

暗黙知の定量的抽出法によるCFD ベース船体設計

CFD-based hull form design by quantitative method extracting tacit knowledge

櫻井 希, 東大院, 東京都文京区本郷 7-3-1, E-mail:sakurai@triton.naoe.t.u-tokyo.ac.jp

宮田秀明, 東大院, 東京都文京区本郷 7-3-1, E-mail:miyata@triton.naoe.t.u-tokyo.ac.jp

Nozomu Sakurai, The Univ. of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656, JAPAN

Hideaki Miyata, The Univ. of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656, JAPAN

Ship designer has utilized their experience and intuition during the procedure of performance design of ship for improving and determining the ship form as tacit knowledge. But tacit knowledge can't be shared by all of the designers. In the field of hull form design ship performance has been estimated and evaluated by means of indirect parameters such as principal dimensions and coefficients. Among these parameters Prismatic coefficient curve is one of the most important parameter in the early stage of design. In the present paper the author propose a method for describing the relations between hull form and their performance by means of Prismatic coefficient curve and outputs of CFD simulation.

1 緒言

1-1 背景

モノを設計するにあたり設計者には経験、知識が必要である。熟練設計者は経験知識に基づきある要素は物理的な現象にどのように関わっているのか、ある性能を達成するためにはどうすればよいのか、変更の中でどのように制約条件を満足すればよいのか自分で判断する。

それに対し非熟練設計者は各種データベース、各種解析ツールを使っても決して熟練者と対等な設計はできない。たとえば同じものを設計できたとしてもそれは多くの試行錯誤の結果でしかない。

熟練者が自分の考えに基づき設計を進めていくことと、試行錯誤をしながら進めていくことは方法として異なるものと言える。このギャップを埋めるものにデータベースや自動最適化システムといった設計支援システムが考えられる。設計支援により非熟練者が熟練者に全面的に頼らずに同等に近い設計能力を発揮することは設計の効率化、高度化につながると言える。

ここで船型設計についても同じことが言える。しかし現状の設計支援システムでは、熟練者と同等の設計することは不可能であろう。そこでよりよい設計支援システムの構築が望まれる。

1-2 船型設計における設計支援システム

現在までの研究において船型設計支援システムの代表的なものに自動最適化システムがある。田原らに代表されるこの研究は、CFDを解析的に用いている。そのフローチャートをFig.1に示す。

自動最適化に関しては過去に多くの研究がなされてきたがこのシステムでは最初に設定したパラメータを用いた変形しかできず限定されているといえる。過去の船型設計では船体エントランス部と平行部分のつなぎの変形、船首バルブ厚さの変形など局所的な変形により数%抵抗を低減した事例があり、また併せて設定速度により最適形状が異なることを考えればパラメータを限定するという事は過去の知識、経験の模倣ではあるが新規の形状を探索することは難しい。また今まで暗黙知とされてきた船型変形のやり方を明らかにするために、広範囲な変形と同時に局所的な変形も取り扱うことのできる設計システムが望まれる。

自動最適化手法とは異なり抵抗、推進性能と物理現象との関係解明を目的にした研究も他方で行われており荒井らによるフレームラインと推進性能の関係の研究、岩崎らによる船尾形状と船尾波に関する研究などがある。しかしこれらの

研究は解析に止まり、その成果を具体的に船型設計支援に応用しようという試みは船尾についてなどの一部である。

以上から現在の設計支援システムの問題点は設計者が経験知識に基づいて限定されたパラメータを用いているため汎用性がなく設計者の予想範囲内の結果しか期待できないこと、大きく性能に影響するパラメータを選ぶ作業が船型設計に十分生かされていないことである。

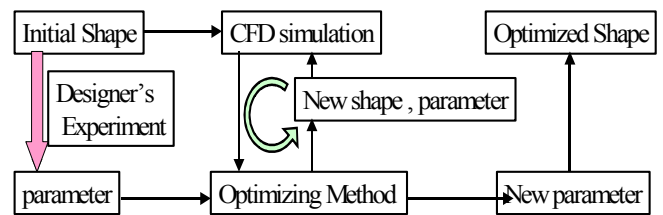


Fig.1 Flow chart of Automatic optimization system

1-3 目的

本論文の目的は船体設計において暗黙知とされてきた熟練者の手法を明らかにするシステム、暗黙知を持たない場合にも高度な設計を効率的に行うことのできる設計支援システムの開発である。具体的にはCFDを中心に広範囲から局所的な変形までを取り扱い、その中から重要なパラメータを選び出し自動最適化を行えるシステムを開発することを目的とする。

2 船型に対する局所変形の重要性に対する検証

2-1 検証方法

2000年アメリカズカップボートの模型実験結果をデータベースとする。船型はCpカーブとして扱い、Cpカーブのフーリエ級数各波数成分の抵抗への影響を調べる。対象になるボートはMeter Bowの13隻、目的関数は抵抗値、走行状態は風下帆走9.5ktとする。Cpカーブのフーリエ級数は船長を基準とし、この波長の級数項を波数1、以下船長1/2の波長を波数2とする。

2-2 実験結果のチェック

ACボートの実験結果は時期をずらしていくつかのセットで行われ、さらに船型差は小さく抵抗値の差も数%と小さいので相対的に算出した抵抗値については誤差を含む可能性がある。

また AC ボートの全体の相関を調べたいので特殊な船型は相関を弱くする可能性がある。そこで形状のうち Cp カーブ、Cp カーブ 1 階微分、WL カーブ、WL カーブ 1 階微分の各級数項のうち 13 隻で実験抵抗値との相関の高い級数項について 1 つのボートを除外した場合の相関値を調べた。その結果を Fig.2 に示す。

船型 JN60 を集団から除外した場合相関係数は大きく変動し大部分の相関は強くなっていることがわかる。したがって JN60 は実験結果の抵抗値に誤差が含まれているか、他の船型と比べて特殊な船型のため全体の相関を弱くしていると考えられるため 13 隻の集団から除外する。以後 12 隻についての相関係数を扱う。

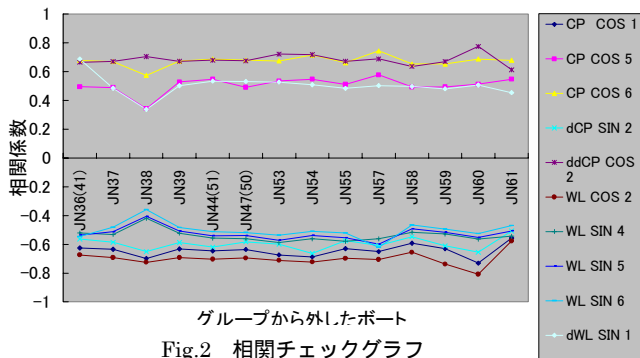


Fig.2 相関チェックグラフ

2-3 フーリエ級数項と抵抗値との相関

ACボート 12 隻について抵抗値と Cp カーブの各級数項との相関係数を Fig.3 に示す。これからは波数 0 成分、波数 2 成分の相関が強いことがわかるが、波数 5, 6 の高次成分についても高い相関を示している。

波数 0 成分は直流成分であり船体並行部分が大きいほど抵抗値が大きいことを表す。高次成分も小さければ抵抗も小さくなる。しかし高次成分が Cp カーブ船体に分布しているとは考えにくく、ローカルな部分が影響をしていると考えられる。

そこで全体に影響を与えているであろう波数 2 成分とローカルな影響が強いであろう船首付近での変形を CFD で感度解析

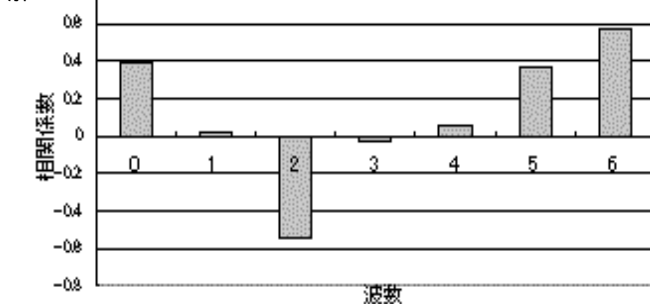


Fig.3 Correlation Coefficient of Each Wave number

2-4 CFD を用いた感度解析

CFD シミュレーションには AC ボートの設計に利用した PPS を用いる、実際の設計では圧力抵抗を CFD シミュレーションから算出し摩擦抵抗は速度と浸水面積から算出する。今回の変形では水線長の 0.3% の変形しか行っておらず摩擦抵抗の変化量は微小だとして圧力抵抗について感度解析を行う、変形する船型は模型番号 JN37 を用いる。

波数 2 成分の全体への影響を調べるため Cp カーブに振幅 ± 0.3% LWL のサイン成分を与えた変形を行った。船首付近

近のローカルな影響を調べるために Cp カーブにそれぞれ波数 2, 3, 4, 5, 6 に振幅 ± 0.3% LWL のサイン成分を FP から 1 波長分だけ与え変形を行った。波数 6 成分を与え変形した CP カーブを Fig.4 に示す。

CFD によるシミュレーション結果をもとに標準状態と ± 両側との抵抗変化分の感度を取り、与えた変形の波長による勾配も考慮して波数で割ったものを最終感度として Fig. 5 に示す。感度正は級数が増加すると抵抗が増加することを表している。Fig. 3 で相関が強いとされた全体への全体への波数 2 成分、波数 5, 6 成分は感度が大きくてであり、データベースから相関係数を求めることにより性能への影響が強いパラメータを抽出できることが明らかになった。

今回の検証では波数 6 成分までしか扱っていないが局所的な高次波数成分が船型の抵抗に強く影響を与えていることが検証できた。船型最適化には広範囲の変形だけでなく、局所的な変形を与えることが必要であることも確認された。

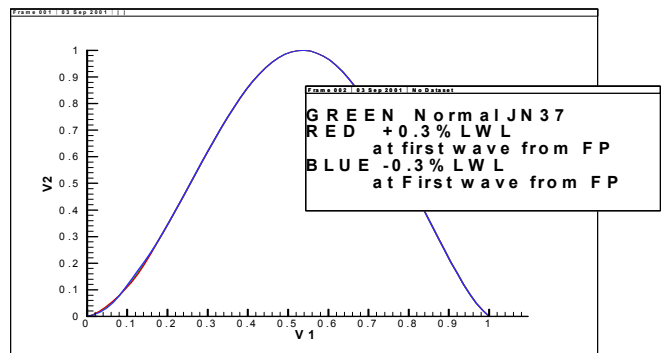


Fig.4 Modified Cp curve

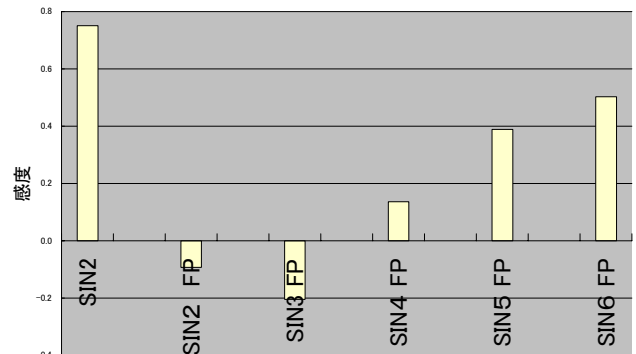


Fig.5 Sensitivity of Each modify

3 設計支援システム

3-1 システムの概要

本研究によるシステムは性能に大きく影響するパラメータの選別を行う「パラメータ抽出部」(Parameter-Extracting Part 以下 PEP)と選定されたパラメータから船型を自動最適化に従い変形する「船型最適化部」(Shape-Optimizing-Part 以下 SOP)に分けられる。システムの簡単なフローチャートを Fig. 6 に示す。これはシステムの 2 通りの利用法を示している。左方は、パラメータの抽出から連続的に、一体になり最適船型を探索する場合のフローチャートであり、右方はパラメータ抽出法からえられた知見を暗黙知の形式化としてえる場合のシステムである。

PEP では性能に大きく影響する形状パラメータの候補を設定し目的関数の望ましい変化と相関の強いパラメータを感度解析により選定する。

SOPではPEPで選定された形状パラメータとCFDを用いて自動最適化ルーチンを回し最適船型を求める。

PEPではパラメータの抽出を行う。そのフローチャートFig.7に示す。

船型はCpカーブで表し、Cpカーブをフーリエ級数展開し各級数項(各波長による振幅)で表現する。

その船型を変更し設計変数の変動値に対する目的関数の変動値をCFDシミュレーションで算出する。最も感度の高いと思われる幾つかのパラメータを抽出パラメータとしてSOPに引き継ぐ。SOPではPEPで決定したパラメータをもとに自動最適化を行い最適船型を求める。そのフローチャートをFig.8に示す。

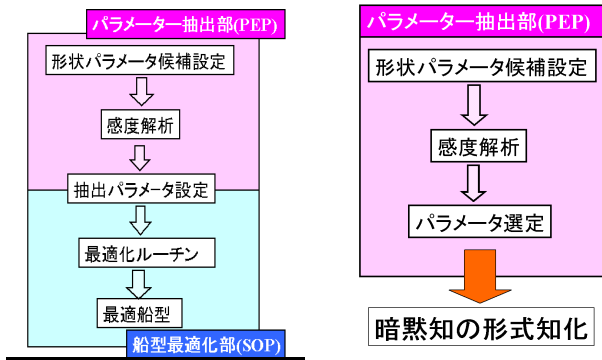


Fig.6 Flow chart TwoUsage of the system

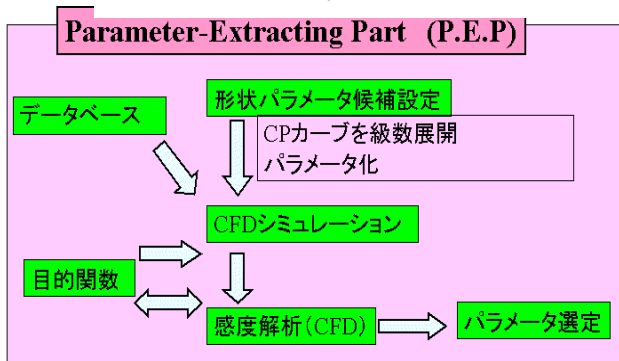


Fig.7 Flow chart of P.E.P.

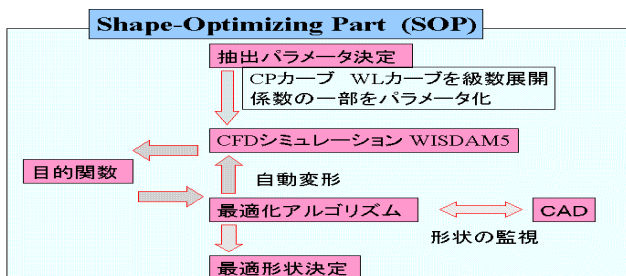


Fig.8 Flow chart of S.O.P.

船型はCpカーブで表されるものとしてCpカーブを変形した後船型を変更する。前述で検証されたように、変形は広範囲だけでなく、局所的にも行えるものでなくてはならない。そこで本研究では以下に示す。フーリエ級数のモデル式をCpカーブのフーリエ級数に付与することにより変形を行う。Fig.9にモデル式を示す。またこのモデル式を用いた変形をFig10,11に示す。また与えた変形にかかわらず排水量一定を保つために浮心を変えないように前半または後半部にサインカーブを半波長与える変形を自動的に行う。

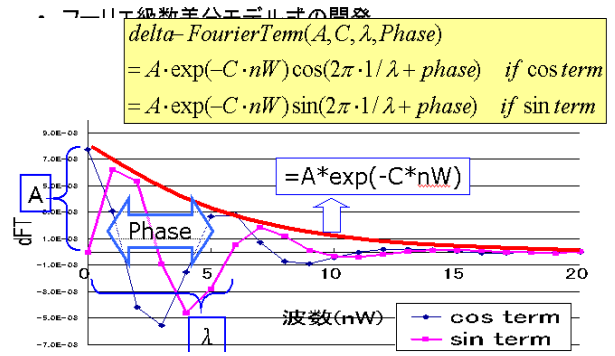


Fig.9 Model Equation of added Delta-Cp

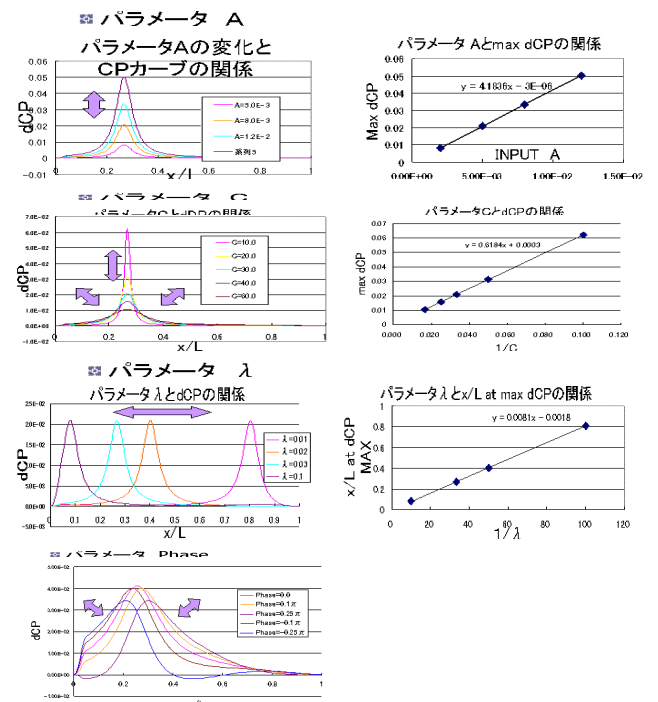


Fig.10 Parameters of this model

3-2 船型変形法

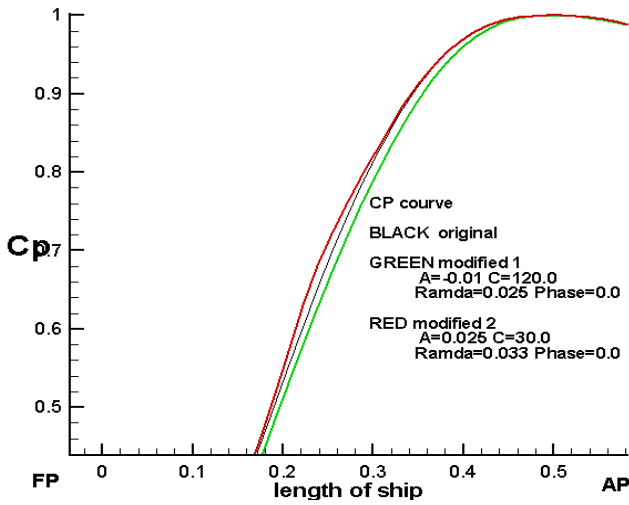


Fig 11 Modified Cp curve

3-3 パラメータ抽出法

変形法で提案されたパラメータを CFD 解析により導き出す手法、走行条件、TypeShip によってもその抽出されたパラメータは異なる。現在構築中

3-4 自動最適化手法

選定したパラメータをもとに自動最適化を行う、最適化手法は制約条件なしとして、準ニュートン法を用いる。アルゴリズムは(1)式の 2 次モデル化した目的関数 $f(x)$ を微分し(式(2))、(3)式でヘッセ行列 $\nabla^2 f(x)$ を近似して(4)式を解き d 方向を求める。直線探索により d の大きさを求め停止条件を満たさなければ繰り返し x_k を求めるというものである。

$$f(x_k + d) \approx q(d) \equiv f(x_k) + \nabla f(x_k)^T d + \frac{1}{2} d^T \nabla^2 f(x_k) d \quad (1)$$

$$\nabla q(d) = \nabla f(x_k) + \nabla^2 f(x_k) d = 0 \quad (2)$$

$$\nabla^2 f(x_k) \approx B_k \quad (3)$$

$$\nabla f(x_k) + B_k \cdot d = 0 \quad (4)$$

4 商船を対象にした設計への応用

4-1 対象船型

商船を対象に本研究で提案した設計支援システムを適応し最適船型を求める。対象とする船型は Series60 とする。

4-2 計算方法

CFD シミュレーションには WISDAM5 を用いる。運動は拘束し $Fn=0.24$ の条件で行う。計算時間の短縮のため船型の変形は

Original 船型での安定した流場情報を用いて、そこから再スタートし移動格子法を用いて計算中に徐々に船型を変形して行く。Fig12 に Series60 の船体計算格子を示す。Fig.13 に移動格子による船型変形の時間履歴を示す。無時限時間 15 までが original 船型、15 から 16 にかけて変形させた。

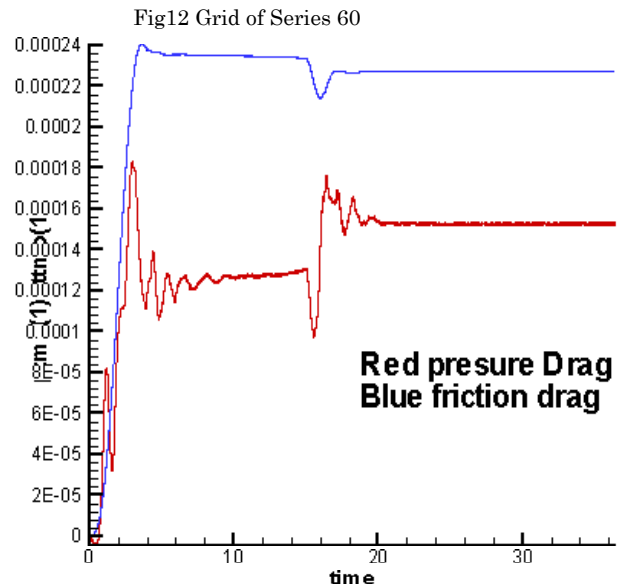
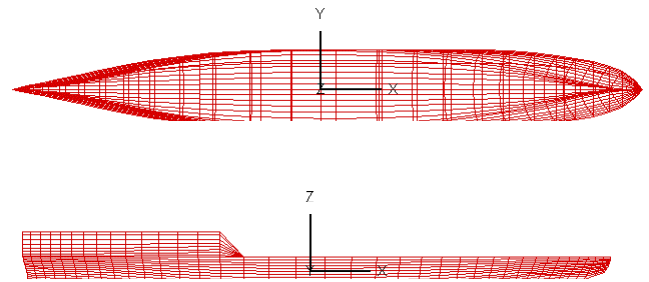


Fig.13 time history of Drag

5 結論

船型の変形について局所的(高周波)な変形の重要性を示し、広域的な変形から局所的な変形にまで応用でき、かつコントロールしやすい船型変形法を開発した。また暗黙知を言われる変形方法の一例を示すことができた。

6 今後の展望

パラメータ抽出法として更なる船型の変形表現法を開発し、そこからパラメータを抽出する手法の開発を行う。

商船への本システムの応用について自動最適化を最適化を行い、本研究で提案したシステムの有用性を実証する。

参考文献

- (1) 荒井 et al. “船体形状の記述と性能評価に関する研究 造船学監論文集 vol.182-185
- (2) N.E.Markv and K.Suzuki “hull form optimization by shift and deformation of ship sections” Journal of

ship research vol.45 no.3 pp197-204

- (3) 田原 et al. “CFD によるタンカー船型の船尾形状最適化” 関西造船協会誌 VOL231 pp29-35
- (4) 増田 et al “形状影響係数の簡易推定法を用いた船型最適化手法” 秋季造船三学会連合大会 H12 11月
- (5) 増田 et al “肥大船の推力減少率の最小化を目的とした船型最適化手法” 秋季造船三学会連合大会 H13 11月