

残響時間測定効率化のための CSN-SS信号における事前測定条件の検討*

☆中原優樹, 金田豊 (東京電機大)

1 はじめに

残響時間は室内音響の代表的な評価量である。残響時間の算出には測定の対象となる系のインパルス応答を用いることが一般的となっている。この際の測定条件については国際規格である ISO3382 により定められており、幅広い帯域において高い SN 比が求められるため長時間の測定が必要となる場合がある。

この問題に対し筆者らは constant signal-to-noise ratio swept sine(CSN-SS)信号を用いた効率的な測定方法を提案した[1]。本報告では、提案する残響時間測定法の中で必要な予備測定に対する要求条件と測定に要する時間の検討結果を述べる。さらにこの検討を踏まえ従来の測定法と提案法について、残響時間測定に要する時間の比較結果を報告する。

2 提案する残響時間測定法

2.1 CSN-SS 信号を用いた測定原理

Fig. 1 はインパルス応答測定の原理を周波数領域で表したものである。掃引正弦波などの測定信号 $S(k)$ (k は離散周波数番号を表すが図では省略している) を被測定系に入力し、出力に逆フィルタをかけることで、インパルス応答の等価量である系の周波数特性 $H(k)$ が測定されるが、測定結果には $N(k)/S(k)$ で表される雑音成分が含まれる。

この測定結果の周波数ごとの SN 比は $H(k)$ と雑音成分 $N(k)/S(k)$ のパワー比として、

$$SN(k) = \frac{|H(k)|^2}{P_N(k)/|S(k)|^2} \quad (1)$$

と表される。ただし、環境雑音は定常であるとし、そのパワースペクトルを $P_N(k)$ と表す。

残響時間の算出においては、測定対象となるインパルス応答の各周波数バンドの雑音レベルが、-45dB 以下であることが求められている (ISO3382)。この要求に応えるために周波数毎に必要な SN 比 [1] を $D_{SN}(k)$ と置くと CSN-SS 信号のパワースペクトル $|S(k)|^2$ は

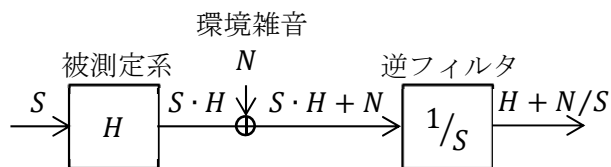


Fig. 1 インパルス応答の測定原理

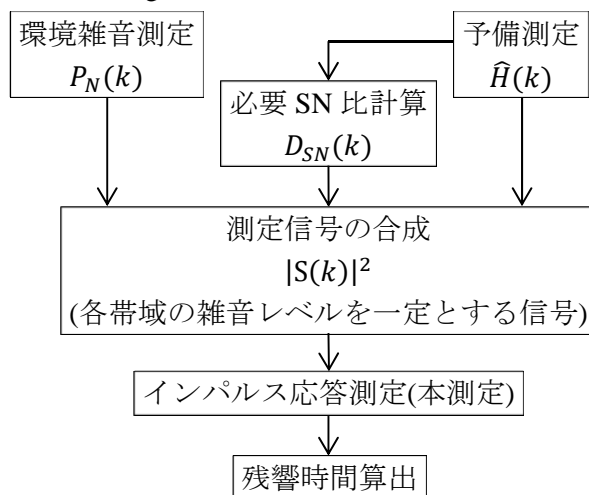


Fig. 2 提案する残響時間測定法 [1]

$$|S(k)|^2 = D_{SN}(k) \cdot \frac{P_N(k)}{|H(k)|^2} \quad (2)$$

と求められる。

この等式は $P_N(k)$ と $H(k)$ が既知であれば、任意の SN 比でインパルス応答を測定する信号が作成可能であることを表している。ただし、 $H(k)$ は事前には未知であるので、予備測定によってその推定値 $\hat{H}(k)$ を求める必要がある。

2.2 提案する残響時間測定法

Fig. 2 に提案する残響時間測定法の流れを示す。インパルス応答測定信号の合成のために、事前に環境雑音 $P_N(k)$ と系の応答の推定値 $\hat{H}(k)$ を測定する必要がある。この時、 $\hat{H}(k)$ に含まれる雑音レベルが高いと、 $\hat{H}(k)$ を式 (2) の $H(k)$ に代入して求められる $|S(k)|^2$ が理想値と異なって得られる。その結果、本測定において指定した雑音レベル (-45dB) からのばらつきが大きくなるという問題がある。

* Study of the pre-measurement condition for the reverberation time measurement using CSN-SS signal, by NAKAHARA, Yuki and KANEDA, Yutaka (Tokyo Denki University).

3 予備測定に必要な雑音レベルの検討

本測定に影響を与えないために必要な予備測定の雑音レベルをシミュレーションにより検討した。シミュレーションでは容積 160 m³，残響時間 1.2 s の室のインパルス応答 $h(n)$ を十分な SN 比で測定したものと、それより求めた周波数特性 $H(k)$ を用いた。この $h(n)$ に対して 22 Hz ~ 22 KHz における各 1/3 オクターブバンドの雑音レベルが -10 ~ -50 dB となるように雑音を付加して、雑音成分を含んだ予備測定結果 $\hat{H}(k)$ をシミュレートした。そして、この雑音レベルが本測定に及ぼす影響を評価した。

Fig. 3 の横軸に $\hat{H}(k)$ の雑音レベル，縦軸に測定結果に含まれる雑音レベルの目標値 (-45dB) からの標準偏差を示す。標準偏差が大きいほど、本測定で得られた測定結果が ISO で定められた残響時間の要求条件からどれだけ離れているかを表している。

図より、 $\hat{H}(k)$ の雑音レベルが -30dB 以上で、本測定の結果における偏差が大きくなっていくことがわかる。この結果より測定結果の標準偏差を 1dB 以下とするために、予備測定において必要な雑音レベルは -20dB 以下であることがわかる。

インパルス応答測定において測定信号長(時間長)と測定結果の雑音レベルは反比例する。残響時間の本測定の要求雑音レベル (-45 dB) と予備測定の必要雑音レベル (-20dB) との差は 25dB あり、これを時間に換算して比較すると、本測定に対しおよそ 1/316 の信号長で予備測定が可能である。

4 各種測定信号の残響時間測定に要する時間

上記の結果を踏まえ、残響時間測定に必要な測定時間長をシミュレーションにより求めた。今回提案する CSN-SS 信号の他に、従来広く利用されている TSP 信号，Log-SS 信号について比較検討を行った。

インパルス応答は前節と同じものを用い、環境雑音として室内の雑音に近い特性を持つ Hoth 雑音を TSP 信号を用いた場合の受信 SN 比が 15 dB となるように付加した。CSN-SS 信号の予備測定には MN-SS 信号[2]を用いた。測定時間は、それぞれの信号において要求雑音レベル (-45dB) を満たすために必要な信号長に対応する時間として算出した。CSN-SS 信号

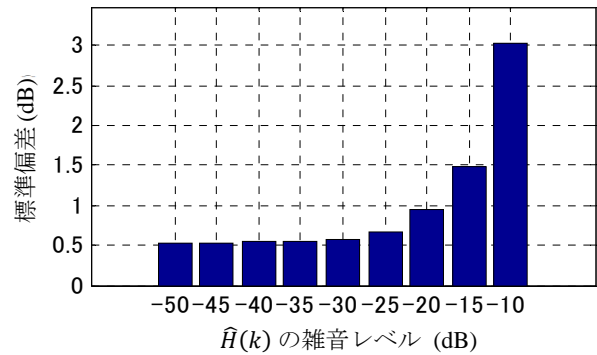


Fig. 3 雑音レベル毎の測定結果の標準偏差

Table 1 各測定信号を利用した時の残響時間測定に必要な測定信号時間長

	CSN-SS 予備測定 + 本測定	TSP 本測定	Log-SS 本測定
必要 時間(s)	4.1	143	20.4

については予備測定に必要な信号長と本測定に必要な信号長の和を必要測定時間とした。信号の合成のための計算時間は含まずに算出している。(信号合成のための計算時間は約 3 秒であった。ただしこの時間は PC の性能に依存する。)

Table 1 に結果を示す。表を見ると CSN-SS 信号を用いた測定に必要な測定信号時間長は、TSP 信号に対して約 1/35，Log-SS 信号に対して約 1/6 であることがわかる。

5 むすび

本報告では CSN-SS 信号を用いて残響時間測定を行う際の、予備測定条件について検討した。予備測定に必要な雑音レベルは -20dB であることをシミュレーションにより確認した。さらに予備測定も含めた測定に必要な測定信号時間長は、提案する CSN-SS 信号の場合、TSP 信号に対して約 1/35，Log-SS 信号に対して約 1/5 であることを確認した。

参考文献

- [1] 中原，金田，‘CSN-SS 信号による残響時間測定効率化の検討，’音講論集 (春)，1-Q4-7，(2013)。
- [2] 落合，‘全帯域で SN 比を一定とするインパルス応答測定法の検討，’他，音講論集 (春)，3-P-4，(2010)。