

波による浮体の漂流速度について

正員 谷 澤 克 治* 正員 南 真 紀 子*
井 本 泰 司**

On the drifting speed of floating bodies in waves

by Katsuji Tanizawa, Member Makiko Minami, Member
Yasuji Imoto

Summary

In this paper, wave drifting speed of a floating body is discussed. Measurements of wave drifting speed were conducted on both two-dimensional floating body and three-dimensional floating body. Then, the theoretical calculation method of wave drifting speed was derived from the analyses of measurement results.

The mechanism of wave drifting speed varies with wavelength. In the range of short wavelength, wave drift force due to reflection waves drifts the floating body; therefore the drifting speed is decided by the equilibrium of wave drift force and fluid drag, and it is proportional to the wave slope. In the range of long wavelength, on the other hand, wave drift force hardly acts on the floating body, because wave almost transmits the floating body; therefore the drifting speed is decided by the wave-current speed and it is proportional to the square of the wave slope. Taking these wave drifting mechanisms into consideration, an estimation method of wave drifting speed, which covers entire wave range, is proposed.

1. 結 言

近年、オイルタンカーやケミカルタンカーの荒天海域での折損事故が続発し、重大な海洋汚染を引き起こしている。例えばナホトカ号の事故による日本海沿岸の油汚染、エリカ号やイエボリスンの事故によるフランス沿岸の油汚染と有害化学物質被害等は、甚大な被害を沿岸地域に及ぼした。このようにタンカー等が荒天に遭遇して損傷すると、積み荷の流出により重大な海洋汚染を引き起こす。さらに、折損した船体が沿岸に漂着すると、沿岸の汚染を拡大する恐れがある。荒天による海難事故を

防止するためには船舶の強度評価を厳密にし、基準を満たさない老朽船舶を排除することが肝要であるが、万一事故が発生した際には、迅速な救助活動を行う事が人命救助ならびに環境被害を最小限に留めるために極めて重要である。海難事故に適切に対処するためには、航行不能な状態に陥った船舶に作用する波漂流力や、漂流姿勢、漂流速度等を正確に推定し、曳船に必要な馬力推定、最適曳航法の検討、漂流経路予測等を行わなければならない。そこで海上技術安全研究所では平成10年度より特別研究「荒天下における航行不能船舶の漂流防止法等に関する研究」を実施し、漂流運動の研究⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾、ならびに最適曳航法の研究を行っている。

著者らは本特別研究の一環として、波による漂流速度の推定法を海上保安庁水路部（以下では水路部と記す）と共同で研究している。本研究の目的は水路部で開発・運用している浮体の漂流経路予測システムに、波による漂流速度成分を加え、予測精度の向上を図ることにある。

* 独立行政法人海上技術安全研究所

** 海上保安庁

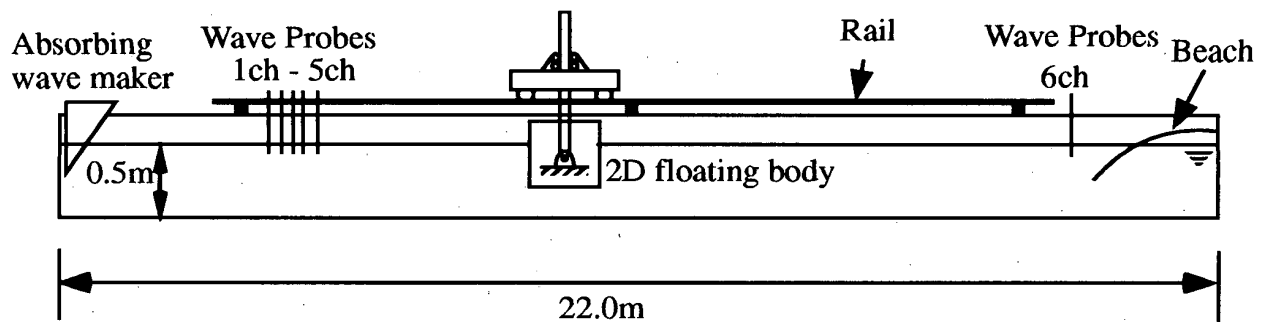


Fig. 1 Illustration of two dimensional wave tank

水路部の漂流経路予測システムでは海流・潮流・風による吹送流等は考慮されているが、波による漂流速度成分は微小として省略されている。しかし、波による漂流速度成分は必ずしも微小ではなく、漂流予測には波による漂流速度成分も考慮することが望ましい。

航行不能船舶の漂流に関連した研究報告では、OCIMF report⁵⁾ や HAZMAT report⁶⁾ 等が知られている。OCIMF report では航行不能な状態に陥ったタンカーを対象に、漂流と曳航に関する研究成果がまとめられている。このレポートでは船体に働く波漂流力については模型試験等により詳細に検討されているが、漂流速度については実船の漂流速度の計測結果から海流・潮流成分を差し引いて波と風による漂流成分を求め、これをまとめて Wind-Wave Drift Factor として取り扱っており、波による漂流速度成分を分離・分析していない。また、HAZMAT report では OCIMF 方式で航行不能船舶の漂流運動のシミュレーション計算を行い、想定した航路内で船舶が漂流した際の Formal Risk Analysis を実施した結果を報告している。その他の研究報告でも波漂流力に関する報告は多いが、波による浮体の漂流速度に関する報告は見あたらないようである。

そこで、著者らは波による漂流速度推定法の開発に関する基礎データ収集のため、二次元水槽において漂流を許した状態で浮体の波浪中運動と漂流速度を計測した。また3次元浮体として、水路部が漂流経路予測システムの検定に用いている小型漂流ブイの実物を用い、試験水槽で規則波ならびに不規則波中での漂流速度を計測した。そして、それらの解析結果から波による漂流速度推定法の導出を試みた。本報告ではこれらの試験研究で得られた知見を報告する。

2. 水槽試験

2.1 二次元浮体の波による漂流速度の計測

二次元水槽試験は海上技術安全研究所の二次元水槽(長さ=22m, 幅=0.5m, 水深=0.5m)において実施した。Fig.1に示すように本水槽の左端には吸収式造波機

Table 1 主要目

Breadth	B	0.40	m
Length	L	0.49	m
Draft	d	0.20	m
Displacement	W	39.2	kg
Metercenter height	GM	0.054	m
Lewis Form parameter	H_0	1.00	
Lewis Form parameter	σ	1.00	
Natural Roll Period	T_r	1.32	s

が、右端には消波板が備えられている。また、水槽の側面にはレールが取り付けられている。

供試浮体にはレイスフォーム断面を有する二次元浮体を用いた。主要目を Table 1 に示す。浮体は Fig.2に示すようにジンバル、ロードセル、ヒープロッド、キャリッジで構成された動揺計測装置に取り付けられている。この動揺計測装置は水槽に取り付けられたレール上を滑らかに動き浮体の水平方向の運動を拘束しない。

漂流速度は、基準点を通過する時間をストップウォッチで計測し基準点間の平均速度として求めた。原点を造波機より 5.0m の位置にとり、基準点を 1.0m 間隔で設けた。計測区間の全長は 8.0m で、漂流速度は計測区間内で一定値に収束した。

本試験では、規則波と不規則波の両方を用いた。規則波は無次元化波数 ($kB/2$) が 0.4 ~ 2.0、波高 (H_w) が 2.0cm ~ 7.0cm のものである。波傾斜 (H_w/λ) では 0.010 ~ 0.064 となる。また、不規則波は波スペクトルとして ISSC スペクトルと呼ばれる Modified Pierson-Moskowitz 型の2パラメータスペクトルを用いた。ISSC スペクトルは有義波高 H_V と目視観測周期 T_V を用いて

$$\Phi_{\zeta\zeta}(\omega) = \frac{0.11}{2\pi} H_V^2 T_V \left(\frac{T_V \omega}{2\pi} \right)^{-5} \times \exp \left\{ -0.44 \left(\frac{T_V \omega}{2\pi} \right)^{-4} \right\} \quad (1)$$

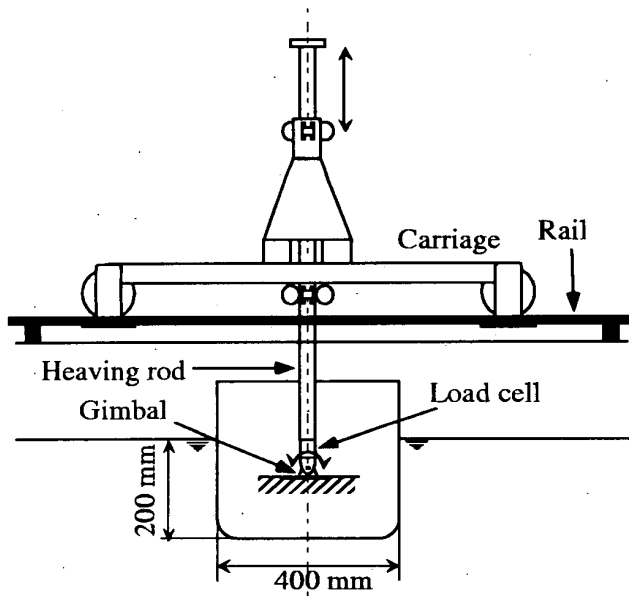


Fig. 2 Measuring equipment of 2D floating body motions

で与えられる。この式は実海域の波浪スペクトルをモデル化している。水槽内にこの波スペクトルを再現するにはスケールダウンする必要があるので、水槽試験では T_V を 0.88sec, 1.02sec, 1.32sec, 1.57sec (T_V に対応する無次元化波数 ($k_V B/2$) では, 1.051, 0.800, 0.532, 0.419 に相当する) と変化させて五つのスケールの不規則波を発生させた。本報では, T_V に対応する波長を λ_V , 波数を k_V とし, さらに平均波高 ($\bar{H}_W = 0.625 H_V$) を用いた \bar{H}_W/λ_V を不規則波の代表波傾斜と呼ぶことにする。

予備試験として抗力係数を求めるために浮体を曳航し, 速度と浮体にかかる流体抗力を計測した。流体抗力はジ

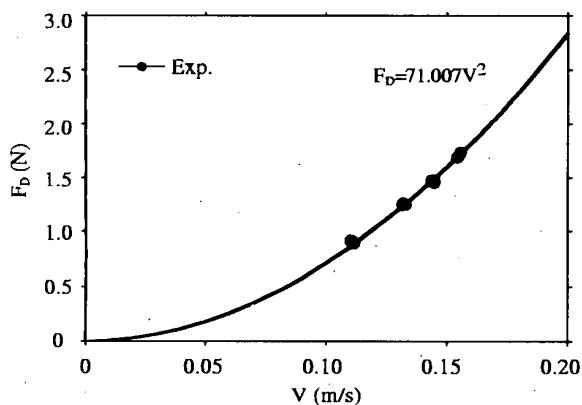


Fig. 3 Drag on the 2D body as a function of speed

ンバルとヒープロッドの間に取り付けたロードセルを用いて計測した。Fig.3にその結果を示す。横軸は速度 ($V(\text{m/s})$) であり, 縦軸は流体抗力 ($F_D(\text{N})$) である。実線は実験点の二次の回帰曲線で, 本曳航試験によりこの浮体の抗力係数は $C_D = 1.449$ と求められた。

2.2 二次元浮体の漂流速度計測結果

はじめに規則波中での実験結果を無次元化波数 ($kB/2$) が 0.50, 0.70, 2.00 のものについて Fig.4に示す。横軸は波傾斜, 縦軸は無次元化速度 (フルード数, V/\sqrt{Bg}) である。浮体の代表寸法として幅 $B = 400\text{mm}$ を用い

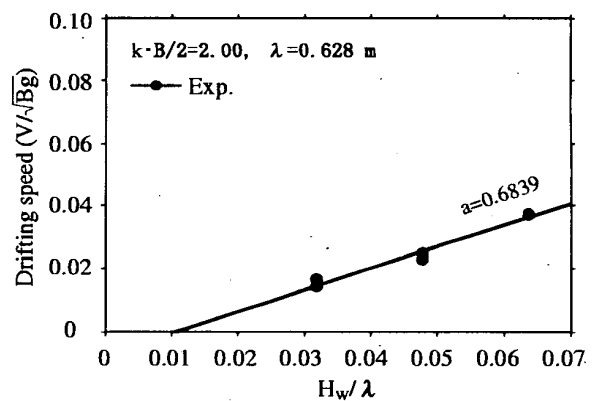
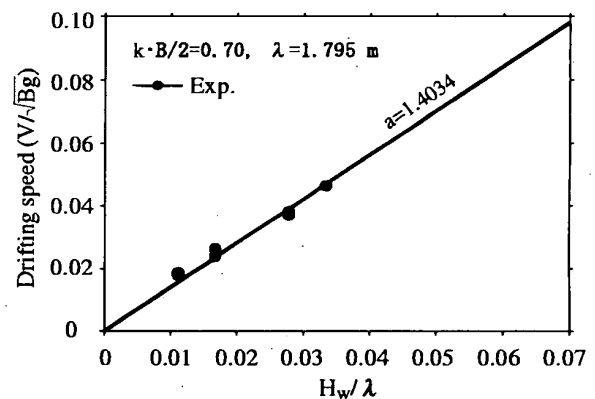
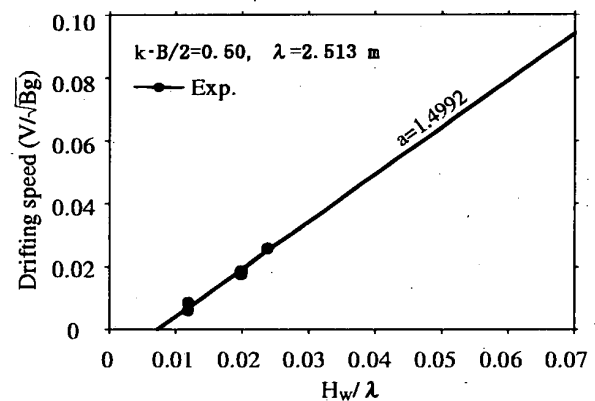


Fig. 4 Relation between wave slope and drifting speed (2D body in regular waves)

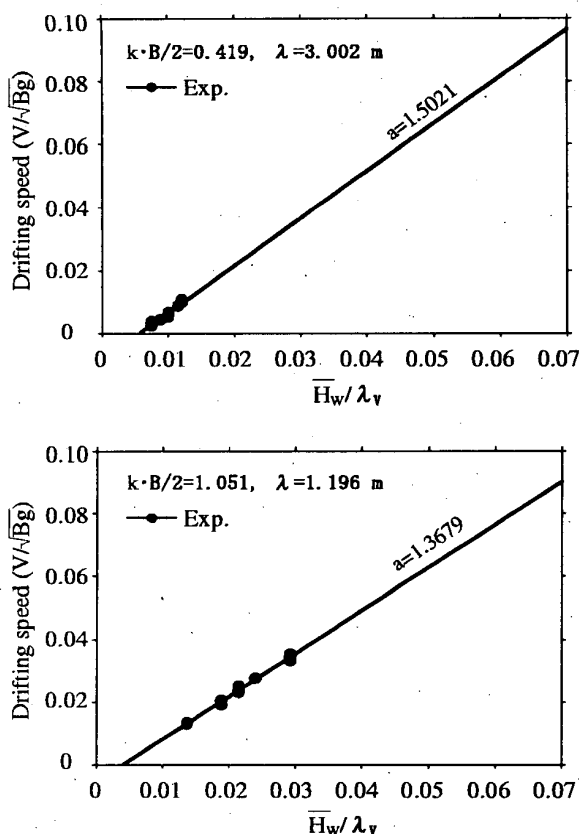


Fig. 5 Relation between wave slope and drifting speed
(2D body in irregular waves)

た。図中の黒丸は実験点で、実線は実験点の回帰直線であり、その係数 a を図中に示している。図より漂流速度はおおむね波高と線形の関係であるといえる。

次に、不規則波中での実験結果を無次元化波数が $0.419 (T_v = 1.57 \text{ sec})$, $1.051 (T_v = 0.88 \text{ sec})$ のものについて Fig.5 に示す。横軸は代表波傾斜、縦軸は Fig.4 と同様のフルード数である。実線は実験点の回帰直線で不規則波においても波漂流速度は平均波高とおおむね線形の関係があることがわかる。不規則波中の実験では実験毎に異なる時系列信号で造波しているため、入射波の時系列も実験毎に異なっているが漂流速度は安定しており再現性の高い実験結果が得られた。

最後に、Fig.4, Fig.5 に示した回帰直線は、原点を通過していないがこれは摩擦の影響によるものと考えられる。計測装置全体では摩擦が 7 g 程度あり浮体が動き出すためには波漂流力がこれ以上の大きさになる必要がある。波漂流力が最も大きくなる無次元化波数 0.7 付近では、摩擦の影響が相対的に小さいので回帰直線が原点の近くを通過している。

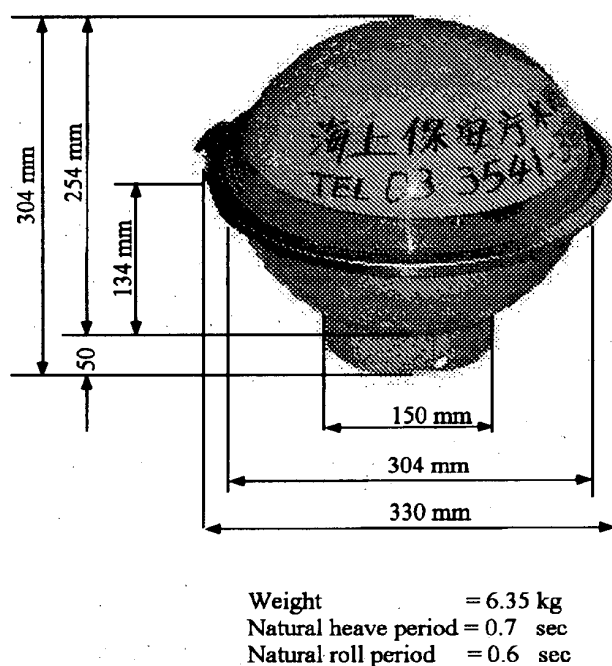


Fig. 6 Spherical buoy used for the measurement

2.3 三次元浮体の漂流速度の計測

三次元浮体の漂流速度は海上技術安全研究所動揺水槽 (長さ=50m, 幅=8.0m, 水深=4.5m) で計測した。本試験に三次元浮体として用いた小型漂流ブイの写真ならびにその主要寸法を Fig.6 に示す。このブイは高さ方向に少し潰れた球形の浮体で、赤道部に当たる箇所に取り付けられたフランジで上下の半球を接合する構造になっており、球内部には GPS 受信器、位置通報用無線送信器、バッテリー等が搭載されている。底部に円筒形の足

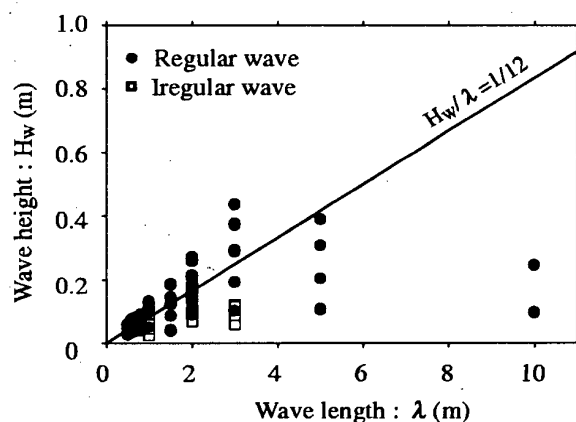


Fig. 7 Waves used for the drifting speed measurement of the buoy
(λ_v, \bar{H}_w are used on irregular waves)

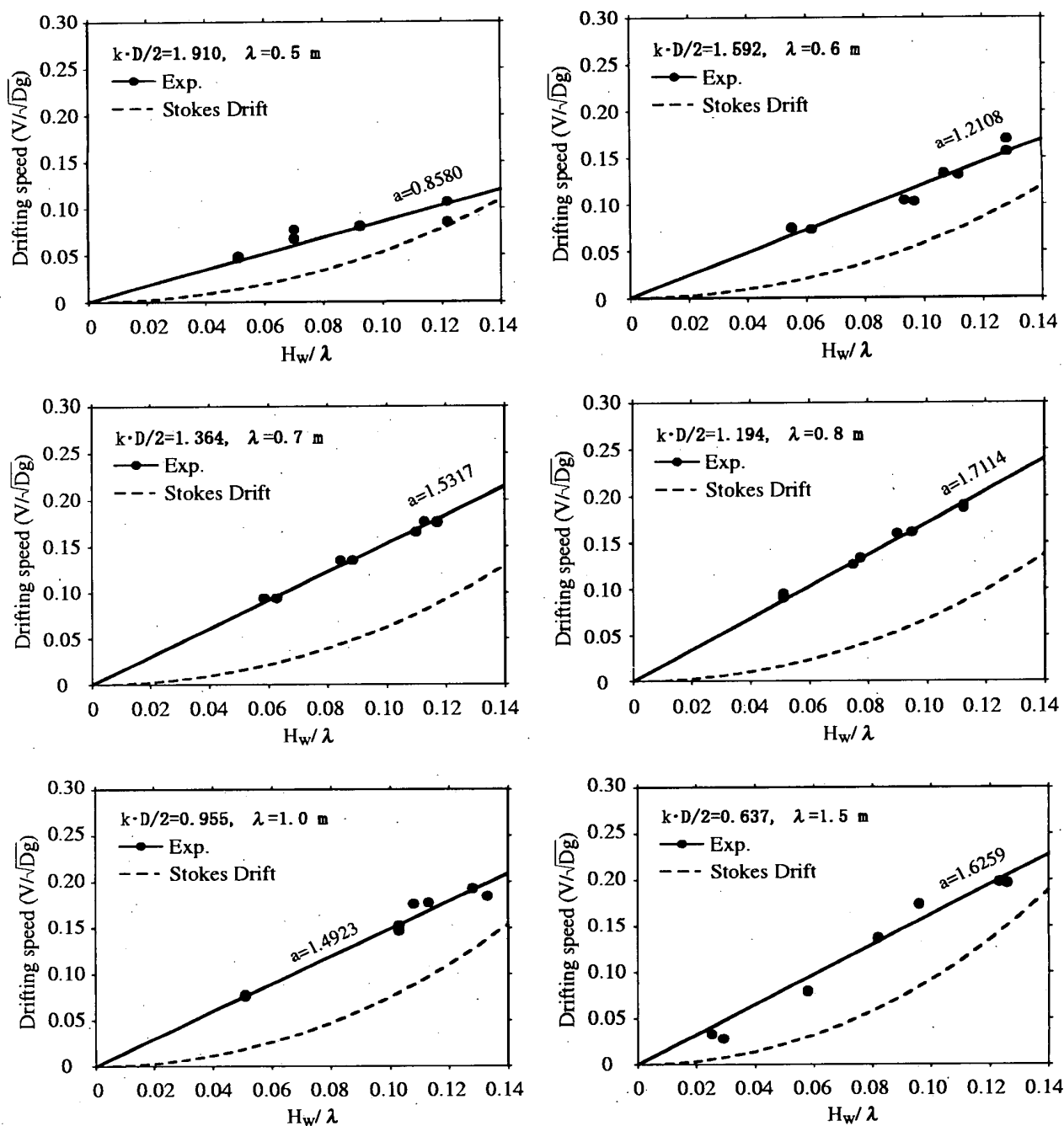


Fig. 8 Relation between wave slope and drifting speed
(Buoy in regular waves ; $\lambda = 0.5 \sim 1.5$)

を有し、足の内側に喫水調節用の鉛の重りが取り付けられている。真水に浮いた状態での喫水線はフランジ部のすぐ下で、喫水は 184mm である。このブイの浮体としての特性を把握するため動揺周期の計測を試みたところ、減衰が強い事とフランジ部の水面からの出入りが障害となり厳密な計測が困難であったが、動揺周期の概ねの値は Heave が 0.7sec, Roll が 0.6sec であった。

漂流速度はブイが基準線を通過する時間をストップウォッチで計測し、基準線間の平均速度として算出した。基準線は水槽幅方向に糸を引き渡してたもので、造波機から 7.6m の位置を始点とし、そこから波下側に 5.0m

毎に設けた。漂流速度は短時間で定常値に収束し、計測された平均漂流速度の区間毎の差は殆どなかった。ただし、短波長の大振幅波中での実験では、碎波により造波機から離れるに従って波高が減少するため、漂流速度も減少する傾向にあった。試験では造波機面から 5m の位置に取り付けた容量式波高計で波高を計測した。そこで、本報では波高計に近い第一区間の平均速度を漂流速度の計測値としている。

次に、水槽試験では入射波として規則波と不規則波の両方を発生させ、漂流速度を計測した。水槽の造波機で造波可能な波長レンジは 0.5m から 10m である。Fig.7

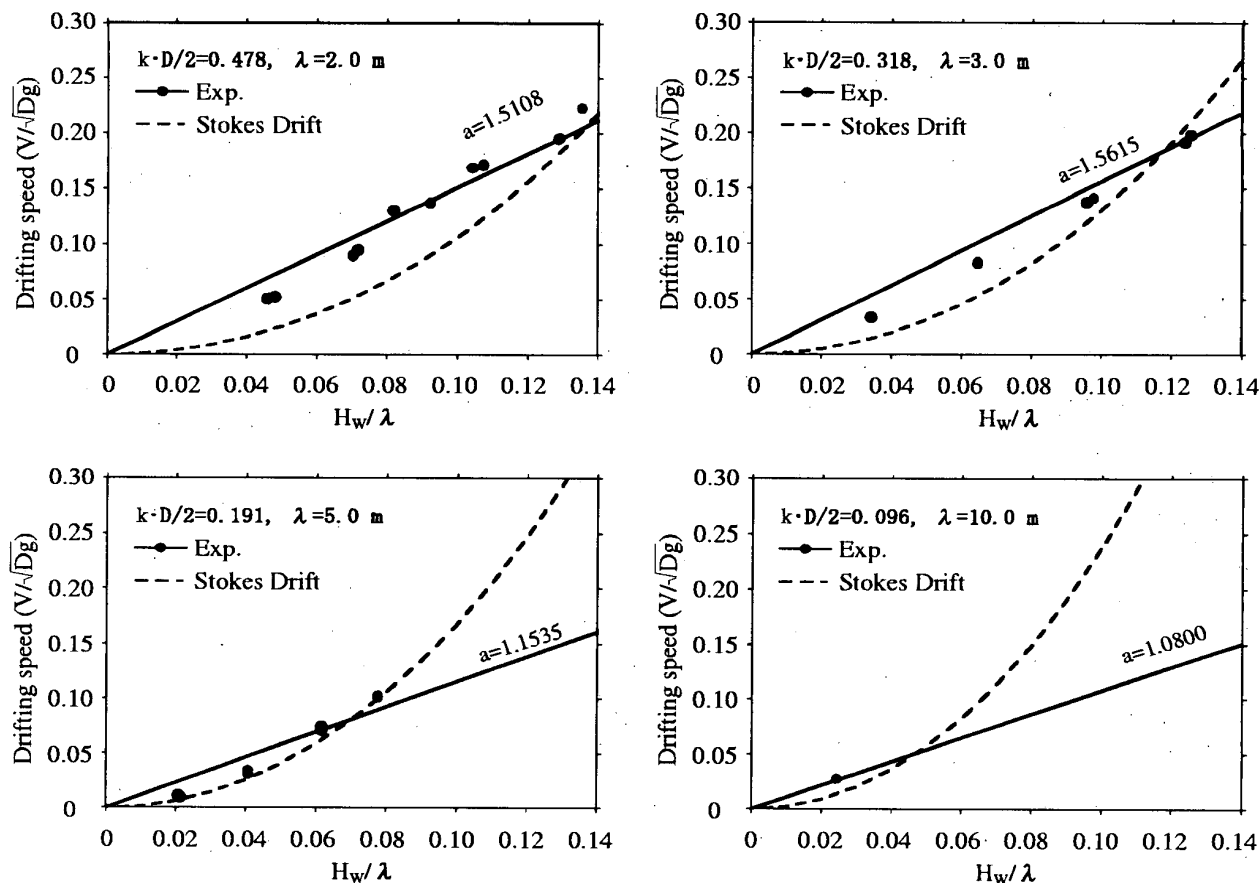


Fig. 9 Relation between wave slope and drifting speed
(Buoy in regular waves ; $\lambda = 2.0 \sim 10.0$)

に規則波の実験点を縦軸に波高 H_w 、横軸に波長 λ をとって黒丸で示す。図中の直線は波傾斜 1/12 の線で、これを越える点では砕波が発生したと考えると良い。荒天時の実海域では風浪が完全発達し砕波が頻発すると考えられるため、水槽実験においても波傾斜の大きな領域までカバーした。不規則波中での漂流速度の計測には、波スペクトルとして二次元水槽試験と同様に ISSC スペクトルを用いた。本水槽試験では T_V を 0.80sec (波長 1m 相当), 1.13sec (波長 2m 相当), 1.39sec (波長 3m 相当) と変化させて三つのスケールの不規則波を発生させた。平均波高 ($\bar{H}_w = 0.625 H_V$) との組み合わせは、Fig.7に白抜きで示す通りである。

2.4 三次元浮体の漂流速度計測結果

まず、規則波中でのブイの漂流速度 V の計測結果を Fig.8と Fig.9に示す。図の横軸は波傾斜、縦軸は無次元化漂流速度 (フルード数, V/\sqrt{Dg}) である。ブイの代表寸法として球殻部の直径 $D = 304\text{mm}$ を用いた。図中の実線は実験値の回帰直線で、係数 a はその回帰係数である。また、図中の破線は Stokes 波による自由表面での質量輸送速度である。

Fig.8に示す波長 $\lambda = 0.5\text{m} \sim 1.5\text{m}$ の短波長域では、

ブイの漂流速度は概ね波高に比例して増加している事が分かる。また漂流速度は Stokes 波による自由表面の質量輸送速度よりも大きい。質量輸送速度は深さ方向に指数関数的に減少するので、短波長域では質量輸送によるブイの漂流速度成分は破線で示した値よりずっと小さいと考えられる。そこで、短波長域ではブイは主に波漂流力によって押し流されて漂流すると推測される。

一方、Fig.9に示す波長 $\lambda = 2.0\text{m} \sim 10\text{m}$ の長波長域では、波長が長くなるに連れて、漂流速度が波高の二乗に比例して増加するようになり、 $\lambda = 5.0\text{m}$ では Stokes 波による自由表面の質量輸送速度にほぼ近い値になっていることが分かる。波長が長くなるに連れて波漂流力は小さくなるので、長波長域ではブイは波による質量輸送により運ばれると推測される。

このように Fig.8, Fig.9に示す計測結果から、波による漂流メカニズムは短波長域と長波長域とでは異なっていることが示唆され、波による漂流速度を推定するには両方の漂流メカニズムを考慮する必要があると考えられる。漂流速度の推定法については次節で論じることとし、本節では大波高規則波中および不規則波中での漂流速度の計測結果について、続けて報告する。

まず、大波高中での漂流速度については、Fig.8, Fig.9

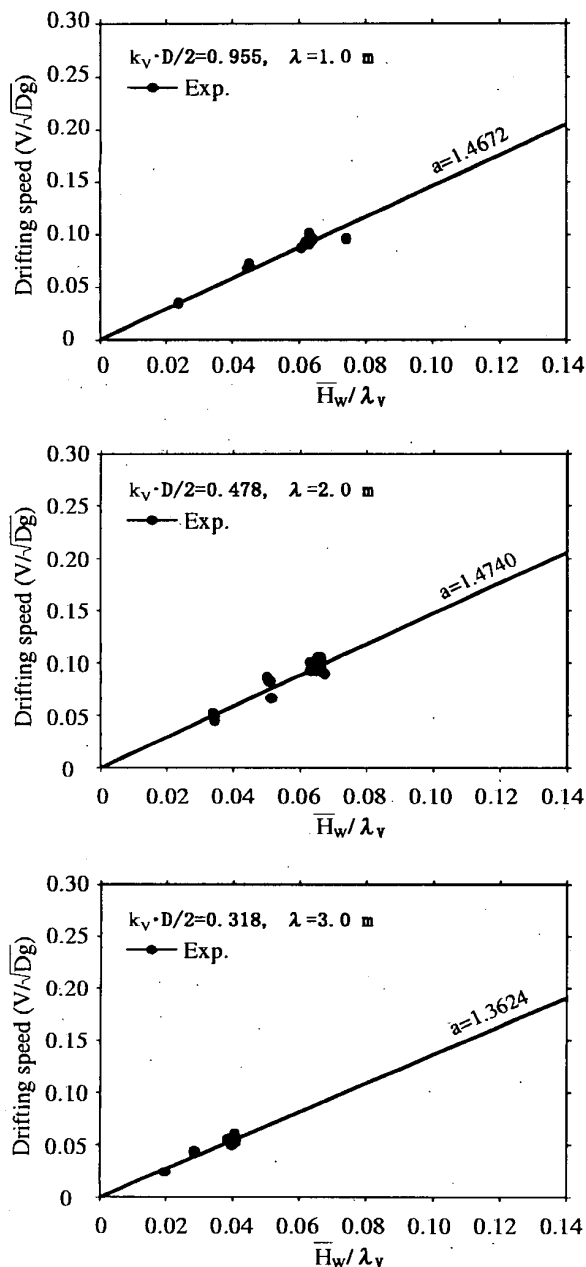


Fig. 10 Relation between wave slope and drifting speed
(Buoy in irregular waves)

に示すように、波傾斜が $1/12$ 以上の砕波が存在する高波高中でも、波高に対する比例関係が殆ど損なわれない結果が得られた。実験前には漂流速度は砕波により大きく影響を受けるものと予測していたが、砕波を伴う大波高中での漂流速度を計測してみると、評点間の平均漂流速度にとっては局所的な砕波はあまり大きな影響を及ぼさないことが分かった。

次に不規則波中での漂流速度の計測結果を Fig.10に示す。横軸は代表波傾斜、縦軸は Fig.8と同じフルード数である。図から不規則波であっても、漂流速度は概ね

平均波高に比例することが分かる。不規則波中の実験では、実験毎に異なる時系列信号を用いて造波している。よってブイが会う不規則波の時系列も実験毎に異なるが、漂流速度は揃っており、再現性の高い計測結果が得られた。

3. 波による漂流速度の推定法

3.1 短波長域での漂流速度の推定式

前節で述べたように、短波長域では漂流速度は波高に比例する。これは、短波長域では漂流速度が波漂流力と流体抗力との釣り合いで決まるためと考えられる。波漂流力 F_W は波高の二乗に比例し、流体抗力 F_D は漂流速度の二乗に比例する。この関係を式で表すと

$$F_W = \frac{1}{8} \rho g D_R C_W H_w^2 \quad (2)$$

$$F_D = \frac{1}{2} \rho A C_D V^2 \quad (3)$$

と書ける。ここで A は浮体の水面下の投影面積、 C_D は浮体の抗力係数である。 D_R は浮体の代表寸法で二次元浮体では B 、三次元浮体のブイでは D となる。また C_W は無次元化波漂流力で波数の関数である。両者の釣り合いから漂流速度を求めると、

$$\frac{V}{\sqrt{D_R g}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\lambda^2 C_W}{A C_D}} \frac{H_w}{\lambda} \quad (4)$$

となって漂流速度と波高との比例関係式が得られ、計測結果をうまく説明できる。曳航試験やデータベース等により C_D の値を求め、さらに C_W を理論計算もしくは数値計算等で推定すれば、(4) 式で漂流速度の推定が可能であると考えられる。本報では (4) 式右辺の波傾斜 ($\delta = H_w/\lambda$) にかかる係数

$$a = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\lambda^2 C_W}{A C_D}} \quad (5)$$

を一次の漂流速度係数と呼ぶことにする。

まず、二次元浮体の漂流速度を推定した結果を Fig.11に示す。図中の黒丸は Fig.4に示した計測値を $a\delta$ で一次回帰して求めた係数 a であり、実線は数値計算で求めた C_W と曳航試験で求めた C_D により推定された一次の漂流速度係数である。一次の漂流速度係数の推定値は短波長域で実験結果とよく一致していることが分かる。

次に三次元浮体であるブイの漂流速度の推定結果を Fig.12に示す。ブイの抗力係数をデータベース⁷⁾ から推定して $C_D = 0.9$ とし、無次元化波漂流力を球に働く波漂流力⁴⁾ で近似して漂流速度を推定し図中に実線で示

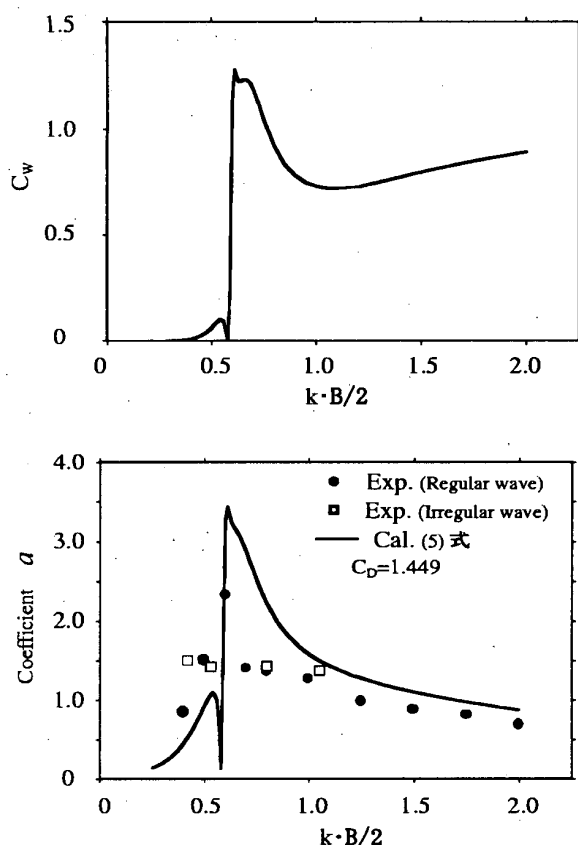


Fig. 11 Linear coefficient of wave drifting speed of the 2D body

す。図中の黒丸は Fig. 8, Fig. 9 に示した計測値を一次回帰して求めた係数 a である。三次元浮体についても一次の漂流速度係数の推定値は短波長域で実験結果とよく一致していることが分かる。

3.2 長波長域での漂流速度の推定式

長波長域では波は浮体により殆ど散乱されず全透過するので、浮体に波漂流力は殆ど働かない。よって波漂流は波による質量輸送に起因するものと考えられる。Stokes 波による質量輸送速度 U は波傾斜 δ を用いて

$$U = c\pi^2\delta^2 e^{2kz} \quad (6)$$

$$c^2 = \frac{g}{k} \left(1 + \pi^2\delta^2 + \frac{1}{2}\pi^4\delta^4 \right) \quad (7)$$

で与えられる²⁾。ここで c は Stokes 波の位相速度で、この高次項を省略して U をフルード数で表すと

$$\frac{U}{\sqrt{D_R g}} = \frac{\pi^2\delta^2 e^{2kz}}{\sqrt{kD_R}} \quad (8)$$

となる。浮体の漂流速度 V は波による質量輸送速度を浮体の投影面で積分して求めた平均速度で近似できると仮

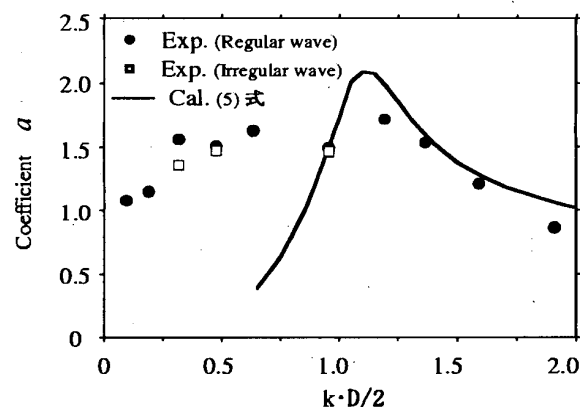


Fig. 12 Linear coefficient of wave drifting speed of the buoy

定すると、

$$\frac{V}{\sqrt{D_R g}} = b\delta^2 \quad (9)$$

$$b = \frac{\pi^2}{A\sqrt{kD_R}} \int_A e^{2kz} dz \quad (10)$$

で与えられる。係数 b を本報では二次の漂流速度係数と呼ぶことにする。

計測値の比較は、二次元浮体については水槽の造波能力を越え長波長域の実験が行えなかったため三次元浮体についてののみ示す。Fig. 13 の黒丸は Fig. 9 に示した計測値を $a\delta + b\delta^2$ で二次回帰して求めた二次係数 b で、実線は (10) 式より求めた二次の漂流速度係数の推定値である。計測値と比較し、推定値は実験結果を良く説明しているといえる。

3.3 全波長域での漂流速度の推定式

全波長域での漂流速度は短波長域と長波長域の漂流速度成分の足し合わせで推定できると仮定し漂流速度推定式を

$$\frac{V}{\sqrt{D_R g}} = a\delta + b\delta^2 \quad (11)$$

とする。Fig. 14 に (11) 式による推定値を示す。一次の成分が卓越している短波長域や二次の成分が卓越している長波長域では計測値と推定値は概ね一致しているが、その間の領域ではそれらの値は良く一致していない。その原因として一次の漂流速度係数の推定に球に働く漂流力を用いていることが考えられる。本水槽試験に用いたブイには球形の浮体部分の他に円筒形の足及び喫水線付近にフランジがついている。特にフランジ部は波浪中での動揺に伴い水から出入りするため、波漂流力に影響を及ぼしている可能性がある。

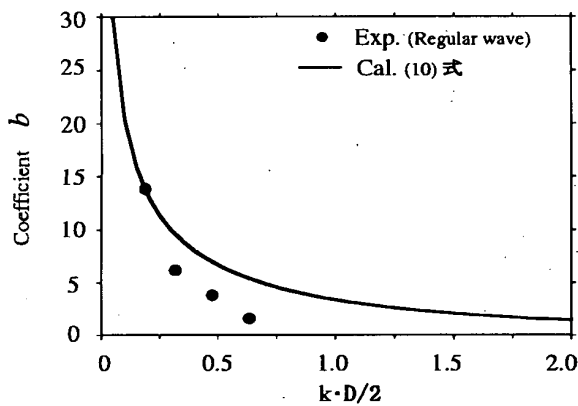


Fig. 13 2nd order coefficient of wave drifting speed of the buoy

ブイに働く波漂流力を球に働く波漂流力で近似したため、 $kD/2$ で $0.5 \sim 1.0$ 間の漂流速度推定値が計測値から外れた値になったものと考えられるが、詳細な検討は今後の課題である。ブイではなく真球浮体を用いた実験を行うことも検討する必要があるだろう。

3.4 不規則波中での漂流速度

不規則波中での漂流速度を規則波中での漂流速度と比較するため、不規則波の \bar{H}_w と k_v を規則波の波高と波数に対応させ、Fig.11と Fig.12に白抜き四角形で示す。この図から短波長域ならば不規則波であっても \bar{H}_w と k_v を用いて規則波中での漂流速度と対応させると良い一致を示すことが分かる。よって、短波長域では規則波中での漂流速度の推定法を用いて不規則波中での漂流速度を推定しても大きな誤りはないものと考えられる。

4. 結 言

本研究により、以下の事項が明らかになった。

1. 短波長域においては波漂流力による漂流速度成分が支配的である。漂流速度は波漂流力と流体抗力との釣り合いから決定され、波高に比例して増大する
2. 砕波を伴う大波高中においては、砕波による流れ成分により漂流速度がもっと速いものと予測していたが、それは瞬間的なもので、平均的な漂流速度への影響は予想外に小さいことが分かった。短波長域においては砕波する場合にも漂流速度は概ね波高に比例する。
3. 長波長域においては、波の質量輸送速度成分が支配的である。漂流速度は波の質量輸送速度で与えられ、ほぼ波高の二乗に比例して増大する。
4. 短波長域の不規則波中での漂流速度は、 \bar{H}_w , k_v

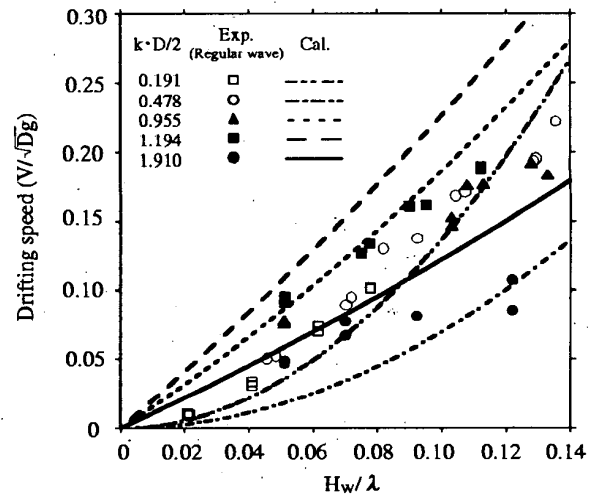


Fig. 14 Wave drifting speed of the buoy

を規則波の波高・波数に当てはめることで、規則波による漂流速度の推定値で近似できる。

本研究で短波長域での漂流速度の推定に用いた波漂流力の計算結果には、漂流速度の影響が考慮されていない。速度影響を考慮することにより推定精度が上げられると考えられるので、今後漂流速度を考慮した線形数値計算を行い、実験値との検討を行うつもりである。

ブイの波漂流試験では、長波長域での漂流速度が Stokes 波の質量輸送速度でうまく説明できた。これは造波機が Stokes 波に近い性質の波を発生したためと考えられる。Stokes 波は理想流体の有限振幅波であり、現実の粘性流体では条件によっては Stokes 波と質量輸送速度に大きな差があることが指摘されている²⁾。実海域に対応した波の質量輸送理論があれば、漂流速度の推定値もより正確になろう。

不規則波中での漂流速度をさらに厳密に議論するためには、各組成波による浮体の漂流速度の重ね合わせで不規則波中での漂流速度を記述する必要がある。方向スペクトルの考慮を含めて今後の課題としたい。

参 考 文 献

- 1) Maruo, H.: The drift of a body floating on waves, *J.S.R.*, Vol.4, No.3, (1960)
- 2) Kinsman, B.: Wind Waves, *Dover Books on Earth and Science*, (1965)
- 3) 野尻信弘, 村山敬一: 規則波中の二次元浮体に働く波漂流力に関する研究, 西部造船協会々報, 第 51 号, (1975)
- 4) 工藤君明, 小林一也: 三次元物体の波による漂流力 (第 1 報, 第 2 報), 船論, 第 141, 144 号, (1977, 1978)

- 5) OCIMF : Disabled Tankers, Report of studies on ship drift and towage, *Oil Companies International Marine Forum*, ISBN 0 900886 63 3,(1981)
 - 6) HAZMAT : Ship drift analysis for the Northwest Olympic Peninsula and the Strait of Juan de Fuca, *Hazardous Materials Response and Assessment Division, Office of Ocean Resources Conservation and Assessment, NOAA*, HAZMAT Report 97-3, (1997)
 - 7) 星野邦弘: 浮体式海洋構造物に働く粘性流体力の推定法に関する研究, 学位論文, 九州大学,(1997)
 - 8) 谷澤克治, 南真紀子 : 非線形シミュレーションによる波漂流力の推定, 第 72 回船研研究発表会講演集, (1998)
 - 9) Tanizawa,K., Minami,M. and Naito,S. : Estimation of wave drift force by numerical wave tank *Proc. 9th ISOPE Conf.*, vol.3, Brest, (1999)
 - 10) Tanizawa,K., Minami,M. and Naito,S. : Estimation of wave drift force by numerical wave tank, 2nd Report, *Proc. 10th ISOPE Conf.*, vol.3, Seattle, (2000)
 - 11) 谷澤克治, 南真紀子, 沢田博史: 波漂流力に及ぼす水底段差の影響について, 船論, 第 187 号, (2000)
-