漁船の転覆警報装置の開発

【事業実施主体】

漁船の転覆警報装置の開発共同研究機関

目　次

第 1 章　はじめに..... 87
第 2 章　対象漁船..... 87
第 3 章　航行中の安全性..... 88
3.1 目的..... 88
3.2　実験と結果..... 88
3.3 結言 93
第 4 章　操業中の安全性..... 94
4.1 目的..... 94
4.2 事故解析の結果 94
4.3 実験概要 94
4.3.1 模型船について 95
4.3.2 機器配置 95
4.3.3 実験条件 96
4.3.4 計測機器・項目 96
4.4 実験結果 97
4.5 考察 98
4.6 結言 100
第 5 章　魚群の移動による、漁網に働く力の定量的な検討..... 101
5.1 目的 101
5.2 網に対する魚群の行動観察 101
5.3 突進速度の測定..... 101
5.4 魚が網に及ぼす力の測定 102
5.5 漁網に働く力の試算 104
5.6 結言 105
第 6 章　転覆警報装置の設定..... 105
第 7 章　今後の課題..... 105

第1章　はじめに

漁船による海難事故は現代においても後を絶たず、特に 135 トン型まき網漁船は 2008 年にパラアンカーによる停船中、2009 年に漁場への航行中、そして 2014 年には操業中に転覆事故を起こしており、多数の死者と不明者を出している。135 トン型まき網漁船は建造より 20 年以上たつものが多く、老朽化により安全性が新造時より劣ってきており、代船の必要がある。一方、劣悪な居住区などが後継者不足を加速させている。そこで、水産庁は漁獲能力を増加させない、安全性と居住性を向上させる増トンを認めており、199 トン型など大型のまき網漁船が代船として新造されている。しかしながら、すべてのまき網漁船が代船されるにはまだまだ時間が必要であり、現在使用されている漁船の安全性を確保することは急務である。

一方、近年、電子機器類の発達により船体の動揺や周囲の波浪状況などを安価に精度よく取得する機器が開発されてきている。これらのセンサー類などが取得したデータを利用することで、現在および近い将来の船体運動を把握することが可能となってきている。そこで、これらの情報を元に、航行時や漁労時に転覆の危険性がある際に警報を発する「漁船の転覆警報装置」を開発したので報告する。

第2章　対象漁船

今回は事故の多い 135 トン型まき網漁船として東洋漁業所属の「第 31 源福丸」を対象船とした。その主要目を Table2.1 に示す。ここでは一番危険と思われる満載出港状態において調査を行い、トリム状態や排水量、GM などを特定した。また、実験に使用する研究用模型船としては 1/18 スケール(航行時用)と 1/30 スケール(操業時用)の 2 種類を使用した。

Table2.1 Principal particular

	full scale	1/16scale	1/30 scale
Loa[m]	46.4	2.900	1.547
Lpp[m]	37	2.313	1.233
B[m]	7.9	0.494	0.263
[m]	3.75	0.234	0.125
dm[m]	2.8	0.175	0.0933
free board[m]	0.95	0.059	0.0317
displacement[t]	520.4	0.127	0.0193
KG[m]	3.38	0.211	0.113
GM[m]	1.48	0.093	0.049

第3章　航行中の安全性

3.1 目的

135 トン型まき網漁船の 16 分の 1 の模型船を用いた平水中および波浪中の自由航走模型実験を行い、航行時の危険な現象について把握するとともに転覆警報を発令するための条件を確定した。実験は国立研究開発法人水産研究・教育機構水産工学研究所の海洋工学総合実験棟において実施した。その鳥瞰図を Figure 3. 1 に示す。

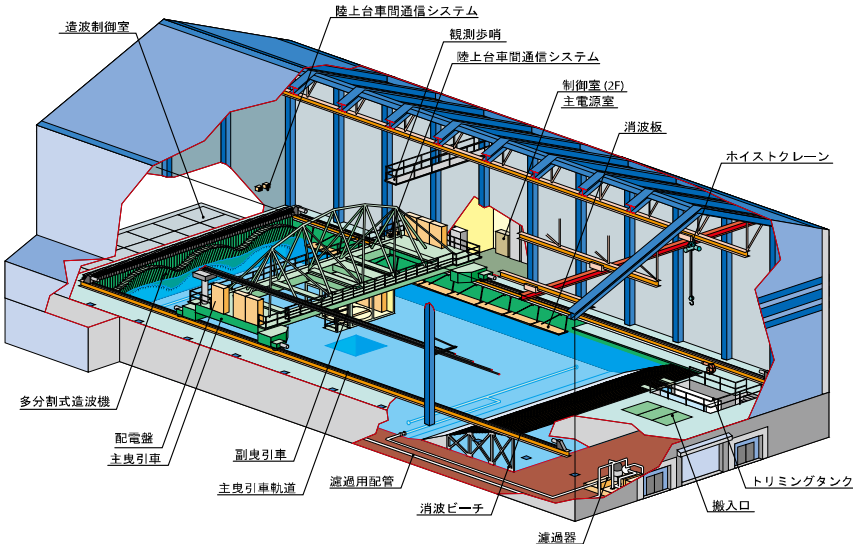

Figure 3.1 海洋工学総合実験棟

3.2実験と結果

実験には海洋工学総合実験棟にある航行軌跡計測装置を用いた。本装置はオンボードコンピュータ、ジャイロ、プロペラ駆動装置、操舵装置から構成されている。このオンボードコンピュータは自動操船を行いながら、各種データを取得することが出来るようになっている。実験に先立ち、平水中に於いて速力試験を行った。この結果を基に平水中の速力とプロペラ回転数の関係を求めた。以下における速力とは平水中でそのプロペラ回転数で航行した場合の速力であり、波浪中、旋回中の実際の航行速力ではない。なお、最高速力は聞き取り結果を基に 13 ノットとした。また、向波中、追波中は比例ゲイン１のオートパイロットを使用している。すなわち、設定コースから１度ずれるとそれを補正する方向へ１度、２度ずれると２度舵を取る。また、最大３５度以上舵を取ることはない。

（1） 旋回実験

旋回試験は最高速力の 13 ノット相当において実施した。その時の時系列を Figure 3.2 に示す。横傾斜角は最大内傾斜が 6 度、最大外傾斜が-8 度程度で一定旋回中は-2.5 度程度のため、非常に安定して旋回しているといえる。

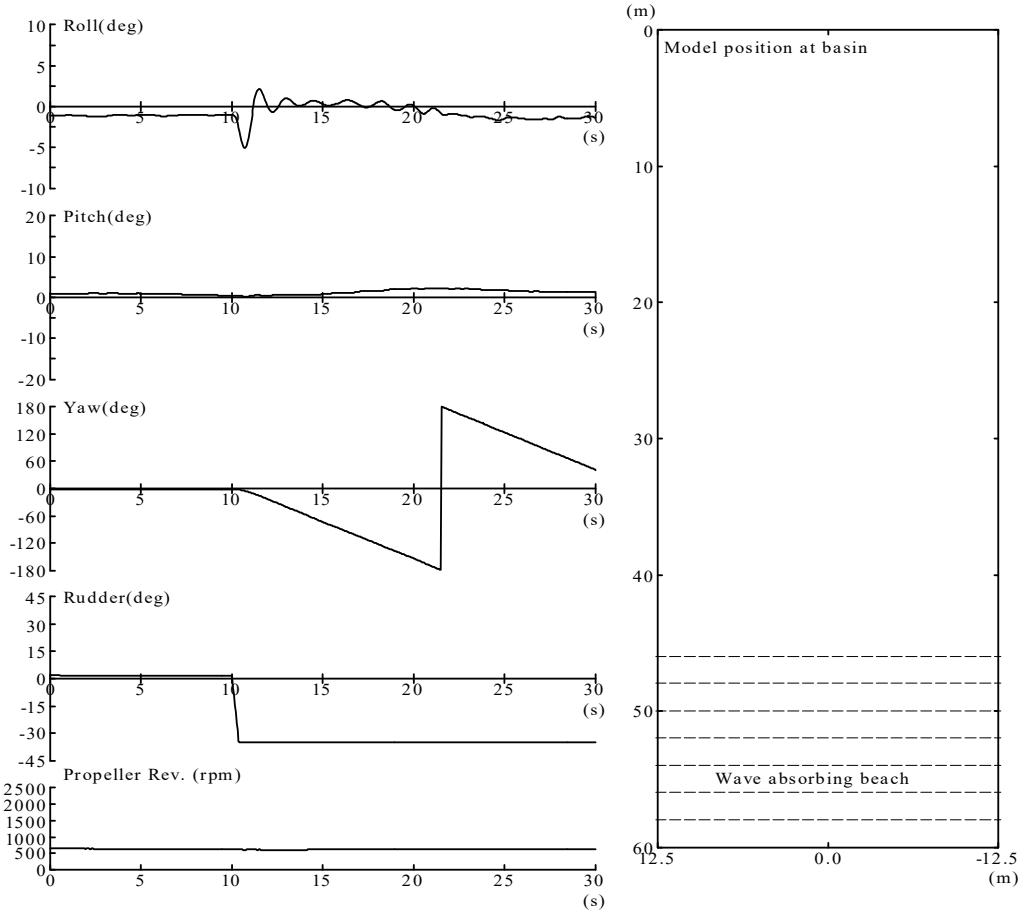

Figure 3.2 時系列例（左 35 度旋回、13 ノット相当）

（2） 向波中実験

向波中は波長船長比 1.0、1.25、1.5、(37m、46m、56m) 波高波長比 1/10(3.7m,4.6m、5.6m) の 3 種類の波について実施した。また、オートパイロット方位は真向波となるように設定した。向波中においては波長船長比が 1.0、1.25 の時は速力が 13 ノットにおいて転覆が発生しなかった。その時の時系列例を Figure 3.3 に示す。一方、波長船長比が 1.5 の時は 8 ノット以上の速度で転覆が確認された。その時の時系列例を Figure 3.4 に示す。この時滞留水が船尾部から排出されず、最終的に転覆に至っていることが確認できた。この場合 5 ノットまで船速を落とせば転覆しない。

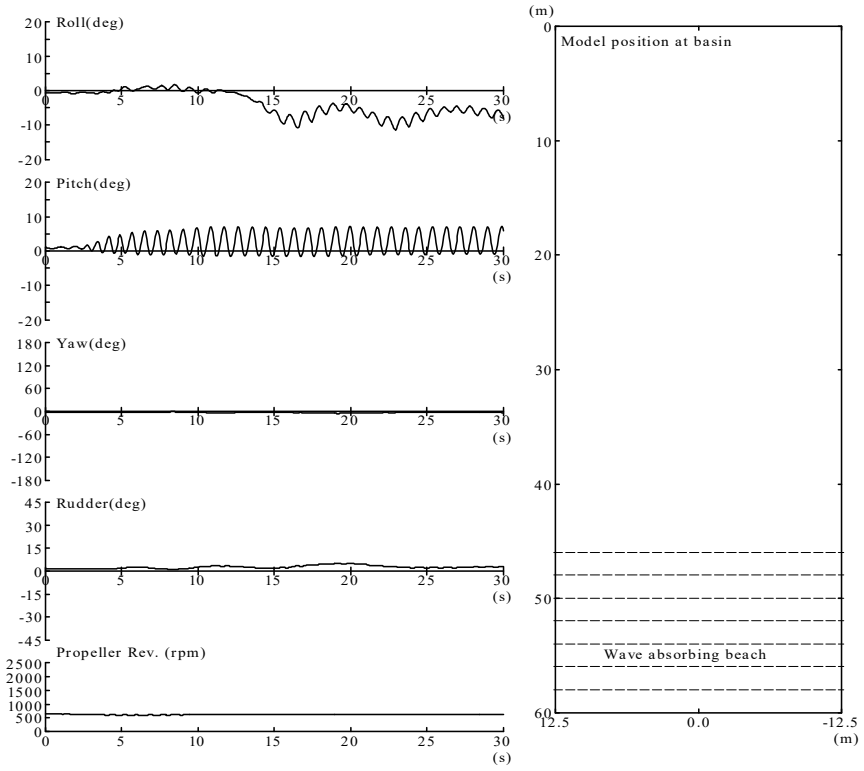

Figure 3.3 時系列例（向波中、波長 37m、波高 3.7m、13 ノット相当）

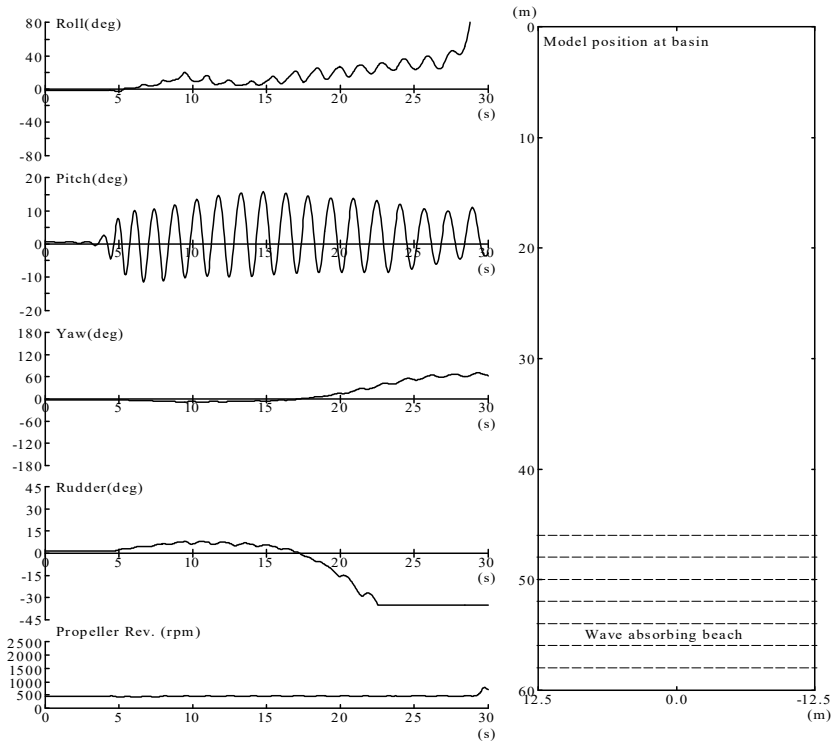

Figure 3.4 時系列例（向波中、波長 56m、波高 5.6m、10 ノット相当）

（３） 追波中実験

追波中は波長船長比 1.0、1.25、1.5、(37m、46m、56m) 波高波長比 1/10(3.7m,4.6m、5.6m) の 3 種類の波について実施した。速力は最高速度を 13 ノット相当とし、減速航行時についても確認を行った。また、オートパイロット方位は－５度、１５度、３０度の３種類を主とした。結果を Figures 3.5～3.7 に示す。これらの結果から波高が高い時に転覆が発生していることがわかる。一方、船速が 13 ノットと高速の時は転覆が発生していない。しかしながら、15 ノット相当の速力で航行するとバウダイビングによる転覆が確認された。すなわち、高速航行すれば安全というわけではない。

これらの実験で計測された時系列のうち、代表的なものを Figures 3.8～3.10 に示す。

Figure 3.8 には 8 ノットで航行時の添付が派生したときの時系列を示す。この時、滞留水が増加するに従って右舷傾斜が増し、最終的には転覆に至っている。

Figure 3.9 に速力を 13 ノットに上げ、転覆しなかったときの時系列を示す。滞留水が増えずに船尾その他から排水されることにより大きな横傾斜が発生せず、安定して航行している様子が確認できる。

Figure 3.10 に速力を 15 ノットまで上げたとき時系列を示す。この時 10 秒過ぎから頭下げが大きくなっていることがわかる。ここでは船首部が前方の波の山から水中に没し、大量の打ち込み水が発生し、そのまま転覆に至るバウダイビングによる転覆が発生した。すなわち、高速であれば安全委航行できるというわけではない。

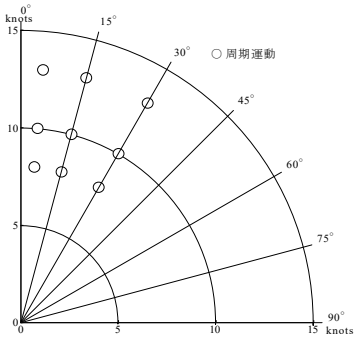

Figure 3.5 実験結果
(波長船長比 1.0)

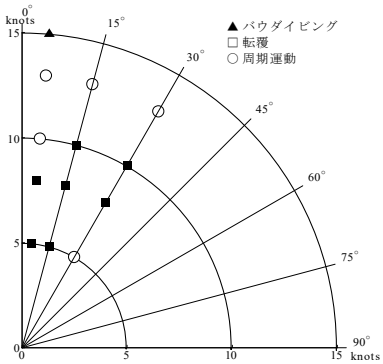

Figure 3.6 実験結果
(波長船長比 1.25)

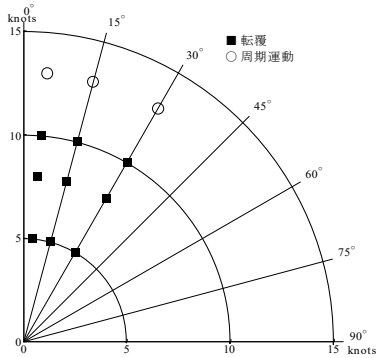

Figure 3.7 実験結果
(波長船長比 1.5)

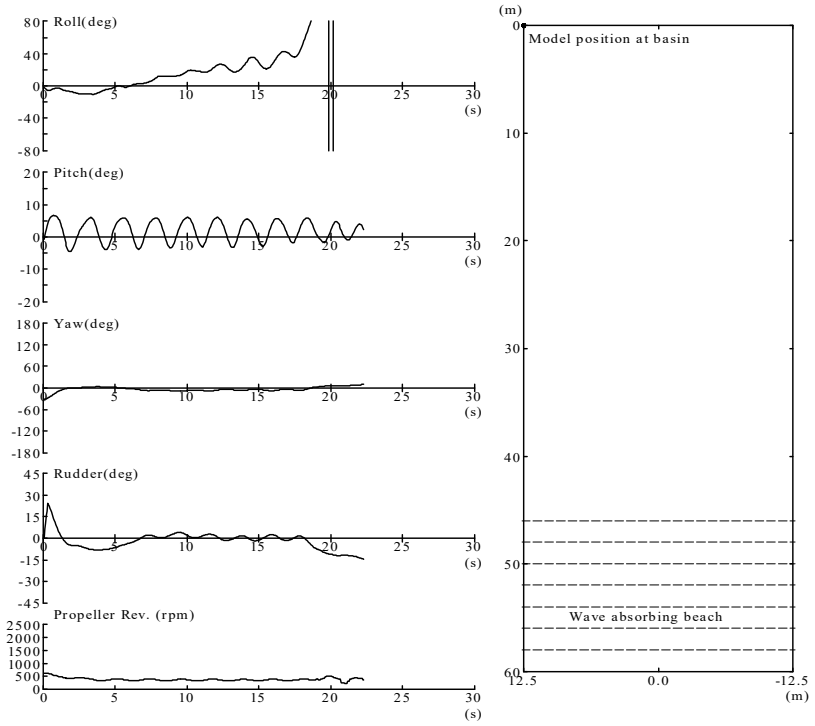

Figure 3.8 時系列(波長船長比 1.25、波高波長比 1/10、船首方位-5 度、船速 8 ノット)

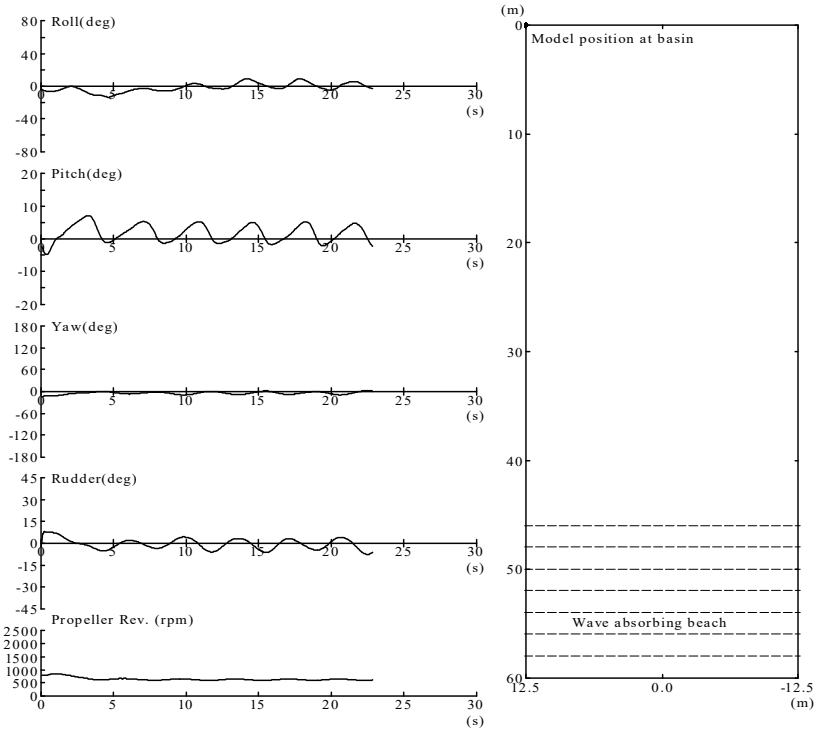

Figure 3.9 時系列(波長船長比 1.25、波高波長比 1/10、船首方位-5 度、船速 13 ノット)

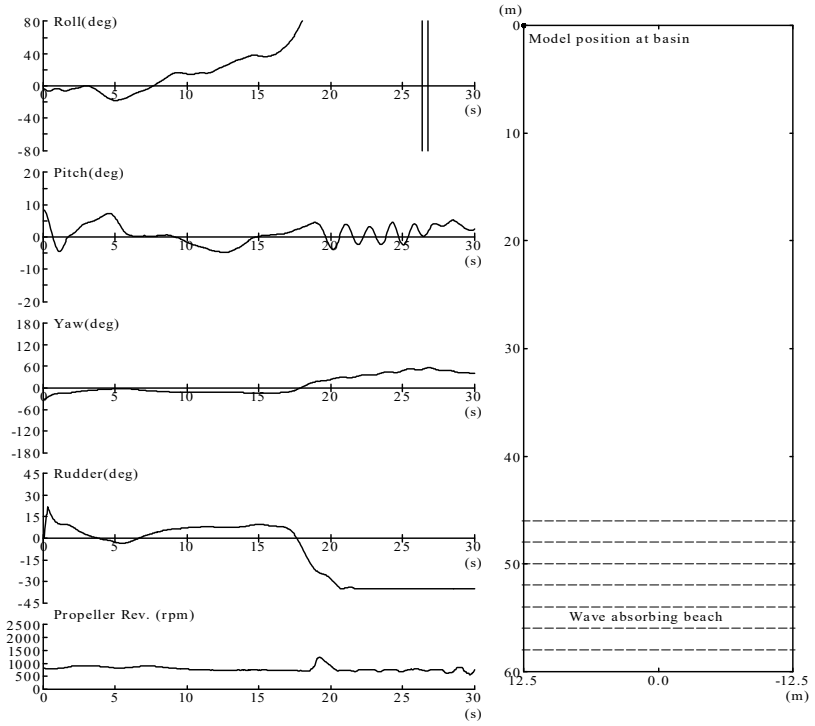

Figure 3.10 時系列(波長船長比 1.25、波高波長比 1/10、船首方位-5 度、船速 15 ノット)

3.3 結言

以上のようなことから、本船の復原性能、すなわち安全性能については以下のように言える。

1） 旋回時、全速力で旋回したとしてもほとんど横傾斜発生せず、安全性に問題はない。

2） 向波中に於いて、波高が大きいときに転覆が発生する。ただし、停船時には転覆することはない。

3） 追波中に於いて、大波高中を 5 ノットから 10 ノット程度の速力で航行する際に転覆に至ることがある。

4） 追波中を 13 ノットで航行していれば転覆することはなかったが、15 ノットで航行している際にはバウダイビングによる転覆が発生した。したがって高速航行も安全ではない。

5） 以上のことから、波高が 3.7m 以下であれば安全であるが、それ以上の波浪中においては停船していることが安全であり、航行している場合は滞留水の影響を十分に考慮する必要がある。

以上のようなことから、航行時は 3.7m 以上の波高の波に遭遇することが想定される場合に停船するよう警報を出すようにすることで本船の安全性は確保することが可能となる。

第4章　操業中の安全性

4.1 目的

2014 年に発生した漁労中の 135 トン型まき網漁船の転覆事故を念頭にまき網漁船が漁獲物の下方への力(以下魚群力)によってどのような挙動を示し、最終的に転覆するかを把握し、漁労作業時の転覆警報発令条件を明らかにすることを目的とする。

4.2 事故解析の結果

今回実験を実施していくにあたり、135 トン型まき網漁船の事故解析結果から事故発生時の海象条件や魚群力を参考にした。以下では事故発生時の復原力変動や魚群力による定傾斜、滞留水の影響を加味した転覆解析のフローを示す。

(1) 次の①～②から、本まき網船は事故時、サバ群の一斉降下が発生したことにより、右舷側が漁網によって下方に引かれ、右舷側に転覆したものと考えられる。
　① 事故当時、漁網内に入っていたサバの量は少なくとも付随の運搬船二隻が満載になるほどの本船団の過去最高に近い量であった。
　② サバ群の一斉降下の直後から本船が右舷側に傾斜したものと考えられる。

(2) 第一波の波の打ち込みが発生したとき、横傾斜角約 9.5 度付近（作業甲板没水角）付近まで傾斜したことから、サバ群の一斉降下による力（鉛直下向き成分）は約 33~34tf であったものと考えられる。

(3) アンケート調査よりまき網船は、漁労長が乗船していた期間にサバ群の一斉降下によって放水口が海面に没するほど右舷側に傾斜したことは無かったと考えられる。

(4) アンケート調査より、まき網船団の網船ではサバ群の一斉降下が発生したとき、漁網が破れたり、漁網を放したりすることにより、横傾斜が解消されることがあるが、この事故では漁網が破れるなどする前に右舷側に傾斜するとともに海水が打ち込んで転覆に至ったものと考えられる。

（運輸安全委員会，船舶事故報告書，漁船第一源福丸転覆[2] より）

このことより、事故の要因はバラストタンクが故障していたこともあるが、135 トンクラスのまき網船が魚群による力で転覆するという認識は全くなかったと考えられる。したがって危険な基準となる魚群力をより詳細に把握していくことが重要になる。

4.3 実験概要

今回模型実験に用いたのは長崎で操業している 135 トンの網船（Lpp:37m）の 1/30 スケールの FRP 製の模型である。横浜国立大学の長水槽および水産工学研究所の角水槽にて曳航台車に模型船を設置し、模型船船首と船尾の重心高さの位置で roll 運動のみが自由になるように係留した。なお実際の操業時（環締め後）には運搬船および裏こぎ船と連結するような形となるが今回は魚群に影響を受ける roll 運動のみを考慮した。操業時に働く裏こぎ船の曳航力による傾斜モーメントは今回考慮していないが実船の場合は運搬船からも反対方向にモー

メントを受ける。両者が打ち消し合う形をとり、それらの傾斜モーメントはそれほど大きくないと考えられる。実験の条件は不規則波中で魚群力を 5 パターン、船の波向きを 0, 45, 90deg の 3 パターン、波高を 3 パターン実施した。

4.3.1 模型船について

本研究では 1/30 スケールの模型船を使用した。写真を Figure 4.1 に示す。

Figure 4.1 Model ship (135GT, 1/30)

4.3.2 機器配置

まずここでは実験での機器配置および魚群力を模擬した荷重を与えるシステムを以下で示す。

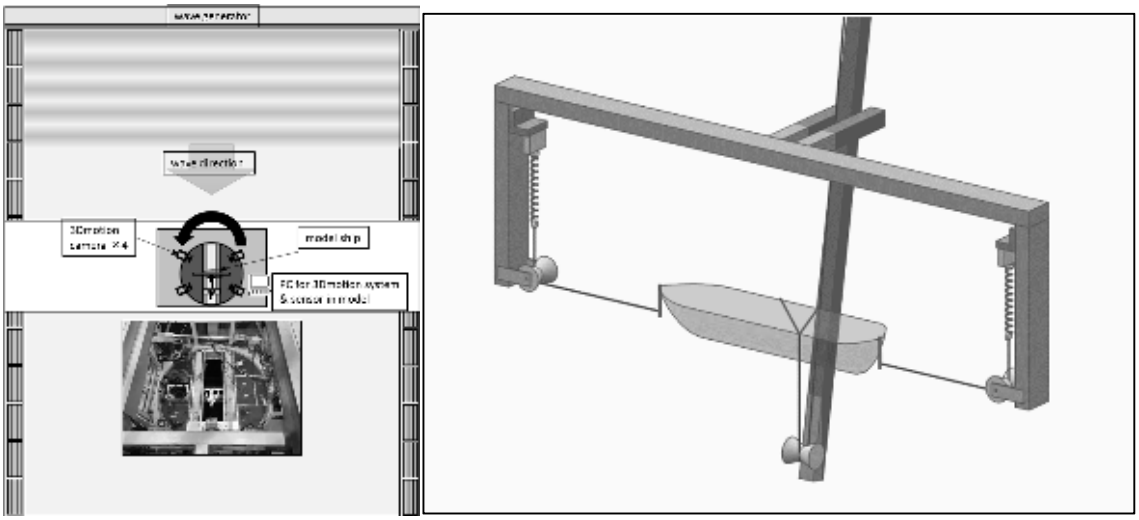

Figure 4.2 left: Arrangement of facilities right: Mooring system

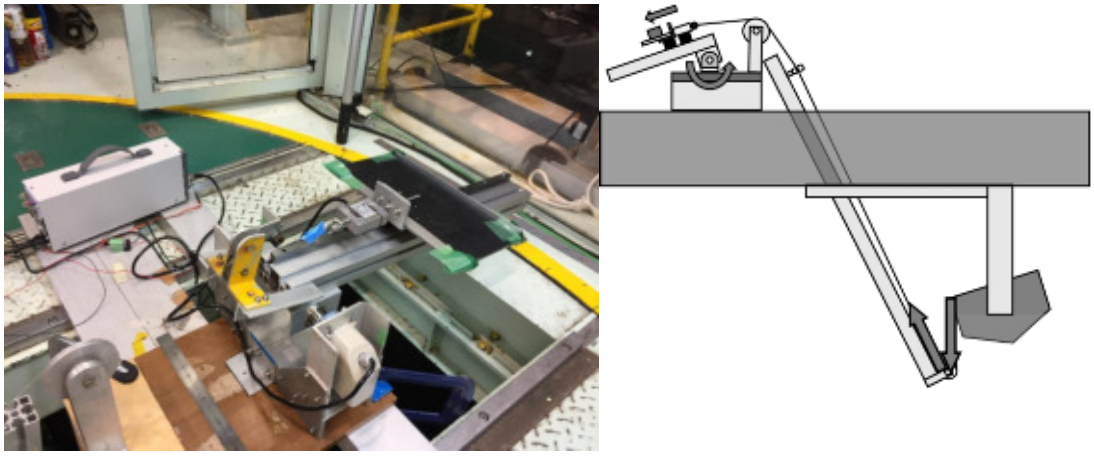

Figure 4.3 System for force of fish

魚群力を与えるシステムについてはFigure 4.3に示したが、力を与えるタイミングを操作できるようにサーボモータにPCから指示電圧を与えることで操作できるよう作成した。サーボモータが回転し、レールに傾斜をつけ取り付けている錘がスライドしていくことで魚群力に相当する荷重を与えた。

4.3.3 実験条件

実験では不規則波を使用し、有義波高で3パターン波向きを変え3パターンそして魚群力を計5パターン行った。実験条件をTable4.1に示す。機器の都合上、魚群力の各条件の刻みが一定ではないがおよそ2tfとなっている。

Table 4.1 Experimental condition

不規則波(平均波周期:T_{02}=5.48sec)(Actual)	
有義波高 $H_{1/3}$[m]	0.80, 1.00, 1.57(Actual)
波向き[deg]	90(横波), 45(斜め追い波), 0(追い波)
魚群による力F_f [tf]	21.4, 23.5, 25.4, 27.0, 30.0(Actual)

4.3.4 計測機器・項目

今回実験で用いた計測器を示していく。

- 三次元のモーションキャプチャー (Qualisys Track Manager)

模型船上に設置した赤外線の 4 点のマーカーを 4 つのカメラで捉えることで船体の運動を計測している。従来から本研究室で船体運動を計測するために用いている船内に設置するセンサーでは計測することが出来ない surge, sway, heave のような各軸方向の変位を得ることが出来る。

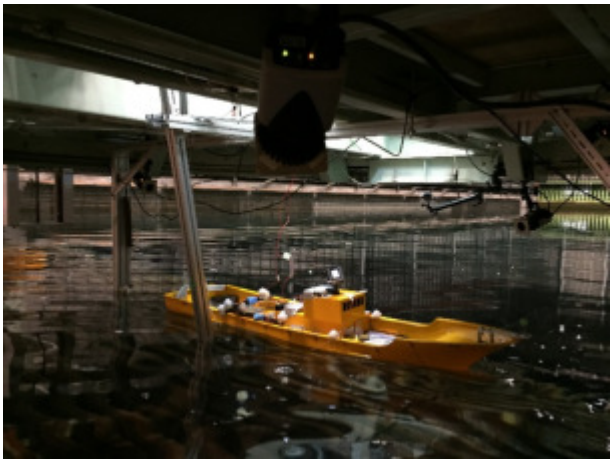

Figure 4.4 System for 3D motion capturing

計測項目を Table 4.2 に示す。なお模型船内のセンサーには 3DM-GX-4-25 を使用した。

Table 4.2 Measuring items

Equipment	Item
3D Motion capture	Surge, Sway, Heave[m]
	Roll, Pitch, Yaw(Heading)[deg]
Sensor in the model ship	Roll, Pitch, Yaw(Heading)[deg]
	Acceleration (x, y, z)[m/s^2]
	Angler velocity (x, y, z)[rad/s]
Wave probe	Wave height[m]
Load cell	Tension of mooring lines (fore and aft)[kgf]
	Force of pulling down (starboard)[kgf]

4.4 実験結果

各実験条件における転覆の有無をまとめた Table 4.3 に示す。

Table 4.3 Condition of capsizing

	平均波周期:T_{02}		有義波高:$H_{1/3}$		魚群による力:F_f[tf]				転覆:×
波向[deg]	Actual[s]	Model[s]	Actual[m]	Model[m]	21.4	23.5	25.4	27.0	30.0
90	5.48	1.00	0.800	0.0267	-	○	○○	×	×
			1.00	0.0333	-	○○	○○	××	×
			1.57	0.0523	○○	○××	××	××	-
45	5.48	1.00	0.800	0.0267	○	○	○○	×	×
			1.00	0.0333	○	○○	○○	××	×
			1.57	0.0523	○○	○○	×○	××	×
0	5.48	1.00	0.800	0.0267	-	-	-	-	-
			1.00	0.0333	○	○○	○	×	×
			1.57	0.0523	×	×	×	×	×

表では機器の不具合や転覆の有無の境界となっている付近以外ではデータのない部分が存在しているため、ハイフンで表示されている。

この結果から漁労時の安全性に関する特徴として、以下の 3 点が挙げられる。

パターン①：F_f =27.0tf 以上ではどの条件でも転覆してしまっている。
パターン②：波向 90deg のF_f =23.5tf, 45deg のF_f =25.4tf の部分では同条件でいくつか実験を行っているが転覆した場合とそうでない場合がある。
パターン③：波向 0deg の$H_{1/3}$ =1.57m(actual)では魚群による力によらず転覆している。

以上 3 点について時系列データを見ながら詳しく考察していく。

4.5 考察

・パターン①

実験以前の予想として波向の影響が非常に大きいのではないかと考えていた。特に漁船のような小型の船舶においては横波状態では同調横揺れの影響で横揺れが非常に大きくなったり、乾舷が低いことで打ち込み水が多くあったりするためにこの状態を回避する、ということが一般的である。したがって波向が 90deg の横波状態の場合により転覆しやすくなると予想されたが波高の小さい 2 つの条件では全く差が見られなかった。そのためある一定の魚群による下方に引き込む力を超えるとどの条件でも転覆してしまうということが明らかになった。

・パターン②

次に転覆した場合とそうでない場合がどちらも存在した領域について見ていく。この条件について同条件の時系列を比較していく。

まず 90deg における時系列であるが計 3 回計測した中で 2 回転覆してしまっている。どの実験ナンバーにおいても魚群による力が負荷されたあとは約 10deg 付近が Roll 運動における振動の中心になっている。しかしながら転覆を起こした 2 つについては一度その 10 度付近を超えたあと元に戻る事なく転覆を起こしてしまっているのである。

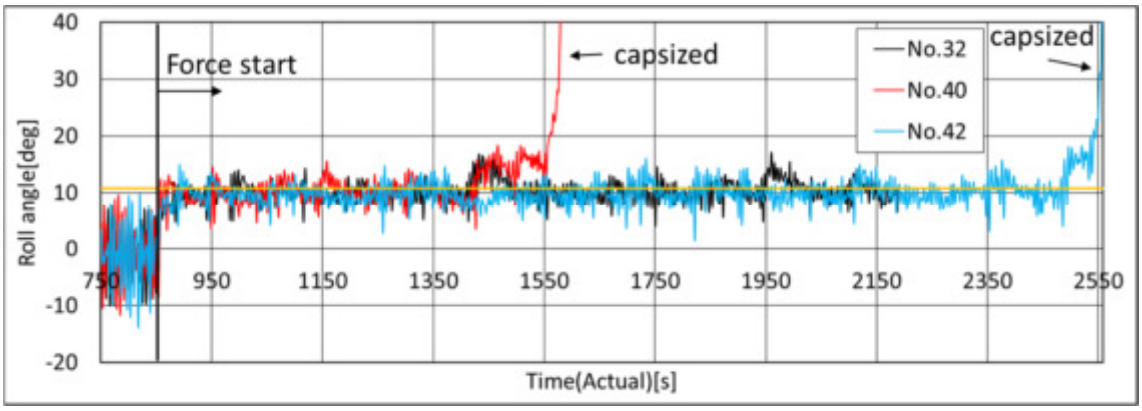

Figure 4.5 Time history (90deg, $H_{1/3}$=1.57m, F_f=23.5tf)

時系列において黄色線で示したのは Roll angle が 10.8deg となる角度であり、これは模型船において放水口が船首尾の両側全てが没水する角度である。実験時の船上動画の様子から船体の傾斜によって放水口が全て没水する際に滞留水の逆流が発生していることが見て取れる。この傾斜角付近で逆流が発生している際にさらに波の打ち込みが発生し、放水口の排水が間に合わなくなると一度大きくなった傾斜角は戻ることなく転覆に至ってしまうのである。したがって傾斜角が魚群力や波向に依存する滞留水の量によってこの放水口が全て没水する角度 10.8deg を超える回数が増える場合に転覆が発生する確率が高まるのでは無いかと考えられる。

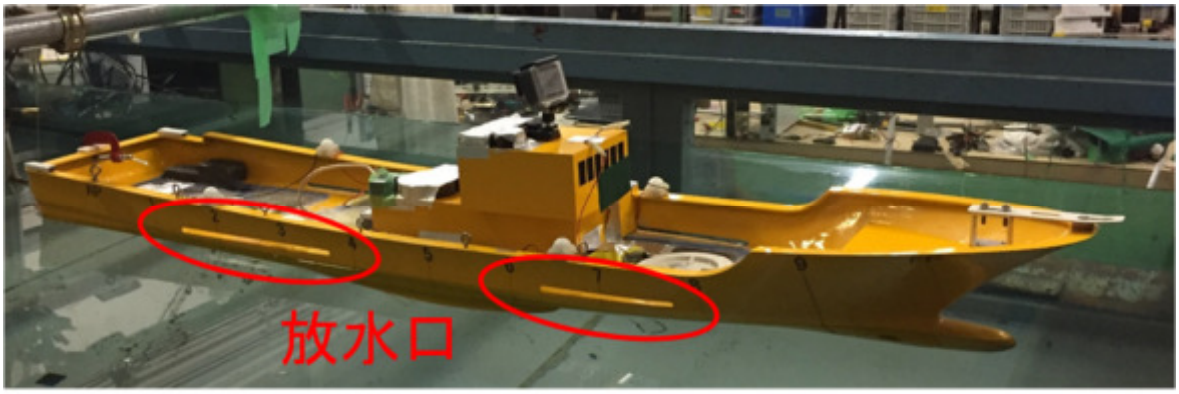

Figure 4.6 Water freeing point

ここで先程のF_f =23.5tf の状態から力を大きくした場合と小さくした場合の Roll angle の時系列も比較してみる。

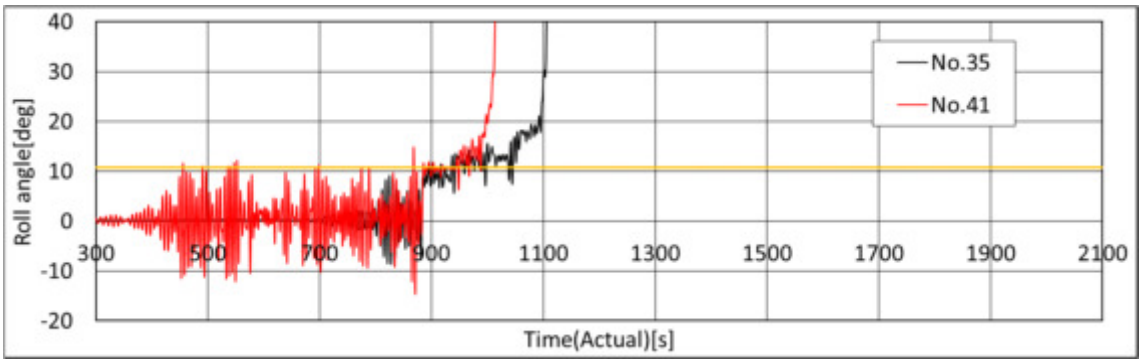

Figure 4.7 Time history (90deg, $H_{1/3}$=1.57m, F_f=25.4tf)

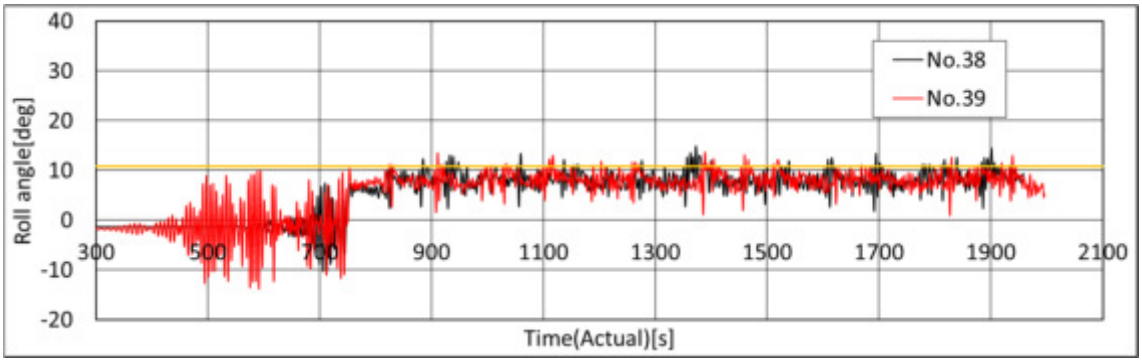

Figure 4.8 Time history (90deg, $H_{1/3}$=1.57m, F_f=21.4tf)

力を大きくしたF_f =25.4tf の場合では始めに力をかけた際に滞留水が多く発生したことも重なって短時間で放水口没水角を上回ってしまっている。そのためにどの結果においても短時間での転覆が発生しており、その時間は実船のスケールでおよそ 100~200 秒ほどである。また力を実船スケールでおよそ 2tf 弱くしたF_f =21.4tf の場合は力をかけたあとも放水口没水角に達する回数は少なく、時折放水口が没水することはあってもすぐに元の状態に回復している。実船の運用レベルで安全面を考慮すると放水口が浸かった場合はすぐに操業を停止し網を切り離す等傾斜を回復する動作が必要であると言える。

・パターン③

追い波中でさらに波高が最も高い条件では非常に広い範囲で転覆が発生してしまっている。この波高は過去に 135 トンまき網船が事故を起こした状態である。この船体のまさに後方から波を受ける状態で特に波高が高い場合では追い波中の復原力の喪失が大きく影響しているのではなかと考える。この現象は近年 IMO の第 2 世代非損傷時復原性基準の項目としても重要視されているものである。船体の中央部が波の山部分に当たることで水線面積が減少する。これにより船首尾方向まわりの水線面二次モーメントが減少し、GM 値の現象につながっている。この現象は船尾部分がそりだしているハングオーバー部分が特徴的な日本の漁船船型でより発生しやすくなっている。この復原力現象が発生する状態では特に横方向の力や傾斜モーメントに弱い状態となっており、他の波向よりも魚群の力に堪えきれず転覆してしまっているのでは無いかと考えられる。

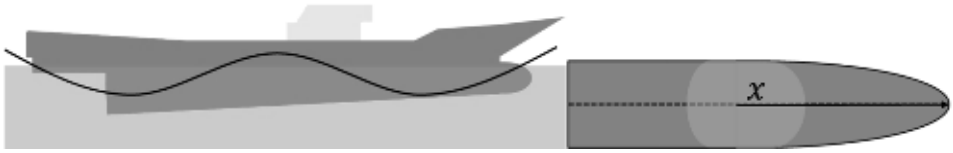

Figure 4.9 Loss stability in following seas

4.6 結言

今回の実験で明らかになったのは以下のことである。

① 魚群力が 27.0tf を超える場合、実施条件全てで転覆してしまったことから魚群力が転覆をもたらす支配的な要因であること。またこの値は明らかに推定値よりも小さいこと。

② 魚群力を加えた際の定荷重が放水口没水角付近に達する場合高い確率で転覆してしまうこと。

③ 同条件で転覆の有無が存在したことから波の打ち込みや滞留水、排水性能のような非線形要素が影響すること。

④ 追い波中は水線面積の減少により、復原力損失が発生し他の波向よりも小さな力で転覆してしまうこと。

⑤ 横波中は 23.5 トン以上の魚群力がかかったときに転覆してしまうこと。

⑥ 追波中では 1.57m 以上の波高において 21.5 トンの魚群力でも転覆してしまうこと。

以上の結果から、23.5 トン以上の魚群力が想定されるとき、もしくは 1.57m 以上の波高が想定されるときは警報を発令する必要がある。

第5章　魚群の移動による、漁網に働く力の定量的な検討

5.1 目的

本項では、網にかかる魚群の力を取得し、実際の操業時に網にかかる力、すなわち漁船にかかる力を推定する手法の開発を目的とした。

5.2 網に対する魚群の行動観察

魚群の網に対する行動を観察するため、まき網の対象種であるカタクチイワシ約100尾（12.4cm±0.94cm）を用いて、水槽（1.5m×1m×0.6m）内で水槽の短辺の断面に合わせた長方形の網枠（目合19節（17mm））により、長辺方向に繰り返し駆集した。網の上部中央には魚の行動観察用に円筒状の網を設けた（Figure 5.1）。観察は平成29年4月に水産工学研究所たか丸浮き桟橋（千葉県館山市）において行った。

魚群は網の接近に従って不明瞭となり、個々の魚は網を避ける動きを示したが、接近する網へ向かう行動は見られなかった。魚を水槽の端部まで追い込んだ後に網を停止させると大半の魚は次第に網に向かい始め、吻端を水面付近の網に接触して、網を押したり、網に突進する行動が認められた（Figure 5.2）。

Figure 5.1　駆集用の網

Figure 5.2　網に向かうカタクチイワシ

以上の観察から、魚が網に向かう行動が、状況次第では発生することを確認した。この観察を基に、実操業下で魚群が漁網に向かって一斉移動を行う状況で想定される網への衝突をa)最初の衝突 と b)それ以後の網への突進の繰り返し の2段階に分類し、それぞれの状況を想定して以下の実験を行った。

5.3 突進速度の測定

魚が網に最初に衝突する際に網に及ぼす力を推定するため、水産工学研究所魚群行動実験棟回流水槽（観測部5×2m、水位0.3m、水温8℃）において、平成29年12月にまき網の主対象種であるマアジを用いて魚の突進速度を測定した（Figures 5.3~5.4）。供試魚は養殖されたマアジ8尾（尾叉長13-15cm）で、蓄養水槽（水温15℃）から水温13℃の容器に移して輸送し、約8時間後に水温9℃のバケツに再度移して20分以上経過した個体を用いた。魚の移動距

離の測定および撮影した画像の歪み補正のために、水槽の底面には50cm間隔で格子状にマーキングを施した。カメラ(GoPro HERO4)は水槽から4mの高さに設置し、120fpsの設定で動画撮影を行った。撮影開始後に水槽端から1尾を放し、玉網で尾鰭側から威嚇して突進行動を促した。1尾当たりの撮影時間は、魚の疲労を考慮して２分間以内とし、撮影終了後に魚を回収した。突進速度の測定には動画解析ソフト(PV STUDIO 2DPro)を用い、突進速度の瞬間最大値を最大突進速度とした。

動画の解析は、8尾のうち突進行動が記録できた5尾について行い、最大突進速度を求めた。結果をTable 5.1に示す。最大突進速度は概ね3m/sであった。

Figure 5.3　実験水槽

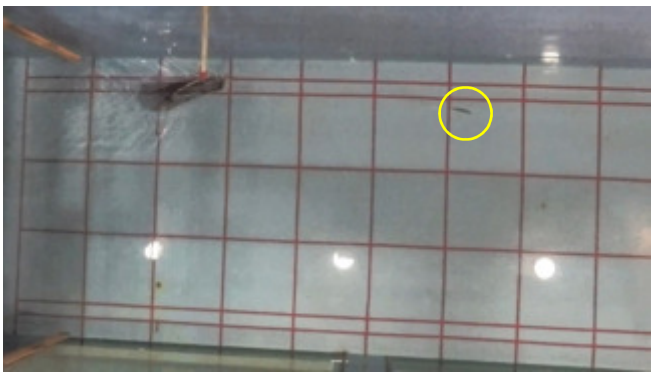

Figure 5.4　動画の例（○内はマアジ）

Table 5.1　マアジの最大突進速度

No.	尾叉長（cm)	重量（g)	最大突進速度(m/s)
1	14.8	46	2.6
2	13.4	33	2.7
3	14.3	38	3.1
4	14.3	39	2.5
5	14.5	41	3.5

5.4 魚が網に及ぼす力の測定

漁網へ最初に衝突した後の、繰り返しの突進行動を想定して、先述の実験と同じくマアジを用いて、魚が網に及ぼす力を測定した。実験水槽（1m×0.7m×0.6m、水位0.3m）の短辺の断面に合わせた網枠の中央部に直径12cmの穴を設け、そこに側面に網を張った直径ならびに奥行12cmの円筒枠を取り付けた。網枠から突出した側の底面は、網を張った円環枠（直径12cm）で覆い、円管（直径6mm）を介して3分力計（共和電業　LSM-B-SA1）と接続した（Figures 5.5～5.6)。この測定装置に用いた網は全て目合27節(12mm)、本数4本のナイロ

ン製有結節網で、網枠と円環枠の網目形状は概ね正方形になるように調整した。

測定は、水産工学研究所調査船たか丸の甲板上で、館山湾（表面水温17℃）において平成29年12月に行った。マアジ（計5尾）を釣獲直後に水槽（水温9℃）に入れ、1時間以上経過した後に魚を棒で誘導して円筒枠内へ追い込み、測定を開始した。供試魚は識別できなかったが、全て尾叉長21cmであった。1回あたりの測定時間は3分間以内、サンプリング周波数は20Hzとして力の最大値を抽出した。

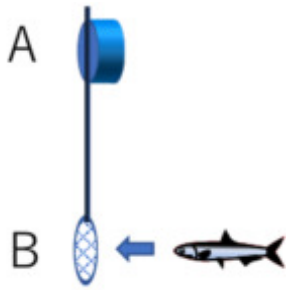

Figure 5.5 力の検出部（B（円環枠））と3分力計(A)の位置関係

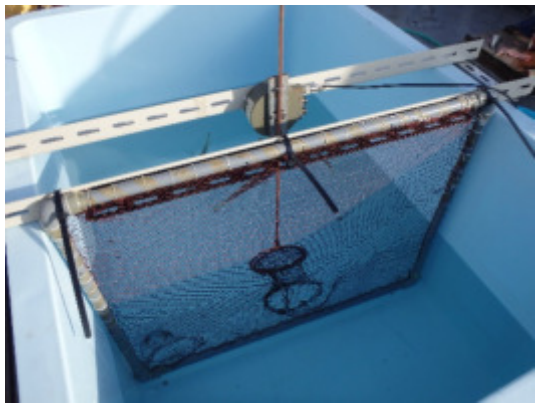

Figure 5.6　測定装置

網への突進行動が網に及ぼす力が測定できたのは4回分であった。時系列データの例をFigure 5.7、測定結果をTable 5.2に示す。突進行動は散発的に発現した。1回の突進行動における力の持続時間は極めて短く、例えば最大値1.6Nを記録したFigure 5.7の突進行動において1N以上の力が記録された時間は0.2s未満であった。

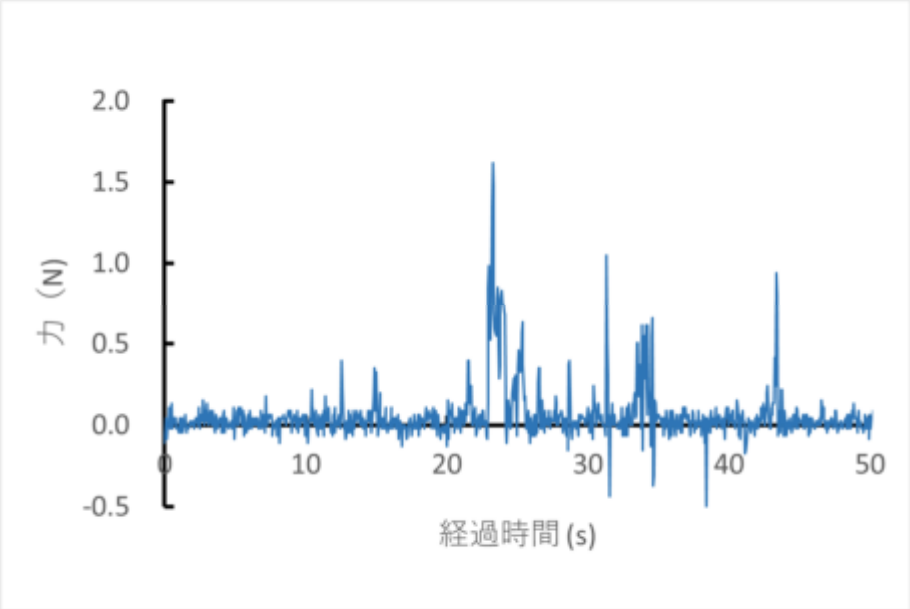

Figure 5.7　マアジが網に及ぼす力の測定例

Table 5.2　　マアジが網に及ぼす力の最大値

	1回目	2回目	3回目	4回目
最大値 (N)	1.6	1.6	1.9	1.1

5.5 漁網に働く力の試算

先述のように、本課題では魚群が漁網に向かって一斉移動を行う状況で想定される網への衝突を a)最初の衝突 と b)それ以後の網への突進の繰り返し の 2 段階に分類した。ここで a)の段階を、静止している漁網に魚が最大突進速度で衝突すると考えると、1 尾の魚が衝突時に漁網に及ぼす力 F は $F = m \times v/\Delta t$ （m:魚の質量(kg)、v:最大突進速度(m/s)、Δt:衝突してから停止するまでの時間(s)）で示されるが、t は推定が困難である。そこで、本課題では漁網に働く力の試算にあたり、b)の段階、すなわち魚が網に衝突したのちに網への突進を繰り返す際の状況を想定して、魚が網に及ぼす力の測定により得られた結果を基準値とした。

計算に際しては、網に接触した魚が及ぼす力が最も効率的に船の傾斜に寄与するものとして、以下の仮定を設定した。

a) 魚は舷側直下の網にのみ力を及ぼす。
b) 魚が網に及ぼす力は全て鉛直方向に作用する。
c) 網に接触する魚は、体軸を網地に垂直にして隙間なく分布する。
d) 網に接触する魚は全て一斉に突進行動を起こす。
e) 網に接触しない魚の力は網に働かない。

いま、上記測定に用いた尾叉長 21cm のマアジが上記 c) のように分布すると考える。このサイズの体高を 6.5cm、体幅を 4cm として体幅方向の断面形状を楕円近似すると、このマアジが網に接触する 1m^2 あたりの尾数は 400 尾強と算出される。ここで、マアジ 1 尾あたりの重量を 120g、網に力が働く面積を網船の全長 (50m) と網幅 (5m,10m) の積と考えて 250 m^2 または 500 m^2 とすると、漁網に働く力と魚の総重量は Table 5.3 のように計算される。

Table 5.3 網に働く力の計算結果

力が働く面積	網に働く力(kN)			魚の総重量
	1尾の力(N)			
(m^2)	1.0	1.5	2.0	(ton)
250	1.0×10^2	1.5×10^2	2.0×10^2	12
500	2.0×10^2	3.0×10^2	4.0×10^2	24

実際には、突進速度で漁網に最初に衝突する際には、網に接触した状態からの突進に比べて衝撃力が大きくなる。また、網に接触していない魚の力は上の仮定とは異なり、その前にいる魚を通じて網に働くと考えられる。したがって、可能ならば魚群を網に向かわせる条件

を見出し、魚が網に及ぼす力を魚種やサイズ別、尾数別に直接測定して、より精度の高い力の推定につなげることが望ましい。

5.6 結言

以上のような結果からマアジの場合、魚群力としてはマアジのトン数×0.8～1.6 トンの力がかかると推定することができるため、4 章の結果とあわせて転覆警報装置へ警報発令のための閾値を設定することとする。

第6章　転覆警報装置の設定

以上のような結果を基に対象としている 135 トン型まき網漁船において、転覆警報装置は以下の閾値により警報を発令することとする。なお、警告は注意喚起、警報はただちに改善要求(現状の継続は推奨しない)を示す。

１）　航行時、3.7m 以上の波高に遭遇すると停船するように警報を出す。
２）　操業時、1.57m 以上の波高に遭遇すると警告を発令する。
３）　操業時、漁網内に 14.1 トン以上の魚が入っていると警告を発令する。
４）　操業時、漁網内に 28.2 トン以上の魚が入っていると警報を発令する。

第7章　今後の課題

漁船の転覆警報装置をすべての漁船に展開するに当たって、今後の検討課題を下記に示す。

7.1　航行中の安全性

本事業においては模型実験を用いて航行中の安全性評価を行った。一般的には「追い波中を高速航行しない」「不要不急の荷物は下ろす」「重量物はなるべく低い位置に搭載する」などといった安全性を高める指標があるが、警報を出すためにはやはり絶対値が必要となるため、個船ごとの模型実験が不可避である。

7.2　操業時の安全性

復原力から平水中の危険な現象は説明ができるが、波浪中は現在のところ模型実験が必要不可欠である。また、現在は魚群の力として一定の力をかけているが、実際の魚群の力を再現する必要があると考えられる。

7.3　魚群の移動による、漁網に働く力の定量的な検討

今回はマアジを用いて一匹の魚が網に及ぼす力を計測したが、今後は魚群が一斉に動いた際の力の計測手法開発が不可避である。また、魚の種類、サイズによる違い、魚群力の継続時間などについても検討の余地がある。