

ガス銃を用いた低密度物質による弾丸減速実験

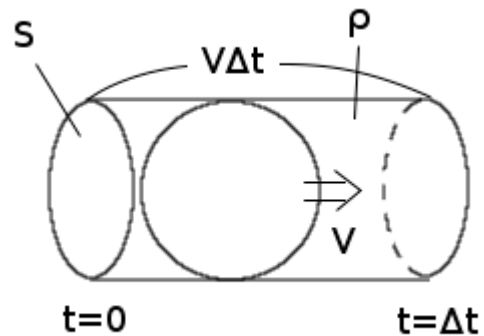
池崎 克俊[1] 佐藤 剛士[2] 藤田 幸浩[3]
[1]大阪大学 [2]千葉大学 [3]名古屋大学

<目的>

物体がある速度を持って低密度物質に貫入した場合、その物体には減速するような力が働くことが知られており、このような現象は大気圏への隕石の突入やエアロジェルによるダスト捕獲を議論する際に重要となる。そこで本実験では、低密度物質として発泡スチロールを用いた弾丸の貫入実験を行い、弾丸を減速する力がどのようなものであるかを明らかにする。

<実験原理>

まず初めに、低密度物質への弾丸貫入モデルを考察する。密度 ρ の低密度物質に質量 m 、半径 r の弾丸を速度 V で貫入させる。この時、弾丸には進行方向とは逆向きの力が働くが、その力としては主に動圧や摩擦力、弾性力が考えられる。動圧は単位時間に弾丸にぶつかる低密度物質の質量であり、右の図から $F \Delta t = \frac{1}{2} C_o S \rho V^2 \Delta t$ と表すことができる。 C_o は抵抗係数、 S は弾丸の通過する面積である。また、摩擦力は速度に比例する。よって、弾丸についての運動方程式は以下のように表すことができる。



$$m \frac{dV}{dt} = - \left(\frac{1}{2} C_o \cdot S \cdot \rho \cdot V^2 + A \cdot V + B \right) \quad \dots \quad \ast$$

A, B は定数である。弾丸の加速度と貫入速度 V との関係から、どのような力が支配的であるかを調べることができる。また、弾丸の速度 V を一定とし、低密度物質の長さ^と加速度の関係から、定数 B を求めることができる。

<実験方法>

今回は低密度物質として発泡スチロールを用いるため弾丸の貫入を直接的に観察することができない。そこで、発泡スチロールの厚さを変えることで弾丸を貫通させ、その時の貫入時の速度と貫通後の速度を測定し、発泡スチロールの厚さに対する減速率から減速の

現象をとらえる。

手順としては、まずガス銃を用いて弾丸を加速させ、発砲スチロールに貫入させる。そして、その時の様子を高速度ビデオカメラ観察し、弾丸速度が発砲スチロールの貫入前後でどのように変化するかを解析する。これらの実験を弾丸の発射速度と発砲スチロールの厚さを変えて行い、その時の減速率の変化をみる。

<実験装置>

今回弾丸としてステンレススチールとソーダライムガラスビーズの2種類を用いた。また、ソーダライムガラスビーズは速度調節のため、直径の異なるものを2つ用意した。それぞれのデータは右のテーブルに記されている。

低密度物質として厚さが 20.51mm で一定の発砲スチロール板を用い、枚数を変えることで厚さを変化させた。密度は 0.01973g/cm である。

弾丸の加速には一段式軽ガス銃を使用した。用いたガスは He で、圧力を 0.2~0.7Pa で調整し、速度を変化させた。

貫通の様子は高速度ビデオカメラを用いて観察した。用いたカメラは島津製作所の HPV-2A で、撮影速度を 62500fps として撮影を行った。また光源として、メタルハライドランプをバックライトで用いた。

今回の撮影時間は非常に短いため、レーザーポイントとオシロスコープを用いたトリガーを使用して撮影を行った。

	直径(mm)	重さ(g)	密度(g/cm ³)
ステン	3.175	0.113	6.746
ガラス大	3.175	0.042	2.507
ガラス小	2.9~3.0	0.036	2.68

表 1 弾丸データ

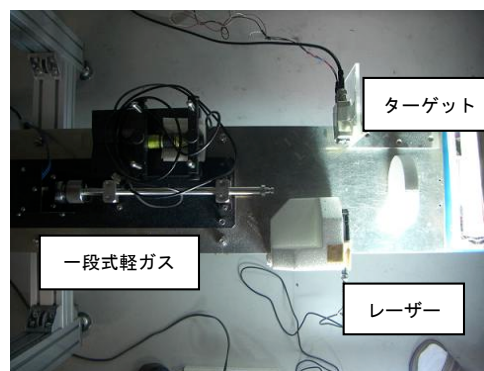


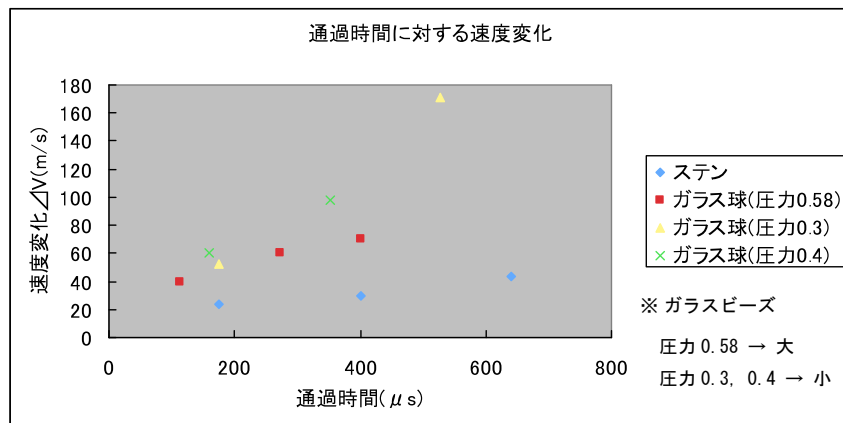
表 2 装置全体図

<実験結果>

(1)通過時間に対する速度の変化

ガス圧の調整により入射速度をほぼ一定にし、ターゲット(発泡スチロール)の厚みを変えることで、通過時間による速度変化を求めた。

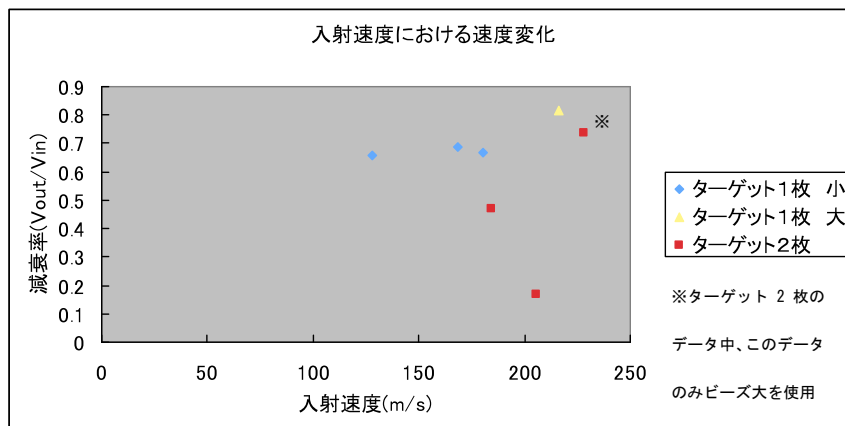
以下の結果は通過時間に対する速度変化の大きさをプロットしたものである。



(2)減速率の速度依存性

発泡スチロールの枚数を1枚で固定し、ガス圧を調整して入射速度を変化させ、減速率が貫入速度に対してどのように変化するかを調べた。弾丸はソーダライムガラスビーズを用いた。

以下のグラフは、入射速度に対して速度の減衰率をプロットしたものである。



<考察>

まず、実験結果(1)について考える。

(1)のグラフは通過時間に対する速度変化の大きさを表したグラフである。ガラスビーズ(圧力 0.58)のデータはある一つの直線にフィッティングできる。このグラフの傾きは通過時間に対する速度の変化率であり、実験原理で示した運動方程式※の加速度を表している。グラフの傾きが一定となっていることから、今回の実験では※式の右辺において支配的な項は定数項であると考えられる。さらに、ステンレス球のデータに関しても、グラフの傾きが一定となっていることが確認できるため、ガラスビーズの結果と一致することがわかる。ガラス球に比べてステンレス球の減速率が小さいのは、密度の違いによるものと考えられる。

また※から、速度の時間変化率は質量に反比例することがわかる。ステンレス球の方がガラスビーズよりも密度が大きいため、減速率が小さい結果になったと予想できる。

その他のデータに関しては、2点しか得られていないため今回のまとめとしては省略する。

次に、実験結果(2)について考える。

(2)のグラフは速度変化に対する減速率の変化を表したグラフである。発泡スチロール板が1枚の場合のデータを見ると、どの速度に対しても減速率がある一定の値となっていることがわかる。これは、減速率が速度に関して依存しないことを表している。ガラスビーズ大の方の減速率がガラスビーズ小に比べてわずかに大きいのは、ビーズ断面積の大きさが関係していると考えられる。断面積の大きい方が貫入時の抵抗力を大きく受けるため、減速率も大きくなったと推測できる。(1)の考察から、貫入時に働く抵抗力は※式の定数項が支配的であるという結果であるが、このことを考慮に入れると定数項にも弾丸の断面積に関する項が含まれていることが推測できる。

発泡スチロール板を2枚使用した場合のデータについては、ばらつきが大きく一定の傾向が見られない。このことに関しては、低密度物質として使用した発泡スチロールの影響が関係していると考えられる。発泡スチロールの内部は均質ではなく複数の粒で構成されている。それらの粒と今回使用した弾丸の大きさが近い場合、速度が小さくなった場合に発泡スチロールの不均質さの影響が表れたと考えられる。

<まとめ>

本実験では、発泡スチロールを用いた弾丸の貫入実験により、弾丸が低密度物質から受ける抵抗力がどのようなものかを実験的に調べた。今回の実験結果から、弾丸は低密度物質に貫入するときに、その貫入速度に依存しない力を受けて減速していることがわかった。また、その抵抗力は物質の質量が大きいと小さくなることから、質量に反比例することもわかった。

また減速率に関して、ある一定の厚みの低密度物質を弾丸が貫通する場合には、速度に依らず一定となることがわかった。