

# 船舶事故調査報告書

船種 船名 貨物船 RICKMERS JAKARTA

IMO番号 9292010

総トン数 23,119トン

船種 船名 はしけ 18新栄丸

表示番号 Y 0628

積載重量 540t

事故種類 作業員死傷

発生日時 平成20年9月1日 10時05分ごろ

発生場所 京浜港横浜第1区山下ふ頭3号岸壁

神奈川県横浜市横浜ベイブリッジ橋梁灯（P1灯）から真方位  
266° 1,400m付近

（概位 北緯35° 27.1′ 東経139° 39.3′）

平成23年6月2日

運輸安全委員会（海事部会）議決

委員長 後藤昇弘

委員 横山鐵男（部会長）

委員 山本哲也

委員 石川敏行

委員 根本美奈

## 1 船舶事故調査の経過

### 1.1 船舶事故の概要

貨物船<sup>リックマース ジャカルタ</sup>RICKMERS JAKARTAは、京浜港横浜第1区山下ふ頭3号岸壁に右舷着けで係留し、同船の左舷側に接舷しているはしけ<sup>しんえい</sup>18新栄丸の船倉から3号デッキクレーンを使用して貨物を巻き上げ中、平成20年9月1日10時05分ごろ、デッキクレーン

の巻上用ワイヤロープが破断して貨物が18新栄丸の船倉内に落下した。

18新栄丸上で作業を行っていた作業員のうち、5人が落水して1人が死亡し、救助された4人のうち3人が打撲傷を負った。

また、18新栄丸は、落下した貨物により、船倉船底に破口が生じて沈没した。

## 1.2 船舶事故調査の概要

### 1.2.1 調査組織

運輸安全委員会は、平成20年10月1日、本事故の調査を横浜地方海難審判理事所から引き継ぎ、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、主管調査官として新たに船舶事故調査官ほか2人の船舶事故調査官を指名した。

### 1.2.2 調査の実施時期

平成20年9月1日、2日、平成21年4月13日、14日 現場調査

平成20年9月5日、24日、12月12日、平成21年1月14日、27日、平成22年10月4日 口述聴取

平成20年12月9日、平成21年6月30日、8月11日、19日、20日、9月28日、30日、10月7日、8日、平成22年9月7日 回答書受領

平成21年1月8日、6月18日 口述聴取及び回答書受領

平成21年1月22日 口述聴取、回答書受領及び現場調査

平成21年3月4日 ドイツ連邦共和国の調査及び分析会社が、RICKMERS JAKARTA 船舶管理会社の依頼に基づき作成した「貨物落下事故に関する原因調査」報告書受領

### 1.2.3 経過報告

平成21年10月30日、その時点までの事実調査結果に基づき、国土交通大臣に対して経過報告を行い、公表した。

### 1.2.4 解析の委託

本事故に関し、独立行政法人海上技術安全研究所に、平成21年3月4日に受領した「貨物落下事故に関する原因調査」報告書の内容の妥当性について、評価を委託した。

### 1.2.5 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。

### 1.2.6 旗国及びクレーン製造会社への意見照会

旗国及びデッキクレーン製造会社に対し、意見照会を行った。

## 2 事実情報

### 2.1 事故の経過

#### 2.1.1 RICKMERS JAKARTA の動静

RICKMERS JAKARTA（以下「A船」という。）の動静は、船長（以下「船長A」という。）の口述及び回答書によれば、次のとおりであった。

A船は、平成20年8月13日、中華人民共和国<sup>シャンハイ</sup>上海の造船所において、船級協会<sup>\*1</sup>である Germanischer Lloyd（以下「GL」という。）による4基のデッキクレーン（以下「クレーン」という。）の定期検査を行い、2号及び3号クレーンについては、GLの規定による制限荷重<sup>\*2</sup>の1.1倍である荷重352tの荷重試験が行われ、それぞれ合格した。

A船は、8月25日、大韓民国の馬山港<sup>マサン</sup>で3号クレーンを使用して約227t、8月29日、阪神港神戸区で2号及び3号クレーンを併用して約321tの貨物の積荷役が行われた。

A船は、船長Aほか25人が乗り組み、阪神港神戸区を出港し、平成20年8月31日13時42分ごろ、京浜港横浜第1区山下ふ頭3号岸壁に右舷着けで係留して荷役の準備を行ったのち、21時54分ごろから重量物以外の貨物の積荷役を開始し、翌9月1日04時30分ごろ、休憩のため、積荷役を中断した。

#### 2.1.2 18新栄丸の動静

18新栄丸（以下「B船」という。）の動静は、えい航要員（以下「運航責任者B」という。）の口述によれば、次のとおりであった。

\*1 「船級協会」とは、船舶の構造及び設備に関する規則を定め、それに従って船舶を検査して船級を与え、船級証書を発行する非営利の法人をいう。

\*2 「制限荷重」とは、クレーンを安全に使用することができる最大荷重をいい、S.W.L.（Safe Working Load）と略され、制限半径（制限荷重で使用することができる最大の旋回半径）と組み合わせて表される。

B船は、京浜港横浜第3区所在の電機メーカー（以下「本件電機メーカー」という。）の専用岸壁で貨物（以下「本件貨物」という。）を積載して同港横浜第1区の船溜り<sup>ふなだま</sup>でA船の入港を待ち、A船が入港したのち、平成20年9月1日07時00分ごろ、運航責任者Bが1人で乗り組み、引き船にえい航されて同船溜りを出発し、08時00分ごろ、A船左舷側の2号クレーンと3号クレーンの中間付近に右舷着けで接舷した。

### 2.1.3 荷役作業請負状況に関する情報

A船の山下ふ頭<sup>ふなだま</sup>における荷役作業を請け負った荷役管理会社（以下「本件荷役管理会社」という。）の回答書によれば、A船の日本における代理店が、山下ふ頭3号岸壁でのA船の荷役作業を本件荷役管理会社に発注し、本件荷役管理会社が、荷役専従会社C（以下「本件荷役会社C」という。）と荷役専従会社D（以下「本件荷役会社D」という。）に船積荷役作業を発注し、固縛専従会社E（以下「本件荷役会社E」という。）に本件貨物をA船に積載後の固縛作業を発注した。

### 2.1.4 本件貨物に関する情報

#### (1) 概要

本件荷役管理会社作成の積荷計画書及びA船の船舶管理会社（Rickmers Reederei GmbH & Cie. KG、以下「A船管理会社」という。）が提出した本件電機メーカー作成の貨物詳細図によれば、本件貨物は、本件電機メーカーが製造した発電所用の蒸気タービン駆動発電機で、長さ約11.4m、幅約5.5m、高さ約4.6mで、両側の前後に1個ずつ計4個の吊上用金具が取り付けられており、山下ふ頭<sup>ふなだま</sup>3号岸壁においてB船からA船の3番ホールド<sup>\*3</sup>左舷側に積載され、米国フロリダ州ウエストパームビーチで陸揚げが予定されていた。

#### (2) 重量

- ① 貨物詳細図によれば、重量は314tであった。
- ② A船の3号クレーンの操縦を行った甲板手（以下「甲板手A」という。）の口述によれば、本件貨物をB船から吊り上げた際、操縦席前面左側の荷重計は約290tを表示していた。
- ③ 本件荷役会社Cの作業担当者の口述によれば、本件貨物は、本件電機メーカーの専用岸壁でフローティングクレーン<sup>\*4</sup>を使用してB船に積み込

<sup>\*3</sup> 「ホールド」とは、貨物倉のことをいう。

<sup>\*4</sup> 「フローティングクレーン」とは、海上に浮かぶ台船上にクレーンを搭載した移動式クレーンをいう。

まれたが、その際、計測された重量は約300tであった。

### 2.1.5 事故当日の荷役状況と事故発生に至る経緯

事故当日の荷役状況と事故発生に至る経緯は、船長A、運航責任者B、本件荷役管理会社の担当者及び荷役担当者並びに本件荷役会社Cの労務担当者及び作業担当者の口述によれば、次のとおりであった。

A船は、平成20年9月1日08時30分ごろから本件貨物の積荷役を開始し、ヘルメット及び安全靴を着用してA船に乗船した本件荷役会社Cの荷役作業員7人（以下それぞれ「荷役作業員C1」、「荷役作業員C2」、「荷役作業員C3」、「荷役作業員C4」、「荷役作業員C5」、「荷役作業員C6」及び「荷役作業員C7」という。）及びその他の作業員によって3号クレーンの320t用フックブロック（以下「主フックブロック」という。）に4本の吊上用ワイヤロープ（以下「グロメット」（主フックブロックから貨物に掛けるワイヤロープ）という。）が掛けられたのち、ジブ<sup>\*5</sup>が左舷側に振り出され、接舷しているB船に積載された本件貨物の吊上用金具4か所にグロメットが掛けられた。

A船は、船長Aが合図を送り、甲板手Aが3号クレーンを操縦し、320t巻上用ワイヤロープ（以下「主ワイヤ」という。）及び4本のグロメットのたるみを取り除いたのち、09時40分ごろから本件貨物の巻上げを開始した。10時00分ごろ本件貨物はB船の船倉底から離れ、10時05分ごろ船倉底から約7～8m巻き上げられたとき、3号クレーンの主ワイヤが破断して本件貨物がB船の船倉に落下した。

A船上でグロメットを掛け終えてB船に移り、作業を行っていた本件荷役会社Cの荷役作業員7人及び運航責任者Bの合計8人のうち、3人は、B船の左舷船首部に接したはしけに乗り移ったものの、荷役作業員5人が落水し、そのうち4人は、付近の船舶やはしけに救助されたが、荷役作業員C1が行方不明となった。

同日の夕方、捜索を行っていたダイバーにより海底で荷役作業員C1が発見され、死亡が確認された。また、救助された4人のうち、3人が打撲傷を負った。

B船は、本件貨物により船倉船底に破口が生じて沈没した。

本事故の発生日時は、平成20年9月1日10時05分ごろで、発生場所は、横浜ベイブリッジ橋梁灯（P1灯）から真方位266°1,400m付近であった。

（付図1 事故発生場所図、付図2 A船一般配置図、付図3 A船乗組員及びA船上作業員配置図、付図4 B船状況図、写真1 A船全景、写真2 B船全景 参

<sup>\*5</sup> 「ジブ」とは、クレーン本体から突き出した“腕”をいう。

照)

## 2.2 人の死亡、行方不明及び負傷に関する情報

死体検案書によれば、荷役作業員C1の直接の死因は脳挫滅によるものであるが、解剖の結果、頭蓋骨及び顔面骨の複雑開放骨折、左右肋骨の多発骨折、左右胸腔内の出血が認められた。また、診断書によれば、荷役作業員C2、C3及びC4の3人が、下腿及び胸部に全治約5日間の打撲傷を負った。

(付図4 B船状況図 参照)

## 2.3 船舶の損傷に関する情報

### 2.3.1 A船

- (1) 3号クレーンの主ワイヤが、ジブ先端の巻上ウインチ側の320t巻上用シーブ\*6(以下「主シーブ」という。)に支持された部分で破断した。
- (2) 3号クレーンの操縦席から向かって右端の主シーブが、リムのワイヤロープガイド面(ワイヤロープが掛かるリムの接触面。以下「ワイヤガイド面」という。)の底部に沿って全周にわたり割損した。
- (3) 3号クレーンの主フックブロック及びグロメットが水没した。なお、後日、それらが海底から回収された。

(付図5 3号クレーン機械室図、付図6 ワイヤ装備図、付図7 ジブ及びシーブ図、写真3 3号クレーンジブ先端のシーブ、写真4 3号クレーンジブ先端、写真5 本事故後の状況、写真6 主ワイヤ破断部 参照)

### 2.3.2 B船

船長A、運航責任者B、本件荷役管理会社の荷役担当者並びに本件荷役会社Cの労務担当者及び作業担当者の口述によれば、B船は、船倉の船底中央部に破口が生じて沈没した。

(写真7 B船引揚状況 参照)

## 2.4 船舶以外の施設等の損傷に関する情報

水没した本件貨物は、平成20年10月7日、海中から引き揚げられたのち解体され、再使用可能な一部の部品を使用して貨物を製造し、平成21年6月5日船積みされ、当初の目的地に出荷された。

(写真8 本件貨物 参照)

---

\*6 「シーブ」とは、ワイヤロープを掛ける滑車をいう。

## 2.5 乗組員に関する情報

### (1) 性別、年齢、海技免状等

#### ① 船長A 男性 52歳

国籍 ポーランド共和国

マーシャル諸島共和国発給 MASTER MARINE CERTIFICATE ON SHIPS OF  
3000 GROSS TONNAGE AND MORE

免許年月日 2006年7月24日

免状有効期間満了日 2011年3月25日

#### ② 甲板手A (クレーン操縦士) 男性 27歳

国籍 フィリピン共和国

フィリピン共和国発行 クレーンオペレータコース修了証書

修了証書交付日 2007年3月28日

(2011年3月27日まで有効)

### (2) 乗組員の主な履歴

#### ① 船長A

船長Aの回答書によれば、次のとおりであった。

1982年に外航船を運航する会社に入社して1996年まで外航貨物船などに乗り組み、1996年、船長免状を取得後、一等航海士として重量物運搬船に乗り組んだ。2008年5月16日、A船に一等航海士として乗り組み、本事故当日9月1日の08時00分、船長に昇進した。

#### ② 甲板手A (クレーン操縦士)

甲板手Aの口述によれば、次のとおりであった。

2000年に甲板員として旅客船に乗り組み、2002年から貨物船に乗り組んだ。クレーンオペレータコースを受講後、重量物運搬船に乗船し、A船には、2008年5月14日、甲板手として乗り組んだ。重量物運搬船は、A船が2隻目で、最初に乗船した重量物運搬船でもクレーンの操縦を行っていた。

## 2.6 船舶等に関する情報

### 2.6.1 船舶の主要目

#### (1) A船

I M O 番号 9292010

船 籍 港 マジュロ (マーシャル諸島共和国)

船舶所有者 Willric Shipping Co., Ltd. (マーシャル諸島共和国)

船舶管理会社	A船管理会社（ドイツ連邦共和国）
総トン数	23,119トン
L×B×D	192.99m×27.8m×15.5m
船質	鋼
機関	ディーゼル機関1基
出力	15,785kW（連続最大）
推進器	固定ピッチプロペラ1個
起工年月日	2002年5月29日
進水年月日	2003年11月28日
船級	GL

(2) B船

表示番号	Y 0628
船舶所有者	個人所有
使用者	船舶使用者F
積載重量	540t
船質	鋼

## 2.6.2 貨物積載に関する情報

(1) A船

船長Aの回答書によれば、A船は、コンテナ80個（約2,057t）、その他の貨物約13,700tを積載し、A船のローディングマニュアル<sup>\*7</sup>によれば、本件貨物積載前の喫水は、船首約9.30m、船尾約9.80mであった。

(2) B船

運航責任者Bの口述によれば、貨物を積載していない状態での喫水が、船首約0.60m、船尾約0.65mで、本件貨物積載後の喫水は、船首約1.76m、船尾約1.81mであった。

## 2.6.3 A船の設備等

(1) 船体の状況

A船は、国際航海に従事する船尾船橋型の重量物運搬船で、甲板下に船首側から順に1番～5番ホールドを有し、甲板上にクレーン4基が装備され、

<sup>\*7</sup> 「ローディングマニュアル」とは、貨物及びバラストの積付け場所、重量等により、船舶の構造に過大な応力が発生することを防止するため、これらの貨物などの積付けの調整に必要な資料をいう。



1号及び4号クレーンは船首尾線上に、2号及び3号クレーンは左舷端に設置されていた。

5番ホールド後方に配置された居住区内に荷役事務室が設けられ、荷役中のバラスト調整を行うことができるようになっていた。

(付図2 A船一般配置図、写真1 A船全景 参照)

## (2) クレーンに関する情報

### ① クレーンの主要目

A船管理会社が提出したClass Certificate及びクレーンの取扱説明書によれば、A船に装備されたクレーンは、旋回式ジブ型油圧クレーンで、機械室の底部近くに支点を置くジブを有し、ジブ先端の巻上用シーブに巻上用ワイヤロープを通して貨物を吊る構造となっていて、2号及び3号クレーンには、制限荷重及び制限半径がそれぞれ、35t及び35m、320t及び16mの2つの巻上装置が装備されていた。

(写真1 A船全景 参照)

### ② クレーンの検査

GLの回答書によれば、次のとおりであった。

クレーンは、出荷前にクレーン製造工場で見検等を、船舶に設置されたのちに荷重試験を、いずれもGLの検査員が立ち会いの下で行っている。船舶の就航後は、毎年、クレーンの作動試験、揚貨装具の点検及び損傷箇所の点検などを、また、5年ごとに荷重試験を実施するようGLの規則(Regulations for the Construction and Survey of Lifting Appliances)に定めている。

クレーンを構成している部品の検査に関しては、その部品の重要度によって、カテゴリー1～3の3段階に分けて検査の方法を定めている。シーブは、カテゴリー2に分類され、製造中の検査を行っていなかった(カテゴリー1に分類された部品については、製造中の検査を行っている)。

## (3) 3号クレーンに関する情報

3号クレーンは、3番ホールドと4番ホールドの間の左舷端甲板上に設置され、機械室中央前面に操縦室が配置されていて、機械室内には、ウインチ類、旋回装置、油圧ポンプ装置などが設置されていた。A船が提出した3号クレーンのジブ詳細図によれば、ジブの長さは約35.5mであった。

(付図2 A船一般配置図、付図5 3号クレーン機械室図 参照)

### ① 操縦室

操縦室は、前方及び上下左右が見渡せるようになっており、操縦室中央

に操縦席が、その両側に操縦盤が取り付けられていた。

左側の操縦盤には、旋回及びジブの起伏を1本の操作レバーで操縦できるジョイスティック型操作レバー、始動及び停止ボタン、緊急停止ボタンなどが取り付けられており、右側の操縦盤には、35 t 巻上用操作レバー及び320 t 巻上用操作レバー、ワイパースイッチ、照明スイッチなどが、また、前面左側にデジタル式荷重計が取り付けられていた。

(写真9 3号クレーン操縦室 参照)

## ② ワイヤロープ巻上ウインチ等

ワイヤロープ巻上ウインチは、機械室内部に設置され、上から順に35 t 巻上ウインチ（以下「補助巻上ウインチ」という。）、ジブ起伏ウインチ、320 t 巻上ウインチ（以下「主巻上ウインチ」という。）が、また、基部には旋回装置が設置されていた。

(付図5 3号クレーン機械室図 参照)

## ③ ジブ先端シーブの配置

ジブ先端には、操縦室から向かって左側から順に主シーブB、主シーブA、ジブ起伏シーブ4個、そして右端に主シーブCが、さらに、その先に35 t 巻上用シーブ2個が取り付けられていた。

(付図7 ジブ及びシーブ図、写真3 3号クレーンジブ先端のシーブ参照)

## ④ ワイヤロープの装備状況

### a 主ワイヤ

主ワイヤは、呼び径<sup>\*8</sup>72mmで、機械室上部の主シーブDの近くで一端が固定され、ジブ先端の主シーブA、機械室上部の主シーブDを經由してジブ先端の主シーブBから主フックブロックを吊り、ジブ先端の主シーブCと機械室上部の主シーブEを介して主巻上ウインチのドラムに巻き取られるようになっていた。

### b 35 t ワイヤロープ

35 t ワイヤロープは、ジブ先端のシーブ近くで一端が固定され、ジブ先端のシーブから35 t フックブロックを吊り、ジブ先端の別のシーブと機械室上部のシーブを介して補助巻上ウインチのドラムに巻き取られるようになっていた。

### c ジブ起伏ワイヤロープ

<sup>\*8</sup> 「呼び径」とは、部品の寸法を代表する直径（公称径）のことをいい、ワイヤロープでは外接円の直径をいう。例えば、ねじやナットのように測る場所によって直径や外径が異なる形状の部品の場合に、公称値として呼び径をつける。

機械室上部のシーブ近くで一端が固定されたワイヤロープは、ジブ先端の起伏用シーブと機械室上部のシーブの間を4往復した後、ジブ起伏ウインチのドラムに巻き取られるようになっていた。

(付図6 ワイヤ装備図、付図7 ジブ及びシーブ図 参照)

⑤ 主ワイヤ使用時の最大荷重

ワイヤロープ装備図 (Rigging Plan) によれば、3号クレーンを制限荷重の320 tで使用した場合、主ワイヤにかかる最大荷重は、約172 tであった。

⑥ クレーンの制限荷重と制限半径の関係

取扱説明書によれば、主巻上ウインチを使用した場合の制限荷重とクレーン本体からフックまでの制限半径の関係は次表のとおりであった。

制限荷重	制限半径
320 t	6.0～16.0 m
250 t	5.0～20.0 m
200 t	4.5～25.0 m
125 t	4.5～32.0 m
65 t	4.0～32.0 m

(付図8 制限荷重と制限半径図 参照)

#### 2.6.4 B船に関する情報

運航責任者Bの口述によれば、次のとおりであった。

B船は、船首に倉庫、中央に船倉、船尾に小部屋が配置されていて、船倉は、長さ約28 m、幅約7.8 m、深さ約3.6 mで、ハッチ口は、長さ約27 m、幅約6.8 mであった。

船底は、厚さ約10 mmの鋼板の船底外板上に梁を約50 cm<sup>はり</sup>間隔で置き、その上に厚さ約8 mmの鋼板を張って貨物を積載する貨物倉底を構成していた。

(写真2 B船全景 参照)

#### 2.7 3号クレーンの整備に関する情報

A船管理会社の回答書によれば、次のとおりであった。

(1) A船乗組員による整備状況

A船乗組員は、A船管理会社が作成した、船内搭載機器類の整備内容、整備間隔等をコンピューター管理する PLANNED MAINTENANCE SYSTEM (以下「PMS」という。)に従って、ワイヤロープやシーブへのグリース塗布、ギヤオイル及びフィルターの交換などの整備作業を行い、また、整備内容を記

録していた。

なお、PMSによれば、主ワイヤの取替間隔は、60か月ごとであった。

## (2) 事故前の造船所での整備状況

A船は、就航後5年を経過したことから、平成20年8月に中華人民共和国上海の造船所で、主ワイヤの取替えを含めたクレーンの整備が、A船のクレーン製造会社（以下「本件クレーン製造会社」という。）及び造船所の作業員らによって行われたのち、GLの検査員及び本件クレーン製造会社の担当者が立ち会ってGLが定めた重量である352tの荷重試験が実施された。なお、その際、安全装置のテストなどの検査が実施された。

また、検査後、主ワイヤ納入会社の担当者が立ち会い、主ワイヤの目視点検が実施された。

クレーンの検査及び主ワイヤの目視点検において、不具合は発見されなかった。

## 2.8 事故前のクレーン使用状況に関する情報

船長Aの口述によれば、100t以上の貨物をA船のクレーンを使用して巻き上げる場合は、フィリピン共和国が発行したクレーンオペータコースの証書を有するA船の乗組員がクレーンの操縦を行い、主ワイヤにかかる荷重が約20t増すごとに、バラストの調整を行っていた。A船は、平成20年8月の造船所での検査を終えたのち、大韓民国の馬山港で3号クレーンを使用し、約227tと約200tの貨物を4番ホールドに、阪神港神戸区では2号クレーンと3号クレーンとを併用して約321tの貨物を3番ホールドに積み込んだ。

## 2.9 事故直後の割損した主シーブの状況

事故直後に撮影された写真によれば、主シーブCのリムが割損し、リム割損面にはワイヤガイド面の裏側にあたる部分に錆の発生が認められた。

(写真3 3号クレーンジブ先端のシーブ、写真4 3号クレーンジブ先端、写真10 主シーブC割損及び錆状況 参照)

## 2.10 調査及び分析結果に関する情報

A船管理会社の依頼により、ドイツ連邦共和国の調査及び分析会社（以下「本件分析会社」という。）が作成した「貨物落下事故に関する原因調査」報告書（以下「本件調査書」という。）によれば、A船から取り外された破断部を含む主ワイヤ、割損した主シーブC及び非損傷の主シーブEが、平成20年9月22日、本件分析会社に送付され、破断及び割損原因の調査のための分析が行われた。

また、割損した主シーブCと比較する目的で、A船管理会社が管理するA船の同型船から取り外された主シーブCと同一の主シーブ及び未使用の主シーブ並びに主シーブ製造会社からシーブのリムとなる加工前のL形アングル鋼<sup>\*9</sup>が、それぞれ本件分析会社へ送付された。

本件調査書による調査及び分析結果は、次のとおりであった。

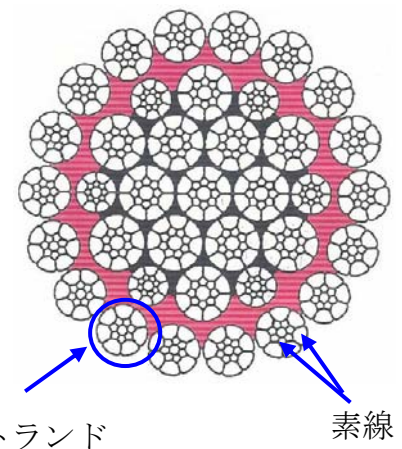
## 2.10.1 主ワイヤに関する情報

### (1) 構成

主ワイヤは、1本のストランド<sup>\*10</sup>をワイヤロープの中心に入れて芯とし、その周囲に6本のストランドを一定のピッチで芯のストランドに巻き付けるように<sup>よ</sup>に<sup>り</sup>絡<sup>め</sup>合わせ、その周囲を直径が異なる2種類のストランド各6本を絡<sup>め</sup>合わせ、外周は18本のストランドを絡<sup>め</sup>合わせて構成されていて、表面には錆防止用の亜鉛メッキが施されていた。

### (2) 強度

GLが発行した主ワイヤの検査証明書によれば、主ワイヤは、破断荷重<sup>\*11</sup>が約655tであった。



主ワイヤ断面図

## 2.10.2 主シーブに関する情報

主シーブは、ワイヤガイド面を構成するリム、中心部の軸受を包むハブ、それらをつなぐ2枚のウェブで構成され、リムとウェブ及びウェブとハブがそれぞれ溶接によって接合される構造で、リムのワイヤガイド面溝底までの外径が約1,450mm、リム先端までの外径が約1,650mm、リムの幅が約156mm、ハブの幅が約160mm、リムの厚さが約15mm、ウェブの厚さが約18mm、ワイヤガイド面溝底部の半径が約38mmであった。

(付図7 ジブ及びシーブ図 参照)

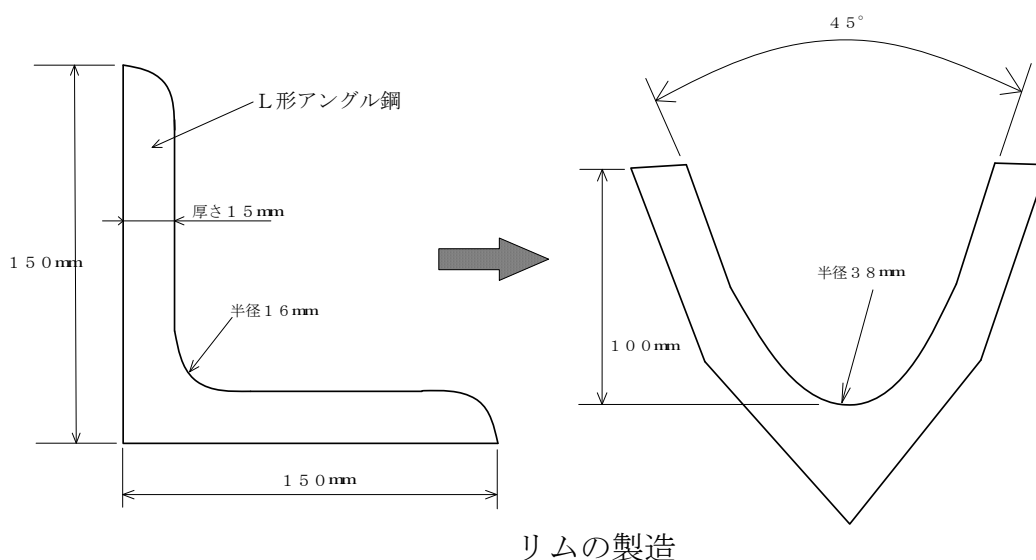
<sup>\*9</sup> 「アングル鋼」とは、断面が、L形やT形等の鋼材をいう。

<sup>\*10</sup> 「ストランド」とは、複数の素線（ストランドを構成する鋼線）を絡<sup>め</sup>合わせて束にしたものをいう。

<sup>\*11</sup> 「破断荷重」とは、引張試験において、試験片が破断するまでに加えられた最大の荷重をいう。

### 2.10.3 主シーブのリムに関する情報

リムは、DIN<sup>\*12</sup>規格がS355J2G3<sup>\*13</sup>の、幅150mm、厚さ15mm、挟角側の断面の半径が16mmのL形アングル鋼を材料とし、それをワイヤガイド面の溝底半径が38mm、溝の角度が45°になるよう曲げ加工及び整形が冷間加工<sup>\*14</sup>により行われて製造されていた。



### 2.10.4 破断した主ワイヤに関する情報

#### (1) 外観検査

主ワイヤは、破断部以外の部分に関する外観検査では、潤滑不足は認められず、ストランドの撻り状態も正常であった。主ワイヤの表面は滑らかで、外側の素線は損傷しておらず、また、腐食は認められなかった。

一方、破断部及びその近傍では、芯線の表面プラスチックコーティングが破損しており、外側の素線やストランドに損傷が認められた。

#### (2) 形状調査

主ワイヤと新品のワイヤロープについて、次の項目を比較したが、差異はなかった。

##### ① ワイヤロープの外観

<sup>\*12</sup> 「DIN」とは、ドイツ規格協会 (Deutsches Institut für Normung e.V.) が制定するドイツ連邦規格 (Deutsche Normen) の略称である。

<sup>\*13</sup> 「S355J2G3」とは、JIS規格SM50相当の鋼のことをいい、引張強度 (材料に引張荷重をかけた場合、破断するまでに生じる最大の引張応力) は、 $490\text{N/mm}^2$ である。

<sup>\*14</sup> 「冷間加工」とは、高温で行う熱間加工に対して常温で行う加工をいう。熱間加工に比べて精度が高く、また、加工硬化によって強度が増加するが、延性が乏しいため、加工度を熱間加工ほど大きくできず、残留応力も蓄積される。延性を増加させるためには熱処理が必要となる。

- ② 製造プロセス
- ③ 芯部のプラスチック被覆、ストランド、素線の配置と本数
- ④ 素線、ストランド、ワイヤロープの外径
- ⑤ ストランドの方向、素線の撻り方
- ⑥ ストランドの撻り及び角度
- ⑦ 素線、ストランドの撻り線状態の寸法
- ⑧ ストランドの直径

### (3) 材料強度試験

主ワイヤの素線593本中、149本（約25%）について強度試験を行った。素線の強度の総和から主ワイヤの破断荷重を算出したところ、約607tであった。GLの検査証明書では、破断荷重は約655tであったが、両者の差は、ストランドのまとめ方によるものと考えられる。

以上のことから、破断した主ワイヤに強度上の問題はなく、品質の異状も見られず、破断したのは過大荷重が作用したことによる二次的な損傷である。

## 2.10.5 割損した主シーブに関する情報

### (1) 主シーブCに関する情報

調査及び分析結果は、以下のとおりであった。

#### ① 割損面の状況

- (a) リムは、全周にわたって割損しており、割損面にはワイヤガイド面の裏側にあたる部分に錆が発生していた。また、多くの割損面では、へき開破壊<sup>\*15</sup>が観察され、延性破壊<sup>\*16</sup>の場合に認められる板厚方向の収縮はほとんど認められなかった。
- (b) 割損面にはワイヤガイド面側の一部に、延性破壊の特徴であるディンプル<sup>\*17</sup>が観察された。
- (c) 割損面には疲労破面<sup>\*18</sup>は認められなかった。

<sup>\*15</sup> 「へき開破壊」とは、ほとんど塑性変形（材料に加えた力を除去しても元の形に戻らない変形）を伴わないぜい性破壊の一種で、へき開面（結晶構造体で、原子間の結合力の弱い面で割れる破面）に沿って破壊することをいう。なお、ぜい性破壊とは、最終破断まで著しい伸びや絞りを伴わない破断をいい、ガラスの破壊はこれに属する。

<sup>\*16</sup> 「延性破壊」とは、引張り力を加えた場合の伸びや絞りなどの塑性変形を伴う破壊をいう。

<sup>\*17</sup> 「ディンプル」とは、破面に残ったくぼみのことをいう。金属材料が外力を受けると変形に伴って微小な空洞が形成され、更に外力を受けると微小な空洞が合体して破壊に至る。この破面に残ったくぼみの形状からディンプルと呼ばれる。

<sup>\*18</sup> 「疲労破面」とは、変動応力を繰り返し受けて疲労により破壊した物体の破面をいい、細かい縞模様が見られる。なお、疲労とは、物体が疲労限度を超える応力を繰り返し受けた場合に強度が低下する現象をいう。

(写真11 電子顕微鏡による検査状況、写真12 リム割損状況 参照)

## ② 化学分析の結果

鉄鋼材料成分の分析結果は、D I N規格S 3 5 5 J 2 G 3の規格値を満たしており、製造時のミルシート<sup>\*19</sup>どおりであった。

## ③ 機械的特性測定結果

リムの引張試験及び衝撃試験を実施したところ、引張試験では高い引張強度を有する結果が得られた。一方、衝撃試験では、 $-20^{\circ}\text{C}$ におけるシャルピー衝撃値<sup>\*20</sup>のD I N要求値が27 J以上であるのに対し、平均値で約22 J、場所によっては平均値で約10 Jと要求値を満たさない低い値であり、最小値は約9 Jであった。

ミルシートに記載された機械試験結果と比較すると、引張試験結果は高い値が得られたが、衝撃値は低下していた。

## ④ 溶接部の観察結果

リムとウェブの溶接部分の観察によれば、溶着金属が完全に溶け込んでいない状態（以下「未溶着」という。）が一部に認められたが、亀裂伝搬経路が溶接ルート部<sup>\*21</sup>を通過しておらず、割損の原因になった形跡は認められなかった。

(写真13 ワイヤガイド面の裏側 亀裂発生状況（主シープC） 参照)

## ⑤ 硬さ測定結果

リムに加工する際に大きく変形させた部分（高変形部であるワイヤガイド面裏側）と変形が少ない部分（低変形部であるワイヤガイド面）の硬さを測定した結果、低変形部の硬さが230 H v<sup>\*22</sup>であるのに比べ、高変形部の硬さは284 H vと硬さが増加しており、引張強度も元の材料と比べて増加していた。

上記①～⑤から、化学成分は、リムとウェブの溶接部分に異状はなく、機械的性質は、リムに関してミルシートに記載された値と比較すると、シャルピー衝撃値と伸びが小さく、引張試験結果は上回っていた。溶接部分は、溶

\*19 「ミルシート」とは、鋼材の材質を証明する添付資料のことをいい、工場や製造所（mill）が発行する紙であること（sheet）から、mill sheet と呼ばれている。

\*20 「シャルピー衝撃値」とは、切り欠きをつけた試験片をハンマーで破壊し、破壊に要したエネルギーを試験片の断面積で割った値をいい、靱性（ねばり強さ）を表わすのに用いられる値で、数字が大きいほど靱性が高い。

\*21 「溶接ルート部」とは、溶接材料の断面で、それぞれの部材の溶接面の向かい合う点をいう。

\*22 「H v」とは、ビッカース硬さの単位をいい、数字が大きいほど硬い。ビッカース硬さは、試験片にピラミッド形の圧子を押し込んだあとのへこみから硬さを求める。



接ルート部に未溶着の部分が認められたが、割損の直接原因ではなく、硬さは、リムの硬くなっている部分を除けば異状は認められなかった。

## (2) 金属組織のマイクロ断面観察結果

主シープCのほかに、比較のため、非損傷の主シープEの調査を行った。結果は、以下のとおりであった。

### ① 主シープC

マイクロ観察<sup>\*23</sup>では、リムのワイヤガイド面の裏側で、アングル鋼製造時に生じたかぶり（亀裂のような小さな傷、overlappings）や材料を製造する際の圧延<sup>\*24</sup>時のスケール<sup>\*25</sup>巻込み（rolled-in scales）によってできる微小亀裂が認められ、内部に酸化スケールが詰まっていた。亀裂の深さは、75～113 μmであった。

また、ワイヤガイド面は通常の金属組織であったが、ワイヤガイド面の裏側は大きく変形しており、金属組織が伸びて絞られた形態を示し、これによりリム表面の硬さが増加して靱性が低下していることが判明した。

（写真13 ワイヤガイド面の裏側 亀裂発生状況（主シープC） 参照）

### ② 主シープE

マイクロ観察では、割損した主シープCと同様に、ワイヤガイド面の裏側で、アングル鋼製造時に生じたかぶりや圧延時のスケール巻込みによってできる微小亀裂が認められ、内部に酸化スケールが詰まっていて、亀裂の深さは、約62～117 μmであった。

また、ワイヤガイド面の裏側は大きく変形しており、金属組織が伸びて絞られた形態を示していたが、ワイヤガイド面は通常の金属組織であった。

（写真14 ワイヤガイド面の裏側 亀裂発生状況（非損傷の主シープE） 参照）

以上のことから、いずれのシープにおいてもアングル鋼製造時に生じたかぶりや圧延時のスケール巻込みによってできる微小亀裂がシープの表面に形成されており、また、リム加工時に、大きな変形を冷間加工で行ったことにより、リム部表面の硬さが増加したものと考えられる。

## (3) A船と同型船のシープ、未使用のシープ及びシープに加工前のL形アングル鋼に関する情報

\*23 「マイクロ観察」とは、肉眼では識別できない微細組織を観察することをいう。

\*24 「圧延」とは、2個以上のロールを回転させ、その間に金属材料を通して成形、加工することをいう。

\*25 「スケール」とは、金属表面に生じる酸化物の被膜のことをいう。

#### ① 同型船のシーブ

同型船の2号及び3号クレーンに取り付けられていたシーブのワイヤガイド面の裏側で、大きな亀裂が認められたほか、かぶりや圧延時のスケール巻込みによってできる微小亀裂も認められた。

なお、大きな亀裂の破面には、疲労破面は認められなかった。

#### ② 未使用のシーブ

未使用のシーブにおいて、ワイヤガイド面の裏側からワイヤガイド面近くに達する亀裂が認められ、また、その際に弾性変形<sup>\*26</sup>が認められたことから、リム製造時に冷間加工を行った際の残留応力<sup>\*27</sup>やリムにウェブを溶接した際の残留応力が存在していたと判断され、残留応力の除去が行われていなかった。

#### ③ 加工前のL形アングル鋼

加工前のL形アングル鋼を切断したところ、かぶりや微小亀裂が認められた。

(写真15 同型船シーブ状況、写真16 未使用シーブの亀裂状況 参照)

#### (4) 結論

上記(1)～(3)から、リムの材料であるアングル鋼は、製造される過程で表面に微小亀裂が形成され、また、リムに加工される際、曲げ加工及び整形が冷間加工で行われ、この加工により、リム表面の硬さが増加したことから靱性が低下し、アングル鋼製造時の微小亀裂が応力集中部となり、リムが割損した。通常の使用応力でも、リムが破壊するおそれがあったものと考えられる。

### 2.10.6 有限要素法<sup>\*28</sup>による計算結果

ワイヤガイド面の裏側に、(1)亀裂がないモデル (2)ウェブ近くに深さ8mmの亀裂があるモデル (3)ウェブ近くに深さ1mmの亀裂があるモデルの3種類について、320tの荷重を加えて解析した結果、次のとおりであった。

---

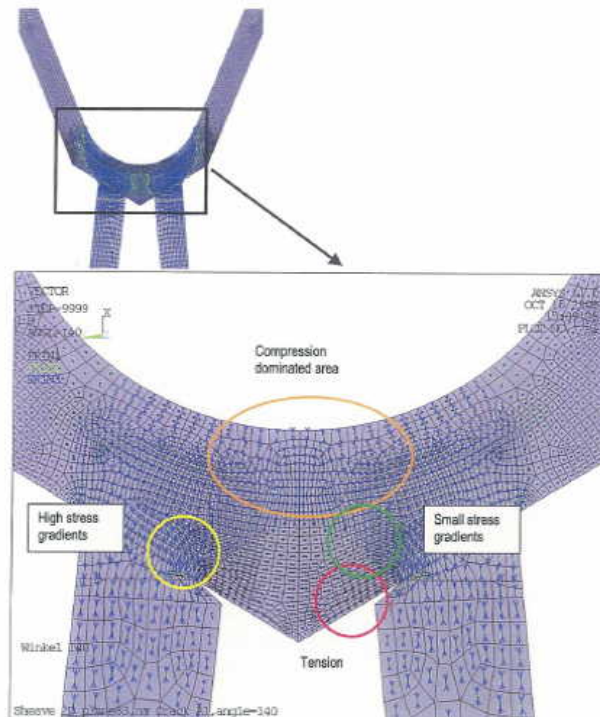
<sup>\*26</sup> 「弾性変形」とは、物体に力を加えると変形するが、その力を取り除くと元の形に戻るような変形のことをいう。

<sup>\*27</sup> 「残留応力」とは、圧延、鍛造、熱処理、溶接などによる急激な環境変化で生じた不均一塑性変形の結果として金属内に生じて残留した応力をいう。

<sup>\*28</sup> 「有限要素法 (Finite Element Method, FEM)」とは、数値解析手法の1つで、複雑な形状物体を単純化するまで小さく分割し、それぞれの部分の計算結果を足し合わせることで、全体の計算結果を近似値として求める手法をいう。

(1) 亀裂がないモデル

リムとウェブの溶接部分で、最も高い圧縮応力が作用したが、割損面の状況から、亀裂は溶接部から生じたものではない。



FEM応力分布図（亀裂なし）

(2) ワイヤガイド面の裏側に深さ8mmの亀裂があるモデル

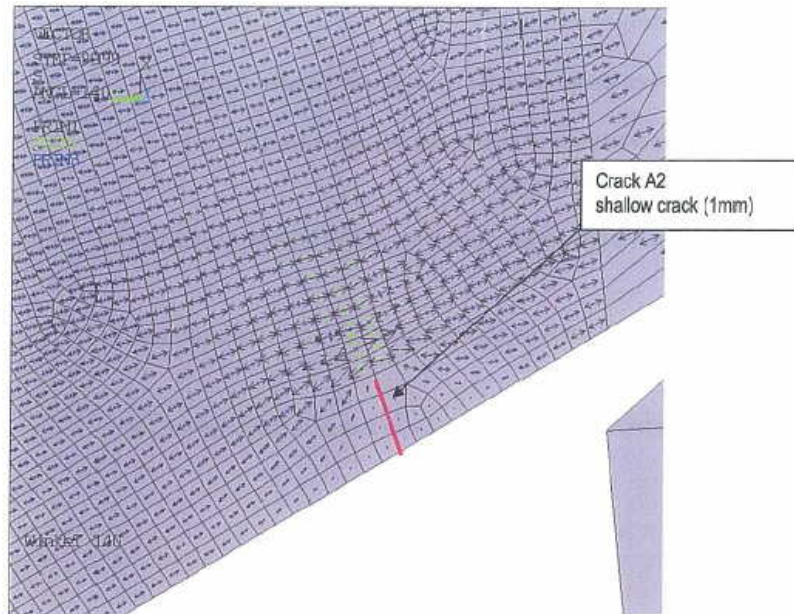
下のFEM応力分布図（亀裂8mm）から、亀裂先端部では、大きな引張応力が発生していることを読み取ることができた。



FEM応力分布図（亀裂8mm）

(3) ワイヤガイド面の裏側に深さ 1 mm の亀裂があるモデル

下の FEM 応力分布図（亀裂 1 mm）から、亀裂先端部で、引張応力が発生していることを読み取ることができた。



FEM 応力分布図（亀裂 1 mm）

### 2.10.7 ぜい性破壊発生 の 時点

本事故は、主シープ C のリムが割損し、主ワイヤがその隙間に入り込んで引っ張られ、最後に主ワイヤが主シープ C のハブまでに落ち込んだときに動的な大きな荷重がかかり、この荷重で主ワイヤが破断したものと考えられる。したがって、主シープ C のリムは、主ワイヤの破断前にぜい性破壊が発生して割損したものと考えられる。

### 2.10.8 破壊機構解析の結果

亀裂が存在している部材の安全性評価には、通常、破壊機構解析が使用され、BS 7910<sup>\*29</sup> を用いて、この評価を実施した。

#### (1) 深さ 8 mm の亀裂がある場合の解析結果

シープのシャルピー衝撃値が 27 J 以上あれば、破壊しない。また、応力拡大係数<sup>\*30</sup> は、ウェブとウェブの間隔が広がり、ハブの幅が広がるほど大

<sup>\*29</sup> 「BS 7910」とは、British Standard 7910 の略で、溶接構造物のひび等が、許容できるかを評価するための指針である。

<sup>\*30</sup> 「応力拡大係数」とは、亀裂先端近傍の応力分布こう配の激しさ（応力状態）を表わす値をいい、ぜい性破壊判定の基準として使用される。

きくなり、破壊しやすくなる。

(2) 深さ 1 mm の亀裂がある場合の解析結果

亀裂は、不安定破壊（ぜい性と延性が混在する破壊）を起こさないが、進展する可能性がある。

(3) 2次応力の影響

2次応力のレベルは不明であるが、残留応力レベルを降伏点の50%として解析すると、1 mm の亀裂では問題にならなかったが、8 mm の亀裂では、シャルピー衝撃値が27 Jであっても、不安定破壊を起こす可能性がある。

(4) 疲労破壊の可能性

詳細な調査結果から、割損部が溶接部でなかったこと、熱影響部でなかったこと、及び破面観察から疲労破面が見られなかったことから、疲労が問題ではないことが明らかになった。

(5) 要約

ワイヤガイド面裏側の亀裂の深さを変えて亀裂先端部の応力拡大係数と材料の破壊靱性値<sup>\*31</sup>を比較した結果、応力拡大係数は、亀裂が深いほど大きくなる。

溶接部の残留応力レベルを降伏点<sup>\*32</sup>の約50%とし、この残留応力を考慮すれば、深さ8 mm の亀裂の場合、シャルピー衝撃値27 Jの材料であっても、亀裂は伝搬するが、浅い亀裂に対しては、シャルピー衝撃値が6 Jの材料でも応力拡大係数は低く、亀裂は伝搬しない。

以上のことから、主シープCが長時間使用されたことによる疲労損傷や疲労亀裂伝搬が生じてリムが割損したとは考えられず、ワイヤガイド面の裏側の亀裂が深いほど、また、ウェブとウェブの間隔が広いほど応力拡大係数が大きくなり、シャルピー値が高い場合でもぜい性破壊が発生する。

## 2.1.1 独立行政法人海上技術安全研究所による本件調査書の評価に関する情報

独立行政法人海上技術安全研究所（以下「海技研」という。）に、本件調査書の次の事項について、内容の妥当性について評価を委託した。

(1) ワイヤロープの破断原因の経過を確認する。

(2) 主シープCの製造過程におけるアングル鋼の冷間加工の影響等を検討した内容を精査し、部材欠陥の評価の妥当性を確認する。

<sup>\*31</sup> 「破壊靱性値」とは、材料に切り欠きがある場合の材料強度を表わす指標をいう。

<sup>\*32</sup> 「降伏点」とは、物体に加える外力を次第に大きくした際、応力が増加せずに物体の変形が急速に増加する点の応力をいう。

- (3) 有限要素法による主シープC断面における応力の評価が妥当であることを判断する。
- (4) 主シープCのぜい性破壊発生時点の明確化及び破壊機構解析の妥当性を確認する。

海技研の評価結果によれば、次のとおりであった。

#### 2.11.1 ワイヤロープ破断原因の経過の確認

ワイヤロープの材料強度試験において、素線試験と算術和で破断荷重を算出していることは、実験データの積上げとして評価できる。また、破断したワイヤロープの調査や素線試験などの解析結果には、誤りはなく、合理的である。

#### 2.11.2 主シープCの製造過程におけるアングル鋼の冷間加工の影響等を検討した内容の精査及び部材欠陥の評価

割損面には、板厚方向の収縮がほとんど認められず、割損面の荒れ模様と段差の形成が認められることから、へき開破壊が発生したと考えるのは妥当である。

主シープCの化学成分、機械的性質、溶接部及び硬さに関する調査及び解析結果は、きわめて妥当なものである。特に、溶接部の調査に関し、溶接ルート部に存在する未溶着の部分を損傷原因に直接つながるものではないと解析した点は、亀裂経路が溶接ルート部を通過していない事実を踏まえたものであり、重要である。

また、シャルピー衝撃値と伸びがミルシート値より低く、引張試験結果が高い点及びリムの高変形部で硬さが高い点は、製造段階における加工硬化によるものと解析したのは、極めて的確である。

主シープCの表面の金属組織には表面傷が存在しており、アングル鋼を製造する過程で微小亀裂が生じたとする解析は、極めて適切であり、重要であると評価する。

結論として、アングル鋼製造過程で表面の微小亀裂が形成され、リム加工時の冷間加工による曲げ加工及び整形による表面硬化とアングル鋼製造時の微小亀裂が応力集中部となり割損に至る解析は、鋼材の加工や溶接の実務経験を十分に踏まえたものであり、技術的に正当なものである。

#### 2.11.3 有限要素法による主シープCのリム割損における応力の評価の妥当性

ぜい性破壊の評価に必要な遭遇応力最大値の算定が厳密ではなく、応力こう配が最大となる位置の割損面内の応力分布を「FEM応力分布図（亀裂なし）」として出力しているが、主シープCが回転しながら使用される点を考えると、「FEM応力分布図（亀裂なし）」は、近似値としての位置付けになる。

しかし、割損面内の相対的な位置の相違に伴う応力の比率については読取り可能

であり、ワイヤガイド面の裏側の表面亀裂に作用する応力の概算法は次のとおりと  
考えられる。

FEM応力分布図（亀裂なし）から、ウェブに作用する圧縮応力（ $\sigma_h$ ）とワイヤガイド面の裏面の表層部直応力（ $\sigma_s$ ：ワイヤガイド面の裏側において表層面に平行方向、すなわち亀裂面に垂直方向の応力）との関係は、 $\sigma_h$  が  $\sigma_s$  の  $-1/4 \sim -1/3$  程度（「-」は圧縮を表す。）であると読み取ることができた。

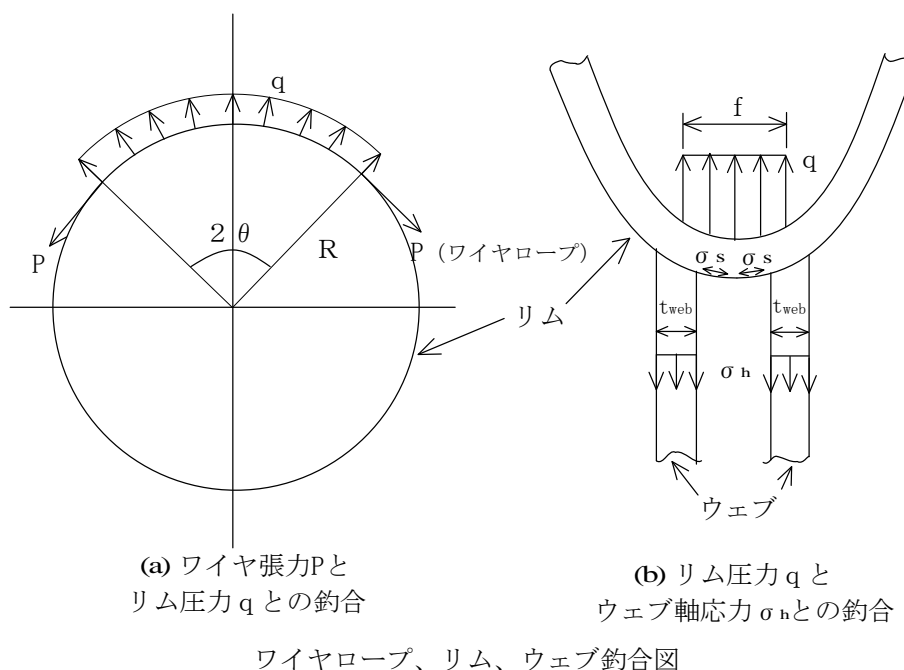
$$\text{下図(a)から、} q \cdot 2R\theta \cdot f = 2P \cdot \sin\theta$$

$$\text{下図(b)から、} q \cdot f = \sigma_h \cdot 2t_{web}$$

$\theta \rightarrow 0$  のとき、 $2\theta \cong 2\sin\theta$  となることから、

$$\begin{aligned} \sigma_s &= (1/4 \sim 1/3) \cdot \sigma_h \\ &= (1/4 \sim 1/3) \cdot P / (2R \cdot t_{web}) \end{aligned}$$

の主シーブCの表層部直応力  $\sigma_s$  とワイヤロープの張力Pとの関係を表す略算式が導かれた。



#### 2.11.4 主シーブCのリムのぜい性破壊発生の時点の明確化及び破壊機構解析の妥当性

##### (1) リムのぜい性破壊発生の時点の明確化

本件調査書による原因究明結果として、①主シーブC加工時にできた表面欠陥→②主シーブCのリムの割損→③主ワイヤの衝撃荷重発生→④主ワイヤ破断の順序で破壊事象が発生したと演繹的に推定しているが、直接的な物証によるものではない。

ぜい性亀裂は、鋼材中を表面波速度（表層を叩いたときに微小な凹凸変形が伝わる速度で、約2,000m/s）で伝搬するので、主シープCのリム全周を割損する時間は非常に短時間であると考えられる。ぜい性亀裂発生の直前まで釣り合っていた主ワイヤの張力とリム接触圧は、ぜい性亀裂が発生した瞬間に接触圧が急減し、分離した左右リムの隙間へ主ワイヤが落ち込んだ。この主ワイヤに起こった急激な移動が、主ワイヤの張力の急変を引き起こし、衝撃的な過大荷重を生じさせた、と考えるのが自然である。

仮に、主ワイヤの破断が主シープCのリムの割損より前に発生したと仮定すると、主ワイヤの破断に導いた力がどのようにして生じたのか説明できない。

## (2) 破壊機構解析の妥当性

亀裂が存在している部材の安全性評価に、破壊機構解析が使用され、BS 7910を用いて評価を実施したことは妥当である。

亀裂欠陥が存在する材料にある応力が加えられた際、亀裂先端付近の応力の状態がその材料の強度より大きい場合にぜい性破壊が発生する。すなわち、ぜい性破壊の発生条件式は、 $K \geq K_{mat}$  で表される。

K：応力拡大係数

$K_{mat}$ ：破壊靱性値

また、破壊力学では、深さaの亀裂が入った板幅bの部材に応力 $\sigma_s$ が作用した場合の応力拡大係数Kは、

$$K = \sigma_s \sqrt{\pi a} F \quad (F \text{ は } a/b \text{ によって決まる係数})$$

として表され、The Stress Analysis of Cracks Handbook (Hiroshi Tada, Paul C. Paris, George Rankine Irwin 著、Del Research Corporation, Hellertown, Pennsylvania 出版、1973年)によれば、板幅が亀裂深さに比べて十分大きな場合、つまり、 $a/b = 0$ の場合、 $F \doteq 1.12$ であり、

$$K \doteq 1.12 \sigma_s \sqrt{\pi a}$$

として表される。

2.11.3の式において、ロープ張力 $P = 100\text{ t}$ 、 $150\text{ t}$ 、 $200\text{ t}$ として試算したが、 $150\text{ t}$ としたときの結果は以下のとおりとなった。

$$\begin{aligned} \text{表層部直応力 } \sigma_s &\doteq P / 3 \cdot 2 \cdot R \cdot t_{\text{web}} \\ &= 150 \times 9.8 \times 1000 / (3 \times 2 \times 725 \times 18) \\ &= 18.8 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

したがって、亀裂深さ8mmのときの応力拡大係数Kは、次のとおりであった。



① 残留応力がない場合

$$\begin{aligned} K &= 1.12 \times \sigma_s \times \sqrt{\pi \times a} \\ &= 1.12 \times 18.8 \times \sqrt{\pi \times 8} \\ &= 105.5 \text{ N/mm}^{1.5} \end{aligned}$$

② 仮に残留応力が  $15.0 \text{ kgf/mm}^2$  ( $147 \text{ N/mm}^2$ ) であるとした場合

$$\begin{aligned} K &= 1.12 \times \sigma_s \times \sqrt{\pi \times a} \\ &= 1.12 \times (18.8 + 147) \times \sqrt{\pi \times 8} \\ &= 930.7 \text{ N/mm}^{1.5} \end{aligned}$$

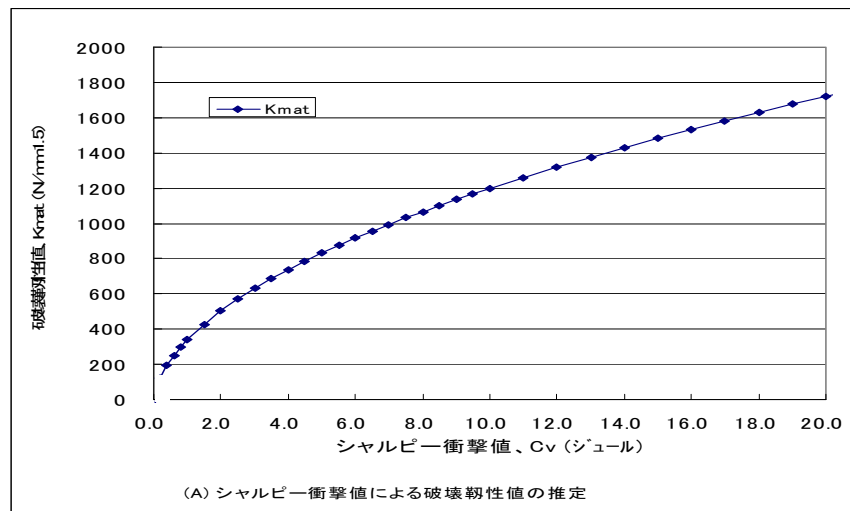
一方、BS 7910の相関図によれば、破壊靱性値  $K_{mat}$  は、次の式によって表される。

$$K_{mat} = (820 \cdot \sqrt{C_v} - 1420) / B^{0.25} + 630$$

$C_v$  : シャルピー衝撃値 (J)

$B$  : 材料厚さ (mm)

材料厚さ  $B = 15 \text{ mm}$  として、この式をグラフに表すと次のとおりとなる。



シャルピー衝撃値と破壊靱性値

グラフから、 $C_v = 6 \text{ J}$  とすると  $K_{mat} = 916 \text{ N/mm}^{1.5}$  となり、 $P = 150$ 、 $a = 8 \text{ mm}$ 、残留応力  $= 15.0 \text{ kgf/mm}^2$  ( $147 \text{ N/mm}^2$ ) の場合、 $K = 930.7 \text{ N/mm}^{1.5} > K_{mat} = 916 \text{ N/mm}^{1.5}$  で、ぜい性破壊発生条件式に合致し、ぜい性破壊の発生があり得ると判断した。

2.12 A船管理会社が管理するA船の同型船に設置されている同型クレーンの主シーブに関する情報

2.12.1 同じ構造のシーブに関する情報

本件クレーン製造会社の回答書によれば、次のとおりであった。

主シーブと同じ構造で冷間加工により製造されたシーブ（以下「同型シーブ」という。）は、1960年代より、ドイツ連邦共和国製のクレーンに一般的に使用されていて、本件クレーンの主シーブ製造会社では約40年間の製造実績があり、本件クレーン製造会社は約30年間にわたり、主シーブ製造会社から同型シーブの供給を受けてきた。本件クレーン製造会社は、長期間、同型シーブを使用したクレーンを製造してきたが、本件のような事故は初めてのことである。

また、同型シーブは、船級協会DNV（Det Norske Veritas）やGLなど、多くの船級協会から製造工程について認証を受けており、製造工程に問題はない。

## 2.12.2 主シーブ点検状況

A船管理会社の回答書並びに本件荷役管理会社の労務担当者の口述及び回答書によれば、A船管理会社が管理するA船の同型船は8隻あり、いずれも京浜港横浜區に寄港する。各船に4基設置されているクレーンは、一部を除いて全てA船と同じ本件クレーン製造会社が製造したものである。本事故後、A船管理会社の担当者が立ち会って専門業者が超音波探傷<sup>\*33</sup>による主シーブの点検を行った。その結果、各クレーンに5個ずつ、1船当たり10個取り付けられている主シーブ90個中、37個に亀裂が存在する欠陥が発見され、それらの欠陥シーブを取り替えた。

## 2.13 溶接構造のシーブについての船級規則に関する情報

GLの規則（Regulations for the Construction and Survey of Lifting Appliances）によれば、溶接構造のシーブに関する規定はなかった。

## 2.14 本件貨物の落下に関する情報

### 2.14.1 本件貨物巻き上げ時の3号クレーンの操縦に関する情報

船長A及び甲板手A並びに本件荷役会社Cの労務担当者及び作業担当者の口述によれば、3号クレーンの主フックブロックから本件貨物にグロメットが掛けられて巻き上げが開始され、貨物が貨物倉底から完全に離れるまでの間、いつもどおり操縦室の荷重計が約20t増すごとに巻き上げを止めてバラストの調整が行われていた。本件貨物がB船の貨物倉底から離れた後は、荷重計が約290tを表示しており、途中で停止することなく滑らかな動きで、一定の速度で巻き上げられていた。

また、船長Aの回答書によれば、本件貨物巻き上げ中の3号クレーンから主フックブロックまでの使用半径は、制限半径16mに対し、12m以下であった。

---

<sup>\*33</sup> 「超音波探傷」とは、超音波が物質の境界面で反射する性質を利用し、鋼材などの材料内部の欠陥を感知する非破壊検査をいう。

## 2.14.2 本件貨物落下時のA船上の乗組員及び作業員配置に関する情報

船長A、甲板手A、本件荷役管理会社の荷役担当者、本件荷役会社Cの労務担当者及び作業担当者並びに本件荷役会社Dの作業担当者の口述によれば、次のとおりであった。

A船3番ホールドのハッチカバー上左舷船首寄りに船長Aが、同左舷船尾寄りにA船の三等航海士が、同中央船尾寄りに本件荷役管理会社の荷役担当者が、3号クレーンの操縦席に甲板手Aが、上甲板左舷側通路のB船接舷部付近に、船首側から順に、本件荷役会社Dの作業担当者、本件荷役会社Cの作業担当者及び労務担当者が配置されていた。

(付図3 A船乗組員及びA船上作業員配置図 参照)

## 2.14.3 本件貨物落下時のB船及びB船上の作業員

運航責任者B並びに荷役作業員C2、C3及びC5～C7の口述によれば、次のとおりであった。

### (1) 作業員の配置に関する情報

B船の船首に運航責任者Bが、その右舷側に荷役作業員C6が、左舷船首寄りに荷役作業員C7が、左舷船尾寄りに荷役作業員C3が、船尾付近に荷役作業員C5が、右舷船尾寄りに荷役作業員C1が、船倉内右舷及び左舷船尾寄りにそれぞれ荷役作業員C2及びC4が配置されていた。

(付図4 B船状況図 参照)

### (2) 本件貨物落下直後の作業員の状況に関する情報

#### ① 運航責任者B

船首甲板上で本件貨物が巻き上げられるのを見ていたとき、本件貨物が落下してきたので、すぐに左隣のはしけに乗り移った。

#### ② 荷役作業員C1

荷役作業員C2は、本件貨物がB船の船倉口を過ぎたのち、荷役作業員C1が船倉内を前方から後方へ移動し、そして、甲板上に上がってB船の右舷甲板を前方に向かって歩いていくのを見たが、その後は見ていない。

また、荷役作業員C5は、本件貨物が落下する直前に、荷役作業員C1がB船の右舷甲板上、すなわちA船の左舷外板と接するB船の舷側で荷役作業員C5から1～2m離れた右舷船尾甲板上にいるのを見たが、本件貨物が落下した後は見ていない。

#### ③ 荷役作業員C2

船倉内右舷後方で片付けを行っているとき、叫び声が聞こえるのと同時に本件貨物が落下して船倉底部を突き破り、海水が噴き出した。逃げよう

としたが転び、嘔き出した海水に飲み込まれたが、B船が沈み始めて船倉口のへりをつかみ、近くの浮遊物の上に乗った。

④ 荷役作業員C3

左舷甲板上を船首から船尾方向に移動中、本件貨物が落下し、その衝撃で転んだ。起き上がろうとしているうちにB船が沈み始めて海面に投げ出された。

⑤ 荷役作業員C4

荷役作業員C2は、荷役作業員C4が船倉左舷側で片付けをしているときに貨物が落下し、嘔き出した海水に飲み込まれるのを見た。

⑥ 荷役作業員C5

甲板上を左舷後方から後方に移動中、ワイヤロープが切れるような音を聞き、本件貨物を見たとき、本件貨物が落下して船倉底部を突き破り、海水が流入して気が付いたら海中にいた。

⑦ 荷役作業員C6

船首右舷甲板上で本件貨物が巻き上げられるのを目で見ていたとき、本件貨物が落下して船倉底部を突き破り、衝撃を受けた。立っていることができず、ビットをつかんで転ぶのを防ぎ、左隣のはしけに乗り移った。その時には、既に運航責任者Bと荷役作業員C7は、左隣のはしけに乗り移っていた。

⑧ 荷役作業員C7

左舷甲板上で本件貨物が巻き上げられるのを見ていたとき、上の方から声が聞こえ、その直後にワイヤロープが切れるような音がして本件貨物が落下した。B船が激しく揺れたため船倉口のへりをつかみ、その後、左隣のはしけに乗り移った。

(3) B船の状況に関する情報

本件貨物落下後、B船は、ゆっくりと左方向に回り出し、左舷船尾が左隣に接舷していたはしけから離れ、逆に左舷船首が左隣のはしけに近づいた。

#### 2.14.4 本件貨物の落下状況

本件荷役会社Dの作業担当者の口述によれば、本件貨物がゆっくりと巻き上げられ、上甲板左舷側通路で荷役状況を見ていた自分の目の前を過ぎたとき、突然50cmくらい本件貨物が下がっていったん止まり、そしてB船船倉内に落下した。

#### 2.14.5 本件貨物落下時の音に関する情報

荷役作業員C5及びC7並びに本件荷役会社Eの作業員の口述によれば、本件貨

物がゆっくりと巻き上げられ、B船の船倉底から約7～8m巻き上げられたとき、3号クレーンのジブ先端付近から「ゴーン」という音が聞こえるとともに、「ミチミチ」、「ミリッ」といったワイヤロープの素線が切れるような音が聞こえ、約2～3秒後に再度「ゴーン」という音が聞こえて主ワイヤが破断し、本件貨物がB船の船倉内に落下した。

#### 2.14.6 本件貨物落下後のB船の状況

運航責任者B及び荷役作業員C2、C3及びC5～C7の口述によれば、次のとおりであった。

本件貨物がB船の船倉内に落下し、船倉を突き破って破口が生じ、海水が船倉内に流れ込んだ。B船は、本件貨物の落下の衝撃で舷端が海面近くまで沈んだのち浮き上がり、そして水没した。

#### 2.15 本件荷役管理会社及び本件荷役会社Cの作業安全管理体制

本件荷役管理会社の荷役担当者、本件荷役会社Cの労務担当者及び作業担当者の口述並びに本件荷役会社Cが提出した安全衛生教育資料兼作業基準書によれば、次のとおりであった。

本件貨物の船積荷役作業においては、本件荷役管理会社の荷役担当者は、作業開始前に、荷役作業員に対して荷役の説明を行い、その際、ヘルメットや安全靴の着用の確認とクレーンで吊り上げている貨物の真下で作業をしないなどの指導を行った。

また、A船上においては、本件荷役管理会社の荷役担当者は、乗組員に対して荷役方法について打合せを行い、クレーンを使用する前、クレーンの作動状況及びワイヤの点検を行って異状がないことを確認した。

さらに、荷役作業中は、本件荷役会社Cの労務担当者による荷役現場の安全パトロールが実施されていた。

本件荷役会社Cの労務担当者の口述によれば、本事故当時、本件貨物の真下で作業をしている荷役作業員はいなかった。

#### 2.16 気象に関する情報

##### 2.16.1 気象観測値

本事故現場の南方約1,230mに位置する横浜地方気象台の事故当日の観測値は、次のとおりであった。

10時00分 天気 晴れ、風向 東、風速 2.1m/s、気温 28.5℃

11時00分 天気 晴れ、風向 南東、風速 2.4m/s、気温 28.4℃

## 2.16.2 乗組員の観測

A船のログブックによれば、A船付近の気象は、次のとおりであった。

06時00分 風向 東、風速 1.1m/s、気温 24℃

12時00分 気温 30℃

# 3 分析

## 3.1 事故発生の状況

### 3.1.1 事故発生に至る経緯

2.1、2.2、2.3及び2.14から、次のとおりであったものと考えられる。

A船は、平成20年9月1日08時30分ごろから、A船左舷側に接舷しているB船に積載された本件貨物を3号クレーンを使用して吊上げ中、主シーブCのリムが割損して主ワイヤが破断した。このため、本件貨物並びに主フックブロック及びグロメットがB船に落下してB船上の荷役作業員5人が落水し、うち、荷役作業員C1が死亡し、荷役作業員3人が打撲傷を負った。

また、B船の船底に破口が生じて、B船が沈没した。

### 3.1.2 本件貨物の重量及び本件貨物落下時の本件貨物の高さに関する解析

2.1、2.6.2及び2.14.4並びにA船の一般配置図から、本件貨物は実重量約290～300tで、A船のクレーンを使用してB船から吊り上げられており、本件貨物落下時のB船の貨物倉底から本件貨物の下面までの高さは、約8mであったものと考えられる。

### 3.1.3 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20年9月1日10時05分ごろで、発生場所は、横浜ベイブリッジ橋梁灯（P1灯）から真方位266°1,400m付近であったものと考えられる。

### 3.1.4 気象の状況

2.16から、事故当時の気象は、天気晴れ、東の風、風速約2m/sであったものと考えられる。

### 3.2 乗組員及び船舶に関する解析

#### 3.2.1 乗組員及び船舶の状況

##### (1) A船の乗組員の状況

2.5(1)から、船長Aは、適法で有効な海技免状を有していた。

##### (2) 船舶の状況 (A船)

###### ① 3号クレーン使用状況

2.6.3(2)①、2.8及び2.14.1から、A船の3号クレーンには、35t及び320t巻上装置が装備されており、重量が35t以上の貨物を巻上げる場合は、320t巻上装置を使用していたものと考えられる。

さらに、100t以上の貨物を巻き上げる場合には、フィリピン共和国が発行したクレーンオペレータコース終了証書を所有しているA船の乗組員がクレーンの操縦を行い、主ワイヤにかかる荷重が約20t増すごとに、別の乗組員がA船のバラスト調整を行っていたものと考えられる。

このため、本件貨物の積載時においても、上記のとおり、甲板手Aがクレーンの320t巻上装置を操縦し、貨物が完全にB船の貨物倉底を離れるまでの間、荷重が約20t増すごとに、別の乗組員がA船のバラスト調整を行っていたものと考えられる。

###### ② A船乗組員による3号クレーンの整備状況

2.7(1)から、A船乗組員は、A船管理会社が定めたPMSに従って整備を行っていたものと考えられる。

###### ③ 3号クレーン検査状況

2.1.1及び2.7(2)から、A船は、就航後5年を経過したことから、平成20年8月、中華人民共和国上海の造船所において、3号クレーンの主ワイヤが取り替えられたのち、GLの規定どおり制限荷重の1.1倍である荷重352tの荷重試験が行われ、検査に合格したものと考えられる。

###### ④ 3号クレーン検査後の使用状況

2.8から、検査後、大韓民国の馬山港で約227tと約200tの貨物が3号クレーンを使用して4番ホールドに積み込まれ、阪神港神戸区では、約321tの貨物が2号クレーンと3号クレーンを併用して3番ホールドに積み込まれたが、当時は3号クレーンに異状は認められなかったものと考えられる。

##### (3) 船舶の状況 (B船)

2.6.4及び2.14.3から、B船は、船体中央に船倉を有するはしけであり、本事故時は、B船の甲板上には、船首に運航責任者Bが、その右舷側に荷役作業員C6が、左舷船首寄りに荷役作業員C7が、左舷船尾寄りに荷役作業

員C 3が、船尾付近に荷役作業員C 5が、右舷船尾寄りに荷役作業員C 1が、船倉内には、右舷船尾寄りに荷役作業員C 2が、左舷船尾寄りに荷役作業員C 4がそれぞれ配置されていたものと考えられる。

### 3.2.2 B船の本件貨物落下場所

2.1及び2.3.2から、B船の船底破口部が船倉中央部であることから、本件貨物は、B船船倉のほぼ中央部に落下したものと考えられる。

### 3.2.3 事故発生の背景

#### (1) 本件貨物の積荷役時における3号クレーンの巻上荷重及び使用半径

2.1.4、2.6.3(2)及び2.14.1から、本件貨物がB船の貨物倉底から吊り上げられた後は、荷重計が約290tを表示し、また、一定の速度で巻き上げられていることから、本事故の発生まで急激な巻上荷重の変化はなく、制限荷重を超える巻上荷重とはなっていないものと考えられる。

一方、本件貨物巻上げ中の3号クレーンの使用半径は、制限半径以下であったものと考えられる。

#### (2) 主ワイヤの状況

2.10.4(1)及び(2)から、本事故後、目視による外観検査、形状検査、実測検査などが実施された結果、主ワイヤに品質の異状はなかったものと考えられる。

#### (3) 主ワイヤの強度及び使用時の荷重

2.10.1(2)及び2.10.4から、主ワイヤの破断荷重は、素線強度試験による素線強度の総和から求めると約607tであり、GLの検査証明書によると約655tであったものと考えられる。この差は、素線強度試験による破断荷重が、全体の約25%の素線について強度試験を行い、その総和から求めたものであるため、各素線の強度の差によるものと考えられる。一方、3号クレーンの主ワイヤにかかる最大荷重は、クレーンの制限荷重以下で使用された場合には約172t以下であることから、本事故時、主ワイヤは、破断荷重以下で使用されていたものと考えられる。

#### (4) 事故当時の本件荷役管理会社及び本件荷役会社Cの作業安全管理状況

2.15から、事故当時、本件荷役管理会社及び本件荷役会社Cは、安全衛生教育資料兼作業基準書に従って、作業開始前に、荷役作業員に対し、荷役の説明を行い、その際、ヘルメットや安全靴の着用の確認とクレーンで吊り上げている貨物の真下で作業をしないなどの指導を行っていたものと考えられる。



また、船上においては、乗組員に対して荷役方法について打合せを行い、クレーンを使用する前、クレーンの作動状況及びワイヤの点検を行って異状がないことを確認し、さらに、荷役作業中は、本件荷役会社Cの労務担当者による荷役現場の安全パトロールが実施されていたものと考えられる。

### 3.3 事故要因の解析

#### 3.3.1 主シープCのリムの割損

##### (1) 主シープCの製造過程

###### ① リムの加工状況

2.10.2、2.10.3及び2.11.2から、リムは、材料である挟角側の断面の半径16mmのL形アングル鋼を、ワイヤガイド面の溝底半径38mmの形状になるよう冷間加工により曲げ加工及び整形を行って製造されたものと考えられる。

###### ② リムの材料成分及び機械的特性

2.10.5(1)②、2.10.5(2)、2.10.5(4)及び2.11.2から、リムの鉄鋼材料成分の分析結果は、製造時のミルシートの基準値を満たすものであったが、衝撃試験では、場所によってはシャルピー衝撃値のDIN要求値を大幅に下回る低い値であり、リム製造時に材料が引き延ばされて絞られており、リム表面の硬さが増加して靱性が低下したものと考えられる。

###### ③ ワイヤガイド面の裏側の状況

2.10.5(1)⑤、2.10.5(2)及び2.11.2から、割損した主シープC及び非損傷の主シープEのいずれも、ワイヤガイド面の裏側にかぶりや圧延時のスケール巻込みによってできる微小亀裂が認められ、また、加工前のL形アングル鋼からも同様の亀裂が認められており、亀裂内に酸化スケールが詰まっていたことから、これらの亀裂は、L形アングル鋼の製造過程で形成されたものと考えられる。

###### ④ リムの残留応力

2.10.5(3)から、リムには、製造時に冷間加工を行った際の残留応力やリムとウェブを溶接した際の残留応力が除去されずに存在していたことから、主シープCのリムにも残留応力が除去されずに存在していたものと考えられる。

###### ⑤ 主シープの製造工程

2.10.5及び2.12から、主シープCの冷間加工によりリム部表面の硬さが増加し、また、A船管理会社が管理するA船及びA船と同型船の主シープのうち、90個中37個に欠陥が発見されたことから、主シープの

製造工程に何らかの不具合があった可能性があると考えられる。

一方、2.12.1 から、本件クレーン製造会社は、同型シーブを使用したクレーンを長年製造していたが、本事故が発生するまで同種の事故は発生しておらず、また、GLなどの船級協会がシーブの製造工程に対して認証を与えていたものと考えられる。

## (2) 主シーブCのリムの割損状況

### ① 割損面の状況

2.10.5(1)及び2.11.2 から、リムは、全周にわたって割損しており、ワイヤガイド面側の割損面の一部にディンプルが観察されたものの、多くの割損面でへき開破壊が観察されており、疲労破面が認められなかったことから、ぜい性破壊が発生したものと考えられる。

### ② リムとウェブの溶接部の状況

2.10.5(1)③及び2.11.2 から、リムとウェブの溶接部において、未溶着の部分が認められたものの、亀裂伝搬経路が溶接ルート部を通過していないことから、未溶着部分は、リムが割損した直接の要因とならなかったものと考えられる。

### ③ ワイヤガイド面の裏側の亀裂の状況

2.9 から、リムが割損した直後の点検で、リム割損面にはワイヤガイド面の裏側となる部分に錆が認められており、本事故発生前から、ワイヤガイド面の裏側に亀裂が存在していたものと考えられる。

## (3) リムが割損するに至った経緯

2.10.5 及び 2.11.2 から、リムは、リム材料であるアングル鋼製造時に生じた微小亀裂がワイヤガイド面の裏側となる部分に存在していたことに加え、冷間加工によるリムの製造過程で、表面の硬さが増加して靱性が低下するとともに、リムの残留応力が除去されなかったこと、及び制限荷重に近い重量の本件貨物を吊り上げたことから、ぜい性破壊条件に合致する状態となり、ワイヤガイド面の裏側に存在していた亀裂先端に応力が集中してへき開面に沿ってぜい性破壊が発生したものと考えられる。

## 3.3.2 有限要素法による測定結果から得られた主シーブCのリムの割損に関する解析

2.11.4 から、リムは、主ワイヤにかかる本件貨物の張力 $P$ 、リムのワイヤガイド面の裏側の表層面亀裂に作用する応力 $\sigma_s$ 、亀裂の深さ $a$ 、シャルピー衝撃値 $C_v$ 及び残留応力の組合せにより、3号クレーン使用時に、ぜい性破壊条件に合致する状態が発生し、割損する可能性があると考えられる。

### 3.4 事故発生に関する解析

#### 3.4.1 主ワイヤの破断

##### (1) 本事故時の主ワイヤの状況

2.10.4 及び 2.11.1 から、主ワイヤには、品質上の異状は見られず、破断荷重以下で使用されていたものと考えられる。

##### (2) 主ワイヤの破断原因

2.10.5(1)、2.10.5(2)、2.10.7、2.11.2、2.11.4(1)、2.14.4、2.14.5 及び 3.3.1(3) から、次のとおりであったものと考えられる。

① 主シーブ C のリムは、ぜい性破壊条件に合致した際、瞬時に全周にわたって割損した。

② 主ワイヤは、リムが全周にわたって割損したことにより、張力が急減し、次いで割損したリムの隙間に落ち込んでハブで止まった際、破断荷重を超える衝撃的な過大荷重が加わり、破断した。

#### 3.4.2 荷役作業員 C 1 の死亡に至る状況

2.1、2.2、2.3.1 及び 2.14.3 から、荷役作業員 C 1 は、本件貨物が落下した際、同時に落下した主フックブロック又はグロメットが当たり、落水した可能性があると考えられるが、その状況を明らかにすることはできなかった。

なお、荷役作業員 C 1 は、本事故当日の夕方、捜索を行っていたダイバーにより海底で発見され、死亡が確認されたものと考えられる。

#### 3.4.3 荷役作業員 C 2～C 7 及び運航責任者 B の負傷等に至る状況

2.14.3 から、荷役作業員 C 2～C 4 の 3 人は、本件貨物が B 船の船倉に落下した際に衝撃を受け、又は落水して打撲傷を負ったものと考えられる。なお、この 3 人に加え、C 5 も落水したが、付近の船舶に全員救助されたものと考えられる。

また、船首部にいた荷役作業員 C 6 及び C 7 並びに運航責任者 B の 3 人は、本件貨物が落下した直後に B 船が左方向に回転し、左隣のはしけに B 船の左舷船首部が接したため、乗り移ることができたものと考えられる。

#### 3.4.4 A 船の同型船の 2 号及び 3 号クレーン主シーブの点検結果

2.1.2 から、事故後、A 船と同型船の 2 号及び 3 号クレーン主シーブの点検が実施された結果、A 船の 3 号クレーンの主シーブ C 以外に取り替えられた主シーブが多数あったことから、A 船以外にも亀裂が存在する主シーブが使用されていたものと考えられる。

## 4 結 論

### 4.1 分析の要約

- (1) 本事故は、A船が、京浜港横浜第1区の山下ふ頭3号岸壁において、装備された3号クレーンを使用してB船に積載していた本件貨物を巻き上げ中、主シーブCのリムが割損したため、主ワイヤが破断し、本件貨物並びに主フックブロック及びグロメットがB船に落下して荷役作業員C1が死亡し、荷役作業員3人が負傷したものと考えられる。
- (2) 荷役作業員C1は、ヘルメット及び安全靴を着用し、B船の右舷船尾寄りの甲板上にいるとき、落下した主フックブロック又はグロメットが当たったことにより死亡した可能性があると考えられる。  
また、荷役作業員C2、C3及びC4は、ヘルメット及び安全靴を着用し、荷役作業員C2が船倉内の右舷船尾寄りに、荷役作業員C3が左舷船尾寄りの甲板上に、荷役作業員C4が船倉内の左舷船尾寄りにいたところ、本件貨物の船倉内への落下による衝撃を受け、又は落水したことにより、負傷したものと考えられる。
- (3) 主ワイヤは、主シーブCのリムが全周にわたって割損したことにより、主ワイヤに加わっていた張力が急減し、次いで割損したリムの隙間に落ち込んでハブで止まった際、破断荷重を超える衝撃的な過大荷重が加わって破断したものと考えられる。
- (4) 主シーブCのリムは、リム材料であるアングル鋼の製造時に生じた微小亀裂がワイヤガイド面の裏側となる部分に存在していたこと、リムの製造過程で、リム表面の硬さが増加して靱性が低下するとともに、リムの残留応力が除去されなかったこと、及び制限荷重に近い重量の本件貨物を吊り上げたことから、3号クレーン稼働中にぜい性破壊条件に合致することとなり、破断したものと考えられる。
- (5) リムは、リムの製造時に、材料の曲げ加工及び整形が冷間加工で実施され、材料が引き延ばされたり絞られたりしたことから、リム表面の硬さが増加して靱性が低下したものと考えられる。

### 4.2 原因

本事故は、京浜港横浜第1区の山下ふ頭3号岸壁において、A船が、装備された3号クレーンを使用してB船に積載していた本件貨物を巻き上げ中、主シーブCのリムが割損したため、主ワイヤが割損したリムの隙間に落ち込んで破断して本件貨物並びに主フックブロック及びグロメットがB船に落下し、荷役作業員C1に主フックブ

ロック又はグロメットが当たったこと、及び荷役作業員3人が本件貨物のB船船倉への落下による衝撃を受け、又は落水したことにより発生した可能性があると考えられる。

主シーブCのリムが割損したのは、リム材料であるアングル鋼の製造時に生じた微小亀裂がワイヤガイド面の裏側となる部分に存在していたこと、リムの製造過程で、リム表面の硬さが増加して靱性が低下するとともに、リムの残留応力が除去されなかったこと、及び制限荷重に近い重量の本件貨物を吊り上げたことから、3号クレーン稼働中に主シーブCのリムのぜい性破壊条件に合致したことによるものと考えられる。

主ワイヤが破断したのは、ジブ先端の主シーブCのリムが割損し、主ワイヤがその隙間に落ち込んで止まった際、主ワイヤに破断荷重を超える衝撃的な過大荷重が加わったことによるものと考えられる。

## 5 安全勧告

運輸安全委員会は、本事故調査の結果に鑑み、同種事故の再発防止とするため、クレーン製造会社に対して次のとおり勧告する。

本事故は、RICKMERS JAKARTA の3号クレーンを使用して本件貨物を巻き上げ中、ジブ先端の主シーブCのリムが割損し、主ワイヤが割損したリムの隙間に落ち込んで破断して本件貨物並びに主フックブロック及びグロメットが18新栄丸に落下したことにより発生した可能性があると考えられる。

本事故は、事故の約3週間前に3号クレーンの荷重試験が行われて合格したにもかかわらず発生し、割損した主シーブCのリム割損面にぜい性破壊が観察され、また、非損傷の主シーブEのリムに大小の亀裂が観察された。

このことから、クレーン製造会社は、溶接構造のシーブについて、大きな曲げ加工及び整形を伴うリムを製造する際は、材料の選択を含む製造工程の管理を適切に行うべきであると考えられる。

## 6 参考事項

### 6.1 A船管理会社及びA船の対応

A船管理会社の回答書によれば、次のとおりであった。

#### 6.1.1 A船管理会社の対応

##### (1) 主シーブの点検及び取替え

事故発生直後、A船管理会社は、本件クレーン製造会社及びG Lに事故の発生を連絡するとともに、A船を含めた同型船9隻に対し、主シーブの詳細な点検と問題が解決するまで、2号及び3号クレーンの320t巻上装置の使用を禁止した。

その後、主シーブの詳細な点検を行い、亀裂が発見された主シーブを全て取り替え、荷役を開始する前に主シーブの点検を行うことを条件にクレーンの使用を許可した。

一方で、A船管理会社と本件クレーン製造会社は、原因の調査を行い、リムの材料を、より靱性を高めたS355J+M材に変更して製造過程を改善した改良型主シーブを製造し、クレーン製造会社とG Lの検査員立会いの下で、本船を含めた同型船9隻の主シーブ計90個を全て改良型主シーブに取り替えた。

##### (2) 指示書による指導

A船管理会社は、A船に対し、半年ごとにシーブの目視点検を行って結果を報告させるなど、クレーンの使用方法並びに整備及び点検方法などを記載した指示書を作成し、全管理船に配布して指導を強化した。

#### 6.1.2 A船の対応

A船管理会社の指導に基づき、荷役開始前の点検、PMSに従った整備の実施の徹底を図った。

### 6.2 本件クレーン製造会社の対策

本件クレーン製造会社の回答書によれば、本件クレーンの主シーブ製造会社は、次の対策を行い、本件クレーン製造会社は、その対策に対して承認した。

(1) シーブのリムとして冷間加工で製造するアングル鋼について、種々の試験を行い、必要と判断されれば、冷間加工を行う前にも試験を行うこととした。

(2) リムのワイヤガイド面の裏側を研磨することにより、かぶりやスケール巻込みによってできる微小亀裂を取り除くこととした。

### 6.3 本件荷役管理会社及び本件荷役会社Cの対応

本件荷役管理会社担当者の口述及び回答書によれば、平成20年12月5日労働基準監督署から作業の安全確保に関する指導を受け、これに対し、本件荷役管理会社及び本件荷役会社Cは、同年12月25日付けで改善報告書を作成し、労働基準監督署あて提出した。

要点は以下のとおりで、本件荷役管理会社及び本件荷役会社Cは直ちに実行した。

#### (1) 貨物がはしけ船倉底から離れた後のはしけ上での安全の確保

- ① 荷役担当者が荷役計画を作成する際、作業員の退避場所を考慮した作業手順を作成する。具体的には、近くのはしけへの退避、えい船への退避などの手順を作成する。
- ② 荷役担当者は、重量物荷役がある場合、ミーティング時に荷役作業員に周知する。
- ③ 荷役担当者は、荷役中、巡視点検を行い、退避行動を行いながら作業を実施しているかを確認する。

#### (2) はしけ上での作業に際し、救命胴衣の着用

はしけへ移動する際は、救命胴衣を着用するとともに、はしけ上での作業中も、可能な限り救命胴衣を着用する。

#### (3) 揚貨装置の作動状況等の点検記録の確認

- ① 入港時にクレーンの検査証を入手して内容を確認後、作業を開始する。
- ② クレーン検査証など、入手した書類の写しを保管する。

### 6.4 GLの対応

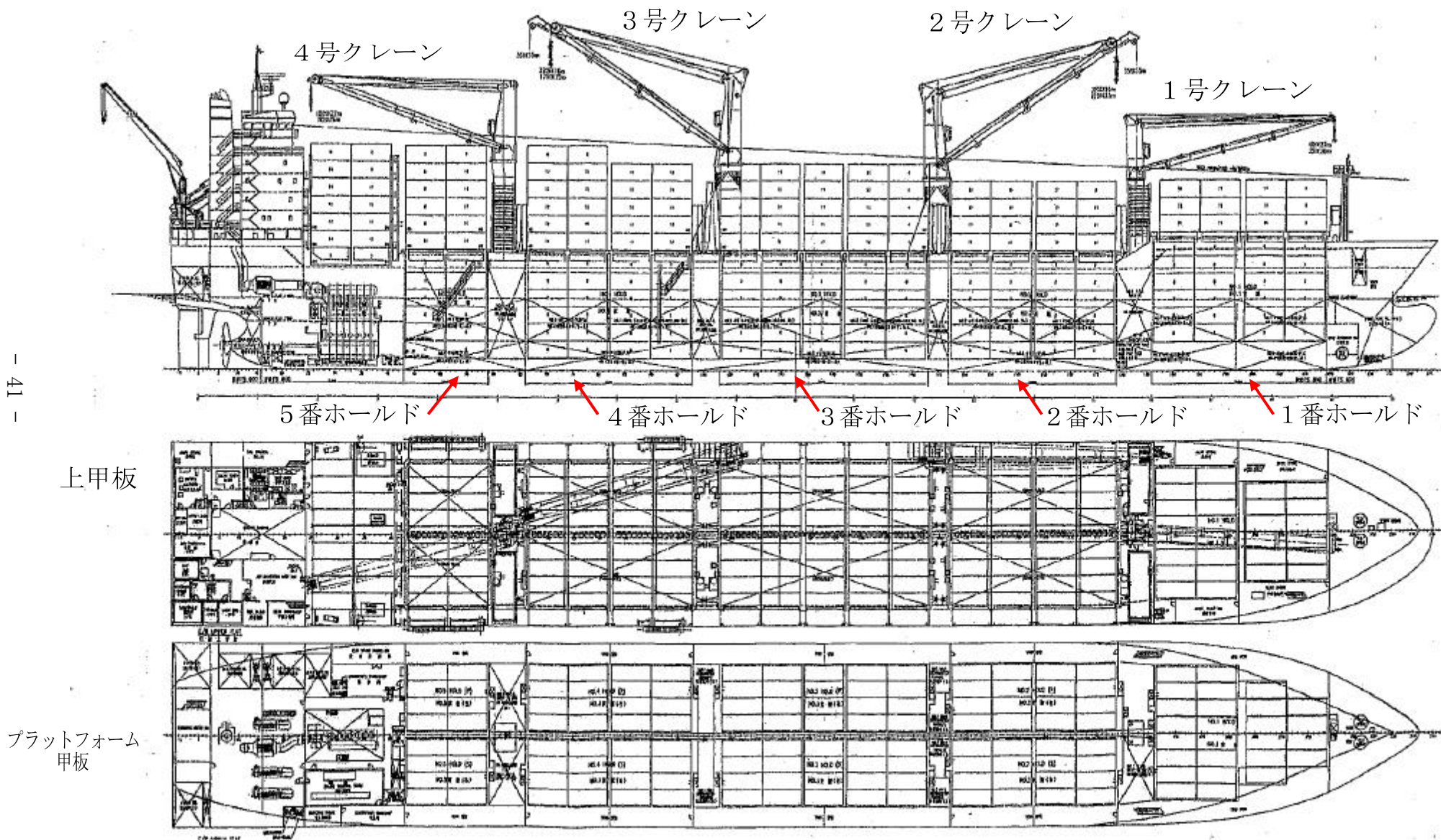
GLは、初期の調査結果に基づき、GL登録船の船舶所有者及び船舶管理会社に対し、シーブの製造は認められた工業標準に従って行われているものであり、一般的には、船級協会の承認に係るものではないとしながらも、デッキクレーンにおいて直径28mm以上のワイヤロープを支える溶接構造のシーブについては、目視に加え、より信頼性のある超音波探傷等による点検を奨励する内容のサーキュラーを発出した。

また、本件クレーン製造会社については、改良型主シーブの材質、製造工程の認証と製品検査を実施するとともに、本件クレーンの主シーブ製造会社については、新たに改良型シーブに関する検査を実施し、同シーブの製造会社としての認証を与えた。

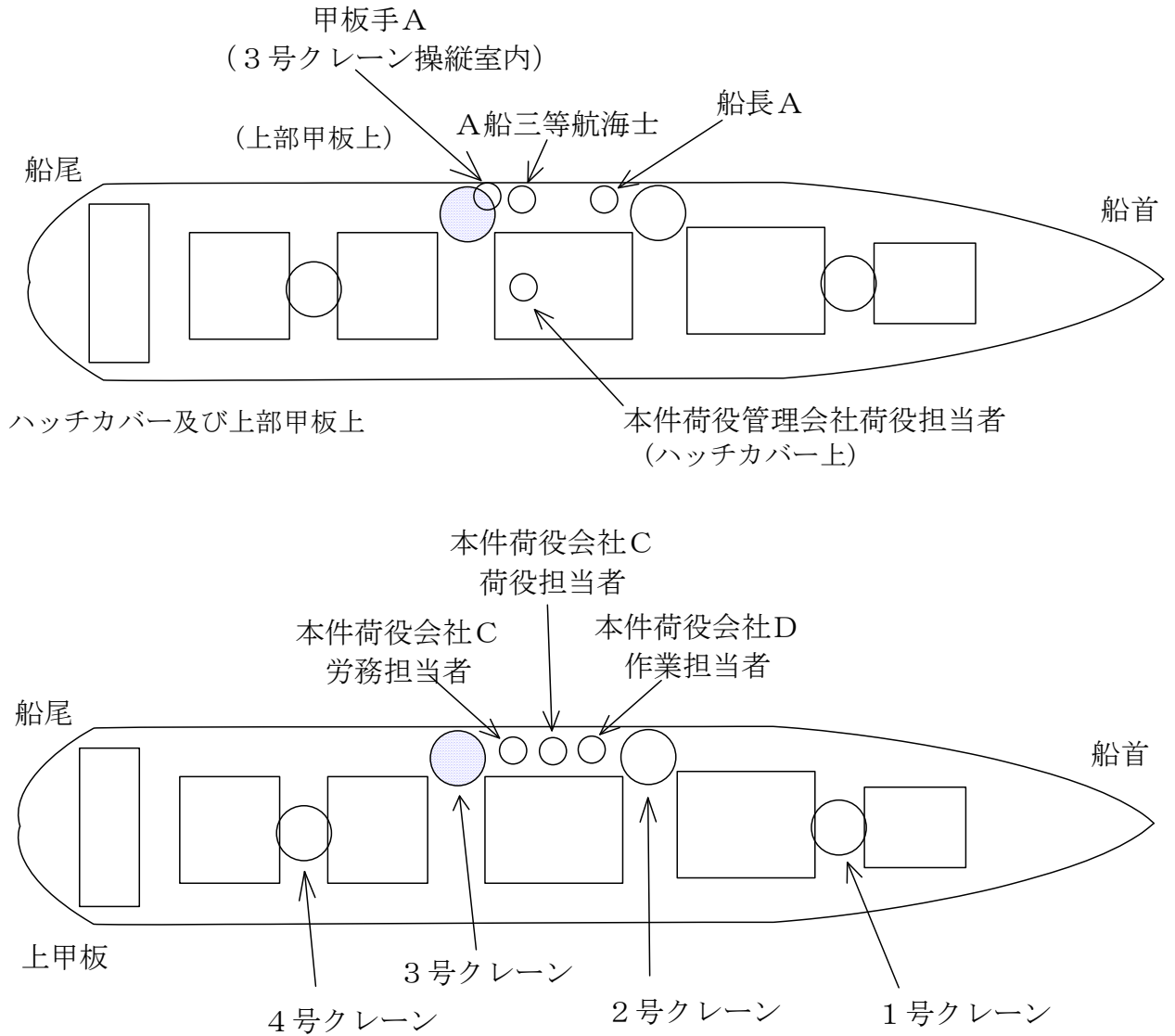




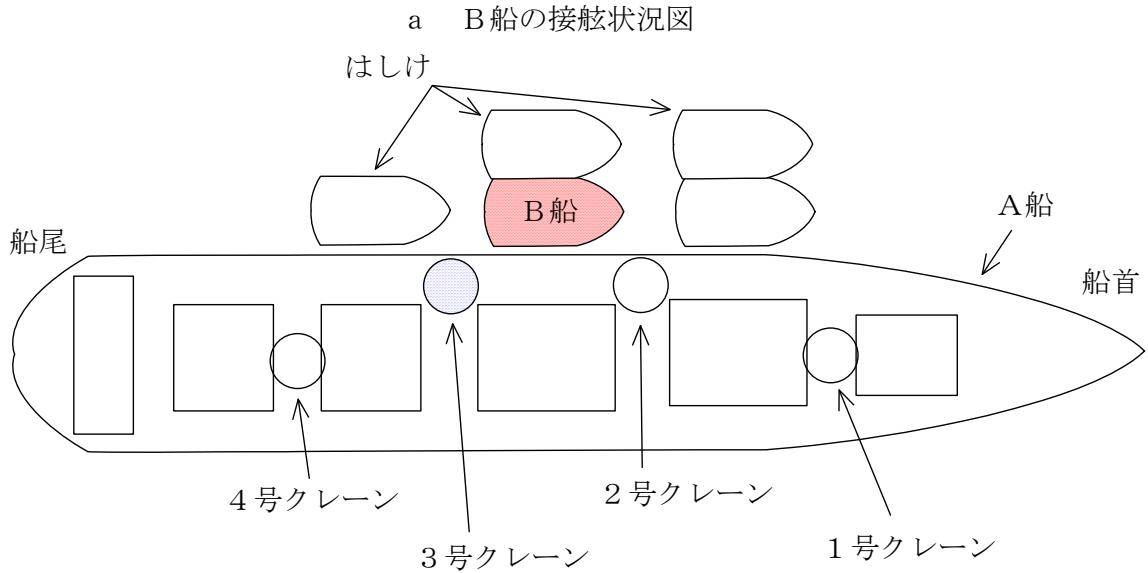
付図2 A船一般配置図



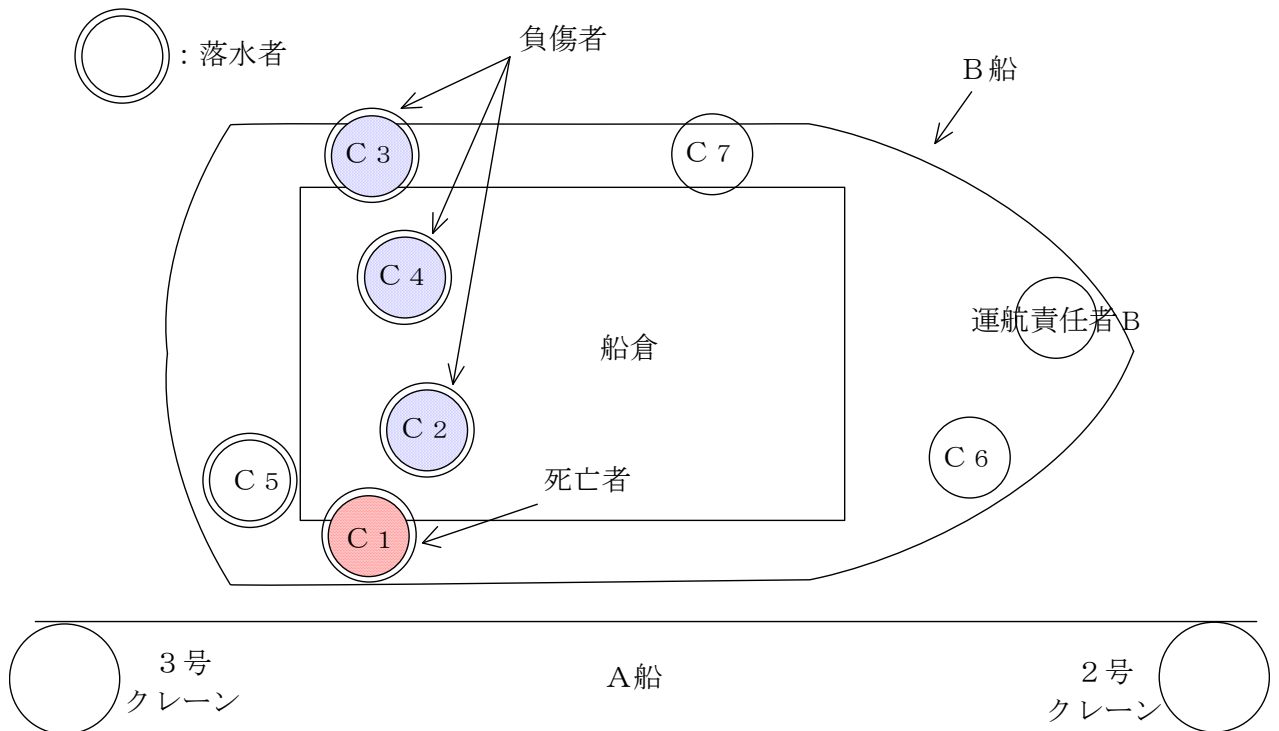
付図3 A船乗組員及びA船上作業員配置図



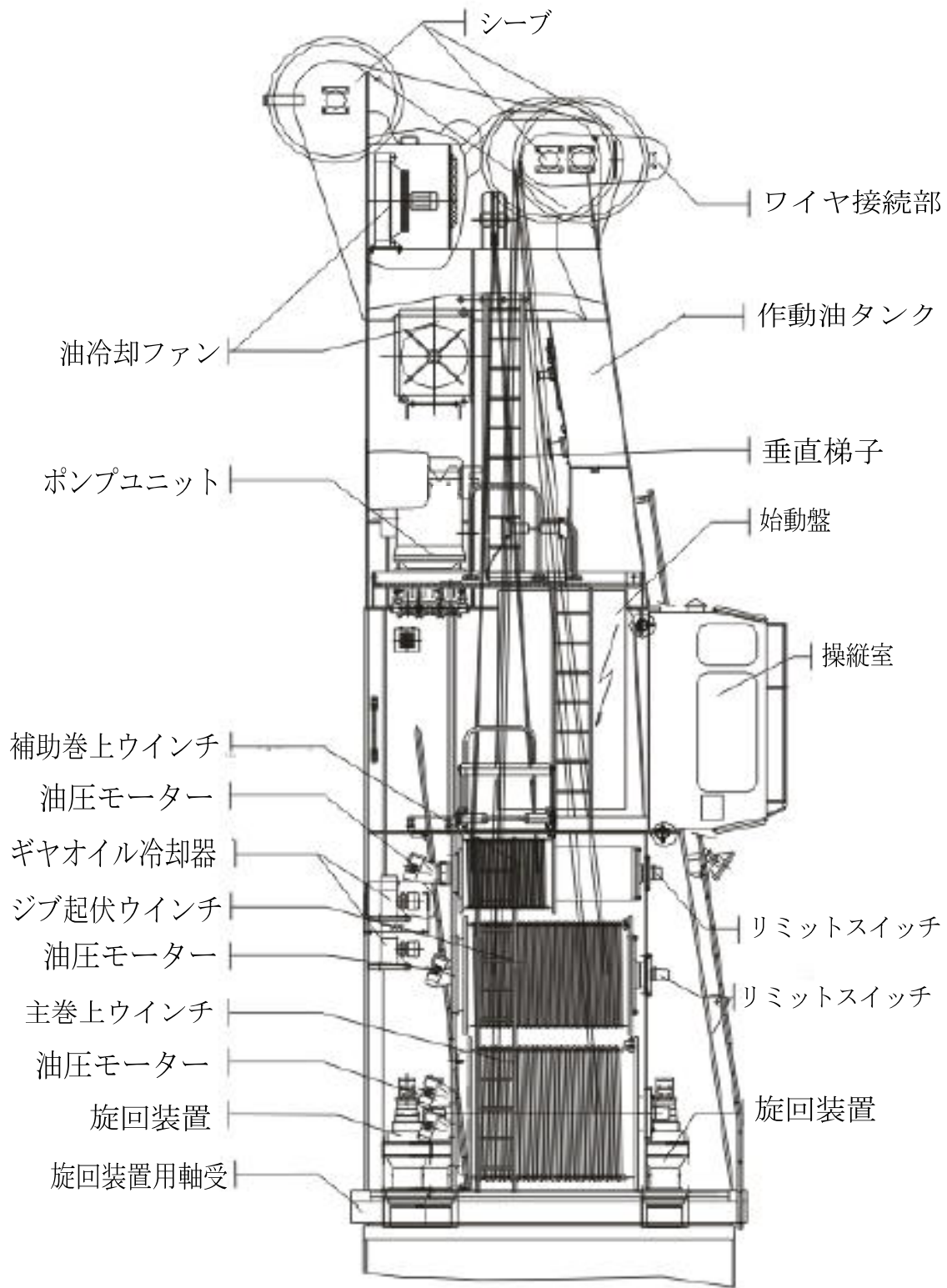
# 付図4 B船状況図



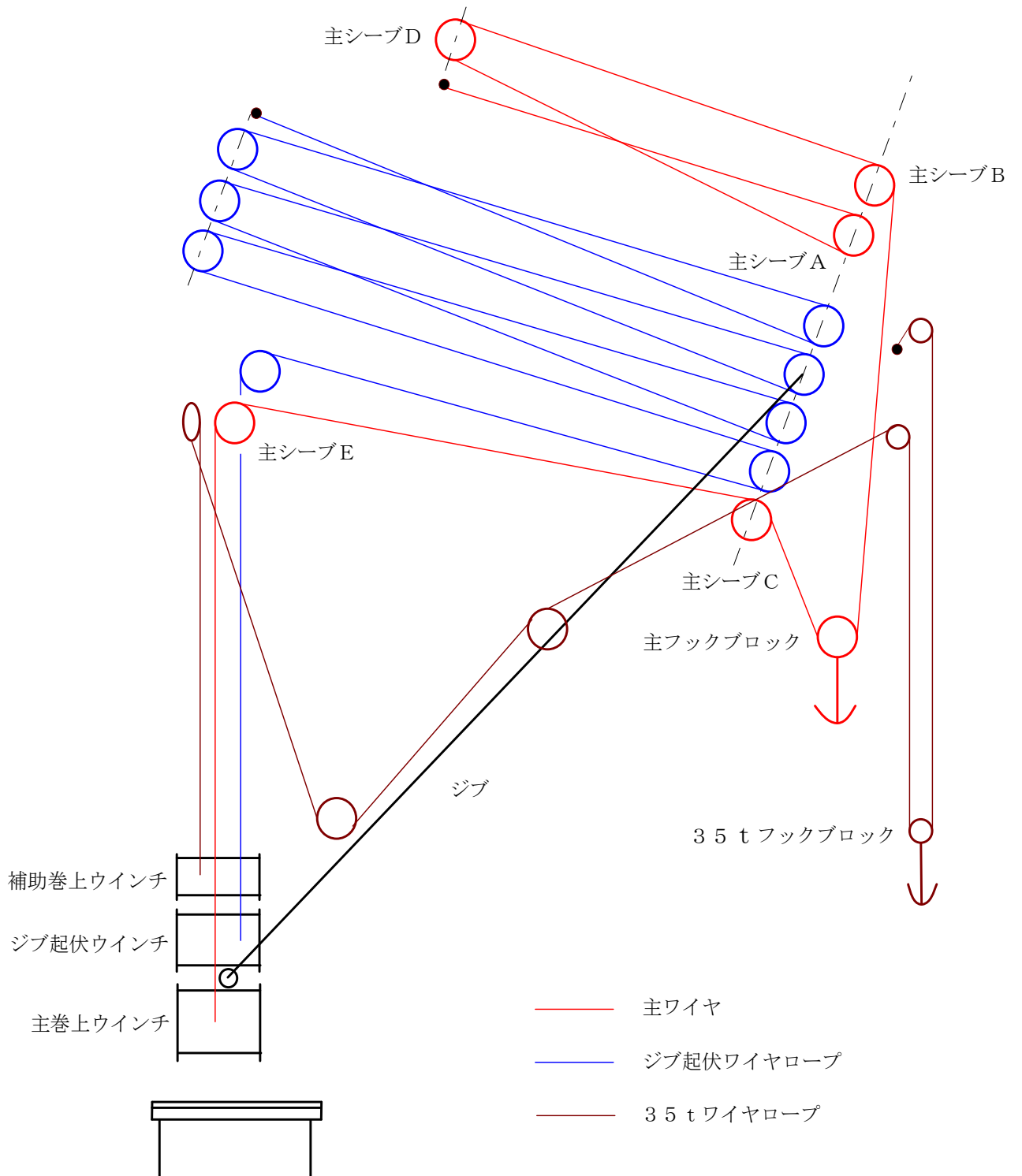
b B船上の荷役作業員及び運航責任者B立ち位置図



付図5 3号クレーン機械室図

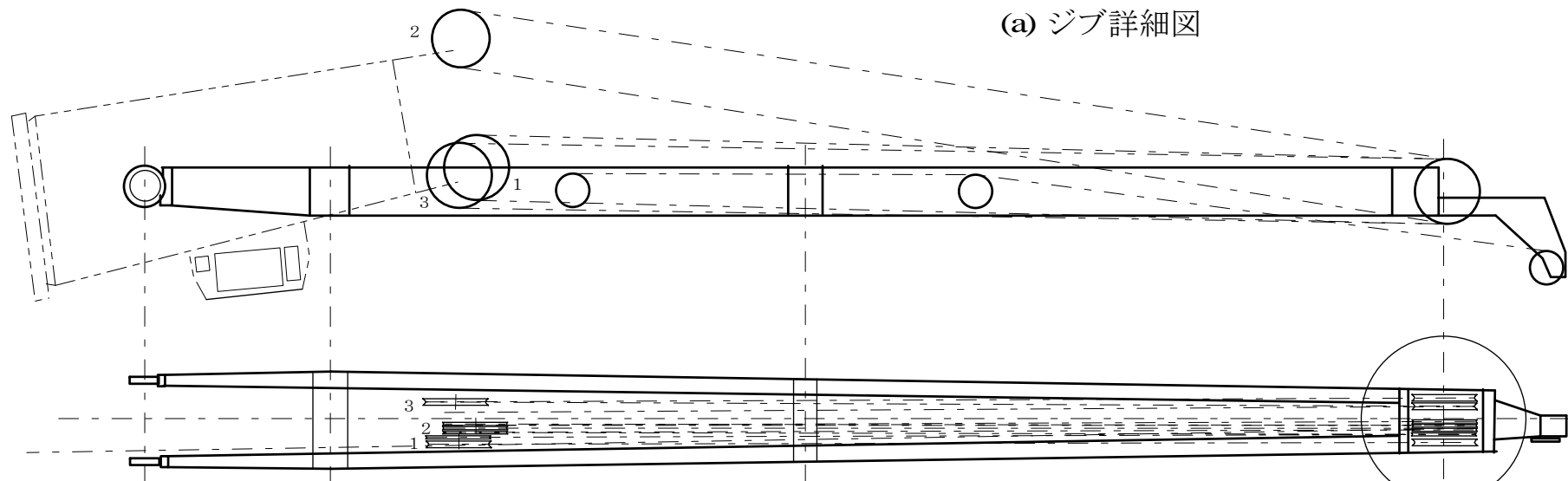


付図6 ワイヤ装備図

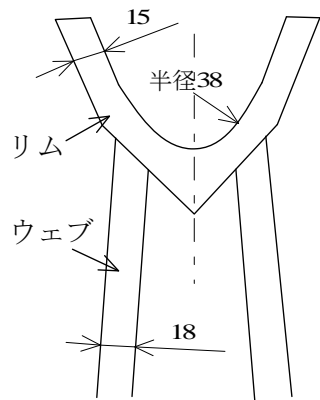


# 付図7 ジブ及びシーブ図

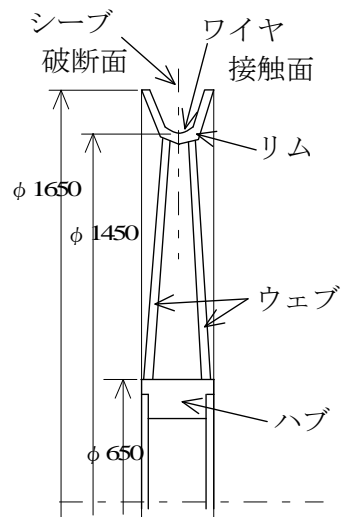
(a) ジブ詳細図



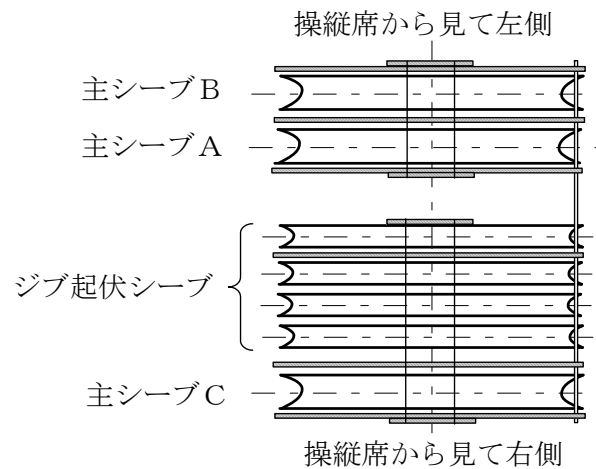
(d) リム断面詳細図  
(単位: mm)



(c) シーブ断面図  
(単位: mm)



(b) ジブ先端のシーブ詳細図



付図8 制限荷重と制限半径図

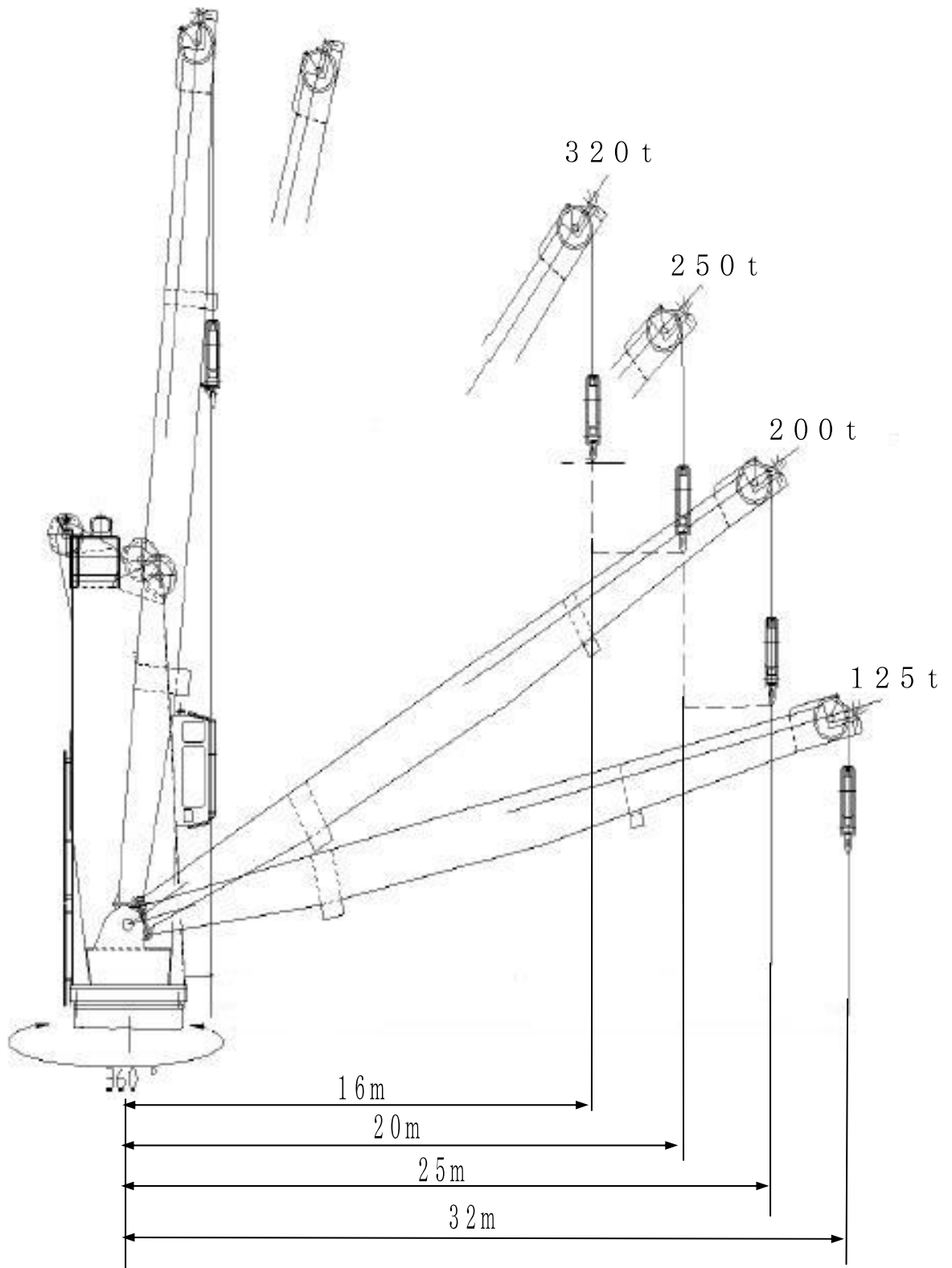
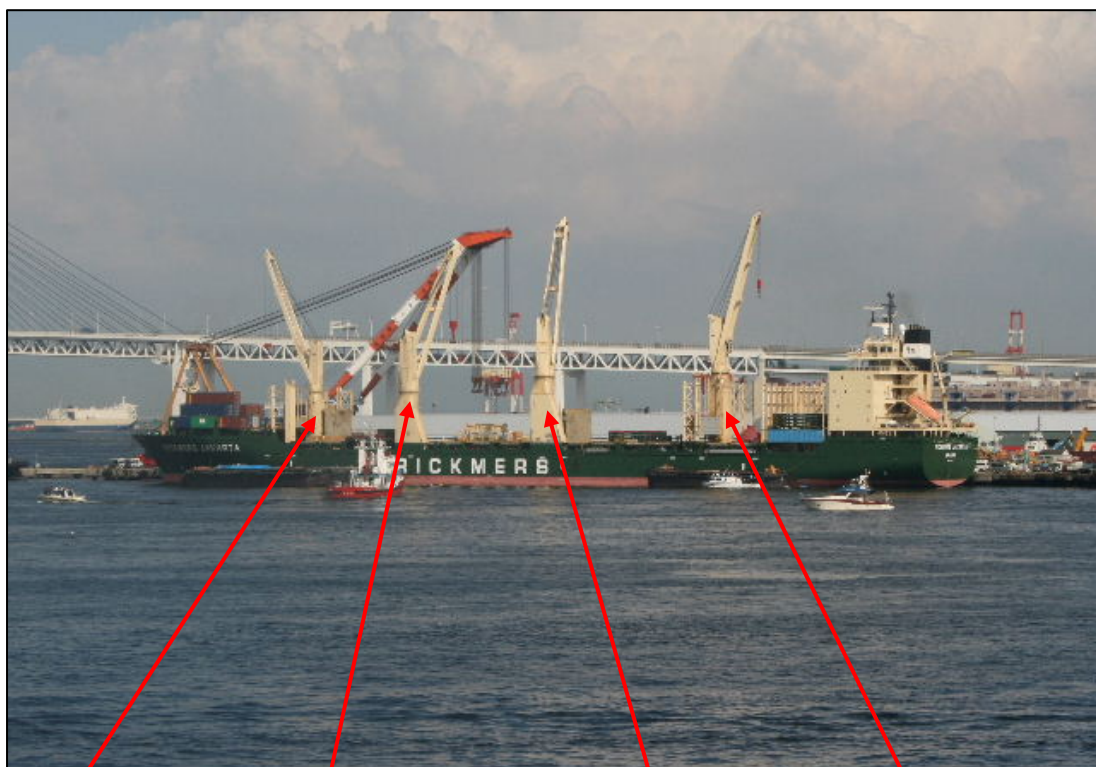


写真1 A船全景 (本事故後に撮影)



1号クレーン

2号クレーン

3号クレーン

4号クレーン

B船

写真2 B船全景 (本事故前に撮影)

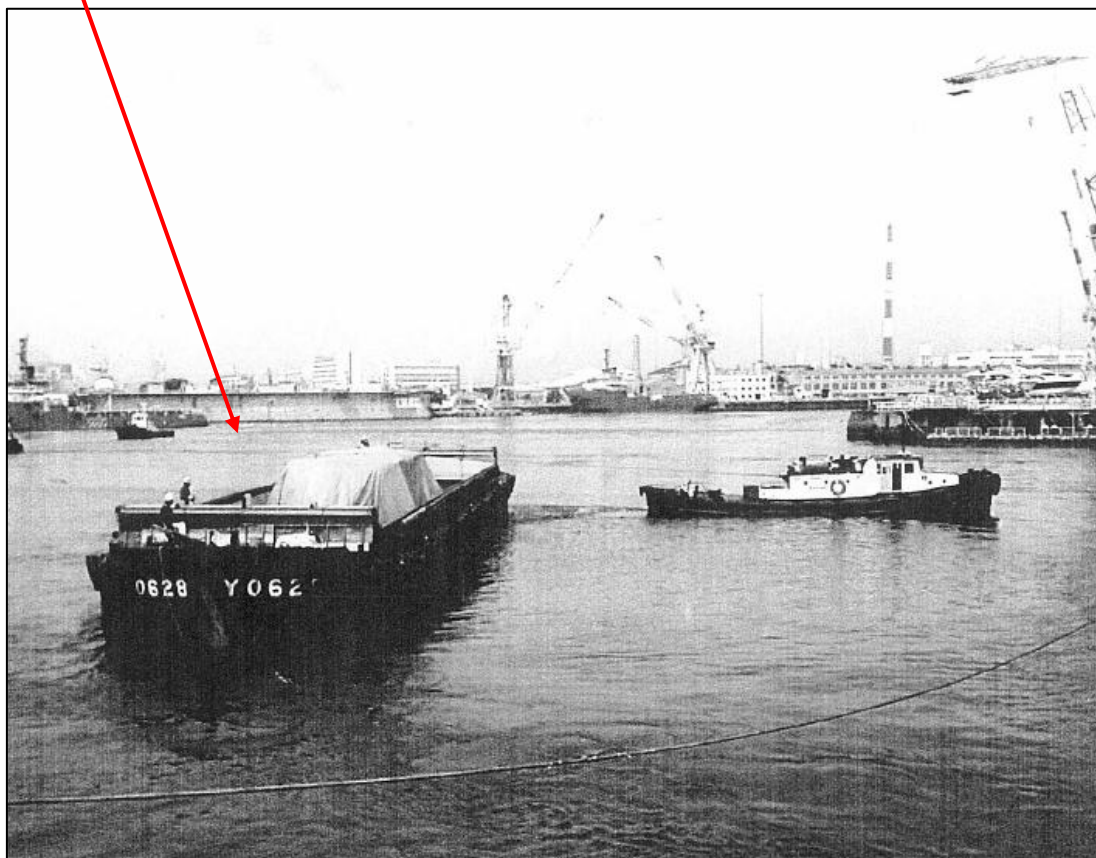




写真3 3号クレーンジブ先端のシーブ

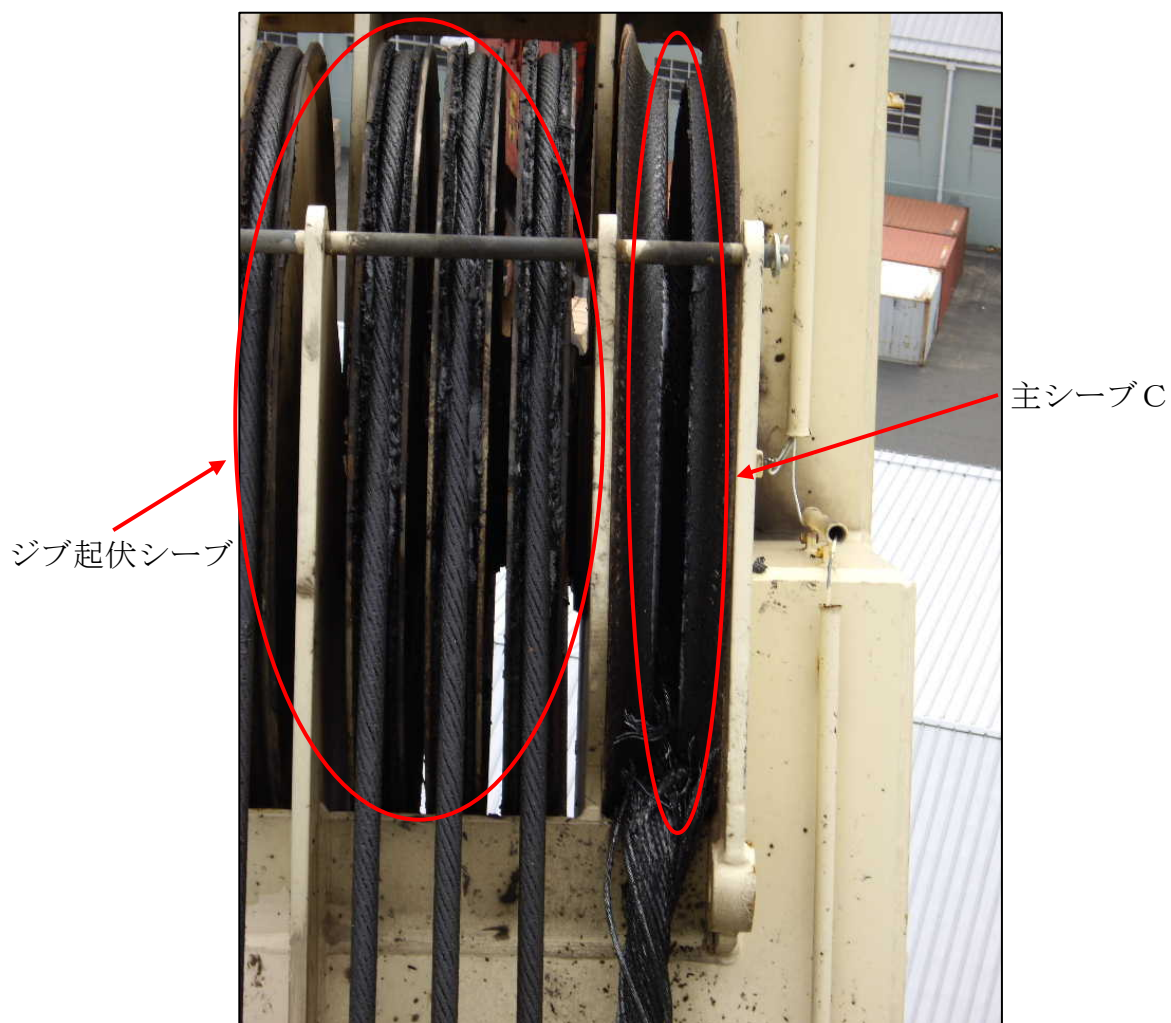


写真4 3号クレーンジブ先端

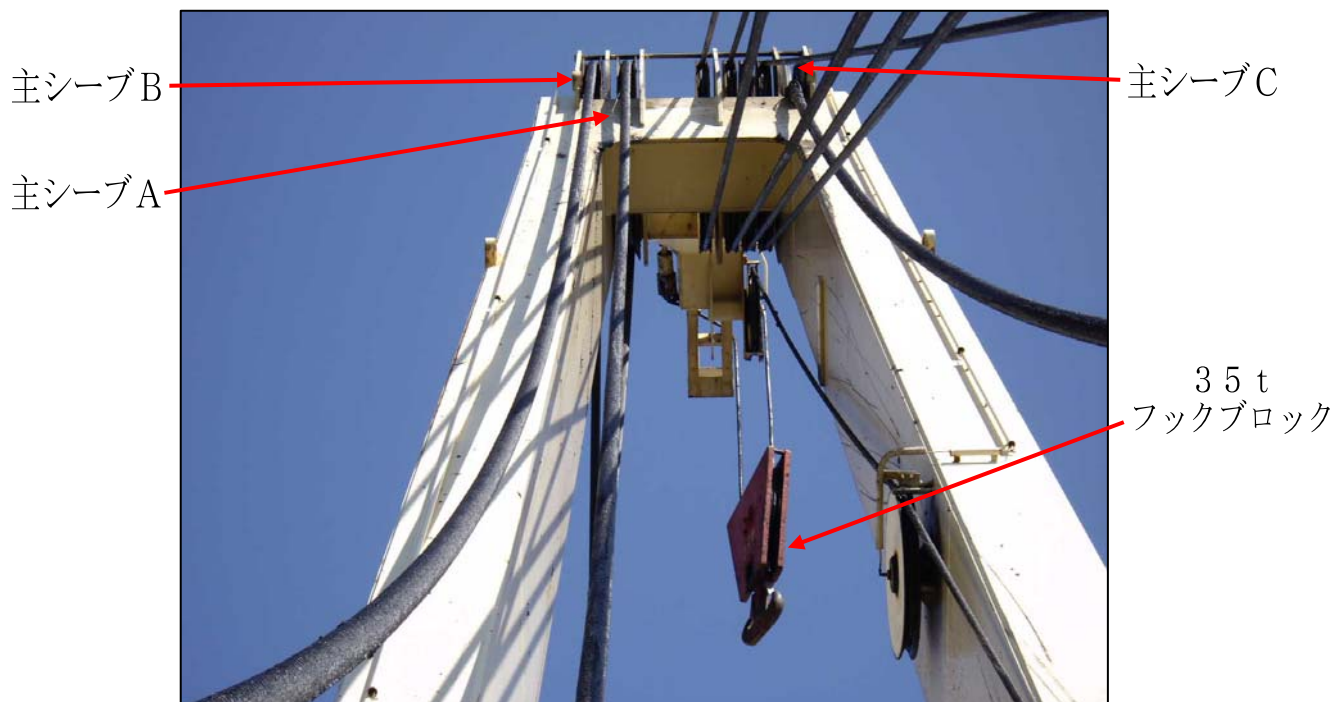


写真5 本事故後の状況

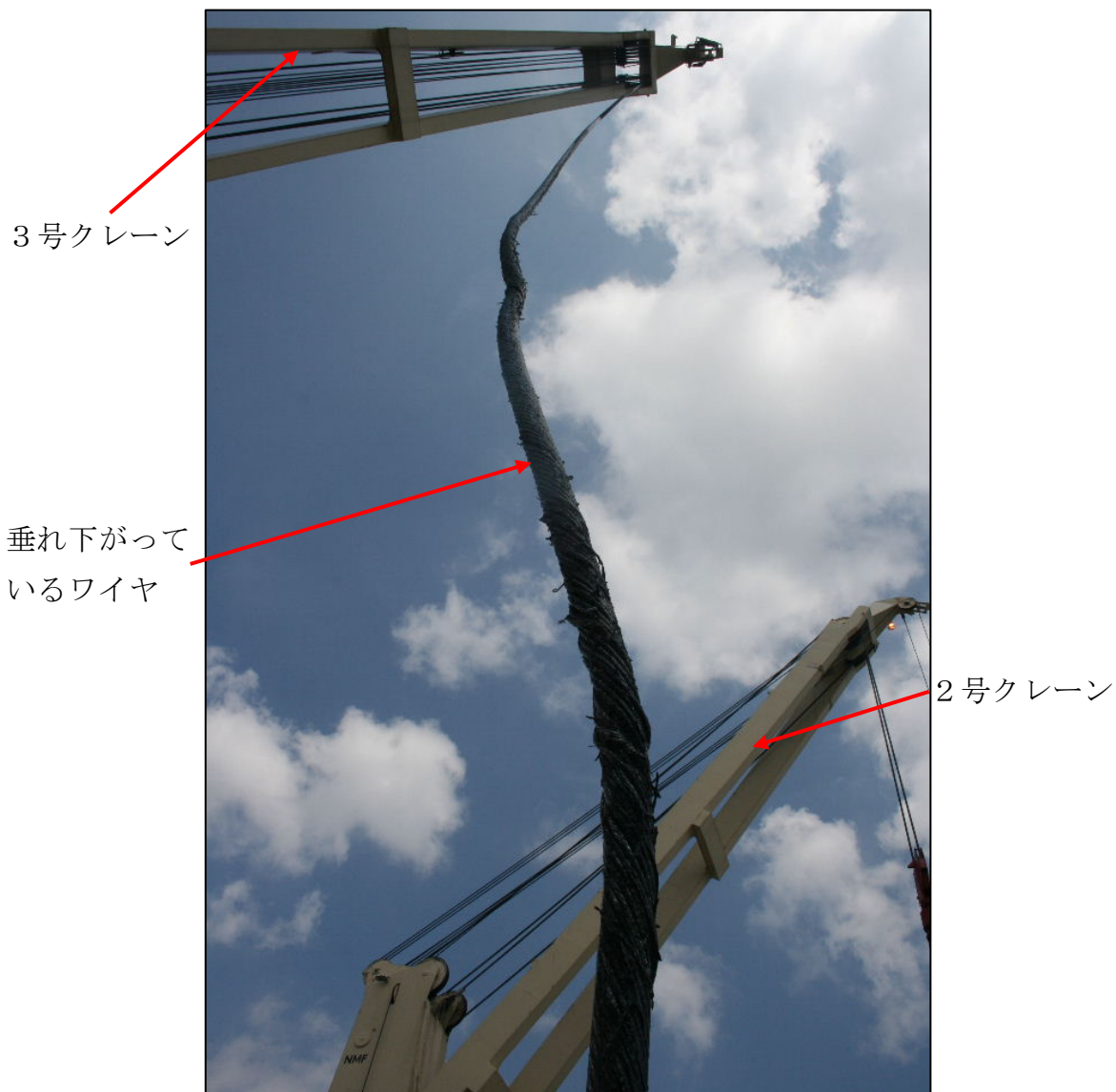
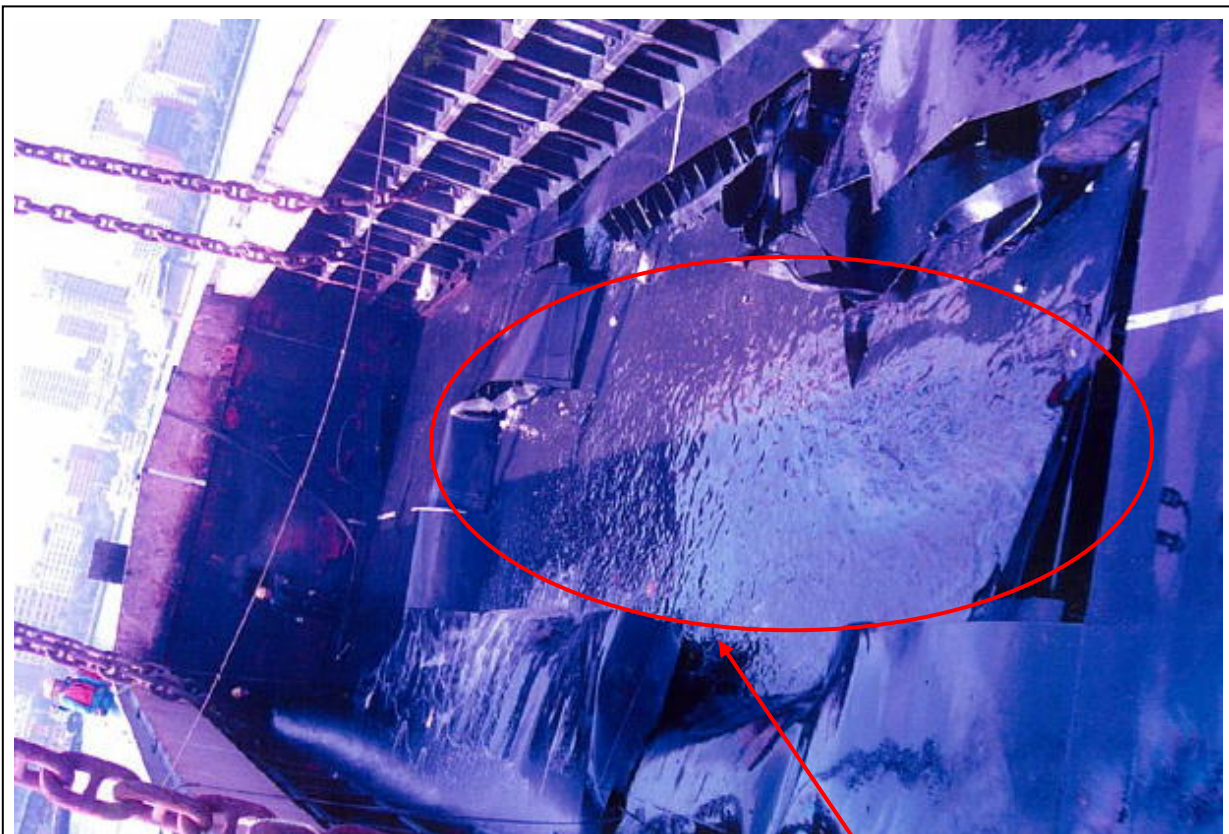


写真6 主ワイヤ破断部



写真7 B船引揚状況



破口部



## 写真8 本件貨物

吊上用金具

グロメット



積込時（事故直前）

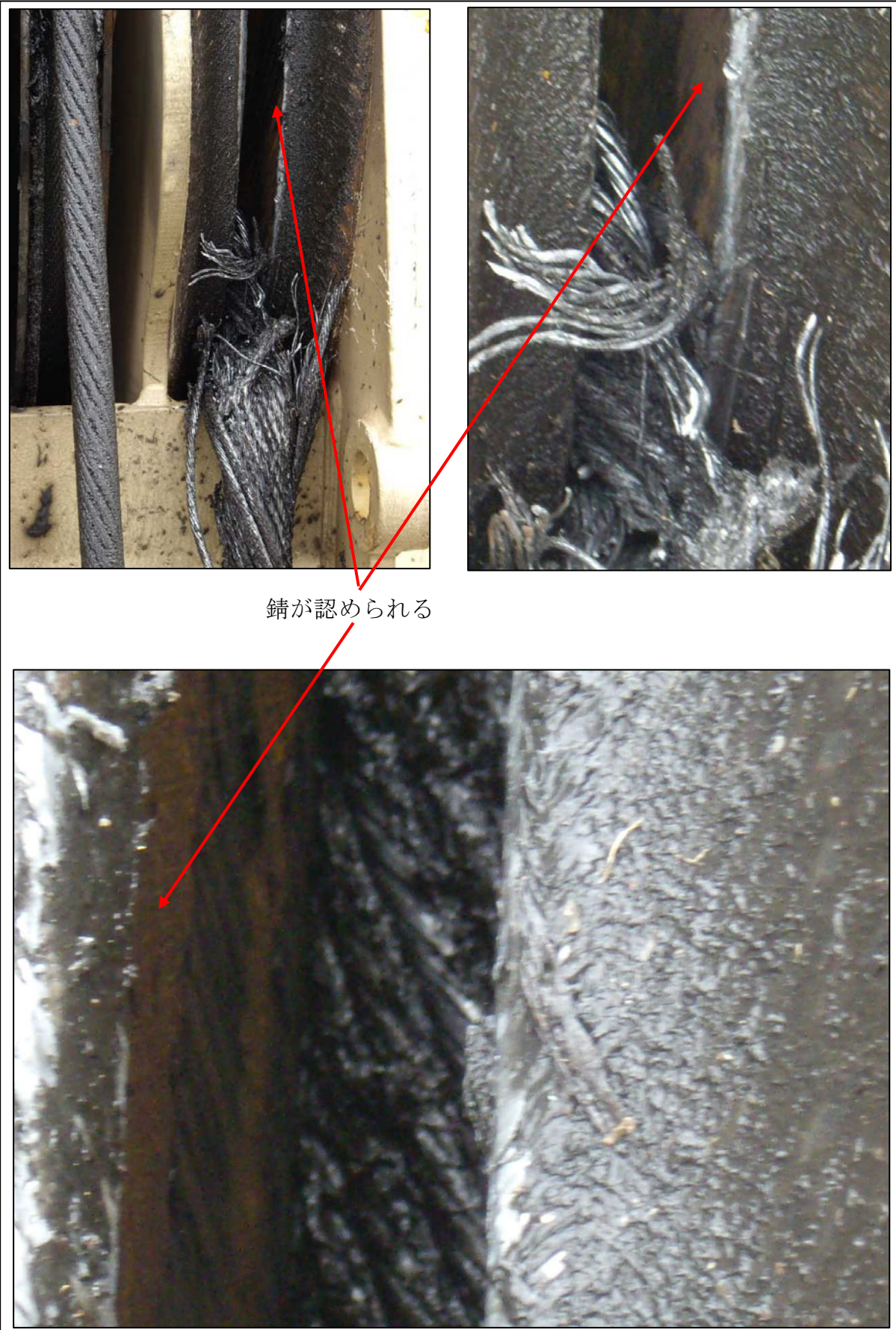


水没した本件貨物の引揚時

# 写真9 3号クレーン操縦室

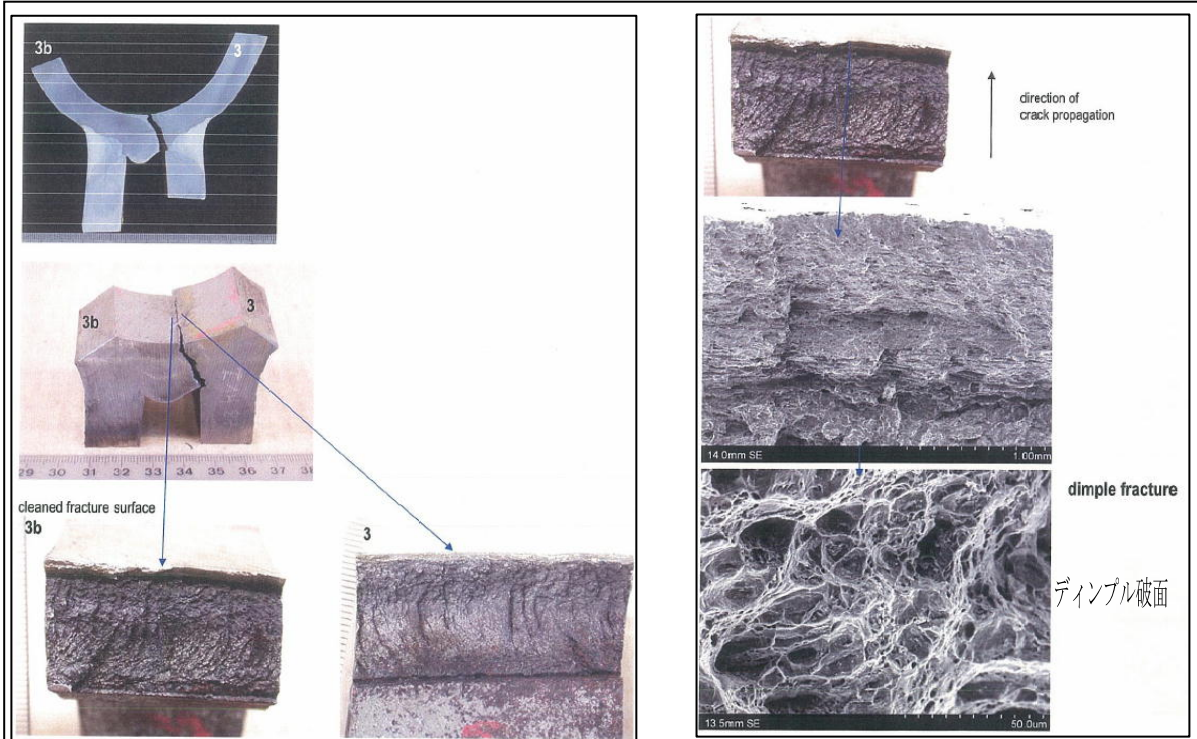


写真10 主シープC割損及び錆状況



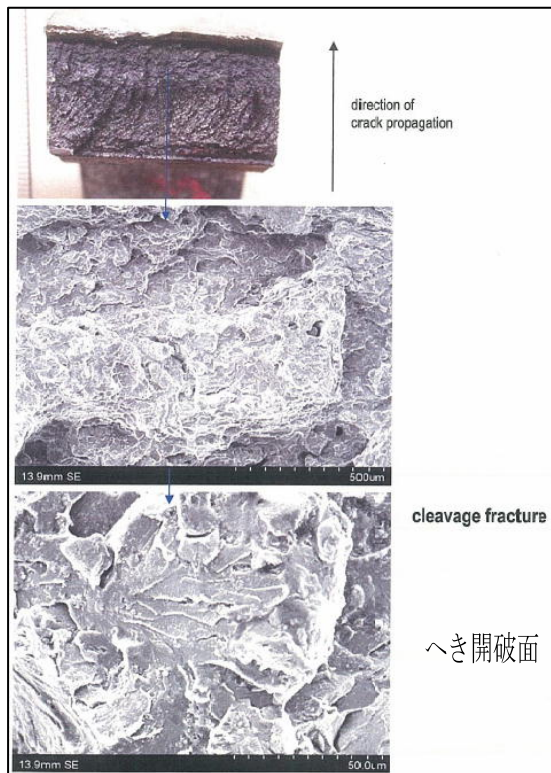
錆が認められる

# 写真 1 1 電子顕微鏡による検査状況

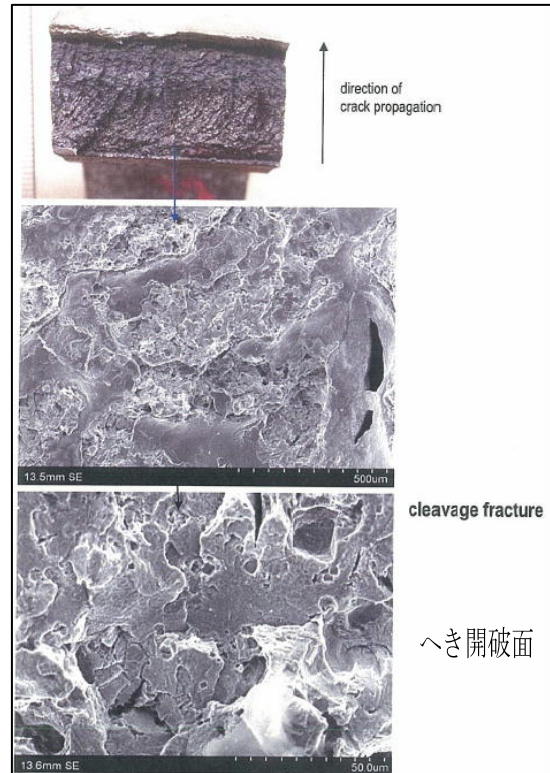


a リム破断面の状況

b ワイヤ接触部近傍



c リム破断面



d リム破断面

写真12 リム割損状況

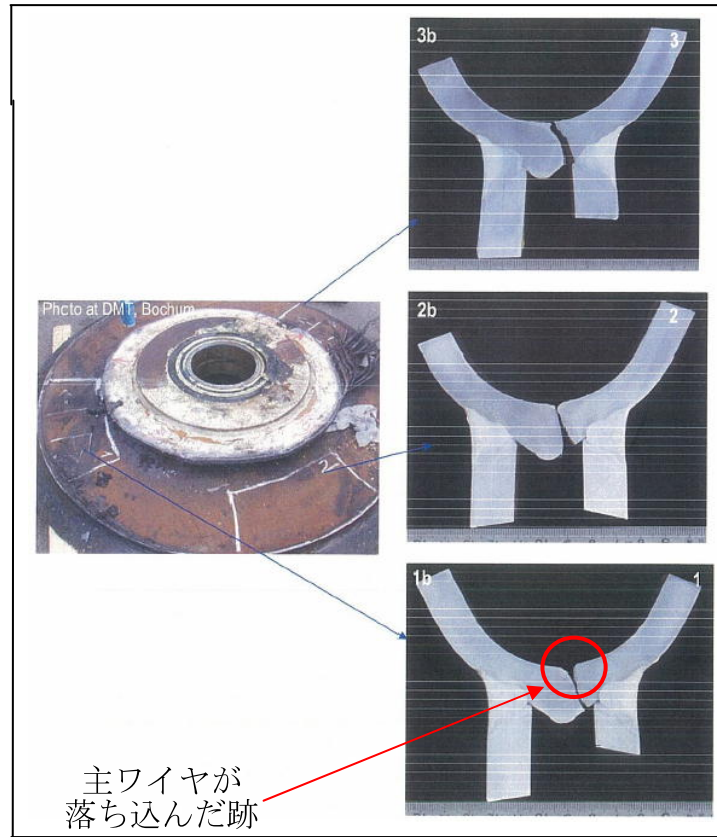


写真13 ワイヤガイド面の裏側 亀裂発生状況 (主シープC)

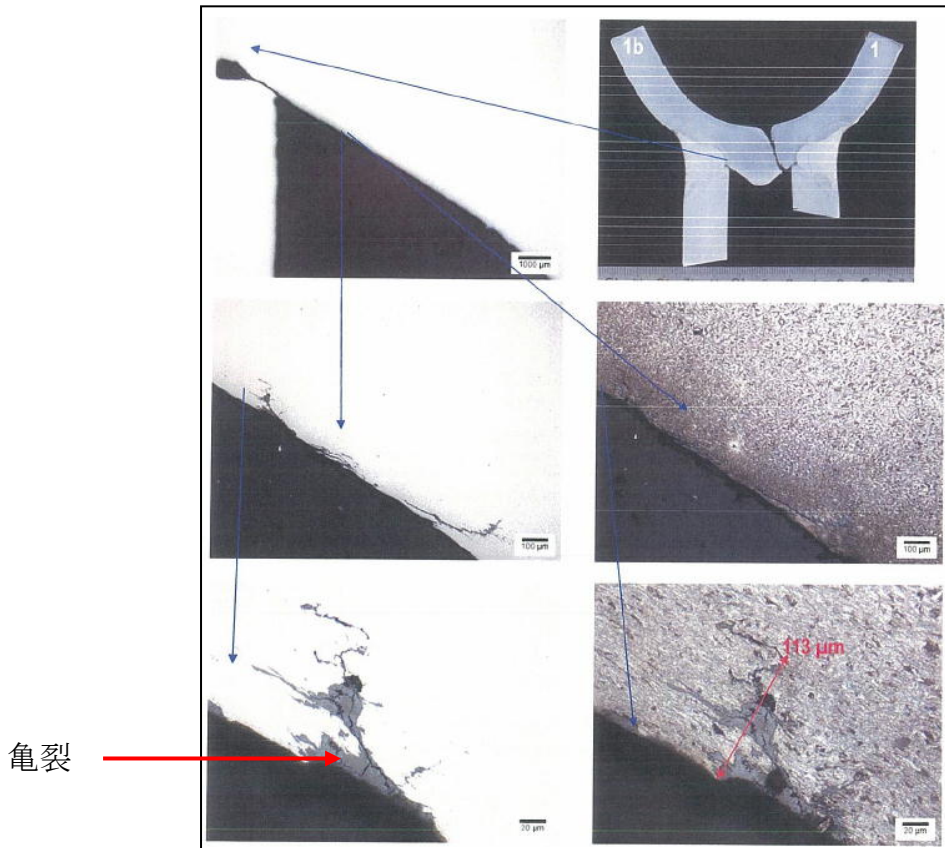




写真14 ワイヤガイド面の裏側 亀裂発生状況  
(非損傷の主シーブE)

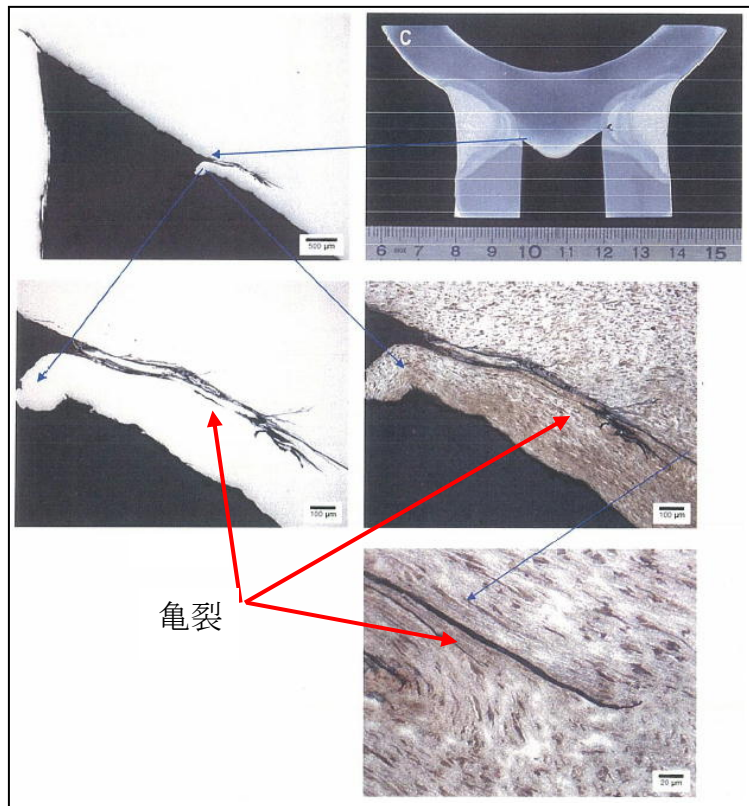


写真15 同型船シーブ状況

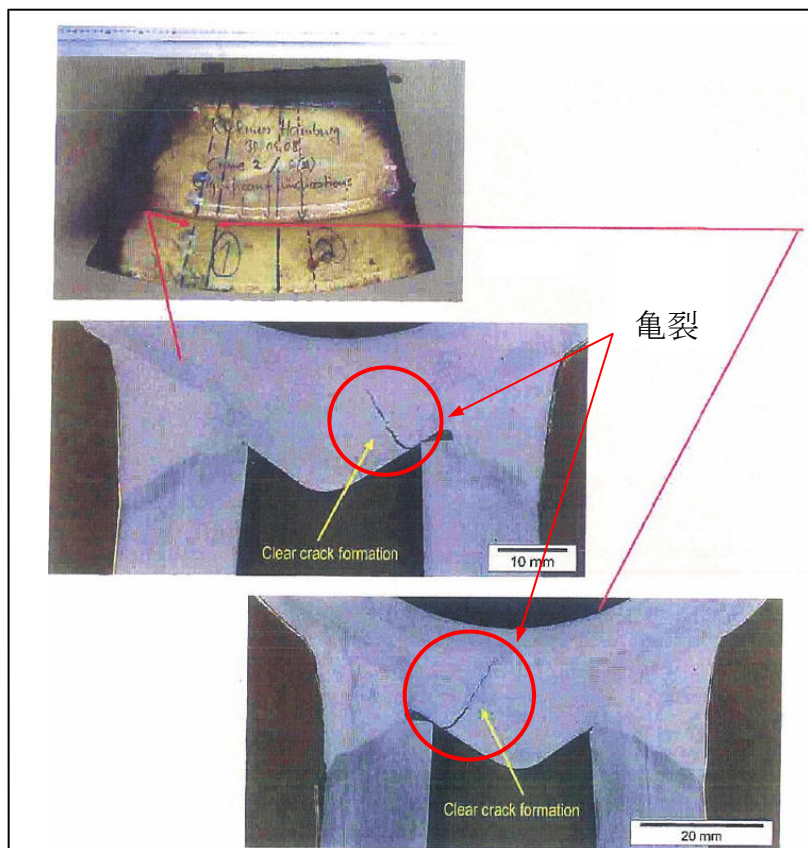


写真16 未使用シーブの亀裂状況

