

東京大学 大学院新領域創成科学研究科
基盤科学研究系 先端エネルギー工学専攻
2018年3月修了 修士論文要旨

多粒子場中を高速通過する飛翔体周りの 粉体流れ場に関する実験的研究

- Experimental Study on Granular Flow around a Projectile
Passing through Dense Particle-laden Space at High Speed -

学生証番号 47-166083 氏名 正木 千尋
(指導教員 鈴木 宏二郎 教授)

Key Words : Particle, High-speed Collision, Ballistic Range, Compressible flow

高速領域の粉体流れは、小惑星表面で舞い上がる粒子や火砕流などに代表されるように実在する流れであり、破壊や衝突を含むため予測の難しい複雑な流れである。その予測と応用を補佐するための、運動特性の観測に関する研究例は少ない。ダスト風洞を用いて固定した模型に高速で粒子を吹き付け、摩耗量や衝撃層の厚み観測結果等は報告されている[1]。しかし粉体そのものの挙動を観測した例はない。よって本論文では、高速で運動する物体により流れが誘起された場合の粉体流れ場の変化を観測することで、粉体流れの基礎特性を探ることを目的とした。

高速で物体を射出する装置として、本研究室で所有するバリスティックレンジ(高速物体射出装置)を採用した。本装置では 10g 程度の飛翔体を 500 m/s 程度まで加速し射出することが可能であり、大気中を自由飛行する飛翔体まわりの流れ場の観測や、物体への高速衝突実験に使用されてきた[2]。測定室は直径 1m, 奥行き 1m の円筒形をしており、側面に設置されたガラス窓から内部の現象を観測することができる。測定室内に2次元平面状の粒子シートを生成して平行に飛翔体を発射し、側面の窓から飛翔体周りに生ずる粒子場の変動を高速カメラを用いて撮影した[3][4]。

飛翔体と粒子は、破壊や衝突現象を捉え比較するために、それぞれ2種類の材質を用意した。飛翔体は、ポリカーボネイトまたはアルミニウム製の、前面が球形の物体を主に使用した。粒子はガラスビーズと金剛砂(粒径100~400 μm)を用意し、2次元漏斗状のスリット(幅2 mm, 長さ600 mm)から自由落下させ、一様な2次元粒子シートを生成した。粒子シートの数密度は $5 \times 10^8 / \text{m}^3$ 、粒子の落下速度はおおよそ3 m/sである。落下速度は飛翔体速度に比べ充分小さく無視できる。実験動画は、時間解像度20,000 fps, 露光時間1 μs に設定し、手動トリガで撮影した。本設定においてトリガ前後の1.5秒間を記録でき、取得した映像からは飛翔体が画角内に写るスナップショットを5~10枚程度抽出できる。

取得画像からは衝突・破壊した粒子群が流体的な場を作ることが確認された。何れの画像からも、飛翔体後方には黒色のウェイクゾーンが、前方には粒子の層が形成され、層は黒い層と明るい層の二層からなることが確認された。このうち、明るい層は粉碎された微小粒子が光を散乱させるため、また黒い層は飛翔方向から左右に拡散した粒子が飛翔体の陰になっているため形成されと考えられる。実際に粒子のサンプリングやブルーレーザーシートを用いた粒子層の内部の可視化を行った結果、飛翔体射出後は粒子が粉碎され測定室内に飛散していること、粒子層のうち黒い層は密集した粒子により構成されていることなどが明らかになった。実験パラメータのうち、飛翔体と粒子の材質の組み合わせ・飛翔体速度・粒子径を振った結果、粒子の流れ場には飛翔体の重量や速度は影響せず、粒子の材質や径(密度)が主に影響することも観測された。

本論では、各種材質や飛翔体速度、粒子径などパラメータを振っての実験を行い粒子の挙動の変化を観測した結果を述べるほか、粒子の挙動や画像の撮影状況に関する検証実験等を行った結果を記述する。

参考文献

- [1] Vasilevskii, E. B., Chirikhin, A. V., and Osotsov, A. N.: ESA SP vol. 426, ISBN: 9290927046, p.301
- [2] 難波和也: 東京大学修士論文, 2014.
- [3] Masaki, C, Watanabe, Y, and Suzuki, K: ATJ (Accepted).
- [4] Masaki, C, Watanabe, Y, and Suzuki, K. S., FLUCOME IOP conference series (査読あり).