

港湾技研資料

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

No. 16 February, 1965

作業船調査報告

(その4) 鉄拐号実船調査報告

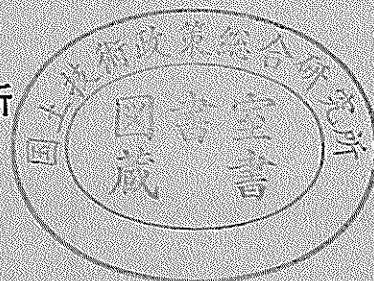
近藤 基・早乙女 保二・岩田 尚生

(その5) 飛竜号実船調査報告

木原 純孝・守口 照明

昭和40年2月

運輸省港湾技術研究所



作業船調査報告(その5)

エゼクタしゅん濺船 飛竜号しゅん濺試験報告

近 藤 基* 早乙女 保 二***
岩 田 尚 生** 木 原 純 考****
守 口 照 明**

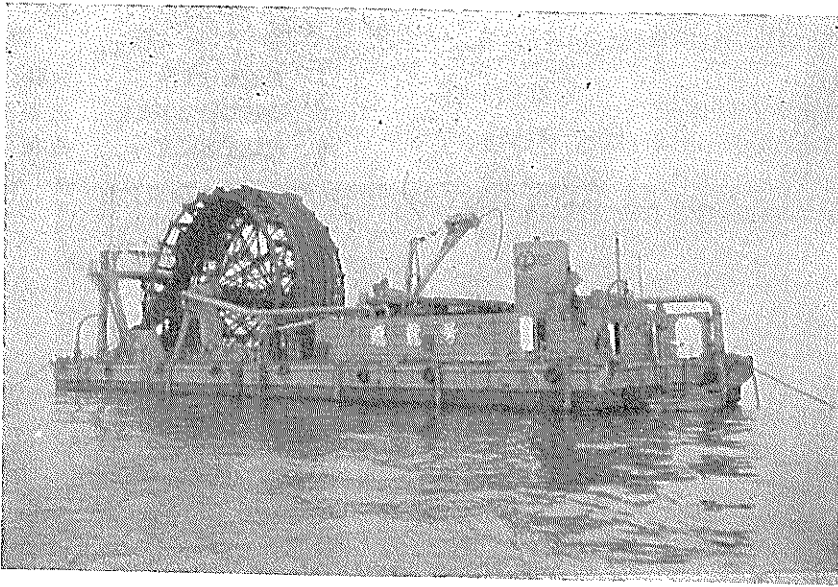


写真-1 飛竜号の全景

-
- * 作業船研究室長
 - ** 作業船研究室
 - *** 主任研究官
 - **** 流体輸送研究室

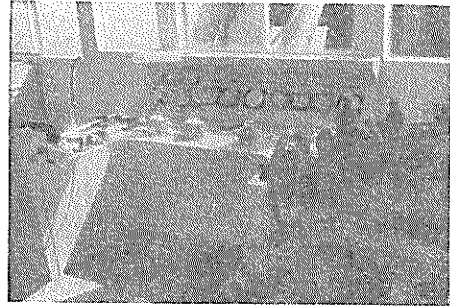
エゼクタ しゅん濺船 飛竜号しゅん濺試験報告

目 次

1. ま え が き	21
2. 飛竜号の調査内容	21
2-1. 飛竜号の概要	21
2-2. 実船試験の目的	22
2-3. 実船試験の内容	22
3. しゅん濺試験結果および考察	25
3-1. しゅん濺深度線図と含泥率	25
3-2. 掘進用ジェットの切崩し性能	35
3-2-1. ジェット掘削についての考察	35
3-2-2. 飛竜号のジェット切崩し能力	36
3-3. 排送用エゼクタ性能	39
3-3-1. 飛竜号型式のエゼクタについての考察	39
3-3-2. 飛竜号のエゼクタ性能	41
4. 結 論	44



写真—2 操縦室



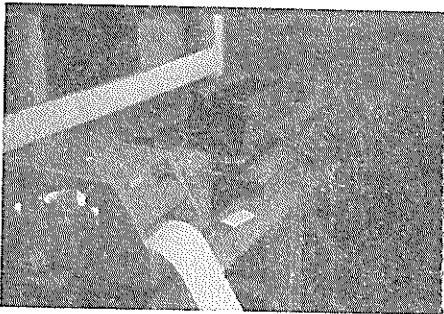
写真—3 操縦席



写真—4 機関室



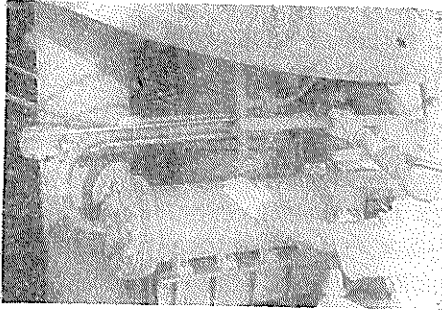
写真—5 放射線式含泥率計



写真—6 オシログラフによる
記録風景



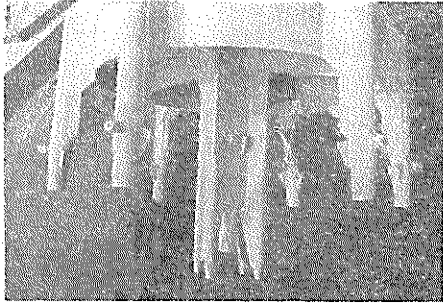
写真—7 デプスメーターに
よる記録風景



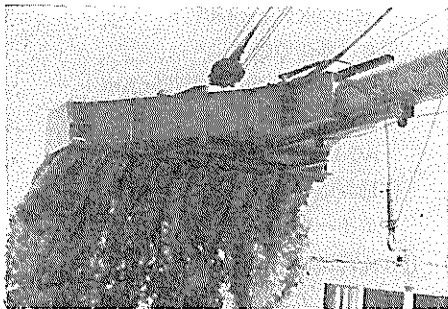
写真—8 デプスメーターヘッドの
取付状況



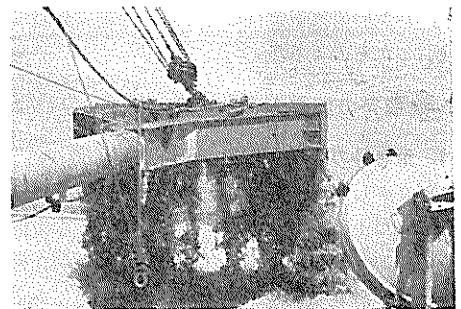
写真—10 ジェット切崩
装置し



写真—9 通常作業時の掘進用
ジェットノズル配置



写真—11 排送管からの泥水
流出状況 (a)



写真—12 排送管からの泥水
流出状況 (b)

1. ま え が き

阪神地区の港湾建設工事、並びに埋立工事を行なうに際し、建設用資材としての砂、砂利や土砂の供給をどのような方法で行なうか、先ず最初に解決すべき重要な問題となつている。すなわち本地区における海底土質は、海底面附近が軟泥層に覆われ、その下方に砂礫層があるために、一般のポンプしゅん濺船等ではしゅん濺できる深度の土質は、大部分が軟泥層で建設並びに埋立に適していないためである。それゆえ大型土砂運搬船やコンベヤ、ダンプトラック等により長距離輸送を行なう方法、あるいは本報告において述べる飛竜号のような大深度しゅん濺を行なうエゼクタしゅん濺船によつて、軟泥層の下方にある砂礫を採取する方法が用いられている。

エゼクタしゅん濺船飛竜号は、上記のような大深度しゅん濺を行なうことを目的として、1961年に第3港湾建設局において計画され、石川島播磨重工業株式会社において建造された新しい型式のしゅん濺船である。建造後は神戸港工事事務所に所属して、神戸港外の灘浜沖、第3防波堤沖で建設工事用砂礫採取作業を行なつていく。今までに試みられた他の多くの新しい創意によつて生れた製品が、最初から充分な性能を発揮することが少なかったように、この飛竜号も未解決の多くの問題を残し、更にしゅん濺性能を高めるための調査研究を行なう必要があると考えられた。そこで当所機材部では、その手はじめとして飛竜号のしゅん濺装置について、最も基本的条件でしゅん濺を行なう場合の性能調査を試みた。

本報告は、1963年に実施した飛竜号のしゅん濺試験結果の内容を紹介し、これと今までの通常作業状態での成績や、作業船研究室で行なつてきた模型実験結果等と比較検討したものである。

2. 飛竜号の調査内容

2-1. 飛竜号の概要

エゼクタしゅん濺船は、ジェットノズルにより切崩し攪拌された土砂混合水を、エゼクタ装置で水力輸送するためにその名称が与えられた。飛竜号は、現在神戸港外において、海底の軟泥層を貫き、その下層にある良質の砂礫を採取してこれを各種建設用資材として供給するための作業を行なつている。図-1にその一般配置を示す。

エゼクタしゅん濺船は、他の種類のしゅん濺船と比較して磨耗部分が少なく、構造が簡単な点が有利であること以外に、これをポンプしゅん濺船と比較すると、しゅん濺用ポンプの吸込側圧力は、 $-0.6 \sim -0.7 \text{ Kg/cm}^2$ が

限度となり、したがつてポンプしゅん濺船では、経済的なしゅん濺深度が20m強であるのに対し、エゼクタしゅん濺船では、エゼクタ装置を吸込口近くに配置できるために、吸込側圧力が問題となることがなく、深度数十米に達する大深度しゅん濺作業も容易に行なうことができる。その作業方法を飛竜号の場合について説明すると、先ず海底の軟泥層を掘進用ジェットで約2~3mの直径で貫き、その下層の砂礫を掘進用ジェットと水平切崩し用ジェットを交互に用いて直径が6m程の円柱形に切崩し土砂混合水をエゼクタで排送するようになつている。次に飛竜号の主要目を示す。

(1) しゅん濺深度

最大しゅん濺深度	水面下 100m
----------	----------

(2) 船体主要寸法等

長さ(垂線間)	45.0m
巾(型)	14.5m
深さ(型)	3.5m
満載吃水	約 1.7m
甲板間高さ(船体中心線にて)	
上甲板—機関室囲壁頂部	2.5m
上甲板—機関室甲板	7.0m
操縦室甲板—操縦室頂部	2.3m

(3) 機関部および電気部

エゼクタポンプ用原動機	
ディーゼル 1250PS×720r.p.m.	1台
排送ポンプ用原動機(改造後はジェット加圧用原動機となる)	
ディーゼル 750PS×500r.p.m.	1台
主発電機	
AC 130KVA×450V	1台
主発電機用原動機	
ディーゼル 200PS×720r.p.m.	1台
補助発電機	
AC 15KVA×450V	1台
補助発電機用原動機	
ディーゼル 20PS×900r.p.m.	1台

(4) しゅん濺機械部

エゼクタおよびジェット用ポンプ	
容量 1900m ³ /h 全揚程 105m	
回転数 720r.p.m.	1台
ジェット加圧用ポンプ(改造前は排送用ポンプ)	
容量 1000m ³ /h 全揚程 120m	
回転数 1639r.p.m.	1台
エゼクタおよびジェット切崩し装置	1式
排送用ゴムホース	

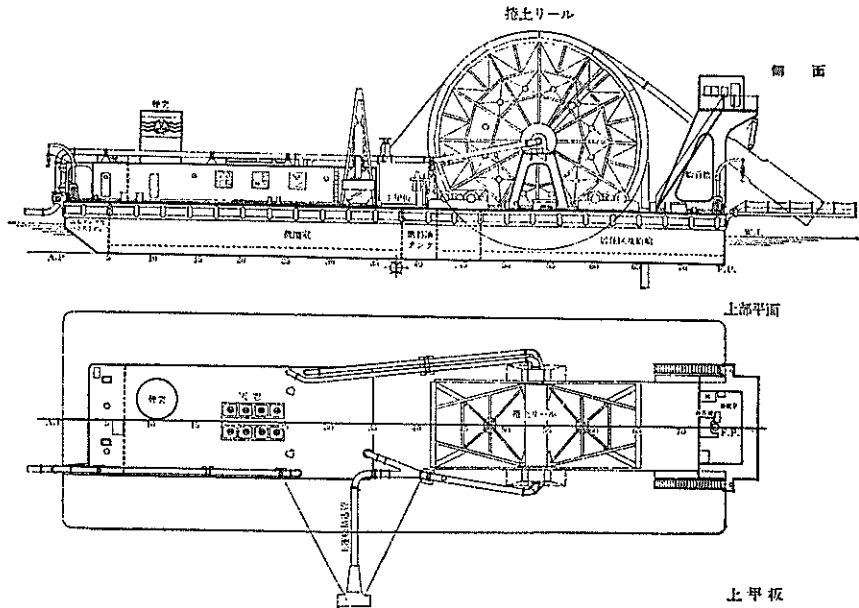


図-1 飛竜号一般配置図

内径 0.38m 長さ 9.5m	
耐圧(常用)3Kg/cm ²	9本
エゼクタ給水用ゴムホース	
内径 0.30m 長さ 9.5m	
耐圧(常用)10.5Kg/cm ²	9本
ジェット給水用ゴムホース	
内径 0.30m 長さ 9.5m	
耐圧(常用)22.5Kg/cm ²	9本
含泥率測定装置	
放射線式含泥率計 放射線源コバルト60	1台

上記のしゅん濺機械部の内、ジェット加圧用ポンプは建造時に排送用中継ポンプが取り付けられていたものを1963年にジェット切崩し能力を増すための改造工事が行なわれ、現在エゼクタおよびジェット用ポンプ水量の約半数を加圧して、ジェット切崩し作業を行なわせるためのジェット加圧用ポンプに取換えられている。

2-2. 実船試験の目的

飛竜号は、すでに述べたように全く新しい型式の大

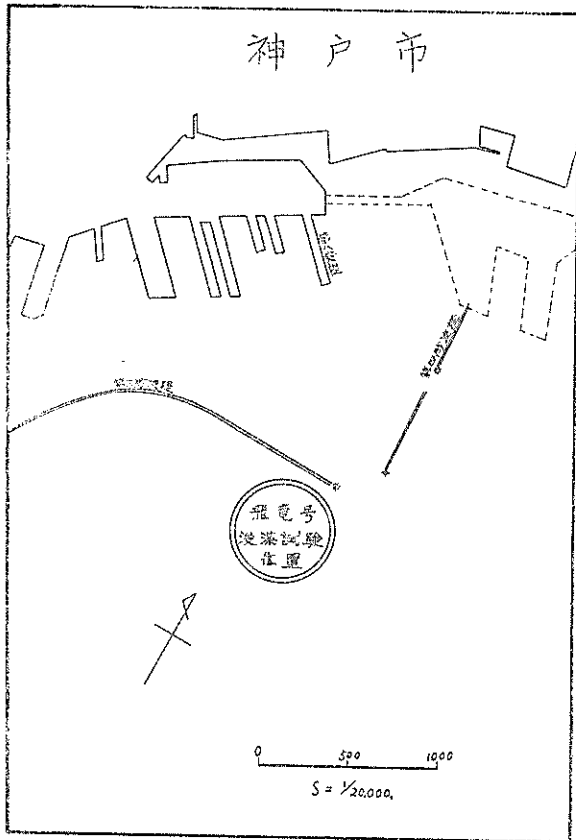
型しゅん濺装置を備えた大深度しゅん濺船である。したがって飛竜号の建造に際しては、小型模型による二三のしゅん濺試験結果と、断片的な関係技術資料によつて計画されたもので、夫々の装置を組合せた総合的しゅん濺性能の判定基準は、未だ確立されていない現状である。そこで飛竜号についてはじめての実船試験として、主に次の事項について調査することを計画した。

- (1) 飛竜号の現状のは握と問題点の抽出。
- (2) ジェット切崩し性能について、実船の場合と模型実験結果との比較。
- (3) エゼクタ性能について、実船の場合と模型実験結果との比較。

上記の調査は、飛竜号の最も基本的な状態において試験し、模型実験結果との比較検討、および解析を容易にするためにしゅん濺装置の一部を単純化し、更に作業方法を通常の場合とは若干異なる操作を行なうよう計画した。

2-3. 実船試験の内容

試験は11月7日から9日までの3日間にわたつて、神



図一 飛竜号しゅん濺試験位置

戸港第3防波堤外の図一に示す地点で行なつた。飛竜号のしゅん濺性能は、神戸港の海底土質に対してジェット切崩し能力と、エゼクタとの組合せの良否に大きく影響されると考えられるので、試験は表一に示すよう

に4種類のジェット圧力に対して一定のエゼクタ圧力で運転するときの種々の測定を行ない、更にエゼクタの駆動水圧を変化させるときの水運転時エゼクタ性能を求めた。

試験時の測定内容を表一に示す。エゼクタおよびジェットポンプ、およびジェット加圧ポンプの吸込圧力、吐出圧力は、操縦室内の計器盤にある圧力計の他にオシログラフにも記録させたが、これはポンプ切替時の過渡現象の観察と、操縦室での測定値の確認を行なうためである。含泥率の測定も同様に操縦室内の含泥率計の他に排送管重量の変化をオシログラフに記録させた。また各原動機については、夫々のポンプの作動状態を確かめるための測定を行なつた。

しゅん濺試験の実施に当つては、飛竜号のしゅん濺装置を最も基本的な状態におくために、特に複雑な構造となつている掘進用ジェットノズルを図一に示す配置に変更した。これは必要最小数のノズルによる配置で、今までに行なつた室内実験結果を参考として定めたものである。水平切崩し用ジェットノズルは、試験時に水圧シリンダの作動が不能であつたので使用できず、もつぱら掘進用ジェットによる試験を行なつた。掘進用ジェットノズルの寸法を次に示す。

掘進用中央ノズル

直径 28mm 垂直下向 1本

〃 円周ノズル

直径 28mm 20度斜外向 6本

表一 しゅん濺試験内容

試験番号	試験月日	時 間	ジェット圧力	エゼクタ圧力	備 考
No - 1	11月 7日	11時24分~15時50分	13.5 Kg/cm ²	9.5~9.7 Kg/cm ²	しゅん濺試験
No - 2	11月 8日	9. 40 ~11. 52	18.5 "	9.3~9.7 "	"
No - 3	11月 8日	12. 05 ~13. 54	11.5 "	9.6~9.8 "	"
No - 4	11月 8日	14. 01 ~16. 14	16.0 "	9.3~9.8 "	"
水 運 転	11月 9日	10. 18 ~11. 19	13.7~19.5 "	6.0~10.0 "	送水試験

表-2 測定項目

測定対象	測定内容	測定方法
エゼクタおよびジェットポンプ用原動機	排気温度, ラック目盛, 回転数	原動機付計器による
ジェット加圧用原動機 (元排送用原動機)	" " "	"
エゼクタおよびジェット用ポンプ	吸込圧力, 吐出圧力	操縦室計器盤の圧力計および オシログラフ
ジェット加圧用ポンプ	" "	" "
排送管	含泥率	操縦室含泥率計および オシログラフ
しゅん濘装置	しゅん濘深度 切崩し深さ	排送管目盛 (しゅん濘深度) デプスマータ (切崩し深さ)
土運船泥艙	泥艙水量 (送水試験時) しゅん濘土量	泥艙目盛 (泥艙水量) レツド (しゅん濘土量)

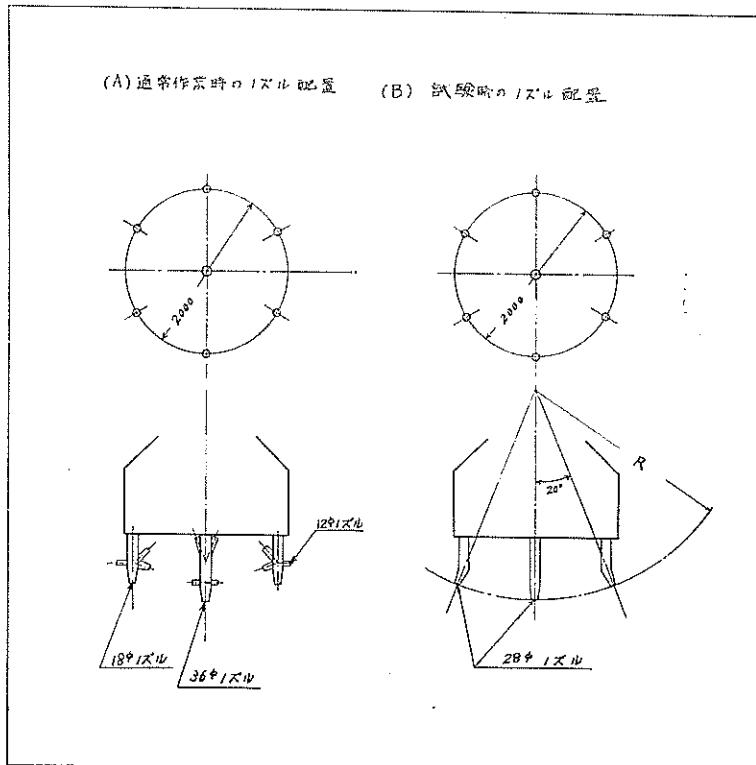


図-3 飛竜号のノズル

3. しゅん濇試験結果および考察

3-1. しゅん濇深度線図と含泥率

しゅん濇試験は、2日間にわたって4個のしゅん濇穴をあけ、その間に各種の測定を行なった。夫々の試験における時間の経過としゅん濇深度の関係をグラフに画いたものを図-4から図-7に示す。またこの間の含泥率計の記録を図-8から図-10に示す。試験 No 1 は、含泥率計が故障していたためにオシログラフの記録から含泥率を求めた。図-11はオシログラフによる記録の一例である。含泥率計の記録からプランメータで面積を求めて、これとエゼクタ性能線図とから揚土量や平均含泥率を計算することもできる。土運船泥船で検収するしゅん濇土量は、含泥率計の積算土量指示値の約90%であり、これは土運船外へ流出する水に含まれて流れ去る土砂の量と一致することが、今までの実績によつて確かめられている。本試験結果では、含泥率計、オシログラフ、土運船での検収土量、および含泥率計の記録からの計算値等から求める揚土量、平均含泥率の値に若干のくい違いを生じているので、種々の条件を考慮した修正値を用いて比較検討した。

さて、図-12は図-4から図-7までのしゅん濇深度線図を重ね合せたものである。図ではジェット切崩し装置が深度15mを通過する時間を基準としている。図の深度24~26m附近には有機質の硬い粘土層があり、この部分を掘進するのにかなりの時間を要していることがわかる。試験時には最大の掘進速度を得るように装置の操作を行なっているが、ジェット圧力の相違による掘進速度への影響は、資料が少なく判定が困難である。含泥率計の記録では、ジェット圧力が大である程含泥率も大である。したがつて含泥率の大小は、しゅん濇穴断面積の大小にも大きく影響されていると考えられる。

上記のわれわれが実施した球面ノズル配置の場合のしゅん濇試験結果と、飛竜号の通常作業状態の成績とを比較してみよう。図-13は第3港湾建設局、および石川島播磨重工業株式会社によつて、飛竜号改造直後にわれわ

れと同じ場所で行なわれた通常作業状態での試験成績の一例である。球面ノズル配置による試験時ジェット圧力は、通常作業状態のジェット圧力の平均値 19Kg/cm^2 より小であり、同じ条件での比較はできないが、両方のジェット給水用送水管での全水頭で比較すると、球面ノズル配置の試験 No-2 の全水頭が図-13の値にほぼ等しく、他は球面ノズル配置の場合の値が小さい。図-14は通常作業状態での試験 No-1 の含泥率計の記録である。深度線図を重ね合せた図-13において、試験 No-1 から No-5 までと No-6 から No-10 までの2種類の傾向に分割されていることが認められる。これは No-6 から No-10 の試験では、しゅん濇穴相互の間隔が6~9m程度のものや、以前にしゅん濇作業を行なつたことのある区域内で実施したために、相隣るしゅん濇穴の影響によつて掘進が容易であつたものと考えられる。ゆえに No-6 から No-10 までを除外し、われわれの実施した球面ノズル配置の試験成績と No-1 から No-5 までの通常作業状態での成績とを比較したものを図-15に示す。図に実線で示した球面ノズル配置の場合は、有機質粘土層を通過するに要する時間が、通常ノズル配置の場合よりも大で掘進が困難であるが、他の軟泥層や砂礫層に対しては殆んど変らぬ掘進速度を得ている。

図-16は飛竜号建造当初に灘浜沖で実施した試験成績の一例である。これと図-13の掘進速度を比較すると、図-16の掘進速度の方が大である。飛竜号建造当初のジェット圧力は 10Kg/cm^2 以下で、ノズル配置は図-13の通常作業状態のときと同じである。ゆえに掘進速度はジェット圧力やノズル配置の他にしゅん濇土質により大きく影響されることが考えられる。

表-3はわれわれの実施した球面ノズル配置の場合の試験成績をまとめたものであり、表-4は通常作業状態の場合の試験成績である。表から平均含泥率を比較すると通常作業状態のノズル配置の場合よりも球面ノズル配置の方が同じ条件での平均含泥率が大であり、一般の砂礫層掘進には球面ノズル配置が有利であると考えられる。

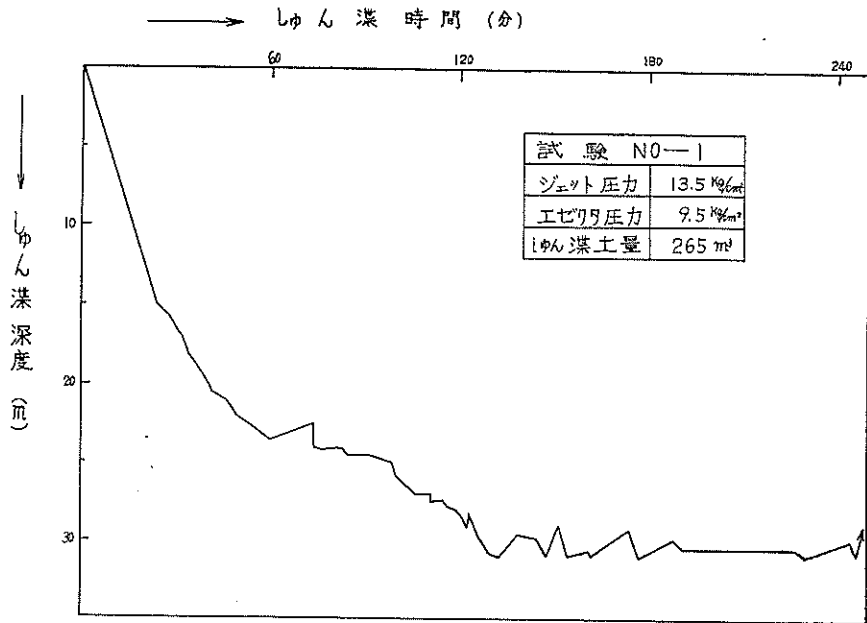


図-4 時間-深度線図 (試験No-1)

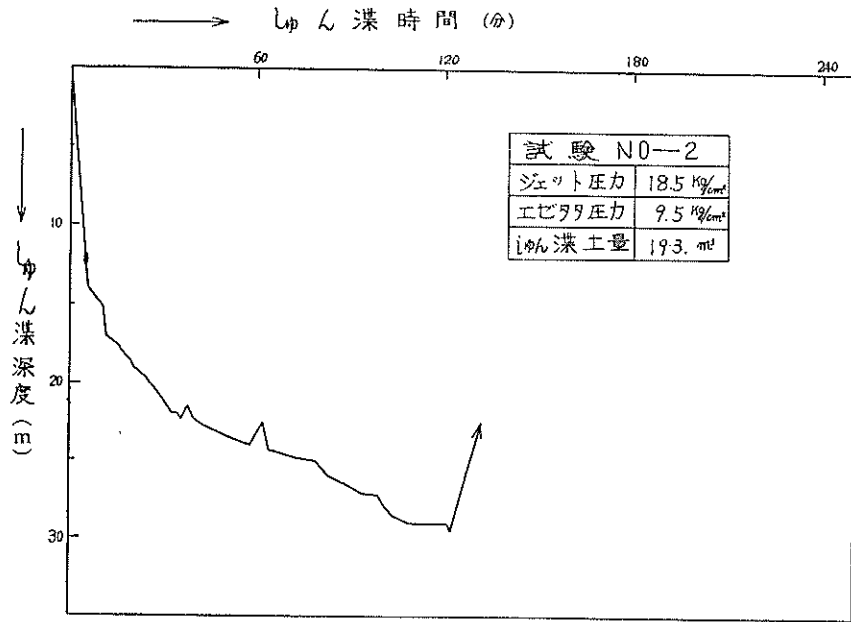


図-5 時間-深度線図 (試験No-2)

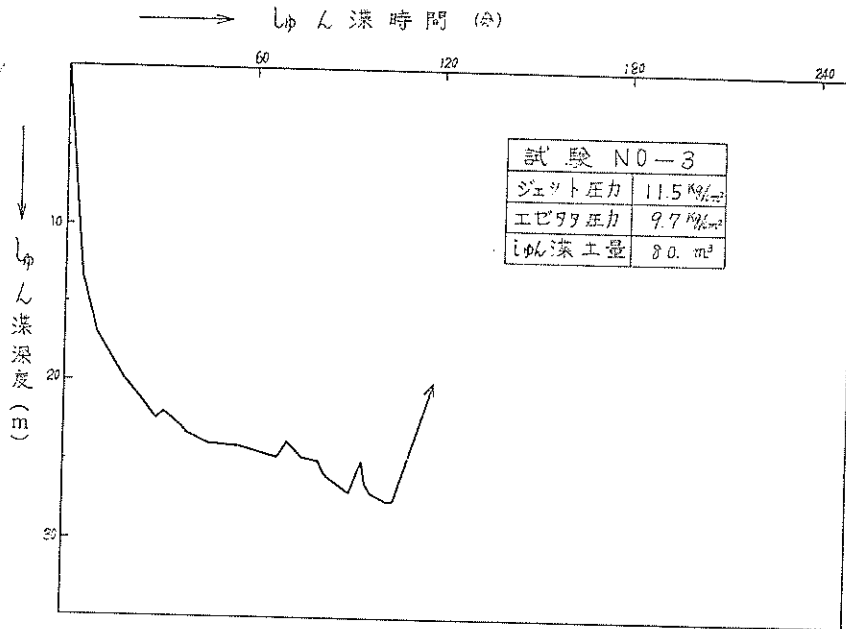


図-6 時間-深度線図 (試験No3)

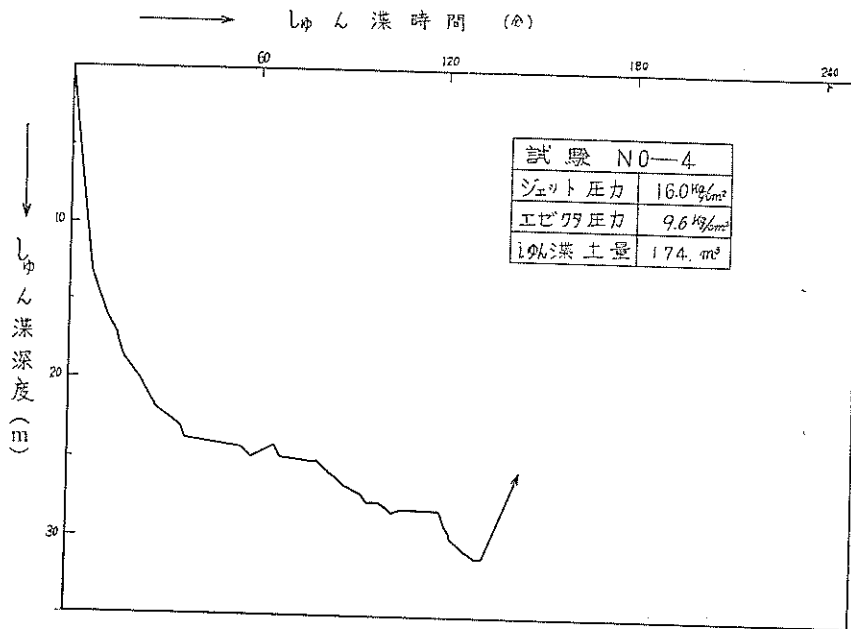


図-7 時間-深度線図 (試験No-4)

試験 NO-2

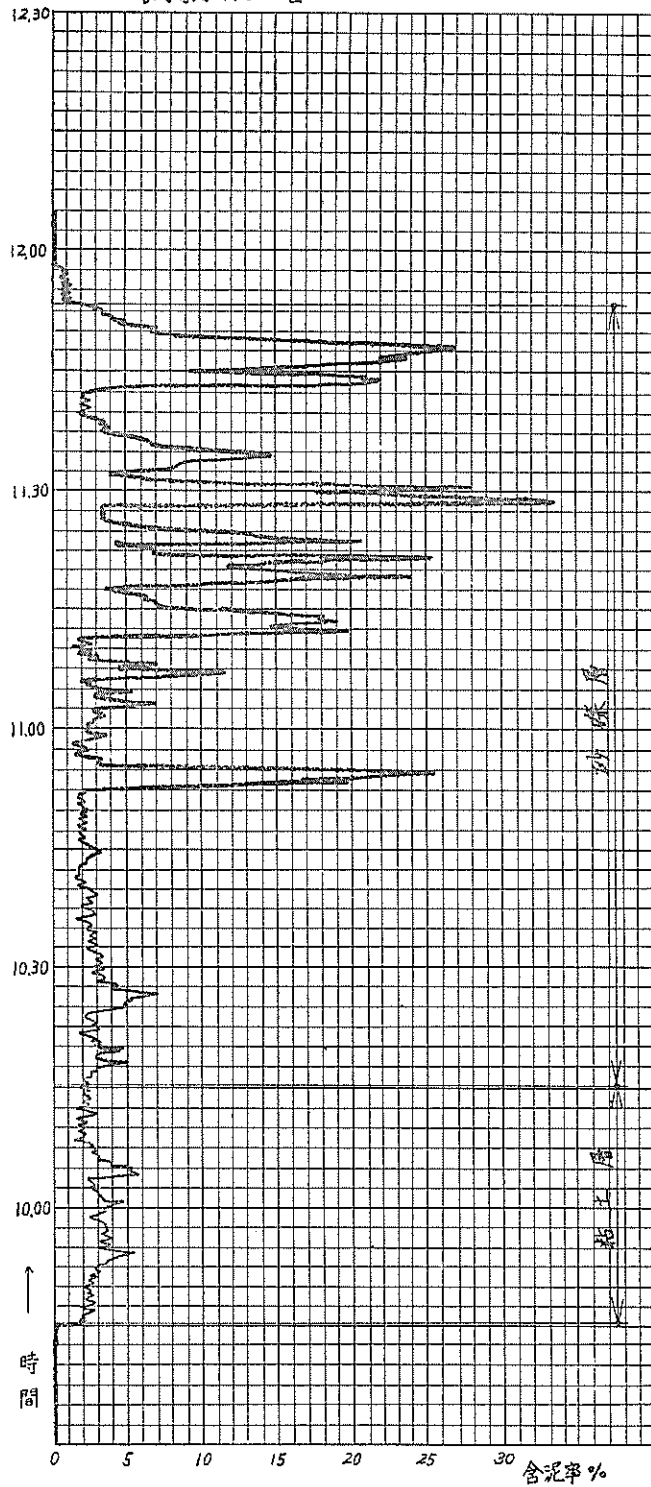


図-8 含泥率計の記録 (試験 No-2)

試験 No-3

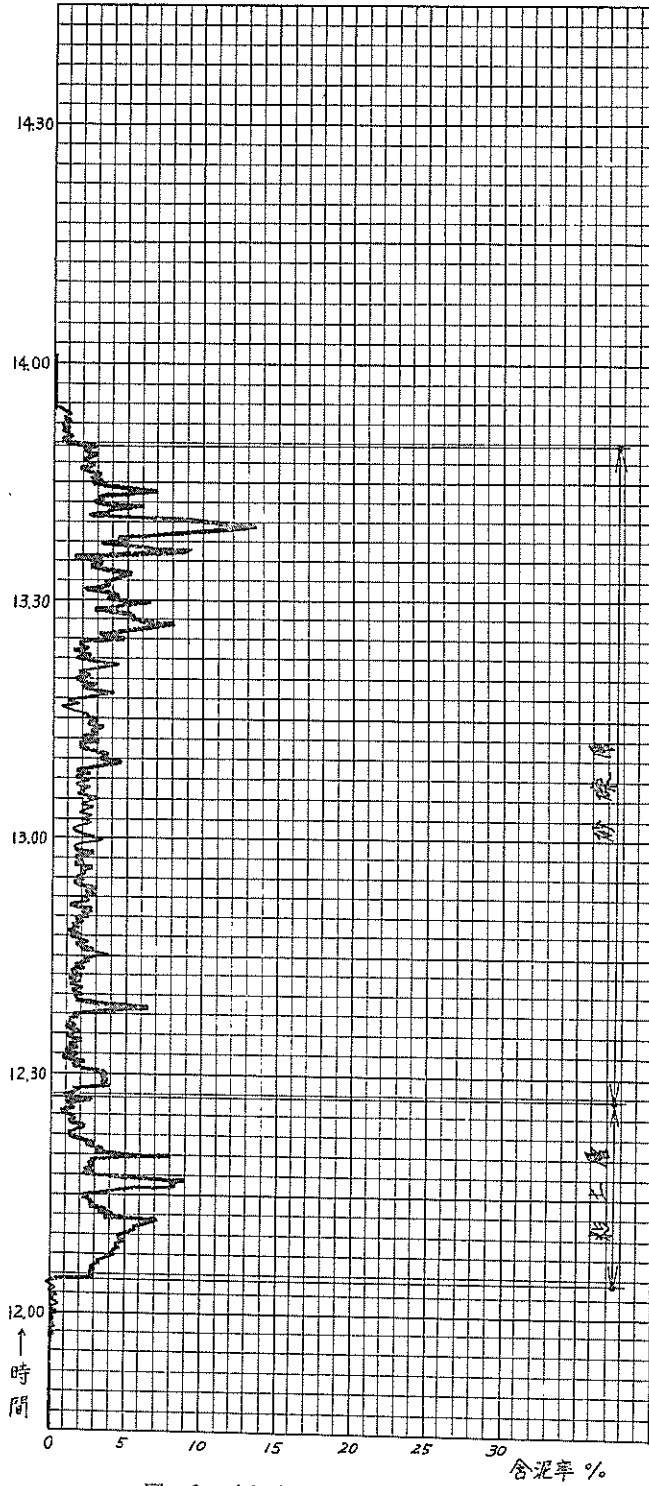


図-9 含泥率計の記録 (試験 No-3)

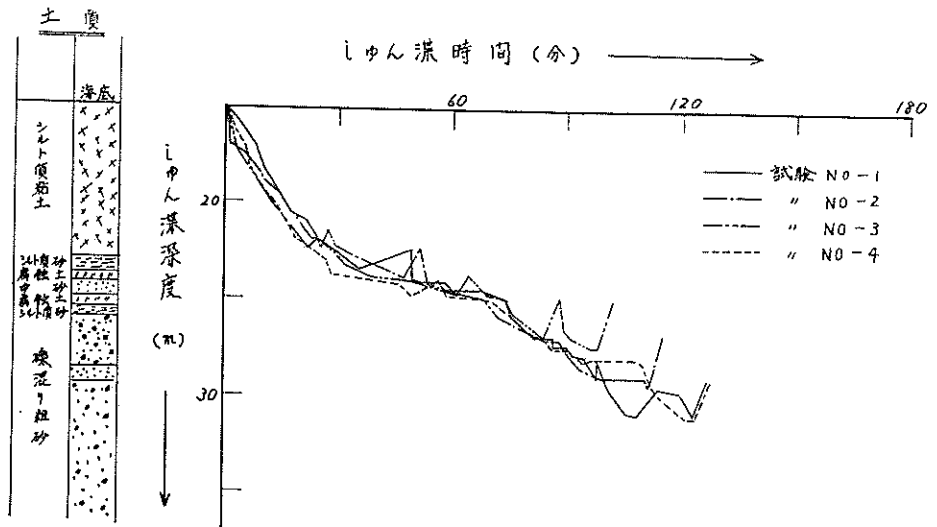


図-12 しゅん深試験結果 (球面ノズル配置 No-1~No-4)

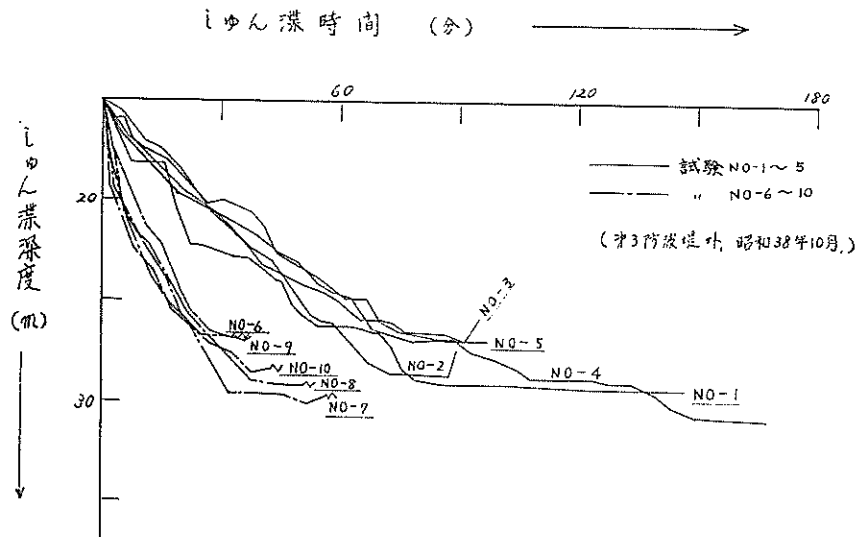


図-13 改良直後のしゅん深試験成績 (三建, 石川島資料)

表一3 本試験の球面ノズル配置での試験成績

試験番号	No—1	No—2	No—3	No—4
水深 (m)	13.2	12.8	13.25	13.25
最大しゅん濇深度 (m)	31.1	29.5	27.5	31.0
ジェット圧力 (Kg/cm ²)	13.5	18.5	11.5	16.0
エゼクタ圧力 (Kg/cm ²)	9.5~9.75	9.3~8.7	9.6~9.8	9.3~9.8
揚土量 (m ³)	294	214	89	193
しゅん濇時間 (時間・分)	4・01	2・06	1・45	2・12
1時間当り揚土量 (m ³ /h)	74	102	51	88
平均含泥率 (%)	4.4	6.0	3.0	5.2

表一4 改造直後の通常作業状態での試験成績

試験番号	No—1	No—2	No—3	No—4	No—5
水深 (m)	13.0	13.75	12.75	12.57	12.6
最大しゅん濇深度 (m)	30.9	28.7	27.0	31.0	27.0
ジェット圧力 (Kg/cm ²)	17.9	19.85	19.2	18.5	18.5
エゼクタ圧力 (Kg/cm ²)	9.7	9.3	9.4	9.2	9.1
揚土量 (m ³)	15.8	73.0	8.30	60.5	45.0
しゅん濇時間 (時間・分)	2・06	0・42	0・48	2・15	1・04
1時 当り揚土量 (m ³ /h)	78.6	104	104	26.5	45.0
平均含泥率 (%)	4.4	5.8	5.8	1.5	2.5

3—2. 掘進用ジェットの切崩し性能

3—2—1. ジェット掘削についての考察

ジェットによる掘削の問題は、噴流についての種々の現象は比較的求め易いが、掘削の対称となる土質については、その種類が多くかつ掘削土質としての分類もできていない現状なので、一般に行なわれている土質試験結果から掘削土量を求めることは困難である。ジェットによる土砂の切崩し限界を求めるための実験を行なった結果、砂や砂利に対しては二三の仮定によつて次の関係式を得ている。(文献—1) すなわちノズル口と土面の距離が0の場合に、

$$L = \frac{1.12\nu^{\frac{1}{3}}(D_n V_n)^{\frac{2}{3}}}{\sqrt{g d_m}} - 0.032$$

ここに L = ノズル口からの切崩し深さ (m)

ν = 水の運動粘性係数 (m²/sec)

D_n = ノズル口直径 (m)

V_n = ノズル口での水の噴出速度 (m/sec)

g = 重力の加速度 (m/sec²)

d_m = 砂粒の平均粒径 (m)

図—17は砂(粒径 0.7~1.0mm)を切崩した場合の実験結果である。上記の実験から切崩し土量 q については容積は深さの3乗に比例するから、掘削に要する時間経過を考えない場合に種々の土質に対して、

$$q \propto Q_n V_n$$

ここに Q_n = ノズルからの噴出流量 (m³/sec)

で表わすことができる、したがつて飛竜号の掘進用ジェット装置の場合も、ノズルの配置が一定で最大の掘進速度を得るように運転される場合の単位時間当り揚土量

試験 N0-4

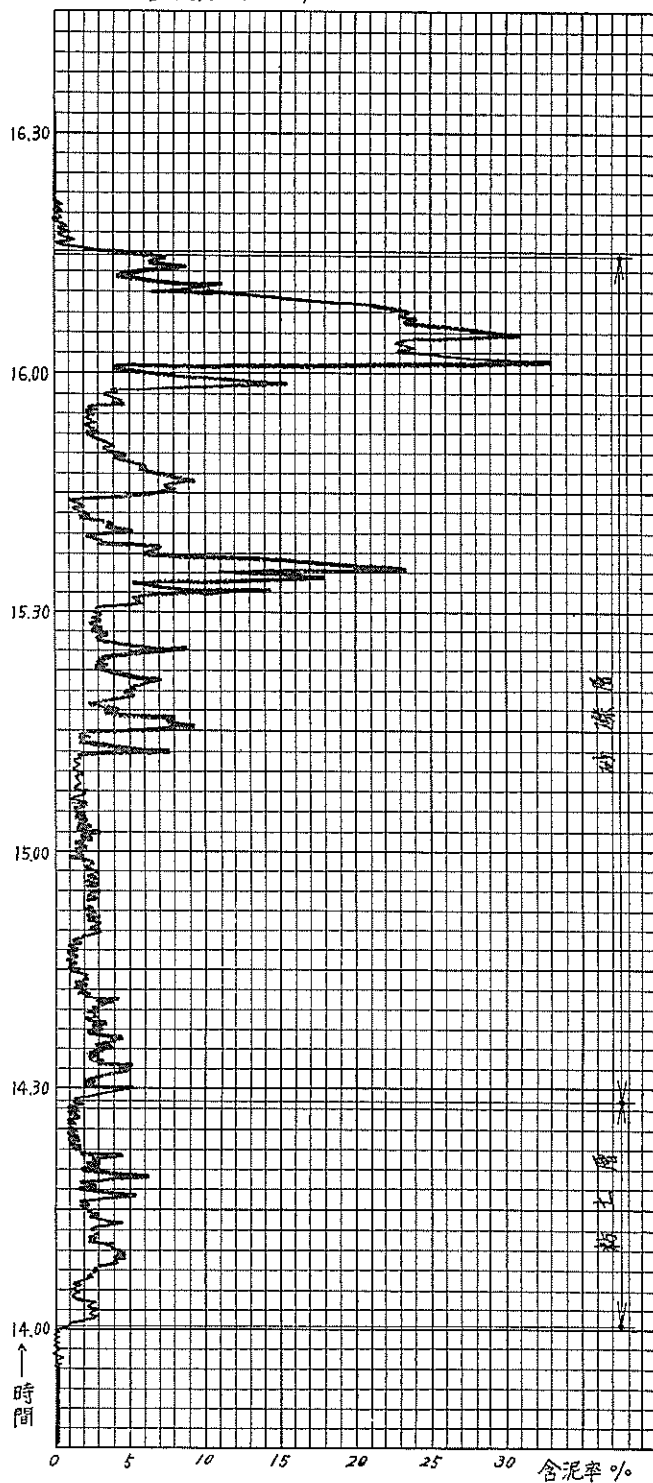


図-10 含泥率計の記録 (試験 No-4)

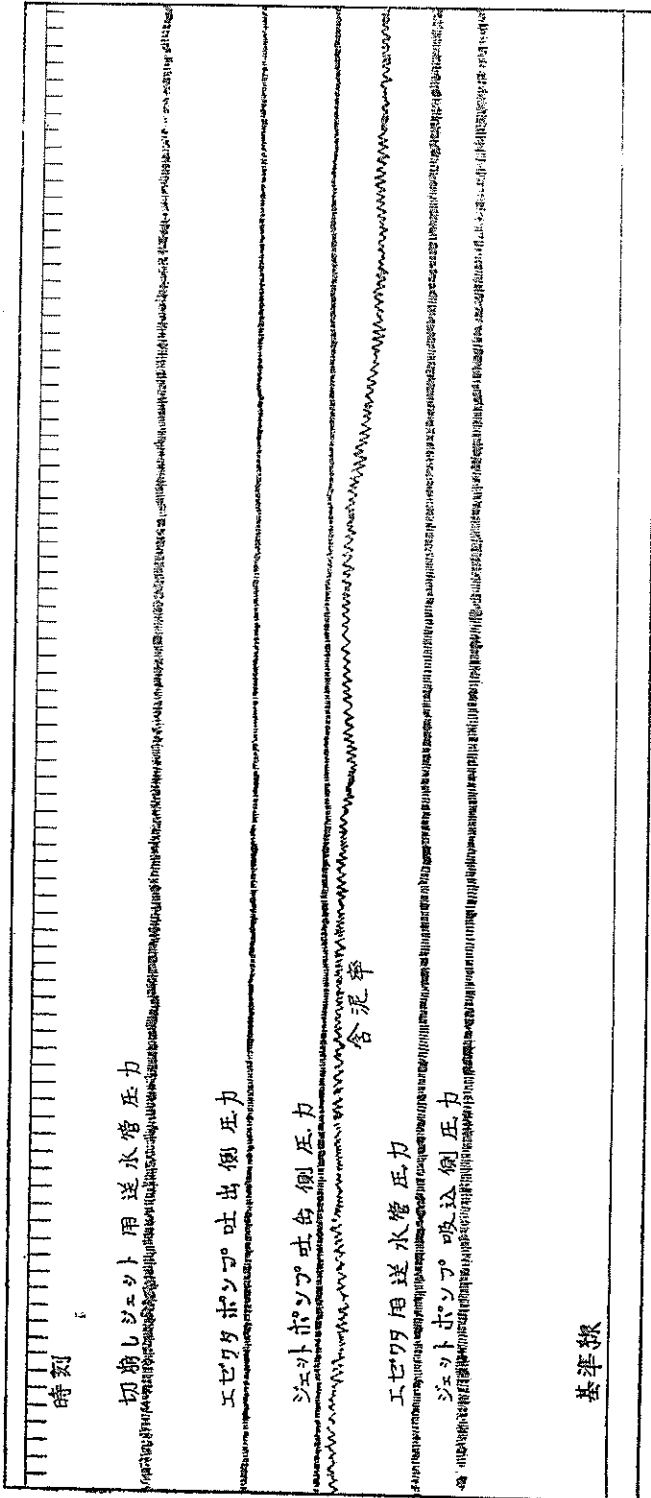


図-11 オシログラフによる記録の一例 (試験No-1)

q_n は次の関係になると考えた。

$$q_n \propto Q_n \sqrt{P_n - P_w}$$

ここに P_n = ノズル口前でのジェット圧力

(Kg/cm²)

P_w = ノズル口外の静水の圧力 (Kg/cm²)

上式で排送用エゼクタは十分な排送能力を有し、切崩された土砂は完全に排送できる場合を考えている。

飛竜号試験時の掘進用ジェットノズルは、直径 28mm のものが 7 本球面上に配置され、夫々のノズルから同時に水が噴出する。2 本以上のノズルから同時に水が噴出する場合に切崩し穴の形状はどのようになるか、簡単な 2 次元の実験によつて調べた結果を図-18 に示す。図でノズルからの噴出速度が小さい間は、夫々のノズルの下に個々の切崩し穴ができていたが、噴出速度がある値以上に達すると切崩し穴の形状は、1 本のノズルによつて切崩されているときと同じような形状となる。次に図-19 は切崩されて浮揚してくる土砂を順次に取除く場合は切崩し穴の深さが大なることを同様な 2 次元実験によつて示したものである。(文献-6)

飛竜号試験時の球面ノズル配置は、上記のような種々の模型実験結果を参考として定めたもので、夫々のノズルの前方に互いに干渉しない最大の切崩し穴が掘れるように計画した。図-21 は飛竜号の建造当初に灘浜沖において実施した試験結果から、その平均切崩し深さを求め

たものである。切崩し穴の深さと直径の比は、はじめのノズル口と土面の距離の他に土質によつても大きく変化し、掘削の困難な土質程直径が小さくなるのが確かめられている。

3-2-2. 飛竜号のジェット切崩し能力

飛竜号のしゅん濇能力については、現状でエゼクタ性能は十分な余力があり、ジェットによる切崩し能力が不足していると考えられている。しゅん濇土量を増すには掘進速度と切崩し穴の断面積をより大きくすることが必要である。本しゅん濇試験では前述のように掘進速度は各試験共殆んど変らぬ値を得た。切崩し穴の断面積について図-22 に穴の平均直径で比較してみた。夫々のジェット圧力が異なるために一概に比較することはできないが、断面、大きさはしゅん濇時間に大きく影響されているようである。図の試験 No-1 は深度 30m に達してからのしゅん濇時間が 2 時間以上もあり、この間も常に含泥率約 5% を得ている。ゆえに深度 30m 附近の断面積は相当大きくなっているものと考えられ、本試験において試みたノズルの球面配置方法は、通常作業に用いられているノズル配置よりも横方向への切崩し能力が優れており、したがつて平均含泥率が大きであつたものと考えられる。垂直方向への掘進能力は、すでに述べたように有機質粘土層の貫通に難があり、この部分に費した時間だけ通常作業状態のノズル配置の場合より遅くなる。

図-23 は文献-1 に述べた方法によつて単位時間当り

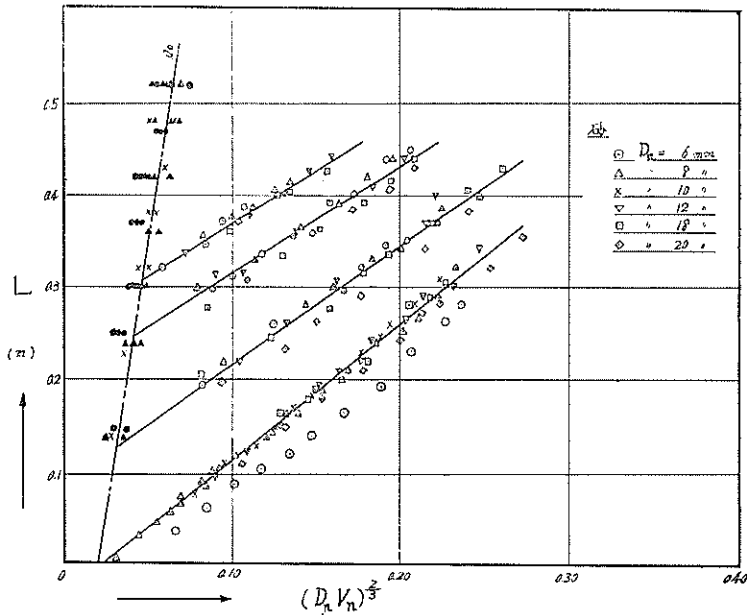


図-17 砂の切崩し深さ (模型実験)

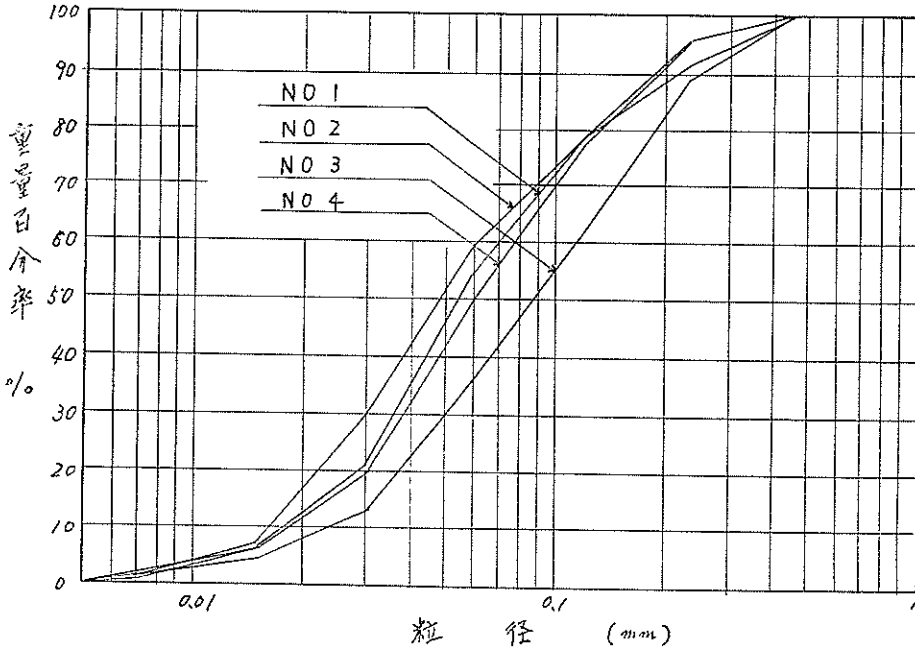


図-24 粒径加積曲線 (しゅん漂土砂)

3-3. 排送用エゼクタ性能

3-3-1. 飛竜号型式のエゼクタについての考察

飛竜号に装備されているエゼクタの構造を図-25に示す。この場合のエゼクタ性能は文献-2の管口外から噴入する型式の噴流装置に適用する式から、次のようにして計算することができる。先ずディフューザ部分での圧力の変化を拡大管の式によつて求める。図-25において

$$\begin{aligned} \frac{P_a - P_{a0}}{\gamma} &= \frac{1}{2g} \left(\frac{A_a}{A_{a0}} v_a \right)^2 - \frac{v_a^2}{2g} - \frac{f}{2g} \left\{ \left(\frac{A_a}{A_{a0}} v_a \right)^2 - 2v_a \frac{A_a}{A_{a0}} + v_a^2 \right\} \\ &= \frac{V_a^2}{2g} \left\{ \left(\frac{A_a}{A_{a0}} \right)^2 - 1 - f \left(\frac{A_a}{A_{a0}} - 1 \right)^2 \right\} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式(3)を文献-2の圧力比と流量比の関係式に代入すると、

$$\begin{aligned} \frac{P_a - P_s}{P_j - P_s} &= \frac{(P_{a0} - P_s) + (P_a - P_{a0})}{P_j - P_s} \\ &= \frac{\frac{A_j}{A_{a0}g} V_j^2 - \frac{A_{a0}}{A_{a0}g} V_{a0}^2 + \frac{V_a^2}{2g} \left\{ \left(\frac{A_a}{A_{a0}} \right)^2 - 1 - f \left(\frac{A_a}{A_{a0}} - 1 \right)^2 \right\}}{V_j^2 / 2g C_v^2} \\ &= \frac{2C_v^2 A_j}{A_{a0}} - \frac{V_a^2}{V_j^2} \left\{ \frac{2C_v^2 A_{a0}^2}{A_{a0}^2} - C_v^2 \left[\left(\frac{A_a}{A_{a0}} \right)^2 - 1 - f \left(\frac{A_a}{A_{a0}} - 1 \right)^2 \right] \right\} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4)$$

上式の C_v は噴出する水の速度係数で、噴出に際して噴流断面に縮流は起らず、したがつて流量係数 $C_w = C_v$ のノズルを考えている。また断面 I と II の間における流れ

$$\frac{P_a - P_{a0}}{\gamma} = \frac{V_{a0}^2}{2g} - \frac{V_a^2}{2g} - f \frac{(V_{a0} - V_a)^2}{2g}$$

ここに γ = 水の単位体積重量 (Kg/m³)

f = 拡大管の損失水頭係数

他の符号は図-25に示した。(圧力の単位は Kg/m³, 流速の単位は m/sec, 面積の単位は m², 流量の単位は m³/sec, g の単位は m/sec² である。)

上式に $V_{a0} = A_a V_a / A_{a0}$ の関係を代入すると、

の摩擦損失は省略した。室内における種々の実験結果では、式(4)によつて求まる関係と実験値はよく一致している。

次にエゼクタで含泥水を輸送する場合の関係式を求めよう。先ず式(3)の水の単位体積重量 γ が含泥水の単位体積重量 γ_s になる。すなわち、

$$\frac{P_a - P_{a0}}{\gamma_s} = \frac{V_a^2}{2g} \left\{ \left(\frac{A_a}{A_{a0}} \right)^2 - 1 - f \left(\frac{A_a}{A_{a0}} \right)^2 \right\} \dots\dots(5)$$

文献-2の方法によつて、図-24の断面IとIIの間に運動量の法則を適用すると、

$$\begin{aligned} A_{a0}P_{a0} + \frac{\gamma_s}{g} Q_a V_{a0} &= A_{a0}P_s + \frac{\gamma}{g} Q_j V_j \\ \therefore \frac{P_{a0} - P_s}{P_j - P_s} &= \frac{1}{\frac{A_{a0}g}{\gamma V_j^2} (\gamma Q_j V_j - \gamma_s Q_a V_{a0})} \\ &= \frac{2C_v^2 A_j}{A_{a0}} - \frac{2C_v^2 \gamma_s}{\gamma} - \frac{V_a^2}{V_j^2} \dots\dots(6) \end{aligned}$$

式(5)と式(6)とから次式を得る。

$$\begin{aligned} \frac{P_a - P_s}{P_j - P_s} &= \frac{(P_{a0} - P_s) + (P_a - P_{a0})}{P_j - P_s} \\ &= \frac{2C_v^2 A_j}{A_{a0}} - \frac{\gamma_s}{\gamma} \left(\frac{V_a}{V_j} \right)^2 \left\{ \frac{2C_v^2 A_a^2}{A_{a0}^2} - C_v^2 \left[\left(\frac{A_a}{A_{a0}} \right)^2 - 1 - f \left(\frac{A_a}{A_{a0}} - 1 \right)^2 \right] \right\} \dots\dots(7) \end{aligned}$$

式(7)が含泥水運転時の管口外から噴入する型式のエゼクタ性能を表わす基本式である。もちろん上式は他の細かい要素を無視しているので厳密には尚多くの問題が残る。(文献-2)

式(7)の関係からエゼクタの使用点を見出すには、排送管々路における吐出揚程を求めることが必要である。送水時および含泥水輸送時の吐出揚程は次式によつて与えられる。(文献-5)

- (1) 送水時の吐出揚程, h_{a0}

$$h_{a0} = h_a + h_{ra}$$

- (2) 含泥水輸送時の吐出揚程, h_{as}

$$\begin{aligned} h_{as} &= \gamma_s h_a + (\gamma_s - 1) h_u + \{1 + \beta(\gamma_s - 1)\} h_{ra} \\ \left. \begin{aligned} \text{ここに } h_a &= \text{吐出側実揚程 (m)} \\ h_{ra} &= \text{吐出管抵抗 (m)} \end{aligned} \right\} \dots\dots(8) \end{aligned}$$

上式の水頭比 $(H_a - H_s)/(H_j - H_a)$ の値は次式によつて 求めることができる。

$$\begin{aligned} \frac{H_a - H_s}{H_j - H_a} &= \frac{\frac{2A_j}{A_{a0}} - (2 - \eta_a) \left(\frac{A_j}{A_{a0}} \right)^2 - 2(2 - \eta_a) \left(\frac{A_j}{A_{a0}} \right)^2 \frac{Q_s}{Q_j}}{1 - \frac{2A_j}{A_{a0}} + (2 - \eta_a) \left(\frac{A_j}{A_{a0}} \right)^2 + 2(2 - \eta_a) \left(\frac{A_j}{A_{a0}} \right)^2 \frac{Q_s}{Q_j}} \\ &\quad - \frac{\left\{ (2 - \eta_a) \left(\frac{A_j}{A_{a0}} \right)^2 - \left(\frac{2A_s}{A_{a0}} - 1 \right) \left(\frac{A_j}{A_s} \right)^2 \right\} \left(\frac{Q_s}{Q_j} \right)^2}{+ \left\{ (2 - \eta_a) \left(\frac{A_j}{A_{a0}} \right)^2 - \frac{2A_j^2}{A_{a0} A_s} \right\} \left(\frac{Q_s}{Q_j} \right)^2} \dots\dots(10) \end{aligned}$$

ここに η_a = デイフューザにおける損失定数
 A_s = 吸込水圧の測定位置の管断面積 (m)
 Q_s = 吸込水流量 (m³/sec)

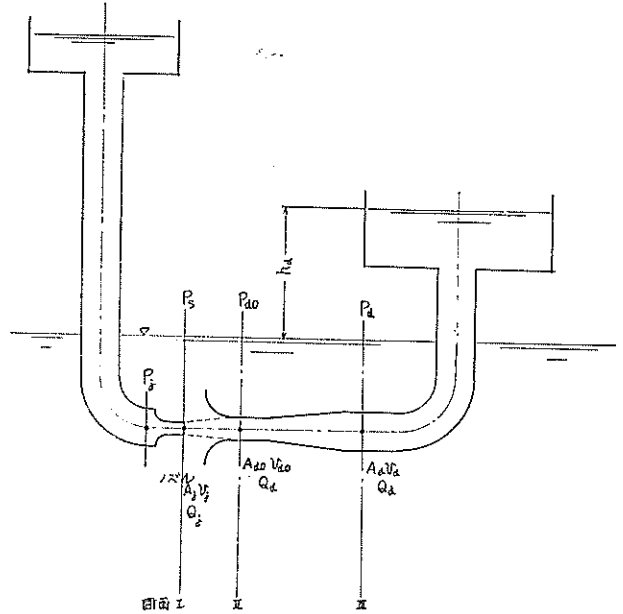


図-25 管口外から噴入する型式のエゼクタ

h_u = しゅん溝深度 (m)
 β = 土質係数

以上述べた式(4)および式(7) (8)から飛竜号型式エゼクタの諸計算を行なうことができる。エゼクタについて上記の計算方法の他に一般には次式によつて直接その揚水時の効率を求める方法が用いられている。(文献-3, 文献-4) すなわち送水時の揚水効率は、

$$\eta = \frac{Q_s}{Q_j} \frac{(H_a - H_s)}{(H_j - H_a)} \dots\dots(9)$$

ここに η = エゼクタの揚水効率
 H_j = 駆動水全水頭 (m)
 H_s = 吸込水全水頭 (m)
 H_a = 吐出水全水頭 (m)
 Q_s = 吸込水流量 (m³/sec)

一般に使用されているエゼクタの計算に際しては、上記の水頭比の値が圧力水頭比 $(P_a - P_s) / (P_j - P_a)$ の値と殆んど一致する。このような場合の式(4)と式(10)の関係を求めると次のようになる。(文献-2) いま、

$$\left. \begin{aligned} E &= \frac{Q_a}{Q_j} & F &= \frac{P_a - P_s}{P_j - P_s} \\ M &= \frac{Q_s}{Q_j} & N &= \frac{P_a - P_s}{P_j - P_a} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(11)$$

の符号で表わすと、 EF と MN の関係は、

$$\eta = MN = (E-1) \frac{F}{1-F} \dots\dots\dots(12)$$

一般にしゅん濇用エゼクタの駆動水流量が与えられているときは、含泥水輸送時の排送管流量が最大となるように計画する。ゆえに上式の揚水時効率のみによつて使用点を定めることはできない。

3-3-2. 飛竜号のエゼクタ性能

飛竜号エゼクタの各部寸法を図-26に示す。図の値を式(4)に代入して送水時の圧力比を $\gamma = 1$ として求めると

$$\begin{aligned} h_{as} &= 1.16 \times 5 + (11.6 - 1) \times 30 + \{1 + (1.16 - 1) \times 3\} \times 0.4 V_a^2 \\ &= 10.6 + 0.59 V_a^2 \end{aligned}$$

図-27にエゼクタ吐出側流量 Q_a と上記の揚程 h_{aw} , h_{as} との関係を示す。 $\gamma_s = 1.16$ の値はこの場合の含泥率約10%に相当し、試験成績の平均含泥率の値上よりも大である。

図-28は今までの計算結果から $E-F$ 特性およびその使用点を求めたものである。図から飛竜号の通常作業時におけるエゼクタ圧力 10 Kg/cm^2 に対し、 Q_a/Q_j の値は $1.8 \sim 2.1$ の範囲であり、排送管の流量 Q_a は平均 $1700 \text{ m}^3/\text{h}$ 程度である。図-29は式(10)によつて MN 特性、および揚水効率を求めたもので、点線は式(4)の結果を式(11)の方法によつて換算した値である。 MN 特性および揚水効率は $\eta_a = 0.70, 0.75, 0.80$ の3種類の値について計算してある。図で η_a が最大となる位置と使用点は一致していない。

図-30は飛竜号の送水試験結果を示したものである。

$$\frac{P_a - P_s}{P_j - P_s} = 0.537 - 30.3 \left(\frac{V_a}{V_j} \right)^2$$

上式の V_a/V_j を Q_a/Q_j に置き換えると、

$$\frac{P_a - P_s}{P_j - P_s} = 0.537 - 0.0884 \left(\frac{Q_a}{Q_j} \right)^2$$

含泥水輸送時の圧力比は、式(7)において $\gamma_s = 1.16$ のときを求めると、

$$\frac{P_a - P_s}{P_j - P_s} = 0.537 - 0.103 \left(\frac{Q_a}{Q_j} \right)^2$$

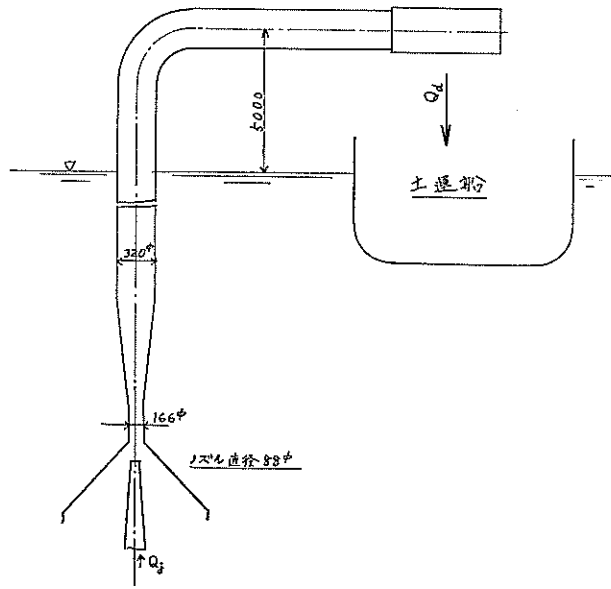
次に式(8)によつて吐出揚程を求める。しゅん濇深度 $h_u = 30 \text{ m}$, 実揚程 $h_a = 5 \text{ m}$, 摩擦損失水頭係数 $\lambda = 0.026$, 管の直径 $D_a = 0.38 \text{ m}$, 管の長さ $L_a = 110 \text{ m}$, 曲管の損失水頭係数 $f_b = 0.2$, 曲管数 $= 8$, 土質係数 $\beta = 3$, $\gamma_s = 1.16$ と置いて計算すると、

(1) 送水時吐出揚程

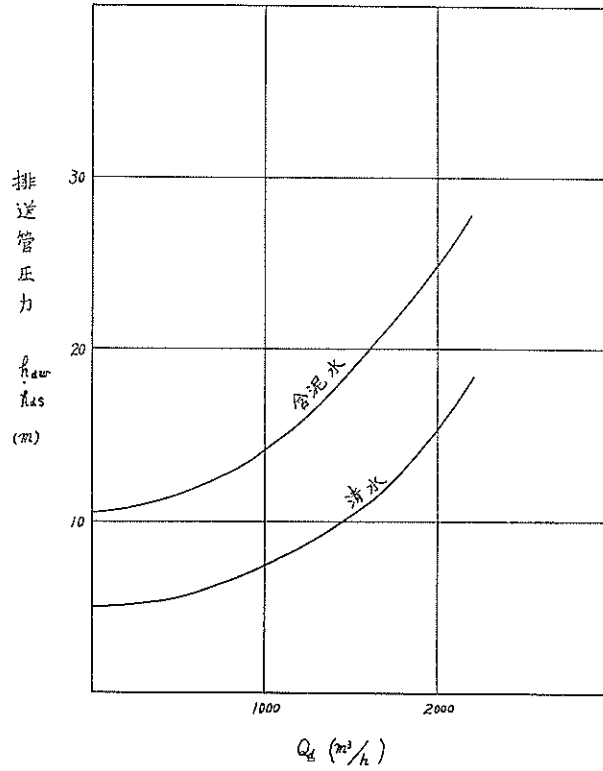
$$\begin{aligned} h_{aw} &= 5 + \left(0.026 \times \frac{110}{0.38} + 0.2 \times 8 \right) \times \frac{V_a^2}{2g} \\ &= 5 + 0.4 V_a^2 \end{aligned}$$

(2) 含泥水輸送時の吐出揚程

図の P_{j1} , P_{s2} , Q_a の符号は夫々の単位を Kg/cm^2 , Kg/cm^2 , m^3/h で示したので添字の下に横線をつけて、式(8)~式(12)に用いた単位のとおり方と区別した。送水試験は土運船内へ排送される水量を水位計で読みとつたものであるが泥艙扉からの漏水があつたために測定値は計算値よりも小となつた。図の二重円で示した測点は飛竜号建造当初の記録である。これらの結果や揚土量と含泥率から計算する値から、飛竜号の排送管流量は上記計算値に充分近い値を得ていると考えられる。飛竜号のエゼクタ使用点と揚水効率の関係については、今後与えられた他の条件も考慮して検討す必要がある。



図—26 飛竜号エゼクタの配置



図—27 吐出揚程の計算値

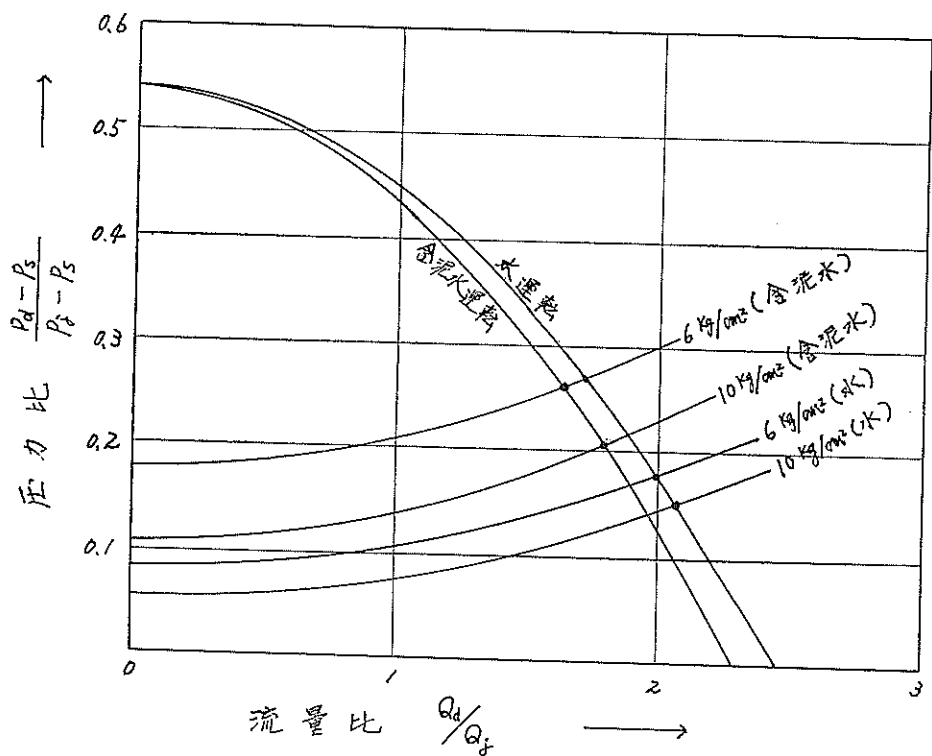


图-28 E - F 特性

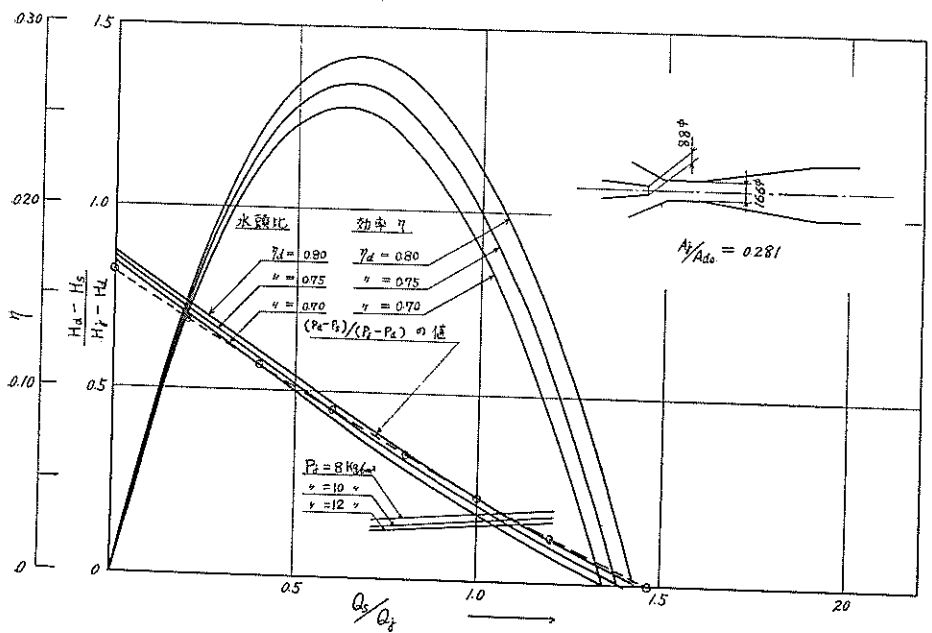
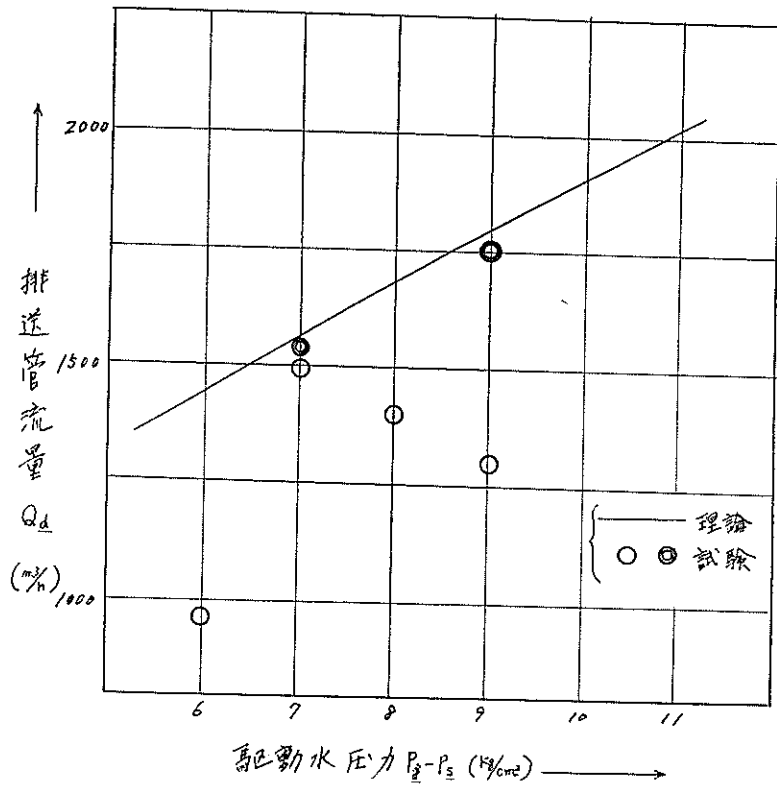


图-29 M - N 特性



図—30 送水試験結果

4. 結 論

以上が飛竜号についてのしゅん濺試験結果の主な内容である。エゼクタしゅん濺船はその歴史が浅く、機能的に未完成のしゅん濺船であり、今後改良すべき点が数多くあると考えられるが、単に4個の穴を掘っただけでその方向を示すのは危険である。ゆえに第3防波堤外の試験地点土質に対する結果のみを取りまとめる。

- (1) ジェットノズルを珪面上に配置した試験時掘進性能は、粘土層貫通が困難であるが、砂礫層掘進時には十分な掘進速度が得られ、ジェット圧力が等しいときの平均含泥率は、通常作業状態のノズル配置による成績よりも良好であった。
- (2) 単位時間当たり揚土量 q_n は、ジェットの $Q_2 \sqrt{P_2}$ の値に比例した。本試験における $Q_2 \sqrt{P_2}$ に対する q_n の値は、通常作業状態の値より小であったが、これは通常作業状態における値には補助ノズルやアジテータ用ノズルからの噴出流量が含まれていないため、全流量を計算に入れて比較すると本試験に用いた珪面ノズル

配置が有利である。

- (3) エゼクタ性能は計算値とよく一致しているようであり、その使用点は最大効率点よりやや外れていると考えられる。今後更に確認検討を要する問題である。

飛竜号は現在平均含泥率数パーセントで運転されており、主としてジェットによる均崩し能力が不足していると考えられる。一般のポンプしゅん濺船では含泥率10パーセント以上で運転されるのが普通であり、飛竜号の場合も切崩し用ジェット装置を更に改良することによつてしゅん濺性能を高めることができると考えられる。たとえばノズル口に回転または往復運動を与える方法はどうであろうか。室内における簡単な実験では、ノズル口を移動させると切崩し深さが大となる。今後更に模型実験等によつてよい性能の切崩し機構を見出し、実船に適用してみたいと考えている。

終りに本試験に際しては、第3港湾建設局、神戸機械整備事務所、神戸港工事々勝所、および飛竜号乗組員の各位に始終御協力を頂いた。また石川島播磨重工業株式会社からは様々の資料を頂き、本報告にも使用させて頂いた。関係者の皆様には厚く御礼申上げる次第である。

参 考 文 献

1. 岩田尚生 ジェットによる掘削について
第2回港湾技術研究所研究発表会概要
2. 岩田尚生 しゅん濇用噴流装置に関する研究
港湾技術研究所報告第3巻3号
3. 植田辰洋 ジェットポンプ
コロナ社水力機械工学便覧
4. 守口照明 エゼクタに関する研究
第2回港湾技術研究所研究発表会概要
5. 長谷川, 八木, 徳永 サンドポンプの性能並びに管
抵抗の実験
運輸技術研究所報告第7巻6号
6. 岩田尚生 掘削についての実験と考察
日本作業船協会ポンプ浚渫船解説書
(未刊)
7. 小岩峇生 神戸港における深掘実験について
第7回運輸技術研究発表会概要
(昭和40年1月日30受付)

港湾技研資料 No. 16

1965年2月

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
横須賀市川間 162

印刷所 株式会社白泉社
東京都港区麻布霞町7