

エッジの一部に吸音材を取付けた場合の 回折場について*

井上 瑞希 尾本章 藤原 恭司（九州芸工大）

1. はじめに

防音壁の高さを増すことに依らずにその遮音性能を向上させる方法として、防音壁上端部に吸音性の円筒を取付ける方法が有効であることが藤原らによって明らかにされており [1]、現在では高速道路を中心として実際に多く使用されている。しかし設置延長と吸音性円筒の効果の関係については明確な答えが得られておらず、音響的な検討はほとんどなされていない。

本研究では最終的に「線音源」に対してどの程度の長さ円筒を取り付ければ有効な効果が得られるかを求めることを目的とするが、その前段階として、ここでは「点音源」に対する検討を行った。エッジの一部に吸音性

円筒を取付けた場合の回折場について調べるとともに、その効果が収束する長さについて、模型実験と数値計算による検討を行った。

2. 模型実験による検討

実験方法

エッジに異なる長さの吸音性円筒を取付けた場合に障壁背後における受音点での音圧レベルがどのように変化するかを調べるために模型実験を行った。九州芸術工科大学の多次元ホール内に高さ 1.25m、長さ 11m の反射性障壁を設置し、壁のエッジ部分に吸音性円筒にみたてた GW 製の保温筒を取付けた。保温筒の大きさは直径 7.5cm で、実物の円筒の約 1/8 の大きさであることより 1/8 縮尺模型実験となる。

Case No.	測定点	回折角	見込角	取付長の変化のさせ方
1-1	左図 ●	45 度	(0 度)	中心から両側に
2	左図 ○	62 度	(0 度)	
1-2	右図 ●	(45 度)	0 度	中心から片側のみ (もう片方は常に取付)
3	右図 ▲	(40 度)	30 度	
4	右図 △	(23 度)	60 度	

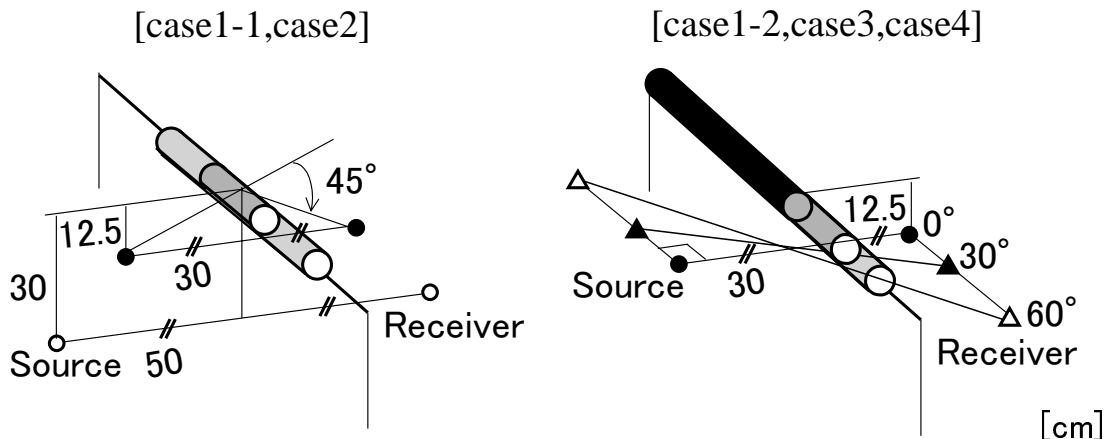


Fig.1 Geometry of source, receiver and barrier in experiment (1/8 scale model).

* Diffraction sound field of absorbing material installed on part of the edge of a barrier.
By Mizuki Inoue, Akira Omoto and Kyoji Fujiwara (Kyushu Institute of Design)

円筒の長さを徐々に変化させながら受音点での SPL を測定し、その変化の様子を観察した。

測定点は Fig.1 に示す 5 ケースとした。case1-1 と case2 は回折角による違いをみるためのもので、中心から左右対称に円筒を取り付けた。case1-2, case3, case4 は見込み角による違いをみるためのもので、中心から片側半分は常に円筒を取付けたままで、もう片側のみ円筒の長さを変化させていった。case1-1 と case2 は円筒の長さを 0~11m まで、case1-2, case3, case4 は 5.5~11m まで変化させた。case1-1 と case1-2 は音源、受音点位置は等しく、円筒の取付け長の変化のさせ方のみが異なる。

実験結果

1/3 オクターブ中心周波数 1kHz, 2kHz, 4kHz, 8kHz の実験結果を Fig.2, 3 に示す。

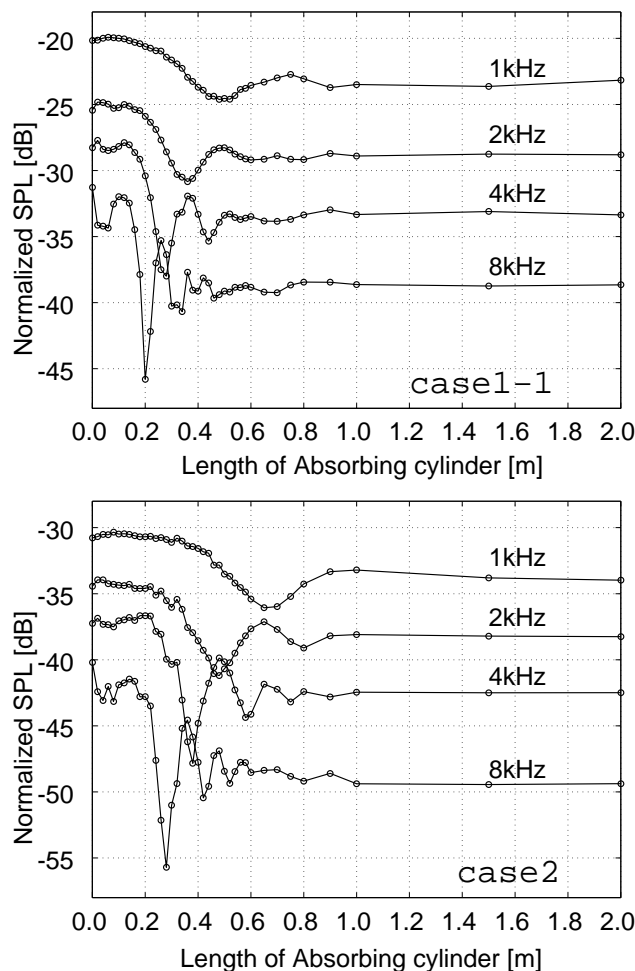


Fig.2 Measured SPL behind the hard barrier with different length of absorbing cylinder [case1-1, case2].

縦軸は自由音場 0.125m 点で基準化した受音点での音圧レベルを示し、Fig.2 の横軸は円筒の取り付け長を、Fig.3 の横軸は 5.5m からの増加分の長さを示している。結果は模型実験におけるオーダーで示した。

実験結果より全体的な傾向として、円筒の

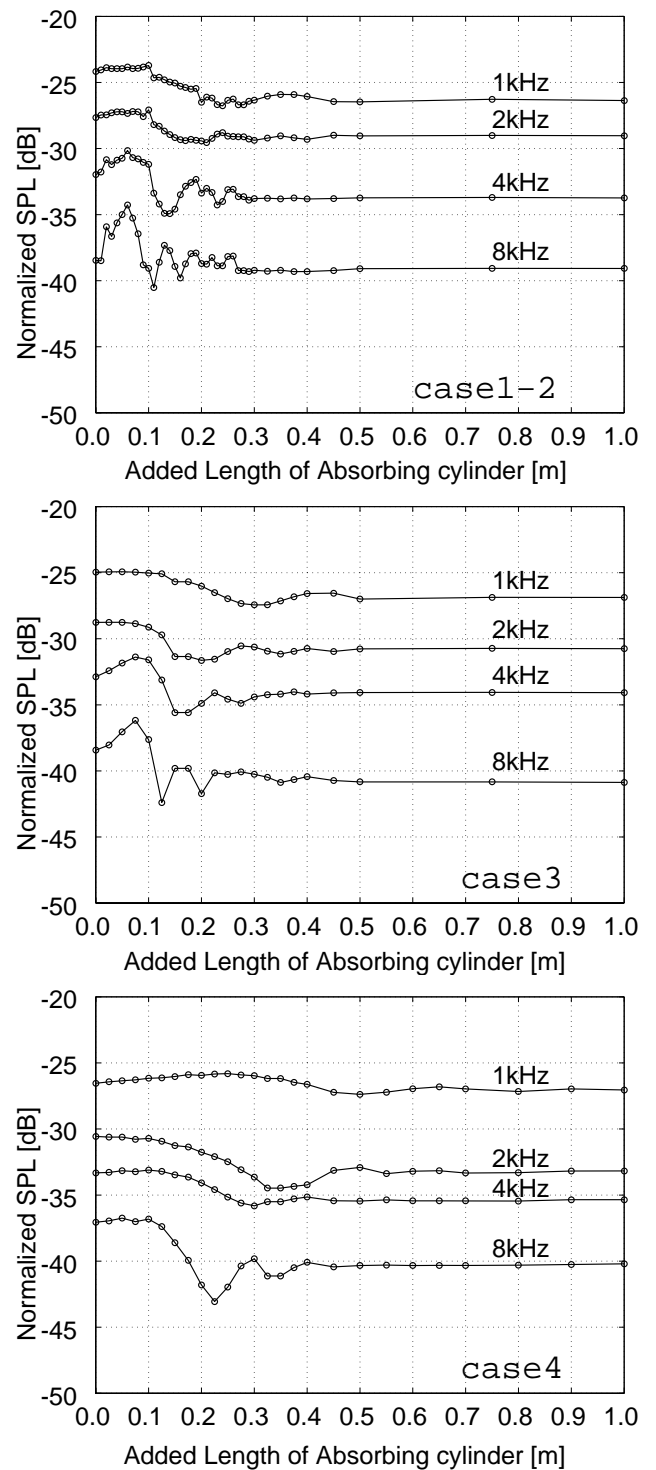


Fig.3 Measured SPL behind the hard barrier with different length of absorbing cylinder [case1-2, case3, case4].

取付け長が短いところでは受音点でのレベルはあまり変化せず、その後少しレベル変動を繰り返すが、ある程度長くなるとレベルはほとんど変化しなくなるといえる。図の横軸に示した長さよりも取付け長が長くなっても、受音点でのレベルは変化しなかった。このことから、ある程度の長さ円筒を取付けなければ効果は現れず、また逆にある程度の長さ取付ければ無限に取付けたのと等価となることが分かる。

円筒の取付け長が短いところでレベルがあまり変化しないのは、波長に比べて小さな物体が取り付けられても、効果はほとんど得られないことを示していると考えられる。

また円筒の効果が収束するまでのレベル変動は、エッジからの多数の要素波による元々の干渉パターンがエッジの一部を吸音することによって乱されるために起こるものと考えられる。そのため、片側のみ円筒の長さを変化させたものに比べて、両側から変化させたものの方が干渉の影響が大きく出ている。

回折角、見込み角の違いによる影響としては、その角度が大きくなるほど円筒の効果が収束する長さも多少長くなる傾向が見られた。これらの実験結果より、両側で 1m 以上、すなわち実寸で 8m 以上円筒を取付ければその効果は収束するといえる。

3. 数値計算による検討

計算方法

先の実験による現象を数値計算にて模擬するため、線積分を用いて計算を試みた。Maggi-Rubinowicz 理論より、完全吸音性障壁における幾何学的に影の領域での回折場は、以下の式に示すようにエッジ Γ に沿った線積分で表される [2]。 $\Gamma, \rho_0, r_0, z_0, z, \phi_0, \phi$ については、Fig.4 を参照。

$$\Phi_d = -\frac{1}{4\pi} \int_{\Gamma} \frac{e^{-jkR^*}}{R^*} \frac{\sin(\phi - \phi_0 - \pi)}{\cos(\phi - \phi_0 - \pi) - \cos(ja)} da$$

$$R^* = \sqrt{\rho_0^2 + r_0^2 + (z_0 - z)^2 + 2\rho_0 r_0 \cos(ja)}$$

エッジ部分に円筒を取り付けることにより、その部分のポテンシャルが小さくなるこ

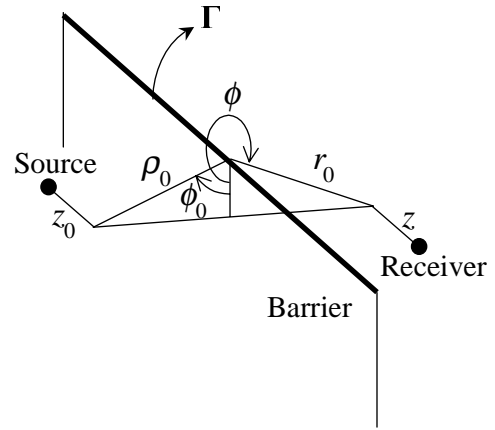


Fig.4 Geometry of the barrier, the source and the receiver.

と、および位相がずれると考えられる。その影響を加味するため、ここでは次式に示すように、円筒を取付けたエッジ上において円筒の効果と位相のずれを考慮することとした。

$$\Phi_d = -\frac{1}{4\pi} \int_{\Gamma'} \frac{e^{-j(kR^*)'}}{R^*} \frac{\sin(\phi - \phi_0 - \pi)}{\cos(\phi - \phi_0 - \pi) - \cos(ja)} \times 10^{-\frac{EAC}{20}} da$$

$$e^{-j(kR^*)'} = \cos(kR^*) - j \sin(kR^* - A)$$

A: Shift Phase[radian]

Γ' : Part of Edge with Absorbing Cylinder

EAC: Effect of Absorbing Cylinder[dB]

計算結果

case1-1 と case1-2 の計算結果を Fig.5 に示す。実験結果と計算結果はよい一致を見せているといえる。case1-1 については計算の方がレベル変動が小さいが、これは実験では反射性障壁、数値計算では完全吸音性障壁であるという障壁の性質の違いによるものと思われる。事実、音源側の壁に吸音材を張付けて同じ実験を行ったところレベル変動が小さくなることを確かめた。

計算パラメータの設定方法について case 1-1 の 4kHz を例に示す。吸音性円筒の効果は、円筒を全く取り付けないとき (0m) の SPL と円筒の効果が収束したとき (1m 以降) の SPL との差をとったものとした。ここでは約 5dB (Fig.6 参照) であり、元の振幅に 0.56 を乗じることとなる。

また取付け長が短いところでは円筒の効果がほとんどないとみなせることより、ここでは 14cm までは円筒の効果はないものと

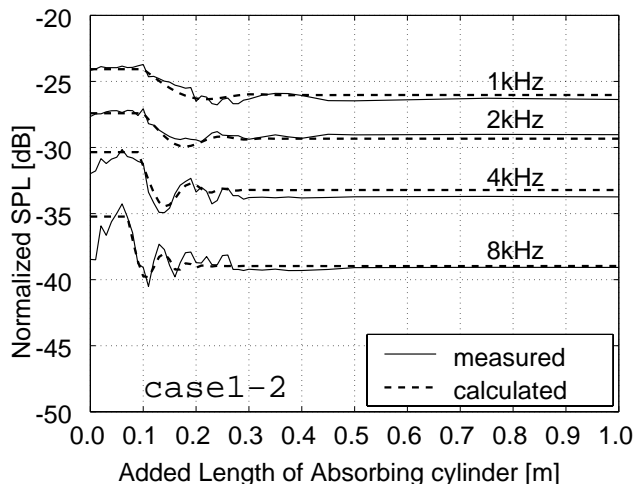
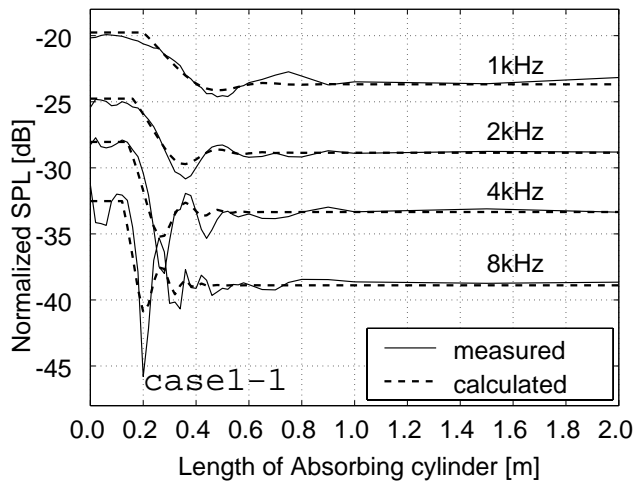


Fig.5 Comparison of measured and calculated results [case1-1,case1-2].

して計算を行った。さらに取付け長がそれ以上長くなった場合も、例えば Fig.7 に示すように取付け長が 50cm の場合には端からそれぞれ 7cm は円筒の効果 0 とし、中央部 36cm については円筒の効果 5dB とした。すなわち、みかけ上円筒の取付け長が短くなっている。

位相のずれについては、適当な値を代入し実験結果によく合うように値を求めた。ここでは - 50 度とした。

また他のケースについても実験結果とよい一致を得ることができた。

4. まとめ

模型実験により、エッジの一部を吸音した場合の障壁背後の受音点における振舞いを調べた。その結果、ある程度の長さ吸音性円筒を取り付けなければその効果は現れず、またある長さ円筒を取り付ければ無限に取り付けたのと等価となることが分かった。ま

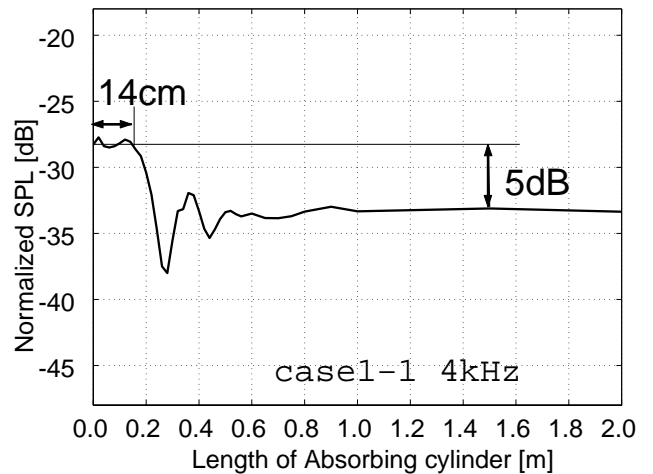


Fig.6 Calculate parameter in one case.

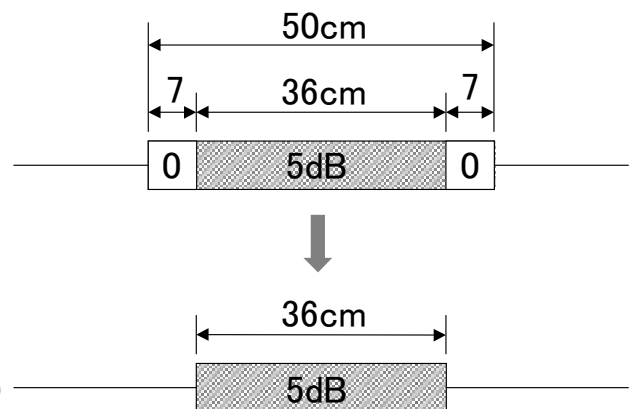


Fig.7 Effect of absorbing cylinder in one case.

たその効果が収束するまでには、複雑な干渉現象も見られた。

さらに数値計算により、これらの波動的な現象を表すことができた。ただしここでは計算パラメータを実験結果から読みとったり、試行錯誤的に値を求めた部分もある。今後はこれらのデータより、任意の条件下での計算が可能となるような計算式を求める必要がある。

謝辞

模型実験に際して多大な御協力をいただきました。九州芸工大の鳥原秀男技官に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] K. Fujiwara and N. Furuta, Noise Control Engineering Journal **37**(1), pp. 5-11(1991)
- [2] E. Skudrzyk, "The Foundations of Acoustics," 538-540.