

清水康男、岸野史明（ニチアス）、青木雅夫（青木応用音響）

はじめに

防音塀による遮音の効果はその高さを高くすることにより増大するが、施工性、経済性の問題の他に、景観、日照等の周辺の環境に与える影響も増大する。近年、防音塀の効果をより高めるために能動制御の手法を取り入れた防音塀に関する研究が進められてきている。1)2)3)

われわれは、実際の騒音源にたいして塀のエッジポテンシャルを消去する能動制御型防音塀の適用を試みるべく、3次元音場において、帯域ノイズを用いその効果を、2次元音源、エラーセンサーの配置等について検討を行ったので報告する。

実験条件と実験に用いたシステム

実験は、無響室（3.5m×4.4m×2.4m）に防音塀を設置し、80Hz～1.4kHzの帯域に制限したピンクノイズを用いて行った。

図1に防音塀の構造を、図2に透過損失を示す。能動制御は、1次元音源1、2次元音源4、エラーセンサー4のANC(1,4,4)とし、エラースキミング手法⁴⁾を用いたMEFX-LMSアルゴリズム⁵⁾によった。

音源、エラーセンサー、測定点の配置を図3に示す。1次元音源および2次元音源から塀のエッジを望む仰角を30°になるよう設定した。受音点は鉛直断面を1断面、水平断面を2断面設定した。

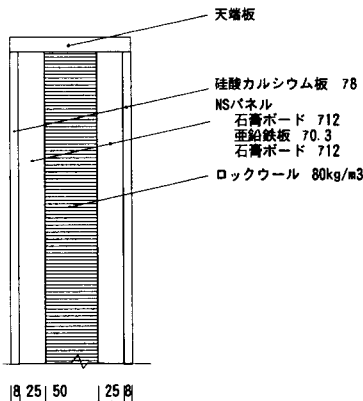


図1 防音塀の構造

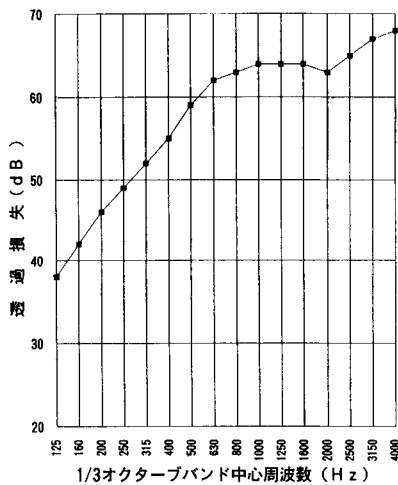


図2 防音塀に用いた構造の遮音性能

図4は用いた適応処理用のシステムのブロック図である。参照信号は、ノイズジェネレータからの元信号、または1次元音源の直前に配置したマイクロホンの信号を選択できるようにした。参照信号用のマイクの出力を用いた場合、2次元音源との距離が非常に近い場合を除き、元信号を用いた場合とほとんど変化が無かった。

フィルタ(Wm1)のタップ数、システムC1mjのタップ数はそれぞれ64、サンプリング周波数は4k Hzとした。

実験結果

実験は、1次元音源および2次元音源の塀のエッジからの距離の変化、2次元音源、エラーマイクの個数の組み合わせによる変化、反射性床面を設けた場合の変化等に注目して行った。

・能動制御の効果

[ANC(1,4,4), r0=1m/r1=0.5m]

図5に、能動制御を行った場合の減衰量の増加分をその効果として求め、鉛直断面、水平断面のコンターを示す。対象とした周波数は500Hzのオクターブバンドである。

鉛直断面のコンターからは、測定範囲内で6～16dBの効果認められ、その効果は塀による減衰が

* Application of active control technique on noise barrier.

By Yasuo Shimizu, Fumiaki Kishino(NICHIAS Corp.) and Masao Aoki (Aoki Applied Acoustics).

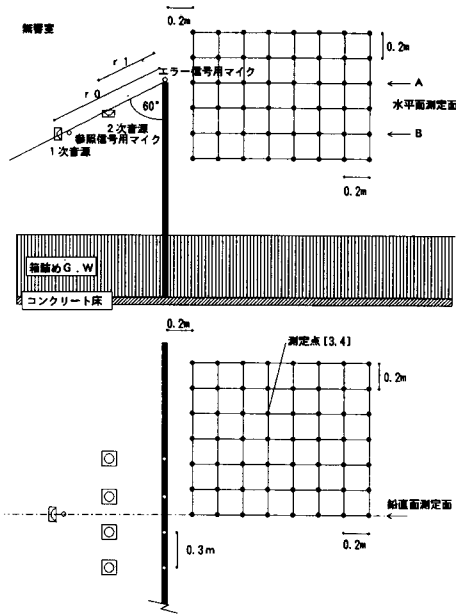


図 3 音源、エラーマイク、測定点の配置

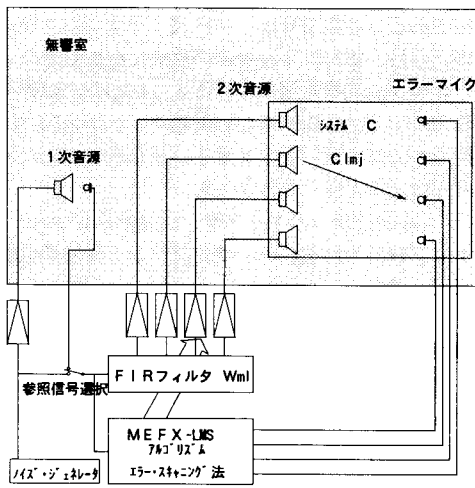


図 4 適応処理用システムの構成

小さい範囲で大きく、塀による減衰が大きく見込まれる範囲で小さい傾向を示している。

水平断面のコンター図からも、塀による減衰の大小に対応する能動制御の効果の変動の傾向が見られる。また、エラーマイクが配置されている位置のエッジポテンシャルを制御しているが、その配置範囲の2倍以上離れた水平位置においても効果が見られ、制御が広範囲に有効に働いている。

・2次音源・エラーマイクセットの間隔について
2次音源、エラーマイクはそれぞれ30cm間隔で4組配置している。この間隔は能動制御が可能な上限の周波数(f_c)を決定するとされている。4)

$$f_c = C / (2 \times)$$

C : 音速 (m/sec.)

: 2次音源、エラーマイクの間隔(m)

そこで、30cm間隔のANC(1, 4, 4)およびANC(1, 2, 2)、90cm間隔のANC(1, 2, 2)について、能動制御の効果を周波数特性上で比較した。その結果を図6に示す。間隔30cm、90cmの上限周波数は、それぞれ、570Hz、190Hzとなり、間隔30cmのANC(1, 4, 4)、90cmのANC(1, 2, 2)の周波数特性上からその傾向が明確に伺える。30cmのANC(1, 2, 2)では、その傾向はそれ程顕著ではない。

また、間隔が30cmの条件で、ANC(1, 4, 4)、(1, 4, 2)、(1, 2, 4)、(1, 2, 2)の比較を図7に示す。これから、2次音源あるいはエラーセンサーのみを増やしてもそれ程効果は期待できないようである。

・音源の帯域幅と能動制御の効果

実験は80Hz~1400Hzの帯域信号によって行った。適応システムは、基本的に信号パワーの大きな成分にたいしてもっとも有効に適応すると考えられる。そこで、信号のパワーを制限した周波数に集中させたときの能動制御の効果の変化をみるために、上記の帯域の信号を用いた場合と、オクターブバンドに帯域を制限した場合との比較を行った。図8にその結果を示すが、帯域を制限しても、その効果には大きな変化は見られなかった。

・1次および2次音源のエッジからの距離比

各音源からエッジを望む仰角を一定に保ち、 r_1/r_0 を、0.5m/1.0m、0.5m/1.69m、1.53m/1.69mの3種類について、能動制御の効果を比較した(図9)。

1次音源の距離1.69mの場合、2次音源の距離0.5mと1.53mを比較すると、400Hz以上の周波数では大きな変化は見られないが、315Hz以下の周波数では、2次音源が1次音源に近い場合の方が数dB~10数dB効果が大きい。また、2次音源が0.5mの場合で、1次音源の距離が1.0m、1.69mの場合を比較しても、制御の上限周波数(570Hz)以下では、1次音源と2次音源の距離差が小さいほど効果は大きく現れている。その効果の差は、低い周波数ほど大きい傾向にある。これは、回折音場に支配的に働くと考えられる1次音源、2次音源が塀のエッジ上を作る低次のフレネルゾーンの一一致の程度に関連するものと考えられるが今後の検討課題としたい。

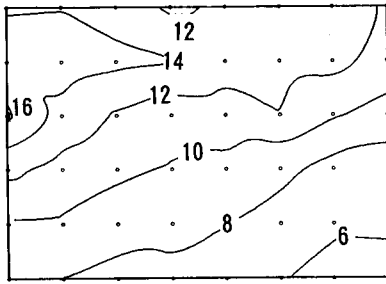


図 5 a) 能動制御の効果の分布 (鉛直断面)
500Hz oct. band. ANC(1.4,4). $r1/r0 = 0.5m/1.0m$.

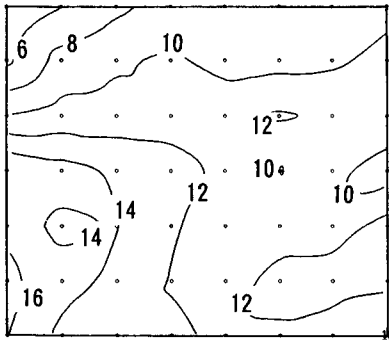


図 5 b) 能動制御の効果の分布 (水平断面A)
500Hz oct. band. ANC(1.4,4). $r1/r0 = 0.5m/1.0m$.

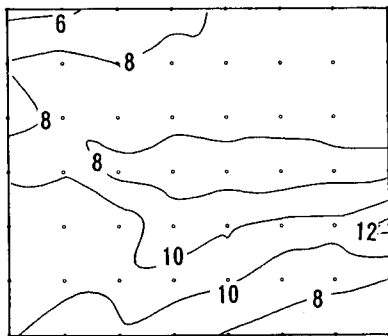


図 5 c) 能動制御の効果の分布 (水平断面B)
500Hz oct. band. ANC(1.4,4). $r1/r0 = 0.5m/1.0m$.

図 8 音源の帯域幅と能動制御の効果の
周波数特性

ANC(1.4,4). 測定点[3,4].
 $r1/r0 = 0.5m/1.0m$.

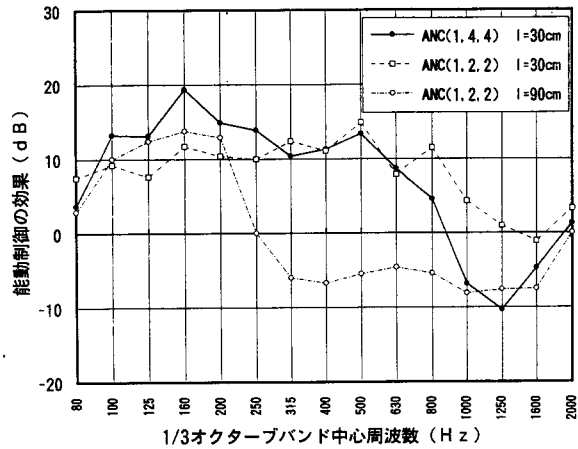


図 6 2次音源・エラーマイクセットの間隔と能
動制御の効果の周波数特性
測定点[3,4]. $r1/r0 = 0.5m/1.0m$.

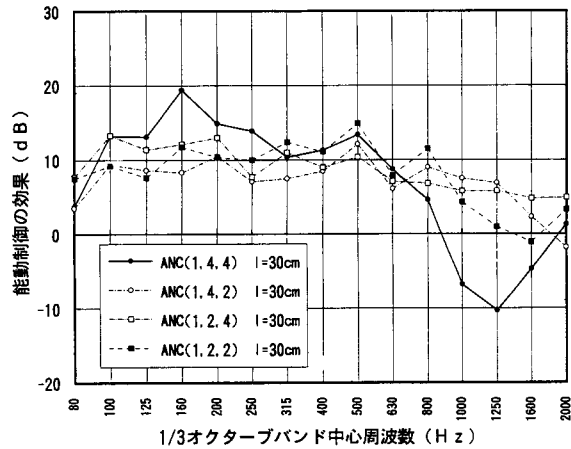
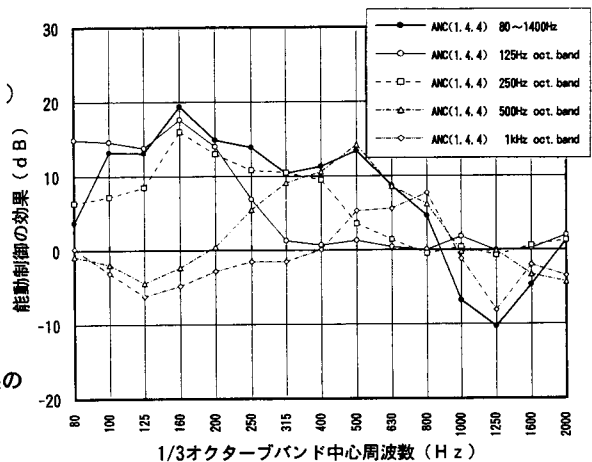


図 7 2次音源・エラーマイクの組み合わせと能
動制御の効果の周波数特性
測定点[3,4]. $r1/r0 = 0.5m/1.0m$.
2次音源・エラーマイクセットの間隔30cm.



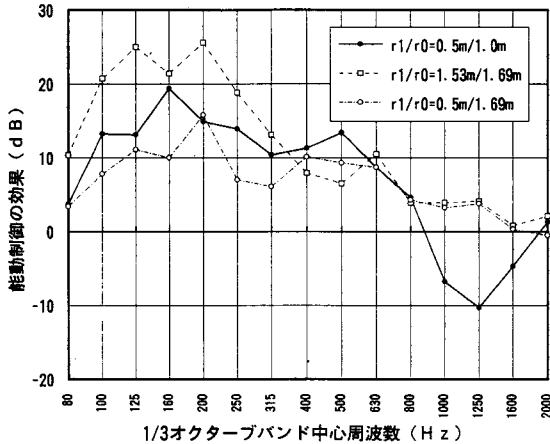


図 9 1次音源と2次音源のエッジからの距離と能動制御の効果の周波数特性
ANC(1, 4, 4). 測定点[3, 4].

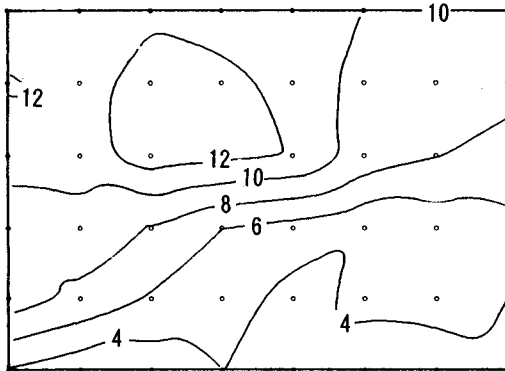


図 10 a) 能動制御の効果 (床面吸音, 鉛直断面)
500Hz1/3oct. band. ANC(1, 4, 4). $r_1/r_0=0.5m/1.69m$.

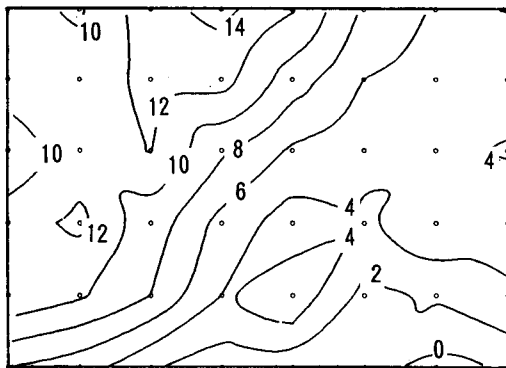


図 10 b) 能動制御の効果 (床面反射, 鉛直断面)
500Hz1/3oct. band. ANC(1, 4, 4). $r_1/r_0=0.5m/1.69m$.

・床面からの反射音の影響

能動制御を防音塀に適用する時に、純音を用いた2次元音場での実験で、床面からの反

射音の影響が大きく、有効に制御できない場合があることが報告されている⁶⁾。

この点について反射性の床を設けた場合との比較を行った。図 10 にコンターによる比較を示す。

1次音源、2次音源のエッジからの距離が、1.69m、0.5m、床面から塀のエッジの高さが0.93mの位置関係での結果であり、差をきわだたせるために500Hzの1/3オクターブバンドについて示している。

反射性の床にした場合、能動制御による効果は低下しているが、純音の実験結果のような著しい差は見られなかった。しかしながら効果の低減は否定できず、これを解決するための方法等について今後の課題としたい。

まとめ

塀のエッジポテンシャルの消去に適応処理による能動制御を用い、回折音場の騒音低減について、実験的検討を行った。その結果、1次音源、2次音源の位置関係、地面等の反射音の影響により、その効果は変動するが、直接、制御を行った範囲を超えるかなりの広範囲で有効であることがわかった。今後、種々の条件下での検討を行い、現実の騒音対策用のシステムの完成を目指したいと考える。

おわりに

これらの実験について多くの助言、指導をいただいた九州芸術工科大学、藤原教授、尾本助手に感謝いたします。

参考文献

- 1) 尾本章 他、「防音塀エッジポテンシャルの能動消去」、日音学誌、47巻、11号、1991.
- 2) 尾本章 他、「能動制御型防音塀に関する基礎研究—3次元音場における実測例について—」、日音学会騒音研究会資料、No. N-92-06、1992.
- 3) 伊勢史郎 他、「塀の遮音に対するアクティブ制御の試み」、日音騒音学会論集、1989.9.
- 4) 浜田晴夫 他、「アクティブ・ノイズコントロール・チェアの実現—エラースキャンニング適応制御アルゴリズムの応用—」、信学技法、EA-90-2、1990
- 5) B. Widrow et al., "Adaptive Signal Processing", Prentice-Hall, 1985.
- 6) 清原健司 他、「能動制御型防音塀に関する基礎研究—2次元音場において地面の影響を考慮した場合—」、日音学講論、1991.3.