

貨物船衝突事故による 転覆に係る解析調査

(貨物船 JIA HUI 貨物船 第十八栄福丸衝突事故)
報告書

独立行政法人 海上技術安全研究所

目次

1.	はじめに	1
1.1	調査の目的	1
1.2	調査の概要	1
2.	事故当時の復原性の推定	2
2.1	主要目	2
2.2	復原性の推定に用いたデータの検証	2
2.3	出港時の状態推定	3
2.4	事故直前の状態推定	5
3.	転覆メカニズムの検討	6
3.1	破口形状について	7
3.2	浸水区画について	7
3.3	破口からの浸水量	8
3.4	本船の姿勢変化	9
3.5	転覆状況の推定	14
3.6	流量係数の影響	16
4.	衝突時の相手船の姿勢推定	18
4.1	衝突状況の推定	18
4.2	衝突した状態での浸水量	19
4.3	相手船の事故当時の姿勢	20
4.4	相手船の姿勢変化	21
5.	まとめ	24

1. はじめに

1.1. 調査の目的

本解析調査は、平成 25 年 9 月 27 日 1 時 23 分ごろ、東京都大島町伊豆大島西方沖約 4.4 海里で発生した貨物船「JIA HUI」（以下、相手船という。）と貨物船「第十八栄福丸」（以下、本船という。）の衝突事故調査に資するため、事故当時の本船の復原性を推定するとともに、転覆のメカニズムなどを検討することを目的とする。

1.2. 調査の概要

① 事故発生当時の復原性の推定

運輸安全委員会から提示された出港時の燃料、清水他の搭載量（重量）及び喫水、燃料、清水の消費量を基に、本船の重量重心を算定し、事故発生当時の本船の復原性を推定した。

② 転覆メカニズムの検討

①で推定した復原性を有する本船に、運輸安全委員会から提示された本船の破口形状から貨物艙に浸水したことによって転覆に至るメカニズムについて検討を行った。

③ 衝突時の相手船の姿勢推定

相手船のバルバス・バウ上端中央位置に本船の浸水による付加重量が作用したと仮定して、相手船の姿勢変化について検討を行った。

2. 事故当時の復原性の推定

運輸安全委員会から提示された出港時の燃料、清水他の搭載量（重量）及び喫水、燃料、清水の消費量を基に、本船の重量重心を算定し、事故発生当時の本船の復原性を推定した。

2.1. 主要目

本船の主要目を表 2-1 に示す。

表 2-1 主要目

LENGTH (O.A.)	76.26 m
LENGTH (P.P.)	70.00 m
BREADTH (MLD)	11.30 m
DEPTH (MLD)	7.10 / 3.92 m
GROSS TONNAGE	498 GT
DEAD WEIGHT	1,430 t

2.2. 復原性の推定に用いたデータの検証

本事故解析では海上技術安全研究所（以下、海技研とする。）で所有している復原力算出プログラムを使用する。本プログラムに入力するデータの妥当性を確認するため、建造造船所が作成した「非損傷時復原性基準による計算書」に掲載されている GZ 曲線との比較を図 2-1 と表 2-2 に示す。ここでは満載出港状態での比較を行った。

縦軸は復原てこ（GZ）で、横軸は横傾斜角（ ϕ ）である。図中の赤い点線は最大値を表している。

図 2-1 では上記資料に掲載されている結果を青で、本プログラムで算出された結果を緑で記載している。

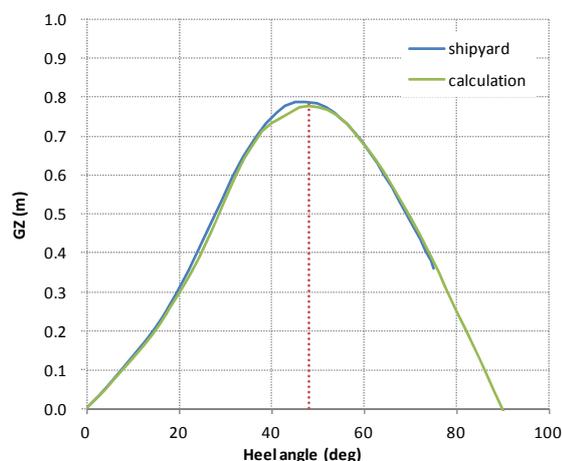


図 2-1 満載出港時の GZ 曲線

表 2-2 復原力曲線の比較

	建造造船所	海技研
Max. GZ (m)	0.77	0.79
θ at Max. GZ (deg)	44.87	48.0

両者で僅かな相違は見られるが、これは本プログラムに入力したデータがオフセットデータのみであることなどに起因していると考えられる。しかし、解析に使用する上で問題は無いと考えられる。

2.3. 出港時の状態推定

運輸安全委員会から提示された出港時の喫水や搭載した燃料油・積荷等のデータから、出港時の喫水や積み付け状況の推定を行った。提示された数値を表 2-3,2-4,2-5 に示す。

表 2-3 出港時の喫水

da (m)	df (m)	dm (m)
4.47	3.16	3.82

表 2-4 搭載燃料等

	搭載位置	搭載量 (m ³)
A 重油	D.O. Tank (P/S)	15.34
C 重油	F.O. Tank (P/S)	44.03
清水	F.W.T. (P/S)	18.00

表 2-5 積荷

	積載量 (t)
鉄板	255
BAR	424
コイル	158
BAR	463

上記のデータおよび実船調査の結果より、出港時の重量重心及び喫水の推定結果を表 2-6 に、積み付け状況の推定結果を図 2-2 に示す。また、その際の GZ 曲線を図 2-3 に示す。出港時は重量物を積載していたため復原力が十分に確保されていたことが確認された。

表 2-6 出港時の重量重心及び喫水

W (t)	mid-G (m)	KG (m)	GG ₀ (m)	GM(m)
2267.94	-0.91	3.33	0.05	1.46
da (m)	df (m)	dm (m)		
4.41	3.23	3.82		

(mid-G : 船体中央より前方を正)



同型船の積荷の積載状況
(船主殿より提供)

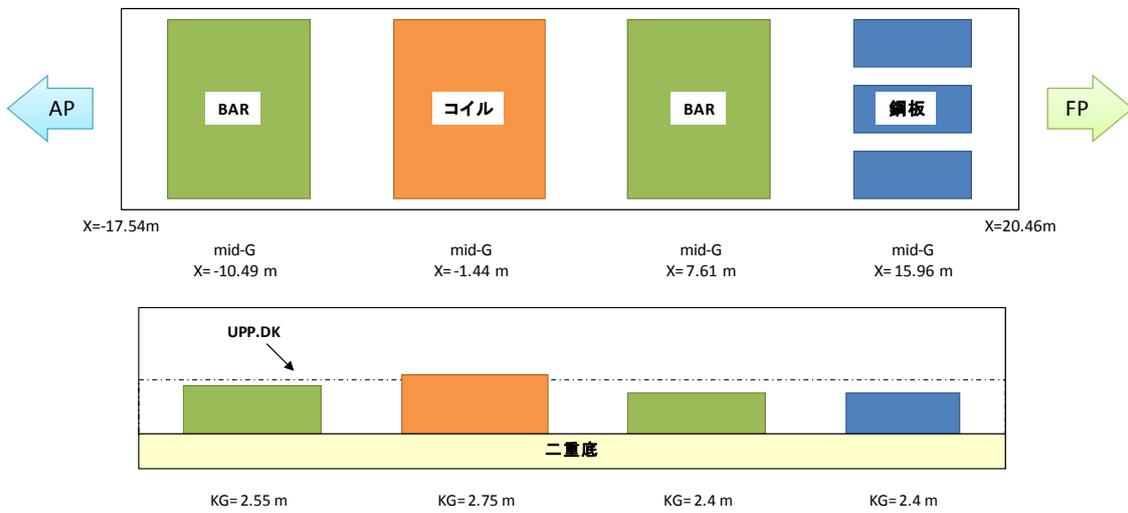


図 2-2 出港時の積み付け状況

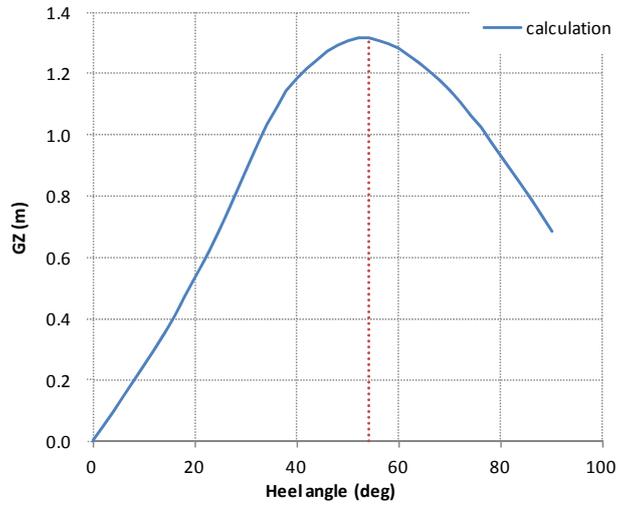


図 2-3 出港時の GZ 曲線

2.4. 事故直前の状態推定

運輸安全委員会から提示された時間当たりの燃料消費量等から事故直前までに消費された燃料と清水の推定結果を表 2-7 に示す。

表 2-7 燃料・清水の消費量

A 重油 (m ³)	C 重油 (m ³)	清水 (m ³)
0.100	2.844	0.836

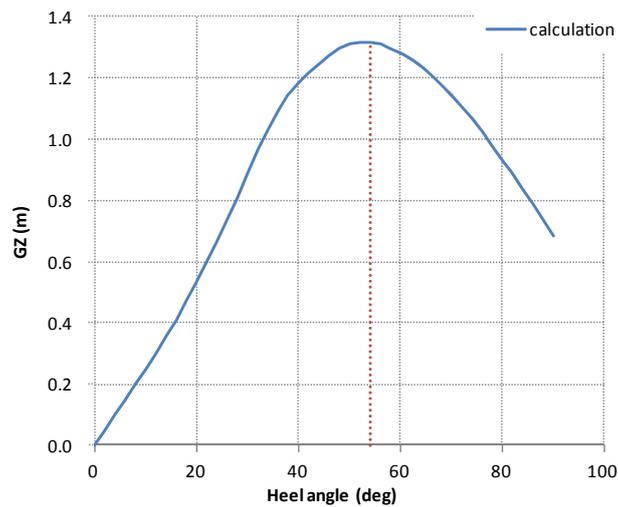


図 2-4 事故直前の GZ 曲線

上記の結果を基に事故直前の状態を推定した結果を表 2-8 に GZ 曲線を図 2-4 に示す。出港時からの変化量は僅かで、復原力が十分に確保されていたことが確認された。

表 2-8 事故直前の推定結果

W (t)	mid-G (m)	KG (m)	GG ₀ (m)	da (m)	df (m)	dm (m)
2264.24	-0.90	3.33	0.06	4.40	3.23	3.82

3. 転覆メカニズムの検討

第 2 章で推定した復原性を有する本船に運輸安全委員会から提示された本船の破口形状から貨物艙に浸水したことによって転覆に至るメカニズムについて検討を行った。

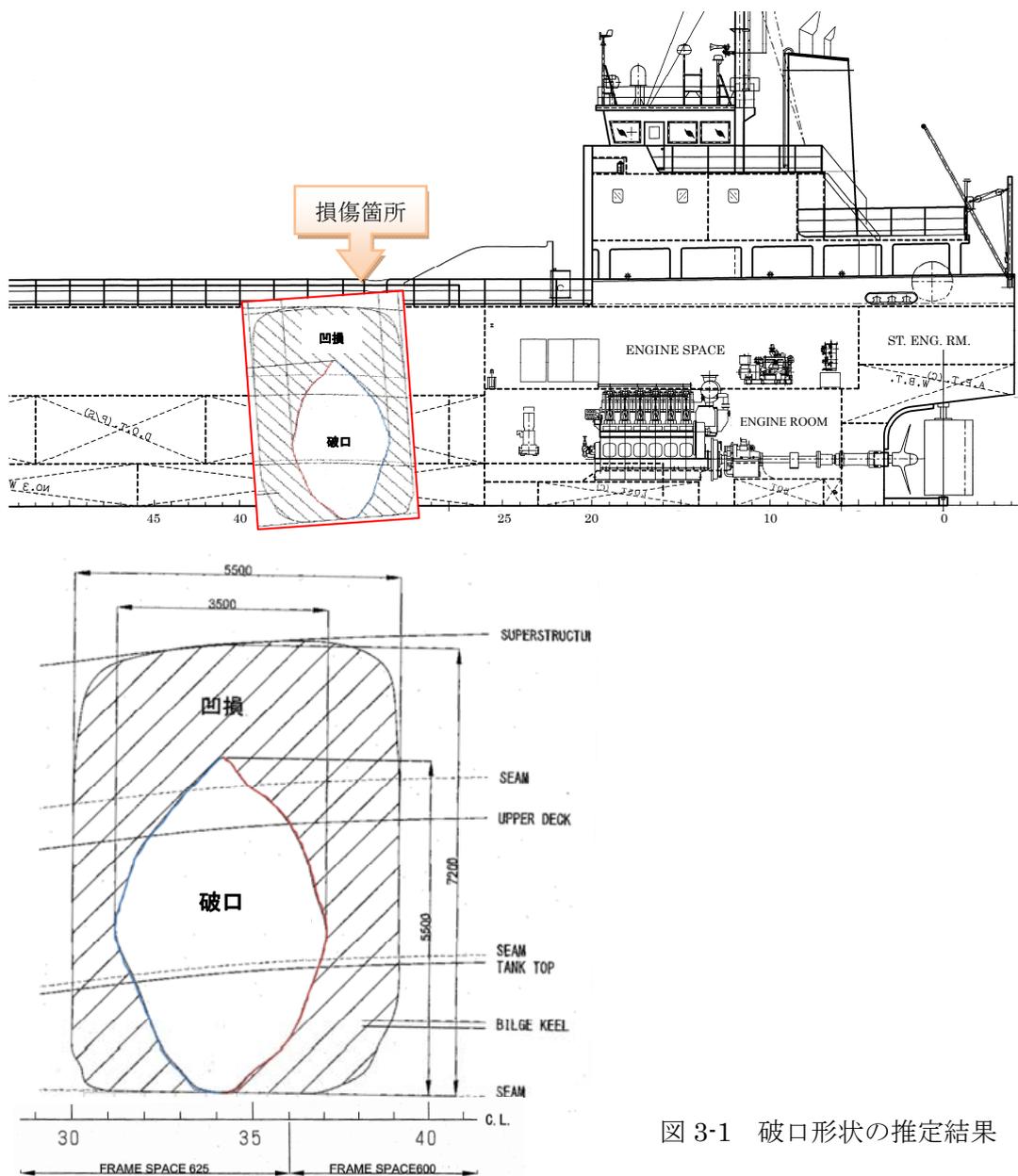


図 3-1 破口形状の推定結果

解析に当たっては、①事故現場の海象は平穏、②浸水経路は破口のみ、③浸水に伴う傾斜で荷崩れは生じないと仮定する。

3.1. 破口形状について

運輸安全委員会から提示された本船の「損傷状況図」を基に、破口の面積の算出を行った。面積を算出するためには、破口の高さと幅を求める必要がある。ここでは本船の型深さ方向を基準として、破口の幅を型深さの関数として表現した。

提示された破口図と重ねたものを図 3-1 に示す。破口形状が関数で表示出来たので、これから破口面積を型深さから求めることが可能となる。これより破口の総面積は 12.99 m²であったと推測される。しかし、本破口は 2 重底の境界が含まれているため、TANK TOP よりも上部からの浸水は貨物艙及び FOT (P) へ、下部よりの浸水は No.4 WBT (P) に達したと考えられる。その為、破口面積も TANK TOP よりも上部と下部に分割して求める必要がある。TANK TOP よりも上部は 8.98 m²で、TANK TOP よりも下部は 4.01 m²となる。

3.2. 浸水区画について

運輸安全委員会より提示された一般配置図、鋼材構造図や一般艙装図等から、浸水区画の推定を行った。破口と船体の位置関係から、貨物艙、甲板倉庫、FOT (P) 及び No.4 WBT (P) を浸水区画とした。

本船は貨物艙に重量物を積載していたため、貨物艙・甲板倉庫の容積 (2,248 m³) 全てに浸水することはない。

そのため、計算上算入する貨物艙の容積は貨物艙に浸水可能な海水量に対応させる必要がある。積載物の容積は重量と比重 (7.85 t/m³) より 165.6 m³ と推定され、貨物艙の幅を調整することで積載物の容積を排除することにした。その際、幅の与え方を貨物艙の高さ方向で変化させて、浸水量が増えるにつれて自由水影響が適切に評価されるような形状とした。計算で用いた浸水区画を図 3-2 に示す。

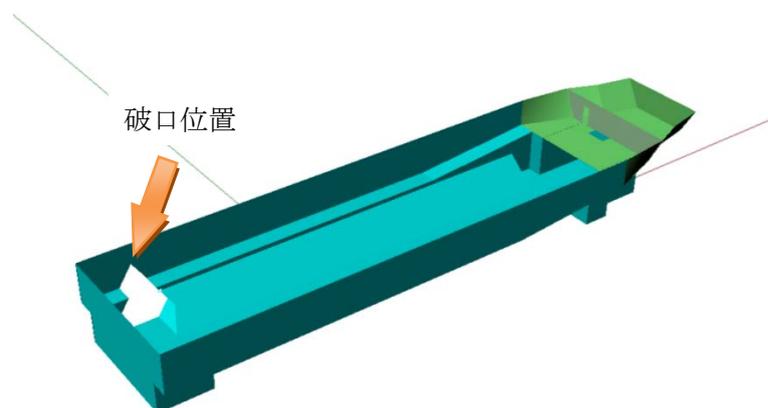


図 3-2 浸水区画及び断面図

ここで、水色の部分が貨物艙に対応し、黄緑色の部分が甲板倉庫に対応する。幅の調

整は貨物が積載されている箇所についてのみ適用した。

3.3. 破口からの浸水量

破口から浸水する浸水量の推定を行う。破口を通過する浸水量は次式で計算する。

$$\Delta v = \Delta t \times \mu \times A \times \sqrt{2gh}$$

ここで、 Δv は浸水量、 Δt は微小時間で本計算では 10 秒とした。 μ は開口部における流量係数 (0.6)、 A は開口部の面積、 h は海面高さと貨物艙内の浸水面の高さによって決まる。

しかし、浸水開始直後は貨物艙内は空気で満たされているので、貨物艙内は空気中部分と水中部分に分けて算出する必要がある。ここでは、算出時の貨物艙内の水面高さをを用いてそれぞれについて算出し、その合算が貨物艙内への浸水量とした。今回の時系列計算は 10 秒間隔で実施し、10 秒間は浸水量は同一と仮定している。

本船に浸水するとその重量に応じて、船体沈下や姿勢変化が生じる。本プログラムでは各ステップで浸水量に応じたこれらの値についても計算を行っている。横傾斜は復原力と傾斜モーメントの釣合いから別途計算を行っている。そのため、浸水量を求めるときにはこれらの値を考慮して破口の位置を算出する必要がある。本計算では船体沈下量、縦傾斜及び横傾斜について考慮して、浸水量を算出した。得られた浸水量の時系列変化を図 3-4 に示す。縦軸は浸水量 (m³) で、横軸は経過時間 (秒) である。

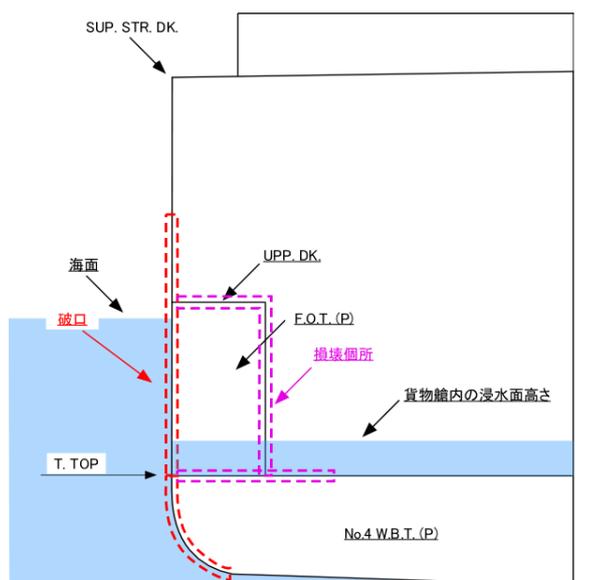


図 3-3 破口と海面・貨物艙内の浸水面の位置関係

相手船が離脱直後から 10 秒間で約 325 m³ の浸水量となり、この量は衝突した箇所にある No.4 WBT(P)及び FOT(P)の容量を超過しており、浸水開始から 10 秒以内でこれらのタンクが満水となったことが推測される。この浸水によって発生する傾斜モーメントは、衝突による船体の破損を考慮すると 360.0 t・m であったと推測される。この傾斜モーメントにより船体は左舷側に傾斜したと推測される。浸水開始から 10 秒以降は全て貨物艙・甲板倉庫内へ浸水したと推測される。貨物艙・甲板倉庫内への浸水量は 1 分後に約

820 m³、2分後には約 1,210 m³、3分後には約 1,540 m³であったと推測される。

横傾斜を考慮しない場合の貨物艙・甲板倉庫内の滞留水の水面高さを図 3-5 に示す。縦軸は貨物艙・甲板倉庫内の中心位置での水面高さ (m) で、横軸は経過時間 (秒) である。この結果より貨物艙の水面高さは浸水開始直後から急激に上昇し、110 秒程度からほぼ一定の割合で増加している。甲板倉庫は 100 秒程度に滞留水が到達し、そこからほぼ一定の割合で増加している。その後、210 秒程度でほぼ満水の状態となり、一定値となっている。

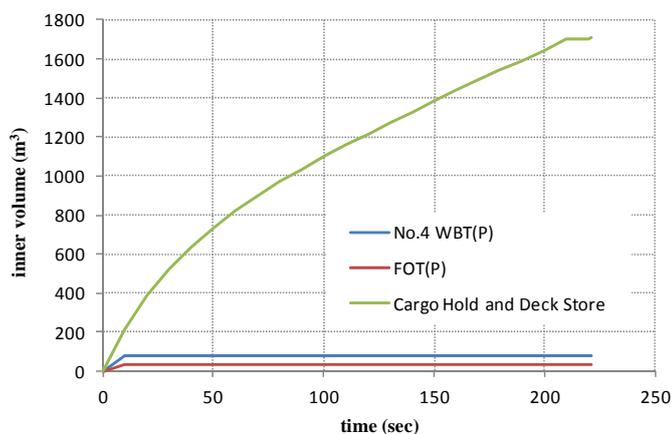


図 3-4 浸水量の時系列変化

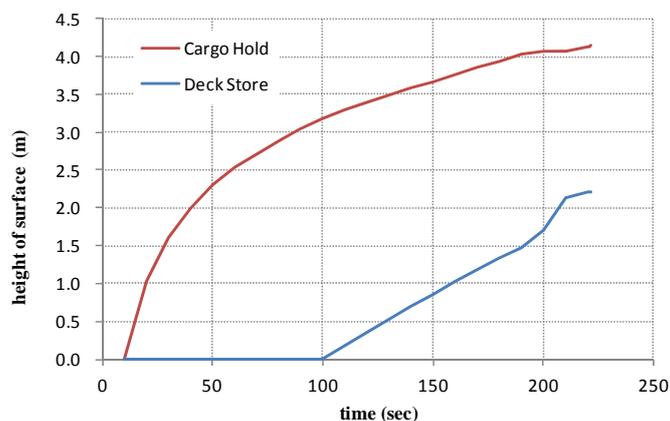


図 3-5 横傾斜を考慮しない場合の滞留水の水面高さの時系列変化

3.4. 本船の姿勢変化

上記浸水により、船体は沈下や姿勢変化が生じる。それぞれの時系列変化を図 3-6 に示す。図の縦軸は上から縦傾斜角 (deg)、横傾斜角 (deg)、事故直前の船体重心位置の沈下量 (m) で、横軸は経過時間 (秒) である。

事故時は船尾トリムで航行していたために、浸水が開始直後は貨物艙の船尾側に滞留する。本事故ではエンジンルームの前端壁より後方の損傷はなく、船尾側の浮力は確保されていた。そのため、貨物艙の滞留水は徐々に船首側に移動を開始し、これに伴い船首側の沈下を開始される。

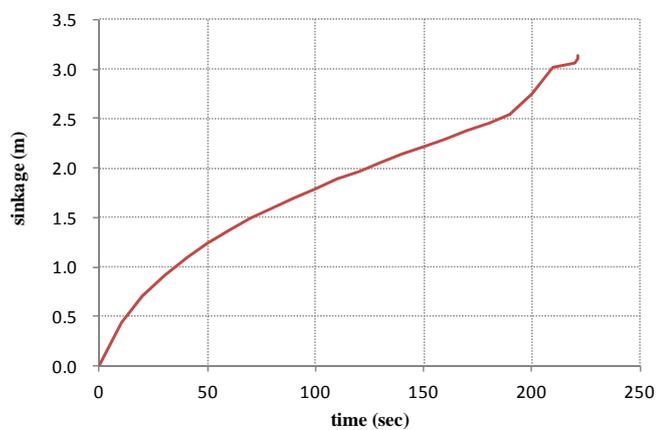
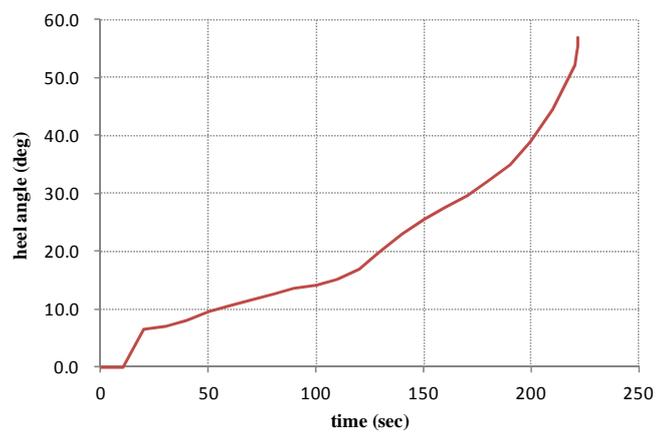
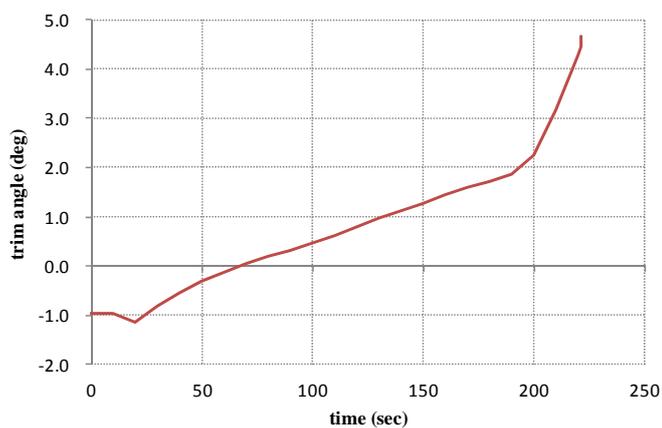


図 3-6 姿勢変化の時系列

船体沈下量の結果より浸水開始当初は急激に増加するが海面と滞留水の水面高さの差が小さくなり浸水量がほぼ一定となると、その後ほぼ一定の割合で増加したと推測される。1分後には1.2m程度、2分後には1.9m程度、3分後には2.4m程度に達したと推測される。

これらの結果から船体の姿勢変化を3次元化したものを図3-7～3-11に示す。

事故直前は船尾トリムで航行していた。相手船が離脱後から1分後までに急激に船体が沈下し、さらに左舷へ10.5度程度ヒールしたことにより左舷側の乾舷が僅かとなったと推測される。その後、船体沈下と左舷へ傾斜が進行し、2分後には左舷のデッキ上に水面が達したと推測される。3分後には左舷側のデッキが水面下となり、3分30秒後には船体の大半が水面下に達し、居住区へも浸水していたと推測される。

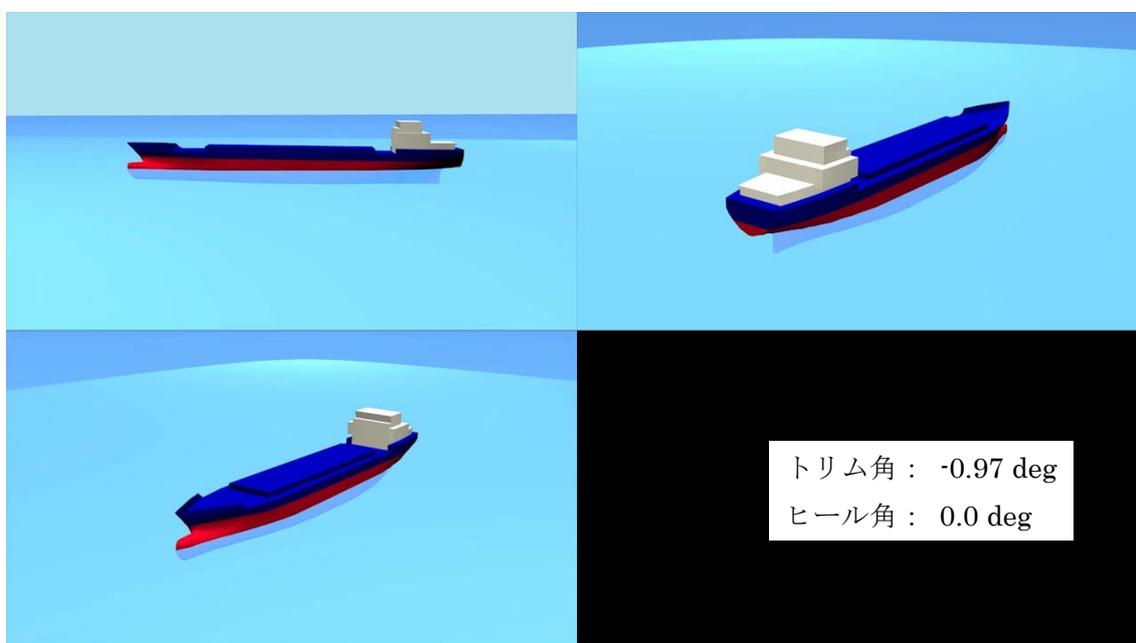


図 3-7 浸水開始直前

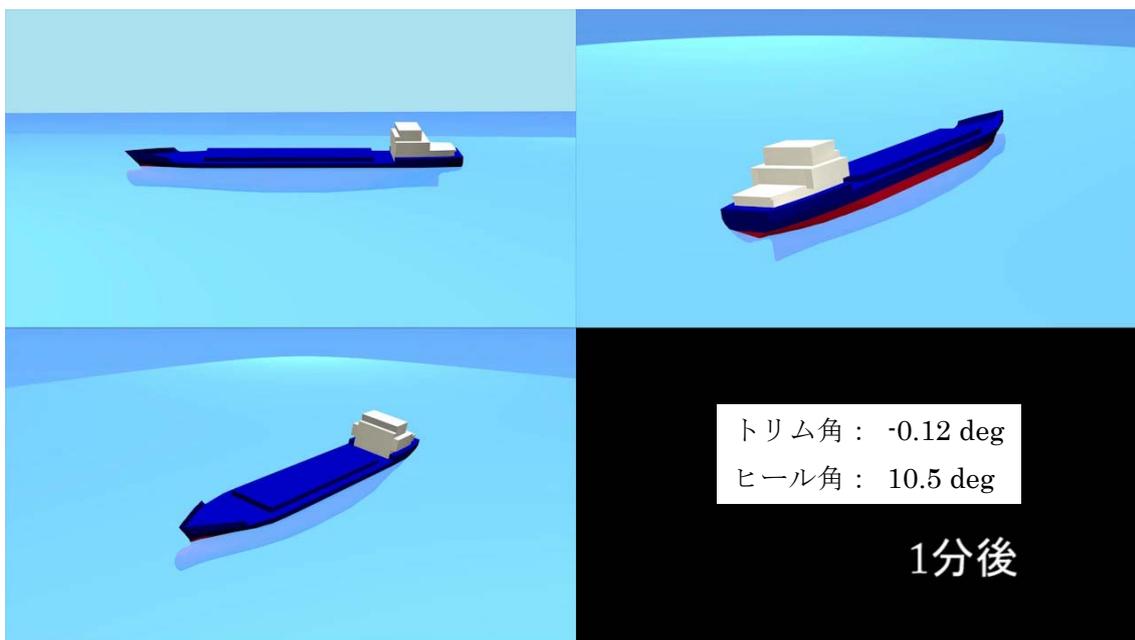


図 3-8 浸水開始 1分後

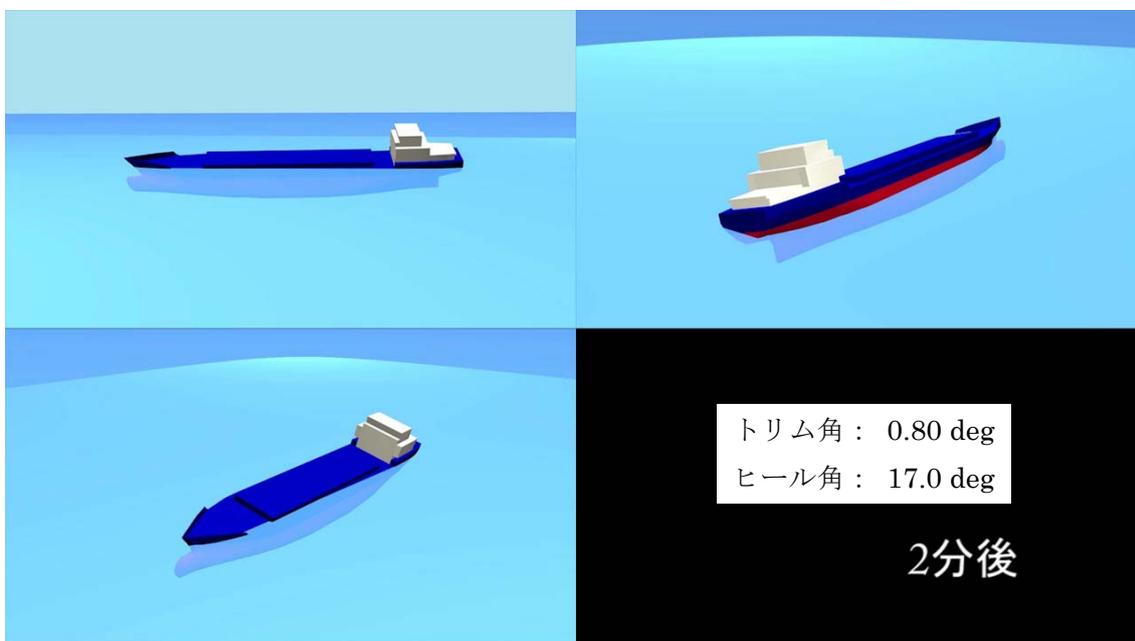


図 3-9 浸水開始 2分後

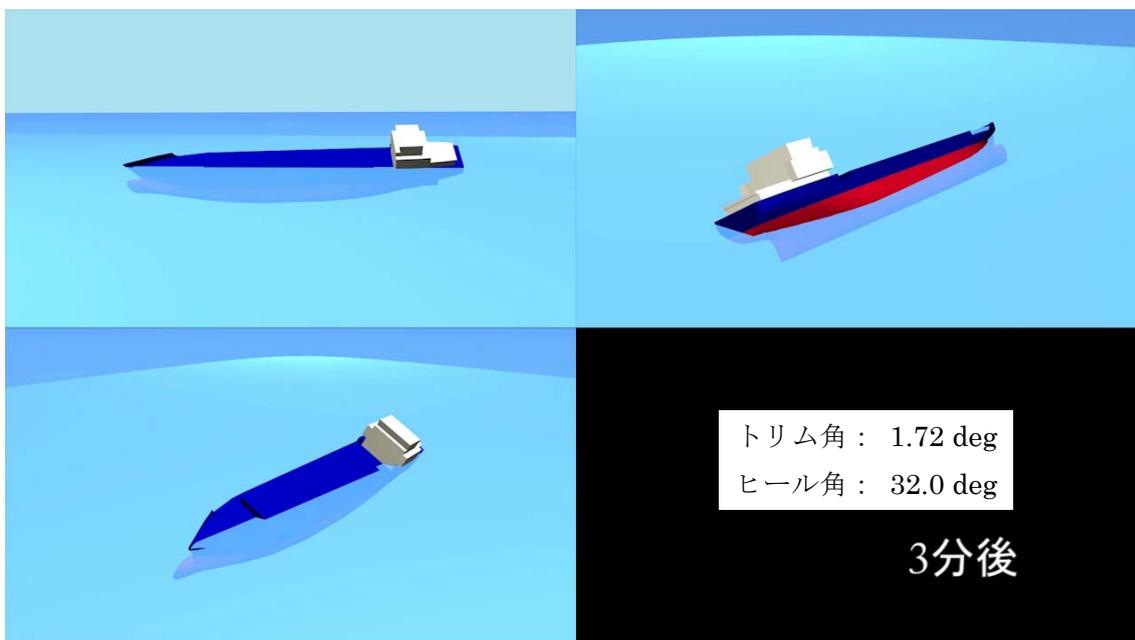


図 3-10 浸水開始 3分後

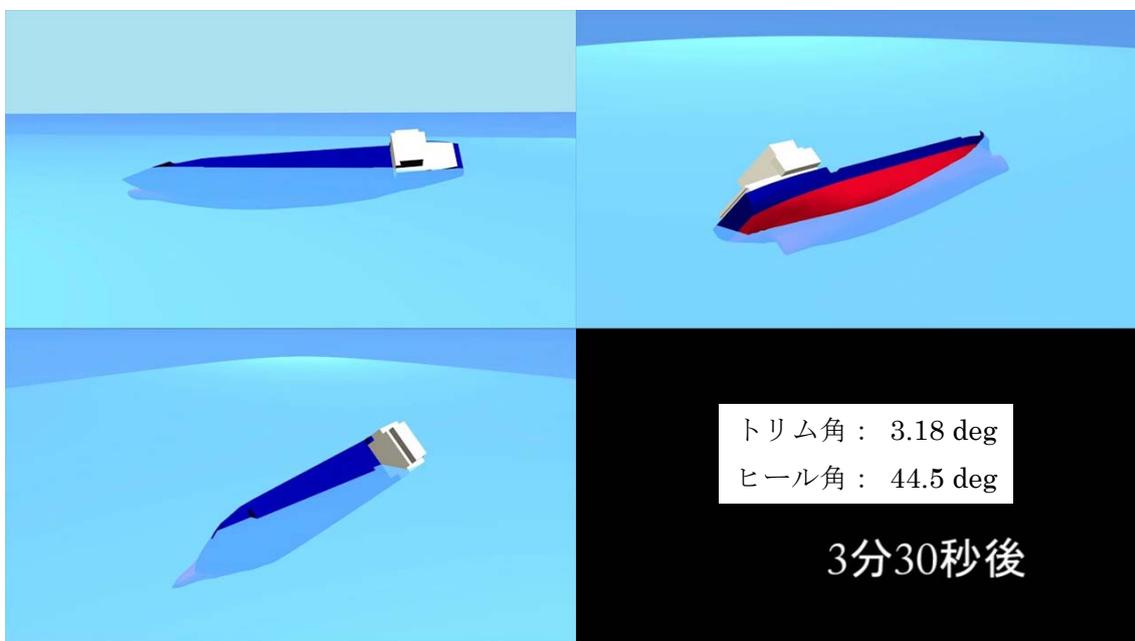


図 3-11 浸水開始 3分30秒後

3.5. 転覆状況の推定

浸水開始からの GZ 曲線の変化を図 3-12 に、メタセンタ高さ等の変化を表 3-1 に示す。縦軸は復原てこで、横軸は横傾斜角である。

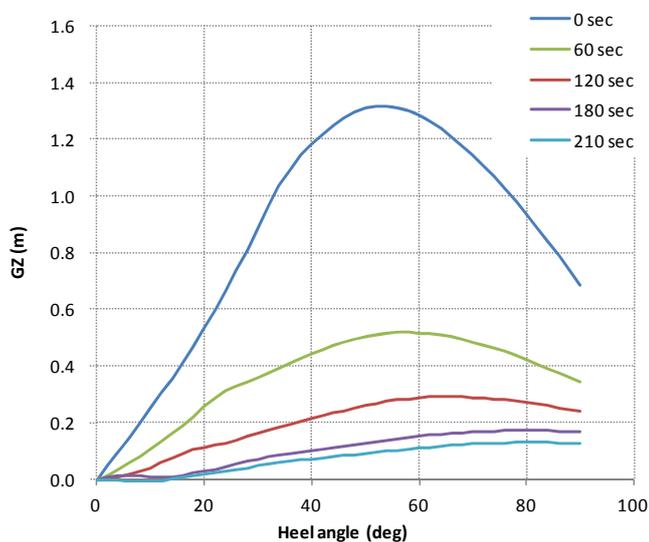


図 3-12 GZ 曲線の変化

表 3-1 メタセンタ高さ等の変化

	0 sec	60 sec	120 sec	180 sec	210 sec
GM (m)	1.459	1.675	1.653	1.634	1.233
GG ₀ (m)	0.055	1.438	1.503	1.403	1.334
GoM (m)	1.404	0.237	0.150	0.227	-0.101

浸水開始直前 (0 sec) には十分な復原てこを有していたが、時間が経過し浸水量が増加するにつれて船体が沈下し、乾舷が減少することで復原てこは小さくなっていくことが確認された。3分30秒後には復原てこはほぼゼロに近い値となっており、非常に不安定な状況であったと推測される。次に自由水影響を考慮した見掛けの重心とメタセンタとの距離 (GoM) は、浸水開始直前は 1.404(m) と十分な値が確保されていたが、浸水開始から 1 分後には 0.237(m) にまで減少し、2 分後には 0.150(m)、3 分半後には負の値となる。3 分後に若干増加しているが、これは GM の減少量が GG₀ の減少量よりも小さいためである。GM の減少は浸水による船体の重心高さの上昇に起因するものが殆どであるが、その変化量は僅かで 2(cm/min.) である。GG₀ は貨物艙及び甲板倉庫の自由水の自由表面積 2 次モーメント (I_{xx}) と排水量 (V) の比で算出される。2 分後以降は面積 2 次モーメントはほぼ一定であるが浸水量は一定の割合で増加しているため、2 分後以降の GG₀ は減少量は 10(cm/min.) である。そのため、2 分後以降は GoM が増加傾向となっている。

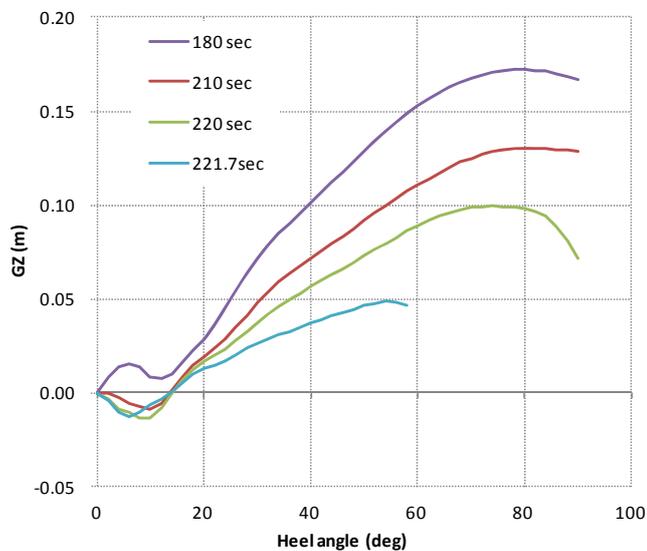


図 3-13 3分後以降の GZ 曲線の変化

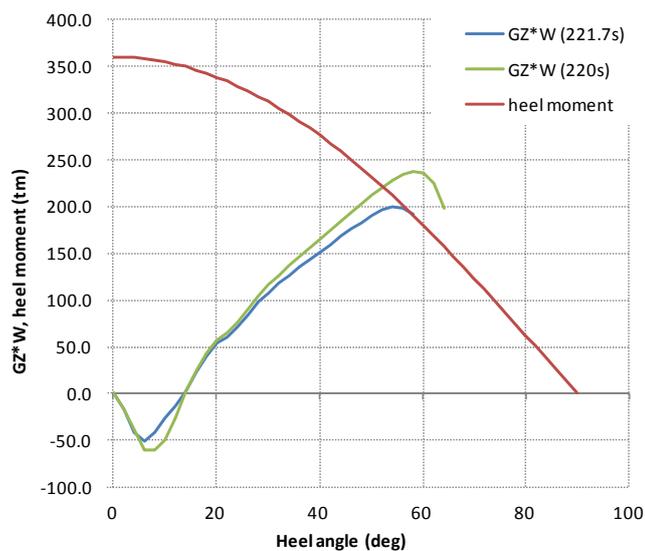


図 3-14 220 秒後と 221.7 秒後の復原力曲線

3分後以降の GZ 曲線を図 3-13 に示す。3.4 節で述べたとおり、200 秒後から船首トリムが急激増加にしている。180 秒後までは G_0M が正の値であるが、それ以降は負となっている。船首トリムが急激に進行し始める 210 秒後と 180 秒後とでは最大復原てこが 4cm 減少しているが、最大復原てこが発生する傾斜角などの傾向は殆ど同じである。しかし、210 秒後と 220 秒後とでは最大復原てこが 3cm 減少し、最大復原てこが発生する傾斜角は 16 度程度減少している。このように 200 秒よりも前と後では復原力の低下の傾向が異なることが確認された。

220 秒後と 221.7 秒後の GZ 曲線を図 3-14 に示す。黄緑線と青線はそれぞれの時刻の復原てこに排水量（220 秒後：4,097t、221.7 秒後：4,404t）を掛けたもので、赤線はタンクに浸水したことにより発生した傾斜モーメント(360.0 t-m)に横傾斜の影響を考慮した曲線である。荷崩れなどが発生せずにタンクへの浸水によってのみ傾斜モーメントが発生すると仮定すると、赤線との交点が釣合い姿勢の横傾斜となる。220 秒では交点があるので釣合い状態が存在するが、221.7 秒後では接しているのみである。従って、破口からのみ浸水したと仮定すると 222 秒付近で転覆に至ったと推測される。浸水開始後 210 秒で甲板倉庫がほぼ満水となり船首トリムが急激に進行し、水線面積が減少する。そのため、復原力が低下し、転覆に至ったと考えられる。

3.6. 流量係数の影響

今回の事故では相手船が本船に衝突したために破口は内側に凹んだ形状となっている。浸水量を算出する場合には流量係数（ μ ）は一般的に 0.6 が使用されるが、凹んだ形状の場合にはこの値よりも大きな値となることが知られている。そこで、ここでは $\mu=0.8$ とした場合の転覆に至るまで要する時間への影響の確認を行った。 $\mu=0.6$ と $\mu=0.8$ での浸水量の比較を図 3-15 に、姿勢変化の比較を図 3-16 に示す。

流量係数を大きくすることで貨物艙・甲板倉庫への浸水速度が上昇し、傾斜モーメントが復原力を上回る浸水量（1710 m^3 ）に達する時間は 1 分程度短縮される。それに伴い、船体の姿勢変化の時系列も時間方向に圧縮された傾向となった。

ハッチカバーの左側面が海水に没水し始めた状態を図 3-17 に示す。 $\mu=0.6$ の場合には 2 分 16 秒後で、 $\mu=0.8$ の場合には 1 分 40 秒程度と推測される。

また、ハッチカバーの左側面が全て海水に没水する状態を図 3-18 に示す。 $\mu=0.6$ の場合には 2 分 40 秒後で、 $\mu=0.8$ の場合には 2 分 00 秒程度と推測される。

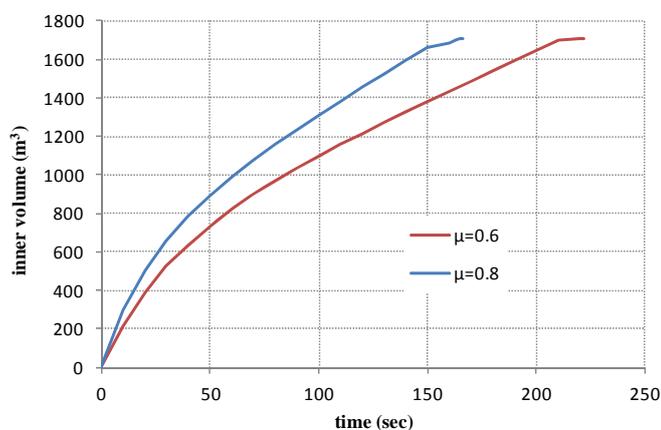


図 3-15 流量係数の相違による浸水量の比較

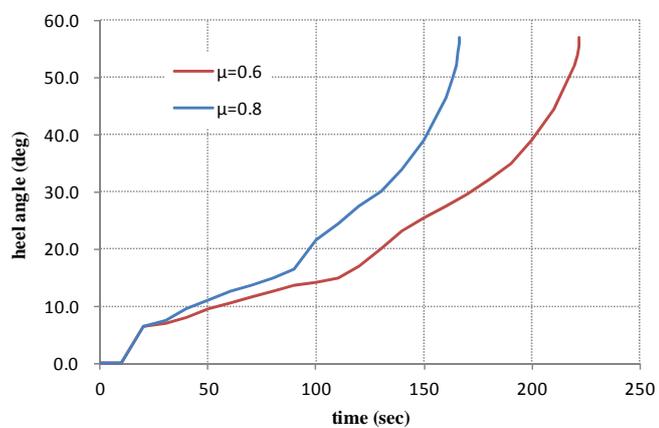
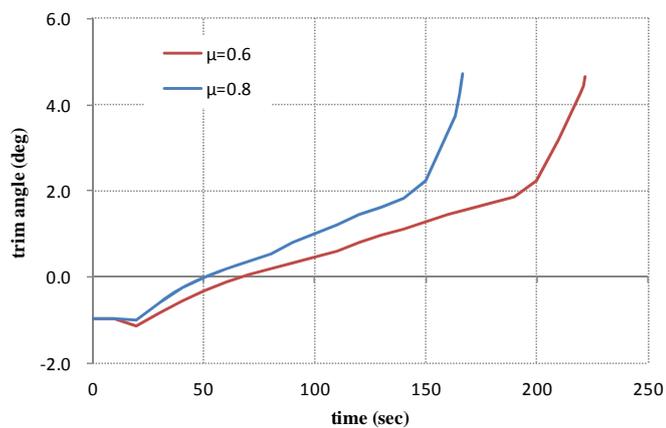


図 3-16 流量係数の相違による姿勢変化の比較

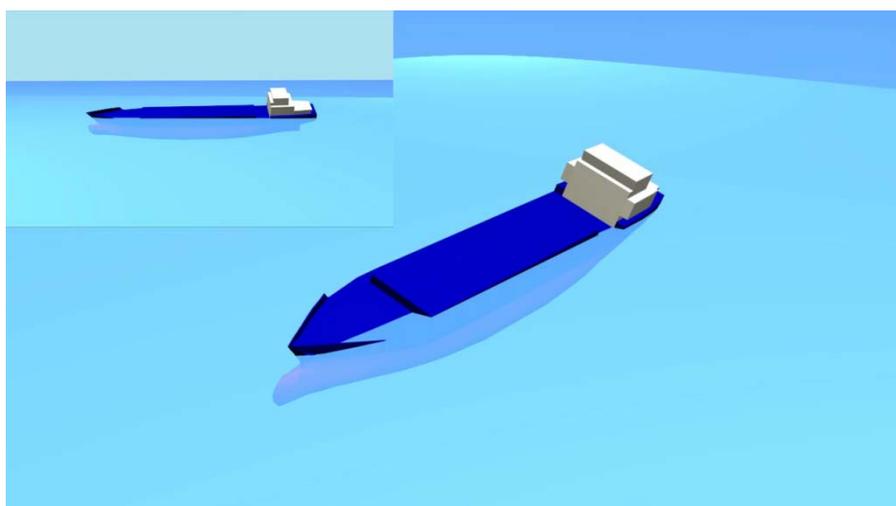


図 3-17 ハッチカバーの左側面が海水に没水し始めた状態

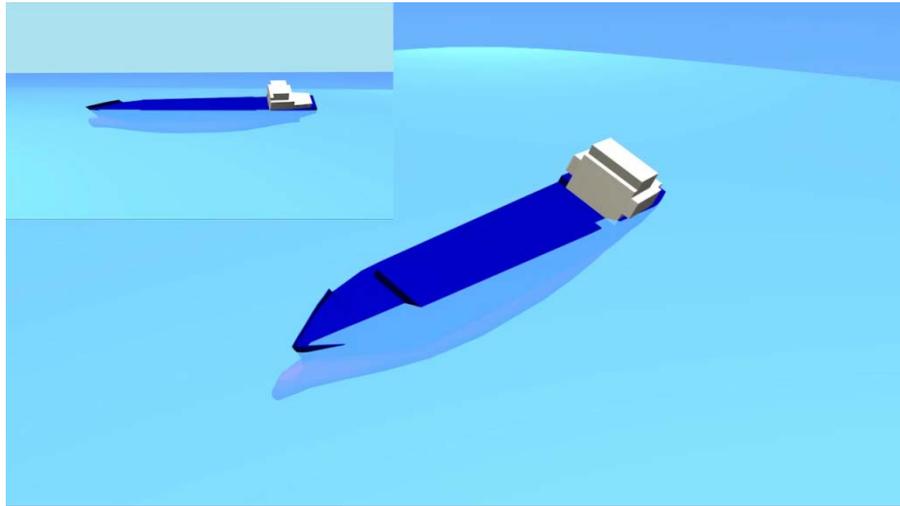


図 3-18 ハッチカバーの左側面が全て海水に没水した状態

4. 衝突時の相手船の姿勢推定

4.1. 衝突状況の推定

運輸安全委員会より提示された本船の破口の形状及び相手船のオフセットデータより衝突時の状態の推定を行った。

まず相手船のオフセットデータより、船首付近の 3 次元データを作成した。次に本船の破口形状データより、本船の外板形状を再現した。これにより、衝突時の両船の位置関係の検証を行った。ここでは両船の衝突断面が破口形状にほぼ等しくなる状態を推定した。

その結果、図 4-1 に示した状態が破口形状とほぼ一致することが確認された。破口形状から相手船は本船に真横から衝突したのではなく、本船の左舷側 23 度程度船尾向きに衝突したと推定される。その際、相手船の船首は FP 付近までが本船内部に入り込んでいたと推測される。また、破口形状がビルジキールよりも下の船底部分にまで及んでいること、周囲に凹損は確認されているが破口はこの箇所以外に確認されていないことから、衝突時に本船は右舷側に 7 度程度ヒールしたと推定される。

相手船の船首形状及び本船の外板の交線を求め、破口形状と重ねたものを図 4-2 に示す。縦軸が深さ方向、横軸が船長方向を示している。破口形状と交線がほぼ一致していることがわかる。破口の面積から交線の面積を差し引いた値は 1.25m^2 程度であり、相手船による破口の充足率は 90% 程度となる。得られた形状から隙間の面積を型深さの関数として表現して、水面から破口までの深さと貨物艙内の水面高さの関係から浸水量を算出した。

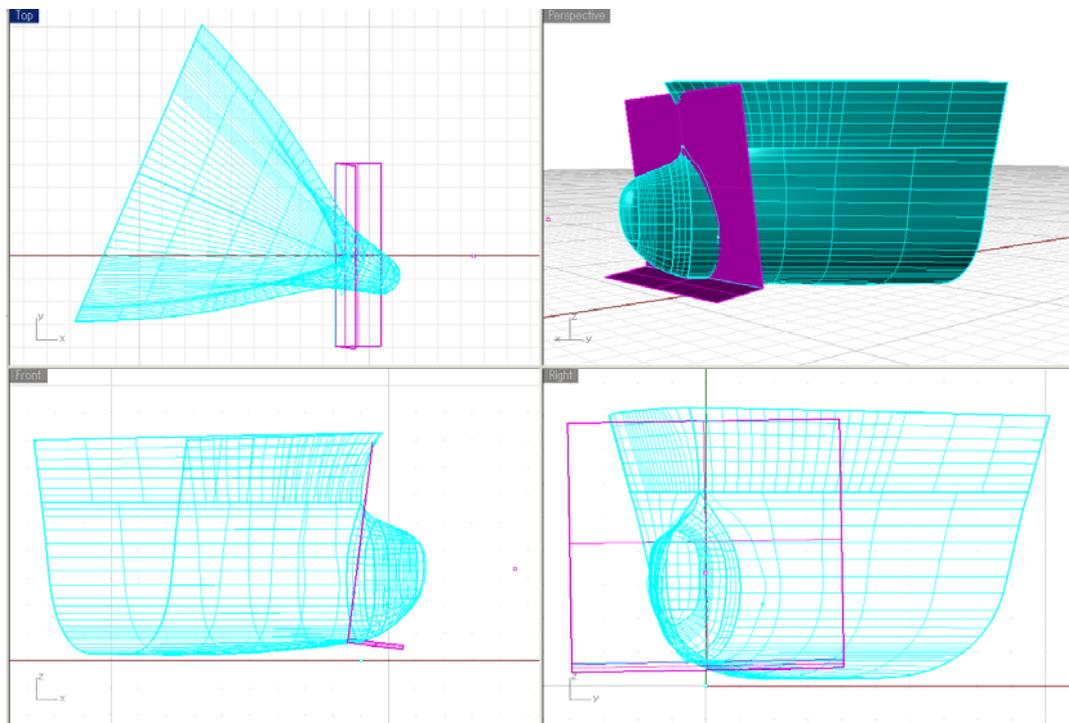
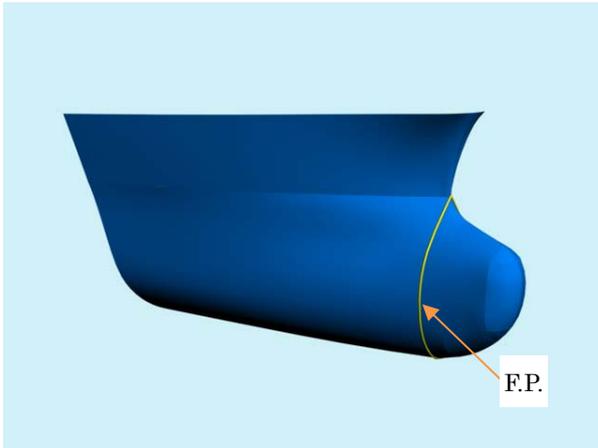


図 4-1 衝突状況の推定

4.2. 衝突した状態での浸水量

衝突した状態での浸水量について推定を行った。上記のとおり、衝突時の船体姿勢が 7 度程度右舷側にヒールしていたと推定されたため、ここで本船のヒール角は右舷側に 7 度で固定して行った。そのため、破口の隙間から浸水した海水は船体のトリムと沈下量に作用することとなる。浸水量の時系列データを図 4-3 に示す。

破口の隙間の面積 (1.25 m^2) は破口全体の面積 (12.99 m^2) の 1 割程度と考えられる。また、浸水量は 5 分後に 470 m^3 程度、10 分後には 870 m^3 程度であると推測される。ここでは右舷側へのヒールを仮定して計算を行ったため、左舷側の破口は本船単独の状態

よりも海面に近づいた状態となる。そのため、貨物艙等への浸水量が比較的少なくなっていると考えられる。この浸水傾向が継続したと仮定すると、15分後には1,210 m³程度、20分後には1,500 m³程度、30分後には1,850 m³程度となると推測される。転覆時の浸水量が1,710 m³程度であったということから、10分程度の浸水では本船の姿勢が大きく変化するとは考えられない。

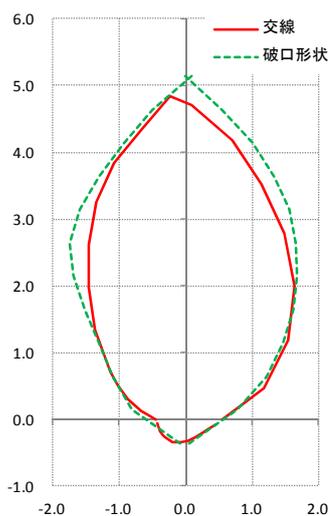


図 4-2 衝突時の破口の推定

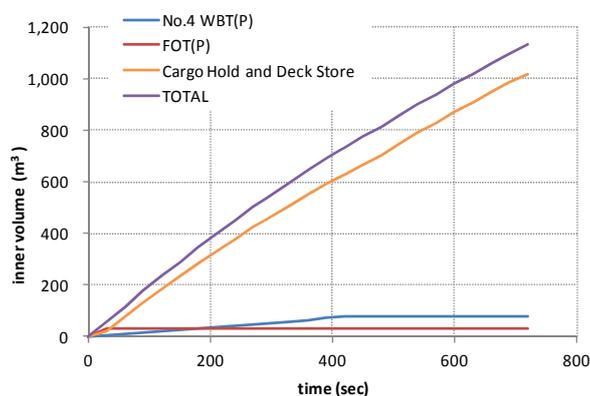


図 4-3 衝突時の浸水量の時系列

4.3. 相手船の事故当時の姿勢

事故後の相手船（表 4-1）の喫水マーク付近の写真から船首、船体中央、船尾喫水を読み取り、読み取り値を線形近似して事故当時の喫水を想定し、それに基づいて事故当時の排水量と重心の前後位置を推定した。

表 4-1 相手船主要目

LENGTH (O.A.)	104.80 m
LENGTH (P.P.)	98.00 m
BREADTH (MLD)	16.20 m
DEPTH (MLD)	6.80 m
BOW HEIGHT	10.188 m

表 4-2 事故当時の喫水、排水量及び重心の前後位置（推定）

da (m)	df (m)	dm (m)	W (t)	mid-G (m)
5.24	4.28	4.76	5,951	1.10

表 4-2 に、想定した事故当時の喫水 (d_a : 船尾喫水、 d_f : 船首喫水、 d_m : 平均喫水) と排水量 (W) 及び重心の前後位置 ($mid-G$: 船体中央より前方を正) の推定結果を示す。また、図 4-4 に事故後の相手船の写真を図 4-5 に想定した事故当時の喫水線を示す。

相手船の復原性資料に記載された満載出港状態の排水量は 6,778 t となっており、事故当時の排水量は満載出港状態より少なく、船尾トリムが付いた状態であったと推定される。

4.4. 相手船の姿勢変化

本船の浸水量に対応した重量 (付加重量) が相手船のバルバス・バウの船長方向の中央位置に作用するとして、付加重量を算入した重量・重心計算を行い、付加重量が作用した場合の喫水を推定した。付加重量 (w_a) を 100t~1500t まで変化させた場合の計算結果 (d_f : 船首喫水、 d_a : 船尾喫水、 d_m : 平均喫水) を図 4-6 に示す。図中には、重心の前後位置 ($mid-G$: 船体中央より前方を正) 及びトリム ($\tau = d_a - d_f$) も示す。

付加重量の作用位置が船首部であるとしているので、付加重量の増加とともに重心の前後位置 (◆印) が船首側へ変位して船首トリム (*印) が大きくなり、船首喫水 (□印) が顕著に増加する。

一方、4.2 節で示したように相手船がバルバス・バウを本船の船側から引き抜かなか

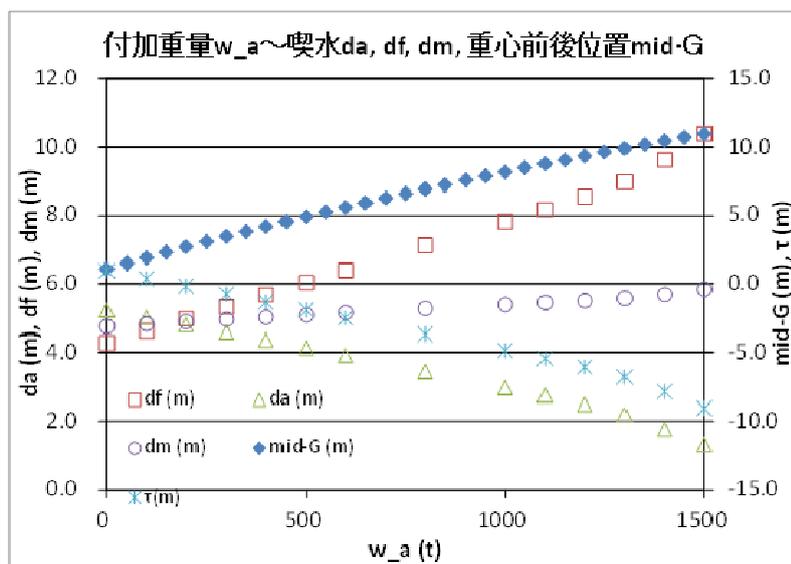


図 4-6 バルバス・バウ中央位置に作用する付加質量による喫水変

である船側の破口相当面積が小さくなるので、浸水量は 10 分で 890 t 程度と推定される。この本船の浸水による重量の増加分が全て相手船のバルバス・バウに作用とした場合^{注)}、船首喫水は 7.5 m と推定され、船首高さ (約 10m : 表 4-1) と比べると相手船が 10 分程度バルバス・バウを本船の船側から引き抜かなかったとした場合でも、船首が没水する危険性は小さかったと考えられる。

注) : 一般に船舶に破口が生じ船内へ浸水した場合、浸水重量分だけ増加した排水量と浮力が釣り合うまで喫水が増加する。本船事故の場合、相手船のバルバス・バウが本船の船

側に衝突したままの状態では、本船の船内へ侵入した海水による重量の増加分の一部は、本船の喫水増加に伴う浮力の増加により相殺されると考えられる。



図 4-4 相手船（事故後）

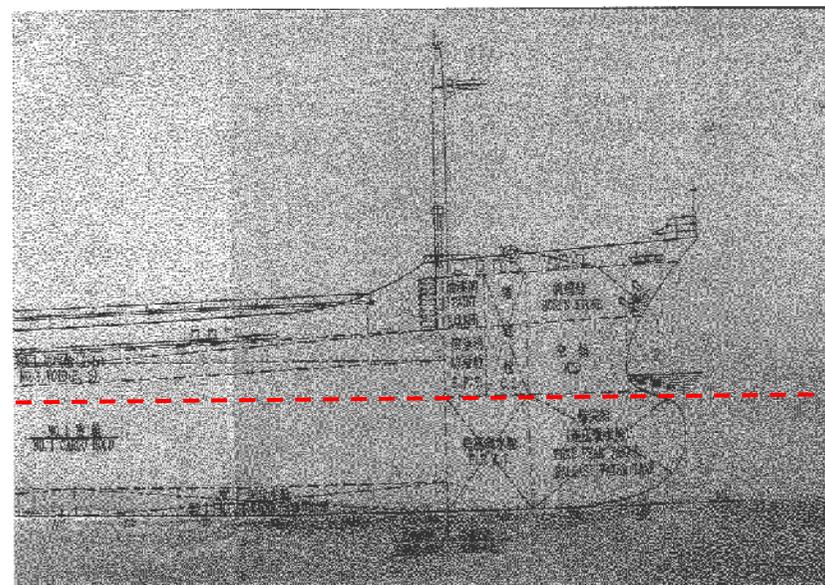
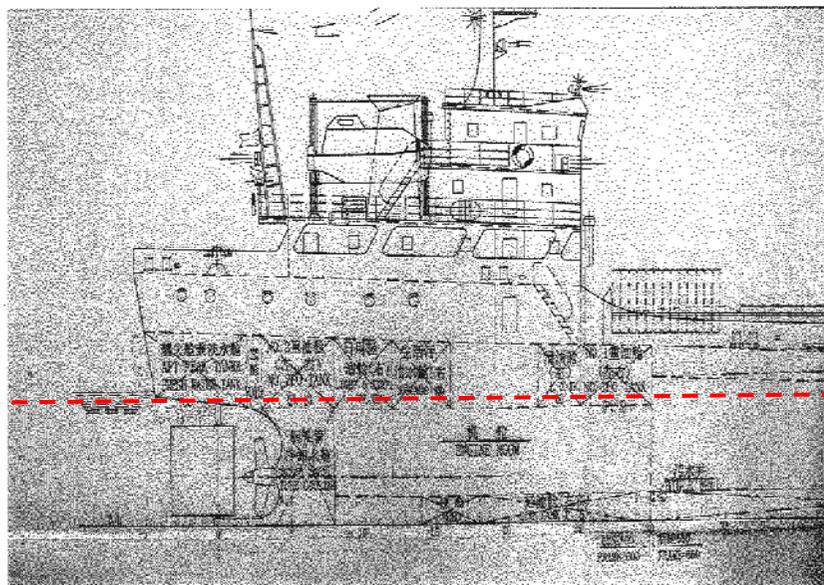


図 4-5 事故当時の想定喫水（赤点線）

5. まとめ

平成 25 年 9 月 27 日 1 時 23 分ごろ、東京都大島町伊豆大島西方沖約 4.4 海里で発生した貨物船「JIA HUI」と貨物船「第十八栄福丸」の衝突事故調査に資するため、①事故当時の本船の復原性を推定するとともに、②転覆のメカニズム、③衝突時の相手船の姿勢推定の検討を行った。

今回の調査により得られた知見をまとめると以下のとおりである。

(事故発生当時の復原性)

- A) 本船の出港時の喫水や燃料・清水他の搭載量や消費量、積載物の重量、類似船の調査結果などを基に、事故発生当時の本船の復原性を推定した結果、出港時とほぼ同じ状態であったことが確認された。また、事故当時は重量物を搭載していたため、十分な復原性を有していたと考えられる。

(転覆メカニズム)

- A) 本船の「損傷状況図」を基に本船の破口からの浸水量の推定を行ったところ、1 分後に約 820 m³、2 分後には約 1,210 m³、3 分後には約 1,540 m³、3 分 30 秒後には約 1,700 m³であった。
- B) この浸水に伴い、浸水直後は船尾側が沈下する。その後、滞留水が船首側に移動し始めると船首側が沈下し始める。No.4 WBT(P)及び FOT(P)へ浸水により左舷側への傾斜モーメントが発生し、浸水量の増加による復原力の低下することで左舷への傾斜が発達する。3 分後には左舷側のデッキが水面下となり、3 分 30 秒後程度には船体の大半が水面下に達していたと推測される。3 分 40 秒後程度で転覆に至ったと推測される。
- C) 本船の GoM は浸水直前は 1.404(m)であったが、浸水開始から 1 分後には 0.237(m)、2 分後には 0.150(m)と大幅に減少した。その後、若干増加したものの 200 秒後にはほぼゼロとなり、それ以降は負の値となったと推測される。
- D) これは甲板倉庫がほぼ満水となり船首トリムが急激に進行し、船首部が没水したと推測される。これに伴い水線面積が減少したため、復原力が低下し、転覆に至ったと考えられる。
- E) 本解析では流量係数は 0.6 としたが、この値が 0.8 とした場合には転覆に至るまでの時間は 1 分程度短縮されると推測される。

(衝突時の相手船の姿勢推定)

- A) 本船の破口形状と相手船の船首形状から衝突時の状況の推定を行ったところ、相手船は本船の左舷側 23 度程度船尾向きに衝突したと推定される。その際、相手船の船首は FP 付近までが本船内部に入り込んでいる。また、衝突により本船は右舷側に 7 度程度ヒールしていたと推定される。

- B) 衝突時の本船の破口形状と相手船の船首との隙間の面積は 1.25m^2 程度であったと推定され、相手船による破口の充足率は 90% 程度となる。この隙間からの浸水量は 10 分後に 870 m^3 、20 分後に $1,500\text{ m}^3$ であったと推測される。転覆時の浸水量が $1,750\text{ m}^3$ 程度であったということから、10 分程度の浸水では本船の姿勢が大きく変化するとは考えられない。
- C) 本船の浸水量に対応した重量（付加重量）が相手船の船長方向のバルバス・バウの中央位置に作用するとして、付加重量を算入した重量・重心計算を行い、付加重量が作用した場合の喫水を推定した。衝突時の浸水量は 10 分で 890 t 程度と推定され、この浸水による重量の増加分が全て相手船のバルバス・バウに作用するとした場合、船首喫水は 7.5 m と推定され、相手船が 10 分程度バルバス・バウを本船の船側から引き抜かなかったとした場合でも、船首が没水する危険性は小さかったと考えられる。