

拡散係数を導入した幾何音響シミュレーションに関する検討 非拡散音場の残響時間の予測*

太刀岡勇気（東大・工）、小坂慶之、佐久間哲哉（東大・環境）

1.はじめに

近年商用ベースの幾何音響シミュレーションソフトウェアに壁面条件として拡散係数[1]を導入したものが多く見られる。拡散係数の同定については測定法[2]や数値解析手法[3]が整いつつあるが、幾何音響解析における拡散係数の取り扱いや有効性については十分な検討がなされていない。本報では、従来残響時間予測が難しい非拡散音場を対象として、幾何音響解析における拡散係数の導入に関する検討を行う。

2.研究方法

(1) 解析アルゴリズム

幾何音響解析には cone tracing 手法を採用した CATT-Acoustic v8.0 を用いる。本プログラムは壁面の拡散係数に応じて、1 次反射では鏡面反射と拡散反射の各成分を与え、2 次反射以降では確率的にいずれかの反射成分を与えている。

(2) 解析対象

図 1 に示す直方体室（天井高 3 水準）を基本室形として、図 2 に示す 3 種類の壁面形状を設定する。壁面は全て反射性($\alpha = 0.05$)、天井・床面は反射性($\alpha = 0.05$)または吸音性($\alpha = 0.5$)とし、周波数に依らないものとする。図中の無指向性点音源と受音点の配置により、残響時間（100~1kHz 帯域）を算出する。以上は文献[4]の FDTD 解析結果と比較するために同条件とした。

(3) 拡散係数の取り扱い

壁面の拡散係数については表面形状による散乱に加えて周辺部による回折を考慮し、次式の等価拡散係数として与えるものとする。

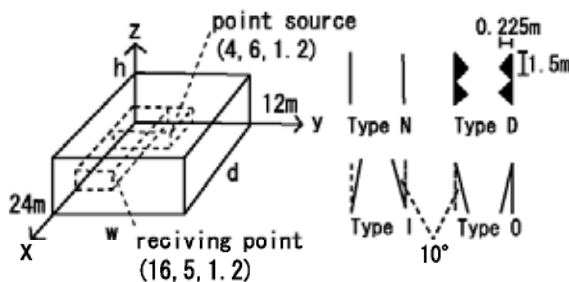


Fig.1 Geometry of rooms.

Fig. 2 Types of wall shapes.

$$\bar{s} = \frac{(S_0 - S_p) s_s + S_p s_s}{S_0} \quad (1)$$

ただし、 S_0 , S_p は対象壁面の全面積および周辺部面積（図 2）、 s_s は壁面表面の拡散係数、 s_p は周辺部の拡散係数であり、 $s_p = 1$ とする。周辺部は波長に比例する幅 $x = n\lambda$ の領域と仮定し、その領域が全面に達した場合は $S_p = S_0$ とする。なお、予備的検討では吸音面の拡散係数は残響時間への影響が小さかったため、以降の検討では反射面のみ拡散係数を与えることとした。

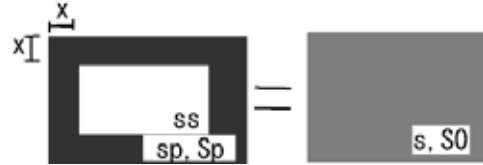


Fig. 3 Scheme of equivalent scattering coefficient.

3.結果と考察

(1) 天井高の影響

基本形 Type N で天井・床が吸音面の場合の残響時間の解析結果を図 4 に示す。幾何音響解析では周辺幅に関する係数を $n = 0.25, 0.5, 0.75$ の 3 水準に設定した。FDTD の結果と良い対応を示す n が存在し、その値は概ね天井高に反比例する傾向が見られる。なお、 $n = 0.25, 0.75$ における壁面($w = 12m$)の等価拡散係数を図 5 に示す。

(2) 壁面傾斜の影響

天井高 $h = 6m$ で床のみが吸音面として Type N, I, O の残響時間の解析結果を図 6 に示す。内転形 Type I では n に依らず FDTD の結果と良く対応しているが、外転形 Type O では FDTD の結果に比べて小さい値となっており、特に低音域でその差が顕著である。

(3) 拡散体の影響

天井高 $h = 6m$ で床のみが吸音面として三角波形 Type D の残響時間の解析結果を図 7 に示す。幾何音響解析では壁面詳細形状を入力し、その全面に等価拡散係数 $s = 0, 1$ を試行的に与えた。拡散係数の影響はほとんど見られないが、高音域側では FDTD の結果と良く対応している。図 8 は残響時

* Geometrical acoustic simulation using scattering coefficients to predict the reverberation time of non-diffuse sound fields, by TACHIOKA Yuuki, KOSAKA Yoshiyuki and SAKUMA Tetsuya (The University of Tokyo)

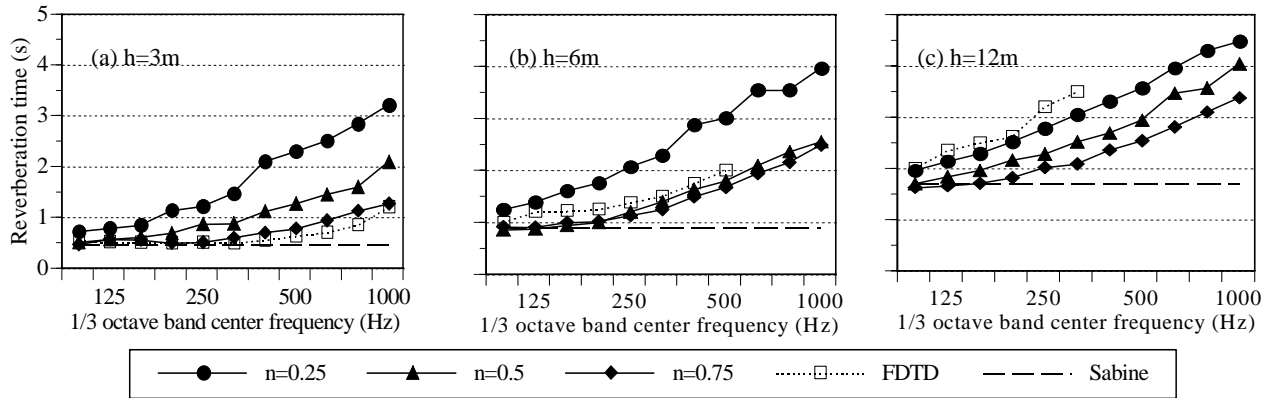


Fig.4 Reverberation time for Type N with absorptive floor and ceiling ($h = 3, 6, 12$ m), calculated with $n = 0.25, 0.5, 0.75$.

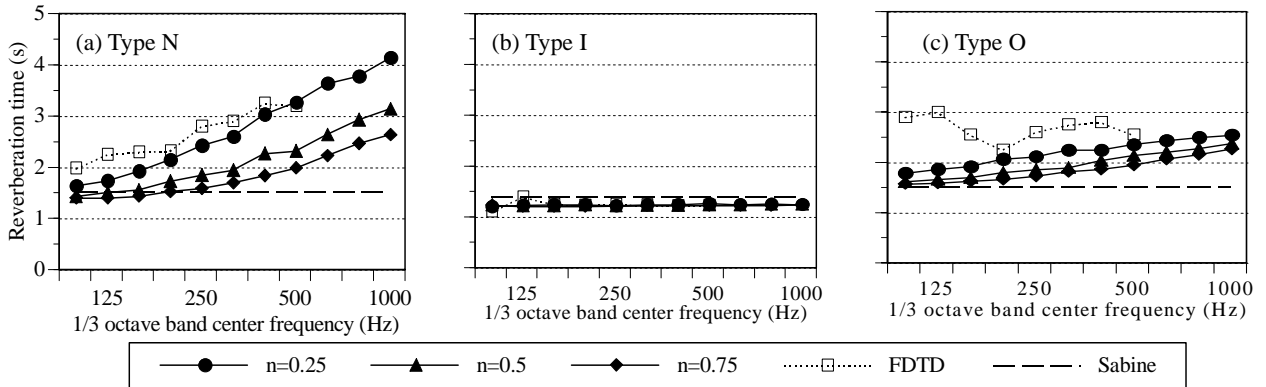


Fig.6 Reverberation time for Types N, I, O with absorptive floor ($h = 6$ m), calculated with $n = 0.25, 0.5, 0.75$.

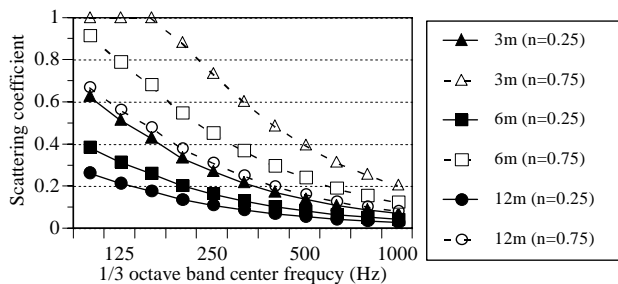


Fig.5 Equivalent scattering coefficients of the wall ($w = 12$ m and $h = 3, 6, 12$ m), under the condition $n = 0.25, 0.75$.

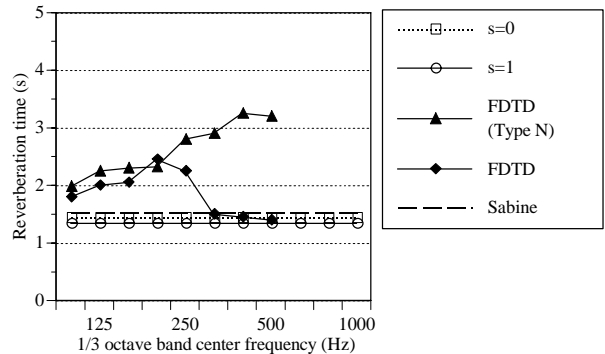


Fig.7 Reverberation time for Type D with absorptive floor ($h = 6$ m), calculated with $s = 0, 1$.

間の解析結果の対応から推定した壁面全体としての等価拡散係数であり、315Hz 帯域以上で Type D の値が上昇する傾向は壁面形状の周期 1.5m ともおおむね整合する。

4.まとめ

壁面周辺部による回折を考慮した等価拡散係数を幾何音響解析に導入することにより、吸音面が偏在する直方体室の残響時間予測がある程度可能であることを示した。しかし、壁面傾斜によっては適用が困難であり、周辺部の何らかの詳細な取り扱いが必要なものと考えられる。

参考文献

[1] ISO 17497-1: Acoustics - Measurement of sound scattering properties of surfaces - Part 1, 2004
 [2] M. Vorländer *et al.*, *Acta Acustica / Acustica* **90**, pp.

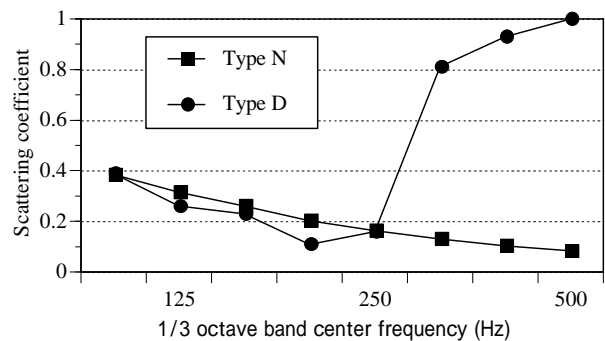


Fig.8 Equivalent scattering coefficients estimated for the walls of Types N and D.

[3] Y. Kosaka *et al.*, *J. Acoust. Sci. & Tech.*, **26**, pp. 136-144, 2005
 [4] 安田, 坂本, 牛山, 橋, 音講論(秋), pp. 963-964, 2004