

衝撃波を伴った消音器内流れの解明

児島 忠倫*, 馬紅兵**, 嶽間沢 秀孝*, 矢納 陽*

Study on Behavior of Shock Waves in an Exhaust Silencer

Tadatomo KOJIMA, Hongbing MA, Hidetaka GAKUMASAWA, and
Akira YANOUE

ABSTRACT

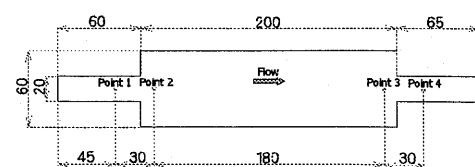
It was necessary to analyze the finite amplitude waves in exhaust systems for prediction the acoustic characteristics in silencers of internal combustion engines. In this paper, according to the same calculation method to the previous work, a numerical analysis of the propagation of shock waves was carried out by using several silencer models with the internal structures which are comparatively simple. Two-dimensional analysis was compared with three-dimensional analysis under the same conditions by the silencer models of two-dimensional models and three-dimensional models. In addition, the effect of the reduction of the shock wave is considered by analysis of the model similar to the figure of the actual silencer.

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

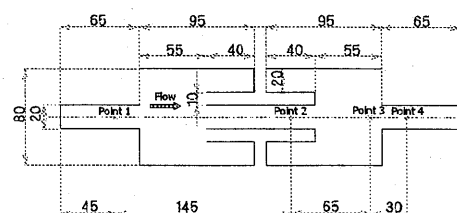
1. 緒 言

自動車のエンジンの排気管から発生する排気音は、エンジンの高出力化にともない騒音問題を引き起こしている。このようなエンジン高回転時の騒音は高周波騒音⁽¹⁾と呼ばれ、衝撃波に起因すると考えられている。衝撃波による騒音の低減には、排気系の途中に消音器を取り付け、衝撃波を減衰する方法がとられる。しかし、消音器内の衝撃波は、消音材の減衰効果は小さく、消音器の内部構造(形状)により減衰を考慮する必要がある。

本研究では、既報⁽²⁾と同じ計算方法を採用し、いくつかの比較的簡単な内部構造を持つ消音器モデルを用い、衝撃波の伝播するようすを数値解析した。消音器モデルは2次元モデルと、3次元モデルを用いて、同じ断面形状と条件を設定することで、2次元解析と3次元解析の結果を比較検討し



(a) Model 1

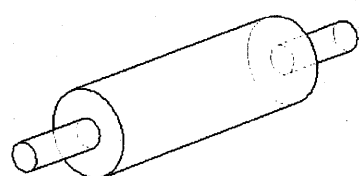


(b) Model 2

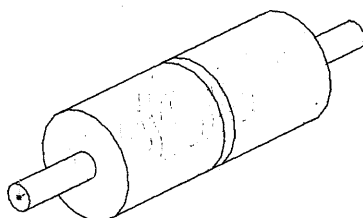
*近畿大学工学部システムデザイン工学科

**近畿大学工学部大学院工業技術研究科

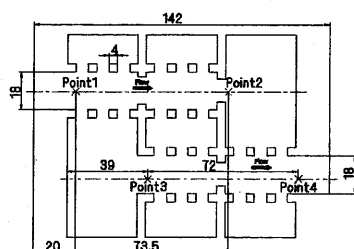
Departement of System Design Engineering,
School of Engineering, Kinki University
Graduate School of Industrial Technology, Kinki
University



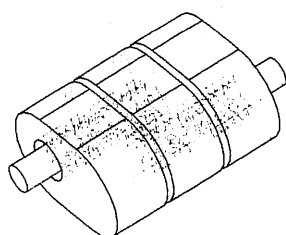
(c) Model 1-3d



(d) Model 2-3d



(e) Model 2-3d



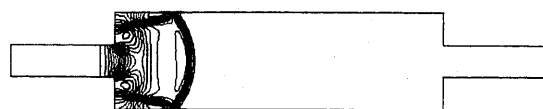
(f) Model 3-3d

Fig.1 Configuration of silencer models

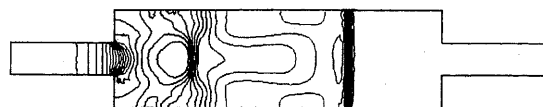
た。さらに、実際の消音器に似た形状のモデルの解析を行い、衝撃波の減衰効果を検討した。

2. 解析モデルおよび方法

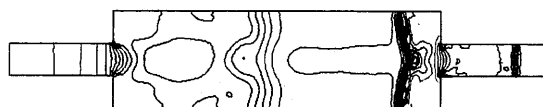
本解析で用いた支配方程式には、連続の式、浮力項のない Navier-Stokes 方程式、発熱源のないエネルギー方程式を、また、乱流モデルには $k-\epsilon$ モデルを用いた。基礎式の離散化は完全陰解法と



(a) 0.2ms



(b) 0.4ms



(c) 0.6ms



(d) 0.8ms

Fig.2 Pressure contour lines in model 1

し、流速における圧力の解法には、SIMPLE 法を用いた。移流項の離散化には、一次元の風上スキームを使用した。各物理量の取り扱いには、スタガード格子を採用した。マトリックスの解法には、圧力補正式に対して MICCG 法、その他には ILUCR 法を使用した。

図 1 に本解析で使用する解析モデルを示す。(a)の Model 1 と (b)の Model 2 は 2 次元モデルである。(c)の Model 1-3d と (e)の Model 2-3d は、それぞれ (a), (b) を中心軸で円筒状に 3 次元化したモデルで、外形寸法および管径はすべて同一とした。(f)の Model 3-3d は、実器の消音器を模擬した 3 次元モデルである。作動流体は空気とし、流入部のマッハ数を 1.1、流出部は大気圧とした。壁面条件は No-Slip 条件とした。また、解析メッシュ数は、各モデルによって異なるが、要素の形は多面体とした。

3. 解析結果および考察

3.1 2 次元モデルによる衝撃波構造の変化

図 2 (a) から (d) に、消音器が一室で、入口管と出口管が対向している 2 次元のモデル Model 1 を用いた場合の各時刻における、等圧力線の数値解析結果を示す。0.2ms 後の図 2(a) では、流れが入口管から消音器室に入射し、断面の急拡大に伴い衝撃波が放射状に広がり、衝撃波の内側に渦輪が発生しているようすが見られる。この衝撃波や渦輪の形状は関根らの可視化実験結果⁽³⁾とよく似ている。0.4ms 後の図 2(b) では、衝撃波は消音器室内で垂直となり出口に向かって移動している。入口管の出口近くにあった渦輪は形を崩しながら下流に移動している。0.6ms 後の図 2(c) では、出口管入口に達した衝撃波が一部はそのまま出口管を通過し、他は消音器の出口壁で反射し流れと反対向きに進行している。0.8ms 後の図 2(d) では、出口管を突き抜けた衝撃波が減衰せずに出口から放出されている。消音器管内では崩れた渦輪と衝撃波が交差し、圧力変化の大きい部分が形成されている。

図 3 (a) から (d) に、消音器を二室して連結管で接続した 2 次元のモデル Model 2 を用いた場合の解析結果を示す。0.2ms 後の図 2(a) では、入口管から半球形に進行している衝撃波が、連結管の入口に到達しておらず図 2 (a) と同様の圧力線図となっている。0.4ms 後の図 3 (b) では、先頭衝撃波が連結管に衝突した後、中央部の衝撃波が管路内を通過しているようすがわかる。管路入口で反射した衝撃波は一室内を上流に移動する。また、管路側面と一室下流部の隙間に入った衝撃波は、側壁や隔壁で反射した後、上流側に移動していく。0.6ms 後の図 3 (c) では、連結管を突き抜けた衝撃波がそのまま出口管を移動している。この衝撃波は図 2 (c) のものより弱く、連結管の通過と二室での拡大・縮小により、衝撃波が減衰している。一室内では(b)で上流側に移動していた反射衝撃波が入口壁や側壁に衝突して、圧力変化が大きくなっているところが見られる。0.8 ms 後の図 2(d) では、一室、二室とも消音器側壁に近い部分に渦輪が見られるようになる。

3.2 3 次元モデルと 2 次元モデルの比較

図 4 (a) から (d) に、モデル Model 1 を円筒状に三次元化したモデル Model 1-3d を用いた場合の解析結果を示す。0.2ms 後の図 4 (a) では、図 2 (a) と同様な半球状の衝撃波と入口管の出口付近

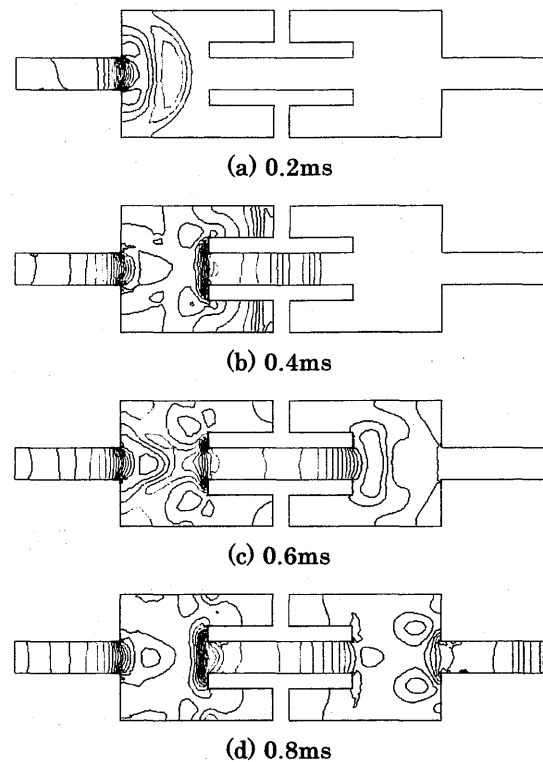


Fig.5 Pressure contour lines in model 2-3d

の渦輪が見られ、各圧力線の形状もよく似ている。3 次元モデルでは一断面当たりのメッシュ数が 2 次元モデルより少ないため、狭い領域での圧力の急変化を十分表せていない。0.4ms の図 4 (b) は、図 2 (b) と同様な圧力場となるが、衝撃波の進行が 2 次元のモデルより少し遅くなっている。0.6ms 以降の図 4 (c), (d) は、図 2 (c), (d) とそれぞれ似た圧力線形状になり、モデルを 3 次元化しても妥当な解析が行えると考えられる。

図 5 (a) から (d) に、モデル Model 2 を円筒状に三次元化したモデル Model 2-3d を用いた場合の解析結果を示す。各時刻とも 2 次元解析の図 3 と比較すると、衝撃波の進行が遅くなるが、衝撃波の形状や圧力線の分布形状はよく似ている。

3.3 消音器を模擬したモデルの解析

図 6 (a) から (d) に、消音器を模擬した三次元モデル Model 3-3d を用いた場合の解析結果を示す。0.2ms 後の図 6 (a) では、先頭の衝撃波が第 1 の連結管の出口から放射状に第三室に進行し始めている。連結管隔壁の穴の部分で圧力線が密になっている。連結管の周囲の小穴から流れが第一室、第

二室に進行しているが、圧力が急変化する流れではない。0.4ms以降の図6(b),(c),(d)は、時間とともに流れが進行し、出口管から流れが大気中に放出されている。第1の連結管の中心から噴出した流れが衝突する第三室の出口壁部で、圧力上昇が時間経過とともにはっきり現れる。出口管内の圧力変化は各時刻とも

3.4 消音器形状による圧力減衰特性

図7(a)(b)(c)に Model 1-3d, Model 2-3d, Model 3の圧力履歴を示す。測定点はそれぞれ図1(a)(b)(e)の2次元モデル図に示した点である。図7(a)の Model 1-3dでは、入口管内のポイント1では、衝撃波の通過に対応して圧力が急上昇し、その後安定している。0.65ms後のポイント3での急上昇は出口壁面に反射した衝撃波の通過によるものと考えられる。

図7(b)の Model 2-3dでは、出口管近くのポイント3での圧力上昇が、Model 1-3dの場合より緩

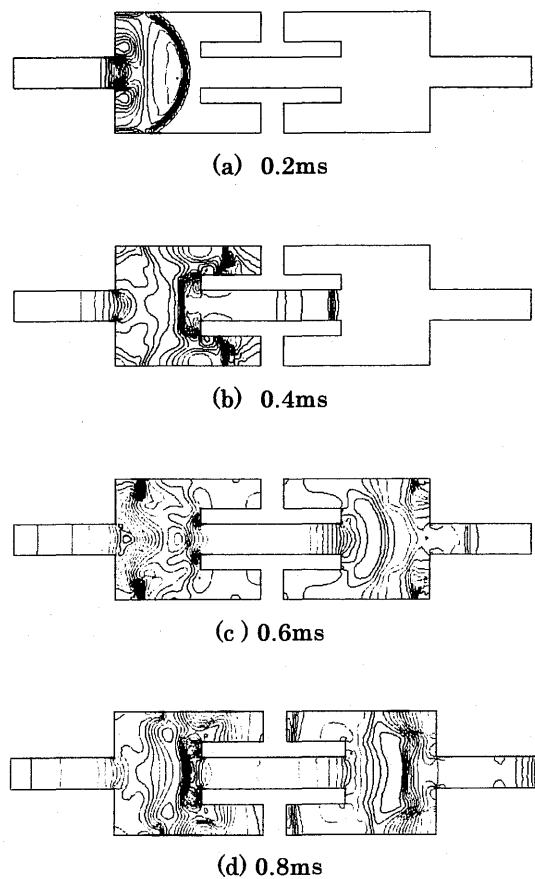


Fig.3 Pressure contour lines in model 2

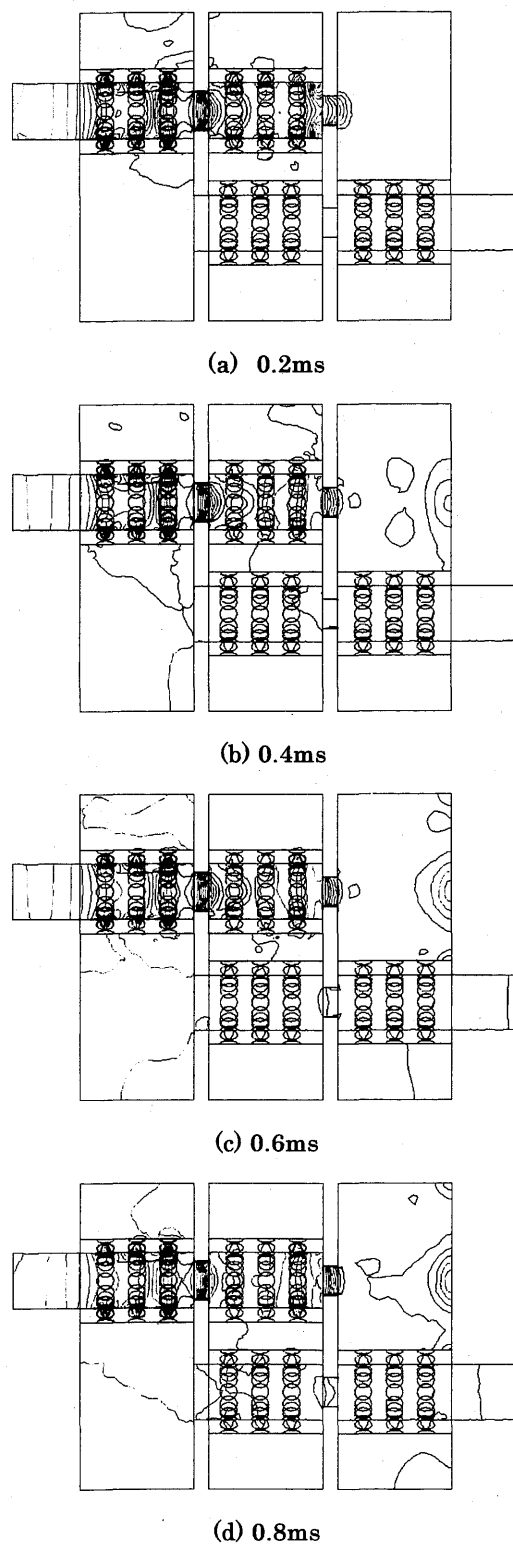


Fig.6 Pressure contour lines in model 3-3d

やかになっており、連結管を取り付けて流路の拡大・縮小の回数を増やした減衰効果が現れていると考えられる。

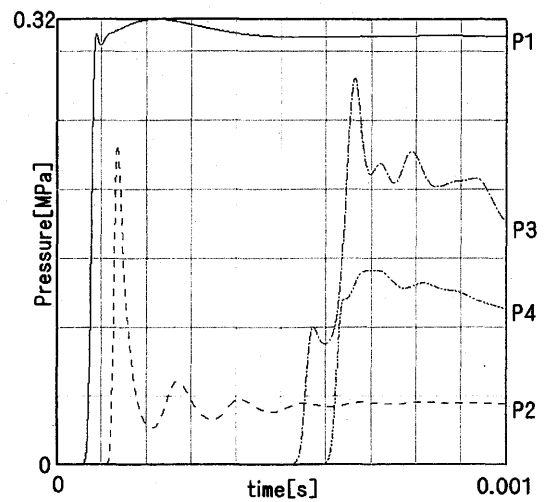
図7(c)の Model 3-3d では、出口に近いポイント3、ポイント4の圧力変化がさらに緩やかになっており、消音器形状による衝撃波騒音の減衰が示唆される。

4. 結 言

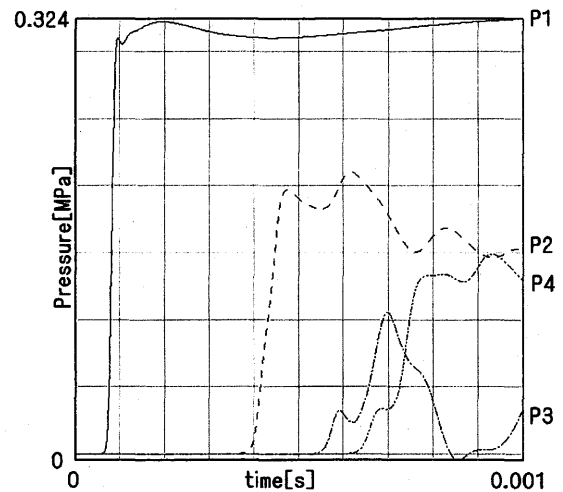
- (1) 二次元解析と三次元解析を比較し、解析の信頼性を確認した。
- (2) 管路の拡大と縮小の繰り返しが、衝撃波の減衰に有効である
- (3) 消音器を模擬したモデルの圧力履歴から、消音効果を確認した。

参 考 文 献

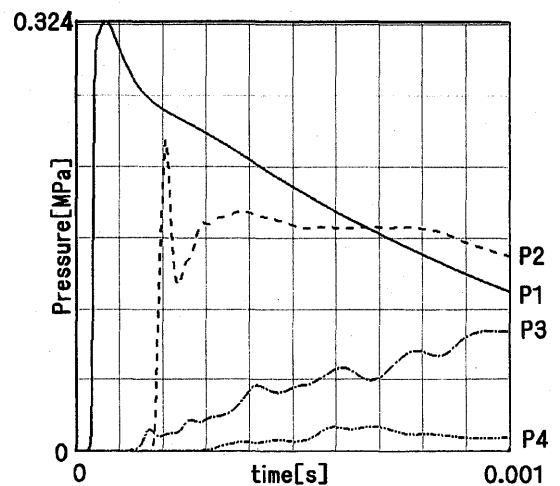
- 1) 関根紀朗, 松村修二, 高山和喜, 小野寺収, 伊藤勝宏: 内燃機関排気管内の衝撃波の生成と伝播, 機論, Vol.54, No.498(1988), pp.527-531.
- 2) 嶽間沢秀孝, 児島忠倫, 劉 渝, 井上純一: 消音器
- 3) 内を伝播する衝撃波の構造と減衰特性, 可視化情報, Vol.20, No.2(2000), pp.205-208.
- 4) 関根紀朗, 小野寺収, 高山和喜: 衝撃波にたいする消音器の特性に関する研究 (第1報), 機論, Vol.60, No.575 (1994), pp.527-531.



(a) Model 1-3d



(b) Model 2-3d



(c) Model 3-3d

Fig.7 Pressure variation