

港湾技術研究所報告

REPORT OF PORT AND HARBOUR TECHNICAL RESEARCH
INSTITUTE MINISTRY OF TRANSPORTATION, JAPAN

第 4 卷 4 号

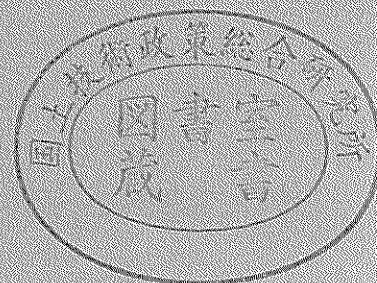
Vol. 4 No. 4

(通巻第 15 号)

エゼクタの揚水効率について……………守口 照明

1965年2月

運輸省港湾技術研究所



エゼクタの揚水効率について

目 次

第1章 概 要	2
第2章 実験装置および方法	2
2-1 全 体 装 置	3
2-2 エ ゼ ク タ	3
2-3 測 定 装 置	4
2-4 実 験 方 法	5
2-5 実 験 結 果	6
第3章 実験結果の解析	9
3-1 水頭比と効率	9
3-2 最 大 効 率	10
第4章 結 語	14
あ と が き	14
参 考 文 献	14
付 表	15

エゼクタの揚水効率について

*守口照明

Study on the Pumping Efficiency of Jet-water Ejector

By

Teruaki Moriguchi

Jet Ejectors, because of their inherent reliability, are used in great depth dredger and in cutter suction dredger.

In this paper the author have calculated the total head ratio of motive-to-suction fluid and efficiency of jet pump. In a theoretical treatment, the momentum theory and energy equations are applied.

This formula shows good agreement with experimental results.

第1章 概 要

管内の軸方向にむかって、ノズルにより高速の噴流を噴出させると、周囲の流体は噴流に伴われて進みしだいに混合して、ついには一様な速度分布となって送り出される。この原理を応用して流体を送る装置を噴流ポンプと云い、一般にノズル、噴射室、混合部、拡大管により構成されている。

噴流（駆動流体）および周囲の流体（吸引流体）については液体、気体のいずれの組み合わせも考えられているが、両方の流体が共に液体の場合は、主に送水および排水用エゼクタとして使用され、土木工事の分野においても汚水、土砂混合水の排水等に広く利用されている。最近では港湾工事の面で、特に埋立用土砂の需要が増大し、これを海底から吸い揚げて供給するための大型エゼクタが開発されつつある。リールに巻きつけたゴム製の排砂管の先端に、エゼクタを取りつけて海底におろし、高圧水を用いた切り崩しゼットにより土砂を切りくずしながら、最大深度100mまで土砂水の吸い揚げ可能な大深度浚渫船などその一例である。また間接的な利用法としては、ポンプ浚渫船の、吸込管内に高圧水を噴射させて、管内の圧力を高めて浚渫ポンプのキャビテーションの発生を防止し、従来よりさらに大深度の浚渫を可能にしたり、排砂管に取りつけて土砂の排送距離を長くするなど、応用範囲はしだいに広められてきている。

エゼクタは一般に構造が簡単で、運動する部分が無いために、故障が少なく操作は容易であるが、速度の異なる流体を混合させるためにエネルギー損失が大きいため、小容量のものしか実用化されていなかった。したがって従来の研究も比較的小型、低圧のものに限られているようである。

本研究では、エゼクタを理論的に解析し、大型の模型エゼクタを使用して実験を行い、測定結果と理論式を比較すると共に、大容量エゼクタの性能向上をはかるための、設計資料を得ようとするものである。

第2章 実験装置および方法

2-1 全体装置

実験に使用した装置全体を図-2-1に示す。水槽1に水道で水を満たしながら、Ward Leonard 制御による直流電動機直結のタービンポンプを駆動すると、水はポンプからエゼクタ内のノズルに送られ、噴射室内に噴射される。水槽1を満たした水は、水路1を通り流量せき1を越えて、水槽2にはいる。エゼクタ下部の吸込管に取りつけられた吸込弁を開くと揚水作用が始まる。噴流と揚水は混合しながら拡大管で減速、増圧され、吐出管を通って水路2に導かれ、流量せき2を越えて再び水槽1に戻り、以下この循環をくりかえすのである。水槽および水路が水で満たされると、水は水槽2で溢流を始めるので給水を中止する。溢流した水は排水管により屋外に排出される。水槽2の水面が排水管口よりさがった場

* 機材部作業船研究室

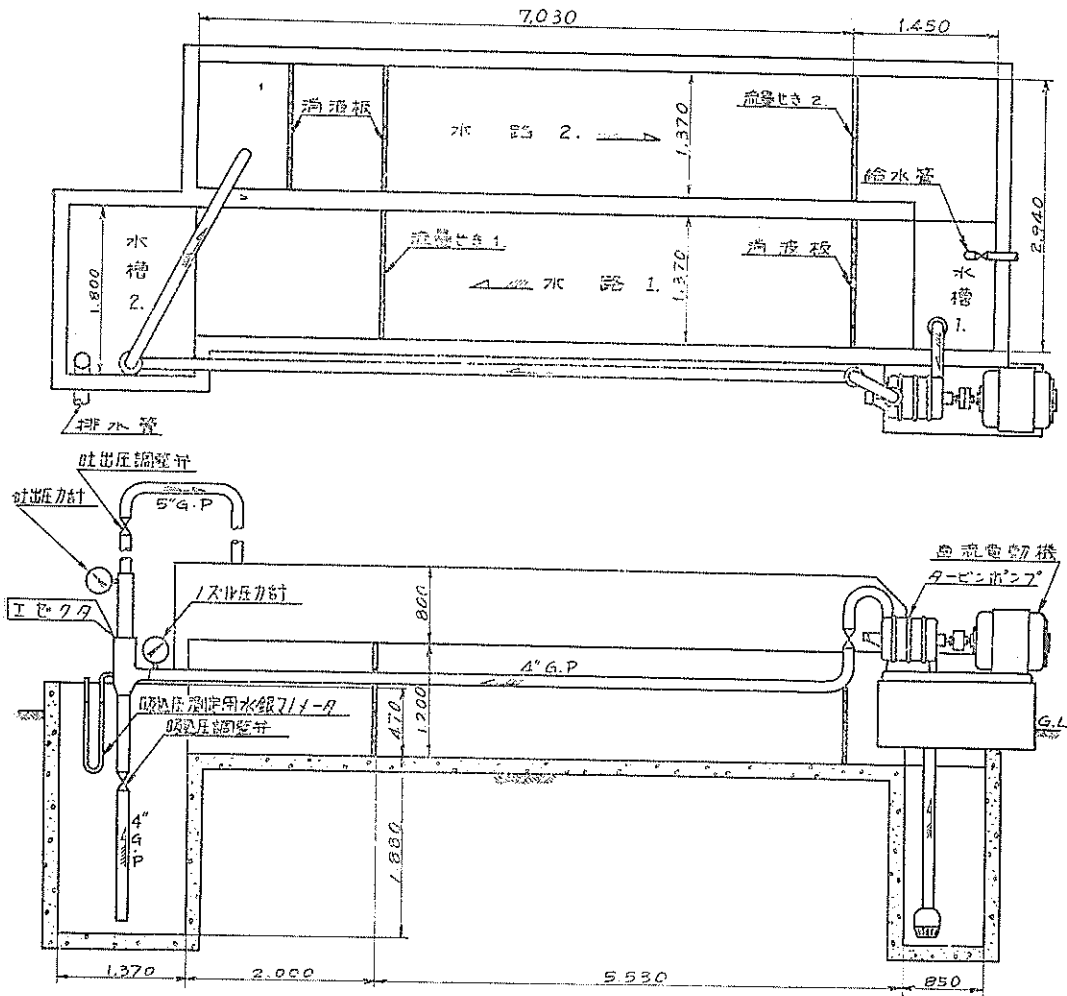


図-2-1 全体装置図

合は、水槽 2 に直接給水して、揚水側の水位は常に一定になるようにして実験を行った。

直流電動機およびタービンポンプの仕様は次の通りである。

直流電動機

- 出力; 37KW
- 電圧; 220/22V
- 電流; 192A
- 励磁; 他励 110V
- 回転数; 1,800/18 rpm

タービンポンプ

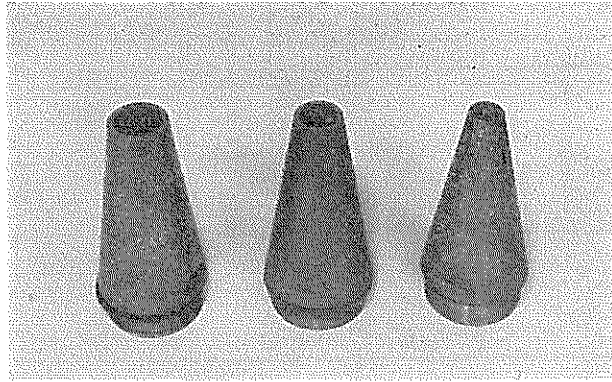
- 吐出量; 1.25m³/min

- 吐出圧; 10kg/cm²
- 回転数; 1,800rpm
- 段数; 4段

2-2 エゼクタ

エゼクタの性能に影響をおよぼす要素として、ノズルの直径、のど部（混合部のもっとも狭くなったところ）の直径および平行部の長さ、混合距離（ノズル先端から拡大管入口までの距離）等が考えられる。

実験に使用したノズル（写真-1）には出口付近に、出口直径の 2.5 倍程度の平行部がついているが、のど部には平行部はついていない。ノズルおよびデフューザののど部の寸法は次の通りである。



写真—1 ノズル

ノズル直径 30 mm }
 24 mm } 3種
 18 mm }
 のど部直径 70 mm 1種

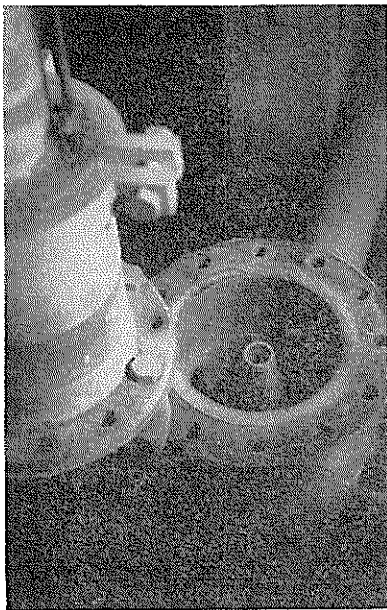
図—2—2 にエゼクタの構造を示す。エゼクタの本体は、ほぼ中央から上下に分割できる構造で、上部にはデフューザがはめこまれており本体、デフューザ共に鋳鉄製である。本体下部の中央には写真—2 に示すように、ノズルがねじこまれており噴射室を形成している。ノズ

ルは黄銅製で、他のノズルとの取り替えは容易である。混合距離は、エゼクタ本体の両側にある調整ねじの回転により、デフューザを上下して120~270mmの範囲で自由に調整することができる。

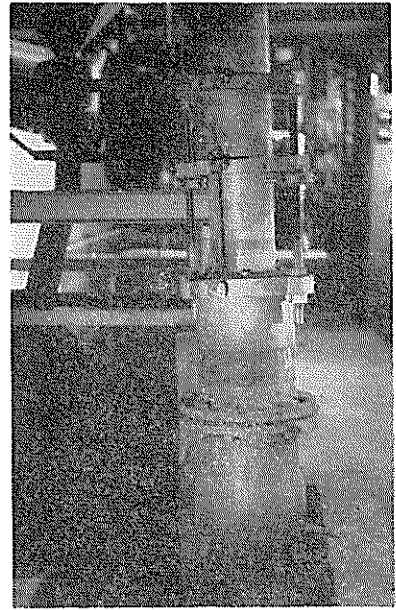
2—3 測定装置
 流量測定

流量の測定には直角三角せきを使用した。水面の高さから流量を求める計算式には Strickland の公式を用いた。

$$Q = \frac{8}{15} C_d \sqrt{2g} h^{5/2} \dots \dots \dots (2-1)$$



写真—2 ノズルおよび噴射室



写真—3 実験状態

この式の流量係数として

$$C_d = 0.5650 + \frac{0.00868}{h^{1.12}} \dots \dots \dots (2-2)$$

ここに

- Q; せきを越す水の流量 m^3/s
- h; せきの水頭 m ($h > 0.05$)
- g; 重力の加速度 m/s^2

である。

せきに使用したエッジはステンレス・スチール製で、切り欠き頂点から上端までの高さは約280mmであるが、せきの水位がこれまで達しないうちに水路2の上流で溢流をはじめるので、実際に測定できる最大流量は約52 l/s ($h \approx 270mm$) である。せきの水位が50mm以下になると、せきを越えた水がせきの下流側の壁面に付着し、また(2-1)式の適用範囲外となるので、このせきで測定できる最少流量は約0.8 l/s である。せきの水位は、水路の側壁よりビニール管で内径15mmのガラス管に導き、1mm目盛りの鋼製スケールで0.5mmまで読みとった。

水路には、水位を測定する際の波の影響を少なくするために、流量せき1の側に1枚、せき2の側に2枚の消波板が取り付けられている。

圧力測定

ノズル直前の圧力(ノズル圧)およびエゼクタの吐出圧は Bourdon 圧力計を、揚水の吸込圧は水銀マノメータを用いて測定した。

2-4 実験方法

実験時におけるエゼクタの取り付け状態を写真-3に示す。まず直流電動機の回転数を変えることにより、タービンポンプの吐出圧力を加減して、ノズル直前にある圧力計を見ながら、ノズル圧を所定の圧力に調整する。次に吸込圧および吐出圧を、吸込弁と吐出弁の開閉により調整し、水路の水面が静定するまで5~10minの時間において、流量せき1および2の水面の高さを測定して流量を計算する。流量せき1で揚水量を、せき2でエゼ

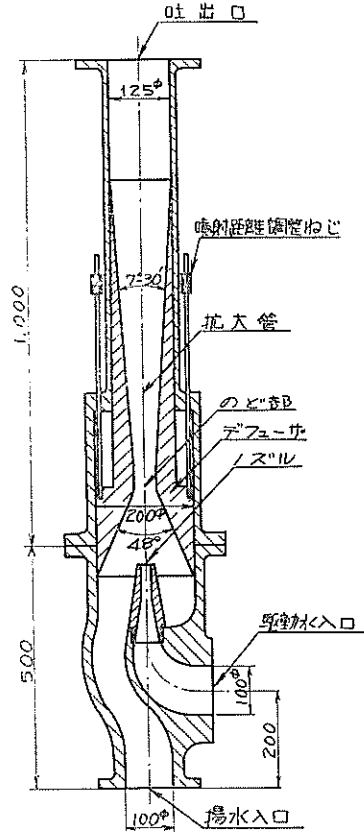


図-2-2 エゼクタ構造図

クタの吐出量を測定することができる。ノズル流量は、吐出量と揚水量の差として求められる。

混合距離は、エゼクタ各部の圧力を一定とした場合に、デフューザを上下して揚水量がほぼ最大となる距離にセットして実験を行った。

表-1 デフューザとノズルの組み合わせおよび各部圧力

のど部		ノズル		ノズル面積 のど部面積	吸込部 面積 cm^2	ノズル圧 kg/cm^2	吸込圧 (-) kg/cm^2	吐出圧 kg/cm^2
直径 mm	面積 cm^2	直径 mm	面積 cm^2					
70	38.47	30	7.07	0.184	307.09	3~7	0.2~0.8	0.6~1.5
		24	4.52	0.118	309.64	4~8	0.2~0.8	0.6~0.9
		18	2.54	0.066	311.62	6~10	0.2~0.6	0.6~0.9

デフューザとノズルの組み合わせおよび各部圧力その他の関係を表-1に示す。表中ノズル圧は 1 kg/cm^2 、吸込圧は 0.2 kg/cm^2 、吐出圧は 0.3 kg/cm^2 間隔で測定した。

上表に示す実験範囲では、ノズル出口における噴流の速度は $25 \sim 46 \text{ m/s}$ 、Reynolds' 数は $0.45 \sim 1.38 \times 10^6$ となる。なお実験中の平均水温は約 20°C であった。

2-5 実験結果

混合距離

本実験の予備的段階として、適正な混合距離を求める実験を行った。図-2-3に、表-2の条件で測定した混合距離と揚水量の関係を示す。各部の圧力を変えての実験も行ったが、揚水量が最大となる混合距離はほぼ一定であった。

表-2 ノズル直径および各部圧力

ノズル直径 mm	ノズル圧 kg/cm^2	吸込圧 kg/cm^2	吐出圧 kg/cm^2
30	5.0	-0.4	0.6
24	7.0	-0.4	0.6
18	9.0	-0.4	0.6

図より適正な混合距離は、ノズルの直径にはほとんど無関係で、大体 $210 \sim 240 \text{ mm}$ の範囲にある。以下に記す実験結果は、ノズル直径が 30 mm の場合は混合距離を

$$V_j = \frac{C_v}{\sqrt{1 - C_a^2 (A_j/A_t)^2}} \sqrt{2g \frac{P_t - P_s}{\gamma}} \quad \dots \dots \dots (2-3)$$

ここに

V_j ; 噴流の縮流部における平均速度

C_v ; 速度係数

C_a ; 収縮係数

A_t ; ノズル直前の面積

A_j ; ノズル出口の面積

P_t ; ノズル直前の噴流の圧力

P_s ; 噴出直後の噴流の圧力

$$V_j = C_v \sqrt{2g \frac{P_t - P_s}{\gamma}} \quad \dots \dots \dots (2-4)$$

となる。

流量せきにより測定したノズルの流量から噴流の速度を計算し、その値を(2-4)式に入れて C_v を逆算してみると大体 $0.94 \sim 0.97$ の範囲にある。普通の型の管内ノズルでは $C_v = 0.96 \sim 0.98$ であるが、エゼクタの場合はノズルの直前に断面のしだいに小さくなった曲管が

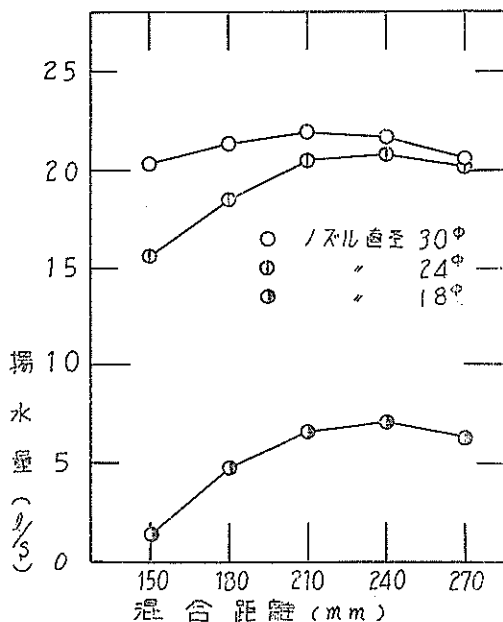


図-2-3 混合距離と揚水量の関係

210 mm 、直径が 24 mm と 18 mm の場合は 240 mm として測定したものである。

噴流の速度

管内ノズルから噴出する噴流の速度は、一般に次式で表わされる。

γ ; 噴流の単位体積重量

である。

実験に使用したノズルには、すべて出口付近に平行部がついているので $C_a = 1$ である。また $A_t = 87.04 \text{ cm}^2$ であるから $A_j/A_t = 0.029 \sim 0.081$ となるので(2-3)式の $C_a^2 (A_j/A_t)^2$ の値は1に比較して小さく、これを零とおくと

ついているので、損失が増えて速度係数 C_v が多少小さな値になるものと考えられる。

揚水量特性

エゼクタの吐出側の圧力水頭を h_e 、吸込側の圧力水頭を h_r で表わすと、揚水量は $(h_e - h_r)$ の関数になると考えられるので、縦軸に揚水量を、横軸にノズル流量をと

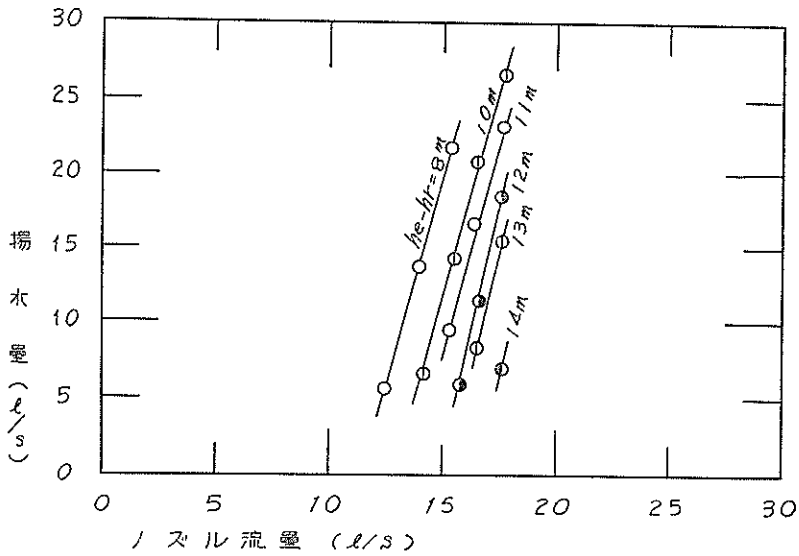


図-2-4 (he-hr)・ノズル流量・揚水量曲線

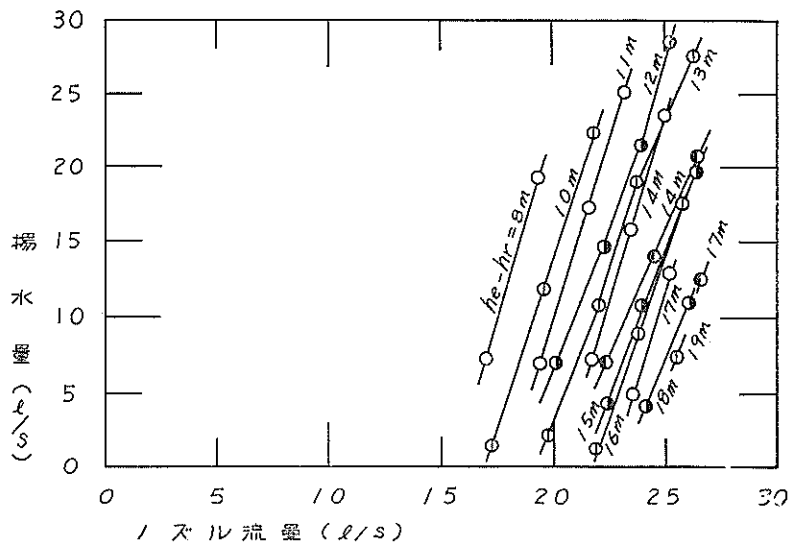


図-2-5 (he-hr)・ノズル流量・揚水量曲線

り、 $(h_e - h_r)$ をパラメータとして実験結果を表示してみると、図-2-4、2-5、2-6 となる。

図より本実験の範囲では、 $(h_e - h_r)$ を一定とした場合、ノズル流量を増加させると揚水量もほぼ直線的に増加することが知られる。

第3章 実験結果の解析

3-1 水頭比と効率

図-3-1 にエゼクタを使用した揚水装置の概略図を示す。 i は駆動水側、 r は揚水側のエゼクタ入口、 j はノズル出口、 s は j 断面における揚水入口、 $t-d$ はのど部または平行部 (本実験に用いたデフューザののど部には、平行部のついていないのを使用した)、 e はエゼクタ出口である。断面 $j-s$ での速度分布は、噴流にくらべて揚水の速度が遅いため中高の形となっているが、 $s-d$ 間でかなりの混合が行われ、 $d-e$ 間で混合はほぼ完了し、同時に速度水頭は除々に圧力水頭に変っていく。

以下の式に使用する符号は次の通りである。

H ; 全水頭

$$\eta = x \cdot y \dots\dots\dots (3-1)$$

ここに x は流量比、 y は水頭比で

$$x = \frac{Q_s}{Q_j} \dots\dots\dots (3-2)$$

$$y = \frac{H_e - H_s}{H_j - H_e} \dots\dots\dots (3-3)$$

で表わされる。

噴射室の $s-t$ 間における狭まり角 α の影響を無視

$$H_j - H_a = \frac{v_j^2 - v_a^2}{2g} - \frac{p_a - p_s}{\gamma} \dots\dots\dots (3-4)$$

$$H_a - H_s = \frac{v_a^2 - v_s^2}{2g} + \frac{p_a - p_s}{\gamma} \dots\dots\dots (3-5)$$

$$H_a - H_e = (1 - \eta_a) \frac{v_a^2}{2g} \dots\dots\dots (3-6)$$

η_a は拡大管の効率の一種で、普通の型のエゼクタでは $\eta_a = 0.7 \sim 0.8$ の範囲にある。

$$\frac{p_a - p_s}{\gamma} = \frac{Q_j v_j + Q_s v_s - Q_a v_a}{A_a g} \dots\dots\dots (3-7)$$

連続の式より

$$Q_j + Q_s = Q_a = A_a v_a, \quad Q_j = A_j v_j, \quad Q_s = A_s v_s \dots\dots\dots (3-8)$$

(3-4)、(3-6)~(3-8) 式より

$$\frac{H_j - H_e}{v_j^2 / 2g} = 1 - 2 \frac{A_j}{A_a} + (2 - \eta_a) \left(\frac{A_j}{A_a} \right)^2 + 2(2 - \eta_a) \left(\frac{A_j}{A_a} \right)^2 \frac{Q_s}{Q_j} + \left\{ (2 - \eta_a) \left(\frac{A_j}{A_a} \right)^2 - 2 \frac{A_j^2}{A_a A_s} \right\} \left(\frac{Q_s}{Q_j} \right)^2 \dots\dots\dots (3-9)$$

(3-5)~(3-8) 式より

Q ; 流量

p ; 圧力

v ; 平均流速

A ; 断面積

とし、図-3-2 に示す各断面の符号をつけて、その断面における大きさを表わすものとする。また、 $i-j$ 、 $r-s$ 間の損失水頭を零と仮定すれば、エゼクタ効率 η は、噴流の消費した仕事量に対する揚水の得た仕事量の比として

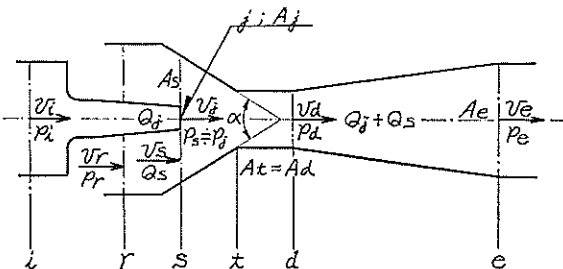


図-3-2 エゼクタ各部符号

し、 $s-d$ 間の損失水頭を零とおき、各断面において圧力はほぼ一ように分布しているものとみなせば

$s-d$ 間の軸方向に運動量の理論をあてはめると。

$$\frac{H_e - H_s}{v_j^2 / 2g} = 2 \frac{A_j}{A_a} - (2 - \eta_a) \left(\frac{A_j}{A_a} \right)^2 - 2(2 - \eta_a) \left(\frac{A_j}{A_a} \right)^2 \frac{Q_s}{Q_j} - \left\{ (2 - \eta_a) \left(\frac{A_j}{A_a} \right)^2 - 2 \frac{A_j^2}{A_a A_s} + \left(\frac{A_j}{A_s} \right)^2 \right\} \left(\frac{Q_s}{Q_j} \right)^2 \dots (3-10)$$

一般に $A_s \gg A_j$ であるから (3-10) 式の $(A_j/A_s)^2$ を零とおけば、(3-9) 式は (3-10) 式の正負の符

号を変えて、1を加えたものに等しくなる。(3-9)、(3-10) 式より水頭比は

$$y = \frac{-Kx^2 - Lx + M}{Kx^2 + Lx - M + 1} \dots (3-11)$$

ここに

$$K = (2 - \eta_a) \left(\frac{A_j}{A_a} \right)^2 - 2 \frac{A_j^2}{A_a A_s}, \quad L = 2(2 - \eta_a) \left(\frac{A_j}{A_a} \right)^2, \\ M = 2 \frac{A_j}{A_a} - (2 - \eta_a) \left(\frac{A_j}{A_a} \right)^2 \dots (3-12)$$

である。エゼクタの効率

$$\eta = x \left(\frac{-Kx^2 - Lx + M}{Kx^2 + Lx - M + 1} \right) \dots (3-13)$$

で表わされ、 A_j/A_a 、 A_j/A_s を定め η_a を適当に仮定すれば、水頭比は流量比の関数となって、(3-13) 式に

よりエゼクタの性能が求められる。

$d - e$ 間の圧力上昇は、拡大管の効率を ϵ とすれば

$$\frac{p_e - p_a}{\gamma} = \frac{v_a^2 - v_e^2}{2g} \epsilon \dots (3-14)$$

$s - e$ 間での圧力上昇は (3-7)、(3-14) 式より

$$\frac{p_e - p_s}{\gamma} = \frac{Q_j v_j + Q_s v_s - Q_a v_a}{A_a g} + \frac{v_a^2 - v_e^2}{2g} \epsilon \dots (3-15)$$

で表わされる。

図-3-3は上式の左辺を測定値として横軸に、右辺を計算値として縦軸にとり、 $\epsilon = 0.80$ として実験結果を計算し表示したものである。

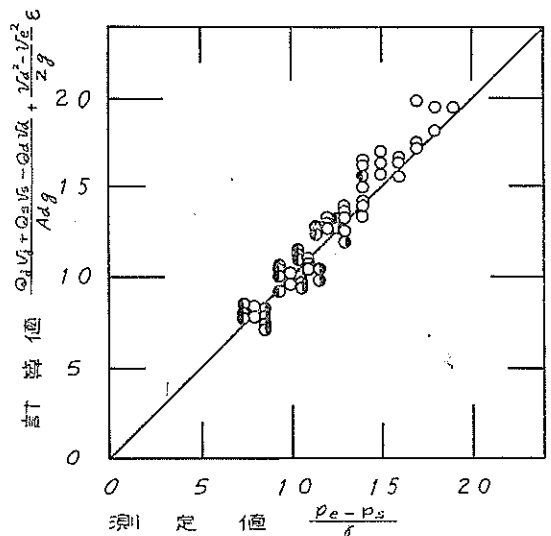
図より計算値と測定値はかなり良く一致し、 $s - d$ 間に運動量の式を適用した (3-7) 式は、ほぼ成立するものとみなされる。

図-3-4、3-5、3-6は横軸に流量比、縦軸に水頭比および効率をとって (3-11)、(3-13) 式で $\eta_a = 0.75$ として計算した水頭比と効率を計算値として実線で、実験によって求めた測定値を丸印で示したものである。

3-2 最大効率

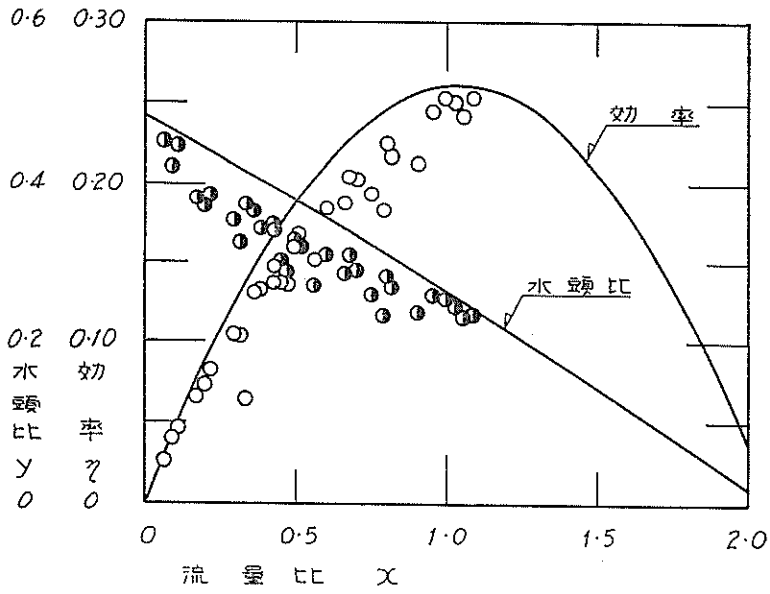
(3-11)、(3-13) 式の一般的傾向を知るために、下記寸法のエゼクタについて水頭比および効率を計算してみると図-3-7のようになる。

ノズル面積	$A_j = 7.07 \text{cm}^2$
のど部面積	$A_a = 38.47 \text{cm}^2$
吸込部面積	$A_s = 307.09 \text{cm}^2$
面積比	$A_j/A_a = 0.184$
	$A_j/A_s = 0.023$
その他	$\eta_a = 0.75$



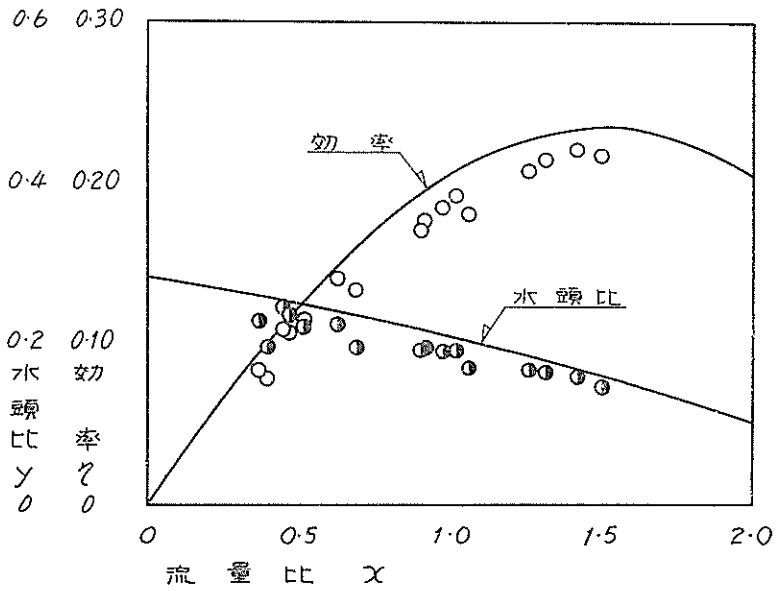
のど部直径 70mm ノズル直径 $\left\{ \begin{array}{l} \bigcirc 30\text{mm} \\ \bullet 24\text{mm} \\ \ominus 18\text{mm} \end{array} \right.$

図-3-3 圧力上昇の計算値と測定値



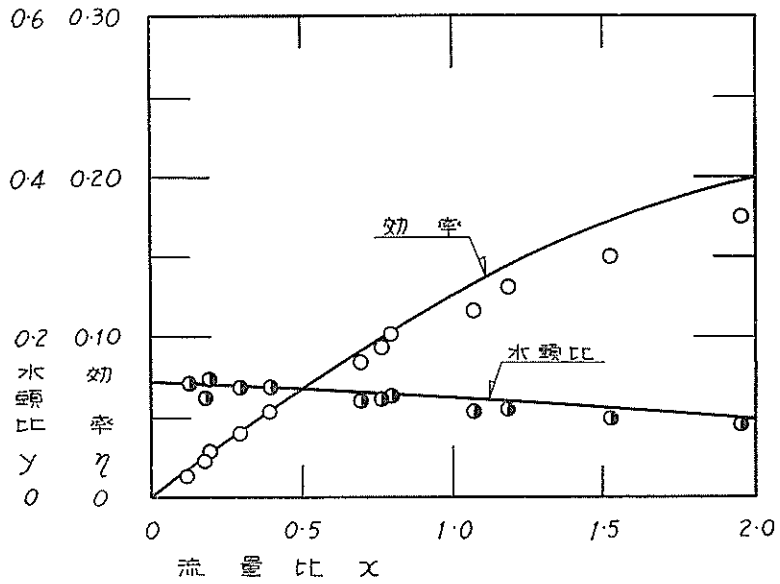
ノズル直径 30mm のど部直径 70mm 水頭比 ● 効率 ○

図-3-4 流量比・水頭比と効率



ノズル直径 24mm のど部直径 70mm 水頭比 ● 効率 ○

図-3-5 流量比・水頭比と効率



ノズル直径 18mm のど部直径 70mm 水頭比 ● 効率 ○

図-3-6 流量比・水頭比と効率

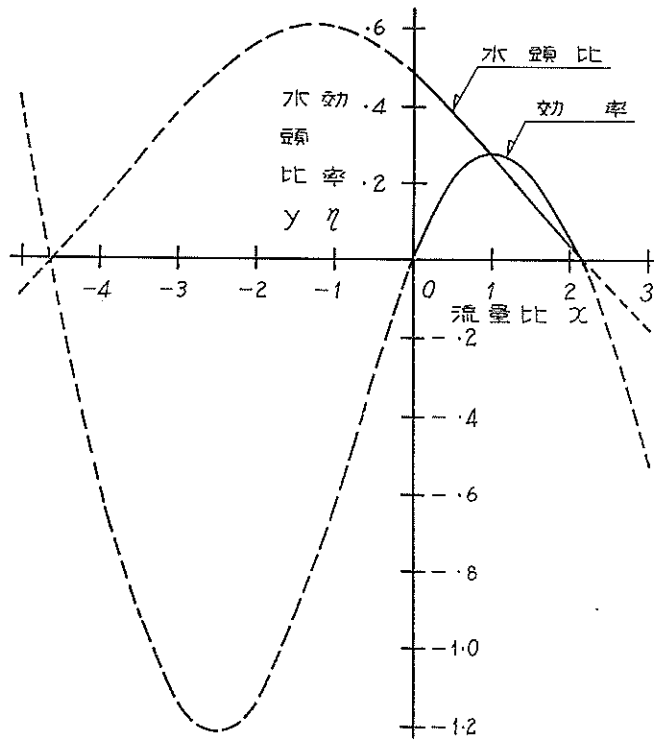


図-3-7 流量比・水頭比・効率曲線

図よりエゼクタが揚水ポンプとして作用するのは、第 I 象限の実線で示す範囲のみであることが知られる。したがって、エゼクタの最大効率を求めるには、第 I 象限

における (3-13) 式の極大値を示す流量比 x の値を求めればよい。

(3-13) 式より

$$\eta = x \left(\frac{1}{Kx^2 + Lx - M + 1} - 1 \right) \dots\dots\dots (3-16)$$

微分して零とおくと

$$x^4 + 2 \frac{L}{K} x^3 + \left\{ \frac{3-2M}{K} + \left(\frac{L}{K} \right)^2 \right\} x^2 + \frac{2L(1-M)}{K^2} x + \frac{M(M-1)}{K^2} = 0 \dots\dots\dots (3-17)$$

上式において

$$x = a - \frac{L}{2K} \dots\dots\dots (3-18)$$

とおけば (3-17) 式は

$$a^4 + \left\{ \frac{3-2M}{K} - \frac{1}{2} \left(\frac{L}{K} \right)^2 \right\} a^2 - \frac{L}{K^2} a + \left\{ \left(\frac{L}{2K} \right)^4 + \frac{L^2(2M-1)}{4K^3} + \frac{M(M-1)}{K^2} \right\} = 0 \dots\dots\dots (3-19)$$

となり、3次の項を含まない4次に書き変えることができる。

Ferrari の解法により (3-19) 式を解けば

$$a^4 = -Na^2 + \frac{L}{K^2} a - \left\{ \left(\frac{L}{2K} \right)^4 + \frac{L^2(2M-1)}{4K^3} + \frac{M(M-1)}{K^2} \right\} \dots\dots\dots (3-20)$$

ここに

$$N = \frac{3-2M}{K} - \left(\frac{L}{K} \right)^2 \dots\dots\dots (3-21)$$

である。(3-20) 式の両辺に $(a^2b + b^2/4)$ を加えると

$$\left(a^2 + \frac{b}{2} \right)^2 = (b-N)a^2 + \frac{L}{K^2} a - \left\{ \left(\frac{L}{2K} \right)^4 + \frac{L^2(2M-1)}{4K^3} + \frac{M(M-1)}{K^2} \right\} + \frac{b^2}{4} \dots\dots\dots (3-22)$$

b は未定であるが、上式の右辺が完全平方式になるように

$$\left(\frac{L}{K^2} \right)^2 + 4(b-N) \left\{ \left(\frac{L}{2K} \right)^4 + \frac{L^2(2M-1)}{4K^3} + \frac{M(M-1)}{K^2} - \frac{b^2}{4} \right\} = 0$$

$$\therefore b^3 - Nb^2 - \left\{ \frac{1}{4} \left(\frac{L}{K} \right)^4 + \frac{L^2(2M-1)}{K^3} + \frac{4M(M-1)}{K^2} \right\} b$$

$$+ N \left\{ \frac{1}{4} \left(\frac{L}{K} \right)^4 + \frac{L^2(2M-1)}{K^3} + \frac{4M(M-1)}{K^2} \right\} - \left(\frac{L}{K^2} \right)^2 = 0 \dots\dots\dots (3-23)$$

のように b をえらぶ。上式において

$$b = c + \frac{1}{3}N \dots\dots\dots (3-24)$$

とおけば

$$c^3 + 3Rc + 2S = 0 \dots\dots\dots (3-25)$$

ここに

$$\left. \begin{aligned} R &= -\frac{1}{9} \left\{ \left(\frac{L}{K} \right)^2 + \frac{4M-3}{K} \right\}^2 \\ S &= -\frac{1}{27} \left\{ \left(\frac{L}{K} \right)^2 + \frac{4M-3}{K} \right\}^3 + \frac{2(M-1)}{K^3} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-26)$$

である。(3-25) 式の根を c_1, c_2, c_3 とすれば

$$\left. \begin{aligned} c_1 &= \sqrt[3]{-S + \sqrt{S^2 + R^3}} + \sqrt[3]{-S - \sqrt{S^2 + R^3}} \\ c_2 &= \sqrt[3]{-S + \sqrt{S^2 + R^3}} \omega + \sqrt[3]{-S - \sqrt{S^2 + R^3}} \omega^2 \\ c_3 &= \sqrt[3]{-S + \sqrt{S^2 + R^3}} \omega^2 + \sqrt[3]{-S - \sqrt{S^2 + R^3}} \omega \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-27)$$

となる。ここに ω は1の虚立方根である。

上式で $(S^2+R^3)>0$ となるので c_1 のみが実根とな

$$\left\{a^2 + \frac{1}{2}\left(c_1 + \frac{N}{3}\right)\right\}^2 = \left(c_1 - \frac{2}{3}N\right)\left\{a - \frac{L}{2K^2(c_1 - 2N/3)}\right\}^2$$

$$\therefore a^2 + \frac{1}{2}\left(c_1 + \frac{N}{3}\right) = \pm \sqrt{c_1 - \frac{2}{3}N} \left\{a - \frac{L}{2K^2(c_1 - 2N/3)}\right\} \dots \dots \dots (3-28)$$

となり、この2次式を解けば(3-19)式の4根を求め
ることができる。この根の値を(3-18)式のに代入す

$$x_1 = \frac{1}{2} \left\{ \sqrt{c_1 - \frac{2}{3}N} + \sqrt{\frac{2L}{K^2 \sqrt{c_1 - 2N/3}} - c_1 - \frac{4}{3}N - \frac{L}{K}} \right\} \dots \dots \dots (3-29)$$

となる。

エゼクタ各部の面積 A_j, A_s, A_a および η_a が与えら
れた場合、流量比が(3-29)式で計算された x_1 とな
った時に最大効率が得られる。

第4章 結 語

エゼクタの実験に関して得られた結果を要約すると次
の通りである。

1. 混 合 距 離

最適の混合距離は、ノズルの直径およびノズル圧
吸込圧、吐出圧にはほとんど無関係で、のど部の直
径によってほぼ一定となる。

2. 揚 水 量 特 性

揚水量は、吐出圧と吸込圧の差の関数となり、
($h_e - h_r$)が一定の場合には、揚水量はノズル流量
の増加につれて、ほぼ直線的に増加する。

3. 水 頭 比 と 効 率

ノズル出口付近(吸込口を含む)およびのど部の
断面においては、流体の速度分布は一樣ではないと
考えられるが、この2断面間に噴流、揚水、吐出水
のそれぞれの平均速度を用いた運動量の式がほぼ成
立する。運動量の式とエネルギー式を併用すること
により、ノズル出口、吸込口、のど部の面積および η_a
を定めれば、エゼクタの水頭比および効率を求める
ことができる。この式を用いて計算した値と、実験
によって得られた測定値はほぼ一致する。

る。 c_1 の値を(3-24)式の c に代入し、このようにし
て求めた b の値を(3-22)式に代入すれば

れば、(3-17)式の根が得られる。
(3-17)式の根を $0 < x_1 < \infty$ の範囲で求めれば

4. 最 大 効 率

効率を求める式から、エゼクタの最大効率が得ら
れる流量比を求めることができる。

以上の通りであるが、のど部の直径を変えたり、
平行部をつけたりした場合の適正な混合距離や、揚
水量特性については、今後研究を進めていかなけれ
ばならない問題である。

あ と が き

この実験を行うに当たって、終止御指導、御協力を頂き
ました松田任機材部長、近藤基作業船研究室長ならびに
早乙女保二、岩田尚生氏に対して深く感謝の意を表しま
す。

参 考 文 献

1. ジェットポンプに関する研究 市川常雄
日本機械学会論文集 昭和27年
2. 水力学 植松時雄 昭和30年
3. 応用流体力学 岡本哲史 昭和36年
4. 機械工学便覧 日本機械学会 昭和36年
5. 水力機械工学便覧 水力機械工学便覧編集委員会
昭和37年
6. Some Problems in the Design and Operation of
Jet Ejectors

M. O. Engel 1963

(昭和40年1月15日受付)

付 表 (1)

測 定 結 果 一 覧 表

ノズル直径 30mm

のど部直径 70mm

混合距離 210mm

ノズル圧 kg/cm ²	吸込圧 kg/cm ²	吐出圧 kg/cm ²	ノズル流量 l/s	揚水量 l/s	吐出量 l/s	流量比	水頭比	効 率
3.0	-0.2	0.6	17.00	7.24	24.24	0.426	0.242	0.146
4.0	-0.2	0.6	19.37	19.27	38.64	0.995	0.252	0.250
3.0	-0.4	0.6	17.26	1.49	18.75	0.086	0.420	0.036
4.0	-0.4	0.6	19.59	11.79	31.38	0.602	0.304	0.183
5.0	-0.4	0.6	21.75	22.32	44.07	1.026	0.243	0.250
5.0	-0.6	0.6	22.23	14.63	36.86	0.658	0.284	0.187
6.0	-0.6	0.6	23.91	21.46	45.37	0.898	0.236	0.212
7.0	-0.6	0.6	26.20	28.53	54.73	1.089	0.204	0.223
5.0	-0.8	0.6	22.36	7.02	29.38	0.314	0.324	0.102
6.0	-0.8	0.6	24.49	13.75	38.24	0.561	0.269	0.151
7.0	-0.8	0.6	26.41	20.76	47.17	0.786	0.231	0.182

付 表 (2)

測 定 結 果 一 覧 表

ノズル直径 30mm

のど部直径 70mm

混合距離 210mm

ノズル圧 kg/cm ²	吸込圧 kg/cm ²	吐出圧 kg/cm ²	ノズル流量 l/s	揚水量 l/s	吐出量 l/s	流量比	水頭比	効 率
4.0	-0.2	0.9	19.39	7.02	26.41	0.362	0.364	0.131
5.0	-0.2	0.9	21.61	17.23	38.84	0.797	0.282	0.224
6.0	-0.2	0.9	23.14	25.16	48.30	1.087	0.233	0.253
4.0	-0.4	0.9	19.75	2.17	21.89	0.108	0.423	0.046
5.0	-0.4	0.9	21.98	10.74	32.72	0.489	0.326	0.159
6.0	-0.4	0.9	23.64	19.14	42.78	0.810	0.268	0.217
7.0	-0.4	0.9	26.21	27.54	53.75	1.051	0.230	0.242
5.0	-0.6	0.9	22.41	4.32	26.73	0.193	0.371	0.072
6.0	-0.6	0.9	23.92	10.74	34.66	0.449	0.302	0.136
7.0	-0.6	0.9	26.36	19.68	46.04	0.747	0.258	0.193
7.0	-0.8	0.9	26.55	12.49	39.04	0.470	0.287	0.135

付 表 (3)

測 定 結 果 一 覧 表

ノズル直径 30mm

のど部直径 70mm

混合距離 210mm

ノズル圧 kg/cm ²	吸込圧 kg/cm ²	吐出圧 kg/cm ²	ノズル流量 l/s	揚水量 l/s	吐出量 l/s	流量比	水頭比	効 率
5.0	-0.2	1.2	21.63	7.24	28.87	0.335	0.377	0.126
6.0	-0.2	1.2	23.46	15.78	39.24	0.673	0.304	0.205
7.0	-0.2	1.2	24.97	23.79	48.76	0.953	0.257	0.247
5.0	-0.4	1.2	21.84	1.35	23.19	0.062	0.426	0.026
6.0	-0.4	1.2	23.67	9.05	32.72	0.382	0.342	0.131
7.0	-0.4	1.2	25.66	17.98	43.64	0.701	0.289	0.202
6.0	-0.6	1.2	24.10	4.10	28.20	0.170	0.381	0.065
7.0	-0.6	1.2	26.03	11.03	37.06	0.424	0.320	0.136
6.0	-0.2	1.5	23.54	4.99	28.53	0.212	0.385	0.082
7.0	-0.2	1.5	25.13	12.91	38.04	0.514	0.319	0.164
7.0	-0.4	1.5	25.43	7.47	32.90	0.294	0.353	0.104

付 表 (4)

測 定 結 果 一 覧 表

ノズル直径 24mm

のど部直径 70mm

混合距離 240mm

ノズル圧 kg/cm ²	吸込圧 kg/cm ²	吐出圧 kg/cm ²	ノズル流量 l/s	揚水量 l/s	吐出量 l/s	流量比	水頭比	効 率
4.0	-0.2	0.6	12.51	5.60	18.11	0.448	0.239	0.107
5.0	-0.2	0.6	14.06	13.65	27.71	0.971	0.188	0.183
6.0	-0.2	0.6	15.32	21.74	37.06	1.419	0.157	0.223
5.0	-0.4	0.6	14.23	6.67	20.90	0.469	0.231	0.108
6.0	-0.4	0.6	15.53	14.19	29.72	0.914	0.161	0.175
7.0	-0.4	0.6	16.49	20.76	37.25	1.259	0.164	0.207
8.0	-0.4	0.6	17.71	26.57	44.28	15.00	0.144	0.217
6.0	-0.6	0.6	15.80	5.80	21.60	0.367	0.225	0.083
7.0	-0.6	0.6	16.56	11.31	27.87	0.683	0.192	0.131
8.0	-0.6	0.6	17.40	18.49	35.89	1.063	0.168	0.179
8.0	-0.8	0.6	17.67	7.02	24.69	0.397	0.192	0.076

付 表 (5) 測 定 結 果 一 覧 表

ノズル直径 24mm のど部直径 70mm 混合距離 240mm

ノズル圧 kg/cm ²	吸込圧 kg/cm ²	吐出圧 kg/cm ²	ノズル流量 l/s	揚水量 l/s	吐出量 l/s	流量比	水頭比	効 率
6.0	-0.2	0.9	15.35	9.65	25.00	0.629	0.220	0.138
7.0	-0.2	0.9	16.29	16.61	32.90	1.020	0.187	0.191
8.0	-0.2	0.9	17.69	23.19	40.88	1.311	0.163	0.214
7.0	-0.4	0.9	16.45	8.40	24.85	0.511	0.217	0.111
8.0	-0.4	0.9	17.41	15.67	33.08	0.901	0.189	0.170

付 表 (6) 測 定 結 果 一 覧 表

ノズル直径 18mm のど部直径 70mm 混合距離 240mm

ノズル圧 kg/cm ²	吸込圧 kg/cm ²	吐出圧 kg/cm ²	ノズル流量 l/s	揚水量 l/s	吐出量 l/s	流量比	水頭比	効 率
6.0	-0.2	0.6	8.49	1.61	10.10	0.190	0.149	0.028
7.0	-0.2	0.6	8.92	7.09	16.01	0.795	0.126	0.101
8.0	-0.2	0.6	9.59	11.31	20.90	1.179	0.110	0.130
9.0	-0.2	0.6	10.23	15.55	25.78	15.20	0.098	0.149
10.0	-0.2	0.6	10.78	21.04	31.82	1.952	0.089	0.173
8.0	-0.4	0.6	9.77	2.83	12.60	0.290	0.136	0.039
9.0	-0.4	0.6	10.27	7.09	17.36	0.690	0.120	0.083
10.0	-0.4	0.6	10.87	11.60	22.47	1.067	0.108	0.115
10.0	-0.6	0.6	11.33	2.00	13.33	0.177	0.128	0.023

付 表 (7)

測 定 結 果 一 覧 表

ノズル直径 18mm

のど部直径 70mm

混合距離 240mm

ノズル圧 kg/cm ²	吸込圧 kg/cm ²	吐出圧 kg/cm ²	ノズル流量 l/s	揚水量 l/s	吐出量 l/s	流量比	水頭比	効 率
9.0	-2.0	0.9	10.13	3.95	14.08	0.390	0.137	0.053
10.0	-2.0	0.9	10.67	8.08	18.75	0.757	0.122	0.093
10.0	-4.0	0.9	10.96	1.33	12.29	0.121	0.143	0.017

港湾技術研究所報告 第4卷4号

1965年2月

編集兼発行者 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市川間162

印刷所 株式会社白泉社
東京都港区麻布霞町7