

船舶事故調査報告書

船種船名 コンテナ船 ONE APUS
船舶番号 143426 (IMO番号 9806079)
総トン数 146,694トン

事故種類 コンテナ積付台等損傷
発生日時 令和2年11月30日 23時22分(船内時間)ごろ
(1回目の大きな横揺れ)～
令和2年12月1日 00時59分(船内時間)ごろ
(2回目の大きな横揺れ)

発生場所 アメリカ合衆国ハワイ諸島西北西方沖
ハワイ諸島ニイハウ島 Lehua Island 灯台から真方位295°
1,585海里付近～1,565海里付近
(概位 北緯33°14.7' 東経172°31.8')～
(概位 北緯33°04.9' 東経172°51.5')

令和6年2月7日

運輸安全委員会(海事部会)議決

委員長 武田展雄
委員 伊藤裕康(部会長)
委員 上野道雄
委員 早田久子
委員 岡本満喜子

要 旨

<概要>

コンテナ船ONE APUS(本船)は、船長ほか23人が乗り組み、アメリカ合衆国ハワイ諸島ニイハウ島西北西方沖を東南東進中、令和2年11月30日23時22分ごろ～12月1日00時59分ごろ(船内時間)、横揺れにより荷崩れが生じ、コンテナ(1,841個)が海中に落下し、その後、目的地を変更して阪神港に緊急入港した。

本船は、コンテナ積付台の破孔等を生じ、残存していたコンテナのうち983個が損傷したが、死傷者はいなかった。

<原因>

本事故は、夜間、本船が、ハワイ諸島ニイハウ島西北西方沖を東南東進中、北西及び北北西方向から約5～6mのうねりを左舷船尾方に受ける状況下、船長が、横揺れを軽減しようとして針路約140°で航行したため、同うねりの方向が‘本船の正船尾から左舷30°～60°に波を受ける危険範囲’に近い状態となり、横傾斜角が20°以上生じ、1回目の荷崩れが発生したものと考えられる。

その後、本船は、船長が、横揺れが更に激しくなるのを感じて、針路を約120°に変針して航行を続けたため、うねりの方向が‘本船の正船尾から左舷30°～60°に波を受ける危険範囲’に入ることとなり、横傾斜角が25°以上生じ、2回目の荷崩れが発生したものと考えられる。

本船は、荷崩れが発生したことにより、積載していたコンテナが倒壊するなどしてコンテナ積付台等の甲板上構造物が損傷し、本事故に至ったものと考えられる。

船長が、針路を約140°とし、うねりの方向が‘本船の正船尾から左舷30°～60°に波を受ける危険範囲’に近い状態となったのは、夜間で海象状態を適切に把握できなかったことによるものと考えられる。

船長が、針路を約120°とし、うねりの方向が‘本船の正船尾から左舷30°～60°に波を受ける危険範囲’に入ったのは、本船の横傾斜角が約5°程度に収まり、このままの針路及び速力を保持して航行すれば、安全に航行できると判断したことによるものと考えられる。

本船は、横揺れが始まった11月30日21時40分ごろから針路を大きく変えた12月1日00時59分ごろまでの間、パラメトリック横揺れが発生しやすい状況で航行していたものと考えられる。

1 船舶事故調査の経過

1.1 船舶事故の概要

コンテナ船^{ワン アパス}ONE APUSは、船長ほか23人が乗り組み、アメリカ合衆国ハワイ諸島ニイハウ島西北西方沖を東南東進中、令和2年11月30日23時22分ごろ～12月1日00時59分ごろ（船内時間）、横揺れにより荷崩れが生じ、コンテナ（1,841個）が海中に落下し、その後、目的地を変更して阪神港に緊急入港した。ONE APUSは、コンテナ積付台の破孔等を生じ、残存していたコンテナのうち983個が損傷したが、死傷者はいなかった。

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2年12月7日、本事故の調査を担当する主管調査官（横浜事務所）ほか1人の地方事故調査官を指名した。

なお、後日、主管調査官を船舶事故調査官に交代した。

1.2.2 調査の実施時期

令和2年12月10日 現場調査

令和2年12月24日、令和3年2月9日 現場調査及び口述聴取

令和2年12月16日、23日、令和3年1月7日、28日、2月9日、8月13日、9月1日、12月8日、24日、令和4年1月31日、2月15日、4月11日、5月6日、6月14日、22日、令和5年5月9日、7月7日、28日、9月28 回答書受領

令和3年11月12日、25日、令和4年3月4日、10月27日、令和5年1月13日、26日、2月6日、17日、3月16日 口述聴取

1.2.3 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。

1.2.4 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、船体運動の解析調査を委託した。

2 事実情報

2.1 事故の経過

2.1.1 航海情報記録装置の情報記録による運航の経過

ONE APUS（以下「本船」という。）の航海情報記録装置*1（以下「VDR」という。）の記録によれば、令和2年11月30日23時00分ごろ～12月1日01時30分ごろ（船内時間、以下、特段の記述がある場合を除き同じ。）の間における本船の運航の経過は、表1のとおりであった。

なお、船内時間は、協定世界時より12時間進んでいる。また、船位は船橋上方に設置されたGPSアンテナの位置であり、対地針路及び船首方位は真方位（以下同じ。）、速力はノット（kn）（対地速力*2、以下同じ。）をそれぞれ示す。

表1 VDRの記録（抜粋）

時刻 (時:分:秒)	船位		対地針路 (°)	船首方位 (°)	対地速力 (kn)
	北緯 (° -' -")	東経 (° -' -")			
23:00:00	33-18-04.4	172-27-22.5	130.7	129	14.2
23:05:00	33-17-19.0	172-28-25.6	133.2	129	13.9
23:10:00	33-16-35.1	172-29-27.8	125.9	127	13.6
23:12:00	33-16-17.8	172-29-52.4	131.2	128	13.5
23:14:00	33-16-00.2	172-30-16.9	136.1	129	13.1
23:15:00	33-15-51.6	172-30-28.7	120.6	130	13.1
23:16:00	33-15-42.9	172-30-40.5	143.7	130	13.3
23:18:00	33-15-25.7	172-31-04.7	140.4	129	13.3
23:20:00	33-15-06.6	172-31-26.5	143.9	142	13.5
23:21:00	33-14-56.2	172-31-36.7	138.9	139	13.9
23:22:00	33-14-45.3	172-31-46.0	136.9	141	13.3
23:23:00	33-14-34.9	172-31-56.5	148.9	136	13.9
23:24:00	33-14-25.3	172-32-07.5	126.5	127	13.3
23:25:00	33-14-17.6	172-32-20.0	123.3	118	13.0
23:27:00	33-14-04.1	172-32-46.7	121.0	121	13.2

*1 「航海情報記録装置（VDR：Voyage Data Recorder）」とは、船位、針路、速力、レーダー情報などの航海に関するデータのほか、VHF無線電話の交信や船橋内の音声等を記録することができる装置をいう。

*2 「対地速力」とは、船上で計測される陸地に対する船舶の速度をいい、水面に対する船舶の速力は「対水速力」という。

23:29:00	33-13-50.4	172-33-14.1	117.2	120	13.1
23:30:00	33-13-43.4	172-33-27.5	124.4	120	13.7
23:31:00	33-13-36.5	172-33-41.2	119.9	119	14.1
23:35:00	33-13-10.1	172-34-36.0	121.8	122	13.4
23:40:00	33-12-35.5	172-35-45.0	121.8	119	13.4
23:50:00	33-11-27.1	172-38-02.5	118.0	118	13.6
00:00:00	33-10-25.3	172-40-07.6	124.3	115	11.3
00:10:00	33-09-30.9	172-42-04.5	122.5	121	11.8
00:20:00	33-08-33.3	172-44-01.1	120.1	118	11.4
00:30:00	33-07-38.8	172-45-57.5	120.6	115	11.6
00:40:20	33-06-40.6	172-47-56.1	120.5	118	11.5
00:45:00	33-06-14.8	172-48-51.0	123.3	120	11.3
00:50:00	33-05-44.9	172-49-49.0	119.2	118	11.3
00:55:00	33-05-15.7	172-50-46.7	119.7	120	11.3
00:56:00	33-05-09.8	172-50-58.3	123.9	121	11.3
00:57:00	33-05-03.9	172-51-09.7	116.9	119	11.7
00:58:00	33-04-57.7	172-51-21.6	126.7	116	12.4
00:58:30	33-04-55.3	172-51-27.7	136.0	116	12.1
00:59:00	33-04-52.6	172-51-33.7	146.7	114	13.5
00:59:30	33-04-50.1	172-51-39.9	098.4	115	11.5
01:00:00	33-04-47.2	172-51-45.6	128.1	118	11.4
01:01:00	33-04-41.5	172-51-56.9	122.4	129	10.9
01:02:00	33-04-34.0	172-52-06.7	127.3	142	11.5
01:03:00	33-04-24.6	172-52-14.7	141.1	155	11.7
01:04:00	33-04-14.2	172-52-19.8	159.1	167	11.4
01:05:00	33-04-02.8	172-52-22.5	172.8	179	11.6
01:10:00	33-03-00.0	172-52-21.7	179.7	183	13.4
01:20:00	33-00-39.8	172-52-22.1	180.7	185	14.6

2.1.2 航海情報記録装置の情報記録

(1) 船橋内の音声等

本船のVDRの情報記録によれば、11月30日22時46分ごろ～12月1日01時04分ごろの間における本船の船橋内及び船橋ウイングに設置されたマイクにより記録された主な音声等の情報は、表2のとおりであった。

また、横揺れ（ローリング）*3により船橋内の設置物等が移動する際の衝撃音が、断続的に計3回記録されており、それぞれ23時14分47秒ごろ～15分25秒ごろ（表2①）、23時21分48秒ごろ～22分20秒ごろ（表2②）、12月1日00時58分12秒ごろ～59分15秒ごろであった（表2③）。

表2 音声等の情報（抜粋）

時刻 (時:分:秒)	主な音声等	(仮訳)
22:46:45	本船の船長（以下「船長」という）: 129.	(現針路140°から129°に戻す)
23:14:47	<ガー（椅子か何かが動く音）>①	
23:15:01	<ギーガシャン、ガシャン、ガシャン（椅子か何かが動いてぶつかる音）>①	
23:15:10	<ドーン（コンテナか何かが倒れるような音）>	
23:15:12	三等航海士（以下「航海士C」という）: Oh.	(オー)
23:15:16	甲板手（以下「甲板手A」という）: Hand steering moment sir.	(手動操舵に就きました)
23:15:20～25	<ガシャン、ガシャン、ガシャン（何かが動いてぶつかる音）>①	
23:16:16	甲板手A: Hand steering sir. 130.	(手動操舵。針路130°)
23:17:15	船長: 140.、甲板手A: 140.	(針路140°)、(針路140°)
23:19:25	甲板手A: Steady 140 sir. 船長: OK.	(140°定針しました)、(了解)
23:21:48	<ギー（椅子か何かが動く音）>②	
23:21:55	船長: 120. 甲板手A: 120.	(針路120°)、(針路120°)
23:22:05～20	<ギー（何かが動く音）>②	
23:23:05	甲板手A: Heading 120 sir.	(針路120°です)
23:39:40	甲板手（以下「甲板手B」という。）: One lower container. Right was high and seaside was very high.	(コンテナ1列目が低いです、海側の（船橋から船尾方を見て右）左舷側は高かったはずが)
23:39:55	一等航海士（以下「航海士A」という。）: You see.	(見えたのか)
23:40:00	甲板手B: That is 42.	(42区画です)
23:47:59	航海士C: How much speed sir.	(速力はいくらにしますか)
23:48:03	船長: Speed 40,42.	(40～42回転にしてください)
00:35:26	二等航海士（以下「航海士B」という。）: MORNING MIDAS*. This is ONE APUS. How do you read me? Over.	(MORNING MIDAS*。こちらは ONE APUS、聞こえますか。どうぞ) *付近を航行していた貨物船
00:35:40	MORNING MIDAS: Yes. This is MORNING MIDAS. 航海士B: Channel 13.	(はい。こちらは MORNING MIDAS) (チャンネル13)

*3 「横揺れ（ローリング）」とは、船体の重心を通る水平な船首尾線方向軸回りの回転運動をいう（船体の各軸回りの回転運動は、他に船体の重心を通る横軸周りの回転運動を「縦揺れ（ピッチング）」、上下の軸回りの回転運動を「船首揺れ（ヨーイング）」という。）(2.5.3表6参照)

00:36:00	航海士B : We have safety navigation information. We have lost some containers at sea around 1 hour ago. Our coastal course 129 degree. Please keep sharp look out.	(安全航行情報です、1時間前にコンテナが海中に転落しました。沿岸航行中の針路129°です。嚴重な見張りを継続してください)
00:36:20	MORNING MIDAS : OK. Understood. Can you give me approximate position?	(了解。概位を教えてください)
00:36:36	航海士B : Approximate position latitude 33°13.8'N longitude 172°32.9'E.)	(概位は、北緯33度13.8分、東経172度32.9分)
00:36:48	MORNING MIDAS : OK. Understood. Thank you very much for information.	(了解、情報提供、感謝する)
00:36:52	航海士B : Thank you very much. Back to channel 16.	(ありがとう、チャンネル16に戻します)
00:58:12	<ガタガタガタ (何かが当たる音) >③	
00:58:15	船長 : 150. 甲板手B : 150.	(針路150°)、(針路150°)
00:58:30~ 00:59:15	<ガタガタガタ (何かが動いて当たる音) >③ 乗組員 : Oh、Ah	(大きな崩れる音)
00:59:17	船長 : 180. 甲板手B : 180.	(針路180°)、(針路180°)
01:01:18	航海士B : Captain, I will make sounds alarm. 船長 : Yes.	(船長、他船に警報通信します)、(了解)
01:02:07	航海士B : Pan-Pan. Pan-Pan. Pan-Pan. This is motor vessel One Apus container ship. Attention ship all ships in the vicinity. 13:02UTC. At approximate position latitude 33°04.5'N longitude 172°52.1'E. We have lost more containers at sea. Repeat. We have lost more containers at sea. Please keep sharp look out.	(パン-パン。パン-パン。パン-パン、こちらは、コンテナ船 ONE APUS、付近の全船舶は注意してください。世界時13時02分ごろ、概位は、北緯33度04.5分、東経172度52.1分。本船は多数のコンテナが海中に落下しました。繰り返します。本船は多数のコンテナが海中に落下しました。嚴重な見張りを継続してください)
01:04:46	船長 : Go to cargo control room and adjust ballast. (航海士Aへの指示)	(荷役管理室でバラスト調整をしないで)

(2) 主機の操作に関する記録

本船のVDRの記録によれば、11月30日22時00分ごろ～12月1日01時40分ごろの間における本船の主機遠隔操縦装置の操作の状況は、表3のとおりであった。なお、主機の回転数毎分はrpm(以下同じ。)とする。

表3 主機遠隔操縦装置の操作状況

時刻	主機遠隔操縦装置の操作
11月30日 22時00分ごろ～23時47分ごろ	航海全速力前進(50rpm)
11月30日 23時47分ごろ～ 12月1日 01時10分ごろ	全速力前進(40～49rpm)
01時10分ごろ～01時40分ごろ	航海全速力前進(50～55rpm)

2.1.3 乗組員の口述等による事故の経過

船長及び航海士Aの口述並びに航海士B及び航海士Cの回答書によれば、次のとおりであった。

(1) ^{イェンティエン}塩田港（11月17日）～事故前日（11月29日）の状況

本船は、船長（インド共和国籍）及び航海士A（ルーマニア籍）ほか22人（ルーマニア籍2人、ミャンマー連邦共和国籍2人、ベトナム社会主義共和国籍1人、フィリピン共和国籍17人）が乗り組み、11月17日に中華人民共和国塩田港に入港し、コンテナの積載を開始した。

船長は、18日、ウェザー・ルーティング^{*4}サービス（WRS）提供会社（以下「W社」という。）から、次の目的地である‘アメリカ合衆国ロングビーチ港へ向かう航海計画’（塩田港を出港後、日本列島南沿岸沖を經由して千葉県南房総市野島埼沖から大圏航路^{*5}でロングビーチ港に向かう計画経路）を電子メールで受け取った。

船長は、W社に返信したのち、19日に修正された航海計画（以下、「本件航海計画」という。）をW社から受け取った。

本件航海計画の情報によると、11月26日12時00分（協定世界時）ごろに北太平洋の計画経路上で、‘アリューシャン列島の南方に高気圧及び低気圧で挟まれる波高が約9m以上となる海域’（以下「本件高波海域」という。）が発生することが予測されるが、本船は、30日に本件高波海域を通過する計画とされていた。

船長は、本件高波海域を懸念したものの、本船が本件高波海域付近を通過する頃には、波が5m程度になるだろうと予測し、本件航海計画を採用することとした。（図1参照）

*4 「ウェザー・ルーティング」とは、航海中に遭遇する気象・海象を予測し、船舶の状態や性能、到着時間などを考慮した上で、安全性、燃料消費量及び最短航海時間などの項目を評価基準により評価して、最適な航路を設定することをいう。

*5 地球上の2地点間を結ぶ最短距離は、その2地点と地球中心を含む断面と地球表面とが交わる線になる。これを大圏といい、それに沿った交通路を「大圏航路」という。

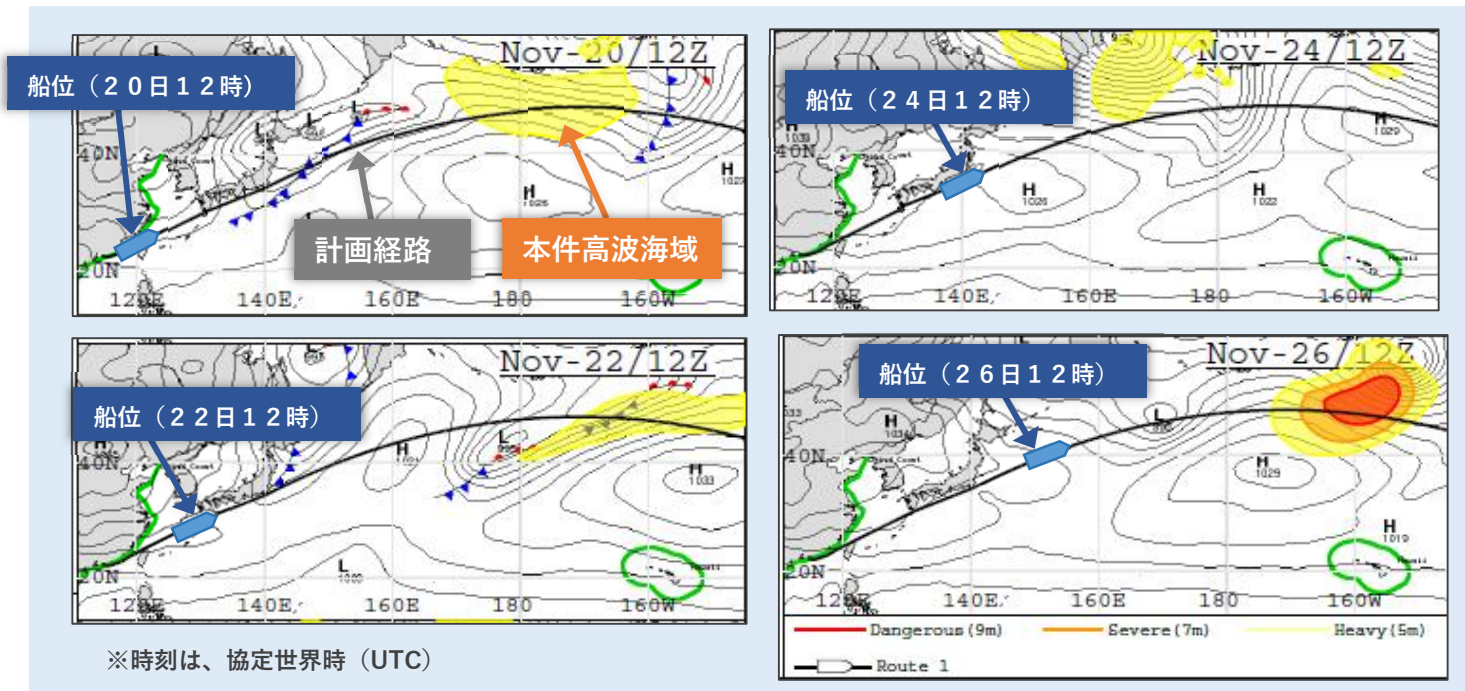


図1 本件航海計画（11月19日受信）

本船は、コンテナ7,016個（13,175TEU*6）を積載し、11月19日17時54分ごろ（中国標準時）ロングビーチ港に向けて塩田港を出港した。

船長は、25日、日本列島南沿岸沖を航行中、天気図により気象情報を把握し、現在の本件航海計画では本件高波海域に接近して危険であることをW社に通知した上で、本件航海計画を変更することを要望し、11月26日06時30分ごろ、W社から本件航海計画（変更1）（以下「変更1計画」という。）を電子メールで受け取った。（図2参照）

*6 「TEU:Twenty feet Equivalent Unit」とは、20フィートコンテナ1個を単位としたコンテナ数量をいう。

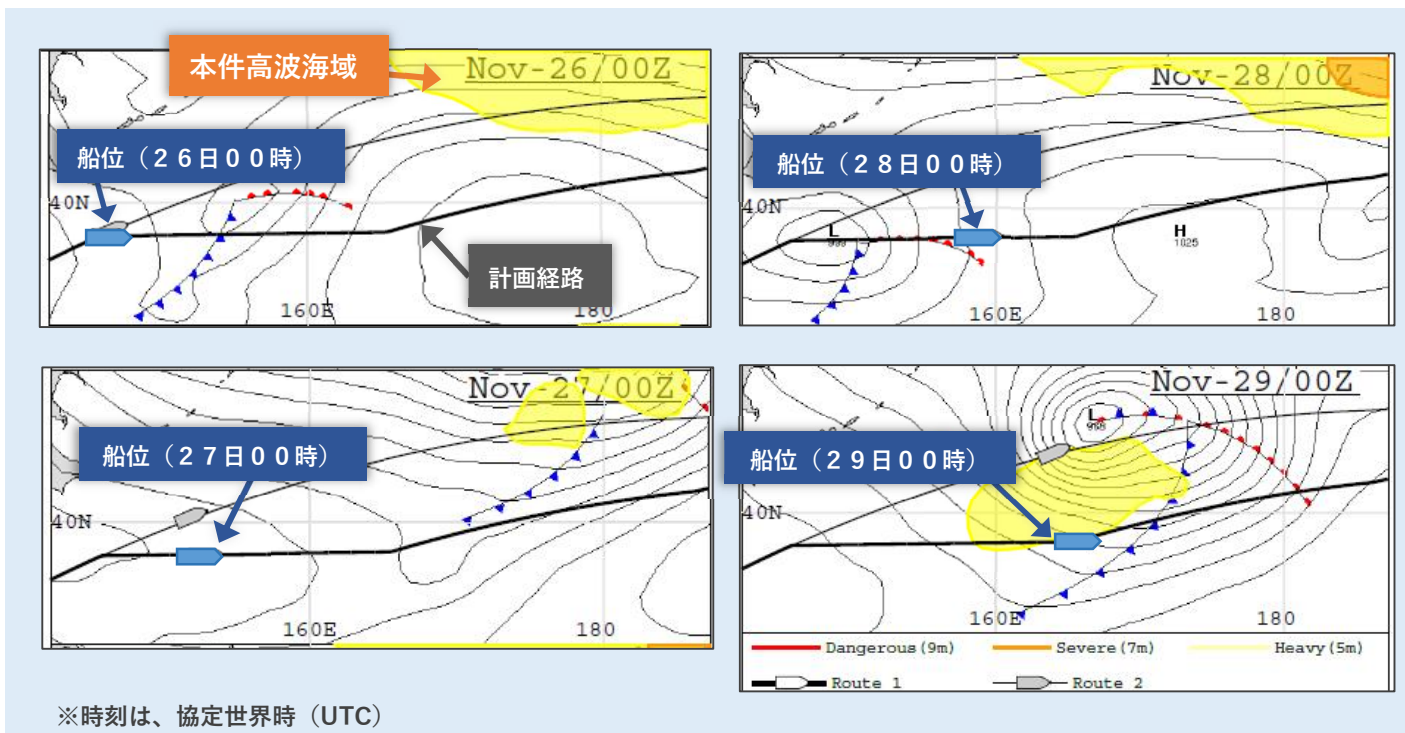


図2 変更1計画 (11月26日受信)

本船は、変更1計画に沿って、針路を約 090° に変更し、さらに、26日13時00分ごろ、針路を約 099° に変更した。

船長は、W社に対して針路約 099° への変更を報告するとともに航海計画の変更を要望し、28日18時50分ごろ、W社から針路約 099° を保持して航行して本件高波海域を避けた後に大圏航路で目的地に向かう本件航海計画(変更2)(以下「変更2計画」という。)を電子メールで受け取った。(図3参照)

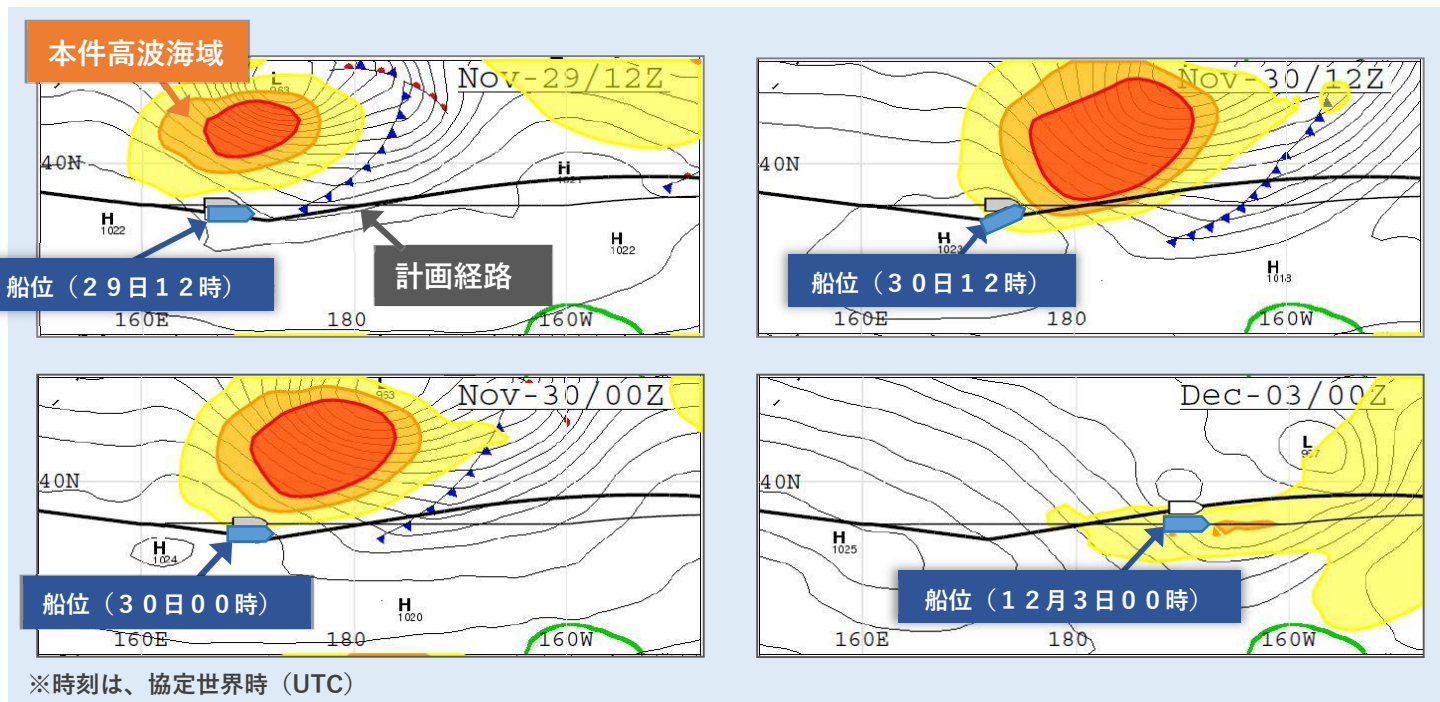


図3 変更2計画 (11月28日受信)

船長は、29日、波浪図等で当初の予想よりも本件高波海域が拡大する状況を確認し、北西方向からの約5～6mのうねりを船尾方に受けることを懸念し、再度W社に航海計画の変更を要望した。

(2) 事故当日 (11月30日) 以降の航行状況

船長は、30日12時13分ごろ、W社から変更した本件航海計画 (変更3) (以下「変更3計画」という。) を電子メールで受け取った。

変更3計画によれば、速力を約14.5knに増速した上で針路をより南方に変更し、本件高波海域の南方地点である北緯32度20分、東経174度00分に向かう計画になっており、また、注意事項として、同地点までは大きいうねりが本船の船尾方から来ることが予想されるので、状況に応じて横揺れを軽減するように針路及び速力を調整する旨の記載があった。(図4参照)

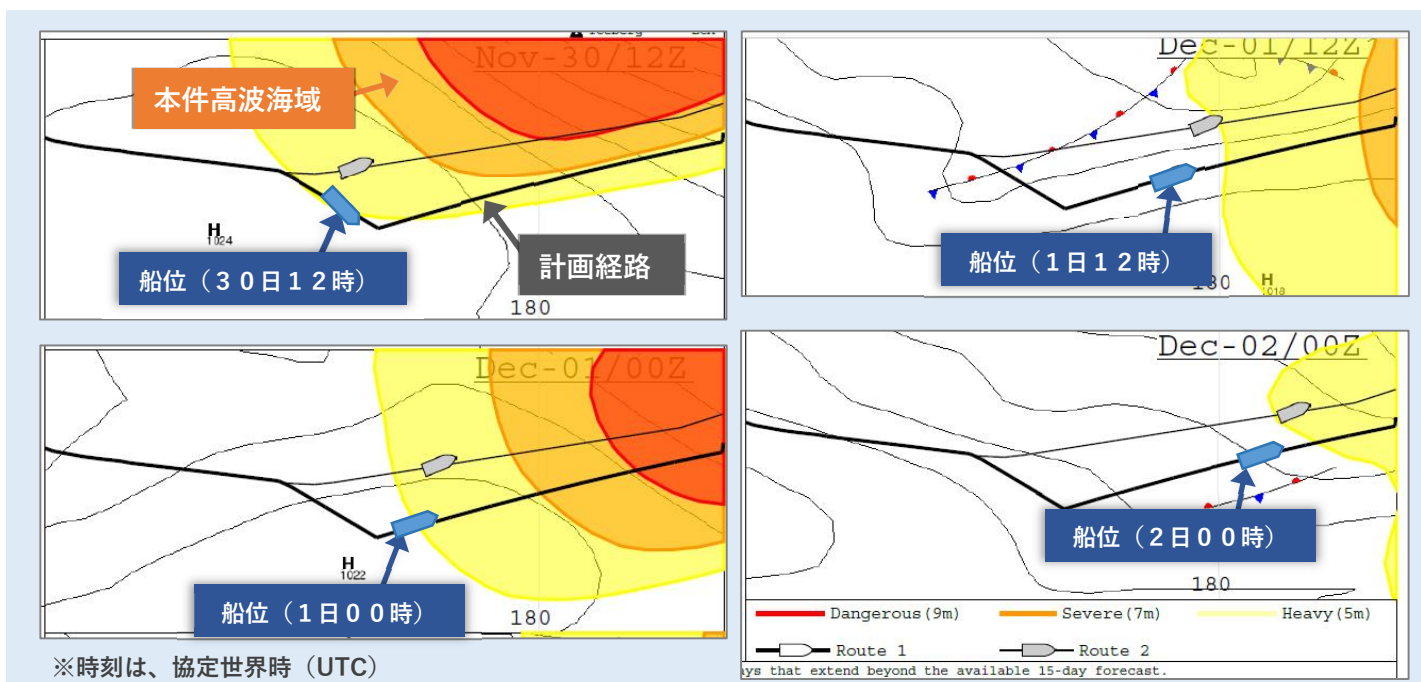


図4 変更3計画（11月30日受信）

船長は、変更3計画に従い、12時20分ごろ、速力を約14.5knに増速し、15時30分ごろ、本船の針路を約099°から約129°とした。
 (図5参照)



図5 ECDISで表示した変更3計画の予定進路

本船は、21時40分ごろ、うねりを正船尾方～左舷船尾方に受けて横揺れが始まった。航海士Cは、21時50分ごろ、横揺れを軽減しようと針路を約140°とした。

船長は、22時00分ごろ、状況を確認する目的で昇橋し、自ら操船指揮をとり、航海士Cを操船補佐に、甲板手Aを操舵にそれぞれ配置した。

船長は、22時47分ごろ針路を約140°としたことにより本船の位置が

変更3計画の予定進路線よりも南西方約3海里(M)に離れたので、一旦、本船の針路を約140°から予定針路である129°に戻し、本船の横揺れの状況をうかがっていたところ、23時15分ごろ、船尾方からの波高約6mのうねりにより、本船の横傾斜角が5°以上となり、その後、10°以上と横揺れが激しくなるのを感じた。

船長は、23時17分ごろ、横揺れが再び激しくなったので、本船の針路をどの向きにすれば横揺れが安定するかを判断する目的で針路140°とすることとし、甲板手Aに自動操舵から手動操舵に切り換えて針路140°とするよう指示した。

船長は、23時22分ごろ、本船の横傾斜角が約20°となり横揺れが更に激しくなるのを感じ、甲板手Aに針路120°とするよう指示した。

船長は、23時40分ごろ、積載しているコンテナの状態を確認しようと居住区上部に設置された照明灯を点灯したところ、左舷側中央部の42区画(bay No. 42)上部に積載したコンテナの一部が倒壊している状態を視認した。

船長は、23時48分ごろ、速力約11.0knに減速したところ、本船の横傾斜角が約5°となってきた。船長は、船尾方からのうねりが夜間で暗くて見えず、その方向は正確には把握できなかったものの、このままの針路及び速力を保持して航行すれば、安全に航行できると判断し、同じ針路及び速力で航行を続けた。

本船は、12月1日00時58分ごろ、約120°の針路及び約11.7knの速力で航行中、突然、横揺れが大きくなって横傾斜角が約25°～27°となった。船長は、00時59分ごろ、甲板上でコンテナが倒壊し、コンテナの一部が海中に落下したことを認めた。

船長は、コンテナの落下を認めた直後に、甲板手Bに対し、針路を150°とするよう指示し、続いて180°に変針するよう指示した。航海士Aにバラスト調整の指示を行い、アメリカ合衆国沿岸警備隊、ホノルル救助調整本部、グアム救助調整本部及びアラスカ救助調整本部に安全無線通信を行った。

本船は、倒壊したコンテナの陸揚げ及び船体に生じた損傷の修理の必要があり、本船の船舶管理会社であるNYK SHIPMANAGEMENT Pte. Ltd. (以下「A社」という。)により目的地までの航海の継続が難しいと判断され、12月2日02時35分ごろ、目的地を変更し、阪神港に向けて航行を開始した。

本船は、12月8日、阪神港神戸区の岸壁に着岸した。

本事故の発生日時は、令和2年11月30日23時22分ごろ～12月1日00時59分ごろで、発生場所は、ニイハウ島Lehua Island灯台から295°1,585M

付近～1,565M付近であった。

(付図1-1 航行経路図(全体図)、付図1-2 航行経路図(拡大図) 参照)

2.2 人の死亡及び負傷に関する情報

船長の回答書によれば、本船に死傷者はいなかった。

2.3 船舶及びコンテナの損傷等に関する情報

2.3.1 船舶の損傷等

現場調査及びA社の回答書によれば、本船は、コンテナ積付台に破孔を生じ、船首部及び中央部外板に擦過傷を生じたほか、上甲板のハンドレールの曲損、消火海水管の消火栓等の脱損、圧縮空気及び清水系統管の曲損、陸上からの受電設備の曲損、ラッシングブリッジ(コンテナを固縛(ラッシング)するための資材を取り付けるブリッジ)のハンドレールの曲損、パイロットラダーの損失等を生じた。(写真1～4参照)



写真1 コンテナ積付台の損傷



左舷船首部外板の擦過傷



左舷中央部外板の擦過傷

写真2 外板の損傷



上甲板ハンドレールの曲損



消火海水管の消火栓等の脱損



ラッシングブリッジのハンドレールの曲損状況

写真3 甲板上構造物の損傷

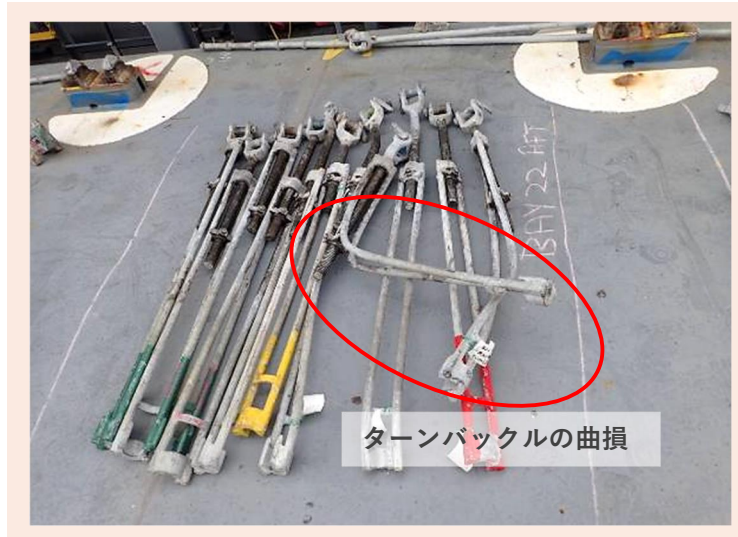


写真4 ラッシング資材の損傷

2.3.2 コンテナの海中落下及び損傷状況

現場調査及びA社の回答書によれば、本船は、コンテナ7,016個を積載（うち上甲板に3,593個積載）しており、本事故時、海上に落下し、又は、甲板上で倒壊したコンテナの個数は、表4のとおりであった。（図6、写真5～9参照）

表4 コンテナの損傷等の内訳

積載個数			状態	個数
全体（うち上甲板）				7,016個（3,593個）
サイズ別	40フィート（12.2m）			5,828個
	20フィート（6.1m）			857個
	45フィート（13.7m）			331個
損傷等の内訳				
海上に落下				1,841個
甲板上で倒壊				983個

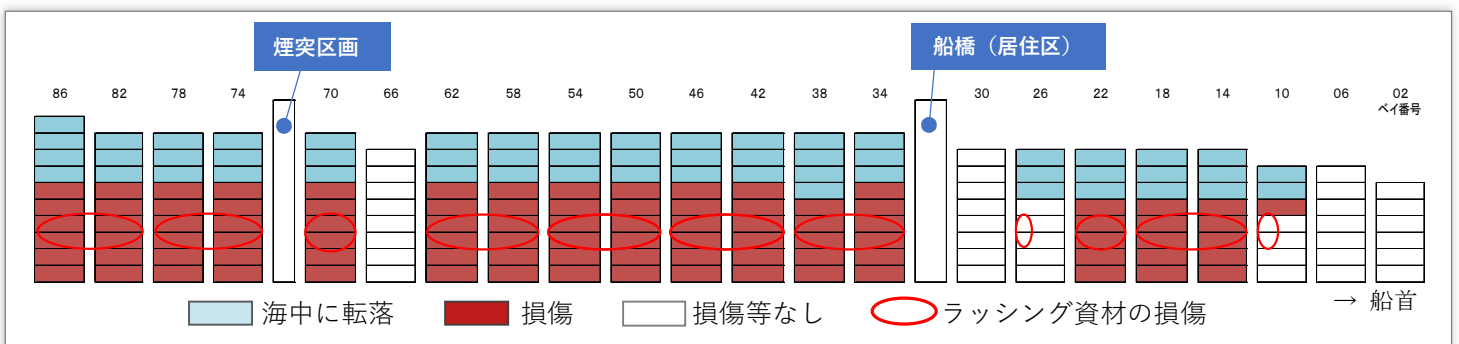


図6 上甲板積載コンテナ及びラッシング資材の損傷位置の概略図



写真5 本船の左舷側から見たコンテナが倒壊した状況



写真6 上甲板上コンテナの倒壊状況



写真7 左舷船首部コンテナの倒壊状況



写真8 落下寸前のコンテナの状況



写真9 船尾部コンテナの倒壊状況

現場調査によれば、損傷したコンテナは、隣接するコンテナによって押さえつけられて天面及び側面が圧損し、コンテナ底部材が変形している状況であった。(写真10、11参照)



写真10 コンテナの圧損状況



写真11 コンテナ底部材の変形状況

2.4 乗組員に関する情報

(1) 年齢、海技免状等

① 船長 49歳 国籍 インド共和国

締約国資格受有者承認証 船長（日本国発給）

承認証交付年月日 2020年2月6日

承認証有効期間満了日 2022年1月19日

② 航海士A 39歳 国籍 ルーマニア

締約国資格受有者承認証 一等航海士（日本国発給）

承認証交付年月日 2019年11月1日

承認証有効期間満了日 2022年12月12日

(2) 主な乗船履歴等

船長及び航海士Aの口述及び回答書によれば、次のとおりであった。

① 船長

1995年に船員となり、2009年にA社の運航船舶に一等航海士とし

て乗船した後、2012年6月から船長職をとるようになった。

2020年11月5日に船長として本船に乗船した。

本船の同型船に船長として乗船した経験が複数回あった。

本事故当時、健康状態は良好であった。

② 航海士A

2005年に船員となり、2007年にA社の運航船舶に三等航海士として乗船した後、2011年10月から一等航海士職をとるようになった。

2020年9月27日に一等航海士として本船に乗船した。

本船の同型船に一等航海士として乗船した経験が複数回あった。

本事故当時、健康状態は良好であった。

2.5 船舶に関する情報

2.5.1 船舶の主要目

船舶番号	143426
船籍港	東京都
船舶管理会社	A社
運航者	Ocean Network Express Pte. Ltd. (ONE) (以下「B社」という。)
船舶所有者	チドリ・シップ・ホールディング合同会社 (以下「C社」という。)
船級	一般財団法人日本海事協会 (以下「船級協会A」という。)
総トン数	146,694トン
TEU	14,052
L×B×D	364.15m×50.60m×23.04m
船質	鋼
機関	ディーゼル機関1基
出力	42,180kW (連続最大出力)
推進器	固定ピッチプロペラ1個
進水年月日	2018年11月30日

(写真12 参照)



出典 B社ウェブサイト

写真 1 2 本船

2.5.2 推進性能

本船の推進性能表によれば、満載状態（船首及び船尾喫水共に約 15.75 m）及びバラスト状態（船首喫水約 5.45 m、船尾喫水約 10.97 m）における推進性能（速力）は、次のとおりであった。

主機の状態 (回転数)	速力 (kn)	
	満載状態	バラスト状態 (空船)
航海全速力 (63.1 rpm)	20.5	21.5
全速力前進 (41 rpm)	12.9	13.3
半速力前進 (35 rpm)	11.0	11.4
微速力前進 (28 rpm)	8.8	9.1
極微速力前進 (22 rpm)	6.8	7.1

2.5.3 積載状態及び船体動揺

船長及び航海士A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) 積付計画等

① 積付けプログラム

本船のコンテナの積付計画は、日本にあるB社の積付計画事務所 (Global storage planning office) で作成され、その後、本船において燃料油タンク等の種々の条件を加えた上で積付けプログラムを用いて同計画で船体強度等に問題がないかを確認していた。(写真13参照)

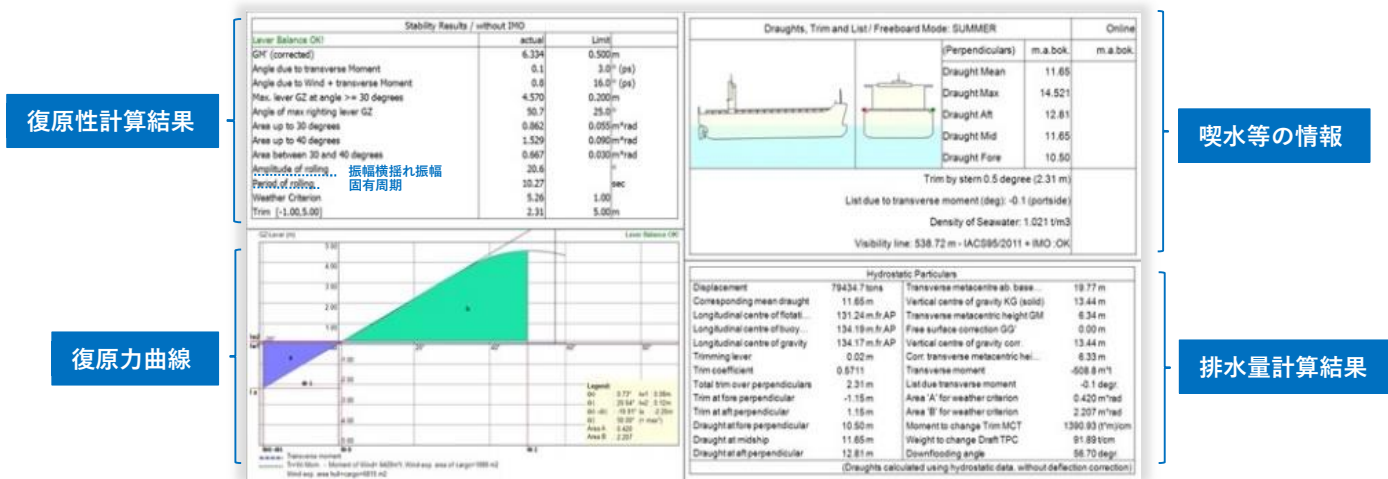


写真 1 3 積付けプログラムの一例（デモ画面）

② 塩田港出港時の状態

本船は、塩田港出港時、コンテナ 7,016 個（約 94,616 t）を積載し、バラスト水約 17,984 t を張水し、喫水が船首約 14.64 m、船尾約 14.46 m（平均約 14.55 m）であった。

本船のバラスト水タンクは、20 個のタンクがあるうち、8 個のタンクが満水、2 個のタンクが傾斜調整の用途で適宜注水されていた。

本船の出港前に、本船の積付けプログラムを用いて、計算条件として想定速力を 18.5 kn 及びコンテナの標準積み上げ段数を 9 段（背高コンテナは 8 段）と想定して計算した結果では、GM（横メタセンタ高さ）*7 は 1.605 m であった。

船長及び航海士 A は、この計算結果によれば、コンテナの積付け状態も含めて本船の安定性について問題はなく、安全に航海できる状態であると考えていた。

(2) コンテナ積付けの固縛評価

① ラッシングプログラム

本船では、本船に積載されるコンテナの固縛強度について、ラッシングプログラムを用いてコンテナごとに固縛強度を評価していた。ラッシングプログラムは、前記の積付けプログラムと連動させることが可能で、二つのプログラムで算出された値を同時に表示することができた。（写真 1 4 参照）

*7 船舶が横傾斜したときの浮力中心を通る浮力作用線と船体中心線との交点を「横メタセンタ (M)」といい、船舶の重心 G と横メタセンタ M の距離を「GM (横メタセンタ高さ)」という。
 (* 船は上部が重いと復原力は弱い。この安定性の悪い状態をトップ・ヘビーという。GM (横メタセンタ高さ) が小さい船は一般にトップ・ヘビーで、復原力が弱いとされ、このような船を重頭船という。重頭船は動揺周期が長く、安定性が悪い。これに対し上部の軽い船を軽頭船という。軽頭船は復原力が強く、一般に強風に遭うと動揺が激しい。)



写真14 ラッシングプログラムの一例 (デモ画面)

② 規則等 (ラッシングプログラム及び貨物固縛マニュアル)

本船のラッシングプログラムは、ロイド船級協会 (Lloyd's Register) (以下「船級協会B」という。) の貨物固縛手順 (Cargo Securing Arrangements) 2016年規則 (Rules and Regulations for the Classification of Ships, July 2016) に準拠した手順でプログラミングされていた。

また、本船には、船長を含む乗組員を対象に貨物の適切な積載と固縛方法についての手順が記載された貨物固縛マニュアル (Cargo Securing Manual/CSM) が備え付けられていた。(表5参照)

表5 本船のラッシングプログラム及び貨物固縛マニュアルの比較

	ラッシングプログラム (Lashing program)	貨物固縛マニュアル (CSM)
用途	コンテナの固縛強度計算	ラッシング方法 ラッシング資材の使用法等
適用規則	2016年規則 (船級協会B)	2016年規則 (船級協会B)
運用	コンテナの積載計画及びデータ入力作業を陸上 (積付計画事務所) で行った後、本船で問題がないかを確認する。	本船
船級協会の承認	計算精度の確認のみ (同プログラムによる計算結果と船級協会B提供ソフトウェアによる計算結果を比較した精度確認表に基づき船級協会Aにより承認)	船級協会Aにより承認 (船級協会Bによる承認は任意)
風速の想定	風速40m/s× (航路・季節ごとに変化する係数)	
最大横傾斜角 (10,000~20,000TEUのコンテナ船を想定)	航路等により 13° ~ 22° の間で変化	
本事故時の積載計画に基づき計画された最大横傾斜角	約16.1°	—

なお、船級協会Bは、近年のコンテナ船の大型化に伴い、2014年以降、船幅、航行海域等を考慮した貨物固縛手順の計算方法の見直しを行っており、2021年規則では、ラッシングプログラムにおいて同規則に基づいた方法で固縛強度等を計算することが強制要件化された。

③ 固縛強度評価（ラッシングプログラム）

本船が出港前に塩田港においてラッシングプログラムを用いて固縛強度の評価を行った際には、想定される最大横傾斜角（amplitude of roll）は、約16.1°に設定されていた。

ラッシングプログラム上では、設定した最大横傾斜角度等の条件下で各コンテナの固縛金具等に発生する応力の最大値が許容強度に対するパーセンテージで表示され、その応力が100パーセントを超える場合に許容強度を超えた箇所が警報として表示されるが、塩田港においてその警報は表示されていなかった。

(3) 本事故当時の船体運動

① 傾斜計

本船の船橋前面には、横揺れ傾斜計が備えられていた。本事故時、最も傾斜したときの最大値は約27°であった。

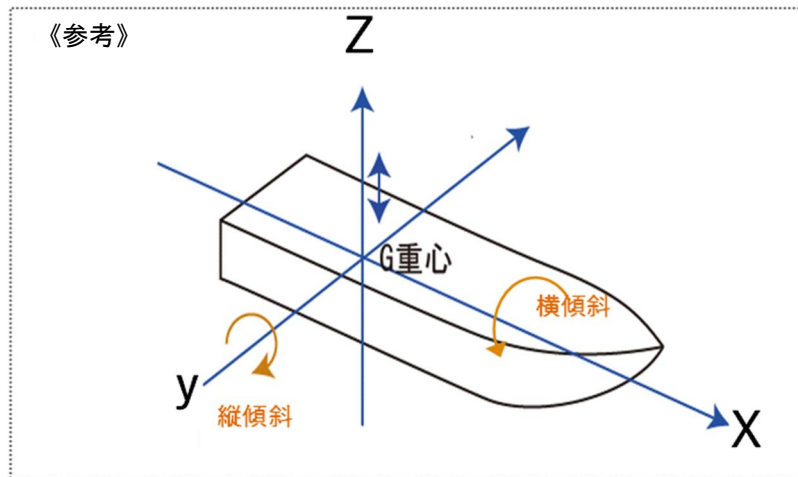
② 姿勢センサの計測値

本船の船橋中央付近には、船体の動揺等を計測する姿勢センサ（ジャイロ慣性センサ）が備えられている。本事故時の横傾斜角等の計測値は、表6のとおりであった。

表6 姿勢センサの計測値

時刻 (時:分)	横傾斜角 (°)		縦傾斜角 (°)		X軸加速度 (m/s ²)		Y軸加速度 (m/s ²)		Z軸加速度 (m/s ²)	
	右舷	左舷	船首	船尾	+	-	+	-	+	-
21:39	12.46	14.25	1.53	1.10	0.21	0.16	2.45	2.32	9.56	10.19
21:59	12.73	17.57	1.47	1.27	0.20	0.16	2.88	2.50	9.36	10.18
22:19	5.30	5.87	1.11	1.17	0.19	0.14	1.00	1.01	9.76	10.14
22:39	2.93	4.93	1.22	1.23	0.18	0.17	0.86	0.63	9.72	10.24
22:59	9.62	10.65	1.31	1.17	0.18	0.15	1.82	1.71	9.64	10.18
23:19	16.83	18.95	1.43	1.20	0.19	0.27	3.28	2.94	9.18	10.29
23:39	20.00	17.62	1.54	1.28	0.26	0.18	3.06	3.42	9.31	10.29
23:59	7.23	7.55	1.34	1.35	0.23	0.18	1.33	1.41	9.69	10.25
00:19	8.70	8.71	1.43	1.87	0.26	0.20	1.53	1.58	9.66	10.38
00:39	6.92	7.15	1.66	1.74	0.25	0.21	1.23	1.25	9.61	10.38
00:59	21.60	25.35	1.69	1.75	0.78	1.39	4.89	4.43	8.45	10.29
01:19	7.34	6.05	1.51	1.85	0.35	0.29	1.32	1.73	9.49	10.43
01:39	7.57	5.76	1.72	1.77	0.28	0.25	1.20	1.63	9.59	10.34

※姿勢センサの横傾斜角等の計測値は、20分間の最大値で記録されている。



2.5.4 船舶の設備等に関する情報

(1) 船体構造

本船は、コンテナを倉内及び上甲板上に積載可能な構造を有する船首船橋型のコンテナ船で、コンテナを積載する区画は、居住区及び主機からつながっている煙突区画によって三つに分かれていた。(図7参照)

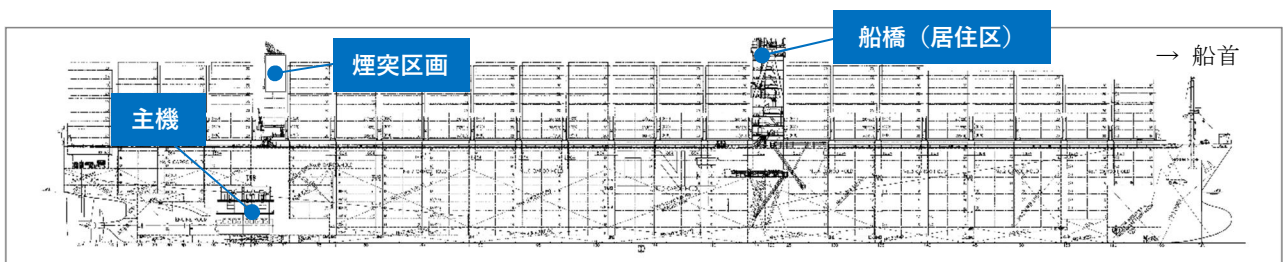


図7 本船の一般配置図

(2) 本船の状況

船長及び航海士Aの口述によれば、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。

(3) コンテナ列

本船の上甲板は、船首尾方向に40フィート換算で22列のコンテナを積載することができ、各列には船首から順に02から始まり、数字を4ずつ加算したベイ番号 (bay No.) が振られていた。

(4) コンテナ積み上げ段数 (塩田港出港時)

塩田港出港時の各列のコンテナの積み上げ段数は、図8のとおりであった。(図8参照)

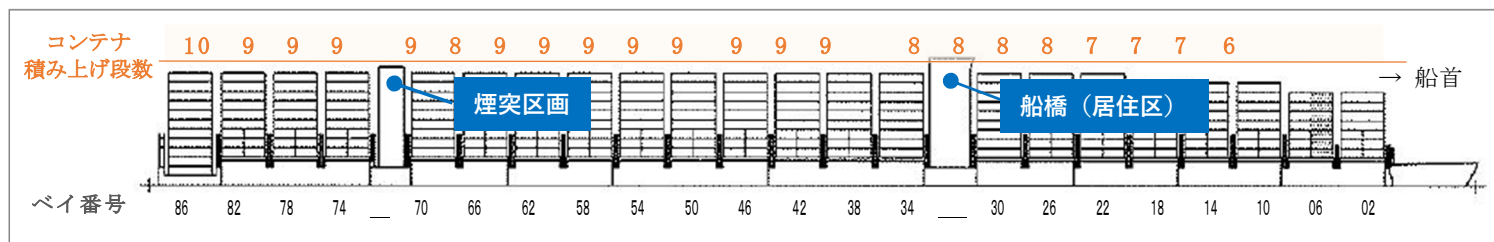


図8 コンテナの積み上げ段数等

(5) コンテナの固縛方法

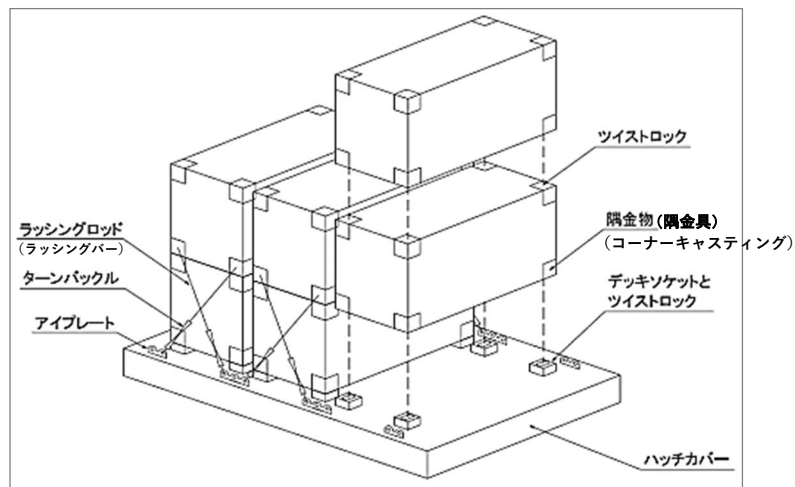
本船では、上甲板上にコンテナを積載する場合、コンテナ積付台上のデッキソケットに設置したツイストロックと呼ばれる固縛金具をコンテナの底部四隅の隅金具（コーナーキャスティング）にはめ込み、ロックすることによって固定していた。同コンテナの上に別のコンテナを積載する場合は、上のコンテナの底部四隅の穴にツイストロックを設置し、下のコンテナの天井四隅にはめ込んで、同様に固定していた。（写真15、写真16、図9参照）



写真15 コンテナ積付台上のコンテナ



写真16 ツイストロック



出典：コンテナの積付け及び固縛に関するガイドライン（第3.1版） 2023年2月（発行：船級協会A）

図9 コンテナの基本的な固縛の概念図

また、本船の甲板上に積付けされたコンテナのうち、3段目及び4段目（一部）のコンテナは、ラッシングブリッジのアイプレートに取り付けたターンバックルに2～3組のラッシングバーを接続し、斜めに交差させて各コンテナの上部の角に取り付け、同ターンバックルを締め付けることにより固縛されていた。（写真17～19参照）

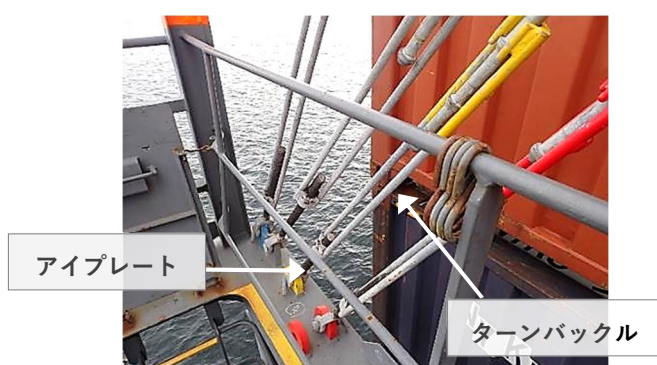


写真17 ターンバックルの固縛状態



写真18 ラッシングバーの状態

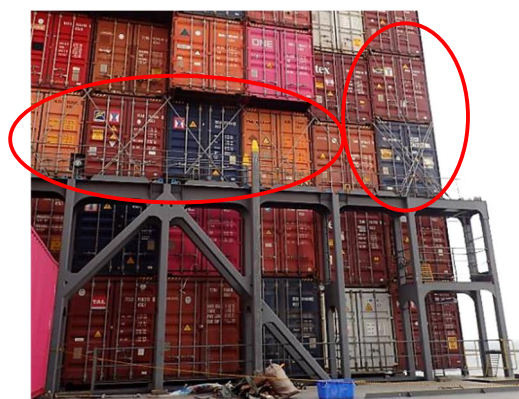


写真19 ラッシングブリッジからの固縛状態

(6) 固縛状態の確認

船長及び航海士Aの口述並びに航海日誌によれば、本船のコンテナは、ラッシングプログラム及びA社の貨物固縛マニュアルどおりに固縛されており、航海中においても、3日に1回、甲板部員によって上甲板上に積載されたコンテナの固縛状態の点検及び必要に応じてターンバックルの増し締めが行われていた。

(7) コンテナ等の許容荷重

① コンテナ

船級協会Aが発行した「コンテナの積付け及び固縛に関するガイドライン(第3.1版)」によれば、コンテナ各部の許容荷重は、次のとおりであった。

		許容荷重 (I S O 規格)	
		ISO1496-1:1990	ISO1496-1 2014 年までの改正を含む
コンテナに対するラッキング荷重	横手方向	1 5 0	1 5 0
	長手方向	1 5 0	1 5 0
コンテナのコーナーポストに働く圧縮荷重		8 4 8	9 4 2
コンテナのコーナーポストに働く引張荷重		2 5 0	2 5 0
コンテナ隅金具 (コーナーキャスティング) に働くラッキング荷重	垂直方向	3 0 0	3 0 0
	水平方向	1 5 0	1 5 0

単位 kN (1kN ≒ 102kgf)

② 固縛金具

本船の貨物固縛マニュアルによれば、ツイストロック及びラッシングバーを安全に使用できる許容荷重は、次のとおりであった。

	ツイストロック	ラッシングバー	
		ロング	ショート
安全使用荷重 (SWL:Safe Working Load)	2 5 0 (張力) 2 1 0 (せん断)	3 0 0 (張力)	1 8 0 (張力)
耐荷重 (PL:Proof Load)	3 7 5 (張力) 3 1 5 (せん断)	4 5 0 (張力)	2 7 0 (張力)
破壊荷重 (BL:Breaking Load)	5 0 0 (張力) 4 2 0 (せん断)	6 0 0 (張力)	3 6 0 (張力)

単位 kN

2.5.5 コンテナ固縛の注意点

船級協会 A が発行した文献*8 (以下「技報 A」という。)には、コンテナの固縛について以下の記載がある。

コンテナスタック (積み上げ) には、一般にラッキング変形、コーナーキャスティングの浮き上がり、圧縮、そしてせん断変形が生じる。これらの変形において生じる荷重が許容値を超えないようにコンテナの固縛方法や積載するコンテナの重量及びその順番を決定する必要がある。また、ラッシングロッド*9を接続している場合、コンテナスタックのラッキング変形に伴い、ラッシングロッドに引張荷重が生じることとなるため、ラッシングロッドの許容荷重にも注意を払う必要がある。(図 1 0 参照)

*8 出典：「船級協会 A 技報 No.7 2023 年(I) (発行：船級協会 A)

*9 ラッシングロッドは、ラッシングバーと同義である。

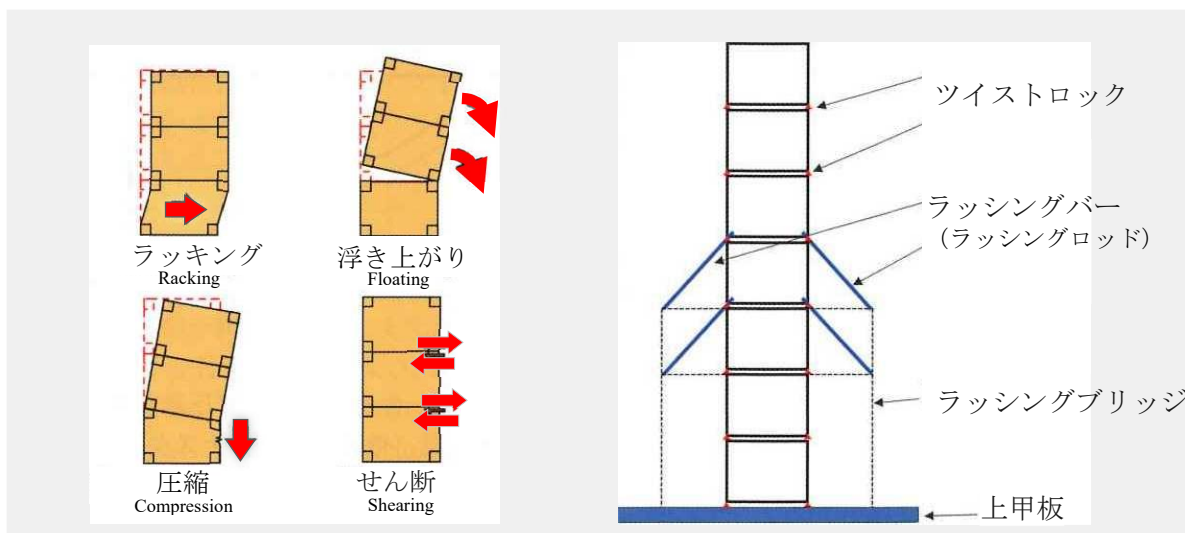


図 10 コンテナの崩れ方等

2.6 A社の安全管理等に関する情報

(1) A社の安全管理手順書に関する情報

A社の作成した安全管理手順書には、「荒天時の指針及び予測」及び「危険な航海（荒天）」について、次のとおり定められていた。（A社の安全管理手順書抜粋の仮訳）

荒天時の指針及び予測

2.1. 天候の監視

1. 及び 2. 略
3. “ウェザー・ルーティングサービス（WRS）”の利用を検討する必要がある。WRSを使用する時、指示を注意深く読み、適時にサービスプロバイダーに必要な事項を報告すること。
4. 略
5. 本船が悪天候に見舞われた場合、会社に通知すること。

2.2. 航海

1. 及び 2. 略
3. 風及び波の衝撃をできるだけ軽減するように船の針路及び速力を調整すること。
4. ～ 7. 略
8. 荒天の損害を避けるために計画において援助となるよう次の資料を参考されたい。
 - i) 図表／参考図－“荒天の損害を避けるための船長への指針”（以下「本件参考図」という。）
 - ii) Maritime Safety Committee Circular1228－“追い波海域にお

いての危険な状況を回避するための船長へのガイダンス（改訂版）”

2.3. 安定性

1. 一等航海士は、船長の指示に従い、船舶の安定性及び応力を最適な条件にすることを考慮し、バラスト水の調整をしなければならない。
2. バラスト水を張水する時、自由水の影響を軽減するためにタンクは可能な限り一杯に満たされるべきである。
3. 船体が過度に安定したり、傾斜が大きくなり過ぎないようにGM（横メタセンタ高さ）を最適にすること。
4. 十分な船体強度を確認すること。

2.4. 甲板/居住区/貨物

1. ~7. 略

8. 貨物の固縛状態を点検し、必要であれば、追加の固縛器材を取り付けること。

危険な航海（荒天）

4.2. 荒天の回避

荒天が予測される時、船長は、離路、一時的な錨泊等といった回避行動をとることを考慮するべきである。

(2) 本船の航海計画の決定及びA社の運航船舶の管理等に関する情報

船長、航海士A及びA社の担当者の口述によれば、次のとおりであった。

① 船長

船長は、W社から送信される航海計画を参考とし、本船の航行状態を考慮した上で、実際の航海計画を決定していた。

船長は、W社から送信される航海計画はB社の担当者にもCC（複写）で送信されており、また、船長がW社に返信する際にはA社の担当者にもCCで送信するようにしていたので、両社も本船の動静を把握しているとの認識であった。

② A社

A社は、船長とW社との航海計画についてのやり取りを確認することが可能な体制となっていたが、航海計画は船長の裁量で決定されることから、計画に懸念がある場合を除き、同計画への干渉はしなかった。

③ W社

W社は、B社との間で本船のウェザー・ルーティングサービスの契約を結んでいた。

W社は、本船の全長等の要目並びに出港時の喫水及びGMを入手した上で、

最適な航路を設定した航海計画を作成し、これを本船に提供しており、航海中においても気象状態の変化によって更新し、また、船長から航路変更の要望があれば、同計画を変更していた。

W社が本船に送信した航海計画には、計画の針路上（00時及び12時（協定世界時））で予想される風（風向・風速）及び波浪（波向・波高・周期）の情報の記載があり、変更3計画には、表7のとおり記載されていた。

表7 予想される波浪等の情報（変更3計画）

Date Time [UTC]	Position [lat/lon]	Wind		Wave			
		Dir	Speed [kts]	Dir	Height (Sig) [m]	Period [sec]	Max [m]
Nov-30/1200	33-11.8N/172-39.9E	NNW	12	NNW	5.7	15	-
Dec-01/0000	32-44.9N/175-16.2E	SSW	2	NNW	5.2	13	-
Dec-01/1200	33-39.0N/178-13.8E	SW	26	NW	4.4	12	-
Dec-02/0000	34-35.5N/178-18.9W	NW	18	NW	4.6	11	-
Dec-02/1200	35-24.0N/174-56.2W	WSW	21	WNW	4.5	11	-
Dec-03/0000	36-08.9N/171-18.6W	W	24	WNW	4.7	9	-
Dec-03/1200	36-45.7N/167-46.4W	WNW	24	WNW	4.1	9	-
Dec-04/0000	37-16.9N/164-03.7W	WNW	20	WNW	3.7	9	-
Dec-04/1200	37-41.9N/160-10.0W	WNW	28	WNW	4.0	9	-
Dec-05/0000	37-58.0N/156-33.5W	WNW	26	WNW	4.5	9	-
Dec-05/1200	38-07.7N/152-49.1W	SW	23	W	4.3	10	-

※時刻は協定世界時

(3) 本件参考図に関する情報

本件参考図は、船体が波浪及び風を受ける方向によって縦傾斜及び横傾斜が安定したり増大したりする可能性があることについて、船長の意識を高める目的で作成されたものであり、正船首方向から正船尾方向までを6等分し、それぞれの角度の範囲に波浪（波高4～7m）及び風（風力7～9）を受けるときの船体の動揺の様子及び対応の指針が、次のとおり記載されていた。

（付図2 本件参考図 参照）

＜本件参考図の仮訳＞

番号	波浪を受ける範囲	動揺の種類及び対応
1	正船首から両舷30°	とても激しい縦揺れ 波高5m以上の波浪又は風力8（風速20m/s）、縦傾斜3°以上（船首縦傾斜8m）の場合 1. 針路変更（20°以上） 2. 主機回転数を10rpm以上上げる。（少なくとも速力10%減速）
1～2の中間線	両舷船首30°	危険！青波 4m以上の波、7以上の風の場合は10°以上の針路変更
2	正船首から両舷30°～60°	縦揺れ
3	正船首から両舷60°～90°	波高5～7mの波浪、風力8又は9（風速20～24m/s）の風に至るまで船舶の安定が予測される
4	正船尾から60°～90°	横揺れ
5	正船尾から両舷30°～60°	とても激しい横揺れ（パラメトリック横揺れ） 20°以上の横揺れが発生するときは 1. 針路変更
6	正船尾から両舷30°	波高6mの波浪又は風力9（風速24m/s）の風に至るまで船舶の安定が予測される

a) 上記の表例は、全長289mのコンテナ船（およそ4,000TEU積み）に適用される。

b) 実際の状況は、実際の排水量/安定性/コンテナ層に基づき、変化する。

上記の図表/参考図は、危険の可能性の意識を高めるための指針である

c) 天候による許容範囲（限界）や主機回転数の減少などは、各船舶の主機や船長の判断により異なる。

d) 縦傾斜の指標は、船首マストの動きを使い、おおよそ計算できる。

e) 船体に掛かる波の衝撃力は、船の相対速力の2乗である。

f) 正船首又は船首に近い波によるパラメトリック横傾斜は、好ましくない同調が低い横傾斜の減衰（減速）と大きな安定性の変化（波長、波高、形状、船首の張り出し、船尾の形状によって左右される）と混じり合っ起きる。

パラメトリック横揺れは、著しい縦傾斜と相まって大きな揺れの角度を速く引き起こす不安定な現象である。

横揺れは、縦揺れと同調して発生し、コンテナ船ではコンテナやその固縛装置に大きな荷重がかかる。MSC Circular 1228 参照

2.7 気象及び海象に関する情報

2.7.1 航海日誌

A船の航海日誌によれば、令和2年11月30日23時ごろから12月1日02時ごろまでの観測値は、天候は曇り、視界は良好、本事故当時、波高約5.0～6.0mのうねりがあり、風向及び風速は、次表のとおりであった。

時刻（時：分）	風向	風力	風速（m/s）
11月30日23:00～12月1日02:00	北西	4	5.5～7.9

2.7.2 気象庁の外洋波浪図

令和2年11月30日12時00分（協定世界時）における気象庁の外洋波浪図によれば、本事故発生場所付近では、有義波高*10約6m、北西方から南東方へ向かう波浪であった。なお、気象庁の外洋波浪図の注意事項には、次の記載がある。

実際の個々の波には、有義波高より高い波が含まれているので注意が必要です。
（付図3 外洋波浪図 参照）

2.7.3 波浪解析に関する情報

本事故発生後、W社が周囲の観測データを合わせて推算した本船の航行経路上での波浪解析値は、次のとおりであった。

日時	風向		波浪				うねり			
	風向（°）	風速（m/s）	方向（°）	波高（m）	波長（m）	周期（s）	方向（°）	波高（°）	波長（m）	周期（s）
11月30日 12:00	319	21.44	315	1.92	77.18	7.03	330	5.50	354.66	15.08
15:00	319	20.16	315	1.66	63.80	6.40	330	5.97	354.66	15.08
18:00	333	18.05	330	1.53	63.80	6.40	330	5.77	354.66	15.08
21:00	279	13.54	285	0.84	36.00	4.80	330	5.77	354.66	15.08
12月1日 00:00	327	13.53	330	0.84	36.00	4.80	330	5.53	354.66	15.08
03:00	346	13.25	345	0.81	36.00	4.80	330	5.28	293.10	13.71
06:00	351	9.37	345	0.44	20.33	3.61	330	4.99	293.10	13.71
09:00	344	6.66	345	0.26	13.88	2.98	330	4.71	293.10	13.71

2.8 船体運動の推定計算

事故当時の針路等の本船の運航状況及び航行経路上での波浪解析値を基に、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、船体運動につき短期予測手法*11での推定計算を行ったところ、11月30日23時59分～12月1日00時59分の間における、横揺れ振幅及び縦揺れ振幅の推定値は、表8のとおりであった。

*10 「有義波高」とは、ある地点で一定時間に観測される波のうち、高い方から順に全体の1/3の個数までの波について平均した波高をいう。目視観測による波高に近いと言われている。

*11 福田淳一：船体応答の統計予測、耐航性に関するシンポジウムテキスト、日本造船学会、1969。（後述のパラメトリック横揺れを想定していない通常の船体運動を予測する手法である。）

○ 推定計算の概要

- ・本事故時の海象をもとに、標準的な波浪スペクトル形状を仮定し、船体動揺の短期予測手法により、本事故発生時の船体運動を推定

○ 計算条件（12月1日00時00分（船内時間）の値）

- ・船速：11.44kn ・波周期：4.80秒 ・波高：0.84m
- ・うねり周期：15.08秒・うねり波高：5.53m
- ・波との出会い角：32.30°

$$\text{波向} - (\text{船首方位 (1時間の平均値)} + 180^\circ) \\ 330^\circ - (117.7^\circ + 180^\circ) = 32.3^\circ$$

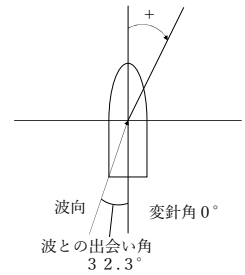


表8 船体運動（横傾斜及び縦傾斜）の推定値

横揺れ振幅			縦揺れ振幅		
	計算条件	推定値 (°)		計算条件	推定値 (°)
①	平均値	8.43	①	平均値	0.77
②	1/3最大平均値	13.47	②	1/3最大平均値	1.23
③	1/10最大平均値	17.12	③	1/10最大平均値	1.57
④	1/100最大期待値 (出会い波100波に1波の最大横揺れ)	21.69	④	1/100最大期待値 (出会い波200波に1波の最大横揺れ)	1.99
⑤	1/188最大期待値 (出会い波188波に1波の最大横揺れ)	22.97	⑤	1/188最大期待値 (出会い波188波に1波の最大縦揺れ)	2.10

- ※1/3最大平均値 振幅の大きい方から順に全体の1/3の個数の振幅の平均値 (=有義値)
- ※1/10最大平均値 振幅の大きい方から順に全体の1/10の個数の振幅の平均値 (有義値の約1.27倍)
- ※1/100最大期待値 振幅の大きい方から順に全体の1/100の個数の振幅の期待値 (統計上、有義値の約1.61倍)
- ※1/188最大期待値 振幅の大きい方から順に全体の1/188の個数の波の振幅の期待値 (188波…1時間の出会い波数)

2.9 パラメトリック横揺れに関する情報

2.9.1 パラメトリック横揺れ

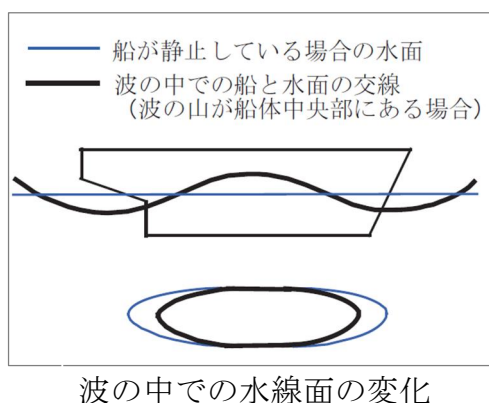
パラメトリック横揺れは、船体の横揺れ周期と波の出会い周期が一定の関係になった場合、船体の横揺れが急激に増幅する共振現象である。船級協会Aが発行した「パラメトリックロール対策に関するガイドライン」（詳細については2.9.4に後述）には、近年、大型コンテナ船や自動車運搬船等において、パラメトリック横揺れに起因すると思われる荷崩れ事故が相次いで発生しており、その中には2,000個以上のコンテナが流出・損傷した事故も含まれるとの記載があり、また、オランダ海事研究所が発行した「パラメトリック横揺れについての注意喚起レポート」（詳細については2.9.3に後述）には、コンテナ船は追い波状態においてパラメトリック横揺れの影響を受けやすい船種とされており、横揺れ周期、速力、針路、そして波の状態の組合せにより、突然、船と乗組員、貨物の安全を脅かすレベルにまで横揺れが急増加することがあるとの記載がある。

2.9.2 コンテナ船におけるパラメトリック横揺れの発生

文献^{*12}には、コンテナ船におけるパラメトリック横揺れの発生について以下の記載がある。

(以下、抜粋)

コンテナ船はタンカーやバラ積み船に比べると高速で運航するため、船首、船尾がやせた形になっている。このため、タンカーやバラ積み船に比べると、船体が水面に沈む面は変化が大きくなっている。これに伴い復原力も不安定になる。復原力が不安定になった時に、出会い波周期の約2倍の横揺れ固有周期が一致するとパラメトリック横揺れが発生する。



2.9.3 TopTier レポート

オランダ海事研究所 (Maritime Research Institute Netherlands) が設立した「コンテナ船のコンテナ損失を伴う事故の調査、評価」を目的としたプロジェクト (The TopTier Project) は、2022年1月、パラメトリック横揺れについての注意喚起レポート (以下「TopTier レポート」という。) を発行した。

(付図4 TopTier レポート参照)

2.9.4 パラメトリック横揺れの対策 (船級協会A)

船級協会Aは、令和5年2月、有効なパラメトリック横揺れの対策を講じた船舶には船級符号を付記することとし、関連要件を取りまとめ、また、同横揺れ対策を目的とした「パラメトリックロール対策に関するガイドライン」(以下「船級協会Aのガイドライン」という。) を発行した。

船級協会Aのガイドラインは、付録 (Appendix) として、パラメトリック横揺れを回避するための注意点及び同横揺れの回避手法等を記載している。(以下、抜粋)

^{*12} 文献：「特集：耐航性能・波浪荷重評価ツール「NMRIW」～より実現に近い6自由度の計算を可能に～船体運動と波浪荷重の評価プログラム」(独立行政法人 海上技術安全研究所 (船と海のサイエンス 2011 SPRING)、平成23年4月)

(1) パラメトリックロール（パラメトリック横揺れ）の発生を回避する上での注意点等
パラメトリックロールを発生させる海象条件に遭遇すると、極めて短時間に大傾斜を生じ回避行動をとるのが困難である。また荒天中を航行する場合に船を波に立てるとい
う常識的な操船行為がかえってパラメトリックロールを招く引き金となる可能性もあり、
荒天航行に対する通常の注意、対処方法では対応できない。発生する可能性の高い危険
領域を早期に回避する、その兆候を認めた場合には直ちに船速を変える、大きく転針す
る等、パラメトリックロール発生を念頭においた心構えや事前準備が肝要であり、その
ための参考になると思われる、次のような注意点や心構えについて記述する。

① 本船のロール固有周期を把握する

パラメトリックロールは、縦波による復原力の時間的変化が本船のロール固有周
期と同調することによって発生する現象であって、本船のロール固有周期を把握し
ておくことが極めて重要となる。ただ、正確な固有周期を得ることは必ずしも容易
ではない。

② うねりの方向と出会い周期に注意する

パラメトリックロールが発生するのは、一般的にうねりを船首又は船尾方向から
受け、かつ、うねりとの出会い周期が本船のロール固有周期の1/2に近い場合であ
る。よって、大きなうねりに遭遇した場合には、その方向と出会い周期に特に注意
を払う必要がある。

うねりの方向としては、船首及び船尾方向それぞれにおいて、船体中心線から左
右60°程度の範囲でパラメトリックロールの発生可能性が高くなるが、左右約
40°の範囲は特に注意が必要である。うねりとの出会い周期は通常目視で計測す
ることになるが、気象予報サービスでうねりの方向、周期等が予測されている場合
には、それらも参考とする。

なお、船の長さの0.6倍以上に相当する波長のうねりに遭遇した場合は、特に注
意が必要である。

③ 荒天運航時に想定されるロール角を把握する（特に大型船）

中小型船では、荒天遭遇時に20°あるいは30°を超えるようなロールを生じ
ることも珍しくない。しかしながら、船幅が50mを超える大型船においては、相
当な荒天に遭遇しても10°を超える横傾斜を生じることは稀であり、そのような
横傾斜を突発的に生じた場合には、パラメトリックロールが発生した可能性が高い。

④ 本船のパラメトリックロール特性や操船ガイダンスを理解する

第二世代非損傷時復原性基準^{*13}（以下、「ISコード」という。）には、パラメト
リックロールに対する本船の特性・脆弱性を評価する手法がいくつか提示されている。
その中でもレベル2-C2と呼ばれる評価手法は、評価精度と難易度の両面において
実用的なものであり、パラメトリックロールに対する脆弱性を具体的に評価するこ
とができる。

*13 「第二世代非損傷時復原性基準（Interim Guidelines on the Second Generation Intact Stability Criteria）」とは、国際海事機関（IMO）で検討が進められている復原力喪失などの動的な危険現象を考慮した新たな復原性基準で、令和2年（2020年）11月の国際海事機関（IMO）の海上安全委員会において暫定指針が策定された。

(2) パラメトリックロール回避手法及び対策

① パラメトリックロール防止・軽減装置

フィンスタビライザーやアンチローリングタンク等の減揺装置を設置・搭載することで、パラメトリックロールを防止・軽減することができる。

② オペレーションガイダンス及びウェザーサービス

様々な運航条件、海象条件に対するパラメトリックロール応答値をシリーズ計算することで、パラメトリックロールの発生危険度を示したチャートのような資料を準備することができる。このようなチャートとともに、ある一定以上の危険度に遭遇する際に採るべき行動を指示したオペレーションガイダンスを船長に提供すれば、パラメトリックロールを回避するための適切な行動につながることを期待される。

ウェザーサービスでは、パラメトリックロールに対する本船の運動特性と海象・気象データの予報データを組み合わせた高信頼度のサービスが提供される日も遠くないと思われる。

③ パラメトリックロールに関連した計測装置・警報システム

パラメトリックロールの発生を予測し適切な回避行動をとるためには、本船の固有周期、遭遇している海象状況等を適切に把握する必要がある、それらを精度良く計測できる装置の開発、導入が望まれる。既に実用化されているものもあるが、今後の更なる計測装置の開発・実用化とともに、それらの計測装置を組み合わせたパラメトリックロール発生を的確に予測、警報するシステムの開発が期待されている。

2.9.5 パラメトリック横揺れに対する船長等の認識（本事故当時）

船長、航海士A、A社担当者及びW社担当者の口述によれば、次のとおりであった。

(1) 船長

本件参考図上のパラメトリック横揺れ発生のおそれがある‘本船の正船尾から左舷30°～60°に波を受ける危険範囲’（以下「本件危険範囲」という。）からうねりを外すことを考えていたものの、夜間でうねりの方向を視認できなかった。

これまでにパラメトリック横揺れの危険性については回覧文書等で認識していたが、同横揺れの対応に特化した訓練は受講していなかった。

(2) A社

パラメトリック横揺れの危険性については、以前から本件参考図上で船長に対し、注意喚起していた。しかしながら、同揺れの算出方法等が明確に確立されていない状況であったので、同揺れの対応に特化した訓練は実施しておらず、また、積付計画においても固縛強度の評価上は想定していなかった。

(3) W社

WRSでパラメトリック横揺れの発生予測等の対応はなかったが、現在、データ解析等を進めて同揺れの危険性を可視化するツールを開発している。

2.9.6 本船のパラメトリック横揺れに対する評価

ISコードには、パラメトリック横揺れに対する船舶の特性等を評価する基準が提示されている。本船を設計した会社が、本船と同型クラスのコンテナ船を想定して同評価基準に沿ってパラメトリック横揺れ発生の可能性を算出（本事故時の積載状態及び気象・海象状況を反映させたものではない）したところ、その結果は、次のとおりであった。

喫水 (m)	トリム	GM(m)	評価基準 (ISコード)		
			レベル1	レベル2-C1	レベル2-C2
15.75	0	1.00	A	A	B
		2.00	A	A	B
		3.00	A	B	B
14.80	0	1.00	A	A	B
		2.00	A	A	B
		3.00	A	A	B

A パラメトリック横揺れの発生リスクあり

B パラメトリック横揺れに対して耐性あり

なお、船級協会Aのガイドラインによれば、各評価基準の特長概要は、次のとおりであった。

レベル1	比較的簡単な算式で評価できる利点がある一方、その分安全率を大きく見込んでおり、この基準に適合するためには運航上大きな制約が課される場合が少なくない。
レベル2	<p>技術的により高度かつ複雑な計算を実施する必要があるが、推定精度が向上する分、安全率を小さく設定でき運航上の制約が少なくなる。</p> <p>(C1) レベル1評価基準で用いた仮定、前提条件を波の条件によって変化させるなどで、パラメトリック横揺れの発生可能性に対する推定精度を向上させている。</p> <p>(C2) 様々な波条件と船速に対する計算結果から、各海象条件におけるパラメトリック横揺れ応答値を推定することを含め、種々の統計的処理を行う手順である。25°以下のパラメトリック横揺れは、許容されることを前提としており、ラッシング計算に用いる横傾斜角が一般的に25°以下となる大型コンテナ船等においてはその整合性に問題が生じる。</p>

2.10 近年のコンテナ船コンテナ損傷等事故

2006年以降に発生したコンテナ船のコンテナ損傷等事故（以下「同種事故」という。）で、海外の事故調査機関が調査を行い、事故調査報告書が公表されている事例は、表9のとおりであった。

表9 同種事故事例（海外の事故調査機関が調査し、事故調査報告書が公表されているもの）

	発生年 発生場所	船名 (総トン数)	コンテナ損傷等数		横揺れ 傾斜角	調査機関 (調査国)	主な原因
			海上に流出	損傷			
①	2006年 北大西洋	CMA CGM Otello (91,410トン)	50個	20個	20°	BEAmer (フランス共和国)	複合的要因（パラメトリック横揺れ、コンテナの重量超過・固縛方法等）
②	2006年 北大西洋	P&O Nedlloyd Genoa (31,333トン)	27個	32個	30°	MAIB (英国)	複合的要因（パラメトリック横揺れ、コンテナの重量超過・固縛方法等）
③	2007年 バルチック海	Annabella (7,398トン)	-	7個	30°	MAIB (英国)	コンテナの積込み手順
④	2009年 オーストラリア沖	Pacific Adventurer (1,839トン)	31個	-	30°	ATSB (オーストラリア連邦)	コンテナの固縛方法
⑤	2014年 北大西洋	SOVEREIGN MAERSK (91,560トン)	517個	250個	41°	DMAIB (デンマーク王国)	荒天予測（パラメトリック横揺れ含む）
⑥	2017年 北大西洋	EVER SMART (75,246トン)	42個	34個	12°	MAIB (英国)	複合的要因（コンテナの重量配分、固縛方法）
⑦	2018年 北太平洋	CMA CGM G. Washington (140,872トン)	81個	62個	30°	ATSB (オーストラリア連邦)	複合的要因（パラメトリック横揺れ、コンテナの強度不足・固縛方法等）
⑧	2018年 オーストラリア沖	Yang Ming Efficiency (42,741トン)	81個	62個	30°	ATSB (オーストラリア連邦)	複合的要因（コンテナの重量配分・固縛方法、荒天時の操船等）
⑨	2020年 オーストラリア沖	APL ENGLAND (65,792トン)	50個	79個	25°	ATSB (オーストラリア連邦)	複合的要因（コンテナ積込み手順・固縛装置の劣化、パラメトリック横揺れを含む荒天時の対応）
⑩	2021年 北太平洋	MAERSK ESSEN (141,716トン)	689個	258個	30°	DMAIB (デンマーク王国)	複合的要因（パラメトリック横揺れ及びウェザー・ルーティングサービス）
本件	2020年 北太平洋	ONE APUS (146,694トン)	1,841個	983個	25°		

上記各事例の事故調査報告書によれば、多くの事例でコンテナ損傷等の原因としてパラメトリック横揺れを含む複合的要因があるとされており、2018年及び2021年には、北太平洋上で本船と類似の船型のコンテナ船による事故がそれぞれ発生していた。（表9の⑦及び⑩参照）

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から、本事故が発生するまでの経過は、次のとおりであった。

(1) 本船は、令和2年11月19日17時54分ごろ（中国標準時）、船長及

び航海士Aほか22人が乗り組み、コンテナ7,016個(13,175TEU)を積載し、ロングビーチ港に向けて塩田港を出港した。

- (2) 本船は、予定針路である約129°の針路で航行中、30日23時15分ごろ、左舷船尾方からの波高約6mのうねりにより、横傾斜角が5°以上になり、その後10°以上と横揺れが激しくなり、23時19分ごろ針路約140°で航行したものと推定される。
- (3) 本船は、23時22分ごろ、針路約140°で航行中、横傾斜角が20°以上と横揺れが更に激しくなり、針路120°で航行したものと推定される。
- (4) 本船は、12月1日00時58分ごろ、針路約120°及び約11.7knの速力で航行中、突然、横揺れが大きくなって横傾斜が約25°～27°となり、針路を約180°としたものと考えられる。
- (5) 本船は、前記(3)及び(4)の横揺れの発生により、甲板上に積載していたコンテナの一部が倒壊し、海上に落下したものと認められる。

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2年11月30日23時22分ごろ～同年12月1日00時59分ごろで、発生場所は、ニイハウ島 Lehua Island 灯台から295°1,585M付近～1,565M付近であったものと推定される。

3.1.3 損傷等の状況

2.3及び2.5.3(1)から、次のとおりであった。

(1) コンテナの損傷等

- ① 上甲板上に積載されていたコンテナ3,593個のうち、海上に落下したものが1,841個、残存していたコンテナのうち、甲板上で倒壊するなどして損傷したものが983個であったものと認められる。
- ② 上記①の甲板上で倒壊等したコンテナは、コンテナ本体の圧損状況、コンテナ底部材の変形、ラッシングバーの曲損状況から、船体動揺によりラッシング資材の定格荷重を超える荷重が掛かったものと考えられる。
- ③ コンテナの積み上げ段数が8段以下のコンテナ列(計9列)では半数で倒壊があった一方、9段以上のコンテナ列(計13列)では全列で倒壊があったことから、積み上げ段数が高くなるほど船体動揺によりコンテナ等に掛かる荷重が大きくなったものと考えられる。

(2) 船体等の損傷

本船は、倒壊したコンテナ等の重量によって上甲板及びラッシングブリッジのハンドレールに曲損、圧縮空気及び清水系統管等の曲損、コンテナ積付

台に破孔及び船首部及び中央部外板の擦過傷等を生じたものと認められる。

3.2 事故要因の解析

3.2.1 乗組員の状況

2.4に記述したように、船長及び航海士Aは、それぞれ適法で有効な締約国資格受有者承認証を有しており、視力、聴力等に問題はなく、健康状態は良好であった。これらの乗組員の状況が、本事故の発生に関与したとは認められない。

3.2.2 船舶の状況

2.5.4から、次のとおりであった。

- (1) 本事故当時の本船の船体、機関及び機器類に、不具合又は故障はなく、これらの状況が本事故の発生に関与したとは認められない。
- (2) 本船に積載されたコンテナは、ラッシングプログラム及びA社の貨物固縛マニュアルどおりに固縛されており、航海中においても、3日に1回、甲板部員によって固縛状態の点検及びターンバックルの増し締めが行われていたものと考えられる。

3.2.3 気象等の状況

2.7から、本事故当時、天候は曇り、北北西方向から波高約5.0～6.0mのうねり、風速約5.5～7.9m/sの北西の風が吹き、視界は良好であったものと考えられる。

3.2.4 船長の操船状況に関する解析

2.1から、横揺れが大きくなった11月30日21時40分以降の船長の操船状況については、次のとおりであった。

- (1) 船長は、本船が北西方向からの高いうねりを正船尾方～左舷船尾方に受けて横揺れが始まった11月30日22時00分ごろ、昇橋した。
- (2) 船長は、自ら操船指揮をとることとし、22時47分ごろ本船の位置が予定針路線よりも南方に離れたので、針路を一旦、約140°から予定針路である約129°に戻し、横揺れの状況をうかがっていたものと考えられる。
- (3) 船長は、23時15分ごろ、左舷船尾方からの波高約6mのうねりにより、横傾斜角が5°以上になり、その後、10°以上になって激しくなるのを感じ、23時17分ごろ、針路をどの向きにすべきかを判断する目的で、23時19分ごろ、針路を140°とした。
- (4) 船長は、23時22分ごろ、更に横傾斜角が20°付近となって激しくな

るのを感じ、針路を120°に戻すこととし、23時23分ごろ、針路を120°とした。

(5) 船長は、23時48分ごろ、速力約11.3knに減速して航行を続けたところ、横傾斜角が約5°程度となり、船尾方からのうねりが夜間で暗くて見えず、その方向は正確には把握できなかったものの、このままの針路及び速力を保持して航行すれば、安全に航行できると判断し、同じ針路及び速力で航行を続けたものと考えられる。

(6) 船長は、12月1日00時58分ごろ、約120°の針路及び約11.7knの速力で航行中、突然、横傾斜角が大きくなって約25°となり、00時59分ごろ、針路を150°とする指示に続いて約180°まで変針した。
(図12参照)

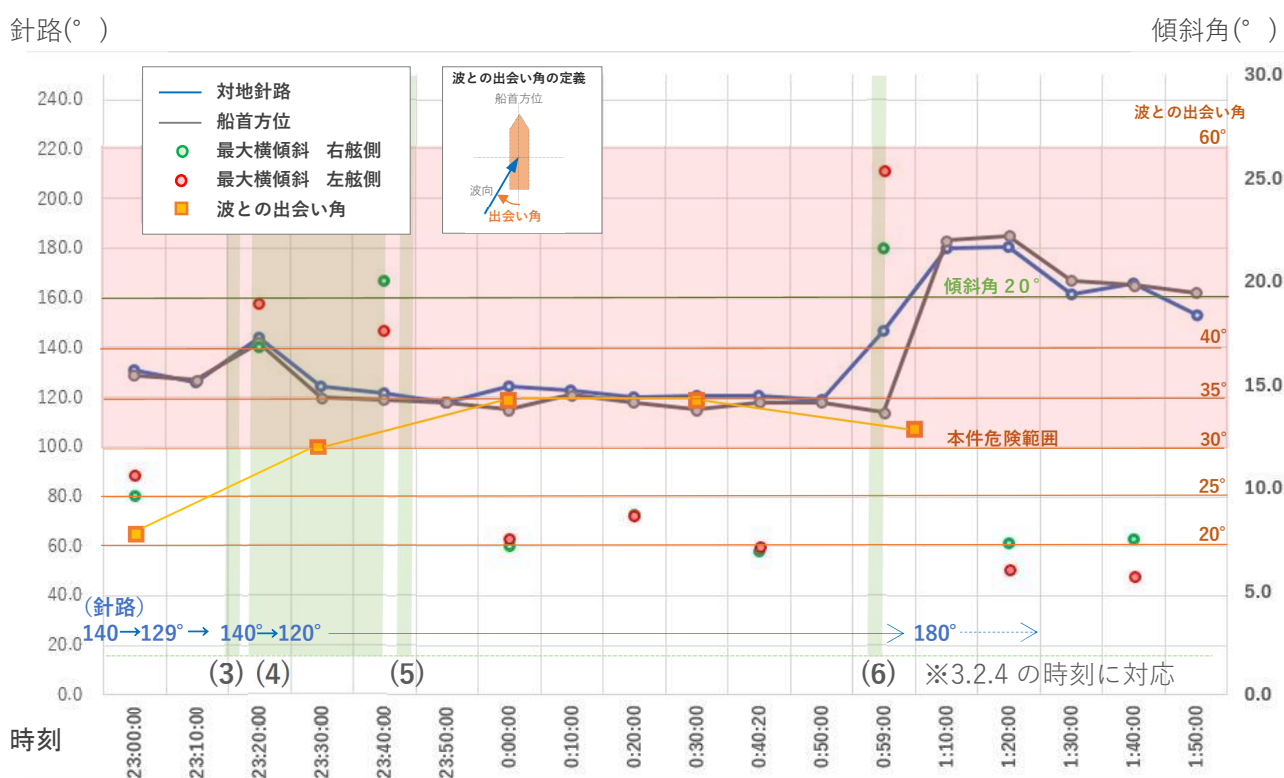


図12 針路（対地針路・船首方位）、横傾斜角（20分間の最大値）及び波との出会い角の推移

3.2.5 航海計画の決定等に関する解析

2.1、2.6及び2.9.5から、次のとおりであった。

(1) 船長は、11月19日にW社から本件航海計画を受け取り、26日12時00分（協定世界時）ごろに北太平洋の上で本件高波海域が発生し、その4日後には同高波海域を通過する状況であったので、同高波海域を懸念したも

のの、本船が通過する頃には波が5 m程度になると予測し、本件航海計画を採用することとしたものと考えられる。

- (2) 船長は、25日、日本列島南岸を航行中、W社に対し、現在の本件航海計画では本件高波海域に接近して危険であることを通知し、同計画を変更するように要求し、26日にW社から受け取った変更1計画により、針路を約090°として航行したものと考えられる。
- (3) 船長は、26日13時00分ごろ、更に針路を約099°に変更し、W社に針路の変更を報告するとともに航海計画の変更を要望したものと考えられる。
- (4) 船長は、28日18時50分ごろ、W社から現在の針路を維持して航行し、本件高波海域を避けた後、再び大圏航路で目的地に向かう変更2計画を受け取ったものと考えられる。
- (5) 船長は、29日、北西方向からの約5～6 mのうねりを船尾方に受けることを懸念して再度W社に航海計画の変更を要望し、30日、W社から変更3計画を受け取り、同計画に従って、本件高波海域南方に向ける航路とし、速力を増速させ、針路を約129°としたものと考えられる。
- (6) 船長は、風及び波の衝撃をできるだけ軽減するように船の針路及び速力を調整するべく、本件危険範囲から左舷船尾方のうねりを外すことを考えていたものの、夜間でうねりの方向を視認できなかったものと考えられる。
- (7) W社の変更3計画には、同計画の針路上に予想される波浪の情報が記載されており、12月1日00時に予想される波向が北北西（16方位）及び波高5.7 mとなっていたものと認められる。
- (8) 本船は、本事故時、上記(7)の北北西方向からのうねりを左舷船尾方から受けており、本件参考図の番号1～6で示すと、次のとおりであったものと考えられる。
 - ① 11月30日23時22分ごろ、横傾斜角20°発生時の針路は、136°～141°であり、番号6の範囲であったものの、番号5の本件危険範囲に近い状態であった。なお、本件参考図には番号5の状態として“とても激しい横揺れ（パラメトリック横揺れ）”が発生するおそれがある旨の記載があった。
 - ② 12月1日00時59分ごろ、横傾斜角25°～27°発生時の針路は、116°～115°であり、番号5の本件危険範囲に入っていた。
- (9) 船長は、A社の安全管理手順書に風及び波の衝撃をできるだけ軽減するように船の針路及び速力を調整することと定められており、本件航海計画に記載されている波浪予想等を確認し、うねりが本件危険範囲内に入らないよう針路を大幅に変更する必要があったものと考えられる。

3.2.6 航海計画へのA社の関与等に関する解析

2.1.3及び2.6から、次のとおりであったものと考えられる。

- (1) 船長は、W社から送信される航海計画はB社の担当者にもCC（複写）で送信されており、また、船長がW社に返信する際にはA社の担当者にもCCで送信するようにしていたので、両社も本船の動静を把握しているとの認識であった。
- (2) A社は、航海計画が船長の裁量で決定されることから、同計画に懸念がある場合を除き、同計画への干渉をしなかった。
- (3) A社は、荒天によりパラメトリック横揺れ等が予想される場合の航海計画の決定に関し、必要に応じて船長を支援する体制を整える必要がある。

3.2.7 船体動揺に関する解析

2.3.2、2.5.3及び2.8から、次のとおりであった。

- (1) 本船の姿勢センサによる横傾斜の計測値（最大値）は、23時39分に 20.0° （右舷側）となり、その後、23時59分～00時39分に 10° 以下となっていたが、00時59分に 25.3° （左舷側）となっていた。
- (2) 本船は、23時39分に横傾斜が 20.0° となり、ラッシングプログラムで想定されていた最大振幅（約 16.1° ）を超えたことにより、コンテナの固縛金具等が損傷し、甲板上に積載していたコンテナが倒壊し、更に00時59分に横傾斜が 25.3° となったことから、コンテナの倒壊等が拡大し、コンテナ積付台等の甲板上構造物に損傷が生じたものと考えられる。

3.2.8 パラメトリック横揺れの発生に関する解析

2.1.3、2.5.3、2.8及び2.9から、本事故時のパラメトリック横揺れの発生については、次のとおりであった。

- (1) 本事故当時、本船では、00時59分に横傾斜の計測値が 25.3° となる船体動揺が発生していたのに対し、短期予測手法（通常の船体運動推定計算）で算出された横揺れ振幅の $1/188$ 最大期待値は 22.97° （表8参照）であった。このように、本船では同手法による推定計算では算出されない大きな横揺れが発生していたことから、通常の船体運動とは異なる状況であったものと考えられる。
- (2) 本船を設計した会社が本船と同型クラスのコンテナ船を想定してISコードに基づきパラメトリック横揺れが発生する可能性を算出した結果と、本事故時の本船のコンディション（喫水（平均） 14.55m 及びGM 1.605

m) とを比較すると、本事故時の本船では、I Sコードの「レベル1」及び「レベル2-C1」により評価した場合、パラメトリック横揺れが発生する危険性があったものと認められる。

- (3) “船級協会Aのガイドライン記載のパラメトリック横揺れが発生しやすい条件”及び“TopTier レポート記載の警戒すべき条件”と「2.8 船体運動の推定計算」の状態(表8の計算条件)に基づいて本事故時の状況と対比させた結果は、表10のとおりであった。

表10 ガイドライン等と本事故当時の状況との対比

① 船級協会Aのガイドライン (パラメトリック横揺れが発生しやすい条件等)	本事故当時の状況	結果
うねりを船首及び船尾方向から受け、かつ、うねりとの出会い周期が本船の横揺れ固有周期の1/2に近い場合 (同ガイドラインに記載されていた横揺れ固有周期の推定式 $T_r=0.8B/\sqrt{GM}$)	右舷船尾方からのうねりを受けていた (出会い周期 (19.1 秒) / 横揺れ固有周期 (31.9 秒) = 0.59 倍)	おおむね当てはまる
船幅が50mを超える大型船において、突発的に10°を超える横傾斜が発生した場合	発生していた	当てはまる
うねりの方向が、船首及び船尾方向それぞれにおいて、船体中心線から左右60°程度の範囲(特に約40°の範囲は注意が必要)	うねりの方向約35°	当てはまる
船の長さの0.6倍以上に相当する波長のうねりに遭遇した場合は、特に注意が必要	0.6倍以上	当てはまる
② TopTier レポート (どのような場合に警戒すべきか等)	本事故当時の状況	結果
GMが小さいことにより、船の横揺れ周期が長い場合(船の長さが250m以上の船で横揺れ周期が20秒を超える場合) (同レポートに記載されていた横揺れ固有周期の推定式 $T_r=0.86B/\sqrt{GM}$)	20秒を超える (横揺れ固有周期 34.3 秒)	当てはまる
追い波(もしくはそれに近いもの)が予想されたり、実際に波を受けたりした場合	右舷船尾方からのうねりを受けていた	当てはまる
横揺れ周期が波との出会い周期の2倍(±3秒)であるとき	1.79倍(出会い周期の2倍-3.9秒) (横揺れ固有周期/出会い周期=1.79倍)	当てはまらない
波長が船の長さの2/3以上の場合	範囲内 (波長 351.15m < L364.15m)	当てはまる

対比の結果、本事故当時の状況は、多くの項目でパラメトリック横揺れが発生しやすいとされる条件等に当てはまっていた。

- (4) 前記(1)～(3)から、本船では、左舷正船尾方からうねりを受け、横揺れが始まった11月30日21時40分ごろから針路を大きく変えた12月1日00時59分ごろまで、パラメトリック横揺れが発生しやすい状況が継続していたものと考えられる。
- (5) 船長は、荒天となった際、遭遇している海象状況を適切に把握してうねりの方向が本件危険範囲内に入らないよう針路を大幅に変更するなど、パラメ

トリック横揺れの発生に対して適切な回避行動をとる必要があったものと考えられる。

- (6) A社は、パラメトリック横揺れの回避を目的とした運航ガイダンス等を作成し、乗組員に理解させる必要がある。また、将来的には大型コンテナ船等の同横揺れが発生しやすい船舶の運航に関わる関係者においては、動揺データ等から同横揺れの発生の予兆を検出し、針路及び速力の変更等の迅速な措置を促すシステムの開発を進めることが望まれる。

3.2.9 事故発生に関する解析

3.1及び3.2.3～3.2.8から、次のとおりであった。

- (1) 船長は、11月30日23時19分ごろ、横揺れを軽減しようとし、本件危険範囲から左舷船尾方のうねりを外すことを考えていたものの、夜間でうねりの方向を視認できず、針路を約 140° としたことから、うねりの方向が本件危険範囲に近い針路で航行することとなり、23時22分ごろ横傾斜角が 20° 以上となり、ラッシングプログラムで想定されていた最大振幅（約 16.1° ）を超え、コンテナの固縛金具等が損傷し、1回目の荷崩れが発生したものと考えられる。
- (2) 船長は、その後、横揺れが更に激しくなるのを感じて変針し、針路を約 120° とした後、23時48分ごろ、本船の横傾斜が約 5° 程度に収まってきたので、このままの針路及び速力を保持して航行すれば、安全に航行できると判断し、うねりの方向が本件危険範囲に入った状態で航行を続けたことから、12月1日00時58分ごろ、横傾斜角が大きくなって約 25° 以上となり、2回目の荷崩れが発生したことによりコンテナの倒壊等が拡大し、コンテナ積付台等の甲板上構造物に損傷が生じたものと考えられる。
- (3) 本船は、横揺れが始まった11月30日21時40分ごろから針路を大きく変えた12月1日00時59分ごろまでの間、パラメトリック横揺れが発生しやすい状況で航行していたものと考えられる。船長が、このような航行をしたのは、(1)に記載したとおり、夜間で海象状態を適切に把握できなかったことによるものと考えられる。

4 原因

本事故は、夜間、本船が、ハワイ諸島ニイハウ島西北西方沖を東南東進中、北西及び北北西方向から約5～6mのうねりを左舷船尾方に受ける状況下、船長が、横揺れ

を軽減しようとして針路約140°で航行したため、うねりの方向が‘本船の正船尾から左舷30°～60°に波を受ける危険範囲’に近い状態となり、横傾斜角が20°以上生じ、1回目の荷崩れが発生したものと考えられる。

その後、本船は、船長が、横揺れが更に激しくなるのを感じて、針路を約120°に変針して航行を続けたため、うねりの方向が‘本船の正船尾から左舷30°～60°に波を受ける危険範囲’に入ることとなり、横傾斜角が25°以上生じ、2回目の荷崩れが発生したものと考えられる。

本船は、荷崩れが発生したことにより、積載していたコンテナが倒壊するなどしてコンテナ積付台等の甲板上構造物が損傷し、本事故に至ったものと考えられる。

船長が、針路を約140°とし、うねりの方向が‘本船の正船尾から左舷30°～60°に波を受ける危険範囲’に近い状態となったのは、夜間で海象状態を適切に把握できなかったことによるものと考えられる。

船長が、針路を約120°とし、うねりの方向が‘本船の正船尾から左舷30°～60°に波を受ける危険範囲’に入ったのは、本船の横傾斜角が約5°程度に収まり、このままの針路及び速力を保持して航行すれば、安全に航行できると判断したことによるものと考えられる。

本船は、横揺れが始まった11月30日21時40分ごろから針路を大きく変えた12月1日00時59分ごろまでの間、パラメトリック横揺れが発生しやすい状況で航行していたものと考えられる。

5 再発防止策

本事故は、夜間、本船が、うねりを船尾方に受ける状況下、船長が、針路約140°で航行したため、うねりの方向が本件危険範囲に近い状態となる針路で航行することとなり、1回目の荷崩れが発生し、その後、船長が、針路約120°で航行を続けたため、うねりの方向が本件危険範囲に入ることとなり、2回目の荷崩れが発生したものと考えられる。

本船は、荷崩れが発生したことにより、積載していたコンテナが倒壊するなどしてコンテナ積付台等の甲板上構造物が損傷し、本事故に至ったものと考えられる。

本船は、パラメトリック横揺れが発生しやすい状況で航行していたものと考えられる。したがって、同種事故の再発防止のため、次の措置を講じる必要がある。

- (1) A社は、乗組員に対し、荒天が予想される場合、ウェザー・ルーティングサービスに記載されている波浪予測を確認し、波向と針路の関係を考慮した上で、本件危険範囲内に入らないよう針路を大幅に変更するなど、パラメトリック

ク横揺れの発生に対する適切な回避措置について指導すること。

- (2) 船長は、予定進路上に荒天が予測される場合、早期にA社及びW社に連絡し、貨物の状態を含めた航海計画の妥当性を協議すること。
- (3) A社は、荒天によりパラメトリック横揺れ等が予想される場合の針路等の航海計画の決定に関し、必要に応じて船長を支援する体制を整えること。

5.1 事故後に講じられた事故等防止策

A社は、B社及びC社等と合同で調査チームを設置し、運航船舶の安全運航を向上させる目的で、次の措置を講じた。

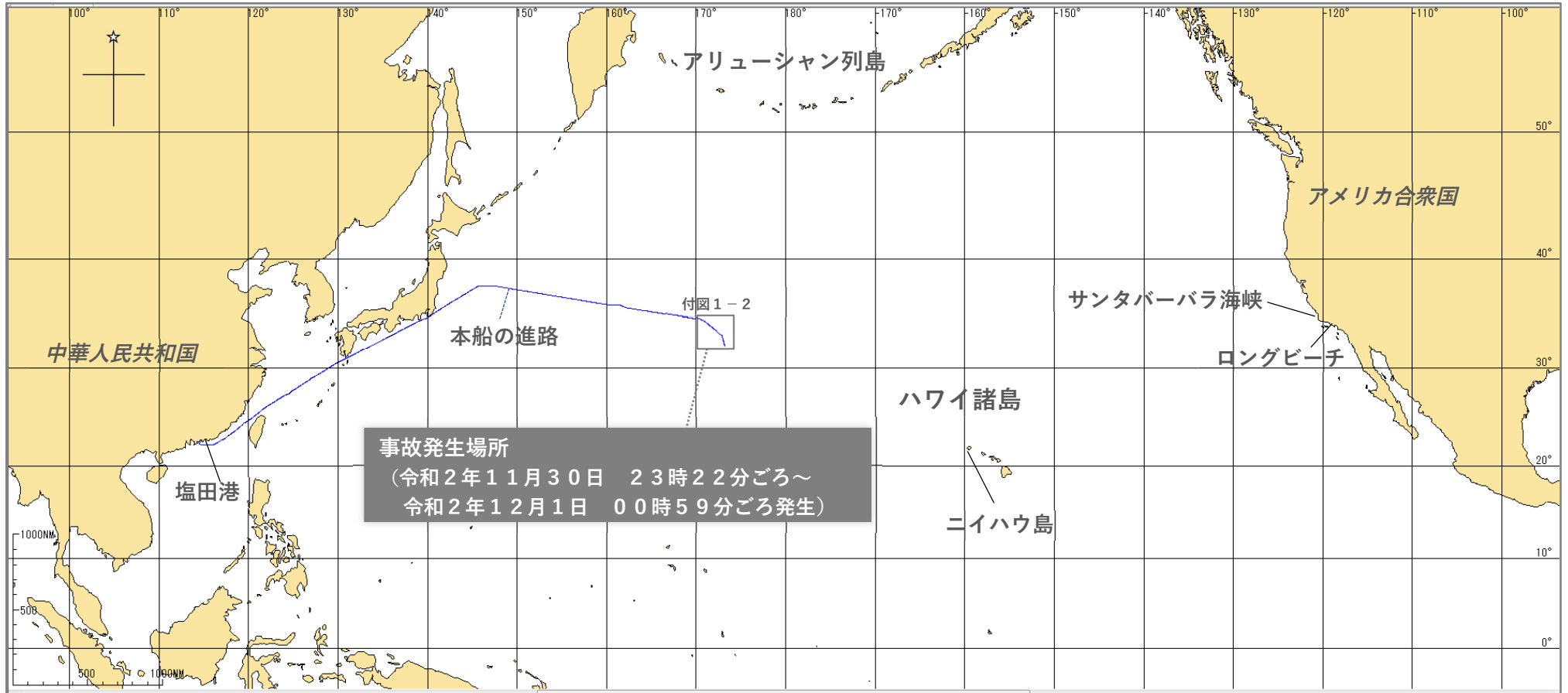
- (1) 乗組員に対し、パラメトリック横揺れを含む荒天航行に関する教育を行い、同種事故が起きないように注意喚起した。
- (2) ラッシング資材について、強度テストを行い、一部の資材の交換を行った。
- (3) 積付けプログラムの計算設定を以下の条件に変更した。
 - ・想定風速を40m/sとした。
 - ・想定速力を21knとした。
 - ・プログラムを改修し、最大振幅を22°としたときの船体強度等を算出できるようにした。
- (4) ラッシングプログラムの計算設定を以下の条件に変更した。
 - ・コンテナコーナーキャスティングの安全荷重を300kNから210kNに変更した。（現在、安全荷重の再評価等を実施）
- (5) ウェザー・ルーティングサービスの契約体系を変更し、船長と同サービス業者との対話等を強化した。
- (6) 本船の船型に合わせた本件参考図を新たに作成した。
- (7) 荒天時、陸上から天候を継続的に監視し、船長を支援する体制を強化した。

5.2 今後必要とされる事故等防止策

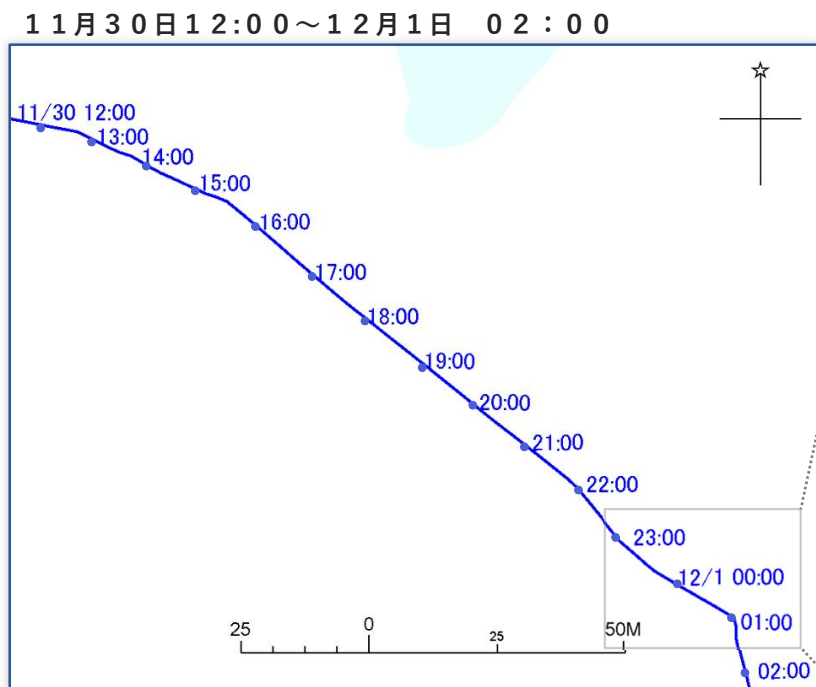
A社は、引き続きパラメトリック横揺れ等の荒天が予想される場合の航海計画の決定に関し、必要に応じて船長を支援する体制を整えること。

運輸安全委員会は、本事故の調査結果を踏まえ、同種事故を防止するため、本報告書の内容を周知することについて、一般社団法人日本船主協会、外国船舶協会に協力を依頼する。

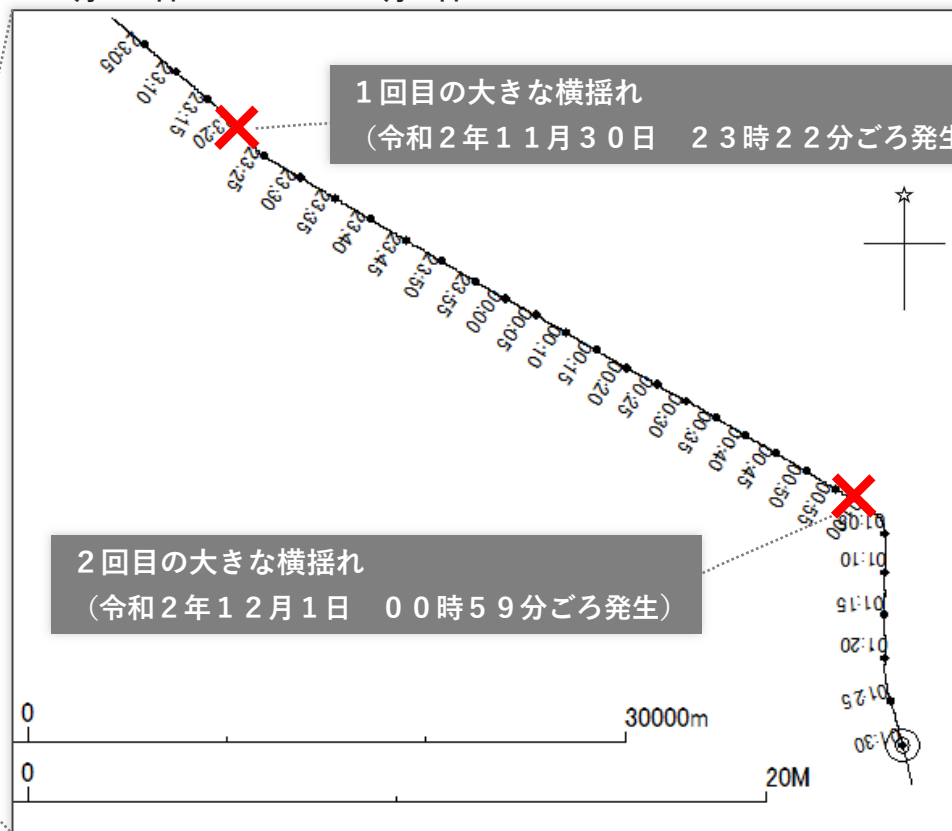
付図1-1 航行経路図（全体図）



付図1-2 航行経路図(拡大図)



11月30日 23:05~12月1日 01:30

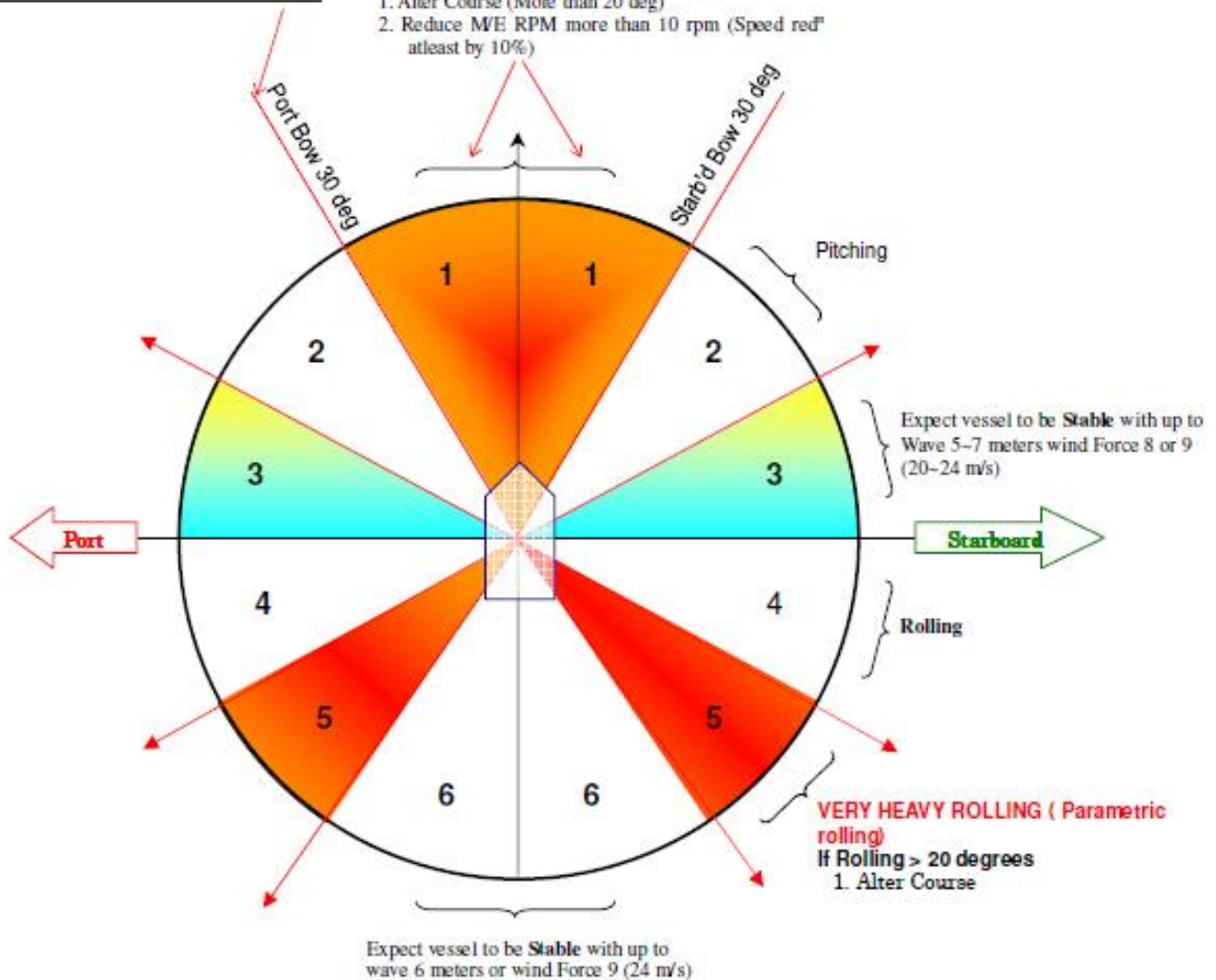


付図2 本件参考図

“GUIDELINES TO AVOID HEAVY WEATHER DAMAGES”

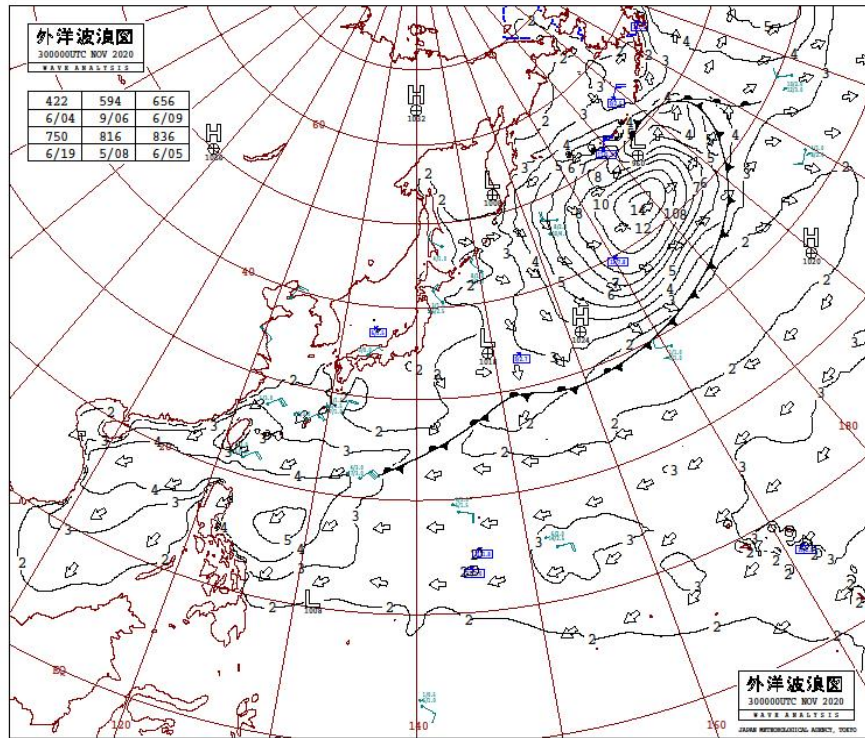
HAZARDOUS! Green Sea;
In wave ht. > 4 mtrs or wind Force >
7 (17 m/s).
1. Alter Course (More than 10 deg)

VERY HEAVY PITCHING
In wave > 5 meters or wind force “8 (20 m/s)”
Pitching > 3 degrees (Bow pitching 8 mtrs)
1. Alter Course (More than 20 deg)
2. Reduce M/E RPM more than 10 rpm (Speed red’
atleast by 10%)

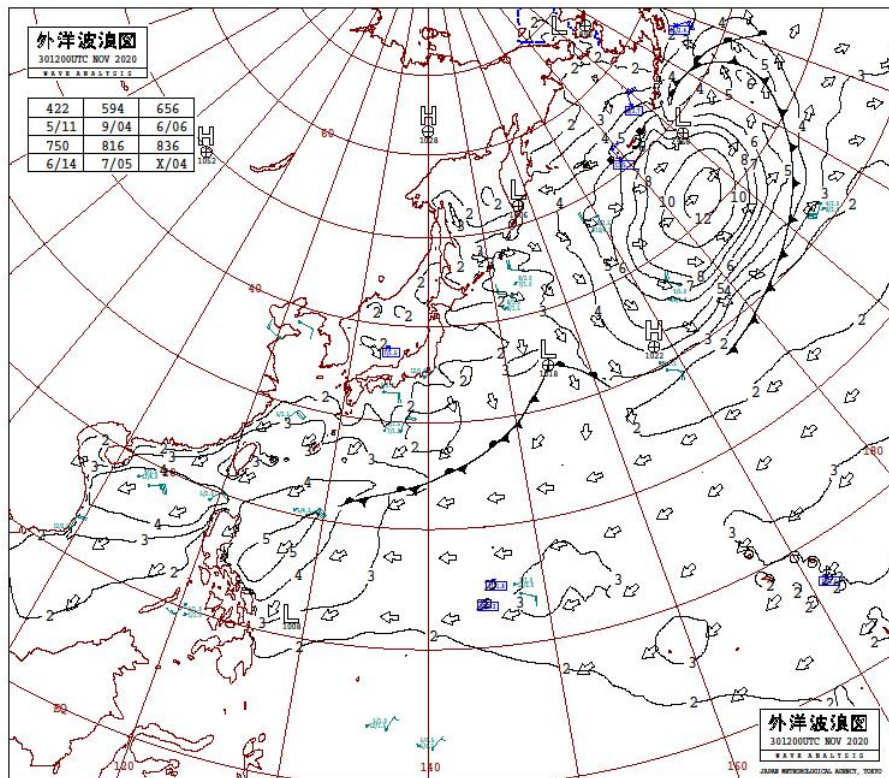


- Above sample is for a container vessel (approx 4000TEUS) and length overall 289 mtrs.
- Actual Conditions may vary basis actual displacement / Stability / Container Tiers. Above diagram is only a guideline for raising awareness of possible hazards.
- Weather tolerance (Limits) and RPM reductions etc will be different for vessels based upon their respective engine, ships particulars and Master's requirements
- Index of Pitching can be approximately calculated using foremost movement.
- The Wave impact force on the vessel's hull is SQUARE of the vessel's relative speed.**
- Parametric rolling** in extreme head or near head seas can occur when unfavorable tuning is combined with low roll damping (reduced speed) and large stability variations (governed by wavelength, wave height, general hull form, bow flare and stern shapes). Parametric rolling is an unstable phenomenon, quickly generating large roll angles coupled with significant pitching. Rolling occurs in phase with pitch and on containerships introduces high loads into the containers and their securing systems. Please see attached MSC Circular 1228.

付図3 外洋波浪図



(令和2年11月30日12時00分)



(令和2年12月1日00時00分)

付図4 TopTier レポート

※日本船主責任相互保険組合が試読したもの
(ウェブサイト <https://www.piclub.or.jp/ja/news/34868>)

TopTier_N2M_ParametricRollFollowingSeas_V1.1

試読

Notice to Mariners

追い波でのパラメトリック横揺れに注意

2020年から2021年の冬季、コンテナ損失を伴う大事故が多発しました。これを受けて、同種事故の再発防止対策を探るため、業界による共同プロジェクト（The TopTier project）が展開され、追い波でのパラメトリック横揺れが特に危険であることが明らかとなりました。追い波でのパラメトリック横揺れ防止に際し、コンテナ船の乗組員並びに運航に関わるスタッフがどのように計画、認識し、行動に移したらよいか説明します。

危険性とその根拠について

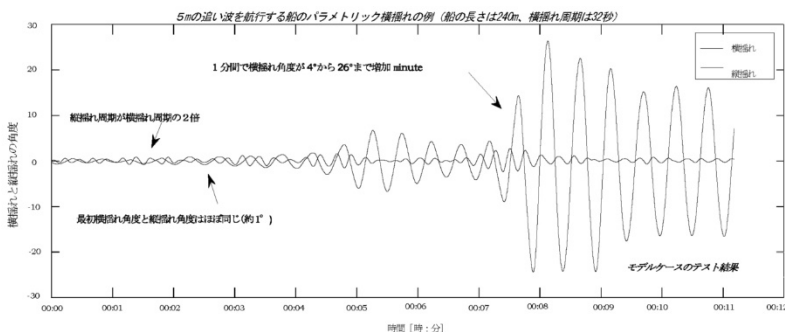
コンテナ船は、追い波状態においてパラメトリック横揺れの影響を受けやすい船種です。船の横揺れ周期、船の速度、針路、そして波の状態の組み合わせにより、突然、船と乗組員、貨物の安全を脅かすレベルにまで船の横揺れが急増加することがあります。この現象は比較的穏やかな波高で発生することもあります。

パラメトリック横揺れとは？

パラメトリック横揺れは次のような状況で発生する可能性があります。

- 横揺れ周期が波との出会い周期の2倍であるとき
- 波長が船の長さの範囲内であるとき

上記の状況下では、船を通過する波が水線面積に変化を引き起こし、船の横揺れが発生する可能性があります。これは、向かい波の荒天下で最も多く発生しますが、横揺れ周期が長くなる追い波でも発生する可能性があります。下図の船体動揺の測定グラフが示すように、わずかな高波が発生した場合でも、予期しない大きな横揺れが引き起こされる可能性があります。なお、船の長さは240m、固有横揺れ周期は32秒、5mの追い波で進行しています。



どのような場合に警戒すべきか？

GMの小さい船は追い波でパラメトリック横揺れを発生しやすく、斜め船尾方向から波長の長い波を受ける場合は特に注意が必要です。長期的なルーティングと短期的な操船において、以下のような状況では追い波におけるパラメトリック横揺れに警戒してください。

- GMが小さいことにより、船の横揺れ周期が長い場合（船の長さが250m以上の船で横揺れ周

期が20秒を超える場合)。なお、GMから計算で求めた横揺れ周期は必ずしも正確ではないため、横揺れ周期は出航後に実際に測定してください。

- 追い波（もしくはそれに近いもの）が予想されたり、実際に波を受けたりした場合。
- 横揺れ周期が波との出会い周期の2倍である場合。波との出会い周期は縦揺れ周期と等しく、ストップウォッチを使用して測定することができる。
- 波長が船の長さの2/3以上の場合。

航路計画の時点で、船の速度、予測される風、波の周期と方向により波との出会い周期や波長を計算し、上記の状況を予め避けてください。（詳細については次ページをご参照）。

最初の兆候やリスクの増加を認識するにはどうすべきか？

パラメトリック横揺れは、突然予想もしていなかったときに発生することがあります。これを防ぐには、乗組員が早い段階でこのような状態と危険の兆候を認識できなければなりません。明らかな兆候は、波が船体の下を通過する際に穏やかな横揺れと縦揺れが同時に起こるときです。特に、船が連続する縦揺れと全く同時に左右交互の横揺れをしているときは注意してください。これは波との出会い周期が横揺れ周期の半分に近い状況を示しており、このような状況下では、波が十分に高ければいつでもパラメトリック横揺れが発生しうるからです。

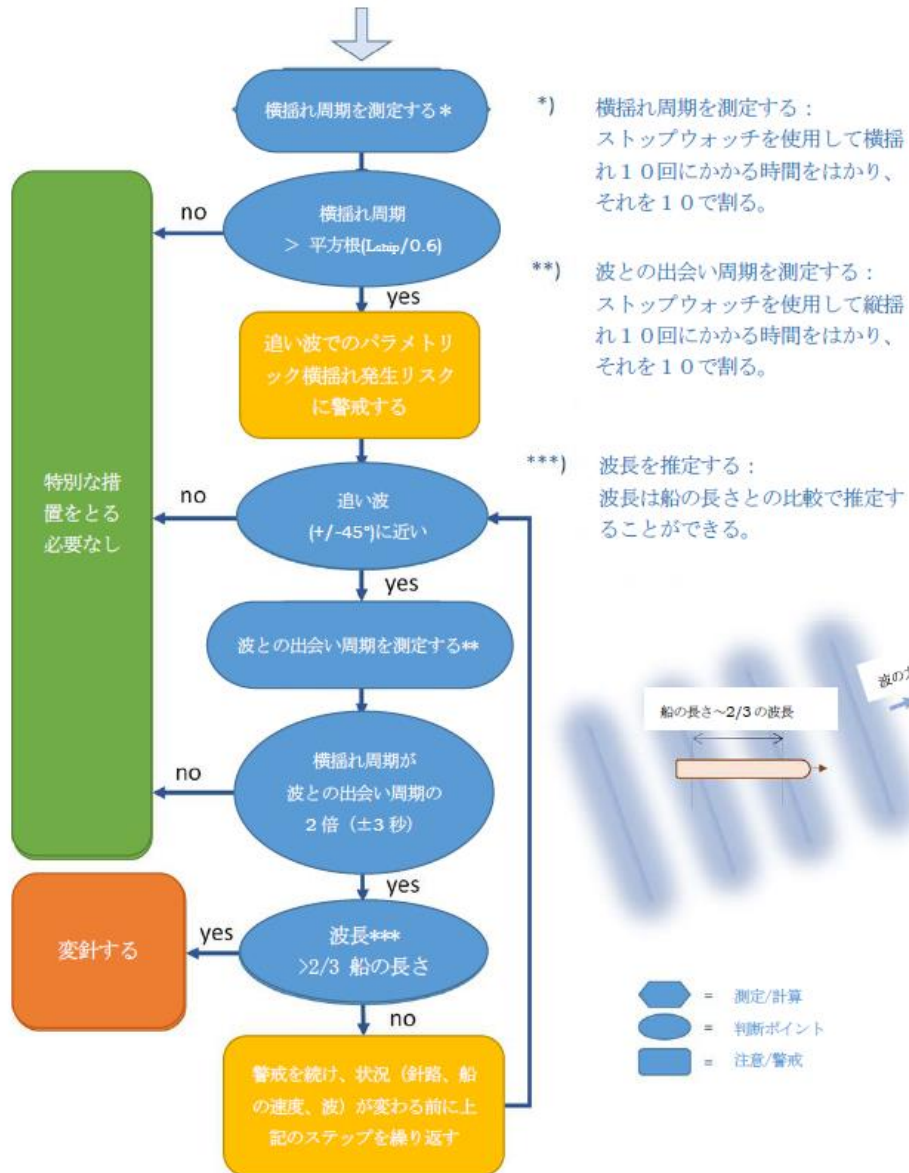
発生してしまった場合どうすべきか？

横揺れ周期と波との出会い周期が同時にないようにしてください。これを直接防ぐ方法は、横波か斜め向い波方向に変針することです。急な操船は避けてください。船の速度を上げながら変針することもできますが、その他の危険のリスクを生じさせない場合に限りです。変針は意外な方法に思われるかもしれませんが、追い波でのパラメトリック横揺れのリスクを下げる唯一の方法です。

TopTier JIPの主導でこのNotice to marinersを案内しています。コンテナの損失を伴う事故に対処するため、主なステークホルダーが積極的に参加してこの共同プロジェクト、TopTierが展開されました。今後も追い波でのパラメトリック横揺れの危険性に関するさらなるガイダンスを発信する予定です。詳細については以下のサイトをご覧ください。

<https://www.marin.nl/en/jips/toptier>

追い波でのパラメトリック横揺れにいつ注意すべきか？



横揺れ周期の計算

航海の準備段階で横揺れ周期の正確な査定を行うことは難しいかもしれませんが、そのような場合は、以下の計算式により波との出会い周期と波長を推定することができます。

$$T_{roll} = \frac{0.86B}{\sqrt{GM_{fluid}}} \quad T_e = \frac{3T_w^2}{3T_w + V \cos(\alpha)} \quad L_w = \frac{1.56T_w^2}{\text{abs}(\cos(\alpha))}$$

- T_{roll} = 推定される船の横揺れ周期 (秒)
- B = 船幅 (m)
- GM_{fluid} = 自由表面をもつ液体による変化も加味した横復原力 (m)
- L_w = 波長 (m)
- L_{ship} = 船の長さ (m)
- T_w = 波の周期 (秒)
- α = 波の方向 (α = 0° は向い波を示す) (度)
- T_e = 波との出会い周期 (秒)
- V = 船の速度 (knots)
- abs = 絶対値
- sqrt = 平方根

以上

