

# 水中を落下する物体の終端速度

## (1) 実験の目的

終端速度とは、物体が気体中、または液体中を落下する際に、物体の重力または遠心力などの体積力と、速度に依存する抗力を受けるときに、それらの力がつり合って変化しなくなったときの速度、つまり物体が等速直線運動を始めたとき、その物体は終端速度に達したと言える。この実験では、球形の物体が水中に落下するものとして、その終端速度を求め、物体の大きさや密度による違いを表すことで終端速度の特徴をまとめる。

## (2) 実験方法

水中を落下する物体の 1/60 秒ごとの位置を記録し、1/60 秒間の速度を表にすることで物体がどこから等速直線運動を始めたかを特定し、そのときの速度を求ることによって終端速度を求める。よって、準備するものは以下の通りである。

①ガラス管（長さ 1m）、電子天秤、テープ、水準器、スタンド

②メジャー、巻き尺

③8 種類の玉

（ステンレス 2mm、4. 76mm、6. 35mm、真鍮 2mm、4. 76mm、6. 35mm、鉛 2mm、アルミ 6mm）

④カメラ（1 秒間に 60 枚連写）、ストップウォッチ

⑤ピンセット、ぞうきん（手で触れずに実験するため）



# 終端速度の測定

原則第一回～第五回の結果の中で最も値が大きいものを採用する(正しく実験を行った場合、計算で出る終端速度より大きな値になることは考えにくいから)。

一回毎の終端速度の値は次のように出す。

- ・底に衝突する直前の写真から遡って、以下の条件を満たす写真から測定を開始し、二点の位置の差を時間の差(枚数の差・60)で割って求める。
- ・測定を開始する写真はその写真と一つ後の写真の位置の差が、その写真の位置と一つ前の写真の位置の差よりも同じか大きく、一つ前の写真と二つ前の写真の位置の差より 0.2 cm以上小さくならない、かつもっとも差の大きいところの差の値より 0.3 以上小さくならないような写真で、位置が 22 cm以下になる(カメラの角度による誤差を小さくするため)最も手前の写真とする。小数第 2 位までを有効数字とする。

## (3) 実験結果

### ①物質の直径、質量、及び密度

#### ・ステンレス

6. 35mmの質量は 1 個あたり 1.06 g なので、密度は 7.87～7.94 g/cm<sup>3</sup>となる。2mmの質量は 0.03 g、4.76 mmの質量は 0.44～0.45 g となる。

#### ・真鍮

6. 35mmの質量は 1 個あたり 1.14 g なので、密度は 8.47～8.54 g/cm<sup>3</sup>となる。2mmの質量は 0.04 g、4.76 mmの質量は 0.48 g となる。

#### ・鉛

密度は約 11.34 g/cm<sup>3</sup>、1 個あたりの質量は 0.045 g なので、直径は 1.96 mm となる。

#### ・アルミニウム

直径は 6mm で質量は 1 個あたり 0.30 g なので、密度は 2.61～2.70 g/cm<sup>3</sup>となる。

ステンレス 2mm

ステンレス 2mm									
第一回		第二回		第三回		第四回		第五回	
基準点からの高さ	1/60 秒間の移動距離	基準点からの高さ	1/60 秒間の移動距離	基準点からの高さ	1/60 秒間の移動距離	基準点からの高さ	1/60 秒間の移動距離	基準点からの高さ	1/60 秒間の移動距離
20.1	-	×	-	×	-	×	-	※20.2	-
※19.2	0.9	※18.8	-	18.6	-	※19.2	-	19.0	1.2
18.2	1.0	17.7	1.1	※17.6	1.0	18.1	1.1	17.8	1.2
17.1	0.9	16.6	1.1	16.4	1.2	17.0	1.1	16.8	1.0
15.9	1.2	15.5	1.1	15.4	1.0	15.9	1.1	15.6	1.2
14.7	1.2	×	-	×	-	14.8	1.1	14.5	1.1
×	-	×	-	12.9	1.3	13.7	1.1	13.4	1.1
12.5	1.1	12.1	1.1	11.9	1.0	12.6	1.1	12.3	1.1
11.4	1.1	10.9	1.2	10.8	1.1	11.5	1.1	11.1	1.2
10.3	1.1	9.8	1.1	9.6	1.2	10.4	1.1	10.1	1.0
9.3	1.0	8.7	1.1	×	-	9.3	1.1	9.0	1.1

8.2	1.1	7.4	1.3	7.4	1.1	8.2	1.1	8.0	1.0
7.0	1.2	6.4	1.0	6.2	1.2	7.0	1.2	6.8	1.2
5.9	1.1	5.2	1.2	5.0	1.2	5.9	1.1	5.8	1.0
4.8	1.1	×	-	4.0	1.0	4.8	1.1	4.6	1.2
3.7	1.1	3.0	1.1	2.8	1.2	3.7	1.1	3.6	1.0
2.6	1.1	1.9	1.1	1.8	1.0	2.7	1.0	2.5	1.1
1.5	1.1	0.8	1.1	0.6	1.2	1.6	1.1	1.4	1.1
×	-	×	-	-0.5	1.1	0.5	1.1	0.4	1.0
-0.6	1.1	×	-	-	-	-	-	-0.6	1.0

表より、物体が終端速度に達していれば、最後に取り得る値までの10区間以上を取り、かつより高い値になるような点から取り始めることによって終端速度を求め、その値を平均する。以降もこれを行う。

第一回では、基準点からの高さが 15.9 cm になったところからほぼ等速直線運動をしている。

よって、求めるおよその終端速度は  $60*(19.2 - (-0.6))/18 = 66(\text{cm/s})$

$= 0.66(\text{m/s})$  となる。

同様にして、第二回では 0.68(m/s)、第三回では 0.68(m/s)、第四回では 0.66(m/s)、第五回では 0.66(m/s)となり最高値は第二回と第三回の 0.68(m/s)になる。

ステンレス 4. 76mm									
第一回		第二回		第三回		第四回		第五回	
基準点からの高さ	1/60 秒間の移動距離	基準点からの高さ	1/60 秒間の移動距離	基準点からの高さ	1/60 秒間の移動距離	基準点からの高さ	1/60 秒間の移動距離	基準点からの高さ	1/60 秒間の移動距離
※20.6	-	20.6	-	21.0	-	※21.4	-	※21.2	-
18.7	1.9	※19.1	1.5	※19.5	1.5	19.7	1.7	19.6	1.6
17.1	1.6	17.2	1.9	17.8	1.7	17.9	1.8	18.1	1.5
15.4	1.7	15.2	2.0	16.1	1.7	16.2	1.7	16.4	1.7
13.6	1.8	13.4	1.8	14.6	1.5	14.4	1.8	14.6	1.8
11.9	1.7	11.8	1.6	12.8	1.8	12.5	1.9	13.0	1.6
10.3	1.6	10.0	1.8	11.2	1.6	10.8	1.7	11.4	1.8
8.5	1.8	8.3	1.7	9.5	1.7	9.0	1.8	9.6	1.8
6.9	1.6	6.4	1.9	7.8	1.7	7.3	1.7	7.9	1.7
5.1	1.8	4.7	1.7	6.1	1.7	5.5	1.8	6.1	1.8
3.4	1.7	2.8	1.9	4.4	1.6	3.7	1.8	4.3	1.8
1.6	1.8	1.2	1.6	2.8	1.8	2.0	1.7	2.5	1.8
0.1	1.5	-0.4	1.6	1.2	1.6	0.3	1.7	0.8	1.7
×	-	×	-	-0.6	1.8	×	-	×	-

第一回では 1.03(m/s)、第二回では 1.06(m/s)、第三回では 1.01(m/s)、第四回では 1.06(m/s)、第五回では 1.02(m/s)となり、最高値は第二回で 1.06(m/s)である。

第5回：青梗頭葉下限回子 100(mV)に於ける

第一回では 103(mV)、第二回では 101(mV)、第三回では 100(mV)、第四回では 105(mV)

$\times$	-	$\times$	-	-0.6	T8	$\times$	-	$\times$	-
0.1	T2	0.4	T9	1.3	T6	0.3	T1	0.8	T1
1.0	T8	1.5	T6	5.8	T8	5.0	T4	5.2	T8
3.1	T1	5.8	T8	1.1	T8	3.1	T8	4.3	T8
2.1	T8	4.1	T1	0.1	T8	2.2	T8	0.1	T8
0.9	T6	0.4	T9	2.5	T3	2.3	T1	0.5	T1
8.2	T8	2.9	T1	0.2	T2	0.0	T8	0.0	T8
10.3	T6	10.0	T8	11.3	T6	10.8	T1	11.4	T8
11.0	T1	11.8	T9	15.2	T8	15.0	T0	13.0	T0
13.0	T8	13.4	T8	11.0	T2	11.4	T8	11.0	T8
12.3	T1	12.5	5.0	10.1	T2	10.5	T1	10.1	T1
12.1	T6	12.8	T9	12.8	T2	12.0	T3	12.1	T2
18.1	T6	※10.1	T2	※12.2	T2	10.1	T1	10.0	T0
※50.0	-	50.0	-	51.0	-	※51.4	-	※51.3	-
○の数字	開の棘	閉の棘	開の棘	閉の棘	開の棘	閉の棘	開の棘	閉の棘	開の棘
青梗草	100 鈴	青梗草	100 鈴	青梗草	100 鈴	青梗草	100 鈴	青梗草	100 鈴
第一回	第二回	第三回	第四回	第五回	第六回	第七回	第八回	第九回	第十回
第10回：青梗頭葉下限回子 100(mV)に於ける									

青梗頭葉下限回子 100(mV)に於ける

回子にして、第二回では 0.02(mV)、第三回では 0.00(mV)、第四回では -0.00(mV)、第五回では 0.00(mV)、第六回では 0.00(mV)、第七回では 0.00(mV)、第八回では 0.00(mV)、第九回では 0.00(mV)、第十回では 0.00(mV)

$$=0.00(mV)$$

第一回では 13.5(mV)の絶縁通量は  $90 \cdot (13.5 - 0.0) = 90.00(mV)$

第一回では、青梗草葉の心電図は T8G。現在この低下で心電図は過度原発性神経病変でない。

青梗草葉の心電図は下に示すと、正常心電図である。心電図は正常である。

第一回では、青梗頭葉下限回子 100(mV)に於ける

-0.6	T1	$\times$	-	-	-	-	-	-0.6	T0
$\times$	-	$\times$	-	-0.2	T1	0.2	T1	0.1	T0
T2	T1	0.8	T1	0.0	T3	T0	T1	T1	T1
5.0	T1	1.0	T1	1.8	T0	3.1	T0	5.2	T1
3.2	T1	3.0	T1	5.8	T3	3.2	T1	3.0	T0
4.8	T1	$\times$	-	-1.0	T0	T2	T1	4.0	T8
2.0	T1	2.5	T3	2.0	T3	2.0	T1	2.0	T0
1.0	T3	0.4	T0	0.5	T3	1.0	T3	0.8	T8
8.5	T1	3.1	T3	2.4	T1	8.5	T1	8.0	T0

## ステンレス 6.35mm

第一回		第二回		第三回		第四回			
基準点か らの高さ	1/60 秒 間の移動 距離								
21.2	-	21.6	-	※21.0	-	20.2	-		
※19.4	1.8	※19.8	1.8	19.0	1.9	18.2	2.0		
17.4	2.0	17.8	2.0	17.1	2.0	16.1	2.1		
15.4	2.0	16.0	1.8	15.1	2.0	※14.6	1.5		
13.6	1.8	13.9	2.1	13.2	1.9	12.4	2.2		
11.5	2.1	12.2	1.7	11.2	2.0	10.5	1.9		
9.4	2.1	10.1	2.1	9.5	1.7	8.6	1.9		
7.4	2.0	8.3	1.8	7.4	2.1	6.4	2.2		
5.5	1.9	6.3	2.0	5.5	1.9	4.6	1.8		
3.5	2.0	4.3	2.0	4.6	1.9	2.5	2.1		
1.5	2.0	2.4	1.9	3.4	1.2	0.6	1.9		
-0.5	2.0	0.4	2.0	1.7	1.7	×	-		
×	-	×	-	-0.1	1.8	×	-		

第一回では 1.19(m/s)、第二回では 1.16(m/s)、第三回では 1.06 となるが、1.2 は明らかに外れ値と考えられるのでその前までの写真で計算すると、1.09(m/s)、第四回では、同様に外れ値と考えられる 1.5 は含まずに計算して 1.20(m/s)となり、最大は第四回の 1.20(m/s)である。

## 真鍮 2mm

第一回		第二回		第三回		第四回		第五回	
基準点か らの高さ	1/60 秒 間の移動 距離								
※21.1	-	※21.0	-	※21.9	-	※21.8	-	※21.4	-
×	-	19.9	1.1	20.7	1.3	20.6	1.2	20.2	1.2
18.7	1.2	18.7	1.2	19.4	1.3	19.4	1.2	19.0	1.2
17.5	1.2	17.5	1.2	18.3	1.1	18.2	1.2	17.9	1.1
16.4	1.1	16.3	1.2	17.1	1.2	17.1	1.1	16.7	1.2
15.2	1.2	15.1	1.2	16.0	1.1	×	-	15.5	1.2
14.1	1.1	13.8	1.3	14.9	1.1	14.7	1.2	14.3	1.2
13.0	1.1	12.7	1.1	×	-	×	-	13.1	1.2
11.8	1.2	11.5	1.2	12.3	1.3	×	-	12.0	1.1
×	-	10.3	1.2	11.1	1.2	11.2	1.2	10.8	1.2
×		9.1	1.2	9.9	1.2	10.1	1.1	9.6	1.2
8.6	1.1	8.0	1.1	8.7	1.2	8.9	1.2	8.4	1.2
7.6	1.0	6.8	1.2	7.5	1.2	7.8	1.1	7.2	1.2
6.4	1.2	5.5	1.3	6.3	1.2	6.6	1.2	6.1	1.1

5.4	1.0	4.4	1.1	5.2	1.1	5.5	1.1	5.0	1.1
4.3	1.1	3.2	1.2	4.0	1.2	4.3	1.2	3.8	1.2
3.2	1.1	2.1	1.1	2.8	1.2	3.2	1.1	2.6	1.2
2.1	1.1	0.9	1.2	1.6	1.2	2.1	1.1	1.5	1.1
1.0	1.1	-0.3	1.2	0.4	1.2	0.9	1.2	×	-
-0.1	1.1	×	-	×	-	-0.3	1.2	-0.1	0.8

第一回では 0.67(m/s)、第二回では 0.71(m/s)、第三回では 0.71(m/s)、第四回では 0.70(m/s)、第五回では最後の 0.8 を除いて 0.70(m/s)となり、最大は第二回と第三回の 0.71(m/s)である。

#### 真鍮 4.76mm

第一回		第二回		第三回		第四回		第五回	
基準点から の高さ	1/60 秒 間の移動 距離	基準点か らの高さ	1/60 秒間 の移動距 離						
20.5	-	※20.4	-	20.4	-	※21.1	-	20.9	-
19.0	1.5	18.6	1.8	18.4	2.0	19.4	1.7	※19.2	1.7
※17.5	1.5	16.9	1.7	16.9	1.5	17.6	1.8	17.4	1.8
15.3	1.8	15.2	1.7	※14.9	2.0	15.8	1.8	15.7	1.7
13.7	1.6	13.4	1.8	13.3	1.6	14.0	1.8	13.8	1.9
11.8	1.9	11.6	1.8	11.4	1.9	12.1	1.9	12.0	1.8
10.2	1.6	10.0	1.6	9.7	1.7	10.5	1.6	10.3	1.7
8.4	1.8	8.1	1.9	7.9	1.8	8.6	1.9	8.5	1.8
6.6	1.8	6.3	1.8	6.1	1.8	6.8	1.8	6.9	1.6
4.9	1.7	4.5	1.8	4.3	1.8	5.0	1.8	5.0	1.9
3.2	1.7	2.8	1.7	2.4	1.9	3.2	1.8	3.2	1.8
1.4	1.8	1.1	1.7	0.7	1.7	1.4	1.8	1.2	2.0
-0.2	1.6	-0.6	1.7	×	-	-0.3	1.7	×	-
第六回		第七回							
基準点から の高さ	1/60 秒 間の移動 距離	基準点か らの高さ	1/60 秒 間の移動 距離						
※20.1	-	※20.5	-						
18.3	1.8	18.8	1.7						
16.5	1.8	17.0	1.8						
14.7	1.8	15.1	1.9						
13.0	1.7	13.3	1.8						
11.1	1.9	11.2	2.1						
9.3	1.8	9.8	1.4						
7.5	1.8	8.0	1.8						
5.7	1.8	6.1	1.9						
4.0	1.7	4.4	1.7						

2.1	1.9	2.6	1.8						
0.3	1.8	0.9	1.7						
×	・	×	-						

第一回では 1.06(m/s)、第二回では 1.05(m/s)、第三回では 1.07(m/s)、第四回では 1.07(m/s)、第五回では 1.08(m/s)、第六回では 1.08(m/s)、第七回では 1.07(m/s)となり、最大は第五回と第六回で 1.08(m/s)である。

真鍮 6.35mm									
第一回		第二回		第三回		第四回		第五回	
基準点か らの高さ	1/60 秒 間の移動 距離								
21.0	-	※20.3	-	※20.5	-	※20.7	-	※21.1	-
※19.1	1.9	18.3	1.9	18.5	2.0	18.8	1.9	19.1	2.0
17.0	2.1	16.4	2.0	16.5	2.0	16.8	2.0	17.3	1.8
15.1	1.9	14.4	1.9	14.5	2.0	14.7	2.1	15.1	2.2
13.3	1.8	12.5	1.9	12.7	1.8	12.7	2.0	13.0	2.1
11.3	2.0	10.6	1.9	10.9	1.8	10.6	2.1	11.1	1.9
9.4	1.9	8.6	2.0	9.2	1.7	8.7	1.9	9.2	1.9
7.3	2.1	6.5	2.1	7.4	1.8	6.6	2.1	7.2	2.0
5.5	1.8	4.6	1.9	5.4	2.0	4.7	1.9	5.3	1.9
3.6	1.9	2.6	2.0	3.6	1.8	2.7	2.0	3.3	2.0
1.6	2.0	0.7	1.9	1.6	2.0	0.7	2.0	1.2	2.1
-0.3	1.9	×	-	×	-	×	-	×	-

第一回では 1.16(m/s)、第二回では 1.18(m/s)、第三回では 1.13(m/s)、第四回では 1.20(m/s)、第五回では 1.19(m/s)となり、最大は第四回の 1.20(m/s)である。

鉛 1.96mm									
第一回		第二回		第三回		第四回		第五回	
基準点か らの高さ	1/60 秒 間の移動 距離								
※21.3	-	※21.8	-	※21.2	-	※21.8	-	※21.8	-
19.9	1.4	20.4	1.4	19.8	1.4	20.4	1.4	20.4	1.4
18.7	1.2	19.1	1.3	18.4	1.4	19.1	1.3	19.1	1.3
17.4	1.3	17.8	1.3	17.1	1.3	17.8	1.3	17.7	1.4
×	-	16.4	1.4	15.7	1.4	16.5	1.3	16.4	1.3
14.6	1.4	15.1	1.3	14.4	1.3	15.1	1.4	15.0	1.4
×	-	×	-	13.1	1.3	13.7	1.4	13.7	1.3
11.9	1.4	12.4	1.4	11.8	1.3	12.3	1.4	12.3	1.4
10.6	1.3	11.0	1.4	×	-	11.0	1.3	10.9	1.4
9.2	1.4	9.7	1.3	9.1	1.4	9.7	1.3	9.6	1.3

7.9	1.3	8.4	1.3	7.8	1.3	8.3	1.4	8.2	1.4
6.5	1.4	7.1	1.3	6.4	1.4	6.9	1.4	6.9	1.3
5.2	1.3	5.8	1.3	5.1	1.3	5.6	1.3	5.5	1.4
3.8	1.4	4.5	1.3	3.8	1.3	4.2	1.4	4.2	1.3
2.5	1.3	3.2	1.3	2.6	1.2	2.9	1.3	2.9	1.3
1.1	1.4	1.8	1.4	1.2	1.4	1.6	1.3	×	·
-0.2	1.3	×	·	-0.1	1.3	0.2	1.4	0.2	1.3

第一回では 0.81(m/s)、第二回では 0.80(m/s)、第三回では 0.80(m/s)、第四回では 0.81(m/s)、第五回では 0.81(m/s)となり、最大は第一回、第四回、第五回で 0.81(m/s)である。

アルミニウム 6mm									
第一回		第二回		第三回		第四回		第五回	
基準点か らの高さ	1/60 秒 間の移動 距離								
※20.1	·	※20.3	·	※20.0	·	※20.3	·	※20.2	·
19.1	1.0	19.3	1.0	19.0	1.0	19.4	0.9	19.2	1.0
18.1	1.0	18.4	0.9	18.0	1.0	18.4	1.0	18.2	1.0
17.2	0.9	17.5	0.9	17.1	0.9	17.4	1.0	17.2	1.0
16.2	1.0	16.6	0.9	16.1	1.0	16.5	0.9	16.3	0.9
15.2	1.0	15.6	1.0	15.2	0.9	15.6	0.9	15.3	1.0
14.2	1.0	14.6	1.0	14.2	1.0	14.6	1.0	14.3	1.0
13.3	0.9	13.8	0.8	13.2	1.0	13.7	0.9	13.4	0.9
12.3	1.0	12.9	0.9	12.2	1.0	12.7	1.0	12.4	1.0
11.4	0.9	12.0	0.9	11.3	0.9	11.8	0.9	11.5	0.9
10.4	1.0	11.0	1.0	10.4	0.9	10.9	0.9	10.6	0.9
9.4	1.0	10.1	0.9	9.4	1.0	10.0	0.9	9.6	1.0
8.5	0.9	9.2	0.9	8.4	1.0	9.0	1.0	8.6	1.0
7.5	1.0	8.2	1.0	7.4	1.0	8.1	1.0	7.8	0.8
6.5	1.0	7.3	0.9	6.4	1.0	7.1	0.9	6.8	1.0
5.5	1.0	6.4	0.9	5.4	1.0	6.2	0.9	5.8	1.0
4.5	0.9	5.4	1.0	4.5	0.9	5.2	1.0	4.9	0.9
3.6	1.0	4.5	0.9	3.5	1.0	4.2	1.0	3.9	1.0
2.6	1.0	3.6	0.9	2.6	0.9	3.3	0.9	3.0	0.9
1.6	1.0	2.6	1.0	1.6	1.0	2.4	0.9	2.1	0.9
0.7	0.9	1.7	0.9	0.7	0.9	1.4	1.0	1.2	0.9
-0.2	0.9	0.9	0.8	-0.3	1.0	0.6	0.8	0.2	1.0

第一回では 0.58(m/s)、第二回では 0.55(m/s)、第三回では 0.58(m/s)、第四回では 0.56(m/s)、第五回では 0.57(m/s)となり、最大は第一回と第三回の 0.58(m/s)である。

#### (4) 考察

## 400字要約

グラフより、半径の長さ、密度の大きさ、いずれにおいても、大きくなるほど終端速度も大きくなることが分かった。また、半径の長さは0のとき終端速度も0となるので(0, 0)を、密度は1のとき水と同じになり終端速度も0となるので(1, 0)を通るなめらかな曲線になることも分かった。なお、水の抗力は式出だすことも可能である。重力加速度を9.8m/s<sup>2</sup>、球体の抵抗係数を0.44、終端速度をvとすると、

$$\frac{1}{2} \cdot p \cdot s \cdot v^2 \cdot 0.44 + 9.8 p V = 9.8 V \cdot (\text{密度}) \quad \text{これを変形して、}$$

$$v = \sqrt{(1960/33 * \text{半径} * (\text{密度} - 1))}$$

と出すことができる。この式からも、半径はその数の平方根に、密度はその数に1引いた数の平方根にそれぞれ比例することが分かった。

水の抗力は計算で出せるので、変形によって終端速度の値も求められる。測定によって得られた値と、計算によって得られた値を比較する。

		測定の値	計算の値
ステンレス	2mm	0.68	0.64
	4.76mm	1.06	0.99
	6.35mm	1.20	1.14
真鍮	2mm	0.71	0.67
	4.76mm	1.08	1.03
	6.35mm	1.20	1.19
鉛	1.96mm	0.81	0.78
アルミニウム	6mm	0.58	0.54

## (5) 結論

終端速度の大きさは、形が同じであれば、半径が大きいほど、また密度が大きいほど大きくなることが分かった。また、半径に関しては、終端速度は半径の平方根に比例することが分かった。

## (6) 参考資料

<http://www.shinminatoseitaiin.com/myhp/ryutai/ryutai.htm>

## (7) 謝辞

カメラを貸してくださった先生、物理教室の確保をしてくださった先生、アドバイスをくださった3年生の先輩方、ありがとうございました。