

帯域制限したインパルス応答測定信号の雑音低減効果の実験的検討*

☆茂木宏太, 金田豊 (東京電機大)

1 はじめに

音響系の周波数特性や残響時間を求めるためにインパルス応答の測定は重要である。そしてインパルス応答測定用信号として掃引正弦波 (SS:Swept Sine) 信号が広く利用されている。その中にはスペクトルが固定である信号 (TSP, Log-SS) や、環境に依存してスペクトルを変化させる信号 (MN-SS(雑音最小化信号[1])) がある。これらを使用し、インパルス応答を測定する際に、帯域制限を行うことで雑音低減効果を増加することができる。先に筆者らはこの雑音低減効果の理論値を示した[2]。本報告ではその実験的検証を行った。

2 雑音低減効果の理論値

2.1 測定信号に対する帯域制限

掃引正弦波の測定信号を帯域制限したときに得られる効果として時間短縮が見込める。Fig. 1 は Log-SS 信号の時間-周波数特性を示す。図において、この信号は f_{min} (ほぼ 0 の値) から f_{max} までを時間 T_0 で掃引する。この時、この信号の周波数 f_1 以下をカットし $f_1 \sim f_{max}$ で帯域制限すると、信号長は T_1 に短縮される。その後 $f_1 \sim f_{max}$ の帯域の掃引時間を T_1 から T_0 に拡張すると各周波数あたりの信号エネルギーは T_0/T_1 倍に増加し、その分、測定結果に含まれる雑音レベルの低下が見込める。

測定信号のパワースペクトルを $P_s(f)$ とすると、第一の雑音低減効果 NRR_1 (Noise Reduction Ratio) は

$$NRR_1(f_1) = \frac{T_0}{T_1} = \frac{\int_0^{f_{max}} P_s(f) df}{\int_{f_1}^{f_{max}} P_s(f) df} \quad (1)$$

となる[2]。

2.2 帯域外雑音の除去

測定環境における雑音パワースペクトルを $P_N(f)$ と表すと、測定されたインパルス応答に含まれる雑音成分は $\hat{P}_N(f) = P_N(f) / P_s(f)$ となる。(Fig. 2)

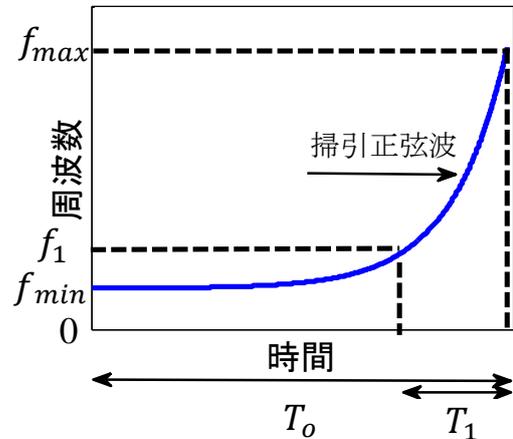
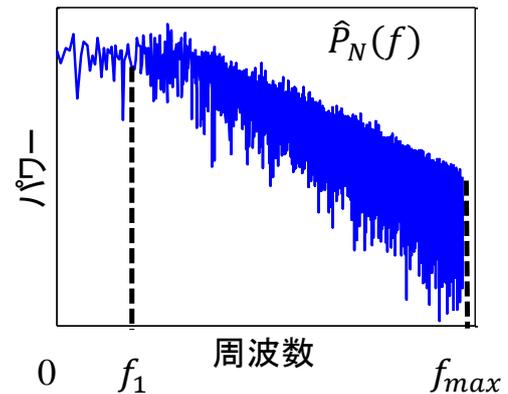


Fig. 1 Log-SS 信号の時間-周波数特性

Fig. 2 $\hat{P}_N(f)$ のパワースペクトルの例

これを帯域制限し、 f_1 以下の雑音成分をカットすることで得られる第二の雑音低減効果 NRR_2 は、帯域制限前後の雑音成分エネルギー比として

$$NRR_2(f_1) = \frac{\int_0^{f_{max}} \hat{P}_N(f) df}{\int_{f_1}^{f_{max}} \hat{P}_N(f) df} \quad (2)$$

となる

2.3 総合的雑音低減効果

帯域制限をしない測定信号のスペクトルによる雑音低減効果[1]を NRR_0 と表す。すると 2.1、2.2 で示した二つの帯域制限効果を合わせた総合的な雑音低減効果は

$$NRR(f_1) = NRR_0 \cdot NRR_1(f_1) \cdot NRR_2(f_1) \quad (3)$$

と表される。

* Experimental study on the noise reduction effect of band-limited impulse response measurement signal, by MOTEGI, Kouta and KANEDA, Yutaka (Graduate School of Engineering, Tokyo Denki University).

NRR_0 は $P_s(f)$ と $P_N(f)$ から計算できる[1]ので、使用する測定信号のパワー $P_s(f)$ と測定環境の雑音 $P_N(f)$ がわかれば、帯域制限による雑音効果の理論値 $NRR(f_1)$ を得ることができる。この理論値は、各測定信号の雑音低減効果を比較することで環境雑音に適した測定信号と使用帯域の選定指標として使用することができる。

3 実験的検証

TSP, Log-SS, MN-SS の3種の測定信号を使用してインパルス応答測定を行い、低域除去の帯域制限による雑音低減効果 NRR を測定した。実験は容積約 $124m^3$ の研究室でサンプリング周波数は48kHz、信号長は 2^{16} 、帯域制限は下限周波数を10~1000Hzの範囲で10Hz刻みで変化させた。

3.1 理論値

Fig. 3 に室内雑音のパワースペクトル $P_N(f)$ を示す。この $P_N(f)$ と測定信号のパワースペクトル $P_s(f)$ を使用し、式(3)に基づいて理論値を計算した。Fig. 4の破線に各測定信号の NRR の理論値を示す。ただし、各 NRR 値は、帯域制限を行わないTSP信号の雑音低減効果 NRR_0 を基準(0dB)として算出した。

3.2 実測結果

実測した各信号の雑音低減量を Fig. 4 の実線に示す。図より、TSP, Log-SS は約1dBの誤差の範囲で測定結果と理論値が一致した。一方MN-SSは実測値が約2.5dB小さいがこれは NRR_0 の値が小さかったため、この値を補正すれば誤差は約1dBの範囲で理論値と一致した (Fig. 5)。以上により帯域制限による雑音低減効果 NRR_1 と NRR_2 に関する理論値と実験値がほぼ一致することが確認できた。

4 むすび

本報告では各種掃引正弦波によるインパルス応答測定の際に帯域制限をすることで得られる雑音低減効果の理論値と実験値の比較を行った。実験値と理論値の誤差は約1dBの範囲で一致し、 NRR_1 と NRR_2 は理論値と実験値がほぼ一致した。

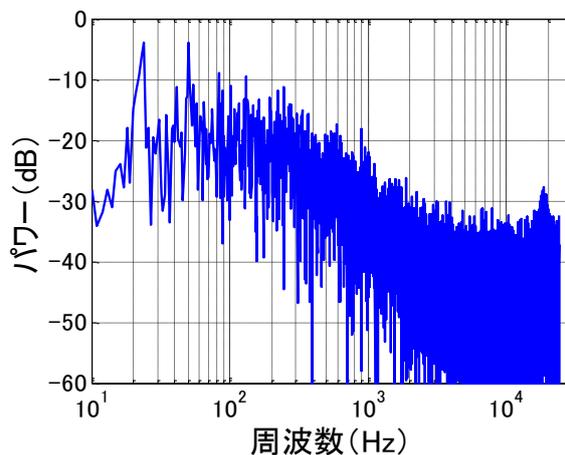


Fig. 3 環境雑音のパワースペクトル

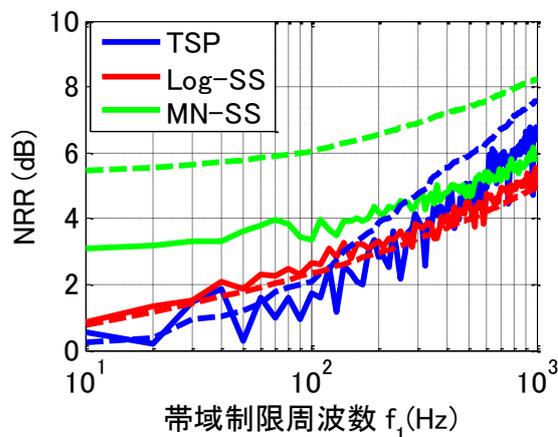


Fig. 4 各測定信号による NRR の理論値(破線)と測定値(実線)

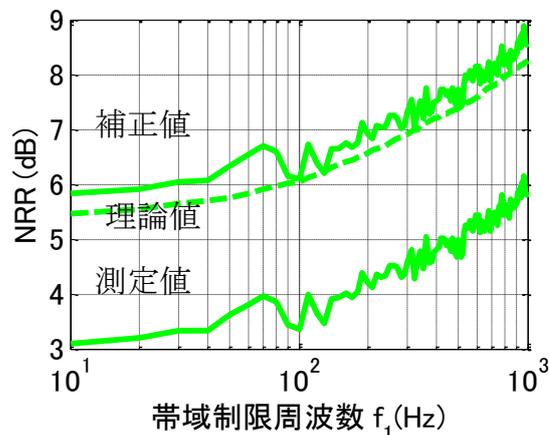


Fig. 5 MN-SS 信号の NRR

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。

参考文献

- [1] Y. Kaneda, J. A. E. S., 63, 5, 348-357 (2015).
- [2] 茂木, 他, 音講論(秋), 1-P-23(2016)