

帯域別雑音レベルを一定とする残響時間測定用信号の改良*

☆中原優樹, 金田豊 (東京電機大)

1 はじめに

残響時間の算出には, 被測定系のインパルス応答が用いられ, その測定条件は ISO3382 に定められている. これに対し筆者らは測定結果の雑音レベルを制御できるインパルス応答測定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, この測定に用いる測定信号の改良結果を述べる.

2 インパルス応答測定原理と SN 比

Fig. 1 にインパルス応答測定の原理を周波数領域で表す. 掃引正弦波などの測定信号 $S(k)$ 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 $H(k)$ が得られる. この時, 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 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, 環境雑音は定常と仮定し, そのパワースペクトルを $P_N(k)$ と表す.

3 帯域毎の雑音レベルを一定とする測定方法[1]

残響時間測定の要求条件は各 1/3 オクターブ (またはオクターブ) 帯域の雑音レベルが帯域別インパルス応答の最大値と比べて -45dB 以下というものである. これに対して筆者らは全帯域において -45dB の雑音レベルを実現するために必要な SN 比の条件を示した.

Fig. 2 にその条件を満たす際のモデル図を示す. 図において E_p は第 p 番目の帯域のインパルス応答のエネルギーを表し, その値は各帯域のインパルス応答の減衰特性に依存する. E_N は雑音レベルが -45dB の定常雑音のエネルギーを表している. 測定信号の長さ (=測定結果の長さ) を L とした時, 図のような -45dB の雑音レベルを実現するためには SN 比が,

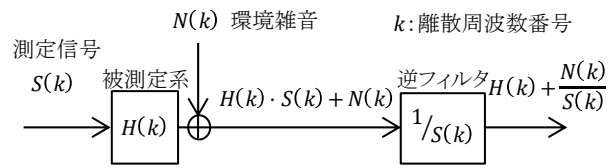


Fig. 1 インパルス応答測定の原理

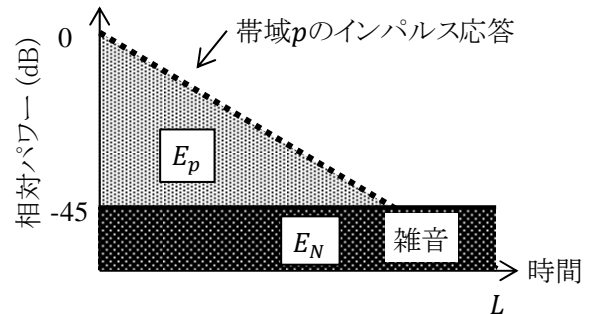


Fig. 2 帯域別インパルス応答と雑音成分の短時間パワーモデル

$$D_{SN}(p) = \frac{E_p}{E_N} = \frac{E_p}{10^{-4.5} \cdot L} \quad (2)$$

となるように測定すればよいことが示された.

そして, 各帯域の SN 比を必要 SN 比 $D_{SN}(p)$ とするためには,

$$|S(k)|^2 = D_{SN}(p) \cdot \frac{P_N(k)}{|H(k)|^2} \quad (3)$$

で表されるパワースペクトルを持つ測定信号 (CSN-SS) を用いればよいことが示された. なお, 式(2)(3)の E_p , $H(k)$, $P_N(k)$ は短時間の予備測定で求められる推定値を利用する.

従来の TSP 信号や Log-SS 信号などを用いた場合には, 測定結果の雑音レベルが帯域によって, 大きすぎる (要求条件を満たさない), あるいは小さすぎる (過剰に雑音レベルを低減させるために無駄な測定時間を使用) という不具合が発生する. これに対して CSN-SS 信号は, -45dB 一定の帯域別雑音レベルを実現することで測定品質を保証し, 従来信号と比べて短時間の測定が可能となった.

4 より効率的な測定信号の提案

帯域 p における必要 SN 比 $D_{SN}(p)$ を実現するために, CSN-SS 信号は, Fig. 3 に示すよう

* Improvement of reverberation time measurement signal controlling background noise level, by NAKAHARA, Yuki and KANEDA, Yutaka (Graduate School of Engineering, Tokyo Denki University).

に各周波数 k における SN 比をすべて $D_{SN}(p)$ と制御するものであった。しかしこの方法では $|H(k)|^2$ に応答の小さな周波数が存在した場合、その帯域で雑音抑圧量を大きくする必要があり、信号の掃引時間が長くなってしまふ。

その改善策として、SN 比を個々の周波数で制御するのではなく対象帯域のエネルギーとして制御を行うことを考えた。具体的には、帯域 p に含まれる $|H(k)|^2$ の総和（エネルギー）と雑音成分 $P_N(k)/|S(k)|^2$ の総和の比として必要 SN 比 $D_{SN}(p)$ を表す。

$$D_{SN}(p) = \frac{\sum_p |H(k)|^2}{\sum_p P_N(k)/|S(k)|^2} \quad (4)$$

そして、この条件を満たす最小エネルギー（最短時間）の測定信号を考える。

ここで、一定の信号エネルギーで雑音成分エネルギーを最小化する測定信号（MN-SS 信号）[2]に着目する。この信号はまた、雑音成分エネルギーを定められた値にする最小エネルギーの信号でもある。よってこの考え方を帯域 p に適応すれば、式(4)を満たす雑音成分エネルギーを与える最短時間の測定信号が得られる。

具体的には帯域 p に対する MN-SS 信号のパワースペクトルが $|S(k)|^2 = C_p \cdot \sqrt{P_N(k)}$ で与えられ、定数 C_p は式(4)に代入することで

$$C_p = D_{SN}(p) \cdot \frac{\sum_p \sqrt{P_N(k)}}{\sum_p |H(k)|^2} \quad (5)$$

と求められる。

この測定信号は、各対象周波数帯域で $D_{SN}(p)$ の SN 比を実現し、その結果、全対象周波数帯域で-45dB の雑音レベルを実現する最短時間のインパルス応答測定信号となる。

この測定信号を Band-wise Minimum Noise Swept Sine (BMN-SS) と呼ぶことにする。

5 シミュレーションによる検討

比較のため、従来の CSN-SS 信号と BMN-SS 信号を用いたインパルス応答測定シミュレーションによる検討を行った。測定系は多目的ホール（約 3300m³）のインパルス応答を用い、測定信号と畳み込んだ。付加した雑音は実録騒音を用いた。

Fig. 4 にシミュレーション結果の雑音レベルを示す。図より、CSN-SS 信号、BMN-SS

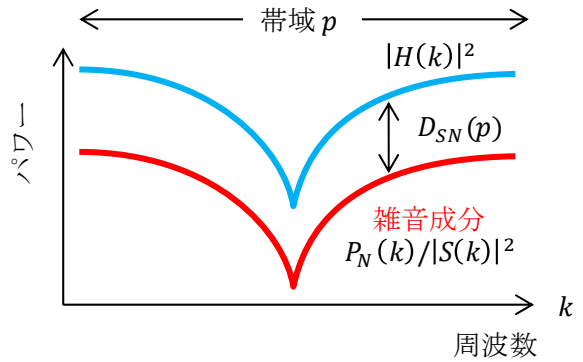


Fig. 3 CSN-SS信号による $D_{SN}(p)$ の実現方法

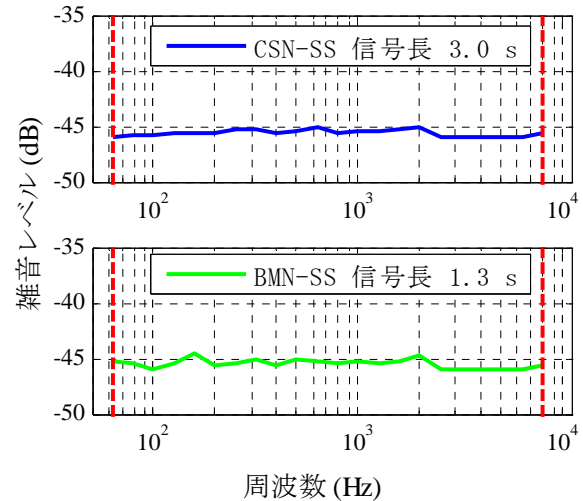


Fig. 4 シミュレーション結果の帯域別雑音レベル

信号ともに対象となる帯域内の雑音レベルが-45dB に制御できていることが確認できた。また、Fig. 4 に示す雑音レベルを実現するために要した測定信号長は、CSN-SS 信号の場合約 3.0 秒、BMN-SS 信号の場合は約 1.3 秒であった。このことから BMN-SS 信号は従来の CSN-SS 信号よりも短時間での残響時間測定が可能であることが示された。

6 むすび

本報告では CSN-SS 信号を用いた残響時間測定のパフォーマンスを向上するための課題点を見出し、新たに帯域別雑音最小化信号（BMN-SS）を提案し、課題解決の可能性を示した。

参考文献

- [1] 中原, 金田, 音講論集 (春), 1-Q4-7 (2014).
- [2] 守谷, 他, 音学誌, 64(12), 695-701 (2008).

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 15H02728 の助成を受けたものです。