

ISO 17497-1 に基づく音の散乱係数測定法における室温変化の影響

Influence of air temperature variation in a room on scattering coefficients based on ISO 17497-1

○中來田道¹, 羽入敏樹², 星和磨²*Tao Nakakita¹, Toshiki Hanyu², Kazuma Hoshi²

Abstract: Scattering coefficient can be measured according to ISO 17497-1. However, this measurement is very sensitive to change of temperature and humidity in a reverberant chamber. Especially, the scattering coefficient is affected by slight air temperature variation in synchronous addition. In this paper, influence of the air temperature variation in the chamber on scattering coefficients based on ISO 17497-1 has been studied. It was verified that the scattering coefficient can be obtained accurately by correcting the wave arrival signals in consideration of the air temperature variation.

1. はじめに

近年、壁面反射の拡散性能を評価する指標として散乱係数 (Scattering coefficient) が注目されており、様々な壁面形状の散乱係数のデータ収集が進められている。散乱係数の測定法は ISO 17497-1 において、ターンテーブルを用いて多数のインパルス応答を同期加算することで算出する方法が定められている。しかし、ターンテーブル回転中の僅かな気温変化により反射音到来時間が変化することで、同期加算時に誤差が生じることが指摘されている[1]。そこで、測定されたインパルス応答波形を気温変化に基づいて時間的に伸縮させることにより誤差を補正する方法について検討した。

2. 散乱係数の測定方法

模型実験の測定配置図を Fig.1 に示す。散乱係数の測定は ISO 17497-1 に基づき、1/10 縮尺の亚克力製音響模型(内寸 700mm×700mm×700mm)を用いて行った。拡散体としては、φ40 の木製の半球 78 個をターンテーブル上にランダムに配置した。

ターンテーブルは 5° 刻みで 360° 回転させ、合計 72 個のインパルス応答を測定した。また、測定時の気温変化を測定するために精密型デジタル温度計を音響模型室内に入れ、各回転角におけるインパルス応答測定時の模型室内気温を記録した。

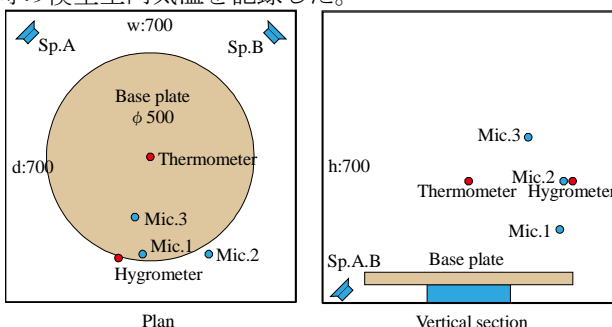


Figure 1. Location of loud speakers and microphones in the reverberation room

散乱係数を算出するにあたり、拡散体の有無及びターンテーブル回転の有無について、Table 1 に示す 4 条件で測定を行った。

Table 1. Measurement conditions for four different patterns

Pattern	Test sample	Turntable
1	not present	not rotating
2	present	not rotating
3	not present	rotating
4	present	rotating

条件ごとに測定した 72 個のインパルス応答を同期加算した応答を用いて残響時間を算出し、拡散体を乗せたことによる散乱成分の非干渉性をい散乱係数を測定する。

3. インパルス応答波形の補正方法

Fig.2 は、Table 1 の条件 Pattern 3 で測定した 72 個のインパルス応答のうちの 2 波形についてある時間範囲 (直接音到達後 490ms~500ms) を拡大して比較したものである。Pattern 3 では拡散体が無く、理想的にはターンテーブルの回転によらず同じ波形が得られるはずである。しかしながら Fig.2 の 2 波形を比較すると、測定中の気温変化により僅かに音速が変化し、測定開始時 (回転角 0°) と終了時 (回転角 355°) の波形が時間的にずれてしまっていることがわかる。

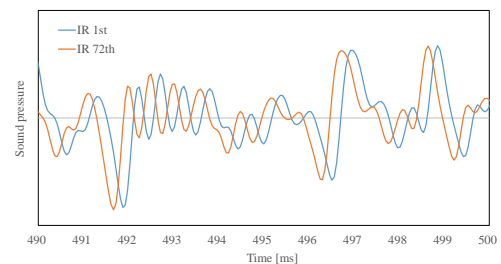


Figure 2. Differences in arrival time of the sound pressure signals (Allpass, Pattern 3)

このような気温変化の影響が存在する状態で同期加算した場合、周波数帯域によっては加算する波形同士の位相が半波長ずれ、エネルギーが減少したような

誤差を生じてしまう。したがって、これを避けるために波形を正確に同期加算できるように何らかの補正が必要である。この補正方法として、温度変化に応じて波形を時間的に伸縮する手法が Rychtáriková ら[1]によって提案されている。この手法による補正式を式(1)に示す。ここで、 $I_1(t), I_2(t)$ はそれぞれ補正前波形、補正後波形、 c_1 は基準となる気温における音速(m/s)、 c_2 は補正対象波形測定時の気温における音速(m/s)である。

$$I_2(t) = I_1\left(\frac{c_2}{c_1}t\right) \quad (1)$$

この処理においては、デジタル波形を伸縮する際に時間サンプリングにおける空白のサンプルが生じる場合がある。このような空白サンプルにはその前後のサンプルの平均値を用いることにした。

Fig.2 における 72 回目の測定波形を、1 回目の測定時気温を基準に補正した結果を Fig.3 に示す。これを見ると、気温による音速の変化を補正することによって、両波形がほぼ一致しているのがわかる。この補正後波形を用いることによって同期加算時の誤差を大幅に減らすことが期待できる。

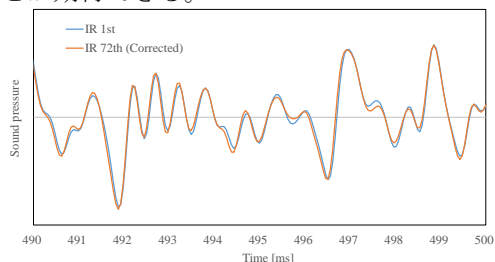


Figure 3. Differences in arrival time of the corrected sound pressure signals (Allpass, Pattern 3)

4. 残響時間及び散乱係数の補正効果

気温変化が比較的大きかった Pattern 3 において補正効果を検討する。同期加算波形から求めた残響時間の補正前後の変化を Fig.4 に示す。補正前に比べ補正後は、250Hz より高い周波数帯域において残響時間が長くなっているのがわかる。時間がずれた波形 (Fig.2) を同期加算する際、時系列後半の波形ほどずれが大きくなり見かけ上エネルギーが減ってしまうため、結果として補正しない場合に残響が短くなっていたと考えられる。また、この現象は波長の短い高音域ほど顕著に現れる。

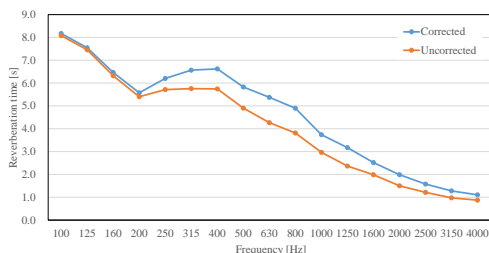


Figure 4. Results of corrected and uncorrected reverberation times

Table 1 の 4 パターンにおける測定波形すべてを補正した場合と、補正しなかった場合の散乱係数を比較したものを Fig.5 に示す。

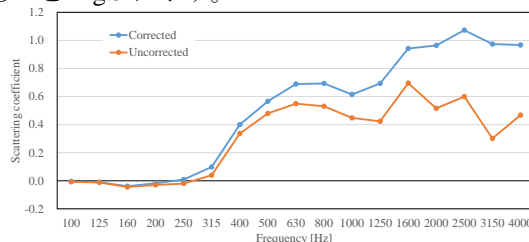


Figure 5. Results of corrected and uncorrected scattering coefficients

Fig.5 をみると、補正後の散乱係数が補正前に比較し、高音域にいくほど大きくなっていることがわかる。これは、Pattern 3 の測定時の気温変化が大きかったため、補正しなかった場合に鏡面反射成分を十分に抽出できなかったことが原因と考えられる。散乱係数の周波数特性を比較すると、補正前の散乱係数は、500Hz 帯域より高い周波数でほぼ横ばいとなっているのに対し、補正後は周波数が高いほど値が大きくなる右肩上がりの特性を示している。補正後の周波数特性は、拡散体と音の波長の関係から、様々な拡散体において一般的によく見られる傾向である。このことから、補正によってより正確な散乱係数が算出できたと考えられる。

5. まとめ

ISO17497-1 に準じて多数のインパルス応答を測定する際、測定中の僅かな気温変化に伴う音速変化によって同期加算に誤差が生じることが確認された。気温変化に合わせて波形を時間的に伸縮させ同期加算することによって誤差を抑えて散乱係数を算出できる可能性が示された。しかし、現在の ISO の手法では厳密な温度管理が必要であり、特に縮尺模型実験ではわずかな気温変化で大きな測定誤差を生じてしまう。筆者らは、このような影響を受けにくい手法として、ターンテーブルを用いない手法について検討している[3]。今後は気温変化の影響を受けにくく、より簡便かつ正確に散乱係数を測定できる手法の構築を目指していきたい。

【参考文献】

- [1] Monika Rychtáriková et al., "Correction algorithm for sound scattering coefficient measurements", *Internoise 2016*, (2016.8)
- [2] ISO 17497-1:2004 Acoustic -- Sound-scattering properties of surfaces – Part 1
- [3] 中來田他, "1/10 縮尺模型を用いた音の散乱係数測定法の検討", 建築学会大会梗概集, 環境工学 I, (2016)