

漁船転覆事故に係る解析調査 報告書

平成27年9月

国立研究開発法人 海上技術安全研究所

目次

| | |
|------------------------------------|----|
| 1. はじめに | 1 |
| 1. 1 解析調査の目的 | 1 |
| 1. 2 解析調査の概要 | 1 |
| 2. 事故発生直前の復原性能の検討 | 2 |
| 2. 1 事故発生直前の船体状態の推定 | 2 |
| 2. 2 事故発生直前の復原性能の推定 | 2 |
| 2. 3 バラスト水の有無の影響 | 3 |
| 2. 4 復原性基準への適合状況の検討 | 4 |
| 2. 4. 1 検討状態 | 4 |
| 2. 4. 2 建造当時の復原性基準への適合状況 | 5 |
| 2. 4. 3 現在（平成 20 年改正後）の復原性基準への適合状況 | 5 |
| 3. 転覆発生状況の検討 | 8 |
| 3. 1 事故発生シーケンスの整理 | 8 |
| 3. 2 転覆に至る状況の検討 | 8 |
| 3. 2. 1 打ち込み発生前 | 8 |
| 3. 2. 2 1 度目の波の打ち込み | 11 |
| 3. 3 左舷バラストタンクに海水が入っていなかった影響 | 12 |
| 3. 4 その他 | 13 |
| 3. 5 転覆発生過程と転覆メカニズムの推定 | 15 |
| 4. まとめ | 16 |
| 参考文献 | 17 |
| 付表 | 18 |

1. はじめに

1. 1 解析調査の目的

本解析調査は、平成 26 年 12 月に山陰沖で発生した、まき網漁船（総トン数 135 トン）の転覆事故の調査に資するため、本船操業中、揚網状況、暴露甲板上に滞留する海水の影響を考慮した本船の復原性及び本船に作用する傾斜外力を調査・解析し、転覆に至る可能性がある状況を推定することを目的とする。

1. 2 解析調査の概要

新造時の設計図書、事故発生時の気象・海象情報、本解析を実施するにあたり船舶事故調査官から提供された事故発生時の情報に基づき、本事故前の復原性能の推定、本船が転覆に至る経過を追って傾斜の状況並びに復原性及び本船に作用した傾斜外力の推定等の解析調査を行った。

2. 事故発生直前の復原性能の検討

2.1 事故発生直前の船体状態の推定

本船建造造船所が作成した資料（重心試験成績書）に記載された漁場着状態の重量重心データについて、漁網重量、魚群探知機の新設、ソナー変更、インマルサット機材撤去、事故当時の乗員数、清水及び燃料搭載量他の情報を修正することで、事故発生直前（横揚げ作業開始時）の本船の重量重心を推定した（付表1）。なお、今回の推定では漁網の含水量¹⁾は40%とした。

表 2.1.1 に、事故発生前の状態の排水量（W）、重心位置（mid-G：前後位置、KG：上下位置）及び各種タンクの自由表面による見かけの重心上昇量（自由水影響：GG₀）の推定値を示す。重心の前後位置 mid-G は、船尾側を正にとって示している。

表 2.1.1 事故発生直前の排水量、重心位置及び自由水影響

| 状態 | W (t) | mid-G (m) | KG (m) | GG ₀ (m) |
|----------|----------|--------------|-----------|------------------------|
| 事故発生直前状態 | 482.28 | 3.43 | 2.99 | 0.03 |

2.2 事故発生直前の復原性能の推定

表 2.1.1 に示す状態で復原力計算を行った結果を図 2.2.1 に示す。自由水影響を考慮した復原で GoZ の最大値（GoZ_{max}）は、約 0.30m（at 約 15.0 度）である。

また、表 2.2.1 に喫水（da：船尾喫水、df：船首喫水、dm：平均喫水）、乾舷（fb）及び海水流入角（φ_w）の計算結果を示す。φ_wは海水流入位置を甲板室上に設置された機関室軸流ファンの開口（Fr.33、基線上 5.77m、船体中心線から右舷側へ 1.56m）とした場合の海水流入角である。

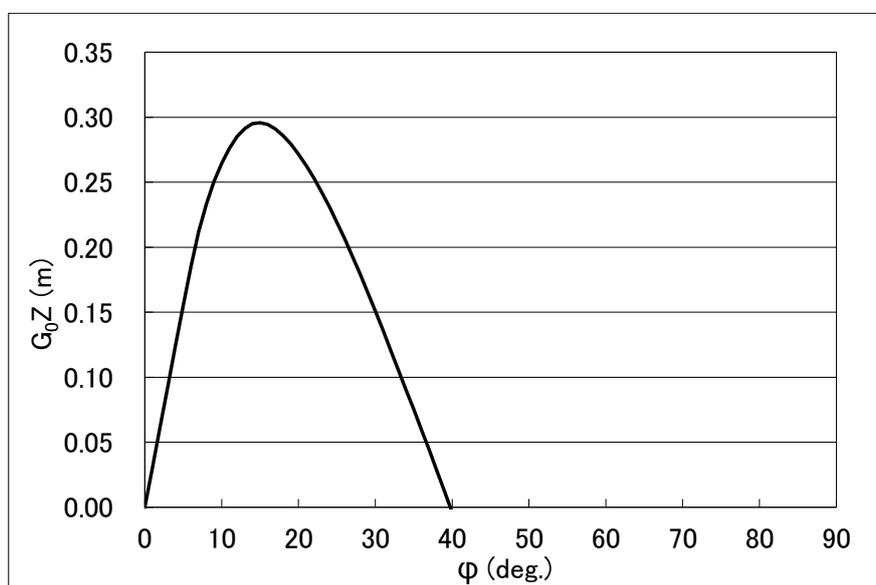


図 2.2.1 復原力曲線

表 2.2.1 喫水、乾舷及び海水流入角

| 状態 | da (m) | df (m) | dm (m) | fb (m) | φ _w (deg.) |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|
| 事故発生直前状態 | 3.16 | 2.56 | 2.86 | 0.48 | 51.3 |

2.3 バラスト水の有無の影響

本船は、通常は揚網時には左舷バラストタンクに注水するが、事故当時、左舷バラストタンクは空であったとのことである。そこで、事故当時に左舷バラストタンクが満水であったとした状態（バラスト搭載状態）についても検討した（付表2）。

表 2.3.1 にバラスト搭載状態と事故当時のバラスト未搭載であった状態の排水量 (W)、重心位置 (mid-G : 前後位置、KG : 上下位置) 及び各種タンクの自由表面による見かけの重心上昇量 (自由水影響 : GG₀) を示す。

左舷バラストタンク (容量 : 6.04m³) を満水にすること (バラスト搭載状態) で、排水量 W が増加するとともに、重心の前後位置 mid-G が 0.23m 程度後方に移動する。

表 2.3.1 排水量、重心位置及び自由水影響 (バラスト搭載及び未搭載状態)

| 状態 | W (t) | mid-G (m) | KG (m) | GG ₀ (m) |
|-----------|--------|-----------|--------|---------------------|
| バラスト搭載状態 | 488.47 | 3.66 | 2.99 | 0.03 |
| バラスト未搭載状態 | 482.28 | 3.43 | 2.99 | 0.03 |

表 2.3.1 に示す状態で復原力計算を行った結果を図 2.3.1 に示す。また、表 2.3.2 に平均喫水 (dm)、トリム (τ)、各種タンクの自由水影響を考慮したメタセンタ高さ (G₀M)、復原力 (復原てこで示す。) の最大値 (G₀Zmax) 及び海水流入角 (φ_w) の計算結果を示す。

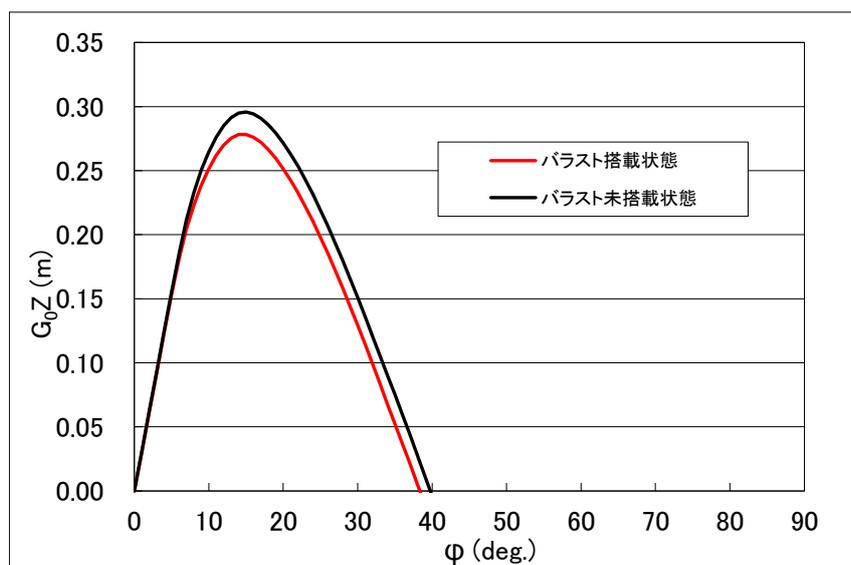


図 2.3.1 バラスト搭載及び未搭載状態の復原力曲線

表 2.3.2 バラスト搭載及び未搭載状態の喫水、トリム、メタセンタ高さ、海水流入角

| 状態 | dm (m) | τ (m) | G ₀ M (m) | G ₀ Zmax (m) | φ _w (deg.) |
|-----------|--------|-------|----------------------|-------------------------|-----------------------|
| バラスト搭載状態 | 2.87 | 0.70 | 1.75 | 0.28 | 50.5 |
| バラスト未搭載状態 | 2.86 | 0.59 | 1.78 | 0.30 | 51.3 |

図 2.3.1 及び表 2.3.2 でバラスト搭載状態と事故当時のバラスト未搭載状態を比較すると、バラストを搭載することで船尾トリムが大きくなり、復原力自体は小さくなることが分かる。

2. 4 復原性基準への適合状況の検討

本船の左舷バラストタンクが満水であってその他は事故発生直前の状態であった場合（標準状態）等について、建造当時（平成 2 年）及び現在（平成 20 年改正後）の復原性基準に当てはめ、適合性について計算を行った。

2. 4. 1 検討状態

復原性基準への適合性について計算を行ったのは、①事故前日の出港時の状態（事故前日出港状態：付表 3-1）、②事故当日の漁場着時（環巻時）の状態（事故当日漁場着標準状態：付表 3-2）、③事故発生直前の状態で左舷バラストタンクが満水であった場合（事故発生直前標準状態：2.3 節のバラスト搭載状態）である。また、バラスト水の有無の影響を更に検討するために、④事故当日のバラスト未搭載であった漁場着状態（事故当日漁場着状態）：付表 3-3）についても建造当時（平成 2 年）の復原性基準への適合性について計算を行った。

表 2.4.1 に各状態の排水量（W）、重心位置（mid-G：前後位置、KG：上下位置）及び各種タンクの自由表面による見かけの重心上昇量（自由水影響：GG₀）を示す。

表 2.4.1 検討状態の排水量、重心位置及び自由水影響

| 状態 | W (t) | mid-G (m) | KG (m) | GG ₀ (m) |
|-------------|----------|--------------|-----------|------------------------|
| 事故発生直前標準状態 | 488.47 | 3.66 | 2.99 | 0.03 |
| 事故当日漁場着標準状態 | 452.08 | 2.47 | 2.90 | 0.03 |
| 事故前日出港状態 | 481.84 | 3.09 | 2.93 | 0.03 |
| 事故当日漁場着状態 | 445.89 | 2.21 | 2.89 | 0.03 |

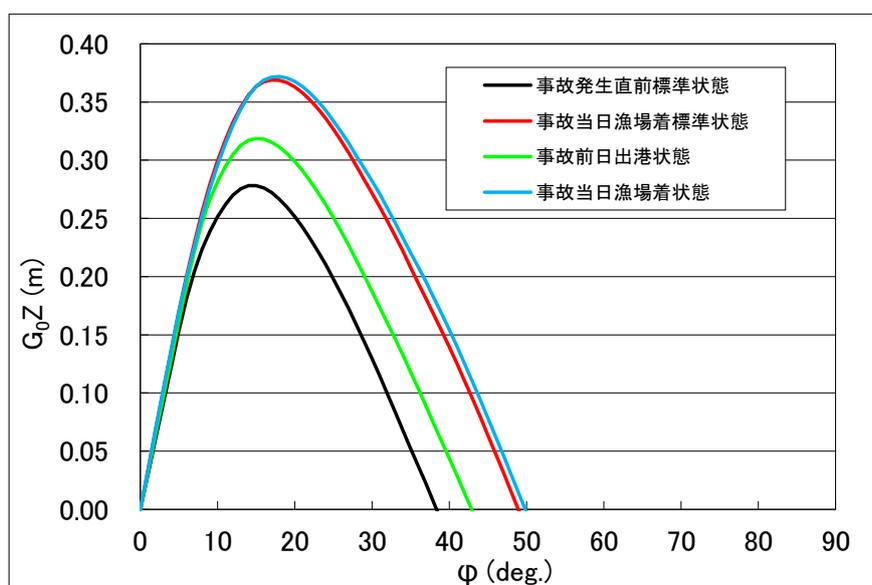


図 2.4.1 検討状態の復原力曲線

表 2.4.1 に示す状態で復原力計算を行った結果を図 2.4.1 に示す。また、表 2.4.2 に、喫水（da：船尾喫水、df：船首喫水、dm：平均喫水）、乾舷（fb）及び海水流入角（φ_w）の計算結果を示す。事故発生直前標準状態の平均喫水 dm は 2.87m であり、乾舷 fb は 0.47m と本船の規定乾舷であ

る 0.423m 以上となっている。また、図 2.4.1 と比較すると海水流入角は復原力消失角以上となっている。

表 2.4.2 検討状態の喫水、乾舷及び海水流入角

| 状態 | da (m) | df (m) | dm (m) | fb (m) | Φ_w (deg.) |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------|
| 事故発生直前標準状態 | 3.22 | 2.52 | 2.87 | 0.47 | 50.5 |
| 事故当日漁場着標準状態 | 2.91 | 2.73 | 2.82 | 0.52 | 55.6 |
| 事故前日出港状態 | 3.09 | 2.68 | 2.88 | 0.45 | 51.7 |
| 事故当日漁場着状態 | 2.85 | 2.78 | 2.81 | 0.53 | 56.4 |

2. 4. 2 建造当時の復原性基準への適合状況

表 2.4.3 に建造時の復原性基準への適合性を確認した結果を示す。GoM は自由水影響を考慮したメタセンタ高さ、 ϕ_e は環巻時の傾斜角、 F' は相当喫水に対する乾舷、 ϕ_d は舷端没水角、 $GZ(\phi_d)$ は舷端没水角（限界傾斜角）における復原てこ、 $wf \cdot l \cdot \cos \phi_d / W$ は環巻時の漁具操作により生じる傾斜偶力てこ（傾斜モーメントを排水量で除した値で示す。）を示す。なお、事故当日漁場着標準状態の計算では環巻時の傾斜外力に左舷バラストタンクを満水とした効果を考慮した。

表 2.4.3 から事故発生時の標準状態の各種タンクの自由水影響を考慮したメタセンタ高さ GoM は 1.75m となっており、基準値 (0.682m) を満足していることが分かる。また、事故当日環巻時（漁場着状態）の標準状態の限界傾斜角における復原てこ $G_0Z(\phi_d)$ は、左舷バラストタンクが満水としたことを考慮した漁具操作により生じる傾斜偶力てこ $wf \cdot l \cdot \cos \phi_d / W$ より大きくなっている。

よって、本船は事故当時の状態で左舷バラストタンクが満水であったとした場合に建造時の復原性基準に適合している。

なお、左舷バラストタンクが空の場合でも、図 2.3.1、表 2.3.2 及び表 2.4.3 から建造時の復原性基準に適合していたことが分かる。

また、環巻時の傾斜角 ϕ_e は 2.7 度と、舷端没水角 ϕ_d (7.4 度) 以下となっている。

表 2.4.3 建造時の復原性基準への適合性

| 状態 | GM基準 | | 横傾斜角基準 | | | | |
|-------------|------------|------------|--------------------|-------------|--------------------|-----------------------|---|
| | GoM (m) | 基準値 (m) | ϕ_e (deg.) | F' (m) | ϕ_d (deg.) | $G_0Z(\phi_d)$ (m) | $wf \cdot l \cdot \cos \phi_d / W$ (m) |
| 事故発生直前標準状態 | 1.75 | 0.682 | - | - | - | - | - |
| 事故当日漁場着標準状態 | 1.98 | 0.657 | 2.7 | 0.525 | 7.4 | 0.239 | 0.094 |
| 事故前日出港状態 | 1.85 | 0.692 | - | - | - | - | - |
| 事故当日漁場着状態 | 2.00 | 0.654 | 4.1 | 0.546 | 7.7 | 0.243 | 0.139 |

2. 4. 3 現在（平成 20 年改正後）の復原性基準への適合状況

表 2.4.1 に示した各状態（事故当日漁場着状態を除く）について、平成 20 年改正後の復原性基準に当てはめてその適合性について計算を行った結果を表 2.4.4 及び表 2.4.5 に示す。また、計算に使用した図を図 2.4.2～図 2.4.4 に示す。

表 2.4.4 及び表 2.4.5 に示したように、検討したいずれの状態とも、船舶復原性規則第 2 4 条

の規定に基づく C 係数基準及び操業中横傾斜角基準に適合している。なお、平成 20 年改正後の復原性基準では、C 係数基準及び操業中横傾斜角基準の他、メタセンタ高さの基準、横傾斜角基準が規定されているが、表 2.4.3 に示したようにいずれの状態とも基準に適合している。

なお、左舷バラストタンクが空の場合でも、図 2.3.1、表 2.3.2 及び表 2.4.3 から平成 20 年改正後の復原性基準に適合していたと推測される。

表 2.4.4 C 係数基準への適合性
(事故前日出港状態、事故発生直前標準状態)

| | 事故前日出港状態 | 事故発生直前標準状態 |
|-----------------------|----------|------------|
| A (m ²) | 162.57 | 163.30 |
| h (m) | 2.30 | 2.30 |
| H (m) | 3.74 | 3.74 |
| k | 0.0406 | 0.0407 |
| kAH/W (m) | 0.051 | 0.051 |
| 1.5kAH/W (m) | 0.077 | 0.076 |
| B/dm | 2.81 | 2.83 |
| C | 0.419 | 0.420 |
| Cb | 0.512 | 0.515 |
| Ts (sec.) | 4.99 | 5.14 |
| k | 0.70 | 0.70 |
| X1 | 0.93 | 0.92 |
| X2 | 0.84 | 0.84 |
| S | 0.100 | 0.100 |
| γ | 0.74 | 0.76 |
| φ (deg.) | 16.11 | 16.33 |
| φ _w (deg.) | 51.68 | 50.51 |
| φ ₀ (deg.) | 1.59 | 1.66 |
| φ _a (deg.) | -14.52 | -14.67 |
| a (m-deg.) | 4.14 | 3.91 |
| b (m-deg.) | 5.34 | 3.98 |
| c (=b/a) | 1.29 | 1.02 |

表 2.4.5 操業中横傾斜角基準への適合性
(事故当日漁場着標準状態)

| | 事故当日漁場着標準状態 |
|---------------------------------|-------------|
| A (m ²) | 165.48 |
| h (m) | 2.32 |
| H (m) | 3.73 |
| k | 0.0136 |
| kAH/W (m) | 0.019 |
| T × ℓ/W (m) | 0.095 |
| Dw+Df (m) | 0.113 |
| B/dm | 2.88 |
| C | 0.421 |
| Cb | 0.497 |
| Ts (sec.) | 4.84 |
| k | 0.70 |
| X1 | 0.91 |
| X2 | 0.82 |
| S | 0.092 |
| γ | 0.75 |
| φ ₁ (deg.) | 10.45 |
| φ ₀ (deg.) | 3.29 |
| φ _{c=1} (deg.) | 15.26 |
| tan(φ _{c=1}) | 0.273 |
| (1+2F)/B | 0.364 |
| tan(φ _{c=1})/(1+2F)/B | 75% |

注 1) 表 2.4.4 中の記号（船舶復原性規則で説明のあるものを除く）は以下のとおり。

h : 風圧側面積中心の喫水線からの高さ、dm : 平均喫水、Ts : 横揺れ固有周期、
γ : 有効波傾斜係数、φ : 横揺れ角、φ_w : 海水流入角、φ₀ : 定常風による定常傾斜角、
φ_a : 風上側への最大傾斜角、a : 傾斜方向のエネルギー、b : 動復原力

注 2) 表 2.4.5 中の記号（船舶復原性規則及び表 2.4.4 で説明のあるものを除く）は以下のとおり。

T : 環巻ウインチ容量、ℓ : 環巻ウインチから舷側までの距離、Dw : 風による傾斜偶力てこ、
Df : 漁具操作による傾斜偶力てこ、φ₁ : 横揺れ角、φ₀ : 風及び漁具操作に伴う定常傾斜角、
φ_{c=1} : 風下側への最大傾斜角

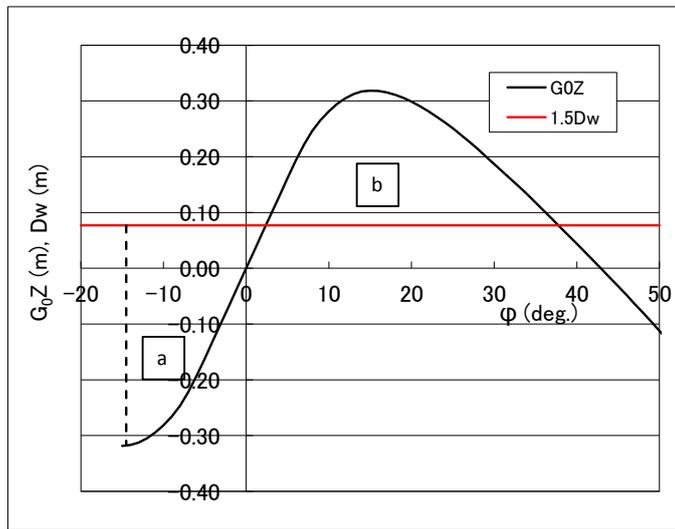


図 2.4.2 C 係数計算 (事故前日出港状態)

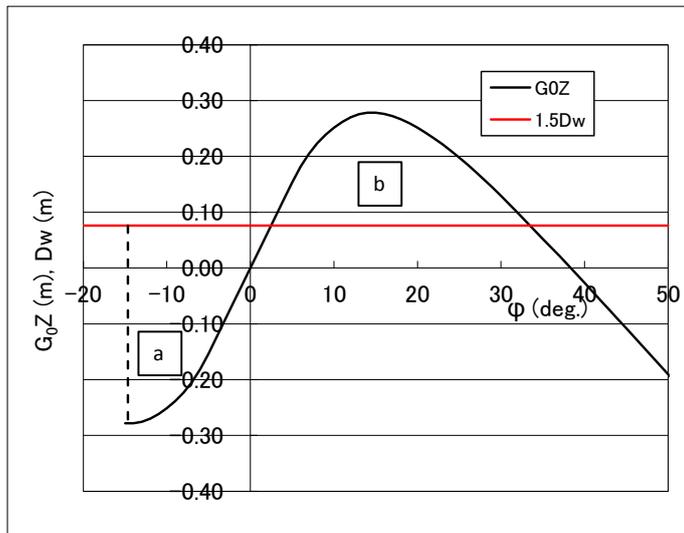


図 2.4.3 C 係数計算 (事故発生直前標準状態)

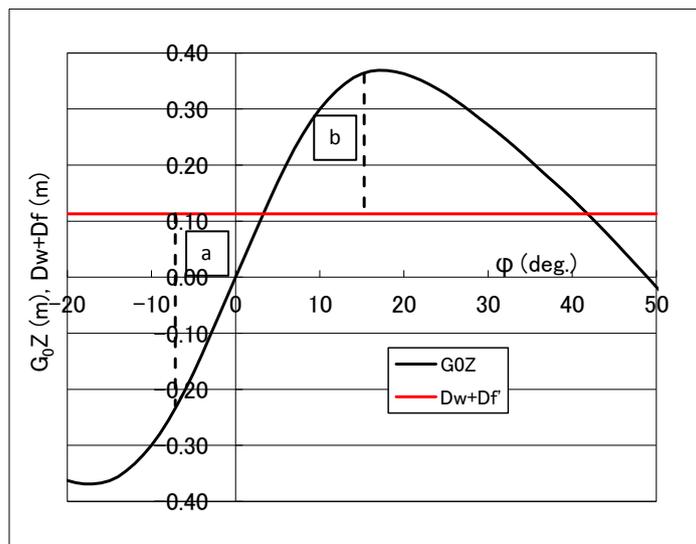


図 2.4.4 操業中横傾斜角計算 (事故当日環巻時標準状態)

3. 転覆発生状況の検討

3. 1 事故発生シーケンスの整理

転覆の発生状況の情報から、本船の転覆シーケンスは、以下の通り整理できると考えられる。

横揚げ開始→さば群の一斉降下発生→（船体横傾斜発生、放水口没水）→放水口から上甲板上へ海水逆流→（横傾斜増大）→右舷船尾方からの波の打ち込み発生、作業甲板上に海水滞留→（更に横傾斜増大）→転覆

さば群の一斉降下が始まった直後に傾斜し始めたとのことや、傾斜開始から転覆まで約1分かかったとの情報から、さば群の一斉降下などに伴い船体の右舷側に作用した傾斜外力と復原力とは準静的な釣合状態にあり、両者から決まる傾斜角をもとに、本船の転覆要因となる可能性が考えられる、揚網時のさば群の一斉降下に伴い発生した下方への力（以下、「さば群の力」という。）、作業甲板上の滞留水量等の大きさを推定し、転覆に至る状況を検討することとした。また、事故発生当時、①左舷バラストタンクに海水が入っていないこと、②裏こぎされていたこと、③現場海域には風速10m/sの風が吹いていたことによる影響についても検討を行った。（②、③：付表4）

3. 2 転覆に至る状況の検討

事故発生直前の船体の状態で、さば群の力、裏こぎの力及び風の力（以下、「さば群の力など」という。）により、最初に①放水口下端が没水するまで傾斜して放水口から海水が流入し、その後、②中央部作業甲板右舷端が流入海水に没するまで傾斜した頃に③波が打ち込んで転覆に至るまでの状態について検討する。

3. 2. 1 打ち込み発生前

裏こぎの力及び風の力を考慮に入れて、さば群の力 F_w をパラメータとして復原力等を計算し、さば群の力などにより横傾斜して①放水口が没水する状況及び②S.S.5 付近で作業甲板右舷端が没水する状況を推定した。

表 3.2.1 に計算を行った各状態の排水量（W）、重心位置（mid-G：前後位置、KG：上下位置、C.L.-G：左右位置）、各種タンクの自由表面による見かけの重心上昇量（自由水影響：GG₀）を示す。

表 3.2.1 計算状態

| 状態 | W (t) | mid-G (m) | KG (m) | C.L.-G (m) | GG ₀ (m) |
|--------------------------------|----------|--------------|-----------|---------------|------------------------|
| 事故発生時 (F _w =25tf) | 507.28 | 3.27 | 3.19 | 0.185 | 0.03 |
| 事故発生時 (F _w =30tf) | 512.28 | 3.24 | 3.23 | 0.220 | 0.03 |
| 事故発生時 (F _w =33tf) | 515.28 | 3.22 | 3.25 | 0.240 | 0.03 |
| 事故発生時 (F _w =33.5tf) | 515.78 | 3.22 | 3.26 | 0.244 | 0.03 |
| 事故発生時 (F _w =34tf) | 516.28 | 3.22 | 3.26 | 0.247 | 0.03 |
| 事故発生時 (F _w =35tf) | 517.28 | 3.21 | 3.27 | 0.254 | 0.03 |

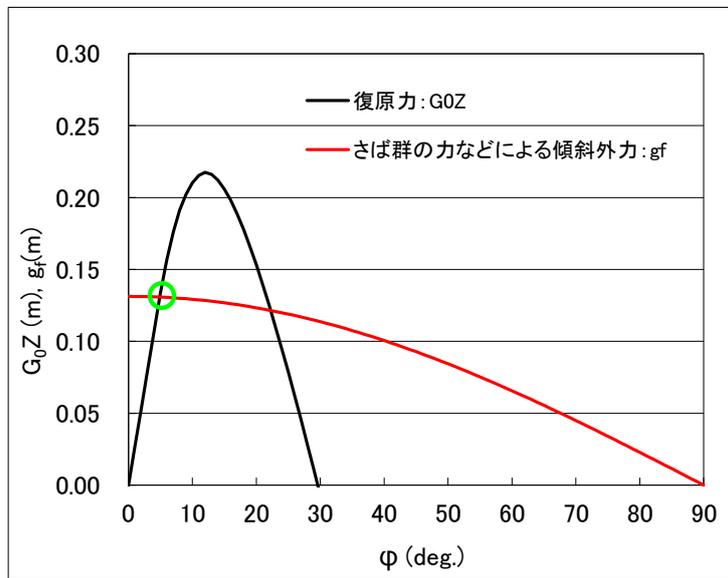


図 3.2.1 復原力と傾斜偶力での比較 ($F_w=25tf$)

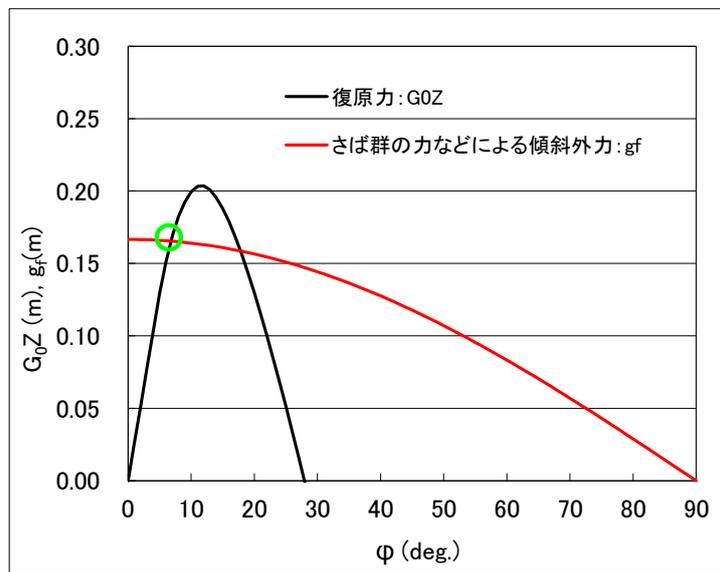


図 3.2.2 復原力と傾斜偶力での比較 ($F_w=30tf$)

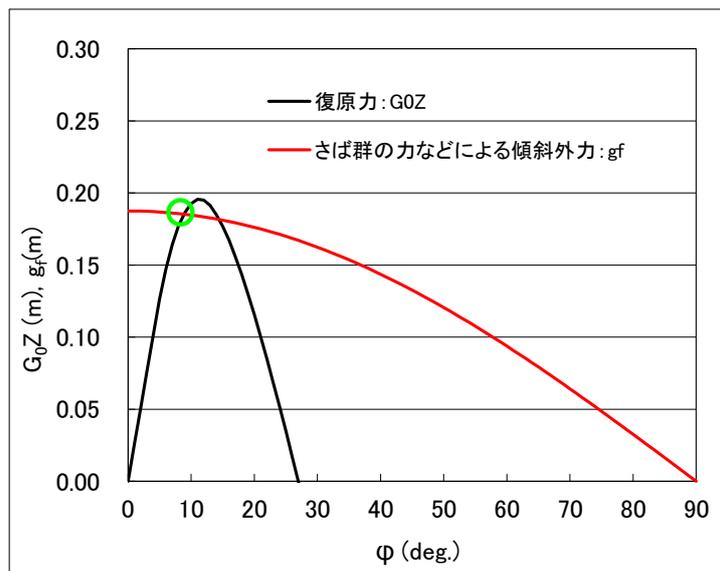


図 3.2.3 復原力と傾斜偶力での比較 ($F_w=33tf$)

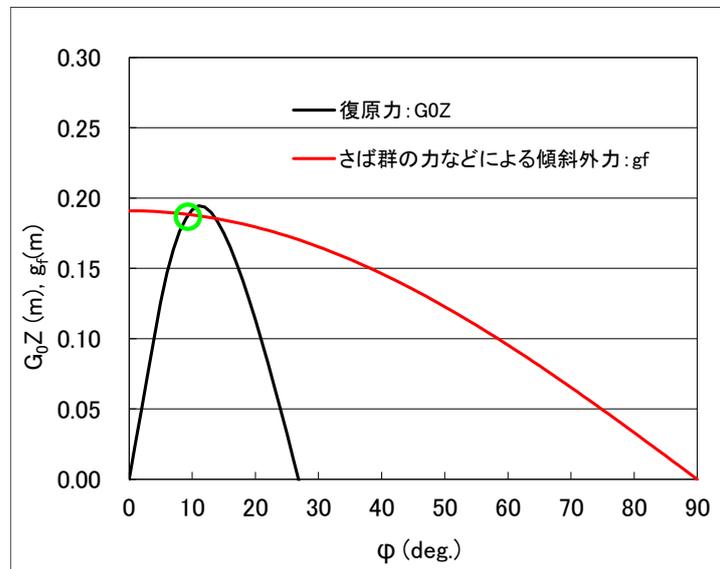


図 3.2.4 復原力と傾斜偶力での比較 (Fw=33.5tf)

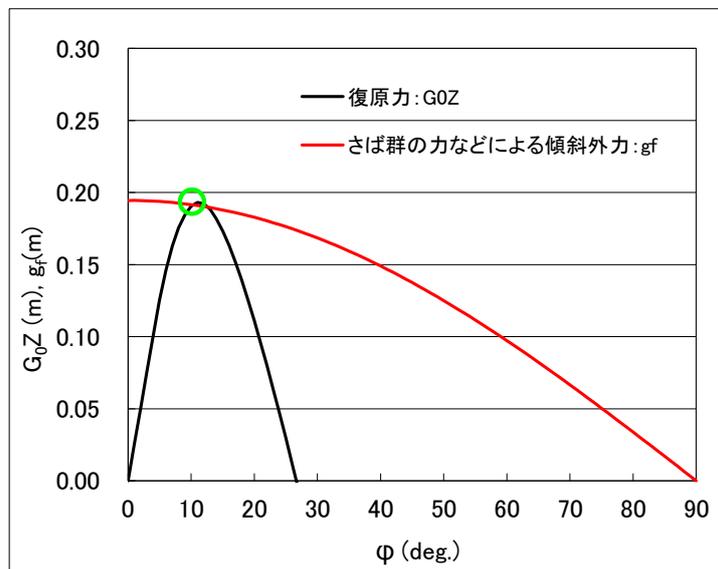


図 3.2.5 復原力と傾斜偶力での比較 (Fw=34tf)

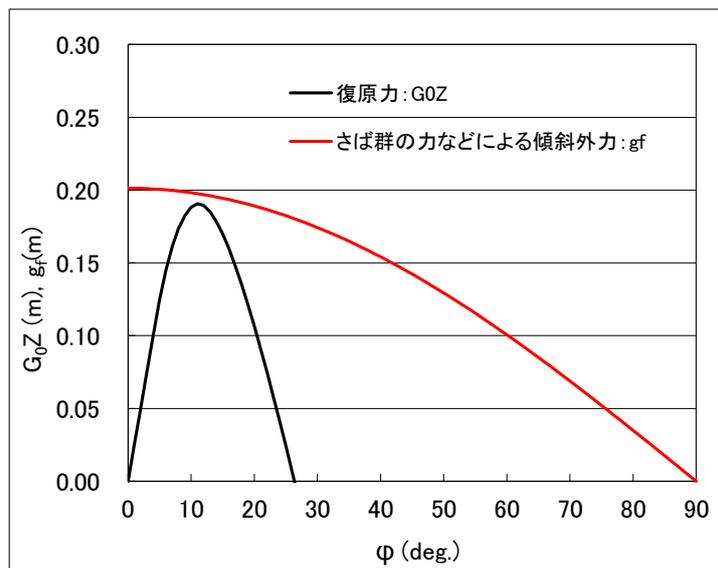


図 3.2.6 復原力と傾斜偶力での比較 (Fw=35tf)

図 3.2.1～図 3.2.6 に各状態の復原力とさば群の力などによる傾斜偶力てこを比較して示す。また、さば群の力などによる定傾斜角 (ϕ_e) 及び作業甲板右舷端没水角 (ϕ_{WD}) の計算結果を表 3.2.2 に示す。定傾斜角 ϕ_e は復原力と傾斜偶力てこの大きさが一致する傾斜角であり、作業甲板右舷端没水角 ϕ_{WD} はさば群の力 F_w 毎に定まる排水量、重心位置をもとに傾斜角を変化させた時の船体姿勢（喫水、トリム）を求め、同姿勢から決まる作業甲板右舷端の水面上高さが 0 になる傾斜角である。

表 3.2.2 計算結果

| 状態 | Φ_e (deg.) | Φ_{WD} (deg.) |
|------------------------|--------------------|-----------------------|
| 事故発生時 ($F_w=25tf$) | 4.9 | 9.9 |
| 事故発生時 ($F_w=30tf$) | 6.8 | 9.7 |
| 事故発生時 ($F_w=33tf$) | 8.9 | 9.5 |
| 事故発生時 ($F_w=33.5tf$) | 9.5 | 9.5 |
| 事故発生時 ($F_w=34tf$) | 10.3 | 9.5 |
| 事故発生時 ($F_w=35tf$) | - | 9.4 |

(1) 放水口下端が没水する状況

さば群の力などにより放水口下端が没水する状況を調べた結果、さば群の力 F_w =約 25tf が作用すると、定傾斜角と放水口下端没水角が一致する（約 4.9 度）ことが分かった（表 3.2.2 及び図 3.2.1）。

この時、復原力は、図 3.2.1 の復原力曲線 ($G_oZ_{max} \doteq 0.22m$ (at 約 12.0 度)) で示す状態となる。

さば群の力が働くと、上甲板より高い位置に荷物を置いた場合と同じ状態となり²⁾、重心が図 2.2.1 の状態より約 0.20m 上昇したのと同じ状態となって復原力が低下し、また、傾斜偶力てこは約 0.13m (ϕ_e =約 4.9deg.) となる。

(2) 作業甲板右舷端が没水する状況

さば群の力などにより中央部作業甲板右舷端が没水する状況について調べた結果、さば群の力 F_w =約 33.5tf が作用すると、定傾斜角と中央部作業甲板右舷端没水角が一致する（約 9.5 度）ことが分かった（表 3.2.2）。

この時、復原力は、図 3.2.4 の復原力曲線 ($G_oZ_{max} \doteq 0.20m$ (at 約 11.0 度)) で示す状態となる。重心が前記 (1) の図 3.2.1 の状態より約 0.07m 上昇したのと同じ状態となって復原力が低下する。発生した傾斜偶力てこは約 0.19m (ϕ_e =約 9.5deg.) となる。また、海面からブルワーク上端までの距離は、右舷中央部では約 1.07m で、船尾端では約 1.60m となる。

3. 2. 2 1 度目の波の打ち込み

作業甲板右舷端が没水する傾斜状態（傾斜角約 9.5 度）において、1 度目の打ち込み前の水位と打ち込みにより S.S.3 付近のブルワーク位置で滞留水位が作業甲板上 0.35m まで達した場合の水位差から滞留水量及び滞留水の重心位置を算定した。

滞留水量等の算定は、上記の状態で滞留水面が水平になっていると想定し、船体長手方向及び船幅方向の作業甲板上の滞留水面高さを S.S.毎に求め、全体量を台形積分して求める方法で行った。

滞留水量等の算定結果を表 3.2.3 に、算定に用いた作業甲板上滞留水位等を図 3.2.7 に示す。表 3.2.3 で W_{sw} は滞留水重量、 KG_{sw} は滞留水重心高さ、 $C.L.-G_{sw}$ は滞留水重心横位置、 M_{sw} は滞留水による傾斜モーメント、 D_{sw} は滞留水による傾斜偶力である。

1 度目の打ち込みより海水が作業甲板上に約 7.0t 滞留し、滞留水の重心高さは約 3.92m と推定される。

作業甲板上に打ち込み水が滞留したことにより、波が打ち込む前に比べて、重心が約 0.01m 上昇し、復原力が上記 (2) の状態 ($G_0Z_{max} \approx 0.20m$) より低下する。また、発生した傾斜偶力では、上記 (2) の状態より増加して約 0.23m となり、 G_0Z_{max} を超えて傾斜が増大し続け、転覆に至ると考えられる。

表 3.2.3 1 度目の打ち込みによる滞留水

| | |
|-------------------|------|
| W_{sw} (t) | 7.0 |
| KG_{sw} (m) | 3.92 |
| $C.L.-G_{sw}$ (m) | 3.53 |
| M_{sw} (t-m) | 24.4 |
| D_{sw} (m) | 0.05 |

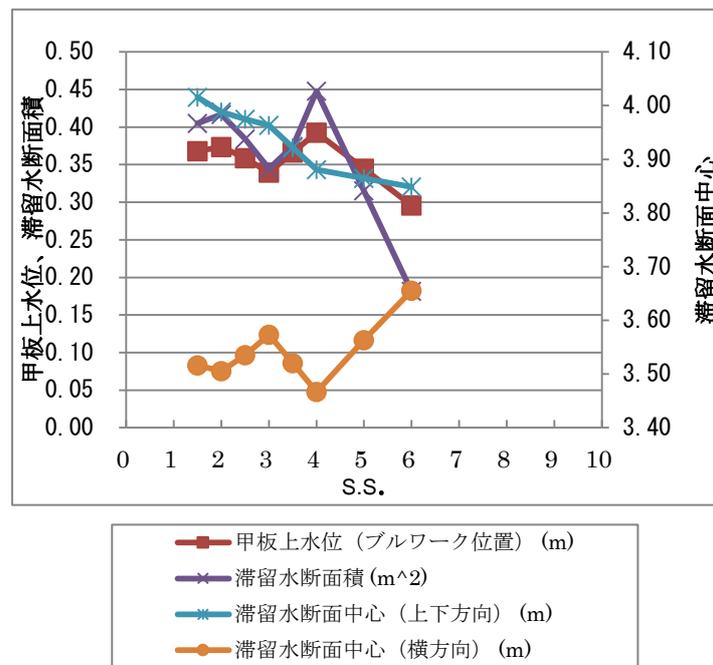


図 3.2.7 1 度目の打ち込みによる甲板上滞留水分布

3. 3 左舷バラストタンクに海水が入っていなかった影響

(1) 事故発生時

1 度目の波の打ち込み直前の状態で、傾斜角が約 9.5 度の時、さば群の力などにより発生していた傾斜外力では約 0.19m で、左舷バラストタンクが満水であった場合 (表 3.3.1)、傾斜偶力では約 0.15m となり、傾斜偶力ではこの約 21% が相殺される。左舷バラストタンク満水時の復原力の最大値 $G_0Z_{max} \approx 0.18m$ (at 約 11.0 度) に対して約 16% の余裕が生じ、横傾斜角は約 6.7 度に減少する (表 3.3.1、図 3.3.1)。また、海面からブルワーク上端までの距離は、右舷中央部で約 1.26m となる。

表 3.3.1 バラスト搭載状態 (Fw=33.5tf)

| 状態 | W (t) | mid-G (m) | KG (m) | C.L-G (m) | GG ₀ (m) | φ _e (deg.) |
|---------|----------|--------------|-----------|--------------|------------------------|--------------------------|
| バラスト搭載 | 521.97 | 3.44 | 3.26 | 0.241 | 0.03 | 6.7 |
| バラスト未搭載 | 515.78 | 3.22 | 3.26 | 0.244 | 0.03 | 9.5 |

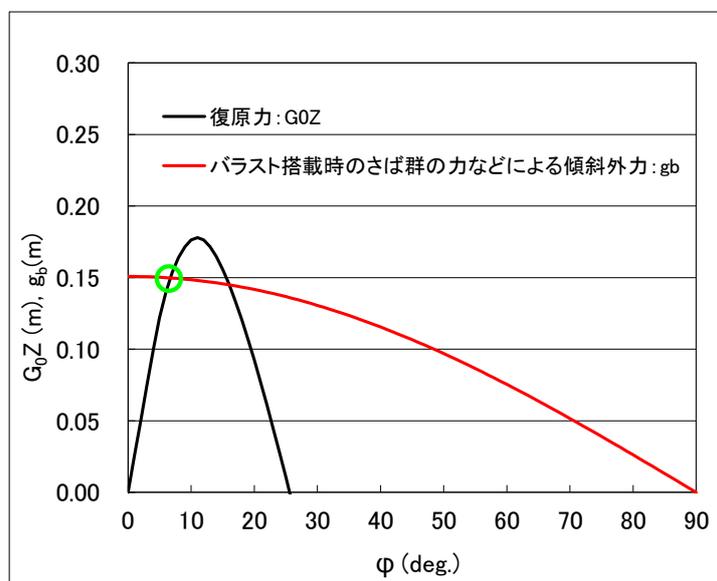


図 3.3.1 復原力と傾斜偶力での比較 (Fw=33.5tf : バラスト搭載状態)

(2) 環巻時

環巻時に左舷バラストタンクが満水であった場合と空であった場合の傾斜角は、表 2.4.3 のとおり、それぞれ約 2.7 度と約 4.1 度となる。

3. 4 その他

(1) 予備網搭載の影響

左舷バラストタンクが満水で、その他は事故発生直前の状態で、船橋上に重量 500kg の予備網が搭載されていた場合と搭載しなかった場合について重量重心計算を行った。

表 3.4.1 に各状態の排水量 (W)、重心位置 (mid-G : 前後位置、KG : 上下位置) 及び各種タンクの自由表面による見かけの重心上昇量 (自由水影響 : GG₀) を示す。

船橋上に予備網を搭載する場合と搭載しない場合では、重心高さはほぼ同じ (KG=2.99m) であるが、船橋上の予備網を下すことで、重心の前後位置は後方へわずかに移動する (mid-G=3.67m)。

表 3.4.1 に示す状態で復原力計算を行った結果を図 3.4.1 に示す。船橋上への予備網搭載が復原力に及ぼす影響は非常に小さいことが分かる。

表 3.4.1 排水量、重心位置及び自由水影響（船橋上予備網搭載及び未搭載状態）

| 状態 | W (t) | mid-G (m) | KG (m) | GG ₀ (m) |
|-----------|----------|--------------|-----------|------------------------|
| 船橋上予備網搭載 | 488.47 | 3.66 | 2.99 | 0.03 |
| 船橋上予備網未搭載 | 487.97 | 3.67 | 2.99 | 0.03 |

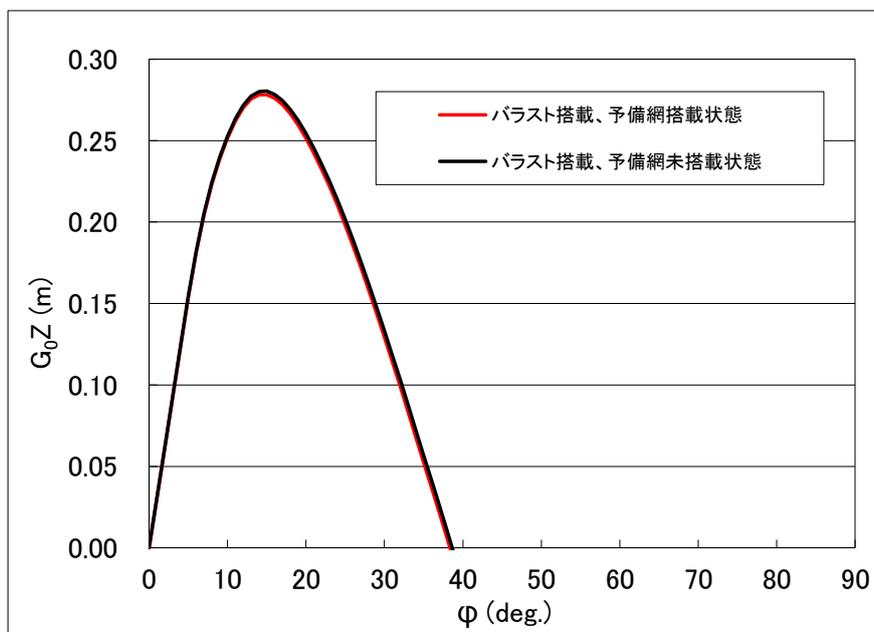


図 3.4.1 予備網搭載状態及び未搭載状態の復原力曲線

(2) 波の打ち込み

事故当時の船体の状態及び（一財）日本気象協会による波浪追算の情報から、停船時で船体傾斜角が 0 度の場合の船側における相対水位変動の応答関数を strip 法（STF 法）で計算し、波の打ち込み確率の短期予測計算を行った。その際、打ち込みは、相対水位変動の大きさがブルワーク上端の水面上高さより大きくなった場合に発生するとし、船尾端から船体中央（S.S. 5）までの範囲で打ち込み確率の計算を行った。

なお、事故当時の有義波高（ $H_{1/3}$ ）及び有義波周期（ $T_{1/3}$ ）の追算値は、それぞれ 1.57m 及び 5.25 秒であり、また、波の主方向を正船尾と右舷斜め 45 度とした 2 状態で計算を行った。

波の打ち込み確率の計算結果を表 3.4.2 及び図 3.4.2 に示す。表 3.4.2 及び図 3.4.2 から、波の主方向が正船尾（ $\chi=0\text{deg.}$ ）より右舷斜め 45 度（ $\chi=45\text{deg.}$ ）の方が波の打ち込み確率が大きいことが分かる。

表 3.4.2 波の打ち込み確率（q）（事故当時：短波頂不規則波）

| χ (deg.) | A.E. | A.P. | S.S.1 | S.S.2 | S.S.3 | S.S.4 | S.S.5 |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0 | 1.16E-09 | 1.86E-07 | 1.80E-05 | 6.76E-05 | 2.81E-04 | 2.20E-04 | 3.83E-06 |
| 45 | 2.78E-06 | 8.14E-06 | 8.29E-05 | 8.76E-05 | 2.40E-04 | 5.51E-04 | 4.78E-04 |

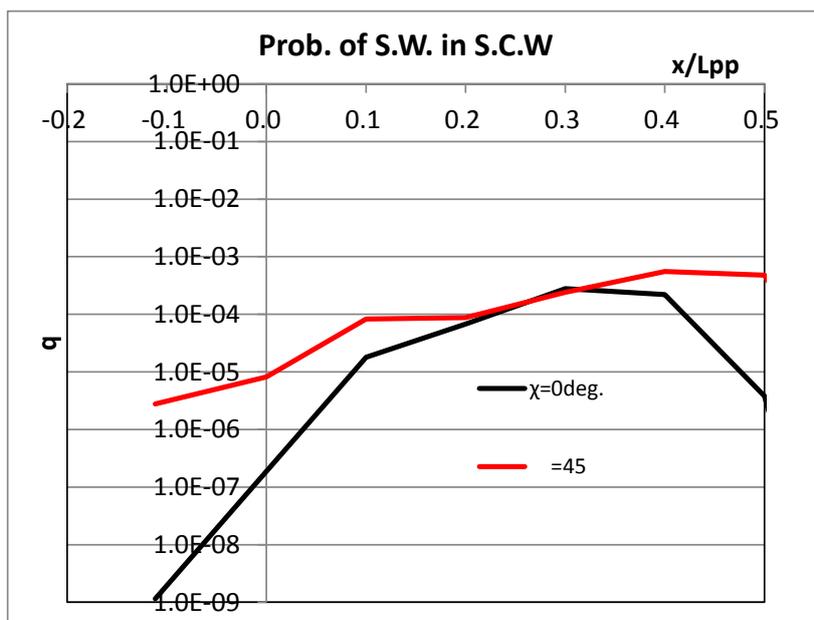


図 3.4.2 波の打ち込み確率 (q) (事故当時：短波頂不規則波)

3. 5 転覆発生過程と転覆メカニズムの推定

3.3 節までに示した事故発生シーケンスと転覆関連要因の検討結果を基に、本船の転覆発生過程と転覆メカニズムを推定した。

(1) 転覆過程

① 横揚げ開始時

揚網に伴う右舷側への傾斜を抑制するように裏こぎが行われるとともに、事故現場の風により左舷側への傾斜外力が作用していた。

② 放水口の下端が海面に没する時

約 25.0tf のさば群の力などが働き、右舷側の傾斜角が約 4.9 度となった (3.2.1 節 (1)) 時、ブルワークに設置された放水口の下端が海面に没するようになり、放水口から海水が上甲板上へ逆流するようになった。

③ 1 度目の打ち込み発生直前

約 33.5tf のさば群の力などが働き、右舷側の傾斜角が約 9.5 度となり (3.2.1 節 (2))、中央部作業甲板右舷端が没水する傾斜状態となった。

④ 1 度目の打ち込み打ち込み後

1 度目の打ち込みにより、作業甲板上に約 7.0t の海水が滞留し、滞留水位が S.S. 3 付近のブルワーク位置で作業甲板上 0.35m まで達していた (3.2.2 節)。

この時、傾斜偶力てこが復原力の最大値を超え、傾斜が増大し続け、更に打ち込みが発生した後に転覆に至ったと推定される。

(2) 転覆メカニズム

左舷バラストタンクに海水が入っていなかったこと (3.3 節)、さば群の力が船体の右舷側に働いたこと、波の作業甲板上への打ち込みによって海水が滞留したことから、復原力が低下した状態で復原力の最大値を超える傾斜偶力てこが生じたため、右舷傾斜が増大して転覆したと推定される。

4. まとめ

本解析調査では、山陰沖で発生した、まき網漁船（総トン数 135 トン）の転覆事故の調査に資するため、本船操業中、揚網状況、暴露甲板上に滞留する海水の影響を考慮した本船の復原性及び本船に作用する傾斜外力を調査・解析し、転覆に至る状況を推定した。

本解析調査で得られた主な知見をまとめると以下の通り。

（1）事故発生直前の復原性能

事故発生直前の状態の情報をもとに左舷バラストタンクが満水であった場合について新旧復原性規則に当てはめて計算を行ったところ、基準を満足していた。

（2）推定される転覆発生過程

① 横揚げ開始時

揚網に伴う右舷側への傾斜を抑制するように裏こぎが行われるとともに、事故現場の風により左舷側への傾斜外力が作用していた。

② 放水口の下端が海面に没する時

約 25.0tf のさば群の力などが働き、ブルワークに設置された放水口から海水が上甲板上へ逆流するようになった（傾斜角約 4.9 度）。

③ 1 度目の打ち込み発生直前

約 33.5tf のさば群の力などが働き、S.S.5 付近で作業甲板右舷端が没水する傾斜状態（傾斜角約 9.5 度）となった。

④ 1 度目の打ち込み打ち込み後

1 度目の打ち込みにより、作業甲板上に約 7.0t の海水が滞留し、滞留水位が S.S.3 付近のブルワーク位置で作業甲板上 0.35m まで達していた。

この時、傾斜偶力てこが復原力の最大値を超え、傾斜が増大し続け、更に打ち込みが発生した後に転覆に至った。

（3）推定される転覆メカニズム

左舷バラストタンクに海水が入っていなかったこと、さば群の力が船体の右舷側に働いたこと、波の作業甲板上への打ち込みによって海水が滞留したことから、復原力が低下した状態で復原力の最大値を超える傾斜偶力てこが生じたため、右舷傾斜が増大して転覆した。

参考文献

- 1)井上喜洋：まき網漁業の技術課題と改革に向けて－網規模にかかわる課題－，海洋水産エンジニアリング，第83号，平成21年1月，pp.37-42.
- 2)森田知治：船舶復原論－基礎と応用－，海文堂，昭和60年4月，pp.97-100.

付表1 重量重心計算 (事故発生直前状態)

| 項目 | 重量 (t) | mid-G (m) | モーメント (t・m) | KG (m) | モーメント (t・m) | I*S.G (t・m) | 備考 |
|-----------------|-----------|--------------|----------------|-----------|----------------|----------------|--------------|
| 軽荷状態 | 359.83 | 2.15 | 771.97 | 3.06 | 1099.49 | | |
| 載貨物 | | | | | | | |
| 乗員及び所持品 | 3.00 | 5.71 | 17.12 | 2.62 | 7.86 | | 20人 |
| 食糧 | 1.35 | 12.22 | 16.50 | 2.90 | 3.92 | | 漁場着状態 |
| 倉庫品 | 2.00 | -6.54 | -13.08 | 3.43 | 6.85 | | " |
| 環索荷重 | 0.00 | -7.00 | 0.00 | 5.10 | 0.00 | | |
| 漁網荷重 | 0.00 | 0.20 | 0.00 | 7.06 | 0.00 | | |
| 小計 | 6.35 | 3.23 | 20.54 | 2.93 | 18.63 | | |
| 清水 | | | | | | | S.G. = 1.000 |
| No.1 F.W.T.(P) | 6.14 | 18.20 | 111.75 | 2.99 | 18.36 | | |
| No.1 F.W.T.(S) | 4.07 | 16.65 | 67.77 | 2.94 | 11.97 | | |
| No.2 F.W.T.(S) | 1.79 | 18.92 | 33.87 | 2.60 | 4.66 | 0.89 | |
| 小計 | 12.00 | 17.78 | 213.38 | 2.92 | 34.98 | 0.89 | |
| 燃料 | | | | | | | S.G. = 0.860 |
| No.1 F.O.T. (C) | 6.02 | -15.30 | -92.11 | 1.78 | 10.72 | 3.02 | |
| No.2 F.O.T. (P) | 0.00 | -10.24 | 0.00 | 0.43 | 0.00 | | |
| No.2 F.O.T. (S) | 0.00 | -10.24 | 0.00 | 0.43 | 0.00 | | |
| No.3 F.O.T. (P) | 3.01 | -6.35 | -19.11 | 0.75 | 2.25 | 4.37 | |
| No.3 F.O.T. (S) | 3.87 | -6.35 | -24.57 | 0.89 | 3.43 | | 95% |
| No.4 F.O.T. (P) | 5.16 | 2.51 | 12.95 | 0.76 | 3.93 | 3.21 | |
| No.5 F.O.T. (S) | 3.78 | 1.30 | 4.92 | 0.88 | 3.32 | | 93% |
| No.6 F.O.T. (S) | 1.98 | 4.39 | 8.68 | 0.75 | 1.49 | 1.41 | |
| No.7 F.O.T. (P) | 8.60 | 8.52 | 73.27 | 0.75 | 6.48 | | 93% |
| No.7 F.O.T. (S) | 8.60 | 8.52 | 73.27 | 0.75 | 6.48 | | 93% |
| No.8 F.O.T. (P) | 2.24 | 14.04 | 31.39 | 2.90 | 6.49 | 0.11 | |
| No.8 F.O.T. (S) | 1.20 | 14.05 | 16.92 | 2.93 | 3.53 | | 95% |
| 小計 | 44.46 | 1.93 | 85.61 | 1.08 | 48.13 | 12.13 | |
| 潤滑油 | | | | | | | S.G. = 0.870 |
| Lu.O.T. (P) | 1.13 | -2.67 | -3.01 | 0.60 | 0.68 | 0.636 | 入港状態に近い |
| Lu.O.S.T. (S) | 0.87 | 4.04 | 3.53 | 1.79 | 1.56 | | " |
| 小計 | 2.00 | 0.26 | 0.52 | 1.12 | 2.24 | 0.636 | |
| 作動油 | | | | | | | S.G. = 0.860 |
| HYD.O.T. (S) | 4.09 | -2.51 | -10.27 | 0.90 | 3.68 | | 漁場着状態 |
| HYD.O.S.T. (P) | 1.06 | -1.02 | -1.08 | 0.95 | 1.01 | | " |
| HYD.O.H.T. (S) | 0.34 | -0.51 | -0.17 | 4.55 | 1.55 | | " |
| 小計 | 5.49 | -2.10 | -11.52 | 1.14 | 6.24 | 0 | |
| 小出油 | | | | | | | |
| F.O.G.T. (S) | 0.73 | 0.40 | 0.29 | 4.45 | 3.25 | | 漁場着状態 |
| L.O.T. (S) | 0.16 | 2.35 | 0.38 | 3.34 | 0.53 | | " |
| 小計 | 0.89 | 0.75 | 0.67 | 4.25 | 3.78 | 0 | |
| 漁具 | | | | | | | |
| 網 | 32.22 | 13.50 | 435.02 | 4.50 | 145.01 | | 船上に95% |
| ワイヤー | 5.27 | -6.00 | -31.63 | 4.50 | 23.72 | | " |
| 予備網(船橋上) | 0.50 | -3.11 | -1.56 | 8.50 | 4.25 | | |
| 含水量 | 12.89 | 13.50 | 174.01 | 4.50 | 58.00 | | 網重量の40% |
| 小計 | 50.89 | 11.32 | 575.85 | 4.54 | 230.98 | | |
| 機器変更 | | | | | | | |
| ソナー変更 | 0.18 | -5.45 | -0.98 | 0.17 | 0.03 | | |
| 魚群探知機新設 | 0.28 | -4.65 | -1.30 | 1.46 | 0.41 | | |
| インマルサット撤去 | -0.09 | -1.29 | 0.12 | 14.30 | -1.29 | | |
| 小計 | 0.37 | -5.86 | -2.17 | -2.29 | -0.85 | | |
| バラスト | | | | | | | |
| S.W.B.T. (P) | 0.00 | 21.41 | 0.00 | 3.11 | 0.00 | | |
| 小計 | 0.00 | | 0.00 | | 0.00 | | |
| 合計 | 482.28 | 3.43 | 1654.85 | 2.99 | 1443.63 | 13.661 | |

付表2 重量重心計算（事故発生直前状態：バラスト搭載状態（標準状態））

| 項目 | 重量 (t) | mid-G (m) | モーメント (t・m) | KG (m) | モーメント (t・m) | I*S.G (t・m) | 備考 |
|----------------|-----------|--------------|----------------|-----------|----------------|----------------|--------------|
| 軽荷状態 | 359.83 | 2.15 | 771.97 | 3.06 | 1099.49 | | |
| 載貨物 | | | | | | | |
| 乗員及び所持品 | 3.00 | 5.71 | 17.12 | 2.62 | 7.86 | | 20人 |
| 食糧 | 1.35 | 12.22 | 16.50 | 2.90 | 3.92 | | 漁場着状態 |
| 倉庫品 | 2.00 | -6.54 | -13.08 | 3.43 | 6.85 | | " |
| 環索荷重 | 0.00 | -7.00 | 0.00 | 5.10 | 0.00 | | |
| 漁網荷重 | 0.00 | -0.20 | 0.00 | 7.06 | 0.00 | | |
| 小計 | 6.35 | 3.23 | 20.54 | 2.93 | 18.63 | | |
| 清水 | | | | | | | S.G. = 1.000 |
| No.1 F.W.T.(P) | 6.14 | 18.20 | 111.75 | 2.99 | 18.36 | | |
| No.1 F.W.T.(S) | 4.07 | 16.65 | 67.77 | 2.94 | 11.97 | | |
| No.2 F.W.T.(S) | 1.79 | 18.92 | 33.87 | 2.60 | 4.66 | 0.89 | |
| 小計 | 12.00 | 17.78 | 213.38 | 2.92 | 34.98 | 0.89 | |
| 燃料 | | | | | | | S.G. = 0.860 |
| No.1 F.O.T.(C) | 6.02 | -15.30 | -92.11 | 1.78 | 10.72 | 3.02 | |
| No.2 F.O.T.(P) | 0.00 | -10.24 | 0.00 | 0.43 | 0.00 | | |
| No.2 F.O.T.(S) | 0.00 | -10.24 | 0.00 | 0.43 | 0.00 | | |
| No.3 F.O.T.(P) | 3.01 | -6.35 | -19.11 | 0.75 | 2.25 | 4.37 | |
| No.3 F.O.T.(S) | 3.87 | -6.35 | -24.57 | 0.89 | 3.43 | | 95% |
| No.4 F.O.T.(P) | 5.16 | 2.51 | 12.95 | 0.76 | 3.93 | 3.21 | |
| No.5 F.O.T.(S) | 3.78 | 1.30 | 4.92 | 0.88 | 3.32 | | 93% |
| No.6 F.O.T.(S) | 1.98 | 4.39 | 8.68 | 0.75 | 1.49 | 1.41 | |
| No.7 F.O.T.(P) | 8.60 | 8.52 | 73.27 | 0.75 | 6.48 | | 93% |
| No.7 F.O.T.(S) | 8.60 | 8.52 | 73.27 | 0.75 | 6.48 | | 93% |
| No.8 F.O.T.(P) | 2.24 | 14.04 | 31.39 | 2.90 | 6.49 | 0.11 | |
| No.8 F.O.T.(S) | 1.20 | 14.05 | 16.92 | 2.93 | 3.53 | | 95% |
| 小計 | 44.46 | 1.93 | 85.61 | 1.08 | 48.13 | 12.13 | |
| 潤滑油 | | | | | | | S.G. = 0.870 |
| Lu.O.T.(P) | 1.13 | -2.67 | -3.01 | 0.60 | 0.68 | 0.636 | 入港状態に近い |
| Lu.O.S.T.(S) | 0.87 | 4.04 | 3.53 | 1.79 | 1.56 | | " |
| 小計 | 2.00 | 0.26 | 0.52 | 1.12 | 2.24 | 0.636 | |
| 作動油 | | | | | | | S.G. = 0.860 |
| HYD.O.T.(S) | 4.09 | -2.51 | -10.27 | 0.90 | 3.68 | | 漁場着状態 |
| HYD.O.S.T.(P) | 1.06 | -1.02 | -1.08 | 0.95 | 1.01 | | " |
| HYD.O.H.T.(S) | 0.34 | -0.51 | -0.17 | 4.55 | 1.55 | | " |
| 小計 | 5.49 | -2.10 | -11.52 | 1.14 | 6.24 | 0 | |
| 小出油 | | | | | | | |
| F.O.G.T.(S) | 0.73 | 0.40 | 0.29 | 4.45 | 3.25 | | 漁場着状態 |
| L.O.T.(S) | 0.16 | 2.35 | 0.38 | 3.34 | 0.53 | | " |
| 小計 | 0.89 | 0.75 | 0.67 | 4.25 | 3.78 | 0 | |
| 漁具 | | | | | | | |
| 網 | 32.22 | 13.50 | 435.02 | 4.50 | 145.01 | | 船上に95% |
| ワイヤー | 5.27 | -6.00 | -31.63 | 4.50 | 23.72 | | " |
| 予備網(船橋上) | 0.50 | -3.11 | -1.56 | 8.50 | 4.25 | | |
| 含水量 | 12.89 | 13.50 | 174.01 | 4.50 | 58.00 | | 網重量の40% |
| 小計 | 50.89 | 11.32 | 575.85 | 4.54 | 230.98 | | |
| 機器変更 | | | | | | | |
| ソナー変更 | 0.18 | -5.45 | -0.98 | 0.17 | 0.03 | | |
| 魚群探知機新設 | 0.28 | -4.65 | -1.30 | 1.46 | 0.41 | | |
| インマルサット撤去 | -0.09 | -1.29 | 0.12 | 14.30 | -1.29 | | |
| 小計 | 0.37 | -5.86 | -2.17 | -2.29 | -0.85 | | |
| バラスト | | | | | | | |
| S.W.B.T.(P) | 6.19 | 21.41 | 132.53 | 3.11 | 19.25 | | |
| 小計 | 6.19 | | 132.53 | | 19.25 | | |
| 合計 | 488.47 | 3.66 | 1787.38 | 2.99 | 1462.88 | 13.661 | |

付表3-1 重量重心計算（出港状態：事故前日）

| 項目 | 重量 (t) | ⊙G (m) | モーメント (t・m) | KG (m) | モーメント (t・m) | I*S.G (t・m) | 備考 |
|----------------|-----------|-----------|----------------|-----------|----------------|----------------|--------------|
| 軽荷状態 | 359.83 | 2.15 | 771.97 | 3.06 | 1099.49 | | |
| 載貨物 | | | | | | | |
| 乗員及び所持品 | 3.00 | 5.71 | 17.12 | 2.62 | 7.86 | | 20人 |
| 食糧 | 1.35 | 12.22 | 16.50 | 2.90 | 3.92 | | 漁場着状態 |
| 倉庫品 | 2.00 | -6.54 | -13.08 | 3.43 | 6.85 | | " |
| 環索荷重 | 0.00 | -7.00 | 0.00 | 5.10 | 0.00 | | |
| 漁網荷重 | 0.00 | 0.20 | 0.00 | 7.06 | 0.00 | | |
| 小計 | 6.35 | 3.23 | 20.54 | 2.93 | 18.63 | | |
| 清水 | | | | | | | S.G. = 1.000 |
| No.1 F.W.T.(P) | 6.14 | 18.20 | 111.75 | 2.99 | 18.36 | 0.00 | |
| No.1 F.W.T.(S) | 4.07 | 16.65 | 67.77 | 2.94 | 11.97 | 0.00 | |
| No.2 F.W.T.(S) | 5.04 | 18.92 | 95.36 | 3.01 | 15.17 | 0.00 | |
| 小計 | 15.25 | 18.02 | 274.87 | 2.98 | 45.49 | 0.00 | |
| 燃料 | | | | | | | S.G. = 0.860 |
| No.1 F.O.T.(C) | 6.02 | -15.30 | -92.11 | 1.78 | 10.72 | 3.02 | |
| No.2 F.O.T.(P) | 3.61 | -10.24 | -36.99 | 0.98 | 3.53 | 1.39 | 4.2kℓ:88% |
| No.2 F.O.T.(S) | 3.61 | -10.24 | -36.99 | 0.98 | 3.53 | 1.39 | 4.2kℓ:88% |
| No.3 F.O.T.(P) | 3.01 | -6.35 | -19.11 | 0.75 | 2.25 | 4.37 | |
| No.3 F.O.T.(S) | 3.87 | -6.35 | -24.57 | 0.89 | 3.43 | 0.00 | |
| No.4 F.O.T.(P) | 5.16 | 2.51 | 12.95 | 0.76 | 3.93 | 3.21 | |
| No.5 F.O.T.(S) | 3.78 | 1.30 | 4.92 | 0.88 | 3.32 | 0.00 | |
| No.6 F.O.T.(S) | 1.98 | 4.39 | 8.68 | 0.75 | 1.49 | 1.41 | |
| No.7 F.O.T.(P) | 8.60 | 8.52 | 73.27 | 0.75 | 6.48 | 0.00 | |
| No.7 F.O.T.(S) | 8.60 | 8.52 | 73.27 | 0.75 | 6.48 | 0.00 | |
| No.8 F.O.T.(P) | 2.24 | 14.04 | 31.39 | 2.90 | 6.49 | 0.11 | |
| No.8 F.O.T.(S) | 1.20 | 14.05 | 16.92 | 2.93 | 3.53 | 0.00 | |
| 小計 | 51.69 | 0.23 | 11.64 | 1.07 | 55.18 | 14.91 | |
| 潤滑油 | | | | | | | S.G. = 0.870 |
| Lu.O.T.(P) | 1.13 | -2.67 | -3.01 | 0.60 | 0.68 | 0.636 | 入港状態に近い |
| Lu.O.S.T.(S) | 0.87 | 4.04 | 3.53 | 1.79 | 1.56 | | " |
| 小計 | 2.00 | 0.26 | 0.52 | 1.12 | 2.24 | 0.636 | |
| 作動油 | | | | | | | S.G. = 0.860 |
| HYD.O.T.(S) | 4.09 | -2.51 | -10.27 | 0.90 | 3.68 | | 漁場着状態 |
| HYD.O.S.T.(P) | 1.06 | -1.02 | -1.08 | 0.95 | 1.01 | | " |
| HYD.O.H.T.(S) | 0.34 | -0.51 | -0.17 | 4.55 | 1.55 | | " |
| 小計 | 5.49 | -2.10 | -11.52 | 1.14 | 6.24 | 0 | |
| 小出油 | | | | | | | |
| F.O.G.T.(S) | 0.73 | 0.40 | 0.29 | 4.45 | 3.25 | | 漁場着状態 |
| L.O.T.(S) | 0.16 | 2.35 | 0.38 | 3.34 | 0.53 | | " |
| 小計 | 0.89 | 0.75 | 0.67 | 4.25 | 3.78 | 0 | |
| 漁具 | | | | | | | |
| 網 | 33.92 | 13.50 | 457.92 | 4.50 | 152.64 | | |
| ワイヤー | 5.55 | -6.00 | -33.29 | 4.50 | 24.97 | | |
| 予備網(船橋上) | 0.50 | -3.11 | -1.56 | 8.50 | 4.25 | | |
| 含水量 | 0.00 | 13.50 | 0.00 | 4.50 | 0.00 | | |
| 小計 | 39.97 | 10.58 | 423.07 | 4.55 | 181.86 | | |
| 機器変更 | | | | | | | |
| ソナー変更 | 0.18 | -5.45 | -0.98 | 0.17 | 0.03 | | |
| 魚群探知機新設 | 0.28 | -4.65 | -1.30 | 1.46 | 0.41 | | |
| インマルサット撤去 | -0.09 | -1.29 | 0.12 | 14.30 | -1.29 | | |
| 小計 | 0.37 | -5.86 | -2.17 | -2.29 | -0.85 | | |
| 合計 | 481.84 | 3.09 | 1489.59 | 2.93 | 1412.07 | 15.545 | |

付表3-2 重量重心計算（漁場着状態：標準状態）

| 項目 | 重量 (t) | ◎G (m) | モーメント (t・m) | KG (m) | モーメント (t・m) | I*S.G (t・m) | 備考 |
|----------------|-----------|-----------|----------------|-----------|----------------|----------------|--------------|
| 軽荷状態 | 359.83 | 2.15 | 771.97 | 3.06 | 1099.49 | | |
| 載貨物 | | | | | | | |
| 乗員及び所持品 | 3.00 | 5.71 | 22.25 | 2.62 | 10.22 | | 20人 |
| 食糧 | 1.35 | 12.22 | 16.50 | 2.90 | 3.92 | | 漁場着状態 |
| 倉庫品 | 2.00 | -6.54 | -13.08 | 3.43 | 6.85 | | " |
| 環索荷重 | 14.00 | -7.00 | -98.00 | 5.10 | 71.40 | | |
| 漁網荷重 | 0.00 | 0.20 | 0.00 | 7.06 | 0.00 | | |
| 小計 | 20.35 | -3.55 | -72.33 | 4.54 | 92.39 | | |
| 清水 | | | | | | | S.G. = 1.000 |
| No.1 F.W.T.(P) | 6.14 | 18.20 | 111.75 | 2.99 | 18.36 | 0.000 | |
| No.1 F.W.T.(S) | 4.07 | 16.65 | 67.77 | 2.94 | 11.97 | 0.000 | |
| No.2 F.W.T.(S) | 1.79 | 18.92 | 33.87 | 2.60 | 4.66 | 0.890 | |
| 小計 | 12.00 | 17.78 | 213.38 | 2.92 | 34.98 | 0.890 | |
| 燃料 | | | | | | | S.G. = 0.860 |
| No.1 F.O.T.(C) | 6.02 | -15.30 | -92.11 | 1.78 | 10.72 | 3.02 | |
| No.2 F.O.T.(P) | 0.00 | -10.24 | 0.00 | 0.43 | 0.00 | | |
| No.2 F.O.T.(S) | 0.00 | -10.24 | 0.00 | 0.43 | 0.00 | | |
| No.3 F.O.T.(P) | 3.01 | -6.35 | -19.11 | 0.75 | 2.25 | 4.37 | |
| No.3 F.O.T.(S) | 3.87 | -6.35 | -24.57 | 0.89 | 3.43 | 0.00 | 95% |
| No.4 F.O.T.(P) | 5.16 | 2.51 | 12.95 | 0.76 | 3.93 | 3.21 | |
| No.5 F.O.T.(S) | 3.78 | 1.30 | 4.92 | 0.88 | 3.32 | 0.00 | 93% |
| No.6 F.O.T.(S) | 1.98 | 4.39 | 8.68 | 0.75 | 1.49 | 1.41 | |
| No.7 F.O.T.(P) | 8.60 | 8.52 | 73.27 | 0.75 | 6.48 | 0.00 | 93% |
| No.7 F.O.T.(S) | 8.60 | 8.52 | 73.27 | 0.75 | 6.48 | 0.00 | 93% |
| No.8 F.O.T.(P) | 2.24 | 14.04 | 31.39 | 2.90 | 6.49 | 0.11 | |
| No.8 F.O.T.(S) | 1.20 | 14.05 | 16.92 | 2.93 | 3.53 | 0.00 | 95% |
| 小計 | 44.46 | 1.93 | 85.61 | 1.08 | 48.13 | 12.13 | |
| 潤滑油 | | | | | | | S.G. = 0.870 |
| Lu.O.T.(P) | 1.13 | -2.67 | -3.01 | 0.60 | 0.68 | 0.636 | 入港状態に近い |
| Lu.O.S.T.(S) | 0.87 | 4.04 | 3.53 | 1.79 | 1.56 | | " |
| 小計 | 2.00 | 0.26 | 0.52 | 1.12 | 2.24 | 0.636 | |
| 作動油 | | | | | | | S.G. = 0.860 |
| HYD.O.T.(S) | 4.09 | -2.51 | -10.27 | 0.90 | 3.68 | | 漁場着状態 |
| HYD.O.S.T.(P) | 1.06 | -1.02 | -1.08 | 0.95 | 1.01 | | " |
| HYD.O.H.T.(S) | 0.34 | -0.51 | -0.17 | 4.55 | 1.55 | | " |
| 小計 | 5.49 | -2.10 | -11.52 | 1.14 | 6.24 | 0 | |
| 小出油 | | | | | | | |
| F.O.G.T.(S) | 0.73 | 0.40 | 0.29 | 4.45 | 3.25 | | 漁場着状態 |
| L.O.T.(S) | 0.16 | 2.35 | 0.38 | 3.34 | 0.53 | | " |
| 小計 | 0.89 | 0.75 | 0.67 | 4.25 | 3.78 | 0 | |
| 漁具 | | | | | | | |
| 網 | 0.00 | 13.50 | 0.00 | 4.50 | 0.00 | | 海中 |
| ワイヤー | 0.00 | -6.00 | 0.00 | 4.50 | 0.00 | | " |
| 予備網(船橋上) | 0.50 | -3.11 | -1.56 | 8.50 | 4.25 | | |
| 含水量 | 0.00 | 13.50 | 0.00 | 4.50 | 0.00 | | |
| 小計 | 0.50 | -3.11 | -1.56 | 8.50 | 4.25 | | |
| 機器変更 | | | | | | | |
| ソナー変更 | 0.18 | -5.45 | -0.98 | 0.17 | 0.03 | | |
| 魚群探知機新設 | 0.28 | -4.65 | -1.30 | 1.46 | 0.41 | | |
| インマルサット撤去 | -0.09 | -1.29 | 0.12 | 14.30 | -1.29 | | |
| 小計 | 0.37 | -5.86 | -2.17 | -2.29 | -0.85 | | |
| バラスト | | | | | | | |
| S.W.B.T.(P) | 6.19 | 21.41 | 132.55 | 3.11 | 19.25 | | |
| 小計 | 6.19 | | 132.55 | | 19.25 | | |
| 合計 | 452.08 | 2.47 | 1117.13 | 2.90 | 1309.91 | 13.661 | |

付表3-3 重量重心計算 (漁場着状態: 事故当日で左舷バラストタンク空状態)

| 項目 | 重量 (t) | ◎G (m) | モーメント (t・m) | KG (m) | モーメント (t・m) | I*S.G (t・m) | 備考 |
|-----------------|-----------|-----------|----------------|-----------|----------------|----------------|--------------|
| 軽荷状態 | 359.83 | 2.15 | 771.97 | 3.06 | 1099.49 | | |
| 載貨物 | | | | | | | |
| 乗員及び所持品 | 3.00 | 5.71 | 22.25 | 2.62 | 10.22 | | 20人 |
| 食糧 | 1.35 | 12.22 | 16.50 | 2.90 | 3.92 | | 漁場着状態 |
| 倉庫品 | 2.00 | -6.54 | -13.08 | 3.43 | 6.85 | | " |
| 環索荷重 | 14.00 | -7.00 | -98.00 | 5.10 | 71.40 | | |
| 漁網荷重 | 0.00 | 0.20 | 0.00 | 7.06 | 0.00 | | |
| 小計 | 20.35 | -3.55 | -72.33 | 4.54 | 92.39 | | |
| 清水 | | | | | | | S.G. = 1.000 |
| No.1 F.W.T.(P) | 6.14 | 18.20 | 111.75 | 2.99 | 18.36 | 0.000 | |
| No.1 F.W.T.(S) | 4.07 | 16.65 | 67.77 | 2.94 | 11.97 | 0.000 | |
| No.2 F.W.T.(S) | 1.79 | 18.92 | 33.87 | 2.60 | 4.66 | 0.890 | |
| 小計 | 12.00 | 17.78 | 213.38 | 2.92 | 34.98 | 0.890 | |
| 燃料 | | | | | | | S.G. = 0.860 |
| No.1 F.O.T. (C) | 6.02 | -15.30 | -92.11 | 1.78 | 10.72 | 3.02 | |
| No.2 F.O.T. (P) | 0.00 | -10.24 | 0.00 | 0.43 | 0.00 | | |
| No.2 F.O.T. (S) | 0.00 | -10.24 | 0.00 | 0.43 | 0.00 | | |
| No.3 F.O.T. (P) | 3.01 | -6.35 | -19.11 | 0.75 | 2.25 | 4.37 | |
| No.3 F.O.T. (S) | 3.87 | -6.35 | -24.57 | 0.89 | 3.43 | 0.00 | 95% |
| No.4 F.O.T. (P) | 5.16 | 2.51 | 12.95 | 0.76 | 3.93 | 3.21 | |
| No.5 F.O.T. (S) | 3.78 | 1.30 | 4.92 | 0.88 | 3.32 | 0.00 | 93% |
| No.6 F.O.T. (S) | 1.98 | 4.39 | 8.68 | 0.75 | 1.49 | 1.41 | |
| No.7 F.O.T. (P) | 8.60 | 8.52 | 73.27 | 0.75 | 6.48 | 0.00 | 93% |
| No.7 F.O.T. (S) | 8.60 | 8.52 | 73.27 | 0.75 | 6.48 | 0.00 | 93% |
| No.8 F.O.T. (P) | 2.24 | 14.04 | 31.39 | 2.90 | 6.49 | 0.11 | |
| No.8 F.O.T. (S) | 1.20 | 14.05 | 16.92 | 2.93 | 3.53 | 0.00 | 95% |
| 小計 | 44.46 | 1.93 | 85.61 | 1.08 | 48.13 | 12.13 | |
| 潤滑油 | | | | | | | S.G. = 0.870 |
| Lu.O.T. (P) | 1.13 | -2.67 | -3.01 | 0.60 | 0.68 | 0.636 | 入港状態に近い |
| Lu.O.S.T. (S) | 0.87 | 4.04 | 3.53 | 1.79 | 1.56 | | " |
| 小計 | 2.00 | 0.26 | 0.52 | 1.12 | 2.24 | 0.636 | |
| 作動油 | | | | | | | S.G. = 0.860 |
| HYD.O.T. (S) | 4.09 | -2.51 | -10.27 | 0.90 | 3.68 | | 漁場着状態 |
| HYD.O.S.T. (P) | 1.06 | -1.02 | -1.08 | 0.95 | 1.01 | | " |
| HYD.O.H.T. (S) | 0.34 | -0.51 | -0.17 | 4.55 | 1.55 | | " |
| 小計 | 5.49 | -2.10 | -11.52 | 1.14 | 6.24 | 0 | |
| 小出油 | | | | | | | |
| F.O.G.T. (S) | 0.73 | 0.40 | 0.29 | 4.45 | 3.25 | | 漁場着状態 |
| L.O.T. (S) | 0.16 | 2.35 | 0.38 | 3.34 | 0.53 | | " |
| 小計 | 0.89 | 0.75 | 0.67 | 4.25 | 3.78 | 0 | |
| 漁具 | | | | | | | |
| 網 | 0.00 | 13.50 | 0.00 | 4.50 | 0.00 | | 海中 |
| ワイヤー | 0.00 | -6.00 | 0.00 | 4.50 | 0.00 | | " |
| 予備網(船橋上) | 0.50 | -3.11 | -1.56 | 8.50 | 4.25 | | |
| 含水量 | 0.00 | 13.50 | 0.00 | 4.50 | 0.00 | | |
| 小計 | 0.50 | -3.11 | -1.56 | 8.50 | 4.25 | | |
| 機器変更 | | | | | | | |
| ソナー変更 | 0.18 | -5.45 | -0.98 | 0.17 | 0.03 | | |
| 魚群探知機新設 | 0.28 | -4.65 | -1.30 | 1.46 | 0.41 | | |
| インマルサット撤去 | -0.09 | -1.29 | 0.12 | 14.30 | -1.29 | | |
| 小計 | 0.37 | -5.86 | -2.17 | -2.29 | -0.85 | | |
| バラスト | | | | | | | |
| S.W.B.T. (P) | 0.00 | 21.41 | 0.00 | 3.11 | 0.00 | | |
| 小計 | 0.00 | | 0.00 | | 0.00 | | |
| 合計 | 445.89 | 2.21 | 984.58 | 2.89 | 1290.65 | 13.661 | |

付表4 事故当時の風の力及び裏こぎの力による傾斜偶力てこ

事故発生直前の状態で事故当時の風の力及び裏こぎの力による傾斜偶力てこ（右舷側傾斜を正）は以下の通り。

1. 風の力

（相対風向 145deg のとき）（風向：西北西、船首方位：南南東から南東へ 10 度）

| | |
|---|--------|
| 風速 V_w (m/s) | 10 |
| 風圧力係数 $k(=0.76 \times 10^{-4} \times V_w^2)$ (tf/m ²) | 0.0076 |
| 風圧側面積 A (m ²) | 163.56 |
| 相対風向 ψ_w (deg.) | 145 |
| 風の力 $k' (=k \cdot \sin \psi_w) A$ (tf) | 0.713 |
| 傾斜偶力 $k' A H$ (tf-m) | -2.66 |
| 排水量 W (t) | 482.28 |
| 傾斜偶力てこ $k' A H / W$ (m) | -0.006 |
| 風による傾斜角 ϕ_w (deg.) | -0.18 |

2. 裏こぎの力

（船首方位：本船の裏こぎをしていた船①は東北東、運搬船の裏こぎをしていた船②は西、本船は南南東から南東へ 10 度）

本船

| | |
|----------------|--------|
| 排水量 W (t) | 482.28 |
| 重心高さ KG (m) | 2.99 |
| 平均喫水 d_m (m) | 2.86 |

船①

| | |
|---|-------|
| 曳航力 F_{13} (tf) | 4.937 |
| 相対船首方位 ψ_{13} (deg.) | 122.5 |
| 傾斜外力 F'_{13} (tf) | 4.164 |
| もやい綱取り付け高さ h_{13} (m) | 6.39 |
| 傾斜偶力レバー H_{13} (m) | 4.96 |
| 傾斜偶力 (M_{13}) $F_{13} \cdot H_{13} \cdot \sin(\psi_{13})$ (tf-m) | 20.65 |

船②

| | |
|---|---------|
| 曳航力 F_{17} (tf) | 10.552 |
| 相対船首方位 ψ_{17} (deg.) | -80.0 |
| 傾斜外力 F'_{17} (t) | -10.392 |
| もやい綱取り付け高さ h_{17} (m) | 5.79 |
| 傾斜偶力レバー H_{17} (m) | 4.35 |
| 傾斜偶力 (M_{17}) $F_{17} \cdot H_{17} \cdot \sin(\psi_{17})$ (tf-m) | -45.25 |

| | |
|---|--------|
| 裏こぎに伴う傾斜偶力 ($M_{13} + M_{17}$) (tf-m) | -24.60 |
| 裏こぎに伴う傾斜偶力てこ ($M_{13} + M_{17}$) / W (m) | -0.05 |
| 裏こぎに伴う傾斜角 ϕ_s (deg.) | -1.65 |

注) 裏こぎ時には、本船、運搬船及び裏こぎをしていた船は、もやい綱、裏こぎ用のロープで連結されていたが、これらの綱、ロープを含めた系を剛体として取り扱った。