

## 局所作用を仮定した垂直入射吸音率と残響室法吸音率の関係 FDTD 法による残響室の数値解析

正会員 太刀岡勇気\*  
同 安田洋介\*\*  
同 佐久間哲哉\*\*\*

垂直入射吸音率      残響室法吸音率      FDTD 法

### 1. はじめに

差分法などの数値解析を行う場合、境界条件としては局所作用を仮定し、その垂直入射吸音率相当の実音響インピーダンスを与える場合が多い。局所作用を仮定した解析結果と材料をモデリングした解析結果の比較は行われているものの[1]、残響室法吸音率との関係を数値解析によって明らかにした事例は見られない。そこで、時間領域差分法 (FDTD 法) を用いて残響室をモデリングし、局所作用の仮定のもと残響時間より求めた残響室法吸音率と、理論式[2]より求まる統計入射吸音率を比較し、それらの関係を比較した。

### 2. 手法

連続の式と運動方程式を連立し、空間 2 次、時間 1 次精度の FDTD 法による検討を行った。離散幅はそれぞれ 0.03m, 5e-5s とした。境界条件に関しては垂直入射吸音率相当の実音響インピーダンスを与えた。音源は室隅部に配置し、得られた時間応答波形から Shroeder 法で 100Hz から 1kHz の 1/3 octave band 毎の残響時間を -5 ~ -35dB の回帰区間で評価した。

### 3. 解析対象

解析対象としては Fig. 1 に示す (i) 直方体残響室 ( $V = 220 \text{ [m}^3\text{]}$ ,  $S = 227 \text{ [m}^2\text{]}$ ) (ii) 不整形残響室 ( $V = 168 \text{ [m}^3\text{]}$ ,  $S = 180 \text{ [m}^2\text{]}$ ) とした。それぞれ (A) 室全面に垂直入射吸音率  $\alpha_n = \{0.01, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8\}$  を与えた場合、(B) 床面に一辺が 3.3m の正方形試料 ( $\alpha_n = \{0.2, 0.6, 0.9\}$ ) を置いた場合、(C) 床面全体 (i) 28.3m<sup>2</sup>, (ii) 34.2m<sup>2</sup>) に試料 ( $\alpha_n = \{0.2, 0.6, 0.9\}$ ) を置いた場合の 3 ケースについて検討した。受音点は JIS A 1409:1998 に適合させて 5 点設定した。音源には 1kHz の 1/3 octave band 上限までがほぼ平坦な周波数特性となる

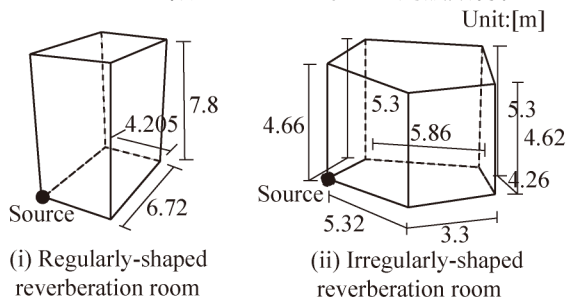


Fig. 1 Geometry of reverberation rooms.

よう Gauss 分布を空間波形として与えた。

### 4. 結果と考察

**検討 A (全面吸音)** 残響時間(RT)を Fig. 2 に、これより導かれる残響室法吸音率  $\alpha_r$  を Fig. 3 に示す。  $\alpha_n$  が小さい場合 ( $\alpha_n = 0.01, 0.2$ ) や高周波数域では、  $\alpha_r$  は比較的統計入射吸音率に近い値となっているが、低周波数域では吸音率によらず同じ上限値を持っている。これには吸音面への入射角の偏りが影響している可能性がある。これらのケースにおいて、残響曲線の折れ曲がりは見られなかった。

**検討 B (床面の一部のみ吸音)** RT を Fig. 4 に、これより導かれる  $\alpha_r$  を Fig. 5 に示す。対応する残響曲線を Fig. 8 に示す。検討 A 同様、  $\alpha_n$  が小さい場合は  $RT \cdot \alpha_r$  は理論値に近い。一方吸音率が高い場合は周波数によらず RT が理論値より著しく長く、  $\alpha_r$  は小さい。この傾向は直方体室 (i) の方が顕著であった。室の拡散性が低く、何らかのモードが残りやすいことが原因と考えられる。

**検討 C (床全面吸音)** RT を Fig. 6 に、これより導かれる  $\alpha_r$  を Fig. 7 に示す。直方体室 (i) では水平方向のモードが残りやすいことから[3]、  $\alpha_n$  によらずほぼ同様の  $RT \cdot \alpha_r$  となっている。不整形室 (ii) では  $\alpha_r$  はより理論値に近いが、吸音率が高い場合は検討 B 同様  $\alpha_r$  が小さく、直方体室 (i) 同様何らかのモードが残りやすくなっていることが示唆される。

### 5. まとめ

FDTD 法により、局所作用の仮定のもと残響室法吸音率と統計入射吸音率を比較した。吸音率が低い場合には一致するケースも見られたが、吸音率が高くなると拡散音場が成立しないことによる乖離が見られた。全面吸音の場合に低周波数域で見られた残響時間の増加については今後の課題である。

### 参考文献

- [1] 天野 他, 境界要素法を用いたインパルス応答推定における壁面の境界条件の取り扱いについて, 音講論集(春) pp. 863-64, (1996. 3).
- [2] Morse and Ingard, "Theoretical Acoustics", p. 580, Princeton University Press, (1968).
- [3] 安田 他, 吸音面が偏在した非拡散室における残響減衰特性, 音講論集(秋) pp. 755-58, (2006. 9).

Relationship between normal incidence absorption coefficients and absorption coefficients in reverberation rooms under locally reactive condition:  
TACHIOKA Yuuki, YASUDA Yosuke and SAKUMA Tetsuya  
Numerical analysis on reverberation rooms using FDTD method

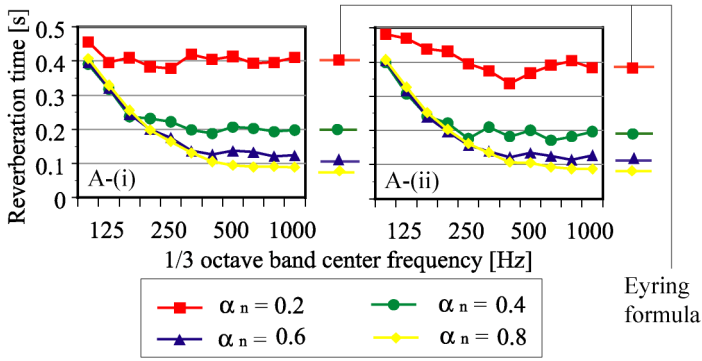


Fig. 2 Reverberation time: all surfaces are absorptive.

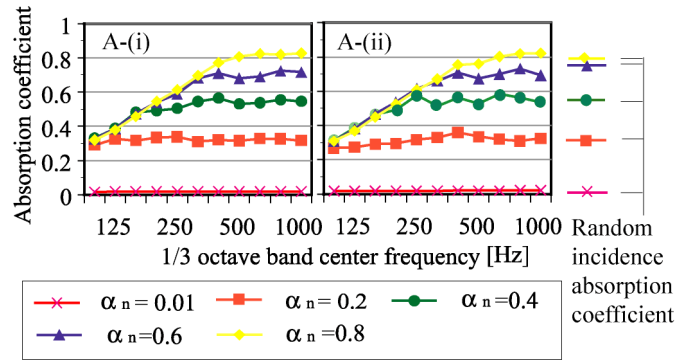


Fig. 3 Absorption coefficients in reverberation rooms: all surfaces are absorptive.

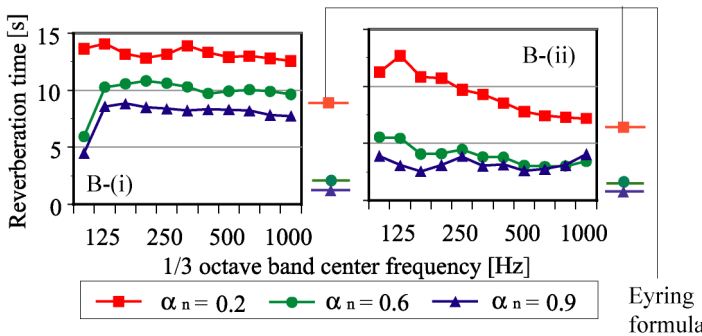


Fig. 4 Reverberation time: sample area on the floor is absorptive.

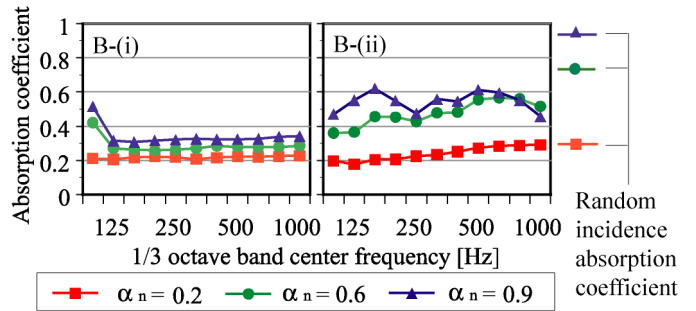


Fig. 5 Absorption coefficients in reverberation rooms: sample area on the floor is absorptive.

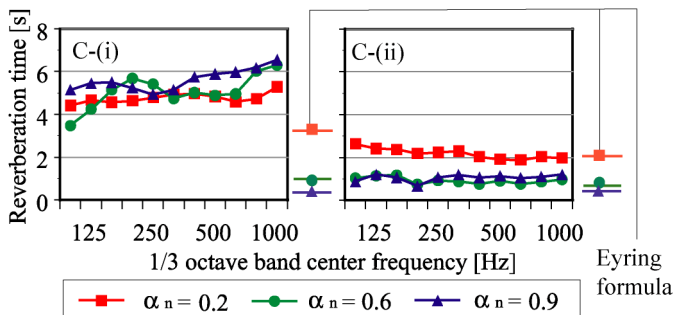


Fig. 6 Reverberation time: all surface of the floor is absorptive.

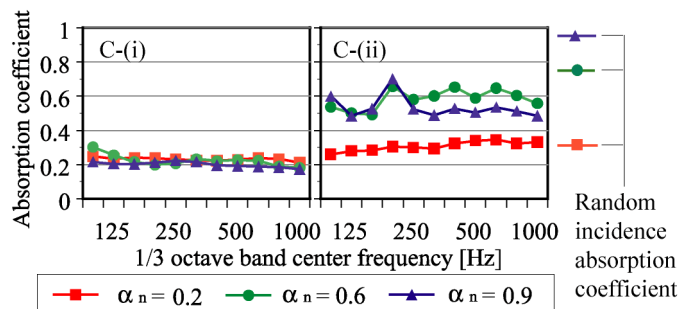


Fig. 7 Absorption coefficients in reverberation rooms: all of the floor is absorptive.

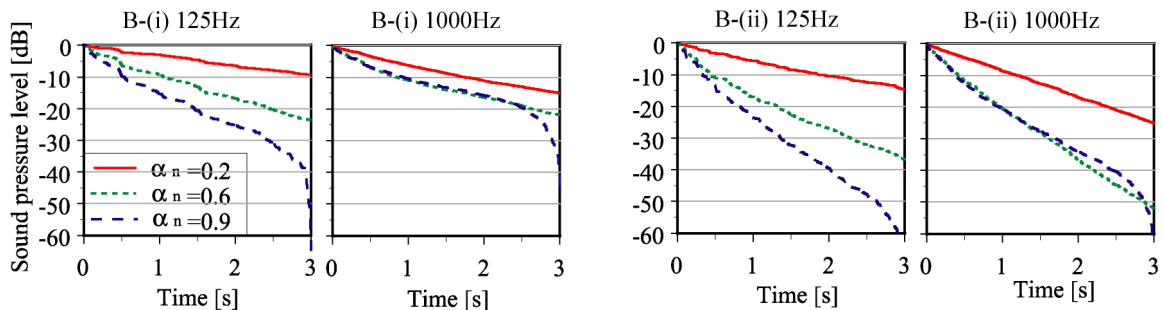


Fig. 8 Reverberation decay curves.

\*東京大学大学院新領域創成科学研究科社会文化環境学専攻 修士課程  
 \*\*東京大学大学院新領域創成科学研究科社会文化環境学専攻 リサーチフェロー 博(環境)  
 \*\*\*東京大学大学院新領域創成科学研究科社会文化環境学専攻 准教授 博(工)

\*Inst. of Environ. Studies, Grad. Sch. of Frontier Sci., Univ. of Tokyo  
 \*\* Research Fellow, Inst. of Environ. Studies, Grad. Sch. of Frontier Sci., Univ. of Tokyo, Ph.D.  
 \*\*\* Assoc. Prof., Inst. of Environ. Studies, Grad. Sch. of Frontier Sci., Univ. of Tokyo, Dr.Eng.