

# 円筒音波の非線形共鳴現象における振幅変調計測

## Measurement of amplitude modulation in the resonance of cylindrical wave

○栗原 央流, 北大工, 札幌市北区北 13 条西 8 丁目, E-mail: kurihara@mech-me.eng.hokudai.ac.jp

Eru Kurihara, Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Sapporo 060-8628, Japan

Amplitude modulation due to the both nonlinear and dispersive effect in the circular cylinder is well known by some theoretical and numerical analyses. In this study, existence of the amplitude modulation is verified experimentally for fundamental, second, and third oscillation modes. The large amplitude resonant gas oscillation of cylindrical wave is excited in the cylindrical piezoelectric transducer. The maximum pressure amplitude reaches more than 170 dB in the second mode oscillation. The result shows that the envelope of the pressure amplitude qualitatively corresponds to the theoretical results including dissipative effect.

### 1. はじめに

音波の共鳴現象は, 小さな入力により大振幅の音場が形成されるという著しい特徴を持つことから学術的にも工学的にも重要な現象である。閉管内の気体中に励起される平面音波の共鳴現象については古くから詳細な研究がなされている。その一方で円筒音波や球面音波の非線形共鳴現象については, Chester<sup>(1)</sup> や Ellermeier<sup>(2)</sup> などによる基礎的な研究があるのみでその重要性にもかかわらず十分な研究がなされているとは言えない。著者らは理論的・数値的な解析により円筒音波・球面音波の非線形共鳴現象に特有の衝撃波の抑制と振幅の変調現象が音場の非線形効果と分散効果の相互作用に起因する現象であることを示した<sup>(3)</sup>。

本研究は, 円筒型振動子を用いた音響共鳴装置を用いて円筒音波の非線形共鳴現象における分散効果を実験的に評価することを目的とする。

### 2. 実験結果および考察

本実験では, 内径 48mm, 高さ 30mm の円筒型超音波振動子を用いた。円筒内部は空気で満たされており, 事前に行った振動数と振幅応答の計測により得られた動径方向基本共鳴モードの振動数は 8850Hz, 2 次モードの振動数は 16030Hz となっている。これは, 線形解析によって予測される共鳴振動数とよく一致している。

図 1 は, 本実験によって得られた圧力の時間応答の様子である。音源の振動開始から時間の経過に伴って振幅が増大して最大値を記録した後にわずかに振幅が減少し, その後振幅が飽和し一定値をとっていることがわかる。この様な振幅の変調は平面音波にはみられない円筒音波・球面音波のような波面の収束と拡散を伴う音波の共鳴に特有の現象である。しかしながら, 理論解析や数値解析において観測された周期的な変調はみられなかった。これは, 本実験では装置のサイズが小さいこと, 振動子とそれを固定する端板とのシーリングが十分でないことから, 本実験では共鳴音場のエネルギーの散逸が大きくなっていると予想できる。そのため周期的な振幅の変調が観測される前に音源からのエネルギー供給とエネルギーの散逸とが釣り合い, 定常振動状態に達していると考えられる。

図 2 に円筒共鳴音波の弱非線形解析<sup>(3)</sup>によって得られた圧力振幅の時間応答を示す。本実験に対応する音響レイノルズ数から求められる散逸パラメータに対して 100 倍程度の大きさの散逸効果を導入することで, 共鳴音波のふるまいは実験結果と定性的な一致をみる。このことは, 先に述べたように気体の粘性と熱伝導性による散逸よりも装置と管体との接合部からのエネ

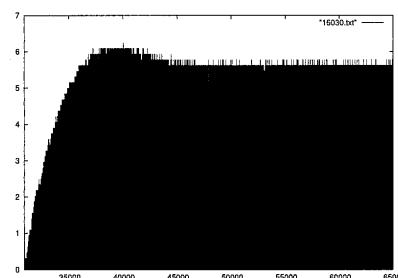


Fig. 1 Time evolution of the pressure (experimental result)

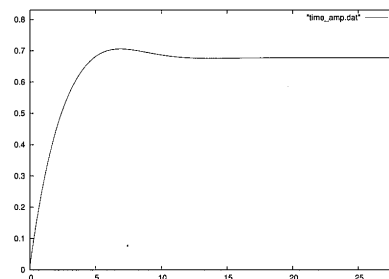


Fig. 2 Envelope of the pressure amplitude (theoretical solution)

ギーのロスや境界層における散逸効果が共鳴波のふるまいに支配的な影響を及ぼしていることを示している。

### 3. 結論

円筒型振動子を用いた音響共鳴装置を用いた音圧計測により円筒音波の非線形効果と分散効果に起因する振幅変調を観測した。音圧振幅の定性的なふるまいについては解析解と一致したが, 実験装置における音波のエネルギーの散逸が極めて大きいため, 分散効果の定量的な評価を行うために装置の改良が必要と考えられる。

### 参考文献

- (1) Chester, W., "Acoustic resonance in spherically symmetric waves," Proc. R. Soc. Lond., A434, (1991), 459.
- (2) Ellermeier, "Acoustic resonance of radially symmetric waves in a thermoviscous gas," Acta Mech., 121, (1997), 97.
- (3) Kurihara, E. and Yano, T., "Nonlinear analysis of periodic modulation in resonances of cylindrical and spherical acoustic standing waves," Phys. Fluids, 18, (2006), 117107.