

8. 潜水調査船着水揚収システムの開発研究(第1報), —着水揚収時の相対運動模型水槽試験

岡田 光豊*¹ 高川 真一*¹ 谷内 琢也*¹
加藤 洋*¹ 對馬 克己*¹ 富田 慎一*²

2,000 m 潜水調査船の着水揚収装置は、船尾 A フレームクレーンを用いたナイロン索による 2 点 2 索吊り方式を採用した。この方式の採用理由は、潜水調査船の重量が約 25 t と大きいこと、吊揚げ時のピッチングおよびヨーイングを少なくすること、ガイド索に沿って降下させ自重で嵌合する吊揚金物を採用することからダイバーの作業を安全で、しかも負担がかからないことなどにある。この装置に対する要求性能は、通常、シーステイト 3 まで、緊急時は、シーステイト 4 においても揚収できることとしている。波浪中の曳航荷重や揚収荷重、または潜水調査船と支援母船の相対動揺に関するデータは、わが国では皆無である。そこで着水揚収システムの $1/10$ 縮尺模型を用い、東京大学船舶航海性能試験水槽で、揚収試験を行い、実機建造に必要な諸データを得た。

その結果、2 点 2 索吊りでナイロン索を使用した A フレームクレーン方式によって要求使用条件のうち、最も厳しいシーステイト 4 における揚収作業が可能であるとの見通しを得た。

Development of a Launch and Retrieval System for a 2,000 m Deep Submergence Research Vehicle (Report 1), Model Test of the Submersible Launch and Retrieval System in Waves

Mitsutoyo Okada*³, Shinichi Takagawa*³, Takuya Taniuchi*³,
Hiroshi Kato*³, Katsumi Tsushima*³, Shinichi Tomita*⁴

The support ship for our 2,000 m Deep Submergence Research Vehicle (DSV-2K) employs a stern mounted A-frame crane which has two nylon lift lines. Usually, an A-frame crane has one lift line, but we have not adopted this due to the following three reasons.

First, the weight of the DSV-2K is too great (about 25 tons). Secondly, the pitching and yawing motion can be decreased by using two lift lines. Thirdly, we have succeeded in developing a self-mating device to lift the submersible, safely. This device is made to slide down along the guide line and

*¹ 深海開発技術部

*² 川崎重工業株式会社神戸造船事業部

*³ Deep Sea Technology Department

*⁴ Kobe Works, Kawasaki Heavy Industries, Ltd.

mates with the male device installed at the top of submersible.

The limit of the performance of this A-frame crane system for routine operations is required to be Sea State 3. However, in an emergency recovery, it is Sea State 4.

Unfortunately, we had no data to design the A-frame crane system in the areas of towing load, lifting load, and the relative motion during the recovery operation in waves.

Therefore, we made the experiment of this system using a 1/10 scale model in the sea-keeping and maneuvering basin of the University of Tokyo. As a result of this experiment, we obtained much useful data for design and operation.

Through the result of this test and analyses we confirmed that the stern mounted A frame crane with two lift lines is suitable for the DSV-2K launch and recovery system, and that this system can be operated even in Sea State 4.

1. ま え が き

2,000 m 潜水調査船は、専用の支援母船に搭載し、その母船で目的とする潜航海面まで海上輸送する。

潜航海面に到着後、所要の準備をし、潜水調査船を支援母船から着水揚収するが、波浪中の作業となるため、種々の困難が予想される。

潜水調査船の着水揚収システムは、乗員の安全確保と作業の簡素化をはかり、運用効率の高いものが要望され、現在、世界各国でも研究が続けられている段階であり、まだ、その王道は確立されていないのが実情であろう。

本命題の基本的な困難さは、潜水調査船と支援母船の船型諸元が大幅に相違するために波浪中の動揺特性が異なること、あるいは実海域の不規則波中では複雑な挙動をし、大きな相対動揺を生ずる点にある。

このため、着水揚収時の動揺抑止とか衝撃荷重の緩和について、これまで経験的運用技術によって試行錯誤的に各種の方式が採用されてきた。最近の欧米での傾向は、船尾 A フレームクレーンによるナイロン索での 1 点吊り方式が主流となってきた¹⁾。

2,000 m 潜水調査船の着水揚収方式は昭和48年(1973)度の研究段階から種々検討を重ね、昭和52年度の基本設計で船尾 A フレームクレーンによるナイロン索を用いた 2 点 2 索吊り方式を選

定^{2), 3)}した。その主な理由は、つぎの通りである。

- (1) 諸外国の A フレームクレーンは 1 点吊りである。これは潜水船の重量が 10 t 程度で軽いためであり、2,000 m 潜水調査船は重量が約 25 t になることを勘案すると実績から見ても 2 点吊りとした方がよいと考えられる。
- (2) 潜水調査船の外殻構造の中央部にかかる曲げモーメントは、2 点吊りとした方が小さくなるため、重量が軽減できる。
- (3) 潜水調査船の着水揚収時のピッチングまたはヨーイングは、1 点吊りよりも 2 点吊りの方が少くすることができる。
- (4) 細いガイド索に沿って吊揚金具が自重で降下して嵌合する方式を採用するため、2 点吊りとなっても、ダイバーは細いガイド索 2 本を潜水調査船に取付けるのみでよい。したがってダイバーに負担がかからず、しかも安全に着水揚収作業ができる⁴⁾。

ところが、2 点 2 索吊りで、ナイロン索の弾性によって、約 25 t の潜水船を波浪中で着水揚収する場合の潜水船の動揺挙動、吊揚荷重、曳航荷重等に関するデータは、国内には皆無である。そこで 1/10 縮尺模型で、着水揚収装置模型水槽試験を実施した。

本試験の主目的は、つぎの 2 点である。

- (1) 波浪中で潜水調査船を安定させて揚収するためには、支援母船が低速で曳航する必要が

ある。

曳航間隔は吊揚直前で潜水調査船と支援母船が、非常に接近した状態となる。この接近した状態での潜水調査船の曳航安定性、支援母船と潜水調査船との相対動揺ならびに曳航索に加わる動的荷重を求め、適切な曳航要領を把握する。

- (2) 波浪中で潜水調査船を水面から安全に揚収するには、吊揚時潜水調査船の動揺が少くなるようにすると共に、水切り時の衝撃荷重を緩和させる必要がある。吊揚時の潜水調査船の6自由度の動揺、吊揚索に加わる動的荷重を求め、実機の着水揚収装置を設計するため、必要なデータを得る。

なお、本実験を実施するにあたり、“潜水調査船開発研究会”の委員各位ならびに、東京大学船舶工学科元良教授および藤野助教授から適切なお助言、ご指導をいただいたことに対し、深く謝意を表する次第である。

2. 着水揚収装置の概要

支援母船の船尾上甲板に装備される着水揚収装置は、図1に示すように、起倒式のA-フレームクレーン、ペンダントフレーム、ナイロン索、ラムテンショナおよびホイスティングウインチなどで構成される。

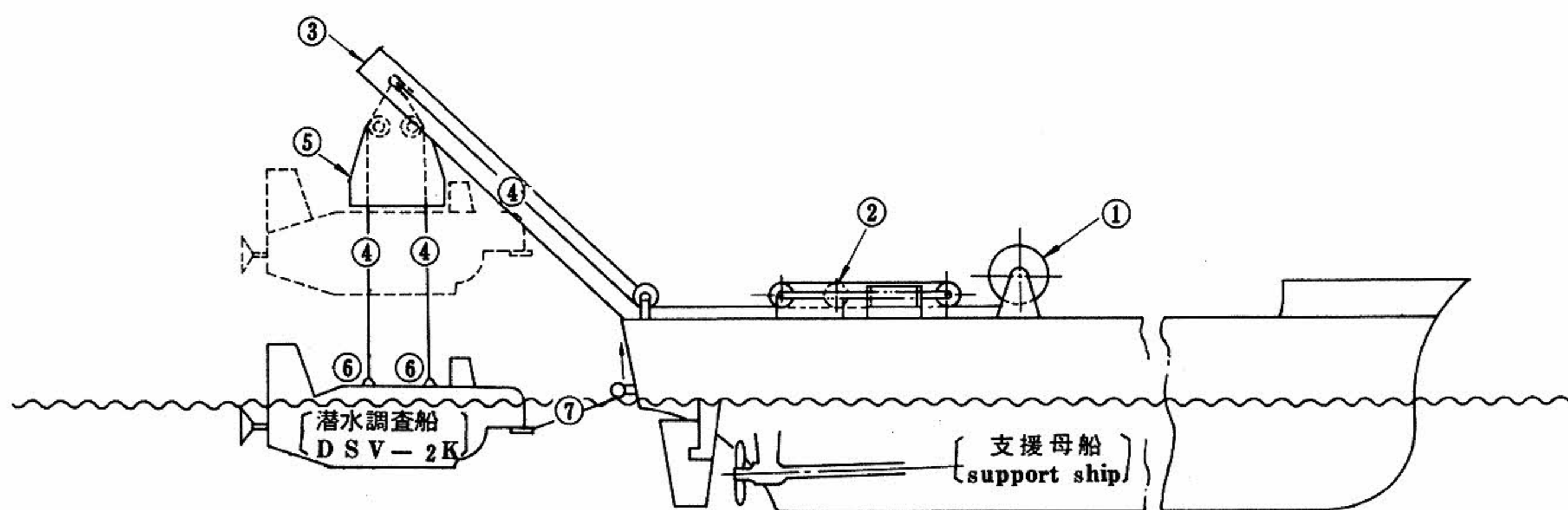
吊揚型式は、ナイロン索による2点2索吊りでその弾性によって吊揚時の衝撃荷重を緩和し、油圧-空気式ラムランショナのばね作用によって潜水調査船の水切り時の動揺を補償するようにしている。

本装置による揚収作業の手順は、つぎの通りである。

- (1) 浮上した潜水調査船に、ダイバーが作業船で近づき、曳航索を取付ける
- (2) 支援母船は、潜水調査船を引寄せ、2軸可変ピッチプロペラおよびバウスラストを用いて低速で曳航を開始する
- (3) ダイバーが、細い鋼製のガイド索を2本潜水調査船の上部にあるおす型の吊揚金物に取付ける
- (4) 潜水調査船をAフレームの直下に引き寄せる。
- (5) 自重で嵌合する吊揚金具を先端に有する吊揚索を繰出し、潜水調査船に吊揚索を結合させる

なお、この時吊揚金具は、ガイド索に沿って降下する。

- (6) ダイバーが吊揚金具の結合を確認したのち、作業艇に乗移る
- (7) 吊揚索を巻取り、潜水調査船を水面から吊



1. ホイストウインチ, hoist winch
2. ラムテンショナ, ramtensioner
3. A-フレームクレーン, A-frame crane
4. 吊揚索, lift line

5. ペンダントフレーム, pendant frame
6. 吊揚金具, self mating device
7. 曳航索, towing line

図1 着水揚収装置の構成
Components of launch and retrieval system

表1 着水揚収装置に対する要求性能

Required performance for launch and retrieval system

海象条件	通常：シー ステイト 3
	1/3 有義波高 1.25 m
	平均波周期 5.5 s
	緊急時：シー ステイト 4
	1/3 有義波高 2.5 m
	平均波周期 6s
吊揚荷重	潜水調査船空中重量：約 25 t

表2 着水揚収装置計画要目

Planned characteristics of launch and retrieval system

項 目	主 要 目
A-フレームクレーン (含, ペンダントフレーム)	吊 揚 型 式: 2点2索吊り 荷重×リフト: 45t×6.5 m アーム長さ: 10.5 m 紀倒方式: 油圧シリンダー駆動
吊 揚 索	100mmφテトロン: ナイロン, タフレロープ 外 層: テトロン繊維 内 層: ナイロン繊維
ラムテンショナ	張力調整範囲: 2~10t ストローク: 4 m
ウ イ ン チ	荷 重: 35t 巻 取 速 度: 18 m/min

表3 支援母船の主要目

Principal particulars of support ship

項 目	主 要 目
全 長	65.90 m
垂 線 間 長	60.00 m
型 幅	13.00 m
型 深	6.30 m
計 画 吃 水	3.50 m
ト リ ム	0 m
排 水 量	1567 t
C b	0.56
重心高さ (KG)	5.08 m
G M T	1.43 m
G M L	8.48 m
L c b	☒ から船尾へ 1.20 m

揚げる。

(8) A フレーム クレーンを支援母船の船首側に倒し, 移動台車上に潜水調査船をもってくる。

(9) 吊揚索を巻出し, 移動台車上に潜水調査船を降し, 固縛する

本装置に対する要求性能および計画要目は, 表1および表2に示す通りである。

3. 試験装置

波浪中で, 着水揚収する時の潜水調査船の動揺挙動, 曳航状態, 衝撃荷重などを求めるため, 実船の $\frac{1}{40}$ 縮尺の潜水調査船, 支援母船および着水揚収装置の模型を製作し, これに各種のジャイロ, 加速度計等の計測器を装備し, 大きな造波装置を有する耐航性試験水槽を使用して揚収試験を実施した。

3.1 支援母船模型

支援母船の主要目は, 表3に示す通りである。

この $\frac{1}{40}$ の縮尺木製模型を製作した。パラフィン製の模型としなかったのは, A フレームクレーン, または各種計測器を装備する関係で丈夫な模型を必要としたためである。

この模型は, 実船に対して船型, 重量, 重心, 吃水, トリムを合わせることは, もちろん, 3軸, 慣動半径も実船に合わせた。なお, 慣動半径の調整は, ブランコ式調整装置などで行った⁵⁾。

3.2 着水揚収装置模型

着水揚収装置の模型は, 実機の $\frac{1}{40}$ の縮尺で, 金属製のものを製作した。この模型は, 写真1に示すように, A フレームクレーン, ペンダントフレーム, ラムテンショナ, ホイステイングウインチで構成し, 実機に相似の索取りを行った。

ここで, ラムテンショナはばね定数を実機相当に調整したコイルばねを使用し, 吊揚索は実機の $\frac{1}{40}$ 縮尺品ではばね定数を厳密に模擬することが困難であるため, ワイヤロープとコイルばねとを組合せ, 実機相当に調整したものを使用した。

3.3 潜水調査船模型

潜水調査船の主要目を表4に示す。

この $\frac{1}{40}$ の縮尺模型は写真2に示すように, FRPで製作した。FRPは外殻のみとし, その内部にはジャイロなどの計測用センサーを納めたアルミニウム製の水密容器を設けた。

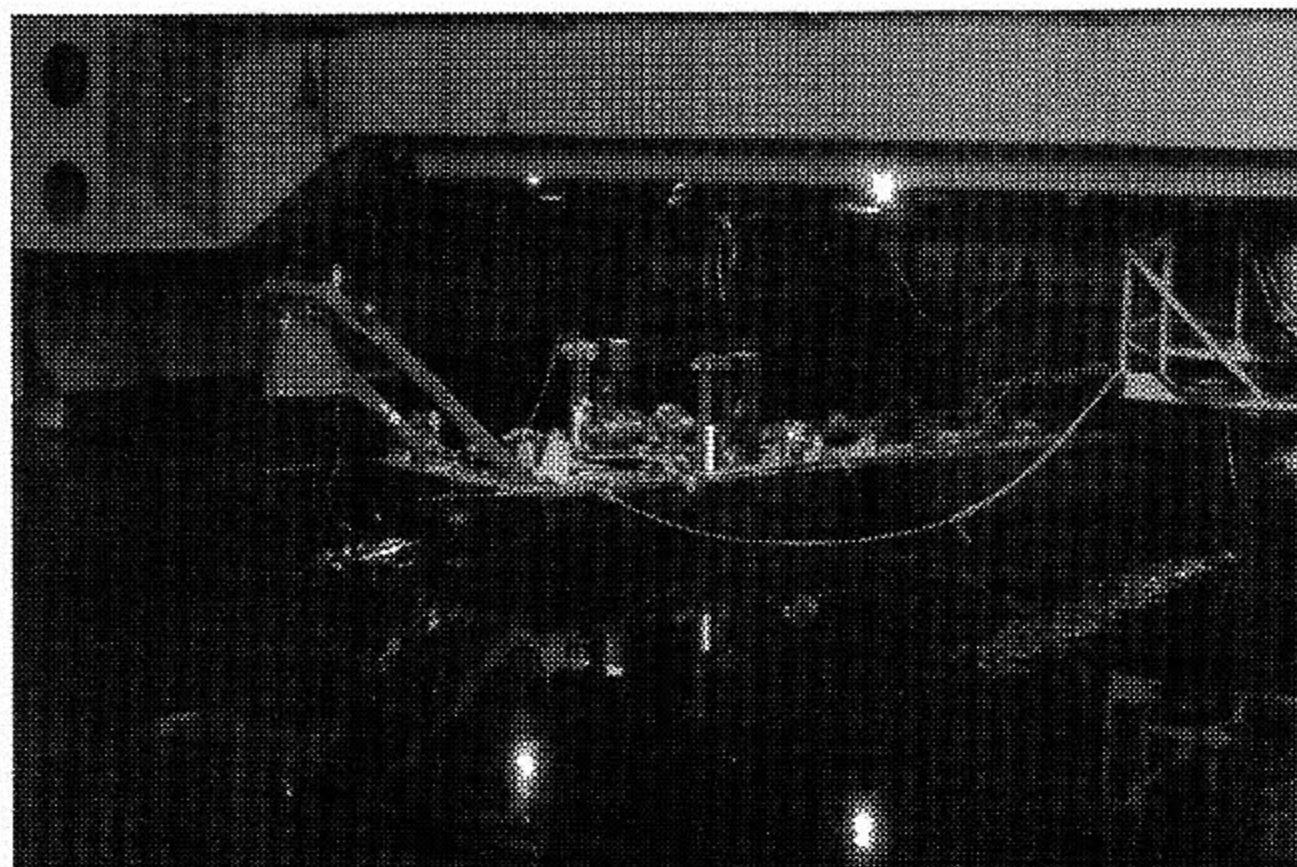


写真1 着水揚収装置の模型
Model of launch and retrieval system

表4 潜水調査船の主要目
Principal particulars of deep submergence research vehicle (DSV-2K)

項 目	主 要 目
全 長	9.15 m
幅	3.00 m
深 さ	2.90 m
浮上時吃水	2.50 m
ト リ ム	0 m
空 中 重 量	24.5 t
線図排水容積	44.5 m ³
C b	0.648
重心高さ (KG)	1.62 m
G M T	0.20 m
G M L	0.84 m
L c b	⊗ から船尾へ 0.546 m

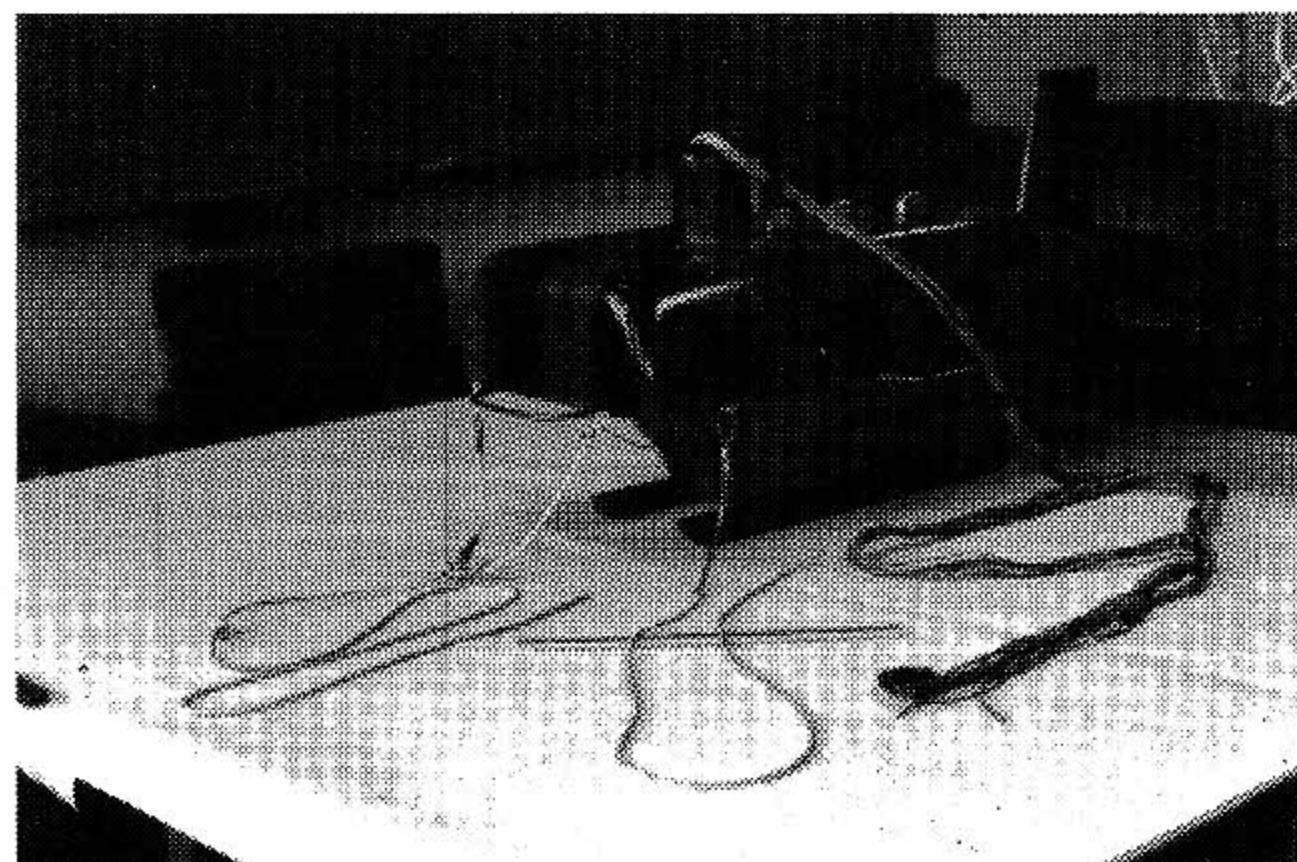


写真2 潜水調査船の模型
Model of deep submergence research vehicle

外殻と水密容器との空間には、鉛バラストおよび浮力材を配置し、重量重心、浮量浮心および水線近傍の排水量曲線並びにメタセンタ高さを実船相当に調整した。慣動半径の調整は、ピアノ線による2本吊法で行った。

なお、推進動力装置は装備せず、支援母船による曳航だけとし、試験に必要な曳航索、控索、吊揚索および計測用電線を取付けた。計測用電線は潜水調査船の6自由度の運動を自由にするため、軽量で柔軟性に富んだものを使用し、束ねて重心付近に装備した。

また、外殻下部の水抜き穴は、非水防部の海水排水速度が、吊揚荷重に影響を与えるので、その配置および面積は実船に相似とした。

3.4 計測装置および計測項目

本試験で計測する項目は表5に示す。この項目には潜水調査船および支援母船のロール、ピッチ、ヨーの各角度およびサージ、スウェイ、ヒープの各加速度と、着水揚収装置における3軸加速度、吊揚張力、曳航張力などがある。

潜水調査船および支援母船に装備したジャイロ（バーチカルジャイロ、レートジャイロ、ディレクショナルジャイロの組合わせ）および加速度計は、それぞれの重心位置に装備するため、小形軽量なものを使用した。

また3軸加速度の積分は、バイアス成分を除去し、精度よく演算できるものとした。

張力計は、歪ゲージ方式のものとし、この周波数応答特性は、実船スケールで10ms程度の荷重変動まで検知可能なものを使用した。

3.5 試験水槽

各方向の波に対する動揺特性を求めるため、支援母船の模型は、6自由度の運動を自由にし、オートパイロットによって造波装置付角水槽中を所定針路で自航させ、これに対して計測器を乗せた台車（carriage）で追跡計測することができる試験水槽が必要である。

本試験は、東京大学船舶航海性能試験水槽を借用して行った。この水槽は、図2に示すように、長さ50m、幅30m、深さ2.5mで水槽の長辺または短辺の側造波板から波を発生させることができる⁶⁾。

4. 試験実施要領

前述の試験装置を用い、波高および波長の異な

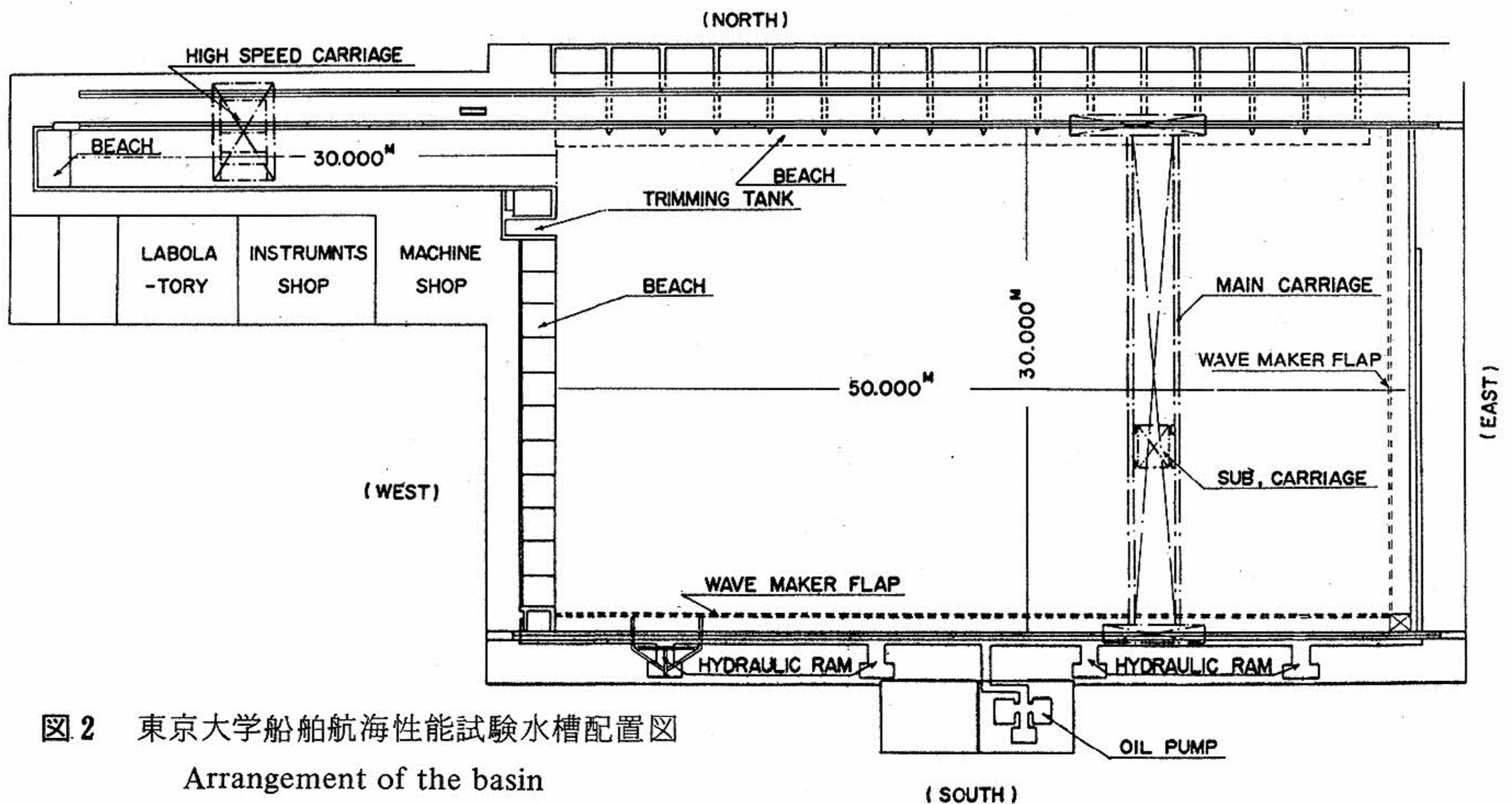


図2 東京大学船舶航海性能試験水槽配置図

Arrangement of the basin

表5 計測装置および計測項目
Measuring equipment and items

No.	計測装置	計測位置	計測項目	記号	備考
1. 潜水調査船	潜水調査船運動計測装置: 東京航空計器製 230-12002001 パチカルジャイロ レートジャイロ 加速度計	重心位置	潜水船: ロール角度 ピッチ角度 ヨー角速度 サージ加速度 スウェー加速度 ヒープ加速度	φ_s θ_s ψ_s $\dot{x}_s$ $\dot{y}_s$ $\dot{z}_s$	$\dot{x}, \dot{y}$ は絶対座標系 $\dot{z}_s$ は船体座標系
2. 母船	パチカルジャイロ: 東京航空計器製 TRB-8E型 ディレクショナルジャイロ: 東京航空計器製 加速度計: 共和電業製 AS-20	重心位置	母船: ロール角度 ピッチ角度 ヨー角速度 サージ加速度 スウェー加速度 ヒープ	ψ_m θ_m ϕ_m $\dot{x}_m$ $\dot{y}_m$ $\dot{z}_m$	$\dot{x}_m, \dot{y}_m, \dot{z}_m$ は船体座標系
	主曳航電車 } 速度計 追跡電車		母船船速	v_m	
	プロペラ回転計測装置		プロペラ回転数 (左右軸)	n_p	
3. 着水揚収装置	加速度計: 共和電業製 AS-20	ペンダント	ペンダント: 前後加速度 左右加速度 上下加速度	$\ddot{x}_h$ $\ddot{y}_h$ $\ddot{z}_h$	$\ddot{x}_m, \ddot{y}_m, \ddot{z}_h$ は船体座標系
	吊揚索張力計: 共和電業 LU-100KE		潜水船吊揚荷重: 前部索 後部索	T_{m1} T_{m2}	
	曳航索張力計: 共和電業製 LU-20TE		潜水船曳航荷重	T_t	
	ウインチ回転計測装置		吊揚索巻取長さ	l_h	
4	波高計 (抵抗線式)		波高	h_m	水槽に設置

表6 波浪条件
Wave conditions

項目	波高 (H_w)	波長 (λ/L)	出会角 (χ)	備考
波長試験	1.25 m	0.25~2.0	180° (向い波)	規則波
斜波試験	1.25 m	1	0~180°	規則波 (30間隔)
波高試験	0.5~2.0 m	1	180° (向い波)	規則波

λ : 波長
 L : 母船船長

表7 曳航条件および揚収条件
Conditions of towing and retrieval

項目	条件
曳航条件	曳航間隔 6 m 支援母船側曳航支店 吃水線上 1 m 曳航速度 2 kt シーアンカー 水流抵抗 300 kg (2kt曳航時) 控索 なし 曳航索の弾性 ばね定数 1.3 t/m
揚収条件	吊揚索の弾性 ばね定数 16 t/m ラムテンション 張力調整範囲 2~20 t/2本 ストローク 4 m 吊揚索巻取速度 18 m/min

る波浪条件下で、しかも各方向の波に対して潜水調査船の曳航ならびに揚収試験を行い、曳航荷重、吊揚荷重および動揺諸元を計測し、波長、波高および出会角に対する規則波中の応答特性を得た。

波浪条件は表6に示す。

曳航試験および揚収試験の条件を設定するに当たって、本試験に先立ち、予備試験を実施した。この予備試験では、曳航間隔、曳航速度、控索、シーアンカー、吊揚速度などの諸元を、パラメトリックに変化させて潜水調査船の曳航安定性を確保し、しかも衝撃荷重が少なく、円滑に揚収できる適切な曳航条件および揚収条件を選定した。

表7はその条件を示す。

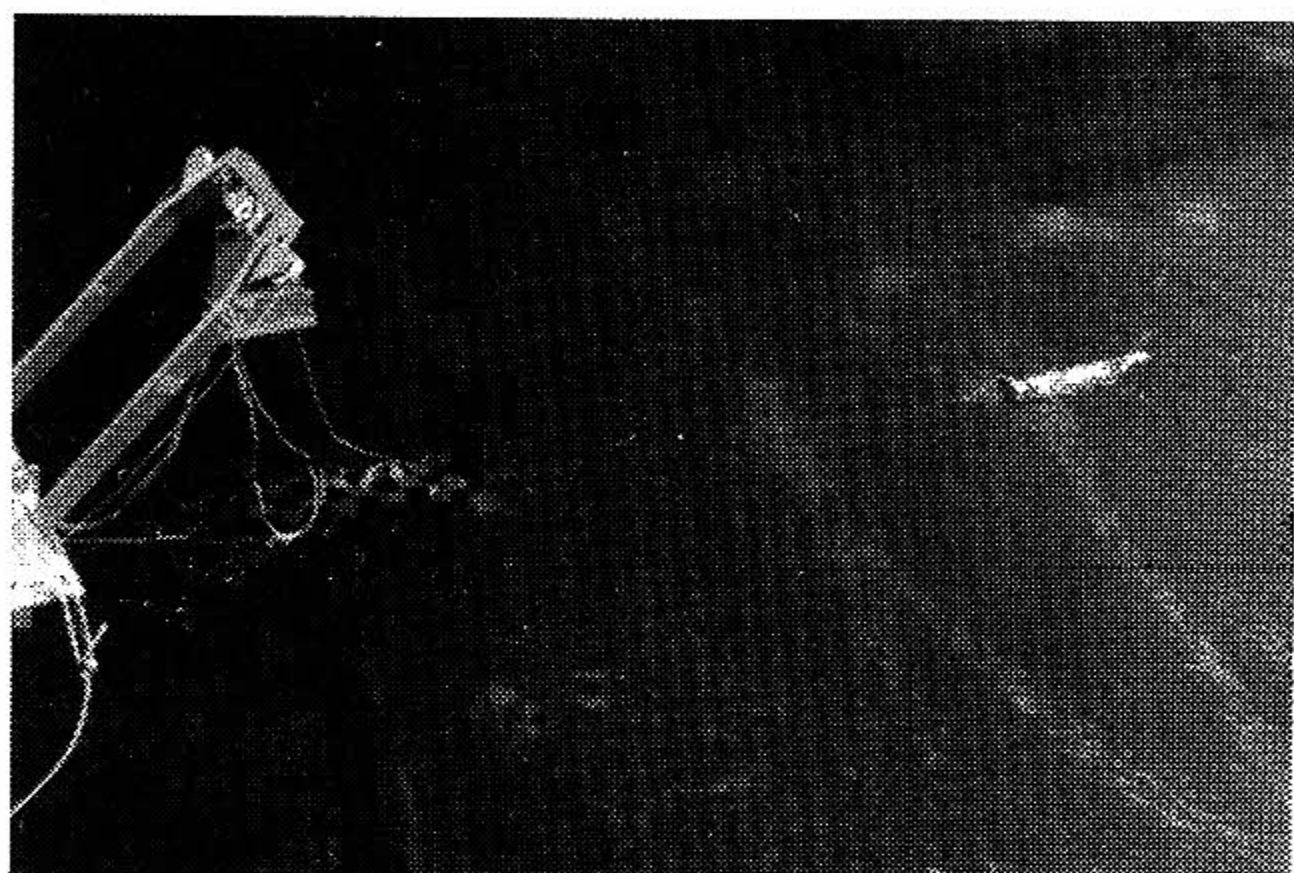


写真3 曳航試験状態
State of the towing test



(1) 吊揚開始
start of the retrieval

なお、曳航速度は波高試験以外を2 kt とした。波高試験を1 kt で実施したのは、波高が高い場合、本母船模型の自航動力装置では、1 kt 以上の曳航速力を得ることが困難であったためである。

またシーアンカーは、その効果を把握するため、装着した場合と装着しない場合の2種類の試験を実施した。

以上の試験実施状況を、写真3および写真4に示す。

5. 試験結果の解析

着水揚収装置模型水槽試験で得られたデータは例えば図3および図4に示すような規則波中のものである。

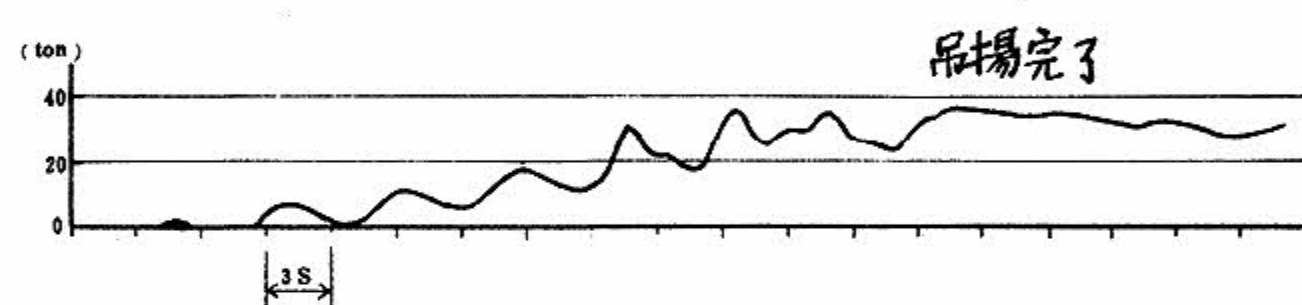


図3 全吊揚荷重の計測データの一例

An example of the total lifting load by experimental data

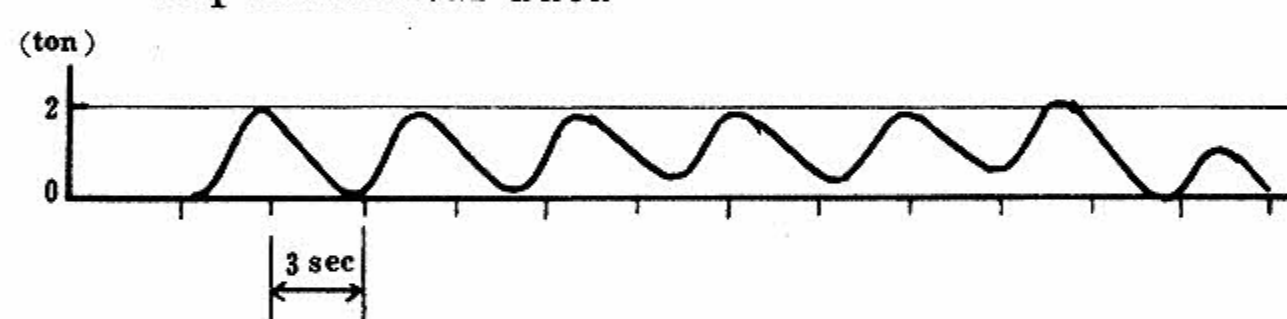
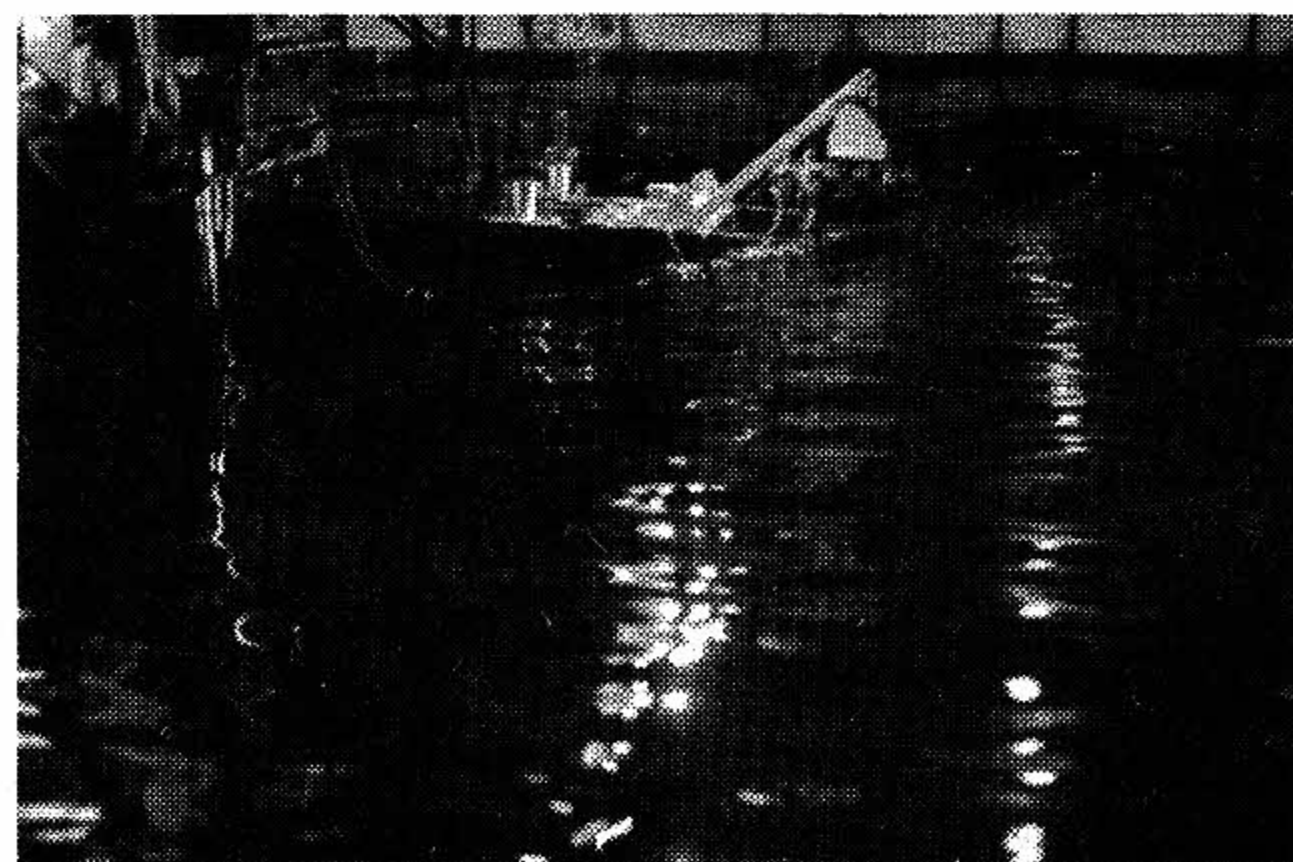


図4 曳航荷重の計測データの一例

An example of the towing load by experimental



(2) 吊揚終了
end of the retrieval

写真4 揚収試験状況
State of the retrieval test

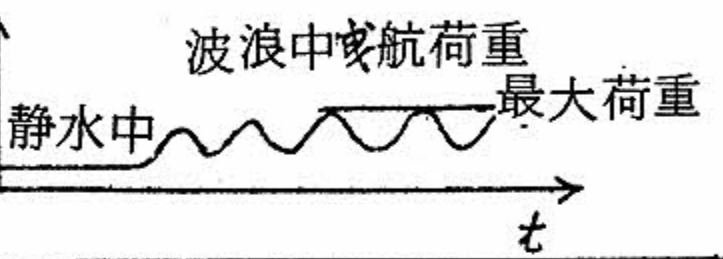
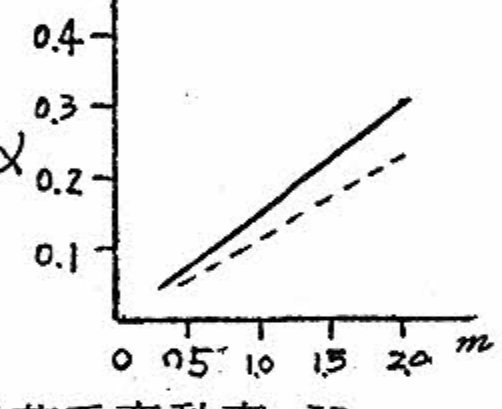
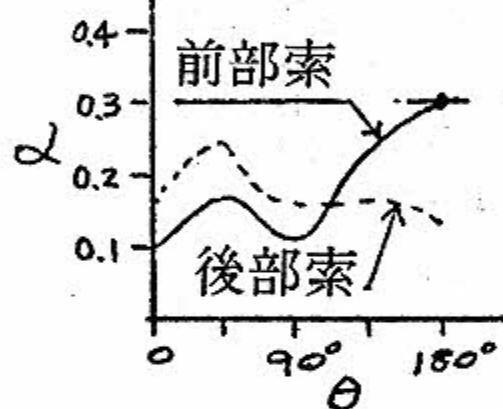
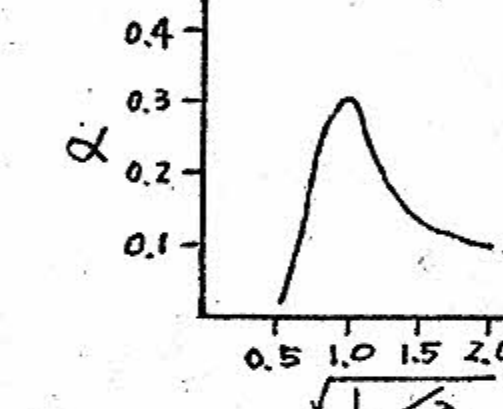
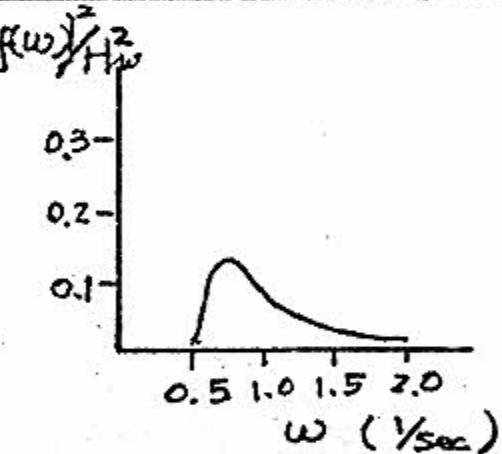
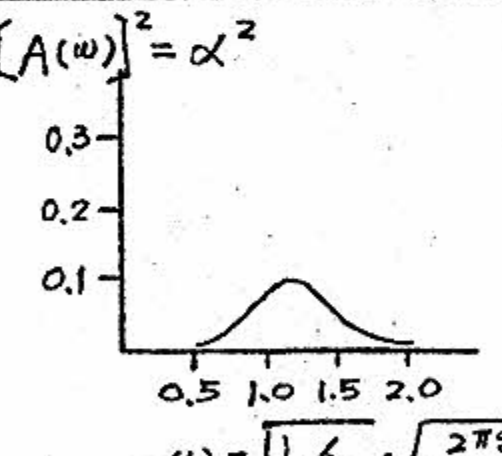
試験の種類	項目	試験条件 (実船相当)			記事
	波高試験	$H = 0.50 \quad 1.25$ 2.0 m	$\lambda/L = 1.0$	$\theta = 180^\circ$ (向い漕)	波高に対して荷重が線型であることの確認
	向い角試験	$H = 1.25$ m	$\lambda/L = 1.0$	$\theta = 0 \sim 180^\circ$ (30° 間隔)	向い波長波頂液で荷重を推定してよい事の確認
	波長試験	$H = 1.25$ m	$\lambda/L = 0.25 \sim 1.5$ (0.25 間隔) 2.0	$\theta = 180^\circ$	波長に対する荷重の応答関数を求める。
生データ	前部吊揚索荷重 後部 "				
	曳航索荷重				
データ整理	波高試験結果				
	向い波試験結果				
	波長試験結果				
不規則波中の荷重推定 (短期予測法)	不規則波の波スペクトル	 ISSC (1964) Wave Spectra $\frac{[f(w)]^2}{H^2} = 0.11 \omega_1^{-1} \left(\frac{\omega}{\omega_1} \right)^{-5} \exp \left\{ -0.44 \left(\frac{\omega}{\omega_1} \right)^4 \right\}$ $\omega_1 = \frac{2\pi}{T}$ wh. H: 有義波高 T: 平均波周期			
	荷重のエネルギー・スペクトル計算	 不規則波の波スペクトルを荷重応答関数 $[A(w)]^2$ を重ね合せて、荷重エネルギー・スペクトルを求める。 $\sigma_L^2 = H^2 \int_0^\infty \frac{[f(w)]^2}{H^2} \cdot [A(w)]^2 d\omega$ σ_L^2: 分散 σ_L: 標準偏差			
	荷重の短期予測	荷重応答の極大値の確率分布が Rayleigh 分布で近似できる。 この場合 有義値 $= 1 + 2.0 \delta L = 1 + 2.0 (\delta L/H) \cdot H$ 尚、平均値 $= 1 + 1.25 \delta L$ 1回/IHyの最大期待値 $= 1 + 3.725 \delta L$			

図5 不規則波中での吊揚荷重，曳航荷重等の推定要領

Short-term probability of lifting load, towing load and ship motion in irregular waves

しかし実船の着水揚収操作は、不規則波中で、しかも限定された海象条件下で、一定時間内に実施する。したがって不規則波中の動揺挙動や吊揚荷重は、規則波中のデータをもとにし、短期予測法によって統計的に求めなければならない。

この解析要領は図5のフローチャートに示す。
 なお、短期予測法を適用するにあたって、波高試験では線型性、斜波試験では向い波長波頂波で荷重を推定してよいことを確認したのち、各場合の波長に対する応答特性を求め、次いで実船での

動揺挙動、吊揚荷重および曳航荷重を求めた。
 5・1 規則波中試験のデータ整理
 (1) 吊揚荷重；

波高、斜波および波長に対する吊揚荷重の変化は、潜水調査船の空中重量に対する変動分を示すものとした。

$$\text{吊揚荷重変動分} = \frac{\text{最大吊揚荷重} - \text{空中重量}}{\text{空中重量}} \dots (1)$$

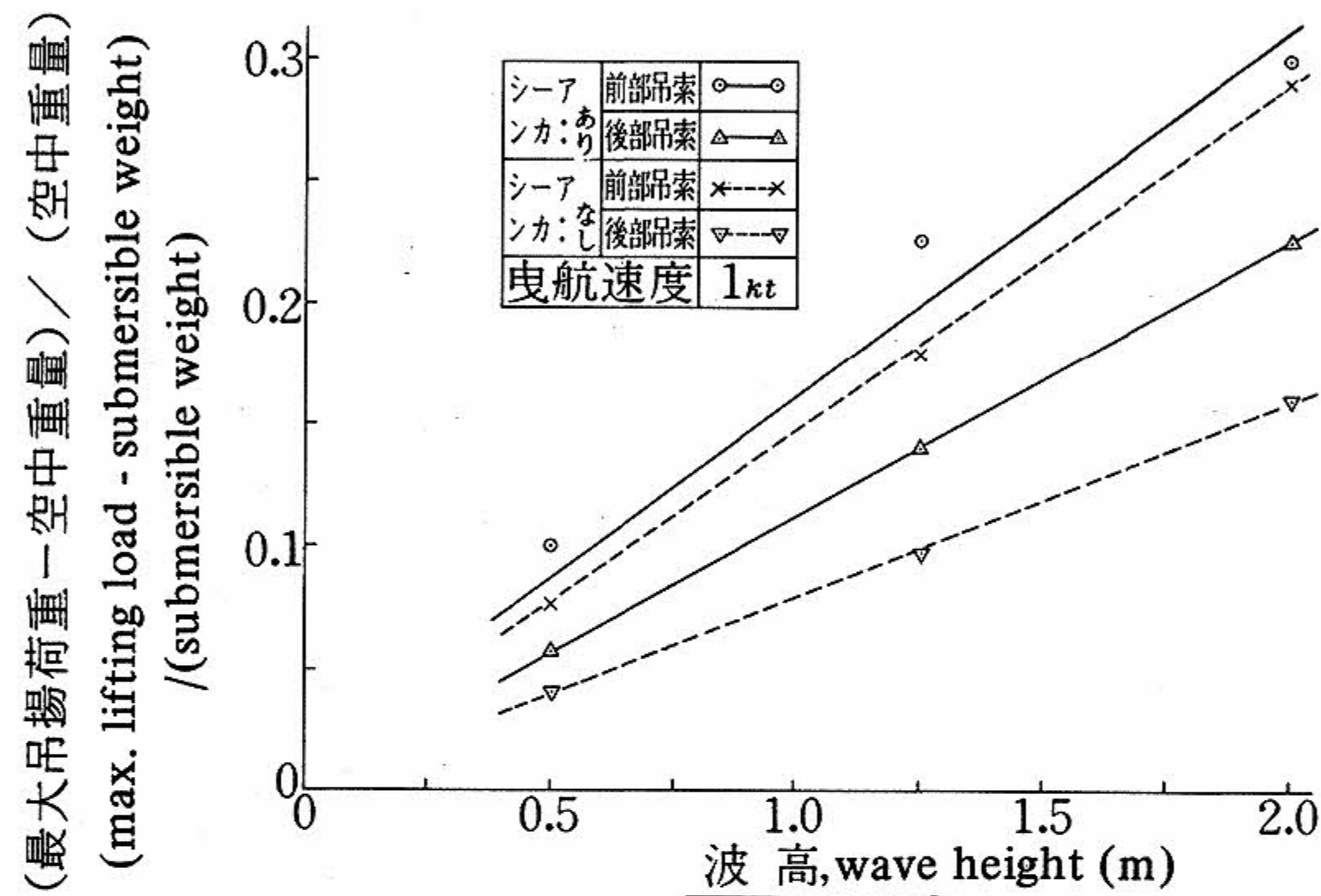


図6 吊揚荷重に対する波高試験結果
 Test result of the lifting load for wave height

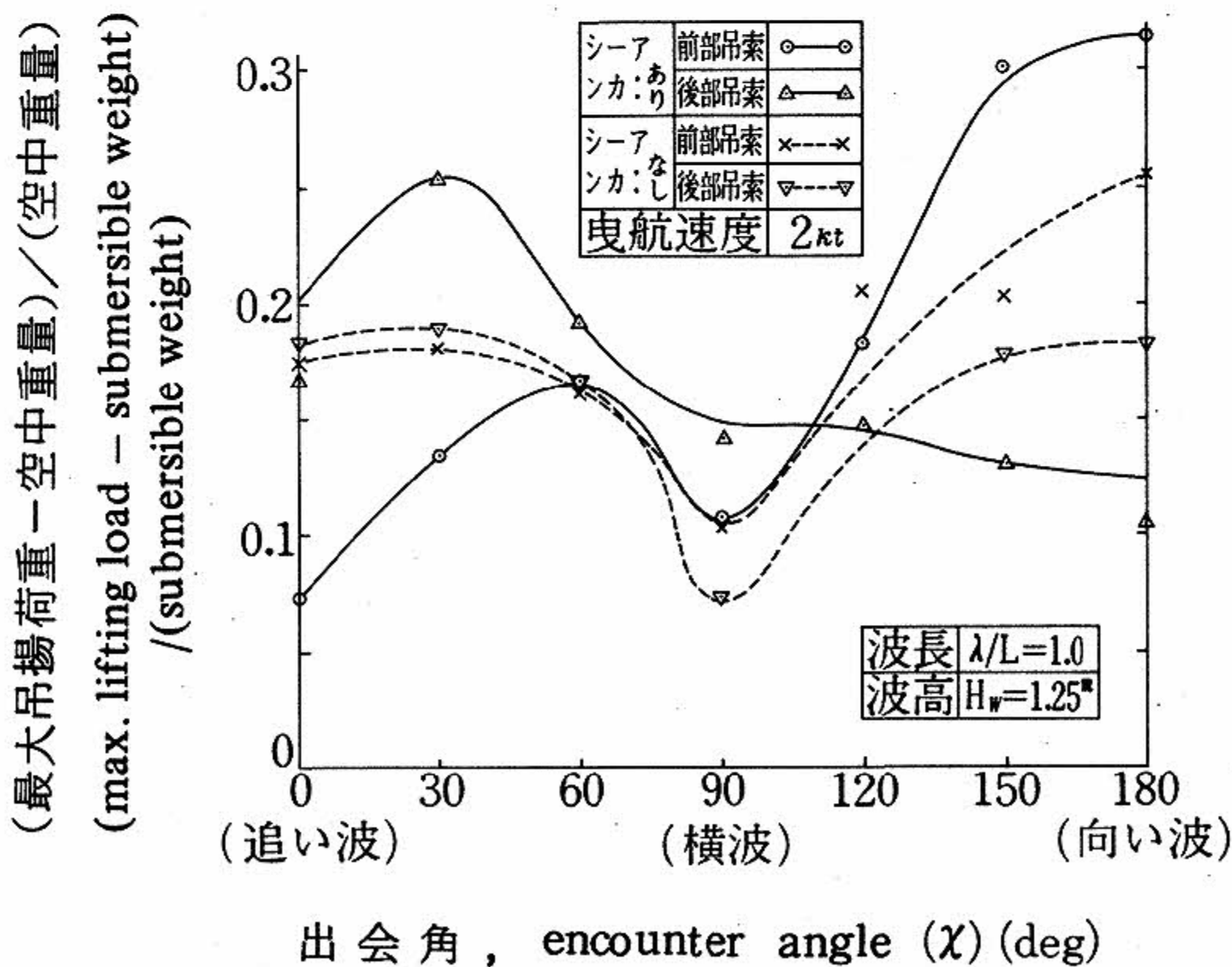


図7 吊揚荷重に対する斜波試験結果
 Test result of the lifting load for wave encounter angle

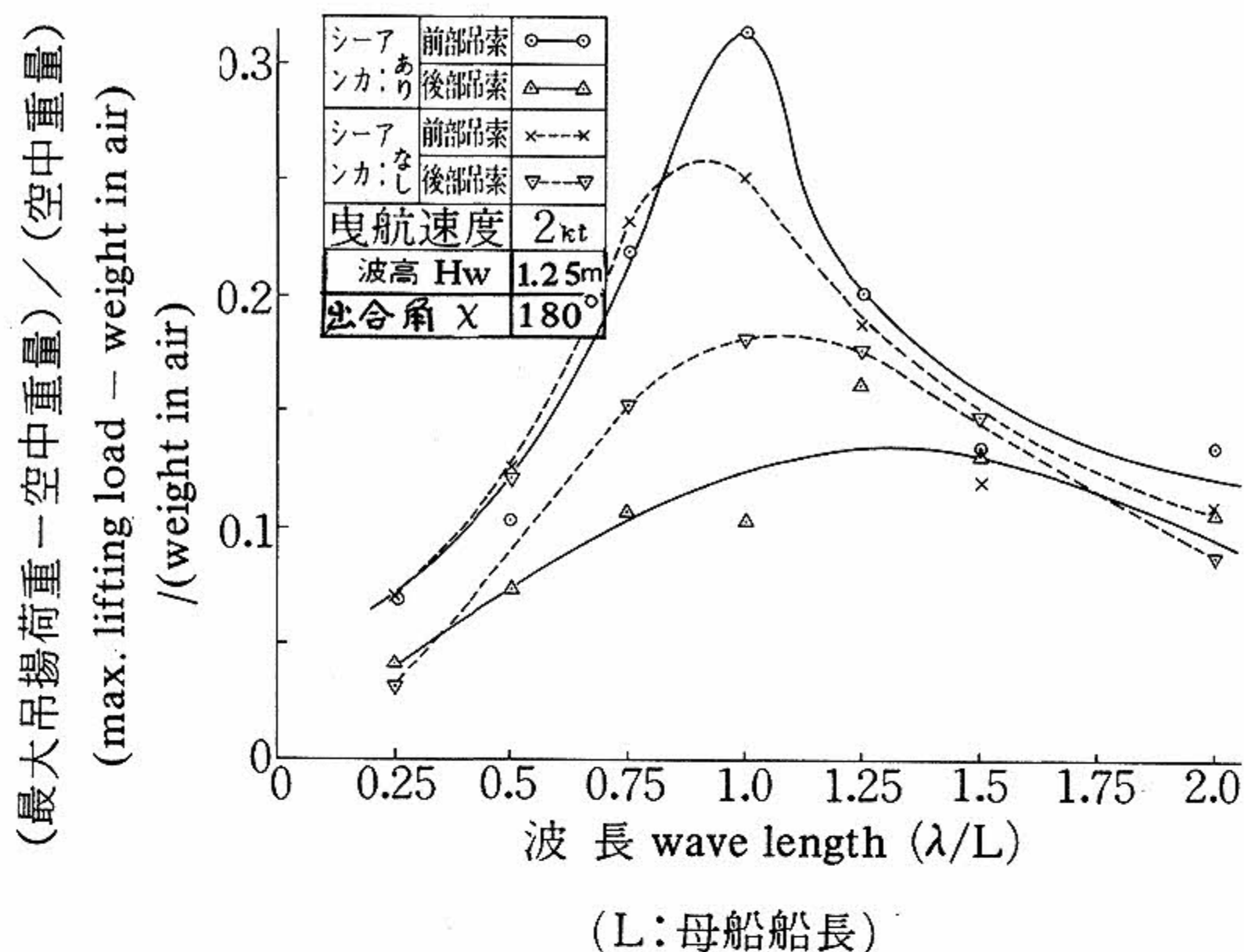


図 8 吊揚荷重に対する波長試験結果
Test result of the lifting load for wave length

(2) 曳航荷重；

波浪による曳航荷重の変動分を示すものとした。

曳航荷重変動分

= 波浪中曳航荷重 - 静水中曳航荷重 …(2)

(3) 潜水調査船の動揺；

曳航中の動揺は定常的な動揺であるので、平均片振幅で表わし、吊揚中の動揺は非定常な過渡運動であるため、吊揚過程における最大片振幅で表わした。

(4) 支援母船と潜水調査船との相対動揺；

曳航中の相対動揺は、それぞれの片振幅と動揺位相差から出し、吊揚中の相対動揺は過渡的な動揺となるので、厳しい状態を想定し、双方の片振幅の和で表わした。

5.2 解析結果

5.2.1 吊揚荷重

規則波中の試験結果、吊揚荷重は、図 6 に示すように、波高に対して線型性があり、波高に比例して吊揚荷重が増大し、また斜波に対して図 7 に示すように、向い波で吊揚荷重が最大となることが明らかとなった。

このことから向い波長波頂波で波長に対する応答特性を求め、これに基づいて短期予測法で不規則波中の吊揚荷重を求めることの妥当性を

確認した。

波高 1.25 m および出合角 180° における波長に対する応答関数を図 8 に示す。

これをもとに、短期予測法による解析結果、シーステイト 3 およびシーステイト 4 における有義値を表 8 に示す。

この表から長波頂不規則波での短期予測値は、前部吊揚索にかかる荷重が最大で、空中重量の 1.41 倍 (20 t) になることがわかる。

なお、支援母船の A フレーム クレーンの上下動揺によって吊揚中の潜水調査船がヒープする。着水揚収システムが 2 点 2 索吊りのため、前部索と後部索にかかる荷重にはアンバランスが生ずる。その差は、出合角によって変化し、一定でなく、大小関係が逆転することもあるが、不規則波中での最大吊揚荷重の予測値では、その差はあまり大きくなく、それらの互関性等を考慮し、前部索と後部索は同じ索径とすることがよいとわかった。

5.2.2 曳航荷重

曳航荷重は、潜水調査船とシーアンカーのドラグ (drag) であるが、これらの特異な形状から判断し、乱流域内における造渦抵抗が主体であると推定できる。

曳航試験では、潜水調査船が支援母船に惹起

表 8 不規則波中の吊揚荷重の有義値
Significant lifting load in irregular waves

項 目		シーステイト 3		シーステイト 4	
		シーアンカーあり	シーアンカーなし	シーアンカーあり	シーアンカーなし
吊 揚 荷 重 (最大吊揚荷重) (空 中 重 量)	前部索	1.17	1.21	1.32	1.41
	後部索	1.14	1.13	1.26	1.26

表 9 不規則波中の曳航荷重の有義値
Significant towing load in irregular waves

項 目		シーステイト 3		シーステイト 4	
		シーアンカーあり	シーアンカーなし	シーアンカーあり	シーアンカーなし
曳 航 荷 重 (曳航速度 2 kt)		2.11t	1.44t	3.80t	2.73t

表 10 不規則波中動揺特性解析結果
Results of the ship motion analyses in irregular waves

項 目		単 位	シーステイト 3 における 有義値 (片幅)				シーステイト 4 における 有義値 (片幅)			
			曳 航 中		吊 揚 中		曳 航 中		吊 揚 中	
			シーアンカーあり	シーアンカーなし	シーアンカーあり	シーアンカーなし	シーアンカーあり	シーアンカーなし	シーアンカーあり	シーアンカーなし
潜水調査船の動揺	ロール角	deg	1.8	1.7	6.2	6.8	4.3	3.8	15	16
	ピッチ角	deg	4.3	4.6	3.3	6.7	8.1	8.9	7.4	14
	ヨウ角	deg	8.6	10.3	8.7	13.8	2.1	2.6	19	30
	サージ変位	m	0.4	0.5	0.6	1.0	0.9	1.1	1.5	2.2
	スウェイ変位	m	0.4	0.4	0.7	0.8	0.9	1.1	1.8	2.0
	ヒープ変位	m	0.5	0.5	1.0	1.0	1.1	1.1	2.1	2.1
	サージ加速度	g	0.07	0.07	0.08	0.15	0.14	0.13	0.18	0.32
	スウェイ加速度	g	0.02	0.02	0.12	0.09	0.04	0.05	0.26	0.21
	ヒープ加速度	g	0.07	0.06	0.15	0.16	0.13	0.12	0.24	0.31
母船との相対動揺	サージ相対動揺	m	0.3	0.5	0.5	0.9	0.7	1.3	1.1	2.1
	スウェイ相対動揺	m	0.4	0.4	0.7	0.8	0.9	1.1	1.8	2.0
	ヒープ相対動揺	m	1.4	1.4	-	-	3.1	3.1	-	-

(注) 本表中、※ 印は参考値を示す。

された乱流域内に入っていることが、別の実施した潜水調査船の抵抗試験と比較して確認されており、フルード数を合わせた本試験での曳航荷重の推定は可能である。

波浪中の曳航荷重の変動は、支援母船のサージと波浪との双方に影響される。これは斜波試験結果から向い波中 ($\chi = 180^\circ$) で最大となることがわかった。不規則波中の曳航荷重は、曳航速度 2 kt でシーアンカーの有無について求めた。その結果を表 9 に示す。

なお、本試験で支援母船と潜水調査船とが近接した状態では、支援母船のサージによって曳航荷重が大きくなり、通常、曳航する場合に用いられる索の長い場合とはかなり、相異することが明らかとなった。

5.2.3 潜水調査船の動揺

潜水調査船の曳航中、または吊揚中の動揺のうち、ピッチ、サージ、ヒープについては、波高に対して線型性が認められた。ロール、ヨウ、スウェイについては、曳航中の潜水調査船の蛇行の影響、すなわち、曳航安定性に起因するデータのバラツキがあり、線型性が認められなかった。したがってロール、ヨウ、スウェイについては、不規則波中の動揺の推定には不適当であるが、参考値として、短期予測法によって計算した。

これらの不規則波中の動揺の推定結果を表 10 に示す。

これらのデータおよび実験中の観察結果から考え、操作上注意しなければならないのは、つぎのような点であることがわかった。

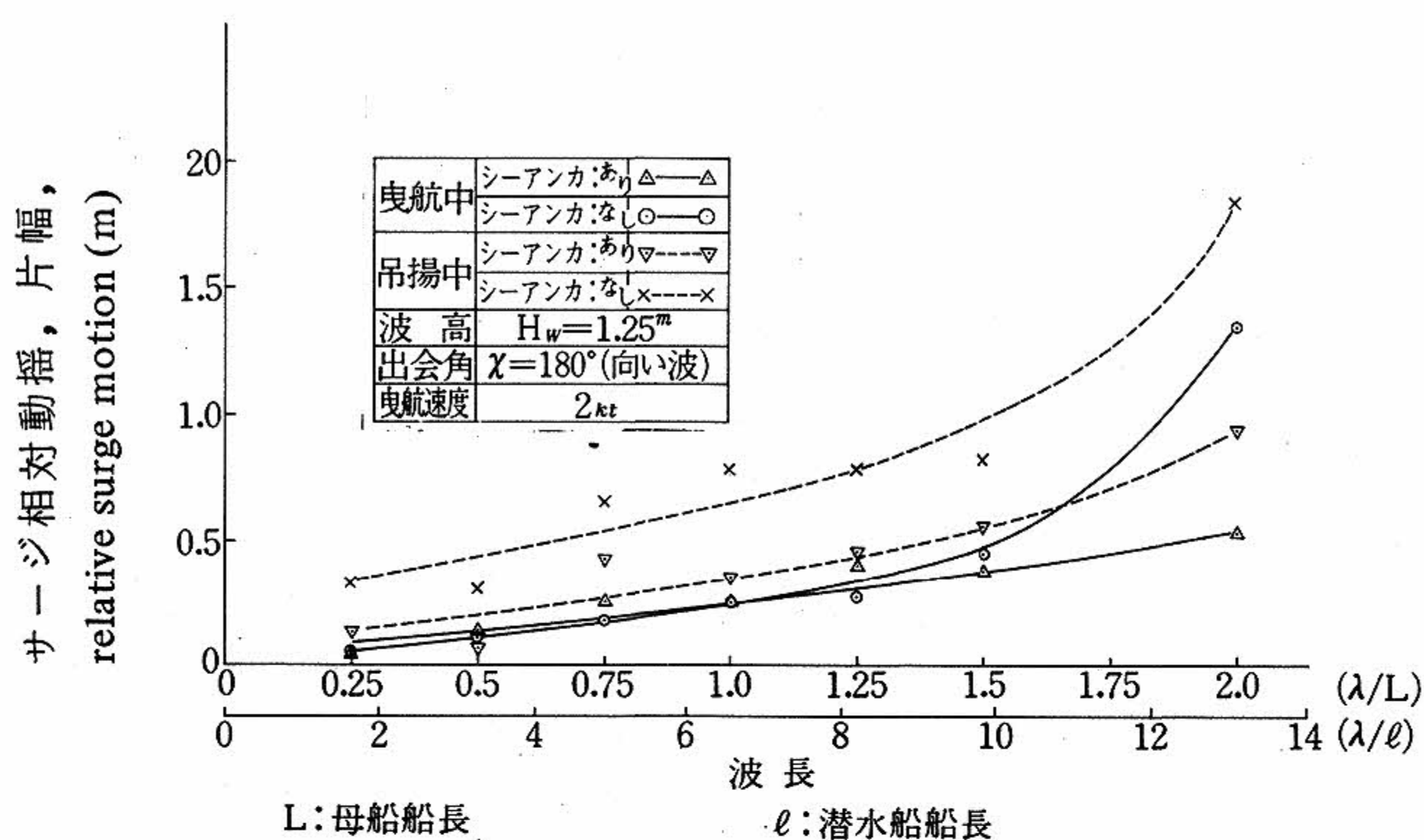
(1) 斜波試験の結果

吊揚中の動揺は、出会角 $\chi = 30 \sim 130^\circ$ の横方向からの波を受ける場合には、ロール角 20° 、スウェイ加速度 $0.3 g$ 程度と大きくなる。

このことから安定した揚収を行うには、向い波、または追い波中が適している。

(2) 波長試験の結果

吊揚中のピッチ角およびサージ加速度は、 $\lambda/L = 0.75 \sim 1.0$ 付近で急激に大きくなり、シーアンカーを使用することによって、これらの動揺を半分程度に抑止することができる。



L : 母船船長 support ship length
 ℓ : 潜水船船長 submersible length

図9 母船と潜水調査船との相対動揺(サージ)

Test result of the relative motion between support ship and submersible (surge)

(3) ヨウ

この値は大きくなっているが、実船では控索を使用し、動揺をかなり抑止することができるので問題がないと考えられる。

5・2・4 支援母船と潜水調査船との相対動揺
 潜水調査船の着水揚収時問題となる相対動揺は、衝突の原因となるサージとヒープである。これらに関するデータ解析結果は、前述の表10にまとめて示した。

サージは、図9の応答関数に示すように、波長の短い波に対しては、相対変位が少ないが、長い波 ($\lambda/L > 1.5$) になると支援母船と潜水調査船との動揺の位相のずれを生じ、かなり大きな相対変位を示すようになる。すなわち、実海面でよくみられる“うねり”の中に入ると、潜水調査船が支援母船の追尾に衝突する危険性がある。これに対しては、曳航間隔を6mとし、さらにシーアンカーを使用することが、衝突防止に有効であることがわかった。

また、ヒープの相対変位は、波長の影響をあまり受けず、波長の長い波 ($\lambda/L > 1$) になるとほぼ一定値になることがわかった。

6. 考 察

潜水調査船の着水揚収は、本システムの運用効率に大きく関係するため、その方式の選定にあたって、当初から定性的に十分な検討を加えた。さらに今回の模型試験並びに統計解析の結果、船尾Aフレームクレーン方式でナイロン索を用いた2点2索吊りの妥当性が定量的に裏付けされた。その結果は、前述の通りであるが、これらについて、以下考察を試みてみることにする。

6・1 吊揚荷重、曳航荷重

吊揚荷重は、波高に対して線型性のあること、斜波に対して向い波時、前部索にかかる荷重が最大で長波頂波で荷重を推定してよいことは、前述の通りであり、波長ベースの応答関数から求めた不規則波中の荷重は精度よく推定されていると考えられる。吊揚索の設計荷重は、揚収時の波浪による動的荷重を考慮して、本装置の非常時の揚収海象条件であるシーステイト4における有義値 (20t) とし、設計上の安全率をこれに対してとるものとする。

安全率は、U. S. N. の基準に準じ合成繊維索をクリティカルコンポーネントに使用する

場合の安全率（索の破断荷重に対し安全率7）⁸⁾を採用すると吊揚荷重のシーステイト4における1時間に1回の最大期待値（24t）においても安全率はほぼ6倍を確保できる。

したがって、シーステイト4における吊揚荷重の有義値20tを吊揚索の設計値とするのが妥当であろう。

曳航荷重も同様の解析をして、シーステイト4での有義値3.8tを設計値とするが、曳航索の安全率はU. S. N. の基準のノンクリティカルコンポーネントと考え6倍を採用すれば十分であろう⁸⁾。

なお、曳航荷重は潜水調査船が支援母船に近接した状態では曳航索の弾性により大きな影響を受け、曳航索のばね定数が高く弾性効果がないと曳航荷重は衝撃的かつ大荷重（10～20t）が生じ、潜水調査船もこの荷重のため大きく衝撃的な動揺を示すことが予備試験で得られた。

これらのことにより、曳航索の種類、長さ、径の選定にあたっては特に弾性を考慮する必要がある、曳航索長（潜水調査船から支援母船のキャプスタンまで）を極端に短くしないこと、また弾性の少い索（例えば鋼索またはケブラー繊維索）を使用しないことなどの注意が必要であることがわかった。

6.2 潜水調査船の動揺ならびに支援母船との相対動揺

潜水調査船の波浪中の揚収では、曳航中と吊揚げ中の動揺が乗員の安全または作業の安全にとって重要な問題となる。

潜水調査船は、水中での航行安定性を確保するため、安定ひれを着底時のじゃまにならぬように船尾部上方に設けているので、曳航時の水上状態ではこの安定ひれは効果を発揮しない。そのため、水上曳航中蛇行するけれども、曳航中の動揺の大きさは小さく問題とならない。吊揚げ中の動揺はロール、ピッチが約15°で、3軸方向の加速度は約0.3gである。この程度の値であれば、潜水調査船船内の乗員には特に問題とはならない⁹⁾と考えられる。

支援母船と潜水調査船との衝突という観点からは、吊揚げ直前の相対動揺量が問題である。

表10にはシーステイト4における相対動揺の有義値のみを示したが、相対動揺を過少に見積

ると万一支援母船と潜水調査船とが曳航中あるいは吊揚げ中に接触することがあると船体や機器に重大な損傷をまねく恐れがあるため、実船におけるAフレームクレーンのアウトリーチ等の計画においてはシーステイト4における1時間に1回の最大期待値においても接触することがないように設計する必要があると考える。相対動揺の1時間に1回の最大期待値を別途求めた結果、Aフレームクレーンのリフトは基本設計通り6.5mで十分であるが、アウトリーチは吊揚げ時の支援母船と潜水調査船との間隔を3mから6mに大きくする必要があることがわかった。

7. あとがき

着水揚収装置模型水槽試験で各種のケースにつき、種々実験を行い、数多くの結果が得られ、これを解析し、不規則波中の動揺挙動、または吊揚げ荷重、曳航荷重が定量的に明らかになった。また、これに基づき、適切な設計条件を設定することもできた。

この結果、船尾Aフレームクレーン方式ナイロン索を使用した2点2索吊りでシーステイト4までの海象条件において、揚収作業が可能であるとの見通しを得、本システムが波浪中の潜水調査船の着水揚収に妥当であることが確認された。また動揺抑止のための補助手段として、シーアンカーの有効性も確認した。

今後、ここで得られた諸データを詳細設計、オペレーション要領に生かし、安全で確実な着水揚収装置を完成すべく、努力を重ねたいと考える次第である。

文 献

- 1) Frank Busby, R. "Review of Manned Submersibles Design, Operations, Safety and Instrumentation" (31 July, 1978), p. 226-237
- 2) "深海潜水調査船システムの研究開発", 昭和51年度科学技術庁海洋開発技術研究委託費による研究成果報告書, 1977 (昭和52年8月) 海洋科学技術センター
- 3) "深海潜水調査船システムの研究開発", 昭和52年度科学技術庁海洋開発技術研究委託費による研究成果報告, 1978 (昭和53年7月),

海洋科学技術センター，

- (4) 徳永三伍，高山真一，1978，“潜水船等の浮体回収用金物の模型試験”，JAMSTECTR (2)，27
- (5) 竹沢誠二，“耐航性に関する水槽試験法と実船試験法”，耐候性に関するシンポジウム，1969（昭和44年7月），日本造船学会
- (6) 元良誠三，ほか，1970，“東京大学船舶航海性能試験水槽について（第1報）”，日本造船学会誌（128），213－219

- (7) 福田淳一，“船体応答の統計的予測”，耐航性に関するシンポジウム，1969（昭和44年7月），P99～119，日本造船学会
- (8) 運輸省船舶技術課，“深海潜水システムの認定手続きとその基準便覧”，1978（昭和54年3月）
- (9) Morgan，C. T，J. S. Cook III，A. Chapanis，ほか，“人間工学データブック－機器設計の人間工学指針”（1972），近藤 武，ほか訳，コロナ社