

設計技術の高度化及び艤装品品質管理に  
関する技術開発  
研究成果概要報告書

2010年3月



財団法人 日本船舶技術研究協会

## はしがき

本技術開発研究は、日本財団の助成事業として、日本船舶技術研究協会「設計技術の高度化及び艤装品品質管理に関する技術開発」事業を中手造船所が主体となって、2006～2009年度の4ヵ年計画で実施された研究の成果概要報告書として取りまとめたものである。

### 共同研究参加者（敬称略、順不同）

#### (1) 性能分野

「CFDを用いた船首船型パラメトリックスタディ」	
研究推進責任会社	今治造船株式会社
研究参加者 珠久 正憲	今治造船株式会社
田井 祥史	今治造船株式会社
溝尻 貴明	今治造船株式会社
森 茂博	株式会社大島造船所
青木伊知郎	株式会社大島造船所
何 青	株式会社大島造船所
和泉 貴之	株式会社大島造船所
中谷 浩一	尾道造船株式会社
大出 明	尾道造船株式会社
中村 康嗣	尾道造船株式会社
大桑 義昭	佐世保重工業株式会社
玉田 丈朗	佐世保重工業株式会社
前野 嘉孝	株式会社サノヤス・ヒシノ明昌
古池 健太	株式会社サノヤス・ヒシノ明昌
末吉 明	株式会社新来島どつく
片岡 史朗	株式会社新来島どつく
近藤 公雄	内海造船株式会社
池田 征治	内海造船株式会社
山崎 知幸	株式会社名村造船所
山元 康博	株式会社名村造船所
馬場 穎男	株式会社名村造船所
芦田 琢磨	ツネイシホールディングス株式会社
施 建剛	ツネイシホールディングス株式会社
成田 征	函館どつく株式会社
金川 剛	函館どつく株式会社
日野 孝則	独立行政法人海上技術安全研究所
平田 信行	独立行政法人海上技術安全研究所
武隈 克義	財団法人日本造船技術センター
金井 健	財団法人日本造船技術センター
新郷 将司	財団法人日本造船技術センター

## (2) 構造分野

### (2)-1 「係船機器下部構造の設計指針の評価」

研究推進責任会社		株式会社大島造船所
研究参加者	鮫島 勝義 紙田 健二 和田 聰 滝口 信次 日高 茂 中森 隆一	株式会社大島造船所 今治造船株式会社 尾道造船株式会社 佐世保重工業株式会社 ツネイシホールディングス株式会社 株式会社名村造船所
アドバイザー	有馬 俊朗 深堀 和雄	財団法人日本海事協会 A B S P A C I F I C

### (2)-2 「C S R適用船における船首尾部設計マニュアルの作成」

研究推進責任会社	株式会社新来島どっく
推進責任者	田中 義雄

#### ①タンカーチーム

幹 事	曾波 洋司 奥村 一生 紙田 健二 大下 昌弘 中野 厚史 平松 吉忠 岡本 章吾 西田 博 池田 亮 田中 幸子 藤井 一申 内村 秀之 新納 栄二 宇野 洋平	尾道造船株式会社 尾道造船株式会社 今治造船株式会社 今治造船株式会社 内海造船株式会社 内海造船株式会社 内海造船株式会社 内海造船株式会社 株式会社名村造船所 株式会社名村造船所 株式会社新来島どっく 株式会社新来島どっく 株式会社新来島どっく 株式会社新来島どっく
アドバイザー	林 竜也 高野 裕文 菅 勇人 平野 晃貴 永山 竜 深堀 和雄	財団法人日本海事協会 財団法人日本海事協会 財団法人日本海事協会 財団法人日本海事協会 A B S P A C I F I C A B S P A C I F I C

#### ②バルカーチーム

幹 事	藤井 康成 前野 嘉孝 松嶋 健五 鮫島 勝義 田代 学 松村 孝之 大槻 康明	株式会社サノヤス・ヒシノ明昌 株式会社サノヤス・ヒシノ明昌 株式会社大島造船所 株式会社大島造船所 佐世保重工業株式会社 佐世保重工業株式会社 ツネイシホールディングス株式会社
-----	--	--

末永 泰樹	ツネイシホールディングス株式会社
池田 亮	株式会社名村造船所
中森 隆一	株式会社名村造船所
瀧川 寛樹	函館どつく株式会社
兼子 敏明	函館どつく株式会社
アドバイザー 岩下 智也	財団法人日本海事協会
宇宿 行史	財団法人日本海事協会
小岩 敏郎	財団法人日本海事協会
越智 宏	財団法人日本海事協会
瀧澤 大	財団法人日本海事協会
岡 祥子	財団法人日本海事協会
阿部 孝三	A B S P A C I F I C

### (3) 艦装分野

#### (3)-1 「主要艦装外注品の品質管理基準整備」

研究推進責任会社	平井 保人	株式会社新来島どつく
研究参加者	平井 保人	今治造船株式会社
	錦織 雄吉	今治造船株式会社
	乗松 芳正	今治造船株式会社
	鈴木 博樹	今治造船株式会社
	工藤 篤	今治造船株式会社
	本山 正明	株式会社大島造船所
	盧田 英久	株式会社大島造船所
	村川 浩一	株式会社大島造船所
	安元 修一	株式会社大島造船所
	高比良栄治	株式会社大島造船所
	平井 和久	株式会社大島造船所
	中村 健治	株式会社大島造船所
	小畠 訓男	尾道造船株式会社
	竹内 章雄	尾道造船株式会社
	郭野 恭弘	尾道造船株式会社
	壇上 栄治	尾道造船株式会社
	西田 秀人	佐世保重工業株式会社
	渡邊 岳暁	佐世保重工業株式会社
	吉田 昭美	佐世保重工業株式会社
	沖村 明	佐世保重工業株式会社
	松本 景介	株式会社サノヤス・ヒシノ明昌
	横山 和憲	株式会社サノヤス・ヒシノ明昌
	金光 輝二	株式会社サノヤス・ヒシノ明昌
	宮武 宏二	株式会社サノヤス・ヒシノ明昌
	坂井 満	株式会社サノヤス・ヒシノ明昌
	松本 幸一	株式会社新来島豊橋造船
	金子 光男	株式会社新来島豊橋造船
	比屋定 誠	株式会社新来島豊橋造船
	嶋崎 摂	株式会社新来島豊橋造船
	加藤 雄一	株式会社新来島豊橋造船

竹田 勇	内海造船株式会社
有馬 裕貴	内海造船株式会社
市川 稔	内海造船株式会社
河上 昌史	内海造船株式会社
江藤 慎一	株式会社名村造船所
井川 誠司	株式会社名村造船所
井手 康正	株式会社名村造船所
徳留 祐二	株式会社名村造船所
吉田 耕一	株式会社新来島どっく
田窪 均	株式会社新来島どっく
田井 良昌	株式会社新来島どっく
河上 誉昭	株式会社新来島どっく
アドバイザー 川路 正	東洋船舶株式会社
渡辺 直広	東洋船舶株式会社
星 啓	東洋船舶株式会社

### (3)-2 「船舶の環境対策に対する設計指針の構築」

研究推進責任会社	ツネイシホールディングス株式会社
研究参加者 鈴木 博樹	今治造船株式会社
丸田 康貴	株式会社大島造船所
沖村 明	佐世保重工業株式会社
柴田 文彦	株式会社サノヤス・ヒシノ明昌
渡辺 和利	株式会社新来島どっく
金子 光男	株式会社新来島豊橋造船
金山 寿夫	内海造船株式会社
中園 廣明	株式会社名村造船所
半田 晃士	ツネイシホールディングス株式会社
細島 静悟	ツネイシホールディングス株式会社
アドバイザー 佐藤 千昭	日本大学

## 目 次

1. 研究の目的.....	1
2. 研究の目標.....	2
3. 研究の内容.....	3
3.1 CFDを用いた船首船型パラメトリックスタディ.....	3
3.1.1 はじめに.....	3
3.1.2 標準ガイドライン検討.....	3
3.1.3 船型計画.....	4
3.1.4 船型作成.....	5
3.1.5 シリーズ計算結果.....	6
3.1.6 船型設計資料.....	7
3.2 係船装置下部構造設計指針.....	8
3.2.1 はじめに.....	8
3.2.2 適用.....	8
3.2.3 設計荷重.....	9
3.2.4 応力照査および許容応力.....	10
3.2.5 腐食予備厚.....	10
3.2.6 有効幅.....	11
3.2.7 モデル化.....	11
3.2.8 溶接脚長.....	11
3.2.9 計算対象の係船装置.....	11
3.2.10 損傷事例の紹介.....	11
3.2.11 計算例.....	11
3.3 CSR適用船における船首尾部設計マニュアルの作成.....	12
3.3.1 はじめに.....	12
3.3.2 活動の概要.....	12
3.3.3 活動の成果.....	14
3.4 艦装外注品の品質管理基準の整備.....	16
3.4.1 はじめに.....	16
3.4.2 経過.....	16
3.4.3 活動の概要.....	17
3.4.4 共同研究活動の実運用.....	17
3.4.5 主要機器のチェックシートの見直し.....	19
3.4.6 定着の為の方針.....	20
3.4.7 本研究の纏めに際して.....	20
3.4.8 活動の成果.....	20

3.5 船舶の環境対策に対する設計資料の構築	22
3.5.1 はじめに	22
3.5.2 処理装置調査	22
3.5.3 試設計	23
3.5.4 各装置の問題点調査	23
3.5.5 得られた成果	24
4. 得られた成果	25
5. 成果の活用	27

## 1. 研究の目的

本報は、中手造船所を主体として平成 18 年度から平成 21 年度にかけて実施された研究を総括し、報告するものである。

昨今の世界的な環境重視の風潮の中での温室効果ガス（GHG）排出削減要求や船舶の更なる安全性確保など、造船業を取り巻く環境は著しく変化を遂げつつある。これらの要求は、IMO におけるエネルギー効率設計指標（EEDI）の策定に関する審議やバラスト水管理条約の採択、船級協会統一規則（CSR）の制定などとして、既に現実のものとなろうとしている。さらに、これらは直接的に一般商船の設計に影響を及ぼすものであり、影響の度合いも大きなものになることが予想される。

このような背景の下、実船の設計に大きな影響を与えると思われる 5 つの異なる項目を取り上げて、設計時に参考となる資料や指針を作成することを目的として実施した。以下に研究項目を示す。

- ・ CFD を用いた船首船型パラメトリックスタディ
- ・ 係船装置下部構造設計指針
- ・ CSR 適用船における船首尾部設計マニュアルの作成
- ・ 巖装外注品の品質管理基準の整備
- ・ 船舶の環境対策に対する設計資料の構築

これらの研究項目間に相互の関係は少ないが、いずれも実設計における緊急の課題であり、また、複数の会社が協力・分担して実施することにより、タイムリーに結果を得られることが期待できるものである。

## 2. 研究の目標

第1章に述べた5つの研究項目それぞれについて、以下に示す目標を定めて実施した。

1. 「CFDを用いた船首船型パラメトリックスタディ」は、最近注目されている実海域性能に大きな影響を及ぼす船首部船型に焦点を当て、CFDを用いたパラメトリックスタディを実施し、これを基に実船設計時に参考となる船型計画資料を整備する。
2. 「係船装置下部構造設計指針」は、IACS UR A2で規定される構造を対象として実施する。船級構造規則を背景として実施した研究であるため、研究グループには船級協会の参加も得ることにした。新しい規則であるため、統一した規則解釈、損傷事例の収集や対象構造の強度計算を通して、合理的な強度検証方法を確立することを目的とし、その結果を設計実務者が有効に活用できる設計指針の形でとりまとめた。
3. 「CSR適用船における船首尾部設計マニュアルの作成」は、新たに制定された船級協会統一規則（CSR）を対象として、規則の不明点や疑問点の多く残る船首尾の構造を取り上げて実施する。研究の手法は前述の「係船装置下部構造設計指針」の研究と同様の方法を採用し、成果の取りまとめも設計指針の形で整理する。
4. 船舶の艤装品は外部メーカーからの購入品であることが多く、その品質はメーカーに依存している状況となっている。「艤装外注品の品質管理基準の整備」は、これら購入品の品質に関して、過去のトラブル事例や品質管理体制の検証を通して、合理的な基準を確立することを目標として実施する。さらに、実務に適用可能なように品質管理チェックシートの形で取りまとめた。
5. 「船舶の環境対策に対する設計資料の構築」は、バラスト水の処理装置を具体的な研究対象として取り上げ、処理装置を搭載する場合の試設計を通じて情報の整理を行い、解決すべき課題を示すことでメーカーのみならず造船所に対し環境やユーザーにとって適切な機器の選択・配置計画を行うための資料を作成する。

### 3. 研究の内容

#### 3. 1 CFD を用いた船首船型パラメトリックスタディ

##### 3. 1. 1 はじめに

CFD の船型計画への応用に関して計算の高精度化・自動化を図るために、「中手 CFD 研究会」が解散した現在でも、共同作業を通じて CFD 活用技術の研鑽、レベルアップを図りたいというニーズは高い。本共同研究は、斯かるニーズを背景に、CFD の実機船型計画への活用を促進するために企画された。具体的には、最近注目の実海域性能に密着に関係する船首部船型を探り上げ、CFD を用いたパラメトリックスタディを各社分担して船型計画資料を整備する事を目的としている。

##### 3. 1. 2 標準ガイドライン検討

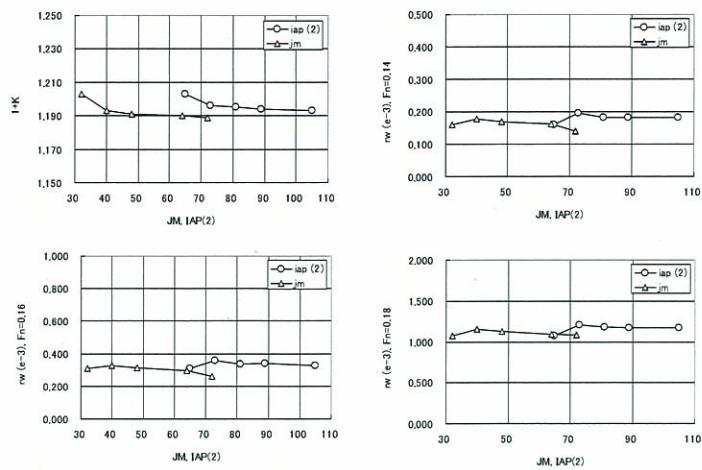
本研究では Neptune コード(海上技術安全研究所)を使用した。H18 年度に形状影響係数と造波抵抗係数の格子依存性検証(船体表面長手方向分割数、ガース方向分割数)について供試模型 12 隻を用いて実施し、収束値が概ね得られる分割数を把握して標準ガイドラインを制定した。また、本ガイドラインを用いた CFD 計算と水槽試験との相関関係を検討して有効性の確認を行った。

H20 年度には、Neptune コードに新たに組み込まれた姿勢(トリム・シンケージ)変化を考慮した計算方法に切り替え、また、ガース方向分割数の見直しを行い、H20 ガイドラインを作成した。H20 ガイドラインについては CFD 計算結果と水槽試験結果の相関より、修正係数を Fn 数毎に求め、CFD 計算結果を水槽試験相当に補正する手法を取り入れた。

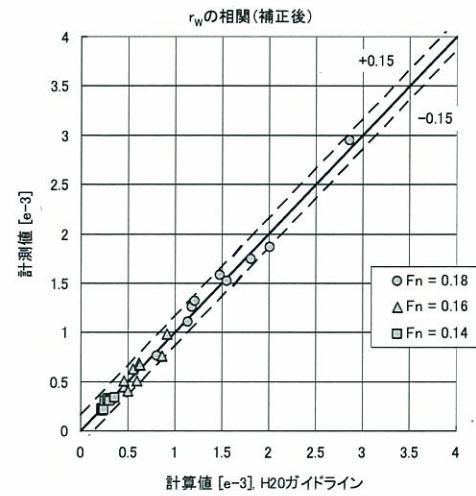
H18 年ガイドラインにて計算したものについては、H18 ガイドラインと H20 ガイドラインの相関を用いて H20 ガイドライン相当の値に修正した上で水槽試験相当に補正を行っている。本研究で作成した 2 船型の CFD 計算結果と水槽試験結果の関係は、H20 年度ガイドラインの相関関係のばらつき範囲内であり、本研究の対象船型にも有効であることが確認出来ている。

H18,20 年度 標準ガイドライン

SURFG		平成18年度	平成20年度
船体長手方向分割数	iap(2)	73	73
船体ガース方向分割数	jm(4)	49	73
船体噴水線下分割数	jm(4)_under	33	49
FP集中化パラメータ	rclf	0.2	0.2
AP集中化パラメータ	rclap	0.2	0.2
BOUNDG			
船体前方分割数	ifp(1)	17	17
船体後方分割数	im_r2	49	49
船体法線方向分割数(暫定)	km0	57	57
船体前方領域長さ	x_up	-1.5	-1.5
船体後方領域長さ	x_down	1.5	1.5
外周境界半径	r_outer	1.5	1.5
i=1,k=1境界の深さ	w_up	0.2	0.2
i=max,k=1境界の深さ	w_dn	0.2	0.2
SHIPG			
リクラスティングする範囲	kmrc1	11	11
リクラスティングする格子数	kmnewrc1	35	35
船体法線方向分割数	km	81	81
NEPTUNE			
長手方向減衰領域	xdamp	1	1
幅方向減衰領域	ydamp	0.5	0.5
再配置間隔(娶水線)	dhtop	0.5	0.5
再配置間隔(センター線)	dhbot	0.5	2.0
ガース方向再配置セル数	jmgr	40	56



パラメータスタディ計算結果 (M4449)



H20 標準ガイドラインによる計算結果

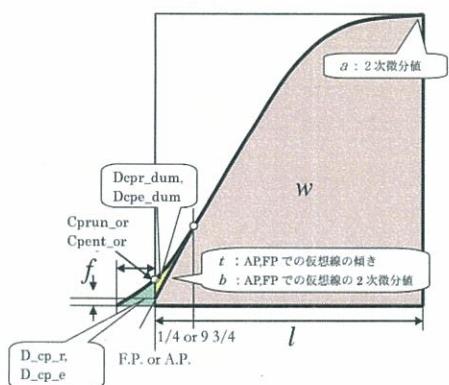
(水槽試験補正後)と実験値の相関図

### 3. 1. 3 船型計画

SRC で過去に試験が行われた船型の水槽試験結果を収集し、船型パラメータと抵抗性能の相関解析を行い、船型計画に用いる船型パラメータの検討を行った。

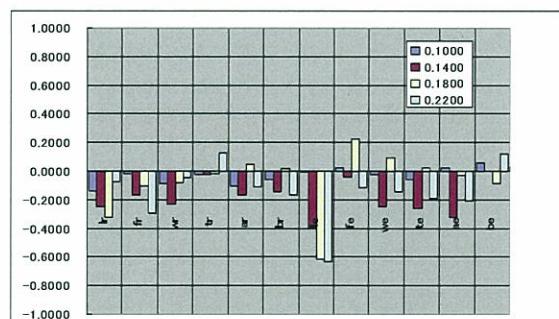
造波抵抗係数は  $C_b, C_p, C_v$  など排水量に関わるパラメータとの相関が高く、また  $He/B(C_p), \gamma E, He/B(C_w), le(C_p), le(C_w), te(C_w)$  など船首に関わるパラメータとの相関が深い事が分かった。形状影響係数は  $L/B, Hr/B(C_p), \gamma A$  の相関が高い。 $C_p$  カーブのパラメータでは船首のパラメータより船尾のパラメータの相関が高く、 $C_w$  カーブのパラメータは  $C_p$  カーブのそれほど相関は高くなかった。船首プロファイルでは  $z$  方向のパラメータ、船尾プロファイルでは  $x$  方向のパラメータとの相関が深いのが特徴である。

上記の検討結果より、肥大船型の造波抵抗係数、形状影響係数に関する船型パラメータとして以下のものを選定した。

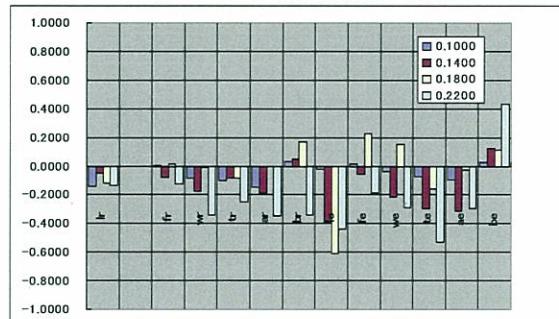


CptrmX, CptrmY	: $C_p(C_w)$ カーブ AP~AE, FP~FE の長さ
CptrmY, CptrmY	: $C_p(C_w)$ カーブ AE, FE における値
Disp/DispF	: 計画満載状態と推定載荷状態との比
SCR	: 軸レーキ
SCH	: 軸高さ
$\beta_r$	: $C_p(0.3lr)/C_w(0.3lr)*C_M$
$Hr/B = (1-wr)Lr/B$	, $He/B = (1-we)Lw/B$
$r_A = (B/L)/(1.3(1-C_B) - 0.031l_{CB})$ ,	$r_E = (B/L)/(1.3(1-C_B) + 0.031l_{CB})$

$C_p, C_w$  カーブパラメータ



$C_p$  カーブと造波抵抗係数の相関



$C_w$  カーブと造波抵抗係数の相関

造波抵抗係数  $He/B(Cp), He/B(Cw)$

形状影響係数  $L/B, Hr/B(Cp), Hr/B(Cw)$

本検討結果を踏まえ、以下のようなシリーズの検討を計画した。

基本主要目 ;  $L/B=5.5, B/d=3.0$

(90~100DWT 程度の肥大船を想定)

基本肥大度 ;  $He/B(Cp)+Hr/B(Cp)=0.80 \sim 1.20$  (0.05 刻み)

組み合わせと諸パラメータ

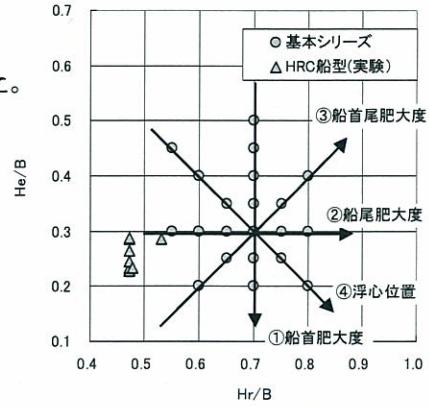
;  $He/B, Hr/B, He/B(Cw), Hr/B(Cw)$

$He/B=0.20 \sim 0.50$  (0.05 刻み) の 7 船首形状と  $Hr/B=0.55 \sim 0.80$  (0.05 刻み) の 6 船尾形状を作成し、その組み合わせにより①船首肥大度、②船尾肥大度、③船首尾肥大度、④浮心位置シリーズについての検討を実施した。

### 3. 1. 4 船型作成

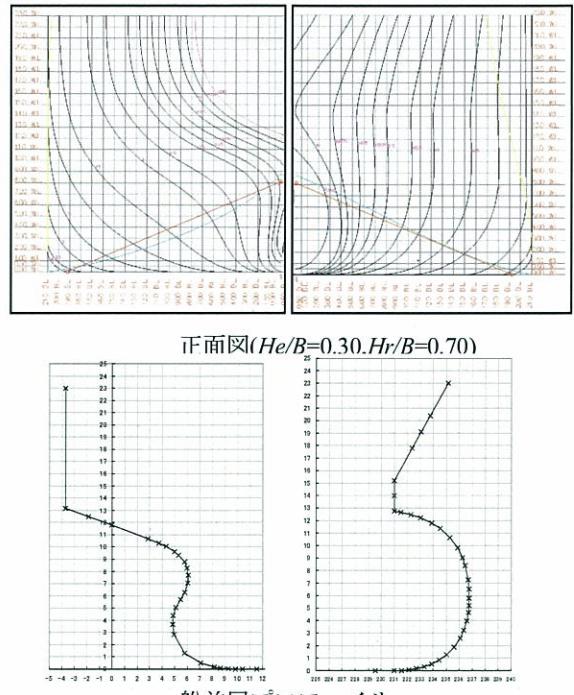
線図創生には線図創生システム Geo2D(日本造船技術センター)を用いて、船首尾肥大度毎に各社が分担して作成した。 $Cp, Cw$  カーブの数式パラメータは、船首尾肥大度と各パラメータの実績値の関係を 1 次関数( $y=Ax+B$ )で最小二乗法により近似し決定したものである。

また、船首尾プロファイルは HRC 船型を参考に数式化して設定した。



$Cp, Cw$  カーブのパラメータ設定値

	AA	A	B	C	D	E	F
船首担当	SRC	SRC	今治	SRC	大島	尾道	佐世保
船尾担当			サノヤス	新来島	SRC	名村	常石
$L/B(1-CP)$	0.75	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30
$Hr/B$	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85
$He/B$	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
$Lr/B$	1.8320	1.9706	2.1092	2.2479	2.3865	2.5251	
$Lc/B$	1.1619	1.2846	1.4073	1.5300	1.6527	1.7754	1.8982
$Ir$	0.3331	0.3583	0.3835	0.4087	0.4339	0.4591	
$wr$	0.6998	0.6955	0.6918	0.6886	0.6857	0.6832	
$le$	1.8343	1.8316	1.8290	1.8263	1.8237	1.8210	
$fr$	-0.0429	-0.0450	-0.0471	-0.0492	-0.0513	-0.0534	
$le$	0.2112	0.2336	0.2559	0.2782	0.3005	0.3228	0.3451
$we$	0.8279	0.8054	0.7868	0.7712	0.7580	0.7465	0.7366
$te$	2.1839	2.0993	2.0147	1.9302	1.8456	1.7611	1.6765
$fe$	0.2976	0.1795	0.1614	0.1433	0.1252	0.1071	0.0890
$Hr/B(Cw)$	0.2061	0.2435	0.2809	0.3183	0.3557	0.3931	
$He/B(Cw)$	0.1879	0.2281	0.2683	0.3085	0.3487	0.3889	0.4291
$Lr/B(Cw)$	1.1277	1.2209	1.3140	1.4071	1.5002	1.5934	
$Le/B(Cw)$	1.0144	1.0977	1.1811	1.2644	1.3477	1.4310	1.5143
$Ir/Cw$	0.2050	0.2220	0.2389	0.2558	0.2728	0.2897	
$wr/Cw$	0.8172	0.8005	0.7862	0.7738	0.7629	0.7533	
$tr/Cw$	1.0783	1.1531	1.2280	1.3028	1.3777	1.4525	
$fr/Cw$	0.3920	0.3566	0.3212	0.2859	0.2505	0.2151	
$le/Cw$	0.1844	0.1996	0.2147	0.2299	0.2450	0.2602	0.2753
$we/Cw$	0.8147	0.7922	0.7728	0.7560	0.7413	0.7283	0.7167
$te/Cw$	2.0974	2.1036	2.1098	2.1160	2.1223	2.1285	2.1347
$fe/Cw$	0.2126	0.1805	0.1484	0.1164	0.0843	0.0522	0.0201

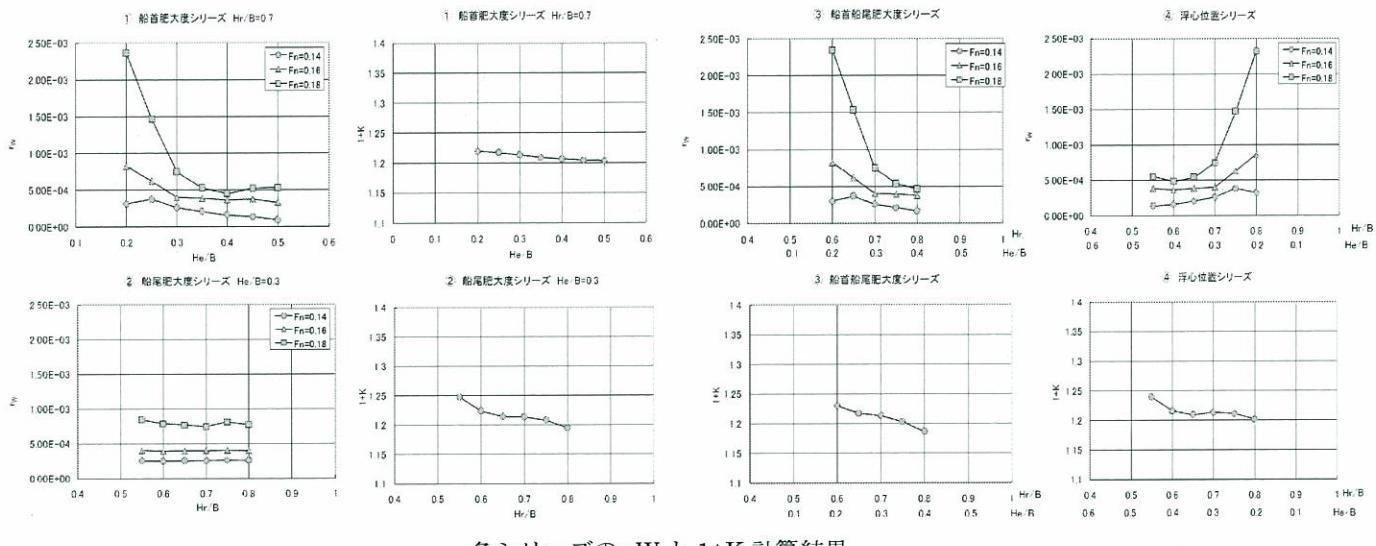


船首尾プロファイル

### 3. 1. 5 シリーズ計算結果

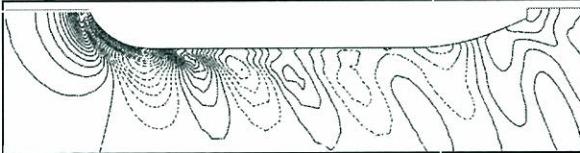
シリーズ計算結果より以下の知見が得られた。

- ・ 造波抵抗係数は、船首肥大度の影響が支配的であり、船尾肥大度の影響はほとんど見られない。
- ・ 形状影響係数は、船尾肥大度の影響は、船首肥大度の影響より大きいが、船首肥大度の影響もある程度見られる。
- ・ 船首尾肥大度シリーズ、浮心位置シリーズにおいて、造波抵抗係数は概ね船首肥大度のみで評価しても問題ないが、形状影響係数は船首肥大度と船尾肥大度の両方の影響を考慮する必要がある。

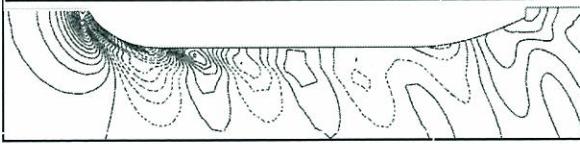


各シリーズの  $rW$  と  $1+K$  計算結果

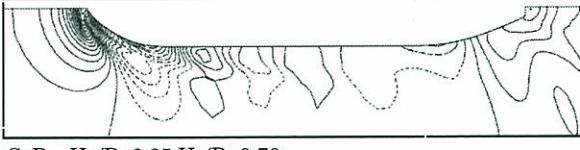
AA\_D He/B=0.20,Hr/B=0.70



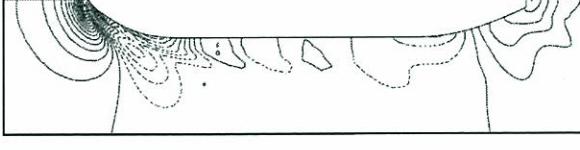
A\_D He/B=0.25,Hr/B=0.70



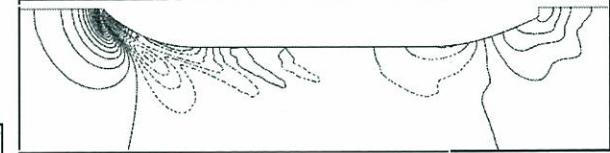
B\_D He/B=0.30,Hr/B=0.70



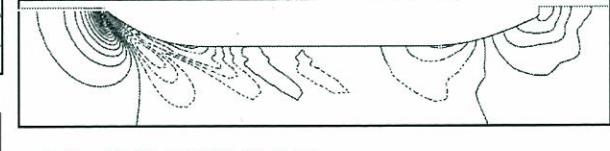
C\_D He/B=0.35,Hr/B=0.70



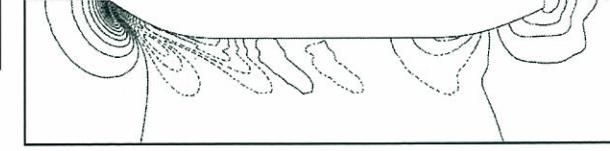
D\_D He/B=0.40,Hr/B=0.70



E\_D He/B=0.45,Hr/B=0.70



F\_D He/B=0.50,Hr/B=0.70



船首肥大度シリーズ波紋図(CFD) (Fn=0.18)

### 3. 1. 6 船型設計資料

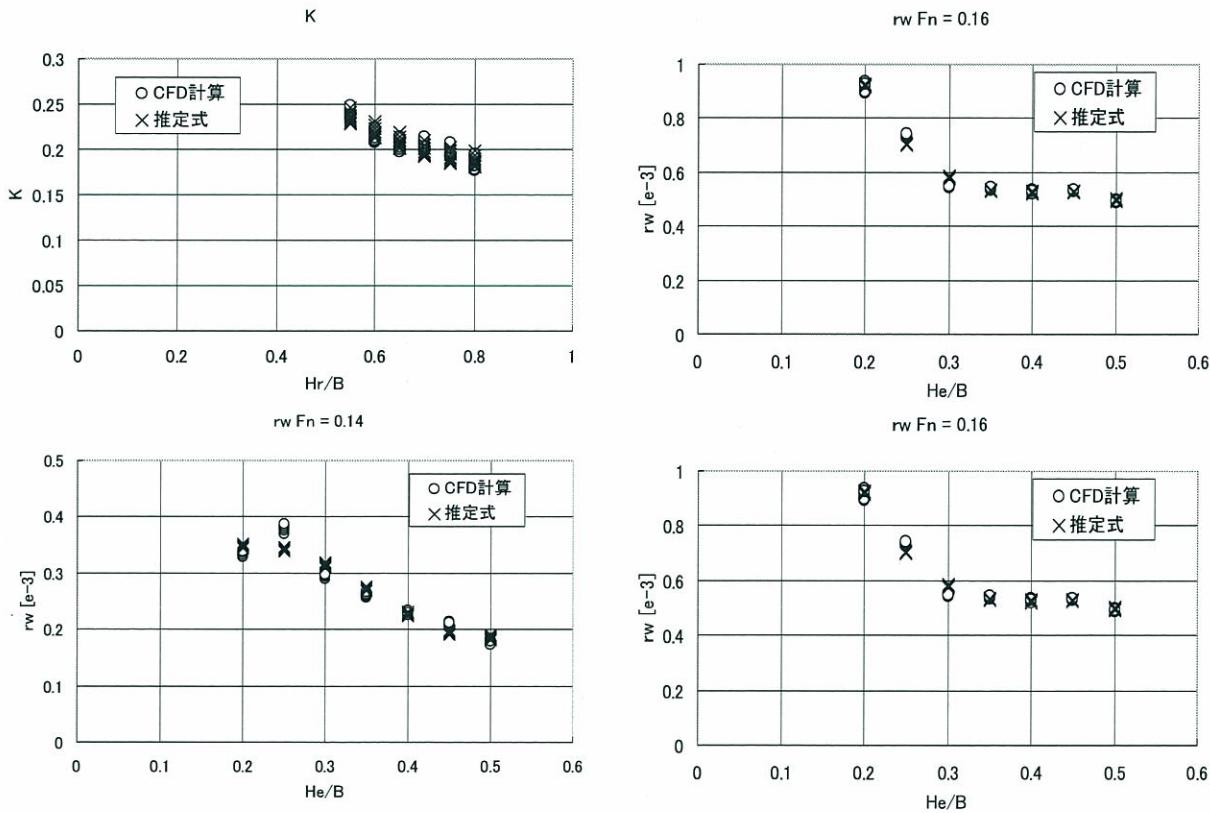
シリーズ船型の水槽試験結果に対応させた CFD の計算結果を用いて、肥大船の造波抵抗特性の推定式を作成した。重回帰分析により  $rw$  と  $K$  の推定式の独立変数の係数を決定した。なお、重回帰分析には市販の統計解析ソフト「Statistica」を使用している。

$$rw = a(He/B)^4 + b(He/B)^2 + c(He/B) + d(Hr/B) + e \quad \dots \quad (1)$$

$$K = a(He/B)^2 + b(He/B) + c(Hr/B)^2 + d(Hr/B) + e \quad \dots \quad (2)$$

推定式の係数

	$rw [e-3]$			$K$
	$Fn = 0.14$	$Fn = 0.16$	$Fn = 0.18$	
$a$	11.425	-31.473	-97.421	0.1249
$b$	-8.881	31.722	120.386	-0.1474
$c$	3.357	-17.237	-71.493	0.5228
$d$	-0.03525	0.0305	-0.140	-0.8951
$e$	-0.00993	3.131	12.741	0.6046
$R^2$ 値	0.918	0.981	0.994	0.920



CFD 計算結果と推定式による値

### 3. 2 係船装置下部構造設計指針

#### 3. 2. 1 はじめに

本報は、平成 18 年度に実施した中手共同研究「係船機器下部構造設計指針の整備」の成果報告書である。本研究は、中手技術連絡会で設定された共同研究に対する新しい基本方針である「各社の直面する旬の技術課題をテーマに共同研究を実施し、実務に有益な成果を得る」に基づき実施した。実務に役立つよう成果は設計指針の形に取り纏め、また造船所の手前勝手な指針とならぬよう、準拠するルール動向に明るく、造船所の当該業務の実態も把握されている船級協会（日本海事協会、ABS）から指導や助言を得て実施した。

2004 年 2 月に採択された IACS Unified Requirement A2（曳航・係留設備およびその下部構造に関する統一規則）がある。

その後、2005 年 5 月に IMO/MSC80 における SOLAS 条約 II - I 章第 3-8 規則関連の採択、同時にガイドライン MSC/Circular 1175 の回章が行われ、産業界の意見集約を経て、IACS は見直し作業を展開中であり、並行して各船級も 2007 年 1 月 1 日の適用に向け、規則改正を急いでいた。従来、曳航および係留装置の下部補強は、対象が多様な機器と複雑な船首尾の曲がり部構造の組み合わせを有していることから、各社まちまちの社内基準や設計標準に基づいて設計してきた。今回の規則改正に伴い、今後は強度計算書と図面を提出し船級の承認を取得することが必要となるが、従来どおりの対応では当面無用の混乱が危惧された。

その際各社の智恵を持ち寄り、また新しい規則に対する船級の考え方も織り込んで共通の設計指針を整備することは、各社にとって有益で合理的であり、一定レベルの品質、構造の信頼性を確保する早道と判断した。また設計指針の実効性を高めるため、当該下部構造の損傷事例を収集、可能な限り留意すべき点も明示して設計指針に取り入れ、設計者に注意を喚起するようにした。そこで、上述趣旨に賛同した各社メンバーで WG を編成し、設計指針作成作業を展開した。船級の規則改正作業と並行しての作業となったが、参加アドバイザーから最新ルール動向について情報を入手するなど万全を期した。

設計実務者に使われる指針である必要があり、各社共通して使用頻度が高い係船機器を選定した。また選定機器毎によく採用される下部補強の構造様式を抽出し指針の対象とした。

計算手法については、より精緻な検討手法を紹介している箇所もあるが、基本的にはより簡易な方法を指向した。また規則自体の精査、試計算等を通して、指針の有効性を確認した。但し規則改正の最終案に基づく作業でなかったため、将来の手直しは否定できないが、指針の基本骨格は構築されているので、各社での修正は容易であると判断される。

#### 3. 2. 2 適用

本設計指針は IACS UR A2（船舶の通常の曳航及び係船に使用される装備の備え付けに関する規則）の改正案 MSC CIRCULAR 1175に基づいて設計された係船装置の下部構造について、定められた設計荷重、許容応力を使って、梁計算をベースに強度検討や補強要領を導いたものである。

また、DECK 上の取り付け台構造は設備に該当するため、本設計の対象外とした。

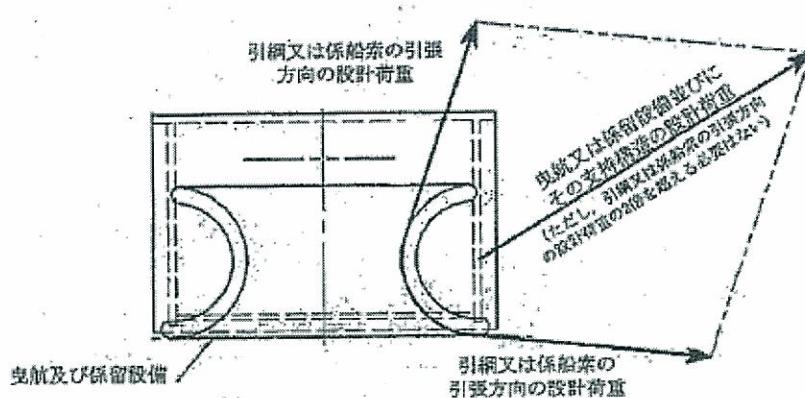
### 3. 2. 3 設計荷重 T

#### (1) 曳航装置 (MSC/CIRCULAR.1175/ANNEX/3.3)

##### (a) 曳航(港湾)

設計荷重は TOWING AND MOORING PLAN に示される最大荷重の 1.25 倍とし、強度計算に用いる際には TOWING AND MOORING PLAN に示される実際の索取りを考慮した合成力とする。

(下図参照)



##### (b) 曳航(エスコート)

ESCORT などによる曳航作業時の設計荷重は、MSC/CIRCULAR 1175/ANNEX/TABLE 1 に示される艤装数ごとに定義された破断荷重の 1.0 倍とし、強度計算に用いる際には TOWING AND MOORING PLAN に示される索取りを考慮した合成力とする。

##### (c) 上記(a), (b)の合成力は上記設計荷重の 2 倍を越える必要はない。

また、上記(b)の設計荷重が建造仕様書または TOWING AND MOORING PLAN などで設定されている使用荷重より小さい場合は、その仕様書または TOWING AND MOORING PLAN に示される使用荷重以上とすること。

##### (d) 港湾およびエスコート曳航について

港湾曳航とは、本船は自航せずタグ等に牽引されている状態で、その索には引っ張り荷重が作用している状態。一方、ESCORT 曳航とは本船は自航しており、TUG 等は本船を牽引しておらず、その索には大きな引っ張り荷重が作用していない状態。

#### (2) 係船装置 (MSC/CIRCULAR 1175/ANNEX/4.3)

##### (a) 係船装置の設計荷重は、MSC/CIRCULAR 1175/ANNEX/TABLE 1 に示される艤装数ごとに定義された破断荷重の 1.25 倍とし、強度計算に用いる際には TOWING AND MOORING PLAN に示される索取りを考慮した合成力とする。

##### (b) 上記(a)の合成力は設計荷重の 2 倍を越える必要はない。

また、上記(a)の設計荷重が建造仕様書または TOWING AND MOORING PLAN などで設定されている使用荷重より小さい場合は、その仕様書または TOWING AND MOORING PLAN に

示される使用荷重の 1.25 倍以上とすること。

(c) OORING WINCH の支持構造の設計荷重は、製造者の基準に従った定格のブレーキ力または保持力の 1.25 倍以上とすること。

(3) 破断荷重(BREAKING STRENGTH OF THE MOORING LINE)について

(MSC/CIRCULAR 1175/ANNEX/2.3)

設計に使用する破断荷重 (BREAKING STRENGTH OF THE MOORING LINE) とは、索そのものの破断荷重ではなく艤装数から決定される規則最小要求値を意味している。従って、実際に試験を行って出てきた破断荷重に対して下部補強を検討する必要はなく、係船装置に記載される SWL、または艤装数から決定される規則最小要求値の 1.25 倍とする。ただし、曳航 (エスコート) の場合は、1.0 倍とする。

### 3. 2. 4 応力照査および許容応力 $\sigma_{all}$ 、 $\tau_{all}$ (MSC/CIRCULAR 1175/ANNEX/3.5.3 & 4.5.3)

曲げ応力 ( $\sigma_b$ )

$$\sigma_b = \frac{M}{SM} \leq \sigma_{all}$$

$M$ :曲げモーメント

$SM$ :断面係数

せん断応力 ( $\tau$ )

$$\tau = \frac{F}{A_w} \leq \tau_{all}$$

$F$ :せん断力

$A_w$ :せん断有効断面積

曲げ強度  $\sigma_{all}$ : 降伏応力、 MS=235 N/mm<sup>2</sup>、 HT32=315 N/mm<sup>2</sup>、 HT36=355 N/mm<sup>2</sup>

せん断強度  $\tau_{all}$ : 降伏応力の 60%、 MS=141N/mm<sup>2</sup>、 HT32=189N/mm<sup>2</sup>、 HT36=213N/mm<sup>2</sup>

UR A2 での許容応力は直応力となっているが通常、曲げ応力の事をいう。ただし、荷重の作用する方向によって、軸応力が生じる場合は、上記曲げ応力 ( $\sigma_b$ )にこれを考慮すること。また、縦曲げや貨物積載等により発生する応力を付加する必要はない。

### 3. 2. 5 腐食予備厚 $tc$

強度評価は腐食予備厚を差し引いた NET 板厚で行うこと。既存の船級規則に規定される腐食予備厚を考慮する。ただし腐食予備厚は両面の合計で 2mm を下回ってはならない。

一方、CSR(COMMON STRUCTURAL RULE)の JTP, JBP 適用の場合はその規定に従うこと。

### 3. 2. 6 有効幅

有効幅は各船級の規定値に従うこと。

### 3. 2. 7 モデル化

本指針では計算の容易さと安全側の設計とするために、敢えて両端支持の単純梁として取り扱うこととした。ただし、周辺の下部 STIFFENER 配置や固着条件が単純支持梁に置換しがたい場合や、更に精度を上げる検討を行う場合は、3 連続梁計算や梁要素および板要素による直接計算を実施することが認められる。

### 3. 2. 8 溶接脚長

一般的には各船級の規定に従うが、CARLING 端部など比較的高いせん断応力が発生する箇所の溶接脚長は、せん断強度上要求される WEB 板厚の 1/2 以上のど厚とする。

### 3. 2. 9 計算対象の係船装置

対象の係船装置は、SHIP FITTING、MOORING FITTING および TOWING FITTING の 3 区分とし、その内訳は以下のとおり。

#### (a) SHIP FITTING

- BOLLARD
- CROSS BITT
- ROLLER FAIRLEADER
- STAND ROLLER
- CLOSED CHOCK
- MOORING CHOCK

#### (b) MOORING FITTING

- WHINCH AND WINDLASS
- CHAIN STOPPER
- HORIZONTAL ROLLER

#### (c) TOWING FITTING

- CHAIN STOPPER
- ESCOAT BITT
- CHOCK

### 3. 2. 10 損傷事例の紹介

上記係船装置に関する損傷事例とその原因や有効な対策を紹介し、再発防止対策に役立たせた。

### 3. 2. 11 計算例

代表的な機器である CHAIN STOPPER 下部補強の計算例の一部を紹介する。

### 3. 3 CSR 適用船における船首尾部設計マニュアルの作成

#### 3. 3. 1 はじめに

現在、CSR の議論が盛んに行なわれているが、主に、カーゴホールド部に関わるものである。一方、実際に設計する時期が来ているにも関わらず、カーゴホールド部以外の「船尾部」「機関室」「船首部」「上部構造」に関する設計手法が明確になっていない箇所が多々有ることは共通の認識である。そこで、これらの不明点・疑問点を明らかにしていく作業を行いながら、実際の設計に役立つ船首尾部の設計マニュアルを作成することを目標に本共同研究を行うこととした。

本共同研究のメンバーは中手造船所の中から参加希望を募り計 10 社にて作業を開始した。また、CSR はタンカー及びバルカーの 2 種類の船種について規定されており、参加会社を「タンカーチーム」及び「バルカーチーム」の 2 チームに分け、それぞれの船種について、設計マニュアルを作成することにした。更に、本共同研究は新規則に関わる問題であり、船級協会のアドバイザーとして日本海事協会及び ABS にも参加頂き、全面的に協力を頂いた。

本共同研究は 2 ヶ年計画で実施し、2007 年度は「船尾部」「機関室」「船首部」の設計マニュアルを作成した。また、2008 年度は「上部構造」を作成し、更に、「船尾部」「機関室」「船首部」の見直しを行った。その後、日本海事協会及び ABS にレビューして頂き、最終的に、CSR 適用船における船首尾部設計マニュアルとして作成した。

#### 3. 3. 2 活動の概要

本共同研究の研究体制としては、メンバーとして中手造船所 10 社、アドバイザーとして、船級協会 2 協会にて構成した。その中で、活動の推進を統括する全体幹事を新来島どっくが担当した。また、参加会社を「タンカーチーム」及び「バルカーチーム」の 2 チームに分け、タンカーチーム幹事を尾道造船、バルカーチーム幹事をサノヤス・ヒシノ明昌が担当した。アドバイザーとして、日本海事協会及び ABS にお願いした。また、最終の研究成果のレビューについても、両船級協会にお願いすることにした。

本共同研究活動は、2007 年 7 月 25 日に第 1 回研究会を開催し、アドバイザーの日本海事協会も参加して、本共同研究の主旨・研究の体制・研究の内容・作業日程・成果目標等、計画書に基づき確認し合った。また、CSR 適用船種のタンカーとバルカーで分担を 2 チームに分け、それぞれにチーム幹事を設けた。その後、チーム毎に研究テーマの進め方について審議を行なった。最後に全体会議にて審議を行い、各社が設計マニュアルのイメージ案を検討し、メール上でのやりとりで協議し、同年 8 月末までにチーム幹事が取りまとめを行い、全体幹事に連絡した。また、船尾・機関室に関する CSR に対する質問事項についてもメール上でのやり取りで協議し、同年 8 月末より、各チーム幹事より、船級協会に問合せを行うこととした。

会議終了後、船級協会のアドバイザーとして ABS にもお願いするために、研究内容の説明を行い、アドバイザーとして協力を要請し、了解を得られた。

2007 年 11 月 14 日開催の第 2 回研究会では、各チームよりメール上でのやり取りで協議された内容を基に作成した設計マニュアル案の構成について全体幹事が説明後、チーム毎に具体的な設計

マニュアルの内容及び役割分担について審議した。その結果、第3回研究会までに各社が担当範囲の設計マニュアルの具体的案を作成することとなった。

担当範囲	タンカーチーム	バルカーチーム
第1章：一般（共通事項）	今治造船 新来島どつく	函館どつく
第2章：船尾構造	尾道造船（チーム幹事） 内海造船	佐世保重工業
第3章：機関室構造		ツネイシホールディングス
第4章：船首構造	名村造船所	名村造船所
第5章：上部構造		大島造船所

\*サノヤス・ヒシノ明昌（バルカーチーム幹事）はバルカー全体の取りまとめ

また、船尾・機関室に関するCSRの質問事項及び回答についても審議を行った。今後は、CSRの質問事項は全ての区画を対象として船級協会に提出することとした。質問内容の内、IACSからの回答が十分でない場合は、本会議より直接IACSへ質問を行うこととした。

尚、第2回研究会より、アドバイザーとしてタンカーチームは日本海事協会に加えABSも参加して頂き、アドバイスを頂きながら審議を行った。

2008年1月18日開催の第3回研究会では担当各社が作成した担当範囲の設計マニュアル案を審議した。審議は、より具体的に章毎の内容や設計マニュアル文章の書式、スタイル等について審議した。設計マニュアル文章の書式、スタイルについては統一を図るために、全体幹事が検討し、各社にメールで配信することとした。

また、船級協会に対する質問と回答についても審議を行った。バルカーチームでは、日本海事協会より、「船首尾構造で注意すべき規則など」の設計マニュアルに追加すべき項目として、PMAや内規等について、構成概要の説明をして頂いた。

2008年2月15日開催の第4回研究会では担当各社が作成した「一般」「船尾構造」「機関室構造」「船首構造」の設計マニュアル最終案を審議した。一部の手直し箇所について、各社にて修正後、チーム毎に完成し、2007年度の報告書として完成させることとした。

また、「CSR適用船における船首尾部設計マニュアルの作成」2007年度報告書について審議し、一部手直し箇所について、全体幹事にて修正後、完成させることとした。

また、船級協会に対する質問と回答についても審議を行った。

会議終了後、各社がメール上でのやりとりで審議し、「CSR適用船における船首尾部設計マニュアル」2007年度最終版として作成した。

2008年5月23日開催の第5回研究会では、「上部構造」（案）について審議を行った。また、その他の区画についても修正案の審議を行った。更に、船級協会に対する質問と回答についての

審議を行った。船級協会に対する質問と回答については設計マニュアルに記載することとした。次回第6回会合までに、設計マニュアルの各社担当分を仕上げ、チーム幹事が全体の取まとめを行うこととした。

2008年7月25日開催の第6回研究会では、各チーム幹事が取りまとめた設計マニュアル案について審議を行った。また、タンカーチームのアドバイザーとして参加して頂いているABSより、バルカーの設計マニュアル案についてもコメントを頂き、バルカーチーム内にて審議を行った。各チーム幹事は、今回の審議内容を基に、船級協会にてレビューして頂く設計マニュアル案を取りまとめ、メンバーに配布後、全体幹事より、船級協会へのレビューを依頼することになった。

会議終了後、設計マニュアル案について、各社がメール上でのやりとりで審議し、各チーム幹事が内容を取りまとめた後、全体幹事より船級協会へのレビューを正式に依頼した。

2008年11月28日開催の第7回研究会では、船級協会にてレビューして頂いた設計マニュアル案について最終審議を行った。尚、今回より、バルカーチームのアドバイザーとしてABSにも参加して頂き、設計マニュアル案に対するコメントについて審議を行った。

審議終了後、メール上でのやりとりにて設計マニュアルの取りまとめを行い、最終版として「CSR適用船における船首尾部設計マニュアル」2008年度版を作成した。

設計マニュアルの最終版は船級協会に提出し、レビュー済みを示す最終確認印を受領した。

### 3. 3. 3 活動の成果

「CSR適用船における船首尾部設計マニュアル」2008年度版として、タンカー及びバルカーの2種類の船種について作成した。

- ・CSR適用船における船首尾部設計マニュアル【二重船殻油タンカー】2008年度版
- ・CSR適用船における船首尾部設計マニュアル【ばら積み貨物船】2008年度版

マニュアルは、区画毎に図表を用いて判り易く説明した。実船の構造に即した部材計算例も含めた。また、IACS作成のQ&Aから船首尾区画に関する項目を抜粋し添付した。さらに、本活動を通して生じた疑問点に対する船級回答もQ&Aとして添付した。

作成したマニュアルは、日本海事協会及びABSにレビューして頂いている。

本マニュアルを参照することで、CSR船の船首尾区画の設計作業がスムーズに行えるようになった。

## 作成したマニュアル

図 1.6.7 板部材の荷重評価点 (縦式構造)

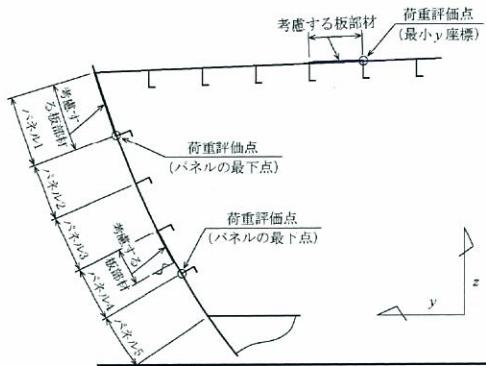
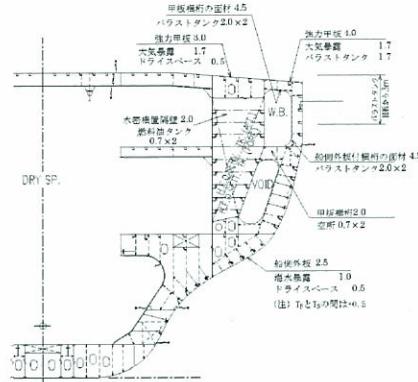


図 3.4.3 腐食予備厚(2) (mm)



水平防撃材に作用する荷重を算  
らない。【CSR-6/2.1.4.1】

### 3.4.6 計算例

機関室構造部材の計算例を示す。ここで、船の長さ、非損傷状態及び浸水状態での部材に働く面外圧力、非損傷状態及び浸水状態での総強度に寄与するとみなされる部材に働く直応力は、以下とする。

$$L = L_2 = 200, p_s + p_w = 34.3, p_F = 25.0, \sigma_x = 180(270)$$

#### 3.4.6.1 強力甲板

要求ネット板厚  $t$  (mm) は、①から③の算式による値のうち、最大となる値とする。

##### ① 最小ネット板厚 (第1章 1.7.1.1 参照)

$$t = 4.5 + 0.02L = 4.5 + 0.02 \times 200 = 8.5$$

##### ② 非損傷状態 (第1章 1.7.1.3 参照)

$$t = 15.8c_a c_s \sqrt{\frac{p_s + p_w}{\lambda_p R_y}} = 15.8 \times 1.0 \times 1.0 \times 0.8 \times \sqrt{\frac{34.3}{0.681 \times 301}} = 5.17 \rightarrow 5.0$$

ここで、

$$k = 0.78, R_y = \frac{235}{k} = \frac{235}{0.78} = 301, s = 0.8, l = 3.2, c_r = 1.0$$

$$c_a = 1.21 \sqrt{1 + 0.33 \left( \frac{s}{l} \right)^2} - 0.69 \frac{s}{l} = 1.21 \times \sqrt{1 + 0.33 \times \left( \frac{0.8}{3.2} \right)^2} - 0.69 \times \frac{0.8}{3.2} = 1.050 \rightarrow 1.0$$

$$\lambda_p = 0.95 - 0.45 \left| \frac{\sigma_x}{R_y} \right| = 0.95 - 0.45 \times \left| \frac{180}{301} \right| = 0.681$$

##### ③ 浸水状態 (第1章 1.7.1.4 参照)