

欧州における CFD(数値流体力学)開発動向調査

大橋 訓英 (海上技術安全研究所)

1. はじめに

計算機技術進展に伴い、欧米において船舶用 CFD 開発プロジェクトが活発化している。特に欧州ではいくつかの EU プロジェクトが実施され、欧州における造船技術戦略の一環として、CFD 技術のレベルアップが図られている。そこで今回、平成 20 年 9 月 7 日から平成 20 年 9 月 20 日の間で、欧州 2 カ国、フランス及びイタリアにおいて CFD 開発の現状調査を行った。

フランスでは国際会議、数値水槽シンポジウム 08(NuTTS08)に出席し、論文発表を行うとともに、CFD 開発及び適用例の動向調査を行った。また、Ecole Centrale de Nantes(ECN, ナント工科大学)の Dr. Michel Visonneau の研究室を訪問し、同研究室で開発されている CFD コード ISIS の開発動向及び適用例について伺うとともに、乱流モデル及び DES(Detached-Eddy Simulation)の今後について議論を行った。イタリアでは、INSEAN(The Italian Ship Model Basin)の Dr. Andrea Di Mascio を訪問し、同氏の研究室で開発されている CFD コードの開発状況及び EU その他における多国間プロジェクトに関する内容について伺った。最後に HIPER08 に出席し、講演を行うとともに、CFD の主に高速船への適用例について調査を行った。

2. 数値水槽シンポジウム 08

はじめに、数値水槽シンポジウム 08 に参加し、論文発表及び CFD 開発動向、適用例について調査を行った。会議はフランス、ブレスト市より 20km 程離れた Aber Wrac'h(Aber はフランス語でブリターニュ地方のリアス式海岸)で行われた。参加者は欧州が主で、フランス 7 名、ドイツ 5 名、ポーランド 5 名等、計 39 名の参加者であった。大学の学生から、欧州各研究所の研究者まで、幅広い年齢層での講演が行われた。主な講演内容について列挙していく。波浪中のシミュレーションの発表は 4 件あり、ECN の ISIS による短波長域のシミュレーション及び DTMB5512 に関する姿勢固定・フリーのシミュレーションについて発表が行われた。特に、短波長域のシミュレーションでは、船体構造のスプリングングに着目し、短波長の造波シミュレーション精度確認及び船首付近の 32 個の圧力計測結果との比較が行われ、船首付近砕波の再現や、計測結果との良好な一致を示していた。また、INSEAN より格子ボルツマン法による自由表面シミュレーション結果が示され、推定精度向上の取組みは引き続き必要なものの、計算時間が RANS の 1/2~1/5 という興味深い結果の発表が行われた。著者は円柱周りの Delayed Detached-Eddy Simulation に関する発表を行い、RANS と LES を切り替えるパラメータ CDES の変更の有無や、伴流領域の格子生成に関する質問等を受けた。

今回のシンポジウムでは市販されているソフトウェア StarCCM+(2 件)、COMET(4 件)、CFX(5 件)、Fluent(2 件)、ISIS(NUMECA 社 FINE/MARINE、3 件)について、乱流モデルの精度確認、その他適用例に基づく精度確認の発表が見られた。また、LES を含む独自のソルバー開発による発表は 5 件、Linux と同様の取り組みで、コードがオープンソース化されている openFOAM(www.opencfd.co.uk/openfoa m)による計算例も 2 件見られた。EU プロジェクトとして進捗している FreSCo コードによる発表も 1 件行われたが、船尾伴流の推定精度は COMET に劣っており、今後も開発が必要な印象を受けた。なお、COMET ソルバーそのもの

については 2002 年頃から新たな開発改良は行われていない(COMET の機能は StarCCM+に移行中)との発言も聞かれた。

また、計算格子生成に NUMECA 社(<http://www.numeca.com>)の HEXPRESS を使用する例が多く見受けられ、今後欧州で幅広く使用される可能性がある。HEXPRESS は、初期格子を細分割しながら、名前の通り、六面体で計算格子を生成するため、非構造格子と比べ、境界層部分の格子品質低下が少なく、使用者からも、一部問題があるものの、格子生成が以前より楽にできるとの話聞くことが出来た。

3. ナント工科大学訪問

次に、フランス、ナント市にある Ecole Centrale de Nantes の Dr. Michel Visonneau を訪問した。同氏の研究室では、非構造格子ベースの CFD コード ISIS が開発されており、同コードは前述の NUMECA 社より FINE/MARINE として市販されている。同研究室は、Visonneau 氏を含めて常勤 3 名、ポストドクター及び博士・修士課程の学生が 7 名の計 10 名からなり、コード開発及びユーザー対応を行っている。主な開発項目は、流体構造連成、解適合格子生成(Adaptive Mesh Refinement)、DES (Detached-Eddy Simulation)であり、流体構造連成では、格子変形手法の開発もあわせて行われている。Visonneau 氏の研究室は乱流モデルの開発及び改良を長年行っており、同モデルについて知見も多い。DES の今後について議論を行い、船体周り流れへの適用性を確認した。さらに、同研究室の最近の成果として、波浪中のシミュレーション結果及び解適合格子生成結果を紹介いただいた。また、FINE/MARINE ユーザーへは、抵抗等、流体力を精度良く短時間で求めるためには壁関数に基づく乱流モデルを、流場を見るときは高次乱流モデルとそれぞれ使い分けるよう伝えているとのことである。

4. INSEAN 訪問

次に、イタリア、ローマ市にある INSEAN の Dr. Andrea Di Mascio を訪問した。当初は Dr. Riccardo Brogna を訪問する予定であったが、同氏は ITTC 出席で不在のため、上司にあたる Di Mascio 氏に CFD コード開発動向等を伺うこととなった。同氏のグループでは、CFD コード開発を近年活発に行っており、Over-set 法、Level-Set 法の開発等を伺った。Over-set 法については、格子が動かない状態についてはこれまで成果を得、現在、船体運動の取扱について開発を行っているとのことであった。船体運動を伴うことにより、Over-set の格子相互関係を前処理として作成中で、特に物体表面及び境界層の取扱で苦勞しているとのことであった。Level-Set 法については、対象とする問題が 2 相流である必要があるため、これまで 1 相流であったコードを 2 相流に変更しているとのことであった。また、同氏の研究グループが関係する多国間・多組織プロジェクトについて伺い、EU の他、ONR のプロジェクトも行っていて、内容は、前述の Over-set 法開発、砕波問題、BEM-RANS カップリング、耐航性、操縦性能(SIMMAN シンポジウム)と多岐に渡っているとのことであった。BEM-RANS については、INSEAN 内の別グループにて開発された手法を、他の組織でブラックボックスとして使用するため、入力データの説明等マニュアル整備も行ったとのことであった。

5. HIPER08

最後に、HIPER08(International Conference on High Performance Vehicle)に出席し、CFD の主に高速船への適用例の調査及び講演を行った。会議はイタリア、ナポリ市のナポリ大学で行われた。出席者は欧米、アジアまで幅広く、計 30 名弱であった。この会議では流体に限らず、構造・材料等幅広い分野での講演が行われた。CFD 適用例についてとりあげると、Fluent による空中部分のヨット全体解析、Shipflow によるトリマランのシミュレーション、イラン・

シャリフ大学にて開発されている CFD コードにおける、移動格子法による 6 自由度計算等が見られた。著者は航走波の CFD による推定に関する発表を行い、遠方の波高推定法に関する質問等を受けた。また会議冒頭で、Dr. Volker Bertram による流体力学的問題に対する、各種推定ツールについて、ストリップ法、ポテンシャル法、RANS の設計者側からみた利点、欠点のまとめと、使い分け方及び開発に関する講演も行われた。

6. おわりに

今回、今回欧州 2 カ国、フランス及びイタリアにおいて CFD 開発の現状を調査し、今後の CFD 研究開発に有益な情報を収集できたと考えている。また本報告が国内の CFD に携わる方々にとっても有益であれば幸いである。

最後に、貴重な機会を与えていただいた日本財団の関係各位、また多方面にわたりご支援いただいた、学会事務局を始めとする船舶海洋工学会関係各位に謝意を表します。

2008 年度若手研究者・技術者海外派遣

| | |
|--|--------------------------------|
| 派遣者氏名 | 大橋 訓英 |
| 派遣者所属 | 海上技術安全研究所 CFD 研究開発センター |
| 調査テーマ | 欧州における CFD(数値流体力学)開発動向調査 |
| 訪問国 | フランス、イタリア |
| 派遣期間 | 2008 年 9 月 7 日～9 月 20 日 |
| 紹介者 | |
| 1.Dr.Michel Visonneau | Ecole Centrale Nantes(ナント工科大学) |
| 2.Dr. Riccardo Broglia | INSEAN(イタリア船舶試験水槽) |
| 訪問先面談者 | 所 属 |
| 1.Dr.Michel Visonneau | Ecole Centrale Nantes(ナント工科大学) |
| 2.Dr. Andrea Di Mascio | INSEAN |
| 調査内容(1) | 数値水槽シンポジウム 08(NuTTS08)出席及び論文発表 |
| <p>数値水槽シンポジウム 08 に参加し、論文発表及び CFD 開発動向、適用例について調査を行った。参加者は欧州が主で、フランス 7 名、ドイツ 5 名、ポーランド 5 名等、計 39 名の参加者であった。主な講演内容について列挙していく。波浪中のシミュレーションの発表は 4 件あり、ナント工科大学から短波長域のシミュレーション及び高速船に関する姿勢固定・フリーのシミュレーションについて発表が行われた。特に、短波長域のシミュレーションでは、船体構造のスプリングングに着目し、短波長の造波シミュレーション精度確認及び船首付近の 32 個の圧力計測結果との比較が行われ、船首付近砕波の再現や、計測結果との良好な一致を示していた。また、INSEAN より格子ボルツマン法による自由表面シミュレーション結果が示され、推定精度向上の取組みは引き続き必要なものの、計算時間が通常のナビエストークス計算(RANS)の 1/2～1/5 という興味深い結果の発表が行われた。派遣者は円柱周りの Delayed Detached-Eddy Simulation に関する発表を行い、RANS と LES を切り替えるパラメータ CDES の変更の有無や、伴流領域の格子生成に関する質問等を受けた。</p> | |
| 調査内容(2) | Ecole Centrale Nantes 訪問 |

Dr.Michel Visonneau を訪問した。同氏の研究室では、非構造格子ベースの CFD コード ISIS が開発され、FINE/MARINE という名で、市販されている。同研究室は、Visonneau 氏を含めて常勤 3 名、ポストドクター及び博士・修士課程の学生が 7 名の計 10 名からなり、コード開発及びユーザー対応を行っている。主な開発項目は、流体構造連成、解適合格子生成(Adaptive Mesh Refinement)、DES (Detached-Eddy Simulation)であり、流体構造連成では、格子変形手法の開発もあわせて行われている。Visonneau 氏の研究室は乱流モデルの開発及び改良を長年行っており、同モデルについて知見も多い。DES の今後について議論を行い、船体周り流れへの適用性を確認した。さらに、同研究室の最近の成果として、波浪中のシミュレーション結果及び解適合格子生成結果を紹介いただいた。また、FINE/MARINE ユーザーへは、抵抗等、流体力を精度良く短時間で求めるためには壁関数に基づく乱流モデルを、流場を見るときは高次乱流モデルとそれぞれ使い分けるよう伝えているとのことである。

調査内容(3)

INSEAN 訪問

Dr. Andrea Di Mascio を訪問した。同氏のグループでは、CFD コード開発を近年活発に行っており、Over-set 法、Level-Set 法の開発等を伺った。格子ブロックを重ね合わせて複雑形状を扱う Over-set 法については、格子が動かない状態については成果を得、現在、船体運動の取扱いについて開発を行っているとのことであった。船体運動を伴うために、Over-set の格子相互関係の前処理を作成中で、特に物体表面及び境界層の取扱いで苦労しているとのことであった。Level-Set 法については、対象とする問題が 2 相流である必要があるため、これまで 1 相流であったコードを 2 相流に変更しているとのことであった。また、同氏の研究グループが関係する多国間・多組織プロジェクトについて伺い、EU の他、ONR のプロジェクトも行っていて、内容は、前述の Over-set 法開発、砕波問題、BEM(境界要素法)-RANS カップリング、耐航性、操縦性能(SIMMAN シンポジウム)と多岐に渡っているとのことであった。BEM-RANS については、INSEAN 内の別グループにて開発された手法を、他の組織でブラックボックスとして使用するため、入力データの説明等マニュアル整備も行ったとのことであった。

調査内容(4)

HIPER08 出席及び論文発表

HIPER08(International Conference on High Performance Vehicle)に出席し、CFD の主に高速船への適用例の調査及び講演を行った。会議はイタリア、ナポリ市のナポリ大学で行われた。出席者は欧米、アジアまで幅広く、計 30 名弱であった。この会議では流体に限らず、構造・材料等幅広い分野での講演が行われた。CFD 適用例についてとりあげると、商用コード Fluent による空中部分のヨット全体解析、Shipflow によるトリマランのシミュレーション、イラン・シャリフ大学にて開発されている CFD コードにおける、移動格子法による 6 自由度計算等が見られた。派遣者は航走波の CFD による推定に関する発表を行い、遠方の波高推定法に関する質問等を受けた。また会議冒頭で、Dr. Volker Bertram による流体力学的問題に対する、各種推定ツールについて、ストリップ法、ポテンシャル法、RANS の設計者側からみた利点、欠点のまとめと、使い分け方及び開発に関する講演も行われた。

特記事項

欧州 2 カ国、フランス及びイタリアにおいて CFD 開発の現状を調査した。フランスでは、国際会議における発表での討論等により、関係研究者との DES に関する情報交換、その他最新の研究成果を得、欧州各国の CFD 開発動向及び適用事例を調査することができた。ナント工科大では、欧州で最先端のコード開発動向を調査することができた。次にイタリアでは、INSEAN にて、同様に、最先端のコード開発動向を確認するとともに、国際会議への参加及び発表により、CFD 適用事例を調査し、関係研究者との情報交換及び交流を深めることができた。今後はこれら開発動向の情報を海技研の CFD 開発に活かすとともに、引き続き欧州の研究者との交流から得られる情報等を国内関係者へ提供したいと考えている。

国際会議では、市販されているソフトウェア StarCCM+(2 件)、COMET(4 件)、CFX(5 件)、Fluent(2 件)、FINE/MARINE(3 件)等について、乱流モデルの精度確認、その他適用例に基づく精度確認の発表が見られた。また、LES を含む独自のソルバー開発による発表は 7 件、コードがオープンソース化されている openFOAM による計算例も 2 件見られた。なお、COMET ソルバーそのものについては 2002 年頃から新たな開発改良は行われていない(その後の調査で、COMET の機能は 2008/11 に StarCCM+に移行完了した模様)。また、計算格子生成に NUMECA 社の HEXPRESS を使用する例が多く見受けられ、今後欧州で幅広く使用される可能性がある。HEXPRESS は、初期格子を細分割しながら、名前の通り、六面体で複雑形状に対しても計算格子を生成するため、非構造格子と比べ、境界層部分の格子品質低下が少ないことが想定される。海技研でも HEXPRESS を導入し、関係グループにて有効性を確認中であり、一部は論文発表されている。DES については、その後、船体周り流れに適用し、論文発表を行った。