港湾技術研究所報告

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

第 3 巻 3 号　　Vol. 3 No. 3

浚渫用噴流装置に関する研究(第1報)………岩 田 尚 生

1 9 6 4 年 8 月

運輸省港湾技術研究所

国土技術政策総合研究所
図書室
蔵書

港湾技術研究所報告

第3巻3号　正 誤 表

頁	行	誤	正
4	下　2	次式る。	次式を得る。
6	上　5	$h_a = O$	$h_a \fallingdotseq O$
11	上　7	$\frac{a - P_w}{r}$	$\frac{P_a - P_w}{r}$
11	上　12	管内で噴射 j_a ξ_s の	管内で噴尉し ξ_s の
16	下　8	ノズル用は	用ノズルは
18	下　2	$V_j^2/2gC^2$ の値に	$V_j^2/2gCv^2$ の値に
19	下　6	例を表一1に示す。	例を表一2に示す。
20	上　1	摩擦損夅水頭	摩擦損失水頭
21	下　11	面積比 A_a/A_a の	面積比 A_a/A_j の
21	下　9	計算表を表に示す。	計算結果を表一7に示す。
25	下　2	損失水頭係数入	損失水頭係数 λ
31	下　12〔表一3一(b)〕	$\frac{Q_j V_j}{Ag}$	$\frac{Q_j V_j}{A_a g}$

しゅん渫用噴流装置に関する研究（第1報）

目　　　　次

§ I　序　　　　論……3
§ II　噴流装置の理論……3
1.　断面一様な管内で噴射する場合の計算式……4
2.　管口外から噴入する場合の計算式……7
3.　噴流装置の特性について……9
4.　噴流装置性能の近似計算法……11
5.　噴流装置の混合室内におけるエネルギー損失……11
6.　噴流装置の計算例……12
§ III　実験装置および実験方法……16
1.　実験の目的……16
2.　実験装置および実験方法……16
§ IV　実験結果および理論式との比較……18
1.　理論式の仮定についての二三の模型実験……18
2.　断面一様な管内で噴射する型式の模型についての実験および実験結果……20
3.　管口外から噴入する型式の模型についての実験および実験結果……23
4.　ノズル口付近の管断面が一様でない噴流装置模型についての実験，および実験結果……24
5.　吸込水が噴流軸に垂直な方向から入る型式の模型についての実験，および実験結果……25
6.　ノズル口位置を管口外から管内へ変化させて噴射するときの実験，および実験結果……26
§ V　結　　　　論……27
§ VI　あ　と　が　き……28

しゆん渫用噴流装置に関する研究（第 1 報）

岩　田　尚　生*

Study on the Jet-apparatus for dredging (1 st Report)

by Hisao Iwata*

The present report is the first of a research series in which the author intends to investigate the phenomena of flows in the jet-apparatus for dredging and to obtain reliable data to design an apparatus of high efficiency. A new calculation method for the characteristies of the Jet-apparatuses has been developed. also a method for the comparison of the efficiencies of Jet-apparatuses for dredging is proposed in this report.

In the begining of this report, the effect of changing the diameter of mixing chamber and nozzle to the characteristies of the apparatuses was investigated for the most basic type of circular section.

Using a simple designed model of the Jet-apparatuses, the velocity and pressure at every point in the mixing chamber were measured, and the measured values were compared with the calculated values of the model Jet- apparatuses by this method.

* 機材部作業船研究室

* Research Engineer, Dredger and Construction equipment Laboratory, Machinery and material Division

I 序　　　　論

現在わが国の各所で大規模な埋立工事や各種の建設工事が行なわれているが，近時これらの工事に必要な埋立用土砂や，建設用資材としての砂，砂利等の工事現場近くでの入手が次第に困難となってきたために，船舶，自動車等による遠距離運搬が行なわれており，これが工事費を増す一因となっている。埋立用土砂や建設用資材としての砂，砂利の供給を容易にして，この問題を解決するために，工事現場付近の海底に良質の土砂がある場合は，これを採取して使用する方法が有利であると考えられ，すでに，この目的に用いるための2, 3のしゆん渫船が建造されている。

海底からの土砂供給に際して最も問題となるのは，一般のしゆん渫船では高深度しゆん渫が必要なためにその採取が困難となる場合が多いことである。すなわち，海底の限られた面積内から大量の土砂を採取するためには，当然しゆん渫深度を増すことが必要となるが，一般のしゆん渫用サンドポンプによって高深度しゅん渫を行なう場合は，吸込管内での摩擦損失水頭の増加，並びに吸込管内の土砂混合水と管外の海水との比重の差によって，ポンプの吸込側圧力が低下してキャビテーションが起り，しゅん渫能率の低下，若しくはしゅん渫不能となる。一般にポンプ式しゅん渫船では深度20mが経済的作業限度とされている。このような高深度しゅん渫作業を能率よく行なう方法として，ポンプ式しゅん渫船の吸込管内にゼットを噴入してその圧力を高めたり，エゼクター式しゅん渫船のように単独のエゼクターを装備したもの等がある。

埋立および各種の建設工事分野において，噴流装置は上記の高深度しゆん渫用として必要である他に，装置および取扱いが簡単で摩耗部分が少ない等の利点があるために，しゆん渫船から運搬船へ，運搬船から船外へ夫々土砂を輸送する場合等にエゼクターとして用いられ，さらにしゆん渫船の蒸汽機関の諸装置や，大型サンドポンプの始動用エゼクターにも用いられている。このように噴流装置はその応用範囲が広いにもかかわらず，一般の他の分野であまり使用されていないのは，その効率が低いためである。したがって，噴流装置に関する研究も少なく，理論的にも実験的にも未だ確立した成果は見あたらない。殊にしゆん渫用噴流装置は，その使用状態が一般のものと異なる場合が多く，今までに行なわれてきた研究結果のみによって問題を解決することができない現状である。

本論文は，しゆん渫用噴流装置について種々の現象を詳細に研究し，よい性能の噴流装置を設計するための資料を得ようとするものである。そこで筆者は，最も基本的形状の噴流装置模型による基礎実験からはじまり，吸込管にゼット加圧装置をもつ大型ポンプ式しゆん渫船，およびエゼクター式しゆん渫船による実船試験に至るまで数多くの実験を行なった。そうして，この実験結果の個々の場合について，夫々理論的に考察し，高能性のしゆん渫用噴流装置を見出すための新らしい性能比較法を試みた。

本報告においては，噴流装置の管内流れに対して新計算法を用いることを提案した。その第1段階として，断面の一様な管内で噴射を行なう最も基本的形状の場合について，ノズルおよび混合室の直径等を種々変化させたときの噴流装置の性能について調査した。すなわち，簡単な形状の噴流装置模型により，模型の各位置における流速や圧力を計測し，この提案による計算方法を用いて性能の比較を行なったものである。

II 噴流装置の理論

しゆん渫用噴流装置は，水または海水を用いて土砂混合水を送る種類のものが最も多い。そこで本報告では，まず清水を用いて清水を送る最も基本的な場合の理論から述べる。次に本報告で取り扱う符号の内容を説明する。

Q_J＝ノズルからの噴出流量（m^3/sec）

V_J＝ノズル口での平均噴出流速（m/sec）

Q_s＝吸込口からの吸込流量（m³/sec）

V_s＝ノズル口位置での吸込水の平均流速（m/sec）

Q_a＝吐出側流量＝Q_J+Q_s（m³/sec）

V_a＝吐出側断面IIでの平均流速（m/sec）

P_J＝噴射前の駆動水圧力（kg/m²）

P_s＝ノズル口断面の管壁で測定した静圧（kg/m²）

P'_s＝吸込口における静圧（kg/m²）

P_a＝吐出側断面IIにおける静圧（kg/m²）

P'_a＝吐出口における静圧（kg/m²）

A_J＝ノズル口断面積（m²）

A_a＝吐出側断面IIでの管断面積（m²）

A_s＝ノズル口位置での吸込側管断面積（m²）

H_J＝駆動水全水頭（m）

H_a＝吐出側全水頭（m）

H_s＝吸込側全水頭（m）

h_a＝吐出側位置水頭（m）

h_s＝吸込側位置水頭（m）

D＝吐出側断面IIでの管直径（m）

d＝ノズル口直径（m）

λ＝管摩擦係数

Cv＝ノズル，オリフィスから噴出する際の速度係数

L＝ノズル口から断面IIまでの距離（m）

F_l＝ノズル口から断面IIの間で水が管壁に作用する摩擦力（kg）

r＝水の単位体積重量（kg/m³）

g＝重力の加速度（m/ses）

その他，管内各位置における静圧等は，上記の符号に測定順序を示す数字を添えて表わすことにする。

1. 断面一様な管内で噴射する場合の計算式

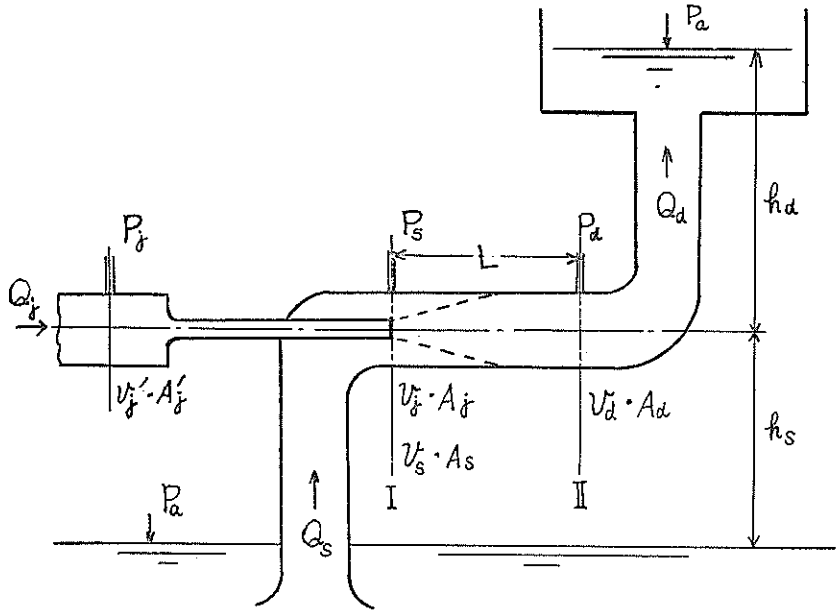
断面一様な管内で噴射する型式の噴流装置配置を図一1に示す。しゆん渫用噴流装置は，海水を噴射して土砂混合水を取り扱う種類のものが多いが，ここではその基礎となる駆動側，揚水側共水の場合について説明する。図で断面Iにおいてゼットを噴射し，断面IIで混合が終ると考え，両断面間で運動量の法則を適用すると

$$(P_a-P_s)\,A_a+F_l=\frac{r(Q_JV_J+Q_sV_s-Q_a\ V_a)}{g}\quad\cdots\cdots(1)$$

上式の F_l は管壁に作用する摩擦力で次式によつて求まる。

$$F_l=\frac{\lambda r\pi DL\ V^2{}_a}{8g}\quad\cdots\cdots(2)$$

断面IとIIの間の混合室内で，管壁近くを流れる水の流速は V_s から V_a に変化するために，上式の管摩擦係数 λ は，一般の管内流の場合とは異なる値をとる。式(1)と式(2)から $Q_J+Q_s=Q_a$ の関係を利用して次式る。



図—1　噴流装置の配置（管口内で噴射する場合）

$$\frac{P_d-P_s}{r}=\frac{Q_j\ V_j}{A_dg}-\frac{Q_d\ V_d}{A_dg}+\frac{(Q_d-Q_j)^2}{A_sA_dg}-\frac{\lambda\pi DL\ V_d^2}{8A_dg}$$

$$=\left(\frac{A_sA_j+A_j^2}{A_sA_dg}\right)V_j^2-\frac{2A_j}{A_sg}V_jV_d+\left(\frac{A_d-A_s}{A_sg}-\frac{\lambda\pi DL}{8A_dG}\right)V_d^2\cdots(3)$$

次に第二の基本式としてエネルギー式を考える。このためノズル軸を基準として，断面Ｉ以前と断面Ⅱ以後の流れに対し，夫々ベルヌーイの定理を適用すると，

（a）　断面Ｉ以前の吸込側管路について，

$$\frac{P_a}{r}-h_s=\frac{P_s}{r}+\frac{(1+\xi_s)\ V_s^2}{2g}$$

（b）　断面Ⅱ以後の吐出側管路について

$$\frac{P_d}{r}+h_d+\frac{(1+\xi_d)\ V_d^2}{2g}=\frac{P_a}{r}+\frac{V_d^2}{2g}$$

……………………………………(4)

上式の P_a は大気圧であり，ξ_s ξ_d は夫々の管路における損失水頭を表わす係数である。式(4)と $V_s=(Q_d-Q_j)/A_s$ の関係から次式を得る。

$$\frac{P_d-P_s}{r}=\frac{P_d-P_a}{r}+\frac{P_a-P_s}{r}$$

$$=\frac{\xi_d\ V_d^2}{2g}+h_d+\frac{(1+\xi_s)\,V_s^2}{2g}+h_s$$

$$=\left(\frac{(1+\xi_s)\ A_d^2}{2gA_s^2}+\frac{\xi_d}{2g}\right)V_d^2-\frac{2(1+\xi_s)A_jA_d}{2gA_s^2}V_jV_d+\frac{(1+\xi_s)A_j^2}{2gA_s^2}V_j^2$$

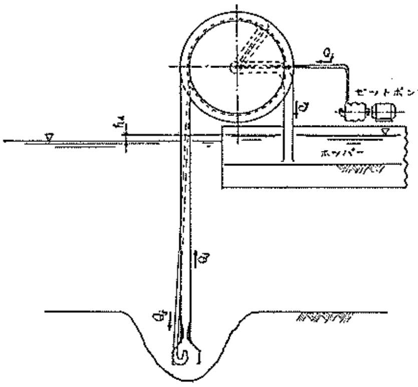
$$+h_d+h_s\cdots\cdots(5)$$

運動量式から導かれた式(3)とエネルギー式から導かれた式(5)の $(P_d-P_s)/r$ は等しい筈であるから

$$\left[\frac{\xi_a}{2g}-\frac{A_a-A_s}{A_s g}+\frac{\lambda\pi DL}{8A_a g}+\frac{(1+\xi_s)A_a^2}{2A_s^2 g}\right]V_a^2+\left[\frac{A_a-A_s}{A_s g}-\frac{(1+\xi_s)A_j A_a}{2A_s^2 g}\right]2V_j V_a$$

$$+\left[\frac{(1+\xi_s)A_j^2}{2A_s^2 g}-\frac{A_s A_j+A_j^2}{A_s A_a g}\right]V_j^2+h_s+h_a=0 \cdots\cdots\cdots\cdots (6)$$

この式(6)が噴流装置の基本式である。噴流装置の配置とノズル口での駆動水流速を定めれば，上式によって断面IIでの流速 V_a を求めることができる。噴流装置の配置が図－2に示すような場合は，式(6)の位置水頭



図－2　しゆん渫用エゼクターの配置例

$h_s=0$，$h_a=0$ で，かつ $A_j+A_s=A_a$ なる故，これを次のように書き換えて計算することができる。

$$\left[\frac{\xi_a}{2}-\frac{A_j}{A_s}+\frac{\lambda\pi DL}{8A_a}+\frac{(1+\xi_s)A_a^2}{2A_s^2}\right]\frac{V_a^2}{V_j^2}+\left[\frac{A_j}{A_s}-\frac{(1+\xi_s)A_j A_a}{2A_s^2}\right]\frac{2V_a}{V_j}$$

$$+\left[\frac{(1+\xi_s)A_j^2}{2A_s^2}+\frac{A_j}{A_s}\right]=0$$

上式の〔　〕内の値を夫々 B，C，D の符号で表わせば，

$$B\left(\frac{V_a}{V_j}\right)^2+2C\frac{V_a}{V_j}+D=0$$

$$\therefore \frac{V_a}{V_j}=\frac{-C\pm\sqrt{C^2-BD}}{B} \cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

上述のノズル口前には，充分な丸味があつて縮流の起らないノズルを考えた。次にノズル口での駆動水流速 V_j とノズル口前の管内圧力 P_j の間には次の関係がある。

$$V_j=C_v\sqrt{\frac{2g(P_j-P_s)/r}{1-C_v^2\left(\frac{A_j}{A'_j}\right)^2}} \cdots\cdots\cdots\cdots (8)$$

ここに A'_j＝ノズル口前の P_j 測定位置でのゼット管断面積 (m^2)

上式で P_j の測定位置からノズル口までの管路における損失は，駆動水全管路の損失水頭計算に含め，ここでは噴出の際の速度係数 C_v のみを考慮する。また $A_j/A_j'<0.1$ のときは $C_v^2\left(\frac{A_j}{A_j'}\right)$ の値が小さく，これを無視することができる。すなわち式(8)は次のようになる。

$$V_j=C_v\sqrt{2g\frac{(P_j-P_s)}{r}}$$

または　$\Bigg\}\cdots\cdots\cdots\cdots (9)$

$$\left.\frac{P_j - P_s}{r} = \frac{V_j^2}{2gC_v^2}\quad\right\}$$

式(３)と上式とから，混合室内での圧力増加と駆動水圧力との比を求めると，

$$\frac{\dfrac{P_d - P_s}{r}}{\dfrac{P_j - P_s}{r}} = \frac{\left(\dfrac{A_d - A_s}{A_s g} - \dfrac{\lambda\pi DL}{8A_d g}\right)V_d^2 - \dfrac{A_j}{A_s g}2V_d V_j + \left(\dfrac{A_s A_j + A_j^2}{A_s A_d g}\right)V_j^2}{\dfrac{V_j^2}{2gC_v 2}}$$

$$= 2C_v^2\left(\frac{A_d - A_s}{A_s} - \frac{\lambda\pi DL}{8AD}\right)\frac{V_d^2}{V_j^2} - 4C_v^2\frac{A_j}{A_s}\ \frac{V_d}{V_j}$$

$$+ 2C_v^2\left(\frac{A_s A_j + A_j^2}{A_s A_d}\right) \cdots\cdots\cdots\cdots (10)$$

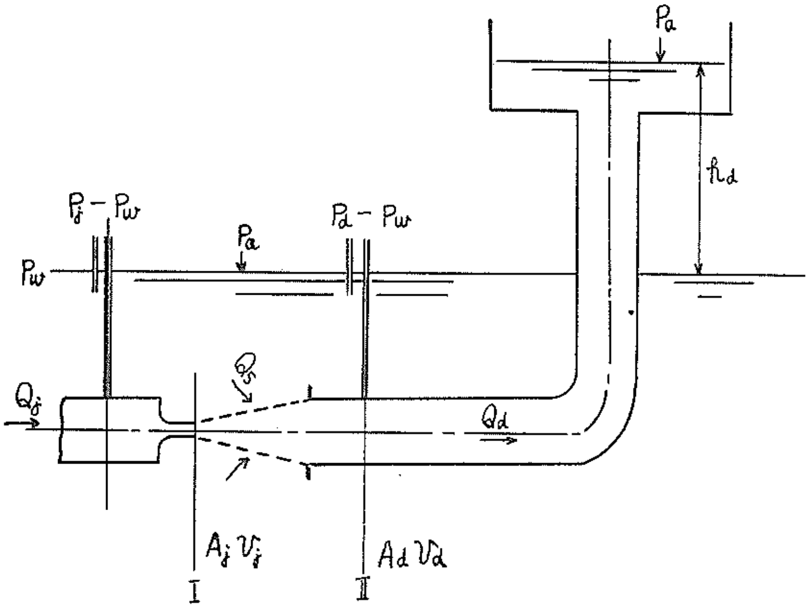
断面Ｉと断面IIでの管直径が等しい場合は，$A_j + A_s = A_d$ なる故上式は次のようになる。

$$\frac{P_d - P_s}{P_j - P_s} = 2C_v^2\left(\frac{A_j}{A_s} - \frac{\lambda\pi DL}{8A_d}\right)\frac{V_d^2}{V_j^2} - 2C_v^2\frac{A_j}{A_s}\ \frac{2V_d}{V_j} + 2C_v^2\frac{A_j}{A_s} \cdots\cdots\cdots (11)$$

式(10)，式(11)で，噴流装置混合室の構造が定まれば，圧力比 $(P_d - P_s)/(P_j - P_s)$ と流速比 V_d/U_j の関係を知ることができる。ゆえに噴流装置の計算に際しては，まず混合室の構造を定めて圧力比と流速比，または流量比 Q_d/Q_j との関係図表を作成して，種々の噴流装置性能を比較するための基礎資料とする。

2. 管口外から噴入する場合の計算式

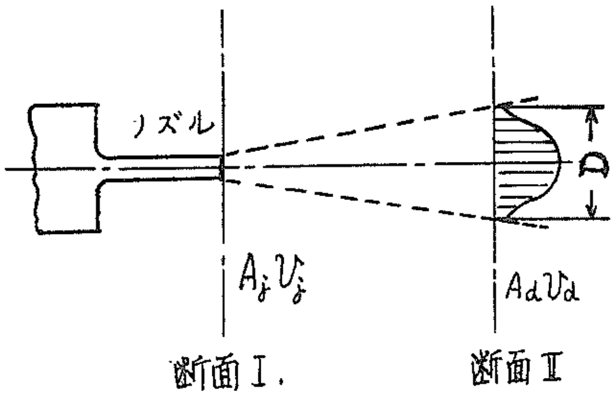
管口の外側にノズルを配置して管口に向って噴入する型式の図―３のような噴流装置について説明する。



図―３　噴流装置の配置（管口外から噴入する場合）

管口外の水中でノズルから水を噴出させるとき，噴流内部の静圧と静止している周囲の水の圧力は，種々の実験結果では若干異なるようであるが，その差は駆動水圧力に対して小さな値であるために，一般に噴流内部と外部の圧力は等しいと置いて差支えなく，この仮定によって多くの問題が取り扱われている。

図―４において，ノズル口から噴出する水は，周囲の静止している水と衝突し，噴流の直径は次第に大きくなってゆき，平均流速 V_d は順次低下してゆく。いま図の断面ⅠとⅡの間で運動量の法則を適用すると，両断面の圧力は等しい故，次の関係式を得る。



図—4　水中でのゼット噴射

$$\frac{r(Q_jV_j-Q_aV_a)}{g}=0$$

ゆえに

$$\left.\begin{aligned} V_a&=\sqrt{\frac{A_j}{A_a}}V_j \\ Q_a&=\sqrt{A_jA_a}\ V_j \end{aligned}\right\} \quad\cdots\cdots(12)$$

この噴流の前方に管口を配置したものが，図—3の噴流装置である。したがって，この噴流装置が輸送する吐出側の最大流量 $Q_{a\max}$ は，管路での抵抗損失があるために，式(12)によって求められる Q_a の値よりも小であることを知る。

管口外から噴入する型式の噴流装置の混合室は，常に水中にあることが必要で，したがって吸込側位置水頭 $h_s=0$ である。図—3でノズル軸を基準とし，ノズル軸上の管外の圧力を P_w とおいて，断面IとIIの間に運動量の法則を，また断面II以後の流れについてベルヌーイの定理を夫々適用すると，

(a)　断面I—II間について，

$$\frac{P_a-P_w}{r}=\frac{Q_jV_j}{A_ag}-\frac{Q_aV_a}{A_ag}-\frac{\lambda\pi DLV_a^2}{8A_ag}$$

(b)　断面II以後の吐出側管路について，

$$\frac{P_a-P_w}{r}=\xi_a\frac{V_a^2}{2g}+h_a \quad\cdots\cdots(13)$$

上式(a)と(b)の左辺は等しい故

$$\left.\begin{aligned} \left(\frac{2+\xi_a}{r}+\frac{\lambda\pi DL}{8A_ag}\right)V_a^2&=\frac{Q_jV_j}{A_ag}-h_a \\ \therefore V_a^2&=\frac{\dfrac{A_jV_j^2}{A_ag}-h_a}{\dfrac{\lambda\pi DL}{8A_ag}+\dfrac{2+\xi_a}{2g}} \end{aligned}\right\} \quad\cdots\cdots(14)$$

噴流装置の配置とノズル口での駆動水流速を定めると，上式によって吐出側流速 V_a を求めることができる。上式で位置水頭 $h_a=0$ の場合は次のようになる。

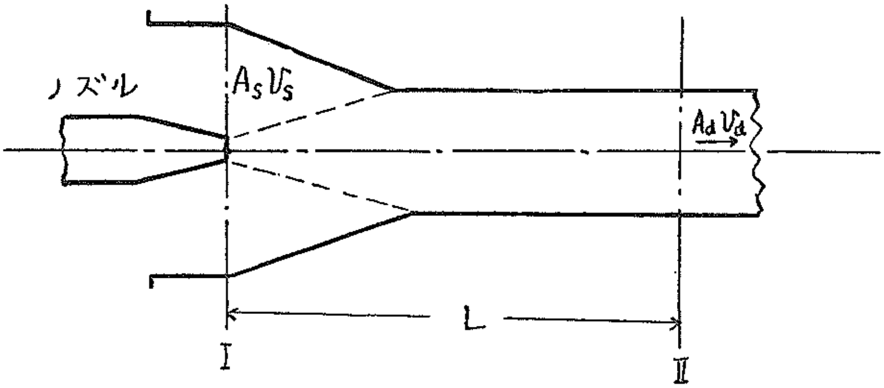
$$\left(\frac{V_a}{V_j}\right)^2=\frac{\dfrac{A_j}{A_a}}{\dfrac{\lambda\pi DL}{8A_a}+\dfrac{2+\xi_a}{2}} \quad\cdots\cdots(15)$$

次に混合室内での圧力増加と駆動水圧力との比を式(9)と式(13)の(a)とから求める。管口外から噴射する場合は，式(9)の $P_s=P_w$ と置いて，

$$\frac{\dfrac{P_d-P_w}{r}}{\dfrac{P_j-P_w}{r}}=\frac{\dfrac{A_j}{A_d g}V_j^2-\left(\dfrac{1}{g}+\dfrac{\lambda\pi DL}{8A_d g}\right)V_d^2}{\dfrac{V_j^2}{2gC_v^2}}$$

$$=\frac{2C_v^2A_j}{A_d}-\left(2C_v^2+\frac{C_v^2\lambda\pi DL}{4A_d}\right)\frac{V_d^2}{V_j^2}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(16)$$

上式は，式(10)において $A_s=\infty$ とおくことによって求めることもできる。一般に用いられているエゼクターのノズル口付近の形は，図―5に示す型式のものが多い。このような場合の計算は，式(1)において管の傾斜部

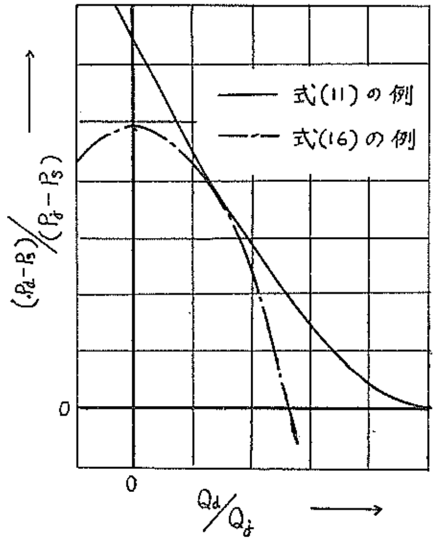


図―5　しゅん渫用エゼクターに多いノズル口付近の形状

分に作用する力を考慮することが必要であるが，この付近の流れの状態は渦が発生したりして複雑なので，その計算が困難である。ゆえに一般には式(10)の λ の値を修正して求める方法をとる。また今までに述べた諸式で，$Q_j<Q_d$ の場合すなわち V_s の値が負の場合は，その反転流の影響を考慮する必要がある。

3. 噴流装置の特性について

噴流装置の混合室配置が定まると式(10)，式(11)，および式(16)によって圧力比と流速比，または流量比との関係を知ることができる。いま圧力比を F，流量比を E の符号で表わすと，



図―6　E―F 特性

$$
\left.\begin{aligned}
E &= \frac{A_d}{A_j}\ \frac{V_d}{V_j} \\
F &= \frac{P_d - P_s}{P_j - P_s}
\end{aligned}\right\} \cdots\cdots (17)
$$

ただし，管口外から噴入する 場合は $P_s = P_w$ である。E と F の関係をグラフに示すと 図―6 に示すような傾向となる。図から E と F の関係を表わすグラフの基本形は抛物線であり，式(10)の $A_s = A_d$ のときに直線となることがわかる。

しゆん渫用噴流装置の性能を上記の E―F 特性で表わすと，E と F の 積を考えるときの分母 $(P_j - P_s)\ Q_j$ の値は，駆動水 Q_j が噴出前に保有するエネルギーを，また $(P_d - P_s)\ Q_j$ の値は，噴出側水量 Q_d が混合室内で得たエネルギーを表わす。また $(P_j - P_s)\ Q_j$ の 値から噴流装置に必要な駆動用ポンプ能力を求めることができる。

次に噴流装置の効率は一般に次のようにして求める。

$$
\left.\begin{aligned}
&M = \frac{Q_s}{Q_j} \qquad N = \frac{P_d - P_s}{P_j - P_d} \\
&\text{とおき，その効率を}\ \eta\ \text{で表わすと} \\
&\eta = MN \\
&\quad = \frac{Q_s}{Q_j} \cdot \frac{P_d - P_s}{P_j - P_d}
\end{aligned}\right\} \cdots\cdots (18)
$$

上式でM は吸込側流量と駆動水流量の 比であり，N は吸送側と 駆動側の水頭比で一般に $N = (H_d - H_s)/(H_j - H_d)$ で表わされるが，速度水頭が無視できる場合は， 圧力の比のみを考える。 この場合の 式(17)のE，Fと式(18)のM，Nとの関係は次のようになる。

(a) 流量比

$$
\begin{aligned}
E &= \frac{Q_d}{Q_j} \\
&= \frac{Q_j + Q_s}{Q_j} \\
&= 1 + M
\end{aligned}
$$

(b) 圧力比

$$
\begin{aligned}
F &= \frac{P_d - P_s}{P_j - P_d} \\
&= \frac{1}{\dfrac{(P_j - P_d) + (P_d - P_s)}{P_d - P_s}} \\
&= \frac{N}{N + 1}
\end{aligned}
$$

ゆえに

$$
\left.\begin{aligned}
EF &= (M + 1)\frac{N}{N + 1} \\
MN &= (E - 1)\frac{F}{1 - F}
\end{aligned}\right\} \cdots\cdots (19)
$$

噴流装置のE—F特性から上式によって直ちにその効率を計算することができる。

4. 噴流装置性能の近似計算法

しゅん渫用噴流装置の計画に際し，その$E-F$特性は今までに述べた方法で簡単に求められるが，この他に種々の構造，配置について夫々の圧力，流量を計算する必要がしばしば起る。たとえば式(6)によって吐出側流量Q_aを求めようとするとき，その計算は大変煩雑なものとなる。このような場合にその性能を速やかに求めるための近似計算法について述べる。先ず混合室が水中の場合について式(1)を次のように書き換える。

$$\frac{a-P_w}{r}+\frac{P_w-P_s}{r}=\frac{Q_jV_j}{A_ag}+\frac{Q_sV_s}{A_ag}-\frac{Q_aV_a}{A_ag}-\frac{\lambda\pi DLV_a^2}{8A_ag}\cdots\cdots(20)$$

吸込側管路にベルヌーイの定理を適用すると，

$$\frac{P_w-P_s}{r}=\frac{(1+\xi_s)\ V_s^2}{2g}\cdots\cdots(21)$$

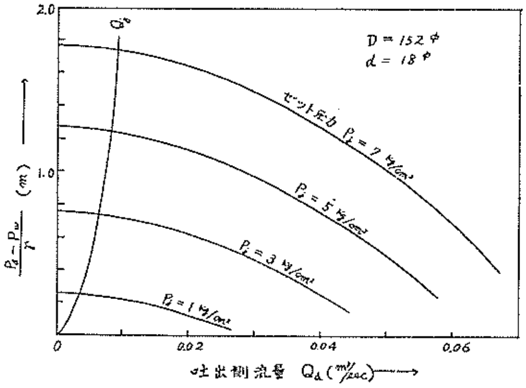
式(20)と式(21)とから

$$\frac{P_a-P_w}{r}=\frac{Q_jV_j}{A_ag}-\left(\frac{1}{g}+\frac{\lambda\pi DL}{8A_ag}\right)V_a^2+\left(\frac{A_s}{A_ag}-\frac{(1+\xi_s)}{2g}\right)V_s^2\cdots\cdots(22)$$

吸込口附近の管内で噴射 j_a ξ_s の値が1以下の吸込口形状の噴流装置では，上式で $\left(\frac{A_s}{A_ag}-\frac{(1+\xi_s)}{2g}\right)V_s^2\fallingdotseq 0$ と置くことができる。このような場合に駆動水流量 Q_j を一定に保てば，式(22)は次のように表わすことができる。

$$\frac{P_a-P_w}{r}+\left(\frac{1}{g}+\frac{\lambda\pi DL}{8A_ag}\right)V_a^2=\frac{Q_jV_j}{A_ag}\cdots\cdots(23)$$

管口外から噴入す場合も式(13)の(a)は，上式と全く同じである。式(23)の右辺の値は与えられたゼットの条件により一定となるから，上式で $(P_a-P_w)/r$ か V_a^2 の値の何れか一方を定めると他方の値も定まる。この関係を利用して図—7に示すようなグラフを作成することができる。このグラフに吐出側管路の抵抗曲線を画けば，流量圧力曲線と抵抗曲線の交点がそのときの使用点である。このようにして，流量圧力特性からその使用点を見出す方法は，一般のうず巻ポンプで用いられており，互いに性能を比較するに便利である。しかしながら，噴流装置とうず巻ポンプの直列運転を考えるようなときは，式(23)に吸込側負圧が含まれていないことに注意する必要がある。



図—7　吐出側圧力と流量 Q_a の関係

5. 噴流装置の混合室内におけるエネルギー損失

管内で噴射する型式の噴流装置において，図—1の混合室内の夫々の流れに対して断面Ⅰと断面Ⅱでの水頭を比較すると，

（a） 駆動水 Q_j の流れについて，

$$\left.\begin{aligned}&\frac{V_j^2}{2g}+\frac{P_s}{r}=\frac{V_d^2}{2g}+\frac{\xi_{m1}V_d^2}{2g}+\frac{P_d}{r}\\&\text{(b)　吸込水 } Q_s \text{ の流れについて}\\&\frac{V_s^2}{2g}+\frac{P_s}{r}=\frac{V_d^2}{2g}+\frac{\xi_{m2}V_d^2}{2g}+\frac{P_d}{r}\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(24)$$

ξ_{m1}，ξ_{m2} は混合室内における夫々の流れの損失水題を表わす係数である。上式の（a）と（b）に夫々 rQ_j と rQ_s を乗じて混合前後のエネルギーを比較すると，

$$rQ_j\left(\frac{V_j^2}{2g}+\frac{P_s}{r}\right)+rQ_s\left(\frac{V_j^2}{2g}+\frac{P_s}{r}\right)=rQ_d\left(\frac{V_d^2}{2g}+\frac{P_d}{r}\right)+\left(\frac{rQ_j\xi_{m1}+rQ_s\xi_{m2}}{2g}\right)V_d^2$$

上式で $(rQ_j\xi_{m1}+rQ_s\xi_{m2})V_d^2/2g=Z$ とおけば Z はこの間のエネルギー損失を表わし，上式は次のようになる。

$$Z=\frac{rQ_jV_j^2+rQ_sV_s^2-rQ_dV_d^2}{2g}-(P_d-P_s)Q_d$$

上式に式（1）の (P_d-P_s) を代入すとる，

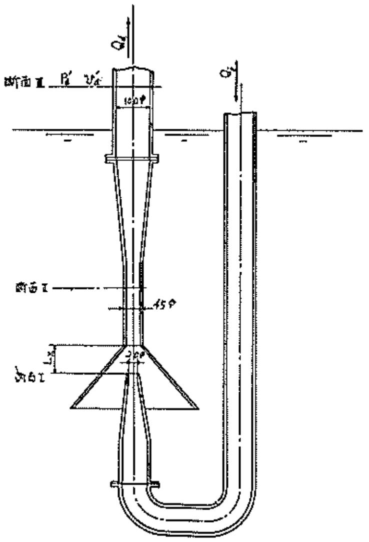
$$Z=\frac{rQ_j}{2g}(V_j-V_d)^2+\frac{rQ_s}{2g}(V_d-V_s)^2+V_dF_l\quad\cdots\cdots(25)$$

混合室内のエネルギー損失は上式によって与えられる。したがつて噴流装置の混合室配置が定まっても，駆動水 Q_j と吸込水 Q_s の流量の割合によって Z の値は変化し，ξ_{m1}，ξ_{m2} も定まった値とならない。

6. 噴流装置の計算例

計算例 1

図－8 に示すしゅん渫用噴流装置を駆動水圧力 $P_j=1\text{kg/cm}^2$ で運転するときの水一水性能を求める。



図－8　計算例 I　しゆん渫用エゼクター

$$A_j=\frac{\pi}{4}\times0.02^2$$
$$=0.000314\text{m}^2$$
$$A_d=\frac{\pi}{4}0.045^2$$
$$=0.00159\text{m}^2$$

$A_s = L_x$ によつて変化する

$$A_d - A_j = 0.00128 \sim \frac{\pi}{4} \times 0.35^2 - A_j = 0.096\,\mathrm{m}^2$$

$V_j = 0.98\sqrt{2g \times 10}$

$\quad = 13.7\,\mathrm{m/sec}$

$Q_j = 13.7 \times 0.000314$

$\quad = 4.30 \times 10^{-3}\,\mathrm{m^3/sec}$

$L_x = 0$ のときの圧力比と流速比の関係を式(11)によって求めると，

$$F = 2 \times 0.98^2 \times \left\{\frac{0.000314}{0.00128} - \frac{0.02\pi \times 0.045^2 \times 10}{8 \times 0.00159}\right\} \times \frac{V_d^2}{V_j^2} - 4 \times 0.98^2 \times \frac{0.000314}{0.00128} \times \frac{V_a}{V_j}$$

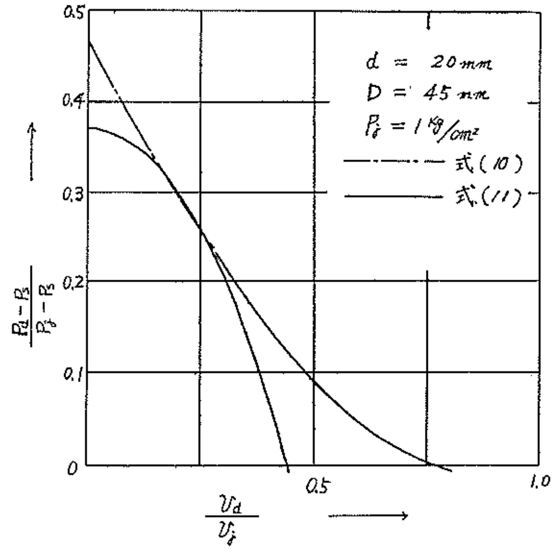
$$+ 2 \times 0.98^2 \times \frac{0.000314}{0.00128} = 0.281\frac{V_d^2}{V_j^2} - 0.945\frac{V_d}{V_j} + 0.473$$

$L_x = = 0.35\,\mathrm{m}$ $A_s = 0.096\,\mathrm{m}^2$ のときは，式(10)によって次のようになる。

$$F = 2 \times 0.98^2 \times \left\{\frac{0.00159 - 0.096}{0.096} - \frac{0.02\pi \times 0.045^2 \times 10}{8 \times 0.00159}\right\} \frac{V_d^2}{V_j^2} - 4 \times 0.98^2 \times \frac{0.000314}{0.096}\ \frac{V_d}{V_j}$$

$$+ 2 \times 0.98^2 \times \frac{(0.096 + 0.000314) \times 0.000314}{0.096 \times 0.00159} = -2.08\frac{V_d^2}{V_j^2} - 0.01475\frac{V_d}{V_j} + 0.382$$

上式の値は $A_s = \infty$ と置いて式(16)によって求める値と殆んど等しい傾向となる。図—9は上の関係をグラフに示したものである。L_x の値を変化させるときは圧力と流速比の関係は　(10)と式(11)から求めた上記二曲線間の範囲で変化する。



図—9　計算例の圧力比　流速比の関係

次に式(23)の近似計算式によって流量—圧力特性を求めてみる。

$Q_j V_j / A_d g = 0.000314 \times 13.7^2 / 0.00159 \times 9.8$

$\qquad = 3.75\,\mathrm{m}$

ゆえに式(23)より

$$\frac{P_a - P_w}{r} + 0.112 V_d^2 = 3.75$$

上式と $Q_d = A_d V_d$ の関係から図—10に実線で示した流速と圧力の関係が画ける。これより流量圧力特性が直

ちに求められる。次に広がり管の計算を行なって断面Ⅲにおける圧力の変化を求めると，広がり角 $\theta=6°$ のときの損失水頭係数 $\xi_p=0.135$ とすれば，断面Ⅲと断面Ⅱの圧力差 $(P_d'-P_d)/r$ は，

$$\frac{P_d'-P_d}{r}=\frac{V_d^2}{2g}\left[1-\left(\frac{A_d}{A_d'}\right)^2-\xi_p\left(1-\frac{A_d}{A_d'}\right)^2\right]$$

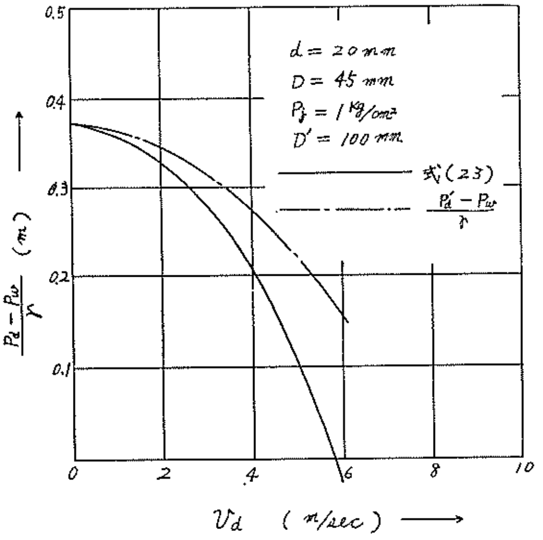
$$=\frac{V_d^2}{2\times9.8}\left[1-\left(\frac{0.00159}{0.00785}\right)^2-0.135\left(1-\frac{0.00159}{0.00785}\right)^2\right]$$

$$=0.0445V_d^2$$

また

$$\frac{P_d'-P_w}{r}=\frac{P_d-P_w}{r}+\frac{P_d'-P_d}{r}$$

上式の関係を図—10に鎖線で示す。断面Ⅲ以後の流れについて損失水頭を求むれば，図から吐出側流量 Q_d が求まる。



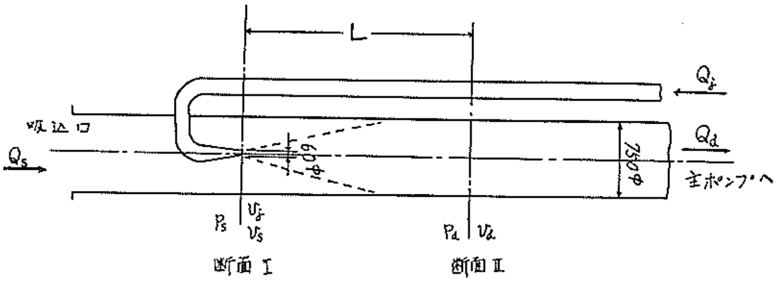
図—10　計算例Ⅰ　流速と圧力の関係

計算例 2

図—11は，高深度しゅん渫用ポンプしゅん渫船の吸込管ゼット加圧装置の配置を示したものである。図でゼット圧力 $P_j-P_s=15\text{kg/cm}^2$ で運転するときの加圧特性を求む，ただし主ポンプ流量 Q_d は $9,000\text{m}^3/\text{h}$ 以下の範囲である。

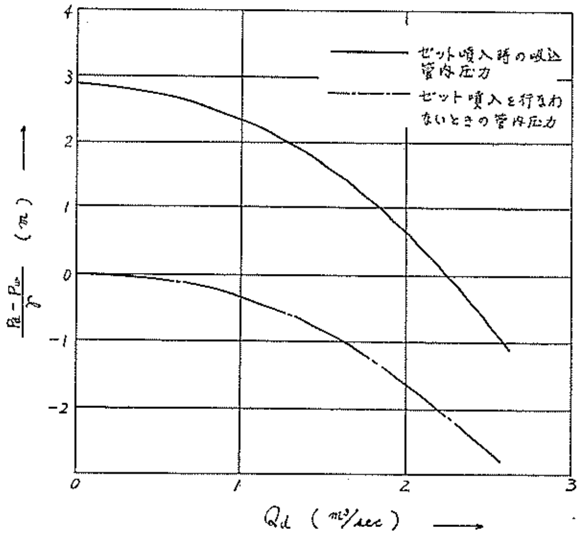
$$A_j=\frac{\pi}{4}\cdot0.075^2$$
$$=0.00442\text{m}^2$$
$$A_d=\frac{\pi}{4}\cdot0.75^2$$
$$=0.442\text{m}^2$$
$$A_s=A_d-A_j$$
$$=0.438\text{m}^2$$
$$V_j=0.98\sqrt{2g\cdot150}$$
$$=53.1\text{m/sec}$$

ゼットを噴入しないときの断面Ⅰと断面Ⅱでの圧力 $(P_s-P_w)/r$ と $(P_d'-P_w)/r$ の値は，吸込口から断面Ⅰ



図—11　計算例 2　吸込加管圧装置

までの損失水頭係数 $\xi_j=0.5$，断面 I と断面 II の間での損失水頭係数 $\xi_l=0.2$ とすれば，$V_d=V_s$ なる故次式を得る。



図—12　計算例 2　ゼット噴入時の加圧特性

$$\frac{P_s-P_w}{r}=-\frac{1.5V_s^2}{2g}$$

$$\frac{P_d'-P_w}{r}=-\frac{1.7V_d^2}{2g}$$

上式から $(P_d'-P_w)/r$ と Q_d の関係を求めると図—12の鎖線のようになる。次にゼットを噴入したときの断面 II における圧力は次式によって求まる。すなわち上式と式(3)，および $V_s=(Q_d-Q_s)/A_s$ の関係から，

$$\frac{P_d-P_w}{r}=\frac{(P_d-P_s)}{r}+\frac{(P_s+P_w)}{r}$$

$$=\frac{A_j}{A_dg}V_j^2+\left(\frac{A_s}{A_dg}-\frac{1.5}{2g}\right)V_s^2-\left(\frac{1}{g}+\frac{\lambda\pi DL}{8A_dg}\right)V_d^2$$

$$=\frac{0.00442}{0.442g}\times 53.1^2+\left(\frac{0.438}{0.442g}-\frac{1.5}{2g}\right)\left(\frac{0.442\ V_d}{0.438g}-\frac{53.1\times 0.00442}{0.438g}\right)^2$$

$$-\left(\frac{1}{9.8}+\frac{0.016\pi\times0.75\times12.5}{8\times0.442g}\right)V_d^2$$
$$=2.89-0.00775V_d-0.1122V_d^2$$

上式の関係を図—12に実線で示す。実線と鎖線との差がゼット噴入による圧力増加量を表わす。但，この図では主ポンプ流量 Q_d が一定の場合であって，吸込口からの流量 $Q_s=Q_d-Q_j$ である。

II　実験装置および実験方法

1.　実 験 の 目 的

しゅん渫用噴流装置の計画に際しては，先ず必要な揚程と流量 Q_d が与えられる。設計はこの要求を満足させる効率よい混合室や管路の構造，配置，およびこれらの駆動用ポンプ能力等の計算を行なうことが必要となる。このような計算は今までに述べた理論式よって行なうものであるが，混合室内の実際の流れの状態は渦ができたりして大変複雑であり，理論値とどの程度異なる値となるか等の問題点を確かめるための実験が必要である。

実験は先ず理論式に用いた仮定について次のことを確かめることからはじめた。

（a）　噴流内部の静圧は静止している外部の水の圧力と等しいと置いて差支えないこと。

（b）　断面Ⅰと断面Ⅱで夫々の平均流速と管壁で測定する圧力を用いて運動量の法則が適用できること。

次に理論値と実際の値を比較するために次の実験を試みた。

（a）　断面一様な管内で噴射する型式の噴流装置性能を求める実験。

（b）　管口外から噴入する型式の噴流装置性能を求める実験。

（c）　しゅん渫用エゼクターのようにノズル口附近の形状が複雑な噴流装置の性能を求める実験。

（d）　ノズル軸に垂直な方向から吸込む型式の噴流装置性能を求める実験。

（e）　近似計算式による計算値と実際の値を比較するための実験。

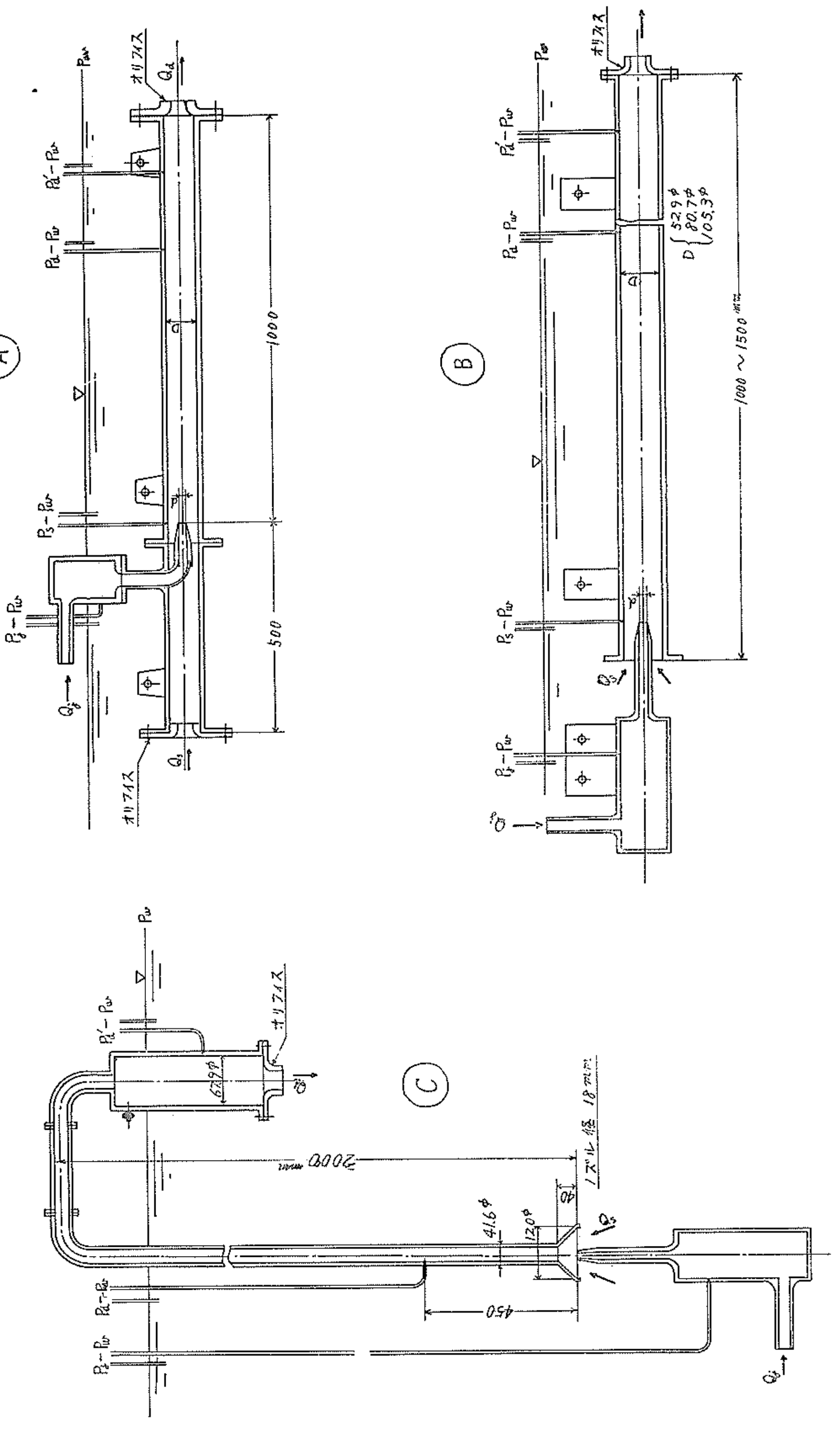
上記の実験は何れも駆動側，吸込側共水の場合について行ないその結果と理論式を比較するとともに，今後土砂混合水を取り扱う噴流装置について研究するための基礎資料を得ようとするもので，管口外から噴入する場合の実験では，吸込側に着色水を用いて $Q_d<Q_j$ のときも尚吐出側に着色水が流れることを確かめたり，混合室に透明管を用いて流れの状態を観察したりする実験も試みた。

2.　実験装置および実験方法

実験は，図—13に示すような噴流装置模型により直径 5 m深さ 2.5m の流量せき付の水槽内で行なった。図の(A)はポンプ式しゅん渫船の吸込管加圧装置を考慮した模型であり，図の(C)はエゼクター式しゅん渫船のエゼクターに多い形状の模型である。図の(B)は管口附近で噴射する型式の模型でノズル口位置は管口外から管内まで変化させることができる。

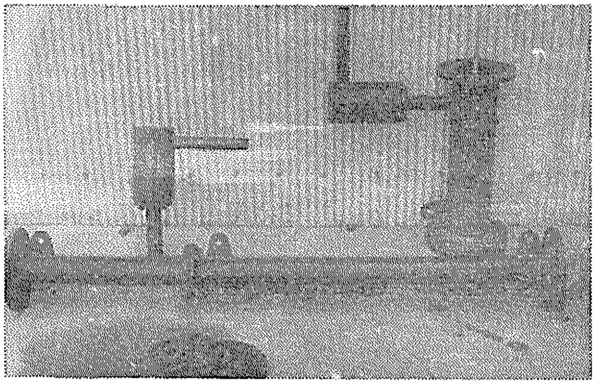
噴射水 Q_j は直接水道配管から導き，バルブの絞りを加減してゼット圧力 P_j を調節するようにした。実験ノズル用は内面を滑らかに仕上げた真鍮製ノズルで口径の 2 倍程の平行部をつけた。吐出口と吸込口に用いるオリフィスは内面上仕上げの鋼製オリフィスである。ノズル，およびオリフィスの流量係数 C_w は0.96～0.98の範囲である。

模型各部の静圧は管外の圧力 P_w を基準として水または水銀マノメーターによって測定するようにした。測定箇所は，ノズルからの噴射前圧力 P_j，吐出口オリフィス直前の圧力 P_d'，吸込口オリフィス直後の圧力 P_s' および断面Ⅰから断面Ⅱまでの混合室内圧力は 100～150mm間隔で P_s から P_d までの変化状態を測定できるようにした。断面Ⅰと断面Ⅱの間の距離 L は P_d-P_s の値が最大となる位置を求むればよく，実験の範囲では $L<12D$ であった。


A
B
C
オリフイス
1000
500
1000～1500 mm
D 52.9φ 80.7φ 105.3φ
2000 mm
ノズル径 18 mm
41.6φ
120φ
450
67.9φ

図—13 噴流装置の模型

駆動水流量 Q_j の値は P_j と P_s の差から V_j を求めて得る。この Q_j の値は水槽の流量せきによって確かめることができる。吐出側流量 Q_d の値は P_d' と P_w の差からオリフィス断面の流速を求めて計算するように



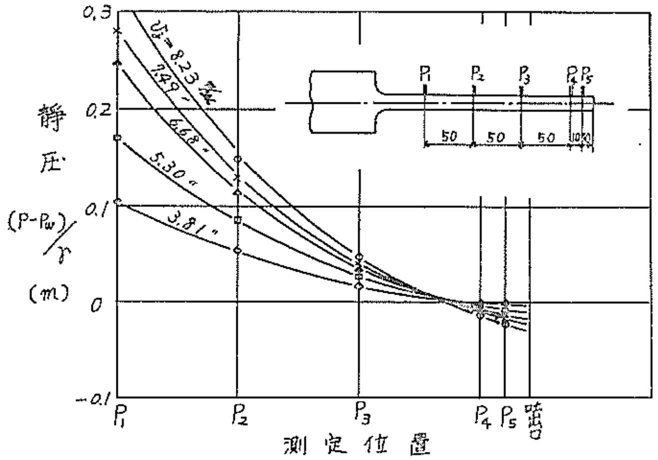
写真—1　噴流装置模型の一例

した。吐出口にオリフィスを用いない場合はピトー管によって Q_d を測定する。吸込口からの流量は $Q_s=Q_d-Q_j$ の関係から計算した。

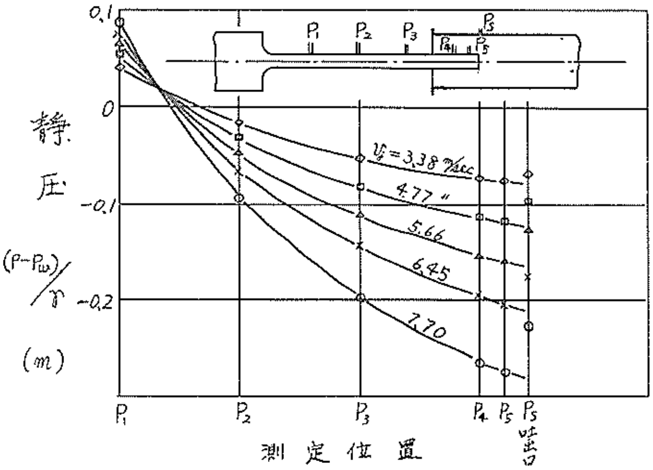
Ⅳ　実験結果および理論式との比較

1.　理論式の仮定についての二三の模型実験

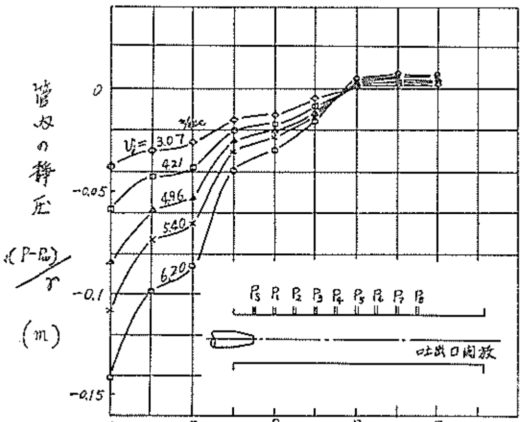
実験は先ず噴流の内部と静止している周囲の水との静圧の差を測定することからはじめた。噴流内にピトー管を置いてその静圧と周囲の圧力を比較すると噴流内部の圧力が低い。これを噴口断面位置において確かめたものの一例を表—1に示す。表は平行部分の長い噴射管の管壁で測定した圧力の変化を示したものである。図—14と図—15は表—1の結果を図示したもので，管口外で噴射するときも，管内で噴射するときも，噴口断面での圧力は周囲の圧力より低くなっている。しかしながら，この値は駆動水圧力 $V_j^2/2gC^2$ の値に対してははるかに小さく，種々の計算を行なうに際し，これを噴口周囲の圧力 P_w または P_s に等しいとおいて差支えないようである。噴



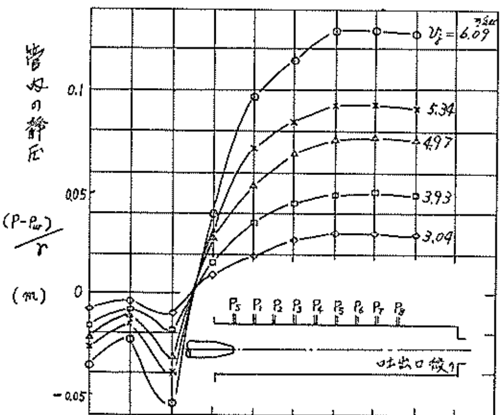
図—14　ノズル口附近の静圧変化（管外）



図—15　ノズル口附近の静圧の変化（管内）



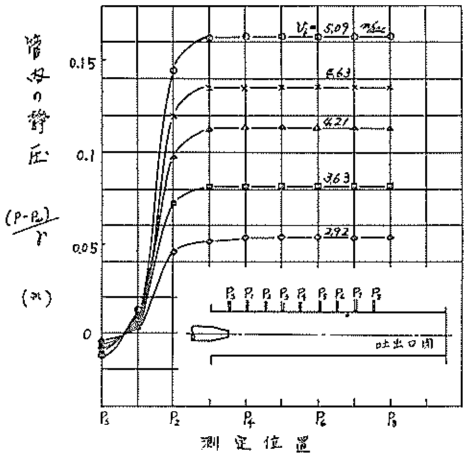
図—16　混合室内での静圧の変化
（吐出口開放）



図—17　混合室内での静圧の変化
（吐出口絞り）

流装置のノズル，およびオリフィスから噴出する流量の計算は，すべて周囲の圧力との差から噴出速度を求め，これにその面積を乗じて求めた。

次に混合室内における静圧の変化を調べたものの例を表—1に示す。断面Ⅰ，すなわちノズル口位置では，中央部の駆動側流速 V_J が大で周囲の吸込側流速 V_s は小さく，中高の速度分布となっているが，これが順次混合して一般の管内流のようにほぼ一様な速度分布に近ずいてゆく。この間に静圧 P_s は次第に増加してゆき最大値 P_a に達する。圧力が P_a になる位置を断面Ⅱとすれば，断面Ⅰと断面Ⅱの距離 L は，図—16，図—17および図—18でわかるように，吐出側の絞りの程度によっても変ってくる。この実験の範囲では L の値は混合室管径 D の12倍以下であった。一般の場合では $L=10D$ と考えて差支えないようである。本報告では $L=10D$ を用い混



図—18　混合室内での静圧の変化（吐出口閉）

合室内の摩擦損失水頭 $\lambda\pi DL\,V_d^2/8A_d g=5\lambda V_d^2/g$ として計算した。

表—3は噴流の軸に垂直な各断面における運動量は一定であるという仮定について確かめた実験である。表の(A)は噴流が円盤に衝突する際に円盤に作用する力Fは，一定範囲内ではノズル口からの距離に関係なく，ノズル口位置における噴流の運動量 rQ_jV_j/g に等しい。すなわち，

$$F=\frac{rQ_jV_j}{g}$$

$$=\frac{rQ_dV_d}{g}$$

表には，上式によって求めた値と実測値を比較してある。種々の条件を変えて行なった数多くの衝突力についての実験結果では，その殆んどが理論値と実験値がよく一致している。次に表—3の(B)は噴流が管内で反転するとき，噴流の運動量と管内の圧力の関係を調べたものである。管内で反転して流れる水の流量と平均流速を夫々 Q_s'，V_s' で表わすと，

$$\frac{P_d-P_w}{r}=\frac{Q_jV_j+Q'_sV'_s}{A_dg}$$

の関係がある。上式によって求めた値と実測値を表に比較したが両者はよく一致している。ただし上式で$Q_s'V_s'$の積は Q_jV_j の積と比較して小さな値となったので，これを無視することができた。このような状態の噴流装置についての計算，すなわち吸込口から逆に水が流れ出る場合は，理論式に用いた式(1)の Q_s と V_s の値は共に負であるとして計算すればよい。本報告の噴流装置模型が吐出口を閉じた場合の実験結果では，混合室断面とノズル口断面の面積比 A_d/A_j の値の小さいもの程，反転流の影響が大であった。その詳細については後に述べる。

2.　**断面一様な管内で噴射する型式の模型についての実験および実験結果**

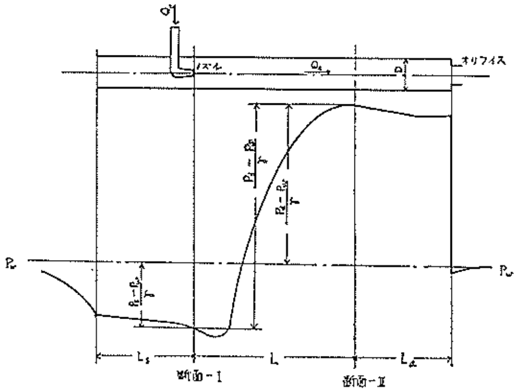
管内で噴射する場合の実験は，図—13の(A)と(B)に示す模型によって行なった。この場合の管内の静圧は図—19に示すような傾向の変化をする。実験では図に示すように管外の圧力 P_w を基準として P_j，P_s，P_d，P_d' の値を夫々計測した。この測定値から管内の流量が求められる。すなわち，

$$Q_j=A_jC_v\sqrt{2g\frac{(P_j-P_s)}{r}}$$

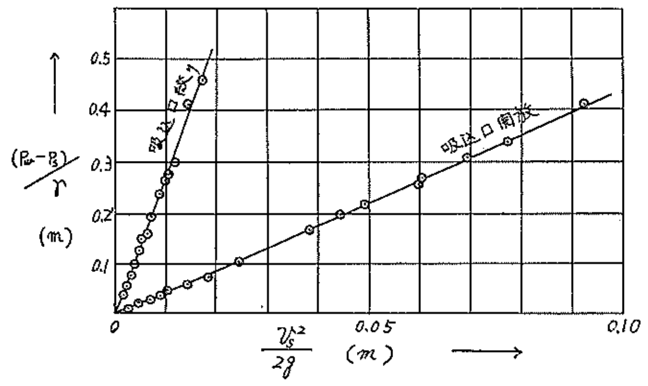
$$Q_d=A_dC_v\sqrt{\frac{2g(P_d'-P_w)/r}{1-C_v^2\left(\frac{A_d'}{A_d}\right)^2}}$$

$Q_s = Q_d - Q_j$

管内で噴射する場合について上記の方法で求めた測定値と，これを式(1)に代入して計算した断面ⅠとⅡの圧力差（a＋b－c）の値，および $E-F$ 特性と比較するために $(P_d-P_s)Q_s/(P_j-P_d)Q_j$ の計算値を表—4，表—5および表—6の一部に示した。ただしこの計算表には断面Ⅰ—Ⅱ間の摩擦による損失は含まれていない。



図—19　噴流装置模型内の静圧の変化



図—20　吸込側の損失水頭（表—4の例）

一般に面積比 A_d/A_a の大きな噴流装置程，混合室内での摩擦による損失が他の数値に及ぼす影響は小さい。

上記の夫々の装置について，式(7)によって流速比を求めてみた。その実験結果と理論値を比較すると図—22に示したように両者の値はよく一致している。これの計算表を表に示す。計算に際し吐出側の損失水頭係数 ξ_d は次のようにして求めた。

$$\xi_d = \xi_{d1} + \xi_{d2}$$

$$= \frac{\lambda L_d}{D} + \left\{ \left(\frac{A_d}{A_d'} \right)^2 - C_v^2 \right\}$$

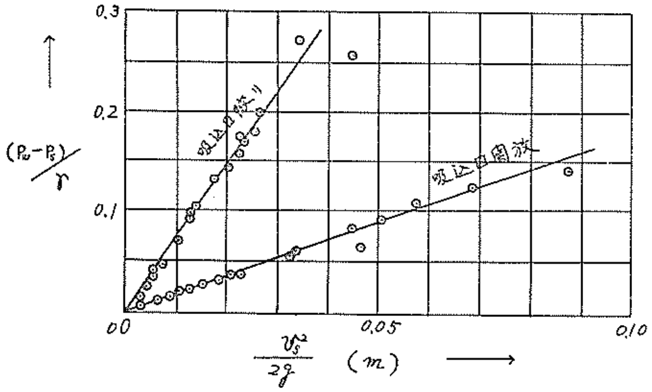
ここに

ξ_{d1}＝吐出側管路での摩擦損失水頭係数

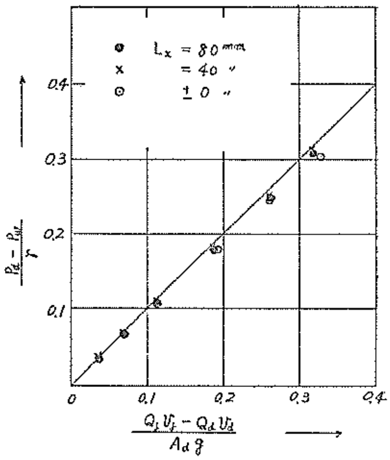
ξ_{d2}＝吐出側オリフィスでの損失水頭係数

L_d＝吐出側管路の長さ（m）

その他の符号は§2を参照のこと。



図—21　吸込側の損失水頭
（表—5の例）



図—22　流速比（管内で噴射する場合の理論値と実験値の比較）

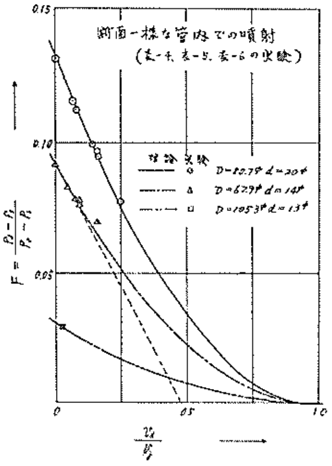
吸込側管路における損失水頭係数 ξ_s は，図—20および図—21に示すように実験結果から得た値を用いた。吸込口附近で噴射し吸込口を絞らない表—5に示すような装置に対しては，ξ_s≒0.75であることが他の多くの実験結果によって求められた。

次に式(16)によって圧力比と流速比の関係を求めたものと実験値を図—23に比較した。図の理論曲線は混合室内での摩擦損失の影響を含まないものである。この実験の範囲では摩擦損失の値が理論値に及ぼす影響は比較的小さく，表—4の場合について調べてみると，

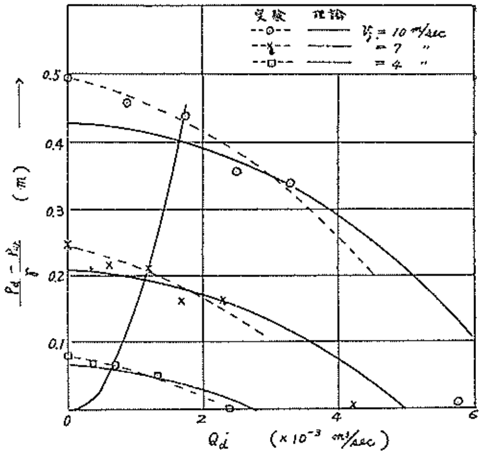
（a）　式(11)で摩擦損失を含まないときの値

$$F=0.085-0.171\frac{V_a}{V_j}+0.085\left(\frac{V_a}{V_j}\right)^2$$

（b）　式(11)で摩擦損失を含むときの値



図—23　圧力比と流速比の関係（管内で噴射するす場合の理論値と実験値の比較）



図—24　近似計算値流量—圧力特性

$$F=0.085-0.171\frac{V_a^2}{V_j}-0.107\left(\frac{V_a}{V_j}\right)^2$$

すなわち，V_a/V_j が最大の0.17の場合も上記(a)と(b)の値は夫々0.053と0.058を得る。上記の(b)の表わす曲線を図—23に点線で示した。このように断面一様な管内で噴射する噴流装置については，式(11)によって求められる理論値と表—4，表—6に示した実験結果とは図—23でわかるように殆んど一致した値を得ている。

図—24は表—4の実験で吸込口にオリフィスを用いない場合について，式(23)によって求めた流量—圧力特性の近似値と実験値を比較したものである。両者の値はややその傾向を異にしているが，Q_a/Q_jの比が1～2の一般のしゅん渫用エゼクターの実用範囲では互いに近い値をとっている。したがって吸込側抵抗がこの程度のものまでに対し近似計算式が用いられよう。

3. 管口外から噴入する型式の模型についての実験結果

管口外から噴入する場合の実験は，図—13の(B)に示す装置でノズルの取付位置を管口外に移して行なった。この場合のノズル口と管口の距離 L_x は $2D$ である。表—6にその実験結果と計算値の一例を示す。この場合ノズル口から管口までの噴流内部の圧力は静止している外部の水の圧力 P_w に等しいとして計算してある。これらの実験値と式(16)によって流速比と圧力比の関係を求めたものを図—16に比較した。図で表—6のD=105.3ϕ d=18ϕ に対する理論値は次式によって与えたものである。

(a) 式(16)で摩擦損失を含まないときの値

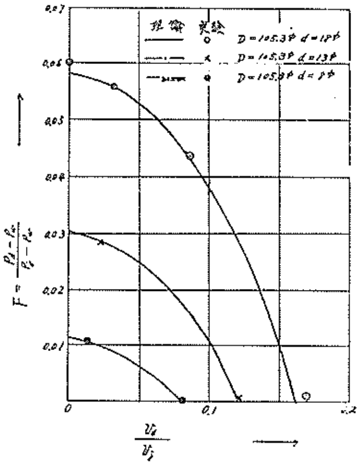
$$F=0.056-1.92\left(\frac{V_a}{V_j}\right)^2$$

(b) 式(16)で摩擦損失を含むときの値

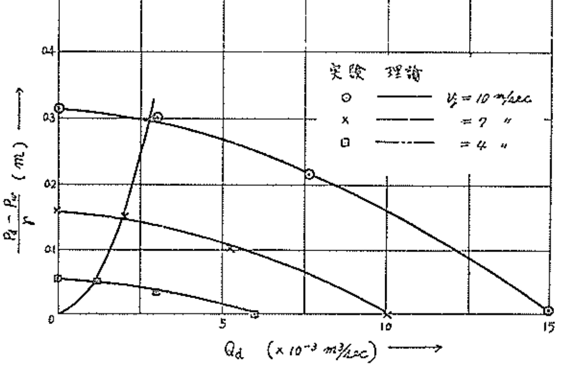
$$F=0.056-2.07\left(\frac{V_a}{V_j}\right)^2$$

上記(b)の曲線を図—25に鎖線で示した。速度比が等しいときに(a)および(b)から求めるFの差は小さく，更に図において理論値と実験値はよく一致している。

次に管口外から噴入する場合の流量—圧力特性を求めたものの例を図—26に示す。式(23)によって求める近似



図—25 流速比と圧力比の関係（管口外から噴入する場合の理論値と実験値の比較）



図—26 管口外から噴入する場合の流量圧力特性

計算値は，管口外から噴入する場合に式(13)の(a)と一致し，これは理論値である。但し，$Q_j > Q_d$ の範囲では一部の反転流の運動量を考慮することが，必要である。また $Q_j = Q_d$ のときは管路における急拡大の式と一致する。すなわち式(23)の(a)は，

$$\frac{P_d - P_w}{r} = \frac{Q_j V_j - Q_d V_d}{A_d g}$$

$$= \frac{V_d (V_j - V_d)}{g}$$

表―4と表―5に夫々一つづつ急拡大管に相当する場合の実験を行なっているが，その結果は上式によって求める値とよく合っている。

4. **ノズル口附近の管断面が一様でない噴流装置模型についての実験および実験結果**

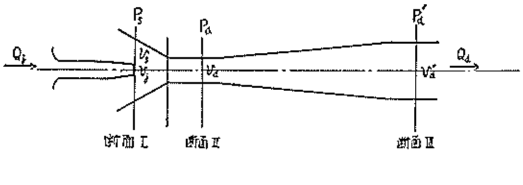
ノズル口附近の管の形状が図―13の(c)，すなわち図―27のような型式についての実験結果と計算表を表―8に示す。しゅん渫用エゼクターの殆んどがこの型式に属している。このような噴流装置に対し，断面Iと断面IIの間で運動量の法則を適用すると厳密には次のようになる。

$$\frac{rQ_j V_j}{g} + A_j P_s + \frac{rQ_s V_s}{g} + A_s P_s - (A_s + A_j - A_d) P_s' = \frac{rQ_d V_d}{g} + A_d P_d + F_e$$

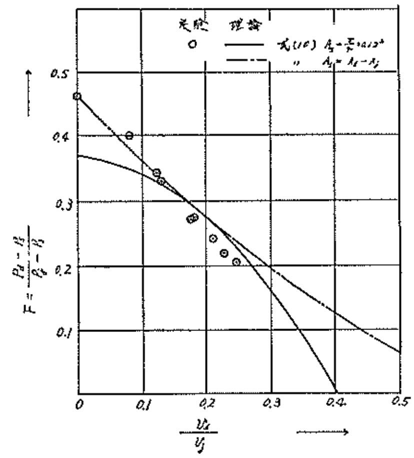
上式で P_s' は管の傾斜部分に加わる静圧の平均値である。実験の結果によると $P_s > P_s'$ の傾向となるが計算に際しては $P_s' \fallingdotseq P_s$ と考えて整理した。上式で $P_s' = P_s$ とおくと次のようになる。

$$(P_d - P_s) A_d + F_t = \frac{r(Q_j V_j + Q_s V_s - Q_d V_d)}{g}$$

すなわち式(1)と全く等しくなる。したがって，図―27のような型式の噴流装置に対しても今までに述べた理論式によって計算することができる。



図―27　ノズル口附近の管断面が一様でなく傾斜している型式の噴流装置

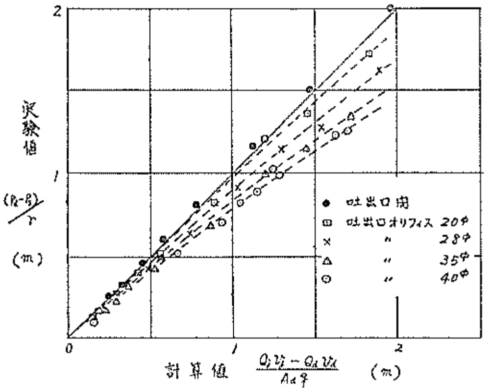


図―28　流速比と圧力比の関係（ノズル口附近の管断面が一様でない場合の理論値と実験値の比較）

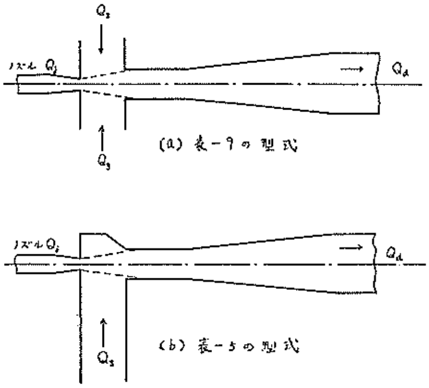
実験は吐出口の位置を水面上にとると位置水頭の影響が入ってくるため，オリフィスを水中に配置して行なった。いま式(10)を用いてこの装置の圧力比と流速比の関係を求めてみると次のようになる。

$$F = 0.368 - 0.088 \frac{V_d}{V_j} - 1.86 \left(\frac{V_d}{V_j} \right)^2$$

上式によって求めた曲線と実験値を比転すると図—28のようになる。図において $Q_J > Q_a$ すなわち $V_a/V_J < 1.87$の範囲では上記の値と実験値との差が大きくなっている。これは前述の反転流の影響によるためであると考えられるので，この間の補正値を鎖線で示してみた。補正値を求めるにはノズル口での吸込側断面 A_s の代りに $A_a - A_J$ を用いて反転流の値を計算し，その結果を $Q_J > Q_a$ の範囲に画けばよい。表—8の模型のように面積比 A_a/A_J の小さいものに対しては，上記のように補正することが必要となってくる。更にこのように面積比の小さい模型に対しては，混合室内での管壁との摩擦損失も無視することのできない値となる。図—29はその影響を調べてみたもので，前述の管傾斜部での圧力低下の影響も加わって吐出側流速 V_a の大きなもの程，混合室内での圧力増加の実験値が小さくなっている。



図—29　混合室内での摩擦損失



図—30　吸込水が噴流軸に垂直な方向から入る型式の噴流装置

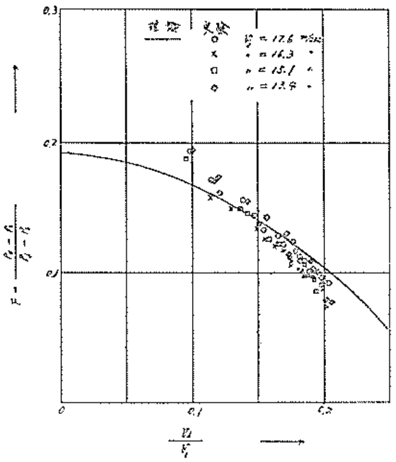
5.　**吸込水が噴流軸に垂直な方向から入る型式の模型についての実験および実験結果**

ノズル口附近の管の形状が図—30に示すように，吸込水が噴流軸に垂直な方向から入る型式の噴流装置についての実験結果とその計算表を表—9，表—10，および表—5の最後の実験に一つ記した。このような形状をした噴流装置に対して運動量の法則を適用するに際し，今までの装置について考えた断面Iをどのように取扱うかという問題が生じる。たとえば表—5の最後に記した実験結果を管口外から噴入するときの式(13)の(a)によって計算すると $(P_a - P_s)/\gamma$ の実験値は理論値よりもはるかに大きな値となる。ゆえに運動量の法則の適用に際し，断面Iをノズル口位置における噴流軸に垂直な断面と定める方法にも問題が残るように考えられる。しかしながら，表—9，表—10に示した模型についての実験では，式(16)によって求める圧力比と流速比の関係とよく合っている。ゆえに，本報告では表—9の結果を紹介し，垂直な断面の一方向から吸込む上記のような問題は更に今後の実験によって確かめることにしたい。

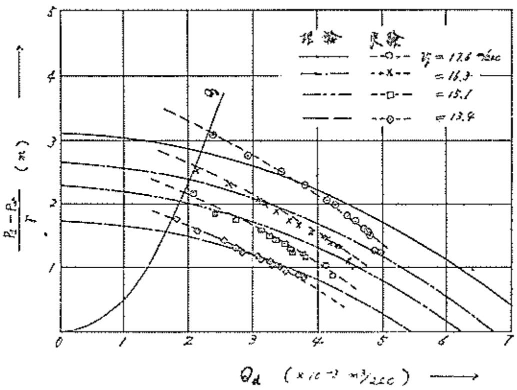
表—9の実験では吐出口を水面上におき，$h_a = 500$mm の状態でゼット圧力を一定に保ち，吐出側のバルブを調節して流量を増減せしめた。この模型の配置に対し式(16)によって圧力比の関係を求めると，次のようになる。

$$F = 0.188 - 2.09\left(\frac{V_a}{V_J}\right)^2$$

図—31は上式の値と実験値を比較したものである。図で理論値と実験値はやや異なる傾向を示しているが流量比 Q_a/Q_J が1～2の実用範囲では計算によて充分近い値を得ることができる。このように理論値と実験値の傾向が異なる理由は，前節で述べた反転流の影響の他に渦の発生や損失水頭係数入の変化等の影響も考えられる。次に式(23)によつて求めた流量--圧力特性を図—32に示す。これも図—31の場合と同様に理論値と実験値はその



図—31　流速比と圧力比の関係（噴流軸に垂直な方向から入る場合の理論値と実験値の比較）



図—32　流量—圧力特性

傾向をやや異にする。

図—32の理論曲線の表わす式を参考のために次に記す。

（a）　V_j=17.6m/sec の場合

$$\frac{P_a-P_w}{r}+6100Q_d^2=3.09$$

（b）　V_j=16.3m/sec の場合

$$\frac{P_a-P_w}{r}+6,100Q_d^2=2.65$$

（c）　V_j=15.1m/sec の場合

$$\frac{P_a-P_w}{r}+6,100Q_d^2=2.28$$

（d）　V_j=13.4m/sec の場合

$$\frac{P_a-P_w}{r}+6,100Q_d^2=1.79$$

表—9の実験に用いた模型や管口外から噴入する型式の模型では，一般に $Q_j>Q_a$ の範囲でも吸込側にある水を揚水する。すなわち，吸込側の水を着色し，駆動側の水は着色しないときに，$Q_j>Q_a$ の範囲にも吐出側には着色した水が上がつてくる。このことは実際面においてもエゼクター式しゅん渫船でしばしば観察することができる。ゆえにこのような噴流装置では $Q_j>Q_a$ の範囲も尚噴流装置としての役目を果しているのであり，しゅん渫用噴流装置の場合は，渦巻ポンプとの直列運転性能や上記のような現象等を考慮して流量の比を Q_s/Q_j で表わさず，Q_a/Q_j で表わす方法を用いた次第である。

6. ノズル口位置を管口外から管内へ変化させて噴射するときの実験および実験結果

噴流装置の近似計算式(23)は，吸込側の水の持つ運動量と吸込側損失水頭が等しいと置いたものである。この関係を確かめるために表—11の実験を行なった。この実験はノズルを固定させて管を噴流軸に沿って移動させる方法を用い，したがってノズル口と管口の相互位置が変化する。いまノズル口位置を順次に管口へ入れてゆくと，吐出側水頭 $(P_a-P_w)/r$ は変化せず $(P_s-P_w)/r$ が増大してゆく，この間に駆動水圧力 (P_j-P_s) は常に一定に保つようにする。この実験の模型装置略図を図—33に示す。上記の $(P_w-P_s)/r$ の値がほぼ一定となる現象を利用して近似値計算を行なってきたのである。式(22)から近似計算が行なえるのは次式の関係が成立つ範囲であ

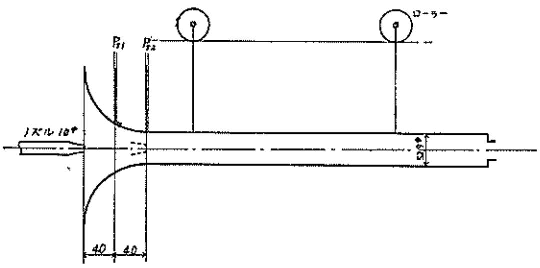
る。

$$1+\xi_s \fallingdotseq \frac{2A_s}{A_d}$$

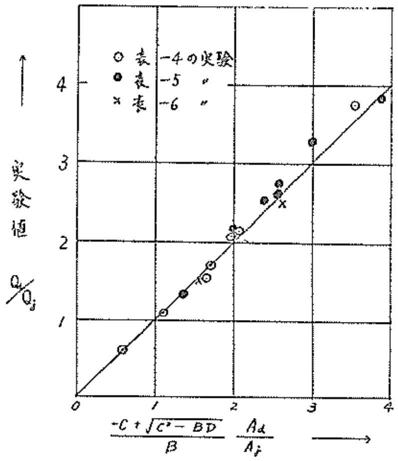
次に表―11の実験でノズル口位置が管内にあるときの圧力比と流速比の関係は式(11)から次のようになる。

$$F=0.715-0.0192\frac{V_a}{V_j}-0.0022\left(\frac{V_a}{V_j}\right)^2$$

表―11の実験結果と上式の関係は 何れもよく合っている。図―34 は近似計算値と $(P_a-P_w)/r$ の実験値を比較したもので，この噴流装置模型では実験値と近似計算値は殆んど一致している。



図―33　ノズル口位置が管口内と管口外のときの比較をするための模型配置



図―34　近似計算値と実験値の比較

V　結　　　論

以上の理論および実験の結果から，噴流装置の駆動側吸込側共に水の場合について，その性能および諸現象を一応知ることができたと考えている。本報告での結論として，本理論式並びに理論に用いた仮定は適正であり，模型実験結果では，

（a）　管内で噴射する型式および管口外から噴入する型式のもので，面積比 A_a/A_j が10以上の噴流装置の性能は，理論式と殆んど一致した。

（b）　ノズル口附近の管断面が一様でない型式の噴流装置性能は，理論式とやや異なる傾向を示すが，面積比 A_a/A_j が1～2の実用の範囲では理論値と殆んど一致した。

（c）　ノズル口附近の管断面が一様でなく，面積比 A_a/A_j の小さい噴流装置については，反転流および渦の影響について更に確かめることが必要である。

上記の結果から一般に用いられているしゅん渫用噴流装置の水―水性能は，駆動水圧力と噴流装置配置を定めれば理論式によって計算することができる。

今後は下記内容について研究し第2報以降に紹介する予定である。

（a）　吸込側が土砂混合水のときの噴流装置性能。

（b）　複雑な形状の混合室内での流れの状態および形状の変化が性能におよぼす影響。

（c）　各種の噴流装置について実船による試験結果の解析。

上記の研究は何れも理論値と実験値を比較しながら夫々の修正値を見出してゆくこととなろう。特にしゅん渫

用噴流装置性能についての研究を主として進めてゆきたいと考えている。

Ⅵ あ と が き

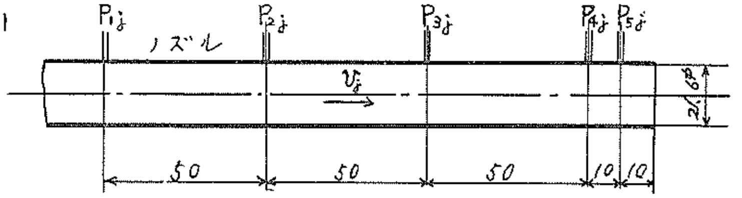
本報はしゅん渫用噴流装置の本格的な研究をはじめるに際して必要な噴流装置の基本的性質を調べるために行なった予備実験の内容をまとめて紹介したものである。エゼクター式しゅん渫船の高深度しゅん渫用エゼクターや，ポンプ式しゅん渫船の吸込管加圧装置についての実船試験はすでに終了し，現在その結果を整理中である。また機材部ではしゅん渫用エゼクターおよび吸込管加圧装置についての大型施設による室内実験も現在実施中である。これらしゅん渫用噴流装置研究の主目的は，高深度しゅん渫の必要性に起因し，その早期解決が待たれている次第である。勿論このように規模の大きな諸研究が筆者個人の手に負えるものでなく，機材部長松田任氏を軸として機材部各研究室協同の研究として互に連携して作業を行なっているのであり，筆者はその一部を受持っているに過ぎない。今後も多くの人々によって高深度しゅん渫のための上記の研究が進められてゆくこととなろう。本報告に記した内容は，上記のように本格的な研究を行なうに際し，その基礎資料として必要であったために，研究に費した期間も短かく1963年12月から1964年５月に亘って行なったもので大変急な作業であった。したがって本報告の内容にも不備な点が甚だ多いことと思う。このような理由で実験の記録もそのまま表—１から表—11までを附属させた。これが何かの参考になれば幸である。本稿を草するにあたっては，松田任氏より種々御助言を頂いている。

終りに，本研究に際し，水工部の合田良実氏より始終御指導を賜わった。ここに厚く御礼申上げる次第である。

表一1　吐出口附近の静圧の変化

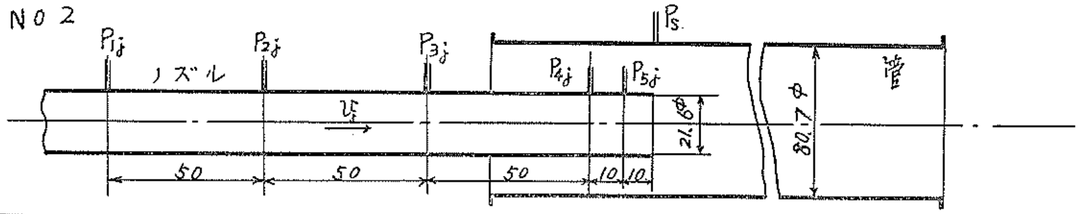
Q_j ×10^{-3} m³/sec	v_j m/sec	$\frac{P_{1j}-P_w}{\gamma}$ mm	$\frac{P_{2j}-P_w}{\gamma}$ mm	$\frac{P_{3j}-P_w}{\gamma}$ mm	$\frac{P_{4j}-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_{5j}-P_w}{\gamma}$ mm	$\frac{P_s-P_w}{\gamma}$ mm	備考
1.41	3.81	106	54	19	+2	−3	—	
1.96	5.30	174	87	30	−1	−6	—	
2.47	6.68	250	116	40	−6	−12	—	
2.77	7.49	282	131	45	−8	−16	—	
3.04	8.23	326	149	49	−12	−22	—	

NO 1



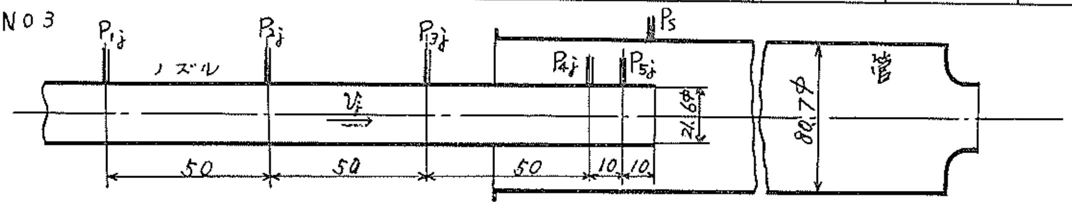
Q_j ×10^{-3} m³/sec	v_j m/sec	$\frac{P_{1j}-P_w}{\gamma}$ mm	$\frac{P_{2j}-P_w}{\gamma}$ mm	$\frac{P_{3j}-P_w}{\gamma}$ mm	$\frac{P_{4j}-P_w}{\gamma}$ mm	$\frac{P_{5j}-P_w}{\gamma}$ mm	$\frac{P_s-P_w}{\gamma}$ mm	備考
1.25	3.38	44	−13	−47	−70	−72	−63	
1.77	4.71	55	−27	−78	−110	−113	−93	
2.10	5.66	68	−43	−105	−151	−158	−120	
2.39	6.45	78	−65	−143	−195	−202	−170	
2.85	7.70	90	−93	−193	−264	−274	−224	

NO 2



Q_j ×10^{-3} m³/sec	v_j m/sec	$\frac{P_{1j}-P_w}{\gamma}$ mm	$\frac{P_{2j}-P_w}{\gamma}$ mm	$\frac{P_{3j}-P_w}{\gamma}$ mm	$\frac{P_{4j}-P_w}{\gamma}$ mm	$\frac{P_{5j}-P_w}{\gamma}$ mm	$\frac{P_s-P_w}{\gamma}$ mm	備考
1.52	4.12	132	62	20	−7	−12	−1	
1.90	5.13	179	81	26	−8	−16	−2	
2.10	5.66	210	91	22	−14	−22	−2	
2.32	6.25	250	107	30	−15	−28	−2	
2.47	6.68	273	118	31	−18	−29	−3	

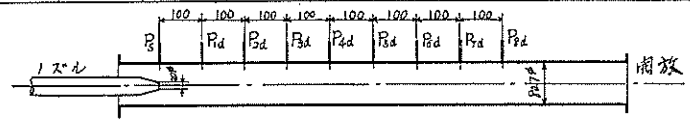
NO 3



表—2 噴流装置混合室の静圧の変化

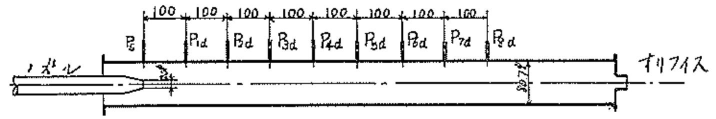
Q_j ×10⁻³ m³/sec	V_j m/sec	$\frac{P_s-P_w}{\gamma}$ mm	$\frac{P_{1d}-P_w}{\gamma}$ mm	$\frac{P_{2d}-P_w}{\gamma}$ mm	$\frac{P_{3d}-P_w}{\gamma}$ mm	$\frac{P_{4d}-P_w}{\gamma}$ mm	$\frac{P_{5d}-P_w}{\gamma}$ mm	$\frac{P_{6d}-P_w}{\gamma}$ mm	$\frac{P_{7d}-P_w}{\gamma}$ mm	$\frac{P_{8d}-P_w}{\gamma}$ mm
1.09	3.47	-37	-29	-25	-15	-12	-4	+2	+3	+3
1.32	4.21	-58	-41	-38	-20	-17	-9	+2	+4	+4
1.56	4.96	-83	-59	-51	-25	-20	-12	+3	+5	+5
1.70	5.40	-107	-72	-64	-29	-23	-13	+4	+6	+6
1.95	6.20	-140	-98	-86	-39	-29	-15	+5	+7	+7

No 1



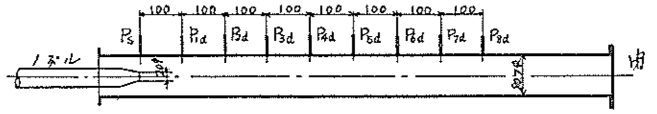
Q_j ×10⁻³ m³/sec	V_j m/sec	$\frac{P_s-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_{1d}-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_{2d}-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_{3d}-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_{4d}-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_{5d}-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_{6d}-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_{7d}-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_{8d}-P_w}{\gamma}$
0.96	3.04	-7	-3	-10	+10	+20	+28	+31	+31	+31
1.24	3.93	-16	-8	-18	+15	+36	+46	+50	+51	+50
1.56	4.97	-22	-10	-31	+32	+55	+70	+77	+78	+77
1.68	5.34	-26	-14	-40	+30	+72	+85	+93	+93	+92
1.91	6.09	-36	-22	-58	+40	+97	+115	+129	+129	+128

No 2



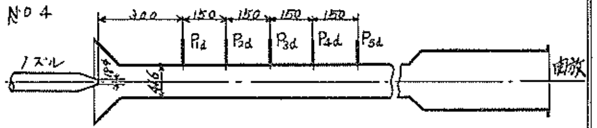
Q_j ×10⁻³ m³/sec	V_j m/sec	$\frac{P_s-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_{1d}-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_{2d}-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_{3d}-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_{4d}-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_{5d}-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_{6d}-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_{7d}-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_{8d}-P_w}{\gamma}$
0.92	2.92	-5	+3	+46	+52	+54	+54	+54	+54	+54
1.14	3.63	-7	+5	+73	+82	+82	+82	+82	+82	+82
1.32	4.21	-6	+6	+99	+114	+114	+114	+114	+114	+114
1.46	4.63	-7	+11	+121	+136	+136	+136	+136	+136	+136
1.60	5.09	-12	+13	+145	+163	+163	+163	+163	+163	+163

No 3



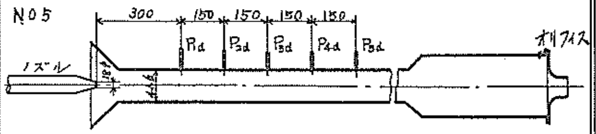
Q_j m³/sec	V_j m/sec	$\frac{P_{1d}-P_w}{\gamma}$ mm	$\frac{P_{2d}-P_w}{\gamma}$ mm	$\frac{P_{3d}-P_w}{\gamma}$ mm	$\frac{P_{4d}-P_w}{\gamma}$ mm	$\frac{P_{5d}-P_w}{\gamma}$ mm	備考
1.79	7.01	0.530	0.535	0.535	0.535	0.530	
2.11	8.25	0.705	0.712	0.712	0.680	0.675	
2.33	9.12	0.865	0.889	0.889	0.845	0.810	
2.49	9.76	0.985	1.010	1.010	1.000	0.965	
2.82	11.08	1.230	1.235	1.235	1.235	1.230	

No 4



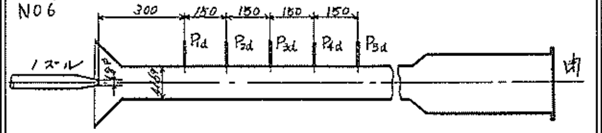
Q_j m³/sec	V_j m/sec	$\frac{P_{1d}-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_{2d}-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_{3d}-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_{4d}-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_{5d}-P_w}{\gamma}$	備考
1.73	6.80	0.630	0.643	0.630	0.620	0.605	
2.09	8.18	0.920	0.920	0.910	0.885	0.870	
2.33	9.13	1.130	1.150	1.150	1.120	1.080	
2.54	9.95	1.260	1.270	1.260	1.300	1.260	
2.80	11.00	1.630	1.640	1.640	1.615	1.550	

No 5



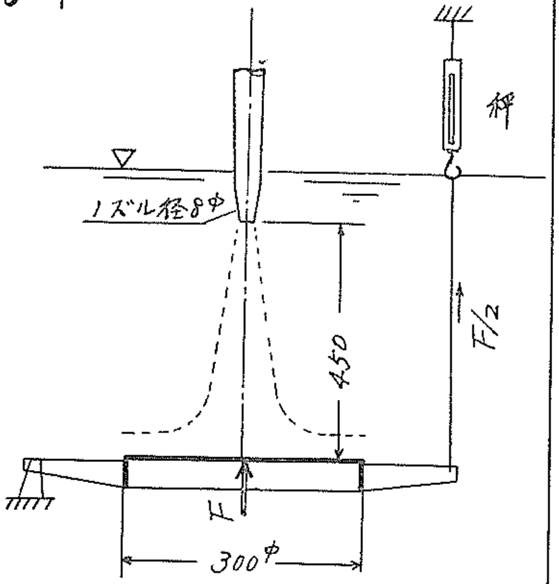
Q_j m³/sec	V_j m/sec	$\frac{P_{1d}-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_{2d}-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_{3d}-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_{4d}-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_{5d}-P_w}{\gamma}$	備考
1.76	6.90	1.120	1.170	1.170	1.120	1.090	
2.03	7.95	1.510	1.520	1.520	1.520	1.500	
2.33	9.14	1.940	2.010	2.010	1.980	1.970	
2.58	10.10	2.420	2.410	2.410	2.400	2.400	
2.91	11.40	2.960	3.020	3.020	2.960	2.990	

No 6



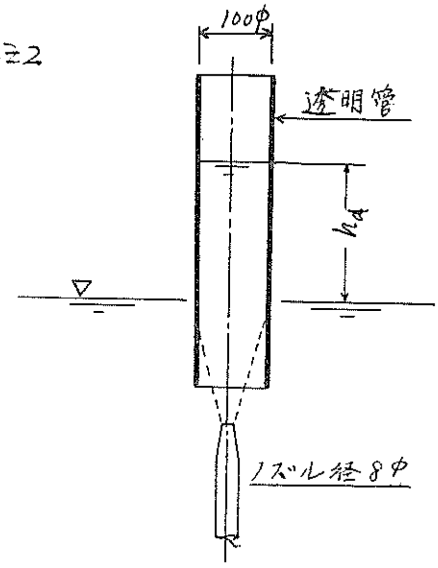
表—3—(a) 噴流の衝撃力

Q_j	v_j	$\frac{\gamma Q_j v_j}{g}$	F	備考
$\times 10^{-3}$ m^3/sec	m/sec	Kg	Kg	NO-1
0.25	5.02	0.13	0.12	
0.28	5.50	0.16	0.16	
0.34	6.70	0.23	0.25	
0.39	7.65	0.30	0.32	
0.50	9.85	0.50	0.53	
0.56	11.20	0.65	0.66	
0.62	12.35	0.78	0.84	
0.65	12.85	0.85	0.90	
0.68	13.60	0.95	0.97	
0.71	14.10	1.02	1.07	

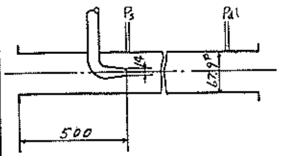
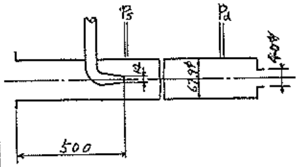
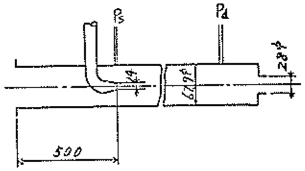


表—3—(b) 管内への噴入

Q_j	v_j	$\frac{Q_j v_j}{A g}$	H_d	備考
$\times 10^{-3}$ m^3/sec	m/sec	m	m	NO-2
0.24	4.80	0.015	0.016	
0.30	6.02	0.024	0.023	
0.34	6.79	0.030	0.027	
0.39	7.71	0.039	0.034	
0.45	8.90	0.052	0.050	
0.49	9.83	0.063	0.065	
0.58	11.50	0.087	0.082	
0.59	11.80	0.091	0.085	
0.67	13.31	0.116	0.109	
0.72	14.20	0.132	0.122	

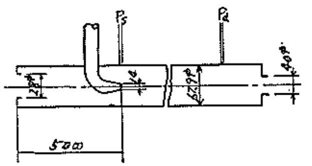


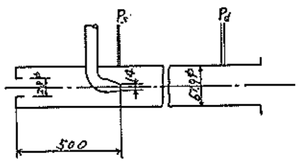
表—4—(a)　噴射実験結果計算表（管径D=67,9mm）

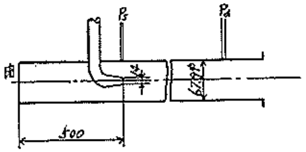
Q_j	V_j	Q_s	V_s	Q_d	V_d	ⓐ $\frac{Q_j V_j}{Ag}$	ⓑ $\frac{Q_s V_s}{Ag}$	ⓒ $\frac{Q_d V_d}{Ag}$	ⓐ+ⓑ-ⓒ	$\frac{P_d - P_w}{\gamma}$	$\frac{P_w - P_s}{\gamma}$	$\frac{P_d - P_s}{\gamma}$	$\frac{P_d - P_s}{P_j - P_d}$	$\frac{Q_s}{Q_j}$	$\frac{P_d - P_s}{P_j - P_d} \frac{Q_s}{Q_j}$	備考
$\times 10^{-3} m^3/sec$	m/sec	$\times 10^{-3} m^3/sec$	m/sec	$\times 10^{-3} m^3/sec$	m/sec	m	m	m	m	m	m	m				
0.56	3.61	1.60	0.46	2.16	0.60	0.057	0.021	0.036	0.042	0.002	0.045	0.047	0.076	2.86	0.22	NO-1 
0.86	5.55	2.40	0.69	3.26	0.90	0.134	0.047	0.083	0.098	0.004	0.107	0.111	0.076	2.79	0.21	
1.06	6.82	3.00	0.86	4.06	1.12	0.204	0.073	0.128	0.149	0.004	0.167	0.171	0.078	2.84	0.22	
1.18	7.76	3.22	0.93	4.40	1.22	0.254	0.084	0.151	0.187	0.009	0.196	0.205	0.074	2.74	0.21	
1.23	7.94	3.40	0.98	4.63	1.28	0.275	0.094	0.168	0.201	0.005	0.222	0.227	0.076	2.75	0.21	
1.35	8.71	3.80	1.10	5.15	1.42	0.332	0.117	0.206	0.243	0.010	0.270	0.280	0.078	2.82	0.22	
1.37	8.85	3.75	1.08	5.12	1.41	0.342	0.114	0.204	0.252	0.006	0.260	0.270	0.073	2.74	0.20	
1.45	9.36	4.15	1.16	5.60	1.55	0.384	0.135	0.245	0.274	0.007	0.313	0.320	0.077	2.86	0.22	
1.58	9.73	4.27	1.23	5.85	1.61	0.460	0.148	0.266	0.342	0.011	0.329	0.340	0.076	2.70	0.21	
1.66	10.70	4.65	1.34	6.31	1.74	0.500	0.175	0.309	0.366	0.011	0.389	0.400	0.073	2.81	0.21	
0.47	3.05	0.55	0.16	1.02	0.28	0.041	0.003	0.008	0.036	0.033	0.004	0.037	0.084	1.16	0.10	NO-2 
0.57	3.65	0.65	0.19	1.21	0.34	0.058	0.003	0.011	0.050	0.047	0.006	0.053	0.084	1.14	0.10	
0.66	4.28	0.76	0.22	1.42	0.39	0.080	0.005	0.016	0.069	0.062	0.008	0.070	0.081	1.14	0.10	
0.78	5.02	0.86	0.25	1.64	0.45	0.107	0.006	0.021	0.092	0.085	0.015	0.100	0.085	1.11	0.09	
0.90	5.80	0.99	0.28	1.89	0.52	0.147	0.008	0.028	0.127	0.113	0.015	0.128	0.081	1.10	0.09	
1.00	6.48	1.13	0.33	2.13	0.59	0.182	0.010	0.035	0.157	0.145	0.025	0.170	0.086	1.13	0.10	
1.17	7.55	1.31	0.38	2.48	0.69	0.249	0.014	0.048	0.215	0.196	0.026	0.222	0.083	1.12	0.09	
1.37	8.80	1.50	0.43	2.86	0.79	0.339	0.018	0.064	0.294	0.260	0.042	0.302	0.083	1.10	0.09	
1.63	10.50	1.78	0.52	3.41	0.94	0.480	0.026	0.090	0.416	0.370	0.056	0.426	0.082	1.10	0.09	
1.87	12.07	2.06	0.60	3.93	1.09	0.635	0.035	0.120	0.550	0.492	0.072	0.564	0.082	1.10	0.09	
0.51	3.26	0.07	0.02	0.57	0.16	0.046	—	0.003	0.043	0.048	0.001	0.049	0.098	0.13	0.01	NO-3 
0.58	3.81	0.09	0.03	0.67	0.18	0.062	—	0.004	0.058	0.068	0.001	0.069	0.103	0.16	0.02	
0.65	4.20	0.09	0.03	0.74	0.21	0.077	—	0.004	0.073	0.079	0.001	0.080	0.098	0.12	0.01	
0.71	4.60	0.10	0.03	0.81	0.22	0.093	—	0.005	0.088	0.096	0.001	0.097	0.099	0.14	0.01	
0.84	5.39	0.11	0.03	0.95	0.26	0.127	—	0.007	0.120	0.130	0.001	0.131	0.097	0.11	0.01	
0.99	6.41	0.11	0.03	1.10	0.30	0.179	—	0.010	0.169	0.177	0.001	0.178	0.093	0.11	0.01	
1.08	6.95	0.12	0.04	1.20	0.33	0.212	—	0.011	0.201	0.210	0.002	0.212	0.094	0.11	0.01	
1.23	7.90	0.11	0.03	1.34	0.37	0.278	—	0.015	0.263	0.259	0.002	0.261	0.089	0.09	0.01	
1.42	9.13	0.08	0.03	1.57	0.43	0.366	0.001	0.019	0.348	0.361	0.002	0.363	0.093	0.06	0.01	
1.68	10.85	0.17	0.05	1.85	0.57	0.514	0.001	0.027	0.488	0.496	0.002	0.498	0.090	0.10	0.01	

表—4—(b) 噴射実験結果計算表（管径D＝67.9mm）

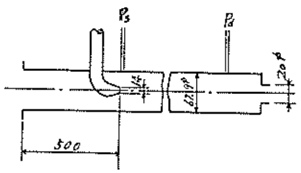
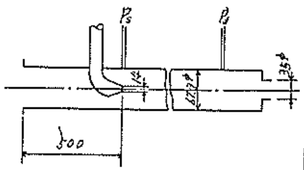
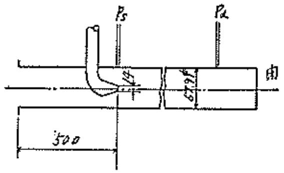
Q_j	V_j	Q_s	V_s	Q_d	V_d	ⓐ $\frac{Q_j V_j}{Ag}$	ⓑ $\frac{Q_s V_s}{Ag}$	ⓒ $\frac{Q_d V_d}{Ag}$	ⓐ+ⓑ-ⓒ	$\frac{P_d-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_w-P_s}{\gamma}$	$\frac{P_d-P_s}{\gamma}$	$\frac{P_d-P_s}{P_j-P_d}$	$\frac{Q_s}{Q_j}$	$\frac{P_d-P_s}{P_j-P_d}\frac{Q_s}{Q_j}$	備考
×10³ m³/sec	m/sec	×10³ m³/sec	m/sec	×10³ m³/sec	m/sec	m	m	m	m	m	m	m				
0.49	3.16	0.36	0.10	0.85	0.24	0.044	0.001	0.006	0.039	0.023	0.016	0.039	0.083	0.73	0.06	NO-4
0.61	3.90	0.46	0.13	1.06	0.29	0.067	0.002	0.009	0.060	0.034	0.027	0.061	0.086	0.76	0.07	
0.71	4.60	0.54	0.16	1.25	0.35	0.092	0.002	0.012	0.082	0.050	0.032	0.082	0.082	0.76	0.06	
0.90	5.82	0.66	0.19	1.56	0.43	0.148	0.003	0.019	0.132	0.076	0.052	0.128	0.080	0.73	0.06	
1.10	7.15	0.72	0.18	1.83	0.51	0.224	0.004	0.026	0.202	0.107	0.075	0.182	0.075	0.65	0.05	
1.42	9.20	1.06	0.31	2.48	0.69	0.369	0.011	0.048	0.332	0.196	0.140	0.336	0.085	0.75	0.06	
1.66	10.72	1.28	0.37	2.94	0.81	0.502	0.013	0.067	0.448	0.275	0.182	0.457	0.084	0.77	0.07	
1.86	12.00	1.41	0.41	3.27	0.90	0.627	0.016	0.083	0.560	0.340	0.238	0.578	0.086	0.76	0.07	
2.06	13.30	1.52	0.44	3.58	0.99	0.770	0.019	0.100	0.689	0.405	0.282	0.687	0.083	0.74	0.06	
2.12	13.70	1.66	0.48	3.78	1.05	0.819	0.022	0.111	0.730	0.455	0.305	0.760	0.086	0.78	0.07	
0.50	3.20	0.61	0.18	1.11	0.31	0.045	0.003	0.010	0.038	0.001	0.039	0.040	0.083	1.23	0.10	NO-5
0.60	3.85	0.72	0.21	1.32	0.37	0.065	0.004	0.014	0.055	0.001	0.057	0.058	0.083	1.21	0.10	
0.71	4.60	0.87	0.25	1.58	0.44	0.093	0.006	0.019	0.080	0.002	0.082	0.084	0.084	1.22	0.10	
0.82	5.28	0.97	0.28	1.79	0.50	0.122	0.008	0.025	0.105	0.004	0.106	0.110	0.084	1.19	0.10	
0.91	5.87	1.04	0.30	1.95	0.54	0.151	0.009	0.030	0.130	0.004	0.130	0.134	0.083	1.14	0.10	
0.98	6.30	1.15	0.33	2.13	0.59	0.177	0.011	0.036	0.152	0.004	0.151	0.155	0.083	1.18	0.10	
1.12	7.24	1.32	0.38	2.44	0.67	0.229	0.014	0.046	0.197	0.005	0.195	0.200	0.081	1.18	0.10	
1.35	8.73	1.55	0.45	2.90	0.80	0.333	0.020	0.066	0.287	0.005	0.284	0.289	0.080	1.15	0.09	
1.61	10.40	1.83	0.53	3.44	0.95	0.472	0.027	0.092	0.407	0.005	0.415	0.420	0.083	1.14	0.10	
1.71	11.00	2.00	0.58	3.70	1.02	0.530	0.032	0.106	0.456	0.006	0.464	0.470	0.082	1.17	0.10	
0.41	2.63	—	—	0.41	0.11	0.032	—	0.001	0.031	0.001	0.027	0.028	0.086	—	—	NO-6
0.51	3.29	—	—	0.51	0.14	0.047	—	0.002	0.045	0.002	0.047	0.049	0.098	—	—	
0.64	4.12	—	—	0.64	0.18	0.074	—	0.003	0.071	0.002	0.069	0.071	0.090	—	—	
0.74	4.78	—	—	0.74	0.20	0.100	—	0.004	0.096	0.003	0.092	0.095	0.089	—	—	
0.86	5.57	—	—	0.86	0.24	0.133	—	0.006	0.127	0.003	0.126	0.129	0.090	—	—	
1.03	6.62	—	—	1.03	0.28	0.191	—	0.008	0.183	0.004	0.190	0.194	0.095	—	—	
1.17	7.55	—	—	1.17	0.32	0.249	—	0.011	0.238	0.004	0.241	0.245	0.092	—	—	
1.32	8.49	—	—	1.32	0.36	0.315	—	0.013	0.302	0.004	0.304	0.308	0.092	—	—	
1.51	9.70	—	—	1.51	0.42	0.411	—	0.018	0.393	0.005	0.395	0.400	0.091	—	—	
1.70	10.95	—	—	1.70	0.47	0.525	—	0.023	0.502	0.006	0.504	0.570	0.091	—	—	

NO-4


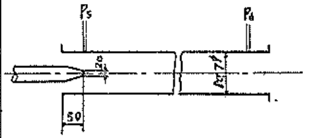
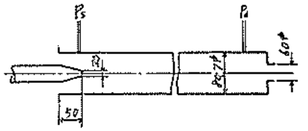
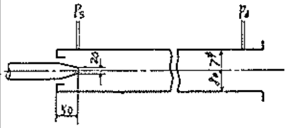
NO-5


NO-6


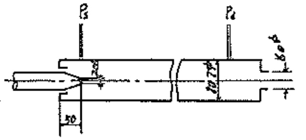
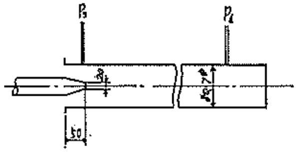
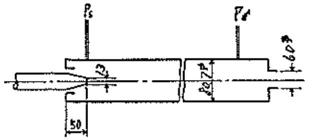
表—4—(c) 噴射実験結果計算表（管空D=67,9mm）

Q_j	V_j	Q_s	V_s	Q_d	V_d	① $\frac{Q_j V_j}{Ag}$	② $\frac{Q_s V_s}{Ag}$	③ $\frac{Q_d V_d}{Ag}$	①+②-③	$\frac{P_d-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_w-P_s}{\gamma}$	$\frac{P_d-P_s}{\gamma}$	$\frac{P_d-P_s}{P_j-P_d}$	$\frac{Q_s}{Q_j}$	$\frac{P_d-P_s}{P_j-P_d}\frac{Q_s}{Q_j}$	備考
×10³ m³/sec	m/sec	×10³ m³/sec	m/sec	×10³ m³/sec	m/sec	m	m	m	m	m	m	m				
0.55	3.52	-0.23	-0.07	0.32	0.09	0.054	0.004	0.008	0.060	0.058	—	0.058	0.101	—	—	NO-7 
0.71	4.60	-0.30	-0.09	0.41	0.11	0.093	0.007	0.013	0.087	0.098	—	0.099	0.101	—	—	
0.84	5.40	-0.35	-0.10	0.49	0.13	0.127	0.010	0.018	0.119	0.135	—	0.135	0.099	—	—	
0.97	6.24	-0.40	-0.12	0.56	0.16	0.170	0.013	0.025	0.158	0.182	—	0.182	0.100	—	—	
1.07	6.90	-0.46	-0.13	0.61	0.17	0.208	0.017	0.029	0.196	0.215	0.001	0.216	0.098	—	—	
1.13	7.26	-0.47	-0.14	0.66	0.18	0.229	0.018	0.033	0.214	0.246	0.001	0.245	0.100	—	—	
1.33	8.55	-0.58	-0.17	0.75	0.21	0.319	0.027	0.044	0.302	0.324	0.001	0.325	0.097	—	—	
1.40	9.00	-0.59	-0.17	0.81	0.22	0.354	0.028	0.051	0.331	0.376	0.002	0.378	0.100	—	—	
1.48	9.52	-0.63	-0.18	0.85	0.23	0.395	0.032	0.056	0.371	0.413	0.002	0.415	0.098	—	—	
1.63	10.50	-0.69	-0.20	0.94	0.26	0.480	0.038	0.069	0.449	0.506	0.002	0.508	0.100	—	—	
0.53	3.40	0.29	0.08	0.81	0.23	0.051	0.001	0.005	0.047	0.038	0.005	0.043	0.079	0.55	0.04	NO-8 
0.65	4.20	0.35	0.10	1.00	0.28	0.077	0.001	0.008	0.070	0.058	0.009	0.067	0.080	0.54	0.04	
0.76	4.88	0.39	0.11	1.14	0.32	0.104	0.001	0.010	0.095	0.075	0.011	0.086	0.076	0.51	0.04	
0.82	5.30	0.45	0.13	1.28	0.35	0.123	0.002	0.013	0.111	0.094	0.014	0.108	0.081	0.55	0.05	
0.92	5.90	0.50	0.14	1.42	0.39	0.152	0.002	0.016	0.138	0.115	0.015	0.130	0.079	0.55	0.04	
1.06	6.83	0.57	0.16	1.63	0.45	0.204	0.003	0.021	0.186	0.153	0.022	0.175	0.080	0.54	0.04	
1.25	8.07	0.70	0.20	1.95	0.54	0.284	0.004	0.030	0.258	0.220	0.029	0.249	0.081	0.56	0.05	
1.40	9.05	0.79	0.23	2.19	0.61	0.357	0.005	0.037	0.325	0.275	0.038	0.313	0.081	0.56	0.05	
1.58	10.20	0.90	0.26	2.48	0.69	0.455	0.007	0.048	0.414	0.353	0.050	0.403	0.082	0.57	0.05	
1.74	11.20	1.03	0.30	2.76	0.76	0.548	0.009	0.059	0.498	0.437	0.064	0.501	0.084	0.59	0.05	
0.48	3.68	-0.48	-0.14	—	—	0.042	0.002	—	0.044	0.049	0.001	0.050	0.116	—	—	NO-9 
0.65	4.22	-0.65	-0.19	—	—	0.078	0.004	—	0.082	0.090	0.001	0.091	0.110	—	—	
0.75	4.85	-0.75	-0.22	—	—	0.103	0.005	—	0.108	0.124	0.002	0.126	0.117	—	—	
0.90	5.78	-0.90	-0.26	—	—	0.146	0.007	—	0.153	0.172	0.002	0.174	0.111	—	—	
1.01	6.50	-1.01	-0.29	—	—	0.185	0.008	—	0.193	0.215	0.004	0.219	0.113	—	—	
1.10	7.09	-1.10	-0.32	—	—	0.220	0.010	—	0.230	0.259	0.005	0.264	0.110	—	—	
1.22	7.85	-1.22	-0.35	—	—	0.270	0.012	—	0.282	0.316	0.006	0.322	0.114	—	—	
1.37	8.83	-1.37	-0.40	—	—	0.341	0.015	—	0.356	0.397	0.007	0.404	0.107	—	—	
1.41	9.07	-1.41	-0.41	—	—	0.361	0.010	—	0.387	0.425	0.010	0.435	0.110	—	—	
1.55	10.02	-1.55	-0.45	—	—	0.436	0.020	—	0.456	0.510	0.011	0.521	0.108	—	—	

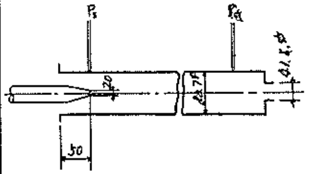
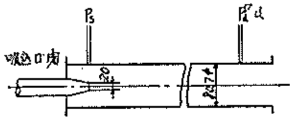
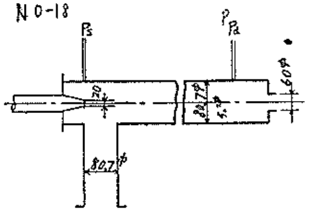
表—5—(a) 噴射実験結果計算表（管径D＝80,7mm）

Q_j	V_j	Q_s	V_s	Q_d	V_d	ⓐ $\frac{Q_j V_j}{Ag}$	ⓑ $\frac{Q_s V_s}{Ag}$	ⓒ $\frac{Q_d V_d}{Ag}$	ⓐ+ⓑ−ⓒ	$\frac{P_d-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_w-P_s}{\gamma}$	$\frac{P_d-P_s}{\gamma}$	$\frac{P_d-P_s}{P_j-P_d}$	$\frac{Q_s}{Q_j}$	$\frac{P_d-P_s}{P_j-P_d}\frac{Q_s}{Q_j}$	備考
$\times10^{-3}$ m³/sec	m/sec	$\times10^{-3}$ m³/sec	m/sec	$\times10^{-3}$ m³/sec	m/sec	m	m	m	m	m	m	m				
0.57	1.62	1.58	0.34	2.15	0.42	0.018	0.011	0.018	0.011	0.001	0.010	0.011	0.090	2.79	0.25	NO-10 
0.75	2.39	2.10	0.45	2.85	0.56	0.036	0.019	0.032	0.023	0.001	0.018	0.019	0.086	2.81	0.24	
0.87	2.77	2.70	0.59	3.57	0.70	0.048	0.032	0.050	0.031	0.002	0.030	0.032	0.089	3.10	0.27	
1.09	3.47	2.98	0.63	4.07	0.80	0.076	0.037	0.065	0.047	0.003	0.037	0.040	0.083	2.72	0.23	
1.32	4.21	3.75	0.80	5.07	0.99	0.111	0.060	0.101	0.070	0.004	0.058	0.062	0.084	2.85	0.24	
1.56	4.96	4.40	0.93	5.96	1.17	0.150	0.082	0.139	0.093	0.005	0.083	0.088	0.080	2.82	0.23	
1.70	5.40	5.00	1.06	6.70	1.31	0.183	0.106	0.175	0.114	0.006	0.107	0.113	0.084	2.95	0.25	
1.82	5.81	5.40	1.15	7.22	1.41	0.212	0.124	0.204	0.132	0.006	0.124	0.130	0.082	2.96	0.24	
1.95	6.20	5.75	1.22	7.70	1.50	0.241	0.140	0.231	0.150	0.007	0.140	0.147	0.081	2.95	0.24	
2.64	8.40	7.86	1.67	10.05	2.06	0.445	0.262	0.432	0.275	0.010	0.245	0.255	0.080	2.97	0.24	
0.91	2.91	1.36	0.29	2.27	0.45	0.053	0.008	0.020	0.041	0.030	0.012	0.042	0.107	1.49	0.16	NO-11 
0.96	3.04	1.52	0.32	2.47	0.48	0.059	0.010	0.024	0.045	0.035	0.010	0.045	0.106	1.59	0.17	
1.24	3.93	1.91	0.40	3.14	0.62	0.097	0.015	0.039	0.073	0.057	0.016	0.073	0.110	1.55	0.17	
1.36	4.31	2.08	0.44	3.44	0.68	0.117	0.018	0.047	0.088	0.068	0.016	0.084	0.097	1.48	0.15	
1.56	4.97	2.34	0.50	3.90	0.77	0.155	0.023	0.060	0.118	0.086	0.022	0.108	0.096	1.50	0.16	
1.68	5.34	2.59	0.55	4.26	0.84	0.179	0.029	0.072	0.136	0.104	0.026	0.130	0.099	1.55	0.17	
1.91	6.09	3.13	0.66	5.04	0.99	0.232	0.042	0.100	0.174	0.144	0.036	0.180	0.106	1.58	0.17	
2.29	7.30	3.71	0.79	6.00	1.18	0.336	0.058	0.142	0.252	0.199	0.054	0.253	0.104	1.62	0.17	
2.70	8.61	4.50	0.95	7.20	1.41	0.465	0.086	0.203	0.348	0.280	0.060	0.340	0.100	1.67	0.17	
3.15	9.60	4.65	0.99	7.80	1.53	0.605	0.092	0.239	0.458	0.340	0.090	0.430	0.101	1.48	0.15	
0.54	1.71	0.90	0.19	1.44	0.28	0.019	0.003	0.008	0.014	0.002	0.012	0.014	0.103	1.67	0.17	NO-12. 
0.89	2.84	1.52	0.32	2.41	0.47	0.051	0.010	0.023	0.038	0.001	0.040	0.041	0.110	1.71	0.19	
1.34	4.28	2.28	0.48	3.62	0.71	0.115	0.022	0.051	0.086	0.002	0.093	0.095	0.101	1.70	0.17	
1.57	5.00	2.72	0.58	3.89	0.76	0.157	0.031	0.059	0.129	0.003	0.130	0.133	0.116	1.73	0.20	
1.78	5.67	3.13	0.66	4.91	0.96	0.202	0.042	0.094	0.150	0.002	0.169	0.171	0.117	1.76	0.21	
1.95	6.24	3.40	0.72	5.35	1.05	0.243	0.049	0.112	0.180	0.003	0.199	0.202	0.113	1.75	0.20	
1.43	4.55	2.42	0.51	3.85	0.76	0.130	0.025	0.058	0.097	0.002	0.104	0.106	0.111	1.70	0.19	
2.33	7.41	4.41	0.94	6.74	1.32	0.346	0.083	0.177	0.252	0.004	0.256	0.260	0.102	1.89	0.19	
2.67	8.45	5.15	1.09	7.82	1.53	0.451	0.112	0.239	0.324	0.004	0.236	0.340	0.103	1.93	0.20	
3.11	9.90	6.02	1.27	9.13	1.79	0.617	0.153	0.327	0.443	0.005	0.465	0.470	0.104	1.93	0.20	

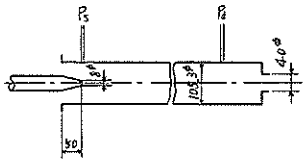
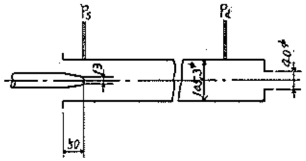
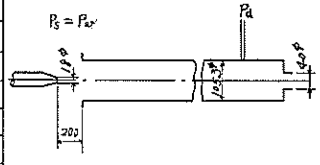
表—5—(b)　噴射験結果計算表（管径D＝80,7mm）

Q_j	V_j	Q_s	V_s	Q_d	V_d	ⓐ $\frac{Q_jV_j}{Ag}$	ⓑ $\frac{Q_sV_s}{Ag}$	ⓒ $\frac{Q_dV_d}{Ag}$	ⓐ+ⓑ-ⓒ	$\frac{P_d-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_w-P_s}{\gamma}$	$\frac{P_d-P_s}{\gamma}$	$\frac{P_d-P_s}{P_j-P_d}$	$\frac{Q_s}{Q_j}$	$\frac{P_d-P_s}{P_j-P_d}\frac{Q_s}{Q_j}$	備考
$\times10^{-3}$ m³/sec	m/sec	$\times10^{-3}$ m³/sec	m/sec	$\times10^{-3}$ m³/sec	m/sec	m	m	m	m	m	m	m				NO-13 
0.56	1.78	0.85	0.18	1.41	0.28	0.020	0.003	0.008	0.023	0.010	0.006	0.016	0.110	1.53	0.17	
0.76	2.40	0.86	0.19	1.62	0.32	0.036	0.003	0.010	0.029	0.013	0.015	0.028	0.105	1.12	0.12	
0.94	2.99	1.19	0.25	2.13	0.42	0.056	0.006	0.019	0.044	0.023	0.024	0.047	0.115	1.27	0.15	
1.17	3.75	1.50	0.32	2.67	0.52	0.088	0.010	0.028	0.070	0.036	0.038	0.074	0.114	1.28	0.15	
1.22	3.90	1.52	0.32	2.74	0.54	0.095	0.010	0.030	0.075	0.038	0.044	0.082	0.118	1.24	0.15	
1.42	4.51	1.77	0.38	3.18	0.62	0.128	0.013	0.040	0.111	0.051	0.060	0.111	0.120	1.24	0.15	
1.72	5.45	2.00	0.42	3.72	0.73	0.187	0.017	0.055	0.149	0.070	0.080	0.150	0.110	1.16	0.13	
1.88	6.00	2.29	0.49	4.17	0.82	0.227	0.022	0.068	0.181	0.088	0.100	0.188	0.114	1.26	0.14	
2.57	8.20	3.13	0.66	5.70	1.12	0.451	0.041	0.128	0.364	0.160	0.180	0.340	0.111	1.22	0.14	
3.17	10.10	3.93	0.82	7.10	1.39	0.640	0.065	0.198	0.507	0.238	0272	0.510	0.109	1.26	0.14	
																NO-14 
0.68	2.15	-0.68	-0.14	—	—	0.029	0.002	—	0.031	0.030	0.001	0.031	0.150	—	—	
0.92	2.92	-0.92	-0.19	—	—	0.053	0.004	—	0.057	0.054	0.005	0.059	0.157	—	—	
1.14	3.63	-1.14	-0.24	—	—	0.083	0.006	—	0.089	0.082	0.007	0.089	0.152	—	—	
1.23	3.92	-1.23	-0.26	—	—	0.097	0.007	—	0.104	0.098	0.005	0.103	0.149	—	—	
1.32	4.21	-1.32	-0.28	—	—	0.111	0.008	—	0.119	0.114	0.006	0.120	0.153	—	—	
1.60	5.09	-1.60	-0.34	—	—	0.163	0.012	—	0.175	0.163	0.012	0.175	0.152	—	—	
1.72	5.46	-1.72	-0.36	—	—	0.187	0.013	—	0.201	0.190	0.015	0.205	0.154	—	—	
1.46	4.63	-1.46	-0.31	—	—	0.135	0.010	—	0.145	0.136	0.007	0.143	0.150	—	—	
2.06	6.55	-2.06	-0.44	—	—	0.270	0.018	—	0.288	0.267	0.018	0.285	0.149	—	—	
2.54	8.10	-2.54	-0.54	—	—	0.411	0.027	—	0.438	0.395	0.030	0.425	0.146	—	—	
																NO-15 
0.44	3.33	1.16	0.25	1.60	0.31	0.029	0.006	0.010	0.025	0.013	0.014	0.027	0.045	2.63	0.12	
0.55	4.20	1.35	0.28	1.90	0.37	0.046	0.007	0.014	0.039	0.018	0.024	0.042	0.047	2.43	0.11	
0.66	5.00	1.54	0.32	2.20	0.43	0.066	0.010	0.019	0.057	0.025	0.035	0.060	0.049	2.34	0.11	
0.74	5.56	1.74	0.37	2.47	0.49	0.082	0.013	0.024	0.071	0.031	0.042	0.073	0.048	2.36	0.11	
0.92	7.00	2.18	0.45	3.10	0.61	0.129	0.020	0.038	0.111	0.049	0.063	0.112	0.047	2.35	0.11	
1.03	7.77	2.38	0.51	3.41	0.67	0.161	0.024	0.046	0.139	0.059	0.085	0.144	0.049	2.31	0.11	
1.13	8.52	2.54	0.54	3.66	0.72	0.191	0.026	0.053	0.164	0.068	0.090	0.158	0.045	2.25	0.10	
1.29	9.80	2.97	0.63	4.26	0.84	0.253	0.037	0.072	0.218	0.092	0.130	0.222	0.047	2.30	0.11	
1.45	11.00	3.26	0.67	4.70	0.93	0.320	0.043	0.088	0.275	0.110	0.176	0.286	0.048	2.25	0.11	
1.47	11.10	3.31	0.70	4.77	0.94	0.326	0.046	0.090	0.282	0.115	0.180	0.295	0.049	2.25	0.11	

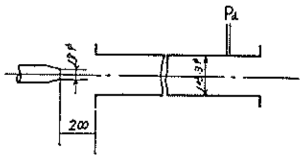
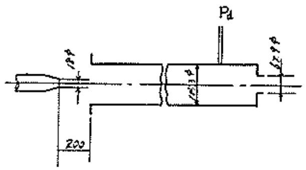
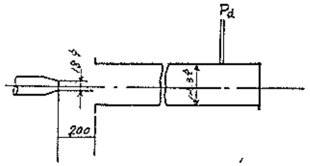
表—5—(c)　噴射実験結果計算表（管径D＝80,7mm）

Q_i	V_i	Q_s	V_s	Q_d	V_d	ⓐ $\frac{Q_i V_i}{Ag}$	ⓑ $\frac{Q_s V_s}{Ag}$	ⓒ $\frac{Q_d V_d}{Ag}$	ⓐ+ⓑ-ⓒ	$\frac{P_d-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_w-P_s}{\gamma}$	$\frac{P_d-P_s}{\gamma}$	$\frac{P_d-P_s}{P_i-P_d}$	$\frac{Q_s}{Q_i}$	$\frac{P_d-P_s}{P_i-P_d}\frac{Q_s}{Q_i}$	備考
$\times 10^{-3}$ m³/sec	m/sec	$\times 10^{-3}$ m³/sec	m/sec	$\times 10^{-3}$ m³/sec	m/sec	m	m	m	m	m	m	m				
1.10	3.50	0.36	0.08	1.46	0.29	0.077	—	0.008	0.069	0.064	0.001	0.065	0.126	0.33	0.04	NO-16 
1.26	4.02	0.47	0.10	1.73	0.34	0.101	—	0.012	0.089	0.090	0.001	0.091	0.124	0.37	0.05	
1.67	5.20	0.59	0.13	2.26	0.44	0.174	0.002	0.020	0.156	0.152	0.002	0.154	0.125	0.35	0.04	
1.85	5.90	0.63	0.13	2.48	0.49	0.218	0.002	0.024	0.196	0.184	0.002	0.186	0.117	0.34	0.04	
2.07	6.58	0.79	0.17	2.86	0.56	0.273	0.003	0.032	0.244	0.245	0.003	0.248	0.127	0.38	0.05	
2.30	7.30	0.85	0.18	3.15	0.62	0.336	0.003	0.039	0.300	0.298	0.003	0.301	0.125	0.37	0.05	
2.45	7.80	0.87	0.19	3.32	0.65	0.382	0.003	0.043	0.342	0.330	0.003	0.330	0.120	0.36	0.04	
2.67	8.50	0.98	0.21	3.65	0.72	0.452	0.004	0.052	0.403	0.399	0.004	0.403	0.127	0.37	0.05	
2.86	9.10	1.04	0.22	3.90	0.77	0.520	0.005	0.060	0.465	0.456	0.004	0.460	0.121	0.36	0.04	
3.20	10.20	1.23	0.26	4.43	0.87	0.652	0.006	0.077	0.581	0.589	0.006	0.595	0.126	0.38	0.05	
0.95	3.03	—	—	0.95	0.19	0.057	—	0.004	0.053	0.002	0.059	0.061	0.149	—	—	NO-17 
1.18	3.73	—	—	1.18	0.23	0.088	—	0.006	0.082	0.002	0.082	0.084	0.133	—	—	
1.41	4.53	—	—	1.41	0.28	0.127	—	0.008	0.119	0.002	0.123	0.125	0.135	—	—	
1.76	5.65	—	—	1.76	0.35	0.198	—	0.012	0.186	0.003	0.187	0.190	0.132	—	—	
1.95	6.26	—	—	1.95	0.38	0.244	—	0.015	0.229	0.004	0.240	0.244	0.139	—	—	
2.26	7.14	—	—	2.26	0.44	0.323	—	0.020	0.303	0.005	0.317	0.322	0.141	—	—	
2.44	7.74	—	—	2.44	0.48	0.377	—	0.023	0.354	0.006	0.348	0.354	0.131	—	—	
2.67	8.50	—	—	2.67	0.52	0.453	—	0.028	0.425	0.007	0.430	0.437	0.135	—	—	
3.05	9.70	—	—	3.05	0.60	0.590	—	0.037	0.553	0.010	0.540	0.550	0.130	—	—	
3.33	10.60	—	—	3.33	0.66	0.706	—	0.045	0.661	0.011	0.640	0.651	0.128	—	—	
1.12	13.58	1.89	0.40	3.01	0.59	0.081	0.016	0.035	0.052	0.046	0.009	0.055	0.092	1.69	0.16	NO-18 
1.32	4.21	2.18	0.46	3.50	0.69	0.111	0.020	0.048	0.083	0.065	0.012	0.077	0.093	1.65	0.15	
1.71	5.44	2.77	0.59	4.48	0.88	0.186	0.033	0.079	0.140	0.102	0.019	0.121	0.087	1.62	0.14	
1.57	4.98	2.57	0.55	4.14	0.81	0.156	0.028	0.67	0.117	0.087	0.018	0.105	0.091	1.70	0.16	
1.91	6.09	3.15	0.67	5.06	0.99	0.232	0.042	0.100	0.174	0.130	0.024	0.154	0.089	1.65	0.15	
2.28	7.25	3.62	0.77	5.90	1.16	0.331	0.056	0.138	0.249	0.177	0.035	0.212	0.086	1.59	0.14	
2.50	7.95	4.05	0.86	6.55	1.28	0.398	0.070	0.168	0.300	0.210	0.040	0.258	0.087	1.62	0.14	
2.75	8.75	4.45	0.94	7.30	1.43	0.481	0.084	0.209	0.356	0.272	0.048	0.320	0.089	1.62	0.14	
3.01	9.60	4.99	1.06	8.00	1.57	0.578	0.105	0.252	0.431	0.332	0.058	0.390	0.091	1.66	0.15	
3.33	10.60	5.57	1.18	8.90	1.75	0.708	0.131	0.311	0.528	0.410	0.070	0.480	0.092	1.67	0.15	

表—6—(a)　噴射実験結果計算表（管径D＝105,3mm）

Q_i	V_i	Q_s	V_s	Q_d	V_d	Ⓐ $\frac{Q_i V_i}{Ag}$	Ⓑ $\frac{Q_s V_s}{Ag}$	Ⓒ $\frac{Q_d V_d}{Ag}$	Ⓐ+Ⓑ−Ⓒ	$\frac{P_d-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_w-P_s}{\gamma}$	$\frac{P_d-P_s}{\gamma}$	$\frac{P_d-P_s}{P_i-P_d}$	$\frac{Q_s}{Q_i}$	$\frac{P_d-P_s}{P_i-P_d}\frac{Q_s}{Q_i}$	備考
×10³ m³/sec	m/sec	×10³ m³/sec	m/sec	×10³ m³/sec	m/sec	m	m	m	m	m	m	m				
0.36	7.11	0.54	0.07	0.90	0.10	0.030	0.001	0.001	0.029	0.028	0.001	0.029	0.012	1.50	0.02	NO-19 
0.45	8.85	0.68	0.08	1.12	0.13	0.047	0.001	0.002	0.046	0.044	0.001	0.045	0.011	1.52	0.02	
0.52	10.26	0.77	0.10	1.29	0.15	0.068	0.001	0.002	0.067	0.058	0.001	0.059	0.011	1.50	0.02	
0.56	11.05	0.94	0.11	1.49	0.17	0.073	0.001	0.003	0.071	0.078	0.002	0.080	0.013	1.68	0.02	
0.67	13.40	1.03	0.12	1.71	0.20	0.107	0.002	0.004	0.104	0.102	0.002	0.104	0.011	1.54	0.02	
0.71	15.25	1.18	0.14	1.94	0.23	0.138	0.002	0.005	0.135	0.132	0.003	0.135	0.012	1.53	0.02	
0.83	16.55	1.22	0.14	2.06	0.24	0.163	0.002	0.006	0.160	0.148	0.003	0.151	0.011	1.48	0.02	
0.89	17.60	1.37	0.16	2.25	0.26	0.184	0.003	0.007	0.180	0.177	0.004	0.181	0.011	1.54	0.02	
0.97	19.30	1.49	0.17	2.46	0.29	0.211	0.003	0.008	0.206	0.212	0.005	0.217	0.011	1.54	0.02	
1.03	20.40	1.62	0.19	2.64	0.31	0.247	0.004	0.010	0.241	0.243	0.005	0.248	0.012	1.57	0.02	
0.62	4.67	0.33	0.04	0.95	0.11	0.034	—	0.001	0.033	0.032	0.001	0.033	0.030	0.53	0.02	NO-20 
0.76	5.61	0.40	0.05	1.16	0.13	0.050	—	0.002	0.048	0.047	0.001	0.045	0.029	0.53	0.02	
0.83	6.25	0.44	0.05	1.27	0.15	0.062	—	0.002	0.060	0.059	0.001	0.060	0.031	0.53	0.02	
0.96	7.25	0.53	0.06	1.49	0.17	0.083	—	0.003	0.080	0.078	0.001	0.079	0.031	0.55	0.02	
1.10	8.35	0.61	0.07	1.71	0.20	0.110	0.001	0.004	0.107	0.100	0.002	0.102	0.030	0.55	0.02	
1.29	9.75	0.69	0.08	1.98	0.23	0.149	0.001	0.005	0.145	0.137	0.002	0.139	0.029	0.53	0.02	
1.28	9.80	0.72	0.08	2.00	0.23	0.153	0.001	0.006	0.148	0.140	0.002	0.142	0.030	0.56	0.02	
1.47	11.10	0.81	0.09	2.28	0.26	0.195	0.001	0.007	0.189	0.182	0.003	0.185	0.030	0.55	0.02	
1.75	13.20	0.92	0.11	2.67	0.31	0.273	0.001	0.010	0.264	0.250	0.003	0.253	0.029	0.53	0.02	
1.88	4.20	1.01	0.12	2.89	0.34	0.314	0.001	0.012	0.303	0.292	0.004	0.296	0.030	0.53	0.02	
1.17	4.62	0.18	—	1.35	0.16	0.064	—	0.002	0.062	0.064	—	0.064	0.062	0.154	0.01	NO-21 
1.45	5.79	0.22	—	1.67	0.19	0.099	—	0.004	0.095	0.097	—	0.097	0.060	0.152	0.01	
1.82	7.16	0.25	—	2.07	0.24	0.154	—	0.006	0.148	0.150	—	0.150	0.061	0.137	0.01	
1.93	7.55	0.31	0.01	2.24	0.26	0.172	—	0.007	0.165	0.175	—	0.175	0.064	0.161	0.01	
2.02	8.01	0.29	0.01	2.31	0.27	0.191	—	0.007	0.184	0.187	—	0.187	0.060	0.143	0.01	
2.25	8.76	0.31	0.01	2.54	0.30	0.231	—	0.009	0.222	0.225	—	0.225	0.064	0.137	0.01	
2.25	8.90	0.31	0.01	2.56	0.30	0.237	—	0.009	0.228	0.230	—	0.230	0.060	0.137	0.01	
2.45	9.59	0.30	0.01	2.75	0.32	0.278	—	0.010	0.268	0.265	—	0.265	0.060	0.123	0.01	
2.46	9.70	0.33	0.01	2.79	0.32	0.283	—	0.011	0.272	0.273	—	0.273	0.060	0.134	0.01	
2.62	10.30	0.31	0.01	2.98	0.35	0.320	—	0.012	0.308	0.310	—	0.310	0.061	0.118	0.01	

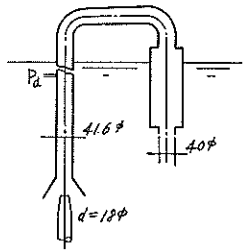
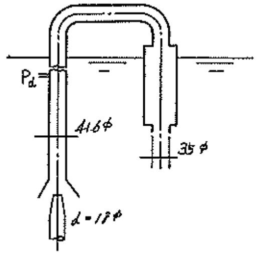
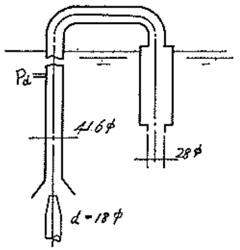
表—6—(b)　噴射実験結果計算表（管径D=105,3mm）

Q_j	V_j	Q_s	V_s	Q_d	V_d	ⓐ $\frac{Q_j V_j}{Ag}$	ⓑ $\frac{Q_s V_s}{Ag}$	ⓒ $\frac{Q_d V_d}{Ag}$	ⓐ+ⓑ-ⓒ	$\frac{P_d-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_w-P_s}{\gamma}$	$\frac{P_d-P_s}{\gamma}$	$\frac{P_d-P_s}{P_j-P_d}$	$\frac{Q_s}{Q_j}$	$\frac{P_d-P_s}{P_j-P_d}\cdot\frac{Q_s}{Q_j}$	備考
×10⁻³m³/sec	m/sec	×10⁻³m³/sec	m/sec	×10⁻³m³/sec	m/sec	m	m	m	m	m	m	m				
1.42	5.56	6.76	—	8.18	0.94	0.093	—	0.091	0.002	0.002	—	0.002	—	4.76	—	NO-22 
1.76	6.91	8.44	—	10.20	1.17	0.143	—	0.140	0.003	0.002	—	0.002	—	4.80	—	
2.03	7.97	9.72	—	11.75	1.35	0.190	—	0.186	0.004	0.003	—	0.003	—	4.79	—	
2.22	8.73	10.65	—	12.87	1.48	0.227	—	0.223	0.004	0.004	—	0.004	—	4.80	—	
2.33	9.14	11.17	—	13.50	1.55	0.250	—	0.245	0.005	0.004	—	0.004	—	4.79	—	
2.68	10.50	12.87	—	15.55	1.78	0.330	—	0.325	0.005	0.005	—	0.005	—	4.81	—	
2.96	11.60	14.19	—	17.15	1.97	0.404	—	0.396	0.008	0.007	—	0.007	—	4.79	—	
3.18	12.45	15.52	—	18.70	2.15	0.465	—	0.470	—	0.009	—	0.009	—	4.89	—	
3.33	13.09	.15.97	—	19.30	2.22	0.513	—	0.500	0.013	0.009	—	0.009	—	4.79	—	
3.56	13.98	17.09	—	20.65	2.37	0.583	—	0.573	0.010	0.010	—	0.010	—	4.79	—	
1.47	5.79	2.88	—	4.35	0.50	0.100	—	0.025	0.075	0.075	—	0.075	0.046	1.96	0.09	NO-23 
1.56	6.13	3.05	—	4.61	0.53	0.112	—	0.029	0.083	0.082	—	0.082	0.045	1.96	0.09	
1.89	7.40	3.68	—	5.57	0.64	0.164	—	0.042	0.122	0.128	—	0.128	0.048	1.95	0.09	
2.07	8.12	4.03	—	6.10	0.70²	0.197	—	0.050	0.147	0.145	—	0.145	0.045	1.95	0.09	
2.29	8.96	4.46	—	6.75	0.77⁸	0.241	—	0.060	0.181	0.175	—	0.175	0.045	1.95	0.09	
2.38	9.35	4.67	—	7.05	0.81	0.261	—	0.067	0.194	0.190	—	0.190	0.044	1.96	0.09	
2.68	10.50	5.24	—	7.92	0.91	0.330	—	0.085	0.245	0.240	—	0.240	0.044	1.96	0.09	
2.83	11.10	5.52	—	8.35	0.96	0.369	—	0.094	0.275	0.270	—	0.270	0.045	1.95	0.09	
3.36	13.20	6.59	—	9.95	1.14	0.521	—	0.133	0.388	0.375	—	0.375	0.044	1.96	0.09	
3.51	13.79	6.84	—	10.35	1.19	0.567	—	0.146	0.421	0.420	—	0.420	0.045	1.94	0.09	
1.43	5.61	-1.43	-0.17	—	—	0.094	0.003	—	0.097	0.098	—	0.098	0.065	—	—	NO-24 
1.61	6.32	-1.61	-0.19	—	—	0.119	0.004	—	0.123	0.126	—	0.126	0.065	—	—	
1.91	7.48	-1.91	-0.23	—	—	0.168	0.006	—	0.174	0.177	—	0.177	0.066	—	—	
2.07	8.13	-2.07	-0.25	—	—	0.197	0.006	—	0.203	0.201	—	0.201	0.063	—	—	
2.30	9.02	-2.30	-0.27	—	—	0.244	0.008	—	0.252	0.250	—	0.250	0.064	—	—	
2.49	9.78	-2.49	-0.30	—	—	0.286	0.009	—	0.295	0.290	—	0.290	0.064	—	—	
2.55	10.02	-2.55	-0.30	—	—	0.302	0.009	—	0.311	0.305	—	0.305	0.062	—	—	
2.63	10.30	-2.63	-0.31	—	—	0.319	0.010	—	0.329	0.335	—	0.333	0.066	—	—	
2.82	11.05	-2.82	-0.33	—	—	0.366	0.011	—	0.377	0.380	—	0.380	0.065	—	—	
3.28	12.85	-3.28	-0.39	—	—	0.495	0.015	—	0.510	0.505	—	0.505	0.063	—	—	

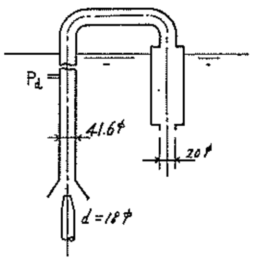
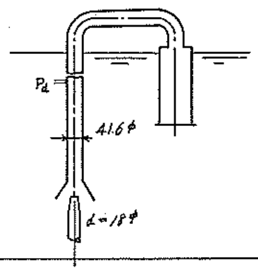
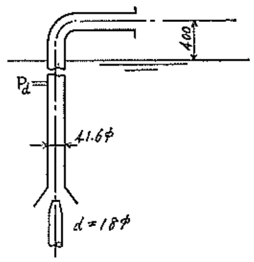
表—7　　噴流装置の流量比計算表（表—4，表—5，表—6の実験）

実験NO	$\frac{\xi_d}{2}$	$\frac{\lambda\pi DL}{8A_d}$	$\frac{(1+\xi_s)A_d^2}{2A_s^2}$	$-\frac{A_j}{A_s}$	B	$-\frac{(1+\xi_s)A_jA_d}{2A_s^2}$	C	$\frac{(1+\xi_s)A_j^2}{2A_s^2}$	D	$\frac{-C+C^2-BD}{B}$	$\frac{Q_d}{Q_j}$	$\frac{Q_d}{Q_j}$の計測値	備考
1	0.03	0.10	2.40	−0.043	2.49	0.102	−0.059	0.004	−0.039	0.151	3.54	3.79	ノズル14φ
2	4.20	〃	〃	〃	6.66	〃	〃	〃	〃	0.086	2.02	2.12	〃
3	17.50	〃	〃	〃	19.96	〃	〃	〃	〃	0.048	1.13	1.11	〃
4	4.20	〃	14.70	〃	18.96	0.627	−0.584	0.027	−0.016	0.073	1.72	1.74	〃
5	0.03	〃	〃	〃	14.79	〃	〃	0.027	〃	0.085	2.00	2.18	〃
7	66.00	〃	2.40	〃	68.46	0.102	−0.059	0.004	−0.039	0.024	0.57	0.58	〃
8	7.20	〃	〃	〃	9.66	〃	〃	〃	〃	0.070	1.65	1.55	〃
10	0.02	0.10	1.00	−0.066	1.05	0.061	0.005	0.004	−0.062	0.238	3.88	3.89	ノズル20φ
11	1.63	〃	1.00	〃	2.66	〃	〃	〃	〃	0.150	2.45	2.55	〃
12	0.02	〃	4.00	〃	4.05	0.244	−0.178	0.015	−0.051	0.165	2.69	2.78	〃
13	1.63	〃	4.00	〃	5.66	〃	〃	〃	〃	0.131	2.14	2.25	〃
15	1.63	〃	3.60	−0.028	5.30	0.095	−0.067	0.002	−0.026	0.084	3.22	3.35	13φ
16	7.50	〃	1.00	−0.066	8.53	0.061	0.005	0.004	−0.062	0.085	1.38	1.36	20φ
18	1.63	〃	0.60	〃	2.26	0.035	0.031	0.002	−0.064	0.154	2.51	2.65	〃
19	23.80	0.10	0.50	−0.006	24.39	0.003	0.003	——	−0.006	0.015	2.59	2.50	ノズル8φ
20	〃	〃	0.50	−0.015	24.39	0.008	0.007	——	−0.015	0.028	1.83	1.54	13φ

表—8—(a)　噴射実験結果計算表（管径D＝41,6mm）

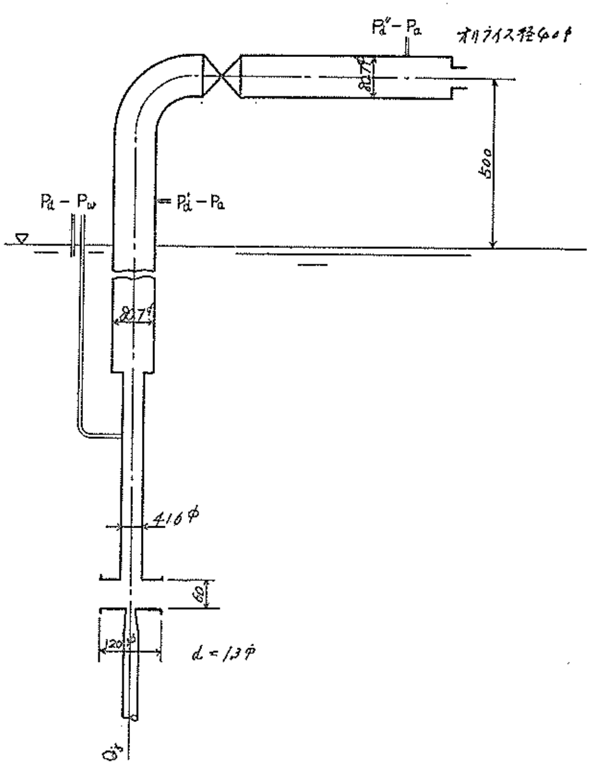
Q_j	V_j	Q_s	V_s	Q_d	V_d	ⓐ $\frac{Q_jV_j}{Ag}$	ⓑ $\frac{Q_sV_s}{Ag}$	ⓒ $\frac{Q_dV_d}{Ag}$	ⓐ+ⓑ−ⓒ	$\frac{P_t-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_w-P_s}{\gamma}$	$\frac{P_d-P_s}{\gamma}$	$\frac{P_d-P_s}{P_t-P_d}$	$\frac{Q_s}{Q_t}$	$\frac{P_d-P_s}{P_t-P_d}\frac{Q_s}{Q_t}$	備考
$\times10^{-3}$ m³/sec	m/sec	$\times10^{-3}$ m³/sec	m/sec	$\times10^{-3}$ m³/sec	m/sec	m	m	m	m	m	m	m				
0.78	3.05	0.24	—	1.02	0.75	0.177	—	0.057	0.120	0.102	—	0.102	0.273	0.32	0.09	No-25 
1.30	5.09	0.35	—	1.65	1.20	0.493	—	0.148	0.345	0.328	—	0.328	0.330	0.27	0.09	
1.79	7.01	0.48	—	2.27	1.66	0.936	—	0.281	0.655	0.535	—	0.535	0.272	0.27	0.07	
2.11	8.25	0.53	—	2.64	1.93	1.300	—	0.380	0.920	0.712	—	0.712	0.259	0.25	0.07	
2.23	8.76	0.52	—	2.75	2.01	1.460	—	0.412	1.048	0.838	—	0.838	0.290	0.23	0.07	
2.33	9.12	0.53	—	2.86	2.09	1.586	—	0.448	1.138	0.889	—	0.889	0.266	0.23	0.06	
2.47	9.68	0.71	—	3.18	2.32	1.780	—	0.550	1.230	1.035	—	1.035	0.275	0.29	0.08	
2.49	9.76	0.66	—	3.15	2.30	1.810	—	0.542	1.268	1.010	—	1.010	0.262	0.27	0.07	
2.82	11.08	0.80	—	3.62	2.64	2.330	—	0.713	1.617	1.235	—	1.235	0.244	0.28	0.07	
2.84	11.12	0.67	—	3.51	2.56	2.360	—	0.672	1.688	1.255	—	1.255	0.247	0.24	0.06	
0.81	3.15	0.10	—	0.91	0.67	0.191	—	0.046	0.145	0.120	—	0.120	0.311	0.12	0.04	No-26 
0.98	3.85	0.14	—	1.12	0.81	0.281	—	0.068	0.213	0.174	—	0.174	0.296	0.14	0.04	
1.13	4.43	0.10	—	1.23	0.90	0.374	—	0.083	0.291	0.241	—	0.241	0.317	0.09	0.03	
1.27	4.97	0.21	—	1.48	1.08	0.470	—	0.119	0.351	0.323	—	0.322	0.310	0.17	0.05	
1.53	6.00	0.22	—	1.75	1.28	0.685	—	0.167	0.518	0.440	—	0.440	0.314	0.14	0.05	
1.67	6.53	0.37	—	2.04	1.49	0.793	—	0.227	0.566	0.517	—	0.517	0.309	0.22	0.07	
2.00	7.85	0.34	—	2.34	1.71	1.170	—	0.299	0.871	0.680	—	0.680	0.277	0.17	0.05	
2.35	9.24	0.45	—	2.80	2.05	1.616	—	0.429	1.187	0.996	—	0.996	0.296	0.19	0.06	
2.55	10.90	0.37	—	2.92	2.13	1.905	—	0.465	1.440	1.146	—	1.146	0.290	0.15	0.04	
2.78	10.90	0.42	—	3.20	2.34	2.260	—	0.560	1.700	1.350	—	1.350	0.287	0.15	0.04	
0.82	3.22	-0.02	—	0.80	0.58	0.197	—	0.035	0.162	0.140	—	0.140	0.360	—	—	No-27 
0.97	3.80	-0.02	—	0.95	0.69	0.275	—	0.049	0.226	0.201	—	0.201	0.387	—	—	
1.07	4.18	-0.02	—	1.05	0.77	0.335	—	0.060	0.275	0.250	—	0.250	0.390	—	—	
1.20	4.71	-0.06	—	1.14	0.83	0.422	—	0.071	0.351	0.334	—	0.334	0.415	—	—	
1.43	5.60	-0.03	—	1.40	1.02	0.600	—	0.107	0.493	0.435	—	0.435	0.374	—	—	
1.73	6.80	-0.02	—	1.71	1.25	0.880	—	0.159	0.721	0.643	—	0.643	0.375	—	—	
2.09	8.18	-0.02	—	2.07	1.51	1.270	—	0.233	1.037	0.920	—	0.920	0.376	—	—	
2.33	9.13	-0.05	—	2.28	1.67	1.580	—	0.284	1.296	1.150	—	1.150	0.371	—	—	
2.54	9.95	-0.02	—	2.51	1.83	1.890	—	0.343	1.547	1.270	—	1.270	0.336	—	—	
2.80	11.00	-0.05		2.75	2.00	2.300	—	0.410	1.890	1.640	—	1.640	0.363	—	—	

表－8－(b)　噴射実験結果計算表（管径D＝41,6mm）

Q_j	V_j	Q_s	V_s	Q_d	V_d	ⓐ $\frac{Q_j V_j}{Ag}$	ⓑ $\frac{Q_s V_s}{Ag}$	ⓒ $\frac{Q_d V_d}{Ag}$	ⓐ+ⓑ−ⓒ	$\frac{P_d-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_w-P_s}{\gamma}$	$\frac{P_d-P_s}{\gamma}$	$\frac{P_d-P_s}{P_j-P_d}$	$\frac{Q_s}{Q_j}$	$\frac{P_d-P_s}{P_j-P_d}\frac{Q_s}{Q_j}$	備考
×10⁻³ m³/sec	m/sec	×10⁻³ m³/sec	m/sec	×10⁻³ m³/sec	m/sec	m	m	m	m	m	m	m				
0.77	3.00	−0.28	—	0.49	0.31	0.171	—	0.011	0.165	0.160	—	0.160	0.537	—	—	No−28 
0.99	3.88	−0.36	—	0.63	0.46	0.288	—	0.022	0.275	0.285	—	0.285	0.590	—	—	
1.20	4.70	−0.43	—	0.77	0.49	0.421	—	0.028	0.406	0.420	—	0.420	0.590	—	—	
1.39	5.45	−0.50	—	0.89	0.65	[illegible]	—	0.043	0.539	0.542	—	0.542	0.555	—	—	
1.76	6.90	−0.64	—	1.12	0.82	0.905	—	0.068	0.865	0.840	—	0.840	0.528	—	—	
2.06	8.07	−0.72	—	1.34	1.02	1.240	—	0.102	1.173	1.220	—	1.220	0.580	—	—	
2.28	8.95	−0.80	—	1.48	1.08	1.520	—	0.120	1.443	1.370	—	1.370	0.505	—	—	
2.55	10.00	−0.96	—	1.59	1.25	1.190	—	0.149	1.813	1.740	—	1.740	0.520	—	—	
2.77	10.87	−0.99	—	1.78	1.30	2.250	—	0.173	2.143	2.130	—	2.130	0.550	—	—	
2.92	11.45	−0.99	—	1.93	1.40	2.500	—	0.202	2.364	2.230	—	2.230	0.500	—	—	
																No−29 
0.84	3.28	−0.84	−0.75	—	—	0.204	0.047	—	0.251	0.260	—	0.260	0.896	—	—	
0.94	3.70	−0.94	−0.85	—	—	0.260	0.060	—	0.320	0.330	—	0.330	0.893	—	—	
1.12	4.39	−1.12	−1.01	—	—	0.365	0.085	—	0.450	0.475	—	0.475	0.935	—	—	
1.26	4.94	−1.26	−1.13	—	—	0.465	0.107	—	0.572	0.617	—	0.617	0.975	—	—	
1.48	5.80	−1.48	−1.33	—	—	0.640	0.147	—	0.787	0.810	—	0.810	0.880	—	—	
1.76	6.90	−1.76	−1.58	—	—	0.908	0.207	—	1.115	1.170	—	1.170	0.930	—	—	
2.03	7.95	−2.03	−1.82	—	—	1.200	0.276	—	1.476	1.520	—	1.520	0.885	—	—	
2.33	9.74	−2.33	−2.09	—	—	1.590	0.364	—	1.954	2.010	—	2.010	0.890	—	—	
2.58	10.10	−2.58	−2.32	—	—	1.940	0.446	—	2.386	2.410	—	2.410	0.865	—	—	
2.91	11.40	−2.91	−2.61	—	—	2.480	0.566	—	3.046	3.020	—	3.020	0.840	—	—	
																No−30 
1.19	4.66	−0.66	—	0.53	0.39	0.414	—	0.016	0.427	[illegible]	—	0.423	0.670	—	—	
1.33	5.20	−0.41	—	0.90	0.66	0.515	—	0.044	0.471	[illegible]	—	0.470	0.516	—	—	
1.59	6.25	−0.07	—	1.52	1.11	0.741	—	0.126	0.615	[illegible]	—	0.542	0.373	—	—	
1.95	7.65	+0.23	—	2.18	1.59	1.110	—	0.258	0.856	0.718	—	0.718	0.314	0.12	0.04	
2.76	10.80	+0.84	—	3.60	2.63	2.230	—	0.705	1.530	1.200	—	1.200	0.253	0.30	0.08	

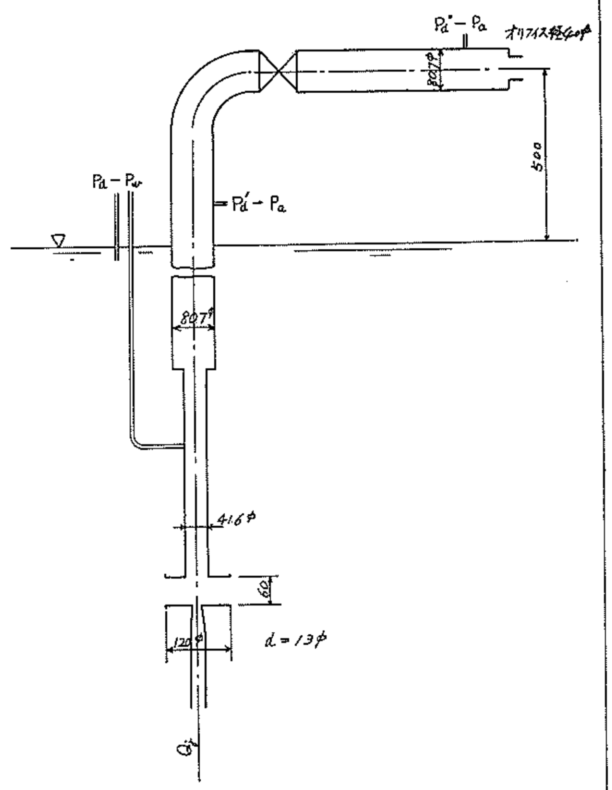
表—9—(a)　噴射実験結果計算表（実揚程のあるとき）

Q_j	v_j	Q_s	v_s	Q_d	v_d	ⓐ $\frac{Q_j v_j}{A g}$	ⓑ $\frac{Q_d v_d}{A g}$	ⓒ $\frac{P_d - P_s}{\gamma}$	$\frac{Q_s}{Q_j}$	$\frac{P_d - P_s}{P_j - P_d}$	$\frac{P_d - P_s}{P_j - P_d}\frac{Q_s}{Q_j}$	備考
×10³ m³/sec	m/sec	×10³ m³/sec	m/sec	×10³ m³/sec	m/sec	m	m	m				
1.77	13.4	1.97	—	3.74	2.73	1.80	0.76	0.832	1.11	0.10	0.11	No－31
〃	〃	1.91	—	3.68	2.69	〃	0.74	0.857	1.08	0.10	0.11	
〃	〃	1.69	—	3.46	2.53	〃	0.65	0.933	0.96	0.11	0.11	
〃	〃	1.63	—	3.40	2.48	〃	0.63	1.008	0.92	0.12	0.11	
〃	〃	1.57	—	3.34	2.44	〃	0.61	1.008	0.89	0.12	0.11	
〃	〃	1.54	—	3.31	2.42	〃	0.57	1.033	0.87	0.13	0.11	
〃	〃	1.49	—	3.26	2.38	〃	0.58	1.071	0.84	0.13	0.11	
〃	〃	1.33	—	3.10	2.26	〃	0.52	1.120	0.75	0.14	0.11	
〃	〃	1.26	—	3.03	2.21	〃	0.50	1.184	0.71	0.15	0.11	
〃	〃	1.07	—	2.83	2.07	〃	0.44	1.221	0.61	0.15	0.10	
〃	〃	0.93	—	2.70	1.97	〃	0.40	1.325	0.53	0.17	0.09	
〃	〃	0.76	—	2.53	1.85	〃	0.35	1.436	0.43	0.19	0.08	
〃	〃	0.34	—	2.11	1.54	〃	0.24	1.577	0.19	0.21	0.04	
〃	〃	0.04	—	1.81	1.32	〃	0.18	1.775	0.02	0.24	0.01	
〃	〃	−1.77	—	0	0	〃	0	2.420	—	0.36	—	
1.99	15.1	2.19	—	4.18	3.05	2.25	0.95	0.845	1.10	0.09	0.10	
〃	〃	2.10	—	4.09	2.99	〃	0.91	1.008	1.05	0.10	0.10	
〃	〃	1.80	—	3.79	2.77	〃	0.78	1.134	0.91	0.11	0.10	
〃	〃	1.77	—	3.76	2.75	〃	0.77	1.170	0.89	0.12	0.10	
〃	〃	1.75	—	3.74	2.72	〃	0.76	1.183	0.88	0.12	0.10	
〃	〃	1.60	—	3.58	2.61	〃	0.70	1.223	0.80	0.12	0.10	
〃	〃	1.58	—	3.57	2.61	〃	0.69	1.248	0.79	0.12	0.10	
〃	〃	1.48	—	3.47	2.53	〃	0.66	1.360	0.74	0.13	0.10	
〃	〃	1.35	—	3.34	2.44	〃	0.61	1.410	0.66	0.14	0.09	
〃	〃	1.23	—	3.22	2.35	〃	0.57	1.461	0.62	0.14	0.09	
〃	〃	1.11	—	3.10	2.26	〃	0.52	1.586	0.56	0.16	0.09	
〃	〃	0.70	—	2.69	1.96	〃	0.39	1.752	0.35	0.18	0.06	
〃	〃	0.39	—	2.38	1.74	〃	0.31	1.852	0.19	0.19	0.04	
〃	〃	0.06	—	2.05	1.50	〃	0.23	2.165	0.03	0.23	0.01	
〃	〃	−1.99	—	0	0	〃	0	2.990	—	0.35	—	

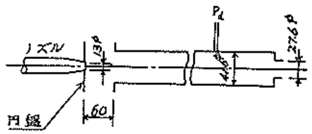
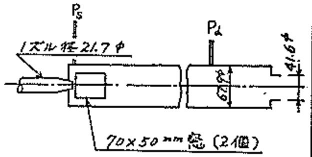
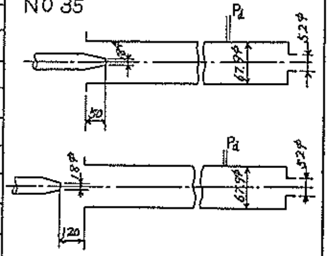


表—9—(b) 噴射実験結果計算表（実揚程のあるとき）

Q_i	v_i	Q_s	v_s	Q_d	v_d	$\frac{Q_i v_i}{A_d g}$	$\frac{Q_d v_d}{A_d g}$	$\frac{P_d-P_w}{\gamma}$	$\frac{Q_s}{Q_i}$	$\frac{P_d-P_s}{P_i-P_d}$	$\frac{P_d-P_s}{P_i-P_d}\frac{Q_s}{Q_i}$	備考
×10⁻³m³/sec	m/sec	×10⁻³m³/sec	m/sec	×10⁻³m³/sec	m/sec	m	m	m				No-32
2.15	16.3	2.30	—	4.45	3.25	2.62	1.08	1.108	1.07	0.09	0.10	
〃	〃	2.17	—	4.32	3.15	〃	1.02	1.298	1.01	0.11	0.11	
〃	〃	2.13	—	4.28	3.12	〃	1.00	1.324	0.95	0.11	0.10	
〃	〃	2.03	—	4.18	3.05	〃	0.95	1.387	0.94	0.11	0.11	
〃	〃	1.98	—	4.13	3.02	〃	0.93	1.460	0.92	0.12	0.11	
〃	〃	1.93	—	4.08	2.98	〃	0.91	1.489	0.89	0.12	0.11	
〃	〃	1.74	—	3.89	2.84	〃	0.82	1.538	0.81	0.13	0.10	
〃	〃	1.53	—	3.68	2.69	〃	0.74	1.663	0.71	0.14	0.10	
〃	〃	1.37	—	3.52	2.57	〃	0.68	1.726	0.63	0.15	0.09	
〃	〃	1.19	—	3.34	2.44	〃	0.61	1.875	0.55	0.16	0.09	
〃	〃	1.01	—	3.16	2.31	〃	0.54	1.990	0.47	0.17	0.08	
〃	〃	0.98	—	3.03	2.21	〃	0.50	2.040	0.45	0.18	0.08	
〃	〃	0.47	—	2.62	1.91	〃	0.37	2.319	0.22	0.21	0.04	
〃	〃	-0.03	—	2.12	1.55	〃	0.25	2.544	0.15	0.23	0.04	
〃	〃	-2.15	—	0	0	〃	0	3.690	—	0.37	—	
2.33	17.6	2.60	—	4.93	3.60	3.06	1.32	1.183	1.12	0.08	0.09	
〃	〃	2.52	—	4.85	3.54	〃	1.28	1.246	1.09	0.09	0.09	
〃	〃	2.45	—	4.78	3.49	〃	1.25	1.489	1.06	0.10	0.11	
〃	〃	2.43	—	4.76	3.47	〃	1.23	1.540	1.05	0.12	0.12	
〃	〃	2.39	—	4.72	3.45	〃	1.21	1.600	1.03	0.11	0.12	
〃	〃	2.31	—	4.64	3.37	〃	1.17	1.650	1.00	0.12	0.12	
〃	〃	2.26	—	4.59	3.35	〃	1.15	1.740	0.97	0.12	0.12	
〃	〃	2.09	—	4.42	3.23	〃	1.06	1.801	0.90	0.13	0.12	
〃	〃	1.91	—	4.24	3.10	〃	0.98	1.955	0.82	0.14	0.12	
〃	〃	1.81	—	4.14	3.02	〃	0.93	2.056	0.78	0.15	0.12	
〃	〃	1.45	—	3.78	2.76	〃	0.78	2.270	0.63	0.17	0.10	
〃	〃	1.07	—	3.40	2.48	〃	0.63	2.498	0.46	0.19	0.09	
〃	〃	0.57	—	2.90	2.12	〃	0.46	2.746	0.25	0.21	0.05	
〃	〃	0.05	—	2.38	1.74	〃	0.31	3.090	0.23	0.24	0.06	
〃	〃	-2.33	—	0	0	〃	0	4.440	—	0.39	—	



表—10　　噴射実験結果計算表（吸込口外からの噴入）

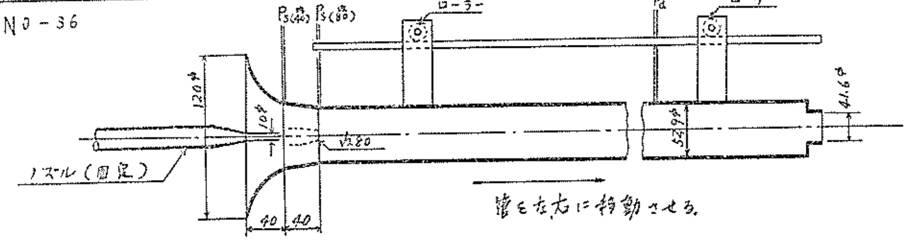
Q_i	v_i	Q_s	v_s	Q_d	v_d	ⓐ $\frac{Q_i v_i}{A g}$	ⓑ $\frac{Q_s v_s}{A g}$	ⓒ $\frac{Q_d v_d}{A g}$	ⓐ+ⓑ−ⓒ	$\frac{P_d - P_w}{\gamma}$	$\frac{P_w - P_s}{\gamma}$	$\frac{P_d - P_s}{\gamma}$	$\frac{P_d - P_s}{P_i - P_d}$	$\frac{Q_s}{Q_i}$	$\frac{P_d - P_s}{P_i - P_d} \cdot \frac{Q_s}{Q_i}$	備　考
$\times 10^3$ m³/sec	m/sec	$\times 10^3$ m³/sec	m/sec	$\times 10^{-3}$ m³/sec	m/sec	m	m	m	m	m	m	m				
0.40	3.02	0.25	—	0.65	0.48	0.090	—	0.023	0.067	0.058	—	0.058	0.142	0.63	0.09	NO 33 
0.52	3.90	0.34	—	0.85	0.62	0.149	—	0.039	0.110	0.095	—	0.095	0.137	0.65	0.09	
0.58	4.35	0.37	—	0.94	0.69	0.185	—	0.048	0.138	0.112	—	0.112	0.132	0.64	0.08	
0.65	4.90	0.41	—	1.06	0.78	0.237	—	0.061	0.176	0.147	—	0.147	0.136	0.64	0.09	
0.89	6.75	0.57	—	1.46	1.06	0.448	—	0.116	0.332	0.278	—	0.278	0.136	0.64	0.09	
1.02	7.72	0.64	—	1.66	1.21	0.588	—	0.150	0.438	0.364	—	0.364	0.135	0.63	0.09	
1.08	8.18	0.70	—	1.78	1.30	0.660	—	0.172	0.488	0.417	—	0.417	0.139	0.65	0.09	
1.17	8.86	0.77	—	1.94	1.41	0.776	—	0.204	0.572	0.494	—	0.494	0.141	0.65	0.09	
1.30	9.81	0.83	—	2.13	1.56	0.955	—	0.248	0.707	0.598	—	0.598	0.139	0.64	0.09	
1.43	10.80	0.91	—	2.34	1.71	1.160	—	0.400	0.760	0.720	—	0.720	0.138	0.64	0.09	
1.01	2.75	0.51	—	1.52	0.42	0.078	—	0.018	0.060	0.062	0.002	0.064	0.182	0.51	0.09	NO 34 
1.19	3.25	0.54	—	1.72	0.48	0.108	—	0.023	0.085	0.082	0.002	0.085	0.187	0.46	0.09	
1.41	3.86	0.62	—	2.03	0.56	0.153	—	0.032	0.121	0.112	0.002	0.114	0.176	0.44	0.08	
1.75	4.80	0.78	—	2.53	0.70	0.237	—	0.050	0.187	0.181	0.003	0.184	0.185	0.46	0.08	
2.03	5.55	0.90	—	2.93	0.81	0.318	—	0.067	0.251	0.229	0.003	0.232	0.174	0.44	0.08	
2.59	7.10	1.18	—	3.77	1.04	0.519	—	0.110	0.409	0.380	0.004	0.384	0.175	0.45	0.08	
2.90	7.95	1.27	—	4.17	1.15	0.650	—	0.135	0.515	0.467	0.005	0.472	0.167	0.45	0.08	
3.22	8.83	1.52	—	4.74	1.31	0.798	—	0.175	0.623	0.599	0.006	0.605	0.179	0.47	0.08	
3.57	9.80	1.66	—	5.23	1.45	0.990	—	0.214	0.776	0.733	0.007	0.740	0.178	0.47	0.08	
4.01	11.00	1.89	—	5.90	1.63	1.240	—	0.272	0.968	0.921	0.009	0.930	0.176	0.47	0.08	
1.50	5.90	2.48	—	3.98	1.10	0.249	—	0.123	0.126	0.131	—	0.131	0.080	1.65	0.13	NO 35 
1.52	5.95	2.46	0.73	3.98	1.10	0.255	0.051	0.123	0.183	0.131	0.040	0.171	0.104	1.62	0.17	
1.50	5.90	2.44	—	3.98	1.09	0.249	—	0.121	0.128	0.128	—	0.128	0.080	1.63	0.13	
1.90	7.49	3.14	—	5.04	1.40	0.400	—	0.199	0.201	0.210	—	0.210	0.079	1.65	0.13	
1.92	7.55	3.13	0.93	5.05	1.40	0.408	0.082	0.199	0.291	0.211	0.070	0.281	0.106	1.64	0.17	
1.88	7.37	3.20	—	5.08	1.40	0.390	—	0.200	0.190	0.213	—	0.213	0.080	1.70	0.13	

表—11　噴射実験結果計算表（吸込口とノズル口の距離を変化させる場合）

ノズル位置	$\frac{P_j-P_w}{\gamma}$	Q_j	V_j	Q_s	V_s	Q_d	V_d	$\frac{V_j^2}{2g}$	$\frac{V_s^2}{2g}$	ⓐ $\frac{Q_jV_j}{A_0g}$	ⓑ $\frac{Q_sV_s}{A_dg}$	ⓒ $\frac{Q_dV_d}{A_dg}$	ⓐ+ⓑ-ⓒ	$\frac{P_d-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_s-P_w}{\gamma}$	$\frac{P_d-P_s}{\gamma}$	$\frac{P_d-P_s}{P_j-P_d}$	$\frac{Q_s}{Q_j}$	$\frac{P_d-P_s}{P_j-P_d}\frac{Q_s}{Q_j}$
L_x mm	m	$\times10^{-3}$ m³/sec	m/sec	$\times10^{-3}$ m³/sec	m/sec	$\times10^{-3}$ m³/sec	m/sec	m	$\times10^{-2}$ m	m	m	m	m	m	m	m	$\times10^{-1}$		
±0	1.13	0.351	4.47	0.984	0.088	1.335	0.607	1.02	0.04	0.073	0.004	0.038	0.039	0.035	—	0.035	0.356	2.80	0.10
内40	1.13	0.352	4.49	0.983	0.348	1.335	0.607	1.03	062	0.073	0.016	0.038	0.051	0.035	-0.008	0.043	0.432	2.79	0.12
内80	1.13	0.353	4.50	0.982	0.464	1.335	0.607	1.04	1.10	0.074	0.021	0.038	0.057	0.035	-0.015	0.050	0.500	2.78	0.14
±0	2.19	0.488	6.21	1.358	0.121	1.846	0.840	1.97	0.08	0.141	0.008	0.072	0.077	0.067	—	0.067	0.352	2.78	0.10
内40	2.18	0.489	6.22	1.371	0.486	1.860	0.845	1.98	1.21	0.141	0.031	0.073	0.099	0.068	-0.014	0.082	0.429	2.81	0.12
内80	2.18	0.490	6.24	1.356	0.640	1.846	0.840	1.99	2.09	0.142	0.040	0.072	0.110	0.067	-0.030	0.097	0.505	2.76	0.14
±0	3.53	0.620	7.90	1.745	0.156	2.365	1.078	3.19	0.12	0.227	0.013	0.118	0.122	0.110	—	0.110	0.357	2.81	0.10
内40	3.53	0.622	7.92	1.743	0.621	2.365	1.078	3.20	1.97	0.228	0.050	0.118	0.160	0.110	-0.022	0.132	0.428	2.80	0.12
内80	3.53	0.624	7.95	1.731	0.816	2.355	1.071	3.21	3.40	0.230	0.066	0.117	0.179	0.108	-0.052	0.160	0.516	2.78	0.14
±0	5.93	0.802	10.21	2.238	0.190	3.040	1.381	5.33	0.19	0.380	0.020	0.195	0.205	0.182	—	0.182	0.353	2.79	0.10
内40	5.95	0.804	10.26	2.236	0.792	3.040	1.381	5.36	3.20	0.383	0.082	0.195	0.270	0.182	-0.042	0.224	0.432	2.78	0.12
内80	5.93	0.809	10.30	2.221	1.050	3.030	1.378	5.42	5.62	0.387	0.108	0.194	0.301	0.180	-0.090	0.270	0.516	2.75	0.14
±0	8.19	0.942	12.00	2.608	0.224	3.550	1.615	7.36	0.26	0.525	0.027	0.267	0.285	0.248	—	0.248	0.349	2.77	0.10
内40	8.15	0.945	12.02	2.615	0.925	3.560	1.620	7.39	4.37	0.528	0.112	0.268	0.372	0.250	-0.058	0.308	0.431	2.77	0.12
内80	8.07	0.945	12.02	2.605	1.229	3.550	1.615	7.39	8.50	0.528	0.145	0.267	0.406	0.248	-0.135	0.383	0.536	2.66	0.14
±0	10.10	1.050	13.35	2.920	0.254	3.970	1.805	9.10	0.33	0.651	0.035	0.333	0.353	0.310	—	0.310	0.353	2.78	0.10
内40	10.10	1.051	13.40	2.949	1.045	4.000	1.819	9.17	559	0.655	0.137	0.338	0.453	0.315	-0.073	0.388	0.438	2.81	0.12
内80	10.10	1.055	13.45	2.895	1.365	3.950	1.796	9.24	9.59	0.659	0.183	0.330	0.512	0.306	-0.160	0.466	0.523	2.73	0.14

備考

NO-36



参考文献

1. 日本機械学会　機械工学便覧4,5噴流ポンプ
2. 水力機械工学便覧編集委員会（コロナ社）　水力機械工学便覧 8.3　ジェットポンプ
3. 板谷松樹　水力学 P.188　ゼットポンプの理論
4. 石川島播磨重工業株式会社　高深度しゅん渫船エゼクター模型試験（第1報）（未発表）
5. A. J. Stepanoff. Centrifugal and Axial Flow pumps.

港湾技術研究所報告 第3巻3号
1964年8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