

複合型アクティブマフラーによる排気系騒音の低減に関する研究

室蘭工業大学 ○城戸篤史 西田公至 齊当建一 井坂秀治

要旨

本研究では、エンジンなどの排気系騒音を抑制する消音器として、従来の受動型の消音器と二次音源を用いた能動騒音制御を組み合わせた複合型アクティブマフラーの設計を目的とする。この際、消音器の内部構造や二次音源の配置などの設計因子が消音器の減音特性に与える影響について実験により検討した結果を報告する。

1 緒言

近年、空調機器のダクトや自動車のマフラーにおける排気系騒音の対策として、対象音に逆位相の音を加えて消音する能動騒音制御 (Active Noise Control, 以下 ANC) が実用化されつつある。ANC は特定周波数域に対しては非常に高い減音効果があるが、広帯域騒音や高周波音に対しては減音効果が低いといった問題がある。そこで、高周波成分を含む広帯域の騒音を抑制する膨張型消音器と ANC とを組み合わせた複合型アクティブマフラーとして用いることで、広帯域で高い減音効果が期待できる。

本研究では、複合型アクティブマフラーの設計を目的として、二次音源の設置位置と、一段膨張型消音器の形状について実験的に検討し、各々の設計因子が消音器の減音特性に与える影響について報告する。

2 実験装置および実験方法

図1及び図2に実験装置の構成を示す。実験では、入力管と尾管の中心軸が一致した形状の一段膨張型消音器モデル (以下、同軸型) と、中心軸が一致しない形状の一段膨張型消音器モデル (以下、軸ずれ型) を用いる。実験モデルはいずれも全長 800mm で、長さ 150mm、断面 100 × 100mm の入力管及び尾管と、長さ 500mm、断面 300 × 300mm の膨張部で構成されている。また出口端から 50mm の位置に制御用マイクロホンを設置している。測定には出口端から 250mm 離れた位置に設置している放射音測定用のマイクロホンを用いる。二次音源スピーカは膨張部側面の任意の位置に配置が可能である。なお複合型アクティブマフラーの減音特性は、挿入損失により評価する。挿入損失とは、直管の一部に消音器を挿入した場合としない場合での、放射音の音圧レベルの差から求めた減音特性である。ここで、直管とは長さ 800mm、断面 100 × 100mm のモデルである。

ANC の制御方法は LMS 適応フィードフォワード制御を用いており、音源スピーカの駆動信号を入力として、制御用のマイクロホンでの音圧レベルが常に最小となるように調整した制御用の二次音を出力する。適応フィルタには DSP (Digital Signal Processor) を用いる。

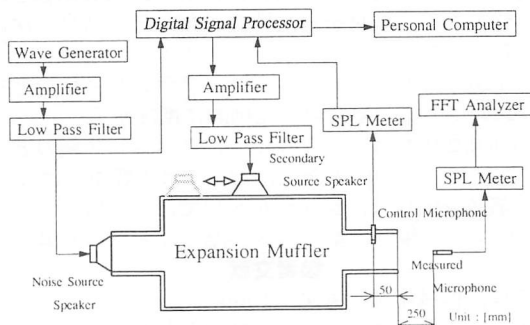


図1 実験装置および制御系の概略図

3 実験結果および考察

3-1 一段膨張型消音器に関する検討 図3に同軸型と軸ずれ型の一段膨張型消音器による挿入損失の比較を示す。試験音には 1W のホワイトノイズを用いた。図より、同軸型は周波数に依存するが広帯域にわたり減音効果が得られた。軸ずれ型では減音されない周波数帯もいくつかみられたが、500Hz や 1250Hz 付近では同軸型よりも 15dB 程減音効果大きい。挿入損失のオーバーオールレベル値は同軸型が 3.19dB、軸ずれ型が 7.09dB であった。この結果より、一段膨張型消音器としては軸ずれ型を用いた方が、同軸型よりも大きな減音効果があることがわかる。

3-2 同軸型の二次音源位置の検討 図2(a)に示すように、入力管に近い膨張部の側面位置 A、膨張部の側面中央位置 B、及び尾管に近い膨張部の側面位置 C の 3 通り

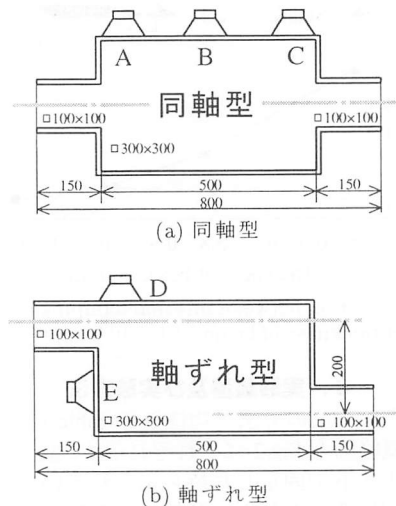


図2 消音器形状及び二次音源位置

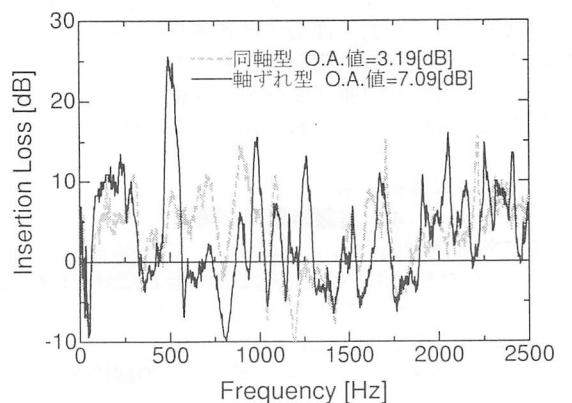


図3 一段膨張型消音器の挿入損失 (試験音: 1W White Noise)

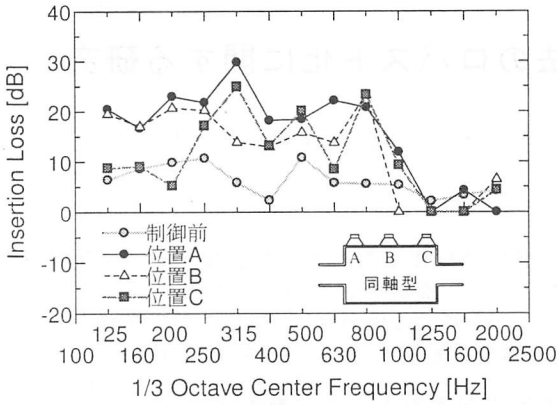


図4 同軸型での二次音源位置による減音特性の比較

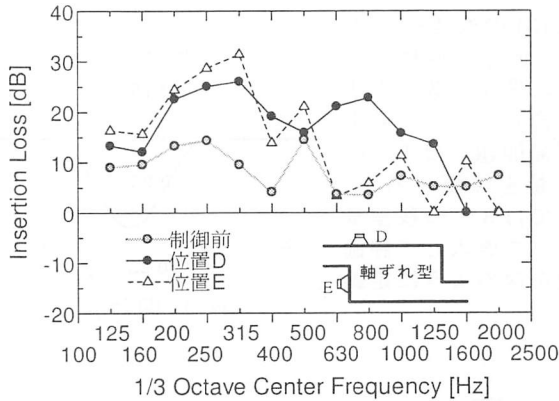


図5 軸ずれ型での二次音源位置による減音特性の比較

の二次音源位置について検討した。一般に、エンジン排気音は周期性を持ったピークを中心とする狭帯域雑音で構成される。よって排気音を想定して、中心周波数から1/3オクターブバンド幅ごとに帯域制限した5Wのホワイトノイズを試験音に用いて実験を行った。

図4は同軸型消音器での制御前後の減音特性を二次音源位置により比較したものである。図より、どの位置でも1000Hz以上の周波数域では制御前後の減音量にほとんど変化はなかった。しかし、それ以下の周波数域では、制御前の同軸型のみでの場合よりも減音量は増加しており、一段膨張型消音器の減音効果とANCによる減音効果を併せ持った、複合型アクティブマフラーとしての減音特性がみられた。位置Aの場合、制御後の減音量の増加は10~25dBであり最も広帯域にわたってみられた。位置Bでは5~15dBの減音量の増加がみられた。位置Cの場合、減音量の増加がみられた帯域が最も狭い。

これらの結果から、二次音源を入力管側に近づけるほど、より広帯域で大きな減音効果が得られるといえる。

3-3 消音器形状に関する検討 図2(b)に示すような軸ずれ型モデルを用いて同様の実験を行い、消音器形状による減音特性の比較を行った。二次音源位置は図4の結果から、入力管により近い膨張部側面の位置Dと、入力管側膨張部の位置Eについて検討した。

図5にその結果を示す。図より、同軸型の位置Aと軸ずれ型の位置Dの減音特性の傾向はほぼ同じであったが、位置Aの方が低周波域では減音効果があり、位置Dの方が高周波域までANCの制御が可能であることがわかる。位置Eの場合は、600Hz付近からANCの制御

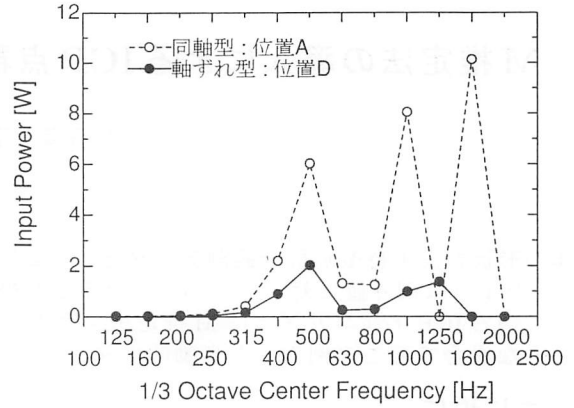


図6 消音器形状による二次音源への入力電力の比較

効果がなくなり広帯域での減音効果はみられなかった。しかし位置Eへの配置は、複合型マフラー全体の大きさがコンパクトにまとまるため、設計の合理化という点で有効である。

図6に位置Aと位置Dの制御時の二次音源への入力電力の比較を示す。図5, 6より減音特性の傾向はほぼ同じであったが、二次音源への入力電力は特に高周波域において、位置Dの方が半分以下で済むことがわかる。二次音源への入力電力を軽減する事は複合型アクティブマフラーを実用化する上で、駆動に要するコストの節減、二次音源の耐久性につながる。

これらの結果は、位置Dの方が位置Aよりも入力管に近い場合、二次音波が騒音源側へ伝わりやすく、音源の音響放射を抑制するように干渉する効果が得られたと考えられる。また入力管部では膨張部よりも限界周波数が高いため、比較的高周波域までANCによる制御が可能である。なお限界周波数とは管の形状寸法から決まり、管内を伝わる音波の周波数がこの限界周波数以上になると管内の音場は複雑になる。このため制御は困難となり減音量が減少し、二次音源への入力電力も増大する。

4 結言

- (1) 一段膨張型消音器とANCを組み合わせることで、低周波域で膨張型消音器による減音効果とANCによる減音効果を合わせ持った複合型アクティブマフラーとしての減音特性がみられる。
- (2) 入力管と尾管の中心軸が一致した形状の一段膨張型消音器モデルにおいて、二次音源を入力管に近い膨張部側面に配置することで、広帯域において大きな減音効果が得られる。
- (3) 入力管と尾管の中心軸が一致しない消音器形状の場合、二次音源を入力管に近い膨張部の側面に配置すると、入力管と尾管の中心軸が一致した形状の場合の半分以下の二次音源への入力電力で、同程度の減音効果がある。

参考文献

- (1) 井坂・西田・斉当, 第6回環境工学総合シンポジウム, No.96-4 (1995), p15.
- (2) 井坂・西田・斉当, 機械学会北海道支部第37回講演会論文集, No.972-1 (1997), p177-178.
- (3) 井坂・西田・斉当, 機論, 66-645, C(2000), 1502.