

衝撃波と強い渦の干渉による音の発生

Shock-strong vortex interaction and sound generation

○ 井上 哲, 東北大学流体科学研究所, 〒 980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1, Email: inoue@ifs.tohoku.ac.jp
 鎌田 弥, 東北大学流体科学研究所, 〒 980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1, Email: kamada@miro.ifs.tohoku.ac.jp
 大沼 盛, 東北大学流体科学研究所, 〒 980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1, Email: onuma@ifs.tohoku.ac.jp
 玄 在民, KAIST, Taejon 305-701, KOREA. Email: jmhyun@cais.kaist.ac.kr
 Osamu INOUE, Institute of Fluid Science, Tohoku Univ., Aoba-ku, Sendai 980-8577, JAPAN
 Wataru KAMADA, Institute of Fluid Science, Tohoku Univ., Aoba-ku, Sendai 980-8577, JAPAN
 Sakari ONUMA, Institute of Fluid Science, Tohoku Univ., Aoba-ku, Sendai 980-8577, JAPAN
 J. M. Hyun, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Taejon 305-701, KOREA

Flow fields generated by the interaction between a shock wave and 2D vortices or axisymmetric vortex rings are simulated numerically, and the generation and propagation mechanisms of sound are studied. The unsteady, compressible Navier-Stokes equations are solved by a finite difference method. The results show that, for strong vortices, compression and/or rarefaction waves are generated successively.

序論

衝撃波と渦あるいは渦輪との干渉現象は、ジェット騒音など超音速流れにおける流体騒音発生の基本的メカニズムの一つと考えられ盛んに研究が行われている¹⁻³。ここでは、平面衝撃波が強い渦・渦輪と干渉する場合の流れ場を、ナビエ・ストークスの式を有限差分法を用いて数值的に解き、流れ場と音の発生メカニズムについて調べた結果を発表する。

計算方法

基礎方程式として非定常・圧縮性ナビエ・ストークスの式を用いる。数値計算により空力音を求める場合、音の圧力は通常流れ場の圧力に比して微小であるため、高い精度で計算を行うことが必要である。ここでは、空間微分には 6 次精度 compact Padé スキーム⁴（境界 4 次精度）を適用し、時間積分には 4 次精度 Runge-Kutta スキームを用いた。境界条件には無反射境界条件を用い、非一様三角形格子を採用した。衝撃波のマッハ数 M_s は 1.05 また 1.2、渦（渦輪）のマッハ数 M_v は 0.1 - 0.8 である。

計算結果

結果の一例として、 $M_s = 1.05$ の場合に衝撃波と二次渦の干渉により作られる流れ場をシャドウグラフで図に示す。図 1(a) が $M_v = 0.25$ 、図 1(b) が $M_v = 0.5$ 、図 1(c) が $M_v = 0.8$ である。渦が弱い場合、干渉により生じた反射衝撃波は通常の正常反射を示す（図 1a）が、渦が強くなると反射衝撃波背後に新たな衝撃波があらわされ二重衝撃波構造を示す（図 1b）。更に渦が強くなると、新たな衝撃波の背後に三番目の衝撃波が形成されていることが判る（図 1c）。 $M_s = 1.2$ の場合にも同様の渦の効果がみられた。

参考文献

1. Inoue, O. and Hattori, Y., "Sound generation by shock-vortex interactions," *J. Fluid Mech.*, **380**(1999), pp. 81-116.
2. Inoue, O., "Propagation of sound generated by weak shock-vortex interaction," *Phys. Fluids*, **12**(2000), pp. 1258-1261.
3. Inoue, O. and Takahashi, Y., "Successive generation of sounds by shock-strong vortex interaction," *Phys. Fluids*, **12**(2000), pp. 3229-3234.
4. Lele, S. K., "Compact finite difference schemes with spectral-like resolution," *J. Comp. Phys.*, **103**(1992), pp. 16-42.

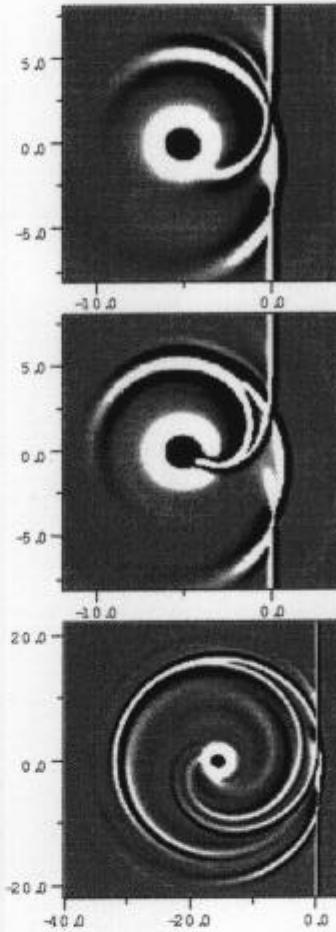


Fig. 1: Shock - vortex interaction. Shadowgraph.
 $M_s = 1.05$. (a) $M_v = 0.25, t = 9$, (b) $M_v = 0.5, t = 9$,
 (c) $M_v = 0.8, t = 20$.