共鳴器を組み込んだ吸音体を上端に持つ防音壁の遮音性能*

◎石塚 崇　藤原 恭司　（九州芸工大）

はじめに　現在実用化されている防音壁上端に取り付ける吸音体は, 外形を型取った剛板を吸音材で覆った構造をしており, その内部は中空である。そこで, この中空部分を利用し, 吸音体の効果の低い低周波数を目標に設計した共鳴器あるいは 1/4 波長音響管を組み込み一部ソフトな境界を持つ吸音体とすることで, 騒音低減効果を向上させることを試みた。防音壁上端に共鳴器あるいは音響管を配置した場合, 効果が負となる, つまり騒音を増幅してしまう周波数が存在する [1,2]。この負の効果については, 周囲に配した吸音材により低減させることをねらいとしている。

本報では一例として, 内部が中空な吸音性円筒に音響管を組み込んだ場合の騒音低減効果について数値解析により検討した結果を報告する。

音響管を組み込んだ吸音体の効果　数値解析には 2 次元境界要素法による結合解法 [3] を用い, 吸音材内部の音場を考慮した解析を行なった。解析に必要となるグラスウール (密度 32kg/m^3) の伝搬定数および, 特性インピーダンスは実測値から算出した。

まず, 音響管の長さを決定するために, 防音壁上端に吸音性円筒のみ (‘AC’) を取り付けた場合について解析を行なった。解析モデルを **Fig. 1** に示す。防音壁の高さを 3m, 吸音性円筒の半径を 25cm, 吸音材の厚さを 5cm とする。また, 音源は防音壁から 7.5m 離れた地面上, 受音点は防音壁背後 25m の同じく地面上に設定した。これらの設定値は特に指定しない限り以降の解析においても変更しない。解析結果から, 防音壁背後で観測される道路交通騒音の 1/3Oct. バンドレベルを予測した結果を **Fig. 2** に示す。音源の周波数特性は ASJ-Model に従った。**Fig. 2** より, 吸音性円筒を取り付けた防音壁背後での騒音は, 400Hz にピークを持つことが分かる。そこで, 組み込む音響管の長さを 400Hz の 1/4 波長である 21.25cm に設定し, **Fig. 3** に示すように, 吸音体に音響管を組み込んだ。後の考察に備えこれを ‘Type1’ とする。

防音壁に取り付けた Type1 型吸音体の音響管開口端における音圧レベルを **fig. 4** に示す。解析周波数は 1/15Oct. 毎とした。値は自由音場 1m 点の音圧で基準化したものである。397Hz,1203Hz といった管長が波長の 1/4 の奇数倍となる周波数付近で音圧レベルが小さくなっており, 管端がソフトな境界となっていることが分かる。しかし, その周波数より少し低い周波数–例えば 301Hz–では逆に音圧レベルが大きくなっている。防音壁背後 25m 地点における基準化音圧レベルを **Fig. 5** に示す。AC 型と比較すると,

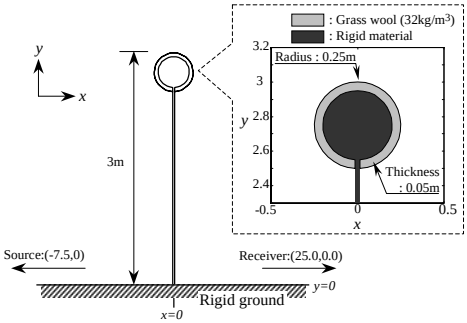

Fig. 1. Calculated sound field and details of the absorbing cylinder.

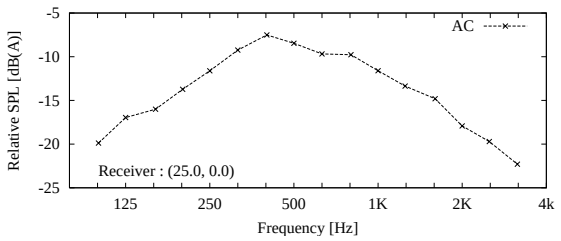

Fig. 2. 1/3 octave-band level behind the barrier with an absorbing cylinder, at receiver 25m from the barrier on the ground.

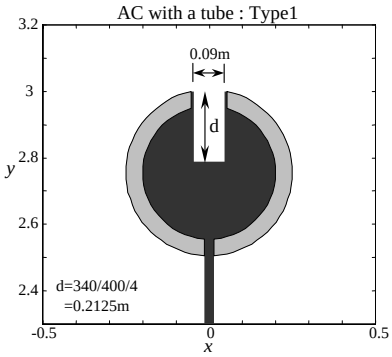

Fig. 3. Details of absorbing cylinder with a tube : Type1.

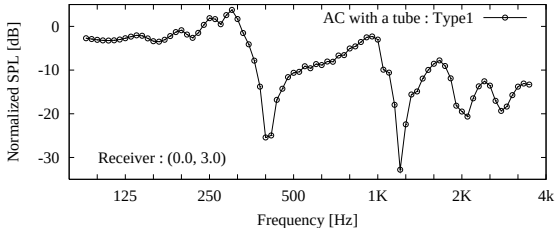

Fig. 4. SPL at the end of the tube of Type1.

* Noise shielding efficiency of a noise barrier with an absorbing material combined with a resonator.
By ISHIZUKA Takashi, FUJIWARA Kyoji (Kyushu Institute of Design).

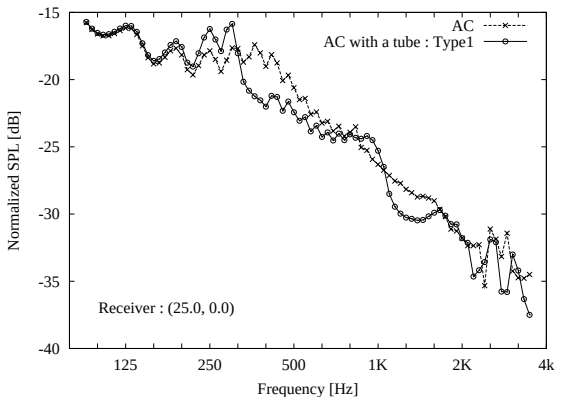

Fig. 5. SPL behind the barrier with AC and Type1.

音響管を組み込んだ場合の効果が管端がソフトな境界となる 400Hz を中心にあらわれている。また, 300Hz 付近では防音壁背後においても音圧レベルが大きくなっており, 負の効果を生じている。この傾向は1200Hz 付近においても同様である。次に, AC 型と Type1 型吸音体周辺における音響インテンシティ流を解析した結果を示す。周波数は 397Hz–**Fig. 6**– 及び 301Hz–**Fig. 7**–とする。矢印の大きさがインテンシティの大きさを表す。ここでは差を分かりやすくする為, 対数圧縮をしていない。Type1 型を AC 型と比較すると, 397Hz においては音響管を避けるように図中右上方へ向かって強い流れが生じており, このため防音壁背後のエネルギーが減少している。また, 負の効果を生じる 301Hz においては逆に音響管に吸い寄せられるような流れが生じており, これが吸音体を回り込んで防音壁背後のエネルギーが増大していることが分かる。

吸音材の厚さに関する検討　前節に示したように, 音響管の周囲に吸音材が配置されていても負の効果が生じることは避けられない。そこで, 負の効果を生じる周波数付近における音響管周辺の吸音率の向上を考え, **Fig. 8** に示すように円筒の上半分をグラスウールで充填した吸音体 (‘Type2’) を取り付けた場合について解析を行なった。参考として, 解析に用いたデータから算出した厚さ 5cm と 25cm のグラスウールの垂直入射吸音率を **Fig. 9** に示す。1kHz 以下の周波数では厚さが増すことにより吸音率が大きく向上している。実際には音波が吸音材に対して垂直入射する場合は少ないが, 斜入射の場合も概ね同様の傾向にあると考えられる。

防音壁背後 25m 地点における基準化音圧レベルを **Fig. 10** に示す。Type1 型と比較して Type2 型は 160Hz から 1kHz の範囲で全体的に音圧レベルが下がっている。これは, **Fig. 9** に示した吸音率の向上する周波数とほぼ対応する。全体的にシフトしてい

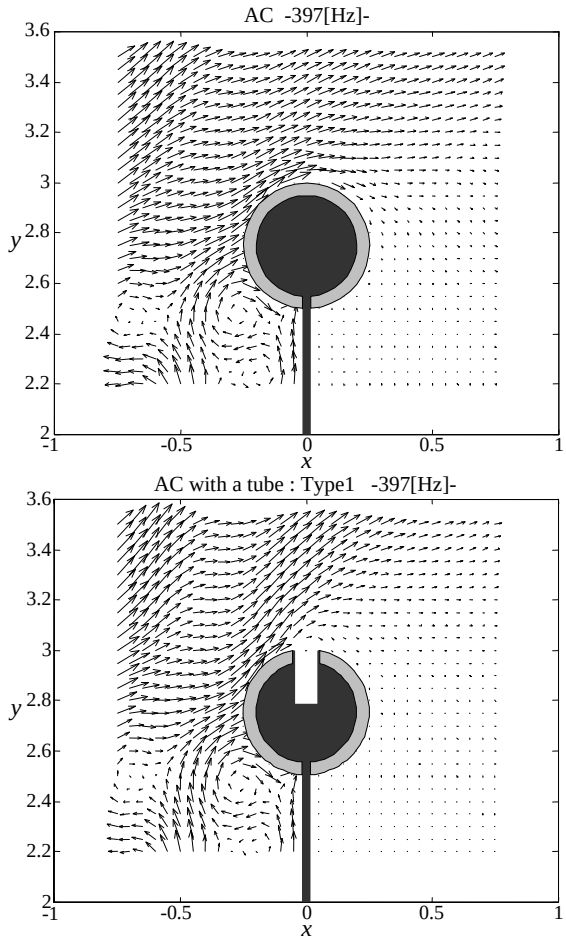

Fig. 6. Intensity flow around AC and Type1 : 397[Hz].

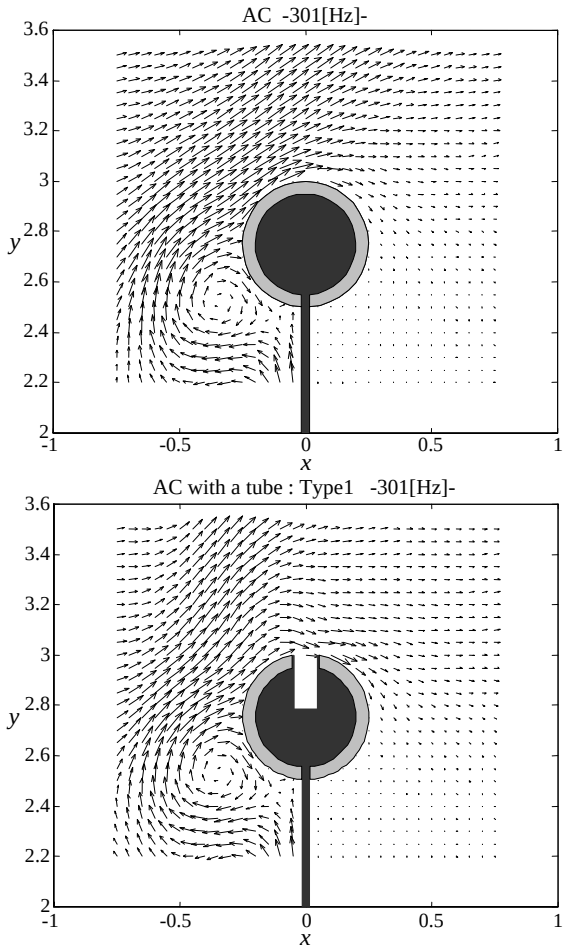

Fig. 7. Intensity flow around AC and Type1 : 301[Hz].

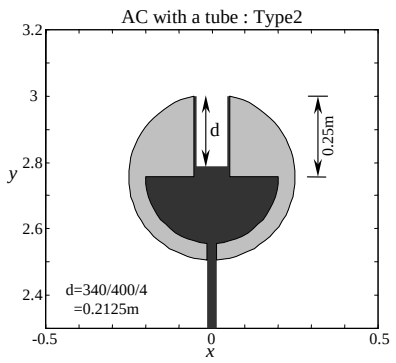

Fig. 8. Details of absorbing cylinder with a tube : Type2.

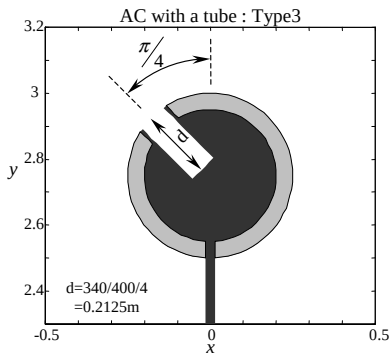

Fig. 11. Details of absorbing cylinder with a tube : Type3.

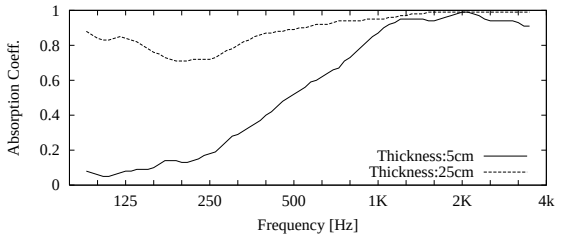

Fig. 9. Normal incident sound absorption coefficient of Grass-Wool(32kg/m^3) with thickness of 5cm and 25cm.

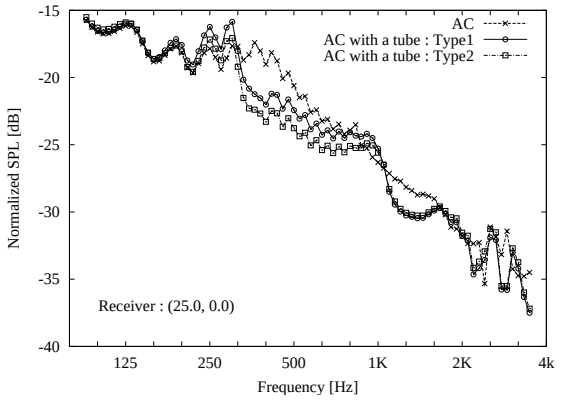

Fig. 10. SPL behind the barrier with AC, Type1 and Type2.

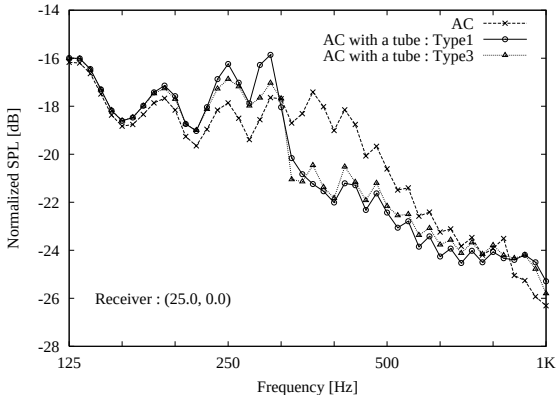

Fig. 12. SPL behind the barrier with AC, Type1 and Type3.

ることから, 吸音体自体の効果が向上したものと考えられる。音響管によって正の効果, 負の効果を生じる周波数における音圧レベル差は Type1 型と比較してほとんど変わらない。しかし, AC 型と比較した場合には, 吸音体の効果を向上させることで音響管を組み込むことによって生じる負の効果を低減したとみることが出来る。

音響管組み込み角度に関する検討　先述したように, 音響管が負の効果を生じる周波数においては, 管端に吸い寄せられ吸音体を回り込むエネルギーが存在する。そこで, この回り込むエネルギーを吸音材によって低減するために, **Fig. 11** に示したように音響管を音源側に傾けて組み込んだ吸音体 (‘Type3’) を取り付けた場合について解析を行なった。音響管は鉛直方向から音源側に $\pi/4$ 傾けて組み込んだ。

防音壁背後 25m 地点における基準化音圧レベルを **Fig. 12** に示すが, 結果を分かりやすくするため, 周波数を 125Hz から 1kHz までとする。Type1 型と比較すると, 負の効果を生じる 300Hz 付近で 1dB 程度ではあるが音圧レベルが小さい。この結果より, 音響管を傾けて組み込むことが負の効果を低減する手段として有効であることが確かめられる。ただし, 正の効果を生じる 400Hz 付近では, 1dB 未満と僅かではあるが逆に Type1 型より音圧レベルが大きくなっている。

また, Type3 型吸音体周辺の音響インテンシティ流を解析した結果を **Fig. 13** に示し, **Fig. 6,7** に示した Type1 型の結果と比較する。301Hz において, Type1 型同様に管端に吸い寄せられるような流れが存在する。しかし, その後吸音体を回り込む過程で低減され, 結果的に防音壁背後に流れ込むエネルギーが Type1 型と比べ僅かながら小さくなることがここでも確認できる。397Hz においては, Type1 型同様に管端から図中右上方向へ向かう流れがみられるが, その傾きは Type1 型程ではなく防音壁背後方向への流れも存在する。**Fig. 12** において, 音響管が正の効果を生じる周波数– 400Hz 付近–で Type3 型が Type1 型より若干音圧レベルが大きいのはこの為と考えられる。

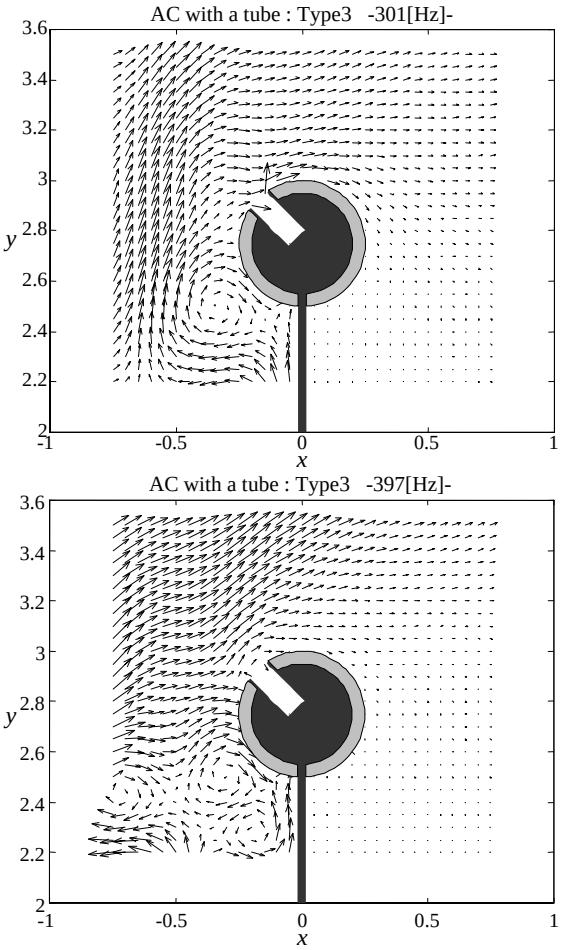

Fig. 13. Intensity flow around Type3.

道路交通騒音に対する効果　音源を道路交通騒音と想定した場合の, 音響管を組み込んだ吸音体の効果を検討する。ここまで検討した吸音体に加え, **Fig. 14** に示す Type2 型と Type3 型を組み合わせた吸音体 (‘Type4’) についても検討対象とする。

解析結果から算出した, 防音壁背後 25m 地点における道路交通騒音の 1/3Oct. バンドレベルを **Fig.15** に示す。まず, AC 型とその他を比較すると, スペクトルのピークであった 400Hz では, 音響管の正の効果により 3 から 4dB 程音圧レベルが下がっている。これに対して, 250Hz, 315Hz では負の効果により逆に騒音を増幅する傾向にあり, スペクトルのピークもこの周波数に移動する。負の効果を低減することが, 吸音体の騒音低減効果を向上させる上で重要であることがこれによっても確認される。これらの周波数に注目すると, Type1 型,Type3 型,Type2 型,Type4 型の順で音圧レベルが小さく, 負の効果を生じる周波数における Type2 型, Type3 型及びこれらを組み合わせた Type4 型の有効性が示されている。

Tab. 1 に **Fig. 15** に示した結果から算出した Over-All 値を示す。AC 型と Type1 型を比較すると, 400Hz では 3dB 程音圧レベルが下がっているにも関わらず, 負の効果の影響により Over-All 値では僅か

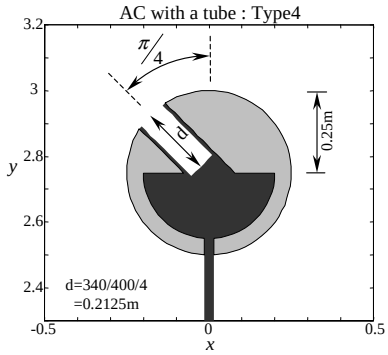

Fig. 14. Details of absorbing cylinder with a tube : Type4.

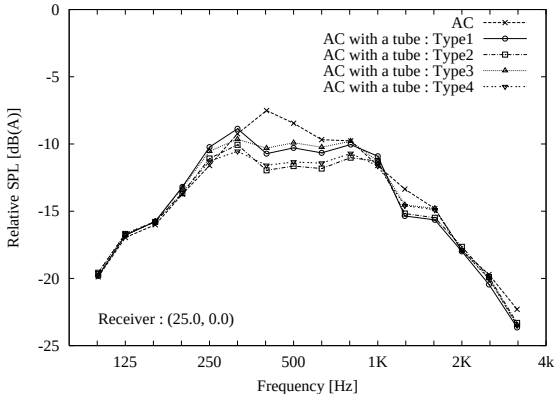

Fig. 15. 1/3 octave-band level behind the barrier, at receiver 25m from the barrier on the ground.

Table 1. Over-All level behind the barrier, at receiver 25m from the barrier on the ground.

Type	AC	Type1	Type2	Type3	Type4
OA Level	0.0	-0.7	-1.4	-0.6	-1.4

[dB(A)]

0.6dB の騒音低減効果の向上に留まる。これに対して, Type2 型は 200Hz から 1kHz で全体的に音圧レベルが下がっていることから, 1.4dB の効果の向上となる。また, Type3 型, Type4 型をそれぞれ Type1 型, Type2 型と比較した場合, 負の効果は低減されているものの正の効果の生じる周波数においては逆に音圧レベルが上がっている為, Over-All 値では殆んど差がみられない。

まとめ　防音壁上端に取り付ける吸音体に 1/4 波長音響管を組み込んだ場合の効果を検討した。更に, それにより生じる負の効果を低減する為に, 吸音材の厚さを増すこと, 音響管を音源側に傾けて組み込むことが有効であることを確認した。ただし, Over-All 値で評価した場合, 後者は殆んど効果が得られなかった。今後は, 共鳴器を組み込んだ場合の効果について検討を行なうことが課題となる。

参考文献　[1] T. Okubo and K. Fujiwara, J. Sound Vib., 1998, **216**, 771-790. [2] M. Möser and R. Volz, J. Acoust. Soc. Am, 1999, **106**, 3049-3060. [3] A. F. Seybert, C. Y. R. Cheng and T. W. Wu, J. Acoust. Soc. Am., 1990, **88**, 1612-1618.