

CFD18 における空力音響解析に関する発表

Review of Presented Researches in Aeroacoustics on CFD18

飯田 明由*

*工学院大学工学部

Akiyoshi Iida*

*Kogakuin University

E-mail:iida@fluid.mech.kogakuin.ac.jp

1 はじめに

2004 年 12 月に国立オリンピック記念青少年総合センターにおいて第 18 回数値流体力学シンポジウム (CFD18) が開催されました。今年も数値流体解析の基礎から工学的応用問題まで幅広い分野における研究成果が報告されました。数値流体解析が幅広く活用されるようになってきた今日、シンポジウムで取り上げられる話題の種類も豊富になりました。このため、分野別のレビューがあると会員にとって研究の方向性や社会のニーズを知るのに役立つということで分野別のレビューを執筆することになりました。私の担当は空力騒音・空力音響ということですので、CFD18 における空力音響関連の発表に関して報告させていただきます。

2 研究動向

空力音響・空力騒音は CFD 技術の発展と共に企業では応用技術として、大学では数値解析技術の高度化という視点から取り組まれている分野です。毎年、「音響」というセッションが設けられ、活発な議論が行われています。今年度は 3 つのセッションで合計 13 件の研究発表がなされました。13 件の内訳は、翼周りの流れから放射される騒音に関するものが 3 件、差分法、格子ボルツマン法などの数値解法に関する講演が 4 件、円柱やドアミラーなどのブラップボディから放射される空力騒音が 6 件でした。対象とする流れはどちらかということマッハ数の小さな流れを対象としたものが多く、これは国内の主要産業である自動車や流体機械などの比較的低速の流れから放射される空力騒音の問題に数値流体解析を活用したいということの現われのようです。同じ空力音響の会議でも AIAA の Aeracoustic Conference が超音速ジェットやマッハ数の大きな流れにおけるキャビティ音やタービン・ブレードの動静翼干渉による騒音問題を取り上げているのとは対照的です。

2.1 実用問題

ドアミラーや翼などの工業的な実用問題を視野に入れた空力騒音解析では例外なく Large Eddy Simulation が利用されていました。物体周りの低マッハ数周りの流れから放射される空力騒音の場合、非定常のはく離流れを精度良くとらえる必要があることから、LES が利用

されることが多い (B1-1, B1-2, B1-3, B3-1, B3-2) ようです。自動車の空気抵抗の評価やファンの性能評価など、企業で行われている製品開発では RANS モデルを利用することも多いのですが、空力騒音の場合、流れ場の動圧と比較して発生する音波の圧力が小さいこと、空力音が非定常渦度変動に起因することから、LES の利用が最も可能性が高いようです。現在では市販の解析コードの多くが LES に対応し、さらに空力騒音用のモジュールを備えたものが多く見られるようになってきていますので、今後さらにこの傾向が進むものと思われま

す。これまで LES と Lighthill の音響アナロジーを利用した空力騒音解析では Lighthill-Curle の式を利用することが一般的でしたが、ファンなどの移動物体に対応するため、最近では Ffowcs Williams and Hawkins のモデルが使われることが多くなってきているようです。今回の講演会では、文部科学省「戦略的ソフトウェア開発」により開発された FrontFlow/Red, FronrFlow/Blue を活用した空力音響計算 (B1-1, B3-2) が報告されています。一昨年、このレビューを書かれた農工大高倉先生も述べられているように、空力騒音解析、特に低マッハ数流れにおける実用問題では研究の中心がコード開発から実用問題にシフトしてきたように思います。大規模 DNS 解析を利用した空力騒音の直接計算についても、手法の開発から応用面への展開が進められているようです。東北大井上先生の研究グループの発表 (B3-3, B3-4) では、円柱を振動させた場合や、角柱を 2 本配置した場合の空力音の発生機構とその制御の可能性が報告されています。DNS を用いた空力騒音の直接計算ではレイノルズ数が低いことや工業製品に適用するには計算規模と計算時間が問題となるものの、直接計算では放射音の基本的な性質や制御の可能性について検討することが可能であり、実験や製品開発に与える影響は大きく、今後の発展が期待されます。

応用面ではドアミラーと翼端の騒音 (B1-1, B1-3, B3-2) が取り上げられていました。これらの問題ではオーバーオール騒音値の予測はかなり実用レベルになってきているようです。しかし、応用分野ではオーバーオールだけでなく騒音の周波数特性が問題となることから、スペクトル解析が必要となります。したがって、スペクトル解析の解像度についての議論が問題になっています。実験データや RANS との比較などから、周波数解析についてはメッシュの依存性が指摘されています。周波数分析の精度の向上が今後の課題のようです。機械学会で行われた空力騒音に関する講習会では参加した CFD ベンダーの多くがドアミラーの解析結果について報告していました。一時期、空力音解析のベンチマークとして円柱から放射される空力音が取り上げられていましたが、最近では実用問題への展開を考えて、ドアミラーが取り上げられることが多いようです。

翼周りの流れについては東大生研加藤先生の研究グループ (B1-2) と JAXA の研究グループ (B1-3) から報告がありました。翼の解析の場合、翼面上の遷移が問題となるため、格子解像度が問題となります。加藤先生の研究では 800 万要素の大規模解析が実施され、翼面上の渦の微細構造が捉えられ、レイノルズ数依存性も再現されています。しかし、その一方でこれだけ大規模な解析を行っても、音の解析結果については、高い周波数では実験との不一致が見られるようです。このことは設計などの実用問題に応用する際には、どの程度の周波数ま

で解析で再現する必要があるのかを十分検討しておく必要があることを示しています。現状では単独翼 1 枚の計算に 800 万要素の大規模解析を設計現場で行うことは難しいですから、ターゲットとする周波数を事前に良く検討する必要があります。それでも LES と Lighthill-Curle の妥当性を知る上でもこのような研究が重要であると考えられます。

JAXA のグループは DES を利用した解析について報告されています。DES の解析は平均速度部分については LES と良く一致するようですが、非定常成分については DES の計算手法に結果が依存するという結果になったようです。今回の報告では流れ場のヘリシティ密度を基準に LES と RANS を切り替える方法が有効であると報告されています。一般に利用されている境界層厚さを基準とする DES では空力騒音解析としては良い結果が得られないようであり、DES の場合、解析手法の取り扱いには注意が必要だということがわかりました。

2.2 数値計算法

数値解析手法としては高揚力装置周りの流れの解析 (B1-4) や無反射境界問題 (B2-3)、超音波伝播挙動 (B2-4) に見られるように、境界条件の取り扱いに関する工夫が報告されました。空力音の解析の場合、音響場と流れ場のスケールが異なることから境界条件、特に音波の境界での反射の問題が重要です。すでにいくつか無反射境界モデルが作られていますが、今回も新しい手法が提案されていました。B2-3 で取り上げられている新しい境界条件は計算コストを増やすことなく、角部なども含めてコードが共有化されるなど、実用的な面での利用も考慮されていることが注目に値します。実装方法についても詳しく述べられているので、この分野の研究を進めている若い研究者には参考になると思われます。従来の無反射条件との比較の結果、境界に対して波が垂直に入射しないような場合に特に効果が改善されていました。

低マッハ数流れの解析では、音響アナロジーを用いた分離解法を使用し、音場については自由音場を仮定し、物体の影響も物体が波長に比べて小さいとして無視する場合があります。フラップなどの高揚力装置では物体と音波の干渉が問題になります。このような問題を検討するために線形オイラー方程式を利用した音場の解析が報告されました (B1-4)。航空機の場合、運用上も指向性が大きな問題となるので、音の指向性も重要な課題であり、このような解析が重要になります。たとえば最新のジェットエンジンでは、下方 (人が住んでいる方向) への音の放射を抑制し、上空側に指向性を持たせています。現時点では DNS による音の直接解析で航空機周りの流れを解析することが難しいことから、線形オイラー方程式を利用する方法が妥当であり、この分野の研究報告が今後増えるのではないかと思います。Hancock スキーム (B2-1) を用いた解析例も紹介されていました。

格子ボルツマン法による移動境界から放射される空力音解析 (B2-2) では、移動境界問題、特にファンの動静翼干渉を視野に置いた講演がありました。格子ボルツマン法による空力音の直接解析はエッジトーンやフィールドバック音の解析にも利用されており、ファンなどの動静翼干渉に活用できれば非常に有力なツールになりうると考えられます。実用問題に発展させるには乱流の取り扱いが一つの問題になるかと思われますが、今後の発展が期待される手法です。

3. まとめ

従来の流体機械設計では流体力や平均速度場の解析が中心となるため、手法的には確立されており、すでに多くの企業で設計に利用されています。しかし、空力騒音の場合、音の圧力変動が流れ場の動圧に比べてきわめて小さいため精度の高い解析が要求されます。このため、LES や DNS などの大規模非定常解析が必要であり、実用面で応用するにはリソースの問題を含めて課題も残されています。特に音の周波数分析に関しては、まだ実験データを十分に再現することが難しいようです。直接解析では境界における圧力の反射問題など境界条件に関する検討課題が残されています。

空力騒音の実験は風洞設備のほかに無響室が必要となり、計測にも流体計測以外のノウハウや技術が必要となります。無響室を利用して実験空間を無反射境界とする点は解析とも良く似ています。このため、実験に非常にコストがかかることから、企業では空力騒音の実験を数値解析に置き換えて、数値解析を設計の有力な開発ツールとしたいと考えています。したがって、空力音響解析技術のさらなる向上が望まれています。この会議を通じて数値空力音響解析がさらに発展することを期待しております。ただ、そのためには実験データとの比較検討、空力騒音の発生機構に関する議論を今後さらに行う必要があると思われます。上重術したように空力騒音の場合、質の良い実験データを測定することも難しいということもあり、さらにシンポジウムの性格上、解析が主体になり、実験との比較が少ないのはやむを得ないと思いますが、やはり実験データとの比較が少ない点がやや気になりました。特に基礎研究の場合、精密な実験データとの比較が必要だと思えます。ここで提案された基礎技術を応用していく際に、実験データとの比較による精度検証が必ず必要になります。論文中にできるだけ実験データとの比較検討を示すべきではないかと感じました。その際、過去の実験データを利用することも可能ですが、実験条件などが明確でない場合も少なくないので、できるだけ多くの（素性のはっきりした）実験データと比較することも重要になるのではないかと思います。空力騒音のような複合問題の場合、実験データの裏づけが必要不可欠ですので、実験技術者との連携をさら強化することが必要ではないかと思えます。来年の会議でも活発な議論が行われることを期待しております。