

消防用ポンプ流量測定装置の開発について

大 内 茂**
 小 林 芳二郎*
 沼 田 勇 治*
 堀 井 幸 一*

1. 流量測定装置の必要性および型式

1. 必要性

現在、消防ポンプ車の送水運用は、送水基準板にしたがいポンプ圧力によって運用している。この運用方法は、以前消防用ホースに漏水性のある麻ホースを使用していた当時にはじまるもので、送水途中における漏水があったこと、さらにはホースの性能が悪く破断する危険が多かったことなどから流量計を利用することができず、やむを得ず、ポンプと筒先間におけるホースの摩擦損失、漏水量、背圧、落差等を要素として必要送水量を複雑な方法によりポンプ圧力に換算し、ポンプ圧力によって運用しているものである。しかし、消防用ホースの性能が向上し、送水途中における漏水や破断が皆無に等しくなっており、また大型放水器具、超高層ビル等の出現により、連合集水運転など複雑な送水運用がしいられる今日でも、依然として送水基準板による送水運用が行われているところに問題があるように思われる。

送水基準板による送水運用は、筒先において必要な水量をポンプ圧力に換算して運用する方法であるが、これを今日の複雑な送水運用に比較して検討すると次のような欠陥が考えられる。

- (1) 送水基準板による運用は、換算による運用であるから誤差が多く、筒先における必要水量にみたなかったり、あるいは多過ぎて放水反動力による筒先隊員の事故につながる場合もある。
- (2) 泡ノズル、高発泡機器等は適正な水量を要求されるにもかかわらず圧力のみにより送水することは、送水量に誤差を生じ発泡機器等の適正な能力を発揮することができない。
- (3) 大型放水器具、超高層ビル等の出現により連合集水運転をする機会が多くなりつつあるが、一方のポンプ車が適正な送水を欠いたり、極端な場合は、ポンプ

圧力だけは高くなっているがまったく送水していないという場合もあり、またその状態を確認することさえ不可能である。

(4) 消防用ホースの性能が向上し、送水途中における漏水等が皆無に等しくなっている今日、筒先に必要な水量をポンプ圧力に換算して送水することは不合理である。

以上のような理由により、数年前からポンプ車用流量計の開発がさげられるようになり、当研究室ではこれらの要求に応ずるため、昭和38年に電圧発生方式の流量計(消防科学研究所報第1号掲載)を開発したが、一部に採用されている程度で現在に至っている。

2. 開発すべき流量計の型式

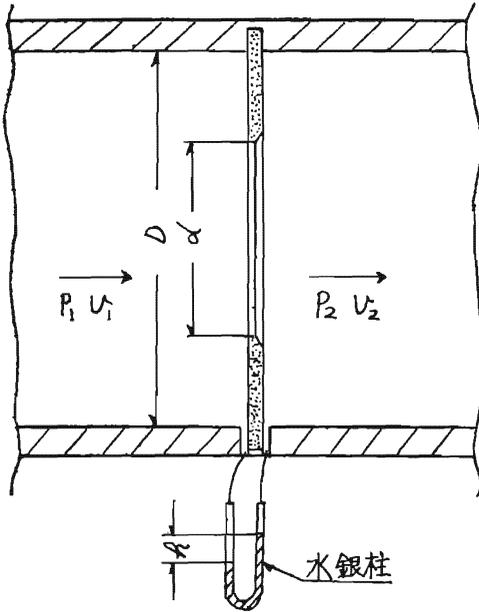
昭和38年に開発した流量計が一般にあまり普及していない理由はもろもろのことが考えられるが、最も大きな理由の一つに製作コストの問題があげられるようである。このたび開発した流量計は、これらのことを考慮し、本体をオリフィス式とし、オリフィス前後の差圧を送水量に置換し、これを水銀柱差圧で読む方式とした。その理由は次のとおりである。

- (1) 他の形式に比較し製作コストが最も安価であること。
- (2) 故障の原因が少ないこと。
- (3) 永久的に使用できること。
- (4) 送水量を読むのに水銀柱直読方式を採用したが、もっと便利な方法がないわけではない。例えば、オリフィス前後の差圧をブルドン管式差圧計に誘導する方法、あるいは水銀柱による差圧を電氣的に表示する方法など、種々の方法が考えられる。しかし、いずれも製作コストを高価なものとし、また故障の原因を多くするものでもある。したがって最も原始的な方法であるが、故障原因が少なく、安価でもあり、しかも送水量を確実に読めるよう水銀柱直読方式としたものである。

2. オリフィスによる送水量測定の理論的分析

1. 流量公式

第1図



第1図において、差圧 h を送水量 Q に変換すると次のとおりである。

$$Q = 60\alpha A \sqrt{2g(13.55 - \rho')h/\rho} \dots\dots\dots(1)$$

Q : 送水量 (ml/min)

α : 流量係数

$$\alpha = 0.597 - 0.011\beta + 0.432\beta^2 \dots\dots\dots(2)$$

$$\beta = (d/D)^2$$

ただし β は 0.05 ~ 0.7 の範囲

A : オリフィス断面積 $\pi d^2/4$ (m²)

h : 水銀柱差圧の読み (m)

ρ : 測定管路内の水の比重

ρ' : 液柱計内の水の比重

ただし、この算式(1式)は、Reynolds Number が第2図に示す限界値より大きい場合に限り適用できるものである。Reynolds Number R_D は次式で求められる。

$$R_D = \frac{v_1 D}{r} \times 10^4 \dots\dots\dots(3)$$

v_1 : 管路内の水の平均流速 (m/s)

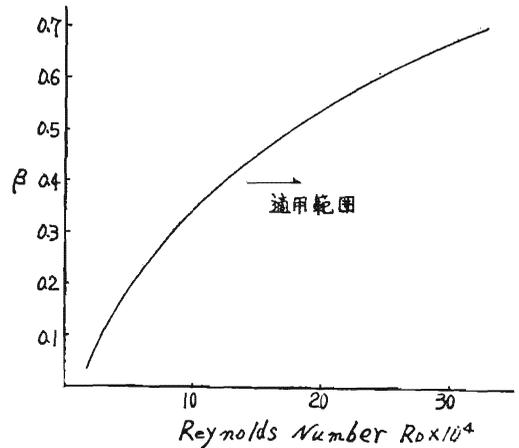
D : 管路内径 (m)

r : 水の動粘性係数 (cm²/S)

2. オリフィスの取付位置と必要口径

(1) オリフィスの取付位置. オリフィスをポンプの吸水側、吐出側のいずれに取付けるかという問題である

第2図 β と Reynolds Number 限界値との関係



が、まず吸水側に取付けた場合を考えると、水源が消火栓のごとく有圧水の場合はあまり影響ないものと思われるが、貯水槽のごとく自然水利のような場合は、ポンプ吸水側を負圧にして吸い上げる状態になるので、オリフィスを取付けたことによって生ずる損失圧力が、たとえわずかであっても吸水量に大きく影響し、ポンプの吸水能力を大きく低下させる原因となり不適である。その点、吐出側では常に加圧水が送水される状態であるから、オリフィスによる損失圧力は、ポンプ圧力に比較して無視できる程度のものであり、ポンプの性能を低下させるというまでには至らないと思われる。したがってオリフィスは吐出側に取付けるべきである。

(2) オリフィスの口径. 同一送水量の場合、オリフィスのシボリ比 β (第1図における $(d/D)^2$) の値が小さくなるにしたがい差圧が大きくなる。したがって送水量の誤差を少なくするためには、シボリ比 β の値をできるだけ小さくすべきであるが、反面シボリ比 β を小さくすることによって、損失圧力が大きくなると同時に水銀柱用U字管が長くなるという欠陥もある。したがってポンプ車吐出側に取付けるオリフィスのシボリ比 β にもおのずと限界があるはずである。

ポンプ車吐出口の内径が68mmであることから、そこに取付けるオリフィス口径を第2図に示す Reynolds Number 限界値から検討すると次のとおりである。

(1)式で示したとおり、シボリ比 β の値を 0.7 以下にする必要から、あらかじめオリフィスの口径 55mm, 50mm, 45mm の 3 種を選定し検討する。まず、各オリフィスの流量係数とシボリ比 β の関係を(2)式から求めると第1表のとおりである。また、第1図において管路の内径 D を 68mm とし、送水量 Q と Reynolds Number R_D との関係(3)式により求めると第2表のとおりで

ある。ただし送水すべき水温 0°C 、 10°C 、 20°C における各動粘性係数をそれぞれ、 1.79×10^{-2} 、 1.3×10^{-2} 、 $1.0 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{sec}$ とした場合である。

第1表

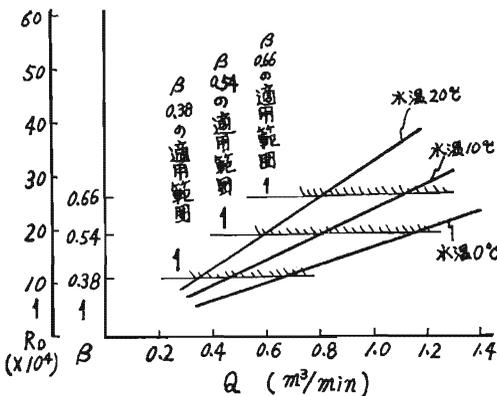
オリフィス口径	β	α
55mm	$\beta_1 = (55/68)^2 = 0.66$	0.778
50mm	$\beta_2 = (50/68)^2 = 0.54$	0.664
45mm	$\beta_3 = (45/68)^2 = 0.38$	0.617

第2表

水温 $^{\circ}\text{C}$	$Q \text{ m}^3/\text{min}$	R_D
0	1.0	17.5×10^4
	0.6	10.5×10^4
	0.3	5.2×10^4
10	1.0	24.0×10^4
	0.6	14.5×10^4
	0.3	7.2×10^4
20	1.0	31.3×10^4
	0.6	18.8×10^4
	0.3	9.3×10^4

第2図と第1表、第2表を合成し、各シボリ比における流量測定下限界を求めると第3図のとおりである。

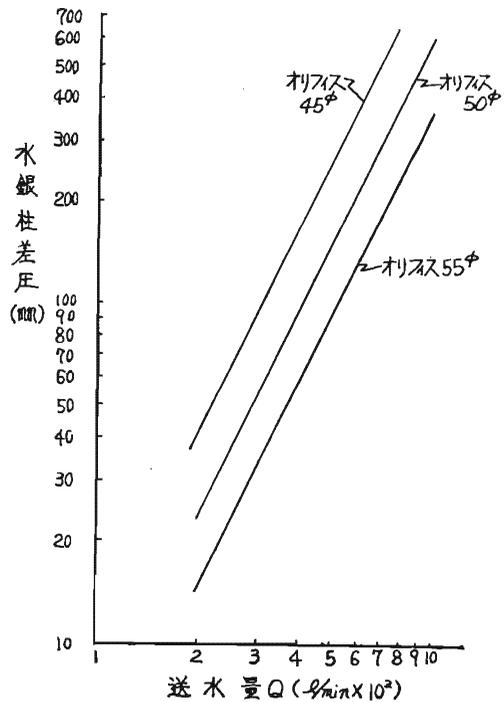
第3図 β と流量測定下限界との関係



第3図は、シボリ比 β と流量測定可能な下限界を示したもので、正確に送水量を測定するには、水温 20°C に例をとると、 $\beta = 0.66$ (オリフィス口径55mm) では $800 \text{ l}/\text{min}$ 以上、 $\beta = 0.54$ (オリフィス口径50mm) で

は $580 \text{ l}/\text{min}$ 以上、 $\beta = 0.38$ (オリフィス口径45mm) では $320 \text{ l}/\text{min}$ 以上でなければならないことを意味するものであるが、それ以下の送水量は測定不能かというとはそうではなく、ただ誤差が生じてくるということになる。したがって少ない送水量まで正確に測定するためには、シボリ比 β の値が小さい程よいことになる。さらに第3図からわかることは、流量測定の下限界が水温によっても大きな影響があるということである。また、第1図において管路の内径 D を 68 mm とし各オリフィス口径 d に対する送水量と水銀柱 h の関係を(1)式から求めると第4図のとおりである。

第4図 送水量と水銀柱差圧との関係



第4図において $1,000 \text{ l}/\text{min}$ まで測定可能とするためには、水銀柱用U字管の有効長さが 55 mm φオリフィスの場合 350 mm 、 50 mm φの場合 600 mm 、 45 mm φの場合 $1,000 \text{ mm}$ ということになる。

一般に消防ポンプ車が火災現場における吐出口1口当りの送水量は $400 \sim 1,000 \text{ l}/\text{min}$ 程度であるが、この範囲を正確に測定するためには、第3図からシボリ比 β を 0.38 以下、すなわちオリフィス口径 45 mm 以下とすべきであるが、この場合の水銀柱の有効長さが、第4図から $1,000 \text{ mm}$ 程度ということになり、ポンプ車にU字管を取付けることを考えるとあまりにも長すぎて実用性に欠ける。

オリフィスの口径を決定するには、以上記述したと

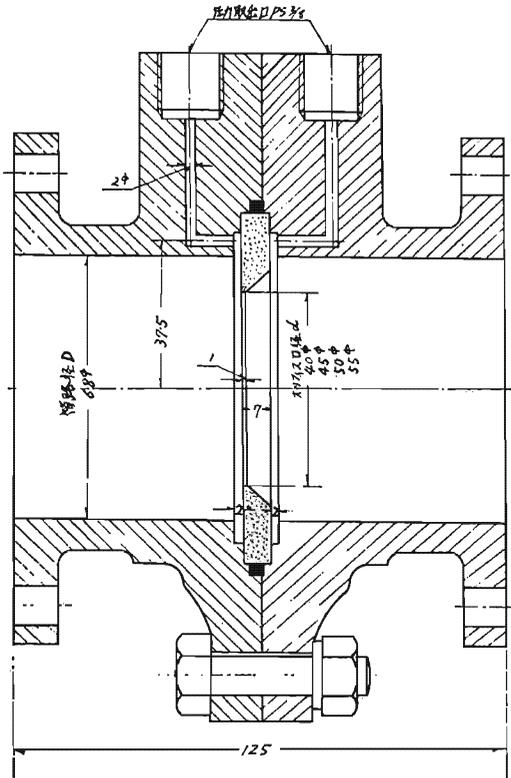
おりU字管の有効長さ、測定範囲および精密密度、送水時の水温などにより左右されるため、測定方法の理論的立場のみで口径を決定することは困難であり、実験値とともに検討する必要がある。

3. 装置の構造および実験要領

1. オリフィス部の構造

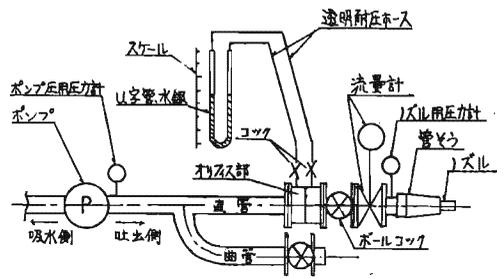
実験装置用として試作したオリフィス部の構造は、第5図のとおりである。

第5図 オリフィス部構造



この装置は、ポンプ吐出側のコック部分にフランジにより取付けるものであり、管路はオリフィスを取りはずせるようオリフィス分節で分離できる構造とした。管路の内径は、ポンプ吐出管の内径が68mmであることからこれと同じとし、オリフィスは、口径40mm、45mm、50mm、55mmの4種を試作した。オリフィスや圧力取出口等の寸度および仕上度等は、ほぼJISに従って製作したものである。なお、JISにもとずくと、オリフィスによる流量測定法では、オリフィス前後に整流用として相当長さの直管を取付けることになっているが、消防ポンプ車用の流量計を開発するという目的からして、整流用直管を取付けることは構造的な面から実用性を失うことになるのでこれを割愛し

第6図 実験装置



た。

2. 実験装置

実験の目的は、オリフィスの適正な口径を決定することおよび実験値と理論値との差を確認するために行うものであり、実験装置は、消防ポンプ車の吐出側に第6図のとおり設置した。すなわち、ポンプと吐出側ボールコックとの間にオリフィス本体（第5図に示すもの）を取付け、その先端に流量計（プロペラ型電圧式流量計）、管そうを介してノズルチップを取付ける。圧力計の取付位置は、ポンプ吐出口およびノズル基部の2ヶ所とし、また水銀柱用U字管は、オリフィス本体からコック、透明耐圧ホース（清水を充水したもの）を介してオリフィス前後の差圧を測定できるようにした。

実験要領は、ポンプにより加圧送水し一種のオリフィスに対し、各送水量におけるポンプ圧力、ノズル圧力、水銀柱差圧、水銀柱の振れ程度、エンジン回転数を測定した。オリフィスの種類は、口径40mm、45mm、50mm、55mmの4種とし、またノズルは、一種のオリフィスに対し各種口径のものを使用した。その理由は、送水量同一にしてノズル口径を変えた場合、水銀柱差圧に誤差を生ずかどうかをみるためである。なお、第6図において、直管と曲管による水銀柱差圧の誤差等を知る必要から曲管においても同様な実験を実施した。

4. 実験の結果および考察

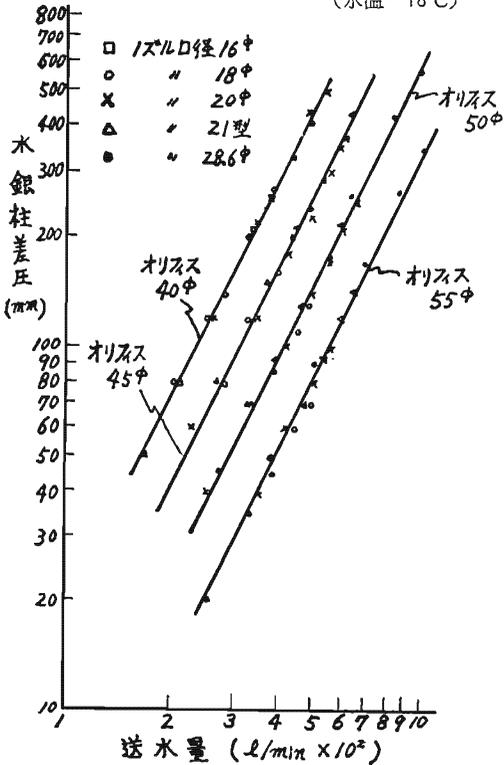
1. 送水量と水銀柱差圧の関係

ポンプ配管の直管および曲管による送水量と水銀柱差圧との関係は、それぞれ第7、第8図のとおりである。

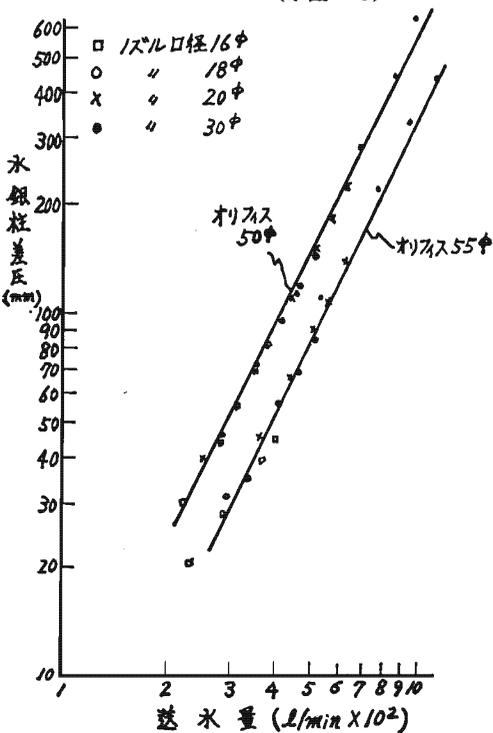
第7図によると、オリフィス口径が大きくなるにしたがい実験値にばらつきを感じられるが、これは前節でも記述したとおり、オリフィス口径が大きくなるにしたがい精密度を欠くものであるから、しごく当然のことである。

直管と曲管との実験値（第7図と第8図）を比較す

第7図 直管による水銀柱差圧と送水量の関係
(水温 18°C)



第8図 曲管による水銀差圧と送水量との関係
(水温 7°C)



ると、オリフィス口径50mm、55mmともまったく同一線上にあり、実験値にほとんど差異がないので、曲管、直管を問わず使用可能であることがわかる。また第7、第8図の実験値を第4図の理論線図と比較すると、これもまたほぼ同一線上にあり、理論値にほぼ合致するものである。

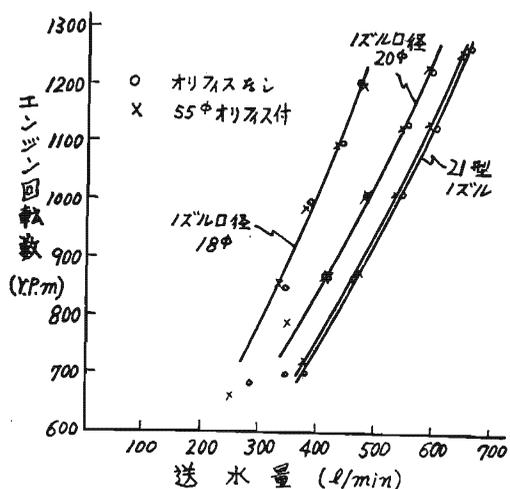
送水量の測定下限界は、水温による影響も大きいことを第3図をもとに記述したが、これは、あくまでも送水量を測定する方法としての限界値であり、流量計として使用する場合必ずしもこれを適用しなければならないというものではない。ちなみに実験値を比較すると、第7図の実験値は水温18°C、第8図の実験値は水温7°Cでそれぞれ実験を実施して得た値であるが、その実験値に差異はなく、流量計として使用するには、多少の誤差はあるとしても水温による影響は抹殺できるものと思われる。以上のような理由から水温による影響は無視できるとしても、水銀柱直読型のオリフィス式流量計を消防ポンプ車用として実用化する場合のオリフィス口径は、計測値の精密度と水銀柱用U字管の長さによって左右されるものである。すなわち、精密度を要求するならばオリフィス口径を小さくすべきであり、また多少誤差はあってもU字管の長さを短くすべきであるというならば口径は大きくなる。消防ポンプ車用の流量計として考えると、U字管の長さは取付場所および位置などから当然限界があり、短かいほどよいことにもなる。したがって多少の誤差はあったとしてもオリフィスの口径は55mm程度とすべきであろう。口径を55mmにした場合送水量の測定上限界を1,000 l/min とすれば、U字管の有効長さは、第7、第8図から明らかのように350mm程度でよいが、測定下限界はほぼ200 l/min 程度までとなる。

2. オリフィスによる損失圧力について

オリフィス口径55mmのものを取付けた場合の送水量と損失の関係は第9図のとおりである。第9図に示すエンジン回転数は、本来第6図で示すところのポンプ圧力とノズル圧力から算出した損失圧力をもって表示すべきところであったが、損失圧力がきわめて少なく、ブルドン管式圧力計により求めることは判読に等しく、したがって測定誤差も大きいので、やむを得ず誤差が少なく測定できるエンジン回転数をもって表わしたものである。

オリフィスを取り付けることによって生ずる損失圧力は、第9図からも明らかなおりほとんどなく測定誤差の範中にあると考えてもよいくらいである。したがって口径55mmのオリフィスを取付けることによりポンプ性能に影響を与えるというほどのものではない。

第9図 オリフィスによる損失曲線

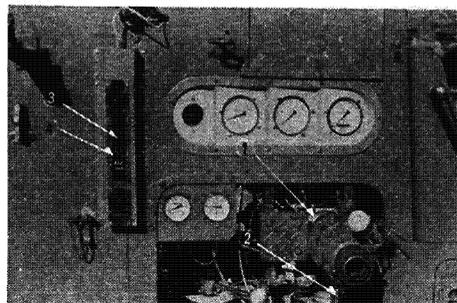


5. おわりに

このたび試作した流量計は、第5図に示すオリフィスの口径を55mmとし、当研究所所有の実験用消防ポンプ車に取付け（取付状況は写真1のとおり）試験的に運用している段階であるが、その結果もきわめてよく実用化の域に達するのも間近と考えられる。ただ実用化されるにさきだち、現段階で考えられる問題点をあげると次のとおりである。

- (1) 気温の変化にともなう水銀体積の変化により計測値に多少の誤差を生ずることが考えられる。
- (2) 寒冷地帯においては、オリフィス本体とU字管を

写真1 流量計の取付状況



- | | |
|------------|-----------|
| ① オリフィス部本体 | ③ 水銀柱用U字管 |
| ② 差圧取出口 | ④ 計測用目盛板 |

結ぶ2本のパイプライン中に含まれている水の凍結防止策を講ずるか、あるいはエアチャンバーを設け水圧を空気圧に置換する必要がある。

- (3) 消防ポンプ車を傾斜地に停車させて運用する場合は、計測値に多少の誤差を生じることが考えられる。

これら細部における諸問題は、今後の研究課題でもあり、また解決していかなければならない問題でもあるが、いずれにせよ、安価で操作が簡単であり、しかも故障原因の少ないオリフィス式の流量計が消防ポンプ車用として実用可能であることは、試作および実験の結果から明らかになったものと思うものである。

参考文献 (文責沼田勇治)

- 日本工業規格 J I S B 8302
- 機械工学便覧 日本機械学会編集
- 水力学, 水力機械, 草間秀俊著