

ばね電話の残響の仕組みについて〈3〉

熊本県立第二高等学校 物理部

1 研究の目的

爆鳴器の音をばね電話で聞いてみると、残響がエコーのように聞こえた。音の強弱の周期は、毎秒7～8回のうなりと似て、約0.14秒だった。これは、ビデオで調べた横波や縦波の変形が往復する周期（約0.4秒）と大きく異なっていた。そこで、音の振動が伝わる仕組みを知りたいと思い、音の動きとばねの長さや質量、弾性力との関係を調べた。

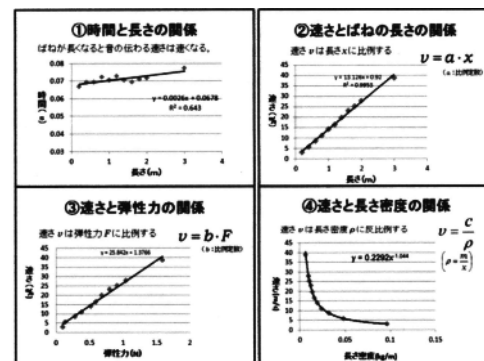
2 実験Ⅰの方法

- (1) ばね電話の伝える音をマイクロフォンで広げ、パソコンソフトを利用して可視化しその波形や振動数、伝わる時間を測定し、構造（長さや質量）と残響の関わりを調べた。
- (2) ばねの長さを、20cm から 20cm ずつ増やしながら 2 m まで変化させ、ばねの弾性力とパルス波がばねの端から端まで伝わる時間を測定した。
- (3) パルス波の伝わる速さとばねの張力、単位長さ当たりの質量（「長さ密度」とする）の関係をグラフ化し、ばねを伝わるパルス波の速さを決める物理量を求めた。

3 実験Ⅰの結果

	長さ(m)	時間(s)	速さ(m/s)	弾性力(N)	長さ密度(kg/m)
1	0.2	0.069899	2.990907	0.09635752	0.096175
2	0.4	0.069411	5.762737	0.13882494	0.048068
3	0.6	0.069467	8.63722	0.28045052	0.032058
4	0.8	0.072339	11.05905	0.37876084	0.024044
5	1.0	0.070651	14.15389	0.51896884	0.019235
6	1.2	0.072833	16.47607	0.59111444	0.016029
7	1.4	0.070682	19.80694	0.68061392	0.013739
8	1.6	0.069497	23.02273	0.80119704	0.012022
9	1.8	0.071194	25.28318	0.90906504	0.010888
10	2.0	0.071785	27.89091	1.04554832	0.009618
11	3.0	0.077247	38.8367	1.59126912	0.006412

誤差：長さの有効数字4桁、時間の有効数字3桁、質量の有効数字5桁



4 実験Ⅰの考察

- ①時間と長さ、②速さと長さ、③速さと弾性力、④速さと長さと密度の関係をグラフに現した。
①よりばねが長さを変えてもパルス波が他端に達する時間は変化しない。②よりばねの長さに比例してパルス波の速さ v が早くなる。③より速さ v が弾性力 F に比例する。④より速さ v がばねの長さ密度 $\rho \left(= \frac{m}{x} \right)$ に反比例する。比例定数を b として③の関係を式で表すと $v = b \cdot F = b \cdot k \cdot x$ 、比例定数を c とすると④の関係は $v = \frac{cx}{m}$ となる。二つの式を辺々かけ、 v で整理すると次の式

になる。〔 d : ばね電話の定数, k : ばね定数, m : ばねの質量, x : ばねの長さ〕 $\Rightarrow$

$$v = d \sqrt{\frac{k}{m}} x$$

5 実験Ⅱの方法

一つのばねを $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ と切断し、それぞれの長さにおいて測定を行い、実験Ⅰで考察した d (ばね電話の定数) が同じ素材や形状のばねでどのように変化するかを調べた。結果を元に①弾性力と長さ②ばねの自然の長さと定数 b ③ばねの自然の長さと定数 c の関係をグラフに表した。

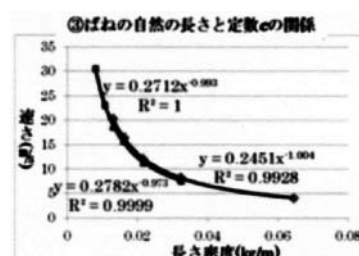
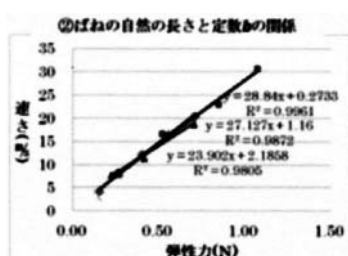
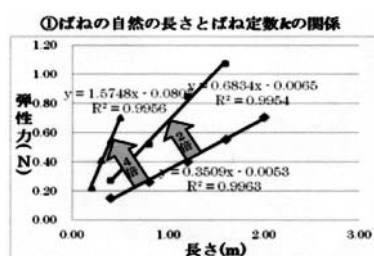
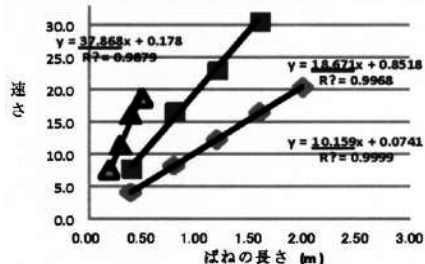
◎のグラフより、ばねを $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ に切断すると波の速さとばねの長さの比例定数 a は、それぞれ 2

倍3倍になる。

6 実験Ⅱの結果

	長さ(m)	時間(s)	速さ(m/s)	弾性力(N)	長さ密度(kg/m)
元(1)	0.40	0.097024	4.122671	0.151432	0.064464
元(2)	0.80	0.097199	8.230497	0.263044	0.032232
元(3)	1.20	0.098333	12.20339	0.402539	0.021488
元(4)	1.60	0.097421	16.42350	0.554331	0.016116
元(5)	2.00	0.098309	20.34410	0.707658	0.012893
⅓(1)	0.40	0.050705	7.888736	0.269861	0.032051
⅓(2)	0.80	0.048265	16.57512	0.519427	0.016025
⅓(3)	1.20	0.052223	22.97819	0.846314	0.010684
⅓(4)	1.60	0.005220	30.64889	1.072063	0.008013
⅓(1)	0.20	0.026170	7.642399	0.222627	0.032390
⅓(2)	0.30	0.026523	11.31075	0.411296	0.021593
⅓(3)	0.40	0.024831	16.10907	0.545407	0.016195
⅓(4)	0.50	0.026787	18.66579	0.702956	0.012956

◎波の伝わる速さとばねの長さの関係
(比例定数 a はばねの長さに反比例)



7 実験Ⅱの考察

①よりばねの自然の長さとばね定数は反比例する。元のばね定数を k_1 、 $\frac{1}{2}$ 切断のばね定数を

k_2 、とすると、 $k_2 = 2k_1$ 、質量を m_1 、 m_2 とすると $m_2 = \frac{1}{2}m_1$ 、よって $a = d\sqrt{\frac{k}{m}}$ より、

$a_2 = 2a_1$ となり、 a はもとの値の2倍となる。 $\frac{1}{4}$ 切断のばねの場合も同様で、 a は元の値の4

倍となる。同じ素材、形状のばねでは、比例定数 a は、質量 m とばね定数 k のみで決まる。

②よりばねの自然の長さが変化しても b は一定であることが分かった。③よりばねの自然の長さが変化しても c は一定であることが分かった。定数 b と c が同じ素材、形状のばねで一定であることから $d = \sqrt{bc}$ の式からも定数 d は同じ素材、形状のばねで固有の値となることが分かった。

8 実験Ⅲの方法

(1) 素材や形状の異なるばねを使用したばね電話において v 、 x 、 k 、 m の値を測定し d の値を求めた。

(2) それぞれのばねと線・弦巻直径との関係を調べた。なお、実験には、実験Ⅱで使用したばね(ばね1)、重く詰まったばね(ばね2)、軽く開いたばね(ばね3)は3つのばねを使用した。また、線・弦巻直径とは右図の通りである。

9 実験Ⅲの結果(右表)

10 実験Ⅲの考察

測定結果をもとに①ばね1～3における d の値②線・弦巻直径と d の関係を表に表した。①よりばね1～3で d の値は異なることが分かった。②より d が増加すると線直径は大きくなり、弦巻直径は大きくなり、弦巻直径は小さくなることが分かった。

11 今後の展望

同じ素材で異なる線直径、弦巻直径のばねで対照実験を行い、定数 d の値との関係性を調べる。

①ばね1～3における d の値

	v	x	k	m	d
ばね1	23.0227	1.60	0.5409	0.019235	2.6777
ばね2	10.026	1.92	1.57	0.139	1.55376
ばね3	11.99868	0.473	0.3219	0.0054	3.285555

②線・弦巻直径と定数 d の関係

	ばね電話定数の d	ばねの線直径	ばねの弦巻直径
ばね2	1.55376	0.705	15.312
ばね1	2.6777	0.5234	17.794
ばね3	3.285555	0.4138	20.148

