

### 小型漁船と水上オートバイの漂流実験<sup>†</sup>

寄高博行<sup>\*1</sup>, 小西直樹<sup>\*2</sup>

Drifting experiment of small fishing boats and personal water crafts<sup>†</sup>

Hiroyuki YORITAKA<sup>\*1</sup> and Naoki KONISHI<sup>\*2</sup>

#### Abstract

Drifting experiment of four small fishing boats and two personal water crafts was carried out in the Sagami Bay in March, 2014. Leeway coefficients for each boat and craft are calculated. These coefficients are about the same values, which are independent of both their tonnages and load capacities.

#### 1 はじめに

海上を漂う物体が風を受けて移動する運動を風圧流と呼び、風圧流速は風速に比例するとされる。比例係数は物体ごとに異なり、1960年代の漂流実験の結果（倉品，1961；日本水路協会，1984）等から算出され、使用されてきた。物体の漂流予測に当たっては、風圧流速は漂流速度の一要素として加えられる。近年の船舶の漂流予測を、比例係数のカテゴリー別に分けた時、件数の多いのは、小型漁船（5トン未満）と転覆船・水船である。小型漁船の比例係数が求められた時期は不明であるが、1970年代以降に漁船のFRP（Fiber Reinforced Plastics，繊維強化プラスチック）化が進んでいるため、比例係数が適当でなくなっている可能性もあり、新たに現行の小型漁船で漂流実験を行った。また、毎年数件の漂流予測を必要とする海難があるものの、比例係数の定まっていなかった水上オートバイについて、併せて漂流実験を行った。

#### 2 風圧流

海上を漂う物体は、空気から受ける抗力と、海水から受ける抗力がバランスし、等速で漂流するとされる。流体から受ける抗力  $D$  は、レイノルズ数が大きい場合、物体と流体の相対速度  $V$  の2乗に比例し、

$$D = \frac{1}{2} \rho C S V^2 \quad (1)$$

となる。ここで、 $\rho$  は流体の密度を、 $C$  は抗力係数を、 $S$  は断面積を表す。空気からの抗力と海水からの抗力がバランスしているので、

$$\frac{1}{2} \rho_a C_a A (W - U)^2 = \frac{1}{2} \rho_w C_w B V^2 \quad (2)$$

となる。ここで添字  $a$  は空気に関する項目を、添字  $w$  は海水に関する項目を表し、 $A$  は海上の断面積を、 $B$  は海中の断面積を表す。また、 $W$  は風速を、 $U$  は物体の対地速度を表し、 $V$  は物体の対水速度、すなわち風圧流速を表す。通常、物体の対地速度は風速に比べて小さいので、風圧流

<sup>†</sup> Received September 18, 2015; Accepted November 12, 2015

\*1 環境調査課 Oceanographic and Environmental Research Division

\*2 測量船「昭洋」 Survey Vessel *Shoyo*

速は,

$$V = \sqrt{\frac{\rho_a}{\rho_w}} \sqrt{\frac{C_a}{C_w}} \sqrt{\frac{A}{B}} W \quad (3)$$

と表せる. 空気の密度の代表的な値を  $1.25 \text{ kg/m}^3$ , 海水の密度の代表的な値を  $1025 \text{ kg/m}^3$  とすると, 密度に関する比例係数は  $0.035$  となる. これは風圧係数と呼ばれ, 風速には通常, 海上  $10 \text{ m}$  の値を用いるので, 風圧中心が海上  $10 \text{ m}$  の物体に対する値となる.

地表付近の風速プロファイルは, ベキ法則で近似されることが多く, 地上  $z$  [m] での風速  $W(z)$  は,

$$W(z) = W(10) * \left(\frac{z}{10}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

と表される. ここで,  $n$  は地表の粗度によるパラメータである. 静かな海面では  $n=10$  とされるが, 通常海面では平原と同じ  $n=7$  を用いる. 風圧中心が低い場合に用いている風圧係数  $0.025$  は,  $n=7$  のベキ法則に当てはめると, 海上  $1 \text{ m}$  の値となる.

抗力係数は物体の形状によって  $0.1$  から  $2.0$  程度まで変化する (e.g. 関口・他, 1970). したがって, 通常用いられる風圧流速の式,

$$V = k \sqrt{\frac{A}{B}} W \quad (k=0.035 \text{ or } 0.025) \quad (5)$$

での可変係数は断面積比  $\sqrt{\frac{A}{B}}$  のみであるが, この係数には, 風圧中心の規定値 ( $10 \text{ m}$  または  $1 \text{ m}$ ) からのずれとともに, 海中と海上の抗力係数の相違も含まれている.

### 3 漂流実験

漂流実験は, 相模湾において  $2014$  年  $3$  月に行われた. 小型漁船については  $4$  隻を, 日中約  $7$  時間,  $3$  日にわたりそれぞれ約  $21$  時間同時に漂流させた.  $4$  隻の諸元を Table 1 に示す.  $5$  トンクラス  $2$  隻と  $2$  トンクラス  $2$  隻をそれぞれ満載と空船で設定している.

風と流速の測定には専用船を用意し, 風速計は海上約  $3 \text{ m}$  に設置した. 流速測定には ADCP ( $600 \text{ kHz}$ ) を舷側に装備し, 同じ ADCP を漂流

Table 1. Specifications and leeway coefficients of small fishing boats.

表 1. 小型漁船の諸元と比例係数.

No.	トン数	積載	$\sqrt{(A/B)}$		A/B
			平均値	標準偏差	
1	1.8	満載(200kg)	1.70	0.64	2.89
2	2.3	空船	1.68	0.67	2.82
3	4.8	満載(400kg)	1.74	0.63	3.03
4	4.8	空船	1.70	0.74	2.89

船の  $1$  隻にも装備した.

水上オートバイについては  $2$  隻を小型漁船と異なる日に, やはり日中約  $7$  時間,  $3$  日にわたりそれぞれ約  $21$  時間同時に漂流させた. 単座の水上オートバイはあまり大きなシェアを占めていないため,  $2$  隻とも同じメーカーの複座 ( $3$  人乗り) のもので, 機種は異なるが, 外見に大きな差はない. 漂流時には  $1$  名が乗船していた.

風と流速の測定は小型漁船の実験時と同じ専用船で行い,  $2$  台目の ADCP は警戒船に装備した.

## 4 データ

### 4.1 漂流速度

各船の位置データは  $5$  秒毎に記録されている. 風向・風速測定に合わせ,  $10$  分間の緯度, 経度から線形回帰式で東西流速と南北流速を求めた.

### 4.2 風向・風速

風向・風速計は風車型で,  $10$  分間のスカラー平均風速と平均風向, 瞬間最大風速と風向が記録されている. 風速には平均風速を, 風向は瞬間最大風速時の風向を, その時刻の船首方向を差し引いて使用した.

### 4.3 流向・流速

ADCP データは最浅層の  $2 \text{ m}$  深を用いた.  $15$ – $25$  秒毎の測定データから, 風向・風速測定に合わせた  $10$  分間毎に平均値と標準偏差を求めた. その際,  $1 \text{ m/s}$  以上の流速は異常値として除去した.

#### 4.4 断面積比

漂流速度  $U$  と流向・流速  $v$  のベクトル差から、風圧流  $V$  を求め、低い風圧中心の風圧係数 0.025 を用いると、断面積比は、

$$\sqrt{\frac{A}{B}} = \frac{V \cos \theta}{0.025 \cdot 1.19 \cdot W} \quad (6)$$

となる。ここで  $\theta$  は風下方向と風圧流のなす角度であり、風圧流の風下方向成分を用いることになる。また、風速  $W$  にかかっている係数 1.19 は、海上 3 m で測定した風速を、べき法則  $n=7$  の条件で海上 10 m に変換する係数である。

ADCP による流向・流速にはかなりバラつきが見られ、時間帯によってはノイズが大部分を占めるケースも見受けられた。(6)式から、断面積比  $\sqrt{\frac{A}{B}}$  における流向・流速のバラつきの影響は風速によって変わるため、データの採用・不採用を、流向・流速の標準偏差  $rms\_v$  の風速との比を用いて、

$$\frac{rms\_v}{W} < 0.015 \quad (7)$$

の場合だけを採用した。これは、(6)式にあてはめると、断面積比  $\sqrt{\frac{A}{B}}$  における流向・流速のバラつきの影響が 0.5 未満となる場合のみを採用したことになる。

各船における断面積比  $\sqrt{\frac{A}{B}}$  の平均値と標準偏差を Table 1, Table 2 に示す。平均値と標準偏差を求めるにあたっては、頻度分布から、断面積比  $\sqrt{\frac{A}{B}}$  がマイナス値の場合と 3.5 以上となる場合を除いた。

#### 5 考察

算出した断面積比  $\sqrt{\frac{A}{B}}$  には、漂流速度、流向・流速、風向・風速それぞれの誤差と、風速のプロファイルの時間変化、風向・風速による抗力係数の変化などの断面積比の変化が含まれる。そ

Table 2. Leeway coefficients of personal water crafts.  
表 2. 水上オートバイの比例係数。

Name	長さ(m)	$\sqrt{(A/B)}$		A/B
		平均値	標準偏差	
Silver	2.89	1.74	0.61	3.03
Black	2.71	1.81	0.59	3.28

れぞれの船舶についての断面積比  $\sqrt{\frac{A}{B}}$  の標準偏差は 0.6 から 0.7 程度であり、漂流速度の誤差は小さいと見積もられるため、断面積比のバラつきの大部分は、流向・流速の誤差と、風向・風速の誤差によると考えられる。風向は、平塚沖総合実験タワーにおける測定値と比べて、大きく異なる場合がしばしば見られた。

漂流予測プログラムでは、2乗した結果の  $\frac{A}{B}$  を入力する。 $\frac{A}{B}$  を 3 近傍で 0.1 変化させても、風圧流は 1.7% しか変化しない。 $\frac{A}{B}$  は 0.5 刻みで設定すれば十分な分解能と考えられる。また、小型漁船の 2 トンクラス、5 トンクラスともに満載の方が空船に比べて断面積比  $\sqrt{\frac{A}{B}}$  が大きいという逆転が生じており、有意な差はないと考えられる。

今回の実験で、単線予測では実用上問題のない精度で小型漁船と水上オートバイの断面積比  $\sqrt{\frac{A}{B}}$  が得られた。しかし風圧流の偏角を求めるためには、流向・流速と風向・風速の精度を上げる必要がある。流向・流速については、ドローグ付きの漂流ブイによる測定が、風向・風速についてはベクトル平均が可能な機器が必要と考えられる。

#### 文 献

- 倉品昭二 (1961) 漂流中の船舶の風圧流について、水路要報, 65, 36-41.
- 日本水路協会 (1984) 沿岸域の流況及び漂流の予測並びに提供システムの研究, pp.133, 日本水路協会, 東京.

関口久美ほか（1970）機械工学概論，新編機械工学講座，382 pp，コロナ社，東京．

### 要 旨

2014年3月に相模湾において，小型漁船（5ト

ン未満）4隻と水上オートバイ2隻の漂流実験を行った．それぞれの船舶で，風速に比例する風圧流を計算するための比例係数を求め，トン数，積載に関わらないほぼ一定の値を得た．