日本沿岸の距岸別気象海象解析と小型船舶の余裕乾舷

黒田 貴子¹・田口 晴邦²・辻本 勝¹

Analysis of Japan Coastal Winds and Waves and Freeboard of Small Ship

Takako KURODA, Harukuni TAGUCHI and Masaru TSUJIMOTO

Abstract

The stability performance of small ships is an important factor for safety. Current stability regulation for the small ships of which capacity is 12 people or less has two kinds of criteria. Since there are both simplified and original criteria based on the ship length, the problem of reversal phenomenon concerning the capacity of ships occurs. The simplified criterion applied to the ship length of less than 3.3m allows more capacity than the original criterion applied to the ship length of 3.3m or more.

In this paper, the appropriate requirement for the margin freeboard that can be evaluated by one criterion is discussed to solve this problem. The margin freeboard in longitudinal waves is one of the requirements of stability criteria and is derived from wave steepness. Winds and waves in the Japan coastal areas where small ships navigate have been analyzed, and the appropriate required value for the margin freeboard are proposed.

Keywords : *stability criteria, small ship, wave steepness, freeboard*

キーワード: 法規, 小型船舶, 波嶮度, 余裕乾舷

1. 緒言

小型船舶の復原性能は安全確保の上で重要な要素であり、小型船舶安全規則等によりその基準が定められている。旅客定員 12 名以下の小型船舶に対する現行の復原性基準は船長 3.3m を境に適用される基準が異なり、船長 3.3m 以上の小型船舶には小型船舶安全規則（以後、小安則）第 103 条（平水、限定沿海）が、船長 3.3m 未満の小型船舶には小型船舶検査機構検査細則第 1 編附属書 2-6（以後、附属書）に定められた簡易基準が適用される。小安則の復原性基準は、人員搭載に伴う沈下量、乗員の横移動に伴う船舶の横傾斜、乗員の縦移動に伴う船尾トリム及び縦波に対する乾舷を要求しており、定員が

2 名に制限される場合もある。一方、附属書では昭和 60 年頃の小型船舶の実態を基に一定の長さ、幅、中央及び船尾乾舷を満足することにより定員 3 名を上限に与えられる。このため、3.3m 以上の小型船舶に適用される基準より、3.3m 未満で適用される簡易基準による方が定員を多く与える逆転現象が生じている。この逆転現象を解決するには全ての長さの船舶に対して同一基準で定員を定める必要がある。

本研究では小安則と附属書での復原性基準における要件の 1 つとなっている波嶮度より導かれた縦波に対する適切な乾舷（余裕乾舷）を検討する。海上技術安全研究所では平成 27 年に日本小型船舶検査機構からの受託研究「小型船舶の復原性に関する

¹ 正会員 海上技術安全研究所 (〒181-0004 東京都三鷹市新川 6-38-1) tkuroda@nmri.go.jp

² 非会員 海上技術安全研究所

調査研究」で対象船が航行する距岸 5 海里までの気象海象解析を行っている⁽¹⁾。この解析結果を基に対象海域を沿岸区域まで広げ、日本全国の距岸 20 海里までの気象海象データを海域別距岸毎に統計解析して距岸と海象の関係を把握し、現行基準で設定されている波呷度と比較した。次に対象船の航行範囲となる日本全国の距岸 5 海里までの沿岸海域の有義波周期を求め、海域別に距岸毎の平均波呷度を解析した。その解析結果を基に小型船舶の適切な余裕乾舷について検討を行った。

2. 日本沿岸の気象海象データ解析

2.1 解析方法

適切な余裕乾舷を検討するために波呷度を含む日本沿岸の気象海象データを解析する。日本沿岸の距岸 20 海里までの有義波と 10^{-2} 超過確率の波高、波周期、波呷度及び平均風速と 10^{-2} 超過確率風速の平均値を海域ごとに距岸別で解析した。使用したデータベースは海上技術安全研究所の「日本近海の波と風データベース」⁽²⁾である。これは気象庁が 1 日 2 回 6 分格子間隔で配信する日本沿岸波浪 GPV (Grid Point Value) を基に、(一財) 日本気象協会が地形による遮蔽と局所的な風波を加味し、緯度・経度 2 分格子間隔に内挿した平成 6 年以降の 10 年分の波浪推算値を当所が解析し、データベース化したものである。解析した項目を表 1 に示す。なお、ここでの有義波呷度は有義波高 $H_{1/3}$ / 有義波周期相当規則波長 $\lambda'_{1/3}$ であり、 $\lambda'_{1/3}$ は有義波周期から (1) 式の無限水深の規則波の関係式を用いて算定したものである。 10^{-2} 超過確率波呷度も同様である。

$$\lambda'_{1/3} = \frac{gT_{1/3}^2}{2\pi} \quad (1)$$

表1 解析項目一覧

有義波高	$H_{1/3}$	10^{-2} 超過確率波高	$H_{10^{-2}}$
有義波周期	$T_{1/3}$	10^{-2} 超過確率波周期	$T_{10^{-2}}$
有義波長	$\lambda'_{1/3}$	10^{-2} 超過確率波長	$\lambda'_{10^{-2}}$
有義波呷度	$H_{1/3}/\lambda'_{1/3}$	10^{-2} 超過確率波呷度	$H_{10^{-2}}/\lambda'_{10^{-2}}$
平均風速	V_{ave}	10^{-2} 超過確率風速	$V_{10^{-2}}$

本解析では日本沿岸を 13 地域 37 海域に分けて解析した。図 1 に解析した距岸 2 海里に該当する位置に 37 海域区分を示し、表 2 には地域と海域の名称と範囲を示す。37 海域のうち、陸奥湾 (7)、東京湾

(13)、駿河湾 (15)、三河湾 (17)、伊勢湾 (18)、鹿児島湾 (23)、富山湾 (31) の 7 海域は平水区域である。解析では各地域、各海域及び平水区域を含む (または除く) 37 海域全体での解析項目の平均値も求めた。

図1 解析した日本沿岸の海域区分

表2 日本沿岸の地域と海域の区分

地域	海域	範囲
A 北海道東	1 網走沖	宗谷岬 ~ 知床岬
	2 根室海峡	知床岬 ~ 納沙布岬
	3 釧路沖	納沙布岬 ~ 襟裳岬
	4 日高沖	襟裳岬 ~ 尻屋崎
	5 内浦湾	室蘭チキウ岬 ~ 駒ヶ岳松屋崎
	6 津軽海峡	尻屋崎 ~ 竜飛岬~松前
	7 陸奥湾	
B 東北東	8 三陸沖	尻屋崎 ~ 黒崎
	9 仙台湾	黒崎 ~ 襟ノ尾岬
	10 常磐沖	鶺ノ尾岬 ~ 大洗岬
	11 鹿島灘	大洗岬 ~ 犬吠埼
	12 房総沖	犬吠埼 ~ 野島崎
C 関東	13 東京湾	洲崎 ~ 剣崎
	14 相模灘	野島崎 ~ 石廊崎
	15 駿河湾	石廊崎 ~ 御前崎
D 東海	16 遠州灘	御前崎 ~ 伊良湖岬
	17 三河湾	伊良湖岬 ~ 師崎
	18 伊勢湾	師崎 ~ 鳥羽
E 近畿	19 熊野灘	鳥羽 ~ 潮岬
	20 紀伊半島西岸	潮岬 ~ 日ノ御崎
F 四国	21 四国沖	蒲生田岬 ~ 佐多岬
G 南九州	22 日向灘	関崎灯台 ~ 都井岬
	23 鹿児島湾	立目崎 ~ 長崎鼻
	24 鹿児島沖	都井岬 ~ 阿久根
	25 長崎沖	阿久根 ~ 平戸瀬戸
H 北九州	26 玄界灘	平戸瀬戸 ~ 鐘ノ岬
	27 響灘	鐘ノ岬 ~ 川尻岬
I 山陰	28 山陰沖	川尻岬 ~ 経ヶ岬
J 北陸	29 若狭湾	経ヶ岬 ~ 越前岬
	30 能登沖	越前岬 ~ 鳥ヶ首岬
	31 富山湾	大泊鼻 ~ 生地鼻
	32 佐渡沖	鳥ヶ首岬 ~ 波渡崎
K 東北西	33 秋田沖	波渡崎 ~ 竜飛岬
L 北海道西	34 檜山沖	松前 ~ 積丹岬
	35 石狩湾	積丹岬 ~ 雄冬岬
	36 留萌沖	雄冬岬 ~ 宗谷岬
M 南西諸島	37 南西諸島	

2.2 日本沿岸域の気象海象の等値線図

緯度・経度 2 分間隔にある風と波のデータベースを用いて作成した日本沿岸域全体の有義波高、波呷度と平均風速の通年平均値の等値線図を図 2、3、4 に、沿岸で値が大きくなる海域を拡大した等値線図を図 5、6、7 に示す。日本沿岸域の中で相対的に見ると有義波高は太平洋側と南西諸島周辺が大きく、中でも房総沖が海岸に近い海域で大きいことが分かる（図 2、5）。一方、有義波呷度は日本海側が大きく、北海道から東北の西岸では海岸に近い海域で有義波呷度が大きく、0.03 を超えている（図 3、6）。平均風速は海面上 10m での 10 分間に相当する平均値であり、太平洋側と北海道西岸と南西諸島で大きいことが分かる（図 4、7）。図中に示す点は距岸 2、4、6、8、10、20 海里の位置を示しており、青印は距岸 20 海里地点を示す。また、図 5 に示す橙◇印はミニボートの海難事故発生場所であり、ミニボートの利用が多いと思われる東京湾、相模湾、伊勢湾の距岸 2 海里内で多く発生している。

10^{-2} 超過確率波高、波呷度及び風速を図 8、9、10 に示す。 10^{-2} 超過確率波高は太平洋側と南西諸島、 10^{-2} 超過確率波呷度は日本海側が大きく、特に北海道西岸沖と山陰沖が大きい。 10^{-2} 超過確率風速は北海道日高沖と太平洋側関東沖が大きいことが分かる。

2.3 距岸別気象海象データの解析結果

次に各海域での距岸と有義波の波高、波呷度、平均風速と 10^{-2} 超過確率の波高、波呷度、風速の関係を示す。各海域での距岸 1、2、3、4、5、6、8、10、20 海里での有義波高、有義波呷度、平均風速を解析し、さらに各地域で最も値が大きい海域を抽出し、日本沿岸すべての地域で比較したものを図 11、12、13 に示す。同様に 10^{-2} 超過確率波高、超過確率波呷度、超過確率風速について解析したものを図 14、15、16 に示す。なお、日本近海の波と風のデータベースは 2 分格子のデータのため、3、5 海里の値は 2、4、6 海里地点のデータを内挿し、1 海里の値は統計値のある 2、4、6、8、10、20 海里の値から 2 次の近似式で外挿して求めている。これより日本沿岸で有義波高が最も高い海域は関東の房総沖、有義波呷度は北海道西の檜山沖が大きく、最大 0.031 になる。現行基準で設定されている波呷度は 0.05⁽³⁾ であり、解析結果より大きな値であることが分かる。平均風速は南西諸島が大きく、次に関東の房総沖である。また、有義波高、有義波呷度と距岸との関係は、距岸

図2 日本沿岸域の有義波高

図3 日本沿岸域の有義波呷度

図4 日本沿岸域の平均風速

図5 房総沖の有義波高

図8 日本沿海域の 10^{-2} 超過確率波高

図6 檜山沖の有義波高

図9 日本沿海域の 10^{-2} 超過確率波高

図7 南西諸島の平均風速

図10 日本沿海域の 10^{-2} 超過確率風速

6 海里までは距岸に比例して増加するが、距岸 6 海里から以遠では増加率が小さくなり、10 海里と 20 海里の値は近い値となる。また、 10^{-2} 超過確率波高は南西諸島、 10^{-2} 超過確率波呺度は檜山沖、 10^{-2} 超過確率風速は南西諸島と房総沖が値の高い海域になっており、距岸と 10^{-2} 超過確率波高、波呺度の関係は有義波と同様の傾向が見られる。

今回検討対象となる小安則第 103 条で定員 3 名を満足しない小型船舶には代替基準の要求の一つとし

て距岸 5 海里までの航行区域制限を設けることが検討されている⁽¹⁾。そこで、全海域、平水区域である 7 海域を除いた 30 海域及び平水区域での距岸 5 海里まで（解析は 6 海里まで）の距岸毎の有義波と平均風速の平均値を表 3、4、5 に、 10^{-2} 超過確率波と風速も同様に全海域、平水区域を除く全海域及び平水区域での平均値を表 6、7、8 に示す。有義波周期の平均値を用いて算出した有義波呺度の全海域及び平水区域を除いた全海域での平均値は 0.025 程度であ

図11 距岸と有義波高の関係

図14 距岸と 10^{-2} 超過確率波高の関係

図12 距岸と有義波呺度の関係

図15 距岸と 10^{-2} 超過確率波呺度の関係

図13 距岸と平均風速の関係

図16 距岸と 10^{-2} 超過確率風速の関係

り、現行基準で設定されている波呺度 (0.05) ⁽³⁾ よりかなり小さくなる。10⁻² 超過確率波周期の平均値を用いて算出した 10⁻² 超過確率波呺度の平均値も同様である。

表3 全海域距岸別の有義波と風速の平均値

距岸[NM]	全国				
	2	3	4	5	6
H _{1/3} [m]	0.84	0.92	1.01	1.08	1.15
T _{1/3} [s]	5.03	5.11	5.20	5.30	5.41
V _{ave} [m/s]	5.97	6.06	6.15	6.23	6.31
λ _{1/3} [m]	39.5	40.8	42.1	43.9	45.7
H _{1/3} /λ _{1/3}	0.021	0.023	0.024	0.025	0.025

表4 平水区域を除く全海域距岸別の有義波と風速の平均値

距岸[NM]	全国 (平水区域除く)				
	2	3	4	5	6
H _{1/3} [m]	0.88	0.96	1.04	1.10	1.17
T _{1/3} [s]	5.15	5.22	5.28	5.36	5.44
V _{ave} [m/s]	6.03	6.12	6.21	6.27	6.34
λ _{1/3} [m]	41.4	42.4	43.5	44.8	46.2
H _{1/3} /λ _{1/3}	0.021	0.023	0.024	0.025	0.025

表5 平水区域距岸別の有義波と風速の平均値

距岸[NM]	平水区域				
	2	3	4	5	6
H _{1/3} [m]	0.48	0.53	0.58	0.68	0.79
T _{1/3} [s]	3.91	4.00	4.08	4.37	4.66
V _{ave} [m/s]	5.35	5.38	5.42	5.57	5.72
λ _{1/3} [m]	23.9	24.9	25.9	29.8	33.9
H _{1/3} /λ _{1/3}	0.020	0.021	0.022	0.023	0.023

表6 全海域距岸別の 10⁻² 超過確率波と風速の平均値

距岸[NM]	全国				
	2	3	4	5	6
H _{10⁻²} [m]	2.61	2.83	3.05	3.24	3.43
T _{10⁻²} [s]	9.09	9.05	9.00	9.09	9.18
V _{10⁻²} [m/s]	13.98	14.22	14.46	14.72	14.99
λ _{10⁻²} [m]	128.8	127.6	126.4	128.9	131.4
H _{10⁻²} /λ _{10⁻²}	0.020	0.022	0.024	0.025	0.026

表7 平水区域を除く全海域距岸別の 10⁻² 超過確率波と風速の平均値

距岸[NM]	全国 (平水区域除く)				
	2	3	4	5	6
H _{10⁻²} [m]	2.72	2.93	3.14	3.31	3.47
T _{10⁻²} [s]	9.15	9.11	9.06	9.13	9.19
V _{10⁻²} [m/s]	14.12	14.35	14.58	14.81	15.04
λ _{10⁻²} [m]	130.5	129.3	128.1	129.9	131.7
H _{10⁻²} /λ _{10⁻²}	0.021	0.023	0.025	0.025	0.026

表8 平水区域距岸別の 10⁻² 超過確率波と風速の平均値

距岸[NM]	平水区域				
	2	3	4	5	6
H _{10⁻²} [m]	1.56	1.67	1.78	2.06	2.33
T _{10⁻²} [s]	8.54	8.38	8.21	8.57	8.94
V _{10⁻²} [m/s]	12.63	12.71	12.79	13.19	13.58
λ _{10⁻²} [m]	113.8	109.4	105.1	114.6	124.6
H _{10⁻²} /λ _{10⁻²}	0.014	0.015	0.017	0.018	0.019

2.4 発生頻度分布を用いた波呺度の解析

有義波呺度を算出する際、有義波周期の平均値を用いると有義波高と有義波周期はスペクトラムにより計算された値であり、個別の波浪に対して算出しているわけではないため、その海域で頻出する波呺度と異なる可能性がある。そこで、日本全国 37 海域の海域毎に有義波高 $H_{1/3}=0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0$ m の区分での有義波周期の発生頻度分布を用いて加重平均で距岸 2、4、6 海里の平均有義波周期 $\overline{T_{1/3}}$ を求め、(1) 式に倣って平均有義波周期に対する相当規則波長を $\overline{\lambda'_{1/3}}$ として有義波高毎の平均波呺度 $H_{1/3}/\overline{\lambda'_{1/3}}$ を算出した。なお、距岸 3、5 海里の値は内挿して求めた。設定有義波高 $H_{1/3}$ 毎の平均有義波周期 $\overline{T_{1/3}}$ は、各有義波高 $H_{1/3j}$ について n 個の有義波周期 $T_{1/3i}$ の発生頻度 W_{ij} を重みとして以下に示す式で算出した。

$$\overline{T_{1/3j}} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{1/3i} W_{ij}}{\sum_{i=1}^n W_{ij}} \Big|_{H_{1/3j}=0.5 \dots 3.0 \text{ m}} \quad (2)$$

次に評価する波高を設定する。現行基準では出港限界とされた風速 15m/s の風が 1 時間吹送した時の波呺度を設定している ⁽³⁾ が、波高の基準はない。出港限界風速 15m/s は復原性規則の限定沿海の設定風速と等しく、航行区域と ISO 設計区分の調査結果 ⁽⁴⁾ から、表 9 に示すように限定沿海区域での有義波高 $H_{1/3}$ は 2.0m 以下、平水区域では最大有義波高 0.5m とされた。そこで、平水区域では有義波高 $H_{1/3}=0.5$ m、その他の海域では有義波高 $H_{1/3}=2.0$ m での平均有義波周期 $\overline{T_{1/3}}$ を発生頻度の加重平均で求めて平均波呺度を算出した。表 10 に日本全国 37 海域での距岸毎の平均波呺度を平水区域では $H_{1/3}=0.5$ m で、その他の海域では $H_{1/3}=2.0$ m で解析した結果を示す。表中青色のセルで示す海域は平水区域の海域である。解析結果より平均波呺度は距岸が大きくなってもほとんど変化していないことが分かる。平均波呺度の全

国平均及び平水を除く全国平均は 0.03、平水区域の平均は 0.021 である。

表9 航行区域及び ISO 設計区分の対応 (4)

航行区域		ISO設計区分			
航行区域	風速 (m/s)	風速 (m/s)	設計区分	ビュフオート風力階級	有義波高 (m)
遠洋区域 近海区域	32m/s 【26m/s】 (ビュフオート 風力階級 10相当) 上段:突風 下段:平均風速	28m/s 【*】 上段:突風 下段:平均風速	A	ISO12217 10以下 ISO/DIS12215 9以下 (RC08 超)	ISO 7m以下
沿海区域	23m/s 【19m/s】 (ビュフオート 風力階級 8相当)	21m/s 【*】	B	8 以下	4m以下
限定沿海区域	18m/s 【15m/s】 (ビュフオート 風力階級 7相当)	17m/s 【*】	C	6 以下	2m以下
平水区域 ビュフオート 風力階級 4以下	15m/s 【10m/s】 (ビュフオート 風力階級 6相当)	13m/s 【*】	D	4 以下	0.3m以下 最大波高 0.5m

注) 平水区域については突風と定常風の比 (突風率) を 1.5 とし、それ以外は√15である
*ISO 規格においては、平均風速は定められていない

ここで、 H_w : 波高、 L : 船長、 λ : 波長である。ただし、 H_w と λ は余裕乾舷を求めるパラメータである。現行での想定海象の波粗度 (H_w/λ) は Sverdrup-Munk⁽⁵⁾ の Duration Graph より条件下の波齢 (=波速 c /風速 U) $\beta=0.23$ を求め、次に有義波の波齢・波粗度曲線より求めた波齢 β での波粗度 $H_w/\lambda = 0.05$ と設定されており、 $H_w = 0.05\lambda$ とすると余裕乾舷 δ_w は (4) 式で表わされる。

$$\delta_w = \frac{\lambda}{40} \left\{ 1 - \frac{\lambda}{\pi L} \sin \left(\frac{\pi L}{\lambda} \right) \right\} \quad (4)$$

ここで現行基準では、 λ/L は (4) 式で最も厳しい状態となる波長と船長が等しい $\lambda/L=1.0$ がとられており、 $\delta_w = 0.025L = L/40$ となる。

表10 距岸毎の平均波粗度

平均波粗度一覧		有義波高	距岸 [mile]					
地域	海域	[m]	2	3	4	5	6	
A	北海道東	1 網走沖	2.0	0.031	0.031	0.032	0.032	0.032
		2 根室海峡	2.0	0.035	0.034	0.034	0.034	0.034
		3 釧路沖	2.0	0.025	0.026	0.026	0.027	0.027
		4 日高沖	2.0	0.030	0.030	0.031	0.031	0.031
		5 内浦湾	2.0	0.036	0.036	0.036	0.035	0.035
		6 津軽海峡	2.0	0.037	0.037	0.037	0.037	0.038
B	東北東	7 陸奥湾	0.5	0.031	0.031	0.030	0.030	0.030
		8 三陸沖	2.0	0.023	0.023	0.023	0.025	0.026
		9 仙台湾	2.0	0.022	0.023	0.024	0.024	0.024
		10 常磐沖	2.0	0.022	0.023	0.023	0.024	0.024
		11 鹿島灘	2.0	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026
		12 房総沖	2.0	0.026	0.027	0.027	0.027	0.027
C	関東	13 東京湾	0.5	0.024	0.025	0.026	0.021	0.017
		14 相模湾	2.0	0.027	0.028	0.028	0.029	0.030
		15 駿河湾	0.5	0.014	0.015	0.015	0.015	0.015
		16 遠州湾	2.0	0.025	0.026	0.027	0.027	0.027
D	東海	17 三河湾	0.5	0.026	0.025	0.025	-	-
		18 伊勢湾	0.5	0.016	0.016	0.017	0.016	0.016
		19 熊野湾	2.0	0.025	0.025	0.025	0.025	0.026
E	近畿	20 紀伊半島西岸	2.0	0.026	0.026	0.027	0.027	0.027
		F	四国	21 四国沖	2.0	0.036	0.031	0.027
22 日向灘	2.0			0.025	0.025	0.026	0.026	0.027
G	南九州	23 鹿児島湾	0.5	0.025	0.026	0.026	-	-
		24 鹿児島沖	2.0	0.036	0.033	0.030	0.031	0.031
		25 長崎沖	2.0	0.036	0.035	0.035	0.035	0.035
		26 玄界灘	2.0	0.039	0.038	0.038	0.037	0.037
H	北九州	27 豊後	2.0	0.034	0.034	0.033	0.032	0.031
		I	山陰	28 山陰沖	2.0	0.033	0.033	0.033
29 若狭湾	2.0			0.030	0.030	0.029	0.029	0.029
J	北陸	30 能登沖	2.0	0.030	0.030	0.029	0.029	0.029
		31 富山湾	0.5	0.016	0.017	0.017	0.017	0.017
K	東北西	32 佐渡沖	2.0	0.032	0.032	0.031	0.031	0.031
		33 秋田沖	2.0	0.034	0.033	0.033	0.032	0.032
L	北海道西	34 樽田沖	2.0	0.035	0.035	0.035	0.034	0.034
		35 石狩湾	2.0	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033
		36 留萌沖	2.0	0.034	0.034	0.034	0.034	0.033
M	南西諸島	37 南西諸島	2.0	0.031	0.031	0.031	0.031	0.030
		全国平均		2.0	0.030	0.030	0.030	0.030
全国平均 (平水区域除く)		2.0	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030
平水区域 (陸奥、東京、駿河、三河、伊勢、鹿児島、富山湾)		0.5	0.021	0.021	0.021	0.020	0.019	0.019

3. 小型船舶の適切な乾舷

3.1 現行の余裕乾舷要求

現行の縦波に対する余裕乾舷 $\delta_w^{(3)}$ は船長 $L/40$ である。これは風速 15m/s、吹送時間 1 時間、吹送距離 10km の条件下で発生する想定海象での縦波中で船内に海水が流入しないための必要最小乾舷である。縦波に対する余裕乾舷 δ_w は (3) 式で表される。

3.2 小型船舶の適切な乾舷の検討

距岸 5 海里までの沿岸海域の海象に対応する縦波に対する適切な余裕乾舷は、波粗度 (H_w/λ) を設定することで (3) 式から船長 L に対する現行基準と整合性を持って求めることができる。

余裕乾舷を求める波粗度は安全側評価として対象海域の中で最も厳しい値を採用するのが望ましい。表 10 に示す小型船舶が航行する距岸 5 海里内で平水区域以外の海域では $H_{1/3}=2.0\text{m}$ 、平水区域では $H_{1/3}=0.5\text{m}$ での平均波粗度のうち最も大きいのは平水区域以外の海域では玄界灘、平水区域では陸奥湾である。表 11 に玄界灘の $H_{1/3}=2.0\text{m}$ での距岸毎の平均波粗度を、表 12 に陸奥湾の $H_{1/3}=0.5\text{m}$ での距岸毎の平均波粗度を示す (表 10 抜粋)。平均波粗度が大きいのは玄界灘の距岸 2 海里で $H_{1/3}/\lambda'_{1/3}=0.039$ 、陸奥湾の距岸 2 海里で $H_{1/3}/\lambda'_{1/3}=0.031$ である。この値は表 3 から 8 に示す 37 海域の有義波周期及び 10^{-2} 超過確率波周期を平均値で求めた有義波粗度及び 10^{-2} 超過確率波粗度よりも大きい。表 13 に全国平均、平水区域を除く全国平均および平水区域の距岸 5 海里内で、有義波周期と有義波高を平均値で求めた場合の最大有義波粗度 $H_{1/3}/\lambda'_{1/3}$ (上段) と $H_{1/3}=2.0\text{m}(0.5\text{m})$ での有義波周期を加重平均で求めた場合の最大平均波粗度 $H_{1/3}/\lambda'_{1/3}$ (下段) を示す。玄界灘と陸奥湾の波粗度が他の海域より大きいことが分かる。日本全国の有義波周期の平均値で求めた最大有義波粗度を使って余裕乾舷を (4) 式で算出すると $L/80$ になる。

小型船舶に海域制限はないので値の最も大きい
 玄界灘の平均波呷度 $H_{1/3}/\sqrt{\lambda'_{1/3}}=0.039$ を使って縦波
 に対する余裕乾舷 δ_w を求めることとする。(3)式に
 波呷度 $H_w/\lambda=0.039$ を代入すると(5)式となり、波長
 船長比を現行基準と同様に $\lambda/L=1.0$ とすると余裕乾
 舷 δ_w は(6)式のように表わせる。

$$\delta_w = \frac{0.039\lambda}{2} \left\{ 1 - \frac{\lambda}{\pi L} \sin\left(\frac{\pi L}{\lambda}\right) \right\} \quad (5)$$

$$\delta_w = 0.0195L \cong 0.02L \quad (6)$$

よって、距岸5海里までの海域海象に対応した縦波
 に対する余裕乾舷 δ_w は $L/50$ となる。

航行する海域の海象の解析結果をもとに厳しい
 波呷度を採用することで縦波の影響に対して通常航
 行時には、比較的大きな安全性の余裕を確保でき
 ると考えられる。

表11 玄界灘の平均波呷度 ($H_{1/3}=2.0\text{m}$)

距岸[NM]	2	3	4	5
平均波呷度	0.039	0.038	0.038	0.037

表12 陸奥湾の平均波呷度 ($H_{1/3}=0.5\text{m}$)

距岸[NM]	2	3	4	5
平均波呷度	0.031	0.031	0.030	0.030

表13 日本全国、平水区域を除く全国及び平水
 区域の波呷度

波呷度	全国	平水区域 除く全国	平水区域
平均 $T_{1/3} \cdot H_{1/3}$ での 最大有義波呷度	0.025	0.025	0.023
$H_{1/3}=2.0\text{m}(0.5\text{m})$ 加重 平均 $T_{1/3}$ での最大平 均波呷度	0.030	0.030	0.021

4. 結言

小型船舶の復原性基準の要件の1つである想定海
 象の波呷度(現行0.05)より導かれた縦波中での余
 裕乾舷(現行 $L/40$)について検討を行った。はじめ
 に当所の日本近海の波と風のデータベースを用いて
 日本沿岸37海域の距岸20海里までの気象海象デー
 タを海域別距岸毎に統計解析して距岸と海象の關係
 を把握し、現行基準で設定されている波呷度が解析

した有義波呷度より大きいことを示した。次に対象
 船が航行する海域を距岸5海里とし、航行区域とISO
 設計区分の調査結果より有義波高2.0m、平水区域で
 は有義波高0.5mでの平均有義波周期を、波浪発生
 頻度分布を用いて加重平均で求め、平均波呷度を解
 析した結果、最も大きい波呷度は玄界灘の0.039で
 あった。この結果をもとに距岸5海里までの海域海
 象に対応した必要とされる余裕乾舷は $L/50$ となる。
 航行する海域の海象解析結果で最も厳しい波呷度を
 採用することで安全性の余裕を確保できると考える。

5. 謝辞

本研究は、日本小型船舶検査機構(JCI)の「小型
 船舶の復原性に関する検討委員会」(H26及び27年
 度)での委託調査として実施しました。関係各位に
 深く感謝申し上げます。

6. 参考文献

- (1) 日本小型船舶検査機構：小型船舶の復原性に関
 する調査研究報告書，2015.
- (2) 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，
 p19-27，2005.
- (3) (社)日本造船研究協会：小型船舶の安全に関
 する調査研究報告書，1971.
- (4) 日本小型船舶検査機構：平成15年度調査研究
 「船舶安全法の航行区域とISO設計区分の關係
 評価に関する調査研究報告書」，2003.
- (5) Sverdrup H. U. and Munk Walter H. : Wind,
 Sea and Swell: Theory of relations for
 forecast, 1947.