

音で音を消すアクティブ・ソフト・エッジ遮音壁

New Noise Barrier Using Active Soft Edge

技術本部 大西慶三^{*1} 新井隆範^{*1}
 西村正治^{*2}
 神戸造船所 片山重厚^{*3} 寺西進^{*4}
 国土交通省 上坂克巳^{*5}

近年、環境騒音の低減要求に関連して自動車・鉄道等の交通騒音や発電プラント・工場からの騒音の対策に用いる遮音壁の高性能化のニーズはますます高まっている。これらの騒音の低減を目的に、移動する音源にも対応できるアクティブ騒音低減技術を用いた新型遮音壁（アクティブ・ソフト・エッジ遮音壁、以下ASE遮音壁という）を開発した。これは遮音壁先端部の音圧を最小になるように能動制御することにより回折音を低減するもので、同じ高さの従来型遮音壁と比較し平均で4.3 dB（設置道路が通常舗装時）及び3.9 dB（同、排水性舗装時）の遮音性能向上を達成した。これは走行する自動車の数をおよそ6割削減したことに相当する。

Needs have grown to reduce noise from road traffic, trains, factories, etc.. Several noise measures are introduced, e.g. drainage pavement and noise barriers. The active soft edge (ASE) noise barrier was developed to reduce diffracted noise using active noise control technology. ASE is compact and controlled to minimize surface sound pressure. ASE provides 4.3dB averaged noise reduction normalized with an ordinary noise barrier at asphalt pavement, 3.9dB at drainage pavement. The effect is equivalent to reduce 60% of road traffic quantity.

1. 緒言

自動車・鉄道等の交通騒音や発電プラント・工場からの騒音の対策には遮音壁が広く用いられている。遮音壁が最も多く施工されているのは道路であり、その施工延長は全国で4 000 km 余りに及ぶ。近年、環境騒音の低減要求に関連して遮音壁の高性能化のニーズはますます高まっている。日照確保や電波障害回避等の観点から、遮音壁の高さを変えずに減音効果を向上させる種々の新しいデザインの遮音壁が開発され、一部実用化されてきた。例えば遮音壁先端に吸音材を設置するものや、遮音壁先端の形状を工夫するものがある。しかしこれらパッシブな騒音低減技術を用いるものは、低い周波数の騒音（概ね125 Hz から500 Hz 位までの周波数帯域を持つ“ゴー”という音）の低減効果が十分ではない。一方、道路交通騒音の発生源対策に対しては排水性舗装等の施工が進み低騒音化に効果を上げているが、これも同じく低い周波数の騒音を低減する効果が十分ではない。したがって遮音壁の高さを高くせずにもなる騒音低減を図るためには、これらの対策を施工しても残る低い周波数の騒音を低減することが重要となる。音で音を消すアクティブ騒音制御技術（以下、ANC 技術という）はこれら低い周波数の音を低減するのに有効な技術である。本報ではANC 技術を用い国土交通省と共同で開発した、音で音を消す新型遮音壁（ASE 遮音壁）を紹介する。

3. アクティブ騒音制御技術の概要

ANC 技術は逆位相の音を出して元の音をキャンセル消音する技術で、デジタル信号処理技術の進歩に伴って1970

年代後半から各社・研究機関等での研究開発が本格化した。ANC 技術は、対象となる音場の状態により表1⁽¹⁾のように分類される。配管の中を進む音（一次元音場）に関しては空調ダクト、ファン・エンジンの消音器での実用化が進んだ。室内での音（三次元音場）に関しては自動車車内でのこもり音対策等が実用化されたが、まだ価格が高いためもありそれほど普及していない。空間を進む音（三次元音場）に関しては、遮音壁に適用する研究が進められているが、広い空間範囲での減音が求められるため制御の規模が大きくなる、あるいは自動車や鉄道のように騒音源が高速で移動する場合は効果が大幅に低下する等の課題があった。移動する騒音源に対応できるANC 技術はまだ開発途上にあり、これらを解決する技術としてASE 遮音壁を開発した。

3. ASE 遮音壁の開発

3.1 ASE 遮音壁の原理

ASE 遮音壁の原理を図1に示す。ASE 遮音壁は検知マイクロホン、スピーカ、吸音材、耐候性シートからなるASEセルとマイクアンプ、制御回路、パワーアンプからなるASE制御回路で構成され、ASEセル表面での音圧を最小に制御することにより遮音壁頂部から回り込んでくる騒音（回折音）を低減する。自動車等の騒音源がASEセル表面に生じさせる音圧の大きさに応じてスピーカから発生させる音圧の大きさを变化させ、セル表面の音圧を常に最小に保つ。各々のASEセルはそれぞれ独立に制御されているため⁽²⁾、制御は1入力1出力の最もシンプルな方式となっており、全体構造のシンプル化を果たせる。また騒音の入射方向に係わらずASEセル表面の音圧を最小にすることができるので、走行する自

^{*1} 高砂研究所振動・騒音研究室

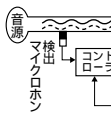
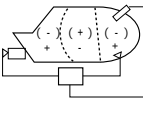
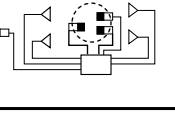
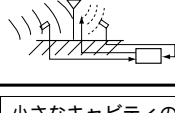
^{*2} 高砂研究所神戸技術開発・研究推進G主幹 工博

^{*3} ITS部ITS設計課

^{*4} ITS部ITS営業課

^{*5} 国土技術政策総合研究所道路環境研究室
主任研究官 工博

表 1 アクティブ騒音制御技術の分類
Several active noise control technologies

分類	技術概要	適用機種	開発状況	備考
音場の消音 三次元音場	サイレンサ 圧力脈動吸収装置  - 伝ば音の吸収・反射による減音 - 圧損の増加無し - ダクトの音響特性の変化	ファン空調ダクト エンジン ガスタービン 水・油配管 他	- 最も単純で古くから研究開発が進んでいる - 実用化済み - 高次モードを形成する高周波音の制御に対する研究もほぼ一段落 - 液配管に対する研究開発活発化	大音圧、超低周音等に対するアクチュエータが課題
	閉空間こもり音対策  - 二次ソースで逆位相の音場を形成 - 共鳴音については空間平均音圧を低減可、非共鳴音については局所的減音のみ可	自動車 航空機 一般の居室 他	- こもり音対策については実用化済み - 耳元のみ消音する座席は実用化済み	
	局所空間の消音  - 波長に比べて十分狭い空間を消音 - 多ch化して消音領域を拡大 - 拡散音場、自由音場、一般の音場に適用	同上 閉空間	- 多ch制御ポイント・自動車では数ch、航空機では20～30chのテストが行われている。一部実用化済み - 公帯域ランダム音の制御は難しく、周期音や狭帯域ランダム音が主な対象 - 自動車ではロードノイズ低減の研究開発盛ん	演算のスピードアップシステムのコンパクト化が課題
	回折音の減少  塀の頂上に二次ソース又は誤差マイクロホンを設置して回折音が最小となるように制御	防音塀	- 実験室レベルは試験済み - 実用化試験段階	多ch制御に対するシステムのシングル化が課題
	小さなキャビティの消音  キャビティが小さいので高周波まで消音可	イヤープロテクター	- 既に商品化済み - 通信明瞭化も含めたデジタル制御の製品も有り	
	放射音響パワーの低減  - 音源から1/2波長以内に二次ソースを設置 - 又は音源を囲むように二次ソースを設置	全般	- ダクト用口端からの放射音についてはこの原理が使用されており、これについては実用化済み - 音源を囲むことは実用的には難しい	

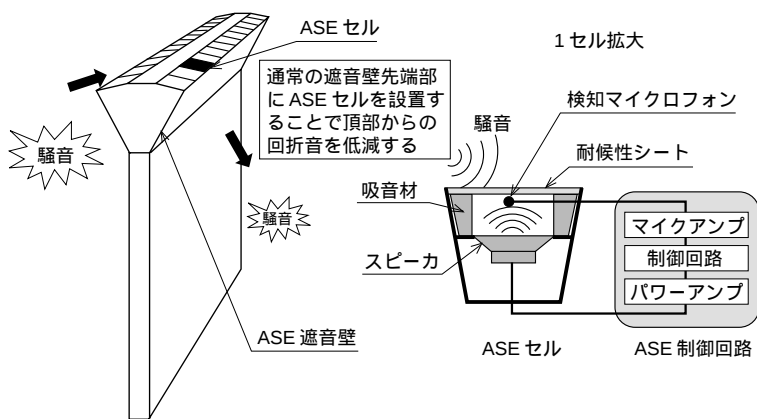


図 1 ASE 遮音壁の原理 ASE 遮音壁の上部を回り込む騒音が ASE セル表面で減音され騒音が小さくなる様子を示す。
Principle of the ASE noise barrier.

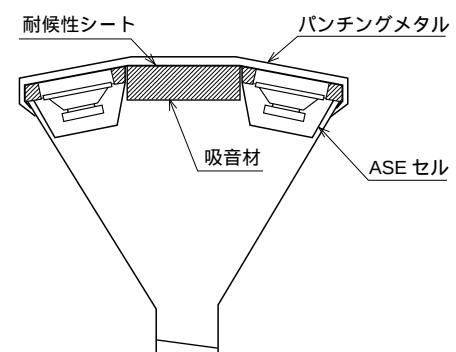


図 2 ASE 遮音壁の断面構造 ASE 遮音壁の断面は逆三角形で、両サイドに配置した 2 列の ASE セルと中央に配置した吸音材他から成る。
Cross section of the ASE noise barrier.

動車のように遮音壁から見た騒音の到来方向が刻々と変化する場合にも有効である。

3.2 ASE 遮音壁の構造と特徴

ASE 遮音壁の断面構造を図 2 に、外観を図 3 に示す。逆三角形型の断面の両端部に ASE セルを配置し両 ASE セルの間にパッシブ減音性能を向上させるため吸音材を配置している⁽³⁾。ASE セルと吸音材は雨滴等の進入を防ぐため耐候性シートで、さらに飛石等から保護するためバンピングメタルで覆っている。ASE 遮音壁は道路で最もよく使用されている日本道

路公団仕様金属製遮音板標準型(以下、統一型遮音壁という)の遮音パネル 1 枚分と同じ高さを持ち、統一型遮音パネル 1 枚と入れ替えて設置することができる。ASE 遮音壁の断面幅は 574 mm であり、遮音壁先端に吸音材を設置するタイプの遮音壁とほぼ同じ断面幅としている。ASE 遮音壁の仕様を表 2 に示す。

3.3 ASE 遮音壁の減音効果

開発した ASE 遮音壁を延長 20 m 分製作し、屋外で遮音性能の測定を実施した。測定は(財)土木研究センターの“民間



図3 ASE遮音壁外観 神戸造船所二見工場（兵庫県明石市）ITSテストコース内に設置したASE遮音壁。平面状の統一型遮音パネルの頂部に設置される。ASE noise barrier on the ITS test course, at Hyogo Japan.

表2 ASE遮音壁の仕様
Specification of the ASE noise barrier

項目	仕様
アクティブ制御周波数	200 Hz ~ 630 Hz
形状・構造	逆三角形型（V型）2 m 長ユニット ASE制御セル12列×2段構成 高さ500 mm×幅574 mm×長さ1960 mm
重量	90 kg / ユニット
仕様電源・消費電力	100 V, 200 V 用 50 Hz / 60 Hz 両用 1 ユニットあたり20W（最大）

開発建設技術の審査・証明制度”に準拠する方法（旧建設省技術評価制度に相当する方法）で実施した。試験配置を図4に示す。模擬道路に統一型遮音壁を高さ2.5 m、長さ20 mにわたって設置し、その上部にASE遮音壁（高さ0.5 m）を設置した。音源スピーカは道路の中央部の地上0.5 mに下向きに設置し、騒音評価点は遮音壁の反対側にP1からP8の8箇所を設けた。音源スピーカからノイズを発生させ、遮音壁設置前後における各受音点の音圧レベルを騒音計で測定し、得られた結果から周波数毎の挿入損失（遮音壁があるときと無いときの音圧レベルの差）を求め、さらに“ASJ Model 1998”で示される道路交通騒音（A特性加重）の補正を行った。試験は5回実施し、その平均値を測定値とした。また、ASE遮音壁を統一型遮音パネルに取り替えた状態（どちらも遮音壁頂部の高さは同じ）でも同様の測定を行い比較した。

測定結果を図4の括弧内に示す。P1～P4点において同じ高さの統一型遮音壁と比較し3.3～5.6 dB遮音性能が向上している。P1点における音圧スペクトルを図5に示す。ASE遮音壁は低い周波数域にはアクティブ減音効果、高い周波数域にはパッシブ減音効果を併せ持ち、両減音域において万遍なく減音している。同じ高さの統一型遮音壁に比較したオーバーオール（OA）での減音効果（遮音性能増加量）は4.3 dBである。同様に評価した各測定点の減音効果を表3（“ASJ Model 1998”に示された通常舗装での音源スペクトルを用いた場合）及び表4（同、排水性舗装での場合）にまとめる。表3、表4を見ると通常舗装時にP1～P4点の算術平均で4.3 dBの減音効果、排水性舗装時に同3.9 dBの減音

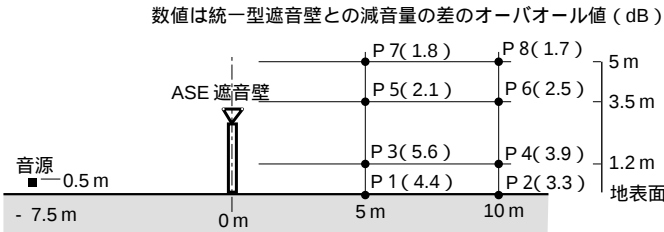


図4 ASE遮音壁の試験配置と減音効果 ASE遮音壁の試験時の垂直断面配置を示す。統一型遮音壁と比較しP1～P4で3.3～5.6 dB遮音性能が向上する（通常舗装時）。
Test setup of the ASE noise barrier and the noise reduction effects.

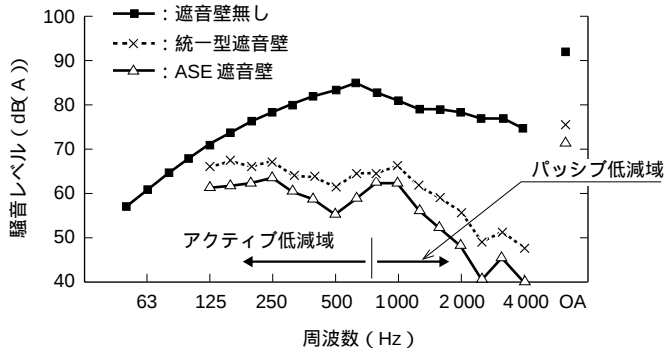


図5 ASE遮音壁の減音スペクトル（P1点） P1点での統一型遮音壁とASE遮音壁の音圧スペクトルの比較を示す。オーバーオール音圧レベルの差は4.3 dBである（排水性舗装時）。
Noise spectrum of the ASE noise barrier and an ordinary noise barrier.

表3 減音効果測定結果（通常舗装）
Noise reduction effect of ASE at asphalt pavement

測定点	ASE遮音壁の挿入損失（A特性加重）（dB）	統一型遮音壁の挿入損失（A特性加重）（dB）	統一型比較減音効果（dB）	減音効果の平均（4点）（dB）
P1	21.8	17.4	4.4	4.3
P2	18.6	15.3	3.3	
P3	20.9	15.3	5.6	
P4	20.2	16.3	3.9	
P5	11.2	9.1	2.1	2.0
P6	10.4	7.9	2.5	
P7	5.2	3.4	1.8	
P8	8.6	6.9	1.7	

効果が得られている。また、表3と表4を比較して分かるように、排水性舗装の場合と通常舗装の場合での減音効果の違いが最大でも0.4 dB（各4点の平均値同士で比較）と非常に小さく、舗装の状態にかかわらずほぼ同程度の減音性能を維持できることが分かる。ASE遮音壁は排水性舗装と組み合わせて用いる場合をはじめ、道路交通騒音の周波数特性にかかわらず安定した減音効果を発揮できるといえる。

また、移動音源での減音効果に関しては当社のITSテストコース（兵庫県明石市）において時速60 km/hで移動する音源を用いた測定を行った。測定時の遮音壁配置を図6に示す。全長60m、高さ3.27 mの遮音壁の一部（20 m長さ）について、最頂部の統一型遮音パネル1枚を取り外し、そこにASE遮音壁を取り付けた。測定時の試験状況写真を図7に示

表4 減音効果測定結果（排水性舗装）
Noise reduction effect of ASE at drainage pavement

測定点	ASE 遮音壁 の挿入損失 (A 特性加重) (dB)	統一型遮音壁 の挿入損失 (A 特性加重) (dB)	統一型比較 減音効果 (dB)	減音効果 の平均 (4点) (dB)
P 1	20.5	16.2	4.3	3.9
P 2	17.3	14.1	3.2	
P 3	21.1	16.4	4.7	
P 4	19.7	16.3	3.4	
P 5	10.2	8.2	2.0	1.9
P 6	11.0	8.5	2.5	
P 7	5.4	3.9	1.5	
P 8	7.5	5.8	1.7	

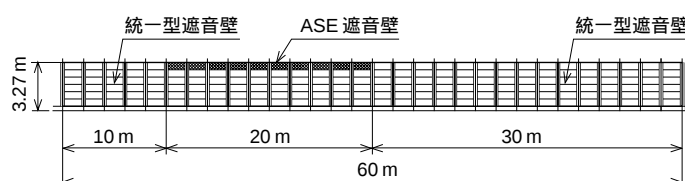


図6 移動音源での減音効果測定時の遮音壁配置 ITSテストコース内に設置した60 m長の遮音壁の構成を示す。
60m noise barrier with 20 m of ASE on the ITS test course.

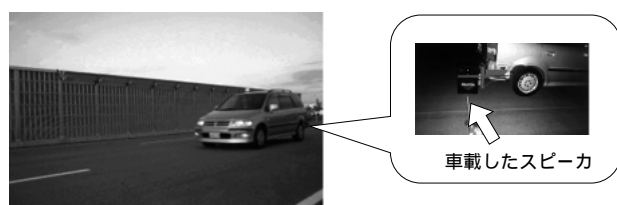


図7 移動音源での減音効果測定時の試験状況 ITSテストコースに乗用車を走行させ、移動音源を用いた実験を行っている状況を示す。時速は60 km/hである。
Test vehicle with the loud speaker running at 60 km/h.

す。1台の乗用車が発生する走行騒音はそれほど小さくなく、遮音壁回折後の騒音レベルがかなり小さくなり測定が困難なため、音源には大きな音圧を発生できるスピーカを用いた。乗用車の後部バンパーにスピーカを取り付け、そのスピーカからランダムノイズを発生させながら乗用車を時速60 km/hで走行させた。走行車線は遮音壁から7.5 mの位置とした。音圧評価点はASE遮音壁の中央で遮音壁から5 mの距離の地上に置いたマイクロホン（P1）とし、ASE遮音壁の電源を入れた状態と切った状態の比較を行った。測定は6回行い、その結果を平均して比較した。測定結果を図8に示す。図8は1/3オクターブバンド中心周波数で500 Hzにおける音圧レベルの時間変化を描かせたもので、横軸はASE遮音壁の中央を0 m位置とした車載スピーカの位置を示す。図8を見るとASE遮音壁の電源を入れた場合、走行方向距離が-15 mから30 mの広い範囲にわたって騒音低減効果が得られていることが分かる。次に乗用車を走行車線上でASE遮音壁中央に停止させ、同様にP1点で測定した音圧と、上記走行試験時の車載スピーカの位置が-5 mから5 mまでの音圧（時間間隔10 ms [距離間隔0.17 m]で計測）を平均したものを比較し表5に示す。表5を見ると移動音源であっても

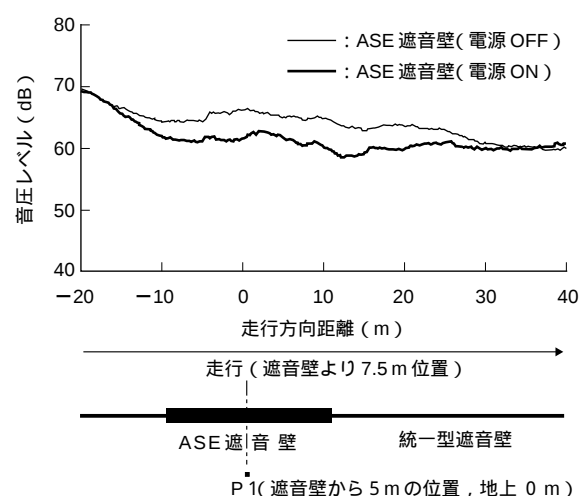


図8 移動音源での減音効果 横軸は車載スピーカの位置を示す。ASEの電源を入れることで広い範囲の騒音を低減できる（500Hzバンド）。
Noise reduction of ASE control ON and OFF by moving noise source

表5 移動音源と固定音源の音圧レベル読み値の比較
Noise reduction effect of ASE compared with a fixed and a moving noise source

種別	音圧レベル		ASE制御による 音圧レベル低減量
	ASE遮音壁 電源 OFF	ASE遮音壁 電源 ON	
移動音源	65.4	61.6	3.8
固定音源	64.6	61.0	3.6

（単位はすべてdB，500 Hz バンド）

固定音源であってもASE制御による音圧レベル低減量はほとんど変わらない。ASE遮音壁は移動する音源でも固定された音源と同じ減音効果を持つといえる。

4. 結 言

音で音を消すASE遮音壁を開発し、20 m長遮音壁を用いた屋外実験でその遮音性能を測定した。同じ高さの統一型遮音壁と比較した遮音性能が3.3～5.6 dB、平均して4.3 dB向上することを確認した。排水性舗装の場合も同3.9 dBの効果を持ち、舗装の状態にかかわらず同程度の減音効果を維持できる。また、移動する音源でも固定された音源と同じ減音効果を持つことが確認された。ASE遮音壁は製品化最終段階にあり、今後実道への適用を目指したい。

参 考 文 献

- (1) 西村正治，アクティブノイズコントロールの現状，日本機械学会講演論文集 No.994-1 (1993.3) p.5・37～5・42
- (2) 大西慶三ほか，アクティブソフトエッジ遮音壁の基本コンセプトと無響室内実験による減音効果，日本音響学会誌 第57巻2号 (2001.2) p.129～138
- (3) 上坂克巳ほか，実用型アクティブソフトエッジ遮音壁の開発，日本機械学会 VS Tech 2001 振動・音響新技術シンポジウム講演論文集 (2001.6) p.159～162
- (4) 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会：道路交通騒音の予測モデル“ASJ Model 1998”，日本音響学会誌 第55巻4号 (1999) p.281～324

104 ~ 107 バラ

Keizo Ohnishi

Takanori Arai

Masaharu Nishimura

Shigeatsu Katayama

Susumu Teranishi

Katsumi Uesaka