

衝突海難時に船体に刻まれる傷の形状等に関する研究—第1報 半滑走型高速船の衝突・乗揚げ実験—

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2023-03-17 キーワード (Ja): キーワード (En): Ship Collision, Scratches on a Ship, Model Collision Test, High Speed Ship 作成者: 中山, 喜之, 細川, 魁, 伊藤, 維哉, HOSOKAWA, Kai, ITO, Masaya メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.15053/0000000040

【論文】

衝突海難時に船体に刻まれる傷の形状等に関する研究 —第1報 半滑走型高速船の衝突・乗揚げ実験—

中山 喜之¹ 細川 魁² 伊藤 維哉²

A Study on Shapes of Scratches on a Ship Damaged in Ship Collision —1st Report; A Collision Test on Semi-Displacement Typed High Speed Ship Model—

Yoshiyuki Nakayama¹, Kai Hosokawa² and Masaya Ito²

Abstract

In case of criminal investigation for ship collision, it is important to determine the situations at the time of the accident such as colliding and collided ship's courses, speeds, and crossing angle between both ship's courses in the accident. Those situations in the accident can be estimated empirically based on shapes of scratches on a ship damaged in the collision, but, the empirical method have little scientific basis. So, in this study, shapes of scratches on a ship damaged in ship collision are discussed scientifically and model test results of those scratches on a ship are presented. Studied ship is semi-displacement typed high speed ship model. Variables of the model test are ship speed, crossing angle between both ship's courses and condition of collided ship (free or fixed motion). In the future, we would like to clarify the mechanism of ship collision and contribute to criminal investigations for ship collision.

Keywords: Ship Collision, Scratches on a Ship, Model Collision Test, High Speed Ship

1 緒言

我が国で発生する船舶事故の主たる種別の一つとして衝突海難がある。海上保安庁¹⁾によると、2018年の船舶事故（アクシデント）隻数（計1,896隻）の内、458隻が衝突による事故であり、全体の約24%と高い割合を占めている。船舶の衝突事故の特徴として、

- 衝突した船舶に乗船していた者が、衝突時の衝撃により海に投げ出され、そのまま行方不明、または死亡してしまう場合があること。
- 陸岸から遠く離れた洋上において発生した衝突事故の場合、その事故を目撃した第三者が居ることは稀であること。
- 洋上での事故であるが故に、自動車事故の現場に残されるブレーキ痕のような客観的な証拠が現場に残ることはほぼ無いこと。また、陸上のように、防犯カメラ等により映像が常時記録されている海域は少ないこと。

などが挙げられる。衝突事故に関わった者が全員生存し

ている場合であれば、それら関係者から事情聴取を行うことにより、その事故の状況を特定することはそれほど困難ではないが、例えば操船者等その事故の発生に深く関わった者が死亡している場合については、事故に至る詳細を検証できないことがあるため、その状況の特定は非常に難しくなる。昨今、プレジャーボート等の小型船舶においてもGPSプロッター等の測位装置が備え付けられていることが多いが、その船位記録の時間間隔については数秒～数分程度に設定されている場合も多い。それゆえ、その船位記録から衝突に至るまでのおよその航跡については特定できるが、衝突の瞬間の状況までを再現することには自ずと限界がある。

上記のように、事故の発生に深く関わった者が死亡している場合など、その事故状況の特定が困難となる場合については、船舶衝突事故を専門に取り扱う調査官等による経験的手法により、衝突状況の推定が行われているというのが現状である。具体的には、船舶の構造物の壊れ方や、船体に付いた擦過傷や破口の大きさ・角度等に

Received November 13, 2020

¹ 海上保安大学校 y-nakayama@jcga.ac.jp

² 海上保安大学校

について検証し、事故に関わった生存者が居る場合はその供述と照らし合わせ、また、GPS等の測位装置の記録があればその記録との整合性を確認することで、おおよその衝突状況を推定するという手法が一般的である。しかし、重大な事故や社会的な関心が高い事故でない限り、この経験的手法に併せて実際の衝突状況を再現する実証実験が行われることはほとんどないため、その手法の妥当性を裏付け、さらには補強するための客観的・科学的根拠や実験結果の蓄積が望まれている。

船舶の衝突に関する研究は、Minorsky²⁾の研究を端緒とし、主に船舶の構造・強度の分野で発展してきた。我が国でも、安藤等³⁾、遠藤等⁴⁾をはじめとする多くの研究者が、衝突時の船体の破壊や吸収エネルギーについて研究を行っているものの、上記のように船体の破壊の状況から逆算して両船の運動状態（衝突状況）を推定するといったことに焦点を当てた研究はほとんど行われていないというのが現状である。一方、船舶の衝突に関する模型実験については、翁長等⁵⁾及び庄司等⁶⁾の研究がある。いずれも衝突に関する模型実験を実施した貴重な例ではあるが、模型船同士の衝突について強制的に非弾性衝突となるよう設定していたり、一方の模型船の運動を拘束していたりと、実現象における衝突とは幾分異なる状況での結果である点に注意が必要である。

以上を踏まえ、本研究では、船舶の衝突に関する実験結果の蓄積のため、第1報として、半滑走型高速船の模型船を対象とし、自由航走状態の同船と漂泊状態（または固定状態）の他船とによる衝突・乗揚げ実験を実施し、衝突時に船体に刻まれる傷の計測手法を含めて、その実験手法について検討すること、さらに、その実験結果から、衝突時に船体に刻まれる傷の形状等に関する傾向や特性を把握することを目的とする。なお、実験のパラメータは、船速、衝突角、衝突・乗揚げされる側の船舶の状態（漂泊か固定か）とした。衝突時の船体の姿勢の影響等まだ考慮すべきパラメータは存在するが、現時点で得られた知見等について報告する。

2 模型船による衝突実験の概要

船舶の衝突を伴う模型実験については、曳航電車や計測機器の損傷が懸念されるため、曳航水槽を用いた拘束模型試験の要領で行うことは一般的に困難である（上記の庄司等の研究は例外）。よって、同実験については、大型の角水槽を用いて実施する自由航走模型試験の要領で行うことが望ましい。しかし、本研究では上記の通り実験において変化させるパラメータは限定的であり、衝突時に模型船に刻まれる傷の形状等に関する傾向や特性について把握することが主目的であるため、今回は大型角水槽での精密な実験は行わず、海上保安大学校が所有する訓練用プール（長さ25.0m、幅14.0m、深さ1.5m）

及び小型水槽（長さ6.0m、幅2.5m、深さ0.8m）にて模型船による衝突実験を行うこととした。水槽寸法の制約上、実験で使用する模型船については、市販のRCボートを採用することとし、自由航走状態の船をもう一方の漂泊状態（または固定状態）の船に衝突・乗揚げさせ、その際に両船に刻まれる傷について計測を行うという要領で実験を行った。なお、訓練用プールでは模型船の速力試験や衝突にかかる基礎実験を、小型水槽では実際の衝突実験及びその際に模型船に刻まれる傷の計測について実施した。以後、本論文では、便宜上、自船の正船首から相手船に衝突した側の船舶を衝突船、衝突船により自船の舷側等に衝突された側の船舶を被衝突船として定義する。

2.1 対象船

半滑走型高速船が他船に衝突し、そのまま乗揚げられる場合の傷について計測するため、自由航走状態にて相手船に衝突する衝突船として、プレジャーボート型RCボート（MAJESTY600：KYOSYO製）を採用した。その主要目を表1に、船体側面外観を図2に示す。なお、同船は、無線のコントローラにより、任意に速力・舵角の変更が可能となっている。

一方、漂泊状態（または固定状態）にて相手船から衝突される被衝突船としては、レースボート型RCボート（JETSTREAM888VE：KYOSYO製）を採用した。その主要目を表1に、船体側面外観を図3に示す。図3からわかるように、同船の前部デッキ上には構造物がないため、その部分に衝突船を衝突させることで、構造物その他の影響が混入しない単純な衝突の状況について分析することが可能となると考え、同船を被衝突船として選んだ。なお、衝突部位の乾舷（水面からの高さ）が一定となるよう、ウェイトにより同船のヒール及びトリムについて調整した（衝突時の傷に含まれるであろう船体姿勢の影響を排除するため）。ウェイトの搭載状況及び被衝突船の衝突部位の状況について図4,5に示す（同図で船首部に巻かれている紙は被衝突船側の傷を記録するための撥水紙である）。

2.2 実験条件

実験時に変化させる条件として、まず、衝突船の船速については、フルード数： $Fn=0.30, 0.43, 0.55$ の3パターンを選んだ。これは表2に示す通り、実船換算で8～15ノット程度の船速に相当する。実験を行うに先立ち、海上保安庁から過去の衝突事件に関する捜査資料⁷⁾を入手し、どのような状況での衝突事故が多いか調査した結果、実際の衝突事故は衝突船の船速が10ノット前後の状況で多く発生していたことから、上記の船速を採用することとした。

表1 衝突船及び被衝突船の主要目

	衝突船 (プレジャーボート型)	被衝突船 (レースボート型)	
船長 [m]	0.600	0.800	
船幅 [m]	0.168	0.190	
深さ [m]	0.090	0.065	
排水量 [kg]	1.25	1.31 (ウェイト無)	3.41 (ウェイト有)



図2 衝突船(プレジャーボート型)の船体側面外観



図3 被衝突船(レースボート型)の船体側面外観

図4 被衝突船(レースボート型)のウェイト搭載状況
(0.5kgのウェイトを船首部に2つ、船尾部に1つ搭載、
船内船底部にも0.6kgのウェイトを1つ搭載:計2.1kg)

図5 被衝突船(レースボート型)の衝突部位(拡大)

次に、実験時の衝突船の針路(船首方位)と被衝突船の針路(船首方位)との交差角、いわゆる衝突角については、水槽寸法の制約上の問題及び上記捜査資料に基づく実際の衝突事故に関する分析結果から、60°、90°、120°の3パターンとした(その状況の模式図について、図6～8に示す)。

表2 実験時の衝突船の船速 (L: 船長)

	換算船速[ノット]	
フルード数 (Fn)	模型船 (L=0.6m)	実船 (L=20m)
0.30	1.4	8.2
0.43	2.0	11.7
0.55	2.6	15.0

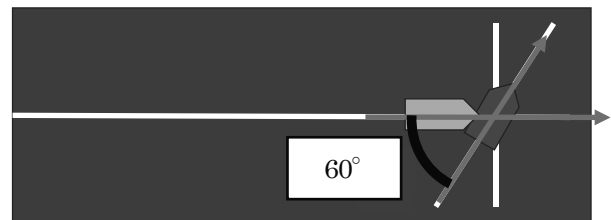


図6 衝突角60°における実験状況の模式図

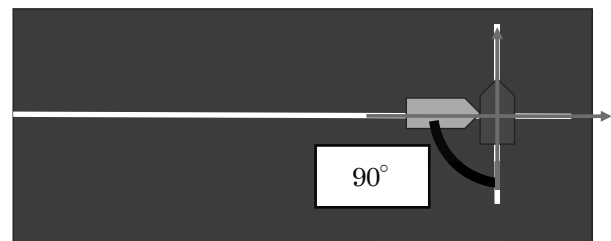


図7 衝突角90°における実験状況の模式図

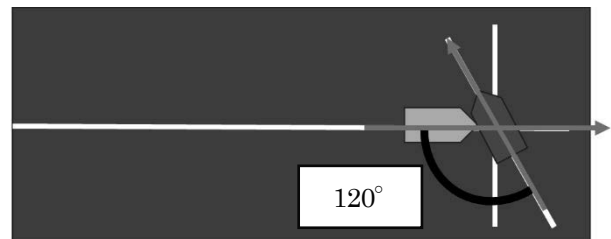


図8 衝突角120°における実験状況の模式図

最後に、被衝突船の運動の自由度の違いが衝突時に両船の船体に刻まれる傷に及ぼす影響について確認するため、衝突時の被衝突船の状態については、漂泊状態及び固定状態の2つの状態を設定した。ここで、漂泊状態とは、実際の船の漂泊状態と同様、被衝突船の運動が完全に自由である状態を意味する。よって、衝突船が衝突することにより、被衝突船にはその衝突力に応じた並進運動(例えば横移動)や回転運動(例えば回頭運動)が生じる。一方、固定状態とは、治具等を使用することで被衝突船の運動を強制的に完全固定した状態を意味し、それゆえ、衝突船が衝突する前後において、被衝突船には全く運動が生じない。このように被衝突船の状態を設定することは、言い換えれば、漂泊状態の実験については、満載状態の漁船のような乾舷の小さい船舶またはカキ筏等の浮遊構造物と衝突した場合を想定しているこ

ととなり、固定状態の実験については、自船と衝突しても微動だにしないような大型浮体や岩などの固定障害物との衝突を想定していることに相当する。なお、全ての実験において、漂泊状態・固定状態に関わらず、被衝突船の衝突部位（図5に示す撥水紙が巻き付けてある部分）の乾舷は0.025mで一定とした。これは、船速によって異なるが、航走状態における衝突船の船首端の水面からの高さのおよそ半分程度に相当する高さである。

2.3 計測項目及び計測要領

前節で示した各種の実験条件において両船を衝突させ、その際に船体に刻まれる傷について計測を行うということが本実験の目的である。しかし、実験毎に模型船に大きな傷が付いてしまえば、その後の実験に支障が出ることは容易に想像がつく（船底に付いた傷により運動性能が変わってしまうと、同じ条件で実験をしたことにはならず、実験結果を正しく解析できない）。

そこで、この問題を解決すべく試行錯誤をした結果、模型船の船底等、衝突するであろう部分に塗料を塗っておき、衝突時に相手船にその塗料が色移りした部分を衝突によってできた傷とみなすという手法を採用することとした。実際の船舶衝突事故においても、衝突船の船底塗料が被衝突船の衝突部位に傷とともに付着することが確認されていることから⁷⁾、本手法はその状況を模した一定の妥当性のある手法であると考ええる。なお、模型船に塗布する塗料については、耐水性に強く、かつ、衝突時に相手船に色移りしやすいという観点からクレヨンを採用した。

続いて、具体的な傷の計測要領について説明する。計測の都合上、実験は2回に分けて実施した。まず、衝突船の船体中心線上、ステムからキールに至る部分にのみ赤色クレヨンを塗布し、同船を被衝突船に衝突させることで、被衝突船の衝突部位に赤色を付着させ、それを傷とみなして計測を行った。なお、被衝突船の衝突部位には図5で示した通り、撥水紙を巻き付けており、衝突時にその紙に付着した赤色を傷として記録することとした（記録のため、撥水紙については実験毎に毎回取り換えた）。衝突船の船体中心線上にのみクレヨンを塗布した理由は、船底全体に塗布した場合、船底のどの部分が相手船に当たったのか判断がしづらくなり、解析が難しくなるためである。次に、両船の衝突のさせ方は全く同じとした上で、今度は被衝突船の衝突部位（船首左舷側：撥水紙の使用無し）のみに青色クレヨンを塗布し、衝突船をその部位に衝突させることで、衝突船の船底に付着した青色を傷とみなして計測を行った。なお、衝突船の船底の傷については、実験毎に写真を撮ることで記録した（次の実験のため、記録後は船底に付着したクレヨンを全て拭き取らなければならないため）。

本来であれば、上記のように実験を2回に分けて実施することなく、1回の衝突実験で両船に同時に傷（着色）を付け、それを記録すべきであるが、クレヨンを塗布した部分の上にさらに相手船のクレヨンが付くと、その色が判断しにくく、記録が非常にしづらいという事情のため、本研究では上記の通り2回に分けて実験を行うこととしたものである。なお、2回に分けて実験を行う関係上、同一条件における衝突実験に関しては衝突時の運動状況を同一にしておかなければならない。この同一性を担保するため、全ての実験において、計測は最低3回ずつ行うこととし、傷の付き方（色の付着具合）に再現性があることを確認しつつ、各実験で運動状態のばらつきが無いよう、動画で記録する等細心の注意を払いながら実験を実施した。

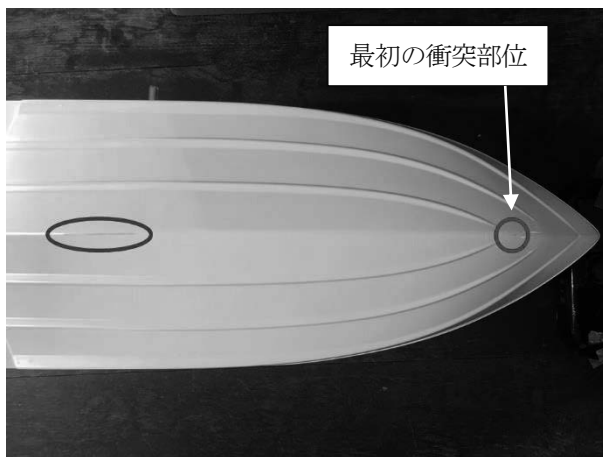
3 実験結果

本報では、以後、衝突船（プレジャーボート型）の船底に生じた傷（船底への青色クレヨンの付着）に関する計測結果を中心に説明する。被衝突船の衝突部位に生じた傷（撥水紙への赤色クレヨンの付着）の詳細については、他の実験結果と併せ続報等で報告することとしたい。

3.1 衝突船が漂泊状態の被衝突船と衝突した場合

まず、衝突船を漂泊状態の被衝突船に衝突角 90° で衝突させた場合の結果について示す。衝突船の船底には、図9～11に示すような傷が生じた。なお、図中において○印で囲んでいる箇所が、船底に傷が付いた（青色クレヨンが付着した）箇所である（以後の図についても同様）。同図より、フルード数が0.30, 0.43, 0.55と大きくなるにしたがって、最初の衝突部位に生じた傷の位置がやや船尾側へ移動することが確認された。また、いずれのフルード数の場合においても、最初の衝突部位に生じた傷と次に生じた傷との間には間隔が空いており、フルード数が大きくなるにしたがって、この間隔は長くなることがわかった。加えて、最初の衝突部位以外の傷は全て線状に生じることが確認された。

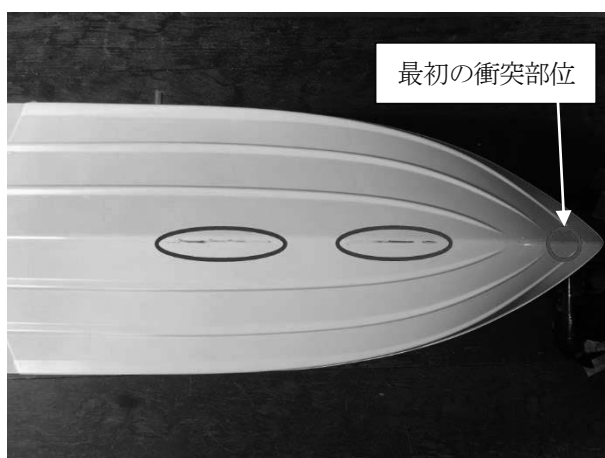
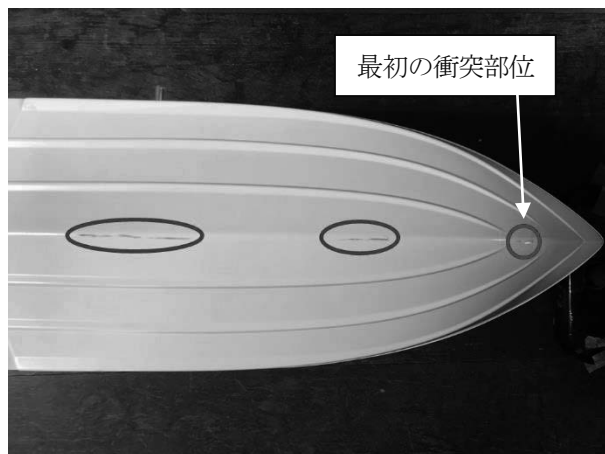
次に、衝突船を漂泊状態の被衝突船に衝突角 60° で衝突させた場合の結果について示す。衝突船の船底には、図12～14に示すような傷が生じた。同図より、衝突角 90° の場合と同様、フルード数が0.30, 0.43, 0.55と大きくなるにしたがって、最初の衝突部位に生じた傷の位置がやや船尾側へ移動することが確認された。また、いずれのフルード数の場合においても、最初の衝突部位に生じた傷と次に生じた傷との間には間隔が空いており、フルード数が大きくなるにしたがって、この間隔が長くなることも衝突角 90° の場合と同様である。加えて、衝突角 60° の場合についても、最初の衝突部位以外の傷は全て線状に生じるという

図9 漂泊状態，衝突角 90°， $Fn=0.30$ の場合の傷図12 漂泊状態，衝突角 60°， $Fn=0.30$ の場合の傷図10 漂泊状態，衝突角 90°， $Fn=0.43$ の場合の傷図13 漂泊状態，衝突角 60°， $Fn=0.43$ の場合の傷図11 漂泊状態，衝突角 90°， $Fn=0.55$ の場合の傷図14 漂泊状態，衝突角 60°， $Fn=0.55$ の場合の傷

ことがわかった。一方、衝突角 90°の場合と異なる点として、フルード数が 0.30 の場合には、傷が船体中心線上以外にも生じる（右舷船底部にも傷が生じる）ことが確認された。なお、フルード数が 0.43, 0.55 の場合には、傷は船体中心線上にしか生じていない。

最後に、衝突船を漂泊状態の被衝突船に衝突角 120°で衝突させた場合の結果を示す。衝突船の船底には、図 15～17 に示すような傷が生じた。同図より、他の

衝突角の場合と同様、フルード数が 0.30, 0.43, 0.55 と大きくなるにしたがって、最初の衝突部位に生じた傷の位置がやや船尾側へ移動しており、また、いずれのフルード数の場合においても、最初の衝突部位に生じた傷と次に生じた傷との間には間隔があり、フルード数が大きくなるにしたがって、この間隔が長くなること、加えて、最初の衝突部位以外の傷は全て線状に生じることが確認された。衝突角 60°の場合と同様、

図 15 漂泊状態、衝突角 120° 、 $Fn=0.30$ の場合の傷図 16 漂泊状態、衝突角 120° 、 $Fn=0.43$ の場合の傷図 17 漂泊状態、衝突角 120° 、 $Fn=0.55$ の場合の傷

フルード数が 0.30 の場合には、傷が船体中心線上以外にも生じる（左舷船底部にも傷が生じる）ことがわかった。また、衝突角 60° の場合と同様、フルード数が 0.43 、 0.55 の場合には、傷は船体中心線上にしか生じていない。

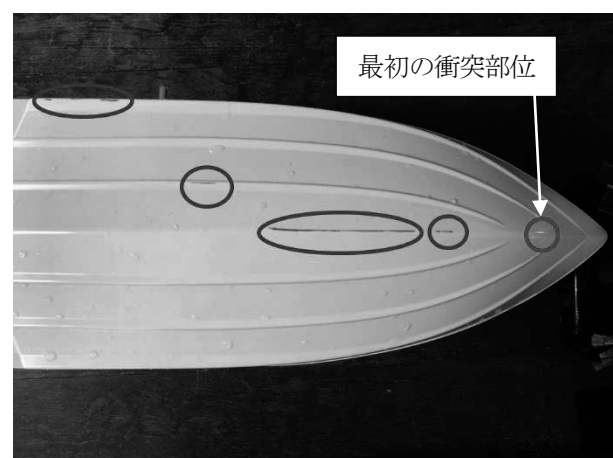
3.2 衝突船が固定状態の被衝突船と衝突した場合

まず、衝突船を固定状態の被衝突船に衝突角 90° で衝突させた場合の結果について示す。衝突船の船底に

は、図 18～20 に示すような傷が生じた。同図より、漂泊状態の被衝突船に衝突した場合と同様、フルード数が 0.30 、 0.43 、 0.55 と大きくなるにしたがって、最初の衝突部位に生じた傷の位置がやや船尾側へ移動することが確認された。また、いずれのフルード数の場合においても、最初の衝突部位に生じた傷と次に生じた傷との間には間隔が空いており、フルード数が大きくなるにしたがって、この間隔は長くなることがわかった。一方、漂泊状態の被衝突船に衝突した場合と異なる点として、最初の衝突部位の傷を含め、船底に生じる傷は全て点状であることが確認された。なお、フルード数 0.55 の場合、図 20 における船体の表示範囲（写真の画像領域）では示すことができていないが、実際には同図のさらに左側（船尾側）の位置に複数の点状の傷を確認している。

次に、衝突船を固定状態の被衝突船に衝突角 60° で衝突させた場合の結果について示す。衝突船の船底には、図 21～23 に示すような傷が生じた。同図より、漂泊状態の被衝突船に衝突した場合と同様、フルード数が 0.30 、 0.43 、 0.55 と大きくなるにしたがって、最初の衝突部位に生じた傷の位置がやや船尾側へ移動することが確認された。また、いずれのフルード数の場合においても、最初の衝突部位に生じた傷と次に生じた傷との間には間隔が空いており、フルード数が大きくなるにしたがって、この間隔は長くなることがわかった。一方、漂泊状態の被衝突船に衝突した場合と異なる点として、フルード数の大きさに関わらず、傷が船体中心線上以外にも生じる（右舷船底部にも傷が生じる）ことが確認された。なお、衝突角 90° の場合と異なり、フルード数 0.43 、 0.55 の場合においては、点状の傷に加えて、線状の傷も確認された。

最後に、衝突船を固定状態の被衝突船に衝突角 120° で衝突させた場合の結果について示す。衝突船の船底には、図 24～26 に示すような傷が生じた。同図より、漂泊状態の被衝突船に衝突した場合と同様、フルード数が 0.30 、 0.43 、 0.55 と大きくなるにしたがって、最初の衝突部位に生じた傷の位置がやや船尾側へ移動することが確認された。また、いずれのフルード数の場合においても、最初の衝突部位に生じた傷と次に生じた傷との間には間隔が空いており、フルード数が大きくなるにしたがって、この間隔は長くなることがわかった。一方、漂泊状態の被衝突船に衝突した場合と異なる点として、衝突角 60° の場合と同様、フルード数の大きさに関わらず、傷が船体中心線上以外にも生じる（左舷船底部にも傷が生じる）ことが確認された。なお、衝突角 120° の場合についても、点状の傷に加えて、線状の傷も確認されるということがわかった。

図 18 固定状態，衝突角 90° ， $F_n=0.30$ の場合の傷図 21 固定状態，衝突角 60° ， $F_n=0.30$ の場合の傷図 19 固定状態，衝突角 90° ， $F_n=0.43$ の場合の傷図 22 固定状態，衝突角 60° ， $F_n=0.43$ の場合の傷図 20 固定状態，衝突角 90° ， $F_n=0.55$ の場合の傷図 23 固定状態，衝突角 60° ， $F_n=0.55$ の場合の傷

4 衝突時に船体に刻まれる傷の形状等に関する考察

4.1 漂泊状態の被衝突船との衝突時に刻まれる傷の形状等

まず、衝突船を漂泊状態の被衝突船に衝突角 90° で衝突させた場合の傷の形状等について考察する。図 9～11 より、衝突船の船速が大きくなるにつれて、最初の衝突部位に生じた傷の位置がやや船尾側へと移動しているが、この理由は、本研究で衝突船として採用したプレジャーボート等の半滑走型高速船は、船速が

大きくなるほど、ハンプにより船首が浮かび上がる（水面からの高さが高くなる）ため、実験毎にその船速に応じた衝突部位に傷が生じたことが原因と考える。なお、この現象については、衝突角の違い、被衝突船の状態の違いに関わらず生じており、その要因は全て同じである。続いて、いずれのフルード数の場合においても、最初の衝突部位に生じた傷と次に生じた傷との間には間隔が空いており、フルード数が大きく



図 24 固定状態、衝突角 120° 、 $Fn=0.30$ の場合の傷

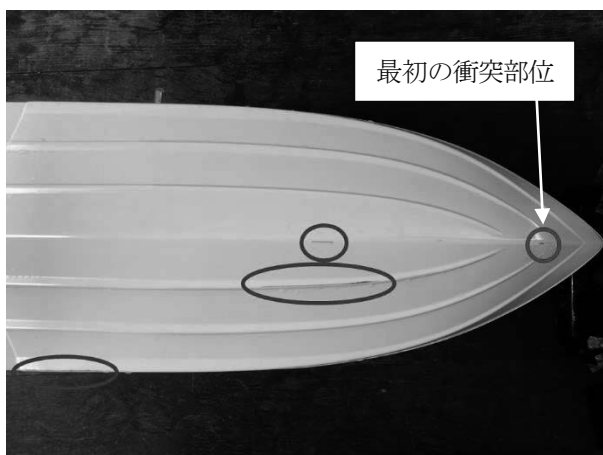


図 25 固定状態、衝突角 120° 、 $Fn=0.43$ の場合の傷



図 26 固定状態、衝突角 120° 、 $Fn=0.55$ の場合の傷

なるにしたがって、この間隔は長くなっているが、この理由は、衝突時の衝撃により、衝突船と被衝突船には反発力が作用するため、反発により両船が接していない状態となれば、傷が付かないからである。逆に言えば、反発が収まり、両船が互いに接するような状況で衝突船が被衝突船の上を乗揚げていく際には、連続した線状の傷が刻まれることになる。これが、最初の衝突部位以外の傷が全て線状に生じる理由である。

また、フルード数が大きくなると、この傷が付かない部分の間隔が長くなる理由については、船速が大きくなると衝突時の衝撃も大きくなるため、それに伴って両船に作用する反発力も大きくなり、両船が接していない状態となる時間が長くなることが要因である。

次に、衝突船を漂泊状態の被衝突船に衝突角 60° で衝突させた場合の傷の形状等について考察する。図 12～14 より、フルード数 0.30 の場合には、傷が船体中心線上以外にも生じている（右舷船底部にも傷が生じている）が、フルード数 0.43 、 0.55 の場合には、衝突角 90° の場合と同様、傷は船体中心線上にしか生じていないことがわかる。この理由は、フルード数 0.30 のように船速が小さい場合は、前進方向への慣性力が弱いため、衝突船に対して斜めの角度を持った被衝突船に対しては、そのまま真っ直ぐに乗揚げることができず、図 27 に示す通り、被衝突船の舷側に沿って船首方向を変えながら乗揚げていくことになるからである。一方、フルード数 0.43 、 0.55 といった比較的船速が大きい場合には、前進方向への慣性力が強いので、被衝突船の姿勢に関わらず、そのまま真っ直ぐ乗り揚げることができるため、衝突角 90° の場合と同様、傷は船体中心線上にしか生じないということになる。

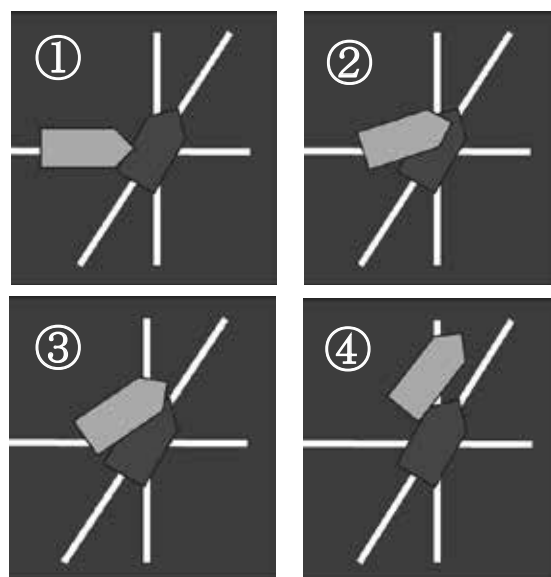


図 27 衝突角 60° 、 $Fn=0.30$ の場合の乗揚げ状況

最後に、衝突船を漂泊状態の被衝突船に衝突角 120° で衝突させた場合の傷の形状等について考察する。図 15～17 より、衝突角 60° の場合と同様、フルード数 0.30 の場合には、傷が船体中心線上以外にも生じている（左舷船底部にも傷が生じている）のに対し、フルード数 0.43 、 0.55 の場合には、傷は船体中心線上にしか生じていないが、この理由は衝突角 60° の場合と同様である（乗揚げ状況については図 28 を参照）。

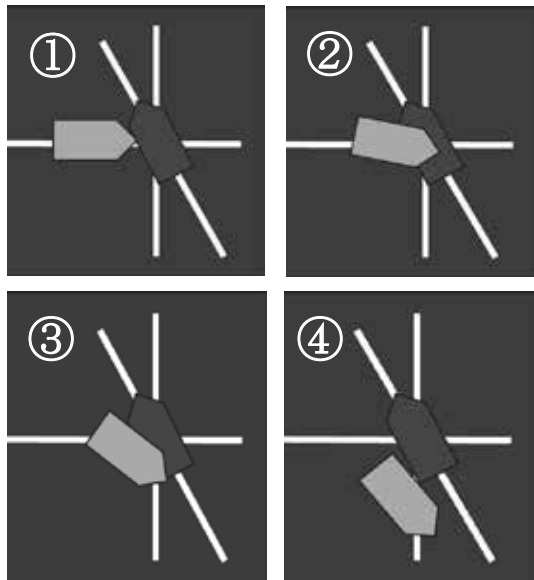


図 28 衝突角 120°, $F_n=0.30$ の場合の乗揚げ状況

4.2 固定状態の被衝突船との衝突時に刻まれる傷の形状等

まず、衝突船を固定状態の被衝突船に衝突角 90°で衝突させた場合の傷の形状等について考察する。図 18～20 より、基本的な傷の傾向は漂泊状態の被衝突船に衝突角 90°で衝突させた場合と同様であるが、漂泊状態における結果と異なる点として、いずれのフルード数の場合においても、最初の衝突部位の傷を含め、船底に生じる傷は全て点状であった。この理由は、被衝突船が固定されていることから、衝突時の衝撃を逃がす場がなく（被衝突船の運動が自由であれば、被衝突船が衝突時に横方向に移動したり回転したりすることで力が逃げ、衝撃力が緩和される）、それゆえ相対的に大きな反発力が生じること、その反発が衝突ごとにそれほど減衰せずに連続して起こる（衝突→反発を繰り返す）ことが原因であると考えられる。

次に、衝突船を固定状態の被衝突船に衝突角 60°で衝突させた場合の傷の形状等について考察する。図 21～23 より、漂泊状態の被衝突船に衝突角 60°で衝突させた場合と異なる点として、いずれのフルード数の場合においても、傷が船体中心線上以外にも生じている（右舷船底部にも傷が生じている）が、この理由は、被衝突船が固定されていることから、衝突船に大きな前進方向への慣性が働いていたとしても、衝突時に被衝突船から受ける反発力が過大であるため、その反発力により前進方向の運動エネルギーが奪われ、被衝突船の直上を真っ直ぐ乗揚げることができず、基本的には図 27 のような状況で被衝突船の舷側に沿って船首方向を変えながら乗揚げていくことになるからである。また、フルード数 0.43, 0.55 の場合において線状の傷が確認された理由は、図 27 のような状況で被衝突船に乗揚げてから再び着水するまでの過程に

において、被衝突船が固定されていることから、衝突船が被衝突船の舷側と接しながら水面に向かって滑り下りていく状況が存在することが原因と考えられる。

最後に、衝突船を固定状態の被衝突船に衝突角 120°で衝突させた場合の傷の形状等について考察する。図 24～26 より、衝突角 60°の場合と同様、いずれのフルード数の場合においても、傷が船体中心線上以外にも生じて（左舷船底部にも傷が生じて）おり、一部に線状の傷が確認されているが、これらの理由は衝突角 60°で考察したものと同様である（乗揚げ状況については図 28 の通り）。

5 結言

本研究では、半滑走型高速船の模型船を対象とした衝突・乗揚げ実験を行うための一つの手法（衝突時に船体に刻まれる傷の計測手法を含む）について提案した。また、その実験結果から、それぞれの実験条件において船体に刻まれる傷の形状等に関する傾向や特性について把握するとともに、それらの傷が生成されるプロセスについても検討・考察した。

今後の課題として、本研究で得られた知見はあくまで模型船ベースの実験による結果であるため、各実験条件において船体に刻まれる傷に関する傾向や特性を定性的には把握できたと言えるが、実船の衝突時にも同様の傷が生じるか否か、生じるであろう傷の大きさ等に関する定量的な評価については、尺度影響（船体の反発係数、塗料の摩擦係数等を含む）を考慮の上、慎重に取り扱う必要がある。今後は、それらの問題に取り組むとともに、さらに研究を進展させ、特に、衝突船・被衝突船ともに航走している状態での衝突実験を成功させることを目標としたい。引き続き本研究を継続し、現状の衝突状況に関する推定手法を補強する客観的・科学的根拠及び実験結果の蓄積に努めていきたい。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP18K13947 の助成を受けたものである。ここに記し関係各位に謝意を表する。また、本研究の遂行にあたり、捜査資料等の収集にご協力いただいた海上保安庁刑事課及び各管区海上保安本部警備救難部の皆様に深く御礼申し上げる。加えて、実験の実施方法等について貴重なご助言を賜った海上保安大学校西村知久教授にも心よりの感謝を申し上げる。過去の衝突事件にかかる捜査資料等の整理及び衝突時に船体に刻まれる傷の特性等に関する考察については、海上保安大学校本科第 67 期生の川島優太君、杉山航平君、藤木可保君にもご協力いただいた。ここに記して謝意としたい。

参考文献

- 1) 海上保安庁, 海上保安レポート2019, 119-132.
- 2) V. U. Minorsky, An Analysis of Ship Collisions with Reference to Protection of Nuclear Power Plants, Journal of Ship Research, Vol.3, No.2 (1959), 1-4.
- 3) 安藤文隆, 有田喜久雄, 在田正義, 衝突時の船体破壊強度の研究(第1報), 船舶技術研究所報告, 第10巻, 第3号(1973), 109-144.
- 4) 遠藤久芳, 山田安平, 橋爪豊, 緩衝突船首構造の耐衝突性能-第2報 油流出防止効果-, 日本船舶海洋工学会論文集, 第2号(2005), 351-360.
- 5) 翁長一彦, 小黒英男, 模型実験による衝突船の挙動と衝突荷重, 日本航海学会論文集, 第67号(1982), 27-34.
- 6) 庄司邦昭, 武井幸雄, 三田重雄, 橋本一明, 船舶の衝突に対する模型実験, 日本航海学会誌 (NAVIGATION), 第127号(1996), 62-65.
- 7) 海上保安庁刑事課, 過去の衝突海難事件に関する捜査報告書・実況見分調書等