

海技研の CFD 技術開発の現状と今後の活動

CFD研究開発センター * 日夏 宗彦

1. はじめに

近年のCFD技術は応用分野への活用がめざましく、その勢いは市販コードの普及をみても容易に理解される。造船技術関係でも最近では専用のCFDコードが市販されるようになってきた。一方で、この分野では市販コードとは別に、東大や海技研で開発されたCFDコードが造船関係の設計者の間で利用されるようになってきている。ただ、今まで東大や海技研で開発されたコードは研究用に開発されたコードであり、今後多様化する船型にも柔軟に対応できるような、使い勝手のよいコードにするにはさらなる改良が必要である。

海上技術安全研究所では、平成14年度にCFD研究開発センターを設置した。その目標はCFD技術が広く設計現場に活用され、船型設計に広く寄与することである。このためにはまず設計現場で望まれているシステムや課題はなにかを把握した上で、それに沿ったサービスや技術支援を展開していく必要がある。

本報告では、まず海技研のCFD技術の現状を紹介するとともに、いくつかの企業訪問で得られた情報をもとにした今後のセンターの活動の指針の中間報告を示したい。活動方針についてはさらにご意見を伺い、より社会ニーズに沿ったものとすべく努力する所存であり、諸賢のご意見を賜るようお願いする次第である。

2. CFD研究開発センターの設置目的

CFD 研究開発センターの設置目的は、船型設計に活用される CFD 技術の開発および普及を目指すもので、このためには今までのように研究コードの開発から、実用上使い勝手のよいソフトウェアシステムの開発を目指している。これらの技術を通して、造船業界の競争力維持向上の一助となるための技術サポート、行政ニーズに迅速に応えられる技術サポートを提供することがセンターに課せられたミッションといえる。

3. 海技研における CFD 技術の現状紹介

3.1 コードの紹介

CFD 研究開発センターが、今後どのような技術開発を目指せばよいかという方針を提示する際、現在の海技研における CFD 技術の実状を紹介する必要があるかと思う。そこでまず海技研で整備されているコードの紹介をする。

3.1.1 NICE

海技研で最初に開発されたコードである。連続の条件は擬似圧縮近似により満足させ、空間離散化は有限体積法を用いている。時間積分は IAF 法によっている。乱流モデルは Baldwin-Lomax (BL) の 0 方程式あるいはその改良版を用いている。構造格子系を用い、自由表面は剛壁条件である。1+K を推定するのに有用である。NICE には無限翼数プロペラ

理論に基づくプロペラ力と等価な体積力を組み込み、自航計算も可能である。さらに斜航、旋回流計算を可能としたコードも開発している。NICE コードと同時に格子生成コード GMESH も作成されており、両者対になってリリースされたことが NICE コードの普及につながっている。

3.1.2 NEPTUNE

定常造波問題を計算するためのコードである。擬似圧縮近似、有限体積法による離散化を行っており、時間積分はニュートン法を用いている。構造格子系を用いており、空間方向の積分で得られる連立方程式の解法には多重格子法を用いて高速化を図っている。これに対応できる船型に対しては高速で処理できるツールである。自由表面は界面追跡型の自由表面適合座標系であるので巻き波は計算できない。乱流モデルは BL 系のほか、Spalart-Allmaras の 1 方程式も備えている。これにプロペラモデルを加えたコードや、斜航、旋回計算可能としたコードも開発している。

3.1.3 SURF

NEPTUNE と同じく定常造波問題を計算するためのコードである。NEPTUNE との大きな違いは非構造格子系による空間の離散化を行っていることで、より変化に富んだ船型形状に対して計算可能となっている。また自由表面の取り扱いも界面捕獲法によっており、自由表面適合型よりも柔軟性の高いコードである。定常造波計算問題では、構造格子系に対応できる問題では NEPTUNE を、複雑な船型にたいしては SURF といった使い分けが実用的である。

3.2 抵抗自航計算例

定常造波計算例として NEPTUNE によるシリーズ60船型の計算と SURF による KCS コンテナ船型の計算例を示す。図-1 にはシリーズ60船型まわりの波紋図を示す。計算格子を細かくとることで船首波のカスプラインにおける挙動が実験結果とよく一致しているのがわかる。図-2 に抵抗値を示す。実験結果との定量的な一致は極めて良好である。図-3 に KCS コンテナ船の波紋分布図を示す。KCS 船型はトランサムスターンを有しており、従来計算困難であった船尾波の計算も遂行できるようになっている。

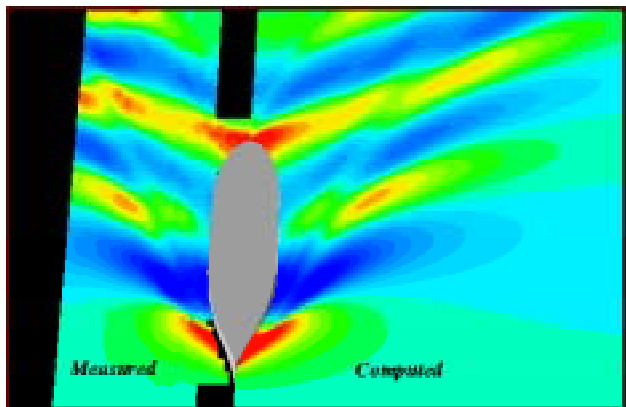


図-1 波紋分布（シリーズ60）

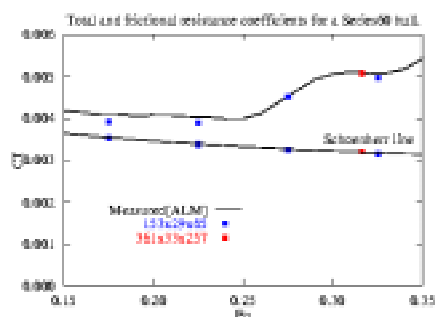


図-2 実験と計算の抵抗値の比較

自航計算の例として NEPTUNE に無限翼数理論に基づく体積力モデルを組み込んだ2重反転プロペラ装着時のシミュレーション結果を示す。図-4(a)(b)に後方伴流の様子を示す。図-4(a)は単独プロペラ装着時のA.P.断面での流速分布、図-4(b)は二重反転プロペラ装着時の伴流分布である。単独プロペラでは伴流に大きな回転流が残るのに対し、二重反転プロペラでは回転流が消滅しているのがわかる。

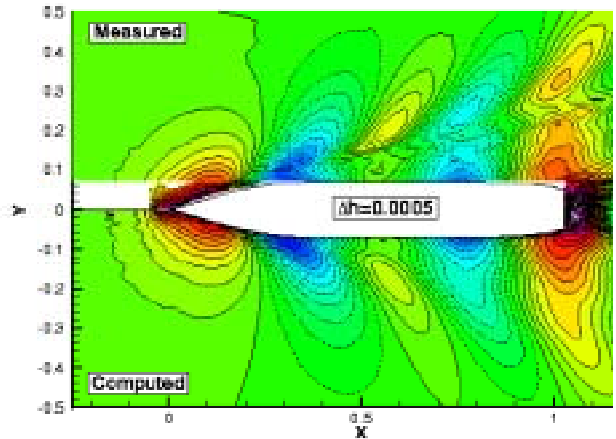


図-3 KCS 船型の波紋図の比較

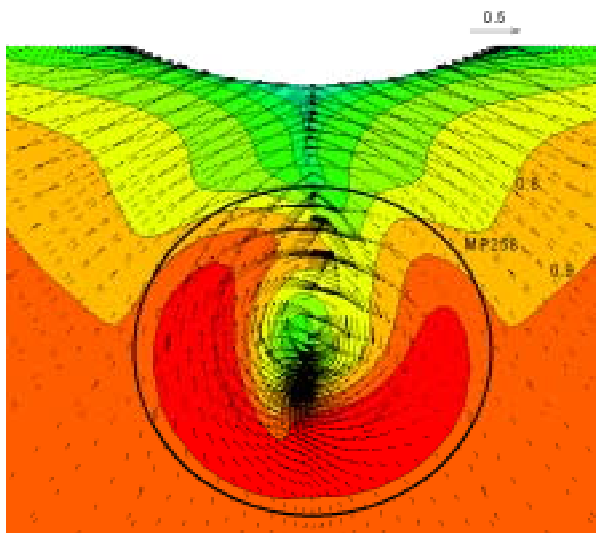


図-4(a) 単独プロペラ装着時の伴流分布

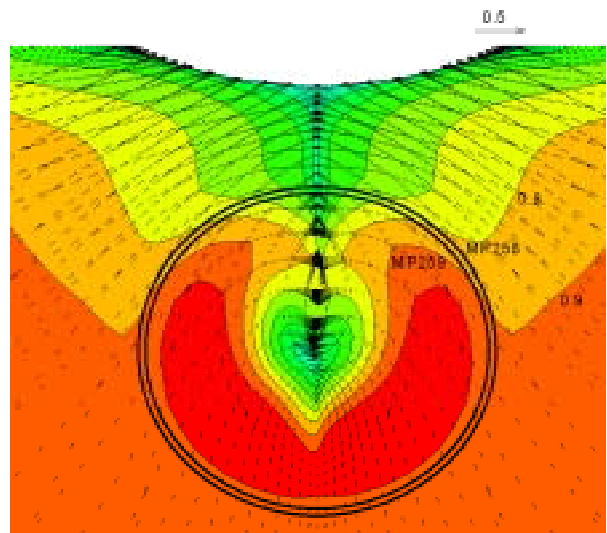


図-4(b) 二重反転プロペラ装着時の伴流分布

3.4 斜航/強制旋回時の計算

操縦性能を調べる一つの手がかりとして、斜航状態および強制旋回状態の船の周りの流れのシミュレーションを実施している。図-5(a), (b)には NEPTUNE コードを用いて計算したタンカー船型の斜航時および強制旋回時の流場の様子を示す。この場合は両舷計算となるので計算時間はかかる。本計算から、操縦性能推定に必要な横流れ角と船体に働く流体力の関係が得られる。

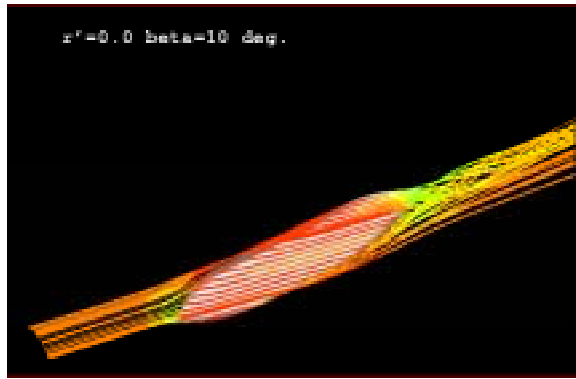


図-5(a) 斜航時の船体周り流れの様子

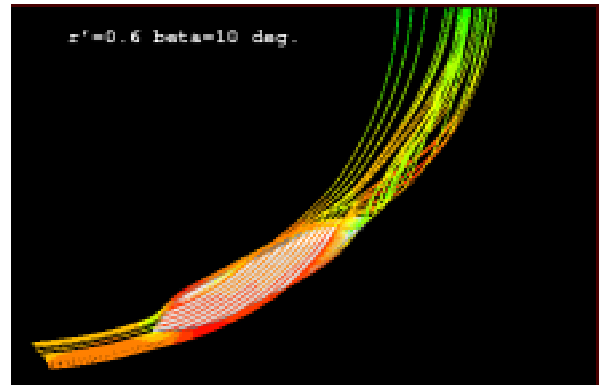


図-5(b) 強制旋回時の船体周り流れの様子

3.5 ツインスケグ船型

最近、幅広船型に関心が集まっており、とくに超幅広浅喫水になると二軸船型の採用が考慮される。ここでは日本造船研究協会 SR243研究部会で実施された計算例を示すことにし、ツインスケグ船型でも CFD による計算が可能となってきたことを示す。図-6にツインスケグ船型の船尾部での圧力分布を示す。このような形状を GMESH で作成することは困難であり、本計算は市販コードである GRIDGEN による格子生成を経て、SURF によるシミュレーションを実施した。現時点ではプロペラ影響を考慮していないが、将来的にはプロペラ影響を考慮し自航計算が可能となるよう機能強化を図る予定である。

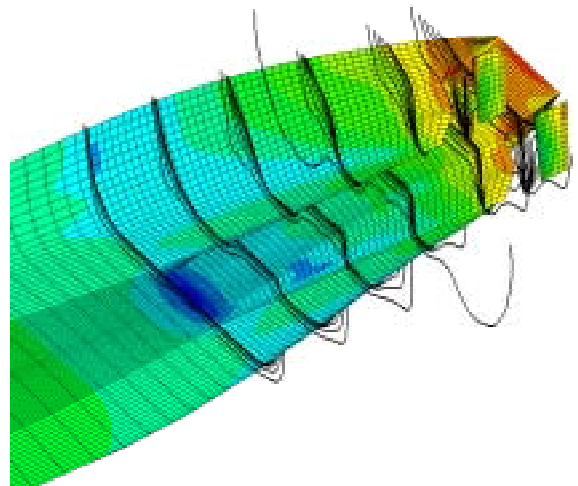


図-6 ツインスケグ船型まわりの流れ

3.6 ポッド型推進器付き船型周り流れの計算

プロペラと舵を一体化したポッド型推進器が近年、注目を集めている。ポッド型推進器を装着した船尾部分は複雑な形状を呈し、構造格子では格子生成がきわめて困難になる。このような場合も非構造格子系による計算が威力を発揮する。図-7には、ポッド型推進器を装着した船尾部分の格子分割と圧力分布を示した。

3.7 船型の最適化

CFD と最適化手法を組み合わせることにより、目的関数を最小とした船型の探索が可能となる。目的関数として全抵抗値をとれば、抵抗最小船型が得られる。ここでは GA (遺伝的アルゴリズム) と NEPTUNE を組み合わせた最適化例を示す。簡単のため船型は実用船型には遠いが WIGLEY 船型を用い、手法の有効性を示すことを主眼とした。図-8に初期船型と最終船型を示す。改良船型は船首船尾波が小さく、船側波形も全体的に起伏が

小さくなっており、造波抵抗が軽減されていることがわかる。実用化にむけては実用船型に対する船型変形のための数学的表現法と計算手法の高速化の研究が必要である。

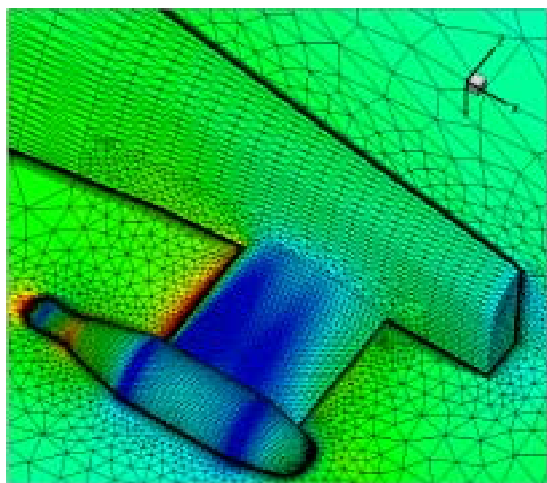


図-7 ポッド型推進器を装着した船尾部の圧力分布

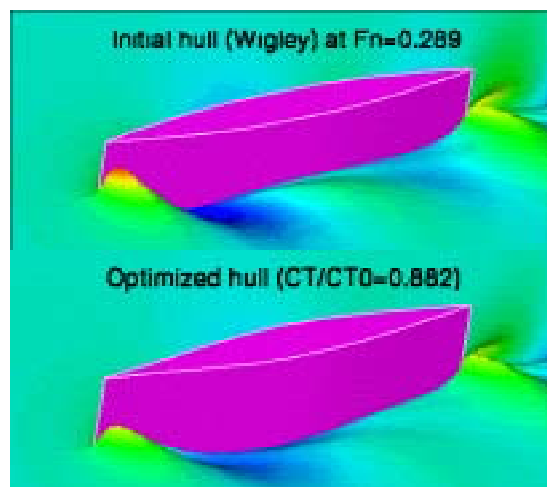


図-8 船型最適化の一例

4．ニーズの把握とその対応

4.1 ニーズ調査

設計現場において CFD 技術を援用した設計手法の効率化を普及させるためには、使い勝手の良いコードやソフトウェアシステムの開発が必要である。このためには実際の設計現場でどのようなシステムや計算が望まれているのか、またそのなかで海技研が果たす役割は何かを抽出する必要がある。このため平成14年度は複数の造船所の方々と意見交換を実施し、ニーズの把握に努めた。現段階では調査の途中段階であるが、今までに得られた情報から、海技研のとるべき道を模索してみたい。

海技研が提供できる技術支援の形態としては、計算実施支援、コードの配布、最適化を利用した設計改良指針の提供等があって、これらの技術支援は研究所の独立行政法人化に伴い、原則として有償によるものとしている。

計算実施支援については、今までの実船実績と CFD 計算との相関をとるために必要な膨大な計算を依頼する事が考えられるとの意見がある一方で、各社で実施されている計算ノウハウと海技研のそれとが一致するとは限らないため依頼しない、あるいは船型データを外部に出すことへの抵抗から依頼しないといった意見があった。また単に計算依頼するにしても単に計算をするだけでなく、得られた結果から船型改良の指針となる解釈まで提供すべきとの意見が多数あった。

一方で、CFD 技術を十分使いこなしていないため、まずは CFD 技術の利用法の普及をはかるのに貢献すべきとの意見があった。この対応策としては、たとえば配布したコードに対するスクールを海技研主催で開催することが考えられる。

CFD 技術そのものの要求については、より高精度な解が得られるコードの開発、とくに小さな船型差でも定性的な傾向が的確に計算されるコードの開発に期待が大きい。また、最適化手法を駆使した船型改良の指針を提供するニーズが大きいことが改めて認識され

た。さらに推進性能向上のための付加物に対する計算のニーズも多く、これに対応するには、格子生成技術の拡充が必須となる。

4.2 受託計算による技術支援

現時点で海技研が提供できる技術支援の内容は以下の通りである。

4.2.1 通常船型の抵抗・自航、伴流分布、圧力分布等の計算

船型データは IGES 形式で提供されると、前処理が円滑に運ぶと期待される。もっとも船型によっては、格子生成に時間を要する場合があるので、実際に計算に着手する前に簡単な事前協議が必要である。IGES 形式でなければ GMESH 形式でもよいが、通常のオフセットデータからでは、格子生成用ソフトに引き渡すためのインタフェースの作成が必要となるので、格子生成に時間を要する結果になる。

抵抗、自航計算は模型船レベルの結果を標準とし、要求に応じて実船レベルの計算も実施可能である。計算速度点数は 0 フルード数および設計速力を含む 3 点程度が標準となろうとも思われるが船型の選定段階であれば 0 フルード数および設計速力の 2 点でも十分と思われる。

4.2.2 スケグ船型（シングル、ツイン）の抵抗、伴流分布、圧力分布等の計算

これも基本的には 4.2.1 と同様であるが、ツインスケグ船型の場合はデータのタイプによっては格子生成に多くの時間を要する可能性があるので、実際に計算に着手する前に計算工数の見積もり等で事前協議が必要と思われる。現時点で計算実施が可能な例は 3.5 を参照されたい。

4.3 計算コードの配布と利用技術支援

4.3.1 SURF、NEPTUNE コードの配布と技術サポート

NEPTUNE は、構造格子系で格子生成可能な船型であれば自由表面付きの計算を高速で計算することができるツールであり、船型の良否の判断にきわめて有効であると思われる。これに無限翼数プロペラ理論に基づくプロペラモデルを追加し自航計算が可能なシステムとしたものをリリースの対象となろう。一方で、複雑形状船型に対しては SURF が有力なツールとなる。このためニーズに応じて有償で配布したい。さらにユーザーがまとまればユーザー会の開催を考慮し、コードがより利用されるように普及を図りたいと考えている。

4.3.2 プログラム利用者のための講習会の開催

4.3.1 に関連して、リリースしたプログラムが利用できるように、プログラム仕様のための講習会の開催を企画する。講習内容は計算手法についての簡単な紹介、格子生成法、計算に必要なパラメータの設定と各パラメータの意味、出力の方法等からなり、3－4 日のコースにまとめるのが適切と思われる。

5. 今後の展開について

5.1 計算コードの機能強化と配布

海技研で開発した CFD コードで今後さらに機能強化する項目として、乱流モデルの改良、高速化があげられる。また自航計算法の高精度化もニーズが高い。このような機能を備えたものを優先的に整備、配布し、利用者に対するトレーニングの場を提供することが当面の大きな課題と位置づけられる。

また、付加物付き船体の計算には前処理技術の開発も必要である。このための in-house コードの改良が必要である。

操縦性能の評価のためのツールとしての期待もあるが、迅速性を考慮すると、これにはより少ない CFD 計算で操縦性能を推定するような新たな考え方の提案が必要である。ただし、操縦性を完全に CFD でシミュレーションするツールの開発ニーズはあまり高くないようである。

5.2 最適化手法等を援用した船型開発指針の提供

最適化手法を用いた船型開発の指針を提供することに対するニーズは高い。船型改良ではすべてのプロセスを計算機に実行させることは現実的でない。実際には最適化プロセスの要所要所における船型をデザイナーがチェックし、そのつど必要な船型変形の指針を提示する。システムでは提示された変形方法を船型最適化にマッチするように数学的な船型表現法を与えられ、これによって再び最適化ループに入っていく。

このようなシステムを開発するためには CAD と CFD とのシステム間のデータのやりとりに親和性が要求される。またデザイナーが船型の良否を判断することの数値モデル化、船型の数式表現法の研究は船型改良のシステム化には不可欠であり、いずれも今後取り組むべき重要な研究開発課題である。これらの研究を進めつつ、一方で、CFD 計算例を蓄積し、単に順問題の計算結果を提供するだけでなく、船型改良の指針となる情報を努めて提供する。

5.3 計算サービスを対応する部門の組織化

当面は CFD 研究開発センターでニーズに対応するが、ニーズが多ければサービス提供を専従するグループの組織化が必要である。当面はこの組織もまた海技研内に設置し、ビジネスとして成立するようであれば外部に組織化することが考えられる。計算サービスを専従して提供する組織と CFD 研究開発センターは密に連携する必要がある、ユーザーの欲するソフトウェアシステム開発に専従する。

5.4 ホームページによる最新情報の公開

ホームページを利用して CFD 研究開発センターが有するコードとその開発状況を公表し、利用者の便宜を図ることに努める。

5.5 水槽試験と CFD のサービスの一本化

水槽試験と CFD 計算サービスの一体化が望まれている。この要望を満たすためには、水槽試験サービスを提供しているパートナーとの密な連携が必要である。海技研内で対応する方法、あるいは水槽試験業務を主としているパートナーと連携する方法などの体制作

りに対する検討が必要である。

6. おわりに

CFD 研究開発センターは今後も常に社会ニーズを把握しつつ、それに応えるためのソフトウェアシステムの開発に注力していきたい。ただし、ニーズに応えることのみにとらわれてしまうと、ややもすると近視眼的な計画策定に陥ってしまうおそれがある。先導的研究課題も設定し、バランスのよい研究開発計画の策定、実施を目指したい。今後とも皆様方のご支援をお願いする次第である。