

港湾技研資料

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

No. 294 June 1978

ドラグヘッドの底面圧力分布について

佐	藤	義	博
八	木	得	次
斉	藤		勝

運輸省港湾技術研究所

目 次

要 旨	3
1. ま え が き	3
2. 実験装置及び実験方法	3
2.1 実験装置	3
2.2 模型ドラグヘッド	4
2.3 実験方法及び実験条件	6
3. 実験結果とその考察	6
3.1 停止時における底面圧力分布	6
3.2 走行時における底面圧力分布	14
4. ま と め	18
5. あ と が き	18
謝 辞	18
参 考 文 献	19
記号一覧表	19

On Pressure at a Bed Induced by a Model Drag Head

Yoshihiro SATO *
Tokuji YAGI **
Masaru SAITO *

Synopsis

This paper studies effects of shapes on suction performance of a drag head for a trailing suction dredge through investigations on pressure distribution at a bed under a model drag head. Four model drag heads are circular, square, rectangular and the California type, respectively. These drag heads have almost the same values of area ratio (the area of the suction mouth/that of a suction pipe).

Flow rate, clearance between a drag head and a bed, and trailing rate are varied in experiments, respectively.

The area of the region surrounded by pressure contour, pressure gradient in the vicinity of the circumference of a drag head and the area of the pressure affected region, which relate to the depth and the width of cut in dredging, are employed to evaluate suction performance of a drag head.

When a drag head is stationary pressure contours at a bed are similar to the shape of a drag head. The circular drag head shows higher pressure gradient in the vicinity of the circumference of the drag head and a little reduction in the area of the region surrounded by pressure contours versus the clearance. However, the California type gives a wider pressure affected region outside the drag head.

In case of trailing, experiments show that pressure contours at a bed are the inverse U shaped. Variation in the pump flow rate and the clearance bring significant influence on the absolute value of the pressure, but do not affect greatly the width of the region surrounded by the pressure contour outside the drag head.

These investigations lead to the conclusion that the California type and the square drag head have better performance than others do.

* Member of the Hydraulic Transportation Laboratory, Machinery Division
** Chief of the Hydraulic Transportation Laboratory, Machinery Division

ドラッグヘッドの底面圧力分布について

佐藤 義博*
八木 得次**
斎藤 勝*

要 旨

本資料は、トレーリングタイプ・模型ドラッグヘッドの基本的形状として、吸込管面積比を一定した円形、正方形、長方形及びカリフォルニア形の4種を選び、それらの停止時及び走行時における底面圧力分布から形状効果を比較検討したものである。

実験は、ポンプ吐出量、床盤との間隙及び走行速度をそれぞれ3とおり変えて行なった。

停止時において、ヘッド周辺部での圧力勾配は円形がよいが、ヘッド外部の圧力影響範囲はカリフォルニア形が優れている。走行時では、各ヘッドともポンプ吐出量に変化した場合、ヘッド外部の等圧線の幅に及ぼす影響は小さいが、ヘッド内部の圧力の絶対値は大きく減少する。

以上の結果から総合的に判断すると、正方形、カリフォルニア形が優れている。

1. まえがき

堆積汚泥や土砂を取り除く方法は、(1)反復機械採取方式(グラブ船、ディッパー船)、(2)連続機械採取方式(バケット船)、(3)水力機械採取方式(ポンプ船、ドラッグサクシオン船)などに分けられる。

本実験においては、水力採取という観点からドラッグサクシオン船の最も重要な部分であるドラッグヘッドに注目した。このドラッグヘッドというのは、ドラッグサクシオン船の浚渫能力を決める一つの要素である。すなわち、ドラッグヘッドが海底に接地しながら土砂を吸上げるという浚渫システムの重要な入口要素を構成しているからである。ドラッグヘッドに関する研究は、欧米でも盛んに行なわれている。日本においても現在輸出船を含め10隻程度のドラッグサクシオン船が建造されており¹⁾、各地で浚渫工事に従事している。しかしながら、土砂吸込性能についての形状効果は明らかにされているとは言い難い。

本実験はドラッグヘッドの吸込性能に及ぼす要因の1つである A_g/a_p (ドラッグヘッドの吸込口面積 A_g と吸込管面積 a_p)を、ほぼ一定とした形状の異なる4種類の模型ヘッド(円形、正方形、長方形及びカリフォルニア形)を用いて、底面圧力分布からみた形状効果を比較検討した。

ドラッグヘッド停止時、走行時においてポンプ吐出量、模擬ベッドとの間隙及び走行速度を変えて底面圧力を測定し、ヘッド形状が吸込性能に及ぼす影響を調べた。また、軸対称である円形ヘッドについては、停止時における数値解を求めて、実験値と比較した。

2. 実験装置及び実験方法

2.1 実験装置

図-1と写真-1に使用した実験装置を示す。

水槽①の大きさは、長さ6m×幅47cm×深さ45cmである。水槽の一端は貯水槽となっており注水口と溢水口がある。貯水槽と水槽の間は、水流の乱れを少なくするため整流板を設けている。水槽の中央約3mは、内部を観察するために、両側とも強化ガラス製の窓を設けている。ポンプ装置②は走行台車③上にあり、水槽と平行に敷かれた軌条④の上を移動する。ポンプの仕様は、吐出量 $0.42\text{m}^3/\text{min}$ ×揚程25m×モーター出力3.7kWである。ポンプ系の配管は、吸込側は2インチのガス管とアクリル管をフランジにより接続し、吐出側は1.5インチのガス管を使用した。吐出量の制御は、吐出管の鉛直部に設けた仕切弁で行なった。吐出水は排水槽⑤に溜まり、循環樋⑥を経てもとの貯水槽へ戻る。ポンプ吐出量の計測は、排水槽上を移動する

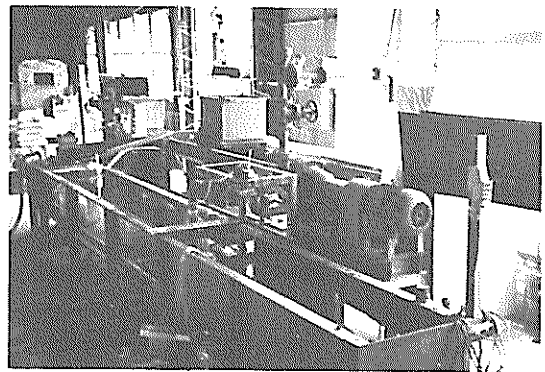


写真-1 実験装置

* 機材部 流体輸送研究室
** 機材部 流体輸送研究室長

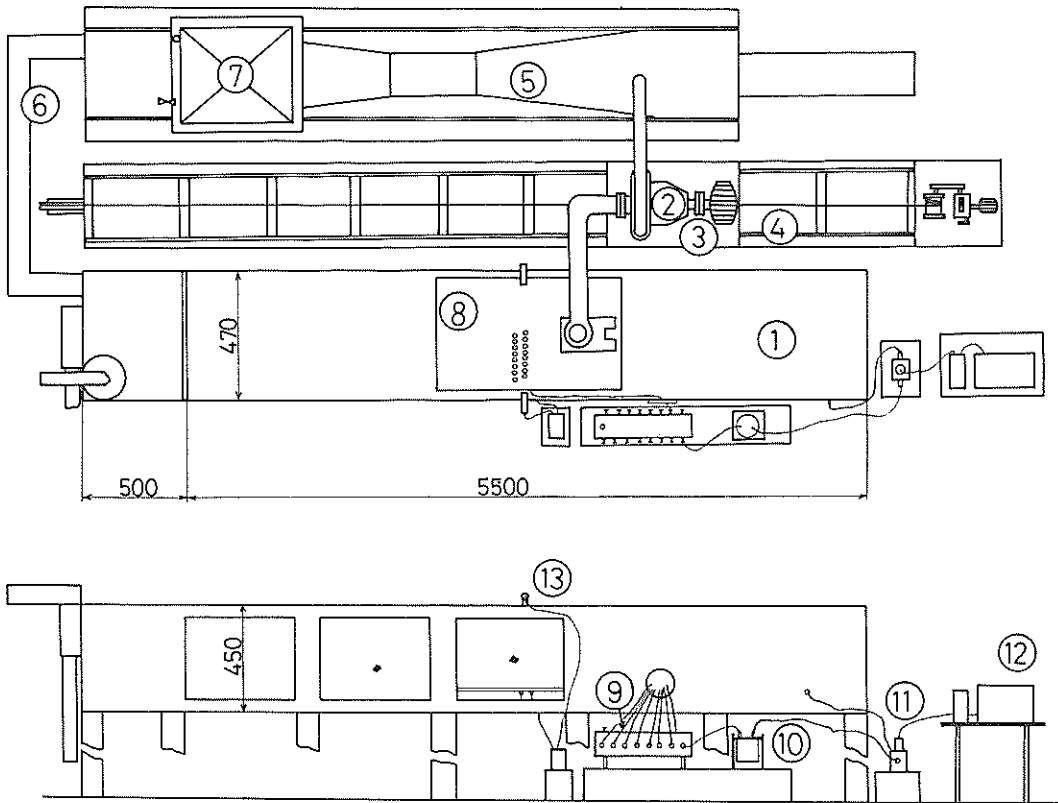
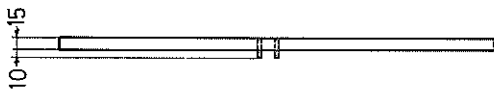


図-1 実験装置概略図



台車に載せた計量槽⑦で行なった。模擬ベッド⑧は、アクリル平滑板でその上面には、図-2に示すように圧力測定用の穴を16個設けた。圧力測定孔で検出された圧力は、切換え装置付きタンク⑨に導びかれ、沈殿びん⑩、圧力変換器⑪（差圧 0.2 kg/cm^2 、元圧 50 kg/cm^2 ）を介して、ペンコーダ⑫にて連続記録させた。光電管⑬は、走行時における計測開始点を求めるのに用いた。

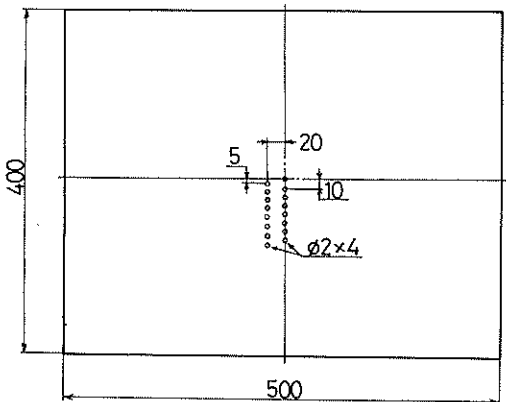


図-2 模擬ベッド(アクリル板)

2.2 模型ドラグヘッド

ドラグヘッドの形状として取り上げるべき基本要因は、吸込口面積とその外形であろう。前者は吸込管面積と吸込口面積とのバランスの問題であるのに対し、後者はその形状として幅広いものがよいか、あるいは細長いものかという、いわゆる形の問題である。

実用化されているドラグヘッドは種々の形が用いられているが²⁾、ここではヘッドの基本形状ということに重点を置いたので、構造的に最も簡単な、円形、正方形、長方形及びカリフォルニア形の4種類の吸込口を取り上げた。表-1及び図3.1~3.4は、ヘッドの寸法形状を示す。これらは、吸込状況を観察できるように、いずれも透明のアクリル樹脂で製作した。

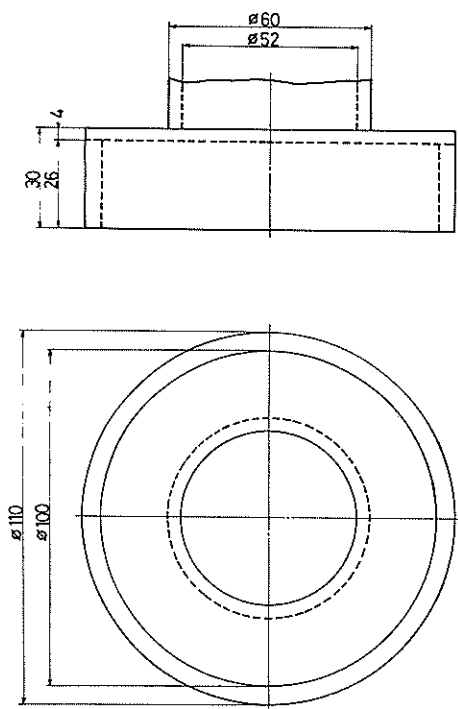


図-3.1 円形ドラグヘッド

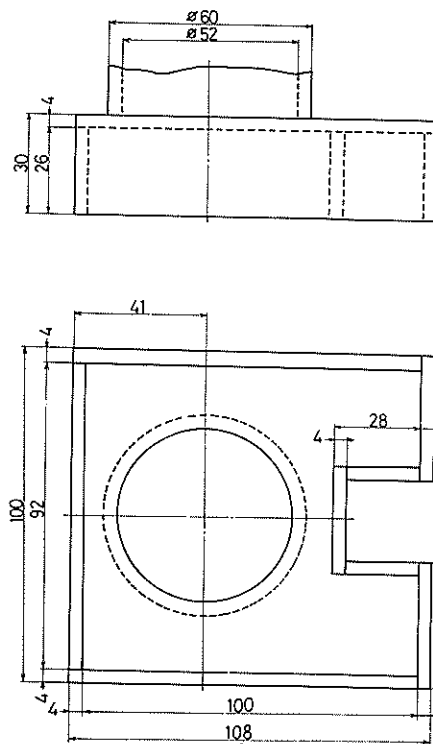


図-3.3 カリフォルニア形ドラグヘッド

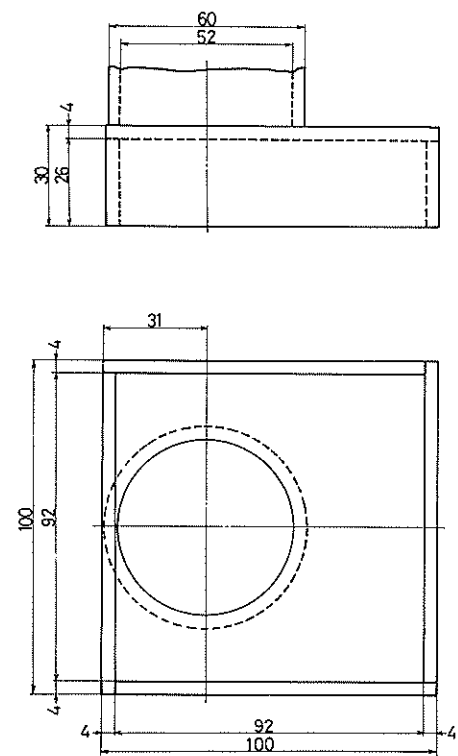


図-3.2 正方形ドラグヘッド

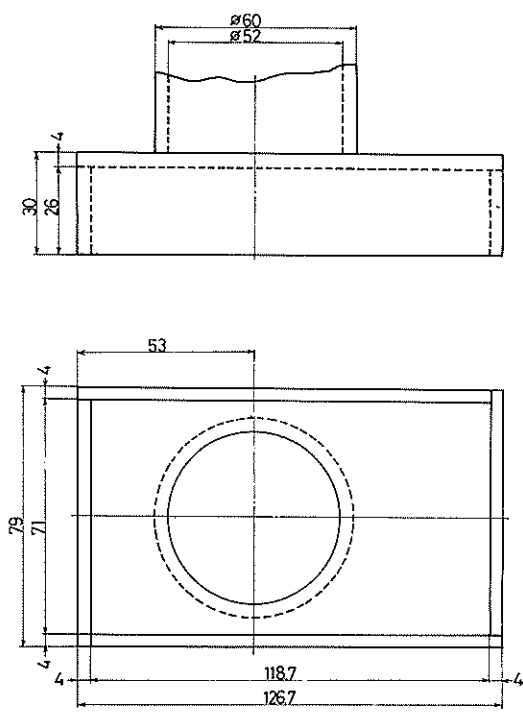


図-3.4 長方形ドラグヘッド

表-1 ドラグヘッドの形状

項目	ドラグヘッド 番号	H - 1	H - 2	H - 3	H - 4	海 鷲 丸
形 状		円 形	正 方 形	カリフォルニア形	長 方 形	カリフォルニア形
幅 B cm		10.0	9.2	9.2	7.1	211
長 さ L cm		10.0	9.2	10.0	11.87	144
高 さ H cm		2.6	2.6	2.6	2.6	27
吸込管面積 a_p cm ²		21.2	21.2	21.2	21.2	3,117
吸込口面積 A_g cm ²		78.5	84.6	83.6	84.3	11,590
周 辺 長 さ cm		31.4	36.8	43.0	37.9	600
B/L		1.0	1.0	0.92	0.6	1.46
A_g/a_p		3.7	3.9	3.9	3.9	3.73

※ 寸法は内のりで、アクリル板厚は、4 mm (円形は5 mm)

2.3 実験方法及び実験条件

実験は、次のような方法で実施した。

(1) 停止時の場合

- a) 図-4のような設定で行なう。
- b) 模擬ベッド上の圧力分布を調べるために、ドラグヘッド底面と模擬ベッドの間隙を設定値に合せる。
- c) ポンプ吐出量を設定する。
- d) ヘッドを圧力測定孔上に移動し、各部分の圧力を測定する。
- e) 前後に80 mmずつ合計160 mm 移動して同様の計測を行なう。

(2) 走行時の場合

- a) ヘッド底面と模擬ベッドの間隙を設定する。
- b) ポンプ吐出量設定後、ヘッドを走行させる。
- c) 1つの測定孔について、圧力を測定する。
- d) 以上のa), b), c) を全ての測定孔について行なう。

実験条件は、下記の通りとした。

ポンプ吐出量 (Q) 0.183, 0.243, 0.305 m³/min

間 隙 (C_L) 5.5, 8.5, 11.5 mm

走行速度 (V_H) 0, 0.087, 0.132, 0.173 m/s

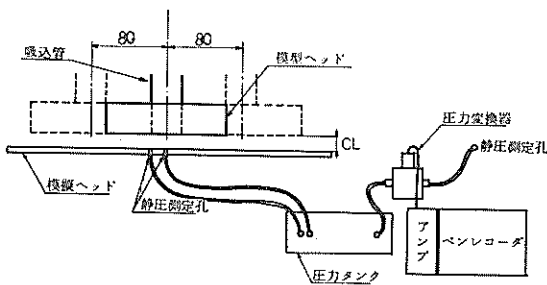


図-4 底面圧力の測定

3. 実験結果とその考察

3.1 停止時における底面圧力分布

ドラグヘッド停止時の模擬ベッドの圧力を、各ドラグヘッドについて、ポンプ吐出量、ドラグヘッド底面と模擬ヘッドの間隙を変えて測定した。

(1) 等圧線と断面圧力分布

図-5は、各ヘッドを用いた時の代表的な圧力分布である。図中の圧力 P は、ゲージ圧の負圧側 ($-P \times 10^{-4}$ kg/cm²) を意味する。

各ヘッドとも周辺部では、ほぼその形状に沿った等圧線を形成している。また、周辺からやや内側に入った所で最低圧力が存在し、吸込管直下では再び圧力が高くなっている。円形ヘッドの場合には、吸込口の中心線と吸込管中心線は、同一線上にあるため、等圧線はほぼ同心円状になる。しかし、他の3種類のヘッドでは、吸込管を進行方向寄りに設置したため、内部の圧力分布はかなり不規則である。すなわち、正方形、長方形では側面部から後方部にかけて馬蹄形状の低圧部が現れている。また、カリフォルニア形では、凹凸部の影響により圧力の低圧部が、吸込管付近から凹部にかけて現れている。また、凸部には圧力の高い所がある。これらのことから、複雑な圧力分布は、形状や吸込管取り付け位置などが、影響するものと考えられる。

次に、ドラグヘッドの内外の圧力差は土砂吸込における掘削幅や掘削深さに関係すると考える。吸込管中心線上の横方向 ($X-X'$) 及び縦方向 ($Y-Y'$) の断面における圧力分布を示したのが、図-6~7であり、図中の θ_x 、 θ_{y_1} 及び θ_{y_2} は最大圧力勾配の角度である。各図より、横方向、縦方向とも間隙が一定の場合、ポンプ吐出量が増加すると圧力の絶対値は低くなるが、圧力分布の傾向は変わらない。そこで、間隙及びポンプ吐出量の変化が、最大圧力勾配 θ_x に及ぼす影響を調べたのが、図-8~9である。最大圧力勾配 θ_x は間隙が増加するとほぼ直線的に低下す

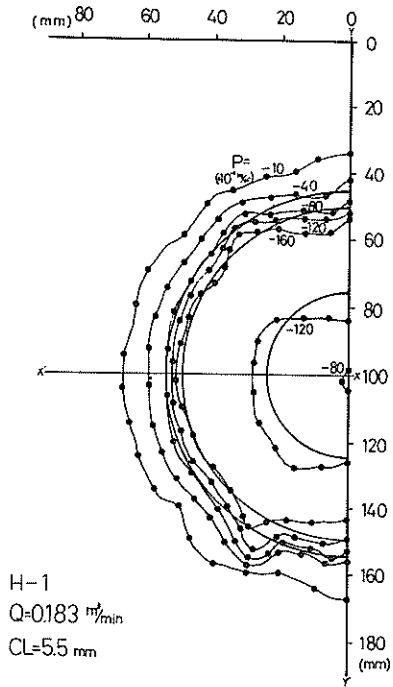


図-5.1 停止時の底面圧力分布

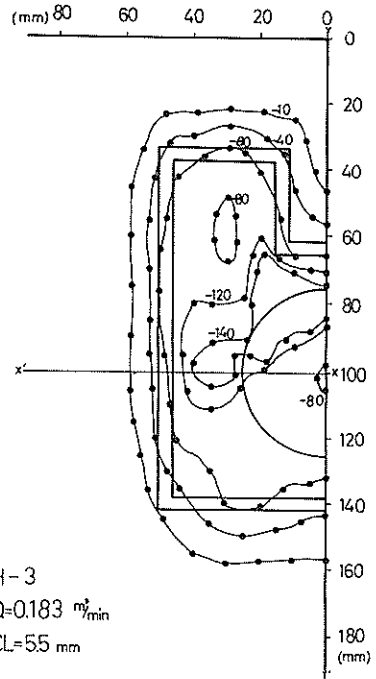


図-5.3 停止時の底面圧力分布

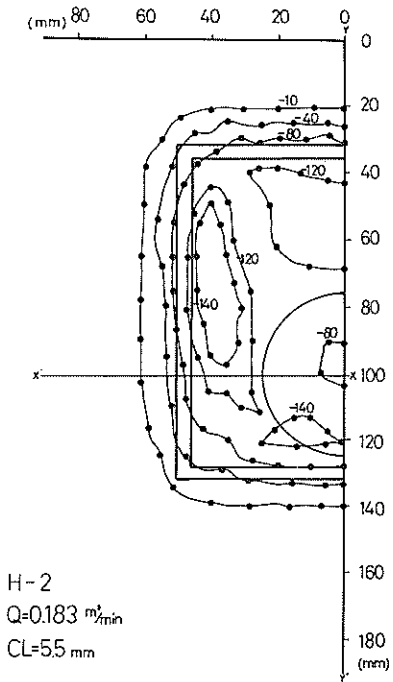


図-5.2 停止時の底面圧力分布

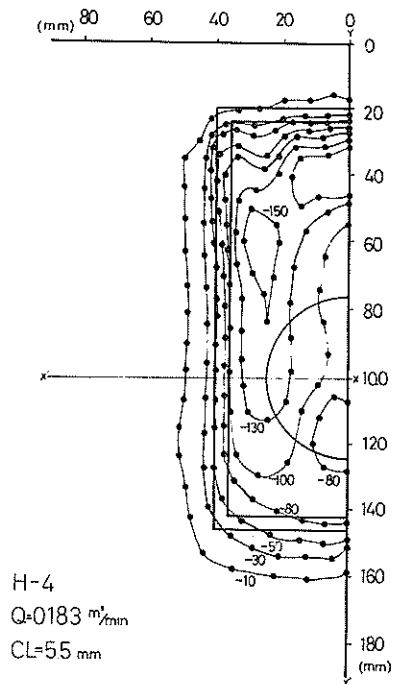


図-5.4 停止時の底面圧力分布

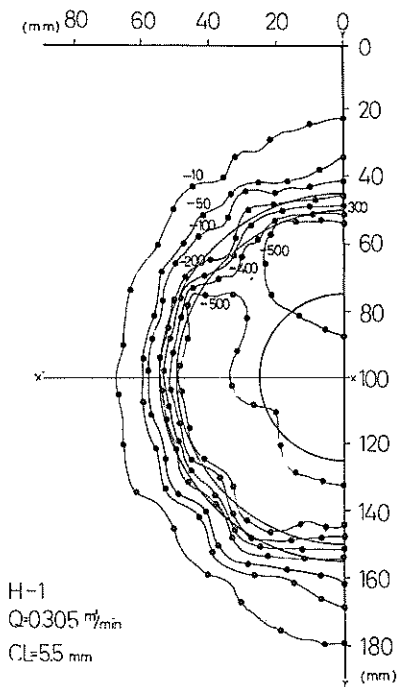


図-5.5 停止時の底面圧力分布

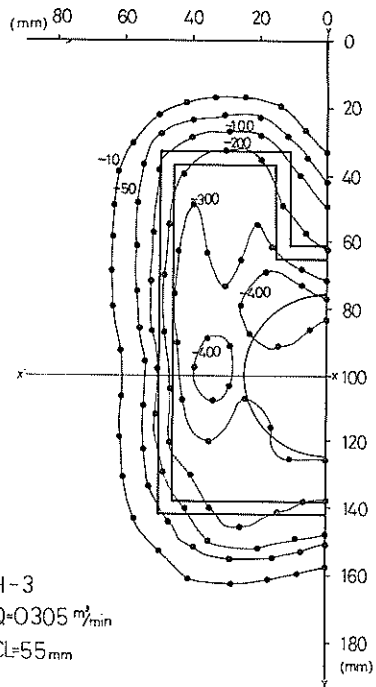


図-5.7 停止時の底面圧力分布

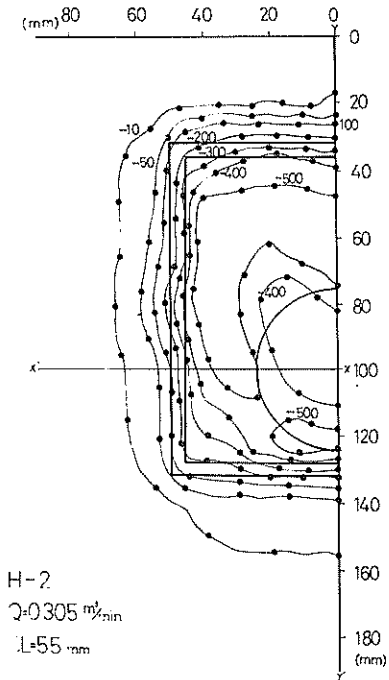


図-5.6 停止時の底面圧力分布

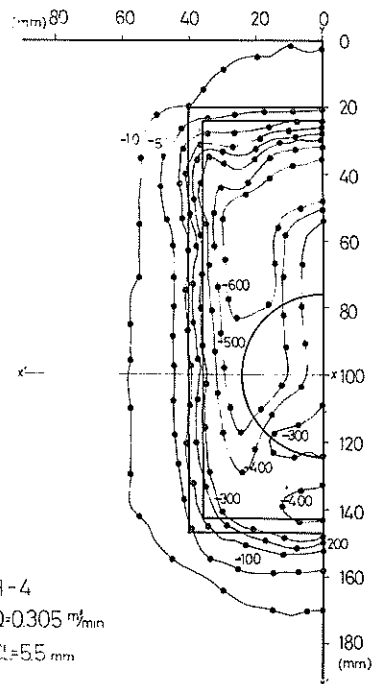


図-5.8 停止時の底面圧力分布

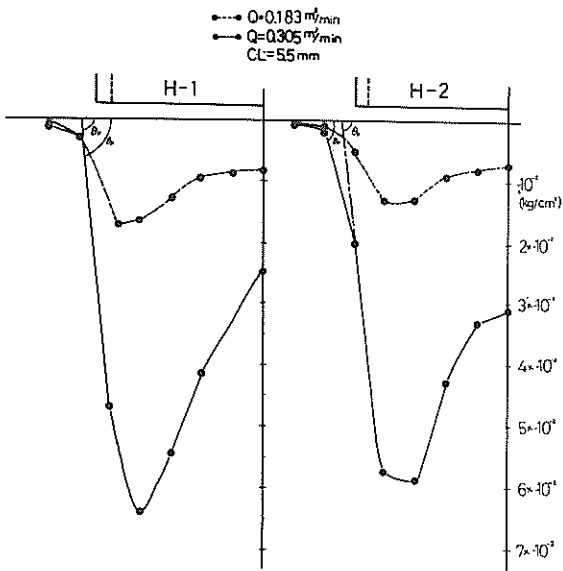


図-6.1 横方向の断面圧力分布 (X-X' 断面)

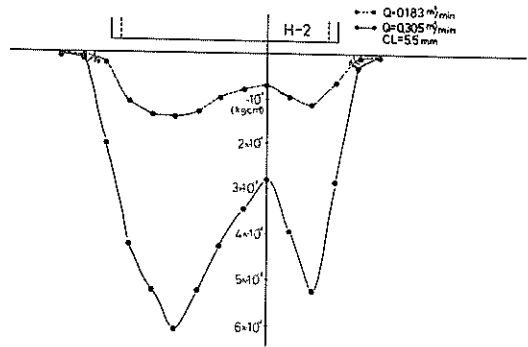


図-7.2 縦方向の断面圧力分布 (Y-Y' 断面)

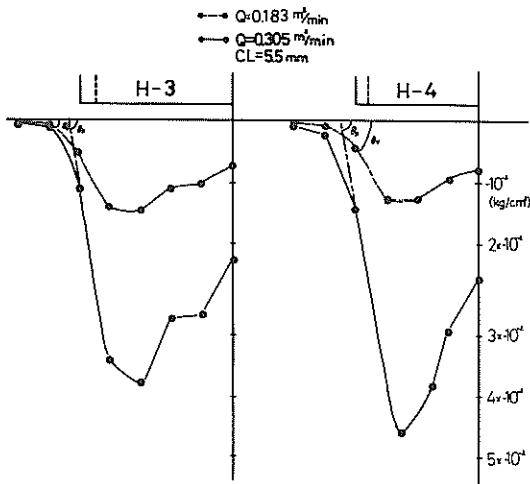


図-6.2 横方向の断面圧力分布 (X-X' 断面)

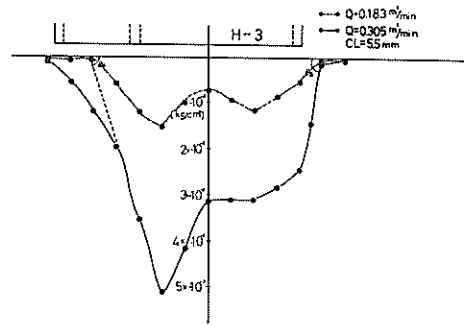


図-7.3 縦方向の断面圧力分布 (Y-Y' 断面)

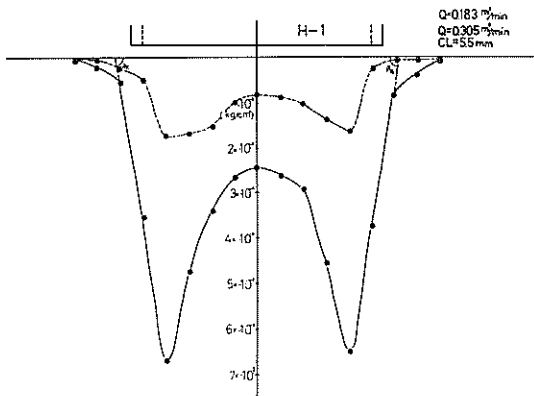


図-7.1 縦方向の断面圧力分布 (Y-Y' 断面)

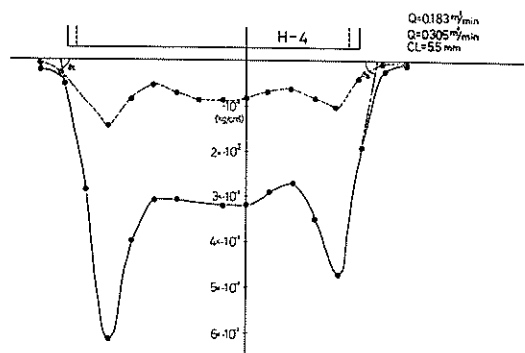


図-7.4 縦方向の断面圧力分布 (Y-Y' 断面)

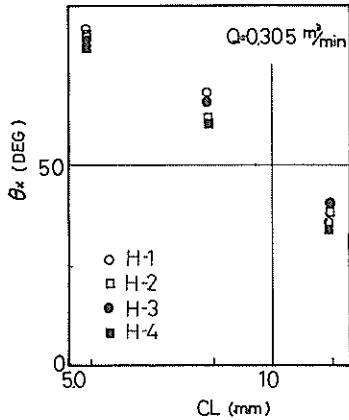


図-8 間隙と最大圧力勾配 (X-X'断面)

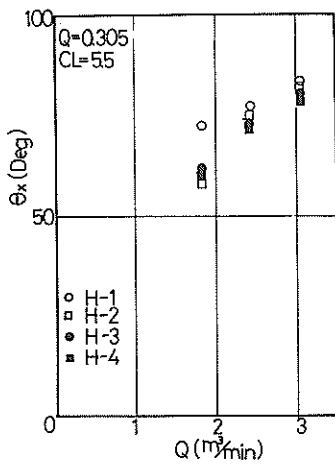


図-9 ポンプ吐出量と最大圧力勾配 (X-X'断面)

る。一方、ポンプ吐出量小の場合、H-1の θ_x は他の3形状よりも大きい、吐出量が増大するにつれて差は少なくなる。このように、ポンプ吐出量及び間隙が圧力分布に及ぼす影響は大きい。ここで、実際に土砂を吸込んだ実験例³⁾の掘削断面(図-10)と横方向の圧力分布図(図-6)を比べてみると、ポンプ吐出量小の場合には、よく似た形状をしていることが分る。また、吐出量大になると掘削跡は円錐に近い形状になり、必ずしも断面圧力分布の形状と傾向的には一致しない。これは、ポンプ吐出量が大い時には、土砂の切り崩しが急激に行われ、円錐形状になるものと考えられる。

(2) 等圧面積と圧力影響範囲

ドラッグヘッド内外の圧力の絶対値及び圧力の影響範囲は、土砂の吸込性能に影響を及ぼす一つの要素である。そこで、

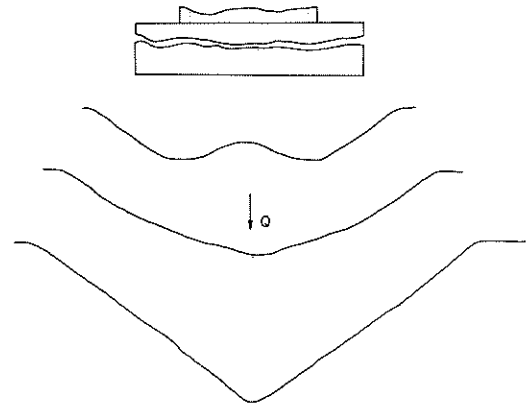


図-10 ドラッグヘッド停止時における掘削跡横断形状³⁾

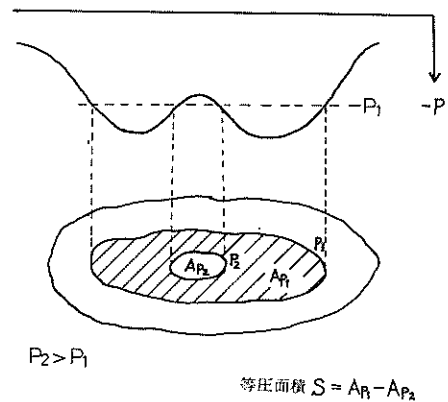


図-11 等圧面積

図-11に示すように、ある等圧線で囲まれた面積(但し、ヘッド内のその圧力以上の領域は削除)を等圧面積と定義し、圧力との関係に示したのが図-12である。間隙が小さい場合は等圧線の間隔が密になるから、等圧面積Sの減少は少ないが、間隙が大きくなると、Sは著しく減少する。これらの減少傾向をより明確に示すために、減少率 η_p で示したのが図-13である。ここで、 η_p は間隙5.5 mmの場合の等圧面積で各間隙の等圧面積を割った値である。 $C_L = 8.5$ mmの場合は、H-3、H-4の減少率は大きい、さらに間隙を広げた $C_L = 11.5$ mmの場合は、ヘッドによる減少傾向はほぼ同様である。

次に実験で得られた比較的圧力の高い(ヘッド外側)部分に着目し、等圧面積の相当半径Rとヘッド吸込口面積の等価円半径 R_0 の比 R/R_0 で比較してみたのが、図-14である。各ヘッドとも、ポンプ吐出量が増加すると R/R_0 は大きくなり、圧力が高くなるにつれて吐出量の影響は低減する。この図から、圧力影響範囲はH-1、H-3がH

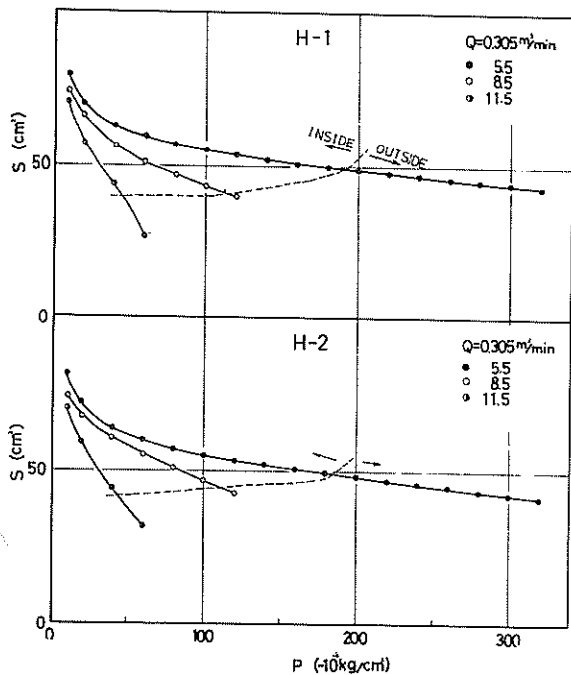


図-12.1 底面圧力と等圧面積の関係

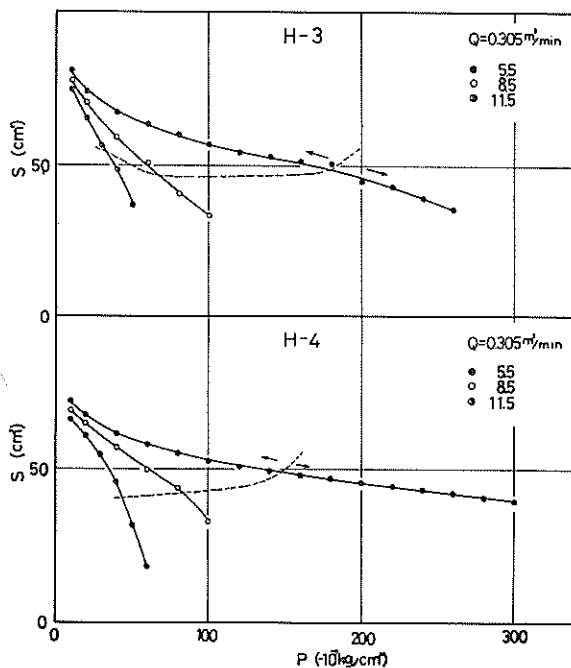


図-12.2 底面圧力と等圧面積の関係

-2, H-4より大きいと言えよう。

(3) ヘッド周辺長さの影響

吸込性能に及ぼす影響のうち、ヘッド周辺長さの問題がある。円形ヘッドの周辺長さ L_{c0} 、吸込口面積 A_{g0} を基準

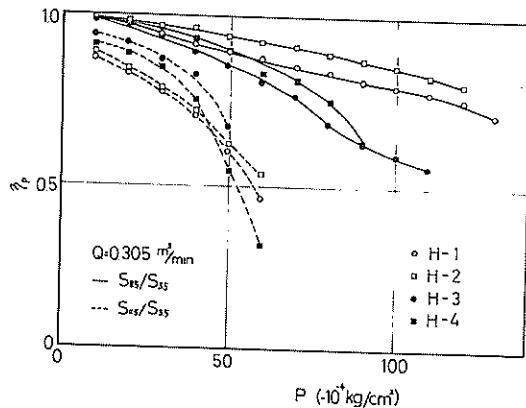


図-13 等圧面積の減少率

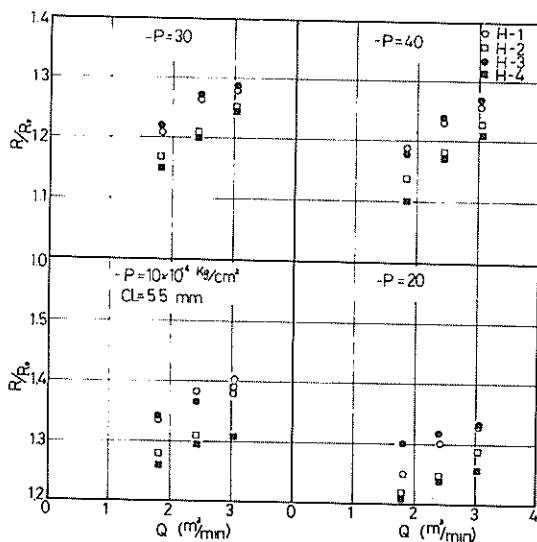


図-14 ポンプ吐出量と圧力影響範囲

にして、各ヘッドの周辺長さ L_{cn} と吸込口面積 A_{gn} との関係を $K = L_{cn}/A_{gn}/L_{c0}/A_{g0}$ の形で無次元化し、等圧面積比 S/A_g (S :等圧面積、 A_g :ヘッド吸込口面積)との関係を図-15に示した。図で分るように、単に周辺長さを長くすることは、必ずしも吸込性能の向上にはつながらない。むしろ、単純な形状のH-1や複雑な形状のH-3が良好である。しかしながら、間隙が大きくなると、H-1, H-2の減少傾向は著しいのに対し、H-3, H-4の低下率は少ない。

(4) 底面圧力の数値解

前項までに4種類のドラッグヘッドの実験結果について説明してきた。本項では、軸対称流れの円形ドラッグヘッドで生じる底面圧力の数値計算を試みる。図-16は、円形ド

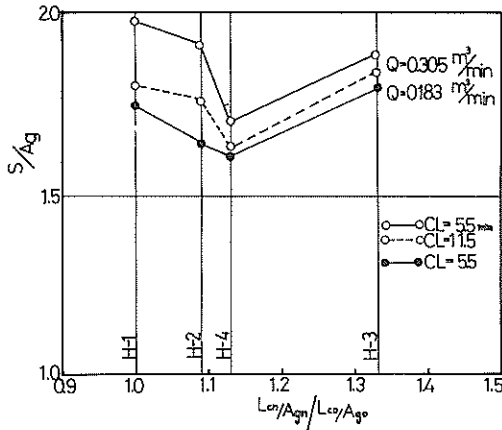


図-15 ドラグヘッド周辺長さ比と等圧面積比

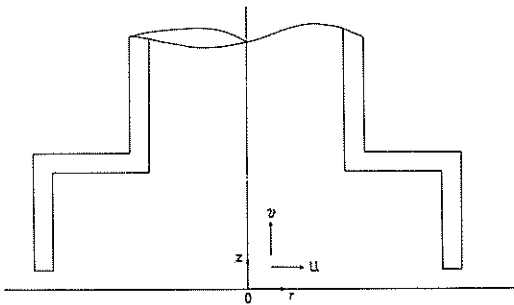


図-16 円形ドラグヘッド形状と座標系

ラグヘッドの形状及び座標系を示したものである。底面圧力は岡山、八木等が球体の吸込力についての計算で、イデアルフローの仮定で計算しても大きな差のないことを論じている⁴⁾。そこで、本項でも定常のイデアルフローと仮定する。連続の式は、

$$\frac{\partial}{\partial z}(vr) + \frac{\partial}{\partial r}(ur) = 0 \quad (1)$$

次式のように、流れ関数を定義する。

$$u = -\frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial z} \quad (2)$$

$$v = \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial r}$$

また、流れを非回転とすれば、

$$\frac{\partial v}{\partial r} - \frac{\partial u}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

式(3)に流れ関数 Ψ を代入すれば、

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} = 0 \quad (4)$$

となる。図-16を底面圧力の差分による計算のため、 \times

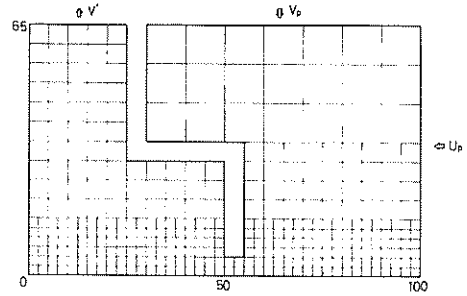


図-17 正方形格子による流れ場の分割

ッシュに分割したのが、図-17である。式(4)を、Taylor展開による差分項で近似し、未知数についてまとめると、

$$\Psi(i, j) = \frac{1}{4} \left[\Psi(i+1, j) + \Psi(i, j+1) + \Psi(i-1, j) + \Psi(i, j-1) - \frac{\Psi(i+1, j) - \Psi(i-1, j)}{2f} \right] \quad (5)$$

$$f = r_0/\Delta, \quad \Delta = \Delta r = \Delta z$$

図-18の中の境界上の各点に適当な条件を与えて、各格子点での流れ関数を式(5)で繰り返し計算する。収束判定条件として式(6)を用いた。

$$\epsilon = \frac{\Psi^{n+1}(i, j) - \Psi^n(i, j)}{\Psi^n(i, j)} = 10^{-4} \quad (6)$$

繰り返し計算を行ない、前後の流れ関数の差の最小値が式(6)を満足した時に収束したと判定する。ただし、各格子点の初期値は0.5とする。計算手順を図-19に示した。計算に使用した Δz 、 Δr は、図-17のように、流れが急速に変化する入口付近では小さくし、ドラグヘッドから離れた点では大きくした。

ドラグヘッドから離れた点の境界条件は、一義的に決定できない。したがって、表-2に示すような代表的な2ケースについて計算を行なったが、実際の流れはそれらの中

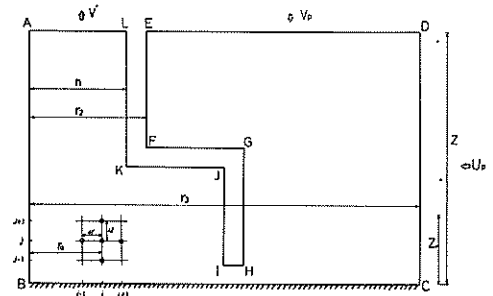


図-18 流れ場の符号と座標

間と思われる。各ケースの具体的な境界条件を表-3に示した。

各格子点の流れ関数が得られると、式(2)でその点の流速 u, v がもどまる。静圧と流速の関係は、式(7)である。

$$u \frac{\partial u}{\partial r} + v \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} \quad (7)$$

底面上では流速 v は 0 であるから、式(7)は、

$$u \frac{\partial u}{\partial r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} \quad (8)$$

積分すれば、ある点での底面圧力は

$$p = -\frac{\rho}{2} (u^2 - u_0^2) + p_D \quad (9)$$

となる。

表-4に境界条件の違う2ケースの底面流速を示した。吸込口付近では、境界条件の違いによる大きな差異がなく、ほぼ同様の値であった。これは、ドラッグヘッドの大きさに対して十分大きな範囲で計算しているのだから、各ケース間の速度差が小さくなったものと思われる。したがって、以後の考察ではケース2の結果を用いる。実験値と計算値を比較したのが図-20である。計算値は、ヘッドの入口より少し入った点で最低値を示し、それ以後徐々に回復している。吸込口入口までは、圧力及び圧力勾配とも計算値と実

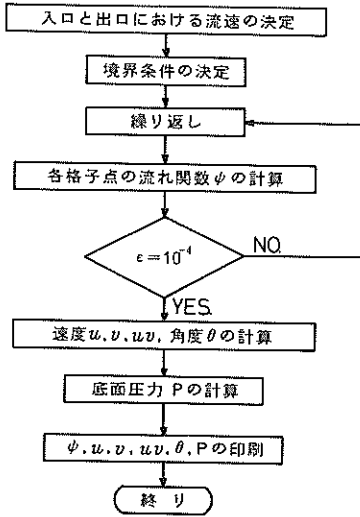


図-19 計算のフローチャート

表-2 境界条件の相違点

ケース	点	A-L	D-E	C-D
ケース1		一定流速 V'	一定流速 V_p	壁
ケース2		一定流速 V'	壁	一定流速 U_p

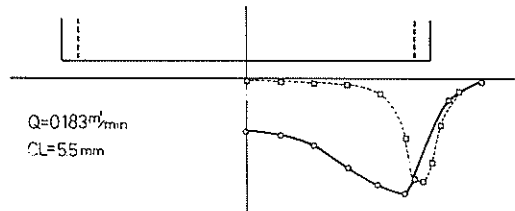


図-20 実験値と計算値の比較

表-3 境界条件相違による流れ関数

ケース	点	A-B-C	C-D	D-E	E-F-G-H-I-J-K-L	A-L
ケース1		$\psi = 0$	$\psi = 0$	$\psi = \frac{r_1^2 V' r_3^2 - r_0^2}{2 r_3^2 - r_2^2}$	$\psi = \frac{V'}{2} r_1^2$	$\psi = \frac{V'}{2} r_0^2$
ケース2		$\psi = 0$	$\psi = \frac{r_1^2 V'}{2 z_0} \cdot Z$	$\psi = 0$	$\psi = \frac{V'}{2} r_1^2$	$\psi = \frac{V'}{2} r_0^2$

表-4 境界条件差異による底面流速

条件	*距離 cm	10	8	6	5.5	5.0	4.0
ケース1		-0.074	-0.193	-0.819	-1.583	-1.717	-0.641
ケース2		0	-0.136	-0.804	-1.581	-1.717	-0.641

* 吸込管中心からの距離

験値は比較的良く一致していると言えよう。実験値の最低圧力は -0.0170 kg/cm^2 に対して計算値は -0.0153 kg/cm^2 であり、実験値の約90%である。また、最低圧力の位置の差は、約5mmである。

実際の流れでは、うずと粘性によって圧力損失を生じる。ドラグヘッド内の流れを染料を流して目視観察したところ、図-18のI-J-Kを結ぶ領域に循環する部分が見られた。この流れによって流路は見掛上狭くなり、流速は速くなる。それ故、底面圧力の回復は遅く、かつ損失があるので、ドラグヘッド中心下では負圧となる。底面圧力がドラグヘッド内部に入った点で最小値となるのは、流入部付近での損失、流入後の流速の減少等によるものであろう。ドラグヘッド入口までの底面圧力の傾向が計算値と実験値の間に大きな差がないのは、外部から流入してくる際に大きな損失を発生する領域がないためであろう。

以上のように停止時における円形ヘッドの吸込口直下近辺の圧力分布は、数値解によっても確めることができる。

3.2 走行時における底面圧力分布

長さ L のドラグヘッドが速度 V_H で、底盤上のある断面を通過する時間は L/V_H である。走行時における土砂吸込性能とは、 L/V_H の時間にかに多くの土量を吸込むかの問題であると言える。いいかえれば、 L/V_H を長くとり深く土砂を吸上げた方が有利か、または、 L/V_H を短くして表層の土砂だけを吸込んで浚渫距離を長くした方が有利かの比較である。そうした意味において、走行時における模擬ベッド上の圧力分布を知ることは重要である。ここでは、走行速度、間隙及びポンプ吐出量を変化させ、各ヘッドについて底面圧力を測定した。

(1) 等圧線と断面圧力分布

図-21は、各ヘッドの代表的な圧力分布である。停止時の等圧線分布はヘッド形状に沿った分布をしていたが、走行時の等圧線はいずれも逆U字形を示し、各ヘッドともヘッド前部から後部にかけて徐々に圧力が低くなっている。これらの傾向は、ポンプ吐出量及び間隙を変化させても同様である。また、走行速度を増加すると等圧線は全般的に後方に移動し、ヘッド内の圧力は高くなる。

次に、図-22に管中心断面(X-X')における断面圧力分布を示した。走行時の圧力は停止時とは違い、ヘッド周辺における急激な圧力の低下や管中心付近での圧力の回復はみられず、むしろヘッド中心上において最低圧力を示す。ヘッド内の圧力は、掘削深さに関係する。そこで、走行速度と管中心断面での最低圧力との関係を調べたのが図-23である。低速度の場合、H-1の内部圧力は、他の3つのヘッドに比べて低いが、速度が速くなるにしたがって、形状差による影響はほとんどなくなる。

(2) 圧力影響範囲

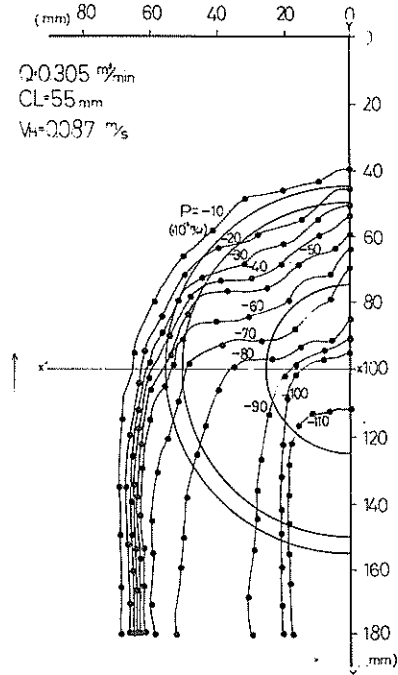


図-21.1 走行時の底面圧力分布

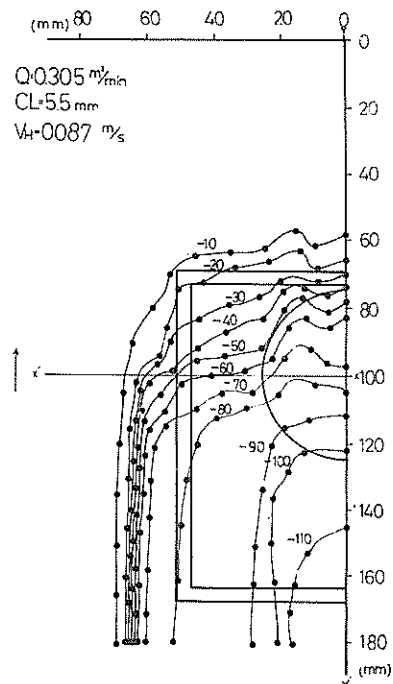


図-21.2 走行時の底面圧力分布

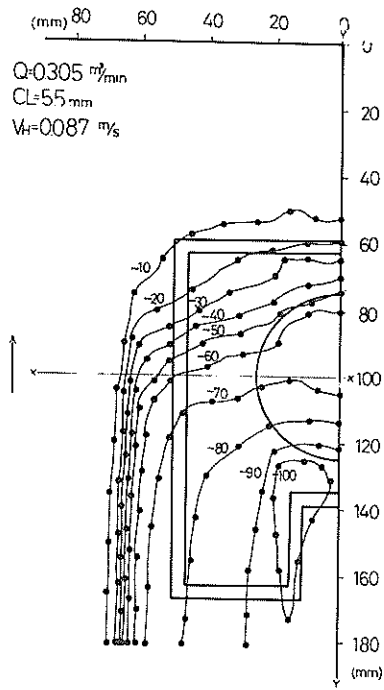


図-21.3 走行時の底面圧力分布

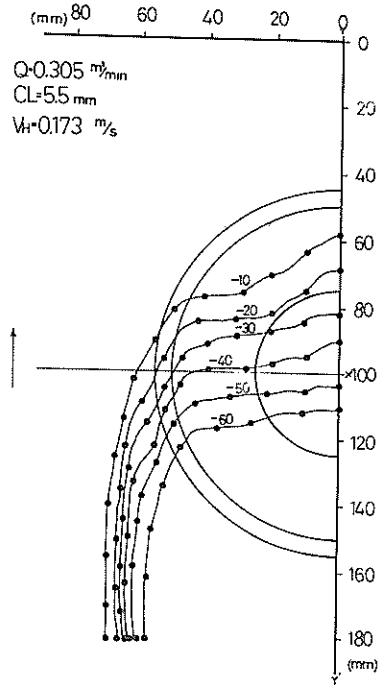


図-21.5 走行時の底面圧力分布

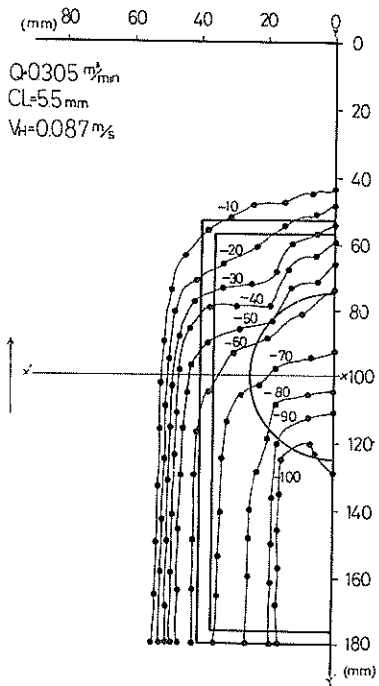


図-21.4 走行時の底面圧力分布

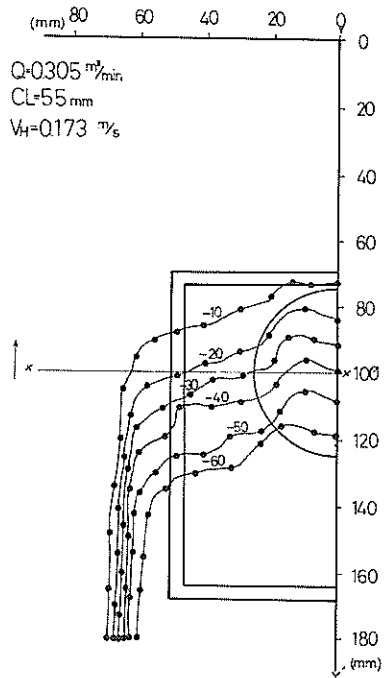


図-21.6 走行時の底面圧力分布

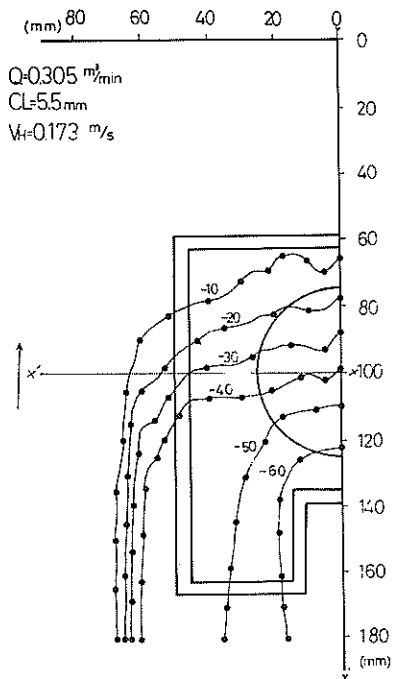


図-21.7 走行時の底面圧力分布

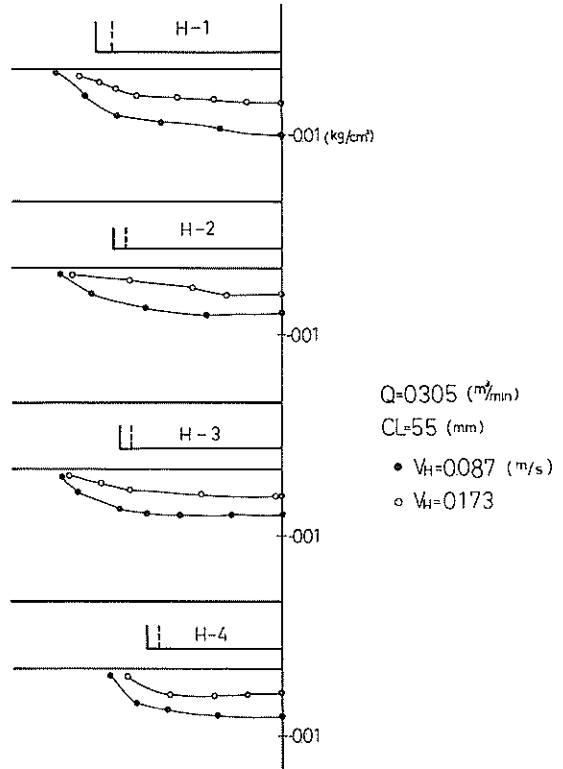


図-22 走行時の断面圧力分布 (X-X' 断面)

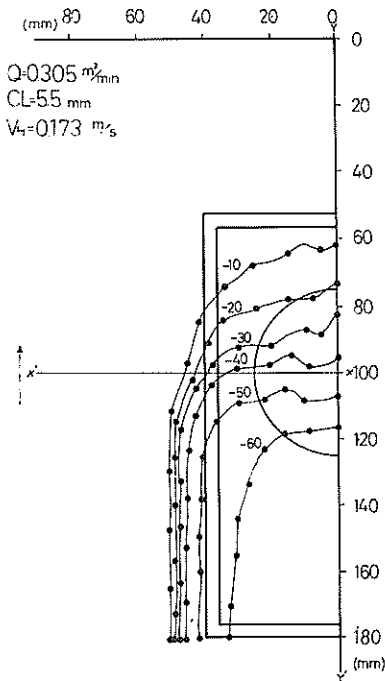


図-21.8 走行時の底面圧力分布

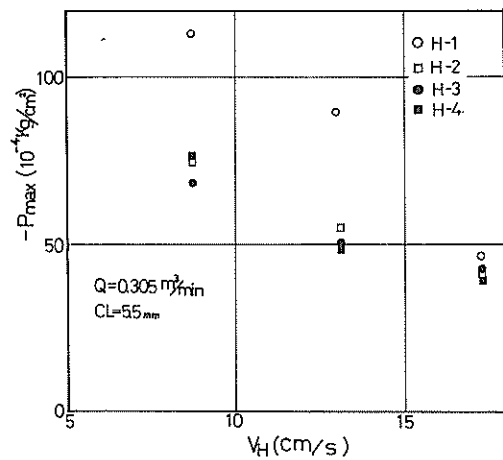


図-23 走行速度と最低圧力の関係 (X-X' 断面)

3.1で述べたように、ヘッド外側の圧力影響範囲は土砂掘削幅に関係する。しかしながら、図-21の底面圧力分布で分かるように、走行時には等圧線が逆U字形となるために、等圧面積で比較できない。そこで、等圧線 $-10 \times 10^{-4} \text{ kg/cm}^2$ が有効な圧力影響範囲 b であると仮定し、比較検討してみた。ここで b は、ドラッグヘッド幅 B に強く依存す

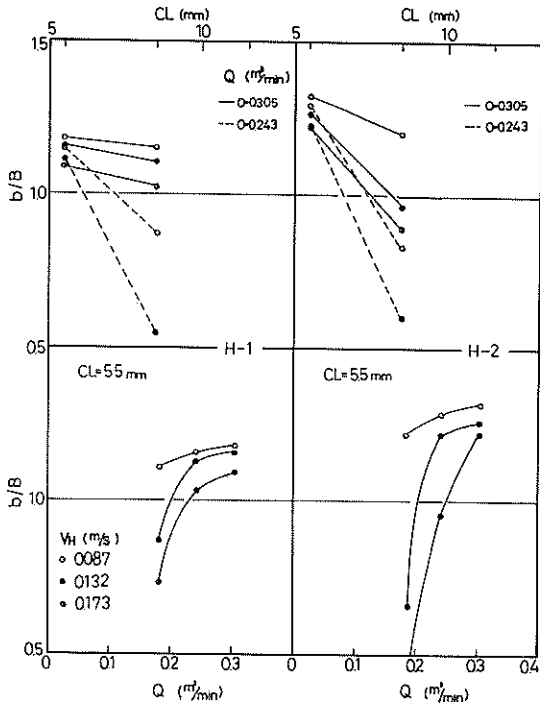


図-24.1 ポンプ吐出量及び間隙が圧力影響幅に及ぼす影響 (X-X'断面)

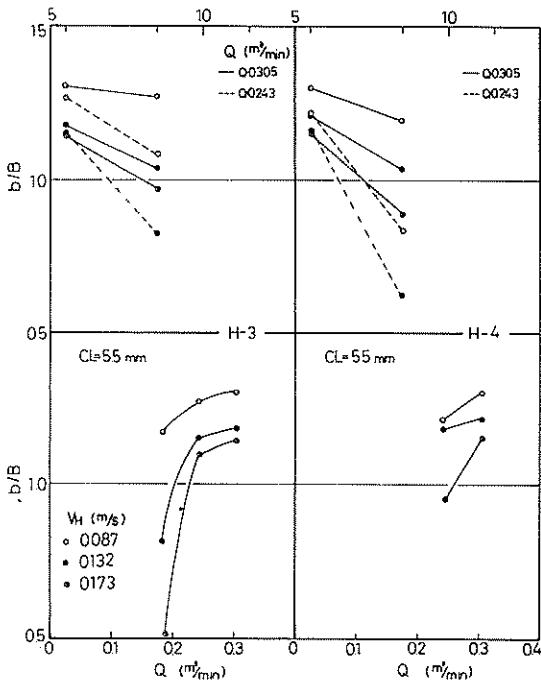


図-24.2 ポンプ吐出量及び間隙が圧力影響幅に及ぼす影響 (X-X'断面)

ると考えられるので、無次元圧力影響幅 b/B で表わした。図-24 は、管中心断面 (X-X') での b/B のポンプ吐出量及び間隙の変化の影響について調べたものである。間隙一定の場合でみると、各ヘッドともポンプ吐出量大では、走行速度による影響は小さいが、吐出量が小さくなると走行速度の影響が著しく大きくなる。一方、間隙の影響をみると、いずれのヘッドとも間隙の増加にともない b/B は急激に減少する。

過去、筆者らは文献(5)の中で、ドラッグヘッドと土面との間隙が吸込性能に及ぼす影響について、土砂吸込実験を行っている。その結果を要約すると、①間隙が増すにつれて吸込能力が低下し、ポンプ吐出量の小さい方においては顕著である。②掘削跡断面からみれば間隙が変化しても、掘削幅に及ぼす影響は極めて小さく、殆んど掘削深さにその影響が及ぶ。

図-24 において、いずれのヘッドもポンプ吐出量が小さくなると b/B が急激に減少し、①のことがうなづけられるが、間隙量が増加しても b/B は急減し、②の結果とは合致しない。しかし、ドラッグヘッドが走行する場合、先に示した底面圧力分布の逆U字形は、ヘッドの進行とともに土面に影響を及ぼすから、圧力影響範囲の最大幅 b_m が掘削幅と関係すると考えてもよい。そこで、ヘッド後部の等圧線の最大幅 b_m で比較したのが図-25 であり、図に

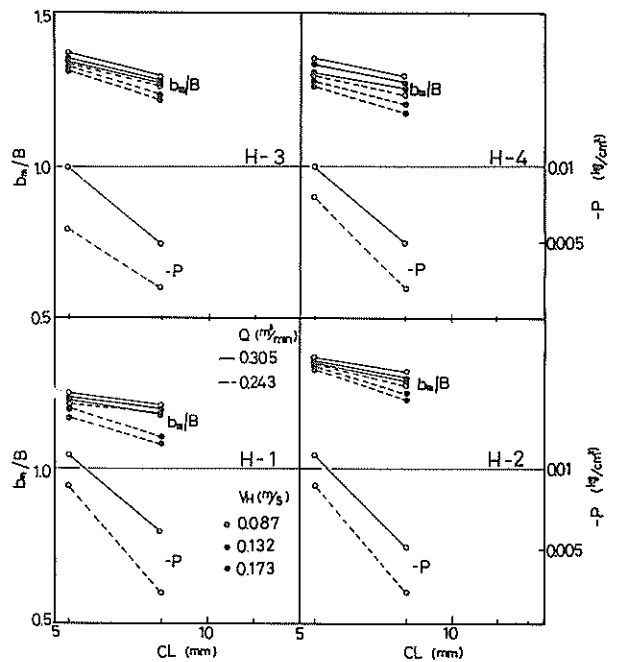


図-25 間隙が最大圧力影響幅と最低圧力に及ぼす影響

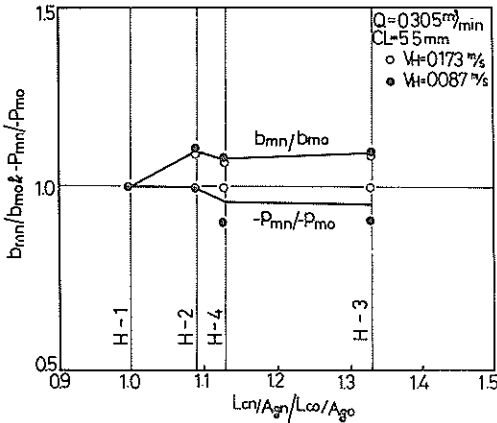


図-26 ドラグヘッド周辺長さ比と最低圧力比及び圧力影響範囲比の関係

はヘッド内の最低圧力も併記してある。 b_m/B は間隙による大きな差はみられず、掘削幅に対する影響が少ないことが分かり、一方、ヘッド内部の最低圧力は、間隙の増加によって著しく増加するから掘削深さに及ぼす影響が大きい。これらのことから、②のことが裏付けられる。

次に、ドラッグヘッドの形状効果を、等圧線の最大幅及びヘッド内の最低圧力で比較してみよう。円形ヘッドの最大幅 b_{m0} 、最低圧力 $-p_{m0}$ を基準とし、他のヘッドの最大幅 b_{mn} 、最低圧力 $-p_{mn}$ との比を3.1で述べた周辺長さ比 K との関係で示したのが図-26である。最低圧力からみれば、H-1、H-2が他形状よりやや良好であるが、等圧線の最大幅でみれば明らかに円形ヘッドより角型ヘッド特にH-2、H-3が優れていると言えよう。

以上のように、走行時における土砂掘削断面と底面圧力分布を対比してみると、実際の土砂吸込性能はヘッドの吸込管中心断面の圧力分布よりも、むしろヘッド後方の圧力分布に強く依存していることが分かる。これらのことを考慮すれば、本実験で用いた4種類のヘッドのうち、H-2（正方形）とH-3（カリフォルニア形）が比較的良好な基本形状であると言えよう。

4. まとめ

ドラッグヘッド停止時及び走行時におけるヘッド底面圧力分布を測定し、基本形状について比較検討した。その結果を要約すると次の通りである。

① 停止時における等圧線は、各ヘッドとも周辺部ではほぼその吸込口の形状に沿って現われ、周辺部からやや内側に入った所で最低圧力を示す。ヘッド周辺部の最大圧力勾配及びヘッド内の最低圧力で比較すると、H-1（円形）がよい。また、ヘッド外側の圧力影響範囲で比べると、H

表-5 ドラグヘッドの形状効果

条件		ドラッグヘッド			
		H-1	H-2	H-3	H-4
停止時	最大圧力勾配	1	3	2	4
	圧力影響範囲	2	3	1	4
	最低圧力	1	3	4	2
走行時	圧力影響幅	3	1	1	2
	最低圧力	1	1	2	3

表中の数値は比較順位である。

-1、H-3（カリフォルニア形）が優れているが、H-1は間隙や吐出量の変化によって著しく低減する。

② 停止時におけるH-1について数値計算を行なったが、ヘッド吸込口まではポテンシャル流れとして考えても、おおよその圧力勾配や圧力の絶対値を推察することができる。

③ 走行時の圧力分布は、進行方向に向かって逆U字形になり、ヘッド前部から後部にかけて徐々に圧力が低くなる。ヘッド内の最低圧力（掘削深さに関係する）は、H-1、H-2（正方形）が他のヘッドより低いが、ヘッド外側の圧力影響範囲（掘削幅に關係する）は、円形より角形の方が広く、全般的にみればH-2及びH-3が優れた形状と言える。

上述したヘッドの形状効果についてまとめたものが表-5である。停止時においては、H-1が優れているが間隙や吐出量の変化に対しては極めて敏感なヘッドである。しかし、実際の浚渫作業を考えると走行状態における特性がより重要である。そうした意味において上記の表-5、図-26の結果からみると、圧力影響範囲及び最低圧力が比較的良好な特性を示している基本形状はH-2及びH-3である。

5. あとがき

以上記述したように、模擬ベッド上の圧力を測定することにより、各形状の底面圧力分布が明らかになった。その結果、底面圧力分布と過去の実験結果を含めて基礎形状について把握できたと思う。しかし、実際の土砂浚渫においては、土質が吸込性能に及ぼす影響が大きいから、底面圧力分布のみから浚渫土量を評価することはできない。今後は、土質との関連において底面圧力分布をより詳細に検討しなければならない。

謝辞

本資料における数値計算は、東海林主任研究官の指導により行なったことを記し、感謝の意を表する次第である。

（1978年3月31日受付）

参考文献

- (1) 作業船協会：輸出作業船の実績，作業船，No.100，1975年7月，PP.91～97
- (2) US Army Engineer District Philadelphia Corps of Engineers：Philadelphia PA, Hopper Improvement Program, Item VI, Drag Design, 1970.
- (3) 八木得次他：ドラッグヘッドに関する研究，港湾技術研究所報告，第12巻第4号，1973年12月，PP.233～257.
- (4) 岡山義邦他：吸込間隙の影響を受ける固体の吸込力について，港湾技術研究所報告，第12巻第3号，1975年9月，PP.3～34.
- (5) 八木得次他：模型ドラッグヘッド走行時における掘削用ジェットの効果，港湾技研資料，No.217，1975年6月，17P.

記号一覧表

a_p : 吸込管面積 (cm²)
 A_g : ドラッグヘッドの吸込口面積 (cm²)
 b_m : 等圧線の最大幅 (cm)
 B : ドラッグヘッドの幅 (cm)
 C_L : ドラッグヘッドと模擬ベッドの間隙 (mm)

K : ドラッグヘッドの周辺長さ比
 L : ドラッグヘッドの長さ (cm)
 L_c : ドラッグヘッドの周辺長さ (cm)
 $-p$: 底面圧力 (10⁻⁴ kg/cm²)
 Q : ポンプ吐出量 (m³/min)
 R : 等圧面積の相当半径 (cm)
 R_0 : 吸込管面積の等価円半径 (cm)
 S : 等圧面積 (cm²)
 u : r 方向の速度成分
 U_p : z 方向の一様流速 (m/s)
 v : z 方向の速度成分
 V_p : r 方向の一様流速 (m/s)
 V_H : 走行速度 (m/s)
 γ_p : 等圧面積の減少率
 θ : 最大圧力勾配
 Ψ : 流れ関数
 Δ : 格子の刻み
 ϵ : 収束判定条件
 添字
 o : 円形ヘッド
 n : その他のヘッド

港湾技研資料 No.294

1978・6

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 株式会社 東京プリント

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.