

寺尾道仁 ○関根秀久 (神奈川大)

1. はじめに マイクロホンの有無による観測点音圧の変化, すなわち, 自由音場補正については, マイクロホンペアの相対補正にたいして文献[1]があるが, 絶対補正にたいしては不明のままである. 音響ホログラフィや到来音波方向同定などに多点音圧測定が実用されはじめており, それぞれのマイクロホンの絶対自由音場補正を調べておく必要がある.

2. 検討対象および解析方法

Fig.1 に示すように, 1/2" コンデンサマイクロホン単一, 柱状ペアおよび B&K(3519) 型プローブの 3 通りの配置にたいする自由音場補正について, 境界要素法[2] 数値計算により調べる. プロテクショングリッドは省略し, 一定境界要素でモデル化した. 遠距離音場に

おける 1600Hz 以下の低周波数領域を対象とし, Fig.2 に示すように, 音源は y - z 面内で第 i マイクロホン膜面中心から 5m の距離に設定した.

3. 自由音場補正 第 k マイクロホンについて, 膜面位置の自由音場音圧 (複素音圧振幅) を P_k , マイクロホンを挿入した時の膜面音圧を P'_k とすれば, 第 k マイクロホンにたいする絶対自由音場補正 D_k は,

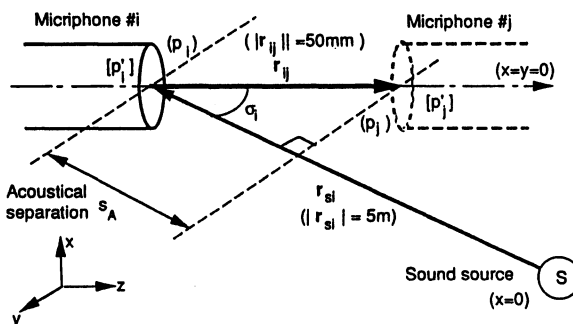


Fig.2 Schematic arrangement of microphone(s) and sound source

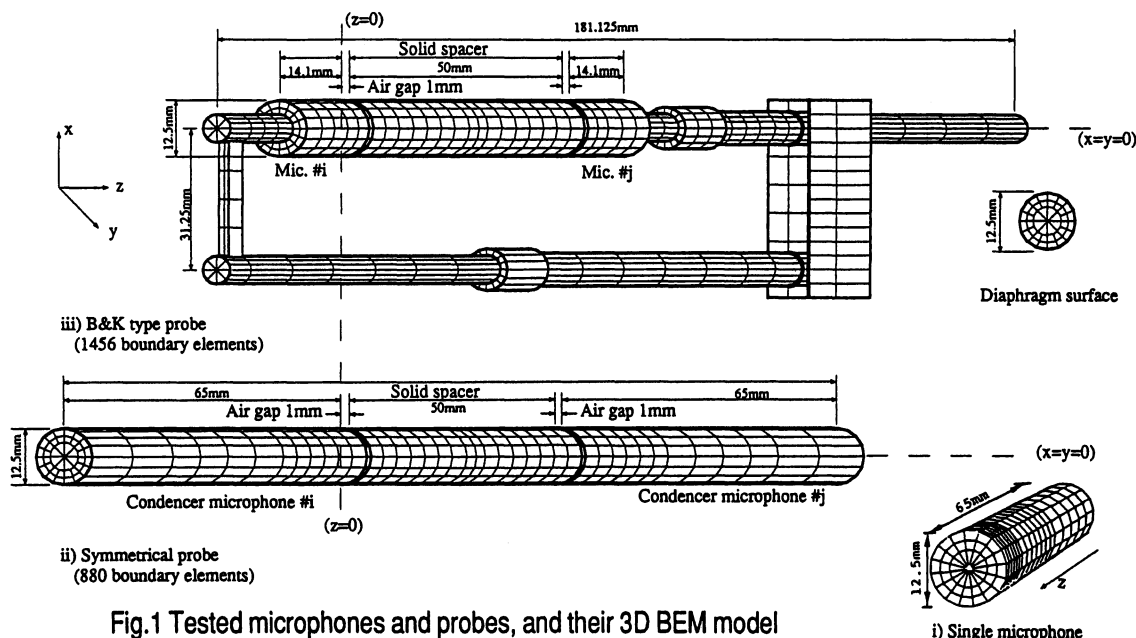
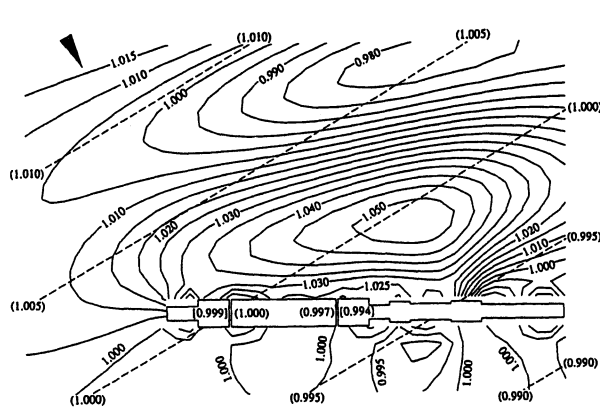
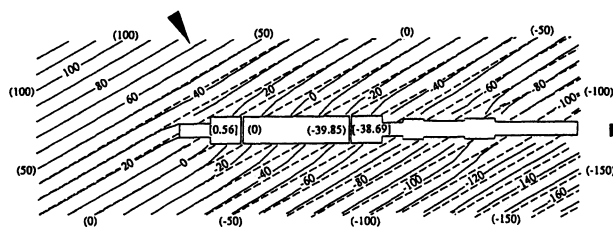


Fig.1 Tested microphones and probes, and their 3D BEM model

* On Free Field Corrections of Microphone Pairs and probes.
By Michihito Terao and Hidehisa Sekine (Kanagawa University)

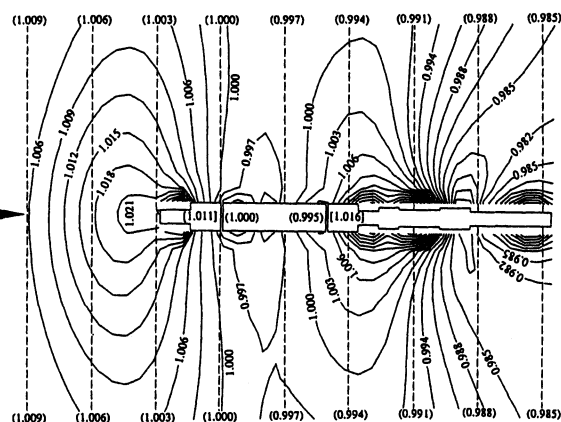


a) Magnitude

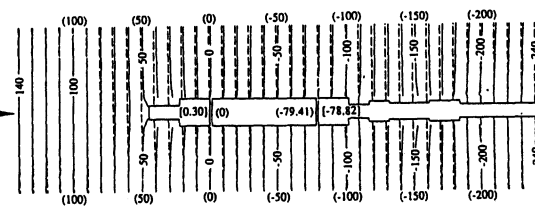


b) Phase, in deg.

i) 90° incidence ($\sigma_i=90^\circ$), y-z plane for x=0



a) Magnitude



b) Phase, in deg.

ii) 180° incidence ($\sigma_i=180^\circ$), y-z plane for x=0

$$D_k = |D_k| \exp[j \angle D_k] \\ = p'_k / p_k, \quad k = 1, 2, \dots, i, \dots, j, \dots$$

(1)

また、i, j マイクロホンペア間の相対自由音場補正は位相について

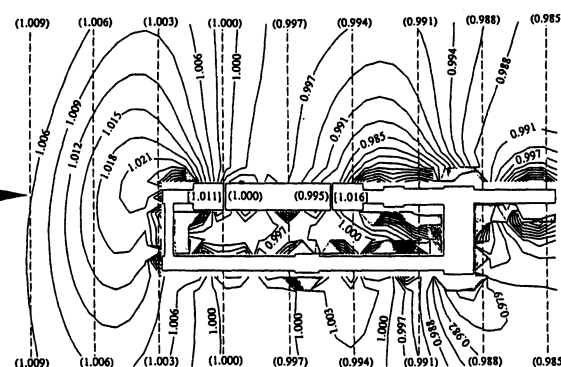
$$\angle D_{ij} \equiv -\angle D_{ji} = \angle D_j - \angle D_i, \quad [\text{rad.}] \quad (1a)$$

で定義する。

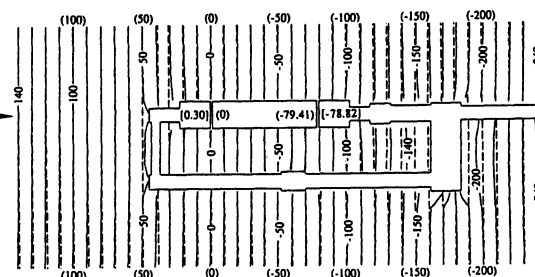
4. 数値計算結果

数値計算によって得られたマイクロホン近傍の音圧分布の例をFig.3に示す。ここで破線および(数値)は自由音場, 実線および数値はマイクロホン挿入時である。また, マイクロホン膜面音圧〔数値〕は膜面上の音圧積分値としている。

このような膜面音圧から得られた絶対自由音場補正をFig.4に, また, これから求めたマイクロホンペア間の相対自由音場補正をFig.5に示す。単一マイクロホンは位相について絶対補正が大きい。なお, Fig.6に相対補正についての既存文献[1]との比較例を示す。一致は必ずしも良好とはいえない。プロテクショングリッドの有無がその一因とみられる。



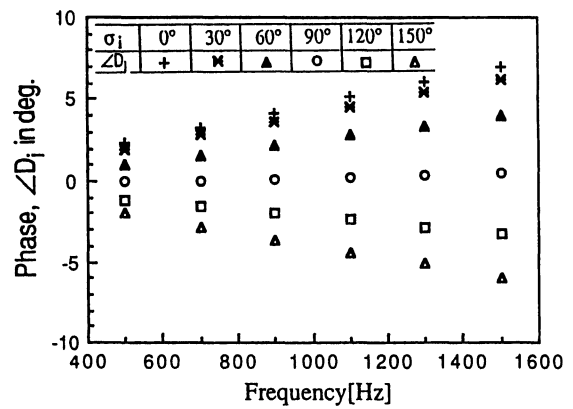
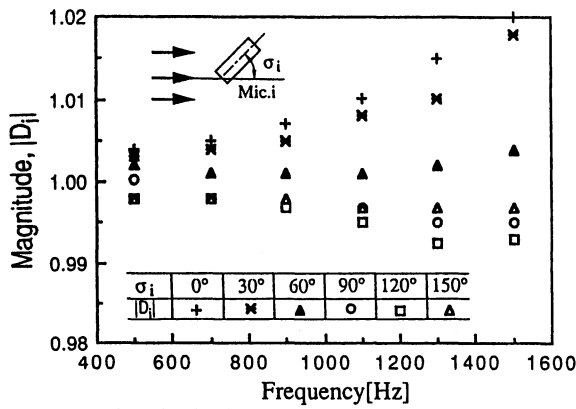
a) Magnitude



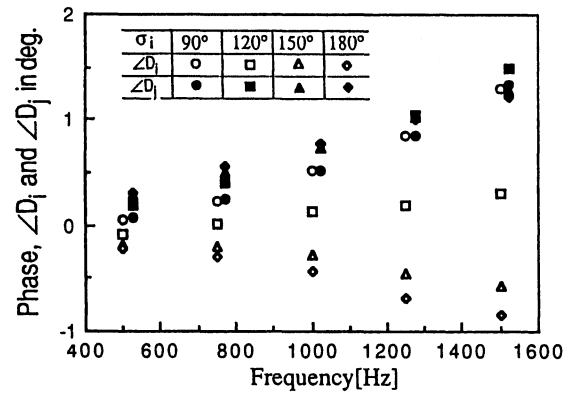
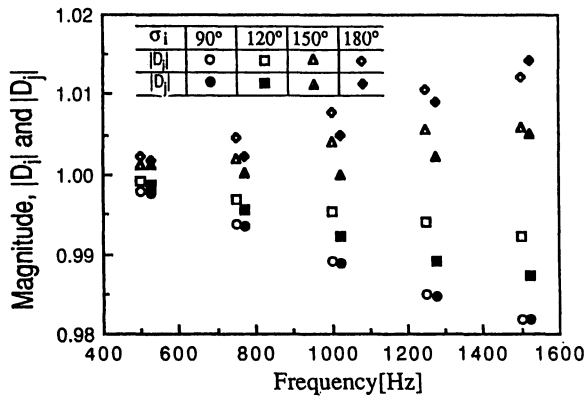
b) Phase, in deg.

iii) 180° incidence ($\sigma_i=180^\circ$), x-z plane for y=0

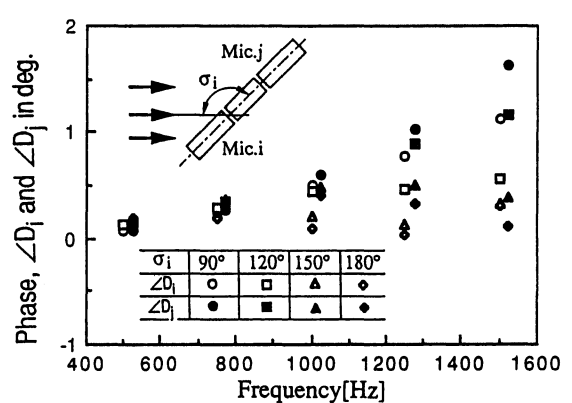
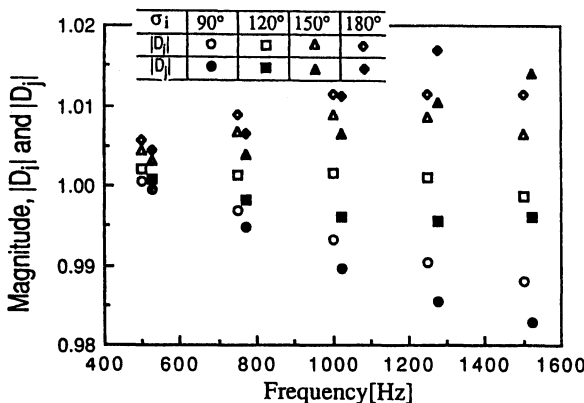
Fig.3 Sound pressure distribution around microphones and probe, for B&K type probe at 1500Hz



i) Single microphone



ii) Symmetrical probe



iii) B&K type probe

Fig. 4 Individual (absolute) free field correction, D_k

$$I_{ji} = -\text{Im} \{ p_j^* p_i \} / (2\rho c k r_{ij}) \quad (2)$$

および

$$u_{ji} = (p_j - p_i) / (\rho c k r_{ij}) \quad (3)$$

ここで, k : 伝搬定数, ρ : 空気密度, c

: 空気の音速, r_{ij} : マイクロホンペアの膜面間距離である.

到来方向 (ここでは入射方向と一致) σ_i と音響的マイクロホン距離 s_A との関係は

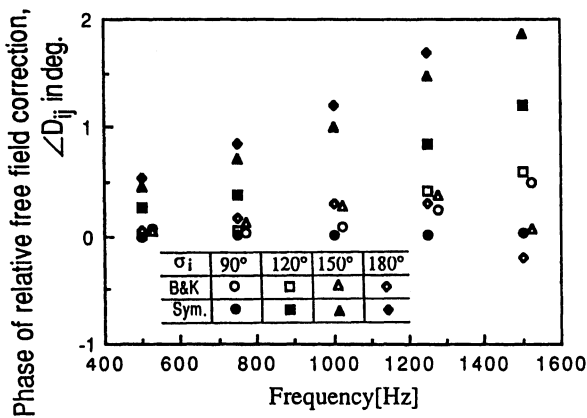


Fig. 5 Phase of relative free field correction, ΔD_{ij} in deg., for symmetrical and B&K type probe

$$s_A = r_{ij} \cos \sigma_i \quad (4)$$

マイクロホン挿入時の量に (') を付けて自由音場の量と区別すれば, インテンシティおよび粒子速度測定上の相対誤差 ϵ_I および ϵ_u , また, 到来方向測定上の絶対誤差 $\Delta \sigma_i$ の評価式は, それぞれ

$$\begin{aligned} \epsilon_I &= 1 - (I'_{ji} / I_{ji}) \\ &= (1 - |D_i|) + (1 - |D_j|) + \Delta D_{ij} / (kr_{ij} \cos \sigma_i) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \epsilon_u &= 1 - (u'_{ji} / u_{ji}) \\ &= \{j(|D_i| - |D_j|) + \Delta D_{ij}\} / (kr_{ij} \cos \sigma_i) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \Delta \sigma_i &\equiv \sigma'_i - \sigma_i \\ &= \Delta D_{ij} \sin \sigma_i / (kr_{ij}), [\text{rad.}] \end{aligned} \quad (7)$$

以上はその誘導過程を省略したが, $|D_k| \approx -1$, $-1 \ll \Delta D_{ij} \ll 1$, $-1 \ll kr_{ij} \cos \sigma_i \ll 1$, $-1 \ll \Delta \sigma_i \ll 1$ などを前提として得たものである.

5. 自由音場補正の評価

自由音場補正の大小判断は測定目的によって異なる. ネットインテンシティおよび粒子速度の膜面鉛直方向成分は, それぞれ

以下, $\sigma_i \approx 90^\circ$ のような設定による測定は, 誤差も多く実用上まず重要ではないから, それを除いて考察する.

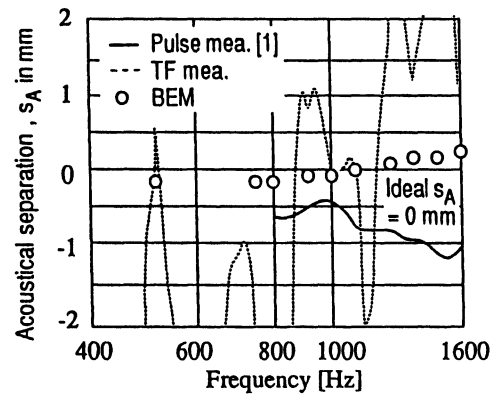


Fig. 6 Acoustical separation, s_A in mm, for 90° incidence ($\sigma_i = 90^\circ$)

Pulse mea. is from B&K[1], BEM is by present method and TF mea. is by direct FFT transfer function measurement.

ΔD_{ij} の寄与は, Fig. 5 の柱状ペアの場合 ϵ_I および ϵ_u にたいしては -2.5% , また, $\Delta \sigma_i$ にたいしては, 0.6° 程度である. B&K型は, さらにこれより小さい.

一方, 自由音場補正の絶対値 $|D_k|$ の寄与は, インテンシティ測定 of の誤差要因としてのみ重要となる. 式(5)および Fig. 4 より, これはいずれのマイクロホンブープでも 3% 程度以下である.

6. まとめ マイクロホンの自由音場補正について数値計算により調べた結果, 相対補正ばかりでなく, 個々のマイクロホンの絶対補正についても B&K 型ブープが小さく, 音圧測定の場合においてもこのようなブープを用いた方がよいこと, その場合自由音場補正を省略しても, それによる誤差は数%以下のものであることを示した. ただし, これは遠距離音場で膜面がブープ支柱等の蔭にならないような配置の場合で, より一般的な厳しい条件の場合にたいしてはさらに検討を要する.

文献

- [1] B & K, Literature no.: BA 0077-11, 1987.
- [2] 寺尾, 関根, 田辺, 日本音響学会講演論文集, 昭和 61 年 3 月.