

幾何音響シミュレーションのための 楕円フーリエ記述子による周波数別の室形状生成*

◎星和磨（日大・院），羽入敏樹（日大・短大），関口克明（日大・理工）

1 はじめに

幾何音響シミュレーションは、境界面をどの程度詳細に入力するかによって解が変化する。現状では、どの程度詳細に入力すべきかの指針はほとんどない。また、解析対象周波数に応じた室形状を変えることが望ましいとの報告がある[1]。しかしその作業は形状を設定する人の経験に頼るところが大きい。そこで筆者らは、楕円フーリエ記述子を用いて解析周波数に応じた形状を客観的に作成し、幾何音響シミュレーションに適用することを検討した。

2 周波数別の室形状生成

ある拡散体に音波が入射した場合、その反射性状は拡散体の寸法と入射音の波長との関係に依存することが知られている。その知見から、入射音からみた凹凸の形状は以下のように考えられる。

- ・波長より十分短い幅の凹凸，すなわち細かい凹凸は見え影響を受けにくい。
- ・波長より十分長い幅の凹凸は、凹凸がはっきりと見え、凹凸の影響を受けて反射する。

よって、解析周波数に応じた室形状とは、音の波長より短い周期の凹凸を除去した形状、いわば室形状にローパスフィルタを掛けた形状と見なすことが出来る。筆者らは楕円フーリエ記述子[2]を用いて、2次元室形状の持つ凹凸を空間周波数として捉える方法を提案している[3,4]。そこで2次元形状を楕円フーリエ解析し、ローパスフィルタを通して形状を再構成することで、周波数別の室形状が生成出来ると考えた。

まず、Fig.1 左図に示す室形状に右図の拡散体を付した室形状に対し、ローパスフィルタを通して形状を生成した。そして、生成した形状に音線を当て、その反射の様子を見た。離散化点数は16384点である。Fig.2に楕円フーリエ解析

後の空間周波数特性を示す。これみると大小それぞれの拡散体の幅2mと0.51mの逆数である空間周波数0.5[1/m]、1.9[1/m]付近にピークが表れている。そこで、ローパスフィルタの上限周波数を0.4[1/m]、1[1/m]、3[1/m]としてフィルタリングを施した。フィルタ形状は矩形である。

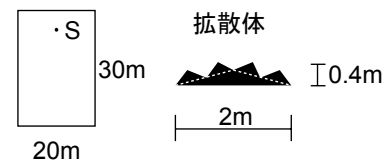


Fig. 1 Room shape and diffuser.

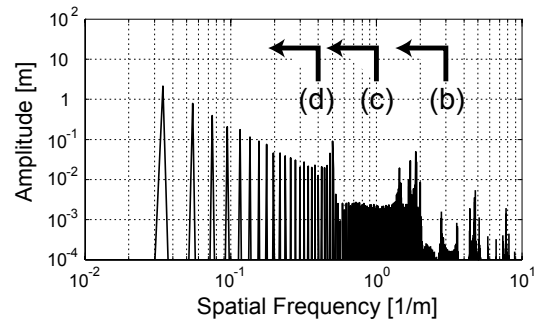


Fig. 2 Spatial frequency characteristics.

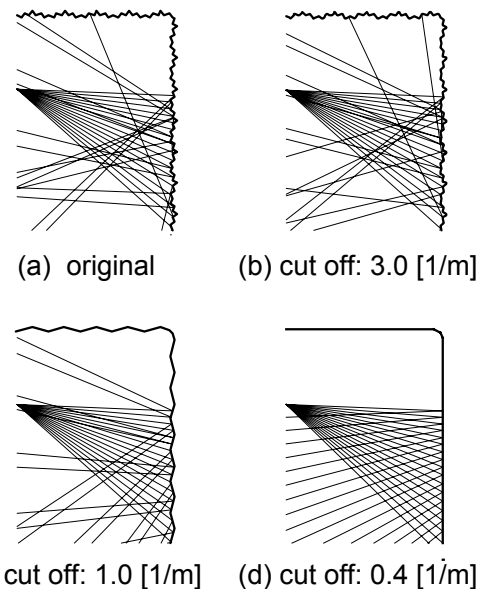


Fig.3 Filtered shapes by Elliptic Fourier Analysis.

* Generating room shapes at individual frequency by Elliptic Fourier Descriptors for geometrical acoustic simulation, by Kazuma HOSHI, Toshiki HANYU and Katsuaki SEKIGUCHI (Nihon Univ.).

入力形状及びフィルタリング後の形状を Fig.3 に示す。これをみると、フィルタリングにより凹凸の細かさの異なる室形状を作り出せることがわかる。このように形状のもつ周期性を定量的に把握することで、解析周波数に応じた形状を作り出すことができる。

3 生成形状の反射特性

フィルタリングした形状による音線の幾何反射特性は、実際の音波の反射をどの程度シミュレートできるか調べた。また空間周波数と音の周波数の関係について調べた。

検討は、文献[5]を参考にほぼ同条件で Fig.4 に示す幅 1.5m の拡散体を8つ並べたものを評価対象とした。楕円フーリエ解析のため、Fig.5 に示す正方形を基本形状とした。形状のうち、拡散体を設置した評価対象部分の吸音率を0とし、それ以外の部分は吸音率1とした。この形状を16384点で離散化、楕円フーリエ解析し、ローパスフィルタの上限周波数を0.1[1/m]から10[1/m]まで変化させてフィルタリングした形状を作った。各形状に対し、評価対象の拡散体に音線を1000本当て、反射本数を5°おきに設置した受音エリア毎にカウントした。音源の位置は90°と45°の2パターンである。

結果と考察

結果を Fig.6 に示す。音の波長が拡散体の幅とほぼ等しいとき音波が散乱することから、空間周波数を音の周波数に置き換えることを試みた。音の周波数は、音速を c 、音の周波数を f 、形状の空間周波数を f_s とすると、 $f = c \cdot f_s$ と算出した。Fig.6 の上部に音の周波数を示す軸と、音の波長 λ と拡散体の幅 d の比を表す軸を表示している。さらに各図の右部に基本形状の反射特性を示す。矢印は音波の入射方向を示している。

文献[5]の模型実験結果と今回の結果を比較した。拡散体が効果を発揮しないで鏡面反射する状態から、拡散体による散乱効果が出てくる状態に切り替わる周波数は230Hzとなりほぼ一致した。また、230Hz以上の散乱現象は幾何反射のため範囲が限定され、模型実験の結果と完全には一致しないが、幅広く反射する様子は幾何音響でもある程度再現できることがわかった。さらに高周波数では、拡散体の面に対して鏡面反射の様子が模型実験の結果とほぼ一致した。

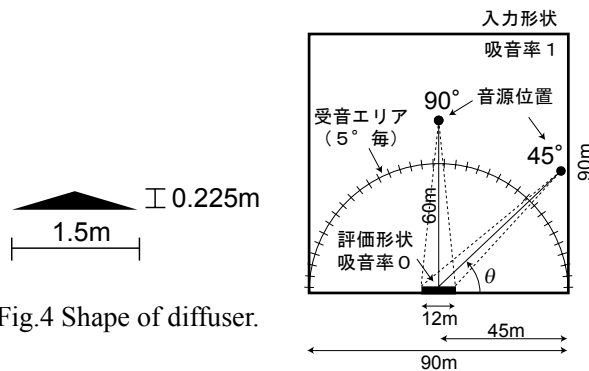


Fig.4 Shape of diffuser.

Fig.5 Test condition.

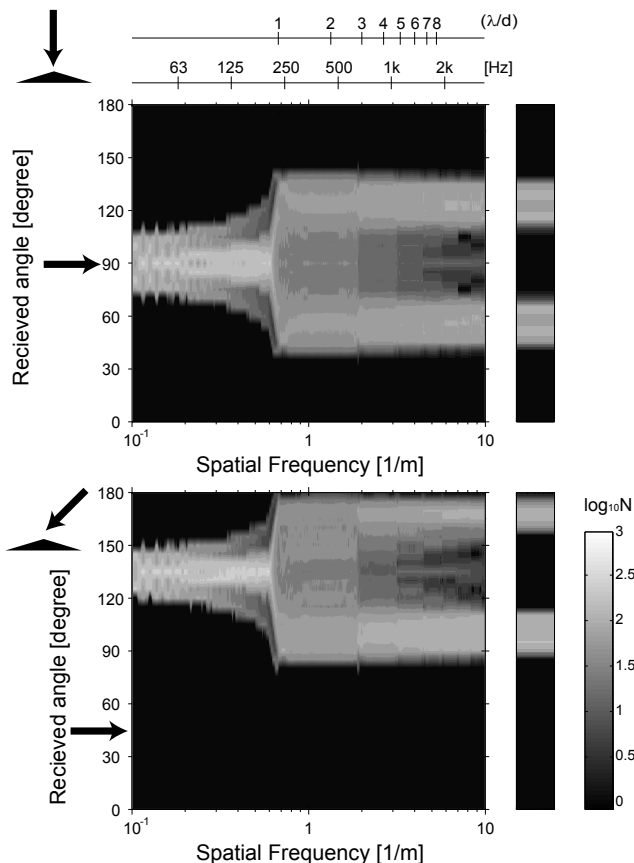


Fig.6 Results of ray tracing tests.

4 まとめ

幾何音響シミュレーションのための室形状を解析周波数に応じて定量的に生成することを試みた。その結果、楕円フーリエ解析によりローパスフィルタを施した形状を生成することで、周波数によって反射性状が異なる現象をある程度シミュレートできることを示した。

参考文献

- [1] 上田他, 建築学会大会梗概集 D, 279-280, 1993.
- [2] Kuhl and Giardina, Comp. Graph. Imag. Proc., 18, 236-258, 1982.
- [3] 星他, 音講論 (春), 829-830, 2005.
- [4] 星他, 音講論 (秋), 889-890, 2005.
- [5] 横田他, 建音研資料, AA2000-19.