

## 9 船首折損船舶の波漂流力と漂流運動

海洋開発工学部 \* 星野邦弘, 原 正一, 山川賢次, 湯川和浩

### 1. まえがき

1997年1月に発生したロシア船籍タンカー「ナホトカ」号の海難事故では、荒天下で波浪により折損した船首部が1月2日から7日にかけて漂流したのち海岸へ漂着した。本事故では長期間の船首部の漂流と海岸への漂着により被害が拡大した。この一因として、現場での情報不足や船首部の漂流予測等の必要なデータが得られなかったことが考えられる。緊急時の漂流防止と航行不能船舶の回収にあたって迅速な意思決定を支援するシステムの開発が必要である。当所では、航行不能船舶の回収を支援する装置として最適曳航支援システムを開発中であり、損傷船舶漂流運動のシミュレーションもシステムに組み込まれる予定である。

本論では、航行不能船舶の波浪による漂流力と漂流運動を実験的に求めた結果について報告する。船首折損船舶のように極めて異常な形状となった船舶の波漂流力、漂流運動に関する水槽試験はこれまで行われた例がなく、当所で開発予定の損傷船舶漂流運動シミュレーションの有効性を確認する上で貴重なデータである。

### 2. 実験方法および供試模型

供試模型は、SR221 研究部会で扱われた VLCC 船型の船首折損模型であり、S.S.7 と 8 の間で折損した状態を模擬している。図-1 に供試験模の概観を表-1 に母船型の主要目を示す。

表-1 母船型の主要目

	Full-scale	Model ship
L(m)	88.32	0.828
B(m)	58.0	0.544
D(m)	19.3	0.181

波漂流力計測実験は、当所運動性能部で開発された波力測定装置を用いて行った。本装置は、波による6自由度の運動を許して前後力( $X_D$ )、左右力( $Y_D$ )、回頭モーメント( $N_D$ )の波力の定常成分を計測するものである。計測原理は、波漂流力の定常成分を打ち消す反力とばね定数を電気機械的に与えるもので、従来の弱いばねで模型を支持し調整用重りで定常波漂流力を打ち消す方法と同一である。波漂流力計測実験の概要を図-2に示す。

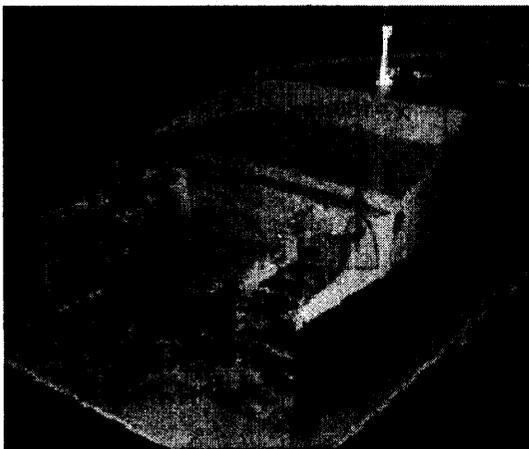


図-1 供試模型の概観

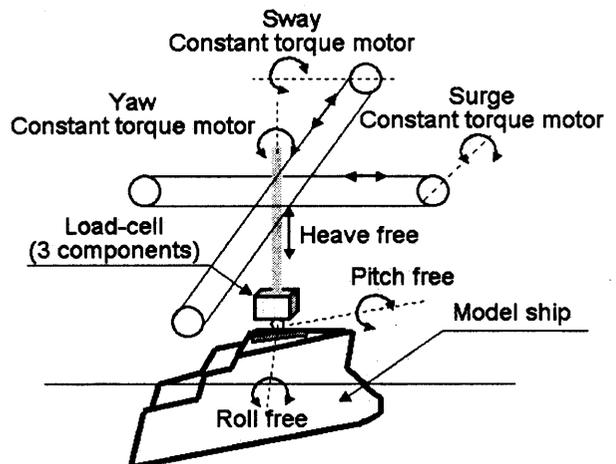


図-2 波漂流力計測実験の概要

漂流運動の計測実験は、模型船の前後に貼り付けた2つのターゲットをTVカメラで撮影し、海洋構造物試験水槽の走行台車の自動追尾システムを用いて台車を模型船の動きに追従させ、走行台車の位置情報と画像データにより模型船の漂流運動を求めた。漂流運動計測の概要を図-3に示す。なお、回頭運動 $\Psi$ は制御ゲインを零として走行台車の追尾動作をさせずに画像のみから演算した。

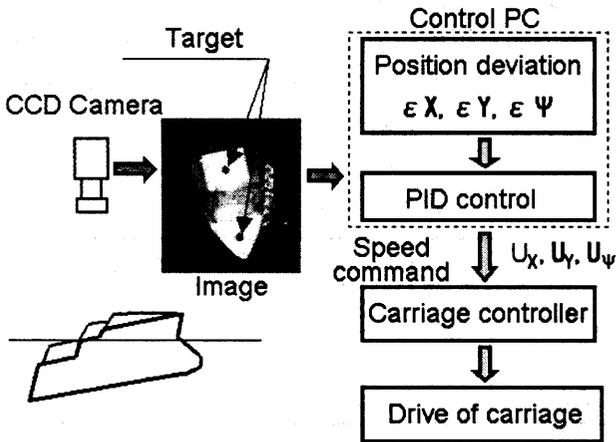


図-3 漂流運動の計測

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 船首折損船舶の定常波漂流力

波漂流力の計測は、船首方向と波との出会い角 $\chi$ 一定の定常波漂流力を計測するために Yawing を拘束 (ばね定数を大) した状態で行った。波との出会い角度 $\chi$ は0degから180degまで45deg毎に変化させた。実験は規則波および不規則波中について実施し、不規則波は特定のスペクトル形を

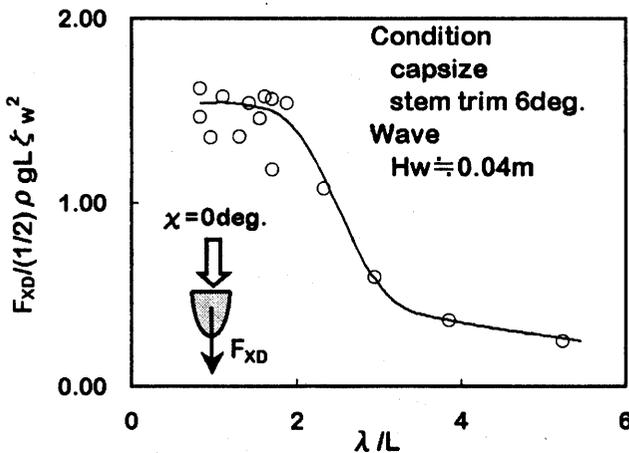


図-5 定常波漂流力 ( $\chi=0^\circ$  転覆)

想定せずにランダムノイズジェネレータによりホワイトノイズを発生させ、バンドパスフィルター (中心周波数 0.8, 0.9, 1.0, 1.3Hz) を通したものを造波信号とした。図-4 に定常漂流力の座標の定義を示す。

転覆状態の縦波中 ( $\chi=0^\circ, 180^\circ$ ) の時の定常波漂流力の $\lambda/L$ に対する変化を図-5, 6に示す。なお図中の実線は実験点を滑らかに結んだもので理論計算値ではない。縦波中の場合、左右の非対称性が小さいので波の入射方向に対して直角方向の力 $F_{yD}$ は小さいため図面を省略した。これらの図から追波 ( $\chi=0^\circ$ )、向波 ( $\chi=180^\circ$ ) の場合ともに波長が短くなるに従って $F_{xD}$ は大きくなる。 $\chi=0^\circ$  の場合では $\lambda/L$ が2.0以下では約1.5で一定となるが $\chi=180^\circ$  の場合は実験範囲の間

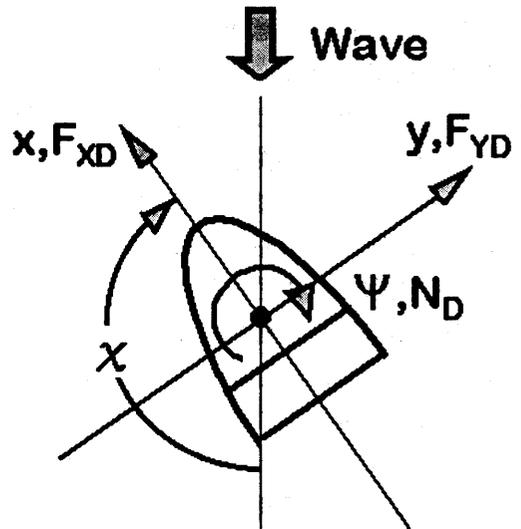


図-4 定常波漂流力の定義

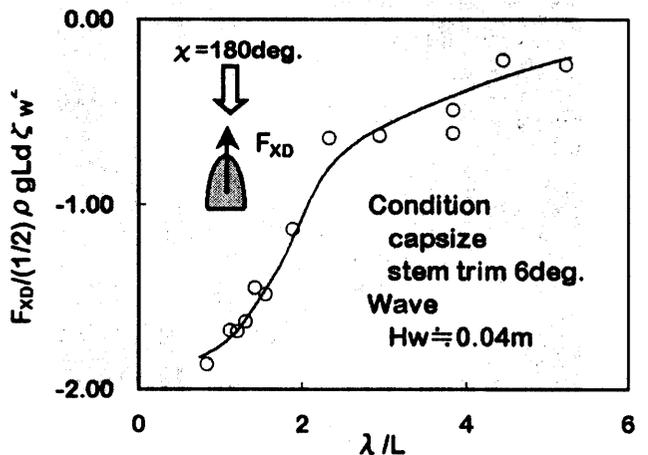


図-6 定常波漂流力 ( $\chi=180^\circ$  転覆)

では増加し続け、特に $\lambda/L$ が2以下では急激に大きくなる。 $\chi=0^\circ$ より $180^\circ$ で漂流力が大きい。

入射波に対して船体が直角になった場合( $\chi=90^\circ$ )の定常波漂流力の $\lambda/L$ に対する変化を図-7に示す。 $\chi=90^\circ$ の場合は、波の進行方向の漂流力 $F_{YD}$ だけでなく直角方向の力 $F_{XD}$ も有意な値となる。これは、船首と破損した船尾部の形状が異なり前後の非対称性が強いからである。船体横方向の漂流力 $F_{YD}$ は $\lambda/L$ が1.9付近で力の作用方向が逆転し波長がこれより短い場合は波下側へ流される力が卓越する。一方、長い場合は僅かではあるが波上側へ向かう力が作用し、波上側へ向かう力は $\lambda/L$ が2.5付近で最も大きくなる。船長方向の漂流力 $F_{XD}$ も $\lambda/L$ が1.9付近で力の作用方向が逆転する。波長が短い場合は船尾方向、長い場合は船首方向の定常漂流力が生じ $\lambda/L=2.3$ 付近で船首方向に進もうとする力が最も大きくなる。これらの結果から、波の中での損傷船舶の釣り合い姿勢によっては入射波の方向ではなく、波に向かって漂流する場合や波に対して直角方向に船体が漂流する場合も有り得る事を示している。回頭モーメントの定常成分 $N_D$ の $\lambda/L$ による変化にはYawingを拘束している影響が含まれているものと考えられるが、この影響を含むものとして示す。 $N_D$ は $\lambda/L$ が小さくなるに従って船首が波の進行方向に向こうとする回頭モーメントが大きくなる。従って、船体姿勢の初期状態が $\chi=90^\circ$ であっても $\lambda/L$ が小さい場合は船首が波の入射方向に向いて漂流するものと思われる。

図-8に波高の変化による定常波漂流力の変化の一例を示す。図中の実線は最小自乗法による2次関数近似曲線である。トリム $6^\circ$ で転覆、横方

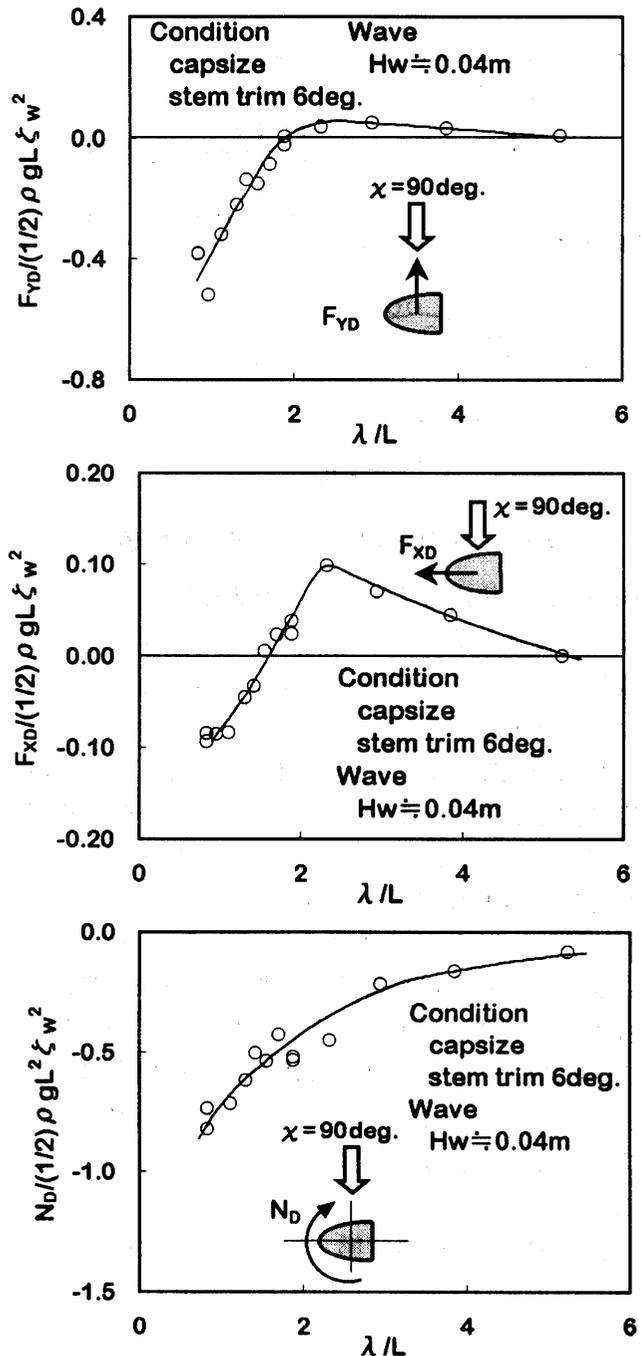


図-7 定常波漂流力( $\chi=90^\circ$  転覆)

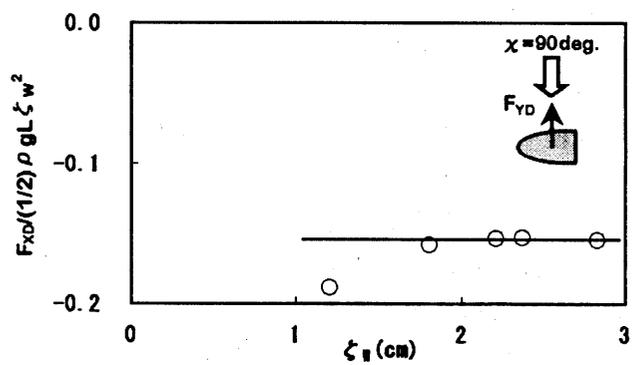
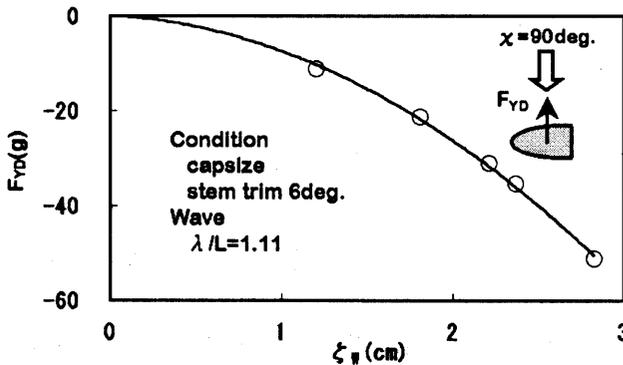


図-8 定常波漂流力の波高影響( $\chi=90^\circ$  転覆)

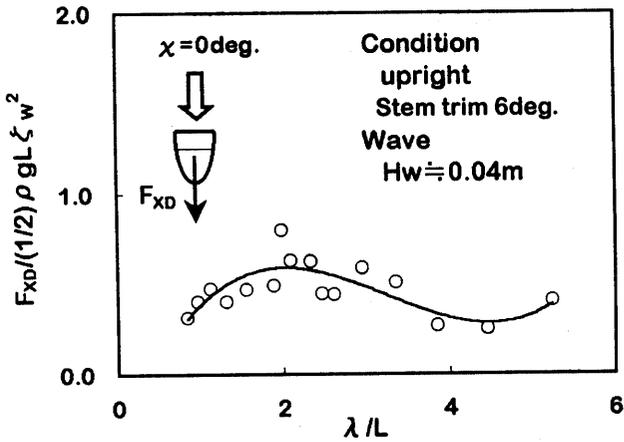


図-9 定常波漂流力( $\chi=0^\circ$  非転覆)

向から波が作用している、通常の船舶からすると極めて特殊な条件であるが、このような条件でも波漂流力は波高の自乗に比例していると考えて良いことが分かる。

非転覆状態の縦波中 ( $\chi=0^\circ$ ,  $180^\circ$ ) の時の定常波漂流力の  $\lambda/L$  に対する変化を図-9, 10 に示す。これらの図から追波 ( $\chi=0^\circ$ ) 中では  $\lambda/L$  が 2 までは波長が長くなるに従って  $F_{XD}$  は大きくなるが 2 以上では逆に小さくなる。向波 ( $\chi=180^\circ$ ) の場合は転覆状態の場合と同様に波長が長くなるに従って  $F_{XD}$  は大きくなる。 $\chi=0^\circ$  および  $180^\circ$  とともに  $\lambda/L$  が 2.5 より小さい場合は、波長が短くなるにしたがって図-5, 6 の転覆状態の方が急激に  $F_{XD}$  が大きくなり、その差はかなり大きい。

図-11 に非転覆状態で船体が入射波に対して直角の場合 ( $\chi=90^\circ$ ) の定常波漂流力の  $\lambda/L$  に対する漂流力の変化を示す。船幅方向の力  $F_{YD}$  は検力装置のトラブルのため計測出来なかった。 $\chi=90^\circ$  の場合は、縦波の  $\chi=0^\circ$  や  $180^\circ$  の場合と異なり漂流力の転覆・非転覆による差異はほとんど見られない。この原因として、縦波中の縦揺れは転覆・非転覆で差が大きい、横波中の横揺れは転覆・非転覆で大きな差がないことも一つの原因と考えられる。詳細な検討は、今後実施する予定の理論計算による漂流力および運動の計算結果と合わせて行う予定である。

### 3. 2 船首折損船舶の漂流運動

漂流運動の計測は、波との初期出会角度  $\chi=0^\circ$

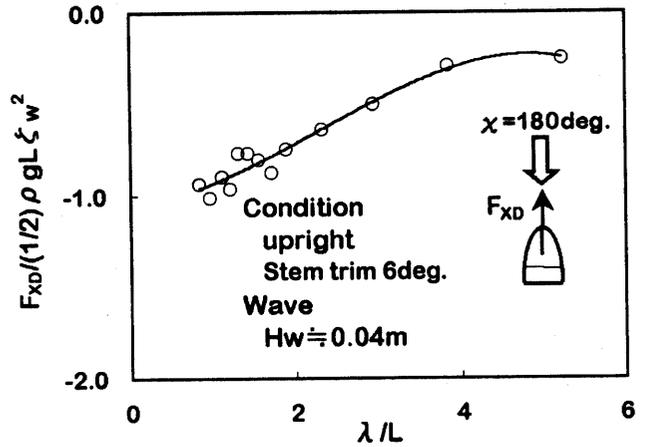


図-10 定常波漂流力( $\chi=180^\circ$  非転覆)

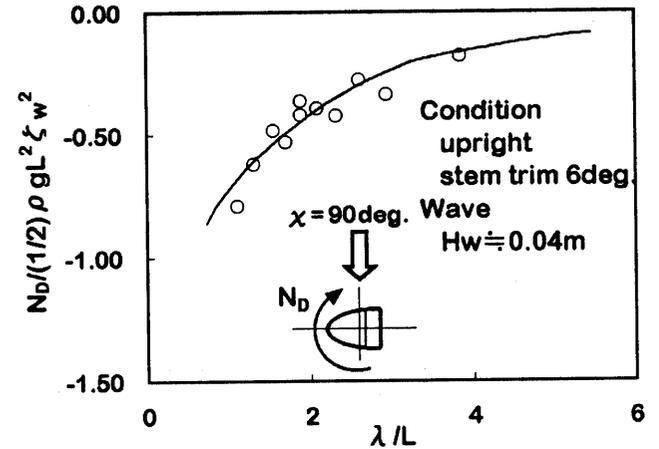
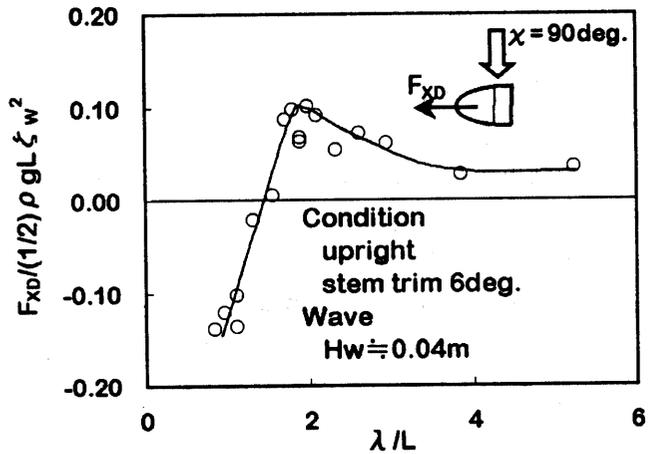


図-11 定常波漂流力( $\chi=90^\circ$  非転覆)

を標準状態として漂流力計測実験の波浪と同一条件で実験を行った。漂流運動の座標系の定義を図-12 に示す。

図-13 に転覆状態でトリム  $6^\circ$ 、波との初期出会角度  $\chi=180^\circ$  一定の条件での漂流速度の波の入

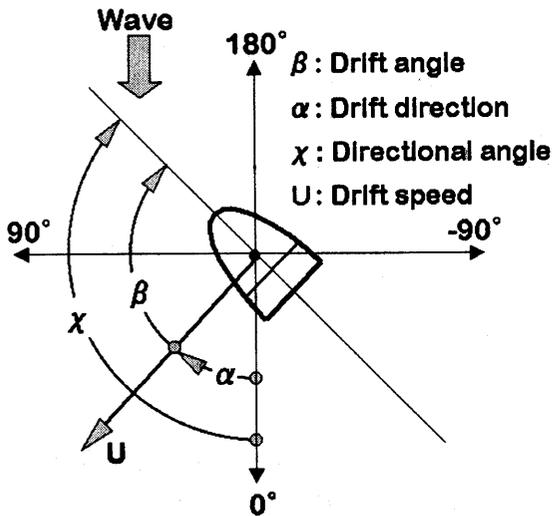


図-12 漂流運動の座標系

射方向成分  $U_x$  を示す。図より、初期出会角  $\chi=0^\circ$  のまま船首を波上側へ向けて漂流することはなく、 $\lambda/L$  が 1.6~2.3 までは初期出会角から  $180^\circ$  回転して船首を波下側へ向けた状態で安定し漂流するが、その範囲より  $\lambda/L$  が小さい場合は、波の入射方向に対して横向きで僅かに波の入射方向を向いた姿勢で安定する。また、 $\lambda/L$  が  $\chi=0^\circ$  の範囲より大きくなると漂流姿勢は不安定となり漂流速度も遅くなる。

図-14 に  $\lambda/L=1.88$  における初期出会角  $\chi$  の変化に対する漂流姿勢および漂流速度  $U_x$  の変化を示す。初期出会角  $\chi$  の変化は、 $\chi$  を一定に保って模型船を拘束し、波の通過を待って模型を開放することで与えた。図中の船体姿勢（方位）は漂流運動の安定後の姿勢であり、速度は船体姿勢安定後における波の入射方向速度  $U_x$  の平均値である。 $\lambda/L=1.88$  の場合は  $\chi$  の初期値により安定姿勢が 3 状態あることが分かる。 $\chi=0^\circ$  の場合は漂流力が大きく漂流抵抗も小さいため漂流速度は他の釣り合い状態よりもかなり速い。

図-15 に  $\lambda/L=1.88$  の時の波高変化に対する漂流速度の変化を示す。図より波高の増加に伴って漂流速度が直線的に増加することが分かる。図-8 より分かるように波漂流力が波高の自乗に比例し、漂流抵抗は速度の自乗に比例することを考えると妥当な結果と考えられる。

図-16 に非転覆時の波高 4cm 一定での  $\lambda/L$  に対する波の入射方向の漂流速度  $U_x$  の変化を、図

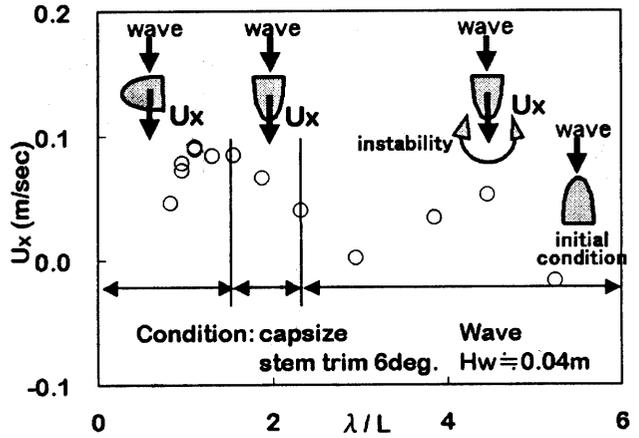


図-13 漂流速度（転覆，波方向成分）

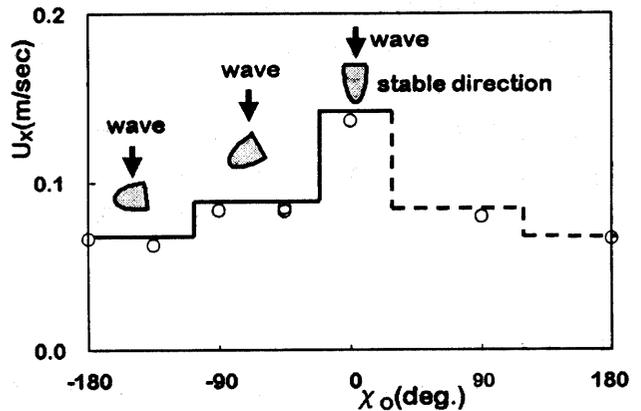


図-14 初期出会角と漂流姿勢および漂流速度（転覆， $\lambda/L=1.88$ ）

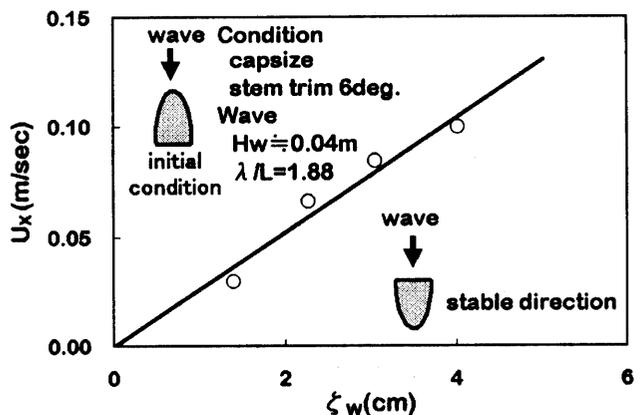


図-15 波高影響 ( $\lambda/L=1.88$ )

-17 に波との初期出会い角の変化による安定姿勢と漂流速度の変化を示す。図より転覆状態と同様に波浪中の漂流状態の安定姿勢に幾つか釣合点が存在することが分かる。図は省略したが、 $\lambda/L$

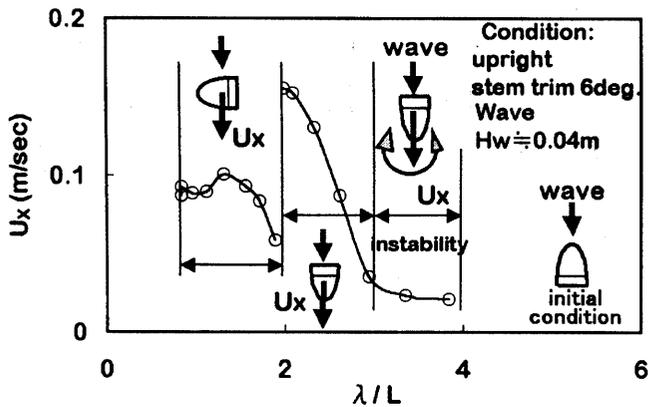


図-16 漂流速度 (非転覆, 波方向成分)

が3以下では波浪中の漂流軌跡は、 $\lambda$ の安定姿勢が変化すると船首の方向に僅かに傾いて波の進行方向に向かって進むことが分かった。図-18, 19は $\lambda/L$ が大きい場合に現れる特殊な漂流軌跡の一例である。非常に複雑な漂流軌跡を示す場合もあるが図-20に示すように漂流軌跡の再現性は良い。

#### 4. まとめ

規則波中の実験結果を中心に船首折損模型の漂流力と漂流運動についてまとめた。今後は、不規則波中の実験結果の考察を行うとともに損傷船舶漂流運動シミュレーションの有効性を確認する上で本データを有効に活用する予定である。

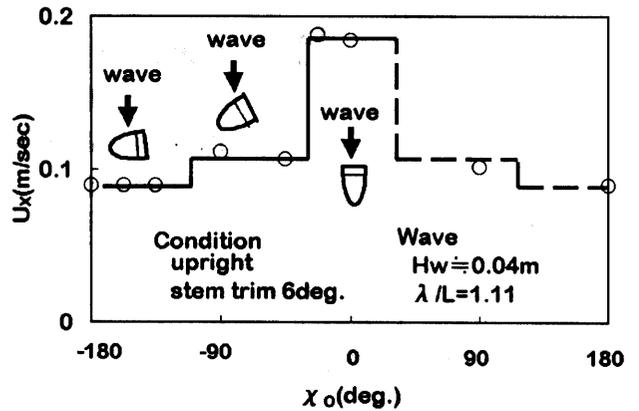


図-17 初期出会角と漂流姿勢および漂流速度(非転覆,  $\lambda/L=1.11$ )

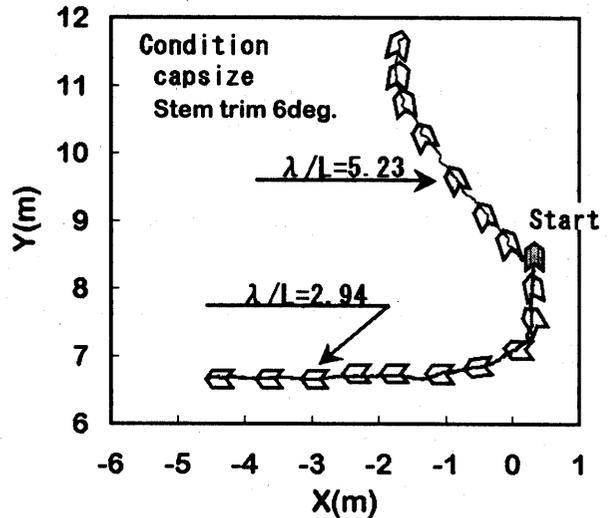


図-18 漂流軌跡 (波に向かって前進, 直角方向漂流)

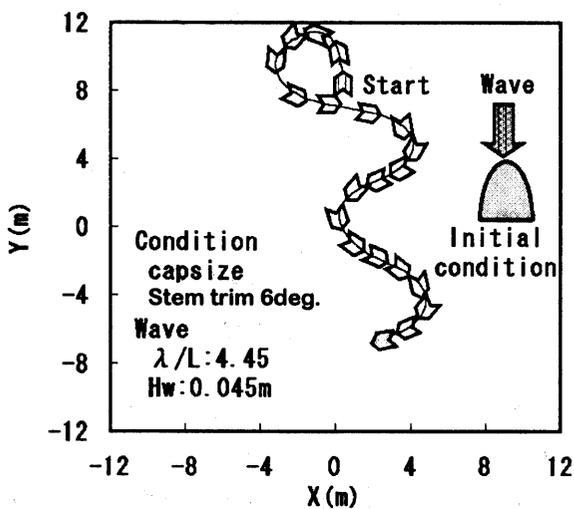


図-19 漂流軌跡 (蛇行型)

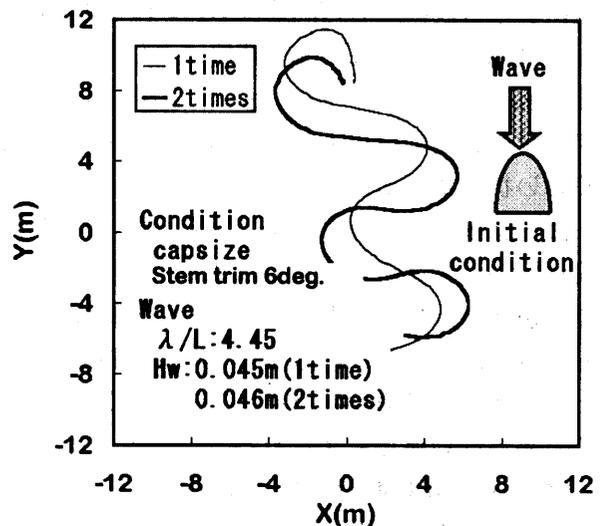


図-20 蛇行型軌跡の再現性