

# 船舶事故調査報告書

船種 船名 漁船 大福丸  
漁船登録番号 TT2-1506  
総トン数 76トン

事故種類 転覆  
発生日時 平成28年12月14日 05時15分ごろ  
発生場所 島根県松江市美保関灯台北方沖  
美保関灯台から真方位018° 1,700m付近  
(概位 北緯35° 34.9' 東経133° 19.8')

平成29年11月15日  
運輸安全委員会(海事部会)議決  
委員長 中橋和博  
委員 佐藤雄二(部会長)  
委員 田村兼吉  
委員 石川敏行  
委員 岡本満喜子

## 要旨

### <概要>

漁船大福丸は、船長ほか8人が乗り組み、境港に向けて帰航中に主機が停止し、漁船第二共福丸により被えい航中、平成28年12月14日05時15分ごろ、島根県松江市美保関灯台北方沖において、転覆し、後に沈没した。

大福丸は、乗組員9人のうち4人が死亡し、5人が行方不明となった。

### <原因>

本事故は、夜間、大福丸が、復原性が低下し、また、乾舷が減少していた状態で大福丸の主機が停止し、第二共福丸によってえい航されて島根県松江市美保関灯台北方沖を南東進中、横傾斜角がブルワーク水没角を超えたため、復原しにくい状態となり、

引き続く波を受けて転覆した可能性があると考えられる。

横傾斜角がブルワーク水没角を超えたのは、風によって定常傾斜したこと、波によって大きく動揺したこと、及び、索張力による傾斜モーメントが増大したことによる可能性があると考えられる。

索張力による傾斜モーメントが増大したのは、えい航索の長さが不十分で索張力の急激な増加が大福丸に伝わりやすい状態となり、えい航索と船首方位の成す角が増大したことによる可能性があると考えられる。

大福丸の復原性が低下し、また、乾舷が減少していたのは、構造物等を追加していたこと、甲板上に水槽を設置していたことなどによるものと考えられる。

# 1 船舶事故調査の経過

## 1.1 船舶事故の概要

漁船<sup>たいふく</sup>大福丸は、船長ほか8人が乗り組み、境<sup>さかい</sup>港に向けて帰航中に主機が停止し、漁船第二共<sup>きょうふく</sup>福丸により被<sup>ひ</sup>えい航中、平成28年12月14日05時15分ごろ、島根県松江市美保関灯台北方沖において、転覆し、後に沈没した。

大福丸は、乗組員9人のうち4人が死亡し、5人が行方不明となった。

## 1.2 船舶事故調査の概要

### 1.2.1 調査組織

運輸安全委員会は、平成28年12月14日、本事故の調査を担当する主管調査官ほか2人の船舶事故調査官を指名した。

### 1.2.2 調査の実施時期

平成28年12月14日、平成29年1月5日、12日、20日、22日、23日、25日、28日、2月1日、2日、4月22日、5月10日、12日、20日、6月16日、9月7日 口述聴取

平成28年12月15日～17日、平成29年6月15日 口述聴取及び現場調査  
平成28年12月19日、平成29年1月10日、19日、24日、26日、31日、2月6日、8日、9日、15日、22日、24日、28日、3月1日、9日、13日、28日、4月10日、5月11日、19日、6月29日、9月15日、19日 回答書受領

平成29年1月7日、2月3日、3月3日、4月20日 口述聴取及び回答書受領

平成29年5月6日～8日 現場調査

### 1.2.3 調査の委託

本事故の調査に当たり、株式会社エコーに対し、事故発生海域付近の波浪状況に関する調査を、また、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所に対し、大福丸の復原性及び転覆に至る状況に関する調査をそれぞれ委託した。

### 1.2.4 情報提供

平成29年5月16日、その時点までの事実調査結果に基づき、鳥取県及び島根県に対して波浪に関する事実情報の提供を行った。

### 1.2.5 原因関係者からの意見聴取

原因関係者から意見聴取を行った。

## 2 事実情報

### 2.1 事故の経過

#### 2.1.1 GPSプロッター\*1による運航の経過

大福丸（以下「A船」という。）をえい航していた第二共福丸（以下「B船」という。）のGPSプロッター記録によれば、B船の平成28年12月14日02時31分00秒～05時30分14秒の間における運航の経過は、表2.1のとおりであった。

B船の船位は、操舵室上方に取り付けられたGPSアンテナの位置であり、対地針路は真方位（以下同じ。）である。

表2.1 B船のGPSプロッター記録（抜粋）

時刻 (時:分:秒)	船位		対地針路 (°)	対地速力 (ノット(kn))
	北緯 (° - ' - ")	東経 (° - ' - ")		
02:31:00	35-36-41.6	133-10-21.5	112.8	8.9
02:41:00	35-38-63.8	133-12-24.8	113.8	8.9
02:50:00	35-37-30.1	133-12-41.4	130.0	7.3
03:01:00	35-36-53.3	133-13-31.5	285.0	2.0
03:10:00	35-36-45.7	133-12-57.0	245.0	1.7
03:15:00	35-36-37.9	133-12-50.1	235.8	1.7
03:30:00	35-36-20.0	133-12-28.8	185.7	1.6
03:39:00	35-36-10.9	133-12-16.7	225.2	1.5
03:49:00	35-36-03.9	133-12-32.6	230.2	1.5
04:00:01	35-35-45.9	133-11-55.5	077.3	3.0
04:10:01	35-35-57.1	133-12-53.5	076.8	4.6
04:20:00	35-36-65.9	133-13-55.9	085.2	5.3
04:30:01	35-36-30.2	133-15-04.4	093.7	5.2
04:35:30	35-35-59.7	133-15-36.7	094.2	5.4

\*1 「GPSプロッター」とは、全世界測位システム（GPS：Global Positioning System）により、人工衛星から得た自船の位置情報を画面の地図上に表示し、自船の航跡を描くことができる装置をいう。

04:37:00	35-35-58.7	133-15-45.3	100.5	5.2
04:40:00	35-35-53.1	133-16-55.5	107.5	5.6
04:45:00	35-35-44.2	133-16-37.9	102.0	5.5
04:50:00	35-35-36.2	133-17-10.0	109.6	5.4
05:00:00	35-35-27.2	133-18-16.1	098.3	5.5
05:05:01	35-35-26.3	133-18-22.9	108.5	5.3
05:10:01	35-35-11.4	133-19-21.8	119.6	5.7
05:11:16	35-35-07.5	133-19-29.4	122.1	5.6
05:11:45	35-35-06.0	133-19-32.3	126.0	5.8
05:13:00	35-35-01.9	133-19-39.6	130.8	6.0
05:14:01	35-34-58.4	133-19-45.6	130.7	5.9
05:15:01	35-34-54.6	133-19-51.2	131.8	6.0
05:15:30	35-34-52.3	133-19-54.1	130.4	6.0
05:16:01	35-34-50.7	133-19-56.1	134.4	4.5
05:16:15	35-34-50.2	133-19-56.4	156.7	2.3
05:16:30	35-34-49.8	133-19-56.5	161.6	1.7
05:17:02	35-34-49.3	133-19-56.3	203.1	1.1
05:18:00	35-34-48.7	133-19-55.8	175.8	1.7
05:19:00	35-34-47.6	133-19-53.5	311.8	3.8
05:20:00	35-34-50.4	133-19-51.3	293.8	2.9
05:21:01	35-34-50.9	133-19-48.6	276.8	2.1
05:22:01	35-34-51.3	133-19-46.2	293.9	1.8
05:23:00	35-34-52.4	133-19-43.6	303.0	3.0
05:25:00	35-34-51.5	133-19-41.6	235.5	1.2
05:30:14	35-34-56.9	133-19-30.6	063.2	0.1

## 2.1.2 僚船の乗組員等の口述による事故の経過

本事故が発生するまでの経過は、A船の船舶所有者である大福水産有限会社（以下「船主A」という。）、B船の漁労長（以下「漁労長B」という。）、船長及び甲板員2人、A船から最初にえい航の要請を受けた宝生丸（総トン数95トン、以下「C船」という。）の船長（以下「船長C」という。）及び甲板員並びに境港の水産仲買業者担当者（以下「水産仲買業者」という。）の口述によれば、次のとおりであった。

### (1) 出港から事故発生海域に至るまでの経過

#### ① A船

A船は、船長（以下「船長A」という。）ほか8人（日本国籍7人、インドネシア共和国籍1人）が乗り組み、平成28年12月8日18時00

分ごろ境港を出港し、ずわいがに漁を行う目的で、島根県浜田市沖の漁場に向かった。

水産仲買業者は、13日17時ごろ、船長Aから電話で、今夜、漁を終えて14日02時ごろに境港に入港予定であること、また、水揚げ予定の魚種及び漁獲量の連絡を受けた。

## ② B船

B船は、船長ほか7人（全員日本国籍）が乗り組み、14日02時30分ごろずわいがに漁を終え、境港に向けて航行中、漁労長Bが船長Cから主機が停止したA船をえい航してほしいとの要請を携帯電話で受けた。

漁労長Bは、レーダーでA船の位置を確認し、前方にいるA船に向かった。

B船は、03時00分ごろA船付近に到着し、漁労長Bが、A船の電源が喪失しており、無線交信ができなかったため、船長Aと携帯電話で連絡を取り、えい航索の接続作業をすることとした。

B船は、A船に40m付近まで接近したが、波が高くてそれ以上は近づくことができず、A船から引き網用灯標\*2にえい航索を結び付けて流させ、それをB船が受け取ることにした。

B船は、A船からの引き網用灯標を受け取って引き揚げたものの、途中でA船内のえい航索が絡まったようで、引き寄せることができなくなった。

漁労長Bは、A船とB船が風浪の影響により、陸岸に向けて流されていたので、B船からえい航索を出すことにした。

B船の甲板員は、A船がB船のえい航索を受け取ってA船のえい航索に繋げようとしたが時間を要しており、A船はえい航索の引揚げを人力で行っていると思った。

漁労長Bは、えい航索の接続作業中に、A船付近に到着した時には消灯していたA船の甲板上の照明が点灯したことを確認し、また、A船と無線交信が行えるようになったので、A船の発電機原動機（以下「発電機」という。）が復旧したと思った。

B船は、04時00分ごろ、えい航索の接続作業を完了し、境港へ向けてA船のえい航を開始した。

## ③ C船

C船は、船長ほか9人（日本国籍8人、インドネシア共和国籍1人）が

---

\*2 「引き網用灯標」とは、引き網を展開する際に、目印となるように最初に投入する明かりのついた灯標のことをいう。

乗り組み、13日20時ごろずわいがに漁を終え、境港に向けて航行していた。

C船の甲板員は、23時ごろ昇橋した際、レーダーで後方約1海里(M)にA船が航行しているのを確認した。

C船は、14日01時54分ごろ、船長Cが船長AからA船の主機が止まったのでえい航してほしい旨の連絡を船舶電話で受けたので、すぐに反転してA船の方向に向けて航行した。

船長Cは、しばらくして、A船の甲板上の照明が消えたのを確認し、A船の発電機も停止したものと思った。

船長Cは、A船の後方(西方)を航行しているであろうB船の方が位置的にA船に近く、また、荒天下であったのでより大きな船でえい航したほうがいいと思い、02時30分ごろに漁労長Bに連絡を取ってA船のえい航を要請し、C船をA船の方向に向けた。

C船は、A船から約1M離れたところでえい航索の接続作業を見ていたが、04時00分ごろえい航が開始されたのを確認した後、先に境港に向かった。

## (2) えい航中の経過

B船は、えい航索の接続作業中、陸岸に近づいていたので、船位をGPSプロッターに表示されているふだんの航跡上に合わせる目的で、陸岸から離れる針路を取った。

漁労長Bは、船長Aに対し、荒天下でえい航索が切断してしまうおそれがあり、また、陸岸が近いので不測の事態に備えてアンカーを準備するように伝えた。

漁労長Bは、操舵室右舷側の操舵スタンドの後方で主機負荷計を確認し、可変ピッチプロペラの翼角を調整しながら航行を続けた。

漁労長Bが船速計で速力を確認すると、えい航中のB船の速力は、ふだんの航行時より約5kn遅い約5～6knであった。

漁労長Bは、船尾方を映し出したカメラモニタでえい航索の様子を確認し、時折目視で右舷後方の窓からA船の様子を確認していた。

漁労長Bは、えい航中、A船が主に右舷側に見えており、A船が右舷側に振れ回っているように感じ、また、右舷側の窓からA船が見えない時に左舷側の窓からA船を確認し、A船が正船尾方向やや左舷側に位置していることを認めた。

(図2.1-1、図2.1-2 参照)

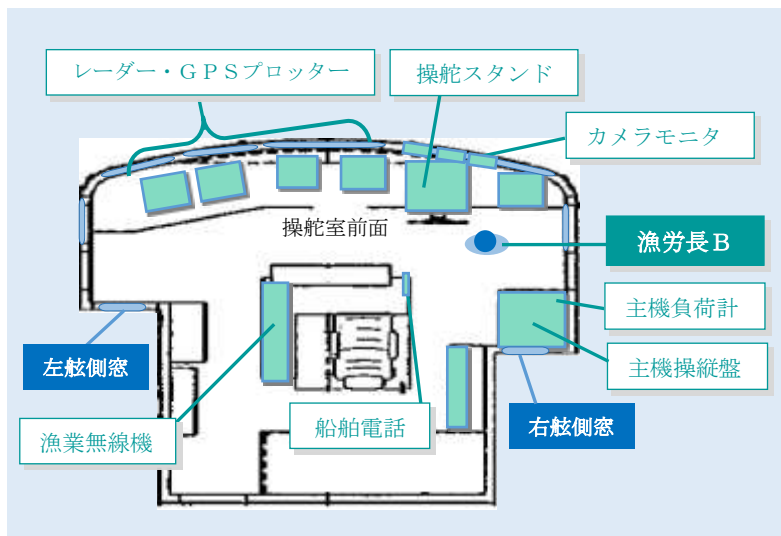


図 2. 1 - 1 B 船の操舵室配置

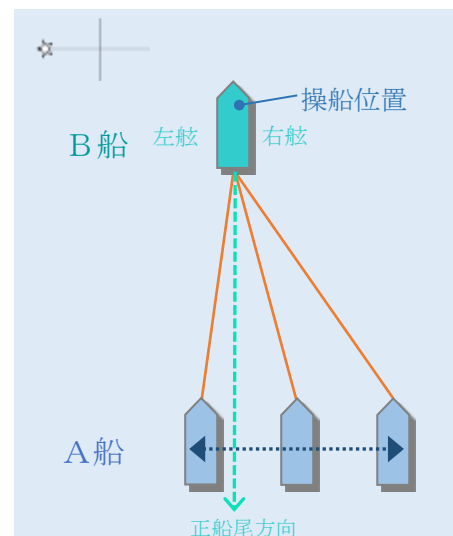


図 2. 1 - 2 漁労長 B の口述に基づくえい航中の様子

漁労長 B は、船長 A に無線で、主機が停止した原因を質問したところ、船長 A から、調べてみないと分からないが燃料油タンクのエア抜き管が損傷して燃料油タンクに海水が流入した可能性があり、以前にも同じことがあったとの回答を聞いた。

漁労長 B は、04 時 30 分ごろ、船位がふだんの航跡上になったことを確認し、針路を 100° に設定して航行を続けた。

船主 A は、05 時 00 分ごろ水産仲買業者に連絡したときに、A 船が海上で故障して入港が遅れると伝えられた。

漁労長 B は、05 時 00 分ごろ、美保関に近づいてきたので、揺れが大きくならないように小刻みに変針して境港の方に針路を向けることとした。

### (3) 転覆に至るまでの経過

船主 A は、05 時 10 分ごろ A 船に電話をした際、船長 A から、船の傾きで気持ちが悪く、傾きを戻す目的で甲板上の水槽の海水を抜く作業をしている旨を聞き、その後、船長 A から何か異常がある雰囲気電話を切られた。

漁労長 B は、05 時 13 分ごろ、船長 A から無線で、まだケツ押し（船尾から波を受ける状態）にならないのかとの連絡を受け、もう少しだと答え、1、2 分後、船長 A から無線で、船がとても傾いてきた、もうだめだと聞き、右舷側の窓から確認したが A 船は見えなかった。

その直後、漁労長 B が船長 A の（保安部と言いたかったのか）ほあんという言葉聞いたのを最後に、A 船との交信は途絶えた。

漁労長 B は、後方と左右を確認し、A 船が見えなかったため A 船が転覆したと思い、すぐに減速し、乗組員全員を招集して船尾に向かわせた。



本事故の発生日時は、平成28年12月14日05時15分ごろであり、発生場所は、美保関灯台から真方位018°1,700m付近であった。

(付図1 B船航行経路図、付図2 B船航行経路図(拡大図) 参照)

## 2.2 捜索及び救助に関する情報

### 2.2.1 B船及びC船による捜索活動

漁労長B、B船の甲板員2人、船長Cの口述によれば、次のとおりであった。

漁労長Bは、B船の乗組員に対して、沈没するおそれがあるA船にB船が巻き込まれないようにえい航索の切断を指示し、既に境港に入港していたC船に無線で海上保安庁に通報するように要請した。

B船は、旋回し、乗組員全員でA船を探すとともに、落水者が<sup>つか</sup>掴まれるように漁獲物を入れる発砲スチロールを海上に投げ入れた。

B船の乗組員は、A船が見えなくなってから約10～15分経過後、船底を上にして浮いているA船を発見し、A船の近くに展開した状態の膨脹式救命いかだを確認した。

B船は、A船付近を周回して落水者を探すとともに、可能な限り救命いかだに近づき、A船の乗組員の名前を大声で叫ぶなどして呼び掛けたが、応答がなかった。

漁労長Bは、救命いかだには誰も乗っていないと判断し、付近の海上を捜索していたところ、カッパを着用してうつ伏せ状態で浮いている落水者を見出し、引き揚げようとしたものの、波が高く、また、落水者が陸岸方向に流される状態であったので、それ以上B船を陸岸に接近させることができなくなり、来援した海上保安庁のヘリコプタに落水者の位置を指差して伝えた。

C船は、05時10分ごろ境港に入港し、水揚げの準備をしていたが、A船が大きく傾いてきたとの無線交信を傍受して水産仲買業者に海上保安庁への連絡を要請した後、A船が転覆したであろう美保関付近に向かい、A船の乗組員の捜索に当たった。

### 2.2.2 海上保安庁等による捜索活動

海上保安庁及び鳥取県の情報によれば、次のとおりであった。

海上保安庁は、本事故発生当日の05時20分ごろ、漁協関係者からの118番通報を受け、12月19日までの間、巡視船艇延べ42隻、航空機延べ14機、特殊救難隊及び機動救難士を出動させ、水産庁の漁業取締船1隻、鳥取県の漁業取締船1隻、境港警察署警備艇1隻、鳥取県警のヘリコプタ1機、島根県の防災ヘリコプタ1機並びにA船の僚船を含む漁船約20隻が加わって捜索を行った。

水産庁の漁業取締船及び鳥取県の漁業取締船等による捜索は、12月21日まで

続けられた。

## 2.3 人の死亡及び行方不明に関する情報

海上保安庁の回答書によれば、付近の海上から海上保安庁のヘリコプタによって、甲板員1人（以下「甲板員A<sub>1</sub>」という。）が、また、沈没したA船から海上保安庁の特殊救難隊等によって、船長A、機関長（以下「機関長A」という。）及び機関員1人（以下「機関員A<sub>1</sub>」という。）が救助された後、いずれも溺水による窒息死が医師によって確認され、甲板員4人（以下「甲板員A<sub>2</sub>」、「甲板員A<sub>3</sub>」、「甲板員A<sub>4</sub>」及び「甲板員A<sub>5</sub>」という。）及び機関員1人（以下「機関員A<sub>2</sub>」という。）は行方不明となった。（表2.3参照）

表2.3 死亡者及び行方不明者の状況

	職名	発見場所	発見日時	救命胴衣の着用
死亡者	甲板員A <sub>1</sub>	海上	12月14日10時24分ごろ	不着用
	機関長A	A船の甲板室 (上甲板左舷側)	12月15日12時50分ごろ	不着用
	船長A	A船の操舵室	12月15日15時15分ごろ	不着用
	機関員A <sub>1</sub>	A船の機関室	12月18日10時22分ごろ	不着用
行方不明者	甲板員A <sub>2</sub>	行方不明の甲板員A <sub>2</sub> 、甲板員A <sub>3</sub> 、甲板員A <sub>4</sub> 、甲板員A <sub>5</sub> 及び機関員A <sub>2</sub> (以下「行方不明となっている乗組員5人」という。)は、発見されず		
	甲板員A <sub>3</sub>			
	甲板員A <sub>4</sub>			
	甲板員A <sub>5</sub>			
	機関員A <sub>2</sub>			

## 2.4 えい航に関する情報

### 2.4.1 B船乗組員が撮影した動画

B船の一等機関士（以下「一機士B」という。）が、14日04時27分ごろ、B船の上甲板中央部付近から携帯電話で撮影した被えい航中のA船の様子は、写真2.4のとおりであった。

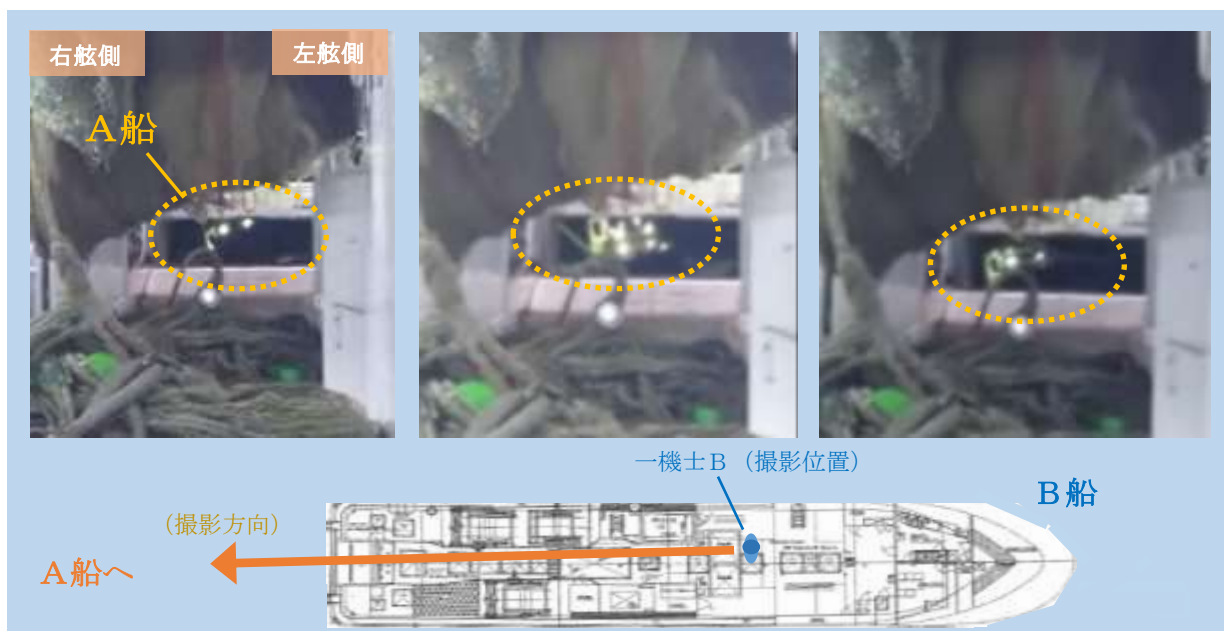


写真2.4 B船から見たA船の様子（14日04時27分ごろ）

一機士Bの口述によれば、一機士Bは、A船が、時折波に乗って大きく右傾斜し、また、B船に比べて船体が小さい分、横揺れが大きいように感じた。

#### 2.4.2 えい航索等

A船の元船長、A船の元機関長、漁労長B、B船の甲板員2人及びロープ製造会社担当者の口述によれば、次のとおりであった。

##### (1) A船

過去にA船がえい航された際には、船首部の甲板にあるボラード<sup>\*3</sup>又はウインドラス<sup>\*4</sup>の支柱にえい航索を取り付け、正船首のやや右舷側とやや左舷側にある2か所のオープンチョック<sup>\*5</sup>からえい航索を繰り出していた。

##### (2) B船

B船は、本事故当時、船尾甲板両舷にあるロープリールから、それぞれ引き網ロープを約30m繰り出し、同ロープの先端部にシャックル<sup>\*6</sup>を接続し、直径45mmのえい航索を取り付けていた。

また、引き網ロープのロープリールの根元側には、張力によってロープ

\*3 「ボラード」とは、ロープを止め、結び付け又は操作するための1本又は2本のビット（柱）で構成され、甲板に固着された静止構造物をいう。

\*4 「ウインドラス」とは、錨を揚げ降ろしするために甲板上に設けられた機械をいう。

\*5 「オープンチョック」とは、係留用のロープを導くため、甲板上舷側に取り付ける上部の開いた金具をいう。

\*6 「シャックル」とは、チェーン、ワイヤロープ等を連結する金具をいう。

リールが回転するのを防ぐ目的で船体舷側部に設置されているシャックルにそれぞれ引き網ロープの接続部がワイヤロープで繋がれていた。

B船は、船倉にえい航用のロープ（長さ約200m）を積んでいたが、取出し作業に約30分かかり、A船が陸岸に向けて流されている状況下で時間的な余裕もなかったため、甲板上にあった長さ約100mの係船用のロープ（材質 ポリオレフィン）を使用した。

えい航中のA船とB船の操舵室との距離は、目測で約100～150mであった。

(図2.4 参照)

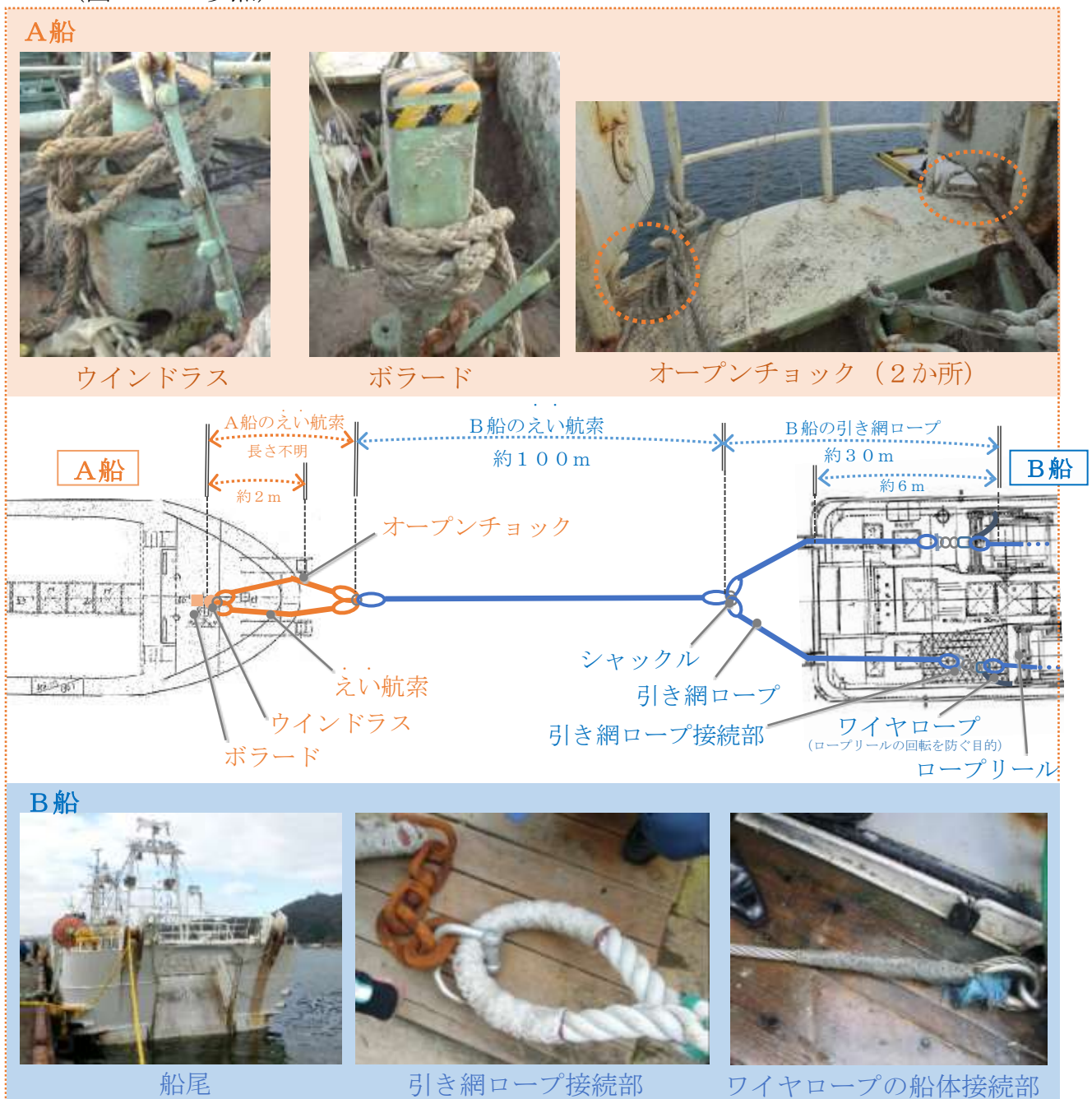


図2.4 えい航索取付け状況

B船の甲板員は、本事故時に漁労長Bの指示によりえい航索を切断するとき、引き網ロープ接続部に取り付けてあった底引金具を外してえい航索を海中に投下した。

B船の甲板員は、えい航索は張っておらず、手で手繰り寄せることで底引金具を外すことができた。

#### 2.4.3 文献による情報

文献1\*7、文献2\*8及び文献3\*9によれば、次のとおりである。

##### (1) えい航索の長さ

文献1	文献2
<ul style="list-style-type: none"> <li>えい航索の長さはえい航船の全長と被えい航船の全長の2～3倍を目安とする。(通常は1.5～2倍で洋上えい航時は3倍前後)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>普通、船舶を曳く場合のえい航索の長さは、えい航船の長さ<sup>1)</sup>と被えい航船の長さを2つ合わせて2等分した長さ、その3倍半が適当な長さであるとされているが、外洋に出た場合には、5倍から7倍の長さを使用している。</li> <li>波浪ある海面においても、えい航索の全部が水面に露出しないように伸出することが肝要である。</li> </ul>

##### (2) えい航作業時の注意事項

文献1	文献3
<ul style="list-style-type: none"> <li>変針は小刻みに行い、20°以上の大角度変針は行わない。</li> <li>えい航速力の増減は徐々に行う、大幅な増減速は行わない。</li> <li>被えい航船側で操舵可能な場合はえい航船の転舵点に至って変針して常にえい航船の航跡を追従するように努める。</li> <li>海上模様等に注意して、必要に応じてえい航索の短縮、減速、針路変更の措置を講ずること。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>えい航作業時の復原性については、通常船舶のごとく気象、海象による外力だけにとどまらず、えい航索による横方向からの張力が大きく影響するので注意しなければならない。</li> </ul>

#### 2.4.4 乗組員による情報

田後漁業協同組合（以下「A漁協」という。）に所属している僚船の乗組員の口述によれば、これまでのえい航の経験等は、次のとおりであった。

	えい航の経験	えい航索の長さ等
漁労長B	2年間で1回程度あるが、荒天下での経験はない	100～200mぐらいであった
僚船の乗組員①	20年間で3回程度、荒天下でえい航されたことがあるが、横波ではなかった	その時の状況による 通常はえい航される船からえい航索を出していた

\*7 文献1：「海難救助作業マニュアル」（日本水難共済会著、平成14年9月発行）

\*8 文献2：「船舶曳航実務」（三橋甲子著、株式会社成山堂書店、昭和62年1月発行）

\*9 文献3：「引船の基本設計指針」（社団法人日本作業船協会著、昭和60年3月発行）

僚船の乗組員②	3年間で1回程度あった	100～200mぐらいであった
僚船の乗組員③	30年間で12回経験があるが、ほとんどがプロペラに網を巻いて機関が停止したものであった	200m以上だった 通常はえい航される船からえい航索を出していた

## 2.5 船舶の損傷等に関する情報

A船を引き揚げたサルベージ会社担当者の口述によれば、沈没したA船は、平成29年5月4日に海底から引き揚げられたのちに解撤された。

## 2.6 乗組員に関する情報

### (1) 性別、年齢及び海技免状

#### ① 船長A 男性 53歳

六級海技士（航海）

免許年月日 平成26年7月15日

免状交付年月日 平成26年7月15日

免状有効期間満了日 平成31年7月14日

#### ② 漁労長B 男性 51歳

五級海技士（機関）

免許年月日 平成8年8月26日

免状交付年月日 平成28年7月5日

免状有効期間満了日 平成33年8月25日

### (2) 主な乗船履歴等

船主A、漁労長B、A船の元船長及びA漁協担当者の口述によれば、次のとおりであった。

#### ① 船長A

昭和61年のA船就航時から甲板員として乗船し、機関長を経て平成23年ごろから船長職についていた。A船の乗船経験は約30年間あった。

#### ② 漁労長B

約20年前から、沖合底引き網漁船に乗船し、平成18年ごろに漁労長となり、B船が就航した平成23年10月以降も引き続き漁労長として乗船していた。

B船では、ふだんから操船指揮は漁労長Bが行っていた。

本事故当時の健康状態は良好であった。

## 2.7 船舶等に関する情報

### 2.7.1 船舶の主要目

#### (1) A船

漁船登録番号	TT2-1506
主たる根拠地	鳥取県岩美郡岩美町
船舶所有者	船主A
総トン数	76トン
L×B×D	34.05m×5.80m×2.30m
船質	鋼
機関	ディーゼル機関1基
出力	661kW
推進器	3翼固定ピッチプロペラ1個
最大搭載人員	船員9人、その他の乗船者2人計11人
進水年月	昭和61年6月

(写真2.7-1 参照)



写真2.7-1 A船

#### (2) B船

漁船登録番号	TT1-185
主たる根拠地	鳥取県岩美郡岩美町
船舶所有者	A漁協
総トン数	117トン
L×B×D	37.70m×6.25m×2.58m
船質	鋼
機関	ディーゼル機関1基

出力 956kW  
 推進器 4翼可変ピッチプロペラ1個  
 進水年月 平成23年9月  
 (写真2.7-2 参照)



写真2.7-2 B船

## 2.7.2 A船の構造等

### (1) 構造

一般配置図によれば、A船は、船首楼付平甲板型の沖合底引き網漁船で、船首側から順に甲板倉庫、船首デリック、甲板室、漁労設備であるロープリール3台、船尾デリックがあり、船首部に1番から4番までの魚倉、甲板室の上には操舵室、下には機関室、船尾デリックの下には船員室が配置されていた。(図2.7-1 参照)

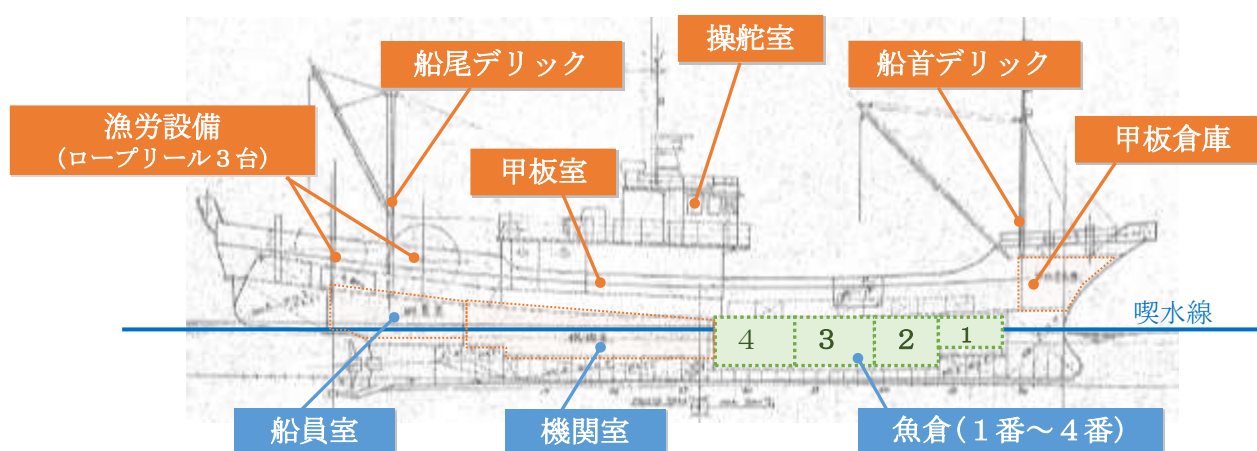


図2.7-1 A船の構造



(2) 操舵室内配置

操舵室前面の中央に操舵スタンドを配し、その右舷側にGPSプロッター、魚群探知機、レーダー及び主機操縦盤が配置され、左舷側にレーダー、GPSプロッター及び主機操縦盤が、後面に漁業無線機、時計、配電盤及び船舶電話がそれぞれ配置されていた。(図2.7-2参照)

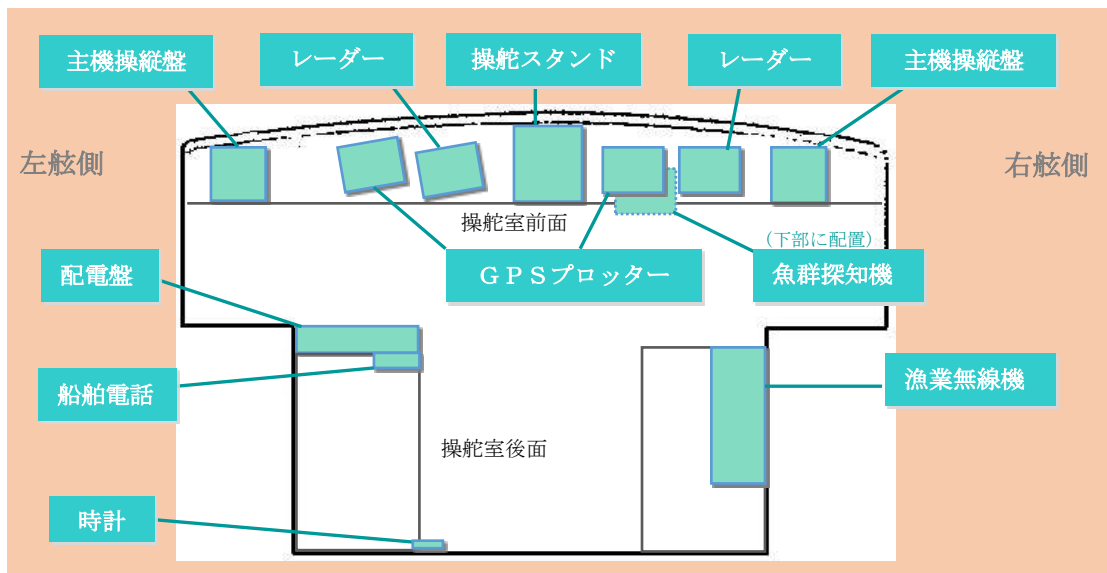


図2.7-2 A船の操舵室配置

(3) 機関室内配置

機関室には、中央部に主機、右舷側には船首から順に、発電機が3台（1号補機、2号補機及び停泊用補機）、燃料油サービスタンクが、左舷側には船首から順に、補機類制御盤、船速制御装置用機器盤及び空気槽がそれぞれ配置されていた。(図2.7-3参照)

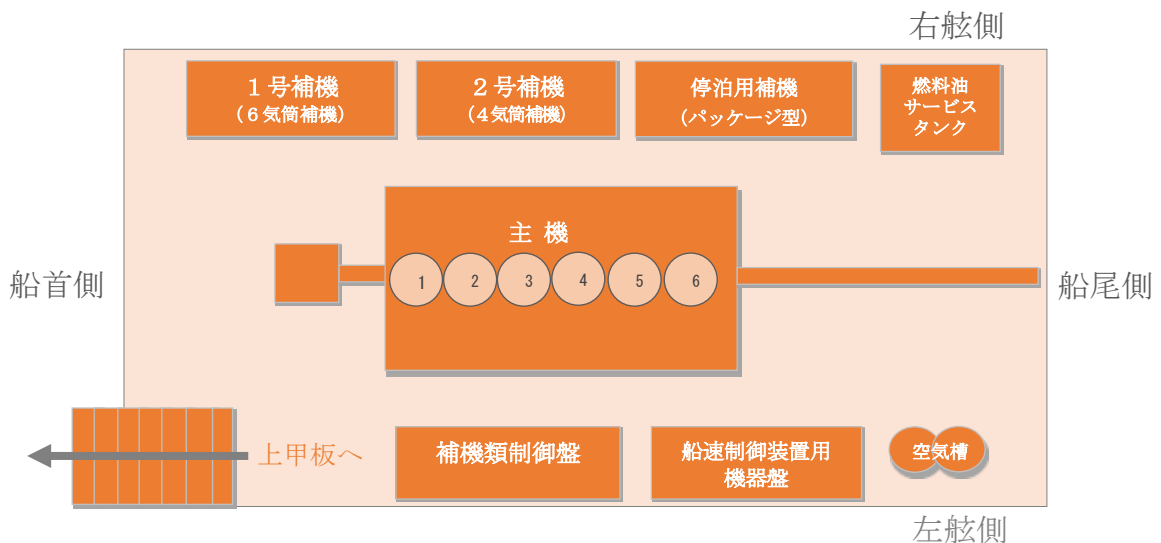


図2.7-3 A船の機関室配置図

### 2.7.3 本事故当時の状態

#### (1) 構造物等

船主A、A船の元船長、A漁協担当者、A船を修繕した経験のある造船所担当者及びA船の工事を施工した鉄工所担当者の口述並びに平成24年4月1日と平成28年1月7日に撮影された写真によれば、一般配置図と相違する箇所は、次のとおりであった。(写真2.7-4参照)

	項目	変更内容	場所	推定重量 (t)	施行時期
①	レーダー1台	追加	操舵室頂部	0.10	平成5年9月
②	救命いかだ	撤去	甲板室頂部	(0.16)	不明
③	救命いかだ	追加	操舵室頂部	0.16	不明
④	ブルワーク	嵩 <sup>かさ</sup> 上げ	船側部中央	0.42	昭和63年ごろ
⑤	揚網機A	追加	操舵室後部	1.67	昭和63年ごろ
⑥	揚網機B	追加	船尾甲板	1.67	平成5年9月
⑦	門型マスト	追加	船尾甲板	2.80	平成5年9月
⑧	船尾デリック	短縮	船尾甲板	(0.06)	平成5年9月

( )は撤去等に伴う、減算重量

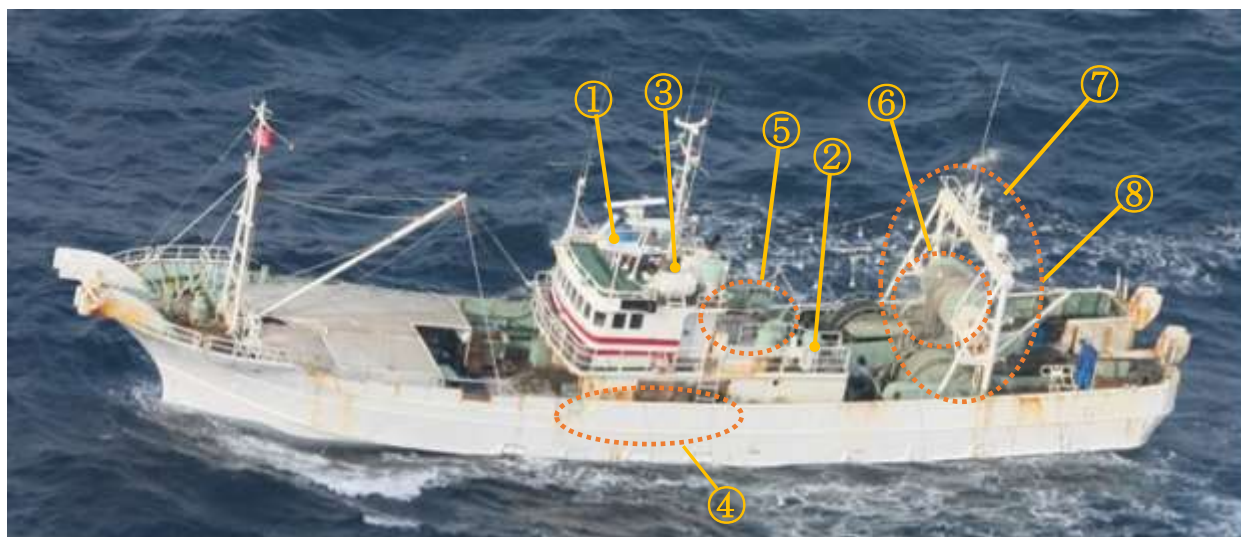


写真2.7-4 一般配置図にない構造物等

船舶検査手帳の検査の記録には、前記構造物等の追加等に関する記事はなく、船主Aも記録を備えていなかった。

#### (2) タンク等

A船の元船長、A船の元機関長、機関整備業者担当者及び補油業者担当者の口述並びにA船の容積図によれば、A船は、6個の燃料油タンク、2個の

潤滑油タンク、2個の清水タンク及び2個の船底タンクを備えており、ふだんは1番及び2番燃料油タンクを使用し、航海が長くなる時や船体の横傾斜を修正したい場合のみ3番燃料油タンクを使用していた。

A船の元船長及び補油業者担当者の口述によれば、4番燃料油タンクは、使用すると船尾トリム\*10になることから、ふだんから使用せず空の状態であった。

### (3) 燃料油系統

燃料油は、機関室前部にある燃料油タンク切替バルブで6個のタンクからの燃料油を手動で切り替えることができ、燃料油サービスタンクを介して、主機と発電機にそれぞれ供給されていた。

(図2.7-4 参照)

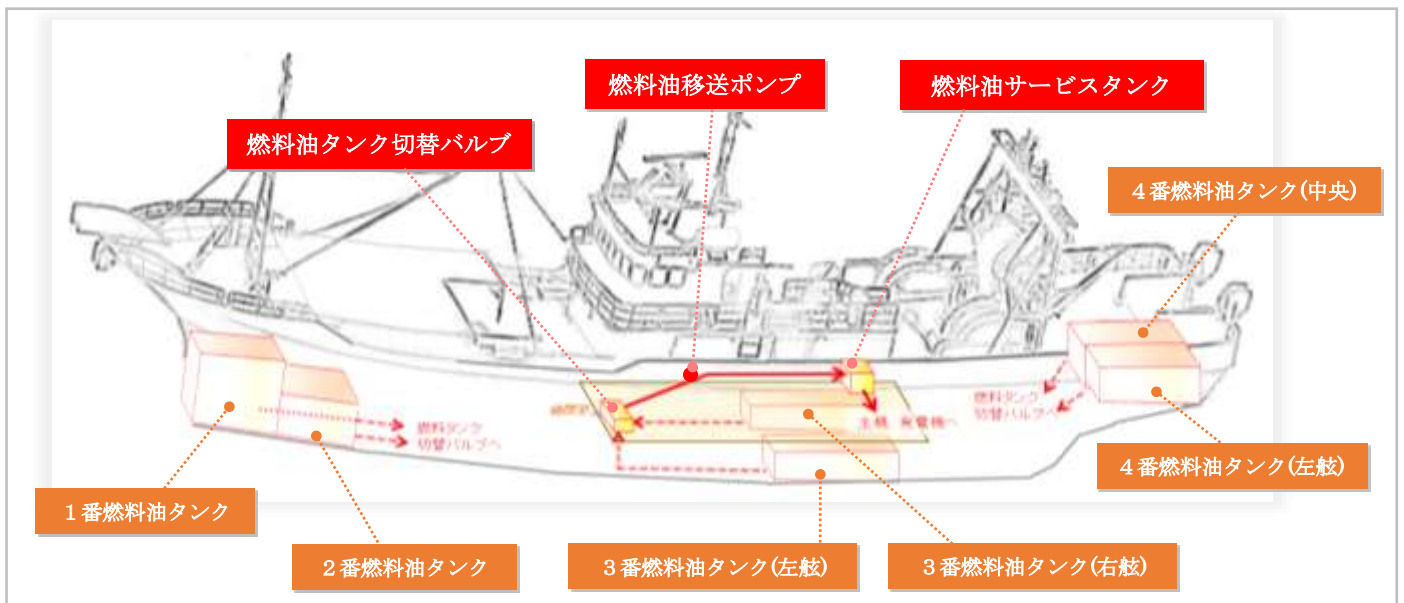


図2.7-4 燃料油系統図 概略

A船の元船長の口述によれば、燃料油サービスタンクは、油量が減少し、設定した油量になれば、センサが感知し、警報が鳴る構造になっていたが、センサの故障で警報が鳴らず、燃料切れで主機等が停止したことがあった。

燃料切れを起こすと、初めに主機が停止し、しばらくして発電機も停止することがあった。

### (4) 漁労設備及び漁具

現場調査並びに漁具製造会社担当者及びロープ製造会社担当者の口述によ

\*10 「船尾トリム」とは、静止状態で船尾喫水が船首喫水より大きい状態をいい、その大きさは船尾と船首の喫水の差で表す。

れば、A船は、操舵室後方及び門型マストの2か所の揚網機にずわいがに漁用の漁網をそれぞれ備え、船尾甲板のロープリール2か所に引き網用ロープをそれぞれ備え、また、操舵室の頂部及び船尾甲板に引き網用灯標がそれぞれ1個ずつ、4番魚倉の上部に予備の網が設置されていた。(表2.7-1参照)

表2.7-1 漁具の重量等

項目	設置場所	個数	推定重量 (t)
ずわいがに漁用の漁網	操舵室後方、門型マスト	2	2.0 (1.7)
引き網用ロープ	船尾甲板のロープリール	2	10.5 (8.8)
引き網用灯標	操舵室の頂部、船尾甲板	2	0.1
予備の網	4番魚倉の上部	1	0.9 (0.8)

( ) は乾燥重量

(5) 活がに用の水槽

船主A及びA漁協担当者の口述によれば、次のとおりであった。

A船は、活がにの流通増加に伴い、約10～15年前からずわいがにを生きた状態で水揚げすることができるポリエチレン等の材質でできた容量1,000～1,700ℓの水槽を上甲板船首部に7個及び4番魚倉の中に2個備えており、ロープ等で船体に固定されていた。

水槽は、漁場から帰港するときは、海水で上部まで満たされ蓋をした状態となっており、また、A船は、水槽に低温の海水を供給する目的で、上甲板左舷船首部に冷海水製造装置を備えていた。

(表2.7-2 参照)

表2.7-2 水槽等の設置状況

項目	個数	推定重量 (t) (海水及び漁獲物の重量を含む)
水槽 (甲板上)	7	12.4
水槽 (魚倉内)	2	4.1
冷海水製造装置	1	0.2

A漁協担当者の口述によれば、水槽及び冷海水製造装置はずわいがに漁期(毎年11月6日から3月20日まで)に使用されていた。(写真2.7-5参照)

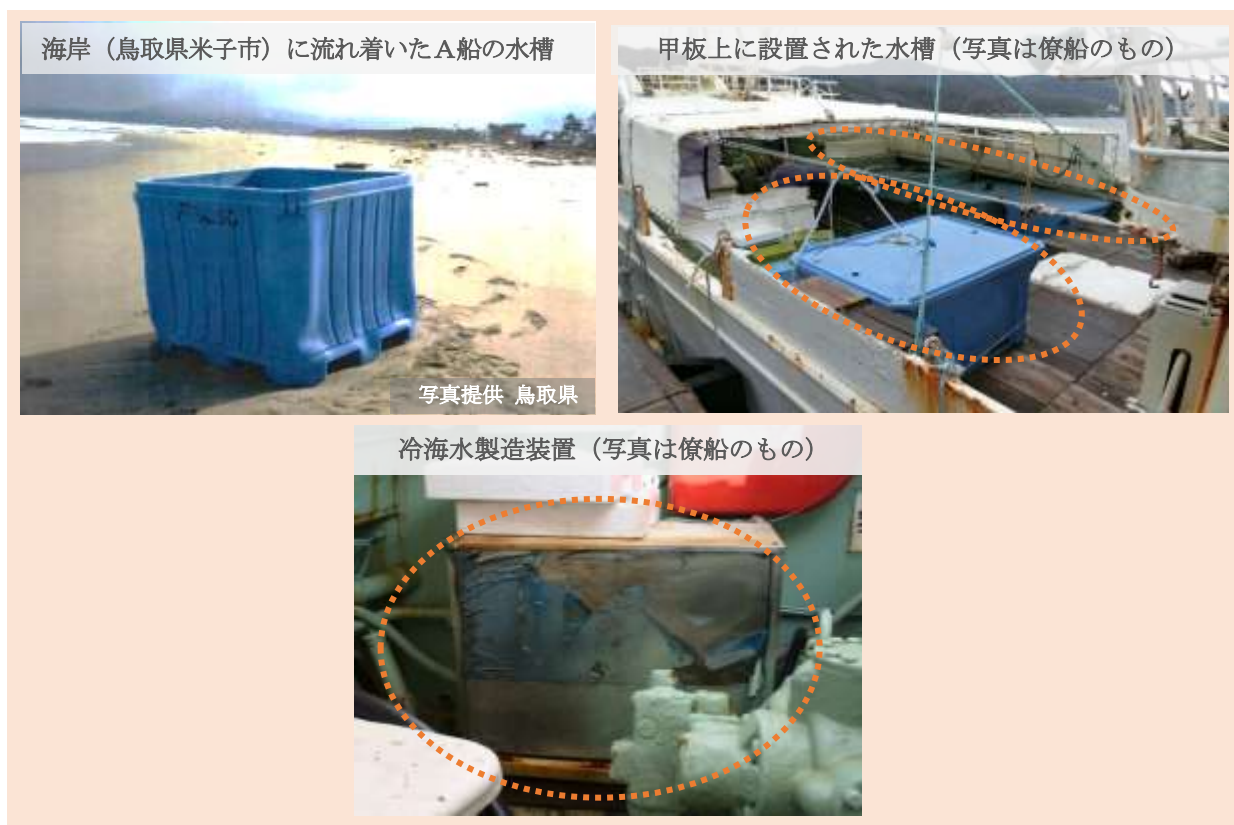


写真 2.7-5 水槽及び冷海水製造装置

(6) 漁獲物

水産仲買業者の回答書によれば、水産仲買業者は、12月13日17時ごろ、船長Aから、表2.7-3のとおりの水揚げ予定の漁獲物等の連絡を受けた。

A船の元船長及びA漁協担当者の口述によれば、ずわいがには漁獲後、水槽で生かした状態で保管し、雄のずわいがにはそのまま生かした状態で水揚げされ、雌のずわいがには入港直前に氷を張った発砲スチロールに入れ（以下「パック詰め」という。）、その他の漁獲物は漁獲後すぐ魚種別にパック詰めされ、魚倉に格納されていた。（図2.7-5参照）

表 2.7-3 積載されていた漁獲物

魚種	数量	推定重量(kg)	格納場所
ずわいがに雄	900～1,000枚	380	水槽
ずわいがに雌	450パック	2,250	水槽
赤がれい	85パック	425	第2及び第3魚倉
べら	90パック	450	第2及び第3魚倉
ばい（巻貝の一種）	35パック	175	第2及び第3魚倉
たら	40パック	320	第2及び第3魚倉

ばばあ (なまずの一種)	50パック	250	第2及び第3魚倉
にしん	4パック	20	第2及び第3魚倉

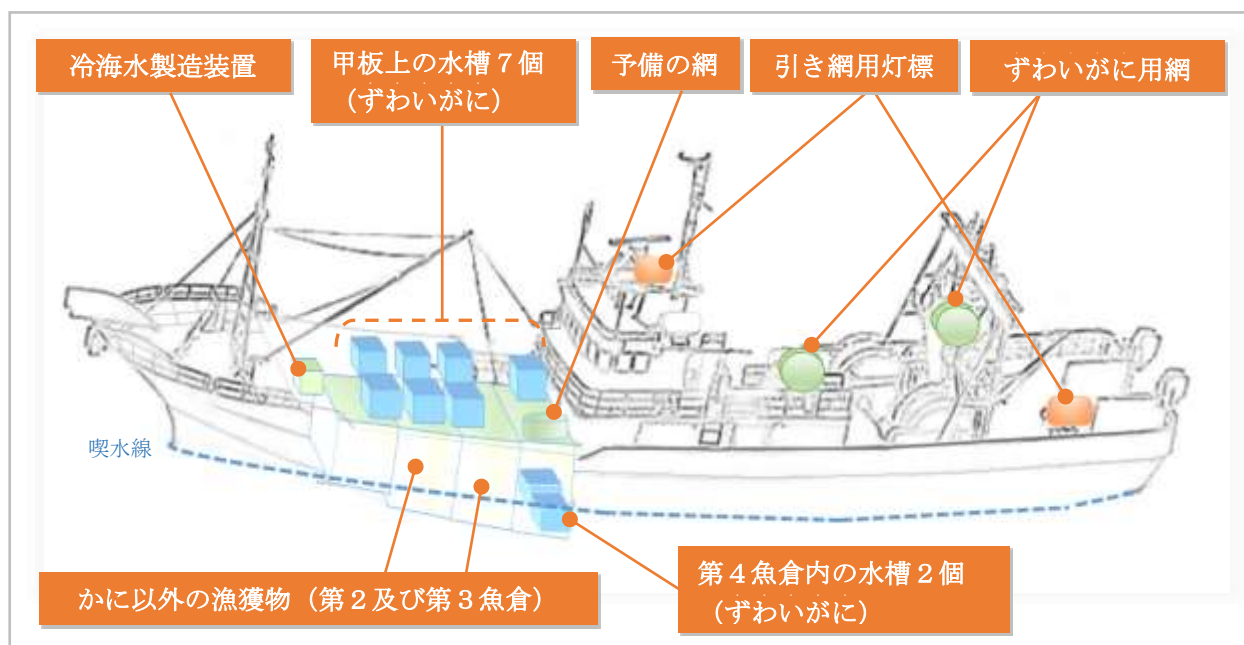


図 2.7-5 漁獲物及び漁具等の配置

#### 2.7.4 A船の沈没状況及び引き揚げ後の状況

##### (1) 沈没状況

海上保安庁及びサルベージ会社の回答書によれば、次のとおりであった。

沈没場所	美保関灯台から真方位333° 1,800m付近
水深及び底質	約40m、砂
船体の姿勢	右舷側を上にして、海底に横倒し (写真2.7-6～写真2.7-8参照)
その他	甲板室 (操舵室下) 左舷側の船首及び船尾側の扉2か所が開放されていた 揚網機2台から漁網が繰り出されており、漁網が船体上部を漂っていた (写真2.7-9参照)

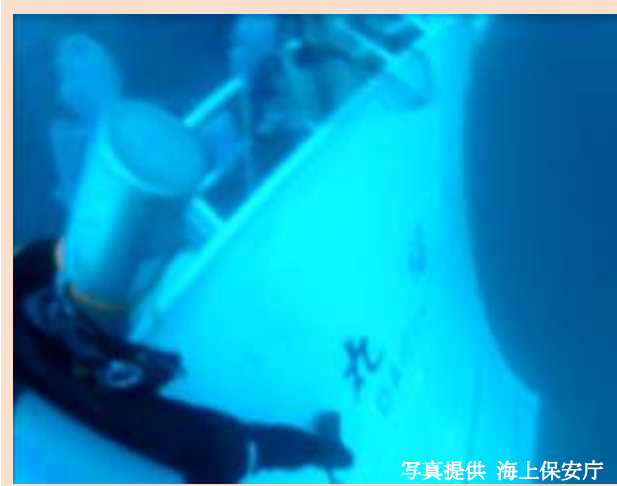


写真 2.7-6 右舷船首部

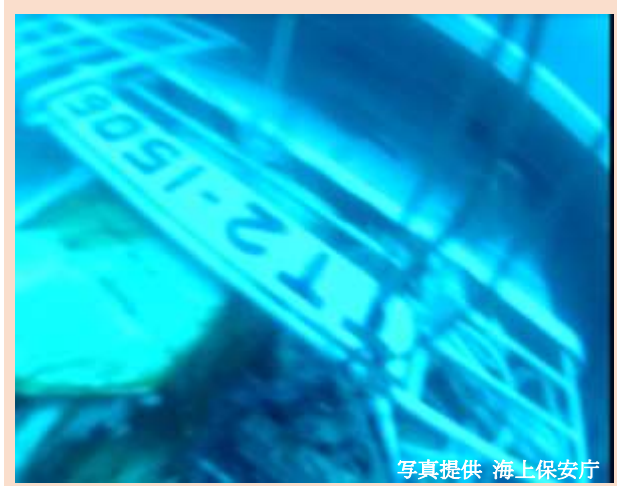


写真 2.7-7 右舷甲板室

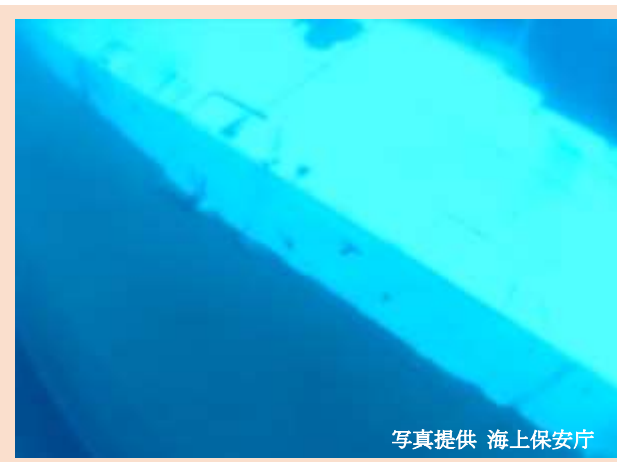


写真 2.7-8 右舷外板

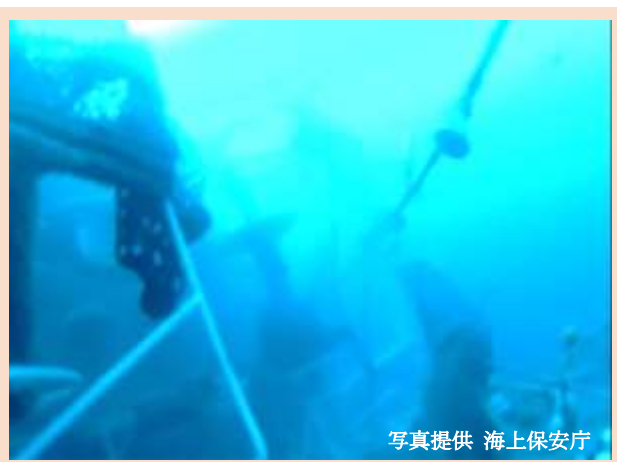


写真 2.7-9 船尾甲板

(2) 引き揚げ後の状況

現場調査及びサルベージ会社の回答書によれば、引揚げ後の船体等の状況は、次のとおりであった。

① 船体

箇所	状態
船体（喫水線上）	曲損（左舷側）、外板に破口なし
操舵室	一部が圧壊
船首マスト	曲損
レーダーマスト及び船尾門型クレーン	一部が脱落

（写真 2.7-10 参照）

サルベージ会社担当者の口述によれば、喫水線下に損傷は確認されなかった。



写真 2.7-10 引き揚げられたA船

② 船内の時計

場所	時刻
操舵室	05時21分13秒で停止

③ 操舵室配電盤等

場所	状態
航海灯	切
漁業灯	切
回転灯	入
外灯	入
甲板照明	入

場所	状態
操舵機	入
操舵モード	手動
舵板	右舵 約20°

場所	状態
第1魚倉照明	切
第2魚倉照明	切
第3魚倉照明	切
第4魚倉照明	入

④ 機関室

箇所	状態
1号補機配電盤	切
2号補機配電盤	入
燃料油タンク切替バルブ	3番燃料油タンク（左舷）のみ開放



- ⑤ 主機及び発電機の燃料供給ポンプ入口管から、燃料油を採取し、水分成分及び塩素濃度を民間の燃料油分析会社に依頼して測定した結果、次のとおりであった。

採取場所	水分成分	塩素濃度	採取場所	水分成分	塩素濃度
主機No. 1 シリンダ	0.65%	—	1号補機	0.01%	0.0002%
主機No. 2 シリンダ	0.04%	0.0008%	2号補機	0.06%	0.0004%
主機No. 3 シリンダ	0.07%	—			
主機No. 4 シリンダ	0.08%	—			
主機No. 5 シリンダ	1.08%	0.0005%			
主機No. 6 シリンダ	0.04%	—			

また、主機製造会社担当者の口述によれば、燃料油中に1%程度の水分が混入しても、主機が停止に至ることはないとのことであった。

- ⑥ 燃料油タンクエア抜き管

名称	設置場所	損傷状況
1番燃料油タンク	船首楼甲板	損傷なし
2番燃料油タンク	上甲板	損傷なし
3番燃料油タンク(右舷)	操舵室右舷側	損傷なし
3番燃料油タンク(左舷)	操舵室左舷側	損傷なし(引揚げ作業時に脱落)
4番燃料油タンク(左舷)	船尾甲板	損傷なし
4番燃料油タンク(中央)	船尾甲板	損傷なし

(写真2.7-11 参照)



写真2.7-11 燃料油タンクエア抜き管

- ⑦ えい航索

船首のウインドラスの下部に巻き付けられていたアンカーチェーンにシャックルで直径40mmのポリオレフィンを主材料としたロープが2本取り付けられており、それぞれ根元から約3.5m、約2.5mのところ切断していた。(写真2.7-12参照)



写真 2.7-12 A船のえい航索

ロープ製造会社担当者の口述によれば、切断面は、摩擦と引っ張りによって生じた形状になっていた。

なお、ロープ製造会社の過去15年間の納入実績によれば、平成28年8月に長さ25mの切断していたロープと同じ仕様のロープ1本をA船に納入した記録があり、A船船首部には、同ロープと同じ太さ及び材質のロープが約10m保管されていた。

### 2.7.5 動揺試験

引き揚げられたA船を用いて動揺試験を実施した結果、A船の横揺れ周期は、次のとおりであった。

なお、計測時の喫水は船首約1.15m、船尾約3.02mであり、平均とは横揺れ3周期分の計測を2名の調査官が3回行って、その1周期分の時間(秒)を平均したものである。

1回目	2回目	3回目	平均
7.56秒	7.44秒	7.74秒	7.58秒

※動揺試験時には、本事故当時の状態から取り外されていた、又は、積載されていた機器等がある。

## 2.8 気象及び海象に関する情報

### 2.8.1 気象及び海象観測値

(1) 本事故現場の南方約1.7kmに位置する美保関灯台における観測値は、次のとおりであった。

04時55分 風向 北北東、風速 14m/s

05時25分 風向 北北東、風速 16m/s

- (2) 国土交通省港湾局全国港湾海洋波浪情報網（ナウファス）によれば、本事故現場の東方約43Mに位置する鳥取港沖における波浪観測値は、次のとおりであった。

05時00分 有義波<sup>\*11</sup>（波高3.9m、波周期6.8秒）、波向 北北東

05時20分 有義波（波高4.0m、波周期6.6秒）、波向 北北西

### 2.8.2 乗組員の観測

漁労長B及び船長Cの口述によれば、次のとおりであった。

- (1) 漁労長B

天気 雨、風向 北北東、風速 約16m/s、波高 約4m、視程 約5km

- (2) 船長C

天気 雨、風向 北～北北東、風速 約18m/s、波高 約3～4m

### 2.8.3 海上警報の発表状況等

気象庁の情報によれば、本事故当時、本州の東方海上を低気圧が急速に発達しながら通過し、松江地区には13日10時～14日16時の間、波浪注意報（発表基準 有義波高<sup>\*12</sup>3.0m）及び13日16時～16日18時の間、強風注意報（発表基準 海上15m/s）が発表されており、また、14日05時30分～15日03時00分の間、山陰沖東部及び若狭湾付近海域には、海上強風警報が発表されていた。

なお、本事故時は、波浪注意報及び強風注意報が発表されていた。

### 2.8.4 海水温度

海上保安庁の情報によれば、14日の本事故現場付近の水温は17.5℃であった。

なお、文献<sup>\*13</sup>によれば、通常衣服着用時、海水温度17.5℃での水中における生存可能時間は、個人差があるが、12時間以下である。

---

\*11 「有義波」とは、ある地点の波を連続して観測したとき、波高の高い方から順に全体の1/3の個数の波を選び、これらの波高及び周期を平均したものをいう。

\*12 「有義波高」とは、ある地点の波を連続して観測したとき、波高の高い方から順に全体の1/3の個数の波を選び、これらの波高を平均したものをいい、目視観測による値に近いことが知られている。実際の海面には有義波高よりも高い波や低い波が存在し、統計学的には、100個の波を観測した時の最も高い波は、有義波高の約1.6倍になり、同様に、1000個の波を観測した場合の最大波高は、有義波高の2倍近い値と見積もられる。

\*13 「訓練手引書（SOLAS TRAINING MANUAL）」（国土交通省海事局運航労務課監修、平成27年8月船員災害防止協会発行第27版）

## 2.9 波浪状況に関する解析調査

事故発生海域付近の波浪状況に関する調査を株式会社エコーに委託した結果、次のとおりであった。

### 2.9.1 有義波高

本事故現場付近（美保関沖）は、隠岐諸島が北北東の風による波を遮蔽する領域から外れており、美保関からの反射波に加え、沖ノ御前島とその周辺の浅水域の影響により、波高が周辺海域（約3.3m）と比較して高く（約3.6m）なっていた。

（付図3 波高の状況 参照）

### 2.9.2 有義波周期\*14

本事故現場付近は、前記2.9.1と同じ影響により、波の周期が周辺海域（約7.1秒）と比較して長く（約7.5秒）なっていた。

（付図4 周期の状況 参照）

### 2.9.3 波向等

本事故現場付近は、沖側から北北東（隠岐諸島の地形による屈折効果）及び北東（強風による吹送流）の波と沿岸側から西南西（美保関からの反射波）の波が重なり、計3方向からの波の合成波が発生していた。

（付図5 波向の状況 参照）

### 2.9.4 えい航経路上における波浪及び相対風

(1) B船のえい航経路上の位置における波浪推算結果は、次のとおりであった。

時刻	04時20分	04時40分	05時00分	05時20分
波高(m)	3.4	3.4	3.5	3.6
周期(秒)	7.2	7.2	7.4	7.4
波向(°)	32.0	30.0	32.1	25.6

(2) B船のえい航経路上の位置における相対風推算結果は、次のとおりであった。

時刻	04時20分	04時40分	05時00分	05時20分
風向(°)	25.4	25.0	25.2	27.5
風速(m/s)	11.9	11.8	11.7	11.4
相対風向(°)	51.6	67.2	63.7	82.8

\*14 「有義波周期」とは、ある地点の波を連続して観測したとき、波高の高い方から順に全体の1/3の個数の波を選び、これらの周期を平均したものをいい、目視観測による値に近いことが知られている。

相対風速 (m/s)	1 3 . 4	1 2 . 6	1 2 . 7	1 1 . 4
------------	---------	---------	---------	---------

※相対風向及び相対風速は、B船のGPSプロッター記録から国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所によって算出されたものである。

### (3) 波浪推算（推算結果の検証を含む）に用いたデータ及び推算モデル

#### ① データ

- a 波浪観測データ（全国港湾海洋波浪情報網（ナウファス））
- b 水深地形データ（海上保安庁刊行の海図等）
- c 海上風データ（局地数値予想モデル（LFM））

#### ② 推算モデル

波浪推算では以下に示す2つの第Ⅲ世代波浪推算モデルを用いた。

##### a WAM（ワム：WAve Model）

外洋域を対象に構築されたモデルでありヨーロッパを中心に用いられている。日本国内でも、漁港及び港湾の設計沖波算定時の標準モデルとして使用されている。

##### b SWAN（スワン：Simulating WAVes Nearshore）

沿岸域を対象に構築されたモデルでありヨーロッパを中心に世界の多くの国々で用いられている。現在では、日本国内でも大学や研究機関等で一般的に使用されている。

## 2.10 本事故発生海域に関する情報

本事故発生海域を航行したことがある船舶（総トン数200トン未満）の乗組員の口述によれば、同海域の海象の特徴は、次表のとおりであった。

船種 (総トン数)	乗組員の口述の概要
漁船乗組員① (100トン未満)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・季節は関係なく北寄りの風の時、付近を航行するときに注意している</li> <li>・昼間だと離れた場所から波が立っているのが確認できるが、夜間は分からない</li> </ul>
漁船乗組員② (100～200トン)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・美保関に近くなると、うねりが高くなることもある</li> <li>・北～北東～東の風の時は、美保関付近は波が高くなり波長も異なる</li> <li>・西風の時、影響は少ない</li> </ul>
旅客船乗組員 (100～200トン)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・荒天時（北西～東方向の強風）は、美保関灯台から北東方向にある沖ノ御前島を中心とした海域は、波高も大きくなり、方向も異なる</li> <li>・島根半島に打ち当たる反射波の影響があると思う</li> <li>・沖ノ御前島から東方約0.5M、西方約3Mの海域は、三角波が起きる場合があった</li> </ul>
元漁船乗組員 (100トン未満)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・突然、波が高くなるので昔から魔の海域と呼ばれている</li> <li>・美保関灯台から半径5M以内の海域は、風速18m/s以上の時、波が高くなることがあるので注意していた</li> <li>・波が高くなる理由は分からない</li> </ul>

## 2.11 船舶の運航等に関する情報

### 2.11.1 ずわいがに漁に関する情報

船主A、A船の元船長、A漁協担当者及び鳥取県農林水産部担当者の口述によれば、次のとおりであった。

#### (1) 形態及び時期

鳥取県における漁法は、一艘<sup>そう</sup>かけまわし漁業という漁法で、山陰沖水深約150～450mの漁場に生息するずわいがに等を漁獲する。

漁期は、毎年11月6日～3月20日で、1航海約3～6日程度であり、境港で水揚げする漁船はせりの開始時間（05時30分）に間に合うように02時～03時ごろに入港するようにしていた。

#### (2) 帰航中のA船乗組員配置

船長が操船指揮をとり、その他の乗組員は、休息をとって境港入港が近くなると雌のずわいがにのパック詰め作業を甲板上で行っていた。

ふだん機関に不具合が生じた場合は、機関長及び機関員が対応していた。

#### (3) 荒天時の対応

A漁協に所属する沖合底引き網漁船は、目安として波高4m以上になれば、船長又は漁労長の判断で漁を中止して避難し、航行ができない場合は、投錨するか、水深が深い場合は船尾から網を流して漂泊するようにしていた。

航行できる場合においても、横揺れが大きい場合には、揚網機の網を甲板上に降ろすなどして、横揺れを軽減させるようにしていた。

### 2.11.2 船舶の安全管理等に関する情報

船主A、A船の元船長及びA漁協担当者の口述によれば、次のとおりであった。

#### (1) 船主A

船主Aは、月に3回程度A船を訪れ、また、2日間に1回程度船長Aに電話で動静などを確認していたが、船体の修繕などの船舶管理については船長A及び機関長Aに一任していた。

#### (2) A漁協

A漁協の回答書によれば、毎年6月に所属漁船の乗組員を対象とした生存対策講習を開催し、また、毎年8月に船員災害防止協会と合同で訪船指導を行い、保護具の着用徹底等の指導を実施していた。

## 2.12 事故発生要因等による解析調査

A船の復原性及び転覆に至る状況に関する調査を国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所に委託した結果、次のとおりであった。（別添

参照)

## 2.12.1 本事故当時の復原性の推定

### (1) 計測値の修正

動揺試験時に取り外されていた又は積載されていた機器等の重量分（表 2.12-1 参照）を修正した A 船の喫水は、船首が 1.54 m、船尾が 2.73 m であり、横揺れ周期は 5.5 秒であった。

表 2.12-1 機器等の重量等

項目	推定重量	重心の前後位置 (mid-G)	重心高さ (KG)
(試験時に取り外されていたもの) マスト支柱、ウィンチ等	11.39 t	7.89 m	5.64 m
(試験時に積載されていたもの) 溶接機等、ベニヤ板等	1.56 t	-6.18 m	2.66 m
漁獲物、発砲スチロール等	3.29 t	-6.95 m	1.93 m
漁倉及び機関室ビルジ	17.23 t	-2.04 m	0.64 m

### (2) 本事故当時の復原性

(1)の数値をもとに復原力計算を行ったところ、本事故当時の A 船のメタセンタ高さ<sup>\*15</sup> ( $G_0M$ ) 等は、表 2.12-2 のとおりであった。

表 2.12-2 本事故当時の復原性と重量重心計算書の数値との差

項目	本事故時	重量重心計算書 (漁場発状態)	差
排水量 (W)	269.6 t	236.2 t	33.4 t 増加
乾舷 <sup>*16</sup> (fb)	0.24 m	0.38 m	1.4 cm 減少
重心高さ (KG)	2.21 m	2.05 m	1.6 cm 上昇
メタセンタ高さ ( $G_0M$ )	0.79 m	0.87 m	8 cm 減少
最大復原てこ ( $GZ_{max}$ )	0.17 m	0.31 m	1.4 cm 減少
ブルワーク <sup>*17</sup> 水没角 ( $\phi_B$ )	24.1°	26.0°	1.9° 減少
海水流入角 ( $\phi_W$ )	31.9°	42.9°	11.0° 減少

また、本事故時の A 船の海水流入角は甲板室出入口が最も小さく約 31.9°、ブルワーク水没角（ブルワーク上端が海水に浸かる角度）は約

\*15 「メタセンタ高さ」とは、浮体の重心から、浮体が直立して釣り合っているときの浮力の作用線と、横方向にごく僅かに傾いたときの浮力の作用線との交点（メタセンタ）までの長さをいい、 $G_0M$ と表す。

\*16 「乾舷」とは、上甲板上面から喫水線までの垂直距離をいう。

\*17 「ブルワーク」とは、暴露甲板の舷側に沿って設けられた波よけの側壁をいう。

24.1°であり、本事故時の復原力曲線\*18は、図2.12-1のとおりであった。

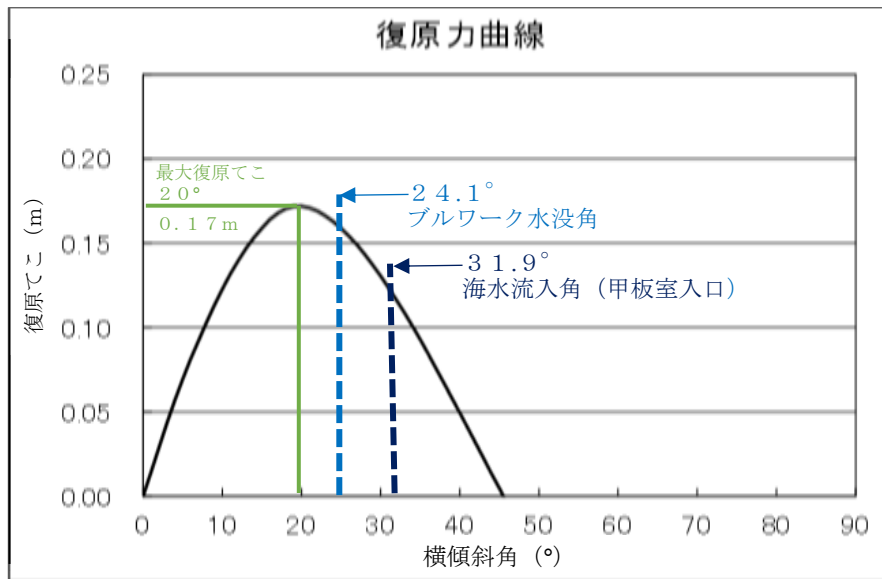


図2.12-1 本事故時の復原力曲線

#### 2.12.2 構造物等の追加及び水槽の積載による重量、重心等の変化

2.7.3(1)で記載した構造物等の追加並びに2.7.4(5)で記載した水槽の積載による重量、重心等の変化は、表2.12-3のとおりであり、復原力曲線は、図2.12-2のとおりであった。

表2.12-3 構造物等の追加及び水槽の積載による重量、重心等の変化

状態	排水量 (W)	乾舷 (f b)	重心高さ (KG)	メタセンタ高さ (G <sub>0</sub> M)	最大復原てこ (GZ <sub>max</sub> )	海水流入角 (φ <sub>w</sub> )
本事故時 (改造後+甲板上水槽)	269t	0.24m	2.21m	0.79m	0.17m	31.9°
(想定状態1) 改造前+甲板上水槽	264t	0.26m	2.13m	0.80m	0.21m	33.4°
(想定状態2) 改造後+水槽魚倉内	269t	0.24m	2.12m	0.88m	0.20m	31.9°
(想定状態3) 改造前+水槽魚倉内	264t	0.26m	2.04m	0.89m	0.25m	33.4°
(想定状態4) 改造後+水槽なし	257t	0.34m	2.17m	0.76m	0.21m	32.8°
重量重心計算書 (漁場発状態)	236t	0.38m	2.05m	0.87m	0.31m	42.9°

\*18 「復原力曲線」とは、船体が傾斜したときの傾斜角に対する復原てこ (GZ: 横傾斜を元に戻そうとする偶力を排水量で除した値) を図示したものをいう。



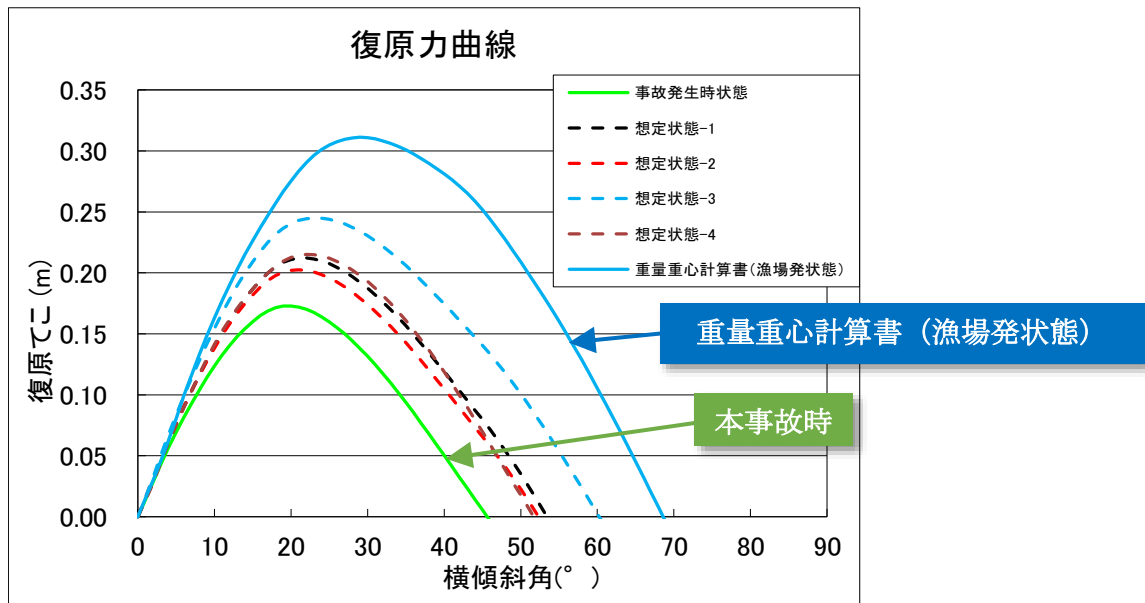


図 2.12-2 各想定状態における復原力曲線

### 2.12.3 えい航能力の推定

#### (1) B船のえい航能力

えい航中のB船の主機の回転数を回転数毎分 (rpm) 600~650とすると、主機出力曲線から求めた出力は約320kWである。(図2.12-3参照)

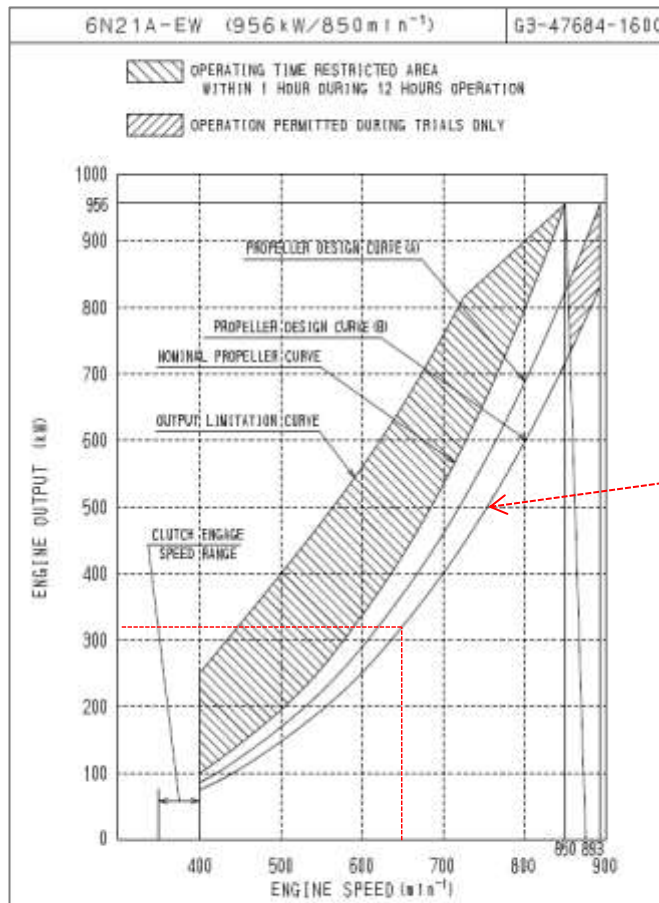


図 2. 1 2 - 3 B 船の主機出力曲線

一般的にえい引力は主機 73.6 kW (100 PS) に対して、9.8 kN (1.0 tf) と言われており、本事故当時は 39.2 kN (4.0 tf) 程度のえい引力を保持していたことになる。

よってえい引力から B 船の抵抗を引いた 29.4 ~ 34.3 kN (3.0 ~ 3.5 tf) 程度のえい航索張力でえい航していたものと考えられる。

(2) えい航索

えい航索は、ポリオレフィンを主材料としたクロスロープであり、直径 45 mm 長さ 130 m と設定すれば、索の単位重量は 1.02 kg/m、破断荷重は 306 kN である。

2.12.4 風及び波浪に伴う横傾斜角等の算出

(1) 風による横傾斜角の推定

2.9.4(2) のえい航経路上における相対風推算結果から求めた、各時刻における風による傾斜方向は右舷側であり、傾斜角は、次のとおりであった。

なお、05時15分の傾斜角は、05時20分の波浪及び相対風推算結果の数値を用いて計算した (以下同じ。)

	04時00分	04時20分	04時40分	05時00分	05時15分
風による傾斜角	0.75°	0.92°	0.96°	0.95°	0.80°

(2) 出合い波周期の推定

2.9.4(1)のえい航経路上における波浪推算結果から求めた、各時刻における出合い波周期は、次のとおりであった。

	04時00分	04時20分	04時40分	05時00分	05時15分
出合い波周期	6.1秒	6.3秒	6.8秒	6.8秒	7.8秒

(3) 波浪による横傾斜角の推定

2.9.4(1)のえい航経路上における波浪推算結果から求めた、各時刻における傾斜角は、次のとおりであった。

	04時00分	04時20分	04時40分	05時00分	05時15分
平均値	4.7°	5.8°	6.7°	6.6°	6.5°
1/3有義値	7.6°	9.3°	10.7°	10.5°	10.4°
1/100最大期待値 10分間航行=約100波	12.2°	15.0°	17.3°	17.0°	16.8°

2.12.5 A船の挙動推定

(1) 事故当時の条件に合わせたえい航状態の推定

事故発生時刻における、A船のえい航中の索張力、サグ量及びA船索方向角の計算を行った結果、表2.12-4のとおりであった。

なお、えい航索は2.12.3(2)の値、気象及び海象は2.9.4及び2.12.4(2)の値、針路及び速力はB船のGPSプロッター記録の値を使用した。

表2.12-4 事故当時の条件に合わせたえい航状態の計算結果

	04時00分	04時20分	04時40分	05時00分	05時15分
索張力 (kN)	32.3	31.4	28.4	30.4	33.3
サグ量 (m)	1.6	1.5	1.8	1.8	1.6
A船索方向角 $\theta_2$ (°) (索張力作用方向左舷)	47.3	44.2	49.8	49.3	46.7

なお、風向及び波向並びにB船の関係を図2.12-4、振れ回り角度 $\theta$ の定義を図2.12-5及びえい航索の弛みを表すサグ量の定義を図2.12-6に示した。

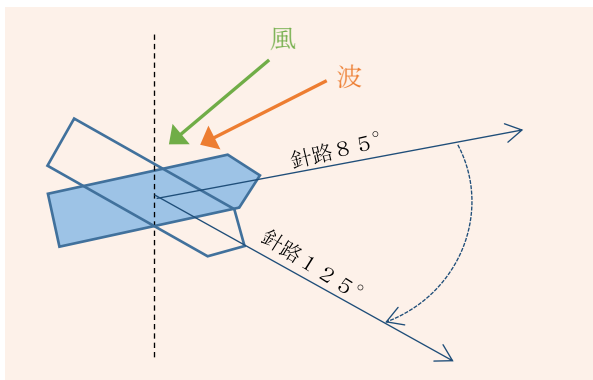


図 2.12-4 波と風の出会い角

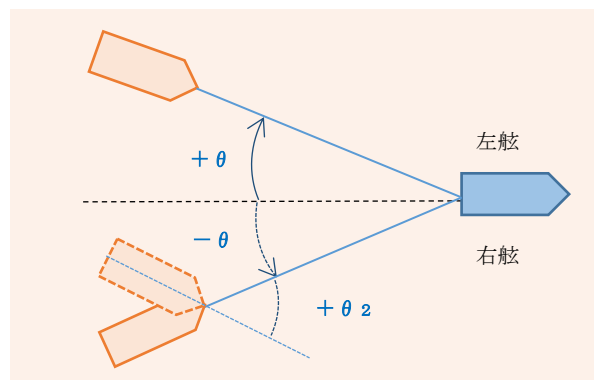


図 2.12-5 振れ回り角度の定義

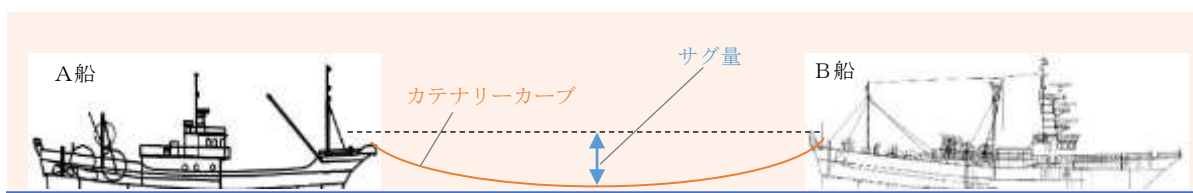


図 2.12-6 サグ量の定義

サグ量は、1.5～1.8mとなり、A船及びB船のえい航点（甲板上）から海面までの高さ約3.5mと比較して短く、えい航索の成すカタナリーカーブ<sup>\*19</sup>の最低部が水面に付くほどの長さがなかったことから、索張力の急激な増加がA船に伝わりやすい状態であった。

(2) 索張力を加えた横傾斜角の推定

本事故当時の状況について、B船の右舷側（風下及び波下側）においてえい航されている場合及びB船の左舷側（風上及び波上側）においてえい航されている場合について、えい航索と船首方位の成す角（以下「横引き角度」という。）が $0^\circ$ （ $\theta_{2s}$ ）から急激に増大（増分 $\Delta\theta_2$ ）したとして、風による傾斜角も含めて右舷側及び左舷側への最大傾斜角をエネルギーバランスの考えで推定計算した。

2.12.3(1)から、索張力は29.4kN（3.0tf）と想定し、 $\Delta\theta_2$ の値を $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ の4ケースで、05時20分の波浪による横傾斜角の数値である平均値（ $6.5^\circ$ ）、1/3有義値（ $10.4^\circ$ ）及び1/100最大期待値（ $16.8^\circ$ ）の場合について計算を行った。

なお、最大傾斜角 $\phi_0$ は、復原力曲線と傾斜偶力てこを示す線等とに囲まれる面積aと面積a'が等しくなる傾斜角を、面積aは、復原力曲線と傾斜偶力てこ（ $D_{wind}+DT$ ）及び傾斜角 $\phi_1$ における縦軸に平行な直線に囲まれた部分の面積を、面積a'は、復原力曲線と傾斜偶力てこ（ $D_{wind}+DT$ ）及び傾斜

\*19 「カタナリーカーブ」とは、ロープなどの両端を持って垂らしたときにできる曲線をいう。

角  $\phi$  における縦軸に平行な直線に囲まれた部分の面積をそれぞれ示す。(図 2.12-7 参照)

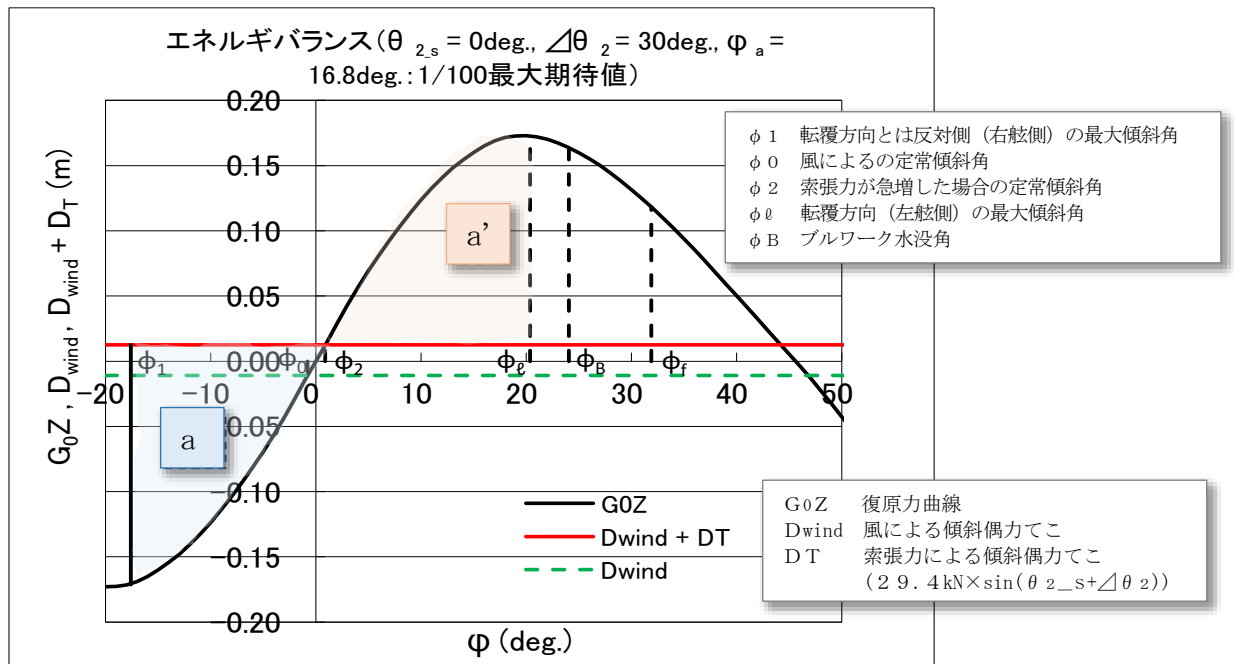


図 2.12-7 エネルギーバランスの一例  
( $\theta_{2s}=0^\circ$ 、 $\Delta\theta_2=30^\circ$ 、 $\phi_a=16.8^\circ$ )

① B船の右舷側（風下及び波下側）でえい航されている場合

表 2.12-3 エネルギーバランス計算 1（索張力作用方向 左舷）

	平均値	1/3有義値	1/100最大期待値
$\Delta\theta_2=15^\circ$	7.5°	11.4°	17.8°
$\Delta\theta_2=30^\circ$	9.2°	13.4°	20.4°
$\Delta\theta_2=45^\circ$	10.8°	15.1°	22.8°
$\Delta\theta_2=60^\circ$	12.1°	16.6°	25.1°

(図 2.12-8 参照)

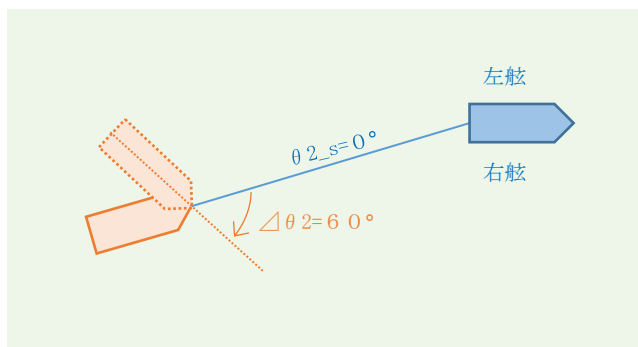


図 2.12-8 ( $\theta_{2s}$ )  $0^\circ$  から ( $\Delta\theta_2$ )  $60^\circ$ まで増大した場合

② B船の左舷側（風上及び波上側）でえい航されている場合

表 2.12-4 エネルギーバランス計算 2（索張力作用方向 右舷）

	平均値	1/3有義値	1/100最大期待値
$\Delta\theta_2=15^\circ$	$9.3^\circ$	$13.5^\circ$	$21.0^\circ$
$\Delta\theta_2=30^\circ$	$11.2^\circ$	$15.7^\circ$	<u><math>24.2^\circ</math></u>
$\Delta\theta_2=45^\circ$	$12.9^\circ$	$17.8^\circ$	<u><math>27.5^\circ</math></u>
$\Delta\theta_2=60^\circ$	$14.3^\circ$	$19.4^\circ$	<u><math>31.7^\circ</math></u>

(図 2.12-9 参照)

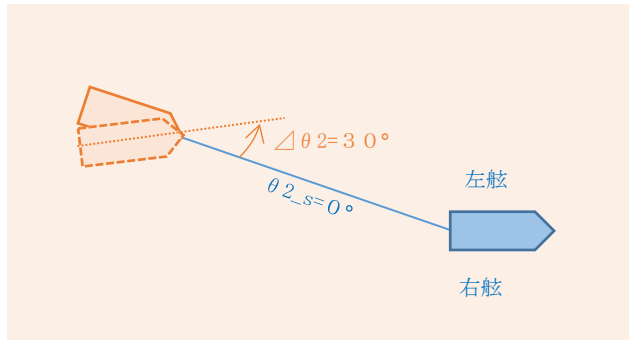


図 2.12-9  $(\theta_{2s}) 0^\circ$  から  $(\Delta\theta_2) 30^\circ$  まで増大した場合

(3) 転覆に至る横傾斜角

推定計算の結果から、B船の右舷側でえい航され、1/100最大期待値の横揺れが生じ、横引き角度が $60^\circ$ まで増大した場合、左舷側への最大傾斜角は、 $25.1^\circ$ となり、ブルワーク水没角を超えるまで傾斜すると判定される。

また、B船の左舷側でえい航され、1/100最大期待値の横揺れが生じ、横引き角度が $30^\circ$ まで増大した場合、右舷側への最大傾斜角は、 $24.2^\circ$ となり、ブルワーク水没角を超えるまで傾斜すると判定される。

横傾斜角がブルワーク水没角を超えると、復原てこが小さくなる状況でブルワークが抵抗となって復原しにくくなり、引き続いて打ち込む波を受けて転覆に至ることが推定される。

(4) 転覆に至らないえい航方法の検討

2.12.5(1)と同じ気象及び海象条件で、以下の条件における索張力計算結果は、図 2.12-10のとおりであった。

- ① えい航索の長さをそのままとし（130 m）、えい航速力を4 knに減速した場合
- ② えい航速力をそのままとし（5 kn）、えい航索の長さを200 mにした場合

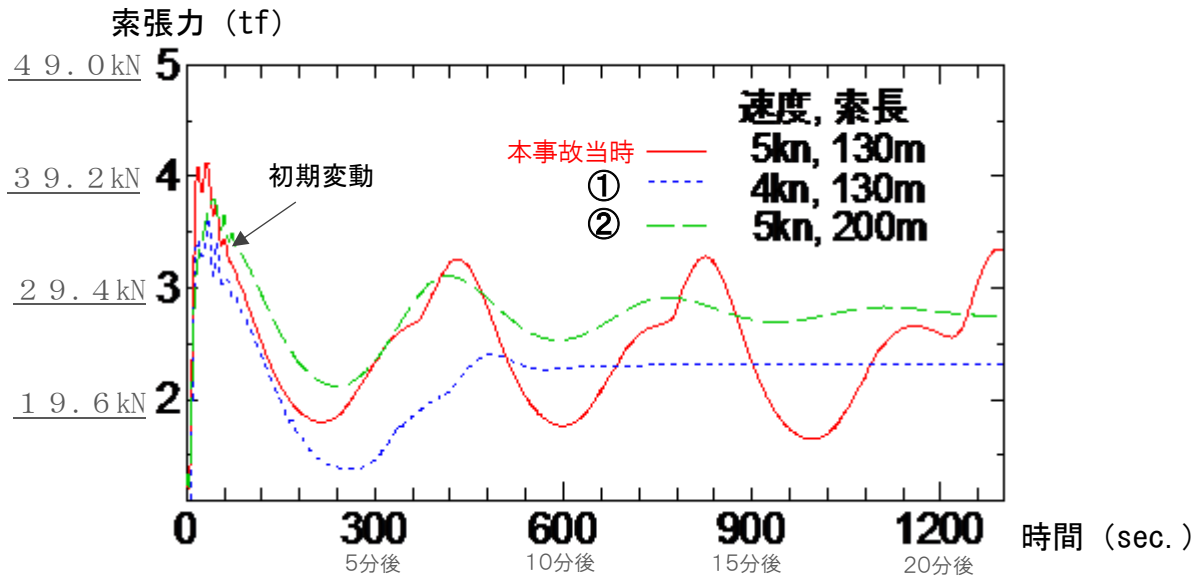


図 2.12-10 えい航速度及びえい航索長を変更した場合の索張力

速度を 4kn に減速した場合、初期変動を除いた索張力は 22.5 kN (2.3 tf) となり、振れ回りはなくなり索張力は一定となる。

また、えい航索を 200m とした場合においては、振れ回りによる索張力変動が小さくなり索張力は 27.4 kN (2.8 tf) となる。

## 3 分析

### 3.1 事故発生の状況

#### 3.1.1 事故発生に至る経過

2.1 から、次のとおりであったものと考えられる。

- (1) A 船は、平成 28 年 12 月 8 日 18 時 00 分ごろ境港を出港し、ずわいがに漁を行う目的で浜田市沖の漁場に向かった。
- (2) 船長 A は、13 日 17 時ごろ、水産仲買業者に、13 日の夜に漁を終えて 14 日 02 時ごろ境港に入港予定であることを連絡した。
- (3) C 船は、14 日 01 時 54 分ごろ、A 船から主機が止まったのでえい航してほしいとの要請を受け、反転して A 船に向かった。
- (4) B 船は、02 時 30 分ごろ、C 船からの要請を受け、前方にいる A 船に向かった。
- (5) B 船は、03 時 00 分ごろ、A 船付近に到着し、えい航索の接続作業を開始した。
- (6) B 船は、04 時 00 分ごろ、えい航索の接続作業を完了し、A 船のえい航

を開始した。

- (7) B船は、その後、針路100°まで変針した。
- (8) B船は、05時00分ごろ、右転を開始し、境港に向けて小刻みに変針した。
- (9) B船は、05時14～15分ごろA船との無線交信が途絶えた。
- (10) 漁労長Bは、後方と左右を確認したが、A船が見えなかった。

### 3.1.2 えい航中のB船とA船の船間距離

次のことから、えい航中のB船とA船との船間距離は、約100mであった可能性があると考えられる。

- (1) 2.4.2(2)から、B船の操舵室とA船との距離は約100～150mであったこと。
- (2) 2.4.1から、B船乗組員が撮影した動画において、撮影者の位置を基準とし、現場調査で長さを計測した箇所（B船ロープリールドラム部の長さ及びA船操舵室上部の甲板照明灯間の距離）からB船とA船の船間距離を比例で求めた結果、約150mであったこと。

(図3.1-1、図3.1-2 参照)

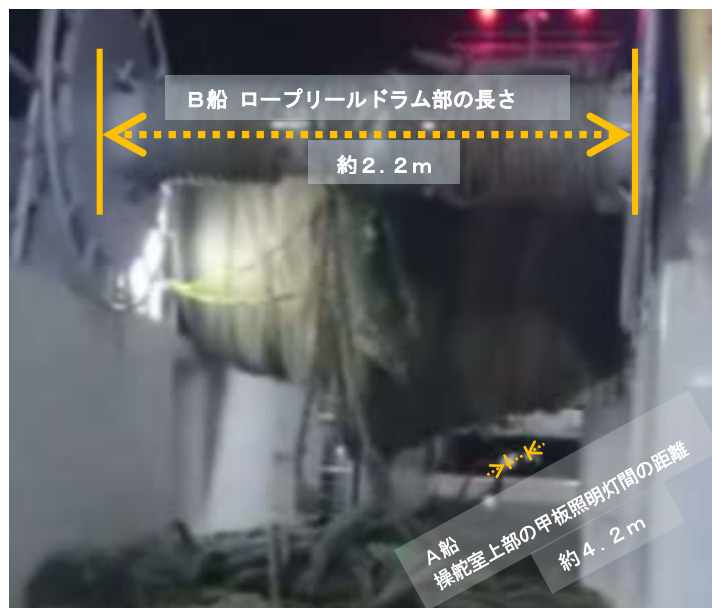


図3.1-1 動画上の計測箇所





図3.1-2 B船とA船の船間距離

### 3.1.3 事故発生日時及び場所

#### (1) 事故発生日時

次のことから、本事故の発生日時は、平成28年12月14日05時15分ごろであったものと考えられる。

- ① 2.1.2から、14日05時13分ごろ、船長Aから漁労長Bに無線連絡があり、その1、2分後、A船との交信が途絶えたこと。
- ② 2.1.1及び2.1.2から、漁労長Bは、A船の姿が見えなくなったので、すぐに減速しており、B船のGPSプロッター記録では05時15分01秒から05時16分15秒の速力は6.0knから2.3knに低下していること。

#### (2) 事故発生場所

2.1.1、2.4.2、3.1.2及び前記(1)から、05時15分ごろのB船の船位から、A船との距離を北西方に100mとった位置である美保関灯台から真方位018°1,700m付近であったものと考えられる。

### 3.1.4 死傷者等の状況

2.1.2(3)、2.2及び2.3から、次のとおりであった。

- (1) 甲板員A<sub>1</sub>は、海上で溺水によって窒息死した。
- (2) 船長A、機関長A及び機関員A<sub>1</sub>は、A船船内で溺水によって窒息死した。
- (3) 次のことから、甲板員A<sub>1</sub>及び行方不明となっている乗組員5人は、本事故時は甲板上で作業をしており、転覆時に海上に投げ出された可能性があると考えられる。
  - ① 船内では発見されなかったこと。
  - ② 12月14日05時10分ごろ、船長Aから船主Aに甲板上的水槽の海水を抜く作業をしているとの連絡があったこと。

### 3.1.5 損傷の状況

2.5及び2.7.4から、A船は、引き揚げられたが、全損となり、また、喫水線下

に損傷は確認されず外板に破口も生じていなかったことから、船体の損傷によって転覆したものではないと考えられる。

### 3.2 事故要因の解析

#### 3.2.1 乗組員の状況

2.4.4及び2.6から、次のとおりであった。

##### (1) 船長A

適法で有効な海技免状を有していた。

約30年間A船に乗船し、船長としての経験を約5年間有していたものと考えられる。

##### (2) 漁労長B

約20年間沖合底引き網漁船に乗船し、漁労長としての経験を約10年間有していたものと考えられる。

えい航の経験が2年に1回程度あったが、荒天下での経験はなかったものと考えられる。

本事故当時の健康状態は良好であったものと考えられる。

#### 3.2.2 気象及び海象の状況等

2.8及び2.9から、次のとおりであった。

##### (1) 気象

本事故当時、本州の東方海上を低気圧が急速に発達しながら通過しており、本事故発生場所付近では、波浪注意報及び強風注意報が発表されていた。

##### (2) 波浪状況等

本事故現場付近は、隠岐諸島が北北東の風による波を遮蔽する領域から外れており、美保関からの反射波に加えて、沖ノ御前島とその周辺の浅水域の影響により周辺海域と比べて波高が高くなり、また、波の周期が長くなっていたものと考えられる。

##### (3) 有義波高等

本事故発生日時に近い12月14日05時13分ごろの有義波高は3.6m、有義波周期7.4秒であり、本事故現場付近は、次の3方向からの波の合成波が発生していたものと考えられる。

- ① 北東（強風による吹送流）
- ② 北北東（隠岐諸島の地形による屈折効果）
- ③ 西南西（美保関からの反射波）

### 3.2.3 主機等停止に関する状況

2.1.2、2.7.3(3)、2.7.4(1)及び2.7.4(2)から、次のとおりであった。

- (1) A船は、境港に向けて航行中、主機が停止したものと考えられる。
- (2) A船の発電機は、主機停止後しばらくして停止したものの、えい航索の接続作業中、甲板上の照明が点灯し、無線交信ができるようになったことから、復旧したものと考えられる。
- (3) 船長Aは、漁労長Bに、主機停止の原因は、調べて見ないと分からないが、燃料油タンクのエア抜き管が損傷して燃料油タンクに海水が流入した可能性があるという回答したものと考えられる。
- (4) 燃料油タンクのエア抜き管には損傷はなかったものと考えられる。
- (5) A船は、配電盤等の状態から、本事故当時、3番燃料油タンク（左舷）から燃料油が供給されており、発電機は2号補機が運転されていたものと考えられる。
- (6) 本事故当時、ふだんは使用していない3番燃料油タンク（左舷）から燃料油が供給されていたことは、A船の乗組員が、燃料油に海水が流入したと思い、1番又は2番燃料油タンクから切り替えた可能性があると考えられる。
- (7) A船の主機は、次のことから、本事故発生時に、燃料油が供給されている状態となっていた可能性があると考えられる。
  - ① 各シリンダの燃料供給ポンプ入口管から燃料油を採取することができた。
  - ② 水分は、0.01～1.08%であったことから、機器停止には至らない濃度であったものと考えられる。
  - ③ 塩素は、ほぼ検知されなかったことから、海水の混入はなかったものと考えられる。
- (8) 前記(3)～(7)から、A船の主機は、本事故発生時に、燃料油が供給されている状態となっていた可能性があり、また、燃料油には海水の混入は生じていなかったものと考えられる。
- (9) 主機等が停止したことについては、燃料油系統に不具合を生じていた可能性があると考えられるが、A船の乗組員全員が死亡又は行方不明となっており、また、主機が沈没により濡損した状態であったことから、その原因を明らかにすることができなかった。
- (10) 荒天時、陸岸に近い海域において主機が停止し、航行ができない場合は、投錨して漂流を防止する、僚船にえい航を依頼する、海上保安庁に通報して救助を依頼するなど、その時の状況に応じて最善の措置をとることが望ましい。

### 3.2.4 復原性に関する解析

2.1.3(3)、2.7.3(1)、2.7.3(5)、2.12.1及び2.12.2から、次のとおりであった。

- (1) A船は、本事故当時、就航時に無かった約6.6tの構造物等が甲板上に追加されていたものと考えられる。
- (2) A船は、本事故当時、ずわいがに用の水槽が、甲板上に7個及び第4魚倉内に2個設置されていたものと考えられる。
- (3) 引揚げ時の調査から算出した本事故当時のA船の復原性の数値は、重量重心計算書の数値と比較し、メタセンタ高さが約8cm減少して約0.79mとなり、乾舷が約14cm減少し、重心高さが約16cm上昇するなどしていたものと考えられる。
- (4) 船長Aは、05時10分ごろ、船主Aに船の傾きを戻す目的で水槽の海水を抜く作業をしていると話したことから、本事故当時、水槽に海水が入っていたと考えられ、その重量がA船の復原性に影響を与えていた可能性があると考えられる。
- (5) 前記(1)～(4)から、A船が、構造物等を追加していたこと、甲板上に水槽を設置していたことにより、本事故当時、復原性が低下し、また、乾舷が減少していたものと考えられる。
- (6) 水槽は、漁場から帰港するときは、海水で上部まで満たされていたものと考えられるが、海水で満たされていない場合には、自由水影響\*20により更に復原性が低下した可能性があると考えられる。

### 3.2.5 えい航に関する解析

2.1.2、2.4、2.7.3(2)及び2.12から、次のとおりであった。

- (1) えい航索として使用したロープは、ポリオレフィンを主材料としたものであり、長さは、下記①及び②から、約130m（弛み分も含む）であったものと考えられる。
  - ① A船の船首のウインドラスに取り付けられていた2本のロープは、えい航索として使用したと考えられるが、同ロープの納入実績（25m、1本）から船首部に保管されていたロープ（約10m）の長さを差し引くと、1本約7.5mの長さであったものと考えられる。

なお、船首端からウインドラスまでの距離は約2mであったものと考えられる。

---

\*20 「自由水影響」とは、タンク内の液体が、船の動揺につれてタンク内を移動し、船の復原性を低下させる現象のことをいう。

- ② B船は、2か所のロープリールから引き網ロープを約30mそれぞれ繰り出し、シャックルで約100mの係船用ロープを接続していたものと考えられる。

なお、船尾端からロープリールまでの距離は約6mであったものと認められる。

(図3.2-1 参照)

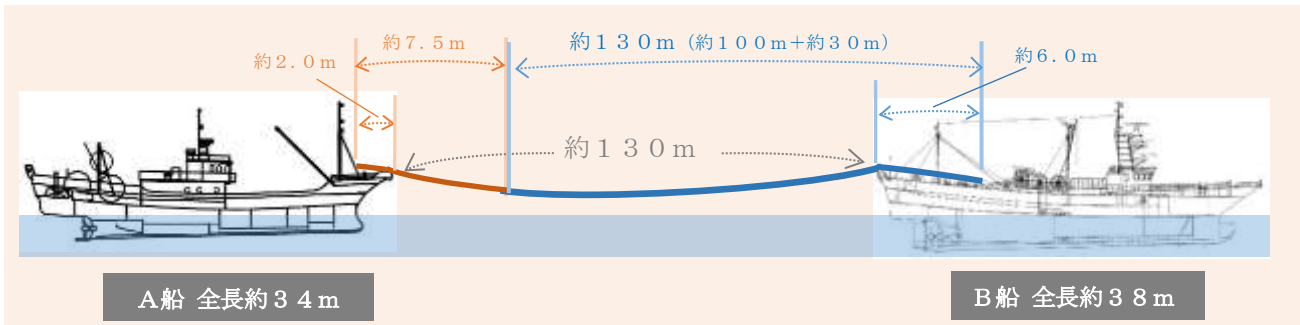


図3.2-1 えい航索の長さ

- (2) A船のえい航索のサグ量は、1.5～1.8mであり、えい航索は海面まで達しておらず、えい航索の長さが不十分で索張力の急激な増加がA船に伝わりやすい状態であったものと考えられる。
- (3) えい航索は、A船からのえい航索が途中で絡まり、また、B船はA船が陸岸に向けて流されている状況下で時間的な余裕がなく、甲板上にあった長さ約100mの係船用のロープを使用したものと考えられる。
- (4) A船は、約4.6～6.0knの速力、約29.4～34.3kNの索張力でえい航されていたものと考えられる。
- (5) A船は、漁労長Bの口述から主にB船の右舷側を中心に振れ回っていたものと考えられるが、次のことから、本事故発生時は、B船の変針に追従できず、B船の左舷側に位置していた可能性があると考えられる。
- ① 漁労長Bが、本事故の直前、右舷後方を確認した時にA船は見えなかったこと。
- ② 引揚げ後のA船の舵は、右舵約20°を取った状態となっていたことから、船長Aは風上側にいたA船をB船に追従させようとしていた可能性があると考えられること。
- (6) A船のえい航索は、オープンチョック付近で切断していることから、摩擦により破断強度が落ちた状態から、転覆時の引っ張りによって切断した可能性があると考えられる。

### 3.2.6 転覆に関する解析

2.1.2、2.1.2及び3.2.5から、次のとおりであった。

- (1) A船の風による横傾斜角は、右舷側に約 $0.75^{\circ} \sim 0.96^{\circ}$ であったものと考えられる。
- (2) A船の波浪による横傾斜角は、1/100最大期待値で約 $12.2^{\circ} \sim 17.3^{\circ}$ であり、04時00分から05時15分の横傾斜角は波高が高くなる等の影響により、 $12.2^{\circ}$ から $16.8^{\circ}$ となり増加していたものと考えられる。
- (3) A船の索張力による傾斜エネルギーを加えた横傾斜角は、B船の右舷側でえい航され、横引き角度が $60^{\circ}$ まで増大した場合、左舷側への最大傾斜角は、 $25.1^{\circ}$ となり、ブルワーク水没角を超えるまで傾斜し、また、B船の左舷側でえい航され、横引き角度が $30^{\circ}$ まで増大した場合、右舷側への最大傾斜角が $24.2^{\circ}$ となり、ブルワーク水没角を超えるまで傾斜するものと考えられる。
- (4) 前記(1)～(3)から、A船の横傾斜角がブルワーク水没角を超えたのは、風によって定常傾斜したこと、波によって大きく動揺したこと、及び、索張力による傾斜モーメントが増大したことによる可能性があると考えられる。
- (5) A船は、横傾斜角がブルワーク水没角を超え、復原てこが小さくなる状況でブルワークが抵抗となって復原しにくくなり、引き続いて打ち込む波を受けて転覆した可能性があると考えられる。
- (6) A船は、次のことから、右舷側に転覆した可能性があると考えられる。
  - ① 3.2.5(5)から、B船の変針に追従できず、B船の左舷側に位置していた可能性があること。
  - ② B船に対して左舷側に位置するようになると、風による右傾斜及び波浪による横揺れに加えて、索張力による右傾斜モーメントが加わること。

(図3.2-2 参照)

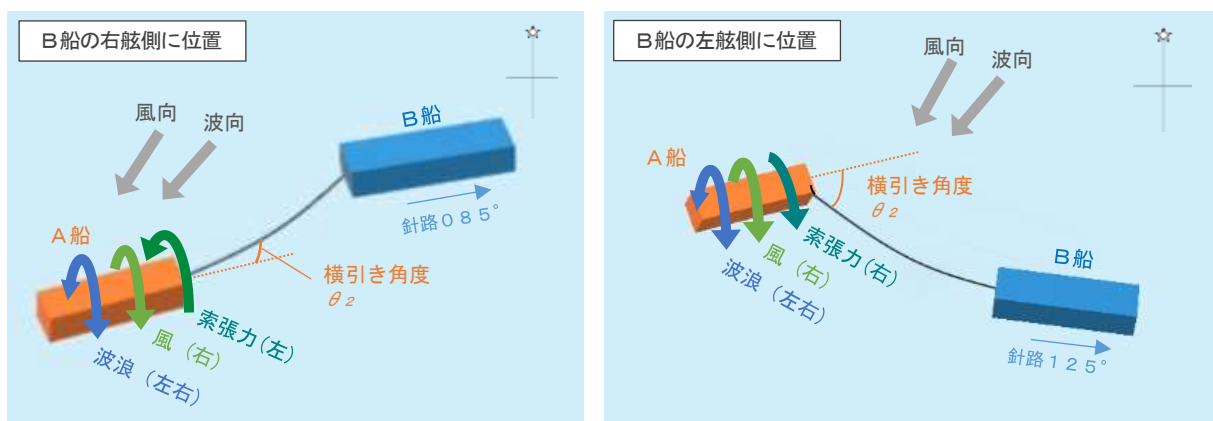


図3.2-2 A船の傾斜モーメント

- (7) 次のことから、A船の転覆時間は僅かな時間であったものと考えられる。
- ① B船との無線交信が交信途中で途絶えたこと。
  - ② 漁労長Bは、後方と左右を確認したがA船を確認できなかったこと。
- (8) えい航索の長さをそのままとし（130m）、えい航速力を4knに減速した場合、索張力は22.5kNとなり、振れ回りはなくなり索張力は一定となつて、また、えい航速力をそのままとし（5kn）、えい航索を200mとした場合、索張力は27.4kNとなり、振れ回りによる索張力変動が小さくなるものと考えられる。

なお、A船の横揺れ周期は約5.5秒で、出会い波周期は約7.8秒であるため、同調横揺れはないものと考えられる。

### 3.2.7 事故発生に関する解析

3.1.1、3.1.2及び3.2.3～3.2.6から、次のとおりであった。

- (1) A船は、構造物等を追加していたこと、甲板上に水槽を設置していたことから、復原性が低下し、また、乾舷が減少していたものと考えられる。
- (2) A船は、01時54分ごろ、境港に向けて航行中、主機が停止し、C船にえい航を要請したものと考えられる。
- (3) A船は、04時00分ごろ、C船から要請を受けたB船によって、えい航が開始されたものと考えられる。
- (4) A船は、えい航索の長さが不十分で索張力の急激な増加がA船に伝わりやすい状況であったことから、索張力による傾斜モーメントが増大した可能性があると考えられる。
- (5) 風による定常傾斜及び波による動揺にA船の索張力による傾斜エネルギーを加えた横傾斜角は、B船の右舷側でえい航され、横引き角度が60°まで増大した場合、左舷側への最大傾斜角は、25.1°となり、ブルワーク水没角を超えるまで傾斜し、また、B船の左舷側でえい航され、横引き角度が30°まで増大した場合、右舷側への最大傾斜角が24.2°となり、ブルワーク水没角を超えるまで傾斜するものと考えられる。
- (6) A船は、05時15分ごろ、横傾斜角がブルワーク水没角を超え、復原てこが小さくなる状況でブルワークが抵抗となって復原しにくい状況となり、引き続き波を受けて転覆した可能性があると考えられる。

### 3.3 救助及び被害軽減に関する解析

2.2.2及び2.8.4から、次のとおりであった。

- (1) B船は、A船の転覆後、すぐに減速して付近の海上を捜索し、うつ伏せ状態

で浮いている甲板員A<sub>1</sub>を発見して引き揚げようとしたものの、波が高く、また陸岸に流される状態であったので、それ以上陸岸に接近することができなくなり、引き揚げることができなかったものと考えられる。

- (2) 本事故時の気象、海象等の状況を考慮すると、救命胴衣を着用していなかった甲板員A<sub>1</sub>が、救命胴衣を着用することにより、救助されるまで生存することができたかは不明であるが、文献によれば、本事故時の海水温度17.5℃における生存可能時間は個人差があるが12時間以下であることから、救命胴衣を着用して浮力を確保することにより、生存時間をより長くする効果はあったものと考えられる。

## 4 結 論

### 4.1 原因

本事故は、夜間、A船が、復原性が低下し、また、乾舷が減少していた状態でA船の主機が停止し、B船によってえい航されて美保関灯台北方沖を南東進中、横傾斜角がブルワーク水没角を超えたため、復原しにくい状態となり、引き続く波を受けて転覆した可能性があると考えられる。

横傾斜角がブルワーク水没角を超えたのは、風によって定常傾斜したこと、波によって大きく動揺したこと、及び、索張力による傾斜モーメントが増大したことによる可能性があると考えられる。

索張力による傾斜モーメントが増大したのは、えい航索の長さが不十分で索張力の急激な増加がA船に伝わりやすい状態となり、横引き角度が増大したことによる可能性があると考えられる。

A船の復原性が低下し、また、乾舷が減少していたのは、構造物等を追加していたこと、甲板上に水槽を設置していたことによるものと考えられる。

### 4.2 その他判明した安全に関する事項

- (1) 本事故発生場所付近は、隠岐諸島の遮蔽域から外れており、美保関からの反射波に加えて、沖ノ御前島とその周辺の浅水域の影響により周辺海域と比べて波高が高くなっていたものと考えられる。
- (2) B船が、えい航速力を4knに減速した場合、索張力は22.5kNとなり、振れ回りはなくなって索張力は一定となり、また、えい航索を200mとした場合、索張力は27.4kNとなり、振れ回りによる索張力変動が小さくなるものと考えられる。



- (3) 本事故時の気象、海象等の状況を考慮すると、救命胴衣を着用していなかった甲板員A<sub>1</sub>が、救命胴衣を着用することにより、救助されるまで生存することができたかは不明であるが、文献によれば、本事故時の海水温度17.5℃における生存可能時間は個人差があるが12時間以下であることから、救命胴衣を着用して浮力を確保することにより、生存時間をより長くする効果はあったものと考えられる。
- (4) 荒天時、陸岸に近い海域において主機が停止し、航行ができない場合は、投錨して漂流を防止する、僚船にえい航を依頼する、海上保安庁に通報して救助を依頼するなど、その時の状況に応じて最善の措置をとることが望ましい。

## 5 再発防止策

本事故は、A船が、復原性が低下し、また、乾舷が減少していた状態でA船の主機が停止し、B船によって被えい航中、横傾斜角がブルワーク水没角を超えたため、復原しにくい状態となり、転覆した可能性があると考えられる。

横傾斜角がブルワーク水没角を超えたのは、風によって定常傾斜したこと、波によって大きく動揺したこと、及び、索張力による傾斜モーメントが増大したことによる可能性があると考えられる。

索張力による傾斜モーメントが増大したのは、えい航索の長さが不十分で、横引き角度が増大したことによる可能性があると考えられる。

A船の復原性が低下し、また、乾舷が減少していたのは、構造物等を追加していたこと、甲板上に水槽を設置していたことによるものと考えられる。

救命胴衣を着用していなかった甲板員A<sub>1</sub>が、救命胴衣を着用して浮力を確保することにより、生存時間をより長くする効果はあったものと考えられる。

したがって、同種事故の再発防止のため、沖合底引き網漁船の船舶所有者は、船舶の復原性を考慮し、構造物等を追加する場合は十分に検討する必要があり、また、次の項目を遵守するよう船長及び乗組員を指導及び支援すること。

- (1) 甲板上の水槽は、荒天時は海水を入れないことが望ましく、また、自由水影響にも考慮すること。
- (2) 荒天時、陸岸に近い海域において主機が停止し、航行ができない場合は、投錨して漂流を防止する、僚船にえい航を依頼する、海上保安庁に通報して救助を依頼するなど、その時の状況に応じて最善の措置をとることが望ましい。
- (3) 外洋でえい航するときは、
  - ① えい航索は、えい航船と被えい航船の全長の和の3倍の長さを目安とし、えい

航索の成すカタナリーカーブの最低部が水面に付く状態にすること。

- ② えい航船は、見張り員を配置し、被えい航船が追従し、また、振れ回りによる横引き角度が大きくなるよう確認し、必要に応じて減速及び針路の変更を行うこと。
  - ③ 被えい航船は、操舵が可能な場合、えい航船に追従するような操舵を取ること。
- (4) 暴露甲板上においては、常時、救命胴衣を着用すること。
  - (5) 本事故発生場所付近である美保関北方沖は、周辺海域と比べて波高が高くなる傾向があるので航行時は注意すること。

## 5.1 事故後に講じられた事故等防止策

### 5.1.1 鳥取県が講じた措置

- (1) 救命胴衣の着用促進推進活動や安全操業のための講習会等を開催することとした。
- (2) 漁労作業を妨げない救命胴衣及び緊急通報システム機能付無線機の購入費の一部を助成することとした。
- (3) 沖合底引き網漁船の代船建造を促進するため、建造費の一部を助成することとした。
- (4) 運輸安全委員会の波浪に関する情報提供（平成29年5月16日付）を受け、県内各漁業協同組合及び一般社団法人境港水産振興会に漁業者への周知を依頼するとともに県内沿岸市長村に送付した。
- (5) 救命胴衣着用促進のための鳥取県関係機関連絡会議を境海上保安部と共催し、県内各漁業協同組合等と救命胴衣着用促進の取組の情報共有を行った。

### 5.1.2 島根県が講じた措置

運輸安全委員会の波浪に関する情報提供（平成29年5月16日付）を受け、県内各漁業協同組合に通知した。

### 5.1.3 A漁協が講じた措置

- (1) 平成28年12月16日、A漁協所属の沖合底引き網漁船の船長又は漁労長に対して、作業中の救命胴衣着用の徹底などの注意喚起を行った。
- (2) 平成29年6月29日、田後漁港内の防波堤に救命胴衣の着用を促す看板を設置した。（写真5.1参照）



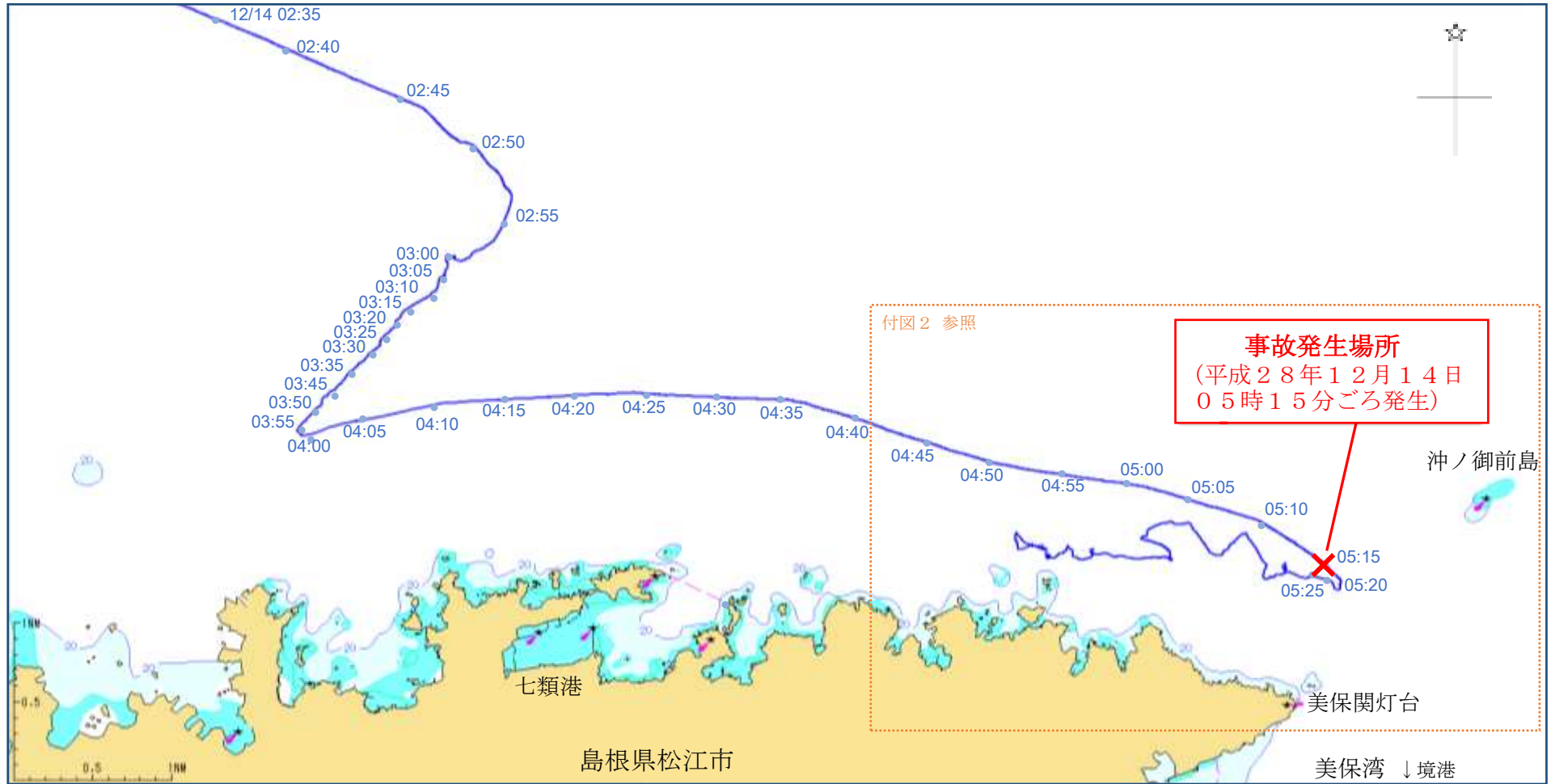
写真 5.1 田後漁港内の防波堤に設置された看板

## 5.2 今後必要とされる事故等防止策

沖合底引き網漁船の船舶所有者は、船舶の復原性を考慮し、構造物等を追加する場合は十分に検討する必要がある、また、次の項目を、船長及び乗組員が遵守するよう指導及び支援すること。

- (1) 甲板上の水槽は、荒天時は海水を入れないことが望ましく、また、自由水影響にも考慮すること。
- (2) 荒天時、陸岸に近い海域において主機が停止し、航行ができない場合は、投錨して漂流を防止する、僚船にえい航を依頼する、海上保安庁に通報して救助を依頼するなど、その時の状況に応じて最善の措置をとることが望ましい。
- (3) 外洋でえい航するときは、
  - ① えい航索は、えい航船と被えい航船の全長の和の3倍の長さを目安とし、えい航索の成すカテナリーカーブの最低部が水面に付く状態にすること。
  - ② えい航船は、見張り員を配置し、被えい航船が追従し、また、振れ回りによる横引き角度が大きくなるように確認し、必要に応じて減速及び針路の変更を行うこと。
  - ③ 被えい航船は、操舵が可能な場合、えい航船に追従するような操舵を取ること。

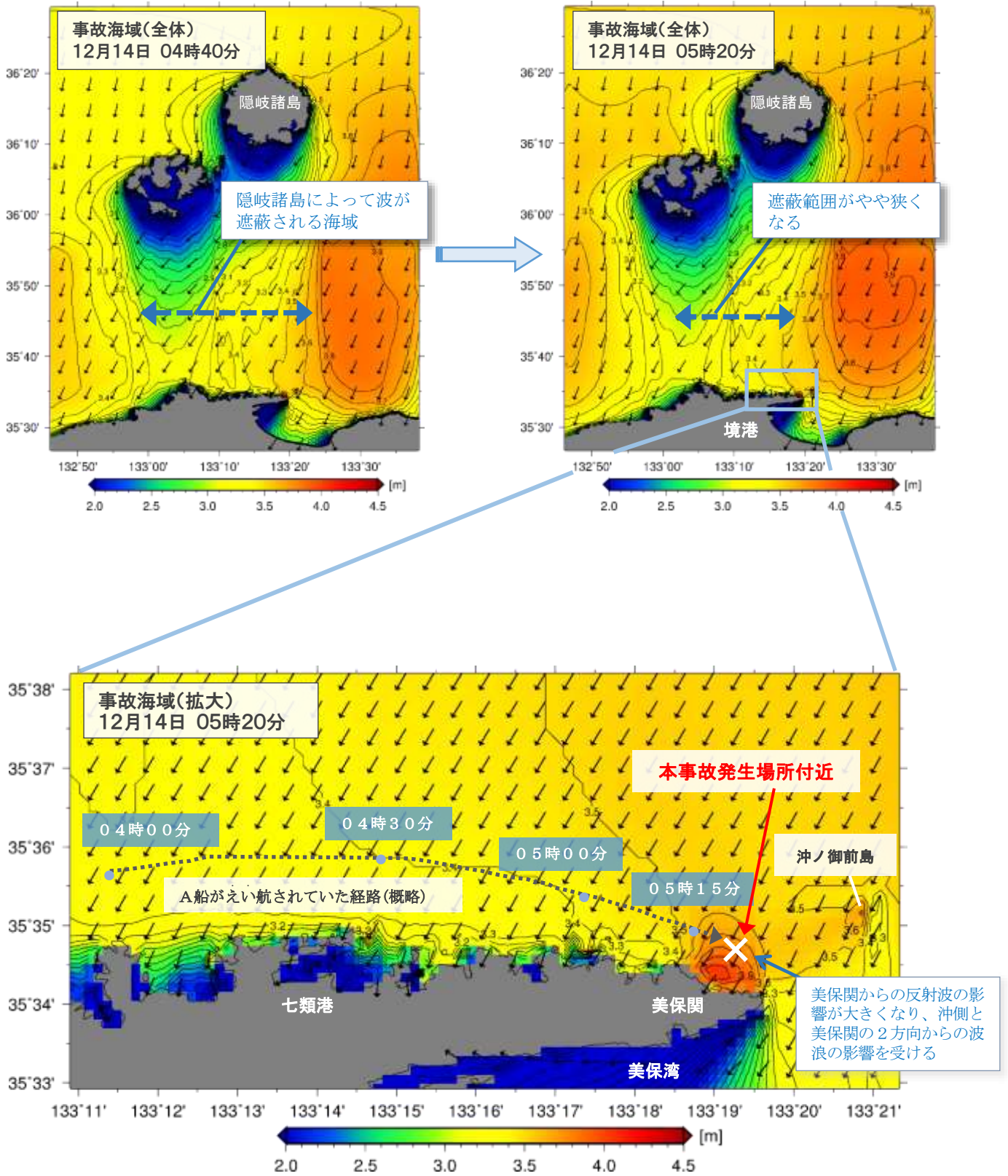
付図1 B船航行経路図



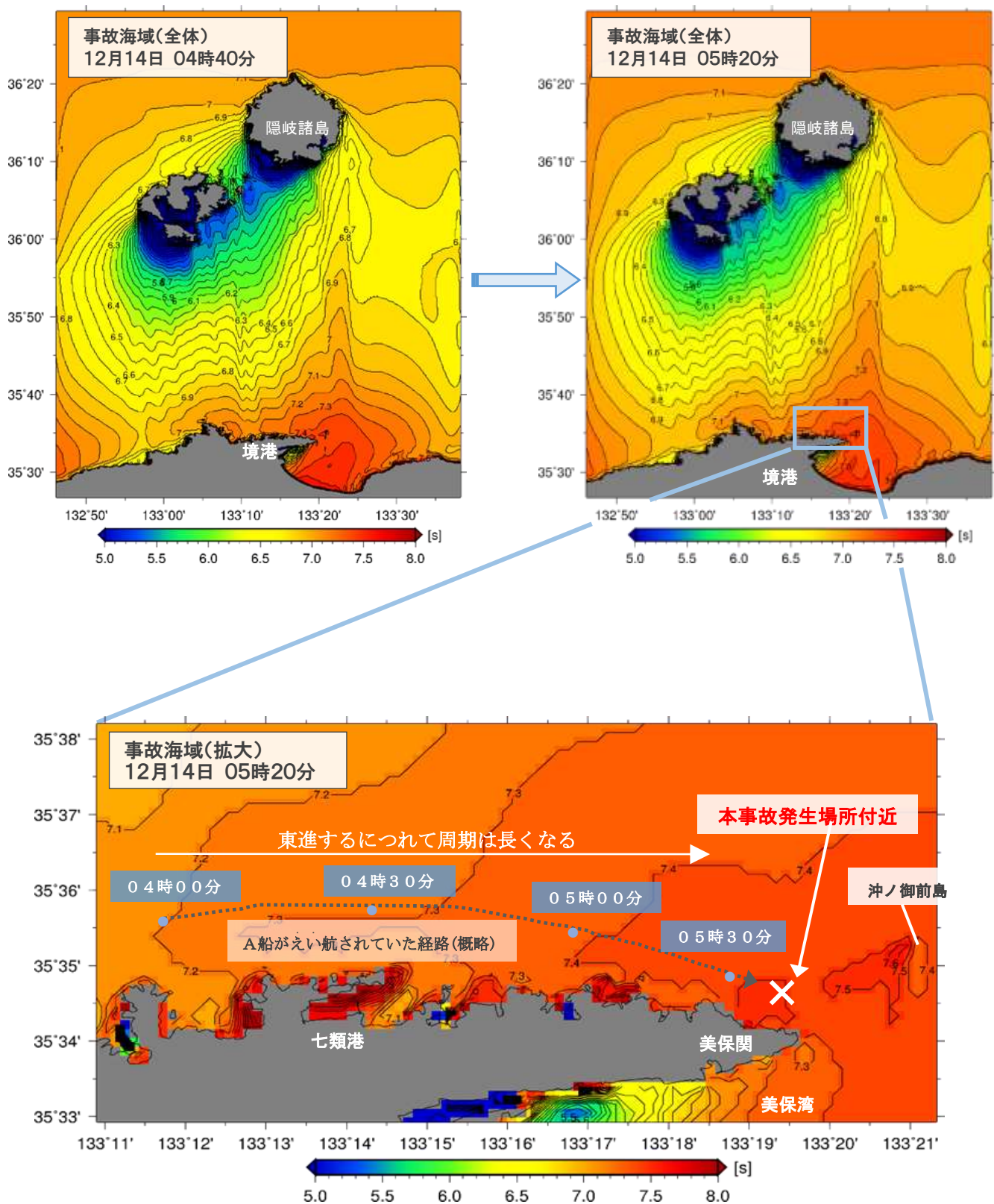
付図2 B船航行経路図(拡大図)



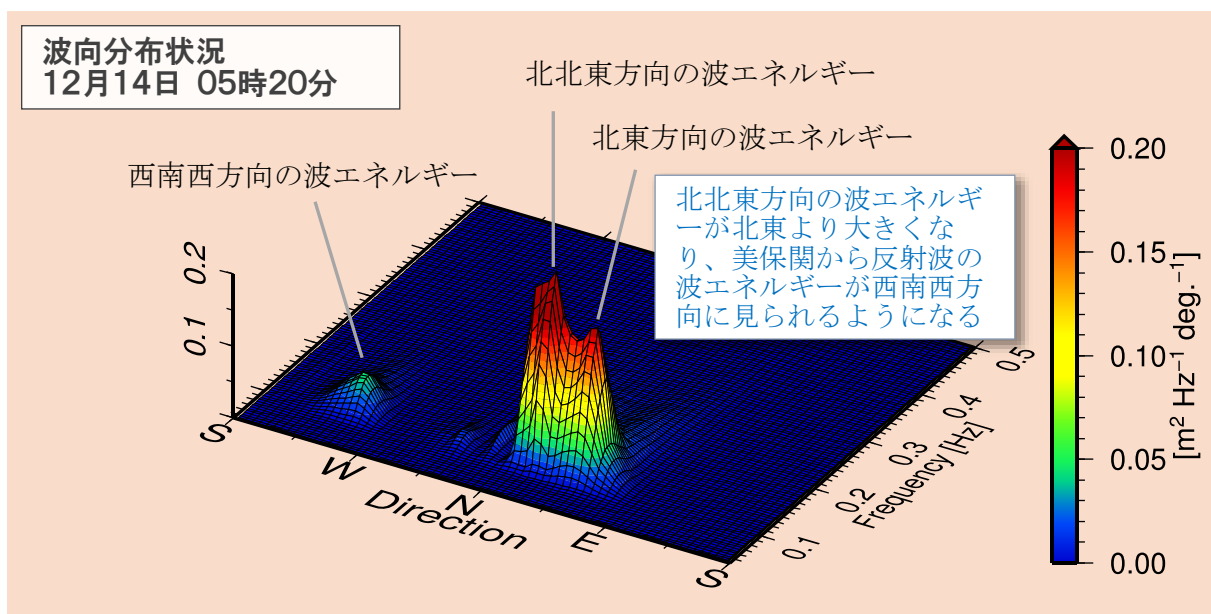
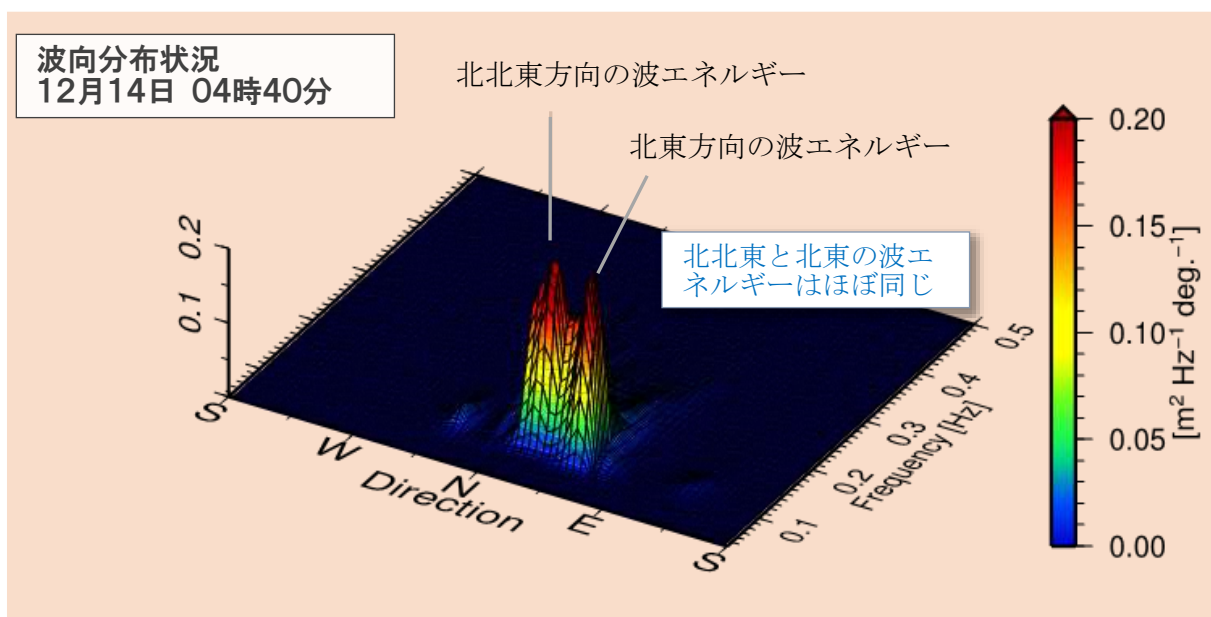
付図3 波高の状況



付図4 周期の状況



## 付図5 波向の状況





被えい航中の沖合底引網漁船転覆事故の  
解析に関する委託調査  
報告書

平成 29 年 11 月

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所  
海上技術安全研究所

## 目次

1. はじめに	1
1. 1 委託調査の目的	1
1. 2 委託調査の概要	1
2. 事故時の復原性能の推定	2
2. 1 事故時の船体状態の推定	2
2. 1. 1 引き揚げ調査時の船体状態	2
2. 1. 2 事故時の船体状態の推定	5
2. 1. 3 事故時の復原性能の推定	8
2. 2 マスト等の改造・活魚水槽の搭載が復原性能に及ぼす影響の検討	9
3. 事故時の曳航状態の推定	12
3. 1 曳航状態の計算	12
3. 2 船速、曳航方向を系統的に変化させた計算結果	15
3. 3 事故当時の条件に合わせた計算結果	18
3. 4 転覆直前の被曳船の状況	18
3. 5 変針時の曳航に関する留意事項	18
4. 被曳航に伴う横傾斜角の推定	21
4. 1 曳航索張力による横傾斜角の計算	21
4. 2 計算結果	21
5. 事故時の風及び波浪による横傾斜角（横揺れ角）の推定	23
5. 1 風による横傾斜	23
5. 2 波浪による横揺れ	24
5. 2. 1 計算の概要	24
5. 2. 2 横揺れ角の短期予測	25
6. 転覆に至るメカニズムの検討	30
6. 1 転覆発生状況の想定	30
6. 2 転覆メカニズムの検討	30
6. 2. 1 事故発生時の復原力	30
6. 2. 2 事故発生時の風及び波浪による横傾斜	31
6. 2. 3 索張力による横傾斜	31
6. 2. 4 エネルギーバランスの計算（その1）	32
6. 2. 5 エネルギーバランスの計算（その2）	35
6. 3 まとめ	37
付録1 風による傾斜モーメント係数の推定	38
付録2 横揺れ減減係数の推定	39
付録3 各時刻の曳航状態に対応したエネルギーバランスの計算	41

## 1. はじめに

### 1. 1 委託調査の目的

本調査は運輸安全委員会からの委託により、平成 28 年 12 月 14 日、島根県美保関灯台沖で被曳航中に発生した沖合底引網漁船（以下「漁船 A」という。）転覆事故調査に資するため、次の解析を行うとともに、被曳航中の漁船転覆に至る状況を 3 次元コンピュータグラフィックス（CG）化することを目的とする。

- ①漁船 A の復原性能の算定
- ②事故時の漁船 A と漁船 A を曳航していた船舶（以下「曳船 B」という。）との位置関係の推定（漁船 A の船首方位と曳航索の角度：横引き角度）及び曳航索張力の推定
- ③上記位置関係における漁船 A の横傾斜角度の算出
- ④漁船 A の転覆に至る状況の検討
- ⑤漁船 A が転覆に至らない曳航方法の検討

### 1. 2 委託調査の概要

具体的な解析事項は以下の通りである。

- (1) 事故時の復原性能の推定（第 2 章）
- (2) 事故時の曳航状態の推定（第 3 章）
- (3) 被曳航に伴う横傾斜角の推定（第 4 章）
- (4) 事故時の風及び波浪による横傾斜角（横揺れ角）の推定（第 5 章）
- (5) 転覆に至るメカニズムの検討（第 6 章）

なお、上記の解析に必要な詳細データに関しては、調査官から提供を受けた。

## 2. 事故時の復原性能の推定

### 2. 1 事故時の船体状態の推定

漁船 A 引き揚げ調査時に計測された喫水・乾舷及び横揺れ固有周期から事故当時の船体状態を推定し、復原性能を算定した。

#### 2. 1. 1 引き揚げ調査時の船体状態

##### (1) 計測結果

調査官から提供された引き揚げ調査時の喫水・乾舷及び横揺れ固有周期の計測結果をまとめて表 2-1 に示す。

表 2-1 喫水・乾舷及び横揺れ固有周期の計測結果

船首喫水標 (右舷)	船尾乾舷 (平均)	横揺れ固有 周期 (平均)
1.15m	3.02m	7.58s

船尾端の乾舷の計測位置については、調査時の動画からブルワークコーナー部中央と判定し、一般配置図 (G/A) と線図から計測位置の基線上高さ及び A.P.からの距離を読み取ったが両者で差異があった。また、船首喫水標の原点については、キール下面と考えられるが、排水量等曲線図に記載された船首部のキール深さと G/A との対応が取れていなかった。

そこで、①船首喫水標の原点としてキール上面と排水量等曲線図に記載された船首部のキール深さを考慮したキール下面の 2 種類、②船尾乾舷の計測位置として G/A から読み取った値と線図から読み取った値の 2 種類を用いて各位置の喫水を求め (表 2-2)、その組み合わせの合計 4 種類の喫水と調査時の動画に示された喫水と対比して、引き揚げ調査時の喫水を検討した。

表 2-2 計測結果に基づき想定した喫水

df_1 (m)	df_2 (m)	d_a.e._1 (m)	d_a.e._2 (m)
1.29	1.49	2.49	2.51

表 2-2 で df\_1 は喫水標原点をキール上面とした船首喫水、df\_2 は喫水標原点をキール下面とした船首喫水、d\_a.e.\_1 は G/A の読み取り位置 (A.P.から 3.80m 後方) を計測位置とした船尾喫水、d\_a.e.\_2 は線図の読み取り位置 (A.P.から 3.98m 後方) を計測位置とした船尾喫水を示す。

図 2-1 及び表 2-3 に喫水・乾舷の計測結果と調査時の動画とを対比して求めた引き揚げ調査時の喫水線 (青線) と船尾喫水 da、船首喫水 df、平均喫水 dm 及び乾舷 fb を示す。

##### (2) 排水量及び重心の前後位置

(1) で想定した引き揚げ調査時の喫水に対応する排水量 (W) 及び重心の前後位置 (浮心の前後位置) (mid-G) を表 2-3 に示す。表中には想定した 4 種類の喫水の内、最小喫水と最大喫水に対応する値も示している。引き揚げ調査時の排水量は約 219t であり、重心の前後位置は船体中央より 2.10m 後方と推定されている。

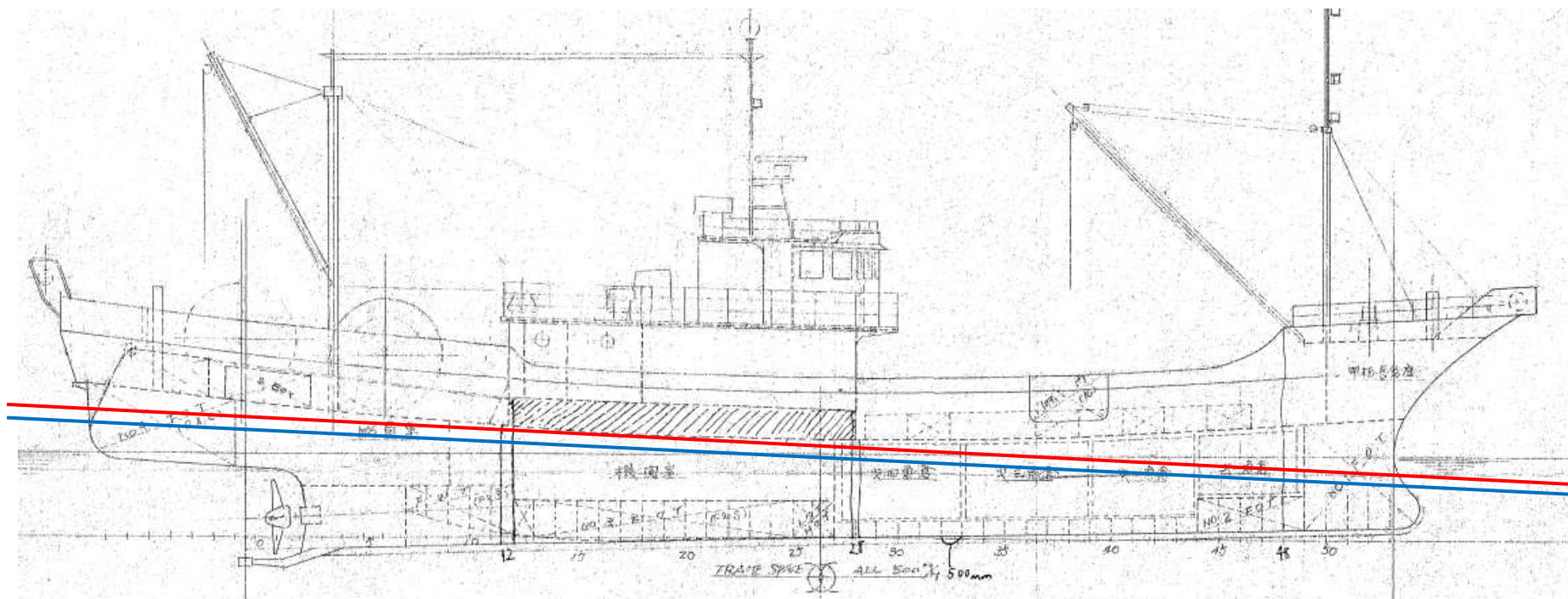


図 2-1 漁船 A 引き揚げ調査時の喫水線（青線）及び調査結果から推定した事故時の状態の喫水線（赤線）

表 2-3 引き揚げ調査時の喫水、乾舷、排水量及び重心の前後位置

状態	da (m)	df (m)	dm (m)	fb (m)	W (t)	mid-G (m)
引き揚げ調査時	2.38	1.29	1.83	0.54	218.71	2.10
喫水設定1(最小)	2.34	1.29	1.81	0.56	214.63	2.02
喫水設定2(最大)	2.38	1.49	1.93	0.44	231.58	1.81

### (3) 重心高さ

国際海事機関 (IMO) の Intact Stability (IS) コードには、タンク等の自由表面影響を考慮した見かけのメタセンタ高さ ( $G_0M$ ) から横揺れ固有周期 ( $T_r$ ) を求める算式として(2-1)式が示されている。

$$T_r = \frac{2CB}{\sqrt{G_0M}} \quad (2-1)$$

$$C = 0.373 + 0.023(B/d) - 0.043(L/100)$$

ここで、L(m)：水線長、B(m)：型幅、d(m)：平均型喫水である。

(2-1)式を変形した(2-2)式を使用すると、計測された横揺れ固有周期  $T_r$  と平均型喫水 d から引き揚げ調査時の見かけのメタセンタ高さが推定される。

$$\overline{G_0M} = \left(\frac{2CB}{T_r}\right)^2 \quad (2-2)$$

更に、喫水から求まる基線上メタセンタ高さ (KM) から、見かけのメタセンタ高さ  $G_0M$  並びに魚艙及び機関室のビルジによる自由表面影響 (見かけの重心上昇量： $GG_0$ ) を差し引くことで、引き揚げ調査時の重心高さ (KG) も推定される ((2-3)式)。

$$\overline{KG} = \overline{KM} - \overline{G_0M} - \overline{GG_0} \quad (2-3)$$

表 2-4 に上記の手順で推定した、見かけのメタセンタ高さ  $G_0M$  並びに魚艙及び機関室のビルジによる見かけの重心上昇量  $GG_0$ を除いた重心高さ KG を示す。見かけの重心上昇量  $GG_0$  は、各魚艙に残置されていたビルジ (水深 0.20m) 及び機関室の船体中心線周辺の凹部に残置されていたビルジ (水深 0.15m) の自由表面の 2 次モーメントの合算値から推定した。表中には、表 2-3 と同様に引き揚げ調査時の計測から想定される最小喫水及び最大喫水に対応する値も示す。

引き揚げ調査時に魚艙及び機関室に残置されていたビルジにより約 0.6m も見かけの重心高さが上昇する。また、表 2-4 から、引き揚げ調査時の計測から想定される 3 種類の喫水に対して、重心高さは最大で 1.5%しか変わらないことが分かる。

表 2-4 引き揚げ調査時の見かけのメタセンタ高さ、重心高さ

状態	KM (m)	$GG_0$ (m)	$T_r$ (sec.)	C	$G_0M$ (m)	KG (m)
引き揚げ調査時	3.02	0.61	7.58	0.433	0.44	1.97
喫水設定1(最小)	3.03	0.63		0.434	0.44	1.96
喫水設定2(最大)	2.96	0.58		0.429	0.44	1.94

## 2. 1. 2 事故時の船体状態の推定

### (1) 軽荷状態の推定

漁船 A の引き揚げ作業を行った業者が作成した残骸回収リストに示された、引き揚げ調査時に漁船 A から撤去された物件（漁網、ロープ等の軽荷状態に含まれない物件は除く）の重量及び G/A 等から推定した設置位置から撤去物件の重量重心計算を行った（表 2-5）。左端の記号は、残骸回収品リストのファイル番号と当該リスト毎に付された物件番号の組合せを示す。表 2-5 に示したウィンチ（2-④, ⑥, ⑦）の重量は、残骸回収リストに記載された値から巻かれていた引き網ロープ等の重量を差し引いた値である。

表 2-5 引き揚げ調査時に撤去された物件（ロープ、漁網等は除く）

記号	名称	重量 (t)	◎G (m)	モーメント (t・m)	KG (m)	モーメント (t・m)	備考
1-⑤	デリックブーム	0.3	(9.00)	(2.70)	6.97	2.09	
1-⑥	日よけ	0.3	(5.35)	(1.61)	4.18	1.25	
1-⑨	日よけ	0.2	(5.35)	(1.07)	4.18	0.84	
1-⑪	門型マスト	2.0	11.70	23.40	6.50	13.00	マスト支柱
1-⑬	ウィンチ	1.5	11.80	17.70	6.50	9.75	船尾ネットドラム
1-⑫	門型マスト	0.5	11.35	5.68	8.80	4.40	マスト横桁
1-⑭	ベンチレータ	0.2	2.51	0.50	7.00	1.40	船橋天板上
2-①	門型マスト	0.6	11.35	6.81	8.80	5.28	マスト横桁
2-③	ウィンチ部品	0.1	10.15	1.02	4.21	0.42	左舷ウィンチ
2-④	左舷ウィンチ	1.6	10.15	16.45	4.21	6.82	
2-⑤	左舷アンカー	0.4	(16.30)	(6.52)	5.60	2.24	
2-⑥	中央ウィンチ	0.8	4.80	3.60	5.70	4.28	中央ネットドラム
2-⑦	右舷ウィンチ	2.2	13.40	29.76	4.60	10.22	
3-②	ハンドレール1	0.1	2.65	0.27	5.00	0.50	
3-③	ハンドレール2	0.1	2.65	0.27	5.00	0.50	
3-⑥	ボックス	0.5	(8.85)	(4.43)	2.53	1.27	冷海水装置と判断
	合計	11.39	7.82	89.13	5.64	64.25	

また、引き揚げ作業のために上甲板に搭載されていた物件についても重量重心計算を行った（表 2-6）。表 2-6 に示した物件については大きさが不明であったため、各物件の重心高さは上甲板 0.25m と想定した。

更に、引き揚げ調査時に魚艙内に残置されていた物件（表 2-7）並びに魚艙及び機関室のビルジ（表 2-8）の重量重心計算を行った。

表 2-6 引き揚げ調査のために搭載されていた物件

名称	重量 (t)	◎G (m)	モーメント (t・m)	KG (m)	モーメント (t・m)	上甲板上搭載位置
溶接機	0.50	(6.85)	(3.43)	2.69	1.35	左舷 Fr.40
ベニヤ板、鋼材	0.06	(6.23)	(0.37)	2.66	0.16	中央 Fr.31~Fr.46.5
ロープ	1.00	(5.85)	(5.85)	2.64	2.64	右舷 Fr.38
合計	1.56	(6.18)	(9.65)	2.66	4.14	

表 2-7 引き揚げ調査時に魚艙に残置されていた物件

項目	重量 (t)	◎G (m)	モーメント (t・m)	KG (m)	モーメント (t・m)	備考
(No.2 F.H.)						
漁獲物	0.82	(7.50)	(6.15)	0.609	0.50	
発泡スチロール	0.40	(7.50)	(3.00)	1.575	0.63	船橋周辺の魚箱
(No.3 F.H.)						
漁獲物	0.82	(4.80)	(3.94)	0.525	0.43	
発泡スチロール	0.40	(4.80)	(1.92)	1.488	0.60	船橋周辺の魚箱
(No.4 F.H.)						
活魚水槽(大):No.4 F.H.	0.46	(1.90)	(4.77)	0.960	2.41	海水分は除く
活魚水槽(大):No.4 F.H.	0.38	(1.90)	(3.06)	1.110	1.79	海水分は除く
合計	3.29	(6.95)	(22.85)	1.93	6.36	

表 2-8 引き揚げ調査時のビルジ (魚艙及び機関室)

## 魚艙

項目	重量 (t)	mid-G (m)	モーメント (t・m)	KG (m)	モーメント (t・m)
No.1 F.H.	1.93	(9.98)	(19.26)	1.18	2.27
No.2 F.H.	2.40	(7.55)	(18.14)	0.65	1.56
No.3 F.H.	3.37	(4.83)	(16.28)	0.58	1.94
No.4 F.H.	3.49	(1.85)	(6.45)	0.50	1.75
合計	11.19	(5.37)	(60.12)	0.67	7.51

## 機関室

項目	重量 (t)	mid-G (m)	モーメント (t・m)	KG (m)	モーメント (t・m)
上部	3.32	4.15	13.78	0.74	2.44
下部	2.72	4.15	11.27	0.41	1.11
合計	6.04	4.15	25.05	0.59	3.55

## 総計

	重量 (t)	mid-G (m)	モーメント (t・m)	KG (m)	モーメント (t・m)
魚艙	11.19	(5.37)	(60.12)	0.67	7.51
機関室	6.04	4.15	25.05	0.59	3.55
合計	17.23	(2.04)	(35.07)	0.64	11.07

引き揚げ調査時の状態(表 2-3 及び表 2-4)を基に、引き揚げ調査時に撤去された物件(表 2-5)、引き揚げ調査のために搭載されていた物件(表 2-6)、引き揚げ調査時に魚艙内に残置されていた物件(表 2-7)並びに魚艙及び機関室のビルジ(表 2-8)を考慮して軽荷状態を推定した(表 2-9)。

表 2-10 に引き揚げ調査時の計測結果から推定した軽荷状態の重量重心と建造時の重量重心計算書に示された軽荷状態でマスト等の改造分を修正した重量重心を比較して示す。引き揚げ調査時の計測結果から推定した軽荷状態の排水量 W は約 208t であり、マスト等の改造分を修正した建造時の軽荷状態の排水量(約 154t)より 50t 以上も重い。また、引き揚げ調査時の計測結果から推定した軽荷状態の重心の前後位置 mid-G は、マスト等の改造分を修正した建造時の軽荷状態



の値より約 1.1m 後方となる。一方、重心高さ KG に関しては、引き揚げ調査時の計測結果から推定した値とマスト等の改造分を修正した建造時の軽荷状態の値で大きな差異はない。

表 2-9 引き揚げ調査時の計測結果に基づく軽荷状態の推定結果

項目	重量 (t)	mid-G (m)	モーメント (t・m)	KG (m)	モーメント (t・m)	備考
引き揚げ調査時状態	218.71	2.10	460.16	1.97	430.34	喫水及び固有周期計測値から推定
搭載するもの	11.39	7.82	89.13	5.64	64.25	撤去物件
降ろすもの	1.56	(6.18)	(9.65)	2.66	4.14	引き揚げ作業用搭載物件
	3.29	(6.95)	(22.85)	1.93	6.36	引き揚げ調査時残置物件
	17.23	(2.04)	(35.07)	0.64	11.07	引き揚げ調査時ビルジ
合計	208.02	2.97	616.84	2.27	473.03	

表 2-10 軽荷状態の重量重心の推定結果

状態	W(t)	mid-G (m)	KG (m)
軽荷状態(引き揚げ調査)	208.02	2.97	2.27
軽荷状態(重量重心計算書:改造後)	153.51	1.87	2.29

## (2) 事故時の船体状態の推定

表 2-11 事故時の状態の重量重心計算表 (引き揚げ調査時の計測結果に基づく軽荷状態を使用)

項目	重量 (t)	⊗G (m)	モーメント (t・m)	KG (m)	モーメント (t・m)	I×ρ (t・m)
乗組員所持品	1.35	11.60	15.66	2.40	3.24	
食料	0.18	8.00	1.44	2.00	0.36	
清水	3.14	8.30	26.06	0.77	2.41	0.86
燃料油	16.62	(2.99)	(49.64)	0.35	5.89	9.37
潤滑油	1.10	0.10	0.11	0.39	0.42	0.36
漁労油タンク	1.12	0.10	0.11	0.40	0.45	0.36
小出油タンク	1.32	7.30	9.65	3.00	3.97	
氷	4.00	(6.15)	(24.60)	0.68	2.73	
漁具	13.61	10.26	139.71	4.06	55.25	
漁獲物	18.16	(5.14)	(93.25)	2.37	43.01	
魚箱	0.80	(0.82)	(0.66)	4.93	3.95	
冷海水装置	0.13	(8.85)	(1.15)	2.53	0.33	
載荷物合計	61.53	0.38	23.44	1.98	122.01	10.95
軽荷状態(引き揚げ時調査)	208.02	2.97	616.84	2.27	473.03	
計	269.56	2.38	640.29	2.21	595.04	10.95

表 2-9 に示した引き揚げ調査時の計測結果に基づいて推定した軽荷状態と提供された漁船 A 重量重心調査シート等を基に G/A 等からデータを読みとるなどして重量重心計算書のデータを修正した結果を用いて、事故時の状態の重量重心計算を行った (表 2-11)。

事故時の状態の重量重心計算結果を表 2-12 に示す。表中には、比較のため、マスト等の改造分を修正した建造時の軽荷状態を用いて事故時の状態の排水量等を算定した結果も示している。

表 2-12 事故時の状態の重量重心の推定結果

状態	W (t)	mid-G (m)	KG (m)	GG <sub>0</sub> (m)
事故時状態(引き揚げ調査)	269.56	2.38	2.21	0.04
事故時状態(重量重心計算書:改造後)	215.04	1.44	2.21	0.05

### 2. 1. 3 事故時の復原性能の推定

表 2-12 に示した状態について当所が所有するトリムフリーの計算プログラムを用いて復原力計算を行った。浮力範囲は上甲板及び膨張甲板下並びに船首楼とした。

計算結果を図 2-2、表 2-13 及び表 2-14 に示す。表 2-14 で  $\phi_{max}$  は復原てこが最大となる傾斜角、 $\phi_w$  は甲板室左舷内壁の賅室出入り口からの海水流入角である。また、図 2-1 に引き揚げ調査時の計測結果に基づいて推定した軽荷状態を用いて算定した事故時の状態の喫水線を赤線で示す。引き揚げ調査時の計測結果に基づいて推定した軽荷状態を用いて算定した事故時の状態は、マスト等の改造分を修正した建造時の軽荷状態を用いて算定した事故時の状態より排水量が大きく、喫水が深いため、大傾斜時の復原性 ( $GZ_{max}$  等) が劣っている。

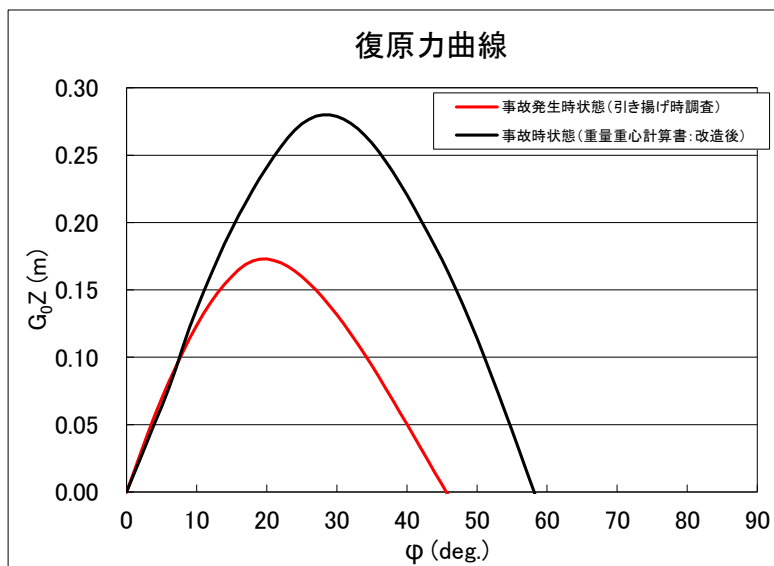


図 2-2 事故時の状態の復原力計算結果 (浮力範囲: 上甲板+膨張甲板下及び船首楼)

表 2-13 事故時の状態の喫水 (da : 船尾、df : 船首、dm : 平均) 及び乾舷 (fb)

状態	da (m)	df (m)	dm (m)	fb (m)
事故時状態(引き揚げ調査)	2.73	1.54	2.14	0.24
事故時状態(重量重心計算書:改造後)	2.20	1.49	1.85	0.52

表 2-14 事故時の状態のメタセンタ高さ (GoM)、復原てこの最大値 (GZ<sub>max</sub>) 等

状態	GoM (m)	GZ <sub>max</sub> (m)	φ max (deg.)	φ w (deg.)
事故時状態(引き揚げ調査)	0.79	0.17	20	31.9
事故時状態(重量重心計算書:改造後)	0.73	0.28	29	47.2

## 2. 2 マスト等の改造・活魚水槽の搭載が復原性能に及ぼす影響の検討

漁船 A は、建造後マスト等が改造されたほか、建造時にはなかった活魚水槽 7 個を上甲板上に搭載していた。

そこで、引き揚げ調査時の計測結果から推定した軽荷状態を用いて算定した事故時の船体状態を基に、マスト等の改造や活魚水槽を上甲板上に搭載したことが本船の復原性に及ぼす影響を調べた。

### (1) 重量重心計算

漁船 A 引き揚げ調査時の計測データから推定した事故時の船体状態を基に、①改造前(建造時)の軽荷状態で事故発生時と同様に活魚水槽を上甲板上に搭載したと想定した状態(想定状態-1)、②事故発生時と同じ改造後の軽荷状態で活魚水槽を魚艙に降ろしたと想定した状態(想定状態-2)、③改造前の軽荷状態で活魚水槽を魚艙に降ろしたと想定した状態(想定状態-3)、④事故発生時と同じ改造後の軽荷状態で甲板上の活魚水槽を船外に降ろした状態(想定状態-4)の重量重心計算を行った(表 2-15)。その際、マスト等の改造に伴う重量重心の変化量に関しては調査官から提供されたデータを用いた。

表 2-15 には比較のため表 2-12 に示した事故時の状態や建造時の重量重心計算書に示された漁場発状態の重量重心も示している。表 2-15 からマスト等の改造や活魚水槽の搭載等により排水量が約 33.3t 増加し、重心高さが約 0.16m 上昇していることが分かる(事故時の状態と漁場発状態(重量重心計算書)の比較)。また、活魚水槽を上甲板から魚艙に降ろすことで重心高さが 0.09m 程度低くなること分かる(事故発生時状態と想定状態-2 の比較)。

表 2-15 想定状態の重量重心の計算結果

状態	W (t)	mid-G (m)	KG (m)	GG <sub>0</sub> (m)
事故時状態(引き揚げ調査)	269.56	2.38	2.21	0.04
想定状態-1(改造前+水槽上甲板)	264.27	2.25	2.13	0.04
想定状態-2(改造後+水槽魚艙)	269.56	2.38	2.12	0.04
想定状態-3(改造前+水槽魚艙)	264.27	2.25	2.04	0.04
想定状態-4(改造後+甲板上水槽無)	257.16	2.78	2.17	0.04
漁場発状態(重量重心計算書)	236.23	1.31	2.05	0.00

## (2) 復原力計算

表 2-15 に示した 6 つの状態について当所が所有するトリムフリーの計算プログラムを用いて復原力計算を行った。計算結果を表 2-16、表 2-17、図 2-3 に示す。表 2-17 で  $\phi_B$  はブルワーク上端が没水する傾斜角である。

表 2-16 喫水 ( $d_a$  : 船尾、 $d_f$  : 船首、 $d_m$  : 平均) 及び乾舷 ( $f_b$ )

状態	$d_a$ (m)	$d_f$ (m)	$d_m$ (m)	$f_b$ (m)
事故時状態(引き揚げ調査)	2.73	1.54	2.14	0.24
想定状態-1(改造前+水槽上甲板)	2.67	1.55	2.11	0.26
想定状態-2(改造後+水槽魚艙)	2.73	1.54	2.14	0.24
想定状態-3(改造前+水槽魚艙)	2.67	1.55	2.11	0.26
想定状態-4(改造後+甲板上水槽無)	2.77	1.29	2.03	0.34
漁場発状態(重量重心計算書)	2.28	1.71	2.00	0.38

表 2-17 メタセンタ高さ ( $G_0M$ )、復原てこの最大値 ( $G_0Z_{max}$ ) 等

状態	$G_0M$ (m)	$GZ_{max}$ (m)	$\phi_{max}$ (deg.)	$\phi_w$ (deg.)	$\phi_B$ (deg.)
事故時状態(引き揚げ調査)	0.79	0.17	20	31.9	24.1
想定状態-1(改造前+水槽上甲板)	0.80	0.21	22	33.4	24.4
想定状態-2(改造後+水槽魚艙)	0.88	0.20	22	31.9	24.1
想定状態-3(改造前+水槽魚艙)	0.89	0.25	24	33.4	24.4
想定状態-4(改造後+甲板上水槽無)	0.76	0.21	23	32.8	25.9
漁場発状態(重量重心計算書)	0.87	0.31	29	42.9	26.0

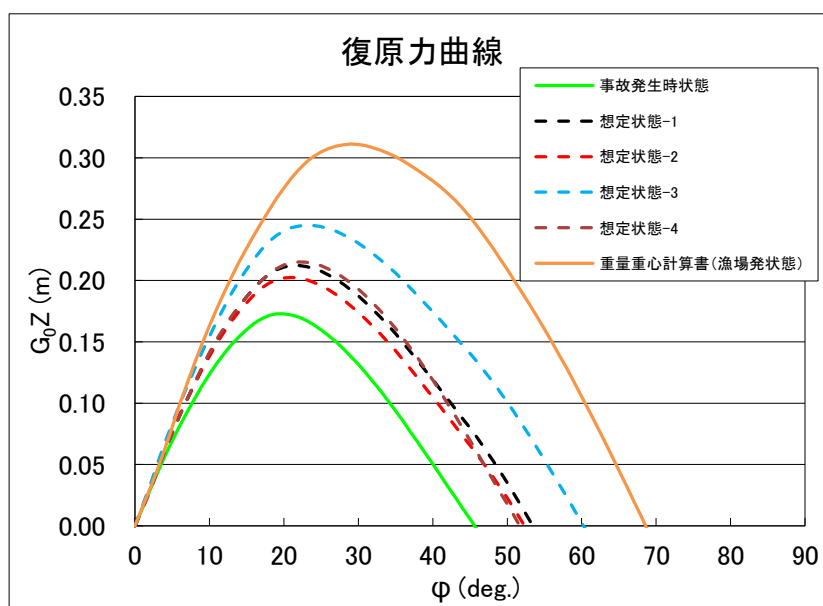


図 2-3 復原力計算結果

これらの図表から、

- ①マスト等の改造により、復原てこの最大値  $GZ_{max}$  が 0.04m 小さくなるなど (事故時の状態と想定状態-1 の比較)、船体改造により復原性が低下していること

- ②活魚水槽を魚艙に降ろした状態（想定状態-2）では、事故発生時の状態に比べて  $GM$  は  $0.09m$ 、 $GZ_{max}$  は  $0.03m$  程度大きくなること
- ③マスト等を改造した復原性が低下した状態であっても活魚水槽を魚艙に降ろすことで（想定状態-2）、改造前の状態で活魚水槽を上甲板上に搭載した場合（想定状態-1）とほぼ同じ大傾斜時の復原性能を保持することができること
- などが分かる。

### 3. 事故時の曳航状態の推定

#### 3.1 曳航状態の計算

曳船・被曳船の曳航時の挙動と索張力を、当所で開発した最適曳航支援システム<sup>1)</sup>を用いて計算した。本システムは曳船・被曳船の操縦運動計算プログラムで、MMGモデルをベースにした曳船・被曳船系の連成運動方程式で計算している。曳船・被曳船の外力項は船体に働く流体力、波、風、索張力による成分が加わる。船体に働く規則波中の流体力は3次元特異点分布法で、波による成分は規則波中の定常流体力（波漂流力）を丸尾の推定式<sup>2)</sup>で、波漂流モーメントをNewmanの推定式<sup>3)</sup>で与えている。風による成分は藤原ら<sup>4)</sup>の回帰分析による風圧力推定式を用いて与えている。また、操縦微係数は貴島の近似式<sup>5)</sup>を用いて推定した。曳航索張力は空中でカタナリー曲線を形成すると仮定して、曳航索の伸びを考慮した曳航索長さと曳船・被曳船の曳航点間距離の関係式<sup>6)</sup>で推定する。曳航計算で設定した条件を以下に示す。

#### (1) 事故時の気象海象と曳航方向

提供された事故当時の現場海域の波と風の推算値を表3-1に示す。有義波高の平均値は3.5m、有義波周期の平均値は7.3sec.、5:00までの波向きは32deg.である。風速の平均値は12m/s、5:00までの風向の平均値は25deg.である。次にGPSデータから求められた曳船の針路と曳航速度の平均値を表3-2に示す。曳船は東に向けて曳航し、その後港に向けて徐々に変針を行った。曳き始めの曳航速度は5knで、曳航中は5~6knの範囲である。

表3-1 事故当時の現場海域の風と波の推算値

時刻 項目	4:00	4:20	4:40	5:00	5:20
有義波高 [m]	3.51	3.40	3.42	3.49	3.57
有義波周期 [s]	7.1	7.2	7.2	7.4	7.4
波向 [deg]	33.4	32.0	30.0	32.1	25.2
風速 [m/s]	11.78	11.89	11.82	11.68	11.40
風向 [deg]	25.5	25.4	25.0	25.2	27.5

表3-2 曳船の針路と曳航速度

時刻 項目	4:00	4:20	4:40	5:00	5:15
曳船針路[deg]	77.9	87.1	105.0	101.4	125.9
曳航速度[kn]	5.0	5.2	5.5	5.5	6.0

平均風向・波向と曳船の針路との関係を図3-1に示す。曳船は、曳き始めは風を左舷向側50deg.、波を左舷向側43deg.で受けて曳航していたことになる。徐々に針路を変えていくと波は左舷横から、風は斜め追風になる。

曳航計算での気象海象は図3-1に示す風向、波向で風速12m/s、波高3.5m、波周期7.3sec.の規則波中とする。曳船の針路は75deg.を曳航方向角 $\beta=0deg.$ とし、時計回りに曳航方向角を10、

20、30、50deg. (針路 85、95、105、125deg.) と変化させて計算を行う。

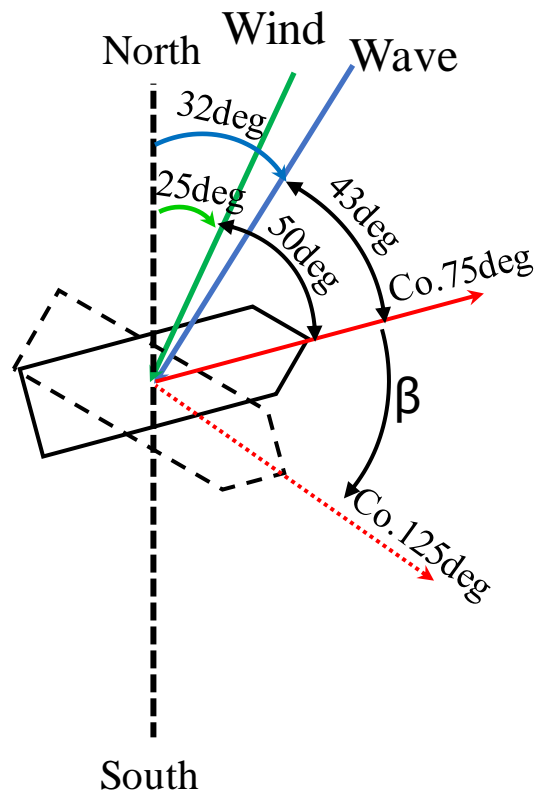


図3-1 風・波との出会い角

## (2) 曳船

曳船は船長( $L_{pp}$ )29.3m、幅 6.25m の沖合底引き網漁船である。推進器は 4 翼 CPP が 1 基、主機は定格出力 956kW、850 $\text{min}^{-1}$  のディーゼル機関である。ここで曳航時の曳船の主機回転数から曳航時の曳引力を大まかに検討する。

事故当時（曳航中）は回転数を 600~650 $\text{min}^{-1}$  とし、翼角を調整して曳航速度を保っていたとのことである。曳船の主機の回転数と主機出力の関係を図 3-2 に示す。曳航時 650 $\text{min}^{-1}$  の場合は、図中の PROPELLER DESIGN CURVE (B)（曳航用固定ピッチプロペラ）より出力は約 320kW（435PS）である。ただし、この曲線は固定ピッチプロペラに対するものであり、可変ピッチの際は異なることに留意が必要である。

一般的に曳引力は主機 100PS に対し約 1tf の割合  $\eta$  とされており、曳船は約 4tf 程度の曳引力相当の出力を保持していたことになる。曳引力から自船の抵抗を曳いた値が曳航に使う曳航力になる。よって約 3tf~3.5tf 程度の曳航力（索張力）で曳航していたと考えられる。

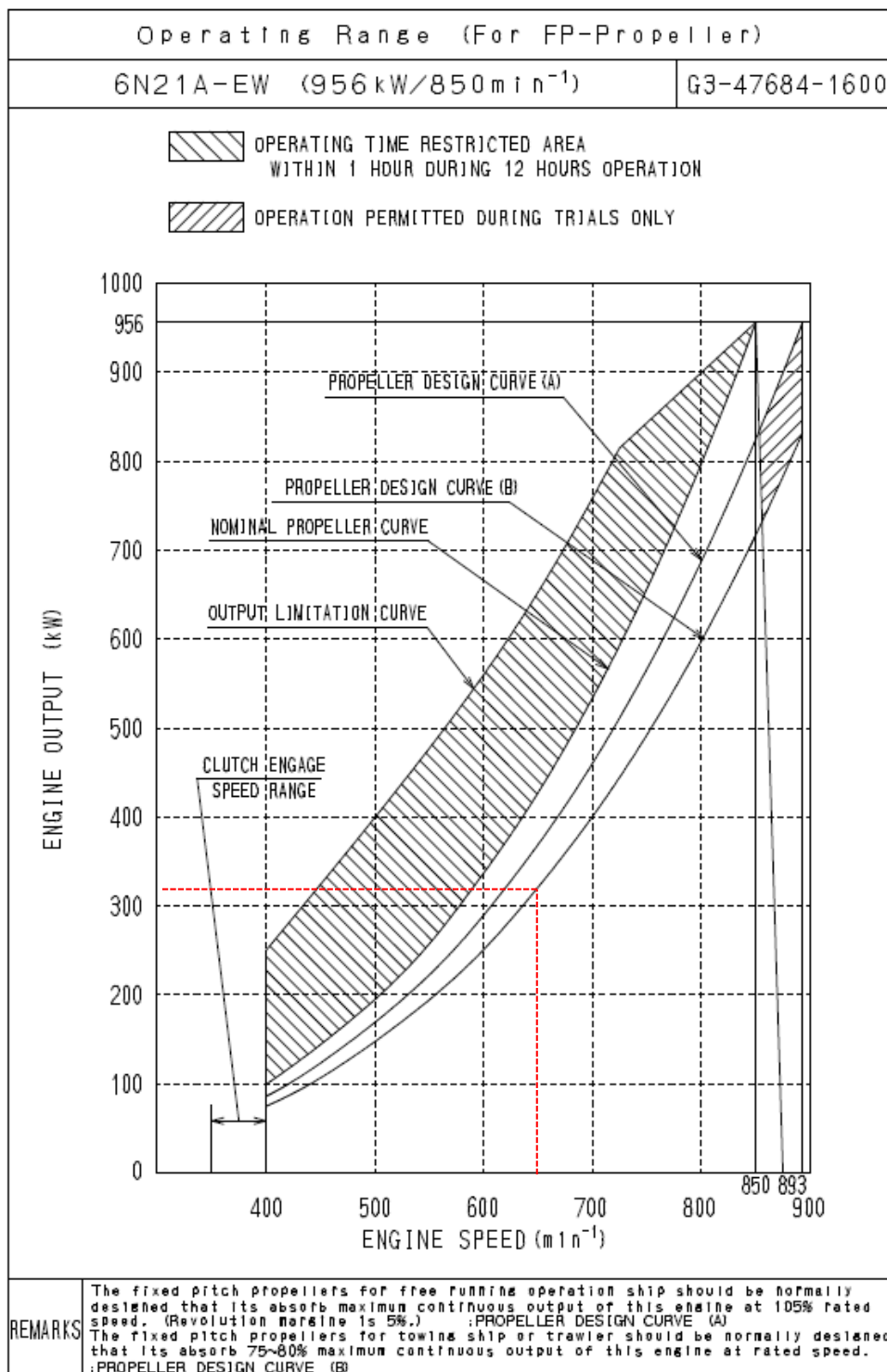


図3-2 曳船の主機出力曲線

### (3) 曳航索

曳航索は材質がポリオレフィンを主素材とした索径 45mm のクロスロープ“ハリケーン Z”である。事故当時、曳航索は曳船船尾甲板上から船尾外まで約 30m のブライドルを作り、その先から主索を約 100m 繰り出していた。計算では曳航索を 130m と設定する。索の単位重量 Dw は 1.02kg/m、破断荷重は 306kN (NK 規格) である。求めた曳航索のヤング率とばね定数を表 3-3



に示す。索の伸度は図 3-3 に示す伸び率曲線より曳航時にかかる荷重を十分に含む 7.5%とした。

表3-3 曳航索のばね定数

索長	L	130	m
索径	$\phi$	45	mm
単位重量	DW	1.02	kg/m
破断強度	TF	31192.7	kg
索断面積	S	0.00159	m <sup>2</sup>
伸度	$\Delta L/L$	0.075	
ヤング率	E	261,502,742	kg/m <sup>2</sup>
ばね定数	$KK_1 = E \cdot S / L$		
	$KK_1$	3199.2	kg/m
	$KK_2 = TF / \Delta L$		
	$KK_2$	3199.2	kg/m

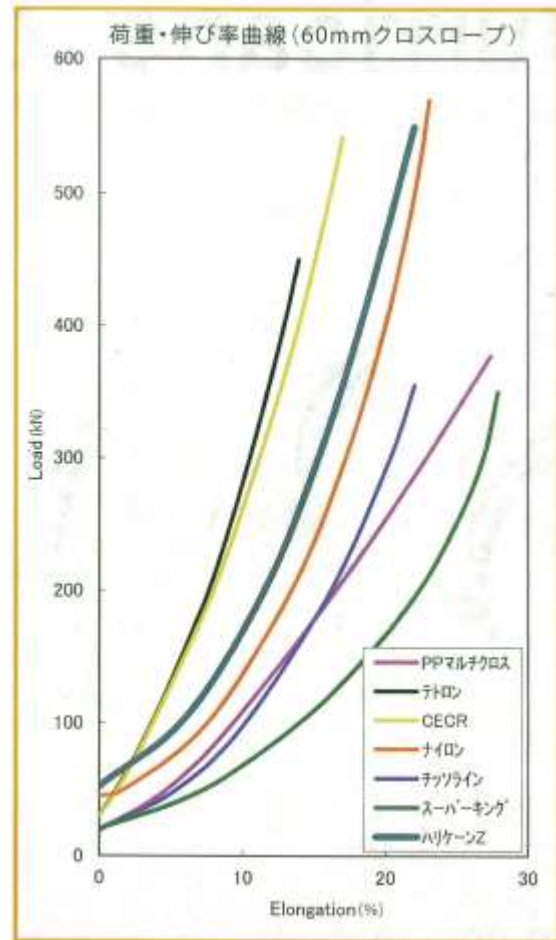


図3-3 曳航索の伸び率曲線

### 3. 2 船速、曳航方向を系統的に変化させた計算結果

風速 12m/s、相対風向角左舷 50deg.、波高 3.5m、波周期 7.3sec.、相対波向角左舷 43deg.の気象海象条件で、曳航速度 5.0、5.5、6.0kn で曳航した場合の曳航索の振れ回り角度 $\theta_1$ 、最大索張力、最大サグ量、索張力によって生じる被曳船に働く横方向の力の最大値およびその時の被曳船の船首方位と曳航索が成す角（被曳船側から見た曳航索の振れ回り角度） $\theta_2$ 、被曳船に働く横方向の力の平均値の計算結果を表 3-4 に示す。曳船側から見た曳航索の振れ回り角度 $\theta_1$ と被曳船側から見た振れ回り角度 $\theta_2$ の定義を図 3-4 に示す。曳航速度 5.0、5.5、6.0kn での曳航計算結果では曳船の右舷側で被曳船が振れ回りを起こしており、振れ回り範囲は曳船右舷側-43.0deg.から曳船左舷側 0.1deg.である。図 3-5 に船速毎の振れ回りの範囲を示す。これは振れ回りを起こした際に、「被曳船は曳船の左舷側には大きくは出ず、ほぼ曳船の後方で留まっていた」という口述と一致する。

表 3-4 の索張力は曳航開始直後の変動は外し、振れ回り運動が安定した状態での最大値を示している。曳航速度 5.0kn での索張力と振れ回り角度の時系列変化を図 3-6、図 3-7 に示す。被曳船の振れ回りに伴い、索張力が変動していることが分かる。索張力の計算結果は約 3tf 程度であ

り、曳船の曳航時の出力から概算した曳航力とほぼ一致する。

曳航索の索のたるみを表すサグ量（図 3-8）は約 1.2~3.3m 程度と短い。曳船、被曳船の曳航点（デッキ上）から海面まで約 3.5m 前後であるため「曳航索が張って海面から出ていたり、海面に付いたりしていた」という口述と一致する。

表3-4 曳航速度を変化させた振れ回り角度と索張力

曳航速度 [kn]	振れ回り	振れ回り角度 $\theta_1$ [deg.]			最大索張 力 [tf]	最大サグ 量 [m]	被曳船横方 向力最大 [tf]	被曳船索方 向 $\theta_2$ [deg.]	被曳船横方 向力平均 [tf]
		右舷側	左舷側	平均					
5.0	○	-43.0	0.1	-22.8	3.35	3.27	2.63	52.0	1.65
5.5	○	-35.2	-7.3	-22.4	3.39	1.40	2.31	42.9	1.73
6.0	○	-37.5	-9.9	-22.0	3.56	1.21	2.26	39.5	1.76

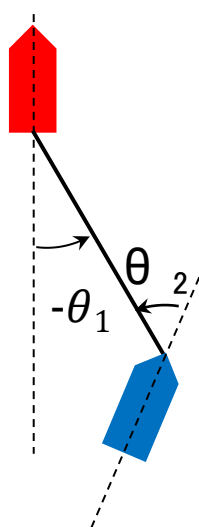


図3-4 振れ回り角 $\theta_1, \theta_2$ の定義

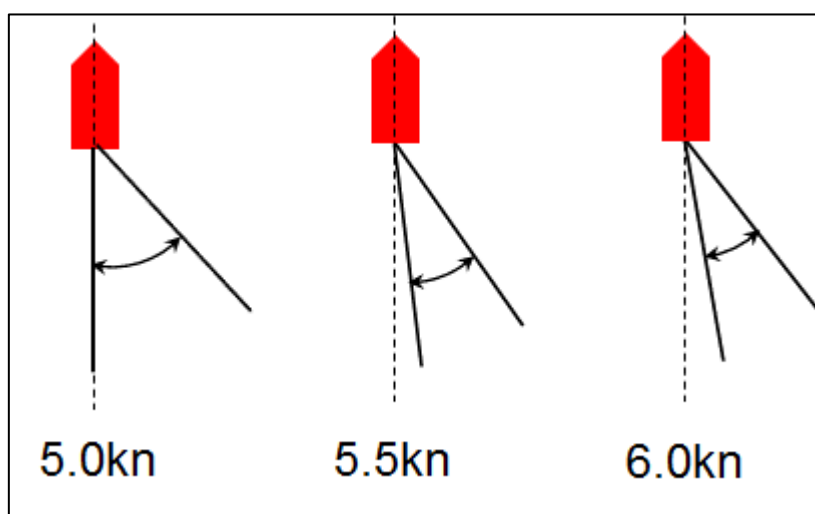


図3-5 船速毎の曳航索振れ回り範囲（曳航方向 $\beta=0\text{deg.}$ ）

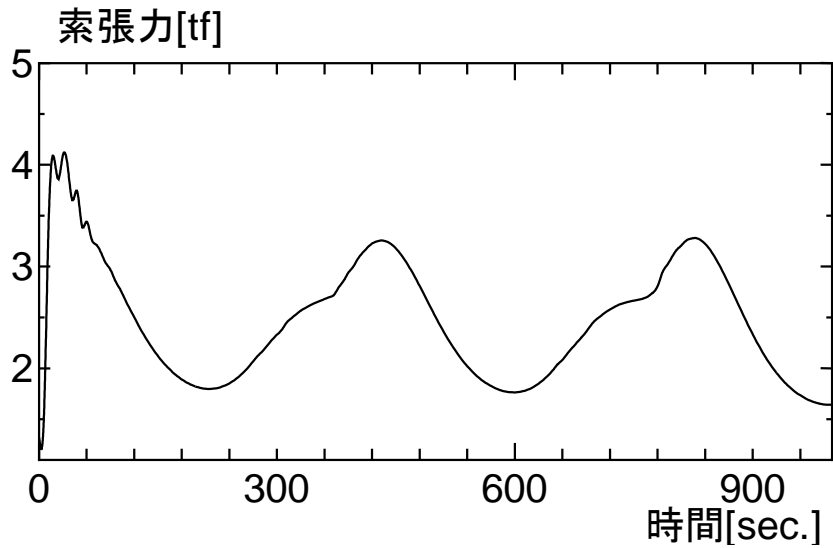


図3-6 曳航速度 5.0kn での索張力 (曳航方向  $\beta=0\text{deg.}$ )

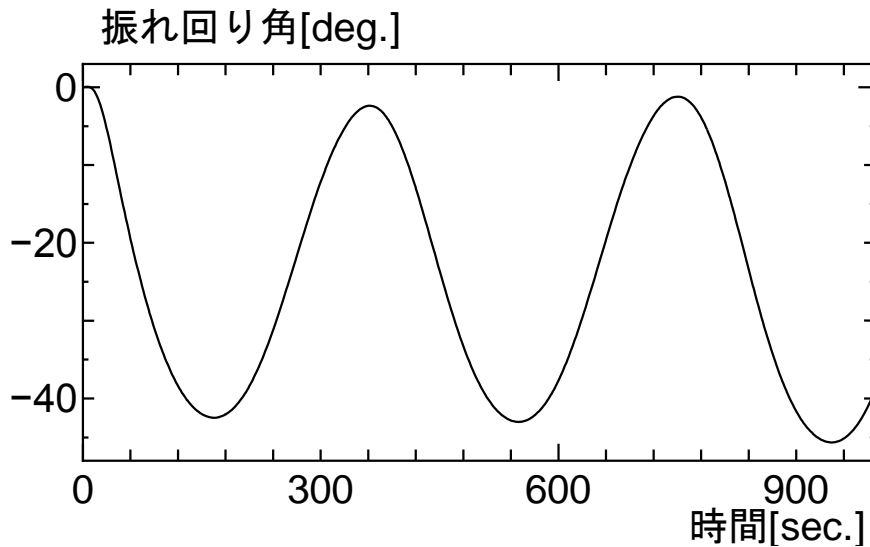


図3-7 曳航速度 5.0kn での振れ回り角 (曳航方向  $\beta=0\text{deg.}$ )

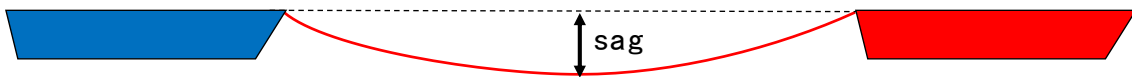


図3-8 サグの定義

次に同様の気象海象下で曳航速度を 6.0kn で一定とし、曳航方向角 $\beta$ を右回頭方向に 10、20、30、50deg.と変化させた場合の計算結果を表 3-5 に示す。曳航方向角 20deg.までは振れ回りを起こしており、索張力は少しずつ大きくなる。それ以上になると被曳船は振れ回りを起こさず風下・波下側の一定の位置で曳航される。

なお、本計算では被曳船の振れ回りを口述と一致させるため、喫水 2.0m で計算を行っている。

表3-5 曳航方向を変化させた振れ回り角度と索張力 (船速 6.0kn)

曳航方向 $\beta$ [deg]	振れ回り	振れ回り角度 $\theta_1$ [deg.]			最大索張 力 [tf]	最大サグ 量 [m]	被曳船横方 向力最大 [tf]	被曳船索方 向 $\theta_2$ [deg]	被曳船横方 向力平均 [tf]
		右舷側	左舷側	平均					
0	○	-37.5	-9.9	-22.0	3.56	1.21	2.26	39.5	1.76
10	○	-68.4	13.1	-27.3	4.03	1.72	3.12	51.5	1.77
20	○	-63.7	0.5	-27.7	4.12	1.66	3.28	52.8	2.05
30	-	-23.0	-22.8	-22.8	3.22	1.55	2.42	48.8	2.42
50	-	-30.3	-29.4	-29.9	3.02	1.54	2.19	46.5	2.19

### 3. 3 事故当時の条件に合わせた計算結果

曳航開始時の 4:00 から 5:00 まで 20 分おきの気象海象と、同じく曳航速度と針路の平均値を用いて曳航計算を実施した。なお、“5:15”の曳航状態の計算は、5:20 の気象海象と 5:15 の曳航速度と針路に対して行った。計算結果を表 3-6 に示す。曳航開始後しばらくは曳船右舷側を中心に振れ回りが発生し、その後、曳船の変針とともに風、波が横から被曳船に当たるようになると被曳船は波下、風下側に流されて曳航される。索張力は 3tf 程度である。

表3-6 事故当時の条件に合わせた振れ回り角度と索張力の計算結果

時刻	振れ回り	振れ回り角度 $\theta_1$ [deg.]			最大索張 力 [tf]	最大サグ 量 [m]	被曳船横方 向力最大 [tf]	被曳船索方 向 $\theta_2$ [deg]	被曳船横方 向力平均 [tf]
		右舷側	左舷側	平均					
4:00	○	-42.2	0.1	-24.0	3.33	1.62	2.45	47.3	1.64
4:20	○	-40.4	0.1	-23.6	3.23	1.53	2.25	44.2	1.66
4:40	-	-25.4	-23.3	-23.6	2.99	1.84	2.28	49.8	2.28
5:00	-	-21.2	-17.6	-19.6	3.09	1.79	2.34	49.3	2.34
5:15	○	-46.2	-17.2	-29.9	3.36	1.57	2.70	46.7	2.13

### 3. 4 転覆直前の被曳船の状況

転覆直前に被曳船（漁船 A）から連絡があった時、「曳船船橋右舷側窓から被曳船を確認できなかった」という口述がある。つまり、曳船の左舷側に被曳船がいた可能性がある。一般的に直進曳航中では被曳船は風下、波下側に流され、曳船の右舷側に位置すると考えられる。しかし、転覆前には曳船は港に戻るために右回頭方向に徐々に変針を行っていた。これまで風と波の影響を受けて波下、風下に流されていた被曳船が、変針時に曳船に追従できずに曳船の後ろまたは左舷側に出た可能性がある。よって、上記連絡時には、被曳船が曳船の左舷側に出て曳航索の張り出し方向が被曳船の右舷側であった可能性が高い。

### 3. 5 変針時の曳航に関する留意事項

曳航中は見張りを立て、被曳船および曳航索の挙動を注視する必要がある。被曳船の大きな振れ回り運動などで索張力が大きくなった場合は曳航速度や曳航索長を調整することで索張力を小さくすることができる。

図 3-6 で示した曳航速度 5.0kn、曳航索長 130m での索張力計算と同じ気象海象条件（風速 12m/s、相対風向角左舷 50deg.、波高 3.5m、波周期 7.3sec.、相対波向角左舷 43deg.）で、曳航速度を 4.0kn

にした場合と曳航索長を 200m にした場合の索張力計算結果を図 3-9 に示す。曳航速度を 4.0kn にした場合、振れ回りはなくなり索張力は 2.31tf になる。また、曳航索長を 200m にした場合でも振れ回りによる索張力変動が小さくなる。曳航索の長さは索張力の急激な増加を緩和するためにカテナリー曲線の最低部が水面につくほどの長さ確保し、海域の広狭、曳航速度、索の重さなどにより調整が必要であるが、海象が厳しい場合は曳航索を伸ばす必要がある。

曳航中の変針も同様に見張りを立て、20 度以上の大舵角変針は避け、10 度程度の変針を小刻みに繰り返す、曳船が追従しているか注意を払いながら行う必要がある。追従しない場合、必要に応じて曳航索の伸縮、減速、針路変更の措置をし、被曳船と曳船の針路が同じにするなど対応が必要である。

今回の曳航では曳航索がカテナリー曲線の最低部が水面につくほどの長さを持たない状態の長さで行われており、索張力の急激な増加が被曳船に伝わりやすい状態であったため、被曳船が十分な復原力を持たない場合は危険である。変針時に追従しない場合、曳航索を伸ばして減速し、被曳船が追従するのを待ち、時には曳航方向を変更することも必要となる。

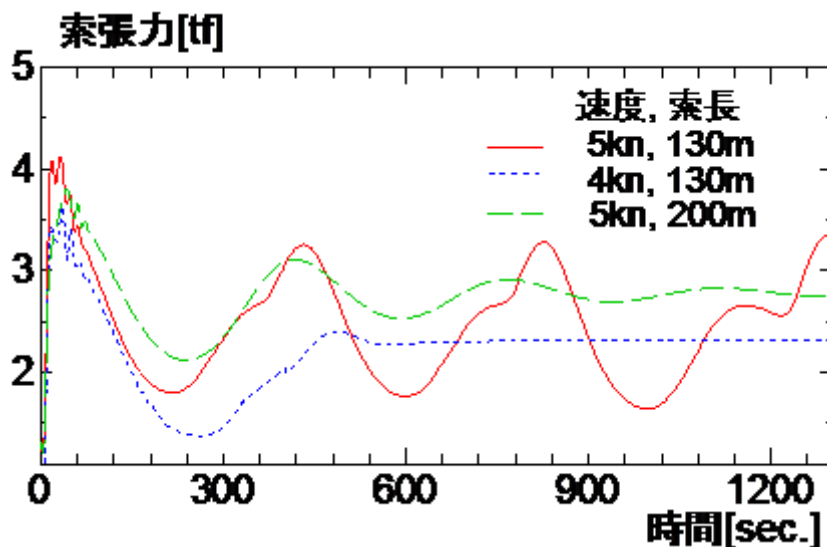


図3-9 曳航速度および曳航索長を変更した場合の索張力

#### 参考文献

- 1) 原正一 他 11 名：荒天下における航行不能船舶の漂流防止等に関する研究，海上技術安全研究所報告，第 4 巻，第 2 号，pp.1-157，2004.
- 2) H. Maruo：The drift of a body floating on waves, Journal of Ship Research, Vol.14, No.3, pp.1-10, 1960.
- 3) J. N. Newman：The drift force and moment on ships in waves, Journal of Ship Research, Vol.11, No.1, pp.51-60, 1967.
- 4) 藤原敏文，上野道雄，二村正：船体に働く風圧力の推定，日本造船学会論文集，第 183 号，pp.77-90，1998.
- 5) 貴島勝郎，名切恭昭：船尾形状を考慮した操縦流体力の近似的表現，西部造船会会報，第 98 号，pp.67-77，1999.

- 6) 原正一, 山川賢次, 星野邦弘, 湯川和浩, 長谷川純 : 曳航時における巡視船の曳航索張力, 関西造船協会論文集, 第 237 号, pp.165-171, 2002.
- 7) 三橋甲子 : 船舶曳航実務, 成山堂書店, 1998.

#### 4. 被曳航に伴う横傾斜角の推定

被曳航中の漁船 A の曳航索張力による横傾斜角を推定した。その際、漁船 A の船体状態は、第 2 章に示した、引き揚げ調査時に計測された喫水・乾舷及び横揺れ固有周期から推定した事故時の状態とした。また、索張力に関しては、第 3 章に示した事故時の曳航状態の推定計算で得られた値を用いた。

##### 4. 1 曳航索張力による横傾斜角の計算

曳航索張力による直立時の傾斜偶力  $D_t$  は(4-1)式を用いて計算した。

$$D_t = \frac{T_{y\_mean} \cdot H_t}{W} \quad (4-1)$$

ここで、 $T_{y\_mean}$  は索張力の横（船幅）方向分力の平均値、 $H_t$  は曳航索の取り付け位置から喫水の半分までの垂直距離、 $W$  は排水量を示す。

そして、曳航索張力による横傾斜角（ $\phi_t$ ）は、自由表面影響を考慮したメタセンタ高さ  $G_0M$  を用いて(4-2)式から算出した。

$$\phi_t = \tan^{-1} \left\{ \frac{T_{y\_mean} \cdot H_t}{W \cdot G_0M} \right\} = \tan^{-1} \left( \frac{D_t}{G_0M} \right) \quad (4-2)$$

##### 4. 2 計算結果

表 4-1 に索張力による横傾斜の推定に必要な事故時の状態の排水量  $W$ 、燃料タンク等の自由表面影響を考慮したメタセンタ高さ  $G_0M$ 、平均喫水  $dm$  及び曳航索の取り付け位置から喫水の半分までの垂直距離  $H_t$  を示す。今回の計算では、曳航索の取り付け位置は船首楼先端波除け上面とした。

表 4-1 事故発生時の排水量等

W (t)	269.56
$G_0M$ (m)	0.79
$dm$ (m)	2.14
$H_t$ (m)	4.23

表 4-2～表 4-4 に曳航索張力による横傾斜角  $\phi_T$  の計算結果を風上・波上側（左舷側）傾斜を正として示す。

##### (1) 船速、曳航方向を系統的に変化させた計算結果

表 4-2 及び表 4-3 に、事故時の平均の気象海象（風速 12m/s、相対風向角左舷 50deg.、波高 3.5m、波周期 7.3sec.、相対波向角左舷 43deg.）で、曳航速度  $V_s$ （表 4-2）あるいは曳航方向角  $\beta$ （基準針路 75deg.で  $\beta = 0deg.$ ）（表 4-3）を変化させた場合の曳航状態の計算結果（3.2 節）から推定した曳航索張力による横傾斜角を示す。表中  $M_T$  は曳航索張力による傾斜偶力を示す。また表 4-3 で  $\theta_s$  は曳船の針路（ $\theta_s = 75 + \beta$ ）である。

表 4-2 及び表 4-3 から事故時の船体状態、曳航状態では、船速や曳航方向を変化させても索張力による横傾斜角に大きな違いは見られないことが分かる。

表 4-2 曳航索張力による横傾斜（曳航速度の影響： $\beta=0\text{deg.}$ ）

$V_s$ (kn)	$Ty_{\text{mean}}$ (tf)	$M_T$ (tf*m)	$D_T$ (m)	$\Phi_T$ (deg.)
5.0	1.65	6.98	0.026	1.87
5.5	1.73	7.32	0.027	1.96
6.0	1.76	7.45	0.028	1.99

表 4-3 曳航索張力による横傾斜（曳航方向の影響： $V_s=6.0\text{kn}$ ）

$\beta$ (deg.)	$\theta_s$ (deg.)	$Ty_{\text{mean}}$ (tf)	$M_T$ (tf*m)	$D_T$ (m)	$\Phi_T$ (deg.)
0	75	1.76	7.45	0.028	1.99
10	85	1.77	7.49	0.028	2.01
20	95	2.05	8.68	0.032	2.32
30	105	2.42	10.24	0.038	2.74
50	125	2.19	9.27	0.034	2.48

## （2）事故当時の条件に合わせた計算結果

表 4-4 に曳航開始時の 4:00 から転覆発生直前の 5:15 まで気象海象と、曳航速度と針路の平均値を用いた曳航状態の計算結果（3.3 節）から推定した曳航索張力による横傾斜角を示す。

曳航開始から転覆発生直前まで曳航索張力による横傾斜角は 2~3 度程度であり、傾斜方向は左舷側であったと推定される。

表 4-4 各時刻における曳航索張力による横傾斜

時刻	$V_s$ (kn)	$\theta_s$ (deg.)	$Ty_{\text{mean}}$ (tf)	$M_T$ (tf*m)	$D_T$ (m)	$\Phi_T$ (deg.)
4:00	5.0	77.9	1.64	6.94	0.026	1.86
4:20	5.2	87.1	1.66	7.03	0.026	1.88
4:40	5.5	105.0	2.28	9.65	0.036	2.58
5:00	5.5	101.4	2.34	9.90	0.037	2.65
5:15	6.0	125.9	2.13	9.02	0.033	2.41

なお、今回の推定の基になった曳航状態の計算では、設定した船速、針路を一定に保った場合の定常状態の曳船、被曳船系の運動を求めたものであり、いずれの条件でも被曳船（漁船 A）は曳船 B の風下・波下側（右舷側）に流されて曳航されると算定されている。一方、転覆発生直前に漁船 A から連絡があった時、曳船 B の船橋右舷側窓から漁船 A を確認できなかったと言った口述もあることから、転覆発生時の曳航状況及び曳航索張力による横傾斜については別の取り扱いをする必要があると考える。



## 5. 事故時の風及び波浪による横傾斜角（横揺れ角）の推定

### 5. 1 風による横傾斜

引き揚げ調査時の計測結果から推定した事故時の船体状態の漁船 A が曳船 B の GPS データの平均値の船速、針路（表 5-1）で航行した場合の風による傾斜角を求めた。使用した風のデータは、提供された事故当日 4:00 から 5:20 までの 20 分ごとの風速及び風向角である。5:15 の傾斜角は、5:20 の風速及び風向角のデータを用いて計算した。

各時刻の風速及び風向角並びに船速及び針路から求めた相対風速及び相対風向角を表 5-1 に示す。

表 5-1 各時刻における相対風

時刻		風速	風向	speed	co.	相対風速	相対風向
時	分	[m/s]	[°]	[kn]	[°]	[m/s]	[°]
4	0	11.78	25.5	4.5	74.8	13.4	41.8
4	20	11.89	25.4	5.2	87.1	13.4	51.6
4	40	11.82	25.0	5.5	105.0	12.6	67.2
5	0	11.68	25.2	5.5	101.4	12.7	63.7
5	15	11.40	27.5	6.0	125.9	11.4	82.8

風による傾斜角  $\phi_{wind}$  は、藤原の式に基づき推定した風による傾斜モーメント  $K_A$  と事故時の状態（表 5-2）における排水量  $W$  及びメタセンタ高さ  $G_0M$  から求めた。以下概要を示す。

表 5-2 事故時の船体状態

$W$ (t)	$G_0M$ (m)	$da$ (m)	$df$ (m)
269.56	0.79	2.73	1.54

#### (1) 風による傾斜モーメント $K_A$

風による傾斜モーメント  $K_A$  は(5-1)式で求めた。

$$K_A = C_K q_A A_L H_L \quad (5-1)$$

ここで、 $C_K$  は風による傾斜モーメント係数であり藤原の式(1)を基に推定した（付録1）。 $q_A$  は動圧であり、空気密度を  $\rho_A$ 、相対風速を  $U_A$  として(5-2)式で定義される。また、 $A_L$  は水面上船体・上載構造の側面投影面積、 $H_L$  は水面上船体・上載構造の側面の平均高さ ( $H_L = A_L / L_{OA}$ ) であり、一般配置図から事故発生時の状態の喫水線（表 5-2：船尾喫水  $da$ 、船首喫水  $df$ ）より上部の値を求めた。

$$q_A = \frac{1}{2} \rho_A U_A^2 \quad (5-2)$$

表 5-3 に藤原の式で用いられる船体外観を表現する 8 つのパラメータをまとめて示す。 $L_{OA}$  は全長、 $B$  は船幅、 $A_F$  は水面上船体・上載構造の正面投影面積、 $A_{OD}$  は上載構造側面投影面積、 $C$  は船体中心から側面積中心までの前後方向座標（船首方向正）、 $H_C$  は喫水から側面積中心までの高さ、 $H_{BR}$  は喫水から主要構造物（ブリッジ）の最高位である。

表 5-4 に風による傾斜モーメント  $K_A$  の推定結果を示す。

表 5-3 風による傾斜モーメントの推定に用いたパラメータ

L <sub>OA</sub> (m)	B(m)	A <sub>F</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>L</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>OD</sub> (m <sup>2</sup> )	C(m)	H <sub>C</sub> (m)	H <sub>BR</sub> (m)
34.05	5.80	12.66	127.59	39.78	-1.64	2.22	4.60

表 5-4 各時刻における風による傾斜モーメントの推定結果

時刻		C <sub>K</sub>	K <sub>A</sub>
時	分	(-)	(tf*m)
4	0	0.491	2.78
4	20	0.606	3.41
4	40	0.710	3.57
5	0	0.696	3.52
5	15	0.730	2.97

## (2) 風による傾斜角 $\phi_{wind}$

風による傾斜角  $\phi_{wind}$  は、(5-3)式で求めた。

$$\phi_{wind} = \sin^{-1} \frac{K_A}{W G_0 M} \quad (5-3)$$

ここで、 $K_A$  は表 5-4 に示した傾斜モーメント、 $W$  及び  $G_0 M$  は表 5-2 に示した事故時の状態の排水量とメタセンタ高さである。

表 5-5 に風による傾斜角の推定結果を示す。

事故時の風による横傾斜角は 1 度程度と推定される。

表 5-5 各時刻における風による傾斜角の推定結果

時刻		風による傾斜角
時	分	[deg.]
4	0	0.75
4	20	0.92
4	40	0.96
5	0	0.95
5	15	0.80

## 5. 2 波浪による横揺れ

事故時の船体状態の漁船 A が、提供された方向スペクトルで表される現場海域の波浪中を曳船 B の GPS データの平均値の船速、針路で航行した場合の横揺れ応答を統計予測<sup>2)</sup>した。

### 5. 2. 1 計算の概要

引き揚げ調査時の計測結果に基づいた事故時の状態の重量重心計算及び復原力計算結果に基づき作成した入力データを用いて、ストリップ法 (STF 法) により横揺れ応答関数を計算した。次に、計算した横揺れ応答関数と提供された各時刻の方向スペクトルとの線形重ね合わせを行って、横揺れ応答のエネルギスペクトルを求め、その面積 (分散) から各時刻の横揺れの標準偏差を推定した。そして、横揺れ応答の極値の確率分布がレイリー分布に従うとして、各時刻における横揺れの標準偏差から横揺れ片振幅の平均値、1/3 有義値、1/100 最大期待値を統計予測した。その

際、5:15における方向スペクトルは提供された5:20における方向スペクトルと同一と仮定した。事故時の現場海域の波浪の代表値（有義波高、有義波周期、波向）を表5-6に示す。

横揺れ角の算出の前提条件を以下に示す。

- ・漁船Aの事故時の船速及び針路は、曳船BのGPSデータに基づく表5-6の値を用いた。
- ・排水量及び重心位置は、引き揚げ調査時の計測結果に基づき、漁船A重量重心調査シート等から算定した表5-7の値を用いた。
- ・事故時の喫水及びメタセンタ高さは、当所が所有するトリムフリーの計算プログラムを用いた復原力計算結果である表5-8の値を用いた。
- ・横揺れ固有周期 $T_r$ は、IMOのISコードに規定された算式を用いて推定した表5-8の値を用いた。
- ・横揺れ減減係数（a係数、b係数）は、渡辺・井上の式<sup>3)</sup>を用いて推定したN係数（付録2）から算定した表5-9の値を用いた。

表 5-6 現場海域の波浪の代表値並びに事故時の船速及び針路の平均値

時刻	平均		有義波			出合い波周期 $T_{1/3-e}$ (s)	出合い角 $\chi$ (deg.)	出合い波数: 10分航行 $N_{1/3-e}$
	speed (kn)	co.(deg.)	波高 $H_{1/3}$ (m)	周期 $T_{1/3}$ (s)	波向 $\theta_w$ (deg.)			
4:00	5.0	77.9	3.51	7.1	33.4	6.1	135.5	99
4:20	5.2	87.1	3.40	7.2	32.0	6.3	124.9	95
4:40	5.5	105.0	3.42	7.2	30.0	6.8	105.0	89
5:00	5.5	101.4	3.50	7.4	32.1	6.8	110.7	88
5:15	6.0	125.9	3.57	7.4	25.2	7.8	79.3	77

表 5-7 事故時の排水量（W）及び重心位置（mid-G：前後位置、KG：上下位置）

W (t)	mid-G (m)	KG (m)
269.56	2.38	2.21

表 5-8 事故時の喫水（ $d_a$ ：船尾、 $d_f$ ：船首、 $d_m$ ：平均）、メタセンタ高さ（ $G_0M$ ）及び横揺れ固有周期（ $T_r$ ）

$d_a$ (m)	$d_f$ (m)	$d_m$ (m)	$G_0M$ (m)	$T_r$ (sec.)
2.73	1.54	2.14	0.79	5.51

表 5-9 横揺れ減減係数（渡辺・井上の式）

N(10deg.)	N(20deg.)	a係数	b係数
0.0455	0.0336	0.239	0.0216

## 5. 2. 2 横揺れ角の短期予測

### (1) 計算結果

図5-1に提供された5:20の方向スペクトル（5:15における横揺れ応答の統計予測に使用）を横軸に波の方向角と5:15における平均針路（表5-6）から求めた出合い角 $\chi$ をとって示す。5:15の

状況では  $\chi = 60 \sim 110 \text{deg.}$  の横波に近い状態となる波のエネルギーが大きかったことが分かる。

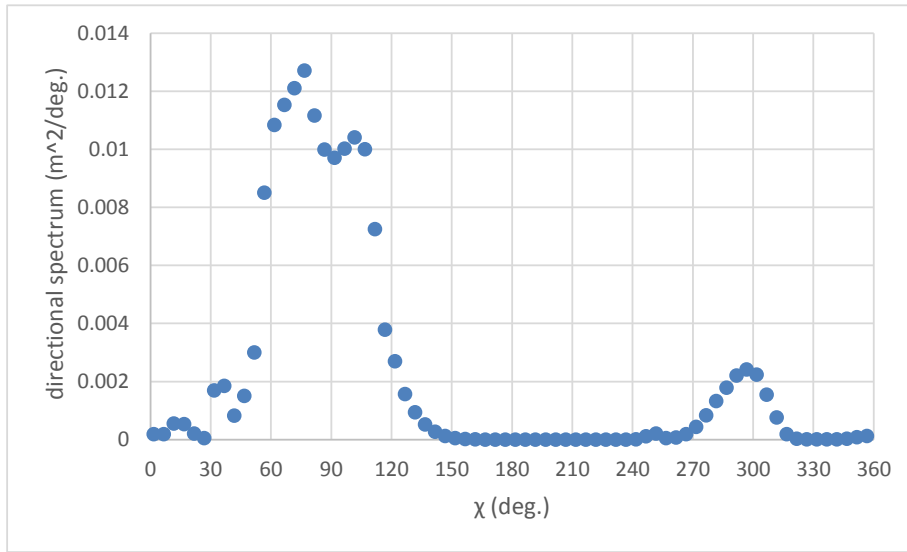


図 5-1 5:20 における方向スペクトル

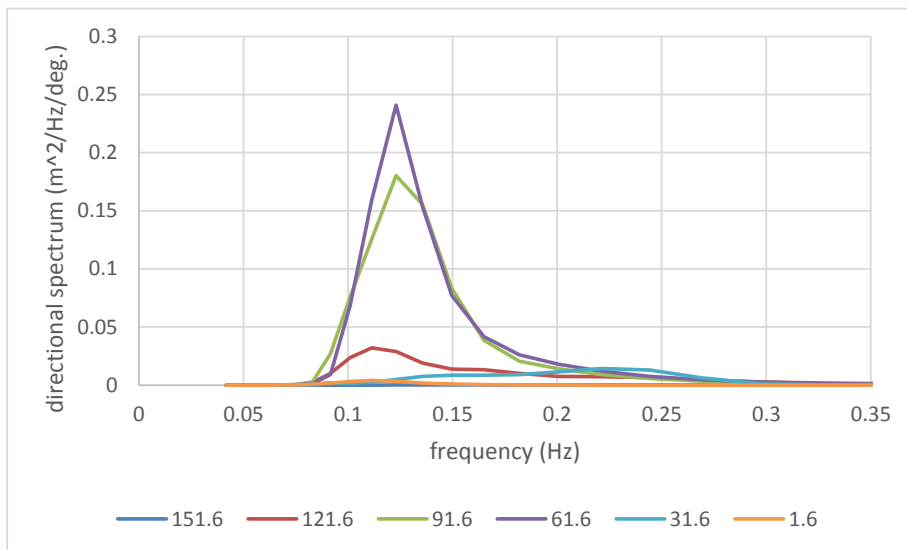


図 5-2 5:20 における出会い角  $\chi$  ごとの周波数スペクトル

図 5-1 からいくつかの出会い角  $\chi$  における波スペクトル（周波数スペクトル）を抜き出したものを図 5-2 に示す。また、図 5-2 の出会い角  $\chi$  に対応する横揺れ応答関数の計算結果を図 5-3 に示す。図 5-2 及び図 5-3 から、 $\chi = 61.6 \text{deg.}$ （紫線）及び  $\chi = 91.6 \text{deg.}$ （緑線）において、波スペクトルが大きな周波数範囲（0.10Hz~0.17Hz 程度）で横揺れ応答も大きくなっていることが分かる。なお、図 5-3 に示した横揺れ応答関数は、表 5-6 に示した各時刻の平均船速について計算したが、船速の変化が小さかったため、各時刻の応答関数に大きな差異はなかった。

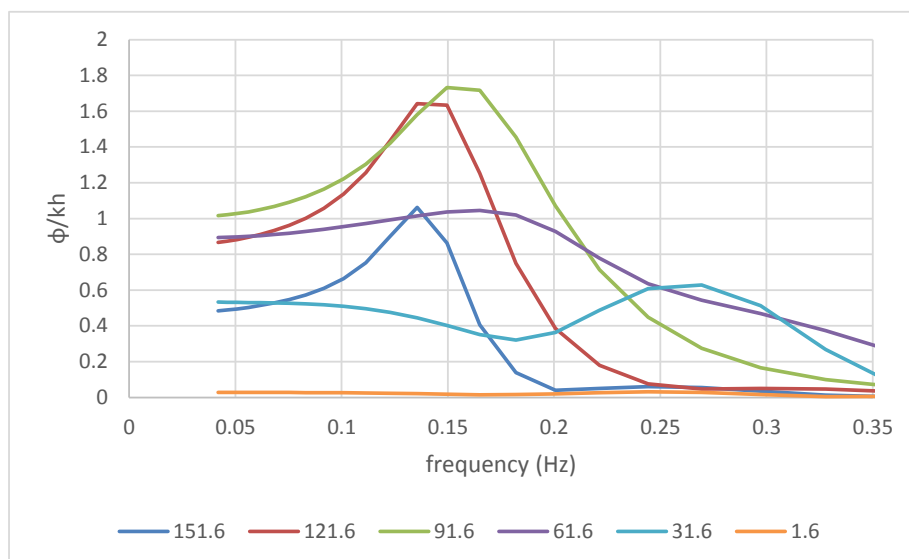


図 5-3 出合い角  $\chi$  ごとの横揺れ応答関数

図 5-2 に示した波スペクトルと図 5-3 に示した横揺れ応答関数の線形重ね合わせを行い、図 5-1 に示した波の方向分布を考慮して横揺れ応答のエネルギースペクトルを計算した。横揺れ応答のエネルギースペクトルから算出した横揺れの分散、標準偏差の推定値及び横揺れ片振幅の平均値、1/3 有義値、1/100 最大期待値の予測結果を表 5-10 に示す。他の時刻についても同様に計算を行った。

表 5-10 各時刻における横揺れの推定結果 ( $m_0$  : 分散、 $\sqrt{m_0}$  : 標準偏差)

時刻	$m_0$ (deg. <sup>2</sup> )	$\sqrt{m_0}$ (deg.)	平均値 (deg.)	1/3有義値 (deg.)	1/100最大 期待値 (deg.)
4:00	14.3	3.78	4.73	7.56	12.2
4:20	21.7	4.65	5.83	9.32	15.0
4:40	28.8	5.37	6.72	10.7	17.3
5:00	27.7	5.27	6.60	10.5	17.0
5:15	27.0	5.20	6.51	10.4	16.8

表 5-10 から曳航開始直後から 4:40 までは横揺れが増大しているが、4:40 以降は横揺れ振幅に顕著な変化が見られないことが分かる。また、表 5-6 の右端の欄に示した平均針路、船速及び波周期、波向から計算した 10 分間航行した際の出会い波数は、5:00 までは凡そ 100 波であり、対応する 1/100 最大横揺れの期待値(表 5-10 右端の欄)と図 5-4 に示した復原力曲線を比較すると、4:40 以降は漁船 A にはその復原性と比較して大きな横揺れが発生していたと推定されることが分かる。

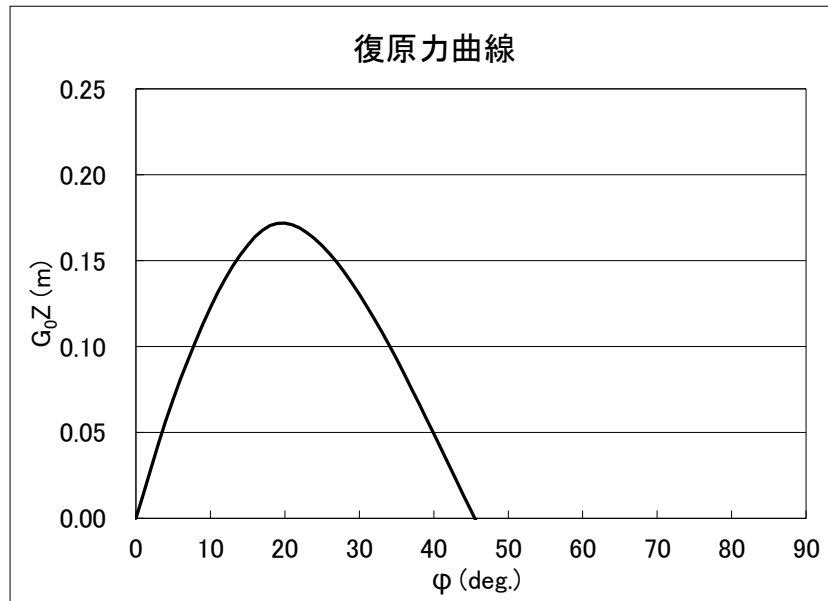


図 5-4 事故時の復原力曲線

## (2) 考察

次に各時刻の横揺れ予測値の違いを考察する。上述したように各時刻における横揺れ応答関数に大きな違いはなかったため、横揺れ予測値の違いは外力となる入射波によるものと考えられる。

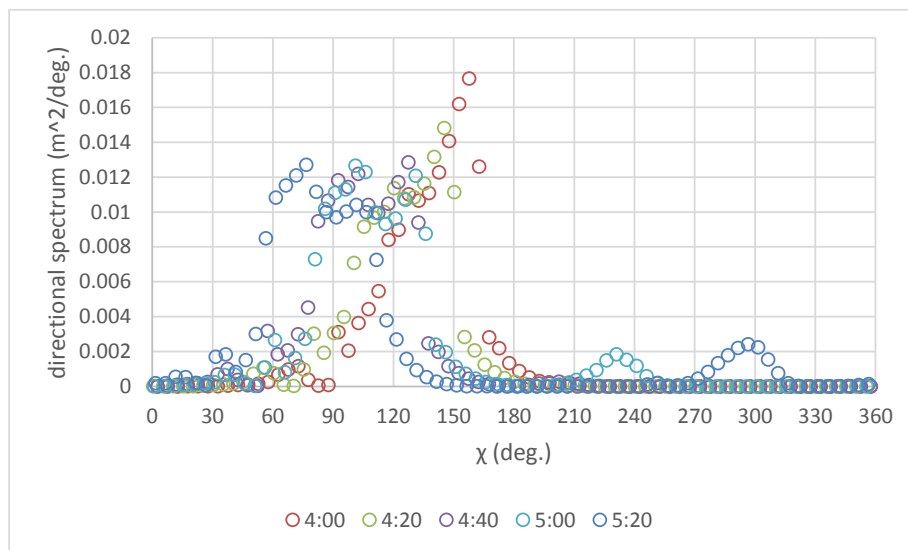


図 5-5 各時刻の方向スペクトル

図 5-5 に各時刻の方向スペクトルを横軸に出会い角をとって示す。横揺れ予測値が比較的小さかった 4:00 (○印) と 4:20 (○印) の方向スペクトルのピークは出会い角 150 度付近 (斜め向波) にあり、同一波条件では横揺れ角が一番大きくなる横波状態に対応する出会い角 90 度付近のエネルギーが比較的小さいことが分かる。一方で 4:40 (○印)、5:00 (○印) と 5:20 (5:15 の横揺れ計算に使用: ○印) では、90 度付近のエネルギーが比較的大きいため、横揺れ予測値も比較的大きくなったと考えられる。

なお、表 5-6 より方向スペクトルの出会い角に対するピークの時間変化は、波向の変化より漁

船 A (曳船 B) の針路の変化によるものが大きいと考えられる。

### 参考文献

- 1) 藤原敏文, 上野道雄, 池田良穂 : 成分分離型モデルを利用した新しい風圧力推定法, 日本船舶海洋工学会論文集, 第 2 号, pp. 243-255, 平成 17 年 12 月.
- 2) 福田淳一 : III. 船体応答の統計予測, 耐航性に関するシンポジウムテキスト, pp.99-109, 日本造船学会, 昭和 44 年 7 月.
- 3) 渡辺恵弘, 井上正祐, 村橋達也 : N 係数計算法の肥大船型への修正, 西部造船会会報, 第 27 号, pp.69-81, 昭和 39 年 3 月.

## 6. 転覆に至るメカニズムの検討

### 6. 1 転覆発生状況の想定

調査官から説明された事項、並びに、第5章までに報告した事故発生時の①漁船Aの復原性能の推定結果、②曳航状態の推定結果及び③事故発生現場の風及び波浪による横傾斜角度の推定結果を踏まえて、漁船Aが転覆に至る状況を以下のとおり想定した。

- (i) 曳船に対し風下・波下側（右舷側）に流されて曳航されていた漁船Aが、曳船Bの変針や波浪あるいは風の変動に伴い、曳船Bに対し風上・波上側（左舷側）に位置するようになり、
- (ii) 風及び索張力による傾斜モーメントの作用で右舷側に定傾斜した状態で、左舷斜め後方からの波浪により横揺れをしながら被曳航中に、
- (iii) 索張力や曳航索と船首方位のなす角が変化し、それに伴い索張力による傾斜モーメントが増大した結果、横傾斜角が復原力の最大値が生じる横傾斜角より大きなブルワーク上端没水角を超過し、
- (iv) (横傾斜角が復原力の最大値が生じる横傾斜角より大きな角度で) 復原的に不安定な状態で、ブルワークが抵抗となり復原しにくい状況となり、引き続いて入射した波の作用で転覆した。

### 6. 2 転覆メカニズムの検討

6.1節で想定した転覆発生状況について、事故発生時の復原性等について具体的な数値をあてはめて転覆メカニズムの検討を行った。その際、最悪の状況として、船舶復原性規則の所謂C係数基準と同様に、風上側（左舷側）に最大限横揺れした時点で、索張力による傾斜偶力が急激に増大したとして、風下側（右舷側）への最大傾斜角等をエネルギーバランスの考え方で推定した。

#### 6. 2. 1 事故発生時の復原力

事故発生時の状態の排水量等を表6-1に、メタセンタ高さ等を表6-2に、復原力曲線を図6-1に示す。事故発生時の状態で、復原力の最大値( $GZ_{max}$ )は約0.17m、復原力の最大値が生じる傾斜角( $\phi_{max}$ )は20度である(表6-2、図6-1)。また、表6-2に記載したように、事故発生時の状態で、海水流入角( $\phi_f$ )は31.9度(海水流入位置：左舷甲板室出入り口)であり、ブルワーク上端が没水する横傾斜角( $\phi_B$ )は、S.S. 51/2位置が最も小さく24.1度と推定される。

表 6-1 事故発生時の排水量等

W (t)	mid-G (m)	KG (m)	$GG_0$ (m)	da (m)	df (m)	dm (m)	fb (m)
269.56	2.38	2.21	0.04	2.73	1.54	2.14	0.24

表 6-2 事故発生時のメタセンタ高さ等

$G_0M$ (m)	$GZ_{max}$ (m)	$\phi_{max}$ (deg.)	$\phi_f$ (deg.)	$\phi_B$ (deg.)
0.79	0.17	20	31.9	24.1



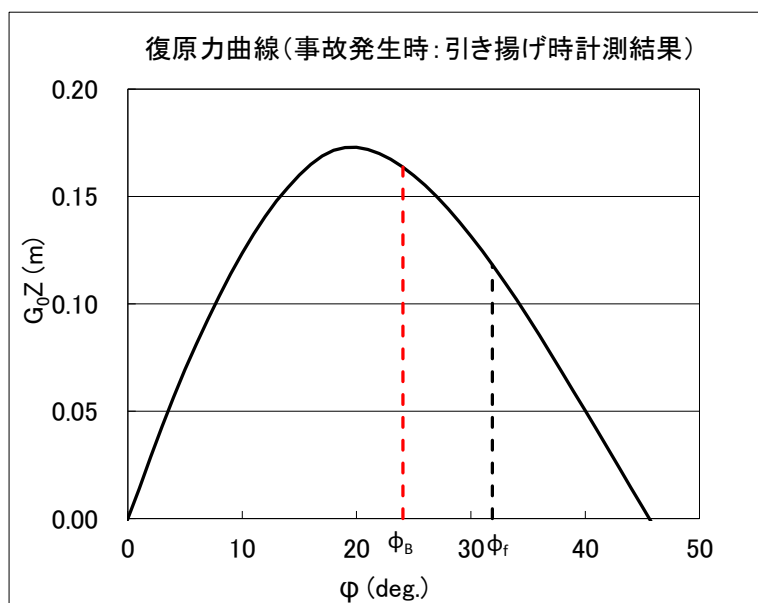


図 6-1 事故発生時の復原力曲線

### 6. 2. 2 事故発生時の風及び波浪による横傾斜

事故発生時の状況で転覆関連要因と考えられる、風による傾斜偶力 $D_{wind}$ 及び定常傾斜角 $(\phi_{wind})$ 並びに波浪による横揺れ角を表 6-3 に示す。波浪による横揺れ角としては、提供された方向スペクトルから計算した横揺れ片振幅 $(\phi_a)$ の平均値、1/3 有義値、1/100 最大期待値を示している。

表 6-3 風による定常傾斜角及び波浪による横揺れ角

風による横傾斜		横揺れ振幅 $\phi_a$		
傾斜偶力 $D_{wind}$ (m)	横傾斜角 $\phi_{wind}$ (deg.)	平均値 (deg.)	1/3有義値 (deg.)	1/100最大期待値 (deg.)
0.011	0.8	6.5	10.4	16.8

### 6. 2. 3 索張力による横傾斜

事故発生直前には漁船 A は、曳船 B の左舷側（風上・波上側）に位置していたと想定される。この位置は不安定な（過渡状態の）曳航状態であり、索張力及び曳航索と船体中心線（船首方位）のなす角は比較的大きく変動していたと推測される。ここでは、第 3 章に示した曳航開始直後（午前 4 時頃）から境港へ向けての大きな変針が行われる前（午前 5 時頃）の曳航状態の推定結果から事故発生直前の索張力を 3.0tf と想定して、転覆要因の一つと考えられる、索張力による傾斜偶力 $D_T$ 及び定常傾斜角を求めた。その際、曳航索と漁船 A の船首方位のなす角 $\theta_2$ は 0 度～90 度（横引き状態）まで考えられるとして、 $\theta_2$ をパラメータとした計算を行った（表 6-4）。

表 6-4 索張力による定常傾斜角

$\theta_2$ (deg.)	15	30	45	60	75	90
$T_y$ (tf)	0.776	1.500	2.121	2.598	2.898	3.000
$M_T$ (tf*m)	3.29	6.35	8.98	11.00	12.26	12.70
$D_T$ (m)	0.012	0.024	0.033	0.041	0.046	0.047
$\phi_T$ (deg.)	0.9	1.6	2.3	2.8	3.2	3.3

表 6-4 で  $T_y$  は索張力の横（船幅）方向成分、 $M_T$  は傾斜偶力、 $D_T$  は傾斜偶力でこ、 $\phi_T$  は定常傾斜角である。表 6-4 に示したように横引き状態（ $\theta_2 = 90\text{deg.}$ ）となっても、3.0tf の索張力による定常傾斜角は 3 度程度である。

#### 6. 2. 4 エネルギーバランスの計算（その 1）

エネルギーバランスの計算は、曳航索と船首方位のなす角  $\theta_2$ （6.2.4 節では、便宜上図 3-4 の定義とは逆方向を正にとる。）が一定値（ $\theta_{2s}$ ）から急激に増大（増分  $\Delta\theta_2$ ）したとして、 $\theta_{2s}$  は 0 度、15 度、30 度の 3 ケース、 $\Delta\theta_2$  は 15 度、30 度、45 度の 3 ケース（ $\theta_{2s}$  が 0 度の場合は 60 度も加えた 4 ケース）の組合せに対し、横揺れ片振幅（ $\phi_a$ ）が平均値（6.5 度）、1/3 有義値（10.4 度）、1/100 最大期待値（16.8 度）の場合について行った。

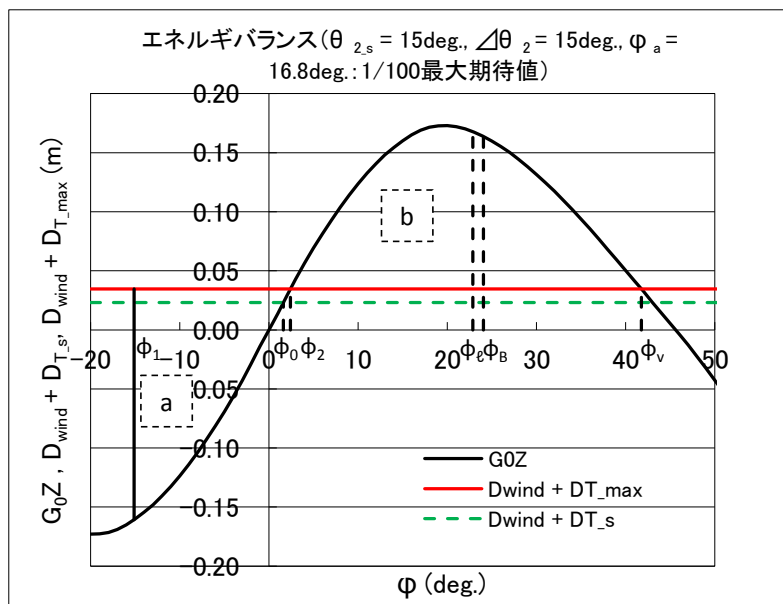


図 6-2 エネルギーバランス計算（ $\theta_{2s}=15\text{deg.}$ 、 $\Delta\theta_2=15\text{deg.}$ 、 $\phi_a=16.8\text{deg.}$  : 1/100 最大期待値）

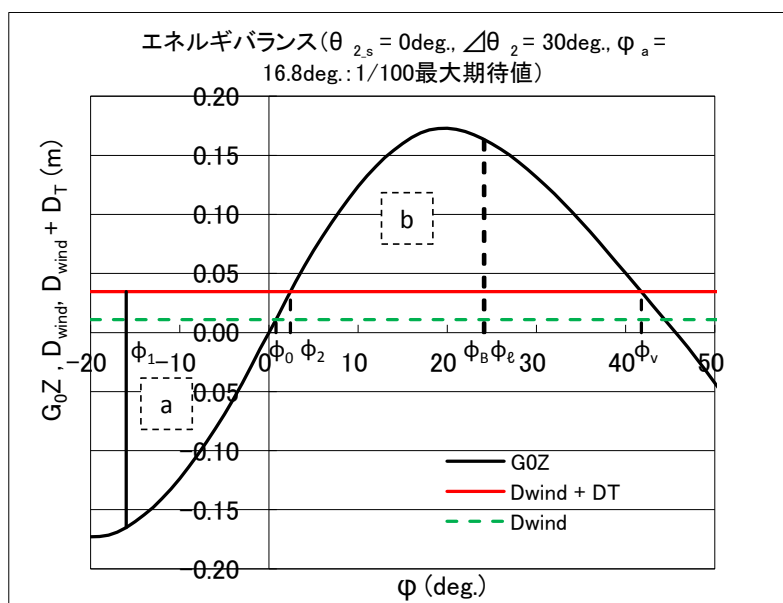


図 6-3 エネルギーバランス計算（ $\theta_{2s}=0\text{deg.}$ 、 $\Delta\theta_2=30\text{deg.}$ 、 $\phi_a=16.8\text{deg.}$  : 1/100 最大期待値）

表 6-5 エネルギーバランス計算結果 ( $\theta_{2s}=0\text{deg}$ )

(a)  $\angle\theta_2=15\text{deg}$ .

横揺れ振幅	$\Phi_0$ (deg.)	$\Phi_1$ (deg.)	$\Phi_v$ (deg.)	a (m-deg.)	b (m-deg.)	c (=b/a)	$\Phi_\ell$ (deg.)
平均値	0.8	-5.7	43.0	0.38	3.86	10.07	9.3
1/3有義値		-9.6		0.86		4.48	13.5
1/100最大期待値		-16.0		1.94		1.99	21.0

(b)  $\angle\theta_2=30\text{deg}$ .

横揺れ振幅	$\Phi_0$ (deg.)	$\Phi_1$ (deg.)	$\Phi_v$ (deg.)	a (m-deg.)	b (m-deg.)	c (=b/a)	$\Phi_\ell$ (deg.)
平均値	0.8	-5.7	41.8	0.47	3.40	7.22	11.2
1/3有義値		-9.6		0.99		3.42	15.7
1/100最大期待値		-16.0		2.14		1.59	24.2

(c)  $\angle\theta_2=45\text{deg}$ .

横揺れ振幅	$\Phi_0$ (deg.)	$\Phi_1$ (deg.)	$\Phi_v$ (deg.)	a (m-deg.)	b (m-deg.)	c (=b/a)	$\Phi_\ell$ (deg.)
平均値	0.8	-5.7	40.7	0.55	3.03	5.46	12.9
1/3有義値		-9.6		1.11		2.72	17.8
1/100最大期待値		-16.0		2.32		1.30	27.5

(d)  $\angle\theta_2=60\text{deg}$ .

横揺れ振幅	$\Phi_0$ (deg.)	$\Phi_1$ (deg.)	$\Phi_v$ (deg.)	a (m-deg.)	b (m-deg.)	c (=b/a)	$\Phi_\ell$ (deg.)
平均値	0.8	-5.7	39.8	0.62	2.75	4.42	14.3
1/3有義値		-9.6		1.21		2.27	19.4
1/100最大期待値		-16.0		2.47		1.11	31.7

表 6-6 エネルギーバランス計算結果 ( $\theta_{2s}=15\text{deg}$ )

(a)  $\angle\theta_2=15\text{deg}$ .

横揺れ振幅	$\Phi_0$ (deg.)	$\Phi_1$ (deg.)	$\Phi_v$ (deg.)	a (m-deg.)	b (m-deg.)	c (=b/a)	$\Phi_\ell$ (deg.)
平均値	1.6	-4.9	41.8	0.38	3.40	8.93	10.2
1/3有義値		-8.8		0.87		3.92	14.7
1/100最大期待値		-15.1		1.97		1.73	22.9

(b)  $\angle\theta_2=30\text{deg}$ .

横揺れ振幅	$\Phi_0$ (deg.)	$\Phi_1$ (deg.)	$\Phi_v$ (deg.)	a (m-deg.)	b (m-deg.)	c (=b/a)	$\Phi_\ell$ (deg.)
平均値	1.6	-4.9	40.7	0.46	3.03	6.65	11.9
1/3有義値		-8.8		0.98		3.09	16.6
1/100最大期待値		-15.1		2.14		1.41	26.0

(c)  $\angle\theta_2=45\text{deg}$ .

横揺れ振幅	$\Phi_0$ (deg.)	$\Phi_1$ (deg.)	$\Phi_v$ (deg.)	a (m-deg.)	b (m-deg.)	c (=b/a)	$\Phi_\ell$ (deg.)
平均値	1.6	-4.9	39.8	0.52	2.75	5.32	13.2
1/3有義値		-8.8		1.07		2.57	18.2
1/100最大期待値		-15.1		2.28		1.20	29.3

表 6-7 エネルギーバランス計算結果 ( $\theta_{2s}=30\text{deg.}$ )

(a)  $\Delta\theta_2=15\text{deg.}$

横揺れ振幅	$\Phi_0$ (deg.)	$\Phi_1$ (deg.)	$\Phi_v$ (deg.)	a (m-deg.)	b (m-deg.)	c (=b/a)	$\Phi_l$ (deg.)
平均値	2.4	-4.1	40.7	0.37	3.03	8.16	11.0
1/3有義値		-8.0		0.86		3.52	15.6
1/100最大期待値		-14.3		1.98		1.52	24.6

(b)  $\Delta\theta_2=30\text{deg.}$

横揺れ振幅	$\Phi_0$ (deg.)	$\Phi_1$ (deg.)	$\Phi_v$ (deg.)	a (m-deg.)	b (m-deg.)	c (=b/a)	$\Phi_l$ (deg.)
平均値	2.4	-4.1	39.8	0.43	2.75	6.44	12.3
1/3有義値		-8.0		0.95		2.91	17.2
1/100最大期待値		-14.3		2.12		1.30	27.5

(c)  $\Delta\theta_2=45\text{deg.}$

横揺れ振幅	$\Phi_0$ (deg.)	$\Phi_1$ (deg.)	$\Phi_v$ (deg.)	a (m-deg.)	b (m-deg.)	c (=b/a)	$\Phi_l$ (deg.)
平均値	2.4	-4.1	39.3	0.46	2.58	5.56	13.1
1/3有義値		-8.0		1.00		2.58	18.2
1/100最大期待値		-14.3		2.20		1.17	29.8

エネルギーバランスの計算に使用した図表を図 6-2、図 6-3 及び表 6-4～表 6-6 に示す。これらの図表に示した、 $\phi_0$ は曳航索と船首方位のなす角が $\theta_{2s}$ の場合の索張力及び風による定常傾斜角、 $\phi_1$ は左舷側への最大傾斜角、 $\phi_2$ は曳航索と船首方位のなす角が $\theta_{2s}+\Delta\theta_2$ となった場合の定常傾斜角、 $\phi_B$ はブルワーク上端が没水する横傾斜角、 $\phi_v$ は定常傾斜がある場合の復原力消失角、a は傾斜方向のエネルギー ((6-1)式)、b は動復原力 ((6-2) 式)、c は船舶復原性規則の C 係数に対応する動復原力と傾斜エネルギーの比 ( $c=b/a$ )、 $\phi_l$ は(6-3)式を満たす右舷側への最大傾斜角を示す。

$$a = \int_{\phi_1}^{\phi_2} \{(D_{t\_max} + D_{wind}) - \overline{GZ}\} d\phi \quad (6-1)$$

$$b = \int_{\phi_2}^{\phi_v} \{\overline{GZ} - (D_{t\_max} + D_{wind})\} d\phi \quad (6-2)$$

$$\int_{\phi_2}^{\phi_l} \{\overline{GZ} - (D_{t\_max} + D_{wind})\} d\phi = a \quad (6-3)$$

ここで、 $D_{t\_max}$ は曳航索と船首方位のなす角が $\theta_{2s}+\Delta\theta_2$ の場合の索張力による傾斜偶力てこ、 $D_{wind}$ は風による傾斜偶力てこを示す。なお、図 6-3 に関しては、 $\theta_{2s}=0\text{deg}$ であるので、索張力による定常傾斜偶力てこ $D_{T\_s}$ は 0 となるので、傾斜偶力の表記は図 6-2 とは異なり、“ $D_{wind}+D_{T\_s}$ ”は “ $D_{wind}$ ” “ $D_{wind}+D_{T\_max}$ ”は “ $D_{wind}+D_T$ ”としている。

図 6-3 及び表 6-5 (b)に示したように、曳航索と船首方位のなす角 $\theta_2$ が 0 度 ( $\theta_{2s}$ ) から 30 度 ( $\theta_{2s}+\Delta\theta_2$ ) まで増大した場合、1/100 最大期待値の横揺れが生じたとしても、動復原力と傾斜エネルギーの比 c は 1.59 で船は転覆しないが、右舷側への最大傾斜角 $\phi_l$ は 24.2 度となり、海面がブルワーク上端を超えるまで傾斜すると判定される。

また、曳航索と船首方位のなす角  $\theta_2$  が 30 度 ( $\theta_{2s}$ ) から 45 度 ( $\theta_{2s} + \Delta\theta_2$ ) まで 15 度だけ増大した場合 (表 6-7 (a)) でも、1/100 最大期待値の横揺れが生じたとしても、動復原力と傾斜エネルギーの比  $c$  は 1.52 で船は転覆しないが、右舷側への最大傾斜角はブルワーク上端没水角を超える ( $\phi_f = 24.6 \text{deg.}$ ) と判定される。

事故発生時の状態でブルワーク上端没水角 (24.1 度) は、復原力最大値が生じる横傾斜角 20 度より大きい。そのため横傾斜角がブルワーク上端没水角を超過すると、復原性的に不安定な状態となる。また、横傾斜角がブルワーク上端没水角を超過すると、ブルワークが抵抗となり復原しにくい状況となり、引き続いて入射する波の作用で転覆に至ることが想定される。

### 6. 2. 5 エネルギーバランスの計算 (その 2 : 左舷側への転覆)

6.2.4 節までとは逆に、漁船 A が転覆発生時に曳船 B の船尾右舷側に位置していたと仮定し、風下側 (右舷側) に最大限横揺れした時点で、曳航索と船首方位のなす角 ( $\theta_2$ ) が一定値 ( $\theta_{2s} = 0 \text{deg.}$ ) から急増 (増分  $\Delta\theta_2$ ) した結果、索張力による傾斜偶力が左舷側に急激に作用したとして、風上側 (左舷側) への最大傾斜角等を 6.2.4 節と同じエネルギーバランスの考え方で検討した。

#### (1) エネルギーバランスの計算式

図 6-4 はエネルギーバランスの計算に使用した図の一例である。横軸は傾斜角 ( $\phi$ ) を示しており、左舷側への傾斜を正にとっている。図 6-4 で、 $\phi_0$  は風による右舷側定常傾斜角、 $\phi_1$  は右舷側 (転覆方向とは反対側) への最大傾斜角、 $\phi_2$  は索張力が作用した場合の定常傾斜角、 $\phi_B$  はブルワーク上端が没水する横傾斜角 (24.1 度)、 $\phi_f$  は事故発生時に開放されていたとされる左舷側甲板室の出入口からの海水流入角 (31.9 度)、 $a$  は傾斜方向のエネルギー ((6-4) 式)、 $b$  は動復原力 ((6-5) 式)、 $\phi_a$  は (6-6) 式を満たす左舷側 (転覆方向) への最大傾斜角を示す。

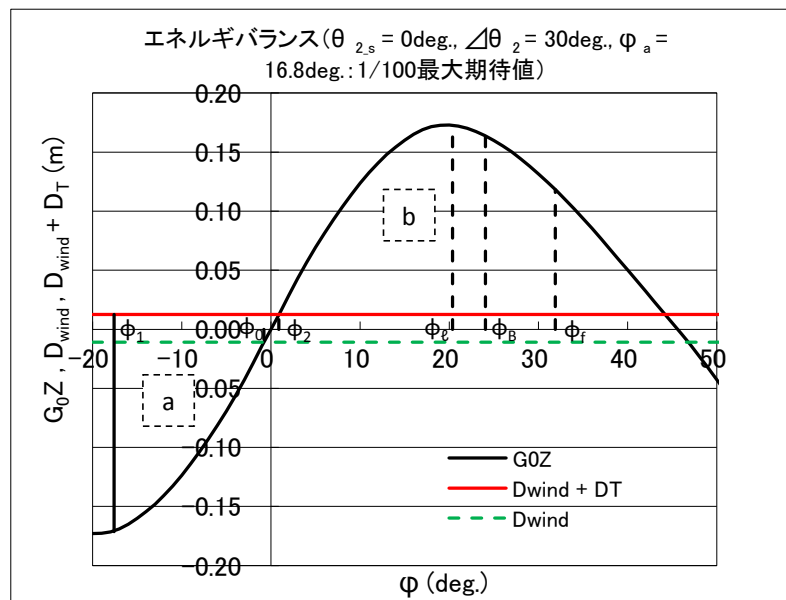


図 6-4 索張力の作用方向が左舷側の場合のエネルギーバランス計算 ( $\theta_{2s} = 0 \text{deg.}$ ,  $\Delta\theta_2 = 30 \text{deg.}$ ,  $\phi_a = 16.8 \text{deg.}$  : 1/100 最大期待値)

$$a = \int_{\phi_1}^{\phi_2} \{(D_t - D_{wind}) - \overline{GZ}\} d\phi \quad (6-4)$$

$$b = \int_{\phi_2}^{\phi_f} \{\overline{GZ} - (D_t - D_{wind})\} d\phi \quad (6-5)$$

$$\int_{\phi_2}^{\phi_l} \{\overline{GZ} - (D_t - D_{wind})\} d\phi = a \quad (6-6)$$

索張力による傾斜偶力でこ  $D_t$  (6.2.4 節の  $D_{t,max}$  と同一の物理量。但し、ここでは、 $\theta_{2,s}=0deg.$  を考慮して別表記とした。) と風による傾斜偶力でこ  $D_{wind}$  の作用方向が逆であるため、(6-4)式～(6-6)式で全体の傾斜偶力を示す被積分関数の ( ) 内の符号が、6.2.4 節の(6-1)式～(6-3)式と異なっている。

## (2) 計算結果

表 6-8 エネルギーバランス計算結果 ( $\theta_{2,s}=0deg.$ ) (索張力作用方向：左舷側)

(a)  $\angle\theta_2=15deg.$

横揺れ振幅	$\Phi_0$ (deg.)	$\Phi_1$ (deg.)	$\Phi_2$ (deg.)	a (m-deg.)	b (m-deg.)	c (=b/a)	$\Phi_l$ (deg.)
平均値	-0.8	-7.3	0.1	0.38	3.95	10.52	7.5
1/3有義値		-11.2		0.83		4.75	11.4
1/100最大期待値		-17.6		1.83		2.15	17.8

(b)  $\angle\theta_2=30deg.$

横揺れ振幅	$\Phi_0$ (deg.)	$\Phi_1$ (deg.)	$\Phi_2$ (deg.)	a (m-deg.)	b (m-deg.)	c (=b/a)	$\Phi_l$ (deg.)
平均値	-0.8	-7.3	0.9	0.46	3.59	7.75	9.2
1/3有義値		-11.2		0.96		3.73	13.4
1/100最大期待値		-17.6		2.04		1.76	20.4

(c)  $\angle\theta_2=45deg.$

横揺れ振幅	$\Phi_0$ (deg.)	$\Phi_1$ (deg.)	$\Phi_2$ (deg.)	a (m-deg.)	b (m-deg.)	c (=b/a)	$\Phi_l$ (deg.)
平均値	-0.8	-7.3	1.6	0.55	3.30	6.04	10.8
1/3有義値		-11.2		1.09		3.04	15.1
1/100最大期待値		-17.6		2.22		1.49	22.8

(d)  $\angle\theta_2=60deg.$

横揺れ振幅	$\Phi_0$ (deg.)	$\Phi_1$ (deg.)	$\Phi_2$ (deg.)	a (m-deg.)	b (m-deg.)	c (=b/a)	$\Phi_l$ (deg.)
平均値	-0.8	-7.3	2.1	0.62	3.08	5.01	12.1
1/3有義値		-11.2		1.18		2.60	16.6
1/100最大期待値		-17.6		2.37		1.30	25.1

表 6-8 に索張力の作用方向を左舷側とした場合のエネルギーバランス計算の結果を示す。曳航索と船首方位のなす角  $\theta_2$  が 0 度から 45 度まで増大した場合 ( $\angle\theta_2=45deg.$  : 表 6-8(c))、1/100 最大期待値の横揺れが生じたとしても、左舷側への最大傾斜角  $\phi_l$  は 22.8 度であり、海面がブルワーク上端を超えるまでは傾斜しないと判定される。一方、曳航索と船首方位のなす角  $\theta_2$  が 60 度

まで増大した場合 ( $\angle\theta_2=60\text{deg.}$ :表 6-8(d)) では、1/100 最大期待値の横揺れが生じたとすると、**左舷側**への最大傾斜角  $\phi_{\ell}$  はブルワーク上端没水角 ( $\phi_B=24.1\text{deg.}$ ) を超えると判定される。

### (3) 考察

表 6-8 に示した計算結果は、6.2.4 節に示した事故発生時の想定状況と風による傾斜偶力で  $D_{\text{wind}}$ 、横揺れ片振幅の平均値  $\phi_{a\_mean}$ 、1/3 有義値  $\phi_{a\_1/3}$ 、1/100 最大期待値  $\phi_{a\_1/100}$  の大きさは同じで、索張力による傾斜偶力で  $D_T$  の方向が異なる (事故発生時の想定: 右舷側に作用)。

曳航索と船首方位のなす角  $\theta_2$  が 0 度から 30 度まで増大した場合 ( $\theta_{2s}=0\text{deg.}$ ,  $\angle\theta_2=30\text{deg.}$ ) では、1/100 最大期待値の横揺れが生じたとすると、索張力が右舷側に作用したと考えられる事故発生時の状況 (表 6-5 (b)) では、右舷側への最大傾斜角は 24.2 度となり、ブルワーク上端没水角を超える。一方、索張力による傾斜偶力が風による傾斜偶力と逆の左舷側に作用する場合 (表 6-8 (b)) は、最大傾斜角は 20.4 度とブルワーク上端没水角に達しない。そのため、漁船 A の事故では風による傾斜偶力の作用方向と索張力による傾斜偶力の作用方向が一致するような曳航状態になったことが、事故発生要因の一つと考えられる。

なお、各時刻の曳航状態に対応したエネルギーバランス計算を行った結果 (付録 3) から同様の推測が得られた。

## 6.3 まとめ

調査官から説明された事項等を基に漁船 A が転覆に至る状況を想定するとともに、想定した転覆発生状況について、事故発生時の復原性等について具体的な数値をあてはめて転覆メカニズムの検討を行った。その際、最悪の状況として、左舷側に最大限横揺れした時点で、索張力による右舷側への傾斜偶力が急激に増大したとして、右舷側への最大傾斜角等をエネルギーバランスの考え方で推定した。

その結果、事故発生時の索張力を 3.0tf と想定した場合、1/100 最大期待値の横揺れが生じた際に曳航索と船首方位のなす角が 15 度程度以上増大したとしても、漁船 A は直ちに転覆に至ることはないが、右舷側への最大傾斜角は復原力の最大値が生じる横傾斜角より大きなブルワーク上端没水角を超える場合があると判定された。

横傾斜角が復原力の最大値が生じる横傾斜角より大きな角度まで達すると、復原的に不安定な状態でブルワークが抵抗となり復原しにくい状況となり、引き続いて入射する波の作用で転覆に至ることが想定される。

なお、索張力による傾斜偶力の作用方向が左舷側として同じ条件でエネルギーバランスの計算を行った結果、左舷側への最大傾斜角はブルワーク上端没水角を超えない場合があることから、漁船 A の事故では風による傾斜偶力の作用方向と索張力による傾斜偶力の作用方向が一致するような曳航状態になったことが、事故発生要因の一つと考えられる。

## 付録1 風による傾斜モーメント係数の推定 A1)

### (1) 風による傾斜モーメント係数 $C_K$

風による傾斜モーメント係数  $C_K$ は(A1-1)式で表現される。

$$C_K = C_Y(L_K + L_d) \quad (A1-1)$$

ここで、 $C_Y$ : 横風圧力係数、 $L_K$ : 水面上の船体に作用する風による傾斜モーメントレバーの無次元値、 $L_d$ : 水面下の船体に作用する流体反力(横力)による傾斜モーメントレバーの無次元値であり、 $C_Y$ と $L_K$ は藤原の式 A1)で推定した。また、 $L_d$ は水面下の船体に作用する横力の見かけの作用点が喫水の半分 ( $d/2$ )にあると仮定して求めた。

### (2) 横風圧力係数 $C_Y$ 及び水面上の風による傾斜モーメントレバー $L_K$

横風圧力係数  $C_Y$ はクロスフロー抗力と揚力・誘導抗力の横方向成分で構成されるとして相対風向角  $\Psi_A$  の関数として(A1-2)式で表現される。

$$C_Y(\Psi_A) = C_{CF} \sin^2 \Psi_A + C_{YLI} \left( \cos \Psi_A + \frac{1}{2} \sin^2 \Psi_A \cos \Psi_A \right) \sin \Psi_A \cos \Psi_A \quad (A1-2)$$

ここで、 $C_{CF}$ はクロスフロー抗力係数、 $C_{YLI}$ は揚力・誘導抗力の横方向成分係数であり、事故時の状態では、それぞれ(A1-3)式、(A1-4)式により本文 5.1 節の表 5-3 に示したパラメータを用いて推定した。

$$C_{CF} = 0.404 + 0.368 \frac{A_F}{BH_{BR}} + 0.902 \frac{H_{BR}}{L_{OA}} \quad (A1-3)$$

$$C_{YLI} = \pi \frac{A_L}{L_{OA}^2} + C_{YM} \quad (A1-4)$$

$$C_{YM} = 0.116 + 3.345 \frac{A_F}{L_{OA}B}$$

また、水面上の風による傾斜モーメントレバー $L_K$ は風向角によらずほぼ一定とされており A1)、事故時の状態では(A1-5)式により推定した。

$$L_K = 0.0737 \left( \frac{H_C}{L_{OA}} \right)^{-0.821} \quad (A1-5)$$

## 参考文献

A1) 藤原敏文、上野道雄、池田良穂：成分分離型モデルを利用した新しい風圧力推定法，日本船舶海洋工学会論文集，第2号，pp. 243-255，平成17年10月。



## 付録2 横揺れ減減係数の推定

漁船 A に関しては、横揺れ応答の計算に必要な減減係数のデータがなかった。そこで、主要目等から横揺れ減減係数 (N 係数) を推定できる渡辺・井上の式<sup>A2)</sup>を用いて事故時の状態の漁船 A の減減係数を推定した。

### (1) 対象状態

今回横揺れ減減係数の推定を行ったのは、事故時の状態に加え、参考のため 2.2 節でマスト等の改造・活魚水槽の搭載が復原性能に及ぼす影響の検討を行った 4 状態の計 5 状態である (表 A2-1)。

表 A2-1 減減係数の推定対象状態

状態 No.	状態
2-1	事故時の状態
3-1	想定状態-1(改造前+水槽上甲板)
3-2	想定状態-2(改造後+水槽魚艙)
3-3	想定状態-3(改造前+水槽魚艙)
3-4	想定状態-4(改造後+甲板上水槽無)

### (2) 減減係数の推定法

減減係数  $N$  は渡辺・井上の推定式 ((A2-1) 式) を用いて推定した。

$$N = \frac{n L d}{W \cdot G_0 M T_r^2} \left\{ l_{bk}^3 \left( 1 + \frac{d^2}{4 l_{bk}^2} \right) + \frac{f B^4}{64 d} \right\} \quad (A2-1)$$

ここで、

$L$  (m) : 垂線間長

$B$  (m) : 船幅

$d$  (m) : 吃水

$W$  (ton) : 排水量

$G_0 M$  (m) : メタセンタ高さ (自由表面影響を考慮)

$T_r$  (sec.) :  $\theta_m = 5 \text{deg.}$  における横揺れ周期<sup>注)</sup>

$l_{bk}$  (m) :  $KG - d/2$

$$f = 1 - \frac{4}{m+1} + \frac{6}{2m+1} - \frac{4}{3m+1} + \frac{1}{4m+1}$$

$$m = \frac{C_w}{1 - C_w}$$

$$n = 0.03 + 0.78 C_b d/L + 1.5 \sigma A_b / L^2 \quad (\text{横揺れ角 } 10^\circ \text{ のとき})$$

$$n = 0.02 + 1.1 C_b d/L + \sigma A_b / L^2 \quad (\text{横揺れ角 } 20^\circ \text{ のとき})$$

$\sigma$  は  $C_b$  及びビルジキールの縦横比  $\beta$  の関数

$A_b$  はビルジキールの面積

各状態の減減係数の推定に必要なデータをまとめて表 A2-2 に示す。

表 A2-2 各状態における諸元

状態	L(m)	B(m)	d(m)	W(ton)	G <sub>0</sub> M(m)	T <sub>r</sub> (sec.)	KG(m)
2-1	26.80	5.80	2.14	269.56	0.79	5.51	2.21
3-1			2.11	264.27	0.80	5.48	2.13
3-2			2.14	269.56	0.88	5.23	2.12
3-3			2.11	264.27	0.89	5.21	2.04
3-4			2.03	257.16	0.76	5.68	2.17

状態	C <sub>b</sub>	C <sub>w</sub>	I <sub>bk</sub> (m)	b <sub>bk</sub> (m)
2-1	0.792	0.934	9.500	0.200
3-1	0.786	0.921		
3-2	0.792	0.934		
3-3	0.786	0.921		
3-4	0.795	0.907		

(3) 減減係数の推定結果

まず、各状態で横揺角 10°と 20°の場合における(A2-1)式の  $n$  を計算した。計算に必要となる  $\sigma$  はビルジキールの長さ  $I_{bk}$  及び幅  $b_{bk}$  からビルジキールの縦横比  $\beta = 0.021$  を求め、これと表 A2-2 の  $C_b$  の値を用いて参考文献 A2 に示されている図から値を読み取った。

次に  $n$  と表 A2-2 の諸元を用いて(A2-1)式から減減係数  $N$  を推定した。各状態の横揺角 10°と 20°の場合における  $\sigma, n, N$  を表 A2-3 に示す。

表 A2-3 減減係数の推定結果

状態	$\sigma$	$n$ (横揺角 10°)	$n$ (横揺角 20°)	$N$ (横揺角 10°)	$N$ (横揺角 20°)
2-1	110.7	0.519	0.382	0.0455	0.0336
3-1	109.7	0.514	0.378	0.0432	0.0318
3-2	110.7	0.519	0.382	0.0437	0.0322
3-3	109.7	0.514	0.378	0.0415	0.0305
3-4	111.1	0.518	0.380	0.0439	0.0322

参考文献

A2) 渡辺恵弘, 井上正祐, 村橋達也 : N 係数計算法の肥大船型への修正, 西部造船会会報, 第 27 号, pp.69-81, 昭和 39 年 3 月.

注) 今回用いた渡辺・井上の推定式が示された論文<sup>A2)</sup>では、(A2-1)式の  $T_r$  として振幅 5deg. における横揺周期をとることになっている。今回の推定では、 $T_r$  を微小振幅における横揺周期すなわち横揺固有周期と見なし、以下に示す IMO の IS Code で規定された算式を用いて算定した。

$$T_r = \frac{2CB}{\sqrt{G_0M}}$$

L(m) : 水線長  
B(m) : 型幅  
d(m) : 平均型喫水

$$C = 0.373 + 0.023(B/d) - 0.043(L/100)$$

### 付録3 各時刻の曳航状態に対応したエネルギーバランスの計算

#### (1) 計算式

曳航状態の計算結果等に基づく各時刻の状況におけるエネルギーバランスの計算を行った。その際、風により右舷側に横傾斜した状態で索張力による傾斜モーメントは左舷側に作用するとしたので、エネルギーバランスの計算は(A3-1)式～(A3-3)式で行い、 $\phi_1$ は右舷側への最大傾斜角、 $\phi_0$ は(A3-3)式を満たす左舷側への最大傾斜角となる。また、事故発生時には左舷側甲板室の出入口が開放されていたとのことであるので、動復原力を示す(A3-2)式の積分の上限は、当該出入口からの海水流入角 $\phi_f$  (31.9度)となる。

$$a = \int_{\phi_1}^{\phi_2} \{(D_{t\_max} - D_{wind}) - \overline{GZ}\} d\phi \quad (A3-1)$$

$$b = \int_{\phi_2}^{\phi_f} \{\overline{GZ} - (D_{t\_max} - D_{wind})\} d\phi \quad (A3-2)$$

$$\int_{\phi_2}^{\phi_0} \{\overline{GZ} - (D_{t\_max} - D_{wind})\} d\phi = a \quad (A3-3)$$

#### (2) 各時刻における波浪による横揺れ、並びに、風及び索張力による横傾斜偶力の推定値

エネルギーバランスの計算に使用した、各時刻における波浪による横揺れ、並びに、風及び索張力による横傾斜偶力の推定値をまとめて表 A3-1 に示す。横揺れとしては、提供された方向スペクトルから推定した横揺れ片振幅の平均値 ( $\phi_{a\_mean}$ )、1/3 有義値 ( $\phi_{a\_1/3}$ )、1/100 最大期待値 ( $\phi_{a\_1/100}$ ) の 3 ケースについて計算した。なお、曳航状態の計算では、4:40 及び 5:00 には漁船 A は振れ回りを起こさず、一定の索張力で曳航されていると推定されているが、ここでは曳航索と船首方位のなす角 $\theta_2$ が 15 度増大したとして、急増した索張力による傾斜偶力をこを設定した。

表 A3-1 各時刻における波浪による横揺れ、風及び索張力による横傾斜偶力の推定値

時刻	$\Phi_{a\_mean}$ (deg.)	$\Phi_{a\_1/3}$ (deg.)	$\Phi_{a\_1/100}$ (deg.)	$D_{wind}$ (m)	$D_{T\_mean}$ (m)	$D_{T\_max}$ (m)
4:00a.m.	4.7	7.6	12.2	0.0103	0.0258	0.0385
4:20a.m.	5.8	9.3	15.0	0.0127	0.0261	0.0353
4:40a.m.	6.7	10.7	17.3	0.0132	0.0358	0.0425
5:00a.m.	6.6	10.5	17.0	0.0130	0.0367	0.0437
5:15a.m.	6.5	10.4	16.8	0.0110	0.0334	0.0424

また、事故発生時 (5:15 頃) には、漁船 A は曳船 B の左舷側 (風上・波上側) に位置していたと想定されるが、ここでは比較のため曳航状態の計算結果 (曳船 B の右舷側での振れ回り) で示された索張力を用いた計算を行った。

#### (3) 計算結果

表 A3-2 にエネルギーバランスの計算結果を示す。いずれの時刻で 1/100 最大期待値の横揺れが生じた場合であっても索張力が一定値から急激に増大した際の左舷側への最大傾斜角 $\phi_0$ はブルワーク上端没水角 ( $\phi_B=24.1deg.$ ) 未満となると判定される。

表 A3-2 各時刻の曳航状態に対応したエネルギーバランス計算結果

(a) 4:00

横揺れ振幅	$D_{T,mean}$ $D_{wind}$ (m)	$\phi_0$ (deg.)	$\phi_1$ (deg.)	$D_{T,max}$ $D_{wind}$ (m)	$\phi_2$ (deg.)	a (m-deg.)	b (m-deg.)	c (=b/a)	$\phi_{\ell}$ (deg.)
平均値	0.0155	1.1	-3.6	0.0282	2.0	0.22	3.13	14.09	7.7
1/3有義値			-6.5			0.51		6.18	11.0
1/100最大期待値			-11.1			1.15		2.73	16.2

(b) 4:20

横揺れ振幅	$D_{T,mean}$ $D_{wind}$ (m)	$\phi_0$ (deg.)	$\phi_1$ (deg.)	$D_{T,max}$ $D_{wind}$ (m)	$\phi_2$ (deg.)	a (m-deg.)	b (m-deg.)	c (=b/a)	$\phi_{\ell}$ (deg.)
平均値	0.0134	1.0	-4.8	0.0226	1.6	0.29	3.29	11.21	8.2
1/3有義値			-8.3			0.68		4.84	12.0
1/100最大期待値			-14.0			1.57		2.10	18.5

(c) 4:40

横揺れ振幅	$D_{T,mean}$ $D_{wind}$ (m)	$\phi_0$ (deg.)	$\phi_1$ (deg.)	$D_{T,max}$ $D_{wind}$ (m)	$\phi_2$ (deg.)	a (m-deg.)	b (m-deg.)	c (=b/a)	$\phi_{\ell}$ (deg.)
平均値	0.0224	1.6	-5.1	0.0293	2.0	0.37	3.09	8.43	9.6
1/3有義値			-9.1			0.86		3.60	14.1
1/100最大期待値			-15.7			1.99		1.55	22.3

(d) 5:00

横揺れ振幅	$D_{T,mean}$ $D_{wind}$ (m)	$\phi_0$ (deg.)	$\phi_1$ (deg.)	$D_{T,max}$ $D_{wind}$ (m)	$\phi_2$ (deg.)	a (m-deg.)	b (m-deg.)	c (=b/a)	$\phi_{\ell}$ (deg.)
平均値	0.0237	1.7	-4.9	0.0307	2.1	0.36	3.05	8.53	9.6
1/3有義値			-8.8			0.83		3.66	14.0
1/100最大期待値			-15.3			1.94		1.57	22.1

(e) 5:15

横揺れ振幅	$D_{T,mean}$ $D_{wind}$ (m)	$\phi_0$ (deg.)	$\phi_1$ (deg.)	$D_{T,max}$ $D_{wind}$ (m)	$\phi_2$ (deg.)	a (m-deg.)	b (m-deg.)	c (=b/a)	$\phi_{\ell}$ (deg.)
平均値	0.0224	1.6	-4.9	0.0314	2.2	0.36	3.03	8.38	9.7
1/3有義値			-8.8			0.84		3.61	14.2
1/100最大期待値			-15.2			1.93		1.57	22.1

#### (4) 考察

表 A3-2 (e)に示した曳航状態の計算結果に基づき 5:15 の状況は、6.2.4 節に示した事故発生時の状況と風による傾斜偶力にて  $D_{wind}$ 、横揺れ片振幅の平均値  $\phi_{a,mean}$ 、1/3 有義値  $\phi_{a,1/3}$ 、1/100 最大期待値  $\phi_{a,1/100}$  の大きさは同じで、索張力による傾斜偶力にて  $D_T$  の大きさと方向が異なる(事故発生時：右舷側に作用と想定される)。その中で索張力による傾斜偶力にてこの大きさが比較的近い、表 6-7 (b)と表 A3-2 (e)の計算結果を比較してみる。

1/100 最大期待値の横揺れが生じた場合、事故発生時の状況(表 6-7 (b))では、右舷側への最大傾斜角は 27.5 度となり、ブルワーク上端没水角を超える。一方、曳航状態の計算結果(曳船 B の右舷側での振り回り)で示された索張力による傾斜偶力が風による傾斜偶力と逆の左舷側に作用する場合(表 A3-2 (e))、最大傾斜角は 22.1 度とブルワーク上端没水角に達しない。そのため、漁船 A の事故では風による傾斜偶力の作用方向と索張力による傾斜偶力の作用方向が一致するような曳航状態になったことが、事故発生要因の一つと考えられる。