

船舶事故調査報告書

船種船名 旅客船 なんきゅう10号

船舶番号 第243-40785号

総トン数 19トン

事故種類 旅客負傷

発生日時 令和元年12月2日 16時24分ごろ

発生場所 鹿児島県南大隅町根占港港外

根占港北防波堤灯台から真方位316° 360m付近

(概位 北緯31°13.3' 東経130°45.3')

令和2年10月21日

運輸安全委員会(海事部会)議決

委員長 武田展雄

委員 佐藤雄二(部会長)

委員 田村兼吉

委員 柿嶋美子

委員 岡本満喜子

要旨

<概要>

旅客船なんきゅう10号は、船長及び甲板員が乗り組み、旅客55人を乗せ、鹿児島県指宿市指宿港いぶすきに向けて、鹿児島県南大隅町根占港ねじめを出航し、根占港港外を北北西進中、令和元年12月2日16時24分ごろ、船首方から高波を受け、船体が上下に大きく動揺して船首が持ち上がり、椅子席に腰を掛けた姿勢の旅客の身体が浮き上がった後に、旅客が同席へ落下した衝撃により14人が負傷した。

<原因>

本事故は、旅客船なんきゅう10号が、株式会社なんきゅうドックの安全管理規程に定める発航中止条件及び基準航行中止条件の基準に達する気象及び海象の下、根占

港を出航し、同港港外を約12knの速力で基準航路より北方の北北西に向けて航行し続けたため、高波を船首から受け、船体が波に乗り上がって船首が持ち上がり、客室の椅子席に腰を掛けた姿勢の旅客の身体が浮き上がって、旅客が臀部等から同席へ落下して衝撃を受け、負傷したことにより発生したものと考えられる。

なんきゅう10号が、根占港港外を約12knの速力で基準航路より北方の北北西に向けて航行し続けたのは、船長が、船体が上下に動揺するものの、運航基準表に定める速力より減速していたことから、船首方からの波を左転しながらかわせば、安全に運航できると思ったこと、及び北北西に針路をとることにより、風及び波を船首方から受けるものの、根占港北防波堤灯台西方に設置されたいけす群へ圧流されることを避けることができると思ったことによるものと考えられる。

船長が、船体が上下に動揺するものの安全に運航できると思ったのは、船体が上下に動揺した際に、旅客の身体が椅子席から垂直方向に浮き上がり、旅客が同席に落下して脊椎骨折等を負う可能性があると思わなかったことによるものと考えられる。

なんきゅう10号が、風速が株式会社なんきゅうドックの安全管理規程に定める発航中止条件の基準に達する気象及び海象の下、根占港を出航したのは、船長が、風速、波高ともに発航中止条件の基準を超えた場合に発航を中止すべきとの認識であったこと、また、発航の可否判断を運航管理者から一任されていたことによるものと考えられ、このことが本事故の発生に関与した可能性があるものと考えられる。

<勧告>

本事故は、なんきゅう10号が、株式会社なんきゅうドックが定めた安全管理規程における発航中止の条件及び基準航行中止の条件の基準に達する気象及び海象の下、根占港を出航し、同港港外を約12knの速力で基準航路より北方の北北西に向けて航行し続けたため、高波を船首から受け、船体が波に乗り上がって船首が持ち上がり、客室の椅子席に腰を掛けた姿勢の旅客の身体が浮き上がって、旅客が臀部等から同席へ落下して衝撃を受け、負傷したものと考えられる。

なんきゅう10号が、根占港港外を約12knの速力で基準航路より北方の北北西に向けて航行し続けたのは、船長が、船体が上下に動揺するものの、安全管理規程の運航基準図及び同図の別表に定める速力より減速していたことから、船首方からの波を左転しながらかわせば、安全に運航できると思ったこと、及び北北西に針路をとることにより、風及び波を船首方から受けるものの、根占港北防波堤灯台西方に設置されたいけす群へ圧流されることを避けることができると思ったことによるものと考えられる。

船長が、船体が上下に動揺するものの安全に運航できると思ったのは、船体が上下に動揺した際に、旅客の身体が椅子席から垂直方向に浮き上がり、旅客が同席に落下

して脊椎骨折等を負う可能性があると思わなかったことによるものと考えられる。

なんきゅう10号が、風速が安全管理規程に定める発航の可否判断の基準に達する気象及び海象の下、根占港を出航したのは、船長が、風速、波高ともに同基準を超えた場合に発航を中止すべきとの認識であったこと、また、発航の可否判断を運航管理者から一任されていたことによるものと考えられ、このことが本事故の発生に關与した可能性があるものと考えられる。

平成20年から令和2年10月までに運輸安全委員会が公表した事故調査報告書において、本事故と同様に小型旅客船（水中翼船を除く）が単独で航行し、船体動揺によって旅客が脊椎を負傷した事故は15件発生し、うち11件は、速力が22ノット未満であった。

小型高速船（総トン数20トン未満、航海速力22ノット以上の船舶であって平水区域のみを航行する船舶を除く）を運航する事業者に対しては、既に国土交通大臣から荒天時運航マニュアルの作成、事故防止対策の実施の徹底が指導されているところであるが、小型高速船以外の小型旅客船を運航する旅客運送事業者（以下「運送事業者」という。）に対しても、同種事故の防止対策の実施について指導を行う必要があると考えられる。

このことから、当委員会は、本事故調査の結果を踏まえ、旅客の輸送の安全を確保するため、運輸安全委員会設置法第26条第1項の規定に基づき、下記の通り勧告する。

記

国土交通大臣は、運送事業者に対し、次の対策を実施するよう指導すべきである。

1. 運送事業者は、次の事項を船長等に周知、徹底させること。
 - ① 操船者は、波の影響により船体が動揺するときは、旅客が負傷しないよう十分な減速等を行うこと。
 - ② 船長等は、強風波浪注意報等が発表される等、船体が大きく上下動するような波が想定されるときは、旅客が客席から浮き上がらず、衝撃を受けづらい席（重心位置が後方にある場合は後方の客席）に事前に誘導すること。
2. 運送事業者は、基準航路、発航地及び到着地において、地形や潮流の影響を受け、高い波又はうねりが寄せる等の場所を再確認し、その情報を船長等と共有すること。

3. 運送事業者は、安全管理規程に定める発航の可否判断及び基準航行の可否判断の基準の遵守について、船長をはじめ乗組員に対し教育及び定期的な指導を行うこと。

1 船舶事故調査の経過

1.1 船舶事故の概要

旅客船なんきゅう10号は、船長及び甲板員が乗り組み、旅客55人を乗せ、鹿児島県指宿市指宿港^{いぶすき}に向けて、鹿児島県南大隅町根占港^{ねじめ}を出航し、根占港港外を北北西進中、令和元年12月2日16時24分ごろ、船首方から高波を受け、船体が上下に大きく動揺して船首が持ち上がり、椅子席に腰を掛けた姿勢の旅客の身体が浮き上がった後に、旅客が同席へ落下した衝撃により14人が負傷した。

1.2 船舶事故調査の概要

1.2.1 調査組織

運輸安全委員会は、令和元年12月2日、本事故の調査を担当する主管調査官ほか1人の船舶事故調査官を指名した。

1.2.2 調査の実施時期

令和元年12月3～5日、令和2年3月23～25日 現場調査、口述聴取及び回答書受領

令和元年12月13日、16日、17日、令和2年1月17日、20日、21日、3月3日 口述聴取

令和2年3月16日、17日、4月15日、7月11日 回答書受領

1.2.3 調査の委託

本事故の調査に当たり、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所海上技術安全研究所に対し、なんきゅう10号の上下加速度等に関する解析調査を委託した。

1.2.4 原因関係者からの意見聴取

原因関係者から意見聴取を行った。

2 事実情報

2.1 事故の経過

2.1.1 旅客の負傷までの状況

なんきゅう10号（以下「本船」という。）船長、甲板員、船舶所有者兼船舶

管理会社である株式会社なんきゅうドック（以下「A社」という。）の安全統括管理者兼運航管理者（以下「運航管理者」という。）及び旅客の口述並びにA社の回答書によれば、本事故の発生及び旅客の負傷等に関する状況は、次のとおりであった。

本船は、鹿児島県指宿市指宿港と鹿児島県南大隅町根占港を結ぶ航路（以下「本件航路」という。）において一般旅客定期航路事業に従事する旅客船であった。

船長は、令和元年12月2日15時50分ごろ、根占港フェリーのりば待合所で気象及び海象の確認を行い、風向が北北西で風速が平均風速約10m/s、最大瞬間風速14～15m/sであったものの、同港港内の波高が0.5m未満であることを認め、本船を定刻16時20分に出航することとした。

本船は、船長及び甲板員が乗り組み、旅客55人を客室に満席の状態に乗せ、船長が、旅客に対して口頭で少々^{しげ}時化していること、船体動揺があること等の注意喚起を行った後、16時20分ごろ、操舵室の操縦者用椅子席（以下「操縦席」という。）に腰を掛けて手動操舵で操船し、指宿港に向けて根占港フェリーのりば付近にある浮き棧橋（以下「本件棧橋」という。）を離棧した。

船長は、北北西からの風及び波を受けながら、根占港港内で北防波堤を右舷方に見ながら主機を回転数毎分（rpm）500～800とし、速力を順に約5ノット（kn）（対地速力、以下同じ。）、約8kn、約10knと増速して本船を西進させ、同港港外に目を向けたところ、白波が立っていたが、目測によって波高が1.0～1.5mであるので、このまま減速せずに航走しても大丈夫だと思った。

本船は、根占港北防波堤灯台をふだんどおり主機の回転数を上げて約12knの速力で通過した後、北北西の波を右舷船首方から受けて船体が上下に動揺し始めた。

船長は、根占港港口西方に設置されたいけす群が気になったので、ふだん風が強く、波高の高い波があるときに操船しているとおり、船首を波が来る方向に向け、基準航路より北方の北北西に針路をとった。

本船は、根占港港外で実際には波高1.5～2.0mの波を船首方から受け、風及び波に対してほぼ正対した状態となって北北西進し、船体が上下に大きく動揺するようになり、船長が主機を増速させることなく、現状の主機の回転数を維持して航行を続けていた。

本船は、16時24分ごろ、船体が船首方からの高波に乗り上がって船首が持ち上がり、前部客室の椅子席に腰を掛けていた旅客数人の身体が浮き上がって、船体が波頂を越えて波間に降下したところに、旅客が同席へ落下して臀部等を強打した。

本船は、その後も2～4回の高波を受け、大きな船体動揺が続き、旅客が椅子席の前方にある手摺り及び肘掛^{つか}けを掴み、一方で、負傷して椅子席に座ることが困難な旅客が、客室床面に寝転がる等の姿勢をとった。

甲板員は、前部客室の異状に気付き、同客室船首側で複数の旅客が痛みを訴えている状況を見て、そのことを船長に報告し、また、船長は、この報告を受け客室モニタで同客室船首側の旅客の異常を確認し、主機の回転数を2回に分けて減速した。

船長は、負傷した旅客から早く指宿港に入港してほしいとの要望があったこと、及び指宿市の救急医療態勢が整っていることもあり、本船をこのまま減速した状態で続航させて指宿港に向かうこととし、減速により船体動揺が幾分か緩和された状態を保ちつつ、船首方からの波をかわしながら西南西進させた。

本船は、本件航路の半ばで指宿市知林ヶ島^{ちりんがしま}の島陰に入った付近から波が治まってきたので前進最大速力とし、16時43分ごろ指宿港浮き棧橋（以下「本件指宿棧橋」という。）に着棧した。

本事故の発生日時は、令和元年12月2日16時24分ごろであり、発生場所は、根占港北防波堤灯台から316°（真方位、以下同じ）360m付近であった。

（図1、付図1 事故発生場所概略図 参照）

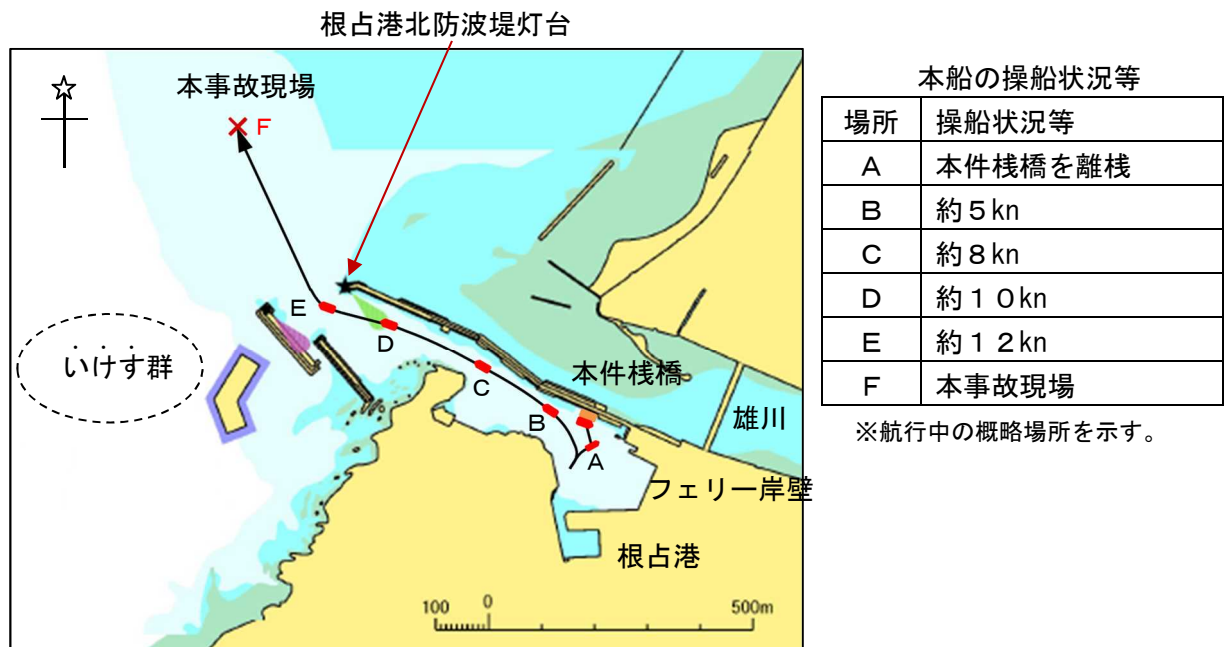


図1 本船の根占港出航後の航跡概略図

2.1.2 旅客の負傷に対する救急活動等の状況

船長、甲板員、運航管理者及び旅客の口述並びにA社の回答書、指宿南九州消

防組合の情報によれば、旅客の負傷に対する救急活動等の状況は、次のとおりであった。

船長は、本船を本件指宿棧橋に着棧させた後、16時46分ごろ、119番通報を行い、旅客の負傷状況を把握している甲板員に通信指令センター職員に対して説明を行わせ、運航管理者に本事故の発生を連絡した。

救急隊は、16時56分ごろ、本件指宿棧橋に救急車で到着し、負傷した旅客の容体について、本件指宿棧橋で3人、船内で4人及び本件指宿棧橋から離れた場所で2人をそれぞれ確認してトリアージ^{*1}を行い、全部で9人の旅客を病院に救急搬送し、17時09分ごろ海上保安庁に本事故の発生を通報した。

運航管理者は、指宿港に向かい、指宿市山川港に着棧していたA社が運航するフェリー（以下「A社フェリー」という。）から呼び寄せた乗組員4人に本件指宿棧橋付近で本事故の状況を確認させ、旅客の対応に当たさせた後に、負傷した旅客が救急搬送された病院に向かった。

また、後日、身体の不調を感じた旅客5人がそれぞれ病院で受診した。

2.2 人の負傷等に関する情報

2.2.1 旅客の負傷状況、着席位置等

負傷した旅客及び別の旅客の口述並びにA社の回答書によれば、旅客の負傷状況、着席位置等は、本事故当日に乗船していた旅客55人中、負傷した旅客①～⑭の14人の個々の負傷状況が、図2及び表1のとおりであり、胸椎圧迫骨折、腰椎破裂骨折、脊椎椎体圧迫骨折等の重傷が5人、重傷を除く負傷が9人、負傷しなかった旅客が41人であった。また、前部客室の船首より第4列以降の後方の椅子席では、旅客及び乗組員に骨折を伴う負傷が発生していなかった。なお、負傷した旅客の介護に当たった旅客は⑮の椅子席に着席していた。

^{*1} 「トリアージ」とは、災害時等において、傷病者の傷病の緊急性や重傷度に応じて、治療の優先度を決定し、この優先度に従って搬送や治療の優先順位を決めることをいう。



図2 客室椅子席配置及び負傷等した旅客の着席位置

表1 負傷した旅客の着席位置、負傷状況等

旅客 着席位置	性別	年齢	負傷状況	救急搬送	後日受診
旅客①	男性	69	重傷を除く負傷	○	
旅客②	女性	78	重傷	○	
旅客③	女性	79	重傷を除く負傷	○	
旅客④	男性	81	重傷を除く負傷	○	
旅客⑤	女性	76	重傷	○	
旅客⑥	女性	60	重傷を除く負傷	○	
旅客⑦	女性	74	重傷	○	
旅客⑧	女性	64	重傷	○	
旅客⑨	女性	74	重傷	○	
旅客⑩	男性	67	重傷を除く負傷		○
旅客⑪	女性	72	重傷を除く負傷		○
旅客⑫	女性	71	重傷を除く負傷		○
旅客⑬	男性	64	重傷を除く負傷		○
旅客⑭	女性	62	重傷を除く負傷		○

2.2.2 本事故当時の旅客の状況

(1) 旅客の状況

負傷した旅客及び別の旅客の口述並びに負傷した旅客14人に対して負傷状況及び椅子席での着席姿勢を調べる目的で行ったアンケート調査（以下「旅客アンケート」という。）の結果によれば、負傷した旅客の本事故当時の状況は、「付表1 旅客アンケートの集計結果」に示すとおりで、負傷した旅客全員が椅子席から浮き上がっており、同席に落下したときに臀部又は腰部の辺りを打ったと回答した割合が86%で、同席座面に落下した際に叩きつけられたような状況であった。

また、それぞれの椅子席での旅客の主な状況は次のとおりであった。

(以後、旅客については、図2及び表1で示した着席位置に対応した表記となっている。)

- a 旅客②及び旅客⑦は、本事故発生後、腰の痛みにより椅子に腰を掛けた姿勢をとることが困難となり、前部客室船首方の中央通路床面に寝転がり、横になって楽な姿勢をとった。
- b 旅客③は、防波堤を通過して間もなく、不意打ちのように、波で大きな縦揺れが起こり、椅子席から跳び上がって頭が天井についた。左手で椅子の肘掛け、右手で椅子席前の壁の手摺りを掴んでいた。その後、何回も縦揺れの衝撃があり、指宿港まで手摺りを掴んだままであった。
- c 旅客④は、根占港を出航した直後、本船に1、2回縦揺れがあり、その後も縦揺れが続いたが、そのとき大きな揺れとは感じなかった。
- d 旅客⑤は、風が吹いて海面に白波が立っており、本船に乗船するとき防波堤沿いに歩くのも大変なぐらい風が吹いていると思った。1回目の波が来てドーンと衝撃があり、本船の船首が持ち上がって急に落とされる感じの縦揺れで負傷したと思った。その後も揺れが続いたことを感じた。
- e 旅客⑨は、海上がすごい白波だと思った。港内はあまり揺れず、出航して2分～3分が経ったときに、1発目の波が来てエンジンを吹かす音がしてから身体が浮き上がり、ドーンと落とされたと思った。高く上がったが、天井までではなく、5回は大きな波が来たと思った。1回目の波が来た後、椅子席間の床に座って凌ぎ、鹿児島湾の方に進むと少しは船体の揺れが治まったと思った。
- f 旅客⑩は、事故発生直前に、左手で前の椅子席の持ち手を軽く掴んでいたが、防波堤を通過してしばらくしたら、いきなりの波で船首が大きく上がり、落ちるときに自分の椅子席で背中を打った。その後、4回ほど波が続き、最初は息もできないぐらいの痛みがあり、ずっと痛かった。
- g 旅客⑪は、船首が持ち上がって急に落とされる感じの大きな縦揺れがあったときに負傷した。石か何かぶつかったようなドンという大きな音がして、身体が浮き上がり、椅子席の上にお尻から落ちた。
- h 旅客⑬及び旅客⑭は、本事故時、ものすごい衝撃があり、船が上がって上から落とされる又は人が落下してくるような感じで、椅子席から30cmほど浮き上がり、そのまま椅子席に落ちてお尻を強打した。
- i 旅客⑮は、本船の船体動揺に合わせて、ジェットコースターが上下するときと同様な感じで、女性客が声を上げていたのを聞いた。

自分の椅子席は、あまり揺れがなかったので、最初、本事故の発生に気付かなかった。客室の船首側を見ると、第2列左舷側椅子席の通路側に座

っていた女性客が床に横になっていたのので、その後方に移動して立ったまま介抱等を行った。このとき、身体が持っていられるようなことはなかった。

(2) 乗組員及び救急隊による旅客の確認状況

甲板員及び指宿南九州消防組合消防本部担当者の口述によれば、次のとおりであった。

- ① 甲板員は、本事故後、前部客室に入り、旅客の状況を確認すると、最前列から第3列までの椅子席に腰を掛けていた旅客から「首をやった。」等の申し出を受け、首の後部から背中を負傷している状況であり、床面に横たわっていた旅客2人に駆け寄ると、そのままの姿勢にしておいてほしいとの回答があった。
- ② 救急隊は、救急活動を行った際、船内にいた旅客4人及び本件指宿栈橋付近にいた旅客3人から首の背中側に痛みがあるとの回答を得た。

2.3 船舶の損傷に関する情報

現場調査、船長及び運航管理者の口述によれば、本船は、船体、機関及びその他の設備に損傷がなかった。

2.4 乗組員等に関する情報

(1) 性別、年齢、海技免状

船長 男性 45歳

一級小型船舶操縦士・特殊小型船舶操縦士・特定

免許登録日 平成17年11月15日

免許証交付日 平成26年12月3日

(令和2年11月15日まで有効)

六級海技士(機関)

免許年月日 平成29年9月20日

免状交付年月日 平成29年9月20日

免状有効期間満了日 令和4年9月19日

甲板員 男性 20歳

二級小型船舶操縦士

免許登録日 平成31年3月11日

免許証交付日 平成31年3月11日

(令和6年3月10日まで有効)

運航管理者 男性 54歳

(2) 主な履歴等

船長、甲板員及び運航管理者の口述によれば、次のとおりであった。

① 船長

平成17年に一級小型船舶操縦士の免許を取得し、平成27年にA社に入社後、平成29年4月以降に本船の船長として乗船するようになった。また、A社フェリーの機関長として乗船した経験もあった。

本事故当時の健康状態は、良好であった。

② 甲板員

平成31年にA社に入社し、ふだんはA社フェリーに甲板員として乗船しており、これまで本船に補助として10～15回程度乗船し、操船の経験もあり、本事故当日、旅客が多く、船長から係留作業の依頼を受けて一時的に運航補助の目的で乗船していた。

本事故当時の健康状態は、良好であった。

③ 運航管理者

学校を昭和59年に卒業後、平成7年にA社に入社し、甲板員の経験を経て、平成29年3月から本船の安全統括管理者兼運航管理者となり、平成30年8月にA社フェリーの安全統括管理者兼運航管理者にもついていた。

2.5 船舶等に関する情報

2.5.1 船舶の主要目

船舶番号	第243-40785号
船籍港	鹿児島県鹿児島市
船舶所有者	A社
総トン数	19トン
L×B×D	19.00m×4.50m×1.84m
船質	FRP
機関	ディーゼル機関1基
出力	515kW
推進器	3翼固定ピッチプロペラ1個
航海速度	20.2kn(4/4負荷)
航行区域	平水区域
進水年月日	平成29年1月27日
起工年月日	平成28年4月21日
最大搭載人員	旅客64人、船員2人 計66人

(図3 参照)

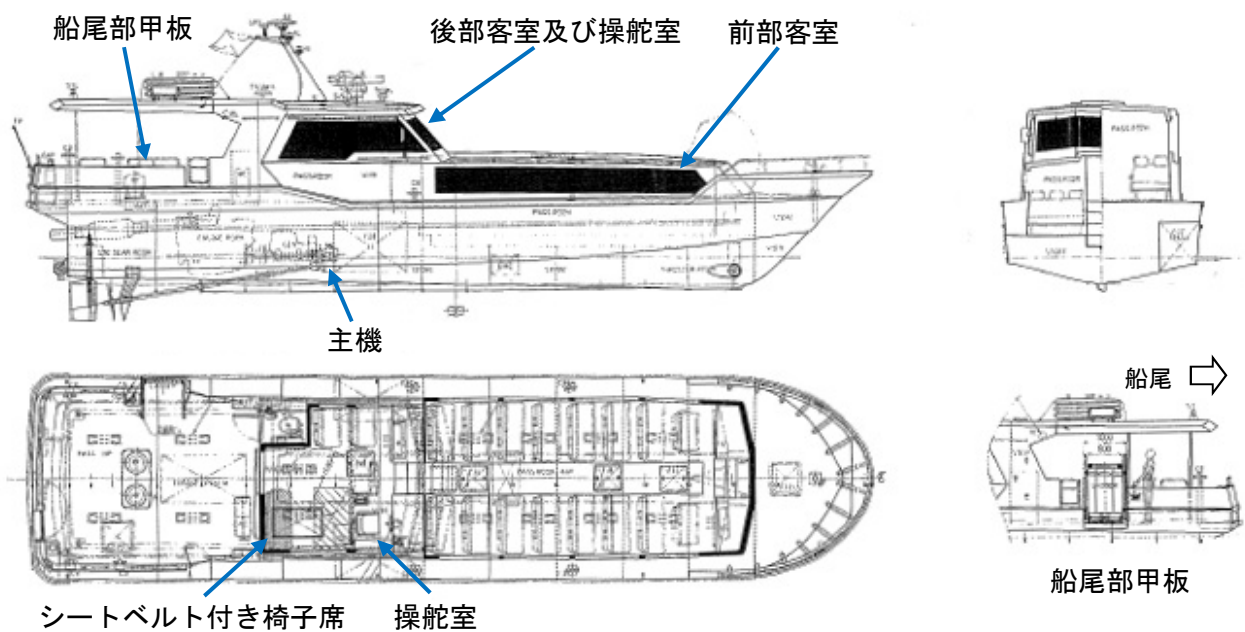


図3 本船及び一般配置図（抜粋）

2.5.2 船体等に関する情報

現場調査、船長の口述及び海上試験運転成績書によれば、次のとおりであった。

(1) 船体構造等

- ① 本船は、旅客船であり、船体の船首部から中央部にかけて前部客室が、中央部船尾側に後部客室があり、後部客室の右舷側に操舵室が設けられ、主機が船体中央部船尾側に設置されていた。
- ② 本船は、本事故当時、船体、機関及びその他の機器類に不具合又は故障がなかった。

(2) 操舵室内の機器

本船の操舵室は、操縦席の前方に設置された操縦台の右舷側に操舵輪が、その右側に主機操作レバー及び遠隔舵角調整ダイヤルがあった。

操縦台は、前面の右側から衛星コンパス、機関監視パネル、左側に自動操舵装置が、前面窓側に右側から前部客室の船首側から船尾方及び船尾側から船首方を見るモニタ2台、磁気コンパス及びレーダーが、左側にGPSがそれぞれ配置されていた。

GPSは、本事故当時、航跡を記録する設定が断となっており、本船の航跡が記録されていなかった。

操縦台の左舷下方には、音響設備を備えた船内指令装置（放送装置）及び分電盤が設置されていた。

また、本船は、風向及び風速を測定する計器がなかった。

(3) 喫水

本船は、本事故当時、喫水が船首約0.55mで、船尾約0.65mであった。

(4) 速力等

本船は、本事故時、約12knの速力で根占港港口を航行しており、このときの主機の回転数毎分（rpm）が約1,200であった。

（図4、付図2 一般配置図 参照）



図4 本船操舵室の概略図

(5) 操舵室の見通しに関する情報

操舵室は、操縦席に腰を掛けた状態で、窓枠を除き、船首方及び左右の見張り並びに海面状態の監視を妨げるものではなく、操舵室から約25m船首方の海面状態が確認できた。（図5参照）



図5 操舵室から船首方の見通し状況

(6) 風向風速計

根占港の風向風速計は、同港フェリーのりば待合所建物の屋上に設置され、A社事務所に風向及び風速の指示器があり、風速が観測可能であるものの、風向が正確に指示されていないときがあるとのことであった。

2.5.3 客室に関する情報

現場調査及び小型船舶安全規則（昭和49年運輸省令第36号）によれば、次のとおりであった。

- (1) 本船の客室は、前部客室に46席、後部客室に9席の合計55席及び船尾部甲板に旅客用立席9席がそれぞれ設けられ、船尾部甲板の船首側にふだん旅客が出入りする客室出入口が1箇所あった。
- (2) 前部客室は、中央通路の両舷に、船首から最前列に2人掛け椅子席が、第2列から第8列に3人掛け椅子席が配列され、椅子席にシートベルトの設置がなく、最前列椅子席には前面壁に手摺りが、第2列から後方の椅子席には前列椅子席の背面に持ち手が設置されていた。

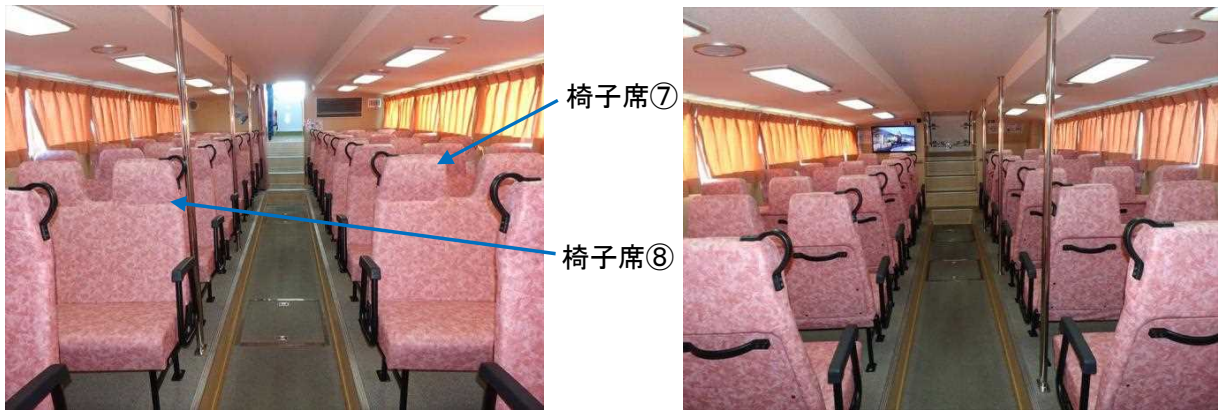
また、第2列通路側の椅子席（図2の⑦及び⑧の場所）は、前方に椅子席がなく、同席に座った旅客の前方に手で身体を支える設備がなかった。

- (3) 後部客室は、中央通路を挟んで、操舵室の船尾方右舷側に車椅子スペース及びシートベルトを設けた3人掛け椅子席1列が、操縦室の左舷側にシートベルトのない2人掛け椅子席2列が配列されて前方に手摺り又は持ち手が設置されていた。
- (4) 椅子席は、全高1,010mm、座面高さ405mm及び背もたれ垂直高さ560mmで、座面が座面幅850mm（2人掛け）及び1,280mm（3人掛け）、座面奥行き400mm及び座面厚さ120mmであり、背もたれが船尾方に傾斜したものであった。

(5) 小型船舶の椅子席については、小型船舶安全規則第78条第3項に次のとおり定められていた。

椅子席は、幅、奥行それぞれ四十センチメートル以上の腰掛及び適当な背当よりなるものであつて船の傾斜により移動しないものであり、かつ、腰掛の前面には、距離三十センチメートル以上の空間を設けなければならない。

(図6 参照)



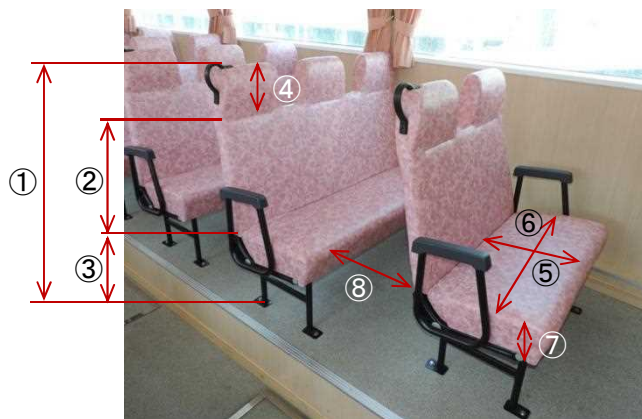
船首側から船尾方を見る

船尾側から船首方を見る



椅子席⑦及び最前列椅子席を船尾方から見る

椅子席⑧及び最前列椅子席を船尾方から見る



左舷最前列及び第2列

①	1,010mm	
②	560mm	
③	405mm	
④	240mm	
⑤	座面 奥行	400mm
⑥	" 幅 2人掛け	850mm
	3人掛け	1,280mm
⑦	" 高さ	120mm
⑧	椅子席間隔	320mm

図6 前部客室の椅子席

2.6 気象及び海象に関する情報

2.6.1 気象観測値及び注意報等

- (1) 本事故現場の西北西方約11.7kmに位置する指宿地域気象観測所による本事故当時の観測値は、次のとおりであった。

16時20分 風向 北北西、風速 平均5.4m/s 最大瞬間9.2m/s
日照時間 0分、気温 13.8℃、降水量 0.0mm

- (2) 本事故現場の北北西方約41.8kmに位置する鹿児島地方気象台による本事故当時の観測値は、次のとおりであった。

15時00分 天気 晴れ、視程 約20km
18時00分 天気 曇り、視程 約30km

- (3) 鹿児島地方気象台によれば、指宿及び川辺地域は、12月2日15時35分、強風波浪注意報が発表され、風速10m/s及び波高3mであり、ピークが2日夕方で3日朝まで継続される予想であった。

- (4) 海上保安庁刊行の潮汐表及び海図（以下「海図」という。）によれば、山川港における本事故当時の潮汐は、下げ潮の末期で、潮高が133.7cmであり、本事故現場の水深は、約7mであった。

- (5) 日本気象協会の日本近海波浪推算データベースによれば、本事故現場から南西方約12.9kmの北緯31°08'、東経130°40'の鹿児島湾入口の海域における本事故当時の波浪及び風の状況は、表2のとおりであった。

表2 鹿児島湾入口における波浪及び風の状況

波高	波周期	波向き	風向	風速
1.62 m	6.3 sec	268.6°	322.9°	11.2 m/s

2.6.2 乗組員の観測

船長の口述によれば、本事故当時、天気は曇り、風向は北西から北北西、風速は平均で10m/s、最大瞬間で14～15m/sであり、波高は、根占港港内ではほとんどなく0.5m未満であったものの、本船が根占港港外を航行したとき、1.5～2.0mであり、波周期は3～4secであった。

2.7 A社の運航形態、安全管理等に関する情報

2.7.1 運航形態

船長及び運航管理者の口述並びにA社のホームページによれば、本船は、ふだん船長1人が乗り組み、指宿港～根占港の間で表3のとおり、1日1往復便の定

期運航を行い、航海時間が片道約20分であった。

表3 本船の運航時刻表

指宿港	→	根占港	根占港	→	指宿港
09時00分		09時20分	16時20分		16時40分

2.7.2 安全管理体制

現場調査、運航管理者及び船長の口述、A社の回答書、安全管理規程及び同規程運航基準並びに旅客アンケートによれば、次のとおりであった。

(1) A社の安全管理に関する情報

A社は、海上運送法（昭和24年法律第187号）第10条の3の規定に基づき、安全管理規程を定めて平成29年4月1日から本件航路における本船等による一般旅客定期航路事業を運営しており、安全統括管理者が運航管理者を兼務する安全管理体制を構築していた。

(2) 基準航路に関する情報

本船の根占港から指宿港に向かう基準航路は、図7に示す運航基準図及び表4に示す同図の別表（以下「運航基準表」という。）のとおり、針路、変針点、速力、基準経路の名称等が定められていた。

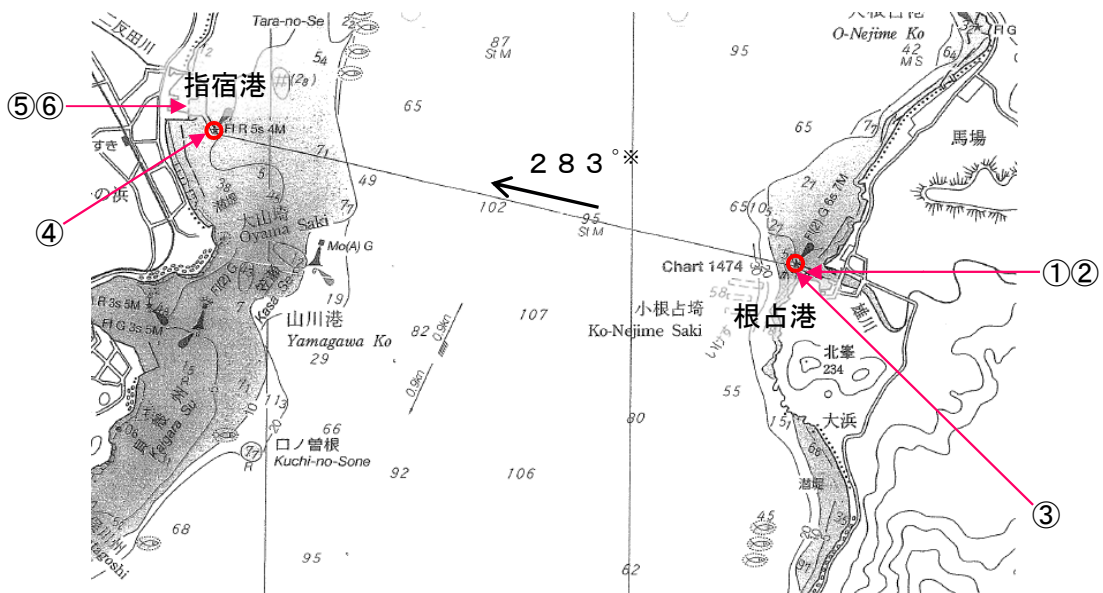


図7 運航基準図（※針路は、真方位、以下同じ。）

表4 運航基準図の別表

地点 記号	時間 (分)	通過地点 方位 距離	針路 (°)	区間距離 (m)	速力 (kn)
①	0.0				
			Var.	30	5
②	0.2				
			295	520	10
③	1.9	根占港北防波堤灯台 025° 35m			
			283	9,630	20
④	17.5	指宿港東防波堤灯台 000° 230m			
			330	560	10
⑤	19.3				
			270	100	5
⑥	20.0				

(3) 運航に関する情報

安全管理規程に定める運航基準は、次のとおりであり、同基準が操舵室の船首側壁面及び発航地事務所の見易い場所に掲示されていた。

① 発航の可否判断

A社は、管理船舶の発航に当たり、安全管理規程に「発航の可否判断」を次のとおり定め、その可否判断の条件を運航基準に表5のとおり定めていた。

安全管理規程

(発航の可否判断)

第24条 船長は、適時、発航の可否判断を行い、気象・海象が一定の条件に達したと認めるとき又は達するおそれがあると認めるときは、発航中止の措置をとらなければならない。

2 船長は、発航中止に係る判断が困難であると認めるときは、運航管理者と協議するものとする。

運航基準

(発航の可否判断)

第2条 船長は、発航前に発航の可否判断を行い、発航地港内の気象・海象が次に掲げる条件（以下「発航中止条件」という。）の一に達していると認めるときは、発航を中止しなければならない。

2 船長は、発航前において、航行中に遭遇する気象・海象（視程を除く）に関する情報を確認し、次に掲げる条件の一に達するおそれがあると認めるときは、発航を中止しなければならない。

(表5 参照)

表5 発航中止条件

発航地	気象・海象	状況	風速	波高	視程
根占港及び指宿港		条件に達する (港内)	10m/s以上	0.5m以上	500m以内
		条件に達するおそれ (航行中)	15m/s以上	1.0m以上	—

② 基準航行の可否判断等

A社は、管理船舶の航行について、運航基準に基準航行の可否判断等(以下「基準航行中止条件」という。)を、次のとおり定めていた。

運航基準

(基準航行の可否判断等)

第3条 船長は、周囲の気象・海象(視程を含む)に関する情報を確認し、基準航行を継続した場合、船体の動揺等により安全な運航が困難となるおそれがあると認めるとき又は周囲の視程が500m以下となったときは、基準航行を中止し、減速、適宜の変針、反転等の適切な措置をとらなければならない。

2 船長は、航行中、周囲の気象・海象(視程を含む)が次に掲げる一に達するおそれがあると認めるときは、目的地への航行の継続を中止し、反転、出発地への帰港の措置をとらなければならない。ただし、航行経路の変更により目的地への安全な航行の継続が可能と判断されるときは、この限りではない。(表6参照)

表6 基準航行中止条件

風速	15m/s以上	波高	1.0m以上
----	---------	----	--------

(4) 旅客が遵守すべき事項等の周知に関する情報

安全管理規程及びその下位規定である作業基準においては、旅客に遵守を求める事項の周知について次のように定められており、そこには音声等により旅客に対して周知を行うことに関する定めは特に存在しなかった。

安全管理規程

(旅客に対し周知すべき事項等の周知)

第38条 運航管理者及び船長は、法令及び作業基準の定めるところによ

り、陸上及び船内において旅客等の遵守すべき事項及び注意すべき事項の周知徹底を図らなければならない。

作業基準

(乗船旅客に対する遵守事項等の周知)

第20条 船長は、船内の旅客が見やすい場所に次の事項を掲示しなければならない。

- (1) 旅客の禁止事項
- (2) 救命胴衣の格納場所、着用方法
- (3) 非常の際の避難要領（非常信号、避難経路等）
- (4) 車両区域内における注意事項
- (5) 病気、盗難等が発生した場合の乗組員への通報
- (6) その他旅客が遵守すべき事項

(5) 本事故発生後の本船の対応等

本船は、本事故発生後、旅客の状況を確認し、2.2.1のような負傷をしているとは思わなかったため、そのときに119番通報を行わず、速やかに本船を指宿港に航行させることを優先し、このまま続航させる判断を行い、本件指宿棧橋に着棧後、119番通報及び運航管理者に連絡を行った。

船長は、船体が上下に動揺した際に、旅客の身体が椅子席から垂直方向に浮き上がり、旅客が同席に落下して脊椎骨折等を負う可能性があるとは思わなかった。

他方で、負傷した旅客14人のうち約79%（11人）は、本事故直後の本船上で、「何も対応がなかった。」と感じており、本船に対し、本事故後の行動等を含む現状説明及び旅客に対する声掛けの要望があった。

2.8 本船の運航に関する状況

船長、甲板員、運航管理者及びA社の船員の口述並びに旅客アンケートによれば、次のとおりであった。

- (1) A社は、安全管理規程において、船長が本船の発航中止に係る判断が困難であると認めるときは、運航管理者と協議するものと定めていたものの、実務上、運航管理者は、発航の可否判断を船長に任せていた。
- (2) 船長及びA社の船員は、気象及び海象のデータを、目視及び発航地にある風向風速計で観測するほか、各自が所持するスマートフォンによる気象アプリ及び気象庁の天気予報で取得していた。
- (3) 船長は、過去に何回も本船の欠航の判断をしたことがあったが、本事故当日、発航前に気象及び海象を確認したとき、風速が発航中止条件の基準に達してい

る状況であるものの、根占港港内の波高が基準未満であると認めたので、本船の発航が何とか可能であると判断した。

このとき、船長は、発航中止条件の項目及び数値を理解していたが、風速又は波高のいずれか一つでも発航中止条件の基準に達すれば発航を中止しなければならないということの理解が曖昧であり、ふだん発航前に根占港港内の波高を確認して発航の可否判断を行っていたので、本事故当日も本件棧橋付近から同港港外の波の状態を見たものの、同港港内の海面状態を見て判断を行い、本件航路を航行しても大丈夫だろうと思った。

- (4) 船長は、本事故当日、A社が運航する根占港～山川港間のフェリーが定期修理で運休しており、本船が欠航すると、根占港にいた旅客が同港の北北西方約30.5kmにある鹿児島県垂水市垂水港に移動して、そこから発航するフェリーを利用する等の他の移動手段を選択せざるを得ないので困るだろうと思った。
- (5) 船長は、本船が根占港を出航するとき、前部客室及び後部客室が旅客で満席状態となっており、旅客に対し、船体動揺が予想されること等を口頭で伝える配慮を行ったものの、そのことが客室にいた旅客全員には伝わっておらず、負傷した旅客のうち「注意喚起を聞いた。」が1人、「注意喚起を聞いていない。」が12人、「分からない。」が1人であった。
- (6) 船長は、本船を根占港港外で北北西進させているとき、船体が上下に動揺するものの、これまでに経験したとおり、波を船首方から受けながら左舵を取って船体動揺を軽減し、徐々に左転して波をかわしながら知林ヶ島の方角に進む（図8に示す「左転針路」をいう。）と、島陰や鹿児島県薩摩半島の陰に入っで次第に波が治まって海面状態が穏やかになって安全に運航できるだろうと思い、今航も運航基準に定める針路283°よりも北寄りの針路をとり、左転するつもりで操船を続けていた。（図8参照）

A社は、本件航路において基準航行を中止したとき等の操船方法を特に定めていなかった。

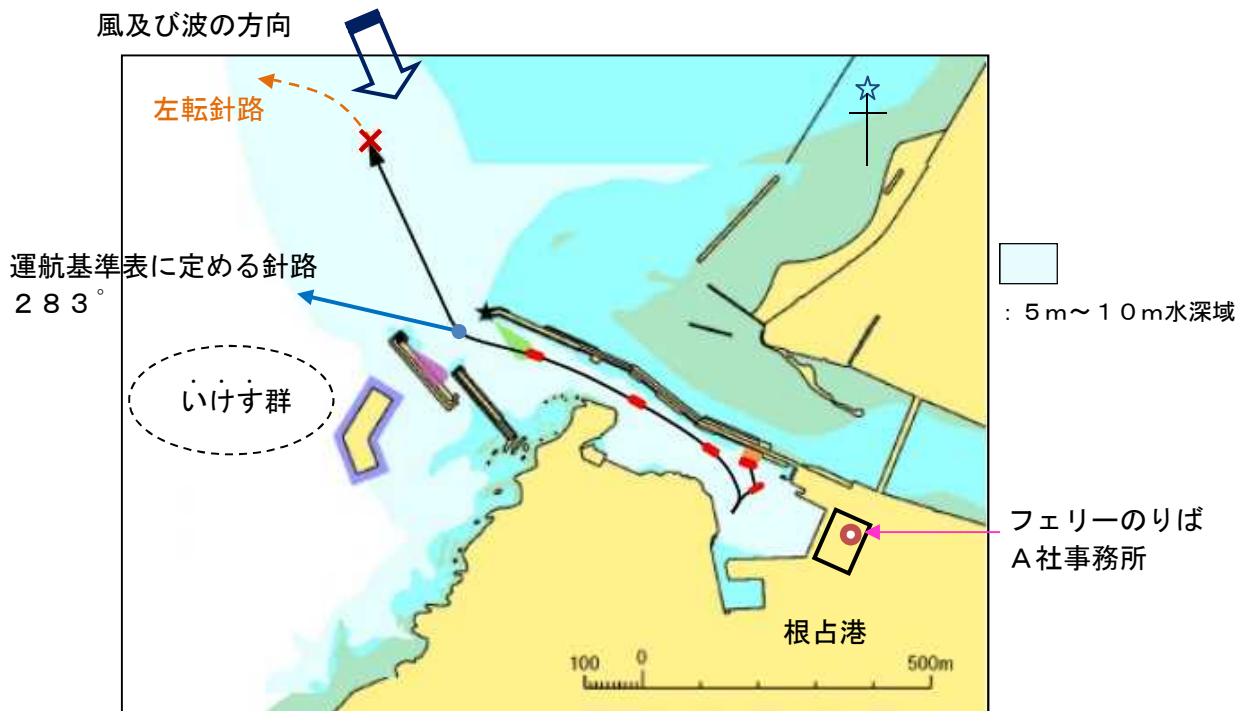


図8 本事故当日における本船の航跡概略図

2.9 試験及び研究

本事故において旅客が受けた衝撃加速度等を究明する目的の解析調査（以下「本件解析」という。）を、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所海上技術安全研究所に委託した。

本件解析は、本船が高波により船体が動揺した際、旅客の身体が椅子席から浮き上がり、その後旅客が同席に落下した衝撃で負傷したことを踏まえ、本事故当時の気象及び海象、針路並びに速力において、客室での旅客の着席位置における上下加速度、椅子席との衝突速度及び相対距離を求め、脊椎損傷の危険性評価及び安全性の検討を行うこととした。その解析の内容及び結果は、以下のとおりである。

（別添「小型旅客船の旅客負傷事故に係る解析調査報告書」 参照）

2.9.1 本件解析の概要

(1) 船体の上下加速度に関する解析

本件解析は、本船の線図に基づき、衝突評価の基礎データとなる上下加速度を規則的な波を想定して線形ストリップ法（STF法）^{*2}で解析を行い、着席位置や船速が上下加速度に及ぼす影響を調べた。

^{*2} 線形ストリップ法（STF法）とは、船体を長さ方向に分割し、各断面における2次元流体力を求め、船長方向に積分することによって船体全体に働く3次元流体力を求める方法をいう。

波条件は船長の口述及び日本気象協会から入手した根占港南西方の波浪状況の推定値を参考として、本事故発生当時の状況を想定し、波周期は3～6 secを、波高は0.5～2.5 mを、速力は0.5～12.0 knを選定してそれぞれ解析を行った。なお、本船は、本事故当時、速力が約12 kn及び主機が約1,200 rpmで運転していたという事実情報を得ており、海上試験運転成績書によれば、1,200 rpmに相当する速力が11.6 kn（平水中）であるので、この速力の条件も本件解析に加えることとした。

(2) 船体の上下加速度の解析条件と解析位置

① 本船の主要目

本船の主要目は、表7に示すとおりである。

表7 本船の主要目

総トン数	トン	19トン	登録幅B	m	4.50m
全長L _{o.a}	m	19.00m	登録深さD	m	1.84m
登録長L _R	m	17.00m	船尾喫水d _a	m	0.65m（本事故当時）
垂線間長L _{pp}	m	15.69m	船首喫水d _f	m	0.55m（本事故当時）

② 解析条件

本件解析は、表8に示す条件で行った。以後、着席位置は、図9に示すとおり、前部客室の船首からの配列に順じ、1列目を「最前列」、船首から2列目を「第2列」等という。

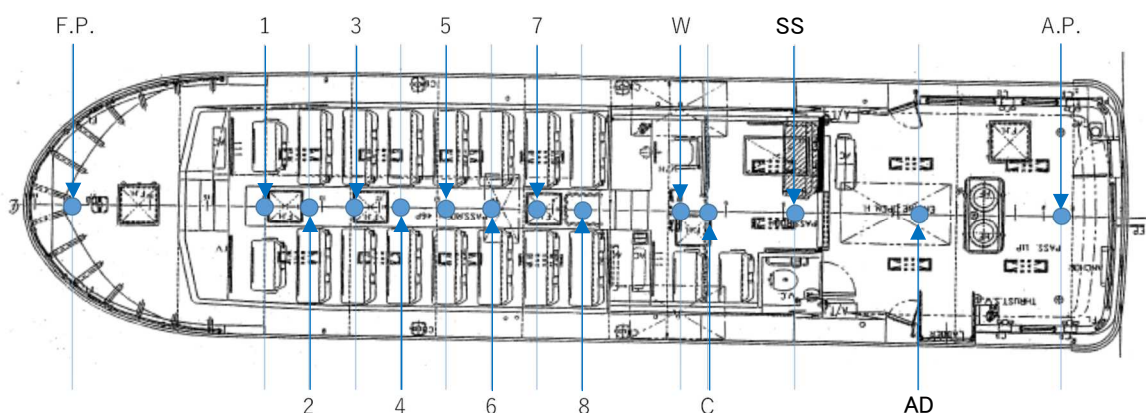
表8 波条件等の解析条件

重心位置 X _G	喫水の設定値から算定される浮心の前後位置
速力 V	6.0、8.0、10.0、11.6、12.0 kn
出会い角 χ	180（本事故時、正船首向波状態）、右舷船首部から波を受けることとして、190、200、210、225、240、255、270°（右舷から横波状態）と変化させる
波周期 T	3、4、5、6 sec
波高 H	波高0.5、1.0、1.5、1.62、2.0、2.5 m
旅客等の着席位置等	旅客の椅子席の位置（9箇所） F.P.（Fore Peak）、前部客室の最前列～8列目の椅子席、操縦席、重心位置、シートベルト付き椅子席列、船尾部甲板、A.P.（After Peak）

③ 解析位置

旅客等の着席位置等において上下加速度の解析を行った位置（以下「解

析位置」という。)を図9に示す。上下加速度の解析は、全て船体のセンターライン上で行った。



※上図の記号の意味は、次のとおりである。

W	操縦席(操舵室)	1 ~ 8	前部客室の椅子席位置	F.P.	Fore Peak
C	Center of Ship 重心位置	※1, 2	最前列、2列目という意味である	A.P.	Aft. Peak
		SS	後部客室シートベルト付き椅子席列 Seat-belt Seat	AD	Aft. Deck

図9 上下加速度の解析位置

2.9.2 負傷のメカニズムに関する状況

本事故は、本船が船首方から波を受け、船体が波に乗り上がって船首が持ち上がり、椅子席に腰を掛けていた旅客の身体が浮き上がって、船体が波頂を越えて波間に降下したところに、旅客が同席へ落下して衝撃を受け、負傷したと推測される。

客室椅子席に腰を掛けた旅客は、着席位置での最低加速度（マイナスの最大加速度）が -1 G （ジー）^{*3}を超えなければ、船体（椅子席）の上下動と一緒に上下するので、衝撃的な力がかからない。

一方、旅客は、最低加速度が -1 G を超えた場合、腰が椅子席から浮き、この瞬間から加速度 1 G の自由落下運動を始め、旅客の身体と先に下がっていた船体（椅子席）との位置が同一となったとき、身体と船体との相対的な距離がゼロとなって腰が椅子席に衝突する。

衝突時の着席位置での船体速度は、下向きの速度の場合、身体の落下速度に近づけば衝撃が小さいが、上向きの速度の場合、衝撃が非常に大きくなる。

^{*3} 「G（ジー）」とは、加速度を表す単位をいう。地球の地表付近では、物体は地面の方向への力（重力）を受けており、その大きさはその物体の質量に比例する。この比例定数を重力加速度と呼び、物体が自由落下する場合の加速度と一致する。重力加速度は、加速度の単位としても用いられ、重力加速度と同じ加速度を 1.0 G （ジー）と表す。

衝突後から身体と船体は同じ運動を始め、衝突の瞬間の身体と船体との相対的な速度差を v 、旅客の質量を m とすると、運動量 mv が極めて短い時間に0（ゼロ）へと変化することとなり、大きな力積 mv が旅客に衝撃的な荷重として掛かることとなる。

本件解析では、旅客が客室椅子席から浮き上がらなければ負傷することはないので、加速度が $-1G$ 以下になるか否かをもって、危険性の評価及び安全性の評価を行うこととした。

(図10 参照)

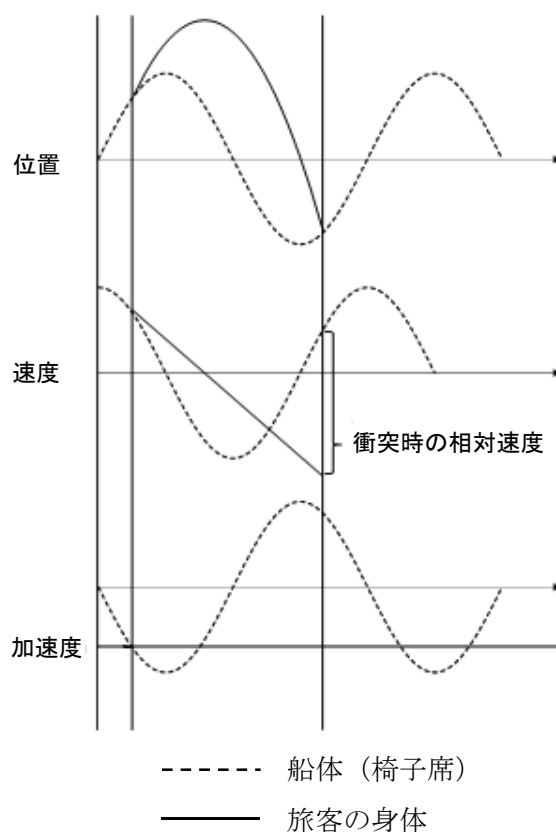


図10 上下運動の概念図

2.9.3 船体の上下加速度の解析結果

(1) 波周期と上下加速度

速力 $V=11.6$ kn、出会い角 $\chi=180^\circ$ 、波高 $H=2.0$ mの条件において波周期をパラメータとして、解析位置での上下加速度の解析を行った結果は、表9のとおりであり、以後、表及びグラフにおける数値は絶対値で示す。

波周期 $T=4$ secの場合、全ての着席位置等で上下加速度の最大値が最も大きくなるのが分かる。なお、波周期 $T=3$ secではこれ以上大きな波高が理論上発生せず、波周期 $T=5$ 又は 6 secでは旅客が椅子席から浮き上がる加速度が発生するにはかなり大きな波高が必要であるので、本件解析では船長の口述から得た波周期 $T=4$ secを取り上げることとした。

本件解析では、本事故当時を想定した本船の航行及び波の状態を定めるに当たり、速力は、本事故当時の風及び波による速力の低下を勘案し、事実情報より得られた主機が約 $1,200$ rpmで運転していた場合に相当する $V=11.6$ knを採用することとし、出会い角は $\chi=180^\circ$ 、波高は $H=2.0$ m及び波周期は $T=4$ secとした条件（以下「想定条件」という。）を基に解析を行った。

表 9 最大上下加速度解析結果

(着座位置、波周期の影響 : V=11.6kn、 $\chi=180^\circ$ 、H=2.0m)

着席位置	F.P.	最前列	第2列	第3列	第4列	第5列	第6列	第7列	第8列	操縦席	重心	シートベルト 付き椅子席列	船尾部 甲板	A.P.
波周期 (s)	最大上下加速度 (G)													
3	0.54	0.38	0.35	0.31	0.28	0.24	0.20	0.17	0.13	0.06	0.06	0.06	0.15	0.27
4	1.86	1.41	1.32	1.23	1.13	1.05	0.97	0.89	0.83	0.74	0.73	0.72	0.82	1.06
5	0.86	0.68	0.65	0.61	0.58	0.55	0.52	0.50	0.48	0.45	0.45	0.45	0.49	0.58
6	0.41	0.35	0.34	0.33	0.31	0.30	0.30	0.29	0.28	0.28	0.28	0.28	0.30	0.33

(2) 速力と上下加速度

想定条件において速力をパラメータとして、解析位置での上下加速度の解析結果を図 1 1 及び表 1 0 に示す。

上下加速度が -1 G を超えない場合は船体が上下しても身体は浮かず、 -1 G を超えた場合は着席していた旅客の身体が宙に浮くこととなる。

以下(4)までの表中の各セルの色分けは、旅客が椅子席と同じ上下動をする -1 G 未満を緑色、旅客の身体が椅子席から浮き上がる -1 G 以上を赤色で区別して表記した。結果として、速力が大きいほど、着席位置等が重心から離れるほど上下加速度の最大値が大きくなる傾向が分かる。

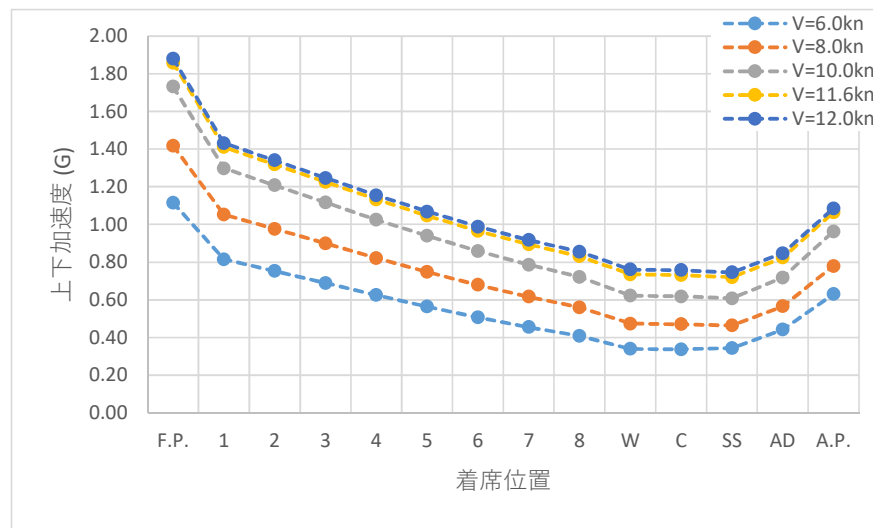


図 1 1 最大上下加速度解析結果 (着席位置等、速力の影響 : $\chi=180^\circ$ 、T=4sec、H=2.0m)

表 1 0 最大上下加速度解析結果 (着席位置等、速力の影響 : $\chi=180^\circ$ 、T=4sec、H=2.0m)

着席位置	F.P.	最前列	第2列	第3列	第4列	第5列	第6列	第7列	第8列	操縦席	重心	シートベルト 付き椅子席列	船尾部 甲板	A.P.
($x-x_G$)/Lpp	0.62	0.42	0.38	0.33	0.28	0.24	0.19	0.15	0.10	0.01	0.00	-0.11	-0.23	-0.38
船速 (kt)	最大上下加速度 (G)													
6.0	1.12	0.82	0.75	0.69	0.62	0.56	0.51	0.45	0.41	0.34	0.34	0.34	0.44	0.63
8.0	1.42	1.05	0.98	0.90	0.82	0.75	0.68	0.62	0.56	0.47	0.47	0.46	0.57	0.78
10.0	1.73	1.30	1.21	1.12	1.03	0.94	0.86	0.79	0.72	0.62	0.62	0.61	0.72	0.96
11.6	1.86	1.41	1.32	1.23	1.13	1.05	0.97	0.89	0.83	0.74	0.73	0.72	0.82	1.06
12.0	1.88	1.43	1.34	1.25	1.15	1.07	0.99	0.92	0.86	0.76	0.76	0.75	0.85	1.08

(3) 波との出会い角と上下加速度

想定条件において出会い角をパラメータとした解析位置での上下加速度解析結果を図 1 2 及び表 1 1 に示す。

出会い角 $\chi=180^\circ$ (正船首向波状態) の上下加速度が最も大きく、斜め向波になると加速度が徐々に減少し、出会い角が $\chi=225^\circ$ まで増加すると加速度が -1 G を超える着席位置等が見られなくなった。

ただし、本件解析では船体のセンターライン上で加速度を解析したので、横揺れの影響を加味しなかったが、出会い角を大きくとった場合、横揺れの影響により椅子席上で大きな加速度が発生する危険性がある。

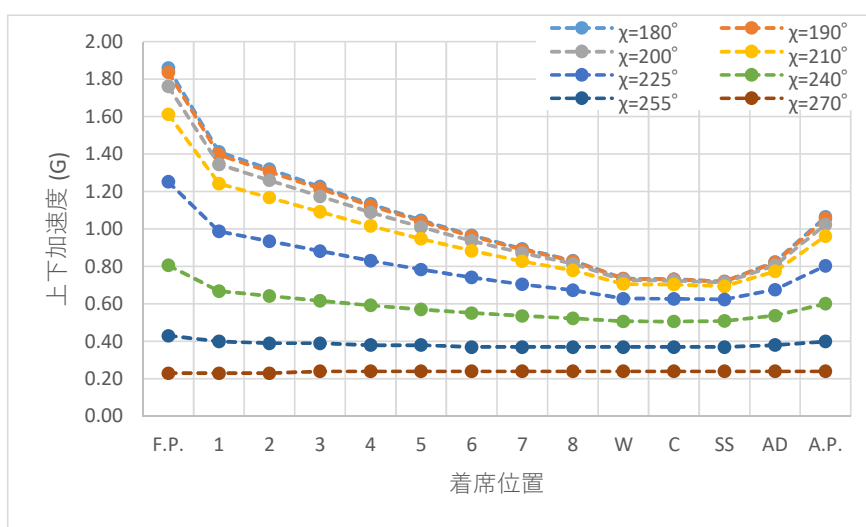


図 1 2 最大上下加速度解析結果 (着席位置等、出会い角の影響 : $V=11.6\text{kn}$ 、 $T=4\text{sec}$ 、 $H=2.0\text{m}$)

表 1 1 最大上下加速度解析結果 (着席位置等、出会い角の影響 : $V=11.6\text{kn}$ 、 $T=4\text{sec}$ 、 $H=2.0\text{m}$)

着席位置	F.P.	最前列	第2列	第3列	第4列	第5列	第6列	第7列	第8列	操縦席	重心	シートベルト付き椅子席列	船尾部甲板	A.P.
$(x-x_G)/L_{pp}$	0.62	0.42	0.38	0.33	0.28	0.24	0.19	0.15	0.10	0.01	0.00	-0.11	-0.23	-0.38
出会い角 (deg.)	最大上下加速度 (G)													
180	1.86	1.41	1.32	1.23	1.13	1.05	0.97	0.89	0.83	0.74	0.73	0.72	0.82	1.06
190	1.84	1.40	1.31	1.21	1.12	1.04	0.96	0.89	0.83	0.73	0.73	0.72	0.82	1.05
200	1.76	1.34	1.26	1.17	1.09	1.01	0.94	0.87	0.81	0.73	0.72	0.71	0.81	1.02
210	1.61	1.24	1.17	1.09	1.02	0.95	0.88	0.83	0.78	0.71	0.70	0.69	0.77	0.96
225	1.25	0.99	0.93	0.88	0.83	0.78	0.74	0.70	0.67	0.63	0.63	0.62	0.68	0.80
240	0.81	0.67	0.64	0.62	0.59	0.57	0.55	0.54	0.52	0.51	0.51	0.51	0.54	0.60
255	0.43	0.40	0.39	0.39	0.38	0.38	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.38	0.40
270	0.23	0.23	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24

(4) 波高と上下加速度

想定条件において波高をパラメータとした旅客の各着席位置等での上下加速度解析結果を図 1 3 及び表 1 2 に示す。

波高 1.5 m から、最前列で -1 G を超え始め、波高 2.0 m では最前列で

比較的大きな加速度が発生し、 -1 G を超える着席位置等の範囲が第5列まで拡大している。

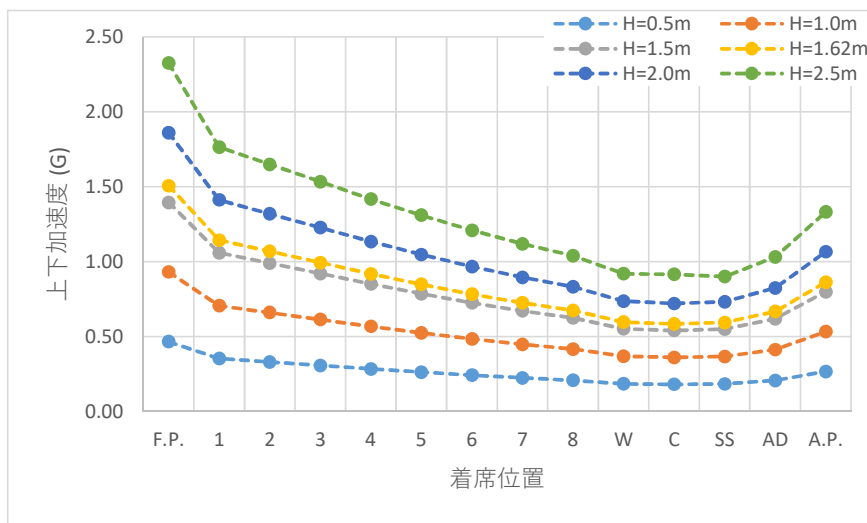


図 1 3 最大上下加速度解析結果（着席位置等、波高の影響： $V=11.6\text{kn}$ 、 $\chi=180^\circ$ 、 $T=4\text{sec}$ ）

表 1 2 最大上下加速度解析結果（着席位置等、波高の影響： $V=11.6\text{kn}$ 、 $\chi=180^\circ$ 、 $T=4\text{sec}$ ）

着席位置	F.P.	最前列	第2列	第3列	第4列	第5列	第6列	第7列	第8列	操縦席	重心	シートベルト付き椅子席列	船尾部甲板	A.P.
$(x-x_G)/L_{pp}$	0.62	0.42	0.38	0.33	0.28	0.24	0.19	0.15	0.10	0.01	0.00	-0.11	-0.23	-0.38
波高 (m)	最大上下加速度 (G)													
0.5	0.46	0.35	0.33	0.31	0.28	0.26	0.24	0.22	0.21	0.18	0.18	0.18	0.21	0.27
1.0	0.93	0.71	0.66	0.61	0.57	0.52	0.48	0.45	0.42	0.37	0.36	0.37	0.41	0.53
1.5	1.39	1.06	0.99	0.92	0.85	0.79	0.72	0.67	0.62	0.55	0.54	0.55	0.62	0.80
1.62	1.51	1.14	1.07	0.99	0.92	0.85	0.78	0.72	0.67	0.60	0.58	0.59	0.67	0.86
2.0	1.86	1.41	1.32	1.23	1.13	1.05	0.97	0.89	0.83	0.74	0.72	0.73	0.82	1.06
2.5	2.32	1.76	1.65	1.53	1.42	1.31	1.21	1.12	1.04	0.92	0.91	0.90	1.03	1.33

2.9.4 旅客の上下運動の解析結果

脊椎損傷の危険性については、先行研究^{*4}において背骨損傷発生確率5%の腰椎圧縮荷重が衝突速度約4.2m/sに相当するという実験結果が報告されている。

しかしながら、本事故では、前部客室の最前列から第3列までの椅子席に腰を掛けていた旅客が脊椎損傷を負っており、本件解析の結果によれば想定条件の下で、衝突速度が4.2m/s以上のみならず3.0m/s台又は2.0m/s台で負傷していたことが分かった。

この理由としては、先行研究と本事故において、椅子席の衝撃吸収機能が異なること、船の前部客室椅子席にはシートベルトの設置がないので加速度が -1 G を超えると旅客の身体が椅子席から浮き上がり船体が降下したところに遅れて落下すること、本事故では高齢の旅客に脊椎損傷が集中しており一般的に加齢により骨強度

*4 「高速船の座席・シートベルトの安全性に関する調査」海技研（平成19年度報告書）

が低下する傾向が確認されていること等に起因するものと推測された。

以上のことを基に、下表のとおり衝突速度 2.0m/s を基準として、2.9.3 の各条件下における着席位置等での最大加速度、椅子席衝突時の身体と船体との相対速度、そして参考として解析した身体と船体との相対距離を合わせ、解析結果を表 1 3 ～ 1 5 に示す。

身体の状態と衝突速度	識別色
身体が浮き上がり衝突速度が 2.0m/s を超える状態	赤色
身体が浮き上がるものの衝突速度 2.0m/s 未満の状態	橙色
身体が浮き上がらない状態	青色

表 1 3 椅子席衝突速度解析結果（着席位置等、速力の影響： $\chi=180^\circ$ 、 $T=4\text{sec}$ 、 $H=2.0\text{m}$ ）

船速 (kt)	着席位置	F.P.	最前列	第2列	第3列	第4列	第5列	第6列	第7列	第8列	操縦席	重心	シートベルト付き椅子席列	船尾部甲板	A.P.
6.0	最大加速度 (G)	1.12	0.82	0.75	0.69	0.62	0.56	0.51	0.45	0.41	0.34	0.34	0.34	0.44	0.63
	衝突速度 (m/s)	1.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	最大相対距離 (m)	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8.0	最大加速度 (G)	1.42	1.05	0.98	0.90	0.82	0.75	0.68	0.62	0.56	0.47	0.47	0.46	0.57	0.78
	衝突速度 (m/s)	5.60	0.33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	最大相対距離 (m)	0.85	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10.0	最大加速度 (G)	1.73	1.30	1.21	1.12	1.03	0.94	0.86	0.79	0.72	0.62	0.62	0.61	0.72	0.96
	衝突速度 (m/s)	9.64	3.33	2.07	0.94	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	最大相対距離 (m)	1.83	0.39	0.20	0.07	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11.6	最大加速度 (G)	1.86	1.41	1.32	1.23	1.13	1.05	0.97	0.89	0.83	0.74	0.73	0.72	0.82	1.06
	衝突速度 (m/s)	10.58	4.65	3.39	2.16	1.05	0.23	-	-	-	-	-	-	-	0.37
	最大相対距離 (m)	2.07	0.60	0.38	0.20	0.07	0.01	-	-	-	-	-	-	-	0.02
12.0	最大加速度 (G)	1.88	1.43	1.34	1.25	1.15	1.07	0.99	0.92	0.86	0.76	0.76	0.75	0.85	1.08
	衝突速度 (m/s)	10.67	4.85	3.61	2.40	1.27	0.40	-	-	-	-	-	-	-	0.55
	最大相対距離 (m)	2.08	0.63	0.41	0.23	0.10	0.02	-	-	-	-	-	-	-	0.03

表 1 4 椅子席衝突速度解析結果（着席位置等、出会い角の影響： $V=11.6\text{kn}$ 、 $T=4\text{sec}$ 、 $H=2.0\text{m}$ ）

出会い角 (deg.)	着席位置	F.P.	最前列	第2列	第3列	第4列	第5列	第6列	第7列	第8列	操縦席	重心	シートベルト付き椅子席列	船尾部甲板	A.P.
180	最大加速度 (G)	1.86	1.41	1.32	1.23	1.13	1.05	0.97	0.89	0.83	0.74	0.73	0.72	0.82	1.06
	衝突速度 (m/s)	10.58	4.65	3.39	2.16	1.05	0.23	-	-	-	-	-	-	-	0.37
	最大相対距離 (m)	2.07	0.60	0.38	0.20	0.07	0.01	-	-	-	-	-	-	-	0.02
190	最大加速度 (G)	1.84	1.40	1.31	1.21	1.12	1.04	0.96	0.89	0.83	0.73	0.73	0.72	0.82	1.05
	衝突速度 (m/s)	10.39	4.48	3.24	2.04	0.96	0.18	-	-	-	-	-	-	-	0.30
	最大相対距離 (m)	2.01	0.57	0.36	0.19	0.07	0.01	-	-	-	-	-	-	-	0.01
200	最大加速度 (G)	1.76	1.34	1.26	1.17	1.09	1.01	0.94	0.87	0.81	0.73	0.72	0.71	0.81	1.02
	衝突速度 (m/s)	9.64	3.85	2.68	1.57	0.61	0.06	-	-	-	-	-	-	-	0.09
	最大相対距離 (m)	1.80	0.46	0.28	0.13	0.04	0.00	-	-	-	-	-	-	-	0.00
210	最大加速度 (G)	1.61	1.24	1.17	1.09	1.02	0.95	0.88	0.83	0.78	0.71	0.70	0.69	0.77	0.96
	衝突速度 (m/s)	7.93	2.54	1.54	0.66	0.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	最大相対距離 (m)	1.36	0.26	0.13	0.04	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
225	最大加速度 (G)	1.25	0.99	0.93	0.88	0.83	0.78	0.74	0.70	0.67	0.63	0.63	0.62	0.68	0.80
	衝突速度 (m/s)	2.91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	最大相対距離 (m)	0.34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
240	最大加速度 (G)	0.81	0.67	0.64	0.62	0.59	0.57	0.55	0.54	0.52	0.51	0.51	0.51	0.54	0.60
	衝突速度 (m/s)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	最大相対距離 (m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
255	最大加速度 (G)	0.43	0.40	0.39	0.39	0.38	0.38	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.38	0.40
	衝突速度 (m/s)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	最大相対距離 (m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
270	最大加速度 (G)	0.23	0.23	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
	衝突速度 (m/s)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	最大相対距離 (m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

表 1 5 椅子席衝突速度解析結果（着席位置等、波高の影響：V=11.6kn、 $\chi=180^\circ$ 、T=4sec）

波高 (m)	着席位置		F.P.	最前列	第2列	第3列	第4列	第5列	第6列	第7列	第8列	操縦席	重心	シートベルト付き椅子席列	船尾部甲板	A.P.
	0.5	最大加速度	(G)	0.46	0.35	0.33	0.31	0.28	0.26	0.24	0.22	0.21	0.18	0.18	0.18	0.21
衝突速度		(m/s)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
最大相対距離		(m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.0	最大加速度	(G)	0.93	0.71	0.66	0.61	0.57	0.52	0.48	0.45	0.42	0.37	0.36	0.37	0.41	0.53
	衝突速度	(m/s)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	最大相対距離	(m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.5	最大加速度	(G)	1.39	1.06	0.99	0.92	0.85	0.79	0.72	0.67	0.62	0.55	0.54	0.55	0.62	0.80
	衝突速度	(m/s)	4.42	0.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	最大相対距離	(m)	0.55	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.62	最大加速度	(G)	1.51	1.14	1.07	0.99	0.92	0.85	0.78	0.72	0.67	0.60	0.58	0.59	0.67	0.86
	衝突速度	(m/s)	5.70	1.00	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	最大相対距離	(m)	0.80	0.07	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.0	最大加速度	(G)	1.86	1.41	1.32	1.23	1.13	1.05	0.97	0.89	0.83	0.74	0.72	0.73	0.82	1.06
	衝突速度	(m/s)	10.58	4.65	3.39	2.16	1.05	0.23	-	-	-	-	-	-	-	0.37
	最大相対距離	(m)	2.07	0.60	0.38	0.20	0.07	0.01	-	-	-	-	-	-	-	0.02
2.5	最大加速度	(G)	2.32	1.76	1.65	1.53	1.42	1.31	1.21	1.12	1.04	0.92	0.91	0.90	1.03	1.33
	衝突速度	(m/s)	15.50	9.39	7.89	6.32	4.72	3.25	1.93	0.88	0.18	-	-	-	0.12	3.54
	最大相対距離	(m)	4.05	1.71	1.30	0.93	0.61	0.36	0.17	0.06	0.01	-	-	-	0.00	0.40

2.9.5 脊椎損傷等の危険性評価及び安全性の検証

本件解析では、衝突速度 2.0 m/s を基準として脊椎損傷の危険性を下表のとおり評価すると、表 1 6～1 8 に示す判定結果となった。また、表 1 6～1 8 の結果をグラフに表し、衝突速度 2.0 m/s を赤線で示すと図 1 4 のとおりとなる。

身体の状態と衝突速度	評価	識別色
身体が浮き上がり衝突速度が 2.0 m/s を超える状態	危険	赤色
身体が浮き上がるものの衝突速度 2.0 m/s 未満の状態	要注意	橙色
身体が浮き上がらない状態	問題なし	青色

その結果、想定条件から速力、出会い角及び波高が変化した場合、次のような傾向を確認することができた。

- (1) 表 1 6 によれば、速力 V=10 kn で最前列と第 2 列で危険という評価となり、速力が 10 kn より増加すると第 3 列でも同じ評価となった。
- (2) 表 1 7 によれば、出会い角 $\chi=180^\circ$ で第 3 列まで危険の評価となり、出会い角を大きくとることでこれらの評価が下がった。
- (3) 表 1 8 によれば、波高 H=1.0 m までは問題なしであったが、波高 H=1.5 m から要注意の評価が現れ、波高 H=2.0 m から危険と評価される椅子席が発生し始めた。

(図 1 4 参照)

表 1 6 危険性評価（着席位置等、速力の影響： $\chi=180^\circ$ 、 $T=4\text{sec}$ 、 $H=2.0\text{m}$ ）

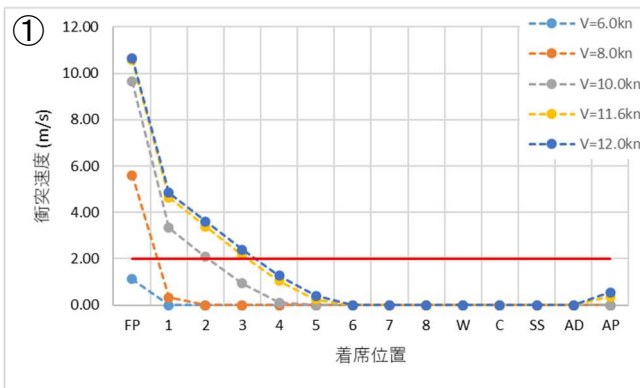
着席位置	F.P.	最前列	第2列	第3列	第4列	第5列	第6列	第7列	第8列	操縦席	重心	シートベルト 付き椅子席列	船尾部 甲板	A.P.
船速 (kt)	衝突速度 (m/s)													
6.0	1.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8.0	5.60	0.33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10.0	9.64	3.33	2.07	0.94	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11.6	10.58	4.65	3.39	2.16	1.05	0.23	-	-	-	-	-	-	-	0.37
12.0	10.67	4.85	3.61	2.40	1.27	0.40	-	-	-	-	-	-	-	0.55

表 1 7 危険性評価（着席位置等、出会い角の影響： $V=11.6\text{kn}$ 、 $T=4\text{sec}$ 、 $H=2.0\text{m}$ ）

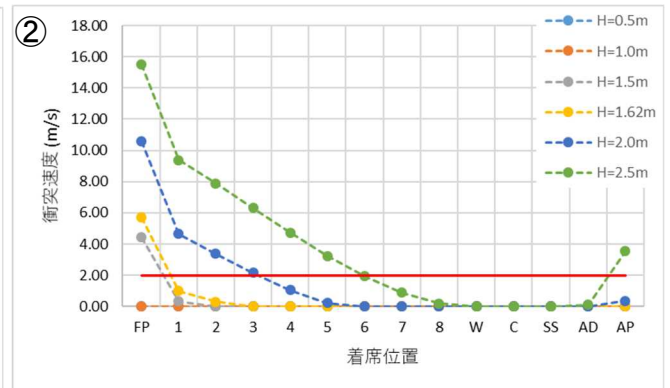
着席位置	F.P.	最前列	第2列	第3列	第4列	第5列	第6列	第7列	第8列	操縦席	重心	シートベルト 付き椅子席列	船尾部 甲板	A.P.
出会い角 (deg.)	衝突速度 (m/s)													
180	10.58	4.65	3.39	2.16	1.05	0.23	-	-	-	-	-	-	-	0.37
190	10.39	4.48	3.24	2.04	0.96	0.18	-	-	-	-	-	-	-	0.30
200	9.64	3.85	2.68	1.57	0.61	0.06	-	-	-	-	-	-	-	0.09
210	7.93	2.54	1.54	0.66	0.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
225	2.91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
240	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
255	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
270	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

表 1 8 危険性評価（着席位置等、波高の影響： $V=11.6\text{kn}$ 、 $\chi=180^\circ$ 、 $T=4\text{sec}$ ）

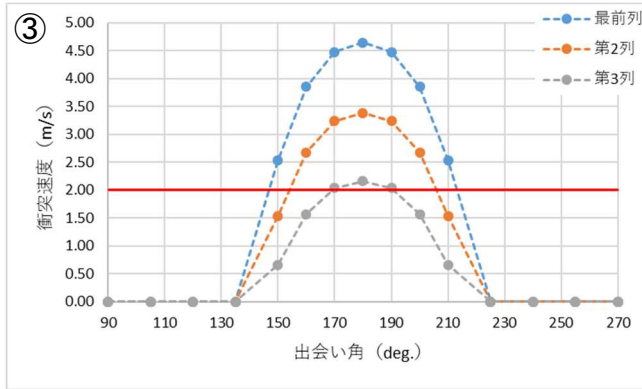
着席位置	F.P.	最前列	第2列	第3列	第4列	第5列	第6列	第7列	第8列	操縦席	重心	シートベルト 付き椅子席列	船尾部 甲板	A.P.
波高 (m)	衝突速度 (m/s)													
0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.5	4.42	0.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.62	5.70	1.00	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.0	10.58	4.65	3.39	2.16	1.05	0.23	-	-	-	-	-	-	-	0.37
2.5	15.50	9.39	7.89	6.32	4.72	3.25	1.93	0.88	0.18	-	-	-	0.12	3.54



速力の変化と着席位置等での衝突速度



波高の変化と着席位置等での衝突速度



解析条件

- ① 着席位置等、速力の影響 : $\chi=180^\circ$ 、 $T=4\text{sec}$ 、 $H=2.0\text{m}$
- ② 着席位置等、波高の影響 : $V=11.6\text{kn}$ 、 $\chi=180^\circ$ 、 $T=4\text{sec}$
- ③ 着席位置等、出合い角の影響 : $V=11.6\text{kn}$ 、 $T=4\text{sec}$ 、 $H=2.0\text{m}$

出合い角の変化での衝突速度

図 1 4 速力、波高及び波の出合い角の変化による衝突速度の危険性評価

2.9.6 本件解析のまとめ

本件解析の結果から、脊椎損傷事故を防ぐ対策としては以下のとおり考えられる。

- (1) 図 1 3 及び表 1 5、1 8 によれば、船速 $V=11.6\text{kn}$ 、出合い角 $\chi=180^\circ$ 、波周期 $T=4\text{sec}$ の場合、最前列では波高 $H=1.5\text{m}$ から上下加速度の最大値が -1G を超え始め、波高 $H=2.0\text{m}$ では衝突速度 2.0m/s が第 3 列まで存在するようになる。
- (2) 図 1 1 及び表 1 3、1 6 によれば、船速を落とせば加速度が減少するので旅客の身体が浮く危険性が低くなり、また、船速を落とせば身体が浮いた場合でも脊椎損傷の危険性が低くなる。
- (3) 図 1 2 及び表 1 4、1 7 によれば、正船首向波状態（出合い角 $\chi=180^\circ$ ）に比べて横波（出合い角 $\chi=270^\circ$ ）を受ける方が、加速度が小さく、椅子席との衝突速度も低くなる。

2.10 荒天時の操船に関する情報

文献^{*5}によれば、荒天時の操船及び船体が受ける衝撃について、次のとおり記載されている。

(1) 荒天時における操船措置

(中略)

動揺を軽減するための針路選定

一般に、波浪を船首 $20\sim 30$ 度方向から受けるように針路を取るのがよいとされている。

*5 「操船の理論と実際」 (井上欣三著、株式会社成山堂書店、平成 26 年 1 2 月 8 日再版発行)

(2) 荒天時の操舵、回頭

波浪中では大きな横傾斜を起こさないためにも、大舵角の転舵や大角度の変針は極力避けるべきである。しかし、どうしても必要な場合は、波の様子、動揺の様子を見計らいながら小舵角、低速で小刻みに回頭していくのがよい。

2.11 旅客の負傷部位に関する情報

2.11.1 負傷した旅客の着席姿勢

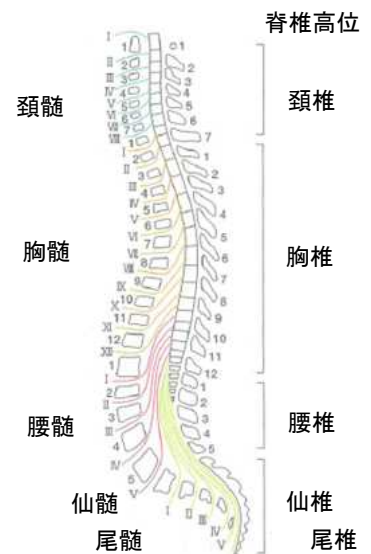
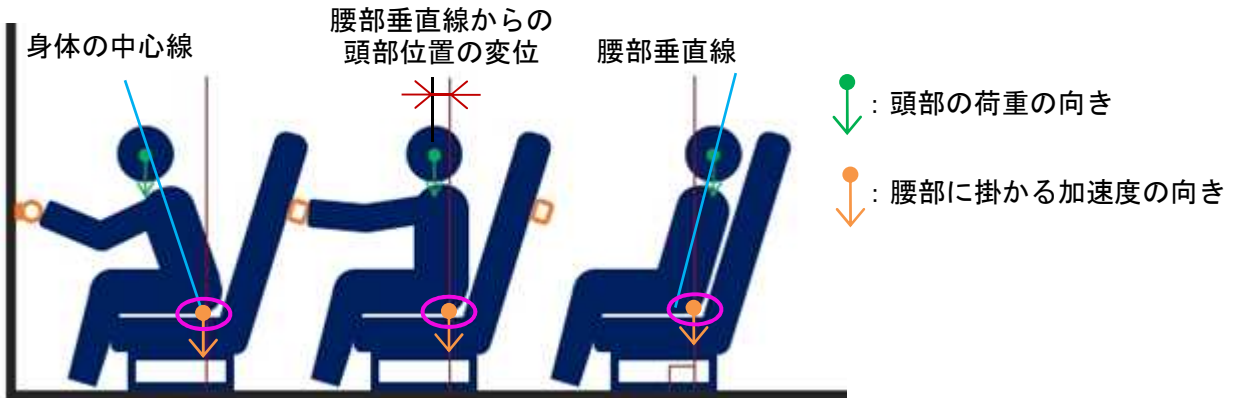
現場調査、負傷した旅客の口述並びに旅客アンケートによれば、本事故当時、負傷した旅客の着席姿勢は、次のとおりであった。

- (1) 本船の椅子席は、一部を除きシートベルトが設置されておらず、前列椅子席との間隔によって制限があるものの、旅客が比較的自由的な姿勢をとりやすかった。
- (2) 負傷した旅客14人は、72%（10人）が椅子席の背もたれから上半身が離れた姿勢をとっており、そのうち50%（5人）が前方にある手摺りや前席背面にある持ち手を掴んで身体を支えていなかった。

2.11.2 身体の姿勢によって異なる脊椎に掛かる荷重

現場調査、甲板員及び指宿南九州消防組合消防本部担当者の口述並びに旅客アンケートによれば、身体の姿勢による脊椎に掛かる荷重は次のとおりであった。

- (1) 旅客の着席姿勢は、図15に示すとおりであった。
- (2) 旅客が椅子席に深く腰を掛けた姿勢は、腰部が座面の船尾側の位置にあり、背中が背もたれに着くと、頭部が座面に接した腰部から垂直に立てた線（以下「腰部垂直線」という。）よりも後方となる。一方、上半身を垂直に起こしたり、前方にある手摺り又は持ち手を掴む前傾姿勢をとった旅客は、頭部が腰部垂直線よりも前方に移り、頭部が脊椎の直上方に位置していなかった。
- (3) 負傷した旅客は、本船が本事故時に高波を受けたとき、椅子席から身体が浮き上がった後に同席座面に落下したので、図15右の着席姿勢の場合、頭部及び身体の荷重が脊椎を介して座面に接する腰部にほぼ垂直に掛かるが、船体動揺があるなかで上半身が前方に移動（図15中央）又は前傾姿勢（図15の左）となる場合、頭部及び身体の荷重が、腰部と共に、腰部を支点とした身体を中心線にある脊椎に圧縮（圧迫）、曲げ等の力として作用することとなる。



右図の出典元：「整形外科専門医になるための診療スタンダード第1巻 脊椎・脊髄」

図15 旅客の着席姿勢及び脊椎の概略

2.1.2 根占港の地形に関する情報

現場調査、A社フェリー船長の口述及び海図によれば、次のとおりであった。

- (1) 根占港は、南大隅町に流れる雄川の河口に位置し、北側を防波堤で、南側及び東側を高台及び山に囲まれた西側に開けた港で、船舶が港内を航行する水域が長さ約1,200m、幅平均約100m、最狭部約75mの水路となっており、三方が囲まれて波が立ちにくく海面状態が静穏である一方、船舶が港外に出たとき、急に波にさらされて船体が動揺することとなる。
- (2) 根占港港外の海域は、うねりが寄せてくるので波高が高くなり易く、同港出港時、ふだんからこの付近で船体動揺があり、鹿児島湾を西進するにつれて波高が低くなる。
- (3) 根占港北西沖の鹿児島湾中央部は、水深が約100mであるものの、根占港北防波堤灯台の北西方にある本事故現場付近は、水深が、6～7mであり、河

口付近が2～3mであって、同港北側に流れる雄川が上流から土砂を運んできた浅瀬が広がっており、更に河口では1m未満となっている。

本事故現場の海域は、風向が南南東、風速が平均風速2.6m/s、最大瞬間風速5.4m/s（指宿地域気象観測所、令和2年3月24日13時30分の気象データ）の風が吹いたとき、波が寄せて根占港北防波堤灯台付近で白波が立つ状況であった。（図16参照）



根占港港内



雄川の河口



根占港北防波堤灯台付近の波の状況

図16 根占港港内及び港外の状況

2.1.3 小型旅客船における旅客負傷事故の発生事例

平成20年から令和2年10月までに運輸安全委員会が公表した事故調査報告書において、水中翼船を除く小型旅客船等が単独で航行し、船体動揺によって旅客が脊椎等を負傷した事故は16件であった。

（付表2 旅客船の船体動揺により旅客が脊椎骨折を負った事故事例 参照）

3 分析

3.1 事故発生の状況

3.1.1 事故発生に至る経過

2.1.1及び2.8から、次のとおりであったものと考えられる。

- (1) 船長は、15時50分ごろ、根占港出航にあたり、気象及び海象の確認を行い、発航が可能であると判断した。
- (2) 本船は、旅客55人を乗せ、16時20分ごろ船長が手動操舵で操船して本件棧橋を離棧し、根占港港内をほぼ運航基準表に沿って増速した。
- (3) 本船は、根占港北防波堤灯台を右舷方に見て約1.2knの速力で通過し、北北西からの風及び波を受け、船長が船首方から波を受けるよう基準航路より北方の北北西に針路をとって根占港港外を航走させ、船体が上下に大きく動

揺した。

- (4) 本船は、根占港港外を約12knの速力で北北西に向け航行し続けたことから、16時24分ごろ、船体が船首方からの高波に乗り上がって船首が持ち上がり、前部客室で腰を掛けた姿勢の旅客の身体が浮き上がって、船体が波頂を越えて波間に降下したところに、旅客が臀部等から同席へ落下して衝撃を受け、負傷し、その後も数回の高波を受け、船体が上下に大きく動揺した。

3.1.2 事故発生日時及び場所

2.1から、本事故の発生日時は、令和元年12月2日16時24分ごろであり、発生場所は、根占港北防波堤灯台から316°360m付近であったものと考えられる。

3.1.3 負傷者の状況

2.1及び2.2.1から、次のとおりであったものと推定される。

本船は、本事故当時、高波を受けたとき、旅客が椅子席から浮き上がって同席座面へ落下した衝撃により、前部客室の最前列～第3列の椅子席に腰掛けていた旅客①～⑫の12人のうち、5人が胸椎圧迫骨折、腰椎圧迫骨折、脊椎椎体破裂骨折等の重傷を負い、7人が重傷を除く負傷を、第7列の旅客⑬及び⑭の2人が重傷を除く負傷を負った。

3.1.4 損傷の状況

2.3から、本船は、船体、機関及びその他の設備に損傷がなかった。

3.2 事故要因の解析

3.2.1 乗組員の状況

2.4から、船長は、適法で有効な免許を有していた。また、健康状態は良好であったものと考えられる。

3.2.2 船舶等の状況

2.5.2及び2.8から次のとおりであった。

- (1) 本船は、本事故当時、船体、機関及びその他の機器類に不具合又は故障がなかったものと考えられ、また、風向及び風速を測定する設備がなかったものと認められる。
- (2) 根占港フェリーのりば待合所の風向風速計は、風速が観測可能であったが、

風向観測の機能に支障があり、風向が正確な指示をしていなかった可能性があったものと考えられる。

3.2.3 気象及び海象の状況

2.6及び2.12から、次のとおりであった。

本事故当時、指宿及び川辺地域に強風波浪注意報が発表されており、天気は曇り、風速は平均で約10m/s、最大瞬間で14～15m/sの北北西の風が吹き、視界は良好で、潮汐は下げ潮の末期で、潮高は133.7cmであり、波高は、根占港港内が0.5m未満であったものの、同港港外では船長の初認したときよりも実際は高く、1.5～2.0mであったものと考えられる。

本事故発生場所は、現場調査の際に平均風速2.6m/sで波が寄せて白波が立つ状況であったこと、及びふだんからうねりが発生したことから、本事故当時、北北西から平均風速10m/sの風が吹いたとき、本船の船体を上下に動揺させる高い波が寄せていたものと推定される。

3.2.4 安全管理に関する解析

2.1.1、2.5.3、2.7.2及び2.8から、次のとおりであった。

(1) 船長が根占港港内で発航の可否判断を行ったとき、風速が発航中止条件の基準に、また、本船が根占港港外を航行していたとき、波高が基準航行中止条件の基準に達していたものと推定される。

(2) 船長は、次の状況にあったことから、本事故当日、根占港を発航する判断を行ったものと考えられる。

① 安全管理規程では、発航中止に係る判断が困難であると認めるとき、船長は、運航管理者と協議することになっていたものの、実際の運用は、発航の可否判断を運航管理者から一任されており、自分一人で判断することとしたこと。

② 根占港発航前に気象及び海象の観測を行ったとき、風速が発航中止条件の基準の10m/sに達しているものの、同港港内の波高が基準未満であると認めたことから、何とか航行できるだろうと思ったこと。

このとき、船長は、発航中止条件の項目及び数値を理解していたものの、風速、波高ともに発航中止条件の基準を超えた場合に発航を中止すべきとの認識であったこと、また、根占港港内の海面状態を見て本件航路を航行しても大丈夫だろうと思ったこと。

③ 本事故当日、根占港～山川港間を結ぶA社フェリーが運休しており、本船が欠航すると、旅客が他の移動手段を選択せざるを得ないので困るので

はないかと思ったこと。

- (3) 本船は、本事故当日、根占港を出航するとき、前部客室及び後部客室が旅客で満席状態であったことから、旅客を後方の椅子席に移動させることができる状況ではなかったものと推定される。

船長は、旅客に対する遵守事項等の周知が安全管理規程に定める作業基準で掲示により行うこととなっているところ、根占港出航時、旅客に対し、船体動揺が予想される等の注意を口頭で伝えていたものの、船内指令装置を使用する取り決めがなかったことから、同装置を使用して注意を伝えていなかったものと推定される。

- (4) 本船は、ふだんどおり根占港北防波堤灯台を右舷方に見て約1.2knの速力で通過し、北北西の風及び波高1.5～2.0mの波を右舷船首方から受けるようになり、船長が、船体が上下に動揺するものの、運航基準表に定める速力より減速していたことから、船首方からの波を左転しながらかわせば、安全に運航できると思い、また、基準航路より北方の北北西に針路をとることにより、風及び波を船首方から受けるものの、根占港北防波堤灯台西方に設置されたいけす群へ圧流されることを避けようとしたものと考えられる。

- (5) 船長は、船体が上下に動揺した際に、旅客の身体が椅子席から垂直方向に浮き上がり、旅客が同席に落下して脊椎骨折等を負う可能性があると思わなかったものと考えられる。

その後、本船は、船長が、ふだん風が強く波が高いときと同様に操船を行い、北北西に向けた針路から左転して船体動揺を軽減しようと思ったところに高波を受けたものと考えられる。

3.2.5 旅客が負傷に至ったメカニズムに関する解析

2.9.2～2.9.4から、次のとおりであったものと考えられる。

本件解析において、想定条件の下で解析した結果によれば、本事故当時、前部客室の最前列椅子席に腰を掛けた旅客の身体と船体（椅子席）の相対関係は、図16のとおりであった。

①の過程では、船体が波に乗り上がったとき、旅客の身体は、船体と共に上昇していた。

②では、船体はマイナスの加速度が作用しているので上昇する速度が減少していたものの、旅客の身体は、慣性が作用することから、船体よりも速度の減少が遅れ、着席位置での加速度が -1 G を超えた瞬間に椅子席座面から腰が浮き上がって垂直方向に放出された。

③では、船体は旅客よりも早く降下し始め、放出された旅客は、僅かに上昇して最高点④に達した後、初速度 0 で船体（椅子席）に向かって重力により自由落下を始め、下向き速度が増加していった。

⑤では、旅客は、降下している過程にあった船体（椅子席）が最低点に達する前の位置で追いついて同一となったとき、椅子席に 4.65 m/s の衝突速度で衝突した。

また、2列目及び3列目の旅客と船体（椅子席）の衝突も同じ状況であり、衝突速度が 3.39 m/s 及び 2.16 m/s であった。

旅客の身体が椅子席から離れた時点では、船体が降下する速度の方が身体の落下速度よりも速く、その後遅れて身体が自由落下する速度の方が速くなって椅子席に衝突したことから、負傷した旅客の口述にあるような「椅子席に叩きつけられた。」等といった状況が生じた。

以上、想定条件における旅客の身体が船体（椅子席）に落下した状況を説明したが、旅客が落下しているときに船体が降下又は上昇しているかは、そのときの船体の運動によるところとなる。

また、旅客が椅子席から浮き上がった最大相対距離（位置）は、速力が速く又は波高が高くなるほど大きくなる傾向がある。

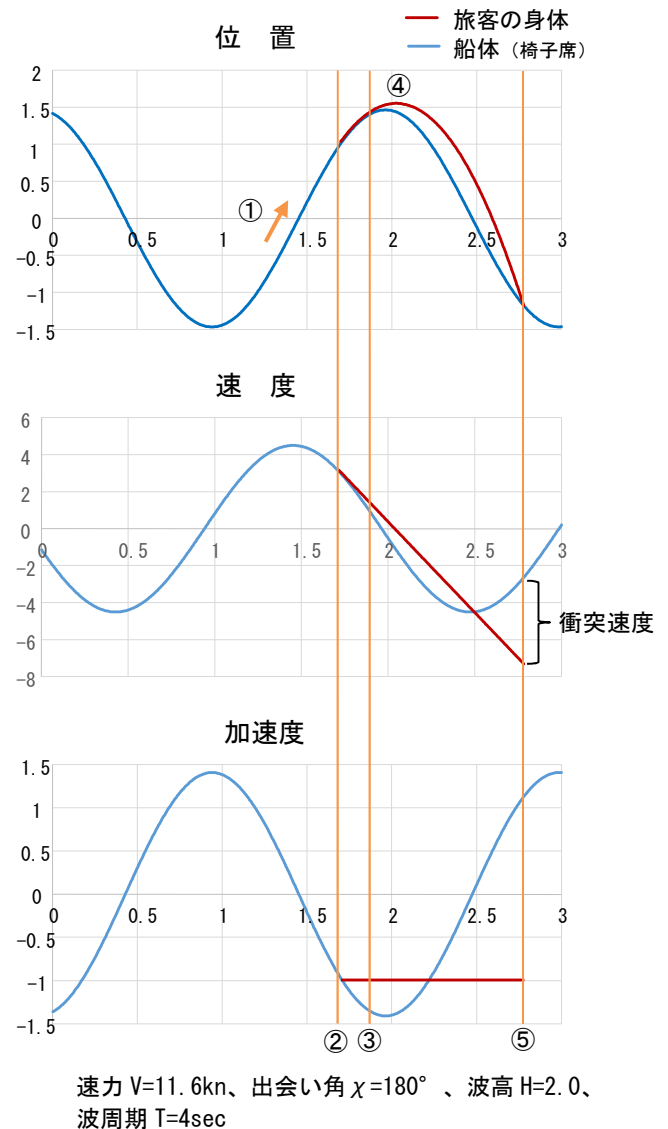


図16 想定条件における旅客の身体と船体（椅子席）の相対関係

3.2.6 本件解析の結果に関する解析

2.9.3、2.9.4 及び 3.2.5 から、旅客の着席位置における衝撃は、次の(1)～(3)の傾向があるものと推定される。

- (1) 旅客の衝撃は、着席位置が船体の重心位置から前後方向に離れるほど大きくなり、本船では船体の重心位置が後方にあるので、船首の方が船体中央から船尾方よりも大きく、客室では船首部にある最前列の椅子席で最大となり、船体中央部船尾側にある操縦席付近及び重心位置で最少となる。
- (2) 船速が早いほど旅客の衝撃は大きくなる。
- (3) 波の出会い角の違いによる旅客と船体（椅子席）の衝突速度は、波との出会い角 180° （正船首向波状態）が最大であり、出会い角 $180^\circ \sim 200^\circ$ （ 20° 斜め向波状態）まで比較的緩やかに減少し、出会い角 200° （ 20° 斜め向波状態）から 270° （横波状態）にかけて急激に減少することから、正船首から波を受ける状況では、波に対する針路を左舷又は右舷 20° 以上にとることで、衝突速度を小さくすることができる。

なお、船体の形状及び特性並びに波の周期及び波高が影響する横揺れにより、波との出会い角が大きくなるほど、衝突速度が大きくなるケースがある。

3.2.7 脊椎損傷の危険性評価に関する解析

2.9.4～2.9.6 及び 3.2.6 から、次のとおりであった。

最前列から第3列の椅子席に腰を掛けていた旅客は、本事故では想定条件下において、身体が船体動揺によって椅子席から浮き上がって同席座面に落下したとき、 2.0m/s 以上の衝突速度を受けて脊椎損傷等を負ったものと考えられる。

本船における旅客の脊椎損傷の危険性は、着席位置が重心位置から離れること、速力が速いこと及び波高が高いことにより、高くなるものと推定される。

なお、本事故では、椅子席に落下した旅客は、 2.0m/s 以上の衝突速度で脊椎に骨折を負ったものの、他の小型旅客船においては椅子席の衝撃吸収機能等が異なることにより、この衝撃速度の数値が変化するものと考えられる。

3.2.8 旅客の負傷部位に関する状況

2.1.1、2.2.1、2.5.3、2.9.2～2.9.6、2.11、3.1.1、3.1.3及び3.2.5～3.2.7から、本船は、本事故時、前部客室船首部の椅子席に腰を掛けていた旅客が、着席位置で落下した衝突速度により衝撃を受けたことから、脊椎に圧迫、曲げ等の力が掛かり、胸椎圧迫骨折、腰椎圧迫骨折、脊椎椎体破裂骨折等を負傷したものと考えられる。

しかしながら、負傷した旅客の正確な着席姿勢、個々の骨強度等を特定すること等が困難であったので、旅客が負傷した部位の傾向を明らかにすることができなかった。

3.2.9 事故発生に関する解析

2.1.1、2.6、2.7.2、2.8、3.1.1～3.1.3及び3.2.3～3.2.7から、次のとおりであったものと考えられる。

(1) 船長は、15時50分ごろ、本船の根占港出航にあたり、気象及び海象の観測を行い、風速がA社の安全管理規程に定める発航中止条件の基準に達していたものの、港内の波高が基準未満であり、風速、波高ともに発航中止条件の基準を超えた場合に発航を中止すべきとの認識であったことから、発航が可能であると判断した。

このとき、船長は、発航の可否判断を運航管理者から一任されていたことから、根占港港内の海面状態を見て本件航路を航行しても大丈夫だろうと思い、発航することを自分一人で判断した。

(2) 本船は、旅客55人を乗せ、16時20分ごろ船長が手動操舵で操船して本件棧橋を離棧し、根占港港内をほぼ運航基準表に沿って増速した。

(3) 本船は、根占港北防波堤灯台を右舷方に見て約12knの速力で通過し、北北西の風及び波高1.5～2.0mの波を船首から受け、基準航行中止条件に達していたが、船長が、船体が上下に動揺するものの、運航基準表に定める速力より減速していたことから、船首方からの波を左転しながらかわせば、安全に運航できると思い、また、基準航路より北方の北北西に針路をとることにより、風及び波を船首方から受けるものの、根占港北防波堤灯台西方に設置されたいけす群へ圧流されることを避けることができると思った。

(4) このとき、船長は、船体が上下に動揺するものの安全に運航できると思い、船体が上下に動揺した際に、旅客の身体が椅子席から垂直方向に浮き上がり、旅客が同席に落下して脊椎骨折等を負う可能性があると思わなかった。

(5) 本船は、根占港港外を約12knの速力で基準航路より北方の北北西に向けて航行し続けたことから、16時24分ごろ、波高1.5～2.0mの波を船首から受け、船体が波に乗り上がって船首が持ち上がり、前部客室の椅子席に腰を掛けた姿勢の旅客の身体が垂直方向に浮き上がって、船体が波頂を越えて波間に降下しているところに、旅客が臀部等から同席へ落下して衝撃を受け、負傷した。

本船は、その後も数回の高波を受け、船体が上下に大きく動揺した。

3.2.10 被害の軽減措置に関する解析

2.1.1、2.2.1、2.7、2.8、2.9.2～2.9.6、2.10、2.11、2.12、3.1.1、3.1.3及び3.2.3～3.2.9から、A社は、次の事項に取り組むことで、同種の事故の防止及び被害軽減ができるものと考えられる。

(1) 小型旅客船の運航における考慮事項

A社は、本事故時、本船が運航基準表よりも減速して航行していたものの、想定条件では前部客室第3列までに $-1G$ 以上の衝撃加速度かつ 2.0 m/s 以上の衝突速度が生じて旅客が脊椎骨折等を負ったことから、管理船舶の操縦者に客室椅子席における脊椎損傷の危険性を周知し、次の措置を行い、これらのことをガイドラインに定めることが重要である。

① 荒天時における客室椅子席の使用制限

船体が波で大きく動揺することが想定されるとき、旅客を船首部にある客室の椅子席から船体動揺の小さい後方の椅子席に移動させる措置を定めること。そのため、本事故当日のように、客室椅子席が満席となるような場合には、旅客の乗船人数を制限すること。

② 基準航行を中止した際の操船方法

ア 運航基準図及び同図の分表に示す基準航行を中止した際、早めに減速を行い、椅子席から身体が浮くことがない速力まで減速すること。

イ 船首方からの波に対して針路変更を行う場合、小舵角をとりつつ、船体の横揺れを考慮し、船体動揺が軽減できる出会い角を選択して操船を行うこと。

(2) 基準航路における再注意喚起

本事故は、本事故発生場所が、ふだんから高波やうねりが発生することをA社の船員が存知していたにもかかわらず発生したものであることから、A社は、基準航路、発航地及び到着地における海域の地形的特徴を確認し、客室の椅子席に腰を掛けた旅客の身体が同席から浮き上がるような高波が発生する場所及びその頻度等について再周知を図ること。

4 原因

本事故は、本船が、A社の安全管理規程に定める発航中止条件及び基準航行中止条件の基準に達する気象及び海象の下、根占港を出航し、同港港外を約 12 kn の速力で基準航路より北方の北北西に向けて航行し続けたため、高波を船首から受け、船体が波に乗り上がって船首が持ち上がり、客室の椅子席に腰を掛けた姿勢の旅客の身体

が浮き上がって、旅客が臀部等から同席へ落下して衝撃を受け、負傷したことにより発生したものと考えられる。

本船が、根占港港外を約12knの速力で基準航路より北方の北北西に向けて航行し続けたのは、船長が、船体が上下に動揺するものの、運航基準表に定める速力より減速していたことから、船首方からの波を左転しながらかわせば、安全に運航できると思ったこと、及び北北西に針路をとることにより、風及び波を船首方から受けるものの、根占港北防波堤灯台西方に設置されたいけす群へ圧流されることを避けることができると思ったことによるものと考えられる。

船長が、船体が上下に動揺するものの安全に運航できると思ったのは、船体が上下に動揺した際に、旅客の身体が椅子席から垂直方向に浮き上がり、旅客が同席に落下して脊椎骨折等を負う可能性があると思わなかったことによるものと考えられる。

本船が、風速がA社の安全管理規程に定める発航中止条件の基準に達する気象及び海象の下、根占港を出航したのは、船長が、風速、波高ともに発航中止条件の基準を超えた場合に発航を中止すべきとの認識であったこと、また、発航の可否判断を運航管理者から一任されていたことによるものと考えられ、このことが本事故の発生に関与した可能性があるものと考えられる。

5 再発防止策

本事故は、本船が、A社の安全管理規程に定める発航中止条件及び基準航行中止条件の基準に達する気象及び海象の下、根占港を出航し、同港港外を約12knの速力で基準航路より北方の北北西に向けて航行し続けたため、高波を船首から受け、船体が波に乗り上がって船首が持ち上がり、客室の椅子席に腰を掛けた姿勢の旅客の身体が浮き上がって旅客が臀部等から同席へ落下して衝撃を受け、負傷したものと考えられる。

5.1 事故後に講じられた事故等防止策

5.1.1 国土交通省により講じられた施策

九州運輸局は、令和元年12月16日に海上運送法に基づく運航管理特別監査をA社に実施し、その結果、海上運送法に規定する安全管理規程の違反等を確認したので、今後再発防止を図る観点から、令和2年2月19日、A社に対し、海上運送法第19条第2項による処分の「輸送の安全確保に関する命令書」を交付し、次の事項等について、早急に措置した上で具体的な対応状況を文書により報告するよう求めた。

- (1) 船長は、運航中止基準に達した場合は発港を中止すること。
- (2) 船長及び運航管理者は、気象・海象情報に基づき運航中止基準に達するおそれがある場合は、運航の可否について協議を行い、その記録を残すこと。
- (3) 社長は、船員及び陸員に対して、事故発生時の対応等の関係法令の遵守について安全教育を実施すること。

5.1.2 A社により講じられた措置

A社は、「輸送の安全確保に関する命令書（令和2年2月19日付け）」を受領した後、令和2年3月13日付けで、次のとおり、具体的な対応を記載した改善報告を九州運輸局長に提出した。

- (1) 船長は、気象・海象に関する情報を入手し、運航の可否判断を的確に行うため、運航の中止に係る判断が困難と認める時は運航管理者と協議を行い、運航中止基準に達したと認めるとき又は達するおそれがあると認めるときは、運航中止の措置をとること。
- (2) 陸上においては、運航管理者及び運航管理補助者が気象・海象に関する情報を把握するとともに、運航が中止されるべきと判断した場合において、船長から運航中止する旨の連絡がないとき又は運航する旨の連絡を受けたときは、船長に対して運航の中止を指示すること。
- (3) 船長及び運航管理者は、運航中止基準にかかる情報、運航の可否判断、運航中止の措置及び協議の結果等を記録すること。
- (4) 安全統括管理者及び運航管理者を兼務している社長は、船員及び陸員に対して、事故発生時の対応を含め関係法令の遵守と安全最優先の原則等、輸送の安全を確保するために必要と認められる事項について安全教育を実施し、その周知徹底を図るとともに、全社的体制で処理する規模の事故を想定した実践的な事故処理に関する訓練を実施し、その記録を残すこと。

また、A社は、安全統括管理者から兼務していた運航管理者の職務を解き、管理職社員が運航管理者に専任で当たり、船舶管理の体制を強化した。

5.2 今後必要とされる事故等防止策

低速（10kn程度）で航行した場合であっても、船体の上下動により旅客が客席から浮かび上がった場合には、その後客席に落下し脊椎骨折等の重傷を負う可能性があるため、A社及び小型旅客船（既に同種事故に対する対策が実施されている小型高速船（総トン数20トン未満、航海速力22ノット以上の船舶であって平水区域のみ

を航行する船舶を除く)を除く)を運航する旅客運送事業者(以下「運送事業者」という。)」は、管理船舶の運航に当たり、次の再発防止策を図ることが重要である。

- (1) 運送事業者は、次の事項を船長等に周知、徹底させること。
 - ① 操船者は、波の影響により船体が動揺するときは、旅客が負傷しないよう十分な減速等を行うこと。
 - ② 船長等は、強風波浪注意報等が発表される等、船体が大きく上下動するような波が想定されるときは、旅客が客席から浮き上がらず、衝撃を受けづらい席(重心位置が後方にある場合は後方の客席)に事前に誘導すること。
- (2) 運送事業者は、基準航路、発航地及び到着地において、地形や潮流の影響を受け、高い波又はうねりが寄せる等の場所を再確認し、その情報を船長等と共有すること。
- (3) 運送事業者は、安全管理規程に定める発航中止条件の基準及び基準航行中止条件の基準の遵守について、船長をはじめ乗組員に対し教育及び定期的な指導を行うこと。

本事故の調査結果を踏まえ、同種の事故の再発防止及び被害の軽減に寄与できるよう、国土交通省海事局、海上保安庁、一般社団法人日本旅客船協会、公益社団法人小型船安全協会等に協力を依頼し、本報告書の内容を周知する。

6 勸告

本事故は、なんきゅう10号が、株式会社なんきゅうドックが定めた安全管理規程における発航中止の条件及び基準航行中止の条件の基準に達する気象及び海象の下、根占港を出航し、同港港外を約12knの速力で基準航路より北方の北北西に向けて航行し続けたため、高波を船首から受け、船体が波に乗り上がって船首が持ち上がり、客室の椅子席に腰を掛けた姿勢の旅客の身体が浮き上がって、旅客が臀部等から同席へ落下して衝撃を受け、負傷したものと考えられる。

なんきゅう10号が、根占港港外を約12knの速力で基準航路より北方の北北西に向けて航行し続けたのは、船長が、船体が上下に動揺するものの、安全管理規程の運航基準図及び同図の別表に定める速力より減速していたことから、船首方からの波を左転しながらかわせば、安全に運航できると思ったこと、及び北北西に針路をとることにより、風及び波を船首方から受けるものの、根占港北防波堤灯台西方に設置されたいけす群へ圧流されることを避けることができるといったことによるものと考えられる。

船長が、船体が上下に動揺するものの安全に運航できると思ったのは、船体が上下に動揺した際に、旅客の身体が椅子席から垂直方向に浮き上がり、旅客が同席に落下して脊椎骨折等を負う可能性があると思わなかったことによるものと考えられる。

なんきゅう10号が、風速が安全管理規程に定める発航の可否判断の基準に達する気象及び海象の下、根占港を出航したのは、船長が、風速、波高ともに同基準を超えた場合に発航を中止すべきとの認識であったこと、また、発航の可否判断を運航管理者から一任されていたことによるものと考えられ、このことが本事故の発生に関与した可能性があるものと考えられる。

平成20年から令和2年10月までに運輸安全委員会が公表した事故調査報告書において、本事故と同様に小型旅客船（水中翼船を除く）が単独で航行し、船体動揺によって旅客が脊椎を負傷した事故は15件発生し、うち11件は、速力が22ノット未満であった。

小型高速船（総トン数20トン未満、航海速力22ノット以上の船舶であって平水区域のみを航行する船舶を除く）を運航する事業者に対しては、既に国土交通大臣から荒天時運航マニュアルの作成、事故防止対策の実施の徹底が指導されているところであるが、小型高速船以外の小型旅客船を運航する旅客運送事業者（以下「運送事業者」という。）に対しても、同種事故の防止対策の実施について指導を行う必要があると考えられる。

このことから、当委員会は、本事故調査の結果を踏まえ、旅客の輸送の安全を確保するため、運輸安全委員会設置法第26条第1項の規定に基づき、下記の通り勧告する。

記

国土交通大臣は、運送事業者に対し、次の対策を実施するよう指導すべきである。

1. 運送事業者は、次の事項を船長等に周知、徹底させること。
 - ① 操船者は、波の影響により船体が動揺するときは、旅客が負傷しないよう十分な減速等を行うこと。
 - ② 船長等は、強風波浪注意報等が発表される等、船体が大きく上下動するような波が想定されるときは、旅客が客席から浮き上がらず、衝撃を受けづらい席（重心位置が後方にある場合は後方の客席）に事前に誘導すること。

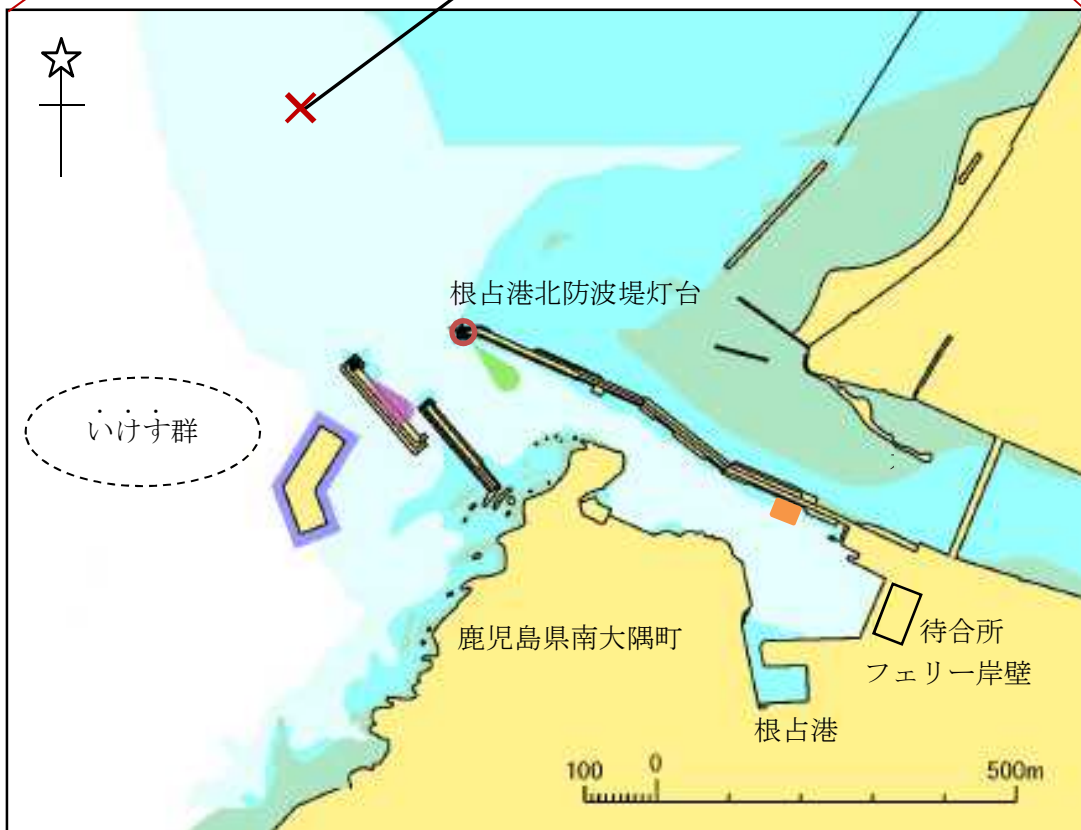
2. 運送事業者は、基準航路、発航地及び到着地において、地形や潮流の影響を受け、高い波又はうねりが寄せる等の場所を再確認し、その情報を船長等と共有すること。

3. 運送事業者は、安全管理規程に定める発航の可否判断及び基準航行の可否判断の基準の遵守について、船長をはじめ乗組員に対し教育及び定期的な指導を行うこと。

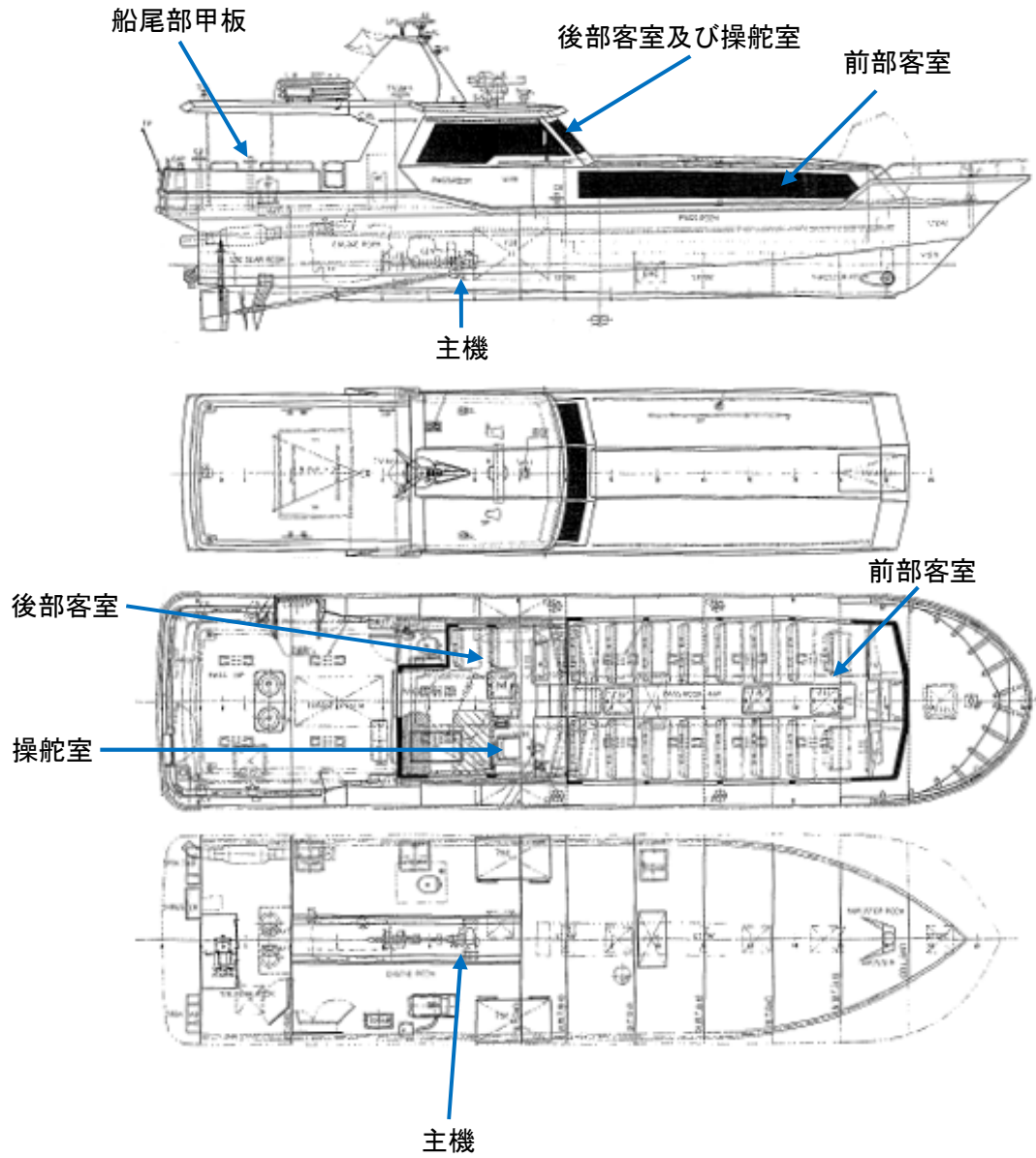
付図1 事故発生場所概略図



事故発生場所
(令和元年12月2日 16時24分ごろ発生)



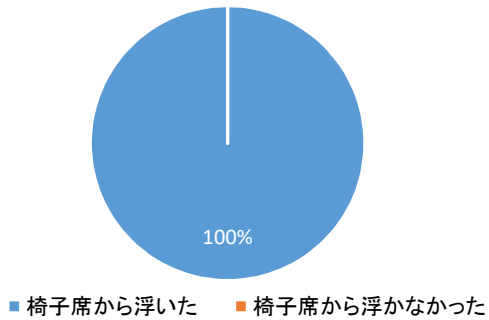
付図2 一般配置図



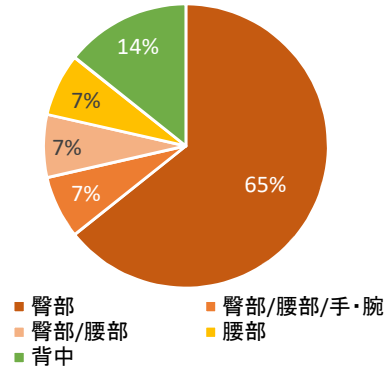
付表1 旅客アンケートの集計結果

本資料は、本事故における旅客の負傷状況及び着席姿勢を調査する目的で、負傷した旅客を対象とし、選択形式及び記述形式のアンケートを行った集計結果である。

Q1 本事故時に身体がどうなったか



Q2 身体を打った部位

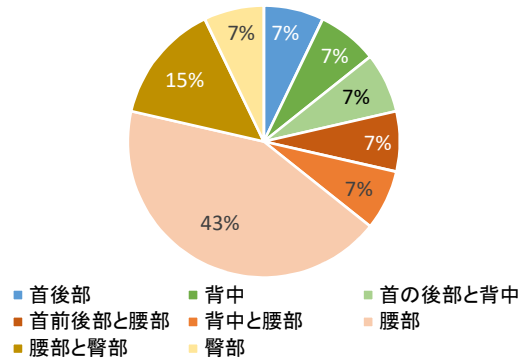


Q3 身体が浮き上がった後の状況

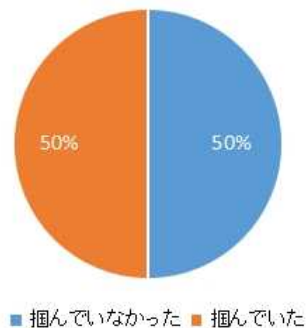
旅客が本事故時に椅子席から浮き上がった後の状況について、回答を得た延べ人数を示す。

- ・椅子席座面に叩きつけられた 9人
- ・椅子席座面で押し上げられた 3人
- ・椅子席座面にぶつかった後、床にずり落ちた 1人
- ・床に叩きつけられた 3人
- ・大きく揺さぶられた 2人

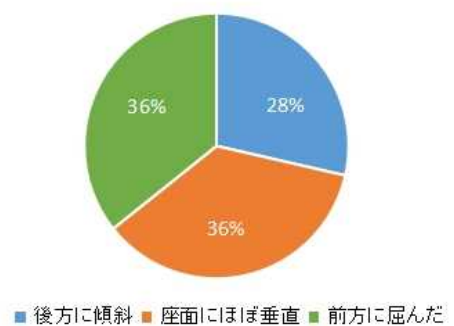
Q4 身体に痛みを感じた部位



Q5 前方の手摺り、前席背面持ち手の利用



Q6 椅子席での上半身の姿勢



付表2 旅客船の船体動揺により旅客が脊椎骨折を負った事故事例

発生日	船 舶	人的被害	事故時状況	概 要	再発防止策等	報告書公表日
2008/5/3	遊覧船 恵丸 2.9トン	旅客1人 胸椎圧迫骨折 腰椎圧迫骨折	速力 10kn 波高 0.5m	船長1人が乗り組み、乗客9人を乗せて航行中、前路に高波が発生している水域を認めた際、変針するか、減速して動揺を軽減しなかったため、同水域に入って船体が上下に動揺し、最前列左舷側の客席に腰掛けていた乗客1人が衝撃を受けたことにより胸椎及び腰椎圧迫骨折を負った。	<ul style="list-style-type: none"> 乗客は下から突き上げるような衝撃を受けているので、客席に手すりを設置すること。 高波の発生している水域を認めた際には、変針するか、減速して動揺を軽減すること。 	2009/6/26
2009/1/11	旅客船 さかもと3 11トン	旅客2人 腰椎圧迫骨折	速力 15kn 波高 1.0m以上	船長ほか1人が乗り組み、旅客28人を乗せて右舷船首方から波を受けながら航行中、針路及び速力を保持していたため、船首が波の頂きを越えて波間に落ち、大きく縦に動揺した際、前部客室の右舷側最前部に座っていた旅客2人が慣性により客席から浮いて離れた後、客席に自由落下した衝撃で腰椎圧迫骨折を負った。	<ul style="list-style-type: none"> 記載なし 	2010/4/23
2009/4/30	旅客船 第九十八 あんえい号 19トン	旅客1人 腰椎圧迫骨折 頭部打撲 旅客1人 腰椎圧迫骨折	速力 25-26kn 波高 2.5m	船長ほか1人が乗り組み、旅客28人を乗せて左舷前方から波を受けながら航行中、大波の接近に直前まで気付かず原速力で航行していたため、船首が大波の波頂に乗って波間に落下し、前部客室の旅客2人が、客席から身体が浮いて離れた後、客席に自由落下した衝撃で腰椎圧迫骨折及び頭部打撲を負った。	<p>船舶所有者に対する勧告</p> <ul style="list-style-type: none"> 船舶所有者は、運航基準等について、乗組員に対し、荒天時の安全運航方策等の内容を踏まえた適切な安全教育を継続的に行い、これらを乗組員に遵守させること。 船舶所有者は、安全管理規程を確実に実施するため、運航する旅客船の大きさ、客室の状況等を考慮して、経路、速力、シートベルトの着用、船体の動揺の少ない客室への誘導等、荒天時の安全対策について検討し、荒天時安全運航マニュアルとしてとりまとめ、同マニュアルを乗組員に教育し、確実に遵守させること。 	2011/3/25
2010/3/8	ダイビング船 ラメール 15トン	旅客1人 腰椎圧迫骨折	速力 15kn 波高 0.5-1.0m	船長ほか2人が乗り組み、ダイビング客3人を乗せて航行中、他船の航走波を認めた際、針路及び速力を保持していたため、船首が航走波の波頂に乗って波間に落下し、前部客室ベンチの船首側に座っていたダイビング客1人が、ベンチから身体が浮いて離れたのち、ベンチに落下した衝撃で腰椎圧迫骨折を負った。	<ul style="list-style-type: none"> 記載なし 	2011/5/27

発生日	船 舶	人的被害	事故時状況	概 要	再発防止策等	報告書公表日
2012/6/16	旅客船 れびーど2 19トン	旅客1人 胸椎圧迫骨折 腰椎圧迫骨折	速力 23kn 波高 2.0m	船長ほか1人が乗り組み、旅客8人を乗せて左舷前方からうねりを受けて航行中、船長が荒天時安全運航マニュアルを遵守していなかったため、高いうねりを乗り越えた際、船体が縦に動揺し、前部客室の旅客1人が客席から浮き上がって天井に頭が当たったのち、客席に落下して胸椎及び腰椎圧迫骨折を負った。	<ul style="list-style-type: none"> 船舶所有者は、乗組員に対し、荒天時安全運航マニュアルを遵守するよう指導を行い、シートベルトの装備を検討すること。 	2013/1/25
2012/6/24	旅客船 第三 あんえい号 19トン	旅客1人 腰椎圧迫骨折	速力 15-22kn 波高 2.0-2.5m	船長ほか1人が乗り組み、旅客56人を乗せ、連続した波を左舷船首方から受けて航行中、旅客を比較的船体動揺の小さい後方客席へ誘導せず、また、旅客がシートベルトを適切に着用できる措置を講じていなかったため、船体が上下に動揺した際、前部客室前方にシートベルトを着用せずに着席していた旅客1人が、客席から身体が浮いて臀部から客席に落下した衝撃で腰椎圧迫骨折を負った。	<ul style="list-style-type: none"> 船舶所有者は、後方客席への旅客の誘導及び乗船人数の制限、シートベルトの適切な着用等に係る旅客への情報提供及びシートベルトの適切な着用の確保、波浪に対する速力調整等、海洋情報の共有、シートベルトの整備及び整頓、クッションシート等の衝撃吸収材の客席への設置、荒天時安全運航マニュアル等の安全教育の実施、コミュニケーションの改善等及び乗組員に負担の少ない運航ダイヤの設定を行うこと。 小型高速船の運航事業者においては、既存の小型高速船について、荒天時安全運航マニュアルを遵守し、特に、旅客に対し、後方客席への誘導及びシートベルトの着用を徹底するとともに、船体前方に客室がある船舶は、客席にクッションシート等の衝撃吸収材を設置すること。また、新造する小型高速船については、上下加速度が小さい場所への客室の配置並びに衝撃吸収材を使用した客席の設置及びシートベルトを整備すること。 	2013/3/29
2012/6/26	旅客船 第三十八 あんえい号 19トン	旅客1人 腰椎圧迫骨折	速力 15-20kn 波高 2.0m	船長ほか1人が乗り組み、旅客66人を乗せて連続した波を左舷船首に受けて航行中、旅客を比較的船体動揺の小さい後方客席へ誘導せず、また、旅客がシートベルトを適切に着用できる措置を講じていなかったため、船首が波頂に乗って波間に落下した際、前部客室前方にシートベルトを着用せずに着席していた旅客1人が、客席から身体が浮いて臀部から客席に落下した衝撃で腰椎圧迫骨折を負った。	<ul style="list-style-type: none"> 上記第三あんえい号と同じ。 	2013/3/29

発生日	船 舶	人的被害	事故時状況	概 要	再発防止策等	報告書公表日
2012/7/8	海上タクシー マーメイドV 3.6トン	旅客2人 腰椎圧迫骨折	速力 20kn 波高 2.5m	船長ほか1人が乗り組み、旅客9人を乗せて航行中、大波に気づくのが遅れて減速が間に合わなかったため、波によって船体が上下に動揺した際、船首甲板の長椅子に腰掛けていた旅客2人が長椅子から浮いて離れたのち、床に落下して腰椎圧迫骨折を負った。	<ul style="list-style-type: none"> 波のある場所では、船体動揺を軽減できる速力で航行すること。 運航基準を遵守すること。 	2013/9/27
2012/9/25	ダイビング船 ラッキー 19トン	旅客1人 腰椎破裂骨折	速力 8kn 波高 2.0-3.0m	船長1人が乗り組み、旅客41人を乗せて航行中、発航前に乗客を比較的船体動揺の影響が小さい後方客席へ誘導しなかったため、大きい波に遭遇して減速したが、船体が縦に動揺し、手摺り及び客席ベルトのないキャビン右舷側客席に座っていた乗客1人が跳ね上げられて客席で腰を打ち、腰椎破裂骨折を負った。	<ul style="list-style-type: none"> 発航前に乗客を比較的船体動揺の影響が小さい後方客席へ誘導すること。 	2013/11/29
2012/11/11	旅客船 ふえにつくす 68トン	旅客1人 胸椎圧迫骨折	速力 10kn 波高 4.0m	船長ほか2人が乗り組み、旅客等77人を乗せて右舷前方からうねりを受けて航行中、適切な基準航路を選択しなかったため、高いうねりを乗り越えた際、船体が縦に動揺し、左舷中央旅客室前方の周囲につかまるものがない床座席に座っていた旅客1人が、浮き上がり、臀部から落下して胸椎圧迫骨折を負った。	<ul style="list-style-type: none"> 船舶所有者は、船長が時化を予想しながらも出港を決定した際、船長に適切な基準航路を選択するよう助言する等、運航基準を遵守させる措置を適切に実施すること。 船長が時化を予想しながらも出港を決定した際、乗組員が後部旅客室の客席に先に座っていた旅客にツアー客を含めた高齢者に席を譲ってくれるよう、適切な措置を講じること。 	2013/7/26
2014/6/5	旅客船 はまかぜ 19トン	旅客1人 右肋骨骨折 胸椎圧迫骨折 腰椎圧迫骨折 外傷性血胸 頸部挫傷 旅客2人 胸椎圧迫骨折	速力 19kn 波高 1.0-1.5m	強風注意報、波浪注意報及び海上強風警報が発表された状況下、船長ほか1人が乗り組み、旅客9人を乗せ、周辺に比べて高い波が発生する海域を航行中、連続した高い波を減速することなく乗り越えたため、船体が波間に落下し、旅客室右舷側中央より前方の旅客3人が、臀部から客席に落下した衝撃で腰椎圧迫骨折等を負った。	<ul style="list-style-type: none"> 船長は、高波が発生しやすい海域付近を航行する際、高い波が発生しやすい海域の航行を避けるか、遭遇する高波の波高に合わせた速力に減速する等の適切な措置をとること。 船長は、荒天に遭遇し船体の動揺が予想される場合には、乗客を後方の客席に誘導することが望ましい。 安全統括管理者は、荒天時、風浪により船体動揺が予想される場合、発航前に乗客に対し、不意の船体動揺に備えて既存のシートベルトを適切に着用させ、船内放送及び船内巡視により、腰が浮かないような体勢をとる等、船体動揺に伴う衝撃を緩和する具体的な指示を行うよう乗組員に周知徹底することが望ましい。 	2016/6/30

発生日	船 舶	人的被害	事故時状況	概 要	再発防止策等	報告書公表日
2014/8/29	遊覧船 RAVEN3 5トン未満	旅客1人 腰椎破裂骨折 右橈骨頭骨折	速力 15-20kn 波高 0.3m	船長1人が乗り組み、旅客3人を乗せて航行中、ほぼ正船首方から航走波を受けたため、船首が上下に動揺し、前部客席にいた旅客1人が、身体が宙に浮いた後、臀部から客席に落下した衝撃で腰椎破裂骨折及び右橈骨頭骨折を負った。	・波浪を乗り越える際には、減速すると共に船体の上下の動揺が少ない針路を適切に設定する必要があり、また、船首において上下の動揺が予想される際には、上下の動揺の小さい船体後部にいることが望ましい。	2015/9/17
2014/12/16	旅客船 サザンキング 19トン	旅客1人 腰椎圧迫骨折	速力 不詳 波高 2.5m	船長ほか1人が乗り組み、旅客56人を乗せて航行中、シートベルトの着用を周知していなかったため、連続した高い波を乗り越え、船首が波間に落下して船体が縦に動揺した際、シートベルトを着用していなかった前部客室左舷前方の旅客1人が客席から身体が浮き上がり、客席に臀部から落下して腰椎圧迫骨折を負った。	・シートベルトの着用を定めた荒天時安全運航マニュアルの遵守の徹底	2016/5/19
2016/4/17	ダイビング船 帆乃夏 3.5トン	旅客1人 腰椎チャンス骨折 旅客1人 腰椎椎間板損傷	速力 6kn以下 波高 1.5m	船長ほか8人が乗り組み、旅客26人を乗せて航行中、旅客を本船の動揺の少ない前部甲板の中央部及び船尾部に着座するように周知しなかったため、波を正船首方で受けて乗り越えた際、船体が上下に動揺し、前部甲板の右舷船首側に居た旅客2人が、浮き上がって臀部から甲板上に落下して腰椎チャンス骨折等を負った。	・波による衝撃を受ける可能性があるときは、荷物を整理し、旅客を甲板の中央部及び船尾部に誘導すること。 ・荒天が予想される場合は、出港を見合わせる事。	2017/8/31
2017/8/10	交通船 Skipjack II 0.9トン	旅客1人 胸椎破裂骨折	速力 9-10kn 波高 0.5-1.0m	船長1人が乗り組み、旅客7人を乗せ、船首方からの波を受けながら航行中、十分に減速しなかったため、波に乗って船首部が上下動した際、右舷船首部に座っていた旅客1人の身体が宙に浮いた後に臀部から落下して胸椎破裂骨折を負った。	・船長は、波の影響により船体が動揺して危険が予想されるときは、旅客を比較的動揺の小さい船体後方等へ移動させるとともに、十分に減速する等波の影響による船体動揺の軽減に努めること。	2019/10/31
2019/1/26	旅客船 れびーど2 19トン	旅客1人 腰椎圧迫骨折 及び腰部打撲	速力 約22kn 波高 約1.3m	船長及び機関員が乗り組み、旅客14人を乗せ、長崎県西海市松山埼西方沖を北北東進中、平成31年1月26日11時23分ごろ、波の峰部分を乗り越えた後、波の谷部分に落下し、この間に船体が大きく動揺（ピッチング）して旅客1人が負傷した。	・船舶所有者は、旅客輸送の更なる安全の強化を図れるよう、強風、波浪注意報の発表期間中は、注意報の発表状況について旅客に情報提供を行った上、前部客室の旅客を比較的揺れの小さい客室後方席に移動させる措置を積極的に採るよう本船の乗組員に指導を行うこと。 ・船長は、荒天時に減速を行う場合、波との衝撃力を軽減して船体の動揺を抑えることができる	2020/10/1

					<p>よう、思い切った大幅な減速を行うこと。</p> <ul style="list-style-type: none"> 船長は、船体動揺後も旅客の負傷の有無を把握しないまま運航を継続した場合、その後の船体動揺により旅客の負傷の程度を大きくさせる可能性があると考えられることから、波やうねりの峰部分を乗り越えて船体が動揺した際、都度臨時の船内巡視を行わせて旅客の負傷の有無を確認させ、負傷した旅客がいる場合は、同旅客に配慮した運航を行うこと。 船舶所有者は、旅客に船体前方の座席は大きく船体動揺した際に負傷するリスクがあるという情報を周知できるよう、「運輸安全委員会事務局長崎事務所による旅客向け安全情報」を本船の船内や乗船券販売窓口に掲示等を行うことが望ましい。 	
--	--	--	--	--	---	--

小型旅客船の旅客負傷事故に係る解析調査 報告書

令和 2 年 6 月

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
海上技術安全研究所

目次

1 概要.....	2
1.1 解析調査の目的.....	2
1.2 解析調査の概要.....	2
2 事故の状況.....	3
2.1 船舶事故の概要.....	3
2.2 船舶の主要目	3
3 船体の上下加速度及び旅客の上下運動に関する計算の指針	4
3.1 船体の上下加速度に関する計算の概要	4
3.2 船体の上下加速度の計算条件と計算位置.....	4
3.3 旅客の上下運動と衝撃荷重	5
3.4 船体の上下加速度の計算結果.....	6
3.5 旅客の上下運動の計算結果	10
4 事故防止対策に関する考察	13
5 まとめ	15
参考文献	15
付録1 旅客と座席の衝突速度の計算結果	16

1 概要

1.1 解析調査の目的

本件は、令和元年12月2日、鹿児島県南大隅町根占港港外で発生した小型旅客船の旅客負傷事故の調査に資するため、本事故当時の気象・海象において、本船が船体動揺した際の旅客の着席位置における上下加速度等を推定するとともに事故防止対策の検討を行う。

1.2 解析調査の概要

本解析調査では、上記の目的に従い、以下の検討を行った。

(1) 小型旅客船の最大加速度の推定

別途調査官が提供する線図に基づき、本事故当時の気象・海象において、

- ① 本船が11.6ノット(kn)で航行中に船体動揺した際の旅客の着席位置(船首部9カ所、重心位置及び船尾部の3カ所)における最大加速度、座席との衝突速度及び最大相対距離を求めた。
- ② 本船の速力を12.0kn、11.6kn、10.0kn、8.0kn及び6.0knに変化させ、出会い角 $\chi=180^\circ$ (正面向波状態)、 190° 、 200° 、 210° 、 225° 、 240° 、 255° 、 270° (横波)の場合に、波高が0.5mから2.5mまで0.5m刻み及び1.62m(鹿児島湾入口の海域における本事故時の波浪状況)の場合を想定し、旅客の着席位置における最大加速度、座席との衝突速度及び最大相対距離の計算を行った。

(2) 事故防止対策の検討

上記(1)の結果をもとに、着席位置、船速等が変化した場合の旅客の脊椎損傷の危険性を評価し、事故防止対策の検討・評価を行った。

2 事故の状況

2.1 船舶事故の概要

旅客船 A（総トン数 19 トン。以下「本船」という。）は、船長及び甲板員が乗り組み、旅客 55 人を乗せ、鹿児島県南大隅町根占港沖で航行中、船首方から高波を受けて船首が上下に大きく動揺し、旅客が椅子席から浮き上がって同席に落下した衝撃により負傷した。

2.2 船舶の主要目

総 ト ン 数 19 トン

L × B × D 17.00m×4.48m×1.35m

船 質 FRP

機 関 ディーゼル機関 1 基

出 力 515kW

推 進 器 3 翼固定ピッチプロペラ 1 個

航 海 速 力 20.2kn (4/4 負荷) 【海上試験運転成績書による】

最大搭載人員 旅客 64 人、船員 2 人計 66 人

3 船体の上下加速度及び旅客の上下運動に関する計算の指針

請負作業内容

(1) 本船の最大加速度の推定

調査官から提供された線図、指定された気象・海象、本船の針路、速力において、本船が船体動揺した際の旅客の着席位置（船首部 9 カ所、重心位置及び船尾部の 3 カ所）における最大加速度、座席との衝突速度及び最大相対距離を求めた。

3.1 船体の上下加速度に関する計算の概要

請負作業内容を実施した結果を説明する座席との衝突評価の基礎データとなる上下加速度を規則的な波を想定して線形ストリップ法（STF 法）で計算し、着席位置や船速が上下加速度に及ぼす影響を調べた。線形ストリップ法による船体運動計算法は前進速度の影響が小さいことを仮定しており、フルード数 0.40 程度までは良好な推定精度を有するが、それ以上の速度域においては推定誤差が生じることが知られている⁽¹⁾。今回、計算を行った船速 11.6 及び 12.0kn については、フルード数がそれぞれ 0.46、0.47 であったため、同じ速度域の模型実験事例における計算値と実験値の相違から求めた補正係数を用いて上下揺れと縦揺れを補正し、補正した値を用いて上下加速度を計算した。

3.2 船体の上下加速度の計算条件と計算位置

(1) 本船主要目

本船主要目を表 1 に示す。

表 1 本船主要目

Loa (m)	19.00
L _T (m)	17.50
L _R (m)	17.00
B (m)	4.48
D (m)	1.35
da (m)	0.65
df (m)	0.55

(2) 計算条件

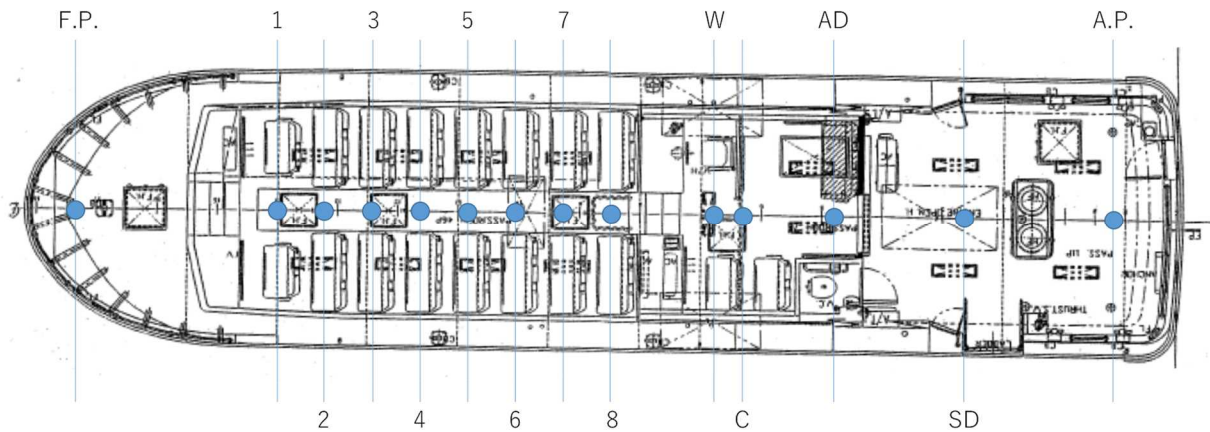
計算は本事故当時、根占港出港の際のコンディション（表 1）で行った。

- ・ 重心位置 x_G : 喫水の設定値から算定される浮心の前後位置
- ・ 船速 V : 6.0、8.0、10.0、11.6（事故時）、12.0kn
- ・ 出合い角 χ : 180（正面向波）、190、200、210、225、240、255、270°（右舷横波）
- ・ 波周期 T : 3、4、5、6s
- ・ 波高 H : 0.5、1.0、1.5、1.62、2.0、2.5m

事故当時は船速 $V=11.6\text{kn}$ 、出合い角 $\chi=180^\circ$ 、波高 $H=1.62\text{m}-2\text{m}$ と事故調査において確認されている。波周期 T については不明である。

(3) 計算位置

上下加速度の計算位置を図 1 に示す。上下加速度の計算は全てセンターライン上で行った。



※記号の意味				
W	操縦席	1-8	前部客室の椅子席位置	F.P. Fore Peak
C	Center of Ship 重心位置	※1、2	最前列、2列目という意味である	A.P. Aft Peak
AD	シートベルト付き椅子席列			
SD	船尾部甲板			

図1 上下加速度の計算位置

(4) 上下加速度の算定式

着席位置での上下加速度の計算式を以下に示す。

$$\ddot{\zeta}(x, y; t) = \ddot{\zeta} - (x - x_G)\ddot{q} + y\ddot{r}$$

$$\zeta(t) = \zeta_a e^{i(\omega_e t - e_\zeta)}, \quad q(t) = q_a e^{i(\omega_e t - e_q)}, \quad r(t) = r_a e^{i(\omega_e t - e_r)}$$

ここで、

$\ddot{\zeta}(x, y; t)$: 重心から前後方向に $(x - x_G)$ 、センターラインから左右方向に y 離れた位置での上下加速度

$\zeta(t)$: 上下揺れ、 ζ_a : 上下揺れ振幅、 e_ζ : 上下揺れの波との位相差

$q(t)$: 縦揺れ、 q_a : 縦揺れ振幅、 e_q : 縦揺れの波との位相差

$r(t)$: 横揺れ、 r_a : 横揺れ振幅、 e_r : 横揺れの波との位相差

ω_e : 波との出会い周波数、 t : 時間

3.3 旅客の上下運動と衝撃荷重

本事故は、本船が、船首方から波を受け、波に持ち上げられた船体が波間に降下したとき、旅客の身体が椅子席から浮き上がり、その後同席に落下したことが想定される。

客室椅子席に腰掛けた旅客は、図2のように着席位置での最低加速度（マイナスの最大加速度）が $-1G$ を越えなければ、旅客は着席位置の船体の上下動と一緒に上下するために、衝撃的な力はない。着席位置での最低加速度が $-1G$ を越えた場合に、この位置の旅客は腰が浮き、この瞬間から加速度 $-1G$ の自由落下運動を始める。自由落下する身体と、先に下がっている船体座席との位置が同一となった時、つまり身体と船体座席との相対的な距離がゼロとなった時に、腰が船体座席に衝突する。衝突時に、着席位置での船体速度が下向きで身体の落下速度に近ければ衝撃は小さいが、上向きの速度の場合衝撃は非常に大きくなる。衝突からは身体と船体は同じ運動を始めるわけで、衝突の瞬間の身体と船体との相対的な速度差を v 、旅客の質量を m とすると、運動量 mv が極めて短い時間に0へと変化することとなり、大きな力積 mv が旅客に衝撃的な荷重としてかかることとなる。

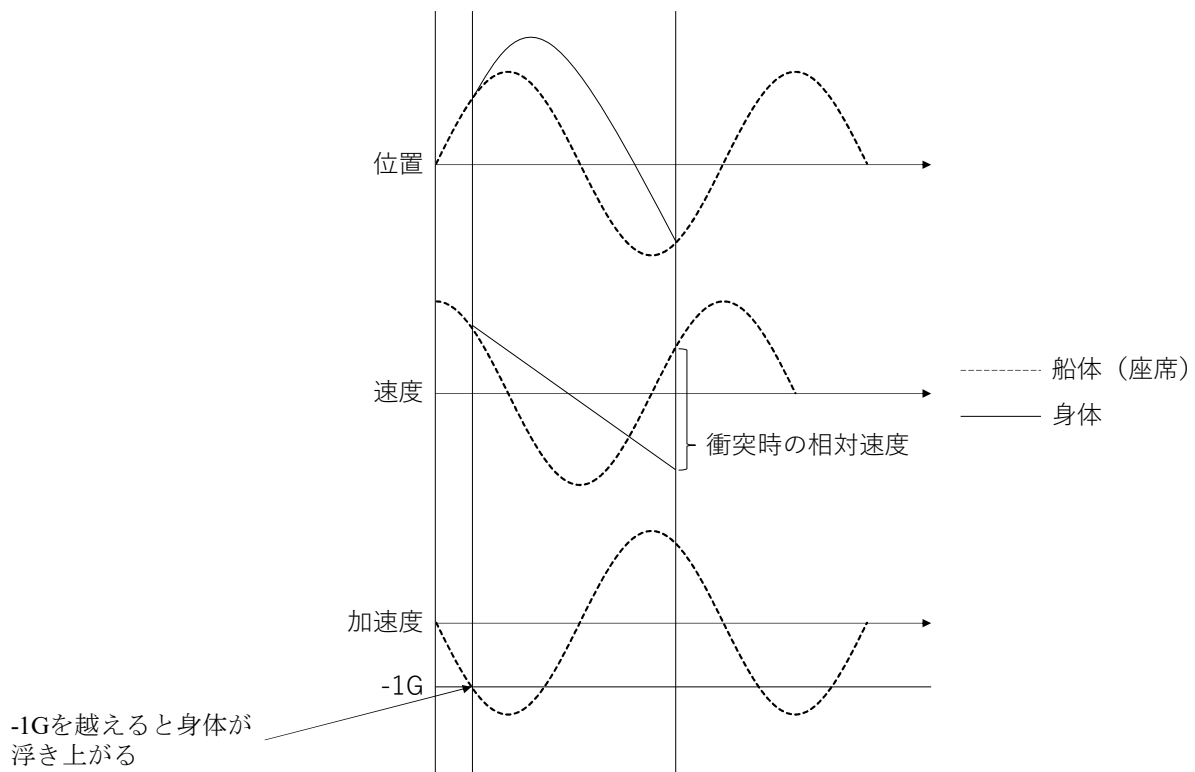


図2 上下運動概念図

3.4 船体の上下加速度の計算結果

(1) 波周期と上下加速度について

各着席位置での上下加速度の最大値を推定した。船速 $V=11.6\text{kn}$ 、出会い角 $\chi=180^\circ$ 、波高 $H=2.0\text{m}$ の各着席位置での上下加速度計算を行った結果を表2に示す。事故時の船速、出会い角では波周期 $T=4\text{s}$ の場合、全ての着席位置で上下加速度の最大値が最も大きくなる事が分かる。波周期 $T=3\text{s}$ ではこれ以上大きな波高が理論上発生せず、波周期 $T=5, 6\text{s}$ では旅客が椅子席から浮き上がる加速度が発生するには乗組員の口述よりかなり大きな波高が必要であるため、運輸安全委員会が収集した事実情報から得た波周期 $T=4\text{s}$ を取り上げた。

表2 最大上下加速度推定結果 (着席位置、波周期の影響 : $V=11.6\text{kn}$ 、 $\chi=180^\circ$ 、 $H=2.0\text{m}$)

着席位置	F.P.	最前列	第2列	第3列	第4列	第5列	第6列	第7列	第8列	操縦席	重心	シートベルト付き椅子席列	船尾部甲板	A.P.
波周期 (s)	最大上下加速度 (G)													
3	0.54	0.38	0.35	0.31	0.28	0.24	0.20	0.17	0.13	0.06	0.06	0.06	0.15	0.27
4	1.86	1.41	1.32	1.23	1.13	1.05	0.97	0.89	0.83	0.74	0.73	0.72	0.82	1.06
5	0.86	0.68	0.65	0.61	0.58	0.55	0.52	0.50	0.48	0.45	0.45	0.45	0.49	0.58
6	0.41	0.35	0.34	0.33	0.31	0.30	0.30	0.29	0.28	0.28	0.28	0.28	0.30	0.33

(2) 船速と上下加速度について

船速をパラメーターとした出会い角 $\chi=180^\circ$ 、波周期 $T=4\text{s}$ 、波高 $H=1.62, 2.0\text{m}$ の各着席位置での上下加速度計算結果を重心位置から着席位置までの距離で整理して図3-図4及び表3-表4に示す。上下加速度が 1G を超えない場合は船体が上下しても身体は浮かず、 1G を超えた場合は着席していた旅客の身体が宙に浮くこととなるため、表では旅客が椅子席と同じ上下動をする 1G 未満を緑、旅客の身体が椅子席から浮き上がる 1G 以上を赤で塗りつぶす。

船速が大きいほど、着席位置が重心から離れるほど上下加速度の最大値が大きくなる傾向が読み取れる。

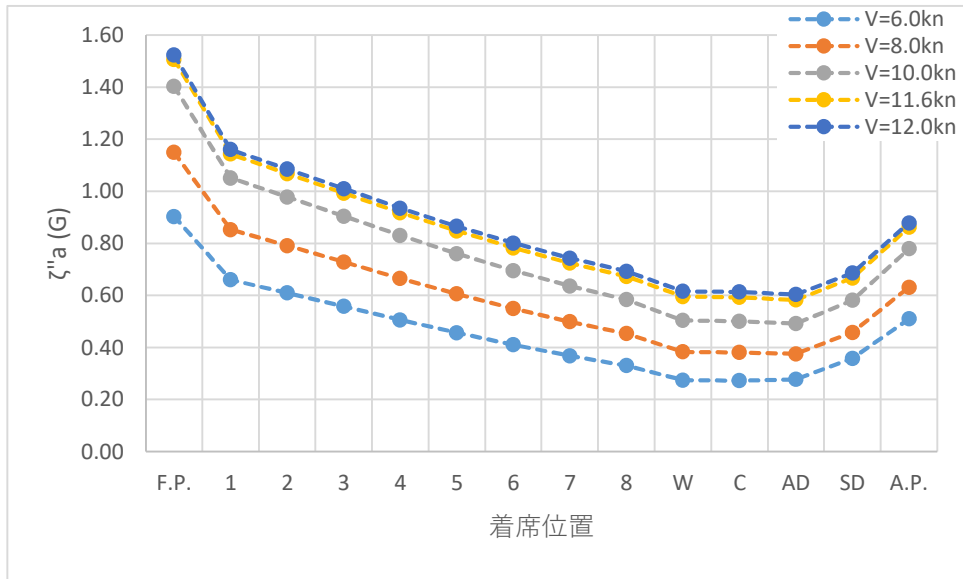


図3 最大上下加速度推定結果（着席位置、船速の影響： $\chi=180^\circ$ 、 $T=4s$ 、 $H=1.62m$ ）

表3 最大上下加速度推定結果（着席位置、船速の影響： $\chi=180^\circ$ 、 $T=4s$ 、 $H=1.62m$ ）

着席位置	F.P.	最前列	第2列	第3列	第4列	第5列	第6列	第7列	第8列	操縦席	重心	シートベルト付き椅子席列	船尾部甲板	A.P.
$(x-x_G)/L_{pp}$	0.62	0.42	0.38	0.33	0.28	0.24	0.19	0.15	0.10	0.01	0.00	-0.11	-0.23	-0.38
船速 (kt)	最大上下加速度 (G)													
6.0	0.90	0.66	0.61	0.56	0.51	0.46	0.41	0.37	0.33	0.27	0.27	0.28	0.36	0.51
8.0	1.15	0.85	0.79	0.73	0.67	0.61	0.55	0.50	0.45	0.38	0.38	0.38	0.46	0.63
10.0	1.40	1.05	0.98	0.90	0.83	0.76	0.70	0.64	0.58	0.50	0.50	0.49	0.58	0.78
11.6	1.51	1.14	1.07	0.99	0.92	0.85	0.78	0.72	0.67	0.60	0.59	0.58	0.67	0.86
12.0	1.52	1.16	1.09	1.01	0.94	0.87	0.80	0.74	0.69	0.62	0.61	0.60	0.69	0.88

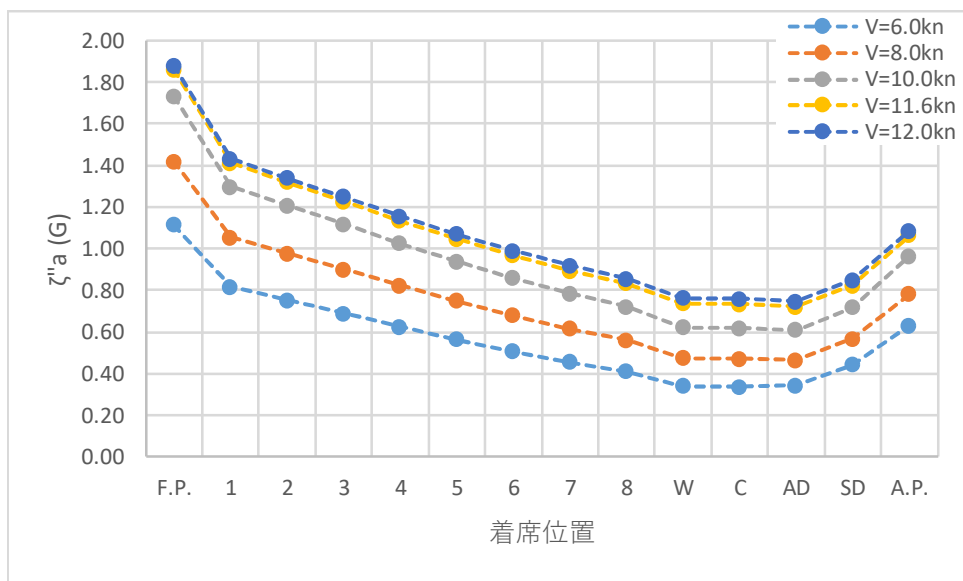


図4 最大上下加速度推定結果（着席位置、船速の影響： $\chi=180^\circ$ 、 $T=4s$ 、 $H=2.0m$ ）

表4 最大上下加速度推定結果（着席位置、船速の影響： $\chi=180^\circ$ 、 $T=4s$ 、 $H=2.0m$ ）

着席位置	F.P.	最前列	第2列	第3列	第4列	第5列	第6列	第7列	第8列	操縦席	重心	シートベルト付き椅子席列	船尾部甲板	A.P.
$(x-x_G)/Lpp$	0.62	0.42	0.38	0.33	0.28	0.24	0.19	0.15	0.10	0.01	0.00	-0.11	-0.23	-0.38
船速(kt)	最大上下加速度 (G)													
6.0	1.12	0.82	0.75	0.69	0.62	0.56	0.51	0.45	0.41	0.34	0.34	0.34	0.44	0.63
8.0	1.42	1.05	0.98	0.90	0.82	0.75	0.68	0.62	0.56	0.47	0.47	0.46	0.57	0.78
10.0	1.73	1.30	1.21	1.12	1.03	0.94	0.86	0.79	0.72	0.62	0.62	0.61	0.72	0.96
11.6	1.86	1.41	1.32	1.23	1.13	1.05	0.97	0.89	0.83	0.74	0.73	0.72	0.82	1.06
12.0	1.88	1.43	1.34	1.25	1.15	1.07	0.99	0.92	0.86	0.76	0.76	0.75	0.85	1.08

(3) 出合い角と上下加速度について

出合い角をパラメーターとした船速 $V=11.6kn$ 、波周期 $T=4s$ 、波高 $H=1.62$ 、 $2.0m$ の各着席位置での上下加速度計算結果を重心位置から着席位置までの距離で整理して図5-図6及び表5-表6に示す。出合い角 $\chi=180^\circ$ で上下加速度が最も大きかった。斜め向波になると加速度が徐々に減少し、出合い角 $\chi=225^\circ$ まで増加すると加速度 $1G$ を超える旅客の着席位置は見られなくなった。ただし、今回はセンターライン上で加速度を計算したため横揺れの影響は無かったが、斜め向波から横波の場合でも横揺れの影響により座席上で今回の計算結果より大きな加速度が発生する危険性はある。横揺れを考慮した旅客と座席の上下加速度の計算例は付録2に示す。

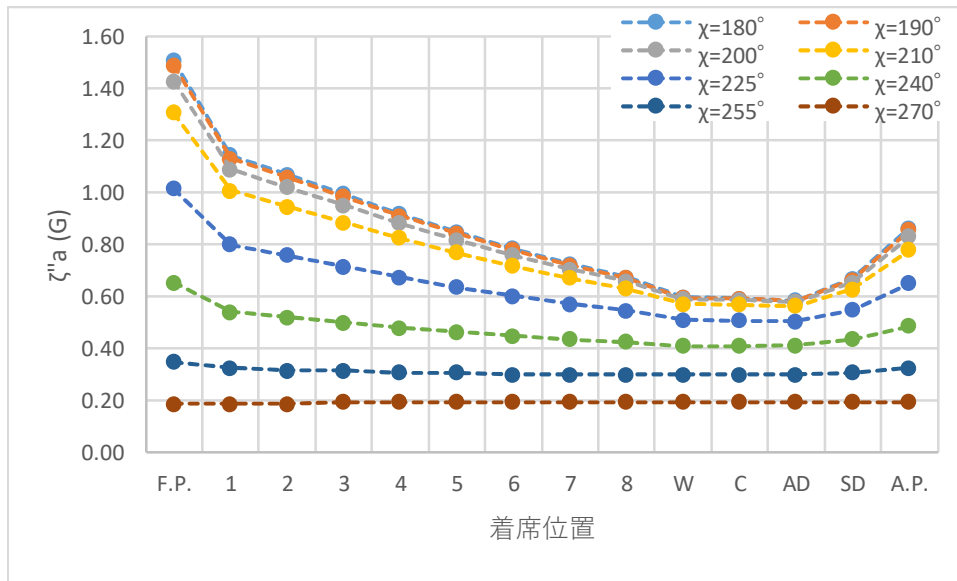


図5 最大上下加速度推定結果（着席位置、出合い角の影響： $V=11.6kn$ 、 $T=4s$ 、 $H=1.62m$ ）

表5 最大上下加速度推定結果（着席位置、出合い角の影響： $V=11.6kn$ 、 $T=4s$ 、 $H=1.62m$ ）

着席位置	F.P.	最前列	第2列	第3列	第4列	第5列	第6列	第7列	第8列	操縦席	重心	シートベルト付き椅子席列	船尾部甲板	A.P.
$(x-x_G)/Lpp$	0.62	0.42	0.38	0.33	0.28	0.24	0.19	0.15	0.10	0.01	0.00	-0.11	-0.23	-0.38
出合い角(deg.)	最大上下加速度 (G)													
180	1.51	1.14	1.07	0.99	0.92	0.85	0.78	0.72	0.67	0.60	0.59	0.58	0.67	0.86
190	1.49	1.13	1.06	0.98	0.91	0.84	0.78	0.72	0.67	0.59	0.59	0.58	0.66	0.85
200	1.43	1.09	1.02	0.95	0.88	0.82	0.76	0.71	0.66	0.59	0.59	0.58	0.65	0.83
210	1.31	1.01	0.95	0.88	0.82	0.77	0.72	0.67	0.63	0.57	0.57	0.56	0.63	0.78
225	1.01	0.80	0.76	0.71	0.67	0.64	0.60	0.57	0.55	0.51	0.51	0.50	0.55	0.65
240	0.65	0.54	0.52	0.50	0.48	0.46	0.45	0.43	0.42	0.41	0.41	0.41	0.44	0.49
255	0.35	0.32	0.32	0.32	0.31	0.31	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.31	0.32
270	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19

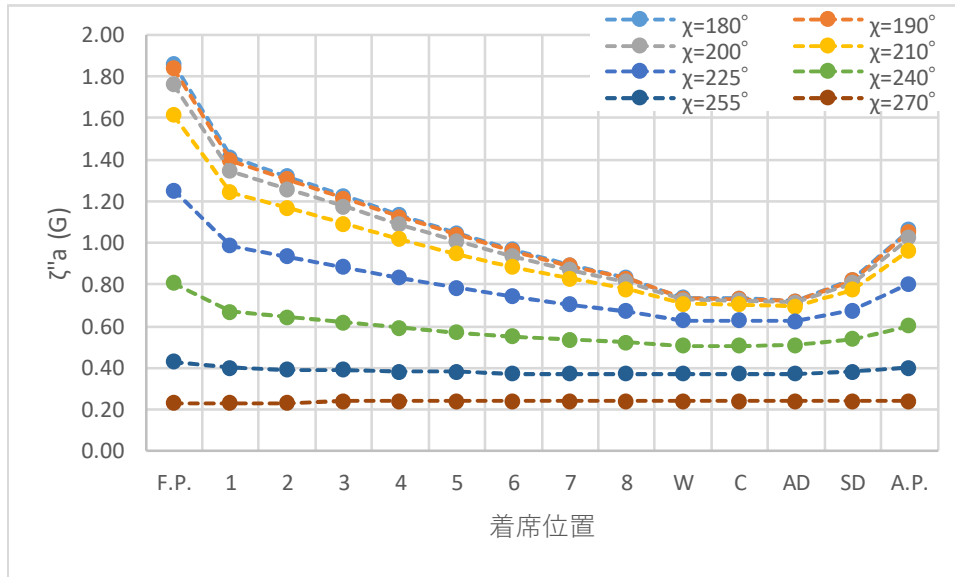


図 6 最大上下加速度推定結果（着席位置、出会い角の影響：V=11.6kn、T=4s、H=2.0m）

表 6 最大上下加速度推定結果（着席位置、出会い角の影響：V=11.6kn、T=4s、H=2.0m）

着席位置	F.P.	最前列	第2列	第3列	第4列	第5列	第6列	第7列	第8列	操縦席	重心	シートベルト付き椅子席列	船尾部甲板	A.P.
$(x-x_G)/L_{pp}$	0.62	0.42	0.38	0.33	0.28	0.24	0.19	0.15	0.10	0.01	0.00	-0.11	-0.23	-0.38
出会い角 (deg.)	最大上下加速度 (G)													
180	1.86	1.41	1.32	1.23	1.13	1.05	0.97	0.89	0.83	0.74	0.73	0.72	0.82	1.06
190	1.84	1.40	1.31	1.21	1.12	1.04	0.96	0.89	0.83	0.73	0.73	0.72	0.82	1.05
200	1.76	1.34	1.26	1.17	1.09	1.01	0.94	0.87	0.81	0.73	0.72	0.71	0.81	1.02
210	1.61	1.24	1.17	1.09	1.02	0.95	0.88	0.83	0.78	0.71	0.70	0.69	0.77	0.96
225	1.25	0.99	0.93	0.88	0.83	0.78	0.74	0.70	0.67	0.63	0.63	0.62	0.68	0.80
240	0.81	0.67	0.64	0.62	0.59	0.57	0.55	0.54	0.52	0.51	0.51	0.51	0.54	0.60
255	0.43	0.40	0.39	0.39	0.38	0.38	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.38	0.40
270	0.23	0.23	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24

(4) 波高と上下加速度について

波高をパラメーターとした船速 V=11.6kn、出会い角 $\chi=180^\circ$ 、波周期 T=4s の各着席位置での上下加速度計算結果を重心位置から着席位置までの距離で整理して図 7 及び表 7 に示す。波高 1.5m から最前列で上下加速度の最大値が 1G を超え始める。波高 2.0m では最前列で比較的大きな加速度が発生し、1G を超える着席位置の範囲が第 5 列まで拡大する。

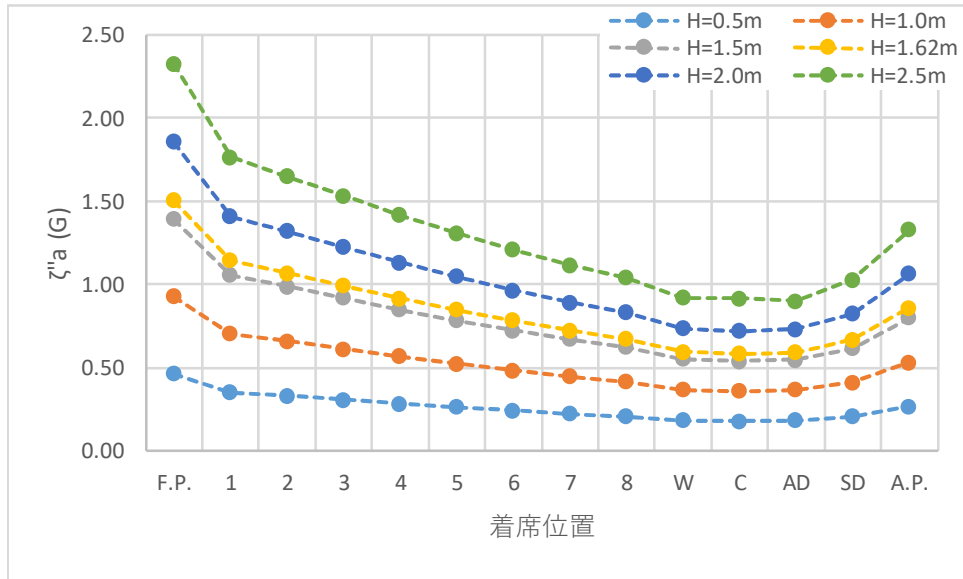


図7 最大上下加速度推定結果（着席位置、波高の影響：V=11.6kn、 $\chi=180^\circ$ 、T=4s）

表7 最大上下加速度推定結果（着席位置、波高の影響：V=11.6kn、 $\chi=180^\circ$ 、T=4s）

着席位置	F.P.	最前列	第2列	第3列	第4列	第5列	第6列	第7列	第8列	操縦席	重心	シートベルト 付き椅子席列	船尾部 甲板	A.P.
(x-x _G)/L _{pp}	0.62	0.42	0.38	0.33	0.28	0.24	0.19	0.15	0.10	0.01	0.00	-0.11	-0.23	-0.38
波高 (m)	最大上下加速度 (G)													
0.5	0.46	0.35	0.33	0.31	0.28	0.26	0.24	0.22	0.21	0.18	0.18	0.18	0.21	0.27
1.0	0.93	0.71	0.66	0.61	0.57	0.52	0.48	0.45	0.42	0.37	0.36	0.37	0.41	0.53
1.5	1.39	1.06	0.99	0.92	0.85	0.79	0.72	0.67	0.62	0.55	0.54	0.55	0.62	0.80
1.62	1.51	1.14	1.07	0.99	0.92	0.85	0.78	0.72	0.67	0.60	0.58	0.59	0.67	0.86
2.0	1.86	1.41	1.32	1.23	1.13	1.05	0.97	0.89	0.83	0.74	0.72	0.73	0.82	1.06
2.5	2.32	1.76	1.65	1.53	1.42	1.31	1.21	1.12	1.04	0.92	0.91	0.90	1.03	1.33

3.5 旅客の上下運動の計算結果

3.4節の各条件下における着席位置での最大加速度、座席衝突時の身体と船体との相対速度、そして参考のため身体と船体との最大相対距離（当然、衝突時とは異なる）の推定結果を表8-表12に示す。なお、着席位置、船速、波高によっては最大相対距離が1.7mを超える座席があり、他の要素を考慮する必要のある場合もあるが、後の判定のためそのまま表記した。

衝突速度は、「身体が浮き上がらない場合」を青、「身体が浮き上がるものの衝突速度2.0m/s未満の場合」をオレンジ、「身体が浮き上がり衝突速度が2.0m/s以上の場合」を赤で塗りつぶした。

最大上下加速度の大きさに応じて座席との衝突速度も大きくなっており、今回計算した条件では

- ① 着席位置が重心から離れるほど（表8-表12）
- ② 船速が速いほど（表8-表9）
- ③ 正面向波（出会い角 $\chi=180^\circ$ ）に近いほど（表10-表11）
- ④ 波高が高いほど（表12）

衝突速度も大きくなる事が分かる。

表 8 座席衝突速度推定結果（着席位置、船速の影響： $\chi=180^\circ$ 、 $T=4s$ 、 $H=1.62m$ ）

船速 (kt)	着席位置		F.P.	最前列	第2列	第3列	第4列	第5列	第6列	第7列	第8列	操縦席	重心	シートベルト付き椅子席列	船尾部甲板	A.P.
	最大加速度 (G)	衝突速度 (m/s)														
6.0	最大加速度 (G)	0.90	0.66	0.61	0.56	0.51	0.46	0.41	0.37	0.33	0.27	0.27	0.28	0.36	0.51	
	衝突速度 (m/s)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	最大相対距離 (m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8.0	最大加速度 (G)	1.15	0.85	0.79	0.73	0.67	0.61	0.55	0.50	0.45	0.38	0.38	0.38	0.46	0.63	
	衝突速度 (m/s)	1.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	最大相対距離 (m)	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10.0	最大加速度 (G)	1.40	1.05	0.98	0.90	0.83	0.76	0.70	0.64	0.58	0.50	0.50	0.49	0.58	0.78	
	衝突速度 (m/s)	4.87	0.29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	最大相対距離 (m)	0.66	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
11.6	最大加速度 (G)	1.51	1.14	1.07	0.99	0.92	0.85	0.78	0.72	0.67	0.60	0.59	0.58	0.67	0.86	
	衝突速度 (m/s)	5.70	1.00	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	最大相対距離 (m)	0.80	0.07	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
12.0	最大加速度 (G)	1.52	1.16	1.09	1.01	0.94	0.87	0.80	0.74	0.69	0.62	0.61	0.60	0.69	0.88	
	衝突速度 (m/s)	6.10	1.33	0.55	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	最大相対距離 (m)	0.88	0.10	0.03	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

表 9 座席衝突速度推定結果（着席位置、船速の影響： $\chi=180^\circ$ 、 $T=4s$ 、 $H=2.0m$ ）

船速 (kt)	着席位置		F.P.	最前列	第2列	第3列	第4列	第5列	第6列	第7列	第8列	操縦席	重心	シートベルト付き椅子席列	船尾部甲板	A.P.
	最大加速度 (G)	衝突速度 (m/s)														
6.0	最大加速度 (G)	1.12	0.82	0.75	0.69	0.62	0.56	0.51	0.45	0.41	0.34	0.34	0.34	0.44	0.63	
	衝突速度 (m/s)	1.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	最大相対距離 (m)	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8.0	最大加速度 (G)	1.42	1.05	0.98	0.90	0.82	0.75	0.68	0.62	0.56	0.47	0.47	0.46	0.57	0.78	
	衝突速度 (m/s)	5.60	0.33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	最大相対距離 (m)	0.85	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10.0	最大加速度 (G)	1.73	1.30	1.21	1.12	1.03	0.94	0.86	0.79	0.72	0.62	0.62	0.61	0.72	0.96	
	衝突速度 (m/s)	9.64	3.33	2.07	0.94	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	最大相対距離 (m)	1.83	0.39	0.20	0.07	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
11.6	最大加速度 (G)	1.86	1.41	1.32	1.23	1.13	1.05	0.97	0.89	0.83	0.74	0.73	0.72	0.82	1.06	
	衝突速度 (m/s)	10.58	4.65	3.39	2.16	1.05	0.23	-	-	-	-	-	-	-	0.37	
	最大相対距離 (m)	2.07	0.60	0.38	0.20	0.07	0.01	-	-	-	-	-	-	-	0.02	
12.0	最大加速度 (G)	1.88	1.43	1.34	1.25	1.15	1.07	0.99	0.92	0.86	0.76	0.76	0.75	0.85	1.08	
	衝突速度 (m/s)	10.67	4.85	3.61	2.40	1.27	0.40	-	-	-	-	-	-	-	0.55	
	最大相対距離 (m)	2.08	0.63	0.41	0.23	0.10	0.02	-	-	-	-	-	-	-	0.03	

表 10 座席衝突速度推定結果（着席位置、出会い角の影響： $V=11.6kn$ 、 $T=4s$ 、 $H=1.62m$ ）

出会い角 (deg.)	着席位置		F.P.	最前列	第2列	第3列	第4列	第5列	第6列	第7列	第8列	操縦席	重心	シートベルト付き椅子席列	船尾部甲板	A.P.
	最大加速度 (G)	衝突速度 (m/s)														
180	最大加速度 (G)	1.51	1.14	1.07	0.99	0.92	0.85	0.78	0.72	0.67	0.60	0.59	0.58	0.67	0.86	
	衝突速度 (m/s)	5.70	1.00	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	最大相対距離 (m)	0.80	0.07	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
190	最大加速度 (G)	1.49	1.13	1.06	0.98	0.91	0.84	0.78	0.72	0.67	0.59	0.59	0.58	0.66	0.85	
	衝突速度 (m/s)	5.76	1.03	0.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	最大相対距離 (m)	0.82	0.07	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
200	最大加速度 (G)	1.43	1.09	1.02	0.95	0.88	0.82	0.76	0.71	0.66	0.59	0.59	0.58	0.65	0.83	
	衝突速度 (m/s)	4.76	0.49	0.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	最大相対距離 (m)	0.63	0.03	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
210	最大加速度 (G)	1.31	1.01	0.95	0.88	0.82	0.77	0.72	0.67	0.63	0.57	0.57	0.56	0.63	0.78	
	衝突速度 (m/s)	3.44	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	最大相対距離 (m)	0.40	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
225	最大加速度 (G)	1.01	0.80	0.76	0.71	0.67	0.64	0.60	0.57	0.55	0.51	0.51	0.50	0.55	0.65	
	衝突速度 (m/s)	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	最大相対距離 (m)	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
240	最大加速度 (G)	0.65	0.54	0.52	0.50	0.48	0.46	0.45	0.43	0.42	0.41	0.41	0.41	0.44	0.49	
	衝突速度 (m/s)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	最大相対距離 (m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
255	最大加速度 (G)	0.35	0.32	0.32	0.32	0.31	0.31	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.31	0.32	
	衝突速度 (m/s)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	最大相対距離 (m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
270	最大加速度 (G)	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	
	衝突速度 (m/s)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	最大相対距離 (m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

表 11 座席衝突速度推定結果（着席位置、出会い角の影響：V=11.6kn、T=4s、H=2.0m）

出会い角 (deg.)	着席位置	F.P.	最前列	第2列	第3列	第4列	第5列	第6列	第7列	第8列	操縦席	重心	シートベルト付き椅子席列	船尾部甲板	A.P.
180	最大加速度 (G)	1.86	1.41	1.32	1.23	1.13	1.05	0.97	0.89	0.83	0.74	0.73	0.72	0.82	1.06
	衝突速度 (m/s)	10.58	4.65	3.39	2.16	1.05	0.23	-	-	-	-	-	-	-	0.37
	最大相対距離 (m)	2.07	0.60	0.38	0.20	0.07	0.01	-	-	-	-	-	-	-	0.02
190	最大加速度 (G)	1.84	1.40	1.31	1.21	1.12	1.04	0.96	0.89	0.83	0.73	0.73	0.72	0.82	1.05
	衝突速度 (m/s)	10.39	4.48	3.24	2.04	0.96	0.18	-	-	-	-	-	-	-	0.30
	最大相対距離 (m)	2.01	0.57	0.36	0.19	0.07	0.01	-	-	-	-	-	-	-	0.01
200	最大加速度 (G)	1.76	1.34	1.26	1.17	1.09	1.01	0.94	0.87	0.81	0.73	0.72	0.71	0.81	1.02
	衝突速度 (m/s)	9.64	3.85	2.68	1.57	0.61	0.06	-	-	-	-	-	-	-	0.09
	最大相対距離 (m)	1.80	0.46	0.28	0.13	0.04	0.00	-	-	-	-	-	-	-	0.00
210	最大加速度 (G)	1.61	1.24	1.17	1.09	1.02	0.95	0.88	0.83	0.78	0.71	0.70	0.69	0.77	0.96
	衝突速度 (m/s)	7.93	2.54	1.54	0.66	0.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	最大相対距離 (m)	1.36	0.26	0.13	0.04	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
225	最大加速度 (G)	1.25	0.99	0.93	0.88	0.83	0.78	0.74	0.70	0.67	0.63	0.63	0.62	0.68	0.80
	衝突速度 (m/s)	2.91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	最大相対距離 (m)	0.34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
240	最大加速度 (G)	0.81	0.67	0.64	0.62	0.59	0.57	0.55	0.54	0.52	0.51	0.51	0.51	0.54	0.60
	衝突速度 (m/s)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	最大相対距離 (m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
255	最大加速度 (G)	0.43	0.40	0.39	0.39	0.38	0.38	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.38	0.40
	衝突速度 (m/s)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	最大相対距離 (m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
270	最大加速度 (G)	0.23	0.23	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
	衝突速度 (m/s)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	最大相対距離 (m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

表 12 座席衝突速度推定結果（着席位置、波高の影響：V=11.6kn、 $\chi=180^\circ$ 、T=4s）

波高 (m)	着席位置	F.P.	最前列	第2列	第3列	第4列	第5列	第6列	第7列	第8列	操縦席	重心	シートベルト付き椅子席列	船尾部甲板	A.P.
0.5	最大加速度 (G)	0.46	0.35	0.33	0.31	0.28	0.26	0.24	0.22	0.21	0.18	0.18	0.18	0.21	0.27
	衝突速度 (m/s)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	最大相対距離 (m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.0	最大加速度 (G)	0.93	0.71	0.66	0.61	0.57	0.52	0.48	0.45	0.42	0.37	0.36	0.37	0.41	0.53
	衝突速度 (m/s)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	最大相対距離 (m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.5	最大加速度 (G)	1.39	1.06	0.99	0.92	0.85	0.79	0.72	0.67	0.62	0.55	0.54	0.55	0.62	0.80
	衝突速度 (m/s)	4.42	0.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	最大相対距離 (m)	0.55	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.62	最大加速度 (G)	1.51	1.14	1.07	0.99	0.92	0.85	0.78	0.72	0.67	0.60	0.58	0.59	0.67	0.86
	衝突速度 (m/s)	5.70	1.00	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	最大相対距離 (m)	0.80	0.07	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.0	最大加速度 (G)	1.86	1.41	1.32	1.23	1.13	1.05	0.97	0.89	0.83	0.74	0.72	0.73	0.82	1.06
	衝突速度 (m/s)	10.58	4.65	3.39	2.16	1.05	0.23	-	-	-	-	-	-	-	0.37
	最大相対距離 (m)	2.07	0.60	0.38	0.20	0.07	0.01	-	-	-	-	-	-	-	0.02
2.5	最大加速度 (G)	2.32	1.76	1.65	1.53	1.42	1.31	1.21	1.12	1.04	0.92	0.91	0.90	1.03	1.33
	衝突速度 (m/s)	15.50	9.39	7.89	6.32	4.72	3.25	1.93	0.88	0.18	-	-	-	0.12	3.54
	最大相対距離 (m)	4.05	1.71	1.30	0.93	0.61	0.36	0.17	0.06	0.01	-	-	-	0.00	0.40

本節で示さなかったセンターライン上の計算結果については、付録1で示す。

4 事故防止対策に関する考察

(1) 脊椎損傷危険性の評価

脊椎損傷の危険性は先行研究⁽²⁾があるものの、本事故の場合、船首部にある客室の最前列から第3列目までの椅子席に腰掛けていた高齢の旅客に脊椎損傷が発生していたこと、及び本船の客席椅子席の材質及び特徴を踏まえると、本解析の結果から、船首部客室の第3列目椅子席に腰掛けていた旅客が、椅子席から身体が浮き上がった後に同席に落下した際、衝突速度 2.0m/s 以上で脊椎を損傷していたことが分かった。また、椅子席から身体が浮き上がった旅客が、衝突速度 2.0m/s 未満でも打撲等の負傷をしていたことも分かった。

以上、これらのことを基に、脊椎損傷の危険性を評価することとし、「身体が浮き上がらない場合」を青、「身体が浮き上がるものの衝突速度 2.0m/s 未満の場合」をオレンジ、「身体が浮き上がり衝突速度が 2.0m/s 以上の場合」を赤で塗りつぶして評価すると、表 13-表 17 に示す判定結果となる。

表 13 より、出会い角 $\chi=180^\circ$ 、波周期 $T=4s$ 、波高 $H=1.62m$ の場合は船速 $V=10.0kn$ から最前列で腰が浮き始め、船速がさらに上がると腰が浮く座席が増える。波高 $H=2.0m$ となった表 14 では、船速 $V=8.0kn$ から最前列で腰が浮き始め、船速がさらに上がると衝突速度が 2.0m/s 以上の座席が現れる。表 15 より、船速 $V=11.6kn$ 、波周期 $T=4s$ 、波高 $H=1.62m$ の場合は出会い角 $\chi=180^\circ$ から $\chi=210^\circ$ で最前列や第2列で腰が浮き上がる。波高 $H=2.0m$ となった表 16 では、出会い角 $\chi=180^\circ$ で第3列まで 2.0m/s 以上の衝突速度となっていて、出会い角を大きくして斜め向波になると 2.0m/s 以上の着席位置が減っていることが分かる。また、表 17 より船速 $V=11.6kn$ 、出会い角 $\chi=180^\circ$ 、波周期 $T=4s$ では、波高 $H=15m$ から最前列で腰が浮き始め、さらに波高が上がると腰が浮く座席が増える。

表 13 危険性評価（着席位置、船速の影響： $\chi=180^\circ$ 、 $T=4s$ 、 $H=1.62m$ ）

着席位置	F.P.	最前列	第2列	第3列	第4列	第5列	第6列	第7列	第8列	操縦席	重心	シートベルト付き椅子席列	船尾部甲板	A.P.
船速(kn)	衝突速度 (m/s)													
6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8.0	1.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10.0	4.87	0.29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11.6	5.70	1.00	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12.0	6.10	1.33	0.55	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

表 14 危険性評価（着席位置、船速の影響： $\chi=180^\circ$ 、 $T=4s$ 、 $H=2.0m$ ）

着席位置	F.P.	最前列	第2列	第3列	第4列	第5列	第6列	第7列	第8列	操縦席	重心	シートベルト付き椅子席列	船尾部甲板	A.P.
船速(kn)	衝突速度 (m/s)													
6.0	1.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8.0	5.60	0.33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10.0	9.64	3.33	2.07	0.94	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11.6	10.58	4.65	3.39	2.16	1.05	0.23	-	-	-	-	-	-	-	0.37
12.0	10.67	4.85	3.61	2.40	1.27	0.40	-	-	-	-	-	-	-	0.55

表 15 危険性評価（着席位置、出会い角の影響：V=11.6kn、T=4s、H=1.62m）

着席位置	F.P.	最前列	第2列	第3列	第4列	第5列	第6列	第7列	第8列	操縦席	重心	シートベルト 付き椅子席列	船尾部 甲板	A.P.
出会い角(deg.)	衝突速度 (m/s)													
180	5.70	1.00	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
190	5.76	1.03	0.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
200	4.76	0.49	0.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
210	3.44	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
225	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
240	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
255	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
270	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

表 16 危険性評価（着席位置、出会い角の影響：V=11.6kn、T=4s、H=2.0m）

着席位置	F.P.	最前列	第2列	第3列	第4列	第5列	第6列	第7列	第8列	操縦席	重心	シートベルト 付き椅子席列	船尾部 甲板	A.P.
出会い角(deg.)	衝突速度 (m/s)													
180	10.58	4.65	3.39	2.16	1.05	0.23	-	-	-	-	-	-	-	0.37
190	10.39	4.48	3.24	2.04	0.96	0.18	-	-	-	-	-	-	-	0.30
200	9.64	3.85	2.68	1.57	0.61	0.06	-	-	-	-	-	-	-	0.09
210	7.93	2.54	1.54	0.66	0.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
225	2.91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
240	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
255	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
270	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

表 17 危険性評価（（着席位置、波高の影響：V=11.6kn、 $\chi=180^\circ$ 、T=4s）

着席位置	F.P.	最前列	第2列	第3列	第4列	第5列	第6列	第7列	第8列	操縦席	重心	シートベルト 付き椅子席列	船尾部 甲板	A.P.
波高 (m)	衝突速度 (m/s)													
0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.5	4.42	0.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.62	5.70	1.00	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.0	10.58	4.65	3.39	2.16	1.05	0.23	-	-	-	-	-	-	-	0.37
2.5	15.50	9.39	7.89	6.32	4.72	3.25	1.93	0.88	0.18	-	-	-	0.12	3.54

(2) 事故防止対策

脊椎損傷の判定結果及び3章で示した船舶の上下加速度の計算結果から、旅客の脊椎損傷事故を防ぐ対策としては以下のように考えられる。

- ① 図7、表12より船速V=11.6kn、出会い角 $\chi=180^\circ$ 、波周期T=4sの場合、最前列では波高H=1.5mから上下加速度の最大値が1Gを超え始め、波高H=2.0mでは危険と推定される座席との衝突速度2.0m/sが第3列まで見られるため、波高が高いと推定される場合は旅客の着席位置を客室後方に制限するか出港を控えること。
- ② 出港後は図3-図4に示した通り、船速を落とせば加速度が減少するため旅客の身体が浮く危険性が低くなる。また、表8、9より船速を落とせば身体が浮いた場合でも脊椎損傷の危険性が低くなるため、波高が高い海域では速力を低下させて航行すること。
- ③ また、図5-図6及び表15-表16より正面向波状態（出会い角 $\chi=180^\circ$ ）に比べて横波（出会い角 $\chi=270^\circ$ ）の加速度が小さく、座席との衝突速度も低いことから、出会い角を変えること。

5 まとめ

今回の解析調査をまとめると以下のとおりである。

- (1) 本事故当時の気象・海象において、本船での船体動揺を線形ストリップ法で計算した。これにより、着席位置にかかる上下加速度を推定した。
- (2) 推定した上下加速度により旅客の運動を推定し、各着席位置での腰の浮き上がった状態から船にたたきつけられた瞬間の相対速度を求めた。
- (3) 調査官から提示された脊椎の安全性評価基準を基に、旅客の座席位置による脊椎骨折に対する安全性について検討した。
- (4) この結果、本船の事故時の状況（船速 $V=11.6\text{kn}$ 、出会い角 $\alpha=180^\circ$ 、波周期 $T=4\text{s}$ 、波高 $H=2.0\text{m}$ ）では第3列目より前方の着席位置で衝突速度が 2.0m/s 以上となり、波の状態によっては脊椎損傷事故が起こる可能性があることが分かった。
- (5) 事故防止対策としては、大きい波高で出港を控えること、安全な速度まで減速することや出会い角を変えることが有効である。また、最前列に比べて上下加速度が小さい客室後方の椅子席に旅客を座らせることが効果的である。

参考文献

- (1) 運動性能研究委員会、高速船の耐航性能研究専門委員会報告書、1994
- (2) 運輸安全委員会、船舶事故調査報告書：遊漁船はなぶさ釣り客負傷、2011

付録1 旅客と座席の衝突速度の計算結果

(1) 船速影響

船速をパラメーターとした出会い角 $\chi=180^\circ$ 、波周期 $T=4s$ 、波高 $H=1.5$ 、 $2.0m$ の各着席位置での衝突速度計算結果を重心位置から着席位置までの距離で整理して図 A1 及び図 A2 に示す。

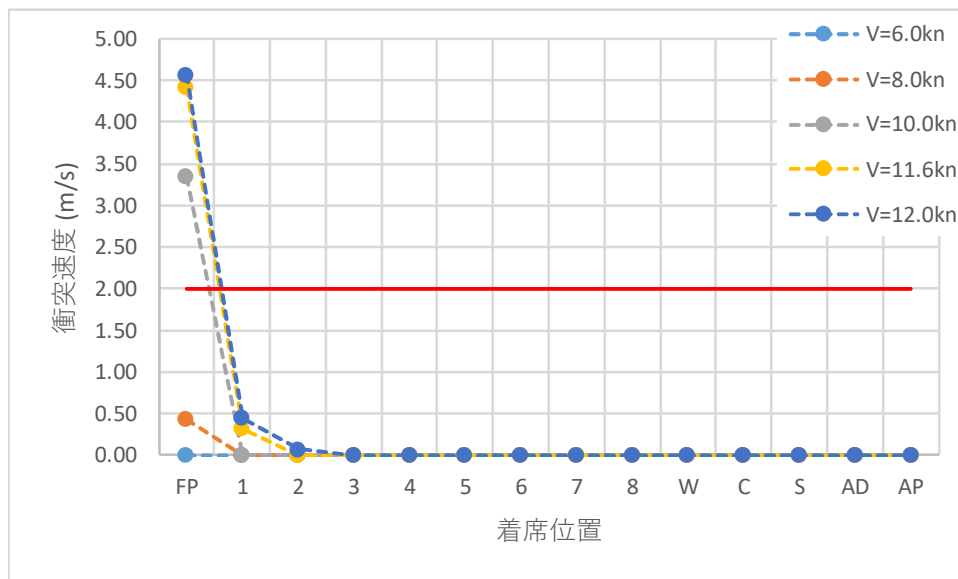


図 A1 衝突速度推定結果（着席位置、船速の影響： $\chi=180^\circ$ 、 $T=4s$ 、 $H=1.5m$ ）

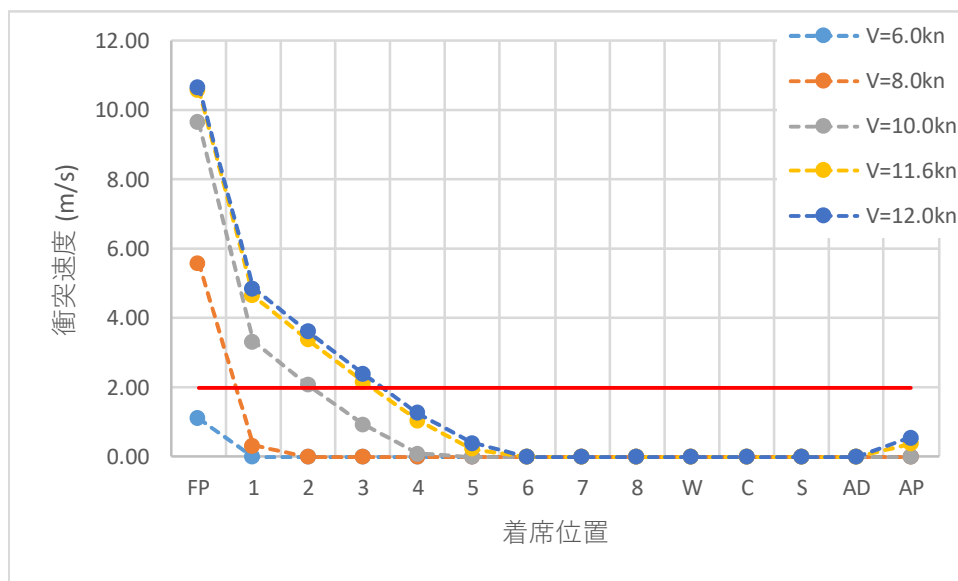


図 A2 衝突速度推定結果（着席位置、船速の影響： $\chi=180^\circ$ 、 $T=4s$ 、 $H=2.0m$ ）

(2) 波高影響

波高をパラメーターとした船速 $V=10.0$ 、 11.6kn 、出会い角 $\chi=180^\circ$ 、波周期 $T=4\text{s}$ の各着席位置での衝突速度計算結果を重心位置から着席位置までの距離で整理して図 B1 及び図 B2 に示す。

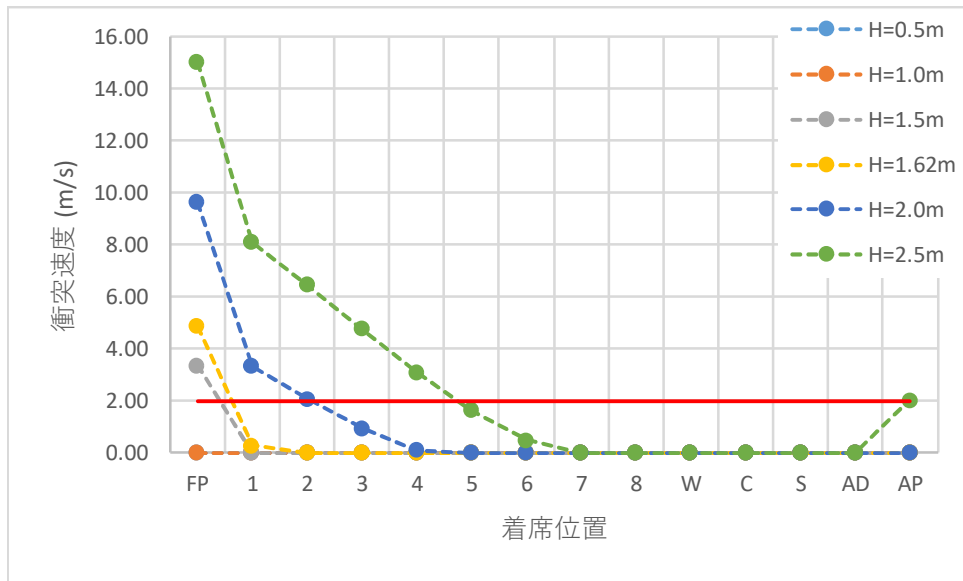


図 B1 衝突速度推定結果（着席位置、波高の影響： $V=10.0\text{kn}$ 、 $\chi=180^\circ$ 、 $T=4\text{s}$ ）

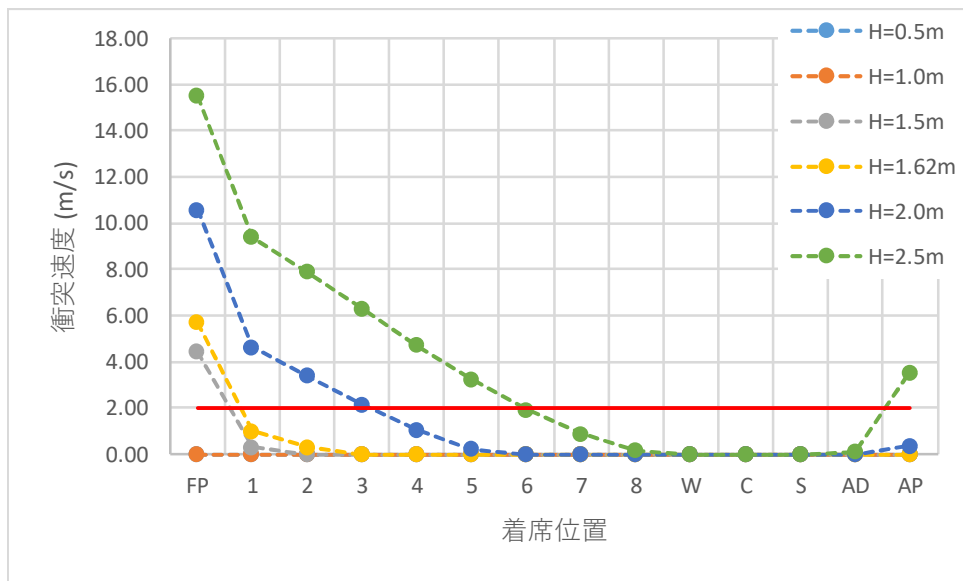


図 B2 衝突速度推定結果（着席位置、波高の影響： $V=11.6\text{kn}$ 、 $\chi=180^\circ$ 、 $T=4\text{s}$ ）

(3) 出会い角影響

船速 $V=10.0$ 、 11.6kn 、波周期 $T=4\text{s}$ 、波高 $H=1.5$ 、 2.0m の最前列、第2列、第3列での衝突速度計算結果を出会い角で整理して図 C1-図 C3 に示す。

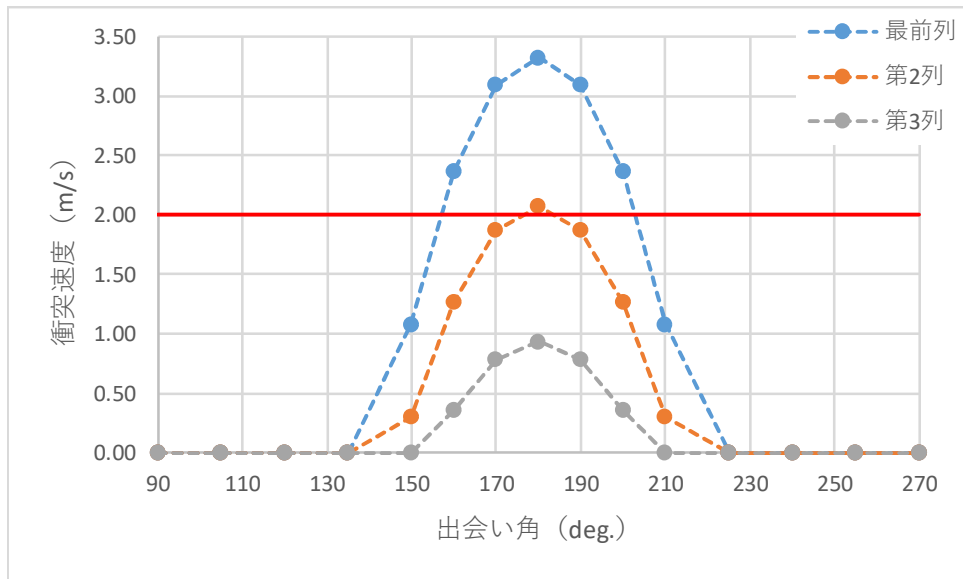


図 C1 衝突速度推定結果（着席位置、波高の影響： $V=10.0\text{kn}$ 、 $T=4\text{s}$ 、 $H=2.0\text{m}$ ）

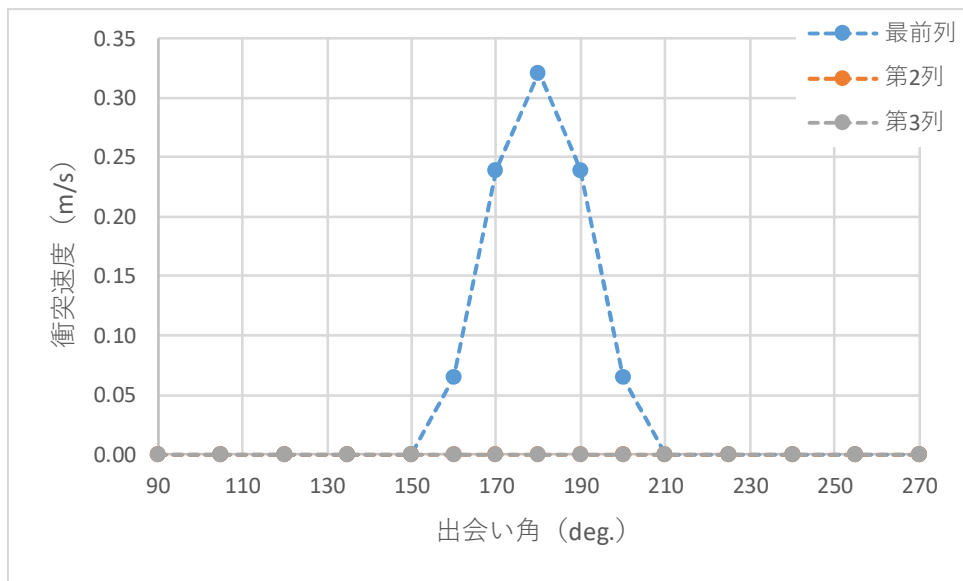


図 C2 衝突速度推定結果（着席位置、波高の影響： $V=11.6\text{kn}$ 、 $T=4\text{s}$ 、 $H=1.5\text{m}$ ）

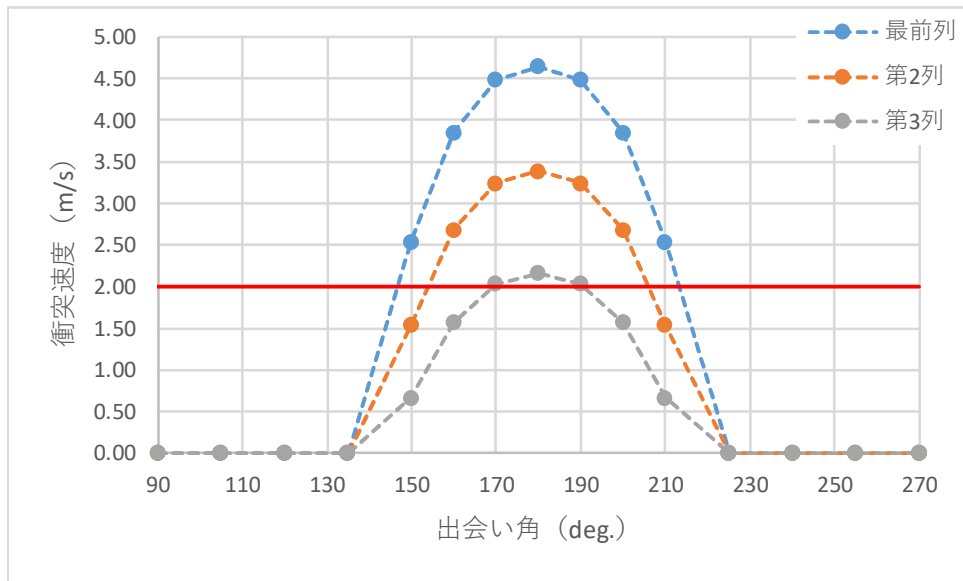


図 C3 衝突速度推定結果（着席位置、波高の影響：V=11.6kn、T=4s、H=2.0m）