31 挿入管のある空洞形消音器内の流動パターンと気流騒音スペクトル

東海大学 森山裕幸[○], 村上俊太郎, 萩 三二

Flow Patterns and Spectra of Noise Generated by Flow in Expansion Chamber Mufflers with an Inner Pipe Respectively

by Hiroyuki MORIYAMA*, Shuntaro MURAKAMI* and Sanni HAGI*

The airflow patterns in the cylindrical expansion-chamber mufflers inserted with an inlet pipe or a tail pipe respectively were visualized by spark-tracing and smoke-wire methods. Next the spectra of sound pressure levels (SPLs) of the flow noise generated secondarily in the mufflers were measured.

It is obvious from these experimental results that the frequency characteristics of flow noise change with the flow pattern determined by the ratio of the distance between either open ends of an inserted pipe and a chamber to pipe diameter. The SPLs for the tail pipe-inserted mufflers show moderately high values in the wide range of frequency as compared with those of the inlet pipe-inserted mufflers, owing to the occurrence of the recirculation flow in the surroundings of the inner pipe.

1. 結 言

内燃機関や通風装置などの管路系における騒音を減少させるためには、各種の空洞形消音器が広く用いられている。特に、空洞内の入口管あるいは尾管を挿入したタイプの消音器は、空洞部の反射効果と管挿入部の共鳴効果によりすぐれた消音特性が得られるのでよく用いられる。しかしこれらの消音器では内部の気流によって発生する二次騒音のために、所要の音響特性が得られない場合がある。したがって消音器を設計する際に、このような気流騒音についても十分に考慮する必要がある。

そこでまずこれらの挿入管のある消音器内の流れの様子を把握するために火花追跡法とスモークワイヤ法の2種類の方法により流れの可視化実験を行い、次に気流騒音スペクトルを測定した。これらの結果を挿入管のない単純空洞の場合と比較し、消音器内の流動パターンと気流騒音スペクトルの関係について検討した。

2. 実験結果

2・1 消音器内の流れの可視化

消音器内の流れの可視化に用いた管路系の装置は、送風機直後のサージタンクに接続された鋼製の入口管（直径 $d=48\text{mm}$ ，直管部長さ $l_1=1500\text{mm}$ ），アクリル製の円筒状供試消音器（直径 $D=140\text{mm}$ ）及び鋼製の尾管（直径 $d=48\text{mm}$ ，長さ $l_3=6000\text{mm}$ ）により構成されている（この場合のサージタンク内には、後の気流騒音実験において送風機での発生音を消すために吸音材が詰めてある）。供試消音器としては単純空洞，入口管挿入空洞，尾管挿入空洞の3種類の形状のものをを用い，それらの寸法については拡大比 $m (= D^2/d^2)$ を9，空洞長さ l_c を714mmと一定にし，空洞内の挿入管先端と空洞入口または出口との距離 l_2 を種々に変化させた。なお管内の平均気流速度 V は，消音器入口の前方1200mmの位置でピトー管により測定した。

まず火花追跡法により，安定した火花を発生させるためにピアノ線電極を空洞中心軸上と空洞側壁に取付け，中心軸を含む面に対称な半円筒部分の可視化を行った。撮影条件は流速 $V=30\text{m/s}$ ，パルス間隔 $T=200\mu\text{s}$ ，パルス数 $P.T.=10$ とし，ASA 800まで増感現像を行った。その結果得られた各点における速度分布の写真を組み合わせてFig. 1～Fig. 3に示す。Fig. 1は挿入管のない単純空洞（ $l_c/d=15$ ）の場合の結果を示している。空洞内に入った噴流は下流へ行くにしたがい半径方向に拡散し，流路の拡大に伴い流速の低下がみられる。噴流が空洞側壁まで拡散し再付着流れになると流速は大きく低下し空洞出口に達するが，出口近傍では尾管への縮流のため流速は回復に向かう。これらの結果は $d=20\text{mm}$ の場合の流動パターン⁽¹⁾とくらべて良い対応を示している。

* Faculty of Engineering, Tokai University, 1117 Kitakaname, Hiratsuka

Fig. 1 Flow pattern in a single expansion chamber by spark-tracing method.

Fig. 2 Flow pattern in chambers inserted with an inlet pipe by spark-tracing method.

Fig. 3 Flow pattern in chambers inserted with a tail pipe by spark-tracing method.

次に入口管挿入空洞の場合の結果をFig. 2に示す．入口管長さ l_1 が一定のため入口管から流入する噴流の速度分布は，開口端間距離 l_2 を変化させてもFig. 1と同様の分布を示していることがわかる．まず開口端間距離 l_2 が570mm ($l_2/d = 12$, (a)) のときにはFig. 1のように再付着流れとなるので空洞出口近傍での大きな流速低下がみられる． l_2 が428mm ($l_2/d = 9$, (b)) になると噴流は空洞側壁まで拡散する前に縮流となるため，出口近傍の流速は(a)にくらべてかなり大きくなり，また再循環流領域における逆流も顕著になる． l_2 が286mm ($l_2/d = 6$, (c)) になると拡散の度合いが小さくなるため，空洞出口に達する噴流の流速はさらに大きくなり， l_2 が143mm ($l_2/d = 3$, (d)) になるとほとんど拡散がみられなくなる．

Fig. 3は尾管挿入空洞の場合の結果である．開口端間の流動パターンは入口管挿入空洞とほぼ同様の傾向で変化しており，また単純空洞の場合の変化にもおおむね対応している．しかしこれらの管を挿入した空洞では噴流にくらべて流速の小さい流れが挿入部に存在すると予想されるため，次にスモークワイヤ法により挿入部における流れの可視化も行った．

スモークワイヤ法の場合，ストロボ光をスリット状にし，パルス発生後数ms遅らせて可視化断面に発光させる．このスリット光により発生したミストが可視化されるが，火花追跡法にくらべて光源が弱いためASA 3200まで増感現像を行い，遅延時間 t も数種に設定した．その結果をFig. 4, Fig. 5に示す．Fig. 4 (a), (b), (c)は $l_2=143\text{mm}$ ($l_2/d=3$) の入口管挿入空洞の環状挿入部 $x/d=3, 9, 12$ の位置での結果をそれぞれ示している． $x/d=3$ ($t=30\text{ms}$) では流れが認められないのに対し， $x/d=9$ ($t=30\text{ms}$) では挿入管に沿った上流への流れとなっている．また $x/d=12$ ($t=6\text{ms}$) すなわち入口管出口でも噴流へ巻込む流れと上流への流れがみられる．ただしこれらの結果は1例で，時間変動により種々の流れが観察され，このような挿入部では旋回を含む複雑な三次元的流れになっているものと考えられ，これらの流れは l_2 を変化させ挿入部の長さを変えても同様に確認できた．さらに尾管挿入空洞の挿入部先端近傍の結果をFig. 5に示す． l_2 が570mm ($l_2/d=12$, $t=25\text{ms}, 30\text{ms}$) の場合，(a), (b)のような2種類の尾管への流入模様が確認できたが，これらの流れも不安定で流入経路は時間的に変化している．それに対し l_2 が143mm ($l_2/d=3$, $t=15\text{ms}$) では(c)のように尾管への流入がほとんど認められず，空洞側壁近くで逆流が生じている．

Fig. 4 Flow pattern in a chamber inserted with an inlet pipe by smoke-wire method.

Fig. 5 Flow pattern in chambers inserted with a tail pipe by smoke-wire method.

2・2 気流騒音スペクトル

気流騒音実験には可視化と同様の管路系を用い、尾管端から45°の方向300mmの距離に置いたコンデンサマイクロホンとFFTアナライザにより消音器内で発生する気流騒音スペクトルを $V=30\text{m/s}$, 80m/s で測定した。その結果をFig. 6に示す。開口端間距離 l_2 の入口管挿入空洞、尾管挿入空洞、 l_2 に等しい長さ l_c の単純空洞及び l_c が714mm ($l_c/d=15$)の十分長い単純空洞で発生した気流騒音スペクトルを、それぞれ実線、点線、破線及び一点鎖線で示している。ただし、十分長い空洞（一点鎖線）については、再付着による噴流の流速低下によって消音器を挿入しない場合の尾管端からの吹き出し音と類似のスペクトルになっている。 l_2/d を12, 9, 6と変化させると(a), (b), (c)のようにその流動パターンに対応したスペクトル変化を示している。しかし、尾管挿入空洞では他の空洞にくらべて全測定周波数域にわたり6~10dBの増加が認められる。このレベル増加はFig. 5(a), (b)に示したような尾管の入口近傍における循環流が存在することによる発生音に起因するものと考えられる。これに対しFig. 6(d)の $l_2/d=3$ の場合にピーク成分は、低流速では消音器形状が異なっても一致しており、高流速になるとピーク周波数がずれる。また他の周波数成分についてはFig. 6(a)~(c)くらべてレベル増加は小さくなっている。これらのスペクトルに現われるピーク成分は噴流外縁で生成する渦の直撃によるもので⁽²⁾、またレベル増加が小さいことはFig. 5(c)に示したように尾管への循環流の流入がほとんど認められないことによるものと考えられる。

3. 結 言

挿入管のある空洞形消音器内の流れを可視化し、気流騒音スペクトルを測定した。その結果から次のことがわった。

- (1) 空洞内挿入管（直径 d ）と消音器入口または出口との開口端間（長さ l_2 ）における流動パターンは l_2/d によって決まり、単純空洞の場合と類似の変化を示す。また尾管挿入空洞では、環状挿入部内の流れの尾管への流入が認められる。
- (2) 尾管挿入空洞で発生する気流騒音スペクトルは単純空洞、入口管挿入空洞の場合にくらべて l_2/d が小さいときに生ずるピーク周波数の前後を除く広い周波数帯域で大きいレベルを示す。

終りに本研究を行うにあたりご協力いただいた、東海大学4年生、小林満善、平原勝己、明城智義の諸君に深謝します。

Fig. 6 Spectra of noise generated by flow in chambers.

文献 (1) 森山・村上・萩, 流れの可視化学会写真集, No. 4 (1987), 10

(2) 森山・村上・萩, 日本機械学会講演概要集, No. 873-2 (1987), 62