

港 湾 技 研 資 料

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

No. 302 Sept. 1978

へどろしゅんせつにおける模型前面開口型
吸込ヘッドの形状効果

浜	田	賢	二
齐	藤		勝
八	木	得	次
佐	藤	義	博

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. まえがき	3
2. 実験装置および模型ヘッド	3
2.1 実験装置	3
2.2 模型ヘッド	4
3. 供試模擬へどろ	4
4. 実験の条件および種類	6
4.1 実験条件	6
4.2 実験の種類と計測項目	7
5. 実験結果および考察	7
5.1 Aグループの実験	10
5.2 Bグループの実験	10
5.3 運転条件とたい積へどろ吸入パターン	17
6. まとめ	21
7. あとがき	22
参考文献	22
記号一覧表	22
付 録	22

Shape Effects of Model Front-open-type Suction Heads on Dredging Hedoro

Kenji HAMADA*
Masaru SAITO*
Tokuji YAGI**
Yoshihiro SATO*

Synopsis

In these days there are various kinds of methods of dredging Hedoro, and in hydraulic dredging a suction head is very important element.

From the point of view of high density dredging, Front-open-type suction heads are very hopeful. Therefore with four kinds of model suction heads a series of experiments on dredging pseudo-Hedoro were conducted to investigate relationships between dredging characteristics and shapes of suction heads. Pseudo-Hedoro consisted of Flyash and Benthite (mixture ratio $F/B=6/4$ by weight and moisture ratio=180%).

As a conclusion, following items can be stated.

(1) It is possible to dredge Hedoro with high solid concentration (55~65% by volume in situ) by using Front-open-type suction heads.

(2) In a case of dredging Hedoro which has low moisture ratio in situ, a suction pattern at suction heads is distinguished into two regions (X-region and Y-region explained in following two items) by driving conditions.

(3) In X-region, the solid concentration increases proportional to the trailing rate of a suction head and the shapes of suction heads have little contribution to the solid concentration.

(4) In Y-region, all of Hedoro raked at model bed is not sucked up due to remaining Hedoro at both sides of the inner wall of a suction head, therefore the gradient of the solid concentration with the increase of the trailing rate of heads decreases in comparison with that in X-region. In the end part of Y-region dredging performances are unstable and lead to clogging phenomenon of a suction head.

(5) The range in which Y-region can exist is influenced by shapes of suction heads, especially the breadth of them.

* Member of the Hydraulic Transportation Laboratory, Machinery Division

** Chief of the Hydraulic Transportation Laboratory, Machinery Division

へどろしゅんせつにおける模型前面 開口型吸込ヘッドの形状効果

浜 田 賢 二*
齊 藤 勝*
八 木 得 次**
佐 藤 義 博*

要 旨

へどろしゅんせつ工法は種々あるが、流体式しゅんせつ工法においては吸込みヘッドが重要な構成要素の一つである。へどろの高濃度しゅんせつの観点から有望視されている前面開口型吸込ヘッド4種を用い、フライアッシュとベントナイトの混合体（混合比6対4，含水比180%）で構成される模擬ベッドでしゅんせつ実験を行ない、しゅんせつ特性とヘッド形状の関係を調べた。得られた結果を要約すると以下のとおりである。

- (1) 前面開口型ヘッドを用いれば、見掛け含でい率55～65%の高濃度しゅんせつを行うことができる。
- (2) たい積へどろの含水比が低い場合には、ヘッド部の吸入パターンは運転状態によって2種類（X，Y領域）に大別される。
- (3) X領域では、吸込ヘッド移動速度に比例して含でい率が増加し、ヘッド形状の影響はほとんど無い。
- (4) Y領域では、ヘッド内側面に滞留したへどろによってかき込み土量のすべては吸引されないため、ヘッド移動速度に対する含でい率の増加割合は低減する。そしてY領域の終末はヘッドの閉そく現象につながる。
- (5) Y領域を呈する運転状態の範囲は、ヘッド形状、特にヘッド幅の影響が大きい。

1. ま え が き

港湾区域内にたい積しているへどろは、全国的にみれば膨大な量になる。これらはすべてが除去の対象となるものではないが、海域の環境保全の見地からすれば、しゅんせつ、処理されなければならないものは相当の量に達する。

一般にへどろは広域的に分布、たい積しており、その物性や処理条件が地域的に異なるため、各種のしゅんせつ工法が採用されている。現在用いられているしゅんせつ機自体を原理的に類別すれば、機械式（グラブバケット、スクリーコンベア等）と流体式（サクショポンプ、ニューマポンプ等）に大別される。このようなしゅんせつ機を用いてへどろしゅんせつを行う場合には、できるだけ高濃度で、かつ濁りの発生が少いことが要請されている。

流体式しゅんせつ機においては、吸込ヘッドが重要な構成要素の一つであり、その形状、構造は、後に連なるポンプの様式、特性、運転条件、およびへどろの物性等と関連して決められるべきである。

本報告では、えい航式吸込みヘッドのうち、へどろしゅんせつ用として有望視されている前面開口型ヘッド¹⁾について、その基本的形状やヘッド内のかくはん機の効果を調べた結果について述べたものであり、この種の吸込ヘッドの開発に向けての基礎資料とするものである。

2. 実験装置および模型ヘッド

2.1 実験装置

本実験に使用した実験水槽および自走式台車の主要目は以下のとおりである。

- (1) 実験水槽

有効長さ：13.5 m

*機材部 流体輸送研究室

**機材部 流体輸送研究室長

有効幅 : 0.91 m
 有効深さ : 0.74 m
 側面観察窓 : 0.45 m × 1.2 m × 9面

(2) 自走式台車

長さ : 1.8 m
 幅 : 1.2 m
 高さ : 2.2 m
 移動速度 : 0.02 m/s ~ 0.65 m/s
 しゅんせつポンプ : 電動機出力 2.2 kW, 1420 rpm, 吐出量 500 l/min, 揚程 1.35 m

実験装置を写真-1に示す。

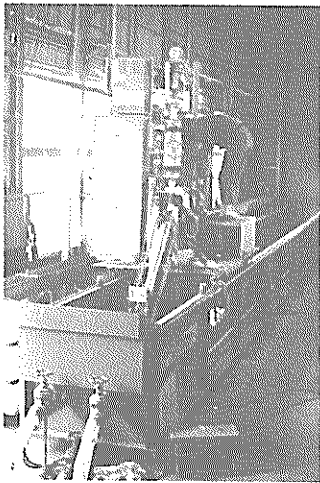


写真-1 実験装置

2.2 模型ヘッド

模型ヘッドはすべて前面開口型とした。その形状は、ヘッド側面が円弧状で縦横比が異なるもの2種、およびヘッド側面が平板で、上記円弧型ヘッドと同一の縦横比のヘッド2種の計4種であり、I~IV型ヘッドと呼称する。各ヘッドを写真-2~3に示す。ヘッドはすべて透明アクリル製で、吸込管は水平面と45度をなし、その内径は各ヘッドとも $d = 5.2 \text{ mm}$ である。また各ヘッドは、いずれもその底板を全体の 1/2, 2/2 (無) と段階的に脱着可能である。各ヘッドの主要寸法を表-1に示す。

またかくはん機は円板型ロータとし、外径 50 mm, 厚さ 3 mm である。円板型ロータ装着の場合には、取り付けピッチ 23 mm とし、I~IV型の各ヘッドについてそれぞれ 7, 4, 10, 7 枚取り付けた。円板型ロータは水面上のインダクションモータ (60 W × 70 ~ 1400 rpm) でベルトを介して駆動した。

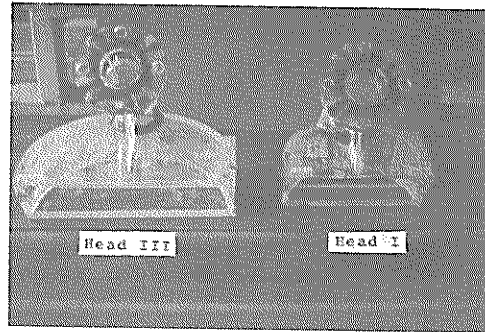


写真-2 模型ヘッド (I, II型)

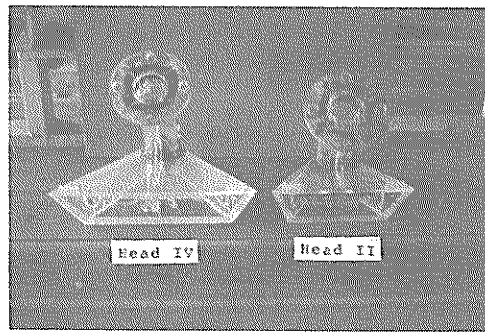


写真-3 模型ヘッド (II, IV型)

表-1 模型ヘッド主要寸法

項目 種類	有効幅 B_i (m)	有効高 さ H_i (m)	有効奥 行き S_i (m)	入口面 積 A_i (m ²)	A_i/a	縦横比
I型ヘッド	0.198	0.08	0.142	0.0158	7.45	2.48
II型ヘッド	0.196	0.08	0.150	0.0136	6.40	2.45
III型ヘッド	0.295	0.08	0.197	0.0236	11.13	3.69
IV型ヘッド	0.334	0.08	0.200	0.0208	9.79	4.17

(ただし、吸込管断面積 a は各ヘッドとも $2.12 \times 10^{-3} \text{ m}^2$)

3. 供試模擬へどろ

へどろしゅんせつにおいては、へどろの粘性特性および海底でのたい積状態がしゅんせつ能力に大きく関係する。低含水比状態でたい積するへどろは固体的性質が強く、また輸送時は、中・高含水比状態で、いわゆるスラリー状態となる。すなわち、へどろの水力しゅんせつにおいては、へどろは準固体、および流体の両性質を有するものとして取り扱われる必要がある。

へどろのうち、中・高含水比状態における流動特性（粘性特性）は、その構成成分の種類、粒径、粒子形状等に関係し、²⁾ 固体的性質は含水比に強く依存する。現存するへどろは地域ごとに、その構成成分、粒径等に差があり、粘性特性が異なる。したがってしゅんせつ実験においては、目標地域の現物へどろを使用することが望ましいが、一方運搬、後処理等の問題があるため、現地のへどろを用いることは困難である。そこで本実験においては、フライアッシュとベントナイトの混合体を模擬へどろとして使用した。

最近へどろの中・高含水比状態における粘性特性を表わすために、フロー値がしばしば用いられている。³⁾ フラ

イアッシュとベントナイトの混合体は、その混合比により粘性特性が異なるため、フロー値も混合割合によって変化する。そこで本実験においては、フライアッシュとベントナイトの混合比を重量比6：4に設定し、その中・高含水比状態におけるフロー値を現実のへどろ（東京湾へどろ）に近似させた。本実験に使用した模擬へどろと2～3の現地へどろのフロー値を図-1に、粒径加積曲線を図-2に示す。

またへどろの固体的性質は、模擬へどろ調合時の含水比を調整することによって行い、ベーンセン断試験によるせん断強さをその指標とした。現実のたい積するへどろの含水比は非常に広範囲であり（東京湾の場合、70

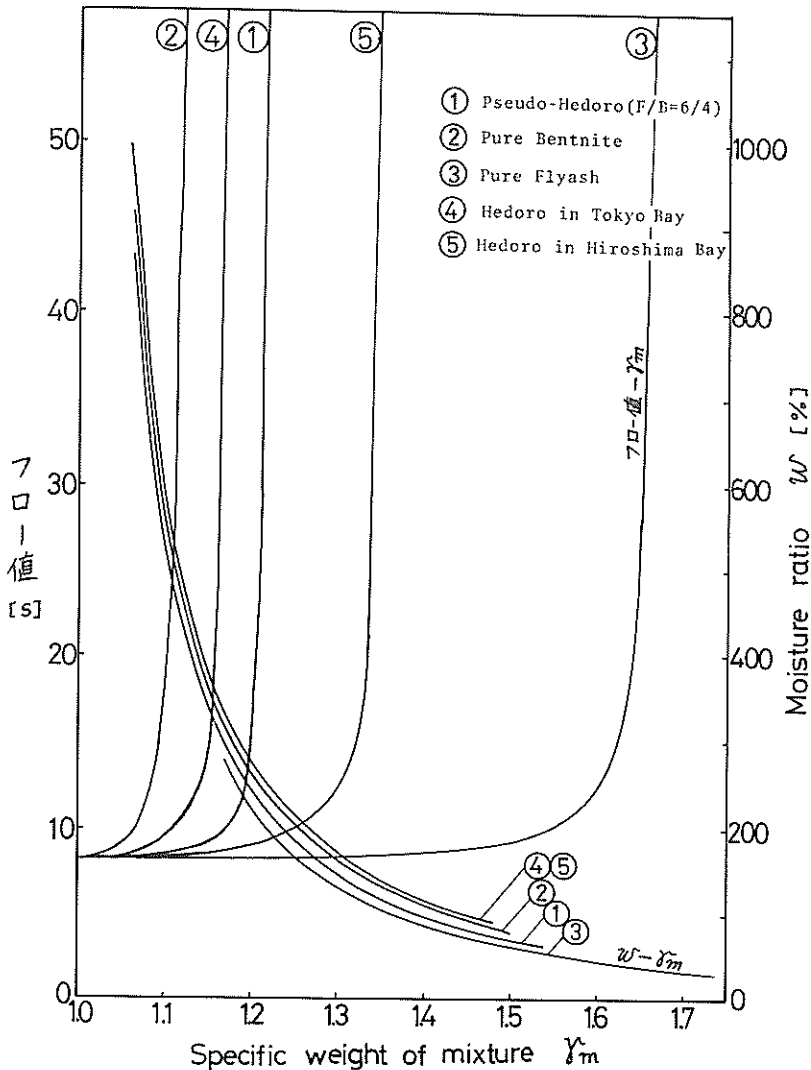


図-1 模擬へどろ、現地へどろ等のフロー値

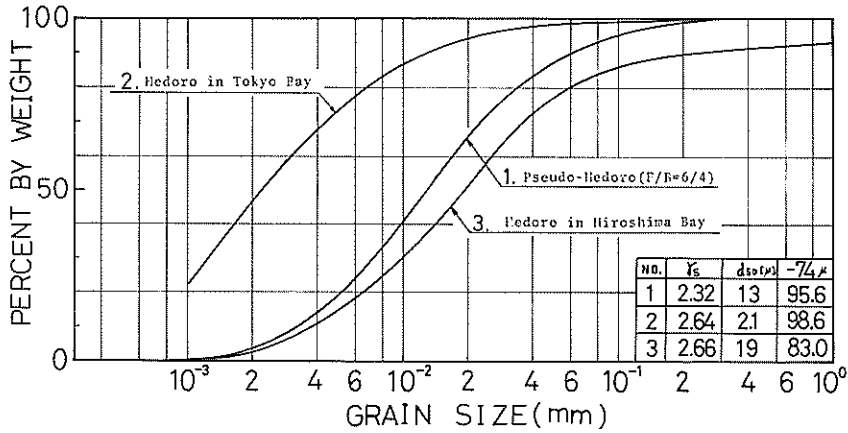


図-2 模擬へどろ、現地へどろの粒径加積曲線

～700%)、そのせん断強さも広範囲にわたる。そこで本実験においては、相当に模擬へどろの固体性が強くしゅんせつに際しては厳しい状態を選び、模擬ベッド形成時のせん断強さを $3\sim 5 \times 10^{-3} \text{ kgf/cm}^2$ とした。この場合の模擬へどろの含水比は約180%である。図-1において含水比180%の模擬へどろは、混合比重が約1.26であり、フロー値としては計測できない範囲の高粘度である。本模擬へどろの含水比(w)とせん断強さ

(τ)の関係を図-3に示す。図中の実線は、模擬へどろの含水比を変えてせん断強さを測定して求めたものであり、プロットされた測点は、模擬ベッドを形成するたびに測定した値である。

なお、供試模擬へどろ調合用に使用したかくはん機の仕様は以下のとおりであり、これを写真-4に示す。

模擬へどろ調合用かくはん機：電動機出力2.2kW、1000rpm、減速比1/4.79、かくはん翼3段

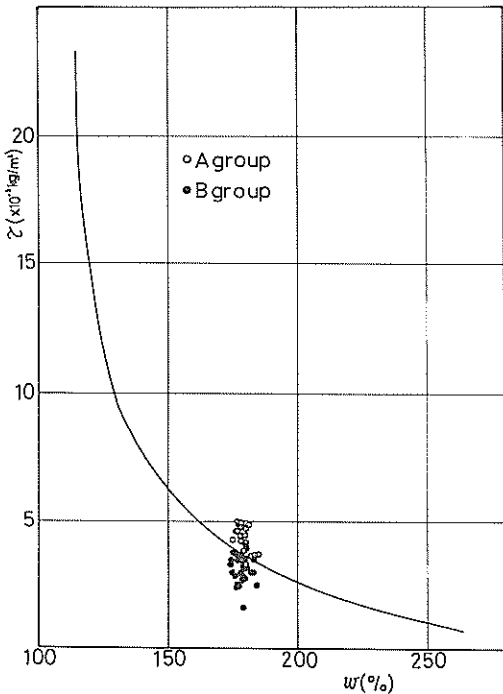


図-3 模擬へどろの含水比とせん断強さの関係

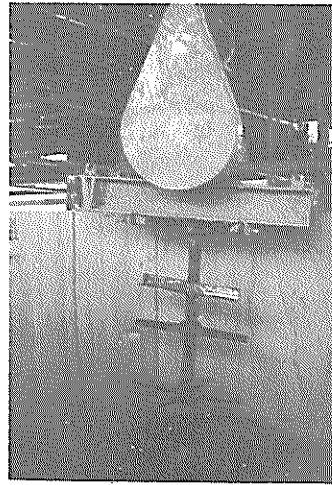


写真-4 模擬へどろ調合用かくはん機

4. 実験の条件および種類

4.1 実験条件

(1) 模擬ベッド

前述のように模擬へどろは、フライアッシュとペント

ナイトの重量比 6 : 4 の混合体であり、含水比は 180 % とした。これを水槽底に供給し、模擬ベッドを形成した。模擬ベッド形成に際しては、掘削跡やベッド上面部の比較的含水比の高い模擬へどろを十分に排除したのち、新しい模擬へどろを供給し、水槽内で十分にかくはんした。その後、模擬ベッド上面を水平ならした。土面ならし後の模擬ベッドの層厚は約 22 cm とした。

模擬ベッドの含水比は、サンプリングして計測したが、実験全般にわたり 180 ± 5 % の範囲であった。

また各実験に先立ち、模擬ベッドのせん断試験を行った結果、せん断強さは $3 \sim 5 \times 10^{-3} \text{ kgf/cm}^2$ の範囲であった。

(2) しゅんせつ土厚

しゅんせつ土厚は全ケース 1/1 (ヘッド入口部上縁と模擬ベッド表面が一致する状態) とした。

(3) 水深

水深も全ケース一定とし、水面から模擬ベッド表面までの深さは 52 cm とした。

(4) 円板型ロータ回転数

各ヘッドとも円板型ロータを取り付け回転させた場合には、その回転数は 1000 rpm とした (一部 500 rpm)。

(5) ヘッド移動速度 (V_k)

ヘッド移動速度は、無次元パラメータ $\tau_0 \equiv A_i V_k / Q_0$ (ただし、 A_i : ヘッド入口断面積、 Q_0 : 清水時のポンプ流量) を基準として設定した。そのため各ヘッド、実験ケースによって V_k は異なる。今回の実験の最大速度は 0.251 m/s であり、最低速度は 0.038 m/s であった。

4.2 実験の種類と計測項目

本実験の主目的は、前面開口型吸込ヘッドの形状や運転条件が、へどろしゅんせつ特性に及ぼす影響を調べることである。

低含水比状態で海底にたい積するへどろの実際のしゅんせつを想定した場合、前面開口型吸込ヘッドの移動速度を増加させることはしゅんせつ能率の向上につながるが、一方ある移動速度以上になるとヘッド内において、へどろの閉そく現象が生じる。この観点から、ヘッド移動速度のしゅんせつ能率への影響を調べることは重要である。

本実験は、ヘッド移動速度の比較的遅い領域での実験 (A グループ) と、移動速度が比較的速い、すなわちヘッド閉そく現象近辺の領域での実験 (B グループ) に 2 大別して行った。なお、初期運転条件は、たい積へどろのかき込み量と清水時ポンプ流量の比を表わすパラメータ τ_0 を設定基準として用いて決定した。

(1) A グループ

I ~ IV 型の各ヘッドについて円板型ロータなしの場合を取り扱い、 $\tau_0 \approx 0.2 \sim 0.4$ の範囲を中心にして、含でい率等と運転条件の関係を調べた。実験ケース番号は A-1, A-2, …… , A-24 と表示した。

(2) B グループ

I ~ IV 型の各ヘッドに対して、 $\tau_0 \approx 0.35 \sim 0.5$ の範囲を中心として取り扱い、次の①~④の項目についての実験を行った。

① ヘッド形状の吸込能率への影響

② ヘッド閉そく限界時の運転条件

③ 円板型ロータの影響

④ ヘッド底板の効果

実験ケース番号は、B-1, B-2, …… , B-37 と表示した。

また本実験における計測項目および使用計器は以下のとおりである。

a) ポンプ流量 (Q) : 電磁流量計による連続記録

b) 平均ポンプ流量 (Q_m) : 計量槽

c) ポンプ入口部吸入圧 (P_s ; 大気圧からの変化圧) : 圧力ヘッドによる連続記録

d) ヘッド出口部吸入圧 (P_k ; ポンプ流量ゼロ時点からの変化圧) : 圧力ヘッドによる連続記録

e) 平均含でい率 (C_d ; 見掛け含でい率, C_v ; 真容積含でい率) : 計量槽

f) 濁度 (ppm) : 散乱光式濁度計による連続記録

なお、濁度は当初 3 点計測の予定であったが、センサ部近接による相互干渉を避けるため、ヘッド中心後部の一点とした。

g) 掘削跡 : 断面トレース

なお、実験開始前に模擬ベッドのせん断強さをベーン試験器で計測した。また含水比はサンプリングして炉乾燥法により求めた。

5. 実験結果および考察

A グループと B グループは実験の主目的が異なること、および模擬ベッドのせん断強さが相対的に多少異なることにより、これらを区別した。本実験における結果の一覧表を A グループについては表 2-1 に、B グループについては表 2-2 にそれぞれ示す。

以下、本実験により得られた結果およびその考察を記述する。なお、 $\tau_0 \equiv A_i V_k / Q_0$ はしゅんせつ実験開始前の設定値であり、しゅんせつ実験中は流量低下により平均流量が低下する。そこでしゅんせつ中のスラリー平均

表 2-1 A グループ実験結果一覧表

実験 番号	ヘッド 番号	ロータ 枚数	ロータ回転数 (rpm)	V_1 (m/s)	Q_0 (l/min)	Q_m (l/min)	Q_m/Q_0	$r_0 (=A_1 V_1 / Q_0)$	$r_m (=A_1 V_1 / Q_m)$	ヘッドせん断強さ τ_0 ($\times 10^{-3}$ kgf/cm ²)	ヘッド含水比 w_0 (%)	湿潤含水率 C_w (%)	真砂含水率 C_s (%)	$-P_1$ (kgf/cm ²)	$-P_2$ (kgf/cm ²)	備考
A-1	I	0	—	0.0879	329	298	0.905	0.218	0.241	322	179	427	81.8	0.319	0.044	
A-2	II	0	—	0.0784	311	290	0.935	0.206	0.220	373	185	383	71.6	0.306	0.043	
A-3	III	0	—	0.0980	310	276	0.891	0.259	0.290	443	180	588	11.2	0.321	0.056	
A-4	II	0	—	0.129	294	250	0.853	0.360	0.422	431	175	602	11.8	0.320	0.064	
A-5	IV	0	—	0.0442	296	265	0.894	0.186	0.208	443	180	291	5.5	0.263	0.037	
A-6	II	0	—	0.0630	279	255	0.913	0.281	0.308	443	180	500	9.5	0.274	0.044	
A-7	IV	0	—	0.0765	267	239	0.897	0.358	0.399	500	177	531	10.3	0.283	0.053	
A-8	IV	0	—	0.0935	279	239	0.855	0.418	0.488	469	180	597	11.4	0.312	0.067	
A-9	IV	0	—	0.0423	274	253	0.924	0.193	0.209	477	178	353	6.8	0.256	0.039	
A-10	II	0	—	0.0380	282	253	0.894	0.190	0.213	495	180	385	7.4	—	0.043	
A-11	II	0	—	0.0674	276	239	0.864	0.346	0.400	497	178	557	10.8	0.303	0.061	
A-12	II	0	—	0.0751	267	229	0.859	0.399	0.465	486	181	688	13.1	0.325	0.087	
A-13	II	0	—	0.0871	271	212	0.783	0.456	0.582	438	180	736	14.0	0.341	0.073	
A-14	II	0	—	0.0445	274	248	0.907	0.230	0.254	442	180	400	7.6	0.267	0.046	
A-15	I	0	—	0.0410	279	251	0.900	0.139	0.155	426	178	287	5.5	0.250	0.036	
A-16	I	0	—	0.0667	270	241	0.890	0.234	0.263	465	177	393	7.6	0.281	0.055	
A-17	I	0	—	0.0769	274	247	0.901	0.266	0.296	464	176	558	10.9	0.295	0.056	
A-18	I	0	—	0.101	271	236	0.870	0.353	0.405	487	177	639	12.4	0.316	0.072	
A-19	I	0	—	0.0451	274	254	0.929	0.156	0.168	447	178	295	5.7	0.256	0.038	
A-20	IV	0	—	0.0555	277	248	0.895	0.250	0.279	367	182	395	7.5	0.259	0.041	
A-21	IV	0	—	0.0697	278	247	0.887	0.313	0.353	364	183	635	12.0	0.274	0.051	
A-22	IV	0	—	0.0791	278	245	0.879	0.355	0.404	384	179	637	12.2	0.283	0.054	
A-23	IV	0	—	0.0866	285	253	0.886	0.379	0.427	333	179	575	11.0	0.301	0.059	
A-24	II	0	—	0.119	348	311	0.894	0.279	0.312	223	—	—	10.4	0.368	0.057	

表 2 - 2 B グループ実験結果一覽表

実験番号	ヘッド 番号	ヘッド 枚数	ロー回転 数 (rpm)	V_A (m/s)	Q_0 (l/min)	Q_e (l/min)	Q_e/Q_0	$\tau_0 (=A_e V_e/Q_0)$	$\tau_e (=A_e V_e/Q_0)$	$\tau_e (=A_e V_e/Q_0)$	ヘッド吐出 η_0 (%)	見掛けの平均 C_p (%)	真溶液での平均 C_p (%)	$-P_1$ (kgf/cm ²)	$-P_2$ (kgf/cm ²)	SS (mg/l)	備 考
B-1	I	7	1000	0.170	395	380	0.962	0.409	0.425	3.09	178	590	11.4	—	0.084	32	
B-2	I	0	—	0.161	429	400	0.932	0.355	0.382	3.28	179	658	128	—	0.110	2.4	
B-3	II	10	1000	0.124	430	400	0.930	0.408	0.439	2.50	176	589	11.5	—	0.093	8.4	
B-4	II	0	—	0.119	424	397	0.936	0.397	0.424	2.50	184	580	11.1	0.554	0.089	—	
B-5	II	7	1000	0.146	435	407	0.936	0.420	0.449	2.96	178	555	10.7	0.512	0.088	2.3	
B-6	II	0	—	0.139	425	397	0.934	0.409	0.438	4.13	180	578	11.0	0.514	0.096	6.5	
B-7	II	4	1000	0.194	430	389	0.905	0.367	0.406	3.73	175	633	12.4	0.562	0.120	—	
B-8	II	0	—	0.132	426	383	0.899	0.367	0.408	3.64	178	609	11.8	0.540	0.113	—	
B-9	II	7	1000	0.181	409	—	—	0.553	—	3.44	174	(724)	—	0.578	0.108	1.3	
B-10	II	7	1000	0.160	424	399	0.941	0.412	0.501	3.04	179	579	11.1	0.555	0.101	—	
B-11	II	7	1000	0.172	436	412	0.945	0.493	0.522	3.28	174	570	11.2	0.569	0.095	2.3	
B-12	II	7	1000	0.187	430	—	—	0.544	—	3.24	178	(842)	—	0.623	0.105	1.8	
B-13	II	0	—	0.158	430	396	0.921	0.459	0.499	3.04	178	586	11.3	0.534	0.086	3.0	
B-14	II	0	—	0.171	421	—	—	0.508	—	3.08	179	(739)	—	0.554	0.092	1.1	
B-15	II	0	—	0.157	421	—	—	0.528	—	2.79	179	(791)	—	0.561	0.097	—	
B-16	II	0	—	0.137	426	374	0.878	0.455	0.519	3.15	180	713	13.6	—	—	0.7	
B-17	II	0	—	0.251	427	—	—	0.478	—	3.50	183	(695)	—	0.585	0.094	1.8	
B-18	II	0	—	0.220	424	—	—	0.422	—	3.79	177	(777)	—	0.591	0.113	2.7	
B-19	I	7	0	0.208	430	—	—	0.460	—	2.94	183	(712)	—	0.626	0.114	—	
B-20	I	0	—	0.271	395	325	0.823	0.447	0.543	2.94	182	664	12.6	0.552	0.091	2.5	詳細終了後閉す
B-21	I	0	—	0.198	391	327	0.836	0.412	0.492	2.71	180	710	13.5	0.471	0.067	—	
B-22	I	0	—	0.188	384	341	0.888	0.398	0.440	2.64	179	630	12.1	0.465	0.073	0.6	
B-23	I	0	—	0.170	391	335	0.864	0.413	0.481	3.69	176	681	13.2	0.488	0.091	5.0	詳細終了後閉す
B-24	I	0	—	0.167	385	338	0.878	0.412	0.470	3.20	179	707	13.5	0.463	0.068	5.5	
B-25	I	0	—	0.166	332	—	—	0.475	—	3.46	177	(693)	—	0.525	0.080	1.8	
B-26	I	0	—	0.158	319	—	—	0.471	—	3.29	176	(826)	—	0.402	0.073	2.4	
B-27	I	0	—	0.146	308	285	0.925	0.451	0.487	3.19	178	606	11.7	0.377	0.060	1.5	
B-28	I	0	—	0.205	424	363	—	0.460	0.537	3.55	179	(682)	—	0.532	0.092	4.5	
B-29	I	0	—	0.176	424	382	0.901	0.394	0.438	3.36	180	615	11.8	0.524	0.081	—	
B-30	II	0	—	0.167	422	336	0.796	0.495	0.622	2.79	178	763	14.7	0.537	0.085	1.0	詳細終了後閉す
B-31	II	0	—	0.167	417	—	—	0.501	—	2.79	178	—	—	0.495	0.066	—	底板無
B-32	II	0	—	0.167	417	—	—	0.501	—	2.81	177	(872)	—	0.554	0.084	—	底板 1/2
B-33	II	0	—	0.170	420	362	0.862	0.506	0.587	3.04	178	727	14.0	0.519	0.098	0.98	詳細終了後閉す
B-34	II	0	—	0.167	395	—	—	0.529	—	2.81	176	(836)	—	0.489	0.096	—	シロ水板付
B-35	II	7	500	0.167	396	—	—	0.527	—	2.60	176	(790)	—	0.494	0.097	—	
B-36	II	7	1000	0.147	357	—	—	0.515	—	2.96	175	(825)	—	0.475	0.085	4.25	
B-37	II	0	1000	0.129	356	275	0.772	0.453	0.587	2.84	176	787	15.3	0.399	0.075	—	

注 実験番号*印はヘッド閉す、見掛けでの値()内は閉す、見掛けでの値、ヘッド閉す時の $-P_1$ 、 $-P_2$ は閉す直前の値である。

流量を Q_m で定義し、 r_0 に換わる無次元パラメータ $r_m \equiv A_1 V_A / Q_m$ を定義する。そして以下の論議においては、この r_m を主として使用し、必要に応じて r_0 も導入する。

5.1 Aグループの実験

Aグループの実験では、 $r_m \approx 0.2 \sim 0.5$ 、 $r_0 \approx 0.2 \sim 0.4$ の範囲であり、模擬ベッドのせん断強さは概略 $3 \sim 5 \times 10^{-3} \text{ kgf/cm}^2$ であった。また各ヘッドともかくはん用ロータは装着しなかった。

図-4にポンプ流量(Q)、ヘッド出口部吸入圧(P_A)、およびポンプ入口部吸入圧(P_s)の時間的変化の一例を示す。しゅんせつ中の Q はほぼ一定値を示しきわめて安定状態にあるといえるが、吸入圧、とくに P_s の変動が大きいことは注目すべきことである。すなわち、へどろは塊状のままヘッド内に流入することを意味し、低含水比、高粘性へどろの場合は固体的性質を考慮しなければならないことを示している。

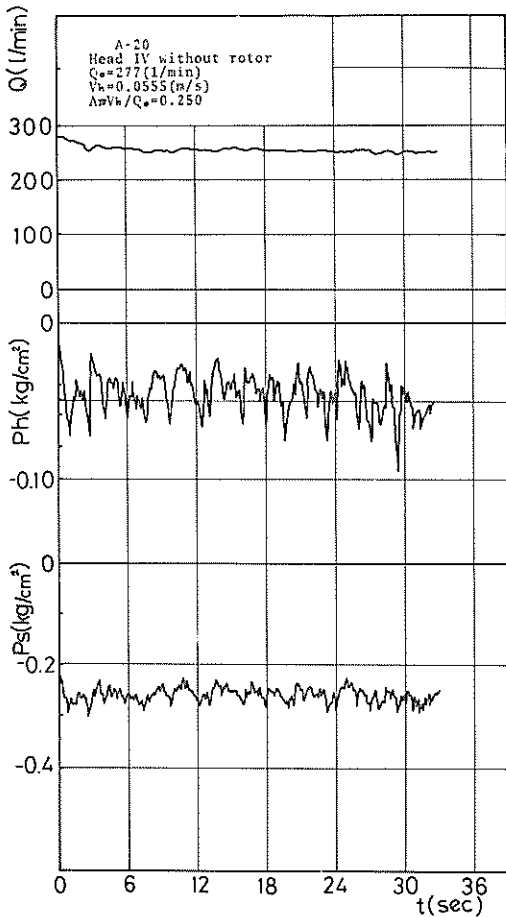


図-4 Aグループの計測例

(1) 含でい率と r_m の関係

定常しゅんせつ時のかき込み土量とスラリー流量の比を表わす無次元パラメータ r_m と平均吸込含でい率の関係を図-5に示す。真容積含でい率(C_v)と見掛け含でい率(C_s)の定義、および両者の関係については付録Aを参照されたい。

図より明らかに含でい率と r_m の間には強い相関関係があり、本実験においては $r_m < 0.4$ のしゅんせつ状態においては、含でい率は r_m の増加に対してほぼ直線的に増加しており、ヘッド形状による顕著な差異は認められない。また $r_m > 0.4$ では含でい率の増加傾向は減少する。これは r_m がある値以上になると、たい積へどろのかき込み量($A_1 V_A$)が必ずしもすべて吸引されなくなることを意味している。このような含でい率と r_m の関係は、前面開口型ヘッドの一つの特色であるが、その傾向はへどろの物性によって変化するものと考えられる。

(2) 流量低下としゅんせつ土量

しゅんせつ中は、管路抵抗やヘッド入口部の流入抵抗の増加等によりポンプ流量は低下する。そこで平均流量低下率を $r_f \equiv Q_m / Q_0$ で定義する。図-6は、 r_f としゅんせつ土量を表わす無次元量 $C_s \cdot Q_m / Q_0$ を C_s に対してプロットしたものである。図より、含でい率の増加に伴って流量低下割合は増加している。また本実験においては見掛け含でい率65%程度まで、しゅんせつ土量は含でい率の増加に対してほぼ同じ割合で増加していることがわかる。これら流量低下、およびしゅんせつ土量と含でい率の関係は、ポンプ船等における傾向と同様である。

5.2 Bグループの実験

Bグループの実験では、 $r_m \approx 0.38 \sim 0.6$ 、 $r_0 \approx 0.35 \sim 0.5$ の範囲であり、模擬ベッドのせん断強さは概略 $2.5 \sim 3.5 \times 10^{-3} \text{ kgf/cm}^2$ であった。

Bグループの実験では、ヘッド移動速度が比較的速い領域での、ヘッド形状の吸込能率や閉そく現象に及ぼす影響、かくはん用ロータやヘッド底板の効果について調べた。

(1) ヘッド形状の吸込能率への影響

図-7に含でい率と r_m の関係を示す。Bグループの実験は、ほとんど r_m が0.4以上であることから、5.1で述べたように、 r_m の増加に対する含でい率の増加割合はAグループほど顕著ではなくむしろ横ばい状態である。またヘッド形状による含でい率の相違は、実際上大きく問題になるほど顕著ではないが、Ⅱ、Ⅳ型ヘッド(ヘッド幅 $B_1 \approx 300 \sim 330 \text{ mm}$)の方がⅠ、Ⅲ型ヘッド($B_1 \approx 200 \text{ mm}$)に比べてやや大きい。これらのことはヘッド部におけるたい積へどろ吸入パターンと密接な関

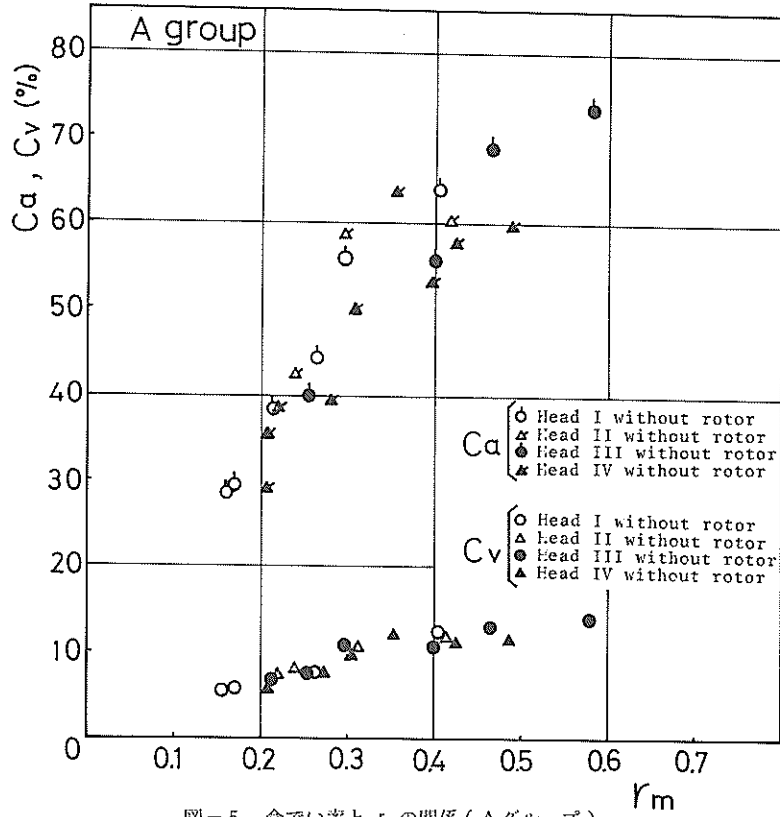


図-5 含でい率と r_m の関係 (Aグループ)

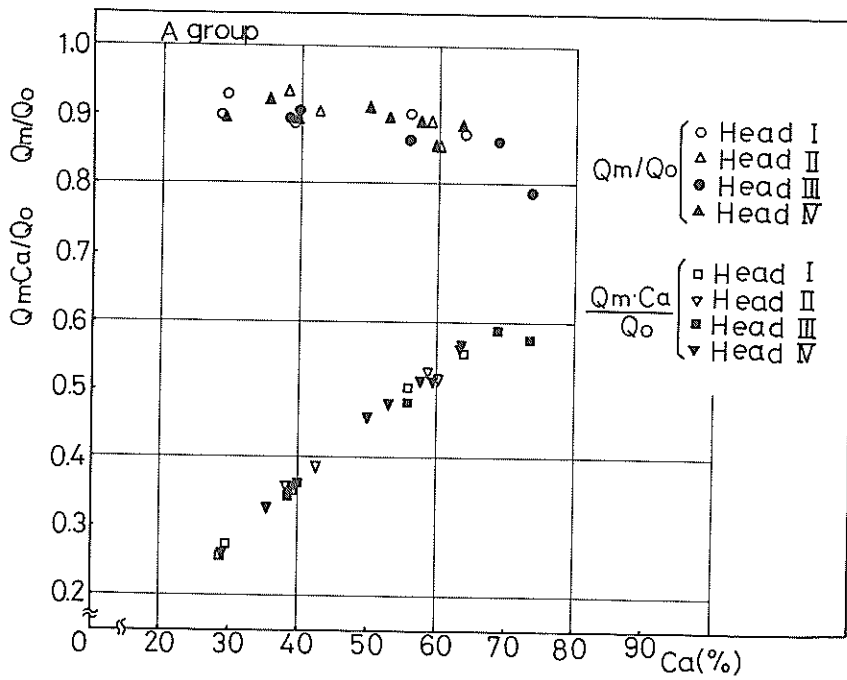


図-6 流量低下としゅんせつ土量 (Aグループ)

係にあり、詳細は5.3で述べる。

次に流量低下率 $r_f \equiv Q_m/Q_0$ および無次元しゅんせつ土量 $C_a \cdot Q_m/Q_0$ と見掛け含でい率 C_a の関係を図-8に示す。図より、 C_a が65%以上になるとスラリー流量は急激に低下し、したがってしゅんせつ土量も増加割合が減少する。すなわち、しゅんせつ能率を考える場合には含でい率のみならず流量低下率をも考慮に入れなければならない。また流量低下率、およびしゅんせつ土量でみるかぎり、ヘッド形状による差異はほとんど見られないといつてよい。

(2) ヘッド閉そく現象と運転条件

前面開口型吸込ヘッドによるへどろしゅんせつにおいて土厚1/1の場合に、かき込み土量 $A_i V_i$ がすべて吸引され、かつこれがポンプ流量 Q_m と等しければ見掛け含でい率100%でしゅんせつしたことになる。本実験に用いた模擬へどろは比較的含水比が低く、かつ高粘性土であるから、 $r_m < 1.0$ においてヘッド閉そく現象が生じることは容易に想像される。一方、へどろの高濃度しゅん

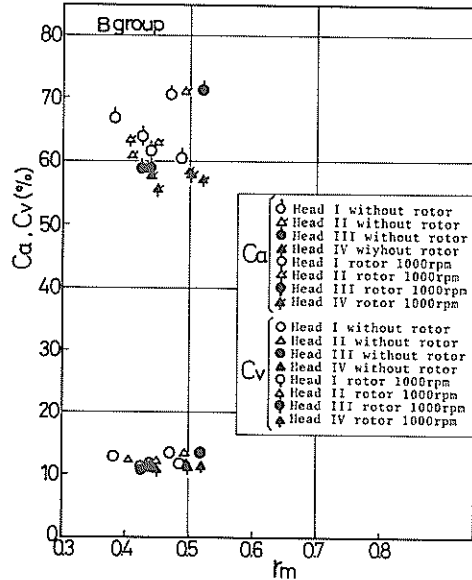


図-7 含でい率と r_m の関係 (Bグループ)

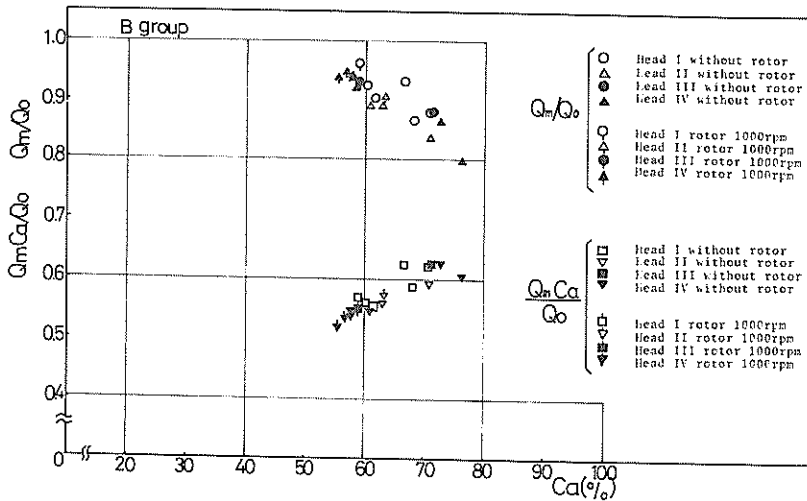


図-8 流量低下としゅんせつ土量 (Bグループ)

せつという観点に立てば、できるだけ r_m を大きくすることが望まれる。こういった意味において、ヘッド閉そく限界を明らかにしておくことはきわめて重要である。

そこで、I~IV型の各ヘッドについて閉そく現象を生じる限界運転条件を調べた。閉そく現象が生じる運転条件付近でのしゅんせつは非定常であるため、平均スラリー流量 Q_m は決定できない。それゆえここでは運転条件として、かき込み土量と清水時の流量の比を表わす無次元パラメータ r_0 を使用し、ヘッド閉そく限界時の r_0 を r_{0c} と表示する。しゅんせつ状態と r_0 の関係を図-

9に示す。各ヘッドに対する r_{0c} を明確に決定することは難しいが、閉そく状況、閉そく現象が生じるまでのヘッド移動距離等も考慮すると、概略表-3の値と推定される。

表-3より、 r_{0c} は2種類に大別される。すなわち、I型とII型ヘッド、III型とIV型ヘッドが同様の値となっている。ここで表-3右欄の各ヘッド寸法を考慮に入れてみると、 r_{0c} の相違は、吸入管径が一定の場合には、ヘッド幅 B_i とヘッド與行き S_i に関係すると考えられる。そしてこれら B_i 、および S_i はヘッド部でのへどろの吸

入パターンに影響を与える。へどろの吸入パターンについては5・3で詳しく検討することにして、ここでは τ_0 が B_i と S_i に強く関係することを述べるにとどめる。

以上より τ_0 を増加させるためには、ヘッド幅を増加させることがまず考えられるが、ヘッド幅の増加はヘッド移動速度の減少につながる。したがって、例えばドラグサクシオン船等、ヘッド移動速度に制限がある場合には、おのずとヘッド幅も制限を受けることになる。

また、ヘッド閉そく限界付近では、ヘッド左右の内壁にへどろ塊が付着しているのが観察された。さきに述べたように、低含水比へどろの場合は塊状になってヘッド内に流入するから、ヘッド内でのへどろ塊の破碎、かくはんを促進する意味でヘッド有効奥行き S_i もしゅんせつ能率に関係する一要因であると考えられる。

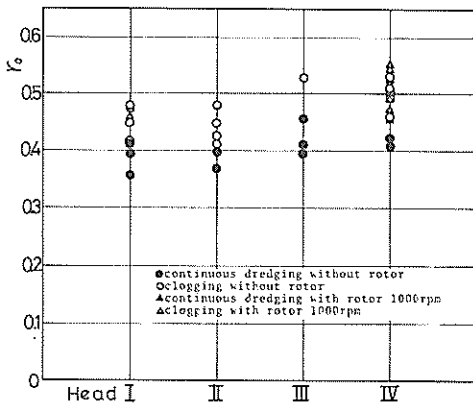


図-9 τ_0 によるしゅんせつ状態

表-3 各ヘッドの閉そく限界

項目 種類	限界かき込み量 流量比 τ_0	ヘッド寸法 B_i (m) \times H_i (m) \times S_i (m)
I型ヘッド	≈ 0.41	$0.198 \times 0.08 \times 0.142$
II型ヘッド	≈ 0.41	$0.196 \times 0.08 \times 0.150$
III型ヘッド	≈ 0.45	$0.295 \times 0.08 \times 0.197$
IV型ヘッド	$\approx 0.45 \sim 0.46$	$0.334 \times 0.08 \times 0.200$

(3) 円板型ロータの影響

かくはん機構の採用に際しては次の2つの効果が期待できる。

① かくはん作用によるへどろの流動特性の変化(たい積へどろが低含水比状態で固体的性質を有する場合には、その破碎作用も含む。)

② ブースト作用(かくはんされたへどろを吸入管側へ送り込む作用)

上記①、②の作用はかくはん装置の形状(種類)、回転数、取り付け位置およびヘッド形状等に依存する。

本実験で用いた多板式円板型ロータ周囲の流速分布は、ヘッド形状、取り付け位置、ロータの回転数およびポンプ流量等に関係し、解析的にロータ周囲の流れを予測することは困難である。そこで清水中において円板型ロータの回転数を変化させてポンプ流量および吸入圧の変化を測定したが、これらはほとんど変化しなかった(図-10参照)。図-10からわかるように、本実験に用いた円板型ロータは、上記②のブースト作用は無く、もっぱらかくはん、破碎作用のみの効果しか期待し得ない。

そこでI~IV型の各ヘッドに対して円板型ロータを1000rpmで回転させた場合(ロータ周速2.62m/s、回転方向は、ロータ下半分が送り込み作用をする方向)とロータなしの場合についてしゅんせつ実験を行い比較してみた。この場合、各ヘッドについて τ_0 がほぼ同一となるように運転条件を設定した。これら各場合の平均スラリー流量、ヘッド移動速度、含でい率等を表-4に示す。

表-4より、各ヘッドともロータ有の場合もなしの場合も相当高い見掛け含でい率でへどろを吸入しており($C_s \approx 5.5 \sim 6.5$ %)、また τ_0 等も各ヘッドについてはほとんど同じ値を示している。すなわち、円板型ロータによる顕著な効果は認められないといつてよい。

水槽側面からの観察によると、しゅんせつ中においては、ヘッド前面上部から相当の速度で水がヘッド内に流入しており、この流れによって塊状のへどろが小塊に破碎、希釈されていることがわかる。したがって、定期的にしゅんせつしている場合には、ヘッド内のへどろの流動化は流入水の効果が支配的であり、円板型ロータのかくはん作用の効果はほとんど現れないものと思われる。

次に円板型ロータの回転数が、ヘッド閉そく現象直前におけるしゅんせつ特性に及ぼす影響を調べた。

実験はIV型ヘッドを用いた。ロータ回転数は500rpm、1000rpmとした。両回転数とも $\tau_0 \approx 0.52$ となるように運転条件を設定した。これらの場合のスラリー流量および吸入圧の時間的変化を図-11に示す。またヘッド閉そく直前の見掛け含でい率は探でい、計量した結果、500rpmの場合7.9%、1000rpmの場合8.2.9%で大差なく、さらにヘッド閉そくまでの進行距離は両ケースとも約2mであった。これらのことと図-11の各値の変化傾向の類似性より、円板型ロータの回転数変化による顕著な効果は認められない。

以上の実験からは、円板型ロータのしゅんせつ能率に及ぼす顕著な効果は見い出せない。しかしながらこれは、

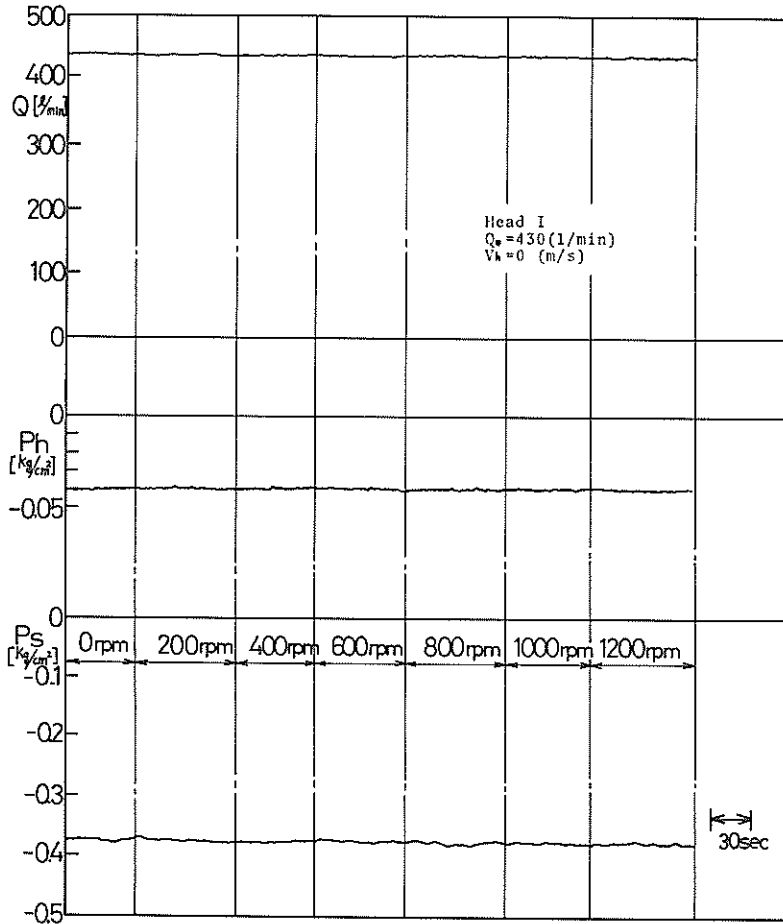


図-10 ロータ回転数のポンプ流量，吸入圧への影響（清水時）

表-4 円板型ロータの影響

項目 種類	ロータ	Q_0 [l/min]	V_k [m/s]	r_0 ($\equiv A_i V_k / Q_0$)	r_m ($\equiv A_i V_k / Q_m$)	r_q ($\equiv Q_m / Q_0$)	平均見掛け 含दैい率 C_s (%)	平均真容積 含दैい率 C_v (%)	実験 No.
I 型 ヘッド	1000rpm	395	0.170	0.409	0.425	0.962	59.0	11.4	B-1
	無	429	0.161	0.355	0.382	0.932	66.8	12.8	B-2
II 型 ヘッド	1000rpm	430	0.194	0.367	0.406	0.905	63.3	12.3	B-7
	無	426	0.192	0.367	0.408	0.899	60.9	11.8	B-8
III 型 ヘッド	1000rpm	430	0.124	0.408	0.439	0.930	58.9	11.5	B-3
	無	424	0.119	0.397	0.424	0.936	59.0	11.1	B-4
IV 型 ヘッド	1000rpm	435	0.146	0.419	0.448	0.936	55.5	10.7	B-5
	無	425	0.139	0.409	0.438	0.934	57.8	11.0	B-6

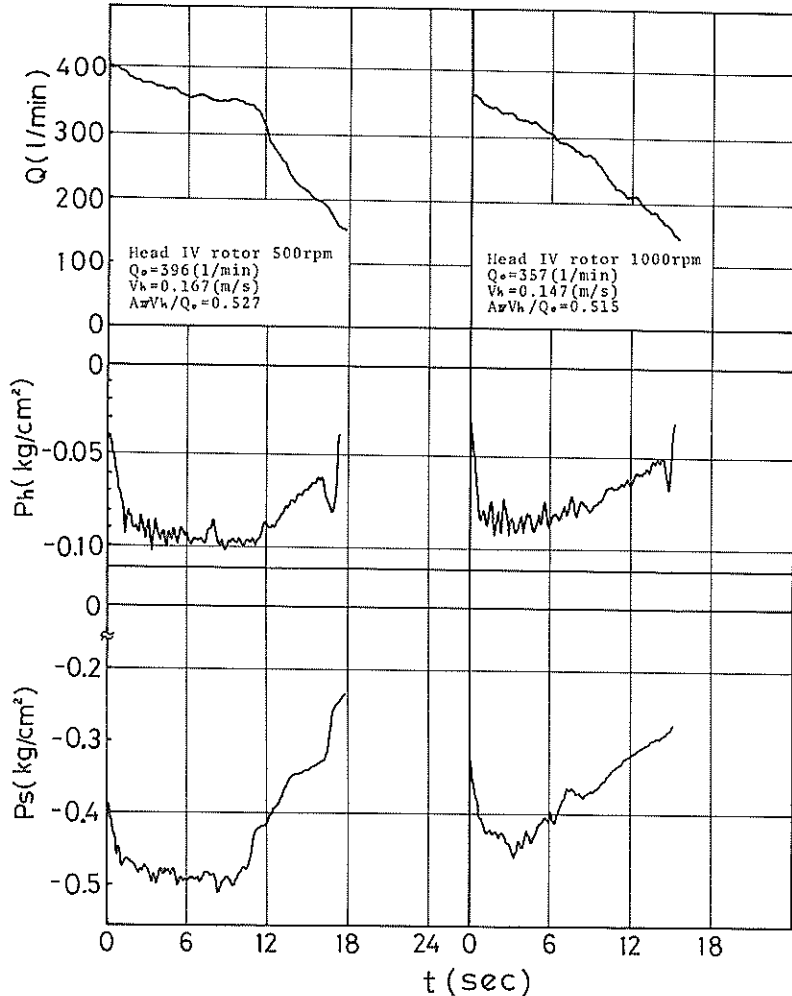


図-11 ロータ回転数の影響

ヘッドとの組み合わせ、および運転条件も含めての結果である。本実験においては前記のように、定常しゅんせつ中はヘッド前面上部付近から相当な速度の流入水があり、これが模擬へどろを希釈、破碎し流動化を高める。加えてスラリー自体がロータに対して相当の相対速度でロータ間を通過するために、円板型ロータの局所的かくはん作用の影響は実質的に表面には現れなかったものと考えられる。一方、一たびヘッド閉そく現象が生じると、ブースト作用を有さない円板型ロータは閉そく現象緩和に寄与できないようである。

一般にへどろ等はシキソロピー性(付録B参照)を有すると言われており⁵⁾、ペントナイトも同特性を有すると言われて⁶⁾したがって円板型ロータ自体のかくはん作用の有効性が無いということではなく、今回の実験範

囲では他の要因、とくに希釈流入水とスラリー流量の影響が支配的であったと解釈すべきであろう。この意味において、かくはん機器の構造、形状等の改良、開発が望まれる。

(4) ヘッド底板の影響

本実験で使用した前面開口型吸込ヘッドは全底面を平板でおおい、へどろ吸入はヘッド前面に限られている。しかし、底板を無くすれば、前面および底面からのへどろ吸入があり、吸込能力の増大およびヘッド閉そく限界の向上が期待される。

そこでⅣ型ヘッドを用いて、 $\tau_0 \approx 0.5$ (底板ありの場合にはヘッド閉そくが起り得る値)とし、底板あり(2/2)、底板なしおよび底板1/2の3種の実験を行った。これら各場合のスラリー流量、吸入圧の時間的変化

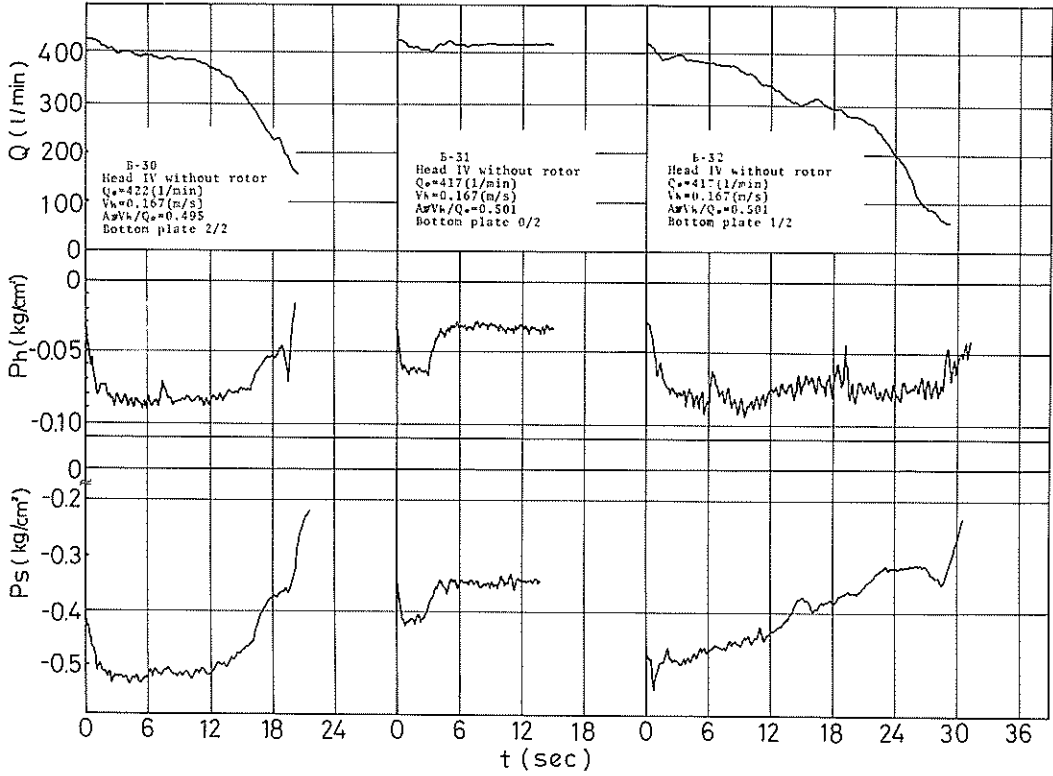


図 - 12 底板の影響

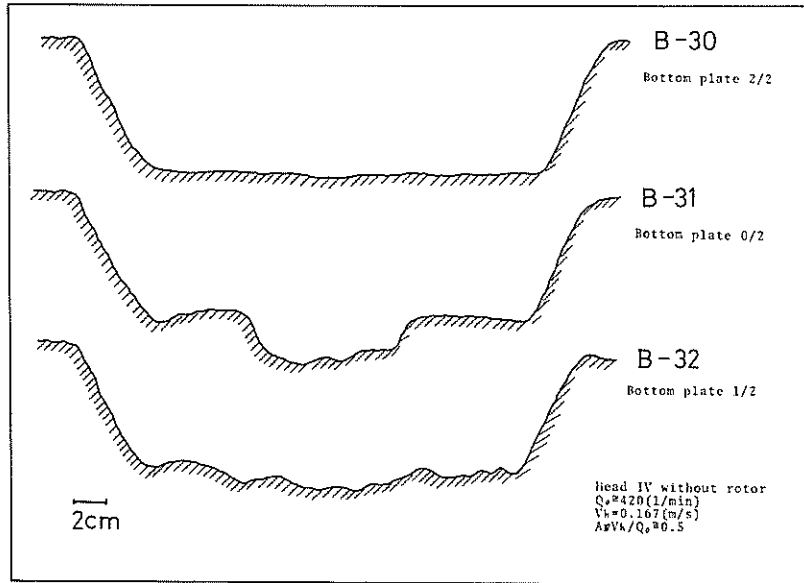


図 - 13 底板の掘削断面への影響

を図-12に、掘削断面を図-13にそれぞれ示す。

底波なし(0/2)の場合には、ヘッド進行に伴ってただちにヘッド前面部は閉そく状態となるが、ヘッド底面からは連続的に周囲の水のみを吸引する。したがって模擬へどろの吸引は行われないから、実用上は底面を全部解放することは無意味である。

次に底板を1/2にした場合であるが、この場合は、図-12からわかるように、底板なし(2/2)の場合に比べて閉そく現象が時間的にゆるやかになっている。また図-13からわかるように、底板1/2の場合にはヘッド中央部の底面からも模擬へどろを吸引している。

一方、閉そく直前の見掛け含でい率は底板有(2/2)の場合には79.5%、底板1/2の場合には87.1%で後者の方が高かった。

以上より、ヘッド底面の解放は底面からのへどろの吸引およびヘッド閉そく現象の緩和といった観点から、その効果を期待し得るが、少くとも吸入管直下部付近は、余剰水流入を防止する意味から底板を設けるのが適切である。

(5) ヘッドまわりの濁り

へどろしゅんせつにおいては、吸込ヘッドがほとんど埋没状態となるために、ヘッド移動によって土粒子をかく乱し濁りの発生を伴う。よって本実験においてもBグループの実験において、ヘッド中心後部の濁度計測を試みた。

本実験においては、土質条件を模擬ベッド全般にわたって均一化するために、調合した模擬へどろを水槽に供給、かくはんした後、表面をならし板によって削り取

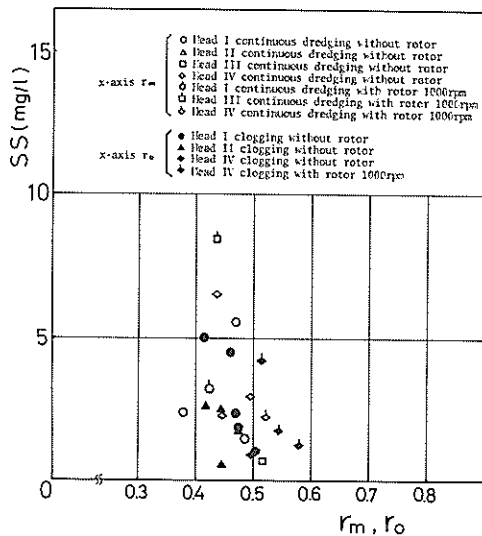


図-14 運転条件と濁り

り水平にした。その後静かに一定水位まで清水を満した。したがって模擬ベッド表面にはたい積浮でいが実質的に存在しない状態であった。また調合模擬へどろは低含水比、高せん断強さであるため凝集力も相当強かった。

Bグループの実験における平均濁り(バックグラウンドからの変化分のSS換算値)を r_m (ヘッド閉そく時は r_0)に対してプロットしたのが図-14である。図より、本実験に用いたような低含水比、高せん断強さを有し、かつたい積浮でいの存在しないへどろ層のしゅんせつにおいては、発生濁り量は少く、しかも運転条件とあまり関係無いものと思われる。

5.3 運転条件とたい積へどろ吸入パターン

定常しゅんせつ時の結果については運転条件等の差異により、2大別して5.1, 5.2(1)で述べた。ここではAグループとBグループの実験結果を総合的に検討してみよう。

AグループとBグループの実験結果を総合すると次のように言える。しゅんせつ能率の重要な基準となる含でい率は、 r_m の低い領域においては r_m の増加に伴って直線的に増加してゆく。しかしある r_m を境として r_m の増加に対する含でい率の増加割合が急激に減少する。前者をX領域(Aグループに相当)、後者をY領域(Bグループに相当)と呼ぶことにし、両者の境界運転状態を r_{mb} と表わすことにすると、含でい率と r_m の関係はあるヘッドに対して概略図-15のようになる。

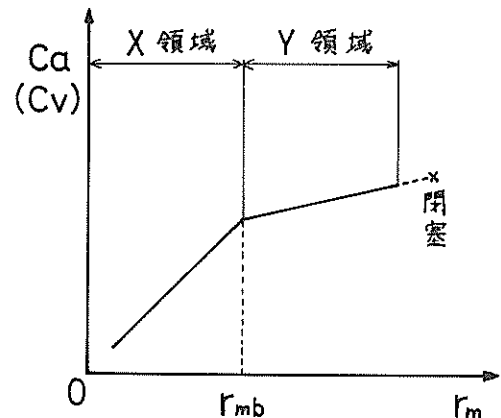


図-15 含でい率と r_m の関係概略図

運転状態によってX領域とY領域に別れる理由は、まさにヘッド部でのへどろ吸入パターンに関係する。まずX領域について検討するが、その前に無次元パラメータ $r_m \equiv A_s V_A / Q_m$ について再考する。 r_m における分子 $A_s V_A$ はたい積へどろのかき込み量であり、ヘッド入口部に

においてヘッド入口断面より外側のへどろはヘッド内にかき込まれないとすれば、土厚 $1/1$ の場合には同時にしゅんせつ土量をも意味する。よってこの $A_1 V_A$ の土量がすべて吸引された場合には、これをスラリー流量 Q_m で除した値は、まさに見掛け含でい率に相当する。X領域は、このかき込み量 $A_1 V_A$ がすべて吸引されている状態である。したがって C_a と r_m は比例関係にあり、図-5の傾向が理解されよう。図中のデータが $C_a > r_m$ となっているのは、本実験結果の整理において A_1 を模型ヘッドの内のりで表わし、ヘッドを構成しているアクリル板の厚さ(10 mm)を無視しているためである。ところが V_A が増加、すなわちかき込み量が増加して r_m がある値を越えると、かき込み土量に対する流入水割合が減少し、その希釈、破碎流動化作用が減少する。そのためにヘッド内に到達した模擬へどろは崩壊しないままヘッド内両側面部に付着、滞留してデッドゾーンを形成する(写真-5参照)。そしてこのデッドゾーンは新たな流入へどろに対しては強い抵抗となり、流入へどろの一部はヘッド外部へはみ出してしまふ。このはみ出し量は V_A の増加とともに増加する。したがってこのような状態では、正味しゅんせつ土量は $A_1 V_A$ よりも少く、その差は r_m の増加に伴って大きくなる。すなわち C_a が r_m の増加に対してあまり増加

しないY領域となる(図-7参照)。デッドゾーンは r_m の増加とともに大きくなり、ついにはヘッド内部全体がデッドゾーンとなって閉そくしてしまう。このようにX領域とY領域においてはヘッド部でのへどろの吸入パターンが異なる。以上はヘッド内部についての論議であるが、ヘッド外部においてもX、Y領域の差異は観察される。ヘッド外部における両者の差異はヘッド前面部のたい積へどろの崩壊パターンであり、これをX領域→Y領域→ヘッド閉そくの順に写真6~12に示す。

ところで実際のへどろしゅんせつを想定した場合には、

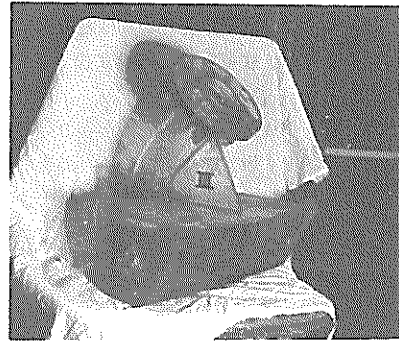


写真-5 ヘッド内滞留へどろ



写真-6 X領域前半

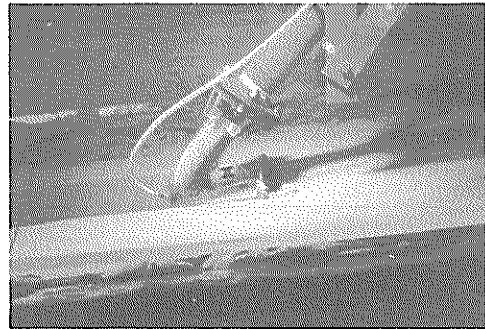


写真-7 X領域後半

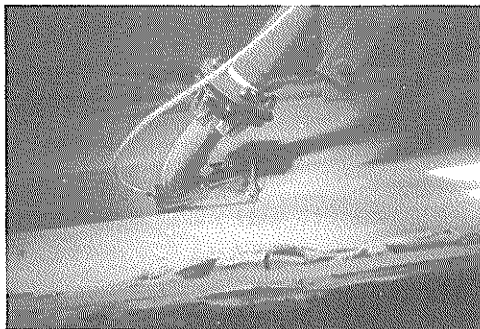


写真-8 X、Y境界領域付近

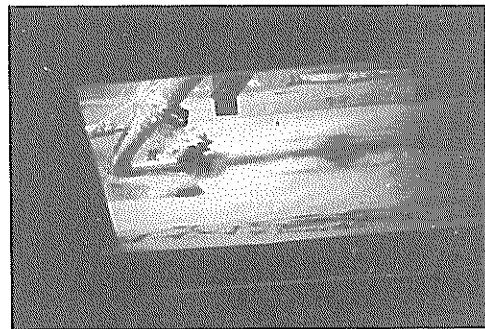


写真-9 Y領域前部



写真-10 Y領域中部



写真-11 Y領域後部

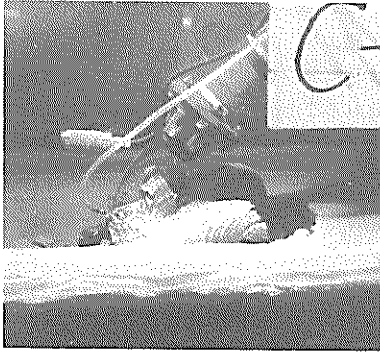


写真-12 ヘッド閉そく

上記Y領域後半でのしゅんせつは危険を伴うであろう。すなわち、土厚の変動等によりデッドゾーンが急激に増加してヘッド閉そく現象を誘発する危険性がある。さらにY領域においては全般的に含え率があまり変化しないこと、および5.2(1)で述べたように含え率の高い領域においては、含え率の増加は必ずしもしゅんせつ土量の増加に直結しないことを考慮すると、現実的にはX、Y領域の境界付近の運転状態でしゅんせつするのが妥当と判断される。よってこのX、Y領域の境界における運転状態を求めることが現実的には重要な問題となってくる。この境界運転状態はヘッド入口部のへどろの吸入パターンに関係し、たい積へどろのせん断強さ、付着力、ヘッド移動速度、ポンプ流量等によって左右され、物理学的解析は相当困難である。

そこでここでは、本しゅんせつ実験に関して次元解析を行い、AグループとBグループの実験データをあてはめて前面開口型吸込ヘッドのしゅんせつ特性を検討してみる。

本実験の主目的は、ヘッド形状としゅんせつ能率の関係を調べることであった。そこでここでの次元解析は吸込ヘッド部について行い、ロータなしの場合を取り扱う。

定常しゅんせつ時におけるしゅんせつ特性に関する物理量は次のように考えられる(単位はいずれも工学単位系、図-16参照)。

平均スラリー流量; Q_m [m^3/s]

ヘッド出口部吸入圧(清水時流量0からの変化圧);

P_h [kgf/m^2]

スラリー密度; ρ_m [$\text{kgf}/\text{s}^2/\text{m}^3$]

模擬ベッドせん断強さ; τ_0 [kgf/m^2]

吸入管断面積; a [m^2]

ヘッド入口部断面積; A [m^2]

ヘッド移動速度; V_h [m/s]

重力加速度; g [m/s^2]

ヘッド奥行き; S [m]

したがって平均スラリー流量 Q_m を他の物理量で関係づけると、

$$Q_m = C P_h^\alpha \rho_m^\beta \tau_0^\gamma a^\delta A^\epsilon V_h^\zeta g^\eta S^\theta \quad (C; \text{無次元定数}) \dots\dots(1)$$

と表わせる。ここで $\alpha, \beta, \dots, \theta$ の関係を求めるわけであるが、その数が多いため次元解析論を一步進め、基本単位を6個導入することを考える。すなわち工学単位系における基本単位量である力、長さについてさらに細かく分割し、長さについてはベクトルの概念を導入して3方向に L_x, L_y, L_z とする⁷⁾。また力についてはそ

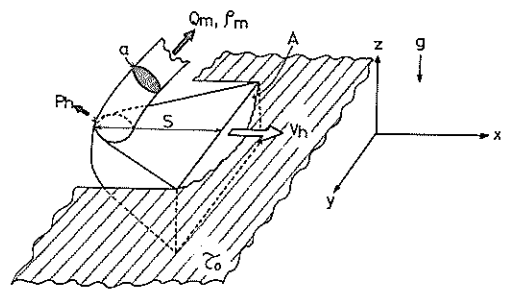


図-16 ヘッド部のヘッド吸入状態

の二元的性格を考慮して質量力 K_m と慣性力 K_i に分割して取り扱うことにする。かくして基本単位量は、力 K_m , K_i , 長さ L_x , L_y , L_z , および時間 T の6個となる。したがって前記 Q_m , P_k , …… S の次元は次のようになる。

$$\begin{aligned}
 [Q_m] &= [m^3/s] = [L_x L_y L_z T^{-1}] \\
 [P_k] &= [kgf/m^2] = [K_i L_x^{-2/3} L_y^{-2/3} L_z^{-2/3}] \\
 [\rho_m] &= [kgf s^2/m^4] = [K_m L_x^{-1} L_y^{-1} L_z^{-2} T^2] \\
 [\tau_0] &= [kgf/m^2] = [K_i L_x^{-2/3} L_y^{-2/3} L_z^{-2/3}] \\
 [a] &= [m^2] = [L_x^{2/3} L_y^{2/3} L_z^{2/3}] \\
 [A] &= [m^2] = [L_y L_z] \\
 [V_k] &= [m/s] = [L_x T^{-1}] \\
 [g] &= [m/s^2] = [L_x T^{-2}] \\
 [S] &= [m] = [L_x]
 \end{aligned} \tag{2}$$

(2)を(1)式に代入して整理し、得られた連立一次方程式を α , ϵ について解き、これらを再び(1)式に代入して次式を得る。

$$Q_m = C A V_k (P_k / \tau_0)^\alpha (A S / a^3)^{\epsilon-1}$$

ゆえに

$$A V_k / Q_m = f(P_k / \tau_0, A S / \sqrt{a^3}) \dots\dots\dots(3)$$

と表わせる(ただし、 f は関数を表わす)。参考までに以上の次元解析をMKS絶対単位系で行った結果を付録Cに記してあり、結果は上記(3)式と同形となる。

(3)式における右辺第二項はヘッド形状に関する無次元パラメータであり、ヘッドごとに固有の値を持つ。本実験に使用したI~IV型の各ヘッドに対しては表-5の値となる。

表-5より $A S / \sqrt{a^3}$ は、I, II型ヘッド群とIII, IV型ヘッド群の2種に大別される。また P_k / τ_0 は土質

と吸込力に関する無次元量であり、 $A V_k / Q_m$ は前出 r_m であり、運転状態に関する無次元量である。

表-5 ヘッド形状

種類	項目	$A_i [m^2]$	$S_i [m^2]$	$A_i S_i / \sqrt{a^3} [-]$
I型ヘッド		0.0158	0.144	23.2
II型ヘッド		0.0136	0.150	20.8
III型ヘッド		0.0236	0.197	47.4
IV型ヘッド		0.0208	0.200	42.6

そこで $A S / \sqrt{a^3}$ をパラメータとして横軸に $|P_k| / \tau_0$, 縦軸に $r_m \equiv A_i V_k / Q_m$ をとり、AグループとBグループの実験結果をプロットしたのが図-17である。図より、ある形状のヘッドに対して概略図-18のように表わせ、 r_m と $|P_k| / \tau_0$ の関係は2領域に類別されることがわかる。この2領域はまさに、前述したX, Y領域に対応する。すなわち、X, Y領域の境界における運転状態を表わす r_m は、ヘッド形状、 $|P_k| / \tau_0$ によって実験的に決定されるものと考えられる。

また図-17より、本実験で使用した各ヘッドはその形状によりしゅんせつ特性もI, II型群とIII, IV型群に区別され、同一 $|P_k| / \tau_0$ に対する r_m はI, II型群よりII, IV型群の方が高いことがわかる。

ところで実際には、X領域からY領域への遷移は運転状態の変化に対してゆるやかに起こるものと推定され、 r_m の値を明確に決定することは難しい。本実験におけるI, II型ヘッド、およびIII, IV型ヘッドに対する r_m は図-5, および図-16より大まかに推定すると両者も概略0.4程度になろう。よってヘッド形状によるしゅんせつ特性の差異は、Y領域の存在する r_m の範囲と結びつけられる。図-17より、Y領域の存在する r_m の

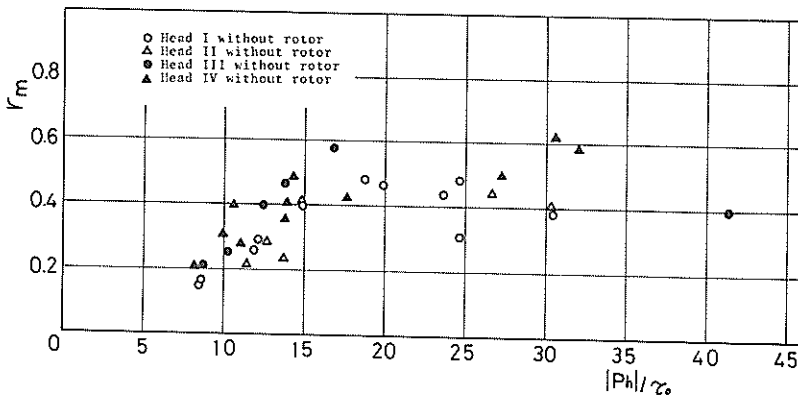


図-17 r_m と $|P_k| / \tau_0$ の関係

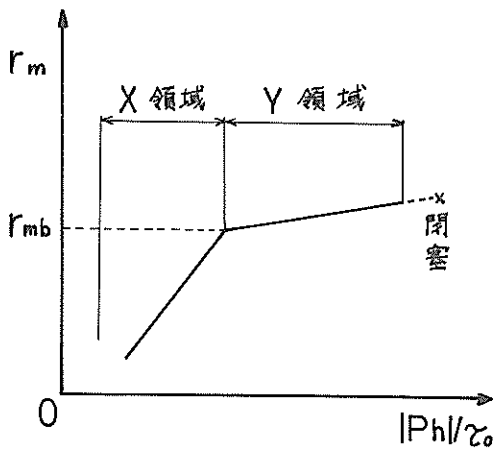


図-18 r_m と $|P_h|/\tau_0$ の関係概略図

範囲はⅠ、Ⅱ型ヘッド群よりもⅢ、Ⅳ型ヘッド群の方が広い。すなわち r_m から閉そく限界までの運転条件の範囲が広いことを意味している。

現実の高濃度しゅんせつを想定した場合には種々の不安定要因が予想されるため、 r_m 近辺の運転状態が適当であることはすでに述べた。加えて r_m 近辺での安定領域の範囲が広いヘッドの方が好ましいといえる。以上の観点から立てば、Ⅰ、Ⅱ型ヘッドは r_m から閉そく限界までの運転条件の範囲が狭く閉そく現象に敏感であるため、Ⅲ、Ⅳ型ヘッドの方がⅠ、Ⅱ型ヘッドよりも有利と考えられる。

Ⅰ、Ⅱ型ヘッドとⅢ、Ⅳ型ヘッドの形状の主たる差異の一つはヘッド幅であるが、ヘッド幅の増加はデッドゾーンの増大につながることで、および現実的にはヘッド移動速度に制限があることなどから、無条件に大きくすることはできないであろう。

またヘッド側面の形状については、かき込み土量ヘッド入口断面によって決定されること、および円弧型の場合はデッドゾーンと結びつくことを考慮すると、製作の容易な直線型で十分であろう。

また運転状態が r_m 以上、すなわちY領域になると、かき込み土量はすべてが吸引されず、一部はヘッド上表面にはみ出して濁りの発生源となることが予想される。しかしながら、本実験のようにへどろのせん断強さが相当大きく、かつたい積浮でい量も少ない場合には、濁りの発生量はあまり問題にならないものと想像される。

ところで、前記次元解析の結果は、その適用範囲に制限があることに注意しなければならない。前述の論議は、へどろの海底たい積状態における含水比が相当低く固体的要因が支配的である、すなわちたい積へどろの物性の

うちせん断強さがヘッド部でのへどろ吸引に強く関係すると仮定して次元解析を進めたわけである。したがってたい積へどろの含水比が高くなってくと初期の仮定を修正しなければならない。すなわち含水比が相当高くなってくと、粘性係数等も導入しなければならないであろう。

6. まとめ

前面開口型吸込ヘッドを用いて低含水比、高せん断強さを有するへどろの模倣しゅんせつ実験を行い、得られた結果を要約すると以下ようになる。

- ① 前面開口型吸込ヘッドを用いた場合の定常しゅんせつ状態における見掛け含え率は、最高で55～65%であり、Ⅰ～Ⅳ型の各ヘッド間で顕著な差異はない。
- ② ヘッド側面形状（直線型と円弧型）の含え率および流量低下率に及ぼす影響はほとんどない。したがって簡単な直線型で十分である。
- ③ ヘッド閉そく現象を生じる限界運転条件を表わす r_m は、Ⅰ、Ⅱ型ヘッドでは約0.41、Ⅲ型、Ⅳ型ヘッドでは約0.46でヘッド形状に関係がある。
- ④ ヘッド部でのたい積へどろ吸入パターンは、X領域とY領域の2種類に区別され、無次元量 $A_1 S_1 / \sqrt{a^3}$ 、 r_m 、 $|P_h|/\tau_0$ によって実験的に決定される。
- ⑤ X領域は、かき込み土量がすべて吸引される領域であり、この領域における含え率は運転状態によって決定され、ヘッド形状の影響はほとんどない。一方Y領域においては、ヘッド内に形成されたデッドゾーンの抵抗により、かき込み土量はそのすべては吸引されなくなり、一部はヘッド外部にはみ出してしまふ。デッドゾーンの形成量とヘッド外へのはみ出し土量は、ヘッド形状と運転状態の影響を受ける。そしてこのY領域の存在する r_m の範囲は、Ⅰ、Ⅱ型ヘッドよりⅢ、Ⅳ型ヘッドの方が広いと考えられ、したがって実際のしゅんせつを想定した場合には、Ⅰ、Ⅱ型ヘッドよりⅢ、Ⅳ型ヘッドの方が有利である。
- ⑥ 円板型ロータの効果はほとんど認められなかったが、これはヘッド前面上部付近からの流入水によるへどろの希釈、破砕流動化作用、および押し込み作用が顕著なためである。
- ⑦ ヘッドの底板をすべて除去し、 $r_m \approx 0.5$ で実験した場合には、ヘッド前面はただちに閉そく状態となって底面部からのみ周囲の水を吸引し、含え率はほとんど0である。しかしながら吸込管の直下部にのみ底板を取り付けた状態では、前面のみ解放した場合よりも

閉そく現象がゆるやかに生じ、含でい率も底板有の場合よりもやや高い。

⑨ 本実験に使用した模擬ベッドは低含水比のため凝集力が強く、加えてたい積浮でもほとんど存在しない状態であったため、濁りと運転条件の相関関係は認められなかった。

7. あとがき

流体式へどろしゅんせつ工法において重要な機器の一つである吸込ヘッドの開発に向けて、その第一段階として前面開口型吸込ヘッドを取り上げ、その形状としゅんせつ特性の関係を模型実験によって検討した。その結果、たい積へどろが低含水比、高せん断強さを有する場合のしゅんせつ特性とヘッド形状、運転条件の関係が概念的には握された。

今後は物性の異なる各種のへどろに対するしゅんせつ特性、効率の良いかくはん装置の開発、および他の付属機構の効用についても更に研究を進める必要がある。

参考文献

- 1) 運輸省第二港湾建設局：へどろ浚渫処理船開発調査研究報告書，昭和52年
- 2) 岡 小天：レオロジー入門，工業調査会，1970年
- 3) 岩田尚生：へどろのフロー試験，日本港湾コンサルタント協会，昭和48年。
- 4) 八木得次他：ポンプ浚渫船の運転条件が濁りに及ぼす影響，港湾技研資料No 228，1975年。
- 5) 松尾春雄他：いわゆるへどろのチキソトロピーについて，土木学会誌38-11，昭. 28-11，PP. 20-26。
- 6) 高野 暁：流体力学，岩波書店，1975年。
- 7) 坂山大三：次元解法の理論と応用，共立出版，1960年。

記号一覧表

A_i^* : ヘッド入口部有効断面積 [m²]
 a : 吸入管断面積 [m²]
 B_i^* : ヘッド入口部有効幅 [m]
 C_a : 吸入スラリー平均見掛け含でい率 [%]
 C_v : 吸入スラリー平均真容積含でい率 [%]
 H_i^* : ヘッド入口部有効高さ [m]
 Q : ポンプ流量 [ℓ/min]

P_k : ヘッド出口部吸入圧 (ポンプ流量0からの変化圧) [kgf/cm²]
 P_s : ポンプ入口部吸入圧 (大気圧からの変化圧) [kgf/cm²]
 Q_m : スラリー平均流量 [ℓ/min]
 Q_0 : 清水時平均ポンプ流量 [ℓ/min]
 τ_m : しゅんせつ時のかき込み土量とスラリー流量の比 ($\equiv A_i V_k / Q_m$) [-]
 τ_0 : かき込み土量と清水時ポンプ流量の比 ($\equiv A_i V_k / Q_0$) [-]
 τ_q : 平均流量低下率 ($\equiv Q_m / Q_0$) [-]
 S_i^* : ヘッド有効奥行き [m]
 SS : 浮遊物質量 [mg/l]
 V_k : ヘッド平均移動速度 [m/s]
 w_0 : 模擬ベッド含水比 [%]
 τ_0 : 模擬ベッドせん断強さ [kgf/cm²]

* 添字 i は I~IV 型の各ヘッドを意味する。

付 録

A 真容積含でい率と見掛け含でい率

通常使用されている容積含でい率には2種類ある。すなわち真容積含でい率と見掛け容積含でい率 (慣例的に見掛け含でい率と呼ばれる) である。

真容積含でい率とは、スラリー中に含まれる土砂部分の正味体積割合のことで、含有される土砂の真比重を用いて算出される。一方見掛け含でい率は、しゅんせつされたスラリー中に含まれる土砂部分の、しゅんせつ前の状態を100%とした場合の割合であり、しゅんせつ前の見掛け比重を用いて算出される。そこで

ρ_s : 土砂の真比重

ρ_w : 水の真比重

ρ_m : 吸入スラリーの比重

ρ_a : しゅんせつ前の土砂の見掛け比重

とすると、真容積含でい率 C_v 、および見掛け含でい率 C_a はそれぞれ

$$C_v = \frac{\rho_m - \rho_w}{\rho_s - \rho_w} \times 100 [\%] \dots\dots (A. 1)$$

$$C_a = \frac{\rho_m - \rho_w}{\rho_a - \rho_w} \times 100 [\%] \dots\dots (A. 2)$$

と表わされる。また C_a と C_v の間には

$$C_v = C_a \frac{\rho_a - \rho_w}{\rho_s - \rho_w} \dots\dots\dots (A. 3)$$

の関係がある。

B シキソトロピー性について

せん断応力とせん断速度との比として表わされる見掛けの粘度が、せん断応力を作用させている時間とともに減少する現象をシキソトロピー (thixotropy) と呼ぶ。これは流体に含まれている物質の分子構造が変化するためと言われている。一時的に低下した見掛けの粘度は、一定時間静置すれば再びもとに戻る。この回復時間は流体の状態によって異なり、何分の1秒という短いものから何か月という長いものまであり、非常に広範囲である。

C MKS 絶対単位系による次元解析

MKS 絶対単位系においては、kg は質量を意味するため、ここでは kg^* と表示して工学単位系の力 (kgf) と区別する。ここでも次元解析論を一步進め、質量の二元の性格を導入する⁷⁾ すなわち、

$[M_m]$: 物質の量としての質量

$[M_i]$: 慣性としての質量

と定義する。長さ L に関しては工学単位系の場合と同様に L_x, L_y, L_z とベクトル的に考える。

以上の事項を本しゅんせつ実験に適用すると、前記 Q_m, P_h, \dots, S の各物理量の次元は次のようになる。

$$[Q_m] = [\text{m}^3/\text{s}] = [L_x L_y L_z T^{-1}]$$

$$[P_h] = [\text{kg}^*/\text{ms}^2] = [M_i L_x^{-1/3} L_y^{-1/3} L_z^{-1/3} T^{-2}]$$

$$[\rho_m] = [\text{kg}^*/\text{m}^3] = [M_m L_x^{-1} L_y^{-1} L_z^{-1}]$$

$$[\tau_0] = [\text{kg}^*/\text{ms}^2] = [M_i L_x^{-1/3} L_y^{-1/3} L_z^{-1/3} T^{-2}]$$

$$[\alpha] = [\text{m}^2] = [L_x^{2/3} L_y^{2/3} L_z^{2/3}]$$

$$[A] = [\text{m}^2] = [L_y L_z]$$

$$[V_h] = [\text{m}/\text{s}] = [L_x T^{-1}]$$

$$[g] = [\text{m}/\text{s}^2] = [L_x T^{-2}]$$

$$[S] = [\text{m}] = [L_x]$$

……………(C. 1)

前記と同様に

$$Q_m = C P_h^\alpha \rho_m^\beta \tau_0^\gamma \alpha^\delta A^\epsilon V_h^\zeta g^\eta S^\theta \dots (C. 2)$$

と表示し(ただし、 C は無次元定数)、(C. 1)を(C. 2)に代入して次元式を求めると

$$[L_x L_y L_z T^{-1}] = [M_i^{\alpha+\gamma} M_m^\beta L_x^{-1/3\alpha-\beta-\frac{1}{3}\gamma+\frac{2}{3}\delta+\zeta+\theta}$$

$$L_y^{-1/3\alpha-\beta-\frac{1}{3}\gamma+\frac{2}{3}\delta+\zeta} L_z^{-1/3\alpha-\beta-\frac{1}{3}\gamma+\frac{2}{3}\delta+\zeta+\eta}$$

$$T^{-2\alpha-2\gamma-\zeta-2\eta}] \dots (C. 3)$$

となり、次の連立方程式を得る。

$$\alpha + \gamma = 0$$

$$\beta = 0$$

$$-\frac{1}{3}\alpha - \beta - \frac{1}{3}\gamma + \frac{2}{3}\delta + \zeta + \theta = 1$$

$$-\frac{1}{3}\alpha - \beta - \frac{1}{3}\gamma + \frac{2}{3}\delta + \zeta = 1$$

$$-\frac{1}{3}\alpha - \beta - \frac{1}{3}\gamma + \frac{2}{3}\delta + \zeta + \eta = 1 \dots (C. 4)$$

$$-2\alpha - 2\gamma - \zeta - 2\eta = -1$$

(C. 4)を α, ϵ について解くと

$$\alpha = \alpha$$

$$\beta = 0$$

$$\gamma = -\alpha$$

$$\delta = \frac{3}{2}(1 - \epsilon) \dots (C. 5)$$

$$\epsilon = \epsilon$$

$$\eta = 0$$

$$\theta = \epsilon - 1$$

となる。(C. 5)を(C. 2)に代入して次式を得る。

$$Q_m = C A V_h (P_h/\tau_0)^\alpha (A S/\sqrt{\alpha^3})^{\epsilon-1}$$

すなわち

$$A V_h/Q_m = f(P_h/\tau_0, A S/\sqrt{\alpha^3})$$

(f は関数を表わす)…………(C. 6)

と表示することができ、前記工学単位系による(3)式と同形になる。

港湾技研資料 No. 302

1978・9

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 日青工業株式会社

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