

カプセルの内部の粒子の充填率による跳ね方の違い

占部翔馬 中山和久

要旨

先行研究から、内部に粒子を入れたカプセルは粒子の充填率が上がるにつれ反発係数の値が小さくなり、充填率が30%程度のときに最小になった後、値が上がると予想しカプセル内部の粒子の数を変えて実験を行った。結果として、充填率が10%~15%の間の場合に反発係数が最小になった。

キーワード： 反発係数 充填率 位置エネルギー

I. はじめに

中塚(2019)はカプセルの自由落下運動における反発係数は、カプセル内部が空洞のときよりも跳ねる粒子が入っていることにより、バンパーの役割を果たし小さくなることを示した。バンパーとは、衝撃や振動を和らげる機構のことである。しかし、この実験では内部の粒子がカプセルの体積を占める割合が変化することで反発係数にどのように影響を及ぼすかを明らかにしていない。

また、小川ら(2007)は粒子を入れたバンパーに地面に平行な力を加えたときのバンパー内部の粒子の充填数と減衰率の関係を示した。その結果は充填数が増加するほど減衰率が上がる傾向であった。バンパー内部の最大充填数57個中、45個程度粒子を入れた際に減衰率がピークに達し、最大充填のときにバンパーが空の状態と同じ減衰率を示した。

また、この実験ではバンパーの大きさは定義されているものの粒子のサイズやバンパー内の粒子の充填率について言及がなく、再現の難しいものだった。

本実験ではバンパーの運動の減衰がカプセルの反発係数に依存するという仮説の下、自由落下運動におけるカプセル内部に含まれる粒子の充填率と反発係数の関係について調べることにした。

II. 手法

反発係数は物体の材質によって変化するのでカプセルおよびビーズの個数の直径によって結果に

影響を及ぼす可能性は低いと考えた上で、本実験では直径 4.0×10^{-2} mのプラスチック製ハンドメイドカプセルと直径 4.0×10^{-3} mの手芸用ラウンドビーズを用いて落下させるカプセルを作った。その後カプセルを落下させるための装置をスタンドと1 m定規、スポンジを用いて組み立てた。実験装置の写真を図1に示す。

カプセルの体積に対して内部を占めているビーズの体積の割合を充填率と定義する。ビーズの大きさがカプセルの大きさの $\frac{1}{10^3}$ であることから、中に入れたビーズを n 個とすると充填率は

$$\frac{n}{1000} \times 100$$

で表せる。

この状態からカプセルをスタンドのクランプを緩めて高さ1.000 mから自由落下させ、iPadのカメラで一度跳ねた後の最高到達点を撮った。この最高到達点の高さを h mとすると落下させた高さは1.000 mより反発係数 e は

$$e = \frac{\sqrt{h}}{1.000}$$

で表すことができる。

縦軸を充填率(%), 横軸を反発係数としてグラフ(図2)を作成した。



図1 実験装置概略(カメラ視点)

III. 結果

求められた反発係数の値は図2の通り、充填率が10～15%の間に最小値をとった。また、空のカプセルの反発係数の値が約0.577、充填率が44.2%(最大充填)のカプセルの反発係数が約0.585と近い値だった。

加えて図2からは充填率が0～15%のときの反発係数の値における充填率に対しての下がり幅と20%～40%のときの値の上がり幅に違いが見られることがわかった。

図3より、跳ね上がった高さのデータの散らばりは反発係数が最小値をとる充填率の際に最も大きくなった。

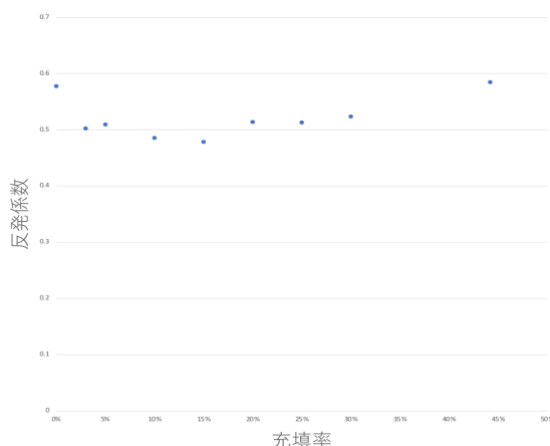


図2 充填率と反発係数

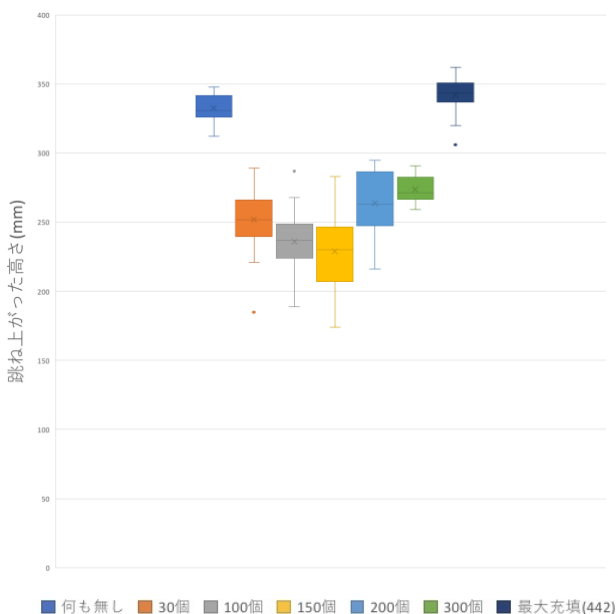


図3 充填数と跳ね上がったカプセルの高さ

IV. 考察

充填率が0%の時と最大充填の時で近い値を示すのは、カプセル内を自由に動き回れるビーズの存在によるものだと考えられる。力学的エネルギー保存則により位置エネルギーは落下後に運動エネルギーに変換される。落下前にカプセルとビーズの持っていた重力による位置エネルギーの一部をビーズの運動エネルギーに変換したことが要因となって、カプセルが跳ね上がる高さが小さくなったと考えられる。

V. 結論

粒子の充填率が10%～15%のとき、自由落下運動においてカプセルの反発係数が最小になるとわかった。

今後の展望として、密度が同じで大きさの違う粒子で充填率を変えて比較実験を行いたい。

謝辞

研究の指導をしてくださった野原教諭、中川教諭をはじめとする物理科の先生方に感謝いたします。

文 献

中塚 南(2019):反発係数を小さくするには？～物
体内部の状態による跳ね方の違い～；生徒課
題研究論文集，2020

小川正晴・遠藤弘樹・丸井悦男（2007）：粒子充て
んによる機械構造物の減衰特性向上における
粒子材質の影響；東海支部総会講演会講演論
文集，2007,56 巻 263