

大深度石油掘削船の自動位置保持装置に関する研究

(大型模型による総合的水槽試験)

安藤 定雄*・矢後 清和*
村山雄二郎**・菊地 正晃**

Study on the Dynamic Positioning System of Deep Sea Oil Drilling Vessels

(Overall Test for a Large Model of Deep Sea Oil Drilling Vessel)

Sadao ANDO, Kiyokazu YAGO, Yujiro MURAYAMA and Masaaki KIKUCHI

SUMMARY

In recent years, the operating sea area of oil-drilling vessels approaches deeper continental shelves.

Therefore, instead of the mooring system by use of anchor-chain or wire rope which is difficult to use in deeper sea area, the "DPS" (dynamic positioning system) has been interested in the ship positioning in the deep sea area.

In this study, dynamic positioning control tests were carried out on a platform model of semi-submersible two-lower hull type in the simulated environment of current and wave generated in the Offshore structure experimental basin, Ship Research Institute.

Prior to the control test, the fundamental characteristics of platform and propulsion system were measured by the elemental model test.

The results of overall control tests indicated that the "DPS" is duly practicable at the semi-submersible two-lower hull type platform.

目次

	頁		
1. 緒言	1	4.1 基本特性試験	6
2. 供試模型	2	4.2 制御特性試験	7
2.1 船体模型	2	4.2.1 自然環境条件の設定	7
2.2 推進器及びスラスタ模型	3	4.2.2 制御方式の概要	7
2.3 推進器及びスラスタの駆動方法	4	4.2.3 過渡応答及び制御特性	8
2.4 推進器及びスラスタ用の制御演算装置	5	5. 試験結果及び考察	9
3. 試験水槽及び試験状態	6	5.1 基本特性	9
4. 水槽試験の種類及び試験方法	6	5.2 制御特性	16
		6. 結言	26
		参考文献	27

* 海洋開発工学部 ** 機関性能部
原稿受付 昭和56年7月7日

1. 緒言

近年、エネルギー資源に関する問題は、世界的に深

刻の度を増して来ており、特にエネルギー源の大部分を石油に依存しているために世界経済は、産油国依存型の傾向を示している。

我が国は、エネルギー源の約90パーセントを海外に依存しているために1973年の石油危機以来エネルギー源の安定供給を確保することが我が国の産業経済の維持発展にとって最重要課題である。

したがって、我が国は、エネルギー資源開発を早急に進展することが急務であるが、狭小な国土であると同時に陸上資源が乏しいために海洋油田開発が最も有望視されている。そのために日中及び日韓大陸棚条約に基づいて海洋油田開発が進められている。

このような海洋油田開発の情勢にあって、これまで大陸棚の浅海域である水深100m程度において開発が進められているが、1990年代には水深が300~1,000mの範囲の大陸棚斜面における海洋油田開発を行う必要が生じて来ている。

しかしながら、大陸棚斜面の深海域になると、自然環境条件は浅海域に比較してより苛酷になり、海洋油田の探査や試掘のために用いる石油掘削船はより苛酷な自然環境条件下で定位置保持をして稼動しなければならない。

従来、石油掘削船は自然環境条件が比較的静穏で浅海域であったために、自己昇降型、船型及び小型の半潜水型が使用されており、それらの位置保持方式としては、索・鎖の係留ラインを用いたアンカー係留方式が通常数多く用いられて来た。

しかしながら、水深が深い海域、自然環境条件及び海底土質条件が係留に適さない海域ではアンカー・シンカーと索・鎖を用いた係留方式は稼動率及び操業費用などの面から不適当になりつつある。

そこで、推進器及びスラスタなどの推力を利用し、石油掘削船を自動的に位置保持させるシステム、すなわち自動位置保持装置 (Dynamic Positioning System 省略して D. P. S. という) を用いてアンカー・シンカーと索・鎖係留方式の補助手段として適用することもできるが、DPSをより積極的に活用し、DPSだけで石油掘削船の自由な移動、安全な操業、稼動率の向上、稼動海域の拡大並びに作動性能の向上などを計ろうとする手段が必要となって来ている。しかしながら、DPSを装備した船舶は近年増加する傾向にあるが、我が国においては、未だ国産のDPSが開発されていないのが実情である。

したがって、DPSの国産化を目標にして昭和53年

度より特定研究として大深度石油掘削船の自動位置保持装置に関する技術開発においてこれまで実施して来た自動位置保持装置の要素技術開発の研究成果を集約し、2ローハル型の半潜水式大深度石油掘削船の大型模型に自動位置保持装置を搭載して船体、推進器及びスラスタの保有する各種基本特性を実験的に究明することとした。また、その実験にて得られた制御定数を用いて波浪、潮流などの外力条件下における制御特性試験を行い、制御方式の検討及び評価するための総合水槽試験を当所の海洋構造物試験水槽において行った。それらの成果を本論文に紹介する。

2. 供試模型

2.1 船体模型

現在、用いられている石油掘削船は、船型、ローハル型及びフーティング型に大別される。これらのうち、現在、数多く稼動している石油掘削船は船型であるが、将来、2ローハル型半潜水式石油掘削船が最も有望となる。

したがって、今回の総合水槽試験に用いる大型模型は、2ローハル型半潜水式石油掘削船を採用した。その大型模型の主要目を表-2.1に、概要図を図-2.1に示し、外観を写真-2.1に示す。この大型模型は、稼動水深が300~500mの2ローハル型の石油掘削船を想定し、それを1/28.25に縮小したアルミニウム製である。なお、この模型の没水体、コラム及びプレージン

表-2.1 船体模型の主要目

全長 (L)	4.000 m
全幅 (B)	2.432 m
高さ (D)	1.350 m
喫水 (d)	0.779 m
トリム (τ)	0.000 m
排水容積 (∇)	1.155 m ³
K _G /d	0.778
G _M ₁ /d	0.106
G _M _t /d	0.092
縦揺れ固有周波数 (ω_{θ})	0.61 rad./sec
横揺れ ' (ω_{ϕ})	0.45 rad./sec
上下揺れ ' (ω_{Z})	1.35 rad./sec

表-2.2 推進器模型の主要目

直 径	110 mm
ピ ッ チ 比	0.896
展 開 面 積 比	0.700
翼 厚 比	0.0497
翼 数	4
傾 斜 角	0
型 式	K A P L A N
翼 断 面 形 状	T R O O S T - M 型

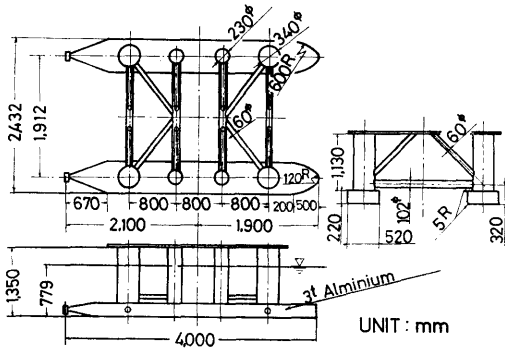


図-2.1 大深度石油掘削船の大型模型の概要図

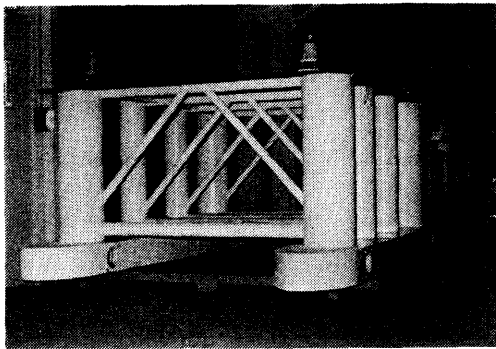


写真-2.1 大型模型の外観

グの内部には漏水による噴水変化を防ぐために発泡スチロールが充填してある。また、表-2.1に示す排水量及び重心高さは計算値であり、重心とメタセンターとの距離 (GM1, GMt) は、平水中における傾斜試験にて求めた値である。また、各動揺モードの固有周波数は平水中における自由動揺試験にて求めた値である。

2.2 推進器及びスラスタ模型

推進器模型は、コルトノズル付4翼のカプラン型であり、その主要目を表-2.2に、概要図を図-2.2に示す。この推進器及びコルトノズルは各ローハルの船尾に図-2.3に示すように取り付けた。その場合の外観を写真-2.2に示す。2台の推進器は、前進時が共に内廻りで、後進時が共に外廻りである。

スラスタ模型は、平板翼であり、その主要目を表-2.3に、概要図を図-2.4に示す。このスラスタは、それぞれ図-2.5に示すように、ローハルのトンネル内に取り付けた。そのときの外観を写真-2.3に示す。なお、推進器及びスラスタを装備した場所を図-2.6

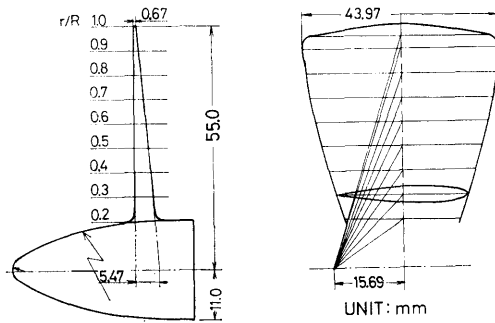


図-2.2 推進器模型の概要図

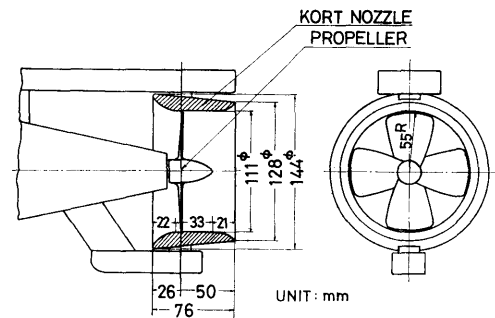


図-2.3 推進器およびコルトノズルの取付図

に示す。また、スラスタのスラスト及びトルクを検出する動力計は、船首部右舷のスラスタだけに内蔵されている。

通常スラスタは可変ピッチプロペラを用いている

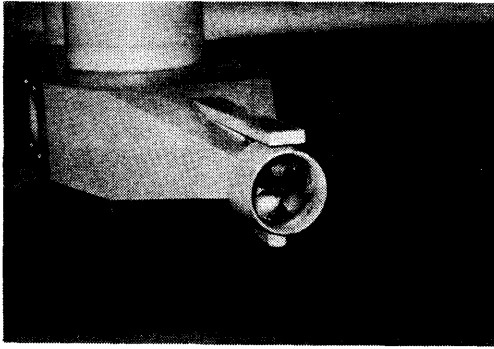


写真-2.2 推進器模型の外観

表-2.3 スラスター模型の主要目

直 径	110 mm
ピ ッ チ 角	25°
展 開 面 積 比	0.816
翼 厚 比	0.0336
翼 数	4
傾 斜 角	0
型 式	カプラン型
翼 断 面 形 状	円弧対称型(平板翼)

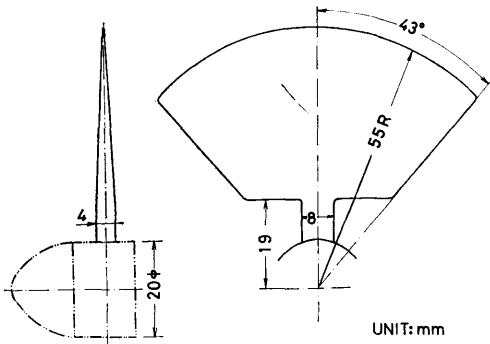


図-2.4 スラスター模型の概要図

が、今回の試験に用いたスラスター用のプロペラは、機構が複雑になるので固定ピッチプロペラにした。

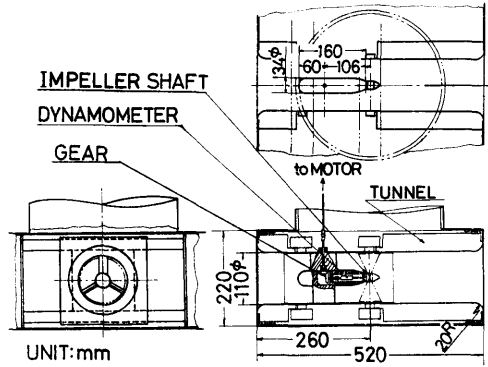


図-2.5 スラスターおよびトンネルの取付図

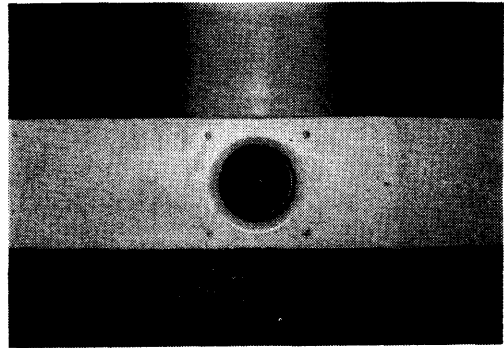


写真-2.3 スラスター模型の外観

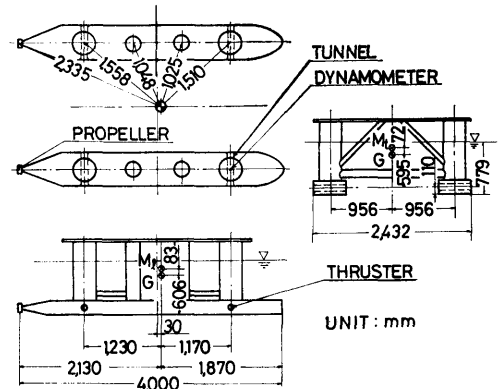


図-2.6 スラスターおよび推進器の装備位置

2台の推進器が主として船体の前後方向の位置保持に必要な推力を受け持ち、4台のスラスターが、船体の左右方向及び回頭の位置保持に必要な推力及びモーメントを受け持っている。

2.3 推進器及びスラスターの駆動方法

推進器の駆動方法は、上甲板上に取り付けたプリン

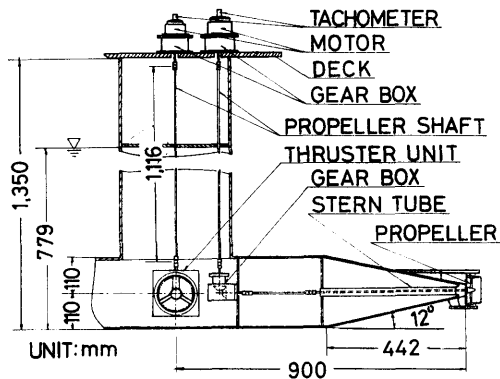


図-2.7 駆動軸系の概要図

トモーター（安川電機製 UGPMEN-09, 出力100W）の回転を図-2.7に示すように1/2減速器及び軸系を介して推進器に伝達させている。

スラスターの駆動方法は、推進器と同様に上甲板に取り付けたプリントモーター（安川電機製 UGPMEN-08, 出力50W）の回転を図-2.7に示すように1/2減速器及び軸系を介してスラスターに伝達させている。

推進器及びスラスターの回転数は、図-2.3に示すようにプリントモーターに直結したタコジェネレーターからのアナログ信号を制御系にフィードバックすることにより制御される。また、減速器内に取り付けたパルス式回転計（小野測器製 MP-12）により回転数が計測される。

2.4 推進器及びスラスター用の制御演算装置

今回実施した石油掘削船模型の自動位置保持装置の水槽試験に用いた推進器及びスラスターの制御系の構成概要を図-2.8に示す。

まず、制御演算部は、一般にアナログ方式とデジタル方式とが考えられるが、今回の実験では制御方式

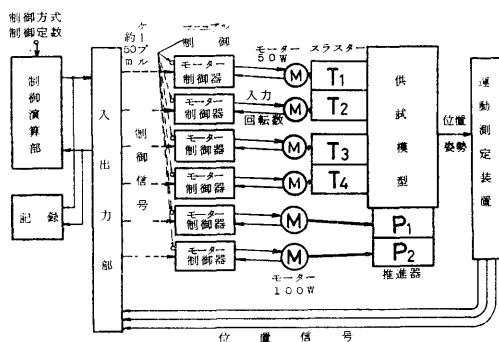


図-2.8 制御系の構成概要図

の変更が容易であること及び多変数制御に対して回路が複雑にならないなどを考慮してデジタル方式を採用した。制御演算部は、主記憶容量が128KBのマイクロコンピュータ（YHP製）で、制御言語がBASIC及びアセンブラーである。

入出力部は、4台のA-D変換器からなる入力部と8台のD-A変換器からなる出力部によって構成されている。

船体に装備された2台の推進器及び4台のスラスターは、モーター制御器に入力される制御演算装置の出力部からのアナログ電圧信号により0～±25r.p.sの範囲で制御できるほか、手動でも制御が可能である。

船体の位置検知は、本来のDPSのように超音波またはワイヤーによる位置検知装置を用いずに、単純に船体の6成分の動揺を計測する運動測定装置を回転式架台の計測台車に搭載して船体の前後位置、左右位置及び回頭角の3成分の電気信号をとり出し入力部に入れている。

なお、位置信号が入力され、位置及び姿勢に応じて

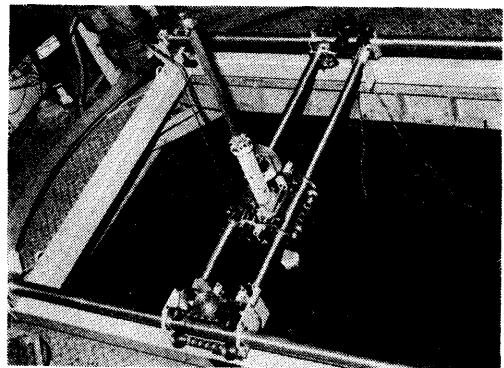


写真-2.4 位置検出装置の外観

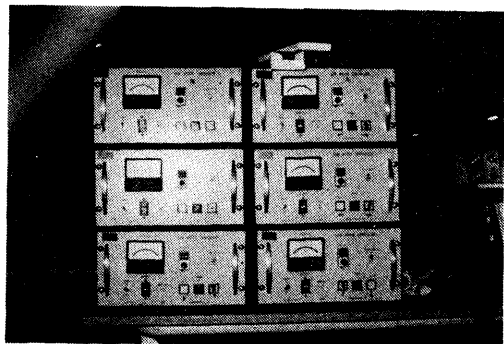


写真-2.5 モーター制御器の外観

制御演算された結果は出力部を経て、時間間隔1秒のステップ状電圧信号としてモーター制御部に送られる。また、位置検出装置として用いた運動測定装置の外観を写真-2.4に、モーター制御器の外観を写真-2.5に示す。

3. 試験水槽及び試験状態

今回実施した石油掘削船の大型模型による自動位置保持装置に関する基本特性試験及び制御特性試験は、当所において規則波、不規則波及び流れなどを発生することができる海洋構造物試験水槽（長さ40m、幅27.6m、水深0～2.0mでフラップ式造波装置、昇降式消波装置、回転式架台及び潮流発生装置等が装備されている。）で行った。

今回実施した各種の水槽試験では、水深が常に1.4mであった。

石油掘削船の大型模型の試験状態は、表-2.1に示す通りで、この状態は想定した石油掘削船が掘削作業を行っている場合の値に相当している。なお、平水中に大型模型が浮かんだ外観を写真-3.1に示す。

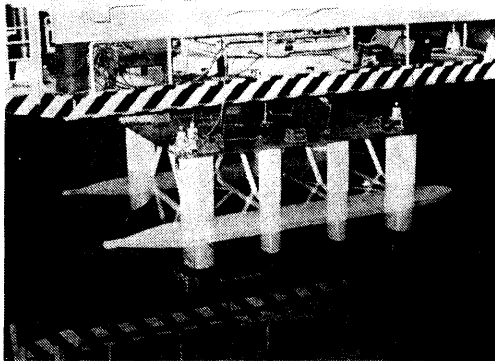


写真-3.1 平水中における水槽試験の外観

4. 水槽試験の種類及び試験方法

4.1 基本特性試験

基本特性試験においては、推進器及びスラスタを石油掘削船模型に装備した状態で推進器及びスラスタの特性、推進器及びスラスタの推力が船体に及ぼす効果及び船体と推進器やスラスタとの相互干渉などを実験的に解明した。

以下に基本特性試験において実施した内容を記述する。

(1) 平水中における推進器及びスラスタが船体に及ぼす特性。

推進器及びスラスタを石油掘削船模型の没水体部に装備した状態において、推進器またはスラスタを駆動させて推進器またはスラスタの回転数の変化に対するスラスト及びトルクの特性を求めた。また、船体を固定し、推進器及びスラスタの推力が船体に作用する推進力及び回頭モーメントについてもその特性を求めた。

実験方法は、船体を回転式架台の計測台車に3分力計（日章電機製LMC3504, $F_x=50\text{kg}$, $F_y=50\text{kg}$, $M=20\text{kg}\cdot\text{m}$ ）を介して固定し、推進器2台及びスラスタ4台を単独または組み合わせて駆動させて船体に作用する前後方向成分力、左右方向成分力及び回頭モーメントを計測した。また、同時に代表例として右舷船首部の没水体に取り付けたスラスタプロペラのスラストおよびトルクを内蔵された磁歪式動力計で計測した。

推進器及びスラスタの駆動回転数は、手動にて0～±25r.p.s.の範囲で5r.p.s.ごとに変化させた。なお、船体の喫水は掘削時に相応した状態だけである。

(2) 潮流中における推進器及びスラスタが船体に及ぼす特性

平水中における推進器及びスラスタが船体に及ぼす特性を調べたのと同様にして潮流中における推進器及びスラスタのスラスト及びトルクの特性を求めると同時に船体に作用する推進力及び回頭モーメントの特性を求めた。

実験方法については平水中における水槽試験と同様である。水槽内に発生させた潮流は、0.15及び0.30m/secの2種類の流速であり、船体と潮流との流入角は0°～360°の範囲で30°ごとに変化させるように回転させた。なお、潮流の流速の計測は、船体から上流約2.0mの位置で水面下約30cmの点において超音波式流速計にて計測した。

(3) 平水中における過度応答特性

船体に装備された推進器及びスラスタの推力が船体の移動する力及び回頭するモーメントにどの程度有効的に作用するかを調べる試験であり、この試験の結果は、制御特性のうち推力に対する船体の挙動の応答特性を知る上に重要な要素となる。

試験方法は、船体を平水中に無拘束の状態にして静止させて置き、モーター制御部にステップ状の入力信号を加えると推進器及びスラスタの推力によって船体が静止状態から挙動を開始するので、その時の船体

表-4.1 自然環境条件

		準備完了時(荒天時)	掘削作業時(通常時)
気象・海象 条件	風速	(40 m/φ) 60 m/φ	(15 m/φ) 20 m/φ
	波高	14 m および 30 m	10 m
	波周期	9 sec 16 sec	10 sec
	潮流	(3ノット) 2ノット	(3ノット) 2ノット
許容運動量	上下動	± 4 m	± 2 m
	回頭角	± 4°	± 2°
	水平動	± 10 %	± 5 %

注) ・()内は、風速と潮流の組合せ、波はいづれも同じ条件とする。
 ・上記の上下動と回頭角は水面における変位量であり、水平動は水深に対する比率表示である。なお、風速はABSルールに従い荒天時51.5m/φ掘削時36m/φを採用する。
 ・また、荒天時の気象、海象条件は構造強度、安定性に関する設計条件であり、DPSによる位置条件は行わない。

移動または回頭の時間経過に対する変化過程を運動測定装置にて計測した。

(4) 周波数応答

一般に自動制御する場合の制御変数の決定は、各要素特性が非線形であるために、試行錯誤を繰り返して最適な制御変数を決めるのが通例である。

今回の水槽試験においては、最適な制御変数を決定する一つの目安となる資料を得るために、モーター制御部に正弦的な入力信号を入力し、その時の船体挙動を運動測定装置にて計測した。

4.2 制御特性試験

制御特性試験においては、基本特性試験より得られた各要素特性を集積し、制御系全体の制御特性を求めするために各種自然環境条件下における過渡応答試験を行い、制御系の検討及び評価を行った。

なお、今回の制御特性試験時において設定した自然環境条件は、波浪及び潮流だけである。

4.2.1 自然環境条件の設定

一般に石油掘削船が稼動する海域における主要な自然環境条件としては、風、波浪及び潮流だけを考慮しているのが通例である。

自動位置保持装置付大深度石油掘削船に対する自然環境条件に関しても風、波浪及び潮流だけとし、既存の石油掘削船の設計外力条件及び自然環境の観測資料に基づいて表-4.1に示すように設定⁷⁾されている。

これらの値は、稼動水深を1,000m程度として荒天時には作業を中止して退避することを前提にして、準

表-4.2 模型試験時における外力条件

外力の種類		模型試験時	実機換算値
規則波	波高	7.5 cmを標準とし 5 cm ~ 20 cm	2.1 m 1.41 ~ 5.65 m
	波周期	0.506 ~ 2.265 秒	2.69 ~ 12.04 秒
不規則波	平均波周期	1.46 秒 2.19 秒	7.8 秒 11.6 秒
	有義波高	9.6 cm 14 cm	2.71 m 3.96 m
潮流	速	7 cm/φ , 10 cm/φ	0.7ノット , 1.0ノット

備完了時(荒天時)と掘削作業時(通常時)に分けた自然環境条件と石油掘削船の運動の許容量である。

なお、船体の運動の許容量は、ドリルパイプやライザーパイプなどの掘削装置の許容移動量、掘削作業性及び安全性などを考慮して決定されている。

今回の制御特性試験時の波浪及び潮流は、これらの自然環境条件及び船体の運動許容量を参考にすると同時に、試験水槽の造波能力、潮流発生能力及び推進器とスラスターの能力などを考慮して表-4.2に示すように条件を設定した。

4.2.2 制御方式の概要

自動位置保持装置の制御方式としては、一般にフィードバック制御としてPID制御系がよく使用されている。このPID制御とは、偏差信号の偏差量と時間積分(Integral)および時間微分(Difference)に比例(Proportional)した制御信号を用いて制御する

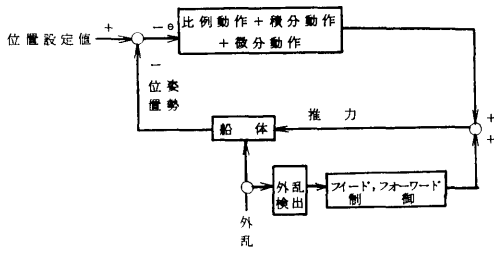


図-4.1 制御系のブロック図

表-4.3 制御変数

	変位	目標値	偏差	外力
SURGE	X	X_0	$\Delta X = X - X_0$	$F_X \cdot \text{WAVE}$ $F_X \cdot \text{CURRENT}$
SWAY	Y	Y_0	$\Delta Y = Y - Y_0$	$F_Y \cdot \text{WAVE}$ $F_Y \cdot \text{CURRENT}$
YAW	ψ	ψ_0	$\Delta \psi = \psi - \psi_0$	$M_\psi \cdot \text{WAVE}$ $M_\psi \cdot \text{CURRENT}$

方式である。

制御特性試験においても、このPID制御方式を主として用いて制御系の検討及び評価を行った。その制御方式のブロック図を図-4.1に示す。

また、水槽試験時に用いた制御変数は表-4.3に示すものである。なお、制御変数は、前述の基本特性試験にて大略的な傾向を把握し、一般的には非線形性を有する制御変数を線形モデル化して表わしているため多少試行錯誤を繰り返す、今回の水槽試験に最適な制御定数の最終的な値を設定している。また、船体の水平面内の運動は、各運動成分間の連成影響が小さいものと仮定し、船体の前後動、左右動及び回頭運動についてそれぞれ独立に制御演算を行い、演算結果を単純に加算して推進器及びスラスタの駆動制御器への入力信号にしている。

4.2.3 過渡応答及び制御特性

(1) 平水中における過度応答試験

平水中における過度応答試験においては、基本特性試験によって求められた各種定数を用い、平水中において船体の位置の目標値をステップ状に変化させて、そのときの船体の過渡応答特性を求めた。この種の試験は、基本特性試験が制御系要素間の開ループ試験であるのに対して外乱がない状態における閉ループ試験

であるといえる。したがって、制御系全体に対する基本特性をこの試験によって把握することができる。

試験方法としては、目標値を前後方向及び左右方向では $\pm 40 \text{ cm}$ 、回頭角では $\pm 15^\circ$ の範囲で変化させて船体を前後移動、左右移動、斜め前後移動及び左右回頭させた。この試験においては、制御定数の調整を行い最適値を求めた。

(2) 規則波中における制御特性試験

規則波中における制御特性試験においては、波を作用させる以前から定位置保持装置を作動させ、その後船体に規則波を作用させて一度船体が波漂流力によって押し流されるが、再び初期設定位置に戻る挙動を計測した。この試験からは、外力が作用した状態に対する船体の応答特性、定常波中における波漂流力及び制御状態における船体運動などが把握できる。

発生させた規則波は、波高を約7.5cm(想定実機換算で2.1mに相当する)の一定として波長・船長比(λ/L)で0.1~2.0の範囲および船体の上下揺れの固有周期に相当する8.44秒(想定実機換算で波周期2.7~12.0秒及び24.7秒である)である。また、波高影響を調べるために、実際海面の平均波周期付近に相当する波長において波高を5~15.0cm(想定実機換算で波高が1.4~4.2mである)の範囲で数点変化させた。

波との出会角は、 180° (縦波)、 135° (斜め波)及び 90° (横波)の3種類である。なお、波高影響を調べた波との出会角は、 180° 及び 90° である。

なお、規則波中における水槽試験時の様子を写真-4.1に示す。



写真-4.1 波浪中における水槽試験の外観

(3) 不規則波中における制御特性試験

不規則波中における制御特性試験においては、実際

の稼働海域に発生すると想定される不規則波を発生させ、その不規則波中における石油掘削船模型のDP Sによる定位置保持能力を把握した。

発生させた不規則波は、Bretschneider—光易が提唱している波スペクトラムの表示式に基づいた平均波周期が2.19秒で有義波高が14cm（想定実機換算で平均波周期が11.6秒，有義波高が4.0m）及び平均波周期1.46秒で有義波高が10cm（想定実機換算で平均波周期が7.8秒，有義波高が2.8m）の2種類である。

波との出会角は、 180° 、 135° 及び 90° の3種類である。なお、波との出会角が 135° の状態では、船体の位置の目標値をステップ状に変化させた場合の船体の応答特性も求めている。

(4) 潮流中における制御特性試験

潮流中における制御特性試験においては、波浪中における制御特性試験と同様に船体に潮流が作用した場合の定位置保持能力及び目標値のステップ状変化に対する過度応答特性を把握した。

発生させた潮流の流速は、7 cm/sec 及び10cm/sec（想定実機換算で0.7ノット及び1.0ノット）であり、この値は設定した設計条件に対して若干低い値であるがこれは推進器及びスラスターの推力によって限定されたためである。

潮流の流入角は、 180° （船首から流入する）、 135° 及び 90° の3種類である。

(5) その他の試験

制御特性試験においては、これまでに述べて来た水槽試験の他に、実機の位置検知装置の分解能の粗さによる影響を調べるために想定実機換算で最大10cm程度の測定粗さを持たせた場合並びに位置信号に含まれる雑音影響を調べるために一様分布の雑音を入力信号に加えた場合についても実験的に調べた。

なお、制御方式としては、PID制御方式以外に非線形制御方式も考えられるが、この点に関しては、別の研究において詳述されているのでここでは省略する。

5. 試験結果及び考案

5.1 基本特性

(1) 平水中における推進器及びスラスターが船体に及ぼす特性。

まず、没水体の船首部右舷に装備したスラスターの特性は、スラスターに内蔵した磁歪式動力計でスラスターのプロペラのスラスト及びトルクを計測し、回転

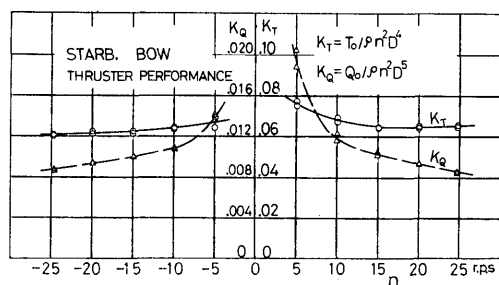


図-5.1 スラスターの特性

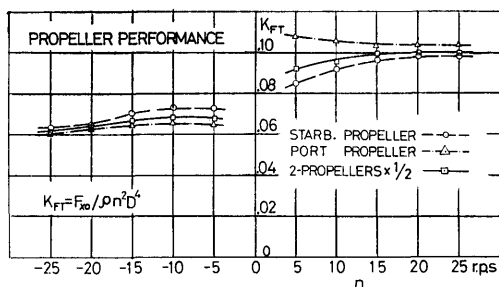


図-5.2 推進器の特性

数に対してスラスト及びトルクの値を無次元値により図-5.1に示す。ここで、 T_0 はスラスト、 Q_0 はトルク、 ρ は流体の密度、 n は回転数、 D はプロペラ直径である。

この図に示すスラスト及びトルクは、図-2.5に示すようにスラスターを没水体のトンネル内に装備した状態に対する値である。この図からスラスターの特性は、正転または逆転してもスラスターのプロペラが図-2に示すように対称翼であり、単純なピッチであるためにほぼ同一の特性を示している。しかしながら、通常の推進器のオープン状態に対する特性と比較すると極端に低い値を示している。

推進器のスラスト特性は、プロペラに作用したスラストではなく、推進器によって船体に働いたスラストから求めた値を用いて求めたスラストの無次元値を図-5.2に示す。この図から、右舷及び左舷の没水体の船尾に装備されている推進器のスラスト特性に多少の相違が見受けられる。同時に、正転時に比して逆転時には約30%程度スラストが低下することを示している。その理由としては、プロペラの翼断面形状、コルトノズルの断面形状及び船体との干渉などに起因するもの

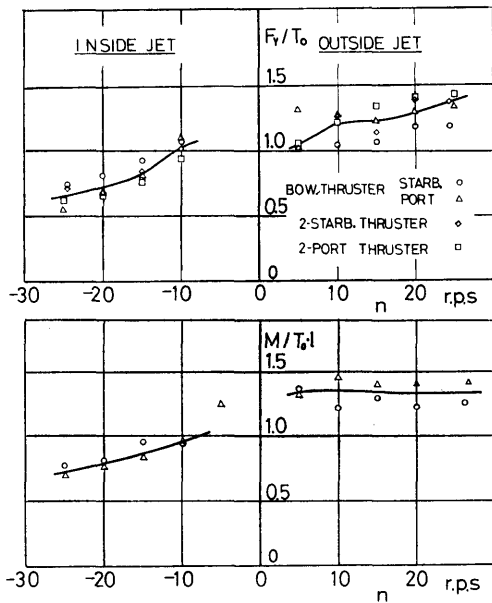


図-5.3 スラスターの回転数に対する推進力と回頭モーメント

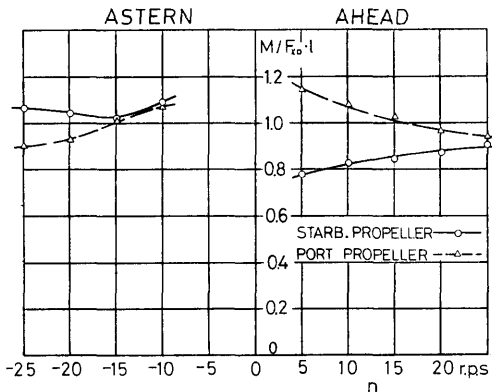


図-5.4 推進器の回転数に対する回頭モーメント

と考えられる。

なお、左右の推進器を駆動させた場合には、単純に左右のスラストの加算ではばよいことが判る。

つぎに、船体に装備した推進力及び回頭モーメントについて求めた結果を図-5.3及び図-5.4に示す。

図-5.3は、スラスターを1台または2台駆動させた場合に船体に作用する力及びモーメントの回転数に対する特性を示したものである。ここで、 F_r は船体に

作用した横方向成分力、 M は船体中心廻りのモーメント、 T_0 は平水中におけるスラスターのプロペラのスラスト、 l は図-2.6に示す船体中央線からスラスターの装備位置までの距離である。

この図から、スラスターの吹き出し方向によって船体に作用する力及びモーメントが相違し、船体の外側に吹き出した場合には、没水体周辺の流れによってスラスターのプロペラのスラストより効きが約20%程度高くなり、船体の内側に吹き出した場合には、トンネルから吹き出した流れが反対側の没水体、コラム及びブレーシングなどに作用して効きが約20%程度低下する。

図-5.4は、推進器を駆動させた場合に船体に作用するモーメントの回転数に対する特性を示したものである。ここで、 M は船体中心廻りのモーメント、 F_{x0} は図-5.2に示す推進力、 l は図-2.1に示す没水体間隔の半分の距離である。

この図から、推進器を駆動させた場合に船体に働くモーメントは、推進力(F_{x0})を同様な手法で求めているため、当然の結果としてほぼ1.0を示すことになる。

- (2) 潮流中において推進器及びスラスターが船体に及ぼす特性
船体を潮流中において流速が0.30m/secの場合に

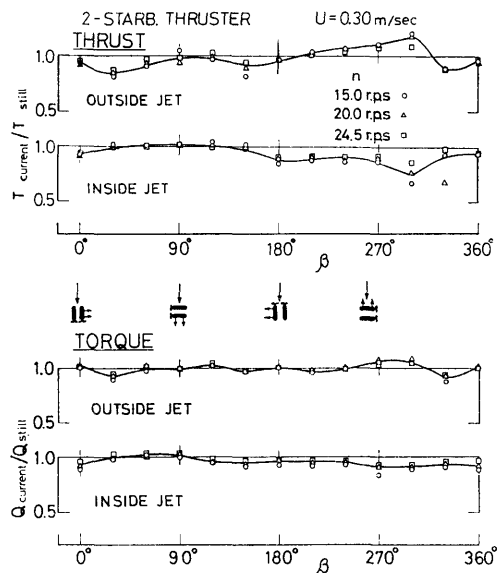


図-5.5 流れの流入角に対するスラストとトルク

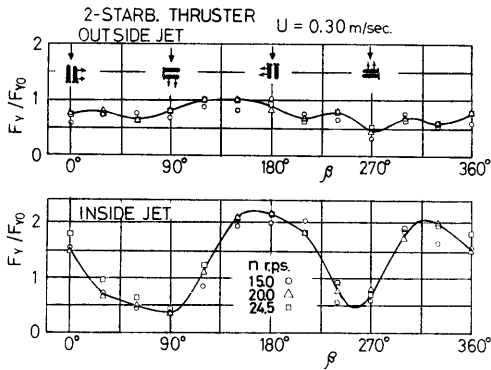


図-5.6 流れの流入角に対する作用力

流入角度の変化に対するスラスト及びトルクを図-5.5に示す。これらの図の縦軸は、平水中におけるスラスト及びトルクに対して潮流が作用した場合のスラスト及びトルクの比である。また、スラスタは右舷の没水体に装備した2台で、同時に内側または外側に吹き出している場合である。

この図から、流れの流入角による影響は、スラストで±10%程度、トルクで±5%程度であり、流れの方向と吹き出しの方向が一致する場合には、スラスト及

2-PROPELLER
n = 20.0rps.

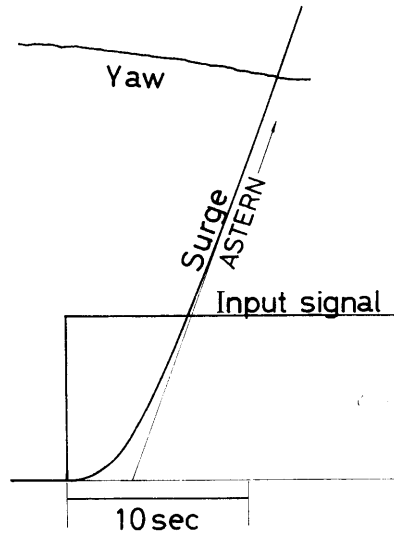


図-5.8 ステップ状駆動に対する船体の前進

びトルクが減少し、流れの方向と吹き出しの方向が逆の場合には、スラスト及びトルクが増加する傾向を示す。そして、流入角が90°と270°付近でスラスト及びトルクを比較すると90°ではスラスタを装備した没水体がもう一方の没水体の下流に入るためにスラスト及びトルクの変化する割合が小さく、270°ではスラスタを装備した部分が直接流れとあい対するためにスラスト及びトルクの変化する割合が大きくなる。これは、没水体、コラム及びブレーシングによる乱流及び影効果 (shadow effects) であるといえる。

つぎに、潮流中においてスラスタを駆動させた場合に船体に作用する力を流入角の変化に対して示すと図-5.6となる。この図の縦軸は、図-5.3に示す平水中における力 (F_{Y0}) に対して示した値である。

この図から、スラスタが船体に作用する力は、吹き出し方向が船体の外側である場合には、流入角が150°付近で平水中における値とほぼ等しくなるが、それ以外の流入角では平水中における値の約70%程度に低下する。船体の内側に吹き出す場合には、流入角によって船体に作用する力が極端に変化し、流入角が90°及び270°付近すなわち流れの方向と吹き出しの方向が同一か逆の方向の場合には、船体に働く力が平水中における力の約50%程度に低下し、流入角が180°及

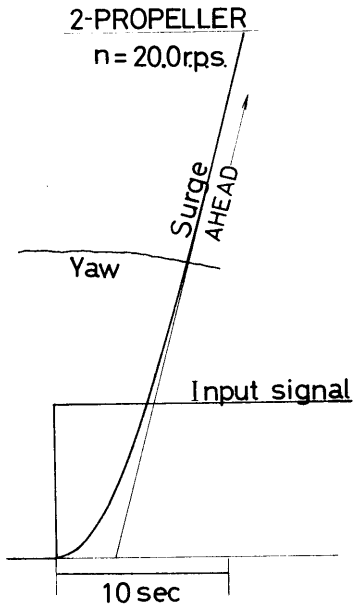


図-5.7 ステップ状駆動に対する船体の後進

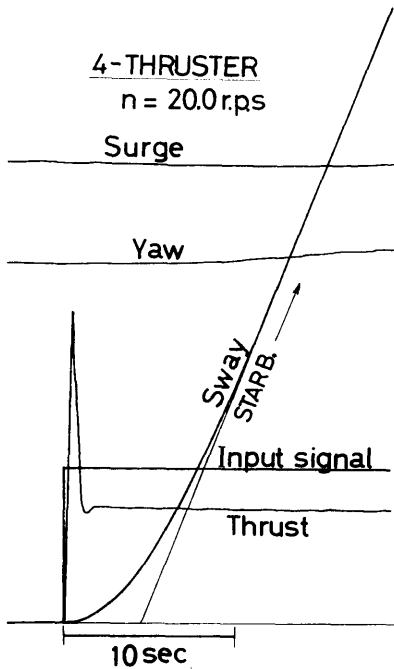


図-5.9 ステップ状駆動に対する船体の右移動

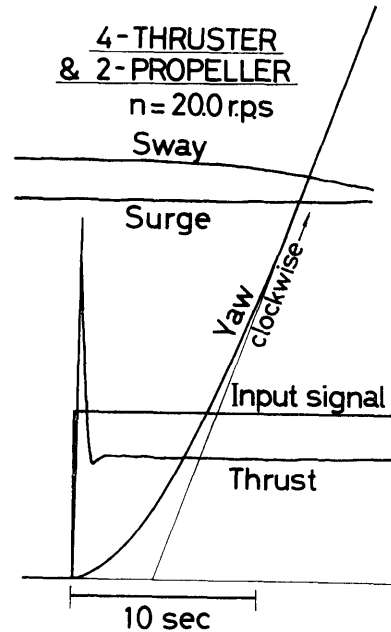


図-5.10 ステップ状駆動に対する船体の回頭

び 315° 付近すなわち流れの方向と直角方向に吹き出す場合には、平水中における力の約2倍となる。この様にスラスタの吹き出し方向が船体の内側の場合には、流入角の変化に対する影響が非常に大きいといえる。

したがって、平水中および潮流中におけるスラスタが船体に及ぼす結果から判断するとスラスタ用のトンネルを没水体に取り付ける場合、水面と平行に取り付けるとトンネルから吹き出した水流が反対側の没水体、コラム及びブレイシングに作用してスラスタの効率を低下すると同時に流れの流入角影響を大きくするためにスラスタのトンネルは船体の内側を下方にある程度角度を付けるなどの考慮をする必要性がある。

(3) 平水中における過渡応答特性

平水中において推進器及びスラスタをステップ状に駆動させた場合、船体挙動の時間変化に対する記録例を図-5.7～図-5.10に示す。図-5.7は2台の推進器を20r.p.s前進させた場合の船体挙動を示し、図-5.8は推進器で後進させた場合であり、図-5.9は4台のスラスタを20r.p.sで同一方向に吹き出して船体を右

移動させた場合を示し、図-5.10は2台の推進器と4台のスラスタを駆動させて船体を回頭させた場合である。これらの図には、入力信号、スラスタの推力及び強制駆動方向以外の挙動も同時に示してある。

これらの計測結果から船体変位の各時間ごとの勾配を求めて各運動成分に対する挙動速度の時間経過特性を求めた例を図-5.11～図-5.15に示す。

図-5.11は2台の推進器による船体の前後動の速度の時間経過特性で、図-5.12は右舷没水体に装備した2台のスラスタによる左右動で、図-5.13は左舷没水体に装備した2台のスラスタによる左右動で図-5.14は4台のスラスタによる左右動である。また、図-5.15は4台のスラスタを駆動させて船体を時計廻りと反時計廻りに回頭した場合の回頭速度の時間経過特性である。

一般にステップ状駆動に対する挙動速度の時間経過特性は、線形的に取り扱った場合に比例定数(K)と時定数(T)とによって一次遅れ応答を示すといわれている。そこで、挙動速度(V)の一次応答は一般に次式で与えられる。

$$V = K \{1 - \exp(-t/T)\}$$

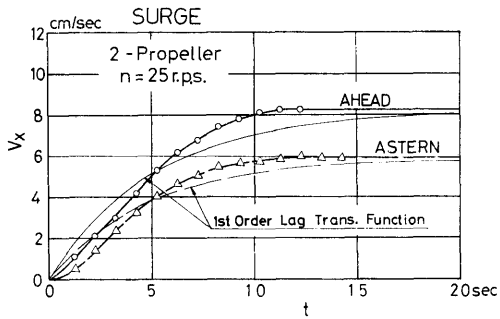


図-5.11 前後動速度の過渡応答

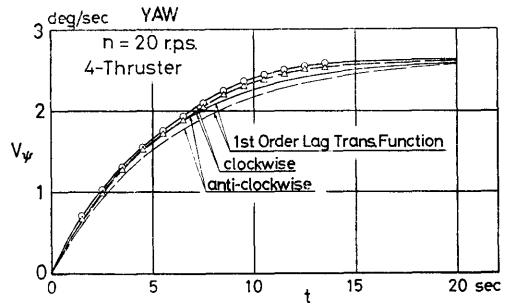


図-5.15 回頭速度の過渡応答

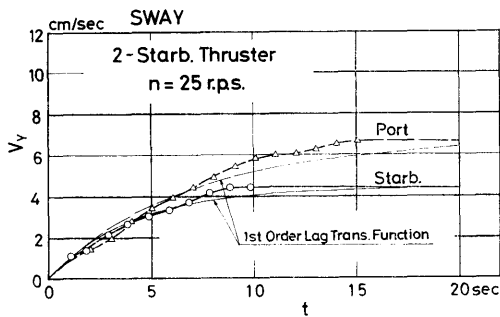


図-5.12 左右動速度の過渡応答

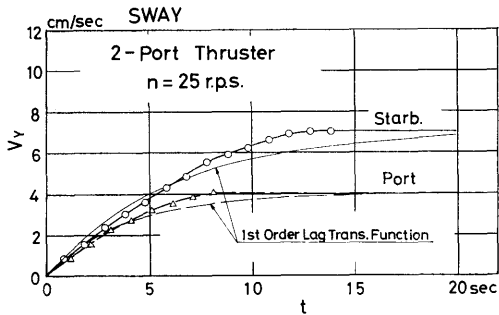


図-5.13 左右動速度の過渡応答

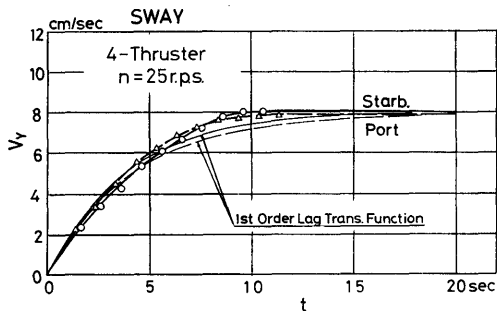


図-5.14 左右動速度の過渡応答

ここで、 t は経過時間である。

図-5.11～図-5.15に示す船体挙動速度の時間経過曲線から挙動速度が収束した値を比例定数として時定数を定め、その値を用いて一次遅れの応答曲線を求めた結果を図中に細線で示す。

これらの図から、推進器及びスラスタをステップ状に駆動させた場合の船体の挙動速度の時間経過特性の初期段階の曲線は、一部の挙動速度を除くと大略一次遅れの応答特性と想定できる。

そこで、平水中における過渡応答特性試験を実施した総ての挙動速度について比例定数及び時定数を求め、比例定数と回転数との関係を図-5.16～図-5.18に、時定数と回転数との関係を図-5.19～図-5.21に示

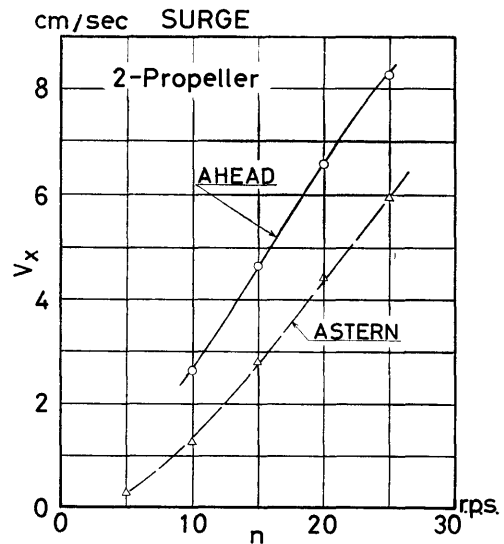


図-5.16 前後動の比例定数

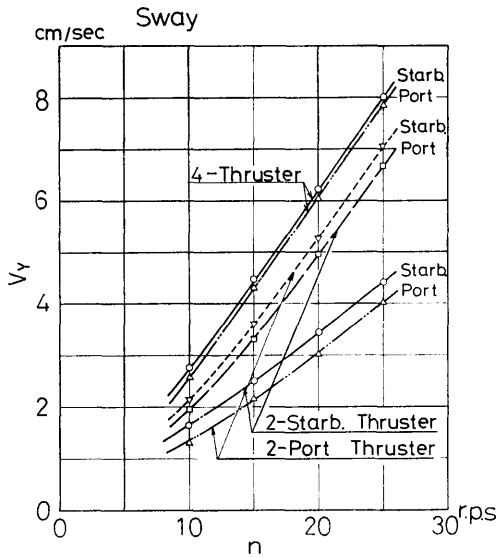


図-5.17 左右動の比例定数

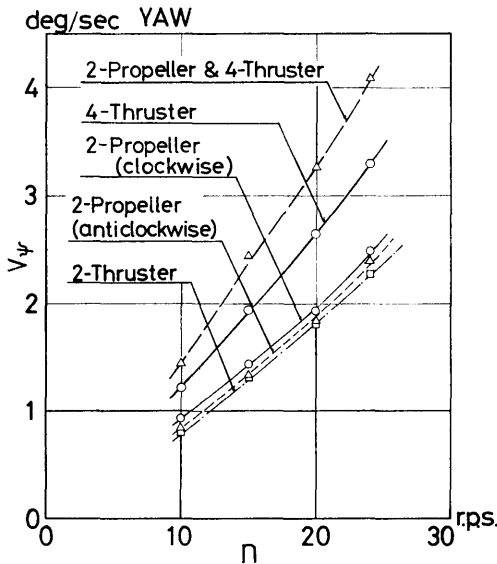


図-5.18 回頭の比例定数

す。

図-5.16～図-5.18から、推進器及びスラスタを駆動させた場合の船体の前後動、左右動及び回頭の比例定数は、プロペラの回転数に対して2次曲線的に変化しているが、実用範囲では直線近似にしても大差ない

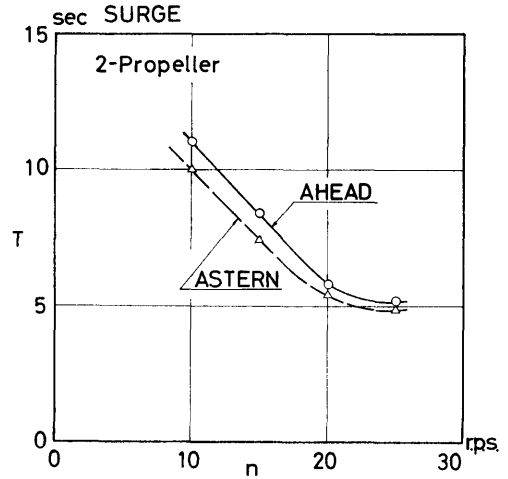


図-5.19 前後動の時定数

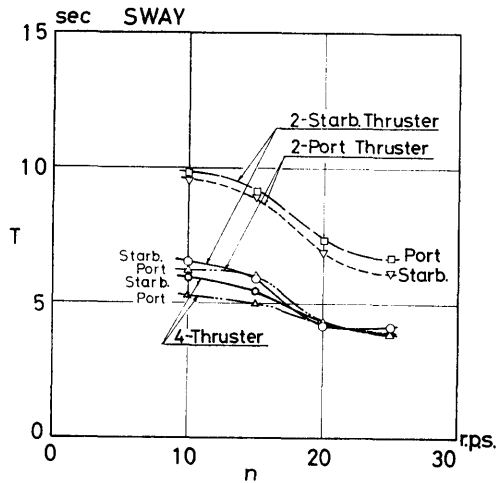


図-5.20 左右動の時定数

ことが判る。

図-5.19～図-5.21から、船体の前後動の時定数は、プロペラの回転数が20r. p. s以下ではほぼ回転数に比例しているといえる。船体の左右動の時定数は、単純に近似することが不可能であるようにプロペラの回転数によって複雑に変化する。回頭の時定数は、ほぼ直線近似が可能である。

そこで、各挙動速度の比例定数は、大略直線近似ができるとしてその勾配を求め、時定数は、直線近似と仮定することができないので、通常最大回転数と思

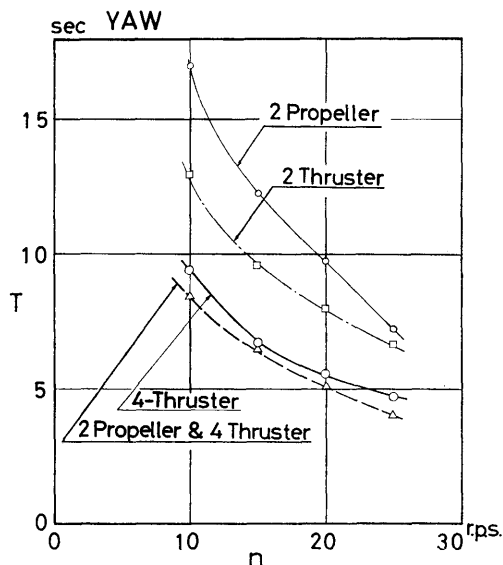


図-5.21 回頭の時定数

われる 20r. p. s の値を代表値として求め、それらを一括して各挙動速度の比例定数の勾配及び時定数 (20r. p. s) を表-5.1 に示す。

(4) 周波数応答特性

推進器及びスラスターのモーター制御部に正弦的に変化する入力信号を入力し、推進器及びスラスターの回転数が正弦的に変動した場合の船体挙動を求め、その挙動速度を入力信号の周波数に対して示すと図-5.22及び図-5.23となる。なお、図-5.22の上図には、回転数の変動に対する船体挙動の位相遅れを图中に示す。また、図中の左隅には、ステップ状に駆動させた場合の比例定数を示す。

これらの図から、左右動及び前後動は駆動周波数が

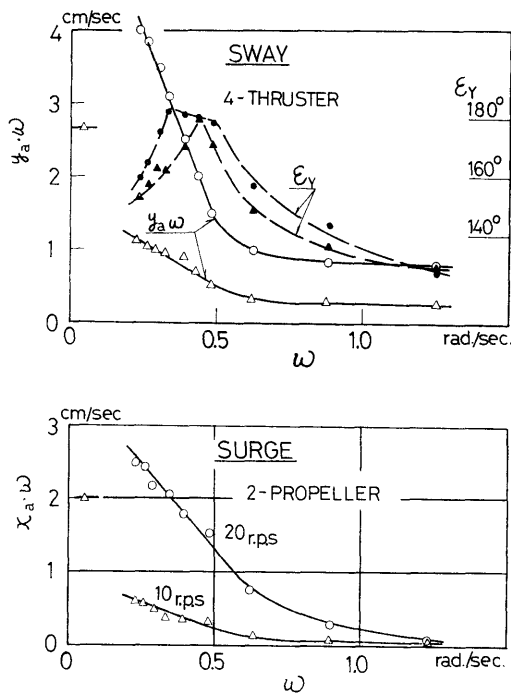


図-5.22 左右動および前後動の周波数応答特性

0.5rad./sec 以下では 挙動速度が大略直線的に変化する傾向を示す。すなわち、駆動周期が12秒以上では駆動周期に比例して挙動速度が増加する傾向を示す。

一方、回頭速度は、駆動周波数に逆比例して減少する傾向を示す。

なお、推進器及びスラスターを正弦的に駆動させた場合、駆動周波数を小さくしてもステップ状に駆動させた場合の方が各挙動速度は大きい値を示す。したがって、自動位置保持装置のモーターの駆動方式としてはステップ状に駆動させた方が連続的に変化させるよ

種類	駆動側と台数	回転数に対する比例定数の勾配				時定数 (n 20 r. p. s.)			
		前後進 cm sec.rps		回頭 deg sec.rps		前後進 (sec)		回頭 (sec)	
		前進・右移動	後進・左移動	右回頭	左回頭	前進・右移動	後進・左移動	右回頭	左回頭
スラスター	右舷2台	0.195	0.341	—	0.0892	4.17	7.3	—	7.76
	左舷2台	0.356	0.199	0.0892	—	6.85	4.28	8.4	—
	両舷4台	0.360	0.354	0.129	0.129	4.82	4.28	5.23	5.95
推進器	2台	0.392	0.308	0.110	0.112	5.6	5.4	9.8	9.7
スラスター推進器	6台	—	—	0.163	0.163	—	—	5.3	4.9

表-5.1 船体挙動速度の時定数と比例定数の勾配

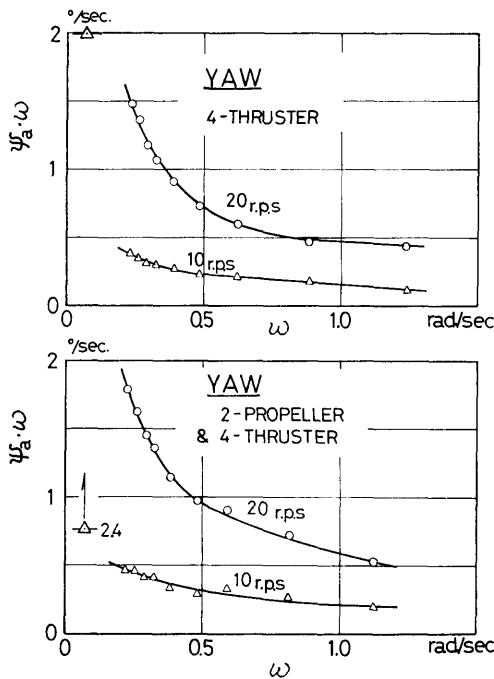


図-5.23 回頭の周波数応答特性

りも有利であるといえる。

5.2 制御特性

(1) 平水中における過渡応答特性

まず、PID制御系の制御定数の検証を行った。その場合、水平面内の挙動に対する制御方式は次式によって求める電圧で推進器及びスラスタをそれぞれ単独に制御した。

$$e_{out} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i} \int dt + T_d \frac{d}{dt} \right) \Delta e$$

ここで、 e_{out} は推進器及びスラスタ用への出力信号、 K_p は比例定数、 T_i は積分時間、 T_d は微分時

表-5.2 PID制御方式における制御定数

		範 囲	設 定 値
前 後 動	K_p	-0.6 ~ -1.0	-1.0
	T_i	20 ~ 100	100
	T_d	7 ~ 20	7
左 右 動	K_p	-0.2 ~ -1.0	-1.0
	T_i	30 ~ 100	100
	T_d	5 ~ 25	5
回 頭	K_p	-1.0 ~ -1.5	-1.5
	T_i	50 ~ 100	100
	T_d	7 ~ 10	10

間及び Δe は位置の偏差による入力信号である。

PIDの各定数である K_p 、 T_i 及び T_d を表-5.2に示す範囲で系統的に各定数で変化させ、行き過ぎ量及び時定数を求めた。その結果、平水中における制御定数は、基本特性試験によって求められた値でほぼよいことが判明し、制御特性試験に用いる制御定数を表-5.2の右辺に示す。

つぎに、それらの制御定数を用い、平水中において前後方向、左右方向及び回頭方向に目標値をステップ状に移動させた場合の船体の過渡応答特性を求めた。

その代表的な記録例を図-5.24~図-5.28に示す。

図-5.24及び図-5.25は、目標値を前後方向に±40cm移動させた場合で、図-5.26及び図-5.27は、目標値を左右方向に±30cm移動させた場合で、図-5.28は、回頭角を-15°から+15°に移動させた場合である。各図において、変位は運動測定装置の指標値で、推力は推進器及びスラスタの回転数の自乗に比例するもの

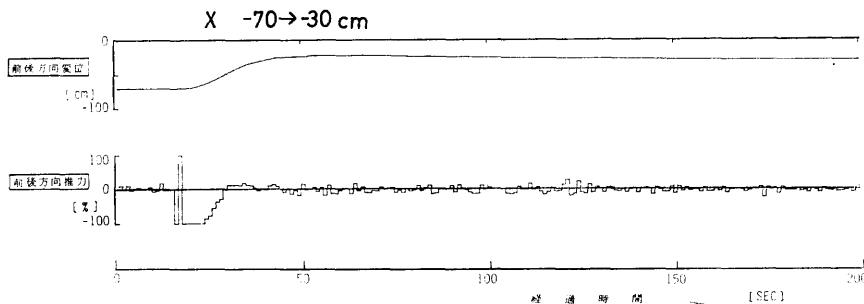


図-5.24 平水中における目標値変化に対する応答例 (前進)

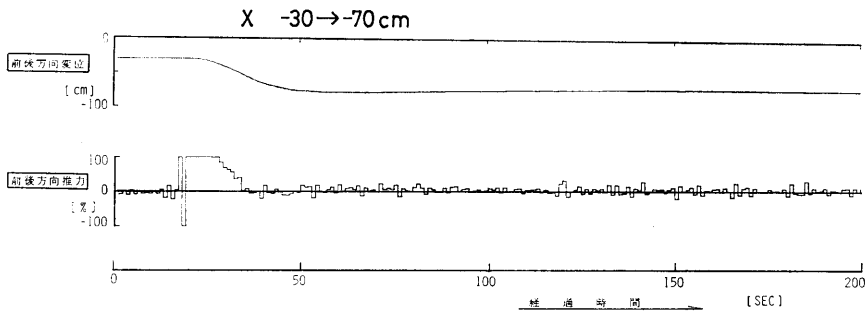


図-5.25 平水中における目標値変化に対する応答例（後進）

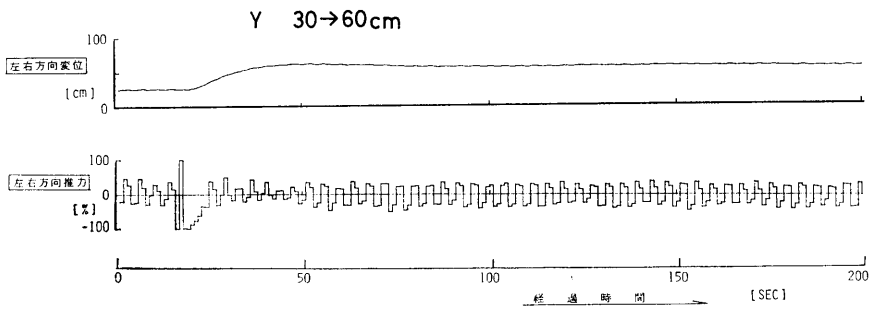


図-5.26 平水中における目標値変化に対する応答例（右移動）

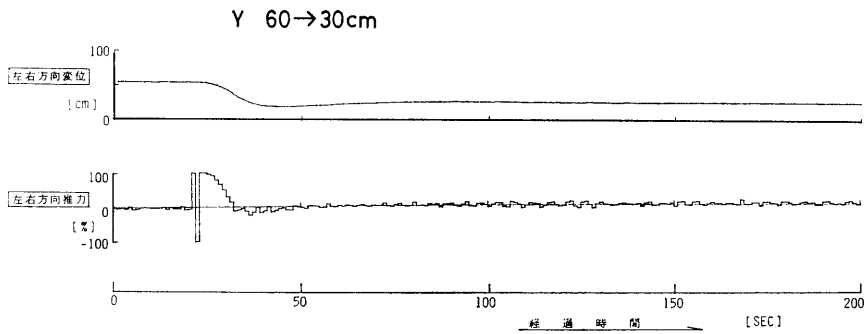


図-5.27 平水中における目標値変化に対する応答例（左移動）

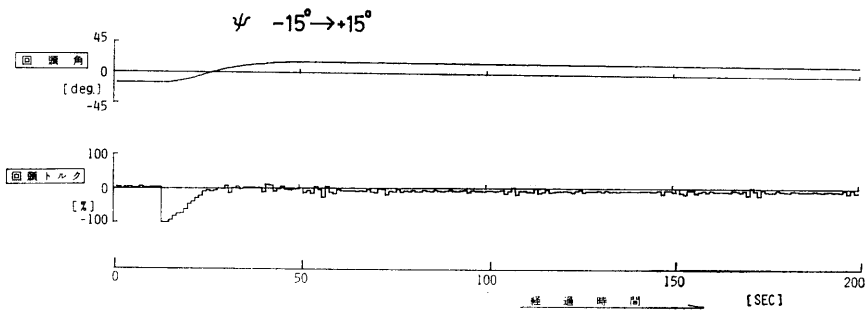


図-5.28 平水中における目標値変化に対する応答例（回頭）

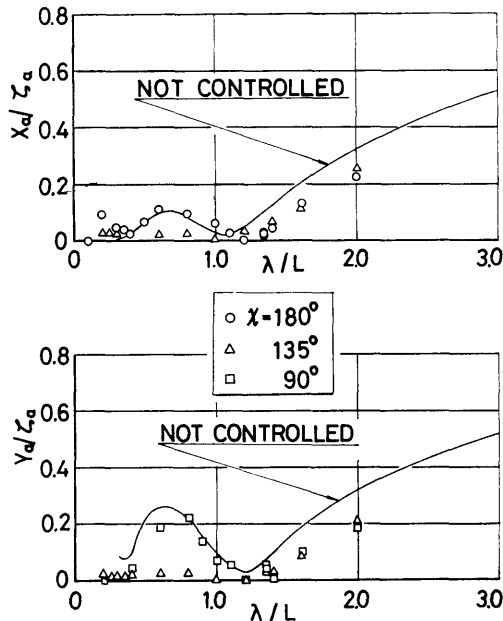


図-5.29 規則波中における前後揺および左右揺の応答特性

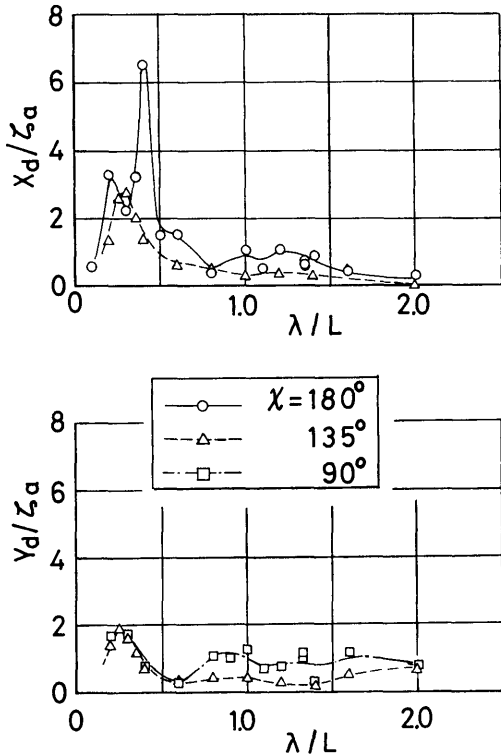


図-5.30 規則波を作用させた時の船体の最大漂流量

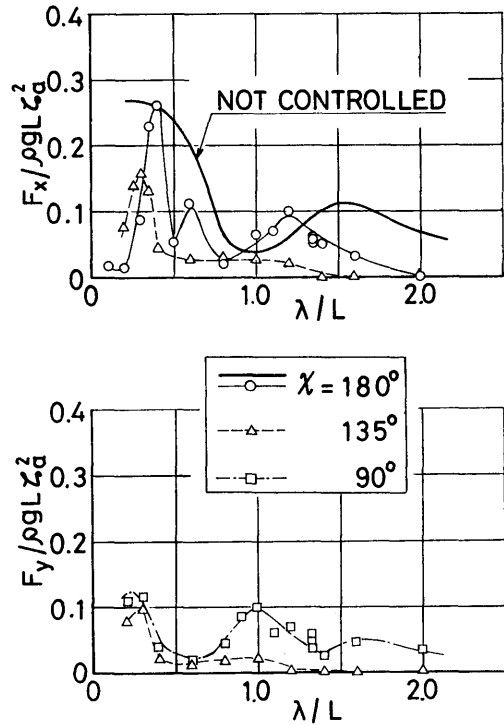


図-5.31 規則波中において船体に加わる定常力

とし、25r.p.s の時を100%として示している。

これらの図から、平水中において求められた制御定数を用いれば、各挙動は行き過ぎ量がほとんどなく、目標値の変化に対して適切に移動することが判明した。

なお、目標値の変化に対して各挙動の整定時間を大略求めてみると前後動及び回頭は30秒程度、左右動は25秒程度である。

(2) 規則波中における制御特性

まず、平水状態から船体に規則波を作用させた場合の船体の前後揺れ及び左右揺れの応答特性、船体の最大漂流量の応答特性及び推進器及びスラスターの推力から換算した定常力の特性を 図-5.29～図-5.31 に示す。

なお、計測項目の記録例を図-5.32に示す。

図-5.29 に示す前後揺れ及び左右揺れの 応答特性からは、波長・船長比 (λ/L) が1.2以下では各揺れはPID制御を与えても無制御時の応答(実線)とはほぼ同じであり、 λ/L が1.4以上の長波長では各揺れは制御によって20～30%程度減少することが判る。

なお、船体の船首揺れは、図-5.32からも判るよう

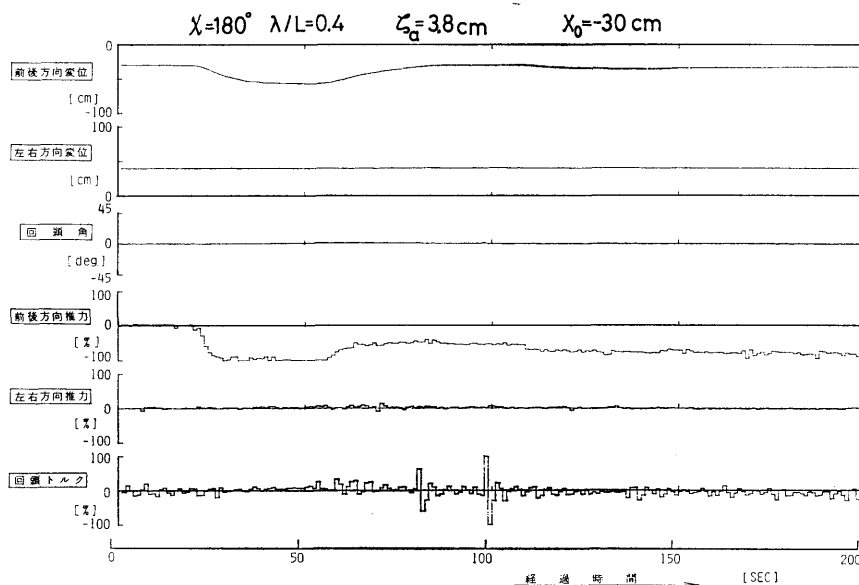


図-5.32 平水中より規則波を発生した場合の過渡応答例

にほとんど揺れが生じていない。

図-5.30は、規則波が船体に作用した場合の前後方向及び左右方向の最大漂流量である。

この図から、最大漂流量は λ/L が0.5以下の短波長で大きい値を示し、長波長では波高の50%程度しか流されないことが判る。

図-5.31は、規則波が船体に作用した場合の推進器及びスラスターの推進力から求めた定常力（漂流量に相当する）の応答特性である。なお、図中の実線は、制御していない場合の船体に働く波漂流量力である。

この図から、定常状態になった場合の前後方向及び左右方向の定常力は、実線で示す波漂流量力と傾向がよく一致していると同時に図-5.30に示す最大漂流量とも傾向が一致している。前後方向及び左右方向の定常力及び最大漂流量は、波漂流量力に起因するため各傾向が似ていることは当然であるといえる。

なお、波高影響について $\lambda/L=1.35$ で調べたが、動揺振幅、最大漂流量及び定常力ともに今回実施した5~15cmの波高範囲では無次元値で比較すると波高影響はないといえる。

以上から、今回の実験に用いたPID制御及び制御定数は、規則波中においてもほとんど問題なく模型の位置及び姿勢制御を行うことができることを検証した。

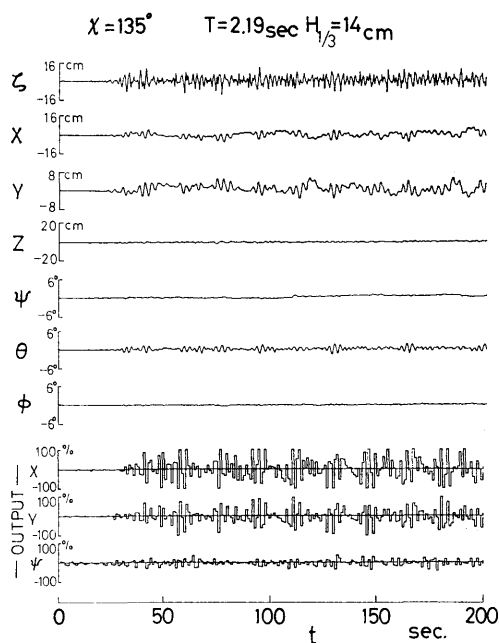


図-5.33 不規則波中における船体動揺および制御量の記録例

(3) 不規則波中における制御特性

実際の稼働海域に発生すると予想される不規則波の

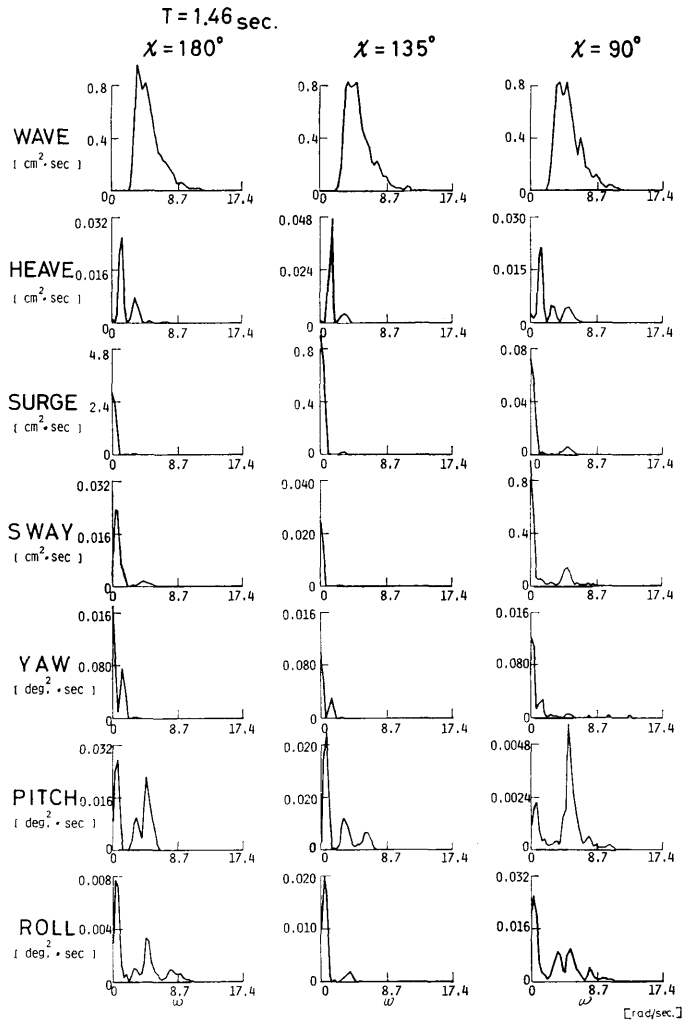


図-5.34 不規則波中における波および船体運動のスペクトラム

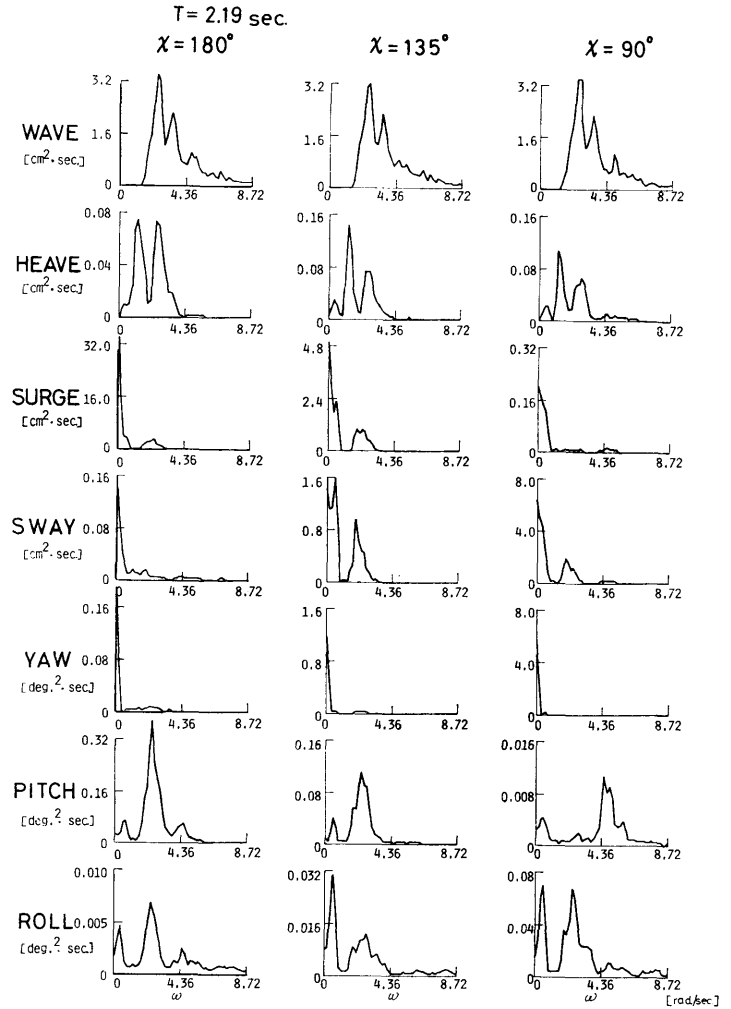


図-5.35 不規則波中における波および船体運動のスペクトラム

表-5.3 不規則波中における船体の長周期運動の周波数

Mode		Frequency							
		0.010 s 0.020 Hz	0.025 s 0.033 Hz	0.040 s 0.050 Hz	0.060 s 0.067 Hz	0.080 s 0.090 Hz	0.110 s 0.120 Hz	0.165 s 0.175 Hz	0.210 s 0.220 Hz
T = 1.46 sec	SURGE	○ △ □	○	△ □	○ □	● ▲ □	○		
	SWAY	○ △ □	○ ■	△ □	○ □	○ ▲ □	△	○	○
	HEAVE			△	△ □	△	○	○ △ □	○ △ □
	PITCH	○ □		□	□	▲ □	● □		
	ROLL	○ □	△ □	△		△ □	△ □	□	□
	Y A W	○ △ □	○ △ □	△ □	□	△ □	△ □		□
T = 2.19 sec	SURGE	△ □	○	□	△ □	● ▲ □	△		□
	SWAY	○ △	○	△ ■	□	○ ▲ □	△	△	□
	HEAVE			○		△	△	○ □	○ □
	PITCH	□	□	□	□	○ △ □	○ △ □		○ □
	ROLL	□	○ △	△	○ △ □	○ △ □	△	□	○
	Y A W	△	○	△		○ △	○ △		○

○ - 180°, △ - 135°, □ - 90°

波スペクトラム (Bretschneider—光易が提唱した) に基づいて平均波周期が1.46秒と2.19秒との2種類の不規則波を水槽内に発生させて制御特性試験を実施した。

その時に計測した記録例として平均波周期が2.19秒、有義波高が14cmで波との出会角が135°の場合を図-5.33に示す。この図は上から、波、前後動、左右動、上下動、船首揺れ、縦揺れ及び横揺れを示し、つづいて前後方向、左右方向及び回頭方向のモーター制御信号を示す。なお、不規則波中における1回の計測時間は約300秒である。

まず、入力波及び船体の6成分の動揺は、一般に用いられている統計解析手法に基づいてスペクトラム解析を行った。その解析結果は、平均周期が1.46秒の場合を図-5.34に、平均波周期が2.16秒の場合を図-5.35に示す。

これらの図から、船型がローハル型の半潜水式石油掘削船であるために各動揺の固有周波数が表-2.1に示すように低い。したがって、平均波周期が1.46秒の場合には、入力波の波エネルギーが存在している周波数の範囲では縦揺れ以外の動揺はほとんど応答していない。平均波周期が2.16秒と長周期になると、波エネルギーが存在している周波数の範囲で各動揺は応答を示すようになり、特に上下動、縦揺れ及び横揺れが比較的高い応答を示す。

しかしながら、図-5.34及び図-5.35を見ると、入力波の波エネルギーが存在していない長周期の範囲で各

動揺ともに比較的高い応答を示している。それは図-5.33の記録側においても前後動及び左右動に入力波の成分と異なる長周期運動が現われていることから判断できる。

そこで、これらの長周期運動の成分を解析するために、サンプリング時間を種々変化させて高速フーリエ変換装置を用いて周波数解析を行い、各動揺に含まれている長周期の周波数を求めた結果を表-5.3に示す。なお、表中に示す丸印、三角印及び四角印は、応答を示す場合で、黒つぶし記号は応答が記録上顕著に現われている場合である。

この表から、0.08~0.09Hzの範囲では各動揺ともに応答を示し、波との出会角が90°の場合には、0.06~0.67Hz、波との出会角が180°及び135°の場合には、0.11~0.12Hz付近にも応答を示していることが判る。

これらは、船体の縦揺れの固有周波数である0.0971Hz及び横揺れの固有周波数である0.0716によるもので、0.08~0.09Hzは船体のスリゴキ運動によって現われたものと判断できる。また、0.21~0.22Hzは船体の上下動の固有周波数である0.215Hzに起因しているものである。なお、それ以外の周波数においても応答値は低いが長周期運動を起していることが表-5.3から判る。

つぎに、スペクトラム解析結果及び高速フーリエ変換の周波数解析結果に基づいて波及び6成分の船体動揺の有義値及び計測時間内に起った極大値と極小値を一括して表に示したものが表-5.4である。これらの値

表-5.4 不規則波中における船体挙動の有義値および極大値, 極小値

波との 出会い角	船体 運動	模 型 試 験						実機換算値 (掘削作業時)					
		T = 1.46 sec H _{1/3} = 9.7 cm			T = 2.19 sec H _{1/3} = 13.9 cm			T = 7.76 sec H _{1/3} = 10.0 m			T = 11.64 sec H _{1/3} = 10.0 m		
		有義値	極大値	極小値	有義値	極大値	極小値	有義値	極大値	極小値	有義値	極大値	極小値
180°	X	0.011	0.027	0.045	0.042	0.084	0.116	1.116	2.794	4.573	3.020	6.029	8.334
	Y	0.002	0.005	0.008	0.005	0.009	0.009	0.199	0.477	0.834	0.323	0.616	0.615
	Z	0.003	0.007	0.006	0.010	0.015	0.011	0.290	0.752	0.601	0.716	1.051	0.787
	φ	0.002	0.002	0.002	0.004	0.005	0.005	0.178	0.223	0.223	0.267	0.388	0.077
	θ	0.006	0.011	0.009	0.017	0.021	0.036	0.612	1.080	0.953	1.228	1.532	2.575
	ψ	0.001	0.008	0.000	0.003	0.003	0.003	0.133	0.836	0.000	0.183	0.203	0.203
135°	X	0.004	0.026	0.025	0.027	0.060	0.063	0.429	2.659	2.557	1.957	4.374	4.553
	Y	0.002	0.019	0.017	0.023	0.054	0.038	0.250	1.967	1.751	1.677	3.952	2.742
	Z	0.003	0.005	0.005	0.010	0.016	0.013	0.289	0.529	0.529	0.747	1.167	0.955
	φ	0.002	0.005	0.000	0.004	0.008	0.000	0.170	0.559	0.000	0.282	0.602	0.000
	θ	0.003	0.005	0.008	0.010	0.017	0.017	0.328	0.561	0.870	0.703	1.245	1.245
	ψ	0.001	0.005	0.001	0.002	0.005	0.008	0.106	0.549	0.110	0.170	0.385	0.565
90°	X	0.002	0.013	0.009	0.004	0.015	0.018	0.272	1.389	0.926	0.319	1.085	1.338
	Y	0.012	0.055	0.038	0.033	0.105	0.070	1.289	5.770	3.911	2.426	7.650	5.140
	Z	0.003	0.005	0.004	0.010	0.012	0.017	0.361	0.533	0.457	0.704	0.856	1.230
	φ	0.005	0.016	0.002	0.009	0.023	0.004	0.485	1.615	0.187	0.624	1.662	0.317
	θ	0.003	0.005	0.006	0.003	0.006	0.006	0.272	0.510	0.584	0.249	0.448	0.423
	ψ	0.001	0.005	0.006	0.001	0.005	0.004	0.122	0.553	0.663	0.107	0.388	0.259

単 位 X, Y, Z → m
φ, θ, ψ → deg.

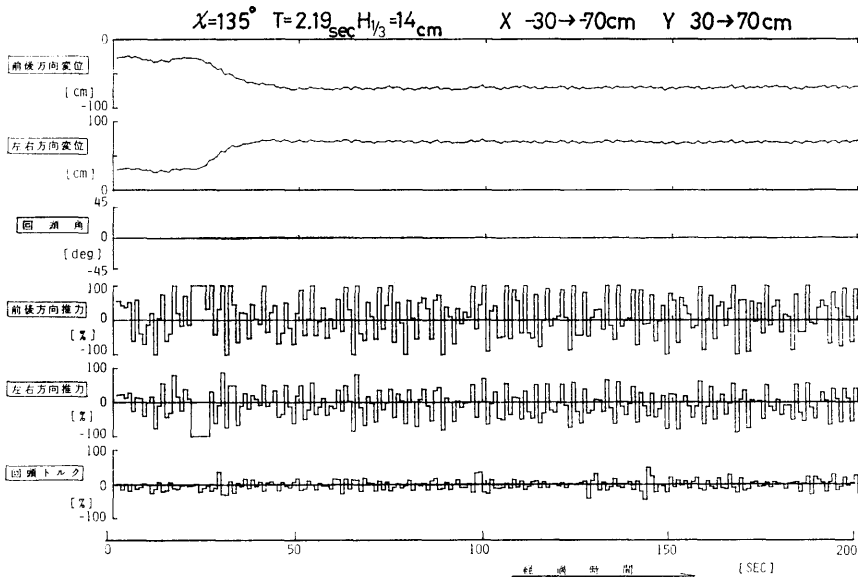


図-5.36 不規則波中における目標値変化に対する応答例

を表-4.1に示す大深度石油掘削船の掘削作業時の自然環境条件下における船体動揺量を想定するため、各動揺が波高に比例するものと仮定して実機で有義波高を10mに換算した値を表-5.4の右辺に示す。

この表から、今回実施した範囲内で、前後動は最悪の場合で有義値が3.0m、極大値が6.0m、極小値が8.0mであり、許容運動量の水深の±5%（水深1,000mとすると50mである）以内には充分入っている。左

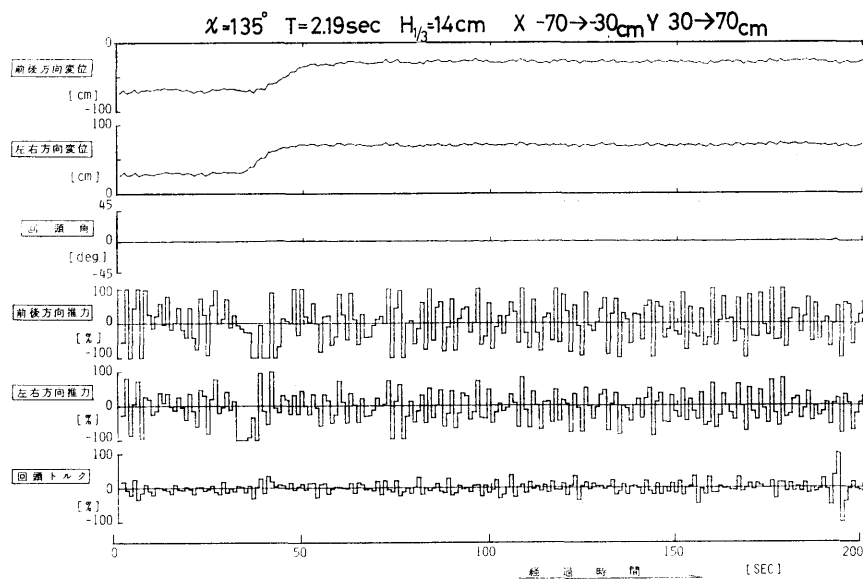


図-5.37 不規則波中における目標値変化に対する応答例

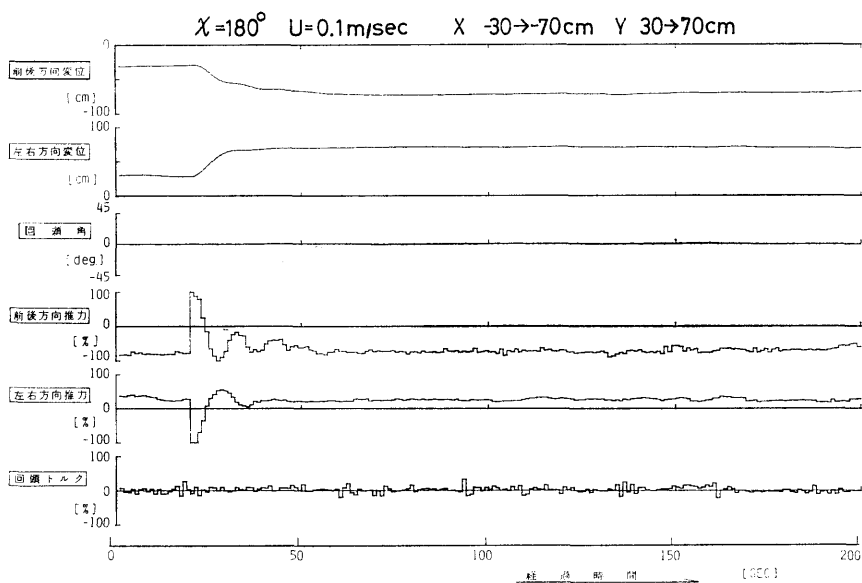


図-5.38 潮流中における目標値変化に対する応答例

右動は最悪の場合で有義値が2.4m, 極大値が7.7m, 極小値が5.1mであり, 左右動も許容運動量の水深の $\pm 5\%$ を充分満足している。上下動は最悪の場合で有義値が0.75m, 極大値が0.86m, 極小値が1.2mであり, 上下動も許容運動量の $\pm 2\text{m}$ を満足している。船首揺れは最悪の場合で有義値が0.18°, 極大値が

0.84°, 極小値が0.66°であり, 船首揺れの許容運動量の $\pm 2^\circ$ を充分満足している。

以上から, 今回の2ローハル型石油掘削船では, 半潜水式であることもあって実際海面に近い不規則波に遭遇しても掘削作業時の船体の許容運動量を充分過ぎる程満足することが判った。

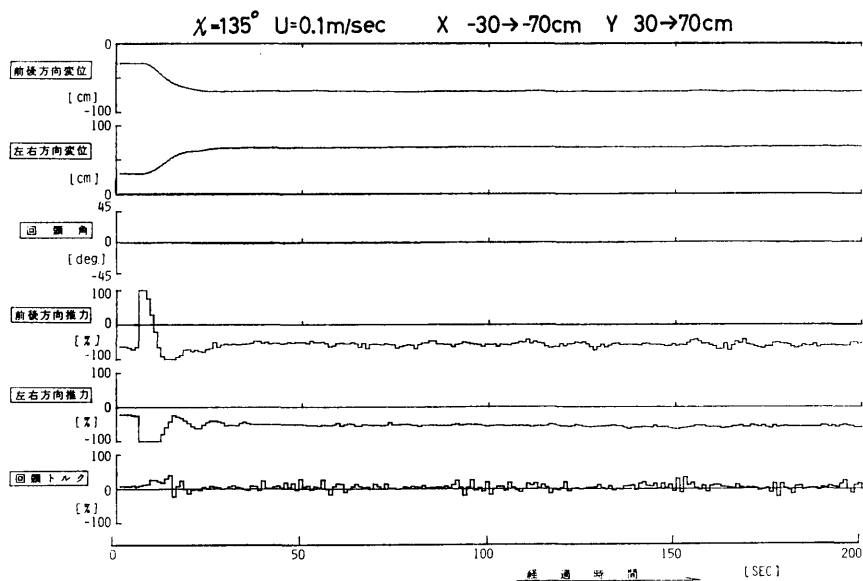


図-5.39 潮流中における目標値変化に対する応答例

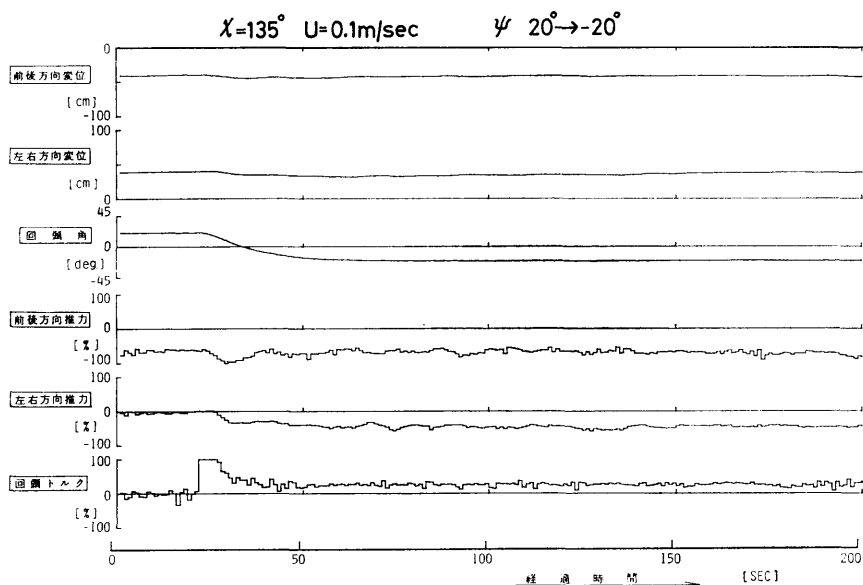


図-5.40 潮流中における目標値変化に対する応答例

不規則波中において推進器及びスラスタを駆動させて船体の目標値を前後方向及び左右方向へ同時に40 cm ステップ状に移動させた場合の船体挙動及び制御量を図-5.36及び図-5.37に示す。

これらの図から、今回発生させた不規則波程度であれば、目標値を移動させても船体挙動及び制御として

は特に問題となりそうな点が見受けられない。したがって、PID制御方式で石油掘削船の自動位置保持は、支障なく行い得るといえる。

(4) 潮流中における制御特性

模型に様な流れが作用している状態において、推進器及びスラスタを駆動させて船体の目標値を前後

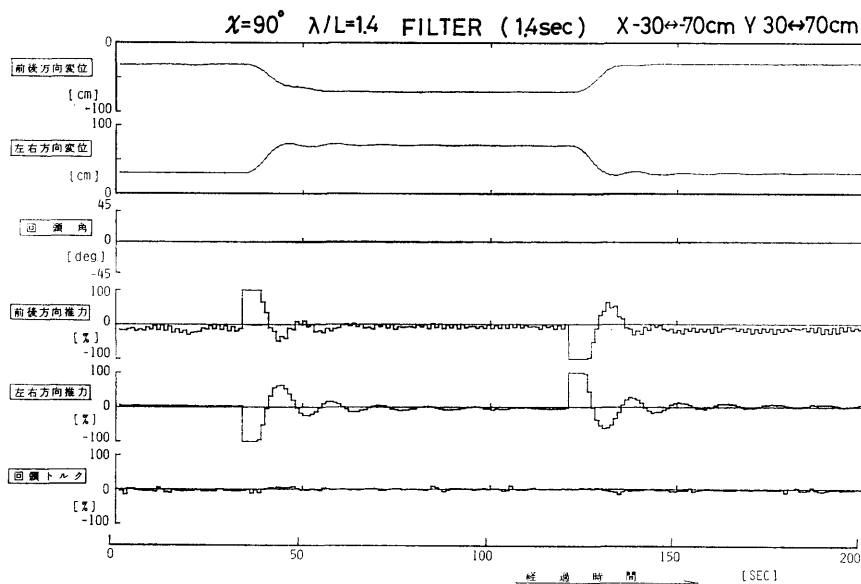


図-5.41 規則波中における目標値変化に対する応答例（フィルターによる影響）

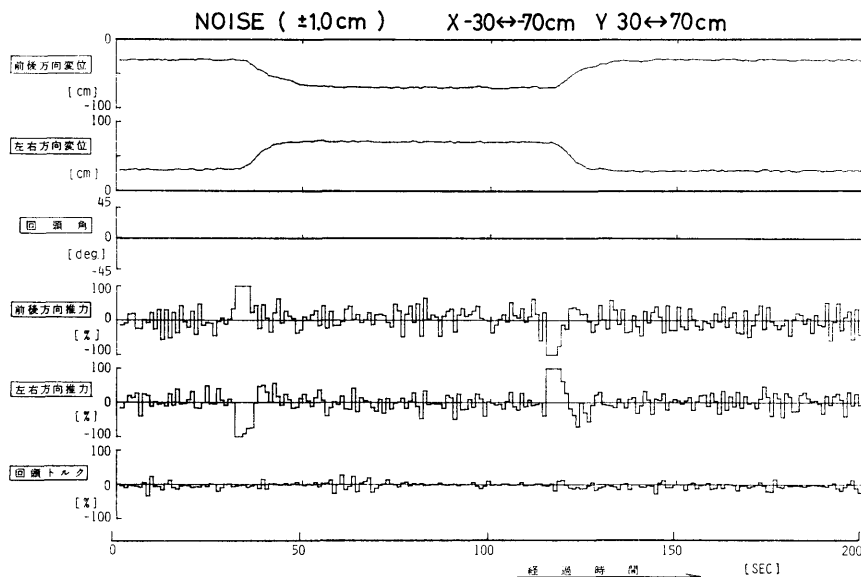


図-5.42 位置検出信号に雑音が含まれたときの応答例

方向、左右方向及び回頭方向にステップ状に移動させた場合の船体挙動及び制御量の代表例として流速が10 cm の記録を図-5.38～図-5.40に示す。

図-5.38は流入角が 180° で、前後方向及び左右方向に40cm目標値を移動した場合であり、図-5.39と図-5.40は流入角が 135° で、前者は、前後方向及び左

右方向に40cm目標値を移動した場合で、後者は、回頭角を $+20^\circ$ から -20° に目標値を移動した場合である。

これらの図から、流速が10cm程度であれば、目標値を移動させても制御としては特に問題がないといえる。その理由としては、潮流は定常力として考えられ

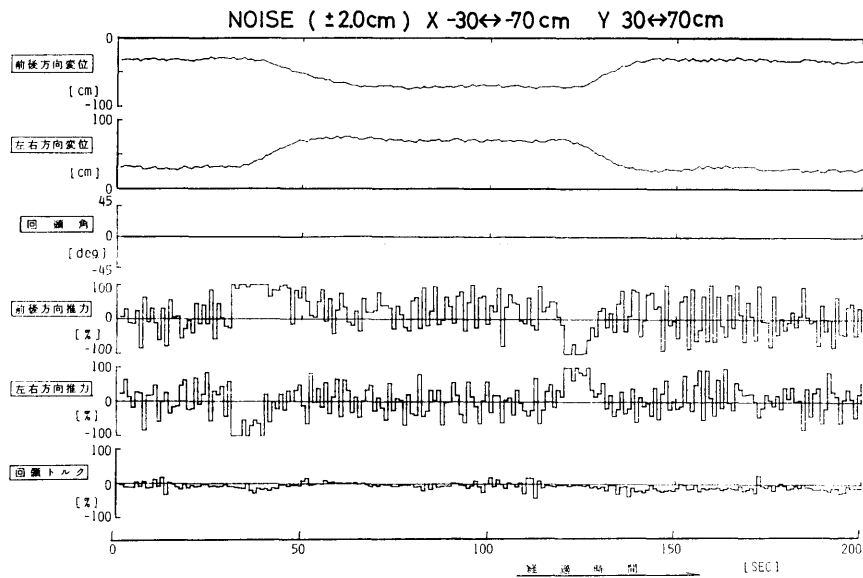


図-5.43 位置検出信号に雑音が含まれたときの応答例

るので推進器及びスラスターの能力によって最大流速が決定されるからである。なお、今回模型に装備した推進器及びスラスターの能力では、前後方向で流れに抗して前進可能な流速は12cm程度であり、左右方向で流れに抗して移動可能な流速は9cm程度であった。

(5) その他の試験

通常実機の位置検知装置には10cm程度の測定粗さがあるのが普通であるので、今回の試験においても実機換算で10cm程度の測定粗さを想定した位置信号を入力させて制御を行った結果、測定粗さに起因する量子化雑音の影響を見るために測定粗さを1.5cm程度にした場合と比較すると波周期に相当する雑音が制御信号に2倍程度多く混入することが判明した。したがって、測定粗さは制御する上にとって問題となるので、その対策としては適正なフィルターを用いることも考えられる。そこで、時定数が1.4秒(模型)のフィルターを用いると波周期に相当する雑音は約1/2以下に低くすることが出来たが、フィルターの位相遅れによって図-5.41に示すように船体が振動することになった。

また、位置検知信号に実機換算で±0.28m及び±0.56m程度のランダムノイズを加えた結果、推進器及びスラスターの回転数が極端に変動すると同時に船体挙動も大きくなった。そこで、制御出力にリミッター

を入れることによって図-5.42及び図-5.43に示すように多少推進器及びスラスターの回転数は変動するが船体の変動が2m以下(実機換算)で目標値に追従することが可能であることが判明した。

以上の試験より位置検知装置の測定粗さ及び位置検知信号の雑音に対する対策の一手段としては、制御信号への適正なフィルターの採用及びフィルターによる位相遅れの改善等が考えられる。

6. 結 言

大型模型を用いたDPS総合水槽試験により推進器スラスターと船体の流力基本特性および各種自然条件下でのPID方式を用いたときの制御特性が大略把握でき、その結果、実用化にあたっていくつか解決すべき点はあるものの本機は基本的に設計外力条件を満足できる性能を有することが実証された。

以下に総合水槽試験により得られた成果の概要を述べる。

(1) 基本特性に関して

- ① 2ローハル型半潜水式石油掘削船においてスラスターをローハル内に装備した場合船体内側吹出しにおいて船体との干渉が大きく効率が低下するため吹出し角の改善などをする必要がある。
- ② 潮流中においてスラスターが船体におよぼす

力は流入角によって影響をうけ大きな変化を示す。

- ③ 推進器，スラスタをステップ駆動したときの船体応答は前後動で若干非線形性を有するが左右動，回頭ではほぼ一次遅れと仮定できる応答を示す。

(2) 制御特性に関して

- ① 平水中における目標変化に対する応答は前後動，左右動で変化量の20%以下，回頭では5%以下のゆきすぎ量で良好な追従をする。
- ② 平水中より規則波を発生させたときの漂流量は $\lambda/L=0.4$ 付近で最大値をとり，長波長域では波高の50%程度に減少する。また，規則波中における船体動揺は無制御時の応答とほぼ同様である。
- ③ 不規則波中における船体挙動は入力波のエネルギーの存在する範囲では小さいが，固有周波数の影響により入力波のエネルギーの存在しない長周期の範囲で応答が大きくなり，長周期運動を起こす。しかしながら，全体的に許容運動量以内にあり実海域における波浪中で十分な稼動ができることが実証された。
- ④ 潮流中での目標値変化に対する応答は推進

器，スラスタの能力が限度に達しない限り良好に追従する。

- ⑤ 実機において信置信号にはかなり雑音が混入すると予想されるが，適当なフィルターの採用とともにフィルターによる位相遅れの影響に注意する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 安藤他；自動位置保持装置付大深度石油掘削船の動的応答特性について，船研講演集（1980. 12）
- 2) 村山，菊池；石油掘削船の位置制御系について，日本船用機関学会第29回春季講演会（1981. 5）
- 3) 葛西他；海洋構造物の自動位置保持システムに関する基礎研究，三菱重工技報 Vol. 13, No. 4, (1976)
- 4) Experimental Study on Dynamic Positioning Control for a Semi-submersible Lower-hull Type Offshore Platform, 日本造船学会論文集第142号（1977）
- 5) 赤坂他；首振式スラスタによる作業船のダイナミックポジショニング，三菱重工技報，Vol. 18, No. 2（1981. 3）
- 6) 大深度石油掘削船の船型の調査研究事業報告書，財団法人日本船用機器開発協会（1976. 3）
- 7) 大深度石油掘削船自動位置保持装置の研究開発に関する調査報告書，運輸省船舶局（1981. 3）