

PS-2 実海域航行性能に関する多目的ロバスト船型最適化手法を 導入したSBDシステムの開発

流体性能評価系 * 田原 裕介 小林 寛

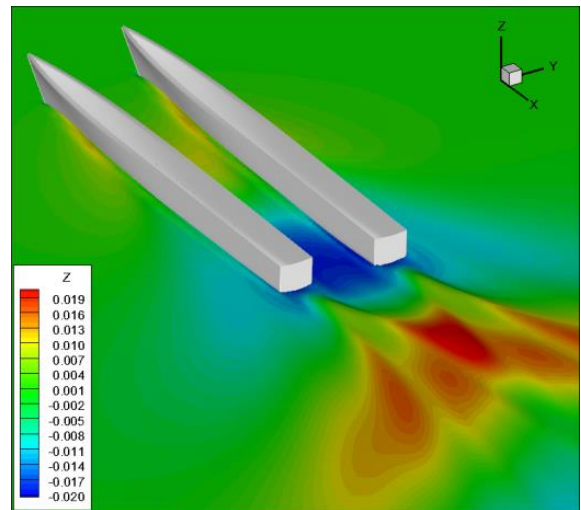
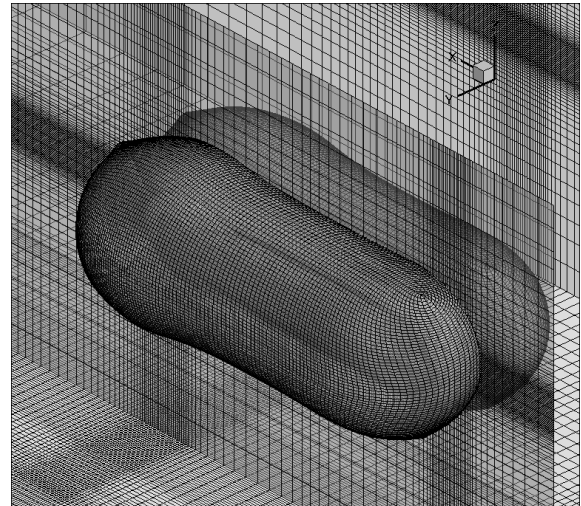
1. はじめに

本研究の目的は、実海域航行性能に関する多目的ロバスト船型最適化手法を導入したシミュレーション援用デザインシステム(Simulation Based Design System: 以下SBD システムと略称)の開発である。計算流体力学手法(CFD 手法)には自由表面計算機能を搭載した重合格子対応型・レイノルズ平均ナビエーストクス方程式法(RaNS 法)を採用し、また最適化理論には進化型アルゴリズム(Evolutionary Algorithm: EA)に属する多目的遺伝アルゴリズムを用いている。計算時間の増大を抑制する目的で、計算手法のコーディングには MPI 並列計算アーキテクチャーを採用しており、高レベルな計算効率の向上が図られている。本ポスター発表においては、特に確率論的に定義された多目的関数を最小化するロバスト最適化の結果について報告し、従来型多目的最適化の結果との比較を行って本研究で開発した手法の有効性を示す。

2. 最適解の検討—多目的最適化問題におけるロバストデザイン型最適化手法の活用

ここではデルフトカタマラン最適化の結果を検討する。デルフトカタマラン船型は Fig.1 に示すような双胴船型であり、実験的研究や計算的研究など、国際的に多くの研究事例が報告されている。推進システムにはウォータージェットが用いられ、その航行時の姿勢変化に与える力学的な影響と、船体姿勢の正確な予測は特に高速航行時において重要であるとされている⁽¹⁾。近年はこれをベースライン船型とした船型改良・最適化に関する研究も盛んになりつつあり、ここで紹介する研究事例も「海技研/米国アイオワ大学水理学研究所(IIHR)/イタリア船舶技術研究所(INSEAN)の国際共同研究事業—Stochastic Variable Physics SBD for Ship Design」における成果の一例である^(2,3)。特に著者らが検討しているアプローチは、これまでに有望改良船型として提案されたデザインをその改良コンセプトごとに分類し、モルフィング手法によって最終的な最適船型を創生する方法を構築すると共に、ロバストデザイン最適化問題を設定してその結果を検討することである。目的関数の評価においては、その関数の性質に応じて高精度・高ワークロードの RaNS 法型 CFD と標準精度・低ワークロードのポテンシャル理論型 CFD を複合利用する方法、すなわち複合物理モデル型解法(Variable Physics Approach)を採用している。それぞれには IIHR で開発された有限差分型重合格子対応 RaNS

コード CFDSHIP-Iowa V.4, および INSEAN で開発された線形境界値積分法(パネル法) FreDOM を使用している。前者は粘性流場の解析および平水中推進性能の高精度推定、そして後者は波浪中運動性能の解析と抵抗増加分の標準精度推定のために使用し、特に後者に関しては海技研で開発された推定法も併用し、それぞれが関与する最適化目的関数を評価する。



図ー1 デルフトカタマラン・ベースライン船型の重合格子レイアウトと自由表面場の計算結果(Fr=0.5, Re~8×10⁶. 両舷計算時の総格子数は約200万点。外部流域ブロックは直方体型固定領域。00型船体格子は船体の姿勢変化と共に相対位置が変化する)

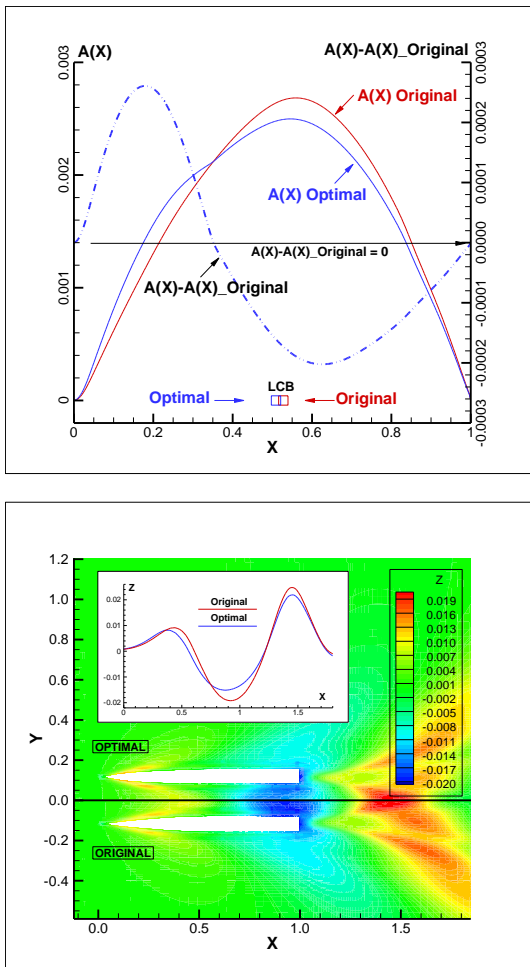


図-2 ベースライン船型と最適化船型の形状 (CP Curve) および自由表面場の比較. ($Fr=0.5$, $Re \sim 8 \times 10^6$)

今回検討したロバストデザイン最適化では、最小化目的関数は船体推進時抵抗値と波浪中増加抵抗値の期待値および標準偏差という形で定義され、その全てを同時に最小化する問題を解く。本研究のアプローチの特徴は、従来法で多用される重み係数を介したスカラー化 (Scalarization) を行わず、多目的最適化問題として EA を用いて解く方法 (フィットネス関数はパレートランキングの逆数とする)、すなわちベクトル最適化手法を採用していることである。よって求める解はパレート最適解集団であり、その全てがデザイナーの最終的決定の対象デザインとなる。なお今回の問題設定では、目標航行速度を $Fr=0.5$ とした場合の実海域航行速度を与える確率密度関数と、洋上波浪スペクトルの経験式を用い、積分領域は確率 99% 以上を網羅する。

最適デザインの一例として、推進抵抗期待値が最小であった ID-113 の形状的特性を検討する (図 2 参照: CP Curve)。ベースライン船型からの主要な形状変更は体積分布の適度な前方移動であり、また今回の形状モデリングで考慮した実用性に関する観点、すなわち極度にベースライン船型より逸脱した形状の生成を避けるといった

目的が達成されている。粘性流場の傾向は目的関数の減少と合致したものであり、すなわち双胴船型の粘性流場の顕著な傾向として指摘される干渉縦渦の生成が最適化船型では明らかに抑制され、これによって粘性圧力抵抗の減少が達成されている。同時に、自由表面の比較においても示されているように、特に目標航行速度 $Fr=0.5$ におけるベースライン船型で見られる複胴間・船尾近傍の自由表面低下が最適デザインにおいては明らかに抑制され、結果的に複胴中心線上の船尾近傍波振幅が波頂部・波底部共に減少している。これらの傾向は造波抵抗の減少に関連し、結果的には圧力抵抗成分の減少をもたらす効果となっている。体積分布の適度な前方移動は、波浪中の抵抗増加を抑制しつつ粘性造波抵抗を低減する効果として妥当なものであり、その観点においても、今回の最適解の傾向は実際のデザインにおける既知の傾向と合致するものである。なお、本最適デザインはオフデザイン状態である $Fr=0.3$ においては推進抵抗の増加、また $Fr=0.7$ においては $Fr=0.5$ と同様に推進抵抗の減少が見られるが、これらの傾向も自由表面場の傾向と合致したものであり、従来研究で指摘されている目標速度以外における副次的効果として妥当な傾向であると考えられる。現在、本最適デザインを検証するための実験研究がイタリア船舶技術研究所で計画されている。

3. まとめ

本研究の目的は、従来研究で開発した重合格子対応 RaNS 法や自動格子生成法、重合補間情報計算法、そして実海域航行性能に関する多目的ロバスト船型最適化手法を導入した SBD システムの開発である。ここで紹介したデルフトカタマラン船型の最適化は既述した国際共同研究事業の一環として行われており、現在は検証実験の準備など、研究プロジェクト最終段階のタスクが進行している。同様にウォータージェット推進の単胴船型やコンテナ船型への応用も検討することになっており、成果は逐次報告していく予定である。

参考文献

- 1) Van't Veer R., "Experimental results of motions and structural loads on the 372 catamaran model in head and oblique waves," Technical University of Delft Report, 1130, 1988.
- 2) Tahara, Y., Kobayashi, H., Kandasamy, M., He, W., Peri, D., Diez, M., Campana, E., Stern, F., "CFD-Based Multiobjective Stochastic Optimization of Waterjet Propelled High Speed Ships," 29th Symposium on Naval Hydrodynamics, Gothenburg, Sweden, 2012.
- 3) Tahara, Y., Kobayashi, H., "CFD-Based Multiobjective Robust Design Optimization of Delft Catamaran," 12th International Conference Fast Sea Transportation, FAST 2013, Amsterdam, Netherland, 2013.