

圧力測定孔の動特性と波形復元

Dynamic Characteristics of Cavity-Mounted Pressure Sensors and Restoration of the Pressure Signals

廣瀬 圭*, 飯村 彥郎*, 佐々木 芳宏*, 及川 光彦郎†, 加藤 久美子*

Kiyoshi Hirose*, Ikuro Iimura*, Yoshihiro Sasaki*

Kouichiro Oikawa†, Kumiko Kato*

*秋田大学, †SMC株式会社

*Akita University, †SMC Corporation

キーワード: 動特性(Dynamic characteristics), フーリエ変換(Fourier transform),
圧力測定(Pressure sensing), 圧力信号(Pressure signal)

連絡先: 〒010-0855 秋田県秋田市手形学園町1-1 秋田大学 工学資源学部 機械工学科 飯村研究室
飯村彥郎, Tel.: (018)-889-2737, Fax.: (018)-837-0405, E-mail: iimura@ipc.akita-u.ac.jp

1. 緒言

変動圧力を測定する際には通常, 圧力センサを使用により圧力を電気信号に変換する方法が最も優れた方法であると言える. しかし, 圧力センサの受圧部は若干の大きさを持つ平面であるために細い管路や曲がった壁面のように直接取り付けることができない箇所においては測定が困難であることが多い. そこで圧力測定孔を使用することが効果的である.

圧力測定孔とは測定箇所を開けられた小孔と圧力センサが収納される空洞からなりFig. 1のように示され, 小孔は検出孔, 空洞は受圧室と呼ばれる. 圧力測定孔を使用することにより, 測定困難な箇所の測定を可能とする他に流れの乱れや熱によるノイズを除去することが可能であること, また受圧面を保護できるという利点も挙げられ, 市販の圧力センサにはあらかじめ圧力測定孔が装着

されているものも見られる.

しかし圧力測定孔を使用することにより, 直接測定に比べ測定誤差が生ずるという問題が発生する.

本研究では圧力測定孔の動特性¹⁾より得られる理論式を元に逆システムを構成することにより真の圧力波形を復元し, 周波数特性を測定することにより復元精度を検討する.

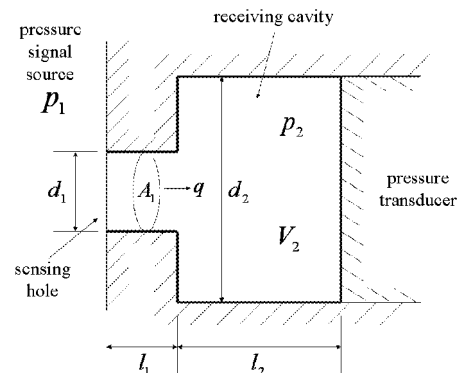


Fig. 1 圧力測定孔

2. 圧力測定孔の動特性

2.1 圧力測定孔の周波数特性

圧力測定孔の周波数特性実験(圧力測定孔出力の直接測定に対する比)と理論との比較をFig.2, 3に示す. Fig.2の理論は検出孔を短いオリフィスとした「オリフィスモデル」¹⁾ Fig.3の理論は検出孔を管路であると仮定した「管路モデル」^{2),3)}における結果である. 検出孔の直径 d_1 は0.5mm, 受圧室の

直径 d_2 は圧力センサの直径が5mmであるために7mmとし, 深さ l_2 は4mmとしている. 検出孔 l_1 が比較的短い場合はオリフィスモデル, 長い場合は管路モデルの結果が実験値とよく一致していることがわかる. そこでオリフィスモデルの逆システムを構成することにより検出孔 l_1 の短い場合の波形復元を試みる.

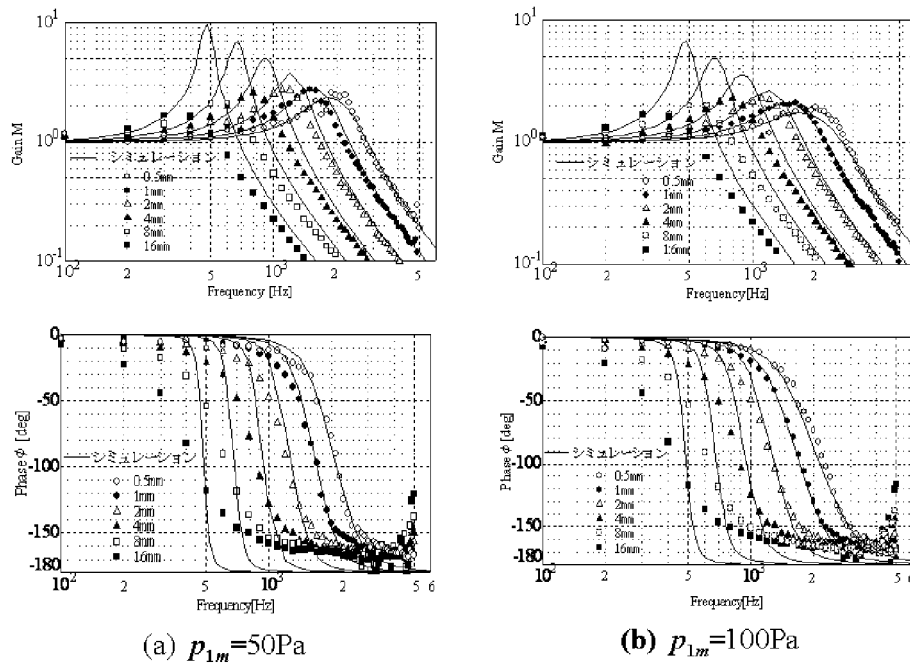


Fig. 2 周波数特性 (オリフィスモデル)

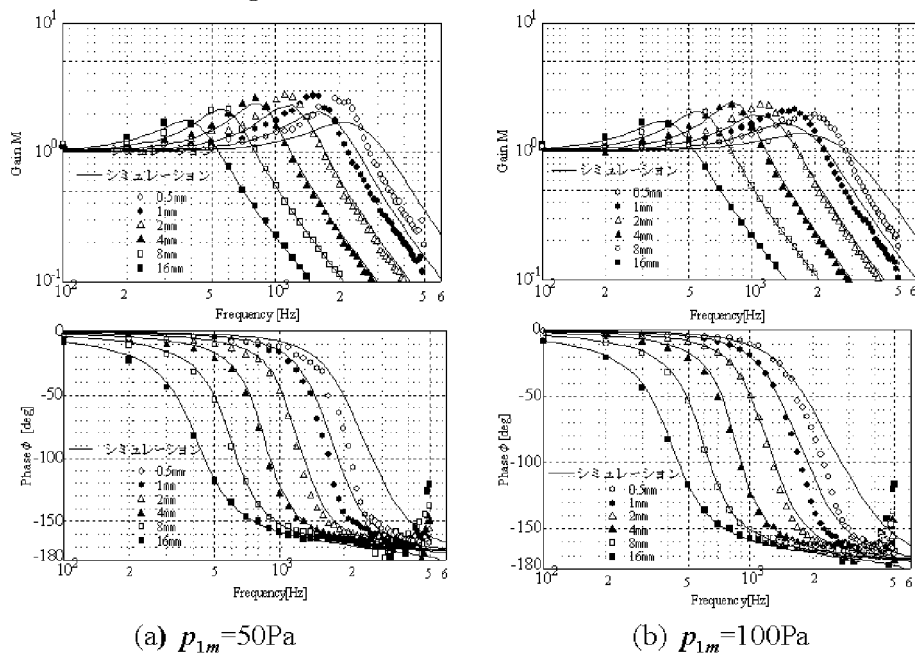


Fig. 3 周波数特性 (管路モデル)

2.2 理論式 (オリフィスモデル)

真の圧力を p_1 , 圧力測定孔を介して測定される圧力を p_2 とすると式(1)のような流体回路によって表現することができる。 L は流体イナータンス, C は流体キャパシタンス, R は流体抵抗でありそれぞれ式(2), (3), (4)で表わされる。また, 等価回路はFig.4のように表すことができる。

$$LC \frac{d^2 p_2}{dt^2} + RC \frac{dp_2}{dt} + p_2 = p_1 \quad (1)$$

$$L = \frac{\rho l_1}{A_1} \left(1 + \frac{8}{3\pi} \frac{d_1}{l_1} \right) \equiv \frac{\rho l_1}{A_1} k \quad (2)$$

$$C = \frac{V_2}{\rho c^2} \quad (3)$$

$$R = \frac{\rho}{2C_d^2 A_1^2} C \left| \frac{dp_2}{dt} \right| + k_s \frac{8\pi\rho\nu l_1}{A_1^2} \quad (4)$$

ただし, A_1 は検出孔断面積, V_2 は受圧室容積, ρ と ν はそれぞれ流体の密度と動粘度, c は音速, C_d は流量係数を表す。

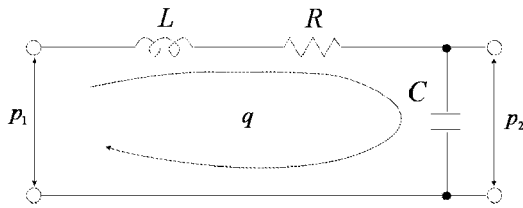


Fig. 4 圧力測定孔(オリフィスモデル)等価回路

3. 実験

3.1 実験装置

実験装置および構成をFig. 5に示す。ダクトの内面には直付けの圧力センサと圧力測定孔付きの圧力センサが取り付けられており, ラウドスピーカから発生した音圧を同時に測定することができる。圧力測定孔の寸法は前章の場合と同様とし, オリフィスモデルにおいて実験値と比較的一致している $l_1 = 0.5$ mmの場合に限定して実験を行った。測定した圧力は2chの同時サンプリングが可能であるA/D変換器 (Interface社PCI-3163)によってPCに取り込まれ, デジタル波形復元回路による処理を行い, フーリエ変換を行うことによって周波数特性を測定することができる。なお, 周波数特性は5000Hzまで計測を行い, サンプリング周波数は十分なサンプリング数を満たしている500kHzに設定した。

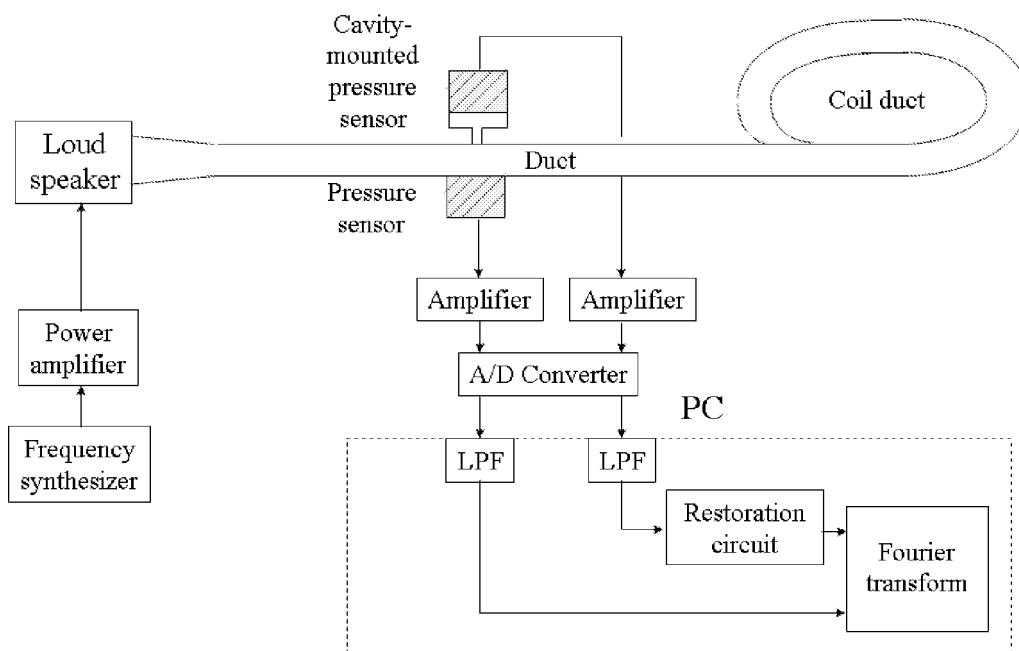


Fig. 5 実験装置概要

3.2 波形復元回路

波形復元回路の構成をFig. 6に示す。オリフィスモデルの逆システムを構成し、ブロック線図にて表している。また、微分器による高周波ノイズを低減させるために、LPFを使用している。

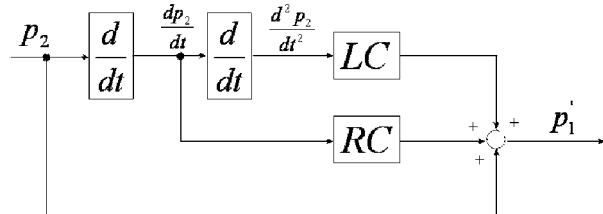


Fig. 6 波形復元回路

4. 実験結果

波形復元を行った際の周波数特性の結果をFig. 7, 8に示す。Fig. 2の修正前と比べて振幅、位相特性が著しく改善されていることがわかる。また、直接測定、圧力測定孔および復元回路を使用した時の波形をFig. 9, 10, 11, 12に示す。共振周波数に近い場合においても、高周波数域においても振幅、位相ともに直接測定の波形に近くなり、復元されていることがわかる。

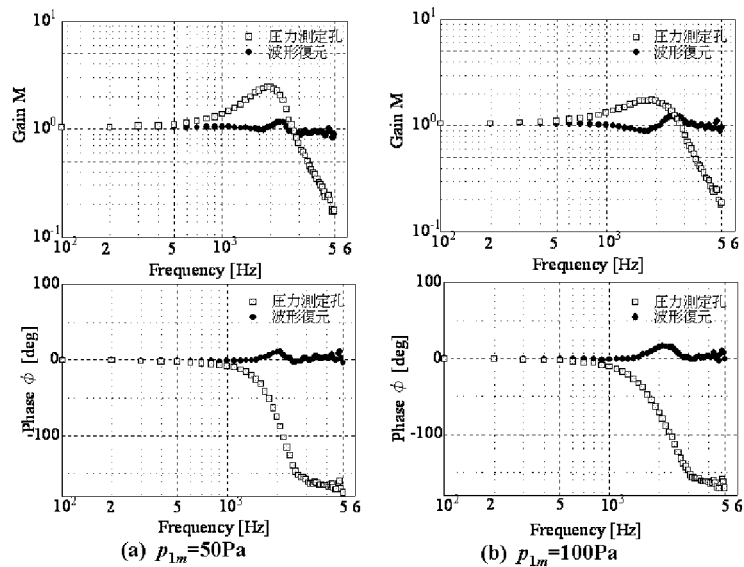


Fig. 7 周波数特性（波形復元後） $l_1 = 0.5\text{mm}$

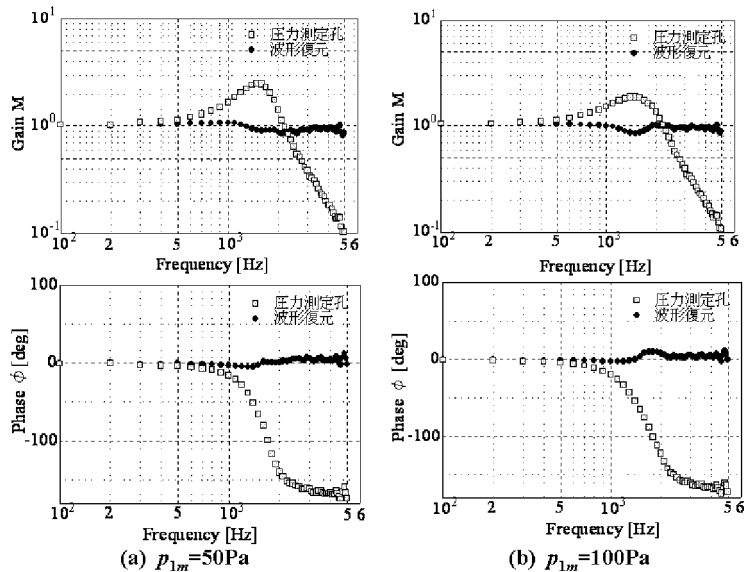


Fig. 8 周波数特性（波形復元後） $l_1 = 1.0\text{mm}$

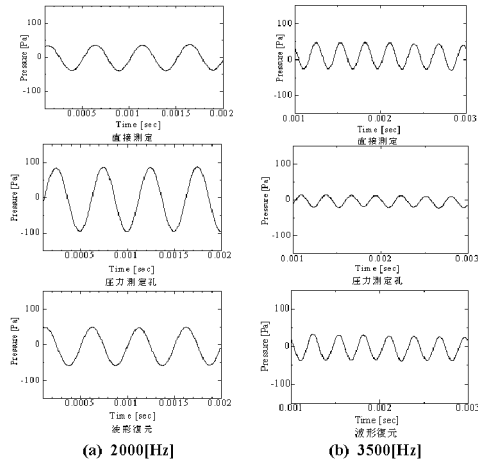


Fig. 9 出力波形 $l_1 = 0.5\text{mm}$ $p_{1m} = 50\text{Pa}$

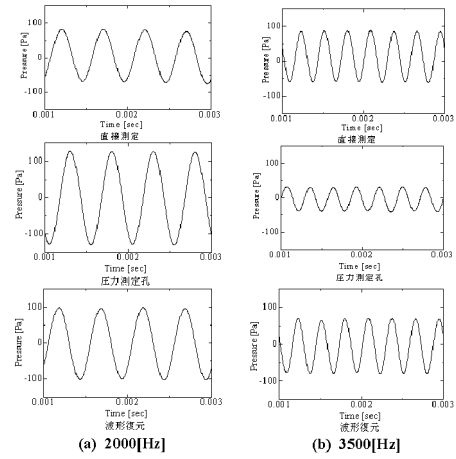


Fig. 11 出力波形 $l_1 = 0.5\text{mm}$ $p_{1m} = 100\text{Pa}$

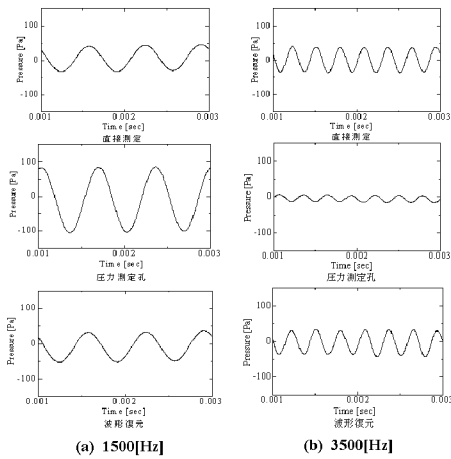


Fig. 10 出力波形 $l_1 = 1.0\text{mm}$ $p_{1m} = 50\text{Pa}$

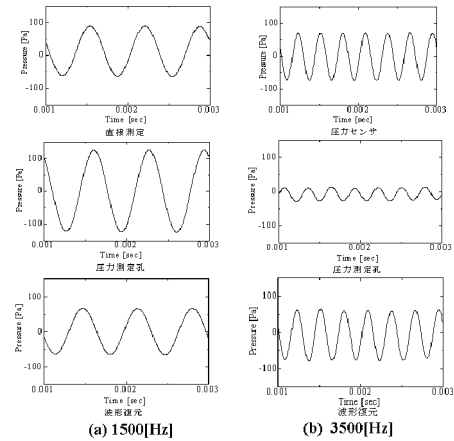


Fig. 12 出力波形 $l_1 = 1.0\text{mm}$ $p_{1m} = 100\text{Pa}$

参考文献

5. 結言

圧力測定孔の動特性を流体回路によって表現し、その逆システム波形復元回路を構成することにより真の波形への復元を試みた。本研究においてはオリフィスモデルによって適用できる検出孔の長さが短い場合に限定し実験を行ったが、比較的良好な結果を得ることができ、圧力計測における精度の向上に寄与できる。しかし、圧力測定孔は検出孔が長い場合も多いので管路モデル等を使用した波形復元を行う必要があると考える。

- 1) 飯村 彦郎：圧力測定孔の動特性に関する研究，東北大学博士学位論文 (1992)
- 2) 及川 光彦：圧力測定孔の動特性と波形復元回路に関する研究，秋田大学大学院工学資源学研究科機械工学専攻平成16年度修士論文(2005)
- 3) 加藤 久美子：圧力測定孔の周波数特性，秋田大学工学資源学部機械工学科平成15年度卒業論文 (2004)
- 4) 星 和也：圧力センサの出力の波形復元回路，秋田大学工学資源学部機械工学科平成12年度卒業論文(2001)