

システム基礎科学実験 I

機械振動レポート

実験日：2004 年 6 月 15 日

氏名：諸町 大地

学生証番号：40413

(1) 準備

(i)

実験

マニュアル「実験装置」の項を参照しながら本実験の振動系を確認せよ。また、図 5 (※実験プリント) のように配線してあることを確かめよ。

結果

振動系・配線ともに確認できた。

ただし、基準パルスをおシロスコープで観察すると、何もしていなくても電圧が振動していた。

考察

基準パルスの電圧振動は、一定波形の繰り返しであった。また、電源装置を持ち上げて振ると、その波形が微妙に変化した。このため、フォトインタラプタから電源装置にかけてのいずれかの箇所（特に電源装置が疑わしい）で接続不良が起きていると考えられる。しかし、電圧振動の波形は一定波形の繰り返しであり、単なる接触不良でその波形が出るかは怪しい。また、マスのある一定以上大きく下に動かすと、基準パルスの電圧は、振動波形はそのまま、全体的に変化した。このことから、接続不良により、他の回路(おそらく FG あたり)と相互作用をしまっていると思われる。

ただし、この電圧振動及び電圧変化は、振動数・変位ともに非常に小さいものであり、変速モーターの回転速度を測るには問題ないと判断し、無視して実験を進めることにした。

(ii)

実験

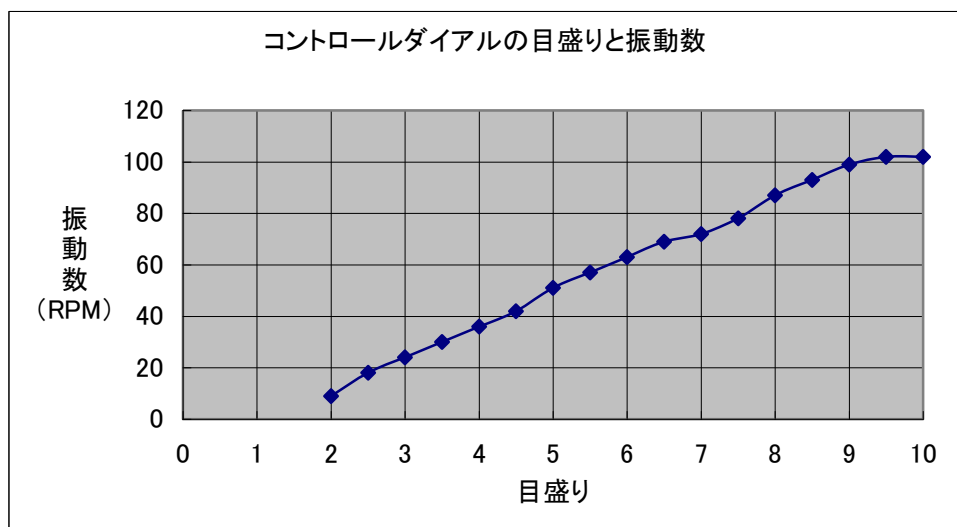
基準パルス間の時間間隔をおシロスコープで測定することにより、「コントロールダイヤル⑦の目盛り板－振動数」の校正曲線を作れ。振動範囲は 20－100RPM(Revolution Per Minute)程度でよい。なお、ここで作る校正曲線は参考用で、実験(3)の強制振動実験においてはこの校正曲線から振動数を求めると精度が悪いので、後述するようにその都度測定する。

結果

あくまで参考用とのことなので、精度にはこだわらず、20 秒間に出た基準パルス
の数を数え、3 倍することで RPM 単位に変換し、測定した。以下測定結果を（表 1）・
（グラフ 1）に示す。

目盛り	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
ハルス数(20sあたり)	3	6	8	10	12	14	17	19	21	23	24	26	29	31	33	34	34
振動数(RPM)	9	18	24	30	36	42	51	57	63	69	72	78	87	93	99	102	102

（表 1）



（グラフ 1）

考察

（グラフ 1）をみると、コントロールダイヤルの目盛りの両端付近を除けば、それ
なりの直線性があることがわかる。測定の方法を変え、より精度よく測ればさらに
グラフは直線に近づくと思われる。

コントロールダイヤルの目盛りの両端付近では振動数はほとんど変化しないことか
ら、以下の実験では目盛りが 2～9 の間で調べることにする。

（iii）

実験

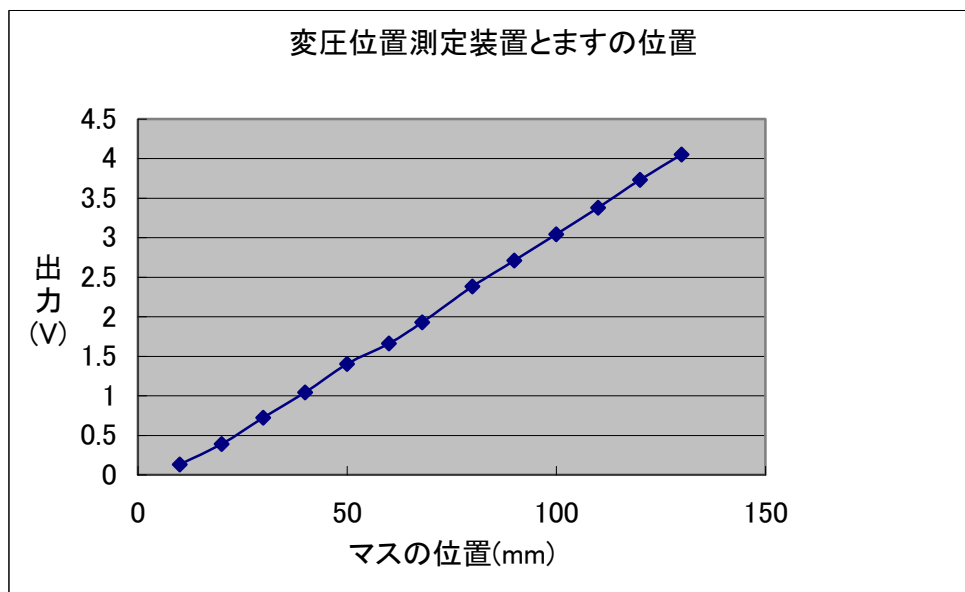
スケール（図 4. ⑬※実験プリント）を用いて、「変圧器位置測定装置 OUT 1 出力
→マスの位置」の校正曲線をつくれ。位置の測定範囲はつりあいの位置から上下各
50mm 程度でよい。

結果

まず、つりあい位置は 68mm であった。以下測定結果を（表 2）・（グラフ 2）に示
す。

マス位置(mm)	10	20	30	40	50	60	68	80	90	100	110	120	130
出力(v)	0.13	0.39	0.72	1.04	1.40	1.66	1.93	2.38	2.71	3.04	3.38	3.73	4.05

(表 2)



(グラフ 2)

考察

こちらでも実験 1-ii 同様かなりいい直線性が得られた。グラフのぶれは、マスの位置を手で固定していることによるもので、ほぼどうしようないものである。

(1)自由及び減衰振動

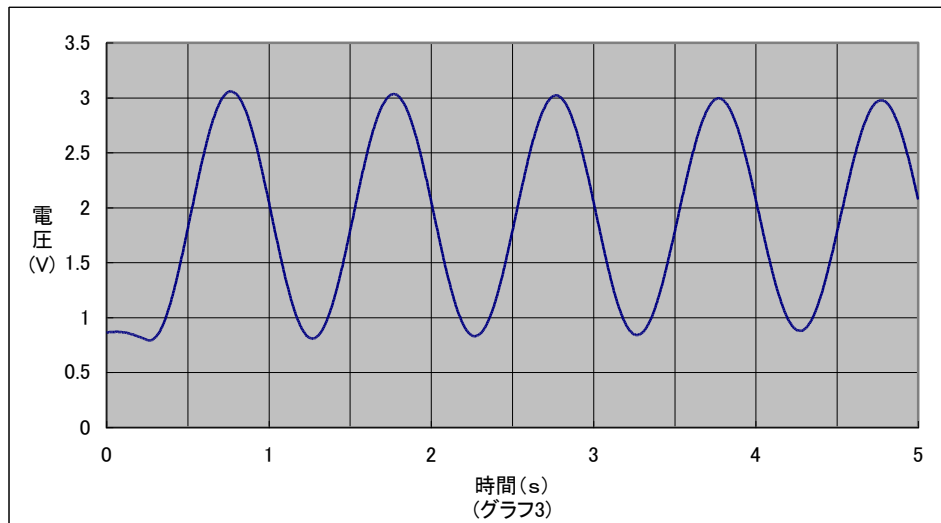
(i)

実験

ダンピングをきかせない状態で、手で軽くマスを軽く動かして(少し引っ張ってからはずす)自由振動を起こさせ、系の固有周期を測定せよ。

結果

マスの振動を表す電圧変化はグラフ 3 のようになった。



このグラフの各頂点の時刻と電圧、及び、その時間間隔とその平均時間を表 3 に示す。これより、この振動系の周期は 1.004(s)であったことになる。

時間(s)	電圧(V)	dt(s)
0.765	3.061	—
1.770	3.033	1.005
2.770	3.021	1.000
3.770	2.995	1.000
4.780	2.977	1.010
dtの平均値		1.004

(表3)

考察

この振動系(モデルを図 1 に示す)の運動方程式は

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \eta \frac{dx}{dt} + (k_1 + k_2)x = 0$$

であり、この解は

$$x = a \exp(-\alpha t) \cos(\beta t - \varphi)$$

$$\alpha = \frac{\eta}{2m}, \beta = \sqrt{\frac{k_1 + k_2}{m} - \frac{\eta^2}{4m^2}}$$

である。

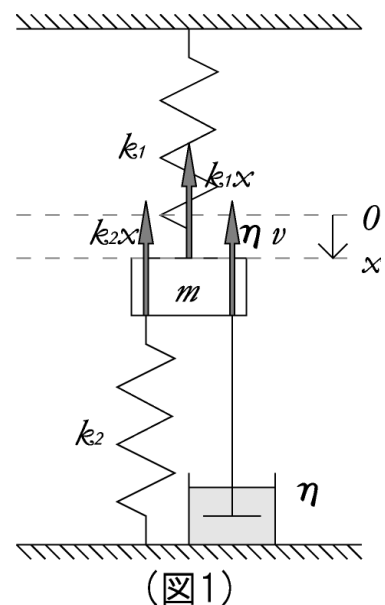
この実験での各定数は

$$\begin{cases} m = 7.0(\text{kg}) \\ k_1 = 2.0 \times 10^2 (\text{N/m}) \\ k_2 = 7.0 \times 10 (\text{N/m}) \\ \eta = 0 \end{cases}$$

であるので、

$$\beta = 6.21$$

となり、周期 T は



$$T = \frac{2\pi}{\beta} = 1.011(s)$$

となる。この計算値は実測値と非常に近い値となった。実測値にさらに近づけるには β を少し大きくすればいい。このことから、空気抵抗や固定コイルの誘導起電力による影響はほとんどなく(これらは $\eta > 0$ とするため、 β の値を小さくしてしまう)、 k_1, k_2 の値が実際はもう少し大きいか、 m の値が実際はもう少し小さいかのどちらかであるとわかる。これについてはもともとの誤差や、ばねが古くなり硬くなった、マスが擦り減った等が考えられる。ただし、振幅がほんの少しではあるが小さくなっていつていることから、空気抵抗や固定コイルの誘導起電力による影響は 0 であるとは言い切れない。

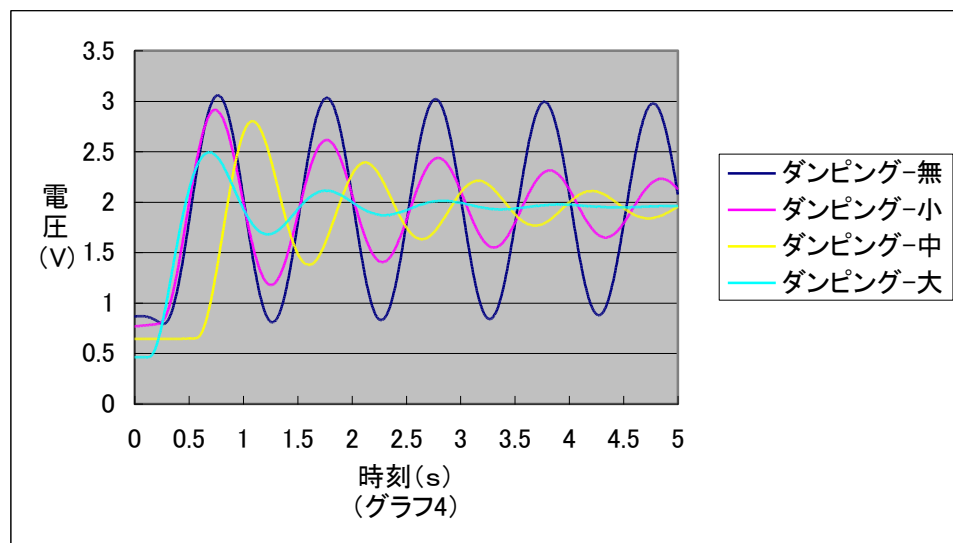
(ii)

実験

ダンピングをきかせた状態で減衰振動を起こさせ、振幅の時間変化と振動周期を測定せよ。ダンピングの程度を変えて測定を繰り返せ。

結果

ダンピングの程度を 3 段階に分け測定した。このときの振動を (2)・(i) での振動の様子と併せてグラフ 4 に示す。また、各頂点と時刻の関係と周期を表 4 に示す。



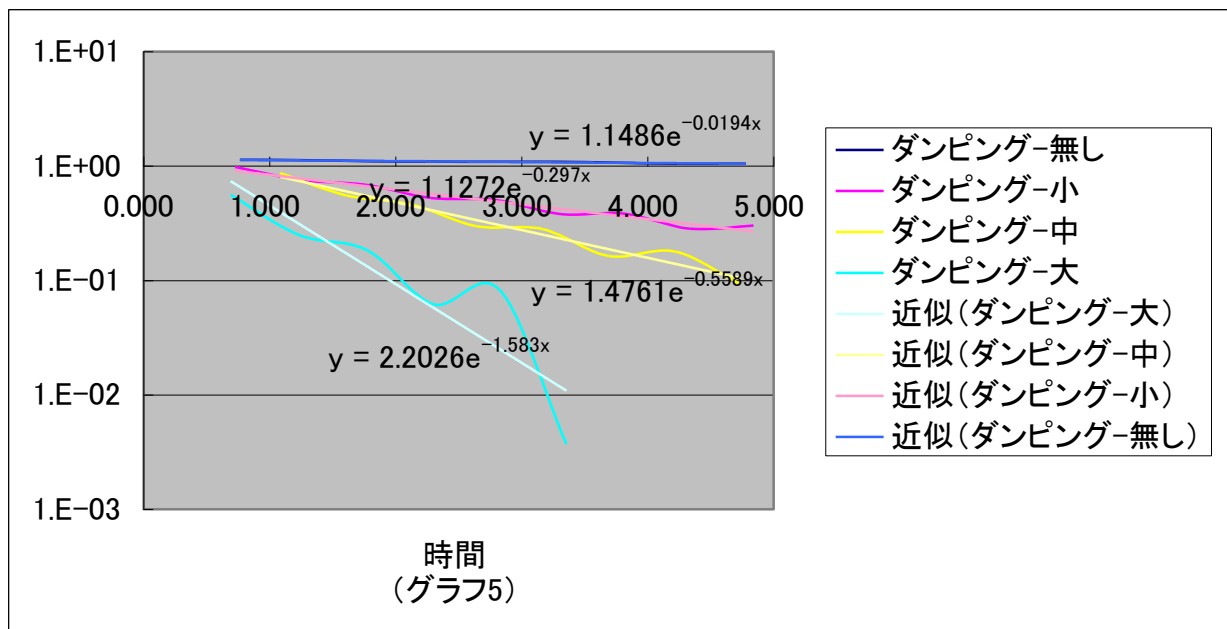
ダンピング-無し		ダンピング-小		ダンピング-中		ダンピング-大	
時間(s)	電圧(V)	時間(s)	電圧(V)	時間(s)	電圧(V)	時間(s)	電圧(V)
0.765	3.061	0.725	2.914	1.085	2.801	0.690	2.492
1.265	0.808	1.255	1.177	1.610	1.376	1.230	1.680
1.770	3.033	1.770	2.615	2.125	2.391	1.780	2.112
2.270	0.831	2.280	1.404	2.640	1.632	2.300	1.868
2.770	3.021	2.790	2.437	3.165	2.212	2.825	2.013
3.265	0.840	3.305	1.548	3.690	1.766	3.355	1.926
3.770	2.995	3.820	2.314	4.215	2.110		
4.275	0.879	4.335	1.648	4.735	1.837		
4.780	2.977	4.840	2.231				
周期(s)	1.004	周期(s)	1.023	周期(s)	1.043	周期(s)	1.070

(表4)

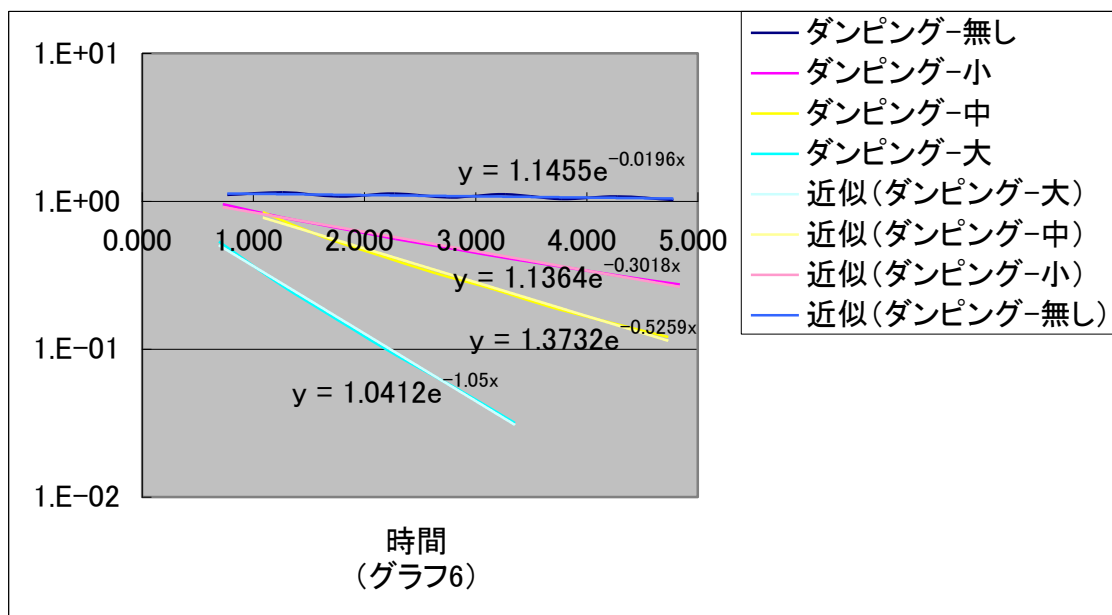
考察

ダンピングの程度が大きくなるにつれ、振幅の減衰率・振動周期が大きくなっているのがわかる。これは η が大きくなることで、 α が大きく、 β が小さくなることに対応している。

ここで、振幅の減衰率を調べる。まず釣合位置での電圧は (1) - (iii) より 1.93V であったことを基にして、各頂点での電圧と釣合位置での電圧の差の絶対値を求め、片対数でプロットした。このグラフをグラフ 5 に示す。ほぼ指数関数的に振幅が減少しているのがわかる。ただ、あまり直線性が良くないので、近似直線も表示する。



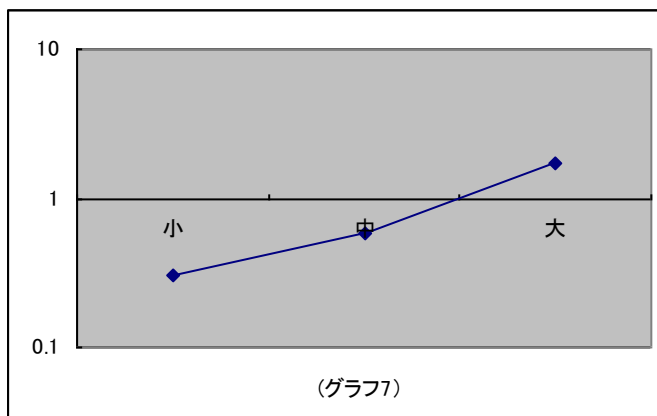
ここで、直線性を求め、釣合位置での電圧を別の値で置き換えてみた。するとほんの少し値を変化させるだけでグラフがかなり変化した。測定誤差を考えただけでもかなり変化しそうである。そして 1.958V のとき直線性が非常に良くなった。このときのグラフをグラフ 6 に示す。



平衡時の電圧を 1.93V とした時はダンピング無しの時の直線性が非常に優れているが、他の直線性はあまりよくない。一方、平衡時の電圧を 1.958V とすると、ダンピング有りのグラフの直線性が良くなるが、ダンピング無しの時の直線性が悪くなる。このことから、ダンピングの有無で平衡時の電圧に変化が生じていることが考えられる。これは粘性液に浸っている分だけ浮力をうけ、平衡位置が変化していることで説明できる。浸っている部分の体積はそれほどなくても、粘性液の比重は重く、それなりの浮力を受けるはずである。実際、グラフ 2 での近似直線の傾きは 0.0331 であり、1.93V と 1.958V の違いは 1mm以下の違いにしかならないことになる。平衡時の電圧を 1.93V とするか、1.958V とするべきかであるが、どちらをとっても近似曲線の指数部分はほとんど変わっていないので実験データを優先し、1.93V として対数減衰率を計算すると表 5 のようになる。これを片対数でプロットするとほぼ直線となる (グラフ 7)。

ダンピング			
無し	小	中	大
0.019478	0.303831	0.582933	1.69381

(表5)



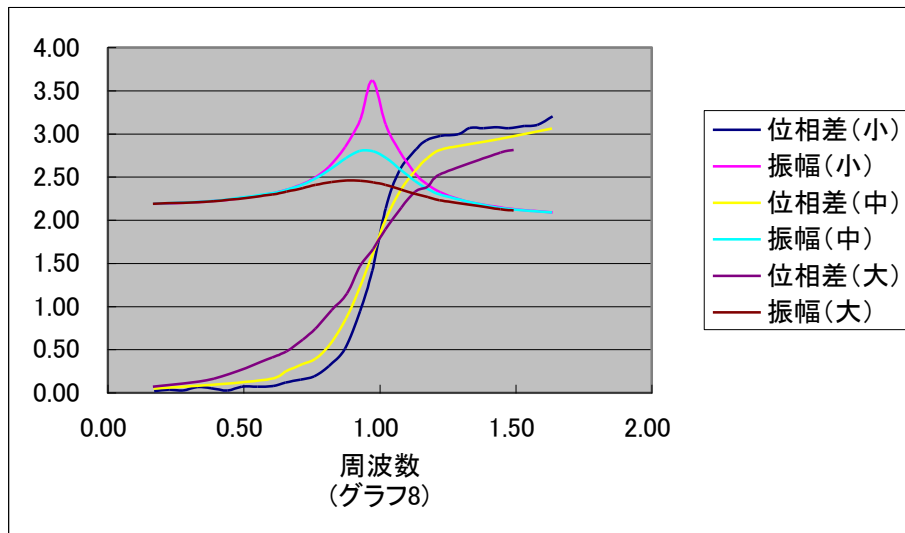
(3)強制振動

実験

強制振動を起こさせて変位振幅と位相差の周波数依存性を測定し、結果をグラフにプロットせよ。ダンピングの程度を変えて測定を繰り返せ。

結果

ダンピングの程度を大中小の三種として、それぞれデータを測定した。この時得られた変位振幅と位相差の周波数依存性の関係をグラフ 8 に示す。



考察

グラフ 8 を見ると、まず、位相差・振幅ともに、1 Hz 付近で激しい変化をしていることが見て取れる。そして、この 1 Hz というのは、ダンピング無しの時のこの系の固有振動数に相当する。つまり、この激しい変化は共振によるものと見られる。また、ダンピングの程度を大きくすると、この変化の程度が緩和されることがみてとれる。ダンピングにより、共振の力が抑えられていると思われる。

次に、位相差・振幅それぞれについて見てみる。

位相差は、周波数が小さいうちはほぼ 0 である。そして 1 Hz 付近で急激に上昇し、 π 程になる。これは系の固有周波数を用いて説明ができる。固有周波数より小さな運動であれば、当然速度は遅いので、十分にその測度に対応でき、位相差はほとんどできないことになる。逆に固有周波数より大きな振動ではその振動測度についてゆくことができず、位相差は大きくなり、 π ずれることになる。また、ダンピングが大きくなると、速度に比例した抵抗が大きくなり、ある程度周波数の小さな位置でもその周波数に追いつくことができずに位相差がおおきくなり、また、固有振動数を超えた部分では、マスの運動の勢いが殺され強制振動に対する行き過ぎが小さくなり、位相差が小さくなる。

振幅は固有振動数付近で急激に大きくなるが他ではほぼ一定である。固有振動数に

対し十分小さな振動数の強制振動ではそのまま振幅が伝わる。振動数を上げていくと、固有振動数に近づくにつれ、系自信がマスに加える力の方向と強制振動が加える力の方向と一致し、振幅を大きくしていく。そして、固有振動数を終えたところで、まただんだん、系自信がマスに加える力の方向と強制振動が加える力の方向と一致しなくなってゆき、振幅は小さくなってゆく。さらに、固有振動数を十分に上回る周波数の強制振動では、振幅に影響を与えなくなることから、強制周波数の振動数を上げていくと、振幅は最終的に 0 となるはずである。

最後に設問 b についてであるが、この実験は強制振動であり、減衰振動ではないので、(8) 式より Q 値を求めることはできない。また、(10)'式を用いると、ダンピング程度小では $Q=3.13$ となったが、ダンピング中・大では振幅のピークが小さすぎて求めることができなかった。ただし、1 を下回る値となることは確実である。(11)式を用いて計算すると、ダンピング程度小では $Q=3.48$ となった。これは(10)'式を用いたものとほぼ等しい値となった。中では $Q=2.69$ 、小では $Q=2.37$ となった。これは(10)'式を用いて求まる値とはおおきく異なる。(10)'式・(11)式の Q 値は粘性抵抗が小さいときは等しくなると書かれている。つまり、ダンピングの程度が中・大では粘性抵抗が大き過ぎて、近似式が成り立たなくなっていることがわかる。