

報 告

無反射ダクトの吸気騒音予測手法の開発

猿渡智之^{*1}, 小笠原豊^{*2}, 木野等^{*3}

Development of Prediction Method for Intake Noise Level of Un-reflective Duct

Tomoyuki Sawatari^{*1}, Yutaka Ogasawara^{*2}, Hitoshi Kino^{*3}

要 旨

吸気騒音を低減する消音デバイスのひとつとして、エアダクト内の共鳴を抑制するために、多孔質材をエアダクト壁面に配設する無反射ダクトがある。

無反射ダクトの吸気騒音レベルを予測するためには、吸気口音と多孔質部からの透過音を予測する必要がある。今回、吸気口音と多孔質部からの透過音を予測する手法を開発したので、その手法と適用事例を報告する。

Abstract

The Un-reflective duct is one of the devices to reduce the air intake noise, which has porous materials on the wall of air duct to reduce air resonance in the air intake duct. It's necessary to estimate the sound level of duct opening and outside the porous part in order to predict the intake noise level of un-reflective duct. In this report we describe the method to estimate sound level of duct opening and outside of the porous part.

*1 開発部開発室

*2 機能部品技術部PV部品技術室

*3 機能部品技術部PV部品技術室

1. はじめに

近年の車両開発期間の短縮，開発効率の向上のため，開発の初期段階からCAEが活用されるようになってきた．吸気系システムへの適用として，共鳴型の消音器を有する吸気系システムの適用が武井ら⁽¹⁾により報告されている．今回，エアダクト内の共鳴を抑制する無反射ダクトを有する吸気系システムの吸気騒音予測手法を開発した．また，本手法を直列4気筒エンジンの吸気系システムに適用した例について報告する．

2. 無反射ダクトとは⁽²⁾⁽³⁾

エアダクト内部にはダクトの長さに応じた気柱共鳴が発生し，吸気口から騒音として放射される．従来は共鳴型レゾネータ，拡張室などを配設し，騒音を低減してきた．それに対し，無反射ダクト(図1)はダクト壁面の一部に多孔質素材を配設し，ダクト内の圧力脈動を減衰・透過することで，気柱共鳴の発生を抑制する．吸気系システムに適用することにより，レゾネータを廃止し，システム

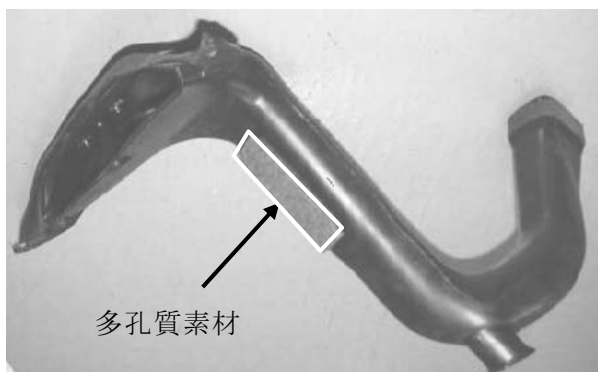


図1. 無反射ダクト

の軽量・簡素化を可能とした．

無反射ダクトは多孔質部からの音の透過によって，気柱共鳴を抑制することで吸気口音を低減する効果が生じる．透過音は増加するが気柱共鳴抑制効果による消音効果が大きく，トータルとして吸気騒音を抑制する．吸気騒音をより効果的に低減するためには，多孔質素材の配設位置や寸法などで吸気口音と透過音を適切に設定する必要がある．

3. 無反射ダクトを適用した吸気系システムのモデル化

3-1 予測対象

共鳴型消音器が配設された吸気系システムでは吸気口音のみ予測すればよいが，無反射ダクトが適用される場合には吸気口音の予測に加え，多孔質部からの透過音の予測も必要となる．

予測対象

- ・共鳴型消音器： 1)吸気口音
- ・無反射ダクト： 1)吸気口音
2)多孔質部透過音

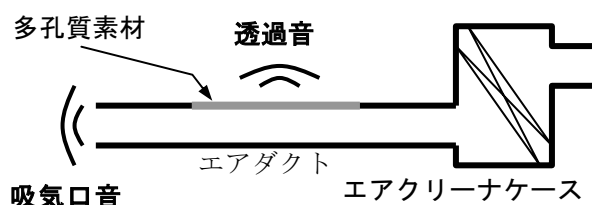


図2. 予測対象

3-2 無反射ダクトのモデル化

吸気系システムのモデル化は，吸気バルブから吸気口までを対象とする．多孔質部以外は空気に接する面の形状をそのままモデル化する．

多孔質部のモデル化において，本手法では多孔質素材内部での減衰・透過のメカニズムをモデル化することはせず，内外壁面の音圧・粒子速度入出力関係のみに着目し，モデル化を行う．

多孔質素材で音が減衰・透過するという現象をモデル化するため，モデルの壁面から音が透過するよう多孔質部の内外壁面の音圧，粒子速度の関係(以降では透過特性と表記)を設定する．

内壁，外壁間の音圧・粒子速度の関係式を以下に示す．

$$\begin{bmatrix} P_{out} \\ V_{out} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} \\ t_{21} & t_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{in} \\ V_{in} \end{bmatrix}$$

外壁面 透過特性 内壁面

P_{in} : 内壁面側音圧

V_{in} : 内壁面側粒子速度

P_{out} : 外壁面側音圧

V_{out} : 外壁面側粒子速度

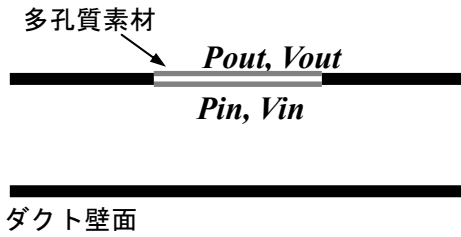


図3. 多孔質素材内外面の音圧・粒子速度の関係

無反射ダクトの吸気騒音の予測には、透過特性を設定する必要がある。t11からt22までの4つの伝達パラメータを周波数ごとに設定する。

3-3. 透過特性の設定

透過特性は垂直入射における実測値を元に決定している。図4のような計測装置において管内の音圧を計測し、管内を平面波状態と仮定し、透過特性を算出している(4)(5)。

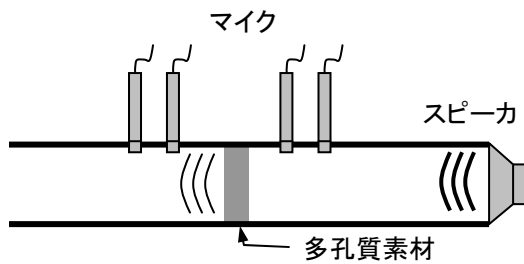


図4. 透過特性計測装置

決定した透過特性の妥当性検証を、図5のようなダクトの一方の端面にスピーカーを設置し、もう一方の端面に多孔質材を設置した垂直入射特性検証モデルにおいて実施した。

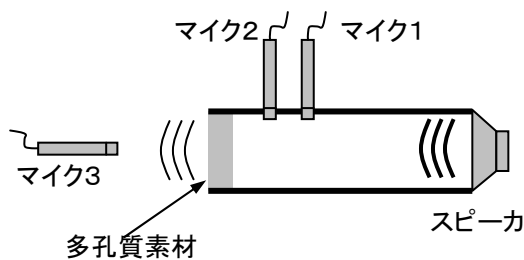


図5. 実験装置

ダクト内部のマイク1,2間の伝達特性、マイク1と多孔質材からの透過音を計測するマイク3間の伝達特性の予測値と実測値の比較を図6,7に示す。ゲイン、位相共によく一致している。

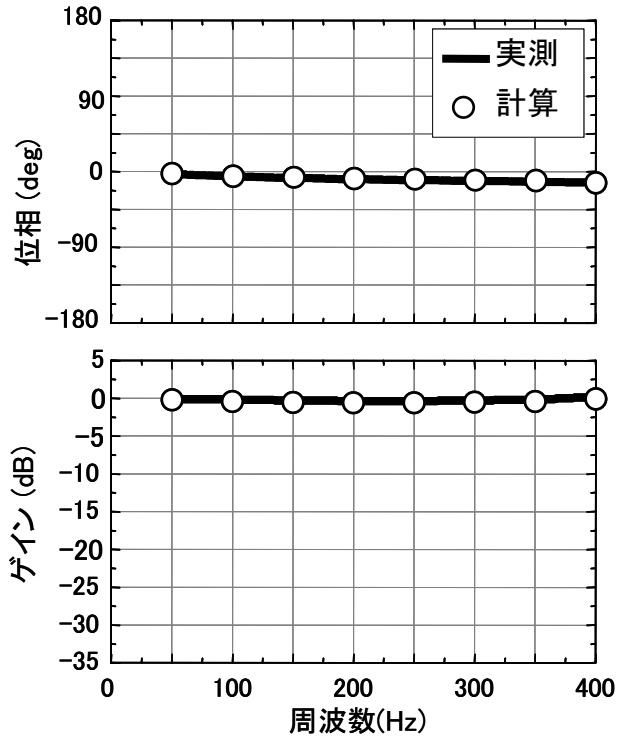


図6. マイク1から2への伝達特性

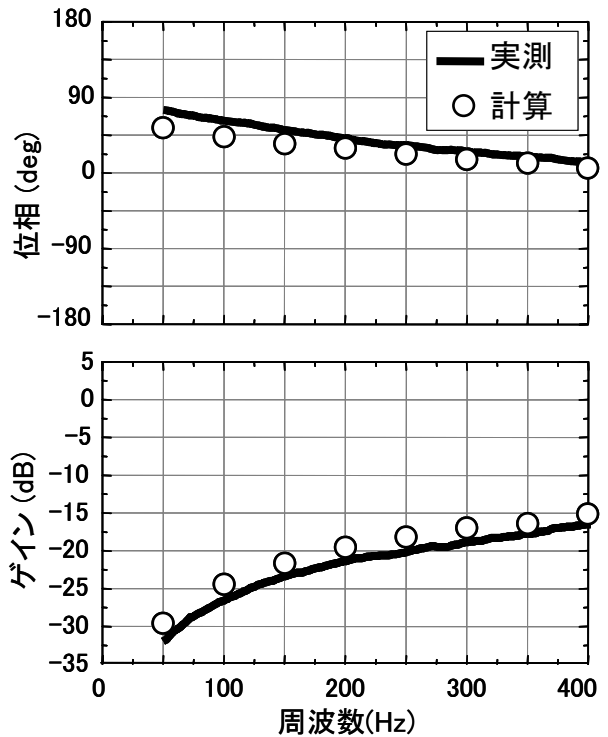


図7. マイク1から3への伝達特性

4. 音響加振による検証

吸気騒音の周波数帯域においてダクト内部ではダクト長手方向の圧力変動が主に生じていると考えられる。透過特性は垂直入射における特性を使

用しているが、実際の吸気系システムにおいて多孔質素材はダクト壁面に配設されており、音の入射方向は圧力変動方向に対し平行に近く垂直入射ではないと考えられる。そこで、垂直入射によって求めた透過特性が吸気騒音の予測に使用可能か否かの検証を行った。検証はダクト壁面に多孔質素材を取り付けた吸気系システム（エアクリナーホースからエアダクトまで）をスピーカー加振装置に取り付けて行った。検証に使用した試験装置を図8に示す。

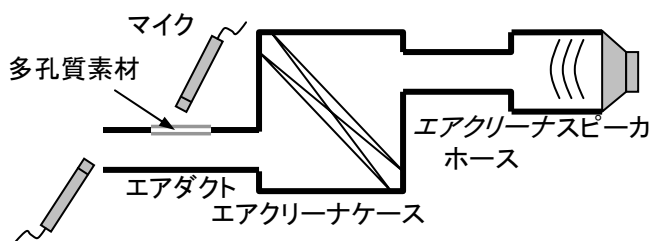


図8. 試験モデル

検証は吸気口音と透過音の音圧レベルの予測値と実測値との比較にて実施した。なお、音圧レベルの予測に際し、スピーカー位置での加振力には無反射ダクトが配設されていない吸気系システムを取り付けて同定したものを使用し、吸気系は剛体とし構造系との連成は考慮していない。吸気口音と透過音の予測、計測結果を図9, 10に示す。結果からわかるように吸気口音、透過音共によく一致している。以上のことから吸気系システムでの多孔質部の透過特性に垂直入射にて計測した透過特性が使用可能なことが確認できた。

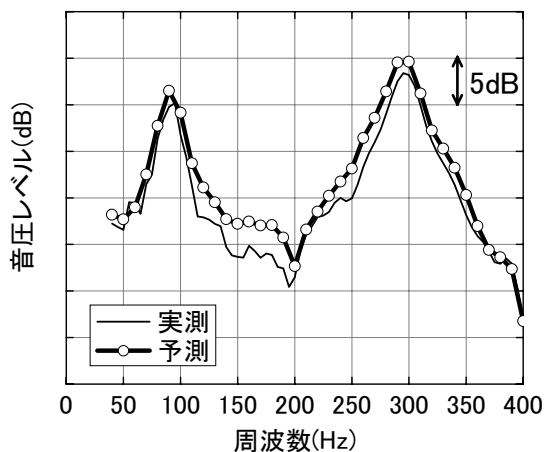


図9. 吸気口音の比較

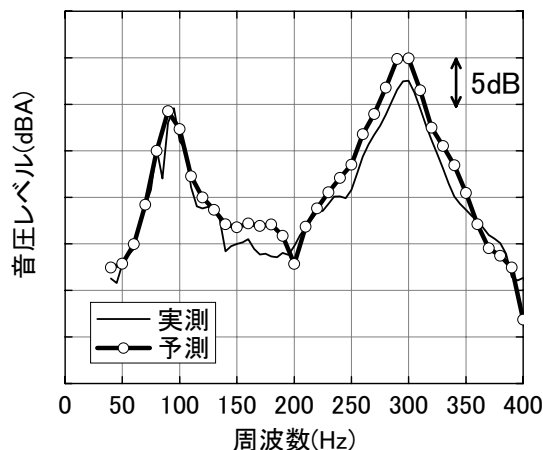


図10. 多孔質部透過音の比較

5. エンジン実機による検証

最後に直列4気筒エンジンの吸気系システムを用いて実機レベルの予測を行った。図11に解析で使用したモデルを示す。吸気バルブから吸気口までをモデル化しており、エアダクトが無反射ダクト仕様であるため、壁面の一部に多孔質部を設定した。

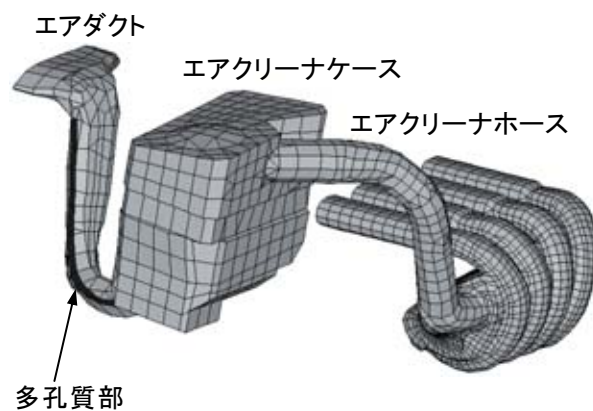


図11. 解析モデル

エンジン実機にて測定した吸気口音と多孔質部からの透過音とその予測結果を図12, 13に示す。騒音レベルの予測に際し、吸気バルブ位置での加振力（粒子速度）には、無反射ダクトが配設されていない吸気系システムにて同定したものを使用した。

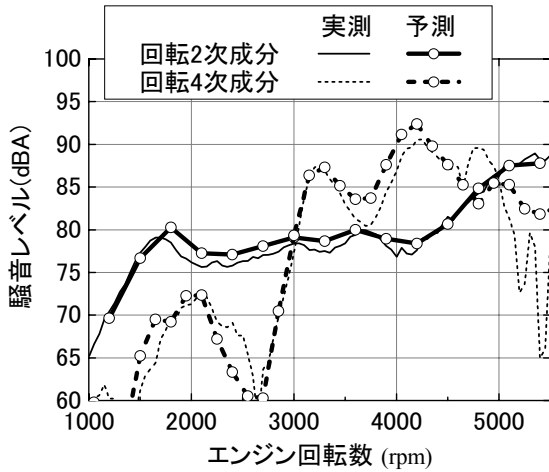


図12. 吸気口騒音レベル比較

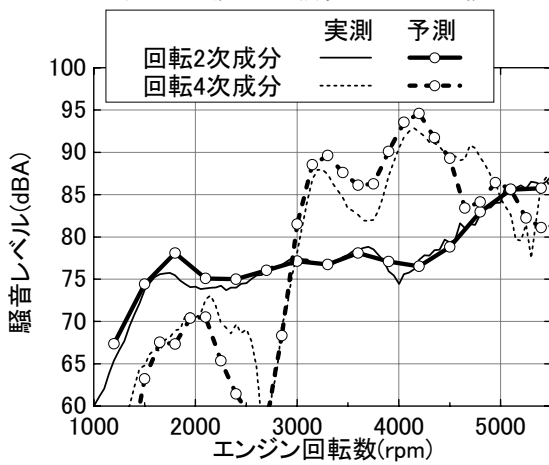


図13. 多孔質部透過音比較

回転2次成分，4次成分において吸気口音，透過音共に実測値とよく一致している．エンジン実機レベルでの予測ができ，本手法の有効性が確認できた．

6. まとめ

- 1) 無反射ダクトの多孔質部を透過素材として設定し，その特性を実測により求めることで，吸気口音と多孔質部からの透過音の予測が可能な手法を開発した．
- 2) その手法をエンジン実機に適用し，本手法が適用可能なことを確認した．

本技術開発を行うにあたり，適切にご指導を頂いたトヨタ自動車株式会社の武井雅行殿に深く感謝の意を表します．

参考文献

- (1)武井ほか，"三次元モデルによる吸気音予測手法の開発"，自動車技術会，学術講演会前刷集，No.85-00 p.19-24 (2000)
- (2)広瀬ほか，"無反射ダクトによる低騒音吸気系の開発(第2報)"，自動車技術会，学術講演会前刷集，No.10-00 p.5-8 (2000)
- (3)Y.Hirose,et.al，"Acoustic Analysis of Unreflective (non-resonant) Duct"，Society of Automotive Engineering，2002-01-0857，p.1-6
- (4)城戸健一，1次元の音波，音響工学，東京，コロナ社，1982，p.8-18
- (5)BK機器事業部，2マイクロホンインピーダンス測定管-4206型 Product Data，大阪，松質機器株式会社，p.2