船型設計用 CFD ソフトウェア

平田 信行*,田原 裕介*,大橋 訓英* 小林 寛*,小野寺直幸*

CFD Software for Hull Form Design

by

Nobuyuki HIRATA, Yusuke TAHARA, Norihide OHASHI Hiroshi KOBAYASHI, and Naoyuki ONODERA

Abstract

National Maritime Research Institute (NMRI) has been making efforts in CFD (Computational Fluid Dynamics) research and developing various CFD software including pre-processors, flow solvers and post-processors. In 2005, NMRI started onerous distribution of its CFD software with user-support in order to enhance its CFD research activities and to contribute the achievement of its CFD research to the shipbuilding industries in Japan. The current lineup of the distributed software are HullDes for a structured mesh generator, AutoDes for a hull shape optimiser which is based on HullDes, NEPTUNE for a structured Navier-Stokes solver, SURF for an unstructured Navier-Stokes solver and ARGO for a reporting tool of computed results. These software have been used as practical design tools by many shipbuilders in Japan. In addition, recently, new CFD software based on an overset grid approach have been developing with aim to compute flows around a complex geometry of a ship, for example, a ship with energy saving devices. Also, ship flows with motions in waves which are highly demanded, can be simulated. These new software consist of G-TOOL and UP_GRID for a structured mesh generator and an overset grid assembler and NAGISA for a structured Navier-Stokes solver in an overset grid approach. In this paper, the outlines of these current and new software are presented.

 ^{*} 流体性能評価系 CFD 研究グループ
 原稿受付 平成 28 年 2 月 5 日
 審 査 日 平成 28 年 3 月 8 日

1.	まえがき ・・・・・	2
2.	現行の CFD ソフトウェア・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	3
	2.1 構造格子生成ソフトウェア: HullDe ······	3
	2.2 構造格子生成・船型改良・船型最適化ソフトウェア: AutoDes ······	3
	2.3 構造格子用 NS ソルバー: NEPTUNE ····································	4
	2.4 非構造格子用 NS ソルバー: SURF ····································	5
	2.5 自動レポート作成ツール: ARGO ····································	7
3.	新しい CFD ソフトウェア・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	7
	3.1 重合格子法 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	7
	3.2 重合格子生成・重合情報生成ソフトウェア: G-TOOL ······	8
	3.3 重合格子生成・重合情報生成ソフトウェア: UP_GRID ······	9
	3.4 重合格子法に対応した構造格子用 NS ソルバー: NAGISA ·····	10
4.	あとがき・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	12
参	考文献	12

1. まえがき

CFD(計算流体力学)は、流体運動を支配する Navier-Stokes (NS)方程式を離散化し、コンピュータ上で数値的 に解く手法であり、理論流体力学、実験流体力学に続く第3のアプローチとして、工学・理学分野において広く 利用されている.船舶分野における CFD の研究は 1980 年代に始まり、海上技術安全研究所(当時船舶技術研究 所:以下、「海技研」と呼ぶ)は東京大学とともにその黎明期から精力的に研究に取り組み、世界最先端の技術を 開発してきた.研究成果である CFD ソフトウェアは様々な共同研究などの場を通じて、日本の造船業界に提供さ れ、船型設計において実用レベルに到達すべく、精度向上と高機能化が図られてきた.

2005年に海技研は、研究成果の社会への還元の一環として、長年にわたって開発してきた CFD ソフトウェアの外部提供を、有償サポートのもと本格的に開始した.その後も、より高度でかつ実用的な船型開発ツールとするため、格子生成に関しては、CAD データへの対応強化、トランサムスターン等複雑な形状を有する船型への対応、形状変更から船型最適化を可能にするとともに、NS ソルバーについても、新しい乱流モデルや並列計算による高速化等継続的な研究開発を進めており、現在も多くの造船所等に利用していただいている.なお、現行外部に提供している CFD ソフトウェアは、構造格子生成ソフトウェア HullDes, HullDes をベースとした船型改良・最適化ソフトウェア AutoDes、構造格子用 NS ソルバーNEPTUNE、非構造格子用 NS ソルバーSURF、自動レポート作成ツール ARGO の5 種類である.

近年、燃費性能向上への要求が高まり、船尾まわり等に省エネデバイス(ESD)を装着した船まわりの流れ 計算への要望が強く、複雑物体形状への対応が必須になってきた.また、実海域における抵抗・推進、耐航、 操縦性能推定に関する CFD への需要も多く、波浪中での船体運動を伴う流れのシミュレーションも強く求 められている.これらの要求を満足させるため、複数の格子を重ね合わせ、それぞれの格子間で情報を交換 しながら流れ場を解くことにより、複雑物体まわりの流れ計算が可能になる重合格子法に基づいた CFD ソ フトウェアの開発を進めている.具体的には、重合格子用の格子生成かつ重合情報を生成するソフトウェア G-TOOL と UP_GRID、重合格子法に対応可能な NS ソルバーNAGISA の3 種類である.G-TOOL と UP_GRID の機能は似ているが、前者は適用できる付加物の種類と配置が限定的ではあるものの、パラメータが少なく 初期検討に適している.一方、後者の UP_GRID は、任意形状に対応しており、数や種類に制限はなく詳細 検討に適している.

本稿では、現行の5種類に加えて現在開発を進めている3種類の重合格子法に対応した CFD ソフトウェアの概要について報告する.

2. 現行の CFD ソフトウェア

2.1 構造格子生成ソフトウェア: HullDes

海技研が開発し、共同研究などの場を通じて最初に外部に提供した CFD プログラムは、NS ソルバー NICE¹⁾ と格子生成ソフトウェア GMESH²⁾である. これらはともに構造格子用であり、当初は二重模型流れを仮定した 流れ計算に対してのみ適用可能であった. GMESH は 3 次元の格子点分布に対する種々の幾何的な要請(滑らかさ, 直交性,最小格子間隔など)を定式化しこれらを陰的に解くことで計算格子を生成する IGM 手法を用いている. 船型データはオフセット形式で与えられ、船体および舵表面の格子生成を行った後、計算領域内の体積格子を生 成する非常に実用性の高いソフトウェアである. GMESH は国内の造船業界で広く使われていたが、開発のベー スが当時の EWS (エンジニアリングワークステーション)であったこともあり、GUI にポータビリティがなかっ た. そこで、GMESH に PC 用の Windows GUI を付加するとともに自由表面流れ計算に対応した計算格子の生成 を可能にし、(有)エイ・シー・ティーと共同で開発したソフトウェアが HullDes であり、以下のような特徴を有 している.

- ・形状データの読み込みから格子生成, CFD 計算の実行まで自動で行うことが可能(ワンクリック CFD)
- ・船型オフセットデータや CAD サーフェスデータ (NAPA 形式, Fastship 形式, GMESH 形式等) からの計算格子 生成が可能
- ・自由表面流れ計算用の水面付近の格子の集中化
- ・トランサムスターン,船首バルブ等,実用的な船型に対応
- ・H-O/O-O トポロジーの構造格子の生成が可能
- ・共有メモリ型の並列計算が可能

図2.1に形状データから CFD 計算までのデータの流れ を,図2.2にO-Oトポロジーのトランサムスターンがつい たコンテナ船まわりの格子生成例を示す.



図 2.1 HullDes のデータの流れ



図 2.2 コンテナ船まわりの格子生成例

2.2構造格子生成・船型改良・最適化ソフトウェア: AutoDes

船型設計においては、船型をパラメトリックに変形させて流体力学的性能の比較を行うことが一般的である. 形状表現に関しては、CADデータ(NURBS 曲面等)が広く用いられており、パラメトリックな NURBS 曲面の変 形、格子生成の自動化により、複数の船型に対する CFD 計算が短時間に実行できるようになってきた.また、形 状を表現するパラメータを設計変数として設定し、抵抗などの目的関数が最良となる船型を選ぶ形状最適化に関 しても、ロバストで複雑な手順を要しない最適化アルゴリズムが必須である.

このような状況において, HullDes の船体周りの構造格子生成という機能に,船型変形機能と形状最適化機能 を追加した AutoDes³⁾を開発した.その特徴は以下のとおりである.

- ・HullDesの構造格子生成機能
- ・様々な船型パラメータにもとづいて NURBS 曲面を変形することで船型変更を行い, CAD データ(IGES 形式)として保存可能
- ・ロバストでかつ高効率な離散型 SQP(逐次 2 次最適化法)の機能を実装し、様々な船型変形パラメータと組合わせることにより、幅広い船型群から最適船型を選ぶことが可能



図2.3に肥大船の船型変形の例,図2.4に肥大船の抵抗を最小にする最適化のプロセスと最適船型を示す.

図 2.3 船型変形の例

図2.4 船型最適化のプロセスと最適船型

2.3 構造格子用 NS ソルバー: NEPTUNE

NEPTUNE("<u>Newton-relaxization scheme for Pseudo-compressibility based Turbulent Navier-Stokes Equations</u>")⁴は上述 の NICE に対して自由表面流れ計算を可能にするとともに、計算の高速化やロバスト性を高めた海技研の基本と なる NS ソルバーとして開発された CFD ソフトウェアであり、抵抗性能、伴流分布、航走姿勢、自航性能、操縦 性能の推定が可能である. NEPTUNE は、短時間で船型間の性能比較が可能なため、初期設計の絞り込みに適し ており、以下のような特徴を有している.

- ・擬似圧縮性を導入した非圧縮性 NS 計算
- ・流体変数はセル中心に配置
- ・有限体積法による離散化
- ・非粘性項には Roe 法で評価した MUSCL 型3 次風上差分を使用
- ・粘性項には2次中心差分を使用
- ・時間積分には1次 Euler 後退差分を使用
- ・対称 Gauss-Seidel 収束計算に基づく準 Netwon 法
- ・収束加速にはフルマルチグリッド法(FAS)と局所時間法を使用
- ・乱流モデルとして, Baldwin-Lomax(BL)モデル, 修正 BL(MBL)モデル, Spalart-Allmaras(SA)モデル, 修正 SA (MSA) モデル⁵⁾が選択可能
- ・自由表面計算には、界面適合型と界面捕獲型(Level-Set)が選択可能
- プロペラ計算には、簡易プロペラモデル^の
- ・斜航・旋回・平水時の姿勢変化にも対応可能
- ・共有メモリ型の並列計算が可能

数値シミュレーションによる性能推定の基本要素である船体抵抗の推定精度を評価するために,水槽試験結果 と CFD による計算結果の相関を調査した⁷⁾.対象船型は内航タンカーの船型シリーズ11 隻であり,このシリー ズ船型に対する形状影響係数と設計速度における抵抗係数の相関を図2.5 に示す.横軸はそれぞれ水槽試験にお いて計測された形状影響係数と全抵抗係数,縦軸は NEPTUNE によって計算されたもので両者は非常に良い相関 を示しており、シミュレーションによる性能評価が船型設計において有用であることが検証されている.

次に、肥大船は船尾で非常に強い縦渦が生じるため、その wake はフックを有する歪んだものになりやすく、 CFD による再現は難しいと言われてきた.しかしながら,乱流モデルを改良することにより図2.6のようなフッ ク形状が再現できるようになってきた、また、プロペラ面上に簡易プロペラ理論に基づく体積力を分布すること により、自航状態のシミュレーションも可能になっている.図2.7に、プロペラ面(薄青色の円板)を通過した 後,らせん状に流れる流線の様子を示す.



図 2.5 水槽試験と CFD による相関(左:形状影響係数,右:全抵抗係数)



(左:水槽試験結果,右:CFD 結果)



2.4 非構造格子用 NS ソルバー: SURF

複雑形状へのアプリケーションを念頭に開発された NS ソルバーが SURF ("Solution algorithm for Unstructured RaNS with FVM")⁸⁾であり,非構造格子に対応している.NEPTUNE と同様に抵抗性能,伴流分布,航走姿勢, 自航性能,操縦性能の推定が可能であり、その特徴を以下に列挙する.

- ・擬似圧縮性を導入した非圧縮性 NS 計算
- ・流体変数はセル中心に配置
- ・有限体積法による離散化
- ・非粘性項には Roe 法で評価した MUSCL 型2 次風上差分を使用
- ・粘性項には2次中心差分を使用

- ・時間積分には1次 Euler 後退差分を使用
- ・対称 Gauss-Seidel 収束計算に基づく陰解法
- ・収束加速にはマルチグリッド法と局所時間法を使用
- ・乱流モデルとして, Spalart-Allmaras (SA)モデル, 修正 SA (MSA) モデル⁵, k-ωBSL モデル, k-ωSST モデ ルが選択可能
- ・自由表面計算には界面捕獲型(Level-Set)を使用
- ・プロペラ計算には, 簡易プロペラモデル^の
- ・斜航・旋回・平水時の姿勢変化にも対応可能
- ・共有メモリ型の並列計算が可能

複雑な形状の一例として、船尾にシャフト、シャフトブラケット、舵がついた高速フェリー船まわりの計算格 子を図2.8 左に示す⁹⁾. 複雑形状まわりに規則的な配列を有する構造格子を生成するのは非常に難しいため、物 体表面は主に三角形で分割し、空間の大半は四面体で埋め尽くされている. このような非構造格子に対しても、 SURF は対応可能である. 図2.8 右に CFD 結果として、船体表面の圧力分布とプロペラを通過する流線の様子を 示している. また、プロペラの影響は簡易プロペラモデルによって考慮している.

図2.9に高速船の船首波形のシミュレーション結果¹⁰を示す.高速で航行する船では,船首において波面が大きく変形し,スプレー状の巻き波が発生する.本計算で用いた界面捕獲法は,このような非線形性の強い砕波現象にも対応可能であり,波面の変形がよく計算されている.次に,斜航時の船体まわり流れの計算結果と水槽試験結果を比較するために,図2.10に自由表面上と長手方向の断面上にそれぞれ波高と速度の分布を示す.斜航する船体の船首,船尾から3次元剥離渦が放出されることが知られているが,計算結果は精確にシミュレートできている.このように強い非線形性を有する砕波や渦のシミュレーションにもCFDは非常に有効である.



図2.8 シャフト、シャフトブラケットおよび舵つき内航フェリーの計算格子(左)と自航計算結果(右)



図 2.9 高速船の自由表面流れ計算



図 2.10 横流れ角 10 度で斜航する船体まわりの流場 (左:水槽試験結果,右:計算結果)

2.5 自動レポート作成ツール: ARGO

ARGO は CFD (NEPTUNE や SURF)の計算結果から,自動でレポートを生成するソフトウェアである.レポートは,計算条件と抵抗値や有効馬力が表示される定型フォーマットであり,船型間の比較が容易にできる.また,船首部や船尾部の波紋や,プロペラ面での伴流分布や船体表面の圧力分布など船型の評価において重要な流場情報もレポートに含まれる.なお,操作は使い勝手のよいGUIによって行われる.

図2.11に入力画面,図2.12にレポートの一例を示す.

Series60		Series60	
2008/12/08			2008/12/08
1. Computational conditions 2. Computed results	1. Computationa	al conditions 2. Compute	ed results
Side Instrume Steve L L Like Sign Statute Statute L L Like Sign Statute Statute L L Like Sign Statute Statute Statute Cit 4.2521-807 2428-1847 L Statute Statute Statute Cit 4.2521-807 2428-1847 Statute OFD code Statute Statute Cit ONEPTUNE Cit Statute Cit One One One Statute Double model (1+K) Cit Flow condition Statute Delta Cf DD Friction Like Statute Statute Statute Statute Statute Statute Statute Statute Delta Cf DD Friction Like Statute Statute Statute Statute Statute Statute Statute Statute Statute Web Statute Statute Statute Drawing parameter Statute Statute Web Statute Statute Statute	I. Computation Subpr Subpr <	Controlsts 2. Computer : NPT/NNE Cf : Stricto0 Cf : 121,000 Cf : 6.650 Cf : 6.570 Cf : 10,100 Cp : 0.5712 Form (Sect) : 121 = 40 > 64 The state of Cr : 17,80 - 400 : 4.000 + 10^3 - 500 : 4.000, 2500 - 4.000 : 3. Figures for Fa=0.000. (Time step a=1259) - 4.000	Base L-L base 4.622+0-3 7.662-10-4 4.522+0-3 7.662-10-4 1.330+10-4 5.580-10-3 4.402+10-4 6.5680-10-3 Chard Chardson Chard 0.0154 Chardson 0.0154 Chardson 0.0154
DATA SET 1 (Fn=0) Control file FSnapshots¥DVD_2009P2¥Data_and_Diskimages¥sample1¥s60¥rep Ave. of last 100 time steps of History data.	Wineptune¥double_modeWontroitxt		со ¹ 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10
Cd = 0.00079319 S.D.= 0 Piot Cf = 0.0007292 DATA SET 2 (Fn>0)	S.D= 0 Plot \$s60\#neptune\free_surface\Control1xt S.D= 0 Plot ceVe60_3D.pdf Make PDF	Fig.1: Bodyplan.	-15
図 2.11 ARGO の入力画面	5	図 2.12 レオ	ポートの一例

3. 新しい CFD ソフトウェア

3.1 重合格子法

重合格子法は、互いに重合(オーバーラップ)する複数の格子ブロック間で計算領域をカバーし、計算時には 物理量等を補間し合うことにより流場を求める。例えば、船体、船尾フィン、舵、舵フィン等のまわりの流場を 計算する場合、個々の物体まわりの計算格子を個別に作成し、計算領域内に配置する(図3.1参照).計算格子ブ ロック間で流速や圧力といった物理量を補間するための補間係数を予め計算しておき、重なり合うブロックから 補間して得られた物理量を用いて各格子ブロックの CFD 計算を行い、対象物体まわりの流場を求めていく.



図 3.1 重合格子の作成例

重合格子法による CFD 計算の手順は概ね次のとおりである.

- 1. 個々のブロックまわりの計算格子の作成
- 2. それぞれの計算格子を,アフィン変換等により所定の場所へ配置する.物体間で接合がある場合は接 合部分の格子の切り取り処理等を行う.
- 3. 計算格子間で流場情報を補間し合うための補間係数(重合情報)を計算する
- 4. 重合格子法対応の NS ソルバーにより、CFD 計算を行う
- 5. CFD 計算結果を,可視化ソフト等を用いて確認する

1.-3.の部分が、CFD 計算の前段階として必要な手順であり、この部分の処理(重合情報の生成)を行うためのソフトウェアとして、海技研では G-TOOL と UP_GRID を、また 4. の部分に対しては NAGISA の開発を進めている.

3.2 重合格子生成・重合情報生成ソフトウェア:G-TOOL

G-TOOL は, G-TOOL Parts / G-TOOL Assembly / G-TOOL Overset の3つのプログラムで構成されており(図3.4), それぞれ 3.1 における 1.-3.の手順に対応している¹¹⁾. G-TOOL Parts では,個々の ESD の形状定義と格子作成, G-TOOL Assembly では個々の計算格子の結合等,G-TOOL Overset では重合情報の生成をそれぞれ行う.



図 3.2 G-TOOL の 3 層構成

G-TOOL の特徴は、船尾ダクト、船尾フィン、ラダーフィン等代表的な ESD について、形状や取付位置を極力 少数の変数で制御可能であることである.形状定義に関する複雑性を排除することにより、特に CFD の専門家で はない一般の設計者の観点での利便性を向上させている.また、重合関係は8点空間補間法により求め、重合関 係が構築できない場合には、一番近いセルの値を使うことにより、orphan セル(重合関係を構築できなかったセ ル)が発生しないようにしている.これらの点により、G-TOOL は、ESD の設計時に形状や取付位置をパラメト リックに変化させて初期検討を行う際に有用である.

G-TOOL による重合情報にもとづく CFD 計算の例として、タンカー船型に舵及び舵フィンを取付けた状態で、 格子生成と重合情報生成を行い、CFD 計算を実施した.図3.3 に用いた格子と船体表面圧力分布を示す.



図 3.3 G-TOOL による ESD (舵フィン) 周りの流場の計算例

3.3 重合格子生成・重合情報生成ソフトウェア: UP_GRID

UP_GRID ("User-oriented and Practical overset GRID system")¹²は、UP_WING/UP_MOD/UP_OVS の3つのプ ログラムで構成されており、それぞれ 3.1 における 1.-3.の手順に対応している. UP_GRID では、IGES またはオ フセットデータにより、任意の物体形状を取り扱うことが可能である.また、Ferguson spline を用いて格子線等 をより高次に表現することで、格子点の再配置や物体同士の接合面の切り取り(トリミング)等を高精度に行う ことが可能である.図3.4 はフィンを船体に取り付けた場合のトリミングの概念図である. 左側が元々の船体と フィンまわりの格子で、右側がフィンの格子に対してトリミングをかけて、格子線上の船体に近い一部の範囲で 格子点を再配置していることがわかる。これを3次元に拡張した結果を図3.5 に示す.



図3.4 トリミング及び格子再配置の概念図(フィンを船体に取り付けた場合)



図3.5 船体に取り付けたフィンをトリミング・格子再配置した例

UP_WING は、物体及び外周境界の形状をオフセットで定義することにより、空間格子を生成するプログラム である.格子生成については、GMESH²と同じ IGM 法を用いている.UP_MOD は、既存の計算格子に対するア フィン変換、格子点の集中化・再配置、トリミング処理、IGES データの Coons パッチとしての読込、Coons パッ チからオフセットの生成等を行うプログラムである.UP_OVS は、UP_MOD で所定の位置に配置、切り取り処理 等を行った計算格子間の重合情報を計算するプログラムである.計算に際しては、各計算格子の格子点毎に、他 の計算格子の spline 座標系での位置を計算し、それを元に NS ソルバーのステンシルを考慮して重合情報を生成 する.本手法では、計算格子の重合状態によっては、orphan セルが発生する可能性がある.この場合は CFD 計算 を正しく行うことができないため、計算格子の修正等が必要となる.

UP_GRIDを用いて重合格子情報を生成し、NAGISAを用いて CFD 計算を実施した例¹³を図3.8 に示す.船尾 ダクトを取り付けたバルクキャリア船型の船尾まわりの流れを計算している. 左側の図は計算格子であり,船尾 ダクトだけでなく,船尾管・プロペラボス・プロペラキャップを含む船尾突起部及び船尾ダクトを取り付けてい るストラットについても計算格子を作成し、物体形状を忠実に再現している. 右側の図は自航計算の計算例であ り、ダクト後方で回転するプロペラによる吸込や回転流が計算でシミュレートできている.



図3.8 船尾ダクトを取り付けたバルクキャリアまわりの自航計算例(左:計算格子,右:計算結果)

3.4 重合格子法に対応した構造格子用 NS ソルバー: NAGISA

NAGISA¹⁴は、構造格子ベースの重合格子法に対応した NS ソルバーとして開発された CFD ソフトウェアであ り、抵抗性能、伴流分布、航走姿勢、自航性能、操縦性能の推定が可能である.また、平水中のみならず波浪中 における各種の性能推定や船体運動計算も可能である.なお、支配方程式や空間、時間の離散化、解法等は基本 的に NEPTUNE と同様である.特徴としては、以下のとおりである.

- ・重合格子法に対応
- ・擬似圧縮性を導入した非圧縮性 NS 計算
- ・流体変数はセル中心に配置
- ・有限体積法による離散化
- ・非粘性項には Roe 法で評価した MUSCL 型3 次風上差分を使用
- ・粘性項には2次中心差分を使用
- ・時間積分には1次 Euler 後退差分を使用
- ・対称 Gauss-Seidel 収束計算に基づく準 Netwon 法
- ・収束加速にはフルマルチグリッド法(FAS)と局所時間法を使用
- ・乱流モデルとして、Spalart-Allmaras(SA)モデル、 $k-\omega$ モデル、代数応力方程式モデル (EASM)、DES モデル、 壁関数モデル ($k-\omega$ モデル、EASM モデル)が選択可能
- ・自由表面計算には、界面適合型と界面捕獲型(Level-Set)が選択可能
- ・プロペラ計算には、簡易プロペラモデル⁶
- ・斜航・旋回・平水時の姿勢変化にも対応可能

- ・波浪中の船体運動計算
- ・共有メモリ型の並列計算が可能

複雑な形状の例として、図3.9に肥大船の船尾に船尾フィン、ダクト、舵、舵フィンを装着した場合の自航計 算結果として、船体表面圧力分布と流線を示す.非常に複雑な流れがシミュレートされており、複数の物体やプ ロペラがもたらす流体力学的干渉が表現できている.図3.10には舵ホーンが付いた肥大船の斜航時の自航計算結 果を示す¹⁵⁾.このように複数の付加物や操縦性にとって重要なファクターであるが格子生成が難しい舵ホーンに 対しても重合格子法は有用なことがわかる.

次に,図3.11に向波中を航行する舵がついたコンテナ船の船体運動シミュレーション結果¹³⁾を示す.波浪条 件が与えられる計算領域全体を占める背景となる格子ブロックと船体や舵等のブロックとで流れの情報を交換す ることにより,向波中の運動シミュレーションが可能になっている.



図 3.9 重合格子法による付加物付き肥大船の 自航計算結果



図 3.10 重合格子法による舵ホーン付き肥大船の 斜航時における自航計算結果



図3.11 向波中のコンテナ船の船体運動シミュレーション(左:重合格子,右:波高分布の計算結果)

4 あとがき

2005 年から外部提供を行っている海技研の CFD ソフトウェアとして,現行の HullDes, AutoDes, NEPTUNE, SURF, ARGO と,現在開発を進めている重合格子法に対応した G-TOOL, UP_GRID, NAGISA について概要を報告した.

今後も日本の造船関連分野におけるニーズを把握し,船舶用 CFD の研究開発を継続し,ソフトウェアの外部提供によって国内産業競争力に維持・向上に貢献する所存である.

参考文献

- Kodama, Y., "Computation of Ship's Resistance Using an NS Solver with Global Conservation --- Flat Plate and Series 60 Hull ----", J. of the Soc. Naval Archit. Japan, Vol.172(1992), pp.147-155.
- Kodama, Y., "Generation of 2D, 3D and Surface Grids Using the Implicit Geometrical Method", AIAA 33rd Aerospace Science Meetings, AIAA95-0218(1995).
- 3) 金井亮浩,田原裕介,"自動変形機能と離散型 SQP 法による最適船型設計法の開発",日本船舶海洋工学会講演 会論文集 17(2013), pp.349-352.
- Hirata, N. and Hino, T., "An Efficient Algorithm for Simulating Free-Surface Turbulent Flows around an Advancing Ship", J. of the Soc. Naval Archit. Japan, Vol.185(1999), pp.1-8.
- 5) Hirata, N. and Hino, T., "A Comparative Study of Zero- and One-Equation Turbulence Models for Ship Flows", J. of Kansai Society of Naval Archit., Japan, No.234(2000), pp.1-8.
- Ohashi, K., Hirata, N. and Hino, T., "A Comparative Study of Body Force Models Representing Effects of Contra-rotating Propellers", Trans. Wesr-Japan Society of Naval Archit., No.105(2003), pp.55-64.
- 7) 菅井信夫,平田信行,"内航タンカーのシリーズテストに対する CFD の検証",関西造船協会論文集,241(2004), pp.19-24.
- Hino, T., "An Interface Capturing Method for Free Surface Flow Computations on Unstructured Girds", J. of the Soc. Naval Archit. Japan, Vol.186(1999), pp.177-183.
- Hino, T., Ohashi, K. and Ukon, Y., "Flow Computations around a Ship with Appendages by an Unstructured Gird Based NS Solver", Proc. of 8th Intern. Conf. on Numerical Ship Hydrodynamics (2003), Busan.
- 10) 佐藤陽平, 日野孝則, 日夏宗彦, "CFD による船首砕波を伴う船舶の抵抗値の推定法", 第4回海技研研究発表 会講演集(2004), pp.163-166.
- 11) 田原裕介,金井亮浩,新郷将司,"重合格子技術と非線形最適化理論を導入した CFD 援用最適省エネルギーデバイス設計法",日本船舶海洋工学会講演会論文集 第16号(2013),2013S-GS4-16.
- 12) Kobayashi, H. and Kodama, Y., "Developing Spline Based Overset Grid Assembling Approach and Application to Unsteady Flow around a Moving Body", Proc. VI Intern. Conf. on Computational Methods in Marine Engineering, MARINE 2015(2015), pp.838-849.
- Kobayashi, H., Ohashi, K. and Hirata, N., "Flow Simulation Using Overset Grid Assembler UP_GRID and Navier-Stokes Solver NAGISA", CFD Workshop T2015(2015), Tokyo, pp.III-353-358.
- 14) 大橋訓英,日野孝則,平田信行,小林寛,"重合格子対応構造格子NSソルバーの開発",第28回数値流体力学シンポジウム講演集(2014),F06-2.
- Araki, M., Ohashi, K. and Sakamoto, N., "Effects of Rudder Horn and Propeller Hub Vortex for CFD Manoeuvring Simulation", SIMMAN 2015(2015).