

運輸省港湾技術研究所

# 港湾技術研究所 報告

---

---

REPORT OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH  
INSTITUTE

MINISTRY OF TRANSPORT

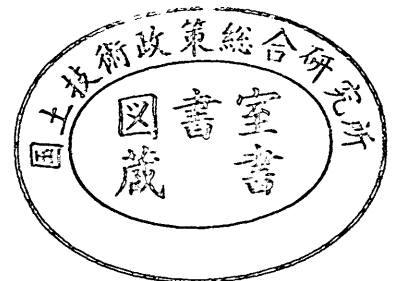
---

VOL. 38

NO. 3

Sept. 1999

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



# 港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第 38 卷 第 3 号 (Vol. 38, No. 3), 1999 年 9 月 (Sept. 1999)

## 目 次 (CONTENTS)

1. Nonlinear Model for Wave Fields with Current  
..... Md. Hasanat ZAMAN and Tetsuya HIRAISHI ..... 3  
(流れが考慮できる非線形波浪の計算モデルについて  
..... エムディ・ハサナット ジャーマン・平石哲也)
2. 液化した砂地盤による消波システムの開発  
... 姜 閔求・高橋重雄・山本 悟・三浦裕信・高野忠志・下迫健一郎・鈴木高二朗 ..... 29  
(Development of a New Wave Absorbing System Using a Sand Liquefaction  
..... Yoon-Koo KANG, Shigeo TAKAHASHI, Satoru YAMAMOTO, Hironobu MIURA,  
Tadashi TAKANO, Ken-ichiro SHIMOSAKO and Kojiro SUZUKI)
3. 海面水位の変動が内湾域への水環境に及ぼす影響  
— 大船渡湾での貧酸素水塊の形成と消滅機構 —  
..... 日比野忠史・豊田政史・西守男雄・細川恭史・鶴谷広一 ..... 91  
(Consequence of Sea level Distribution for an Estuary Environment along Japanese Coastal Waters  
— Generation and Breakdown Mechanisms for Anoxic Layers in Ohfunato Bay —  
..... Tadashi HIBINO, Masashi TOYOTA, Dan-o NISHIMORI, Yasushi HOSOKAWA  
and Hiroichi TSURUYA)
4. 数値処理からみた CVM (仮想評価法) の信頼性分析  
— 船舶事故による流出油対策の評価への適用事例 —  
..... 鈴木 武 ..... 125  
(An Analysis on the Reliability of CVM in Data Treatment Process  
— The Application to Value the Countermeasures against Oil Spill Caused by Ship Accidents —  
..... Takeshi SUZUKI)
5. 海成粘土地盤の間隙比 - 有効土被り圧関係に関する統一的な解釈  
..... 土田 孝 ..... 153  
(Unified Interpretation on the Void Ratio-Overburden Pressure Relationship of Marine Deposits  
..... Takashi TSUCHIDA)

6. 低改良率で改良された杭式深層混合処理地盤の鉛直支持力  
..... 北誥昌樹・中村 健・森永真朗・宇高 泰 ..... 181  
(Centrifuge Model Tests on Bearing Capacity of Column Type DMM Ground with Low  
Improvement Ratio  
..... Masaki KITAZUME, Takeshi NAKAMURA, Masao MORINAGA and Yasushi UDAKA)
7. コンテナターミナルにおける荷繰り最小化による荷役効率化  
..... 門前唯明・田邊俊郎・中島 晋 ..... 199  
(Increasing the Container-Handling Efficiency by Minimizing of Rehandling at a Container Terminal  
..... Tadaaki MONZEN, Toshiro TANABE and Susumu NAKASHIMA)
8. ファジィ制御および泥水リサイクルによるドラグサクシオン浚渫船の高効率化  
..... 加藤英夫・谷本裕史・原田貴久 ..... 209  
(Efficiency Improvement of Trailing Suction Hopper Dredger by Soil-water Mixture Recycling  
System and Automatic Operation System with Fuzzy Control  
..... Hideo KATO, Hirofumi TANIMOTO and Takahisa HARADA)

## ファジイ制御および泥水リサイクルによる ドラグサクシオン浚渫船の高効率化

加藤英夫\*・谷本裕史\*\*・原田貴久\*\*\*

### 要 旨

ドラグサクシオン浚渫船の自動化については主に省力化という見地から開発が進められて来た。しかし従来の自動化は、設定値を境界とした ON/OFF 制御、あるいはあらかじめ定められた手順にしたがうシーケンス制御であり、ベテラン乗組員の手動操作に比較すると制御が不十分で、省力化は図られたが生産性（浚渫土量）は必ずしも高くなっていない。そこでこの問題を解決するため第五港湾建設局の「清龍丸」を対象として、ベテラン乗組員の操作上のノウハウをコンピュータに組み込めるファジイ制御を用いた自動化システムを開発した。

前報では船速、浚渫ポンプ回転数、ジェット水等の浚渫オペレーションの基本となる機器に関して自動化を行ったが、今回さらに浚渫土量を向上させるために、①泥水リサイクルシステムの設置およびファジイ制御、②土質等の海底状態を判断して、前報における船速、浚渫ポンプ回転数等に関する制御パラメータを最適化する浚渫ファクター自動設定制御の開発を行った。

泥水リサイクルシステムでは、関連するリサイクル、ジェット、循環ラインの切換とそのファジイ制御を行った。土量向上効果の大きいリサイクル運転を中心とした制御とし、浚渫開始時等に薄泥水を吸入した場合は循環運転を行うという基本アルゴリズムを確立した。泥水リサイクル運転による積載土量向上効果は大きく、従来のリサイクル無しの運転に対しリサイクル有りの運転全体で積載土量が約 36% と大きく向上した。

また土厚、土質等の海底状態に応じて制御パラメータを最適化する浚渫ファクター自動設定制御については、手動で浚渫ファクターを設定したのと同程度の従来の自動運転に対して約 4% という安定した土量向上効果が得られた。本開発により各種作業条件のもとで浚渫作業が自動で最適に制御され、浚渫作業の省力化と高効率化が実現できる。

キーワード：ドラグサクシオン浚渫船、浚渫自動化、知能化浚渫、ファジイ制御

---

\* 機械技術部 浚渫埋立研究室長

\*\* 前機械技術部 浚渫埋立研究室（現第三港湾建設局 神戸機械整備事務所）

\*\*\* 前機械技術部 浚渫埋立研究室（現機械技術部 計測施工研究室）

〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1

電話：0468-44-5043, Fax：0468-44-0575, E-mail：katoh@cc.phri.go.jp

## Efficiency Improvement of Trailing Suction Hopper Dredger by Soil-water Mixture Recycling System and Automatic Operation System with Fuzzy Control

Hideo KATO \*, Hirofumi TANIMOTO \*\*, Takahisa HARADA \*\*\*

### Synopsis

An automation of dredging operation has been highlighted in the dredging field for a long time from the viewpoint of labor saving, improvement of efficiency and accuracy. However, the existing automation system gives only sequential control or "ON-OFF" control within the given range and as a result the volume of dredged soil is not as much as what is achieved by manual operation. Moreover, the control parameters are being relied on the operator's decision.

Under these circumstances, the study on the more advanced automatic dredging system using fuzzy control has been carried out for 1700m<sup>3</sup> trailing suction hopper dredger named "SEIRYU MARU" which belongs to the 5th District Port Construction Bureau.

In the former paper, the authors introduced the newly developed concept of an advanced automatic dredging system and the application of fuzzy control to ship's speed, revolution of dredging pump etc. which are the basic elements of dredging operation. In this paper the authors introduce ① installation of light soil-water mixture recycling system and its fuzzy control ② automatic dredging factor setting control which sets control parameters such as target value of ship's speed, revolution of dredging pump etc. according to the condition of sea bed such as soil characteristics.

As a result of experimental dredging trial, light soil-water mixture recycling system showed 36% increase of loaded soil in hopper compared with cases without recycling system. As to automatic dredging factor setting control, it was confirmed that loaded soil in hopper increased to the same level as what is achieved by manual control of dredging parameters. These results mean that it is possible to perform totally and automatically the optimum control on whole dredging works according to various working conditions.

**Keywords** : Trailing Suction Hopper Dredger, Automation of Dredging Operation, Fuzzy Control, Artificial Intelligence Dredging System

---

\* Chief of Dredging and Reclamation Laboratory, Machinery Division

\*\* Former Member of Dredging and Reclamation Laboratory, Machinery Division  
(Kobe Machinery Office, Third District Port Construction Bureau at present)

\*\*\* Former Member of Dredging and Reclamation Laboratory, Machinery Division  
(Instrumental Construction Control Laboratory, Machinery Division at present)

1-1-3, Nagase, Yokosuka, 239-0826, JAPAN, Phone : +81-468-44-5043, Fax : +81-468-44-0575, E-mail : katoh@cc.phri.go.jp

## 目 次

要 旨 .....	209
1. まえがき .....	213
2. ファジィ浚渫制御システム .....	213
2.1 システムの概要 .....	213
2.2 制御システム .....	215
3. 実船実験の概要 .....	222
3.1 概要 .....	222
3.2 供試浚渫船 .....	222
3.3 浚渫条件 .....	222
4. 泥水リサイクルおよび浚渫ファクター自動設定の概要ならびに実船実験結果 .....	224
4.1 泥水リサイクルによる積載土量向上効果 .....	224
4.2 浚渫ファクター自動設定制御の効果 .....	228
5. 結 論 .....	238
6. あとがき .....	239

## 1. まえがき

近年、浚渫船の自動化については省力化、効率向上、精度向上等の見地から世界的に関心の的であり、日本でも種々の試みがなされてきたが、ドラグサクシオン浚渫船についてははまだ部分的な自動化の域にとどまっていた。

こうした中で1986年以来、運輸省第五港湾建設局所属の1700m<sup>3</sup>ドラグサクシオン浚渫船「清龍丸」等を対象として本格的な自動化の開発が行われてきた。この自動化システムはドラグアームの昇降、浚渫中のドラグアームの姿勢、浚渫ポンプの動作等をシーケンス的に自動制御するもので、1989年に「清龍丸」に搭載され今まで良好な実績をあげている。

しかしながら、これらの自動化制御は、あくまである一定値を境界としたON/OFF制御、あるいはあらかじめ定められた手順に従って制御を行うシーケンス制御である。このためベテラン乗組員の手動操作に比較すると制御が不十分で、結果として省力化は図られたが生産性（浚渫土量）は必ずしも高くなってはいない。また海底の状態に応じた浚渫パラメータ（船速目標、浚渫ポンプ流量目標等）の設定は自動化が難しく、乗組員の経験による設定が行われているのが現状である。このため各種作業条件に対し、浚渫作業全体として自動的に適正な制御をするまでには至っていない。

浚渫船の高度な自動化については、1983年～1988年にファジィ制御を用いたポンプ浚渫船の自動化の開発が行われている<sup>1)</sup>。これは1987年に現地実験を行い、ベテラン乗組員に匹敵する浚渫土量の確保という成果を得ている。しかしこれはあくまでも実験的なものであり、その後実際の浚渫工事で広く活用されるには至っていない。また浚渫船は船種毎に浚渫のメカニズム、オペレーションが異なりポンプ浚渫船の制御システムはそのままでは他の船種には適用できない。そこで現在航路浚渫等に広く活躍している運輸省第五港湾建設局の「清龍丸」を対象として、1990年からファジィ制御を用いて知能化した高度な自動化システムの開発を行った<sup>2)～4)</sup>。ドラグサクシオン浚渫船自動化の開発経緯を簡単に以下に示す。

### (1) ON/OFF・シーケンス浚渫自動化システムの開発 (1986年～1989年)

ドラグアームの昇降、浚渫ポンプの発停、弁切替え等の自動化を行った。1989年以降、実用に供され良好な運転実績をあげている。この自動化はON/OFF制御お

よびシーケンス制御をベースとしている。

### (2) ファジィ浚渫制御自動化システムの開発 (1990年～現在)

#### ① 第一期 (1990年～1993年)

上記の自動化制御において、一定値制御または上下限值間のスイッチング制御であった制御要素（浚渫ポンプ回転数、推進翼角等）を浚渫中の海底の状態変化を入力としてファジィ推論を行い、適応制御するシステムを構築した。1992、1993の両年にわたり実船実験を行い、自動運転に対し約7%の積載土量向上効果が確認された。

#### ② 第二期 (1994年～現在)

一浚渫ごとに浚渫データを統計解析し、現区域の土質等の海底状態を判断して第一期ファジィ浚渫制御システムの浚渫パラメータを最適化する知能化浚渫システムの開発を行った。第一期の浚渫制御システムのみでは、ある特定の浚渫区域の海底土質にあわせて浚渫パラメータを設定するため、他の浚渫区域で土質等に变化があった場合には最適なファジィ制御を行うことができない。知能化浚渫システムは、適切な浚渫パラメータの設定作業を自動的に行い、海底の状態に即した最適な浚渫制御を行うものである。また積載土量向上効果の高い泥水リサイクルのファジィ制御システムの開発も同時に行った。

前報では第一期に開発したファジィ浚渫制御システムについて報告したが、ここでは第二期の泥水リサイクルのファジィ制御システムと知能化浚渫システムの開発結果について報告する。

なお本研究は第五港湾建設局と共同で行われたものである。

## 2. ファジィ浚渫制御システム

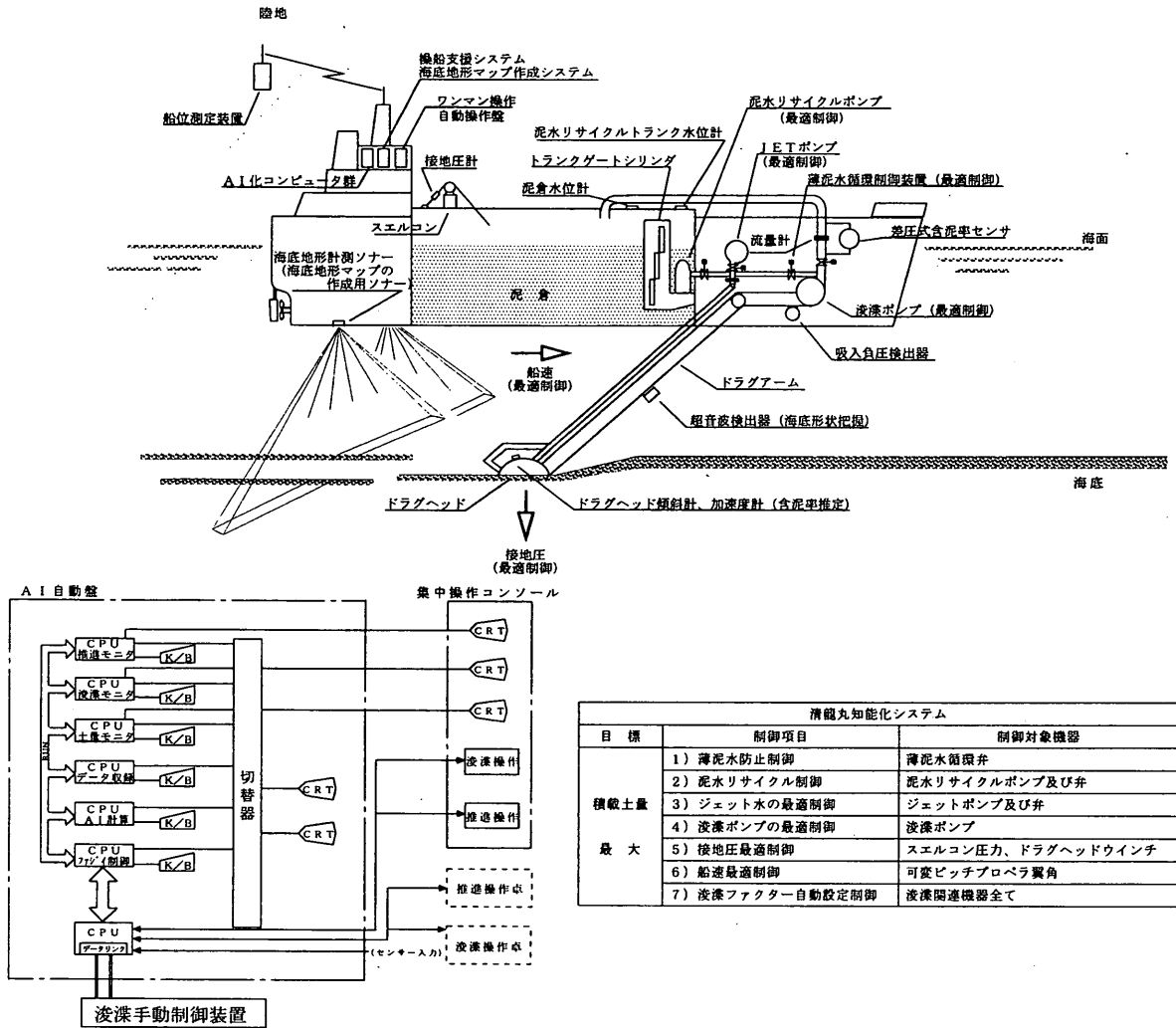
### 2.1 システムの概要

ファジィ浚渫制御システムの概念図を図-1に示す。ファジィ制御の項目別の制御方法およびシステムを以下に示す。

#### (1) 薄泥水吸入防止制御

積載土量低下の最大の原因は浚渫開始時等の薄泥水（含泥率の低い泥水）を泥倉内に積み込んでいることに起因している。これをファジィ理論を用いて泥倉内に薄泥水を積み込まないように制御する。浚渫ポンプ吐出口からドラグヘッドへの循環ラインを設けておき、吸泥管で含泥率を監視し、薄泥水が入ってきた場合はドラグヘッドに循環させ泥倉に積み込まないようにする。

#### (2) 泥水リサイクル制御



清丸丸知能化システム		
目標	制御項目	制御対象機器
積載土量 最大	1) 薄泥水防止制御	薄泥水循環弁
	2) 泥水リサイクル制御	泥水リサイクルポンプ及び弁
	3) ジェット水の最適制御	ジェットポンプ及び弁
	4) 浸漬ポンプの最適制御	浸漬ポンプ
	5) 接地圧最適制御	スエルコン圧力、ドラグヘッドウインチ
	6) 船速最適制御	可変ピッチプロペラ翼角
	7) 浸漬ファクター自動設定制御	浸漬関連機器全て

図-1 ファジィ浚渫制御システム概念図

リサイクル運転とは泥倉内に浚渫で積み込まれた泥水の上水（含泥率が低い）をドラグヘッド部に還流させて泥倉内の水位上昇を最小にし、積載土量の増大を図り高能率浚渫を行うものである。泥倉に隣接させて上水を落とし込むリサイクルトランクを設置し、トランク内の泥水の含泥率を監視しリサイクルの制御を行う。

(3) ジェット水の最適制御

ジェット水の最適な発射タイミング、時間等は浚渫海域の土質、土厚、接地圧力、浚渫ポンプ吸入負圧および回転数等の浚渫条件によって常に刻々と変化している。また各々の浚渫条件における最適状態も把握されていない。しかしジェット水の有効活用は含泥率増大の大きな要因である。よって各浚渫条件における最適状態を把握し、ファジィ理論を用いてジェット水の最適制御を行う。

(4) 浚渫ポンプ吸入負圧および回転数の最適制御

浚渫ポンプ回転数と吸入負圧は比例の関係にあり、吸入負圧と含泥率も比例の関係にある。一般に吸入負圧は

できるだけ大きい点で浚渫すれば含泥率が大きくなるといわれているが、浚渫ポンプのキャビテーション保護等から、かなり安全サイドでの運転を行っている。したがって浚渫ポンプ回転数および吸入負圧の限界状態を把握し制御を行えば、浚渫効率向上になることは明らかである。よってファジィ理論を用い浚渫ポンプの回転数および吸入負圧の最適制御を行う。浚渫ポンプ回転数を変化させることにより流量を制御し、吸入負圧限界内および閉塞限界内で含泥率が最大となるような制御とする。

(5) 接地圧最適制御

ドラグヘッド接地圧の変化範囲はスエルコン圧力によって設定されるが、最適接地圧は浚渫区域の土質、土厚、船速、浚渫ポンプ吸入負圧および回転数等の浚渫条件によって常に刻々と変化している。また各々の浚渫条件における最適状態も把握されていない。しかしながら接地圧が浚渫効率（含泥率）に与える影響は大きい。現状ではスエルコン圧力は船長の経験により決められている。



よって各浚渫条件における最適状態を把握し、ファジィ理論を用いてスエールコン圧力の最適制御を行う。

(6) 船速最適制御

浚渫中の最適船速は浚渫海域の土質、土厚、接地圧、浚渫ポンプ吸入負圧および回転数等の浚渫条件によって常に刻々と変化している。また各々の浚渫条件における最適状態も把握されていない。現状では船速は船長の経験により決められ、浚渫作業中はほとんど固定である。浚渫中の船速は土質、土厚等の変化のため曳引抵抗が変化することにより変化する。また船速制御のための推進翼角操作に対して、実際の船速は制御系としての遅れが数分間あるため、現状では船速一定制御が無難な制御とされている。よって各浚渫条件における最適状態を把握し、ファジィ理論を用い船速の一定制御を基本とした最適制御を行う。

(7) 浚渫ファクター自動設定制御

浚渫作業全体の最適化は、浚渫サイクルごとに収集したデータをもとに作業条件を学習し、浚渫ファクター(制御目標、上下限值等の浚渫パラメータおよび制御ルール)を限りなく最適に近づけていくことが重要なポイントとなる。浚渫サイクルごとのデータ収録および解析結果を基にして総合的に積載土量が最大になるような浚渫ファクターを学習するシステムを確立する。

上記のうち(1)、(2)、(3)が第二期に開発された泥水リサイクルのファジィ制御システムに、(7)が知能化浚渫システムに対応する。

2.2 制御システム

ファジィ制御システムはベテランオペレーターのノウハウを制御に十分に取り入れることができる。これまで

のコンピュータ制御は1か0かという正確な二値情報によりすべてを処理していた。しかし、浚渫船のように制御対象の動特性が正確に捕えられない場合には、通常の計算機制御やアナログ制御は適さず、ベテランオペレーターの判断に任せた方が良い結果が得られることが多い<sup>1)</sup>。これは、「もし〜が〜であれば〜を〜にする」という専門家としてのノウハウを持っているからである。このようなベテランオペレーターのノウハウを制御に取り入れるのがファジィ制御である。つまり、ファジィ制御は人間の持つ定性的な思考方法をコンピュータに取り入れ、ベテランオペレーターのノウハウであるあいまいな表現(やや大きい、少し左等)をそのまま制御規則として取り扱うことができるという特長を持っている。

(1) システム構成

ファジィ浚渫制御システムは図-2のようなシステムで構成される。図-2でファジィ制御を行うのはCPU4のファジィ浚渫制御パソコンである。ファジィ浚渫制御プログラムはC言語を用いて開発を行った。データ入出力はデータリンクシーケンサとの通信によって行う。実際の制御はシーケンサが行うが、ファジィ運転の場合はファジィ演算された結果(推進翼角出力、浚渫ポンプ回転数出力、ジェットポンプ発停出力等)がシーケンサに出力される。CPU5のデータ収録、統計解析、シミュレーションパソコンは、浚渫データの光磁気ディスクへの収録、収録データの統計解析およびシミュレーションを行う。CPU6は後述の浚渫ファクター自動設定制御を行うものである。CPU1~CPU3のモニタパソコンは既設のものであり、運転中の状況をモニタするためのものである。

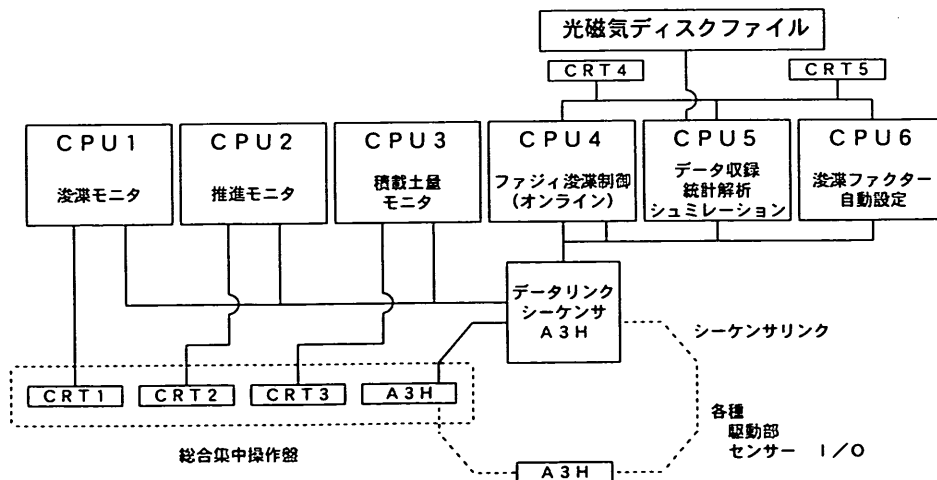


図-2 システム構成図

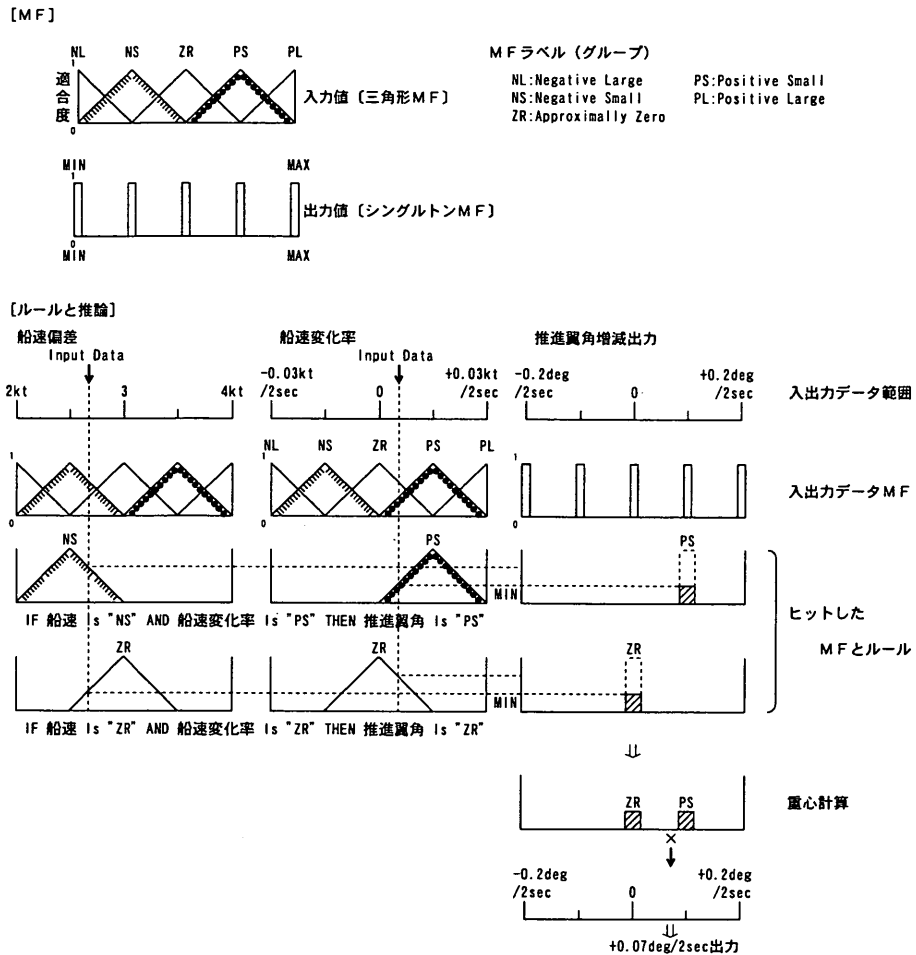


図-3 ファジィ推論の処理手順

(2) 簡略型ファジィ推論の概略

以下にファジィ推論の処理手順を簡単に述べる<sup>5), 6)</sup>。  
説明図を図-3に示す。

a) 深遠関係の各入力データは、2秒ごとにサンプリングされ、これを上下限値でリミットした範囲内の数値に変換する。必要に応じて2秒ごとの変化率(差分)も数値変換する。

b) 上記の数値が小さい、普通、大きい等のグループのどこにどの割合で該当するかを調べる。これには確率分布のように、各グループの適合度が0~1.0の間で変化するような関数を用いる。この関数は乗組員のノウハウ、実船の特性等をもとにあらかじめ作成しておく。これをメンバシップ関数と呼ぶ(MF: 図-3の上部に示す)。後述のように、今回使用した入力メンバシップ関数はNL・NS・ZR・PS・PLの5個で構成され、それぞれの意味は以下に示す通りである。

- NL: とても小 Negative Large
- NS: やや小 Negative Small

- ZR: ふつう approximately ZeRo
- PS: やや大 Positive Small
- PL: とても大 Positive Large

またすべての入力メンバシップ関数の形状は等分割になっている。横軸は表記の数値(図-3中ほどの図、船速の例では2kt~4kt)が入力範囲である。

c) 同様にファジィ推論後の出力データも範囲、メンバシップ関数を設定する。今回使用した出力メンバシップ関数はシングルトンであり、図-3の上部に示すように表記している。

d) 次に入力データと出力データを結びつけるファジィルールを用いファジィ推論を行う。このルールも乗組員のノウハウ、実船の特性等をもとにあらかじめ作成しておく。ファジィルールは複数設定できる。入出力は1入出力項目に1つのラベル(船速ならSVD)が割り当てられる。その入出力ラベル1つについて最大5つの前記のメンバシップ関数のラベルがまた割り当てられる。以下にファジィルールの設定の例を示す。

If SVD is NS and SVC is PS then YMO is PS

SVD：船速入力

SVC：船速差分入力

YMO：推進翼角（右）出力

e) ファジィ推論は以下のように行う。

① まず入力データ値が、どのグループ（メンバシップ関数のラベル）に該当するかを決める。該当したメンバシップ関数に関するファジィルールがあれば、②項のようにして出力データの適合度を求める。

② ファジィルールの入力関係の項（"If...and..."）で、各々の入力ラベルの適合度を求める。"and"で結ばれているところは両方の適合度の最小値をとる（ミニマム演算）。これによって入力関係の適合度が求められる（結果は0.52のような数値）。続いてファジィルールの出力関係の項（"then..."）で入力の適合度を出力の該当するラベルの適合度とする。同一の出力ラベルに対してファジィルールが複数該当した場合は最大値をとる（マックス演算）。

③ 求められた複数のラベルとそれらの適合度を用い重心計算を行う。この計算によって出力データ範囲内の出力値を求める（重心法）。

### (3) 「清龍丸」の浚渫特性

現在までに乗組員アンケート・ヒアリング、実船調査および実船実験により得られた「清龍丸」の浚渫特性を以下に示す。なお土質は主にシルト質の軟泥の場合である。

#### a) 船速関係

① 船速は3kt付近が最も含泥率が良いことが判明した。これは船速3kt付近までは、ドラグヘッドの掘削土量は船速および土厚（船速×土厚×ドラグヘッド幅＝ドラグヘッドの通過容積）に比例して増加するが、それ以上になると、ドラグヘッドの吸泥量がドラグヘッド掘削土量に追いつかなくなるためと考えられる。

② 船速3kt付近で土厚が厚い時はやや遅く、土厚が薄い時はやや早くして、ドラグヘッド掘削土量を一定に近づけた方が土量が向上する。

③ 吸入負圧が高い時は浚渫ポンプ保護のため、ドラグヘッド掘削土量を小さくするように、船速を下げるのが望ましい。

#### b) 浚渫ポンプ関係

① ドラグヘッド接地圧が大きい場合、浚渫ポンプ回転数は190rpm付近で含泥率のピークが見られた。これは約190rpm以下では、含泥率は浚渫ポンプ回転数に比例

するが、約190rpm以上では、ドラグヘッドの吸泥性能限界によって減少するためと考えられる。またこの時の浚渫ポンプ流量は3750m<sup>3</sup>/h程度であることが判明した。  
② 含泥率と浚渫ポンプ流量との関係は、ほぼ次式が成立することが確認された。

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

$Q_m$ ：浚渫時の浚渫ポンプ流量(m<sup>3</sup>/h)

$Q_0$ ：清水時の浚渫ポンプ流量(m<sup>3</sup>/h)

$C_v$ ：真容積含泥率

③ 浚渫土厚が厚い場合、吸泥含泥率が高めとなり、浚渫ポンプ流量が減少する。一般に浚渫ポンプは、低流量で効率が低下するので、吸泥含泥率が高い時に浚渫ポンプ回転数を下げると大幅な吸泥性能の低下を招く。このため浚渫土厚が厚いときは、浚渫ポンプ回転数を高めにすることが望ましい。

④ 一方浚渫土厚が薄い時は、吸泥含泥率が低めとなり、浚渫ポンプ流量が増加する。この時は、余分な水を吸わない様に、吸泥含泥率が大幅に低下しない範囲で浚渫ポンプ回転数を下げることが望ましい。

⑤ 土質が硬いまたは粘質土の場合は積載土量が減少する。この原因としては、ドラグヘッドの底泥への埋まり込みが少なくなり土厚が薄めとなるため、また浚渫ポンプの吸泥力を要するため等と考えられる。このような場合、浚渫ポンプ回転数を高めにして、ポンプの吸泥力を上げたほうが積載土量が向上する。

⑥ 浚渫ポンプ回転数を下げていくと、170rpm付近で急激に積載土量が減少する。これは浚渫ポンプの吸泥能力の低下のためであると考えられる。この積載土量の急減する浚渫ポンプ回転数下限は、土質によって変化すると考えられる。

#### c) スエルコン関係

① スエルコン圧力は中程度（11kgf/cm<sup>2</sup>）の設定が望ましい。スエルコン圧力をこれより高くすると若干含泥率が向上する傾向があるが、一方でスエルコンストロークが急激に大きくなり掘残しが生じやすくなる。

② またスエルコン圧力が9kgf/cm<sup>2</sup>以下では、含泥率は急激に低下する。これはドラグヘッドが海底土中に埋もれて開口部がふさがれることにより、海水吸入が急激に減少するためと推定される。

③ 土質が硬いまたは粘質土等で吸入負圧が高い浚渫の時は、閉塞の危険性があるため、スエルコン圧力は高くし、ドラグヘッドの接地を弱くすることが望ましい。

(4) 浚渫特性モデル

図-4にファジィ浚渫制御の浚渫特性モデルを示す。モデル化の基本的考え方は以下のとおりである。なお図中および本報告で使用している略称の意味を以下に示す。

- ・D/P 浚渫ポンプ
- ・J/P ジェットポンプ
- ・R/P リサイクルポンプ
- ・D/H ドラグヘッド
- ・S/C スェルコン

a) 推進翼角制御

- ① 浚渫中は頻繁に目標船速を変化させることが困難なため、含泥率が大きい3kt付近を目標とした船速および船速変化率の入力により船速一定のフィードバック制御を行うことを基本とした。
- ② またドラグヘッド接地圧によりドラグヘッドの曳引

抵抗の推定が可能である。これを利用して、推進翼角ファジィルールにドラグヘッド接地荷重を入力としてフィードフォワード制御ルールを付加し、推進翼角を早めに制御するようにした。

- ③ 推進翼角は、通常の浚渫作業において使用している範囲(4~11deg)で制御するように上下限リミッタを設けた。
- ④ 制御ルールは前項の浚渫特性をもとに作成した。

b) 浚渫ポンプ回転数制御

- ① 浚渫ポンプ回転数制御は、ドラグヘッド接地圧が大きい時(土厚が厚い時)に含泥率がピークになる浚渫ポンプ流量よりやや多めを目標とし、浚渫ポンプ流量および流量変化率の入力により浚渫ポンプ回転数のフィードバック制御を行うことを基本とした。
- ② またドラグヘッド接地荷重を入力としてポンプ回転

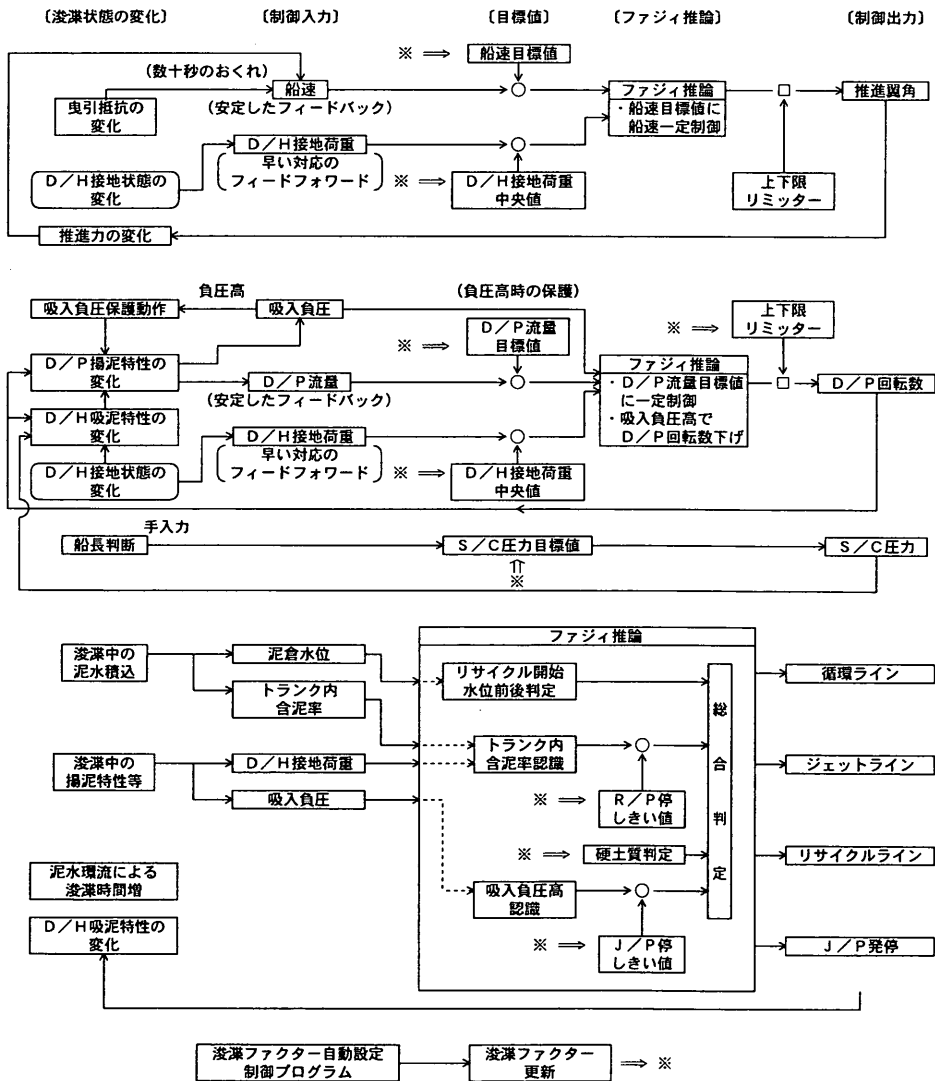


図-4 ファジィ浚渫制御の浚渫特性モデル

数をフィードフォワード制御するルールを付加し、浚渫ポンプ回転数を早めに制御するようにした。

- ③ 仕上げ掘時等の土厚の薄い浚渫を行う時の積載土量の急減を防止するため浚渫ポンプ回転数に下限値を設けた。
- ④ ドラグヘッド吸泥性能限界を越えないようにするため浚渫ポンプ回転数に上限値を設けた。
- ⑤ 制御ルールは前項の浚渫特性をもとに作成した。
- ⑥ 強制的な保護動作として次のような優先自動制御を行っている。吸入負圧が高い時（550mmHg以上）は浚渫ポンプの閉塞保護のため、浚渫ポンプ回転数を下げる。また、浚渫ポンプ流量低下（2000m<sup>3</sup>/h以下）ではドラグヘッドウインチ上げの閉塞保護動作が働く。この閉塞保護制御はシーケンサで行っているため、早い対応が可能である。

#### c) スエルコン圧力制御

- ① 起伏を作らない薄層浚渫の観点から、スエルコン圧力目標は中位に設定することとした（運用上の制御幅9～13kgf/cm<sup>2</sup>に対して11kgf/cm<sup>2</sup>）。
- ② その他の制御ルールは前項の浚渫特性を基に作成した。

#### d) ジェットポンプ発停制御

- ① 一般にジェット水は泥を薄める効果があるとされるので（硬砂質土では土量向上効果があるが）浚渫中は基本的に停とした。浚渫中に浚渫ポンプ流量が小さく、吸入負圧が高い時は浚渫ポンプが閉塞する危険が生じるため、ジェットポンプを発することとした。
- ② 通常の浚渫では、リサイクル運転が積載土量向上効果が大きいので、優先して使用し、ジェット水は補完的役割とする。硬質土等でジェット水の掘削効果があると判断された時にジェット水を使用する。

#### e) 泥水リサイクル、循環制御

- ① リサイクル運転は、泥倉の上水をドラグヘッドに戻して、泥倉が一杯になるまでの時間を増加させ、増加時間分の浚渫泥量ほど積載土量を向上させるものである。浚渫中のリサイクル運転は想定通りの土量向上効果をもたらしている。したがって利用できる期間は極力リサイクル運転を使用することにした。
- ② 循環運転は、浚渫開始時の接地までの薄泥水の循環には効果が認められた。しかし浚渫中は、ライン切り替えに約30秒かかり、時間遅れのため薄泥水を循環する効果が期待できないことが判明した。このため、循環運転は浚渫開始のドラグヘッドが着底するまでの薄泥水吸引時のみ動作することとした。
- ③ よってリサイクル・循環・ジェット水の切り替え制御アルゴリズムの基本は、浚渫開始時は循環運転→リサイクル開始水位まで必要な場合はジェットポンプ運転

→リサイクル開始水位後はリサイクル運転を行うこととした。

#### f) 浚渫ファクター自動設定制御

- ① 浚渫ファクター自動設定制御では土厚、土質の状態を的確に把握するアルゴリズムの確立、土厚、土質に適した浚渫ファクター設定のアルゴリズムの確立を課題として検討をおこなった。

土厚要因はドラグヘッド接地荷重で代表させ、これに応じた目標値等の設定を行う。土質要因は直接にはセンシングできないので、浚渫データの相関等を統計的に処理して抽出する。現在最も土質要因を表しているのは吸入負圧である。よって、ドラグヘッド接地荷重と吸入負圧の相関を利用して、土質の判定を行うこととした。

- ② 積載土量に大きく影響するのは、浚渫ポンプ回転数を制御する設定値、すなわち浚渫ポンプ流量目標値と浚渫ポンプ回転数上下限リミッターの設定である。ついで船速目標値の設定、スエルコン圧力値の設定である。浚渫ファクター自動設定制御では、これら影響力の大きい制御要素に限定した。

#### (5) ファジィ浚渫制御システムのファジィルール、メンバシップ関数の概要

本システムのファジィルール、メンバシップ関数の概要を図-5、図-6に示す。図-5、図-6では2入力1出力のルールをクロスマトリックス表で表記している。またメンバシップ関数の表記はわかりやすいように「小」「やや小」「ふつう」「やや大」「大」という表現を用いた。出力合成の所の「重み」とは、ファジィ推論の合成を行う前に各ルールの適合度に0～1.0の重みをかけるもので、各ルールの重要度に応じて設定するものである。ファジィルール、メンバシップ関数については前報で報告してあるので、ここでは簡単な説明にとどめる。

推進翼角制御ファジィルールは船速一定制御が目標であるので、主に船速、船速差分入力に対する推進翼角差分出力制御とした（図-5上）。さらに推進翼角ファジィルールにはドラグヘッド荷重、荷重差分入力のルールも付加した。これは前述のように船速入力の変化は応答が遅くなるため、応答の早いドラグヘッド荷重入力を加えて制御を早くするためである。

浚渫ポンプ回転数制御ファジィルールは、主に浚渫ポンプ流量、流量差分入力に対する浚渫ポンプ回転数差分出力制御とした（図-5下）。さらに推進翼角制御ファジィルールと同様にドラグヘッド荷重、荷重差分入力のルールを付加し制御を早くした。

ジェットポンプ発停ファジィルールは、吸入負圧入力

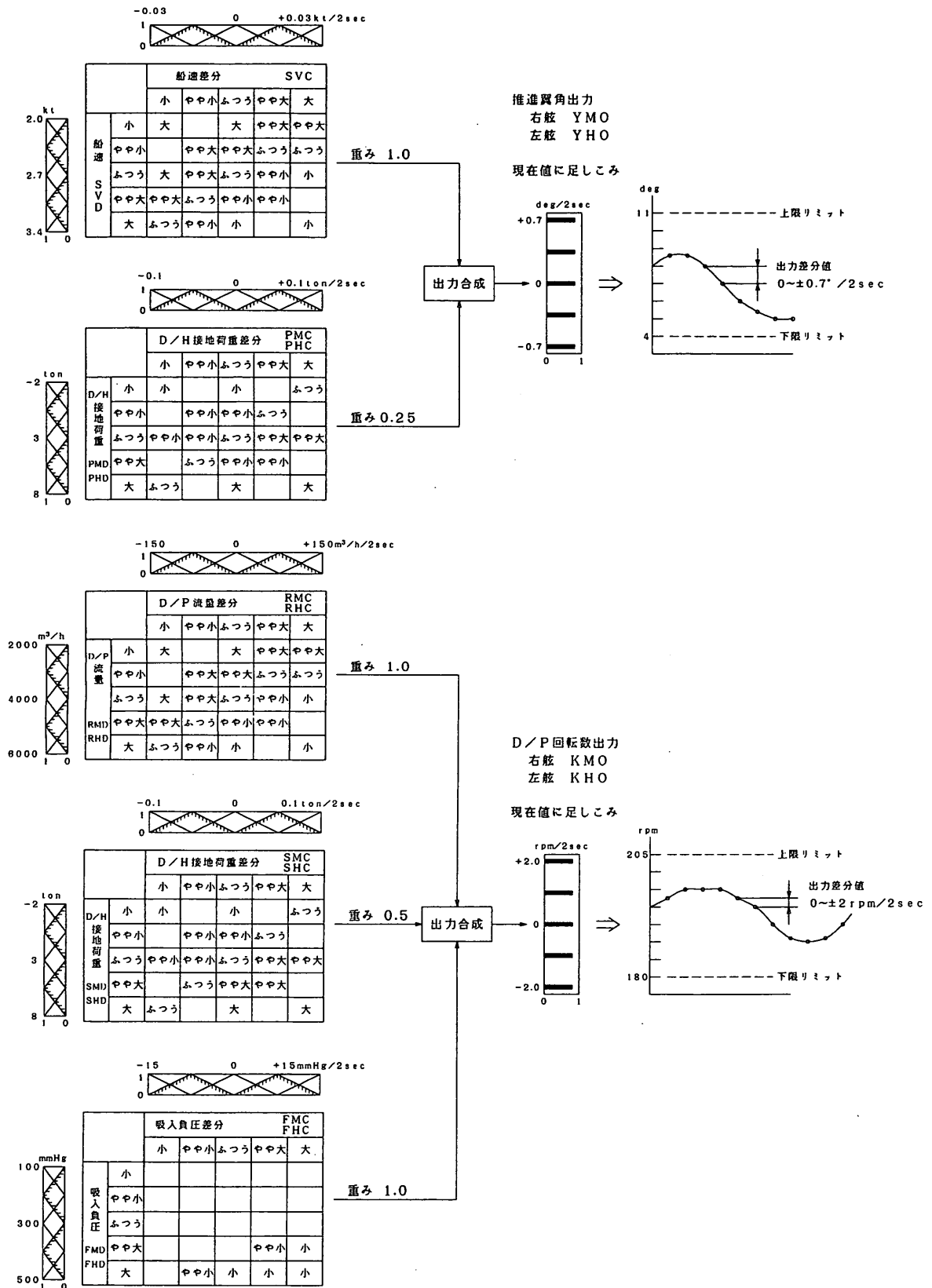


図-5 ファジィ浚渫制御のファジィルール（船速，浚渫ポンプ回転数）

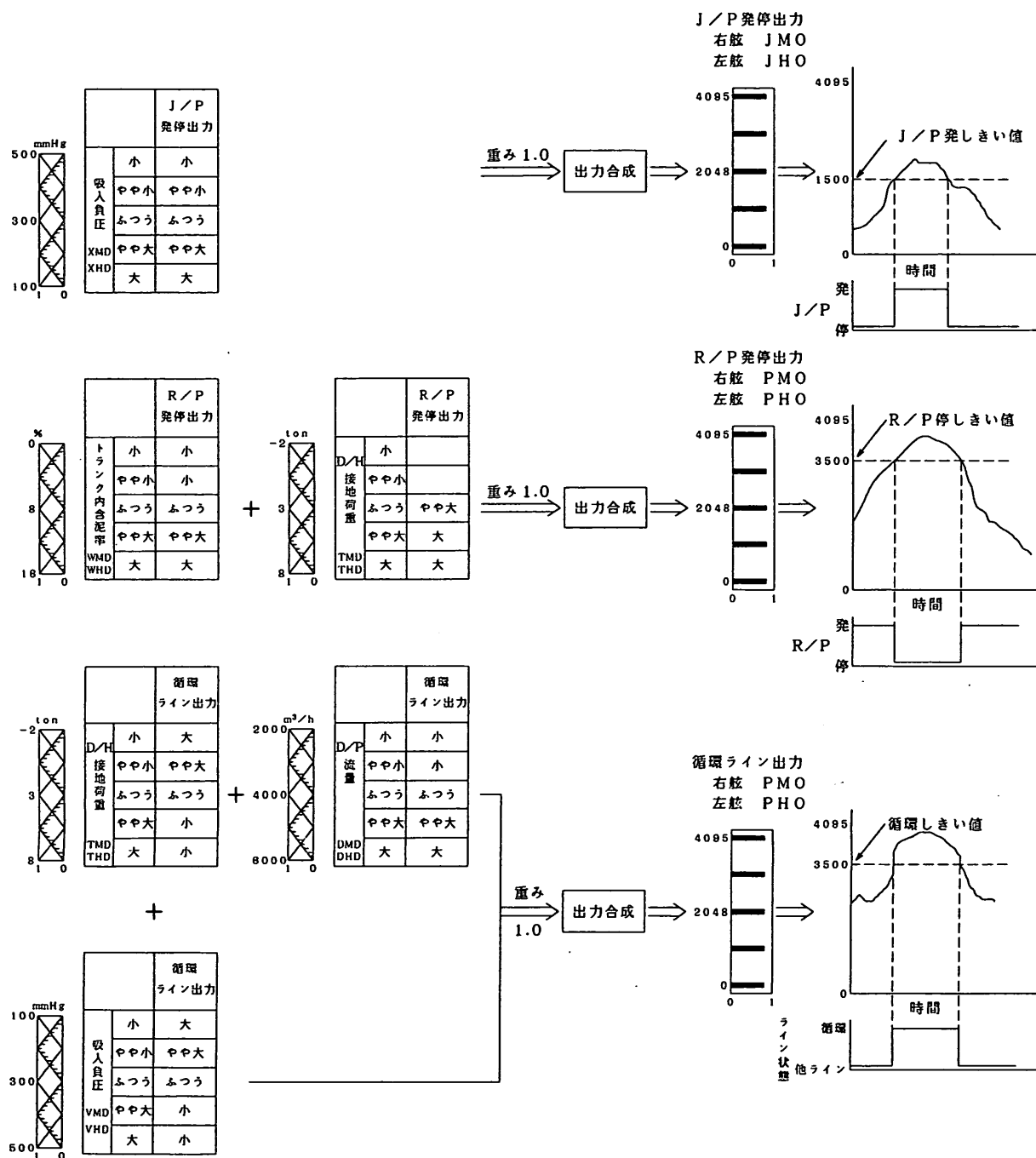


図-6 ファジィ浚渫制御のファジィルール (ジェットポンプ, リサイクルポンプ, 循環)

に対するジェットポンプ発必要度出力 (0~4095) 制御とした (図-6上)。あらかじめ発しきい値 (1500) を設けておき、ジェットポンプ発必要度がしきい値を越えたときにジェットポンプ発指令を出し、ふたたびしきい値

より下がったときにジェットポンプ停指令を出す。

リサイクルポンプ発停ファジィルールは、トランク内  
含泥率、ドラッグヘッド荷重入力に対するリサイクルポン  
プ発必要度出力 (0~4095) 制御とした (図-6中)。あ

らかじめ停しきい値 (3500) を設けておき、リサイクルポンプ停必要度がしきい値を越えたときにリサイクルポンプ停指令を出し、ふたたびしきい値より下がったときにリサイクルポンプ発指令を出す。

循環ラインファジールールは、ドラグヘッド荷重、浚渫ポンプ流量、吸入負圧入力に対する循環ライン発必要度出力 (0~4095) 制御とした (図-6 下)。あらかじめ発しきい値 (3500) を設けておき、循環ライン発必要度がしきい値を越えたときに薄泥水循環指令を出し、ふたたびしきい値より下がったときに薄泥水循環停指令を出す。

なおリサイクル・循環・ジェットライン切換の条件および浚渫ファクター自動設定制御のファジールール、メンバシップ関数については 4. で述べる。

### 3. 実船実験の概要

#### 3.1 概要

第二期のファジィ浚渫制御システム開発として以下の項目に関しファジィ浚渫制御プログラムを作成し、1995年、1996年の2回にわたって実船実験を行った。

- ① 泥水リサイクルおよび薄泥水吸入防止制御
- ② 浚渫ファクター自動設定制御

泥水リサイクルおよび薄泥水吸入防止制御については、従来の自動運転である通常浚渫とファジィ浚渫の各々について、リサイクル運転有/無の計4パターンでの浚渫を順番に実施し、積載土量向上効果や各制御の特性を把握した。また浚渫ファクター自動設定制御については、1995年の実験では動作確認を行うにとどめ、1996年にデータ収録を行った。

それぞれの年度について通常運転、ファジィ運転はそれぞれ100浚渫以上実施し、データ収録は約15分の浚渫作業中2秒のサンプリング間隔で行った。収録はパソコンにより行い、光磁気ディスクに保存した。データ収録項目を表-1に示す。表中含泥率は差圧計により、積載土量は船首、中央、船尾の3カ所の喫水と前部、中央、後部の3カ所の泥倉水位により算出している。ドラグヘッド接地荷重は、ドラグヘッドウインチに荷重計を取付け、その値から演算したものをを用いている。その他の項目は本船に既設のセンサからのデータを用いている。表は項目のみを示しているが、左舷・右舷に装備されているものについては、それぞれについて収録を行っている。

#### 3.2 供試浚渫船

供試浚渫船は第五港湾建設局所属の「清龍丸」である。本船の主要目を表-2に、一般配置図を図-7に示す。

表-1 データ収録項目

番号	項目	番号	項目
1	船速	31	浚渫弁開閉吸入弁
2	船位	32	ジェット泥倉弁
3	推進翼角	33	ジェットアーム弁
4	推進電力	34	コニカル弁開閉半開
5	喫水	35	浚渫開始/終了
6	排水量	36	土捨開始/終了
7	積載土量	37	S/C荷重
8	泥倉水位	38	ファジィ運転推進翼角出力
9	海水比重	39	ファジィ運転D/P回転数出力
10	泥比重	40	ファジィ運転S/C圧力出力
11	潮位	41	ファジィ運転J/P制御出力
12	トリム	42	ファジィバルブコソ状態
13	ヒール	43	ファジィ運転J/P発停出力
14	D/H深度	44	手動,自動,AI運転状態
15	S/C空気圧力	45	R/P発停
16	S/Cストローク	46	R/P吐出圧力
17	D/P流量	47	リサイクルゲートストローク
18	D/P吸入負圧	48	リサイクルバンク含泥率
19	D/P回転数	49	リサイクル薄泥水流量
20	含泥率	50	R/P吐出弁開閉
21	D/H振れ角	51	D/P薄泥水循環弁開閉
22	D/Hウインチ発停	52	リサイクル・ジェット切替弁開閉
23	中間ウインチ発停	53	D/Hリサイクル弁開閉
24	トラニウインチ発停	54	D/Hジェット弁開閉
25	ドラグアーム位置		
26	D/P発停		
27	J/P発停		
28	浚渫弁開閉吐出弁		
29	浚渫弁開閉積込弁		
30	浚渫弁開閉船外弁		

#### 3.3 浚渫条件

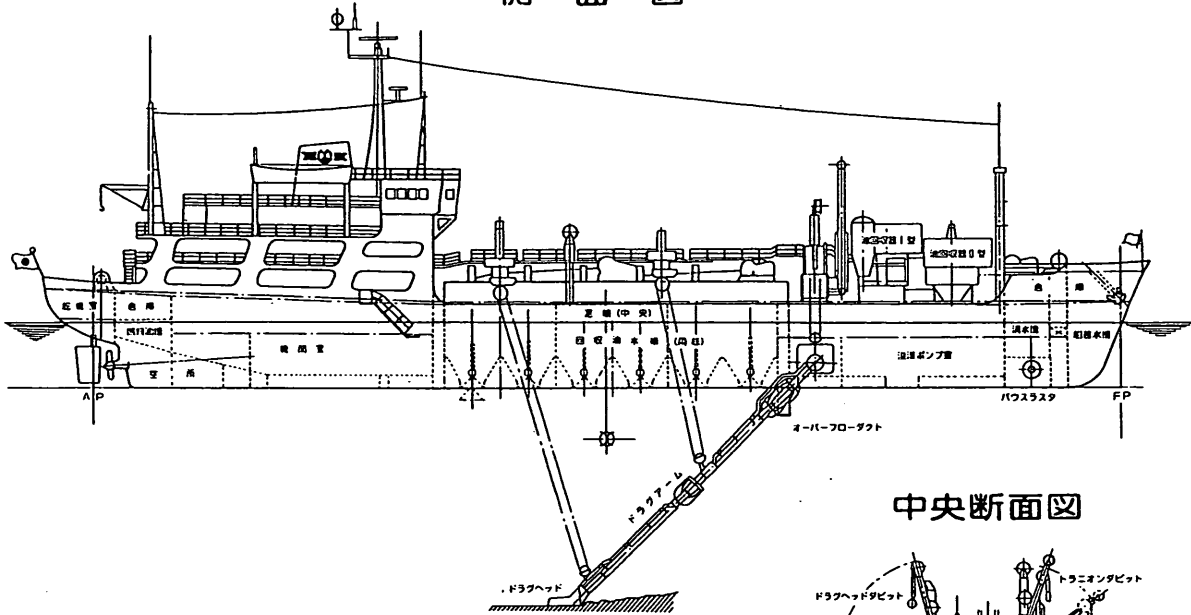
浚渫条件を表-3 (1995年、1996年) に、浚渫区域を図-8に示す。ファジィ運転、通常運転の運転条件を表-4 (1995年)、表-5 (1996年) に示す。

表-2 清龍丸主要目

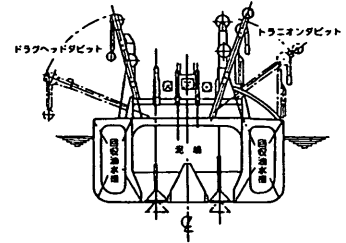
項目	要目
全長	94.9m
垂線間長さ	88.0m
幅 (型)	16.0m
深さ (型)	7.2m
満載吃水	5.6m
総トン数	3256GT
載荷重量	3202t
泥倉	1754㎡
最大浚渫深度	22m
試運転時最大速度	13.3Kt
浚渫時速度	3~4Kt
主機関	3000ps×400rpm×2台
浚渫ポンプ	4100㎡/h×17m×450kW×2台
ドラグアーム	内径620mm, 両舷サイドドラグ式
スウェルコンパネータ	蓄勢油圧式リリクタイプ
バウスラスタ	可変ピッチ7°Dタイプ×300kW×1台
油回収装置	渦流式×2台, 傾斜板式×2台
回収油水槽	1472㎡
リサイクルポンプ	900㎡/h×27m×132kW×2台



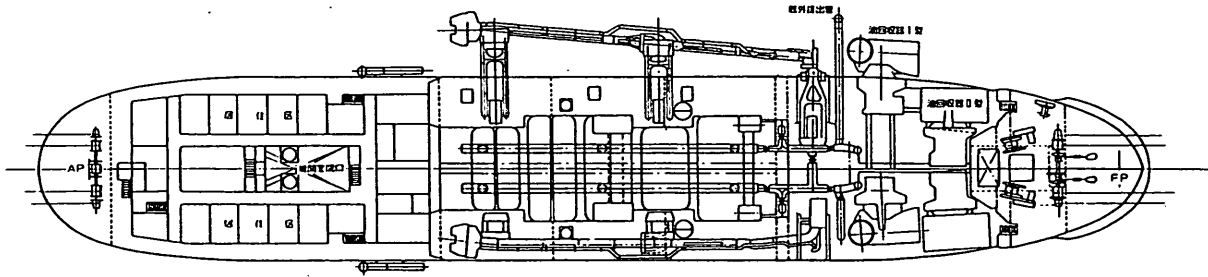
側面図



中央断面図



上甲板図



船艙図

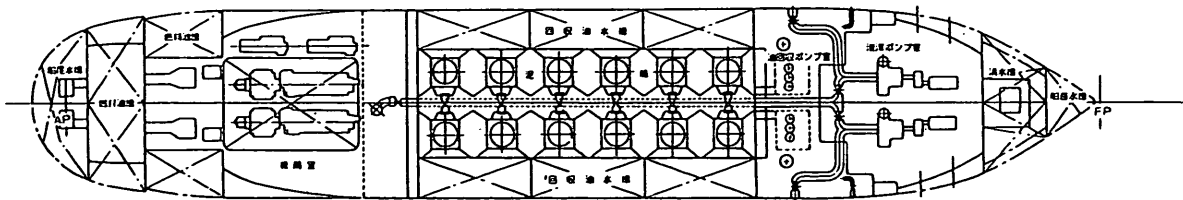


図-7 清龍丸一般配置図

表-3 実船実験時の浚渫条件

4. 泥水リサイクルおよび浚渫ファクター自動設定の概要ならびに実船実験結果

4.1 泥水リサイクルによる積載土量向上効果

(1) 泥水リサイクル運転の概要

泥水リサイクル運転のメカニズムの説明図を図-9に示す。

項目	浚渫条件	
	1995年	1996年
作業内容	名古屋港 西4区泊地 (-14m)	名古屋港 西航路 (-12m)
浚渫深度	-12.8m~-14.3m	-10.4m~-12.8m
土質	シルト質軟泥(一部粘質土)	シルト質軟泥
粒度組成	場所により異なる	約5% 約45% 約50%
ドラッグヘッド窓	全閉	
排水	なし(汚濁防止のため)	

表-4 通常浚渫とファジィ浚渫の運転条件 (1995年)

運転条件	ファジィ浚渫	通常浚渫
船速目標	2.7Kt	船長判断(2~3Kt)
D/P流量目標	D/P流量 4000~4500m <sup>3</sup> /h	D/P回転数 200rpm
S/C圧力目標	11~12Kg/cm <sup>2</sup>	
推進翼角制御	船速目標へファジィ制御	乗組員の手動制御
D/P回転数制御	D/P目標へファジィ制御	自動制御(回転数一定)
S/C圧力制御	S/C圧力目標へ制御	自動制御(S/C圧力目標)
J/P発停制御	ファジィ発停制御	自動制御(浚渫中常時発)
R/P発停制御	ファジィ発停制御(吸泥含泥率&トラク含泥率高でR/P停)	自動制御(トラク含泥率高でR/P停)
R/P、J/P、循環ライン切替制御	ファジィ切替制御 ・開始時循環→J/P(開始水位まで) →R/P(開始水位後) ・薄泥水検知で循環に切替	自動制御 ・開始時循環→ J/P(開始水位まで)→ R/P(開始水位後)

表-5 通常浚渫とファジィ浚渫の運転条件 (1996年)

運転条件	ファジィ浚渫		通常浚渫
	前期実験	後期実験	
船速目標	3.0Kt	浚渫ファクター自動設定制御により	船長判断(約3Kt)
D/P流量目標	D/P流量 4200m <sup>3</sup> /h	自動目標設定	D/P回転数 190rpm
S/C圧力目標	11Kg/cm <sup>2</sup>		11Kg/cm <sup>2</sup>
推進翼角制御	船速目標へファジィ制御		乗組員の手動制御
D/P回転数制御	D/P目標へファジィ制御		自動制御(回転数一定)
S/C圧力制御	S/C圧力目標へ制御		自動制御(S/C圧力目標)
J/P発停制御	ファジィ発停制御		自動制御(浚渫中常時発)
R/P発停制御	ファジィ発停制御(吸泥含泥率&トラク含泥率高でR/P停)		自動制御(トラク含泥率高でR/P停)
R/P、J/P、循環ライン切替制御	ファジィ切替制御 ・開始時循環→J/P(開始水位まで) →R/P(開始水位後) ・薄泥水検知で循環に切替 ・硬土盤の時は、J/Pのみ使用の場合もあり(浚渫ファクター制御)		自動制御 ・開始時循環→ J/P(開始水位まで)→ R/P(開始水位後)

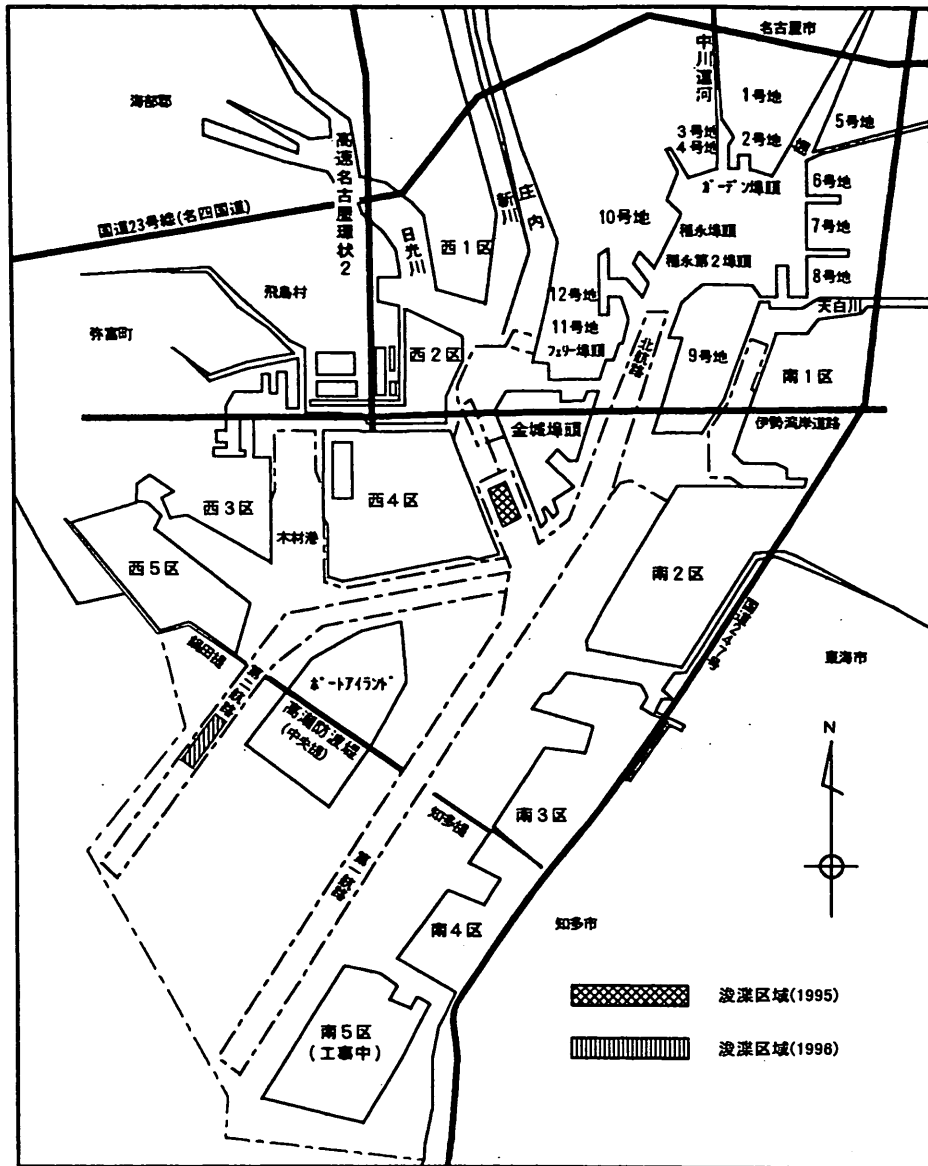


図-8 浚渫区域

a) 泥水リサイクルなし運転 (従来浚渫)

基本的に浚渫ポンプとジェットポンプを併用した運転となっている。ジェット水はドラグヘッド内のジェットノズルから吐出され、高圧力の吐出水で海底泥の掘削効果を狙ったもので、高圧力であるが流量は少ない。

浚渫中堀厚が厚い場合には、ドラグヘッドが海底に埋まり込み、底面開口部からの吸入水が急激に減少し、浚渫管閉塞の危険が生じることがある。この対策としてドラグヘッド後部に窓を3個設け、状況に応じて周囲の海水を補給し閉塞が生じないようにしている。

b) 泥水リサイクル使用運転

基本的に浚渫ポンプとリサイクルポンプを併用した運転を行う。リサイクルポンプはリサイクルトランクと呼

ばれる泥倉の一部を仕切った場所に設置されている。リサイクルトランクは、リサイクルゲートの高さを現在泥倉水位から40cm低い位置を保つように制御し、泥倉の上部薄泥水のみをトランクに積み込むようになっている。

リサイクルポンプはトランク内の薄泥水をリサイクルラインを通してドラグヘッドに送水する。このことによって、泥倉内の薄泥水を海域を汚さずに環流することができ、泥の積込効率を向上させることができる。

また、リサイクルポンプは、泥倉底部の構造上、浚渫開始時の水位(2.1m)より上部に取り付けられている。このため、リサイクルポンプ使用可能となるのは泥倉水位3.5mを超えてからとなる。さらに浚渫開始時等の薄泥水吸引時には、薄泥水をドラグヘッドに循環して泥倉

に積み込まないよう制御している。

リサイクル、ジェット、循環ラインの切換条件を表-6に示す。ここでリサイクルトランク含泥率が高い(約15%)場合は、リサイクルしても土量向上効果が期待できないので、リサイクルポンプは停させる。また浚渫ファクター自動設定制御で、土質が硬く、ジェットポンプの掘削効果があると判定されたときは、リサイクルは使用せずジェットポンプ運転のみとする。

本年度の実船実験では、海面汚濁防止のため泥倉残水を排水する事ができず、泥倉水位4.7mから浚渫開始している。このため浚渫開始時から、リサイクル運転を実施する浚渫となった。

(2) 泥水リサイクルによる積載土量向上効果の理論的検討  
 実船データを解析するに当たって、新たに追設された泥水リサイクルおよび薄泥水循環装置の積載土量向上効果のメカニズムについて理論的に検討し、実験データを

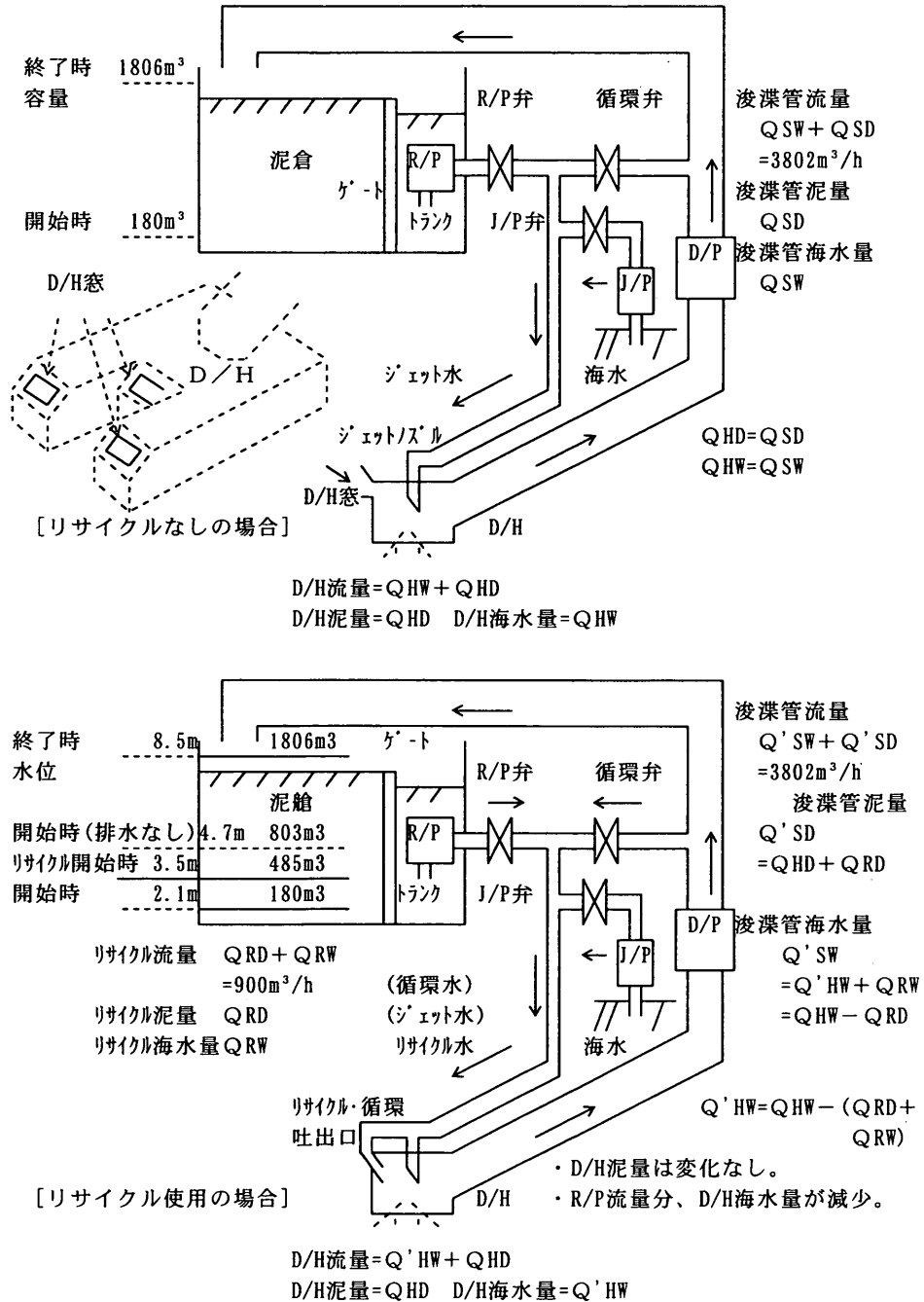
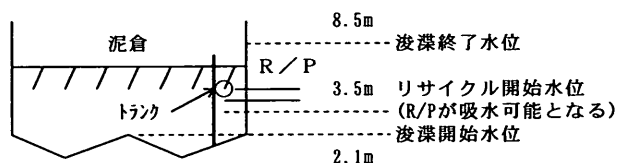


図-9 泥水リサイクル運転のメカニズム説明図

表-6 各ラインの切替条件 (循環, R/P, J/P)

各ライン切替条件		ファジィライン(運転)切替制御	各ライン中ポンプ発停条件	ファジィポンプ発停制御
泥倉水位	モード切替条件	循環運転		
リサイクル開始水位以前	D/P流量 大 吸入負圧 小 (含泥率) D/H接地 小 荷重	循環運転		
	上記条件でない	ジェットポンプ運転	D/P流量 小 吸入負圧 大 D/H接地 荷重 大 上記条件でない	J/P発 J/P停
リサイクル開始水位以後	D/P流量 大 吸入負圧 小 D/H接地 小 荷重	循環運転		
	上記条件でない	リサイクルポンプ運転	下記条件でない トランク内 含泥率 大 D/H接地 荷重 大	R/P発 R/P停



この理論値との比較で解析する。理論的検討を行う場合の基本的な数値は、現在までの「清龍丸」実船実験の結果および1993年度リサイクル装置設計時の値をベースとしている。本数値を表-7に示す。検討の前提としてリサイクル有/無で浚渫ポンプ流量、吸泥含泥率は変わらないと仮定した。各箇所における泥流量、海水流量、リサイクル流量等の関係式を図-9に示す。検討ケースは、以下の4ケースである。

- ①リサイクルなし (従来浚渫)、
- ②リサイクルなし (泥倉残水排水なしで水位4.7mから浚渫開始、本年度実船実験ケース)

表-7 積載土量向上効果理論的検討の前提条件

積載土量	405m <sup>3</sup>
浚渫ポンプ流量	3802m <sup>3</sup> /h
泥倉水位および容量	約2.1m (容量 180m <sup>3</sup> ) 約4.7m (容量 803m <sup>3</sup> ) リサイクル開始時 約3.5m (容量 485m <sup>3</sup> ) 浚渫終了時 約8.5m (容量 1806m <sup>3</sup> )
D/P流量	開始時 約3000m <sup>3</sup> /h (170rpm) 終了時 約4500m <sup>3</sup> /h (200rpm)
循環可能時間	開始時 約15秒 終了時 約11秒
リサイクル流量	900m <sup>3</sup> /h

③リサイクルあり (泥倉残水排水なしで水位4.7mからリサイクル開始、本年度実船実験ケース)

④リサイクルあり (水位3.5mからリサイクル開始、実際のケース)

②③のケースは、本年度実船実験時に海面汚濁防止のため、泥倉残水の排水を行わなかったことから、実船実験との比較のために入れている。検討の結果をまとめると表-8のようになる。

表-8 リサイクル運転の理論的積載土量向上効果

リサイクル種別	[通常ケース]		[本年度ケース]	
	排水ありで水位2.1mから浚渫開始 浚渫時間 (分)	積載土量 (m <sup>3</sup> )	排水なしで水位4.7mから浚渫開始 浚渫時間 (分)	積載土量 (m <sup>3</sup> )
リサイクルなし	12.85	405.0	7.93	241.2
リサイクルあり	15.88	507.2	10.14	315.3
向上効果	23.6%	25.2%	27.9%	30.7%

(3) 実験データにもとづく積載土量向上効果の検討 (1995年)

実船実験は、従来からの通常浚渫とファジィ浚渫についてそれぞれリサイクル・循環運転の有/無の4パターンの浚渫をほぼ順番に行い、浚渫中のデータ収録を実施した。

a) 理論値との比較

リサイクル、循環運転の土量向上率を実船実験と理論計算の比較でまとめた結果を表-9に示す。今回の実験では泥倉残水の排水が出来なかったため、比較のための理論値は排水なしで泥倉水位4.7mから浚渫開始しすべてリサイクルした場合を適用した。全浚渫でリサイクル、循環運転の土量向上効果が35.5%となった。理論的向上効果31.3%に比べて実験値が若干大きくなっている。

次に、前項で行った理論的向上効果の検討値と実験結果を各要因ごとに比較してみる。比較結果を表-10に示す。リサイクルポンプ流量は計画の900m<sup>3</sup>/hに対して919m<sup>3</sup>/hとほぼ計画通りであった。

表-9 リサイクル、循環運転の土量向上効果

浚渫種別	リサイクルなし		リサイクルあり		向上効果	
	浚渫回数(回)	積載土量(m <sup>3</sup> )	浚渫回数(回)	積載土量(m <sup>3</sup> )	実験値(%)	理論値(%)
ファジィ浚渫	51	223.16	56	297.07	33.1	31.3
通常浚渫	53	237.61	66	325.26	36.9	
浚渫全体	104	230.53	122	312.32	35.5	

向上効果理論値はリサイクル分30.7%と循環分0.57%を加えた数値

表一10 積載土量向上効果に関係する理論的検討値と実験値の比較

データ名		理論値	実験値
積載土量向上効果(%)		31.3	35.5
泥倉水位 (m)	浚渫開始時	4.7	4.7
	浚渫終了時	8.5	8.6
D/P流量 (m³/h)	リサイクル無	3802	4045
	リサイクル有	3802	3887
吸泥含泥率 (%)	リサイクル無	26.4	24.9
	リサイクル有	26.4	24.3
循環時D/P 流量(m³/h)	浚渫開始時	3000	3250
	浚渫終了時	4500	4750
リサイクル流量(m³/h)		900	919
循環流量 (m³/h)	浚渫開始時	594	300
	浚渫終了時	621	---
循環制御可 能時間(秒)	浚渫開始時	15	25
	浚渫終了時	11	--
弁切替時間(秒)		10	30
薄泥水時間 (秒)	浚渫開始時	22	22
	浚渫終了時	21	21

弁切替時間は約30秒と長くなった。これは、同時開閉の弁がある時に制御油圧が低下するためと考えられる。このため、浚渫終了時の循環運転は弁切替時間がかかり効果が出ないので行わないようにした。

また、循環ラインの泥詰まり保護のため浚渫ポンプ吐出管から循環ラインへの分岐管入り口にストレーナーを追設した。循環流量が理論値より低下しているのはストレーナーにより圧力損失が増加したためと考えられる。

本実験中の土質は軟泥ではあるが、一部掘れない山ができるほど粘性の高いところもあった。このような粘質土の場合は、浚渫ポンプ閉塞保護動作（ドラッグヘッドウインチ上げ、浚渫ポンプ回転数下げ）が頻繁に発生し、その結果積載土量が減少する。また浚渫区域が短く、回頭の多い浚渫（一浚渫中の回頭回数リサイクル無運転で0.54回、リサイクル有で0.93回）となっている。このため回頭後浚渫再開時の循環→リサイクル切り替え時間のロスが生じ、これも積載土量を減少させる。

このように本年度実験は本年度固有の条件があり、理論的検討値と実船実験値の前提条件にいくらかの違いがある。しかし浚渫ポンプ流量、吸泥含泥率については、リサイクル有/無の実験値と理論値で違いはいずれも3%という少ないものであり、理論的検討において最も重要な前提条件である、リサイクル有/無で浚渫ポンプ流量、吸泥含泥率は変わらないと言う仮定は妥当であったと考えられる。またリサイクル流量対浚渫ポンプ流量比率（環流率）も、理論的検討値  $900/3802=23.7\%$  に対して実験値  $919/3887=23.4\%$  とほぼ同じであった。

このことから、実船実験におけるリサイクル運転の積載土量の向上は、大部分が理論的メカニズムによるものであり、この結果全体として35.5%の土量向上効果となったと考えられる。

#### b) ファジィ浚渫による積載土量向上効果

ファジィ浚渫の通常浚渫に対する土量向上率をまとめた結果を表一11に示す。全浚渫でファジィ運転の土量は、通常浚渫に比べて-8.5%と低くなっている。

表一11 ファジィ浚渫の通常浚渫に対する土量向上効果 (1995年)

リサイクル種別	通常浚渫		ファジィ浚渫		ファジィ/通常増加率 (%)
	浚渫回数(回)	積載土量(m³)	浚渫回数(回)	積載土量(m³)	
リサイクルなし	53	237.61	51	223.16	-6.1
リサイクルあり	66	325.26	56	297.07	-8.7
浚渫全体	119	286.22	117	261.84	-8.5

本年度はリサイクルのファジィ制御は初めてであり、浚渫ファクターの設定は、浚渫特性を探るため、制御範囲が広めになるようにとった。このため、浚渫ポンプ回転数下限は通常浚渫に比べて低めとなった。本年度の浚渫区域は粘質土のところが多く、浚渫ポンプ回転数が低くなると、ドラッグヘッドの吸泥能力が落ち、積載土量が低下したことが最も大きな原因と考えられる。

またスエールコン圧力が約11kgf/cm²と低めであり、ドラッグヘッド接地荷重も常時大きめであった。このような浚渫の場合は、ファジィ推論において浚渫ポンプ回転数制御でドラッグヘッド接地荷重ルールの効きが大きくなり、浚渫ポンプ流量ルールに対する応答が悪くなる。両者のバランスを再検討することが必要である。

船速制御については、入力データフィルターを改良した結果、以前より安定した操船性能となった。しかし、本年度の浚渫は接地が強く、推進翼角を最大値としても船速が1kt程度と低くなる場合もあった。ドラッグヘッド接地荷重が大きい範囲において積載土量が低下したのは、船速が遅かったため、ドラッグヘッド吸泥量が減少したことも要因の一つであると考えられる。今後は、推進翼角を最大値としても船速が1.5kt以下になるような場合は、ドラッグヘッド下げ量を通常の30cmより小さめにし接地抵抗を少なくする等の工夫が必要と考えられる。

## 4.2 浚渫ファクター自動設定制御の効果

### (1) 浚渫ファクター自動設定制御の概要

ファジィ浚渫制御プログラムは前報の実船実験で7%

程度の積載土量の向上効果があった。しかしこの効果は、実験時の土質等の浚渫状態に合わせて、浚渫ファクターを手作業で調整した結果である。浚渫状態が変わると、この向上効果が出なくなることがある。このため、ファジィ浚渫制御プログラムを長期間安定して使用するには、目標値等の浚渫ファクターを土質等の浚渫状態に応じて最適化することが求められる。浚渫ファクター自動設定制御プログラムは、この浚渫状態の違いを認識し、自動的に浚渫ファクターを最適化するものである。

前述「2.2(4)浚渫特性モデル」にあるように、土厚要因はドラッグヘッド接地荷重で代表させ、これに応じた目標値等の設定を行う。土質要因は直接にはセンシングできないので、ドラッグヘッド接地荷重と吸入負圧の相関を利用して、土質の判定を行うこととした。自動設定制御の要素としては、浚渫ポンプ流量目標値、浚渫ポンプ回転数上下限リミッター、船速目標値、スェルコン圧力値等の積載土量に大きく影響する要素に限定した。

浚渫ファクター自動設定制御プログラムは制御機能ごとに以下のようなサブプログラムに分かれる(CPU5、CPU6の2台。図-2参照)。

- ・浚渫データ収録、再生プログラム (CPU5)
- ・浚渫データ統計解析プログラム (CPU5)
- ・浚渫ファクター自動設定プログラム (CPU6)
- ・浚渫ファクター設定学習プログラム (CPU6)

CPU5において約110項目の浚渫データを2秒のサンプリング間隔ごとにデータ収録する。収録データはCPU5に接続されている光磁気ディスクに収録する。浚渫終了時に収録データの統計処理を行う。統計処理は、一浚渫中の各データの平均値、標準偏差、機器動作時間等を算出する。この統計処理データがその浚渫の状況を表す基本データとなる。

統計処理データはLANでCPU6に転送される。CPU6では統計処理データを使用して一浚渫、一層、一工区の区分に応じて、浚渫傾向、浚渫特徴を抽出する。一浚渫、一層、一工区の説明図を図-10に示す。

浚渫傾向とは、一層中(同一設定深度)で浚渫ごとに土厚が減少してゆく傾向をとらえたものである。この傾向を入力とし、ファジィ推論によって主に土厚に応じた浚渫ファクターの自動設定を行う。土厚要因の代表値としてドラッグヘッド接地荷重データを使用し、浚渫ごとのドラッグヘッド接地荷重の変化をもとに、浚渫ポンプ回転数、船速、スェルコン圧力に関する知見に従って目標値等を変化させることとする。

また浚渫特徴とは、浚渫中の層の土質等の特徴を表す。浚渫特徴は主に工区、浚渫深度によって変化する。この

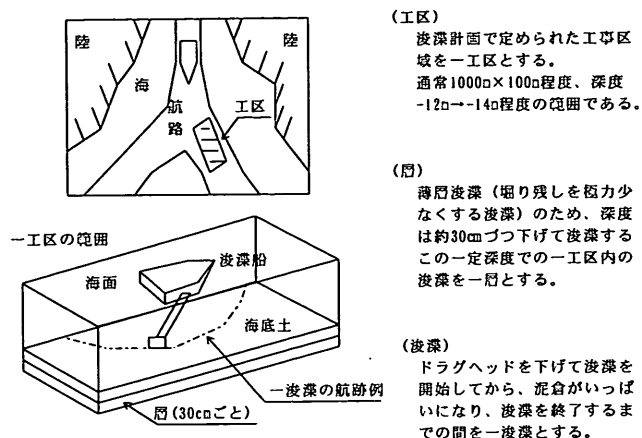


図-10 一工区、一層、一浚渫の説明図

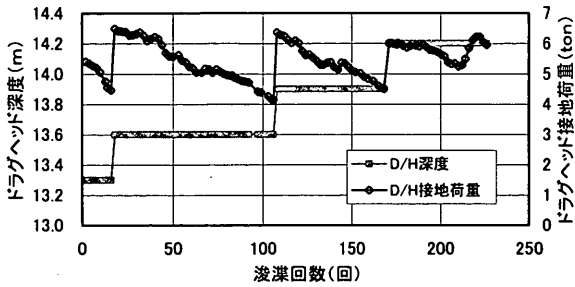
ため、該当層の特徴を過去の他層の特徴と比較して積載土量の向上要因を学習する。土質要因として吸入負圧とドラッグヘッド接地荷重の相関関係を使用し、このデータをもとに、過去の工事区域各層のデータと比較し、土質が同程度と判断した工事区域・層のうち、積載土量の良かったデータの目標値に置き換えるプログラムを作成した。

図-11に浚渫ファクター自動設定の概念説明図を、図-12に浚渫ファクター設定学習の概念説明図を示す。また浚渫ファクター自動設定および設定学習の制御概要を図-13に示す。

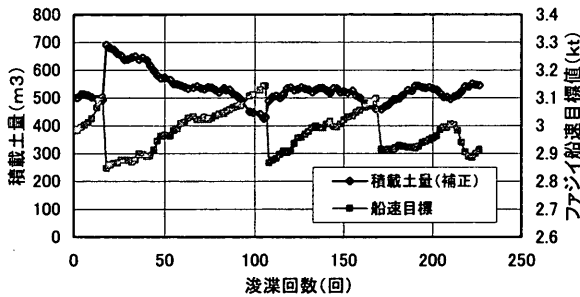
## (2) 浚渫ファクター自動設定のファジィルール

浚渫ファクター自動設定制御のファジィルールは、乗組員に対するアンケート・ヒアリングの結果を基にして作成した。前述「2.2(3)清龍丸の浚渫特性」における知見で、土厚、土質等の変化に対応する運転調整の方法に関するものを再度整理して以下に示す。

- ・船速は接地が強い(土厚が厚い)時はやや遅く、接地が弱い(土厚が薄い)時はやや早くして、ドラッグヘッド掘削土量を一定に近づけた方が土量が向上する。
- ・船速は吸入負圧が高い時は浚渫ポンプ保護のため、ドラッグヘッド掘削土量を小さくするように下げることが望ましい。
- ・浚渫ポンプ流量目標は接地が強いほど大きく、接地が弱いほど小さくする。
- ・スェルコン圧力は接地が強いほど大きく、接地が弱いほど小さくする。
- ・浚渫ポンプ回転数は接地が強いほど大きく、接地が弱いほど小さくする
- ・船速目標は吸入負圧が高い時は低い値に設定する。
- ・浚渫ポンプ流量目標は吸入負圧が高い時は低い値に設



ドラッグヘッド深度を30cm下げてから、積載の浚渫回数ごとにドラッグヘッドの接地荷重が減少(浚渫土厚が減少)している傾向がわかる。



上記の浚渫土厚が変化すると積載土量もほぼ比例して低下する。この「荒堀」「仕上げ堀」の違いを認識し、各状態に適した目標値(船速、D/P流量、S/C圧力)の設定を、これまでまとめた知見をもとに行う。

図-11 浚渫ファクター自動設定の概念説明図

定する。

- スェルコン圧力は吸入負圧が高い時は大きい値に設定する。

またジェット、リサイクル、循環制御に関する知見は以下のようなものである。

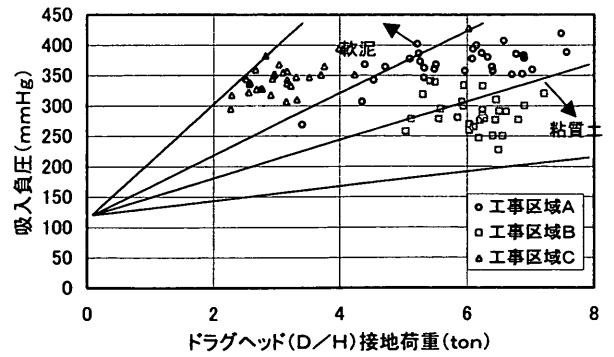
- ジェットポンプは接地が強い時は閉塞の危険性が高くなるので、頻繁に使用する必要がある。
- リサイクルポンプは接地が弱い時は泥倉に入る土砂水が薄くなるので、その間十分使用する必要がある。
- 循環運転は接地が弱い時は薄泥水になりやすいので、その間十分使用する必要がある。

これらの概要を図-14に示す。またこれらの知見をもとにして作成した浚渫ファクター自動設定のファジィルール等の概要を図-15に示す。

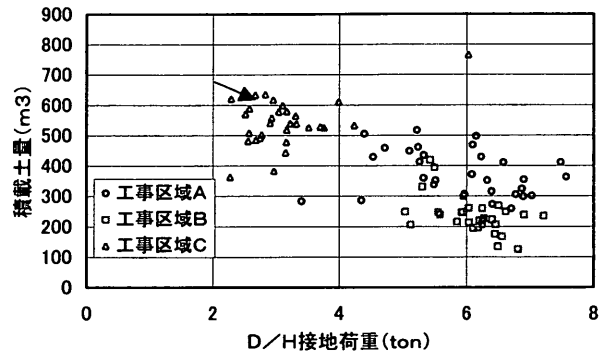
### (3) 浚渫ファクター自動設定制御の制御結果

#### a) 浚渫ポンプ流量目標値の設定および浚渫ポンプ回転数上下限値の設定

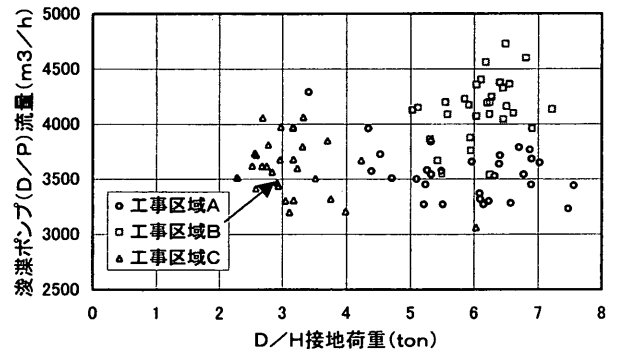
浚渫ポンプ流量目標値の設定および制御結果を図-16に、浚渫ポンプ回転数の上下限値の設定および制御結果を図-17に示す。両図とも、浚渫傾向の代表データとして、ドラッグヘッド接地荷重の実測値とドラッグヘッド接



吸入負圧の傾きと、D/H接地荷重値で土質分類。図の口点では、接地荷重1ton当たり(300-150)/6.5=23の傾きで接地荷重6tonエリア。すなわち、強く接地しても掘れないほどの粘質土エリア。図の△点は逆に、弱い接地で土量があがる軟泥エリア。



上記のエリアごとに、積載土量の良かったデータを選択する。これは、土質条件がほぼ同じ浚渫データの比較となる。



上記のエリアごとに、積載土量が良かったデータの各制御値(船速、D/P流量、S/C圧力)を集め平均をとる。この制御値をもとに、次回からの浚渫のファジィ制御目標値を設定する。(学習)

図-12 浚渫ファクター設定学習の概念説明図

地荷重フィルターデータを併記した。フィルターデータとは、浚渫ごとに変動のあるデータを移動平均処理して長期的な変化傾向を把握するようにしたものである。

図から、ファジィ浚渫における浚渫ポンプ流量目標は4100~4200m³/hの範囲で、浚渫回ごとに変化しながら設定されたことが分かる。この目標値は、リサイクル運転であり回転数を下げない方が土量向上効果があることにもとづき、従来よりも高めに設定した。



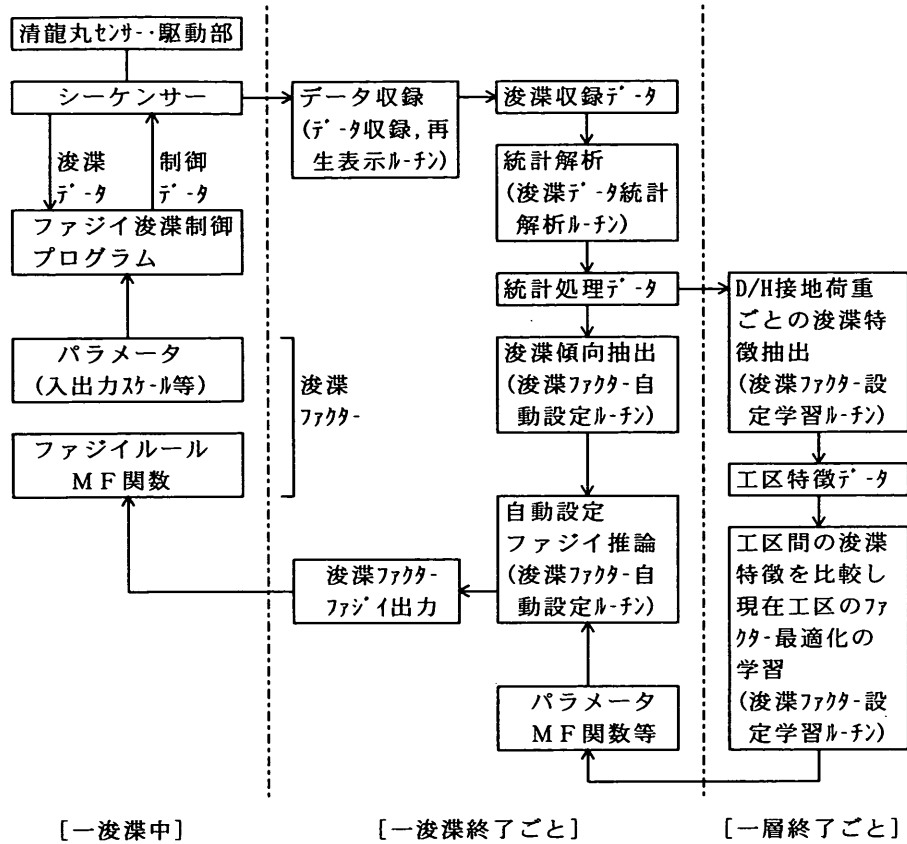


図-13 浚渫ファクター自動設定および設定学習制御の概要

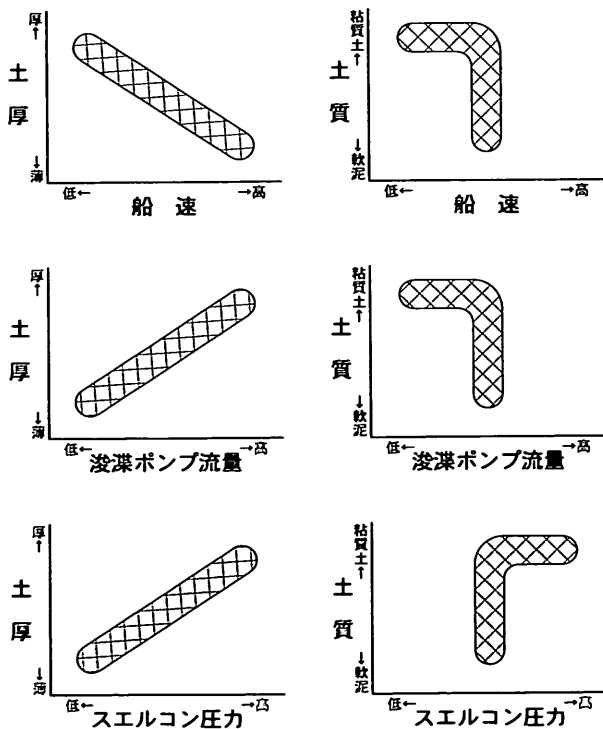


図-14 乗組員の浚渫オペレーションノウハウ概念図

浚渫ポンプ流量目標値は、流量が目標値以下ならば浚渫ポンプ回転数を上げて流量を増加させ、目標値以上ならば浚渫ポンプ回転数を下げて流量を減少させるというものである。接地が弱い時には吸入含泥率が低くなるため、浚渫ポンプ流量-含泥率の関係にしたがって浚渫ポンプ流量は5000m<sup>3</sup>/h程度まで急激に増加する。この場合ファジィ浚渫では、4200m<sup>3</sup>/hを超えた流量は回転数を下げておさえられ、余分な水を極力吸わないようにする。

また接地が強い時は吸入含泥率が高くなるため、浚渫ポンプ流量-含泥率の関係にしたがって浚渫ポンプ流量は4000m<sup>3</sup>/h程度を超えない低めの範囲になる。このため浚渫ポンプ回転数を上げる方向の制御となり、浚渫ポンプ回転数上限値付近での吸泥力の高い浚渫となる。

いずれの場合も浚渫ポンプ流量は、海底状態によって決まる浚渫土厚に依存するので、浚渫ポンプ回転数制御のみによる完全なフィードバック制御とはならず、流量が安定しない場合が多い。このため浚渫ポンプ回転数出力には、上限値、下限値を設定した。浚渫ポンプ回転数下限値は土厚が厚めの浚渫では高くなるようにし、吸泥力の保持に努めた。

また図-17では接地が強い時に浚渫ポンプ回転数が

(ファジィ入力)

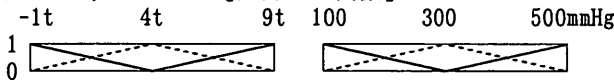
入力パル	入力データ	中央値	幅	単位	備考
IN4	D/H接地荷重	4	5	ton	
IN4 1	相関1	300	200	mmHg	D/H荷重1t時の負圧

(ファジィ出力)

出力パル	出力データ	中央値	幅	単位	フィルター値	備考
OUT 1	船速目標	3	0.5	Kt	0.3	
OUT 2	D/P流量目標	3900	500	m <sup>3</sup> /h	0.3	
OUT 3	S/C圧力目標	11.5	1	Kg/cm <sup>2</sup>	0.3	
OUT 4	J/P発しきい値	2500	1000	Bin	0.3	
OUT 5	R/P停しきい値	3500	1000	Bin	0.3	
OUT 6	循環しきい値	3500	1000	Bin	0.3	
OUT 7	D/P回転数上限	200	5	rpm	0.3	
OUT 8	D/P回転数下限	180	5	rpm	0.3	

(ファジィルール)

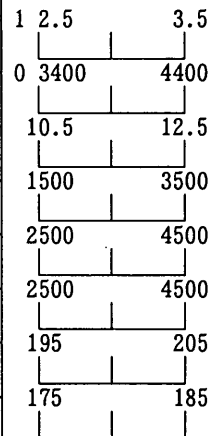
[入力MF関数]



[出力MF関数]

入力 \ 出力	IN 4			IN 4 1		
	NL	ZR	PL	NL	ZR	PL
OUT 1	PL	ZR	NL			NL
OUT 2	NL	ZR	PL			NL
OUT 3	NL	ZR	PL			PL
OUT 4	ZR	ZR	NL			NL
OUT 5	PL	ZR	ZR			PL
OUT 6	NL	ZR	ZR			NL
OUT 7	NL	ZR	PL			NL
OUT 8	ZR	ZR	PL			ZR

NL ZR PL



・上記の表は、IF IN4=NL THEN OUT1=PL というようなファジィルール関係を表す。

NL : とても小  
ZR : 普通  
PL : とても大

図-15 浚渫ファクター自動設定のファジィルール等の概要

下がっている傾向が見られる。これは浚渫ポンプ閉塞保護のため浚渫ポンプ回転数下げ動作が働いたためである。図-18に閉塞保護浚渫ポンプ回転数下げ時間の図を示す。浚渫が進み接地が弱くなっていくにしたがって、浚渫ポンプ回転数下げ時間が減少していくのがわかる。

図-19に積載土量の図を示す。図-18と図-19を比較してみると、ドラッグヘッド接地が強く保護動作が頻繁に働く接地状態では、上記の理由でファジィ浚渫の土量向上は少なく、接地が中位から弱い範囲(5ton以下)で向上効果が多くなっていることがわかる。

b) 船速目標値の設定

図-20に船速目標値の設定結果を示す。図から船速目標値は、接地が弱いときは船速は早めにし、ドラッグヘ

ッド通過土量を増やしたほうが土量向上効果があるという知見にもとづき、2.8~3.2ktの範囲で設定されていることがわかる。またファジィ浚渫の船速制御結果も、ほぼ目標通りとなった。

c) スエルコン圧力目標値の設定

図-21にスエルコン圧力目標値の設定結果を示す。スエルコン圧力は11kgf/cm<sup>2</sup>付近で接地が弱い時はやや低めで、接地が強いときは閉塞保護のためやや高めに設定するという知見にもとづき、11.4~12.0kgf/cm<sup>2</sup>の範囲で設定されている。制御結果は0.5kgf/cm<sup>2</sup>ほど低めであったが、これはスエルコン圧力設定動作にオフセットがあるため、全体としては目標値に応じて変化している。

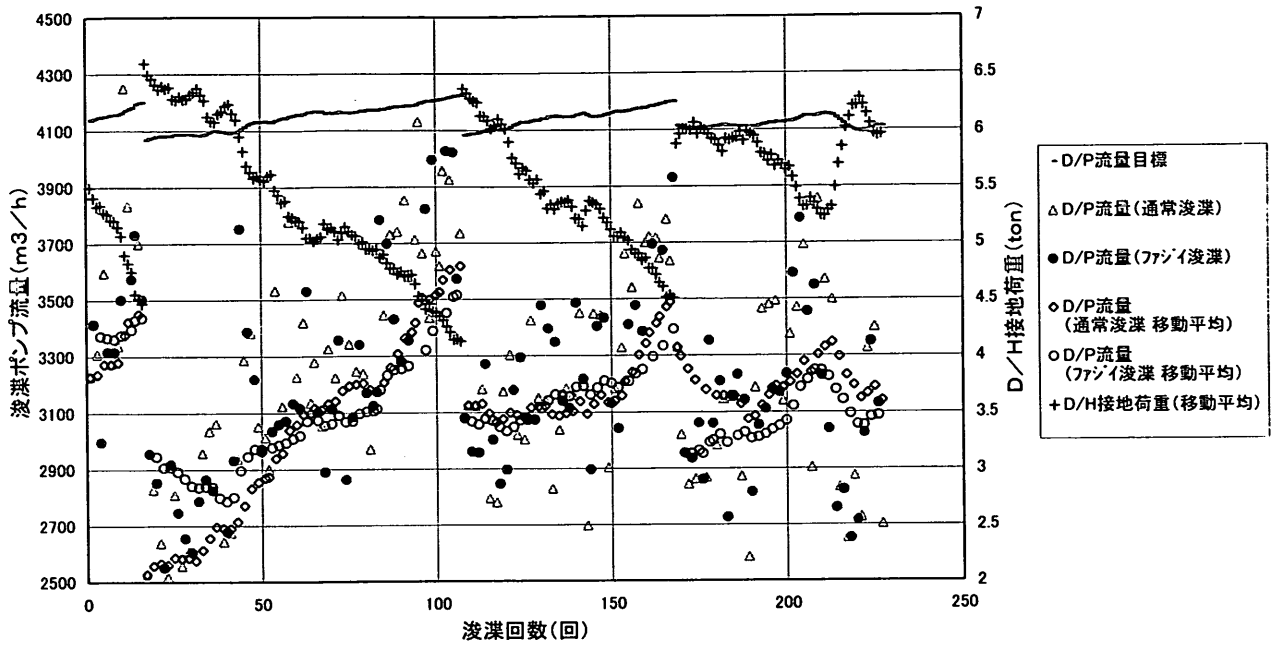


図-16 浚渫ポンプ流量目標値の設定および制御結果

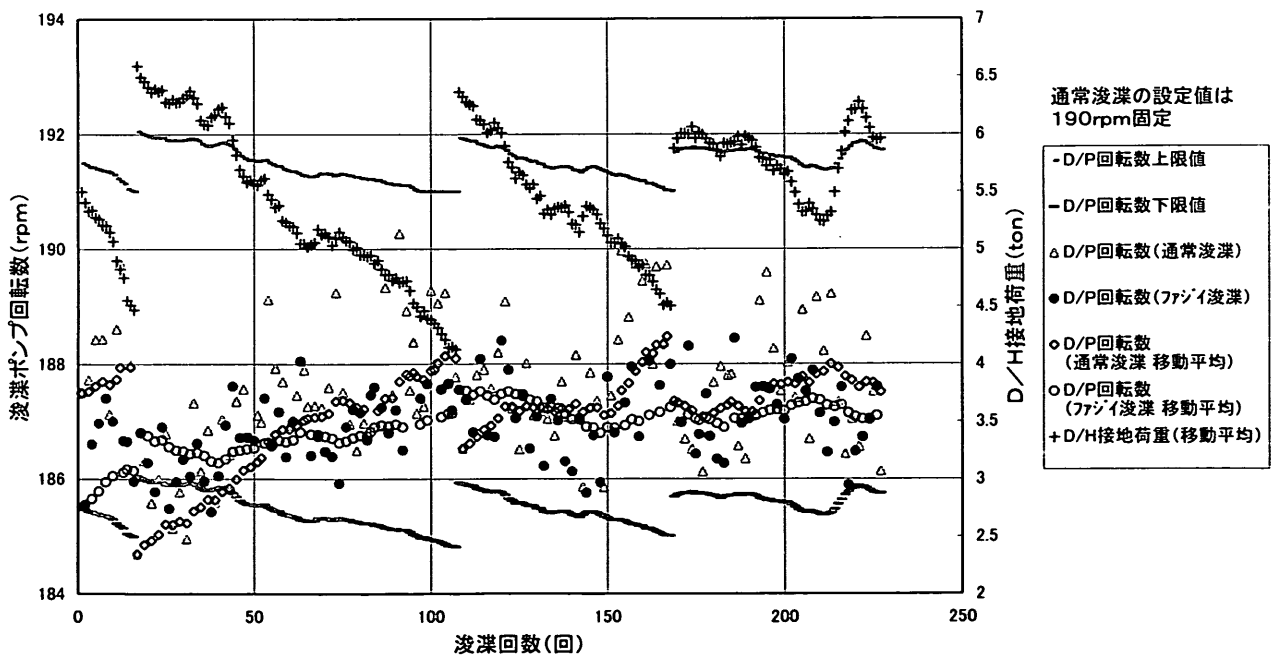


図-17 浚渫ポンプ回転数の上下限値の設定および制御結果

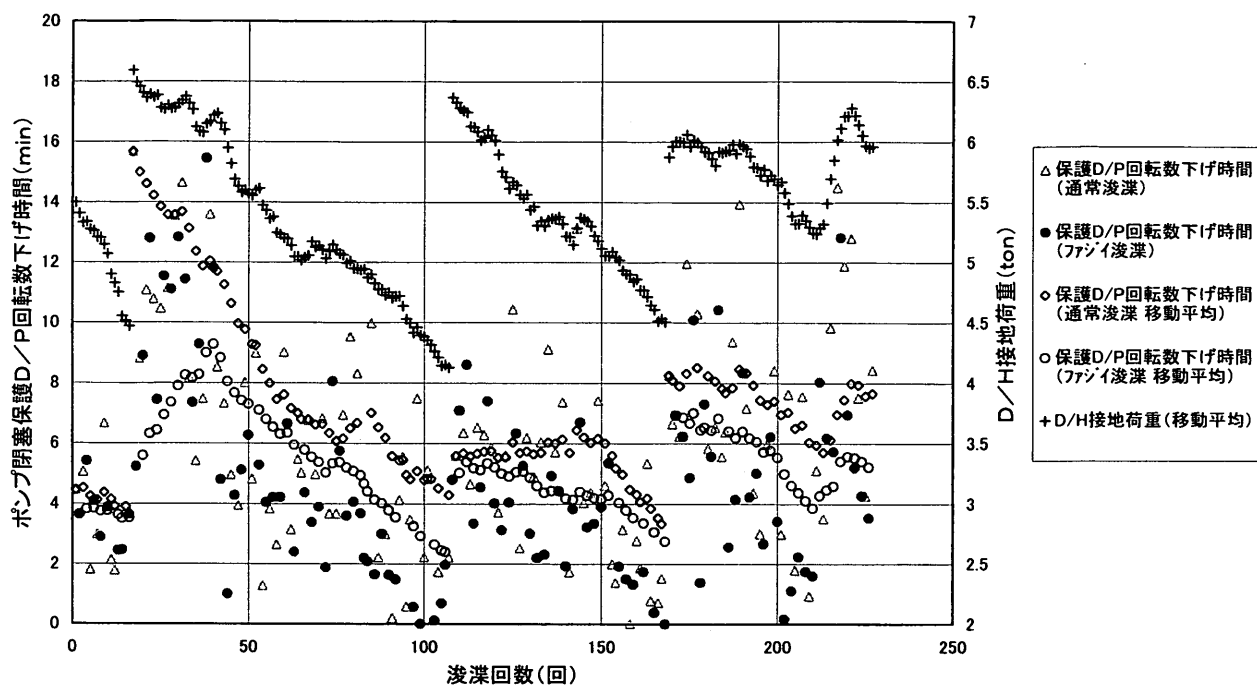


図-18 閉塞保護浚渫ポンプ回転数下げ時間

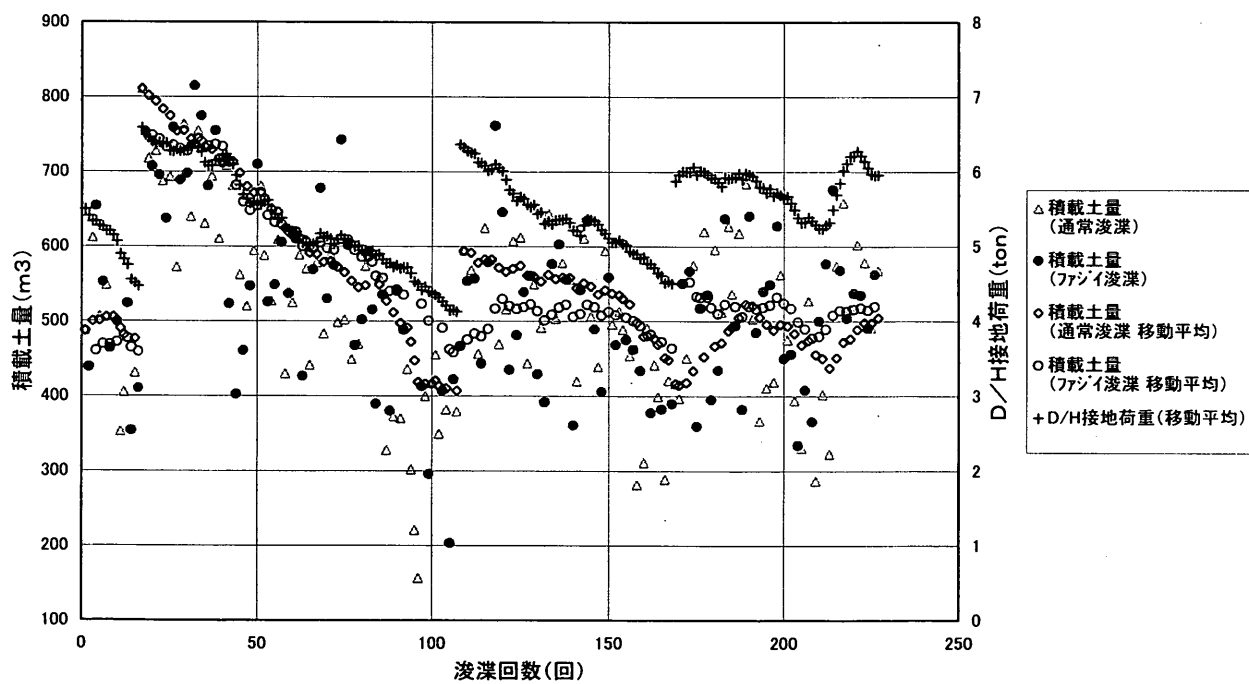


図-19 浚渫回数ごとの積載土量

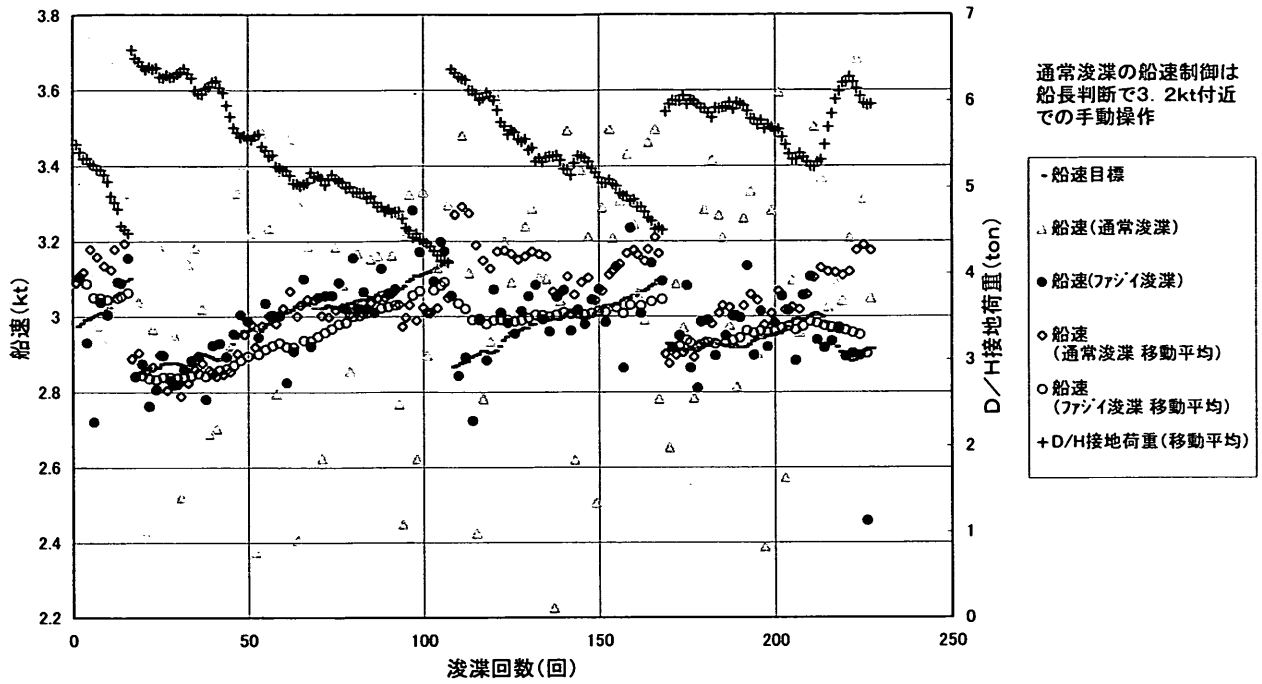


図-20 船速目標値の設定および制御結果

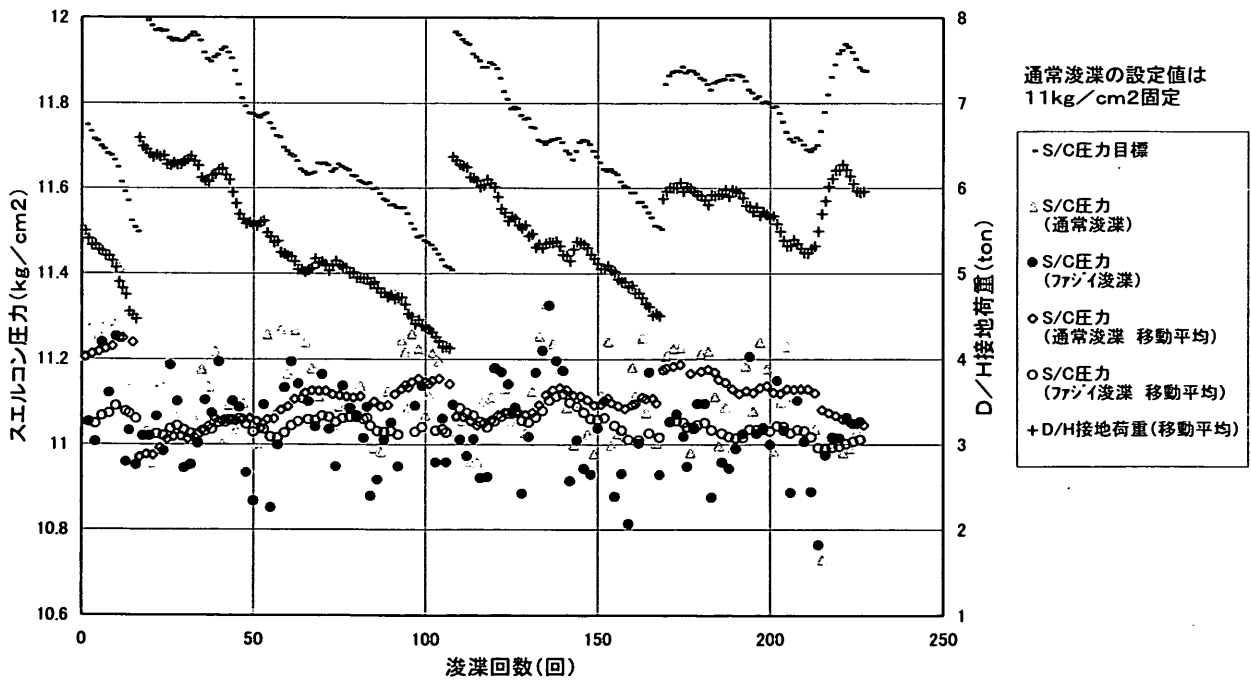


図-21 スェルコン圧力目標値の設定および制御結果

(4) 実験データにもとづく浚渫ファクター自動設定制御の効果の検討 (1996年)

実船実験は前期、後期の2回に分けて実施した。前年度の実験結果から泥水リサイクルの効果は明らかなので、今年度はすべてリサイクル有の運転について、従来からの通常浚渫とファジィ浚渫をほぼ交互に行い、浚渫中のデータを収録した。前期実験では浚渫ファクターを手動で設定し、後期実験では浚渫ファクター自動設定プログラムにより自動的に目標値等を設定した。

a) ドラグヘッド接地荷重区分ごとの実験結果比較

最も海底の状態(主に浚渫土厚)を良く表している接地荷重区分ごとのデータを使って通常浚渫とファジィ浚渫の比較解析を行う。図-22から図-31にドラッグヘッド接地荷重区分ごとの各浚渫データの関係を示す。

図-23から、ドラッグヘッド接地荷重区分ごとの積載土量は、接地荷重4tonまではドラッグヘッド接地荷重と比例関係があることがわかる。これはほぼ土厚に比例したものと考えられる。接地が4tonを越えるとドラッグヘッド接地荷重の増加に対する積載土量増加率が減少している。これは前述のように、吸入負圧が増加し閉塞保護動作が働いたためと考えられる。図-30の閉塞保護浚渫ポンプ回転数下げ時間のグラフからも、接地4tonあたりから急激に保護時間が増加していることがわかる。

また図-23から、積載土量は広い接地荷重範囲にわたっておおむねファジィ浚渫が通常浚渫を上回っており、ファジィ制御による向上効果が表われている。

浚渫の段階は、前期は「仕上げ堀」であり後期は「荒堀」であった。この浚渫方法の違いにより、図-22に示すようにドラッグヘッド接地荷重分布が前期と後期で異なってくるが、両者で向上効果がほぼ同程度に維持できたのは、浚渫ファクター自動設定によりの確な目標値設定ができたためと考えられる。

図-24に接地荷重ごとの浚渫ポンプ回転数を示す。通常浚渫では前期200rpm、後期190rpmの一定値制御であった。接地が大きい範囲では、閉塞保護浚渫ポンプ回転数下げ動作が入り、浚渫ポンプ回転数が低下している。ファジィ浚渫では、通常浚渫より4rpm程度低い範囲までの可変制御であったことがわかる。この制御が図-25に示すように浚渫ポンプ流量を低下させ余分な水を吸わないようにし、結果として図-31に示すように浚渫時間を増加させ、積載土量を向上させたものと考えられる。

図-26に接地荷重と含泥率の関係を、図-27に接地荷重と吸入負圧の関係を示す。含泥率についてもファジィ浚渫は通常浚渫より低くならなかったことがわかる。

吸入負圧については、浚渫ポンプ回転数を下げるファジィ浚渫の場合はほぼ同程度またはやや低めとなっている。このことは、浚渫ポンプ回転数を下げても、吸泥力が落ちない範囲でうまく制御できたことを示している。前年度の実船実験では、浚渫ポンプ回転数を大きく下げすぎて、積載土量、含泥率ともに平均ではファジィ浚渫が低くなったが、これに比べ改善されていることがわかる。以上の結果から浚渫ポンプ回転数制御は、軟泥浚渫ではコンスタントに積載土量向上効果が得られるレベルに達したと考えられる。

図-28に接地荷重と船速の関係を、図-29に船速標準偏差の関係を示す。ファジィ浚渫は通常浚渫に比べほぼ一定の目標値どおりに制御されている。また浚渫中の船速のばらつきを表す標準偏差もファジィ浚渫で低くなっており、船速一定制御は実用化に十分耐え得るようになったと考えられる。

b) 浚渫ファクター自動設定による土量向上効果

ファジィ浚渫の通常浚渫に対する土量向上率をまとめ

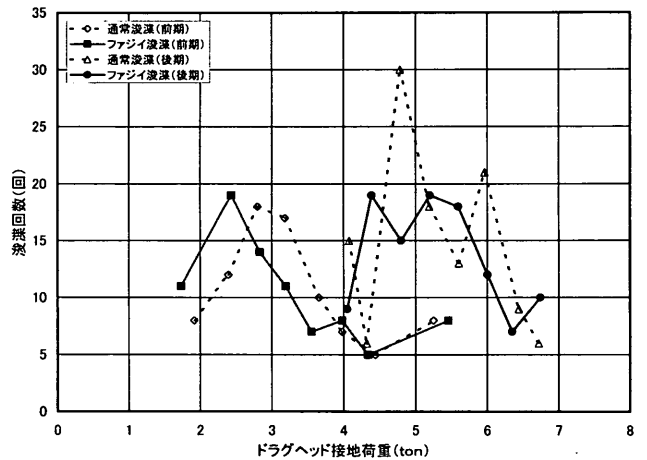


図-22 接地荷重区分ごとの浚渫回数

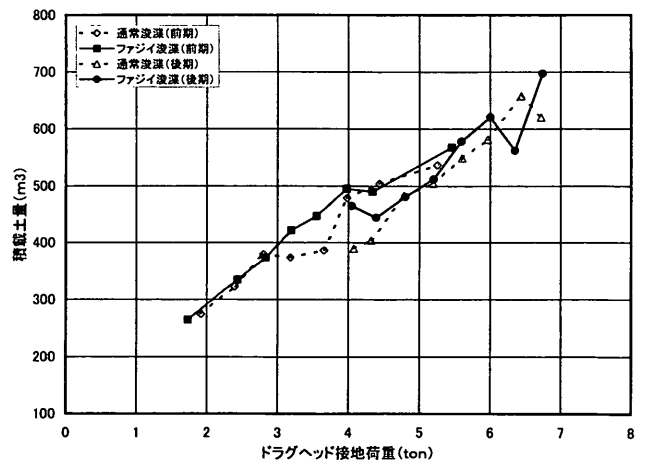


図-23 接地荷重区分ごとの積載土量

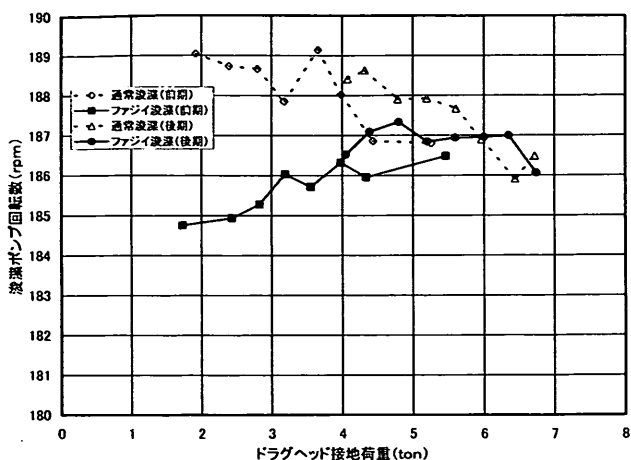


図-24 接地荷重区分ごとの浚渫ポンプ回転数

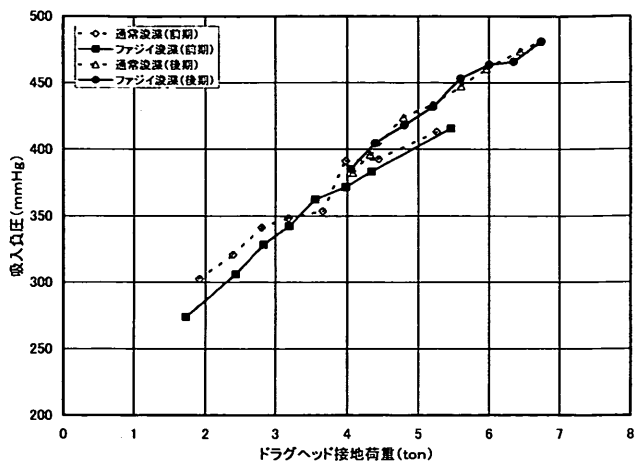


図-27 接地荷重区分ごとの吸入負圧

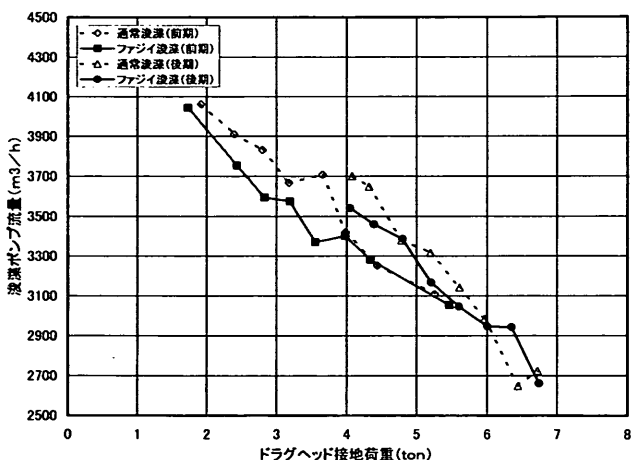


図-25 接地荷重区分ごとの浚渫ポンプ流量

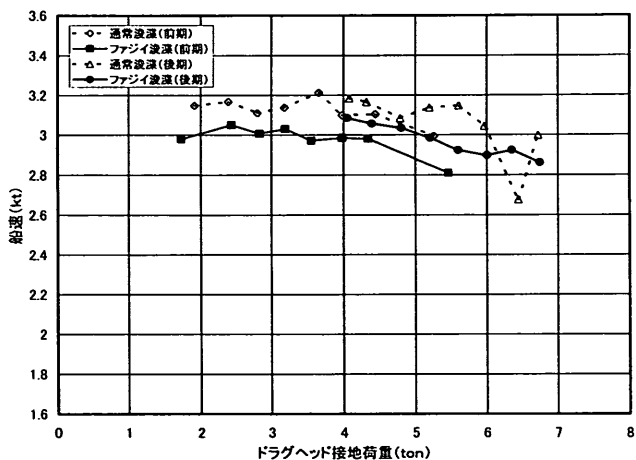


図-28 接地荷重区分ごとの船速

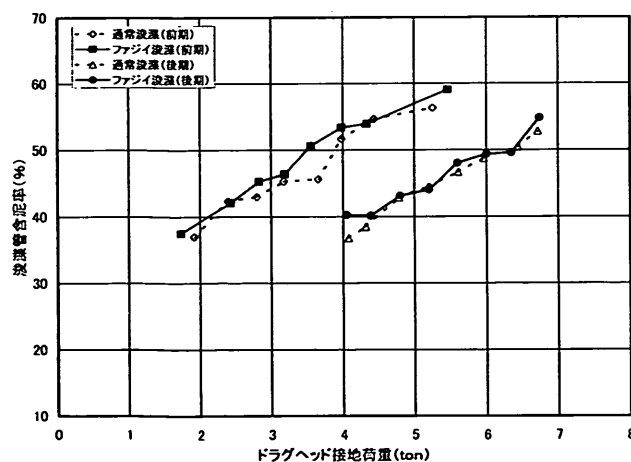


図-26 接地荷重区分ごとの含泥率

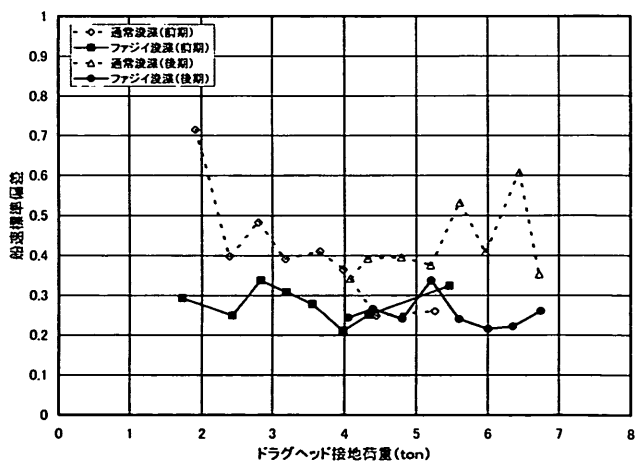


図-29 接地荷重区分ごとの船速標準偏差

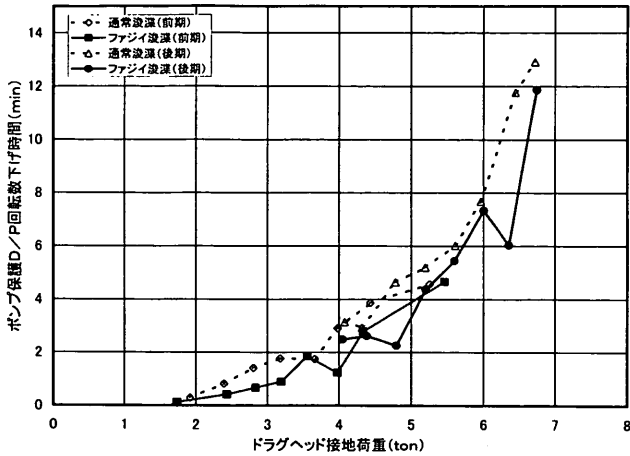


図-30 接地荷重区分ごとの閉塞保護浚渫ポンプ回転数下げ時間

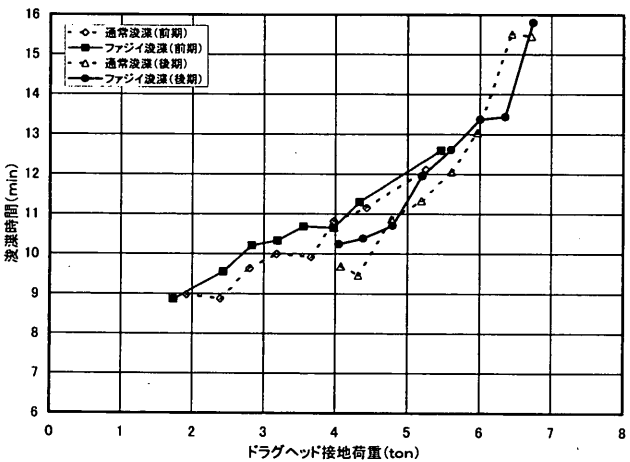


図-31 接地荷重区分ごとの浚渫時間

た結果を表-12に示す。表から積載土量向上効果として、前期実験でファジィ浚渫の4.51%向上、後期実験でファジィ浚渫の4.22%の向上となった。前期実験は「仕上げ堀」で後期実験は「荒堀」という浚渫段階の違いがあっても、浚渫ファクター自動設定制御により手動と同程度の土量向上効果が得られた。

浚渫ファクター自動設定制御については、これまでの実験等で得られたオペレーションのノウハウどおりに制御されており、従来「仕上げ堀」、「荒堀」という浚渫段階や浚渫の進捗状況によりパラメータを手動で設定していたファジィ浚渫制御が、自動的に目標値が設定され、安定して土量向上効果を維持できるようになったと考えられる。

また浚渫ファクター設定学習制御は、工事区域各層ごとの土質特性を各収録データ間の相関から判定し、土質特性および接地の強さの類似のデータから積載土量の良

表-12 ファジィ浚渫の通常浚渫に対する土量向上効果 (1996年)

浚渫時期	通常浚渫		ファジィ浚渫		ファジィ/通常増加率 (%)
	浚渫回数(回)	積載土量(m³)	浚渫回数(回)	積載土量(m³)	
前期(仕上げ堀)	85	388.28	83	405.80	4.51
後期(荒堀)	118	513.38	109	535.02	4.22

すべてリサイクル有りの場合

前期は浚渫ファクター手動、後期は浚渫ファクター自動

い場合の設定値を選択するものである。1996年4月からのデータをすべて使って動作させてみたが、目標値の更新には至らなかった。しかしシミュレーションでは学習機能は正常に作動しており今後の浚渫データの蓄積を待ちたい。

### 5. 結論

本研究では、第一報に続きさらに浚渫土量を向上させるために、泥水リサイクルシステムの設置およびファジィ浚渫制御ならびに浚渫ファクター自動設定制御の開発を行い、実船実験を通じて種々の知見を得ることができた。これらを取りまとめると以下ようになる。

- (1) ファジィ制御を用いた浚渫自動化システムにより、ベテラン乗組員なみの浚渫制御を実現することができた。本システムをもとにして浚渫作業のより一層の省力化が図れる。
- (2) 泥水リサイクルシステムでは、関連するリサイクル、ジェット、循環ラインの切換とそのファジィ制御を行った。土量向上効果の大きいリサイクル運転を中心とした制御とし、浚渫開始時に薄泥水を吸入した場合は循環運転を行い、浚渫状態により必要に応じてジェットポンプを使用するという基本アルゴリズムを確立した。今回の実船実験ではファジィ運転の有無よりリサイクルの有無の差が大きく、従来のリサイクル無しの運転に対しリサイクル有りの運転全体で積載土量が35.5%と大きく向上した。
- (3) 第一報においては、シルト質の軟泥では浚渫ポンプ回転数、船速等のファジィ制御により積載土量向上効果を得ることができたが、粘質土では積載土量が減少するケースもあった。このように土厚、土質等の海底状態が変化した場合にも最適な浚渫目標値等の設定が行えるよう浚渫ファクター自動設定制御の開発を行った。その結果今回の実験では土質については確認できなかったが、土厚が変化した場合手動で浚渫ファクターを設定したのと同程度(従来の自動運転に対して約4%)の安定した土量向上効果が得られた。



(4) 浚渫ファクター自動設定制御を含むファジィ浚渫制御システムの第二期の開発が終了し、今後は各種作業条件のもとで浚渫作業が自動で最適に制御され、より効率的な浚渫作業が実現できる。

## 6. あとがき

1990年以來続けてきたドラグサクシオン浚渫船のファジィ制御による自動化は、開発の基本計画の策定、実船の浚渫実態調査、ファジィ制御プログラムの開発、実船実験による評価とプログラムの修正等多くの研究開発過程を経て今回でほぼ完了したと考えられる。しかしながら、今回開発した浚渫ファクター自動設定制御については、実船実験における制約もあり、一部実船で作動が確認できなかった部分もあるが、これについては今後の実浚渫作業において検証・改良を行っていきたい。

本ファジィ浚渫制御システムは、現在建造が進められている第四港湾建設局の新ドラグサクシオン浚渫船にも装備されることが決まっており、より効率的な浚渫作業が実現できるものと期待される。

最後に本開発を実施するに当たって多大な御協力を頂いた第五港湾建設局に厚く感謝する次第である。

(1999年6月30日受付)

## 参考文献

- 1) Miyake, A. et al. "Development of Automatic Operation System Incorporating Fuzzy Control for Cutter Suction Dredger", Proceedings, XIIth World Dredging Congress, WODCON XII, 1989
- 2) Kurita, I., Okayama, Y., et al. "Automatic Operation System for Drag Suction Hopper Dredger", Proceedings, XIIIth World Dredging Congress, WODCON XIII, 1992
- 3) Ikeda, T., Kato, H. et al. "Artificial Intelligence for Dredging Control of the Trailing Suction Hopper Dredger", Proceedings, XIVth World Dredging Congress, WODCON XIV, 1995
- 4) 加藤英夫, 福本裕哉, 佐藤勇二, 谷本裕史, 岡山義邦, ファジィ制御によるドラグサクシオン浚渫船の自動化, 港湾技術研究所報告, 第35巻第2号, pp.147-190, 1996.6
- 5) 山川 他, ファジィ応用ハンドブック, 1991
- 6) 田中一男, 応用をめざす人のためのファジィ理論入門, 1991