B203

数値解析によるロケット打上げ時の音響振動に関する研究

村上 圭一[○] (独) 宇宙航空研究開発機構),

高橋 孝 (独) 宇宙航空研究開発機構),

北村 圭一 (名古屋大学), 橋本 敦 (独) 宇宙航空研究開発機構),

青山 剛史 (独) 宇宙航空研究開発機構), 中村 佳朗 (名古屋大学)

Computational Research on Vibro-Acoustics at Rocket Launch

Keiichi MURAKAMI, Takashi TAKAHASHI, Keiichi KITAMURA,
Atsushi HASHIMOTO, Takashi AOYAMA and Yoshiaki NAKAMURA

ABSTRACT

A study to establish a numerical prediction method for vibro-acoustics during rocket launch has been conducted. This method consists of some analysis elements: numerical analysis of sound generation, propagation, transmission, and vibro-acoustics of payload. In this paper, sound pressure distributions obtained by these analyses are visualized. At first, flow and acoustic fields of modeled H-IIA launch pad are shown, which is obtained by a hybrid methodology of the Euler and Linearized Euler Equations (LEE) solvers. Then, an arch-shaped transmission wave is observed from a sound transmission analysis of hollow wall model using the Finite Difference Time Domain (FDTD) method. Finally, it is clearly shown that the acoustic field is affected by structural vibrations and the coupled vibro-acoustic problem of flexible satellite model can be solved by the Wave Based Method (WBM).

Keywords: Numerical Analysis, Acoustic Transmission, Vibro-acoustics, Rocket Launch

1. はじめに

H-IIA ロケット 204 形態及び H-IIB ロケットなどでは、SRB (固体ロケットブースター) の増加やメインエンジンのクラスター化に伴うロケット打上げ時の音響環境悪化が懸念されている。そこで、日本の射場やロケット形態にも適用可能な、搭載衛星の音響振動に関する予測方法を確立することが重要であり、数値的なアプローチによるロケットフェアリング及び衛星の流体・音響・振動連成解析の研究が JAXA で進められている。この解析に必要な要素技術として、「音源解析」：プルームに起因する音源解析、「伝播解析」：反射や回折を含む音響伝播解析、「透過解析」：フェアリングを透過する音波の解析、「音響振動解析」：フェアリング内に伝わった音波が搭載衛星などに及ぼす影響の解析などが挙げられる。

高次精度の数値解析を用いると、得られた計算結果から大気圧との差圧の分布を可視化し、音波の影響を客観的に目で見ることができる。本稿では、前段で述べたロケット打上げ時の音響環境予測のための要素解析の計算結果を可視化し、圧力波が伝わる様子や、構造物が音波によって振動する様子について述べる。

2. ロケット打上げ時に発生する圧力波の解析

2.1 排煙溝から放出される圧力波の伝播解析

ロケット打上げ時には、複数の音源から出た音が、射場周囲の地形や PST (射点整備塔) などの射場建造物による反射や回折を経て、ロケット軌道に到達し、干渉する。これらの影響を考慮した音響伝播解析のために、ロケットプルーム流れの影響を考慮可能な Euler/LEE (線形オイラー方程式) ハイブリッド計算コード¹⁾を用いた。

解析例として、モデル化した H-IIA ロケット射場のフレームデフレクタ (偏向板) とダクトから成る排煙溝 (Fig. 1) に、LE-7A の排気プルームを模擬したジェットを流入条件として与えた場合の解析を行った²⁾。Fig. 1 に対称面内の音圧分布を示す。図の右側が Euler 解析領域、左側が LEE 解析領域である。この図から、排煙溝出口から放射された圧力波がロケット打上げ軌道に到達していることが分かる。

2.2 フェアリングモデルの音響透過解析

音響透過解析の第 1 段階として、流体・固体中を伝播する弾性波を同時に解析できる 2 次元マルチブロック計算コードを作製した。解析手法には、Finite Difference Time Domain (FDTD) 法³⁾を用いた。

解析例として、流体中に置かれたハニカムサンドイッチ構造をモデル化した中空壁を透過する入射正弦波の計算を行った⁴⁾。Fig. 2 に、中空壁内外の応力分布を示す。

流体よりも固体のほうが弾性波の伝播速度が速いので、中空部を透過入射波が伝播する間に、コア部を弾性波が繰返し往復する。図の上部流体部に見られる透過波は、コア部を中心として弧を描いて広がり、周期境界条件によって左右の境界から入射する波とお互いに干渉する様子が捕らえられた。

2.3 衛星モデルの音響振動解析

ロケットのフェアリング内に搭載された衛星などの音響振動を予測するため、内部定常音響構造連成問題の解析手法として、波動ベース法(WBM: Wave Based Method)⁵⁾に着目した。WBMの注目すべき性質は、支配方程式を厳密に満たす波動関数で解を展開するため、空間離散化をする必要がないことである。従って、FEM等による音響振動解析で問題となる数値分散誤差が無いので、広い周波数帯を含む音響振動の予測が可能である。

解析例として、ロケットに搭載された柔軟衛星2次元モデルに対し、フェアリング内壁に地上音響試験で用いられる音圧レベルを課した定常音響振動解析の結果を示す⁶⁾。柔軟衛星モデルは、5つの両端固定の平板から構成される。Fig. 3は、励振周波数が500Hzのときのフェアリング内音場を表している。この図から、衛星モデルの側面と上面とでは音圧分布が異なることが分かる。

3. まとめ

ロケット打上げ時の音響振動予測に関する要素技術である音響伝播・透過・振動解析について、それぞれの特徴的な解析結果を可視化し、音波の様子を視覚的に示した。今後は、各々の解析精度を向上させつつ、打上げ時の轟音がフェアリングに到達し、内部に透過して衛星を振動させるまでの一連の現象をシミュレーションできる統合音響解析システムの構築へ向けた研究を進める。

参考文献

- 1) Men'shov, I. and Nakamura, Y.: Implementation of the Variational Riemann Problem Solution for Calculating Propagation of Sound Waves in Nonuniform Flow Fields, Journal of Computational Physics, Vol. 182 (2002) pp.118-148.
- 2) Kitamura, K., Hashimoto, A., Murakami, K., Aoyama, T. and Nakamura, Y.: High Resolution CFD/CAA Hybrid Analysis of Supersonic Jet Interacting with Walls, AIAA Paper AIAA-2007-3871 (2007).
- 3) 佐藤正弘: FDTD法による弾性振動・波動の解析入門, 森北出版 (2003).
- 4) 村上桂一, 青山剛史: FDTD法によるハニカムモデルの音響透過解析, 第39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講演集 (2007) pp. 209-212.
- 5) Desmet, W.: A wave based prediction technique for coupled vibro-acoustic analysis, Ph.D. dissertation, K.U. Leuven (1998).
- 6) 高橋孝, 村上桂一, 青山剛史, 相曾秀昭: 搭載宇宙機の音響構造連成解析手法に関する研究, 第39回流体力学講演

Fig. 1 Pressure wave propagation around the H-IIA launch pad model

Fig. 2 Pressure and normal stress contours of a hollow wall model

Fig. 3 Sound pressure inside of fairing for a flexible spacecraft model (500 Hz)