

発音性流管の計測への応用*

(固有振動数と流速との基礎実験)

宮坂 忠昭**・春原 眞一***

1. 緒 言

蛇腹構造をもつ、フレキシブルなビニールホースは、石油注入用などに用いられているが、この一端を持って振り回すと、発音性を示す。図1。⁽¹⁾

この場合、序々に回転数を増してゆくと、高い音へと移行し、これは連続的な音でなく、不連続な発音性を示し、いわゆるステップ状であって、一定の条件の場合に一定の高さの音を発するようである。この時、手元の流管口には空気の流入があり、流管内部を通過して外周口に向って空気の移動が認められる。

この流管口をふさぎ、振り回してみると、発音性はなくなることから、この発音性は流管外壁等に接する流体に原因を求められず、流管内部に求められる。

回転数の変化に伴って、振動数が変化するのは、流管内の流れの変化が、一定の条件を満たしたときに限られるようである。つまり、振動数と流管内の流体の諸条件の間には、一定の規則性があるのではないと思われる。このことは、内部が平滑な通常のホースでは発音性は示さず、蛇腹構造をもつことは、流体の振動を起こす重要な役割を果していると考えられる。

また手に持った一端、あるいは、外周の他端から発する音を録音して、その波形を観測したところ、一定の振動数をもつ正しい正弦波であった。

これらの発音性流管の特性のうち、今回は振動数と流管内の流速との関係を主として、実験により解明し、この簡単な構造の発音性流管の計測への応用の可能性を検討した。

2. 実験方法

2.1 固有振動数(ν)と倍音(n)との関係

流管を振り回す代わりに、流管を固定して外部より流管に空気を送り込むか、吸引しても、発音性を示す。

図2のような装置で、マイク

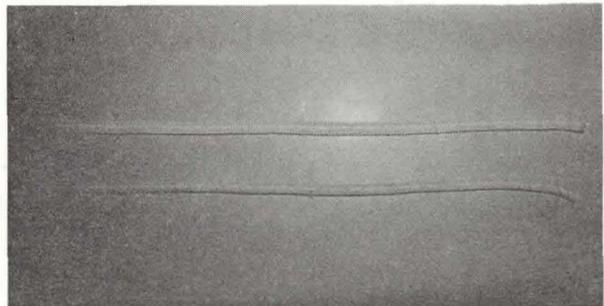


図1 発音性流管

* 昭和56年10月 日本機械学会精機学会信越地方講演会において発表

** 基礎専門 応用物理 助教授

*** 一般科 物理教室 技官

原稿受付 昭和57年9月30日

ロフォン及び低周波発振器で、オシロスコープにリサージュの図形を描かせて得られた、振動数と倍音との関係を図3に示す。

固有振動数と倍音との関係は、よく知られているように図4であり、開管の一般式は次式で示される。(2)

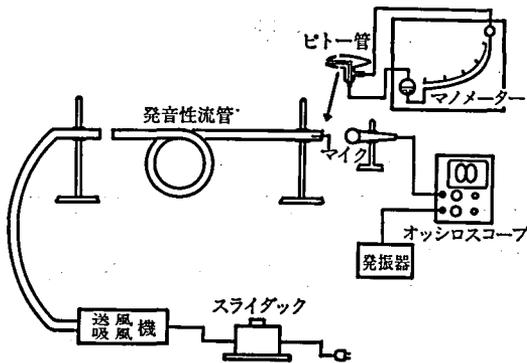


図2 実験装置

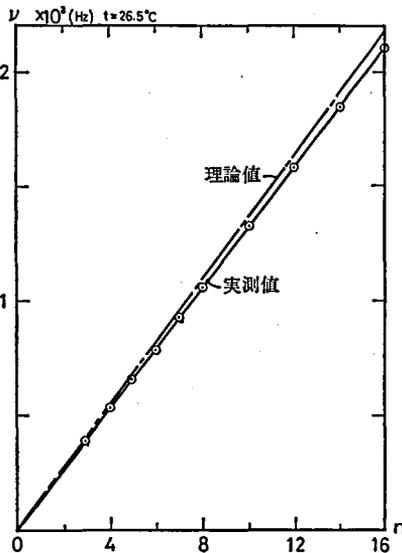


図3 固有振動数(ν)と倍音(n)との関係

大きさに相違があることがわかった。図7。

この現象は、流管を曲げることで流量に変化が生じ(内部の流れの抵抗の増大)、固有振動数と流量との相互同調関係がはずれる(tuning out)と当初考えていたが、それは流量の大きな高い振動数の場合多少認められるものの、特に低い振動数の場合は、その影響でなく、 R (曲率半径)が直接発音性に影響を与えることが判明した。

流管の先端から20(mm)先にダイナミック型マイクを固定し、その出力をオシロスコー

$$\nu = \frac{v}{2l} \cdot n$$

実験で得られた値が、理論値より少ない振動数であることは l が実際より大きいことを示し、従って腹の位置は外側にずれており、いわゆる開口端補正が必要であることを示している。

2.2 流管内の音

流管内の定常波を確認するために、小型マイクロフォンを流管内に入れて移動させ、音の変化を調べた実験装置を、図5に示す。波形をオシロで観測しながら、スピーカーからの増幅音を聞くと、腹の部分では、振幅は非常に大きく、正確な正弦波で、澄んだ音である。他方、節の部分では、空気の流通音で、いわゆる風切り音と低い不規則な音で、固有振動音はまったく聞こえない。マイクからの信号を、増幅器を通して記録器で記録した結果を図6に示す。節の位置は、腹よりその形がシャープで明瞭に表われており位置決めには都合がよい。また、マイク及びリード線を流管内に挿入することは流れの乱れと流量の変化の原因となるので、できるだけ小型のマイクと細い線を使用した。

2.3 流管の曲率(R)と音の振幅(A)

実験を進めてゆくに従って、流管を真直にした場合と曲げた場合とでは、音の

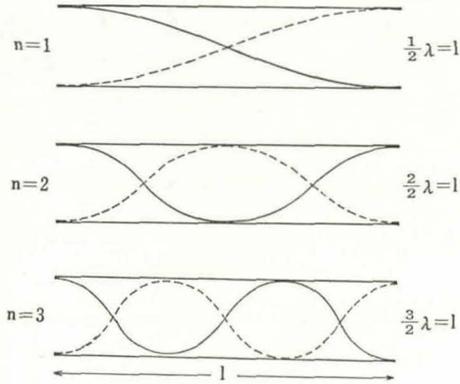


図4 気柱の振動

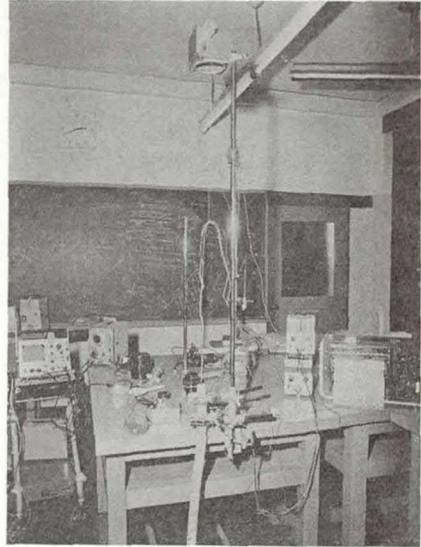


図5 実験装置の全景

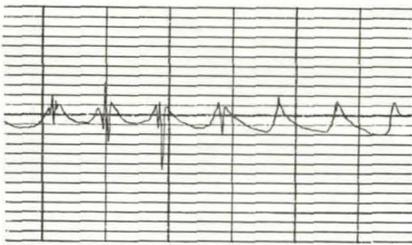


図6 流管内の音の記録結果

ープで直接 V_{P-P} で測定した結果を図8に示す。流管が真直な場合、発音性はいずれの次数においても少ないが、 $R=1(m)$ 以内になると発音性が顕著になる。

これは流線が曲がることによって、流管の外周近くの層で乱流が生じ易く、抵抗が増大し、これが原因で流体の振動が起き易くなっていると思われる。高い次数の発音では、 $R=0.4(m)$

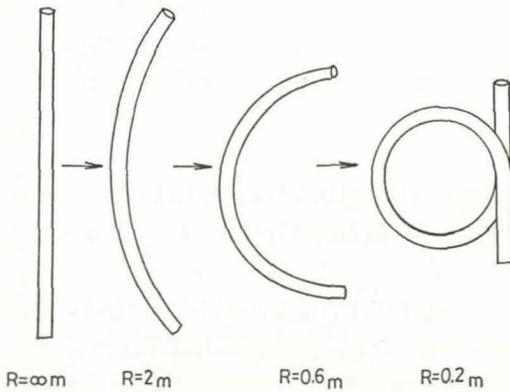


図7 発音性の増大

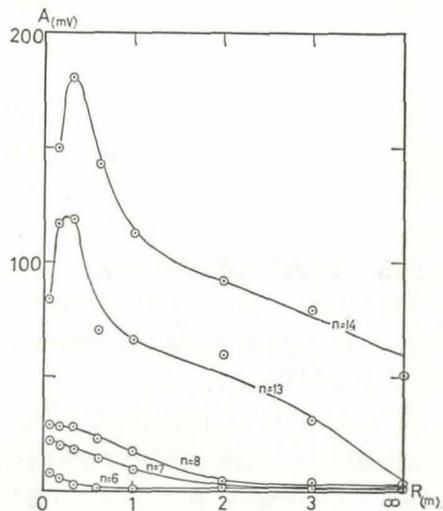


図8 流管の曲率半径と発音性

で最大値があり、低い次数では、 $R=0.6(\text{m})$ 以上だと R の影響はあまりないことが注目される。

2・4 流管内の流速 (v) と固有振動次数 (n) との関係

流管を振り回したとき、その回転数の上昇に伴い固有振動次数が大きくなることは、流管内の空気が慣性によって運動し（流管に対して）速度が増すことに他ならない。この関係を調べるために、図2に示すようなピトー管とマンメータを利用したブランドル型流速計を用いてリサージュ図形で基本振動数を確認しながら、固定した流管に送風機からの風量をスライダックで可変しながら送り込んだ。ピトー管を口開端から 20 (mm) 挿入し、流速の測定を行い結果を図9、10に示す。

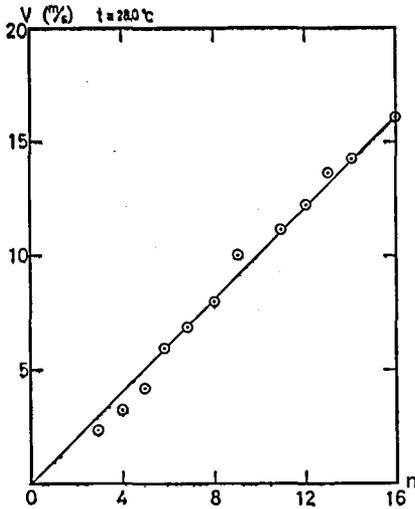


図9 流速 (v) と固有振動数 (n) との関係
(流量増加の場合)

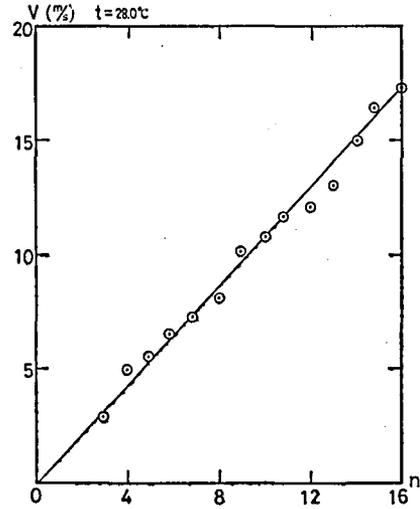


図10 流速 (v) と固有振動数 (n) との関係
(流量減少の場合)

図9は、風量の増加の場合で、次数が低い領域は流速が直線性から外れるものの、高い領域ではかなり直線性を示す。図10は、風量の減少の場合で、前者と同様低い次数の領域で外れるが、高い領域では直線性を示す。なお、増加と減少とでは、ヒステリシス現象がみられるが、その原因は今後の研究課題である。

2・5 流管内の流速の精密測定

流量が少ない（流速が小さい）領域でも、発音の次数が流量のわずかな変化で変わってしまう。逆の視点からすれば、流量のわずかな変化を音の固有振動数の変化として、聴覚で検出する可能性をもつ。

この少ない流速度の正確な測定をするために、水置換法と、空気充満法の二つを用いて、一定の容積 (V) を満すのに要する時間の測定をした。なお、装置を図11、12に示す。

20 l のポリ容器に、 $n=2, 4$ の固有振動数の空気流を導き、一定の時間空気と水とを置換させ、その量を正確に測定した。この際、流管の出口の位置は水面とそろえないと、水圧

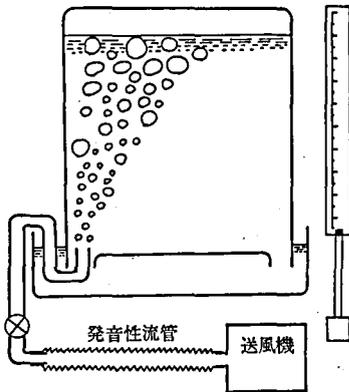


図11 流速(v)の精密測定, 水置換法

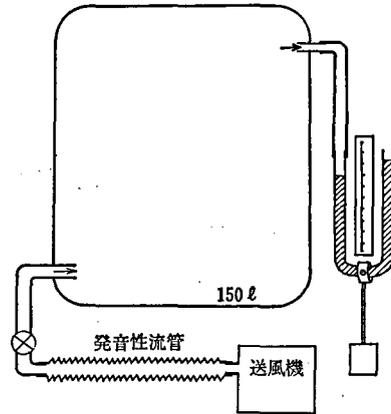


図12 流速の精密測定, 空気充満法

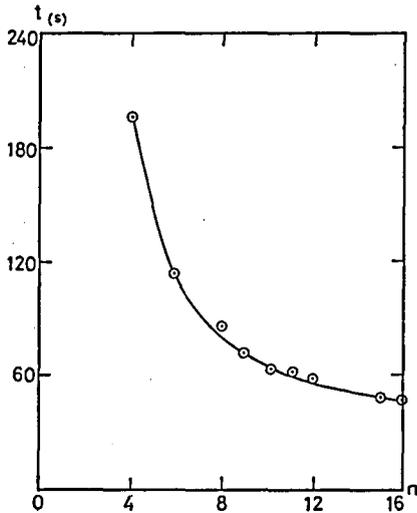


図13 流管で一定容量を満たす所要時間

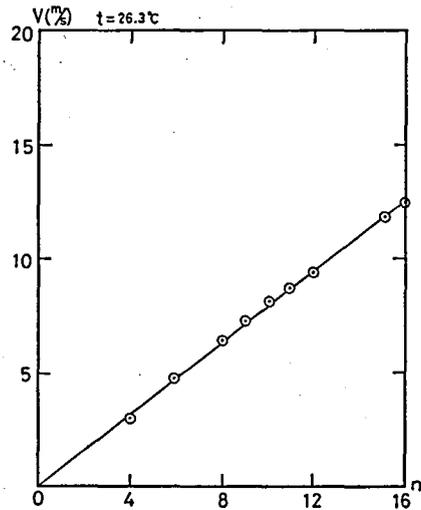


図14 流速(v)の精密測定

の影響を受けて流速に変化を与える。次に容積 150 l のビニール袋で、一方からマンメータに空気を導き圧力を測定できるようにし、他方から流管に発音性を持たせたままの状態空気袋に空気を充満させてゆき、マンメータの水柱が、あらかじめ決めた低い圧力 (5 mm H₂O) を示す瞬間の時刻を測定した。この場合、袋自身の弾性の影響を少なくするために、できるだけ薄い柔軟なものを用いた。

この結果を図13に示す。測定値のバラツキは、ほぼ2~3%の範囲内にあり、 $t \cdot n = \text{const}$ の関係がおおよそ成立している。この結果を、水置換法で得た測定結果と換算しなおし、グラフ化した結果が図14である。図9、10と比較すると、この精密測定値の方が約30%低めになった。

この原因は、流管の断面積を出口の半径から単純に計算したが、内部は蛇腹構造であるこ

とを考慮すると、実半径の他に、流体への抵抗等を考えねばならず、実効面積はもっと少なくなっているのではないと思われる。また、ピトー管の流管内の半径及び長さ方向の位置によって、流速は微細に変化していることも考えられ、本実験の目的からすれば、平均的な流速値が、より具体的な意味があるように思われる。

3. 結 言

(1) 発音性流管は、蛇腹構造によって流管内の空気の流れに抵抗性が与えられ、これが原因で定常波が生じている。

(2) 流管に、ある程度の曲率半径を持たせた方が、発音性が顕著になる。

(3) 流管内に、強制的に空気流を生じさせて、管内の音を小型マイクを用いて調べ定常波を記録した。

(4) 流管内の流速と振動数とは、ある範囲で直線性が認められた。これは、管内に空気流を生じさせるさまざまな運動（直線、回転運動）を、音で検出する簡単な方法として利用できる可能性を示している。

参 考 文 献

- (1) 戸田盛和；おもちゃのセミナー，日本評論社。
- (2) 金原寿郎；基礎物理学，上巻，裳華房。