

港湾技研資料

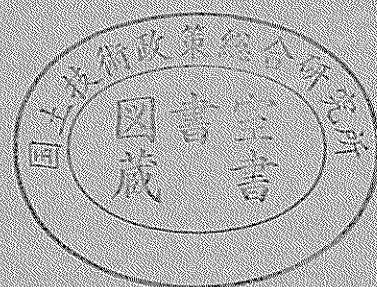
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 422 June. 1982

前面開口型ドラグヘッドによる軟泥浚渫現地実験
—— 表層浚渫における安定板の利用効果 ——

岡 山 義 邦
浜 田 賢 二
村 上 幸 敏

運輸省港湾技術研究所



目 次

| | |
|---------------------------|----|
| 要 旨 | 3 |
| 1. まえがき | 3 |
| 2. 試験の概要 | 4 |
| 2.1 供試浚渫船 | 4 |
| 2.2 供試前面開口型ヘッド | 4 |
| 2.3 試験の種類 | 5 |
| 2.4 測定項目と測定方法 | 6 |
| 3. 試験条件 | 7 |
| 3.1 浚渫区域と海底土質 | 7 |
| 3.2 海気象条件 | 9 |
| 4. 試験結果と考察 | 9 |
| 4.1 データ整理の方法と結果の概要 | 9 |
| 4.2 浚渫ポンプの清水特性 | 12 |
| 4.3 浚渫特性 | 14 |
| 4.4 オペレーション上の安定板の効果 | 20 |
| 4.5 ドラグヘッドの姿勢制御 | 22 |
| 4.6 へどろ面探知システム | 22 |
| 4.7 浚渫時の濁り | 24 |
| 5. まとめ | 26 |
| 6. あとがき | 27 |
| 参考文献 | 27 |

Effective Removal of Soft Mud Layer by A Front-Open Type Drag Head

– Effective Use of Stabilizer in the dredging for thin layer –

Yoshikuni OKAYAMA*
Kenji HAMADA**
Yukitoshi MURAKAMI**

Synopsis

A front-open type drag head has been developing as one of the effective methods to remove soft mud layers at sea bottom. In this report, the dredging characteristics of the drag head is discussed through the field test by trailing hopper dredge "SEIRYU MARU" with a dead weight of 3,202 tons and a hopper capacity of 1,754 m³, and which is owned by the Ministry of Transport.

The average moisture content of the sea bottom was 220% and the stabilizer with a surface area of 7 m² was equipped to the front-open type drag head used here. The main purpose of the use is to gain a constant cutting depth without over-cuts against mud layers by connecting with the use of swell compensator. Throughout the test, the data concerning the dredging characteristics such as a slurry concentration, a volume of mud dredged and a pump vacuum were measured continuously with the movement of the head with/without the stabilizer.

As the results of the test, for the case without stabilizer, it is revealed that the ratio of mud absorbed to the volume supplied is 60–100%, and its value can reach to 100% by increasing a cutting depth. As far as the use of the stabilizer is concerned, the position of the drag head was constantly kept at 40–50 cm below the sea-bed surface. However, the decreasing tendency on a slurry concentration was seen at a ship speed of 3 knots or more.

Furthermore, the accuracy of the new method to determine soft-mud surface directly by the ultrasonic system is discussed, and the amount of suspended solids (S.S.) caused by the dredging activities is also investigated.

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

前面開口型ドラグヘッドによる軟泥浚渫現地実験

—— 表層浚渫における安定板の利用効果 ——

岡山 義邦*

浜田 賢二*

村上 幸敏**

要 旨

本調査は、ドラグサクシオン浚渫船のドラグヘッドとして前面開口型ヘッドを用い、これによる軟泥の表層浚渫に対する可能性を実船実験を通じて調べたものである。実験に使用されたドラグサクシオン浚渫船は、運輸省第5港湾建設局所属の「清龍丸」(3526 GT, ホッパ容量1754 m³)である。

実験区域の底質含水比は約220%であり、この底質に対する前面開口ヘッドの基本浚渫特性を明らかにするとともに、面積7 m²の安定板とスエルコンベンセータを連動させた場合のドラグヘッドの軟泥表面に対する追従性を調べた。そして、この調査目的を達するためにドラグアームに取り付けた音響測探機(200 Kc)によるドラグヘッド直前の水深や3個の圧力変換器によるドラグヘッド位置及び姿勢を常時記録し、土面に対するドラグヘッドの動きを追跡した。

さらに、このようにして間接的に得られた土面とドラグヘッドとの相対関係を、直接的にへどろ面を検知する目的でドラグヘッド入口に設置したへどろ検知器による情報と照合し、土厚の直接測定システムの実用化について検討を加えた。

結果として、安定板のない前面開口ヘッドの基本的浚渫特性は船速と土厚により整理されるが土厚をヘッド吸入高さと同程度に保つのでは船速を増加させても高含泥率は望めず、有効に吸引する底質の割合は60~70%である。そして、この割合を100%に近づけるにはさらに土厚をかけてゆくことで達成されることが明らかとなった。

一方、安定板使用時にはそれ自身の広さとともに、それに作用する揚力によってドラグヘッドの接地荷重が減少し、底質の表面近くでスエルコンベンセータが有効に作動して土厚を海底表面からほぼ40~50cmに安定させうることが確認された。しかしながら、船速が3ノットをこえると浚渫特性への影響が現れ始めることも明らかにされた。

1. まえがき

東京湾のような広い区域にわたって海底に堆積しているへどろを浚渫するには、その作業が高効率であると同時に船舶の通行量の多い点を考慮して高い機動性を有す

ることが必要となる。このようなへどろの表層浚渫を実現させることを目的としてドラグサクシオン浚渫船に前面開口型ヘッドを取り付け、底質表面の薄い層を高効率に浚渫する工法が考えられた。

前面開口ヘッドに関する一連の研究として、昭和52、

* 機材部 流体輸送研究室長

** 機材部 流体輸送研究室

表一 2.1 清龍丸主要目

| | | | |
|---------|---------------------|----------|-------------------------------------|
| 全 長 | 94.9m | 試運転時最大速度 | 13.3 kt |
| 垂線間長さ | 88.0m | 浚渫時速度 | 3～4 kt |
| 幅 (型) | 16.0m | 主機関 | 3000 ps×400 rpm×2台 |
| 深さ (型) | 7.2m | 浚渫ポンプ | 4100 m ³ /h×17m×450kW×2台 |
| 満 載 喫 水 | 5.6m | ドラグアーム内径 | 620mm, 両舷サイドドラグ式 |
| 総 ト ン 数 | 3526 GT | | スウェルコンベンセータ蓄勢油圧式堅型シリンダタイプ |
| 載 荷 重 量 | 3202t | | パウラスラスタ可変ピッチプロペラ型×300kw×1台 |
| 泥 倉 | 1754 m ³ | 油回収装置 | 渦流式×2台, 傾斜板式×2台 |
| 最大浚渫深度 | 22m | 回収油水槽 | 1472 m ³ |

53年度においては模型実験を行い^{1) 2)}, また54年度には「第一特浚丸」を利用して初めての実機による実船実験を千葉港で行った³⁾。さらに, 昭和55年度には, 新しく建造された第5港湾建設局所属のドラグサクション浚渫船「清龍丸」を使って, 名古屋港の比較的硬い土質(含水比100%)に対する浚渫実験を実施した。このような一連の模型あるいは実機による現地実験を通じて, ヘッドの形状, 攪拌用ロータ, 種々の土質に対する浚渫適応性等に関するデータが蓄積されてきた。

しかしながら, 浚渫特性というきわめて狭い領域で考えると過去の研究成果の中で前面開口ヘッドの軟泥に対する吸泥性能は十分明らかになったといえるが, ドラグサクション浚渫船という施工手段を中心に考えると従来の研究内容においてオペレーションの自動化という観点から必ずしも十分であったとはいえない。

広い領域に薄く堆積しているへどろを均一に, しかも能率的に浚渫するには 土厚の設定を正確にまた自動化できるように方向づけてゆくことが最終的には必要になってくると考えられる。今回の実験はこのような点を踏まえて, 大規模な安定板を試作し, これとスウェルコンベンセータを連動させたときのドラグヘッドの軟泥表層に対する追従性ならびにそのときの浚渫特性の調査を主目的として実施されたものである。

なお, 本研究は第5港湾建設局と共同で行われたものである。

2. 試験の概要

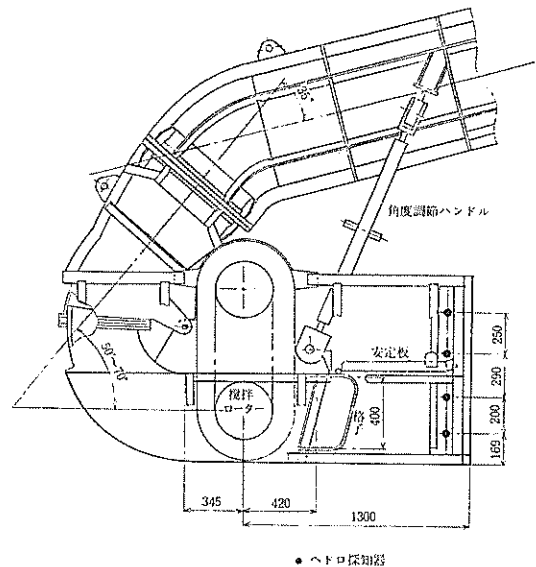
2.1 供試浚渫船

今回使用した浚渫船は, 第5港湾建設局所属のドラグサクション浚渫船「清龍丸」であり, その主要目を表一 2.1 に示す。

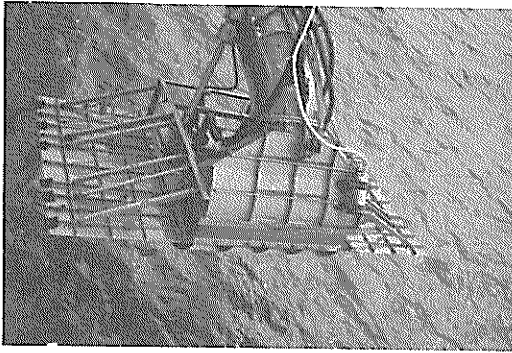
浚渫実験においては, 右舷の既設カリフォルニア型ドラグヘッドを前面開口型ヘッドと交換し, これによって片舷浚渫を行うこととした。ただし船体のバランスの関係上, 左舷の既設ドラグヘッドも浚渫実験中は水没させ, 水深約5mの位置に保持した。

2.2 供試前面開口型ヘッド

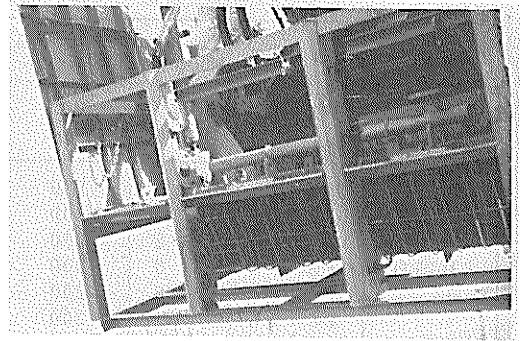
図一 2.1 に本実験で使用した前面開口型ヘッドの概略を示す。入口部の基本形状は幅1.8m×高さ0.4mであるから, 吸込口断面積は0.72m²となる。また入口部にはゴミ侵入防止用格子が設けられている。さらにヘッド底部には, 240mm×240mm×4個の吸入孔があり, これ



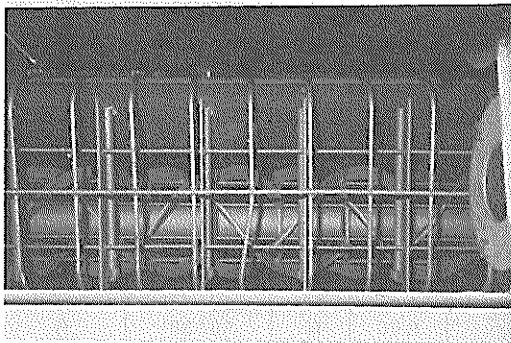
図一 2.1 前面開口型ドラグヘッド



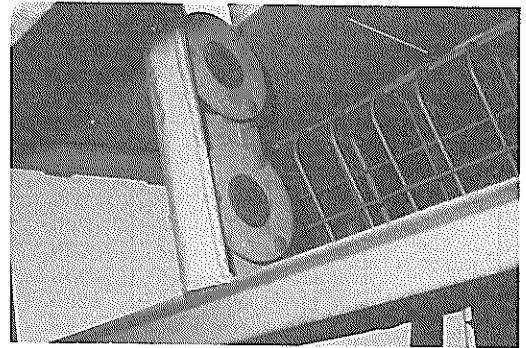
写真一 2.1 前面開口型ヘッド全景



写真一 2.2 前面開口型ヘッド入口部



写真一 2.3 攪拌用ロータ取付状態



写真一 2.4 ヘドろ探知器取付状態

らを開閉することによって前面開口型、あるいは前底面開口型ヘッドとすることができる。またヘッド内部には外径 320 mm×長さ 1400 mm の円筒形状攪拌ロータが取り付けられる構造となっている。このロータは本船上の油圧ユニットで駆動され、100～300 rpm の範囲で任意の値に設定できる。なお、油圧ユニットの最高出力、最大軸トルクはそれぞれ 86.5 ps, 207 kgf-m である。

今回の供試ヘッドには、さらに以下の特徴がある。まず、ヘッド前面部および両側面部に折りたたみ式の安定板（総面積 6.96 m²）が取り付けられており、必要に応じて土盤からのヘッド支持力、あるいは遮水効果を得られるようになっていることである。さらに浚渫深度の変化に伴って安定板の迎え角やヘッドの地盤に対する掘削角度を調節するための姿勢制御機構を採用している。これによって吸泥ヘッドはドラグアーム先端バンドの中心軸と 50～70° の範囲で任意の値に設定できる。

一方吸泥ヘッドの最先端には、へどろ面探知用の 4 対の超音波送受波器が取り付けられている（周波数 200 Kc）。

供試ヘッド全体を写真一 2.1 に、ヘッド入口部を写真一 2.2 に、攪拌用ロータ取り付け状態を写真一 2.3 に、へどろ探知機取り付け状態を写真一 2.4 にそれぞれ示す。

2.3 試験の種類

実験条件の一覧を表一 2.2 に示す。試験の種類を整理すると、浚渫条件としてポンプ回転数 200 rpm 1 種、船速 2, 2.5, 3, 3.5 ノット 4 種であり、ヘッドの条件としてロータの有無 2 種、安定板面積 0, 4.75, 6.96 m² 3 種、そして底板の有無 2 種である。さらに既設の左舷カリフォルニア型ドラグヘッドについても船速 2, 3 ノット 2 種について実験を行った。

ヘッドの条件をテスト別に分類すると、ロータについては、T1～T9 がロータ有り、T10～T14 がロータ無し、安定板については、T1～T3, T10 が安定板無し、T9 が安定板面積 4.75 m²、T5～T8, T11～T14 が同 6.96 m²、底板については、T1～T13 が底板有り、T14 が底板無しである。そして T15 がカリフォルニア型ドラグヘッドによる浚渫実験である。

表一 2.2 実験条件一覧表

| 日 付 | テストNo. | 船 速 (kt) | ポンプ回転 数 (rpm) | ロータ回 転数 (rpm) | 安定板 (m ²) | 底板 | ドラグヘッド 姿 勢 角 | 水ジェット |
|-------|--------|-------------|------------------|------------------|--------------------------|---------|-----------------|-------|
| 8月24日 | T1-1 | 2 | 200 | 150 | 無 | 有 | 53° 00' | 無 |
| | T1-2 | 3 | 200 | 150 | 無 | 有 | 53° 00' | 無 |
| 8月25日 | T2-1 | 2.5 | 200 | 150 | 無 | 有 | 50° 00' | 無 |
| | T2-2 | 3.5 | 200 | 150 | 無 | 有 | 50° 00' | 無 |
| | T3-1 | 2 | 200 | 150 | 無 | 有 | 50° 00' | 無 |
| | T3-2 | 3 | 200 | 150 | 無 | 有 | 50° 00' | 無 |
| | T4 | 2~3 | 200 | 150 | 無 | 有 | 50° 00' | 無 |
| | T5-1 | 2 | 200 | 150 | 6.96 | 有 | 51° 30' | 無 |
| | T5-2 | 3 | 200 | 150 | 6.96 | 有 | 51° 30' | 無 |
| 8月26日 | T6-1 | 2.5 | 200 | 150 | 6.96 | 有 | 50° 00' | 無 |
| | T6-2 | 3.5 | 200 | 150 | 6.96 | 有 | 50° 00' | 無 |
| | T7 | 2~3 | 200 | 150 | 6.96 | 有 | 51° 00' | 無 |
| | T8-1 | 3 | 200 | 0~300 | 6.96 | 有 | 50° 00' | 無 |
| | T8-2 | 3 | 200 | 150 | 6.96 | 有 | 50° 00' | 有 |
| | T9-1 | 2 | 200 | 150 | 4.75 | 有 | 51° 30' | 無 |
| | T9-2 | 3 | 200 | 150 | 4.75 | 有 | 51° 30' | 有 |
| 8月27日 | T10-1 | 2 | 200 | 無 | 無 | 有 | 49° 00' | 無 |
| | T10-2 | 3 | 200 | 無 | 無 | 有 | 49° 00' | 無 |
| | T11-1 | 2 | 200 | 無 | 6.96 | 有 | 49° 00' | 無 |
| | T11-2 | 3 | 200 | 無 | 6.96 | 有 | 49° 00' | 無 |
| | T12-1 | 2.5 | 200 | 無 | 6.96 | 有 | 49° 00' | 無 |
| | T12-2 | 3.5 | 200 | 無 | 6.96 | 有 | 49° 00' | 無 |
| | T13-1 | 3.5 | 200 | 無 | 6.96 | 有 | 50° 30' | 有 |
| | T13-2 | 3.0 | 200 | 無 | 6.96 | 有 | 50° 30' | 有 |
| | T14-1 | 2 | 200 | 無 | 6.96 | 無 | 53° 00' | 無 |
| T14-2 | 3 | 200 | 無 | 6.96 | 無 | 53° 00' | 無 | |
| 8月28日 | T15-1 | 2 | 200 | | | | | 無 |
| | T15-2 | 3 | 200 | | | | | 有 |

なお、T8-2、T9-2、T13-2、T15-2については水ジェットも併用した(圧力7.5kgf/cm²)。

またスウェルコン空気圧はT15は15kgf/cm²、その他は16kgf/cm²とした。

2.4 測定項目と測定方法

実験中の測定項目およびそれらの測定場所を表一 2.3、図一 2.2 にそれぞれ示す。表および図の番号は互いに対応している。

連続記録計のない計器類については、30秒ごとにブリッジにおいて読み取り、記録した。

濁度は、吸泥ヘッド回り1箇所、バックグラウンド1箇所について水中ポンプにより1ラン中数回採水した。また浚渫区域全体の濁りの変動把握のために、小舟を用いて実験スケジュールとは無関係に10分間隔で濁度測定、60分間隔で採水を行った。使用した小舟は一隻であり、その配置は潮流等を考慮して図一 3.1 のA~E点を適宜

選んだ。

浚渫スラリーのサンプリングは、オープントラフに設けたサンプリング孔により1ラン中1回行った。このサンプリングスラリーの含泥率は、あらかじめ検定されている容器とばねばかりによって各ラン終了後その場で求められた。

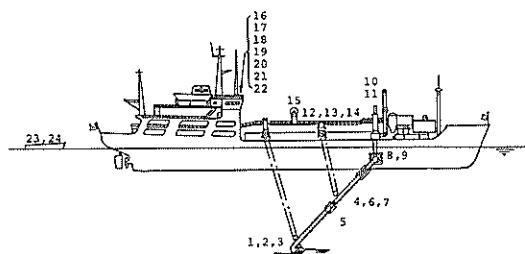
また吸泥ヘッド部の水深を正確に計測するために、ドラグアーム中間部にも音響測深機を取り付けた。周波数200Kcのデジタル式音響測深機である。この音響測深機の値と、同じ場所に取り付けた圧力計の深度を加えることによって吸泥ヘッド直前の水深が得られる。

またドラグアーム中間部と吸泥ヘッド部の圧力計によって浚渫中のドラグアーム角度を求め、吸泥ヘッドの掘削角や安定板の角度も正確に得られるようになっている。

ホッパー水位の測定は、目盛りロープのついた浮き子によって各ランの前後に行った。

表一 2.3 測定項目一覧表

| 測定点 | 測定項目 | 測定場所 | 測定装置 | 測定方法 |
|-----|------------------|---------|-------------|---------|
| 1 | ドラグヘッド深度 | ドラグヘッド | 圧力変換器 | 連続 |
| 2 | ヘドロ面検知信号 | " | 超音波送受波器 | " |
| 3 | ドラグヘッド部濁り | " | 水中ポンプ | 1ラン中数回 |
| 4 | ドラグヘッド部水深 | ドラグアーム | 音響測深機 | 連続 |
| 5 | アーム中間部深度 | " | 圧力変換器 | " |
| 6 | バックグラウンド濁り | " | 水中ポンプ | 1ラン中数回 |
| 7 | アーム上端部深度 | " | 圧力変換器 | 連続 |
| 8 | ポンプ吸入圧 | ポンプ入口 | " | " |
| 9 | ポンプ吐出圧 | ポンプ出口 | " | " |
| 10 | ポンプ流量 | " | 電磁流量計 | " |
| 11 | 含泥率 | " | 垂直管式含泥率計 | " |
| 12 | 吸入泥水サンプリング | オープントラフ | 採水バルブ | 1ラン中1回 |
| 13 | ホッパー水位 | ホッパー | 浮子 | 各ラン前後1回 |
| 14 | ホッパー採泥 | " | エクマンバージ | 1ラン中1回 |
| 15 | スウェルコン変位 | スウェルコン | ポテンシオメーター | 連続 |
| 16 | 喫水 | ブリッジ | 喫水計 | 30秒毎 |
| 17 | ドラグヘッド深度 | " | エアージェット式 | " |
| 18 | 船速 | " | ドップラーログ | " |
| 19 | 船位 (Ra, Rb) | " | オーディスタ | 10秒毎 |
| 20 | 浚渫深度 | " | 本船音響測深機 | 連続 |
| 21 | 流量, 含泥率 | " | 電磁流量計, 含泥率計 | 30秒毎 |
| 22 | 吸入圧, 吐出圧, ポンプ回転数 | " | ブルドン管他 | " |
| 23 | 浚渫エリア濁り | 小舟 | 濁度計 | 10分毎 |
| 24 | 浚渫エリア採水 | " | サンプリング | 60分毎 |



図一 2.2 測定場所

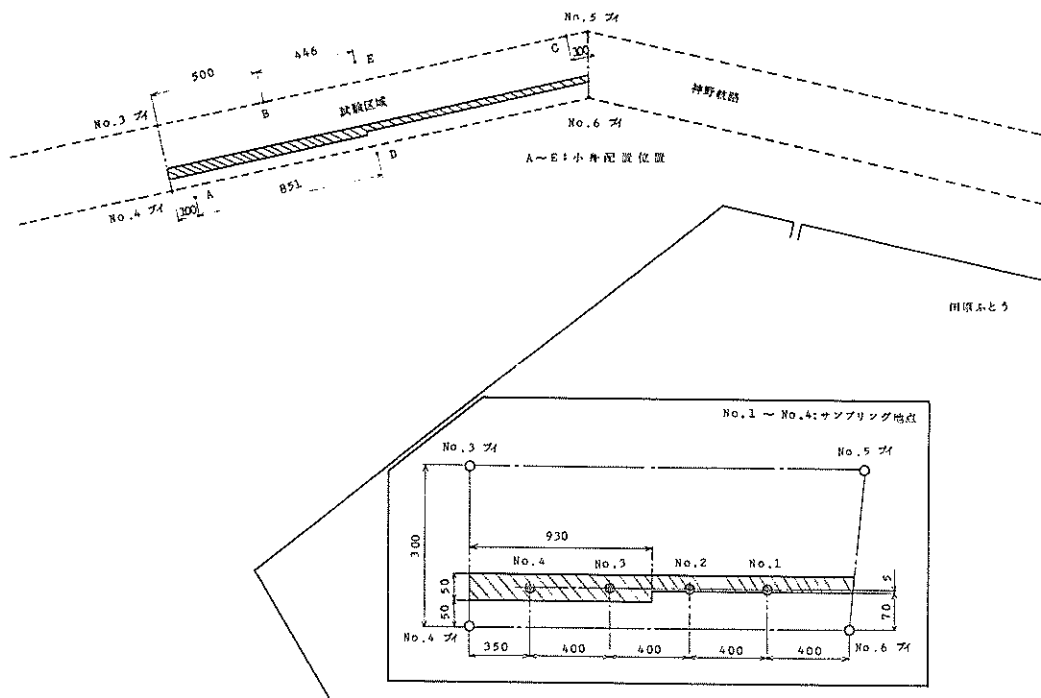
また4対の超音波送受波器からなるへどろ探知機およびデジタル式音響測深機のデータは、ブリッジにもリアルタイムで伝送され、浚渫土厚調整の一つの目安として使用された。

3. 試験条件

3.1 浚渫区域と海底土質

浚渫実験は、昭和56年8月24日～28日の5日間三河湾神野航路において行われた。実験区域を図一 3.1に示す。

図一 3.1には実験前に土質調査を行ったサンプリング地点 (No.1～No.4) も併記してある。この土質調査の



図一 3.1 実験区域

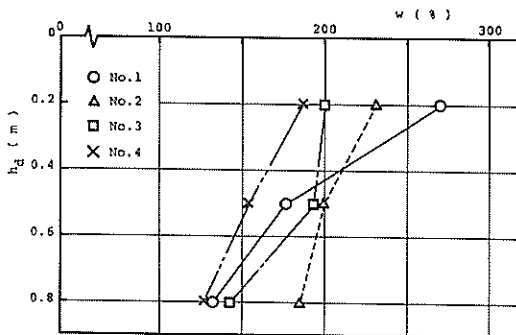
うち、真比重と含水比の結果を表一 3.1 に示す。また No. 1～4 各点における含水比の深さ方向の分布を図一 3.2 に示す。図より試験区域の含水比分布は概略上層（土面下 0.1～0.3 m）で 190～270 %，中層（同 0.4～0.6 m）

で 160～200 %，下層（同 0.7～0.9 m）で 130～180 % となっている。

以上は浚渫実験前の海底土質について調べたものであるが、浚渫スラリーについては各ラン中 1 回ホッパー内より採泥し、実験終了後分析している。これら、およびトラフからサンプリングした浚渫スラリーについて試験区域全体をカバーするように選んだ 31 検体について求めた粒径加積曲線を図一 3.3 に示す。浚渫土砂の 50% 粒径、真比重の平均値はそれぞれ 0.021 mm，2.58 である。

表一 3.1 試験区域の底質性状（事前調査）

| サンプリング点 | へドロ層深さ (m) | 真比重 | 含水比 (%) |
|---------|------------|-------|---------|
| No. 1 | 上 0.1～0.3 | 2.609 | 271.3 |
| | 中 0.4～0.6 | 2.649 | 176.4 |
| | 下 0.7～0.9 | 2.670 | 132.5 |
| No. 2 | 上 0.1～0.3 | 2.626 | 231.3 |
| | 中 0.4～0.6 | 2.664 | 199.8 |
| | 下 0.7～0.9 | 2.674 | 185.9 |
| No. 3 | 上 0.1～0.3 | 2.682 | 200.1 |
| | 中 0.4～0.6 | 2.644 | 194.3 |
| | 下 0.7～0.9 | 2.678 | 143.7 |
| No. 4 | 上 0.1～0.3 | 2.640 | 187.4 |
| | 中 0.4～0.6 | 2.664 | 154.7 |
| | 下 0.7～0.9 | 2.663 | 127.3 |



図一 3.2 底質含水比の垂直方向分布

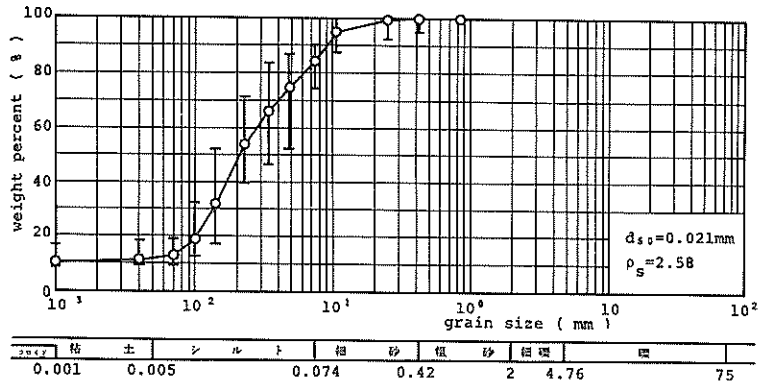


図-3.3 浚渫土の粒径加積曲線

表-3.2 実験期間中の気象条件

| 日付 | 時間 | 風 | | 天候 | 気温(°C) | 湿度(%) | 気圧(mb) |
|-------|-------|----|---------|-----|--------|-------|--------|
| | | 風向 | 風速(m/s) | | | | |
| 8月24日 | 12:00 | 東 | 3 | 晴 | 26 | 58 | 1002 |
| 8月25日 | 12:00 | 東 | 5 | くもり | 26 | 75 | 1010 |
| 8月26日 | 12:00 | 南西 | 4 | くもり | 26 | 90 | 1005 |
| 8月27日 | 12:00 | 南東 | 7 | くもり | 28 | 74 | 1004 |
| 8月28日 | 12:00 | 西 | 3 | くもり | 24 | 82 | 1009 |

3.2 海気象条件

実験期間中は、一時にわか雨等があったが、海気象条件は全般的に穏やかであり、各種測定作業にはほとんど支障なかった。

表-3.2に実験期間中の気象条件を参考までに示す。

4. 試験結果と考察

4.1 データ整理の方法と結果の概要

(1) データ整理の方法

ドラグヘッドの位置は船位測定装置において、実験中10秒ごとにタイプアウトされる従局から本船主局までの距離 R_a 、 R_b から本船の位置を求め、これから船速やドラグヘッド振幅等を考慮してドラグヘッド位置に換算した。 R_a 、 R_b から本船位置を算出する方法は図-4.1に示すとおりである。

浚渫土厚、 d_h はドラグアームに装着したデジタル式音響測深機による水深の連続記録、 S とドラグヘッドに取り付けられた圧力変換器による連続記録、 S_p の差より求めている(図-4.2-(a))。データの解析に用いた平均的土厚は図-4.2-(d)に示すように1ラン中の平均値

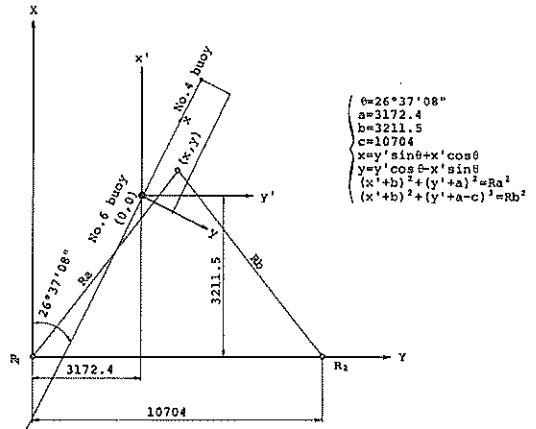
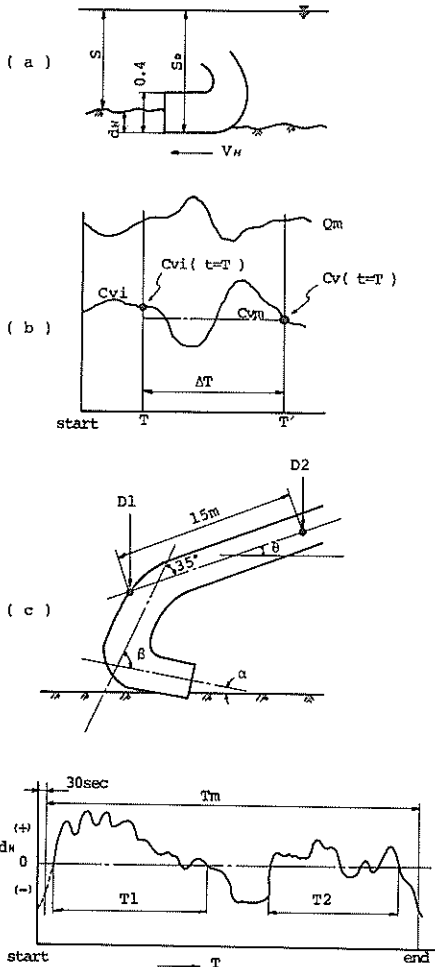


図-4.1 船位の計算方法

(T_m に対する値)のみではなく、ヘッドが完全に水中に上昇した場合を除いた部分平均値(例えば T_1 、 T_2 に対する値)も採用した。なお、他のデータ平均値も土厚に関する連続記録で決まった時間間隔における平均値とな



図一 4.2 使用記号の説明

っている。

ドラグヘッド入口の含泥率 C_v は真容積濃度であり、底質基準濃度、いわゆる見かけ含泥率は C_a で表されている。今回の実験では含泥率計として垂直管差圧方式を用いているが、この計器はポンプ出口側に設置されており、これによる連続記録値 C_{vi} は負圧 h_m や流量 Q_m の変化に比べかなり遅れる。そこで、図一 4.2 (b) に示すようにスラリ流量 Q_m と C_{vi} の変化記録から

$$\int_{t-T}^{t-T+\Delta T} (Q_m / A_p) dt = S_R \quad (4.1)$$

ここで A_p : 吸入管断面積 ($=\frac{\pi}{4} D_p^2$)
 $D_p = 0.62 \text{ m}$

S_R : 吸入管長 (45.5 m)

を満足するような ΔT を求め、これにより

$$C_v(t=T) = C_{vi}(t=T+\Delta T)$$

$$C_{vm}(t=T) = \frac{1}{\Delta T} \int_{t-T}^{t-T+\Delta T} C_{vi} dt \quad (4.2)$$

を利用して C_v 、 C_{vm} を求めている。ここで C_{vm} は時刻 T における吸入管全体の平均含泥率である。なお、式 (4.1)、(4.2) は数値計算 (データ間隔 2 秒) で近似的にさせた。

見かけ含泥率 C_a については後述 (4.3.1) するが、この決定に必要な含水比 W (%) は約 220 % とした。これはドラグヘッドの入口高さが 0.4 m であり、実験結果からみても土厚は平均的にほぼ 0.4 m 程度となっている。これから中間の 0.2 m 付近の含水比を、図一 3.2 を参考に選んだ。

ドラグヘッドの掘削角、 α は、図一 4.2 (c) に示すようにドラグアームに取り付けた 2 個の圧力変換器より、2 点の水深 D_1 、 D_2 を求め、これからドラグアームの対地角、 θ を算出しドラグヘッド姿勢角、 β を用いて次式により計算した。

$$\alpha = \beta - 35 - \theta \quad (\text{度}) \quad (4.3)$$

(2) 結果の概要

実験結果の一覧を表一 4.1 に示す。結果的には表一 2.1 の内容をほぼ完了することができた。

実験中の浚渫土厚の設定は事前の測深図、潮位、含泥率の変化等を考慮して、ドラグヘッド入口高さがほぼ底質中に埋没する深さにセットしたが、結果的には表一 4.1 に見るように海底不陸が大きく、平均的にはかなり低い値となっている。しかしながら、この値は 1 ラン中にヘッドがすべて水中に上がった状態については土厚を零とにおいて平均したものである。したがって実際の土厚はこれより若干高くなる。スエルコンの変位等と関係づける場合には実土厚を採用している。

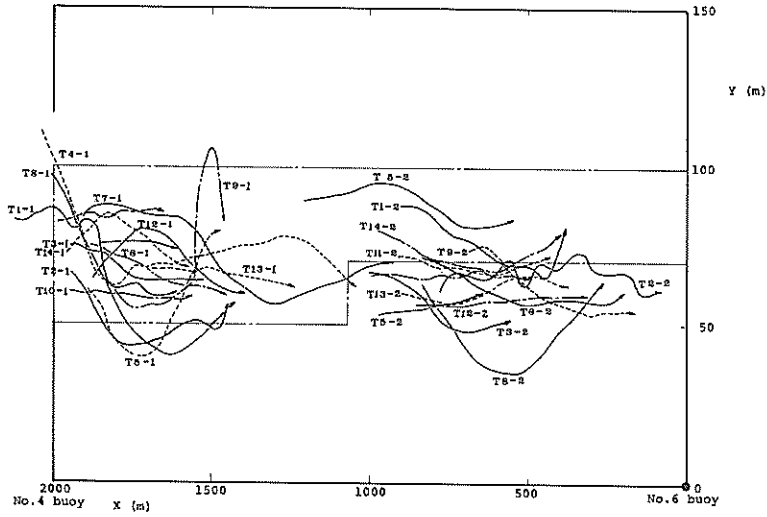
なお、表一 4.1 の T-15 は既設カルフォルニアタイプドラグヘッドを使用した浚渫試験結果である。浚渫ポンプも左舷ポンプを使用しており、さらに前面開口ヘッドとはデータ整理のベースが異なるため、結果のみを記載するにとどめた。

図一 4.3 は、実験全体の航跡図である。(1) に説明したようにドラグヘッドの位置の変化図となっている。

実験中得られた連続記録はそれぞれ演算処理されて、その平均的値は解析において使用されているが、全体の変化の傾向を示すために、一部を付図として添付してある。ここでは、特に重要な土厚、含泥率、ポンプ流量、吸入負圧、スエルコン変位そしてへどろ探知器情報につ

表-4.1 実験結果の一覧

| 実験月日 | テスト番号 | 浸漬時間 分 秒 | 浸漬深度 平均 δ (m) | 平均潮位 (m) | スラリー平均流量 (m^3/H) | 吸入含泥率 C_p | 平均土厚 d (m) | 掘削土量 (m^3) | 有効掘削土量 (m^3) | 吸引土量 (m^3) | 液深パラメータ % | 平均掘削 角度(度) | 平均船速 ノット |
|---------------|-------|-------------|-------------------------|-------------|-------------------------|----------------|-----------------|-------------------|---------------------|-------------------|--------------|---------------|-------------|
| 1981年 8/24 | 1-1 | 7 00 | 13.3 | 1.58 | 3996 | 0.101 | 0.59 | 501 | 339 | 308 | 0.533 | 3.5 | 2.18 |
| | -2 | 5 20 | 13.0 | 1.51 | 4855 | 0.063 | 0.17 | | 155 | 178 | 0.311 | 2.5 | 3.07 |
| 8/25 | 2-1 | 6 00 | 12.0 | 0.67 | 4213 | 0.085 | 0.50 | 432 | 346 | 234 | 0.635 | 2.1 | 2.59 |
| | -2 | 5 40 | 11.9 | 0.71 | 5405 | 0.026 | 0.18 | | 199 | 87 | 0.377 | 1.5 | 3.50 |
| | 3-1 | 6 00 | 12.2 | 1.07 | 5002 | 0.053 | 0.37 | | 254 | 173 | 0.465 | 0.5 | 2.06 |
| | -2 | 4 19 | 13.0 | 1.15 | 5203 | 0.029 | 0.08 | | 58 | 71 | 0.144 | 0.4 | 3.01 |
| 8/26 | 4 | 11 37 | 12.8 | 1.54 | 4686 | 0.060 | 0.35 | | 604 | 356 | 0.565 | -0.3 | 2.67 |
| | 5-1 | 6 00 | 13.2 | 1.91 | 4504 | 0.059 | 0.38 | | 265 | 174 | 0.483 | 0.4 | 2.09 |
| | -2 | 3 15 | 13.7 | 1.91 | 5246 | 0.015 | 0.14 | | 76 | 28 | 0.252 | 1.2 | 3.02 |
| | 6-1 | 6 00 | 11.8 | 0.42 | 4718 | 0.081 | 0.43 | 375 | 348 | 250 | 0.641 | -0.6 | 2.61 |
| | -2 | 5 30 | 12.3 | 0.42 | 5040 | 0.041 | 0.30 | | 318 | 124 | 0.624 | -0.4 | 3.47 |
| | 7 | 11 45 | 11.6 | 0.61 | 4840 | 0.063 | 0.36 | | 612 | 390 | 0.568 | 2.9 | 2.60 |
| 8/27 | 8-1 | 6 00 | 12.6 | 1.17 | 4929 | 0.040 | 0.20 | | 207 | 129 | 0.381 | -1.0 | 3.10 |
| | -2 | 5 23 | 13.6 | 1.25 | 4833 | 0.061 | 0.32 | | 293 | 173 | 0.588 | -2.9 | 3.06 |
| | 9-1 | 6 00 | 13.1 | 1.80 | 4723 | 0.059 | 0.42 | | 315 | 182 | 0.581 | -1.0 | 2.36 |
| | -2 | 5 30 | 13.7 | 1.86 | 4901 | 0.051 | 0.24 | | 225 | 150 | 0.442 | -2.6 | 3.07 |
| | 10-1 | 6 00 | 11.5 | 0.48 | 4760 | 0.065 | 0.51 | 347 | 272 | 202 | 0.503 | 1.2 | 2.04 |
| | -2 | 5 25 | 11.8 | 0.42 | 5190 | 0.049 | 0.28 | | 254 | 150 | 0.507 | -0.0 | 3.01 |
| 8/28 | 11-1 | 6 00 | 11.7 | 0.47 | 5107 | 0.044 | 0.36 | | 246 | 147 | 0.454 | 1.6 | 2.05 |
| | -2 | 5 00 | 11.8 | 0.54 | 5128 | 0.046 | 0.31 | | 260 | 128 | 0.563 | -0.6 | 3.02 |
| | 12-1 | 6 00 | 12.0 | 1.05 | 5076 | 0.040 | 0.30 | | 264 | 133 | 0.488 | -1.2 | 2.64 |
| | -2 | 4 38 | 13.1 | 1.27 | 5443 | 0.002 | 0.09 | | 84 | 6 | 0.196 | -1.8 | 3.62 |
| 8/28 | 13-1 | 6 00 | 12.8 | 1.80 | 4869 | 0.051 | 0.37 | | 441 | 162 | 0.813 | -0.6 | 3.57 |
| | -2 | 5 16 | 13.5 | 1.86 | 5265 | 0.026 | 0.27 | | 238 | 79 | 0.489 | -1.4 | 3.01 |
| 8/28 | 14-1 | 6 00 | 13.3 | 2.25 | 4258 | 0.085 | 0.74 | 521 | 281 | 236 | 0.520 | 2.6 | 2.11 |
| | -2 | 6 00 | 13.3 | 2.25 | 4885 | 0.062 | 0.58 | 612 | 611 | 198 | 0.760 | 0.2 | 3.16 |
| 8/28 | 15-1 | 5 00 | 12.2 | 0.63 | 4414 | 0.093 | 0.531 | 320 | 224 | | | | 1.96 |
| | -2 | 8 00 | 12.0 | 0.55 | 3737 | 0.144 | 0.631 | 906 | 476 | | | | 2.91 |



図一4.3 実験期間内のドラグヘッドの軌跡

いて示した。このうち、含泥率の変化は垂直管差圧において得られたもので本稿でいう C_{pi} を意味する。また、へどろ探知器情報は各センサの受信レベルを0と1の間の数字に変換したものであり、ドラグヘッドが完全に水中にある場合を0、完全に土中に埋没した場合を1としている。

4.2 浚渫ポンプの清水特性

(1) 喫水と流量の関係

ドラグサクシオン浚渫船による浚渫は、オーバフロ前、後を通じて常に喫水が変化する。特にオーバフロ前は泥倉が空状態より積込みを始めるために浚渫開始時点と土捨作業の始まるオーバフロ直前状態とは大きな喫水差が生じる。

この差は2mを越すこともあり、ポンプに対していえば常に実揚程が変化することになるから正確な実験を期する上からは喫水の変動、いかえれば実揚程の変動によるポンプ特性の変化を把握しておく必要がある。図一4.4は左右舷ポンプ（No2, No1）それぞれの喫水によるポンプ流量の変化を送水試験ならびに本実験結果をもとに示したものである。この変化は次の実験式で表される。

$$Q_0 = 290 \cdot D_{r,p} + 4140 \quad (\text{No 1 右舷ポンプ}) \quad (4.4)$$

$$Q_0 = 290 \cdot D_{r,p} + 4310 \quad (\text{No 2 左舷ポンプ}) \quad (4.5)$$

ここで Q_0 : 清水流量 (m^3/H)

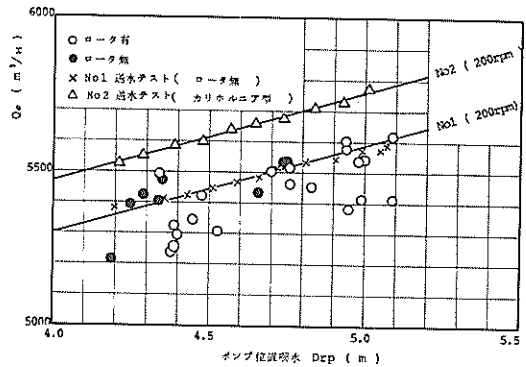
$D_{r,p}$: ポンプ位置の喫水 (m)

なお、 $D_{r,p}$ についてはブリッジで計測した船首喫水 D_f 、船尾喫水 D_a を用いて次式で計算した。

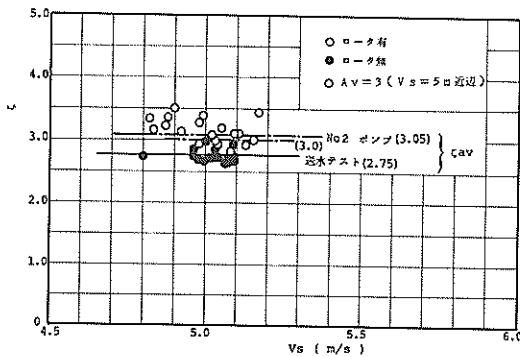
$$D_{r,p} = D_f + (D_a - D_f) \times 18 / 88 \quad (4.6)$$

図一4.4において、右舷ポンプデータには送水試験データとともに本実験中明らかにドラグヘッドが海中にあると判断される状態、すなわちドラグヘッドが埋没していない状態のデータもピックアップしプロットされている。

送水試験はドラグヘッドにロータを内蔵しない状態で行われているからその流量特性も本実験のロータ無し状態とほぼ一致しているが、ロータ装着時はこれらに比して若干低い値を示している。これは4.2.2で述べるように、ロータが存在するための入口抵抗がわずかに異なる



図一4.4 喫水と流量の関係



図一 4.5 吸入抵抗係数

ている結果と考えられる。

(2) ドラグヘッドの吸入抵抗

前項において、前面開口ヘッド内部にロータを装着した場合と取り外した場合とで若干清水流量に差が見られた。これはロータ有無によって入口抵抗が異なる結果と考えられるので、ドラグヘッド条件別の吸入抵抗係数を求めてみた。ポンプの清水運転時吸入負圧を h_w とすると、

$$h_w = D_{rp} - 2.2 - \{f_D + \Sigma f_B + 1 + \lambda_s L_s / D_s\} \times V_s^2 / 2g \quad (4.7)$$

と表される。ここで D_{rp} はポンプ位置の喫水であり、ポンプは船底より 2.2 m のところに設置されているから $D_{rp} - 2.2$ は吸込実揚程である。その他の記号を下記に説明する。

- V_s : 吸入管内流速 (m/s)
- L_s : 吸入管長 (45.5 m)
- D_s : 吸入管径 (0.62 m)
- f_D : ドラグヘッド吸入抵抗係数
- Σf_B : ベンド等の損失係数の総和
- λ_s : 吸入管摩擦損失係数
- 定数 1.0 : 速度損失係数

右辺第 3 項の係数を ζ とおくと、式 (4.7) より

$$\zeta = (h_w - D_{rp} + 2.2) / (V_s^2 / 2g) \quad (4.8)$$

となる。図一 4.4 で採用した清水運転時流量とそのときの吸入負圧計測値より ζ を求め、これを管内流速とともに示したのが図一 4.5 である。流速 5 m/s を中心に平均的にみるとはほぼ一定値と考えられる。この値を ζ_{av} とし、

$$\zeta_{av} = f_D + \Sigma f_B + 1 + \lambda_s L_s / D_s \quad (4.9)$$

の関係からドラグヘッドの入口吸入抵抗係数 f_D を求めてみる。ベンドの損失係数としては 90 度ベンド 1 個について 0.15 とし、全体で 3 個とすれば $\Sigma f_B = 0.45$ となる。この値は海龍丸における値⁵⁾、 $\Sigma f_B = 0.48$ と同程度であり、ドラグサクシオン浚渫船としてはほぼ妥当な仮定であろう。

つぎに、管摩擦損失係数 λ_s を決定する。パイプ径 0.62 m のコマーシャルベース鋼管に対する粗度係数、 ϵ / D はほぼ 0.00007 程度である。一方、本実験における平均流速は 5 m/s 程度であるから、レイノルズ数、 Re は 2.7×10^6 となる。これらのデータを用いて Moody diagram により λ_s を求めると

$$\lambda_s = 0.013$$

が得られる。以上のデータを式 (4.9) に代入すると、 f_D が決定できる。結果を表一 4.2 に示した。

表一 4.2 には、港湾技術研究所で行った従来の実験調査データも併載してある。これからみると、本実験で使用したドラグヘッドの吸入抵抗係数は、前面開口ヘッドロータ無し、同ロータ有り、そして既設カルフォルニアタイプの順に大きくなっている。しかしながらその差は小さく、前面開口ヘッドロータ有りと同既設カルフォルニアタイプではほぼ同じくらいと考えて良いであろう。

また、ロータが内蔵されることによって抵抗係数は約 0.25 増加しているが、この差の吸入負圧に与える影響は流速 5 m/s の場合 0.3 mAq 程度の増加となる。通常浚渫時にはかなりスリ流量が低下するから、この差

表一 4.2 吸入管各所の吸入抵抗係数

| | | | ζ_{av} | Σf_B | $\lambda_s \frac{L_s}{D_s}$ | f_D | $\Sigma f_B + f_D$ |
|---------------------|-------------|------|--------------|--------------|-----------------------------|-------|--------------------|
| 本 実 験 | 前面開口 ヘッド | ロータ無 | 2.75 | 0.45 | 0.95 | 0.35 | 0.80 |
| | | ロータ有 | 3.00 | 0.45 | 0.95 | 0.60 | 1.05 |
| | カルフォルニアヘッド | | 3.05 | 0.45 | 0.95 | 0.65 | 1.10 |
| 第一特浚丸 ⁴⁾ | | | | | | | 1.24 |
| 海龍丸 ⁵⁾ | | | | | | | 0.98 |

は表4.2に示すほど大きくは現れてこないと考えられる。

4.3 浚渫特性

(1) 流量低下と揚土量の変化

浚渫を開始するとドラグヘッドが海底土中に埋没し、吸入抵抗が増加する。同時に含泥率も増加し結果的にポンプ流量は清水運転時に比して大幅に減少する。この流量の低下傾向を含泥率に対して示したのが図4.6である。

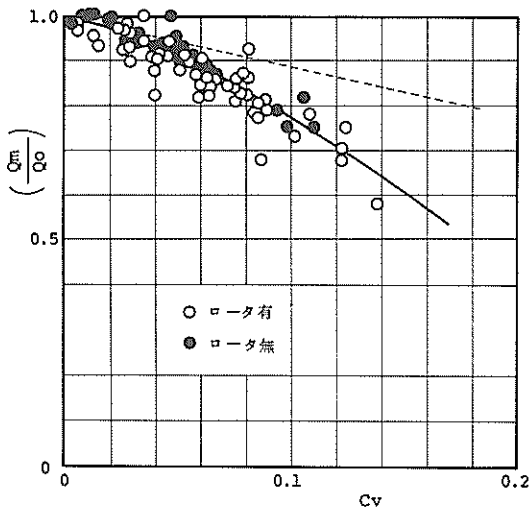


図4.6 流量低下曲線

含泥率に対してはぼひとつのまとまった低下傾向を示しており、これは近似的に実験式(4.10)と表すことができる。

$$Q_m / Q_0 = 1 - 4.59 C_v^{1.3} \quad (4.10)$$

全般的にみて、ロータ無し状態のほうがわずかに流量低下が少ない。これも前述の吸入抵抗の関係と考えられるが、さほど大きな差とはいえないので式(4.10)で統一的に整理している。

図4.6の点線は、埋没抵抗を比較する意味で細砂に対するポンプ船模型実験時のデータを示したものである。これをもてみてもわかるように、含泥率の増加による以上に埋没抵抗の大小により流量の低下傾向が大きく異なる。

つぎに揚土量であるが、これは海底底質の状況が一定であると仮定すれば、ほとんど式(4.10)により定まってくる。いま、単位時間当たりの揚土量を G_s とおけば、

$$G_s = C_a Q_m \quad (4.11)$$

で表される。ここで C_a は海底地盤基準のみかけ含泥率

である。式(4.10)、(4.11)により揚土量をポンプの清水流量を使用して無次元化すると

$$G_s / Q_0 = C_a (1 - 4.59 C_v^{1.3}) \quad (4.12)$$

が得られる。ここで、海底底質の単位体積重量を r_b とする

$$C_a = C_v (r_s - r_w) / (r_b - r_w) \quad (4.13)$$

ここで r_s : 土砂の真比重量

r_w : 海水の比重量

という関係によって、 C_a と C_v が関連づけられる。なお r_b は底質の飽和度を100%、含水比を W (%)とすると

$$r_b = r_s (1 + W/100) / (1 + W r_s / 100 / r_w) \quad (4.14)$$

で計算される。

いま、 $W = 220\%$ 、 $r_s = 2.58$ 、 $r_w = 1.025$ とすると式(4.14)より $r_b = 1.263$ となり、式(4.12)は次のように表すことができる。

$$G_s / Q_0 = 6.534 C_v (1 - 4.59 C_v^{1.3}) \quad (4.15)$$

式(4.15)を実験データとともに示したのが図4.7である。式(4.15)の最大値は $C_v = 0.163$ のときであり一方今回の底質では $r_b = 1.263$ に対する底質濃度、 C_b は0.153となるから、このピークの手前までしか含泥率は増加せず、したがって通常の運転領域では含泥率の増加と土量の増加が一對一に対応していることになる。また、浚渫ポンプを含めた本浚渫システムにおいては、揚土量はポンプ清水運転時能力の60%までしかあがり得ないことがわかる。

(2) 吸入含泥率

含泥率は一般的に船速、土厚、接地圧、ポンプ特性等

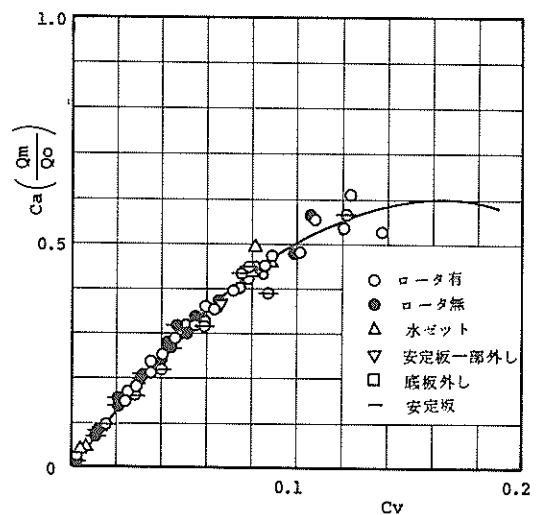
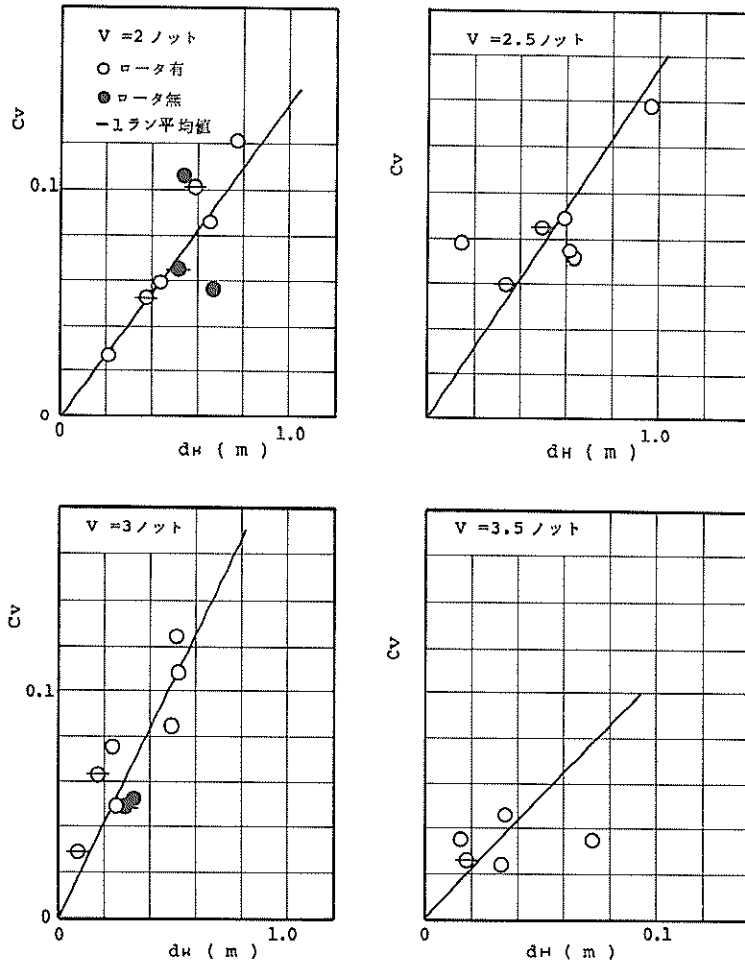


図4.7 揚土量の変化



図一 4.8 土厚と含泥率の関係（基本ヘッド）

によって決定されるが、前面開口ヘッドの場合、底質が十分軟弱であることを前提としているから、接地圧による要因は船速や土厚に比べさほど問題とならない。場合によっては、スエルコンを最大能力で使用したとしてもヘッドが自由に埋没してしまう液状底質に対しては、その供給土量はほとんど船速で決まってくることも少なくない。

ここでは、船速と土厚によって与えられる押込供給土量と流量低下に代表されるポンプ特性とがバランスする点で含泥率が決まると考え、各船速ごとの含泥率を土厚に対して調べてみた。図一 4.8 にそれらを示す。なお、ここに示すデータは安定板や水ジェットを使用しない前面開口ヘッドに対するものであり、これによって明らかになった諸特性を基本特性と称することにする。

前面開口ヘッドの土厚に対する含泥率の変化は図一 4.8 に示すとおりであるが、土厚に対しほぼ単調に増加している。その増加傾向は船速が 2～3 ノットの範囲では、船速が大きいほど大である。

しかしながら、船速が 3.5 ノットにあがってくると含泥率が急激に低下する傾向が見られる。その理由のひとつとして、船速がこのように大きくなるとドラッグヘッド入口前方にあるヘッド支持用アングル等の物体によって側面へ排除される土量が多くなり、ヘッド入口直前では $A \cdot V_H$ (A : 流入断面積, V_H : 船速) で決定される量よりかなり低い供給土量となるためではないかと考えられるが、これのみによるものかどうか今回のデータのみで断定することは困難である。

また、図一 4.8 においてはロータ有無による差も示さ

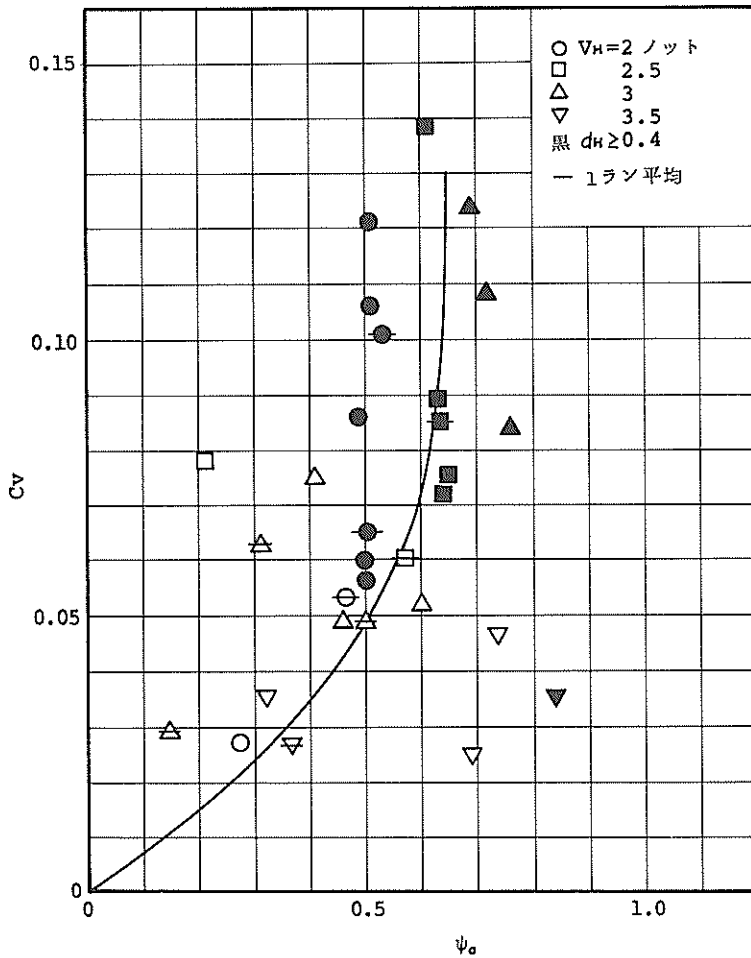


図-4.9 ψ_0 に対する C_v の変化

れているがほとんど有意とはいえない。以後区別せずに取扱うこととする。

つぎに、図-4.8の基本特性を浚渫条件を同一にして比較するために浚渫パラメータ、 ψ_0 で整理してみる。いま ψ_0 を次のように定義する。すなわち

$$\psi_0 = A \cdot V_H / Q_0 \quad (4.16)$$

ここで $A = B \cdot d_H$ (m^2)

B : 入口幅 (1.8 m)

図-4.9は、図-4.8とまったく同じ基本条件のドラグヘッドによる含泥率の変化を ψ_0 で整理したものである。 $d_H \geq 0.4$ のデータ、すなわちドラグヘッドが完全に埋没した状態については ψ_0 が 0.5 ~ 0.7 までの範囲ではほぼ直線的に含泥率が上昇し、底質濃度に近づく傾向を見せている。

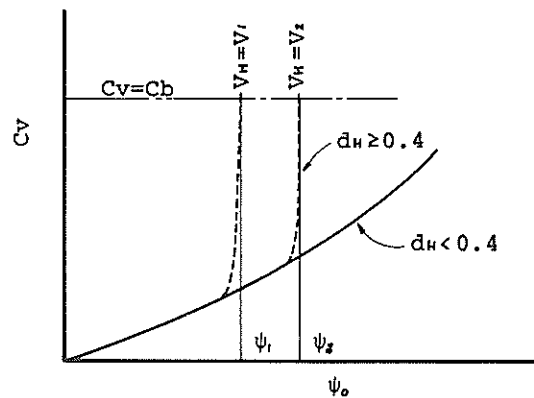
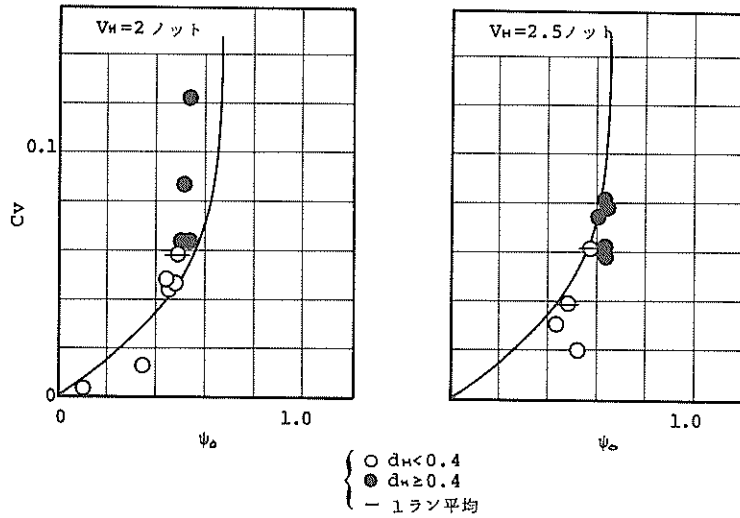


図-4.10 ψ_0 に対する C_v の変化モデル



図一 4.11 C_v と ψ_0 の関係 (安定板使用時)

基本的には式 (4.16) からわかるように、完全に埋没した場合 A は一定となるから、 ψ_0 の変化は主として船速のみの違いによるものである。したがって、理想的に希釈水の混入がない場合を考えると、船速が決まれば ψ_0 が定まり、そのときの含泥率は底質濃度に一致し、図一 4.9 に示すように大きく含泥率が変化することはない。ところが、実際には同一 ψ_0 に対して含泥率の変化がかなり大きい。すなわち、底質の深さ方向の含水比の変化を無視すれば、今回の浚渫条件においてはドラッグヘッドを入口高さの分 (0.4 m 程度) 埋没させて浚渫するのは高い含泥率は望めず、それによりかなり深く埋没させる必要があるということがわかる。

この含泥率の変化をモデル化して示したのが図一 4.10 である。このようなことから、底質が今回実験地よう

に比較的流動性が高い場合には、吸入しやすい反面、相当の希釈水の流入も考慮して適当な土厚を決定する必要があるだろう。

以上の内容が安定板や水ジェットなどの付属装置を使用しない前面開口ヘッドの基本性能である。それでは、この基本特性に対し浚渫作業の安定性を目的として設置した安定板使用時の浚渫特性はどのようになるか調べてみよう。

図一 4.11 は安定板使用時の ψ_0 に対する含泥率の変化を、わかりやすく表示するために、船速ごとにまとめたものである。また、図中の実線は基本特性のほぼ平均的値 (船速としては 2.5 ノットに対応) の変化を示すものである。さらに、安定板使用時と非使用時の浚渫特性が変わらないものとすれば、 $d_H < 0.4$ (非埋没時) に対するデータは

船速を問わず実線に近いところに集まるであろうし、また $d_H \geq 0.4$ (埋没時) については図—4.10に示すように、2ノットの場合、図—4.11の実線の左方へ、3、3.5ノットの場合除々に右方へずれてくるはずである。

この観点から図—4.11を調べてみると、埋没時データは2ノットから2.5ノットの範囲についてはほぼこの特徴を示しているといえる。非埋没時については、2~2.5ノットの範囲では基本特性と変わらない。しかしながら、3ノットを超えると図中の実線から外れてくるケースが多く、含泥率が基本特性より低下する傾向が見られる。

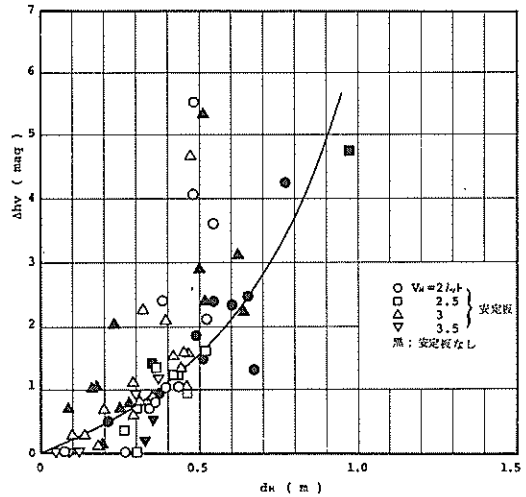
3ノットについてみると、非埋没データにおいては基本特性に近いものとそれより明らかに低下しているものが混在していることがわかる。一方、埋没時についてはほぼ完全に基本特性より低下している。これらのデータを詳しく調べてみると、非埋没時については外れてくるデータのほとんどが、掘削角がマイナス、つまり安定板が揚力を受けやすい状態になっていることがわかった。しかし、基本特性に近い傾向をもつデータの中にも掘削角がマイナスのものがあり、安定板がプラスの迎え角 ($\alpha < 0$) をもつ条件で必ずしも含泥率の低下が生じているともいえない。すなわち、掘削角がマイナスであることは希釈作用が起きやすくなるための必要条件といえよう。この一因としては、ドラグヘッドが安定板に働く揚力によって浮きやすく、いかにすると土面の局部的変動にも追いつき得るため常に海水が流入しやすい状態となる場合が多いということが考えられる。しかしながら、3ノットにおけるこの種の影響は部分的であり、平均的にみると基本特性と大差ないといえよう。

埋没時の含泥率低下については上記希釈作用も考えられるが、安定板の構造そのものが大きな原因となっているようである。すなわち、埋没することによって吸入ヘッド入口周辺に広げられている安定板が底質の円滑な流動を阻害しているのではないかと考えられる。この一検証として、図—4.11の3ノット時において、安定板全体のうち前方左右2個を取り外した状態での埋没時の含泥率を×印で示している。含泥率が8%位まで上昇しており、このことから吸入ヘッド入口近くの安定板が埋没時にかなり影響していることがうかがわれる。

なお、3.5ノットについては基本特性においても流入土量がかかなり減少する傾向があったが、このうえにさらに前述のような安定板による影響が重なって含泥率の低下を示すものと考えられる。

(3) ドラグヘッドの埋没抵抗

つぎに、ドラグヘッドの埋没による吸引抵抗(埋没抵抗と称す)の変化を調べてみる。一般に、浚渫ポンプの



図—4.12 土厚に対する埋没抵抗の変化

吸入負圧は浚渫を開始すると急激に増加するが、この主たる要因は土砂の懸垂揚程と埋没抵抗である。このうち埋没抵抗の大きい浚渫ほど図—4.6に示すように含泥率に対してポンプ流量の低下する割合が大きくなる。

いま、浚渫時の吸入負圧を h_m とすると、埋没抵抗 Δh_v は

$$\Delta h_v = h_w - h_m - C_{vm} \left(\frac{r_s}{r_w} - 1 \right) \times (S - D_{rp} + 2.2) \quad (4.17)$$

となる。ここで $h_w = D_{rb} - 2.2 - \zeta_{av} V_s^2 / 2g$

(ζ_{av} : 表—4.2)

C_{vm} : 管内平均含泥率

S : ドラグヘッド深度 (m)

なお、式(4.17)においては土砂混入時の圧力損失の増加分は無視されている。

この Δh_v は埋没抵抗という名の通り土厚と非常に深い関係がある。そこで、 Δh_v と土厚との関係を調べたのが図—4.12である。この中で、土厚が0.4~0.5mのとき、つまりドラグヘッド全体が埋没しはじめる時点で埋没抵抗が急に上昇するケースが見られる。そして、これは安定板使用時に多く発生していることがわかる。

この理由を明らかにするために、このような負圧の上昇が含泥率と結びついたものかどうかを調べてみた。もし、含泥率に結びついた負圧の上昇ならばそれは土量の増加につながるものでありそれなりに評価できる訳である。

図—4.13は Δh_v と含泥率の関係を示すが、これのみ

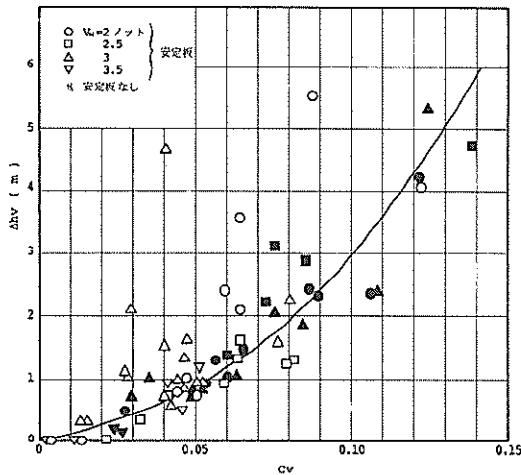


図-4.13 埋没抵抗と含泥率の関係

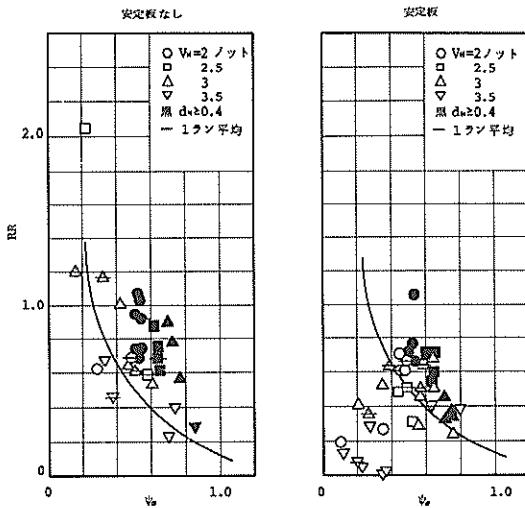


図-4.15 底質の有効吸引割合

ると安定板を使用しない時の図-4.12における負圧の上昇傾向はほとんど含泥率と密接な関係にあるけれども、安定板を使用した場合は含泥率の上昇を伴わない負圧の上昇、つまり何らかの異物によって入口が閉そくに近い状態を起こすのと同様の現象を示している。

いま、ドラグヘッドが0.4～0.5m埋没した状況を考えて、底質の流動性によって安定板のない場合の底質の流入は種々の方向から可能である。ところが、今回使用した安定板はこの流入路の大部分をふさぐ位置から後方へと広がっている。すなわち、このために異常に負圧が上昇するケースが生じたものと考えられる。

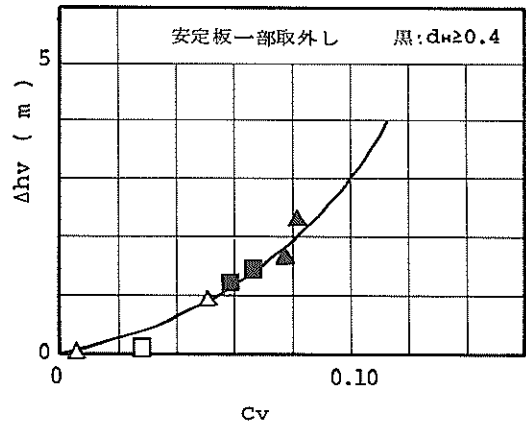


図-4.14 安定板一部取外し時の C_v と Δh_v の関係

この点については実験中考慮され、安定板6枚のうち前方の土砂水の通路に当たる部分の2枚を外した実験も行われた。この結果を図-4.14に示す。図中の実線は比較を容易にするために図-4.13の平均的傾向を転写したものである。安定板一部取り外し状態におけるデータはほぼ基本特性と一致しており、極端に負圧が上昇する傾向は示していない。

しかしながら、安定板が全部ある場合でも負圧の異常上昇がないケースも少なくなく、図-4.14のみによって断定するわけにはいかないが、可能性としては最も高い理由と考えてよいだろう。

(4) 底質の吸引割合

図-4.15は、安定板がないときとあるときの底質の有効吸引割合、RRを示すものである。RRは次式で定義される。

$$RR = C_a Q_m / (A \cdot V_H) \quad (4.18)$$

すなわち、押込供給土量のうちの程度が有効に吸引されているかを示すものである。

安定板のない基本ヘッドに対しては全般的に船速の影響は少なく、埋没時で考えると0.6～1.0となっている。つまり、同一 ψ_0 に対して60%から100%の範囲に変化しており、含泥率の傾向とあわせて考えると、ドラグヘッド入口高さ程度の土厚では供給土量の60%くらいしか有効に吸引せず、土厚をかけてゆくにつれて100%に近づいてゆくという傾向を示している。

一方、安定板使用時には2～2.5ノットの範囲については基本ヘッドとほとんど同じであるが、3ノット以上になると前述のように安定板の影響が出はじめ、3ノットで40%程度に落ち込んでいる。なお、2～2.5ノットについて埋没時の値が80%くらいで頭打ちの状態となっ

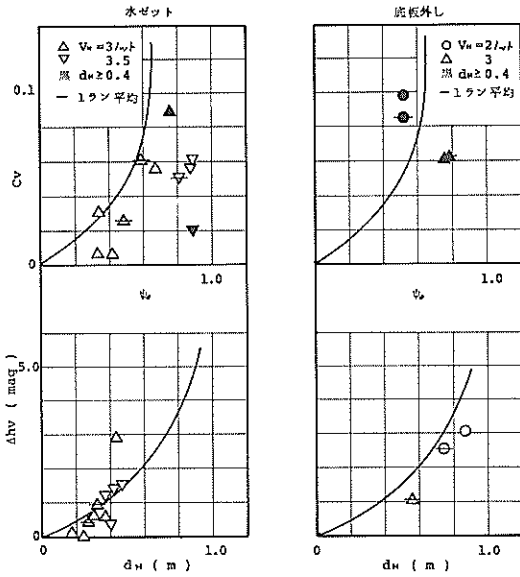


図-4.16 水ジェット等の影響

ているが、これは安定板によってドラグヘッドが表面近くで比較的安定に保たれているため、土厚が大きくとれない結果と考えられる。

非埋没時には、浚渫条件のゆるやかな場合に流入海水とともに周辺土砂も吸引されRRが100%以上になる場合も生じている。しかしながら、安定板使用時にはほとんどそのような例はなく、全般的に3ノット以上になるとかなり希釈された状態となっている。

すなわち、底質の有効吸引割合からみると船速が2.5ノット以下であれば安定板の使用いかんを問わずほぼ同様の特性を示すが、3ノット以上になると船速による安定板への影響が出はじめ、浚渫効率が落ちることになる。この傾向は浚渫特性全般を通じていえると考えられる。

(5) 水ジェット等の効果

本実験においては安定板利用のほか、水ジェット併用実験、あるいは前底面開放実験も一部行っている。

図-4.16は、これらの結果を今までに述べた方法の一部により整理したものである。なお、これら一連の実験ではすべて安定板を使用している。

まず、水ジェットについては含泥率、負圧（埋没抵抗）とともに安定板使用時データと大差はない。しかしながら、 ψ_0 の小さい部分で水ジェットによってさらに希釈され含泥率が大きく低下している例が見られる。ドラグヘッド非埋没時はただでさえ希釈水の流入が多く、このような状態での水ジェットの使用は逆効果であることを示して

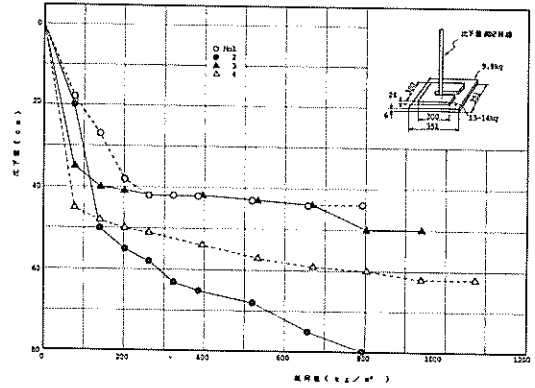


図-4.17 実験区域海底の表面の地盤支持力

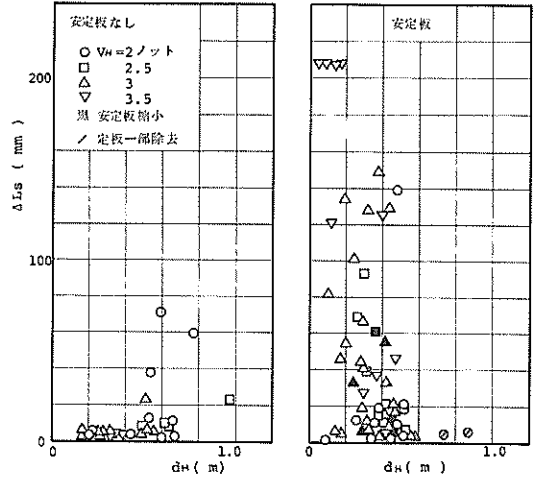


図-4.18 スェルコン変位と土厚の関係

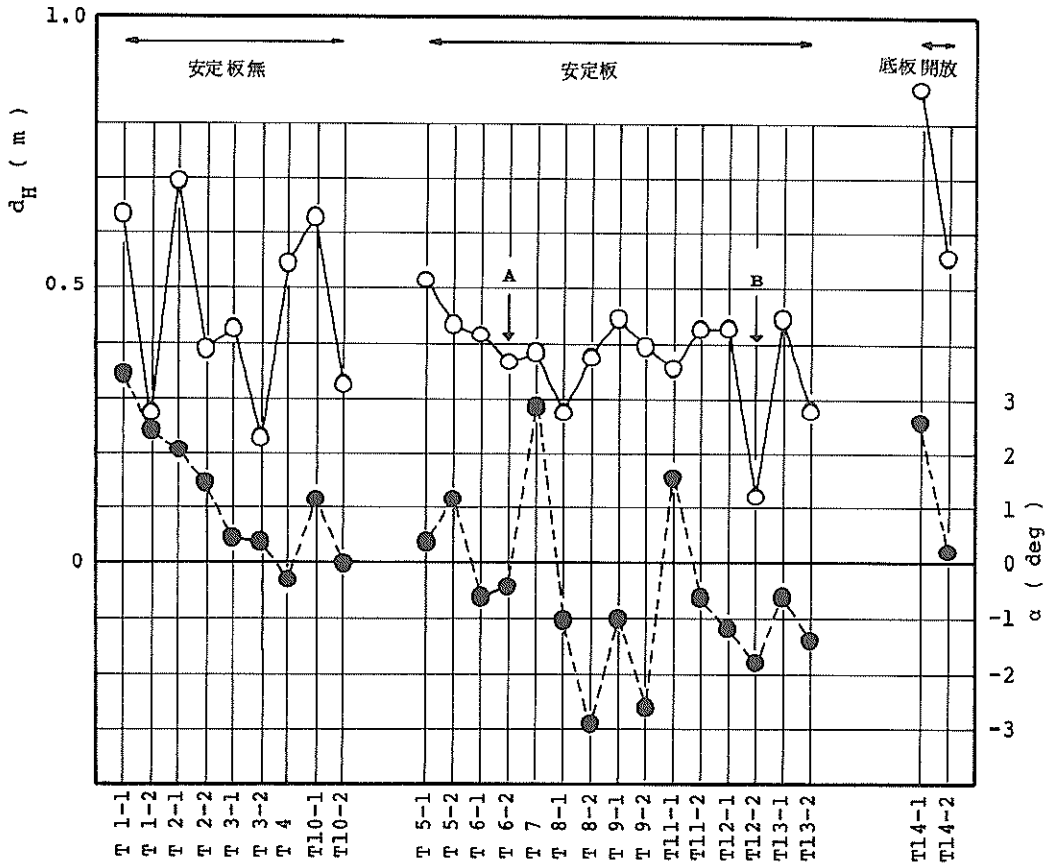
いる。

一方、底板の一部を取り外した前底面開放実験においては、含泥率に対して若干吸入負圧の負担が軽くなる傾向が見られるが、データ数も少なく、定性的に断定することはできない程度の傾向の差といえる。

4.4 オペレーション上の安定板の効果

安定板を使用することは、通常軟泥に対しスェルコンベンセータが有効に働かないという点を補完することである。したがって、安定板の作用はスェルコンベンセータの変位と密接な関係がある。今回の実験で設定したスェルコン空気圧は16Kgf/cm²であり、このときの接地圧は約1.7トンである。安定板の面積は7m²であるから地盤支持力が240Kgf/m²以上あればスェルコンが作動することになる。

図-4.17は、実験に先立って行った実験区域の地盤支



図一 4.19 実験中の平均土厚の変動 (d_H : ○, α : ●)

持力調査方法とこの結果である。これから判断すると、海底表面より40~50cmでスエルコンを作動させるに足る支持力が得られることになるが、これを単純に応用するとヘッドの入口高さが40cmあるから浚渫土厚は80~90cmということになる。

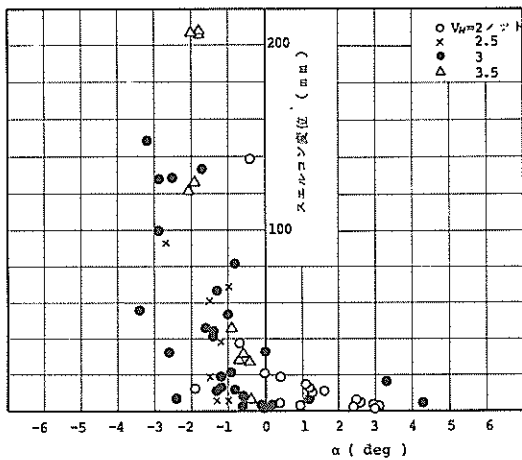
実際の浚渫実験で安定板を使用すると、そのときの土厚は後述するように平均して40cm程度であり、かなりくい違ってくる。これにはいろいろ理由が考えられるが、主として以下の3点にしばられると考えられる。

まず、ドラグヘッド本体の表面積も考慮したときの所要地盤支持力の低下、船速により安定板に作用する揚力によるみかけのヘッド荷重の低下、さらに図一4.17の土質調査における海底表面と実験において測定した表面との不一致である。これらを考慮すると、上述の差はいずれの場合も減少する方向にあるといえる。

図一4.18はスエルコンの変位と、それが作動したとき

の土厚との関係である。安定板の有無による差ははっきりと理解できる。すなわち、ドラグヘッドを下げていったとき安定板によって表面近くでヘッドが浮いた状態となるが、この吊下げワイヤのゆるみをスエルコンが十分吸収していると考えられる。一方、安定板のない場合は土厚をかなりかけないとスエルコンが作動できるほどの支持力に達しないことがわかる。つまり、安定板によってスエルコンの作動範囲がかなり広がっており、この意味で安定板の使用は初期の目的を達しているといえる。

また、図一4.19は実験全体を通じて安定板を利用したときの土厚の変化がどのくらいあったのかを、安定板を使用しないケース、また底板を開放したケースとともに示している。安定板使用時の土厚は、ほぼ40cm近辺に保たれており、表層から一定深さをカットしながら浚渫する薄層浚渫において、浚渫特性を別にすれば、安定板がオペレーション上有効な手段となり得ることを示すも



図一 4.20 掘削角 α とスエルクン変位の関係

のといえよう。

しかしながら、その利用に当たってはドラグヘッドの姿勢角および船速との関係を十分考慮する必要がある。例えば、図一 4.19において、B点は安定板を使用しているが、他のケースに比べて極端に土厚が小さい。そこで掘削角について調べてみると、マイナス2度程度であり、他にもこれより大きい迎え角をもち土厚としても安定している例がある。また、船速は3.5ノットであるが、同じ船速でもA点のように土厚が安定している例もみられる。これらの事実から考えて、点Bでドラグヘッドがほとんど浮き上がった状態になっているのは、角度と船速の組み合わせが最も揚力を受けやすい状態だったためと考えるのが妥当であろう。このように、安定板の角度や船速の少しの差で極端に土厚の設定が困難になる要素もあり、不陸の大きい地域での浚渫作業に今回使用したような大規模な安定板を用いるとすれば、常時ドラグヘッドの姿勢制御が必要になると考えられる。

さらに、図一 4.19には底板開放時のデータも示されている。安定板があるにもかかわらず、ヘッドの底板面積が減少し、また底部からも吸引が行われているために海底土の支持力が不足し、土厚が増加している。中でも90 cm近く埋没したケースがあるが、これは掘削角がプラス3度に近く、土面にかなり食い込んでいったものと考えられる。この場合も、ドラグヘッド姿勢角制御の必要性を示すものといえよう。

図一 4.20は、掘削角 α とスエルクン変位を関係づけたものである。 α が負になると急激にスエルクンの変位が大きくなっており、揚力を受けやすい姿勢に安定板を保つことでスエルクンも作動しやすくなっているといえる。

ただし、負の角度が大きすぎると完全に浮き上がり所要土厚が得られなくなる可能性も生じることを考慮しておく必要がある。

以上のことから、安定板に関してはその面積の決定もさることながら、使用時の角度の調整を十分考慮しないと有効な利用は図れないといえる。

4.5 ドラグヘッドの姿勢制御

今回新しい試みとして、ドラグヘッドの対地姿勢を制御できるようにヘッド入口のベンド部において対地角度、 β を変更できるようにした。ただし、これは実験中常時可変ではなく、実験前に1ラン中の平均噴水、深度そして潮位などを考慮して変化させる方式である。

一方、実際の姿勢角は4.1で述べたように圧力変換器によるドラグアーム2点間の水深差より求めたアームの角度より計算している。

そこで、設定角度と実際の角度がどの程度一致していたか、また前項で指摘したような要請によって連続的に姿勢制御を行う方法を検討する場合に必要な角度の変化幅を知るために、実験中の姿勢角の変化を調べてみた。

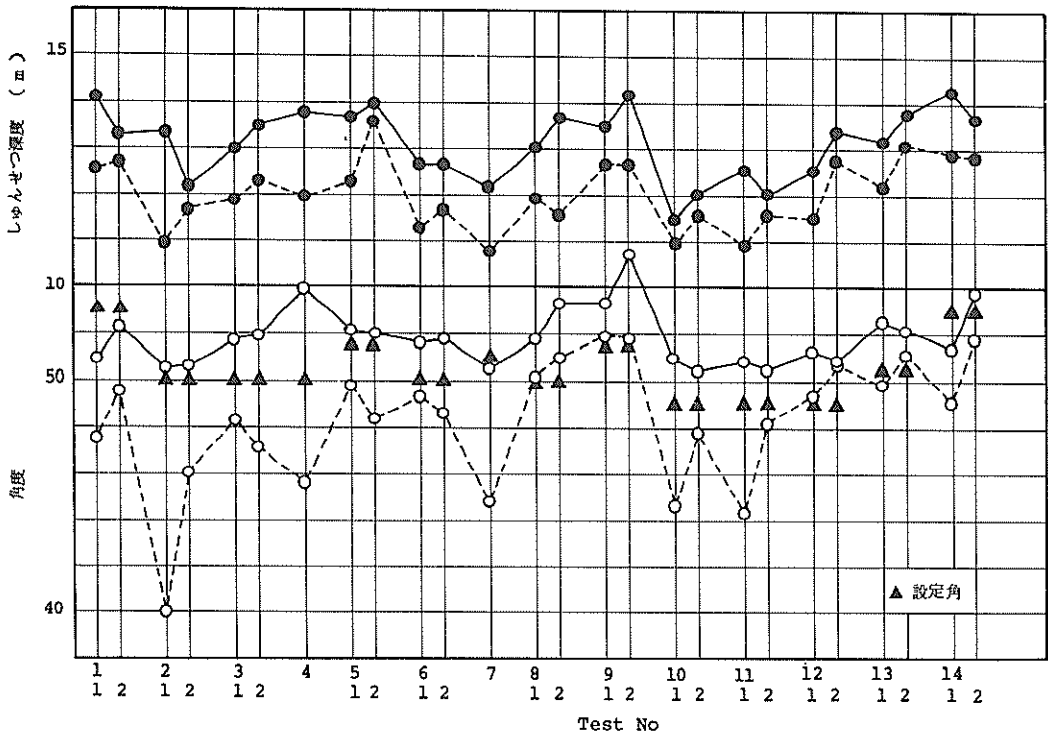
図一 4.21に結果を示す。図中の角度変化は地盤に対しドラグヘッドが水平となるための姿勢制御角度の最大、最小値である。事前の設定角度はほぼ実際の角度に近いものとなっている。また、姿勢制御すべき角度幅は平均すれば土3度程度であるが、一部には土4度以上の幅で変化しているケースもみられる。

なお、参考までに浚渫深度の変化についても最大、最小値で示している。最大で1回の行程当たり2 m位の差がある。すなわち、今回のような2 m程度の不陸を前提として姿勢制御する場合、土4度程度の幅で角度変更ができればよいということになる。

4.6 ヘドロ面探知システム

浚渫土厚を決定する最良の方法は、ドラグヘッド吸入口直前でへドロ表面を検知することである。このシステムを実用化するための基礎データ収集を目的として、4個の超音波送受波器(200 Kc)をヘッド入口に設置し、走行中へドロ面検知を行った。このうち、2個のセンサはドラグヘッド入口高さ以下に設置し、他の2個はヘッドが完全に埋没した状況を知るためにヘッド入口上方に置かれている(図一 2.1)。

ここでは、各センサの受信レベルを中間値も含めて、へドロ面を探知したか、しないかの両者に区分し、海中を0、泥水中を1として4個のセンサ全体についてパターン化してみた。すなわち、ある土厚に対し4個のセンサはそれぞれ0か1か、いずれかの情報をもつことに



図一 4.21 ドラグヘッド姿勢角の変動

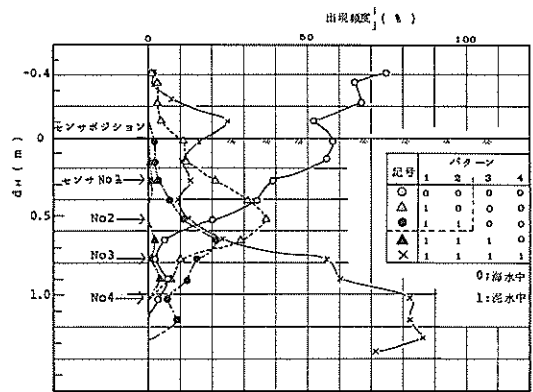
なる。

すべての組み合わせで考えると16組のパターンが存在するが、今回の場合へどろ面は4個のセンサのいずれかを飛び越したりして変化することはないから、このパターンは5組となる。これを図一4.22に示す。

いま、ドラグヘッド全体が海水中にある場合、4個のセンサによる受信レベルのパターンは(0,0,0,0)であるべきであり、逆にセンサ4まで含めてへどろ中に埋没している場合は(1,1,1,1)となるべきである。

そこで、実験全体を通じて得られた土厚の連続データと、4個のセンサに対する連続記録結果を5秒ごとにサンプリングし、ある土厚に対する上記5個のパターンの出現率を計算した。この結果を同じく図一4.22に示した。

まず d_H が負の場合、つまりヘッド全体が海水中にある場合のパターンは(0,0,0,0)が支配的であり、土厚が増加してセンサ1に近づく10cmほど手前からセンサ1は埋没状態を示しはじめる。すなわち、パターンが(1,0,0,0)に移行しはじめることがわかる。このように図一4.22は定性的には土厚の変化と対応したパターンの変化を示しているが、その出現率からいえば、30~40%以下の場合がほとんどであり、パターンから土厚を推定で



図一 4.22 へどろ面探知信号のパターンと土厚の関係

きるのは全体が海水中にあるか、泥水中にあるかの両方しかないといえる。すなわち、土面が4個のセンサの間にある場合誤情報が多すぎるといえる。

例えば実際にはへどろ面がセンサ3と4の間にきているとき、パターンの方は(1,1,1,1)が支配的であり、こちらから土厚を推定するとかなりの差異が生じることになる。この原因のひとつとして、No3, 4センサはド

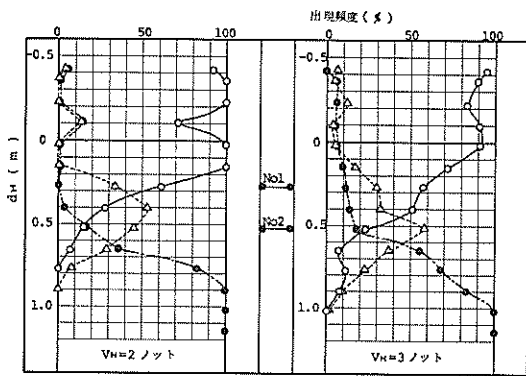


図-4.23 センサ1,2によるパターンと土厚の関係

ラグヘッドプレートの上にとり付けられており、ここにへどろが堆積しやすく、この影響を強く受けるということが考えられる。すなわち、一度ヘッド全体が埋没したのち海水中にセンサ部が現れても、付着へどろが離脱し得ずに、一見へどろ中にまだドラグヘッドが埋没しているという誤った情報を与えるケースが多いということである。特にセンサ3はヘッド入口上部のプレート上にあるため、ここに堆積したへどろによって完全に埋没した状況を続けるという装置取り付け上の問題点があるといえる。

以上のような理由で、センサNo3,4については信頼性が極端に低いため、センサNo1,2のみについて同様の出現率を計算してみた。これをプロットしたのが図-4.23であり、船速の影響をみるために2ノット、3ノットに対する2種類が示されている。なお図中の記号とパ

ターンの種類は図-4.2.2の点線で囲われたものを使用している。

2ノットの場合は、ほぼ土厚と対応したパターンを示しており実用性も高いと考えられる。すなわち、オペレーションに直接応用するためにランプ表示によってこのパターンを表す場合、土厚がセンサ1と2の中間点にある状態を考えると、(1,0)というランプ表示がなされる割合は50%以上あることになる。

しかしながら、これは船速が2ノットの場合であり3ノットになるとかなり情報の精度が悪くなる。たとえば、2ノットの場合センサ1の直前約10cmのところへどろ面があるとすれば図-4.23でみるとほぼ100%(0,0)というパターンであったものが、3ノットになると、誤った情報、すなわちパターン(1,0)が20%、また(1,1)が10%程度出現することがわかる。

船速が増加したときの問題点は、昭和54年度の「第一特設丸」における実船調査³⁾でも指摘されているが、この問題は恐らく船速の増加によってまき上げられる浮泥によるものと考えられるので、センサの機能上の問題(濃度によるソフト的ロック機能等)として解決を図る必要がある。

4.7 浚渫時の濁り

昭和54年度に行った前面開口ヘッドによる浚渫実験、ならびに昭和56年2月の同「清龍丸」実験、そして今回といずれも水中ポンプをドラグヘッド周辺、あるいはドラグアーム中間に取り付けて浚渫時の濁り計測を行ってきた。

「第一特設丸」の場合はある程度運転条件と関連付けられる傾向が見られた³⁾が、今回を含めた2回の「清龍

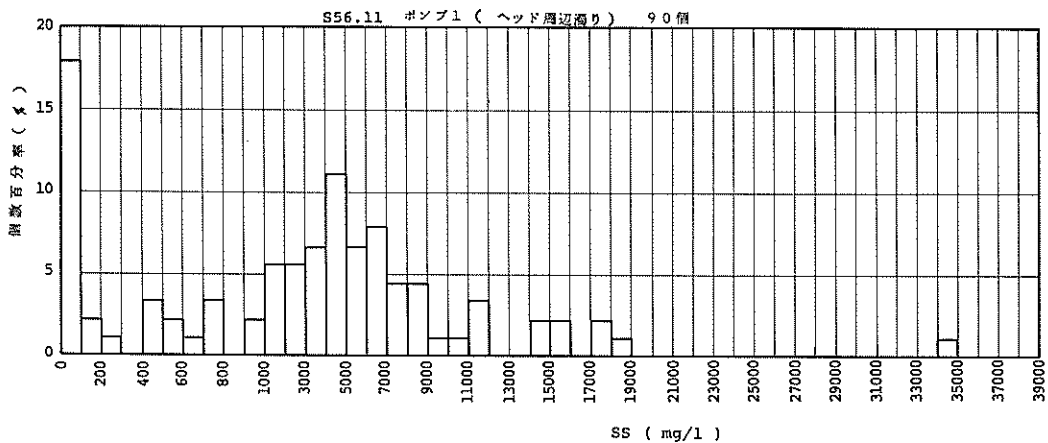
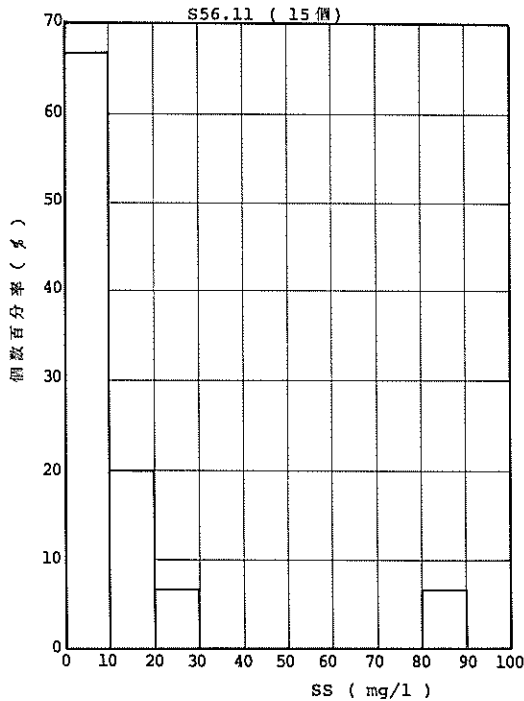


図-4.24 実験中の濁りの状況(全体)



図一 4.25 ドラグヘッド周辺の定常的な濁り

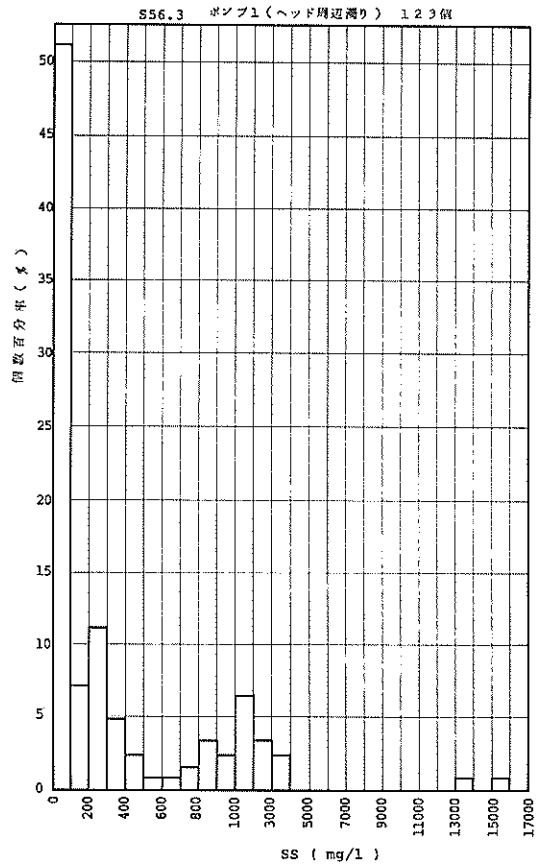
丸」による実験ではかなりの濁りが検出されたものの、それらを運転条件と結びつけることはできなかった。

この大きな理由は、海底の不陸が「第一特浚丸」の調査地点と異なりはるかに大きいため、ドラグヘッドの土面への埋没、離脱の規模および頻度が大きくこのためヘッドに堆積したへどろが海水中において洗われる際の非常に濃度の濃い濁水を水中ポンプがキャッチするためと考えられる。

ここでは、浚渫条件に関連づけることはやめて全体的に濁りの値がどのような分布をしているかを調べてみた。

図一 4.24は、ヘッド周辺濁り、本船付近のバックグラウンド濁り（ポンプNo.2）、そして小舟による濁りの値の分布をヒストグラムで表したものである。

ドラグヘッド周辺濁りについては、グラフでわかるようにピークが2か所あり、ひとつは0~100mg/l、他のひとつは4000~5000 mg/lに存在する。一方ドラグアーム中間（ポンプ2）及び小舟によるサンプリングにおいてはいずれも3~4 mg/lというきわめて小さな値となっている。すなわち、ドラグヘッド周辺から発生する5000 mg/lというような大きな濁りがきわめて局部的であり、バックグラウンドにほとんど影響していないことがわかる。また、ドラグヘッド周辺濁りの他のピー

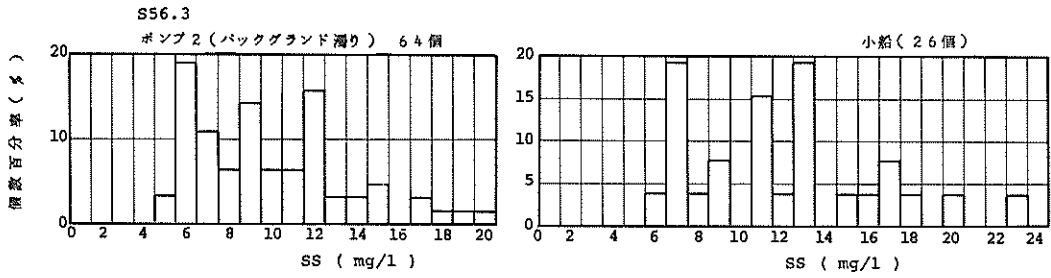


図一 4.26 ドラグヘッド周辺の濁りの状況（名古屋港の場合）

ク、すなわち、0~100 mg/lのものをさらにこまかく区分して調べたものが、図一 4.25である。0~30mg/lの濁りが最も多くサンプリングされていることがわかる。

これらのことから、ドラグヘッド上下動の少ない安定した浚渫においては、30mg/l程度の濁りが恒常的に発生するが、海底の不陸が大きくなると場合によっては、5000 mg/l程度の大きな濁りが局部的に発生すると考えてよいであろう。

なお、図一 4.26及び 4.27は前回の名古屋港におけるデータを今回と同様に取りまとめたものであり、浚渫中はやはり局部的に1000~3000 mg/lの大きな濁りが検出されている。また、浚渫船周辺のバックグラウンドや浚渫エリアの濁りは、ほぼ5~13mg/l程度となっている。



図—4.27 バックグラウンドの濁りの状況 (名古屋港の場合)

5. まとめ

本実験の結果をとりまとめると次のようになる。

(1) 安定板を使用しない前面開口ヘッドに対する浚渫実験結果を基本特性とし、この特性と比較することによって安定板をはじめとした種々のヘッド条件に対する浚渫性能を検討した。浚渫特性については下記のことがあった。

a) ドラグヘッドや浚渫ポンプを含めたサクショシステムに対しては、流量低下は次式で示される。

$$Q_m / Q_0 = 1 - 4.59 C_v^{1.3}$$

b) この流量低下で規定される揚土量の変化傾向からすると、含水比 220 % の場合揚土量はポンプ清水流量の 60% まで期待しうる。

c) ドラグヘッドの吸入抵抗係数は、一般のカルフォルニアタイプと同程度であるが、前面開口ヘッドのみについてみるとロータの有無により 0.25 程度の差が見られる。しかしながら、浚渫特性への影響はきわめて小さい。

d) 安定板を使用しない前面開口ヘッドについてみると、埋没状態 ($d_H \geq 0.4 \text{ m}$) では船速 3 ノットまでは含泥率の増加が期待できるが、3.5 ノットになると急速に含泥率が低下し同時に負圧も減少する傾向が見られた。これは、ヘッド前方の支持金具等により土砂の流入が阻害されるためと考えられる。

また、今回の底質に対する一般的傾向として、船速よりも土厚をかけることによって含泥率が増加することがわかった。したがって、 ψ に対する含泥率の増加傾向はあるところまでゆるやかに増加し、一定の ψ 付近で急速に立ち上るような傾向をもつ。

e) 安定板使用時の浚渫特性は、船速が 2 ~ 2.5 ノットの範囲では埋没、非埋没状態とも基本ヘッドの特性と

変らない。3 ノット以上においては、埋没時には安定板が底質の円滑な流入をふさぐように作用し、含泥率が低下する。非埋没時にも若干の影響が現われ始める。

f) 土砂の有効吸引割合は、基本ヘッドにおいては埋没時に 60 ~ 100 % となるが、ヘッドの入口高さ以上土厚をかけてゆかないと 100 % に近づかない。一方、安定板使用時は 2.5 ノットまでは基本ヘッドと同程度であるが、3 ノットを超えると上記理由によりかなり低下する。

g) 安定板の取り付け位置を十分検討しないと、場合によっては土砂の流入路がさまたげられ、異常に負圧が上昇することもある。

(2) 安定板は、浚渫特性に対しては種々の問題を有しているが、安定浚渫という観点から考えると有効な方法であることがわかった。ここで明らかになった点を列記すると次のとおりである。

a) 一般的に安定板を利用することで土厚をほぼヘッドの入口高さに安定に保つことができた。

b) 事前の地盤支持力調査結果に対応する位置よりかなり浅いところでスエルコンが作動している。これは安定板使用時の掘削角が平均的にみてマイナスの例が多く、このため揚力によってヘッド重量がみかけ上かなり軽くなったことが主因と考えられる。

c) 本実験において、ヘッドが完全に浮上しほとんど海水を吸引するケースが生じたが、このときの掘削角と船速を考えると、ヘッドがきわめて揚力を受けやすい条件が重なり合ったためということがわかった。

d) したがって、有効な安定板の応用に際してはヘッド姿勢角や船速の影響、さらにスエルコンの作動状況まで十分に考慮する必要がある。

(3) ヘドろ探知システムとして 4 個のセンサをドラグヘッド入口に設けたが、ヘッドの入口高さより上に設けたセンサに対しては、ヘドろが堆積してセンサの復帰が遅れる現象がかなり発生した。しかしながら、ドラグヘ

ッド内部に取り付けたセンサはほとんど問題なく作動した。

今回、各センサの受信レベルのパターン化を試みたが、船速が2ノットの場合はかなり有効に利用できる見通しが得られたけれども、船速による影響が大きく3ノットになると誤ったパターンを表示する可能性がかなり存在することがわかった。

(4) 浚渫時の濁りについてはかなり大きな濁りがヘッド周辺で発生していることがわかった。この濁りには2種類あり、ひとつはバックグラウンド濁りの10倍程度のもので安定した浚渫時に常時発生するものと考えられる。他の一種は非常に濃い濁りで5000 mg/l付近の値が最も多かった。これは恐らく、ドラグヘッドが土中に埋没し、再浮上したときにヘッドに堆積するへどろ塊が海水で洗われる際に発生し、水中ポンプがこれをとらえているものと考えられる。ただし、これらの濁りは局部的でありバックグラウンドの濁りにはほとんど影響していないことがわかった。

6. あとがき

今回の実船実験を通じて、前面開口ヘッドによる軟泥の薄層浚渫のオペレーションをより円滑に行うという観点からみた種々の問題点が明らかにされた。これらは、将来本方式の実用化に際して、土厚の検知方法の高精度化、あるいは土厚設定の自動化につながるへどろ検知器や安定板などの具備すべき条件ともいえる。

また、浚渫特性においても安定板等の補助装置により

さまざまな影響を受けることがわかったが、このような影響を説明するメカニズムのいくつかは、それを把握するに当たって実船調査では限界があり、再び室内実験へフィードバックさせるべき課題となろう。今後とも理論的アプローチを行う中で、同時に考慮してゆかなければならないと考えられる。

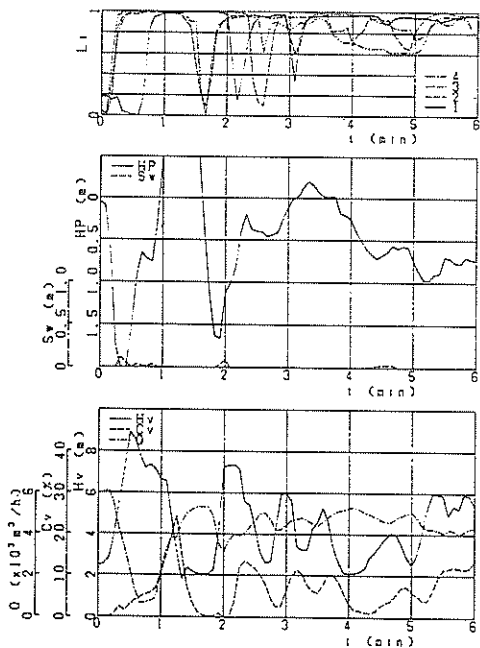
なお、第5港湾建設局と港湾技術研究所の本研究における分担としては、第5港湾建設局においてドラグヘッド、安定板等の設計、製作を行い、港湾技術研究所が実験の実施、および結果の解析を担当した。

最後に、本実験に多大の協力を頂いた「清龍丸」乗組員の方々をはじめとした第5港湾建設局の関係者、さらに名古屋港、衣浦港各工事事務所の関係者に厚く感謝する次第である。
(1982年3月31日受付)

参考文献

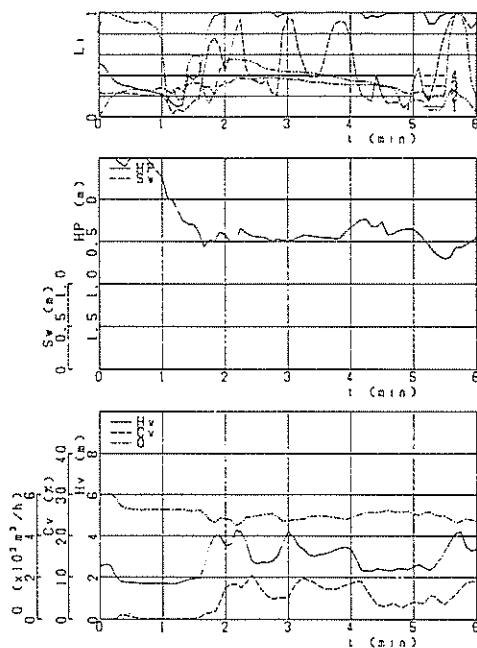
- 1) 浜田賢二・八木得次・斎藤勝：へどろ浚渫における模型前面開口型吸入ヘッドの形状効果、港湾技研資料, No. 302, 1978年.
- 2) 岡山義邦・浜田賢二：へどろ浚渫の一方法(前面開口型ドラグヘッド)、作業船, No. 127, 1980年, PP. 36 - 43.
- 3) 岡山義邦他：前面開口型ドラグヘッドによる軟でい浚渫現地実験、港湾技研資料, No. 344, 1980年.
- 4) 松田任他：第一特浚丸浚渫試験報告、港湾技研資料, No. 123, 1971年.
- 5) 八木得次他：ドラグサクシオン浚渫船の鹿島港への適用、港湾技研資料, No. 67, 1963年.

T 2 - 1



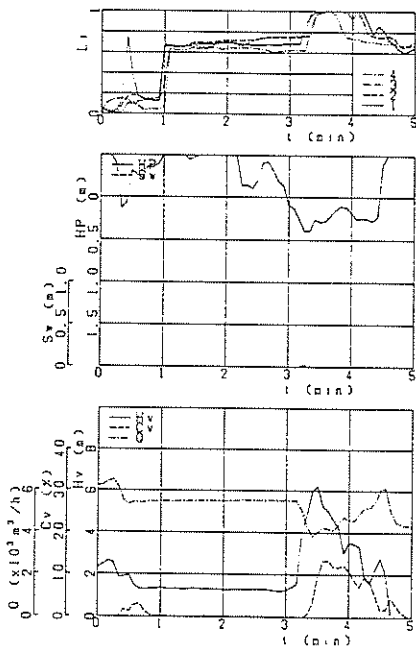
付図 (1) 連続計測記録例 (T 2 - 1)

T 3 - 1



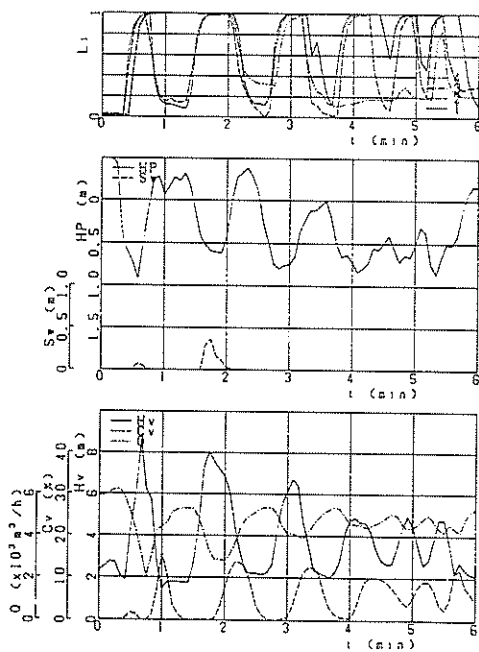
付図 (2) 連続計測記録例 (T 3 - 1)

T 3 - 2



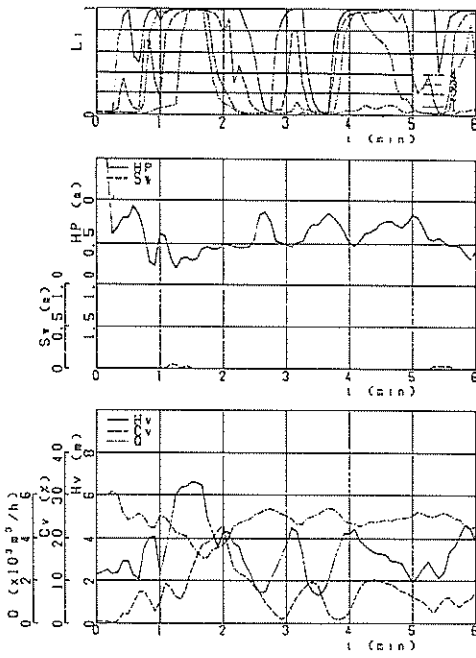
付図 (3) 連続計測記録例 (T 3 - 2)

T 5 - 1



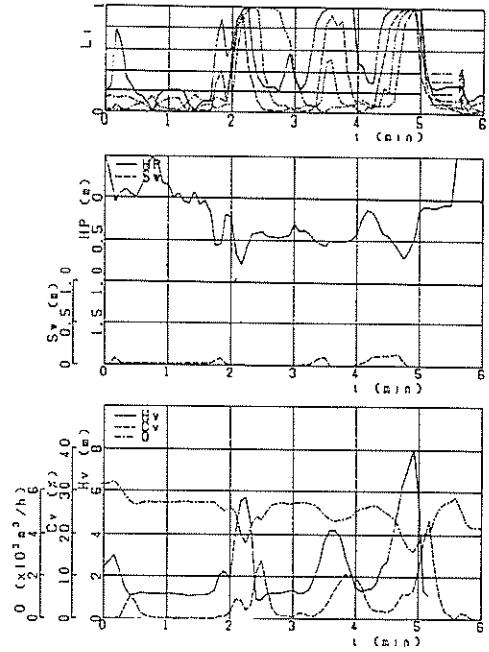
付図 (4) 連続計測記録例 (T 5 - 1)

T 6-1



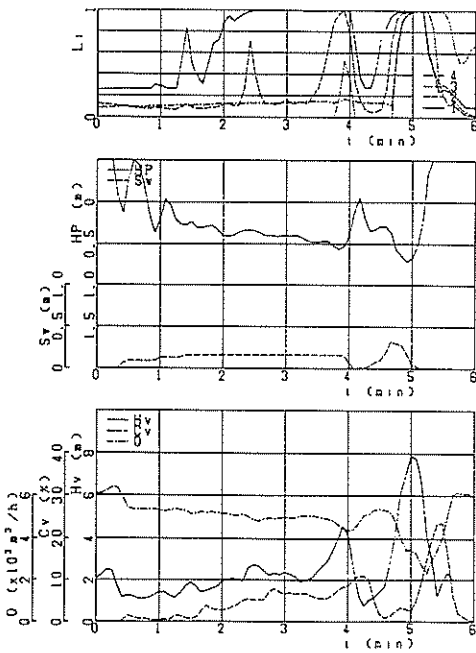
付図(5) 連続計測記録例 (T 6-1)

T 6-2



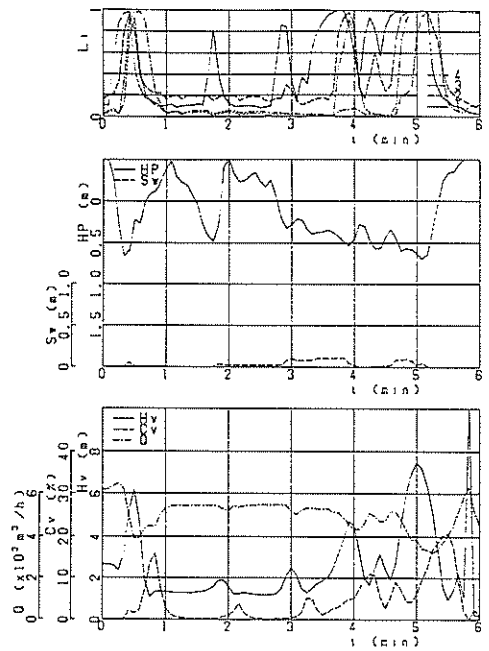
付図(6) 連続計測記録例 (T 6-2)

T 8-2



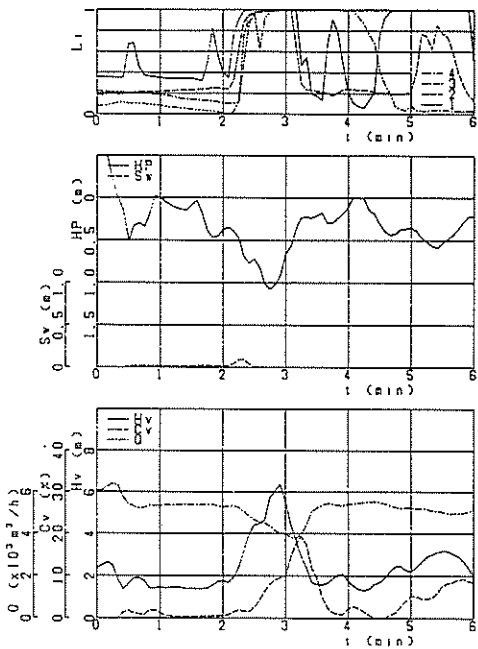
付図(7) 連続計測記録例 (T 8-2)

T 9-2



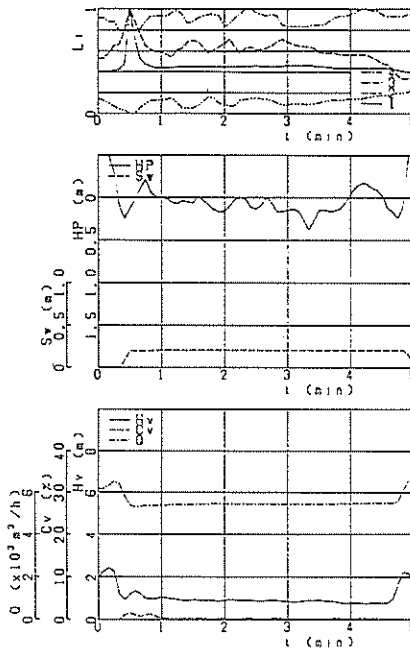
付図(8) 連続計測記録例 (T 9-2)

T11-1



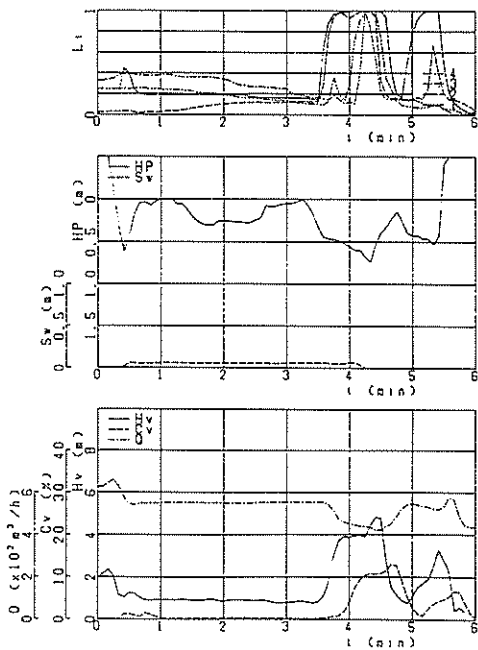
付図(9) 連続計測記録例 (T 11 - 1)

T12-2



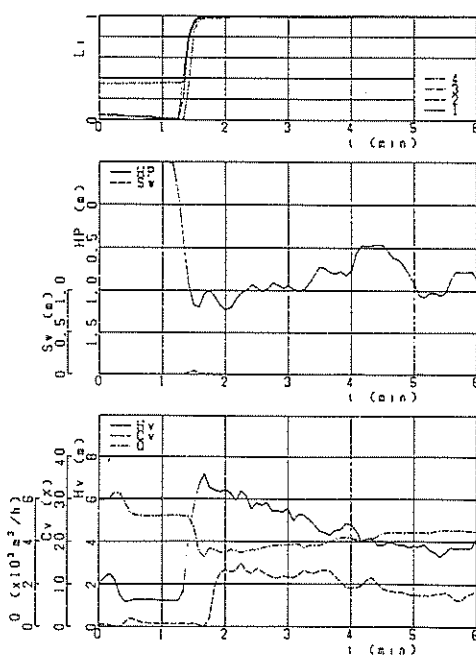
付図(10) 連続計測記録例 (T 12 - 2)

T13-2



付図(11) 連続計測記録例 (T 13 - 2)

T14-1



付図(12) 連続計測記録例 (T 14 - 1)

港湾技研資料 No. 422

1982.6

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 阿部写真印刷株式会社

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