

自動車用マフラー内の流れの衝撃波減衰に関する研究

児島忠倫*, 楊念儒**, 嶽間沢秀孝*

Study on the Reduction of the Shock Waves of Flow in Silencer

Tadatomo KOJIMA, Nianru YANG, Hidetaka GAKUMASAWA

ABSTRACT

With the steady increase in the number of cars, the exhaust sounds generated from the exhaust pipes of cars became a serious noise problem. Noise like this is called high frequency exhaust noise and shock waves are considered to play an essential role for the generation of the exhaust noise. Consequently it became necessary to reduce shock waves and to reduce the exhaust noise from the remaining shock waves by attaching a silencer to the exhaust pipes. Using the same calculation method, a numerical analysis of the propagation of shock waves was carried out using several silencer models with internal structures of comparatively simple numerical analysis.

Keywords: Shock wave, Numerical analysis, Exhaust silencer, Compressible flow, Internal combustion engine

1. 緒 言

自動車の排気管から発生する排気音は、自動車の増加に伴い騒音問題を引き起こしている。このような騒音は高周波排気騒音と呼ばれ、この排気音の発生には、衝撃波が影響するものと考えられている⁽¹⁾⁽²⁾。よって、騒音の低減には消音器を取り付け、衝撃波を減衰させることが効果的であると考えられる。

既報⁽³⁾では、比較的簡単なモデルにおいて管路の拡大・縮小の繰り返しは衝撃波の減衰に効果的であるこ

とを示した。本研究では、衝撃波を減衰させる目的で内部構造を変化させたいいくつかの消音器モデルを提案し、消音器内の流れと衝撃波の減衰を数値解析により解明した。

2. 解析モデルおよび方法

図1に本研究で使用したモデルの3次元形状を示す。モデル1は3室からなり、途中に絞りを設けた入り口管と出口管で3室が連結されている。モデル2は、

*近畿大学工学部知能機械工学科

**近畿大学大学院システム工学研究科

Department of Intelligent Mechanical Engineering,
School of Engineering, Kinki University

Graduate School of Systems Engineering, Kinki University

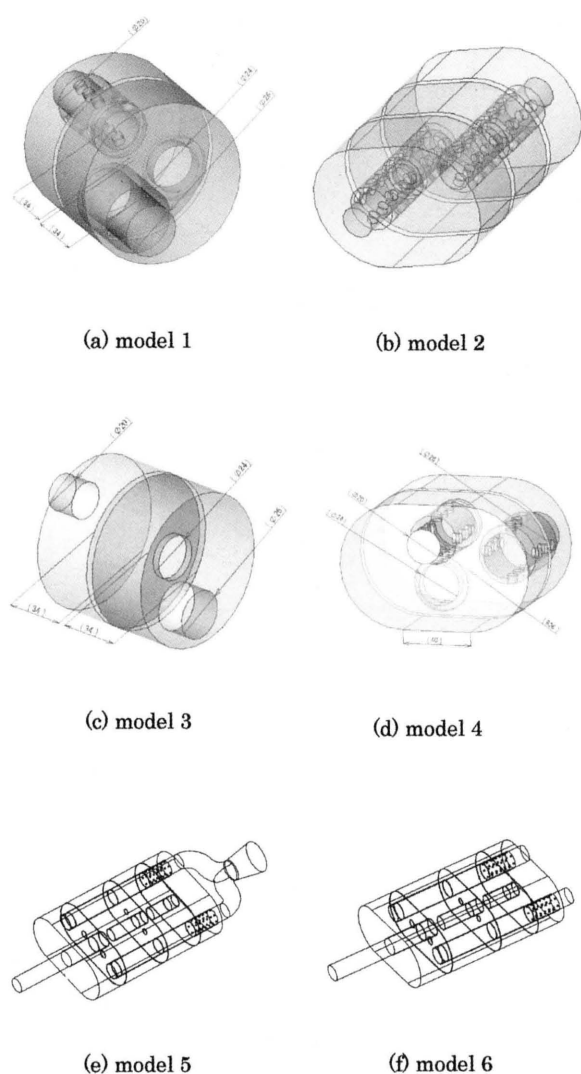


Fig.1 Configuration of silencer models

2室を入口管、連結穴、出口管でつなぎ、流れがこれらの管を順に通過することで流路方向が反転するようにした。モデル3は、モデル2と同じ2室の構造であるが、入口管が2室に貫通していないため、入口管の周囲の小管群から出た流れが連結穴を通り、2室の出口管に導かれる構造となっている。モデル4は、モデル2の1、2室の容積をそれぞれ2.5倍に拡大したモデルである。モデル5は管が絞られている、流れが反転する、出口が一つであるという特徴を持っている。モデル6はモデル5と同じ構造だが、出口は二つである。

本解析で用いた支配方程式には、連続の式、浮力項のないNavier-Stokes方程式、発熱源のないエネルギー

方程式を、また、乱流モデルには $k-\epsilon$ モデルを用いた。基礎式の離散化は完全陰解法とし、流速における圧力の解法には、SIMPLE法を用いた。

3. 解析結果および考察

3.1 消音器モデル解析結果

図2に各消音器モデル内の断面図と2.0ms後の速度ベクトルを示す。図2(a)はモデル1の入り口管、出口管に絞り部がない場合の計算例である。速度ベクトル図より、メインの流れは入り口管を突き抜けて、3室の右側の壁に衝突し3室で拡大しながら、出口管に流入し排出されている。また、管に開けられた穴から、各部屋への流れも見られる。

図2(b)は、モデル1の入り口管、出口管をそれぞれ図中のA1の部分で面積比50%、A2、A3は面積比30%に絞ってある。速度ベクトルを見ると、図2(a)の場合より入り口管の中の流れが絞り部で減衰し、管周囲の小管から1室、2室に流出している。等密度線図の観察から衝撃波は図2(a)のものより弱く、ほかの部分では、図2(a)と同様に入り口から流れ込んできた流れが、3室へ流れ込み、出口管から外へ排出される。管に開けられた小穴から各部屋の流れは速度が遅く、逆流して管内に衝撃波の戻り干渉をすることもある。このような絞りを加えることで消音効率が上がるものと推測される。

図2(c)にモデル2の入り口管の中心と連結穴を通る断面図を示す。メインの流れは入り口管を通り、入り口管出口(穴1)から出て、2室内で反転して連結穴(穴2)に入り、もう一度反転し出口管入り口(穴3)に入って外部に出る。入り口付近の流速は速いが、入り口管の中で徐々に流速が減している。また、穴3の出口の流速は入り口に比べて急に低くなっている。

図2(d)にモデル2の出口管の中心と連結穴を通る断面図を示す。2室へ流れ込んだ空気が、壁面にぶつかり反転し、出口管から排出されている。これが、メインの流れである。入り口管の側面に、小穴を開けているが、そこを通る多少の流れが確認でき、メインの流れに干渉しているようすが分かる。また、出口付近の流速は急に速くなることが確認できる。

図2(e)にモデル3の入り口管の中心と連結穴(図の穴1)を通る断面図Xと、出口管の中心と穴1を通る断面図Yを並べて示す。なお、速度ベクトル図はX断面のものを示している。

ベクトル図より、入り口管を通過した流れはあまり向きを変えず隔壁に衝突し、1室内で拡散し一部で渦

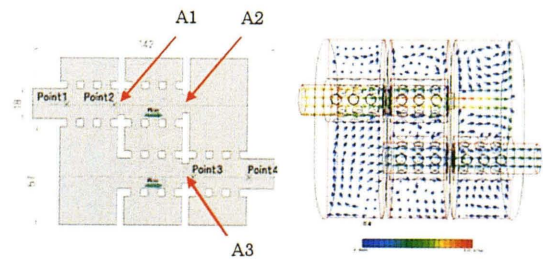
を巻きながら膨張し、連結穴(穴1)から2室に流入している。

モデル3は、モデル2と違い、流れが反転しない構造であるが、管が一直線上にあるようなモデルを除いては、流れが反転しないように見えるだけで、ほとんどの流れは壁面に衝突すると、巻き上がり、直接次の部屋へと流れ込む流れは少なくなる。結果的に何回か反転、つまりは渦を巻いてしまうなど、ロスが多くスムーズに流れていないことが分かる。したがって、一直線上に配置するのが最適と考えられるが、しかし、一直線上に配置すると、膨張室から管へと流れ込む際の抵抗が、メインの流れと干渉して、スムーズな流れを妨げる傾向にある。

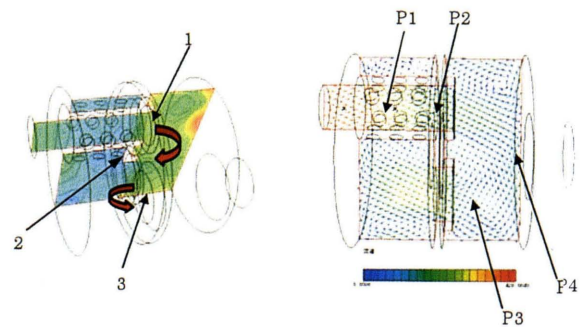
図2(f)はモデル4の入り口管中心と連結穴中心を通る断面を示している。モデル4は、モデル2と構造が類似しているために、両者のモデルに流れの大きな違いは見られない。しかし、モデル4はモデル2に比べて膨張室が大きくとられているために、変化が緩やかである。

図2(g)はモデル4の連結穴中心と出口管中心を通る断面を示している。膨張室内で流れが拡大したことにより、流速が小さくなっていることが分かる。出口管では1室からの流入する主流に、出口管側壁の小穴を通り流入する流れが合流し、出口に向かって流速が大きくなり、衝撃波の大きな減衰効果が得られる。

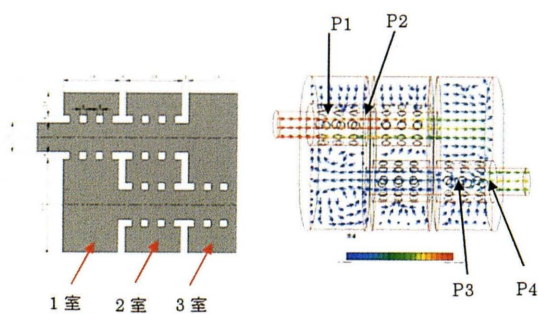
図2(h), (i)に示すモデル5の圧力図を見ると、2.7msに第一パイプと第二パイプ中に衝撃波がよく見られるが、14.7ms時に、減衰の様子が分かる。また、モデル5の結果に比べて、図2(j), (k)に示すモデル6の衝撃波の減衰効果がよりえられると考えられる。よって、モデル6の方が消音効率が低いことが分かる。



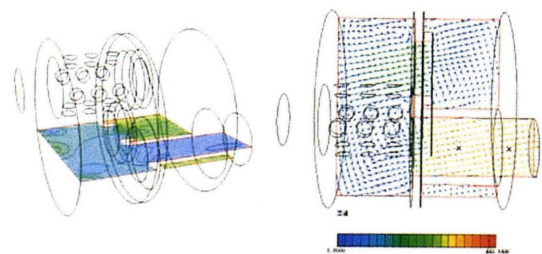
(b) model 1-b



(c) model 2-a



(a) model 1-a



(d) model 2-b

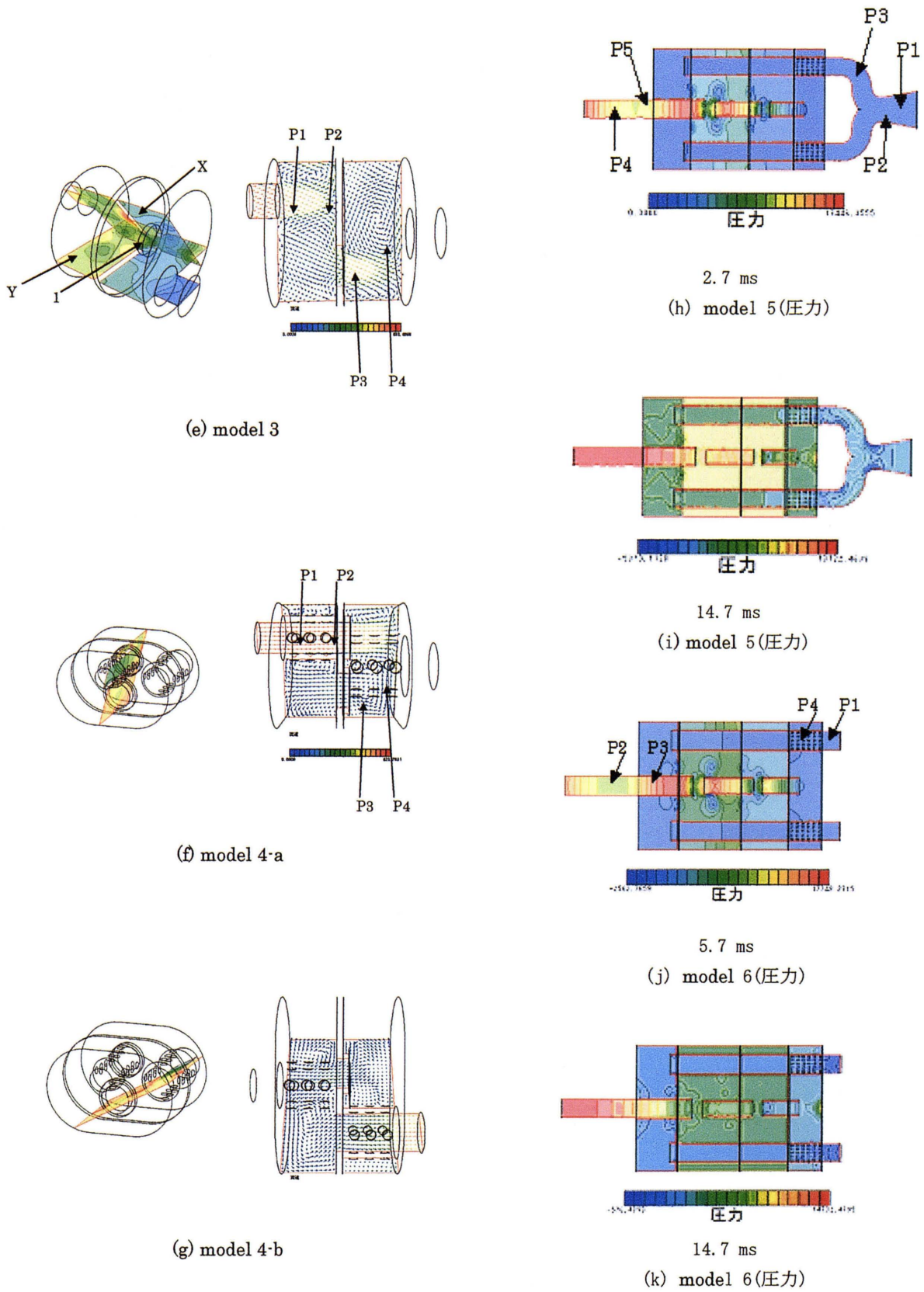


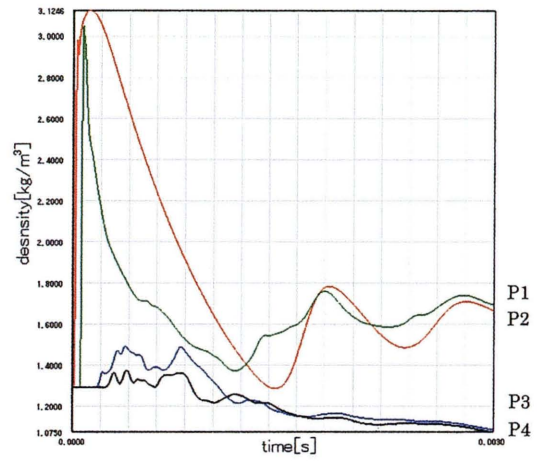
Fig.2 Cross section and flow velocity vector of models

3.2 流入部と流出部の密度減衰特性

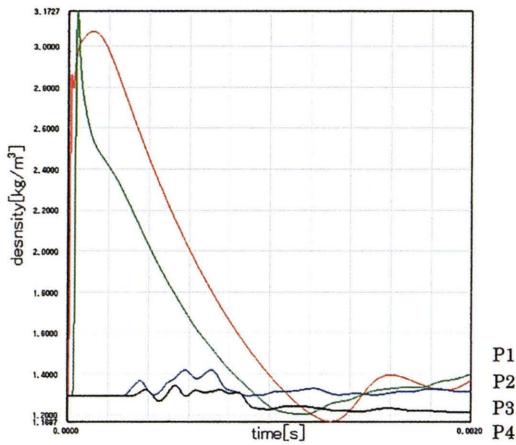
図 3(a)～(e)に各モデルの密度履歴を示す。図中の P1 から P4 はそれぞれ図 2 の速度ベクトル図中の P1 から P4 の位置に対応している。P1, P2 は流入部付近に、P3, P4 は流出部の出口管中心部に測定点を配置している。図 3(f)～(g)にモデル 5 とモデル 6 の圧力履歴と密度履歴を示す。

図 3(a)の管に絞りのないモデルでは、流入部付近の P1, P2 で、密度が急激に上昇するが、すぐに低下している。その後、変動しながら徐々に初期値付近に収束している。また、流出部付近の P3, P4 の密度の変化は小さく、安定している。

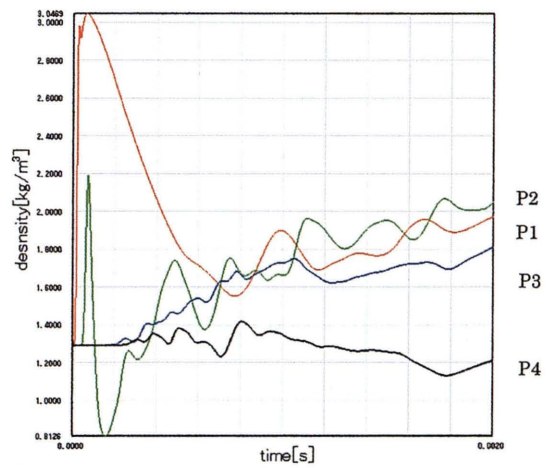
図 3(b)の絞りを設けたモデル 1-b ではモデル 1-a と比べると、流入部付近の P1, P2 の密度変化が緩やかになっている。また、モデル 1-a より密度の変動が大きく現れ、P4, P3 の順に高い値で安定化している。



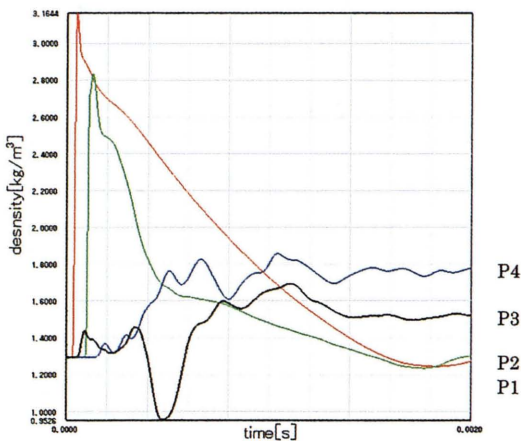
(c) model 2



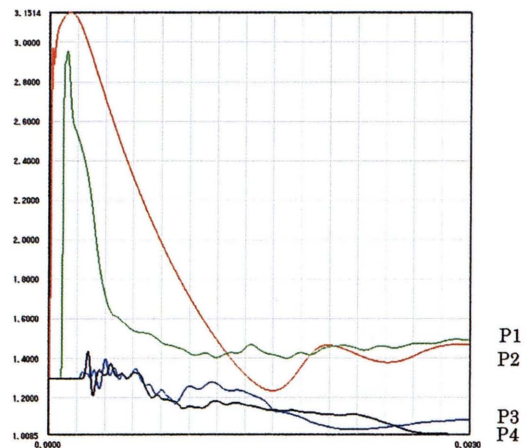
(a) model 1-a



(d) model 3



(b) model 1-b



(e) model 4

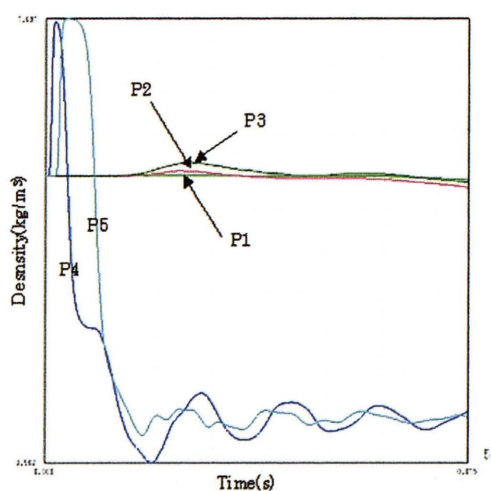
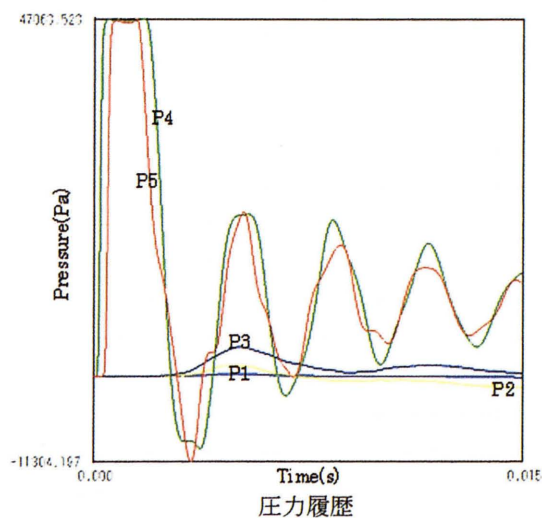
図 3(c)の流れが反転するモデル 2 では、流入部付近の P1, P2 の密度は、低下後、変動を繰り返しながら、高い密度値で安定化するようすが見られる。出口付近の P3 と P4 の密度は、少し上昇するが、緩やかに減少し、低い値で安定する。

図 3(d)のモデル 3 では、入り口管下流の P1 と P2 の密度は、急上昇しすぐに低下する。その後、密度は、変動を繰り返しながら、徐々に上昇する傾向がある。モデル 3 は、入り口管端から 1 室内に自由に流入させる構造のため、1 室内で衝撃波の反射が繰り返されると考えられる。出口付近の P3, P4 も密度は、図 3(c)のモデル 2 の場合より、いずれも大きな値となっている。P3 の密度は変動しながら増加する傾向にある。P4 の密度は、小さく変動しながら、徐々に初期値付近の値に収束していく。

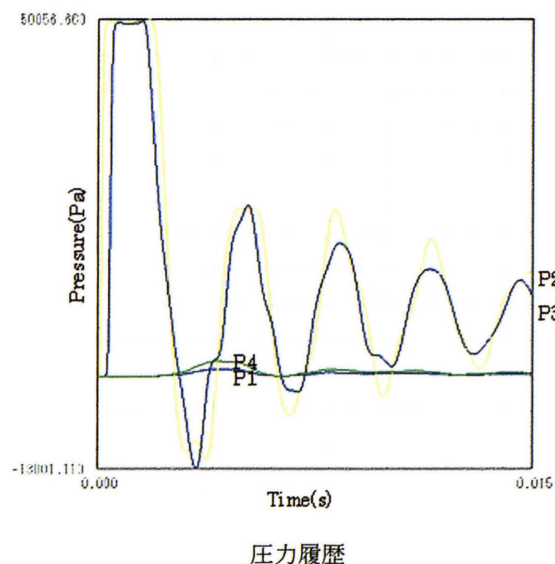
図 3(e)にモデル 4 の密度履歴を示す。モデル 2 (図 3(c)) の変化とほぼ同様の結果となった。しかし、流入部付近の P1 と P2 の密度は、モデル 2 に比べて、変動が小さく穏やかな変化になっている。P3, P4 の密度の変動も、モデル 2 の場合より若干小さい。よって、消音室の容積を拡大することで、衝撃波減衰効果が期待できると思われる。

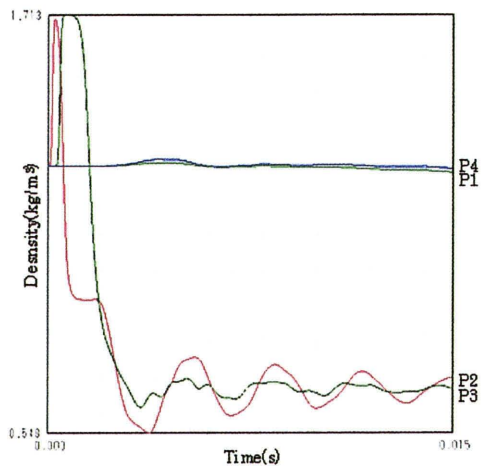
消音効果の高いモデルの要素に、室内が大きくとられ十分な容量があること、管が狭すぎるなど、大きな抵抗の原因になっているような部位がないことが挙げられる。そのような理想的なモデルの圧力履歴、密度履歴は今まで述べてきた傾向が現れることが多い。図 3(f), (g)に示すモデル 5 とモデル 6 の圧力図を見ると、流入部付近では、0.0038s に圧力が急に低くなっており、その後、圧力の変化は前より緩やかになっていて、変動しながら徐々に初期値付近に収束している。全過程出口の圧力の流れが緩やかに低くなっていることが分かる。これにより、衝撃波減衰の効果を高めることが分かる。また、密度図を見ると、流入部付近では、密度が急激に上昇するが、すぐに低下している。その後、密度の変化は前より緩やかになっている。また、全過程入り口の密度の流れの変化がほとんどない。さらに、モデル 5, モデル 6 の圧力図と密度図を見ると、0.005s にモデル 6 の方が安定になっていることが分かる。この原因によって、モデル 6 の方が消音効率と排気効率が高いと考える。

このような傾向が現れないモデルは、それらの要素を満たしておらず、どこかに負荷がかかっていたり、問題があり、消音効果、排気効率を高めるためには、改良の余地がある場合が多い。



(f) model 5





密度履歴

(g) model 6

Fig.3 Density and Pressure Variation

4. 結 言

(1) 流れを強制的に反転させることで、流れの膨張、収縮が行われ、消音効果を高めることができる。

(2) 入り口管から消音室内に自由に流れを流入させると、衝撃波が反射を繰り返すため、減衰には有効でないことがわかった。

(3) 管に絞りを加えることで、排気効率を向上させることができる。

(4) 一つのモデルに以上の条件をあたえることで、バランスよく消音効率と排気効率が高めることができる。

(5) 消音器の容積を大きくすると、密度変動を小さくすることができる。

参考文献

- 1) 関根紀朗, 松村修二, 高山和喜, 小野寺収伊藤勝宏: 内燃機関排気管内の衝撃波の生成と伝播, 機論, Vol.54, No.498(1988), pp.527-531.
- 2) 嶽間沢秀孝, 児島忠倫, 劉 渝, 井上純一: 消音器内を伝播する衝撃波の構造と減衰特性, 可視化情報, Vol.20, No.2(2000), pp.205-208.
- 3) 嶽間沢秀孝, 児島忠倫, 矢納 陽, 有吉竜一: 衝撃波を伴った消音器内の流れの解明, 可視化情報, Vol.24, No.2(2004), pp.85-88.