

アンビエントノイズを利用した材料の吸音特性のin-situ測定法に関する研究 —in-situ測定の一例と結果の室内音場解析への適用— *

磯部 孝太[†] 大鶴 徹^{**} 富来 礼次^{***} 岡本 則子^{****} 沓掛 史典[†] (大分大)

1. はじめに

筆者等は従来より、アンビエントノイズを利用した建築材料の吸音特性測定手法（以下、EA-Noise法）の提案を行ってきた¹⁾。既報では、本手法が適用可能となる音場性状およびその音場の実現方法を示し^{2,3)}、様々な材料の吸音特性の測定を行った⁴⁾。しかし、主として試料の持ち込みによる測定であり、現場施工状態にある建築内装材の測定は行っていない。

本稿では、上記の手法により室に施工された材の音響特性の測定を行う。続いて、得られた吸音特性を音響数値解析へ試行的に適用する。

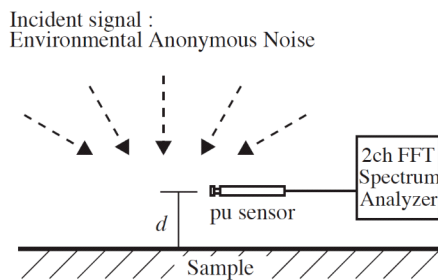


Fig.1 Block diagram of measurement.

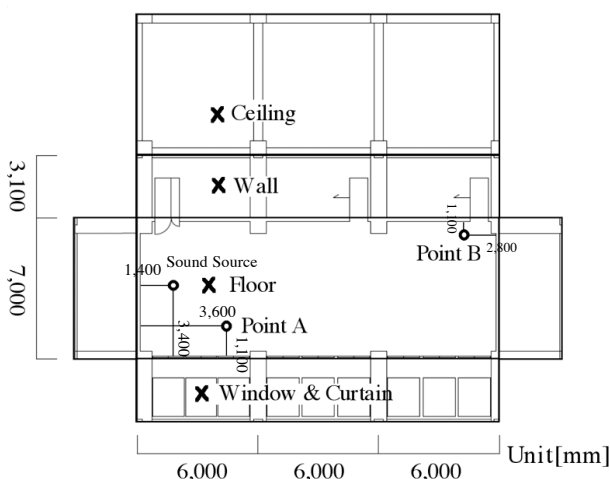


Fig.2 Interior elevation with measurement and simulation points.

2. 建築材料の吸音特性のin-situ測定

2.1 測定概要

[測定手法] Fig. 1にEA-Noise法の測定系のブロックダイアグラムを示す。ここでは受音系に音圧-粒子速度センサ（以下、puセンサ）を用いている。即ち、測定する材近傍のpuセンサで、その材のインピーダンスは、音圧(p)/粒子速度(u)、即ち、伝達関数 H_{up} として直接計測される。

EA-Noise法では基本的に、音源スピーカを用いず、その場に存在するアンビエントノイズを音源とする。しかし、測定場所によってはアンビエントノイズが不足する場合がある。その際は、付加的に音源を併用するいわゆるpEA-Noise (pseudo EA-Noise) 法を用いる。

[測定音場] Fig.2に示すセミナー室（大分大学ベンチャービジネスラボラトリー）で測定を実施した。なお室容積は約380 m³である。

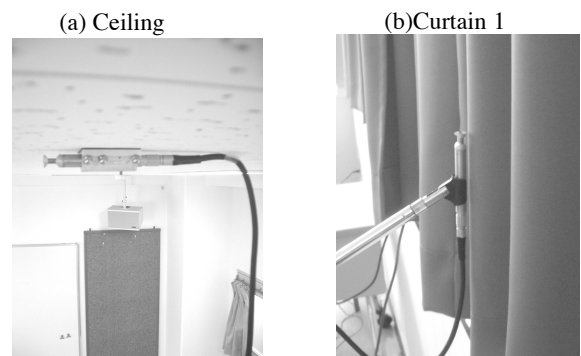


Photo 1 Setup for the measurements: (a)Ceiling; (b)Curtain 1.

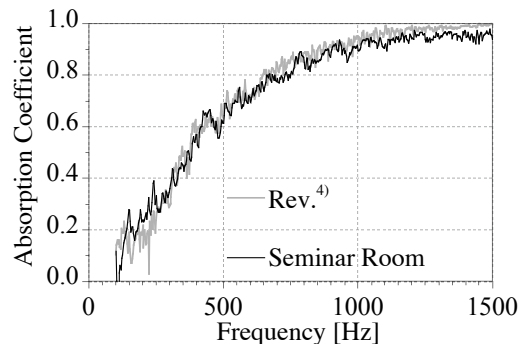


Fig.3 Comparison of absorption coefficients measured in Rev. and Seminar Room.

*In-situ measurement of acoustic impedance using ambient noise

- Example applications and FE-simulations -

ISOBE Kouta, OTSURU Toru, TOMIKU Reiji, OKAMOTO Noriko, KUTSUKAKE Fuminori(Oita Univ.)

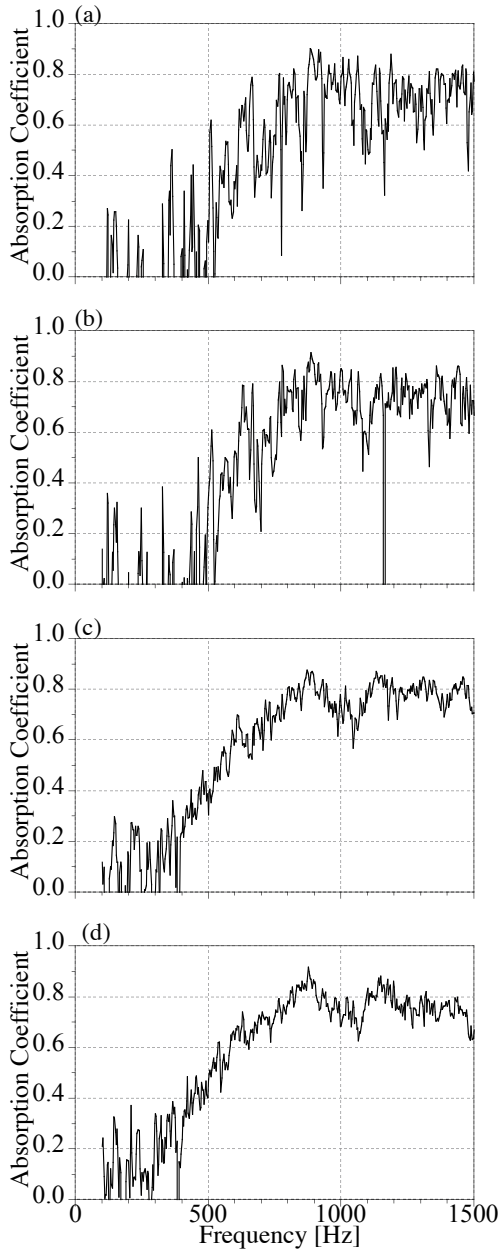


Fig.4 Absorption coefficients of Curtain under four conditions: (a)Close; (b)Open; (c)VC; (d)SP.

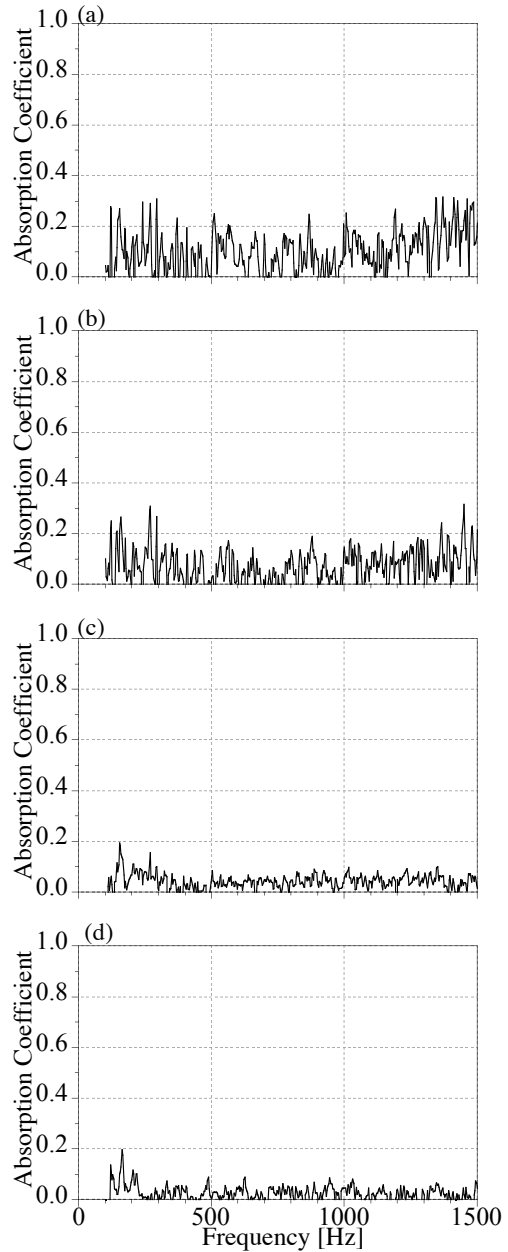


Fig.5 Absorption coefficients of Wall under four conditions: (a)Close; (b)Open; (c)VC; (d)SP.

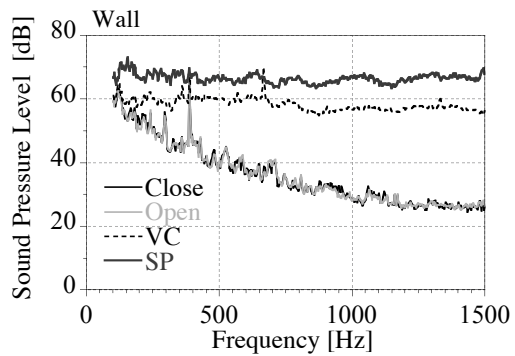
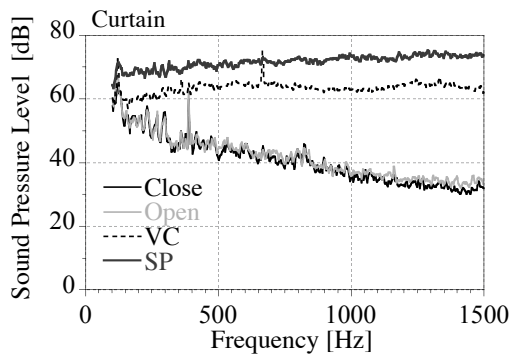


Fig.6 Sound pressure level at the measurement points: (left)Curtain ; (right)Wall.

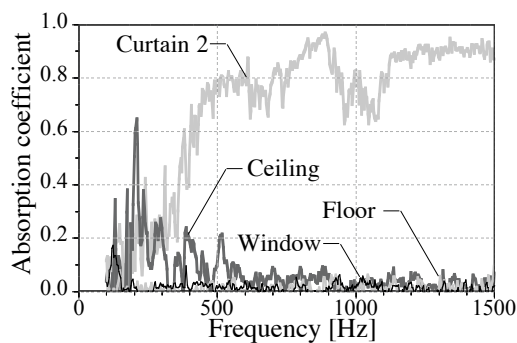


Fig.7 Absorption coefficients of four materials.

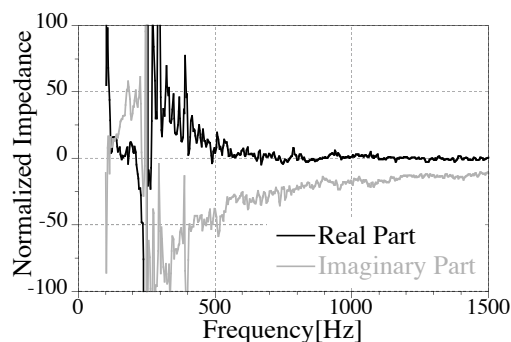


Fig.8 Normalized impedance of Window.

[測定対象] 以下、7種の材を測定する

- ・グラスウール (Glass wool) : 32 kg/m³, 0.6 m×0.3 m×0.05 m

- ・セミナー室に施工された材

- ①床(Floor) : ビニル系床材
- ②天井(Ceiling) : 石膏ボード
- ③壁(Wall) : コンクリートクロス貼り
- ④窓ガラス(Window)
- ⑤カーテン2種(カーテンのひだの凸部をCurtain 1、凹部をCurtain 2と略す。)

測定点はFig.2に×印で示す。測定風景の一例をPhoto 1に示す ((a)Ceiling, (b)Curtain 1)。

[音源条件] 以下の4種を設定した。

- i) 窓を閉めた状態で、その場に存在するアンビエントノイズを使用 (以下、Close)
- ii) 窓を開けた状態で、その場に存在するアンビエントノイズを使用 (以下、Open)
- iii) ii)に音源を付加。付加音源には既報³⁾で有効であった掃除機を使用 (以下、VC)
- iv) ii)に音源を付加。付加音源には単一指向性のスピーカを使用 (以下、SP)。なおSPの音源にはホワイトノイズを使用した。

2.2 グラスウールの吸音特性測定結果

既報の中で、残響室において、6本のスピーカから無相関のホワイトノイズを出力し、グラスウールの音響特性を測定した。本節では、比較のため、セ

ミナー室にてグラスウールの音響特性を測定する。音源条件はCloseとした。

Fig. 3に、セミナー室で測定された吸音率を、残響室で測定した吸音率 (略号: Rev.) と比較して示す。両音場での測定結果は残差0.1未満で一致した。すなわち、本節で用いた材であれば付加音源を用いずとも、残響室で付加音源を用いた場合と同等の結果を得た。本稿で用いる手法による測定結果の安定性の一端が確認されたと考える。

2.3 施工された材の吸音特性測定結果

Fig. 4 (a)~(d)に、Curtain 1の吸音率測定結果を、Fig. 5 (a)~(d)に、Wallの吸音率測定結果を音源条件毎にそれぞれ示す。また、各音源条件に対する受音点の音圧レベルの周波数特性を、測定対象毎にFig. 6に示す。

Fig. 4 (a), Fig. 5 (a)に示すように、音源条件Closeの場合、グラスウールと比べ吸音率に大きな振動が生じた。

また、音源条件CloseとOpenの場合、測定対象に関わらずFig. 6に示される音圧レベルの差異は1 dB未満である。しかし、吸音率の振動の幅は0.1程度減少している。これは、音源の増加に加え、室のモードが変化したためと考える。

一方、音源条件VCとSPの場合は、吸音率の振動の幅が0.1以下である。一般に吸音特性の測定が困難とされる反射性の材であっても、付加音源を用いるpEA-Noise法であれば高精度に測定できる可能性が示された。

Fig. 7に、Floor, Ceiling, Window, Curtain 2の吸音率を比較して示す。それぞれの材の吸音特性に応じた吸音率が得られている。さらに、Windowの音響インピーダンス比を、Fig. 8に示す。波動音響解析に必要な音響インピーダンス比のデータは不足しており、今後このような測定が必要と考える。

3. 有限要素解析へのin-situ測定インピーダンスの適用

本章では、前章のin-situ測定で得られたインピーダンスを音響数値解析へ適用する。

3.1 解析概要

既報^{5),6)}で筆者等が提案してきた有限要素法による室内音場解析手法を用いて、セミナー室内の時間応答解析を試みる。

Fig. 2に示す位置（高さ1.45 m）に、中心周波数250、500 Hzのトーンバースト（6波）無指向性音源を設定した。受音点は同図中のPoint A、Point Bの2点（高さ1.2 m）とした。

壁面吸音には、前章の測定で得た音響インピーダンス比 z を与える。各中心周波数の1/3オクターブバンド内に含まれる z の実部、虚数部それぞれ周波数方向で算術平均した値を試行的に採用した（Table 1）。

音響要素には、27節点スプライン要素⁶⁾を使用した。各中心周波数の1/3オクターブバンドの上限周波数で、音波長と最長節点間距離の比が4.8を満たすよう要素分割している。250、500 Hzの総自由度数は、それぞれ53,969、278,541となった。また、逐次積分法には、Newmark β 法（ $\beta=1/4$ ）を使用し、時間刻み幅0.05 msで、1.5 sのインパルス応答を求めた。計算機には、九州大学情報基盤研究開発センター・共有メモリ型並列計算機（IBM eServer p5）を用いた。なお、250 Hz は1 CPUによ

る逐次計算、500 Hzでは6 CPUによる並列計算を行った。

3.2 解析結果

中心周波数250 Hz、500 Hzのトーンバーストに対する時間応答波形を、Fig. 9, Fig. 10にそれぞれ示す。250 Hzでは両受音点ともにエコーの発生が危惧される。各受音点において妥当な時間に音波が到達することを確認しているが、より詳細な議論は今後の課題とする。なお、500 Hzの解析に要した記憶容量、CPU時間は、それぞれ約850 MB、約10 hであった。

4. まとめ

以上、セミナー室に施行された材の吸音特性を、アンビエントノイズとpuセンサを用いて測定した。さらに、そのセミナー室を対象に、得られた音響インピーダンスを境界条件として与え、有限要素解析を行った。今後、解析と実測の比較や、講義室の音響改善に関する検討を行う予定である。

Table 1 Absorption characteristics.

	Freq. [Hz]	α	Impedance (Re[z], Im[z])
Ceiling	250	0.179	(18.873, -5.1518)
	500	0.014	(28.586, -18.339)
Wall	250	0.042	(53.656, -113.528)
	500	0.012	(6.721, -46.595)
Window	250	0.042	(66.520, -41.717)
	500	0.091	(9.561, -43.235)
Floor	250	0.008	(3.998, -43.247)
	500	0.010	(1.039, -20.283)

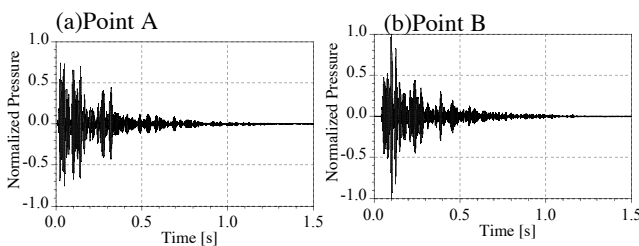


Fig.9 Sound pressure wave-forms obtained by FEM at 250 Hz: (a)Point A; (b)Point B.

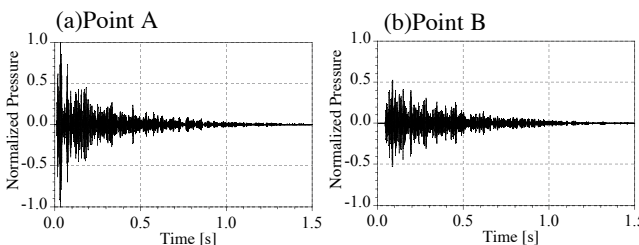


Fig.10 Sound pressure wave-forms obtained by FEM at 500 Hz: (a)Point A; (b)Point B.

謝辞

本研究の一部は、H19年度分大VBLプロジェクト並びにH19年度学振科研費（萌芽）19656143（代表・大鶴）の助成を頂いた。

[参考文献]

- 1) Y. Takahashi et al., In situ measurements of surface impedance and absorption coefficients of porous materials using two microphones and ambient noise, Applied Acoustics, Vol.66, Issue 7, pp.845-865, 2005
- 2) 高橋他、不特定環境騒音を用いた材料の吸音特性のIn Situ測定法、日本音響学会講演論文集、pp.843-844、2002.9
- 3) Nazli他、不特定環境騒音を用いた材料の吸音特性のin-situ測定法、日本建築学会九州支部研究報告、pp73-76、2006.3
- 4) F. Kutsukake et al., In situ measurements of absorption characteristics of weakly absorbing materials using ambient noise with two microphones or a combined particle velocity-pressure sensor, Kyushu-Youngnam Joint Conference on Acoustics 2007, Kyushu, Japan, pp. 107-110, 2007. 1
- 5) T. Okuzono et al. : Time domain finite element sound field analysis of rooms using iterative methods and parallelization, Proc. Inter-noise 2006
- 6) T. Otsuru et al. : Basic characteristics and accuracy of acoustic element using spline function in finite element sound field analysis, J. Acoust. Soc. Jan. (E) 21(2), pp. 87-95, 2000

^{††}大分大学工学部・教授・工博
^{†††}同大学工学部・准教授・工博
^{††††}同大学VBL研究員・博士（工学）
^{†††††}同大学工学研究科・博士前期課程

^{††††††}Prof., Faculty of Eng., Oita Univ., Dr. of Eng.
^{†††††††}Associate Prof., Faculty of Eng., Oita Univ., Ph.D.
^{††††††††}Venture Business Laboratory, Oita Univ., Ph.D.
^{†††††††††}Graduate School of Eng., Oita Univ.