

## 小型漁船の転覆事故解析例

田口 晴邦\*、池本 義範\*\*

### An Analysis of the Capsizing Accident of a Small Fishing Boat

by

Harukuni TAGUCHI and Yoshinori IKEMOTO

#### 1. はじめに

平成20年10月1日に、運輸関連事故の原因究明機能の高度化、再発防止機能の強化等を図るため、海難審判庁と航空・鉄道事故調査委員会が統合され運輸安全委員会が設置された。海難事故が発生すると運輸安全委員会では、船舶事故調査官が事実調査や事故原因の解析等を行って事故調査報告書案を作成し、委員会での審議・議決を経て報告書が国土交通大臣に提出され、一般に公表される。

船舶事故調査官が行う事故原因の解析等においては、一部を外部機関に委託する場合がある。当所ではこれまでに7件の解析調査の委託を受け、その結果を運輸安全委員会に報告してきたところである。

ここでは、当所が行った転覆事故解析例として、平成20年4月に発生した小型漁船の転覆・沈没事故を取り上げ、事故発生時における復原性の推定結果及び転覆に至る大傾斜を引き起こした外力の検討結果について概説する。また、当該事故の発生状況及び事故の教訓を視覚情報化するために作成した、本船が転覆に至る過程等を再現したコンピュータグラフィックス(CG)についても紹介する。

#### 2. 事故の概要<sup>1)</sup>

平成20年4月5日、青森県下北半島沖で、ほと

て養殖施設でほたてを収穫して帰港中の漁船A丸が転覆沈没し、乗組員8名全員が死亡する事故が発生した。

A丸は、長さ14.55m、幅3.09m、深さ0.83m、総トン数5.1トンのFRP製のほたて漁船であり、操舵室前部に伸縮ブーム付きのクレーン(重量700kgf)が設置されていた。

事故発生後、海底において発見された状況等から、事故当時A丸は、漁獲物(重量約4.5tf)を甲板右舷寄りに積み上げ、バランスをとるためにクレーンを左舷側に振り出した状態で航行していたと考えられている。

なお、事故当時、現場海域付近では、強風波浪注意報が発令されており、北西乃至南西の風5~13m/s、西から波高1~3m、周期2.6~3.0sの波があったと考えられている。また、養殖施設と漁港との位置関係から、A丸は帰港時概ね右舷方向から横波を受けていたと考えられている。

#### 3. 事故の解析

当所では、A丸事故に関して、事故発生時の漁獲物、乗組員、クレーンの振り出し等の状況における復原性を推定するとともに、事故の発生状況で転覆が発生する可能性がある事故シナリオを想定し、事故発生時に作用したと推定される外力に

\* 流体性能評価系、\*\* 産業連携センター  
原稿受付 平成22年 8月20日  
審査済 平成22年 8月11日

ついて検討を行った。

### 3.1 復原性の推定

上述したとおり A 丸は事故発生時に重量約 4.5tf の漁獲物（養殖ほたて入りの籠）を搭載していたと考えられているが、その積載高さは不明であった。一方、僚船の船長の口述では、同量の漁獲物を均等に積載した場合の甲板上高さは 1.5～1.7m とのことであった<sup>1)</sup>。そこで、この口述を考慮して積載高さを 3 種類想定（事故発生時状態 1～3）して復原性の計算を行うとともに、比較のため、クレーンを格納した状態（事故発生時状態 4）や漁獲物搭載前の状態（出港時状態）についても計算を行った。

#### 3.1.1 計算状態

復原性計算を行った状態をまとめると以下のとおりである。

##### (1) 共通設定

###### ①乗組員

乗組員は 8 名であり、体重を合算して乗組員の重量（約 0.54tf）<sup>1)</sup>とした。また、船長は操舵室に立ち、その他の乗組員は操舵室後方の甲板上に立っていたと想定した。人の重心高さは身長<sup>2)</sup>の 1/2 の位置とした。

###### ②燃料

燃料は満載(800ℓ)から 1/3 消費した状態とした。

##### (2) 事故発生時状態

###### ①漁獲物

漁獲物の積載場所は操舵室前方の甲板上とし、積載高さは 1.5m（事故発生時状態 1）、1.75m（事故発生

時状態 2）、2.0m（事故発生時状態 3）の 3 状態を想定した。

###### ②クレーン

事故発生時には、クレーンはブームを 7.2m まで伸ばし、左舷側へ 45 度、上方へ 43 度振り出されていたとした。なお、比較のため、漁獲物の積載高さを 1.5m とした状態ではクレーン格納状態（事故発生時状態 4）も想定した。

##### (3) 出港時状態

漁獲物搭載前で、クレーンを格納した状態を出港時状態とした。

#### 3.1.2 計算結果

図 1 に横軸に横傾斜角  $\phi$ 、縦軸に復原てこ GZ をとって、復原力の計算結果を示す。×印等を付けた実線は上甲板までを浮力範囲として計算した復原力曲線であり、印がない実線や破線等はブルワーク上端までを浮力範囲とした計算結果である。通常の復原力計算では浮力の算入範囲は上甲板までであるが、放水口からの海水の逆流がない状況を仮定すると、ブルワーク上端が没水する横傾斜角までは、ブルワーク部分を水密として浮力に算入した復原力が作用すると考えられる。

また、表 1 に各状態のブルワーク上端の没水角とメタセンタ高さから推定した横揺固有周期とを示す。横揺固有周期は、A 丸のような小型漁船の復原性の良否と示す指標として一般に用いられており、本船と類似している小型漁船に適用される小型船舶検査機構の細則では、横揺固有周期は 3.7s 以下であることが求められる<sup>1)</sup>。

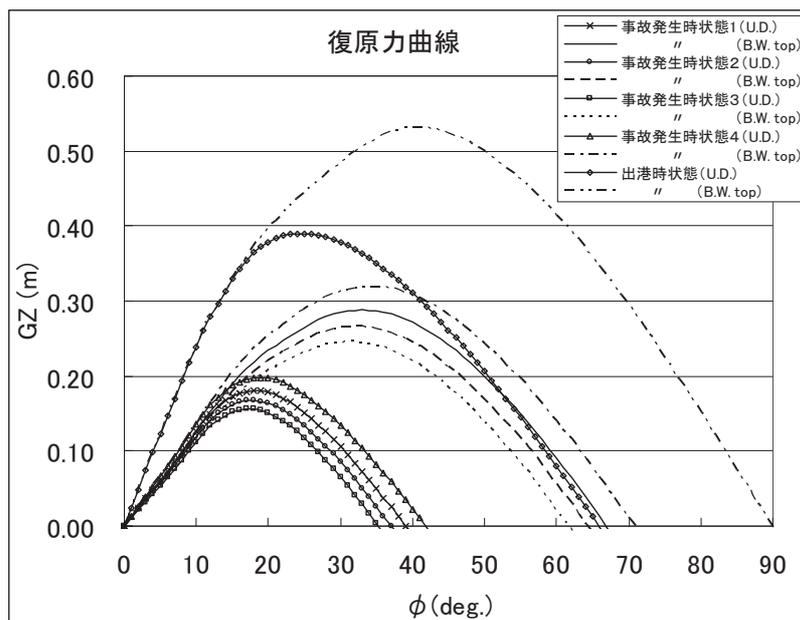


図1 復原力曲線

図1及び表1から、漁獲物搭載前でクレーンを格納した出港時状態では、横揺固有周期は2.01sで細則の要求値を満足していること、上甲板までを浮力範囲をとした場合の復原力(◇印付き実線)は、横傾斜角が約25度で最大0.39mとなることから、A丸は出港時状態で十分な復原性を保持していたと考えられることが分かる。

また、図1から重量4.5tfの漁獲物を搭載しクレーンを振り出した事故発生時の状態(状態1~3)では、重心高さが上昇するので、積載高さを1.5mとした場合(事故発生時状態1:×印付き実線)でも、復原力の最大値が出港時状態の1/2以下の約0.18mになるなど復原力が大幅に減少していることが分かる。また、事故発生時状態1(×印付き実線)と状態4(△印付き実線)の比較から、クレーン振り出しによる重心の上昇が復原性に及ぼす影響も比較的大きいことが分かる。

なお、漁獲物の積載により平均喫水は0.16m深くなる(出港時状態0.41m、事故発生時状態0.57m)こと等から、事故発生時の状態のブルワーク上端没水角は、出港時の状態に比べて約6度も小さくなる(表1)。

表1 ブルワーク上端没水角、横揺固有周期及び同調横揺角

	ブルワーク上端 没水角(deg.)	横揺固有 周期(s)	同調横揺角(deg.)	
			風速10m/s	風速13m/s
事故時1	26.4	2.85	26.2	26.3
事故時2	26.4	2.94	26.0	26.3
事故時3	26.4	3.03	25.8	26.3
事故時4	26.5	2.74	26.3	26.3
出港時	32.5	2.01	26.3	26.3

### 3.2 傾斜外力の検討

2章で述べたようにA丸は帰港時概ね右舷方向から横波を受けていたと考えられている。また、表1に示した漁獲物を搭載しクレーンを振り出した事故発生時の状態の横揺固有周期(2.85~3.03s)と、事故当時の現場海域付近の波周期(2.6~3.0s)がほぼ等しいことから、A丸は横波状態で同調横揺を起こしていた可能性が高いと考えられた。

#### 3.2.1 横波状態での同調横揺角

船舶復原性規則に規定された、風速と横揺固有周期から不規則波を考慮した横波状態での同調横揺角を求める算式を援用して、A丸の同調横揺角を推定した結果を表1に示す。計算は、風速10m/sと13m/sの2状態について実施した。

表1から事故発生時には、漁獲物の積載高さ、クレーンの状態に関わらず、同調横揺角が26度程度となり、ほぼブルワーク上端の没水角に達すると推

定されることが分かる。

ブルワークが没水した場合、ブルワークが抵抗になるので船がなかなか復原せず、引き続く波の影響で転覆に至る可能性が高いと考えられる。

#### 3.2.2 同調横揺下での外力による転覆

A丸は事故発生時の状態で、同調横揺角がほぼブルワーク上端の没水角に等しくなると推定されることを示したが、次にこのような横揺同調状態にあったA丸を転覆させた外力について、事故発生時の状況で想定される事故シナリオに沿って検討した。想定した事故シナリオは以下のとおりである。

##### ①事故シナリオ1

ブルワーク上端が没水する大傾斜角で漁獲物の荷崩れが発生し、漁獲物が船の幅方向に移動して転覆に至った。

##### ②事故シナリオ2

横揺同調による大振幅の横揺をしている状況で操舵室にいた船長以外の乗組員がバランスを崩し舷側へ移動したことで傾斜が増し、転覆に至った。

##### ③事故シナリオ3

同調横揺時に、船舶復原性規則の所謂C係数基準で想定されるように横波、横風状態となり、転覆に至った。

#### (1) 事故シナリオ1

表2に漁獲物の重心の移動距離lnをパラメータとして、復原力と漁獲物の重心移動による傾斜モーメントが釣り合う定常傾斜角を計算した結果を示す。傾斜モーメントが復原力の最大値より大きくなった場合、釣り合い角はなく、船は転覆する。

表2から、事故発生時状態2(漁獲物の積載高さ1.75m)の場合ln ≥ 0.60m、状態3(漁獲物の積載高さ2.0m)の場合ln ≥ 0.55mでは、船は転覆すると推定されることが分かる。一方、漁獲物の積み上げ高さを1.5mとした場合(事故発生時状態1)、漁獲物の重心が幅方向に0.60m移動しても転覆は発生しない。このことから、同様の事故を防ぐためには漁獲物の積載高さを低くすることが重要であることが分かる。

表2 事故シナリオ1の計算結果

	漁獲物の移動による定常傾斜角 φ <sub>n</sub> (deg.)			
	事故時1	事故時2	事故時3	事故時4
漁獲物 重心移 動距離 ln (m)	0.20	5.1	5.4	5.7
	0.40	9.8	10.3	10.9
	0.50	12.2	13.2	14.7
	0.55	13.9	15.7	転覆
	0.60	16.7	転覆	転覆

(2) 事故シナリオ 2

表 3 に船長以外の乗組員の重心の移動距離  $lf$  をパラメータとして、乗組員移動後の動復原力と傾斜方向の運動エネルギーを比較した結果を示す。動復原力と傾斜エネルギーの比が 1 未満になると船は転覆すると考えられる。

表 3 から事故発生時状態 1 (漁獲物の積載高さ 1.5m) の場合  $lf \geq 0.90m$ 、状態 2 (漁獲物の積載高さ 1.75m) の場合  $lf \geq 0.75m$ 、状態 3 (漁獲物の積載高さ 2.0m) の場合  $lf \geq 0.60m$  で船は転覆すると考えられることが分かる。一方、漁獲物を 1.5m の高さまで積み上げていてもクレーンを格納した状態 (事故発生時状態 4) では、船長以外の乗組員が横方向に 0.90m 移動しても船は転覆しない。このことから、漁獲物を均一に積載し、クレーンを格納して航行することが、転覆に対する安全性を確保するために重要であることが分かる。

表 3 事故シナリオ 2 の計算結果

		乗組員移動後の動復原力/傾斜エネルギー			
		事故時1	事故時2	事故時3	事故時4
乗組員 重心移 動距離 $lf$ (m)	0.30	1.14	1.10	1.07	1.22
	0.45	1.10	1.06	1.03	1.18
	0.60	1.05	1.01	0.98	1.14
	0.75	1.01	0.97	0.93	1.09
	0.90	0.97	0.92	0.89	1.05

(3) 事故シナリオ 3

表 4 に風速  $V_w$  をパラメータとして横風を受けた状態での動復原力  $b$  と傾斜エネルギー  $a$  の比 ( $b/a$ ) で定義される C 係数を計算した結果を示す。

表 4 から、漁獲物を 1.5m 以上の高さまで積み上げ、クレーンを振り出した状態 (事故発生時状態 1~3) では、風速 10m/s の横風を受けると、C 係数が 1 未満になり、船は転覆すると考えられることが分かる。一方、漁獲物を 1.5m の高さまで積み上げていても、クレーンを格納した状態 (事故発生時状態 4) では、風速 10m/s の横風を受けても船は転覆しないことから、同様の事故を防ぐためには、クレーンを格納して航行することが重要であることが分かる。

表 4 事故シナリオ 3 の計算結果

		C係数 (b/a)			
		事故時1	事故時2	事故時3	事故時4
風速 $V_w$ (m/s)	8.0	1.22	1.18	1.15	1.32
	9.0	1.08	1.03	1.00	1.20
	10.0	0.97	0.93	0.89	1.11
	11.0	0.92	0.87	0.82	1.08
	12.0	0.87	0.82	0.77	1.04
	13.0	0.82	0.77	0.72	0.99

4. 事故発生状況の CG

運輸安全委員会では、当所の解析結果等を基に、A 丸事故の原因として、①横波状態における同調横揺の発生、②漁獲物積載に伴うブルワーク上端没水角の減少、③漁獲物偏積み及びクレーン振り出しによる重心上昇が影響した可能性を指摘し、



図 2 A 丸が転覆に至る過程の再現 CG

ほたて漁船の船長に対し、十分な乾舷確保、漁獲物の均等な積み付け・クレーンの格納を実施すべきであるとの所見を取りまとめ、報告書として公表した<sup>1)</sup>。

海難事故の再発防止には、周知啓発活動をおこなうことが重要であり<sup>2)</sup>、その際、ビデオ等の視覚情報を提示することで効果的な周知啓発活動を行うことが出来ると考えられる。

そこで、A丸事故の発生状況及び事故の教訓を視覚情報化するために、運輸安全委員会の報告書に基づき、A丸が転覆に至る過程等をCGで再現することを試みた。

作成したCGの概要は以下のとおりである。

#### ①ケース1 (クレーン振り出し) (図2)

重量4.5tfの漁獲物を前甲板上に高さ1.5mで搭載した状態で横波を受けながら航行中、同調横揺が発生し、後部甲板の乗組員がバランスを崩して片舷に移動(乗組員重心移動距離0.9m)したところ、クレーン振り出しに伴い重心が上昇していたことから、乗組員移動直後に転覆する。

#### ②ケース2 (クレーン格納)

上記と同様の状況において、クレーンが低く格納されている場合は、乗組員が移動しても、転覆には至らない。

なお、作成したCGについては当所のホームページ (<http://www.nmri.go.jp/main/news/press/content/kainan-center/hotate/hotate.html>) で公開するとともに、海上保安庁からの啓発活動に使用したいとの要請に対し、提供を行ったところである。

## 5. おわりに

当所が行った転覆事故解析例として、平成20年4月に転覆・沈没した小型漁船について、事故発生時の復原性を推定した結果や転覆に至る大傾斜を引き起こした外力を検討した結果について概説するとともに、事故の発生状況及び事故の教訓の視覚情報化のために作成した、本船が転覆に至る過程等を再現したCGについて紹介した。

海難事故に対する国における事故原因の究明と再発防止策の立案を支援することは、当所の責務の一つであり、今後も引き続き、的確な解析を実施するよう努めていくこととしている。

## 謝 辞

本報告は、国土交通省運輸安全委員会よりの当所請負解析調査の一環として実施した作業の一部をとりまとめたものであり、ご指導を頂いた運輸安全委員会各位に深く謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書、MA2009-6(2009)
- 2) 国土交通省海事局：漁船「第五龍寶丸」事故再発防止検討会報告書(2001)

