

論文題目

極超音速洋上飛行に伴うソニックブーム伝播による 水中圧力環境への影響に関する数値的研究

学生証番号 47156076 氏名 関口 航
(指導教員 鈴木 宏二郎 教授)

Key Words : Hypersonic transport, Sonic boom, Underwater overpressure, Hydrostatic equilibrium, CFD

高速性を追求した旅客機開発の中で、超音速旅客機開発はチャレンジングな課題の1つである。その利点は時間短縮による利便性や快適性の向上だけでなく、それによる航空機輸送の需要増加も期待され、現在でも各国で研究開発が進められている。一方で開発に向けた主な課題の1つがソニックブーム現象である。これによる人的被害を避けるため、洋上飛行が検討されているが、海洋環境への影響は十分に解明されていない。ソニックブーム伝播に伴う水中圧力変動に関して線形音波理論による解析的研究が行われている。飛行速度が水の音速より遅い水中亜音速となる場合、界面に達した圧力変動は水中へ放射状に減衰波として伝播する^[1]。一方、水の音速より速い水中超音速では、圧力波が界面で屈折して水中でもN波が伝播し、振幅の水深に伴う減衰はないことが知られている^[2]。またスペースシャトルのソニックブームにより海洋生物の死亡確率が上昇するとの報告もあり、より詳細にその影響を評価することは非常に重要であるが、水中亜音速では3次元への拡張等の実用的な研究がなされている一方で、水中超音速に関する研究はほとんどない。さらにCFDを用いた大気中のソニックブーム解析は成功事例が多く報告されているが、水中圧力変動に関する研究は報告されていない。以上のことから、本研究ではCFDを用いた極超音速洋上飛行におけるソニックブーム伝播による水中圧力変動の解析プログラムを開発しそれを評価することを目的とする。さらに水の特性として静水圧平衡を考慮した解析を行い、その影響を評価した。

本研究では超音速流中の流れ場がよく知られ、N波を形成する菱形翼周りの流れを用いる。一様流は、水中亜音速及び水中超音速となるマッハ数2と6を設定した。支配方程式は2次元Euler方程式を用いて、その解法は時間積分法にMFGS陰解法^[3]、対流項の計算にはSymmetric-TVDスキーム^[4]を用いた。また菱形翼から生じる衝撃波の角度は厳密に算出し、気相解析に用いる計算格子の角度をそれに沿わせることで解析精度の向上及び計算負荷の低減を達成している。液相解析には、水中亜音速の場合では放射状に減衰波が伝播するため直交格子を、水中超音速では界面でスネルの法則に従って屈折する衝撃波角に合わせた計算格子を用いた本気相解析結果で得られた翼面上の圧力波形において衝撃波及び膨張波通過後の圧力値を理論解と比較すると、それぞれ誤差が非常に小さく、本解析手法は妥当であると言える。マッハ6でも同様に妥当性が検証された。

本液相解析結果を先行研究でよく使われる線形音波方程式を数値的に解析した結果と比較する。水中亜音速の場合では、どちらの結果も水中圧力変動及び各深さにおける圧力波形が同様な傾向を示し、先行研究で示された水中圧力変動特性をよく再現できた。水中超音速の結果において、線形解ではN型波形に含まれる非線形効果を扱うことができず、非物理的な振動を生じてしまうのに対し、本数値解析結果では、屈折した圧力波が振幅の減衰もなく水中を伝播していく様子が正しく捉えられている。この結果から、ソニックブームによる水中圧力変動の評価方法としてCFDは有効であることが示され、水中亜音速では海洋環境への影響は小さく水中超音速では海洋中でも陸上と同じくソニックブーム現象が生じることが示された。静水圧平衡を考慮した解析では、水中亜音速及び水中超音速の場合で静水圧平衡を考慮しない場合の解析結果と定性・定量的に大きな差はなかったが、水中超音速の場合における圧力波形の立ち上がり部分に注目すると、水深の深い位置では立ち上がりが早くなった。これは局所マッハ数が変化することでN波の伝播角度が変化したことによるものだと考えられる。

[1] Sawyers K. N., The Journal of the Acoustical Society of America 44.2 (1968), pp.523-524.

[2] Wang J., et al., Paper No: AIAA-Paper-2008-3036

[3] 嶋英志, 流体力学講演会講演集, 1997, pp.325-328.

[4] Yee, H., NASA-TM-86842, 1985.