

# 港湾技術資料

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

No. 621      June 1988

ベルトコンベヤを用いた薄層浚渫装置の開発

安	立	重	昭
加	藤	英	夫
中	村	裕	二
上	原	勝	樹

運輸省港湾技術研究所



## 目 次

要 旨 .....	3
1. ま え が き .....	3
2. 薄層浚渫装置についての検討 .....	4
3. 円筒コンベヤ方式による薄層浚渫装置の開発とその浚渫特性 .....	4
3.1 原理及び構造 .....	4
3.2 試作した実験装置の概要 .....	5
3.3 実験の概要 .....	7
3.4 実験結果及び考察 .....	8
4. 傾斜コンベヤ方式による薄層浚渫装置の開発とその浚渫特性 .....	12
4.1 原理及び構造 .....	12
4.2 試作した実験装置の概要 .....	12
4.3 実験の概要 .....	14
4.4 実験結果及び考察 .....	15
5. 開発した薄層浚渫装置の浚渫特性についての比較及び評価 .....	19
5.1 浚渫特性の比較 .....	19
5.2 薄層浚渫装置としての評価 .....	21
6. 結 論 .....	21
7. あ と が き .....	22
参 考 文 献 .....	22
記号一覧表 .....	22

## Development of Thin Layer Dredging Equipment Using Belt Conveyer

Shigeaki ADACHI\*  
Hideo KATO\*\*  
Yuji NAKAMURA\*\*\*  
Masaki UEHARA\*\*\*

### Synopsis

In recent years, sea bottom sludge which is polluted by industrial waste or water input from river is widely sedimented in closed water area such as Tokyo bay. And adverse effect to aquatic environment caused by dissolution of nutrients, COD, toxic matters from the sea bottom sludge becomes problem. Generally, sludge is disposed of in containment area when it is dredged to improve aquatic environment. However, it becomes impossible to obtain large containment area recently. On the other hand, it is reported that it is enough to dredge thinly on the surface of the bottom sludge to improve aquatic environment. Therefore, technique to dredge thinly on the surface of sludge and in high mud content to reduce the volume of dredged sludge is needed.

For this purpose, two types of thin layer dredging equipment using water-tight belt conveyer were developed. One is pipe type conveyer dredging equipment and the other is sandwich type conveyer dredging equipment. Dredging characteristics were investigated using model dredging equipment of these two types. The results were as follows:

- (1) Dredging method of these two types are technically feasible, and both types can dredge efficiently compared with the conventional dredging method.
- (2) The sandwich type conveyer dredging method is superior in both dredging characteristics and mechanism to the pipe type conveyer dredging method.

**Key Words:** Bottom Sediments Improvement, Sludge Treatment, Thin Layer Dredging, Belt Conveyer

---

\* Chief of the Sludge Treatment Laboratory, Machinery Division

\*\* Senior Research Engineer, Machinery Division

\*\*\* Member of the Sludge Treatment Laboratory, Machinery Division

# ベルトコンベヤを用いた薄層浚渫装置の開発

安 立 重 昭\*  
加 藤 英 夫\*\*  
中 村 裕 二\*\*\*  
上 原 勝 樹\*\*\*

## 要 旨

閉鎖性海域の水質を改善するため、海底に堆積した汚泥を浚渫により除去する場合、その処分は海面埋立によるのが一般的であるが、近年は広大な埋立地を確保することが困難になってきているのが現状である。したがって、汚泥を浚渫する場合には、除去する必要のある表層部の汚泥のみを浚渫して余掘りをできるだけ少なくするとともに、できるだけ高含泥率で浚渫を行うことが望ましく、効率的な薄層浚渫技術の開発が強く望まれている。

このため、従来技術に比べ、より高含泥率でかつ効率的な浚渫が可能な密閉式ベルトコンベヤを用いた薄層浚渫装置として、円筒コンベヤ方式によるものと傾斜コンベヤ方式によるものの2タイプを開発し、これらの浚渫特性を検討するための実験装置を試作して薄層浚渫実験を行った。

この結果、両タイプとも従来技術に比べ、より効率的な浚渫を行うことが可能であることが明らかになったが、薄層浚渫装置としては、傾斜コンベヤを用いたものが、浚渫特性及び構造面のいずれにおいても、円筒コンベヤを用いたものより優れていると評価された。

キーワード：底質浄化、汚泥処理、薄層浚渫、ベルトコンベヤ

## 1. まえがき

東京湾をはじめとする我が国の閉鎖性海域においては、工場排水及び河川からの流入水によって汚染された汚泥が広範囲に堆積しており、これらの汚泥からの栄養塩類、COD、有害物質等の溶出による水質への悪影響が問題となっている。この様な閉鎖性海域の水質を改善するためには、海底に堆積した汚泥を浚渫により除去することが効果的である。この場合、浚渫土の処分は海面埋立によるのが一般的であるが、近年は広大な埋立地を確保することが非常に困難になってきているのが現状である。このため、汚泥の浚渫に当たっては、除去する必要のある表層部の汚泥のみを浚渫して余掘りをできるだけ少なくするとともに、できるだけ高含泥率で浚渫を行うこと

が望ましい。これらの点から効率的な薄層浚渫技術の開発が強く望まれている。

広範囲に堆積した汚泥の浚渫については、従来から技術開発が進められており、当所でも前面開口型ドラッグヘッドについての模型実験<sup>1)</sup>及び現地実験<sup>2),3)</sup>が行われている。しかし、薄層浚渫技術という観点からみると、完成されているとはいえない。汚泥の薄層浚渫技術に求められる機能は、高含泥率での浚渫が可能であることと二次汚染が少ないことである。このうち、二次汚染の防止については、水銀、PCB等の有害物質により汚染された汚泥の除去が社会的に大きな問題となった時期に、最優先の課題として精力的に研究された結果、技術的にはほぼ十分なレベルに達している。一方、高含泥率での浚渫という点については、埋立地に対する制約が厳しくな

\* 機材部 汚泥処理研究室長

\*\* 機材部 主任研究官(汚濁防止担当)

\*\*\* 機材部 汚泥処理研究室

ってきたこと及び底質浄化事業等の環境改善事業に対してもその経済性が強く要請されるようになってきた結果、重要になってきた課題であり、技術開発による改善の余地がまだ大きいと考えられる。

高含泥率での浚渫という点からは、機械式浚渫装置がポンプ式浚渫装置に比べて優れている。しかし、汚泥の薄層浚渫という点からみると、既存の機械式浚渫装置は最適なものとはいえない。このため、機械式浚渫装置の特性を活かし、従来技術に比べ、より効率的な浚渫が可能な密閉式ベルトコンベヤを用いた薄層浚渫装置を開発し、その浚渫特性等を実験的に検討した<sup>4),5)</sup>

## 2. 薄層浚渫装置についての検討

浚渫装置をその原理から分類すると、ポンプ（流体）式と機械式に大別できるが、汚泥の浚渫を目的としたこれまでの技術開発は、ほとんどポンプ式浚渫装置に係わるものである。これは大量の汚泥を浚渫しなければならないこと、ポンプ式浚渫装置の技術的成熟度、取り扱いの容易性等のためと考えられる。しかしながら、機械式浚渫装置は装置が複雑になるという短所はあるものの、浚渫土の輸送媒体として水を用いないため、含泥率をポンプ式浚渫装置に比べて高くすることができるという長所がある。

機械式浚渫装置は、さらに連続式と不連続式に分類できる。不連続式としては、グラブバケットが比較的小規模な汚泥の浚渫に用いられている。しかし、浚渫の対象となる土厚が薄いこと、密閉式のグラブバケットを用いても二次汚染を完全に防止することは難しいこと等から、グラブ船は汚泥の薄層浚渫には不適当と判断される。連続式の代表的なものはバケット船であるが、汚泥のようなものにはバケットからの流出を防止することが難しいため不適当である。汚泥を対象とした連続機械式浚渫装置としては、スクリーコンベヤにより揚泥する方式がしばしば検討の対象とされてきた。しかし、スクリーコンベヤを用いた場合、ケーシングとスクリーの間を汚泥が輸送されるため、粘性抵抗による動力損失が大きいこと、ケーシングの内面及びスクリーの摩耗が大きいこと、スクリーの回転数に機械的制約があり、大量の汚泥を扱えないこと等が問題である。

このような問題点を解決し、高含泥率での浚渫が可能であるという機械式浚渫装置の特性を活かすものとしてベルトコンベヤを用いることを検討した。通常のベルトコンベヤでは汚泥の水中への流出が避けられないが、被輸送物をベルトで形成された空間内に密閉して輸送する密閉式ベルトコンベヤを用いて、汚泥の水中への流出を

防止することにした。密閉式ベルトコンベヤは被輸送物の荷こぼれ、飛散を防止した運搬方式であり、最近、パラ物の輸送手段として、各方面で用いられているものであるが、浚渫に用いられた例はない。密閉式ベルトコンベヤとして実用化されているものには、1枚のベルトを円筒状にすることにより被輸送物を密封する円筒コンベヤ及び2枚のベルトの間に被輸送物をはさみ込む傾斜コンベヤがあるが、この両方式について検討を行い、その浚渫特性等を把握するために実験装置を試作した。

各方式による薄層浚渫装置の構造とその浚渫特性については、3.及び4.で詳しく述べるが、両方式に共通する開発上の留意点は、以下のとおりである。第一の点は、前述したように浚渫の対象となる土厚が薄いことである。この浚渫の対象となる除去すべき土厚は、地域によっても異なるが、最も薄い場合には25~30cm程度とされている。このため、浚渫作業の効率を考えると、同時にできるだけ広い範囲を浚渫することが必要となるので、できるだけ広幅の浚渫を行うことができる構造とした。第二の点は、密閉式ベルトコンベヤへ汚泥を取り込み、輸送途中での下方への流下を阻止して効率的な揚泥を行うため、ベルトにヒレを取りつけたことである。

## 3. 円筒コンベヤ方式による薄層浚渫装置の開発とその浚渫特性

### 3.1 原理及び構造

円筒コンベヤ方式による薄層浚渫装置は、円筒コンベヤを用いて海底表層部の汚泥を船上へ輸送することにより浚渫を行う装置である。図-1は、トロール方式を前提として検討を行った装置の構造を示したものであり、以下ではこの図にそって説明する。

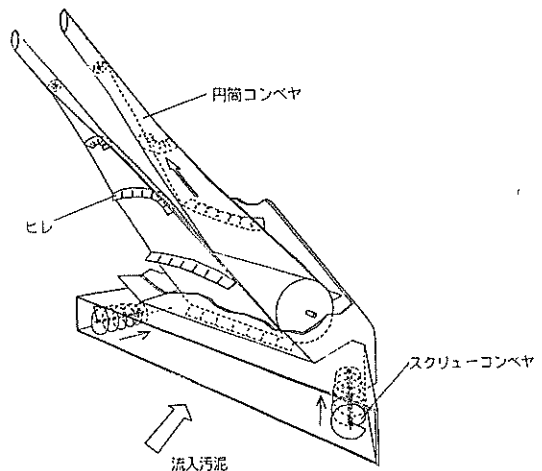


図-1 円筒コンベヤ方式による薄層浚渫装置の構造

円筒コンベヤは1枚のベルトをブリーでは平面状に掛け、中間部分では円筒状にしたベルトコンベヤの一方式であり、円筒状にすることにより輸送中における汚泥の水中への流失を防止することができる。ベルトに一定間隔で一箇所当たり数枚づつ取り付けられたヒレは、汚泥をかきあげるためのものであるが、円筒部で重なり合うことにより、揚泥水の下方への流下を阻止し、その結果として、ヒレの無い場合よりも効率的な揚泥を行う効果もある。図-1からもわかるように、ヒレの高さを浚渫土厚より大きくすることは意味がなく、このヒレの高さから円筒部分の直径はほぼ決まり、したがってブリー部において一直線に並んだヒレの全体幅もほぼ決まり、汚泥のかきあげ幅もこれに等しくなる。薄層浚渫を行う場合は、前にも述べたようにできるだけ広幅の浚渫を行うことが効率的である。このため、かきあげ幅よりも広い集泥口を有する集泥装置を設け、その両側壁部に汚泥の円滑な集泥を促進するためのスクリーコンベヤを取り付けている。

この薄層浚渫装置を台船等に取り付け、台船を移動させると、汚泥は集泥装置前面の集泥口から流入し、スクリーコンベヤの効果にも助けられて集泥装置の後端に達し、ここで一直線に並んだヒレによりかきあげられ、円筒コンベヤにより船上に輸送される。船上ではベルトが上方のブリー部で再び平面状に掛けられているため、ここから汚泥は装置外の土運船等へ排出される。

### 3.2 試作した実験装置の概要

3.1で原理及び構造について述べた円筒コンベヤ方式による薄層浚渫装置の浚渫特性等を把握し、その技術的可能性を実証するための実験装置を試作した。なお、実験装置の設計に当たっては、実際の浚渫土厚を25~30cmと設定し、想定される実際に対する幾何学的縮尺をほぼ1/5とした。



写真-1 円筒コンベヤ方式による薄層浚渫装置の外観

実験装置は新たに製作した浚渫実験水槽(長さ11.9m×幅1.5m×深さ1.5m)上を走行することにより、浚渫実験を行うものであり、図-2に本実験装置の全体配置写真-1に外観を示す。以下では本実験装置の主要部である集泥装置、円筒コンベヤ及び走行台車について述べる。

#### (1) 集泥装置

写真-2にその外観を示す。主要目は以下のとおりである。

集泥口	幅	900mm
	高さ	60mm
スクリーコンベヤ	スクリー径	56mm
	スクリーピッチ	60mm
	軸径	19mm
	長さ	250mm
	回転数	40~400 rpm

前面開口部縦横比は15と大きくし、汚泥の円滑な集泥を促進するための2本のスクリーコンベヤはフレームに取り付けた無段変速電動機(0.75kw)によって駆動するようにした。

#### (2) 円筒コンベヤ

主要目は以下のとおりである。

円筒部直径	70mm
ブリー間長さ	4,000mm
ベルト速度	20~200m/min

本実験装置に用いた円筒コンベヤのベルトは、幅250mm、長さ8,470mm、厚さ1mmであり、汚泥をかきあげるためのヒレを1箇所当たり7枚、全体で490枚取り付けた。ベルト及びヒレは、熱可塑性エラストマで製作した。図-3にヒレの形状及び配置を示す。円筒状にする方法は、ベルトの両端を重ね合わせて両側からローラで保持することにより行い、円筒部の長さは1,200mmと

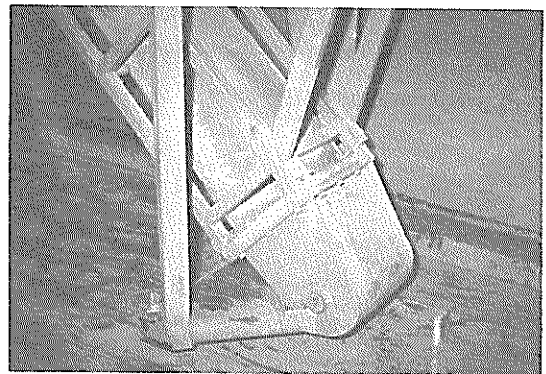


写真-2 集泥装置

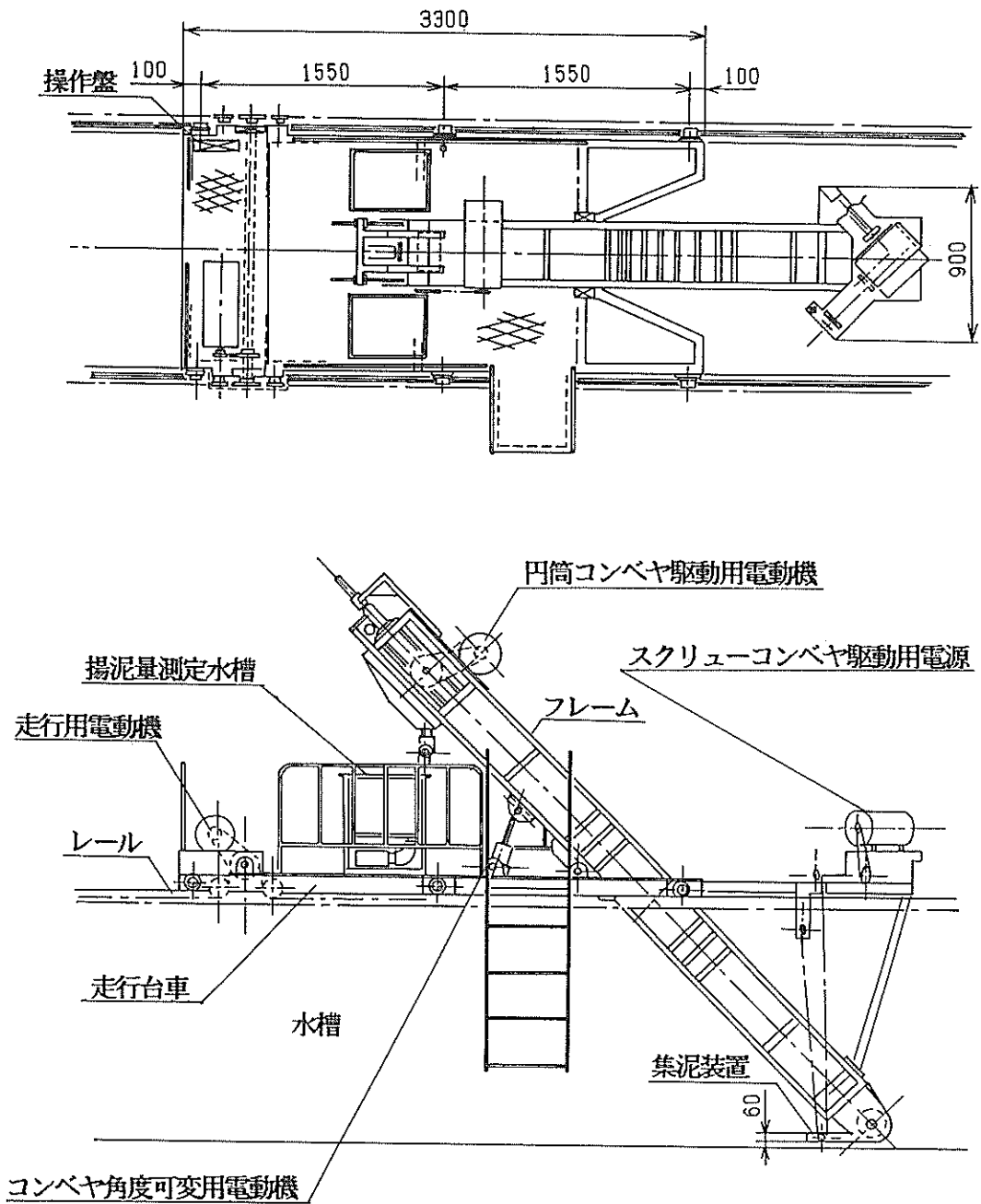


図-2 円筒コンベヤ方式による薄層浚渫実験装置の全体配置

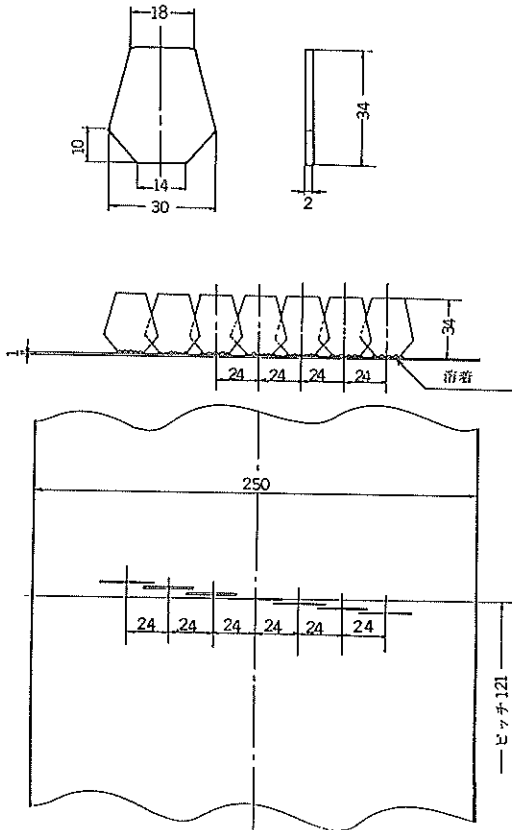


図-3 ヒレの形状及び配置

した。また、ベルトの駆動は、フレームに取り付けた無段変速電動機(2.2kw)によって行うようにした。

### (3) 走行台車

走行台車には、集泥装置及び円筒コンベヤ等を取り付けたフレームをスクリージャッキにより俯仰可能なように取り付けた。この走行台車は、台車に取り付けた変速機付無段変速電動機(0.75kw)によって、浚渫実験水槽上を1.2~12m/minで走行するようにした。

## 3.3 実験の概要

### (1) 供試汚泥

汚泥の力学的特性は構成成分の種類、粒径、含水比等多くの要因に関係し、さらに地域による違いも大きい。したがって、浚渫に関する実験を行うに際しては、浚渫の対象となっている現地汚泥を用いることが望ましい。しかし、その入手、後処理等の問題があるため、市販されている粘土あるいはこれとフライアッシュの混合物である模擬汚泥を供試汚泥として用いるのが一般的である。本実験では、フライアッシュとベントナイトの混合物を模擬汚泥として供試ベッドを作成した。

フライアッシュとベントナイトの混合物は、混合比及び含水比によってその力学的特性が大きく変わるため、これらの値をどのように設定するかが問題となる。浚渫の対象として考えている汚泥は、閉鎖性海域に堆積した汚泥の表層部である。これらの汚泥についてはデータも十分でなく、地域差も大きいので簡単に決めることはできないが、含水比を200%前後、ベーンセン断強度を $1 \times 10^{-3} \text{ kgf/cm}^2$ 前後と設定して、フライアッシュとベントナイトの混合比及び含水比を種々にかえてベーンセン断強度を調べた。その結果、フライアッシュとベントナイトの混合比を重量比で6:4とし、含水比を180%として模擬汚泥を作成することにした。なお、ベーンセン断強度は汚泥の固体的性質を示す指標として用いられるものであり、この他にフロー値が流動特性を示す指標としてよく用いられている。しかし、本実験で用いた模擬汚泥は、フロー値の測定が難しい高粘度であるので、フロー値については考慮しなかった。

図-4は、供試汚泥とした模擬汚泥の粒径加積曲線を示したものである。図-5は、実験終了後に測定した供試ベッドの含水比とベーンセン断強度を示したものであり、含水比は150%前後、ベーンセン断強度は $1 \times 10^{-3} \text{ kgf/cm}^2$ と供試ベッド作成後の圧密のため、含水比が模

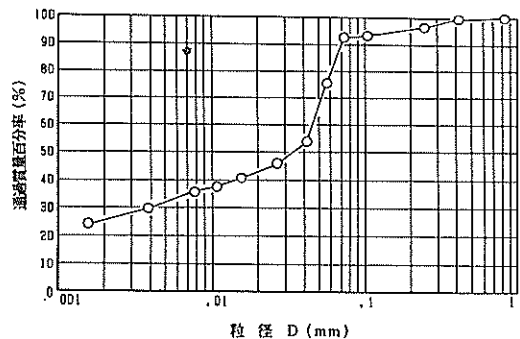


図-4 模擬汚泥の粒径加積曲線

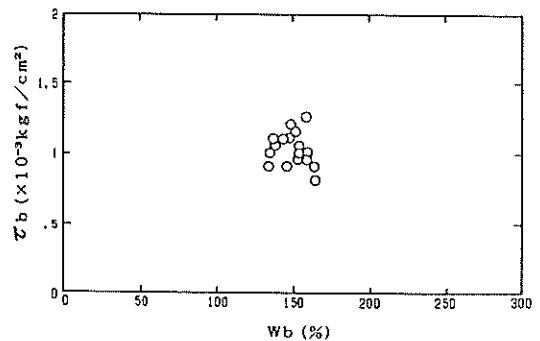


図-5 供試ベッドの含水比とベーンセン断強度



擬汚泥作成時の値よりやや低いものの、ベーンせん断強度は、ほぼ設定目標どおりであることがわかる。

(2) 実験方法

実験は概略、次の要領で行った。

- ① 攪拌機で模擬汚泥を作成する。
- ② 模擬汚泥を浚渫実験水槽に供給する。
- ③ 供給した模擬汚泥と浚渫実験水槽中の模擬汚泥を十分に攪拌した後、水平に均して供試ベッドを作成する。
- ④ 所定の水深まで浚渫実験水槽に水を張る。
- ⑤ 所定の実験条件で浚渫を行い、揚泥量測定水槽により揚泥水量を測定するとともに、揚泥水の比重を測定する。
- ⑥ ポンプで浚渫実験水槽中の水を排水する。
- ⑦ 浚渫後の供試ベッドの比重及びベーンせん断強度を測定する。

なお、模擬汚泥の作成を含めて実験にはすべて水道水を使用した。

(3) 実験条件

浚渫に限らず、模型実験を行うに際しては、その相以則を確保することの重要性はいうまでもない。しかしながら、円筒コンベヤ方式による薄層浚渫装置については、従来にない新しい方式であるため部分的には相以則を検討することができても、装置全体としての相以則を検討することは、基礎的なデータが不足しているため難しい。さらに、円筒コンベヤを用いることの有効性を実証することがまず必要であると考えられること及び試作した実験装置の幾何学的縮尺が想定される実機のほぼ1/5であり、その浚渫特性は実機と大きな違いはないと考えられることから、特定の相以則を前提とせず、集泥装置の移動速度等の運転条件が浚渫特性に及ぼす影響を調べることを目的とし、以下の項目をパラメータとして実験条件を設定した。

- ① 集泥装置移動速度
- ② スクリューコンベヤ回転数
- ③ ベルト速度

集泥装置移動速度とスクリューコンベヤ回転数については、表-1に示す組み合わせで設定した。ベルト速度については、56.0~129.0m/minの範囲で設定した。浚渫土厚については、全てのケースについて集泥口の上縁と供試ベッドの表面が一致した状態である6cmとした。水深についても全てのケースについて、円筒コンベヤの集泥装置側変換部が完全に水没した状態である1.40mとした。

表-1 実験条件

スクリューコンベヤ 回転数 (rpm)	0	100	200	400	500	1000
集泥装置 移動速度 (m/min)						
1.06	○	○			○	
2.17	○	○	○		○	○
4.40	○			○		○

3.4 実験結果及び考察

(1) 円筒コンベヤの揚泥能力

円筒コンベヤを浚渫土のような液状に近い物質の垂直方向輸送に用いた事例はなく、その揚泥能力も不明である。したがってまず、この点について検討する。

図-6は、実験結果から求めたベルト速度 $V_b$ と揚泥水量 $Q_m$ の関係を示したものであり、スクリューコンベヤ運転時の結果も含んでいる。また、図中には参考のため、清水(水道水)についての関係も示している。図中の実線は円筒部断面積×ベルト速度を示したものであり、これは円筒コンベヤ中を被輸送物が完全に満たし、かつ滑りが全くないとしたときの値、いわば理論的にこれ以上輸送できない上限値である。

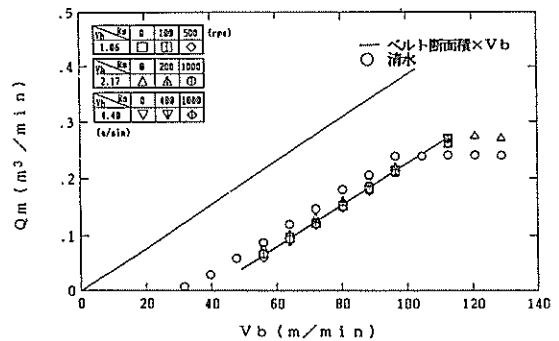


図-6 ベルト速度と揚泥水量

まず、清水についてみると、ベルト速度がほぼ30m/min以下では揚水が不可能であり、ベルト速度がこれ以上になると揚水が可能になる。ベルト速度に対する揚水量の増加割合は、円筒部断面積×ベルト速度の増加割合とほぼ同じで、ベルト速度に対して直線的に増加するが、ベルト速度が大きくなると揚水量は頭打ちとなり、ベルト速度100m/min以上ではベルト速度を増加させても揚水量は増加しない。揚水量の頭打ちの原因としては、ヘッドブリーから装置外へ排出する部分の配管径がやや小さかったため、揚水量が大きくなると全量が装置外へ排出されず、一部は円筒コンベヤの中へ戻ったためとみられ、円筒コンベヤ本来の特性によるものではないと考えられる。

泥水の場合には、集泥装置移動速度  $V_h$  及びスクリーコンベヤ回転数  $R_s$  による違いはほとんどみられず、揚泥水量は清水に比べるとやや小さい。しかし、ベルト速度に対する増加割合は、清水と同様に円筒部断面積×ベルト速度の増加割合とほぼ同じである。一方、頭打ちとなる揚泥水量は、清水の場合よりも大きい。

以上のことから円筒コンベヤによる揚泥は、十分可能であることがわかった。揚泥を行うためにはベルト速度を一定の値以上にする必要があるが、ベルト速度を大きくすれば、揚泥水量/(円筒部断面積×ベルト速度)を大きくすることができ、より効率的な揚泥を行うことができると思われる。

(2) 基本的な浚渫特性

浚渫特性として揚泥水の含泥率と浚渫効率を取りあげ、スクリーコンベヤを運転しない場合を基本的なケースとして、この場合の運転条件と浚渫特性の関係について検討する。

まず、揚泥水の含泥率(以下、単に「含泥率」とよぶ)について検討する。通常用いられる含泥率には、真容積含泥率と見掛け容積含泥率があるが、ここでは含泥率として見掛け容積含泥率を用いる。この含泥率  $C$  は供試ベッドの比重  $\rho_b$  及び揚泥水の比重  $\rho_m$  から次式により求められる。

$$C = \frac{\rho_m - \rho_w}{\rho_b - \rho_w} \times 100 \% \dots\dots\dots (1)$$

ここで  $\rho_w$  : 水の比重

図-7は、集泥装置移動速度  $V_h$  をそれぞれ 1.06, 2.17, 4.40m/min としたときのベルト速度  $V_b$  と含泥率  $C$  の関係を示したものである。この図-7から集泥装置移動速度が 1.06m/min のとき及び 2.17m/min のときには、含泥率が極大となるベルト速度が存在し、この値はそれぞれほぼ 70m/min 及び 100m/min であることがわかる。一方、集泥装置移動速度が 4.40m/min と大きいときには、実験の範囲についてみると、含泥率は集泥装

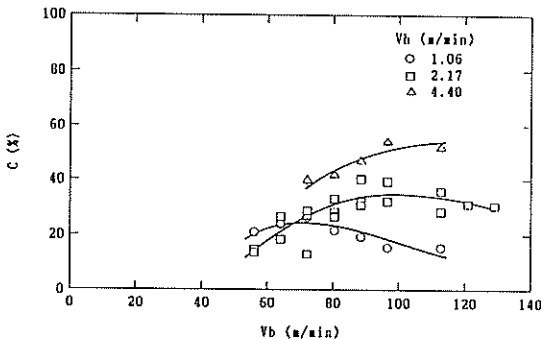


図-7 ベルト速度と含泥率 ( $R_s = 0$  rpm)

置移動速度の増加にともない増加する傾向にあるが、ベルト速度をさらに大きくすれば前二者と同様、極大値に達するとみられる。また、含泥率の値についてみると、その極大値は集泥装置移動速度が大きいほど大きく、集泥装置移動速度が 1.06, 2.17, 4.40m/min のときそれぞれほぼ 25, 35, 55% (ただし、 $V_h = 4.40$  m/min のときは極大値に達していない) である。

図-7の横軸を無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  に替え、無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  と含泥率  $C$  の関係を示したものが図-8である。この無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  は、掘削断面積(浚渫土厚と集泥口の高さが等しい場合には、集泥口面積と等しい)  $A$  と集泥装置移動速度  $V_h$  の積で定義される集泥口に対する供給土量と揚泥水量  $Q_m$  の比を表したものであり、ポンプ浚渫の運転条件を示すパラメータとしても用いられているものである。もし、集泥口に対する供給土量  $AV_h$  がすべて浚渫されれば、そのときの含泥率は  $AV_h/Q_m$  で表わすことができる。図-8からわかることは、 $AV_h/Q_m$  の値が同じであっても、集泥装置移動速度が異なれば、含泥率も異なり、無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  の関数として含泥率を表わすことはできないことである(この点は4.で述べる傾斜コンベヤ方式による装置と異なっている)。また、無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  の定義からは、この値が増加すれば含泥率も増加すると考えられるが、 $AV_h/Q_m$  の小さい範囲で  $AV_h/Q_m$  の増加にともない含泥率は増加しているものの、全体的な傾向はむしろ逆に、 $AV_h/Q_m$  の増加にともない減少している。この点をどのように考えるかが問題であるが、この点については4.で述べる傾斜コンベヤ方式による装置とも比較しながら5.で検討することにする。

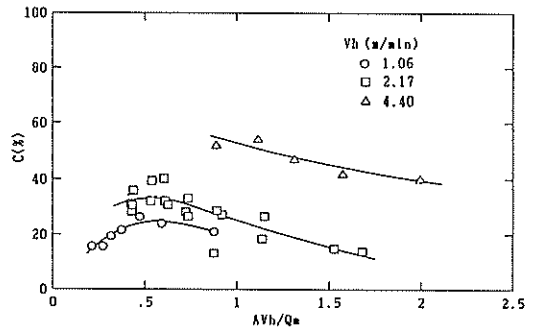


図-8  $AV_h/Q_m$  と含泥率 ( $R_s = 0$  rpm)

次に浚渫効率について検討する。浚渫対象土量がすべて集泥装置に流入して浚渫されれば、掘り残しを生じることはない。もし、掘り残しが生じた場合には、再度、浚渫を行う必要が生じてくる。このため、掘り残しは極

力, 少ない方が望ましい。ここでは掘り残しの多少を評価する指標として, 実際に浚渫された土量と集泥口に対する供給量の比を浚渫効率と定義する。この浚渫効率が1のときには, 掘り残しは生じないことになる。浚渫土量は揚泥水量  $Q_m$  と含泥率  $C$  の積で表わすことができるから, 結局, 浚渫効率  $\alpha$  は次式により求められる。

$$\alpha = \frac{Q_m C}{100 AV_h} \dots\dots\dots (2)$$

図-9は, 図-7に示したケースと同一のケースについて, ベルト速度  $V_b$  と浚渫効率  $\alpha$  の関係を示したものである。この図-9からいずれの場合にも, ベルト速度の増加にともない浚渫効率は増加し, 実験の範囲における浚渫効率の最大値は, 集泥装置移動速度が1.06, 2.17, 4.40 m/min のときそれぞれほぼ0.75, 0.8, 0.6に達している。

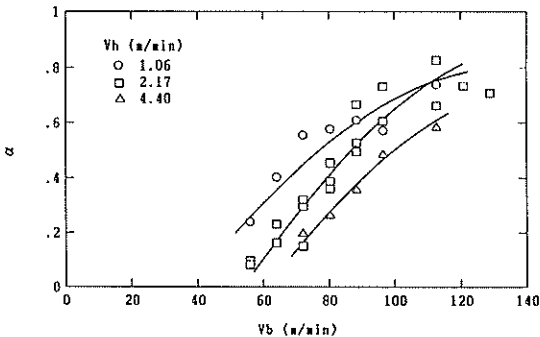


図-9 ベルト速度と浚渫効率 ( $R_s = 0$  rpm)

含泥率についてと同様に図-9の横軸を無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  に替え, 無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  と浚渫効率  $\alpha$  の関係を示したものが図-10である。図-10からわかることは, 含泥率についてと同様に  $AV_h/Q_m$  の値が同じであっても, 集泥装置移動速度が異なれば, 浚渫効率も異なり, 無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  の関数として浚渫効率を表わすことはできないことである(この点も4.で述べる傾斜コンベヤ方式による装置と異なっている)。また, 図-10からは集泥装置移動速度  $V_h$  の値にかかわらず, いずれの場合についても,  $AV_h/Q_m$  の増加にともない浚渫効率は減少していることがわかる。 $AV_h/Q_m$  の値が大きくなることは, 揚泥水量に対する相対的な供給土量が多くなることを意味し, その場合, 相対的な掘り残し土量も多くなることから,  $AV_h/Q_m$  の増加にともない浚渫効率が減少するという傾向については理解できる。しかし,  $AV_h/Q_m$  の増加にともない浚渫効率の減少割合が4.で述べる傾斜コンベヤ方式による装置に比べ, かなり大きいことが問題であり, これらの点については, 5.で検討することにする。

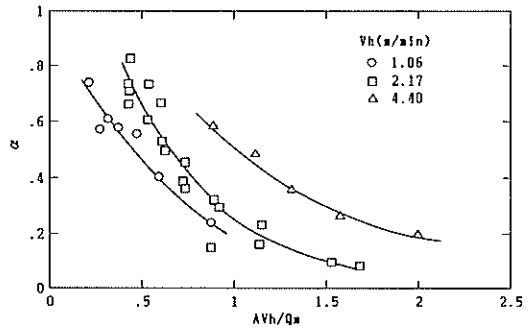


図-10  $AV_h/Q_m$  と浚渫効率 ( $R_s = 0$  rpm)

(3) スクリューコンベヤの効果

試作した実験装置には汚泥の円滑な集泥を促進するため, スクリューコンベヤが取り付けられている。ここではこのスクリューコンベヤの効果について検討する。

図-11~13は, 集泥装置移動速度がそれぞれ1.06, 2.17, 4.40 m/min のときにおける含泥率に及ぼすスクリューコンベヤの効果を示したものである。図中に表示した  $2Q_s/AV_h$  は, 2本のスクリューコンベヤによる送泥量  $2Q_s$  と集泥口に対する供給土量  $AV_h$  の比を表したものであり, スクリューコンベヤの効果を示す無次元パラメータである。なお, スクリューコンベヤの送泥量は, 次式により求めた。

$$Q_s = \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_2^2) P_s R_s \dots\dots\dots (3)$$

- ここで  $d_1$  : スクリュー径
- $d_2$  : 軸径
- $P_s$  : ピッチ
- $R_s$  : 回転数

これらの図から集泥装置移動速度が1.06 m/min のとき及び4.40 m/min のときには, スクリューコンベヤの効果は含泥率の増加に認められるもの大きいとはいえない

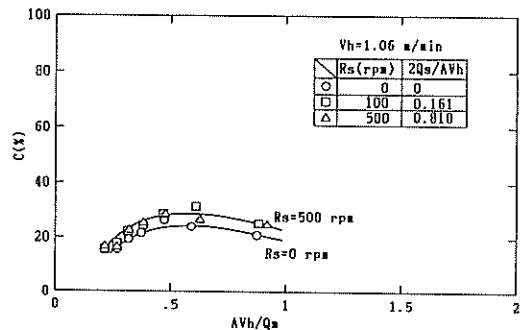


図-11 含泥率に及ぼすスクリューコンベヤの効果 ( $V_h = 1.06$  m/min)

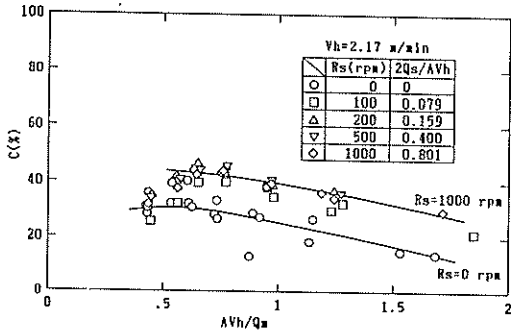


図-12 含泥率に及ぼすスクリーコンベヤの効果  
( $V_h = 2.17 \text{ m/min}$ )

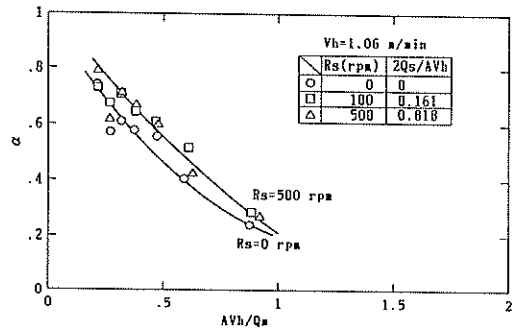


図-14 浚渫効率に及ぼすスクリーコンベヤの効果  
( $V_h = 1.06 \text{ m/min}$ )

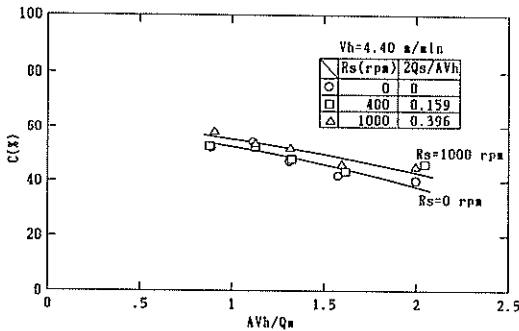


図-13 含泥率に及ぼすスクリーコンベヤの効果  
( $V_h = 4.40 \text{ m/min}$ )

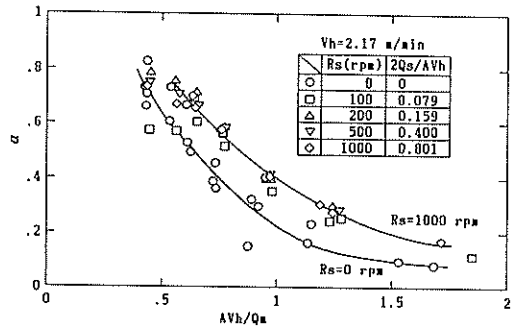


図-15 浚渫効率に及ぼすスクリーコンベヤの効果  
( $V_h = 2.17 \text{ m/min}$ )

ことがわかる。これに対して集泥装置移動速度が  $2.17 \text{ m/min}$  のときには、かなり顕著な効果がみられ、スクリー一回転数  $R_s$  が  $1,000 \text{ rpm}$  ( $2Q_s/AV_h = 0.801$ ) のとき、 $AV_h/Q_m$  の広い範囲で含泥率は、スクリー非運転時に比べ、ほぼ  $15\%$  増加している。

次に図-14~16は、図-11~13に示したケースと同一のケースについて、浚渫効率に及ぼすスクリーコンベヤの効果を示したものである。これらの図から含泥率についてと同様に、集泥装置移動速度が  $1.06 \text{ m/min}$  のとき及び  $4.40 \text{ m/min}$  のときにはあまり大きな効果はないが、集泥装置移動速度が  $2.17 \text{ m/min}$  のときにはかなり顕著な効果がみられ、スクリー一回転数  $R_s$  が  $1,000 \text{ rpm}$  のとき、 $AV_h/Q_m$  の広い範囲で浚渫効率は、スクリー非運転時に比べ、 $0.2$  近く増加していることがわかる。

以上の結果からスクリーコンベヤは、汚泥の円滑な集泥を促進し、運転条件にもよるが、浚渫特性の改善に一応の効果があることがわかった。しかし、最もスクリーコンベヤの効果が大きかった集泥装置移動速度が  $2.17 \text{ m/min}$  の場合でも、 $2Q_s/AV_h$  を  $0.801$  としたとき

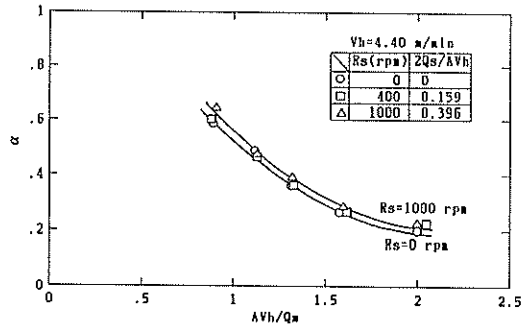


図-16 浚渫効率に及ぼすスクリーコンベヤの効果  
( $V_h = 4.40 \text{ m/min}$ )

のスクリーコンベヤ非運転時に対する含泥率の増加は、高々  $15\%$  であり、含泥率そのものの最大値もほぼ  $45\%$  であった。 $2Q_s/AV_h$  が  $0.801$  のとき、スクリーコンベヤが完全に機能していれば含泥率は  $80\%$  以上になることが期待されることを考えあわせると、スクリーコンベヤの効果はあまり大きくないと判断される。この理由としては、スクリーコンベヤの送泥効率(真の送泥量と

式②より求められる送泥量との比)がかなり低いこと、スクリーコンベヤが集泥装置の側壁部に取り付けられているため、装置全体の集泥にあまり寄与しないこと等が考えられる。これらのことから、集泥装置の平面形状が試作した実験装置の様な場合には、スクリーコンベヤを用いても十分な集泥を行うことはかなり難しく、集泥の問題はスクリーコンベヤ等を用いて強制的に集泥を行う必要がある円筒コンベヤ方式による薄層浚渫装置の技術的問題点の一つである。

#### 4. 傾斜コンベヤ方式による薄層浚渫装置の開発とその浚渫特性

##### 4.1 原理及び構造

円筒コンベヤを用いた薄層浚渫装置の浚渫特性については、3.で詳しく述べたが、円筒コンベヤ方式による場合、次のような欠点があることがわかった。

- ① ベルトを円筒状にしたときの重なり合ったヒレの間からの揚泥水のもれが大きく、揚泥可能なベルト速度の下限が30m/minとかなり大きい。
- ② 効率的な薄層浚渫を行おうとすれば、広幅の集泥口を有する集泥装置を設ける必要があるが、効果的な集泥を行うことはかなり難しい。

これらの問題点については、円筒コンベヤ方式による装置に改良を加えることにより、ある程度の改善も可能であると考えられるが、より一層の改善をはかるため、傾斜コンベヤを用いた薄層浚渫装置を考案した。

傾斜コンベヤ方式による薄層浚渫装置は、傾斜コンベヤを用いて海底表層部の汚泥を船上に輸送することにより浚渫を行う装置である。図-17は、トロール方式を前提として検討を行った装置の構造を示したものであり、以下ではこの図にそって説明をする。

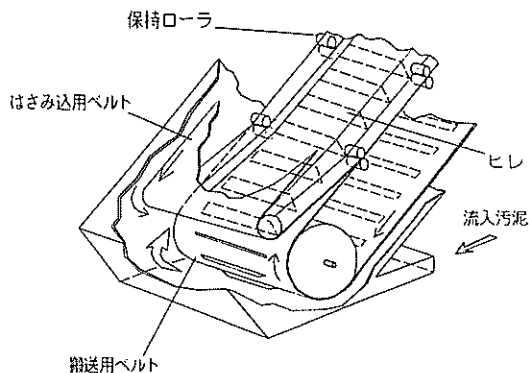


図-17 傾斜コンベヤ方式による薄層浚渫装置の構造

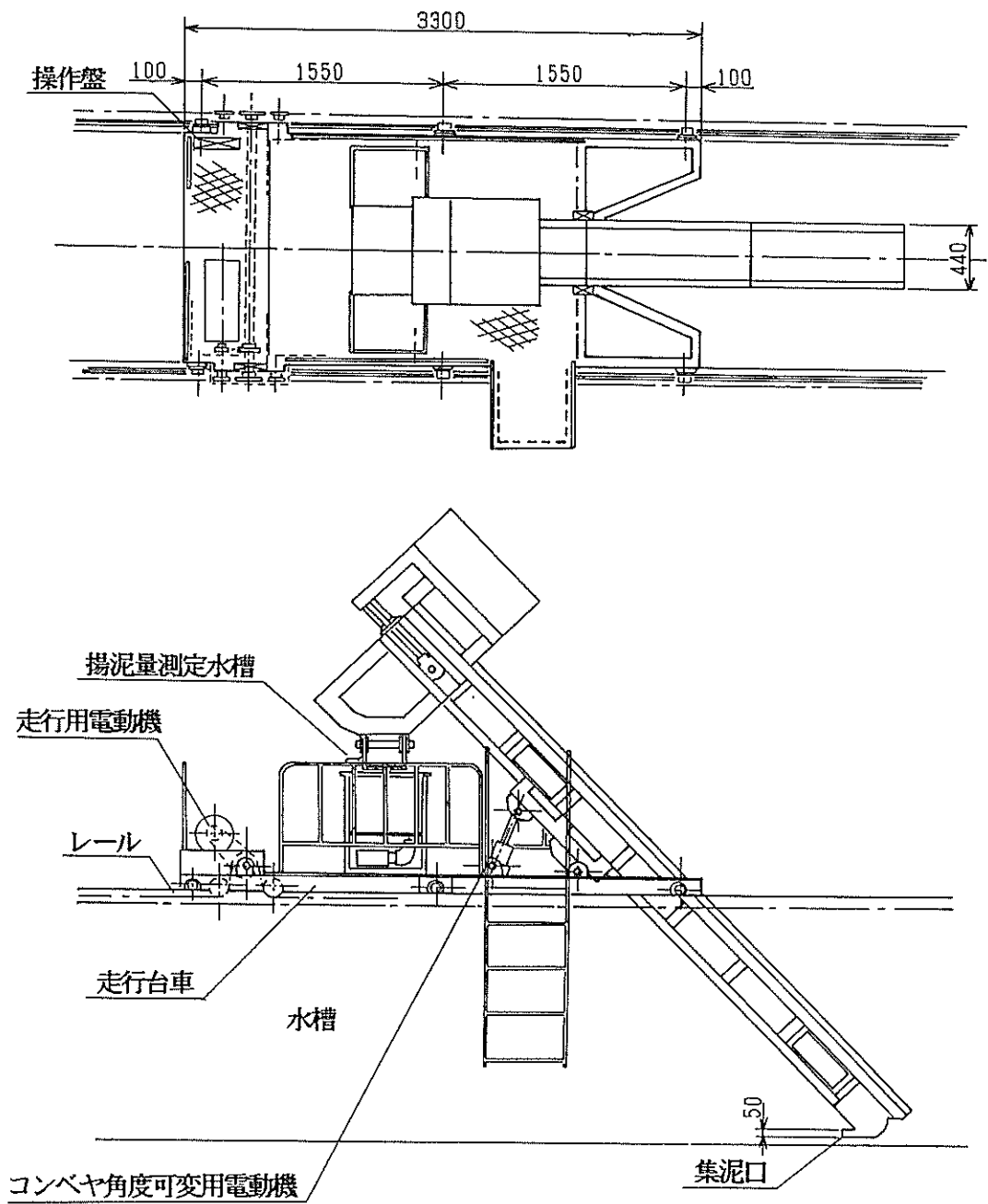
傾斜コンベヤは2枚のベルトの間に被輸送物をはさみ込んで、鉛直方向成分をもつ方向に輸送するものである。搬送用ベルトとはさみ込み用ベルトを重ね合わせることで、密閉された空間を形成し、これにより輸送中における汚泥の水中への流出を防止することができる。一定間隔で搬送用ベルトに取り付けられたヒレは、汚泥をかきあげるためのものであるが、2枚のベルトが重なり合った部分では、密閉された空間を保持するとともに、揚泥水の下方向への流下を阻止し、その結果として、効率的な揚泥を行う効果もある。前にも述べたように薄層浚渫を行う場合には、できるだけ広幅の浚渫を行うことが効率的である。傾斜コンベヤを用いた場合、搬送用ベルトに取り付けられたヒレの高さは、浚渫土厚によって決まるが、汚泥のかきあげ幅を決定するヒレの幅は、高さとはある程度無関係に決めることが可能である。このため、集泥口を広くしても、ヒレの幅をこれにみあったものにすれば、円筒コンベヤ方式では必要であったスクリーコンベヤ等による集泥装置を用いる必要がない点が傾斜コンベヤを用いた場合の長所である。

この薄層浚渫装置を台船等に取り付け、台船を移動させると、汚泥は集泥部前面の集泥口から流入し、搬送用ベルトに取り付けられたヒレによりかきあげられ、搬送用ベルト、はさみ込み用ベルト及び搬送用ベルトに取り付けられたヒレにより形成された空間内に保持され、船上に輸送される。船上では2枚のベルトが分離し、ここから汚泥は、装置外の土運船等へ排出される。

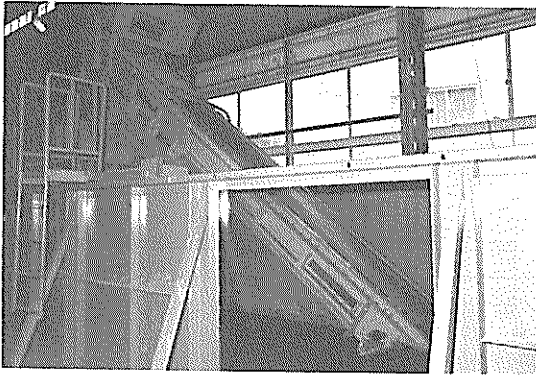
##### 4.2 試作した実験装置の概要

4.1で原理及び構造について述べた傾斜コンベヤ方式による薄層浚渫装置の浚渫特性等を把握し、薄層浚渫に対する適合性を円筒コンベヤ方式による装置と比較するための実験装置を製作した。なお、実験装置の設計に当たっては、円筒コンベヤ方式による実験装置と同様、実際の浚渫土厚を25~30cmと設定し、想定される実機に対する幾何学的縮尺をほぼ1/5とした。

実験装置は円筒コンベヤ方式による装置と同様、浚渫実験水槽(長さ11.9m×幅1.5m×深さ1.5m/ただし、一部の実験は水槽を延長し、長さを23.8mとした状態で行った)上を走行することにより、浚渫実験を行うものであり、図-18に実験装置の全体配置、写真-1にその外観を示す。以下では本実験装置の主要部である集泥部及び傾斜コンベヤについて述べる。なお、走行台車は円筒コンベヤ方式による装置についての実験に用いたものをそのまま用いた。



図一 18 傾斜コンベヤ方式による薄層浸蝕実験装置の全体配置



写表-3 傾斜コンベヤ方式による薄層液滲装置の外観

(1) 集泥部

写真-4 にその外観を示す。集泥部には集泥口(幅440 mm×高さ50 mm×奥行50 mm)を取り付けたが、円筒コンベヤ方式による装置とは異なり、スクリーコンベヤ等の機械的な集泥機構は設けていない。

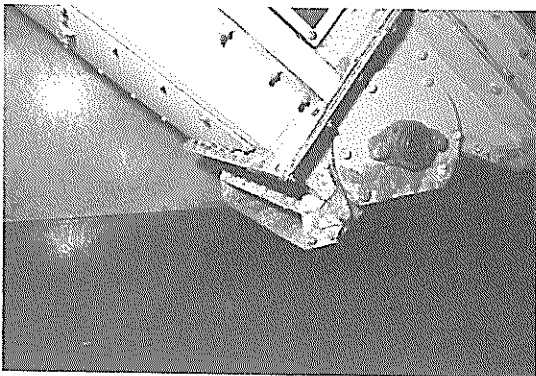


写真-4 集泥部

(2) 傾斜コンベヤ

主要目は以下のとおりである。

搬送用ベルトブリー間長さ	4,000 mm
はさみ込み用ベルトブリー間長さ	4,360 mm
ベルト速度	1.386~13.86 m/min

本実験装置に用いた傾斜コンベヤは、2枚のベルトから構成されている。搬送用ベルトは幅400 mmであり、汚泥をかきあげるためのヒレを取り付けた。ヒレはアルミニウム製で、密閉したときの水密性を向上させるためのゴムパッキンが周囲に取り付けられている。図-19はヒレの形状及び配置を示したものであるが、実験ではヒレのピッチを78.5 mmとしたものと39.2 mmとしたものの2種類を用いた。はさみ込み用ベルトは幅430 mmであり、搬送用ベルトと重ね合わせる方法は、ベルトの両

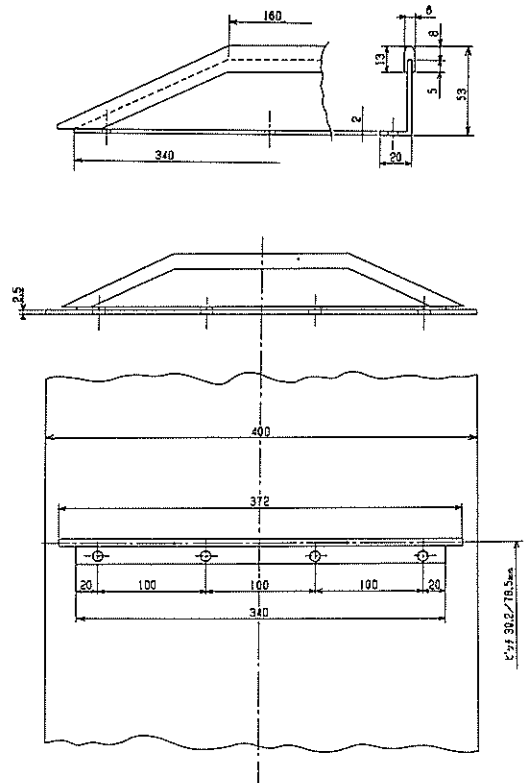


図-19 ヒレの形状及び配置

端を重ね合わせ、押付け力を調整できるローラで押し付けることにより行った。ベルトの駆動は、フレームに取り付けた無段変速電動機(2.2 kW)によって行うようにした。

4.3 実験の概要

(1) 供試汚泥及び実験方法

供試汚泥には4.で述べた円筒コンベヤ方式による装置についての実験と同じく、フライアッシュとベントナイトの混合体を用い、フライアッシュとベントナイトの重量比及び含水比についても同一とした。図-20は、実験

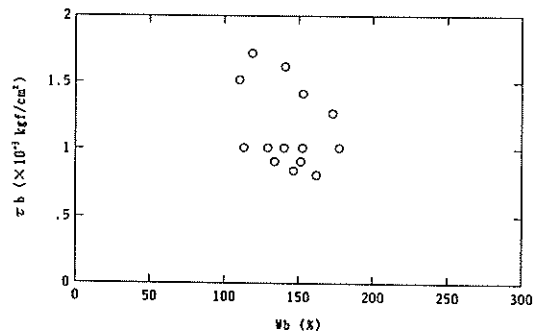


図-20 供試ベッドの含水比とベーンせん断強度

終了後に測定した供試ベッドの含水比とベーンせん断強度を示したものである。図-5に示したものと比べると、含水比、ベーンせん断強度のいずれについても、ばらつきが大きくなっている。

実験方法についても、4.で述べた実験とすべて同一の手順で行ったので、説明は省略する。

## (2) 実験条件

4.で述べた実験と同様に、特定の相似則を前提とせず、まずベルトのヒレピッチを78.5 mm、集泥口を取り付け、浚渫土厚を集泥口の上縁と供試ベッドの表面が一致した状態である5 cmとした場合を基本ケースとして、集泥部の移動速度等の運転条件が浚渫特性に及ぼす影響を調べることを目的とし、以下の項目をパラメータとして実験条件を設定した。

- ① 集泥部移動速度
- ② ベルト速度

集泥部移動速度は、1.43~3.08 m/min の範囲で設定した。水深は1.40mとした。

また、ベルトのヒレピッチの差異、集泥口の有無及び浚渫土厚の差異の浚渫特性に及ぼす影響を検討するため、ベルトのヒレピッチを39.2 mmとしたケース、集泥口を取り外したケース及び浚渫土厚を7.5 cmとしたケースについても実験を行った。

## 4.4 実験結果及び考察

### (1) 傾斜コンベヤの揚泥能力

4.でもまず、傾斜コンベヤの揚泥能力について検討する。図-21は、ベルトのヒレピッチを78.5 mmとしたケース（ベルトのヒレピッチを39.2 mmとしたケースについては5で述べる）における実験結果から求めたベルト速度  $V_b$  と揚泥水量  $Q_m$  の関係を示したものである。図中には図-6と同様に参考のため、清水（水道水）についての関係も示してある。図中の実線は重ね合わせ部断面積×ベルト速度を示したものであり、理論的にこれ以上輸送できない上限値である。この図-21から、ベルト速度が10m/min以上になるとやや開きがみられるものの、ベルト速度がこれ以下では、清水及び泥水に対する揚泥（水）能力にほとんど差がないことがわかる。揚泥が可能なベルト速度の下限は、ほぼ4m/minであり、ベルト速度に対する揚泥水量の増加割合は、重ね合わせ部断面積×ベルト速度の増加割合よりやや小さいが、ベルト速度に対して直線的に増加している。したがって、傾斜コンベヤ方式による装置についても、ベルト速度を大きくするほど揚泥水量 / (重ね合わせ部断面積×ベルト速度) を大きくすることができ、より効率的な揚泥を行うことができるとみられる。

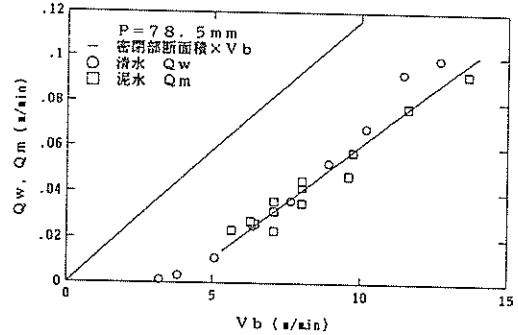


図-21 ベルト速度と揚泥水量 ( $P=78.5$  mm)

この結果をベルト速度と揚泥水量の関係を図-6に示した円筒コンベヤと比較すると、揚泥可能なベルト速度の下限がほぼ30m/minからほぼ4m/minと大幅に改善されていることがわかる。これはベルトを円筒状にしてベルトを密閉する場合には、重なり合ったヒレの間からの揚泥水のもれがかなり大きいものに対して、搬送用ベルトとはさみ込み用ベルトを重ね合わせるによりベルトを密閉する場合には、搬送用ベルトに取り付けたヒレとはさみ込み用ベルトの間からの揚泥水のもれが前者に比べ、小さいためと考えられる。このことと円筒コンベヤでは重なり合ったヒレの間からの揚泥水のもれを完全になくすることは難しいことを考えあわせ、傾斜コンベヤと円筒コンベヤを比較すると、前者の揚泥能力は後者のそれより優れていると判断される。

### (2) 基本的な浚渫特性

3.で述べた円筒コンベヤ方式による装置についての実験と同じく、浚渫特性として揚泥水の含泥率と浚渫効率を取りあげ、4.3で述べたようにベルトのヒレピッチを78.5 mm、集泥口を取り付け、浚渫土厚を5 cmとした基本ケースにおける運転条件と浚渫特性の関係について検討して行く。

まず、含泥率について検討する。図-22は、集泥部移動速度  $V_k$  をそれぞれ1.43~1.50, 1.89~2.31, 2.80~3.08 m/minとしたときのベルト速度  $V_b$  と含泥率  $C$  の関係を示したものである（ここで用いる含泥率は  $\rho$  におけると同様に見掛け容積含泥率であり、供試ベッドの比重  $\rho_s$  及び揚泥水の比重  $\rho_m$  から式(1)を用いて求められる）。この図-22から集泥部移動速度の値にかかわらず含泥率は、ベルト速度の増加にともない減少していることがわかる。また、含泥率の値そのものは、集泥部移動速度が大きいほど高いが、その最大値は実験の範囲ではあまり異ならず、いずれも80%前後に達している。



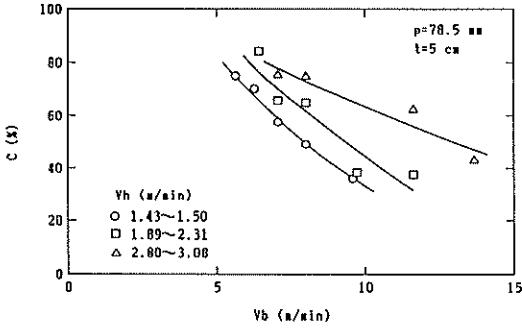


図-22 ベルト速度と含泥率 ( $P=78.5\text{mm}$ )

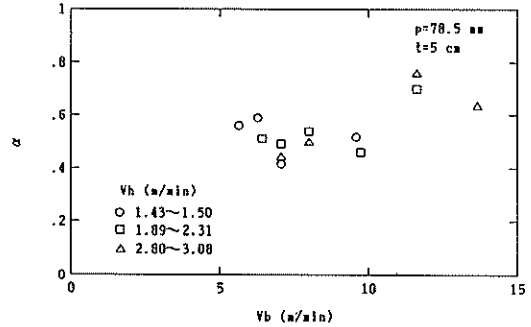


図-24 ベルト速度と浚渫効率 ( $P=78.5\text{mm}$ )

図-22の横軸を3.4で定義した無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  に替え、無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  と含泥率  $C$  の関係を示したものが図-23である。この図-23から  $AV_h/Q_m$  の値が同じであれば、集泥部移動速度の値が異なっても含泥率はほぼ等しく、含泥率を無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  の関数とみなせることがわかる(この点は3.4で述べた円筒コンベヤ方式による装置と異なっている)。無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  の定義から、この値が増加すれば含泥率も増加する傾向を示すと考えられるが、図-23に示した  $AV_h/Q_m$  と含泥率の関係は、この傾向にしたがいが、 $AV_h/Q_m$  が1のときの含泥率はほぼ55%であり、 $AV_h/Q_m$  が1.5のときの含泥率はほぼ75%に達している。さらに図-23から推量すると、 $AV_h/Q_m$  を大きくすれば含泥率をさらに高くすることが可能であると考えられ、含泥率という点から試作した傾斜コンベヤ方式による装置と円筒コンベヤ方式による装置を比較すると、前者は後者よりも優れていると判断される。

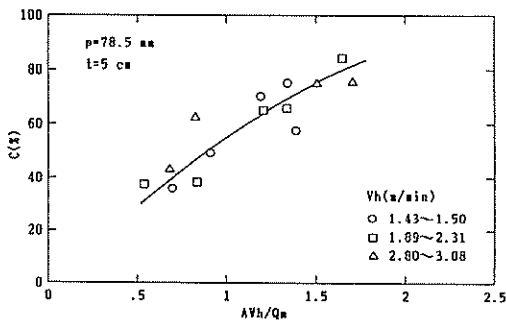


図-23  $AV_h/Q_m$  と含泥率 ( $P=78.5\text{mm}$ )

次に浚渫効率について検討する。図-24は、図-22に示したケースと同一のケースについて、ベルト速度  $V_b$  と3.4で定義した浚渫効率  $\alpha$  の関係を示したものである。この図-24からは、ベルト速度の増加にともない浚渫効

率も増加する傾向がうかがえるが、あまりはっきりしない。

図-24の横軸を無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  に替え、この無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  と浚渫効率  $\alpha$  の関係を示したものが図-25である。この図-25から含泥率についての関係と同様に  $AV_h/Q_m$  の値が同じであれば、集泥部移動速度の値が異なっても浚渫効率はほぼ等しく、浚渫効率を無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  の関数とみなせることがわかる(この点も3.4で述べた円筒コンベヤ方式による装置と異なっている)。 $AV_h/Q_m$  の増加にともない浚渫効率が減少する傾向そのものは、図-10に示した円筒コンベヤ方式による装置についての関係と変わらない。しかし、 $AV_h/Q_m$  が1のときの浚渫効率はほぼ0.6であり、 $AV_h/Q_m$  が1.5のときの浚渫効率もほぼ0.5であり、 $AV_h/Q_m$  の増加にともない浚渫効率の減少割合は、円筒コンベヤ方式による装置のそれよりも少ない。この点から試作した傾斜コンベヤ方式による装置と円筒コンベヤ方式による装置を比較しても、前者は後者よりも優れていると判断される。浚渫特性についての以上の検討から、試作した傾斜コンベヤ方式による装置は、含泥率及び浚渫効率のいずれについても試作した円筒コンベヤ方式による装置より優れていることが一応、明らかになった。密閉

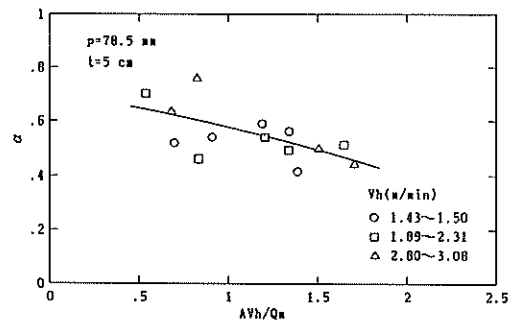


図-25  $AV_h/Q_m$  と浚渫効率 ( $P=78.5\text{mm}$ )

式ベルトコンベヤを用いた薄層浚渫装置を実用化するに当たっては、円筒コンベヤ方式による装置と傾斜コンベヤ方式による装置を比較し、浚渫特性の差異及び薄層浚渫装置としての適否等をさらに検討する必要があると考えられるが、これらの点については、5.でもう少し立ち入って検討する。

### (3) ベルトのヒレピッチの影響

搬送用ベルトにヒレをどのようなピッチで取り付けるかは、実機的设计に当たって考えなければならない要素である。このため、ベルトのヒレピッチを基本ケースの78.5 mmに対して1/2の39.2 mmとしたケースについて実験を行い、基本ケースと比較してベルトのヒレピッチの影響を検討した。

図-26は、ベルトのヒレピッチ $P$ を39.2 mmとし、集泥部移動速度 $V_h$ を1.41~1.50及び1.97~2.05 m/minとしたときのベルト速度 $V_b$ と揚泥水量 $Q_m$ の関係を示したものである。図中の破線はベルトのヒレピッチが78.5 mmのときにおける関係を示している(図-27及び28についても同じ)。この図-26からベルト速度がほぼ5.5 m/min以下のときは、ベルトのヒレピッチが39.2 mmのときの揚泥水量はベルトのヒレピッチが78.5 mmのときよりもむしろ大きくなるものの、ベルト速度がこれ以上のときには、前者は後者よりも小さくなっていることがわかる。ヒレピッチを短くしてヒレの枚数を増加させると、ヒレによる揚泥水の下方向への流下を阻止する効果が大きくなり、これにともない揚泥水量も増加すると考えられるが、実験結果は逆である。この理由としては、ヒレの枚数を増加させると、揚泥水の流下阻止効果が大きくなる反面、傾斜コンベヤ上方の開放部における空気巻き込み量の増加による揚泥水量の減少効果も大きくなり、ベルトの速度が小さいときには、前者の効果が後者のそれよりも大きい、ベルト速度が大きくなると、後者の効果が前者のそれよりも大きくなるのが考えられる。

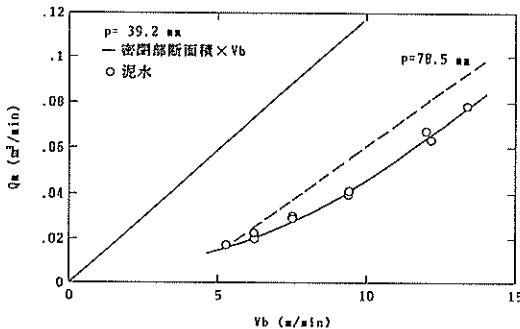


図-26 ベルト速度と揚泥水量 ( $P=39.2$  mm)

次にベルトのヒレピッチの含泥率に及ぼす影響について検討する。図-27は、図-26に示したケースと同一のケースについて、無次元パラメータ $AV_h/Q_m$ と含泥率 $c$ の関係を示したものである。この図-27からベルトのヒレピッチが39.2 mmであっても、含泥率を $AV_h/Q_m$ の関数とみなせることがわかり、 $AV_h/Q_m$ が1のときの含泥率はほぼ70%、 $AV_h/Q_m$ が1.5のときの含泥率はほぼ90%となり、ベルトのヒレピッチが78.5 mmのときと比べ、いずれもほぼ15%増加していることがわかる。

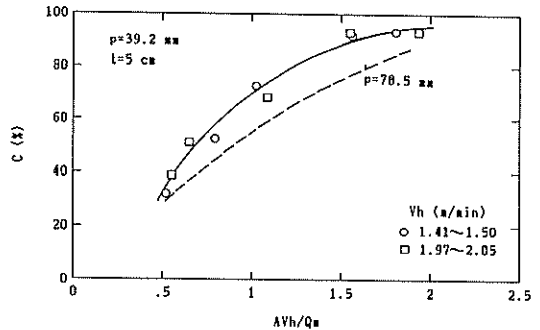


図-27  $AV_h/Q_m$ と含泥率 ( $P=39.2$  mm)

図-28は、図-26に示したケースと同一のケースについて、無次元パラメータ $AV_h/Q_m$ と浚渫効率 $\eta$ の関係を示したものである。この図-28からベルトのヒレピッチが39.2 mmであっても、含泥率と同様に浚渫効率を $AV_h/Q_m$ の関数とみなせることがわかり、 $AV_h/Q_m$ の広い範囲で浚渫効率は、ベルトのヒレピッチが78.5 mmのときと比べ、ほぼ0.08増加していることがわかる。

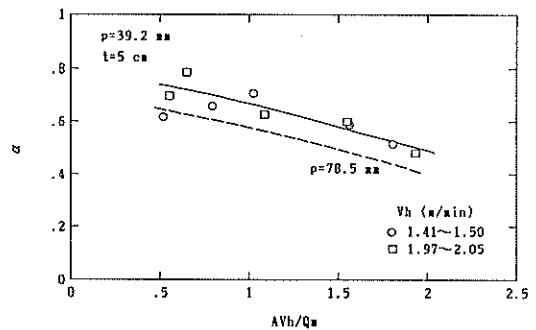


図-28  $AV_h/Q_m$ と浚渫効率 ( $P=39.2$  mm)

以上の結果からベルトのヒレピッチを短くすると、含泥率及び浚渫効率のいずれも増加し、浚渫特性の改善に効果があることがわかった。ただ、ここでの検討はあくまでベルトのヒレピッチが78.5 mm及び39.2 mmの2ケースのみについての比較であり、さらにピッチを短くし

ていった場合、その効果のみられなくなる限界が存在することも予想され、最適なベルトのヒレピッチを決定するためには、さらに検討を行う必要があると考えられる。

#### (4) 集泥口の有無の影響

3.では集泥装置にスクリーコンベヤを用いても、十分な集泥を行うことはかなり難しいことを述べた。この理由の一つとして、集泥装置の内面と汚泥の間の粘性による流入抵抗が考えられる。このため、傾斜コンベヤ方式による装置についても、集泥口を取り外すことにより、汚泥の流入抵抗を軽減させた場合の浚渫特性への影響を検討した。

図-29は、幅440mm、高さ50mm、奥行50mmの集泥口を取り付けた基本ケースとこれに対して集泥口を取り外したケースについて、集泥部移動速度  $V_h$  を1.89~2.31 m/min としたときの無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  と含泥率の関係を示したものである。図-30は、同一のケースについて、無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  と浚渫効率の関係を示したものである。この図-29から集泥口の有無による含泥率への影響はほとんどないことがわかる。また、図-30からも集泥口の有無による浚渫効率への影響はほとんどないことがわかる。

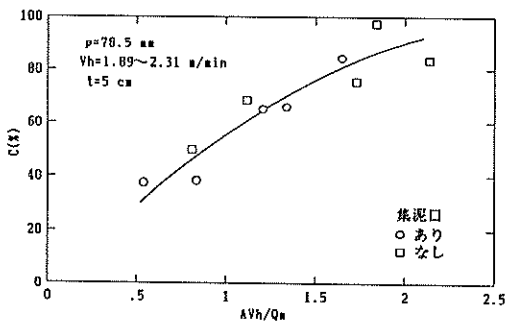


図-29 含泥率に及ぼす集泥口の有無の影響

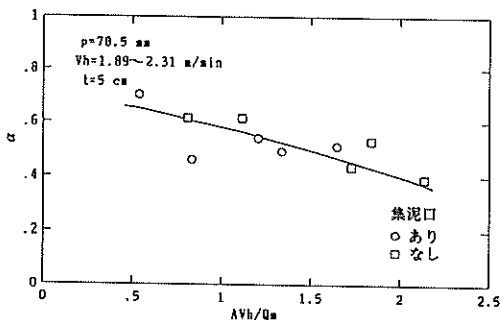


図-30 浚渫率に及ぼす集泥口の有無の影響

以上の結果から、奥行50mm程度の集泥口の有無は、浚渫特性へほとんど影響を与えないことがわかった。

#### (5) 浚渫土厚の影響

海底表層部の汚泥を浚渫する場合には、集泥口の上縁と汚泥の表面を一致させ、集泥口の高さを浚渫すべき土厚とすることが望ましい。しかし実際は、波浪等による船体動揺のため、集泥口も汚泥の表面に対して相対的に上下することはある程度避けられない。集泥口が上昇した場合には、集泥口下縁から汚泥の表面までの高さである浚渫土厚が減少して集泥口に対する供給土量が減少する。集泥口が下降した場合には、浚渫土厚が増加して集泥口に対する供給土量が増加する。この結果、集泥口の上下にともない含泥率及び浚渫効率の変動し、余掘りあるいは掘り残しの原因となる。このため、浚渫土厚の変動による浚渫特性への影響を検討しておく必要があるが、ここでは集泥口を埋没させて高含泥率の浚渫を行おうとする場合もあり得ることを考え、浚渫土厚が集泥口の高さより大きくなった場合の浚渫特性への影響を検討した。

図-31は、集泥口移動速度  $V_h$  1.89~2.31 m/min とし、浚渫土厚  $t$  を5 cmとした基本ケースとこれに対して浚渫土厚を7.5 cm (集泥口の上縁が供試ベッドの表面から2.5 cm埋没した状態)としたケースについて、無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  と含泥率の関係を示したものである。この図-31から浚渫土厚を大きくすると含泥率は増加するが、 $AV_h/Q_m$  が1のとき含泥率は15%近く増加するのに対して、 $AV_h/Q_m$  が1.5のときにはほぼ5%の増加にとどまり、含泥率に及ぼす浚渫土厚の影響は、 $AV_h/Q_m$  の値が小さいほど大きくなるのがわかる。この含泥率に及ぼす浚渫土厚の影響は、浚渫土厚がさらに大きくなればより顕著になり、最終的には100%近い含泥率での浚渫も可能になると考えられる。

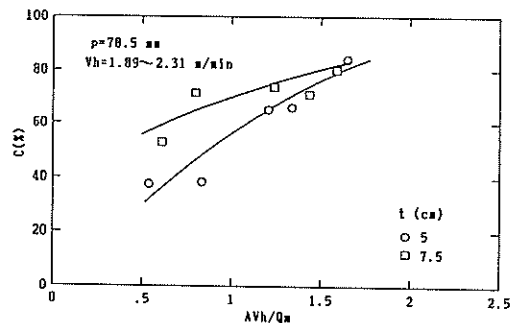


図-31 含泥率に及ぼす浚渫土厚の影響

図-32は、図-31に示したケースと同一のケースについて、無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  と浚渫効率の関係を示したものである。この図-32から浚渫土厚を大きくすると浚渫効率は低下するが、 $AV_h/Q_m$  が1のとき浚渫効率は0.1近くの減少にとどまるのに対して、 $AV_h/Q_m$  が1.5のとき浚渫効率はほぼ0.15減少し、浚渫効率に及ぼす浚渫土厚の影響は、 $AV_h/Q_m$  が大きいほど大きくなることがわかる。

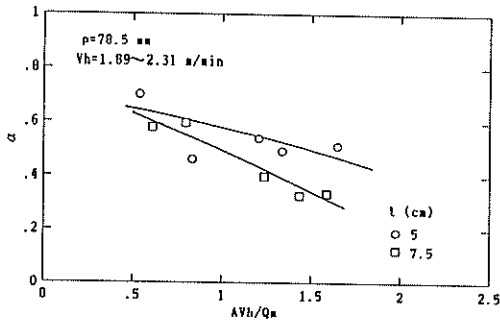


図-32 浚渫効率に及ぼす浚渫土厚の影響

以上の結果から、集泥口を埋没させて浚渫土厚を大きくすれば、含泥率は高くなる反面、集泥口に対する供給土量が大きくなることから浚渫効率は低下することがわかり、この点から海底表層部の汚泥を浚渫する場合には、浚渫土厚を大きくすることが必ずしも有利ではないと考えられる。しかし、浚渫土を処分する埋立地に対する制約が極めて厳しく、含泥率に対する要請が優先される場合には、集泥口を埋没させて浚渫土厚を大きくすることも有効と考えられる。

## 5. 開発した薄層浚渫装置の浚渫特性についての比較及び評価

### 5.1 浚渫特性の比較

3.及び4.で述べたように密閉式ベルトコンベヤを用いた薄層浚渫装置として、円筒コンベヤ方式によるものと傾斜コンベヤ方式によるもの2タイプを開発し、その浚渫特性を検討した。この結果、両タイプとも従来技術に比べ、より効率的な浚渫を行うことが可能であることが明らかになった。試作した2タイプの実験装置は、集泥口その他の形状、寸法も異なり、厳密な意味での比較にはならないが、これらの浚渫特性を比較、検討することにより、円筒コンベヤ方式と傾斜コンベヤ方式のいずれが薄層浚渫装置として優れているかを定性的に評価することができる。以下では基本的なケースとして、円筒コンベヤ方式による装置については3.で述べた実験結果

のうちスクリーコンベヤを運転しない場合を、傾斜コンベヤ方式による装置については4.で述べた実験結果のうちベルトのヒレピッチを78.5 mm、集泥口を取り付け、浚渫土厚を5 cmとした場合を取りあげて、含泥率及び浚渫効率についての比較を行う。

図-33は、含泥率についての比較を行うため、無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  と含泥率の関係を示したものである。この図から方式の違いによる特性の違いが読みとれる。円筒コンベヤ方式による装置の場合、含泥率は集泥装置移動速度とベルト速度の双方に依存していて無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  の関数とみなすことはできず、含泥率の値そのものは集泥装置移動速度によって異なるが、全体的な傾向としては  $AV_h/Q_m$  の増加にともない減少している。これに対して傾斜コンベヤ方式による装置の場合、含泥率は無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  の関数とみなすことができ、 $AV_h/Q_m$  の増加にともない増加している。含泥率の値を比べると、 $AV_h/Q_m$  が1以上の場合については、傾斜コンベヤ方式による装置の含泥率が大きく、 $AV_h/Q_m$  が1, 1.5のとき、それぞれほぼ55, 75%に達していることがわかる。

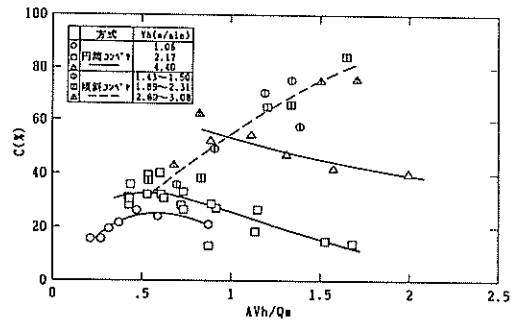
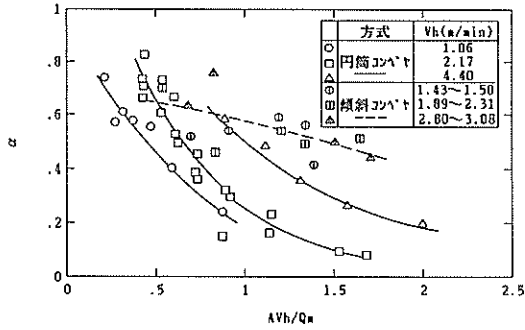


図-33 含泥率の比較

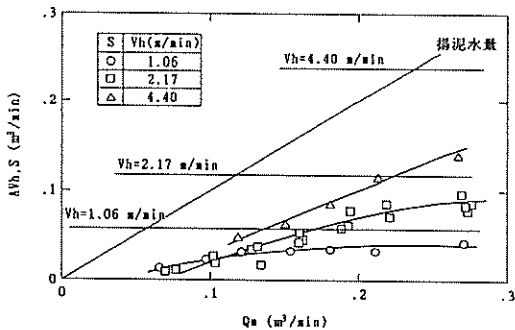
次に図-34に、浚渫効率についての比較を行うため、無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  と浚渫効率の関係を示したものである。この図からも方式の違いによる特性の違いが読みとれる。円筒コンベヤ方式による装置の場合、浚渫効率は集泥装置移動速度とベルト速度の双方に依存していて、無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  の関数とみなすことはできず、集泥装置移動速度が同じ場合には  $AV_h/Q_m$  の増加にともない減少するが、浚渫効率の値そのものは  $AV_h/Q_m$  の値が同じ場合、集泥装置移動速度が大きいほど高くなっている。これに対して傾斜コンベヤ方式による装置の場合、含泥率と同様に無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  の関数とみなすことができ、 $AV_h/Q_m$  の増加にともない減少している。 $AV_h/Q_m$  の増加にともなう浚渫効率の減少



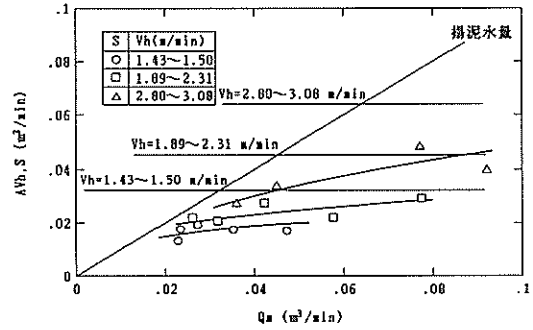
図一34 浚渫効率の比較

割合を比べると、円筒コンベヤ方式による装置の場合にはかなり大きいのに対して、傾斜コンベヤ方式による装置の場合にはかなり小さいことがわかる。また、浚渫効率の値を比べると、 $AV_h/Q_m$ が1以上の場合については傾斜コンベヤ方式による装置の浚渫効率が高く、 $AV_h/Q_m$ が1、1.5のときほぼ0.6、0.5であることがわかる。

浚渫特性についての以上の検討から、試作した円筒コンベヤ方式による装置と傾斜コンベヤ方式による浚渫装置の浚渫特性は、かなり異なっていることが明らかになった。図一35は、円筒コンベヤ方式による装置について、図一36は、傾斜コンベヤ方式による装置について、基本的なケースを対象にこの点をさらに検討するために、揚泥水量  $Q_m$  と浚渫土量  $S$  の関係を示したものである。浚渫土量はベルト速度の増加とともに増加するが、図中の横軸に平行な実線で示される集泥装置（部）移動速度  $V_h$  によって決まる集泥口に対する供給土量  $AV_h$  より大きくなることはあり得ない。この図一35と図一36を比較することにより、方式の違いによる浚渫特性の相異がより明らかになる。



図一35 揚泥水量と集泥口に対する供給土量、浚渫土量（円筒コンベヤ方式）



図一36 揚泥水量と集泥口に対する供給土量、浚渫土量（傾斜コンベヤ方式）

図一35及び図一36からわかることは、浚渫土量を示す曲線が円筒コンベヤ方式の場合には、横軸と交わるような傾向を示しているのに対して、傾斜コンベヤ方式の場合には、揚泥水量を示す実線と交わるような傾向を示していることである。ただし、いずれの場合にも交わることは実際にはあり得ず、これらのことは揚泥水量が小さいとき、円筒コンベヤ方式の場合には、浚渫土量がほとんど0となり、傾斜コンベヤ方式の場合には、浚渫土量がほぼ揚泥水量に近くなる領域があることを意味している。円筒コンベヤ方式の場合には、集泥口の幅がヒレによるかきあげ幅よりも大きいため流入抵抗が大きく、このためベルト速度が小さく揚泥水量が小さいときには、吸泥力が不足して円滑な集泥を行うことができず水だけが吸入される。これに対して傾斜コンベヤ方式の場合には、集泥口の幅とヒレによるかきあげ幅が近いので流入抵抗が小さく、このためベルト速度が小さく揚泥水量が小さいときでも円滑な集泥を行なうことができ、浚渫土量についての上記に比したような相異が生ずると考えることができる。

円筒コンベヤ方式による装置では、浚渫土量と揚泥水量の比である含泥率が、無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  の増加、したがって揚泥水量  $Q_m$  の減少にともなって減少するという傾向は、図一35に示されるように揚泥水量が減少するにともない浚渫土量がほぼ0になることから説明できる。さらに浚渫土量と集泥口に対する供給土量の比である浚渫効率の無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  の増加、したがって揚泥水量  $Q_m$  の減少にともなう減少割合の大きいことも同様に揚泥水量が減少するにともない浚渫土量がほぼ0になることから説明できる。一方、傾斜コンベヤ方式による装置では、含泥率が無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  の増加、したがって揚泥水量  $Q_m$  の減少にともなって増加するという傾向は、図一36に示されるように揚泥

水量が減少するにともない浚渫土量が揚泥水量に近づくことから説明できる。さらに無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  の増加、したがって揚泥水量  $Q_m$  の減少にともなう浚渫効率の減少割合が円筒コンベヤ方式による装置のそれよりも少ないことも、図-35及び36に示されるように揚泥水量が小さくなると浚渫土量は、円筒コンベヤ方式による装置では0に近づくのに対して、傾斜コンベヤ方式による装置では揚泥水量に近づくことから説明できる。

## 5.2 薄層浚渫装置としての評価

これまでの検討から円筒コンベヤ方式による薄層浚渫装置及び傾斜コンベヤ方式によるその浚渫特性及びその相異がほぼ明らかになった。ここでは薄層浚渫装置としての適否という観点からの評価を試みる。

まず浚渫特性についてみると、高含泥率での浚渫が可能である無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  が大きい範囲（試作した実験装置の場合、ほぼ1）で、傾斜コンベヤ方式による装置の浚渫特性は円筒コンベヤ方式のそれよりも優れており、場合（ヒレのピッチを39.2mmにしたとき）によっては90%近い含泥率での浚渫も可能である。

次に構造面から二つのタイプを比較してみる。傾斜コンベヤの揚泥可能なベルト速度の下限はほぼ4m/minであり、円筒コンベヤの揚泥可能なベルト速度の下限がほぼ30m/minであるのに比べるとかなり小さく、傾斜コンベヤを用いればより効率的な揚泥が可能である。また、広幅の浚渫を行おうとすれば、円筒コンベヤ方式の場合にはヒレによるかきあげ幅の制約から集泥上の問題を生じ易い。一方、傾斜コンベヤによる場合にはヒレの幅したがってかきあげ幅に対する制約が少なく、スクリーコンベヤ等を用いなくても円滑な集泥を行うことができる。

以上に述べた点から浚渫特性及び構造面のいずれにおいても傾斜コンベヤ方式による薄層浚渫装置は、円筒コンベヤ方式によるそれよりも優れていると評価できる。

## 6. 結 論

従来技術に比べ、より高含泥率でかつ効率的な浚渫が可能な密閉式ベルトコンベヤを用いた薄層浚渫装置として、円筒コンベヤ方式によるものと傾斜コンベヤ方式によるものの2タイプを開発し、これらの浚渫特性を検討するための実験装置を試作し、浚渫実験を行った。この結果得られた主要な結論は以下のとおりである。

1) 円筒コンベヤ方式による薄層浚渫装置の特性について

①円筒コンベヤの揚泥水量は、ベルト速度に対して直線的に増加するが、これ以下では揚泥が不可能となるべ

ルト速度の下限が存在し、試作した装置の場合、ほぼ30m/minであった。

②揚泥水の含泥率は、集泥装置移動速度とベルト速度の双方に依存している。試作した装置の場合、含泥率の最大値はほぼ55%に達した。

③掘り残しの多少を評価し、実際に浚渫された土量と集泥装置に対する供給土量の比である浚渫効率も含泥率と同様、集泥装置移動速度とベルト速度の双方に依存している。試作した装置の場合、浚渫効率の最大値はほぼ0.8に達した。

④汚泥の円滑な集泥を促進するために取り付けられたスクリーコンベヤの効果は、運転条件によってはかなり認められたが、十分ではなかった。

2) 傾斜コンベヤ方式による薄層浚渫装置の特性について

①傾斜コンベヤの揚泥水量は、ベルト速度に対して直線的に増加するが、この場合も揚泥が不可能となるベルト速度の下限が存在し、試作した装置の場合、ほぼ4m/minであった。

②揚泥水の含泥率は、円筒コンベヤ方式による装置と異なり、掘削断面積  $A$  と集泥部移動速度  $V_h$  の積で定義される集泥口に対する供給土量  $AV_h$  と揚泥水量  $Q_m$  の比である無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  の関数とみなすことができ、 $AV_h/Q_m$  の増加にともない増加する。試作した装置の場合、 $AV_h/Q_m$  が1, 1.5のときそれぞれほぼ55, 75%に達した。

③浚渫効率も含泥率と同様、無次元パラメータ  $AV_h/Q_m$  の関数とみなすことができ、 $AV_h/Q_m$  の増加にともない減少する。試作した装置の場合、 $AV_h/Q_m$  が1, 1.5のときそれぞれほぼ0.6, 0.5であり、 $AV_h/Q_m$  の増加にともなう浚渫効率の減少割合は小さい。

④汚泥をかきあげ、揚泥水の下方への流下を阻止するためベルトに取り付けたヒレのピッチの短縮は、浚渫特性の改善に効果があり、試作した装置についてピッチを78.5mmから39.2mmに短縮した場合、含泥率はほぼ15%、浚渫効率はほぼ0.08増加し、90%近い含泥率での浚渫も可能である。

3) 開発した薄層浚渫装置の評価

開発した二つのタイプの薄層浚渫装置は、いずれも従来技術に比べ、より効率的な浚渫を行うことができるが、浚渫特性及び構造面のいずれにおいても、傾斜コンベヤ方式による薄層浚渫装置は、円筒コンベヤ方式によるそれよりも優れていると評価できる。

## 7. あとがき

密閉式ベルトコンベヤを用いた薄層浚渫装置，なかでも傾斜コンベヤ方式による薄層浚渫装置によれば，90%近い含泥率での浚渫も可能で，従来以上に効率的な薄層浚渫が可能となることが明らかになった。底質浄化事業の実施に当たっては，埋立地の確保が大きな制約になっていることから，効率的な薄層浚渫技術の開発は，その経済的かつ円滑な実施に寄与し得ると考えられる。

今後は薄層浚渫装置としてより優れていると評価された傾斜コンベヤ方式による薄層浚渫装置について，ゴミ対策及び余掘りや掘り残しを生じさせ能率低下の原因となる船体動揺の影響を軽減する対策等の残された技術的課題についての研究を進め，早期の実用化を目指して行きたい。なお実用化に当たっては，その中間段階として小型のモデル機による現地実験を行い，室内実験から予測される性能を実証することも必要と考えられる。さらにこの方式の浚渫装置は汚泥の薄層浚渫に限らず，軟泥の高濃度浚渫に対しても有効であると考えられ，この点についても検討を進めて行きたい。

(1988年3月31日受付)

## 謝 辞

本資料は，国立機関公害防止等試験研究費により昭和60年度から5か年計画で実施している「高含水比汚泥浚渫処理に関する研究」の一部を取りまとめたものであり，研究の実現に努力された中園嘉治前汚泥処理研究室長（現第四港湾建設局機械課長）はじめ関係各位に感謝の意を表す。

また，実験装置の製作，実験の実施，データ解析等については，竹内孝之前汚泥処理研究室研究員（現第二港湾建設局横浜機械整備事務所），蔵谷満前同研究員（現港湾局技術課）に負う所が大であり，ここに記して感謝の意を表す。

## 参 考 文 献

- 1) 浜田賢二他：へどろしゅんせつ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.
- 2) 岡山義邦他：前面開口型ドラッグヘッドによる軟でいしゅんせつ現地実験，港湾技研資料，No.344，1980.
- 3) 岡山義邦他：前面開口型ドラッ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，港湾技研資料，No.422，1982.
- 4) 安立重昭他：高含水比汚泥浚渫処理に関する研究，昭和60年度環境保全研究成果集，pp.91-1~18.
- 5) 安立重昭他：高含水比汚泥浚渫処理に関する研究，昭和61年度環境保全研究成果集，pp.87-1~20.

## 記 号 一 覧 表

$A$	: 掘削断面積
$C$	: 含 泥 率
$D$	: 模擬汚泥の粒径
$d_1$	: スクリュー径
$d_2$	: スクリューの軸径
$P$	: ベルトのヒレピッチ
$P_s$	: スクリューのピッチ
$Q_m$	: 揚 泥 水 量
$Q_s$	: スクリューコンベヤによる送泥量
$Q_w$	: 揚 水 量
$R_s$	: スクリューコンベヤ回転数
$S$	: 浚 渫 土 量
$t$	: 浚 渫 土 厚
$V_b$	: ベルト速度
$V_k$	: 集泥装置(部)移動速度
$W_b$	: 供試ベッドの含水比
$\alpha$	: 浚 渫 効 率
$\rho_b$	: 供試ベッドの比重
$\rho_m$	: 揚泥水の比重
$\rho_w$	: 水 の 比 重
$\tau_b$	: 供試ベッドのベーンせん断強度

港湾技研資料 No.621

1988・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.