

高速船の構造設計技術の高度化に関する調査研究

(2013年10月～2017年3月)

成果概要報告書



2017年3月

一般財団法人 日本船舶技術研究協会



## 目 次

1. はじめに	1
1.1 背景と目的	1
1.2 体制及び活動経緯	1
2. 高速船構造基準の見直しの経緯	5
2.1 軽構造船暫定基準（1972年）	5
2.2 軽構造船基準案（RR11）（1979年）	5
2.3 適用範囲拡大への対応（1989年）	5
2.4 現行の高速船構造基準（1996年）	5
2.5 諸外国等の規制の調査	7
2.6 高速船の建造実績	7
2.7 高速船構造基準の見直しのスコープ	9
3. 長さ50m超の高速船の縦曲げモーメント	12
3.1 現行基準の概要	12
3.2 大型船への適用範囲の拡大に向けた検討	13
3.3 数値シミュレーションの検証	14
3.4 縦曲げモーメントのシリーズ計算と基準算式の検討	14
3.5 第3章のまとめ	17
4. 直接計算による設計	18
4.1 適用基準について	18
4.2 「高速船構造基準」適用に際しての検証項目	18
4.3 船殻構造設計における設計荷重の検証手順	18
4.4 強度解析手法の一例	22
5. 甲板荷重及び水密隔壁と深水タンクの荷重	23
5.1 甲板荷重に関する検討	23
5.2 水密隔壁及び深水タンクを形成する部材において考慮する水頭	23
6. 高速船構造基準の改正案	27
6.1 高速船構造基準改正の範囲	27
6.2 高速船構造基準の改正案	27
7. まとめ	34



## 1. はじめに

### 1.1 背景と目的

我が国の高速船の構造設計基準（高速船構造基準：海事局通達）は、1996年（平成8年）に長さ50mまでの単胴型高速船に適用が拡大されたものの、それ以降改正等の見直しは行われておらず、長さ50m以上の高速船の建造に当たっては解析的な設計手法（Design by Analysis）により個別に設計審査が行われている。

また、国内では、2000年前後に連続して高速船の建造が行われ、船型の大型化が図られ、後に建造する船舶の設計に資するため、それぞれのタイプの一番船に歪ゲージ等を貼り付けデータの収集、解析を行っている。しかし、これらの収集されたデータは、今日まで設計基準等には反映されていない。

このため、最近の高速船の設計技術について調査を行うと共に、建造船のデータを整理し、設計基準に反映すると共に、さらに、解析等による結果と実績データとを比較し、設計基準の見直しを行い、我が国高速船の設計の高度化、造船業の活性化に寄与することを目的として、本調査研究を実施した。

### 1.2 体制及び活動経緯

（一財）日本船舶技術研究協会内に「高速船構造設計技術の高度化に関する調査研究委員会」及び「荷重検討ワーキング・グループ（WG）」を設置し検討を行った。各委員構成を以下に示す。

高速船構造設計技術の高度化に関する調査研究委員会 委員  
(敬称略 順不同 途中交代者を含む)

委員長	戸澤 秀 (国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所)
委員	浅野 富夫 (函館どつく株式会社)
	岡 正義 (国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所)
	手嶋 晃 (一般財団法人日本海事協会)
	小山 博之 (一般財団法人日本海事協会)
	瀧本 努 (三菱重工業株式会社)
	中田 賢治 (三井造船株式会社)
	船路 進 (三井造船株式会社)
	八木 隆之 (ジャパンマリンユナイテッド株式会社)
	狼谷 喜和 (墨田川造船株式会社)
関係官庁	岡井 功 (国土交通省海事局検査測度課)
	森吉 直樹 (国土交通省海事局安全政策課)
関係者	河邊 寛 (一般財団法人日本海事協会)
	高見 朋希 (国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所)
	末継 邦祐 (ジャパンマリンユナイテッド株式会社)
	金子 武史 (ジャパンマリンユナイテッド株式会社)
	秋月 啓治 (三菱重工業株式会社)
	吉沢 朋康 (墨田川造船株式会社)
	高橋奈美子 (一般財団法人日本海事協会)
	岡田 翔太 (一般財団法人日本海事協会)
事務局	田村 颯洋 (一般財団法人日本船舶技術研究協会)
	河野 順 (一般財団法人日本船舶技術研究協会)
	松尾 真治 (一般財団法人日本船舶技術研究協会)
	竹内 智仁 (一般財団法人日本船舶技術研究協会)
	福岡 哲二 (一般財団法人日本船舶技術研究協会)
	宮本 武 (一般財団法人日本船舶技術研究協会)
	鈴木麻里子 (一般財団法人日本船舶技術研究協会)
	安本 春菜 (一般財団法人日本船舶技術研究協会)

荷重検討ワーキング・グループ（WG）委員

（敬称略 順不同 途中交代者を含む）

主査 委員	岡 正義（国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所）
	高見 朋希（国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所）
関係者	河邊 寛（一般財団法人日本海事協会）
	瀧本 努（三菱重工業株式会社）
	中田 賢治（三井造船株式会社）
	八木 隆之（ジャパンマリンユナイテッド株式会社）
	小山 博之（一般財団法人日本海事協会）
	末継 邦祐（ジャパンマリンユナイテッド株式会社）
	金子 武史（ジャパンマリンユナイテッド株式会社）
	秋月 啓治（三菱重工業株式会社）
	船路 進（三井造船株式会社）
	吉沢 朋康（墨田川造船株式会社）
事務局	田村 颯洋（一般財団法人日本船舶技術研究協会）
	河野 順（一般財団法人日本船舶技術研究協会）
	松尾 真治（一般財団法人日本船舶技術研究協会）
	竹内 智仁（一般財団法人日本船舶技術研究協会）
	福岡 哲二（一般財団法人日本船舶技術研究協会）
	宮本 武（一般財団法人日本船舶技術研究協会）
	鈴木麻里子（一般財団法人日本船舶技術研究協会）
	安本 春菜（一般財団法人日本船舶技術研究協会）

また、以下の日程で委員会等を開催した。

**【高速船構造設計技術の高度化に関する調査研究委員会】**

第 1回委員会	2013年12月11日
第 2回委員会	2014年 2月13日
第 3回委員会	2014年 4月18日
第 4回委員会	2014年 7月 3日
第 5回委員会	2014年10月23日
第 6回委員会	2015年 3月12日
第 7回委員会	2015年 9月25日
第 8回委員会	2015年12月15日
第 9回委員会	2016年 3月14日
第10回委員会	2016年 6月21日
第11回委員会	2016年10月26日
第12回委員会	2017年 1月27日

**【荷重検討ワーキング・グループ（WG）】**

第 1回荷重検討WG	2014年10月15日
第 2回荷重検討WG	2015年 3月12日
第 3回荷重検討WG	2015年 7月30日
第 4回荷重検討WG	2016年 3月14日
第 5回荷重検討WG	2016年 5月19日
第 6回荷重検討WG	2016年 9月13日
第 7回荷重検討WG	2016年10月 7日
第 8回荷重検討WG	2016年12月14日



## 2. 高速船構造基準の見直しの経緯

我が国の現行高速船構造基準の開発までの経緯を簡単に述べる。

### 2.1 軽構造船暫定基準（1972年）

軽構造船暫定基準は、1960年（昭和35年）に実施されたPT10等の実船試験結果を基に運輸省船舶局で1972年（昭和47年）に基準化された。本基準は長さ24m未満の鋼製及び耐食アルミ合金製の軽構造船を対象とした基準として制定された。

### 2.2 軽構造船基準案（RR11）（1979年）

軽構造暫定基準以降、大型旅客船やFRP製の高速旅客船や漁業取締船の建造に対応するために1976年（昭和51年）より3年計画でRR11基準部会において新基準が検討され、1979年3月に軽構造船基準案が取りまとめられた。この基準案は、FRP船に対しても適用可能であり、対象とする高速船の長さに対する制限がないのが特長である。船速については $V/L \geq 4$ の高速船を対象としている。また、軽構造船暫定基準は、板、骨構造は塑性設計であるが、軽構造船基準案（RR11）では骨構造は弾性設計、板は塑性設計である。

設計荷重のパラメタは、軽構造暫定基準も軽構造船基準案（RR11）も船首加速度を使用することは共通しているが、RR11では船尾の船底傾斜をパラメタとして考慮している。

### 2.3 適用範囲拡大への対応（1989年）

1989年（昭和63年）には軽構造船暫定基準の適用範囲を超える旅客船や取締船の出現により、適用範囲の拡大要領が定められた。即ち、限定沿海以下を航行する24m以上45m未満の軽構造船に対しては、軽構造船暫定基準及び軽構造船基準案（RR11）を適用すること、また、限定近海以下の海域を航行する長さ24m未満の軽構造船に対しては軽構造船暫定基準に規定する縦曲げモーメント及び外板が受ける水圧等を1.5倍して適用することや運航マニュアルを供与することなどを適用することとした。

### 2.4 現行の高速船構造基準（1996年）

1989年以降IMOにおいて従来のDSC（Dynamically Supported Craft）コードの見直し作業が進められ、1996年1月にSOLASの関連規定と同等効果を持ったHSC（High Speed Craft）コードが発効した。

現在の高速船関連の構造基準の適用関係を整理して表2.1及び2.2に示す。

高速船構造基準の1.1.3(1)に「船の長さが50mを超える高速船の場合にあつては、船体運動について検討の上、この基準又は「日本海事協会鋼船規則CS編」の規定によって差し支えない。」の規定により50m以上の高速船についても適用可能な規則となっている。

今回の見直しに際して、国土交通省より基準の適用関係について、表2.2のように整理した結果が示された。

表 2.1 高速船の構造設計基準の適用範囲

区分		滑走型		半滑走型		滑走及び半滑走型
航行区域		24m 未満	24m 以上 45m 未満	V/√L < 4		V ≥ 3.7∇ <sup>0.1667</sup>
				45m 未満	45m 以上	L ≤ 50m
平水		軽構造船 暫定基準 (S47.4.13)	軽構造船 暫定基準 + RR11 (S63.3.14)	NK-CS (S63.3.14) + JG		高速船構造基準 (H8.1.1)
沿海	限定 (注 1)					
	その他					
近海	限定 (注 2)			軽構造船 暫定基準 × 1.5 且つ波高制限 (S63.3.14)	NK-CS (H3.3.15)	
	限定(注 3)					
	その他					

(注 1) 平水区域から最強速力で 2 時間以内で往復できる範囲の沿海区域

(注 2) 沿海区域から最強速力で 2 時間以内で往復できる範囲の近海区域

(注 3) (注 2) より範囲は大きい、比較的近い範囲の近海区域

表 2.2 軽構造船と適用される規則の関係

区分		滑走及び半滑走型(単胴型)		
航行区域		V ≥ 3.7∇ <sup>0.1667</sup>		
		24m 未満	24m 以上 50m 以下	50m 超
平水区域		軽構造船 暫定基準 (S47.4.13) 又は高速船 構造基準 (H8.1.1)	高速船 構造基準 (H8.1.1)	高速船 構造基準 (H8.1.1) 又は NK-CS 編* (H8.1.1)  ※船体運動につい て検討の上、上記規 定の適用が可能
沿海区域	限定			
	その他			
近海区域	限定 沿海+2H	高速船 構造基準 (H8.1.1)		
	限定 上記以外			
	その他			

今回の見直しにおいては、表2.2に示す50m超の高速船に適用可能な基準算式の検討、及び、船の長さによらず直接計算による構造設計を可能とするために、これまでガイドラインとして適用されてきた「高速船構造設計ガイドライン案」の位置づけを明確にすべく基準の改訂作業を行うこととした。適用範囲の上限については、議論の結果、長さ100mを上限として検討することが合意された。

## 2.5 諸外国等の規則の調査

高速船構造基準の見直しに際し、諸外国及び国内関連規則の調査を行った。その結果、以下のことが分かった。

- ・ 諸外国の高速船に関する規則は、適用範囲が $L=50\text{m}$ よりも長く、直接計算とセットで規則となっているものが多い。
- ・ 現行の高速船構造基準を $L=50\text{m}$ 以上に適用した場合、要求断面係数が他の規則と比べて大きくなる傾向にある。また、この要因は縦曲げモーメントが相対的に大きくなることに加えて、許容応力が低い（海外船級規則 $0.72\sim 0.8\sigma_y$ に対し、高速船構造基準は $0.6\sigma_y$ ）ことにも起因している。
- ・ 船底外板や甲板等の局部強度については、 $L>50\text{m}$ に現行の高速船構造基準を適用しても諸外国の船級規則と比べて過大や過小となることはなく、現行の高速船構造基準を適用可能である。

## 2.6 高速船の建造実績

高速船構造基準の見直しにあたって、これまでに建造された主な高速船について調査した結果を表2.3に示す。

表2.3 高速船の建造実績

船名	巡視船					客船等									
	みはし	つるぎ	とから	あそ	ひだ	TSL(希望)	はやぶさ	Stena explorer /HSS1500	ゆにこん	シーバード	オーシャンアロー	小笠原TSL	あいびす	ナツチャンRera	ナツチャンWorld
船種	巡視船	巡視船	巡視船	巡視船	巡視船	貨客船	カーフェリー	Ro-ro cargo /ferry	カーフェリー	カーフェリー	カーフェリー	貨客船	旅客船	カーフェリー	カーフェリー
タイプ	180TON型	220TON型	350TON型	1000TON型	2000TON型	TSL-A	ウェーブピアサ	catamaran	単胴型	ウェーブピアサ	SSTH (超細長双胴船)	TSL-A	単胴丸型	ウェーブピアサ	ウェーブピアサ
就航年	1988	2000	2003	2005	2006	1994	1994	1996	1997	1997	1998	2005 客船等	2005	2007	2007
建造	三菱重工業	日立造船	日立造船	三菱重工業	三菱重工業	三菱重工業	川崎重工業	Finnyards Oy, Rauma, Finland	三菱重工業	日立造船	IHI	三井造船	墨田川造船	Incat Tasmania Pte.Ltd.	Incat Tasmania Pte.Ltd.
船殻材料	アルミ合金	アルミ合金	アルミ合金	アルミ合金	アルミ合金 + 高張力鋼	アルミ合金	アルミ合金	Aluminium alloy	アルミ合金+ 高張力鋼	アルミ合金	アルミ合金	アルミ合金	アルミ合金	アルミ合金	アルミ合金
総トン数	182	220	335	770	1800	2785	2282	19638	1498	835	1687	14500	263	10712	10712
全長	42	50	56	79	95	74	100	126.6	101	62	72.1	140	47	112	112
速力	35	40以上	35以上	30以上	30以上	40	33.48	40	35～42.4	27	30	38	25	36	36
船主	海上保安庁	海上保安庁	海上保安庁	海上保安庁	海上保安庁	解体済み	九四フェリー ギリシャ NEL LINES	Stena Line	東日本フェリー (～2001) 台湾(2006～)	ヤスダオーシャン ベッセル(引き渡 し)	熊本フェリー	小笠原海運	佐渡汽船	東日本フェリー 華岡集団 (Wagon Group) (2012～)	津軽海峡フェリー
航路 ／航行区域	近海	近海	近海	近海	近海	清水-下田 (就航時)	愛媛-大分 (売却前) ギリシャ(売 却後)	Holyhead (GB) - Dún Laogha (IE)	青函航路(～ 2001) 台湾(夏季の み) (2006～)	長崎-串木野(～ 2003)	熊本-島原	-	佐渡-寺泊	青函航路(～ 2012) 台湾(2012～)	青函航路 (夏季限定)

※1 データの出典は各ホームページによる  
 ※2 客船等は、平成6年以降、長さ40m以上の限定した  
 ※3 巡視船は、代表的な船について記載した

## 2.7 高速船構造基準の見直しのスコープ

船舶の構造強度の設計は、使用期間に跨り船体構造に作用する全ての荷重を考慮して、その中の最大の荷重（設計荷重）を推定し、船体構造にその荷重が負荷されても乗員の安全を確保し、搭載機器、貨物および船舶に損傷が生じないように構造形式、寸法を決定することである。

船舶の構造設計の前提となる設計荷重の算定が非常に重要な作業と位置付けられ、今回の高速船構造基準の見直しにおいて、高速船の大型化に伴い従来の設計荷重がそのまま適用可能かどうかを検討することが最重要課題とされた。

船舶の使用期間に跨り構造に作用する全ての荷重を考慮した設計荷重を推定するという事は、船舶の使用目的に対応する運航条件の枠組みの中で生じる最大荷重を推定することになる。また、船舶に作用する荷重は遭遇する波浪によって誘起され、船舶の波浪に対する荷重の応答特性を正確に予測できるか否かが重要である。

したがって、高速船構造基準の見直しにおいて、最大荷重の推定には次の2つの要素を検討する。

- 1) 設計荷重につながる運航条件パラメタの設定
- 2) 最大荷重を予測するための波浪応答の算定手法

### (1) 設計パラメタとしての船首上下加速度

近年の高速船の大型化のニーズに対応するため、現行の高速船構造基準の適用範囲を拡大した際の課題を、船舶検査官、船主、設計者、研究所等からの情報に基づき整理した。外洋を航行する船舶は、航行海域で遭遇する海象下において、乗員、搭載機器、貨物および船体構造の安全性の確保と船舶の機能を維持することを運用の基本としている。波浪中においてこのような船舶の運用の可否の判断基準として、様々な船体応答が用いられる。例えば、船舶の作業性を加速度を指標として定めた欧州の代表的なノルウェーのNORDFORSKは、表2.4のような基準を設けている。

表2.4 NORDFORSK (1987) General Operability Limiting Criteria for Ships

Description	Merchant Ships	Navy Vessels	Fast Small Craft
RMS of vertical acceleration at FP	0.275g (L<100m) 0.050g (L>300m)	0.275g	0.65g
RMS of vertical acceleration at Bridge	0.15g	0.20g	0.275g
RMS of lateral acceleration at Bridge	0.12g	0.10g	0.10g
RMS of Roll	6.0 deg	4.0 deg	4.0 deg
Probability of Slamming	0.03 (L<100m) 0.01 (L>300m)	0.03	0.03
Probability of Deck Wetness	0.05	0.05	0.05

RMS:Root Mean Square

我が国の高速船構造基準では、船首の上下加速度のpeak to peakの有義値を設計パラメタとして、旅客船とそれ以外の船舶に分けて航行区域別に表2.5の値を採用している。

表2.5 高速船構造基準

	旅客船	旅客船以外の船舶
平水区域	1.00	1.00
沿海区域	1.25	1.50
近海・遠洋区域	1.50	2.00

NORDFORSKの船首の上下加速度をRMS値からpeak to peakの有義値に変換をすると、0.9g～1.5gとなり、高速船構造基準の値と同程度の基準値となり、現行の高速船構造基準の船首上下加速度の設計基準値は乗員、搭載機器、船体の安全性、機能の維持に関して普遍的な値を採用していると言える。したがって、高速船構造基準の見直しにおいても表2.5の船首上下加速度の値は、船のサイズに関らずこれまでの加速度値を引き続き採用することとした。

## (2) 高速船構造基準の設計荷重の見直し

高速船の構造強度設計において最も重要な荷重は、船底衝撃荷重と縦曲げモーメントである。現行の高速船構造基準のこれらの荷重算式は、建造実績、数値計算、水槽試験、および実船計測に基づき、船首上下加速度を基本パラメタとして構築されている。

近年の高速船の大型化のニーズに対応するため、現行の高速船構造基準の適用範囲を拡大した際の課題を、船舶検査官、船主、設計者、研究所等からの参加委員の情報に基づき整理した。

最も重要な論点は、高速船構造基準において設計パラメタとなる船首加速度と作用荷重との関係であり、現行基準の適用範囲（船長：L=50m以下）を超えて船が長くなると、設計荷重の、特に縦曲げモーメントが実荷重よりも大きく算定される傾向にあることが共通認識として得られた。そのため本調査研究においては、この点を優先的に検討することとした。

前記（1）の運航条件の船首上下加速度の最大値が発生する遭遇海象は、比較的有義波高が高い海象である。高速船が高波高の波浪中を航行するとき、波浪によって誘起される次の3種類の動的な縦曲げモーメントが作用する。

- ① 出合波浪と同程度の周期で変動する波浪縦曲げモーメント
- ② 船体の大振幅運動により船首船底の露出と再突入によって生じる衝撃的な波浪縦曲げモーメント（スラミングによる縦曲げモーメント）
- ③ スラミング衝撃が契機となり船体が弾性振動することによって生じる縦曲げモーメント

## ント（ホイッピングモーメント）

①、②は船体周りの流体から生じる縦曲げモーメントであり主要目、船型が決定すれば、一対一の関係で波浪縦曲げモーメントが関連付けられるが、③は船体構造要素と関連する縦曲げモーメントである。

従来の高速船構造基準は、設計荷重に①、②の縦曲げモーメントを対象とし、水槽試験、数値計算シミュレーションより設計荷重を推定している。今回の高速船構造基準の見直しにあたり、現在の基準と同様に①、②の縦曲げモーメントを設計荷重として検討する。③のホイッピング影響による縦曲げモーメントについても調査を行う。

重量分布と静的浮力分布の差から生じる静水縦曲げモーメントと波浪によって誘起される動的な波浪縦曲げモーメントの両者の和の縦曲げモーメントが船体構造に作用する。現行基準では、船長が50m以下の短い船を対象としているために静水縦曲げモーメントは波浪縦曲げモーメントに比べ相当小さい値であるので、設計荷重としては波浪縦曲げモーメントを採用している。ここでは、大型高速船への適用基準として静水縦曲げモーメントと波浪縦曲げモーメントの比率について検討を行う。

さらに、数値シミュレーション技術の発展に伴い、直接計算に基づく設計ガイドラインを作成する必要があることから、平成5年に作成されて以降新形式の高速船に適用されてきた「RR744 高速船構造設計ガイドライン案」を高速船構造基準の体系の一部として取り入れて設計の自由度が高い高速船に対応可能な基準とすることとした。

なお、高速船の構造安全性の観点から、大型化に伴う全体強度の検討と共に局部強度についても検討した。その結果、以下の理由により局部構造強度についての見直しは必要ないとの結論になった。

- 損傷がなく、現行の高速船構造基準において局部強度に関する安全性は十分担保されている。
- 船底外板や甲板等の局部強度については、 $L > 50\text{m}$ に現行の高速船構造基準を適用しても諸外国の船級規則と比べて過大や過小となることはなく、現行の高速船構造基準をそのまま適用可能である。
- 局部強度に関する基準は、船首加速度 $A_f$ 等による荷重をベースに理論的に算定しているため大型化には影響されない。

### 3. 長さ 50m 超の高速船の縦曲げモーメント

#### 3.1 現行基準の概要

高速船構造基準の構造強度設計は、旅客船、作業船等の船舶の種類、航行海域に応じて乗船者の安全性と作業性、搭載機器の保護を考慮に入れた上下加速度に閾値を設けてこれを設計の前提条件としている。高速船の構造強度を検討するための荷重は、水槽試験、数値解析、実船の実績に基づいて、設計加速度と関連付けて算定できるシステムが高速船設計基準において構築されている。高速船の船長 $L_s$ が50 mを超える大型船の場合、波浪中の船体運動は小型船と比べて相対的に緩やかになり、設計時に想定した上下加速度を超える事象が発生しにくくなるため、 $L_s > 50\text{m}$ の高速船に現行基準を踏襲すると、局所的な構造部材に作用する荷重に対する強度は十分担保されるにしても、船体梁としての全体構造への縦曲げモーメントを過大に見積もることにつながると考えられる。

乗船者、搭載機器の保護の観点からは、船体の大型化に関らず上下加速度の設計値は妥当な値であると考えられる。この加速度の設計条件を保ちつつ高速船の大型化に適合した荷重の算定式、特に縦曲げモーメントを見直す必要がある。

以上の経緯を踏まえて、ここでは高速船構造基準の適用範囲を現行の50mから100mに拡張することを目的として、縦曲げモーメントの基準算式について検討を行った。

#### 3.1.1 現行の高速船構造基準における縦曲げモーメント算式

高速船構造基準の縦曲げモーメントは、旅客船、作業船等の船舶の種類、航行海域に応じて乗船者の安全性と作業性、搭載機器の保護を考慮に入れた上下加速度を設計の基準値として、水槽試験、数値解析、実績船に基づいて算定式が組み立てられている。波浪中を航行する船舶の船体運動、波浪荷重の値は、船長などの主要目、船体形状による幾何学的要因と共に船が遭遇する波浪状態（有義波浪、波周期、波向きなど）により決定される。

一般商船の縦曲げモーメントの設計値を与える国際船級協会連合（International Association of Classification Societies, IACS）の算式では、船の長さに応じた設計海象の波高を意味するWave parameterが示されている。一方、高速船構造基準の縦曲げモーメントの算定式には、どのような海象状態を想定しているかが明示的に示されていない。

そこで、本章では高速船の波浪縦曲げモーメントの設計算式を設計海象と関連付けることを目的に、現行の上下加速度の設計値を維持しつつ、一般商船のWave parameterの考え方を導入して波浪縦曲げモーメントの算式を再構成し、50mを超える大型の高速船に適用範囲を拡張することを検討する。

具体的には、次の①～④の手順に従って検討する。

- ① 上下加速度を設計パラメタとした現行基準の概念が、 $L_s > 50\text{m}$ にも適用可能であることを検討する。（3.2 節）
- ②  $L_s > 50\text{m}$ の縦曲げモーメントの非線形性を水槽試験、実船計測に基づいて検討する。（3.2 節）
- ③ 数値シミュレーションによる基準の見直しを行うために数値計算プログラムを水槽実



験で検証する。(3.3 節)

- ④  $L_s > 50\text{m}$  の高速船 2 隻に対して非線形数値シミュレーションでのシリーズ計算を行い、Wave Parameter を用いて波高の非線形性を考慮した縦曲げモーメントの基準算式案を検討する。(3.4 節)

### 3.2 大型船への適用範囲の拡大に向けた検討

高速船構造基準の適用範囲の拡大に向け、水槽実験等のデータを利用して以下を確認した。

- (1)  $L_s > 50\text{m}$  の高速船に対する大隅チャートの適合性
- (2)  $L_s > 50\text{m}$  の高速船に対する船首加速度と荷重との相関

- (1)  $L_s > 50\text{m}$  の高速船に対する大隅チャートの適合性

現行の高速船構造基準は、大隅による船首加速度の応答関数(図3.1; 大隅チャート)をベースとしている。大隅チャートは、ディープV型の高・中速艇の実船計測に基づいており、必ずしも  $L_s > 50\text{m}$  の船を対象としていないことから、水槽実験のデータを用いてその適合性を調べた。その結果、上下加速度を設計パラメタとした現行基準の概念が、 $L_s > 50\text{m}$  にも適用可能であることが分かった。

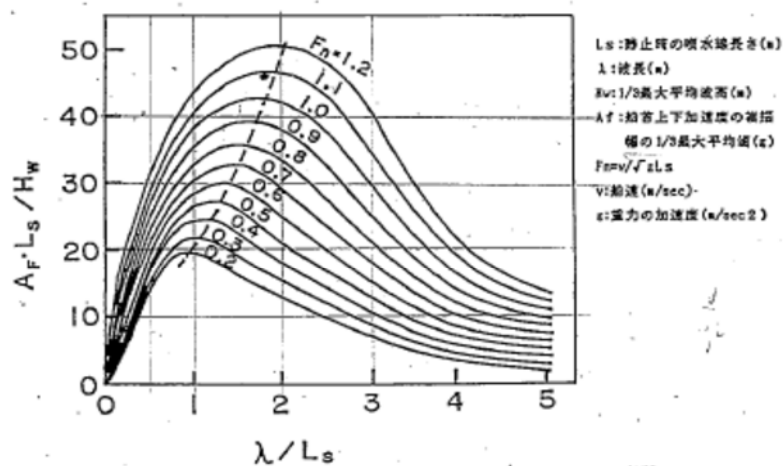


図2.2.1 高速船の加速度の応答関数(大隅)

図3.1 大隅チャート

- (2)  $L_s > 50\text{m}$  の高速船に対する船首加速度と荷重との相関

高速船構造基準では、以下の式に従って縦曲げモーメントが求まる。

$$F_m = 0.8761\sqrt{A_f} - 0.0565 \cdot A_f - 0.0677 / A_f - 0.4726$$

$$\lambda = (0.7174 + 1.101 \cdot F_m - 0.009 \cdot F_m^2) L_s$$

$$H_w = \lambda / 20$$

$$M_v = \frac{0.351 \cdot A_f L_s^3 B_w}{13.7 + 18.5 \cdot F_m + 9.91 \cdot F_m^2}$$

水槽実験及び水槽試験のデータを用いて、船首加速度と縦曲げモーメントとの相関を調べた。その結果、 $L_s$ が長くなると縦曲げモーメントの基準要求値が相対的に大きくなる傾向にあることが確認でき、 $L_s > 50\text{m}$ の高速船の設計荷重の考え方として波高の非線形修正を行う必要があることが分かった。

### 3.3 数値シミュレーションの検証

数値シミュレーションによる基準の見直しを行うために数値計算プログラムを水槽実験で検証した。 $L_s > 50\text{m}$ の大型高速船を対象に数値シミュレーションを行い、弾性模型による水槽実験データを用いて予測精度を検証した。その結果、非線形数値シミュレーションを用いて大型高速船の縦曲げモーメントを推定可能であることが分かった。

### 3.4 縦曲げモーメントのシリーズ計算と基準算式の検討

前節までの検討で、①上下加速度を設計パラメタとした現行基準の概念が、 $L_s > 50\text{m}$ にも適用可能であること ②非線形数値シミュレーションを用いて大型高速船の縦曲げモーメントを推定可能であること ③ $L_s > 50\text{m}$ の高速船の設計荷重の考え方として、波高の非線形修正を行う必要があることが分かった。

本節では、まず現行の高速船構造基準に基づいて設計された $L_s \leq 50\text{m}$ の既存船に対してWave Parameterの考え方が適用できることを確認し、次に $L_s > 50\text{m}$ の高速船に対しては、シリーズ計算の結果に基づき、Wave Parameterを用いて波高の非線形性を考慮した縦曲げモーメントの基準算式案を構築した。

基準算式の構築の骨子は次の2点である。

- 一般商船の IACS の波浪縦曲げモーメントの設計値の算式と高速船構造基準の算式とを比較検討し、一般商船の算式に導入されている船の長さに応じた海象の強さを表す Wave parameter に対応する項目を高速船構造基準に取り入れることを提案する。これによって、 $L_s > 50\text{m}$ の場合にも適用できる高速船の波浪縦曲げモーメントの算式を作成する。
- 現行の乗員、搭載機器の安全性、作業性を勘案した船首上下加速度の設計値は、 $L_s > 50\text{m}$ の高速船であっても一般的な値であり、そのまま設計値として引き継ぐ。Wave parameterはこの船首上下加速度を航行の上限とする有義波高一波周期の海象から波浪縦曲げモーメントの数値計算、水槽試験、実船計測を勘案して決定する。

高速船の波浪縦曲げモーメントMの提案式

$$M = f_1(A_f) 20 H_w L_s^2 B_w = f_1(A_f) f_2(L) L_s^2 B_w$$

$$f_1(A_f) = \frac{20 \times 0.351 \cdot A_f}{13.7 + 18.5 F_m + 9.91 F_m^2}$$

ここに、 $L_s$ : 満載状態における喫水線の全長(m)

$B_W$ : 満載状態における喫水線位置での、船側外板の外側から外側までの幅  
 $A_f$ : 船舶の航行区域および船首に応じた船首上下加速度

$$F_m = 0.8761 \sqrt{A_f} - 0.0565 \cdot A_f - 0.0677/A_f - 0.4726$$

Wave parameter :  $f_2(L)$

船首上下加速度の設計値  $A_f$  に対応する波浪縦曲げモーメント  $M$  を、船長が 50m を超えるシリーズ船について非線形数値計算を行い、上記の式から Wave parameter を決定する。波浪縦曲げモーメント  $M$  の計算は次の 2 種類を併用する。

(手法1) 船首上下加速度の有義値が設計値  $A_f$  となる短期海象中の数値シミュレーション

(手法2) 船首上下加速度の有義値が設計値  $A_f$  以下となる全ての海象の組み合わせを考慮に入れた縦曲げモーメントの長期予測

(手法1) は、高速船構造基準の船首上下加速度の基準値が発生する短期不規則海象を特定し、その海象を縦曲げモーメントの設計海象（あるいは縦曲げモーメントの最悪短期海象と称する）として縦曲げモーメントの最大値を推定する。

(手法2) は、高速船の航行海域において船首上下加速度が基準値以下となる全ての短期不規則海象を考慮に入れた、縦曲げモーメントの長期分布から最大値を推定する。

(手法1) と (手法2) の方法は相互に補完する役割があり、(手法1) で推定した最大値がその高速船の就航期間にまたがった最大値であるかを、(手法2) の長期分布から推定された最大値と比較することによって相互チェックをする。

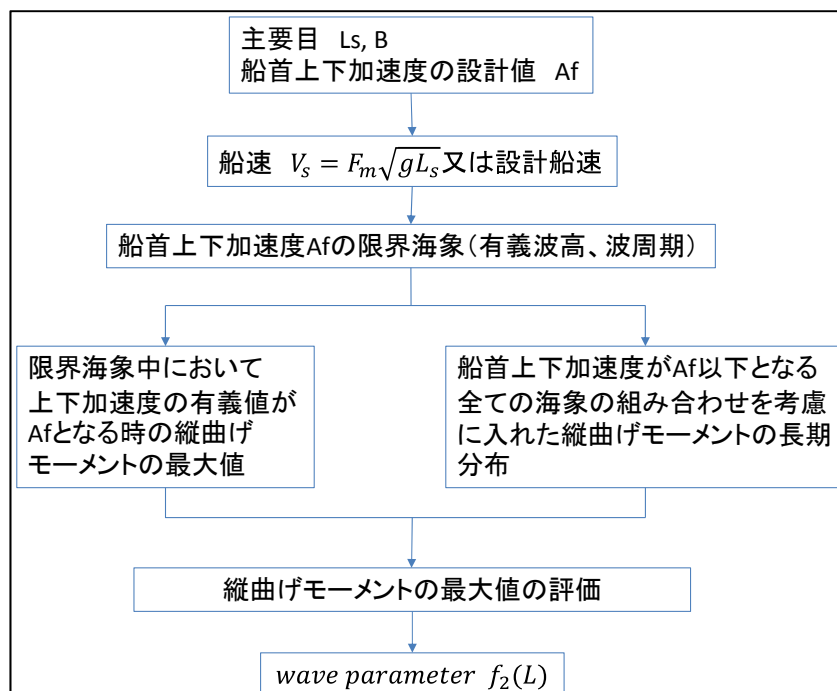


図3.2 Wave parameterの計算手順

### 3.4.1 船長が50m以下の高速船に対する検討

現行の高速船構造基準に基づいて設計された $L_s \leq 50m$ の既存船に対して、波浪縦曲げモーメントの値を水槽試験、数値計算、実船計測から算式を見直し、設計値の想定海象の波高を逆算してWave Parameterの考え方が適用できることを確認した。

### 3.4.2 船長が50m超の高速船に対する検討

$L_s > 50m$ の高速船2隻を対象に波浪縦曲げモーメントのシリーズ計算を行い、波浪縦曲げモーメントの最大値及びWaveparameter を推定した。

Wave parameterの推定曲線を図3.3に示す。 $L_s > 50m$ の高速船2隻及び現行基準の最大長さ $L_s = 50m$ の計3点を用いて、秋田ら[秋田好雄：海洋波のなかの船体曲げモーメント、造船学会論文集102号（1957）]の提案に従い累乗関数でこれらの近似曲線を描くと、 $L_s > 50m$ における $f_2$ は図中に示した累乗関数の算式で表される。

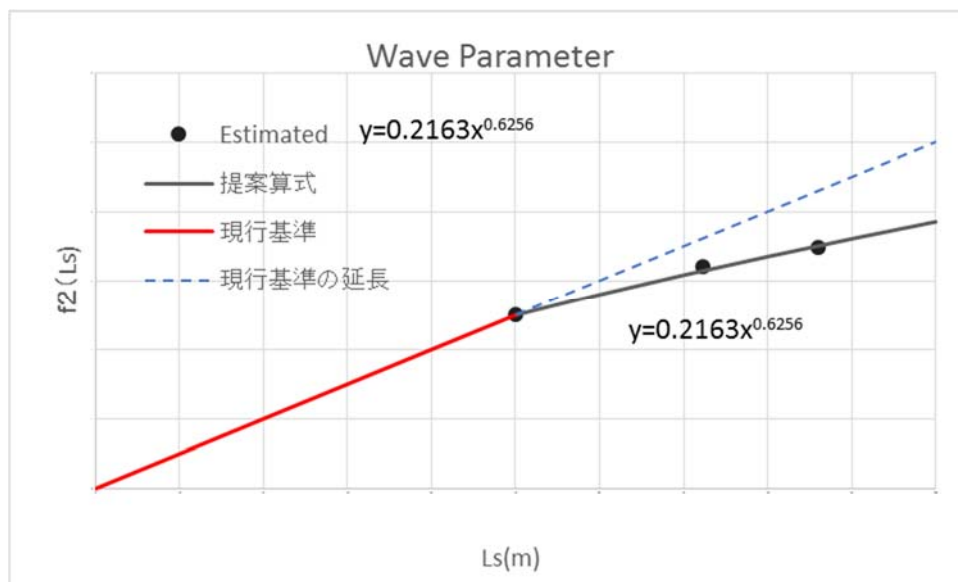


図3.3 Wave parameter ( $f_2$ )

Wave parameter ( $f_2$ )の考え方を採用した基準算式案を以下に示す。 $L_s \leq 50m$ については現行基準どおりのWave parameterを、 $50 < L_s \leq 100m$ については波高の非線形性を考慮したWave parameterをそれぞれ用いた式とした。

$$M = f_1(A_f) f_2(L_s) L_s^2 \cdot B_w \quad (kN - m)$$

$$f_1(A_f) = \frac{20 \times 0.351 \cdot A_f}{13.7 + 18.5 F_m + 9.91 F_m^2}$$

$$f_2(L_s) = L_s / 20 \quad (L_s \leq 50 m)$$

$$= 0.2163 L_s^{0.6256} \quad (50 m < L_s \leq 100 m)$$

### 3.5 第3章のまとめ

本章では、数値シミュレーション、及び、水槽試験、実船計測のデータに基づいて、 $50\text{m} < L_s \leq 100\text{m}$ を対象とした基準算式案を構築した。まず、上下加速度を設計パラメタとした現行基準の概念が $L_s > 50\text{m}$ にも適用可能であること、及び $L_s = 50\text{m}$ 超の高速船の設計荷重の考え方として波高の非線形修正を行う必要があることが分かった。波高の非線形修正を行うため、一般商船の算式に導入されている船の長さに応じた海象の強さを表すWave parameterに対応する項目を高速船構造基準に取り入れることを提案し、数値シミュレーションを用いて波浪中縦曲げモーメントのシリーズ計算を行って $L_s > 50\text{m}$ の船にも適用できる波浪中縦曲げモーメントの算式を作成した。

その他、提案した縦曲げモーメントの算式には考慮しなかったが、今後、合理的設計を図る上で重要と思われる項目について、本委員会で検討した内容を以下に記載する。

#### (1) ホイッピング影響

高速船が波浪中を航走する時、上下揺れ、縦揺れ運動を行う。荒天時の大波高による大振幅運動によって船首船底が露出し再び波面に突入をするときに激しい衝撃力が発生する。この現象を船首船底スラミングと言われている。船体は鋼材またはアルミニウム合金材で構成されている弾性梁であり、船首の衝撃力が加わると、この弾性梁は振動を行う。振動に比例して船体に縦曲げモーメントが発生する。この弾性振動の縦曲げモーメントと出合波浪が誘起する縦曲げモーメントとが重畳する現象をホイッピングと称されている。

高速船構造基準で検討した波浪中縦曲げモーメントは、出合波浪のみによる曲げモーメントであり、ホイッピング曲げモーメントではない。ホイッピングによる縦曲げモーメントがどの程度増加するかについて、確率論と数値シミュレーションから検討した。その結果は、資料として「ホイッピングによる縦曲げモーメントの増加分に対する考察」及び「ホイッピング影響による波浪中縦曲げモーメントの増加の検討」としてまとめた。

$L_s > 50\text{m}$ の高速船の数値計算では、ホイッピングによる波浪中縦曲げモーメントの増加量は、約1.5倍となった。船体構造の安全性は、強度と荷重の関係から判断される。高速船構造基準は、降伏応力の60%としている。安全率は $1/0.6 = 1.7$ である。波浪中縦曲げモーメントがホイッピングにより1.5倍の値が発生したとしても、構造の安全率の範囲として吸収される。

#### (2) 静水中縦曲げモーメント

現行の高速船構造基準は、設計荷重として波浪中縦曲げモーメントを対象としているが、静水中縦曲げモーメントについては、そのオーダーが波浪中縦曲げモーメントに比べて小さいと考えられることから基準では考慮していない。船長 $L_s$ を100m程度まで拡張して適用した場合においてもこの取扱いで問題がないことを確認した。

#### 4. 直接計算による設計

今回の研究により、本基準の適用範囲である船の長さが 50m から 100m に拡張できることが確認されたが、船長が 100m を超える場合や新型式の船を建造するニーズを考慮して、本基準改正（案）1.1.3 項 特殊な船舶にて、「直接計算による設計基準として RR744 「高速船構造設計ガイドライン案」（以下、RR744 ガイドラインと略す）を適用できる」こととした（改正案を第 6 章に示す）。ここでは現行高速船構造基準の適用範囲である船の長さ 50m を超過するため、RR744 の直接計算による設計の考え方を採用し建造された実績船（例えば、ゆにこん等）の設計手法について記載する。

##### 4.1 適用基準について

表 2.1（第 2 章 2.4 「現行の高速船基準（1996 年）」）に示すように、国内において、高速船の船体構造を規定する基準の中には船の長さが 50m を超える高速船へ直接適用し得る基準はないが、このうち「高速船構造基準」の序文に「船の長さが 50m を超える高速船の場合にあっては、船体運動について検討の上、この基準又は「日本海事協会鋼船規則 CS 編」の規定によって差支えない。」との一文がある。また、同基準の解説（RR40）を参照すると、以下の記述がある。

- ① 船長が 50m を超える船舶にこの基準を適用した場合には、航行状態の違いから、算定した荷重は実際の荷重に比べて大きなものとなる。
- ② 半滑走域で航行するものについては、本基準の荷重算定式は理論的整合性が図られているので、長さ 50m を超えるものであっても、第 2 章（設計荷重）及び第 3 章（強度計算）の規定を適用しても問題ない。

以上のことから、船の長さが 50m を超える高速船においては「船体運動について検討の上」高速船構造基準を適用することが可能である。

##### 4.2 「高速船構造基準」適用に際しての検証項目

実績船（例えば、ゆにこん等）の設計においては、高速船構造基準を適用するに際して、波浪中での船体運動や波浪荷重をシミュレーションや水槽試験により推定して設計荷重を設定する Design by Analysis（以下、D by A と略す）の手法を取り入れて設計する必要があるため、表 4.1 に示す主要設計値に対してそれぞれ検証された。

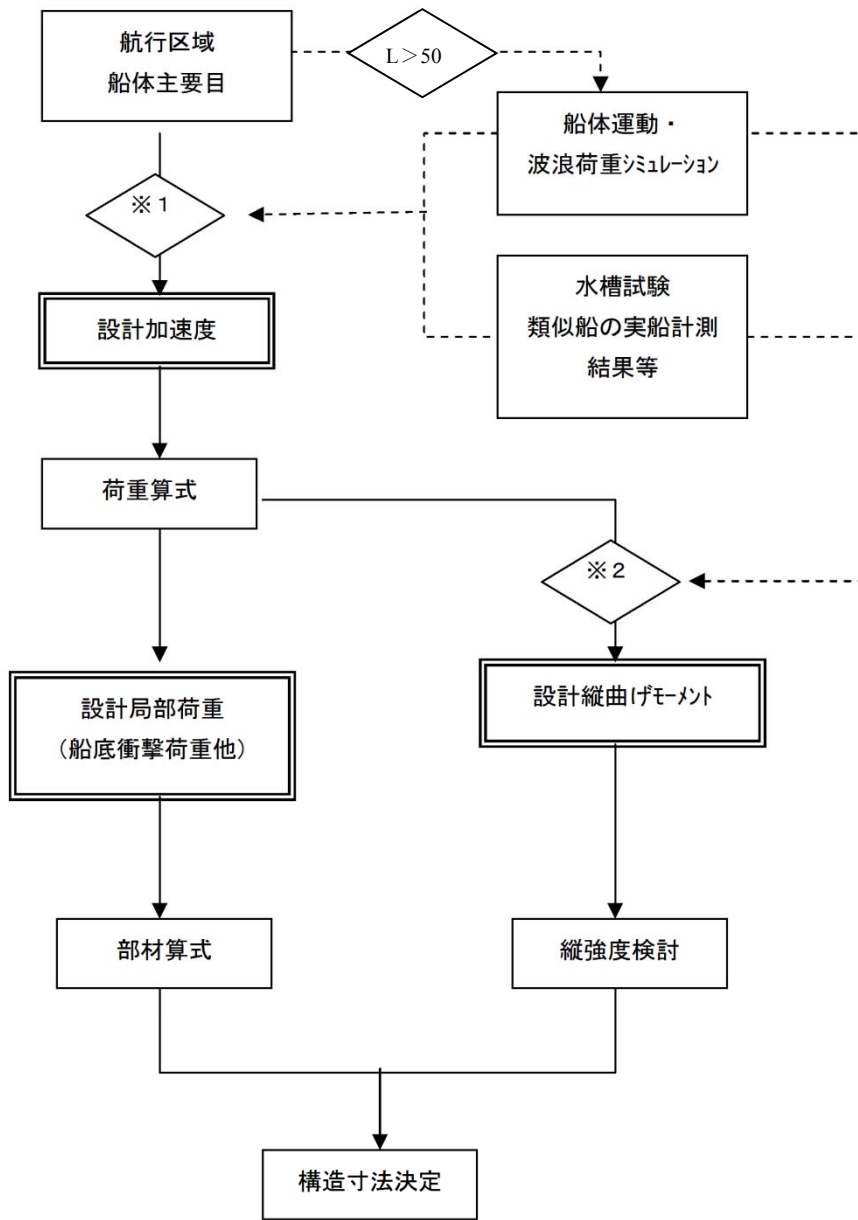
##### 4.3 船殻構造設計における設計荷重の検証手順

現行基準における設計荷重の検証フローについて実績船での実施例を図 4.1 に示す。本フローは D by R を主軸として D by A による荷重検証を追加した設計フローとなっている。荷重検証フローを主軸とすれば D by A による設計フローとすることが出来る。図 4.2 に D by A による設計フローを示す。高速船の大型化により基準の適用範囲を超える場合には、図 4.1、図 4.2 いずれかのフローを適用することで設計可能である。

表 4.1 高速船構造に関する検証項目と内容

主要設計値	「高速船構造基準」での規定	検証内容
設計加速度	<p>船首部における上下加速度（有義値）は下記以上とすること</p> <p>旅客船以外の船舶</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 平水区域 1. 00G</li> <li>・ 沿海区域 1. 50G</li> <li>・ 近海・遠洋区域 2. 00G</li> </ul>	<p>本船のように50mを超える高速船では航行状態が異なることが予想され、波浪中での船体運動について確認することが要求されている。</p> <p>船体運動・荷重の代表パラメタである設計加速度の妥当性を船体運動シミュレーション及び水槽試験、類似船の実船計測結果等により検証する。</p>
船底衝撃荷重	<p>波浪による船底衝撃荷重は下記パラメタを考慮した算式が規定されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 船速 V</li> <li>・ 船首上下加速度 Af</li> <li>・ 船底傾斜角 <math>\beta</math></li> <li>・ 船底入射角 <math>\alpha</math></li> <li>・ 船の長さ Ls</li> <li>・ 防撓材の心距 S</li> </ul>	<p>基準の荷重算式は、船底と波面との衝撃圧に対する一般化された算式であるので、本船のように50mを超える高速船に対してもそのまま適用可能と考えられる。</p> <p>ただし、パラメタである船首上下加速度については上述のようにその妥当性を検証する必要がある。</p>
縦曲げモーメント	<p>波浪中船体縦曲げモーメントは下記算式で規定されている。</p> $M = C \times Af \times L^3 \times B$ $C = 0.351 / (13.7 + 18.5F_m + 9.91F_m^2)$ <p>F<sub>m</sub> は Af をパラメタとする関数                      Af：船首上下加速度                      L：船の長さ                      B<sub>w</sub>：喫水線位置での船の幅</p>	<p>本船のように50mを超える高速船ではその航行状態の違いから、算定した荷重は実際の荷重に比べて大きなものとなることが予想される。</p> <p>本基準値を適用することの妥当性について、船体運動・波浪荷重シミュレーションにより縦曲げモーメントを検証する。</p>

【船殻構造設計における設計荷重の検証手順】



————> : 基準に従った船殻設計手順

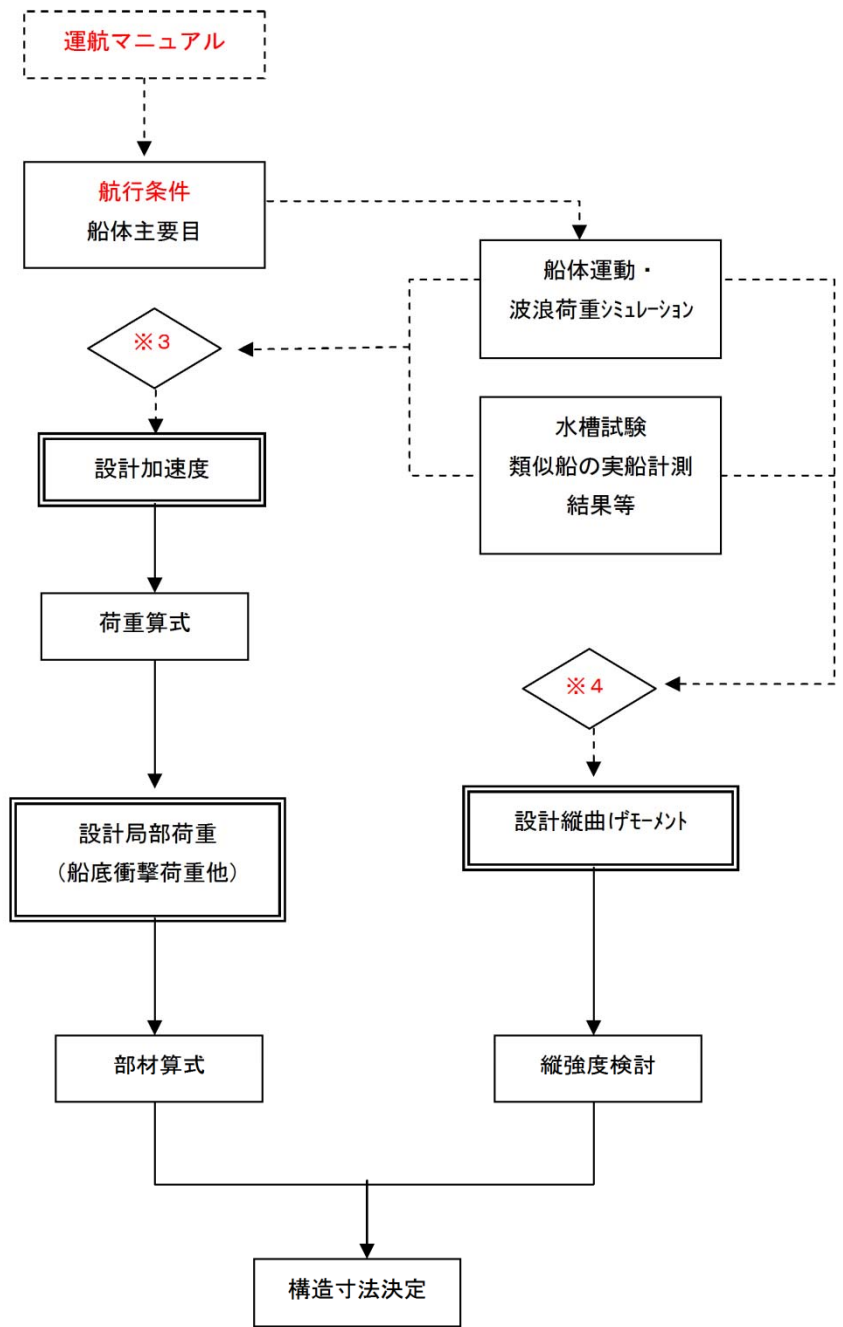
- - - -> : 基準適用に際して追加した検証手順

※1 : 水槽試験、船体運動シミュレーション結果、実船計測結果から推定される値と設計加速度との比較

※2 : 水槽試験、波浪荷重シミュレーション結果、実船計測結果から推定される値と設計縦曲げモーメントとの比較

図 4.1 現行基準における設計荷重の検証フロー





—————▶ : 基準に従った設計フロー  
 - - - - -▶ : 直接計算に基づいた設計荷重設定フロー

※3 : 水槽試験、船体運動シミュレーション結果、実船計測結果から推定される船首加速度  
 ※4 : 水槽試験、波浪荷重シミュレーション結果、実船計測結果から推定される縦曲げモーメント

図 4.2 D by A による構造設計フロー

#### 4.4 強度解析手法の一例

波浪中での船体運動や波浪荷重の検討結果に基づき構造強度評価を実施する必要がある。  
ここでは実績船の全船縦強度 FE 解析の一例を示す。

##### (1) 解析モデル

解析モデルは主船体及び上部構造を板・線要素でモデル化した全船モデルとし、主構造及び配置上の非対称性を考慮して両舷モデルとする。要素のメッシュサイズは下記とした。

外板、甲板： 縦通材心距 × (横桁心距/2)、 もしくは × (横桁心距/4)

桁材ウェブ： 縦通材心距 × (ウェブ深さ)、 もしくは × (ウェブ深さ/3)

その他、応力集中部： 適宜細メッシュ (100mm×100mm 程度)、もしくは (50mm×50mm 程度)

##### (2) 荷重条件

設計荷重はシミュレーション結果 (もしくは、模型による水槽試験結果) より得られた縦曲げモーメント値を用いる。モーメント分布は、模型試験により得られた結果もしくは類似船の水槽試験結果から得られた縦曲げモーメント分布を適用した。

荷重モデルでは、同じモーメント分布となるように船側外板に集中荷重を負荷した。

##### (3) 許容応力

###### ・全体強度

船体縦曲げ応力に相当している各 ORD 断面の船長方向応力  $\sigma_x$  の平均応力が高速船構造基準の縦曲げ許容応力  $0.6\sigma_Y$  を許容応力とした。

###### ・局部強度

上部構造の前後端や開口部の応力集中部など局部的な応力についてはメッシュサイズに応じた許容応力にて評価を実施した。

	For average stress	For peak stress by fine mesh	For free edge peak stress
適用箇所	船長方向応力 $\sigma_x$ (甲板は縦曲げ応力の幅方向平均応力) <sup>2)</sup>	1メッシュの主応力、ミーゼス応力 <sup>1)3)</sup>	上甲板開口コーナー部のエッジ応力
板のメッシュ寸法	ガーダー、フロア、デッキ、ストリングなどの大骨に囲まれたパネル	応力集中を評価できるサイズ	同左、但しエッジには線要素をモデル化する

1) アルミ合金板材では、溶接部耐力が母材耐力より低下するので母材及び溶接部のそれぞれの耐力を用いて許容応力を算出する。

2) 高速船構造基準より「材料の降伏応力 (耐力) の 60%」を採用する。

3) 上部構造の側壁前後端ブラケットはミーゼス応力により評価する。

## 5. 甲板荷重及び水密隔壁と深水タンクの荷重

基準の適用範囲の拡大と同時に、現行基準において見直しが必要と考えられる項目について検討を行った。見直し事項は、(1)甲板荷重と(2)水密隔壁及び深水タンクの部材に対する水頭に関して下記の検討を行った。その検討結果を簡単に述べる。

### 5.1 甲板荷重に関する検討

#### 5.1.1 見直し事項

貨物、倉庫品又は旅客等を積載する甲板に対する甲板荷重は、

$$P=C \cdot Af \cdot Pcargo \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

で規定されており、加速度の係数Cが $L_s/2 \sim L_s$ の範囲で1.0~2.0に直線比例して変化しているため、船首に近い位置では暴露甲板荷重よりも大きくなり、相当な強度を要求されることになる。これらの強度が暴露甲板荷重を上回る必要性について検討した。

#### 5.1.2 検討結果

3隻の高速船を対象に試解析を行ったところ、いずれの船においても甲板荷重 (P) が暴露甲板に対する荷重 (PD) より大きくなることはないことが確認された。

暴露甲板荷重は、青波衝撃荷重の分布を考慮している一方、その他の甲板に対する荷重は、単位面積当たり体重75kgの人が6人乗った時の荷重 (4.6kN/m<sup>2</sup>) を想定してこの値を基本荷重として設定している。この荷重に加速度分布係数を乗じているために部材寸法が大き目の要求値になるものと考えられる。検討の結果、本件については高速船構造基準2.2.4の後に以下の文言を追加することとした。

改正 (追加) :

「特に貨物等を積載しない甲板については、適当に荷重を減ずることができる。」

## 5.2 水密隔壁及び深水タンクを形成する部材において考慮する水頭

### 5.2.1 見直し事項

今回の高速船構造基準の見直しにより、船の長さが100mまで適用対象が拡大することになり、比較的大きな船舶にも本基準は適用されることになることから、水密隔壁及び深水タンクを形成する部材において考慮する水頭について見直しを行った。

### 5.2.2 検討内容

高速船構造基準における水密隔壁及び深水タンクに関する要件は、鋼船規則CS編を参考に規定されている。高速船構造基準及び鋼船規則CS編との比較検討を行った。表5.1及び表5.2に高速船構造基準及び鋼船規則CS編の水頭に関する要件を示す。

表5.1 水密隔壁を形成する部材に対する水頭

	高速船構造基準	鋼船規則CS編
板部材	隔壁板の下縁から船体中心線に	隔壁板の下縁から船体中心線における隔壁甲板までの距離。ただし、3.4m未満としてはならない。
水平防撓材及び水平桁	における上甲板の上面までの垂直距離	上下の防撓材間の中央から船体中心線における隔壁甲板までの垂直距離。ただし、その距離が6.0m未満のときは、その距離の0.8倍に1.2を加えたもの。
立て防撓材及び立て桁		スパンの中央から船体中心線における隔壁甲板までの垂直距離。ただし、その距離が6.0m未満のときは、その距離の0.8倍に1.2を加えたもの。

表5.2 深水タンクを形成する部材に対する水頭

	高速船構造基準	鋼船規則CS編
板部材	隔壁板の下縁から、タンク頂板の上面とオーバーフロー管の上端の中間点までの垂直距離	次に示す距離のうち大きい方 (1)隔壁板の下縁からタンク頂板上、オーバーフロー管の上端までの距離の1/2の点までの垂直距離。ただし、大きなタンクの隔壁に対しては、適当な付加水圧を考慮しなければならない。 (2)隔壁板の下縁からオーバーフロー管上端上2.0mまでの垂直距離に0.7を乗じたもの。
水平防撓材及び水平桁		立て防撓材のときはスパンの中央を下端とし、水平防撓材のときは上下の防撓材間の中央を下端として、次に示す距離のうち大きい方
立て防撓材及び立て桁		(1)下端からタンク頂板上、オーバーフロー管の上端までの距離の1/2の点までの垂直距離。ただし、大きなタンクの隔壁防撓材に対しては、適当な付加水圧を考慮しなければならない。 (2)オーバーフロー管の上端上2.0mまでの垂直距離に0.7を乗じたもの。

(1) 高速船構造基準及び鋼船規則CS編における水頭の取り方

高速船構造基準では、水密隔壁及び深水タンクを形成する板部材、骨部材及び桁部材に対して考慮する水頭は、隔壁板の下縁から取ることになっている。一方、鋼船規則CS編では、水頭を板部材については隔壁板の下縁から取ることとし、骨及び桁部材については、水平防撓材及び水平桁では、上下の防撓材、桁間の中央、立て防撓材及び立て桁では、スパンの中央から取ることとなっている。

高速船構造基準では、適用対象となる船舶がこれまで船の長さが50mまでの船舶であり、水密隔壁及び深水タンクがそれほど大きくなかったため、算式の簡略化のために水頭を隔壁板の下縁から取っていた。

## (2) 高速船構造基準及び鋼船規則CS編の水頭に関する要件

### (a) 水密隔壁を形成する部材に対する水頭

- 鋼船規則CS編では、板部材に対して、水頭の最小値を3.4mとしているが、これは隔壁板のせん断座屈強度を考慮したものとなっている。高速船の場合、水密隔壁に大きなせん断が働くような積付け等はないため、従来通り、高速船構造基準において考慮する必要はないものとする。
- 鋼船規則CS編では、防撓材及び桁部材に対して、最小値として垂直距離が6.0m未満の場合の扱いが規定されているが、高速船の水密隔壁の高さは一般的な商船と比べて小さいことから、高速船構造基準においては、従来から考慮されていなかった。水密隔壁について、これまで、特段、損傷等もないことから、従来通り、高速船構造基準において考慮する必要はないものとする。

### (b) 深水タンクを形成する部材に対する水頭

- 鋼船規則CS編では、深水タンクに対する荷重として、長期荷重及び短期荷重を考慮している。短期荷重として、オーバフロー管の上端上2.0mまでの垂直距離に係数0.7（長期荷重に対する安全率の比率）を乗じたものを考慮しており、これは漲水時のポンプの押し込み圧を考慮した圧力試験時の荷重を想定している。一方、高速船構造基準では、圧力試験時の荷重は明記されていないが、鋼船規則CS編と同様の長期荷重に動的加速度を考慮している。動的加速度を考慮することで、圧力試験時の荷重をカバーしているものとするが、平水区域では動的加速度を考慮していないことから、圧力試験による荷重が支配的となる可能性もある。

## 5.2.3 検討結果

- 水密隔壁及び深水タンクを形成する部材に対する水頭について、防撓材及び桁材に対する水頭の取り方を鋼船規則CS編に沿って改める。
- 深水タンクを形成する部材に対する水頭として、圧力試験時の荷重も考慮しなければならない旨を明記する。

現行基準からの改正案を見え消しで以下に示す。取り消し線が削除する条文で、下線部が追加条文案である、

## 2.2.6 水密隔壁に対する荷重

水密隔壁に対する荷重 $P_{WT}$ は次の算式による値以上としなければならない

$$10 h_w \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$h_w$ は、隔壁板の下縁から船体中心線における上甲板の上面までの垂直距離(m)次の(1)から(3)による。ただし、船首隔壁については、その値をさらに1.25倍したものとする。

(1) 隔壁板にあつては、隔壁板の下縁から船体中心線における隔壁甲板までの垂直距離(m)。

(2) 防撓材にあつては、立て防撓材では、1の中央から、水平防撓材では上下の防撓材間の中央から、船体中心線における隔壁甲板の垂直距離(m)。ここで、1は3.3.3による。

(3) 桁部材にあつては、水平桁のときは桁が支える面積の幅の中央から、立て桁のときは1の中央から、船体中心線における隔壁甲板の垂直距離(m)。ここで、1は3.4.1による。

## 2.2.7 深水タンクの隔壁に対する荷重

深水タンクの隔壁に対する荷重 $P_{DT}$ は、次の算式による値以上としなければならない。また、圧力試験の荷重についても考慮しなければならない。

$$10 \rho C A_f h_D \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$\rho$ は、積載される液体の比重。ただし、1以下の場合には、1とする。

$C$ は、2.2.4の規定による。

$A_f$ は、2.2.1-1.の規定による。

$h_D$ は、隔壁板の下縁からタンク頂板の上面とオーバーフロー管の上端の中間点までの垂直距離(m)次の(1)から(3)による。

(1) 隔壁板にあつては、隔壁板の下縁からタンク頂板上、オーバーフロー管の上端までの距離の1/2の点までの垂直距離(m)。

(2) 防撓材にあつては、立て防撓材のときは1の中央を下端とし、水平防撓材のときは上下の防撓材間の中央を下端として、下端からタンク頂板上、オーバーフロー管の上端までの距離の1/2の点までの垂直距離(m)。ここで、1は3.3.3による。

(3) 桁部材にあつては、水平桁の場合は桁が支える面積の幅の中央から、立て桁のときは1の中央から、タンク頂板上、オーバーフロー管の上端までの距離の1/2の点までの垂直距離(m)。ここで、1は3.4.1による。

## 6. 高速船構造基準の改正案

### 6.1 高速船構造基準改正の範囲

基準改正の範囲については、高速船構造基準の適用範囲（船の長さ50mまで）を長さ100m程度まで適用可能な基準とすることを目標とし、また、船の長さに拘わらず新しい高速船の建造に対応するために「高速船構造設計ガイドライン案」（RR744）を高速船の設計・建造に適用可能とするための見直しを今回の基準改正作業とすることとした。

### 6.2 高速船構造基準の改正案

高速船構造基準の適用範囲の拡大に関連する見直しについては第3章に、また今回の見直しのポイントの一つである直接計算に基づいた高速船の設計に関する手続きについては、第4章「直接計算による設計」に、さらにその他の基準全般にわたる関連項目の見直しについては第5章に述べた。

下記の改正点①～⑨についてその改正案を6.2.1にまとめて示す。

改正点① 第1章 総則 1.1 適用 1.1.1 適用船舶

改正点② 第1章 総則 1.1 適用 1.1.3 特殊な船舶

改正点③ 第1章 総則 1.3 アルミニウム合金材 1.3.1 使用制限、1.3.2 耐力、1.3.3 溶接

改正点④ 第1章 総則 1.4 圧延鋼材

改正点⑤ 第1章 総則 1.5 クラッド鋼板

改正点⑥ 第2章 設計荷重 2.2 設計荷重 2.2.4 その他の甲板荷重

改正点⑦ 2.2.6 水密隔壁に対する荷重

改正点⑧ 2.2.7 深水タンクの隔壁に対する荷重

改正点⑨ 第2章 設計荷重 2.2 設計荷重 2.2.9 船体中央部における縦曲げモーメント

#### 6.2.1 基準改正の項目

改正点① 第1章 総則 1.1 適用 1.1.1 適用船舶

この基準の第2章及び第3章の規定は、船の長さ50m以下の単胴型の高速船に適用するとなっている。今回の見直しにおいては、基準の適用対象を長さ100mまで拡張する。

(改正案)

この基準は鋼製又はアルミニウム合金製の高速船に適用する。ただし、この基準の第2章及び第3章の規定は、船の長さ100m以下の単胴型の高速船に適用する。
--

改正点② 第1章 総則 1.1適用 1.1.3 特殊な船舶

現行規則では50mを超える場合でもこの基準によって差し支えないとなっているが、解説書で「これより大きな船舶の場合にこの基準を適用した場合には、航行状態の違いから、算定した荷重は実際の荷重に比べて大きなものとなると考えている」となっている。今回の見直しに

より 50m を超え 100m までの船舶について縦曲げモーメントの算定式を見直したが、100m を超える船舶については検討されていないので、100m を超える高速船にあってもこの基準の規定によって差し支えないというのは不適切であるので、この部分は削除する。100m を超える場合は、図 4.2 のフローにしたがって、運航条件を考慮した直接計算により荷重を算定することになるので、現行の (3) の記述を以下の通り見直した上で (1) とした。

(改正案)

- (1) 直接計算による設計基準として RR744 「高速船構造設計ガイドライン案」を参照することが出来る。
- 直接計算により設計する場合にあつては、以下の点に留意すること。なお、必要と認められる場合には、水槽試験もしくは海上試運転による検証を要求することがある。
- ① 荷重設定手法と強度解析手法に関する資料を提出すること。
  - ② 設計荷重の算定に際しては、運航条件を考慮した上で、最大の荷重を算定すること。
  - ③ 縦曲げモーメントはサギングモーメントに対する上甲板や上部構造の座屈強度の確保に留意すること。
  - ④ 船体全体の弾塑性解析を行う場合には、境界条件及び解析手法の妥当性のほか、工作精度、応力除去方法等に特別の考慮を払うこと。
- (2) 双胴型の高速船の場合にあつては、連結部に生じる横曲げモーメント、捩じりモーメント及び横波によるせん断力を考慮すること。
- (3) 貨物船のような船種のように静水中曲げモーメントが無視できない場合は別途考慮すること。

「直接計算による設計基準として RR744 「高速船構造設計ガイドライン (案)」を参照することが出来る」ことを明記した。

水槽試験による検証は広く行われているので、水槽試験による検証を追加する。

- ① 荷重設定と強度解析を区別して明記したうえで、それぞれの手法に関する資料を提出することとした。
- ② 「荷重は、原則として第 2 章に規定する値を用いること」という記述は不適切であり削除する。また「適当な不規則波海面の波スペクトル及び波浪統計を用いて、規則波中応答計算により、波浪荷重及び応力の推定を行っても差し支えない」という記述に関しては、不規則波浪中の荷重の算定方法としては船舶の応答特性によって、各種の手法が考えられるので、「設計荷重の算定に際しては、運航条件を考慮した上で、最大の荷重を算定すること」という記述に改める。③ 「車両甲板の座屈評価が可能」という内容は唐突なので、「サギングモーメントに対する上甲板や上部構造の座屈強度の確保に留意すること」とする。



## 改正点③ 第1章総則 1.3 アルミニウム合金材

### 1.3.1 使用制限、1.3.2 耐力、1.3.3 溶接

材料記号を最新の表記に更新するとともに、その他用語の修正を行った。

(改正案)

#### 1.3 アルミニウム合金材

##### 1.3.1 使用制限

本基準において船体構造用部材に使用できるアルミニウム合金材の材料記号は、「JIS H4000、H4080又はH4100」におけるA5052P、S、TE又はTD、A5056TE又はTD、A5083P、S、TE又はTD、A5086P又はS、A5154P、A5754P、A6061P又はS、A6082S、A6005CS、A6005AS又は「ASTM」におけるA5456P又はS、A5059P又はS、A5383P又はSとする。

ただし、材料記号A6061P及びS並びにA6005CS及びA6005ASのアルミニウム合金材は、通常、海水と接する可能性のある部分に使用してはならない。

これ以外のアルミニウム合金材を使用する場合は、資料を添えて、検査測度課長に伺い出ること。

##### 1.3.2 耐力

本基準における耐力の値は、使用する材料ごとに、「JIS H4000、H4080又はH4100」又は「日本海事協会鋼船規則K編」に規定される耐力の最小値を用いること。

ただし、溶接された材料の耐力が熱影響部において低下する場合には、この低下した耐力の値を用いることとするが、溶接後の当該材料の引張り強さの70%を超えてはならない。なお、低下した耐力の値が確認できない場合には、当該材料の焼き鈍し材の耐力の最小値を用いること。

耐力について、これ以外の取扱いをする場合は、資料を添えて、検査測度課長に伺い出ること。

##### 1.3.3 溶接

溶接にあたっては、健全な溶接部が得られるように溶接条件を設定することとし、「JIS Z3604アルミニウムのイナートガスアーク溶接作業標準」及び「日本海事協会高速船規則」を参照して差し支えない。なお、この基準により工事を行う場合には、船舶検査心得第1分冊の鋼船構造規定附属書[4]「耐食アルミニウム合金構造工作基準」による必要はない。ただし、日本海事協会鋼船規則C編1章 表C1.4及び表C1.5を準用する場合は、次のとおりとすること。

(1) T継手におけるすみ肉溶接について、脚長寸法 $f_{al}$ は次の算式による値以上とすること。

$$f_{al} = (f - 1.5) \sigma_r / \sigma_d \quad (\text{mm})$$

$f$  : 同表C1.4に規定する母材の厚さに応じた連続溶接又は断続溶接のすみ肉脚長 (mm)

$\sigma_r$  : 1.3.2に規定する使用材料の溶接後の耐力の値(以下同じ) (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_d$  : 使用材料の焼き鈍し材の耐力の最小値 (N/mm<sup>2</sup>)

(2) 同表C1.4において適用するすみ肉溶接の種類は、F1、F2及びF3の3種類とし、かつ、同

表C1.5中におけるF4をF3と読み替えて適用すること。また、同表C1.4の備考5.の規定にかかわらず断続溶接として並列断続溶接を適用して差し支えない。ただし、並列断続溶接を適用する場合であっても、その端部1w間は両側を溶接すること。

#### 改正点④ 第1章総則 1.4 圧延鋼材

圧延鋼材に関する以下の記述を追加した。

(改正案)

##### 1.4 圧延鋼材

###### 1.4.1 使用制限

本基準において船体構造用部材に使用できる圧延鋼材の材料記号は、「船体及び排水設備の材料の要件を定める告示」の規定による。

これ以外の圧延鋼材を使用する場合は、資料を添えて、検査測度課長に伺い出ること。

###### 1.4.2 降伏点及び耐力

本基準における降伏点及び耐力の値は、使用する材料ごとに、「船体及び排水設備の材料の要件を定める告示」に規定される降伏点及び耐力の最小値を用いること。

降伏点及び耐力について、これ以外の取扱いをする場合は、資料を添えて、首席船舶検査官に伺い出ること。

###### 1.4.3 溶接

溶接にあたっては、健全な溶接部が得られるように溶接条件を設定することとし、「船体及び排水設備の溶接継手部の溶接施工方法及び溶接材料の要件を定める告示」によること。

#### 改正点⑤ 第1章総則 1.5 クラッド鋼板

クラッド鋼板に関する以下の記述を追加した。

(改正案)

##### 1.5 クラッド鋼板

(1)クラッド鋼板を上部構造に適用しても差し支えない。

(2)船体構造用部材にクラッド鋼板を使用する場合は、通達「舶検第29号 (S59.3.8)」及び「海検第48号 (H2.8.16)」等によること。

#### 改正点⑥ 第2章設計荷重 2.2設計荷重 2.2.4 その他の甲板荷重

暴露甲板とその他の甲板の荷重設定に関して、その他の甲板の荷重設定が船首方向に近い位置では暴露甲板荷重より大きくなり、板厚、骨材も高い要求値となる。これについて検証、見直しが必要との指摘があり、検討した。

3隻（船長25m、31.4m、26.329m）の高速船を対象に試解析を行ったところ、いずれの船においても甲板荷重（P）が暴露甲板に対する荷重（PD）より大きくなることはないことが確認さ

れた。

暴露甲板荷重は、青波衝撃荷重の分布を考慮している一方、その他の甲板に対する荷重は、単位面積当たり体重75kgの人が6人乗った時の荷重（4.6kN/m<sup>2</sup>）を想定してこの値を基本荷重として設定している。この荷重に加速度分布係数を乗じているために部材寸法が大き目の要求値になるものと考えられる。本件については、2.2.4項の最後に下記の文言を追加する。

(改正案) 追記

特に貨物等を積載しない甲板については、適当に荷重を減ずることができる。

改正点⑦ 2.2.6 水密隔壁に対する荷重

改正点⑧ 2.2.7 深水タンクの隔壁に対する荷重

水密隔壁及び深水タンクを形成する部材（防撓材及び桁材）に対する水頭の取り方については、鋼船規則CS編に沿って、以下の通り改める。また、深水タンクについては、圧力試験時の荷重についても考慮しなければならない旨を明記する。

(改正案)

#### 2.2.6 水密隔壁に対する荷重

水密隔壁に対する荷重 $P_w$ は次の算式による値以上としなければならない。

$$10 h_w \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$h_w$ は、次の(1)から(3)による。ただし、船首隔壁については、その値をさらに1.25倍したものとす。

- (1) 隔壁板にあつては、隔壁板の下縁から船体中心線における隔壁甲板までの垂直距離(m)。
- (2) 防撓材にあつては、立て防撓材では、1の中央から、水平防撓材では上下の防撓材間の中央から、船体中心線における隔壁甲板の垂直距離(m)。ここで、1は3.3.3による。
- (3) 桁部材にあつては、水平桁のときは桁が支える面積の幅の中央から、立て桁のときは1の中央から、船体中心線における隔壁甲板の垂直距離(m)。ここで、1は3.4.1による。

### 2.2.7 深水タンクの隔壁に対する荷重

深水タンクの隔壁に対する荷重 $P_{DT}$ は、次の算式による値以上としなければならない。また、圧力試験の荷重についても考慮しなければならない。

$$10 \rho C A_f h_0 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$\rho$  は、積載される液体の比重。ただし、1以下の場合には、1とする。

$C$  は、2.2.4の規定による。

$A_f$  は、2.2.1-1.の規定による。

$h_0$  は、次の(1)から(3)による。

(1) 隔壁板にあっては、隔壁板の下縁からタンク頂板上、オーバフロー管の上端までの距離の1/2の点までの垂直距離(m)。

(2) 防撓材にあっては、立て防撓材のときは1の中央を下端とし、水平防撓材のときは上下の防撓材間の中央を下端として、下端からタンク頂板上、オーバフロー管の上端までの距離の1/2の点までの垂直距離(m)。ここで、1は3.3.3による。

(3) 桁部材にあっては、水平桁の場合は桁が支える面積の幅の中央から、立て桁のときは1の中央から、タンク頂板上、オーバフロー管の上端までの距離の1/2の点までの垂直距離(m)。ここで、1は3.4.1による。

## 改正点 ⑨第2章設計荷重 2.2 設計荷重 2.2.9 船体中央部における縦曲げモーメント

高速船構造基準においては船首加速度を設計パラメータとして、設計荷重としての縦曲げモーメントを算定することになっているが、現行基準の適用範囲は船長 $L$ が50m以下であり、船長が50mを超える船に対する設計荷重としての縦曲げモーメントが実際に作用する荷重に比して過大な値を算定する傾向にあることが認識されている。

50m <  $L_s$  ≤ 100mの船に対する縦曲げモーメントの基準算式に波高修正係数 $f_2(L_s)$ を導入することにより見直した。

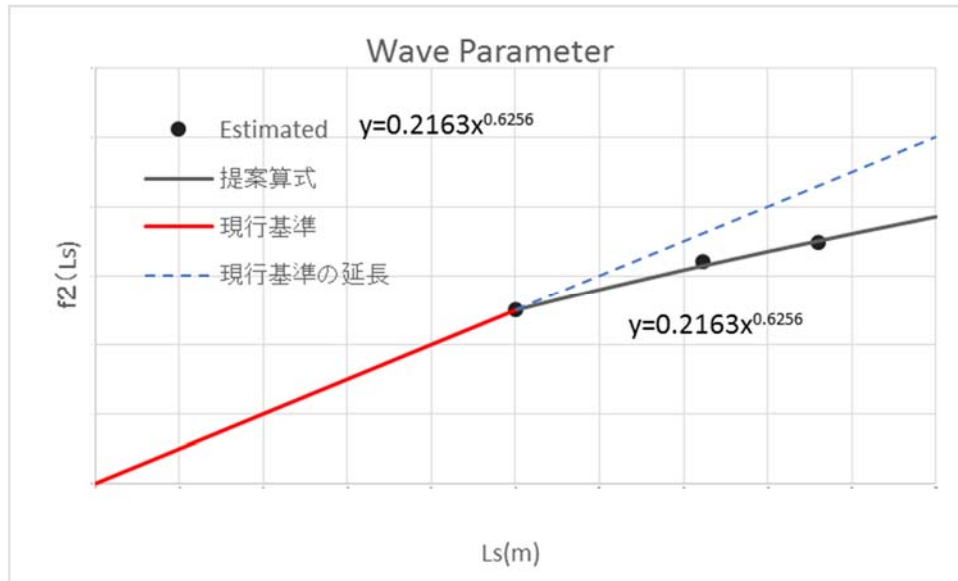
$$M = f_1(A_f) f_2(L_s) L_s^2 \cdot B_w \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

$$f_1(A_f) = \frac{20 \times 0.351 \cdot A_f}{13.7 + 18.5 F_m + 9.91 F_m^2}$$

**波高修正係数 $f_2(L_s)$**  は、既就航の大型高速船に適用された設計荷重を水槽試験及び実船計測で検証、さらに、数値シミュレーションを用いて最大荷重の予測を行い、これらの検討結果に基づき設定した。なお、 $L_s \leq 50\text{m}$ の船に対しては、従来どおりの算式を適用することとした。

設計実績のある50m超の高速船の数値シミュレーションの結果得られた波高修正係数 ( $f_2$ ) を下図に示す。秋田らの方法に倣って船の長さ $L_s$ の累乗関数で近似すると以下ようになる。

$$\begin{aligned} f_2(L_s) &= L_s / 20 \quad (L_s \leq 50\text{m}) \\ &= 0.2163 L_s^{0.6256} \quad (50\text{m} < L_s \leq 100\text{m}) \end{aligned}$$



Wave parameter (f2)

(改正案)

2.2.9  $L_s$ の中央における縦曲げモーメント $M$ は、船の長さに応じて、次の算式による値以上としなければならない。

$$M = f_1(A_f) f_2(L_s) L_s^2 \cdot B_w \quad (kN \cdot m)$$

$$f_1(A_f) = \frac{20 \times 0.351 \cdot A_f}{13.7 + 18.5 F_m + 9.91 F_m^2}$$

$$f_2(L_s) = L_s / 20 \quad (L_s \leq 50 \text{ m})$$

$$= 0.2163 L_s^{0.6256} \quad (50 \text{ m} < L_s \leq 100 \text{ m})$$

$A_f$ 及び $F_m$ は、2.2.1-1の規定による。

$B_w$ は、満載状態における喫水線の位置での、船側外板の外表面から外表面までの幅 (m)。

$f_2$  : 波高修正係数

## 7. まとめ

現在の高速船構造基準が施行されて20年が経過した。この間に長さ50mを超える大型高速船の建造実績も多くなってきている。

今回の高速船構造基準の見直し作業では、現行のルール算式ベースの高速船構造基準において長さ50m超（100m以下）の高速船の全体荷重の算式案について検討し、適切な荷重を与える算式を提案すること、及び、船の長さによらない高速船の構造設計を可能とするために、平成5年に提案されたRR744「高速船構造設計ガイドライン案」の位置づけを明確にした。また、今回の見直しに当たって、現行基準を適用する際に、改正案に盛り込むべき点について洗い出しを行い検討した。

本調査研究の主要な成果は、以下の通りである。

- (1) 長さ $L_s$  が50mを超える高速船に対して、船首部の上下加速度を設計パラメタとした現行基準の縦曲げモーメントの算定式は、過大な曲げモーメントを算出する傾向にあることが指摘されている。そこで、縦曲げモーメントの算式について $L_s$ が50m以下は従来通りとし、 $50m < L_s \leq 100m$ の範囲に対して、設計実績のある高速船の数値シミュレーションに基づき、波高影響を表すwave parameter（波高修正係数） $f_2$ を導入することにより、新たな設計算式を提案した。
- (2) 船底衝撃荷重に関する基準算式は、船底と波面との衝撃圧に対する一般化された算式であるので、長さが50mを超える高速船に対してもそのまま適用可能と判断した。  
また、局部強度については、部材レベルの局部的な強度に関する規定であり、50mを超える大型船に対しても、そのまま適用できるものと考えられる。
- (3) 直接計算による構造設計基準については、D by Rを主軸とするD by Aによる荷重検証の設計の流れと、D by Aによる設計の流れの2つの方法が考えられる（第4章参照）。本報告では、これらの2つの設計の流れについて手順を示した。
- (4) 使用材料として、アルミニウム合金材に関する記述を最新の記述に更新するとともに、圧延鋼材及びクラッド鋼に関する記述を追加した。

なお、高速船構造基準の改正については、今後、本調査研究の成果を参考に国土交通省にて改正の検討が行われる予定である。

発行 一般財団法人 日本船舶技術研究協会

〒107-0052

東京都港区赤坂2丁目10番9号 ラウンドクロス赤坂

TEL : 03-5575-6425 (総務グループ)

03-5575-6428 (研究開発ユニット・連携ユニット)

FAX : 03-5114-8941

URL : <http://www.jstra.jp/>

---

本書の無断転載・複写・複製を禁じます