

## 無響室での音響計測における反射の影響\*

○ 平原達也（富山県立大学），大谷 真（京都大学），森川大輔（JAIST）

## 1 はじめに

さまざまな音響計測を行う場合、自由空間の条件を確保するために無響室が用いられる。音響計測では瞬時音圧波形を時間積分して得られる音圧レベルや音響エネルギーを測る場合が多いので、無響室の性能は逆二乗の法則の成立範囲と暗騒音レベルで評価される。しかし、瞬時音圧波形を観測する場合には、反射波が直接波に重畳すると音圧波形が変形するので、その影響は無視できない。

本稿では、音源から両耳に到達する音波の伝播時間を測るときに問題となった無響室内の反射について述べる。

## 2 方法

両耳間時間差（ITD）の周波数依存性<sup>[1,2]</sup>を再確認するために、音源から両耳に到達する音波の伝播時間を測定した。すなわち、Fig. 1のように、ダミーヘッドの左耳真横 $L_{SP}$  [m]に置いたラウドスピーカから時間引き伸ばしパルス音、あるいは先頭と最後の1周期に直線テーパをかけた10周期の正弦波バースト音を放射し、左耳真横1mの参照点に置いたマイクロホン $M_{ref}$ とダミーヘッドの左右の耳に挿入したマイクロホン $M_L$ と $M_R$ で受音した。

各マイクロホンで受音した信号を $x_{ref}$ ,  $x_L$ ,  $x_R$ とすると、 $x_{ref}$ と $x_L$ ,  $x_R$ との相互相関から参照点から左右の耳までの音波の伝播時間 $T_L$ と $T_R$ が求まり、 $T_R - T_L$ がITDとなる。

測定に用いた無響室は石川県工業試験場の無響室（内寸：6×4×4.8 m、吸音クサビ長：600 mm）で、床は金属製の格子である。仕様によれば、暗騒音はNC-15、逆自乗則許容<sup>半</sup>は1.5 m（100 Hz以上）である。 範囲

## 3 結果

## 3.1 インパルス応答

サンプリング周波数（ $F_S$ ）48 kHzの時間引き伸ばしパルス音を用いて、 $L_{SP}$ を1.06と5.0 mで計測したインパルス応答をFig.2に示す。

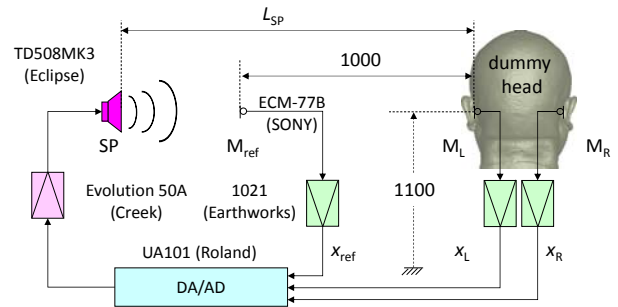


Fig.1 測定システム

ただし、振幅は最大値で正規化してある。

$L_{SP}$ が1.06 mの場合、 $x_{ref}$ と $x_L$ には反射波はないが、 $x_R$ には主応答の約4 ms以降に反射波が認められた。これは、ダミーヘッド右側の床格子からの反射波である。

$L_{SP} = 5.0$  mの場合は、 $x_{ref}$ ,  $x_L$ ,  $x_R$ いずれにも反射波があり、特に $x_R$ の主応答の約2 ms以降の反射波が大きかった。これらは、ダミーヘッド左右両側の床格子からの反射波である。

$L_{SP}$ が1.06 mの場合は、5.0 mの場合に比べて $T_L$ が41.6  $\mu$ s、 $T_R$ が20.9  $\mu$ s短かった。この41.6  $\mu$ sは2サンプリング周期（ $2/F_S$ ）、20.9  $\mu$ sは1サンプリング周期（ $1/F_S$ ）の違いである。

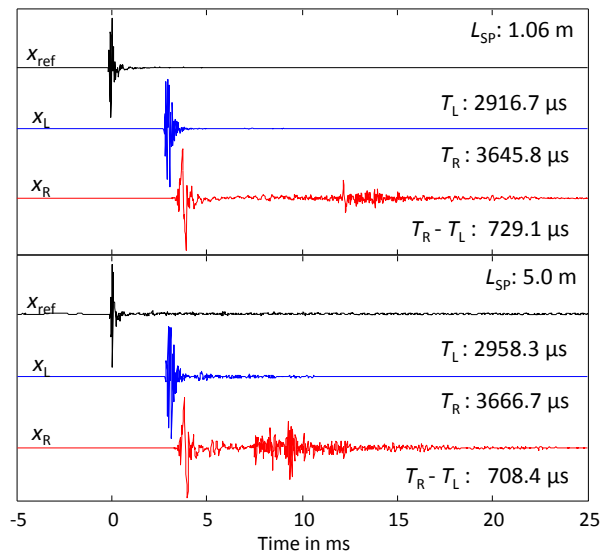


Fig.2 インパルス応答波形

\* The effect of reflections on acoustical measurements in an anechoic room, by HIRAHARA Tatsuya (Toyama Prefectural Univ.), OTANI Makoto (Kyoto Univ.), MORIKAWA Daisuke (JAIST)

### 3.2 正弦波応答

Fig.3 に  $F_S$  を 192 kHz、 $L_{SP}$  を 1.06 m と 5.0 m で計測した 200, 1 k, 4 kHz の正弦波バースト音の受信波形を示す。ただし、各振幅は rms 値で正規化してある。

200 Hz では反射波は主応答の後に見えるように見えるが、 $L_{SP}$  が 1.06 m の場合、 $x_R$  の 4~10 周期の振幅は 2, 3 周期目よりも明らかに小さく、主応答の中に反射波の影響がある。そして、10 周期の波形から求めた  $T_L^{10}$  と  $T_R^{10}$  は先頭の 3 周期の波形だけから求めた  $T_L^3$  と  $T_R^3$  よりそれぞれ 26.0  $\mu\text{s}$  と 5.2  $\mu\text{s}$  短かった。一方、 $L_{SP}$  が 5.0 m の場合、 $T_L^{10}$  と  $T_R^{10}$  の方が  $T_L^3$  と  $T_R^3$  より 15.6  $\mu\text{s}$  と 26.0  $\mu\text{s}$  長かった。

1 kHz では、 $L_{SP}$  にかかわらず、全ての主応答の振幅は一定ではなく、尾を引いており、反射波が認められる。 $L_{SP}$  が 1.06 m の場合、10 周期から求めた  $T_L^{10}$  は  $T_L^3$  より 10.4  $\mu\text{s}$  短いが、 $T_R^{10}$  と  $T_R^3$  は同じであった。 $L_{SP}$  が 5.0 m の場合、 $T_L^{10}$  は  $T_L^3$  より 5.2  $\mu\text{s}$  短いが、 $T_R^{10}$  は  $T_R^3$  より 10.4  $\mu\text{s}$  長かった。

4 kHz でも、反射波が明瞭に認められる。 $L_{SP}$  が 5.0 m の場合、 $x_L$  と  $x_R$  の主応答に反射波が重畳している。しかし、いずれの場合においても、用いる周期数による  $T_L$  の違いも  $T_R$  の違いも 5.2  $\mu\text{s}$  以下であった。

### 4 まとめ

無響室において計測した瞬時音圧波形を扱う場合には、室内の反射波の影響がある。周期が長い 200 Hz でその影響は大きく、測定条件により  $T_L$  と  $T_R$  に  $3/F_S$  ( $3 \times 5.2 \mu\text{s}$ ) 以上の違いが生じた。1 kHz では主応答と反射波が重畳しているが、測定条件による  $T_L$  と  $T_R$  の違いは  $2/F_S$  以下であった。4 kHz では主応答と反射波の重畳区間が短く、測定条件による  $T_L$  と  $T_R$  の違いは  $1/F_S$  以下であった。

ある程度の反射波退治を施したが、「無響室」の無響の程度は上記のとおり不十分であり、自由空間を得意とする数値音響シミュレーション<sup>[3]</sup>には敵わない。

#### 謝辞

本研究の一部は科研費(25330203)の助成を受けた。

#### 参考文献

- [1] Kuhn, "Model for the interaural time differences in the azimuthal plane," *JASA* 62(1), 157-167 (1977).
- [2] 平原 他, "両耳間時間差の周波数依存性の成

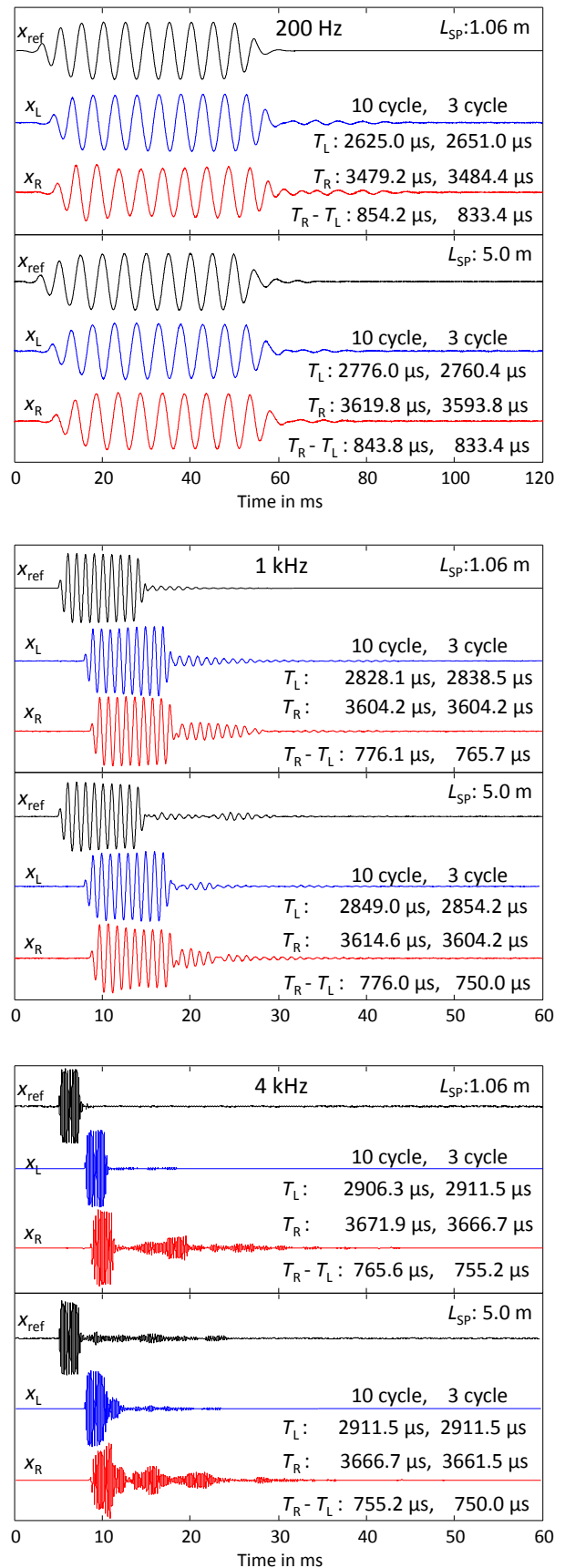


Fig.3 200Hz, 1 kHz, 4 kHz の正弦波応答波形

- 因一音響計測編一,"音講論 733-734 (2012.03).
- [3] 大谷 他, "両耳間時間差の周波数依存性の成因一数值解析編一,"音講論 735-736 (2012.03).