

1-5-14 M系列変調を用いた長距離音響伝搬特性の測定*

▲森山茂樹 五十嵐寿一 石井泰 (東大宇宙研)

1 はじめに

屋外における長距離音響伝搬特性の測定は、通常の方法では極めて難しい。試験音源Sより雑音を放射し、受音点RでSPLを測定して、その間の減衰量を求めるのは、外来雑音のため不可能である。また、外来雑音を除く有力な方法である、雑音源信号と観測音との相互相関をとる方法は、風などのため、音の伝搬系が乱され両信号間のコヒーレンシーがなくなって、うまくゆかない。この相関法の欠点を、M系列変調を用いることによって解決したのが、本方法である。

2 測定原理

Fig.1に原理図を示す。これにより、音響伝搬特性をいくつかの周波数帯域についての減衰と時間遅れにより調べることができる。

白色雑音(もしくはピンクノイズ)を発生し、帯域フィルタにより帯域雑音とする。一方、クロック周波数の十分低いM系列信号を

発生して、これにより帯域雑音を断続し、スピーカより放射する。スピーカの近くの点Aと、遠い点Bにおいて得た観測音(外来雑音を含む)を、音源側に用いたのと同じ帯域のフィルタに通し、2乗して、(さらに平滑してエンベロープをとって)これと、先に発生したM系列信号との相互相関をとれば、相互相関関数 $\phi_{mm}(\tau)$ は、Fig.5のように、 τ 軸上に、伝搬時間に相当する τ の所に、鋭い三角形のピークを持つ。このピークの高さは、音源から伝搬していった音による音圧の2乗に比例する。よって、A、B間での音の減衰は、 $10 \log(A \text{のピーク値}) - 10 \log(B \text{のピーク値})$ として求められる。

この方法の原理は、直観的には次のように説明できる。M系列信号によって断続された帯域雑音は、受音点でのSPLを変動させる。従って、もとのM系列信号と、そのへベル変動との相関をとれば、M系列の自己相関関数と同じ鋭い三角形のピークを生じる。伝搬経路が、いくつかある場合でも、そのために、伝搬時間の違いにより、

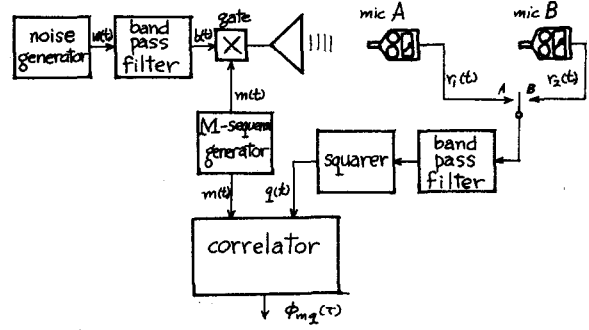


Fig.1 Simplified system block diagram.

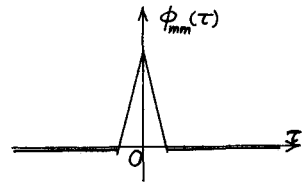


Fig.2 Autocorrelation function of M-sequence.

* "Measurement of long distance sound propagation characteristics by M-sequence modulation method." by S.Sagayama, J.Igarashi, & Y.Ishii (Institute of Space & Aeronautical Science, Univ. of Tokyo).

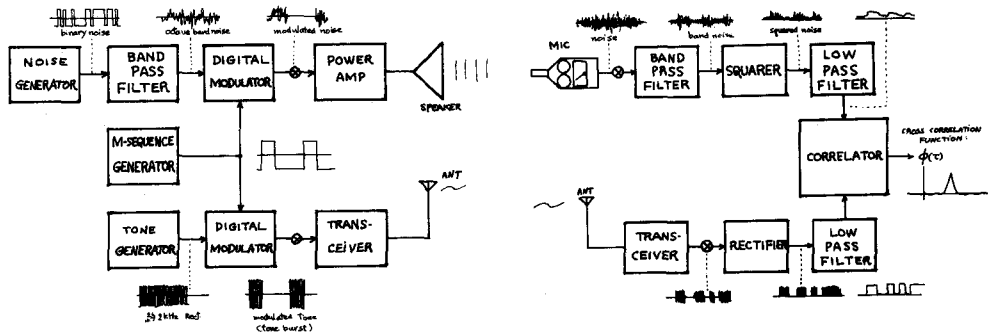


Fig.3 System block diagram: (a) noise source, (b) noise receiver.

て軸上で分離されてピークが生じる。厳密には、図のように解析する。

3 測定—実験と結果

実際には、Fig3に示すような系により実験する。M系列で変調された雑音を放射する一方、トランシーバで、M系列信号をトーンバースト信号として送る。受信点では、入力音をフィルタに通し、2乗し平滑する一方、トランシーバで受けたトーンバースト信号を復調する。Fig4に、実際の波形の記録を示す。

実験の結果は良好で、減衰率、遅れ時間ともバラツキの少ない、よい結果が得られた。Fig5に、実験で得られた相関関数の一例を示す。

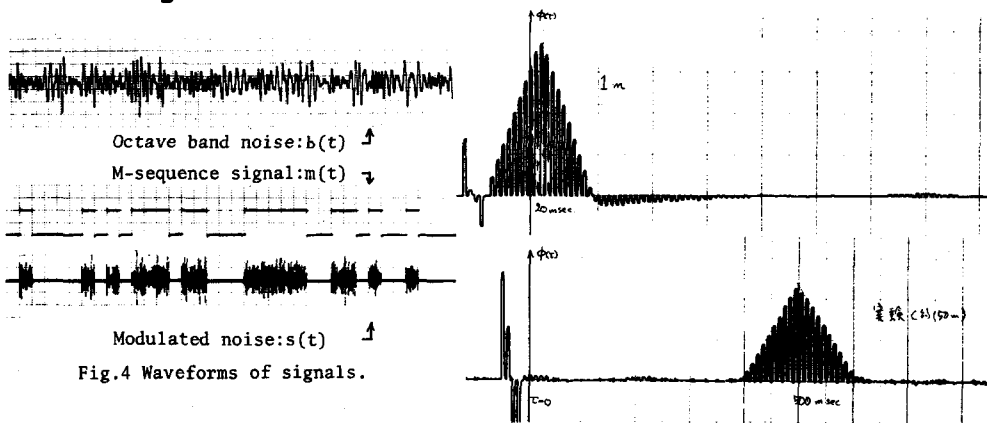


Fig.4 Waveforms of signals.

Fig.5 A result of measurement.

4 解析

M系列信号は、±1の値をとる二値信号だから、変調された帯域雑音は、

$$S(t) = \frac{1}{2} \{m(t) + 1\} \cdot b(t)$$

と表わされる。いま、二つの経路によりS(t)が受信系に達したとき、外来雑音をn(t)として、入力音信号は、

$$r(t) = k_1 S(t - \tau_1) + k_2 S(t - \tau_2) + n(t)$$

である。b(t), m(t), n(t)が互いに独立ならば、m(t)とr(t)との相互相関は、

$$\begin{aligned} \phi_{m_r}(\tau) &= \overline{m(t) \cdot \{r(t)\}^2} \\ &= \frac{1}{2} k_1^2 \phi_{mm}(\tau - \tau_1) \phi_{bb}(0) + \frac{1}{2} k_2^2 \phi_{mm}(\tau - \tau_2) \phi_{bb}(0) + \frac{1}{2} k_1 k_2 \{m(t)m(t - \tau) + m(t - \tau)m(t) + \phi_{mm}(\tau - \tau_1) + \phi_{mm}(\tau - \tau_2)\} \phi_{bb}(\tau) \end{aligned}$$

で、第3項は無視できる。 [参考文献] 青島 利雄「M系列の相関を用いた音響測定」日本音響学会誌、24巻4号(1968) 504号