

# 管内障害物の音と流れ

坂尾 富士彦 (近畿大学工学部・東広島)、佐藤 浩 (ながれ研究集団)

## Sound and Flow with Obstacles inside a Tube

by

Fujihiko SAKAO \* and Hiroshi SATO \*\*

\* School of Engrg., Kinki Univ. Takaya-cho, Hogashihiroshima 739-21

\*\* Inst. Flow Research, Akasaka 6-10-39-205, Minato-ku, Tokyo 107

Experimental Investigation is carried out to find sources of sound caused by an obstacle in a soft-walled duct, which is to model extraordinary situations in human airways. One of the most important sources of sound due to the presence of an obstacle has been traced to unsteady separation of the boundary layer on smooth, convex surface of the obstacle. Pressure fluctuation in the flow-field, especially on a wall-surface is investigated using a Kulite-based sensor. Results do not seem to give support to the theory that another important source of the sound can be unsteadiness of the reattachment to the wall of the separated flow.

**Keywords :** Aerodynamic sound, Duct obstacles, Static pressure fluctuation

### はじめに

ヒトの気道内の異常を呼吸音の聴診で診断する方法の基礎研究を発端として、軟らかい(音が透過し得る)壁を持つ管内に障害物が存在する事によって発生する空力音の実験を、数年来続けている。初期には2次元、近年は半球など3次元の形状の場合をも調べている。最も重要な音源は障害物表面での境界層剥離の非定常性であるが、それだけでは説明困難と思われる現象もあったので、剥離した流れの非定常な再付着も音源の1つではとの考えもあった。熱線風速計による流速変動測定に加えて、今回は圧力センサーを工夫して壁面上の圧力変動を測定し、再付着の非定常性と音源としての可能性に関する情報を得る事を試みた。

### 実験の方法など

実験装置は基本的には数年来同じである。図1に示すように内径が1辺20mmの正方形断面流路の、壁面の1つに障害物を設置し、それによる音を対面する不織布の壁を透して標準型コンデンサマイクで観測する。音に関する測定結果は全て1/3オクターブ帯スペクトルの形にした。障害物にはカボコのような2次元の形状と半球など3次元の形状とがあるが、図の下方には後者の数例を示す。

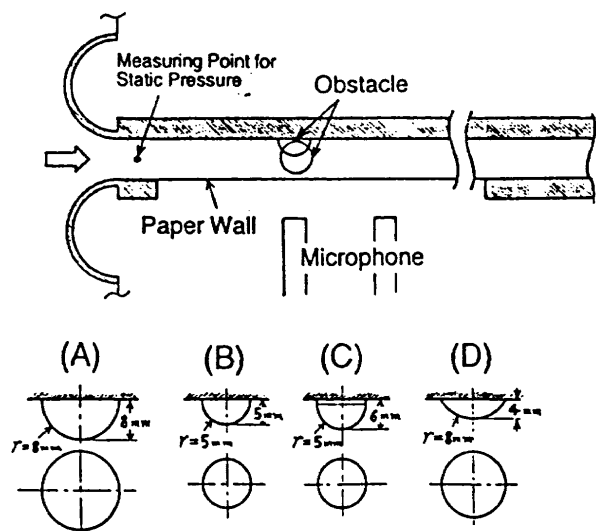
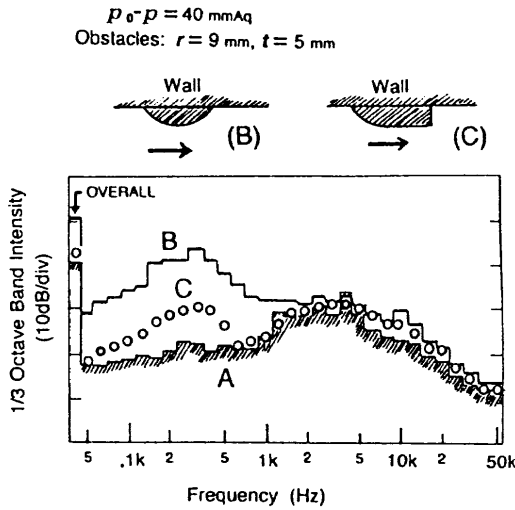


図1 実験装置

### 実験結果と考察

図2は2次元の形状の障害物による結果の一例で、障害物による音の主要部を構成する1kHz以下の成分が、剥離点を固定する形の障害物では大部分消滅する事、即ちその原因が凸な曲面上での境界層の非定常剥離である事実を示している。高い周波数



An example of Sound Power Spectra

- A: without obstacle
- B: with Round Obstacle, as shown in (B)
- C: with Edged Obstacle, as shown in (C)

図2 2次元形状の障害物による結果の例

の成分は噴流騒音と同類の成分と考えられる。

2次元的でなく3次元的な形状、しかも壁面が少しだけ隆起したように見える程度の障害物でも、図3に例を示すように条件によっては随分明瞭に、流れに

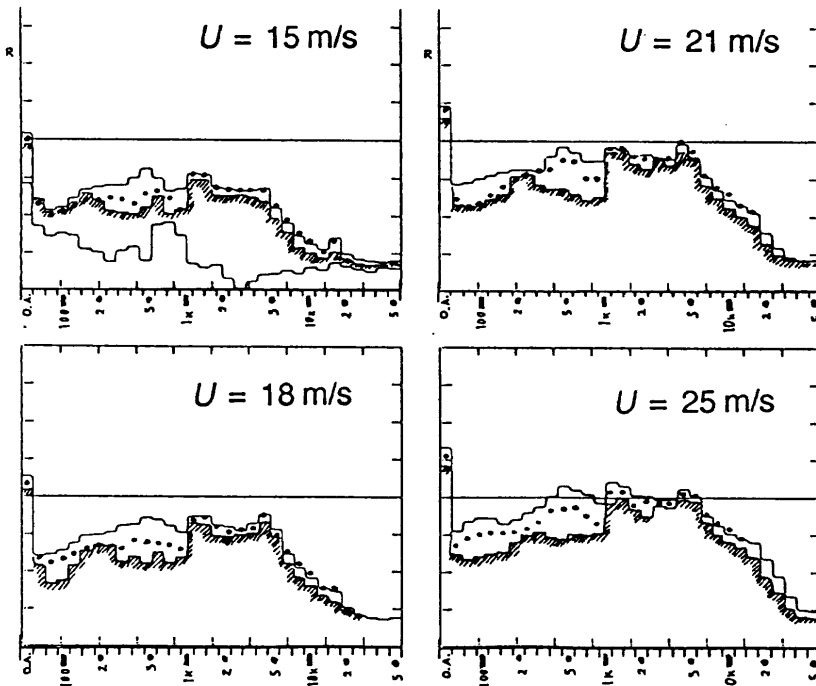


図3 3次元形状の障害物による結果の例

障害物は図1のD型、曲率半径8mm、高さは4mm。縦軸は10dB/div、曲線の意味は図2に準じる。

よる音が発生する。2次元の場合と異なるのは、姿勢の低い障害物や寸法の小さい障害物では特に、流速が大きい場合にのみ著しい音が発生する事で、レイノルズ数の効果を思わせる。

位置・姿勢に就いては、障害物を流路の底面に置いて、その側方から観測しても音には大差は無く、距離が近いだけ却って大きいようである(2次元形状の場合は横からの観測は未だ実行していない)。

流路内に熱線探子を置いて障害物下流の速度変動を観測した結果の例を図4に示す。剪断層が大きく揺れている事は明白であり、3次元形状の場合もやはり剥離点の変動による音が主要であると推定される。流速の大小によって音の増加の程度が著しく変化するが、それに対応するように、流れの変動の様子も流速及び障害物の大小、即ちレイノルズ数の大小によってかなり変るように見える。剥離点を固定するように障害物の後端を切り落とせば多くの場合、音は減少し、下流の流れの速度変動もそれを裏付ける変化をする。時に、そうしても音がそれ程劇的には変わらない事もあるが、その場合に障害物の表面近くの速度変動を調べると、角より上流でも強い乱れが観測され、実は、角より上流で剥離している為に切り落とさない形状と大差無い音が

が生じている可能性がある。以上は流れの乱れが比較的少ない場合、即ち、上流に別の障害物(声門)は無い場合である。

2次元形状の障害物に関する実験結果で、上流に別の障害物があり、その下流の乱れが強い時には、障害物の後端を切り落としても音の変化が非常に少ない場合がある事などから、剥離した流れが下流で再付着する際の音も大きいのでは、との考えがあった。そこで、壁面をも含めて静圧変動を測定する目的で、圧力変動センサーのKuliteに被いを付けて図5のような外径1.5mm強の静圧変動探子を作り、利用している。図6はそれによる圧力変動波形測定結果の例を示す。壁面よりも、少し離れた、流れの中の方がずっと圧力変動が大きいし、壁面の圧力変動が(再付着点を思わせる)特定の場所に集中する傾向も見られない。現段

階では未だ断定は控えるが、これらの事実が、所謂再付着による音はあまり重要で無い証拠である可能性も考えられる。少なくとも、再付着の非定常性が音源として重要であるとの証拠は得られなかった。元々、剥離点から長い距離を経た下流での非定常再付着は、それ程に速い変動は出来ない筈であるから、重要な音源とはなり難いと考えられる。2次元形状の障害物が強く乱れた流れの中にある時、後端を切り落としても音の変化が少ない理由は、前述の3次元障害物の場合と同じく、非定常的な剥離の場所が切り落とした点より上流である為である可能性も大きいと考えられる。乱れの少ない流れの中でも3次元障害物に限ってそうなると思うのは奇異であるが、実は後端を切り落とした障害物の形が異なっている。3次元障害物では高さ最高の場所から少しだけ下流で切り落としたが、改めて図2を見ると、高さ最高の場所の下流に十分長い平行部を持っている、その事が重要なのかも知れない。

なお、この実験でのレイノルズ数は、円柱や球の周りの流れや抵抗係数が変る現象のそれよりずっと小さいが、定性的にはそれらと類似の点が色々ある(勿論、両者は別の現象であろうが)。

この研究に関する装置の製作、研究連絡などについて本田工業(株)本田社長より援助を受けた。記して謝意を表す。

文献

坂尾、佐藤：第28回乱流シンポジウム(年会'96) pp.11-12(1996)他

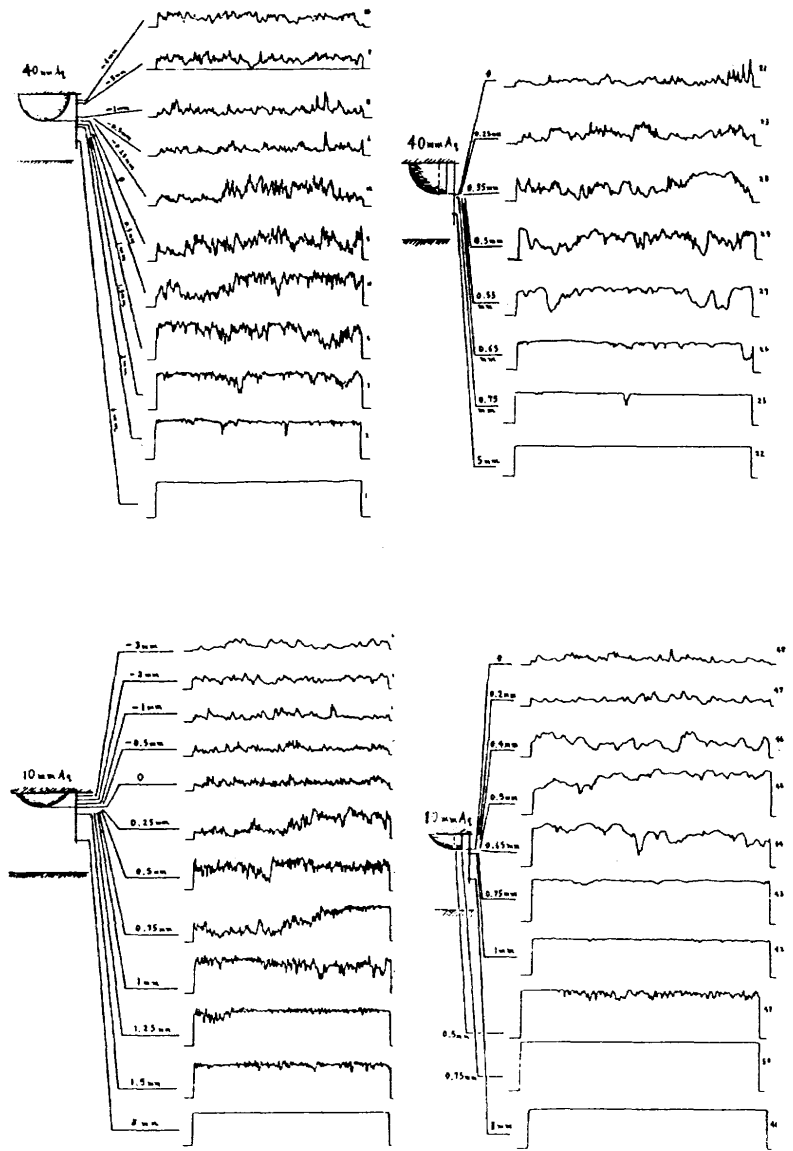


図4 熱線風速計による、障害物下流の速度変動の例

障害物は3次元形状で、図1のA型(上)とD型(下)、及び各々の後半を切り落とした形。流速は、上：25 m/s、下：12.5 m/s。各波形の左の数値は主流に垂直な方向の位置を示す。

流れは左から右へ。波形の記録時間はいずれも40 ms

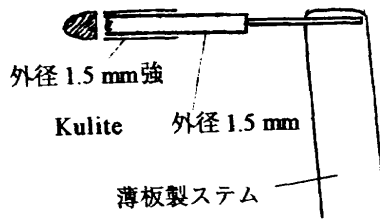


図5 静圧変動探子

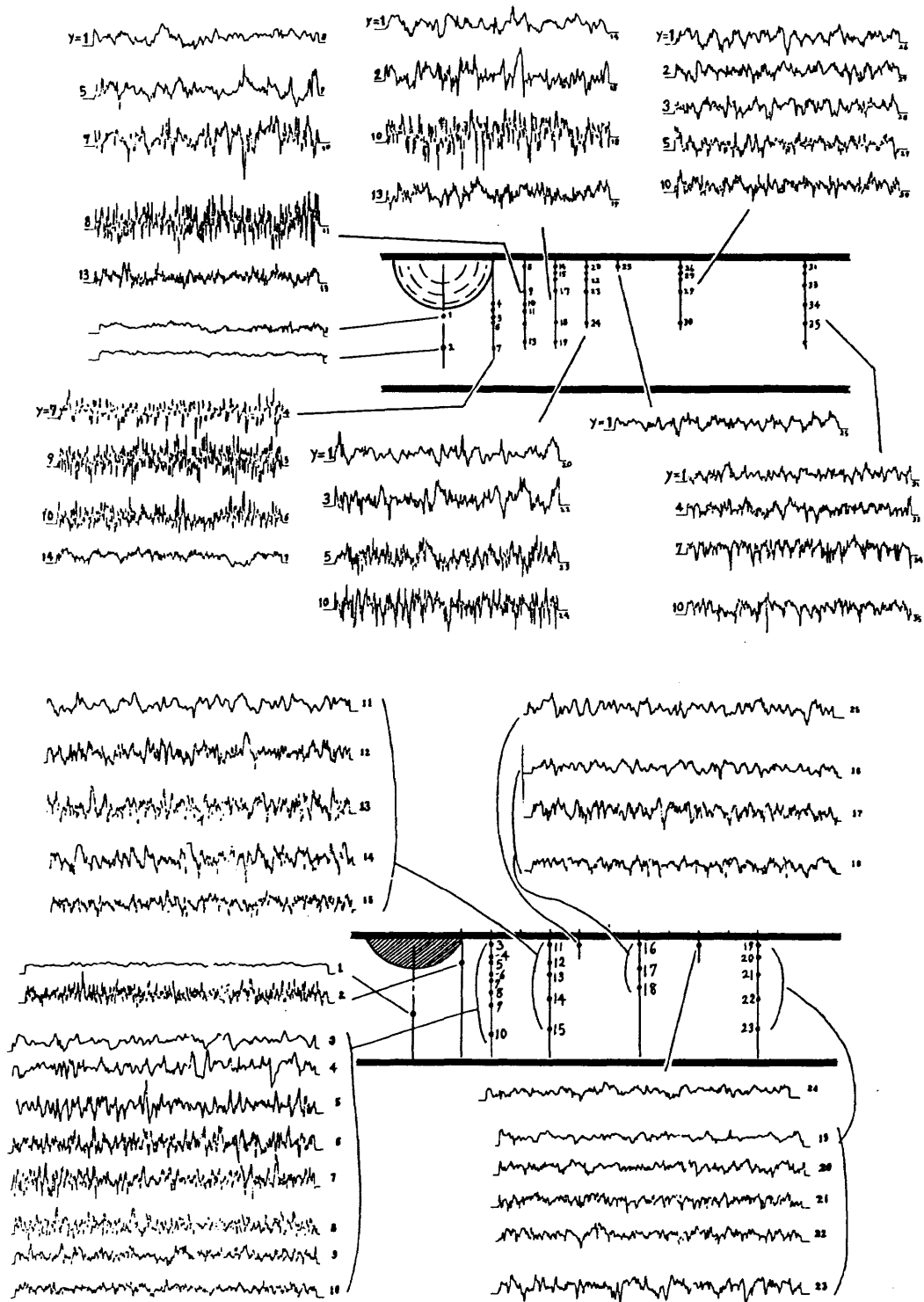


図 6 圧力変動波形測定結果の例

- (上) 障害物は 3 次元形状で、図 1 の A 型 (半球)、高さは 8 mm。流速は障害物の無い場所で 15 m/s。
- (下) 障害物は 2 次元形状で、高さは 5 mm、流速は障害物の横で 25 m/s。

流れは左から右へ。波形の記録時間はいずれも 40 ms