超音波振動子近傍の音場特性と超音波駆動流に関する基礎研究

A Basic Study on Sound-Field Characteristics around an Ultrasonic Oscillator and Acoustic Streaming

○学 竹田裕亮 (同志社大学) 正 谷川博哉 (舞鶴高専)

正 舟木治郎 (同志社大学) 正 平田勝哉 (同志社大学)

Hiroaki Takeda, Department of Mechanical Engineering, Doshisha University, Kyoto 610-0321, Japan

Hirochika Tanigawa, Maizuru National College of Technology, Maizuru 625-8511, Japan

Jiro Funaki, Department of Mechanical Engineering, Doshisha University, Kyoto 610-0321, Japan

Katsuya Hirata, Department of Mechanical Engineering, Doshisha University, Kyoto 610-0321, Japan

Key Words: oscillator, sound field, ultrasonic, cylindrical container, acoustic streaming

1. 前置き

超音波振動子, および, それが生み出す音場は, 計測, 流体混合, 洗浄など広い範囲で工学的に応用されてきた. 最近では, UVP 計測法の開発もあり, その応用範囲がさらに広がっている. そのような状況下で, 振動子の生み出す音場の詳細かつ簡便な解析への要求が高まってきている. 本研究では, 様々な複雑形状をした振動子が生み出す音場の簡便かつ高速な解析法を開発して, 最適な振動子形状を調べることを目的とし, いくつかの形状について実験と解析を行っている. さらに, 超音波振動子の作り出す特別な流れとして, 超音波駆動流が知られているが, この現象に関し円筒容器を対象にそれらの流れを調べている.

2. 方法

本研究では, 振動子から発生する超音波を有限個の点音源から発せられる球面波の集合として取り扱うことにより, 円板型や球面形状の振動子まわり音場を求める. 振動子上にとられた任意の微小面積 dS の微小音源 A によって, 任意位置 B に発生する複素速度ポテンシャル $d\Phi$ は, dS から B までの距離 R' を用いると, 次式のように表される.

$$d\Phi = \frac{\xi_0 dS}{2\pi R'} e^{j(\omega t - kR')} \quad (1)$$

ここで, ξ_0 は振動子の速度振幅, ω は角周波数, t は時間, j は虚数単位である.

微小音源を, 振動子全体に配置して, 複素速度ポテンシャル Φ を得る. この Φ を用いて, 音場を求める. 更に, 音響流の駆動力を求め, 有限差分法 (渦度一流れ関数系) を解いて音響流を計算し, 実験と比較する.

3. 結果と考察

振動子分割を用いた Φ の本計算方法, および, その分割数

Fig.1 Comparison of sound pressure; $k \times a = 4$.

がどの程度信頼性があるかを評価する. 図 1 は無次元波数 $k \times a = 4$ での無次元音圧

$$P'_a = \frac{1}{\rho c_0} \left| \frac{P_a}{\xi_0} \right| \quad (2)$$

について等高線分布を示した図である. 本研究の計算結果が Stenzel による厳密解とほぼ一致しており, 振動子分割を用いた本計算方法の有効性を確認できる. その他の $k \times a$ についても確認している.

図 2 に, $k \times a = 55.1$ での球面形状振動子の音圧レベル分布と, その上に重ね合わせた音響流駆動力の分布を示す. ここで, x/a は振動子の曲率を示すパラメータである. 各図に共通する傾向として, 音圧の焦点付近において最大値を含む大きな駆動力が分布しているということが分かる. また, 球面振動子の形状による駆動力分布の変化を見ると, x/a が小さくなるにつれて駆動力の r 軸方向成分が強くなることが分かる.

Fig.2 Sound pressure level and driving-force distributions; $k \times a = 55.1$, $Re_a = 0.36$.

4. 結び

1. 振動子分割を用いた, 速度ポテンシャルの計算法, さらにその結果を用いた音響流の計算方法の妥当性を実験との比較により示した.
2. 球面形状振動子は x/a の変化によって音圧分布, 音圧レベル, 音圧の焦点の位置が変化し, x/a が小さくなるにつれて音軸に対して垂直方向の流れが強く現れる.

引用文献

(省略)