

実測の残響時間から室の平均吸音率を逆算するための残響時間公式の検討
A study on the reverberation time formula for back-calculating the average sound absorption
coefficient of a room from the measured reverberation time

○井上知香¹,高見真帆¹,羽入敏樹²,星和磨²,鈴木諒一²

*Chika Inoue¹, Maho Takami¹, Toshiki Hanyu², Kazuma Hoshi², Ryoichi Suzuki²

1. はじめに

実測の残響時間から、平均吸音率を逆算するには Sabine と Eyring の残響時間に基づく以下に示す2つの式が主に使用されている。

$$\bar{\alpha} = \frac{0.161V}{ST} \quad (1)$$

$$\bar{\alpha} = 1 - e^{-\frac{0.161V}{ST}} \quad (2)$$

Sabine の式(1)は、残響室のように残響時間が長く拡散の良い室では実測値とよく一致するが、残響時間が短い室、拡散の悪い室では実測値との差が大きくなる傾向にある。平均吸音率 $\alpha=1.0$ の場合、残響時間は0になるはずだが、Sabine の式の場合0にならないという矛盾がある。Eyring の式(2)はこの矛盾を解決するために作られた式である。しかし、今でも JIS で規定されている残響室法吸音率の測定は Sabine の式を基にしている [1]。

本報では実測した残響時間から平均吸音率を逆出し、その値を基に各式の特性を調べる。その結果から Sabine と Eyring のどちらの式を使用すべきかを考察し、より正確に空間の吸音率を測定する方法を検討する。

2. 測定概要

測定において、音源は12面体スピーカーを、マイクロホンは無指向性を使用した。測定音場は1111教室、922室、923J室の3音場とした。

1111教室は天井や床は吸音材ではなく、後壁1面だけ有孔板+グラスウールが使用されている。922教室は天井に吸音性の化粧板が使用されている。923J教室は天井や壁がRCや石膏ボードを使用しており室の吸音性能が低いため、ハニカム構造をもつ吸音材[3]が天井や壁の一部に使用されている。

測定時の在室人数は1111教室では67名、922室では10名、923J室では9名であった。各音場の平面図および音源・受音点を Fig. 1 に示す。受音点は、1111教室と923J室では6点、922室では5点とした。測定は Fig. 2 のように各装置を接続して実施した。

本報では、教室ごとに各受音で得られたデータを平均し、1教室について1データにまとめた。データの

解析は各音場で測定した63Hzから8000Hzの8つの中心周波数のオクターブバンドにおける残響時間を用いて、式(1)(2)により平均吸音率を求めた。これらの結果から、Sabine と Eyring の2つの式による値の違いを検討した。

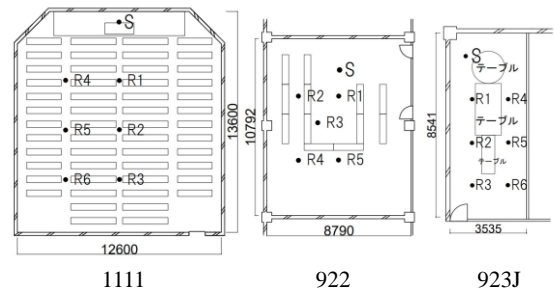


Fig. 1 測定音場

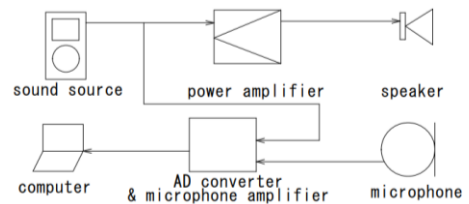


Fig. 2 測定ブロックダイアグラム

3. 測定結果・考察

3-1 測定結果

空室条件において測定した残響時間から、Sabine と Eyring のそれぞれの式を用いて各オクターブバンドの平均吸音率を計算した。1111教室、922教室、923J教室における平均吸音率の周波数特性をそれぞれ Fig. 3、Fig. 4、Fig. 5 に示す。

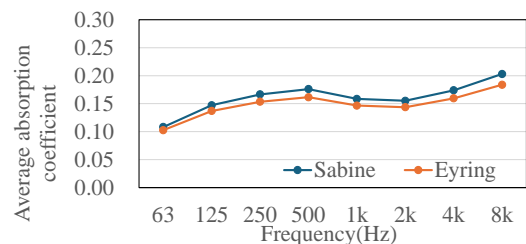


Fig. 3 1111 教室における平均吸音率の測定結果

1: 日大理工・学部・建築 2: 日大短大・教員・建築

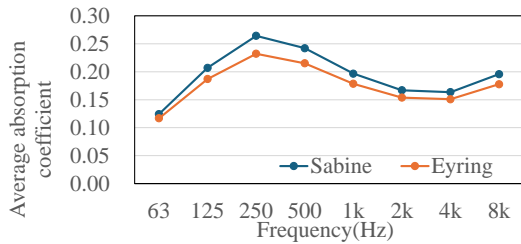


Fig 4 922 教室における平均吸音率の測定結果

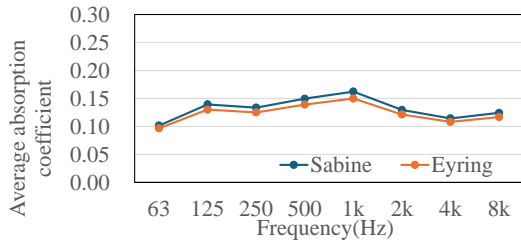


Fig 5 923J 教室における平均吸音率の測定結果

3-2 仕上げ材と吸音率の関係

Fig. 3 より、1111 教室は中音域で平均吸音率が高くなっていることがわかる。これは壁の仕上げに有孔板が使われていたこと、壁の一部にフェルトが用いられていたことが原因だと考える。有孔板は 500Hz 付近頂点とした山なりの吸音率特性となり、Fig 3 の平均吸音率も同じ特徴を示していることがわかる。後壁に用いられていたフェルトも同様に 400~500Hz あたりを頂点とした山なりとなる特徴がある。8000Hz の吸音率の上昇は空気吸収によるものと推測できる。

Fig. 4 より、922 教室は中音域と高音域で平均吸音率の値が大きくなった。特に 250~500Hz 周辺でピークを示している。その原因として、922 教室には天井に吸音性の化粧ボードが使用されていることが考えられる。使用されているスクエアトーン[2]は 500Hz を頂点とした山なりの吸音特性を持っている。壁は反射性の RC であるため、平均吸音率に大きな影響は与えていないと考えられる。また、8000Hz で吸音率が上昇している原因としては、空気吸収が影響していると推測できる。

Fig 5.より、923J は 125~1000Hz で小さな山があったものの、全体的に変化幅が少ない平坦な特性となっている。天井に用いられていた石膏ボード[3]には 125Hz を頂点とした山なりの低音域を少しだけ吸音する特徴がある。また、天井長辺方向両サイドに付けられたハニカム構造の MPP 吸音体には 500~1000Hz を頂点にした山なりの吸音特性がある[4]。以上の仕上げ材の吸音特性の組み合わせによって Fig 5 のような平坦な周波数特性の吸音率になったと考えられる。さらに、天井や壁に吸音率の低い石膏ボード、RC が用いられていたため、変化幅が小さかったと推測できる。

3-3 吸音計算式の比較

Fig. 3, 4, 5 より、Eyring の吸音率が常に Sabine の吸音率を下回っていることが分かる。今回は紙面の都合上示さないが、空室条件の場合だけでなく在室条件の場合でも同様の結果を得ることができた。

また、吸音率が小さいときは Sabine と Eyring の差は小さいが、吸音率が大きくなるほど両者の差が大きくなることも読み取れる。このことから、吸音率が概ね 0.15 以下の音場ではどちらの式を使っても大きな差が出ないと言える。しかし、吸音率が概ね 0.15 以上の音場ではその差が大きくなるため、Sabine を改良した Eyring の式を使用することを推奨する。

4. まとめ

今回は実測データをもとに、Sabine と Eyring の残響式を使って逆出した吸音率特性の違いを調べた。その結果、吸音率が大きくなるほど Sabine と Eyring の値の差が大きくなることが確認できた。残響室やコンサートホールのような吸音率の低い空間では Sabine と Eyring のどちらの式を使用しても良いが、日常空間のような吸音率が 0.15 以上となる空間では Eyring の式を使うことを推奨する。

また、この結果を利用して音場の比較も行った。Eyring の式を利用して求めた結果と、実際に使用されている壁面材料の特性が一致していることから、吸音材料の適切な使用によって、適切な残響時間を設計できることが確認できた。

今後は、在室での吸音率の変化などもを検討し、状況にあわせ、よりの確に吸音率を求める方法を探っていきたい。

5. 参考文献

- [1] JISA1409:1998, 残響式法吸音率の測定法
- [2] 吉野石膏株式会社 “スクエアトーンD プラス”. カタログ スクエアトーン・D プラス、スクエアトーン <https://www.catalabo.org/catalog/detail/435970000> (2024.09.20)
- [3] 吉野石膏株式会社 “タイガージプトーン”. カタログ、吸音用穴あき石膏ボード、不燃タイガートーン <https://www.catalabo.org/catalog/detail/434570000> (2024.09.20)
- [4] 星和磨他, 背後ハニカム構造を有する MPP 吸音体を用いた小会議室の音場改善の試み, 建築音響研究会資料(2017.08.10)
- [5] 木村翔, ”建築音響と騒音防止計画”, 彰国社 (2018.11.10)