

半没水双胴型 海中作業実験船の波浪中運動性能

藤井弘道^{*1} 久米範佳^{*1} 高川真一^{*1}
小沢宏臣^{*2}

海中作業実験船は1979年から当海洋科学技術センターによって計画検討が開始され、大学教授、運航者、設計者およびその他の学識経験者によって構成される海中作業実験船検討委員会の指導のもとに、船型性能に関する調査検討を実施して来た。

詳細な調査検討の結果、半没水型双胴船（SSG）が、波浪中で優れた安定性を有すること、広い甲板面積が確保できることなどの理由から、実海域での海中作業実験に最も適した船型であるとの同委員会結論を得ている。

本研究は船型検討の際に実施された水槽試験の結果を中心にとりまとめたもので、次のような成果が得られた。

半没水双胴型海中作業実験船の波浪中運動特性に関する有益な資料を得ることができた。特に、SSCはその波浪中の優れた安定性により、SDC - DDC実海域実験、深海底探査等の特殊作業を行うために最も適した船型であることが確認された。また、実験値と初期検討段階に推定された理論計算値が大体においてよく合っており、理論的推定法の妥当性を確認することができた。

Motion Characteristics of the Semi-submerged Catamaran-type Underwater Work Test Vessel in Waves

Hiromichi Fujii^{*3}, Noriyoshi Kume^{*3},
Shinichi Takagawa^{*3}, Hiroomi Ozawa^{*4}

A comprehensive study on the underwater work test vessel has been conducted by the Japan Marine Science and Technology Center (JAMSTEC) since 1979, and investigations of ship hull forms have been made in cooperation with the Investigation Committee for the Underwater Work Test Vessel, which is comprised of professors, ship operators, ship designers and another persons of knowledge and experience.

^{*1} 深海開発技術部

^{*2} 三井造船(株)

^{*3} Deep Sea Technology Department

^{*4} Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd.

Following a thorough investigation of ship hull forms, the Committee concluded that a semi-submerged catamaran (S.S.C.)-type is the most suitable hull form for underwater work tests in the open sea due to its good stability in waves, wide working deck area, etc.

The model tank test for the vessel was carried out during the above investigation stage, and the following conclusions are obtained.

The motion characteristics in waves of the SSC-type underwater work test vessel are revealed by this study. Especially, it is confirmed by this study that the SSC is the most suitable ship-type due to its good stability in waves for special underwater works such as the SDC-DDC's open sea tests, survey of the deep seafloor, and other missions. Also, it is confirmed that the experimental results obtained from this study show fairly good agreement with those theoretically predicted in the early planning stage of the vessel.

1. ま え が き

海中作業実験船は海洋科学技術センターにおいて昭和54年度より検討委員会⁽¹⁾⁽²⁾の指導のもとに調査検討が行われ、昭和57年度より建造⁽³⁾の運びとなった。同委員会において種々の調査検討の結果、海中作業実験船の船型については半没水型双胴船が最適であるとの結論を得た。

半没水型双胴船は、国内においては旅客船「シーガル」⁽⁴⁾、調査船「ことざき」⁽⁵⁾⁽⁶⁾、同「おおとり」⁽⁷⁾、あるいは米国の試作艇「Kaimalino」⁽⁸⁾等に見られるように、在来の方胴船と半没水型石油掘削装置（セミサブ型リグ）のそれぞれの長所を生かし、短所を改良した新しい船型として開発されたものである。構造的には水面下にある一対の魚雷型をしたロワーハルと水面上のデッキ部を細長いストラットで接続した形式となっており、排水量の大部分をロワーハル部で受け持っている。この特殊な船型のために波浪中における動揺が小さく、かつ広い甲板面積を確保できるので洋上における安定した多目的実験作業場を提供すること

ができる。

本船の主要目は、全長約60m、型幅28m、型深10.6m、計画喫水6.3m、総トン数約2,800トン、航海速力12ノット、最大搭載人員69名であり、主として300m潜水作業実験、および深海底探索システム、海底精査技術、新海洋観測システム等についての実海域実験を行うことを目的としている。これら潜水作業実験や深海底探索システム等の研究開発に必要な実海域実験を考える場合、SDCをはじめとして洋上における機器類の揚降、設置、回収、追跡、曳航等が主たる作業となる。これらの作業を安全かつ効率よく遂行するために最も必要な船型面での性能は、広い有効甲板面積と洋上における安定性であり、また、機能面では位置保持性能が優れていること、水中雑音が小さいこと等である。

安定性については、本船基本計画段階から類似船の実験結果や理論計算によって波浪中の船体運動を推定するとともに、模型水槽試験を実施したのでこれらの結果をとりまとめて報告する。

2. 水槽試験

2.1 供試模型

供試模型船は縮尺 $1/20$ の木製で、ラダー、フィン、サイドスラストトンネル等を装備しており、その主要目を実船と対応させて表1に示す。本模型船は写真1、2および図1に示されるように、半没水双胴型であるが、ローハル形状は、船型的には従来の高速型に比べて、排水量を若干中央部に集めている点に特徴がある。なお、表1には比較対象とした単胴模型船の要目を併せ示した。



写真1 模型（側面）
Side view of model ship



写真2 模型（全景）
Whole view of model ship

2.2 試験方法

試験は三井造船株式会社昭島研究所潮流水槽（長さ×幅×水深＝55 m × 8 m × 2.5 m）にて実施された。供試模型船は水槽上の計測台車に固定された6自由度運動計測装置のジンバルジョイント部に取り付けられる。この計測装置は、写真3、4に示すように模型船の運動を拘束することなく6自由度方向の運動を計測することができ、前後揺れ（Surging）、左右揺れ（Swaying）は装置上部のサブキャリッジの変位、上下揺れ（Heaving）は中央部上下可動ロッドの変位、縦揺れ（Pitching）、横揺れ（Rolling）および船首揺れ（Yawing）はロッド下端のジンバルジョイント部の変位を電氣的に検出することによって計測される。

また、本試験では模型船の過度のドリフトを防止するために、水平4方向を非常に弱いスプリングで係留する方法を用いている。波はプランジャー方式の造波装置により水槽長手方向に発生され、模型船と造波装置の間に設置された容量式波高計によって、船体運動と同時に計測される。

計測項目は、上述の6方向の運動に加えて、船体と波との相対水位および入射波の波長、周期等であり、すべて電気信号として多チャンネルのデータレコーダーに同時記録され、試験後、電算機によって解析される。

表1 主要目等および試験状態

Principal particular and test condition

項 目	実 船	模 型 船	単 胴 模 型 船
全 長 LoA (m)	60.0	3.000	—
垂 線 間 長 Lpp (m)	53.0	2.650	3.000
型 幅 B (m)	28.0	1.400	0.493
型 深 D (m)	10.6	0.530	0.279
吃 水 d (m)	6.3	0.315	0.194
ト リ ム Trim (m)	0.0	0.0	0.0
排 水 量 Δ (t)	3500	0.430	0.240
重 心 高 KG (m)	—	0.44	0.12
横メタセンタ高 GM (m)	—	0.11	0.06
縦メタセンタ高 GML(m)	—	0.46	3.45
横慣動半径 Kxx (m)	—	0.43	0.10
縦慣動半径 Kyy (m)	—	0.76	0.72

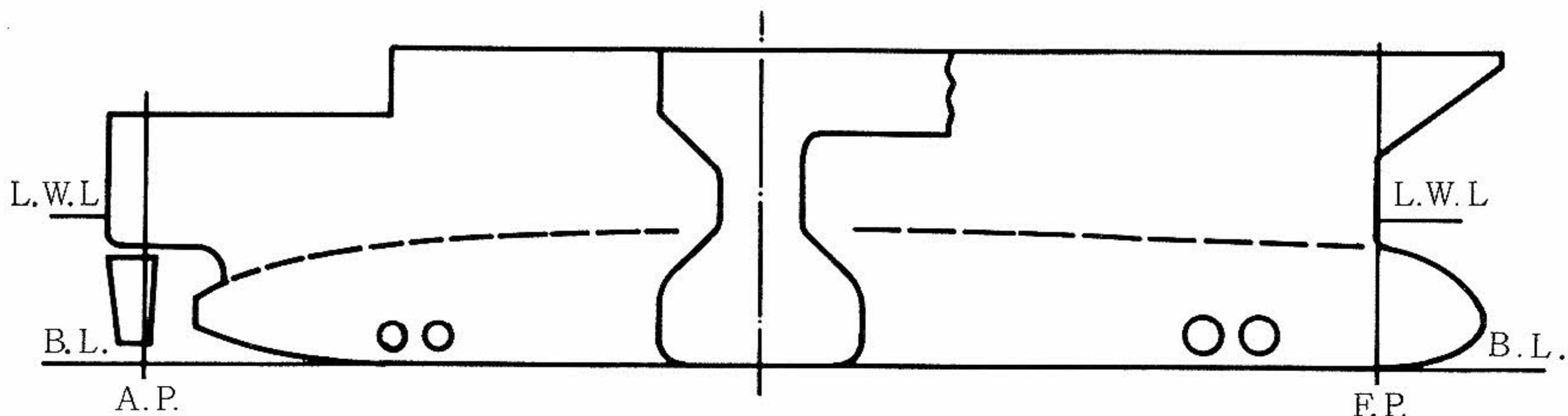


図1 模型外形図
Outline of model ship

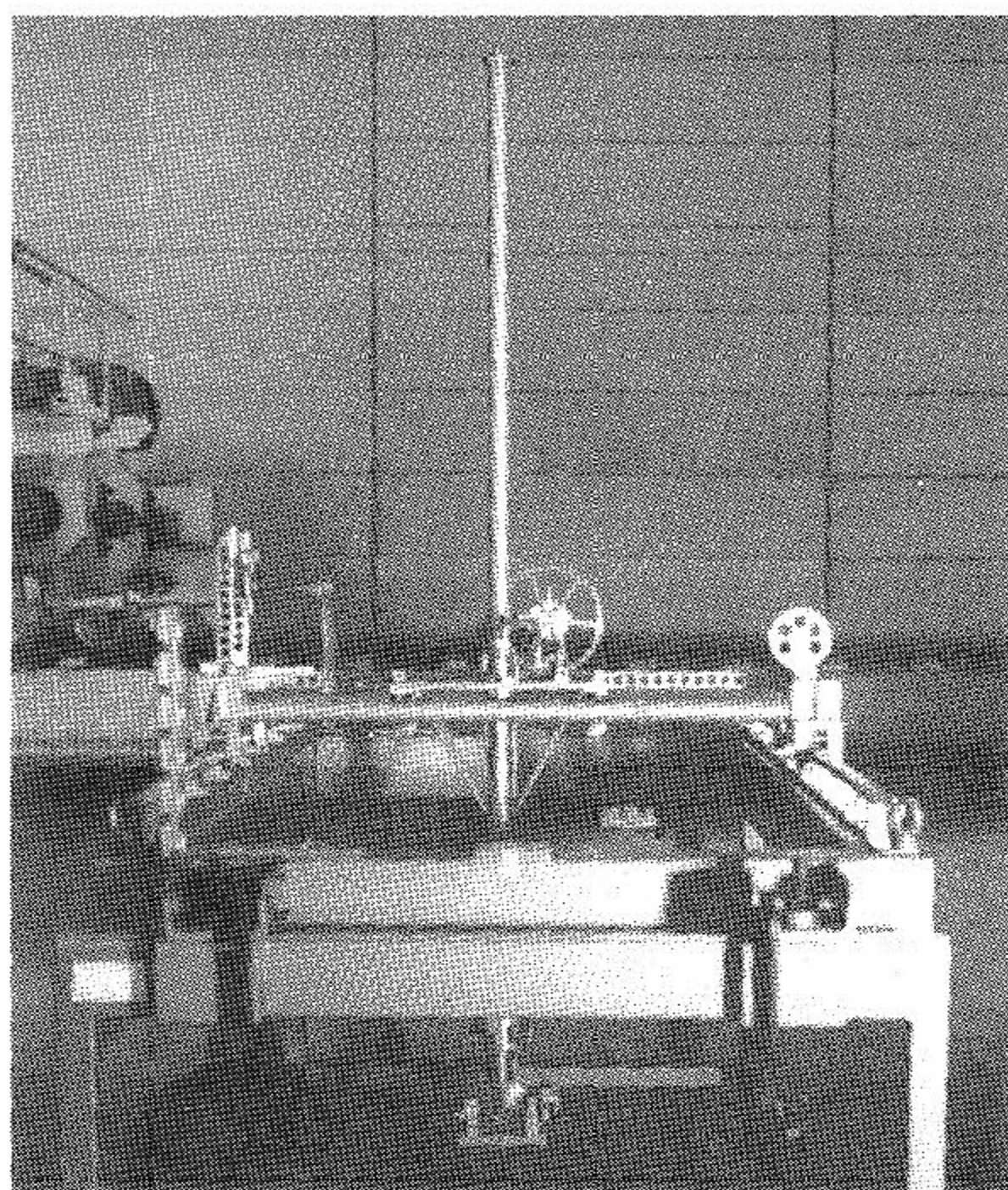


写真3 6自由度運動計測装置（正面）
Front view of motion measurement equipment for 6 freedom

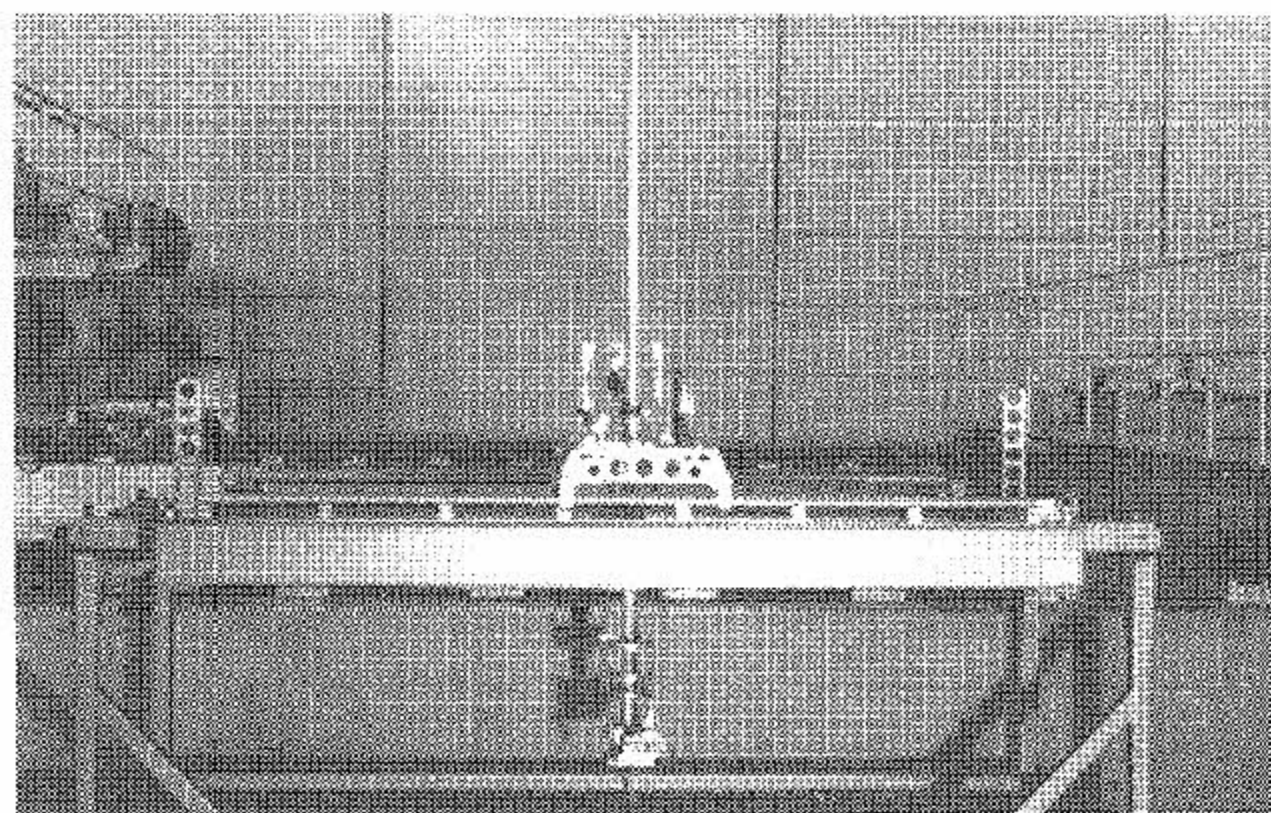


写真4 6自由度運動計測装置（側面）
Side view of motion measurement equipment for 6 freedom

2.3 試験状態

模型船の試験状態を表1に示す。表1中の排水量、吃水、トリム、重心高さ、メタセンター高さ、慣動半径等は本船の潜水作業実験状態を想定した値となっている。試験はすべて停止作業状態について、次の規則波および不規則波に対して実施された。

(1) 規則波

波方向 χ ; 180° , 135° , 90° , 45° , 0°
(ただし, 180° が正面向波)

波長比 λ/L_{PP} ; $0.5 \sim 3.0$, 0.25 おき

波高 H_w ; 1.25 m (実船尺度)

(2) 不規則波

波の種類 ; ISSC - 1964 スペクトル

波方向 χ ; 180° , 90° (長波頂波)

設定波高と周期の関係は本船検討委員会で決められた表2の組み合わせを使用した。

なお、規則波中および不規則波中における運動試験の実施状況をそれぞれ写真5および6に示す。

また、本報告では半没水双胴型海中作業実験船の波浪中の運動特性をより正確に把握するために、在来型単胴船模型を用いて同様の試験を実施した結果を用い、比較検討を加えることにする。

表2 不規則波設定状態

Test conditions of Irregular waves

波 浪 階 級		3	4	5
有義波高	実船	1.25	2.50	4.00
$H_w \frac{1}{3}$ (m)	模型	0.0625	0.125	0.200
平均波周期	実船	5.80	7.80	9.50
T_w (sec)	模型	1.30	1.74	2.12

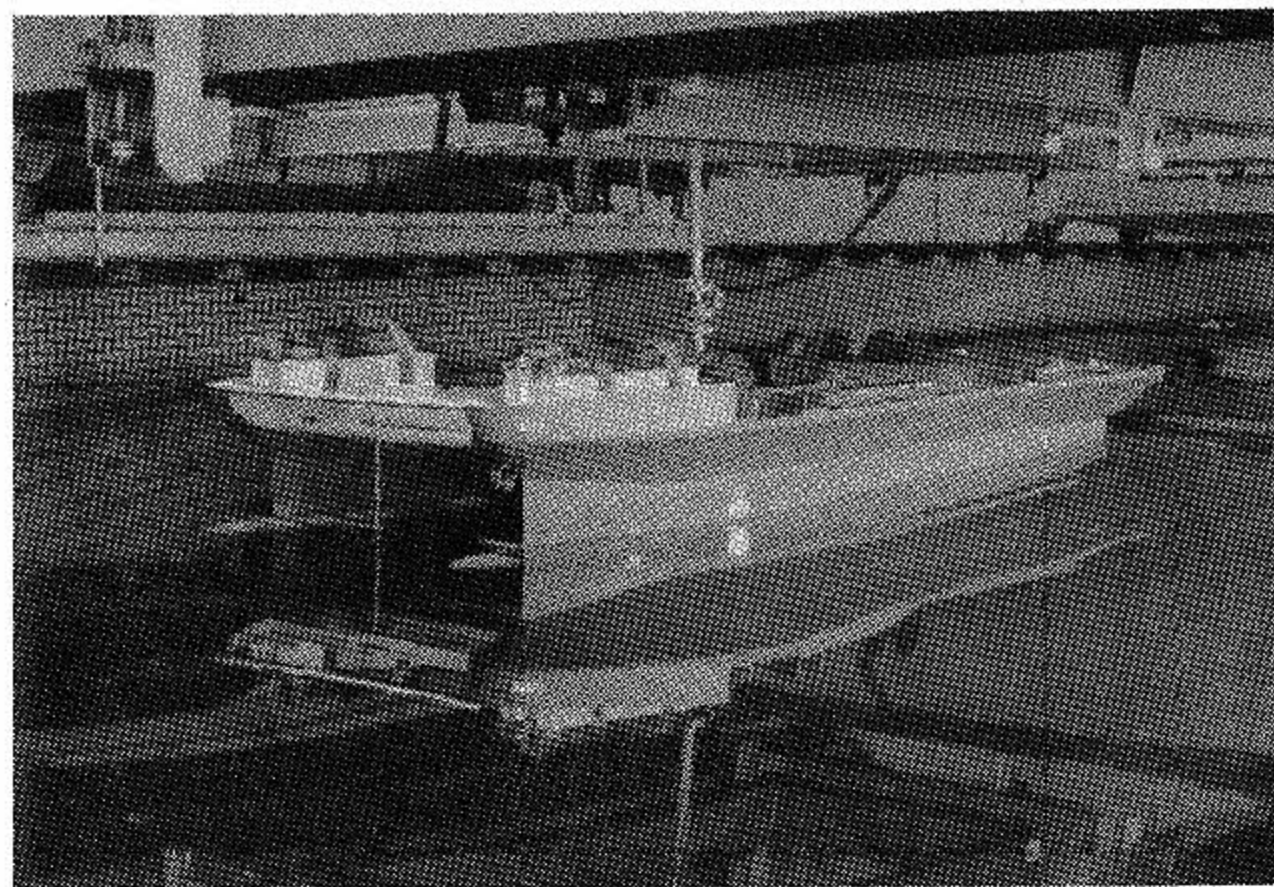


写真5 規則波中試験 ($\lambda/L_{pp}=2.0, \chi=180^\circ$)
Experiment in regular waves
($\lambda/L_{pp}=2.0, \chi=180^\circ$)

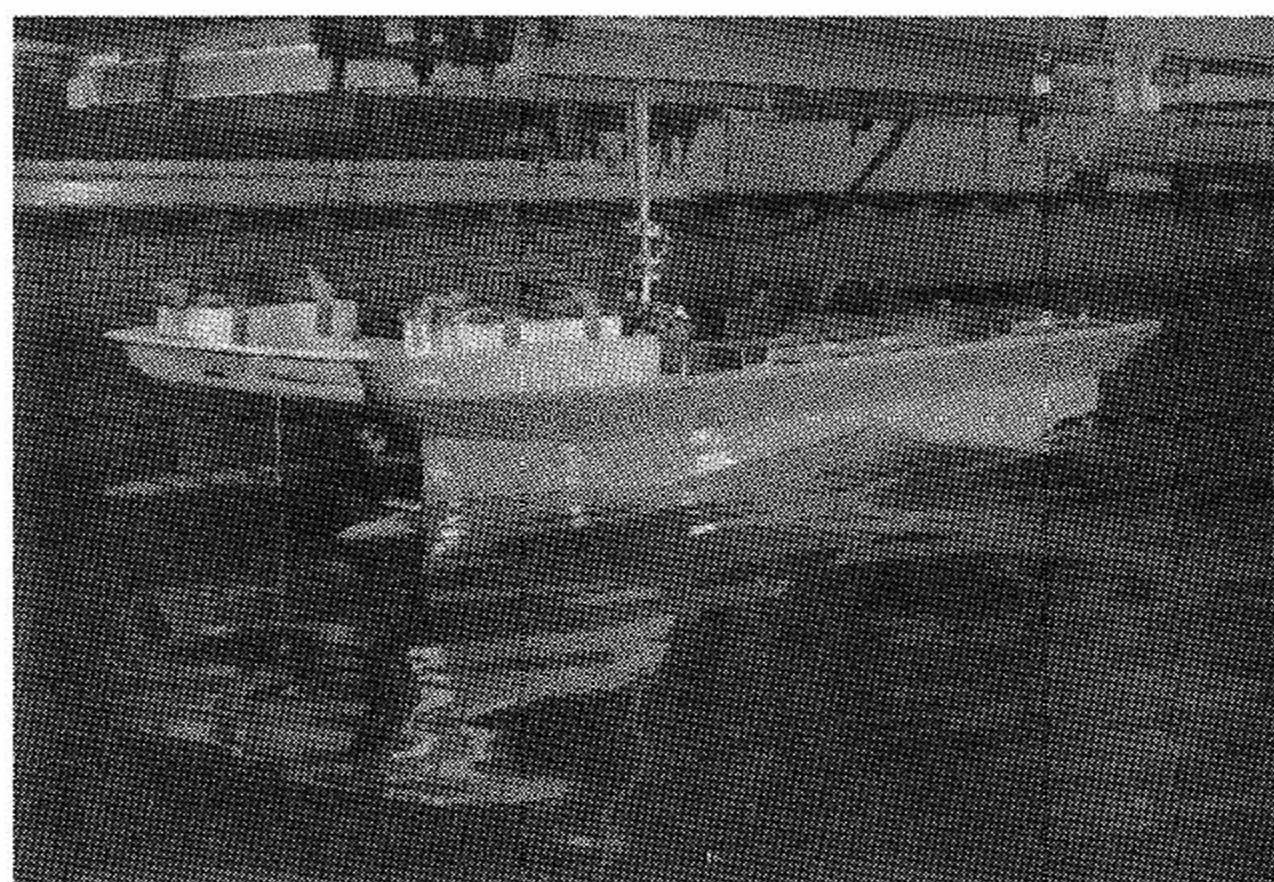


写真6 不規則波中試験 (波浪階級3, $\chi=180^\circ$)
Experiment in irregular waves
(sea state 3, $\chi=180^\circ$)

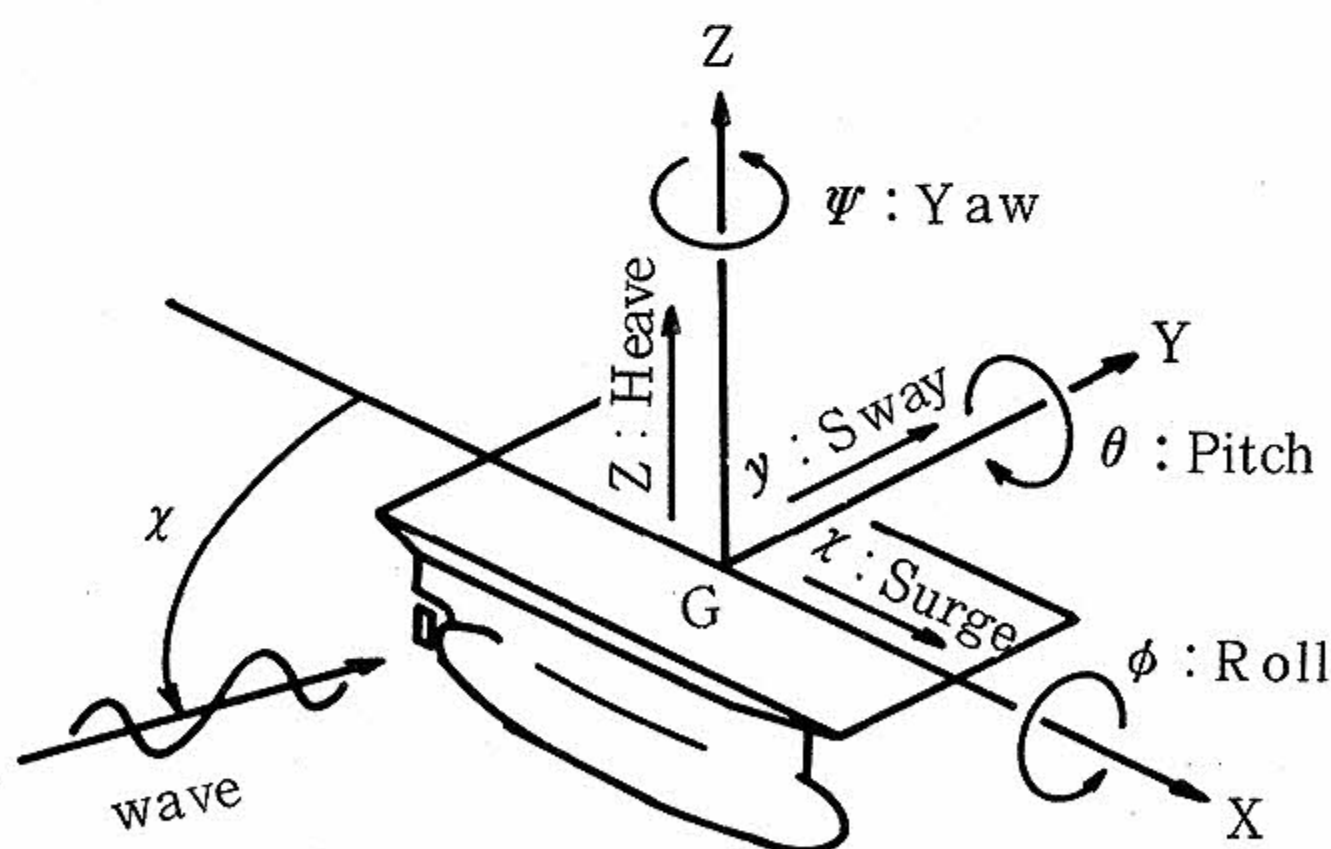


図2 座標系
Co-ordinate system

3. 解析方法

3.1 座標系

計測された船体運動、相対水位、入射波等は図2に示す座標系にしたがって解析される。

座標系は、船の重心を原点として船首方向にX軸をとる右手系で定義されており、波入射角は向波を 180° 、追波を 0° としている。

3.2 運動応答

船体運動、相対水位、入射波等は6自由度運動計測装置や容量式波高計によってアナログ信号としてデーターレコーダーに記録され、試験後にまとめて電算機により処理される。規則波中試験データは、フーリエ解析によって基本周波数成分を求め、その変動振幅を入射波の波周期あるいは波長に対応する無次元応答関数として解析する。

一方、前出の表2で定義された不規則波に対する船体運動、相対水位等は、その時に同時に計測された不規則入射波とともにスペクトル解析を行い、波浪階級に対応する応答値として求められる。

4. 試験結果および考察

4.1 規則波中の試験

図3～図8は規則波中における運動計測試験によって得られた種々応答関数から実船の応答値を求め、波周期および波長をベースに示した図である。応答値は実海域の波浪階級3の上限における有義波高 $H_w = 1.25$ m の規則波に対応するものとして計算されている。

図3は上下揺れを示した図であるが、この図より、本船では波周期9秒以下における上下揺れが小さく、特に波浪階級3の平均波周期に対応する5.8秒では、0.1 m と非常に小さな値を示すことがわかる。一方、波周期9秒を越える波長の長い波に対しては波に乗る傾向が見られる。半没水型双胴船は、いわゆる波無し船型としての特性を持っているので、波から上下方向の強制力を受けずにほとんど動揺を生じない点、即ち波無し周波数が存在し、この周波数を境にして運動の傾向が異なってくる⁽⁹⁾。従来の単胴船や双胴船には、船型的な理由からこのような現象は見られない。

図4は同じ状態における縦揺れの応答値を示した図である。図4から、縦揺れには上下揺れとの連成運動による影響が見られ、やはり9秒付近を

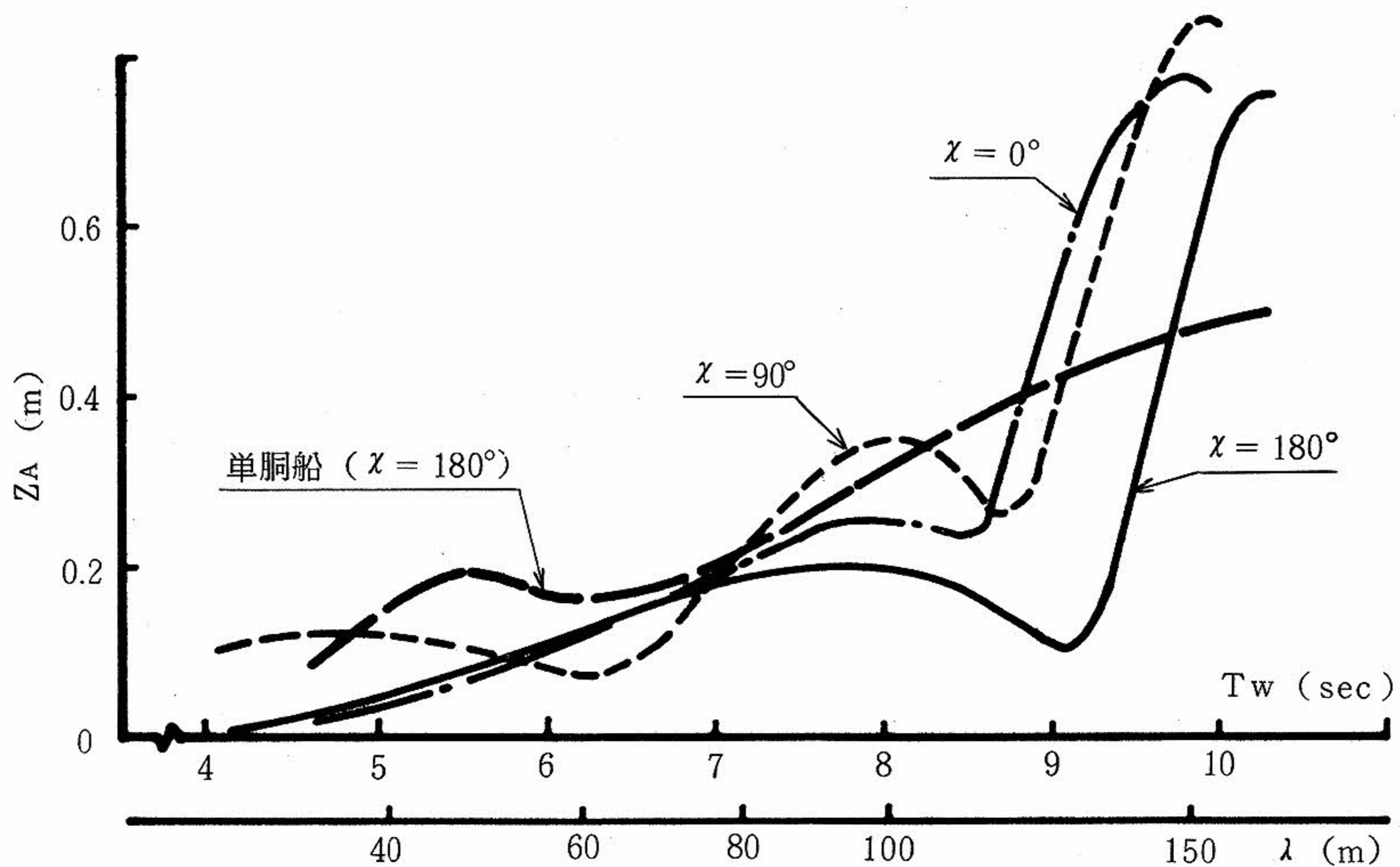


図3 規則波中上下揺応答値 Z_A
Experimental results of heave response Z_A
in regular waves

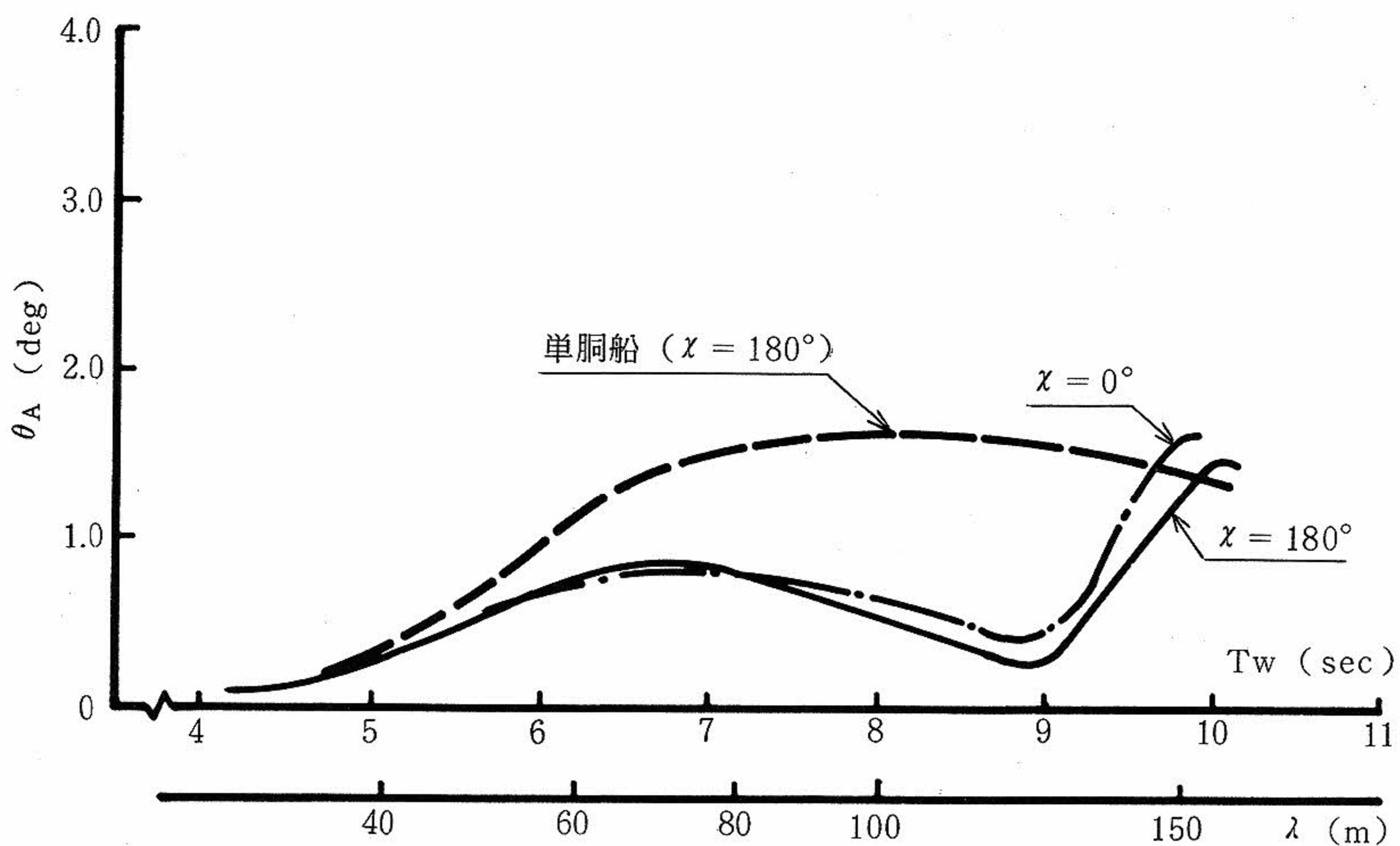


図4 規則波中縦揺応答値 θ_A
Experimental results of pitch response θ_A
in regular waves

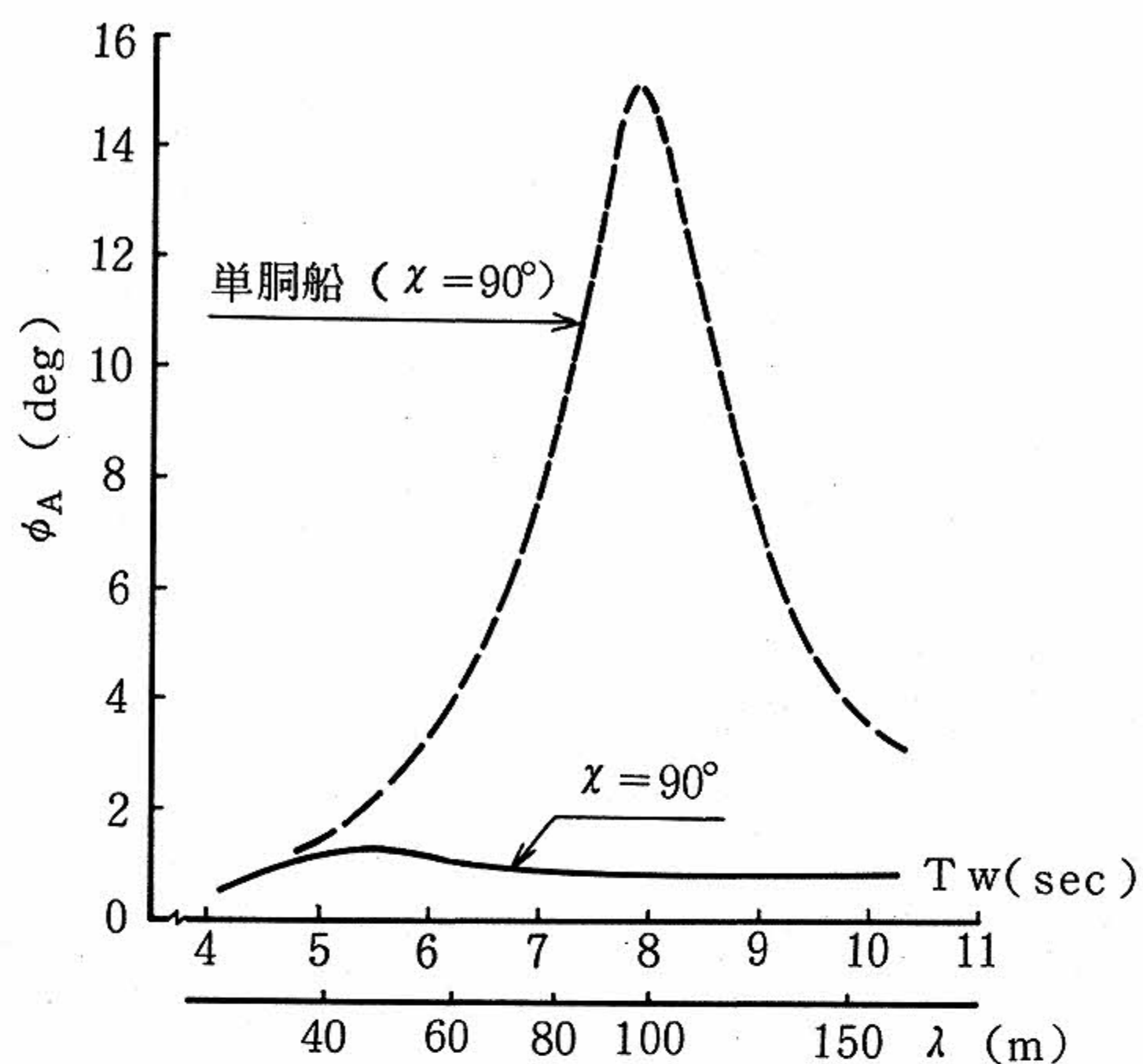


図5 規則波中横揺応答値 ϕ_A
Experimental results of response ϕ_A
in regular waves

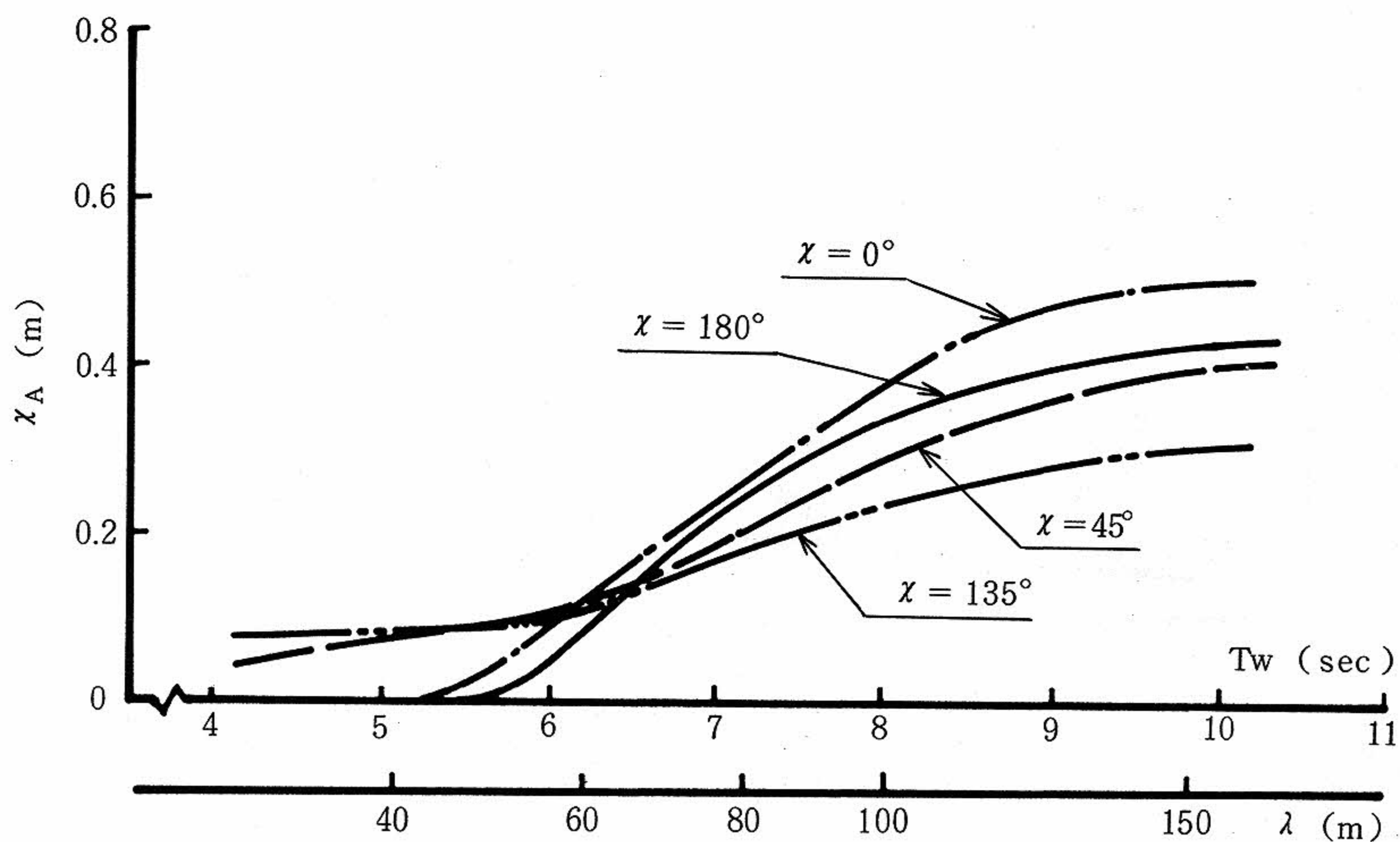


図6 規則波中前後揺応答値 χ_A
Experimental results of surge response χ_A
in regular waves

境にしてそれ以下の波周期に対しては応答が非常に小さく、片振幅縦揺れ値で約 1° 以下になっていることがわかる。しかし、図3の上下揺れ同様、波周期9秒を越えると応答値は大きくなり、波に乗り易い傾向が見られるが、SR-163「気象および船舶の波浪中応答に関する統計解析ならびに実船計測」報告書によると、波周期10秒を越える様な長い波の発生頻度は、北太平洋通年において約7%である。

図5は横波中の横揺れ応答値を示した図である。図5を見ると波周期に対する応答値が全体に平坦で、一般の単胴船で見られるような同調横揺れを示す山が存在せず、少なくとも波周期10秒以下で同調横揺れを生じないということがわかる。なお、本船の横揺れに対する同調周期は約20秒と推定されている。

図6は前後揺れの応答値を示した図であり、一

般の単胴船と同様に波周期に対してほぼ単調増加の傾向にあることが分かる。波方向に対しては、向い波、追い波ともに同様の傾向を示し、応答値もあまり変わらず、また、波浪階級3に相当する波周期5.8秒ではほとんど前後揺れを生じないことがわかる。

図7は左右揺れの応答値を示した図である。図7を見ると全体的には斜め向波、斜め追波、横波ともに波周期に対してほぼ単調増加の傾向を示していることがわかる。また、横波中の波周期5.8秒付近で左右揺れが非常に小さくなるという本船型の特徴が見られる。

図8は船首揺れの応答値を示した図である。図8に示されるように船首揺れはどの方向の波に対しても非常に小さく、横波に対してはほとんど動かないことがわかる。船首揺れに関しては単胴船の一般的な傾向と特に変わる所はない。

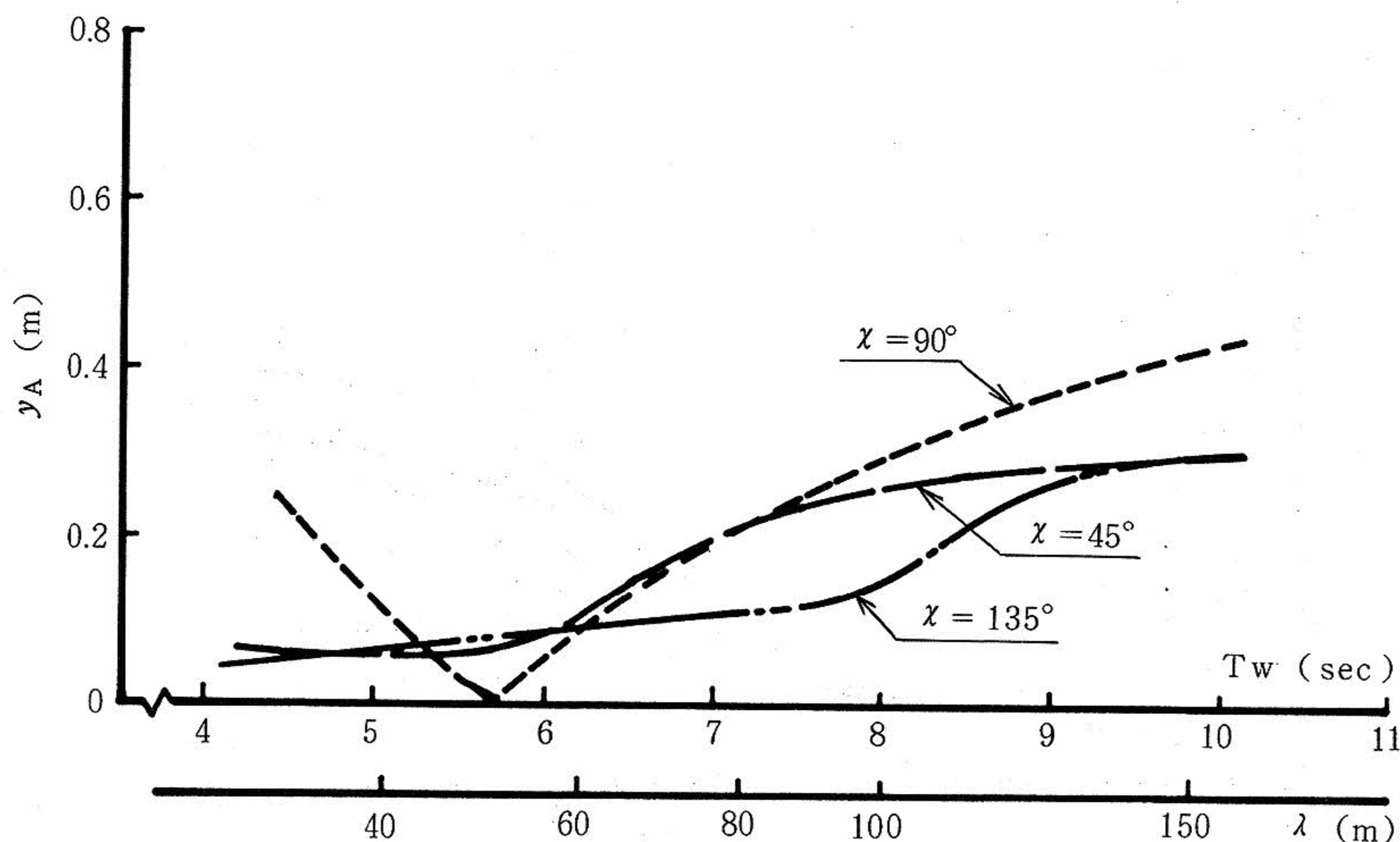


図7 規則波中左右揺れ応答値 y_A
Experimental results of sway response y_A
in regular waves

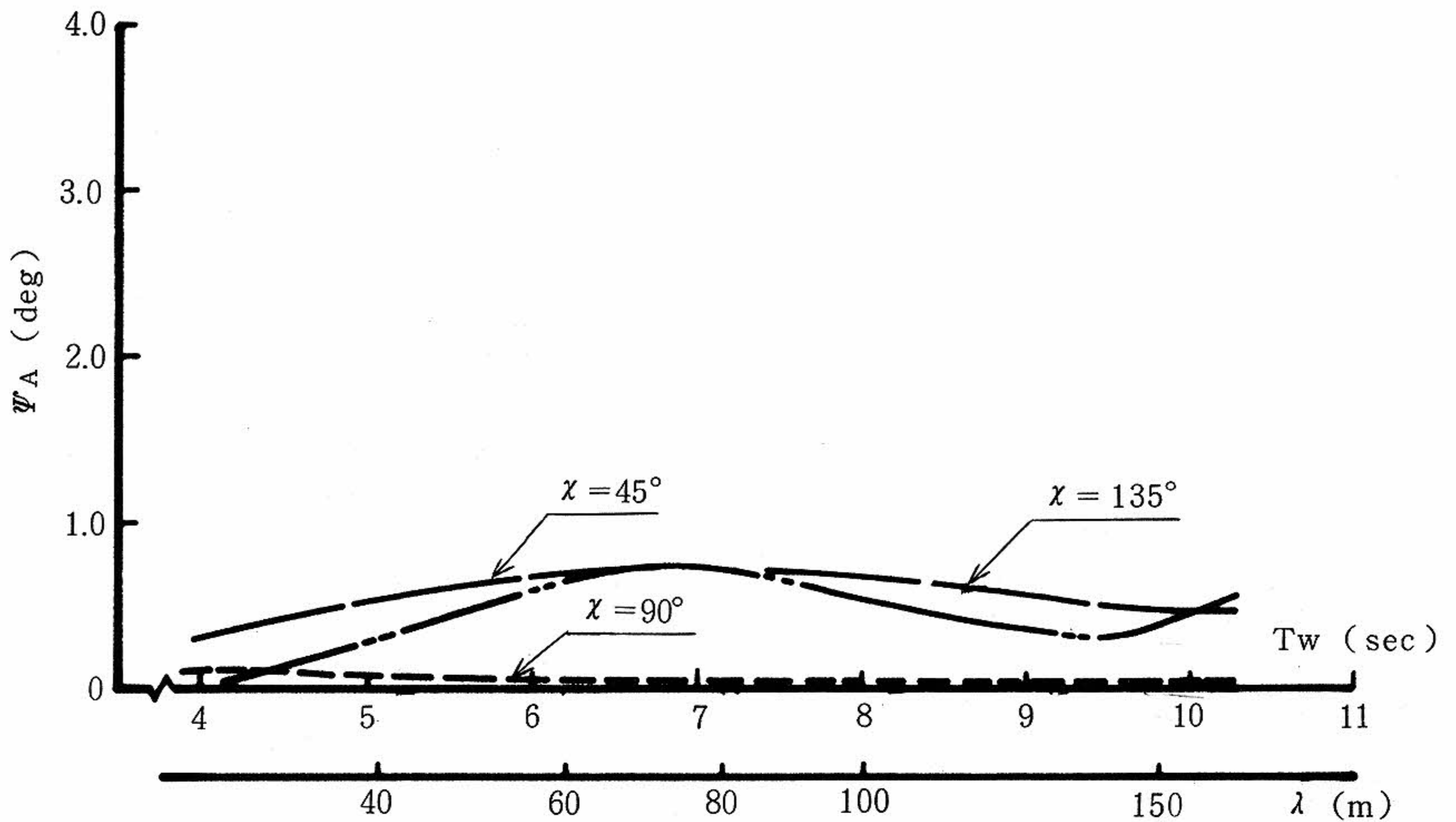


図8 規則波中船首揺応答値 ψ_A
Experimental results of yaw response ψ_A
in regular waves

4.2 不規則波中の試験

図9は不規則波中の運動計測試験において実際に水槽で発生させた不規則波の波浪階級5相当のスペクトル解析結果の一例である。図9を見ると、多小凸凹が見られるものの、全体としてはスムーズなスペクトルが得られていることがわかる。

図10～13はそれぞれ向波中の上下揺れ、縦揺れ、横波中の横揺れおよび向波中の船尾相対水位を波浪階級に対する有義値として示した図であり、実戦における片振幅応答値となっている。これらの図から、本船の作業海象となっている波浪階級3では、おのおの有義値で向波中上下揺れが約0.2 m、同縦揺れが約1°、また横波中の横揺れも約1°と非常に小さいことがわかる。また、波浪階級3における向い波中の船尾相対水位は約0.5 m程度となっている。

4.3 単胴船の水槽試験および理論計算

海中作業実験船の初期計画検討段階では、洋上

における作業の安全性や効率向上に関する問題を重要検討項目の一つとして、半没水型双胴船の他に一般の単胴船についてもいろいろな方面から検討を加えてきた。特に本船を評価する上で最も重要な要素となる波浪中の安定性については、当初より類似船型の水槽試験結果や理論計算を用いて詳細かつ慎重な検討を実施してきた。

図3～5には検討段階で調査の対象となっていた一般の単胴船の水槽試験結果（表1に供試模型船の主要目を示す）にもとづいて波高1.25 mの規則波中応答値を計算した結果を本船の応答値と比較して示してある。

図3の規則波中上下揺れをみると、本船の傾向とは異なり、単胴船の場合は全体的に単調で、5.5秒位の波周期で同調した後、徐々に波に乗る傾向にあることがわかる。

図4の規則波中縦揺れにおいても、単胴船は波周期が長くなるにつれて応答値が単調に増加して

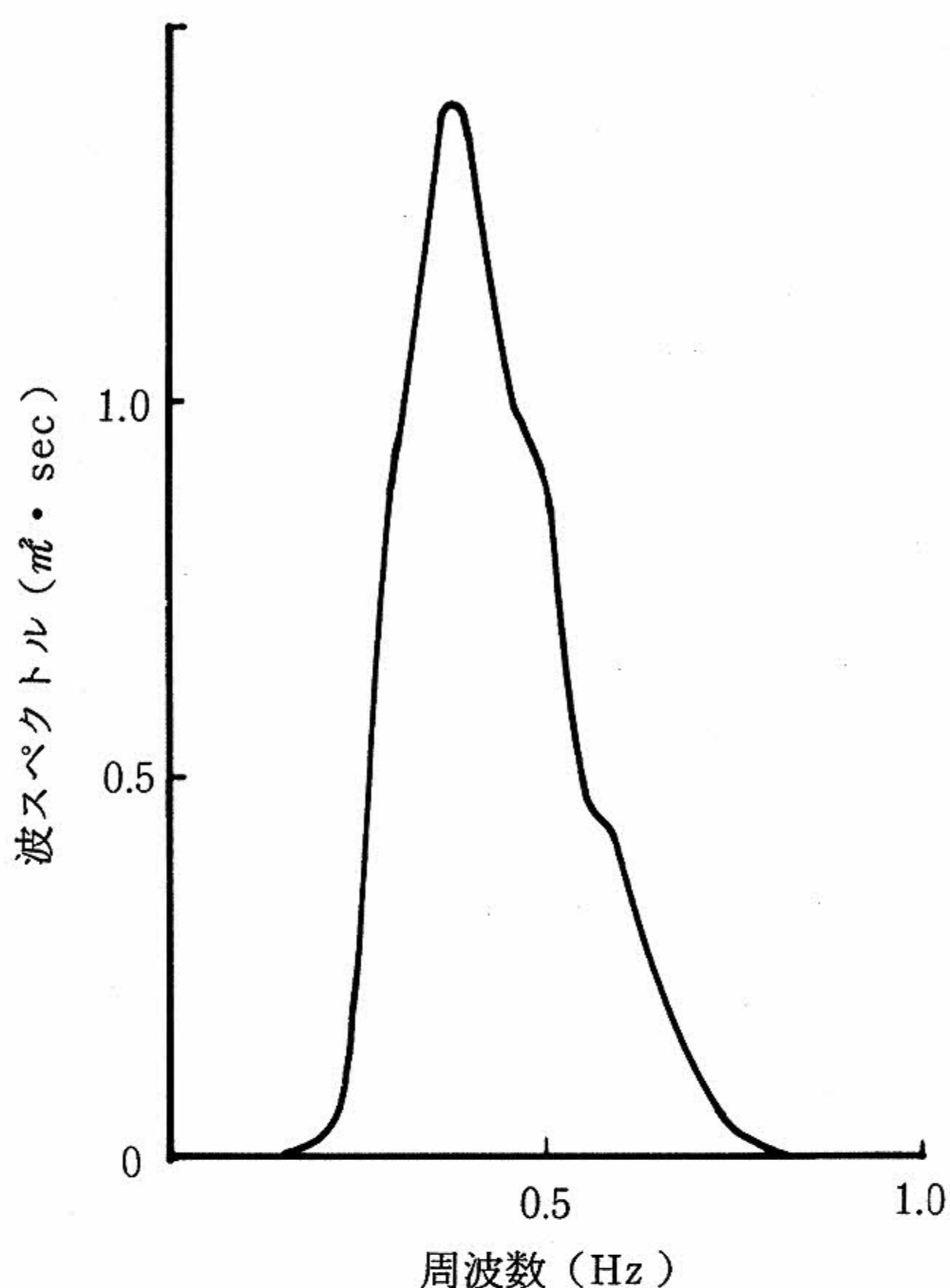


図9 波スペクトル (波浪階級 5)
An experimental wave spectrum (Sea state 5)

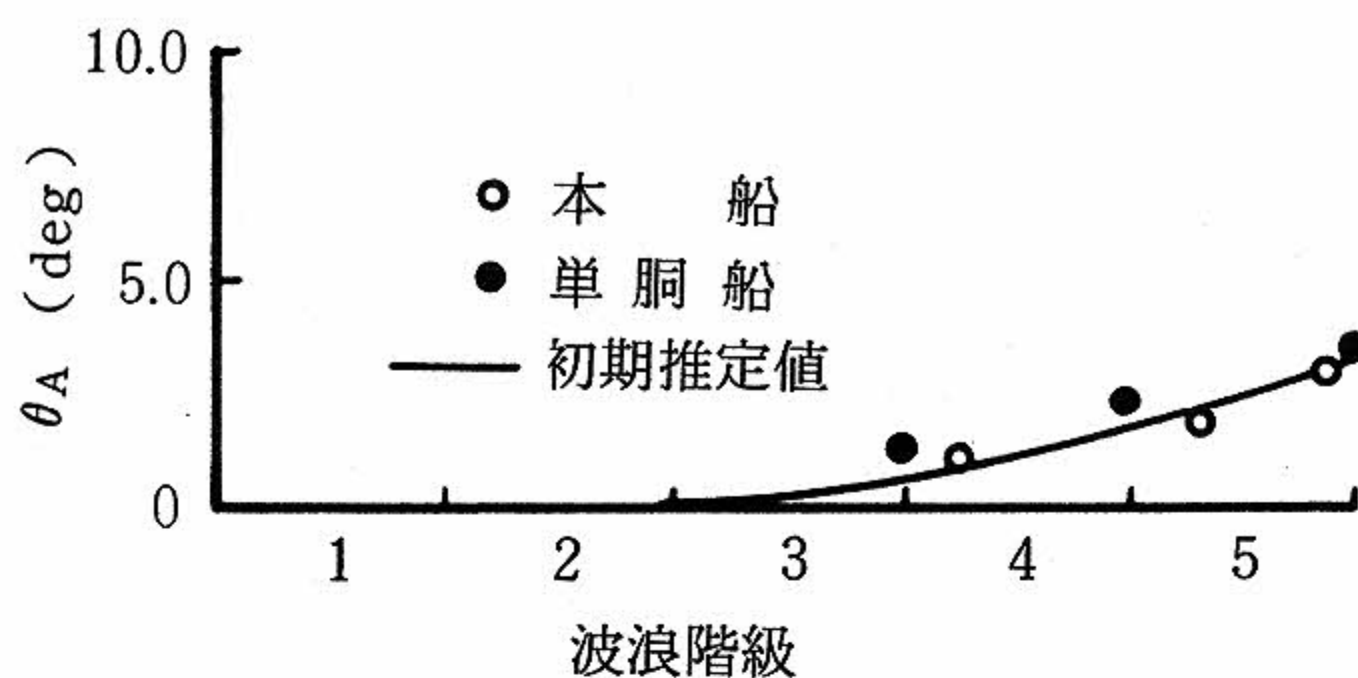


図11 不規則波中縦揺 θ_A ($\chi = 180^\circ$)
Experimental results of pitch response θ_A in irregular waves ($\chi = 180^\circ$)

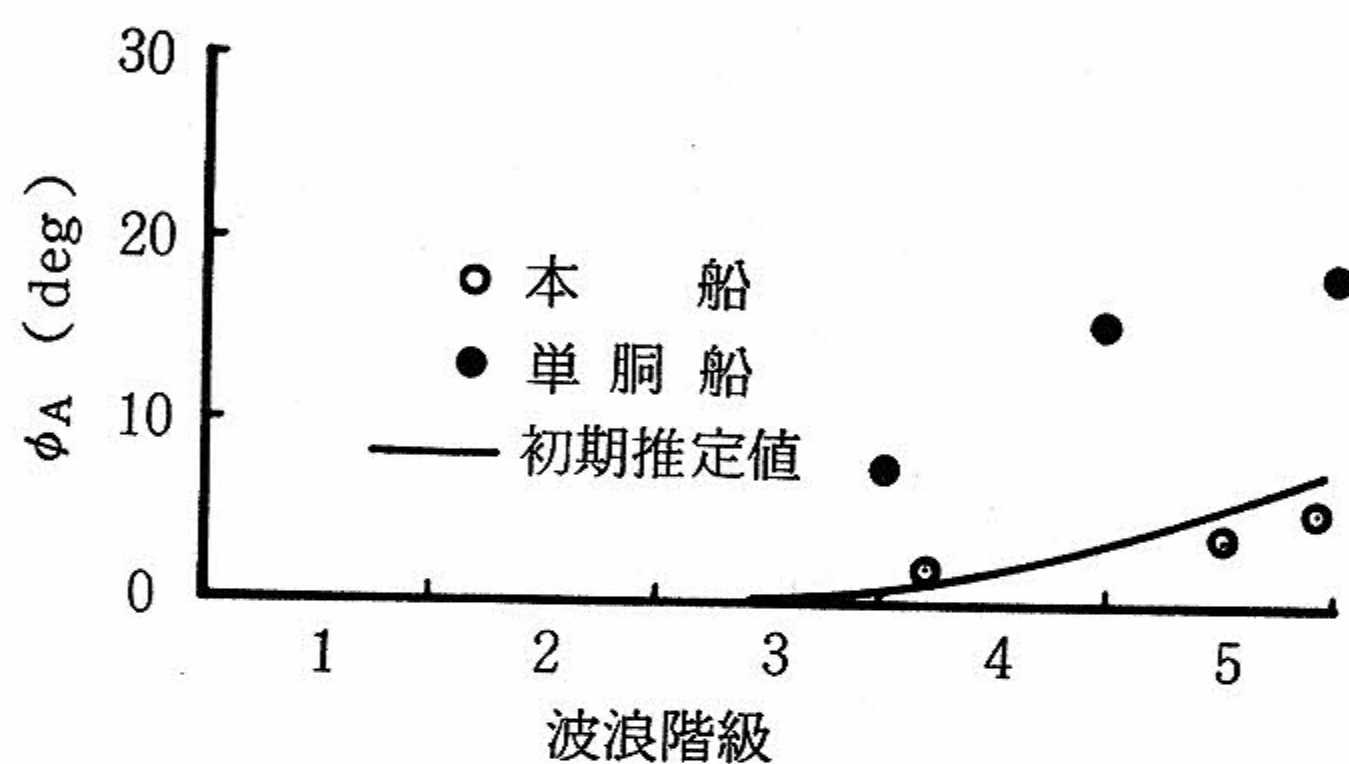


図12 不規則波中横揺 ϕ_A ($\chi = 90^\circ$)
Experimental results of significant roll response ϕ_A in irregular waves ($\chi = 90^\circ$)

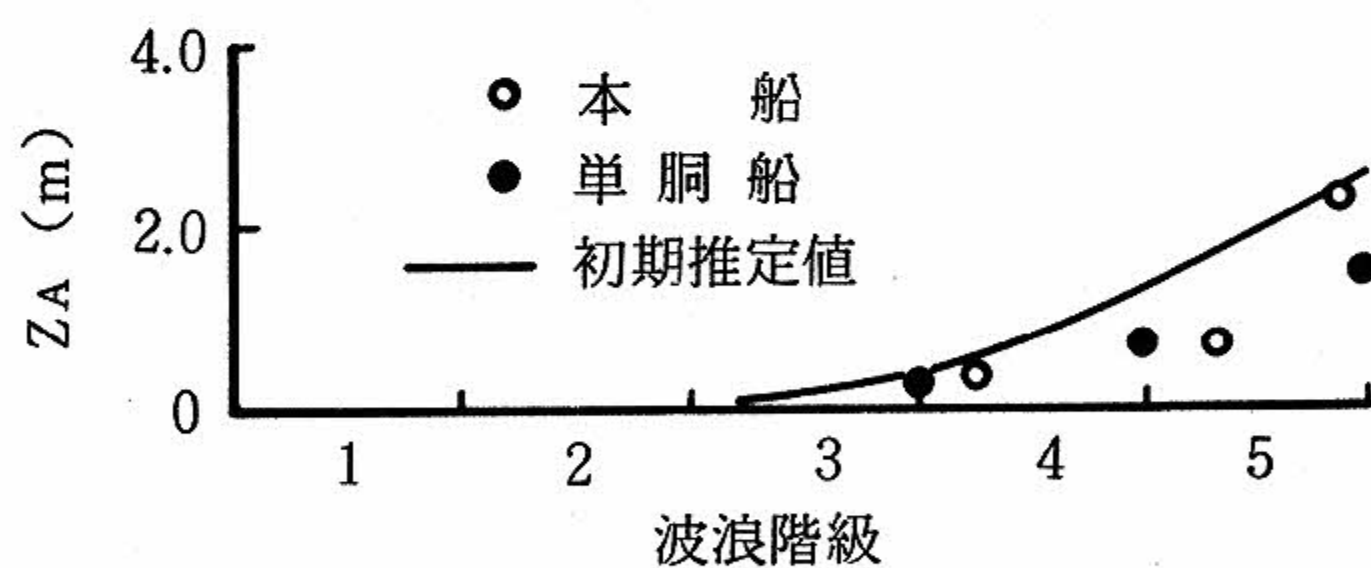


図10 不規則波中上下揺 Z_A ($\chi = 180^\circ$)
Experimental results of significant heave response Z_A in irregular waves ($\chi = 180^\circ$)

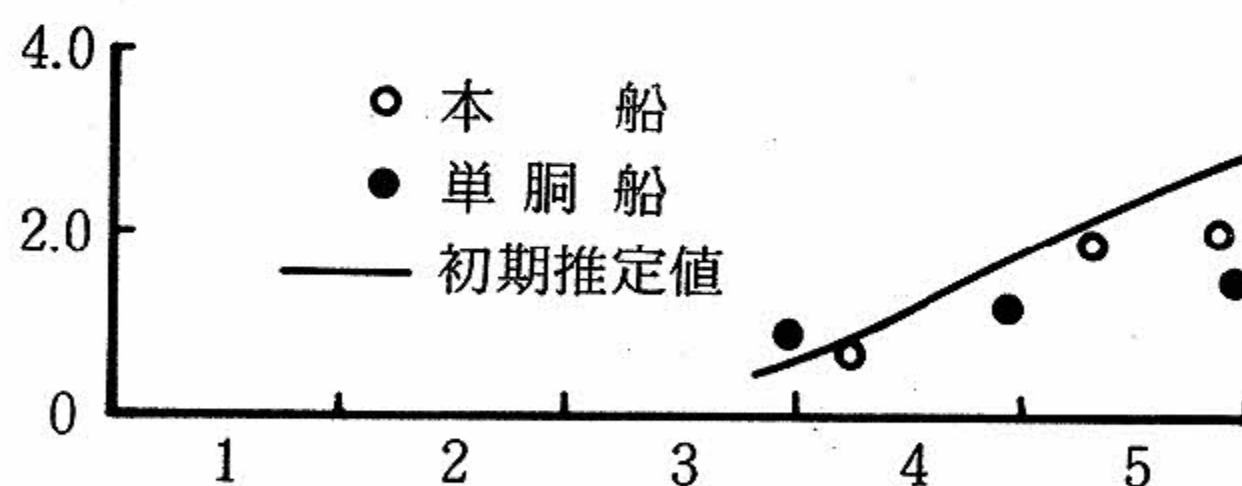


図13 不規則波中船尾相対水位 Z_R ($\chi = 180^\circ$)
Experimental results of relative motions Z_R at AP in irregular waves ($\chi = 180^\circ$)

行く傾向が見られる。これらの図から上下揺れ、縦揺れともに単胴船の運動応答値は波周期に対してほぼ単調増加の傾向にあり、本船のような半没水型双胴船に見られる波無し点が存在しないことがわかる。また、単胴船の上下揺れ、縦揺れに関する運動応答値は全体的に見て本船の応答値より若干大きい、波周期が10秒を越えるような長い波に対してはむしろ本船の方が波に乗り易い傾向にあるといえる。

図5の規則波中横揺れを見ると、本船と単胴船における船型上の最も大きな特徴が現われていることがわかる。すなわち、本船では前に述べたように横揺れ応答値の波周期に対する変化が平坦でしかも 1° 以内と非常に小さく、図中の波周期の範囲ではほとんど揺れないといって差し支えないが、単胴船では8秒付近の波周期において同調横揺れを生じ、この時の横揺れ角は約 15° となることがわかる。ちなみに本船の横揺れ同調周期は20秒付近にあると推定されているので、通常考えられる波周期に対しては同調横揺れを生じることはない。

同様のことが不規則波中の試験結果からも確かめられている。図10～13には不規則波中の水槽試験に基づく単胴船の実船応答値を有義値で示してある。図10, 11, 13の不規則波中上下揺れ、縦揺れおよび相対水位には両船型ともあまり大きな差違は見られない。図12の横揺れを見ると本船と単胴船における波浪中運動性能の特性の違いがよく表われている。すなわち、本船の実験作業条件となっている波浪階級3を見ると、本船の横揺れ角 1° 程度に対して単胴船では 8° も揺れ、この傾向は波浪階級が上っても変わらない。

これらの結果から、本船の波浪中運動性能は一般の単胴船に比べて全体的に優れており、特に横揺れ特性については従来の単胴船では得られないような安定性を示すことが確認された。このように、どの方向の波に対しても変らぬ安定性を示すという特性は、洋上で安定した実験基地を提供するという船型上の要求性能に最も重要な要素の一つである。

図10～図13には、初期検討段階において理論的に推定された本船の不規則波上下揺れ、同縦揺れ、同横揺れおよび相対水位を併せて示してある。こ

れらの図を見ると、実験値と理論計算値はその全体の傾向、応答値ともによく合っており、当初の理論計算による推定法が妥当であったことがわかる。

5. まとめ

半没水双胴型海中作業実験船(以下本船と呼ぶ)の波浪中運動性能に関する模型水槽試験によって次の成果を得た。

- (1) 本船の波浪中動揺特性についての定量的な基礎資料を得ることができた。特に本船の作業海象条件程度では、どの方向の波に対してもほとんど動揺しないことが確認された。
- (2) 単胴船と比べた場合、本船の波浪中動揺は全体的に小さく、特に横揺れについては大幅に軽減されることが確認された。
- (3) 初期の計画検討段階で理論的に推定した波浪中運動性能は概ね正しいことが実験的に確認され、その推定法の妥当性が明らかになった。

おわりに

本試験研究に関し適切な御指導を頂いた元良委員長をはじめとする海中作業実験船検討委員会委員の方々に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) 海中作業実験船の建造について(海中作業実験船検討委員会報告 昭和55年3月)(1980), 海洋科学技術センター
- 2) 海中作業実験船の計画検討(昭和55年度研究成果報告書 昭和56年5月)(1981), 海洋科学技術センター
- 3) 金田英彦, 1982, “海中作業実験船の建造について” Ocean Age 14 (3), 19～27
- 4) 馬淵 正, 1979, “半没水双胴型高速旅客船めいさ80”, 旅客船(135), 19～23
- 5) 運輸省第四港湾建設局下関機械整備事務所, 1981, “調査観測船「ことざき」の設計概要(その1)”, 作業船(133), 60～65
- 6) ———, 1981, “調査観測船「ことざき」の設計概要(その2)”, 作業船(134), 40～46
- 7) 運輸省第三港湾建設局機械課, 1981, “調査観測船「おおとり」”, 作業船(137), 8～14

- 8) Hightower J. D. and R. L. Seiple, "Operational Experience with the SWATH Ship SSP KAIMALINO" AIAA/SNAME 78-741 (1978),
- 9) 元良誠三, 小山健夫, 1965, "波による Heaving 及び Pitching の強制力を受けない船型について", 造船協会論文集 (117), 115~126