

移動衝撃波と固体粒子層の干渉に関する数値解析

Numerical Analysis of Interaction between Moving Shock Wave and Solid Partice Layer

○土井 克則, 名大院, 〒 464-8603 名古屋市千種区不老町, doi@fluid.nuae.nagoya-u.ac.jp
 メンショフ イゴール, 名大工, 〒 464-8603 名古屋市千種区不老町, menshov@nuae.nagoya-u.ac.jp
 中村 佳朗, 名大工, 〒 464-8603 名古屋市千種区不老町, nakamura@nuae.nagoya-u.ac.jp
 Katsunori DOI, Graduate School of Eng., Nagoya Univ. Nagoya 464-8603, JAPAN
 Igor S.MEN'SHOV Dept. of Aerospace Eng., Nagoya Univ. Nagoya 464-8603, JAPAN
 Yoshiaki NAKAMURA, Dept. of Aerospace Eng., Nagoya Univ. Nagoya 464-8603, JAPAN

When many small solid particles are laid on the wall of a horizontal tube, and a shock wave propagates there, it is known that the particles are lifted and dispersed into the flow by the interaction between the solid particle layer, and the shock wave and the flow behind it. The objective of the present study is to examine the mechanism of this phenomenon by numerical simulation. The simulation was performed by using a discrete model for solid particle phase. The results show that the particles can be raised as high as experimental data, and that their initial upward velocities are produced by particle-particle and particle-wall collisions.

1. 序論

本研究で扱う問題の概要を図 1 に示す。水平な管内を伝播する衝撃波の前方に、多数の微小固体粒子が層状に置かれているとき、衝撃波が通過した後に粒子は上方へ舞い上がり分散する。このように舞い上がった粒子群は、粒子雲と呼ばれる。この現象は、炭坑や工場での粉塵爆発のような工業災害に直接関係するものであり、その重要性から多くの研究者達によって長い間調べられてきた。しかし、その機構は依然として明らかにされていない。

本研究ではこの現象において、粒子が上昇する要因を数値解析から調べる。

2. 計算モデル

本研究では、固体粒子相に離散モデルを適用する。離散モデルでは、気相は单相流の場合と同様に、流体として Euler 的に計算するが、固体粒子相は、それを構成する個々の粒子を Lagrange 的に追跡して計算する。

モデル化に際して、以下の事を仮定する。

- 気相は粘性を有する圧縮性流体とし、理想気体を考える。なお、乱流の影響はここでは考慮しない。
- 固体粒子相は、摩擦および弾性を有し、同じ直径を持つ多数の球形粒子からなる。ただし、粒子の変形は無視する。また、各粒子の密度と比熱は一定である。
- 二相間の相互干渉として、抗力、Saffman 力、Magnus 力、抗モーメントおよび熱伝達を考慮する。
- 粒子間および粒子と壁面との衝突は考慮するが、流体を介した間接的な干渉は考慮しない。

3. 計算条件

流体として空気を想定し、移動衝撃波の Mach 数は $M_S = 1.2$ とする。また、粒子の直径、密度はそれぞれ $500[\mu\text{m}]$, $0.0236[\text{g}/\text{cm}^3]$ とする。これは、粒子の抗力と慣性の比を表す Stokes 数が実験の条件と一致するように設定している。計算領域は横 $300[\text{mm}] \times$ 縦 $100[\text{mm}]$ の 2 次元空間とし、厚さ $5[\text{mm}]$ の粒子層を $50 \leq X \leq 300$ の範囲に設置する。

数値解法については、時間積分には 2 段階の Runge-Kutta 法を、気相の空間積分には有限体積法をそれぞれ適用する。

4. 計算結果

衝撃波が $X = 247[\text{mm}]$ に達した時の、各粒子の計算領域左端からの距離 X と、壁面からの高さを図 2 に示す。また、同図に Gerrard¹ による実験式を実線で示す。両者を比較すると、同程度の粒子の上昇が得られていることが分かる。この粒子の上昇は、粒子間および粒子-壁面間の衝突によって生じた鉛直上向きの運動量によるものであると考えられる。

参考文献

1. Gerrard, J.H., Brit.J.Appl.Phys., 14, 1963, pp.186-192.
2. Khul, A.L. et al., Progress in Astronautics and Aeronautics, AIAA, 154, 1993, pp.491-515.
3. Suzuki, T. et al., Trans.JSASS, 38, 121, 1995, pp.243-250.

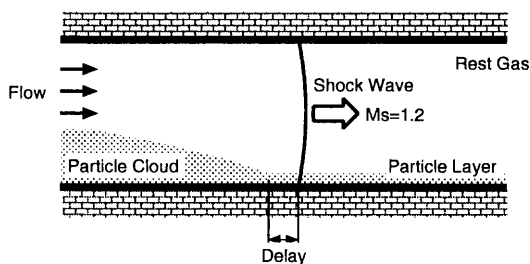


Fig. 1: Interaction between moving shock wave and solid particle layer

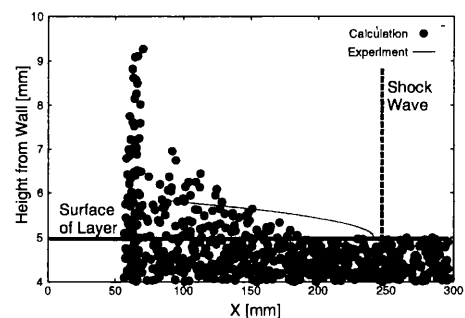


Fig. 2: Distribution of particles in particle layer