

港湾技研資料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 92 Dec. 1969

揚砂エゼクタの特性について

守口照明・藤井喜一郎

運輸省港湾技術研究所



揚砂エゼクタの特性について

目 次

要 旨

1. ま え が き	1
2. 揚砂エゼクタについての考察	4
2.1 エゼクタの形式	4
2.2 エゼクタの一般的性質	4
2.3 垂直管の土砂輸送特性	4
2.4 しゅんせつ土砂の粒径	7
2.5 揚砂エゼクタの流量と揚程	13
3. エゼクタによる揚砂実験	14
3.1 実験装置の概要	14
3.2 実験用エゼクタ	14
3.3 供 試 砂	14
3.4 実 験 の 方 法	15
3.5 測 定 結 果	17
4. あ と が き	24
参 考 文 献	24
記 号 表	24

On the Charistaristic of Sand-Liftng Ejector-Pump

Teruaki MORIGUCHI*

Kiichiro FUJII**

Synpsis

Hydraulic transportation of sand and soil through dischage pipes are carried out in the dredging department of port and harbour constructions. This method is ususly formed of the combination of pump-dredgers and discharged pipes.

In recent years with the enlargement of construction scale and necessity of great depth dredging, pump-dredgers tend to become large and maximum dredging depth becomes more than 30m below the water level.

These large size pump-dredgers are usually equippped with ejector-pumps used for the addition of the pressure in the suction pipes for the purpose of prevenjon of cavitation in dredging pumps which occurs at great depth dredging.

Many researches have been made on the flow, pressure charistaristics of ejector-pumps. But sand and soil are not contained in the water lifted by these ejector-pumps.

Model ejector is "side attached nozzle type" one with no diffuser pipe in it, and its diameter of suction and discharged pipe are both 80.7mm, and four kind of nozzles are used in it.

Operation pressure of ejector pump is $0 \sim 6$ kg/cm², and discharged velocity of sand mixed water is $2 \sim 4$ m/sec, and apparent discharged soil concen-tration percent is about 30%, and diameter of sands used in this experiment is 0.5..... 2 mm.

Through this research, following points on the state of sand-mixed water flow, and pressure and flux charistaristic of model ejector-pump were confirmed.

- (1) When water which contain sand and soil—the diameters of which are comparably small—are transported through vertical pipes, sedimentation velocity of particle groups are extremently slow. Accordingly, the velocity difference of water and sand grains are so small that the fluid which contain sand and soil may be regarded approximately as homogeneous fluid which has bigger specific gravity than water.
- (2) The head of ejector-pump when lifting sand can be determined applicating momentum theory between tip of nozzle and discharge pipes considering only the increace of specific gravity of the fluid. These calculated values agreed well with the messured data by the sand lifting experiment by the model ejector-pump.

* Research Staff of Dredger and Construction Equipment Laboratory.

** Member of Machinery Section, Machinery Division.

揚砂エゼクタの特性について

守 口 照 明*

藤 井 喜 一 郎**

要 旨

管路を用いた土砂の水力輸送は、港湾工事のしゅんせつ部門などにおいて、特に多く使用されており、この方法は、ふつう、ポンプしゅんせつ船と排送管といった組み合わせによっている。最近の傾向として、工事規模の増大と大深度しゅんせつの必要性からポンプしゅんせつ船も大型化し、最大しゅんせつ深度が水面下30mに達するものもかなり建造されている。これらのしゅんせつ船のなかには、大深度しゅんせつ時に発生しやすいキャビテーションを防止するための、吸込管内加圧用エゼクタを装置したものが多い。この種のエゼクタのうち、揚水に土砂を含まない場合の流量、圧力特性については、多くの研究がなされているが、土砂の混入による特性の変化に関する資料は皆無に近い。

本報告では、垂直上昇流れの土砂水を対象として、エゼクタによる揚砂時の流量、圧力特性の解析を行ない、模型エゼクタによる揚砂実験結果との比較を試みた。模型エゼクタは広がり管を有しない側壁ノズル型で、吸込口および吐出口の直径は80.7mm、使用したノズルは各2本で、その直径は6, 8, 10, 12 mmの4種類である。また、エゼクタの駆動圧力は0~6 kg/cm²、土砂水の吐出速度は2~4 m/s、吐出含泥率(見かけ)は約30%、供試砂の粒径は0.5~2 mmの粗砂である。

この研究によって、管内土砂の流れの状態および揚砂エゼクタの流量と圧力の特性について、次の点があきらかとなった。

- (1) 比較的粒径の小さい土砂を垂直管で水力輸送する場合、土粒子の粒群干渉沈降速度は、一般に使用されている土砂水の輸送速度にくらべて非常に遅い。したがって、管内の水と土粒子との速度差もきわめて小さいので、これらの土砂を含む流体は、近似的に、水より比重の大きな均質流体とみなすことができる。
- (2) 揚砂時のエゼクタの揚程は、土砂の混入にともなう流体の比重の増加のみを考慮して、ノズル出口とエゼクタの吐出口の間に運動量理論を適用するなどの方法により、近似的に求めることができる。この方法で求めた揚程の計算値は、模型エゼクタによる揚砂実験で得られた揚程の測定値とも非常によく一致した。

1. ま え が き

大型船舶の安全運航を確保するためには、港湾および航路の大深度しゅんせつが不可欠である。国内におけるしゅんせつ作業の多くは、ポンプしゅんせつ船に依存しているが、ポンプしゅんせつ船による大深度しゅんせつ作業では、一般に、しゅんせつポンプの吸込圧力が低下し、キャビテーション発生の原因となる。最近の傾向を

みると、大深度しゅんせつ時のキャビテーション防止を目的として、しゅんせつポンプの吸込管に、加圧用エゼクタを装備したポンプしゅんせつ船が、かなり多く建造されている。

駆動水および揚水が、ともに清水のエゼクタについては、筆者らのもの^{1)~3)}も含めて、すでに多くの研究結果が発表されているが、その成果のみでは、揚水に土砂を含む大深度しゅんせつ船の、揚砂用あるいは加圧用エゼ

* 機材部 作業船研究室

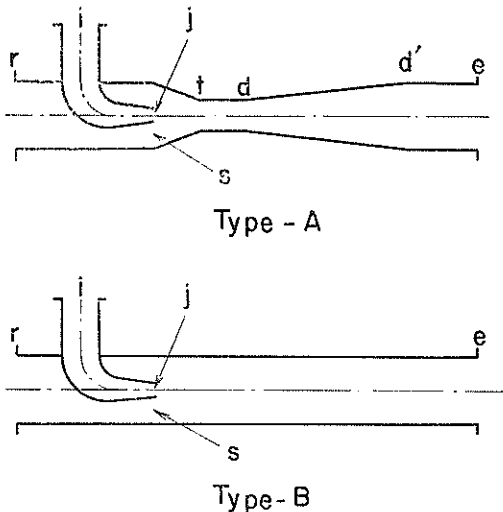
** 機材部 機械課 第一設計係長

クタの設計を行なうのに必要な、十分な資料とはなりえない。本報告は、大深度しゅんせつ用揚砂エゼクタの設計資料を得るために揚砂時のエゼクタの流量、圧力特性について計算式を導くとともに、模型エゼクタにより、垂直上昇方向揚砂時の性能を実験により求めて計算式と比較し、計算式の信頼性を確かめたものである。

2. 揚砂エゼクタについての考察

2.1 エゼクタの形式

揚砂エゼクタの形式は、水—水エゼクタの形式と本質的に変わるところはなく、図—2.1に示す Type—A および Type—B に大別される。



図—2.1 エゼクタの形式

Type—A は、もっとも基本的な構造のエゼクタで、ノズル (j)、混合部 (s~t)、整流部 (t~d) および広がり管 (d~d') など、エゼクタとして必要なすべての構成要素を備えており、(i) は駆動水の入口、(r) は吸込口、(e) は吐出口である。

Type—B は、Type—A のエゼクタの広がり管の部分を省略したもので、吸込口から吐出口まで流路の断面がほぼ一様で、非常に単純な形状をしている。

2.2 エゼクタの一般的性質

大深度しゅんせつ用エゼクタには、前項で述べた Type—A、B のいずれの形式のものも使用されている。この両者について、揚砂時の流量、圧力特性を、水—水エゼクタの特性から推定すれば、一般的傾向としてつぎのことが言える。

Type—A エゼクタ

- 1) 広がり管によって圧力の回復が行なわれるために、吐出圧力が高く、揚程の大きいところでの使用

が可能である。

- 2) 加圧効果が大きいので、大深度まで使用できる。
- 3) のど部の絞りのために、流量を大きくとることができない。

Type—B エゼクタ

- 1) 広がり管が無いために、水の速度の低下による圧力回復は小さく、吐出圧力は低い。
- 2) 加圧効果は低く、使用可能深度も小さい。
- 3) のど部の絞りが無いので、揚程が小さく、流量の大きい場合に使用するのが得策である。

Type—A に示した広がり管を有するエゼクタでも、水—水特性については、解析は比較的容易である。しかし揚水に土砂を混入した場合は、主として広がり管による圧力回復値の計算方法が、筆者らの知る範囲では完全には説明されていないために、とりあつかいが非常に困難である。後述のエゼクタによる揚砂実験も、これらの点を考慮して、広がり管をもたない Type—B エゼクタを使用して実施した。

2.3 垂直管の土砂輸送特性

固体粒子を管路を用いて水力輸送する場合、水平管路においては、粒子の移動する様相は、水の水速度、粒子の形状、濃度等によって、たい積、しゅう動、転動、浮遊など複雑に変化するために、管路の圧力損失の計算も非常に困難である。一方垂直管路においては、固体粒子は浮遊して運ばれており⁶⁾、水平管路にくらべて、とりあつかいは比較的容易である。

実際に使用されている大深度用ポンプしゅんせつ船の管内加圧用エゼクタは、最大しゅんせつ深度において、45度程度の傾斜をもって使用されるのがふつうであるが、本節では、垂直管路の上昇流れの土砂水についてのみ考察を行なう。

2.3.1 静水中における土砂の自由沈降速度

垂直管路内を上昇する土砂水中の土砂成分は、周囲の水にくらべて粒群の干渉沈降速度相当分だけ遅い速度で移動している。この干渉沈降速度は、静水中における固体粒子の自由沈降速度と密接な関係があるので、ここで簡単に述べる。

石炭、岩石、砂利などのような、非球体の静水中における単粒子の自由沈降速度については、スモルドウィルフ氏らによって示されたつぎの各式がある⁷⁾。

- 1) $D_s > 1.5\text{mm}$ の場合

$$V_{so} = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{1}{Ck} g \cdot D_s \frac{\delta - \delta_l}{\delta_l}} \dots\dots\dots (2.1)$$

ここに

D_s : 非球体と同体積の球の直径

V_{so} : 静水中における非球体の自由沈降速度

- Ck : 抗力係数 (表-1 参照)
 g : 重力の加速度
 δ : 粒子の真比重
 δ_i : 母液の比重

表-1 抗力係数

種類	形状の特徴	表面の特徴	抗力係数
石炭および各種岩石	立方体または平行6面体に近いもの	破碎されたまま	1.3~1.8
	平たく長いもの	同上	2.2~2.6
砂利および輸送されて丸味のある岩石	球状や長方形に似たもの	表面滑らか	0.6~0.8
		流送されて丸味あり	1.0~1.5
	平たく長いもの	同上	2.0~2.4

2) $D_s=0.15\sim 1.5\text{mm}$ の場合

$$V_{so}=6.8\left(\frac{\delta-\delta_i}{\delta_i}\right) D_s+0.5\left(\frac{T}{26}-1\right)\left(\frac{\delta-\delta_i}{\delta_i}\right) \quad \dots\dots(2\cdot2)$$

ここに

D_s : 粒子の直径(mm)

T : 母液の温度($^{\circ}\text{C}$)

3) $D_s<0.15\text{mm}$ の場合

$$V_{so}=k\cdot V_{sd} \quad \dots\dots(2\cdot3)$$

ここに

k : 係数

$$\left(\begin{array}{l} k=0.8\sim 0.85 \text{ 球形類似粒子の場合} \\ k=0.7\sim 0.8 \text{ 立方体, 平行6面体} \\ \text{に近いもの} \end{array} \right)$$

V_{sd} : 単球体の自由沈降速度

式(2.3)を使用する場合は、単球体の自由沈降速度を求めなければならない。単球体の自由沈降速度は、寺田氏の概算した図表⁹⁾により、粒子の比重 $\delta=2.6$ の場合について、つぎの近似式を導いた。

1) $D_o=0.01\sim 0.1\text{mm}$ の場合

$$V_{sd}=800D_o^2 \quad \dots\dots(2\cdot4)$$

ここに

V_{sd} : 単球体の自由沈降速度(mm/s)

D_o : 球体の直径(mm)

2) $D_o=0.1\sim 4\text{mm}$ の場合

$$V_{sd}=-16.1D_o^2+166.4D_o-8.5 \quad \dots\dots(2\cdot5)$$

3) $D_o=4\sim 100\text{mm}$ の場合

$$V_{sd}=200\sqrt{D_o} \quad \dots\dots(2\cdot6)$$

非球体の自由沈降速度については、別に、ふつうの形の川砂についてルベー氏の測定したものがあり⁹⁾、その

測定結果よりつぎの近似式を導いた。

1) $D_s=0.04\sim 0.15\text{mm}$ の場合

$$V_{so}=545D_s^{1.89} \quad \dots\dots(2\cdot7)$$

ここに

表-2 単粒子の自由沈降速度 (mm/s)

粒径 (mm)	非球体				球体
	SMOL			RUBEY	
	Ck=1.5	2.0	2.5		
0.02		0.3		0.3	0.3
0.03		0.6		0.7	0.7
0.04		1.0		1.2	1.3
0.05		1.6		1.9	2.0
0.06		2.3		2.7	2.9
0.07		3.1		3.6	3.9
0.08		4.1		4.6	5.1
0.09		5.2		5.8	6.5
0.10		6.4		7.0	8.0
0.2		21		21	24
0.3		32		33	40
0.4		43		45	55
0.5		54		56	71
0.6		65		66	86
0.7		77		75	100
0.8		88		84	114
0.9		99		92	128
1.0		110		100	142
2	170	147	131	147	260
3	208	180	161	180	346
4	240	208	186	208	400
5	268	232	208	233	447
6	294	254	228	255	490
7	317	275	246	275	529
8	339	294	263	294	566
9	360	312	279	312	600
10	379	328	294	329	632
20	536	464	415	465	894
30	657	569	509	570	1095
40	758	657	588	658	1265
50	848	734	657	735	1414
60	929	804	720	806	1549
70	1003	869	777	870	1673
80	1073	929	831	930	1789
90	1138	985	881	987	1897
100	1199	1039	929	1040	2000

D_s : 粒子の直径(mm)

V_{so} : 非球体の自由沈降速度(mm/s)

2) $D_s = 0.15 \sim 2$ mm の場合

$$V_{so} = -31.6D_s^2 + 136.2D_s - 4.6 \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

3) $D_s = 2 \sim 100$ mm の場合

$$V_{so} = 104\sqrt{D_s} \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

式(2.1)における抗力係数 C_k の値が、実際の大深度しゅんせつ対象土砂において、どの程度の値をとるかはあきらかでないが、表-1より推定すれば、 $C_k = 1.5 \sim 2.5$ 程度であろう。式(2.3)の k の値については、球体、立方体、平行6面体に近いものを一括して、 $k = 0.7$ とした文献¹⁰⁾も見られるが、ここでは $k = 0.8$ とし、式(2.2)の液温を $T = 20^\circ\text{C}$ として、スモルドウイレフ氏の計算値およびルベ-氏の求めた非球体の自由沈降速度(式(2.7)~式(2.9)により計算)を比較してみよう。

表-2に、両者の比較および参考のために式(2.4)~式(2.6)で求めた単球体の自由沈降速度を示す。

本表より、スモルドウイレフ氏の式において、抵抗係数 $C_k = 2$ の場合、非球体の自由沈降速度は、ルベ-氏の測定値ときわめて近い値を示している。したがって、ふつうの形の川砂については、 $C_k = 2$ 程度であろうことが逆に推測され、表-1の分類よりみても、ほぼ妥当な数値と思われる。しゅんせつ土砂の形状は、ふつうの形の川砂と大きな差異は無いと考えられるので、以下に使用する非球体の自由沈降速度には、スモルドウイレフ氏の式で、 $C_k = 2$ 、 $T = 20^\circ\text{C}$ 、 $k = 0.8$ とした計算値か、ルベ-氏の測定値(式(2.7)~式(2.9)により求めた計算値)を使用する。

2.3.2 垂直管における土砂の移動速度

有限の直径をもつ垂直管内での、単粒子の自由沈降速度は、さきに求めた静水中の自由沈降速度よりも小さくなる。管内の粒子が群をなす場合は、管壁および粒子どうしの干渉のために、粒群の干渉沈降速度は濃度の高まりとともに、さらに減少する。

垂直管内の粒群干渉沈降速度は、粗粒子の場合、ウォルスタ氏の示したつぎの式で近似的に求められる¹¹⁾。

$$V_{sg} = (1 - C)V_{so} \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

ここに

V_{sg} : 垂直管内の粒群干渉沈降速度

C : 吐出正味体積濃度

上式による計算値を表-3に示す。

比較的粒子の小さい場合は、スモルドウイレフ氏によるつぎの式がある¹²⁾。

1) 微粒群の場合

$$V_{sg} = (1 - C)^n V_{so} \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

表-3 粒群管内干渉沈降速度 (WOR.)

粒径 (mm)	V_{sg} (mm/s)					
	$C = 0$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.2	21	19	17	14	12	10
0.3	33	30	26	23	20	16
0.4	45	40	35	31	26	22
0.5	56	50	44	38	33	27
0.6	66	59	52	46	39	32
0.7	75	67	60	52	45	37
0.8	84	75	67	58	50	42
0.9	92	83	73	64	55	46
1.0	100	90	80	70	60	50
2	147	127	113	99	84	70
3	180	162	144	126	108	90
4	208	187	166	145	124	104
5	232	209	186	162	139	116
6	254	229	203	178	152	127
7	275	247	220	192	165	137
8	294	264	235	205	176	147
9	312	280	249	218	187	156
10	328	295	263	230	197	164
20	465	418	372	325	279	232
30	569	512	455	398	341	284
40	657	591	526	460	394	328
50	735	661	588	514	441	367
60	805	725	644	563	483	402
70	870	783	696	609	522	435
80	930	837	744	651	558	465
90	986	887	789	690	591	493
100	1040	935	832	728	624	520

ここに

$$n = 5(1 - 0.2 \log \text{Re})$$

$$\text{Re} = \frac{D_s \cdot V_{so}}{\nu} : \text{レイノルズ数}$$

$$1 < \text{Re} < 450 : \text{適用範囲}$$

ν : 水の動粘度

2) 粗粒群の場合

$$V_{sg} = (1 - C)^2 \left\{ 1 - \left(\frac{D_s}{D_p} \right)^2 \right\} V_{so} \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

ここに

D_p : 管路の直径

3) 細粗粒群混合の場合

$$V_{sg} = (1 - C)^{2.5} \left\{ 1 - \left(\frac{D_s}{D_p} \right)^2 \right\} V_{so} \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

表-4に、式(2.11)による粒群干渉沈降速度の計算値を示す。本式は、レイノルズ数 Re による適用範囲の制

表-4 微粒群の管内干渉沈降速度 (SMOL)

粒径 (mm)	Vsg (mm/s)						Re
	C=0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	
0.02	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	6
0.03	0.7	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1	20
0.04	1.2	0.9	0.6	0.4	0.2	0.1	45
0.05	1.9	1.4	1.0	0.6	0.4	0.2	86
0.06	2.7	2.0	1.4	1.0	0.6	0.4	146
0.07	3.6	2.7	2.0	1.4	0.9	0.6	228
0.08	4.6	3.5	2.7	1.9	1.3	0.8	335
0.09	(5.8)	(4.5)	(3.4)	(2.5)	(1.8)	(1.1)	471
0.10	(7.0)	(5.6)	(4.3)	(3.2)	(2.3)	(1.5)	638

表-5 粗粒群の管内干渉沈降速度 (SMOL)

粒径 (mm)	Veg (mm/s) (Dp=1m)					
	C=0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.02	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1
0.03	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2
0.04	1.2	1.0	0.8	0.6	0.4	0.3
0.05	1.9	1.5	1.2	0.9	0.7	0.5
0.06	2.7	2.2	1.7	1.3	1.0	0.7
0.07	3.6	2.9	2.3	1.8	1.3	0.9
0.08	4.6	3.7	2.9	2.3	1.7	1.2
0.09	5.8	4.7	3.7	2.8	2.1	1.4
0.10	7.0	5.7	4.5	3.4	2.5	1.8
0.2	21	17	13	10	7	5
0.3	33	27	21	16	12	8
0.4	45	36	28	21	16	11
0.5	56	45	35	27	20	13
0.6	66	53	42	32	23	16
0.7	75	60	48	36	27	18
0.8	84	68	53	41	30	21
0.9	92	74	59	45	33	23
1.0	100	81	64	49	36	25
2	147	114	90	69	50	35
3	180	145	115	88	64	45
4	207	168	133	101	74	52
5	232	188	148	113	83	58
6	254	206	163	124	91	63
7	275	222	176	134	99	68
8	294	238	188	144	105	73
9	311	252	199	152	112	77
10	328	266	210	161	118	82

約から、粒子の直径が約0.1mm以下の範囲にしか適用できないことがわかる。

表-5および表-6は、式(2・12)、式(2・13)により求めた粗粒群および細粗粒群混合の場合の干渉沈降速度である。土粒子の直径Ds=0.02~10mm、管径Dp=0.3~1.2m、吐出濃度C=0~0.5の範囲について、干渉沈降速度Vsgの計算を行なったが、(Ds/Dp)²の値が非常に小さいので、Dpのみの変化によるVsgの変化は1mm/s以下ときわめて小さかった。本表は代表値として、管径が1mの場合の干渉沈降速度を示す。また、式(2・11)およびウオルスタ氏による式(2・10)には、Dpの項は含まれていないので、実用範囲では管径とはほぼ無関係に粒群の干渉沈降速度を求められる。

表-6 細粗粒群混合管内干渉沈降速度 (SMOL)

粒径 (mm)	Vsg (mm/s) (Dp=1m)					
	C=0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.02	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
0.03	0.7	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1
0.04	1.2	1.0	0.7	0.5	0.3	0.2
0.05	1.9	1.5	1.1	0.8	0.5	0.3
0.06	2.7	2.1	1.5	1.1	0.7	0.5
0.07	3.6	2.8	2.0	1.5	1.0	0.6
0.08	4.6	3.5	2.6	1.9	1.3	0.8
0.09	5.8	4.4	3.3	2.4	1.6	1.0
0.10	7.0	5.4	4.0	2.9	2.0	1.2
0.2	21	16	12	8	5	3
0.3	33	25	19	13	9	5
0.4	45	34	25	18	12	7
0.5	56	42	31	22	15	9
0.6	66	50	37	26	18	11
0.7	75	57	43	30	20	13
0.8	84	64	48	34	23	14
0.9	92	70	52	37	25	16
1.0	100	76	57	40	27	17
2	147	108	80	58	39	25
3	180	138	103	73	50	31
4	207	159	119	85	58	36
5	232	178	133	95	64	41
6	254	195	145	104	71	45
7	275	211	157	112	76	48
8	294	226	168	120	82	51
9	311	239	178	127	86	55
10	328	252	188	134	91	58

図-2.2に、ルーベ-氏の測定した川砂の自由沈降速度と、式(2.10)、式(2.12)、式(2.13)で計算した、吐出体積濃度 $C=0.3$ の場合の、粒群干渉沈降速度の関係を示す。

しゅんせつ土砂水中に含まれる粒子は、一般に微粒子と粗粒子が混合しており、粒度分布は、かなり広範囲にわたるものが多い。この場合微細粒子は水と混合して、水より比重の大きい第2母液としての性質を示すために、式(2.1)や式(2.2)の母液の比重が見かけ上大きくなって、粗粒子の沈降速度は、さらに小さくなるものと考えられる。

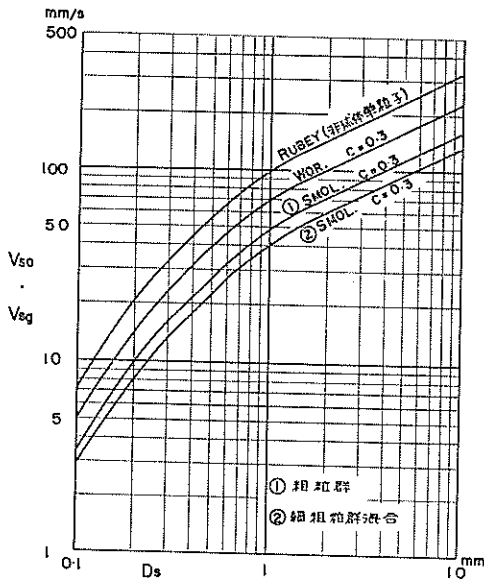


図-2.2 粒群干渉沈降速度

2.3.2 垂直管内濃度と吐出濃度

垂直管内の土砂水の濃度と管端からの吐出濃度との比は、土砂水の平均速度と土粒子の沈降速度の比とともに変化する。垂直管内濃度と吐出濃度の比の近似値を与えるものとして、つぎの式がある¹³⁾。

$$\frac{q}{C} = \frac{1}{1 - (V_{so}/V_m)} \left\{ 1 - C \frac{V_{so}}{V_m} \left(\frac{1}{1 - (V_{so}/V_m)} \right)^2 \right\} \dots\dots\dots(2.14)$$

ここに

- $C(V_{so}/V_m) < 0.1$: 適用範囲
- q : 垂直管内正味体積濃度
- C : 吐出正味体積濃度
- V_{so} : 非球体単粒子の自由沈降速度
- V_m : 土砂水の管内平均速度

土砂の粒径が、0.02~10mm、土砂水の平均速度が2~5 m/sの範囲について計算した、垂直管内濃度と吐出

濃度の比を表-7.1~7.4に示す。本表より、土砂の粒径が小さいと、自由沈降速度が遅いため V_{so}/V_m の値が小さくなって、 q/C は1に近い値をとる。また土砂水の平均速度は速いほど、垂直管内濃度は吐出濃度に近づいていくことがわかる。

本式の適用範囲は、 $C(V_{so}/V_m) < 0.1$ によって制限されているので、便宜上 $C=0.1/(V_{so}/V_m)$ とおき、土粒子の直径 D_s 、土砂水の平均速度 V_m と吐出濃度 C の関係を求めると図-2.3が得られる。図より、式(2.14)の適用できない範囲は、土粒子の直径が大きい、土砂水の平均速度が遅い、吐出濃度が非常に高い場合にかぎられることがわかる。

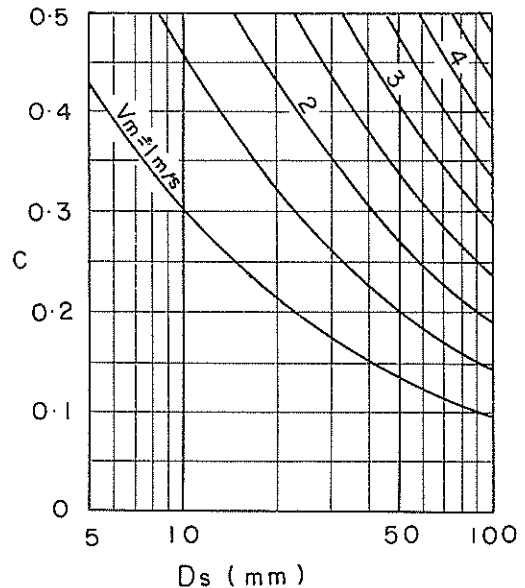


図-2.3 式(2.14)の適用範囲

2.3.3 垂直管による土砂輸送時の圧力損失

垂直管路により土砂を水力輸送する場合に、ふつうに使用される速度の範囲では、圧力損失はつぎの式で表わされる¹⁴⁾。

$$h_u = h_w + q(\delta - 1) \dots\dots\dots(2.15)$$

ここに

- h_u : 垂直管単位長さ当りの土砂輸送時の圧力損失水頭 (清水の液柱高さで表わす)
- h_w : 垂直管単位長さ当りの清水だけが流れたときの圧力損失水頭
- q : 管内正味体積濃度
- δ : 土粒子の真比重

上式の q の値は、

$$C = \frac{Q_m}{Q_c} \left(1 - \frac{P}{100} \right) \dots\dots\dots(2.16)$$

表-7.1 垂直管内濃度と吐出濃度の比 ($V_m = 2 \text{ m/s}$)

粒 径 (mm)	Vso (mm/s)	Vso Vm	q/c					
			C=0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3
0.02	0.3	0.0002	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.03	0.7	0.0004	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.04	1.2	0.0006	1.001	1.001	1.001	1.000	1.000	1.000
0.05	1.9	0.0009	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001
0.06	2.7	0.0013	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001
0.07	3.6	0.0018	1.002	1.002	1.002	1.001	1.001	1.001
0.08	4.6	0.0023	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002
0.09	5.8	0.0029	1.003	1.003	1.002	1.002	1.002	1.002
0.10	7.0	0.0035	1.003	1.003	1.003	1.003	1.003	1.002
0.2	21	0.011	1.010	1.010	1.009	1.009	1.008	1.007
0.3	33	0.017	1.016	1.015	1.014	1.013	1.013	1.012
0.4	45	0.022	1.022	1.021	1.019	1.018	1.017	1.016
0.5	56	0.028	1.027	1.026	1.024	1.023	1.021	1.020
0.6	66	0.033	1.032	1.030	1.029	1.027	1.025	1.023
0.7	75	0.038	1.037	1.035	1.033	1.031	1.029	1.026
0.8	84	0.042	1.042	1.039	1.037	1.034	1.032	1.030
0.9	92	0.046	1.046	1.043	1.040	1.038	1.035	1.032
1.0	100	0.050	1.050	1.047	1.044	1.041	1.038	1.035
2	147	0.074	1.075	1.070	1.066	1.061	1.056	1.052
3	180	0.090	1.093	1.087	1.081	1.075	1.069	1.063
4	208	0.104	1.109	1.102	1.094	1.087	1.080	1.073
5	233	0.116	1.123	1.115	1.106	1.098	1.089	1.081
6	255	0.127	1.136	1.127	1.117	1.108	1.098	1.088
7	275	0.138	1.149	1.138	1.127	1.117	1.106	1.095
8	294	0.147	1.161	1.149	1.137	1.125	1.113	1.101
9	312	0.156	1.172	1.159	1.146	1.133	1.120	1.107
10	329	0.164	1.183	1.169	1.155	1.140	1.126	1.112

ここに

- C : 吐出正味体積濃度
- Qm : 吐出土量 (見かけ, 単位時間当り)
- Qe : 吐出全体積 (単位時間当り)
- P : 間隙率 (%)

とにおいて吐出濃度Cを計算すれば, 式(2.14)あるいは表一7等を使用して求めることができる。

2.4 しゅんせつ土砂の粒径

実験に使用する土砂の粒径を決定するためのめやすを得るために, しゅんせつ土砂の粒径を調べる。しゅんせつ土砂の粒度分布は, 同一しゅんせつ区域においてもかなりのばらつきが生じるし, 地域が異なれば粒径の分布なども当然変わってくる。また, ポンプしゅんせつ船などによる吐出後の埋立土砂から試料を採取する方法では,

水に浮遊している微粒子が流失するために, 粒径の小さいところの測定値は正確とは言いがたい。しゅんせつ土砂の粒径を知るための参考値として, ドラグサクションしゅんせつ船, ポンプしゅんせつ船等で採取した, 国内各地の土砂の粒径加積曲線のいくつかの例をつぎに示す。

図-2.4 は, ドラグサクションしゅんせつ船でしゅんせつしたもの^{15)~17)}, 図-2.5, 2.6 はポンプしゅんせつ船でしゅんせつしたもの (千葉港神明町地先中央地区¹⁸⁾, 和歌山県海南港¹⁹⁾, 茨城県鹿島港²⁰⁾, 石川県金沢港²¹⁾)である。図-2.7 は, 水力輸送とは直接の関係はないが, 港湾技術研究所機材部で実施した平板による地均し試験²²⁾, グラブつかみ力試験²³⁾, バケットによる掘削試験²⁴⁾などに使用した土砂の粒度分布を示す。

表-7.2 垂直管内濃度と吐出濃度の比 ($V_m = 3 \text{ m/s}$)

粒 径 (mm)	V_{so} (mm/s)	V_{so} V_m	q/c					
			C=0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3
0.02	0.3	0.0001	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.03	0.7	0.0002	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.04	1.2	0.0004	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.05	1.9	0.0006	1.001	1.001	1.001	1.001	1.000	1.000
0.06	2.7	0.0009	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001
0.07	3.6	0.0012	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001
0.08	4.6	0.0015	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001
0.09	5.8	0.0019	1.002	1.002	1.002	1.002	1.001	1.001
0.10	7.0	0.0023	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002
0.2	21	0.001	1.007	1.006	1.006	1.006	1.005	1.005
0.3	33	0.011	1.011	1.010	1.010	1.009	1.008	1.008
0.4	45	0.015	1.014	1.014	1.013	1.012	1.011	1.010
0.5	56	0.019	1.018	1.017	1.016	1.015	1.014	1.013
0.6	66	0.022	1.021	1.020	1.019	1.018	1.017	1.015
0.7	75	0.025	1.024	1.023	1.022	1.020	1.019	1.018
0.8	84	0.028	1.027	1.026	1.024	1.023	1.021	1.020
0.9	92	0.031	1.030	1.028	1.027	1.025	1.023	1.022
1.0	100	0.033	1.033	1.031	1.029	1.027	1.025	1.023
2	147	0.049	1.049	1.046	1.043	1.040	1.037	1.034
3	180	0.060	1.060	1.057	1.053	1.049	1.046	1.042
4	208	0.069	1.070	1.066	1.062	1.057	1.053	1.049
5	233	0.078	1.079	1.074	1.069	1.064	1.059	1.054
6	255	0.085	1.087	1.082	1.076	1.071	1.065	1.060
7	275	0.092	1.095	1.089	1.083	1.077	1.070	1.064
8	294	0.098	1.102	1.095	1.089	1.082	1.075	1.069
9	312	0.104	1.109	1.102	1.094	1.087	1.080	1.073
10	329	0.110	1.115	1.108	1.100	1.092	1.084	1.077

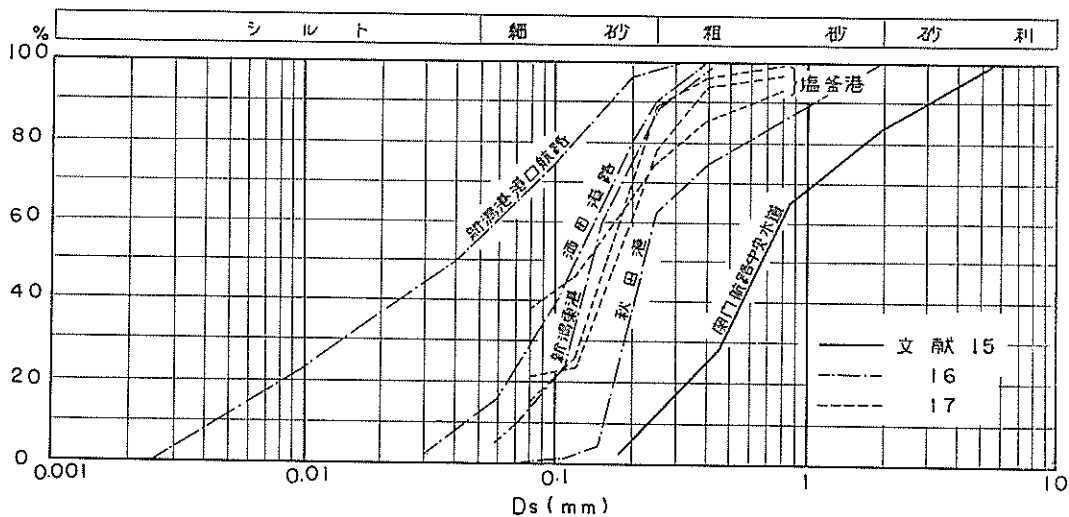


図-2.4 しゅんせつ土砂の粒度分布 (ドラグサクシヨンしゅんせつ船)

表-7.3 垂直管内濃度と吐出濃度の比 ($V_m = 4 \text{ m/s}$)

粒 径 (mm)	V_{so} (mm/s)	V_{so} V_m	q/c					
			C=0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3
0.02	0.3	0.0001	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.03	0.7	0.0002	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.04	1.2	0.0003	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.05	1.9	0.0005	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.06	2.7	0.0007	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.000
0.07	3.6	0.0009	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001
0.08	4.6	0.0012	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001
0.09	5.8	0.0014	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001
0.10	7.0	0.0018	1.002	1.002	1.001	1.001	1.001	1.001
0.2	21	0.005	1.005	1.005	1.005	1.004	1.004	1.004
0.3	33	0.008	1.008	1.008	1.007	1.007	1.006	1.006
0.4	45	0.011	1.011	1.010	1.010	1.009	1.008	1.008
0.5	56	0.014	1.013	1.013	1.012	1.011	1.010	1.010
0.6	66	0.016	1.016	1.015	1.014	1.013	1.012	1.012
0.7	75	0.019	1.018	1.017	1.016	1.015	1.014	1.013
0.8	84	0.021	1.020	1.019	1.018	1.017	1.016	1.015
0.9	92	0.023	1.022	1.021	1.020	1.019	1.017	1.016
1.0	100	0.025	1.024	1.023	1.022	1.020	1.019	1.018
2	147	0.037	1.036	1.034	1.032	1.030	1.028	1.026
3	180	0.045	1.045	1.042	1.039	1.037	1.034	1.032
4	208	0.052	1.052	1.049	1.046	1.043	1.040	1.037
5	233	0.058	1.058	1.055	1.051	1.048	1.044	1.041
6	255	0.064	1.064	1.060	1.056	1.053	1.049	1.045
7	275	0.069	1.070	1.065	1.061	1.057	1.053	1.048
8	294	0.074	1.075	1.070	1.066	1.061	1.056	1.052
9	312	0.078	1.080	1.075	1.070	1.065	1.060	1.055
10	329	0.082	1.084	1.079	1.074	1.068	1.063	1.058

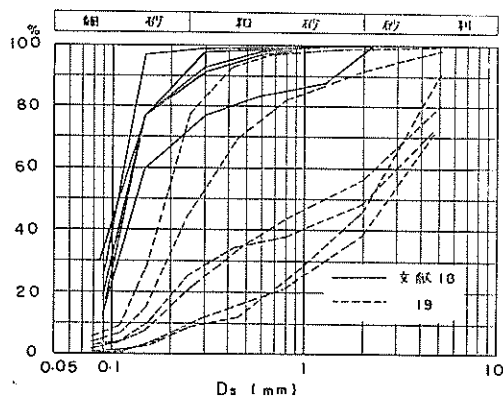


図-2.5 しゅんせつ土砂の粒度分布
(ポンプしゅんせつ船・その1)

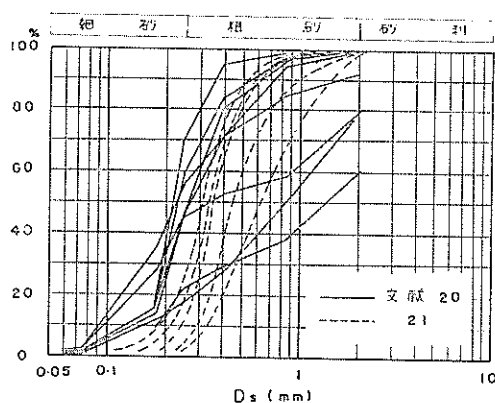


図-2.6 しゅんせつ土砂の粒度分布
(ポンプしゅんせつ船・その2)

表-7.4 垂直管内濃度と吐出濃度の比 (Vm=5 m/s)

粒 径 (mm)	V _{so} (mm/s)	V _{so} Vm	q/c					
			C=0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3
0.02	0.3	0.0001	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.03	0.7	0.0001	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.04	1.2	0.0002	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.05	1.9	0.0004	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.06	2.7	0.0005	1.001	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.07	3.6	0.0007	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001
0.08	4.6	0.0009	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001
0.09	5.8	0.0012	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001
0.10	7.0	0.0014	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001
0.2	21	0.004	1.004	1.004	1.004	1.003	1.003	1.003
0.3	33	0.007	1.006	1.006	1.006	1.005	1.005	1.005
0.4	45	0.009	1.009	1.008	1.008	1.007	1.007	1.005
0.5	56	0.011	1.011	1.010	1.010	1.009	1.008	1.008
0.6	66	0.013	1.013	1.012	1.011	1.011	1.010	1.009
0.7	75	0.015	1.014	1.014	1.013	1.012	1.011	1.011
0.8	84	0.017	1.016	1.015	1.014	1.014	1.013	1.012
0.9	92	0.018	1.018	1.017	1.018	1.015	1.014	1.013
1.0	100	0.020	1.019	1.018	1.017	1.016	1.015	1.014
2	147	0.029	1.029	1.027	1.025	1.024	1.022	1.021
3	180	0.036	1.035	1.033	1.031	1.029	1.027	1.025
4	208	0.042	1.041	1.039	1.036	1.034	1.032	1.029
5	233	0.047	1.046	1.043	1.041	1.038	1.035	1.033
6	255	0.051	1.051	1.048	1.045	1.042	1.039	1.036
7	275	0.055	1.055	1.052	1.048	1.045	1.042	1.039
8	294	0.059	1.059	1.055	1.052	1.048	1.045	1.041
9	312	0.062	1.063	1.059	1.055	1.051	1.048	1.044
10	329	0.066	1.066	1.062	1.058	1.054	1.050	1.046

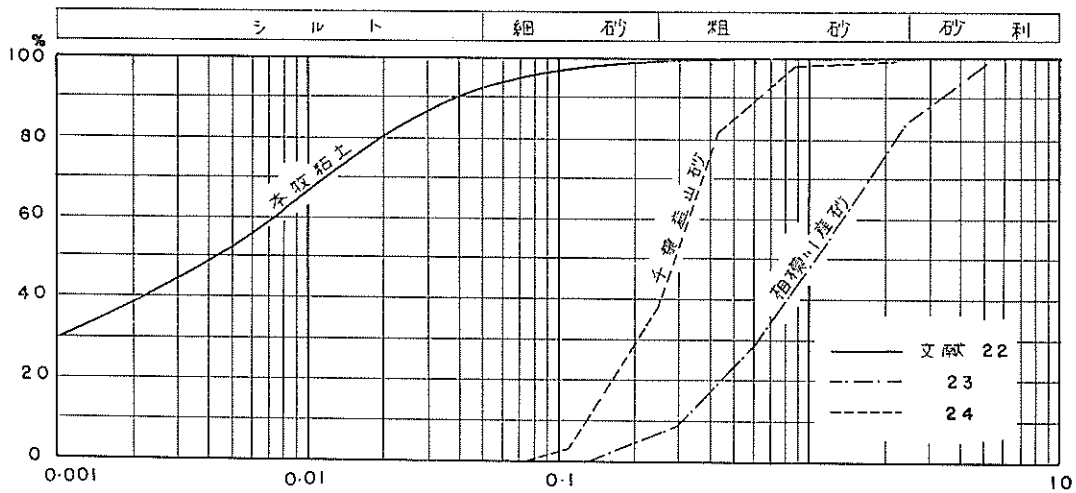


図-2.7 実験用土砂の粒度分布

図より見て、筆者らの調査した範囲では、ドラグサク
ションしゅんせつ船およびポンプしゅんせつ船でとりあ
つかう土砂の最大粒径は 5~6 mm, 50%通過粒径は大
きいもので約 2 mm であるが, 0.1~0.3mm の範囲のも
のが多かった。

いま, 計算の 1 例として土粒子の直径を 0.2mm とす
れば, 粒群の干渉沈降速度は表-3~表-6 より, 吐出
正味体積濃度 $C=0.1$ のとき $V_{sg}=16\sim 19\text{mm/s}$, $C=$
 0.2 のとき $V_{sg}=12\sim 17\text{mm/s}$, $C=0.3$ のとき $V_{sg}=8$
 $\sim 14\text{mm/s}$ となる。

また $D_s=0.2\text{mm}$ とすれば, 表-7 より, 垂直管内濃
度と吐出濃度の差は 1% 以下であるので, 吐出濃度をも
って垂直管内濃度と見なしてもさしつかえない。

2.5 エゼクタの流量と揚程

図-2.3 に示す揚砂エゼクタについて, 駆動水量, 揚
土砂水量, 吐出土砂水量と揚程の関係について求めてみ
よう。

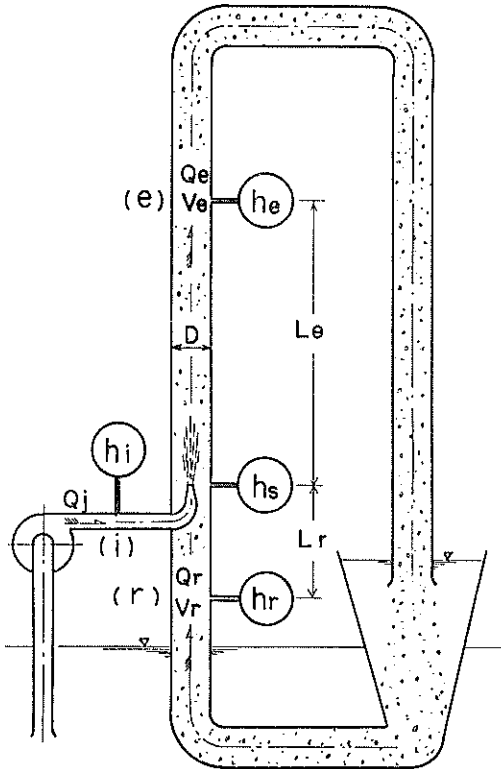


図-2.8 揚砂エゼクタの配置と記号

駆動水量は

$$Q_j = A_j \cdot C_d \sqrt{2g(h_i - h_s)} \dots \dots \dots (2.17)$$

ここに

Q_j : 駆動水量 (単位時間当り)

A_j : ノズル出口の面積

C_d : 流量係数

g : 重力の加速度

h_i : ノズル入口の駆動水圧力 (清水液柱高さ)

h_s : ノズル出口の圧力 (清水液柱高さ)

吸込口 (r) とノズル出口周囲の断面 (s) の圧力差 (清
水液柱高さ) は, 式(2.15)より

$$\begin{aligned} h_s - h_r &= -L_r \cdot h_u \\ &= -L_r \{ h_w + q_r (\delta - 1) \} \\ &= -L_r \left\{ \lambda \frac{1}{D} \frac{V_r^2}{2g} + q_r (\delta - 1) \right\} \dots \dots \dots (2.18) \end{aligned}$$

ここに

h_r : エゼクタの吸込圧力 (清水液柱高さ)

L_r : エゼクタの吸込部分の長さ

h_u : 垂直管単位長さあたりの土砂輸送時の圧
力損失水頭 (清水液柱高さ)

h_w : 垂直管単位長さあたりの清水だけが流れ
たときの圧力損失水頭

q_r : エゼクタの吸込部管内正味体積濃度

δ : 土粒子の真比重

λ : 流体抵抗係数

D : エゼクタの口径

V_r : エゼクタの吸込速度

で表わされる。

土粒子と母液の速度差はきわめて小さいので, 比重の
一様な均質の流体と見なして, ノズル出口 (j, s) とエゼ
クタの吐出口 (e) の間に運動量の式を適用して圧力差
(清水液柱高さ) を求めるとつぎのようになる。

$$\begin{aligned} h_e - h_s &= \frac{1}{A_e \cdot g} \left(Q_j \cdot V_j + \frac{\gamma_r}{\gamma_w} Q_r \cdot V_r - \frac{\gamma_e}{\gamma_w} Q_e \cdot V_e \right) \\ &\quad - L_e \left\{ \lambda \frac{1}{D} \frac{V_e^2}{2g} + q_e (\delta - 1) \right\} \dots \dots \dots (2.19) \end{aligned}$$

ここに

h_e : エゼクタの吐出圧力 (清水液柱高さ)

A_e : エゼクタの吐出口面積

γ_w : 駆動水 (清水) の比重量

Q_j : 駆動水量 (単位時間当り)

V_j : ノズル出口の駆動水の水速

γ_r : 揚土砂水の比重量

Q_r : 揚土砂水量 (単位時間当り)

V_r : エゼクタの吸込速度

γ_e : 吐出土砂水の比重量

Q_e : 吐出土砂水量 (単位時間当り)

V_e : エゼクタの吐出速度

L_e : エゼクタの吐出部分の長さ

q_e : 吐出部管内正味体積濃度

上式において揚土砂水および吐出土砂水の比重量は,
エゼクタの吐出管内濃度と吐出管端における吐出濃度が

等しい($q_e=C$)ものとすれば,

$$\left. \begin{aligned} \gamma_e &= \{1 + C(\delta - 1)\} \gamma_w \\ &= \left\{1 + \frac{Q_m}{Q_e} \left(1 - \frac{p}{100}\right) (\delta - 1)\right\} \gamma_w \\ \gamma_r &= \left\{1 + \frac{Q_m}{Q_e - Q_j} \left(1 - \frac{p}{100}\right) (\delta - 1)\right\} \gamma_w \end{aligned} \right\} \dots (2 \cdot 20)$$

ここに

Q_m : 吐出土量 (見かけ, 単位時間当り)

p : 間隙率 (%)

として求めることができる。

揚砂エゼクタの揚程を, エゼクタの吸込口と吐出口の圧力差 (清水液柱高さ) で表わすものとすれば, 揚程の計算値は式(2・18), 式(2・19)の和として, つぎの式で求められる。

$$\begin{aligned} H_x &= \frac{1}{Ae \cdot g} \left(Q_j \cdot V_j + \frac{\gamma_r}{\gamma_w} Q_r \cdot V_r - \frac{\gamma_e}{\gamma_w} Q_e \cdot V_e \right) \\ &\quad - Le \left\{ \lambda \frac{1}{D} \frac{V_e^2}{2g} + qe(\delta - 1) \right\} \\ &\quad - Lr \left\{ \lambda \frac{1}{D} \frac{V_r^2}{2g} + qr(\delta - 1) \right\} \dots \dots \dots (2 \cdot 21) \end{aligned}$$

ここに

H_x : 揚程の計算値

3. エゼクタによる揚砂実験

3・1 実験装置の概要

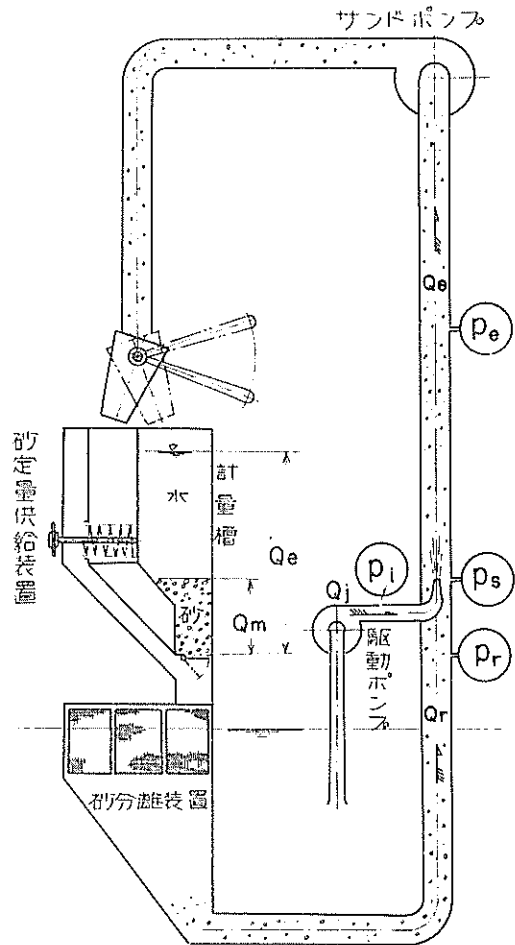
本実験に使用した装置の主要部分は, 前回に発表した“エゼクタとうず巻ポンプの直列運転性能について”の実験の際に使用した装置と共通である。前回の実験は, 駆動水および揚水がともに清水であったのに対し, 今回は, 土砂水を実験対象とするために, 揚水に一定量の砂を連続的に供給するのに必要な砂定量供給装置や, エゼクタの吐出水に含まれる砂を分離するための, 砂分離装置などがつけかわえられている。実験装置の配置を, 図一3・1に示す。

3・2 実験用エゼクタ

エゼクタ駆動用ポンプは, ワードレオナード制御の直流電動機によって直結運転し, 回転数の変化によって, $0 \sim 10 \text{ kg/cm}^2$ の吐出圧力を得ることができる。なお, 供試エゼクタ単体のみでは, 広範囲の実験をカバーすることができないので, エゼクタの吐出側に無段変速機 (変速比 1 : 2) つきのサンドポンプ (口径 80mm) を直列運転し, 実験内容の充実をはかった。

供試エゼクタは, のど部の絞りおよび広がり管を持たない Type-B エゼクタで, ノズル数 2 本の側壁ノズル型とし, 土砂水が垂直上昇流れとなるように配置した。ノズルは円形ノズルで, 直径が 6, 8, 10, 12mm の 4 種類である。ノズルの取付角度は 20 度 (はさみ角) であるが, 水-水エゼクタの実験結果よりみて, 本エゼクタ

においても, ノズルの取付角度が揚砂実験の測定結果におよぼす影響は, 無視できる程度に小さいものと考えてよい。エゼクタの主要構造を図一3・2に示す。



図一3・1 エゼクタによる揚砂実験装置

3・3 供試砂

揚水に混入するための供試砂は, 茨城県足洗産の川砂で, 粒径は比較的あらく, $0.4 \sim 2 \text{ mm}$ (粗砂) の範囲にある。実験に粗砂を使用したのは, 細砂以下では, 既設の砂分離装置では, 分離用金網の目づまりなどによって, 砂の分離が困難になるのがおもな理由である。供試砂の粒度分布を図一3・3に示す。

供試砂は, 真比重 2.651, 間隙比 0.81 である。この砂について, ウオルスタ氏およびスモルドウイレフ氏の式により, 吐出含泥率 (見かけ) と粒径干渉沈降速度の関係を求めると表一8のようになる。また吐出含泥率にたいする, 吐出管内正味体積濃度と吐出管端における正味体積濃度の比を求めると, 表一9のようになる。

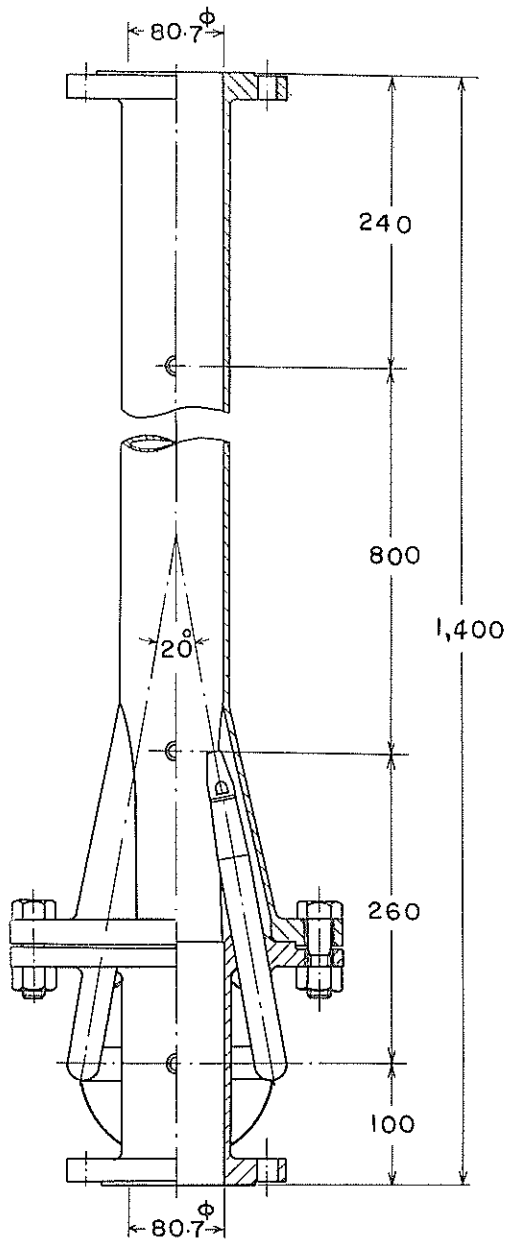


図-3・2 実験用エゼクタの構造

本表より、つぎに述べるエゼクタによる揚砂実験の範囲では、垂直管内濃度と吐出濃度の差は、最大7%程度見こまれるが、実験結果の整理にあたっては、エゼクタのノズル出口より後部の垂直管内濃度は、吐出濃度に等しいものとして計算した。

3・4 実験の方法

実験には、直径が6, 8, 10, 12mmで各2本のノズルをもつ4種類のエゼクタを使用した。ノズルに供給する

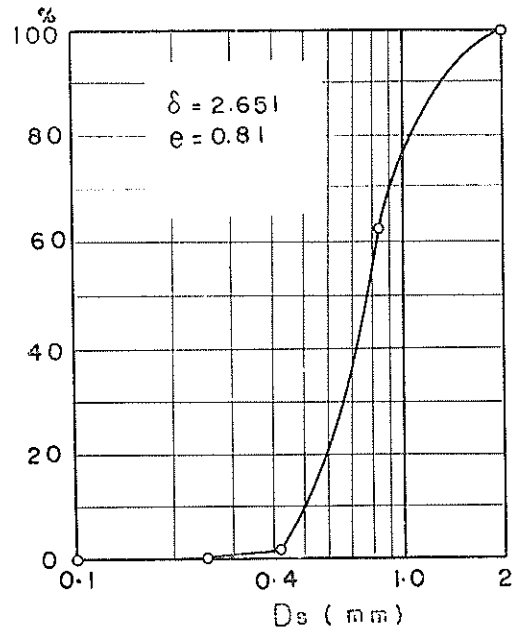


図-3・3 供試砂の粒度分布

表-8 供試砂の粒群管内干渉沈降速度

粒径 (mm)	粒群干渉沈降速度 (WOR.) Vsg (mm/s)						
	Rd=0 (%)	5	10	15	20	25	30
0.4	45	44	43	42	41	40	39
0.8	84	82	80	78	77	75	73
1.2	113	111	108	106	103	101	98
1.6	132	130	127	124	121	118	115
2.0	147	138	135	132	129	126	122

粒径 (mm)	粗粒群干渉沈降速度 (SMOL.) Vsg (mm/s)						
	Rd=0 (%)	5	10	15	20	25	30
0.4	45	43	41	39	37	35	34
0.8	84	80	77	73	70	66	63
1.2	113	108	103	99	94	89	85
1.6	132	127	121	115	110	104	99
2.0	147	135	129	123	117	112	106

粒径 (mm)	細粗粒群混合干渉沈降速度 (SMOL.) Vsg (mm/s)						
	Rd=0 (%)	5	10	15	20	25	30
0.4	45	42	40	38	35	33	31
0.8	84	79	75	71	67	63	59
1.2	113	107	101	95	90	84	79
1.6	132	125	118	111	105	98	92
2.0	147	134	126	119	112	105	99

表-9 供試砂の垂直管内濃度と吐出濃度の比

粒 径 (mm)	V _{so} (mm/s)	V _{so} V _m	q/c (V _m = 2 m/s)					
			Rd= 5 (%)	10	15	20	25	30
0.4	45	0.022	1.022	1.022	1.021	1.021	1.020	1.020
0.8	84	0.042	1.043	1.042	1.041	1.040	1.039	1.037
1.2	113	0.057	1.059	1.057	1.056	1.054	1.053	1.051
1.6	132	0.066	1.069	1.067	1.065	1.064	1.062	1.060
2.0	147	0.074	1.074	1.072	1.070	1.068	1.066	1.064
粒 径 (mm)	V _{so} (mm/s)	V _{so} V _m	q/c (V _m =2.5m/s)					
			Rd= 5 (%)	10	15	20	25	30
0.4	45	0.018	1.018	1.017	1.017	1.017	1.016	1.016
0.8	84	0.034	1.034	1.033	1.032	1.031	1.031	1.030
1.2	113	0.045	1.046	1.045	1.044	1.043	1.042	1.040
1.6	132	0.053	1.055	1.053	1.052	1.050	1.049	1.048
2.0	147	0.058	1.058	1.057	1.055	1.054	1.052	1.051
粒 径 (mm)	V _{so} (mm/s)	V _{so} V _m	q/c (V _m = 3 m/s)					
			Rd= 5 (%)	10	15	20	25	30
0.4	45	0.015	1.015	1.014	1.014	1.014	1.013	1.013
0.8	84	0.028	1.028	1.027	1.027	1.026	1.025	1.025
1.2	113	0.038	1.038	1.037	1.036	1.035	1.035	1.034
1.6	132	0.044	1.045	1.044	1.043	1.042	1.041	1.039
2.0	147	0.048	1.048	1.047	1.046	1.045	1.043	1.042
粒 径 (mm)	V _{so} (mm/s)	V _{so} V _m	q/c (V _m =3.5m/s)					
			Rd= 5 (%)	10	15	20	25	30
0.4	45	0.013	1.013	1.012	1.012	1.012	1.011	1.011
0.8	84	0.024	1.024	1.023	1.023	1.022	1.022	1.021
1.2	113	0.032	1.033	1.032	1.031	1.030	1.029	1.029
1.6	132	0.038	1.038	1.037	1.036	1.036	1.035	1.034
2.0	147	0.041	1.041	1.040	1.039	1.038	1.037	1.036
粒 径 (mm)	V _{so} (mm/s)	V _{so} V _m	q/c (V _m = 4 m/s)					
			Rd= 5 (%)	10	15	20	25	30
0.4	45	0.011	1.011	1.011	1.011	1.010	1.010	1.010
0.8	84	0.021	1.021	1.020	1.020	1.019	1.019	1.018
1.2	113	0.028	1.028	1.028	1.027	1.026	1.026	1.025
1.6	132	0.033	1.033	1.033	1.032	1.031	1.030	1.029
2.0	147	0.036	1.036	1.035	1.034	1.033	1.032	1.031

水の圧力（駆動圧力）は 0～6 kg/cm² の範囲である。吐出含泥率は、比較的低含泥率（見かけで 5%以下）の場合と、ふつう程度の含泥率（見かけで 15～30%程度）を実験の対象とした。含泥水の最低吐出速度は、実験中に管路内に供試砂のたい積や閉そくを起さない範囲で約 2 m/s とし、最大吐出速度は、吐出土砂水の計測時間を 4 秒以上とした場合の計量そうの計測可能容量（約 80 リットル）から、約 4 m/s とした。揚砂実験時の測定条件を、表—10 に示す。

表—10 測定条件

ノズルの直径 (mm) と本数	駆動圧力	吐出含泥率	吐出速度
6φ × 2	0, 1, 2, … 6 kg/cm ²	5%以下	約 3 m/s
		約 30%	2～3.5 m/s
8φ × 2	同上	5%以下	約 3.5 m/s
		20～30%	2～3.5 m/s
10φ × 2	同上	5%以下	約 3.5 m/s
		15～25%	2～3.5 m/s
12φ × 2	同上	5%以下	約 3.5 m/s
		15～25%	2～4 m/s

本実験の圧力測定には、ブルドンゲージおよび U 字管（水銀マノメータ）を、流量の測定には計量そう（計時はストップウォッチによる）を使用した。エゼクタの吸込圧力と吐出圧力は個々には測定せず、1本の U 字管の両端に接続し、差圧により揚程を直接測定した。測定項目を表—11 に示す（記号は図—3・1 参照）。

表—11 測定項目

項目	記号	計器	備考
駆動圧力	Pi	ブルドンゲージ	0～10 kg/cm ²
ノズル出口の圧力	Ps	U 字管	水銀マノメータ
エゼクタの吸込圧力	Pr	U 字管	水銀マノメータ 1 個の U 字管の両端に接続し、差圧により揚程を直接測定
エゼクタの吐出圧力	Pe		
吐出土砂水量	Qe	計量そう	水切り容量 100 リットル 記号は単位時間当りの体積を示す。
揚土量（見かけ）	Qm		

3・5 測定結果

表—9 に掲げた測定値より、つぎの諸値が計算で求められる。

1) 駆動水量 (Qj)

$$Q_j = A_j C_d \sqrt{2g \frac{P_i - P_s}{\gamma_w}} \dots\dots\dots (3.1)$$

2) 揚土砂水量 (Qr)

$$Q_r = Q_e - Q_j \dots\dots\dots (3.2)$$

3) 揚土砂水の吸込速度 (Vr)

$$V_r = Q_r / A_r \dots\dots\dots (3.3)$$

(Ar; エゼクタの吸込口面積 (Ar = Ae))

4) 土砂水の吐出速度 (Ve)

$$V_e = Q_e / A_e \dots\dots\dots (3.4)$$

5) 体積流量比 (Xv)

$$X_v = Q_j / Q_r \dots\dots\dots (3.5)$$

6) 吸込含泥率 (Rs: 見かけ)

$$R_s = \frac{Q_m}{Q_e} \times 100 (\%) \dots\dots\dots (3.6)$$

7) 吐出含泥率 (Rd: 見かけ)

$$R_d = \frac{Q_m}{Q_e} \times 100 (\%) \dots\dots\dots (3.7)$$

8) 揚程の計算値 (Hx)

式(2.21)において

$$A_e = 0.0051 \text{ m}^2$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$\gamma_w = 1.000 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda = 0.02$$

$$L_r = 0.26 \text{ m}$$

$$L_e = 0.80 \text{ m}$$

$$D = 0.0807 \text{ m}$$

とにおいて求める。

9) 揚程の測定値 (Hy)

$$H_y = \frac{P_e - P_r}{\gamma_w} \dots\dots\dots (3.8)$$

測定値および式(3.1)～式(3.8)による計算値を表—12～表—15 に示す。

本表において、揚砂エゼクタの揚程の計算値 (Hx) と、測定値 (Hy) を、正の値の範囲について比較してみると、図—3・4～図—3・7 が得られる。これらの図より、式(2.21) による揚程の計算値に比較して、本実験で求めた揚程の測定値は若干下まわる傾向が見られるが、その差は大きなものではない。図表上の符号は、吐出含泥率（見かけ）によって分類したものであるが、含泥率の多少による傾向の変化（計算値と測定値の比の変化）は、本実験の範囲では明瞭には認められない。

表-12 エゼククによる揚砂実験結果 (ノズル 6φ×2)

駆動 圧力 (kg/cm ²)	駆動 水量 (l/s)	揚土砂 水量 (l/s)	揚土量 (見かけ) (l/s)	吐出土 砂水量 (l/s)	吸込 速度 (m/s)	吐出 速度 (m/s)	体積 流量比 (Qj/Qr)	吸込 含泥率 (%)	吐出 含泥率 (%)	揚程の 計算値 (m)	揚程の 測定値 (m)
0	0	15.6	0.4	15.6	3.1	3.1	0	3	3	-0.13	-0.09
1	0.9	14.9	0.4	15.7	2.9	3.1	0.06	3	3	0.03	0.12
2	1.2	14.6	0.2	15.8	2.9	3.1	0.08	2	2	0.21	0.27
3	1.5	15.0	0.2	16.5	2.9	3.2	0.10	1	1	0.39	0.44
4	1.7	14.4	0.1	16.1	2.8	3.2	0.12	1	1	0.60	0.61
5	1.9	15.1	0	17.0	3.0	3.3	0.13	0	0	0.77	0.78
6	2.1	14.5	0	16.6	2.8	3.3	0.14	0	0	0.99	0.94
0	0	17.0	4.7	17.0	3.3	3.3	0	28	28	-0.15	-0.11
1	0.9	16.4	5.7	17.4	3.2	3.4	0.06	35	33	-0.02	-0.01
2	1.2	16.9	4.4	18.1	3.3	3.5	0.07	26	24	0.14	0.09
3	1.5	16.4	4.9	17.9	3.2	3.5	0.09	30	27	0.33	0.33
4	1.7	15.5	5.5	17.2	3.0	3.4	0.11	35	32	0.54	0.57
5	1.9	15.5	5.7	17.4	3.0	3.4	0.12	37	33	0.74	0.69
6	2.1	15.5	4.9	17.6	3.0	3.4	0.13	32	28	0.94	0.84
0	0	15.6	4.2	15.6	3.1	3.1	0	27	27	-0.13	-0.16
1	0.9	14.8	4.9	15.7	2.9	3.1	0.06	33	31	0.03	0.02
2	1.2	14.9	3.6	16.1	2.9	3.2	0.08	24	22	0.20	0.13
3	1.5	14.7	3.7	16.2	2.9	3.2	0.10	25	23	0.39	0.31
4	1.7	14.3	5.7	16.0	2.8	3.1	0.12	40	36	0.59	0.60
5	1.9	14.6	5.4	16.5	2.9	3.2	0.13	37	33	0.77	0.76
6	2.1	14.4	5.9	16.5	2.8	3.2	0.15	41	36	0.97	0.93
0	0	12.8	2.9	12.8	2.5	2.5	0.0	23	23	-0.08	-0.27
1	0.9	12.2	3.4	13.1	2.4	2.6	0.07	28	26	0.07	0.05
2	1.2	12.0	3.9	13.2	2.3	2.6	0.10	32	29	0.26	0.23
3	1.5	11.7	3.5	13.2	2.3	2.6	0.13	30	26	0.46	0.44
4	1.7	11.7	4.1	13.4	2.3	2.6	0.15	35	31	0.65	0.56
5	1.9	11.2	3.5	13.1	2.2	2.6	0.17	32	27	0.86	0.78
6	2.1	11.5	3.5	13.6	2.3	2.7	0.18	30	26	0.07	1.10
0	0	10.5	2.8	10.5	2.1	2.1	0	27	27	-0.06	-0.03
1	0.9	10.0	2.7	10.8	1.9	2.1	0.09	27	25	0.10	0.10
2	1.2	9.8	3.1	11.0	1.9	2.2	0.13	32	28	0.31	0.29
3	1.5	9.6	3.3	11.1	1.9	2.2	0.15	34	30	0.51	0.50
4	1.7	9.3	2.6	11.0	1.8	2.2	0.18	28	24	0.72	0.67
5	1.9	9.8	3.4	11.7	1.9	2.3	0.19	34	29	0.90	0.90
6	2.1	9.3	3.7	11.3	1.8	2.2	0.22	40	32	0.11	1.20

表-13 エゼクタによる揚砂実験結果 (ノズル 8φ×2)

駆動 圧力 (kg/cm ²)	駆動 水量 (l/s)	揚土砂 水量 (l/s)	揚土量 (見かけ) (l/s)	吐出土 砂水量 (l/s)	吸込 速度 (m/s)	吐出 速度 (m/s)	体積 流量比 (Qj/Qr)	吸込 含泥率 (%)	吐出 含泥率 (%)	揚程の 計算値 (m)	揚程の 測定値 (m)
0	0	16.2	0	16.2	3.2	3.2	0	0	0	-0.14	-0.08
1	1.4	14.9	0	16.3	2.9	3.2	0.10	0	0	0.10	0.18
2	2.0	14.5	0	16.5	2.8	3.2	0.14	0	0	0.40	0.42
3	2.4	14.4	0	16.8	2.8	3.3	0.17	0	0	0.70	0.68
4	2.7	14.5	0	17.2	2.8	3.4	0.19	0	0	1.00	0.93
5	3.1	14.1	0	17.1	2.8	3.3	0.22	0	0	1.34	1.25
6	3.3	14.5	0	17.9	2.8	3.5	0.23	0	0	1.63	1.56
0	0	16.2	4.2	16.2	3.2	3.2	0	26	26	-0.14	-0.06
1	1.5	15.0	4.4	16.5	2.9	3.2	0.10	29	27	0.10	0.09
2	2.0	15.2	4.2	17.2	3.0	3.4	0.13	28	25	0.37	0.30
3	2.4	14.2	3.1	16.6	2.8	3.3	0.17	22	18	0.70	0.54
4	2.8	14.6	4.2	17.3	2.8	3.4	0.19	29	24	0.99	0.94
5	3.1	14.1	3.8	17.1	2.7	3.3	0.22	27	22	1.31	1.17
6	3.4	14.3	4.5	17.7	2.8	3.5	0.23	31	25	1.61	1.43
0	0	15.4	3.4	15.4	3.0	3.0	0	22	22	-0.12	-0.04
1	1.5	14.6	4.4	16.1	2.9	3.2	0.10	30	28	0.11	0.21
2	2.0	13.6	3.7	15.6	2.7	3.1	0.15	27	24	0.41	0.43
3	2.4	14.0	4.6	16.4	2.7	3.2	0.17	33	28	0.70	0.78
4	2.8	13.9	2.9	16.6	2.7	3.3	0.20	21	18	1.02	0.90
5	3.1	13.3	3.7	16.4	2.6	3.2	0.23	28	23	1.34	1.33
6	3.4	13.4	4.7	16.7	2.6	3.3	0.25	35	28	1.65	1.66
0	0	12.5	3.5	12.5	2.4	2.4	0	28	28	-0.08	-0.08
1	1.5	11.0	3.5	12.5	2.2	2.4	0.13	31	28	0.19	0.23
2	2.0	10.6	2.6	12.6	2.1	2.5	0.19	25	21	0.50	0.39
3	2.4	10.7	4.0	13.0	2.1	2.5	0.22	37	31	0.80	0.71
4	2.8	10.9	4.2	13.7	2.1	2.7	0.25	38	30	1.11	1.09
5	3.1	10.9	3.8	14.0	2.1	2.7	0.28	35	27	1.43	1.29
6	3.3	11.1	4.1	14.4	2.2	2.8	0.30	37	28	1.73	1.81
0	0	10.9	2.6	10.9	2.1	2.1	0	24	24	-0.06	-0.04
1	1.4	9.4	3.5	10.8	1.8	2.1	0.15	37	32	0.20	0.51
2	2.0	9.5	2.5	11.4	1.8	2.2	0.21	26	22	0.52	0.61
3	2.4	9.1	2.7	11.5	1.8	2.2	0.26	30	24	0.83	0.85
4	2.7	8.6	3.0	11.3	1.7	2.2	0.32	34	26	1.16	1.12
5	3.0	9.1	3.3	12.1	1.8	2.4	0.33	36	27	1.47	1.43
6	3.3	8.8	3.5	12.2	1.7	2.4	0.38	40	29	1.84	1.75

表-14 エセクタによる揚砂実験結果 (ノズル 10φ×2)

駆動 圧力 (kg/cm ²)	駆動 水量 (l/s)	揚土砂 水量 (l/s)	揚土量 (見かけ) (l/s)	吐出土 砂水量 (l/s)	吸込 速度 (m/s)	吐出 速度 (m/s)	体積 流量比 (Qi/Qr)	吸込 含泥率 (%)	吐出 含泥率 (%)	揚程の 計算値 (m)	揚程の 測定値 (m)
0	0	16.6	0	16.6	3.3	3.3	0	0	0	-0.14	-0.11
1	2.2	14.8	0	17.0	2.9	3.3	0.15	0	0	0.20	0.23
2	3.0	14.2	0	17.2	2.8	3.4	0.21	0	0	0.65	0.67
3	3.7	13.8	0	17.5	2.7	3.4	0.27	0	0	1.12	1.13
4	4.2	13.9	0	18.1	2.7	3.5	0.30	0	0	1.59	1.60
5	4.7	13.7	0	18.4	2.7	3.6	0.34	0	0	2.07	2.08
6	5.2	14.0	0	19.1	2.7	3.7	0.37	0	0	2.54	2.58
0	0	13.0	4.2	18.0	3.5	3.5	0	23	23	-0.17	-0.04
1	2.3	16.3	5.5	18.6	3.2	3.6	0.14	34	30	0.16	-0.39
2	3.1	16.1	4.5	19.1	3.1	3.7	0.19	28	24	0.55	0.58
3	3.7	15.3	4.0	19.0	3.0	3.7	0.24	26	21	1.04	1.01
4	4.3	14.7	3.4	19.0	2.9	3.7	0.29	23	18	1.53	1.42
5	4.7	14.3	3.4	19.0	2.8	3.7	0.33	24	18	2.02	2.04
6	5.2	13.7	3.7	18.9	2.7	3.7	0.38	27	20	2.53	2.41
0	0	16.5	2.9	16.5	3.2	3.2	0	17	17	-0.14	-0.12
1	2.3	14.1	3.0	16.4	2.8	3.2	0.16	21	18	0.22	0.20
2	3.1	13.8	2.9	16.9	2.7	3.3	0.22	21	17	0.67	0.68
3	3.7	13.3	4.0	17.0	2.6	3.3	0.28	30	24	1.12	1.14
4	4.2	12.8	3.8	17.0	2.5	3.3	0.33	30	22	1.60	1.49
5	4.7	12.9	2.9	17.6	2.5	3.4	0.37	23	17	2.10	2.00
6	5.2	12.7	3.5	17.9	2.5	3.5	0.41	28	20	2.57	2.44
0	0	13.0	2.0	13.0	2.5	2.5	0	16	16	-0.09	-0.10
1	2.2	10.9	3.5	13.1	1.1	2.6	0.21	32	26	0.31	0.32
2	3.0	10.4	3.0	13.4	2.0	2.6	0.29	29	22	0.78	0.71
3	3.7	10.6	2.8	14.3	2.1	2.8	0.35	26	20	1.25	1.21
4	4.2	10.6	3.2	14.8	2.1	2.9	0.40	31	22	1.72	1.59
5	4.7	10.2	2.2	14.9	2.0	2.9	0.47	22	15	2.24	2.14
6	5.2	10.3	4.1	15.5	2.0	3.0	0.50	40	26	2.70	2.62
0	0	10.9	1.5	10.9	2.1	2.1	0	14	14	-0.06	-0.12
1	2.2	9.2	2.6	11.3	1.8	2.2	0.24	28	23	0.34	0.52
2	3.0	8.5	2.9	11.5	1.7	2.2	0.35	35	26	0.82	0.90
3	3.7	8.3	3.1	12.0	1.6	2.3	0.44	38	26	1.30	1.29
4	4.2	8.1	3.3	12.3	1.6	2.4	0.52	41	27	1.79	1.81
5	4.7	8.5	3.4	13.2	1.7	2.6	0.55	40	26	2.27	2.36
6	5.2	7.8	3.0	13.0	1.5	2.5	0.66	38	23	2.82	2.91

表-15 エゼクタによる揚砂実験結果 (ノズル 12φ×2)

駆動 圧力 kg/cm ²	駆動 水量 (l/s)	揚土砂 水量 (l/s)	揚土量 (見かけ) (l/s)	吐出土 砂水量 (l/s)	吸込 速度 (m/s)	吐出 速度 (m/s)	体積 流量比 (Qj/Qr)	吸込 含泥率 (%)	吐出 含泥率 (%)	揚程の 計算値 (m)	揚程の 測定値 (m)
0	0	15.6	0	15.6	3.1	3.1	0	0	0	-0.13	-0.09
1	3.0	13.3	0	16.3	2.6	3.2	0.23	0	0	0.34	0.34
2	4.2	12.4	0	16.6	2.4	3.3	0.34	0	0	0.95	0.88
3	5.1	12.1	0	17.1	2.4	3.4	0.42	0	0	1.58	1.52
4	5.9	11.5	0	17.3	2.2	3.4	0.51	0	0	2.24	2.12
5	6.5	11.0	0	17.5	2.1	3.4	0.60	0	0	2.91	2.76
6	7.2	11.2	0	18.3	2.2	3.6	0.64	0	0	3.54	3.41
0	0	17.5	3.4	17.5	3.4	3.4	0	20	20	-0.16	-0.23
1	3.2	15.1	3.4	18.2	2.9	3.6	0.21	23	19	0.27	0.19
2	4.3	14.6	3.6	18.9	2.9	3.7	0.29	25	19	0.83	0.72
3	5.2	13.5	3.7	18.6	2.6	3.6	0.38	27	20	1.48	1.31
4	5.9	13.3	4.2	19.2	2.6	3.8	0.44	31	22	2.07	1.91
5	6.6	13.3	3.3	19.9	2.6	3.9	0.50	25	17	2.73	2.59
6	7.2	13.3	3.8	20.5	2.6	4.0	0.54	29	19	3.34	3.22
0	0	16.1	3.7	16.1	3.1	3.1	0	23	23	-0.13	-0.07
1	3.1	13.6	3.2	16.7	2.7	3.3	0.23	24	19	0.33	0.31
2	4.3	12.6	2.9	16.9	2.5	3.3	0.34	23	17	0.93	0.83
3	5.2	12.3	2.8	17.5	2.4	3.4	0.42	23	16	1.55	1.38
4	5.9	12.5	3.4	18.4	2.4	3.6	0.47	27	18	2.15	1.91
5	6.6	11.7	3.2	18.2	2.3	3.6	0.56	27	18	2.83	2.61
6	7.2	11.9	3.1	19.1	2.3	3.7	0.60	26	16	3.45	3.20
0	0	13.2	3.2	13.2	2.6	2.6	0	25	25	-0.09	-0.04
1	3.1	10.6	2.5	13.7	2.1	2.7	0.29	23	18	0.44	0.46
2	4.2	10.4	1.8	14.6	2.0	2.9	0.41	17	12	1.04	1.00
3	5.1	9.8	2.3	14.9	1.9	2.9	0.52	23	15	1.69	1.59
4	5.9	9.7	2.7	15.6	1.9	3.0	0.61	28	17	2.32	2.17
5	6.6	8.7	1.8	15.3	1.7	3.0	0.75	21	12	3.04	2.80
6	7.2	9.2	2.0	16.4	1.8	3.2	0.78	21	12	3.65	3.50
0	0	10.0	1.9	10.0	2.0	2.0	0	19	19	-0.05	-0.05
1	3.1	7.6	1.7	10.6	1.5	2.1	0.40	22	16	0.53	0.51
2	4.2	7.8	1.3	12.0	1.5	2.3	0.54	16	10	1.15	1.12
3	5.1	7.5	1.7	12.6	1.5	2.5	0.68	23	13	1.80	1.75
4	5.9	7.0	1.0	12.9	1.4	2.5	0.84	29	16	2.49	2.42
5	6.5	7.2	1.5	13.7	1.4	2.7	0.91	20	11	3.13	3.05
6	7.2	7.0	1.9	14.2	1.4	2.8	0.03	27	13	3.82	3.64

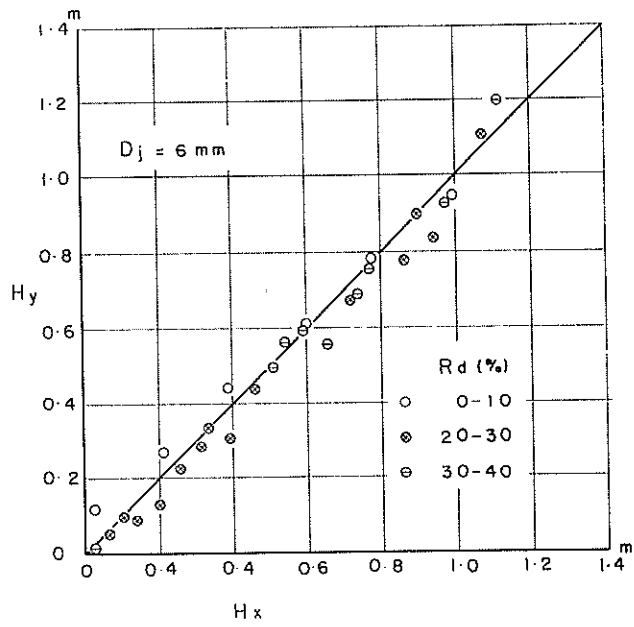


図-3・4 揚程の計算値と測定値 (ノズル $6\phi \times 2$)

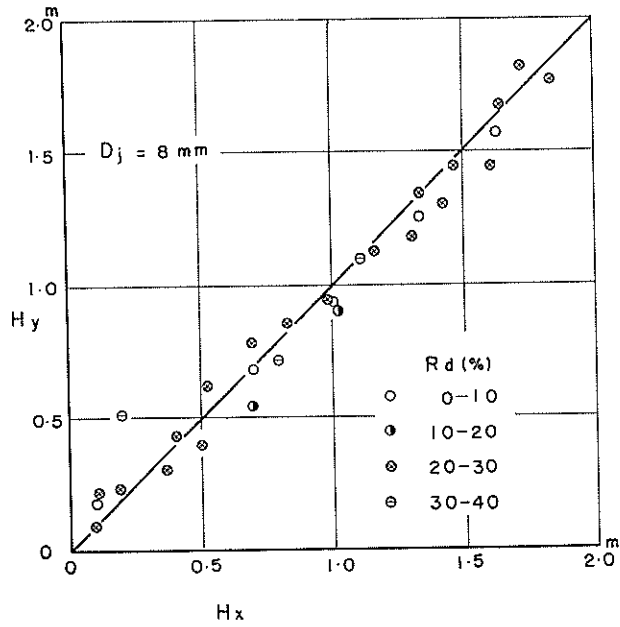


図-3・5 揚程の計算値と測定値 (ノズル $8\phi \times 2$)

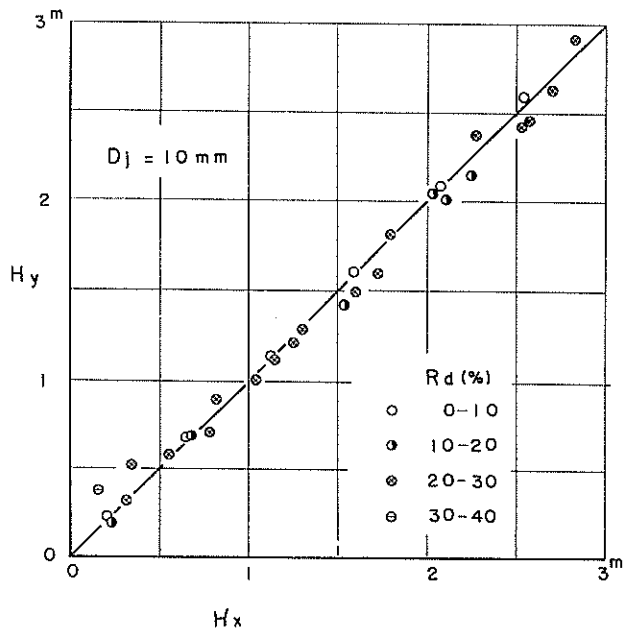


図-3・6 揚程の計算値と測定値 (ノズル $10\phi \times 2$)

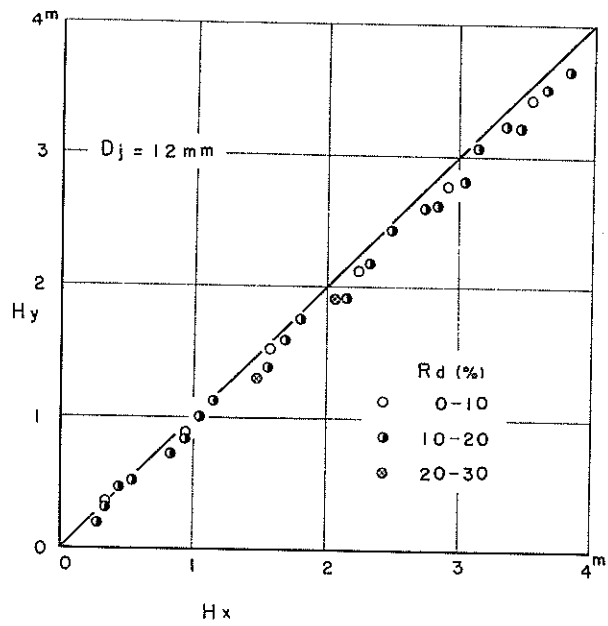


図-3・7 揚程の計算値と測定値 (ノズル $12\phi \times 2$)

4. あとがき

管路内の垂直上昇流れの土砂水においては、土粒子は周囲の水にくらべて、粒群干渉沈降速度相当分だけ遅い速度で上昇している。この干渉沈降速度の計算法については、粒径の大小、混合の割合によって、いくつかの式が提案されており、その計算値には若干の差異があるが土粒子の直径の小さい範囲では、沈降速度も非常に小さい。土砂水の管内平均速度にくらべて、粒群干渉沈降速度が十分小さい範囲について、エゼクタによる揚砂時の駆動水量、揚土砂水量、吐出土砂水量と揚程の関係を求めるにあたっては、揚土砂水および吐出土砂水は、土砂の混入によって比重の増加した性質の様な流体（均質流体）として、近似的にとりあつかうことができる。また、揚程の計算にあたっては、エゼクタの吸込部および吐出部の垂直管内濃度を知る必要があるが、吐出部の垂直管内濃度は、管端からの吐出濃度と近似的に等しいものとみてさしつかえなく、吸込部の濃度は駆動水量の関数として、計算により求めることができる。

本報告では、以上の観点にたつて、揚砂エゼクタのノズル出口と吐出口の間に運動量理論を適用するなどの方法により、揚砂時の各部流量と揚程の関係を表わす計算式を導いた。また別に、ノズルの直径の異なる4種類の模型エゼクタを使用して、駆動圧力、土砂水の管内速度、含泥率等を種々変化させて、広範囲の実験を行なった。この実験による揚程の測定値と、上述の方法で求めた揚程の計算値を比較したところ、多少のばらつきはあるが両者はかなりよい一致を示した。

模型エゼクタは口径が80.7mmで、実用のポンプしゅんせつ船の吸込管径にくらべてかなり小さいことや、実船の吸込管は傾斜した状態で使用されているなどの理由により、本報告に示した計算式を、大深度しゅんせつ船の吸込管内加圧用エゼクタの揚程（または加圧量）の計算に適用するには、まだ若干の検討を要するが、本報告が揚砂エゼクタを有する管路の、設計の指針を与える程度の役割は果たしうるものと信ずる。

参考文献

- 1). 守口照明、藤井喜一郎：エゼクタとうず巻ポンプの直列運転性能について、港湾技術研究所報告、第7巻3号、1968年9月
- 2). 守口照明、藤井喜一郎：水噴射エゼクタ設計数表、港湾技術資料、No.44、1968年3月
- 3). 守口照明：水噴射エゼクタの設計について、港湾技

術研究所報告、第6巻2号、1967年1月

- 4). 松田任、近藤基、守口照明：水噴射エゼクタの理論と設計に関する基礎的研究、港湾技術研究所報告、第5巻5号、1966年1月
- 5). 守口照明：エゼクタの揚水効率について、港湾技術研究所報告、第4巻4号、1965年2月
- 6). 寺田進：ハイドロリックコンベヤ、日刊工業新聞社昭和37年8月、77P
- 7). 文献6.に同じ、71P~73P
- 8). 文献6.に同じ、67P
- 9). 文献6.に同じ、71P
- 10). 文献6.に同じ、73P
- 11). 文献6.に同じ、74P
- 12). 文献6.に同じ、75P~76P
- 13). 文献6.に同じ、77P
- 14). 文献6.に同じ、78P
- 15). 近藤基ほか：ホッパーの沈でん効果に関する研究、ドラグサクシオンしゅんせつ船海鵬丸のエコノミックローディング、港湾技研資料、No.23、昭和41年4月、13P
- 16). 八木得次ほか：作業船調査報告(その6)、海鵬丸実船試験報告、港湾技研資料、No.23、昭和41年4月、7P
- 17). 宮井登志男ほか：海竜丸しゅんせつ試験報告、港湾技研資料、No.11、1964年4月、3P
- 18). ポンプしゅんせつ船実船試験報告(土質としゅんせつ委員会)、港湾技術研究所機材部・部内配布資料、昭和41年2月、21P
- 20). 八木得次ほか：鹿島港におけるポンプ船試験報告、港湾技研資料、No.45、昭和43年3月、12P
- 21). 八木得次ほか：金沢港におけるポンプ船試験報告、港湾技研資料、No.60、1968年9月、56P
- 22). 港湾技術研究所：地均し装置の模型実験、第13回港湾機械技術研究会資料、昭和41年11月、8P
- 23). 岩田尚生：しゅんせつ用グラフの研究(第2報)、グラフの相似と掘削限界および開閉用鋼索の巻かけ数について、港湾技術研究所報告、第5巻7号、1969年6月、23P
- 24). 菊谷徹、石塚浩二：砂の粒径について、港湾技術研究所機材部・部内配布資料、昭和41年7月、2P

記号表

Ae：エゼクタの吐出口面積

Aj：ノズル出口の面積

Ar：エゼクタの吸込口面積

C : 吐出正味体積濃度
 Cd : 流量係数
 Ck : 抗力係数
 D : エゼクタの口径
 d : 広がり管入口断面
 d' : 広がり管出口断面
 Dj : ノズルの直径
 Do : 球体の直径
 Dp : 管路の直径
 Ds : 非球体と同体積の球の直径 (または単に粒径)
 e : エゼクタの吐出口断面
 g : 重力の加速度
 he : エゼクタの吐出圧力 (清水液柱高さで表わす)
 hi : エゼクタの駆動圧力 (清水液柱高さで表わす)
 hr : エゼクタの吸込圧力 (清水液柱高さで表わす)
 hs : ノズル出口の圧力 (清水液柱高さで表わす)
 hu : 垂直管単位長さ当りの土砂輸送時圧力損失水頭
 (清水液柱高さで表わす)
 hw : 垂直管単位長さ当りの清水だけが流れたときの
 圧力損失水頭
 Hx : エゼクタの揚程の計算値
 Hg : エゼクタの揚程の測定値
 i : エゼクタの駆動水入口断面
 j : ノズルの出口断面
 k : 係数
 Le : エゼクタの吐出部分の長さ
 Lr : エゼクタの吸込部分の長さ
 n : 係数
 p : 間隙率 (%)
 Pe : エゼクタの吐出圧力
 Pi : ノズル出口の駆動水の圧力

Pr : エゼクタの吸込圧力
 Ps : ノズル出口の水の圧力
 q : 管内正味体積濃度
 Qe : 吐出全体積 (吐出土砂水量, 単位時間当り)
 qe : エゼクタの吐出部管内正味体積濃度
 Qj : 駆動水量 (単位時間当り)
 Qm : 吐出土量 (見かけ, 単位時間当り)
 Qr : 揚土砂水量 (単位時間当り)
 qr : エゼクタの吸込部管内正味体積濃度
 r : エゼクタの吸込口断面
 Rd : 吐出土砂水の含泥率 (見かけ, %)
 Re : レイノルズ数
 Rs : 吸込土砂水の含泥率 (見かけ, %)
 s : エゼクタの吸込部断面
 T : 母液の温度 (°C)
 t : エゼクタののど部入口断面
 Ve : エゼクタの吐出速度
 Vj : ノズル出口の駆動水の速度
 Vm : 土砂水の管内平均速度
 Vr : エゼクタの吸込速度
 Vsd : 単球体の自由沈降速度
 Vsg : 垂直管内の粒群干渉沈降速度
 Vso : 非球体単粒子の自由沈降速度
 Xv : 駆動水と揚土砂水の体積流量比
 γ_e : 吐出土砂水の比重
 γ_r : 揚土砂水の比重
 γ_w : 駆動水の比重
 δ : 粒子の真比重
 δ_i : 母液の比重
 λ : 流体抵抗係数
 ν : 水の動粘度

(1969.9.26 受付)

港湾技研資料 No. 92

1969・12

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 大洋印刷産業株式会社
東京都千代田区丸ノ内2-20