

風による音響伝達系の変化に対するインパルス応答測定法の比較*

○野崎 勇, 金田 豊 (東京電機大・工)

1 はじめに

部屋や空間などの音響伝達系の特性としてインパルス応答の測定が行われる。しかしこの時、風などの時変要素が存在すると測定誤差が発生する。これまでも、風の影響に関する研究は報告されているが[1][2]、実測において風が録音波形に与える時間変動を、細かく把握した上での測定法の比較は十分行われていない。

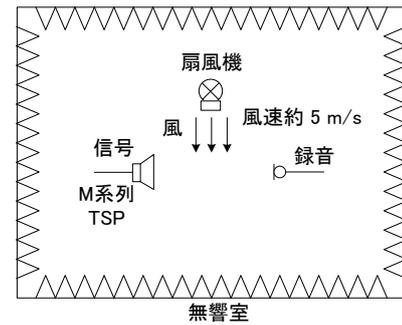


図1 風の影響下でのインパルス応答測定系

2 風が音響伝達に与える影響の測定

音源-マイクロホン間に風が吹いていた場合、音の経路の大気が乱れ、音の伝搬時間が変動する。この変動特性を測定するため図1に示す条件でスピーカからM系列とTSPを発生させ、風の有・無の状態での録音を行った。

録音波形(図2)を観測すると、時間区間によっては、風がある場合に録音波形が遅れる場合(a)と、逆に進む場合(b)が見られた。そこで、この波形の時間ズレの大きさを短時間区間ごとに測定した。測定は、風がある状態と、無い状態の録音波形を50msで切り出し、それらの間の短時間毎の相互相関関数から求めた。

録音のサンプリング周波数は48kHzとし、100倍の補間をした上で計算を行った。また、扇風機騒音の影響の大きい5kHz以下の成分はフィルタで取り除いた。

各短時間区間の時間ズレ(遅延を正值とした)を図3に、その周波数特性を図4に示す。図3から、風による録音波形の時間ズレは一定ではなく、時間により変動している。変動の平均値は $0.3 \mu\text{s}$ 、標準偏差は $0.7 \mu\text{s}$ 、最大値は $1.7 \mu\text{s}$ であった。また、図4から時間ズレの周波数特性は4Hzまでの低域に集中していた。正規化した相関関数の最大値がほぼ1であったことから、録音波形における風の影響は、この時間ズレが主であると考えられた。なお、以上の結果に信号依存性は見られなかった。

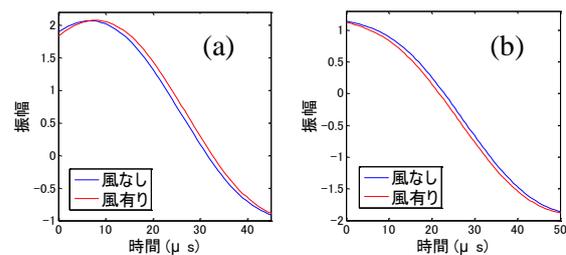


図2 風により変動した録音波形

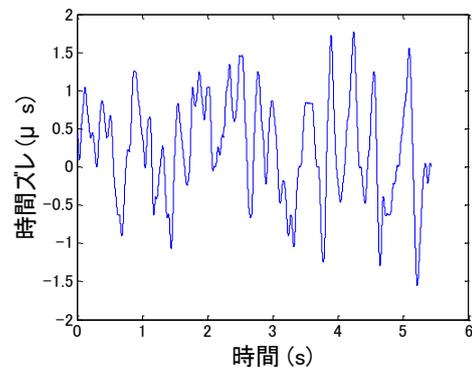


図3 風による録音波形の時間ズレ

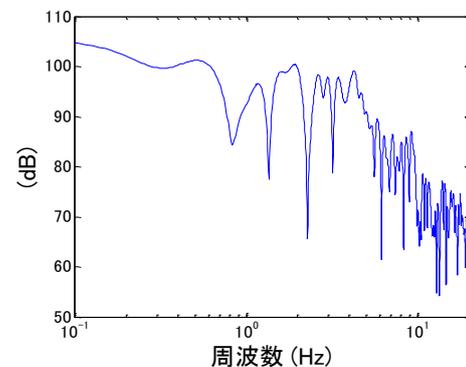


図4 風による時間ズレの周波数特性

* Comparative study on impulse response measurement techniques against system variance caused by wind, by NOZAKI, Isamu and KANEDA, Yutaka (Tokyo Denki University).

3 風によるインパルス応答誤差の比較

インパルス応答測定用信号としてTSPとM系列を用いた場合について、上述の風による影響を波形において比較した。具体的には、上記2と同じ条件でインパルス応答を測定し、風の有・無の場合の差分を取る事で、測定誤差とした。

TSP、M系列それぞれの誤差波形を図5に、そのスペクトログラムを図6 a), b)に示す。図5から主応答付近での誤差はTSP法の方が大きい。一方、図6 a), b)からは主応答以外の時間ではM系列法の方が広く誤差が分布している。全録音時間での誤差エネルギーは両者でほぼ一致していた為、TSPにおいては誤差が主応答付近に集中しやすく、M系列においては広く拡散する事がわかった。M系列法の誤差はインパルス応答を適当な長さで切り出すことで取り除くことができる点においては有利と言える。

最後に、図7赤線はインパルス応答より求めた周波数応答特性、青線はM系列で測定した場合の誤差波形のスペクトル、緑線は周波数応答(赤線)で正規化した誤差波形のスペクトルを表す。一方、黒線は各周波数の正弦波に $0.9 \mu s$ の時間ズレが発生した場合の誤差の理論値である。時間ズレの標準偏差が $0.7 \mu s$ の場合の誤差の実測結果(緑線)とよく一致していることから、2章で示した風の影響との因果関係が明らかとなった。

4. まとめ

風が録音信号に与える影響を、録音波形から直接求めた。その結果、風による録音波形の時間ズレは、変動周波数が約4 Hz、変動幅が $\pm 1 \mu s$ でランダムに変動している事がわかった。また、このズレによるインパルス応答の誤差は、TSPでは主応答付近に集中しやすく、M系列では全体に拡散しやすい事がわかった。最後に、測定した時間ズレから求めた誤差の理論値と、実測による誤差のスペクトルがよく一致した為、録音波形の時間ズレとインパルス応答誤差の関係が明らかとなった。

参考文献

- [1] 中島 他, 音講論, pp. 473-474, (1998-9).
- [2] 佐藤史明, 音学誌, pp. 669-676, (2002).

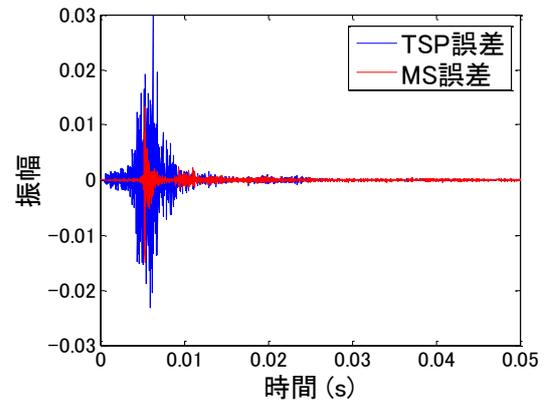


図5 風によるインパルス応答誤差波形

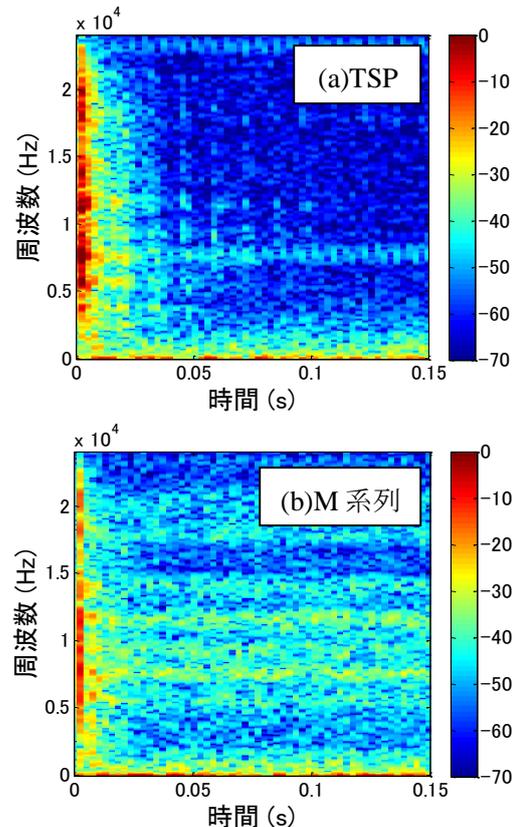


図6 風によるインパルス応答誤差のスペクトログラム

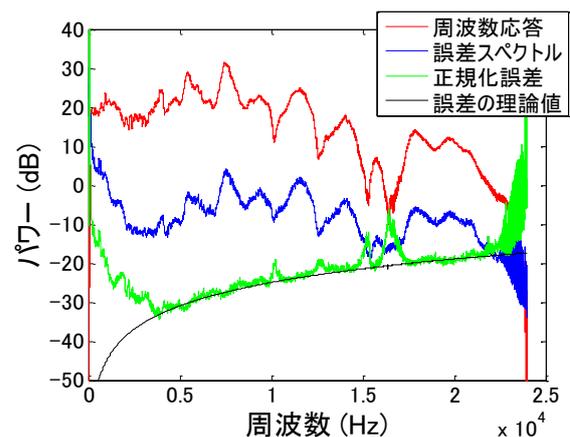


図7 風によるインパルス応答誤差の周波数特性