

11. 潜水調査船着水揚収システムの開発研究(第4報), — 支援母船の波浪中模型水槽試験 —

岡田 光豊*¹ 高川 真一*¹ 谷内 琢也*¹
加藤 洋*¹ 對馬 克己*¹ 野沢 和男*²

2,000 m 潜水調査船システムにおける支援母船は、重要な用途の一つである潜水調査海域で潜水調査船の着水揚収オペレーション支援の見地から、ごく微速時の波浪中船体運動挙動を把握することが重要となる。この目的のため、微速時の規則波中の船体運動試験を行い、運動応答、加速度および相対水位等を計測し、解析した。この結果、(1)微速時の船体運動の実情の把握、(2)本船の初期設計時に行われた船体運動計算との比較ができ、妥当な結果を得、また(3)着水揚収オペレーション条件の検討を行う有効な資料が得られた。

また、これらの実験結果を反映させ、船体運動上、重要なロール角度の有義値を通常の着水揚収海象のシーステイト3および非常時着水揚収海象のシーステイト4について計算した。その結果、ロール角度はかなり小さく、基本設計時に行われた本船の船体運動予測の妥当性が確認できた。

Development of a Launch and Retrieval System for a 2,000 m Deep Submergence Research Vehicle (Report 4), Model Test of the Support Ship in Waves

Mitsutoyo Okada*³, Shinichi Takagawa*³, Takuya Taniuchi*³,
Hiroshi Katoh*³, Katsumi Tsushima*³, Kazuo Nozawa*⁴

One of the important missions of the support ship for our 2,000 m Deep Submergence Research Vehicle (DSV-2K) is to launch and retrieve the DSV-2K on the surface at the research area. In order to execute this mission, it is important for us to know the motion of the support ship at dead-speed.

To this end, a 1/10 scale model of the support ship was used, and ship motion tests at dead-speed were carried out in a ship model basin. The response properties, accelerations, etc., were measured and analysed.

Through these tests, ship motion properties at dead-speed were obtained and it was found that the calculated motion properties coincided well with the measured properties. Fruitful data for investigation of launch/retrieval operation conditions were also obtained.

*¹ 深海開発技術部

*² 川崎重工業株式会社技術室神戸設計部

*³ Deep Sea Technology Department

*⁴ Kobe Designing Department, Kawasaki Heavy Industries, Ltd.

Using the results, the significant rolling angles were calculated for Sea State 3 and Sea State 4. From these calculations it was found that the rolling angles was fairly small.

1. ま え が き

2,000 m 潜水調査船の支援母船は、その主な支援用途に次のものがある。

(1) 潜水調査船の調査目標海域への輸送

この間の船速は約12ktである。

(2) 本船装備の船尾Aフレームクレーンによる潜水調査船の着水揚収

この間の船速は0～2ktの微速である。また、この着水揚収オペレーションは、通常、シーステイト3以下の海象で行われ、非常時にはシーステイト4まで可能としている。

(3) 潜水調査船の潜航支援のための微速航行による予備調査、追尾および交信

これらの支援作業はいずれも波浪による影響を強くうけることが考えられるので、幅広い船速域

における船体運動特性の把握が必要であり、本船の基本設計段階においては、Strip 理論に基づく船体運動プログラムを駆使した種々の船体運動の検討を行ってきた。今回、これらの考え方の妥当性を検証するため、縮尺 $\frac{1}{10}$ ($L_{pp}=6.0\text{ m}$) の支援母船の木製模型を用いた規則波中の船体運動試験を行い、波浪中の運動、加速度および相対水位等の応答特性を計測した。なお、今回の実験では波浪中運動挙動の把握が最も重要である着水揚収時に着目し、微速時 ($V_s = 0$ および 2 kt) における船体運動計測を行った。

表1は本文中に使用した記号の一覧を示す。なお、本試験の実施にあたっては、“潜水調査船開発研究会”の委員各位にご助言、ご指導を得たことに対して、深く謝意を表する次第である。

表1 記 号 一 覧 表

Nomenclature for figures

g	重力の加速度, acceleration due to gravity
L	垂線間長さ, length between perpendiculars
V	船速, ship speed
χ	出 会 角, course angle to wave
H_w	波 高, wave height
λ	波 長, wave length
K	波 数, wave number $[2\pi/\lambda]$
Θ_A	ピ ッ チ, pitch (double amplitude)
Z_A	ヒ ー ブ, heave (double amplitude)
X_A	サ ー ジ, surge (double amplitude)
η_A	ス ウ ェ イ, sway (double amplitude)
Φ_A	ロ ー ル, roll (double amplitude)
Ψ_A	ヨ ー , yaw (double amplitude)
a_x	前後加速度, horizontal acceleration at A-frame (longitudinal, double amplitude)
a_y	左右加速度, horizontal acceleration at A-frame (transverse, double amplitude)
a_z	上下加速度, vertical acceleration at A-frame (double amplitude)
r_A	船尾端中央の相対水位, relative motion at aft-end (double amplitude)
$\varphi_{1/3}$	ロール有義値, significant rolling angle (single amplitude)

2. 実験の方法

2.1 供試模型

表2は本船の船型、主機馬力およびプロペラの
実船要目と模型船要目を示す。

模型船は長さ $L_{pp} = 6.0\text{ m}$ (寸法比 $\frac{1}{10}$) の木
製模型船である。船長は本実験ののち、引続き実施
した“支援母船による潜水調査船の着水揚収試験”
で使用する潜水調査船の最小必要長さ ($L_{pp} =$
約 1 m) から決めた。また船首および船尾の形状
を写真1に示す。

本船は低速における潜水調査船の着水、揚収時
の操縦性能向上の見地から、2軸、2舵、CPP
かつBow Thrusterを装備している。

船尾形状の特徴は、幅広浅吃水であること、ま
た、着水揚収装置の配置上の関係から船尾部の水
線面の幅が広く、かなり扁平な肋骨線形状となっ
ている。

したがって本実験によって、本船の運動応答の
実情の把握と同時に、上述のように吃水方向に水
線幅の変化のはげしい船尾形状をもつ、船型への
船体運動計算の適用性の是非が検討できよう。

2.2 実験の内容

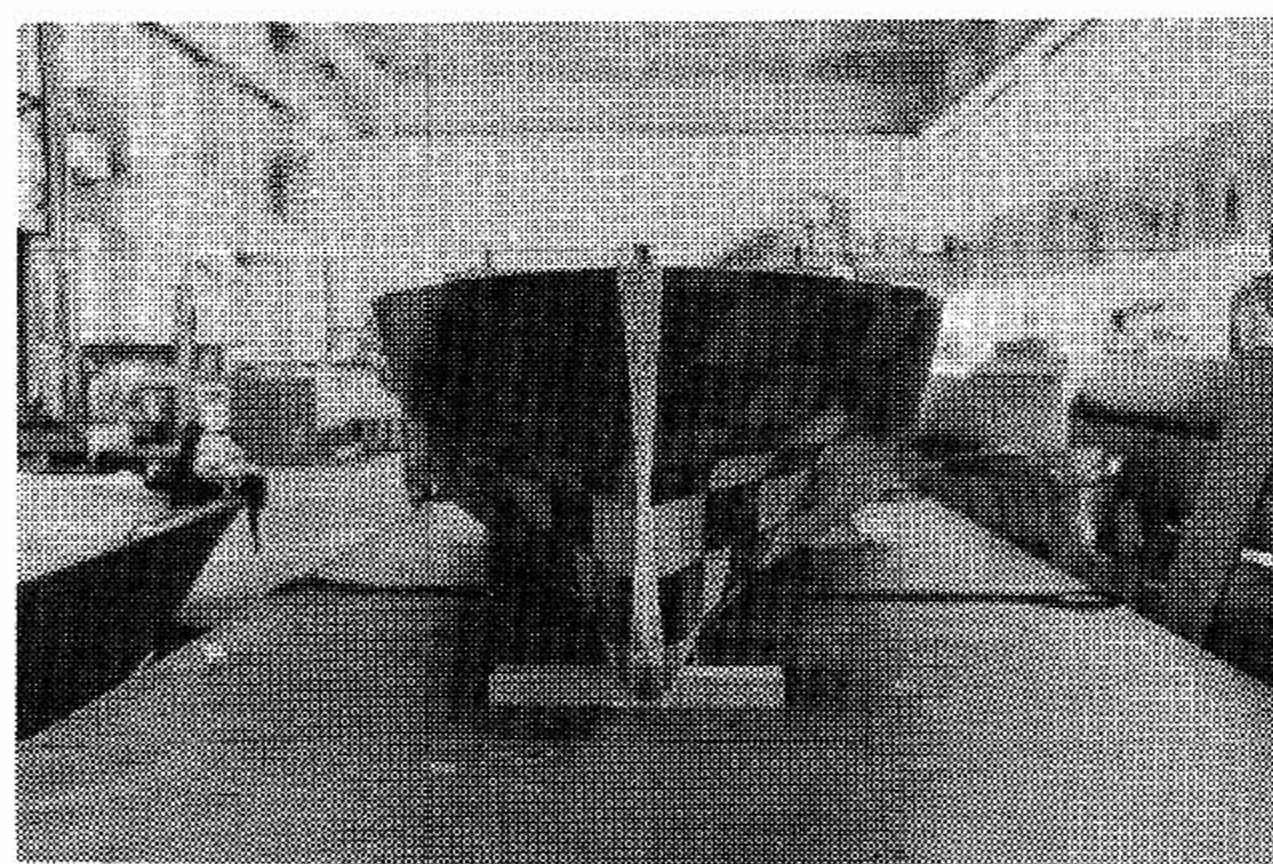
上述の模型船を使用し、縦波中および斜波中の
船体運動試験を明石船型研究所の曳航水槽で実施
した。縦波中の実験は3自由度運動計測装置、斜
波中の実験は6自由度運動計測装置を使用した。

2.2.1 縦波中の船体運動計測

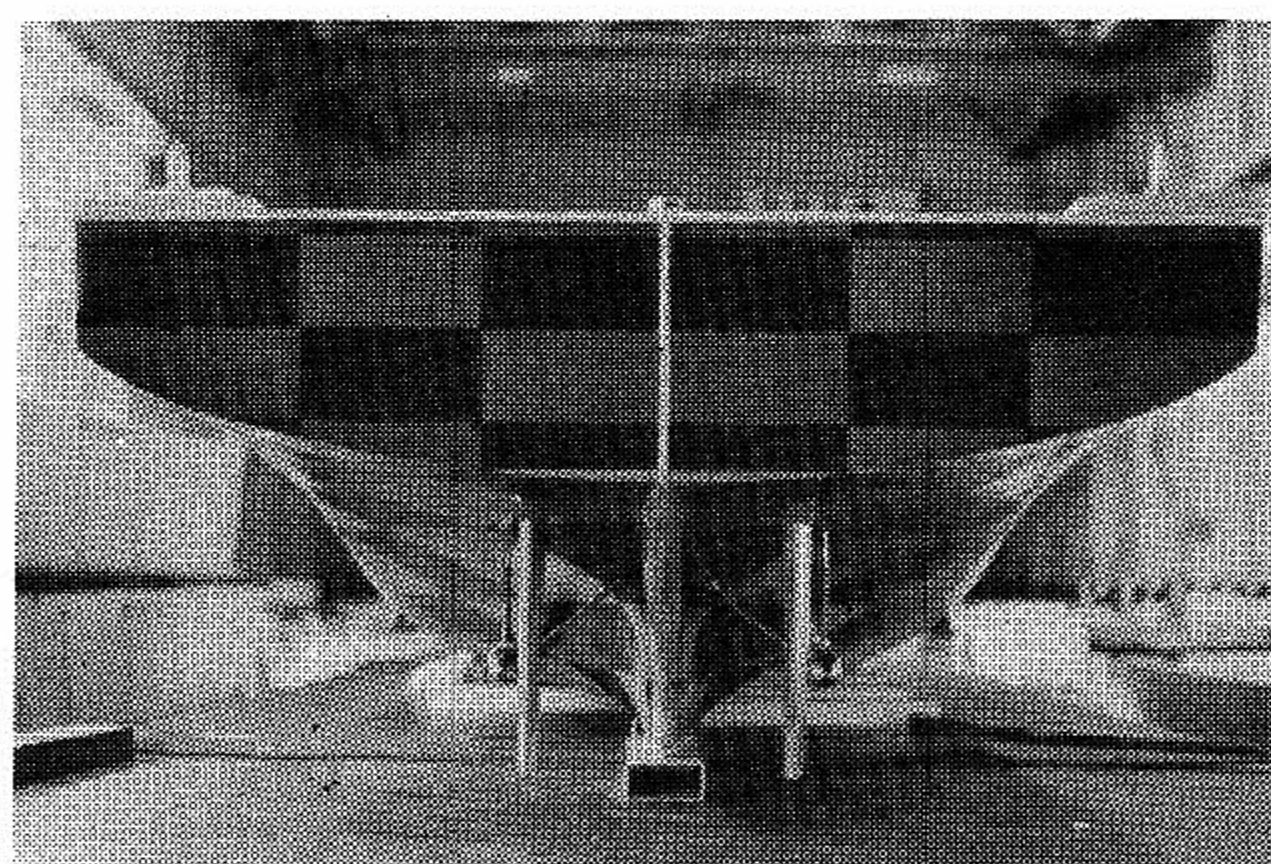
船体実験状態、波浪条件および計測項目を表2
に示す。

(1) 船体実験状態

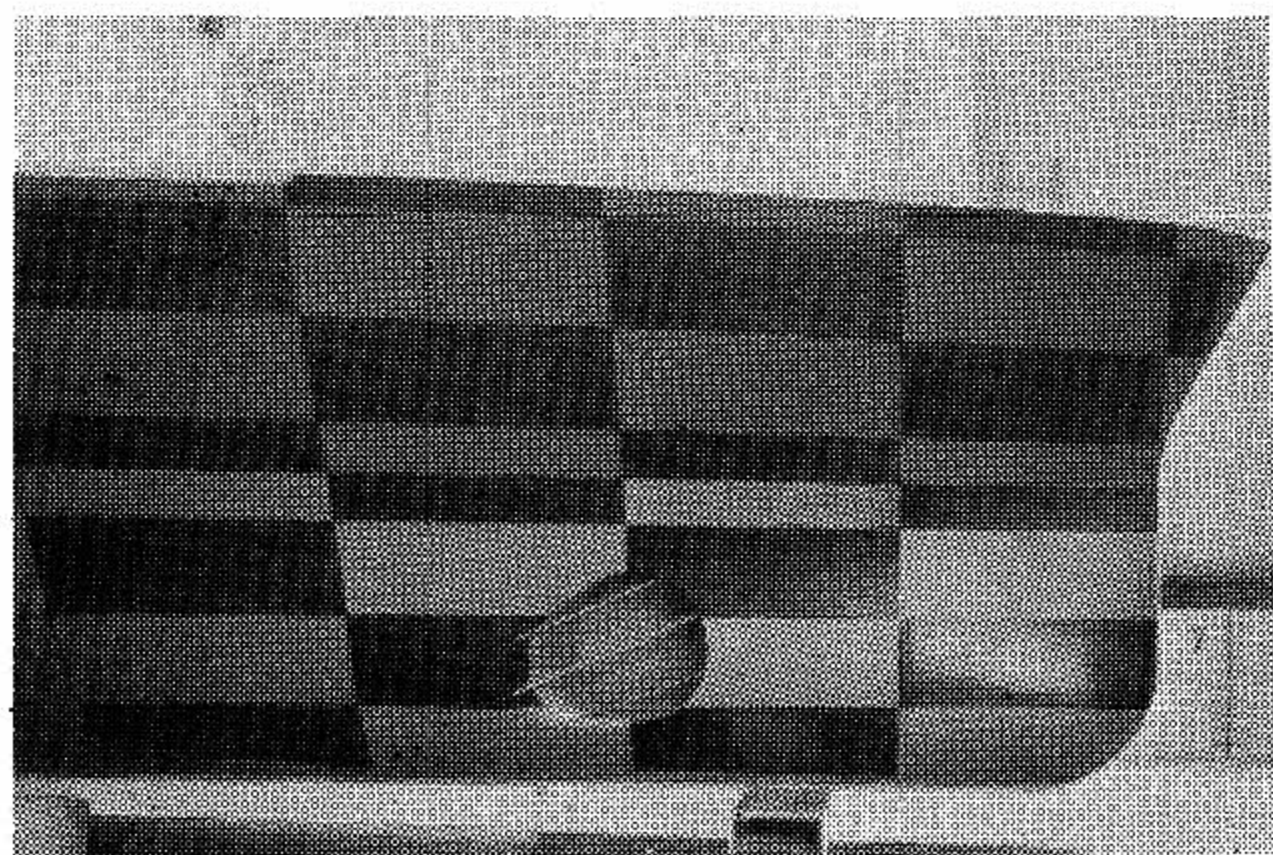
船速は着水揚収時の船体運動に着目し、船
体停止時 $V_s = 0\text{ kt}$ および微速航行時 $V_s = 2$
 kt の2ケースとした。



(b) 前面, front view

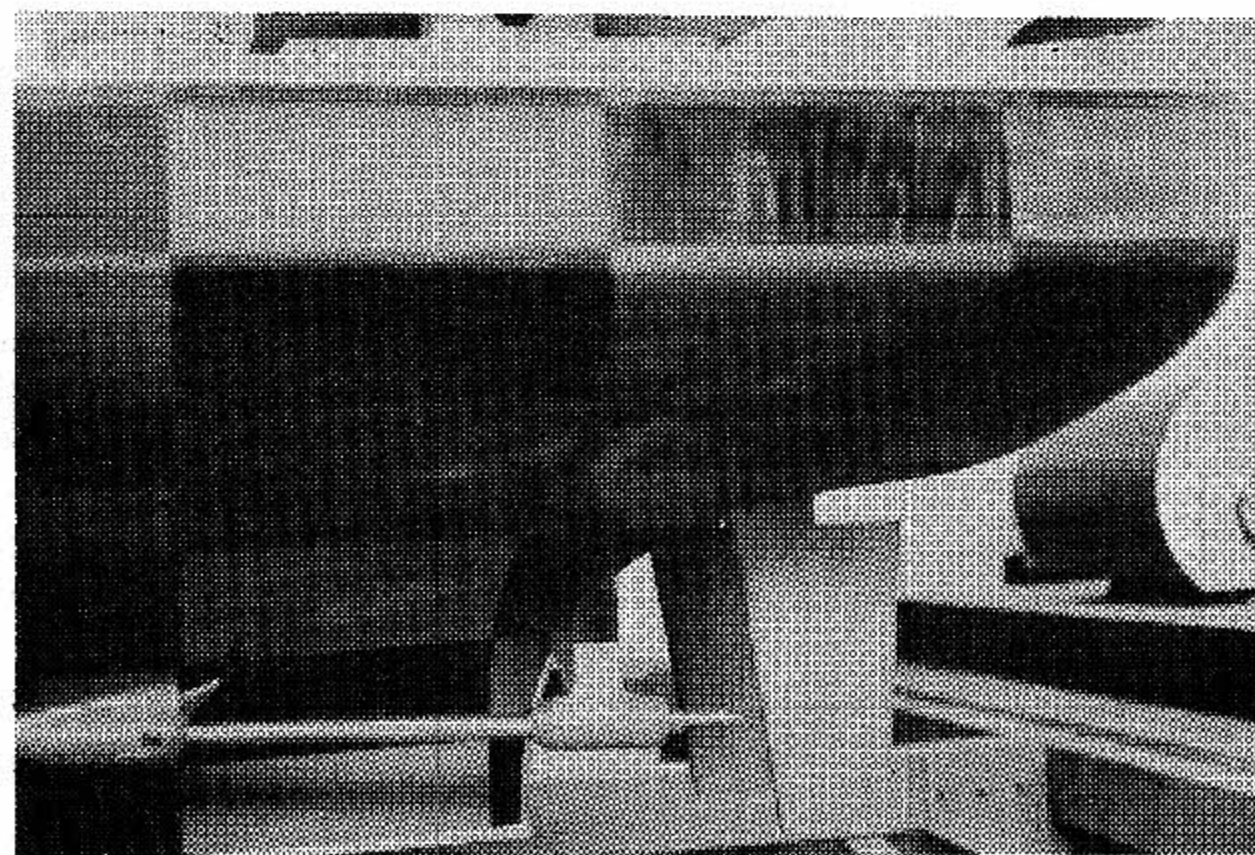


(b) 背面, aft body



(a) 側面, side view

(1) 前部船体, fore body



(a) 側面, side view

(2) 後部船体, aft body

写真1 供試模型

Model ship's body (M.S. No. 5053W)

表2 船型およびプロペラ要目

Principal particulars of support ship and propeller

(1) 船体要目

船 体 要 目	実 船	模型船
長さ (L_{pp}) (m)	60.0	6.0
幅 (B) (m)	13.0	1.3
吃水 (d) (m)	3.5	0.35
排水量 (t)	1,567	1,530
L_{pp}/B	4.62	4.62
B/d	3.71	3.71
C_b	0.56	0.56
ℓ_{cb} (% L_{pp})	2.0	2.0

(2) 主 機 (実船)

最大連続出力 (MCR); 850 ps $\times$ 220rpm $\times$ 2軸
常用出力 (NOR); 720ps $\times$ 220rpm $\times$ 2軸

(3) プロペラ (実船)

可変ピッチプロペラ (CPP); 4翼
 $D_p = 2.3\text{ m}$

表3 計測条件 (縦波中試験)

Measurement condition in head
and following waves

(1) 船体実験状態

吃水; 3.5 m
トリム; 0.0 m
船速; 0 および 2 kt

(2) 波浪条件; 規則波

波 長; $\lambda/L_{pp} = 0.25 \sim 2.0$
波 高; $H_w = 1.25\text{ m}$
出合角; $0^\circ, 180^\circ$

(3) 計測項目

項 目	計 測 位 置	方 法
波 高	模型船重心前方 7.66 m	超音波式
相 対 水 位	模型船の船尾端	容量式波高計
ピ ッ チ ヒ ー ブ サ ー ジ	模型船の重心位置	キャリエイジ方式 (ポテンシオメーター使用)
上下加速度 前後加速度	Aフレームクレーンの ペンダント位置	加速度計

また, 吃水は運用状態の 3.5 m とした。

(2) 波浪条件

規則波の波高は $H_w = 1.25\text{ m}$ とした。これは通常の着水揚収の可能な海象がシーステイト 3 (有義波高 1.25 m) であることを考慮して決めた。

波長は船体運動の応答関数が得られるように, $\lambda/L = 0.5 \sim 2.0$ の範囲で, かつ 0.25 の刻みとした。なお, 造波はプランジャー型の造波装置を用いた。

(3) 計測項目

模型船の 3 自由度運動 (ピッチ, ヒープ, サージ) は, 写真 2 に示す Carriage 形式の計測装置にて計測した。

これによって模型船の重心位置におけるピッチは回転ポテンシオメーター, またヒープ, サージ等の直線運動は回転に変換してポテンシオメーターで計測した。

また船尾甲板高さと海水面との相対関係を調べるため, 船尾端中央の相対水位は容量式波高計で計測し, さらに船尾 A フレームクレーンのペンダント位置での上下および前後方向の加速度は模擬台座上にとりつけられた加速度計で計測した。これらの計測位置を図 1 に示す。

なお, 造波機による発生波高は曳引車の前方へ突出した超音波式の波高計で計測した。

2.2.2 斜波中の船体運動計測

船体実験状態, 波浪条件および計測項目を表 3 に示す。

斜波中の計測では前述の縦波中試験で計測される縦運動成分のほか, 横運動成分として, ロール, ヨーおよびスウェイの 3 自由度成分が加わり, 計 6 自由度運動が計測された。

(1) 船体実験状態

船速は船体停止状態, すなわち $V_s = 0\text{ kt}$ とした。これは斜波中の実験を曳航水槽で行うことによって生ずる制約によるものである。 $V_s = 0 \sim 2\text{ kt}$ の微速時の運動挙動の把握が本実験の主目的であるので, $V_s = 0\text{ kt}$ の実験で十分であるとした。

(2) 波浪条件

波高一波長は縦波中の試験と同様である。船と波との出合角 α は $30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$,

120° および 150° と変化させた。

(3) 計測項目

計測項目を表 3 に示す。

斜波中の 6 自由度運動計測は図 2 および写真 3 に示す Carriage - ポテンショメーター方式の計測装置を使用した。

曳航水槽で船と波との出合角 χ を変化させるには、波の進行方向が一定であるため、船の方位を変化させる必要がある。そのために写真 3 に示すような 360° 回転可能なターンテーブルに 6 自由度装置を設置し、出合角を変化させた。そのほか、A フレームクレーンのペンダント位置の 3 方向加速度および船尾端の相対水位を計測した。写真 4 は実験状況を示す。

3. 実験結果

前述の実験方法で規則波中の船体運動の応答を計測し、これを基に波高 $H_w = 1.25\text{ m}$ に対する実船相当の運動等を換算した。

3.1 縦波中の船体運動

図 3 は縦波中の船体運動諸特性の計測結果を示す。

上述の実験結果は船速 2 種類 ($V_s = 0, 2\text{ kt}$) および出合角 2 種類 ($\chi = 180^\circ, 0^\circ$ すなわち迎波) と (追波) の計 4 種類について波長 λ を横軸にとって示してある。また各図中には実験値と計算値の比較のため、 $V_s = 0\text{ kt}$ で $\chi = 180^\circ$ の場合についてのみ、Strip 理論による船体運動計算の結果を示してある。

これらの結果から次のことがわかる。

- (1) 船体運動応答に及ぼす迎波および追波の影響および船速の影響が明らかになった。

これらの傾向は理論計算で予測される傾向と一致している。

- (2) $\chi = 180^\circ$, $V_s = 0\text{ kt}$ 時の実験値と計算値を比較すると、一部に若干の定量的な差が認められる。定性的にはよく一致しており、全体的にみて良く一致していると言える。

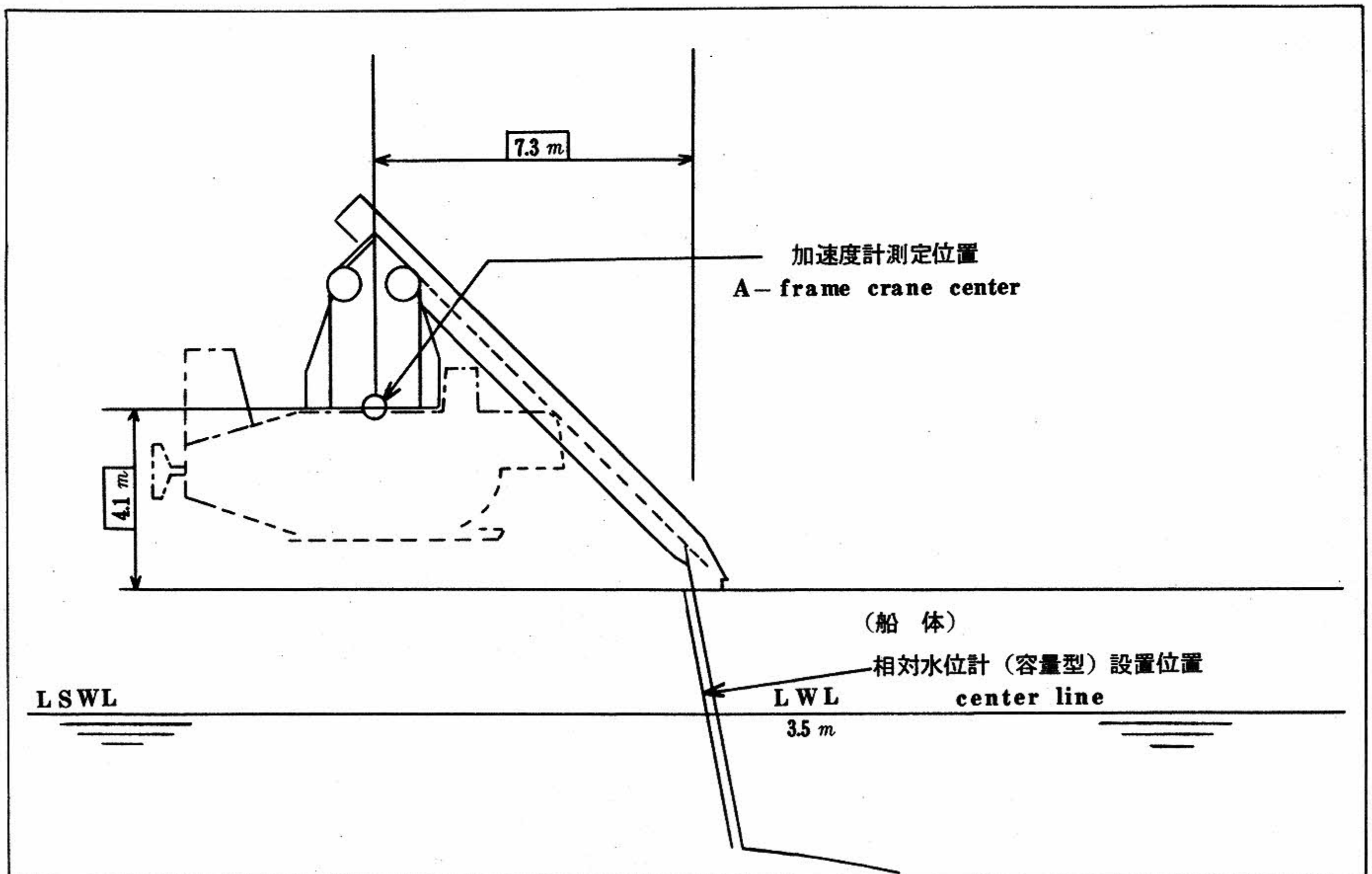


図 1 加速度および相対水位計測位置

Position of measurement for acceleration and relative motion

(3) 上述の実験値と計算値の差に関しては、次のように考えられる。

すなわち、本船が幅広浅吃水で、かつ吃水方向の水線幅の変化がはげしい扁平な船尾形状をもっているため、船体運動理論の基礎仮定となっている微小波高、微小運動の仮定が十分に成立していないからであろう。

3.2 斜波中の船体運動

図4は斜波中の計測結果を示す。

各図中には波高 $H_w = 1.25\text{ m}$ 、船速 $V_s = 0\text{ kt}$ における $\chi = 0^\circ \sim 180^\circ$ の各出合角に対する運動応答計測結果を示す。ただし $\chi = 0^\circ, 180^\circ$ については図3に示した縦波中の計測結果を再掲した。また代表的な出合角について計算値を記入し、実験値と比較してある。実験値と計算値の比較では、

縦波中の場合と同様、一部に差が認められたが、全体的にはほぼ一致していると言える。

以上、規則波中の船体運動応答の実情が把握された。

4. 船体横揺運動の有義値

上述の船体運動試験結果、規則波中の6自由度運動および加速度の応答が波との出合角との関連で把握できた。ここでは、さらに船体運動中重要な横揺運動を取りあげ、上述の実験結果を反映させた不規則波中の応答計算を行い、横揺角度の有義値を計算した。

4.1 計算条件

次の計算条件で、短波項不規則波中の横揺計算を行った。

(1) 船速；

船体停止時および航海速力 12 kt

(2) 実船の G_0M および横揺固有周期 T_ϕ ；

$G_0M = 1.21\text{ m}$, $T_\phi = 10.6\text{ s}$

(3) 船体応答関数；

船速 0 kt 時の応答関数を、次のように与えた。

本船の G_0M 設計値が本実験実施時の値から若干減少し、その結果、横揺固有周期 T_ϕ が 9.49 s から 10.6 s に増加した。そこで図4中の(5)の横揺応答関数 ($T_\phi = 9.49\text{ s}$) を基に、固有周期の増加によるピーク的位置および大きさを修正し、本船の横揺応答関数を求めた。

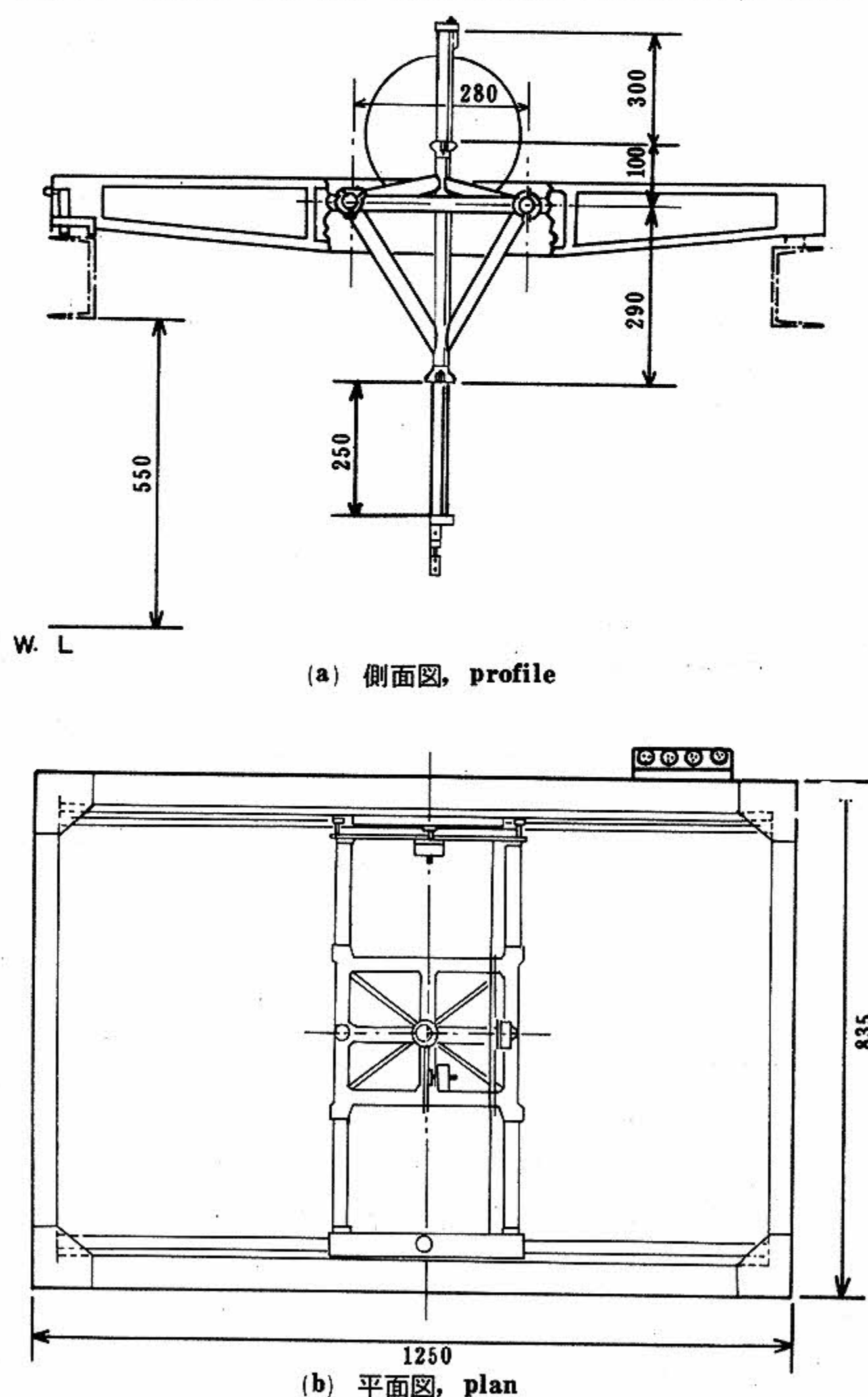


図2 6自由度運動計測装置

Ship motion measurement equipment
for 6 freedom

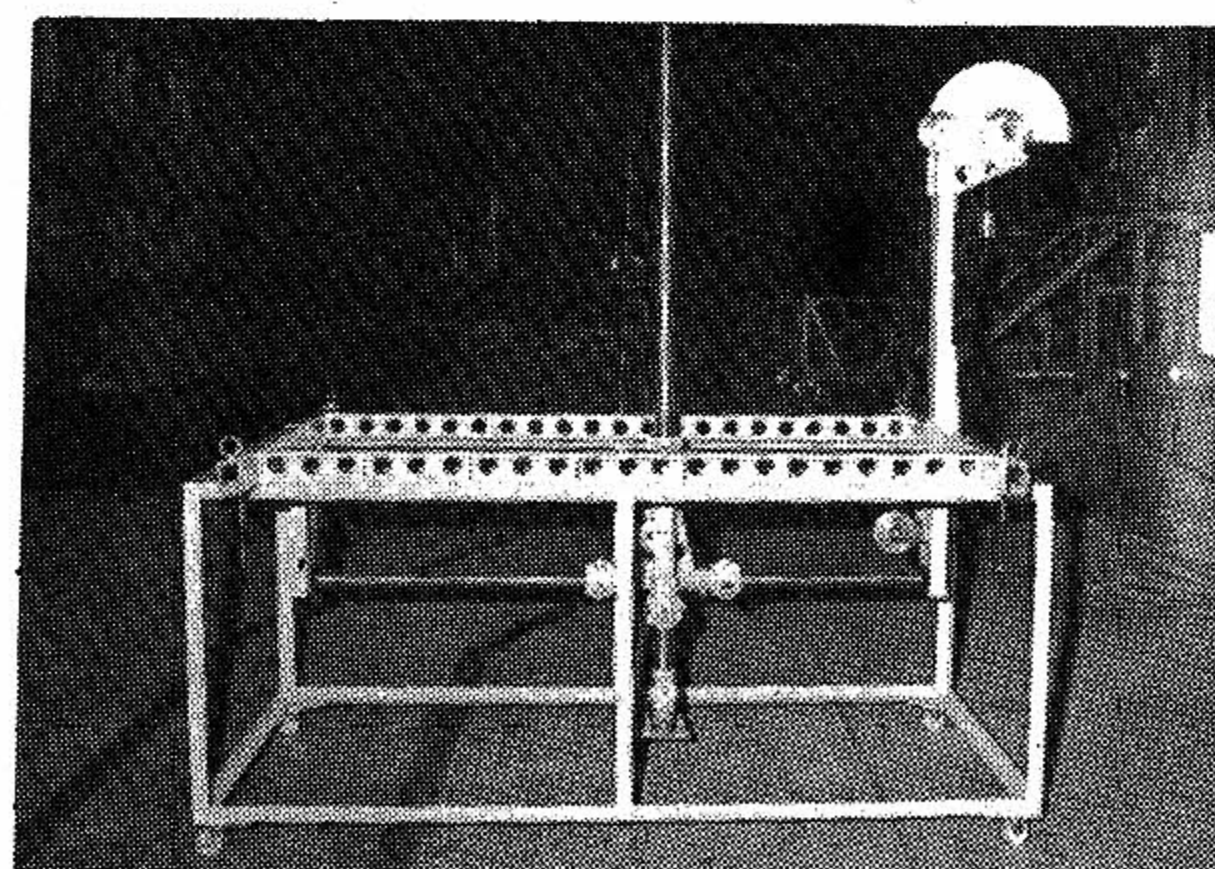
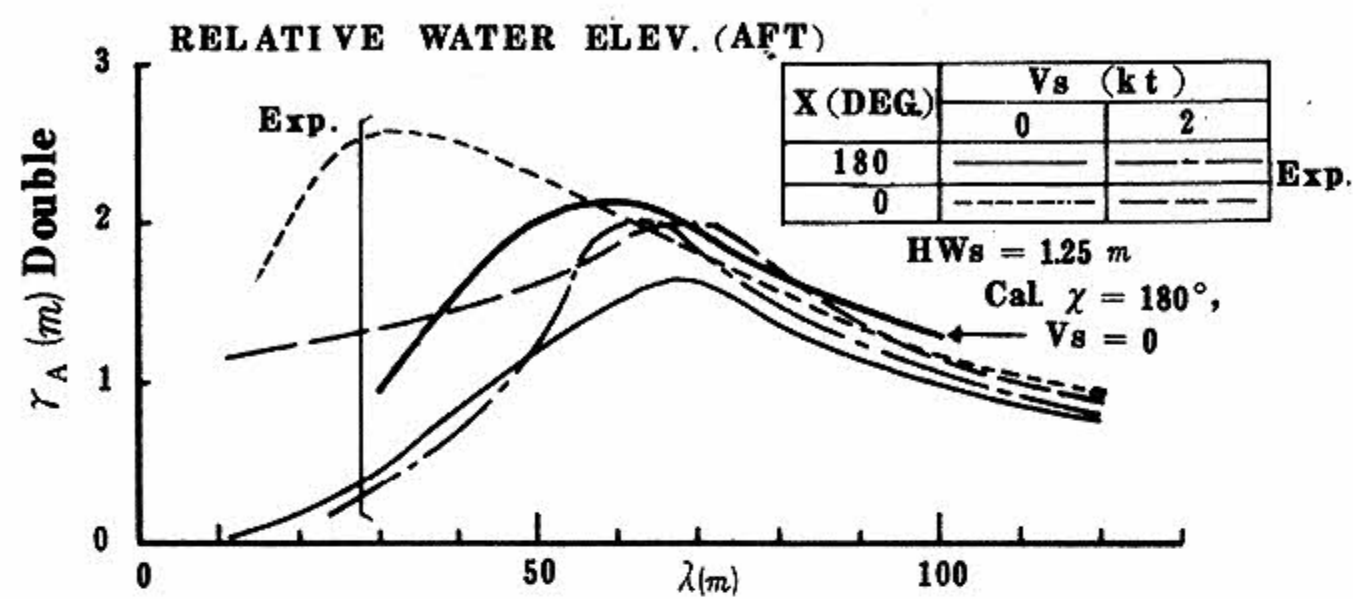
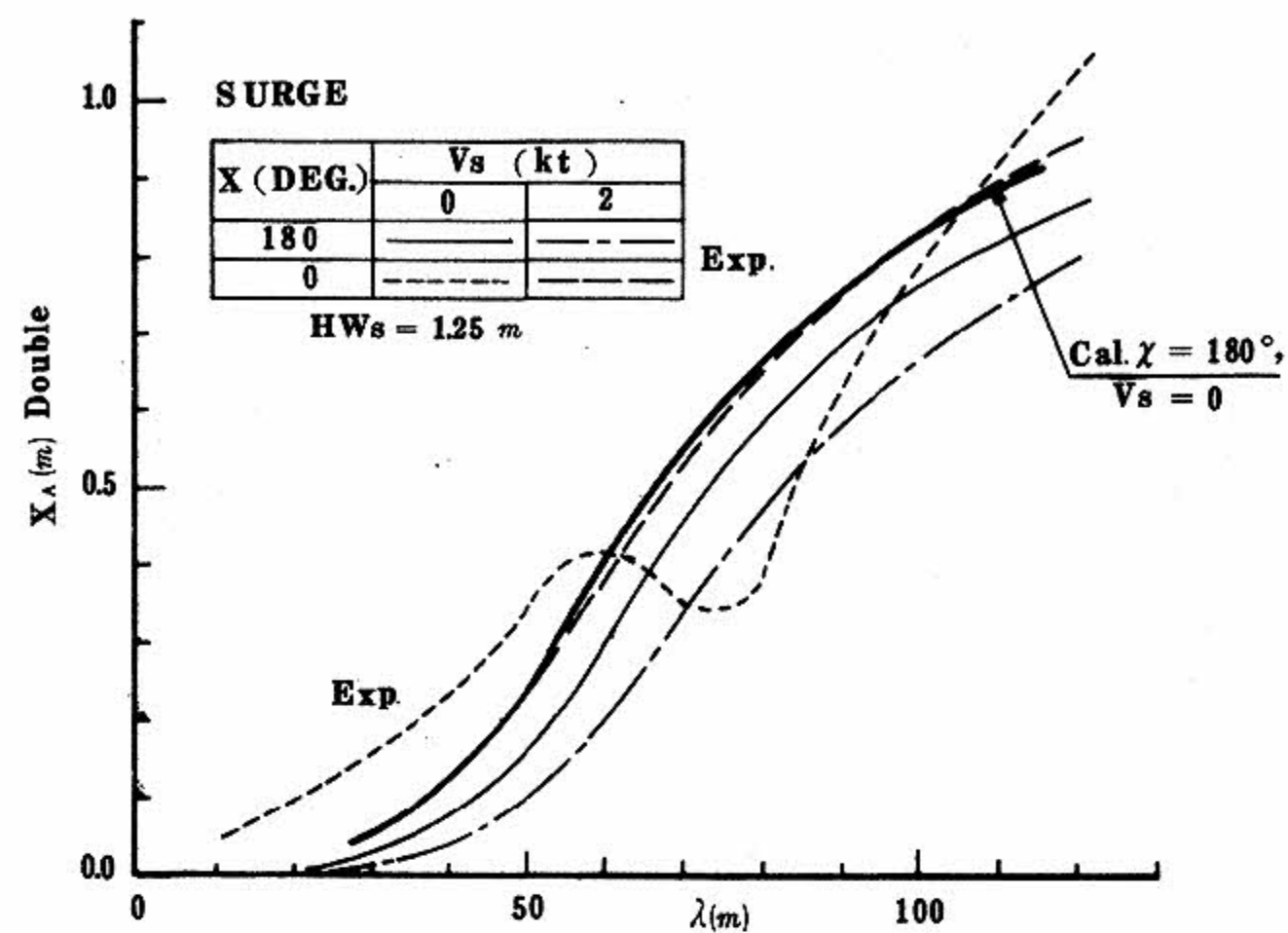


写真2 3自由度運動計測装置

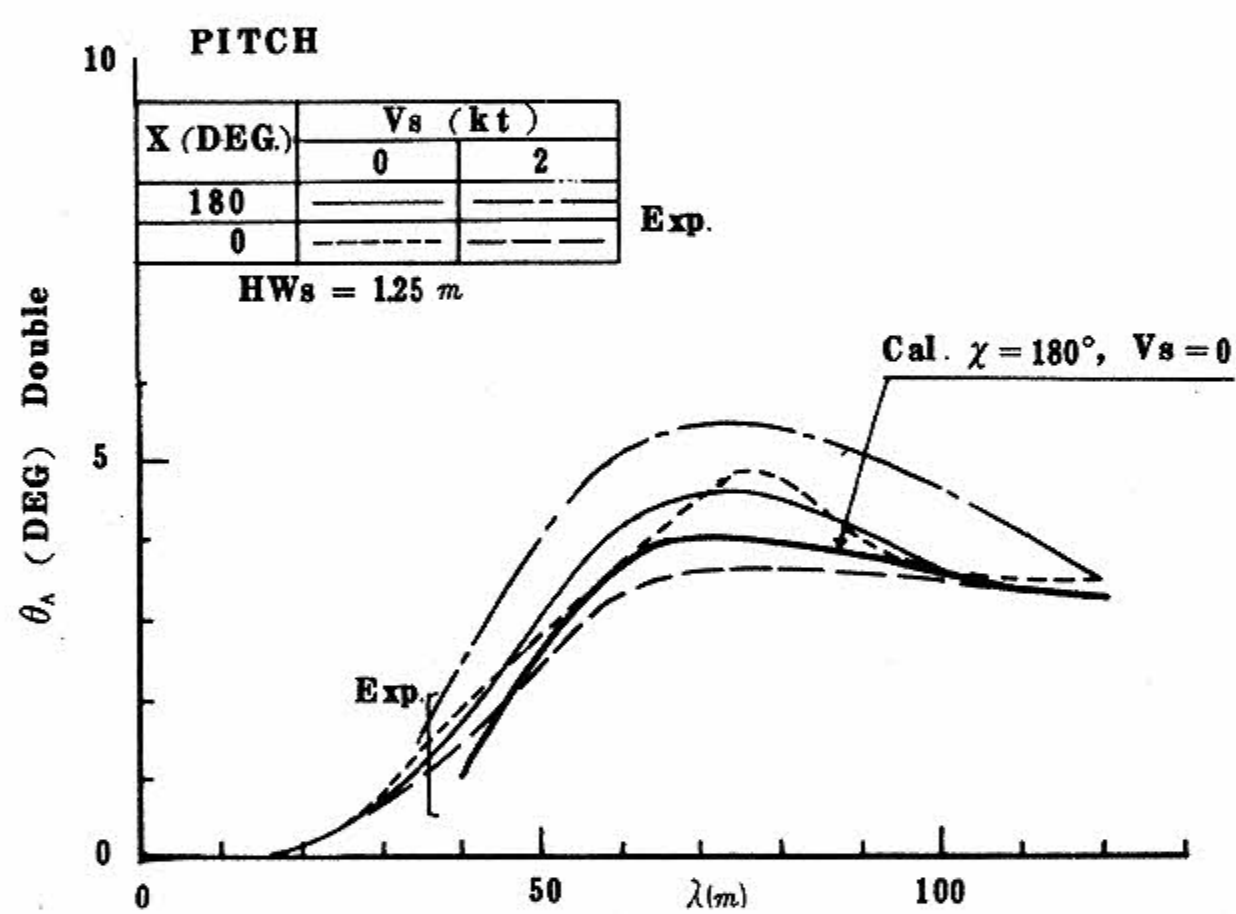
Ship motion measurement equipment
for 3 freedom



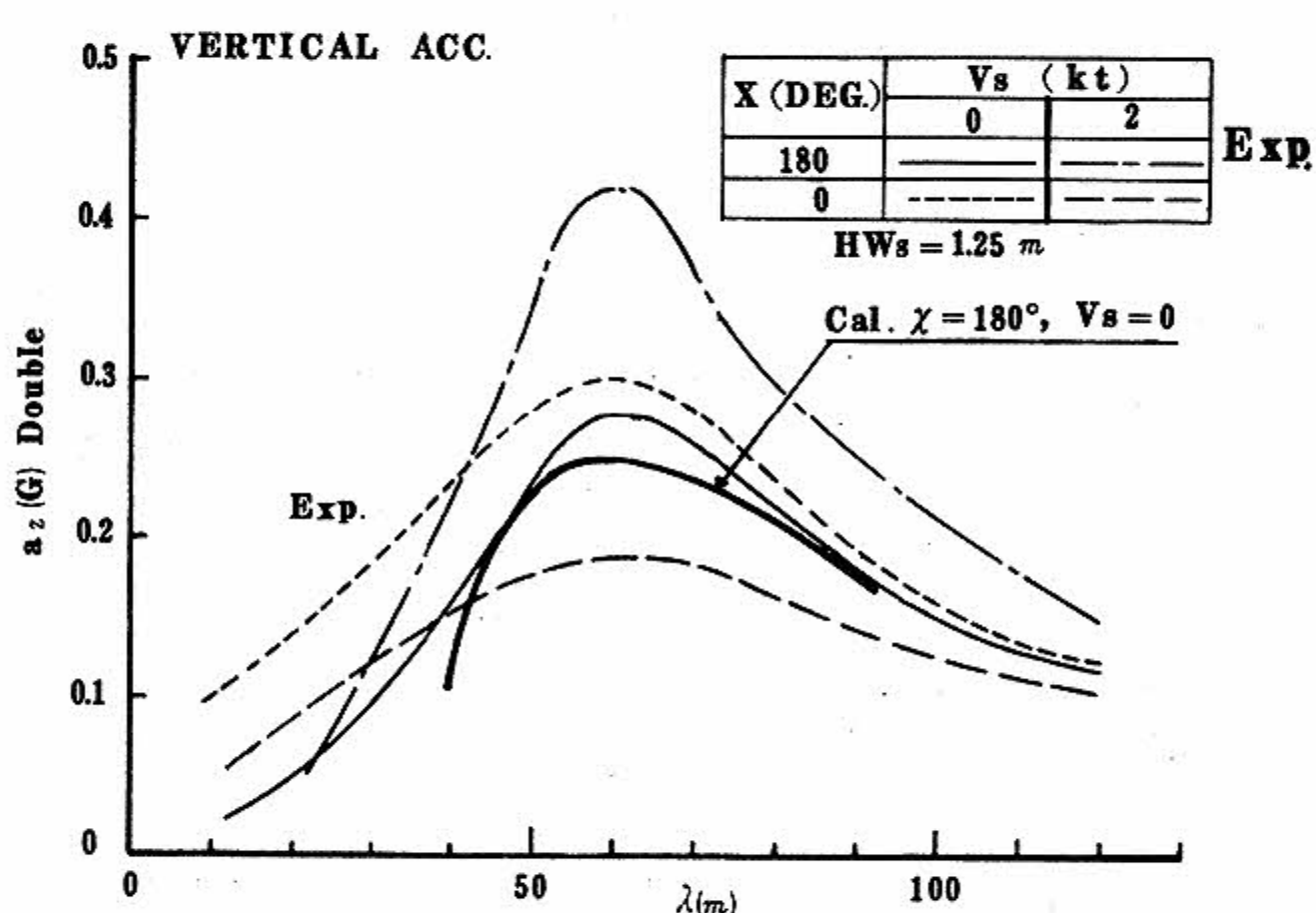
(1) 船尾端中央の相対水位 (γ_A)



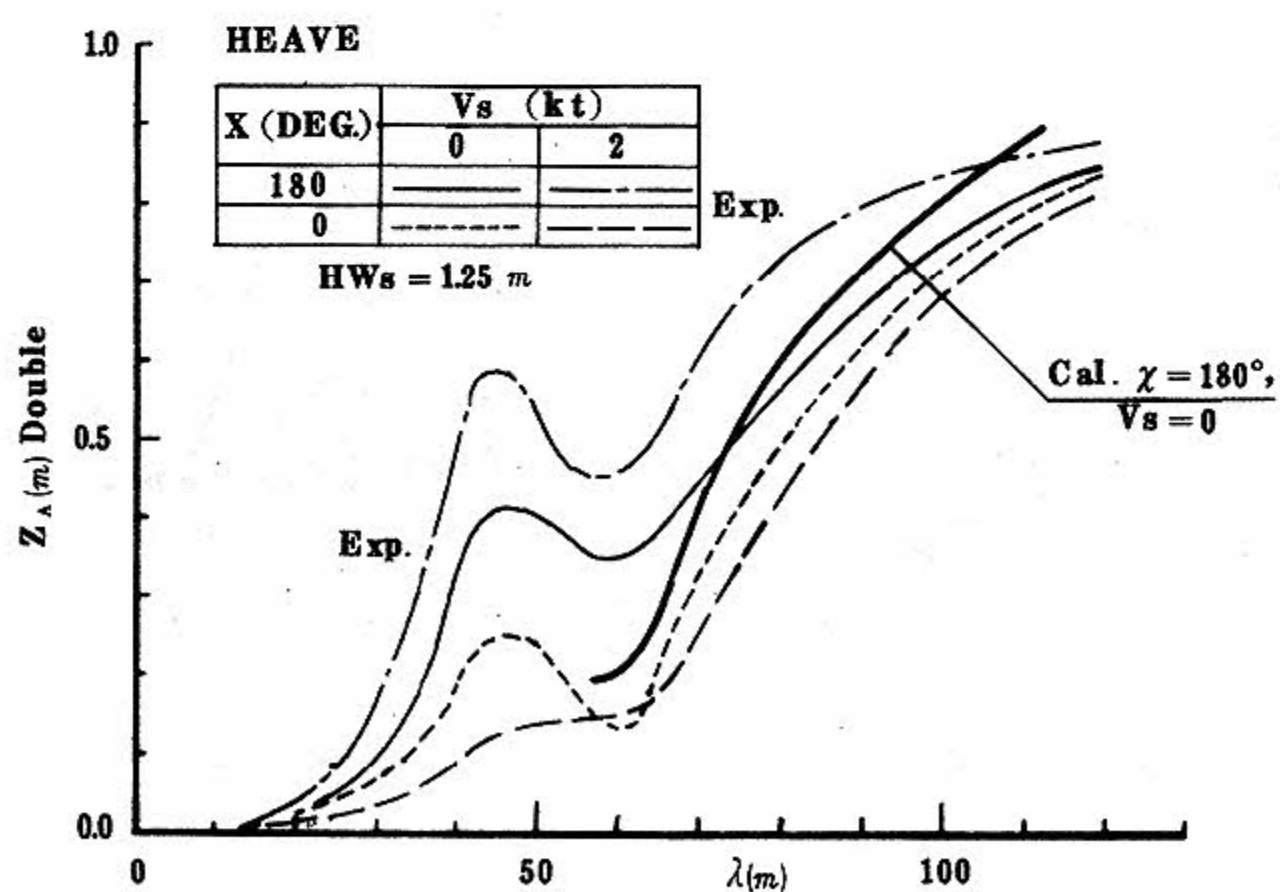
(4) サージ (x_A)



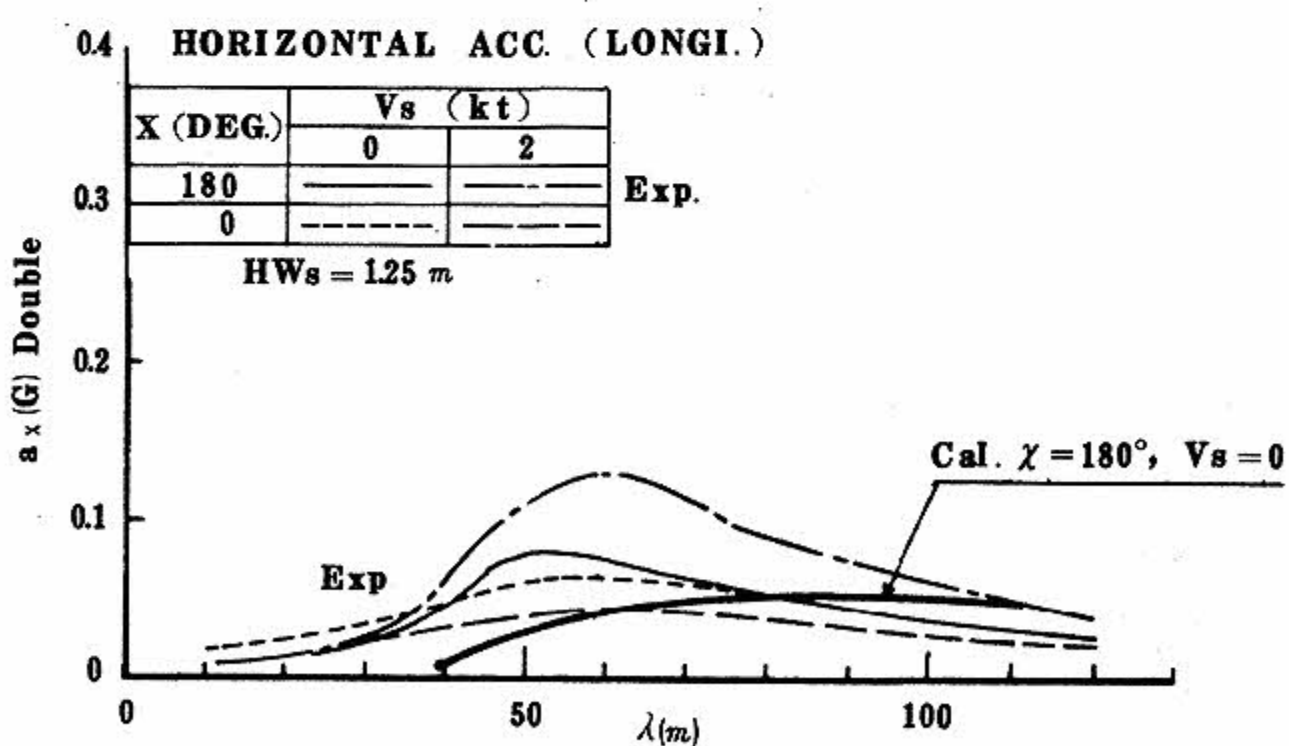
(2) ピッチ (θ_A)



(5) Aフレームクレーンの上下加速度 (a_z)



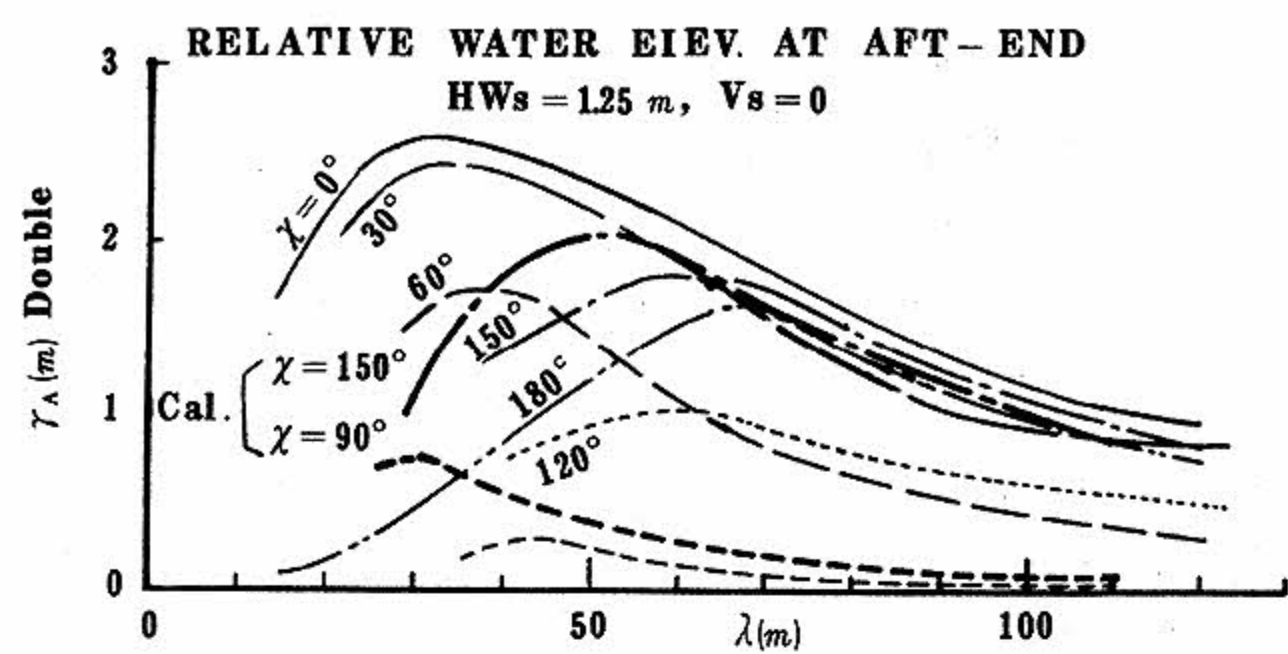
(3) ヒープ (Z_A)



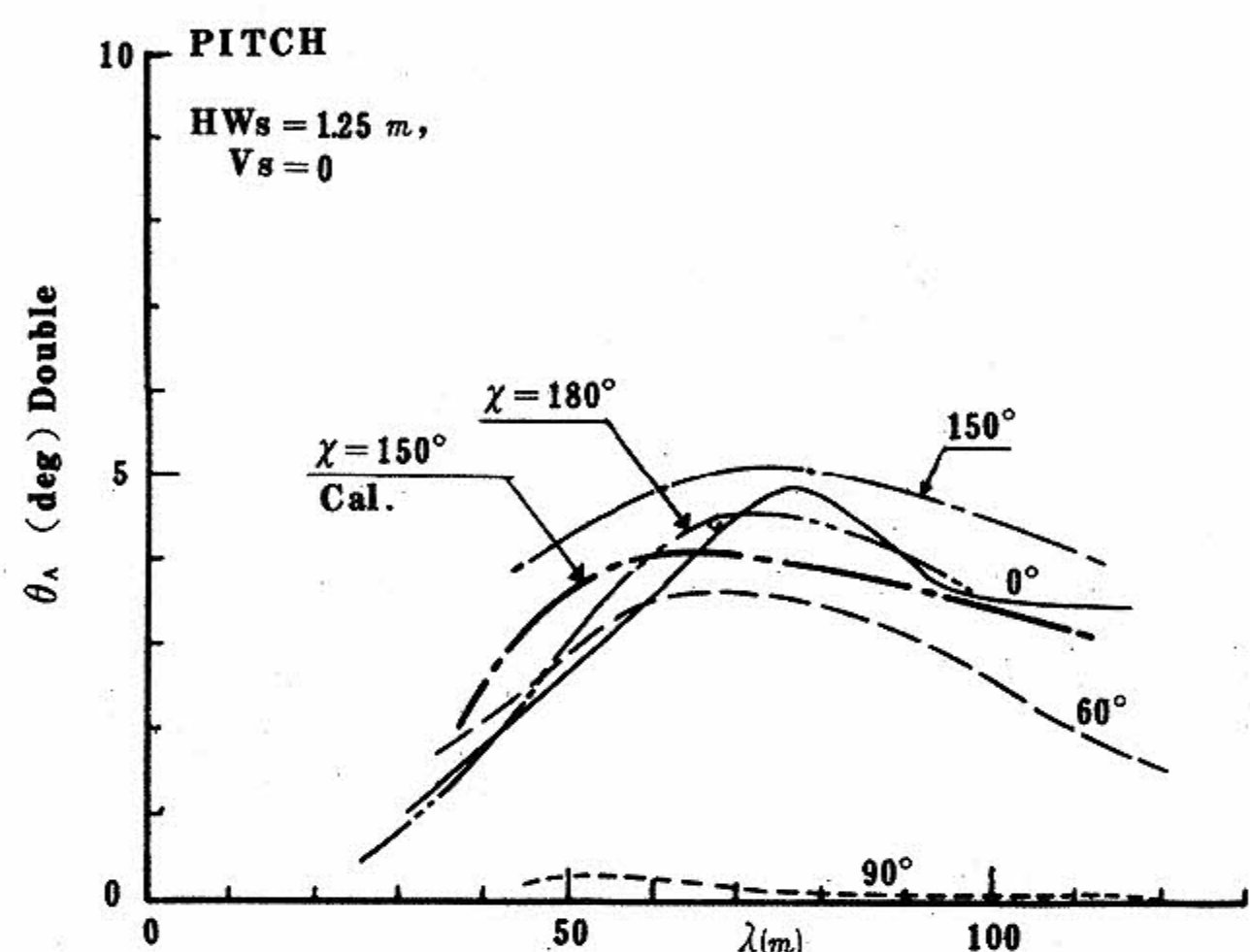
(6) Aフレームクレーンの前後加速度 (a_x)

図3 縦波中の船体運動実験結果

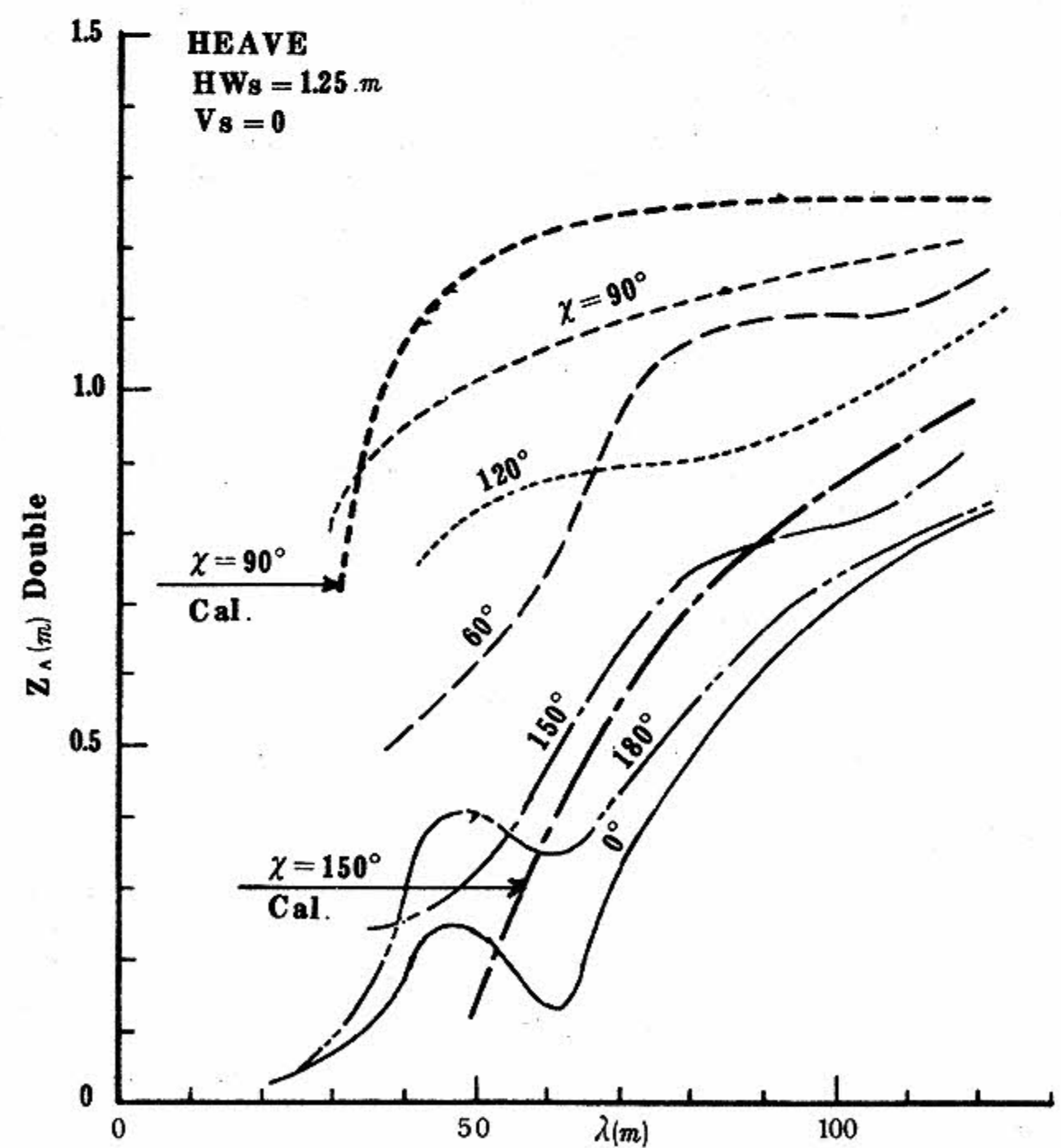
Experimental results of ship motion in head and following waves



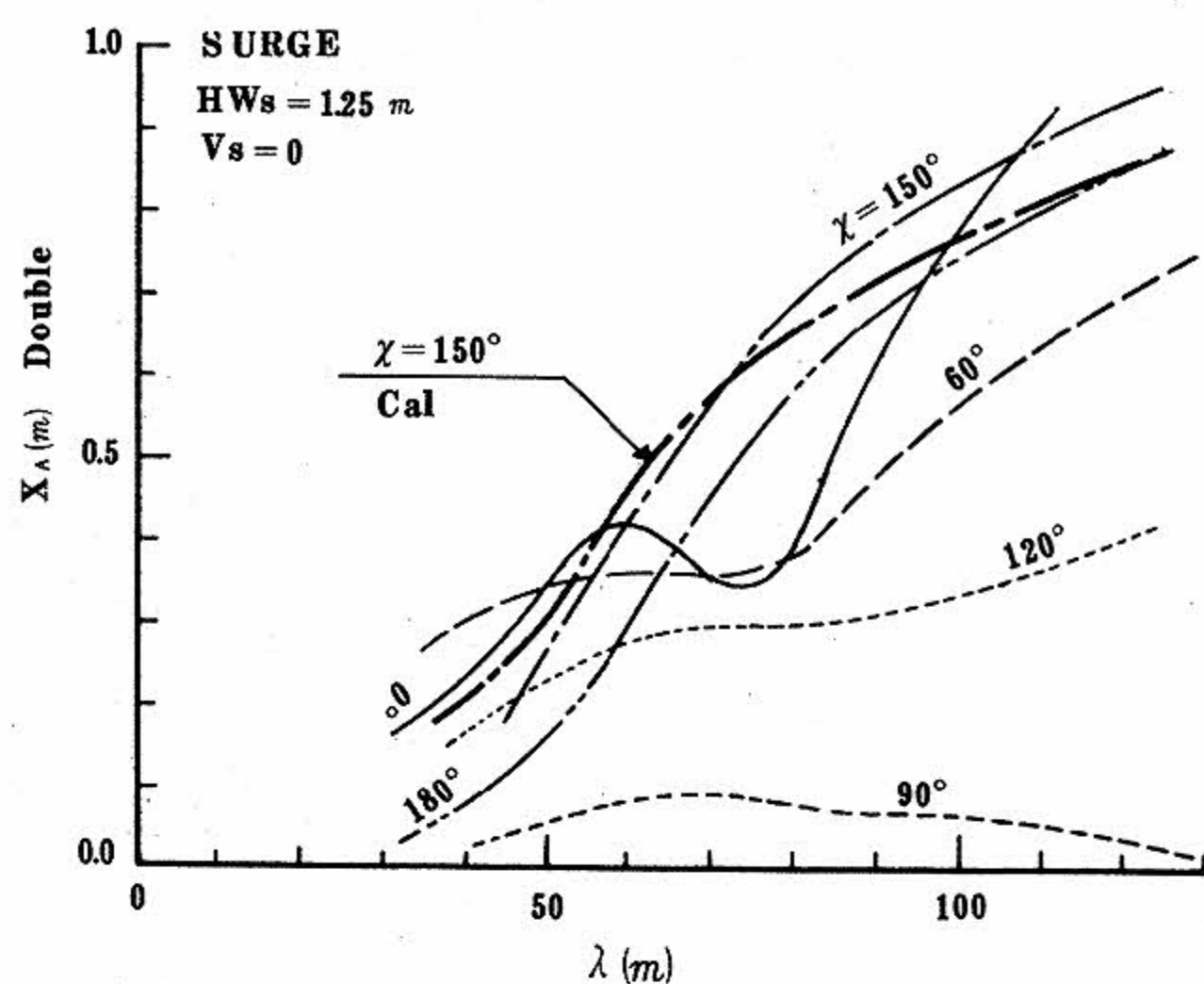
(1) 船尾端中央の相対水位 (γ_A)



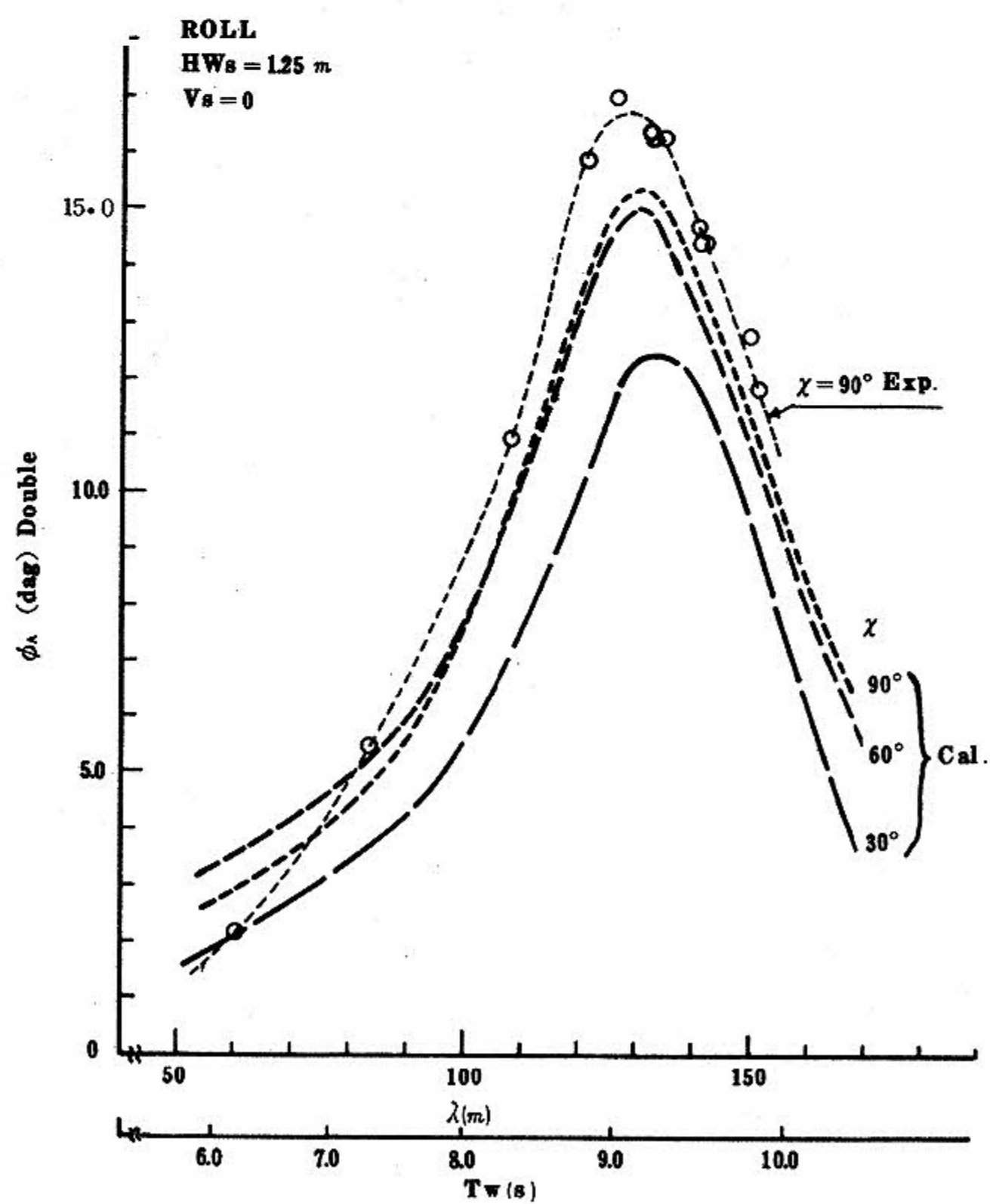
(2) ピッチ (θ_A)



(3) ヒープ (Z_A)

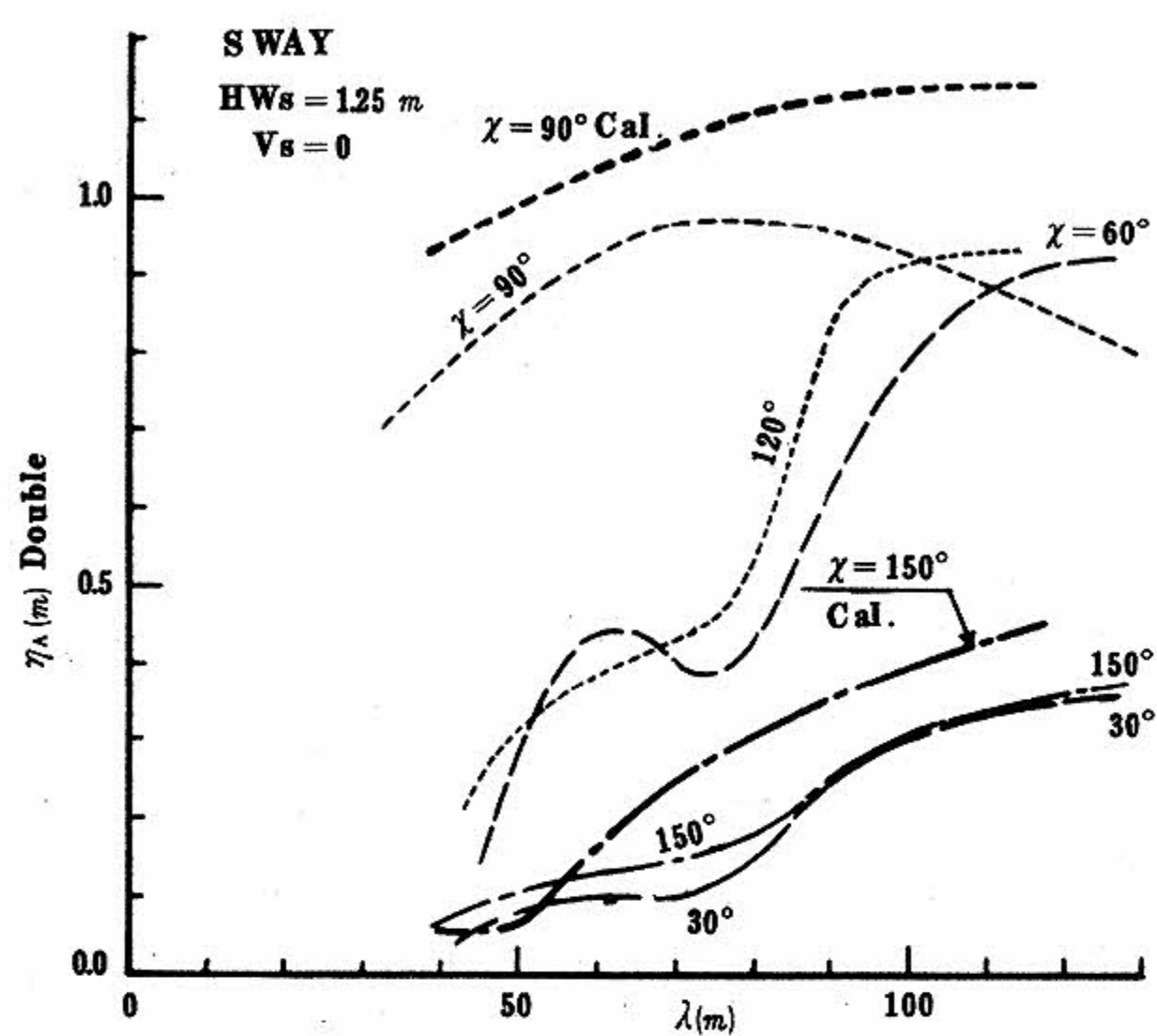


(4) サージ (X_A)

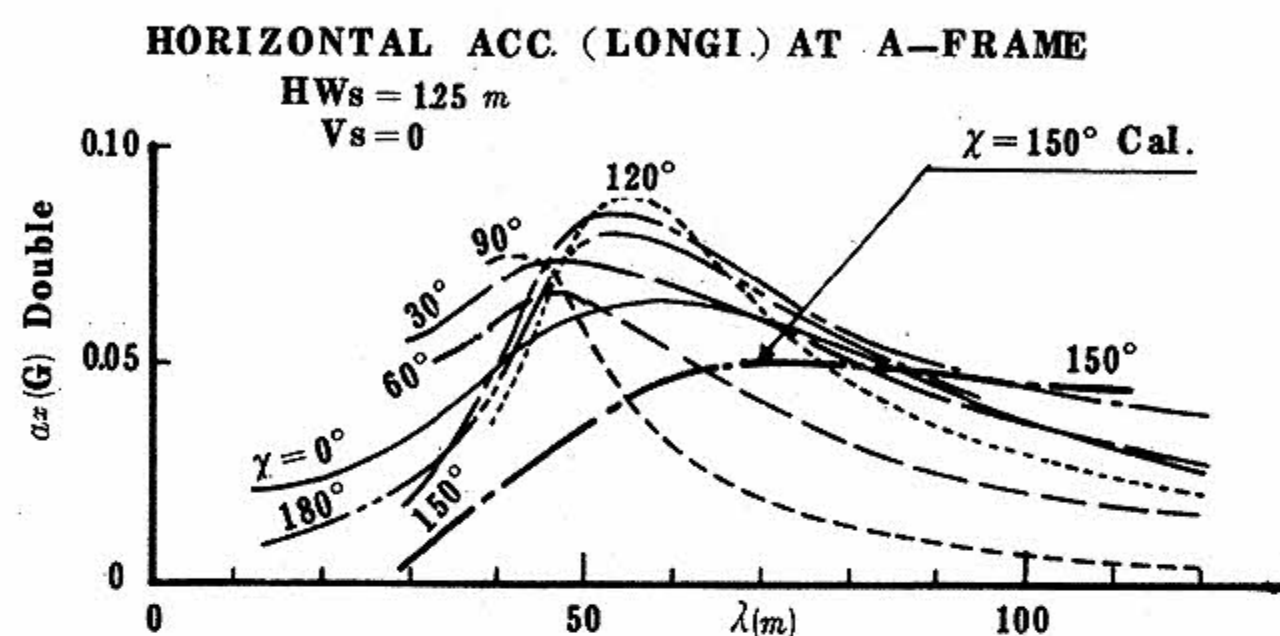


(5) ロール (ϕ_A)

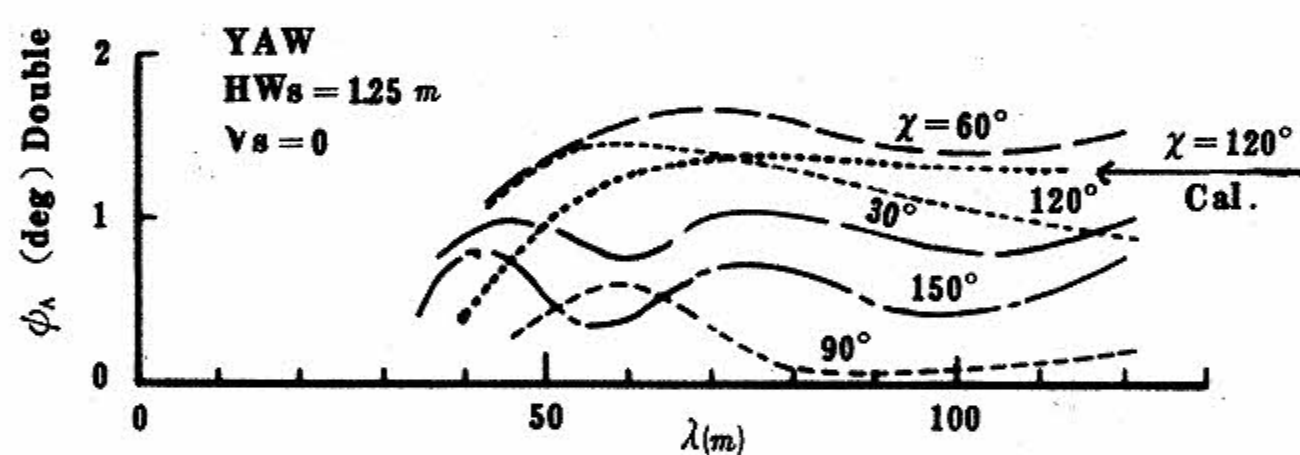
図4 斜波中の船体運動実験結果



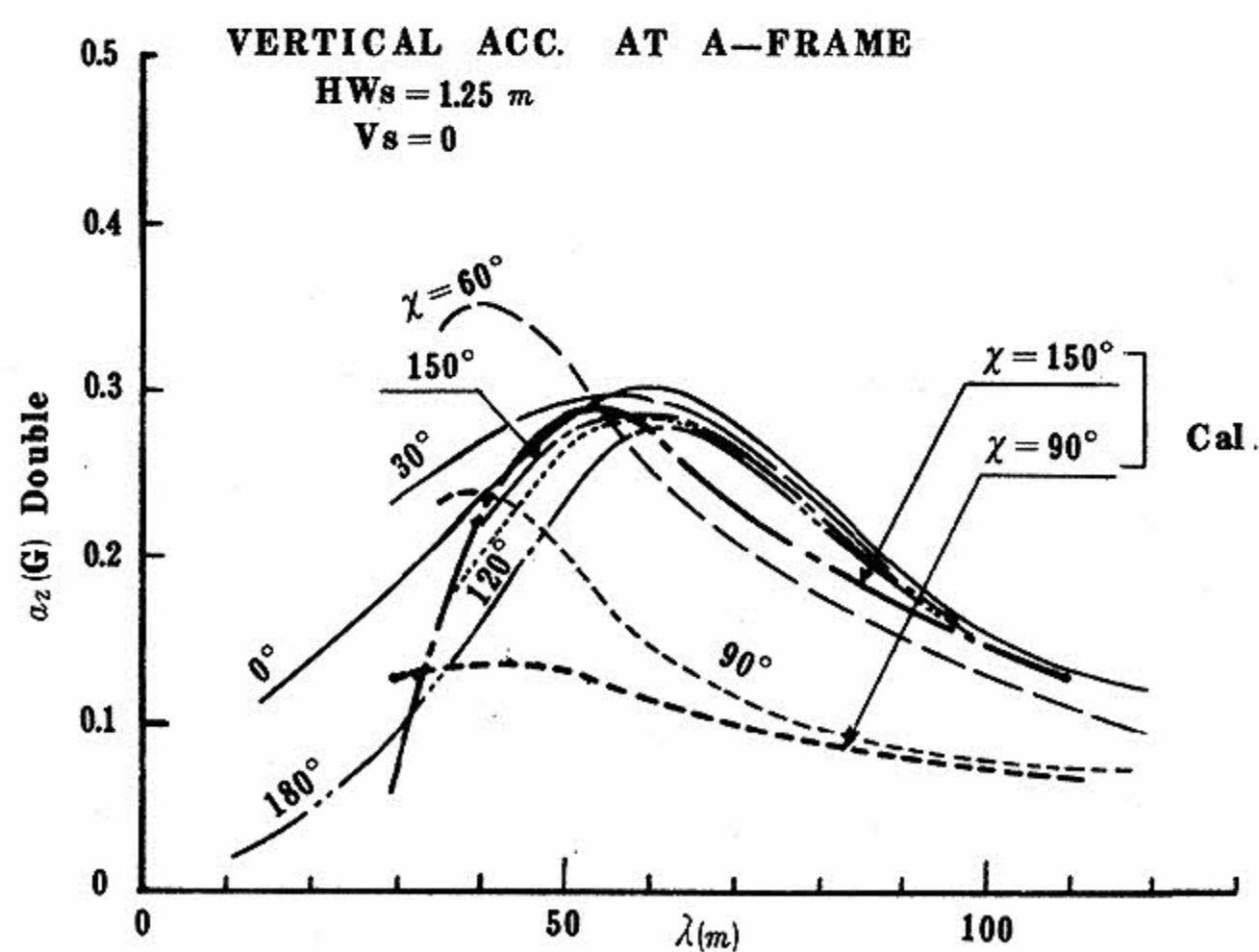
(6) スウェイ (η_A)



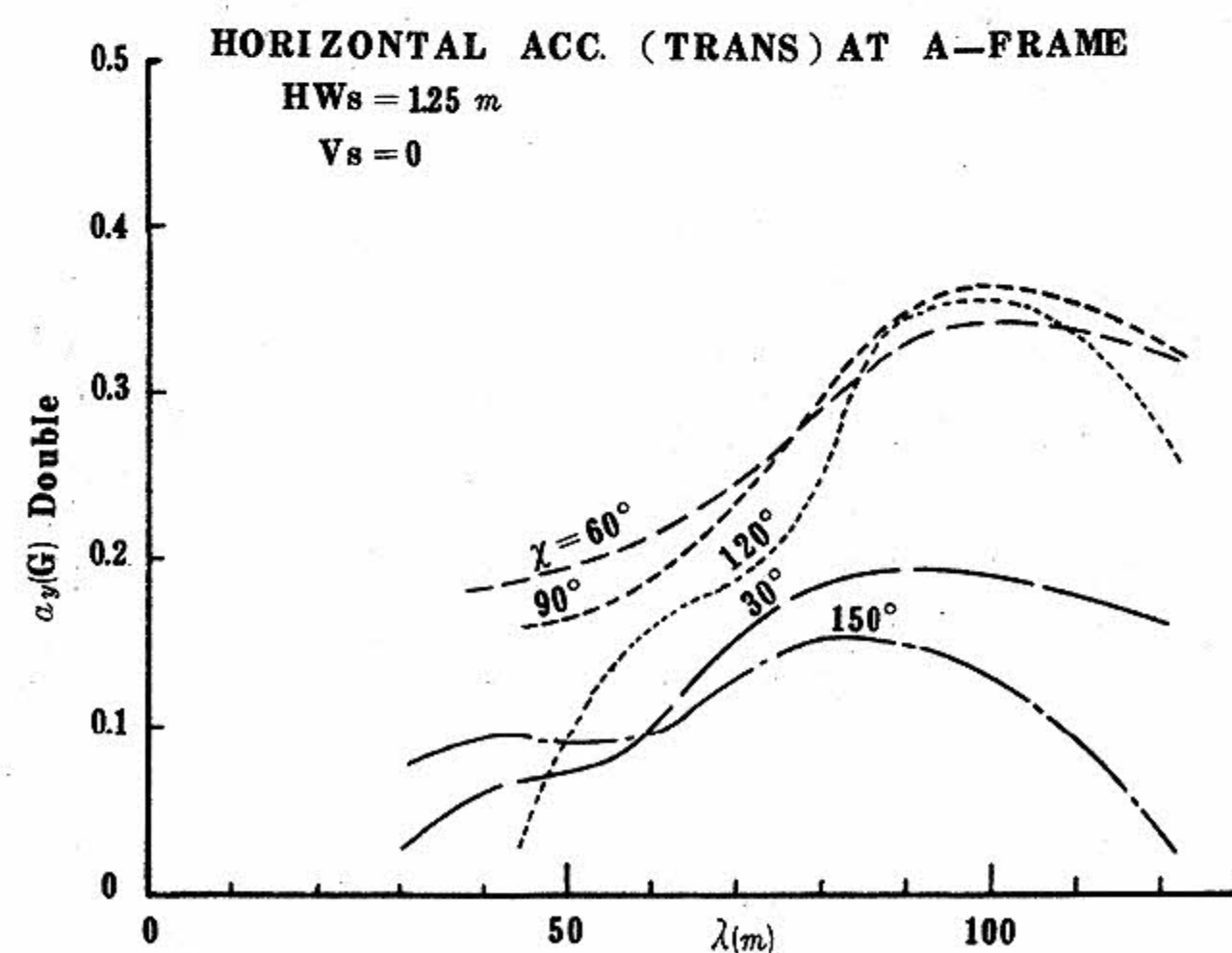
(9) Aフレームクレーン前後加速度 (a_x)



(7) ヨー (ϕ_A)



(8) Aフレームクレーンの上下加速度 (a_z)



(10) Aフレームクレーン左右加速度 (a_y)

Experimental results of ship motion in oblique waves

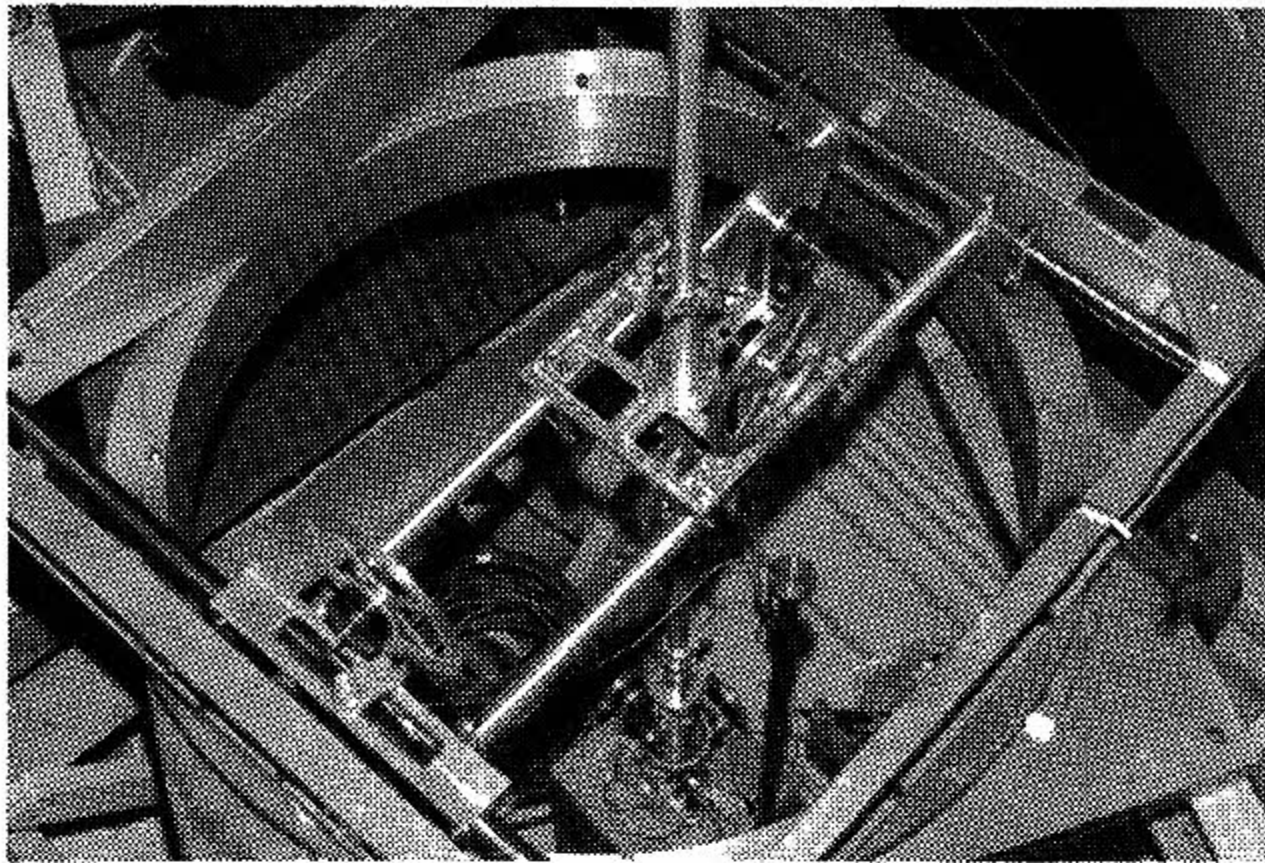
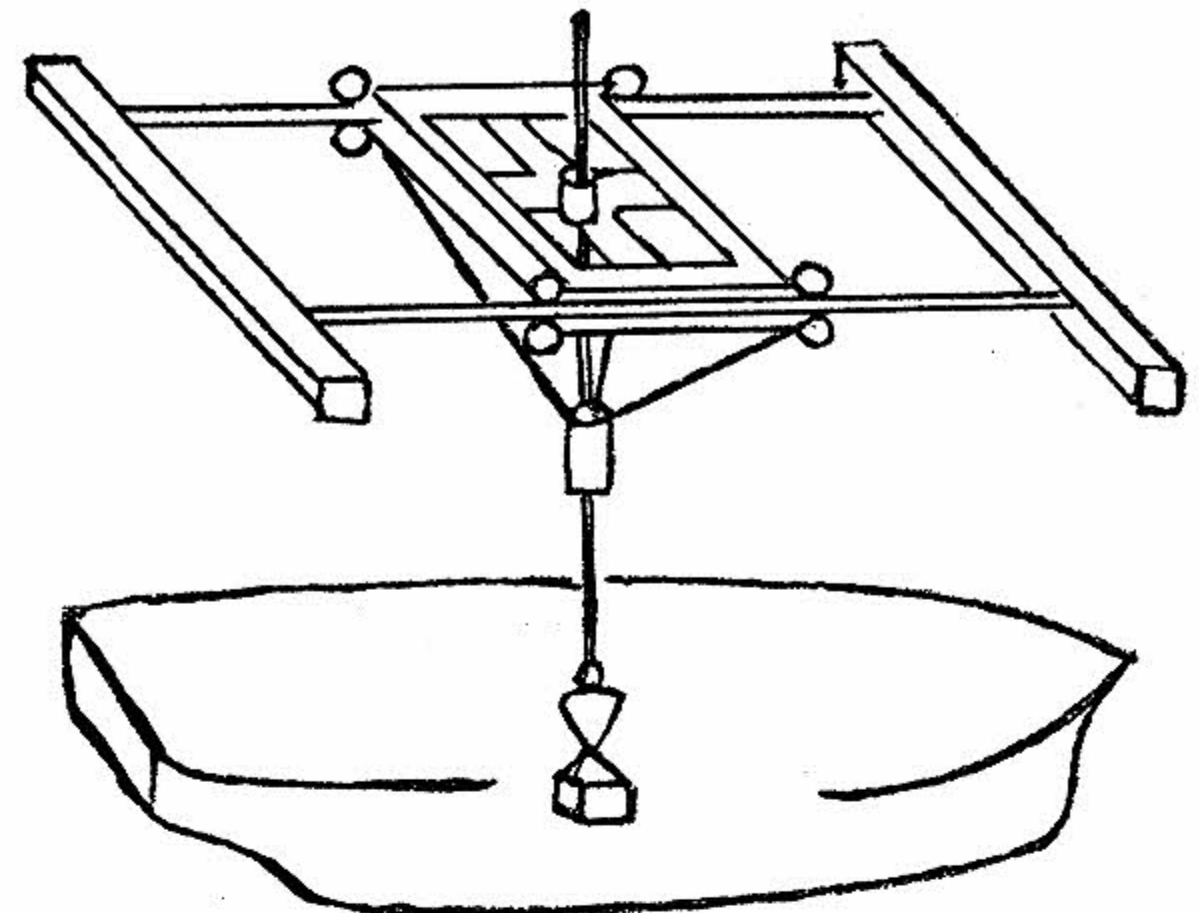


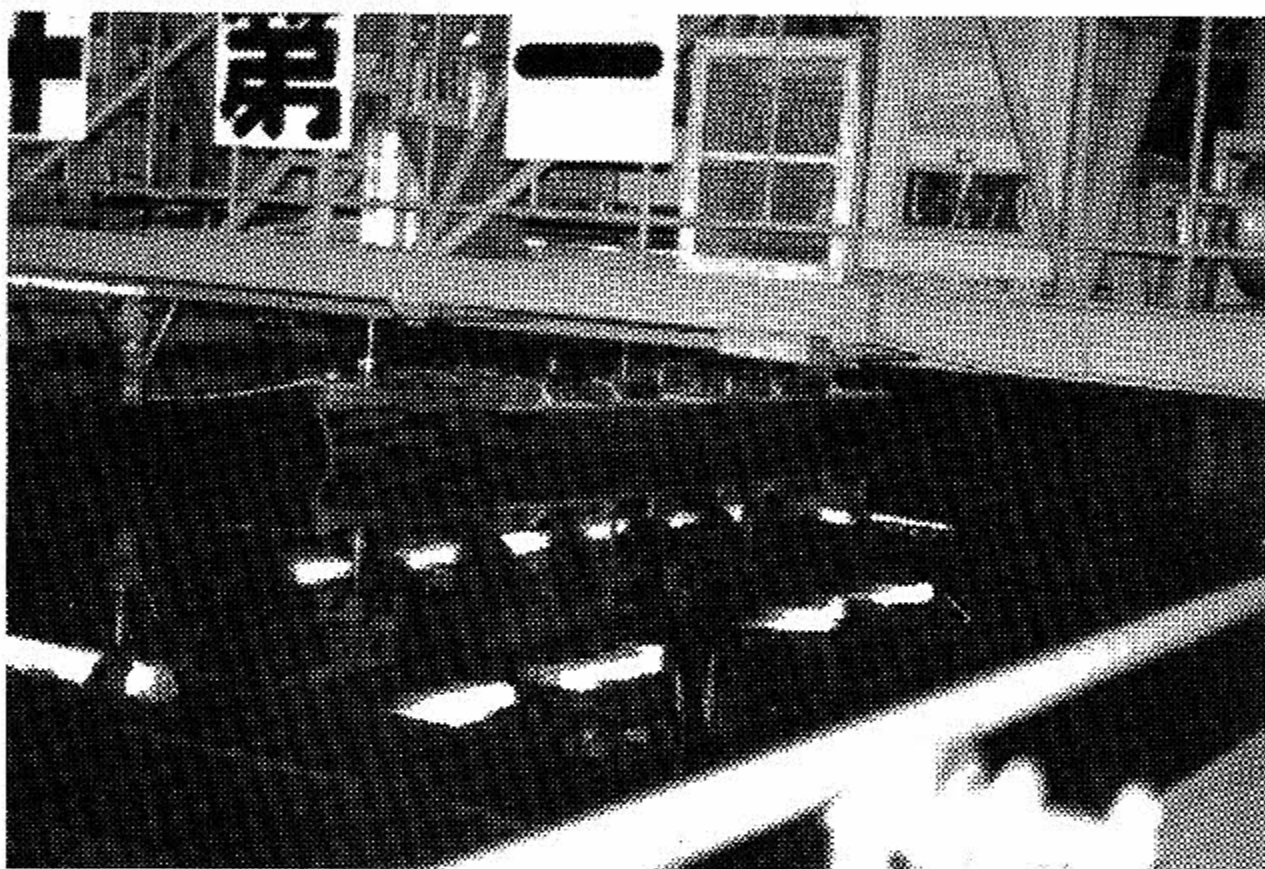
写真3 6自由度運動計測装置

Ship motion measurement equipment for 6 freedom



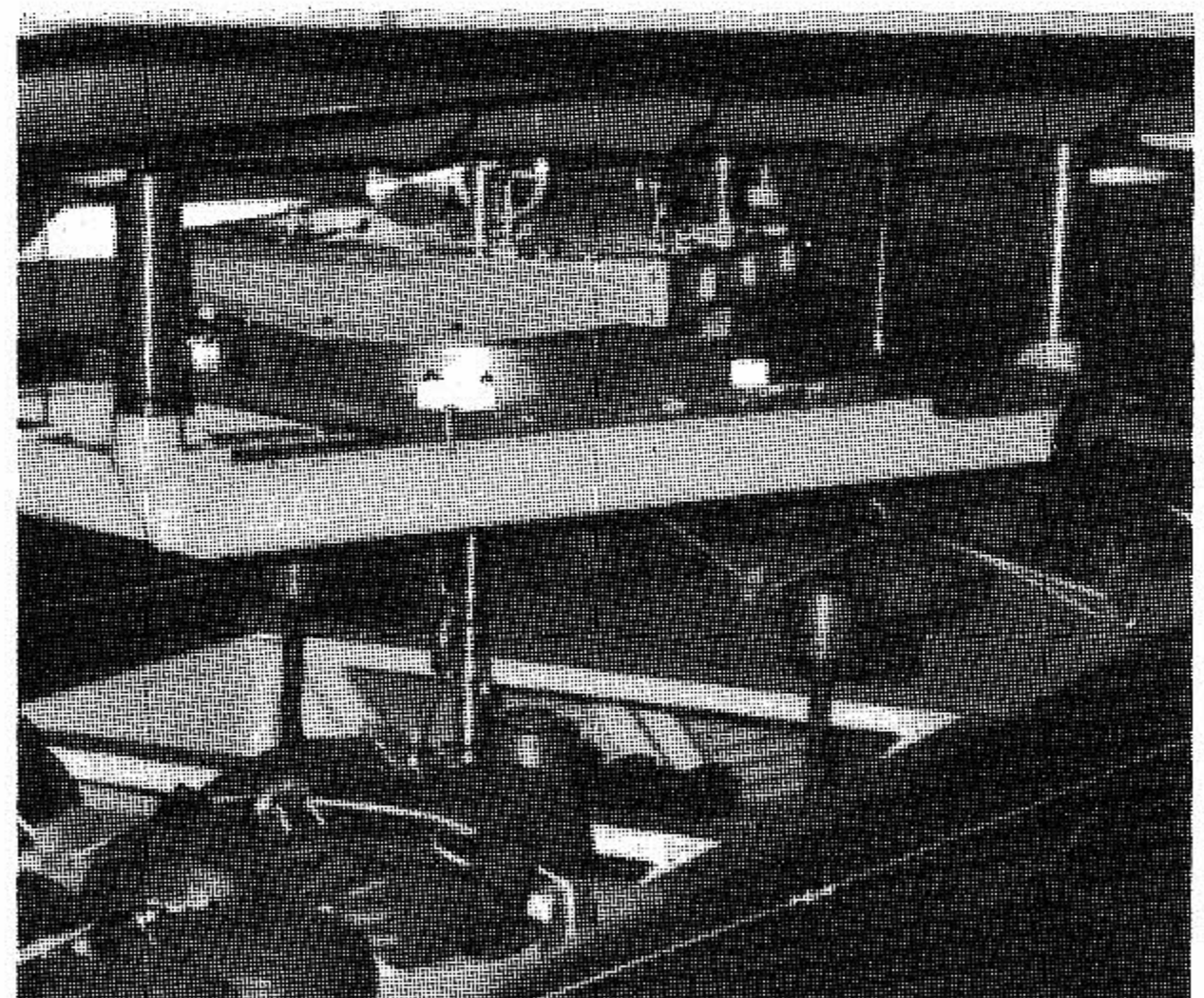
模型船の装着状態

Arrangement of ship motion
measurement equipment



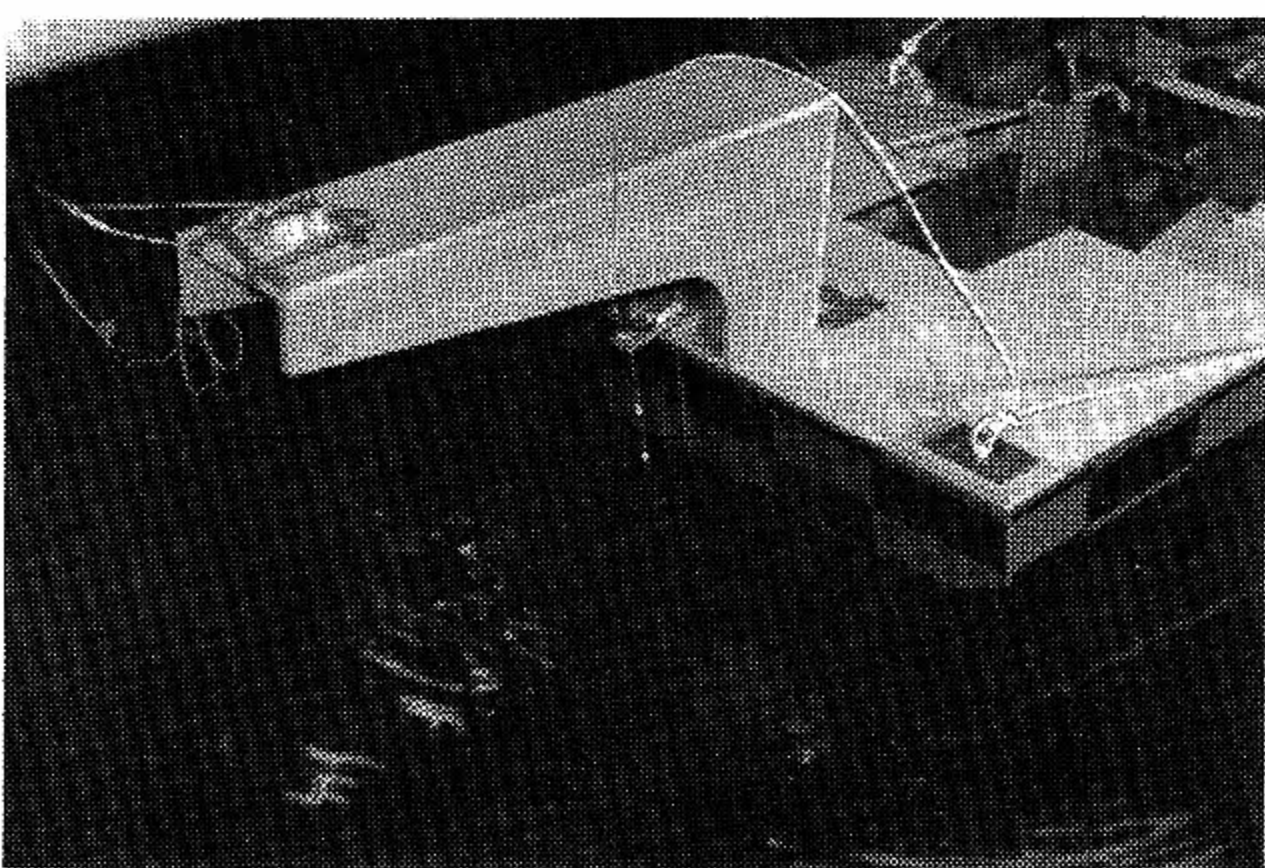
(1) 縦波中の実験

Experiment in head and following waves



(2) 横波中の実験

Experiment in oblique waves



(3) A-フレームクレーン加速計測

Acceleration measurement at the top of
A-frame crane

写真4 実験状況

Experiment in water tank

表 4 計測条件 (斜波中試験)

Measurement condition in oblique waves

(1) 船体実験状態

吃水; 3.5 m

トリム; 0.0 m

船速; 0 および 2 kt

(2) 波浪条件; 規則波

波 長; $\lambda / L_{pp} = 0.25 \sim 2.0$

波 高; $H_w = 1.25 \text{ m}$

出合角; 0° または 180°

(3) 計測項目

項 目	計 測 位 置	方 法
波 高	模型船重心前方 7.66m	超音波式
相 対 水 位	模型船の船尾端	容量式
ピ ッ チ ヒ ー ブ サ ー ジ ロ ー ル ス ウ ェ イ ヨ ー	模型船の重心位置	キャリエイジ 方式 (ポテン シオメーター 使用)
上下加速度 前後加速度 左右加速度	Aフレームクレーンの ペンダント位置	加速度計

なお, 不規則波中の計算では, まず理論プログラムの横揺応答関数が上述の応答関数に一致するように damping 係数を修正し, 以後の計算に使用した。

船速 12 kt ($F_n \div 0.25$) 時の damping 係数についてはその船速影響が種々発表されているが, ここではその標準値として上述の船体停止時 damping 係数の 3 倍をとり, 以下の計算に使用した。

このようにして求められた $V_s = 0 \text{ kt}$ および 12 kt の横揺応答関数を図 5 に示す。

(4) 波スペクトル;

I S S C 波スペクトルを使用した。

(5) 海象;

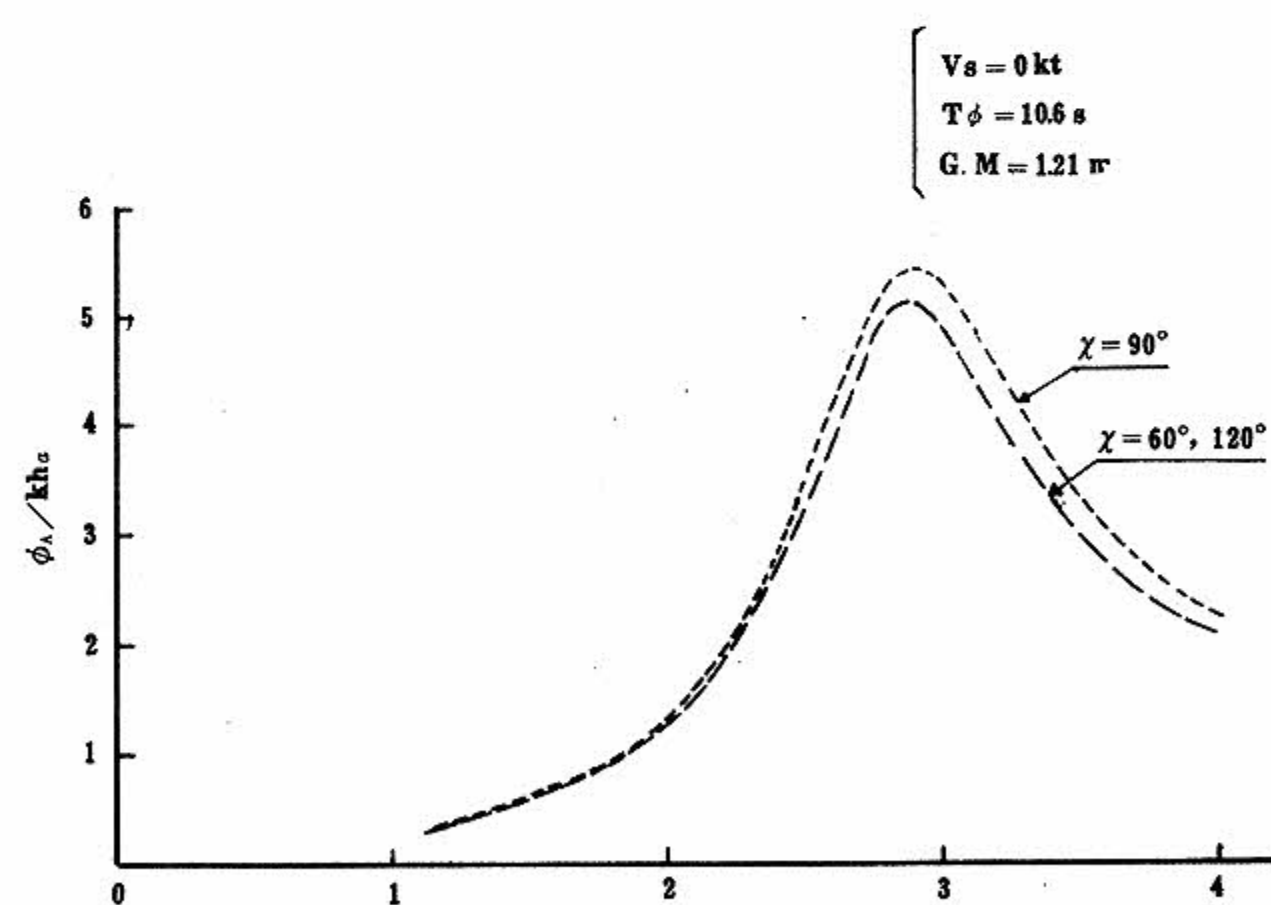
シーステイト 3 およびシーステイト 4 の 2 状態について計算した。

4.2 計算結果

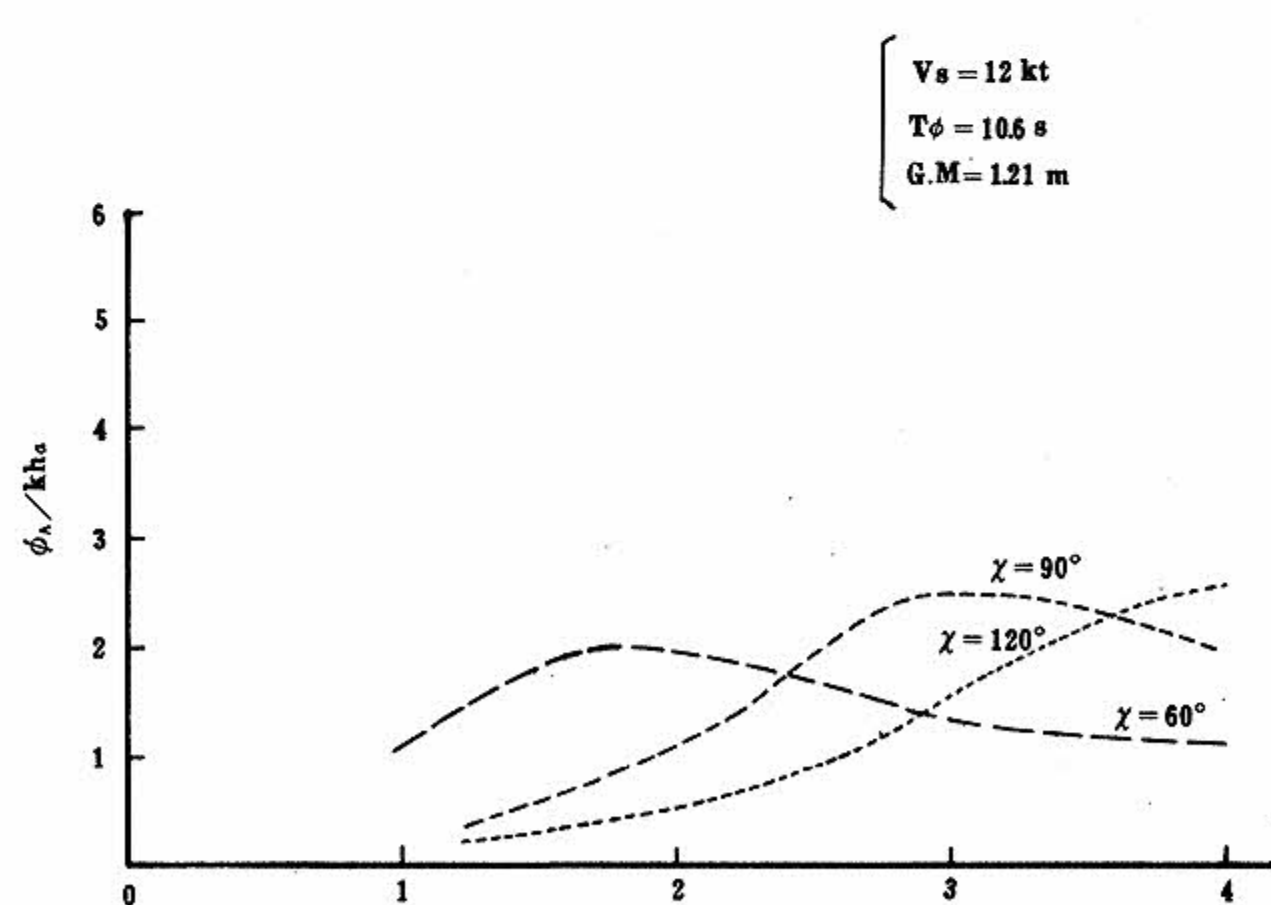
図 6 の(1)および(2)には上述の条件で得られたロール角度の有義値を出合角 χ を横軸として示した。

(1) 図 6 中の(1)はシーステイト 3 での計算結果を示す。

通常の着水揚収オペレーションはこれ以下の海象で行われることになっている。これによると, 船速 $V_s = 0 \text{ kt}$ 時のロール角の有義値は真横から波をうけた場合 ($\chi = 90^\circ$) に最大となり, 片振幅約 1.7° である。一方,

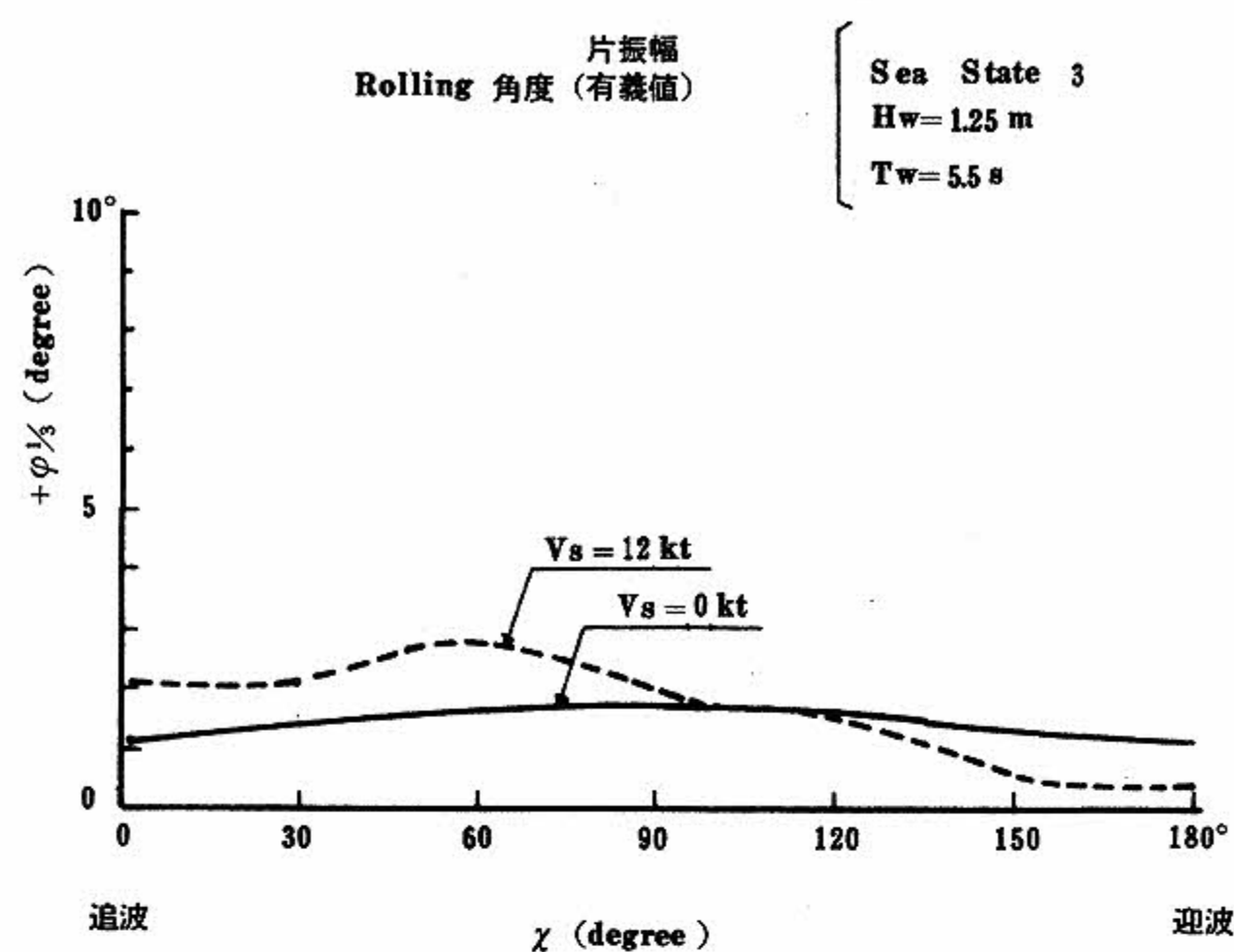


(1) 船速ゼロ λ/L

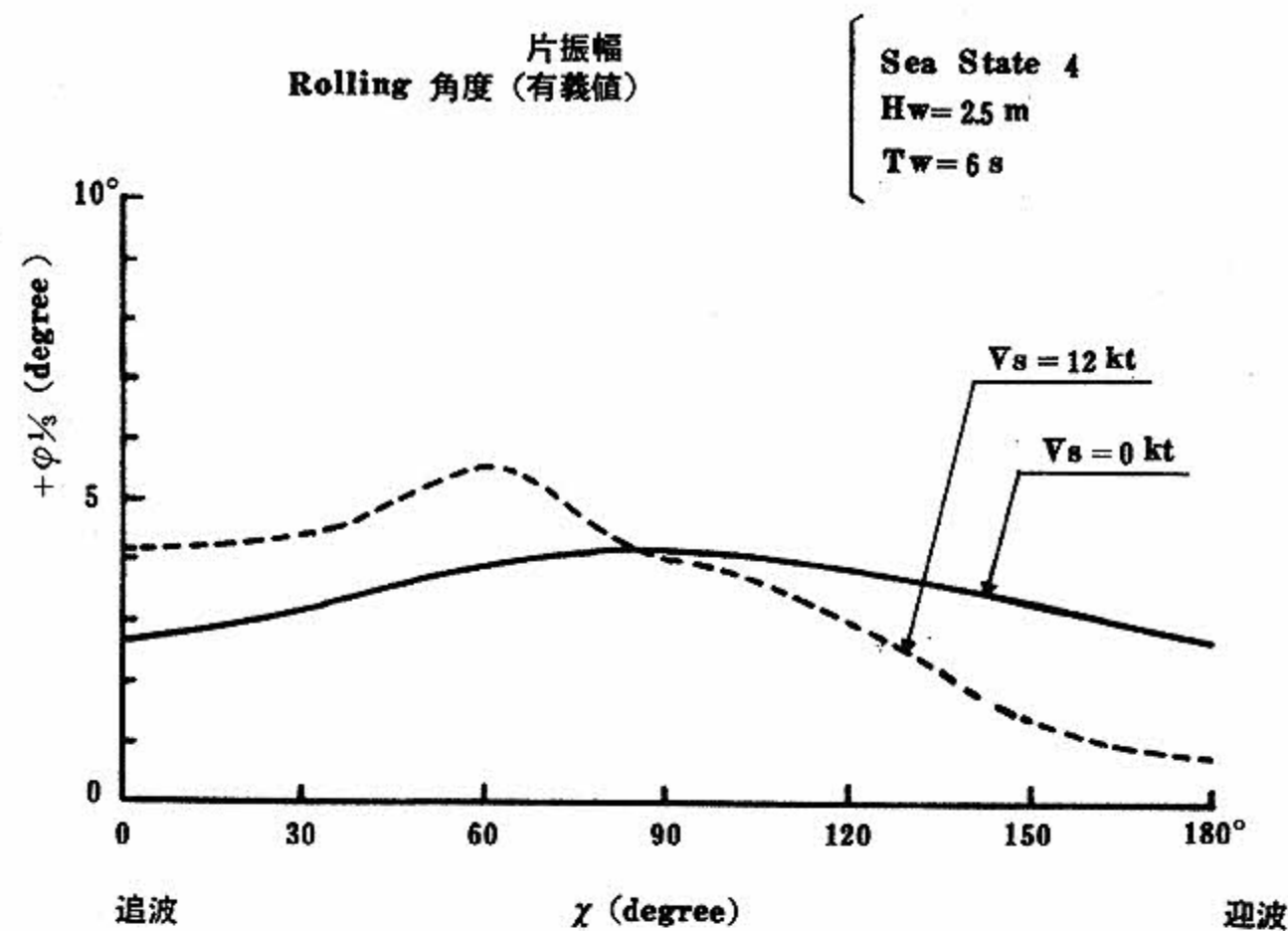


(2) 船速 12 kt λ/L

図 5 ロールの応答関数
Response functions of rolling



(1) シーステイト 3, sea state 3



(2) シーステイト 4, sea state 4

図 6 不規則波中のロール角度
Rolling angle in irregular waves

船速 $V_s = 12 \text{ kt}$ では $\chi = 60^\circ$ で最大となり、片振幅約 2.7° となる。

以上の結果からシーステイト 3 でのロール角度の有義値はかなり小さい事が分った。

(2) 図 6 の(2)はシーステイト 4 の場合のロール角度の有義値を示す。

この場合のロール角有義値は船速 $V_s = 0.0 \text{ kt}$ で片振幅約 4° 、 $V_s = 12 \text{ kt}$ で約 5.5° であり、非常時着水揚収状態のシーステイト 4 であってもかなり小さい。

5. あとがき

潜水調査船支援母船の規則波中の船体運動試験を行った。その結果、つぎのことがわかった。

(1) 本船の波浪中の諸特性が実験的に把握でき、

潜水調査船の着水揚収条件設定のための基礎資料を得た。

(2) Strip 理論による計算値と実験値の比較によると、ごく一部を除き、ほぼ一致していると思わせる。その結果、本船の基本設計段階で行われた理論計算による船体運動予測の妥当性が明らかになった。

(3) 実験で得られた横揺運動の応答関数を反映させ、不規則波中の船体ロール角の有義値を通常着水揚収時の最高海象シーステイト 3 および非常時着水揚収海象シーステイト 4 について計算した。

その結果によると、ロール角有義値は片振幅約 $1.7 \sim 5.5^\circ$ でかなり小さいことが明らかになった。