH を利用する造船会社は, 船舶の FEM モデルを作成する必要がある. また, 直接強度計算システムには, 荷重の設定と結果評価を効率的に行うために, FEM モデル上の部材を認識する機能を有する.

このような造船会社の状況を考慮し, 本研究では既研究の課題であった独立要素分割モデルの生成および MPC の設定の自動化を試みる. 具体的には, FEM メッシュ分割を施した一般的なばら積み貨物船モデルを題材とし, PSH の直接強度計算システムに搭載された部材認識機能を拡張して独立要素分割モデルを自動生成し, 設計変数に応じて自動的に FEM モデルの形状変更を行う手法を開発することを目的とする. さらに, 本研究の手法を一般的なばら積み貨物船に適用し, 船体構造二重底部の最適化を実施することにより, 提案手法の妥当性を考察する.

2. 既研究の概要と課題

2.1 船舶と形状最適化

FEM を基とする構造最適化問題では, Fig.2.a)→b) に示される様に, 板厚を設計変数として最適化を実行する方法が一般的である. これは FEM の要素配置や節点座標の変更を伴わないものであり, 寸法最適化と呼ばれる. 他方, Fig.2.a) → c) に示される様に, 構造物の形状変更を伴う設計変数を取り扱う最適化は形状最適化と呼ばれる⁹⁾. 形状最適化は, 要素数・節点数が少ない, あるいは自動要素分割ツールにより FEM モデルを簡単に作成することが可能な部品等において行なわれているが, 構造が複雑な船舶等の大規模構造物においては殆ど行われていない. これは, 設計変数の更新に伴い FEM モデルの再生成が必要になるが, 構造物の接続関係が複雑な大規模構造物では, 形状変更を把握し, 矛盾なく FEM モデルに反映することが非常に困難であることに起因する.

2.2 独立要素分割と MPC を利用した形状最適化の概要

前節で述べた問題点を解決するため, 既研究⁷⁾では, 構造物の形状最適化問題に独立要素分割と MPC を用いる最適化手法を提案した. 独立要素分割とは, 1)構造物を構造グループの集合体として捉え, 2)各構造グループを独立した一つの

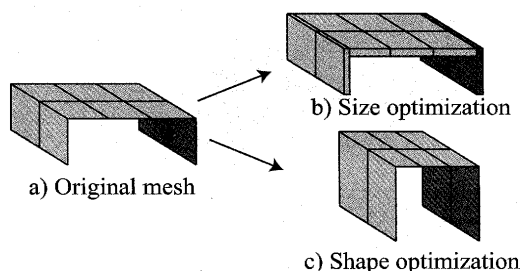


Fig.2 Differences of Size optimization and Shape optimization

FEM データとして取り扱い, 3)接続する構造グループ間に接続関係を付与することにより構造物として認識させる, 方法である. 二層により構成される構造物の例を Fig.3 に示す. 設計変数 s (下部構造の高さ) を考慮して, この構造物を Fig.3.b) に示されるような5つの構造グループに分割する. ①は複数の板により構成された構造グループであり, ②~⑤の構造グループはそれぞれ1枚の板である. これら構造グループに対して独立に要素分割を施した状態を Fig.3.c) に示す. これらを独立要素分割メッシュと呼ぶ. 独立要素分割メッシュは組み合わせられた板や接合されている補強材等を含むことができる.

MPC を利用して独立要素分割メッシュ間に結合関係を与えることにより, 節点座標上では離れていても, FEM 空間内では接合している構造物が形成できる. MPC は, ある節点自由度を他の1つ, または複数の節点自由度により定義するものであり, 市販の構造解析ソフトウェアが標準的に有する機能である. Fig.3.c)に示される独立要素分割メッシュに MPC を付加した状態を Fig.4 に示す. ここでは, Fig.4.a) は設計の初期状態を示し, Fig.4.b) は設計変数 s を $s+\Delta s$ に変更した状態を示している. 各独立要素分割メッシュを MPC にて接合することにより, 設計変数の変更による節点の更新を設計変数が直接的に関与する独立要素分割メッシュ③と④内に留めることができる. 提案された方法は船舶等の複雑な構造物の形状変更に適した方法であり, 船体構造二重底部の形状最適化を実現している.

2.3 既研究の課題

既研究では, 独立要素分割と MPC を用いることにより,

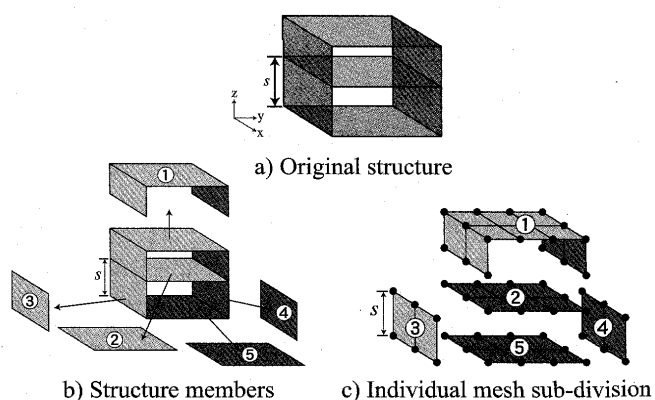


Fig.3 Structure members and individual mesh sub-division

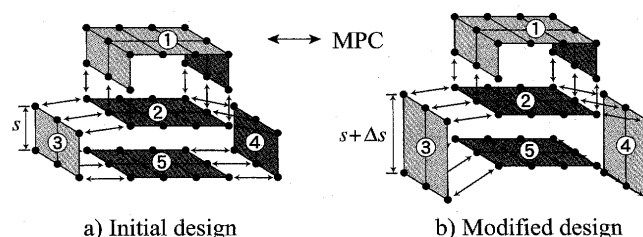


Fig.4 Structure design using MPC

船体二重底構造部の形状最適設計を実施することを提案し、その効果を検証している。しかし、FEM モデル作成のために、1)設計変数に適合するように船体構造を複数の構造グループに分割する、2)構造グループごとに独立要素分割メッシュを生成する、3)設計変数の変更により節点移動するプログラムを作成する、4)独立要素分割メッシュ間に MPC による接続関係を付与する、などの作業は手動により行なわれていた。提案手法を通常の船舶設計に適用するためには、FEM モデルの作成が大きな問題になる。本論文は、この問題を解決する方法を提案し、実際の船体構造への適応を試みる。

3. 形状最適化用 FEM モデルの自動生成方法

3.1 基本方針

2章において述べたように、独立要素分割メッシュは操作対象となる構造モデルと設計変数との関連性を考慮して決定される。具体的には、二重底高さを設計変数とする場合、ガーダーやフロア等を独立要素分割メッシュとして取り扱っている。一方、研究対象である一般的なばら積み貨物船に着目すると、隔壁、二重底、およびビルジホッパータンク等の船舶を構成する主要構造部材の概略的な配置とその接続関係には共通点が多い。個々の船舶において異なる部分は、主要構造部材の寸法および縦通補強材等の小部材の数や間隔などである。この特徴に着目すると、ばら積み貨物船の船ごとの共通点および相違点は、以下のように整理できる。

- 共通点：船舶を構成する主要構造部材の概略的な情報。例えば、二重底を構成するガーダーやフロアなどを独立要素分割メッシュ生成のためのグループ（以降、独立要素分割グループと呼ぶ）と定義すると、独立要素分割グループ同士の位置関係および接続関係、設計変数の更新に伴って操作の対象となる独立要素分割グループ。
- 相違点：主要構造部材の詳細的な情報や構造解析のための情報。例えば、各独立要素分割グループに接合する縦通補強材の数、各独立要素分割グループに含まれる FEM メッシュの数、FEM メッシュの節点座標、FEM メッシュの節点同士の MPC 接続。

以上に述べた特徴を利用して、本研究では一般的な FEM モデルデータを基に形状最適化のための FEM モデルデータを自動生成することを試みる。具体的には、以下の方針を採用する。

- 1) 独立要素分割グループ、独立要素分割グループ同士の接続関係、および各設計変数と独立要素分割グループの更新すべき寸法との関係を予めシステム内に定義しておく。なお、独立要素分割グループは属性として自

身に所属する FEM メッシュのデータを有するが、この時点では FEM メッシュのデータは記述されていない。

- 2) 一般的な FEM モデルデータを基に、各独立要素分割グループに所属すべき FEM メッシュを判別し、独立要素分割グループの属性として FEM メッシュを記述する。なお、判別には PSH の部材認識機能に変更を加えたものを利用する。
- 3) 上記 1)で定義されている独立要素分割グループ同士の接続関係の情報と上記 2)で各独立要素分割グループに記述された FEM メッシュの節点座標に関する情報を利用して、FEM メッシュの節点同士の MPC 接続関係を自動生成する。

形状最適化用 FEM モデルデータ作成のための情報処理の流れを Fig.5 に示す。Fig.5 の流れに沿って、以下にシステムにおける情報処理の概要を示す。

3.2 独立要素分割グループの定義

ここでは、Fig.6.a)に示す構造を例にとり、独立要素分割グループの定義方法を説明する。Fig.6.a)の例では、設計変数 s の変更に伴い、構造物の高さおよび中板の位置が変更されることを想定している。

この例題に独立要素分割および MPC を適用すると、Fig.6.b)に示すように 5 つの独立要素分割グループが定義される。各独立要素分割グループに所属する節点の座標は MPC を介して相対的に定義されている。したがって、設計変数 s の更新に伴い形状変更が必要となる独立要素分割グループは Grp_B および Grp_C のみであり、これらに所属する節点の z 座標を変更すれば良いことになる。

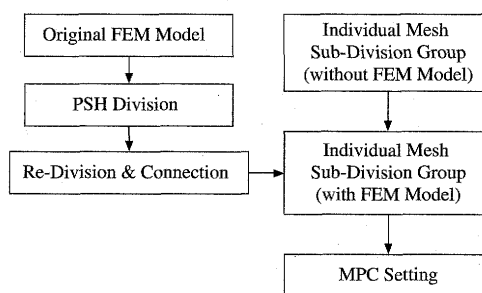
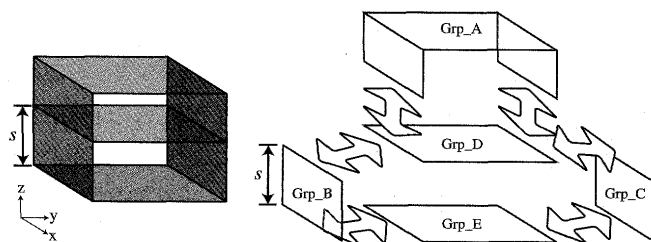


Fig.5 Flow of generating FEM model for shape optimization



a) Original structure b) Individual mesh sub-division group

Fig.6 Original structure and individual mesh sub-division

以上の特徴を考慮し、初期状態の独立要素分割グループとして、以下の情報を定義する。

- Grp_A~Grp_E の5つの独立要素分割グループとその識別用名称
- 各設計変数の更新に伴って操作すべき節点座標とその操作方法(この例題では, Grp_B および Grp_C のみに, s の変更に伴う z 座標の操作方法が記述される)
- 5つの独立要素分割グループの接続関係 (Grp_B には Grp_D および Grp_E と接続関係があることのみが記述され, 具体的な位置等の情報は持たない)

3.3 PSH 分割

船舶の FEM 解析において、設計荷重の設定と結果評価を効率よく行うためには、区画や部材の認識が必要である。そのため、PSH の直接強度計算システムは部材分類と区画認識を自動的に行う機能を有する。3.1 節で述べたように、PSH の対象船舶である一般的なばら積み貨物船を構成する主要構造の概略的な配置は同じである。そのため、PSH は船体の主要な寸法情報に基づいて各節点・要素がどの部材に所属するかを判断する。MSC.Patran を介して基となる FEM モデルデータを読み込み、船体主要寸法、断面寸法、ロアツール寸法等を入力することにより、PSH による部材認識と部材を構成する要素・節点のグループ分割が実行される。本研究では、この分割を PSH 分割、生成されるグループを PSH 分割グループと呼ぶこととする。

例として、Fig.7.a)および Fig.7.b)に示す FEM モデルデータの PSH 分割を取り上げる。Fig.7.b)に示される通り、FEM モデルデータは、一般的な FEM データと同様に、節点座標と要素構成情報とが一つのファイルにまとめられている。この FEM モデルデータに対して PSH 分割を実行すると、例えば Fig.8.a)に示されるように Grp_1 から Grp_5 に分割される。また、Fig.8.b)に示される様に、それぞれの PSH 分割グループには、グループに属する節点および要素情報がグループごとに保持される。

3.4 PSH 分割グループの再分割と結合

PSH 分割グループは、荷重条件の付加や制約条件の判断に適した構造分割である。一方、独立要素分割グループは設計変数の更新に基づく構造変更を考慮したグループであるため、両者には相違がある。例えば、Fig.6 と Fig.8 とを比較すると共通点はあるものの、構成が異なっていることが理解できる。そこで、PSH 分割グループを再分割し、再分割された PSH 分割グループを結合することにより、独立要素分割グループに割り当てる FEM メッシュを特定する。

PSH 分割グループの再分割および結合の流れを Fig.9 に示す。Fig.9.a)に示される PSH 分割グループが与えられている。Fig.9.c)に示されるように、この PSH 分割グループを分割す

るための分割線 (Cut1, Cut2) は、複数の PSH 分割グループの交線として定義される。一方、船体構造の詳細は船ごとに異なるものの、生成される PSH 分割グループの基本的な構成は同一である。そこで、分割線を定義すべき場所を、複数の PSH 分割グループによって予めシステム上で規定する (Fig.9.b))。具体的な分割線の位置は、生成された PSH 分割グループの節点情報を利用して幾何計算を実施することにより特定する。この分割線の情報を利用して、Fig.9.d)に示されるように再分割された PSH 分割グループを生成する。

一方、上記のようにして再分割された PSH 分割グループの構成は共通であるため、再分割された PSH 分割グループと独立要素分割グループとの関係をシステム内に予め記述する。例えば Fig.9.e)に示されるように、独立要素分割グループ Grp_A は Grp_1, Grp_4_1, および Grp_5_1 によって構成されるという関係が記述されている。そこで、この情報を利用して再分割された PSH 分割グループを結合することにより、Fig.9.f)に示されるように独立要素分割グループに割り

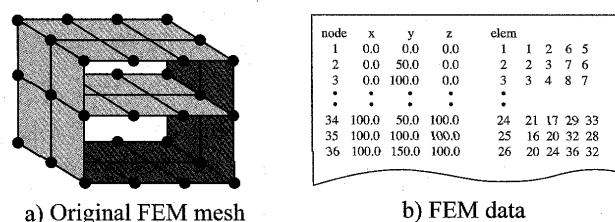


Fig.7 Original mesh and FEM data

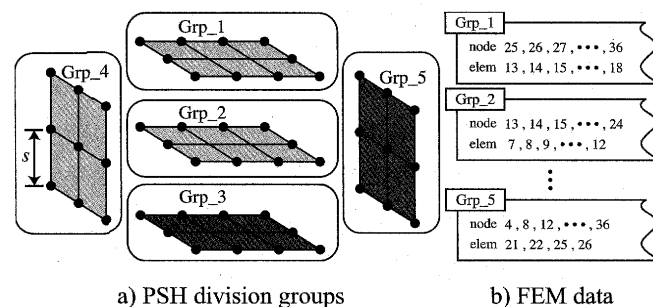


Fig.8 PSH division groups and their data

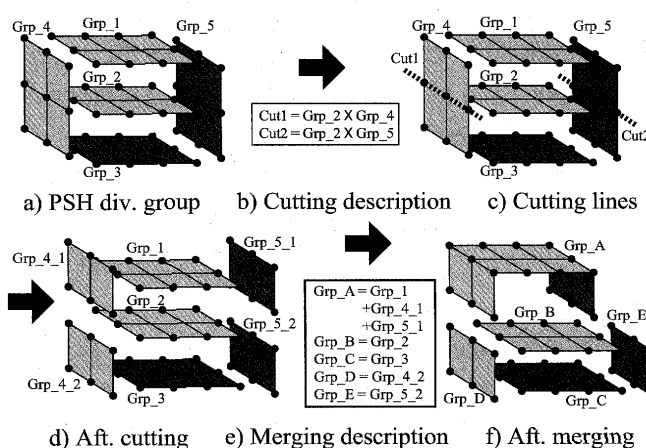


Fig.9 Re-divisions and connections of PSH groups

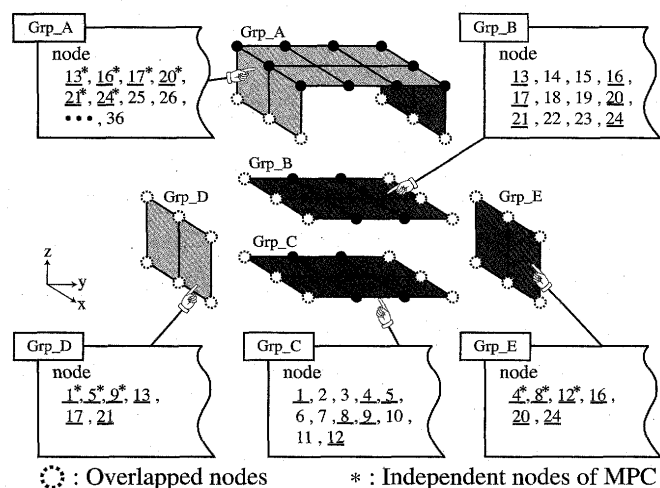


Fig.10 Overlapped nodes for individual mesh-subdivision

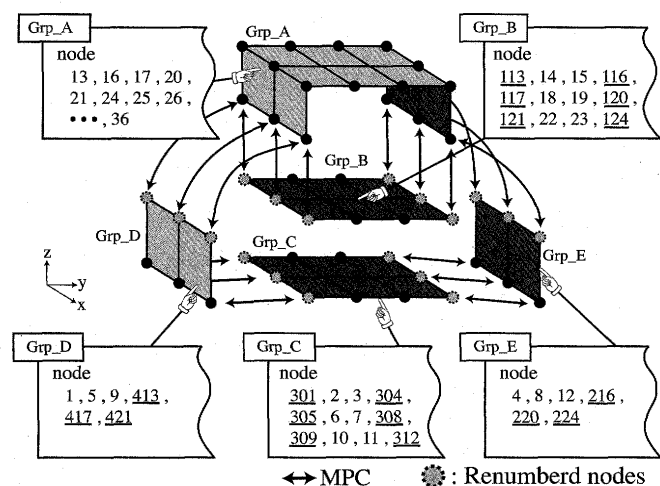


Fig.11 Renumbering and establishing MPC

当てる FEM メッシュが特定される。なお、本節では再分割の後に結合されるという順序で説明したが、実際には結合の後に再分割が行われることもある。この場合も、情報処理方法は同様である。

3.5 FEM メッシュの割り当てと MPC の設定

3.4 節の手法により特定された各独立要素分割グループに割り当てる FEM メッシュを、3.2 節で定義した独立要素分割グループの属性として記述する。但し、この時点では、全体モデル上で同一であった節点番号が重複した状況となっている。Fig.10 に節点の重複状況を示す。図中の白丸および下線が付加されている節点番号が重複している部分である。これらの重複している節点は、3.2 節で述べた独立要素分割グループの接続関係上に存在している。そこで、接続関係を利用して重複する節点を特定し新たな節点番号を付与する。合わせて、新たな節点番号を付与した節点の間に MPC を設定する(Fig.11)。

以上の方法により、本研究が目的とする独立要素分割および MPC を利用した FEM モデルが生成され、形状最適化が

可能となる。

4. ばら積み貨物船モデルへの適用

4.1 対象船舶

本研究は、PSH にて取り扱われる全てのばら積み貨物船に対応可能な汎用性の高い形状最適化モデル作成システムへの構築方法を提案する。ここでは、Fig.12 に示されるばら積み貨物船(2 番～4 番カーゴホールド部)二重底構造部の形状最適化を用いて、その詳細を説明する。

4.2 設計変数

Fig.13 に示されるように、船体構造二重底部の形状変更に関する 5 設計変数を採用する。X1 は 3 番カーゴホールドの外側に存在するロアスツール幅、X2 は内側に存在するロアスツール幅、X3 は二重底部の横幅、X4 は二重底の高さ、X5 は船体底部の両端に存在するビルジホッパータンクの高さである。本論文は上記の 5 変数による形状変更を扱うが、提案手法を用いることにより、他の設計変数を取り入れることも可能である。

4.3 PSH 分割

3.3 節で述べたように、ばら積み貨物船の FEM モデル(Fig.12 参照)データを PSH に入力すると、PSH 分割グループが生成される。Fig.14 にバルクヘッドプレート部に対す

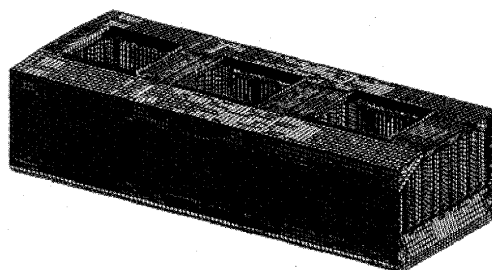


Fig.12 Original FEM model of bulk carrier

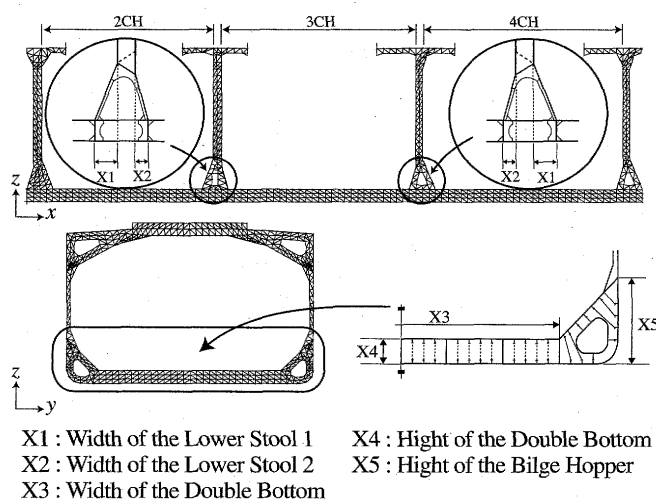


Fig.13 Design variables for shape optimization

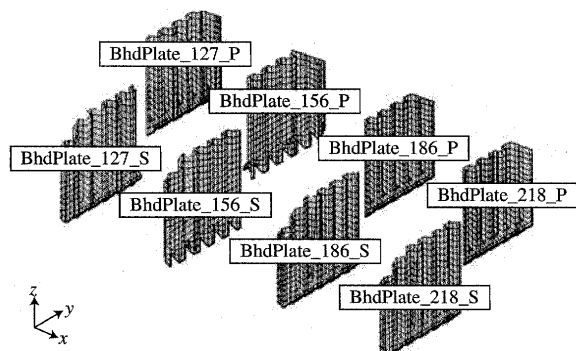


Fig.14 PSH division for Bulkhead

• BtmShell	• DeckGirder	• BhdPlate
• InnBtmShell	• HsideCoam	• UstoolPlate_Fore
• BilgeHopper	• Stringer	• UstoolPlate_Aft
• BilgeShell	• Floor	• UstoolPlate_Top
• SideShell	• BilgeTrans	• UstoolWeb
• InnHull	• HoldFrame	• LstoolPlate_Fore
• DeckPlate	• SideTrans	• LstoolPlate_Aft
• TstPlate	• TstTrans	• LstoolPlate_Top
• CrossDeck	• HendCoam	• LstoolWeb
• BtmGirder	• HendBeam	

Fig.15 Group name list (PSH division)

る PSH 分割グループを示す。PSH 分割により、各バルクヘッドプレートは船体中央から左右に分けられる。その際に、PSH グループの名称として、バルクヘッドプレートを意味する「BhdPlate」という名称の後ろに、船長方向の位置を示す「フレーム番号」、および左右舷を表す「P」または「S」の記号が付加される。また、生成される PSH 分割グループの一覧を Fig.15 に示す。バルクヘッドプレートと同様に、Fig.15 に示す他の PSH 分割グループもフレーム番号と P または S の記号等が付加される。

船体構造全体が PSH 分割グループに分類された後、考慮すべき荷重条件等の付加処理を行い、FEM 解析のためのモデルデータ、および各 PSH 分割グループの情報を記したファイルが出力される。

4.4 独立要素分割グループの生成

3 章で述べた方法に従って、4.3 節で得られたばら積み貨物船の PSH 分割グループより独立要素分割グループを生成する。Fig.16.a)は船底外板部の PSH 分割グループを示している。船底外板部は船体中央部より「BTMSHELL_P」および「BTMSHELL_S」の二つの PSH 分割グループに分割されている。船底外板部は設計変数 (X_1, X_2, X_3) に依存するが、これら設計変数に対する「BTMSHELL_P」と「BTMSHELL_S」の挙動は同じであるため、異なるグループとして区別する必要がない。したがって、設計変数に基づく形状変更を

より簡単にするために、Fig.16.b)に示される様に船底外板を一つのグループに結合する。

一方、ロアスツール幅の X_1 および X_2 の変更により、船底外板部のカーゴホール下部に位置する部分「HD_1~3」、およびロアスツールの下部に位置する部分「LS_1~4」の船長方向長さが変化する (Fig.17.a)参照)。これら設計変数の変更を FEM モデルに簡単に反映するために、これら各部を異なる独立要素分割グループにすることが望ましく、船底外板を船長方向に7つに分割する。同様に、二重底幅の X_3 の変更により、船底外板部の内底板の直下に位置する部分「C」とビルジホッパータンク下部に位置する部分「P, S」の船幅方向長さが変化するため、船底外板部を船幅方向に3つに分割する (Fig.17.b)参照)。この縦・横方向の分割を重ね合わせて、船底外板部に 21 ($= 7 \times 3$) 個の独立要素分割グループを定義し、Fig.18 に示す。

船側外板部を表す PSH 分割グループ「SideShell」においては、ビルジホッパータンク高さ (設計変数: X_5) の変更を自由に取り扱うことができるように、鉛直方向に3つの独立要素分割グループ (トップサイドタンク部「TOP」、中央部「MID」、ビルジホッパータンク部「BTM」) を定義する (Fig.19 参照)。

このように、設計変数の変更に基づいた構造変更が容易になるように、ばら積み貨物船の PSH 分割グループから 871

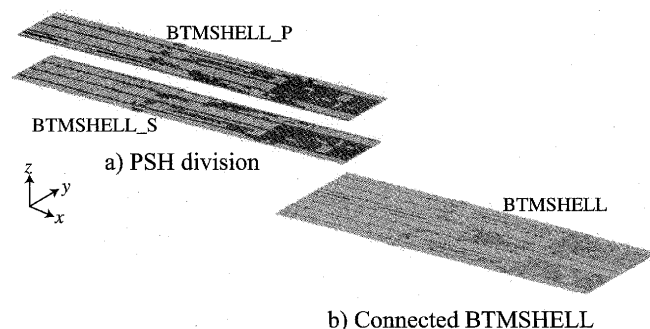


Fig.16 Connections of PSH Division groups for BTMSHELL

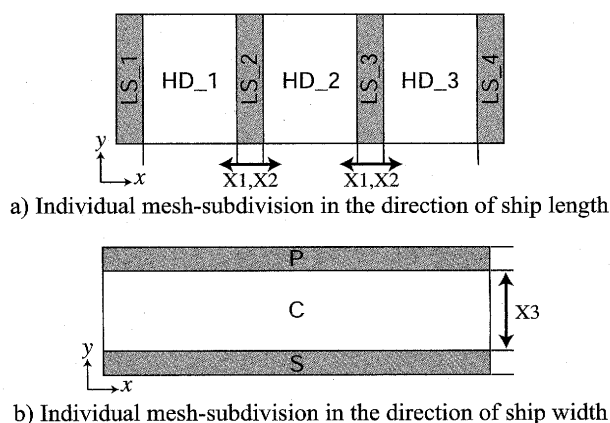


Fig.17 Division rules for individual mesh-subdivision

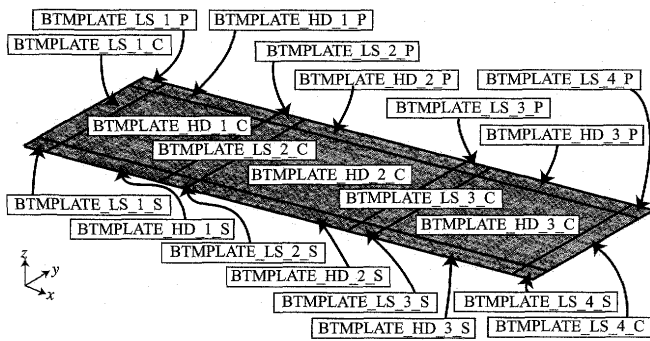


Fig.18 Individual mesh-subdivision at BTMSHELL

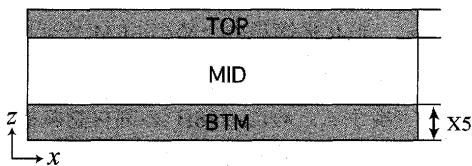


Fig.19 Individual mesh-subdivision in the direction of ship height

個の独立要素分割グループを定義した。各独立要素分割グループには、5つの設計変数の更新に対する節点座標の操作方法がそれぞれ記述されている。

また、この定義に基づいて、PSH 分割グループから独立要素分割グループが自動的に生成されるシステムを構築した。これにより、PSH のために準備したばら積み貨物船の FEM モデルデータから形状最適設計を行うための FEM モデルを簡単に準備することが可能になる。

4.5 設計変数の変更と FEM データ更新の確認

提案手法と構築されたシステムの有効性を検証するために、Fig.12 に示されるばら積み貨物船の設計変数を変更し、FEM モデルを更新する。例として、Fig.20.a)と b)に設計変数 X1 (外側のロアスツール幅)を初期状態の 1695mm から 2200mm へ変化させた場合を示す。また、Fig.20.c)に設計変数 X2 (内側のロアスツール幅)を初期状態の 865mm から 1100mm へ変化させた場合を示す。同様に、Fig.21.a)と b)に、設計変数 X3 (二重底幅)を初期状態の 23800mm から 19000mm へ変化させた場合を示す。このように、設計変数の変更により FEM メッシュが正しく更新されており、形状変更が適切に行われていることがわかる。

Fig.22 は設計変数 X4 (二重底高さ)を 1700mm から 2500mm へ変化させた場合を示している。二重底高さはガーダー部やフロア部に関係する設計変数であるため、これらの独立要素分割グループのメッシュは更新される。一方、内底板部や船底板部には直接的な影響を与えないため、これらの独立要素分割グループのメッシュは更新されない。従って、内底板部と船底板部の間隔は変更されないが、Fig.22 はこの状態を示している。MPC により、ガーダー部、フロア部、内底板部、船底板部に適切な接続関係が付与されているため、

構造解析が実施できる。

以上の例に示されるように、本研究で提案・開発した船体構造の形状変更システムにより、設計変数による形状変更が FEM モデルに正しく反映されている。

4.6 荷重条件と境界条件

PSH に船体構造解析モデルのデータを入力することにより、モデルに適した荷重条件と境界条件が負荷される。この情報は等価節点力などの節点に関する情報として与えられる。PSH 分割グループから独立要素分割グループ作成の際に、この節点に関する荷重条件と境界条件の情報を継承することとする。したがって、設計変数の変更に伴い変更される両条件の値は本研究では取り扱われない。

5. 構造最適化

5.1 最適化対象と設計変数および荷重条件

本研究で構築した形状最適化モデル作成システムを用いて、Fig.12 に示されるばら積み貨物船の形状最適化を行う。

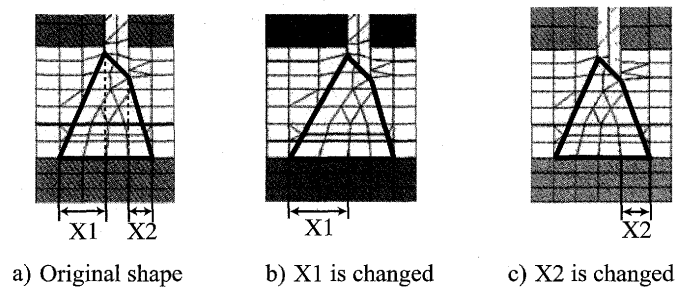


Fig.20 Results of changing design variables (X1 and X2)

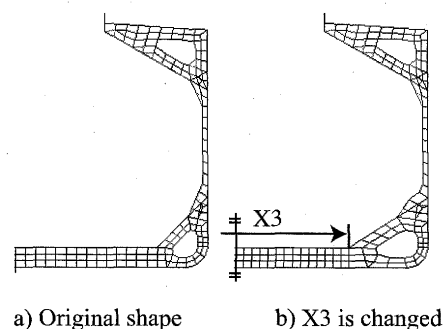


Fig.21 A result of changing design variable (X3)

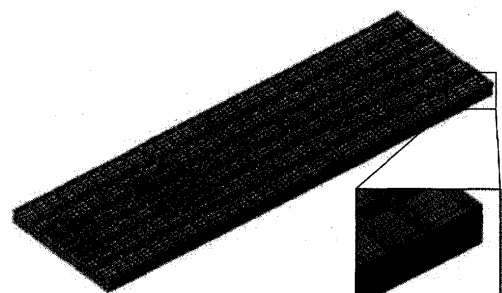


Fig.22 A result of changing design variable (X4)

Table 1 Range of design variables

	Unit[mm]	Lower	Upper	Pitch
Width of the Lower Stool 1	X1	400	1100	100
Width of the Lower Stool 2	X2	800	2200	200
Width of the Double Bottom	X3	23600	25200	400
Height of the Double Bottom	X4	1700	1900	50
Height of the Bilge Hopper	X5	5500	6000	100

Table 2 Results of optimization

	Unit[mm]	Init. design	Optim. design
Width of the Lower Stool 1	X1	865	1100(max.)
Width of the Lower Stool 2	X2	1695	800(min.)
Width of the Double Bottom	X3	23800	25200(max.)
Height of the Double Bottom	X4	1700	1850
Height of the Bilge Hopper	X5	5930	5500(min.)
Weight of the analysis section [t]		3524.4	3509.1

設計変数は Fig.13 に示される二重底部の形状変更に関わる5変数とする。Table 1 に設計変数の取りうる範囲とその間隔を示す。また、荷重条件として PSH が提供する中でも厳しいとされる以下の4ケースを選択する。

- ・ALTL-00PP1 ・FLL1-SGPP1
- ・HB1a-HGPR1 ・MP2b-HGFF2

本研究では、最適化手法に遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm: 以降 GA)を用いて構造最適化を行う。GA で使用するパラメータを以下に示す。

- ・計算数: 20 個体×140 世代
- ・突然変異確率: 1%
- ・交叉確率: 80%

5.2 制約条件と目的関数

本研究では、制約条件の評価対象をばら積み貨物船における中央部の荷室(3番カーゴホール部)のビルジホッパータンク、ガーダープレート、ボトムプレートの要素とし、評価対象要素の等価応力のみを考慮することとした。また、目的関数として全重量を設定し、重量最小化問題として最適化を行った。

5.3 最適化計算

GA を用い最適化計算を行った結果を Table2 に示す。表より X1 および X3 が最大値を、X2 および X5 が最小値を選択しているが、制約条件を全て満足する解が得られた。目的関数である全重量は、初期設計案(設計図面上)を 100 とすると、最適化により 99.6 に減少した。等価応力は、制約値を 100 とすると、初期設計案の 100.5 から最適設計案の 99.8 に減少し、制約条件を満足している。

6. 結 言

既研究において、著者らは独立要素分割と MPC を利用し

た船体構造の形状最適化手法を提案したが、これらを利用した FEM モデルの生成に多大な労力を要するという課題が残されていた。本研究では、船体構造二重底部の形状最適化の実現のために、一般的なばら積み貨物船を対象として、形状最適化のための FEM モデルの生成手法に関する研究を行った。得られた知見を以下にまとめる。

- 1) ばら積み貨物船の場合、独立要素分割モデルを構成するメッシュの数やサイズは異なるものの、独立要素分割グループの構成およびその接続関係には共通点が多い。この特徴を利用して一般的なばら積み貨物船の FEM モデルを基に、形状最適化のための FEM モデルを自動生成する方法を検討した。
- 2) 上記を実現するために、PSH の部材認識機能に着目した。PSH の部材認識機能によって生成される PSH 分割グループは、船体を構成する主要構造グループと対応している。設計変数の変更を的確に反映するために、PSH 分割グループから独立要素分割グループを定義・生成することを提案した。
- 3) 独立要素分割グループ生成時の節点番号重複情報と定義されている独立要素分割グループ間の接続関係の情報を利用して、MPC を自動的に付加する方法を提案した。
- 4) 上記の提案手法に基づいて、ばら積み貨物船の二重底部の形状に関する5設計変数に対応する形状最適化モデル作成システムを構築した。さらに、ばら積み貨物船の船体構造二重底部の形状最適化を実施することにより、提案手法の妥当性を確認するとともに、形状最適化を実施することにより船体重量の軽減の可能性があることを確認した。

なお、形状変更に伴う荷重条件や境界条件の更新は考慮されていない。形状を変更した際に、トランススペースやロンジスペースは均等に増加/減少させている。その変化によりスカントリングも変更されることが考えられるが、ここでは考慮されていない。また、設計変数に板厚を用いていない、制約条件に座屈強度を考慮していない等の課題が残る。今後、更なる検討を行ないたい。

謝 辞

本研究は造船学術研究推進機構の資金援助を受けて実施したことを記し、御礼申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 造船テキスト研究会: 商船設計の基礎知識, 成山堂書

- 店, 2001.
 - 2) 造船テキスト研究会著: 商船設計の基礎 上巻, 成山堂書店, 1982.
 - 3) 北村充, 濱田邦裕, 鈴木博喜, 矢野佳苗, 徳岡慶輔, 大槻康明: 船体中央断面最適設計の実用化と高速最適化システムの開発に関する研究, 日本船舶海洋工学会論文集, vol.6, pp.141-149, 2007.
 - 4) 濱田邦裕, 北村充, 上寺哲也: 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, 第15回設計工学・システム部門講演会講演論文集, 日本機械学会, pp.400-401, 2005.
 - 5) M.Kitamura, K.Hamada, et al : A Study on Size and Thickness Optimizations for the Bottom Structure of Ship, Proc. of Third Asian-Pacific Congress on Computational Mechanics (APCOM'07), CD-ROM, 2007.
 - 6) M.Kitamura, K.Hamada, T.Takaki and K.Kanaya : Shape Optimization of Ship Structure by Multiple Point Constraint and Individual Mesh Sub-division Techniques, Proc. of 2nd International Conference on Computational Methods, CD-ROM, 2007.
 - 7) 北村充, 濱田邦裕, 竹澤晃弘, 高木貴弘, 金谷勲平, 大槻康明: 独立要素分割と多点拘束を利用した船体構造二重底部の形状および寸法最適設計に関する研究, 日本船舶海洋工学会論文集, vol.7, pp.89-96, 2008.
 - 8) Class NK : PrimeShip-HULL(CSR) User's Guide to Direct Strength Assessment System for Bulk Carriers , PrimeShip-HULL(CSR) Direct Calculations インストールCD, Ver.2.40, 2008.
 - 9) 日本機械学会編: 計算力学ハンドブック (I 有限要素法構造編), 丸善株式会社, 1998.
-