

非定常流れにおけるスプール弁の流量係数 (第1報)

上野 五郎*

Coefficient of Discharge of Unsteady-State Spool Valve (Ist Report)

Gorō UENO

Abstract

When the opening of the spool valve was given a small oscillation under constant pressure drop, the coefficient of discharge became larger as compared with steady state.

This tendency was promoted by increase of pressure drop across the metering orifice, frequency or amplitude, and was prevented by increase of Reynolds number or mean opening.

The writer presumed that this tendency might be due to acceleration of fluid in valve chamber.

1. 緒言

スプール弁はパイロット弁、方向制御弁、流量制御弁等油圧回路用の多くの弁に採用されている最も基本的な弁形状の一つである。スプール弁のメータリング・オリフィスを通過する定常流れについては従来多くの研究がなされているが、弁は本来開度を変えて使用するものであり、その過渡的非定常流れの場合の流量係数は定常流れの際と等しいとみなして計算されるのが普通である。しかしもし定常、非定常で流量係数に差があるとすれば精密な計算を必要とするときにはその差を明らかにしておかねばならない。

本実験ではメータリング・オリフィス前後の圧力差を一定に保ち、開度に正弦波状振動を与えることによつて生じた非定常流れの流量係数が、定常流れの場合と差があるという結果を得、またその原因について若干の推定をしたのでここに報告する。

2. 装置および実験方法

Fig. 1 に実験回路を示す。PFはギヤ・ポンプである。その吐出し圧はレリーフ弁で制御される。方向制御弁を働かせれば圧油は実験用スプール弁を通過した後タンクに戻るかまたは流量計を経てタンクに戻される。流量測定はタンク法で小タンクに溜った油が一定重量ほど増加するに必要な時間を測定することによつた。

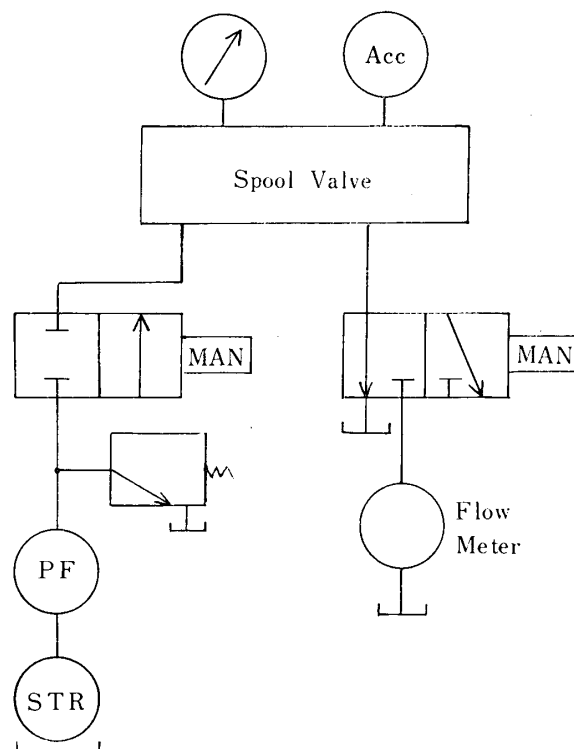


Fig. 1 Circuit diagram

Fig. 2 に実験用スプール弁を示す。スプールは2個のランド部を有し、右側のランドには半月形切欠きがあつて弁体との間にメータリング・オリフィスを形成する。

弁システムの右端Aはばねによつて片持梁の支持端近

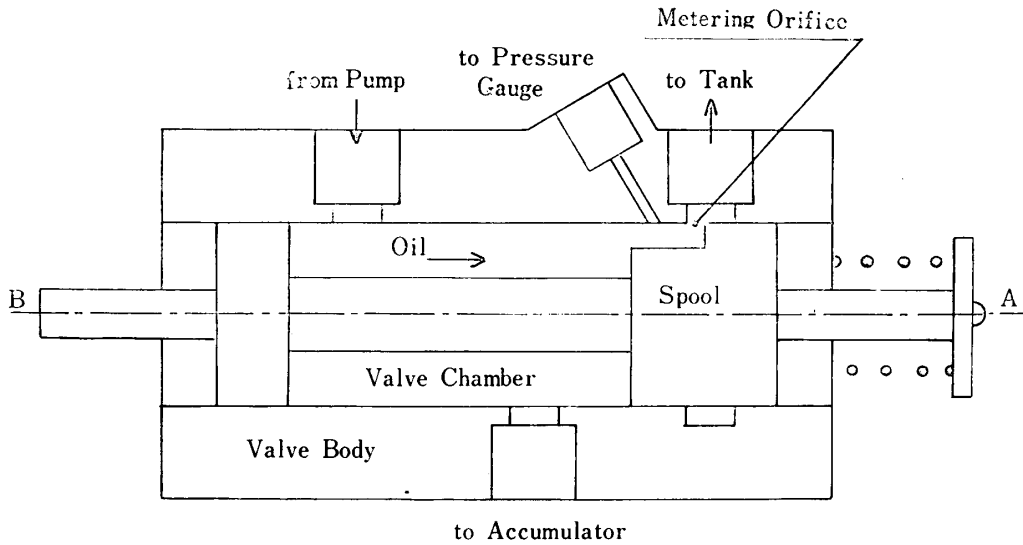


Fig. 2 Spool valve.

くに押し付けられており、片持梁の自由端にmm程度の振巾の正弦波状変位を与えれば、数 μ ないし20 μ の振巾の正弦波状変位が弁システムに伝えられ、メータリング・オリフィス開度にも同じ変動が生ずることになる。弁システムの変位は、システム左端Bに取付けられたダイヤルゲージおよび抵抗線歪計式変位計によって、直読しあるいは記録した。

ポンプ・ポートから弁室内に入った油はメータリング・オリフィスを通してタンク・ポートから出て行く、メータリング・オリフィスの開度変化によつて生ずる弁室内力圧力変動はアキュムレータに吸収されメータリング・オリフィス直前の圧力は一定に保たれる。圧力はブルドン管圧力計によつて読み取ると共に、抵抗線歪計式圧力計を通じて記録し、アキュムレータが正常に作用しているか否かを監視した。

油の温度はメータリング・オリフィス通過直後にサーミスタ温度計で測定した。油温調節装置は特別に付けなかつたが、予備運転によつて油温がほぼ一定に保

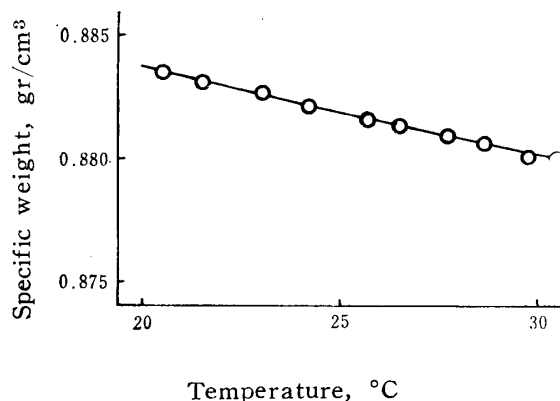


Fig. 3 Oil specific weight.

るのを待つて測定を開始しており、温度範囲は25~30°Cであつたが止むを得ず25°C以下になつたことも一二ある。

使用した潤滑油の性質は Fig. 3 および Fig. 4 に示しておいた。

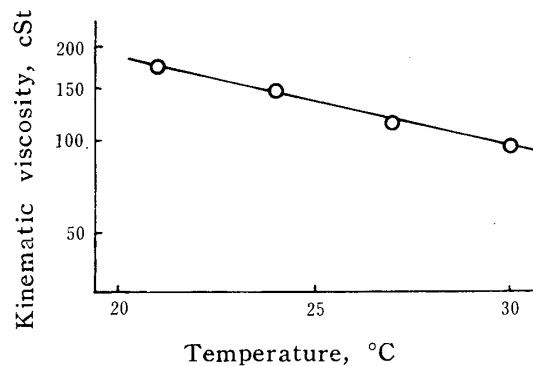


Fig. 4 Oil kinematic viscosity.

3. 実験結果と考察

3.1 Re数と流量係数(定常流れ)

Fig. 5 に流量係数の測定例を定常流れと非定常流れの二つの場合について示したが、まず前者について考察する。

実験した Re の範囲では流量係数 C は Re の増加とともに大となり、0.6 よりやや大きいある値に近づくように見える。またメータリング・オリフィス前後の圧力差 Δp が異なつても同一曲線上にあると見なされる。

既発表の実験例によれば Re の増加に伴い C は増大してピークを生じ再びゆるやかに単純増大して一定値に近づく、このときピークの位置や大きさはパラメータ

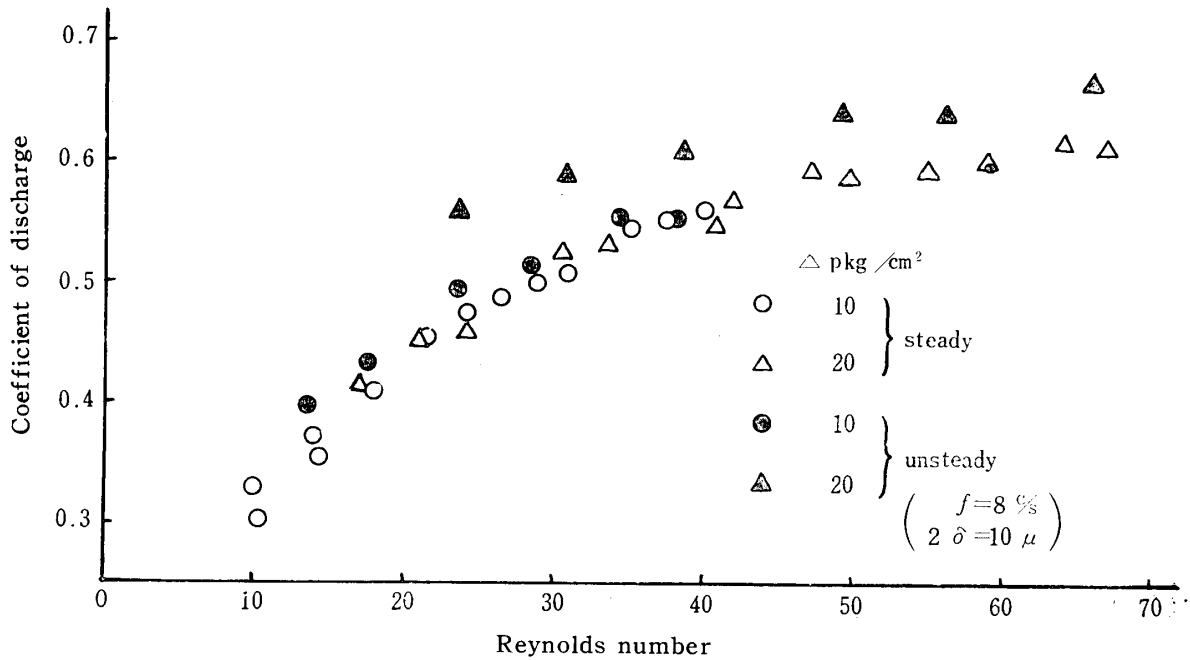


Fig. 5 Coefficient of discharge vs. Reynolds number.

Δp によつて異なるものとされている¹⁾²⁾。一方それらの実験例は発表者による測定値の差が大きく、 Re 、 Δp 以外に形状等の因子が関係していると推定されている。本実験では C のピーク部分を避けた Re 範囲となつたものと思われる。

3.2 Re 数と流量係数 (非定常流れ)

非定常流れとしては、スプールを平均弁開度 \bar{x} 、振幅 2δ 、振動数 f で軸方向に振動させた時メータリング・オリフィスを通過する流れを考え、定常流れの開度、流量のかわりに平均開度、平均流量を用いて Re および流量係数 C' を計算する。なおアキュムレータの作用により圧力差 Δp の変動はない。

Fig. 5 の例のごとく同一 Re に対し $C' > C$ であり、その差は Δp 大なるほど、また Re 小なるほど大きい。

流量係数は速度係数と収縮係数の積であるが、定常流れと非定常流れで速度係数にはほとんど差はないと思われるので、 $C' > C$ の原因は縮流のあり方の差であろう。

R. v. Misesによれば、Fig. 6 のような絞りを出た流れは $\theta = 69^\circ$ の噴流となる³⁾。メータリング・オリフィスはこのような絞りと同等とみてよい。同図でスプールを左右に振動させた時、 x の変化により噴流の不連続面 AA' がスプールとともに移動し、あるいは θ が変化する (軸方向クリアランスの存在のため、 x の変化に伴ない θ が変化する³⁾⁴⁾ ことを含む) ための影響は dx/dt が正の時と負の時とで相殺され、平均的流量係数 C' に効果を及ぼさないであろう。

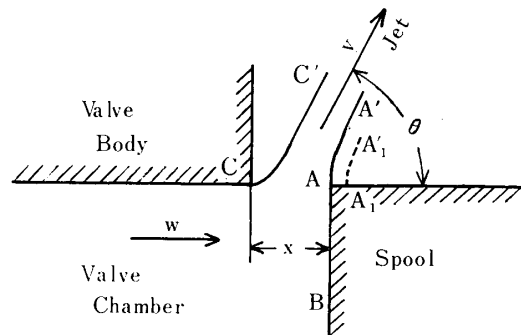


Fig. 6 Metering orifice.

そこでスプールの振動により弁室内の油の流速が変化するための影響を考えてみる。

$$w = \frac{Clx \sqrt{2g\Delta p/\gamma}}{A} + \frac{dx}{dt} \tag{1}$$

$$x = \bar{x} + \delta \sin 2\pi ft$$

ここで、 w : 弁室内の油の軸方向速度

l : メータリング・オリフィスの周長

γ : 油の比重量

A : 弁室の断面積

(1)の右辺第1項は流量にもとづく速度であり、第2項はスプールとともに移動する速度である。本実験では第2項の影響は第1項に比し極めて小さい。

C を一定とみなし加速度を求めれば、

$$\frac{dw}{dt} = \frac{Cl\sqrt{2g\Delta p/\gamma}}{A} \cdot 2\pi f\delta \cos 2\pi ft - (2\pi f)^2 \delta \sin 2\pi ft \tag{2}$$

本装置では $A = 50\text{mm}^2$ 、 $l = 21\text{mm}$ であり、また

$C=0.6, \Delta p=20\text{kg/cm}^2, \gamma=0.88\text{gr/cm}^3,$
 $f=8\text{c/s}, 2\delta=10\mu, \bar{x}=60\mu$ とすれば,

$$\frac{dw}{dt}=4.2 \cos(16\pi t)-0.0125 \sin(16\pi t) \text{ m/s}^2$$

$$\left| \frac{dw}{dt} \right|_{\max}=4.2\text{m/s}^2$$

となり, その時の他の数値を参考までに求めれば,

$$\frac{dx}{dt}=0.00025 \cos(16\pi t) \text{ m/s}$$

$$w=1.01+0.08 \sin(16\pi t) \text{ m/s}$$

$$v=67\text{m/s}$$

ここで v : 縮流部の流速

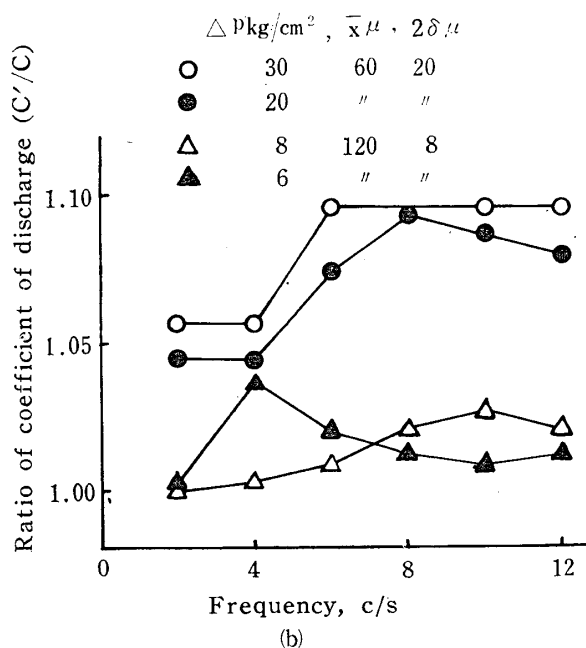
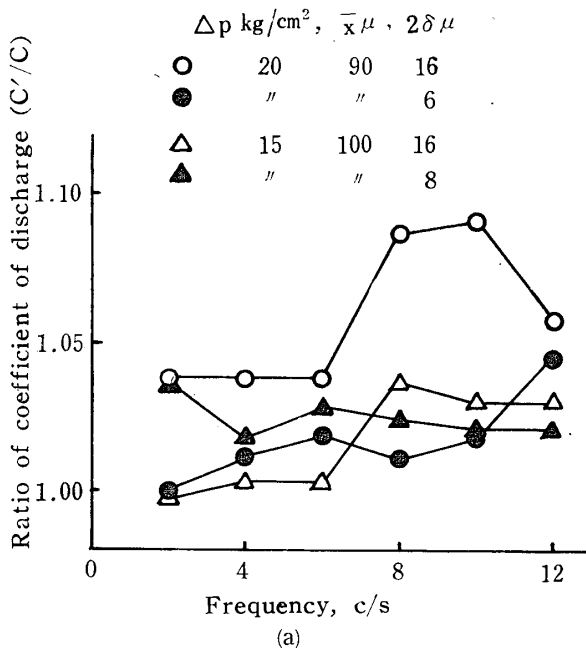


Fig. 7 Increase of coefficient of discharge at unsteady state

弁室内の油は最大 4.2m/s^2 という加速度を持っているので, $dx/dt < 0$ の時には油の慣性のため流れは Fig. 6の頂点Aを廻りこもうとして, Aの近くの壁面にいわゆる“ぬれ”の現象を生じ, 噴流の不連続面がAA'からA₁A'₁へ移動して流量係数を増大せしめる可能性がある. 一方 $dx/dt > 0$ の時はAB面に剝離を起しやすくなるが, それによる流量係数の減少は実験条件によつては“ぬれ”による流量係数の増大よりも小さい程度となろう. また弁室内の油の加速度の方向は軸方向であるからC点ではA点のような現象は生じない. これ以外にも原因はあるが, 少なくとも“ぬれ”が生ずれば $C' > C$ の一因となり得る. これらの推論はその可能性の提示にとどまるが, 噴流を直接写真観察するか, または流量の時間的変動を測定することによつて実験的に確かめる必要がある. またこれ以外の原因の解明も今後の課題である.

Fig. 5において Δp が大きい程 $C' > C$ の傾向が強く出ているのは式(2)の加速度が $\sqrt{\Delta p}$ にほぼ比例することから説明できる.

Re が大きい程 C' とCの差が小となることは“ぬれ”の大きさが \bar{x} に無関係であるとしても, \bar{x} が大となれば, \bar{x} に対する割合は小さくなり, かつ \bar{x} が大きいことは Re が大きいことを意味するからこれらによつて説明することができる. なお \bar{v} をオリフィス部の平均流速とすれば $Re = 2\bar{v}\bar{x}/\nu (= 2Q/lv)$ である.

3.3 スプールの振動数, 振巾と流量係数比

Fig 7にスプール振動数 f と非定常, 定常の流量係数比 C'/C の関係の数例を種々のパラメータの変化とともに掲げた. ここでスプール振動波形をオシログラフで解析した結果によれば, $x = \bar{x} + \delta \sin 2\pi ft$ に近い波形であり, Fig. 5のCを用いれば

$$\int_t^{t+\frac{1}{f}} C(x) l x \sqrt{2g\Delta p/\gamma} dt \div C(\bar{x}) l \bar{x} \sqrt{2g\Delta p/\gamma} / f$$

としてよいから, 流量係数比において非定常流れの $C'(\bar{x})$ に対応する定常流れのCとしては $C(\bar{x})$ をとった.

f が増加すれば C'/C は増大する傾向がある. 平均開度 \bar{x} が小さくなり, または振巾 2δ , 圧力差 Δp が大きくなればその傾向は助長される. 逆に \bar{x} が大きくなるか, 2δ か Δp が小さくなる時はその傾向はほとんど認められなくなる.

また $\bar{x}, f, \Delta p$ をそれぞれ一定に保った時, 振巾 2δ の増加は C'/C を増大せしめるが, これも \bar{x} が大きいかがまたは Δp が小さい時は必ずしもそうでなくなる.

これらの現象はいずれも $\Delta p, \delta, f$ の相乗作用の存

在を示しており、式(2)の加速度に起因する“ぬれ”の影響および \bar{x} の影響により3・2と同様に説明できる。しかし単純な $\sqrt{\Delta p} \cdot f \cdot \delta$ という積の形の量の効果でないことも図より明らかであるから、3・2に述べた以外の因子が働いていることが推察される。

3・4 その他の問題

Re, Δp , δ , f 等の実験範囲を今後もつと大きいところまで広げることによりくわしい解析が可能となろう。

x にステップ変動を与える実験および開口面積固定のオリフィスに圧力差 Δp の変動を与える実験を行なえば、本実験と共通の問題点が多いので、今後の課題としたい。

4. 結 語

スプール弁の開度に正弦波状変動を与えて非定常流れを起し、その流量係数を定常流れの場合と比較すれば、実験条件範囲内において次の現象が要約できる。

- (1) 非定常流れの流量係数 C' は定常流れの流量係数 C よりも大である。
- (2) Re, \bar{x} が大となることは $C' > C$ の傾向を抑制す

る。

- (3) Δp , f , 2δ が大となることは $C' > C$ の傾向を助長する。

(2)の理由は開度が大になれば変動の影響が相対的に小さくなるからである。また(3)は弁室内の油の加速度に起因するオリフィス縁のぬれを仮定することによりある程度説明できる。

実験条件の範囲を広げ、または他の方法によつて非定常流れを起させて実験することが今後の課題として残される。

最後に本研究を開始するに際し貴重な示唆と指導を賜わった東京大学生産技術研究所石原智男教授、助言を頂いた本学部上岡豊教授、工業高等専門学校川上靖講師に深く感謝する。

参 考 文 献

1) J. F. Blackburn, G. Reethof and J. L. Shearer :
"Fluid Power Control", John Wiley & Sons, N. Y.
(1960) p182

2) 板谷 樹 : 日本機械学会誌, **66**, 1382, (1963)

3) R. v. Mises : Z-VDI, **61**, 495, (1917)

4) J. F. Blackburn and others : op. cit., p301

(昭和41年6月15日受理)