



Title	小型漁船第三新生丸の衝突転覆事故の検証
Author(s)	芳村, 康男; Yoshimura, Yasuo; 矢吹, 英雄 他
Citation	日本航海学会論文集, 118, 107-113
Issue Date	2008-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/43858
Rights	©日本航海学会
Type	journal article
File Information	yoshimura_118.pdf



小型漁船第三新生丸の衝突転覆事故の検証

芳村 康男*・矢吹 英雄**・横尾 泰宜***・川島 敏彦****

Analysis on the Capsizing Accident of the Small Fishing Boat “Sinsei-Maru No.3”

Yasuo YOSHIMURA, Hideo YABUKI,
Yasunori YOKOO and Toshihiko KAWASHIMA

Abstract

In 2005, small fishing boat “Shinsei-maru No.3” was discovered at the off Cape Nosappu under the capsized condition, without being rescued until that time. From this accident, seven crew were lost. According to the official report of the Marine Accident Inquiry Agency, the fishing boat was returning to her home port Hanasaki, and met the container ship that was cruising from North America to Pusan and Hong-Kong. The collision was caused as the followings. The fishing boat was under crossing condition in front of the container ship from the left side of the container ship, but did not alter the course. Meanwhile, the container ship did not sound the warning signal to the fishing boat. Then, the fishing boat collided at the port-side bow of the container ship, and then capsized. In this paper, the physical mechanism that caused the capsizing of the fishing boat is investigated based upon the experimental model tests and manoeuvring simulations. Also, the investigation about the ship handling of the container ship is done for the prevention of such capsizing.

Keywords : Collision, Capsizing, Fishing boat, Container ship, Experimental model test, Simulation

キーワード : 衝突、転覆、漁船、コンテナ船、模型試験、シミュレーション

1. はじめに

平成17年9月28日未明、北海道根室市納沙布岬沖合の公海上において、小型漁船第三新生丸が大型コンテナ船ジムアジア号に衝突して転覆。直ちに救助されることなく朝になって転覆した状態で発見されるに至り、乗組員1名が救助されたものの、7名が犠牲となる痛ましい事故が発生した。事故は漁船が操業を終え根室市花咲港へ向け帰航中、北米航路をアジア諸国に向け航行するコンテナ船の進路を左方から横切るような状況になり、漁船がコンテナ船の左舷船首部に衝突したことによって起きた。第三新生丸は全長22.4m、総トン数19トンのサンマ棒受け網漁船であり、事故当時、約10knotで針路299°

に航行していた。対するジムアジア号は全長253m、総トン数41,507トンの大型コンテナ船であり、約20knotで針路229°で航行していた。この事故の海難審判は既に結審し、裁決が下っている⁽¹⁾。それによると、漁船が前路を左方に横切るコンテナ船の進路を避けなかったことにより発生したが、コンテナ船は警告信号を行わず、衝突を避けるための協力動作をとらなかったことも一因としている。

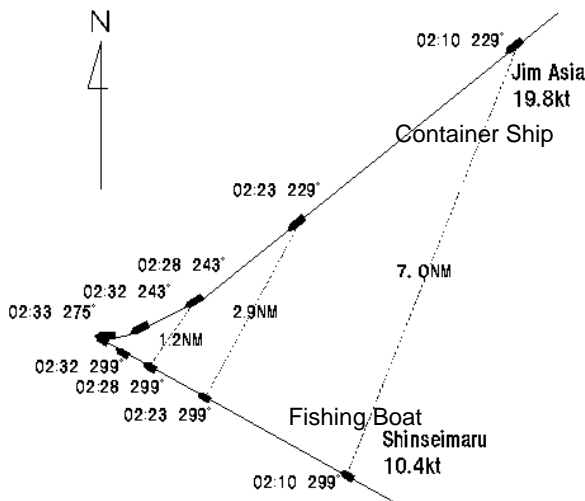
本論では、コンテナ船と衝突した漁船がどのようなメカニズムで転覆したか、また転覆に至った物理的条件などを模型実験とシミュレーションで明らかにし、こうした事故の再発防止に役立てるものである。

* 正会員 北海道大学大学院水産科学研究院 (〒041-8611 北海道函館市港町3-1-1) y-yoshi@fish.hokudai.ac.jp

** 正会員 東京海洋大学海洋工学部 yabuki@kaiyodai.ac.jp

*** 非会員 北海道大学大学院経済学研究科 (研究当時 北海道大学水産学部)

****非会員 (独)水産総合研究センター水産工学研究所 kawa@affrc.go.jp

Fig.1 Ship trajectories before the collision¹⁾

2. 転覆原因の推定

平成17年9月28日午前6時頃、納沙布岬の南東約40kmのロシア主張水域で漁船が転覆しているとの連絡が根室海上保安部に入った。同保安部の巡視船が現場に向かい、転覆したのは根室・落石漁協所属のサンマ棒受け網漁船第三新生丸と確認され、生存者1名が救出されたものの、残り7名は遺体で発見された。当時の海象は南南西の風4m/s、波は1~2m程度で、波浪等で転覆する状況ではなかった。

転覆した状態の第三新生丸の右舷船首付近のチェーンに長さ1m程度の亀裂もしくは擦過痕が認められたことから、同船が何かに衝突したことが伺われた。現場周辺は北米航路に位置し、大型貨物船が頻繁に行き交う海域である。海上保安庁は当時現場付近を航行していた貨物船の内、異常な針路変更を行った大型コンテナ船ジムアジア号を絞り込み、同船の寄港先の釜山港で調査を行った結果、左舷船首付近と船尾付近に第三新生丸と衝突した痕跡が見つかり、同船と衝突したことが明らかになった。

これらの結果から、著者の一人は転覆に至った原因を次のように分析した。

漁を終え花咲港に向かっていた漁船が、北米航路を南下していたコンテナ船の左舷前方に接近した。

コンテナ船は前方左舷側に近づく上記の漁船あるいは他の漁船を避けるために、右回頭を開始した。

コンテナ船の右回頭中、コンテナ船の船首左舷に漁船が衝突あるいは接触した。

漁船はこの衝突で転覆することはなかったが、右旋回中のコンテナ船に押しつけられる状態で

コンテナ船左舷側壁を擦りながら通過した。

しかし、漁船がコンテナ船の船尾に至り、コンテナ船の船尾オーバーハングの下に押しつけられて漁船が転覆した。

この推定結果は、NHK、あるいは共同通信社を通じて多くの報道機関で報道された⁽²⁾。またこの推定は生存者の証言「衝激に続いて引きずられるような感覚があり、その後転覆した」にも概ね合致していた。また、この事故の翌年の2月、根室海上保安部が公表した衝突・転覆の原因もほぼ上記と同様な見解であった⁽³⁾。

3. 模型実験

前述の転覆に至る物理的条件が正しいかを検証するために模型実験やシミュレーション計算で確認した。まず、模型実験で船首に衝突した漁船がどの程度のコンテナ船の旋回状態で転覆するかを調べることにした。

3.1 模型船

模型実験におけるジムアジア号には実船要目がほぼ同型の1/75.5スケール(垂線間長約3m)のKCS模型船⁽⁴⁾を使用した。第三新生丸の漁船模型は同一スケールの発泡ウレタンで製作し、GMを実船で0.8mになるよう設定した。ただし、模型船の寸法が小さく、また乾舷を含む漁船上部構造が乾燥した状態と水に濡れた状態でGMがやや異なるので、実験では全て濡れた状態で行った。また、転覆までの広範なGZ曲線を相似にする必要があるが、第三新生丸は19トンの小型漁船であることから、こうした詳細な復原性資料はなく、模型船の消失角はやや大目の90°に設定した。なお、サンマ棒受け漁船の特徴を表すため、針金を甲板上の両舷に張り出した。両船の主要目をTable 1に示す。また、模型船の写真をFig.2に示す。

Table 1 Principal particulars of model ships

Scale	Container Ship		Fishing Boat	
	full scale	model 1/75.5	full scale	model 1/75.5
L_{al} (m)			22.35	0.2960
L_{pp} (m)	230.0	3.0464		
B (m)	32.2	0.4265	4.10	0.0543
d (m)	10.8	0.1430	1.00	0.0132
d (m ³)	52,032	0.1209	64.6	0.00015
GM (m)			0.800	0.0106
D_p (m)	7.9	0.1046		
P/D_p		0.9967		
D_p/H		0.7979		
A_R/L_d	1/54.856			
aspect r.		2.164		

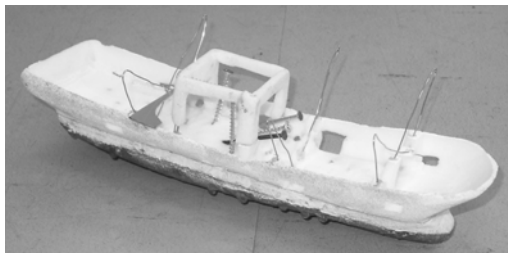


Fig.2 Ship models for the experiment

3.2 実験方法

既に述べたとおり、漁船は衝突後、コンテナ船に引きずられた状態の後に転覆している。コンテナ船は既に右旋回状態に入っており、コンテナ船の旋回によるキックに巻き込まれて転覆したと想定し、このコンテナ船の旋回によるキックを単純な斜航角に置き換え、どのような条件でコンテナ船船首付近に衝突した漁船が転覆に至るかを調査した。実験は模型船を角水槽などで自由航走させて衝突させることが考えられるが、実験が大がかりになることや衝突の条件などを正確に設定することが困難である。そこで、Fig.3 に示すように回流水槽でコンテナ船模型

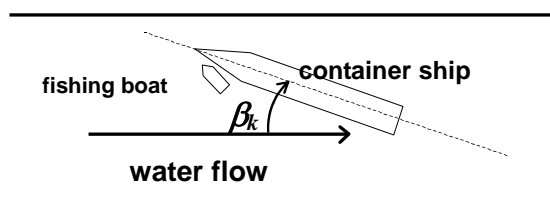


Fig.3 Arrangement of the experiment

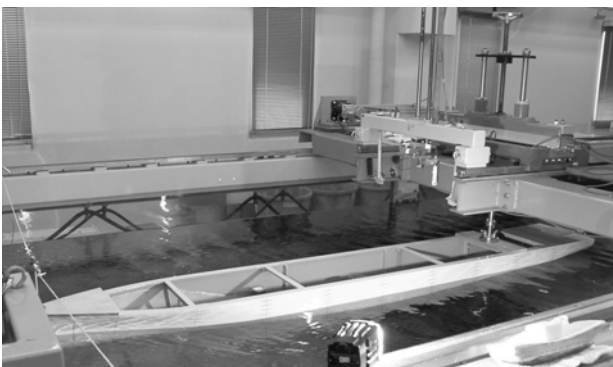


Fig.4 Container ship model in the circular water channel

を所定の斜航角 β_k で固定し、コンテナ船模型の左舷側船首付近に漁船模型を衝突させ、漁船が転覆する斜航角と船速を求めた。模型実験は水産工学研究所の回流水槽(観測部:長さ8.0m×幅2.8m×深さ1.4m)を使用した。

コンテナ船模型を船尾と船首の二箇所で固定した。船尾は船の前後・左右を拘束するが、回転可能でその角度が読み取れる治具を用いた。船首の拘束点は左右をロープの長さを調整して拘束し、船体を回転させ斜航角を調節した。Fig.4に回流水槽に取り付けたコンテナ船の模型を示す。回流水槽の流速はフルード則で実船15knot、20knot相当の流速(回流水槽の流速をそれぞれ0.88m/s、1.184m/s)に設定し、Fig.3のように漁船模型の右舷船首がコンテナ船模型の左舷船首に手で衝突させ、その後の漁船模型の運動をビデオカメラで撮影した。コンテナ船模型の斜航角は 0° から 25° の範囲で適宜変化させ、各流速において漁船がどの斜航角で転覆するかを計測した。漁船が転覆する付近の斜航角は 0.5° 程度に細かく変化させ、転覆する斜航角を特定した。なお本実験では漁船の転覆条件を調べることにあり、漁船模型に推進器・舵は装備していない。

3.3 実験結果

コンテナ船が直進状態(斜航角 $\beta_k=0^\circ$)においては、Fig.5に示すように、コンテナ船の左舷船首に衝突した漁船はコンテナ船から離れて行き、漁船は転覆することはない。

コンテナ船の船速が15knot相当では、斜航角が増加するにつれ、漁船はコンテナ船の左舷に接触しながら船尾に移動するが、斜航角が 20° までは転覆することはない。斜航角が 23.5° になると、5回の試験に対して1回の割合で転覆しはじめ、 24° では確実にコンテナ船の船尾で転覆する結果となった。

コンテナ船の船速が20knot相当の実験では、斜航角が 15° までは漁船が転覆することなく、斜航角が 16.5° になって、5回中1回の割合で転覆し、 17° では確実にコンテナ船の船尾で転覆することが判明した。この実験の様子をFig.6に示す。コンテナ船の船首左舷付近に衝突した漁船は、コンテナ船の左舷舷側に押しつけられた状態で船尾側に移動し、その後、コンテナ船の船尾オーバーハングの下面に潜るような状態で漁船が転覆する。なお、Fig.5、6の各図の右側に表示した時刻は、漁船がコンテナ船の船首に衝突した後の経過時間を実船スケールに換算して示す(模型試験の $\sqrt{75.5}$ 倍の時間)。

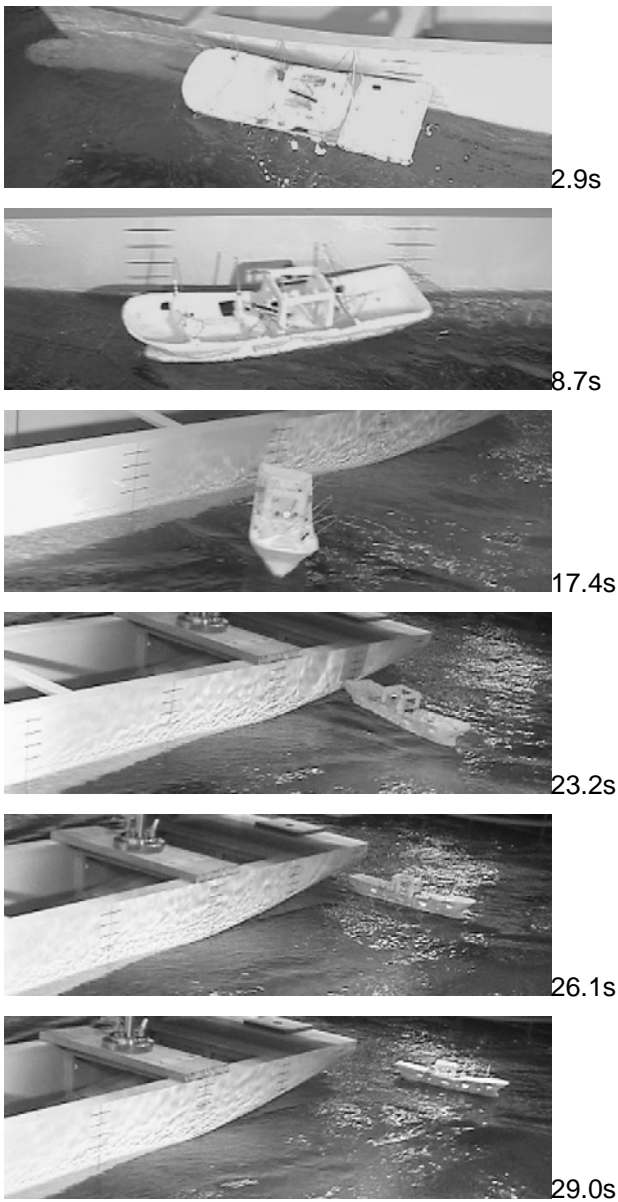


Fig.5 Experiment of non-capsizing condition ($U=20$ knots, $\beta_k=0$ deg.)

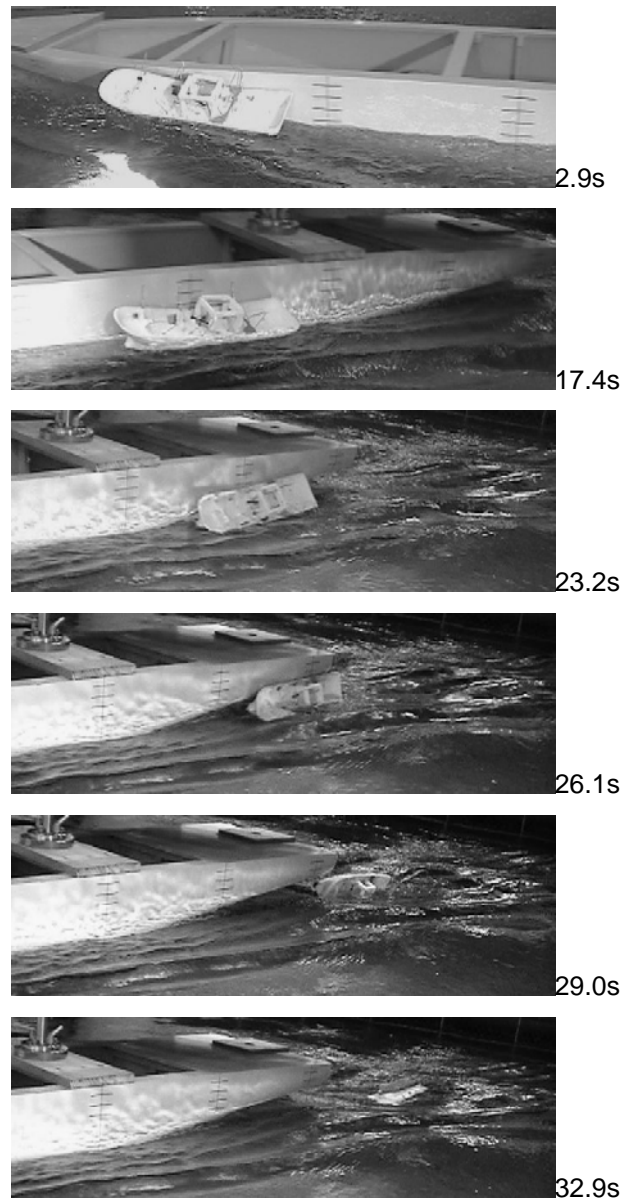


Fig.6 Experiment of capsizing condition ($U=20$ knots, $\beta_k=17$ deg.)

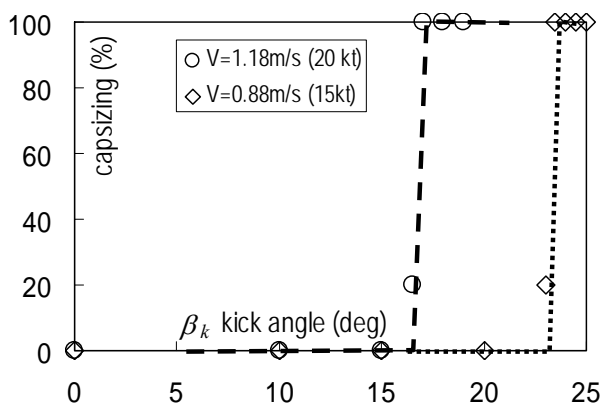


Fig.7 Probability of capsizing of the fishing boat against the kick angle of Container ship.

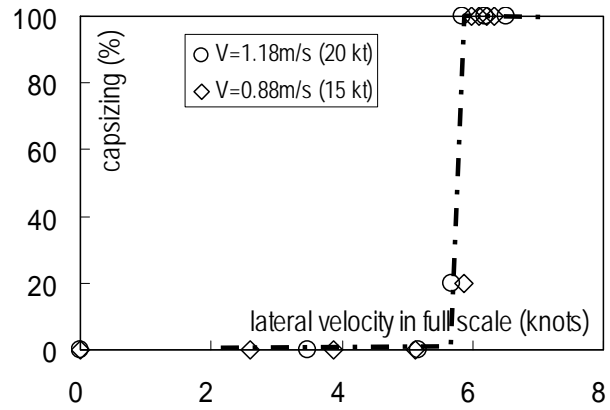


Fig.8 Probability of capsizing of the fishing boat against the lateral velocity at AP of Container ship.

以上の実験結果を Fig.7 に要約する。横軸はコンテナ船の斜航角、すなわち船尾のキック角度に対応する。漁船が転覆するキック角度は船速によって異なる。ここで、コンテナ船船尾における横流れ速度は $U \sin \beta_k$ となるので、これをコンテナ船の実船速度に換算し、この速度に対して上記の漁船が転覆する確率を表示すると、コンテナ船の船速が異なっても、船尾の横流れ速度が実船換算で 5.9knot を超えると漁船が転覆することが明らかになった。

4. 操縦シミュレーション

前述のとおり、模型実験で漁船が転覆する条件が求められたが、コンテナ船が衝突時のような旋回運動にあったのかを数値シミュレーションで検討する。

4.1 操縦運動の数学モデル

コンテナ船の操縦運動の数学モデルは、文献(5)を踏襲して(4.1)~(4.6)式に示す。座標系は Fig.9 に示すとおりで、流体力は全て船体中央にて表現する。

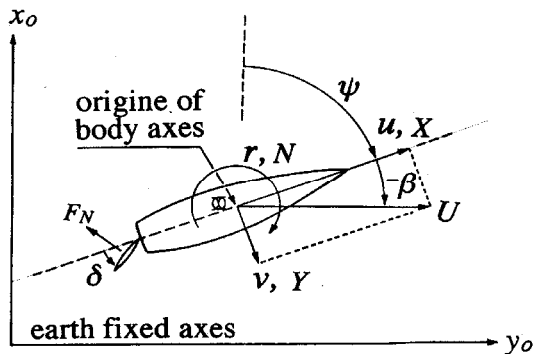


Fig.9 Co-ordinate system

(1) 運動方程式：

$$\left. \begin{aligned} m\dot{u}_G - mv_G r &= X \\ m\dot{v}_G + mu_G r &= Y \\ I_{zz}\dot{r} &= N - x_G Y \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

ただし、 m は船の質量、 I_{zz} は旋回運動の慣性二次モーメントであり、 u_G, v_G は船の重心の運動、また X, Y, N は流体力(船体中央を原点、 x_G :重心座標)を表す。

(2) 流体力：

流体力は、MMGの考え方に従い、船体・プロペラ・舵にそれぞれ分離して表す。すなわち、

$$\left. \begin{aligned} X &= X_H + X_P + X_R \\ Y &= Y_H + Y_R \\ N &= N_H + N_R \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

i) 主船体流体力

船体中央の斜航角 $\beta = -\sin^{-1}(v/U)$ と無次元旋回角速度 $r' = r(L/U)$ の多項式で表現する。

$$\left. \begin{aligned} X_H &= -m_x \dot{u} + (\rho/2)LdU^2 \\ &\quad \times \{X'_0 + X'_{\beta\beta}\beta^2 + (X'_{\beta r} - m'_y)r' + X'_{rr}r'^2 + X'_{\beta\beta\beta}\beta^3\} \\ Y_H &= -m_y \dot{v} + (\rho/2)LdU^2 \\ &\quad \times \{Y'_\beta\beta + (Y'_r - m'_x)r' + Y'_{\beta\beta}\beta^2 + Y'_{\beta r}r' + Y'_{\beta r r'}r'^2 + Y'_{r r r'}r'^3\} \\ N_H &= -J_{zz}\dot{r} + (\rho/2)L^2dU^2 \\ &\quad \times \{N'_\beta\beta + N'_r r' + N'_{\beta\beta}\beta^2 + N'_{\beta r}r' + N'_{\beta r r'}r'^2 + N'_{r r r'}r'^3\} \end{aligned} \right\} \quad (4.3)$$

ただし、 ρ : 海水の密度、 L : 垂線間長
 d : 喫水、 U : 船速

ii) プロペラの力

$$X_P = (1-t)\rho K_T D_p^4 n^2 \quad (4.4)$$

ただし、 D_p : プロペラ直径
 n : プロペラ回転数

$$K_T = a_0 + a_1 J + a_2 J^2$$

iii) 舵の力

$$\left. \begin{aligned} X_R &= -(1-t_R)F_N \sin \delta \\ Y_R &= -(1+a_H)F_N \cos \delta \\ N_R &= -(x_R + a_H x_H)F_N \cos \delta \end{aligned} \right\} \quad (4.5)$$

ただし、

$$\begin{aligned} F_N &= \frac{\rho}{2} A_R f_a U_R^2 \sin \alpha_R \\ \alpha_R &= \delta - \gamma_R (\beta - l'_R r') / u_R \\ u_R &= \varepsilon (1-w) u \sqrt{\eta \left\{ 1 + \kappa \left(\sqrt{1 + 8K_T / \pi J^2} - 1 \right) \right\}^2 + (1-\eta)} \end{aligned} \quad (4.6)$$

4.2 コンテナ船の操縦流体力

コンテナ船の操縦流体力は、Table 1 に示した模型船を用いて(独)海上技術安全研究所の海洋水槽のCMTで計測した。同時に、通常の抵抗・自航試験も行った。これらの試験から得られた各種の流体力係数の内、全抵抗係数は二次元外挿法、また(1-w)の自航要素は1978年のITTCの修正方法に従って実船相当にスケールアップした。シミュレーションに使用した種々の流体力係数、流体微係数をTable 2に示す。また、舵の有効伴流係数は著者の一人の方法⁽⁶⁾に従ってスケールアップした。また、操舵機の数学モデルは次式とした。

$$\dot{\delta} = \begin{cases} (\delta^* - \delta)/T_E, & |(\delta^* - \delta)/T_E| < \dot{\delta}_{\max} \\ \text{sign}(\delta^* - \delta)\dot{\delta}_{\max}, & |(\delta^* - \delta)/T_E| > \dot{\delta}_{\max} \end{cases} \quad (4.7)$$

最大操舵速度 $\dot{\delta}_{\max}$ は SOLAS の規則により(65° / 28 sec) 以上が要求されているので、 $\dot{\delta}_{\max} = 2.5^\circ / \text{sec}$ 、また操舵機の時定数は $T_E = 2 \text{sec}$ とした。なお、船尾のキック角度は $\beta_k = \beta + 0.5r'$ となる。

Table 2 Hydro-dynamic force derivatives in the mathematical models of the container ship

$X'_{\dot{\theta}}$	-0.00852	Y'_{β}	0.2251	N'_{β}	0.1110
$X'_{\beta\beta}$	-0.05511	$Y'_{r-m'_x}$	0.0536	N'_r	-0.0465
$X'_{\beta r-m'_y}$	-0.1079	$Y'_{\beta\beta\beta}$	1.7168	$N'_{\beta\beta\beta}$	0.1754
X'_{rr}	-0.0119	$Y'_{\beta\beta r}$	-0.4799	$N'_{\beta\beta r}$	-0.6155
$X'_{\beta\beta\beta}$	-0.0392	$Y'_{\beta r r}$	0.8301	$N'_{\beta r r}$	0.0503
		$Y'_{r r r}$	-0.0041	$N'_{r r r}$	-0.0382
ε	0.956	κ	0.633	l'_R	-0.755
$1-t_R$	0.741	a_H	0.360	x''_H	-0.436
$1-t$	0.796	$1-w$	0.712	γ_R	0.492
a_0	0.5228	a_1	-0.4390	a_2	-0.0609

4.3 衝突までのコンテナ船の操縦運動とキック角度の推定

海難審判裁決録によれば衝突直前、コンテナ船が舵角 30°で針路 243°から右旋回し 275°に向首した時、299°の針路で直進してきた漁船と衝突したとある。これに基づき、コンテナ船が船速 20knot、右舵角 30°の発令時点から 275°に変針するまでの操縦運動をシミュレーション計算した。その結果を Fig.10 に示す。これより、コンテナ船が右舵発令後、針路が 243°から 275°に変針する時間は 52.5 秒であり、この時の船尾キック角度は既に 20.9°に発達している。漁船がコンテナ船の船尾に達するには更に 30 秒程度後になることからキック角度は 24°程度に達する。この結果は前述の模型試験による 20knot の転覆のキック角度である 17°を超えており、転覆に至る条件が揃っていたことがこの計算結果から確認できる。

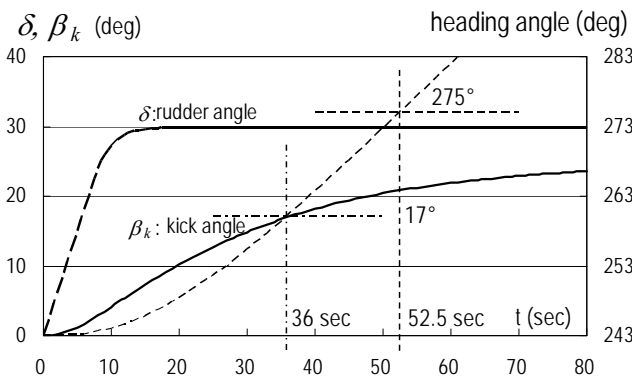


Fig.10 Simulated kick angle at AP of the container ship.

4.4 船首衝突直後に舵を反転した場合

コンテナ船の航海士が、もし漁船の存在を認識していたと仮定した場合、船首の漁船を船尾で巻き込まないように、他船の舷側方向（この場合は漁船側）に舵を取る操舵方法が良く知られている。この操舵方法が有効であったかを確認するため、船首での衝突の直後に hard port を発令した場合のシミュレーションの結果を Fig.11 に示す。船尾のキック角度は転舵後から減少し、漁船が船尾に到達するであろう 30 秒後には 10°以下となり、漁船の転覆が避けられた可能性のあることが確認できる。

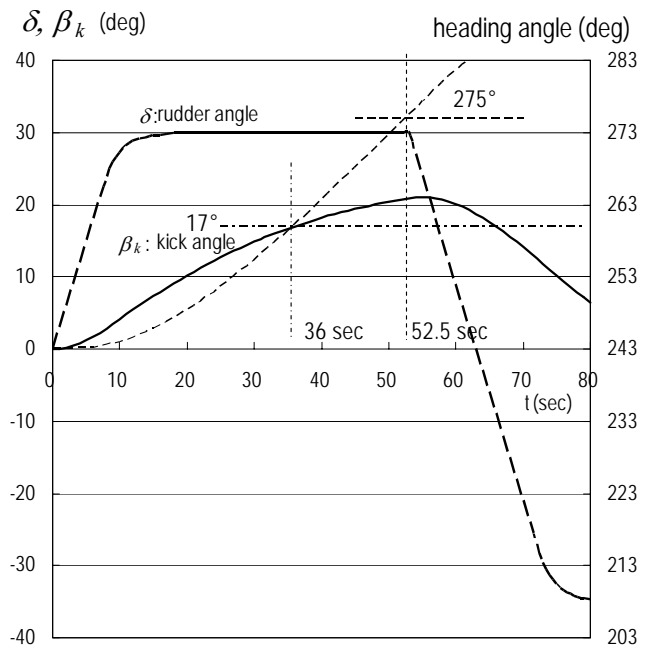


Fig.11 Simulated kick angle at AP of the container ship. (Rudder angle is turn to hard port after the collision)

5. おわりに

小型漁船第三新生丸がコンテナ船と接触・衝突後、コンテナ船の右旋回のキックによって転覆したと仮定した場合、その仮定の合理性について模型実験と操縦シミュレーションで検討を行った。本研究の主な結論を以下に要約する。

1. 回流水槽を用いた模型試験の結果、コンテナ船が直進状態においては、コンテナ船の左舷船首に衝突した漁船はコンテナ船から離れていき、漁船は転覆することはない。
2. コンテナ船の船速が 15knot では斜航角が 24°以上、20knot では 17°以上になると確実にコンテナ船の船尾で転覆する。これら結果から、コンテナ船の船速にかかわらず、船尾における横流れ速度が実船スケールで 5.9knot を超えると漁船が転覆する

ことが明らかになった。

3. コンテナ船の操縦シミュレーションの結果、コンテナ船が漁船と衝突した時点で船尾キック角度は既に 20.9°に発達し、漁船がコンテナ船の船尾に達した時には 24°近くになっており、転覆に至る条件が揃っていたことが確認できた。
4. コンテナ船が衝突の直後に漁船側(hard port)に転舵したと仮定した場合、漁船が船尾を通過する時点のキック角度は 10°以下となり、漁船の転覆は避けられた可能性がある。

参考文献

- (1) 横浜地方海難審判庁:漁船第三新生丸貨物船ジム アジア衝突事件(裁判), H18 年横審第 90 号, (2007)
- (2) 北海道新聞他:大型船と2度衝突, 2005年10月6日朝刊, (2005)
- (3) 朝日新聞:ジム号に気付かず衝突, 2006年2月3日朝刊, (2006)
- (4) The Manoeuvring Committee Final Report and Recommendations to the 24th ITTC, 24th ITTC, 1:pp137-198, (2005).
- (5) 芳村康男・馬 寧・鈴木四郎・梶原善之,バルジによる改造漁船船型の操縦性能,日本造船学会論文集, 192, pp37-46, (2002).
- (6) Yoshimura, Y, Ishii, M, Huang, T.F :Steering quality and Scale effect on it for 560,000 DWT ULCC, 関西造船協会誌, 183, pp19-27, (1981).

質疑応答

日當博喜 (海上保安大学校):

本件は、日本国内で大きな反響を呼ぶとともに日本とイスラエルの外交案件にまで発展した重要事件ですが、先生の検証実験の結果は、海上保安庁の見解、日本政府の見解、そして海難審判判決を裏付ける内容になっています。その意味で大変貴重な検証実験結果であると思います。ありがとうございました。

1) 検証実験は船速 15 ノット、20 ノット等で行ったようですが、この船速は転舵前の船速でしょうか、あるいは旋回中の船速でしょうか。

2) 船尾船型と転覆の関係についてお尋ねします。本件の場合、衝突船は大型コンテナ船で、船尾オーバーハングが転覆に影響したとのことですが、仮に衝突船が他の船型であった場合、同じように転覆は起こり得たでしょうか。検証実験の有無と先生のご意見をお聞かせ下さい。

芳村康男:

ご討論ありがとうございます。1)のご質問に対しては、コンテナ船が旋回すると船速低下が発生し、操舵直前は 20 ノットであっても、衝突の時点では 20 ノットを下回っていたと推測されます。コンテナ船の船尾のキック角度だけで転覆の判断を行うと、ご指摘のように船速が大変重要になってきます。本論では論旨を明確にする目的で、船尾のキック角度を取り扱いましたが、転覆の基本は船尾の横流れ速度に依存することから、検証実験では 20 ノットだけでなく 15 ノットの船速についても実施し、コンテナ船の船速にかかわらず、船尾の横流れ速度が 5.9knot を超えると漁船が転覆することを Fig.8 で明らかにしました。コンテナ船の旋回中のシミュレーションでは旋回運動だけでなく船速の変化も計算でき、船尾の横流れ速度が時々刻々求められるので、漁船の転覆条件をより正確に判断することができます。参考までに、Fig.10 に対応する横流れ速度の時間変化を Fig.12 に示します。操舵から 38.5 秒後に 5.9 ノット以上となり、転覆する条件に到達する時間は 1.5 秒程遅くなりますが、漁船が転覆するという結果には変わりありません。

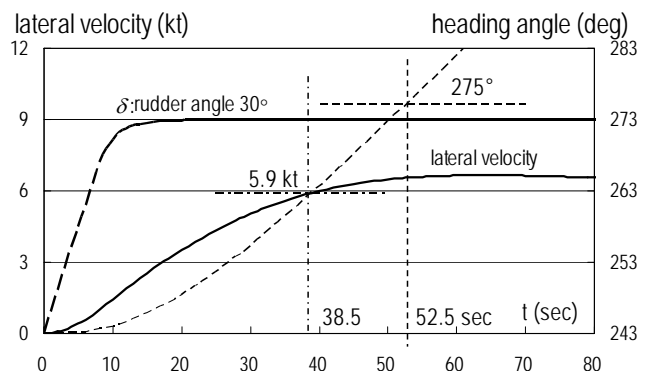


Fig.12 Simulated lateral velocity at AP of the container ship.

2)のご質問に対しては、コンテナ船の船尾オーバーハングが水面上で張り出す形状になっていることが今回の漁船転覆の大きな要因になっています。一般の貨物船ではこれほどの張り出しはなく、旋回のキックによる転覆は起こりにくいと思われませんが、バラスト状態などではコンテナ船の船尾オーバーハングに近い状態になり、載荷状態にも関係すると思われま。こうした船尾形状の違いについては、詳細な漁船の転覆モーメントの解析を含めて改めて試みたいと考えています。