



Title	道路遮音壁の音響放射系としての取扱い
Author(s)	鏡, 慎; Kagami, Shin; 森吉, 昭博 他
Citation	電子情報通信学会論文誌. A, 基礎・境界, J74-A(3), 315-322
Issue Date	1991-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/42599
Rights	copyright©1991 IEICE
Type	journal article
File Information	moriyosh_TIEICEA74.pdf



道路遮音壁の音響放射系としての取扱い

正員 鏡 慎[†] 非会員 森吉 昭博^{††} 正員 深井 一郎^{†††}

A Treatise on Noise Barriers of the Road as Sound Radiation System

Shin KAGAMI[†], Member, Akihiro MORIYOSHI^{††}, Nonmember
and Ichiro FUKAI^{†††}, Member

あらまし 重大な社会問題となっている、道路交通騒音の問題に関し、その一解決策である遮音壁の効果について、音響学的な考察を行っている。従来、遮音壁設置の理論的裏付けとして、スクリーンによる音波の回折理論が採用されてきたが、本論文では、遮音壁と音源としての車両の存在する道路構造を一つの音響放射系とみなし、開放領域問題に有力な境界要素法を用いて、2次元解析を行っている。遮音壁断面形状と周波数をパラメータとして行った解析の結果からは、平行に対向する部分のある形状では共振が発生し、遮音壁端部での回折とあいまって、遠方まで音を広げてしまう場合があること、無理な閉込めを期待せず、ホーンのような形状を採用すると、道路面に垂直に上の方向に音を放射することができ、かつ、回折も大きくならないことなどの知見を得ている。対象とした周波数は、耳障りと考えられる150~300 Hzである。

1. ま え が き

騒音は、大気汚染、振動と共に、道路交通による3大公害の一つである。遮音壁の設置はこの騒音を緩和する手段として有効なものとされている。しかし、設置してもなお騒音のレベルが環境基準を超えている地域もあり、何らかの対策が必要になってきている。本研究は、音響工学の立場から、遮音壁の効果について検討を行うものである。

従来の遮音壁に関する研究の多くが、単に、スクリーンによる音波の回折の問題としてとらえている⁽¹⁾のに対して、筆者らは、波動場としてのより厳密な取扱いが必要であると考えている^{(2)~(5)}。従って、本論文においては、二つの対向する遮音壁と路面、音源としての車両の存在する道路構造を一つの音響放射系とみなし、数値解析を行っている。数値解析の手法としては、本研究の問題のような開放領域問題に優れた適応力を有する境界要素法を用いている^{(2)~(5)}。筆者らは、この境界要素法を、電磁界問題の解析に適用し、既に種々

の報告を行っている^{(6)~(9)}。

結果としては、通常の二つの平行に対向する遮音壁は開放型の共振器を構成し、特定の周波数の騒音に対しては、いわば共鳴箱の働きをし、端部における回折とあいまって、遮音効果があまり期待できないことを指摘している。また、遮音壁の断面形状が周囲の音圧分布に極めて大きな影響を与えることを明らかにし、無理に騒音を閉じ込めようとするよりは、問題を起こさない方向、具体的には路面に垂直に上の方向に指向性をもたせて放射するような形状を採用することが有効なことなどを指摘している。

2. 境界要素法による音場の取扱い

2次元領域 D において定常音場が存在する場合、2次元ヘルムホルツ問題となる。これを、境界要素法によって定式化すると、次の形式の行列方程式を得ることができる⁽⁸⁾。

$$Hu = Gq \quad (1)$$

ここで、行列 H, G はグリーン関数と形状関数を含む D の境界 B 上での積分によって決定される。また、 u, q は解析のポテンシャルとその B 上外向法線方向微分値からなるベクトルである。また u, q は、音圧 p 、粒子速度 ξ 、媒質密度 ρ 、角周波数 ω と次の関係にある⁽⁸⁾。

$$u = p/(j\omega\rho) \quad (2)$$

[†] 旭川工業高等専門学校電気工学科, 旭川市
Asahikawa National College of Technology, Asahikawa-shi, 071
Japan

^{††} 北海道大学工学部土木学科, 札幌市

^{†††} 北海道大学工学部電気工学科, 札幌市
Faculty of Engineering, Hokkaido University, Sapporo-shi, 060
Japan

$$q = \dot{\xi} \quad (3)$$

境界要素法においては、解析対象領域の周囲境界上に節点を配置し、その各節点について、 u と q が変数としてとられる。従って、境界条件としては、各節点において、 u と q のいずれか、あるいは u と q の1次結合に指定値を与えて解くことになる。本論文のような問題では、剛体壁において粒子速度が零となることから

$$q = 0 \quad (4)$$

また、呼吸する音源について粒子速度に指定値を

$$q = \bar{q} \quad (5)$$

として与える。この場合、境界要素法の直接の解としては、式(1)より、各節点における音圧に関連した量 u が求められることになる。解析対象領域内部の界については、境界上の u と q の値から、グリーン関数を利用した積分によって2次的に求められる。

解析対象領域の固有の共振周波数を求めるためには、式(1)において、

$$q = 0 \quad (6)$$

すなわち、剛体壁だけからなる構造において、自明でない u の解が求まる条件

$$\det \mathbf{H} = 0 \quad (7)$$

を用いる。実際には、周波数を細かく変化させながら $\det \mathbf{H}$ の値を計算し、限りなく零に近づく周波数を探すことになる。

3. 解析モデルの設定

実際の道路では音源としての車両は点在しており、3次元解析が要求される。しかし、車両が連続的に存在する場合は、騒音の面から考えると最悪時であり、これについて考察を行うことにより、実際の遮音壁の設計に対して有益な指針を与えることができる。また、この場合は、道路構造も連続的に存在することを考え

合わせると、2次元解析が可能になることがわかる。従って、ここでは、図1のような2次元モデルを解析の基本モデルとして用いる。中央線に関し左右対称で、遮音壁の間隔は10mで平行に対向し、壁の厚さ、高さはそれぞれ、30cm、3m、音源は、車両のタイヤの路面に近い部分の幅20cm、高さ10cmの路面から20cmの部分の方形断面を有するもので、これが呼吸しているとする。境界要素法のための要素分割は、このモデルの境界を線要素で構成するもので、要素数180、節点数181で、遮音壁外側は、中央線から横手方向25.1mまでをとっている。なお、要素数を更に増し、横手方向50.3mまでをとった分割モデルを用いても、本論文の解析結果に関しては、25.1mまでの分割モデルを用いた場合とほとんど差はない。

さて、筆者らは、図1の型を平行型と呼んでいるが、そのほかに、図2に示す4種の型を考え、これらについて解析を行う。図2(a)は、指向性をもたせて騒音を問題を起こさない方向に放射することを意図したものでホーン型、また、同(b)は、積極的な音の閉込めを意図したもので、ファブリーペロー型と呼んでいる。更に、(c)、(d)はそれぞれ、ホーン型、ファブリーペロー型の簡略版である。これらは、いずれも、対向する間隔の最小部分を10mとしている。

$$q = 0 \quad (8)$$

を、音源部分で

$$q = 1 \quad (9)$$

とする。従って、結果として得られる音圧分布は、上記の5種の型の間でのみ比較を行うことのできる、相対的なものであって、実際の状況における絶対的な大きさを示すものではない。

最後に、解析を行う周波数範囲は、道路騒音として重要と考えられる、150 Hz から 300 Hz としている。

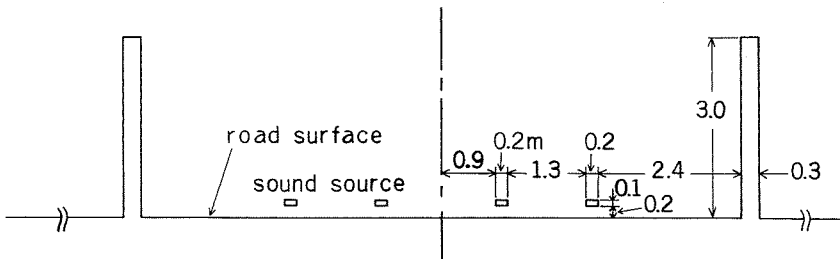


図1 遮音壁の基本モデル
Fig. 1 The basic model of noise barrier.

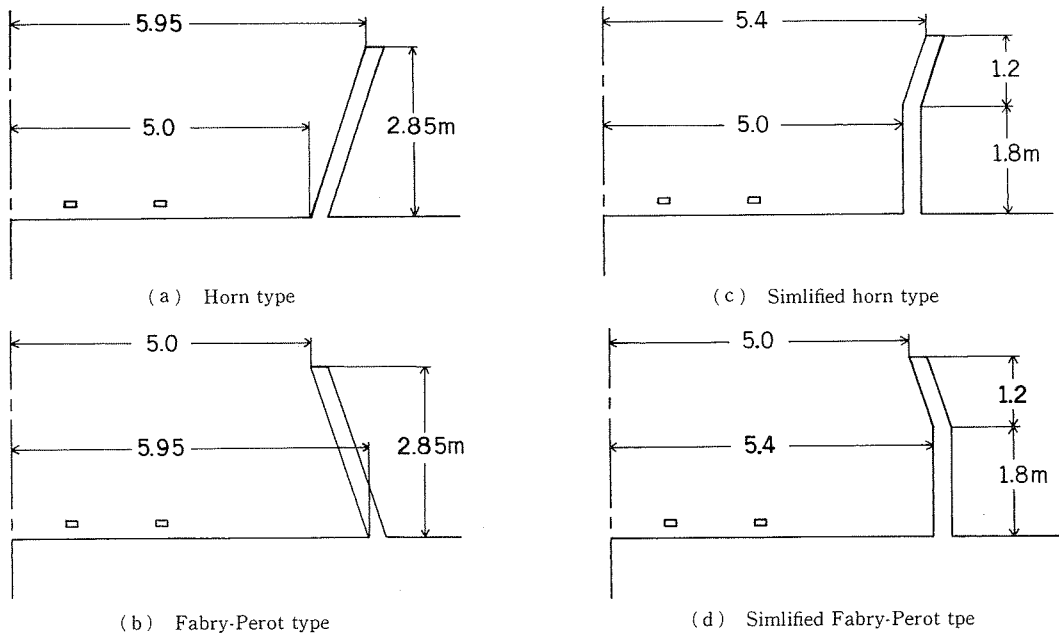


図 2 種々の形状の遮音壁
Fig. 2 Various types of noise barrier.

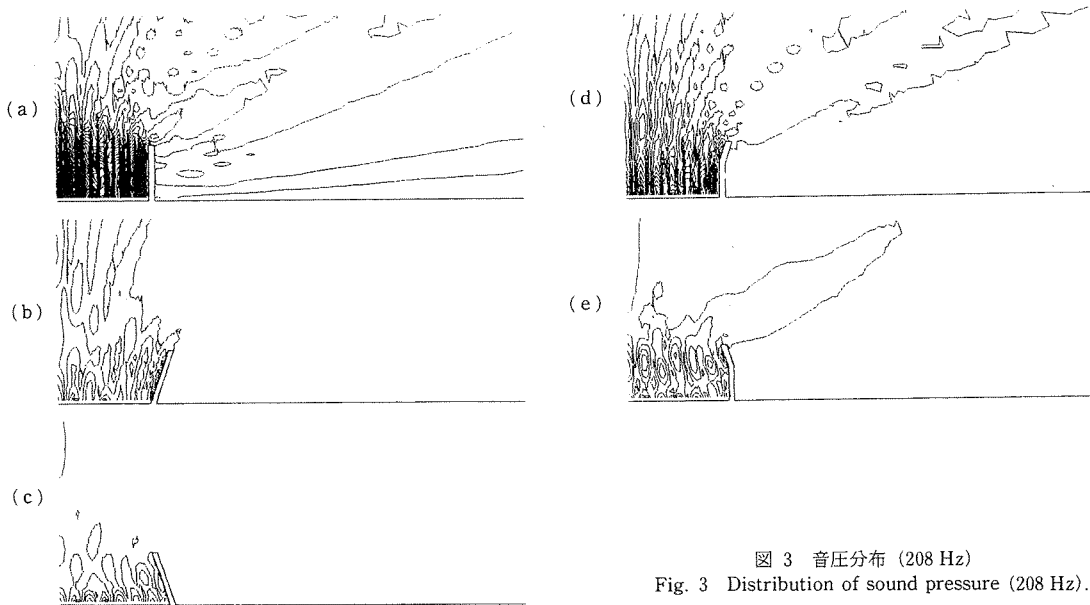
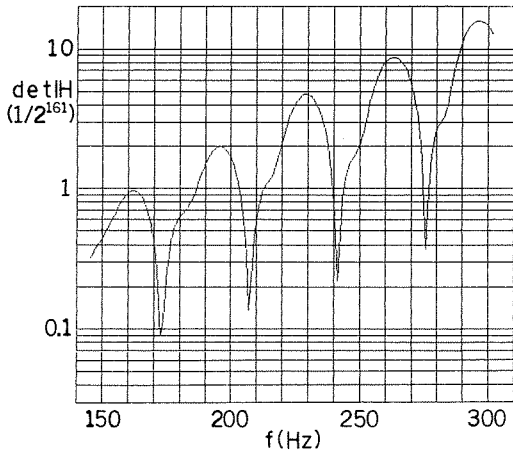


図 3 音圧分布 (208 Hz)
Fig. 3 Distribution of sound pressure (208 Hz).

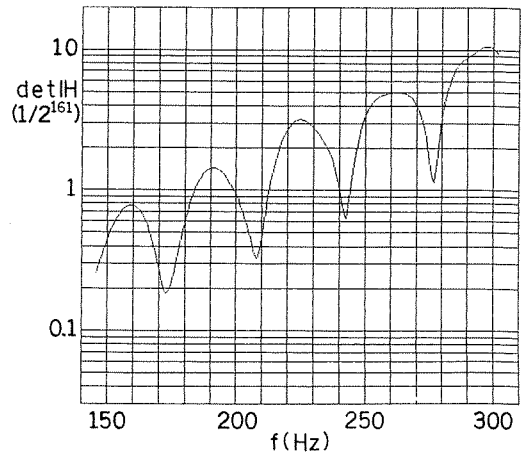
4. 解析結果

図 3 は、5 種の遮音壁の型について、208 Hz における、路面から上方 10 m まで、中央線より横手方向 25 m までの範囲の音圧分布を等音圧線によって示すもので

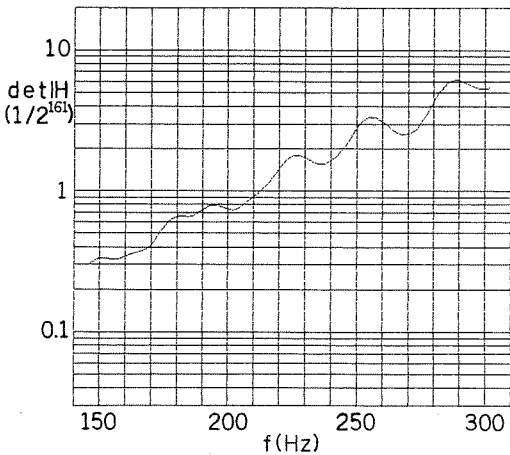
ある。これらの等音圧線は本論文の解析結果のすべてに共通の間隔で描かれている。従って、図 3 からは、208 Hz においては、平行型、簡略ホーン型、簡略ファブリーペロー型、ホーン型、ファブリーペロー型の順に、横手方向遠方までの騒音の到達の程度が大きいことが



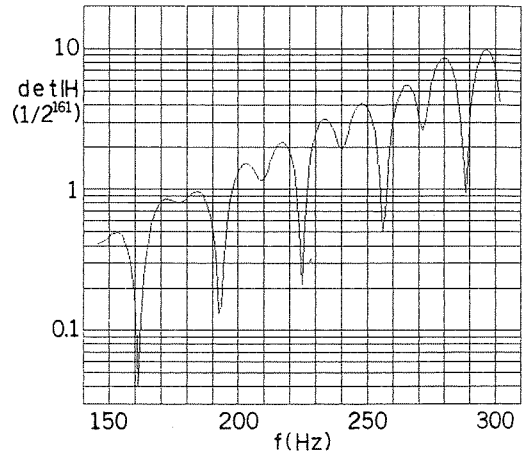
(a) Parallel type



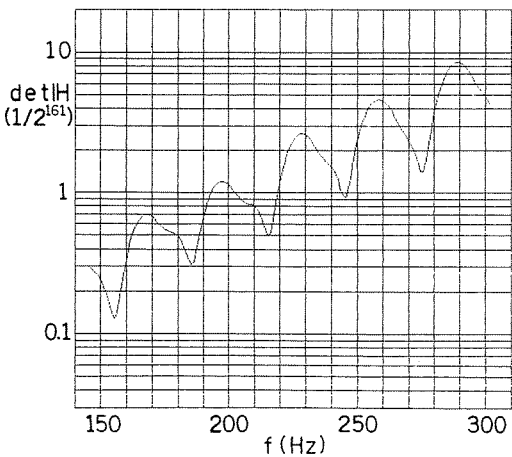
(d) Simplified Horn type



(b) Horn type



(e) Simplified Fabry-Perot type



(c) Fabry-Perot type

図 4 $detH$
Fig. 4 $detH$.

わかる。平行型では、2個の対向する遮音壁の間隔が10 mで、208 Hzにおいてはこれがほぼ6波長に相当する。従って、この間で共振が発生し、更に、遮音壁上端部での回折とあいまって、遠方までの騒音の到達という結果をもたらしていると考えられる。この共振について考察を深めるために、各構造における $detH$ を計算したものが図4である。これらから、やはり平行型は、208 Hz 付近で共振することがわかる。更に、対向する遮音壁間隔が5波長、7波長、8波長となる172 Hz, 241 Hz, 276 Hz 付近でも共振することがわかる。また、平行型と同じ間隔の平行部分を有する簡略ホーン型にも、平行型と同じ周波数において、共振に

近い状態が存在することがわかる。平行部分の間隔が 10.8 m である簡略ファブリーペロー型でも、これが波長の整数倍となる周波数において共振するが、音の閉込めが簡略ホーン型より強いため、共振が顕著に発生すると考えられる。ファブリーペロー型についても、路面に関して対称に下側にも遮音壁の存在を仮定すると、その場合の平行に対向する部分の間隔 11.3 m が波長のほぼ整数倍になる周波数において共振に近い状

態になることがわかる。一方、平行部分がなく、閉込めもないホーン型は、共振現象には無縁なことが確認される。更に、図 4 からは、これらの共振現象の存否が、本研究で解析を行っている周波数範囲では、30 Hz 程度の間隔で繰り返されていることがわかる。208 Hz 付近でこの周波数間隔について調べると、208 Hz のほかに、典型的な場合として、216 Hz、225 Hz、230 Hz があり、これらにおける音圧分布について考察するこ

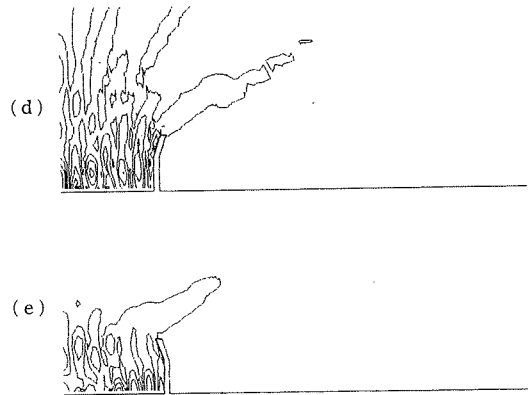
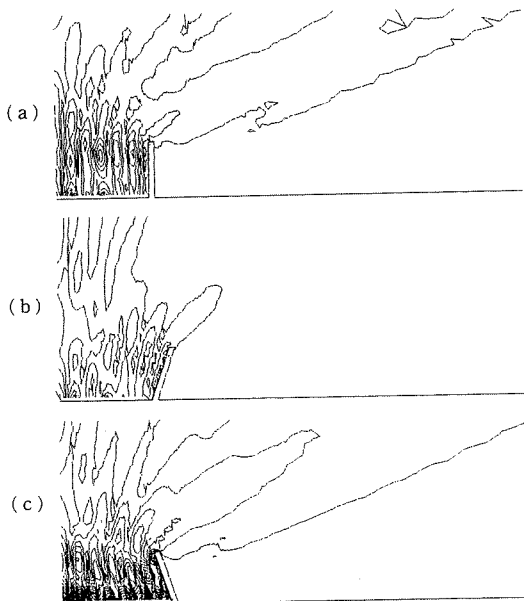


図 5 音圧分布 (216 Hz)
Fig. 5 Distribution of sound pressure (216 Hz).

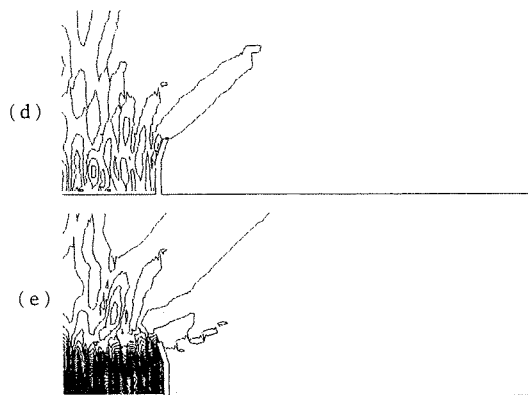
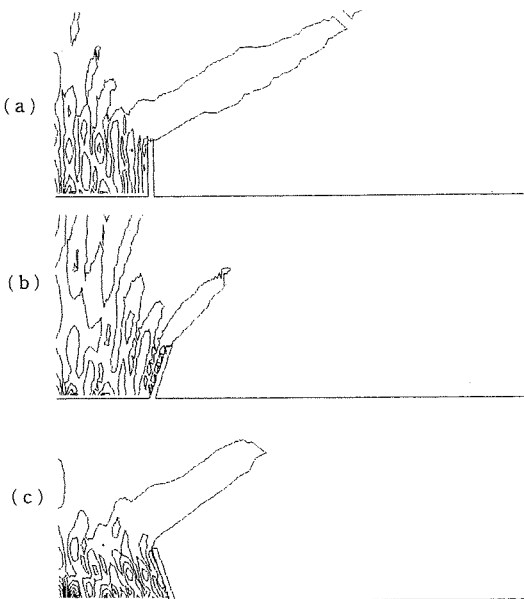


図 6 音圧分布 (225 Hz)
Fig. 6 Distribution of sound pressure (225 Hz).

とにする。図5は216 Hzの場合で、ファブリーペロー型で共振が起こり、遮音壁上端からの回折もかなり大きい。平行型でも、共振は起きてはいないが、ファブリーペロー型と同程度の騒音の広がりになっている。図6は225 Hzの場合で、簡略ファブリーペロー型で共振が起きており、道路における騒音のレベルはかなり高くなっているが、回折はそれほど大きくなく、周辺への騒音の広がりには、むしろ平行型の方が大きい。最後

に、図7は、230 Hzにおける音圧分布を示すもので、いずれの型の遮音壁も共振からはかなり遠い状態にある。平行型、簡略ホーン型では、回折による周辺への音の広がりが大きく、ファブリーペロー型、簡略ファブリーペロー型では、音の閉込めがよく行われている。以上の四つの周波数でホーン型が良好な特性をもつことが判明したが、中央線より18, 19, 20 m, 地上高さ1 mの3点の音圧の平均値を、平行型、ホーン型、ファ

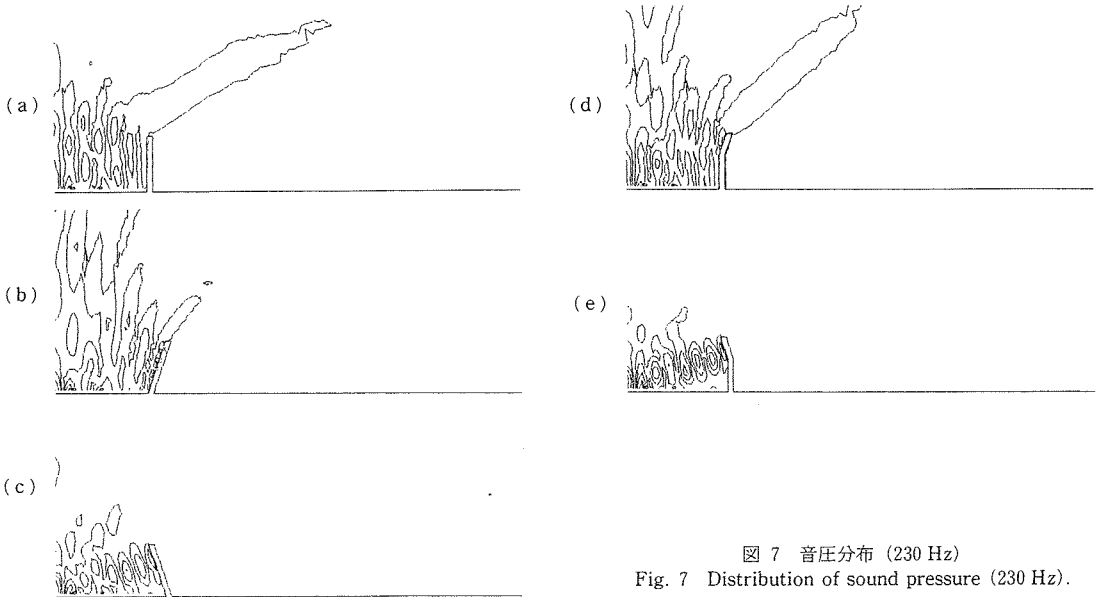


図7 音圧分布 (230 Hz)
Fig. 7 Distribution of sound pressure (230 Hz).

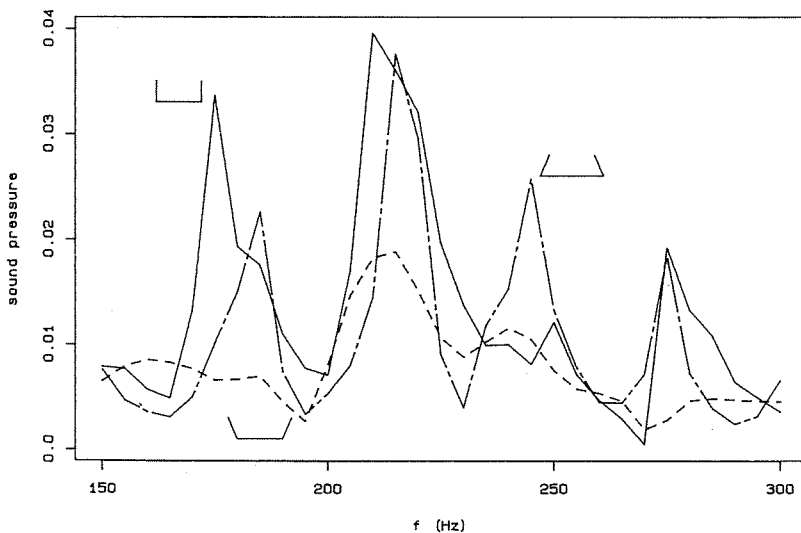


図8 音圧の平均値
Fig. 8 Mean value of sound pressure (18, 19 and 20 m from the center line, height 1 m).

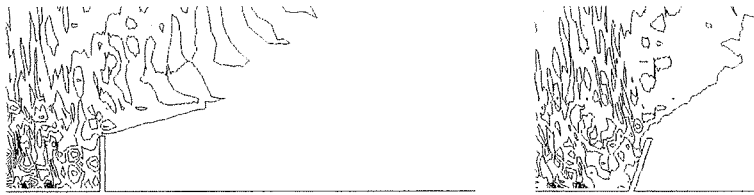


図9 音圧分布 (1,000 Hz)
Fig. 9 Distribution of sound pressure (1,000 Hz).

ブリ-ペロー型について示した図8からは、150~300 Hzの範囲すべてでホーン型が優れていることがわかる。他の周波数範囲では、前述の4種の状態が30 Hz程度の間隔で繰り返されている。また、高周波音については、幾何光学的な考察から、いずれの遮音壁形状も十分な遮音効果をもつと考えられるが、より細かい分割を行った数値解析の結果もこのことを裏づけていた。例として、1,000 Hzにおける音圧分布を、平行型とホーン型について図9に示す。この場合の解析モデルは節点数が1,041である。

最後に、境界要素法解析に要する計算時間であるが、例えば、図3(a)についてSunワークステーション(Sun-4/260, FPU 1)で1,742秒であった。この計算には、181個の節点上の音圧の計算のほかに、周辺の1,232個の点における音圧の計算が含まれている。

5. むすび

道路の遮音壁について、これを音響放射系として扱い、境界要素法を用いて2次元解析した。遮音壁断面形状としては、通常の平行型のほかに4種のを想定し、周波数としては150~300 Hzの範囲を考えた。形状と周波数をパラメータとして行った解析の結果、ホーン型のものが、上の方向への音の放射が行え、遮音壁上端部における回折も小さく、周辺への騒音の広がりを抑制するという、遮音壁としての理想的な機能を有するものであることが判明した。

一方、ホーン型がすべての周波数にわたり良好な特性をもつのに対し、ファブリ-ペロー型のような積極的な音の閉込めを意図するものも、特定の周波数については効果のあることがわかった。また、平行部分を有する形状では、必ず、共振の問題が発生することも指摘できた。

本研究は車両が連続的に存在するという最悪時について2次元解析を行ったもので、更に種々の形状や、

車両が点在する場合についての3次元解析を研究していくことが今後の課題である。

謝辞 本研究の遂行にあたり、有益な御助言を頂いた岡山大学工学部加川幸雄教授に深謝します。

文 献

- (1) 石井聖光：“道路交通騒音予測計算方法に関する研究(その1)”，日本音響学会誌，31，8，pp.507-517 (1975-08)。
 - (2) 鏡 慎，森吉昭博，深井一郎：“道路の防音壁における音響学的解析”，第18回日本道路会議，一般論文125(1989-10)。
 - (3) 鏡 慎，森吉昭博，深井一郎：“交差点付近でビルの林立する場合の音響解析”，塞地技術シンポジウム'89，CTC 890506 (1989-11)。
 - (4) 鏡 慎，森吉昭博，深井一郎：“道路遮音壁の効果に関する境界要素法解析”，第11回計算電気・電子工学シンポジウム，II-12 (1990-03)。
 - (5) 西田公至，藤塚桂男：“有限長障壁による音波回折の境界要素法解析”，日本音響学会誌，44，11，pp.815-823 (1988-11)。
 - (6) Kagami S. and Fukai I.：“Application of boundary-element method to electromagnetic field problems”，IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., MTT-32, 4, pp. 455-461 (April 1984)。
 - (7) 鷲巢 慎，深井一郎：“境界要素法による電磁界開放領域問題の解析”，信学論(B)，J64-B, 12, pp.1359-1365(1981-12)。
 - (8) 加川幸雄，小柴正則，池内雅紀，鏡 慎：“電気・電子のための有限/境界要素法一波動問題への応用”，pp.182-224 (1984-10)。
 - (9) 鏡 慎，深井一郎：“3次元音場問題の境界要素法による定式化”，信学論(A)，J70-A, 1, pp.110-115 (1987-01)。
- (平成2年4月23日受付，9月17日再受付)



鏡 慎

昭50 北大・工・電気卒。昭52 同大学院修士課程了。昭55 同大学院博士課程了。同年旭川工業高等専門学校電気工学科助教授。電磁界解析、音場解析に関する研究に従事。工博。旧姓鷺巣。



森吉 昭博

昭41 北大・工・土木卒。昭43 同大学院修士課程了。昭46 同大学院博士課程了。昭47 同大学・工・講師。昭48 助教授。現在、道路工学、特にアスファルト系材料の応用に関する研究に従事。土木学会、石油学会、高分子学会各会員。工博。



深井 一郎

昭28 北大・工・電気卒。昭31 同大学院修士課程了。防衛庁技研、北大工業教員養成所を経て、昭52 同大・工・教授。工博。