

L-2

レーザドップラ振動計を用いた剛壁表面の非線形集束音場の計測
Measurement of Nonlinear Sound Field at the Surface of Rigid flat plate Using LDV

○大隅歩¹, 伊藤洋一¹

*Osumi Ayumu¹, Youichi Ito¹

We considered a noncontact method that can detect defects in materials by analyzing frequency information obtained from the vibration of an object excited with nonlinear convergence aerial ultrasonic waves. However, to achieve such a method, it is important to generate high-intensity ultrasonic waves of finite amplitude and to analyze the mechanism of ultrasonic irradiation onto materials. In this study, we measured the sound pressure on the surface of rigid plate in nonlinear sound field by a laser Doppler galvanometer.

1. はじめに

強力な非線形集束空中超音波を照射することにより、非接触で物体に複数周波数の振動を発生させることができる。現在、その振動特性を解析して物体の性状を判定する技術の開発を行っている。この技術において重要なのは、物体表面における照射音波の振るまいを把握することである。しかし、物体表面の音場特性をマイクロホンで計測することは、寸法や構造上不可能である。そこで、今回レーザドップラ振動計(以下、LDV)を用いて計測^[1]することを試みた。本報告では、剛壁表面に形成された非線形音場^[2]を上記の方法とマイクロホンを併用した結果について述べる。

2. 計測原理と使用する音源

2.1 計測原理

Fig.1 に LDV を用いた音圧の計測原理の概要を示す。LDV の測定光を被測定音場を通過させて、剛壁で反射させ、その光を再び受光する。すなわち、被測定音場越しに剛壁の振動を観測する測定系とする。いま、光が通過する音場の音圧を p 、その長さを l 、媒質の光の屈折率を n とする。音圧により屈折率が変化 Δn だけ変化した場合、これを剛壁が Δl だけ変位したものととして考える。この場合、すなわち、

$$\Delta n \cdot l = n \cdot \Delta l \quad (1)$$

の関係になる。また、LDV の出力は振動速度 v_{LDV} として得られるが、音場の周波数 f とすれば、媒質の屈折率変化 Δn は、

$$\Delta n = \frac{n}{2\pi f} v_{LDV} \quad (2)$$

のように測定される。

ここで、音圧と屈折率変化の関係より、 p_0, γ, ρ, c を各々大気圧、比熱比、密度、音速とすると、音圧 p は、

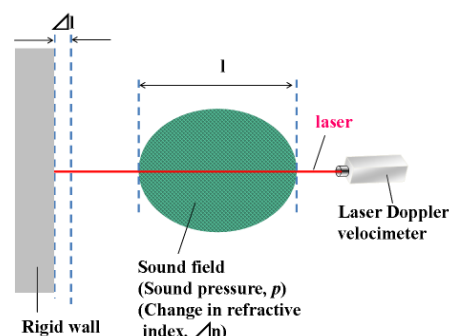


Fig. 1 Principal of the measurement of refractive index modulation by a laser Doppler velocimeter.

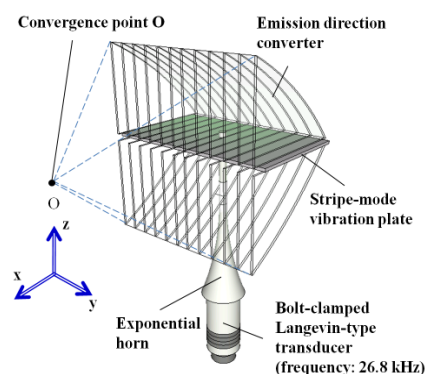


Fig. 2 Point converged-type aerial ultrasonic sound source.

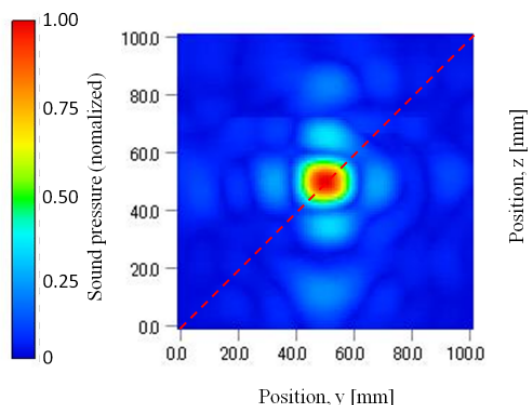


Fig. 3 Convergence characteristic of acoustic wave in y-z plane.

1 : 日大理工・教員・電気

$$p = \frac{n}{n-1} \frac{c^2 \rho}{2\pi fl} v_{LDV} \quad (3)$$

で与えられる。

2.2 使用する音源の特性

非線形空中超音波の発生には、強力な空中超音波の発生が不可欠であるため、縞モード振動板式点集束音源(駆動周波数：26.8 kHz)を使用する。Fig. 2 にその概要を示す。この音源から放射される音波は、音源開口から距離約 134 mm の位置で直径 10 mm の円形断面内に集束する。Fig. 3 に集束点を含む y-z 平面内の音波集束特性を示す。

3. 剛壁表面の音場計測

実験装置の概要を Fig. 4 に示す。実験は、まず剛壁 A に対し、集束音波を連続的に照射し、剛壁表面に非線形音場を形成させる。この音場に、レーザ光を照射し、剛壁 B で反射させることで剛壁表面近傍の音場を計測する。LDV で計測した出力信号を、FFT アナライザで周波数解析する。計測は、図の x 軸上に行き、その光路は Fig. 3 に示した赤い破線とした。なお、剛壁 A は音源から 137 mm の位置に配置している。

Fig. 5 に結果を示す。比較のため、マイクロホンも x 軸に沿って垂直に挿入し、計測した結果も示している。また、両結果はともに音圧の基本周波数成分で規格化している。

結果より、音圧の基本周波数成分及び二次、三次高調波成分は、いずれも剛壁表面で音圧の腹となる分布を形成しており、マイクロホンの計測結果とも良く一致している。また、図中の P 点において各周波数成分は、いずれも音圧の腹の関係となっている。Fig. 6 は、Fig. 5 の結果を、交流波形歪みの理論を用いて、歪み率を算出した結果である。図より、p 点でのひずみ率の値が、剛壁表面での値とほぼ同じ大きさであることが分かる。これらの結果より、p 点での音圧をマイクロホンで計測・解析することにより、剛壁表面での音圧をある程度推定できる可能性がある。

4. まとめ

非線形空中超音波を剛壁に照射した際の剛平面近傍の非線形音場について実験的に検討した。その結果、レーザドップラ振動計による結果とマイクロホンによる計測結果の傾向はほぼ一致し、剛壁面近傍音場の特定の位置での音場を計測することで、剛壁表面での音圧特性をある程度、推定可能であることが分かった。

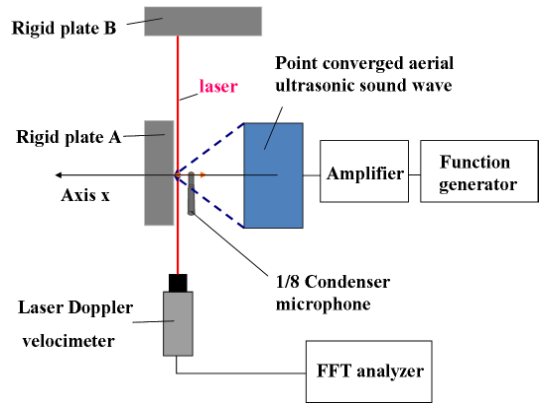


Fig. 4 Experimental device.

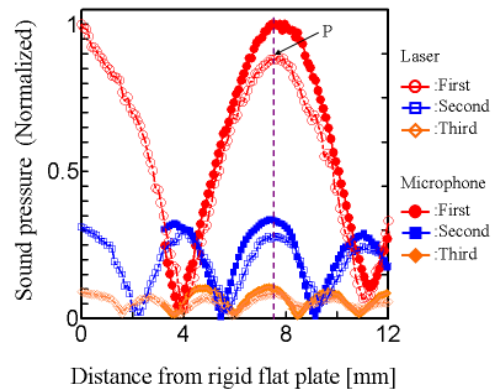


Fig. 5 Distribution of sound pressure from the surface of rigid flat plate along the x-axis at fundamental frequency and harmonic frequency.

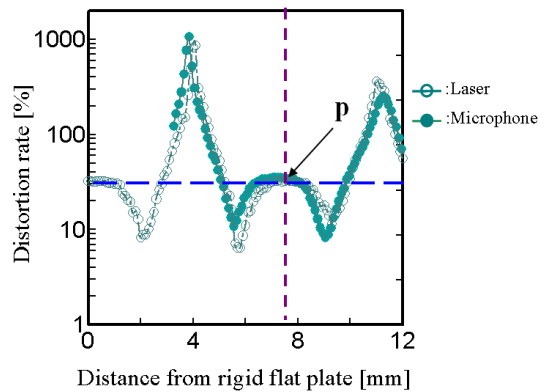


Fig. 6 Distribution of distortion rate from the surface of rigid flat plate along the x-axis at fundamental frequency and harmonic frequency.

5. 参考文献

- [1] 中村健太郎：「空気の屈折率変調を検出する空中強力音場の測定」, 電子情報通信学会技術研究報告. US, 超音波 101(42), pp.15-20, 2001
- [2] 大隅歩, 伊藤洋一：「集束空中超音波による剛平面での非線形音場の計測」, 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, pp.1259-1260, 2011