

内航船における日本近海データを用いた  
第2世代非損傷時復原性基準に係る  
適応調査 報告書

平成 29 年 3 月

独立行政法人

鉄道建設・運輸施設整備支援機構

## 目次

1. はじめに	1
2. 調査概要	2
2. 1 基準適応調査	2
2. 2 「運航制限」に関する調査	5
3. 調査結果（その1：基準適応調査）	6
3. 1 「復原力喪失」、「パラメトリック横揺れ」、「ブローチング」第2段階基準	6
3. 2 「過大加速度」、「デッドシップ状態」第1段階基準	11
3. 3 「過大加速度」、「デッドシップ状態」第2段階基準	17
3. 4 まとめ（その1 基準適応調査）	19
4. 調査結果（その2：「運航制限」に関する調査）	24
4. 1 IMOにおける検討状況	24
4. 2 第2段階基準計算結果に基づく運航制限の試設定	26
4. 3 まとめ（その2 「運航制限」に関する調査）	28
参考文献	28
付録1 第2世代非損傷時復原性基準案	29
付録2 基準計算で用いる日本近海の波浪データの作成	50

## 1 はじめに

現在、船舶の復原性に関する国際基準では風・波の要件は一定の範囲で考慮されているものの、船舶の運航状態と海象条件との組合せに対する詳細な動的復原性については十分な考慮がされていない。このため、IMO（国際海事機関）では、復原性の新基準（第2世代復原性基準）として、「ブローチング」、「復原力喪失」、「パラメトリック横揺れ」、「デッドシップ状態」及び「過大加速度」の5つの事象に対応した基準の策定を進めている。

改正基準では、効率的な合否確認のため、5つの事象それぞれに第1段階基準（簡易な計算だが、もっとも厳しい基準）、第2段階基準（第1段階基準よりも計算が複雑になるが多少緩和された基準）、第3段階基準（個々の船舶に対して直接計算を行う基準）の3基準を策定することが合意されており、さらに第2段階基準、第3段階基準で基準値外となっても当該船舶に「運航制限」等を課すことによって運航可能とすることが合意されている。

この改正基準は、24m以上の船舶を対象としており、そのまま国内法に取り入れられた場合、機構の大半の共有船が適用対象となる。しかしながら、内航船については大型カーフェリーを除いて本基準を満足するか検証が行われていない状況であったため、独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構（以下、「機構」）では、平成27年度に共有船を対象として、「ブローチング」、「復原性喪失」、「パラメトリック横揺れ」の第1段階及び第2段階基準の適合性について、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所（以下、海技研）に委託し、調査を行った。

当該調査の結果、計算結果が基準値外となる船舶が一定隻数見受けられたが、その理由として、当該調査の試算に際して用いた波浪データの影響が考えられる。具体的には、平成27年度の調査においては、IMOの改正基準案が内航船にそのまま適用されることを想定していたため、北大西洋の波浪データを用いて試算を行ったが、一般に、内航船においては当該海域を航行することは想定していない。

以上を踏まえ、本調査は海技研に委託し、「ブローチング」、「復原力喪失」、「パラメトリック横揺れ」については、内航船が実際に航行する日本近海の波浪データを用いた第2段階基準の試算を行うとともに、今後最終化される予定の「デッドシップ状態」及び「過大加速度」について、北大西洋の波浪データ及び日本近海の波浪データを用いた第1段階基準案並びに第2段階基準案の試算を行う。

さらに今後最終化される予定の「運航制限」の具体的内容及びその影響、効果等について検証・考察を行う。

## 2. 調査概要

### 2. 1 基準適応調査

#### (1) 基準概要

IMO で議論が行われている第 2 世代復原性基準では、以下の 5 つの危険モードについてそれぞれ基準を定めている。以下に当該基準の概要を示す（詳細については付録 1 を参照）。

#### ① 復原力喪失（フルード数が 0.24 以上の船舶が適用）

波の山が船体中央付近に位置している場合、船舶の水線面積が減少し、復原力が減少する。復原力喪失は、特に、波と船舶の速度が同程度で、かつ、追波中を航行する場合、当該復原力が減少する時間が長くなり大傾斜を起こす現象。

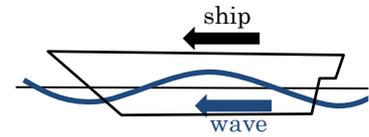


図 2-1 復原力喪失

- ・ 第一段階基準： $\overline{GM}_{min} > 0.05m$

$\overline{GM}_{min}$ ：波浪中のメタセンタ高さ

- ・ 第二段階基準： $\max(\sum_{i=1}^N W_i C1_i, \sum_{i=1}^N W_i C2_i) < 0.06$

$W_i$ ：波浪発現頻度に応じた重みづけ係数

$C1_i$ ：波浪中の復原力消失角を計算して得られる値

$C2_i$ ：波浪中の遠心力による定常傾斜角を計算して得られる値

#### ② パラメトリック横揺れ

波に出会う周波数が船舶の横揺れ周波数の 2 倍となり、波の揺れが船舶の揺れを助けるように働く現象。

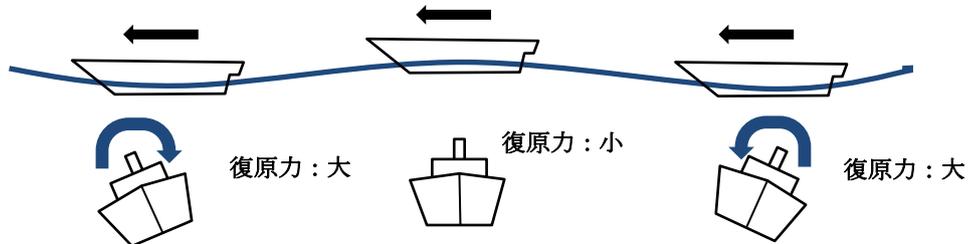


図 2-2 パラメトリック横揺れ

- ・ 第一段階基準： $\frac{\Delta \overline{GM}_l}{\overline{GM}_c} \leq R_{PR}$

$\Delta \overline{GM}_l$ ：波浪中のメタセンタ高さの変動幅

$\overline{GM}_c$ ：平水中のメタセンタ高さ

$R_{PR}$ ：船舶のビルジ部の形状により定まる基準値

- ・ 第二段階基準： $\max\left(\sum_{i=1}^N W_i C_i, \frac{(\sum_{i=1}^3 C2_h(Fn_i) + C2_h(0) + \sum_{i=1}^3 C2_f(Fn_i))}{7}\right) < 0.06$

$W_i$ ：波浪発現頻度に応じた重みづけ係数

$C_i$ ：波浪中のメタセンタ高さの変動幅等を計算して得られる値

$C2_h(Fn_i)$ ：向波中の船舶の最大横揺れ角を計算して得られる値

$C2_f(Fn_i)$ ：追波中の船舶の最大横揺れ角を計算して得られる値

### ③ 波乗り/ブローチング

ブローチングは波浪の影響で船舶が制御不能な旋回をする現象であり、通常、追波中を航行する船舶が波乗り状態となり、船体が加速されることで発生する。

- ・第一段階基準： $L > 200m$  or  $F_n \leq 0.3$

$L$ ：満載喫水線長さ

$F_n$ ：フルード数

- ・第二段階基準： $\sum_{HS} \sum_{TZ} (W2(HS, TZ) \sum_{i=1}^{N_\lambda} \sum_{j=1}^{N_a} W_{ij} C2_{ij}) < 0.005$

$W2(HS, TZ)$ ：波浪発現頻度に応じた重みづけ係数

$W_{ij}$ ：波岨度と波長船長比に応じた重みづけ係数

$C2_{ij}$ ：波浪中の限界フルード数を計算して得られる値

### ④ デッドシップ状態

船舶が漂流状態となり、かつ、厳しい波浪風を受けている状態での復原力に関する基準。

- ・第一段階基準：現行の C 係数基準\*とほぼ同じ

※定常風と波の影響を受ける船舶が、突風を受けたときの船舶の復原力に関する基準

- ・第二段階基準： $\sum_{i=1}^N W_i C_{S,i} \leq R_{DS0}$

$W_i$ ：波浪発現頻度に応じた重みづけ係数

$C_{S,i}$ ：波浪中の安定傾斜角を計算して得られる値

$R_{DS0}$ ：[0.06] or [0.04] (試算では 0.06 とした。)

### ⑤ 過大加速度

横揺れ中の船舶の人がいる高さにおける横方向加速度に関する基準。

- ・第一段階基準： $\phi k_L (g + 4\pi^2 h / T_r^2)^* < R_{EA1}$

$R_{EA1}$ ：[5.3m/s<sup>2</sup>] or [8.9m/s<sup>2</sup>] or [8.69m/s<sup>2</sup>] (試算では 8.69m/s<sup>2</sup> とした。)

※左辺は横波中での横方向加速度を表す

- ・第二段階基準： $\sum_i W_i C_i / \sum_i W_i < R_{EA2}$

$W_i$ ：波浪発現頻度に応じた重みづけ係数

$C_i$ ：船舶の横方向加速度を計算して得られる値

$R_{EA2}$ ：[1.1×10<sup>-4</sup>] or [0.001] or [0.0281 or above] or [0.043 or above]

(試算では 0.0281 とした。)

## (2) 調査対象船

調査対象船は表 2-1 に示す 33 隻である。これらの調査対象船は、平成 21 年度から平成 26 年度に共有建造された共有船の中から選定したものである。なお、表中赤字で示した船舶は、平成 27 年度に「復原力喪失」、「パラメトリック横揺れ」、「ブローチング」に関する第 2 段階基準案の計算を行った船舶を示す。

表 2-1 調査対象船（赤字：第 2 段階基準計算を実施した船舶）

### 1. 内航貨物船

No.	船種	総トン数
1	貨物船	250GT クラス
2	貨物船	499 GT クラス
3	貨物船	749 GT クラス
4	タンカー	170 GT クラス
5	タンカー	499 GT クラス
6	タンカー	749 GT クラス
7	タンカー	999 GT クラス
8	タンカー	3,800 GT クラス
9	ケミカルタンカー	499 GT クラス
10	ケミカルタンカー	749 GT クラス
11	特殊タンカー	499 GT クラス
12	特殊タンカー	749 GT クラス
13	特殊タンカー	999 GT クラス
14	セメント船	749 GT クラス
15	セメント船	6,000GT クラス

### 2. RORO 船,コンテナ船,フェリー等

16	RORO 船	11,000GT クラス
17	PCC	3,000GT クラス
18	コンテナ船	1,500GT クラス
19	コンテナ船	749GT クラス
20	コンテナ船	1,000GT クラス
21	RORO 船	11,000GT クラス
22	RORO 船	16,000GT クラス
23	フェリー	500GT クラス
24	フェリー	19GT クラス
25	フェリー	2,500GT クラス
26	フェリー	3,000GT クラス
27	フェリー	150GT クラス
28	フェリー	130GT クラス
29	フェリー	130GT クラス
30	貨客船	50GT クラス

31	旅客船	120GT クラス
32	旅客船	200GT クラス
33	貨客船	460GT クラス

### (3) 調査方法

表 2-1 に示した船舶について、IMO で最終化段階にある基準案<sup>1),2)</sup>に基づき、設計資料等を調査し、基準計算に必要なデータを作成し、試計算を行った。

その際、「過大加速度」に関する第 1 段階基準計算及び全ての第 2 段階基準計算に関しては、海技研で開発した基準計算プログラム（第 2 世代非損傷時復原性基準 過大加速度第 1 段階基準及び第 2 段階基準計算プログラム）及び大阪大学梅田教授から提供を受けた基準計算プログラム（①追波中復原力喪失レベル 2 基準計算プログラム、②パラメトリック横揺れレベル 2 基準計算プログラム、③ブローチングレベル 2 基準計算プログラム、④デッドシップレベル 2 基準計算プログラム）を使用した。

基準計算に用いる日本近海の波浪データに関しては、海技研の所有する「日本近海の波と風データベース<sup>3)</sup>」から必要なデータを作成した（付録 2）。なお、本調査にあたって限定近海の海象データを用いたが、調査対象船の中には、沿海や限定沿海を航行区域とする船舶も含まれている。

## 2. 2 「運航制限」に関する調査

IMO で検討中の「運航制限」について概要等をまとめるとともに、2.1 節に示した試計算結果からその影響等について検討を加えた。

### 3. 調査結果（その1：基準適応調査）

#### 3. 1 「復原力喪失」、「パラメトリック横揺れ」、「ブローチング」第2段階基準

##### （1）日本近海の波浪データを用いた第2段階基準計算

平成27年度調査において北大西洋の波浪データを用いて「復原力喪失」、「パラメトリック横揺れ」、「ブローチング」に関する第2段階基準案の試計算を行った船舶に対して、日本近海の波浪データを用いて改めて基準計算を行って適合状況を調査した。

第2段階基準案の試計算を行った船舶と対象基準（危険モード）をまとめて表3-1に示す。No.17及びNo.21に関しては、ブローチングに関する第1段階基準案の基準値内に収まっていたため、第2段階基準の計算を行っていない。一方、No.31に関しては、ブローチングに関する第1段階基準の基準値外となったが、水槽試験を行っておらず第2段階基準の計算に必要なデータが入手できなかった。また、ブローチングに関する第2段階基準の計算を行った4隻についても、データの有効性を考慮して、水槽試験状態と比較して喫水等が十分近いと考えられる状態でのみしか計算を行っていない。

表3-1 第2段階基準案適合状況調査対象船

No.	船種	総トン数	復原力喪失	パラメトリック横揺れ	ブローチング
16	RORO船	11,000GTクラス	○	○	○
17	PCC	3,000GTクラス	○	○	
18	コンテナ船	1,500GTクラス	○	○	○
20	コンテナ船	1,000GTクラス	○	○	○
21	RORO船	11,000GTクラス	○	○	
26	フェリー	3,000GTクラス	○	○	○
31	旅客船	120GTクラス	○	○	

日本近海の波浪データを用いた第2段階基準案の計算結果を表3-2～表3-8に示す。表中には比較のため平成27年度調査で実施した北大西洋の波浪データを用いた試計算結果も併記した。基準値外の場合、赤く塗りつぶしている。

表3-2 No.16（RORO船：11,000GTクラス）

危険モード	波浪データ	要求値	状態			
			満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
復原力喪失	北大西洋	CR1<0.06	0.06000	0.07820	0.00000	0.00000
		CR2<0.06	0.05777	0.16091	0.00000	0.00000
	日本近海	CR1<0.06	0.00038	0.00130	0.00000	0.00000
		CR2<0.06	0.00038	0.00471	0.00000	0.00000
パラメトリック	北大西洋	C1<0.06	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		C2<0.06	0.00055	0.00018	0.00000	0.00000
	日本近海	C1<0.06	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		C2<0.06	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
ブローチング	北大西洋	C<0.005	0.00006			
	日本近海	C<0.005	0.00031			

表 3-3 No.17 (PCC : 3,000GT クラス)

危険モード	波浪データ	要求値	状態			
			満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
復原力喪失	北大西洋	CR1<0.06	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		CR2<0.06	0.00396	0.00000	0.00000	0.00000
	日本近海	CR1<0.06	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		CR2<0.06	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
パラメトリック	北大西洋	C1<0.06	0.44800	0.00000	0.00000	0.00000
		C2<0.06	0.08837	0.09023	0.00000	0.00000
	日本近海	C1<0.06	0.09502	0.00000	0.00000	0.00000
		C2<0.06	0.02494	0.01211	0.00000	0.00000

表 3-4 No.18 (コンテナ船 : 1,500GT クラス)

危険モード	波浪データ	要求値	状態			
			満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
復原力喪失	北大西洋	CR1<0.06	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		CR2<0.06	0.01556	0.03218	0.00000	0.00000
	日本近海	CR1<0.06	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		CR2<0.06	0.00006	0.00007	0.00000	0.00000
パラメトリック	北大西洋	C1<0.06	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		C2<0.06	0.00016	0.01167	0.00000	0.00000
	日本近海	C1<0.06	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		C2<0.06	0.00000	0.00017	0.00000	0.00000
ブローチング	北大西洋	C<0.005		0.06270	0.03194	
	日本近海	C<0.005		0.00590	0.00436	

表 3-5 No.20 (コンテナ船 : 1,000GT クラス)

危険モード	波浪データ	要求値	状態			
			満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
復原力喪失	北大西洋	CR1<0.06	0.00048	0.00149	0.00000	0.00000
		CR2<0.06	0.08010	0.17921	0.00000	0.00000
	日本近海	CR1<0.06	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		CR2<0.06	0.00094	0.00468	0.00000	0.00000
パラメトリック	北大西洋	C1<0.06	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		C2<0.06	0.00000	0.00047	0.00000	0.00000
	日本近海	C1<0.06	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		C2<0.06	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
ブローチング	北大西洋	C<0.005	0.06779			
	日本近海	C<0.005	0.00821			

表 3-6 No.21 (RORO 船 : 11,000GT クラス)

危険モード	波浪データ	要求値	状態			
			満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
復原力喪失	北大西洋	CR1<0.06	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		CR2<0.06	0.26101	0.29307	0.00000	0.00000
	日本近海	CR1<0.06	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		CR2<0.06	0.01281	0.02288	0.00000	0.00000
パラメトリック	北大西洋	C1<0.06	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		C2<0.06	0.00148	0.04181	0.00000	0.00000
	日本近海	C1<0.06	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		C2<0.06	0.00000	0.00308	0.00000	0.00000

表 3-7 No.26 (フェリー : 3000GT クラス)

危険モード	波浪データ	要求値	状態			
			満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
復原力喪失	北大西洋	CR1<0.06	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		CR2<0.06	0.00000	0.00182	0.00000	0.00000
	日本近海	CR1<0.06	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		CR2<0.06	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
パラメトリック	北大西洋	C1<0.06	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		C2<0.06	0.08011	0.01723	0.00000	0.00561
	日本近海	C1<0.06	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		C2<0.06	0.01206	0.00010	0.00000	0.00002
ブローチング	北大西洋	C<0.005	0.02938			
	日本近海	C<0.005	0.00135			

表 3-8 No.31 (旅客船 : 120GT クラス)

危険モード	波浪データ	要求値	状態			
			満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
復原力喪失	北大西洋	CR1<0.06	0.01500	0.01200	0.01500	0.01200
		CR2<0.06	0.23500	0.30500	0.23500	0.30500
	日本近海	CR1<0.06	0.00006	0.00006	0.00006	0.00006
		CR2<0.06	0.06983	0.06989	0.06983	0.06989
パラメトリック	北大西洋	C1<0.06	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		C2<0.06	0.00006	0.00016	0.00006	0.00016
	日本近海	C1<0.06	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		C2<0.06	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

なお、第 2 段階基準案では、例えば「復原力喪失」に関しては、①ある海象（有義波高と波周期の組み合わせ）で対象船舶がその長さと同じ波長の等価規則波中で準静的に釣り合った状態における復原力喪失角や操縦運動により生じる傾斜外力に対する横揺れ角を計算し指定した限界値と比較して危険性指標を求め、②その海象の相対的な発生頻度を重みとして乗じた上で、③その総和をもって「復原力喪失」モードで危険性を総合的に評価している。そのため、基準値外となった場合であっても、航行中に直ちに当該危険モードが発生して安全でないことを示しているのではなく、相対的に当該危険モードが発生する可能性（危険性）が高いことを示していると考えるのが適切である。

(2) 第2段階基準計算に用いる波浪データによる相違

第2段階基準案に対する適合状況の調査結果をまとめて表3-9に示す。

北大西洋の波浪データを用いた場合に第2段階基準案で基準値外となった船舶が、日本近海の波浪データを用いた場合に基準値内に収まる事例は、「復原力喪失」に関しては4隻中3隻、「パラメトリック横揺れ」に関しては2隻中1隻、「ブローチング」に関しては3隻中1隻ある。

なお、表3-2～表3-8に示すように、調査を行った全ての船舶でいずれの基準に対しても日本近海の波浪データを用いた計算値は、北大西洋の波浪データを用いた計算値より小さくなり（より基準値内に収まりやすい結果となり）、現在これらの船舶が安全に運航していることを考慮すると、内航船の復原性を適切に評価するためには、航行実態に応じた波浪データを用いることが必要であることが確認された。

表3-9 「復原力喪失」、「パラメトリック横揺れ」、「ブローチング」に関する第2段階基準案適合状況調査結果

No.	船種	総トン数	復原力損失		パラメトリック横揺れ		ブローチング	
			北大西洋	日本近海	北大西洋	日本近海	北大西洋	日本近海
16	RORO 船	11,000GT クラス	基準値外	基準値内	基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
17	PCC	3,000GT クラス	基準値内	基準値内	基準値外	基準値外		
18	コンテナ船	1,500GT クラス	基準値内	基準値内	基準値内	基準値内	基準値外	基準値外
20	コンテナ船	1,000GT クラス	基準値外	基準値内	基準値内	基準値内	基準値外	基準値外
21	RORO 船	11,000GT クラス	基準値外	基準値内	基準値内	基準値内		
26	フェリー	3,000GT クラス	基準値内	基準値内	基準値外	基準値内	基準値外	基準値内
31	旅客船	120GT クラス	基準値外	基準値外	基準値内	基準値内		

### 3. 2 「過大加速度」、「デッドシップ状態」第1段階基準

平成 27 年度調査において、第 2 世代非損傷時復原性基準の内「復原力喪失」、「パラメトリック横揺れ」、「ブローチング」に関する第 1 段階基準案に対する適合性を調査した計 33 隻（表 2-1）について、「過大加速度」、「デッドシップ状態」に関する第 1 段階基準案に対する適合性を調査した。

なお、「過大加速度」の基準値に関しては、①5.30m/s<sup>2</sup>、② 8.90 m/s<sup>2</sup>、③8.69m/s<sup>2</sup>が提案されているが、今回の調査では、その内、採用される可能性が最も高いとされている③8.69m/s<sup>2</sup>を判定基準とした。また、「デッドシップ状態」に関しては、①第 1 段階基準案が現行の船舶復原性規則の C 係数基準\*と同じ計算式であること（波・風に関連する係数は遠洋・近海船に対応する値）、②現行の船舶復原性規則では波・風に関連する係数は航行区域に応じて設定されており、第 2 世代非損傷時復原性基準の導入後も同様の取り扱い（航行区域の気象・海象に応じた係数）とするのが合理的と考えられるので、今回の調査では、改めて第 1 段階基準案の計算を行わず、復原性資料等に記載された C 係数の値を確認することにした。

#### (1) 内航貨物船

「内航貨物船」計 15 隻（表 3-10）について、「デッドシップ状態」、「過大加速度」に関する第 1 段階基準案に対する適合性を調査した結果を表 3-11～表 3-25 に示す。

表 3-10 第 1 段階基準案適合状況調査対象船（内航貨物船）

No.	船種	総トン数
1	貨物船	250GT クラス
2	貨物船	499 GT クラス
3	貨物船	749 GT クラス
4	タンカー	170 GT クラス
5	タンカー	499 GT クラス
6	タンカー	749 GT クラス
7	タンカー	999 GT クラス
8	タンカー	3,800 GT クラス
9	ケミカルタンカー	499 GT クラス
10	ケミカルタンカー	749 GT クラス
11	特殊タンカー	499 GT クラス
12	特殊タンカー	749 GT クラス
13	特殊タンカー	999 GT クラス
14	セメント船	749 GT クラス
15	セメント船	6,000GT クラス

\*: C 係数基準: 真横から定常風を受けながら不規則波中で同調横揺れをしている時に突風（風速 $\sqrt{1.5}$ 倍）を受けて風下側への傾斜した場合を想定した動的復原性に関する基準。想定した状況で、GZ 曲線と突風による傾斜偶力とにより囲まれる面積で示される傾斜方向のエネルギー（"a"）とそれを吸収する動復原力の大きさ（"b"）を比較し、その比（ $c=b/a$ ）が 1 以上（ $c \geq 1$ ）であれば、船は転覆しない（安全である）とする。

表 3-11 No.1 (貨物船 : 250GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
3.174	3.166	4.558	4.758
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
3.533	3.810	5.362	5.500
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-12 No.2 (貨物船 : 499GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
2.406	2.254	4.892	5.279
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
9.432	10.697	6.205	5.809
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-13 No.3 (貨物船 : 749GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
1.830	1.663	5.228	5.441
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
13.427	14.171	6.485	6.131
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-14 No.4 (タンカー : 170GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
3.756	3.760	4.172	4.297
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
3.640	3.770	4.400	4.660
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-15 No.5 (タンカー : 499GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
3.431	3.435	3.634	3.688
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
5.101	5.393	8.005	8.490
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-16 No.6 (タンカー : 749GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
3.979	3.995	5.262	5.605
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
2.64	3.27	4.48	4.22
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-17 No.7 (タンカー : 999GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
3.138	3.042	3.977	3.967
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
3.757	4.059	8.198	7.933
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-18 No.8 (タンカー : 3,800GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
2.700	2.615	4.461	4.583
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
6.99	6.44	8.59	9.42
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-19 No.9 (ケミカル tanker : 499GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
3.261	3.197	4.184	5.344
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
5.430	6.810	6.880	7.050
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-20 No.10 (ケミカル tanker : 749GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
3.485	3.369	4.332	4.469
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
4.361	4.759	4.531	4.377
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-21 No.11 (特殊 tanker : 499GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
3.796	3.781	4.629	4.908
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
2.700	2.970	5.710	5.160
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-22 No.12 (特殊 tanker : 749GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
3.355	3.263	4.359	4.380
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
3.740	3.960	5.520	5.280
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-23 No.13 (特殊 tanker : 999GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
2.845	2.769	3.839	3.788
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
4.140	4.276	4.867	4.938
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-24 No.14 (セメント船 : 749GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
3.778	3.611	6.614	6.636
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
6.194	6.899	3.989	3.755
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-25 No.15 (セメント船 : 6,000GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
3.624	3.564	5.776	5.727
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
5.500	5.670	5.180	5.060
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

(2) RORO 船,コンテナ船,フェリー等

RORO 船,コンテナ船,フェリー等 18 隻 (表 3-26) についての調査結果を表 3-27～表 3-44 に示す。なお、表 3-26 において太斜字で示した 2 隻については、現状の適用基準 (No.24 : 平水船及び No.29 : 海里未満 1.5 時間限定) が異なる (C 係数基準が適用されない) ため「デッドシップ状態」に関する基準に対する適合性の確認ができなかった。

表 3-26 第 1 段階基準案適合状況調査対象船 (RORO 船,コンテナ船,フェリー等)

No.	船種	総トン数 (GT)
16	RORO 船	11,000GT クラス
17	PCC	3,000GT クラス
18	コンテナ船	1,500GT クラス
19	コンテナ船	749GT クラス
20	コンテナ船	1,000GT クラス
21	RORO 船	11,000GT クラス
22	RORO 船	16,000GT クラス
23	フェリー	500GT クラス
24	フェリー	<b>19GT クラス</b>
25	フェリー	2,500GT クラス
26	フェリー	3,000GT クラス
27	フェリー	150GT クラス
28	フェリー	130GT クラス
29	フェリー	<b>130GT クラス</b>
30	貨客船	50GT クラス
31	旅客船	120GT クラス
32	旅客船	200GT クラス
33	貨客船	460GT クラス

表 3-27 No.16 (RORO 船 : 11,000GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $8.6 \text{ m/s}^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
<b>3.952</b>	<b>2.875</b>	<b>5.664</b>	<b>5.284</b>
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
<b>5.674</b>	<b>6.078</b>	<b>6.221</b>	<b>6.347</b>
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-28 No.17 (PCC : 3,000GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $8.6 \text{ m/s}^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
<b>4.340</b>	<b>4.124</b>	<b>6.196</b>	<b>5.917</b>
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
<b>5.630</b>	<b>6.070</b>	<b>3.940</b>	<b>4.370</b>
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-29 No.18 (コンテナ船 : 1,500GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
3.010	2.102	6.903	6.735
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
6.184	6.719	3.526	3.191
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-30 No.19 (コンテナ船 : 749GT)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
3.594	3.666	7.888	8.070
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
2.533	2.611	3.102	3.042
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-31 No.20 (コンテナ船 : 1,000GT)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
3.695	3.419	6.381	6.377
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
3.340	3.871	5.913	6.674
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-32 No.21 (RORO 船 : 11,000GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
2.489	2.178	5.931	5.653
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
1.56	1.26	5.56	5.63
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-33 No.22 (RORO 船 : 16,000GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
2.695	2.639	5.855	5.375
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
1.583	2.114	4.092	3.292
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-34 No.23 (フェリー : 500GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
6.830	6.683	7.293	7.328
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
4.040	4.040	3.970	4.060
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-35 No.24 (フェリー : 19GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
4.996	5.031	0.000	0.000
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
航行区域が平成区域のためC係数計算なし			

表 3-36 No.25 (フェリー : 2,500GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
7.471	7.057	8.327	7.731
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
8.39	8.60	9.70	10.58
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-37 No.26 (フェリー: 3,000GT)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
6.217	6.156	6.444	6.395
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
1.683	1.440	1.753	1.462
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-38 No.27 (フェリー: 150GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
6.836	5.744	8.088	7.276
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
5.200	5.500	5.260	4.990
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-39 No.28 (フェリー: 130GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
4.282	4.170	4.667	4.618
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
1.186	1.100	1.609	1.440
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-40 No.29 (フェリー: 130GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
6.985	7.272	7.501	7.714
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
5海里制限1.5HのためC係数計算なし			

表 3-41 No.30 (貨客船: 50GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
4.781	4.817	4.839	4.875
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
1.585	1.350	1.719	1.527
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-42 No.31 (旅客船: 120GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
4.785	4.785	4.785	4.785
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
2.532	2.086	2.532	2.086
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-43 No.32 (旅客船: 200GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
6.226	6.395	7.228	7.689
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
3.59	3.34	3.34	2.77
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-44 No.33 (貨客船: 460GT クラス)

過大加速度			
Level1判定 $R_{EA1} < 8.69m/s^2$			
満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
3.961	3.223	4.305	3.510
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
デッドシップ			
Level1判定 $C \geq 1.0$			
1.65	1.03	1.71	1.36
基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

表 3-11～表 3-25 及び表 3-27～表 3-44 に示したように、調査した全ての船舶で「デッドシップ状態」及び「過大加速度」に関する第 1 段階基準案の基準値内に収まっていた。

### 3. 3 「過大加速度」、「デッドシップ状態」第 2 段階基準

#### (1) 北大西洋及び日本近海の波浪データを用いた第 2 段階基準計算

3.2 節に示したように「過大加速度」、「デッドシップ状態」に関する第 1 段階基準案に対する試計算を行った計 33 隻の船舶は全て基準値内に収まっていたため、通常は第 2 段階基準の計算を行う必要はない。

ここでは、今後の検討における参考とするため、平成 27 年度調査において北大西洋の波浪データを用いて「復原力喪失」、「パラメトリック横揺れ」、「ブローチング」に関する第 2 段階基準案の適合性調査を行った船舶（表 3-1）計 7 隻に対して、北大西洋及び日本近海の波浪データを用いて「過大加速度」、「デッドシップ状態」に関する第 2 段階基準案に対する試計算を行った。

試計算結果を表 3-45～表 3-49 に示す。

表 3-45 No.17 (PCC : 3,000GT クラス)

危険モード	波浪データ	要求値	状態			
			満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
デッドシップ	北大西洋	C<0.06	0.00858	0.01047	0.01890	0.03077
	日本近海	C<0.06	0.00028	0.00034	0.00079	0.00144
過大加速度	北大西洋	C<0.0281	0.00006	0.00003	0.00097	0.00071
	日本近海	C<0.0281	0.00000	0.00000	0.00004	0.00003

表 3-46 No.18 (コンテナ船 : 1,500GT クラス)

危険モード	波浪データ	要求値	状態			
			満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
デッドシップ	北大西洋	C<0.06	0.00097	0.00113	0.00160	0.00146
	日本近海	C<0.06	0.00003	0.00004	0.00005	0.00004
過大加速度	北大西洋	C<0.0281	0.00014	0.00012	0.00084	0.00119
	日本近海	C<0.0281	0.00000	0.00000	0.00003	0.00005

表 3-47 No.20 (コンテナ船 : 1,000GT)

危険モード	波浪データ	要求値	状態			
			満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
デッドシップ	北大西洋	C<0.06	0.00462	0.00269	0.00275	0.00205
	日本近海	C<0.06	0.00011	0.00008	0.00008	0.00005
過大加速度	北大西洋	C<0.0281	0.00003	0.00000	0.00070	0.00046
	日本近海	C<0.0281	0.00000	0.00000	0.00003	0.00002

表 3-48 No.21 (RORO 船 : 11,000GT クラス)

危険モード	波浪データ	要求値	状態			
			満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
デッドシップ	北大西洋	C<0.06	0.00585	0.01360	0.00124	0.00128
	日本近海	C<0.06	0.00020	0.00042	0.00002	0.00002
過大加速度	北大西洋	C<0.0281	0.00000	0.00000	0.00003	0.00002
	日本近海	C<0.0281	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

表 3-49 No.26 (フェリー : 3,000GT)

危険モード	波浪データ	要求値	状態			
			満載出港	満載入港	空倉出港	空倉入港
デッドシップ	北大西洋	C<0.06	0.02554	0.01241	0.02423	0.02855
	日本近海	C<0.06	0.00096	0.00041	0.00098	0.00112
過大加速度	北大西洋	C<0.0281	0.00150	0.00021	0.00171	0.00143
	日本近海	C<0.0281	0.00006	0.00001	0.00007	0.00006

(2) 第 2 段階基準計算に用いる波浪データによる相違

表 3-45～表 3-49 に示したように、「過大加速度」、「デッドシップ状態」に関する第 2 段階基準案に関しては、北大西洋の波浪データを用いた場合でも日本近海の波浪データを用いた場合でも試計算を行った 7 隻全てが基準値内に収まっており、第 1 段階基準での判定結果との齟齬（疑似陰性）も生じていない。

また、図 3-1 及び図 3-2 に 1,000GT クラスのコンテナ船の計算結果（表 3-47）を分かりやすく図示したように、計算を行った全船舶で、「過大加速度」、「デッドシップ状態」に関する第 2 段階基準案に日本近海の波浪データを用いた場合の計算値は、北大西洋の波浪データを用いた場合の計算値より小さくなり（より基準に適合しやすい結果となり）、内航船の適切な復原性を評価するためには、航行実態に応じた波浪データを用いることが必要であることが確認された。

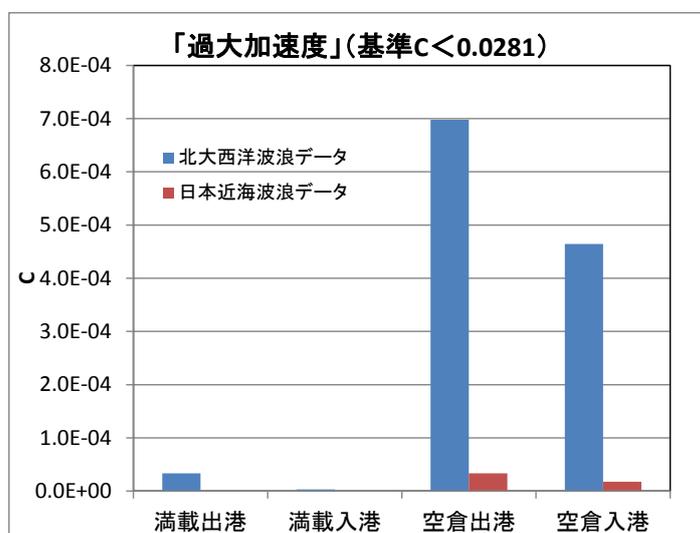


図 3-1 「過大加速度」に関する第 2 段階基準案試計算結果 (No.20 (コンテナ船 : 1,000GT))

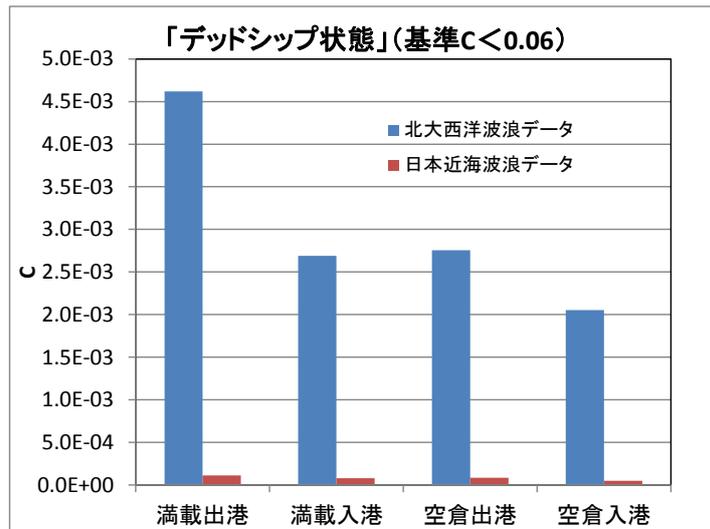


図 3-2 「デッドシップ状態」に関する第 2 段階基準案試算結果  
(No.20 (コンテナ船：1,000GT) )

### 3. 4 まとめ (その 1 : 基準適応調査)

#### (1) 第 1 段階基準適応調査

全ての第 1 段階基準案への適合性を調査した結果をまとめて表 3-50 に示す。

内航貨物船については小型タンカー (170GT クラス) で比較的船速が速いため「ブローチング」に関する基準に適合しなかった例があるが、その他の船舶に関しては、「復原力喪失」、「パラメトリック横揺れ」、「ブローチング」、「デッドシップ状態」、「過大加速度」に関する第 1 段階基準案の基準値内に収まっていた。

一方、RORO 船、PCC やコンテナ船に関しては、「復原力喪失」、「パラメトリック横揺れ」に関する第 1 段階基準案の基準値外となる事例が多く、また、フェリー、貨客船、旅客船に関しては、「復原力喪失」に関する第 1 段階基準案の基準値外となる事例が多く見られた。これらは比較的瘦せ型の船型をしており、波浪中で比較的大きな復原力変動が発生する傾向があると考えられることが、基準値外となった原因と推測される。なお、RORO 船等は全て「デッドシップ状態」、「過大加速度」に関する第 1 段階基準案の基準値内に収まっていた。

また、「ブローチング」を除く第 1 段階基準案では、北大西洋の波浪データを用いられていることや、後述するように日本近海の波浪データを用いた場合に第 2 段階基準の基準値内に収まる例があることから、第 1 段階基準においても内航船の適切な復原性を評価するためには、航行実態に応じた波浪データを用いることが必要であると考えられる。

#### (2) 第 2 段階基準適応調査

第 2 段階基準案への適合性を調査した結果をまとめて表 3-51 に示す。

北大西洋の波浪データを用いた場合、「パラメトリック横揺れ」に関しては、第 1 段階基準案で基準値外となった船舶が、第 2 段階基準で基準値内に収まる事例は 7 隻中 5 隻と多いが、「復原力喪失」に関しては、第 1 段階基準で基準値外になった船舶は、第 2 段階基準でも基準値外となる事例が多い (7 隻中 4 隻)。また、「ブローチング」に関しては、計算を実施した 4 隻の内、第 2 段階基準で基準値内となったのは 1 隻だけであった。

一方、北大西洋の波浪データを用いた場合に第2段階基準で基準値外となる船舶の内、「復原力喪失」に関しては4隻中3隻、「パラメトリック横揺れ」に関しては2隻中1隻、「ブローチング」に関しては3隻中1隻が日本近海の波浪データを用いた場合に適合となった。また、計算を行った全船舶で、第2段階基準の計算に日本近海の波浪データを用いた場合の計算値は、北大西洋の波浪データを用いた場合の計算値より小さくなり、より基準値内に収まりやすい結果となった。

これらの結果から、内航船の適切な復原性を評価するためには、航行実態に応じた波浪データを用いることが必要であることが改めて確認された。

なお、第2段階基準の計算では船型データが直接的に反映されることから、第2段階基準の基準値内に収めるためには、船型の変更が必要となる場合が考えられるが、その際は抵抗推進性能も含めた総合的な検討が必要となる。内航船においては船型が類似する船舶が比較的多いことから、抵抗推進性能に加え適切な波浪中の復原性能をも確保できる設計指針を策定することも、第2世代非損傷時復原性基準を円滑に内航船に適用するためには必要と考えられる。

表 3-50 第 1 段階基準案適合性調査結果まとめ（赤字：第 2 段階基準計算を実施した船舶）

1. 内航貨物船

No.	船種	総トン数	復原力損失			パラメトリック横揺れ			ブローチング		過大加速度		デッドシップ	
			適用※1	評価可否	可否	適用※2	評価可否	可否	適用※2	可否	適用※3	可否	適用※2	可否
1	貨物船	250GT クラス	○	可	基準値内	○	可	基準値内	○	基準値内	○	基準値内	○	基準値内
2	貨物船	499 GT クラス	○	※4	(基準値内)※4	○	可	(基準値内)※4	○	基準値内	○	基準値内	○	基準値内
3	貨物船	749 GT クラス	○	可	基準値内	○	可	基準値内	○	基準値内	○	基準値内	○	基準値内
4	タンカー	170 GT クラス	○	可	基準値内	○	可	基準値内	○	基準値外	○	基準値内	○	基準値内
5	タンカー	499 GT クラス	×	可	基準値内	○	可	基準値内	○	基準値内	○	基準値内	○	基準値内
6	タンカー	749 GT クラス	○	可	基準値内	○	可	基準値内	○	基準値内	○	基準値内	○	基準値内
7	タンカー	999 GT クラス	○	可	基準値内	○	可	基準値内	○	基準値内	○	基準値内	○	基準値内
8	タンカー	3,800 GT クラス	○	※4	(基準値内)※4	○	可	基準値内	○	基準値内	○	基準値内	○	基準値内
9	ケミカルタンカー	499 GT クラス	×	※4	(基準値内)※4	○	可	(基準値内)※7	○	基準値内	○	基準値内	○	基準値内
10	ケミカルタンカー	749 GT クラス	○	可	基準値内	○	可	基準値内	○	基準値内	○	基準値内	○	基準値内
11	特殊タンカー	499 GT クラス	○	可	基準値内	○	可	基準値内	○	基準値内	○	基準値内	○	基準値内
12	特殊タンカー	749 GT クラス	○	可	基準値内	○	可	基準値内	○	基準値内	○	基準値内	○	基準値内
13	特殊タンカー	999 GT クラス	○	※4	(基準値内)※4	○	可	(基準値内)※4	○	基準値内	○	基準値内	○	基準値内
14	セメント船	749 GT クラス	○	可	基準値内	○	可	基準値内	○	基準値内	○	基準値内	○	基準値内
15	セメント船	6,000GT クラス	×	※4	(基準値内)※4	○	可	(基準値内)※4	○	基準値内	○	基準値内	○	基準値内

## 2. RORO 船,コンテナ船,フェリー等

16	RORO 船	11,000GT クラス	○	※4	(基準値外)※4	○	※4	(基準値外)※4	○	基準値外	○	基準値内	○	基準値内
17	PCC	3,000GT クラス	○	可	基準値外	○	可	基準値外	○	基準値内	○	基準値内	○	基準値内
18	コンテナ船	1,500GT クラス	○	可	基準値外	○	可	基準値外	○	基準値外	○	基準値内	○	基準値内
19	コンテナ船	749GT クラス	○	可	基準値内	○	可	基準値内	○	基準値内	○	基準値内	○	基準値内
20	コンテナ船	1,000GT クラス	○	可	基準値内	○	可	基準値内	○	基準値外	○	基準値内	○	基準値内
21	RORO 船	11,000GT クラス	○	可	基準値外	○	可	基準値外	○	基準値内	○	基準値内	○	基準値内
22	RORO 船	16,000GT クラス	○	※4	※5	○	※4	(基準値外)※6	○	基準値外	○	基準値内	○	基準値内
23	フェリー	500GT クラス	○	可	基準値内	○	可	基準値内	○	基準値外	○	基準値内	○	基準値内
24	フェリー	19GT クラス	×	可	基準値内	×	可	基準値内	×	基準値外	○	基準値内	○	※8
25	フェリー	2,500GT クラス	○	※4	(基準値外)※4	○	※4	(基準値外)※4	○	基準値外	○	基準値内	○	基準値内
26	フェリー	3,000GT クラス	○	※4	(基準値外)※4	○	※4	(基準値外)※4	○	基準値外	○	基準値内	○	基準値内
27	フェリー	150GT クラス	○	可	基準値内	○	可	基準値内	○	基準値外	○	基準値内	○	基準値内
28	フェリー	130GT クラス	○	可	基準値内	○	可	基準値内	○	基準値外	○	基準値内	○	基準値内
29	フェリー	130GT クラス	○	可	基準値内	○	可	基準値内	○	基準値外	○	基準値内	○	※9
30	貨客船	50GT クラス	×	※4	(基準値外)※4	×	※4	(基準値内)※4	×	基準値外	○	基準値内	○	基準値内
31	旅客船	120GT クラス	○	※4	(基準値外)※4	○	※4	(基準値内)※4	○	基準値外	○	基準値内	○	基準値内
32	旅客船	200GT クラス	○	※4	(基準値外)※4	○	※4		○	基準値外	○	基準値内	○	基準値内
33	貨客船	460GT クラス	○	※4	(基準値外)※4	○	※4		○	基準値外	○	基準値内	○	基準値内

※1 「復原力喪失」に関する基準の適用は  $L \geq 24m$ 、 $Fn > 0.24$  の船舶

※2 「パラメトリック横揺れ」、「ブローチング」、「デッドシップ状態」に関する基準の適用は  $L \geq 24m$  の船舶

※3 「過大加速度」に関する基準は、現状では適用条件が[ ]付であったため、全船計算を行った。

※4 入手した hidroテーブルの喫水が範囲外であるものの、簡易評価可能と判断（近い喫水値による仮評価）

※5 入手した hidroテーブルの喫水が範囲外であり、評価不可能

※6  $C_m$  の値は中央横断面図から推定

※7 入手した hidroテーブルの喫水が範囲外であるものの、近い喫水値による仮評価

※8 航行区域が平水区域のため C 係数基準不適用

※9 5 海里未満 1.5 時間限定のため C 係数基準不適用

表 3-51 第 2 段階基準案適合性調査結果まとめ

No.	船種	総トン数	復原力損失		パラメトリック横揺れ		ブローチング		過大加速度		デッドシップ	
			北大西洋	日本近海	北大西洋	日本近海	北大西洋	日本近海	北大西洋	日本近海	北大西洋	日本近海
16	RORO 船	11,000GT クラス	基準値外	基準値内	基準値内	基準値内	基準値内	基準値内	基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
17	PCC	3,000GT クラス	基準値内	基準値内	基準値外	基準値外			基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
18	コンテナ船	1,500GT クラス	基準値内	基準値内	基準値内	基準値内	基準値外	基準値外	基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
20	コンテナ船	1,000GT クラス	基準値外	基準値内	基準値内	基準値内	基準値外	基準値外	基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
21	RORO 船	11,000GT クラス	基準値外	基準値内	基準値内	基準値内			基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
26	フェリー	3,000GT クラス	基準値内	基準値内	基準値外	基準値内	基準値外	基準値内	基準値内	基準値内	基準値内	基準値内
31	旅客船	120GT クラス	基準値外	基準値外	基準値内	基準値内			基準値内	基準値内	基準値内	基準値内

#### 4. 調査結果（その2：「運航制限」に関する調査）

前章では「ブローチング」、「復原力喪失」、「パラメトリック横揺れ」の第2段階基準については、内航船が実際に航行する日本近海の波浪データを用いた合否確認、今後最終化される予定の「デッドシップ状態」及び「過大加速度」の第1段階基準案の試算、並びに、第2段階基準案については、北大西洋の波浪データ及び日本近海の波浪データを用いた試算を行った。

試算の結果、調査対象の33隻のうち、日本近海の波浪データを用いた場合、第2段階基準案で基準値外であった船舶は「ブローチング」で7隻中2隻、「復原力損失」で7隻中1隻、「パラメトリック横揺れ」で4隻中1隻であった。

IMOでは、第2段階基準で基準値外となった場合、第3段階基準の計算、あるいは、当該船舶に「運航制限」等を課すことによって運航可能とすることが合意されている。

ここでは、今後最終化される予定の「運航制限」の内容及びその影響等について、IMOでの検討状況等を調査した結果をまとめた。

##### 4. 1 IMOにおける検討状況

###### (1) 背景

簡易基準である第1段階・第2段階基準で基準値外となった場合には、高度な数値シミュレーションや模型実験が要求される第3段階基準が求められるが、別の選択肢として、危険を避けるための運航制限を課すことで運航を可能とする枠組みが合意されている。また、第3段階基準（直接復原性評価）で基準値外となった場合でも、第3段階評価による船毎の計算結果をもとに、危険な条件を運航状態、操船努力により回避することで運航が可能となる。ここでは、現在検討されている運航制限の内容及び想定される影響について述べる。

###### (2) 運航制限の概要

運航制限は第2段階基準で基準値外となった場合、当該船舶の運航に制限を課すことで基準値外であっても運航を認めるものであり、当面は非強制的の勧告である。運航制限の要件は、第2段階基準または直接復原性評価（第3段階評価）の結果をもとに、運航海域、季節及び運航可能な最大の有義波高の制限に関連する環境条件を修正して作成することが合意されている。

第2段階基準または直接復原性評価の結果から、全ての復原性事故モードでの危険と判断された条件（船速、載荷状態、海象）では、運航禁止とすることが勧告される。

###### (3) SDC小委員会での審議

運航制限はSDC小委員会で議論が始まったばかりでその要件は未確定であるが、WGでSDC3までに合意されたことを以下に述べる（SDC 4/5 Report of the working group at SDC 3 (part 2)）。

- ・発生しやすい危険現象（モード）に関する情報を船上に置くことの有用性。
- ・運航制限は第2段階基準及び直接復原性評価に基づいて作成する。
- ・運航制限は、運航海域、季節及び運航可能な最大の有義波高の制限に関連する環境条件を修正して作成する。

###### (4) 日本での試算

橋本ら<sup>4)</sup>は対象船をコンテナ船としたパラメトリック横揺れに対して運航制限のパラメータを波高、波向き、速度、波周期の中のいくつかの組み合わせとした運航シミュレーションを実施し、SDC 4/INF.4/Add.2 ANNEX 17で結果を示している。このシミュレーションにより、有義波高の

みによる運航制限では、危険条件を満足に回避することができず、運航制限の要件を満たさないことが確認された。

## (5) 運用の影響

### ○運用への影響が想定される船

運航制限の適用が想定される船の特徴としては、一般に以下のとおり考えられており、前章の基準適応調査において第2段階基準で基準値外となった船についても、概ね以下の特徴が当てはまる。

#### ① 復原力喪失

平水中と比べて波の山において水線面積が大きく減少するような瘦型船  
(フェリー、コンテナ船)

#### ② パラメトリック横揺れ

トランサム型船尾や船首フレアーなどで波の山谷で水線面積が大きく変動する船種は波による復原力変動が顕著になる。  
(コンテナ船、自動車運搬船)

#### ③ 波乗り/ブローチング

船速が速く、波の速度に近い場合、追波航行時に波に捕捉される。  
(漁船、フェリー)

#### ④ デッドシップ

乾舷が小さく最大復原力角が小さい船種や低喫水時の背高船など。  
(コンテナ船、自動車運搬船)

#### ⑤ 過大加速度

大きなGMを持ち、横揺れ固有周期が短い船など。  
(コンテナ船)

### ○想定される影響

運航制限による運用への影響に関しては以下のことが考えられる。

- ・基準に適合しない状態であっても、航行中に直ちに当該危険モードが発生して安全でないことを示しているのではなく、相対的に当該危険モードが発生する可能性（危険性）が高いことを示しているだけで一律運航禁止となる可能性がある。
  - ・運航制限により遅延時間が発生する可能性が高い。
  - ・波高、波向きなどの海象情報の取得が必要となる。
- ただし、船舶が運航制限を適切に実行していることの確認手段がない。

## (6) 日本からの運航制限のガイドラインの提案

SDC4 で日本から提案している運航制限のガイドライン案（SDC 4/5/9 Proposed Updates of Draft Guidelines for Operational Limitations）の内容を以下に示す。

### ① 復原力喪失

- ・第2段階基準で基準値外の場合、適合する載荷状態にする。
- ・または、追波から横波の間で、復原性ブックレットに記載された危険な有義波高と平均波周期の組み合わせの海象下で航行する場合、最大運航フルード数を0.24にとどめる。危険な海象となるのは第2段階基準で計算される復原力喪失角と傾斜角が要求値（復原力喪失角

30deg.以上、傾斜角 15deg.(客船)、25deg. (その他) 以下) を満足できない海象 (有義波高と平均波周期の組み合わせ) である。

#### ② パラメトリック横揺れ

- ・第 2 段階基準で基準値外の場合、適合する載荷状態にする。
- ・または、復原性ブックレットに記載された危険な有義波高、平均波周期、船速の組み合わせの海象下での航行を回避する。危険な海象となるのは第 2 段階基準で計算される最大横揺れ角が要求値 (25deg.以下) を満足できない場合である。

#### ③ 波乗り/ブローチング

- ・第 2 段階基準で基準値外の場合、適合する載荷状態にする。
- ・または、追波から横波の間で、復原性ブックレットに記載された危険な有義波高と平均波周期の組み合わせの海象下で航行する場合、最大運航フルード数を 0.3 にとどめる。危険な海象となるのは第 2 段階基準で計算される評価値で基準値外となる場合である。

#### ④ デッドシップ

- ・デッドシップは危険な状況を回避できないので、第 2 段階基準で基準値外の場合は適合する載荷状態にする。

#### ⑤ 過大加速度

- ・第 2 段階基準で基準値外の場合、適合する載荷状態にする。
- ・または、復原性ブックレットに記載された危険な有義波高と平均波周期の組み合わせの横波中でのアンカリング、漂流、低速航行を控える。危険な海象となるのは第 2 段階基準で計算される横加速度が  $9.81\text{m/s}^2$  以上となる場合である。

### 4. 2 第 2 段階基準計算結果に基づく運航制限の試設定

SDC4 で日本から提案している、運航制限のガイドライン案に沿って第 2 段階基準計算結果に基づく運航制限を試設定し、その影響について検討した。

今回の検討では、日本近海の波浪データを用いて「復原力喪失」に関する第 2 段階基準案に不適合となった、120GT クラスの旅客船の満載出港状態を対象とした。

#### (1) 危険海象

「復原力喪失」に関する第 2 段階基準計算では、基準値外となった場合に運航に制限を課すことになる危険海象 (有義波高と波周期の組み合わせ) が出力される。120GT クラスの満載出港状態に対する計算で危険海象とされた有義波高と波周期の組合せを計算に用いた日本近海の波浪発現頻度分布表に示した (表 4-1)。赤色で塗りつぶしたのが危険海象の有義波高と波周期の組み合わせである。「復原力喪失」に関する第 2 段階基準計算では、船速等から決まる限界値以上の有効波粗度となる海象を危険海象としているため、波周期が長いほど危険海象となる有義波高が高くなる。

表 4-1 で危険海象とされた海象の発現頻度は 10 万分の 6,983 ( $6.983 \times 10^{-2}$ ) であり、この値が基準判定指数  $CR_2$  となっている (表 3-8)。基準に適合するためには  $CR_2 < 0.06$  である必要があることから、「復原力喪失」に関する第 2 段階基準では、対象船が「復原力喪失」に関して危険と判断される海象の発生頻度が、航行する海域において 6%未満となるような復原性能を求め

表 4-1 「復原力喪失」に関する危険海象 (No.31 (旅客船: 120GT クラス): 満載出港状態)

WAVE HEIGHT [m]	WAVE PERIOD [s]																	TOTAL		
	0-	1-	2-	3-	4-	5-	6-	7-	8-	9-	10-	11-	12-	13-	14-	15-	16-		17-	
15.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0
13.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.7
12.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	1.5
11.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.9	0.0	0.0	0.0	3.1
10.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	4.7	0.0	0.0	0.0	5.3
9.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.1	2.9	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	9.8
8.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.2	2.0	16.6	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	21.0
7.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.9	4.1	26.2	6.5	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	39.6
6.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.5	6.2	34.4	28.2	3.2	2.7	0.0	0.0	0.0	75.9
5.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	2.9	8.5	56.4	86.2	7.2	4.2	3.8	0.0	173.0
4.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	15.9	16.5	125.2	267.6	26.6	12.8	5.9	7.7	0.0	0.0	0.0	0.0	478.7
3.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	46.9	76.0	429.8	826.4	116.8	43.1	23.9	11.2	15.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1,590.2
2.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	89.4	659.4	2,210.3	2,740.4	484.7	228.1	109.4	51.7	26.0	30.2	0.0	0.0	0.0	0.0	6,629.8
1.75	0.0	0.0	0.0	0.5	301.9	2,829.3	8,913.0	7,921.1	2,416.9	1,395.5	714.6	243.2	101.6	27.4	37.2	0.0	0.0	0.0	0.0	24,902.3
0.75	0.0	0.0	11.6	2,422.8	8,285.3	12,496.3	10,426.9	6,137.6	3,487.2	3,000.5	1,281.1	186.9	71.9	19.5	15.1	0.0	0.0	0.0	0.0	47,842.6
0	4.4	29.7	2,741.8	6,186.9	2,685.4	2,757.2	2,046.1	993.3	407.1	225.7	109.6	21.2	8.8	3.1	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	18,225.4
TOTAL	4.4	29.7	2,753.4	8,610.2	11,273.0	18,172.7	22,092.6	17,357.9	9,501.9	6,067.0	2,781.4	756.5	335.6	126.9	136.6	0.0	0.0	0.0	0.0	100,000.0

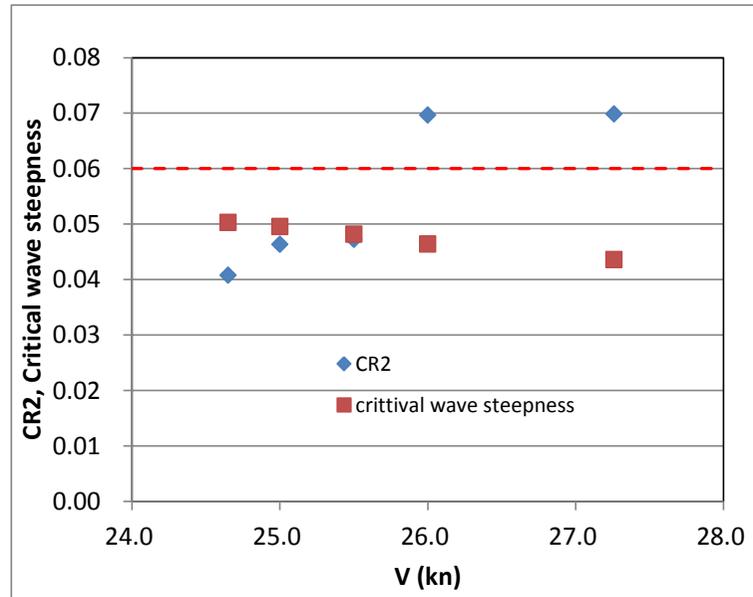


図 4-1 「復原力喪失」に関する第 2 段階基準計算値 (CR<sub>2</sub>) に及ぼす運航速力の影響 (No.31 (旅客船: 120GT クラス): 満載出港状態) (基準値 CR<sub>2</sub> < 0.06)

ているとも言える。

一方、表 4-1 から有義波高の超過頻度を求めると、有義波高 3.75m 以上の海象の発現頻度は 10 万分の 2,400、2.75m 以上の海象の発現頻度は 10 万分の 9,030 であり、120GT クラスの旅客船の満載出港状態で「復原力喪失」に関する危険海象の発生頻度は、有義波高 3.5m 以上の海象の発生頻度とほぼ等しくなる。

## (2) 最大運航速度

日本から提案している運航制限のガイドライン案では、危険海象を航行する場合は最大運航速度をフルード数で 0.24 未満とすることが求められている。検討を行った 120GT クラスの旅客船の場合、危険海象を航行する場合の最大運航速度は約 8.5kn となり、本船の通常航海速度約 23kn に比べて 1/3 程度の速度での運航が求められることになる。

一方、運航速度をパラメータとして第 2 段階基準計算を行うと、検討を行った 120GT クラスの旅客船の満載出港状態の場合、25.5kn 以下で基準に適合する ( $CR_2 < 0.06$ ) ことになる (図 4-1)。そのため、基準計算で使用される最強速度を 25.5kn 以下とすることで基準に適合するようになり、運航制限が課せられない運航が可能となると考えられる。

## 4. 3 まとめ (その 2 : 「運航制限」に関する調査)

「運航制限」は第 2 段階基準で基準値外となった場合、運航に制限を課すことで当該船舶の運航を認めるものであり、当面は非強制の勧告である。「運航制限」の要件は、第 2 段階基準または直接復原性評価 (第 3 段階評価) の結果をもとに、運航海域、季節及び運航可能な最大の有義波高の制限に関連する環境条件を修正して作成することが合意されており、適切な要件を定めることにより、危険と判断された条件を回避することが可能である。

ただし、3. 調査結果 (その 1 : 基準適応調査) で述べたように、第 2 段階基準は基準値外となった場合であっても、航行中に直ちに当該危険モードが発生して安全でないことを示しているのではなく、相対的に当該危険モードが発生する可能性 (危険性) が高いことを示すものである。また、国際基準の基準値は北大西洋の波浪データに基づいて策定されたものであり、日本近海の波浪の特徴を考慮したものではない。さらに、運航制限により各船舶に対して波高等の制限を課すことについては、実行上難しい課題があると考えられることから、内航船への基準取り入れを検討する際には、慎重に判断すべきと考えられる。

今後、IMO では、全ての危険モードの基準計算方法、基準値が再検討される予定であり、最終化された際には今回の調査結果を踏まえて、改めて内航船の基準適合性を整理する必要があると考えられる。

## 参考文献

- 1) IMO SDC 2/WP.4 : Report of the working group (Part 1), 2015.2.19
- 2) IMO SDC 3/WP.5 : Report of the working group (Part 1), 2016.1.21
- 3) 辻本 勝, 石田 茂資 : 日本近海の波と風の統計的性質, 日本船舶海洋工学会論文集, 第 2 号, pp.19-27, 2005.
- 4) 橋本博公, 谷口裕樹, 藤井迪生 : 第二世代非損傷時復原性基準の運航制限に関する検討, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 23 号, pp.467-472, 2016.

## 付録1 第2世代非損傷時復原性基準案

SDC 2/WP.4 の ANNEX1, 2, 3 及び SDC 3/WP.5 の para.8-10 並びに ANNEX3, 4, 5 に記載された「復原力喪失」、「パラメトリック横揺れ」、「波乗り/ブローチング」の各現象に対する第1段階基準案及び第2段階基準案を以下の通り整理した。

また、SDC 3/WP.5 の ANNEX 2, 7 に記載された「過大加速度」に関する第1段階及び第2段階基準案及び、SDC 3/WP.5 の ANNEX 1, 6 に記載された「デッドシップ状態」に関する第1段階及び第2段階基準案の概要と要求値を以下の通り整理した。

なお、以下において、「基準計算を行う状態」を「使用状態」と記載しており、また、数式に使用されている記号の定義を示した表では、一部の記号について重複して記載している。

### 1. 復原力喪失

#### (1) 適用

- ・長さ (L) 24m 以上で service speed (最強速力:  $V_s$ ) に対応するフルード数 ( $F_n$ : (1-1)式で評価) が 0.24 を超える全ての船舶  
(フルード数:  $F_n$ )

$$F_n = \frac{V_s}{\sqrt{gL}} \quad (1-1)$$

- ・(1-1)式で使用される記号の定義を表 1-1 に示す。

表 1-1 記号の定義 (その 1 : (1-1)式)

$V_s$	最強速力 (m/s) : 船舶復原性規則第十四条第二項で用いられる最強速力 $V_0$ と同じ
L	満載喫水線長さ : 満載喫水線規則第 4 条の船の長さ (m)
g	重力加速度 : 9.81 m/s <sup>2</sup>

#### (2) 第一段階基準

「復原力喪失」現象に対する第一段階基準 : (1-2)式

$$\overline{GM}_{min} > 0.05m \quad (1-2)$$

ここで、 $\overline{GM}_{min}$  は自由表面影響を考慮した波浪中のメタセンタ高さの最小値であり、以下に示す i) 又は ii) の方法で評価する。

##### i) 簡易評価

- ・(1-3)式が成り立つ場合、自由表面影響を考慮した波浪中のメタセンタ高さの最小値  $\overline{GM}_{min}$  は (1-4)式で評価して良い。

(簡易評価の条件)

$$\frac{V_D - V}{A_w(D - d)} \geq 1.0 \quad (1-3)$$

- ・(1-3)式で用いられている記号の定義を表 1-2 に示す

表 1-2 記号の定義 (その 2 : (1-3)式)

D	乾舷甲板の型深さ (m)
d	使用状態 (基準計算を行う状態) における船体中央喫水 (m)
$A_w$	喫水 d における水線面積 (m <sup>2</sup> )
$V_D$	喫水が乾舷甲板の型深さ D に一致する場合の排水容積 (m <sup>3</sup> )
V	使用状態における排水容積 (喫水 d における排水容積) (m <sup>3</sup> )

( $\overline{GM}_{min}$ の簡易評価式)

$$\overline{GM}_{min} = \overline{KB} + \frac{I_L}{V} - \overline{KG} \quad (1-4)$$

- ・(1-4)式で用いられている記号の定義を表 1-3 に示す。なお、水線面 2 次モーメント  $I_L$  を評価する喫水  $d_L$  は(1-5)式から求める。

表 1-3 記号の定義 (その 3 : (1-4)式)

$\overline{KB}$	使用状態における浮心高さ (喫水 d における浮心高さ) (m)
$I_L$	喫水 $d_L$ ((1-5)式) における水線面 2 次モーメント (m <sup>4</sup> )
V	使用状態における排水容積 (喫水 d における排水容積) (m <sup>3</sup> )
$\overline{KG}$	使用状態における重心高さ(m)

(喫水  $d_L$  の計算式)

$$d_L = d - \delta d_L$$

$$\delta d_L = \min\left(d - 0.25d_{full}, \frac{L \times S_w}{2}\right) \quad (1-5)$$

注)  $d - 0.25d_{full} < 0$  の場合は、 $d - 0.25d_{full} = 0$  とする。

- ・(1-5)式で用いられている記号の定義を表 1-4 に示す。

表 1-4 記号の定義 (その 4 : (1-4)式)

d	使用状態 (基準計算を行う状態) における船体中央喫水 (m)
$d_{full}$	満載出港状態における喫水 (m)
L	満載喫水線長さ : 満載喫水線規則第 4 条の船の長さ (m)
$S_w$	波峯度 : 0.0334

ii) 詳細評価

- ・(1-3)式が成り立たない場合 ((1-6)式の場合) には、表 1-5 に示す条件の規則波の中で船が静的な釣合状態となった姿勢におけるメタセンタ高さ  $\overline{GM}$  を計算し、その最小値を  $\overline{GM}_{min}$  とする。

(詳細評価の条件) (但し、(1-3)式が成り立つ場合でも  $\overline{GM}_{min}$  を詳細評価で求めて良い。)

$$\frac{V_D - V}{A_w(D - d)} < 1.0 \quad (1-6)$$

表 1-5 詳細評価を行う計算条件

波長：λ (m)	λ = L
波高：h (m)	h = L × S <sub>w</sub> , S <sub>w</sub> = 0.0334
波頂（波の山）の船体中央からの相対位置：ξ (m)	ξ = 0( <i>midship</i> ), 0.1L~0.5L( <i>forward</i> ), 0.1L~0.4L( <i>aft</i> )

(3) 第二段階基準

（「復原力喪失」現象に対する第二段階基準：(1-7)式）

$$\max(CR_1, CR_2) < 0.06 \quad (1-7)$$

・CR<sub>1</sub>, CR<sub>2</sub>は波浪中の静的な状態での復原力に関するパラメータについて、重みづけ平均をとった値であり、(1-8)式から求める。

(CR<sub>1</sub>, CR<sub>2</sub>の計算式：(1-8)式)

$$CR_1 = \sum_{i=1}^N W_i C1_i$$

$$CR_2 = \sum_{i=1}^N W_i C2_i$$

(1-8)

・(1-8)式で用いられている記号の定義を表 1-6 に示す。

表 1-6 記号の定義（その5：(1-8)式）

W <sub>i</sub>	表 1-7 で与えられる重みづけ係数
N	表 1-7 の値が 0 でない wave case 数

表 1-7 波浪発現頻度表

Number of occurrences: 100 000 / Tz (s) = average zero up-crossing wave period																
H <sub>i</sub> (m)	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5
0.5	1.3	133.7	865.6	1186.0	634.2	186.3	36.9	5.6	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.5	0.0	29.3	986.0	4976.0	7738.0	5569.7	2375.7	703.5	160.7	30.5	5.1	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0
2.5	0.0	2.2	197.5	2158.8	6230.0	7449.5	4860.4	2066.0	644.5	160.2	33.7	6.3	1.1	0.2	0.0	0.0
3.5	0.0	0.2	34.9	695.5	3226.5	5675.0	5099.1	2838.0	1114.1	337.7	84.3	18.2	3.5	0.6	0.1	0.0
4.5	0.0	0.0	6.0	196.1	1354.3	3288.5	3857.5	2685.5	1275.2	455.1	130.9	31.9	6.9	1.3	0.2	0.0
5.5	0.0	0.0	1.0	51.0	498.4	1602.9	2372.7	2008.3	1126.0	463.6	150.9	41.0	9.7	2.1	0.4	0.1
6.5	0.0	0.0	0.2	12.6	167.0	690.3	1257.9	1268.6	825.9	386.8	140.8	42.2	10.9	2.5	0.5	0.1
7.5	0.0	0.0	0.0	3.0	52.1	270.1	594.4	703.2	524.9	276.7	111.7	36.7	10.2	2.5	0.6	0.1
8.5	0.0	0.0	0.0	0.7	15.4	97.9	255.9	350.6	296.9	174.6	77.6	27.7	8.4	2.2	0.5	0.1
9.5	0.0	0.0	0.0	0.2	4.3	33.2	101.9	159.9	152.2	99.2	48.3	18.7	6.1	1.7	0.4	0.1
10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	10.7	37.9	67.5	71.7	51.5	27.3	11.4	4.0	1.2	0.3	0.1
11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	3.3	13.3	26.6	31.4	24.7	14.2	6.4	2.4	0.7	0.2	0.1
12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0	4.4	9.9	12.8	11.0	6.8	3.3	1.3	0.4	0.1	0.0
13.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.4	3.5	5.0	4.6	3.1	1.6	0.7	0.2	0.1	0.0
14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	1.2	1.8	1.8	1.3	0.7	0.3	0.1	0.0	0.0
15.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.6	0.7	0.5	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
16.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0

- なお、波浪中の復原モーメントは表 1-8 の条件で計算する。

表 1-8 計算条件

波長： $\lambda$ (m)	$\lambda = L$
波高： $h$ (m)	$h = 0.01 * iL, \quad i = 0,1, \dots, 10$
波頂（波の山）の船体中央からの相対位置： $\xi$ (m)	$\xi = 0(\text{midship}),$ $0.1L \sim 0.5L(\text{forward}), 0.1L \sim 0.4L(\text{aft})$

- (1-9),(1-10)式を計算するために必要な $\varphi_v$ ,  $\varphi_s$ はそれぞれ、積載状態において、表 1-7 の波中において船が静的な釣合状態となったと仮定して、計算される。
- また、 $H_s$  及び  $T_z$  に対応する $W_i$ は表 1-7 から得られる値であり、これらの値は(1-10)式中の $H_i$ に関連する値であり、また、 $\lambda_i = L$ とする。 $H_i$ の各値は  $h$  の各値を線形補間して求められ、各  $h$  の値は表 1-8 で与えられる。
- 基準値の計算に必要な 3%最大有効波高 $H_i$ については船の長さの範囲の海洋波の船側波形に基づいて計算される このため適切な波スペクトル形状が仮定されなければならない。
- (1-8)式中の $C1_i$ は復原力消失角 $\varphi_v$ に基づき計算される値であり、(1-9)式により計算される。

( $C1_i$ の計算式：(1-9)式)

$$C1_i = \begin{cases} 1 & \varphi_v < 30 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1-9)$$

- ここで、 $\varphi_v$ は表 1-8 の条件下において計算された復原力消失角の最小値であり、海水流入角は考慮しないものとする。
- (1-8)式中の $C2_i$ は式(1-10)で与えられる遠心力によるモーメントのレバー  $R_{PL3}$  での定常傾斜角 $\varphi_s$ に基づき計算される値であり、(1-11)式により計算される。

( $R_{PL3}$ の計算式：(1-10)式)

$$R_{PL3} = 8 \left( \frac{H_i}{\lambda} \right) dFn^2 \quad (1-10)$$

( $C2_i$ の計算式：(1-11)式)

$$C2_i = \begin{cases} 1 & \varphi_s < R_{PL2} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1-11)$$

$$R_{PL2} = \begin{cases} 15 \text{degrees} & \text{passenger ships} \\ 25 \text{degrees} & \text{other ships} \end{cases}$$

## 2. パラメトリック横揺れ

### (1) 適用

- ・長さ (L) 24m 以上の全ての船舶

### (2) 第一段階基準

(「パラメトリック横揺れ」現象に対する基準：(2-1)式)

$$\frac{\Delta \overline{GM}_l}{\overline{GM}_c} \leq R_{PR} \quad (2-1)$$

ここで、 $\overline{GM}_c$ は自由表面影響を考慮した使用状態（基準計算を行う状態）における平水中のメタセンタ高さである。また、 $\overline{GM}_l$ は波浪中のメタセンタ高さの変動振幅であり、以下に示す i) または ii) の方法で評価する。なお、(2-1)式の右辺 $R_{PR}$ は、(2-2)式に示す値をとる。

( $R_{PR}$ の基準値)

$$\begin{aligned} R_{PR} &= 0.187 : \text{ビルジ部が角型の船舶、それ以外の場合は以下のとおり} \\ &= 0.17 + 0.425 \left( \frac{100A_k}{L \times B} \right), \quad \text{if } C_m \geq 0.96 \\ &= 0.17 + (10.625 \times C_m - 9.775) \left( \frac{100A_k}{L \times B} \right), \quad \text{if } 0.94 < C_m < 0.96 \\ &= 0.17 + 0.2125 \left( \frac{100A_k}{L \times B} \right), \quad \text{if } C_m \leq 0.94 \end{aligned} \quad (2-2)$$

但し、 $\left( \frac{100A_k}{L \times B} \right) > 4$ の場合、 $\left( \frac{100A_k}{L \times B} \right) = 4$ とする。

- ・(2-2)式で使用される記号の定義を表 2-1 に示す。

表 2-1 記号の定義 (その 5 : (2-2)式)

$C_m$	満載状態における中央横断面係数
$A_k$	ビルジキールの全投影面積 (m <sup>2</sup> )
L	満載喫水線長さ：満載喫水線規則第 4 条の船の長さ (m)
B	船の型幅 (m)

### i) 簡易評価

- ・(1-3)式が成り立つ場合、波浪中のメタセンタ高さの変動振幅 $\Delta \overline{GM}_l$ は、(2-3)式で評価して良い。

( $\Delta \overline{GM}_l$ の簡易評価式)

$$\Delta \overline{GM}_l = \frac{I_H - I_L}{2V} \quad (2-3)$$

- ・(2-3)式で用いられている記号の定義を表 2-2 に示す。なお、水線面 2 次モーメント $I_H$ 、 $I_L$ を評価する喫水 $d_H$ 、 $d_L$ はそれぞれ(2-4)式、(2-5)式から求める。

表 2-2 記号の定義 (その 6 : (2-3)式)

$I_H$	喫水 $d_H$ ((2-4)式) における水線面 2 次モーメント (m <sup>4</sup> )
$I_L$	喫水 $d_L$ ((2-5)式) における水線面 2 次モーメント (m <sup>4</sup> )
$V$	使用状態における排水容積 (喫水 $d$ における排水容積) (m <sup>3</sup> )

(喫水 $d_H$ の計算式)

$$d_H = d + \delta d_H$$

$$\delta d_H = \min\left(D - d, \frac{L \times S_W}{2}\right) \quad (2-4)$$

・(2-4)式で用いられている記号の定義を表 2-3 に示す。

表 2-3 記号の定義 (その 7 : (2-4)式)

$d$	使用状態 (基準計算を行う状態) における船体中央喫水 (m)
$D$	乾舷甲板の型深さ (m)
$L$	満載喫水線長さ : 満載喫水線規則第 4 条の船の長さ (m)
$S_W$	波呺度 : 0.0167

(喫水 $d_L$ の計算式)

$$d_L = d - \delta d_L$$

$$\delta d_L = \min\left(d - 0.25d_{full}, \frac{L \times S_W}{2}\right) \quad (2-5)$$

注)  $d - 0.25d_{full} < 0$  の場合は、 $d - 0.25d_{full} = 0$  とする。

・(2-5)式で用いられている記号の定義を表 2-4 に示す。

表 2-4 記号の定義 (その 8 : (2-5)式)

$d$	使用状態 (基準計算を行う状態) における船体中央喫水 (m)
$d_{full}$	満載出港状態における喫水 (m)
$L$	満載喫水線長さ : 満載喫水線規則第 4 条の船の長さ (m)
$S_W$	波呺度 : 0.0167

ii) 詳細評価

・(1-3)式が成り立たない場合には、表 2-5 に示す条件の規則波の中で船が静的な釣合状態となった姿勢におけるメタセンタ高さ $\overline{GM}$ を計算し、その最大値 $\overline{GM}_{max}$ 及び最小値 $\overline{GM}_{min}$ を用いて(2-6)式から波浪中のメタセンタ高さの変動振幅 $\Delta\overline{GM}_l$ を評価する。

(注) (1-3)式が成り立つ場合でも $\Delta\overline{GM}_l$ を詳細評価で求めて良い。

$$\Delta\overline{GM}_l = \frac{\overline{GM}_{max} - \overline{GM}_{min}}{2} \quad (2-6)$$

表 2-5 詳細評価を行う計算条件

波長：λ (m)	λ = L
波高：h (m)	h = L × S <sub>W</sub> , S <sub>W</sub> = 0.0167
波頂（波の山）の船体中央からの相対位置：ξ (m)	ξ = 0, 0.1L~0.5L(forward), 0.1L~0.4L(aft)

(3) 第二段階基準

(「パラメトリック横揺れ」現象に対する第二段階基準：(2-7)式)

$$\max(C1, C2) < 0.06 \quad (2-7)$$

・ここで C1 は(2-8)式で与えられる。

(C1 の計算式)

$$C1 = \sum_{i=1}^N W_i C_i \quad (2-8)$$

・(2-7)式で用いられている記号の定義を表 2-6 に示す。

表 2-6 記号の定義 (その 9 : (2-7)式)

$W_i$	表 2-8 で与えられる重みづけ係数
$C_i$	$C_i = \begin{cases} 0 & \text{式(2-9)あるいは式(2-10)のいずれかの条件が真} \\ 1 & \text{それ以外} \end{cases}$
N	表 2-8 で与えられる wave case 数

・ $C_i$ を求めるのに必要な、GM の条件は式(2-9)の通り

(GM の条件)

$$GM(H_i, \lambda_i) > 0 \quad \text{and} \quad \frac{\Delta GM(H_i, \lambda_i)}{GM(H_i, \lambda_i)} < R_{PR} \quad (2-9)$$

・(2-9)式で用いられている記号の定義を表 2-7 に示す。

表 2-7 記号の定義 (その 10 : (2-9)式)

$R_{PR}$	式(2-2)で求められる値
$\Delta GM(H_i, \lambda_i)$	$H_i, \lambda_i$ で定まる波の中で船が静的な釣合状態となった姿勢におけるメタセンタ高さの最大値と最小値の差を 2 で割った値
$GM(H_i, \lambda_i)$	$H_i, \lambda_i$ で定まる波の中で船が静的な釣合状態となった姿勢におけるメタセンタ高さの平均値(m)
$H_i$	表 2-8 で与えられる波高(m)
$\lambda_i$	表 2-8 で与えられる波長(m)

- $C_i$ を求めるのに必要な、船速  $V_s$  の条件は式(2-9)の通り ( $V_s$  の条件)

$$V_{Pri} > V_s \quad (2-10)$$

- (2-10)式で用いられている記号の定義を表 2-7 に示す。

表 2-7 記号の定義 (その 1 1 : (2-10)式)

$V_s$	最強速力 (m/s) : 船舶復原性規則第十四条第二項で用いられる最強速力 $V_0$ と同じ
$V_{Pri}$	船速 : $V_{Pri} = \left  \frac{2\lambda}{T_\phi} \sqrt{\frac{GM(H_i, \lambda_i)}{GMc}} - \sqrt{g \frac{\lambda_i}{2\pi}} \right  \quad (\text{m/s})$ ただし $GM(H_i, \lambda_i) > 0$ とする。
$GMc$	自由表面影響を考慮した使用状態 (基準計算を行う状態) における平水中のメタセンタ高さ(m)
$\lambda_i$	表で与えられる波長(m)
$g$	重力加速度 : $9.81\text{m/s}^2$

表 2-8 Wave cases

Wave case number	Weight $W_i$	Wave length $\lambda_i$ (m)	Wave height $H_i$ (m)
1	0.000013	22.574	0.350
2	0.001654	37.316	0.495
3	0.020912	55.743	0.857
4	0.092799	77.857	1.295
5	0.199218	103.655	1.732
6	0.248788	133.139	2.205
7	0.208699	166.309	2.697
8	0.128984	203.164	3.176
9	0.062446	243.705	3.625
10	0.024790	287.931	4.040
11	0.008367	335.843	4.421
12	0.002473	387.440	4.769
13	0.000658	442.723	5.097
14	0.000158	501.691	5.370
15	0.000034	564.345	5.621
16	0.000007	630.684	5.950

- $\Delta GM(H_i, \lambda_i)$ 及び  $GM(H_i, \lambda_i)$ の計算にあたっては表 2-9 の条件で計算する

表 2-9 計算条件

波頂（波の山）の船体中央からの相対位置： $\xi$ (m)	$\xi = 0, 0.1\lambda_i \sim 0.5\lambda_i$ (forward), $0.1\lambda_i \sim 0.4\lambda_i$ (aft)
--------------------------------	---

- (2-7)式中の  $C2$  は(2-11)式で与えられる。

( $C2$  の計算式)

$$C2 = \left( \sum_{i=1}^3 C2_h(Fn_i) + C2_h(0) + \sum_{i=1}^3 C2_f(Fn_i) \right) / 7 \quad (2-11)$$

- (2-11)式で用いられている記号の定義を表 2-10 に示す。

表 2-10 記号の定義（その 1 2 : (2-11)式）

$C2_h(Fn_i)$	向波中を速度 $V_i$ で進む船において、(2-12)式で与えられる値
$C2_f(Fn_i)$	追波中を速度 $V_i$ で進む船において、(2-12)式で与えられる値
$Fn_i$	フルード数： $Fn_i = \frac{V_i}{\sqrt{Lg}}$
$V_i$	船速： $V_i = VsKi$ (m/s)
$g$	重力加速度： $9.81\text{m/s}^2$
$Ki$	表 2-11 から得られる値
$L$	満載喫水線長さ：満載喫水線規則第 4 条の船の長さ (m)

表 2-11 船速係数,  $Ki$

$i$	$K_i$
1	1.0
2	0.866
3	0.50

- $C2(Fn)$ は加重平均で与えられ、(2-12)式で与えられる。

( $C2_h$ 及び $C2_f$ の計算式)

$$\begin{aligned} C2_h(Fn) &= \sum_{i=1}^N W_i C_i && \text{(向波中)} \\ C2_f(Fn) &= \sum_{i=1}^N W_i C_i && \text{(追波中)} \end{aligned} \quad (2-12)$$

- (2-12)式で用いられている記号の定義を表 2-11 に示す。

表 2-11 記号の定義 (その 1 3 : (2-12)式)

$W_i$	表 2-13 で与えられる重み付け係数
$C_i$	最大横揺れ角が 25 degrees を超えているなら 1, それ以外なら 0
N	船速と針路の組合せに対し最大横揺れ角を評価する Wave case の総数

- ・向波中又は追波中における最大横揺れ角は各  $W_i$  の値を用いて計算される。各計算における復原力については、表 2-12 に示す条件の規則波の中で船が静的な釣合状態となったと仮定し計算する。

表 2-12 詳細評価を行う計算条件

波長 : $\lambda$ (m)	$\lambda = L$
波高 : $h_j$ (m)	$h_j = 0.01 * jL, \quad j = 0,1, \dots, 10$

- ・それぞれの  $h_j$  において最大横揺れ角が計算される。
- ・ $W_i$  は表から得られる。それぞれの項目は平均ゼロアップクロス波周期  $T_z$  及び有義波高  $H_s$  を示している。これらの値を用いて代表波高  $H_{r_i}$  が求められる。 $H_{r_i}$  に対する最大横揺れ角は  $h_j$  を用いて求められる最大横揺れ角を線形補間し求められる。

表 2-13 波浪発現頻度表

	Number of occurrences: 100 000 / $T_z$ (s) = average zero up-crossing wave period															
$H_s$ (m)	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5
0.5	1.3	133.7	865.6	1186.0	634.2	186.3	36.9	5.6	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.5	0.0	29.3	986.0	4976.0	7738.0	5569.7	2375.7	703.5	160.7	30.5	5.1	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0
2.5	0.0	2.2	197.5	2158.8	6230.0	7449.5	4860.4	2066.0	644.5	160.2	33.7	6.3	1.1	0.2	0.0	0.0
3.5	0.0	0.2	34.9	695.5	3226.5	5675.0	5099.1	2838.0	1114.1	337.7	84.3	18.2	3.5	0.6	0.1	0.0
4.5	0.0	0.0	6.0	196.1	1354.3	3288.5	3857.5	2685.5	1275.2	455.1	130.9	31.9	6.9	1.3	0.2	0.0
5.5	0.0	0.0	1.0	51.0	498.4	1602.9	2372.7	2008.3	1126.0	463.6	150.9	41.0	9.7	2.1	0.4	0.1
6.5	0.0	0.0	0.2	12.6	167.0	690.3	1257.9	1268.6	825.9	386.8	140.8	42.2	10.9	2.5	0.5	0.1
7.5	0.0	0.0	0.0	3.0	52.1	270.1	594.4	703.2	524.9	276.7	111.7	36.7	10.2	2.5	0.6	0.1
8.5	0.0	0.0	0.0	0.7	15.4	97.9	255.9	350.6	296.9	174.6	77.6	27.7	8.4	2.2	0.5	0.1
9.5	0.0	0.0	0.0	0.2	4.3	33.2	101.9	159.9	152.2	99.2	48.3	18.7	6.1	1.7	0.4	0.1
10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	10.7	37.9	67.5	71.7	51.5	27.3	11.4	4.0	1.2	0.3	0.1
11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	3.3	13.3	26.6	31.4	24.7	14.2	6.4	2.4	0.7	0.2	0.1
12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0	4.4	9.9	12.8	11.0	6.8	3.3	1.3	0.4	0.1	0.0
13.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.4	3.5	5.0	4.6	3.1	1.6	0.7	0.2	0.1	0.0
14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	1.2	1.8	1.8	1.3	0.7	0.3	0.1	0.0	0.0
15.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.6	0.7	0.5	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
16.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0

### 3. 波乗り/ブローチング

#### (1) 適用

- ・長さ (L) 24m 以上の全ての船舶

#### (2) 第一段階基準

〔波乗り/ブローチング〕現象に対する第一段階基準：(3-1)式又は(3-2)式

$$L > 200m \quad (3-1)$$

$$F_n \leq 0.3 \quad (3-2)$$

ここで、フルード数  $F_n$  は(1-1)式で評価する。

#### (3) 第二段階基準

〔波乗り/ブローチング〕現象に対する第二段階基準：(3-3)式

$$C < 0.005 \quad (3-3)$$

- ・ここで(3-3)式中の C は(3-4)式で与えられる。

(C の計算式：(3-4)式)

$$C = \sum_{HS} \sum_{Tz} (W2(Hs, Tz) \sum_{i=1}^{N_\lambda} \sum_{j=1}^{N_a} W_{ij} C2_{ij}) \quad (3-4)$$

- ・(3-4)式で用いられている記号の定義を表 3-1 に示す。

表 3-1 記号の定義 (その 1 4 : (3-3)式)

$W2(Hs, Tz)$	表 3-2 で与えられる短期海象に関する重み付け係数であり、平均ゼロアップクロス波周期 $Tz$ 及び有義波 $Hs$ により定まる。
$W_{ij}$	式(3-5)で与えられる統計的重み付け係数
$C2_{ij}$	式(3-6)で与えられる値

表 3-2 波浪発現頻度表

Number of occurrences: 100 000 / $Tz$ (s) = average zero up-crossing wave period																
$T_z$ (s) ▶	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5
$H_s$ (m) ▼																
0.5	1.3	133.7	865.6	1186.0	634.2	186.3	36.9	5.6	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.5	0.0	29.3	986.0	4976.0	7738.0	5569.7	2375.7	703.5	160.7	30.5	5.1	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0
2.5	0.0	2.2	197.5	2158.8	6230.0	7449.5	4860.4	2066.0	644.5	160.2	33.7	6.3	1.1	0.2	0.0	0.0
3.5	0.0	0.2	34.9	695.5	3226.5	5675.0	5099.1	2838.0	1114.1	337.7	84.3	18.2	3.5	0.6	0.1	0.0
4.5	0.0	0.0	6.0	196.1	1354.3	3288.5	3857.5	2685.5	1275.2	455.1	130.9	31.9	6.9	1.3	0.2	0.0
5.5	0.0	0.0	1.0	51.0	498.4	1602.9	2372.7	2008.3	1126.0	463.6	150.9	41.0	9.7	2.1	0.4	0.1
6.5	0.0	0.0	0.2	12.6	167.0	690.3	1257.9	1268.6	825.9	386.8	140.8	42.2	10.9	2.5	0.5	0.1
7.5	0.0	0.0	0.0	3.0	52.1	270.1	594.4	703.2	524.9	276.7	111.7	36.7	10.2	2.5	0.6	0.1
8.5	0.0	0.0	0.0	0.7	15.4	97.9	255.9	350.6	296.9	174.6	77.6	27.7	8.4	2.2	0.5	0.1
9.5	0.0	0.0	0.0	0.2	4.3	33.2	101.9	159.9	152.2	99.2	48.3	18.7	6.1	1.7	0.4	0.1
10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	10.7	37.9	67.5	71.7	51.5	27.3	11.4	4.0	1.2	0.3	0.1
11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	3.3	13.3	26.6	31.4	24.7	14.2	6.4	2.4	0.7	0.2	0.1
12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0	4.4	9.9	12.8	11.0	6.8	3.3	1.3	0.4	0.1	0.0
13.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.4	3.5	5.0	4.6	3.1	1.6	0.7	0.2	0.1	0.0
14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	1.2	1.8	1.8	1.3	0.7	0.3	0.1	0.0	0.0
15.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.6	0.7	0.5	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
16.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0

・(3-4)式中の $W_{ij}$ は(3-5)式で与えられる。

( $W_{ij}$ の計算式：(3-5)式)

$$W_{ij} = \frac{4\sqrt{g}}{\pi\nu} \frac{L^2 T_{01}}{(Hs)^3} S_j^2 r_i^{\frac{3}{2}} \left( \frac{\sqrt{1+\nu^2}}{1+\sqrt{1+\nu^2}} \right) \Delta r \Delta s \cdot \exp\left(-2 \left( \frac{L \cdot r_i \cdot s_j}{Hs} \right)^2 \left( 1 + \frac{1}{\nu^2} \left( 1 - \sqrt{\frac{g T_{01}^2}{2\pi r_i L}} \right)^2 \right)\right) \quad (3-5)$$

・(3-5)式で用いられている記号の定義を表 3-1 に示す。

表 3-3 記号の定義 (その 1 5 : (3-5)式)

$\nu$	$\nu = 0.4256$
$T_{01}$	$T_{01} = 1.086 Tz$
$s_j$	$s_j = \left( \frac{H}{\lambda} \right)_j$ : 波岨度を表し、0.03 から 0.15 の範囲の値を取る。 なお、 $\Delta s = 0.0012$
$r_i$	$r_i = \left( \frac{\lambda}{L} \right)_i$ : 波長と船長の比を表し、1.0 から 3.0 の範囲の値を取る。 なお、 $\Delta r = 0.025$

・(3-4)式中の $C2_{ij}$ は(3-6)式で与えられる。

( $C2_{ij}$ の計算式：(3-6)式)

$$C2_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if } Fn > Fn_{cr}(r_j, s_i) \\ 0 & \text{if } Fn \leq Fn_{cr}(r_j, s_i) \end{cases} \quad (3-6)$$

・ここで(3-6)式中の $Fn_{cr}$ は限界フルード数を表し、波乗り/ブローチングの閾値に対応する値である。 $Fn_{cr}$ は式(3-7)で計算される。

( $Fn_{cr}$ の計算式：(3-7)式)

$$Fn_{cr} = u_{cr} / \sqrt{Lg} \quad (3-7)$$

・(3-7)式で用いられている記号の定義を表 3-4 に示す。

表 3-4 記号の定義 (その 1 6 : (3-7)式)

$u_{cr}$	限界速度であり、限界プロペラ回転数 $n_{cr}$ を含む(3-8)式を解くことで求められる(m/s)
$g$	重力加速度：9.81m/s <sup>2</sup>

・限界速度 $u_{cr}$ は式(3-8)の解として与えられる。

( $u_{cr}$ の計算式：(3-8)式)

$$Te(u_{cr}; n_{cr}) - R(u_{cr}) = 0 \quad (3-8)$$

・(3-7)式で用いられている記号の定義を表 3-5 に示す。

表 3-5 記号の定義 (その 17 : (3-8)式)

$R(u_{cr})$	船速 $u_{cr}$ での抵抗
$Te(u_{cr}; n_{cr})$	式(3-9)から得られる平水中 $r$ でのプロペラ推力
$n_{cr}$	限界プロペラ回転数 (どのような初期条件でも波乗り/ブローチングが発生する。)

- ・抵抗  $R(u)$ は計算対象となる船舶に働く抵抗のデータを多項式で近似して推定される。近似式は、抵抗の値が適切な船速の範囲内で単調増加となっていることを確認しなければならない。
- ・プロペラが 1 つの場合、プロペラの推力 $Te(u_{cr}; n_{cr})$ は式(3-9)で推定される。

( $Te(u_{cr}; n_{cr})$ )の推定式 : (3-9)式)

$$Te(u; n) = (1 - t_p)\rho n^2 D_p^4 (\kappa_0 + \kappa_1 J + \kappa_2 J^2) \quad (\text{N}) \quad (3-9)$$

- ・(3-9)式で用いられている記号の定義を表 3-6 に示す。

表 3-6 記号の定義 (その 18 : (3-9)式)

$u$	平水中での船速(m/s)
$n$	プロペラ回転数(1/s)
$t_p$	推力減少率
$w_p$	有効伴流係数
$D_p$	プロペラ直径 (m)
$\kappa_0, \kappa_1, \kappa_2$	プロペラ推力係数の 2 次近似式の係数
$J$	プロペラ前進率 : $\frac{u(1-w_p)}{nD_p}$
$\rho$	海水の密度(1025kg/m <sup>3</sup> )

- ・プロペラが複数の場合は、式(3-9)により個々のプロペラの推力を推定し、その合計値を推力とする。
- ・プロペラではない推進器を用いる場合は、推進器の種別に応じて適切な推定法によって推力を測定する。
- ・前後力  $f$  は(3-10)式で与えられる。

( $f$  の計算式 : (3-10)式)

$$f = \rho f k \frac{H}{2} \sqrt{F_c^2 + F_s^2} \quad (\text{N}) \quad (3-10)$$

- ・(3-10)式で用いられている記号の定義を表 3-7 に示す。

表 3-7 記号の定義 (その 19 : (3-10)式)

$\rho$	海水の密度(1025kg/m <sup>3</sup> )
$g$	重力加速度 : 9.81m/s <sup>2</sup>
$k_i$	Wave number : $k_i = \frac{2\pi}{r_i L}$ (1/m)
$H_{ij}$	Wave height : $H_{ij} = s_j r_i L$ (m)
$s_j$	$s_j = \left(\frac{H}{\lambda}\right)_j$ : 波岨度を表し、0.03 から 0.15 の範囲の値を取る。 なお、 $\Delta s=0.0012$
$r_i$	$r_i = \left(\frac{\lambda}{L}\right)_i$ : 波長と船長の比を表し、1.0 から 3.0 の範囲の値 を取る。なお、 $\Delta r=0.025$
Fc	$Fc = \sum_{i=1}^N \Delta x_i S(x_i) \sin kx_i \exp(-0.5k \cdot d(x_i))$ (m <sup>3</sup> )
Fs	$Fs = \sum_{i=1}^N \Delta x_i S(x_i) \cos kx_i \exp(-0.5k \cdot d(x_i))$ (m <sup>3</sup> )
$d(x_i)$	平水中の $x_i$ での喫水(m)
$S(x_i)$	平水中の $x_i$ での没水部の断面積(m <sup>2</sup> )
N	断面の数

#### 4. 過大加速度

##### (1) 第一段階基準

・過大加速度に関する第1段階基準の計算式の概要は以下のとおりである。

$$\phi k_L (g + 4\pi^2 h / T_r^2) < R_{EA1} \quad (4-1)$$

・ここで、 $\phi$ は横揺れ角(rad)で以下のように求める。

$$\phi = 4.43rs / \delta_\phi^{0.5} \quad (4-2)$$

・ $r$ は有効波傾斜係数で、方形係数 $C_B$ 、平均喫水 $d_m$ (m)、横揺れ固有周期 $T_r$ (s)、重心高さ KG(m)を含む推定式で求める。 $s$ は波岨度で横揺れ周期の5次関数近似としている。 $\delta_\phi$ は横揺れの対数減衰率で中央断面積係数 $C_m$ 、ビルジキールの面積 $A_k$ を含む推定式で求める。 $k_L$ は横揺れと縦揺れ及び船首揺れの運動を考慮したA.P.から人が居る場所までの長手方向の距離で求まる係数、 $g$ は重力加速度(9.81m/s<sup>2</sup>)、 $h$ は横揺れ回転中心(船体重心と喫水の間)から船橋までの垂直高さ(m)である。

・ $R_{EA1}$ は横加速度の閾値で①5.3m/s<sup>2</sup>、②8.9m/s<sup>2</sup>、③8.69m/s<sup>2</sup>の3つの要求値が提案されているが、IMOのCGでの議論では③8.69m/s<sup>2</sup>に絞って検討が行われている。

##### (2) 第二段階基準

・次の(4-3)式で求める長期の発生確率Cが要求値 $R_{EA2}$ ①1.1×10<sup>-4</sup>、②0.001、③0.0281、④0.043を下回ればよい。

$$C = \sum_i W_i C_i / \sum_i W_i \quad (4-3)$$

・ここで、 $W_i$ は波浪発現頻度(表4-1参照)、超過確率 $C_i$ は以下の式で求める。

$$C_i = \exp\{-R_2^2 / (2\sigma_i^2)\} \quad (4-4)$$

・ここで横加速度の閾値 $R_2$ は9.81m/s<sup>2</sup>、 $\sigma_i^2$ は横加速度の分散値である。横加速度算出時には次式の1自由度の横揺れ運動モデルを扱う。

$$I_{xx}\ddot{\phi} + B_\phi\dot{\phi} + C_\phi\phi = M_{FK} \quad (4-5)$$

・ここで $I_{xx} = gmGMT_r^2 / (4\pi^2)$ 、 $B_\phi$ は横揺れ減衰係数、 $C_\phi = mgGM$ 、 $M_{FK}$ はフルードクリロフ力のモーメントである。ここで、 $m$ は船体質量(t)、 $GM$ は自由水影響のないメタセンタ高さ(m)である。

・ $\phi = \phi_a e^{i\omega_e t}$ 、 $M_{FK} = (a + bi)e^{i\omega_e t}$ とおくと、以下の式で示す $\phi_r$ 、 $\phi_i$ を用いると横揺れ振幅 $\phi_a$ は $\phi_a = \sqrt{\phi_r^2 + \phi_i^2}$ となる。

$$\phi_r = \frac{a(C_\phi - I_{xx}\omega_e^2) + bB_\phi\omega_e}{(C_\phi - I_{xx}\omega_e^2)^2 + (B_\phi\omega_e)^2} \quad (4-6)$$

$$\phi_r = \frac{b(C_\phi - I_{xx}\omega_e^2) - aB_\phi\omega_e}{(C_\phi - I_{xx}\omega_e^2)^2 + (B_\phi\omega_e)^2}$$

・ここで、 $\omega_e$ は出会い周波数、 $a$ 、 $b$ はそれぞれ  $a=0$ 、 $b = mgGMr(\omega^2/g)$  (波振幅 $\zeta_a$ あたり)とする。有効波傾斜係数  $r$ は第1段階基準と同等の式を断面ごとに算出する。

・横揺れ振幅 $\phi_a$ より波振幅あたりの横加速度 $a_y$ を以下の式で求める。

$$a_y(\omega) = k_L(g \sin \phi_a + h\omega^2\phi_a) \quad (4-7)$$

・ここで、 $\omega$ は波周波数、 $k_L$ と $h$ は第1段階基準と同様である。

・これより横加速度の分散値 $\sigma^2$ を次式で求める。

$$\sigma^2 = 0.75 \int_{\omega_1}^{\omega_2} |a_y(\omega)|^2 S_\zeta(\omega) d\omega \quad (4-8)$$

・ここで、 $S_\zeta$ はITTC波スペクトルであり、 $S_\zeta = 0.313(h_s\omega_p^2) \exp(-1.25\omega_p^4/\omega^4)/\omega^5$ である。 $h_s$ は有義波高、 $\omega_p$ はピーク周期である。

表 4-1 波浪発現頻度表

Number of occurrences: 100 000 / $T_z$ (s) = average zero up-crossing wave period / $H_s$ (m) = significant wave height																
$T_z$ (s) ▶	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5
$H_s$ (m) ▼																
0.5	1.3	133.7	865.6	1186.0	634.2	186.3	36.9	5.6	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.5	0.0	29.3	986.0	4976.0	7738.0	5569.7	2375.7	703.5	160.7	30.5	5.1	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0
2.5	0.0	2.2	197.5	2158.8	6230.0	7449.5	4860.4	2066.0	644.5	160.2	33.7	6.3	1.1	0.2	0.0	0.0
3.5	0.0	0.2	34.9	695.5	3226.5	5675.0	5099.1	2838.0	1114.1	337.7	84.3	18.2	3.5	0.6	0.1	0.0
4.5	0.0	0.0	6.0	196.1	1354.3	3288.5	3857.5	2685.5	1275.2	455.1	130.9	31.9	6.9	1.3	0.2	0.0
5.5	0.0	0.0	1.0	51.0	498.4	1602.9	2372.7	2008.3	1126.0	463.6	150.9	41.0	9.7	2.1	0.4	0.1
6.5	0.0	0.0	0.2	12.6	167.0	690.3	1257.9	1268.6	825.9	386.8	140.8	42.2	10.9	2.5	0.5	0.1
7.5	0.0	0.0	0.0	3.0	52.1	270.1	594.4	703.2	524.9	276.7	111.7	36.7	10.2	2.5	0.6	0.1
8.5	0.0	0.0	0.0	0.7	15.4	97.9	255.9	350.6	296.9	174.6	77.6	27.7	8.4	2.2	0.5	0.1
9.5	0.0	0.0	0.0	0.2	4.3	33.2	101.9	159.9	152.2	99.2	48.3	18.7	6.1	1.7	0.4	0.1
10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	10.7	37.9	67.5	71.7	51.5	27.3	11.4	4.0	1.2	0.3	0.1
11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	3.3	13.3	26.6	31.4	24.7	14.2	6.4	2.4	0.7	0.2	0.1
12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0	4.4	9.9	12.8	11.0	6.8	3.3	1.3	0.4	0.1	0.0
13.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.4	3.5	5.0	4.6	3.1	1.6	0.7	0.2	0.1	0.0
14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	1.2	1.8	1.8	1.3	0.7	0.3	0.1	0.0	0.0
15.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.6	0.7	0.5	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
16.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0

## 5. デッドシップ状態

### (1) 第一段階基準

・デッドシップ状態に関する第1段階基準の計算式は、現状のISコードPart A（強制要件）2.3節に規定された weather criterion（C係数基準）と同じである。但し、計算に用いる横揺れ固有周期に対応する波岨度の値が表5-1のとおり修正されている。

表 5-1 横揺れ固有周期と波岨度の関係

Rolling period, $T$ (s)	Wave steepness factor, $s$
$\leq 6$	0.100
7	0.098
8	0.093
12	0.065
14	0.053
16	0.044
18	0.038
20	0.032
22	0.028
24	0.025
26	0.023
28	0.021
$\geq 30$	0.020

### (2) 第二段階基準

（「デッドシップ状態」に対する第二段階基準：(5-1)式）

$$C \leq R_{DS0} \quad (5-1)$$

・(5-1)式で用いられている記号の定義を表5-1に示す。

表 5-1 記号の定義（その20：(5-1)式）

$R_{DS0}$	$R_{DS0} = [0.06] \text{ or } [0.04]$
$C$	長期のデッドシップ状態における危険性に関する指標であり、(5-2)式で与えられる。

・(5-1)式中の  $C$  は(5-2)式で与えられる。

( $C$  の計算式)

$$C = \sum_{i=1}^N W_i C_{S,i} \quad (5-2)$$

- ・(5-2)式で用いられている記号の定義を表 5-2 に示す。

表 5-2 記号の定義 (その 2 1 : (5-2)式)

$W_i$	表 5-6 で与えられる重み付け係数
$C_{S,i}$	短期環境条件におけるデッドシップ状態の危険性に関する指標であり、式(5-3)で与えられる。
N	短期環境条件の数

- ・短期環境条件におけるデッドシップ状態の危険性を示す復原力に関する指標 $C_{S,i}$ は暴露時間において一度でも船が指定した横傾斜角を超える可能性を評価した係数であり、式(5-3)で与えられる。

( $C_{S,i}$ の計算式)

$$\begin{aligned}
 C_{S,i} &= 1 \\
 &\text{以下のいずれかの条件を満たすとき。} \\
 &1. \text{ 風によるモーメントレバー } \bar{l}_{wind,tot} \text{ (5-4) 式で与えられる値) が GZ 曲線を超える。} \\
 &2. \text{ 安定傾斜角 } \phi_s \text{ が風下側危険角度 } \phi_{fail,+} \text{ より大きい。} \\
 &= 1 - \exp(-\lambda_{EA}, T_{exp}) \\
 &\text{それ以外}
 \end{aligned} \tag{5-3}$$

- ・なお、GZ 曲線は自由表面影響を考慮し計算するものとする。
- ・横揺れ角は風下側を正とし、風上側を負とする。
- ・(5-3)式で用いられている記号の定義を表 5-3 に示す。

表 5-3 記号の定義 (その 2 2 : (5-3)式)

$T_{exp}$	暴露時間 : 3600s
$\lambda_{EA}$	$\lambda_{EA} = \frac{1}{T_{z,C_s}} \left( \exp\left(-\frac{1}{2RI_{EA+}^2}\right) + \exp\left(-\frac{1}{2RI_{EA-}^2}\right) \right)$ (1/s)
$RI_{EA+}$	$RI_{EA+} = \frac{\sigma_{C_s}}{\Delta\phi_{res,EA+}}$
$RI_{EA-}$	$RI_{EA-} = \frac{\sigma_{C_s}}{\Delta\phi_{res,EA-}}$
$T_{z,C_s}$	風と波の影響下における相対横揺れ角における平均ゼロアップクロス周波数(s)
$\sigma_{C_s}$	相対横揺れ角の標準偏差(rad)
$\Delta\phi_{res,EA+}$	$\Delta\phi_{res,EA+} = \phi_{EA+} - \phi_s$ (rad)
$\Delta\phi_{res,EA-}$	$\Delta\phi_{res,EA-} = \phi_s - \phi_{EA-}$ (rad)
$\phi_{EA+}$	$\phi_{EA+} = \phi_s + \left(\frac{2A_{res,+}}{GM_{res}}\right)^{1/2}$ (rad)
$\phi_{EA-}$	$\phi_{EA-} = \phi_s + \left(\frac{2A_{res,-}}{GM_{res}}\right)^{1/2}$ (rad)

$\phi_s$	GZ 曲線と風によるモーメントレバー $\bar{l}_{wind,tot}$ との最初の交点で与えられる定常傾斜角(rad)
$A_{res,+}$	$\phi_s$ から $\phi_{fail,+}$ までの GZ 曲線と $\bar{l}_{wind,tot}$ で囲まれた面積(m・rad)
$A_{res,-}$	$\phi_{fail,-}$ から $\phi_s$ までの GZ 曲線と $\bar{l}_{wind,tot}$ で囲まれた面積(m・rad)
$GM_{res}$	$\phi_s$ における residual righting lever curve の傾斜として与えられる residual メタセンタ高さ(m)
$\phi_{fail,+}$	風下側危険角度： $\phi_{fail,+} = \min(\phi_{vw,+}, \phi_{crit,+})$ (rad)
$\phi_{fail,-}$	風上側危険角度： $\phi_{fail,-} = \min(\phi_{vw,-}, \phi_{crit,-})$ (rad)
$\phi_{vw,+}$	風下側における GZ 曲線と $\bar{l}_{wind,tot}$ との二度目の交点で与えられる角度
$\phi_{vw,-}$	風上側における GZ 曲線と $\bar{l}_{wind,tot}$ との二度目の交点で与えられる角度
$\phi_{crit,+}$	風下側の限界角度： $\phi_{crit,+} = \min(\phi_{f,+}, 50deg)$ (rad)
$\phi_{crit,-}$	風上側の限界角度： $\phi_{crit,-} = \min(\phi_{f,-}, -50deg)$ (rad)
$\phi_{f,+}, \phi_{f,-}$	風下、風上における海水流入角 (rad) ※現状の IS コード Part A (強制要件) の 2.3.1.4 に規定

- ・風によるモーメントレバー  $\bar{l}_{wind,tot}$ は(5-4)式で与えられる。  
( $\bar{l}_{wind,tot}$ の計算式)

$$\bar{l}_{wind,tot} = \frac{\bar{M}_{wind,tot}}{W} \quad (5-4)$$

- ・(5-4)式で用いられている記号の定義を表 5-3 に示す。

表 5-4 記号の定義 (その 2 3 : (5-4)式)

$\bar{M}_{wind,tot}$	$\bar{M}_{wind,tot} = \frac{1}{2} \rho_{air} U_w^2 C_m A_L Z$ (N・m)
$W$	船の排水量 (N)
$\rho_{air}$	空気密度：1.222 kg/m <sup>3</sup>
$U_w$	空気速度： $U_w = \left(\frac{H_s}{0.06717}\right)^{2/3}$ (m/s)
$C_m$	風の傾斜モーメント係数：Cm=1.22
$A_L$	風圧面積 (m <sup>2</sup> )
$Z$	面積中心から回転中心までの距離
$H_s$	短期環境条件における有義波高(m)

- ・ $C_{s,i}$ の計算に必要な、相対横揺れ角における平均ゼロアップクロス周波数 $T_{z,c_s}$ 及び相対横揺れ角の標準偏差 $\sigma_{c_s}$ は式(5-5)で与えられる。  
( $T_{z,c_s}$ 及び $\sigma_{c_s}$ の計算式)

$$\sigma_{c_s} = (m_0)^{1/2} \quad (5-5)$$

$$T_{z,c_s} = 2\pi \left( \frac{m_0}{m_2} \right)^{1/2}$$

・(5-5)式で用いられている記号の定義を表 5-5 に示す。

表 5-5 記号の定義 (その 2 4 : (5-5)式)

$m_0$	スペクトル $S(\omega)$ の下部の面積 (rad <sup>2</sup> )
$m_2$	関数 $\omega \cdot S(\omega)$ の下部の面積 (rad <sup>4</sup> /s <sup>2</sup> )
$\omega$	一般角周波数 (rad/s)
$S(\omega)$	横揺れのスペクトル : $S(\omega) = H_{rel}^2(\omega) \cdot S_{\alpha\alpha,c}(\omega) + H^2(\omega) \cdot \frac{S_{\delta M_{wind,tot}}(\omega)}{(W \cdot GM)^2} \quad (\text{rad}^2 / (\text{rad}/\text{s}))$ $H_{rel}^2(\omega) = \frac{\omega_0^4 + (2\mu_e \omega)^2}{(\omega_{0,e}^2(\Phi_s) - \omega^2)^2 + (2\mu_e \omega)^2}$ $H^2(\omega) = \frac{\omega_0^4}{(\omega_{0,e}^2(\Phi_s) - \omega^2)^2 + (2\mu_e \omega)^2}$
$S_{\alpha\alpha,c}(\omega)$	波傾斜スペクトル : $S_{\alpha\alpha,c}(\omega) = \frac{\omega^4}{g^2} S_{zz}(\omega) \quad (\text{rad}^2(\text{rad}/\text{s}))$
$g$	重力加速度 : 9.81m/s <sup>2</sup>
$S_{zz}(\omega)$	波スペクトル : $S_{zz}(\omega) = \frac{4\pi^3 H S^2}{T Z^4} \omega^{-5} \cdot \exp\left(-\frac{16\pi^3}{T Z^4} \omega^{-4}\right) \quad (\text{m}^2 / (\text{rad}/\text{s}))$
$S_{\delta M_{wind,tot}}(\omega)$	突風による横傾斜モーメントスペクトル : $S_{\delta M_{wind,tot}}(\omega) = (\rho_{air} U_w C_m A_L Z)^2 \cdot \chi^2(\omega) \cdot S v(\omega) \quad ((N \cdot m)^2 / (\text{rad}/\text{s}))$
$\chi(\omega)$	空力アドミッタンス : $\chi(\omega) = 1.0$
$S v(\omega)$	突風のスペクトル : $S v(\omega) = \frac{4K U_w^2}{\omega} \frac{X_D^2}{(1 + X_D)^{4/3}} \quad ((\text{m}/\text{s})^2 / (\text{rad}/\text{s}))$ $K = 0.003, X_D = 600\omega / (\pi \cdot U_w)$
$W$	船の排水量 (N)
$GM$	自由表面影響を考慮したメタセンタ高さ(m)
$\mu_e$	横揺れ減衰係数
$\omega_{0,e}(\Phi_s)$	$\omega_{0,e}(\Phi_s) = \omega_0 \left( \frac{GM_{res}(\Phi_s)}{GM} \right)^{1/2} \quad (\text{rad}/\text{s})$
$\omega_0$	直立状態の横揺れ固有周期(rad/s) :

	$\omega_0 = \frac{2\pi}{T_\phi}$
$r(\omega)$	波傾斜
$H_s$	短期の環境条件 における有義波高(m)
$T_z$	短期の環境条件におけるゼロアップクロス周波数 (1/s)

表 5-6 波浪発現頻度表

Number of occurrences: 100 000 / $T_z$ (s) = average zero up-crossing wave period / $H_s$ (m) = significant wave height																
$T_z$ (s) ▶	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5
$H_s$ (m) ▼																
0.5	1.3	133.7	865.6	1186.0	634.2	186.3	36.9	5.6	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.5	0.0	29.3	986.0	4976.0	7738.0	5569.7	2375.7	703.5	160.7	30.5	5.1	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0
2.5	0.0	2.2	197.5	2158.8	6230.0	7449.5	4860.4	2066.0	644.5	160.2	33.7	6.3	1.1	0.2	0.0	0.0
3.5	0.0	0.2	34.9	695.5	3226.5	5675.0	5099.1	2838.0	1114.1	337.7	84.3	18.2	3.5	0.6	0.1	0.0
4.5	0.0	0.0	6.0	196.1	1354.3	3288.5	3857.5	2685.5	1275.2	455.1	130.9	31.9	6.9	1.3	0.2	0.0
5.5	0.0	0.0	1.0	51.0	498.4	1602.9	2372.7	2008.3	1126.0	463.6	150.9	41.0	9.7	2.1	0.4	0.1
6.5	0.0	0.0	0.2	12.6	167.0	690.3	1257.9	1268.6	825.9	386.8	140.8	42.2	10.9	2.5	0.5	0.1
7.5	0.0	0.0	0.0	3.0	52.1	270.1	594.4	703.2	524.9	276.7	111.7	36.7	10.2	2.5	0.6	0.1
8.5	0.0	0.0	0.0	0.7	15.4	97.9	255.9	350.6	296.9	174.6	77.6	27.7	8.4	2.2	0.5	0.1
9.5	0.0	0.0	0.0	0.2	4.3	33.2	101.9	159.9	152.2	99.2	48.3	18.7	6.1	1.7	0.4	0.1
10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	10.7	37.9	67.5	71.7	51.5	27.3	11.4	4.0	1.2	0.3	0.1
11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	3.3	13.3	26.6	31.4	24.7	14.2	6.4	2.4	0.7	0.2	0.1
12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0	4.4	9.9	12.8	11.0	6.8	3.3	1.3	0.4	0.1	0.0
13.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.4	3.5	5.0	4.6	3.1	1.6	0.7	0.2	0.1	0.0
14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	1.2	1.8	1.8	1.3	0.7	0.3	0.1	0.0	0.0
15.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.6	0.7	0.5	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
16.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0

## 付録2 基準計算で用いる日本近海の波浪データの作成

### 1. 第2世代非損傷時復原性基準計算で使用される波浪データ

第2世代非損傷時復原性基準計算で使用される波浪データ（表 A1）は、「デッドシップ状態」及び「過大加速度」に関する第1段階基準を除き、IACS Rec.34 : Standard Wave Data (Global Wave Statistics (GWS) : Hogben et al.を基に、波周期を修正 (Bitner-Gregersen et al.: ISOPE 1995) したものであり、北大西洋波浪発現頻度分布表（ゼロクロス周期 (Tz) - 有義波高 (Hs)）として与えられている。

表 A1 第2世代非損傷時復原性基準計算で使用される波浪データ

	危険モード	Level 1	Level 2	文書番号
①	復原力喪失	波岨度 sw=0.0334	波浪(Hs-Tz)発現頻度分布表 Table 2.10.3.2	SDC 2/WP.4 Annex 1
②	パラメトリック横揺れ	波岨度 sw=0.0167	上記+Wave cases(λ i-Hi表) : Table2.11.3.2.3	SDC 2/WP.4 Annex 2
③	ブローチング		波浪(Hs-Tz)発現頻度分布表 Table 2.12.3.3.2	SDC 2/WP.4 Annex 3
④	デッドシップ状態	Tr-sw対応表 Table 2.13.2.1	波浪(Hs-Tz)発現頻度分布表 Table 3.1(E.N.)	SDC 3/WP.5 Annex 1, 6
⑤	過大加速度	E.N. Table XXX (案では記載されていない)	波浪(Hs-Tz)発現頻度分布表 Table 2(E.N.)	SDC 3/WP.5 Annex 2, 7

### 2. 第2世代非損傷時復原性基準で使用される波浪データの設定手順

第2世代非損傷時復原性基準で使用される波浪データの設定手順は、SDC 3/WP.5 Annex4 Appendix 1 Method for determining wave cases に規定されている。以下その概略を示す。なお、式番号は IMO 文書に記載された番号である。

#### (1) 波浪発現頻度分布表 (Ti-H1/3,j) の選定

$$P_{ij}(T_i, H_{1/3,j})$$

#### (2) "reference environmental conditions" の設定

"reference significant wave height" の算定

$$E\{H_{1/3}|T_i\} = \frac{1}{W_i} \sum_{j=1}^M P_{ij} \cdot H_{1/3,j} \quad W_i = \sum_{j=1}^M P_{ij} \quad (\text{A.6})$$

"reference environmental conditions" の設定

$$\{T_{ref,i}, H_{1/3,ref,i} = H_{1/3,ref}(T_{ref,i})\} \quad i = 1, \dots, N$$

$$W_i = Pr\{T_{ref,i}, H_{1/3,ref,i}\} \quad T_{ref} : \text{波スペクトルの平均周期 } T_{mean}$$

$$T_{mean} = 1.0864 \cdot T_z$$

$$T_{mean} = 0.90 \cdot T_{1/3}$$

### (3) "wave cases"の設定

(「パラメトリック横揺れ」に関する第2段階基準の第1要件の計算で使用))

Wave length: 
$$\lambda_i = \frac{g \cdot T_{ref,i}^2}{2\pi} = \frac{g \cdot T_{mean,i}^2}{2\pi}$$

Wave height: 
$$H_i = k_{PR} \cdot H_{1/3,ref,i} \quad (A.1), (A.2)$$

$$H_i = k_{PL} \cdot H_{1/3,ref,i}$$

Weighting factor: 
$$W_i$$

$k_{PR} = 0.70$  : パラメトリック横揺れ  $k_{PL} = 1.40$  : 復原力喪失

### (4) "wave steepness parameter"の設定

(「パラメトリック横揺れ」、「復原力喪失」に関する第1段階基準の計算で使用)

$$s_w = \max\left(k_{PR} \cdot \frac{H_{1/3,ref,i}}{\lambda_i}\right) \quad (A.9) : \text{「パラメトリック横揺れ」}$$

$$s_w = \max\left(k_{PL} \cdot \frac{H_{1/3,ref,i}}{\lambda_i}\right) \quad (A.10) : \text{「復原力喪失」}$$

## 3. 日本近海の波と風のデータベースを用いた波浪データの設定

当所が所有する「日本近海の波と風データベース」から基準計算で用いる日本近海の波浪データを設定した。以下、設定手順を説明した2. に対応する結果を示す。

### (1) 限定近海貨物船の航行可能な区域 (図 A1)

- 波浪発現頻度分布表 ( $H_{1/3}$ - $T_{1/3}$ ) : 表 A2-(1)
- wave cases : 表 A3-(1)
- wave steepness parameter : 表 A4

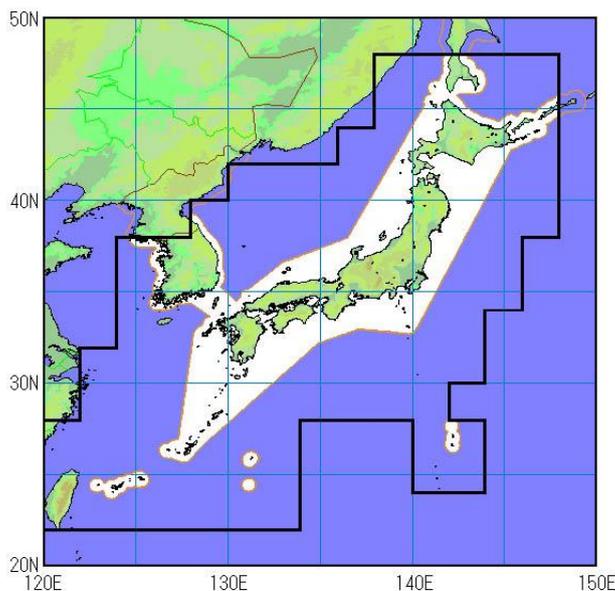


図 A1 限定近海貨物船の航行可能な区域 (白抜き)

表 A2-(1) 波浪発現頻度分布表 ( $H_{1/3}$ - $T_{1/3}$ ) : 限定近海貨物船の航行可能な区域

WAVE HEIGHT [m]	WAVE PERIOD [s]															TOTAL
	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	
	0-	1-	2-	3-	4-	5-	6-	7-	8-	9-	10-	11-	12-	13-	14-	
14.75-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0
14.25-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3
13.75-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4
13.25-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.6
12.75-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.9
12.25-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	1.4
11.75-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.6	1.7
11.25-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	2.1	2.4
10.75-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	2.6	3.0
10.25-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.2	3.3	4.0
9.75-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.7	2.7	2.3	5.8
9.25-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	6.9	0.5	8.6
8.75-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	1.2	9.8	0.6	12.5
8.25-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	1.7	9.0	5.2	0.7	16.9
7.75-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.7	2.4	17.2	1.3	0.9	22.6
7.25-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	1.9	4.2	22.9	1.6	1.2	32.0
6.75-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.4	4.2	30.2	5.3	1.6	1.5	43.9
6.25-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	1.4	1.7	7.4	50.5	3.4	1.8	1.8	68.6
5.75-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	1.5	6.8	49.1	35.7	3.8	2.3	2.1	104.4
5.25-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	2.8	17.4	127.6	12.8	5.3	2.5	3.4	177.1
4.75-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	10.7	13.7	107.7	139.9	13.9	7.5	3.4	4.3	301.6
4.25-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	7.9	19.7	54.1	379.4	52.9	16.9	10.9	4.2	5.8	552.3
3.75-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	39.0	56.3	375.6	447.1	63.9	26.2	13.0	6.9	9.5	1,037.8
3.25-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	158.2	207.0	1,410.7	212.7	91.4	43.2	18.1	11.4	11.7	2,166.5
2.75-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	87.5	501.2	2,003.3	1,329.7	271.9	136.8	66.2	33.6	14.6	18.4	4,463.3
2.25-	0.0	0.0	0.0	0.1	3.1	658.8	1,589.5	4,687.9	987.9	458.9	242.7	101.3	47.3	13.3	21.6	8,812.3
1.75-	0.0	0.0	0.0	0.5	298.8	2,170.4	7,323.5	3,233.2	1,429.0	936.6	471.9	141.9	54.3	14.2	15.6	16,090.0
1.25-	0.0	0.0	0.2	14.0	2,501.5	7,429.9	5,705.0	3,491.5	2,026.4	1,827.9	723.8	124.8	46.5	12.4	8.2	23,912.2
0.75-	0.0	0.0	11.3	2,408.8	5,783.8	5,066.4	4,721.9	2,646.0	1,460.8	1,172.6	557.3	62.1	25.3	7.1	6.9	23,930.4
0.25-	0.7	3.2	1,349.6	5,863.7	2,485.6	2,532.1	1,915.1	933.0	381.4	210.7	102.5	19.1	7.8	2.6	4.7	15,811.7
0-	3.7	26.5	1,392.3	323.1	199.8	225.1	131.0	60.3	25.7	15.0	7.1	2.2	1.0	0.4	0.5	2,413.7
TOTAL	4.4	29.7	2,753.4	8,610.2	11,273.0	18,172.7	22,092.6	17,357.9	9,501.9	6,067.0	2,781.4	756.5	335.6	126.9	136.6	100,000.0

表 A2-(2) 波浪發現頻度分布表 ( $H_{1/3}\cdot T_{1/3}$ ) : 沿海区域

WAVE HEIGHT [m]	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	T <sub>1/3</sub> , i
	WAVE PERIOD [s]															
	0-	1-	2-	3-	4-	5-	6-	7-	8-	9-	10-	11-	12-	13-	14-	TOTAL
14.75-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4
14.25-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3
13.75-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4
13.25-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4
12.75-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5
12.25-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.8	0.9
11.75-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.2	1.4
11.25-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	1.5	1.9
10.75-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	1.8	2.4
10.25-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.3	1.9	2.9
9.75-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.9	1.5	1.2	3.9
9.25-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.2	3.7	0.3	5.8
8.75-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.2	1.2	5.1	0.3	7.9
8.25-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	2.3	5.2	2.9	0.4	11.3
7.75-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	1.0	3.3	10.0	1.0	0.7	16.2
7.25-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	2.8	4.3	13.6	1.0	1.0	23.0
6.75-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.5	6.0	16.8	3.8	1.0	0.9	29.5
6.25-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.7	2.6	10.0	25.6	2.6	1.1	1.2	44.2
5.75-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	1.0	10.5	26.5	18.6	2.9	1.3	1.2	64.0
5.25-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	3.0	26.3	55.4	10.1	3.4	1.7	2.1	105.3
4.75-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	5.4	22.4	69.2	63.5	10.9	4.8	2.5	2.8	182.1
4.25-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	5.0	12.3	86.5	173.6	35.5	11.9	6.6	3.2	3.5	338.9
3.75-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	23.2	74.2	261.6	218.2	43.2	17.1	8.9	4.3	5.3	656.3
3.25-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	3.0	89.5	328.0	727.9	155.3	59.9	27.5	12.8	6.4	7.8	1,418.3
2.75-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	76.2	464.6	1,308.6	774.0	200.5	91.2	42.8	20.0	8.4	10.1	2,996.8
2.25-	0.0	0.0	0.0	0.1	5.3	501.3	1,675.3	2,687.8	744.8	317.0	158.2	61.4	30.3	9.6	14.3	6,205.5
1.75-	0.0	0.0	0.0	0.8	262.3	2,303.9	5,387.3	2,441.6	1,019.1	629.9	321.7	89.8	33.8	10.5	13.1	12,513.8
1.25-	0.0	0.0	0.4	24.4	2,616.2	7,615.5	4,836.4	2,951.7	1,453.0	1,227.2	575.6	90.7	34.2	12.3	9.1	21,446.8
0.75-	0.0	0.0	17.9	3,044.5	7,649.8	6,042.7	4,658.4	2,470.3	1,244.0	1,012.7	530.4	59.7	24.2	7.8	7.2	26,769.7
0.25-	1.2	5.2	2,169.8	8,944.7	3,945.5	3,405.5	2,448.1	1,153.6	473.8	274.0	130.0	27.5	11.9	3.8	6.9	23,001.5
0-	6.5	43.5	2,425.6	557.3	334.6	375.2	218.4	99.8	43.0	25.2	12.0	3.6	1.6	0.7	0.8	4,147.9
TOTAL	7.7	48.7	4,613.7	12,571.9	14,814.4	20,324.3	19,806.8	13,539.2	6,855.7	4,343.1	2,123.2	526.0	234.8	91.0	99.3	100,000.0

表 A3-(1) wave cases : 限定近海貨物船の航行可能な区域

Case number	Weight $W_i$	Wave length $\lambda_i$ (m)	Wave height $H_i$ (m)	Wave steepness $s_{w,i}$	$1/s_{w,i}$
1	0.000044	0.316	0.130	0.4121	2.4
2	0.000297	2.845	0.116	0.0408	24.5
3	0.027534	7.904	0.219	0.0277	36.1
4	0.086102	15.492	0.439	0.0284	35.3
5	0.112730	25.609	0.709	0.0277	36.1
6	0.181727	38.256	0.915	0.0239	41.8
7	0.220926	53.432	1.113	0.0208	48.0
8	0.173579	71.137	1.359	0.0191	52.3
9	0.095019	91.372	1.533	0.0168	59.6
10	0.060670	114.136	1.475	0.0129	77.4
11	0.027814	139.429	1.577	0.0113	88.4
12	0.007565	167.251	2.126	0.0127	78.7
13	0.003356	197.603	2.417	0.0122	81.8
14	0.001269	230.484	2.988	0.0130	77.1
15	0.001366	265.895	2.906	0.0109	91.5

表 A3-(2) wave cases : 沿海区域

Case number	Weight $W_i$	Wave length $\lambda_i$ (m)	Wave height $H_i$ (m)	Wave steepness $s_{w,i}$	$1/s_{w,i}$
1	0.000077	0.316	0.130	0.4121	2.4
2	0.000487	2.845	0.116	0.0406	24.6
3	0.046137	7.904	0.213	0.0270	37.0
4	0.125719	15.492	0.425	0.0274	36.5
5	0.148144	25.609	0.668	0.0261	38.4
6	0.203243	38.256	0.872	0.0228	43.9
7	0.198068	53.432	1.059	0.0198	50.5
8	0.135392	71.137	1.271	0.0179	56.0
9	0.068557	91.372	1.431	0.0157	63.8
10	0.043431	114.136	1.357	0.0119	84.1
11	0.021232	139.429	1.396	0.0100	99.9
12	0.005260	167.251	1.986	0.0119	84.2
13	0.002348	197.603	2.286	0.0116	86.4
14	0.000910	230.484	2.660	0.0115	86.6
15	0.000993	265.895	2.613	0.0098	101.7

(2) 沿海区域 (図 A2)

- 波浪発現頻度分布表 ( $H_{1/3}$ - $T_{1/3}$ ) : 表 A2-(2)
- wave cases : 表 A3-(2)
- wave steepness parameter : 表 A4

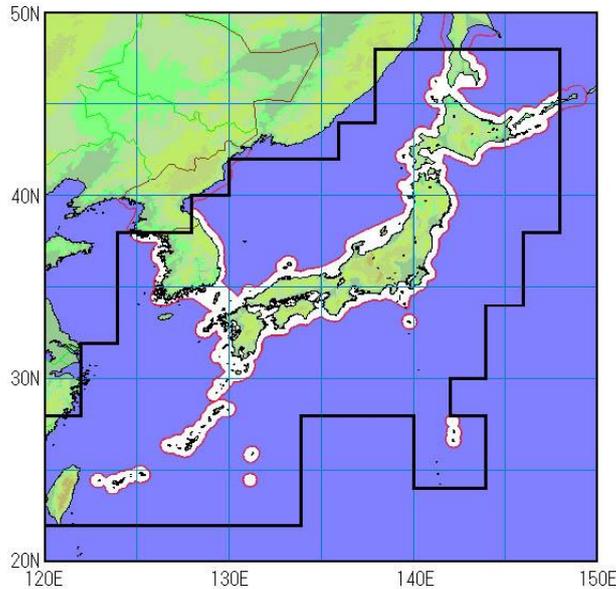


図 A2 沿海区域（白抜き）

表 A4 wave steepness parameter

: 日本近海では  $T_{1/3} \geq 4.5s$  ( $\lambda \geq 25.6m$  相当) で設定 (5. 検討課題参照)

	parametric roll	pure loss of stability
IMO(北大西洋)	0.0167	0.0334
限定近海区域	0.0277	0.0553
沿海区域	0.0261	0.0521

#### 4. 「デッドシップ状態」に関する基準計算で使用される $T_r-s_w$ 対応図表

「デッドシップ状態」に関する基準計算に用いられる横揺れ固有周期 ( $T_r$ ) と波呷度( $s_w$ )の対応表に関しては、北大西洋の波浪発現頻度分布表ではなく、Sverdrup-Munk の解析結果から導出されており、既に内航船にも適用できるような図表がまとめられている (表 A5、図 A3)

#### 5. 検討課題

なお、以下の事項について引き続き検討を行う必要があると考えられる。

- ・「パラメトリック横揺れ」、「復原力喪失」に関する第 1 段階基準計算で使用する wave steepness parameter の設定法

IMO では、conservative value として代表波呷度の最大値が取られているが、日本近海の波浪データで波呷度の最大値を採用すると過大な要求値となる (表 A4、図 A4、図 A5)。

- ・日本近海の波浪データの設定

今回の調査では、当所が所有する「日本近海の波と風データベース」から基準計算で用いる日本近海の波浪データを設定したが、他のデータベース (例えば、GWS、北太平洋の風と波のデータベース：目視データ) も活用することができる。但し、その場合は、データ整理区間と内航船の航行区域とが一致していないため、データの再整理が必要となる。

表 A5 横揺れ固有周期 ( $T_r$ ) - 波呺度対応表 ( $s_w$ )

「デッドシップ状態」に関する基準

$T_r$ (s)	$\leq 6$	7	8	12	14	16	18	20	22	24	26	28	$\geq 30$
$s_w$	0.100	0.098	0.093	0.065	0.053	0.044	0.038	0.032	0.028	0.025	0.023	0.021	0.020

現行ISコード (weather criterion) 及び船舶復原性規則 (C係数基準: その他の船舶)

$T_r$ (s)	$\leq 6$	7	8	12	14	16	18	$\geq 20$
$s_w$	0.100	0.098	0.093	0.065	0.053	0.044	0.038	0.035

船舶復原性規則 (C係数基準: 沿海区域を航行区域とする船舶)

$T_r$ (s)	$\leq 4.5$	5.5	6	7	9	11	12	13	$\geq 14$
$s_w$	0.1000	0.0988	0.0925	0.0830	0.0630	0.0460	0.0410	0.0368	0.0350

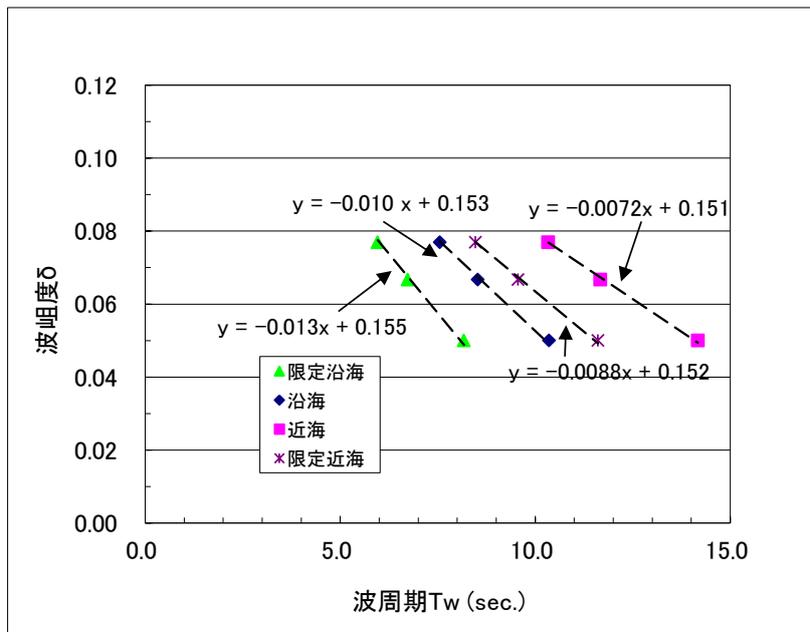
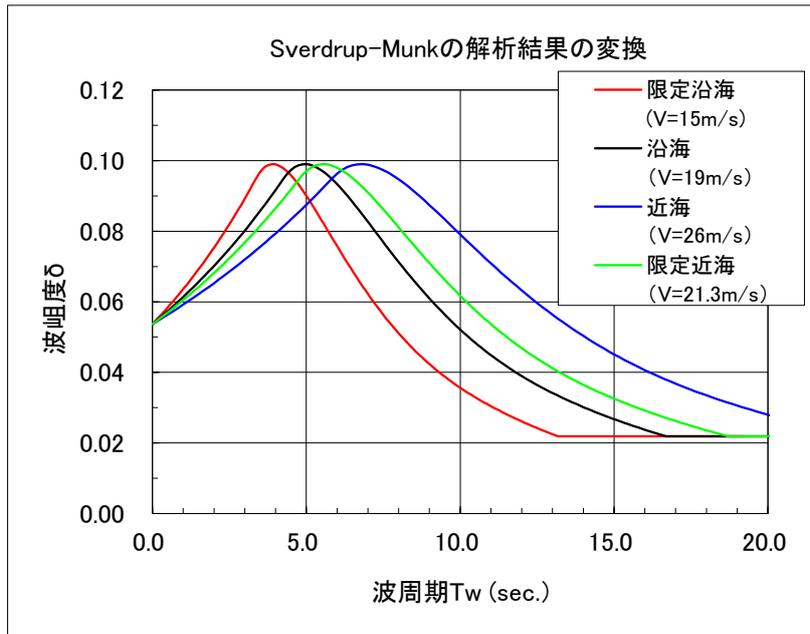


図 A3 限定近海貨物船の航行可能な区域における波高 $\sigma$ の設定

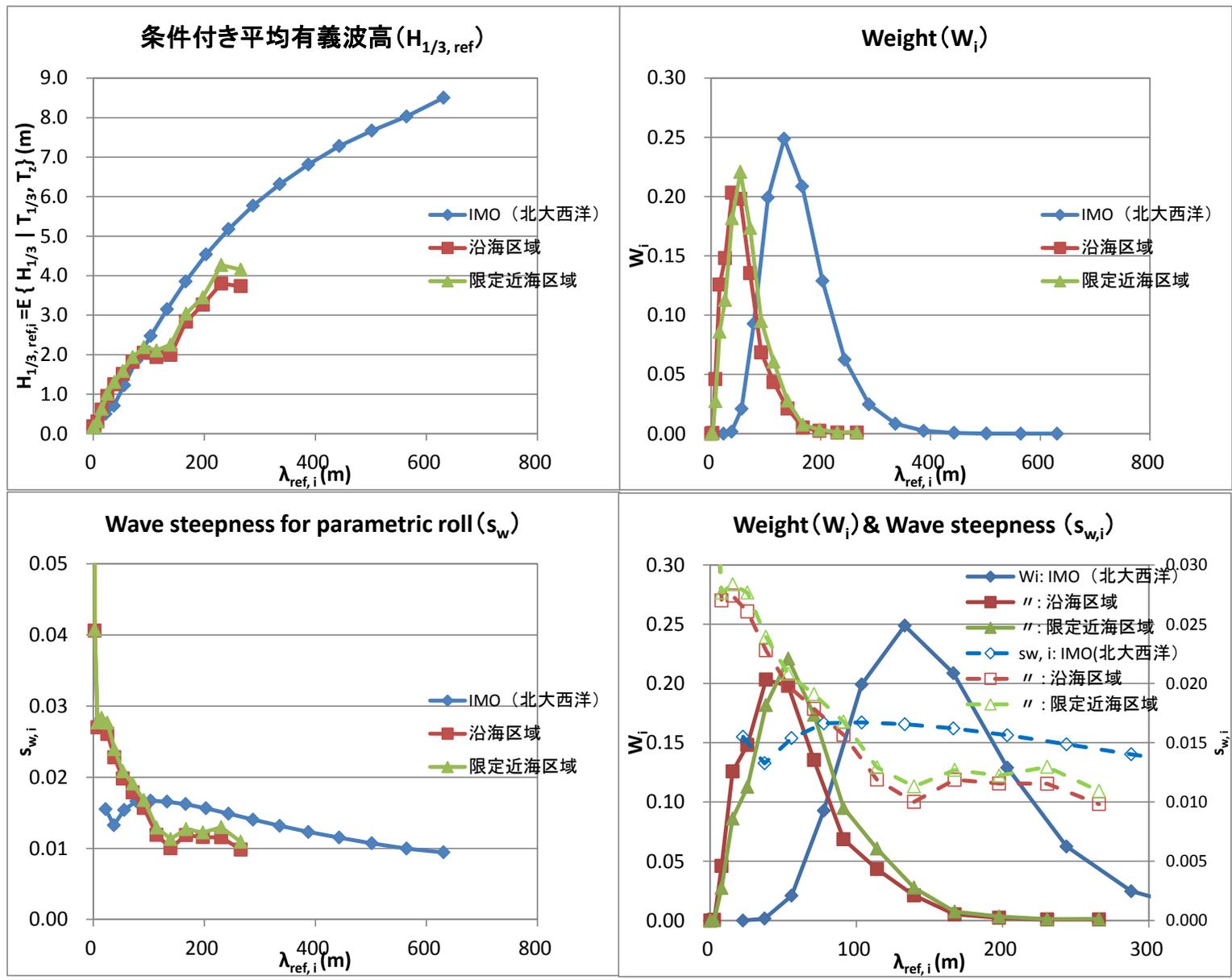


図 A4 代表波粗度 ( $s_{w, i}$ ) 分布の比較 (その 1 : 波長ベース)

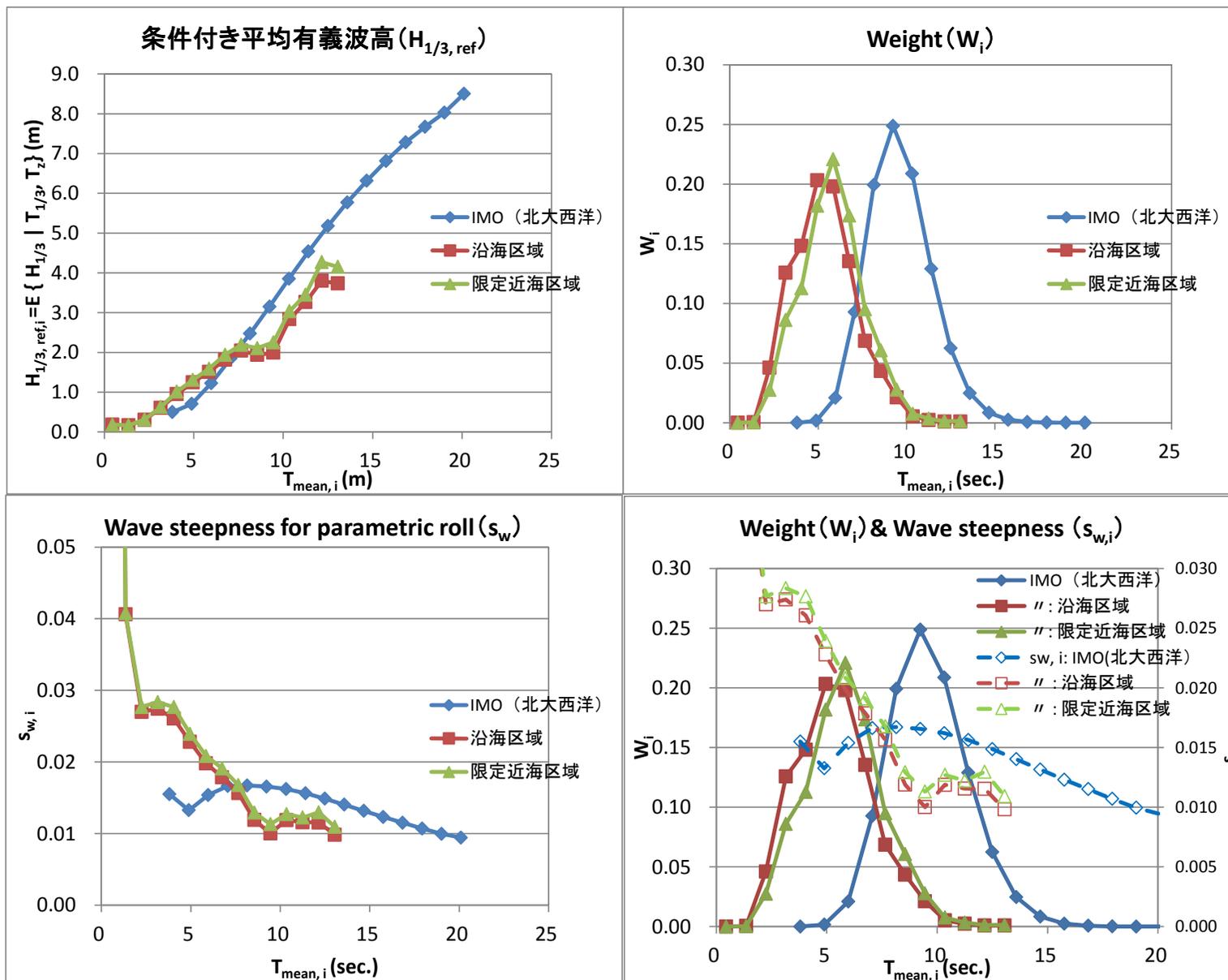


図 A5 代表波峻度 ( $s_{w,i}$ ) 分布の比較 (その 2 : 波周期ベース)