

家庭用ジェットポンプ

Deep Well Centrifugal-Jet Pumps for Domestic Water Supply

大 津 卓 郎* 吉 村 修 一*
Takurō Ōtsu Shūichi Yoshimura

内 容 梗 概

ジェットポンプとうず巻ポンプなどを組み合わせて深井戸用としたいいわゆる家庭用ジェットポンプは、従来の往復動ポンプに比べ種々の特長を有することから数多く使用されるようになった。しかしその組み合わせ揚水性能については効率の向上をはじめ設計上、使用上検討すべき点が多々あるので、日立家庭用ジェットポンプについて実験し、種々の使用条件における組み合わせ性能について検討した。

1. 緒 言

家庭用電気井戸ポンプの普及はここ数年来めざましいものがあり、都市郊外、農村などの家庭電化に大きな役割を果たしている。日立製作所は電気井戸ポンプの製作を開始してからすでに40年の歴史を有し、浅井戸用にはうず流れ形ポンプ、深井戸用には往復動ポンプを生産して多年好評を博してきたが、数年前よりジェットポンプとうず巻ポンプとを組み合わせた深井戸用ポンプ(以下ジェット-うず巻組み合わせポンプという)の製作を開始した。一般にこの種のポンプを家庭用では深井戸用ジェットポンプと呼んでいる。

ジェット-うず巻組み合わせポンプはわが国においても以前より特殊用途としては使用されていたが、ジェットポンプは元来効率が低く、これに小容量、高揚程のうず巻ポンプを組み合わせて深井戸用ジェットポンプとした場合は、さらに効率は低下するので家庭用としては最近までは実用化されなかったものである。しかし従来の往復動ポンプに比べて種々の特長を有し、かつ米国においては第二次世界大戦後家庭用ジェットポンプ(主として電動機出力0.4~3.7kWのもの)の実用化が急速に進んだことから、わが国においても現在電動機出力125~250Wのきわめて小容量のジェット-うず巻組み合わせポンプあるいはジェット-うず流れ形組み合わせポンプが製作され、往復動ポンプにとって代り深井戸用ポンプの大部分を占めるにいたっている。したがってこれが製作、使用にあたっては効率の向上が大きな課題となっている。

ジェットポンプ単独の性能については、すでに寺田⁽¹⁾、市川⁽²⁾、植田⁽³⁾の諸氏の研究があって、効率向上の方策もほぼ明らかにされており、またジェット-うず巻組み合わせポンプの性能はA.J. Stepanoffの“Centrifugal and Axial Flow Pumps”⁽⁴⁾に論じられているが、組み合わせポンプの性能向上にあたっては実際の使用状態において十分検討し設計上、使用上留意すべき点を明らかにする必要がある。

本報告は日立家庭用ジェットポンプについて種々の使用条件について実験、検討したものである。

2. ジェット-うず巻組み合わせポンプの概要

第1図はジェットポンプ装置の概略図で、ノズルの出口を基準面にとって考え、ノズルにより H_a なる水頭で流量 Q_a なる圧力水を高速度で噴射させるとその周囲は低圧となり、吸込水面より水頭 H_b の下で流量 Q_b なる水が吸上げられ、両者はベンチュリのごと部において混合して共通の速度になり、さらに広がり部において減速増圧して H_d なる吐出水

頭を得るものである。

$$M = \frac{Q_b}{Q_a} \dots \dots \dots (1)$$

$$N = \frac{H_d - H_b}{H_a - H_d} \dots \dots \dots (2)$$

$$R = \frac{A_d}{A_D} \dots \dots \dots (3)$$

ただし A_d : ノズル出口面積

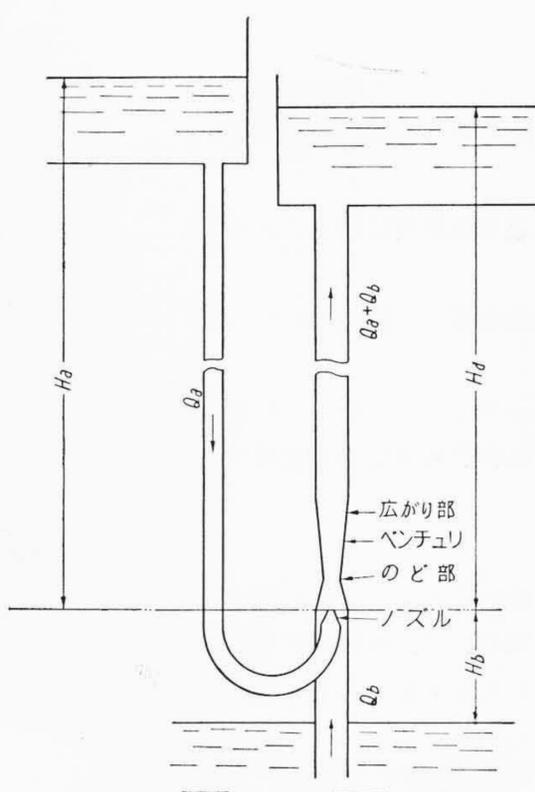
A_D : ベンチュリのごと部面積

とすると、ジェットポンプの特性は $M-N$ 曲線で表わされ、 R の値によってその傾斜を異にする。

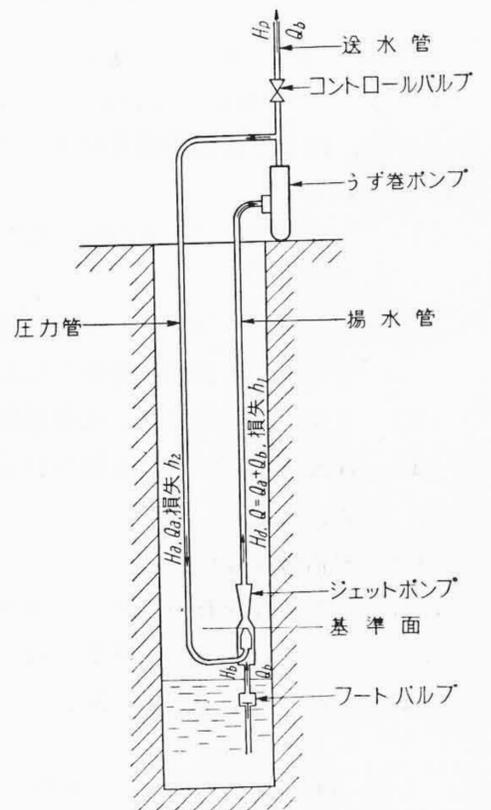
またジェットポンプの効率 e_j は次式で与えられる。

$$e_j = \frac{Q_b(H_d - H_b)}{Q_a(H_a - H_d)} = MN \dots \dots \dots (4)$$

第2図はジェット-うず巻組み合わせポンプの概略図で、この揚水原理はうず巻ポンプの吸上可能高さまでジェットポンプで揚水し、深井戸用ポンプの役目を果させようとするものである。すなわちうず巻ポンプを地上におき井戸の中に揚水管と圧力管をおろし、その先端にジェットポンプ部分を接続し、うず巻ポンプと送水管との接続部にはコントロールバルブをおき、うず巻ポンプの吐出水量の一部 Q_a を圧力管を通して H_a なる水頭でジェットポンプに送り込み、ジェットポンプを作動させて Q_b なる水量を吸上げ、 H_d なる水頭でうず巻ポンプの吸上可能高さ内に押し上げ揚水する。コントロー



第1図 ジェットポンプ装置概略図



第2図 ジェット-うず巻組合せポンプ概略図

* 日立製作所多賀工場

ルバルブは常に H_a がうず巻ポンプの吸上可能高さ内にあるよう圧力管に水量 Q_a をもどし H_a なる水頭を与える働きをする。吸上げられた水量 Q_b は送水管に送られる。

簡単に考えるため第 2 図においてノズル出口と吸込水面とが同一面にあるとし、すなわち $H_b=0$ としてこれを基準面にして

- H_p : ジェット-うず巻組み合わせポンプの揚程
- H : うず巻ポンプ単独の揚程
- H_a : ジェットポンプのノズルにおける押込水頭
- H_d : ジェットポンプの吐出水頭
- h_1 : 揚水管における摩擦損失水頭
- h_2 : 圧力管における摩擦損失水頭

とし、 h_1 をうず巻ポンプ部分の損失の中に入れて考え

$$H_c = H - h_1 \dots\dots\dots (5)$$

とすると、おのおの水頭および流量の関係はそれぞれ(6),(7),(8)式で表わされ、ジェットポンプおよびうず巻ポンプの特性がわかっているれば、これらの式を用いてジェット-うず巻組み合わせポンプの全揚程-揚水量曲線を推定することができる⁽⁴⁾。

$$\left. \begin{aligned} H_c &= \frac{H_a}{N+1} [1+B(N+1)] \\ H_d &= H_c \frac{N}{1+B(N+1)} \\ H_a &= H_c \frac{N+1}{1+B(N+1)} \\ H_p &= H_c \frac{(N+1)(B+1)}{1+B(N+1)} = H_a(B+1) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

ただし $B = \frac{16fLc^2A_d^2}{d_p^5\pi^2}$

- f : 圧力管の摩擦係数
- L : 圧力管の長さ
- c : ノズルの流量係数
- d_p : 圧力管の内径

$$\left. \begin{aligned} Q_a &= \frac{Q}{M+1} \\ Q_b &= Q_a M = \frac{M}{M+1} Q \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

また

$$\frac{Q^2}{H_c} = \frac{2gc^2A_d(M+1)^2(N+1)}{1+B(N+1)} \dots\dots\dots (8)$$

ここに g : 重力の加速度

ジェット-うず巻組み合わせポンプは以上のような構成になっているから、従来の往復動深井戸ポンプに比べ数々の長所を持っている。すなわち

- (1) うず巻ポンプを井戸から離して適当な場所に置くことができる。
- (2) 井戸の中にフートバルブ以外に運動部分を持たないから保守ならびに修理が容易である。
- (3) クランク機構による往復運動部分がないので静かである。
- (4) 往復動ポンプより起動が容易で比較的低電圧でも使用できる。
- (5) 製造費が安い。

短所としては往復動ポンプより効率が低いことで、これが唯一の欠点と云ってよく、さらに効率の向上が望めれば往復動ポンプをすべて家庭用ジェットポンプに置きかえることも可能である。

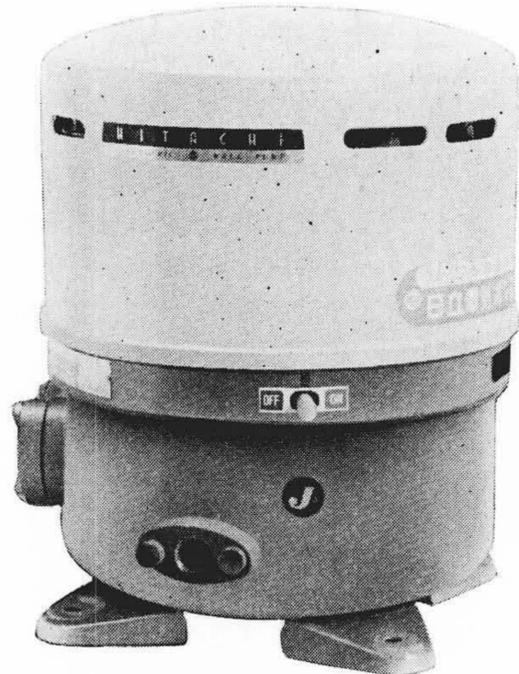
3. 日立家庭用ジェットポンプの仕様および構造

現在製作しているポンプの標準仕様は第 1 表のとおりである。JT-R₂₅₂ 形は標準吸上高さ 12 m であるが、ジェットポンプ部分を

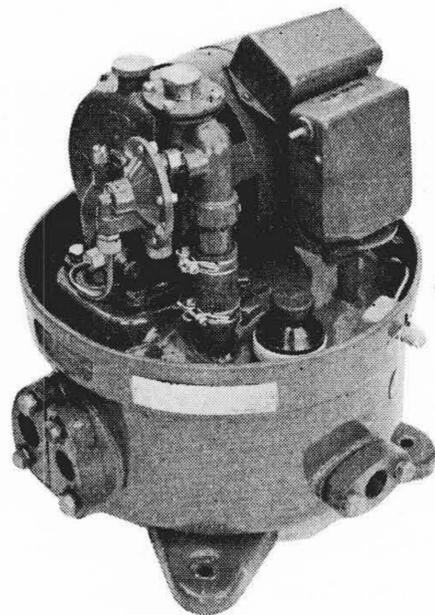
第 1 表 日立家庭用ジェットポンプ標準仕様

形	式	JT-R ₁₅₂	JT-R ₂₅₂
吸上高さ	高さ	12m	12m (18m)
押上高さ	高さ	5m	10m (10m)
揚水量	量	全揚程17mのとき 12.5l/min	全揚程22mのとき 21.5l/min (全揚程28mのとき 14l/min)
圧力開閉器	開閉圧力	開1.2kg/cm ² 閉0.6kg/cm ²	開1.7kg/cm ² 閉1.1kg/cm ²
コントロールバルブ	調整圧力	0.6kg/cm ²	1.1kg/cm ²
電動機	機	150Wコンデンサ起動 2極	250Wコンデンサ起動 2極
電源	源	100V 50c/sまたは60c/s	100V 50c/sまたは60c/s
揚水管	管	1B	1 1/4B
圧力管	管	3/4B	1B
送水管	管	3/4B	1B
製品重量	量	29kg	41kg

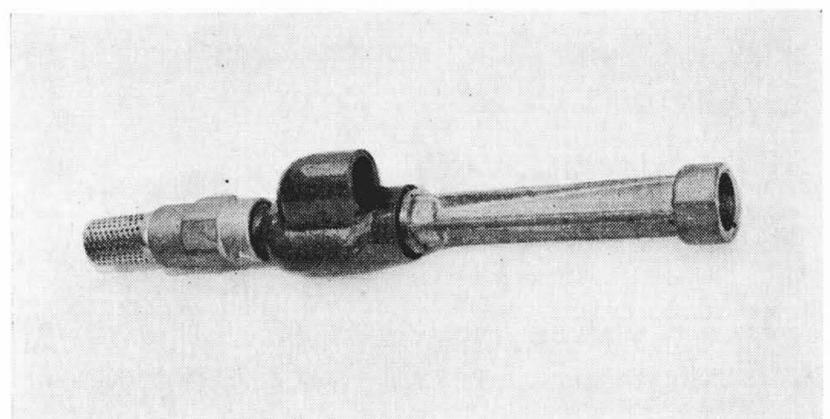
備考: () 内はジェットポンプ部分を 18 m 用に交換した場合を示す



第 3 図 日立家庭用ジェットポンプ



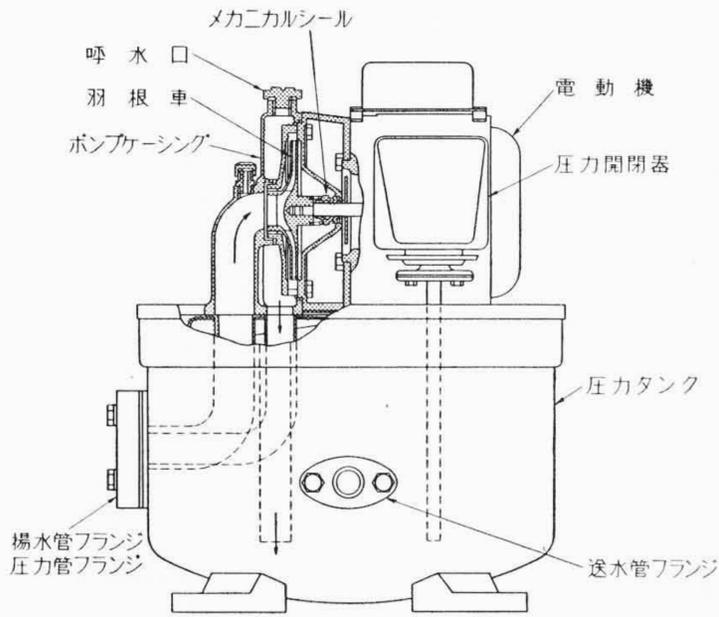
第 4 図 日立家庭用ジェットポンプ (カバーをはずした外観)



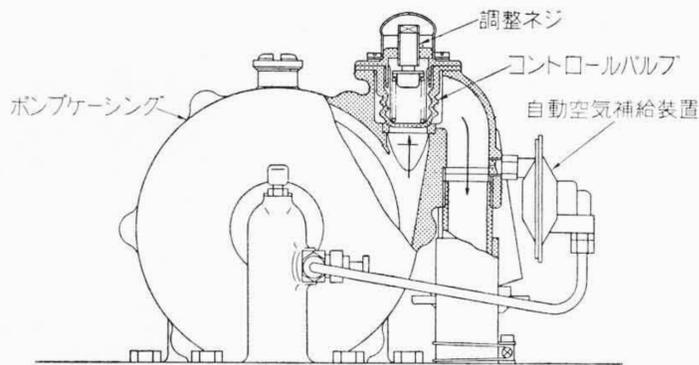
第 5 図 ジェットポンプ部分

取り替えることにより吸上高さを 18 m に増すことができる。

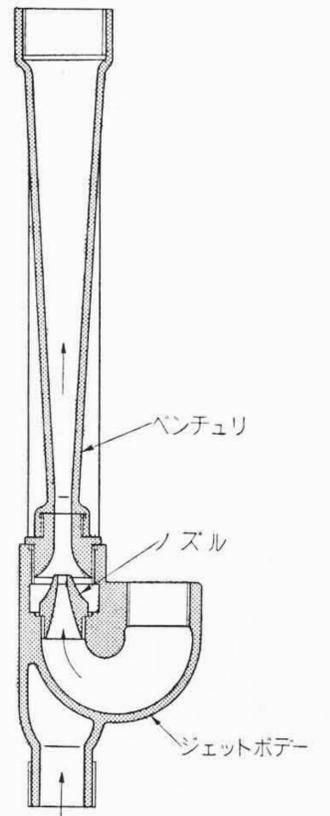
地上に置くうず巻ポンプ部分の外観は第 3, 4 図のとおりであり、



第6図 うず巻ポンプ部分断面図



第7図 コントロールバルブ部分断面図



第8図 ジェットポンプ部分断面図

第5図にはジェットポンプ部分の外観を示す。うず巻ポンプの断面構造は第6図のとおりであって、ポンプと電動機とは直結されており、軸封装置にはメカニカルシールを使用している。羽根車より吐出された水は、一部は第7図のコントロールバルブ⁽⁵⁾を通じて圧力タンクへ、ほかの一部は圧力管を通じてジェットポンプへ送り込まれる。コントロールバルブは調整ネジを移動することにより圧力管の押込圧力、したがってうず巻ポンプの吸込圧力を変化させることができ、この吸込圧力が常にうず巻ポンプの吸上可能範囲内にあるよう送水管の吐出弁を全開して調整するものである。コントロールバルブと圧力タンクの間には自動空気補給装置があり⁽⁶⁾、圧力タンク内へ空気を自動的に補給する。揚水管、圧力管、送水管はすべて圧力タンクに接続するようになっているので、それらの荷重はすべて圧力タンクで受持ち、ポンプ本体には直接荷重がかからない構造となっている。ジェットポンプ部分の断面図は第8図に示すとおりで、ノズルおよびベンチュリの寸法、形状およびその相対位置などは最も効率のよいように定められている。

4. ジェット-うず巻組み合わせポンプの揚水性能

4.1 実験装置および実験方法

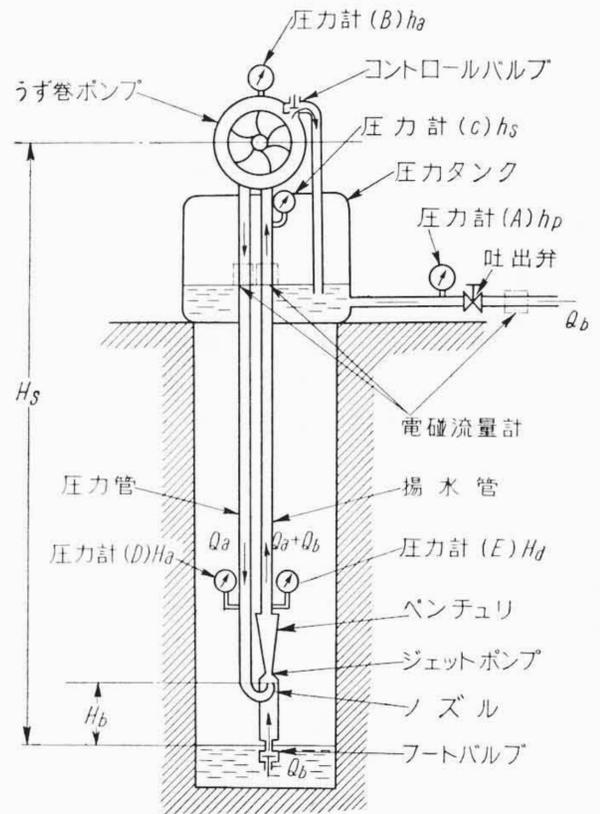
供試ポンプには上述の日立 JT-R₁₅₂ 形および JT-R₂₅₂ 形深井戸用ジェットポンプを使用し、可変水位井戸にすえ付けて第9図に示す装置で定格電圧、定格周波数の下に運転し、揚程、揚水量、電動機電流、入力などを測定した。また圧力の測定にはブルドン管圧力計を、流量の測定には容器を用いたが、特に揚水管および圧力管内の流量測定の際には損失水頭のないよう日立電磁流量計（発信器：FMR 形、指示計：TVI 形）を使用した。吐出弁を開閉して吐出水頭 h_p を変え、これを圧力計(A)で、うず巻ポンプケーシング内の圧力すなわち圧力管に押込む水頭 h_a を圧力計(B)で、うず巻ポンプの吸込水頭 h_s を圧力計(C)でそれぞれ測定した。これらの水頭はすべてうず巻ポンプ吸込口を基準にとる。またジェットポンプの押込水頭 H_a および吐出水頭 H_d を圧力計(D)および圧力計(E)で測定した。これらはノズル出口を基準にとる。揚水量は送水管出口において容器により測定し、必要に応じて図示のように電磁流量計の発信器をそう入して各管路内の流量を測定した。速度水頭は0.03m以下なのでこれを省略すると、組み合わせポンプの揚程 H_p は次式で求められる。

$$H_p = H_d - H_b + h_p - h_s \dots \dots \dots (9)$$

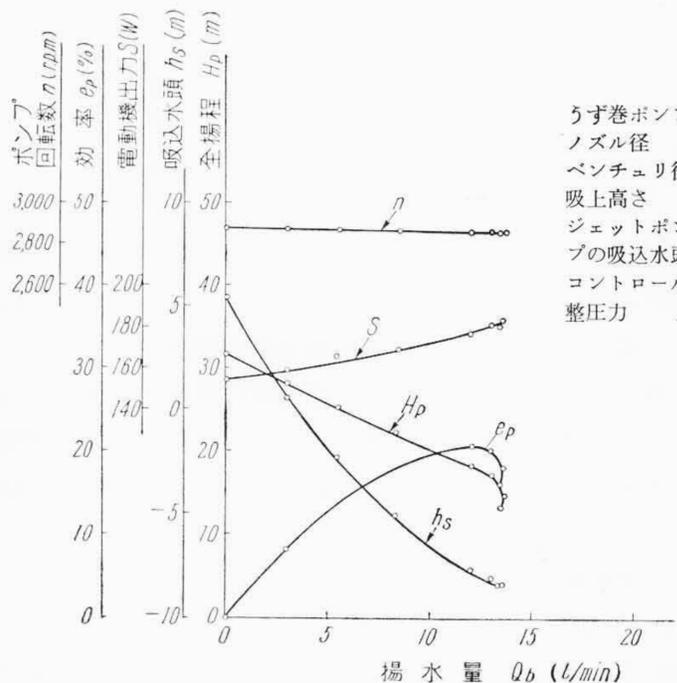
4.2 実験結果とその考察

4.2.1 揚水特性曲線

代表例として JT-R₁₅₂ 形ポンプの揚水特性曲線を第10図に示

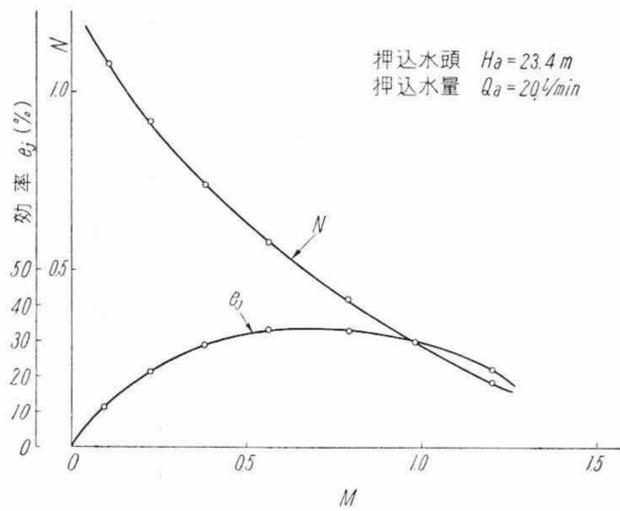


第9図 実験装置

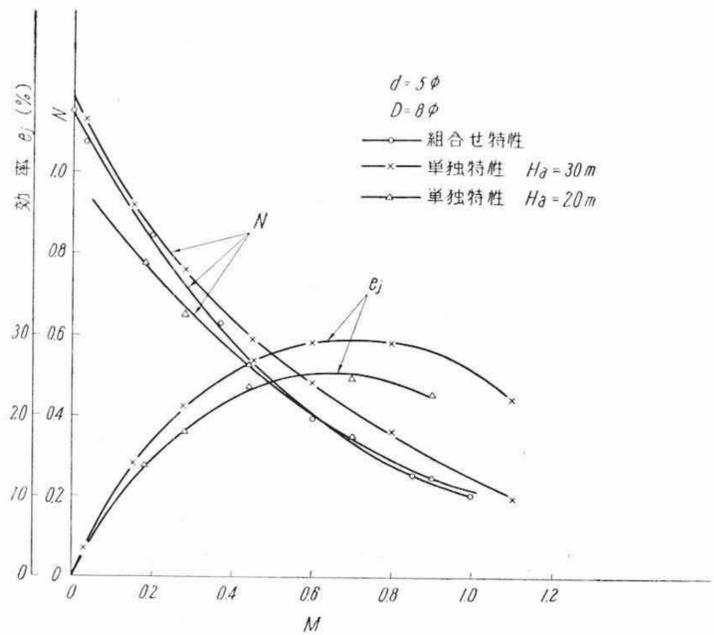


うず巻ポンプ JT-R₁₅₂ 形
 ノズル径 $d=4.5\phi$
 ベンチュリ径 $D=7.5\phi$
 吸上高さ $H_s=1.2\text{m}$
 ジェットポンプの吸込水頭 $H_b=0$
 コントロールバルブの調整圧力 $P_a=0.6\text{kg/cm}^2$

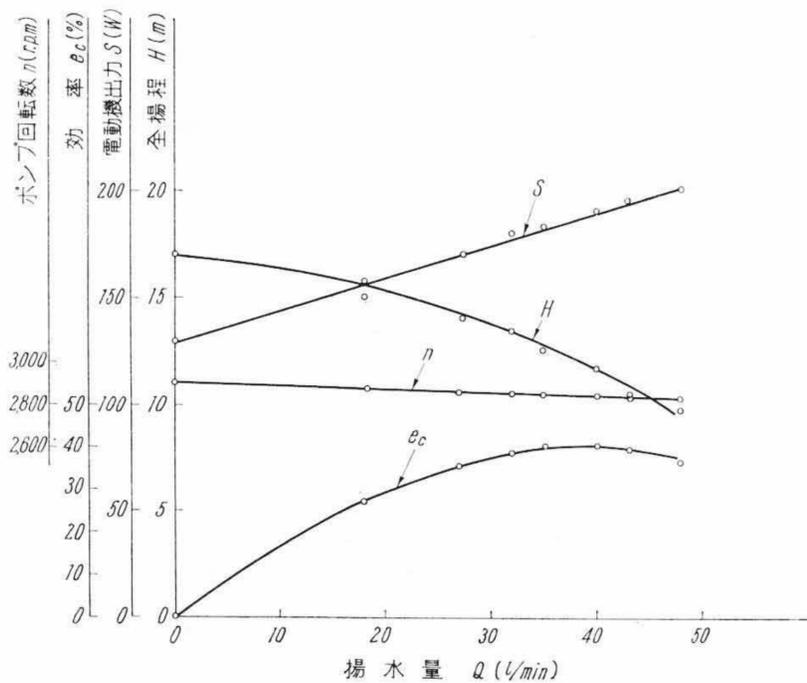
第10図 JT-R₁₅₂ 形ポンプの揚水特性曲線



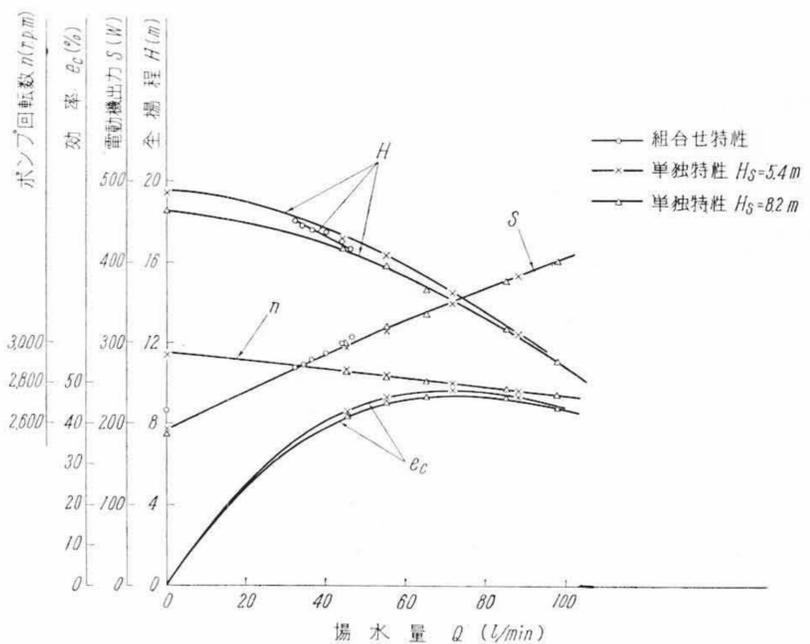
第 11 図 ジェットポンプの M-N 特性



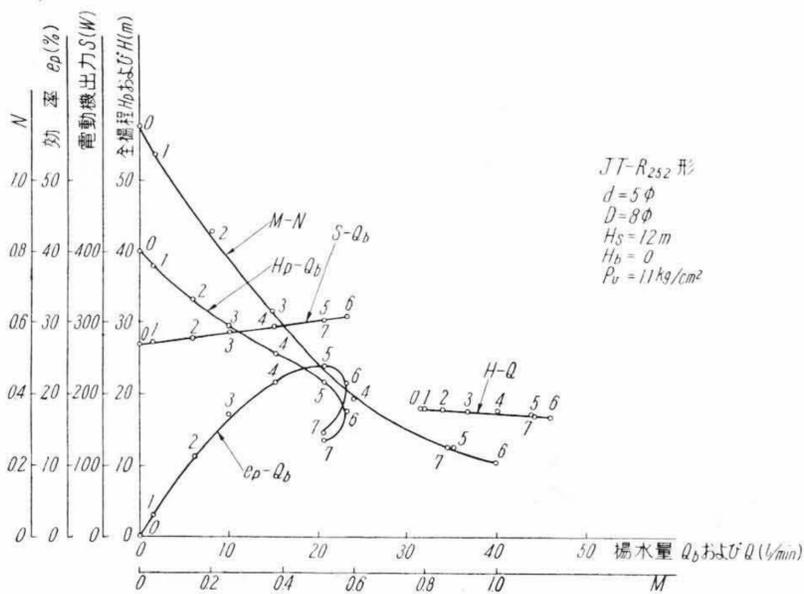
第 14 図 ジェットポンプの単独特性と作動点の比較



第 12 図 うず巻ポンプの揚水特性曲線



第 15 図 うず巻ポンプの単独特性と作動点の比較



第 13 図 JT-R₂₅₂ 形ポンプの揚水特性と作動点

す。これに使用したジェットポンプおよびうず巻ポンプの単独特性はそれぞれ第 11, 12 図に示されている。組み合わせ特性は揚水量を増すに従い揚程が減少し、電動機出力が増大する点、うず巻ポンプに似た傾向を示しているが、全揚程ははるかに大きくなっており、また全揚程曲線は吸上高さやコントロールバルブ調整圧力の相当水頭との和の揚程付近より折れている。吸込水頭 h_s は揚程が小さくなるに従い正より負に減じ、負の最大値がコントロールバルブの調整吸込水頭を示している。

4.2.2 ジェットポンプおよびうず巻ポンプの作動点

第 13 図に JT-R₂₅₂ 形のうず巻ポンプを使用し、ノズル径 $d = 5 \text{ mm}$ 、ベンチュリ径 $D = 8 \text{ mm}$ の場合の特性曲線と、電磁流量

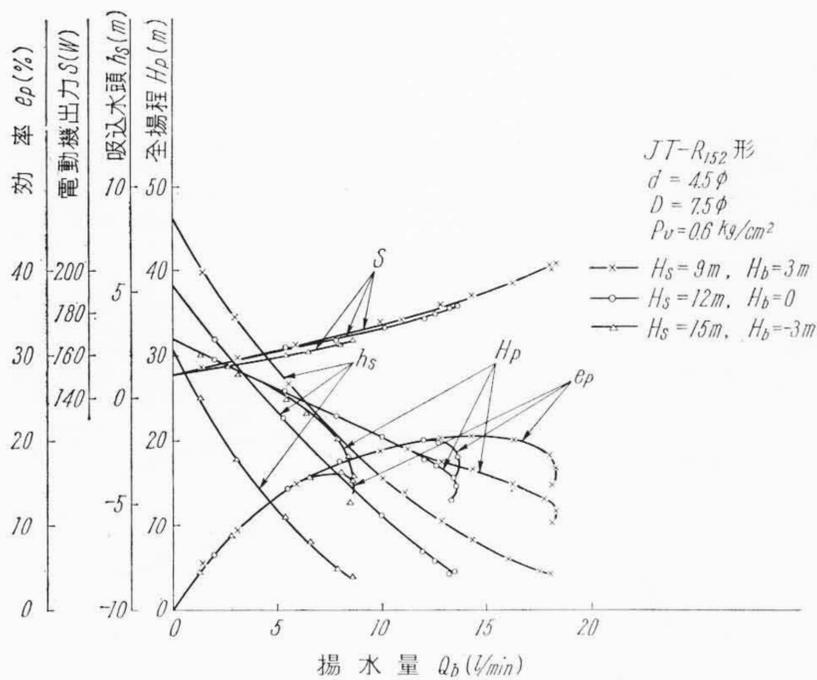
計を用いてジェットポンプおよびうず巻ポンプの作動点を実測した例を示す。各曲線上の同一数字はのおのおの相対する作動点である。第 14 図および第 15 図にそれぞれジェットポンプおよびうず巻ポンプの単独特性と第 13 図で求められた作動点との比較を示す。ジェットポンプは M-N 曲線の大部分が使用されているが、うず巻ポンプは全揚程曲線の一部分しか動作していない。ジェットポンプの M-N 曲線は第 14 図に示すように押込水頭によって変化しており、かつほぼ平行に移動している。したがって作動点が図示のようになるのは当然であって、(6), (7), (8) 式で組み合わせ特性を推定する際、一つの M-N 曲線で計算すると M-N 曲線の選び方いかんによっては相当の誤差を生ずることがわかる。またうず巻ポンプの揚水特性も第 15 図のように吸上高さを増すと多少低下するので作動点は図示のようになり、これまた計算の際にはうず巻ポンプの単独特性のとり方に留意せねばならない。

4.2.3 吸上高さ H_s を変化させた場合

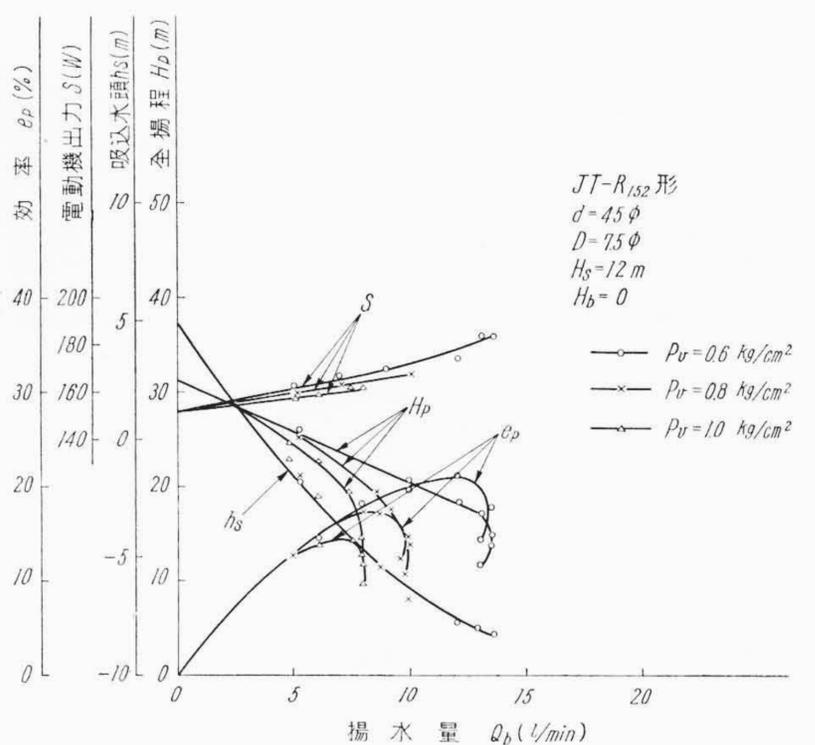
(1) コントロールバルブ圧力 P_v を吸上高さ H_s に応じ常に一定圧力に調整した場合

第 16 図に JT-R₁₅₂ 形ポンプを使用し、 H_s を 9, 12, 15 m と変化し、コントロールバルブ圧力 P_v を常に 0.6 kg/cm^2 に調整した場合の揚水特性を示す。 H_s により揚水量が大きく変化し、 H_s が小さいほど揚水量が増え効率も高くなるが、電動機出力も増大するので過負荷になることを警戒する必要がある。

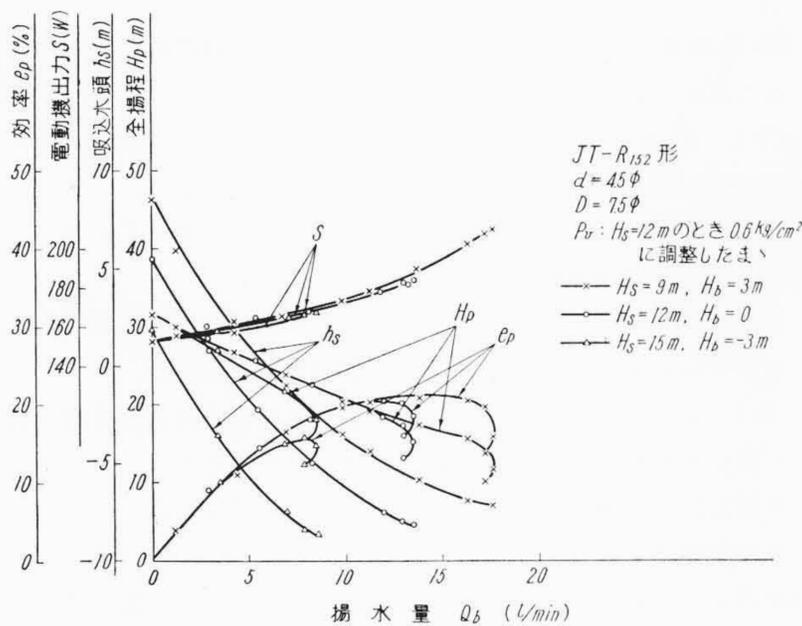
(2) コントロールバルブ圧力 P_v を標準吸上高さで調整したままにして吸上高さ H_s を変化させた場合



第16図 吸上高さを变化させた場合の特性 (1)



第18図 コントロールバルブ調整圧力を変化させた場合の特性



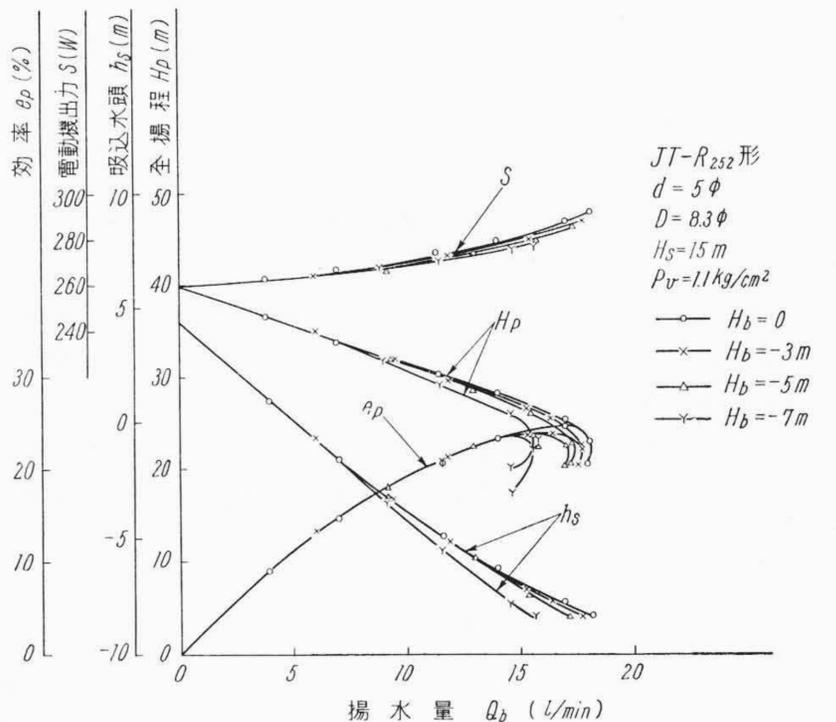
第17図 吸上高さを变化させた場合の特性 (2)

第17図にJT-R₁₅₂形ポンプを使用し、コントロールバルブを標準吸上高さ12mのとき0.6kg/cm²に調整し、吸上高さH_sを9, 15mに変化させた場合の揚水特性を示す。H_s=9mの場合揚水量は増加するが最大吸込水頭はH_s=12mの場合より減少し、最大揚水量も(1)の場合より小さい値を示す。逆にH_s=15mの場合は揚水量は減少し、最大吸込水頭はH_s=12mの場合より増加し、最大揚水量付近の特性は(1)の場合に比べて不安定になっている。

したがって(1), (2)の結果より四季を通じ水位の変動の激しい井戸で使用する場合は、水位の変動に応じてコントロールバルブ圧力を調整して使用するのが望ましいが、家庭用としては実際上その実行は困難なので、最低水位を基準にして調整するのがよい。最高水位で調整しておくとも電動機出力が過負荷になる割合が大きくなり、また水位が低くなったとき吸込水頭が大きくなり、揚水が不安定になって揚水不能となるおそれもある。

4.2.4 コントロールバルブ調整圧力P_vを変化させた場合

第18図にJT-R₁₅₂形ポンプを使用し、吸上高さH_s=12mのときコントロールバルブの調整圧力P_vを0.6, 0.8, 1.0kg/cm²と変化させた場合の揚水特性を示す。0.6kg/cm²よりしだいにコントロールバルブを絞って圧力を上げてゆくと、その抵抗により揚水量曲線は途中で折れまがる。吸込水頭は同一線上にあってそれぞれ途中で終り、吸込水頭は上昇し、電動機出力は減少する。したがって電動機出力の過負荷を低減するにはコントロールバルブの調整圧力を高めるとよい。



第19図 ジェットポンプの位置を変化させた場合の特性

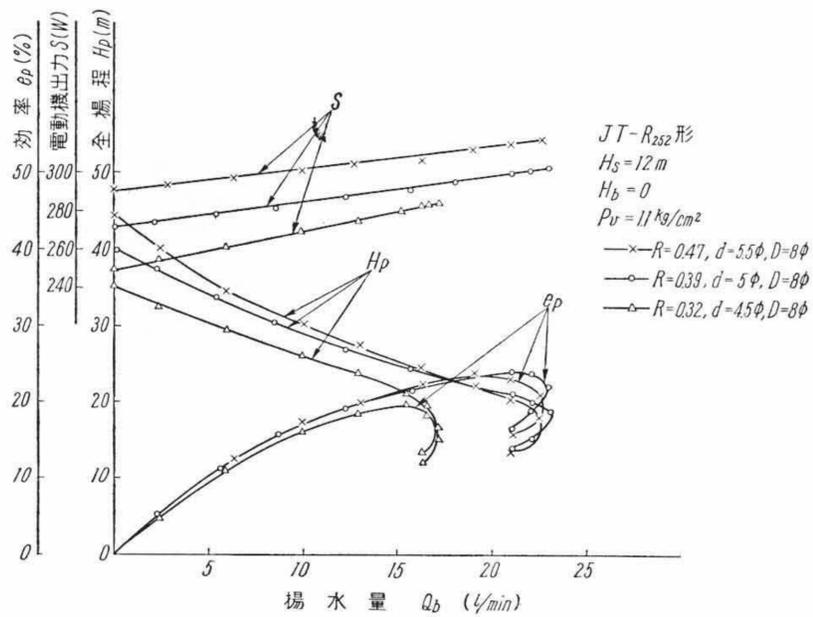
4.2.5 吸上高さH_sを一定にしてジェットポンプの位置を変化させた場合

第19図にJT-R₂₅₂形ポンプを使用し吸上高さH_sを15mにして、ジェットポンプ部分の位置を水面よりしだいに高くしH_bを大きくした場合の揚水特性を示す。H_b=-5mまではほとんど変化がないが、H_b=-7mとなると最大揚水量の減少が目だってくる。これはH_bが大きくなると低揚程においてジェットポンプ内にキャビテーションが起り、揚水量がそれ以上増加しないことを示している。

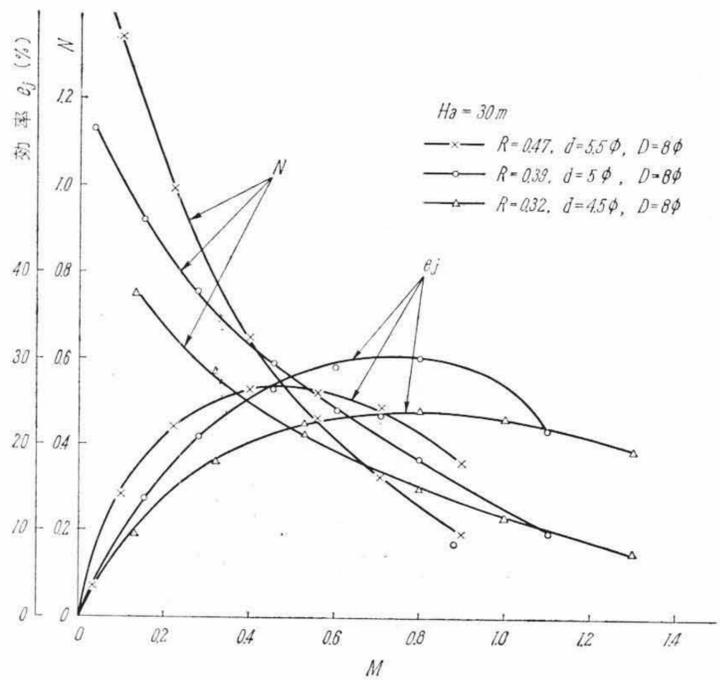
したがって配管の際はジェットポンプ部分は水面より高い位置においたほうが便利であるが、キャビテーションの発生を考慮し、あまり高くすることは避けなければならない。

4.2.6 ジェットポンプのRを変化させた場合

第20図にJT-R₂₅₂形ポンプを使用し、ジェットポンプのベンチュリ径D=8mmとし、ノズル径dを変えてRを変化させた場合の揚水特性を示す。各々のRに対するM-N特性曲線は第21図のとおりである。M-N曲線はRが大きくなるにつれて傾斜がたつので、組み合わせ特性の全揚程曲線もそれに応じて傾斜がたっている。この傾向は(8)式からも明らかである。第20図においてR=0.39のときに効率が最大であってR=0.32のときは特性が著しく低下している。これはR=0.32の場合のM-N曲線の効率



第20図 ジェットポンプのRを変化させた場合の特性



第21図 おのおののRに対するM-N特性

が低いことに基因する。

すなわちジェット-うず巻組み合わせポンプの効率 e_p は

$$e_p = \frac{16.3 \gamma Q_b H_p}{s} = 16.3 \gamma \frac{M}{M+1} Q \cdot H_c \frac{(N+1)(B+1)}{1+B(N+1)} / s$$

$$= \frac{M}{M+1} \cdot \frac{(N+1)(B+1)}{1+B(N+1)} \cdot \frac{16.3 \gamma Q H_c}{s} \dots\dots\dots (10)$$

ただし γ : 水の単位体積の重量 (kg/l)
 s : 電動機出力 (W)

(10)式で表わされるから、 e_p を大きくするためにはM, Nの値が大きく、すなわちジェットポンプの効率が高くかつ $16.3\gamma QH_c/s$ すなわちうず巻ポンプの効率が大きいことが必要である。したがって設計にあたっては効率のよいジェットポンプおよびうず巻ポンプを組み合わせ、かつ作動点が各ポンプの効率の大きな部分にくるよう考慮せねばならない。

5. 結 言

以上日立家庭用ジェットポンプについて述べ、ジェット-うず巻組み合わせポンプの揚水性能について検討し、次のことを明らかにすることができた。すなわち

(1) 電磁流量計を使用することによりジェットポンプおよびうず巻ポンプの作動点を明らかにすることができ、組み合わせ全揚

程-揚水量曲線を計算する際の各ポンプの単独特性の選び方を知ることができた。

(2) 水位の変動の激しい井戸に使用する場合のコントロールバルブ圧力の調整は最低水位を基準に行なうのがよい。

(3) うず巻ポンプの電動機出力の過負荷を低減するにはコントロールバルブの調整圧力を高めるとよい。

(4) ジェットポンプ部分を水面よりあまり高い位置におくとキャビテーションが発生するので留意せねばならない。

(5) ジェットポンプのRを変化させると組み合わせ性能は大きく変化するので、効率のよい組み合わせとなるようジェットポンプおよびうず巻ポンプの性能を定めなければならない。

なお今後は上記結果をもとにして、さらにジェット-うず巻組み合わせポンプの効率向上に努力する考えである。終りに臨み終始ご指導ご援助をいただいた関係者各位に厚く謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) 寺田：日立機械評論 15, 31 (昭-9)
- (2) 市川：機械学会論文集 18, 66, 57 (昭-27)
- (3) 植田：機械学会論文集 20, 89, 25 (昭-29)
- (4) 白倉, 藤井共訳：遠心ポンプと軸流ポンプ 390 (昭-31 丸善)
- (5) 実用新案登録番号：524865
- (6) 実用新案登録番号：512352



新 案 の 紹 介



登録新案第538256号

仕

切

弁

宮崎 勇・原 義 徳

この考案は、弁の開閉動作をくり返し行なうとき、特に長時間にわたり固形物を含む液体を取り扱う場合に適する可動調整式の弁座を備えた仕切弁に関するものである。

構造, 作用

- (1) 弁体1に設けた角孔1aにそう入したシート2および弁棒4により昇降される弁板3に、こゝ配部2a, 2bおよび3a, 3bをそれぞれ設ける。
- (2) 弁板3に対向する可動調整式の弾性体製弁座5を調整板6および弁座押え7を介して弁1に取付ける。
- (3) 弁板3の全閉時にはそのこゝ配部3bがシートのこゝ配部2bに圧着され、全開時には弁板のこゝ配部3aがシートのこゝ配部2aに圧着されるため、弁板の平端部3cが弁座5に押しつけられて水密を保つ。

効 果

- (1) 弁座は弾性体で作られているから耐摩耗性および水密性が非常に良好であり、また水密性保持のために高精度の機械加工は不要となるので安価になる。
- (2) 摩耗により接触面に凹凸が生じたときには、再加工して再

- び使用することができる。
- (3) 弁座面がさびなく、清水以外の液体に対しても理想的であり、液中における対金属との摩擦も少なく操作が容易である。

(野村)

