

流体现象のベクトル場比較のための可視化手法

理学専攻 情報科学コース 八反田香莉

1 概要

目に見えない流体の解析において可視化は重要な役割を果たしている。しかし、シミュレーションのデータは膨大であり視認性に問題があるため、複数枚の流れ場を見比べ違いを発見することが難しい。また、シミュレーションの手法や条件によりデータ形式や格子の粗密が異なっている場合があるため、簡単に比較を行うことは難しくなっている。そこで、本論文では二つのデータを同時に可視化することにより、データの比較・検討の効率を図る。本論文では、航空機周りの EFD/CFD データと滑走路周りの CFD データへの可視化適用事例をそれぞれ示す。

2 航空機 EFD/CFD データの事例

2.1 背景

流体现象の理解や分析のために、Experimental Fluid Dynamics (EFD) と Computational Fluid Dynamics (CFD) といった代表的な二種類の手法がある。EFD は風洞などの実験環境を用いて流体现象を再現する技術で、信頼性を持った計測値が得られる。しかし、コストが高いことや施設の使用日程に制限があるといった問題がある。また実際に計測できるデータにも限界がある。一方、CFD はコンピュータによるシミュレーション技術で、複雑な流体现象をより容易に再現できる。ただし一般的に CFD では、実際の流体现象の再現に対する妥当性の検証が重要となる。

これらの両者の問題点を考慮し、EFD における実験結果と CFD におけるシミュレーション結果を比較し、それらの差分をわかりやすく可視化することはシミュレーション技術の改良において重要性が高いと言える。そこで本論文では、航空機周りにおける EFD と CFD の両者を比較する可視化技術を提案する。この技術により、EFD/CFD の双方の誤差検証の課題の明確化とその解決に役立つ。また、機体にかかる圧力・抵抗の計測は、航空機開発において非常に重要である。特に衝撃波や渦などの特徴点は、機体の損傷や燃費の悪化を招く可能性があるため、重要な観察点となっている。

2.2 提案手法

本手法の流れは、データ統合と特徴点検出の 2 つに大きく分けられる。本手法で用いるデータは、圧力のスカラ値と流速のベクトル値を持つ多数の頂点によって格子を構成している。しかし、EFD/CFD 間の格子構造が異なっているため、差分の算出には EFD/CFD の格子構造を統合する必要がある。本研究では EFD の値を基準として CFD の値を比較するという立場から、EFD の各格子点における CFD の値を補間により求めることで、データ

を統合する。統合した後、特徴点の検出を行う。本手法では圧力データに対し衝撃波を算出し、流速データに対し渦中心と渦度を算出する。これらの処理の後、可視化ソフト Tecplot を用いて結果を表示する。航空機の機体表面に圧力分布、機体後部に流速分布を可視化する。

2.3 実行結果

前節までで算出した速度場の渦中心検出・比較の可視化結果を示す。この結果では模型形状 DLR-F6、マッハ数 0.75、迎角 0.19 度のデータを用いている。図 1 は衝撃波を算出した後、重ね合わせた図である。赤の線が EFD の衝撃波、黒の線が CFD の衝撃波として算出されている。EFD/CFD の衝撃波の位置は概ね似ているが、翼の根元の部分では CFD の衝撃波が後方に位置していることがわかった。衝撃波が前方に位置している方が抵抗がかかってしまうため、CFD の抵抗が低く算出されていることがわかった。

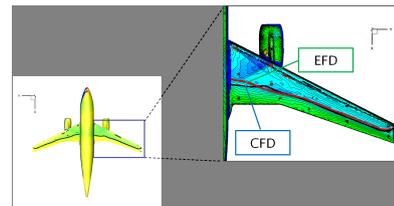


図 1: 衝撃波の位置比較結果

図 2 に渦中心検出結果を示す。上図で EFD の渦中心は中央部より左の緑の四角、CFD の渦中心はの青の四角で示す。機体の抵抗を推測する上で大事である翼端に注目し、渦中心同士を重ね合わせたのが下図である。EFD/CFD の渦中心は模型全体長に対し、0.1%~0.2%程度の位置のズレがみられた。通常、EFD と CFD 間のデータは 10%程度のずれがあると言われている。今回用いたデータの翼端渦のズレは非常に低い値を示していることから CFD の渦中心が正しく検出できていることがわかった。

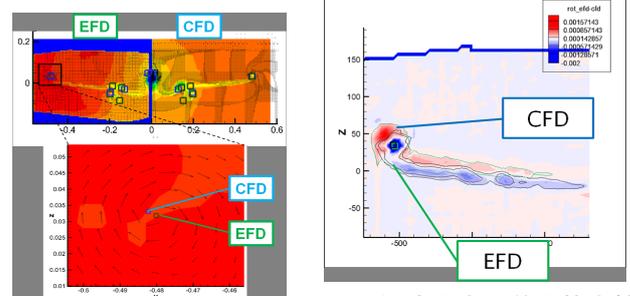


図 2: 渦中心の位置比較結果

図 3 に渦度検出を行い差分をとった結果を示す。赤が CFD の渦度が強い領域、青が EFD の渦度が強い領域で

図 3: 渦度分布の差分算出結果

ある。この色表示から EFD 渦中心の渦度が高いことが分かる。しかし、渦度の等高線を示したところ、CFD の渦が広範囲に分布している。このように、渦中心の渦度の比較では EFD の渦度が強くなっていたため、渦中心の位置を見ると似通っていたものの、CFD の渦の方が弱く広範囲にわたる渦を形成していることがわかった。EFD/CFD の渦中心のズレを比較することは、EFD や CFD の誤差の原因の検証に有効である。この結果を参考に、EFD の風洞壁干渉を考慮することや CFD のパラメータを調整する等、両データの差を見ながらシミュレーションの改善が出来ると考えられる。

3 滑走路周りの CFD データの事例

3.1 背景

計算機の発達により大規模な計算が容易になったため、CFD は多分野で用いられている。そのため、条件の異なるシミュレーションや数多くのパラメータを用いた計算が数多く行われるため、比較を行いたい結果が大量にある。しかし、異なる条件のデータをいくつか並べ見比べることで違いを発見することは視認性の問題もあり非常に困難である。よって本研究では、条件を変更した 2 種類の CFD について、渦度と流線を同時可視化することで、結果の違いを定性的に判断するための可視化を目指す。

3.2 提案手法

本手法ではまず、2 種類のベクトルデータを重ねあわせ、間引きと彩度調整を行う。そして、渦度と流線のパラメータを用いて特徴となる領域の可視化を行う。得られたデータをそのまま表示してしまうと、ベクトルが密で重なってしまい視認性が低下してしまい、現象の把握が難しい。そのため、ベクトルの重なりを回避するため間引きを行い、その後彩度調整を行う。彩度は流れが乱れている領域の流れに注目しやすくするため、一樣な流れと類似していた場合色を暗く表示し、異なっていた場合明るく表示するように調整を行う。

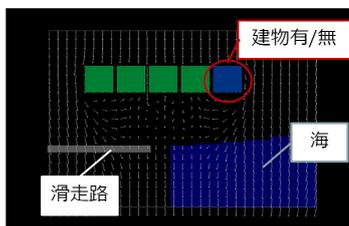


図 4: 羽田滑走路の概要

本研究で適用した羽田空港の滑走路シミュレーションの可視化例を図 4 に示す。建物が 5 つ、滑走路、海が分布している。本論文では右端の建物の有無のシミュレーション結果比較を行う。

3.3 実行結果

提案手法を用い算出した可視化結果を示す。この結果では右端の建物の有無について、風の向きが建物に対し

110 度であった場合に滑走路領域にどのような影響を及ぼすかを比較している。データの計算には非圧縮性ナビエ・ストークス方程式を用いており、地面は粘着条件、領域左右・手前は自由流出入、風は地表面に平行、レイノルズ数は 1.0×10^5 、風速 28 ~ 30kt である。

図 5 に建物有無両方の渦度を算出し、重ね合わせた結果を示す。ここでは後流域の概要を掴むため、渦度を算出し、ある閾値以上であった場合に表示を行っている。建物有無両方の渦度が発生し重なっている領域は白で表示しており、建物無の渦度のみの場合には緑、建物有は赤で示している。黄色の円で囲まれた滑走路端に赤く建物有の渦度が分布している様子が確認できた。

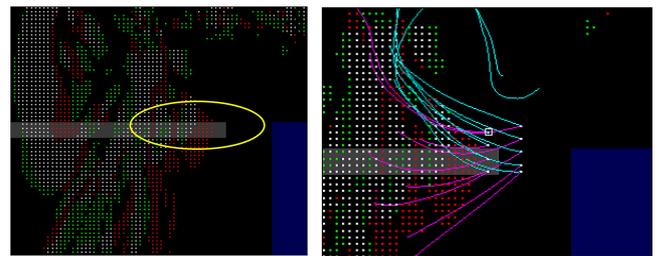


図 5: 渦度の比較結果 図 6: 流線・渦度の比較結果

図 6 に流線と渦度を同時に表示した結果を示す。飛行機が離着陸する滑走路領域の風の流れを調べるため、建物有無双方の流線を同時に表示させた。滑走路上空は風が乱れている後流域の中であることが確認でき、建物有無による流線の方向の違いが見られた。渦度を考慮すると、建物無に比べ建物有の場合の流線が不安定である可能性が高いことが分かった。

このように、ベクトルのみを表示し見比べた場合より、渦度と流線を用いることによって流れの特徴が分かりやすく多角的に可視化することができた。この結果を得ることで、条件の違いによる環境の変化や変化によって起こる危険性の発見に役立つと考えられる。

4 まとめ

本論文では、シミュレーションデータの比較の効率化を図る可視化手法を提案し、二つの適用事例を紹介した。

謝辞

航空機 EFD/CFD データを提供して下さった宇宙航空研究開発機構の渡辺重哉様、口石茂様、保江かな子様、滑走路ベクトル場データを提供して下さったお茶の水女子大学の桑名杏奈様には細部にわたるご指導を頂きました。ここに感謝いたします。

参考文献

- [1] 口石, 渡辺, “JAXA における EFD/CFD 融合に向けた試み”, 第 41 回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム論文集, pp.61-64, 2009.
- [2] 白山晋, 知的可視化, 日本計算工学会, 丸善株式会社 (2005)