

音響的にソフトな法面を持つ 切り土型道路構造における騒音減衰に関する研究*

増田 京子(九州芸工大・大学院) 藤原 恭司(九大・芸工院)

1. はじめに

道路交通騒音対策には様々な方法があるが、その種類は大別して四つに分けられる。発生源対策、交通流対策、道路構造対策、そして沿道対策である。一般的に用いられている防音壁はこの中の道路構造対策にあたる。同様の道路構造対策として、道路構造自体の選定も重要である。切り土型道路や掘割道路は、ほかの一般的な道路構造である平面構造、盛り土構造、高架構造等と比較して沿道における騒音レベルが小さくなる。これは、法面上部のウェッジにおける回折による減衰のためである。よって、切り土型道路構造は騒音低減に有効な道路構造であるといえる。

ところで、防音壁等の遮音性能を向上させるために表面を吸音処理することが有効であるとわかっているが、ほかに「ソフトな表面」も有効であることがわかっている。ソフトな表面は表面の音圧が0となる面であるが、これを満たす建築材料は空気音響の分野においては存在しない。そのため、藤原らは1/4波長音響管配列によって音響的にソフトな条件を近似的に実現した[1]。ここで近似的というのは、音響管の効果に周波数依存性があるからである。しかし、防音壁等の応用例で騒音低減に有効であることが確認されている[2],[3]。そこで本研究では、切り土型道路構造の法面部を音響的にソフトな表面にすることにより切り土の遮音性能を高める手法を提案し、そのふるまいを2次元境界要素法によるシミュレーションで調べる。

2. 音響的にソフトな法面

音響的にソフトな表面とは、表面のインピーダンスがゼロである表面のことである。また、音圧反射係数は-1である。つまり反射

波は入射波の逆位相同振幅であり、境界表面上における音圧はゼロとなる。一般的に、音響材料の表面の音響条件について、音響的に「剛な表面」や、吸音率がいくらの「吸音性表面」といった表現がよく用いられる。音響的に剛な表面とは、音圧反射係数が1、つまり入射波の音圧が完全反射となる境界条件を持つ表面のことである。一方吸音性表面とは、入射波の一部が吸収、一部が反射する境界条件を持つ表面のことである。特に、入射波が完全に吸収され反射が生じない、つまり音圧反射係数が0の表面を、「完全吸音性表面」という。はじめに述べた「音響的にソフトな表面」は音響的に剛である表面と対極の状況であることから「ソフト」と呼ばれている。空気音響の分野では、空気に対して、このような条件を持つ建材が存在していないので、現状では、「ソフトな表面」の実現は困難である。Table 1.に「剛な表面」、「完全吸音性表面」、そして「ソフトな表面」の性質をまとめる。

ソフトな表面においては、音圧反射係数は-1だが、エネルギー的には剛な表面と同様に完全反射である点に注目されたい。この表から、入射波と反射波の振幅が等しく、さらに逆位相であればその表面はソフトな表面の境界条件を満たすということがわかる。

3. 片側の法面に理想条件を与えた検討

はじめに簡単のためFig.1のような片側のみ法面高さ6m、法面角度45°の切り土である音場について検討を行った。音源は一般的な高速道路の片側車線の中央にあたる法面下部より5.5mの位置に設定した。受音点はR1からR9の9点で、R1およびR2が明るい領域、

Table 1. それぞれの境界条件の性質

(入射波の振幅：A)

境界条件	反射波振幅	表面での合成波振幅	音圧反射係数	エネルギー反射率	比音響インピーダンス
剛	A	2A	1	1	∞
完全吸音	0	A	0	0	1
ソフト	-A	0	-1	1	0

* On the Sound Reduction of the Bank of a Cut with Acoustically Soft Boundaries.

By MASUDA Kyoko(Kyushu Institute of Design), FUJIWARA Kyoji (Kyushu University).

つまり音源が直接見通すことのできる領域に位置している. その他の受音点は音源が直接見通すことのできない陰の領域にある.

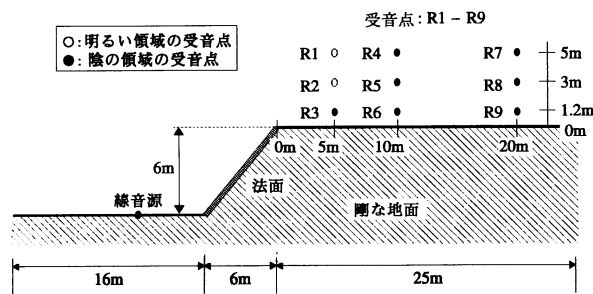


Fig. 1. 計算音場

まず, 法面部が剛 (Hard), 完全吸音 (Absorbing), ソフト (Soft) の3つの理想的な音響条件である場合について解析を行った. Fig.2に受音点R9における結果を示す. 上図は自由音場における音源から1mの点の音圧で基準化された音圧レベルの周波数特性である. 剛な法面に対する効果は, 全周波数帯域において完全吸音性法面の場合よりもソフトな法面の場合のほうが高いことがわかる. この傾向は, 明るい領域のR1を除いてすべての受音点でみられた.

下図は, 音源が自動車騒音の周波数特性 (ASJ Model 1998[4]) によって重み付けされたときの1/3オクターブバンドレベルの周波数特性と広帯域騒音に対するオーバーオールレベル (O.A) である. オーバーオールレベルでの剛な法面の場合に対する効果が, 完全吸音性法面の場合最大約5dBであるのに対し, ソフトな法面では約8dBであった.

4. 1/4 波長音響管によるソフトの近似的な実現

上記の結果は切り土型道路構造の法面を音響的にソフトな表面にすることが有効であることを示しているが, これはあくまで理想的な条件であり, ソフトな音響条件の実現は完全吸音性と同様に現状では困難である. そこで, 1/4 波長音響管配列を用い, 近似的にソフトを実現する方法を用いた. 音響管配列がソフトな表面を実現する原理を Fig.3 に示す. 波長 λ である入射波は音響管内を往復し, 反射波となって放射される. この場合, 音響管表面における入射波と反射波の経路差は半波長となるので, 干渉により音圧はゼロとなる. このとき音響管配列の表面ではインピーダンスがゼロとなるので, ソフトな表面を近似的に実現しているといえる. ソフトな表面の

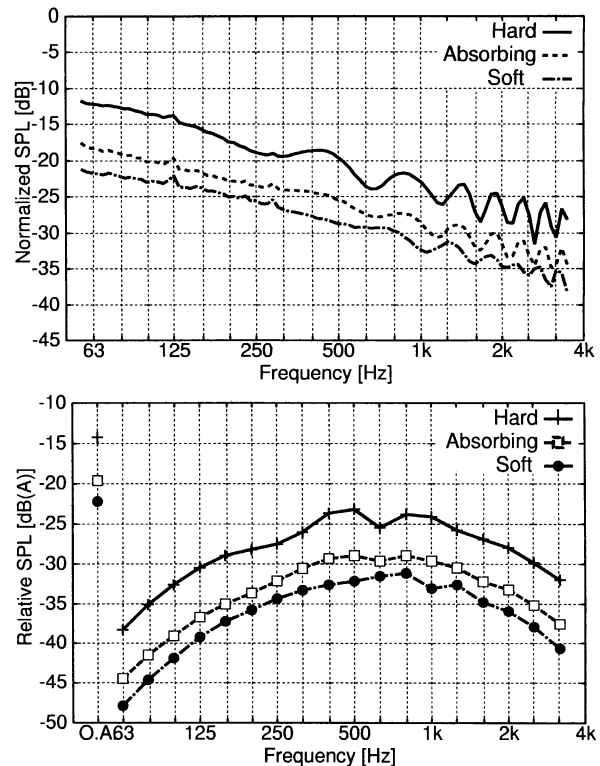


Fig. 2. 法面に理想的な音響条件を与えた場合の結果

境界条件が満たされるのは, 音響管の深さが1/4 波長になる周波数とその奇数倍の周波数のときだけであるため「近似的」と限定される. このような原理のため, 本研究のように騒音制御において利用する場合には, 制御対象の周波数を決めて, その1/4 波長となる深さの音響管を用いる必要がある. この周波数を設計周波数とする. 自動車騒音のスペクトルによって重み付けされた Fig.2 の下図より, 剛な法面の周波数特性のピークとなる500Hzを音響管深さの設計周波数とし, 深さ17cm, 幅9cmの音響管配列を法面に設置した場合 (以下音響管配列法面 (Tube) とする) と, 現実にも多い状態である法面が草地である場合

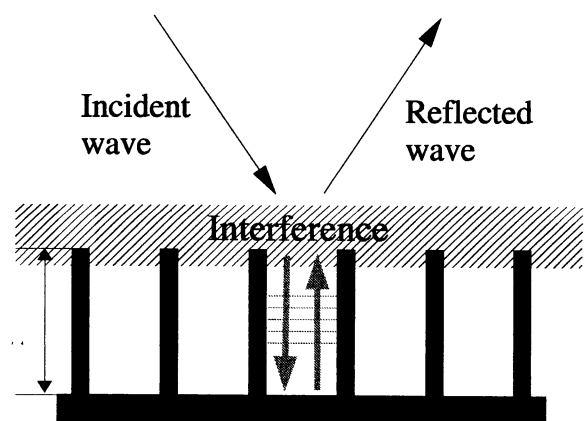


Fig. 3. 音響管配列がソフトな境界条件を実現する原理

(Grass)について数値解析を行った。

草地は短く刈り込んであるものを考える。空気の特性インピーダンスで基準化されたノーマルインピーダンス Z は、ASJModel-1998-においても採用されている幹モデル [5] によると、

$$Z = 1 + 5.50 \left(\frac{\sigma_e}{f} \right)^{0.632} - i8.43 \left(\frac{\sigma_e}{f} \right)^{0.632} \quad (1)$$

と表される。

ここで、 σ_e : 実効的流れ抵抗 [$\text{kPa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$], f : 周波数 [Hz] である。(1)式に短く刈った草地の実効的流れ抵抗値 $\sigma_e = 300$ を代入して得られる草地の基準化ノーマルインピーダンスを用いる。

また、音響管配列法面の数値解析モデルを Fig.4 に示す。

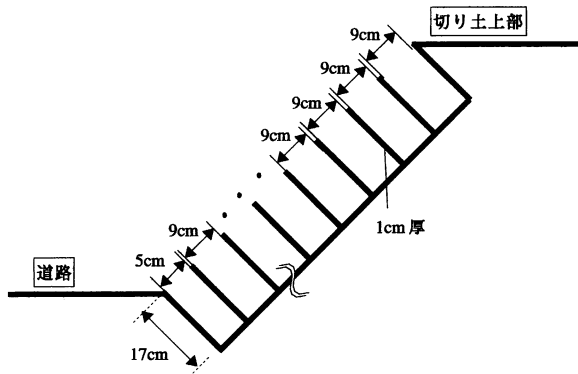


Fig. 4. 音響管配列法面の数値解析モデル

受音点 R9 における結果を、法面が剛であるときの結果と併せて Fig.5 に示す。結果は3節同様、上図が基準化された音圧レベルで、下図が自動車騒音のスペクトルにより重みづけされた1/3オクターブバンドレベルである。

音響管配列法面の場合、設計周波数である500Hz付近では理想的にソフトな場合と同様に法面が剛であるときに比べ8dB程度の低減効果がみられたが、125Hz以下およびいくつかのピークの現れている周波数で剛な法面の場合より高い音圧レベルになっている。これを負の効果と呼ぶ。このような音響管配列の効果の周波数依存性のため、剛な法面に対する効果はオーバーオール値で3dBほどに留まった。しかし法面が草地の場合よりは高い騒音低減効果を得ることができた。

また設計周波数である500Hzにおいて、音響管がどのようにふるまうのか調べるために剛な法面の場合とともにエネルギーの流れを解析した。Fig.8に法面近くでのインテンシ

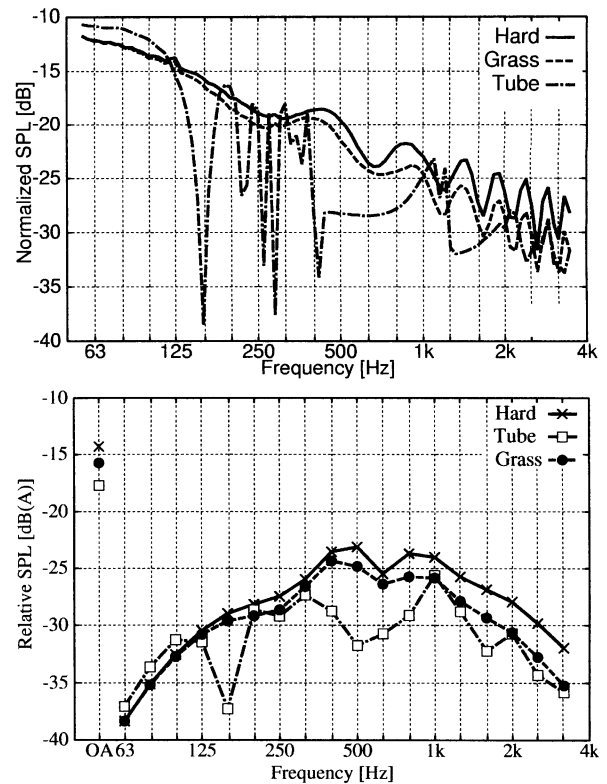


Fig. 5. 剛、草地、音響管配列法面のときの周波数特性 (受音点 : R9)

ティと音圧レベル分布を示す。矢印の長さはインテンシティの大きさを示している。Fig.6には、音場全体の音圧レベル分布を示す。Fig.6をみると剛な法面の場合と音響管配列法面の場合のどちらも法面よる干渉が起きている。しかし、剛の場合の法面付近は音圧レベルが高くなっているのに対し、音響管配列法面では法面付近で音圧レベルが低くなっていることがわかる。また、明るい領域においては音響管配列法面の場合のほうが音圧レベルが高くなっているが陰の領域では剛な法面の場合より低くなっている。Fig.8をみると法面でのエネルギーの強さおよび流れ方の違いがはっきりしている。音響管配列法面の場合、法面の上方でエネルギーが右上へ向かう傾向が強い。これは、いままでの1/4波長音響管を用いた先行研究においてもみられる特徴である。剛な法面の場合、法面にそって大きなエネルギーが受音側に流れ込んでいることがわかる。

5. まとめ

切り土型道路構造の法面を音響的にソフトにすることにより騒音低減効果を高めるという提案を行った。法面が理想的にソフトである場合、完全吸音性法面の場合よりも騒音低減効果が高いことが示された。また、音響管配列法面の場合でも、設計周波数では大きな減音効果が得られた。しかしながら効果が周波

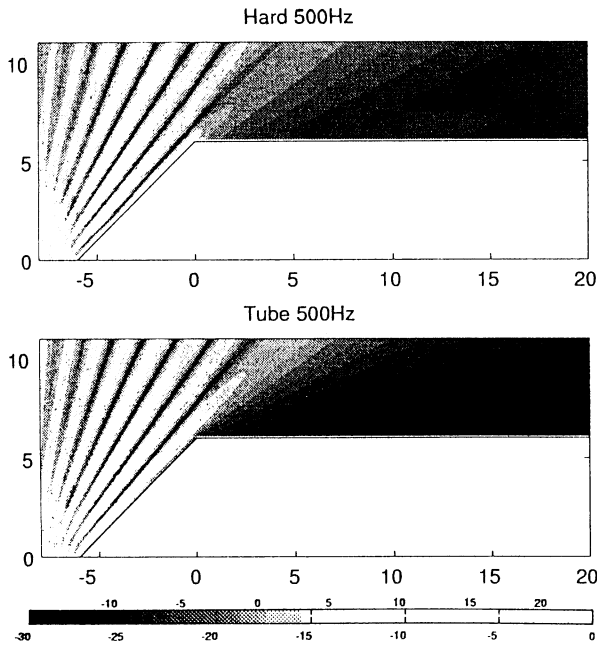


Fig. 6. 法面が剛なときと音響管配列のときの音圧レベル分布：500Hz

数に依存するため、負の効果が現れたり思うように減音効果が現れない周波数がある等問題点も多い。今回は設計周波数を500Hzのみに設定したが、先行研究によると設計周波数の異なる音響管を組み合わせることによって効果のある周波数帯域を上げることができる[2][3]ので、今後の展望としてはいくつか設計周波数を増やし違う深さの音響管を用いることによって効果の周波数依存性の緩和を試みたい。

また、音響管の構造や配置の検討も課題である。例えば本論文における音響管の構造だと音響管の口が上向きなので雨やごみがたまるという問題がでてくる。よってFig.7のように音響管の口が水平方向を向いていて階段状の音響管配列についても検討したい。このように階段状の構造であれば異なる深さの音響

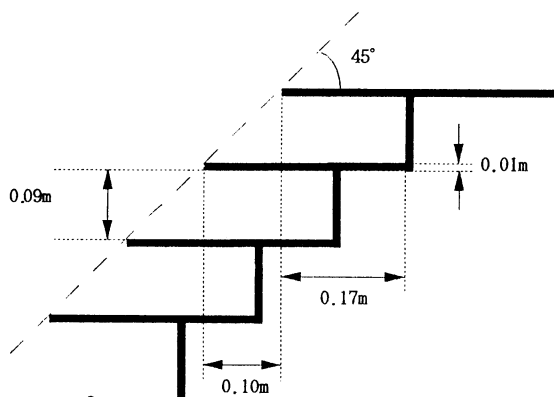


Fig. 7. 水平方向に口を向けた音響管

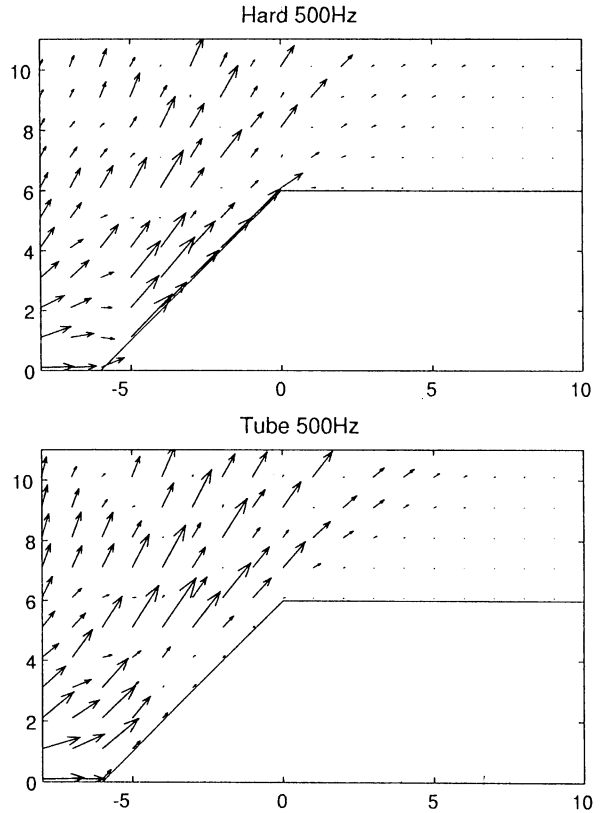


Fig. 8. 法面付近の音響インテンシティ分布

管を扱うことも容易だと考えられる。

さらに、今回の検討の様に高さ6m、角度45度の法面すべてに音響管を配置するのは現実には難しい。よって有効な騒音低減効果が得られる最小限の取り付け幅および効果の高い取り付け位置についても検討が必要である。

参考文献

- [1] 藤原 恭司, 四元 英治, ソフトな表面を持つ防音壁について, 日本音響学会騒音研究会資料 N-92-07, 1992.
- [2] 大久保 朝直, ソフトな円筒エッジを持つ防音壁の遮音性能に関する研究, 九州芸術工科大学博士論文, 1998.
- [3] 金 哲煥, 音響管配列を用いたソフトな T 型防音壁の遮音性能に関する研究, 九州芸術工科大学博士論文, 1997.
- [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 55 巻 4 号 (1999) pp.281-324
- [5] Yasushi Miki, Acoustical properties of porous materials - Modifications of Delany-Bazley models - , J. Acoust. Soc. Jpn. (E) 11, 1 (1990) p.p.19-24