

# PS-4 日本沿岸の距岸別気象海象データ解析と小型船舶の余裕乾舷

流体性能評価系 \* 黒田 貴子、田口 晴邦、流体設計系 辻本 勝

## 1. はじめに

小型船舶（定員 12 名以下）に対する現行の復原性基準は船長  $L=3.3\text{m}$  を境に適用される基準が異なり、 $3.3\text{m}$  以上の船舶に適用される基準より、それ以下で適用される簡易基準による方が定員を多くとれる現象が生じている。

そこで、本研究ではこの現象を解消するために日本全国の沿岸海域距岸 5 海里までの気象海象を解析し、距岸別の海象を明らかにするとともに、基準要件の 1 つである縦波に対する余裕乾舷の適切な要求値について検討を行った<sup>1)</sup>。

## 2. 現行の余裕乾舷要求

現行で要求される余裕乾舷 $\delta_w$ は  $L/40$  であり、これは風速  $15\text{m/s}$ 、吹送時間 1 時間、吹送距離  $10\text{km}$  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 $\delta_w$ は(1)式で表わされる。

$$\delta_w = \frac{H_w}{2} - \frac{1}{L} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \frac{H_w}{2} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}x\right) dx \quad (1)$$

$$= \frac{H_w}{2} \left\{ 1 - \frac{\lambda}{\pi L} \sin\left(\frac{\pi L}{\lambda}\right) \right\}$$

ここで、 $H_w$  : 波高、 $L$  : 船長、 $\lambda$  : 波長である。ただし、 $H_w$  と  $\lambda$  は余裕乾舷を求めるパラメータである。このときの想定海象の波呺度 ( $H_w/\lambda$ ) は  $0.05$  であり、 $H_w=0.05\lambda$  とすると余裕乾舷 $\delta_w$  は(2)式で表わされる。

$$\delta_w = \frac{\lambda}{40} \left\{ 1 - \frac{\lambda}{\pi L} \sin\left(\frac{\pi L}{\lambda}\right) \right\} \quad (2)$$

ここで現行基準では、 $\lambda/L$ は(2)式で最も厳しい状態となる  $\lambda/L=1.0$  がとられており、 $\delta_w=0.025L=L/40$  となる。

## 3. 距岸別気象海象データ解析

### 2. 1 距岸別気象海象データ平均値

海上技術安全研究所の「日本近海の波と風のデータベース」を用いて沿岸海域の距岸 2、3、4、5 海里での有義波の波高、波周期、波呺度及び平均風速の平均値を海域ごとに解析した。解析した項目を表 1 に示す。なお、ここでの有義波呺度は有義波高  $H_{1/3}$  / 有義波周期相当規則波長  $\lambda'_{1/3}$  であり、 $\lambda'_{1/3}$  は平均波周期から (3) 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。

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 37 海域区分を示す。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。また、37 海域全体、平水区域の 7 海域を除いた 30 海域及び

平水区域の 7 海域での解析項目の平均値も求めた。表 2 に 37 海域全体の有義波と平均風速の平均値を示す。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て求めている。

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

表 1 解析項目一覧

有義波高	$H_{1/3}$
有義波周期	$T_{1/3}$
有義波長	$\lambda'_{1/3}$
有義波呺度	$H_{1/3}/\lambda'_{1/3}$
平均風速	$V_{ave}$

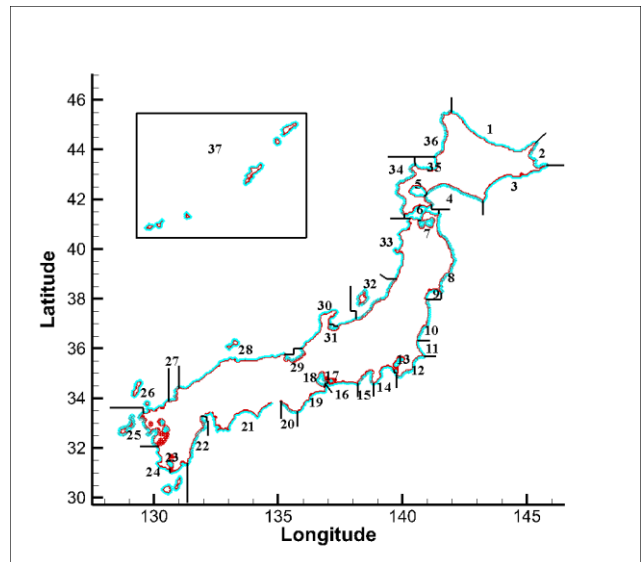


図 1 日本沿岸の海域区分

表 2 全海域での距岸毎の有義波と平均風速の平均値

距岸 [mile]	全国				
	2	3	4	5	6
$H_{1/3}[\text{m}]$	0.84	0.92	1.01	1.08	1.15
$T_{1/3}[\text{s}]$	5.03	5.11	5.20	5.30	5.41
$V_{ave}[\text{m/s}]$	5.97	6.06	6.15	6.23	6.31
$\lambda'_{1/3}[\text{m}]$	39.5	40.8	42.1	43.9	45.7
$H_{1/3}/\lambda'_{1/3}$	0.021	0.023	0.024	0.025	0.025

### 2. 2 発生頻度分布を用いた波呺度の解析

日本全国 37 海域の有義波高と有義波周期の発生頻度分布を用いて波呺度を解析した。海域毎に有義波高  $H_{1/3}=0.5$ 、 $1.0$ 、 $1.5$ 、 $2.0$ 、 $3.0\text{m}$  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 海里的の平均有義波周期 $\overline{T_{1/3}}$ を求め、(3)式を用いて相当規則波長 $\lambda'$ に変換し有義波高毎の平均波粗度 $H_{1/3}/\lambda'$ を算出した。

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粗度を設定しているが、波高の基準はない。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から、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<sup>2)</sup>。そこで、平水区域では有義波高 $H_{1/3}=0.5m$ 、その他の海域では有義波高 $H_{1/3}=2.0m$ 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粗度を算出した。表 3 に日本全国 37 海域での距岸毎の平均波粗度を平水区域では $H_{1/3}=0.5m$ で、その他の海域では $H_{1/3}=2.0m$ で解析した結果を示す。

表 3 距岸毎の平均波粗度

地域		海域	有義波高 [m]	距岸 [mile]				
				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
B	東北東	6 津軽海峡	2.0	0.037	0.037	0.037	0.037	0.036
		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 常陸沖	2.0	0.022	0.023	0.023	0.024	0.024
C	関東	11 鹿島灘	2.0	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026
		12 厚総沖	2.0	0.026	0.027	0.027	0.027	0.027
		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
D	東海	16 遠州灘	2.0	0.025	0.026	0.027	0.027	0.027
		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 熊野灘	2.0	0.025	0.025	0.025	0.025	0.026
		20 紀伊半島西岸	2.0	0.026	0.026	0.027	0.027	0.027
E	近畿	21 四国沖	2.0	0.036	0.031	0.027	0.027	0.026
		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
		27 響灘	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	0.033	0.033
		29 若狭湾	2.0	0.030	0.030	0.029	0.029	0.029
		30 能登沖	2.0	0.030	0.030	0.029	0.029	0.029
J	北陸	31 富山湾	0.5	0.016	0.017	0.017	0.017	0.017
		32 佐渡沖	2.0	0.032	0.032	0.031	0.031	0.031
K	東北西	33 秋田沖	2.0	0.034	0.033	0.033	0.032	0.032
		34 糠山沖	2.0	0.035	0.035	0.035	0.034	0.034
L	北海道西	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
		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	0.030
全国平均(平水区域除く)			2.0	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

#### 4. 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 ( $H_w/\lambda$ ) を設定することで(1)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 3 に示したように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 $H_{1/3}=2.0m$ 、平水区域では $H_{1/3}=0.5m$ での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 4 に玄界灘の $H_{1/3}=2.0m$ での距岸毎の波粗度を、表 5 に陸奥湾の $H_{1/3}=0.5m$ での距岸毎の波粗度を示す。波粗度が大きいのは玄界灘の距岸 2 海里で $H_{1/3}/\lambda'=0.039$ 、陸奥湾の距岸 2 海里で $H_{1/3}/\lambda'=0.031$ である。この値は表 2 に示す 37 海域の有義波周期を平均値で求めた

波粗度よりも大きい。表 6 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平均波粗度(上段)と $H_{1/3}=2.0m(0.5m)$ 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(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。

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 $H_{1/3}/\lambda'=0.039$ を使って縦波に対する余裕乾舷 $\delta_w$ を求めることとする。(1)式に波粗度 $H_w/\lambda=0.039$ を代入すると(4)式となり、波長船長比 $\lambda/L=1.0$ とすると余裕乾舷 $\delta_w$ は(5)式のように表わせる。

$$\delta_w = \frac{0.039\lambda}{2} \left\{ 1 - \frac{\lambda}{\pi L} \sin\left(\frac{\pi L}{\lambda}\right) \right\} \quad (4)$$

$$\delta_w = 0.0195L \cong 0.02L \quad (5)$$

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 $\delta_w$ は 1/50L 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粗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 4 玄界灘の波粗度 ( $H_{1/3}=2.0m$ )

距岸[mile]	2	3	4	5
波粗度 $H_{1/3}/\lambda'$	0.039	0.038	0.038	0.037

表 5 陸奥湾の波粗度 ( $H_{1/3}=0.5m$ )

距岸[mile]	2	3	4	5
波粗度 $H_{1/3}/\lambda'$	0.031	0.031	0.030	0.030

表 6 日本全国、平水除く全国及び平水区域の平均波粗度

波粗度 $H_{1/3}/\lambda'$	日本全国	平水区域 除く全国	平水区域
平均 $\overline{T_{1/3}} \cdot H_{1/3}$ での $H_{1/3}/\lambda'$	0.025	0.025	0.023
$H_{1/3}=2.0m(0.5m) \cdot$ 加重平均 $\overline{T_{1/3}}$ での $H_{1/3}/\lambda'$	0.030	0.030	0.021

#### 謝辞

本研究は、日本小型船舶検査機構の「小型船舶の復原性に関する検討委員会」(H26, 27)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。

#### 参考文献

- 海上技術安全研究所、日本小型船舶検査機構 H27 年度委託研究「5 海里沖気象海象データ解析調査報告書」、2015
- 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 設計区分の関係評価に関する調査研究報告書」、2003