

船舶事故調査報告書

船種船名 旅客船 ぎんが
船舶番号 120063
総トン数 277.32トン

事故種類 衝突（水中浮遊物）による乗船者負傷
発生日時 平成31年3月9日 12時16分ごろ
発生場所 新潟県佐渡市姫埼東方沖
姫埼灯台から真方位072° 2.7海里付近
（概位 北緯38° 06.1′ 東経138° 37.1′）

令和2年3月11日
運輸安全委員会（総合部会）議決
委員長 武田展雄（部会長）
委員 佐藤雄二
委員 柿嶋美子
委員 宮下徹
委員 丸井祐一
委員 奥村文直
委員 石田弘明
委員 田村兼吉
委員 岡本満喜子

要 旨

<概要>

旅客船ぎんがは、船長及び機関長ほか2人が乗り組み、旅客121人を乗せ、水中翼の揚力によって船体を海面上に浮上させ、新潟県佐渡市姫埼東方沖を同市両津港に向けて約41.7ノットの対地速力で西進中、平成31年3月9日12時16分ごろ水中浮遊物と衝突し、旅客108人及び乗組員1人が負傷した。

ぎんがは、右舷船尾部の破口等を生じた。

<原因>

本事故は、姫埼東方沖において、ぎんがが減速区間を通過したのち増速しながら翼走して西進中、船長が、左舷船首方至近の海中に水中浮遊物を初めて視認した際、回避操作を行ったものの避けることができず、水中浮遊物と後部フォイルとが衝突したため、多数の旅客が腰椎骨折等を負ったことにより発生したものと考えられる。

船長が回避操作を行ったものの避けることができなかつたのは、左舷船首方至近の海中に水中浮遊物を初めて視認した際、水中浮遊物がぎんがの回避可能な距離よりも近距離であったことによるものと考えられる。

船長が水中浮遊物を至近になるまで視認できなかつたのは、水中浮遊物が海中にあったことによるものと考えられる。

多数の旅客が腰椎骨折等を負つたのは、ぎんがの後部フォイルが水中浮遊物に衝突した後、ヒューズピンが破断して後部フォイルが水中翼装置の船体取付け部を基点に後方に回転するのに伴い、船尾部が降下するとともに後部フォイルが水の抵抗により船体を海面に引き込んだ結果、船尾部船底が海面に打ち付けられ、大きな上方向の加速度及び後方向の加速度が発生し、旅客が強い衝撃を受けたことによるものと考えられる。

<勧告>

本事故は、姫埼東方沖において、ぎんがが減速区間を通過したのち翼走して西進中、船長が、左舷船首方至近の海中に水中浮遊物を初めて視認した際、ぎんがの回避可能な距離よりも近距離であったことにより、回避操作を行ったものの避けることができず、水中浮遊物と後部フォイルとが衝突したため、多数の旅客が腰椎骨折等を負つたものと考えられる。

多数の旅客が腰椎骨折等を負つたのは、船尾部船底が海面に打ち付けられ、旅客が強い衝撃を受けたことによるものと考えられる。

既にジェットフォイル運航者等に対して国土交通省海事局から衝突回避を中心とした措置については指導がなされているが、これに加えて、万一衝突した場合における旅客の負傷の発生等の被害の軽減のため有効な措置を講ずるようジェットフォイル運航者等に対して指導する必要があるものと考えられる。

このことから、当委員会は、本事故調査の結果を踏まえ、旅客の運送の安全を向上させるため、国土交通大臣に対し、運輸安全委員会設置法第26条第1項の規定に基づき、以下のとおり勧告する。

国土交通大臣は、ジェットフォイル運航者等に対し、次の対策を実施するよう指導すること。

- (1) 翼走中において、海洋生物、流木等が衝突した場合においても、腰椎骨折等を負うことを最大限防止するため、以下の対策を講じること。
 - ① 船舶所有者は、本事故における旅客の腰椎骨折の発生状況等を勘案し、衝撃力の吸収が十分と認められる座席、座席クッションを備える等の措置を講じること。
 - ② 運航者は、航路付近で海洋生物、流木等が発見された場合や海洋生物が多く発見される時期等には、腰椎の骨強度が年齢に関係していることから、高齢と認められる者は、客室前部等の衝撃が比較的小さな座席に誘導すること。
- (2) 船舶所有者は、翼走中、海洋生物、流木等が衝突した場合においても、旅客が後方向の加速度により負傷することがないように座席背面に緩衝材を取り付ける等の対策を講じること。
- (3) 運航者は、事故後の救助を迅速かつ円滑に実施する観点から、多数の負傷者が生じた場合の対応要領を取りまとめるとともに、定期的な訓練を実施すること。

目 次

1	船舶事故調査の経過.....	1
1.1	船舶事故の概要.....	1
1.2	船舶事故調査の概要.....	1
1.2.1	調査組織.....	1
1.2.2	調査の実施時期.....	1
1.2.3	調査の委託.....	1
1.2.4	原因関係者からの意見聴取.....	2
2	事実情報.....	2
2.1	事故の経過.....	2
2.1.1	ドライブレコーダ及びVVRの情報記録による運航の経過.....	2
2.1.2	乗組員の口述等.....	4
2.2	人の負傷等に関する情報.....	7
2.2.1	本事故発生時の旅客の着席及びシートベルトの着用状況.....	7
2.2.2	負傷状況.....	8
2.3	船舶の損傷等.....	8
2.4	乗組員に関する情報.....	9
2.5	船舶に関する情報.....	10
2.5.1	ジェットフォイルの概要.....	10
2.5.2	本船の主要目.....	13
2.5.3	本船の船体、操縦性能等に関する情報.....	14
2.5.4	客室等に関する情報.....	17
2.5.5	A社のジェットフォイルに関するその他の情報.....	20
2.6	気象及び海象に関する情報.....	20
2.7	鯨類等との衝突回避に関する対策等.....	21
2.7.1	鯨類の目撃情報共有に関する体制及び本事故現場海域における傾向.....	21
2.7.2	本事故発生前後の鯨類の目撃情報等.....	21
2.7.3	その他の対策.....	21
2.8	類似事件事例.....	22
2.9	超高速船に関する安全対策の情報.....	22
2.9.1	超高速船に関する安全対策検討委員会.....	22
2.9.2	座席及びシートベルトの安全性等に関する情報.....	25
2.10	安全管理に関する情報.....	25

2.10.1	安全管理体制.....	25
2.10.2	安全管理規程等.....	25
2.10.3	A社における事故発生時の対応等.....	29
2.1.1	衝撃加速度等の解析の前提となる船体の挙動.....	29
2.11.1	ドライブレコーダ映像の解析.....	29
2.11.2	旋回操作時、停止操作時等における船体挙動.....	30
2.11.3	衝撃加速度等の解析の前提条件.....	33
2.1.2	衝撃加速度等に関する調査解析.....	33
2.12.1	概要.....	34
2.12.2	船体挙動及び加速度の時系列変化に関する解析.....	35
2.12.3	客室内の加速度分布に関する解析.....	37
2.1.3	ヒューズピン破断箇所の分析.....	43
2.1.4	腰椎骨折等に係る医学的見地に関する情報.....	44
2.1.5	加速度と脊椎にかかる圧縮荷重の情報.....	45
2.1.6	旅客の姿勢と腰椎にかかる荷重に関する情報.....	45
2.1.7	本船の座席クッションに関する情報.....	46
2.1.8	座席等の開発に関する情報.....	47
3	分析.....	48
3.1	事故発生の状況.....	48
3.1.1	事故発生に至る経過.....	48
3.1.2	事故発生日時及び場所.....	48
3.1.3	衝突の状況及び海面に着水した状況.....	48
3.1.4	船舶の損傷の状況.....	49
3.1.5	人の負傷の状況等.....	49
3.2	事故要因の解析.....	49
3.2.1	乗組員の状況.....	49
3.2.2	船舶の状況.....	50
3.2.3	気象及び海象の状況.....	50
3.2.4	操船及び見張りの状況に関する解析.....	50
3.2.5	本件水中浮遊物を認めてから衝突に至るまでの回避行動に関する解析.....	50
3.2.6	操船方法に関する解析.....	51
3.2.7	ヒューズピンの健全性に関する解析.....	52
3.2.8	客室床面に発生した加速度と負傷者に関する解析.....	52
3.2.9	骨強度に関する解析.....	57

3.2.10	旅客の着座姿勢と腰椎にかかる荷重に関する解析.....	57
3.2.11	国内ジェットフォイル製造者の試験結果に関する解析.....	58
3.2.12	事故後の対応状況に関する解析.....	58
3.2.13	事故発生に関する解析.....	58
4	原因.....	59
5	再発防止策.....	60
5.1	事故後に講じられた事故等防止及び被害拡大防止対策.....	61
5.1.1	国土交通省により講じられた施策.....	61
5.1.2	A社により講じられた措置.....	61
6	勧告.....	63
付図1	航行経路図.....	64
付図2	1階旅客の負傷状況等.....	65
付図3	2階旅客の負傷状況等.....	66
付図4	ヒューズピン.....	67
付図5	衝突時の傾斜角.....	68
付表1	衝突時の速力.....	68
付表2	過去の類似事故.....	69

1 船舶事故調査の経過

1.1 船舶事故の概要

旅客船ぎんがは、船長及び機関長ほか2人が乗り組み、旅客121人を乗せ、水中翼の揚力によって船体を海面上に浮上させ、新潟県佐渡市姫埼東方沖を同市両津港に向けて約41.7ノットの対地速力で西進中、平成31年3月9日12時16分ごろ水中浮遊物と衝突し、旅客108人及び乗組員1人が負傷した。

ぎんがは、右舷船尾部の破口等を生じた。

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、平成31年3月9日、本事故の調査を担当する主管調査官ほか2人の船舶事故調査官を、後日、5人の船舶事故調査官をそれぞれ指名した。

また、4月13日、委員佐藤雄二及び同田村兼吉を、令和元年7月11日、委員長武田展雄、佐藤委員及び田村委員を、9月26日、田村委員を、それぞれ現場に派遣して調査を行った。

本事故に関し、次の専門的事項を調査するため、専門委員が任命された。

腰椎骨折に至るメカニズム等の分析

新潟大学医歯学総合病院整形外科 講師 渡邊 慶

(令和元年9月30日任命)

1.2.2 調査の実施時期

平成31年3月10～12日、29日、4月12日、13日、令和元年5月23日、24日、7月11日、12日、9月26日 現場調査及び口述聴取

平成31年3月15日、18日、21日、22日 令和元年5月27日、7月19日、8月15日、9月12日、18日、11月5日、12月4日、17日、令和2年1月17日、27日 回答書受領

平成31年3月25～28日、30日～4月11日、4月14～17日、26日、令和元年6月4日、10日、7月31日、8月8日 口述聴取

令和元年12月9日 口述聴取及び回答書受領

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、本事故発生時の船体、旅客に作用する加速度に関する解析調査等を、また、国立研究開発法人物質・材料研究機構に対し、ヒューズピン破断箇所

に関する解析を委託した。

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 ドライブレコーダ及びVVR^{*1}の情報記録による運航の経過

(1) ドライブレコーダによる運航の経過

ぎんが（以下第6章を除き「本船」という。）の操舵室に設置されたドライブレコーダの記録によれば、平成31年3月9日11時30分～13時25分の間における本船の運航の経過は、表2.1-1のとおりであった。

表2.1-1 本船のドライブレコーダの記録

時刻 (時:分:秒)	船位 [*]	
	北緯 (° -' -")	東経 (° -' -")
11:30:00	37-55-48.6	139-03-49.6
11:35:00	37-56-13.3	139-03-51.6
11:40:00	37-58-57.8	139-04-29.3
11:45:00	38-01-01.8	139-01-13.3
11:50:00	38-02-14.6	138-57-24.0
11:55:00	38-02-57.4	138-53-30.0
12:00:00	38-03-43.4	138-49-36.0
12:05:00	38-04-44.4	138-45-44.5
12:10:00	38-05-39.6	138-41-50.5
12:11:00	38-05-46.6	138-41-02.5
12:12:00	38-05-53.6	138-40-14.8
12:13:00	38-05-58.0	138-39-26.7
12:14:00	38-06-00.0	138-38-38.1
12:15:00	38-06-01.9	138-37-50.4
12:16:00	38-06-04.1	138-37-09.1

^{*1} 「VVR」とは、Video Voice Recorderの略で、本船の操舵室内の映像及び音声を記録する装置をいう。

12:17:00	38-06-04.6	138-37-06.7
12:18:00	38-06-04.6	138-37-06.7
12:19:00	38-06-05.2	138-37-05.7
12:20:00	38-06-06.1	138-37-05.1
12:25:00	38-06-10.0	138-36-58.4
12:30:00	38-06-14.9	138-36-07.5
12:45:00	38-06-03.2	138-33-20.2
13:00:00	38-05-37.3	138-30-37.5
13:15:00	38-04-57.7	138-27-59.2
13:25:00	38-04-54.5	138-26-23.6



※船位は、操舵室に設置されていたドライブレコーダの位置である。



(2) VVRによる操舵室内の状況

VVRに記録されていた情報によれば、本事故発生時の操舵室内の状況は、表2.1-2のとおりであった。

なお、時刻は、VVRに内蔵された時計によるものであり、ドライブレコーダの時刻と一致していた。

表2.1-2 VVRによる操舵室内の状況

時刻	映像等
12:15:43	 <p>船長</p> <p>機関長</p>
12:15:44	 <p>船長が左手でデプスハンドルを下げる</p> <p>船長が右手で操縦ハンドルを右にとる</p>

12:15:45		<p>機関長がスロットルレバーを下げようと 同レバーに手を伸ばす</p>
12:15:46		<p>船長が「あー」と大きく発声</p> <p><u>衝撃による船体動揺</u> (12:15:46～47)</p>

2.1.2 乗組員の口述等

本事故の経過は、本船の船長及び機関長の口述、本船の航海日誌及び乗組員勤務表並びに本船の船舶所有者である佐渡汽船株式会社（以下「A社」という。）の回答書によれば、次のとおりであった。

(1) 新潟県新潟市新潟港（西区）出港後、水中浮遊物と衝突するまで

本船は、新潟港（西区）と両津港とを結ぶジェットfoil定期航路に他の2隻のジェットfoilと共に片道の所要時間約65分で就航しており、本事故当日は、他の1隻と合わせて合計5往復の運航が予定されていた。また、本船は、本事故当日、船長、機関長、航海士（以下「本件航海士」という。）及び機関士（以下「本件機関士」という。）の組合せで3便（1往復半）が予定されており、本事故時の運航が1回目であった。

本船は、船長、機関長、本件航海士及び本件機関士が乗り組み、旅客121人を乗せ、新潟港（西区）において、平成31年3月9日11時25分ごろ出港スタンバイとなり、船長が1階客室を、本件機関士が2階客室をそれぞれ巡回し、シートベルトを着用していない旅客に対し、同ベルトの着用を口頭で要請した。

船長は、操舵室において、「翼走^{*2}航行中は障害物等を避けるため、やむを得ず急旋回、急停止を行う場合がある」ことなどの船内放送を行った後、自動音声放送により「翼走航行開始後の減速区間の設定、シートベルトの着用」など旅客に対する注意喚起を行った。

本船は、定刻の11時30分ごろ新潟港（西区）の専用岸壁を艇走^{*3}で出発した。

本船は、船長が操縦者用座席で操舵及び見張りに、機関長が機関士用座席で機関監視及び見張りに、本件航海士が右舷側の見張員用座席で見張りに、本件機関士が左舷側の見張員用座席で見張りにそれぞれ当たった。

（図2.5-4参照）

本船は、11時35分ごろテイクオフモードスイッチ^{*4}を入れて翼走を開始し、11時39分ごろ新潟港西区第2西防波堤（以下「第2西防波堤」という。）先端付近で左転し、両津港に向かった。

本船は、第2西防波堤先端から約3～4海里（M）のところ、南進する船舶（以下「南下船」という。）を認め、南下船を避けることとして針路を約300°～310°（真方位、以下同じ。）とし、A社が定める各航路運航基準（以下「運航基準」という。）の第1基準経路より北方に向けて航行した。

本船は、南下船を通過した後、第1基準経路に沿う針路約288°とし、約40ノット（kn）の速力（対地速力、以下同じ。）で、自動操舵により西北西進した。

本船は、11時48分ごろ運航基準で定める「鯨類等を警戒する減速区間」（以下「減速区間」という。）に準じ、速力を約37knに減じて航行を続けた。

船長は、姫埼灯台の東方約6M付近に漁場があり、漁具が展開されているのを認めたので、それらを左舷方に見て通過した後、針路を約275°とし、姫埼灯台の北東方約1M付近に向けて西進した。

本件航海士は、船内巡回を実施する目的で操舵室を離れた。

本船は、12時15分ごろ姫埼灯台の東北東方約3M付近で減速区間の西

*2 「翼走」とは、船首部及び船尾部にそれぞれ装備された水中翼装置の揚力で船体を海面上に浮上させて航行する形態をいう。

*3 「艇走」とは、船体を海面に着水させて航行する形態をいう。

*4 「テイクオフモードスイッチ」とは、艇走状態から翼走状態に移行する際、後部フォイルのフラップに船体を離水させるための信号を送る装置のスイッチをいう。

端を通過した後、デプスハンドル^{*5}で翼深度^{*6}を1.6 mに設定し、増速しながら西進中、船長が、左舷船首方至近の海中に白い水中浮遊物（以下第6章を除き「本件水中浮遊物」という。）を認め、直ちに目の前にあったデプスハンドルを一杯に下げ、緊急に着水を行う操作をとると同時に、ヘルム（以下「操縦ハンドル」という。）を右一杯（100°）に操作し、更に機関長がスロットルレバーを一杯に下げる操作を開始したものの、12時16分ごろ、船体に衝撃があり、主機が振動を感知して自動で停止すると同時に船底が海面に打ち付けられた。

(2) 本件水中浮遊物衝突後、両津港入港まで

船長は、海洋生物らしきものと衝突した旨、A社に無線連絡するとともに船内放送を行った。

船長は、操縦者用座席前面の操縦盤を見たところ、船尾部の水中翼装置のストラットが異常な位置にあることを示す警告が表示されているのを認め、本船が、翼走航行が不可能なダメージを負ったと思った。

船長は、本件航海士及び本件機関士に対し、客室の状況確認と船体の点検を指示した。

船長は、客室の状況確認と船体の点検から戻った本件航海士及び本件機関士から、負傷者がいること、船体の点検では油圧系統の作動油の漏れがないこと、浸水が確認できなかったことなどの報告を受けた。

船長は、乗組員からの報告により、重傷者が2人いる旨、A社に報告した。

船長は、機関長から、主機が止まっていること、発電機が稼働しており油圧システムの圧力が正常であることなどの報告を受けた後、主機を始動した。

船長は、艇走可能と判断し、12時25分ごろ約9knの速力で両津港に向けて航行を再開した。

船長は、その後、乗組員から旅客16人が自力で動けないほか、負傷者が多数いるとの報告を受け、A社にその旨を報告した。

本船は、13時25分ごろ両津港の専用栈橋に到着した。

本事故の発生日時は、平成31年3月9日12時16分ごろであり、発生場所は、姫埼灯台から072° 2.7M付近であった。

(付図1 航行経路図 参照)

^{*5} 「デプスハンドル」とは、船首部の水中翼のフラップを作動させ水中翼の深度を任意の位置に設定するハンドルをいう。なお、「翼深度ハンドル」ともいう。

^{*6} 「翼深度」とは、水線から船首部の水中翼下端までの深度をいう。

(3) 事故後のA社等の対応状況

A社担当者は、12時21分ごろ本船から自力で動けない重傷者が2人いるとの連絡を受け、119番通報により救急車の手配を行うとともに海上保安署に通報した。

A社担当者は、12時28分ごろ本船から連絡を受け、再度119番通報を行い、自力で動けない負傷者が16人に増えた旨を伝えた。

A社担当者は、12時46分ごろ、専用栈橋に到着した救急隊員に対し、旅客が乳幼児を含め121人であり、うち16人程度が負傷していることを伝えた。

A社担当者は、12時52分ごろ本船から自力で動けない旅客が20人を超えているとの連絡を受けた。

消防本部は、専用栈橋付近に現場指揮本部を設置し、本船が13時25分ごろ両津港に到着後、直ちに消防隊員等が乗船してトリアージを開始するとともに、負傷していない旅客の下船が開始され、負傷した旅客は、負傷の状況に応じて本船内、栈橋に通じる専用通路、A社の会議室等で待機して順次緊急車両等による搬送が行われ、17時40分ごろ全ての負傷者の搬送が終了した。

2.2 人の負傷等に関する情報

旅客の口述及びA社の回答書によれば、次のとおりであった。

2.2.1 本事故発生時の旅客の着席及びシートベルトの着用状況

(1) 1階客室

旅客66人（男性44人（うち乳児1人、幼児3人）、女性22人）が着席しており、17人（男性12人（うち乳児1人、幼児2人）、女性5人）がシートベルト未着用であった。

(2) 2階客室

旅客55人（男性34人、女性21人）が着席しており、5人（男性3人、女性2人）がシートベルト未着用であった。

なお、シートベルトの未着用は、トイレ使用による離席、下船に備えた荷物整理等によるものであった。

2.2.2 負傷状況

旅客121人のうち、108人が負傷（重傷^{*7}55人、重傷を除く負傷53人）した。また、乗組員4人のうち、船内巡回中であった本件航海士が打撲を負った。

(1) 1階客室

旅客66人のうち、62人が負傷し、うち33人が重傷を負い、重傷者のうち、21人に腰椎骨折が認められた。

また、旅客66人のうち、13人が前方に投げ出される等して、上顎骨骨折等を負った。

(2) 2階客室

旅客55人のうち、46人が負傷し、うち22人が重傷を負い、重傷者のうち、17人に腰椎骨折が認められた。

また、旅客55人のうち、22人が前方に投げ出される等して、外傷性歯根破折等を負った。

(付図2 1階旅客の負傷状況等、付図3 2階旅客の負傷状況等 参照)

2.3 船舶の損傷等

本船は、右舷船尾部船底の凹損及びその内部の部材に変形等、右舷船尾部外板に破口、船尾部の水中翼装置の中央部ストラット下部にある推進用海水取入口の前部に亀裂を生じた。

なお、船首部の水中翼装置に損傷はなかった。

(図2.3 参照)

^{*7} 「重傷」とは、人が負った傷害で、その結果、負傷した日から7日以内に、72時間以上の期間、通常の活動ができない状態に至ったものをいう。（IMO（国際海事機関）事故調査コード）



図 2. 3 損傷状況

2. 4 乗組員に関する情報

(1) 性別、年齢、海技免状等

船長 男性 40歳

二級海技士（航海）

免許年月日 平成25年6月3日

免状交付年月日 平成30年2月5日

免状有効期間満了日 令和5年6月2日

機関長 男性 29歳

三級海技士（機関）

免許年月日 平成22年11月22日

免状交付年月日 平成27年11月16日

免状有効期間満了日 令和2年11月21日

(2) 主な乗船履歴等

船長及び機関長の口述並びにA社の回答書によれば、次のとおりであった。

① 船長

船長は、大学を卒業後、平成13年12月にA社に入社し、三等航海士、二等航海士及び一等航海士としてA社のカーフェリーに乗船した経験が約10年あり、平成28年4月から船長としてA社のジェットフォイルに乗船していた。

本事故当時、疲労は感じておらず、健康状態は良好で、視力は正常であった。

② 機関長

機関長は、高等専門学校を卒業後、平成22年12月にA社に入社し、三等機関士及び二等機関士としてA社のカーフェリーや高速船に乗船した経験が約6年あり、平成29年4月から機関長としてA社のジェットフォイルに乗船していた。

本事故当時、疲労は感じておらず、健康状態は良好で、視力は正常であった。

2.5 船舶に関する情報

2.5.1 ジェットフォイルの概要

文献^{*8}並びに国内ジェットフォイル製造者及びA社の回答書によれば、次のとおりであった。

(1) ジェットフォイルの建造等

ジェットフォイル（全没翼型水中翼船）は、米国ジェットフォイル設計・製造者が設計、建造を開始し、本船も米国ジェットフォイル設計・製造者により建造された。昭和62年に国内ジェットフォイル製造者は、米国ジェットフォイル設計・製造者からジェットフォイルの仕様や建造に関する技術情

^{*8} 日本船用機関学会誌 第27巻 第2号（1992-2）

報の提供を受けてジェットフォイルのライセンス建造を開始した。

その後、米国ジェットフォイル設計・製造者はジェットフォイルの設計、建造から撤退し、現在、ジェットフォイルを建造しているのは世界で国内ジェットフォイル製造者の1社のみである。

国内ジェットフォイル製造者及び米国ジェットフォイル設計・製造者によって建造されたジェットフォイルは、令和2年2月現在において、日本国内で計21隻がA社を含む7事業者によって運航されている。

(2) システムの概要

ジェットフォイルは、主翼である船尾部の水中翼（船尾翼）の船首方に船首部の水中翼（船首翼）を持つカナード型^{*9}の翼配置が採用され、翼走及び艇走の2種類の航行形態がある。

ジェットフォイルは、ガスタービン主機で駆動されるウォータージェット推進装置により船尾翼の中央にある推進用海水取入口から海水を吸入し、同推進装置の船尾に備えた噴射ノズルから高圧水を船尾方に噴射することで推力を得て前進し、同ノズルの出口部に取り付けられた逆噴射器（リバーサ）により、同ノズルからの高圧水を前進時と反対の船首方に噴射することで停止及び後進する。

艇走時には、バウスラスタ^{*10}、リバーサ及び噴射ノズルの出口部にあつて同ノズルからの高圧水の向きを左又は右に変更する方向変換器（デフレクター）のそれぞれの働きによって高圧水の流量及び方向を変えることにより、前進、後進、旋回等を行うことができる。

翼走を行う際は、テイクオフモードスイッチを入れ、ガスタービン主機の回転数を上昇させると、自動制御によって船尾翼の左舷及び右舷のフラップが下方向に作動し、水中翼に発生する揚力で海面から浮上して艇走から翼走となり、40kn前後の速力（時速約70～80km）で自動姿勢制御装置（ACS：Automatic Control System）によって船首翼及び船尾翼にあるフラップを制御して船体を海面から一定の高さに保ち、波浪による船体の縦揺れや横揺れがほとんどなく航行することができる。

翼走中に進路変更（旋回）を行う際は、操縦ハンドルを右（左）に操作することにより、自動制御によって船尾翼のフラップのうち右舷側（左舷側）が上がって左舷側（右舷側）が下がり、船体が右舷（左舷）に傾斜し、これに伴って船首部の水中翼装置が右（左）に回転することにより、海面から一

^{*9} 「カナード型」とは、主翼の前方に前翼（カナード）を持つ固定翼設計をいう。

^{*10} 「バウスラスタ」とは、船首部に設けられる船体の横方向に推力を発生する装置をいい、主に離着岸操船時に使用される。

定の高さを保ちながら円滑に右（左）旋回を行うことができる。

なお、ジェットfoilが翼走可能な揚力を得られる設計上の最低速力は、32knであり、また、ジェットfoilが旅客等を乗せ、重量が増加した状態において翼走持続可能な最低速力は、約35knである。

(3) 水中翼装置

① 船首部の水中翼装置

船首部の水中翼装置は、台形のステンレス鋼製翼（以下「前部foil」という。）の中央部と船体の船首部とを連結する前部ストラット、前部ストラット上部の左右各1か所に‘浮遊物等が衝突した際の衝撃を吸収する装置’（以下「アブソーバー」という。）、前部ストラット下端に接続されたポッドと称する流線形部材、同ポッド前後部のコーンと称するアルミニウム合金製円錐形部材等によって構成されている。

前部ストラットは舵を兼ねており、微小角度で回転可能な機構となっている。

多くのジェットfoilでは、ポッドの内部にアンダー・ウォーター・スピーカー（UWS）^{*11}が配置されている。

船首部の水中翼装置は、遠隔操作により、船体の船首中央部に前部foilの船首方を上として揚収されるようになっている。

前部foilの後端に取り付けられたフラップは、左右共通のアクチュエータで駆動されており、船体運動のうちの縦運動のみを制御対象とする。

② 船尾部の水中翼装置

船尾部の水中翼装置は、左右両舷側のストラット、推進用海水取入口を下部に有する中央部ストラットの3つのストラットを備え、それぞれのストラット下部に船横方向に連結されたステンレス鋼製翼（以下、中央にある推進用海水取入口を含め「後部foil」という。）、左右両舷側ストラット下端に備えたポッド、同ポッド前後部のコーン、ヒューズピン^{*12}等によって構成されている。

船尾部の水中翼装置は、遠隔操作により、船体の船尾部に後部foilの船尾方を上として揚収されるようになっている。

後部foilの後端に取り付けられたフラップは、左右舷別々に駆動さ

^{*11} 「アンダー・ウォーター・スピーカー」とは、鯨類の忌避する音声を水中に発射することで、鯨類の回避行動を促す装置をいう。

^{*12} 「ヒューズピン」とは、船尾部の水中翼装置の中央部ストラットと船体取付け部とを結合する円筒状のもので、船尾翼に障害物が衝突して一定以上の荷重を受けた際、瞬時に破断し、同翼が水中翼装置の船体取付け部を支点として自由に回転する状態となって後方に跳ね上がることにより、船体取付け部が損傷して破口、浸水等に至らないようにする目的で取り付けられているものをいう。

れ、各舷は更に内外に2分割されてそれぞれ独立して駆動させることによって作動の安定性を高めた構成となっており、船体運動のうちのピッチング及びローリングを制御の対象としている。

(図2.5-1、付図4 ヒューズピン 参照)

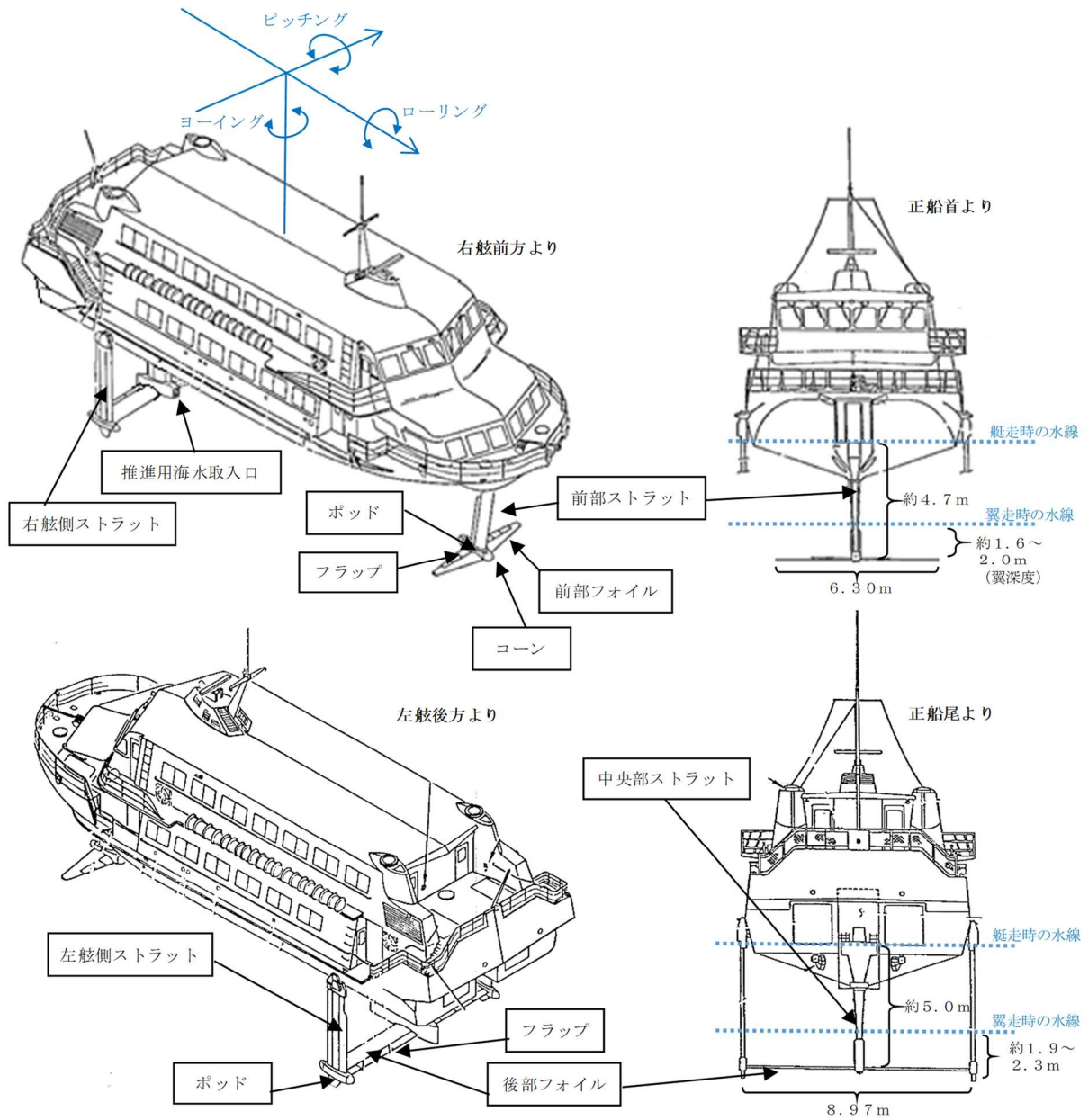


図2.5-1 ジェットフォイル図 (イメージ)

2.5.2 本船の主要目

船舶番号	120063
船舶港	新潟県佐渡市
船舶所有者	A社
運航者	A社

総 ト ン 数	277.32トン
L r × B × D	23.44m × 8.53m × 2.59m
船 質	軽合金
機 関	ガスタービン機関2基
出 力	2,794kW/基 合計5,588kW
推 進 器	ウォータージェット推進装置2基
進 水 年 月	昭和54年11月
最大搭載人員	旅客250人、船員4人計254人

(図2.5-2 参照)



図2.5-2 本船

2.5.3 本船の船体、操縦性能等に関する情報

A社の回答書によれば、次のとおりであった。

なお、船長の口述によれば、本事故当時、本船の船体、機関及び機器類に不具合又は故障はなかった。

(1) 船体

前部フォイルは、船横方向の長さ（翼幅）が6.30mであり、翼走時における翼深度は、約1.6～2.0mである。

後部フォイルは、船横方向の長さ（翼幅）が8.97mで前部フォイルに比べて2.67m長く、また、後部フォイル下端は、前部フォイル下端よりも約0.3m下に突出している。

(図2.5-1 参照)

(2) 公試時の操縦性能

① 翼走左旋回

出力状態	推進器（ポンプ）：回転数毎分（rpm） 2,000
ヘルム角 ^{*13}	左75°
回頭時間	26.0秒（発令→90°） 46.1秒（発令→180°）
アドバンス（旋回縦距 ^{*14} ）	365m
トランスファ（旋回横距 ^{*15} ）	300m
最大旋回圏	570m

② 翼走右旋回

出力状態	推進器（ポンプ）：2,000rpm
ヘルム角	右75°
回頭時間	22.3秒（発令→90°） 37.8秒（発令→180°）
アドバンス（旋回縦距）	304m
トランスファ（旋回横距）	280m
最大旋回圏	477m

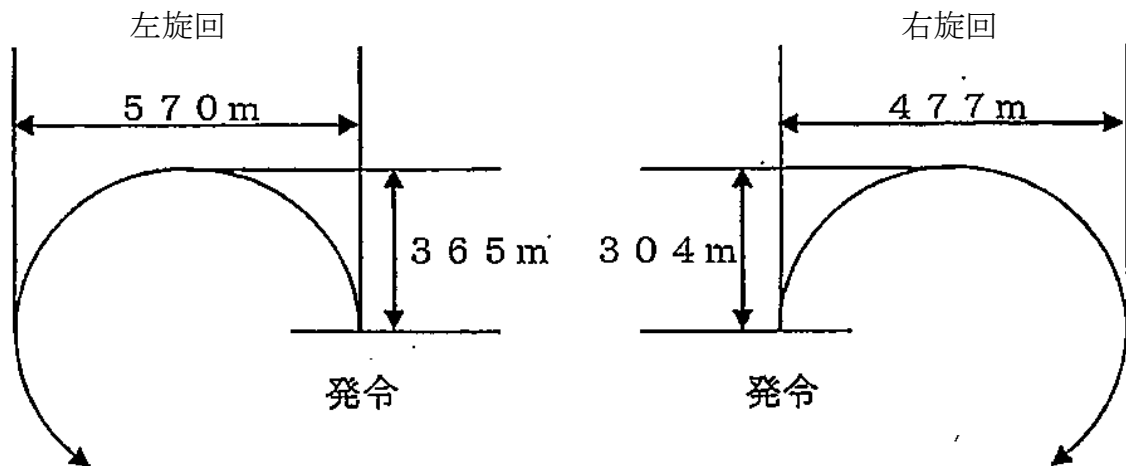


図2.5-3 翼走旋回性能

*13 「ヘルム角」とは、操縦ハンドルを回す角度をいう。

*14 「旋回縦距」とは、転舵時の船体の重心位置から90°回頭したときの船体重心の原針路方向の進出距離をいう。

*15 「旋回横距」とは、転舵時の船体の重心位置から90°回頭したときの船体重心の原針路からの横移動距離をいう。

③ 翼走時停止性能（水中翼装置降下時）

出力状態	推進器（ポンプ）：2,000rpm→後進最大
停止時間	発令から船体停止まで 25.0秒
停止距離	発令から船体停止まで 17.1m

④ 艇走時停止性能（水中翼装置揚収時）

出力状態	推進器（ポンプ）：1,400rpm→後進最大
停止時間	発令から船体停止まで 16.0秒
停止距離	発令から船体停止まで 3.4m

(3) 操舵室に関する情報

操舵室は、アッパーデッキ（上部甲板）船首側に配置され、同室内前部右舷側から順に、見張員用、操縦者用、機関士用及び見張員用の各椅子型座席が横一列に設置されており、同室前面ガラス窓に設けられた窓枠のほか、見張りの妨げになるものはなかった。

各座席には、ベルトの長さを調節する巻取装置を備えた3点式シートベルトが背もたれ部に設けられ、腰部及び上体を固定する構造になっていた。

(4) 操舵室内の機器に関する情報

① 操縦者用座席前面の操縦盤

正面に操縦ハンドルが、やや左舷側上部にデプスハンドル及び翼深度計が、その下にテイクオフモードスイッチがそれぞれ設置されており、その左舷側にスロットルレバー及び船舶位置情報装置が、その下方にレーダー等がそれぞれ設置されていた。

② 機関士用座席前面の操縦盤

主機回転計、ウォータージェット推進装置の回転計等が設置され、機関の運転状態を監視できるようになっていた。

また、操舵室左舷前面の窓には、GPS内蔵のドライブレコーダが設置されていた。

(図2.5-4 参照)

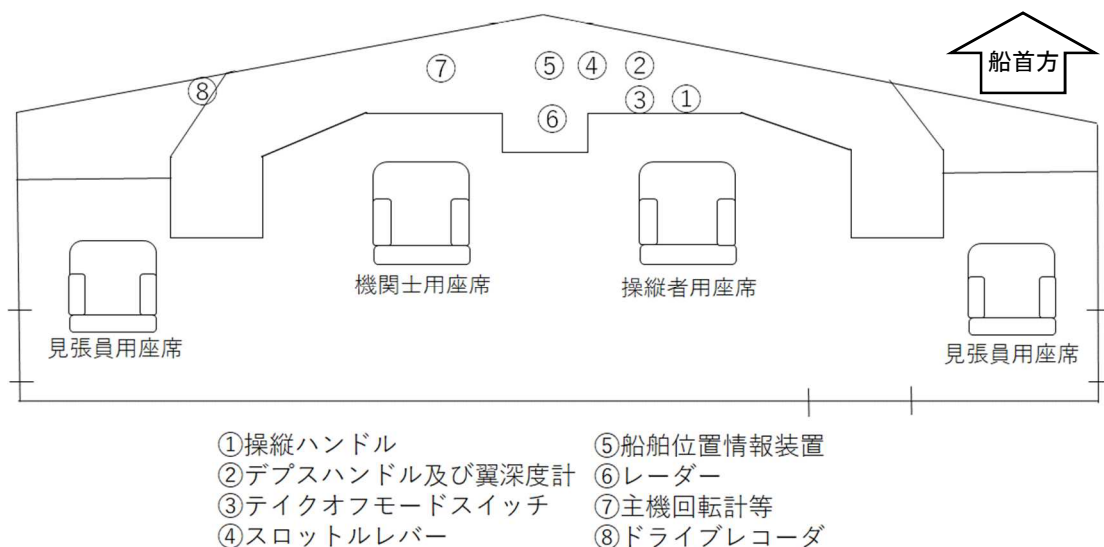


図 2.5-4 本船の操舵室 (イメージ)

2.5.4 客室等に関する情報

A社及び座席製造者の回答書によれば、次のとおりであった。

(1) 客室

客室は、メインデッキ (主甲板) に 1 階客室が、アッパーデッキ (上部甲板) に 2 階客室がそれぞれ設けられ、両客室は船内の階段でつながっており、1 階客室の船体中央部船首寄りの両舷に旅客の乗降口が設けられ、また、1 階客室の下部には、船尾方から順にポンプ室、後部補機室、空所及び前部補機室があり、それぞれの区画は、隔壁で仕切られていた。

2 階客室の床面は、船体外壁、階段室及び 1 階客室に設けられた 4 本の支柱により支えられていた。

(2) 客室の座席配置

① 1 階客室

前部には、左右両舷側に各 2 列、中央に 5 列が、中央部には、階段を挟んで左右両舷側に各 3 列が、後部には左右両舷側に各 3 列、中央に 4～6 列が配置され、合計 147 席が設置されていた。また、左右両舷側の座席列と中央の座席列との間がそれぞれ通路となっていた。

② 2 階客室

前部から後部にかけて、左右両舷側に各 2 列が、中央部から後部にかけて、中央に 4 列が配置され、合計 103 席が設置されていた。また、左右両舷側の座席列と中央の座席列との間がそれぞれ通路となっていた。

(3) 座席の構造

① 座席

座席は、高速船に使用されている旅客用座席で、1人掛け用の座席を座面の前部と後部の下を横方向にフレームで連結し、2人掛け用又は3人掛け用として使用していた。座面後部のフレームは、着席した状態で臀部下に位置する状態であった。2人掛け用又は3人掛け用の座席には2本の脚があり、客室床に設けられたレールにボルトで固定されていた。

(図2.5-5、図2.5-6参照)

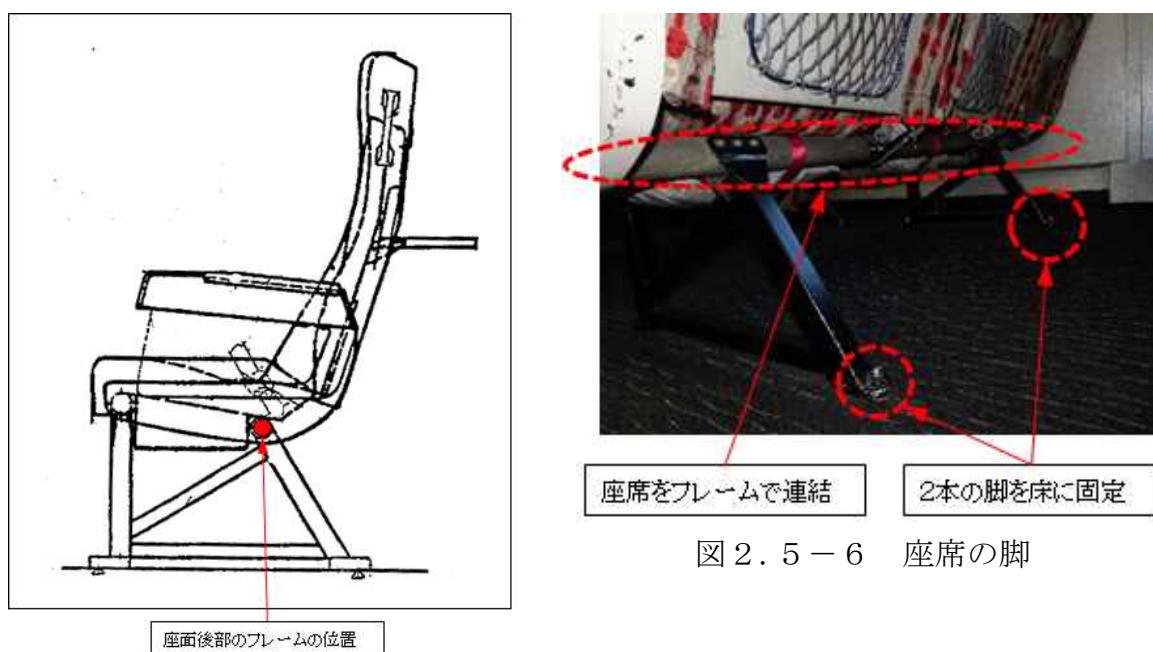


図2.5-5 座面後部のフレーム

図2.5-6 座席の脚

② 座席クッション

座席クッションは、ウレタンフォーム製で、座席に容易に着脱可能なものであった。本事故当時、本船で使用されていた座席クッションは、約10年間使用されたものであった。(図2.5-7参照)

座席製造者は、平成18年に発生したジェットフォイルの水中浮遊物衝突事故の後、衝撃吸収力に優れた座席クッション(以下「改良型座席クッション」という。)を開発した。

A社は、本事故後の令和元年7月に、本船を含め、運航するジェットフォイル3隻の座席クッションを改良型座席クッションに交換した。現在、国内で運航しているジェットフォイルの半数が改良型座席クッションを使用している。



座席クッションカバー内のウレタンフォーム

図 2.5-7 本事故当時の座席クッション

③ 座席のシートベルト

1階客室及び2階客室の全座席には、自動車用の自動巻取式で、化学繊維製の2点式シートベルトが装備されていた。(図2.5-8参照)

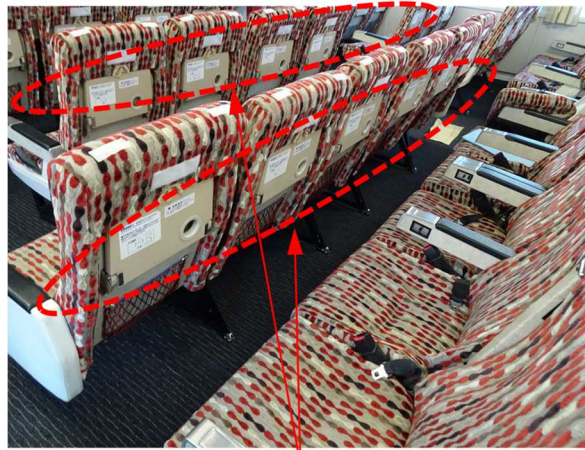


自動巻取式の2点式シートベルト

図 2.5-8 座席のシートベルト

④ 座席テーブル

本船は、前に座席がない座席には自席の肘掛けに収納することができるテーブルが、また、その他の座席には前の座席の背面に折り畳み式のテーブルが取り付けられていた。(図2.5-9参照)



座席テーブル

図 2.5-9 座席テーブル（折り畳み式）

(4) 客室に設置された緩衝材

1階及び2階客室は、客室前部にある棚の上部角並びに壁面及び客室内の全ての支柱に、旅客の体が衝突した場合の衝撃を和らげる目的で、緩衝材が施されていた。

2.5.5 A社のジェットフォイルに関するその他の情報

A社の回答書によれば、A社は、本船（米国ジェットフォイル設計・製造者製、昭和61年就航）、「つばさ」（国内ジェットフォイル製造者製、平成元年就航）及び「すいせい」（国内ジェットフォイル製造者製、平成3年就航）の3隻を新潟港（西区）と両津港とを結ぶ定期航路で運航している。

2.6 気象及び海象に関する情報

(1) 気象庁による気象観測値

本事故現場の南東方約4.2kmに位置する新潟地方気象台及び西方約1.5kmに位置する新潟地方気象台両津観測所における9日12時の観測値は、次のとおりであった。

新潟地方気象台：天気 快晴、風向 南、風速 2.3m/s、
気温 11.5℃

両津観測所：風向 南西、風速 10.6m/s、気温 10.4℃

(2) 乗組員の観測

本船の航海日誌によれば、9日12時ごろの観測値は、次のとおりであった。

天気 晴れ、風向 南、風速 約7m/s、視界 良好、波高 1.0m

2.7 鯨類等との衝突回避に関する対策等

船長の口述及びA社の回答書によれば、次のとおりであった。

2.7.1 鯨類の目撃情報共有に関する体制及び本事故現場海域における傾向

A社は、毎年、安全重点施策を掲げ、平成31年においても目撃情報に基づくハザードマップ（年次で更新）を活用した減速区間の設定等により、ジェットフォイルと鯨類との衝突回避を図るとともに、目撃情報の共有及び減速区間航行時の注意喚起についてA社の運航関係者に周知していた。

上記のハザードマップによれば、本事故現場海域である佐渡海峡周辺における鯨類の目撃情報は、例年2月後半から得られ始め、3～5月にかけて増加し、6月ぐらいまで続くことが多い。

2.7.2 本事故発生前後の鯨類の目撃情報等

- (1) 本事故発生直前の鯨類の目撃情報は、3月3日に本事故現場の東方約4Mで本船によって得られていた。A社は、鯨類が目撃された日の翌日から5日間、目撃された地点の前後3Mを通常の減速区間の約3.7knから更に約3.5knまで減速して航行する区間としており、3月8日まで同区間が設定されていた。
- (2) 船長以下乗組員は、本事故当日の出港前、乗組員間のブリーフィングにおいて、上記(1)を含む最新の鯨類の目撃情報を共有していた。
- (3) 船長以下乗組員は、船長が左舷船首方至近の海中に本件水中浮遊物を認める前、船首方に鯨類及びその噴気（潮吹き）等を視認していなかった。
- (4) 本事故発生後の4月6日、本事故現場の南西方3M付近の海上に浮遊している海洋生物の死骸が発見され、後日、鑑定機関によりDNA鑑定が行われた結果、鯨類（オオギハクジラ）であることが判明し、また、外見から死亡後2～3週間経過しているものと推定された。

本事故後、本船の推進用海水取入口付近に付着していた組織片を採取してDNA鑑定が行われたが、生物等の特定はできなかった。

2.7.3 その他の対策

A社は、平成9年からUWSをA社のジェットフォイルに採用するようになった。本船は、翼走状態になった時に自動的にUWSが作動する仕組みになっており、本事故当時、船長及び本件航海士が、操舵室の計器でUWSが作動していることを確認していた。

2.8 類似事事故例

平成18年4月に発生し、旧海難審判庁が裁決を行ったジェットfoilと水中浮遊物との衝突事故及び平成20年10月以降に発生し、運輸安全委員会の調査対象となった同様の事故の状況は、付表2のとおりであった。

付表2の計12件の衝突事故において、船舶はいずれも（調査中の1件を除く。）35～40knの高速で航行しており、これらの事故のうち、水中浮遊物が船首翼に衝突したのは10件（水中浮遊物が船尾翼にも衝突した1件を含む。）であり、船尾翼のみに衝突したのは2件（本事故を含む。）であった。

水中浮遊物が船首翼のみに衝突した事故9件のうち、負傷者が発生したのは4件であり、いずれの事例においても、負傷者数は10人以下であった。

これに対し、本事故を含め、水中浮遊物が船尾翼のみに衝突した事故2件においては、負傷者は、いずれも100人程度発生している。

（付表2 過去の類似事故 参照）

2.9 超高速船に関する安全対策の情報

2.9.1 超高速船に関する安全対策検討委員会

国土交通省のホームページによれば、国土交通省に設置された「超高速船に関する安全対策検討委員会」が平成21年4月24日に公表した「超高速船に関する安全対策について（最終とりまとめ）」は、次のとおりである。

平成18年前後に、我が国近海において水中翼型超高速船が航行中に流木や鯨類と衝突する事故が相次いだことを受け、平成18年4月に「超高速船に関する安全対策検討委員会」を設置し、水中翼型超高速船の流木等の海面にある障害物や鯨類との衝突に関する安全対策の検討を進めてきた。

（中略）

本委員会では、水中翼型超高速船が流木等の海面にある障害物や鯨類と衝突する事案について、「衝突を回避するための対策」及び「衝突した場合の乗客・乗員の被害を低減するための対策」について取りまとめた。今後は、本とりまとめに従って、行政機関、水中翼型超高速船の運航事業者、水中翼型超高速船の製造事業者において協力・連携を図りながら、安全対策を講じていくことが必要である。

1. 衝突を回避するための対策

(1) 流木等の障害物情報や鯨類の目撃情報の把握

① 海上保安庁からの情報提供

海上保安庁が入手した流木等の障害物情報や鯨類の目撃情報の適切な活用のため、海上保安庁から水中翼型超高速船の運航事業者等に対し、航行警報やFAX等により情報提供を行ってきている。

今後も引き続き、情報提供を継続していく。

② 運航事業者による鯨ハザードマップの作成

運航事業者による鯨発見情報の適切な活用のため、各運航事業者において平成18年5月以降、鯨類発見情報の収集を行い、鯨ハザードマップの作成が概ね完了した。今後も、情報収集を継続しハザードマップの更新を行う必要がある。

また、鯨類の目撃情報を活用したより安全な運航の促進やアンダーウォータースピーカーの活用促進のため、鯨類の種別に関する情報を追加して収集することが望まれる。また、情報の有効活用の観点から、運航事業者、製造事業者、鯨類専門家の間で情報交換を実施することが望ましい。

(2) 障害物、鯨類に係る情報を活用した安全運航

障害物、鯨類への衝突の危険性を低減させるため、平成18年5月以降、各運航事業者において障害物、鯨類等の監視強化や情報入手時の連絡網整備を図るとともに、(1)で蓄積した航路上の障害物、鯨類に係る情報等を活用しつつ、各航路の特性等を踏まえ、要注意海域の設定、減速航行の実施や基準航路の変更などの所要の措置を講じている。今後も引き続き、運航時の障害物、鯨類等の監視を継続しこれらの衝突回避に務めるとともに、障害物、鯨類に係る情報を活用した減速航行や基準航路の変更等の安全運航のための取組みを継続する必要がある。

(3) アクティブソナーの活用

海面付近の障害物を探知する手段が実用化されれば、障害物への衝突の危険を大幅に低減することが可能となると考えられる。このため、水中翼型超高速船の製造事業者において、進行方向の浅深度の水中に超音波を発射し、障害物からの反射波をもとに探知を行うアクティブソナーの改良研究が行われた。

今回実施したソナーカバーの形状改良によるノイズ発生量の低減及びノイズ除去フィルターの性能向上により、波高1～2m程度の海象下では、海面付近の水中にある障害物を400m程度離れた距離から探知可能であることが確認され、大幅な探知性能の向上が図られた。しかしながら、現在利用可能な技術では、これより高い波高となると、波面からのノイズにより探知確度が低下する。従って、アクティブソナーは、水中翼型超高速船の実際の運航時に遭遇する全ての海象で有効に機能する障害物の探知手段とはならない。

しかしながら、波高1～2m程度の海象下では、目視による監視の補助手段として活用することも可能であり、運航事業者の自主判断により、装置の性能特性を踏まえた利用が期待される。

(4) アンダーウォータースピーカーの活用

鯨類の忌避する音声を水中に発射することで、鯨類の回避行動を促すことができれば、鯨類との衝突回避に有効である。このため、水中翼型超高速船の製造事業者において、鯨類専門家の協力を得て、各航路に出現する鯨類の種別の特定とそれぞれの種別の鯨類が聴取可能な音声の周波数帯の特定の作業が進められている。この後、当該種別の鯨類が回避行動をとる音声の特定の作業が進められることとされている。

これらの調査には、なおしばらくの期間を要することから、現在の作業を継続し、装置の有効性の確認を経て、運航事業者において活用することが望まれる。

2. 衝突した場合の被害を低減するための対策

(1) シートベルトの技術基準の制定

現在運航中の水中翼型超高速船にはシートベルトが設置されているが、平成 18 年 4 月に鹿児島県佐多岬沖で発生した事故では、シートベルト着用者の中にも骨折等の重傷を負った者が多数存在した。このため、万一の障害物等との衝突事故の際に乗客を有効に保護する座席・シートベルトの要件を明らかとする観点から、座席・シートベルトについて、事故時の状況を踏まえた衝撃試験等によりその保護性能の分析・評価を行った。

この結果、衝突事故の際の被害を軽減するために満足すべきシートベルトの要件が示された。

これを受けて、法令により水中翼型超高速船へのシートベルトの設置の義務付けとシートベルトの技術基準の制定を速やかに行う。

(2) シートベルトの着用

船舶の運航時に適切にシートベルトが着用されていれば、衝突時の被害が低減される。このため、運航事業者において、運送約款に乗客のシートベルト着用の義務を規定するとともに、船内における掲示や乗客へのアナウンス等によりシートベルト着用の周知徹底が図られている。

(3) 万一に備えた船内への緩衝材の取付け

衝突時の衝撃により乗客が船内の構造物に打ち付けられる万一の事態においては、船内に緩衝材等が取り付けられていれば被害の軽減につながる。このため、平成 18 年 5 月以降、運航事業者において船内の所要の箇所に緩衝材の設置が進められ、我が国の全ての水中翼型超高速船において措置がとられている。

3. その他

(後略)

2.9.2 座席及びシートベルトの安全性等に関する情報

国土交通省は、船舶設備規程（昭和9年逓信省令第6号）の一部改正を行い、平成21年4月27日から水中翼船の椅子席には、「衝突時に拘束力を保持するベルト」^{*16}を備え付けることとした。

また、国土交通省海事局運航労務課長及び安全基準課長発出の通達「高速旅客船及び水中翼船のシートベルト設置に関する法令改正のお知らせ及びシートベルト着用の励行について」（平成21年4月21日付け国海運第6号、国海安第9号）によれば、水中翼船において、シートベルトの着用を周知徹底するよう事業者に対し指導している。なお、水中翼船以外の高速旅客船の椅子席には、衝撃時に乗船者が前方に移動することを防止するためのベルトを備え付けることとしている。

2.10 安全管理に関する情報

2.10.1 安全管理体制

A社運航管理者の口述によれば、A社は、海上運送法に基づいて安全管理規程を定め、同規程に基づき運航基準、各航路作業基準及び各航路事故処理基準を定めているほか、JF^{*17}安全運航マニュアルを定めていた。

2.10.2 安全管理規程等

(1) 運航基準

A社の「各航路運航基準」において、本船の基準経路等は、次のとおり定められている。

(基準経路)

第7条 基準経路は、運航基準図に記載のとおり第1基準経路、第2基準経路、第3基準経路の3経路とする。

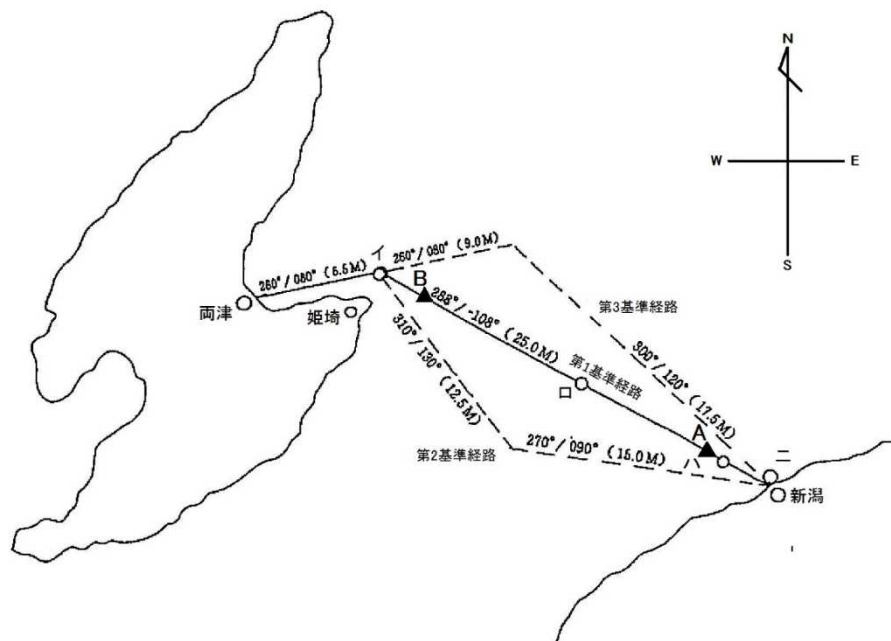
2 基準経路の使用基準は次表のとおりとする。

^{*16} 「衝突時に拘束力を保持するベルト」とは、自動車又は航空機での使用を想定して製造された2点式シートベルト又は3点式シートベルトであって、緊急ロック式巻取装置を備えたもの又は一動作で迅速に締め付けができるものをいう。

^{*17} 「JF」とは、Jetfoilの略語で、ジェットフォイルのことをいう。

(3) 新潟～両津航路 (ジェットfoil)		別表4
使用基準	第1基準経路	荒天以外及び夜間航行時
	第2基準経路	姫埼付近から新潟港付近までの風向が、北～北西で風速15m/s以上、波高2.5m以上のとき
	第3基準経路	姫埼付近から新潟港付近までの風向が、南西で風速15m/s以上、波高2.5m以上のとき

別表4 新潟～両津航路運航基準図
(ジェットfoil)



- 第1基準経路
 - - - - 第2及び第3基準経路
- (1) 第2基準経路：北～北西で風速15m/s以上、波高2.5m以上。
 - (2) 第3基準経路：南西で風速15m/s以上、波高2.5m以上。
 - (3) 針路は真針路とする。
 - (4) 洋上航過時：0.5マイル以上離すこと。但し、無線連絡で了解されている場合は、0.3マイル以上とする。
 夜間航行時は、0.8マイル以上離すこと。
 - (5) 姫埼並航は、1マイル以上離すこと。
 - (6) 副運航管理者との連絡地点
 - イ 姫埼灯台並航の地点
 - ロ 新潟～両津航路の中間地点付近 (姫埼灯台から約1.3マイルの地点)
 - ハ 新潟港第2西防波堤先端並航10分前の地点
 - ニ 新潟港第2西防波堤先端並航の地点
 - (7) 鯨類等を警戒する減速区間の基準を▲A地点～▲B地点とする。
A地点 新潟第2西防波堤先端から第1基準経路上6マイルの地点。
B地点 姫埼灯台正横から第1基準経路上3マイルの地点。
※鯨類の出没状況に応じて減速区間を延長する。

(2) 事故処理基準

A社の「各航路事故処理基準」において、本船の非常連絡は、次のとおり定められている。

(非常連絡)

第1条～第3条 (略)

第4条 船長は、事故の状況を運航管理者に報告する場合は速報を旨とし、判明したものから逐次通報することにより、次条の項目を網羅するよう心がけなければならない。

(非常連絡事項)

第5条 事故が発生した場合の連絡は、原則として次の区分により行うものとする。

(1) 全事故等に共通する事項

①船名 ②日時 ③場所 ④事故等の種類 ⑤死傷者の有無 ⑥救助の要否 ⑦当時の気象・海象

(2) 事故等の事態による事項

事故等の種類	連絡事項
a 衝突	① 衝突の状況（衝突時の両船の針路・速力等又は岸壁等への接近状況） ② 船体、機器、車両の損傷状況 ③ 浸水の有無（あるときはd項） ④ 流出油の有無（あるときはその程度及び防除措置） ⑤ 自力航行の可否 ⑥、⑦ (略)

(3) J F 安全運航マニュアル

A社作成の「J F 安全運航マニュアル」によれば、緊急操船要領は、次のとおりであった。

翼走航行中、前方近距離に危険な障害物又は海中生物等を発見した場合は、躊躇なく緊急旋回や緊急停止を行って衝突を回避すること。その要領及び注意事項は下記の通りである。

(1) 緊急旋回

1. 方法

避航する方向に瞬時に最大ヘルム角（100度）で操舵すると共に、スロットルレバーに左手を掛けていつでも着水・停止できる態勢を取る。

翼走航行時の標準的な旋回性能 速力42ノット

	最大ヘルム角	旋回率	旋回半径
通常	75度	約5度/秒	約250m
緊急時	100度	約6度/秒	約200m

2. 注意事項

- ① 危険を感じたら躊躇なく「緊急旋回」を行って障害物との接触を回避すること。
- ② 操縦者は絶えず前方を注視し、大きな浮遊物や海中生物の早期発見に努め、適切な回避動作を敏速に行えるようにすること。
- ③ これまでのテスト結果からみれば、漁網のボンデン等の小型のものであれば、障害物が前方正面約150m位に接近した時点でも緊急旋回によって、十分接触を回避する事ができる。
- ④ 状況に応じて「減速」、或いは「緊急停止」等の回避動作を併用すること。

(2) 緊急停止

1. 方法

- ① スロットルレバー（両舷機共）を瞬時に全速後進にする。
 (注) この時翼深度は自動的に最深にセットされ、艇は着水する。
- ② 着水後 ヘルムを必要に応じて操作する。

翼走航行中（翼深度2m）の最短停止距離

（平成5年8月「ぎんが」による実測）

ポンプ回転数	速力	停止距離	備考
2,000rpm	45ノット	約180m	着水時 ^{やや} 衝撃有り
1,700rpm	33ノット	約140m	着水時さほど衝撃無し

2. 注意事項

- ① 「緊急停止」か「緊急旋回」かの判断に迷う様な危険を感じたら、躊躇せず「緊急停止」により危険を回避すること。
- ② この場合、翼深度ハンドルではなく、必ずスロットルレバー（両舷）を思い切り後進側へ下げること。

注：翼深度ハンドルのみを下げた場合、艇は着水はするが前進推力のままであり、停止しない。

- ③ 緊急停止により着水後、ポンプ吸入圧力の急激な変動により TUPS^{*18} が作動することがあるので機関監視者は注意を払うと共に、もし作動した場合は TUPS をオフ又はリセットすること。
- ④ 船長は常に緊急時に迅速にスロットルレバー操作ができるような態勢で翼走航行すること。
特に港内等の航行制限区域内に於いては、減速し且つ翼深度をできる限り深くすると共に、スロットルレバーに左手を掛けていつでも着水・停止できる態勢で注意深く航行すること。
- ⑤ 緊急着水による衝撃から乗客を保護する為、翼走中は常時シートベルトを着用するように指導すること。
- ⑥ 緊急着水する場合は、緊急措置が他の乗組員にも判るように、できる限り「着水！」等の声を発すること。

2.10.3 A社における事故発生時の対応等

A社運航管理者の口述及びA社の回答書によれば、次のとおりであった。

- (1) A社は、緊急対応の円滑化を図る目的で、海上保安部との合同訓練及び運輸局との公開操練等に以前から参画していたものの、ジェットフォイルの事故を想定した合同訓練等はこれまで行ったことがなかった。
- (2) A社は、本事故発生時、本船とA社との非常連絡を各航路事故処理基準に基づき実施したものの、本船からの「16人が動けず、ほか負傷者多数」との報告を「16人が負傷して動けない」と、また、「自力で動けない旅客が20人を超えている」との報告を「負傷者20人以上」と限定的に受け取ったので、本船が両津港着岸後に予想を超える負傷者が発生していることを認識した。

2.1.1 衝撃加速度等の解析の前提となる船体の挙動

衝撃加速度等の解析の前提条件を設定する目的で、ドライブレコーダ映像の解析、本船の旋回操作後及び停止操作後の船体挙動の計測を行った。

2.11.1 ドライブレコーダ映像の解析

ドライブレコーダ映像から解析した回避操作から船尾部船底が着水するまでの時系列は、図2.11-1のとおりであった。

^{*18} 「TUPS」とは、タービン無負荷トリップ防止システム (Turbine Unloading Protection System) を指し、船底の海水取入口からウォータージェット推進ポンプに吸入される水圧の急な低下を検出した際、主機 (ガスタービン) の回転をアイドル状態にして主機の焼損を防止するシステムをいう。

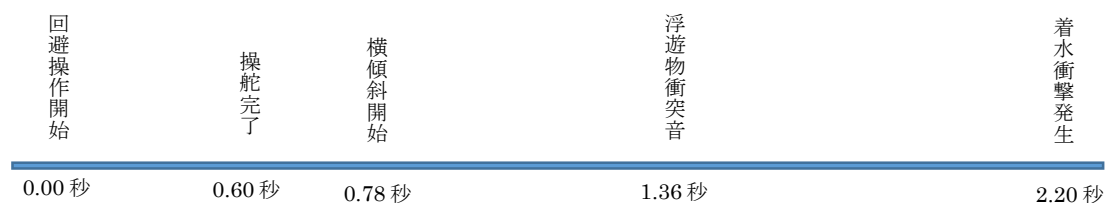


図 2.11-1 回避操作開始から着水衝撃発生までの時系列

また、ドライブレコーダの映像及び数値データによれば、本船は、本件水中浮遊物との衝突時を基点として、本件水中浮遊物と衝突する前の時間（3 秒）及び航走距離（64.4 m）から、平均が約 41.7 kn の速力であり、ドライブレコーダの画面枠と水平線との関係から、衝突時の傾斜角（ロール角、以下「傾斜角」という。）が右舷方に約 6.5° であり、本船の船首と船首目標との関係から、旋回角（ヨー角、以下「旋回角」という。）はほぼ 0° であった。

（付図 5 衝突時の傾斜角、付表 1 衝突時の速力 参照）

2.11.2 旋回操作時、停止操作時等における船体挙動

本事故の回避操作開始後の船体挙動を明らかにする目的で、本船の旋回操作後、停止操作後の船体挙動（傾斜角、旋回角、翼深度等）の計測を行った。また、通常運航時の緊急停止^{*19}等の安全性を確認する目的で、重心位置での船体の加速度、停止距離も併せて計測した。これらの結果は、次のとおりであった。

なお、計測した傾斜角及び旋回角は、ドライブレコーダ映像の解析結果の妥当性の検証に、翼深度については、時間変化の把握にそれぞれ使用した。

(1) 計測概要

令和元年 7 月 11 日、新潟港沖において、本船を用いた旋回試験、緊急停止試験、緊急着水^{*20}試験等を実施し、傾斜角、旋回角、翼深度等を計測した。

(2) 旋回試験結果

① 旋回性能、傾斜角等

旋回試験における本船の旋回性能、傾斜角等は、表 2.11-1 のとおりであった。

^{*19} 「緊急停止」とは、翼走中にスロットルレバーを全速力後進にして停止することをいう。

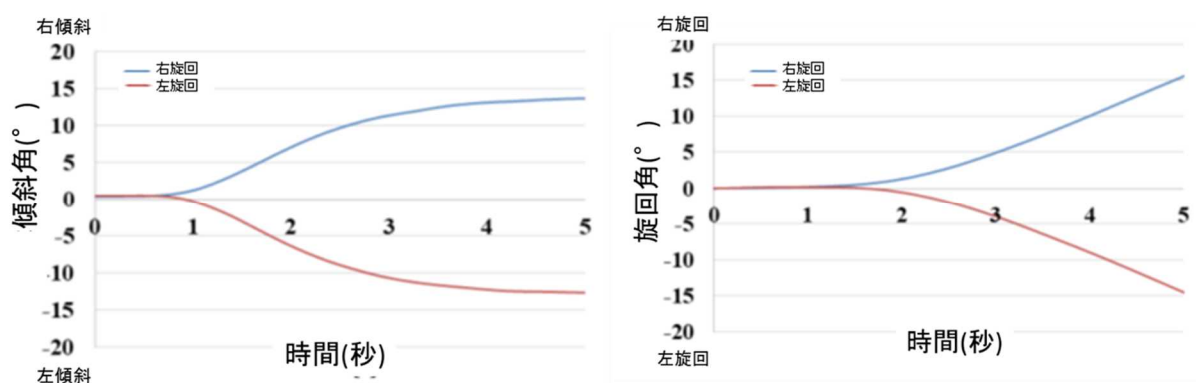
^{*20} 「緊急着水」とは、翼走中にスロットルレバーを中立の位置にし、デプスハンドルを一杯に下げ着水することをいう。

表 2.11-1 本船の旋回性能、傾斜角等

旋回方向	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左
ヘルム角 (°)	75	75	100	100	75	75	100	100	75	75
速力(kn)又は 推進器回転数(rpm)	37	37	37	37	40	40	40	40	2,060rpm ^{*21}	2,060rpm
旋回時間(秒)	82	85	61	61	81	87	61	62	82	88
旋回縦距(m)	296	297	234	215	350	371	275	277	407	420
最大旋回圏(m)	424	480	308	326	551	557	407	391	619	668
最大傾斜角(°)	12.18	10.63	16.38	15.17	11.42	10.45	14.92	14.91	11.14	10.32

② 傾斜角及び旋回角の時間変化

本船の速力を40knとし、ヘルム角を100°として旋回したときの傾斜角及び旋回角の時間変化は、図2.11-2のとおりであった。



傾斜角

旋回角

図 2.11-2 本船の傾斜角及び旋回角の時間変化

傾斜角は、操縦ハンドルを右側にヘルム角が100°となるよう操作を開始後、約0.8秒で船体の傾斜が始まり、約1.7秒で約5°傾斜し、約5秒で約15°傾斜していた。

旋回角は、操縦ハンドルを右側にヘルム角が100°となるよう操作を開始した後、約1.5秒までは旋回が認められなかった。

計測の結果、ドライブレコーダ映像から得られた傾斜角6.5°及び旋回角0°が妥当であることが確認された。

*21 推進器回転数を2,060rpmにした状態は、本船の速力に換算すると約49knに相当する。

(3) 停止試験結果

① 翼深度

本船が40knの速力で翼走中に緊急着水したときの翼深度の時間変化は、図2.11-3のとおりであった。

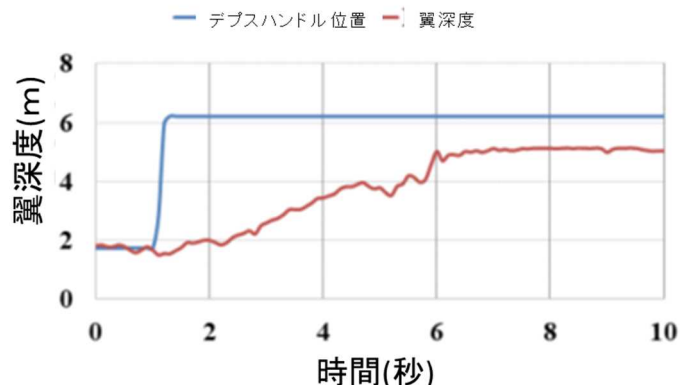


図2.11-3 本船の翼深度の時間変化

本船の翼深度は、デプスハンドルを一杯に下げた後、約1秒間は約2mのまま大きく変化せず、約5秒間で約2mから約5mに変化していた。なお、試験においては、スロットルレバーを中立にした後、デプスハンドル操作を行うので、緊急着水操作の約1秒後にデプスハンドル操作が行われた。

② 停止距離

本船を翼走中に停止させたときの停止距離等は、表2.11-2のとおりであった。

表2.11-2 本船の停止距離等

停止種類	緊急停止			緊急着水			通常着水 ^{*22}	
	2,060rpm	40	37	2,060rpm	40	37	40	37
速力(kn)又は 推進器回転数(rpm)	2,060rpm	40	37	2,060rpm	40	37	40	37
停止距離(m)	194	176	168	281	251	251	381	350
停止時間(秒)	19	19	21	39	39	39	39	39

③ 重心位置における最大加速度

本船を翼走中に停止させたときに発生する最大加速度は、表2.11-3のとおりであった。

*22 「通常着水」とは、翼走中にスロットルレバーを緩やかに中立の位置にして着水することをいう。

表 2.11-3 本船に発生する最大加速度

停止種類	緊急停止			緊急着水			通常着水	
	2,060rpm	40	37	2,060rpm	40	37	40	37
翼走中の速力(kn)又は 推進器回転数(rpm)								
最大の上下加速度(G) *23	0.15	0.13	0.1	0.11	0.07	0.09	0.07	0.07
最大の前後加速度(G) *24	-0.42	-0.32	-0.29	-0.35	-0.29	-0.26	-0.08	-0.07

重心位置での最大の上方向の加速度は、2,060rpmでの緊急停止試験において0.15Gであったが、衝撃を感じるほどのものではなかった。また、最大の後方向の加速度は、同試験において0.42Gであったが、手で体を支えなければならぬほどのものではなかった。

2.11.3 衝撃加速度等の解析の前提条件

2.1、2.3、2.11.1及び2.11.2から、衝撃加速度等の解析の前提条件として、本件水中浮遊物と衝突するまでの船体の挙動等は、次のとおりとする。

本船は、減速区間を通過後、増速し、速力が約41.7knになっていたところで、本件水中浮遊物を発見し、デプスハンドルを一杯に下げると同時に操縦ハンドルを右一杯に取った。船体は、操縦ハンドル操作後、右に傾斜を始め、傾斜角が約6.5°となったものの、ほとんど旋回することなく、また、翼深度約1.6m（海面から前部foil位置の船底までの高さ約1.5m）でほとんど降下することなく、本件水中浮遊物が後部foilに衝突した。その後、船尾部船底が海面に着水した。なお、本船は、着水時に右舷船尾部船底に凹損等を生じた。

2.12 衝撃加速度等に関する調査解析

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船の事故時の船体の挙動、船体が海面に打ち付けられた際の衝撃加速度が旅客の負傷に及ぼした影響等に係る解析調査の結果は、次のとおりであった。

*23 上下加速度の値は、上方向を正とする。なお、「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1.0G（ジー）と表す。1G=9.80665m/s²である。

*24 前後加速度の値は、前方向を正とする。

2.12.1 概要

(1) 解析目的

多数の負傷者が発生した原因を明らかにする目的で、また、速力の違いによる加速度の違い、前部フォイルに水中浮遊物が衝突（以下「前部フォイルへの衝突」という。）した場合と後部フォイルに水中浮遊物が衝突（以下「後部フォイルへの衝突」という。）した場合の加速度の違い等を明らかにする目的で、次の3通りのケースを想定し、ヒューズピンが破断した後から船体が着水し、安定するまでの間の船体の挙動、客室床面の各位置に発生する加速度の時間変化を推定した。

- ① 本事故時の状態（速力41.7knで翼走中に後部フォイルが跳ね上がり、船体が右舷方に6.5°傾斜し着水した状態）
- ② 速力35kn及び41.7knで翼走中に後部フォイルが跳ね上がり、傾斜角0°で着水した状態
- ③ 速力41.7knで翼走中の前部フォイルへの衝突で、傾斜角0°で着水した状態

(2) 解析方法

① 解析コード

船体の着水衝撃現象を再現する目的で、流体構造連成解析（船体周囲の海水の動きと船体の変形の相互作用を考慮した解析）を行った。解析コードは、動的陽解法の非線形有限要素法解析汎用プログラムを用いた。

② 解析モデル

船体はSHELL要素及び梁要素のLAGRANGE要素でモデル化し、海面及び空気はALE（Arbitrary Lagrangian Eulerian）ソリッド要素でモデル化した。（図2.12-1参照）

③ 解析結果の評価

解析は、一定の条件のもと実施し、事故状態等と完全に一致した解析ではないことに留意して評価する必要がある。

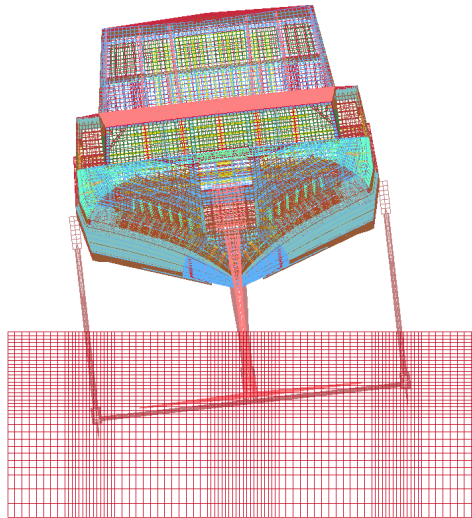


図 2.12-1 6.5° の傾斜角がついた両舷モデル

2.12.2 船体挙動及び加速度の時系列変化に関する解析

(1) 着水までの船体挙動

本事故時の状態における解析の結果、本船は6.5° 傾斜し、翼深度1.6 mの状態、後部フォイルが本件水中浮遊物に衝突後、ヒューズピンが破断し、水の抵抗により後部フォイルは水中翼装置の船体取付け部を基点に後方に回転を始め、後部フォイルの翼面が進行方向と角度を持つようになり、後部フォイルの揚力が減少、喪失し、船尾部が降下するとともに後部フォイルの翼面が水の抵抗により船体を海面に引き込み、右舷船尾部船底から海面に打ち付けられた。その際、右舷船尾部船底に強い衝撃荷重が作用した。

なお、船体挙動の状況は、図2.12-2のとおりであった。

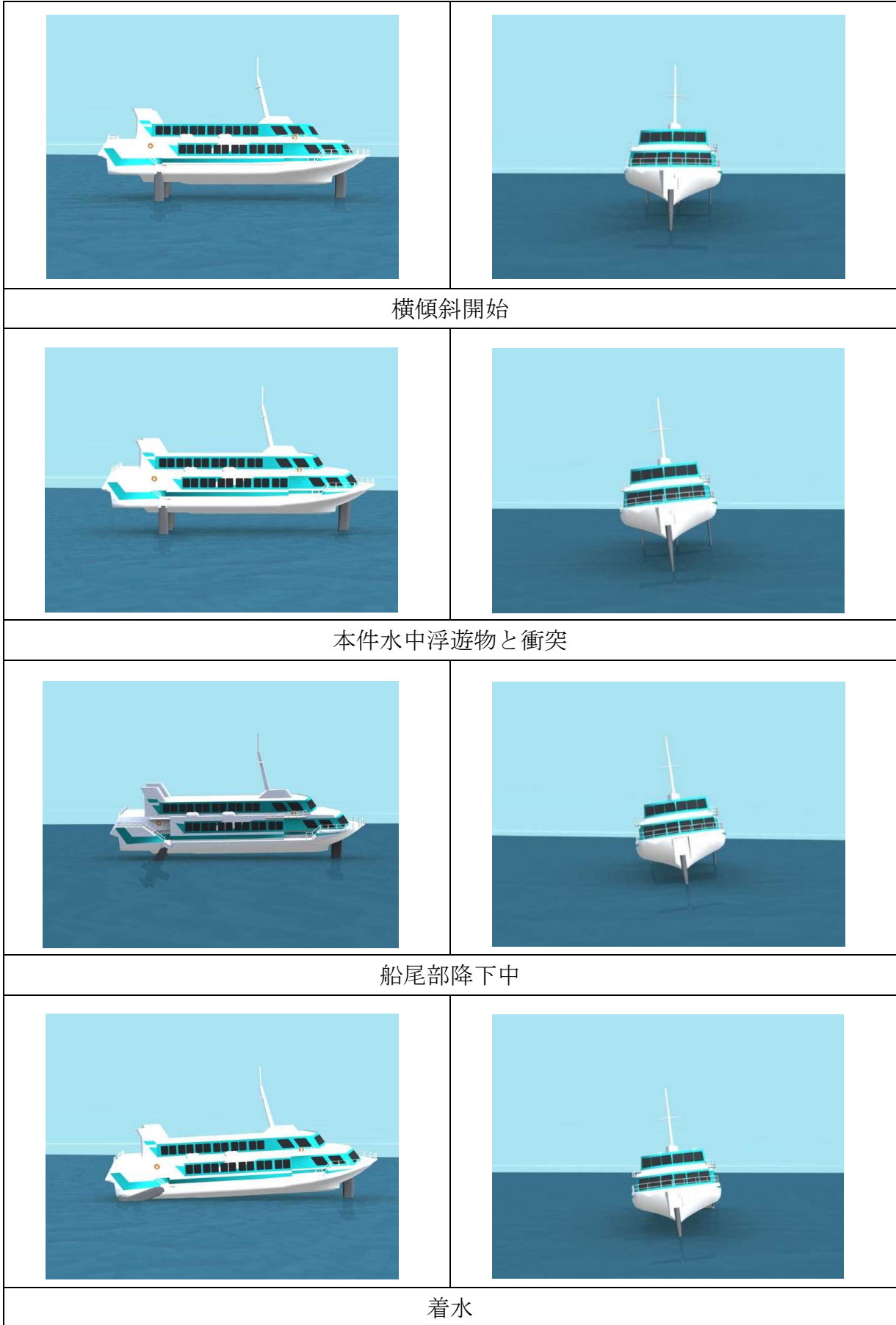


図 2. 1 2 - 2 船体の挙動

(2) 加速度の時系列変化

解析の結果、本事故時の状態における前部、重心及び後部（垂線間長の前部垂線から船尾方へ約2 m、13 m及び18 mの各船体中央付近）での上下加速度の状況は、図2.12-3のとおりであった。

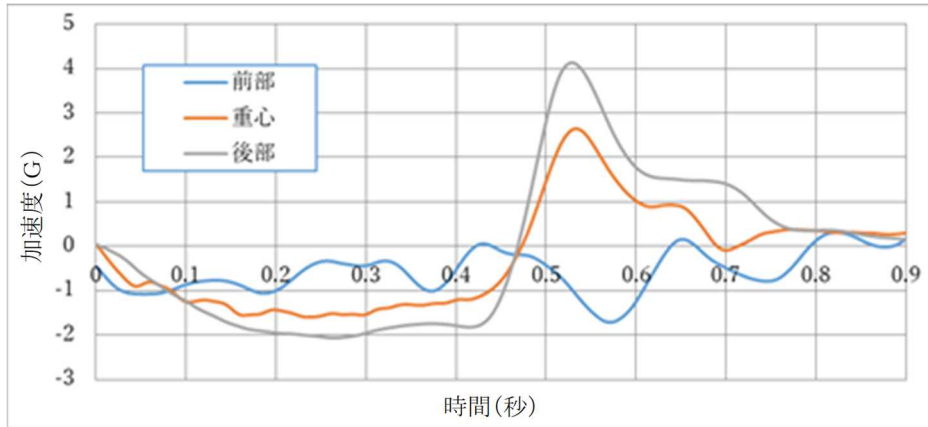


図2.12-3 本事故時の上下加速度の状況

重心及び後部では、後部フォイルが後方に回転し始めてから着水までの間は、下方向の加速度が発生し、着水した時に大きな上方向の加速度が発生している。

前後加速度の状況は、図2.12-4のとおりであった。

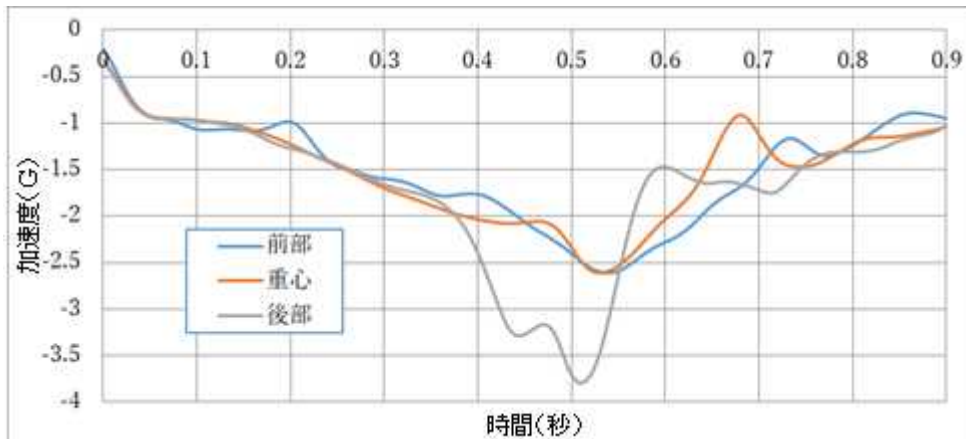


図2.12-4 本事故時の前後加速度の状況

なお、計算による加速度の時系列変化には、周波数の高いスパイク状の成分があるので、ローパスフィルターを使用している。

2.12.3 客室内の加速度分布に関する解析

重傷者に最も多い腰椎骨折は、上下加速度の最大値の影響が最も大きく、また、

上半身を前席等に打ち付けたことによる負傷は、前後加速度の最大値の影響が最も大きいことから、客室内床面の各位置に発生する最大の上下及び前後の加速度（以下「最大上下加速度」及び「最大前後加速度」という。）の分布状況を示すこととした。

ただし、最大加速度は、ローパスフィルターのカットオフ値により大きく変化するので、加速度の絶対値ではなく、特定位置（事故時解析の後部補機室の前部隔壁付近、図3.2-1参照）の加速度を基準値1.0とし、最大加速度の大きさを基準値の倍数に換算して表すこととした。なお、解析は、ローパスフィルターのカットオフ値を6 Hzとして実施した。

換算した最大上下加速度は、上方向を正として、図2.12-5のとおり色分けした。

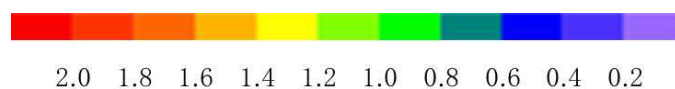


図2.12-5 最大上下加速度の表示

また、換算した最大前後加速度は、前方向を正として、図2.12-6のとおり色分けした。

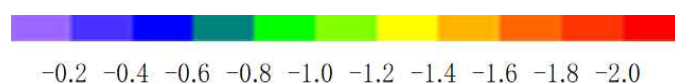


図2.12-6 最大前後加速度の表示

なお、解析の結果、本事故時の最も大きな上下加速度（隔壁上部等の特異点を除く。）は上方向に7 G程度、最も大きな前後加速度（隔壁上部等の特異点を除く。）は後方向に4 G程度であった。

(1) 本事故時の最大加速度

本船が速力41.7 kn、翼深度1.6 mで翼走中に後部フォイルが跳ね上がり、右舷方に6.5° 傾斜し船体が海面に着水する条件で解析を行ったところ、その結果は、次のとおりであった。

① 最大上下加速度

本船の船体が海面に着水することにより、客室床面に発生する最大上下加速度の分布状況を解析した結果は、図2.12-7のとおりであった。

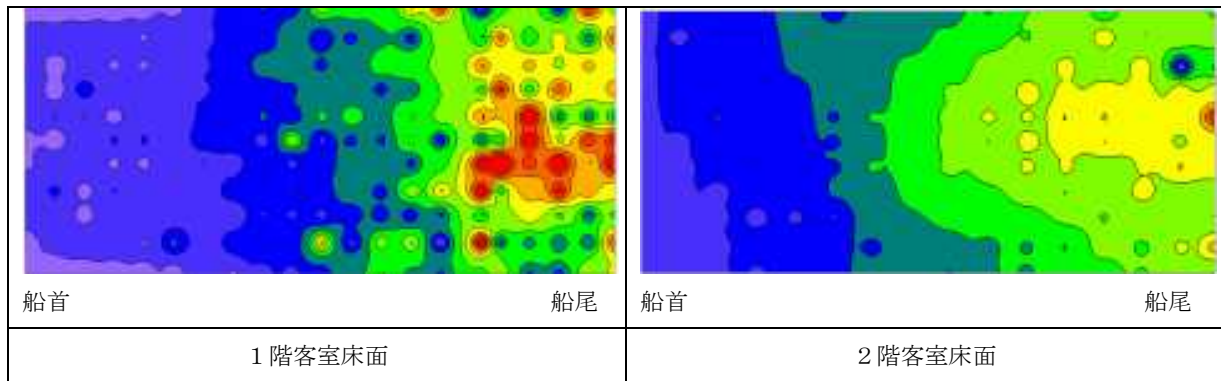


図 2.12-7 最大上下加速度の分布状況

1階及び2階とも船尾付近に大きな上方向の加速度が発生している。特に、1階では、隔壁（図 3.2-1 参照）等で船底にかかった衝撃荷重が客室床面に伝えられるので隔壁等の上部では特異的に大きな上方向の加速度が発生している。

② 最大前後加速度

本船の船体が海面に着水することにより、客室床面に発生する最大前後加速度の分布状況を解析した結果は、図 2.12-8 のとおりであった。

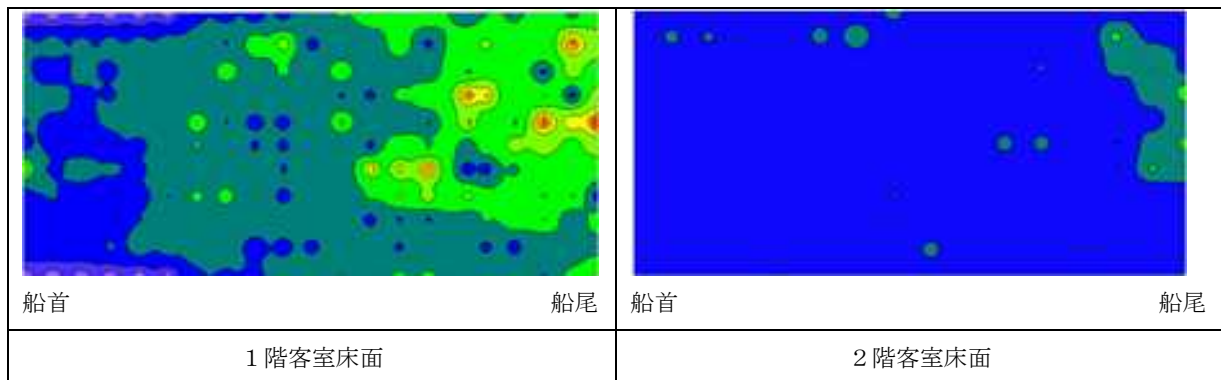


図 2.12-8 最大前後加速度の分布状況

2階に比較して1階後部に大きな後方向の加速度が発生しているが、上方向の加速度に比較すると小さな値となっている。後部に大きな後方向の加速度が発生しているのは、局所的な弾性振動による加速度が重畳していることによる。

(2) 速力による最大加速度の違い

本船が速力 3.5 kn 及び 41.7 kn で翼走中に後部フォイルが跳ね上がり、傾斜角 0° で船体が海面に着水する条件で解析を行ったところ、その結果は、次のとおりであった。

① 速力と最大上下加速度

客室床面に発生する最大上下加速度の分布状況を解析した結果は、図 2.12-9 のとおりであった。

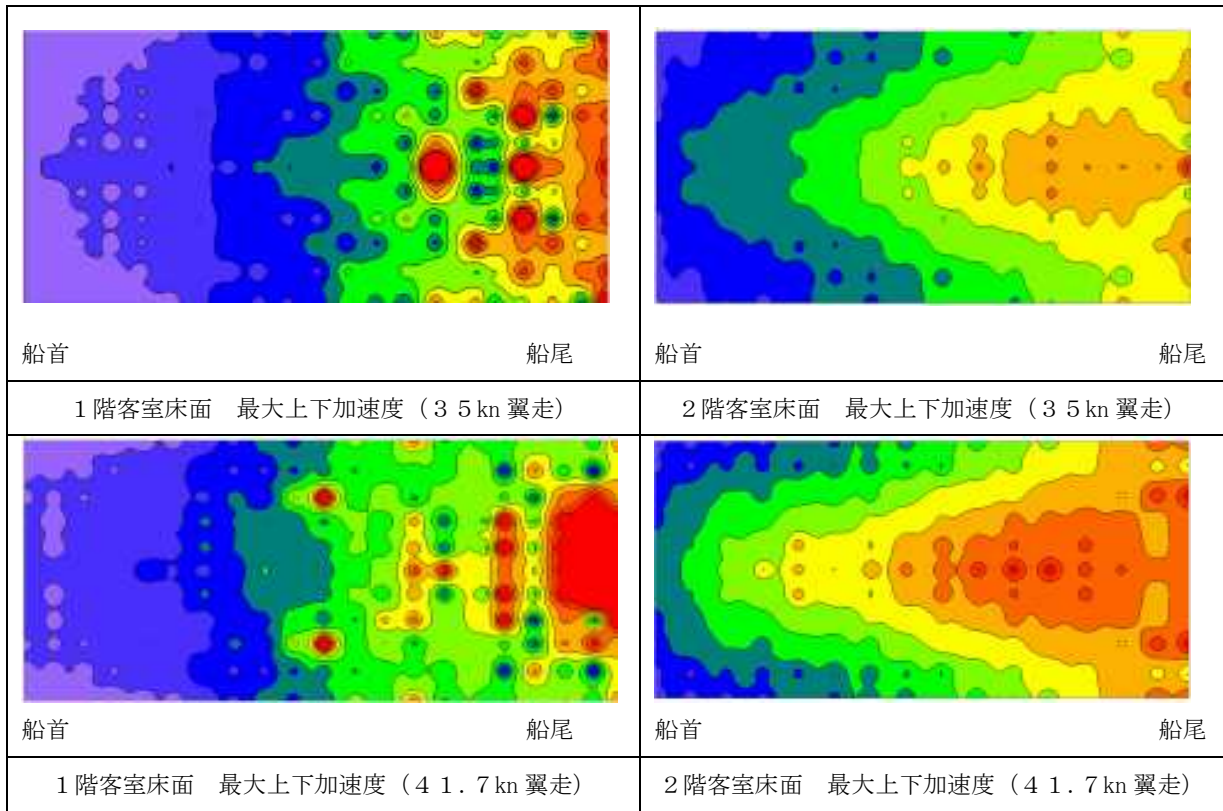


図 2.12-9 速力の違いによる最大上下加速度の分布状況

速力が速くなるほど、回転を始めた後部フォイルの抵抗が増し、後部フォイルの斜め下への引き込み効果が大きくなること等で、着水時の衝撃荷重が大きくなり、上方向の加速度が大きくなる。

② 速力と最大前後加速度

客室床面に発生する最大前後加速度の分布状況を解析した結果は、図 2.12-10 のとおりであった。

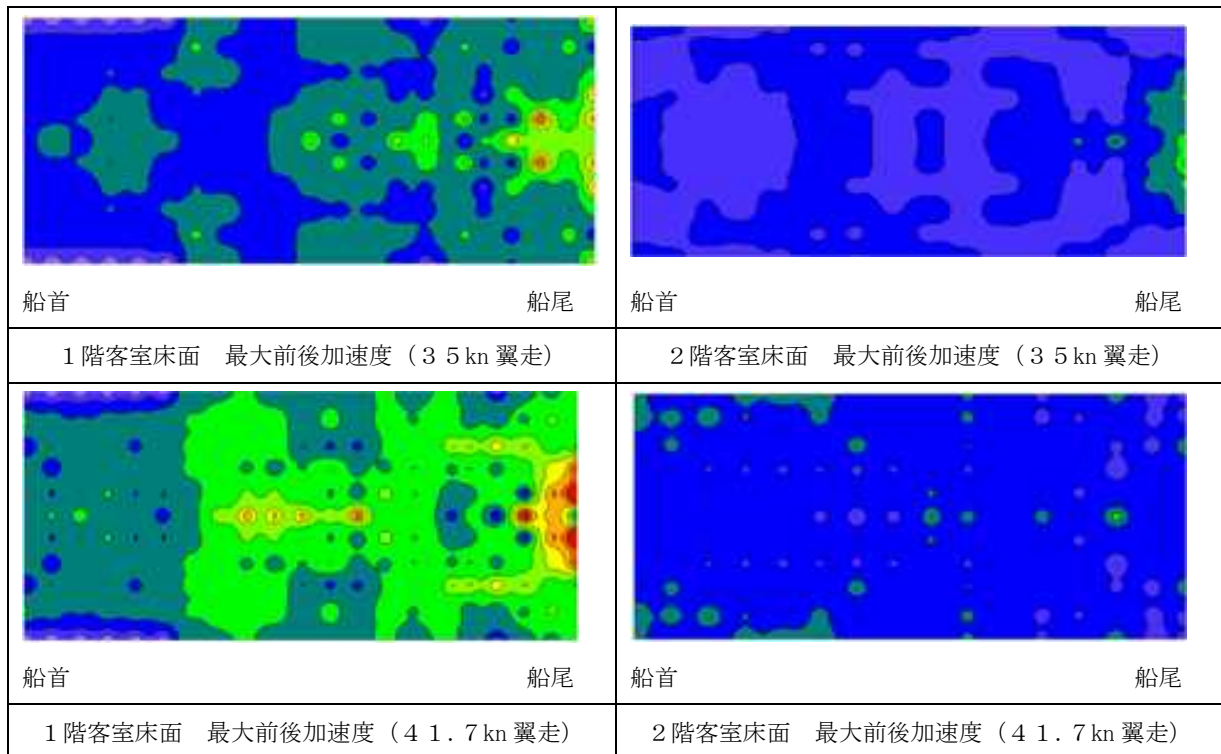


図 2.12-10 速力の違いによる最大前後加速度の分布状況

着水の瞬間に大きく減速することで後方向の加速度が発生し、その大きさは船体と流体の相対速度に影響されるので、速力が速いほど後方向の加速度は大きくなる。

(3) 衝突箇所（前部フォイル及び後部フォイル）と最大加速度の違い

本船が速力 41.7 kn で翼走中に、前部フォイルへの衝突及び後部フォイルへの衝突を想定し、客室床面に発生する最大加速度分布状況の解析を行ったところ、その結果は、次のとおりであった。なお、前部フォイルへの衝突の解析は、衝突直後に前部フォイルを消失させて実施した。

① 最大上下加速度

客室床面に発生する最大上下加速度の分布状況の解析を行ったところ、その結果は、図 2.12-11 のとおりであった。

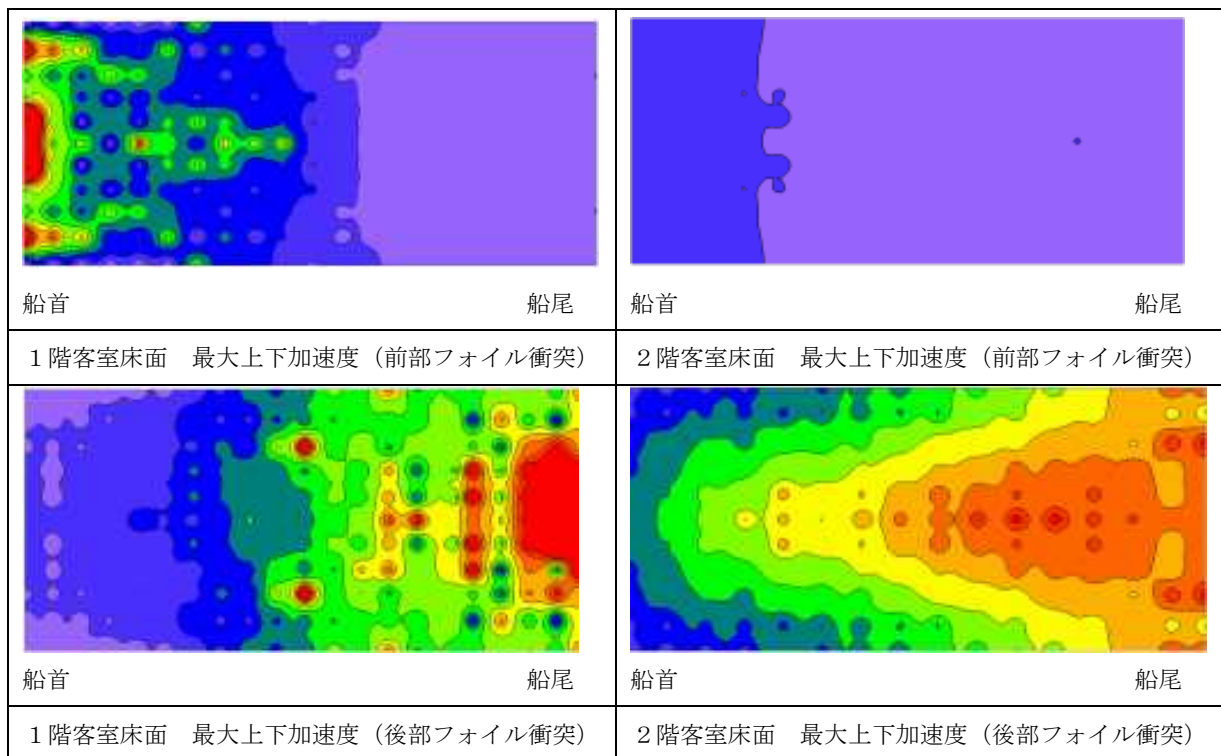


図 2. 1 2 - 1 1 衝突箇所の違いによる最大上下加速度の分布状況

前部フォイルへの衝突の場合は、船首部から着水するが、本船の船首部の形状はV型であり船体が受ける衝撃荷重は比較的小さく、上方向の加速度は後部フォイルへの衝突に比較して小さくなる。

② 最大前後加速度

客室床面に発生する最大前後加速度の分布状況の解析を行ったところ、その結果は、図 2. 1 2 - 1 2 のとおりであった。

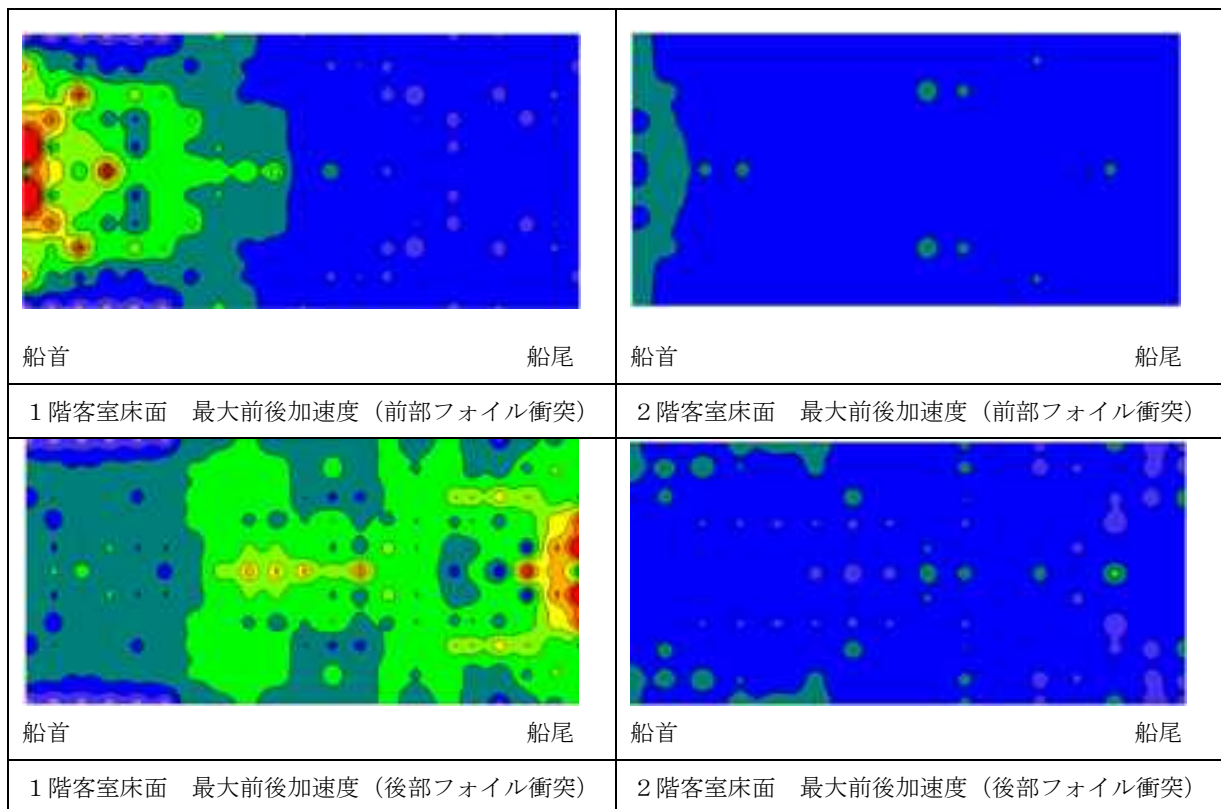


図 2.12-12 衝突箇所の違いによる最大前後加速度の分布状況

上方向の加速度と同様な理由で、前部フォイルへの衝突の場合は着水時の衝撃も比較的小さいので、後方向の加速度は後部フォイルへの衝突に比較して小さくなる。

2.13 ヒューズピン破断箇所の分析

ヒューズピンの健全性を確認する観点から、国立研究開発法人物質・材料研究機構に委託した、ヒューズピンの破断面、変異箇所等の分析調査の結果は、次のとおりであった。

(1) 分析調査の概要

分析調査では、概観調査、寸法調査、材質調査、走査型電子顕微鏡 (SEM : Scanning Electron Microscope) による破断面観察、電子線マイクロアナライザー (EPMA : Electron Probe Micro Analyzer) による化学成分分析を行った。

(2) 分析調査結果

ヒューズピンの材質は、化学成分分析、硬さ測定、組織観察の結果から、健全であることが確認された。

破断面のマクロな観察では、ヒューズピンの破断面付近の変形の様子は、せん断により破壊した場合の特徴を示していた。

ヒューズピンの変異箇所は、一对の破面の片方でのみ観察された。また、変異箇所では、接続プレート表面の加工した後と思われる模様とよく似た模様が観測された。EPMA による分析の結果、変異箇所では酸素と炭素が高濃度で検出され、鉄、アルミニウム、硫黄等も検出された。

SEM による破面観察の結果、破面の全域において延性破壊の特徴であるディンプルが観察された。ディンプルは伸長しており、伸長の向きは一对の破面で逆であった。

以上の結果から、ヒューズピンは、健全な状態でせん断により延性破壊し、破面が接続プレートに接触することにより変異箇所が形成されたものと推定される。

2.1.4 腰椎骨折等に係る医学的見地に関する情報

文献^{*25}によれば、腰椎の特徴及び圧迫骨折の特徴は、次のとおりとされている。

人体の上半身の垂直方向の荷重は、脊椎により支えられ、骨盤へと伝えられる。脊椎は、上部から頸椎、胸椎及び腰椎からなり、上方向の加速度が作用した場合、座位においては腰椎に最大の圧縮荷重が加えられる。腰椎は、5個の椎骨と軟骨である椎間板から構成される。椎骨は、椎弓と椎体からなり、このうち圧縮荷重の大部分は円筒状の椎体で支えることとなる。

腰椎の圧迫骨折あるいは破裂骨折は、圧縮荷重により椎体が一定以上つぶれた状態をいう。骨強度については、健康な成人における椎骨の許容される荷重が約6.8kNとされ、骨強度の70%が骨密度、30%が骨質に依存している。

骨密度は、成人までに最大骨量を獲得したあと減少し、骨密度低下の大きい女性の腰椎では40代までは横ばいとなり、その後減少する。骨質は、カルシウムと共に骨梁を構成するコラーゲン架橋の劣化などで低下すると考えられているが、その実態は十分解明されていない。

*25 Frank H. Netter, Atlas of Human Anatomy, Standard Edition, 7th edition, Elsevier, ISBN-13: 978-032393225, pp.162-164, 2019.

椎体骨折評価基準(2012年度改訂版), 椎体骨折評価委員会, 日本骨形態計測学会・日本骨代謝学会・日本骨粗鬆症学会・日本医学放射線学会・日本整形外科学会・日本脊椎脊髄病学会・日本骨折治療学会, Osteoporosis Japan, Vol. 21 No. 1, pp.25-32, 2013.

Hiroshi Yamada, Strength of Biological Materials, Williams & Wilkins, ISBN-13: 978-0683093230, p. 75, p. 77, 1970.

橈骨骨密度測定による骨評価の位置づけ(第67回教育ゼミナール講演会記録)川崎医科大学放射線医学(核医学)教授 曾根照喜

NIH Consensus Development Panel in Osteoporosis Prevention, Diagnosis, an Therapy, "Osteoporosis Prevention, Diagnosis, an Therapy," J. Am. Med. Assoc., Vol.285, No.6, pp. 785-795, 2001.

2.15 加速度と脊椎にかかる圧縮荷重の情報

国土交通省ホームページによれば、「超高速船に関する安全対策検討委員会」の高速船の座席・シートベルトの安全性に関する調査検討会がダミー人形を使用して実施した座席衝撃試験の結果は、図2.15のとおりである。

図2.15のグラフの横軸は座席にかかる加速度を、縦軸はダミー人形の脊椎にかかる圧縮荷重を示しており、両者の値はほぼ比例の関係となっていた。

試験は、平成18年に本事故と同様な事故を起こした船舶の座席クッションを使用し、ダミー人形と座席の間にテフロンシートを敷いた状態で座面と臀部との隙間を変化させて実施していた。

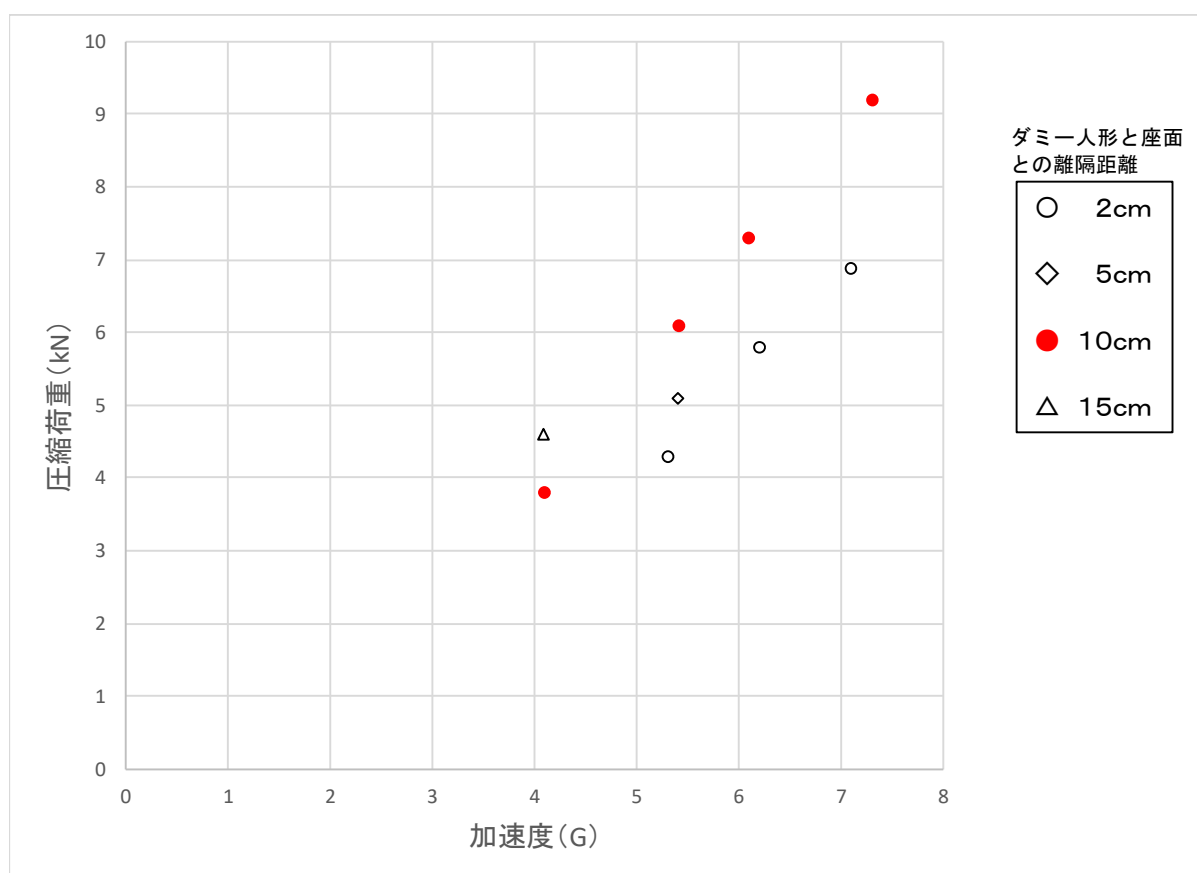


図2.15 座席衝撃試験結果 (グラフ)

座席衝撃試験により、ダミー人形に付加する試験加速度を大きくするほど、また、試験時におけるダミー人形と座面との離隔距離を大きく取るほど、脊椎に作用する圧縮荷重が大きくなる測定結果が得られた。

2.16 旅客の姿勢と腰椎にかかる荷重に関する情報

本事故発生を受け、旅客の姿勢と腰椎にかかる荷重の関係に関し、渡邊専門委員ら

が新潟大学において実施した解析の結果は、次のとおりであった。

腰椎のCT画像を元に作成した椎体のモデルにより、屈曲なし（直立の座位姿勢）及び屈曲30°（前傾姿勢）の各状態を模擬した再現モデルを作成した上、それぞれの再現モデルに対し、鉛直方向の衝撃荷重を模擬した最大値961N（4G×24.5kg（日本人高齢者の平均体重をもとにした上肢の体重））の動的荷重を負荷する条件を設定し、動的陽解法の非線形有限要素法解析汎用プログラムによる解析を行った。

なお、最大値961Nの動的荷重は、本事故発生時において腰椎にかかった圧縮荷重を再現したものではない。

解析の結果、屈曲なし及び屈曲30°の再現モデルにおいて、椎体に生じる最大応力^{*26}の大きさ及び応力が生ずる領域を比較すると、屈曲30°の再現モデルにおいては、屈曲なしの再現モデルと比較して、最大応力の大きさが約1.5倍になるとともに、高応力領域（10.8MPa以上）も約3倍となっていた。（図2.16参照）

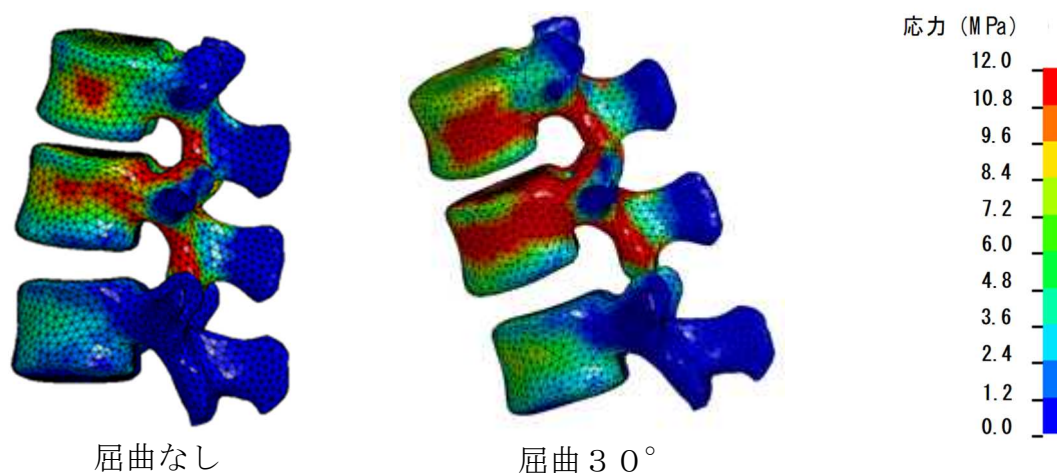


図2.16 椎体に生じる応力

2.17 本船の座席クッションに関する情報

座席製造者及びA社の回答書によれば、次のとおりであった。

本船の本事故時の座席クッションは、改良型座席クッションではなく、約10年間使用されていた。

平成18年に発生した同種事故後に、座席製造者が実施した座席衝撃試験の結果によると、本事故時の座席クッションと同型で約10年間使用された座席クッションの圧縮荷重平均は3.787kNとなり、本事故時の座席クッションの新品と比較して圧

^{*26} この解析においては、構造物に荷重が作用した場合に発生する複数の複雑な応力の状態を1つの数値に代表させた「ミーゼス応力」によって評価を行っている。

縮荷重平均は8%増加する。

また、新品の改良型座席クッションでは、圧縮荷重平均が2.841kNとなり、本事故時の座席クッションと同型で約10年間使用された座席クッションと比較して圧縮荷重平均は約25%減少する。

なお、荷重平均は、倒した座席に直接ダミー人形を乗せた状態で、加速度約6Gで衝突させた時にダミー人形の腰椎にかかった圧縮荷重の平均であり、平成18年に発生した同種事故時における腰椎にかかる圧縮荷重を再現したものではない。

2.18 座席等の開発に関する情報

国内ジェットフォイル製造者の回答書によれば、次のとおりであった。

(1) 被害軽減対策の方向性

国内ジェットフォイル製造者は、旅客に作用する衝撃による被害の軽減を図る上で、次の対策を検討、検証することとした。

① 旅客の腰椎圧縮荷重の低減

改良型座席クッションの採用による衝撃吸収能力の向上等

② 衝撃荷重の分散化

a クッションが受ける圧力の分散化

b 後部フレームが旅客の臀部の直下に位置しない座席の開発等

(2) 腰椎圧縮荷重の衝撃衝突試験結果

国内ジェットフォイル製造者は、ダミー人形を用いた衝撃衝突試験を実施した。衝撃衝突試験は、試験機で発生可能な加速度とした上で、本事故時と同型の3席椅子を台車に上向きに設置し、2体のダミー人形を上向きに乗せて、2回行った。1回目は本事故時の座席クッションとアルミ板を張った座席の座面受けの上に改良型座席クッションを設置したものをを用いて、2回目は本事故時の座席クッションと改良型座席クッションを用いて行った。

衝撃衝突試験における腰椎圧縮荷重の低減効果は、本事故時の座席クッションの腰椎圧縮荷重を1.00とすると、改良型座席クッションでは0.77、アルミ板を張った座席の座面受けの上に改良型座席クッションを設置したものでは0.73であった。

改良型座席クッション等により、衝撃発生時に旅客に作用する腰椎圧縮荷重が低減することが確認された。

(3) その他

国内ジェットフォイル製造者においては、新型の座席の開発及び効果検証、追加クッションの効果検証等が行われている。

3 分析

3.1 事故発生の状況

3.1.1 事故発生に至る経過

2.1～2.3から、次のとおりであったものと推定される。

- (1) 本船は、船長及び機関長ほか2人が乗り組み、旅客121人を乗せ、平成31年3月9日11時30分ごろ両津港に向けて新潟港（西区）の専用岸壁を出発し、11時35分ごろ翼走を開始した。
- (2) 本船は、新潟港を出港して南下船を避け、第1基準経路よりも北側を針路288°、速力約40knで航行した後、減速区間に準じ、速力を約37knに減じて航行を続けた。
- (3) 本船は、その後、姫埼灯台の北東方1M付近に向けて針路を約275°として航行中、12時15分ごろ減速区間を通過して増速を開始した後、船長が、左舷船首方至近の海中に本件水中浮遊物を認め、デプスハンドルを一杯に下げると同時に操縦ハンドルを右一杯に取った。
- (4) 本船は、衝突直前の速力約41.7knで翼走中、12時16分ごろ、後部フォイルが本件水中浮遊物に衝突し、主機が停止すると同時に船尾部から海面に打ち付けられ、衝撃で多数の旅客が腰椎骨折等を負った。

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、平成31年3月9日12時16分ごろであり、発生場所は、姫埼灯台から072°2.7M付近であったものと推定される。

3.1.3 衝突の状況及び海面に着水した状況

(1) 衝突までの状況

2.1.2(1)、2.3、2.5.1(2)及び2.11から、次のとおりであった。

本船は、船長が、左舷船首方至近の海中に本件水中浮遊物を認め、デプスハンドルを一杯に下げると同時に、操縦ハンドルを右一杯に取った後、後部フォイルのフラップが動作して船体が右に傾斜を始め、傾斜角が約6.5°となり、船体が、ほとんど旋回することなく、また、翼深度約1.6mでほとんど降下することなく、12時16分ごろ本件水中浮遊物が後部フォイルに衝突したものと考えられる。

本船は、船首部の水中翼装置に損傷がなかったことから、本件水中浮遊物が前部フォイルに接触せずにその左舷側を通過したか、又は前部フォイルの下方を通過し、後部フォイルの推進用海水取入口付近に衝突した可能性があ

ると考えられる。

なお、2.7から、本事故が発生したのは、例年、本事故発生場所付近において鯨類の目撃情報が多い時期であることから、本件水中浮遊物は、鯨類であった可能性があると考えられるが、本事故後、本件水中浮遊物を発見できず、本件水中浮遊物を明らかにすることはできなかった。

(2) 衝突後、海面に着水した状況

2.12.2 から、本船は、後部フォイルが本件水中浮遊物に衝突した後、ヒューズピンが破断し、後部フォイルが水中翼装置の船体取り付け部を基点に後方に回転を始め、後部フォイルの揚力が減少、喪失し、船尾部が降下するとともに後部フォイルが水の抵抗により船体を海面に引き込み、船尾部船底が海面に打ち付けられたことから、大きな上方向の加速度及び後方向の加速度が発生し、多数の旅客が腰椎骨折等を負う強い衝撃が生じたものと考えられる。

3.1.4 船舶の損傷の状況

2.3及び3.1.3から、本船は、本件水中浮遊物が後部フォイルの推進用海水取入口付近に衝突して同取入口の前部に亀裂を生じ、右舷船尾部から海面に打ち付けられて右舷船尾部船底の凹損及びその内部の部材に変形等、右舷船尾部外板に破口を生じたものと考えられる。

3.1.5 人の負傷の状況等

2.2から、次のとおりであったものと考えられる。

(1) 旅客

旅客121人のうち、108人が負傷し、うち55人（1階旅客33人、2階旅客22人）が重傷を負った。

重傷者55人のうち、38人（1階旅客21人、2階旅客17人）に腰椎骨折が認められた。

53人（1階旅客29人、2階旅客24人）が重傷を除く負傷をした。

13人（1階旅客4人、2階旅客9人）が負傷しなかった。

(2) 乗組員

乗組員4人のうち、船内巡回中であった本件航海士が打撲を負った。

3.2 事故要因の解析

3.2.1 乗組員の状況

2.4から、次のとおりであった。

船長及び機関長は、適法で有効な海技免状を有していた。

また、船長及び機関長は、本事故当時、疲労は感じておらず、健康状態は良好であったものと考えられる。

3.2.2 船舶の状況

2.5.3 から、本事故当時、船体、機関及び機器類に不具合又は故障はなかったものと考えられる。

3.2.3 気象及び海象の状況

2.6 から、本事故当時、天気は晴れ、風向は南、風速は約7m/s、視界は良好であり、波高は約1.0mであったものと考えられる。

3.2.4 操船及び見張りの状況に関する解析

2.1.2、2.5.3、2.7.2 及び 2.7.3 から、次のとおりであった。

- (1) 本船は、船長が操縦者用座席で操舵及び見張りに、機関長が機関士用座席で機関監視及び見張りに、本件航海士が右舷側の見張員用座席で見張りに、本件機関士が左舷側の見張員用座席で見張りにそれぞれ当たり、また、翼走航行中、UWS が作動していたものと推定される。
- (2) 本船は、新潟港を出港した後、南下船を避けたことにより第1基準経路よりも北側を航行することとなったものの、同経路上の減速区間に準じて減速航行しており、通常の操船が行われたものと考えられる。
- (3) 本船は、本事故発生時、船内巡回中であつた本件航海士を除く船長、機関長及び本件機関士が、見張りを行っていたが、本船が航行中、船首方に鯨類、鯨類の潮吹きなどを視認しておらず、また、本件水中浮遊物が海中に存在したことから、左舷船首方至近になるまでこれを視認することができなかつたものと考えられる。
- (4) 本船は、減速区間を通過して増速しながら翼走中、船長が、左舷船首方至近の海中に本件水中浮遊物を初めて視認し、直ちにデプスハンドルを一杯に下げると同時に操縦ハンドルを右一杯に取り、更に機関長がスロットルレバーを一杯に下げる操作を開始したものの、本件水中浮遊物と衝突し、主機が振動を感知して自動で停止すると同時に船尾部から海面に打ち付けられたものと推定される。

3.2.5 本件水中浮遊物を認めてから衝突に至るまでの回避行動に関する解析

2.1.2 及び 2.1.1 から、次のとおりであった。

- (1) 本船は、減速区間を通過して増速しながら翼走中、船長が、左舷船首方至近の海中に本件水中浮遊物を初めて視認し、直ちにデプスハンドルを一杯に下げると同時に操縦ハンドルを右に取り始めて回避操作を開始したものと推定される。
- (2) 本船は、回避操作開始から約0.6秒後、操縦ハンドルが右一杯となり、回避操作開始から約0.8秒後、船体の横傾斜が始まり、回避操作開始から本件水中浮遊物と衝突するまでの時間が約1.4秒であったものと推定される。
- (3) 本船は、衝突直前の速力が約41.7knであったことからすると、上記(2)の回避操作開始から衝突するまでの時間に進行した距離が約30mであったものと推定される。
- (4) 本船は、翼走中、デプスハンドルを一杯に下げて緊急着水により船体が着水に至るまでの時間（約5秒）及び2.11.2(2)②から回避操作開始から旋回が開始されるまでの時間（約1.5秒）が、回避操作開始から衝突するまでの時間（約1.4秒）より長いことから、本件水中浮遊物を確実に回避することは困難であったものと考えられる。
- (5) 本船は、上記(1)に記載の船長による回避操作に続いて、機関長がスロットルレバーを一杯に下げる緊急停止の操作を開始したものと推定される。本船は、上記(3)に記載の回避操作開始から衝突までに進行した距離が緊急停止可能な距離よりも近距離であったことから、船長が回避操作開始の時点で回避操作ではなく緊急停止の操作を行ったとしても本件水中浮遊物との衝突を確実に回避することは困難であったものと考えられる。
- (6) 以上のことから、水中浮遊物との衝突を防止するには、可能な限り、水中浮遊物に接近せず、また、回避可能な距離で水中浮遊物を発見することが重要であり、海上保安庁の水中浮遊物等の目撃情報のほか、鯨ハザードマップや事業者間の連絡による鯨類等の目撃情報の活用、見張りの強化、UWSの運用強化等の安全確保を引き続き実施することにより、水中浮遊物との衝突防止に効果があるものと考えられる。

3.2.6 操船方法に関する解析

(1) 船体を停止させる操船

2.11.2(3)から、緊急停止と緊急着水では、停止距離等については違いがあるものの、船体の加速度については、旅客に影響を与えるほどの違いはないものと考えられる。

(2) 船体を旋回させる操船

3.1.3 及び 3.2.5 から、本船は、船体を旋回させる操船を行ったものの、ジェットフォイルの特性から、船体が傾斜したのみで旋回することなく、船体が傾斜した状態で船尾部船底が海面に打ち付けられたものと考えられる。

2.12.3(1)及び(2)から、船底部外板が海面に対して傾斜した状態で打ち付けられた場合には、水平で打ち付けられた場合と比較して客室床面に発生する加速度は減少する計算結果となった。

しかしながら、実際の海上では、波が立っており、船底部外板と海面との傾斜角が変化し、客室床面に発生する加速度も変化するので、実際の海上での、傾斜した状態で海面に打ち付けられた場合と水平の状態では海面に打ち付けられた場合の加速度を比較評価することはできなかった。また、船体が傾斜した状態で海面に打ち付けられた場合の機関、機器等に与える影響についても明らかにすることはできなかった。

3.2.7 ヒューズピンの健全性に関する解析

2.1.3 から、ヒューズピンは、設計どおりに健全な状態でせん断により延性破壊したものと考えられる。

3.2.8 客室床面に発生した加速度と負傷者に関する解析

事故時に客室床面に発生した加速度を流体構造連成解析により推定するとともに、座席ごとの負傷者発生の有無、負傷状況等を整理し、座席配置表に取りまとめ、客室床面に発生する加速度と負傷者の発生状況の関係等について解析を行った結果は、次のとおりであった。

(1) 船体構造と上下加速度に関する解析

2.12.3(1)①から、本事故時において、1階客室床面及び2階客室床面では、次のとおりに上下加速度が発生していたものと考えられる。

1階客室床面及び2階客室床面における本事故時の最大上下加速度の発生分布図を、1階客室下部の船体構造と比較すると、図3.2-1のとおりとなる。

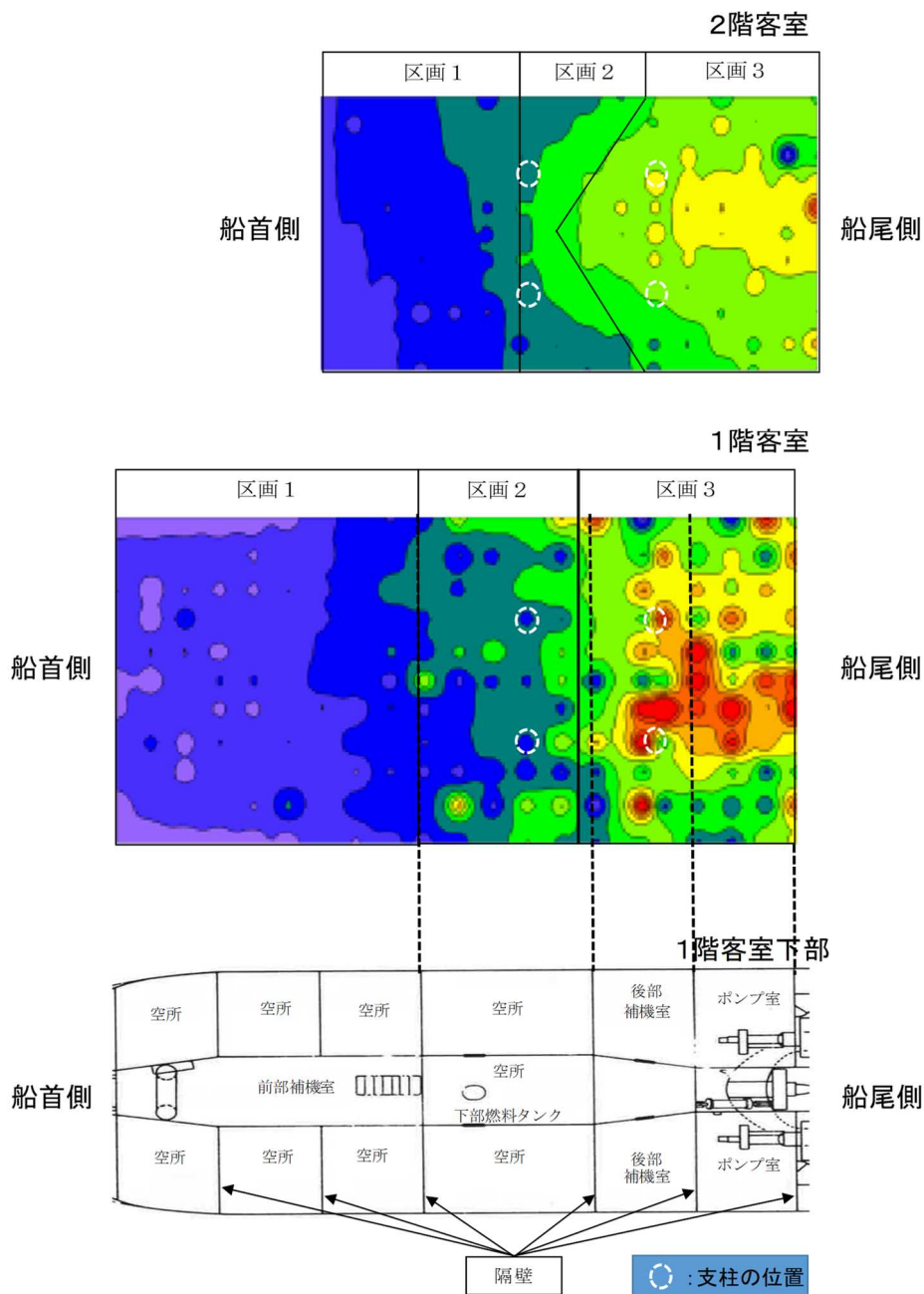


図3.2-1 最大上下加速度の発生分布図（区画分類図）

1階客室床面の最大上下加速度の発生分布図を、発生した上方向の加速度の大きさを考慮しつつ客室下部構造の隔壁付近で3つに区分したところ、船尾部（区画3）は、海面着水時に大きな衝撃荷重が船体に作用し、大きな上方向の加速度が発生している。特に、ポンプ室及び後部補機室の隔壁付近では、船底にかかった衝撃荷重が隔壁等から客室床面に伝わり、大きな上方向の加速度が発生している。区画2でも、後部及び隔壁やフレームが設置された場所において大きな上方向の加速度が発生している。区画1では隔壁、フレーム付近を含めて大きな上方向の加速度は発生していない。

2階客室床面の最大上下加速度の発生分布図を、発生した上方向の加速度の大きさを考慮しつつ1階客室に設置された支柱の位置付近で3つに区分したが、傾向は1階客室床面と同様である。ただし、区画2の中央付近は、海面着水時の衝撃によって船体がたわむなどにより、三角形状に大きな上方向の加速度を示す場所が広がっている。

(2) 上下加速度と負傷者の発生状況に関する解析

2.2.2、2.12.3(1)①及び2.18から、上下加速度と負傷者の発生状況との関係は、次のとおりであったものと考えられる。

1階客室床面及び2階客室床面における最大上下加速度の発生分布図に、各客室における座席位置及び負傷者の発生状況を重ね合わせると、図3.2-2のとおりとなる。

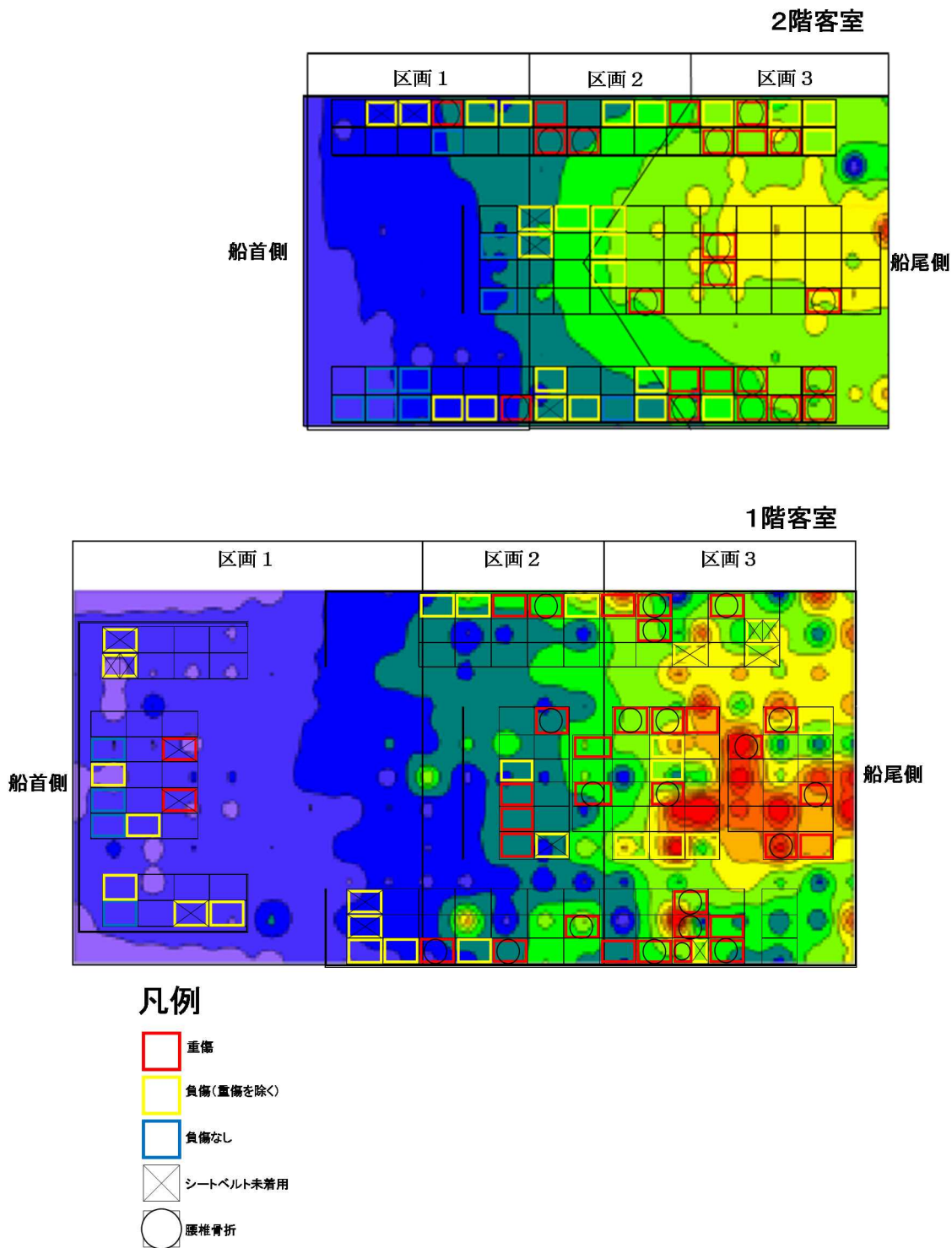


図3.2-2 負傷者の発生状況

1階客室床面及び2階客室床面をまとめて区画番号ごとに負傷者の発生状況を見ると、腰椎骨折者は、区画1で2人、区画2で8人、区画3で28人発生していた。区画ごとにおける旅客全体に占める腰椎骨折者の発生率は、区画1で約6%、区画2で約27%、区画3で約49%であり、大きな上方方向の加速度が発生している区画3において腰椎骨折者の発生率が高くなって

いる。区画1における腰椎骨折者2人は、ともに60歳以上で、区画2では、50歳未満が2人、50歳代が3人、60歳以上が3人であった。

腰椎骨折が上方向の加速度が大きな区画で多数発生していることから、旅客に強い衝撃が作用しないよう衝撃力の吸収が十分と認められる座席、座席クッション等を使用することにより、事故が発生した場合の負傷者数の低減及び負傷の程度の軽減に効果がある。

(3) 前後加速度と負傷者の発生状況に関する解析

2.2.2 及び 2.12.3(1)②から、前後加速度と負傷者の発生状況との関係は、次のとおりであったものと考えられる。

後方向の加速度は、2階客室床面より1階客室後部床面に大きく発生しているものの、上方向の加速度と比較すると、後方向の加速度は小さくなっている。

本事故発生時においては、本件水中浮遊物との衝突に伴う後方向の加速度の発生により、旅客が前方に投げ出される等して、35人の旅客が上顎骨骨折、外傷性歯根破折等の負傷をしていた。

このことから、座席頭部や背面に緩衝材を取り付け、また、旅客の上半身が投げ出されないように3点式シートベルトを設置すること等により、事故が発生した場合の負傷者数の低減及び負傷の程度の軽減に効果がある。

(4) 速力と船体に発生する加速度の関係に関する解析

2.12.3(2)から、本船が減速することにより、海面着水時の船体への荷重が減少すること等により、上方向の加速度、後方向の加速度とも小さくなるものと考えられることから、減速運航することにより、事故が発生した場合の負傷者数の低減及び負傷の程度の軽減に効果があるものと考えられる。

ただし、ジェットフォイルが翼走するには水中翼装置の揚力が必要となることから、減速には限界があることにも留意する必要がある。

(5) シートベルトの着用に関する解析

2.2から、本事故においては、旅客のうちシートベルトを着用していなかった22人中3人が重傷を負うとともに、17人が重傷を除く負傷をしたものと考えられる。シートベルトの未着用は、トイレ使用による離席、下船に備えた荷物整理等によるものであったものと考えられる。

また、2.15から、臀部と座面の間に隙間が生じると、腰椎に作用する圧縮荷重が大きくなるものと考えられる。

これらのことから、シートベルトを常に適正に装着することにより、事故が発生した場合の負傷者数の低減及び負傷の程度の軽減に効果があるものと考えられる。

(6) 前部フォイルへの衝突に関する解析

2.12.3(3)から、前部フォイルへの衝突により、船首部が海面に打ち付けられた場合は、船体が受ける衝撃荷重は比較的小さくなる等、上方向、後方向ともに大きな加速度が発生しないものと考えられる。また、2.8に記述した過去の類似事故事例からも、後部フォイルへの衝突と比較して前部フォイルへの衝突の負傷者の発生が大幅に少ない。

このことから、操船者は、避航が難しいと判断したときは、後部フォイルへの海洋生物、流木等の衝突リスクを軽減する観点から、直ちに推力を全速力後進とし、翼深度を深くするとともに舵を中央とする操船に努めることにより、事故が発生した場合の負傷者数の低減及び負傷の程度の軽減に効果があるものと考えられる。

3.2.9 骨強度に関する解析

2.14から、骨強度は、骨密度と骨質に依存し、骨密度が低下すると骨強度が弱くなり、性別により違いはあるものの、骨密度は成人までに最大化し、その後は年齢とともに少なくなるものと考えられる。また、3.2.8(1)から、1階客室床面、2階客室床面ともに上方向の加速度は船尾部に大きく発生しているものと考えられる。また、2.12.3(3)から、前部フォイルへの衝突の場合は、1階客室の最前列付近に大きな上方向の加速度、後方向の加速度が発生しているものと考えられる。

このことから、旅客の年齢等に応じて客室前部（1階客室の最前列付近を除く。）等の衝撃が小さくなる座席に誘導することにより、事故が発生した場合の負傷者数の低減及び負傷の程度の軽減に効果があるものと考えられる。

3.2.10 旅客の着座姿勢と腰椎にかかる荷重に関する解析

2.16から、次のとおりであったものと考えられる。

腰椎に衝撃荷重が負荷された場合、直立姿勢で着座した状態と比較して、前傾姿勢で着座した状態の方が、椎体に生じる最大応力が大きくなり、また、高応力の発生領域も広がる。

最大応力が大きくなり、かつ、高応力の発生領域が広がることにより、腰椎骨折の発生確率が高くなるものと考えられることから、直立姿勢で着座した状態と比較して、前傾姿勢で着座した状態の方が、衝撃荷重が負荷された場合における腰椎骨折の発生確率が高くなる。

このことから、着座した旅客の直立姿勢を保持することができるように3点式シートベルトを設置すること等により、事故が発生した場合の負傷者数の低減及び負傷の程度の軽減に効果がある。

3.2.11 国内ジェットfoil製造者の試験結果に関する解析

2.18から、次のとおりであったものと考えられる。

- (1) 座席クッションを改良型座席クッションに交換すること等により、加速度の大きさによるが、衝撃発生時に旅客に作用する腰椎圧縮荷重を低減することができる。
- (2) 客室内には、同種事故発生の際、船尾部や隔壁の直上部などで上方向の加速度が極めて大きくなる箇所が存在し、その箇所においては座席クッション等による被害軽減を十分に図ることができない可能性があるため、更なる対策をとる必要がある。

3.2.12 事故後の対応状況に関する解析

2.1.2(3)及び2.10.3から、次のとおりであった。

- (1) A社は、緊急対応の円滑化を図る目的で、以前から海上保安部等との合同訓練等に参画していたものの、これまでジェットfoilの事故を想定した合同訓練等を行ったことがなかったものと考えられる。
- (2) A社は、本事故発生時、本船からの負傷者の状況に関する報告を限定的に受け取り、本船が両津港に到着するまで負傷者の状況を正確に把握していなかったものと考えられる。
- (3) A社は、負傷者の状況を正確に把握することにより、以後の救助活動をより迅速かつ円滑に実施できた可能性があると考えられる。

3.2.13 事故発生に関する解析

2.1.2、3.1.1、3.1.3、3.2.4及び3.2.5から、次のとおりであった。

- (1) 本船は、船長及び機関長ほか2人が乗り組み、旅客121人を乗せ、平成31年3月9日11時30分ごろ両津港に向けて新潟港（西区）の専用岸壁を出発したものと推定される。
- (2) 本船は、船長が操舵及び見張りに、機関長が機関監視及び見張りに、本件航海士及び本件機関士が見張りにそれぞれ当たり、11時35分ごろ翼走を開始したものと推定される。
- (3) 本船は、姫埼東方沖を西進中、12時15分ごろ減速区間を通過して増速を開始した後、船長が、左舷船首方至近の海中に本件水中浮遊物を初めて視認し、直ちにデプスハンドルを一杯に下げると同時に操縦ハンドルを右一杯に取り、更に機関長がスロットルレバーを一杯に下げる操作を開始したものの、12時16分ごろ本件水中浮遊物と後部foilとが衝突したものと推定される。

- (4) 船長、機関長及び本件機関士は、見張りを行いながら航行中、船首方に鯨類、鯨類の潮吹きなどを視認しておらず、また、本件水中浮遊物が海中に存在したことから、左舷船首方至近になるまでこれを視認することができなかつたものと考えられる。
- (5) 船長は、本船が減速区間を通過したのち増速しながら翼走して西進中、本件水中浮遊物を初めて視認し、回避操作を行ったものの、本件水中浮遊物が本船の回避可能な距離よりも近距離であったことから、本件水中浮遊物を回避することは困難であったものと考えられる。
- (6) 本船は、後部フォイルが本件水中浮遊物に衝突した後、ヒューズピンが破断して後部フォイルが水中翼装置の船体取付け部を基点に後方に回転するのに伴い、後部フォイルの揚力が減少、喪失し、船尾部が降下するとともに後部フォイルが水の抵抗により船体を海面に引き込んだ結果、船尾部船底が海面に打ち付けられ、大きな上方向の加速度及び後方向の加速度が発生し、旅客が強い衝撃を受けたものと考えられる。

4 原因

本事故は、姫埼東方沖において、本船が減速区間を通過したのち増速しながら翼走して西進中、船長が、左舷船首方至近の海中に本件水中浮遊物を初めて視認した際、回避操作を行ったものの避けることができず、本件水中浮遊物と後部フォイルとが衝突したため、多数の旅客が腰椎骨折等を負ったことにより発生したものと考えられる。

船長が回避操作を行ったものの避けることができなかつたのは、左舷船首方至近の海中に本件水中浮遊物を初めて視認した際、本件水中浮遊物が本船の回避可能な距離よりも近距離であったことによるものと考えられる。

船長が本件水中浮遊物を至近になるまで視認できなかつたのは、本件水中浮遊物が海中にあったことによるものと考えられる。

多数の旅客が腰椎骨折等を負ったのは、本船の後部フォイルが本件水中浮遊物に衝突した後、ヒューズピンが破断して後部フォイルが水中翼装置の船体取付け部を基点に後方に回転するのに伴い、船尾部が降下するとともに後部フォイルが水の抵抗により船体を海面に引き込んだ結果、船尾部船底が海面に打ち付けられ、大きな上方向の加速度及び後方向の加速度が発生し、旅客が強い衝撃を受けたことによるものと考えられる。

5 再発防止策

本事故は、姫埼東方沖において、本船が減速区間を通過したのち翼走して西進中、船長が、左舷船首方至近の海中に本件水中浮遊物を初めて視認した際、本船の回避可能な距離よりも近距離であったことにより、回避操作を行ったものの避けることができず、本件水中浮遊物と後部フォイルとが衝突したため、多数の旅客が腰椎骨折等を負ったものと考えられる。

多数の旅客が腰椎骨折等を負ったのは、船尾部船底が海面に打ち付けられ、旅客が強い衝撃を受けたことによるものと考えられる。

したがって、A社及び本船乗組員を含めジェットフォイルの乗組員、運航者及び船舶所有者は、水中浮遊物の可能性がある海洋生物、流木等を対象として、次の対策を講じることにより、同種事故の再発防止及び同種事故による被害の拡大を防止することが必要であると考えられる。

- (1) 運航者は、海洋生物、流木等との衝突を防止する観点から、海上保安庁の海洋生物、流木等の目撃情報のほか、鯨ハザードマップや事業者間の連絡による鯨類等の目撃等情報の活用、見張りの強化、UWSの運用強化等の安全確保を引き続き図ること。
- (2) 運航者及び船長は、航路付近で海洋生物、流木等が発見された場合や海洋生物が多く発見される時期等には、海洋生物、流木等との衝突防止、衝撃軽減の観点から、可能な限り減速して運航すること。また、事故の発生、海洋生物、流木等の発見状況等を踏まえ、減速区間を適時適切に見直すこと。
- (3) 操船者は、避航が難しいと判断したときは、後部フォイルに海洋生物、流木等が衝突した場合旅客にかかる衝撃が大きいことから、後部フォイルへの海洋生物、流木等の衝突リスクを軽減するため、直ちに推力を全速力後進とし、翼深度を深くするとともに舵を中央とする操船に努めること。
- (4) 翼走中において、海洋生物、流木等が衝突した場合においても、腰椎骨折等を負うことを最大限防止するため、以下の対策を講じること。
 - ① 船舶所有者は、本事故における旅客の腰椎骨折の発生状況等を勘案し、衝撃力の吸収が十分と認められる座席、座席クッションを備える等の措置を講じること。
 - ② 運航者は、航路付近で海洋生物、流木等が発見された場合や海洋生物が多く発見される時期等には、腰椎の骨強度が年齢に関係していることから、高齢と認められる者は、客室前部等の衝撃が比較的小さな座席に誘導すること。
- (5) 船舶所有者は、翼走中、海洋生物、流木等が衝突した場合においても、旅客が後方向の加速度により負傷することがないように座席背面に緩衝材を取り付け

る等の対策を講じること。また、着座時の旅客の直立姿勢を保持するとともに、旅客が前席の背面にぶつからないよう3点式シートベルト等を装備することが望ましい。

- (6) 運航者及び乗組員は、運航中のシートベルトの着用が旅客により確実かつ適正に行われるよう、引き続き周知徹底を図ること。
- (7) 運航者は、事故後の救助を迅速かつ円滑に実施する観点から、多数の負傷者が生じた場合の対応要領を取りまとめるとともに、定期的な訓練を実施すること。

5.1 事故後に講じられた事故等防止及び被害拡大防止対策

5.1.1 国土交通省により講じられた施策

国土交通省海事局安全政策課は、本事故発生直後の平成31年3月11日に、旅客船事業者に対し、改めて、「超高速船に関する安全対策について（平成21年4月24日超高速船に関する安全対策検討委員会）」に基づき、特に以下の点に留意して安全確保の徹底を図るよう通知した。

- (1) 海上保安庁が沿岸域情報提供システム（MICS）等で提供する海洋生物目撃等情報のほか、鯨ハザードマップや事業者間の連絡による鯨類等の目撃情報を活用して減速航行や航路の変更等を行うこと。
- (2) 船内掲示やアナウンス等により乗客のシートベルト着用を徹底すること。

5.1.2 A社により講じられた措置

A社は、次の再発防止策及び被害拡大防止策を講じた。

- (1) 減速区間の拡大及び減速
各航路運航基準に定める鯨類等を警戒する航程16Mの減速区間を航程25Mに拡大した。また、減速区間における通常の航行速力を37knから35knまで減速した。
- (2) 運航中の見張りの強化
乗組員全員（4人）による継続的な見張り態勢を維持するため、機関部のデータ計測の手順を簡略化し、見張りの強化を図った。
- (3) UWSの改善
国内ジェットフォイル製造者が鯨類専門家の協力を得て、UWSの音源をより効果的なものに変更するとともに、音波の到達距離の向上及び音圧指向性の拡大を図り、今後もUWSを継続的に使用することで鯨類との衝突回避の効果を検証していくこととした。

- (4) 鯨類情報に係る情報交換の推進及び同情報の共有の徹底
ジェットフォイル運航各社、公的機関との情報交換及び共有を従前以上に推進強化するとともに年次で行っていたハザードマップの更新を月次へ変更するなど、社内における情報の管理及び共有について強化を図った。
- (5) JF安全運航マニュアルの改訂
次のとおり、「鯨類等への警戒について」の項目を追加し、「衝突回避のための緊急操船要領」に関する記述を改定した。
- ① 鯨類等への警戒について
- a 通常区間の航行速力は40ノット以下、減速区間は37ノット以下を基準とする。ただし、荒天時等は翼走が維持できる速力とする。
- b 鯨類等が目撃された日から1週間、目撃地点より前後3マイルの区間を35ノット程度の速力まで減速する。
- ② 衝突回避のための緊急操船要領
翼走航行中、前方近距離に危険な障害物又は海中生物等を発見した場合は、操作者（ヘルム）及び機関監視者（コンソール）は、スロットル操作の移管によらず緊急旋回や緊急停止を行い、衝突回避操作を躊躇なく行うこと。
- (6) シートベルト着用に関する案内の強化及び徹底
船内放送及び乗組員の船内巡回による案内のほか、運航中に常時、着用について注意喚起するためのビデオ映像を表示することとした。
- (7) シートベルトの改良
シートベルトの身体への密着性を向上させるため、バックル部の不要部分であったシートベルトインジケータ用のカバーを取り外した。
- (8) 座席の改善
座面のクッション材をより衝撃吸収力の高い素材に交換した。また、座席に取付けの折り畳み式テーブルを撤去し、座席頭部及び背面に2種類の緩衝パッドを設置した。
- (9) 「緊急停止」発光掲示板の設置
客室内に「緊急停止」のサインを表示する発光掲示板を設置し、航行の安全を確保するため止むを得ずジェットフォイルを緊急停止させる場合は、乗客に緊急操作の実施を直ちに知らせることとした。
- (10) 関係機関との模擬訓練の実施
事故後の旅客への対応に係る不具合事項等から得られた教訓を踏まえ、同種事案が発生した場合の円滑な緊急対応に備える観点から、ジェットフォイルを使用した関係機関等との合同訓練を実施した。

6 勸告

本事故は、姫埼東方沖において、ぎんがが減速区間を通過したのち翼走して西進中、船長が、左舷船首方至近の海中に水中浮遊物を初めて視認した際、ぎんがの回避可能な距離よりも近距離であったことにより、回避操作を行ったものの避けることができず、水中浮遊物と後部フォイルとが衝突したため、多数の旅客が腰椎骨折等を負ったものと考えられる。

多数の旅客が腰椎骨折等を負ったのは、船尾部船底が海面に打ち付けられ、旅客が強い衝撃を受けたことによるものと考えられる。

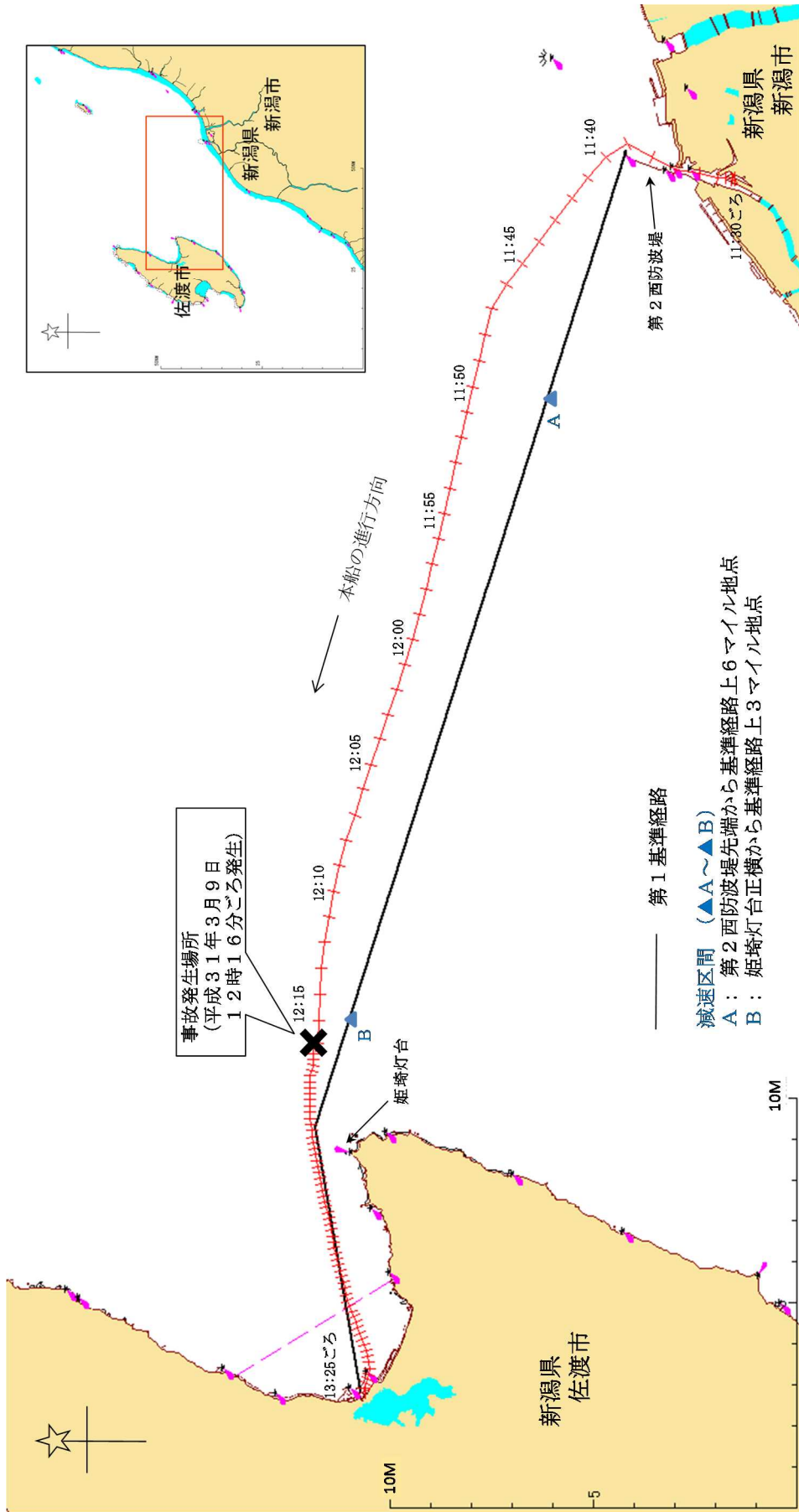
既にジェットフォイル運航者等に対して国土交通省海事局から衝突回避を中心とした措置については指導がなされているが、これに加えて、万一衝突した場合における旅客の負傷の発生等の被害の軽減のため有効な措置を講ずるようジェットフォイル運航者等に対して指導する必要があるものと考えられる。

このことから、当委員会は、本事故調査の結果を踏まえ、旅客の運送の安全を向上させるため、国土交通大臣に対し、運輸安全委員会設置法第26条第1項の規定に基づき、以下のとおり勧告する。

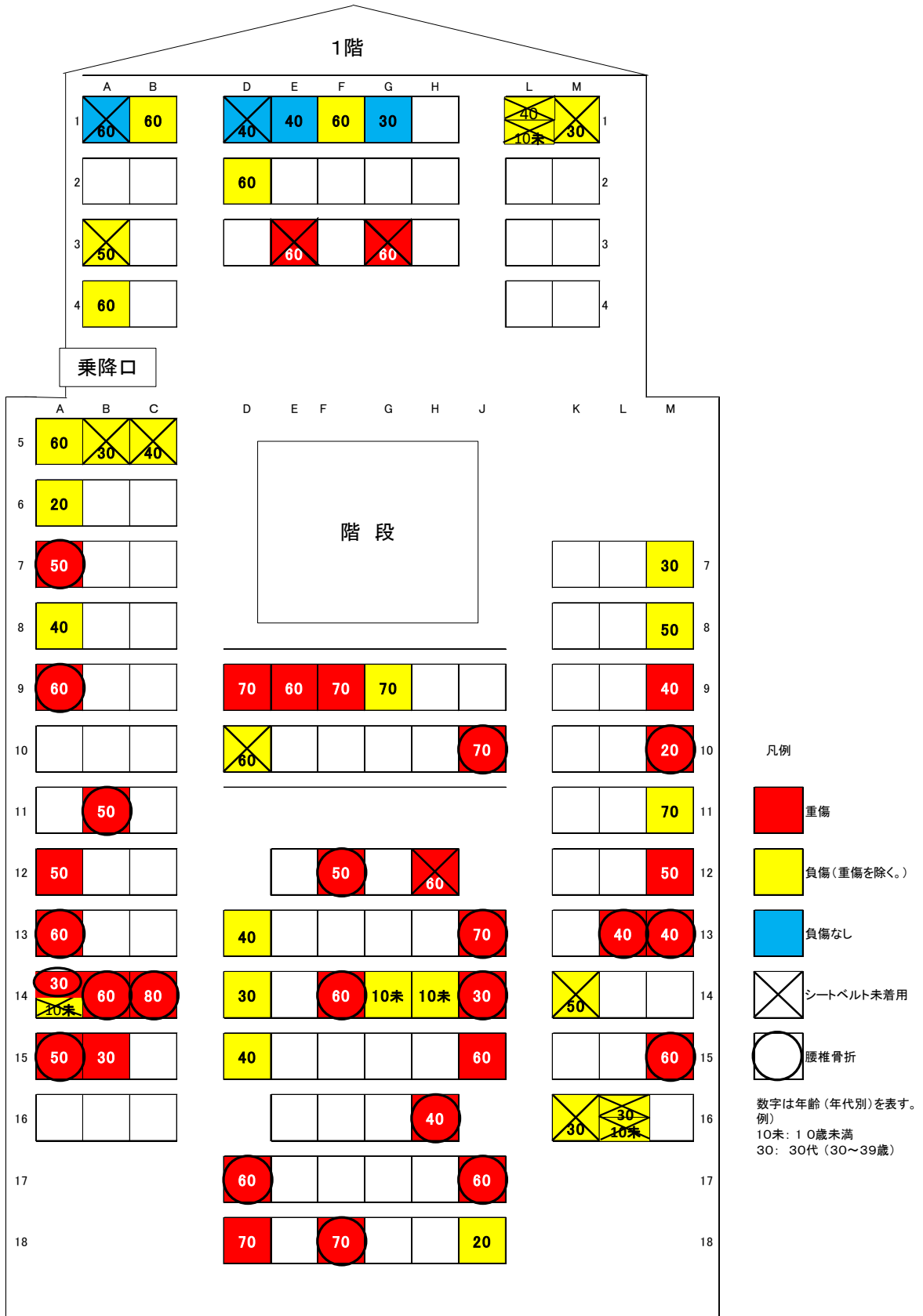
国土交通大臣は、ジェットフォイル運航者等に対し、次の対策を実施するよう指導すること。

- (1) 翼走中において、海洋生物、流木等が衝突した場合においても、腰椎骨折等を負うことを最大限防止するため、以下の対策を講じること。
 - ① 船舶所有者は、本事故における旅客の腰椎骨折の発生状況等を勘案し、衝撃力の吸収が十分と認められる座席、座席クッションを備える等の措置を講じること。
 - ② 運航者は、航路付近で海洋生物、流木等が発見された場合や海洋生物が多く発見される時期等には、腰椎の骨強度が年齢に関係していることから、高齢と認められる者は、客室前部等の衝撃が比較的小さな座席に誘導すること。
- (2) 船舶所有者は、翼走中、海洋生物、流木等が衝突した場合においても、旅客が後方向の加速度により負傷することがないように座席背面に緩衝材を取り付ける等の対策を講じること。
- (3) 運航者は、事故後の救助を迅速かつ円滑に実施する観点から、多数の負傷者が生じた場合の対応要領を取りまとめるとともに、定期的な訓練を実施すること。

付図1 航行経路図



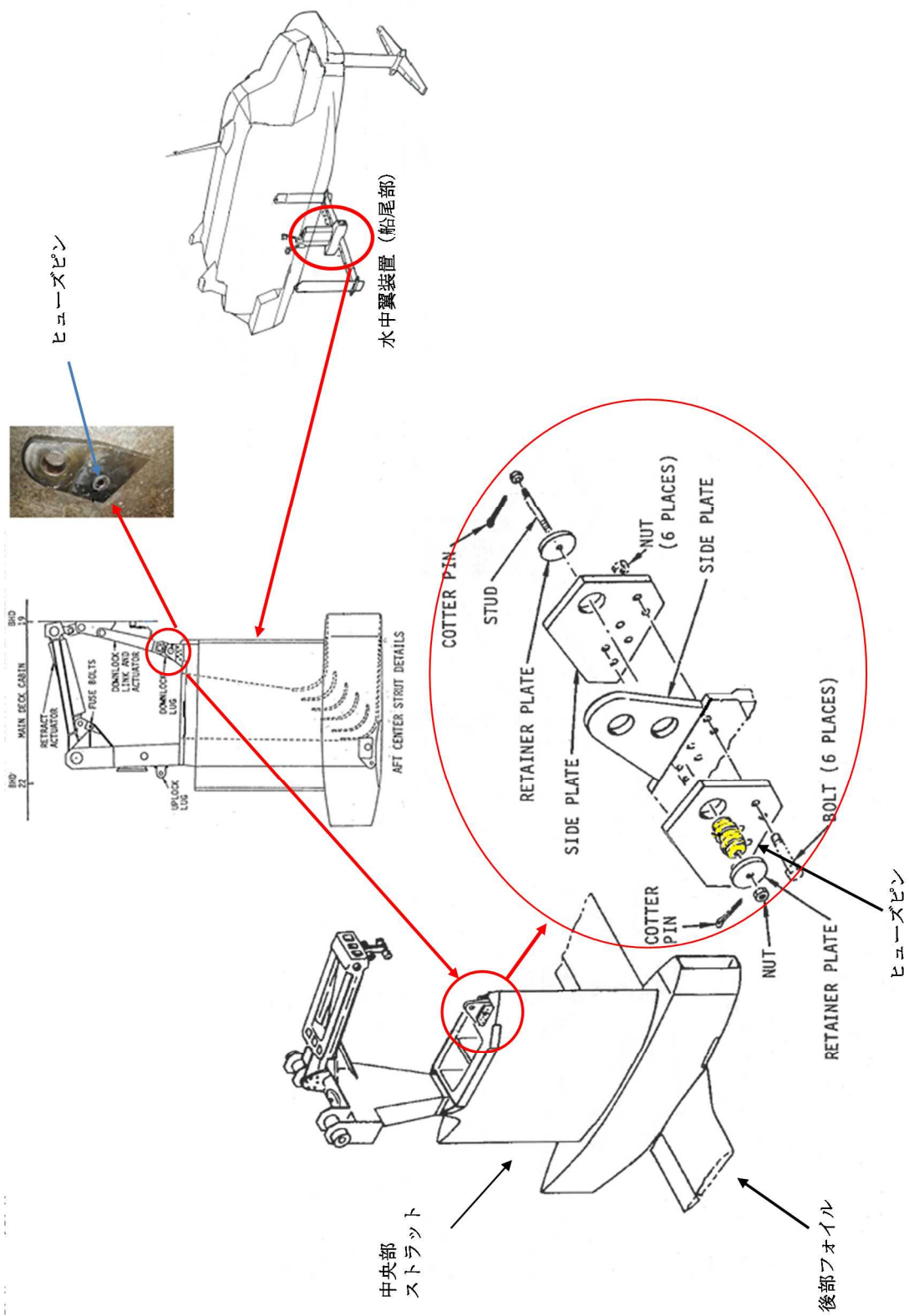
付図2 1階旅客の負傷状況等



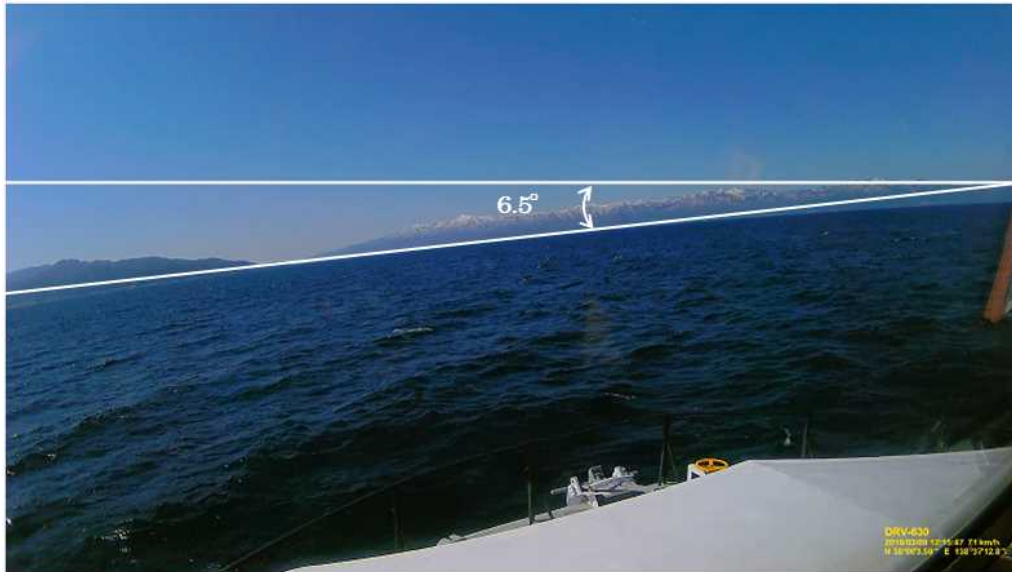
付図3 2階旅客の負傷状況等



付図4 ヒューズピン



付図5 衝突時の傾斜角



付表1 衝突時の速力

時刻 (時:分:秒)	船位		距離 (m)	速力 (kn)
	北緯 (° -' -")	東経 (° -' -")		
12:15:44	38-06-03.47	138-37-15.2		
			21.41	41.62
12:15:45	38-06-03.51	138-37-14.4		
			21.51	41.81
12:15:46	38-06-03.55	138-37-13.6		
			21.48	41.75
12:15:47 (衝突)	38-06-03.59	138-37-12.8		

付表2 過去の類似事故

発生年月日	発生場所	衝突物	乗組員数	旅客数	重傷者数	軽傷者数	衝突箇所	衝突時の 速力(kn)
H18. 4. 9	鹿児島県南大隅町佐多岬西方沖	水中浮遊物	6人	106人	旅客25人	旅客74人 乗組員6人	船尾翼	39
H24. 4. 22	鹿児島県南大隅町佐多岬西方沖	鯨	5人	184人	乗組員2人	旅客32人 乗組員2人	船首翼及び船尾翼	38
H24. 6. 3	長崎県対馬市厳原港南東方沖	海洋生物	4人	100人	なし	なし	船首翼	39.7
H25. 7. 10	島根県知夫村大波加島南東方沖	海洋生物	4人	1人 (作業員)	なし	なし	船首翼	36～ 38
H26. 3. 18	長崎県壱岐市壱岐島北西方沖	海洋生物	5人	65人	なし	旅客1人	船首翼	36～ 38
H28. 1. 8	長崎県対馬市上島北西方沖	海洋生物	7人	184人	旅客3人	旅客4人 客室乗務員2人	船首翼	40
H28. 1. 20	福岡県福岡市小呂島北方沖	水中浮遊物	7人	154人	なし	客室乗務員1人	船首翼	40
H28. 2. 6	東京都伊豆大島北西方沖	海洋生物	5人	69人	なし	なし	船首翼	35
H29. 2. 21	対馬海峡東水道	鯨	5人	103人	なし	旅客9人	船首翼	35～ 36
H30. 9. 4	長崎県新上五島町奈良尾港東方沖	海洋生物	4人	100人	なし	なし	船首翼	40
H31. 3. 9 (本事故)	新潟県佐渡市姫埼東方沖	水中浮遊物	4人	121人	旅客55人	旅客53人 乗組員1人	船尾翼	41.7
H31. 4. 23	長崎県対馬市上島北方沖	海洋生物	8人	84人	なし	なし	船首翼	調査中

NMRI

National Maritime Research Institute, MPAT

旅客船衝突事故に係る流体構造連成解析調査 報告書

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

(余白ページ)

目次

1. はじめに	1
2. 解析内容	1
3. 解析条件	1
3.1 解析コード	1
3.2 解析モデル	1
3.3 解析ケース	3
3.4 モデル化及び境界条件	3
3.5 Low Pass Filter 周波数の決定	4
4. 解析結果	6
4.1 運動速度、加速度ならびに衝撃荷重の時系列	6
4.1.1 事故時の解析結果(Case-1)	6
4.1.2 前部フォイルが損傷した場合の解析結果(Case-5)	9
4.2 客室内の加速度分布推定	11
5. まとめ	26
6. 参考文献	27

1. はじめに

本件は、2019年3月9日に新潟県佐渡市姫埼東方沖で発生した超高速旅客船の衝突事故の調査に資するため、事故発生時の船体加速度等の解析調査を行うことを目的とするものである。

2. 解析内容

本調査では、最先端の流体・構造連成シミュレーション手法を用いて、事故時の着水衝撃現象を再現し、以下の5ケースにおける船体加速度(前後方向、上下方向)を推定し、等値線図を作成した。

- (1) 事故時の場合(41.7kt)
- (2) 船速が⁸35ktの場合
- (3) 船速が⁸41ktの場合
- (4) 船速が⁸41.7ktの場合
- (5) 前部フォイルが損傷した場合

3. 解析条件

3.1 解析コード

船体の着水衝撃現象をできる限り忠実に再現した解析を行うため、解析コードとして、米国LSTC社が開発した動的非線形有限要素法プログラムLS-DYNA(陽解法)を用いた。

3.2 解析モデル

通常有限要素法では、構造部分のみをモデル化することが多い。本解析では、流体構造連成解析を実施するために、構造体をラグランジェ法(物体固定)で、流体領域をオイラー法(空間固定)でそれぞれモデル化を行った^[1]。

構造体について、船体はshell要素及び梁要素のLagrange要素でモデル化し、海面及び空気はALEソリッド要素でモデル化した。図3.1にLS-DYNAを用いた水中翼船「ぎんが」および海水領域の解析モデルを示す。精度向上と要素数、節点数節約のため、前後のフォイルに関係した流体要素の部分のみ要素分割を細かくしている。船体モデルは、主船体は弾性体(アルミ)、2本のフォイルは剛体でモデル化している。弾性体領域では、部材の破断を考慮するために、図3.2に示すアルミ材(5083-o)の弾塑性応力-歪曲線を用いた。アルミ材の弾性定数は70,600MPa、ポアソン比0.33、破断歪は0.2と仮定した。流体領域について、海水は物性及び状態方程式を入力し、気体は安全側の仮定としてvoid、すなわち真空とした。

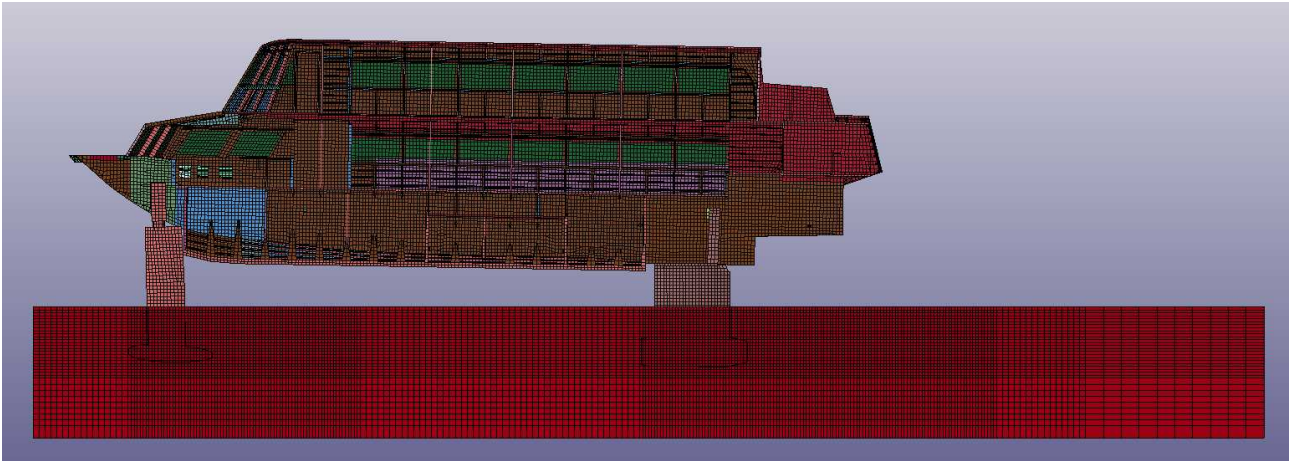


図 3.1 水中翼船モデルと海水領域モデル(空気領域メッシュは非表示)

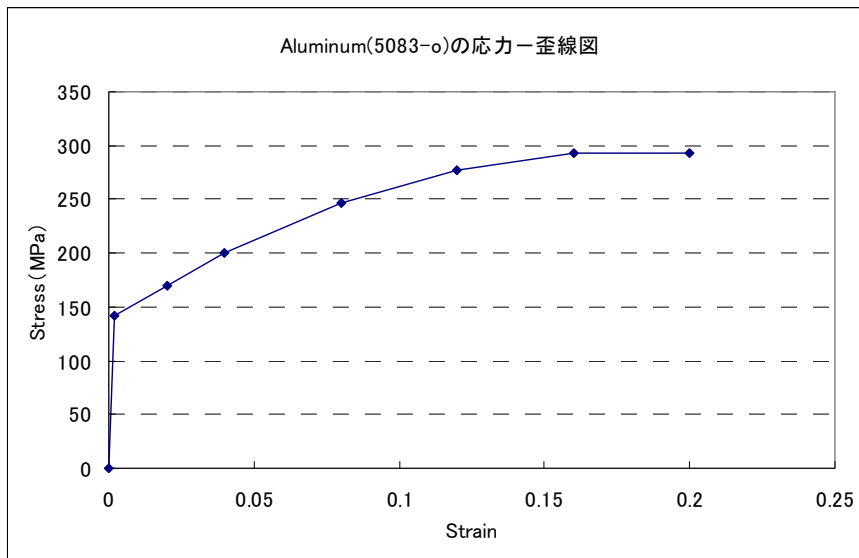


図 3.2 アルミニウム(5083-o)の応力-歪線図

3.3 解析ケース

解析ケースは、表 3.1 に示す 5 ケースを実施した。Case-1 は事故時の横傾斜を模擬し、図 3.3 に示す6.5°横傾斜した両舷モデルを用いた。Case-2~4 は船速の影響を調べるための 3 ケースであり、左右対称の解析を行っている。ただし、事故時の旋回影響については解析コード上モデル化が困難なためモデル化していない。したがって、舵を切った影響については今次解析には含まれていない。Case-5 は、航走中に物体が衝突し前部フォイルが失われた状況を想定し、前部フォイルを除いたモデルを用いて解析を実施した。

表 3.1 解析ケース一覧

ID	船速	モデル
Case-1	41.7kt	横傾斜(6.5°)、両舷モデル(図 3.3)
Case-2	35kt	左右対称、片舷モデル
Case-3	41kt	左右対称、片舷モデル
Case-4	41.7kt	左右対称、片舷モデル
Case-5	41.7kt	左右対称、片舷モデル、(前部フォイル欠損モデル)

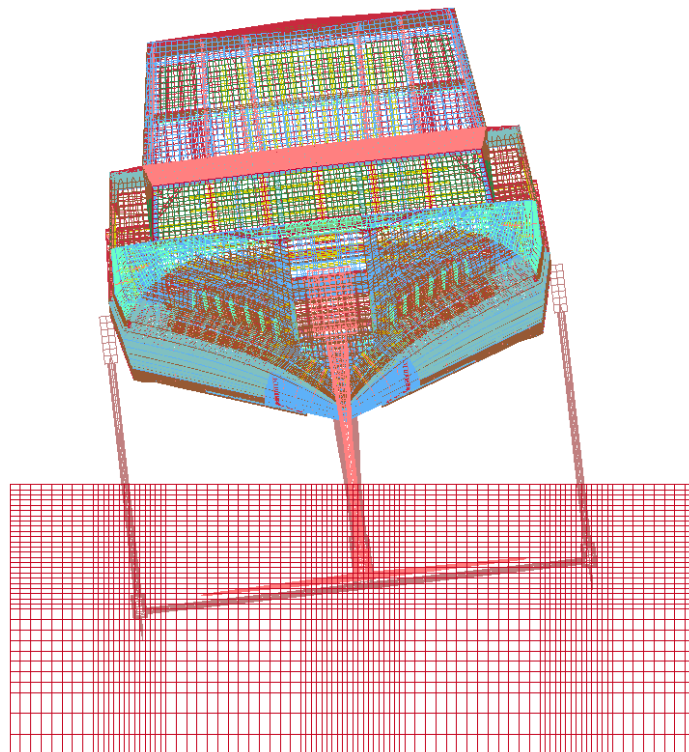


図 3.3 横傾斜 6.5deg のついた両舷モデル(Case-1)

3.4 モデル化及び境界条件

実際は船が海面上を航走するが、そのままモデル化すると、計算領域として海面を広く取らなければならないため、ALE ソリッド要素数、節点数が膨大になる。そこで、ここでは船の代わりに海面に速度を与えて計算した。等速で前進する慣性座標系を扱うことに相当するため、船体を走行させる解析と物理現象に違いは生じない。

計算の初期不安定を回避するため最初の 0.1 秒間は運動を拘束し、強制的に定常航走させた。事故時の現象を模擬するため、0.1 秒後に後部フォイルに物体が衝突し、かつ推進力を失ったと仮定して、船体の運動拘束を開放し、後部フォイルと船体間の回転変位を自由にした。船は 0.1 秒以降、一定速度で前進する座標系から見て、流体抵抗によって徐々に後方に流れてゆくことになる。境界条件をまとめたものを表 3.2 に示す。時系列のグラフ表示は、物体が後部フォイルに衝突した時点をもとして作成している。

表 3.2 境界条件

船体の境界条件	~0.1s: 前後フォイルの並進変位拘束、後フォイル-船体間の回転変位を拘束 0.1s~: 拘束なし
流体の境界条件	前壁: 初期水面より下の領域に一定速度の流入条件を設定 後壁: 初期水面より下の領域に一定速度の流出条件を設定 側壁及び底面: 初期水面より下の領域に初期水深に比例する静水圧を設定
鏡像条件	片舷モデル解析(Case-2,3,4,5)について、センターラインの面において構造・流体モデルに対して鏡像条件を設定

3.5 Low Pass Filter 周波数の決定

解析により得られる船体運動の時系列は、流体-構造境界において数値計算上の振動が発生することで、高周波成分が重畳する。この影響を除くために、Low Pass Filter の閾値の周波数を推定した。Low Pass Filter 処理には、Butterworth Filter を用いた。図 3.4~図 3.6 に、Case-4 における 1 階客室中央部の上下変位、速度、加速度の時系列に対して、閾値 4, 5, 6Hz の Low Pass Filter 処理を施した値の比較を示す。図 3.4 をみると、変位の時系列については、Low Pass Filter を施したいずれの曲線も元の波形から変化は見られない。また、図 3.5 の速度の時系列については 4, 5, 6Hz の Low Pass Filter の曲線は滑らかに変化しており、高周波成分が除去された妥当な曲線とみなせる。

ただし、解析の結果は高い周波数成分ほど大きな加速度を示すため、1階客室中央部の解析結果では、最大加速度の絶対値が大きく変わっている。このため、等値図においては、絶対値ではなく、特定位置(事故時解析の後部補機室の前部隔壁付近)を基準として、最大加速度の大きさを定性的に評価することとした。

ただし、時系列グラフにおいて加速度を表示する場合は、安全側に評価できるよう加速度の Peak 値の最も高い閾値 6Hz を採用した。

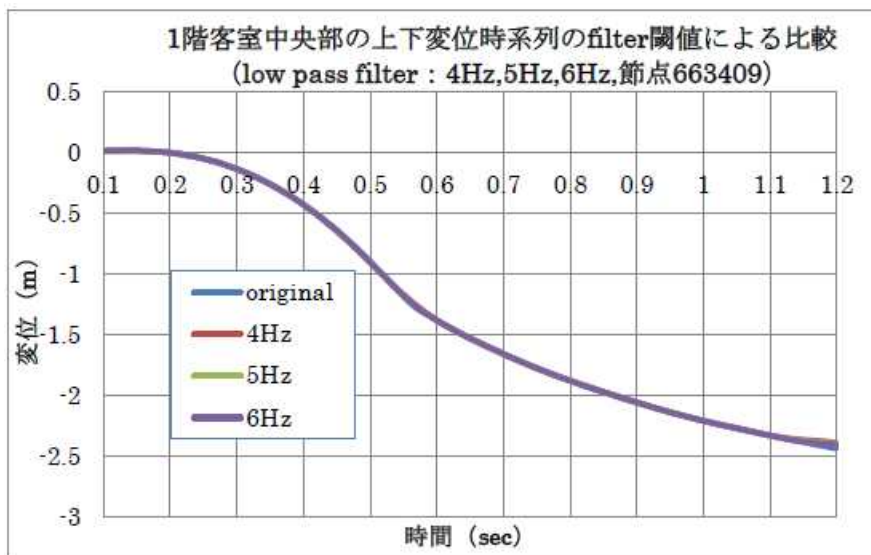


図 3.4 Low Pass Filter による変位時系列の比較

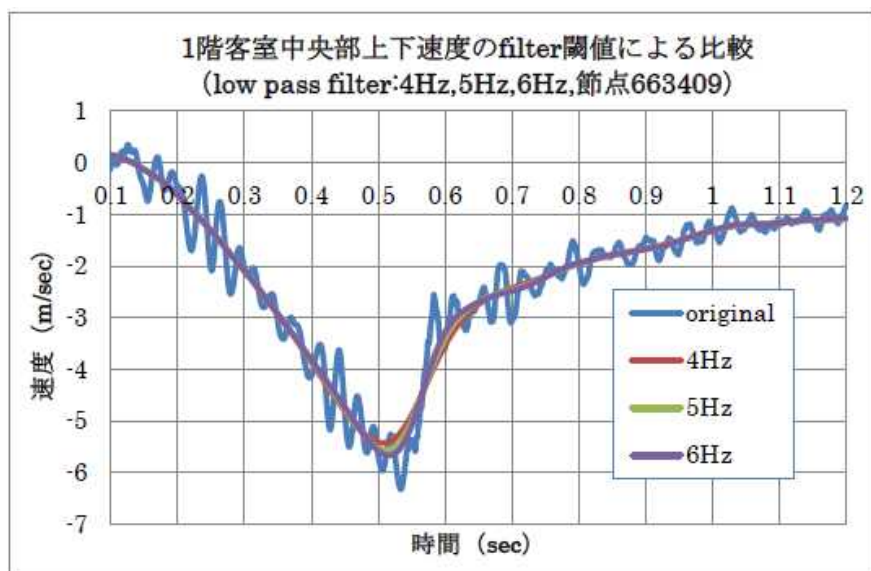


図 3.5 Low Pass Filter による速度時系列の比較

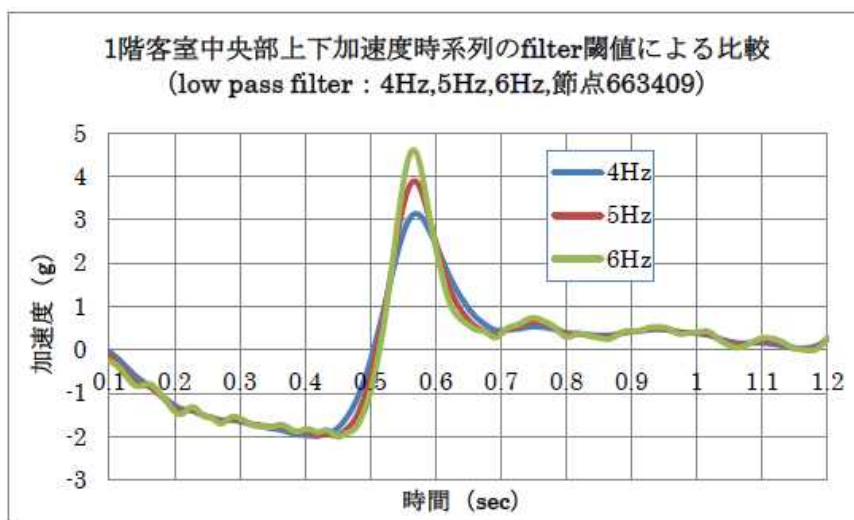


図 3.6 Low Pass Filter による加速度時系列の比較

4. 解析結果

LS-DYNA による解析によって得られた結果を示す。以降の時系列データについては、数値計算上の高周波振動を除去するため、6Hz を閾値としたローパスフィルタを施している。

4.1 運動速度、加速度ならびに衝撃荷重の時系列

解析から得られた船体運動や加速度の時系列を示す。時系列データの出力は、図 4.1 に示す、1階客室の前部、重心、後部(それぞれ F.P.より後方に約 2m, 13m, 18m)の 3 点である。時系列については、Case1~4 まではほぼ同様な傾向を示すことから Case1の事故時の解析結果を、また、Case5 の前部フォイルが損傷した場合の解析結果を示す。

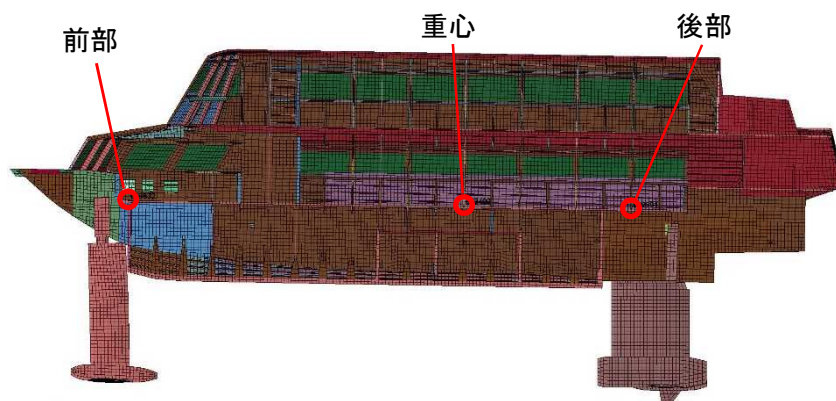


図 4.1 時系列出力位置

4.1.1 事故時の解析結果(Case-1)

(1) 基本的な現象について

後部フォイルが物体に衝突後、ヒューズピンが破断し、前後フォイルが受ける流体抵抗によって船体は減速し、かつ後部フォイルは pivot 位置を基点に後方に回転を始め、後部フォイルの揚力が減少、喪失し船尾部が降下するとともに水の抵抗により後部フォイルが船体を水に引き込み、船尾船底が海面に着水する。この際、船首部は、前部フォイルの揚力等により持ち上げられ、その後海面に着水することとなる。

図 4.3 をみると、船体が落下を開始し海面に着水するまでは、旅客には浮き上がる方向に下方向の加速度が発生する。この加速度は、船尾部が大きい。

海面に着水した際、船体の後部において比較的大きな上下加速度、前後加速度が発生している。

(2) 船体傾斜の影響

同船速で船体傾斜の無い Case-4 における後部の加速度のピークが 8G 程度となった一方で、図 4.3 より、Case-1 における後部の加速度のピークは 4G 程度と、Case-4 と比べ低くなっている。これは、横傾斜がついたことにより揚力が変化し、落下速度が小さくなったことに加え、図 4.5 に示す船底部①(傾斜角 0°の面)から受ける力が小さくなったためと考えられる。

ただし、解析条件の章に記載したとおり、船体の右旋回影響が考慮されておらず、水面衝撃については、わずかな衝撃角度差により、衝撃荷重が増大する可能性も考えられる。また、解析コードの限界及び難易度から波浪の影響、波浪と船体形状との正確な衝撃角度は考慮されてい

い。すなわち、実際の海上では、海面が平面ではなく波立っており、船底部外板が海面に着水した際に、船底部外板と海面になんらかの傾斜角が発生することから、実海域では解析結果とは異なる上下加速度、前後加速度が発生する可能性がある。したがって、傾斜した状態で海面に着水した場合と水平に着水した場合の実海上での船体加速度の比較評価等を解析結果から行うことはできない。

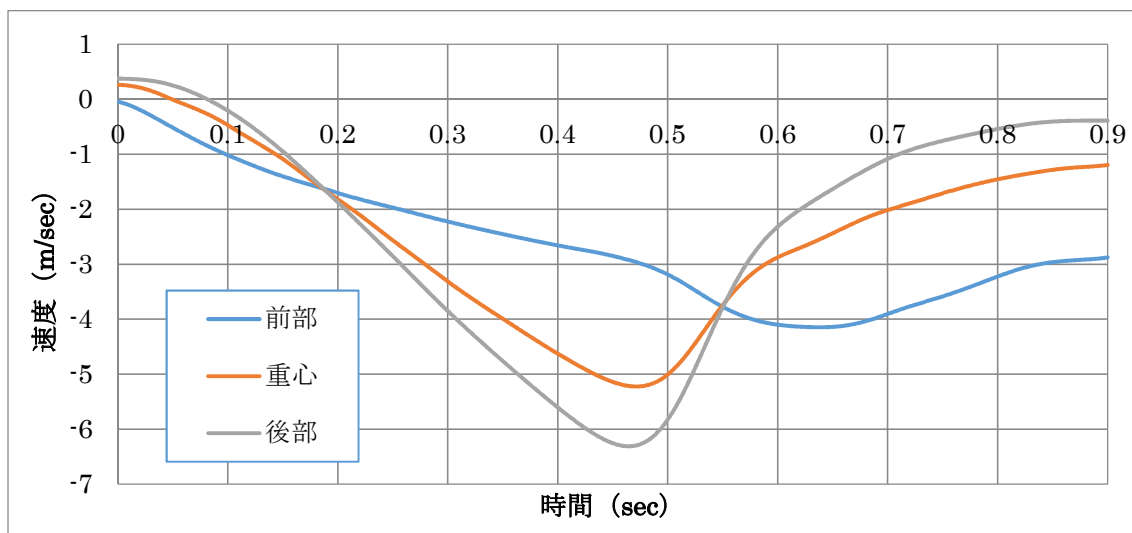


図 4.2 1階客室前部・重心・後部における上下速度時系列(Case-1)

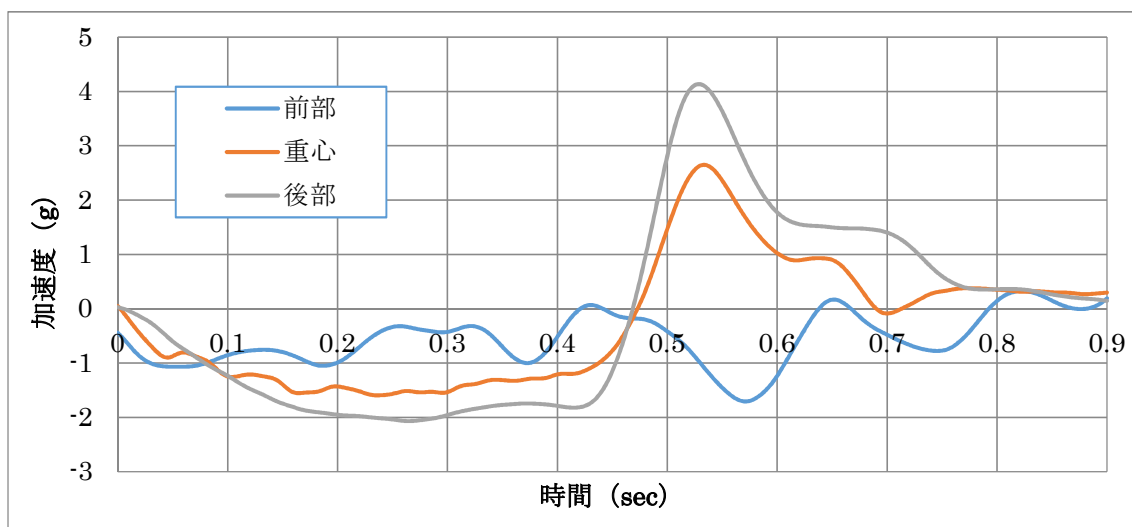


図 4.3 1階客室前部・重心・後部における上下加速度時系列(Case-1)

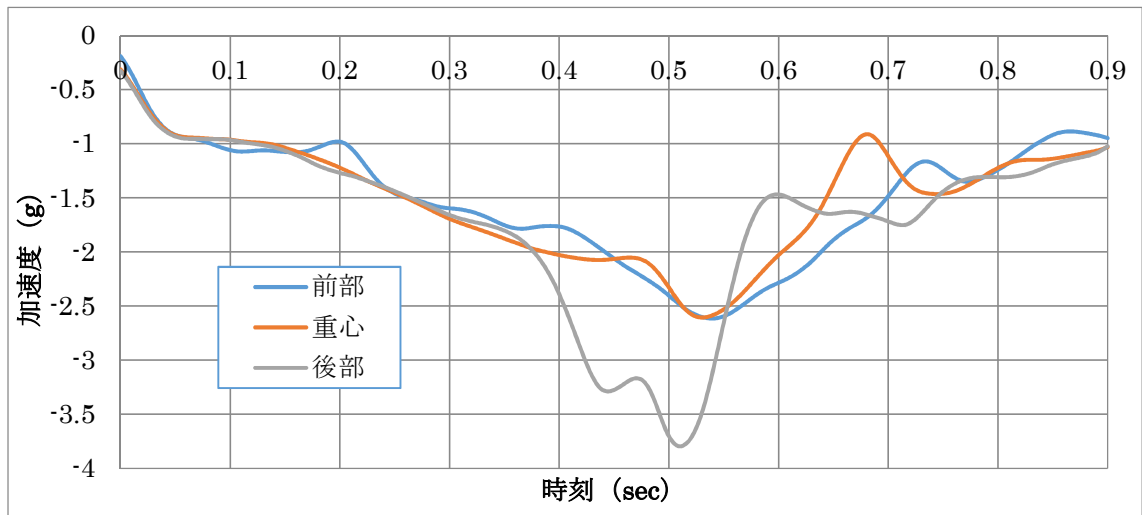


図 4.4 1 階客室前部・重心・後部における前後加速度時系列 (Case-1)

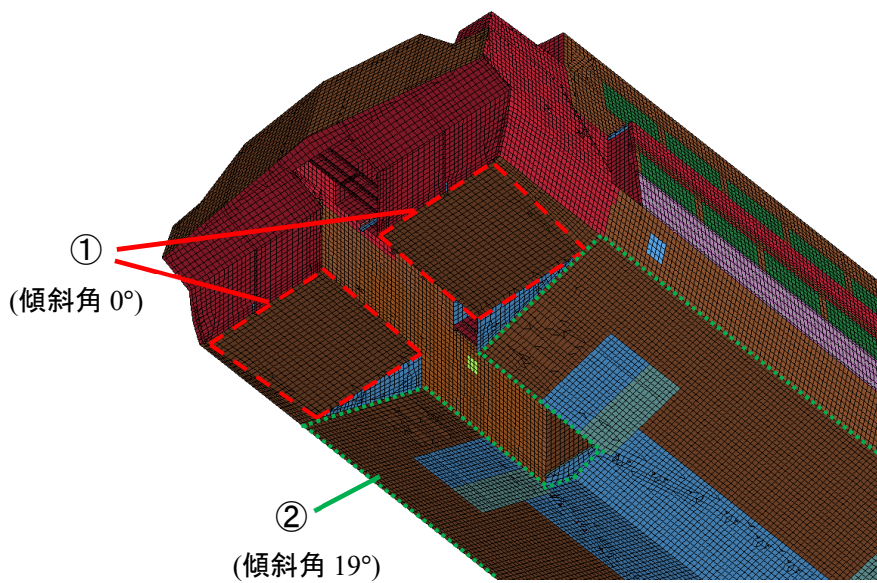


図 4.5 Case-1 ぎんがの船底 (後部フォイル非表示)

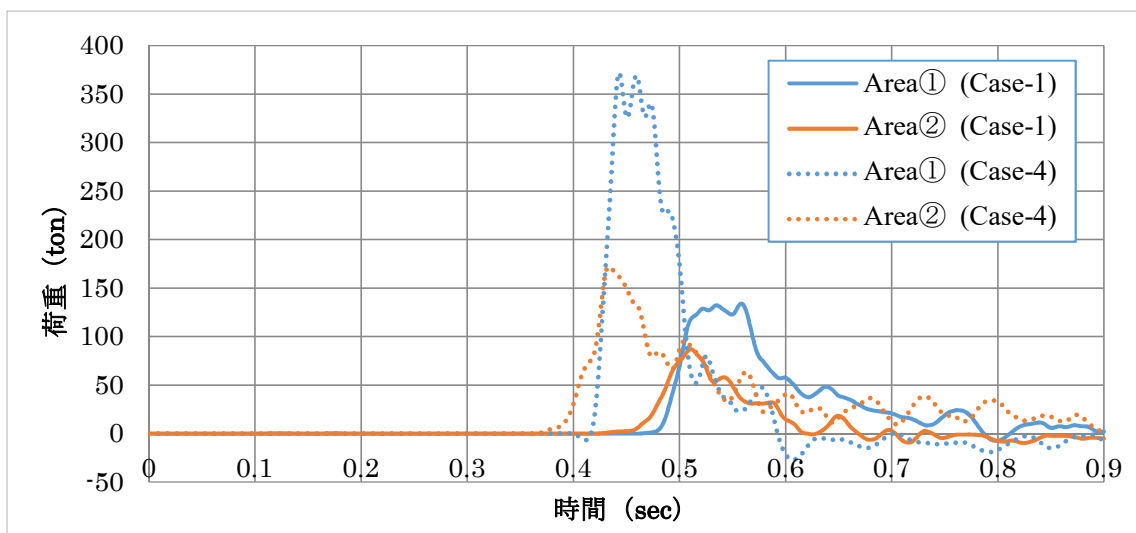


図 4.6 船底部①と②がうける上下衝撃力時系列の Case-1 と Case-4 の比較

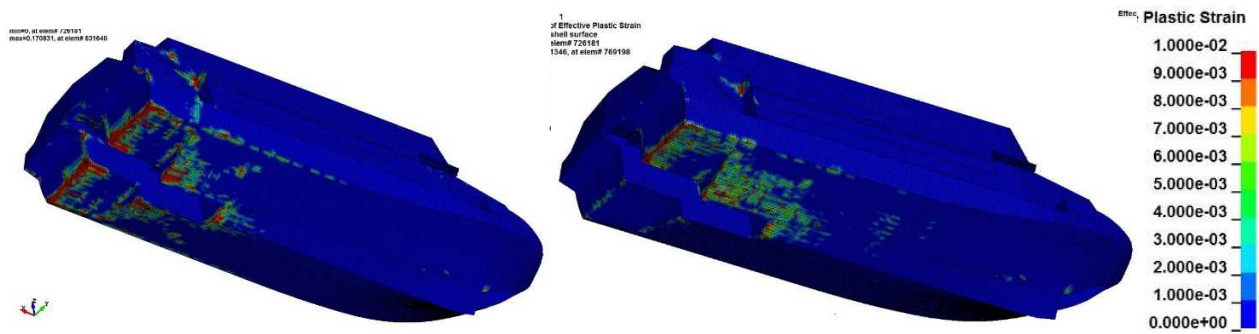


図 4.7 Case-4(左)とCase-1(右)の衝撃後の船底の相当塑性ひずみ分布

4.1.2 前部フォイルが損傷した場合の解析結果 (Case-5)

前部フォイルが損傷したケースについて、3点の上下速度、上下加速度、前後加速度の時系列をそれぞれ図 4.、図 4.、図 4.に示す。当ケースでは後部フォイルを基点にして前傾する状態で水面に落下するため、客室前部において大きな加速度が生じる。図 4.、図 4.を見ると、1階客室前部で著しく大きな加速度が生じていることが分かるが、これは図 4.11 に示すとおり、モデル上、流体からの衝撃を直接受ける矢印で示した箇所付近における加速度を見ているためである。本ケースにおける全体としての衝撃は大きくないと考えられる。

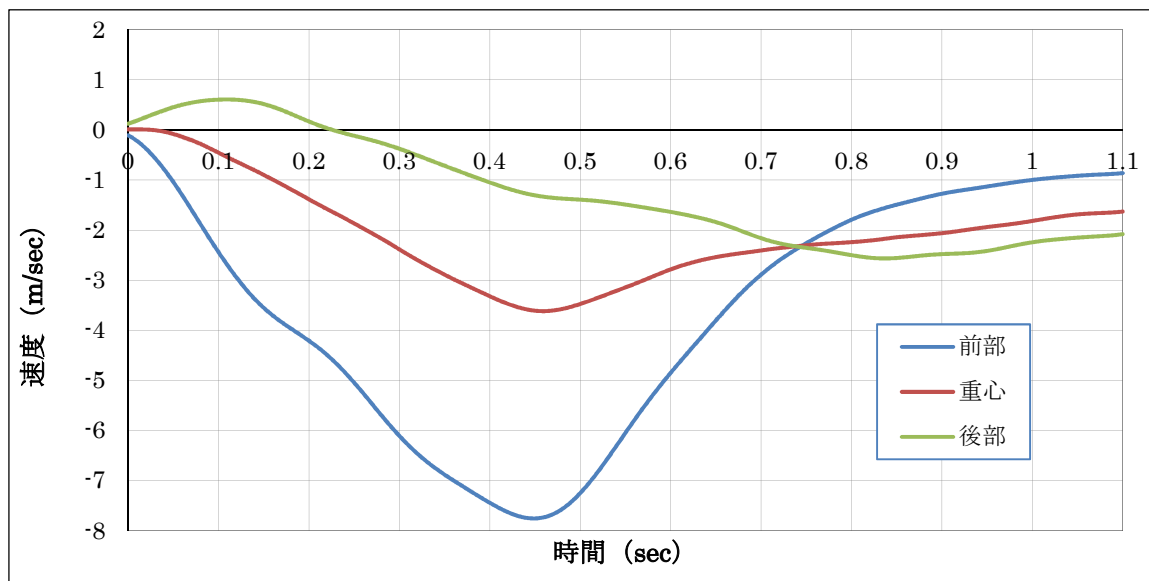


図 4.8 1階客室前部・重心・後部における上下速度時系列(Case-5)

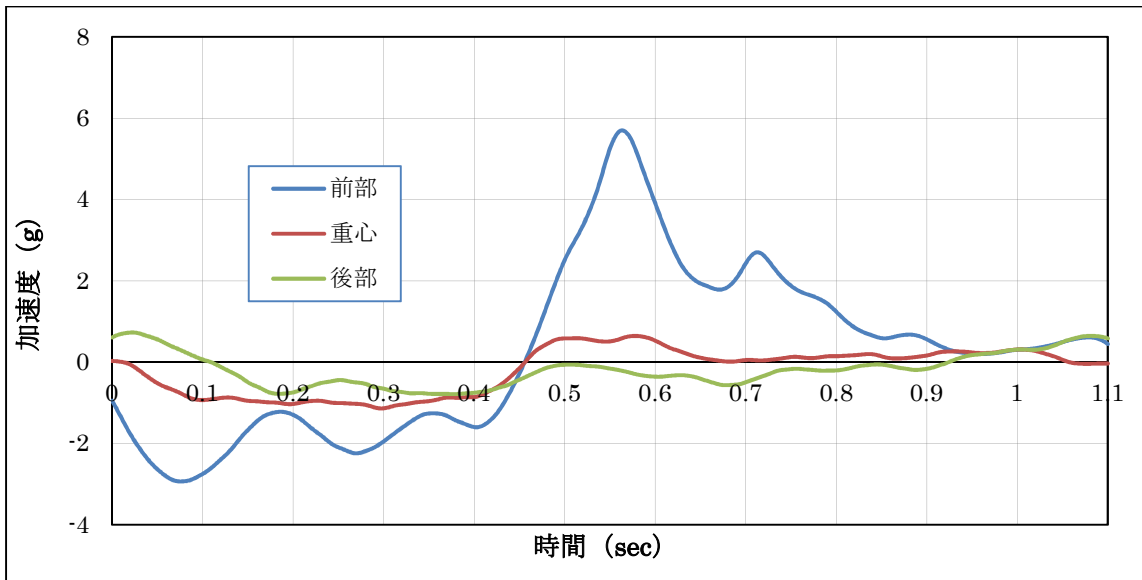


図 4.9 1階客室前部・重心・後部における上下加速度時系列 (Case-5)

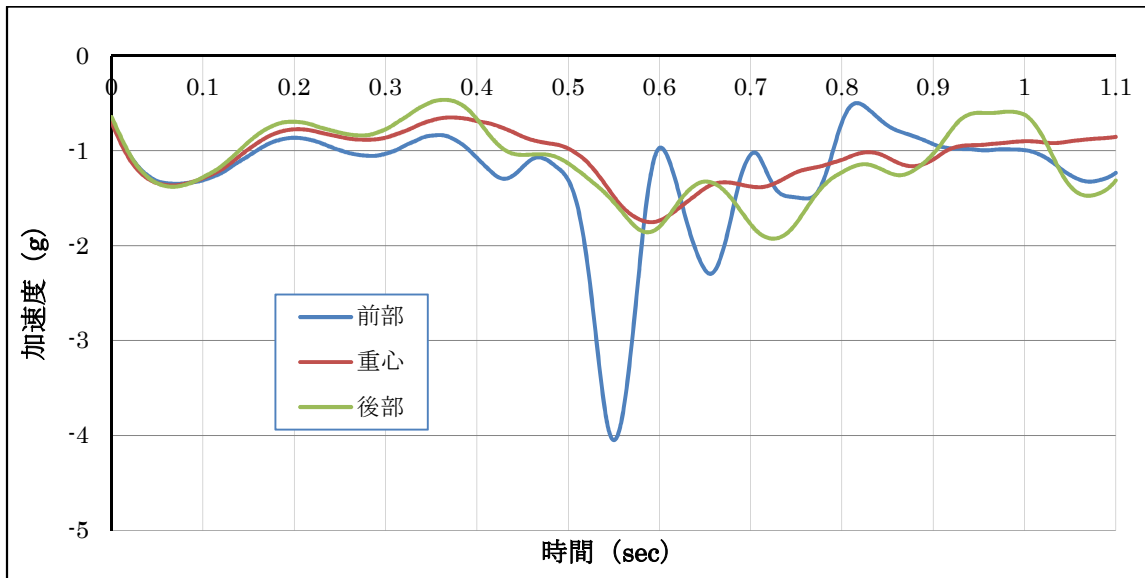


図 4.10 1階客室前部・重心・後部における前後加速度時系列 (Case-5)

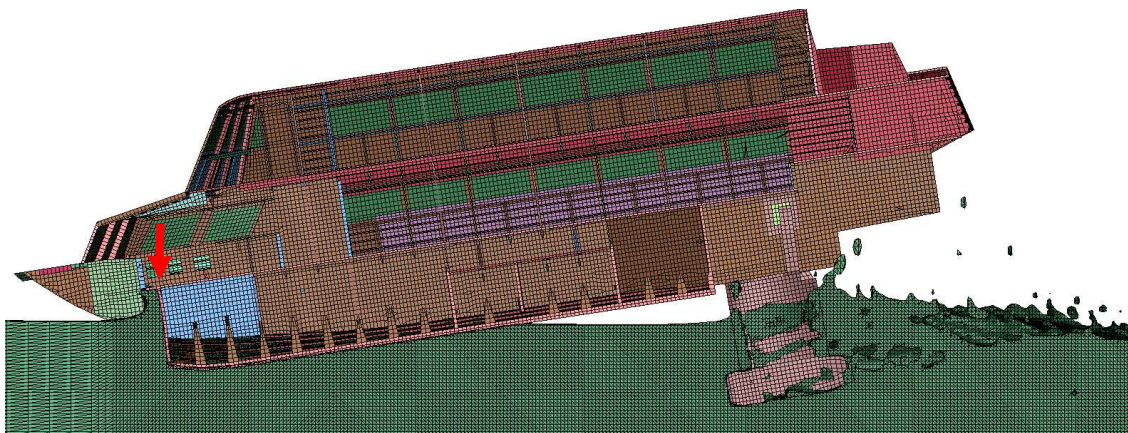


図 4.11 1階客室前部の点に流体が達する瞬間 (Case-5, $t=0.665s$)

4.2 客室内の加速度分布推定

Case-1~5 について、1階及び2階客室における上下加速度の最大値(以下、「最大上下加速度」という。)及び前後加速度の最大値(以下、「最大前後加速度」という。)の分布を以下に示す。加速度の分布図の出力位置を図 4.12 に示す。図の X 座標は、F.P.からの距離である。加速度は船体空間固定座標系とし、最大値は 6Hz の Low pass filter を施したデータに対する最大値としている。また、事故時の解析結果には、それぞれ座席配置と負傷者の状況を上から重ねた図も併記している。また、特定位置(事故時解析の後部補機室の前部隔壁付近)の加速度を基準値の1.0として、最大加速度の大きさを基準値の倍数で表現することとした。

換算した最大上下加速度は、上方向を正として、次のとおり色分けした。



2.0 1.8 1.6 1.4 1.2 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2

また、換算した最大前後加速度は、前方向を正として、次のとおり色分けした。



-0.2 -0.4 -0.6 -0.8 -1.0 -1.2 -1.4 -1.6 -1.8 -2.0

(1) 全体の考察

① 全ての Case に共通して、1 階に比べ 2 階の上下・前後加速度は平均的に小さいことが分かる。剛体解析の場合、1 階と 2 階とで変化は無いはずであるため、この差は弾性振動による影響である。すなわち、1 階は流体から受ける力を隔壁などを介して直接伝わるが、これに対し、2 階の床は少数の柱で支えられているために床がたわむことで衝撃が緩和され、大きな加速度が生じにくいと考えられる。

② 1 階の加速度は場所によって大きく差があり、どのケースにおいても局所的に過大な加速度が生じていることがわかる。これについても、ローカルな弾性振動が重畳していることの影響である。特に $x=16\sim 18\text{m}$ 付近は隔壁から直接突き上げを受けるため、過大な上方向の加速度が生じている箇所が散見される。

③ Case-3 と Case-4 は船速 0.7kt の差しかなく、大局的には加速度分布の大きな差はないが、局所的な分布に差がある。局部振動による加速度の差が表れたものであったことが分かる。

④ Case-5 は全体的には加速度が小さく、特に 2 階は他のケースと比べてほとんど加速度は生じていない。しかしながら、1 階前部において局所的に海面からの衝撃力を受け、大きな上方向の加速度が発生していることが分かる。

(2) 事故時の解析結果に関する考察(Case-1)

上下加速度については、1階、2階とも船尾付近に大きな上方向の加速度発生している。特に、1階では、隔壁等で船底にかかった衝撃荷重が客室床面に伝えられるため隔壁等の上部では特異的に大きな上方向の加速度が発生している。

前後加速度については、2階に比較して1階後部に大きな後方向の加速度が発生しているが、上方向の加速度に比較すると小さい値となっている。後部に大きな後方向の加速度が発生しているのは、局所的な弾性振動による加速度が重畳していることによる。

(3) 船速の違いに関する考察(Case-2, 3, 4 の比較)

上下加速度については、船速が速くなるほど、解放された後部フォイルの抵抗が増し、後部フォイルの斜め下への引き込み効果が大きくなること等で、落下速度が速くなり、着水時の衝撃荷重が大きくなる。

前後加速度については、着水の瞬間に大きく減速することで前後加速度が発生し、その大きさは船体と流体の前後方向相対速度に影響されるため、船速が速いほど後方向の加速度は大きくなる。

(4) 前部フォイル損傷に関する考察(Case-5 と Case-4 の比較)

上下加速度については、前部フォイルが損傷した場合は、船首部から着水する。本船の船首部の形状はV型となっており、水面との衝撃角が比較的大きいため、船体が受ける衝撃荷重は比較的小さい。よって、上方向の加速度は後部フォイルが損傷した場合に比較して小さくなる。

前後加速度についても、上下加速度と同様の理由で、前部フォイルが損傷した場合は着水時の前後衝撃も比較的小さいため、後方向の加速度は後部フォイル損傷に比較して小さくなる。

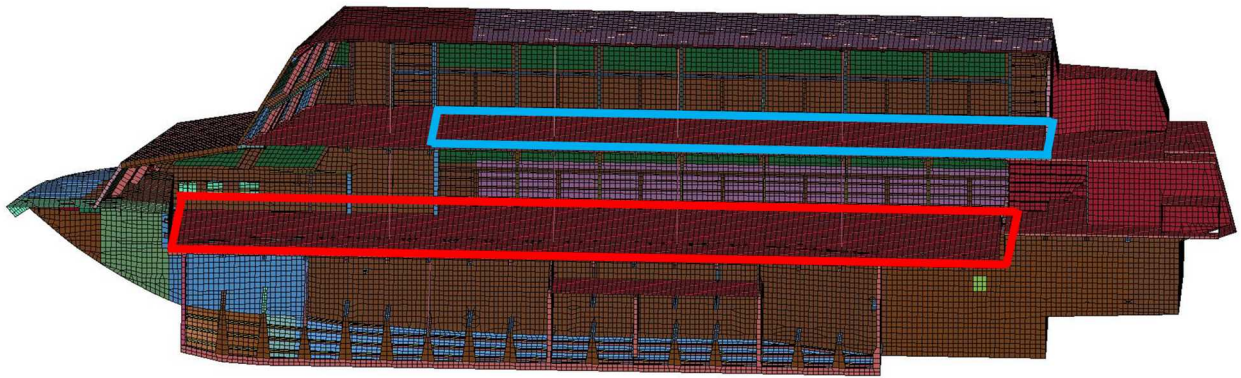


図 4.12 上下加速度分布の出力範囲(1階並びに2階客室)

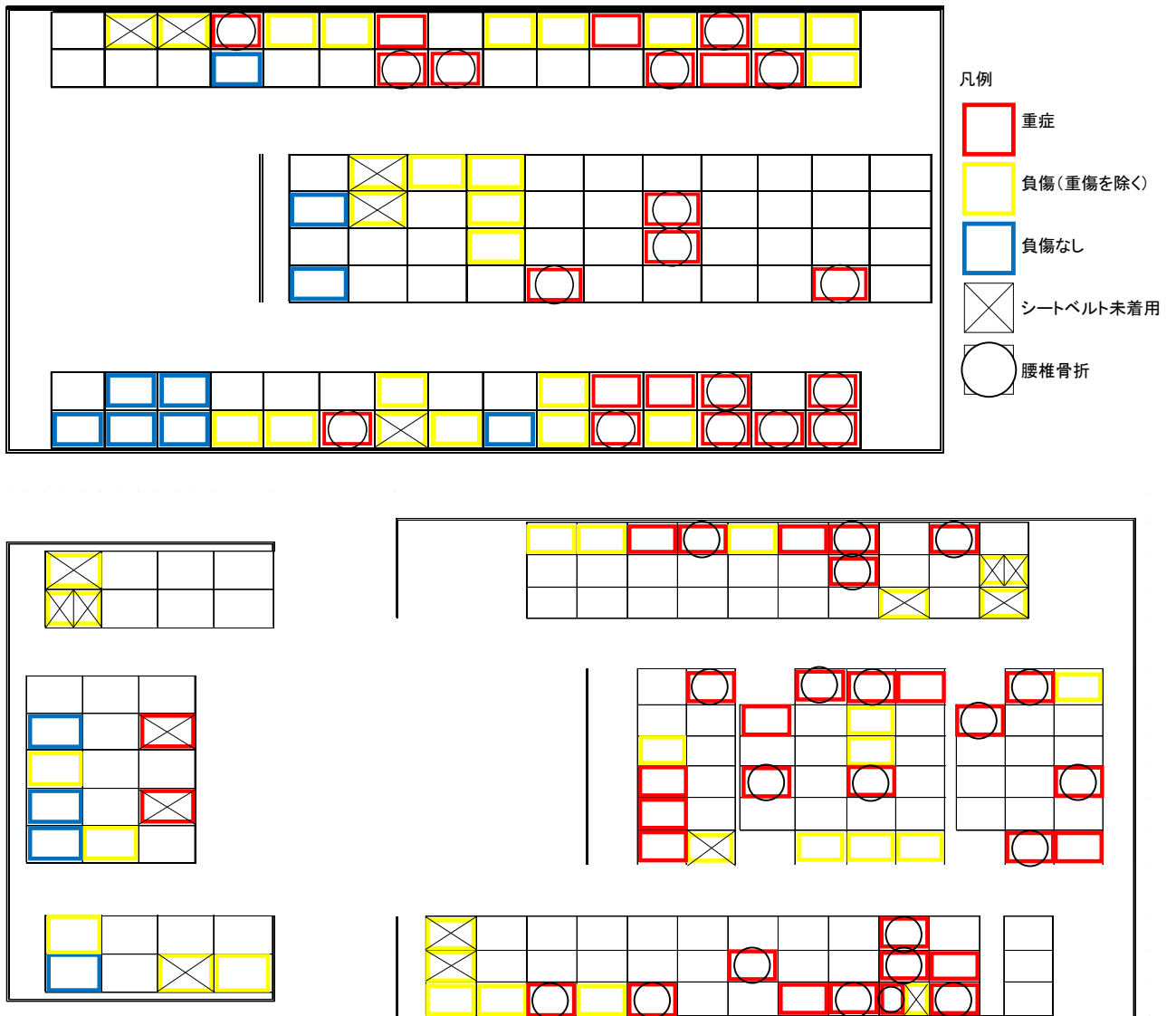
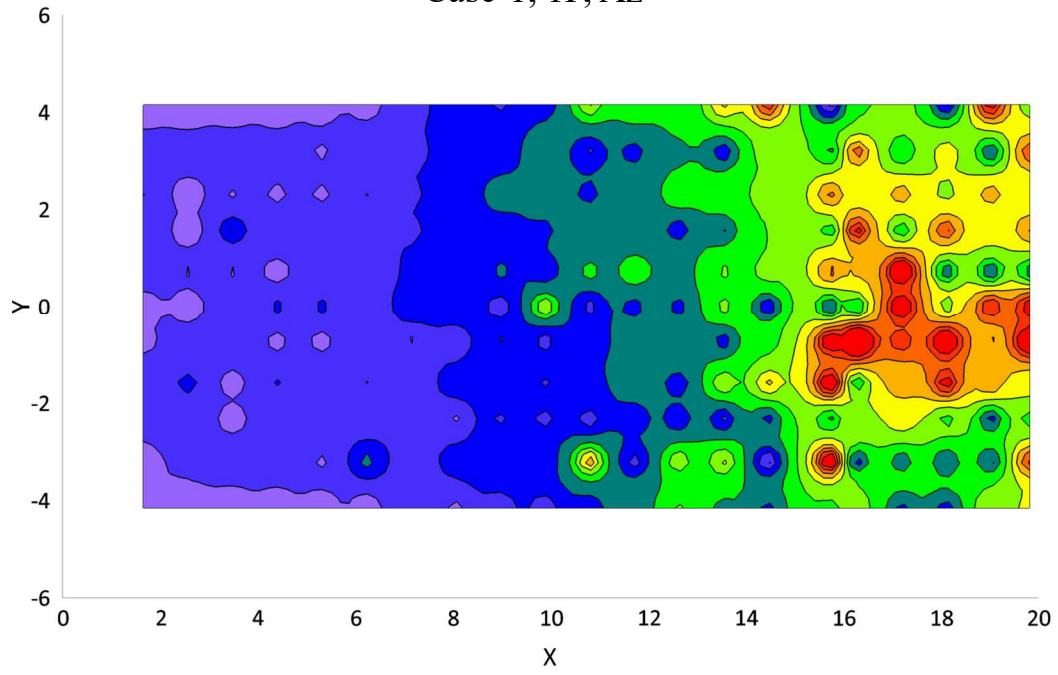


図 4.13 座席と負傷者の状況(上:2階、下:1階)

Case-1, 1F, Az



Case-1, 1F, Az

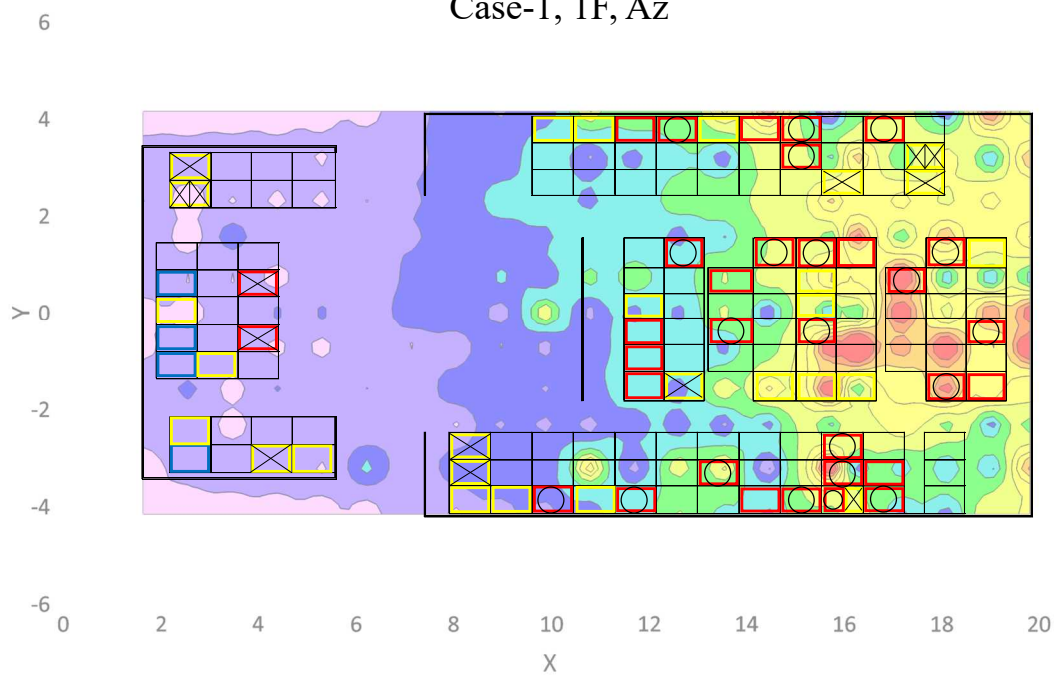
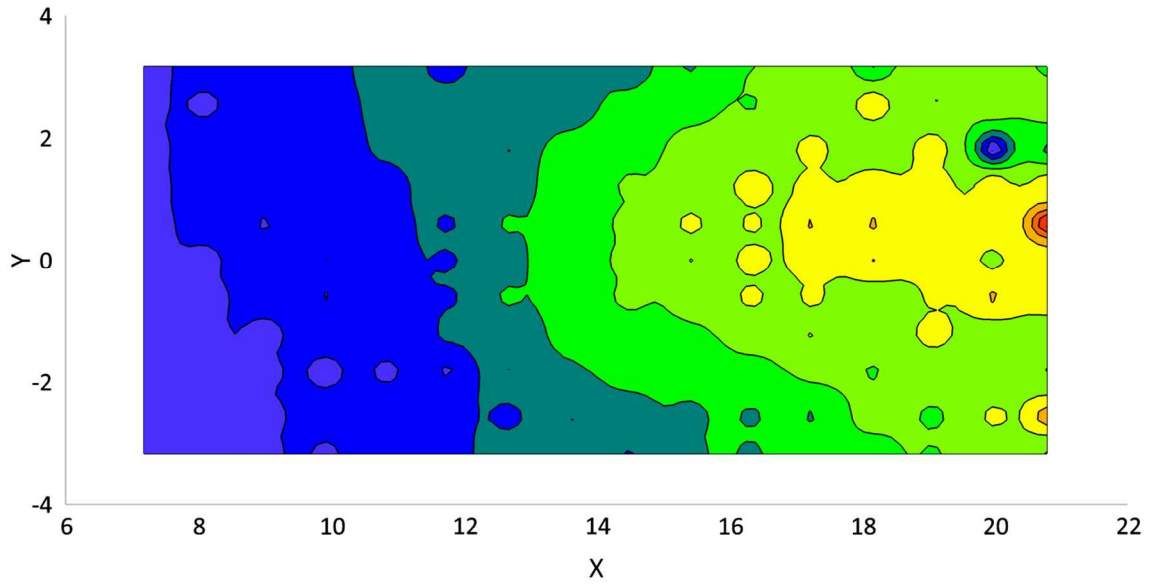


図 4.14 1階客室における最大上下加速度の分布 (Case-1、heel 角 6.5deg, 41.7kt、単位:G)

Case-1, 2F, Az



Case-1, 2F, Az

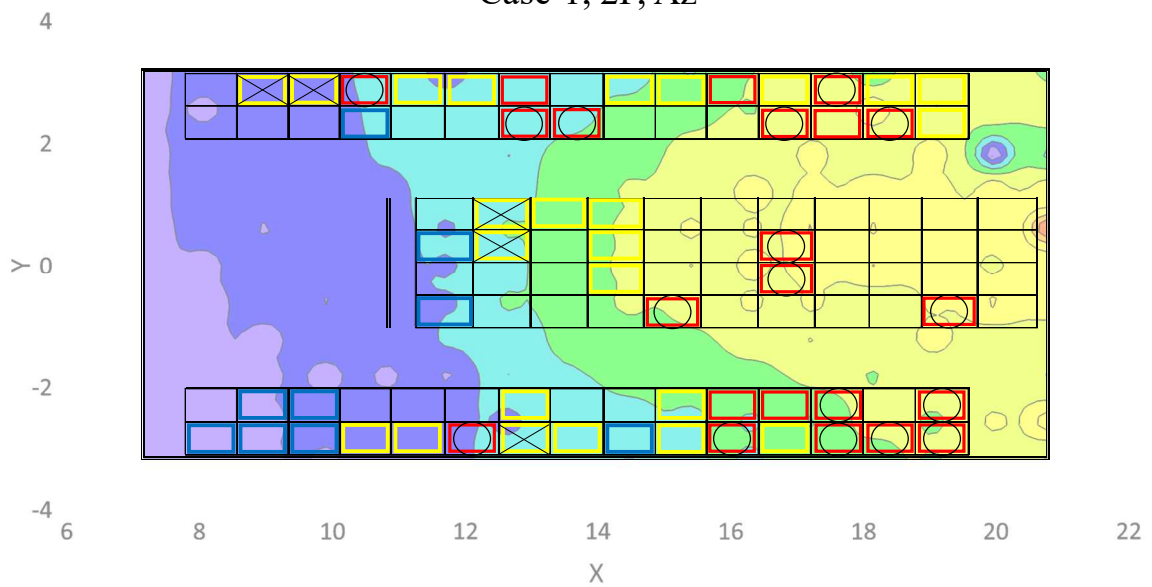


図 4.15 2階客室における最大上下加速度の分布(Case-1、heel 角 6.5deg, 41.7kt、単位:G)

Case-2, 2F, Az

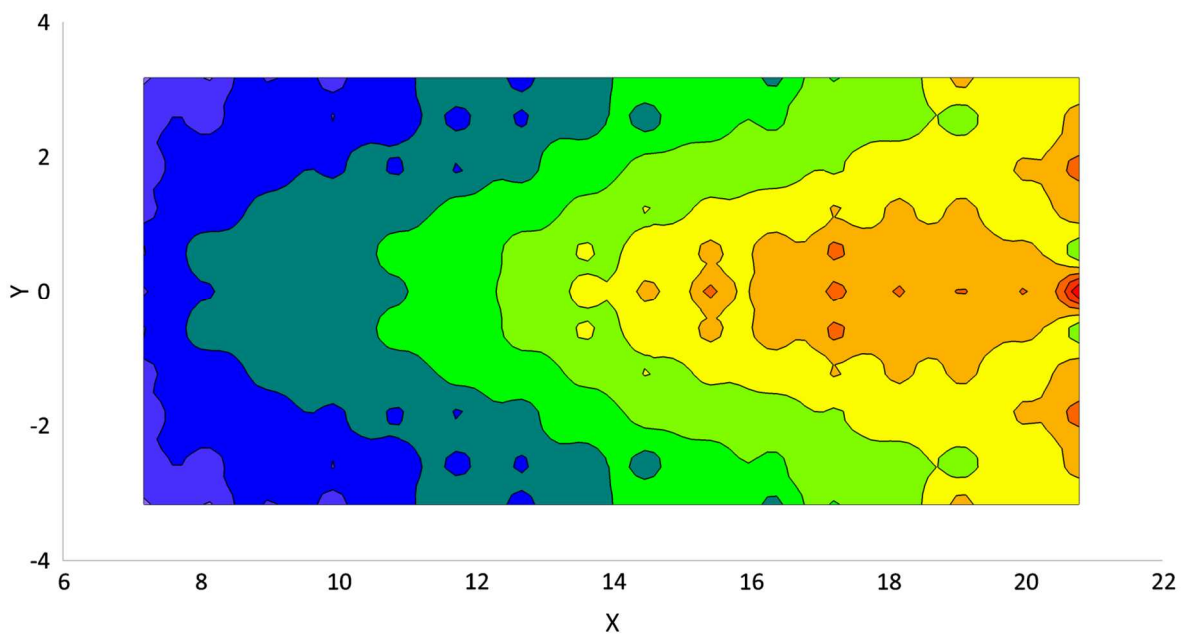


図 4.16 2階客室における最大上下加速度の分布 (Case-2、片舷 35kt、単位:G)

Case-2, 1F, Az

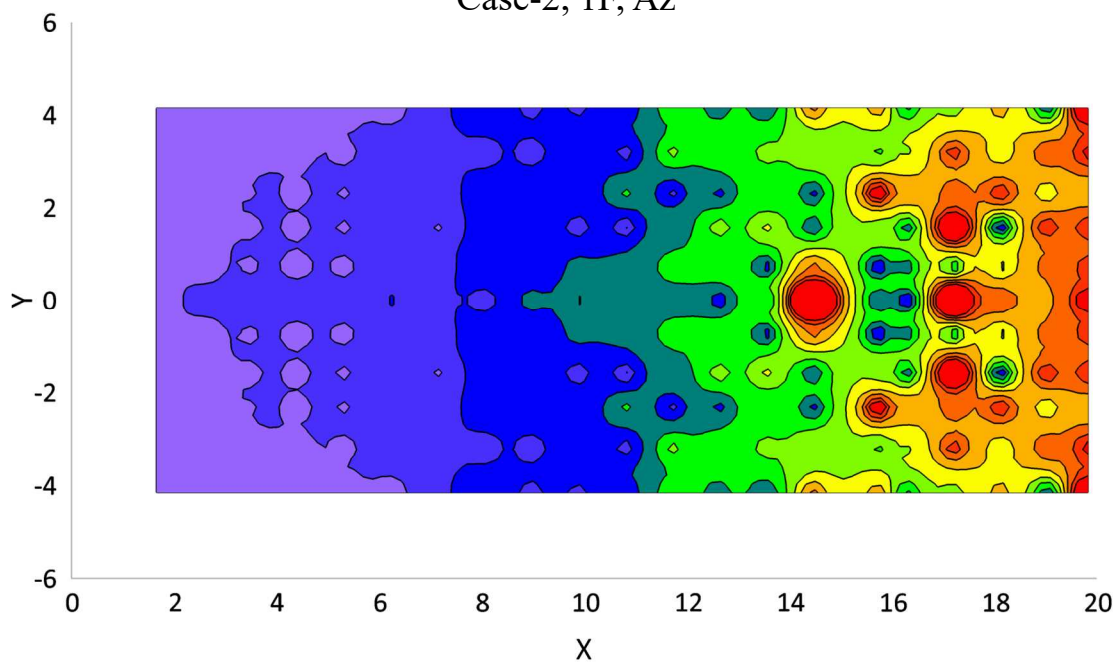


図 4.17 1階客室における最大上下加速度の分布 (Case-2、片舷 35kt、単位:G)

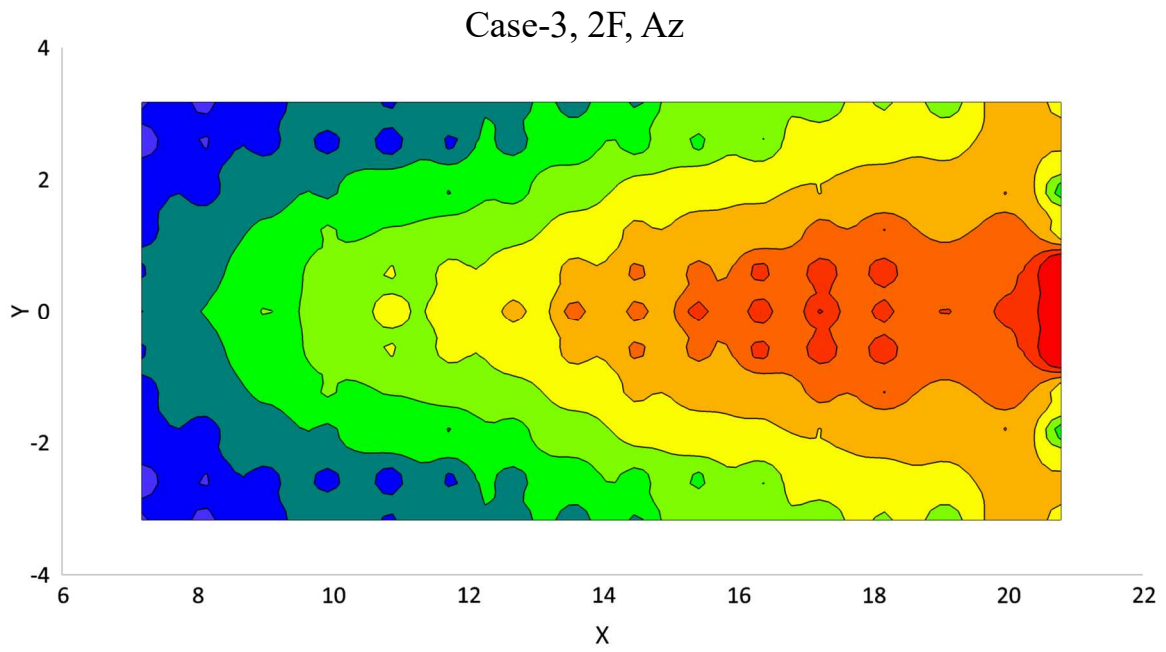


図 4.18 2階客室における最大上下加速度の分布(Case-3、片舷 41kt、単位:G)

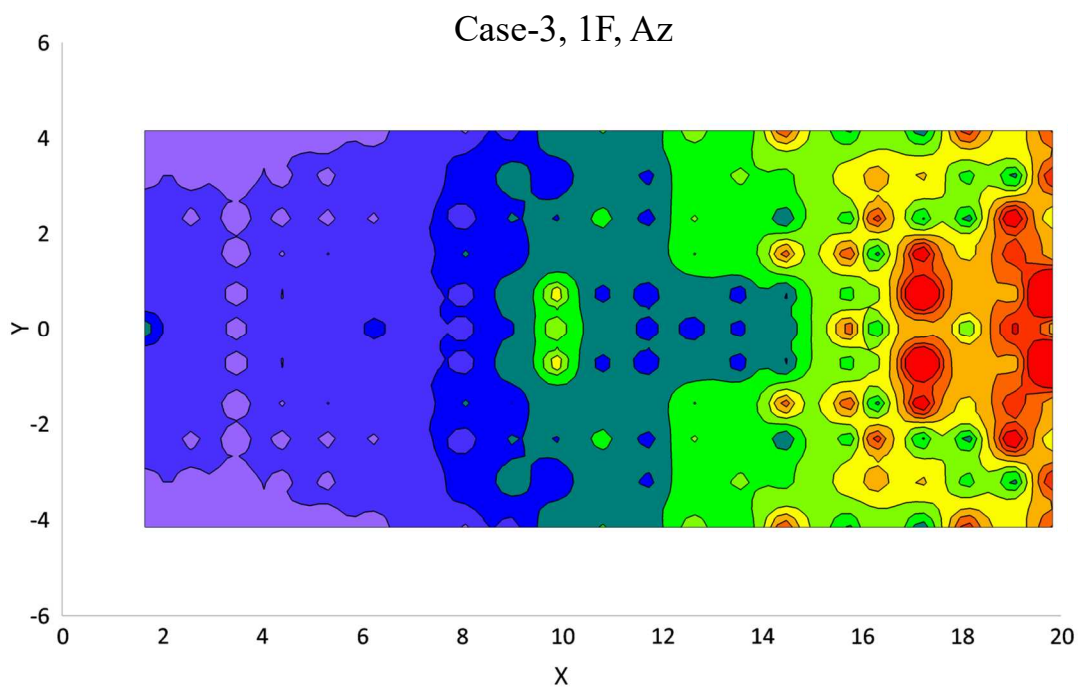


図 4.19 1階客室における最大上下加速度の分布(Case-3、片舷 41kt、単位:G)

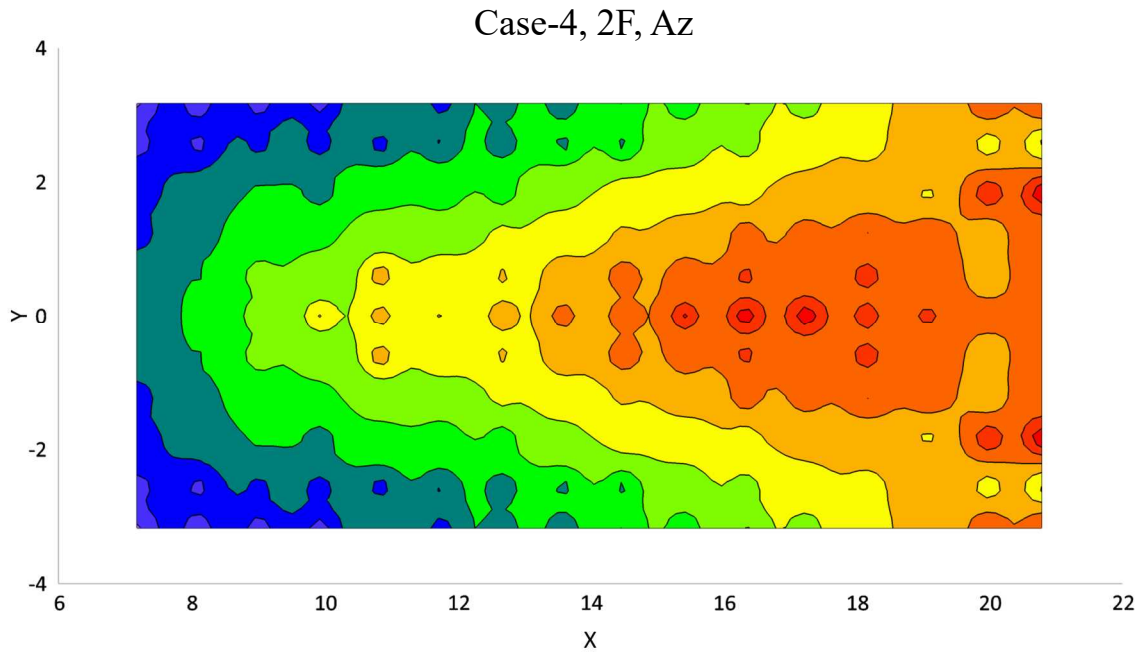


図 4.20 2階客室における最大上下加速度の分布 (Case-4、片舷 41.7kt、単位:G)

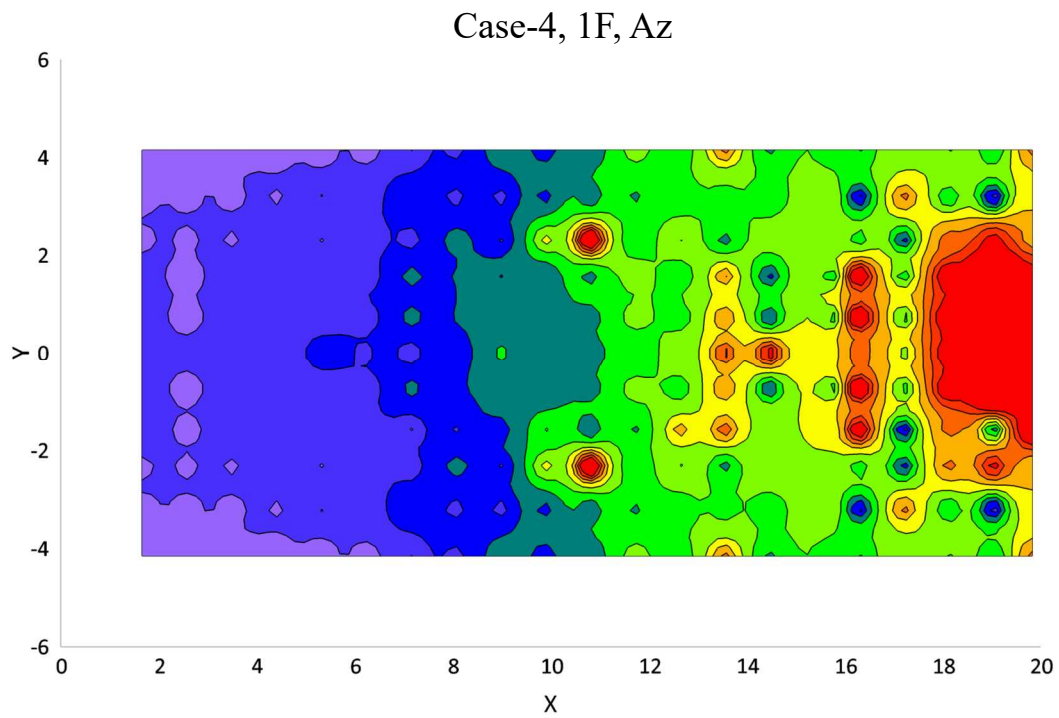


図 4.21 1階客室における最大上下加速度の分布 (Case-4、片舷 41.7kt、単位:G)

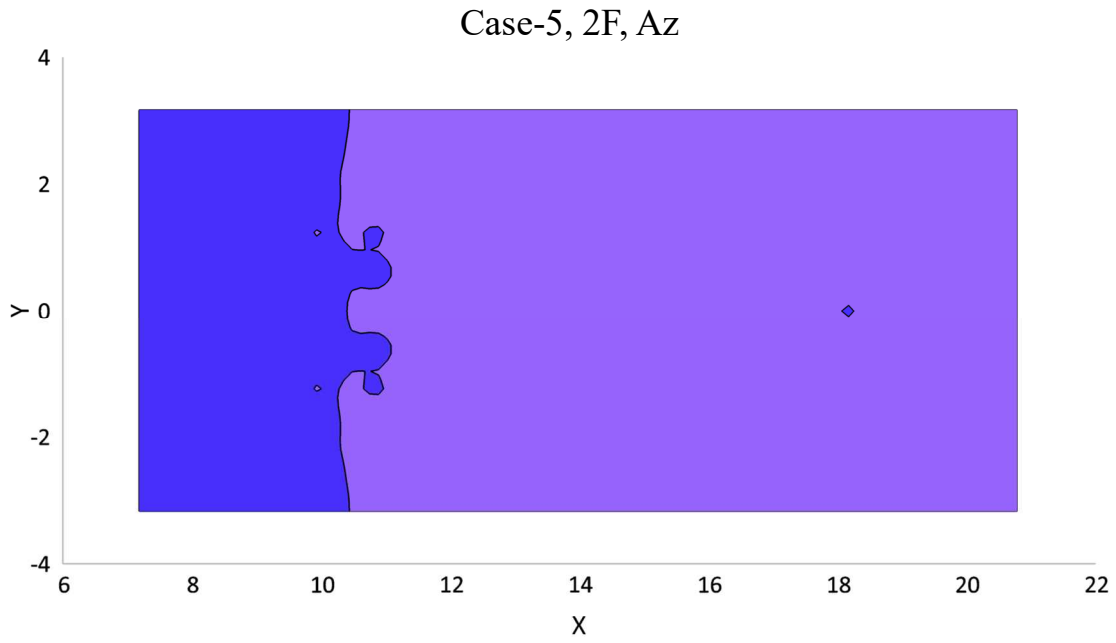


図 4.22 2階客室における最大上下加速度の分布 (Case-5、前部フォイル損傷, 41.7kt、単位:G)

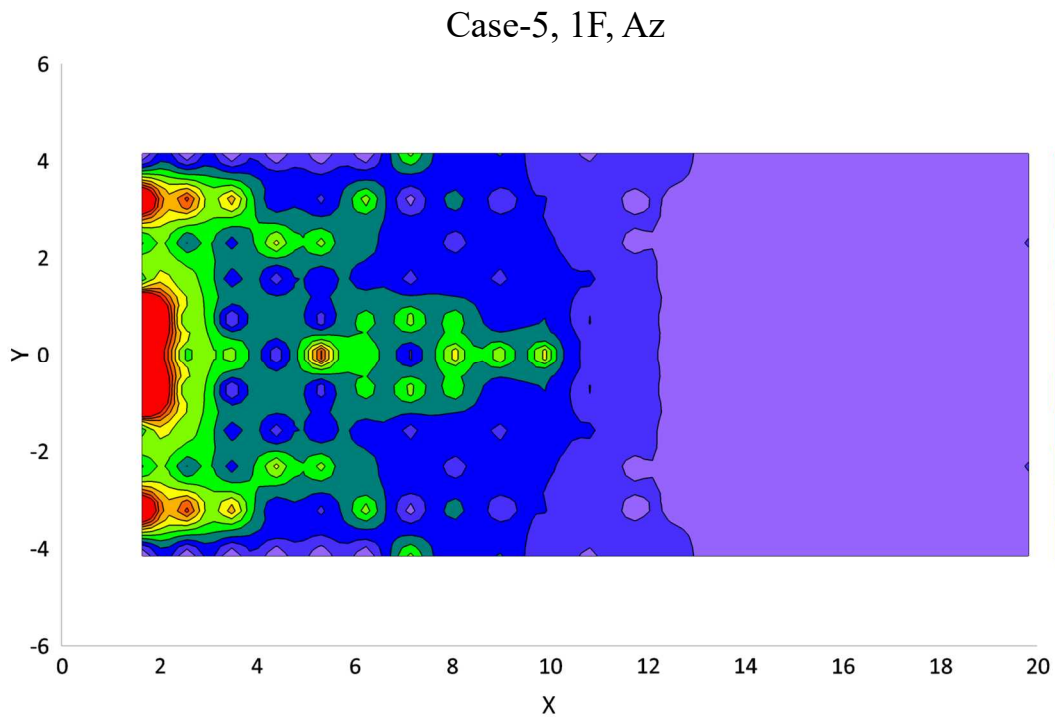
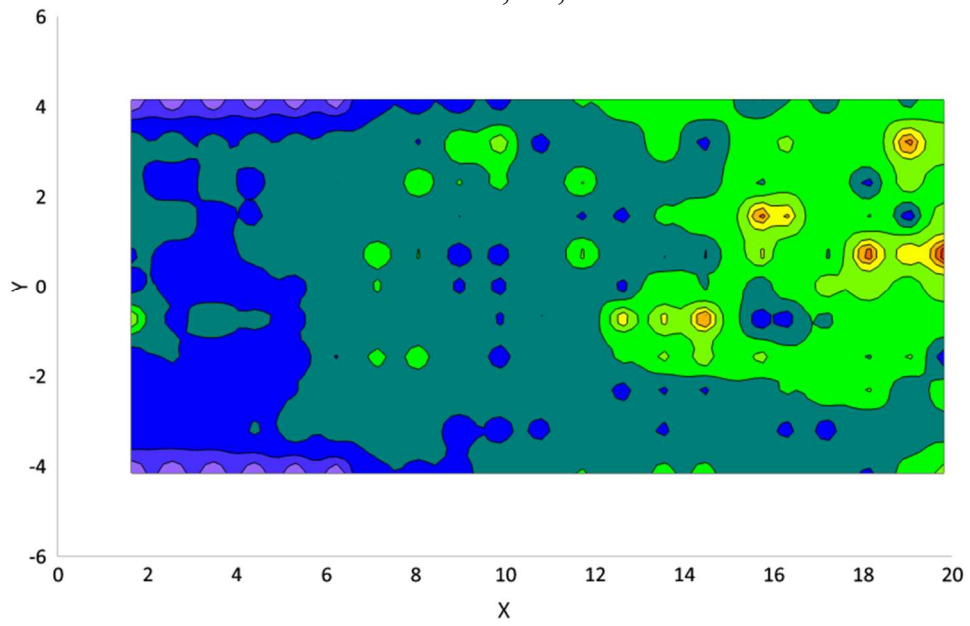


図 4.23 1階客室における最大上下加速度の分布 (Case-5、前部フォイル損傷, 41.7kt、単位:G)

Case-1, 1F, Ax



Case-1, 1F, Ax

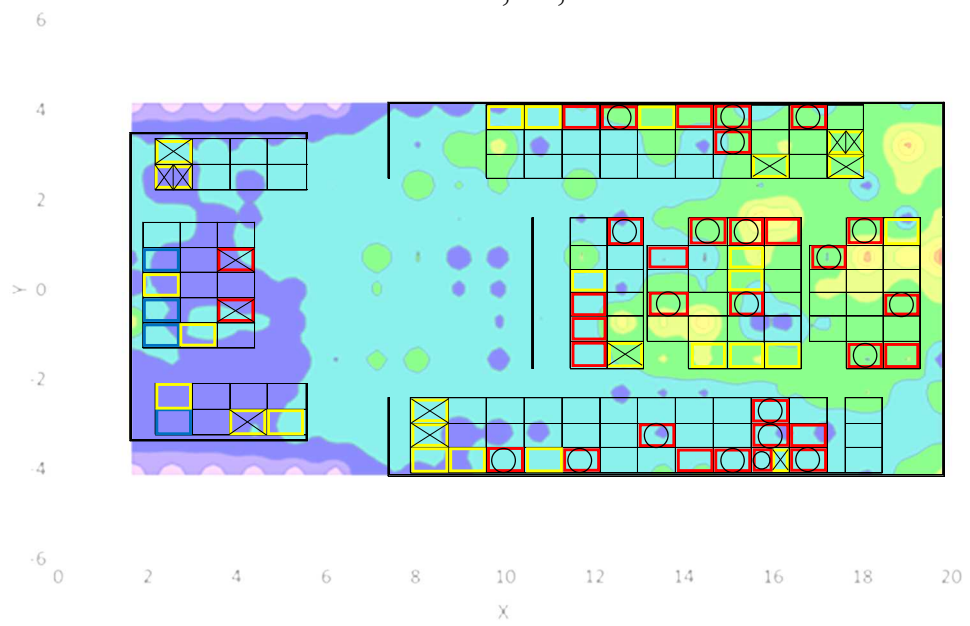
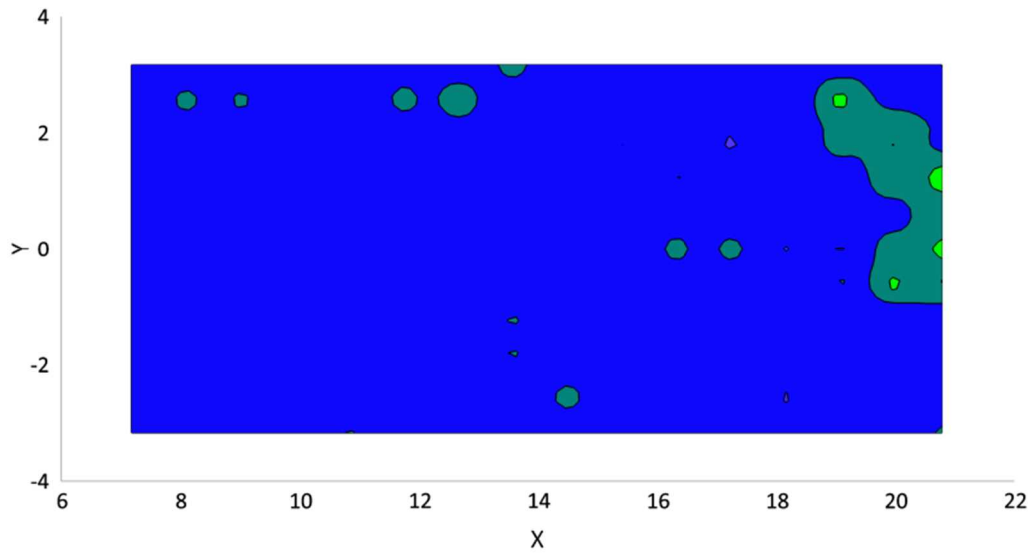


図 4.24 1階客室における最大前後加速度の分布(Case-1、heel 角 6.5deg、41.7kt、単位:G)

Case-1, 2F, Ax



Case-1, 2F, Ax

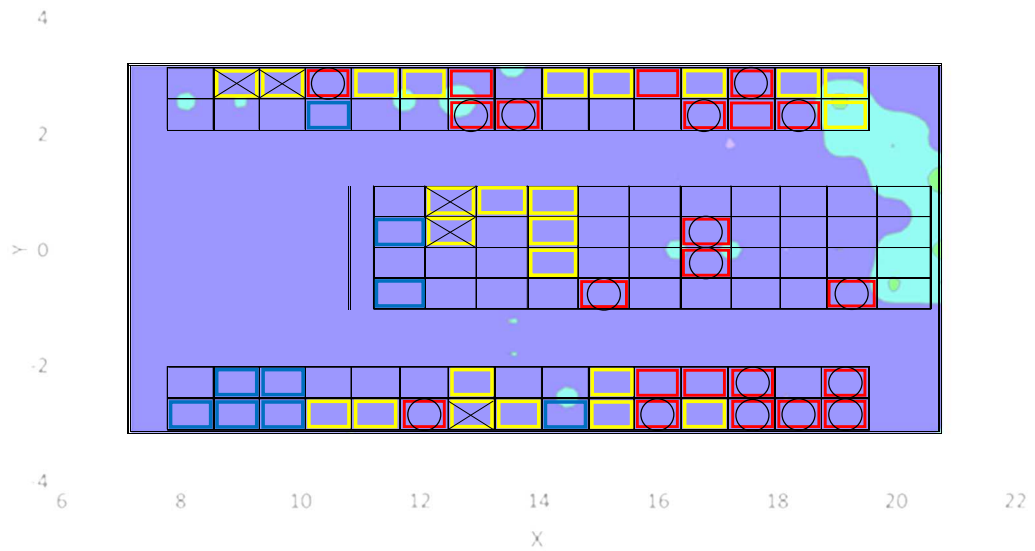


図 4.25 2階客室における最大前後加速度の分布 (Case-1、heel 角 6.5deg、41.7kt、単位:G)

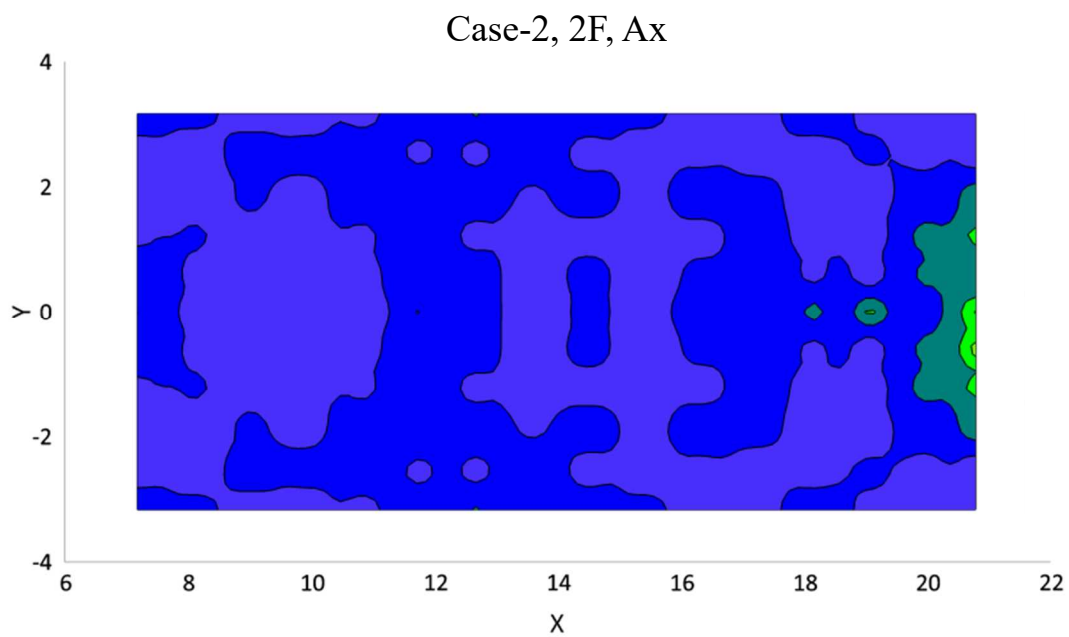


図 4.26 2階客室における最大前後加速度の分布 (Case-2、片舷、35kt、単位:G)

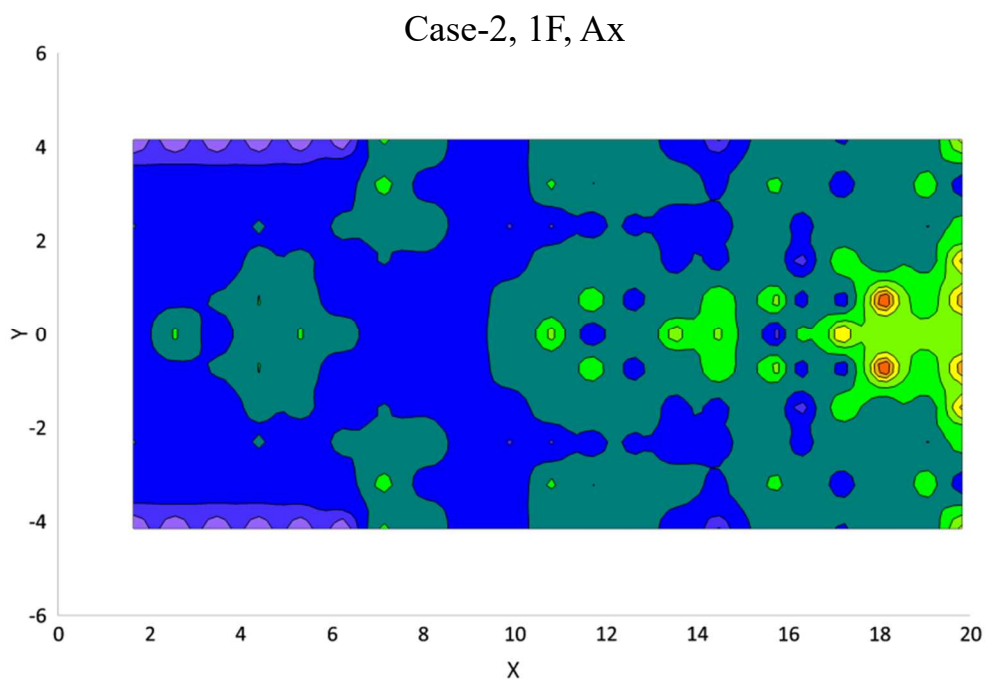


図 4.27 1階客室における最大前後加速度の分布 (Case-2、片舷、35kt、単位:G)

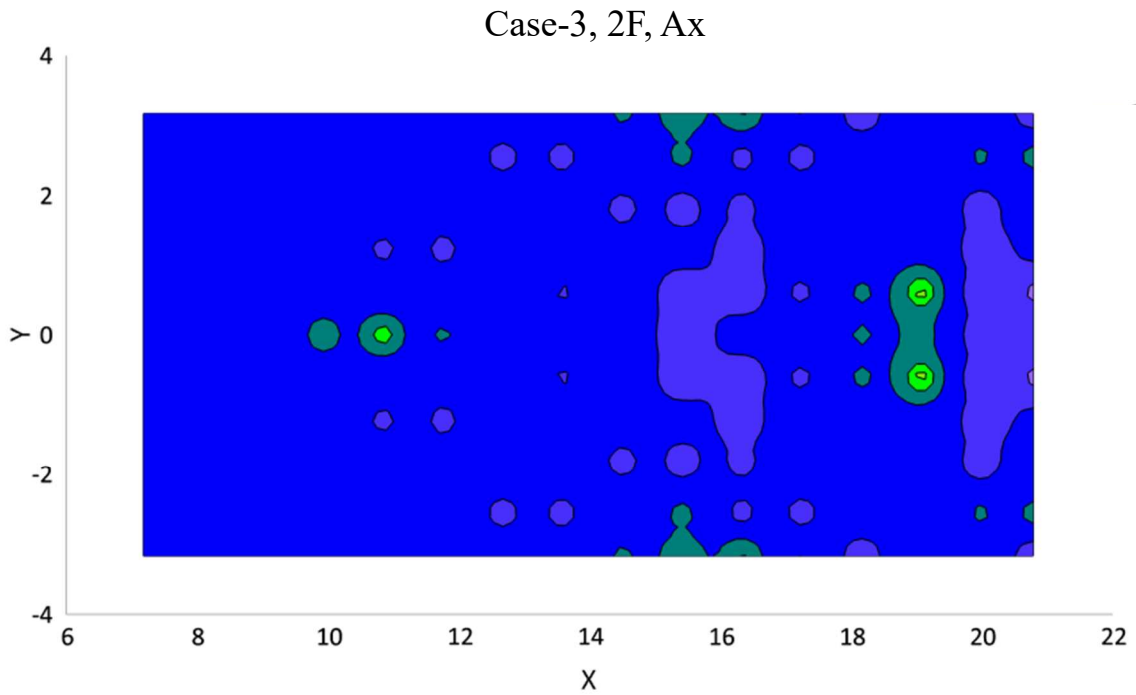


図 4.28 2階客室における最大前後加速度の分布 (Case-3、片舷, 41kt、単位:G)

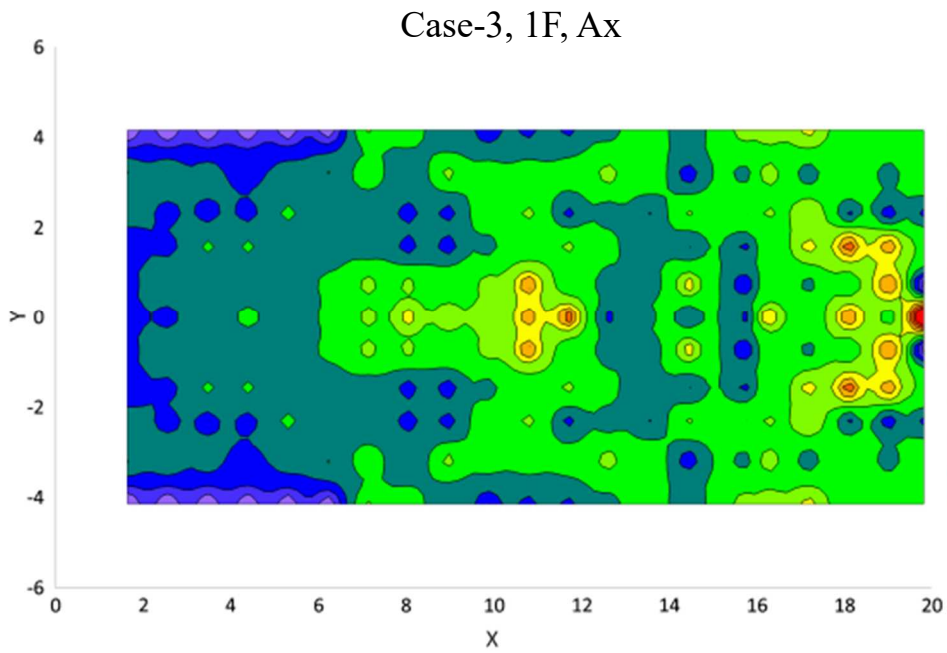


図 4.29 1階客室における最大前後加速度の分布 (Case-3、片舷, 41kt、単位:G)

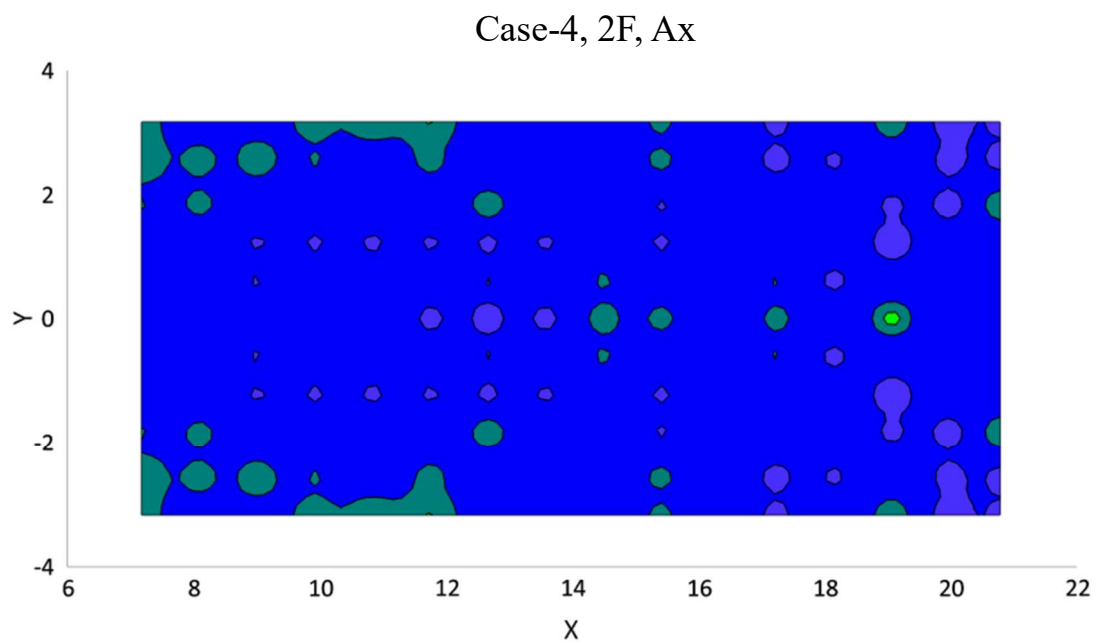


図 4.30 2階客室における最大前後加速度の分布 (Case-4、片舷, 41.7kt、単位:G)

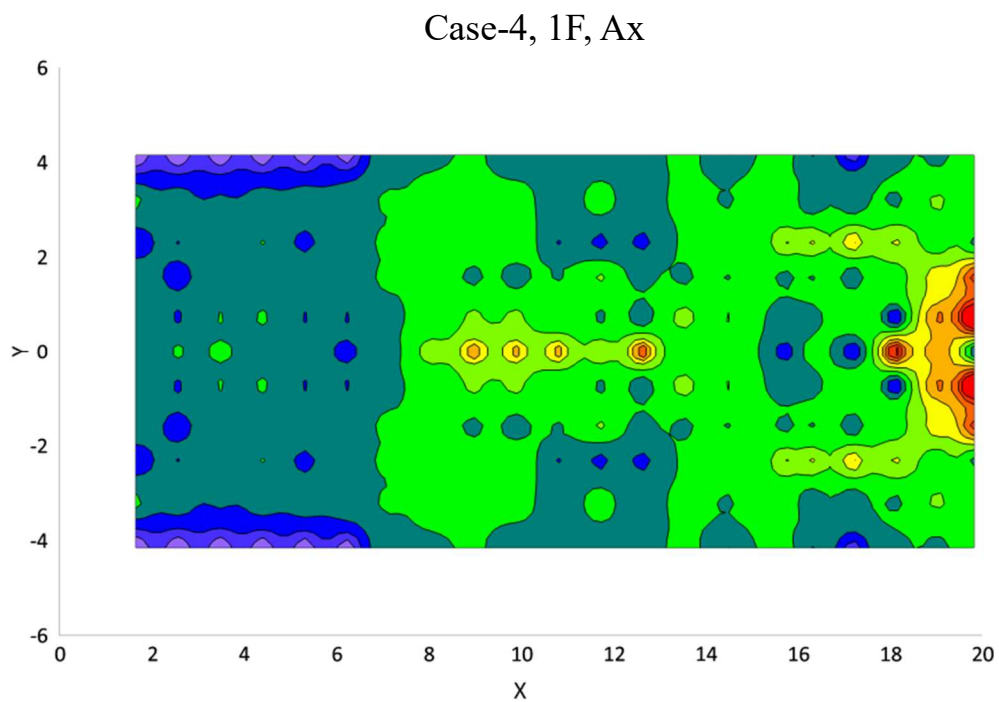


図 4.31 1階客室における最大前後加速度の分布 (Case-4、片舷, 41.7kt、単位:G)

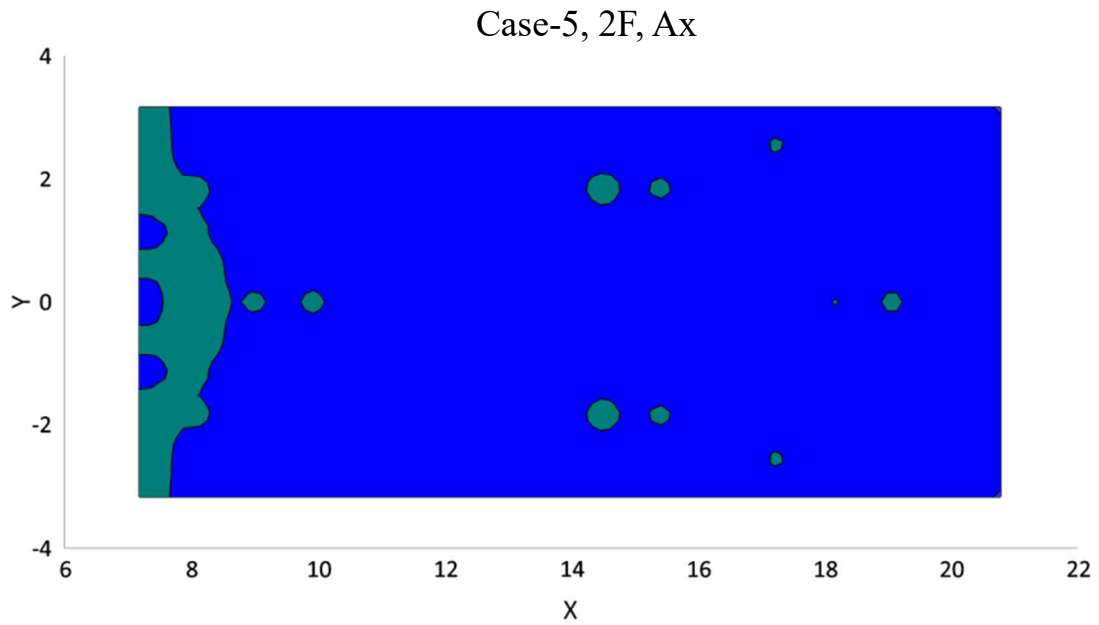


図 4.32 2階客室における最大前後加速度の分布 (Case-5、前部フォイル損傷, 41.7kt、単位:G)

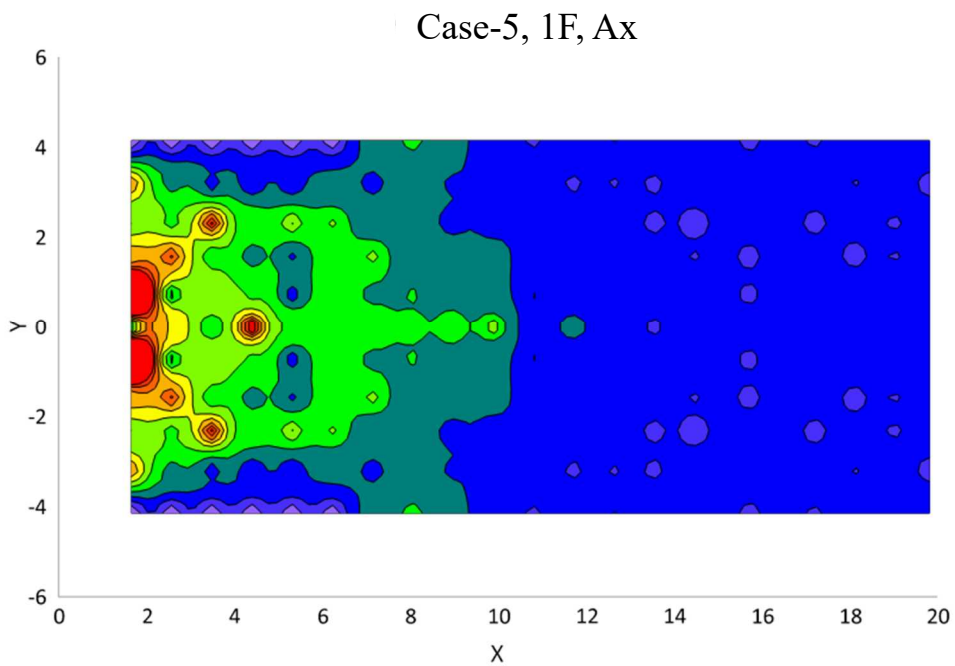


図 4.33 1階客室における最大前後加速度の分布 (Case-5、前部フォイル損傷, 41.7kt、単位:G)

5. まとめ

本調査では、最先端の流体・構造連成シミュレーション手法を用いて、事故時を含めた計5ケース(表 3.1)の条件における船体加速度(前後方向、上下方向)を推定し、客室1階及び2階の加速度の等値線図を作成した。

本解析により、各 5 ケースにおける客室内の加速度分布を推定することができた。その結果、以下のことが確認できた。

① 上下加速度については、1階、2階とも船尾付近に大きな上方向の加速度発生している。特に、1階では、隔壁等で船底にかかった衝撃荷重がその客室床面に伝えられるため隔壁等の上部では特異的に大きな上方向の加速度が発生している。

前後加速度については、2階に比較して1階後部に大きな後方向の加速度が発生しているが、上方向の加速度に比較すると小さい値となっている。後部に大きな後方向の加速度が発生しているのは、局所的な弾性振動による加速度が重畳していることによる。

② Case-2~Case-4 を比較することにより、定性的な全体傾向として、船速低下により加速度は減少することが確認できた。これは、本船が減速することにより、事故発生時における船体の落下速度が遅くなり、海面着水時の船体への荷重が減少することにより、上方向、後方向の加速度とも低くなるものと考えられる。

③ Case-5 の解析結果から、前部フォイルが損傷し、船首部が海面に着水した場合は、船体を受ける衝撃荷重は減少し、上方向、後方向ともに大きな加速度が発生していないことが確認された。

一方、Case-1 と Case-4 を比較すると、船体横傾斜により、客室の上方向の加速度が相対的に減少する計算結果が得られた。

今回の Case-1 は、事故時に近い解析条件での解析結果であるが、以下のような点で必ずしも事故状態と完全に一致した解析ではないことを加味して考察する必要があることを特記する。

- ① 解析条件の章に記載したとおり、船体の右旋回影響が考慮されていないこと。
- ② 水面衝撃については、わずかな衝撃角度差により、衝撃荷重が増大する可能性も考えられること。
- ③ 解析コードの限界及び難易度から波浪の影響、すなわち、波浪と船体形状との正確な衝撃角度は考慮されていないこと。

これらの影響が複合的に重畳することによって、波面と船底面の deadrise angle が限りなく0度に近い状態となる可能性も考えられ、そのような場合に Case-1 での衝撃圧力及び衝撃荷重が今次推定結果より高くなる可能性はあると考えられる。すなわち、実際の海上では、海面が平面ではなく波立っており、船底部外板が海面に着水した際に、船底部外板と海面になんらかの傾斜角が発生することから、傾斜した状態で海面に着水した場合と水平に着水した場合の実海上での船体加速度を解析結果から比較評価することはできない。

6. 参考文献

- [1] LSTC : “LS-DYNA R10.0 Keyword User’s Manual Volume 1, 2 and 3”. (2017)
- [2] Von Karman : “THE IMPACT ON SEAPLANE FLOATS DURING LANDING”, National Advisory Committee on Aeronautics , Washington, DC. (1929)