

内面ヒダ付き管の気流音 ⅠⅠ

Aerodynamic sound of a duct with corrugated inner surface ⅠⅠ

坂尾 富士彦 (自宅*)

Fujihiko Sakao (Home*)

Experimental investigation is carried out aiming at a unified interpretation of sound generation by flows in ducts with, or along, corrugated walls. Such class of flow-configurations may include those in human trachea, heat exchanger with parallel tube-wall, and so-called "magic pipe". Hand made models of once commercial "Magic pipe" successfully generated sound, except at very low air speed. Using them as well as the magic pipe partly covered with smooth sheets, the sound is found to be the larger for the more surface corrugated. In addition, the frequency of sound seems much too low for flow velocity divided by corrugation pitch. These observations are beyond the scope of present interpretation by the author.

1. 緒 論

ヒトの呼吸音の聴診によって気道内部の異常を検出する可能性の探究を目標として、かねてから種々の実験を続けて来た¹⁾。これ迄の実験は全て、流路の内面は滑らかで平らな場合に就いてであった。実際にはヒトの気管の内面には緩やかな波状の起伏があると云う。それがあつた場合、それだけでどの程度の音が発生し、他の障害物などによる音と比較して大きさはどうなのか。

流路の内面に波状の起伏(但し、ある程度急角度の)があると、流れによって大きな音が発生する場合もある。熱交換器の内面に管が並んでいるために、ある条件の下では共振も手伝って、甚だしく大きい音が発生する事例も報告されている²⁾。天然ガスを送る管の内面にヒダがある(蛇腹?)のために大きな音と振動が生じるのでは、との心配を伝え聞いた事もある。

流路の内面のヒダの例としては、かつての一時流行した所謂マジックパイプを忘れる訳にはいかない。これは径と長さが3cm, 1m程度のプラスチック管で、管壁はピッチ数mmの波状をしている。これを手でゆっくり振り回すだけで、遠心力によって生じる気流によって明瞭な共振音が発生し、一種の楽器のようである。これについてはずっと以前にながれ誌上の解説³⁾もあるが、発音機構の詳細についての検討や説明は十分でないように思われる。即ち、音は「エッジトーンと共鳴による」と云われても、この場合の機構とエッジトーンとの共通点が筆者には理解できない。

前報¹⁾からの実験はこれらに共通な発音機構を調べ、必要なら防止・静粛化にも役立てようとの意図で始めたものである。実験対象としてのマジックパイプは手持ちが1本のみで、探しても見付からないので、自由に改造等ができるよう、同じような物を自作する事から始めた。処が、マジックパイプが極めて容易に(広範囲の条件下で)音を出すのに対し、同等な管の自作品では音を発生させる事自体が容易でない、と云う意外な困難に遭遇した。結局、2つ割りの管の合せ目その他に僅かでも隙間があると鳴らない事が分り、密封を充分にして音が出るようにはなった。これで実験は非常にやり易くなったが、本物のマジックパイプに比べると低風速では音が

著しく出難いとの難点はなお残っている。

2. 実験方法

騒音を遮断する対策を十分に施した送風機箱からの気流を、集合・遮音箱を通してノズルに導く。ノズルは出口内径20mmの円形で、剪断層は層流であり、下流に物を置かない自由噴流の状態では殆ど何の音も聞こえない。今回はノズル出口を囲んで少し太い、内側に輪型の突起がある短い管(環)を、隙間を置いて取り付け(図1)。ノズルからの剪断層を乱して層流でなくし、そこに発達する変動が下流の管口と相互作用して生じるフィードバック発振を防ぐためである。その下流にマジックパイプなど、内面にヒダのある管を同軸に置く。環によって流れは乱されると同時に拡がり、マジックパイプなどの外側にも回る。従って、発生する音の殆どは、管の内部を通り抜ける気流とヒダの相互作用によると考えられる(後に実験結果による根拠も示す)。

流速については、管の出口断面中央に全圧管を設けてそこでの流速を測るようにした。参考のためにノズル上流の淀み点圧力も測ったが、殆ど常に出口での全圧の約2倍であった。これもノズルからの流れの一部は管の外側に回っている事を示している。

内面ヒダ付き管の中で、「マジックパイプ」は最小内径25mm, 最大内径31mm, 長さ87cm, 内面の起伏は高さ3mm, ピッチは6mmである。今日では容易に手に入らず、1本だけの手持ち品を無闇に加工したくないので、切削加工した特製の型を用いて似た形状の代用品を作った。工作の都合上、2つ割りの半円形断面を合体させて円形にする。長さは20cm強と短い、複数個を縦に接いで長くできる。内径

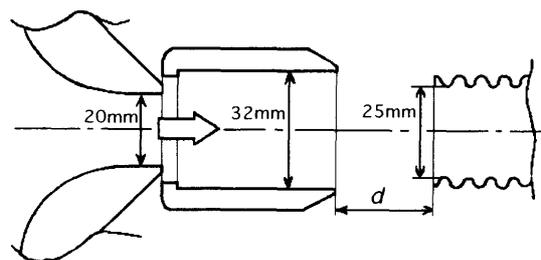


Fig. 1 Configuration of the main nozzle, attachment, and tube entrance.

*:〒738-0054 廿日市市 阿品 3-6-20 :Ajina3-6-20. Hatsuka-ichi, Hiroshima Pref., Japan 738-0054 e-mail sakao-f@lime.ocn.ne.jp

も、内面の軸方向形状もマジックパイプのその忠実な再現を意図したもので、計測上は差が認められない。

ヒダ付き模型は、直管をも適宜組合わせて3本合計で約72cmの長さにし、内面全部ヒダ付き、上流または下流側の1/3或いは2/3がヒダ付き、などと変えられる。マジックパイプは内面に薄いシートを巻いて入れる事で、一部のヒダを被って平滑にする。これも全長の1/3刻みで変化させる。シートは薄いので音の遮断が幾分不完全かも知れず、実効的に内面の音吸収を増加させた可能性も完全には否定できない。

音は噴流ノズル出口の横方向、中心軸から20cmの場所に公称径6.3mmの計測用コンデンサマイクロホン置いて測った。その出力のハワースペクトルを求める。

3. 結果と検討

前回の原稿⁴執筆当時、マジックパイプ以外では同じような音は発生できなかった。その後、差はなお残っているが、かなりよく鳴るようにできた。鳴らなかった原因は、2つ折り模型の合わせ目の密封が不十分で、音のエネルギー損失が大きく共鳴が十分に成立しなかったためと推定される。見た目には隙間のない合わせ目の全部にコーキングをする事で解決したので。

前報で、単純な円管が全ての中で最も大きい音で鳴る場合に触れたが、勿論これは別の機構、即ちノズルからの円形の剪断層が、出口で音による摂動を受け、生じた変動が移流しつつ発達して管の入口で音を出すフィードバック発振によるもので、内面のヒダとは無関係である。これはマジックパイプでも存在するので、それに邪魔されないよう、前記のように剪断層を乱す工夫をした次第である。その結果、ノズルからの距離は発生する音の周波数に直接には影響しなくなった。即ち、純粋に管内のヒダによる音を対象にできるようになった(データは後に示す)。

音のハワースペクトルの例を図2に示す。横軸は周波数で0~5kHzの直線目盛り、縦軸はハワースペクトルレベルで10dB/divの対数目盛りである。鋭いピークは管の共振によるものである。一昨年発表した結果でもそうであったが、その周波数は両端開として計算した共振周波数の値より少し低いようである。開口端の補正、内部気流による共振周波数の低下などを考慮してもなお、少し違う。

図2の(A)と(B)は、流速は同じでノズルから管の入口迄の距離 d が異なる。今の設定でどこから測った距離が実効的か問題はありますが、外部のノズルからの距離は2対5である。しかし各ピークの周波数や高さは殆ど変わらず、管の上流での剪断層内変動の発達は関係ない事を示す。

音の生じる機構に就いて、かつて筆者は、多くのヒダの一つ一つの凹みで、山の頂上で剪断層が剥離と同時に音で変調

され、発達した変動が下流の山の所で音を出して生じるフィードバックが基本と考えていた。発生する音の周波数は各々のヒダについての u/d で決まるが、ヒダ表面の流速は流れ方向に変わるので、大抵の流速でどこかに管の共鳴に都合の良い u/d の部分があり、大きい音を出すとの考えである。一部分にだけヒダのある管を作ったのも、この事を確かめるためであった。処が実験結果では明らかに、ヒダ部分が多い方が、音は出易い。本来のマジックパイプでも模型でも同様に、ヒダが全長の1/3より2/3、更にそれよりも3/3の方が、同じ流速ではずっと大きい音が出る。ピークの高さは流速によって周波数が変化する場合に管の共鳴周波数とのマッチングが関係するが、おおまかに言えば上の各々の間に20dBづつの違いがある。更に、3/3以外の場合に、ヒダのある部分を上流側に置くか下流側にするかによっても差は無いと見られる……一部に例外はあるが、流速変化に伴うピークの共鳴次数の変化と関連しているようでもある。違いは10dB以下で、ヒダの量によるものに比べれば小さい。

ヒダの長さが全長の1/3づつ増える毎に音が20dBづつ増える事実からは、ほぼ全てのヒダが音の発生に寄与する事、しかも、各部分が出す音が合計されるのではなく、全体が一つの増幅器のような作用をしているのではと考えられる。

周波数についても、音の最大ピークの周波数は、 u/d の d として凹部の長さではなくヒダのピッチを取った値の約1/4である。剪断層内の変動の移流速度が遅い事を考慮して1/2、ヒダ表面付近の流速が管中央のそれよりは小さい等を考慮しても、合わせるには無理がある。幾つかのヒダを一纏めにしたフィードバックと考えることになるが、それは非線形のみ可能であろう。なお、実験中に経験する別の現象、即ち流速を増減する場合にピークの音の周波数にはヒステリシスが認められる事からも、何らかの非線形効果がある事は確実である。

このような観察から、筆者は今ではヒダのある管壁に沿う流れに、(多分進行する)音波を増幅する作用があるのではと考えられるようになった。機構は、勿論未解明である。

4. 終わりに

前報よりは進歩したとは云え、一層分らない事に出会ってそれを羅列する事になって仕舞った。この問題に興味を持ち、精力的に解明して下さいの方を待望している。

5. 引用文献

- 1) 坂尾：FD 2001 講演論文集(2001)305及びその引用文献。
- 2) 青木他：第21回流力騒音シンポジウム(2001)。
- 3) 中村、深町：ミュージックパイプにおける音の発生、ながれ、3(1984)199。
- 4) 坂尾：FD 2002 講演論文集(2002)294。

Fig. 2. Examples of sound power spectra of a "Magic pipe".

(A) $d = 20\text{mm}$. (B) $d = 50\text{mm}$.
both with stagnation pressure
 $p_0 = 5\text{mmAq}$.

