8 0 1 慣性差圧変動流量測定法の精度検証

Discussion on Accuracy of Kinetic Differential Pressure Method

○ 陳 恵青(岡大工) 正 鷲尾 誠一(岡大工)
学 川崎 公平(岡大工)

Hui-qing CHEN, Okayama University, Tushimanaka3-1-1, Okayamashi, Okayama
Seiichi WASHIO, Okayama University
Kouhei KAWASAKI Okayama University

1. 緒言

油圧システムの高速度化、高圧化に伴い、システムをより高精度に、高速に制御することが要求されている。そのようなシステムの設計には、システムを構成する油圧機器の動特性を正確に予測することが重要である。しかし、油圧機器の非定常モデルの場合、急速に変動する流量、差圧の測定が困難であったため、モデルの信頼性の検証はほとんどなされて来なかった。

そこで、我々の研究室では、変動する差圧の測定法、ならびに管路の近接する二断面で測定した圧力波形から、管路内の離れた任意断面の変動する流量、圧力を求める方法(慣性差圧測定法、KDP と呼ぶ)を提案した。今回は、その方法の測定誤差を検証し、測定結果の信頼性と、それを判断する方法について述べる。

2. 測定原理

円筒管内の粘性液体の運動は、圧縮性と軸対称性を考慮すれば、線形化した円柱座標のナビエーストークスの運動方程式及び連続の式をラプラス変換して解くことにより、次のような関係で表される。

$$\left. \begin{aligned} P(x,s) &= P(0,s) \cosh sFi(z)T_x - ZiFi(z)Q(0,s) \sinh sFi(z)T_x \\ Q(x,s) &= Q(0,s) \cosh sFi(z)T_x - \frac{1}{ZiFi(z)} P(0,s) \sinh sFi(z)T_x \end{aligned} \right\} \quad \text{.....(1)}$$

ここで、 Q, P は流量、圧力のラプラス変換形、 x は軸方向座標、 S はラプラス演算子であり、

$$\left. \begin{aligned} Fi(z) &= \left[\frac{I_0(z)}{I_2(z)} \right]^{\frac{1}{2}}, & z &= \sqrt{x_0 s}, & x_0 &= \frac{a^2}{\nu} \\ T_x &= \frac{x}{c}, & Zi &= \frac{\rho c}{\pi a^2} \end{aligned} \right\} \quad \text{.....(2)}$$

である。式(2)で、 ν, ρ それぞれは液体の動粘度と密度、 c

は音速、 a は管半径であり、 $Fi(z)$ の式に現れる I_0, I_2 はそれぞれ0次及び2次の変形された第一種ベッセル関数である。

式(1)を管路の三つ断面 I, II, III (Fig.1) に適用すれば、結局次の関係を得る。

$$\begin{aligned} Q_3 &= \frac{\cosh sFi(z)T_{l_1}}{ZiFi(z) \sinh sFi(z)T_l} P_1 - \frac{\cosh sFi(z)T_{l+l_1}}{ZiFi(z) \sinh sFi(z)T_l} P_2 \\ &= - \frac{\sinh sFi(z)(T_l + \frac{T_{l_1}}{2})}{ZiFi(z) \cosh sFi(z) \frac{T_l}{2}} P_2 - \frac{\cosh sFi(z)T_{l_1}}{ZiFi(z) \sinh sFi(z)T_l} \Delta P \\ P_3 &= \frac{\sinh sFi(z)T_{l+l_1}}{\sinh sFi(z)T_l} P_2 - \frac{\sinh sFi(z)T_{l_1}}{\sinh sFi(z)T_l} P_1 \\ &= - \frac{\cosh sFi(z)(T_l + \frac{T_{l_1}}{2})}{\cosh sFi(z) \frac{T_l}{2}} P_2 + \frac{\sinh sFi(z)T_{l_1}}{\sinh sFi(z)T_l} \Delta P \end{aligned} \quad \text{.....(3)}$$

ここで、 $\Delta P = P_2 - P_1$ である。

3. 精度の検証

式(3)による圧力、流量変動測定の精度を検証するため、Fig.2 のような末端を閉鎖した管路入口にピストンを挿入した実験回路を用いる。上流の脈動流発生装置で作り出された脈動をピストン左端に導き、ピストンを振動させ、閉鎖管内に脈動を作り出す。ピストンに棒を介して付けた加速度計でピストンの振動を測定すると共に、末端閉鎖管には、0.1m 間隔の2対の圧力測定点を四箇所(A,B,C,D)設け、半導体圧力センサ(豊田工機、PMS-5、定格出力 2.9MPa)で、変動圧力、差圧を測定する。一对の圧力計の出力から求めたピストン部の変動流量及び圧力を、加速度計及び圧力センサで直接測定した波形と比較することにより測定精度を検証する。実験で使用した作動油は VG46 マシン油である。

Fig.1 Pipe model

Fig.2 Experiment circuit

Fig.3 Example of Measurements of Q_3 and P_3 (position C)

Fig.4 Consideration of errors

Fig.3 に、C の位置の圧力データを使い、慣性差圧法(式(3))より計算したピストン部の変動流量、圧力(実線)を、加速度から求めた変動流量(破線)、直接測定した圧力(破線)と比較した例を示す。この場合両者はよく一致している。しかし実際の測定では、周波数によっては、式(3)に求めた流量、圧力は直接測定した結果と合わない。Fig.4 は、一番上に式(3)で求めた流量と加速度計で定めた流量の振幅比を周波数に対してプロットしている。周波数が 460Hz, 600Hz, 760Hz のあたりで、比が 1 からずれ、両方の測定結果が一致しないことが分かる。その理由を調べるために上から 2 つ目に、測定データから得た $|\Delta P/P_2|$ をプロットしている。これを見ると誤差の大きい三つの周波数のうち、600Hz は ΔP が小さくなる周波数に対応しているが、他の二つは対応していない。

次に式(3)を

$$Q_3 = G_1(s)P_2 - G_2(s)\Delta P \quad \cdots \cdots (4)$$

のように表した時、伝達関数 G_1 と G_2 の周波数応答を Fig.4 の下に示す。 G_1 、 G_2 のゲイン又は位相が大きく変化する周波数では周波数の測定誤差が測定結果に大きく影響す

ると考えられるが、この場合、上に述べた誤差の大きい三つの周波数はいずれもそうした周波数に対応していない。

次に、誤差を分析するため、差圧測定系に現れる誤差を調べた。 P_1 、 P_2 を同一箇所 で測定した場合の ΔP と P_2 の振幅の比(CMR)を Fig.5 に示す、周波数 600Hz あたりに特に大きな誤差が見られる。

流量の計算で誤差の生じる要因を調べるために、式(4)の項 $P_2 G_1$ と $\Delta P G_2$ をして Q_3 をベクトルで表し、Fig.6 に示す。実線は $P_2 G_1$ 、破線は $(-\Delta P G_2)$ 、白丸は流量 Q_3 を表している、ベクトル和としての Q_3 は ΔP 、 P_2 の振幅及び位相の測定誤差の影響を受けるが、461Hz の場合のように $\Delta P G_2$ と $P_2 G_1$ のベクトルのなす角度が大きく、 180° に近づくと、 ΔP 、 P_2 の少しの誤差でも Q_3 の大きな誤差を生む。

又ほかに、油の温度、音速、管路半径、粘度などの測定誤差も結果に誤差を与える。

4. 結論

慣性差圧変動流量測定法の測定誤差を生じる原因について検討した。変動流量測定誤差を決定する要因としては

- ・ 圧力測定誤差。
- ・ 周波数誤差

が考えられる。又同じ誤差でも結果に及ぼす影響が周波数によって異なることが理論式により説明される。

参考文献

- (1) 鷲尾・他 3 名, 機論(B 編)48-428, (1982) 673
- (2) 鷲尾・他 2 名, 機論(B 編)39-1, (1996) 51
- (3) 鷲尾・他 3 名, 機論(B 編)118, (1996) 743

Fig.5 CMR errors

Fig.6 Vectorial relationship