

ルイスフォーム断面を有する2次元浮体の波による漂流速度について

運動性能部 *南真紀子, 谷澤克治

1 まえがき

荒天下における航行不能船舶の漂流防止等に関する研究の一環として、運動性能部では大波高時の漂流運動の研究を担当している。本研究の目的は、航行不能船舶の波による漂流運動を精度よく推定する手法を開発することにある。漂流運動を推定するためにはまず船舶に働く波漂流力を正確に把握する必要がある。これまでの研究では波漂流力の推定法を確立するため、弱いバネで係留された浮体に働く波漂流力を実験、理論、数値計算の3面から研究し、線形と非線形の数値計算による波漂流力の計算値が共に計測値とよく一致することを確認した¹⁾²⁾³⁾。そこで次に、漂流速度の推定法の開発に焦点を移し、基礎データを収集するため2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の計測を行った。また、今までに得られている波漂流力の計算値を用いて漂流速度の推定を試みた。本報ではこれらの結果について報告する。

2 水槽実験

2.1 2次元水槽

本実験は海上技術安全研究所海洋開発工学部の2次元水槽(長さ=26m, 幅=0.5m, 水深=0.5m)において実施した。図-1に示すように本水槽の左端には吸収式造波機が、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。

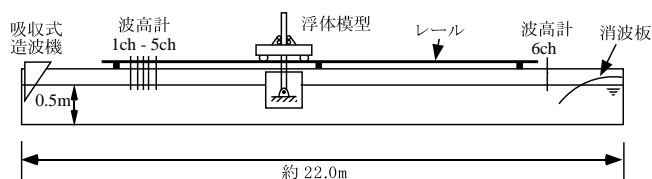


図-1 2次元水槽

2.2 浮体と計測装置

供試浮体にはルイスフォーム断面を有する2次元浮体を用いた。主要目を表1に示す。浮体は図-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。

計測項目は、浮体運動(ロール、ヒープ、スウェイ)、水面の上下動、漂流速度である。水面の上下動は、6個の波高計を用いて計測した。そのうち5個を浮体より造波機側に設置し、合田の方法⁴⁾を用いて入射波と反射波を分離した。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1m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。

表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

2.3 入射波

本実験では、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。このとき波傾斜(H_W/λ)では0.010-0.064となる。また、不規則波は波のパワースペクトルをISSCスペクトルとし、

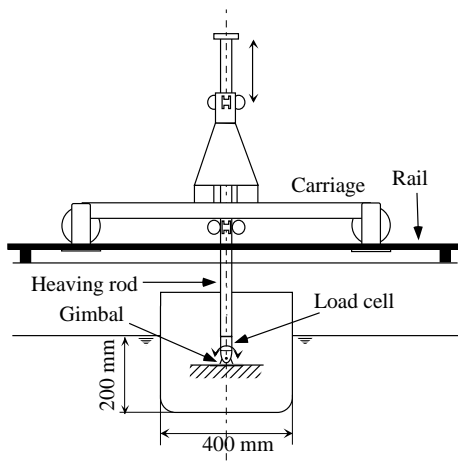


図-2 浮体模型と計測装置

目視観測波周期 (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, それぞれ波高を5点計測した。本報では, T_V に対応する波長 λ_V と, 平均波高 ($\bar{H}_W = 0.625H_V$) による \bar{H}_W/λ_V を不規則波の代表波傾斜と呼ぶことにする。

2.4 抗力係数

浮体模型の抗力係数を求めるために浮体模型を曳航し, 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。図-3にその結果を示す。横軸は速度 ($V(m/s)$) であり, 縦軸は流体抗力 ($F_D(N)$) である。実線は実験点の2次の回帰曲線である。流体抗力は, 速度の2乗に比例し

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

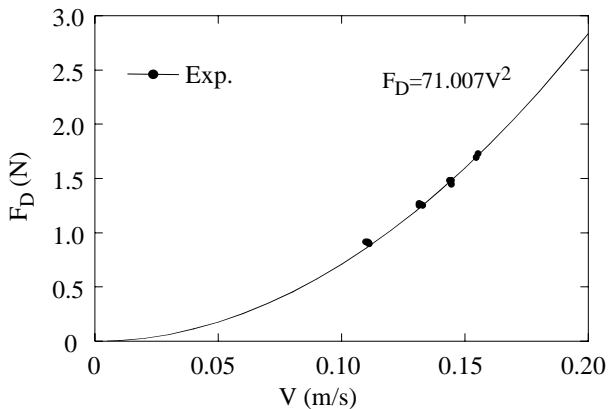


図-3 流体抗力と速度の関係

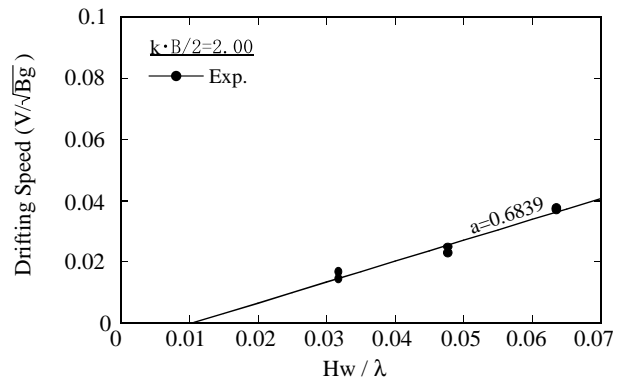
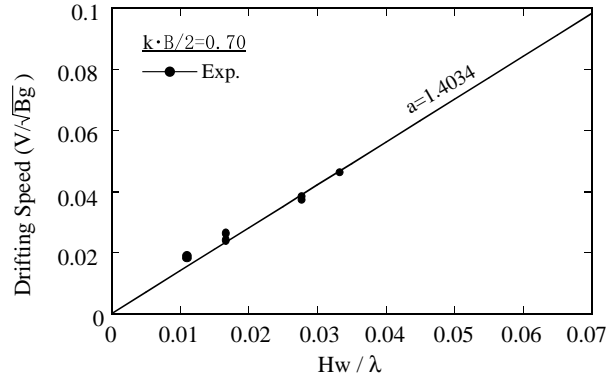
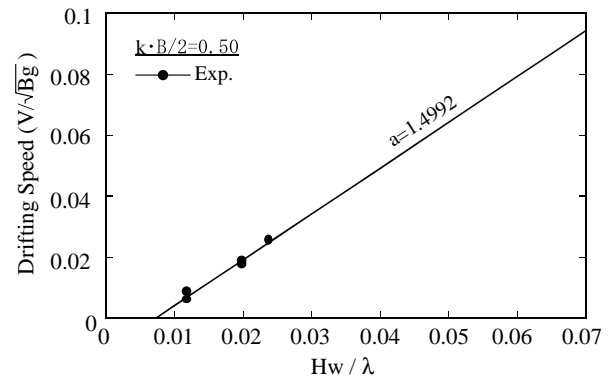


図-4 規則波中での漂流速度と波傾斜の関係

と表される。ここで, A は浮体の投影面積, C_D は抗力係数である。曳航試験によりこの浮体における抗力係数は $C_D = 1.449$ と求められた。

3 実験結果

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 のものについて図-4に示す。横軸が波傾斜, 縦軸が無次元化速度 (フルード数, V/\sqrt{Bg}) である。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。

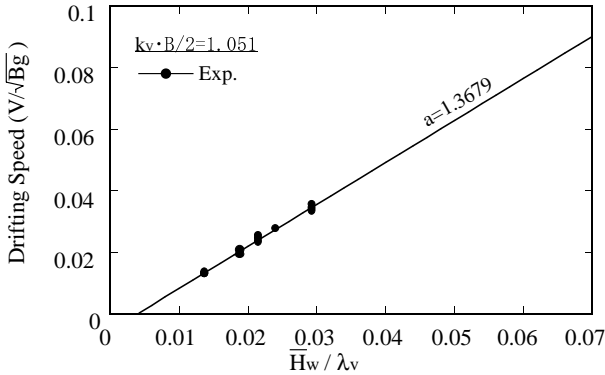
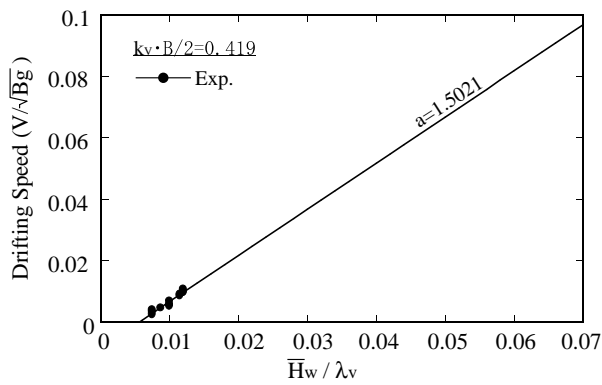


図-5 不規則波中での漂流速度と波傾斜の関係

次に、不規則波中での実験結果を無次元化波数 ($k_v B/2$) が 0.419, 1.051 のものについて図-5に示す。これらは T_V では 1.57sec と 0.88sec である。横軸は代表波傾斜、縦軸は図-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 \bar{H}_W 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。

4 漂流速度の推定法

波漂流速度は波漂流力と流体抗力の釣り合いで決定される。波漂流力は波高の2乗に比例し、

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

と表される。ここで C_W は浮体の動特性と波長により定まる無次元化波漂流力である。(1)式と(2)式の釣り合いから漂流速度と波高の関係式を求めると、

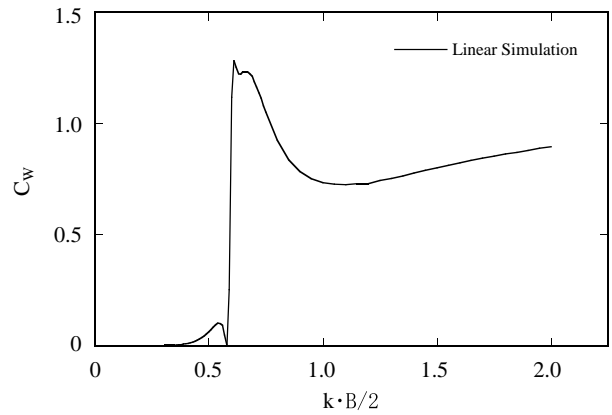


図-6 数値計算による波漂流力

$$\frac{V}{\sqrt{Bg}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{C_W \lambda^2}{AC_D} \frac{H_W}{\lambda}} \quad (3)$$

となり、比例関係が得られ実験結果と定性的に一致する。本報では、 $\sqrt{C_W \lambda^2 / AC_D}$ を波漂流速度係数と定義する。次に(3)式を定量的に評価する。そのためには C_W を与える必要があるが、これは数値計算等により高精度で推定することができる。図-6に C_W の計算値を示す²⁾。図の横軸は無次元化波数 ($kB/2$) である。この C_W を用いて波漂流力を推定したものを図-7に実線で示す。横軸は無次元化波数、縦軸は波漂流速度係数である。また、図中の黒丸は規則波中の実験で、白抜き丸は不規則波中の実験で得られた回帰係数である。規則波中の実験結果は推定値とおおむね一致していることがわかる。ただし、 $kB/2 < 0.5$ の長波長域においては実験結果が推定値より大きくなる傾向がある。これに関する考察は本講演集の「球形ブイの波による漂流速度について」で述べられている。

不規則波中の計測結果については、規則波のものと同様の整合性があり、 λ_V と \bar{H}_W を用いることにより規則波中と同様に推定ができると考えられる。

最後に、図-4、図-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7g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。図-6に示すように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。

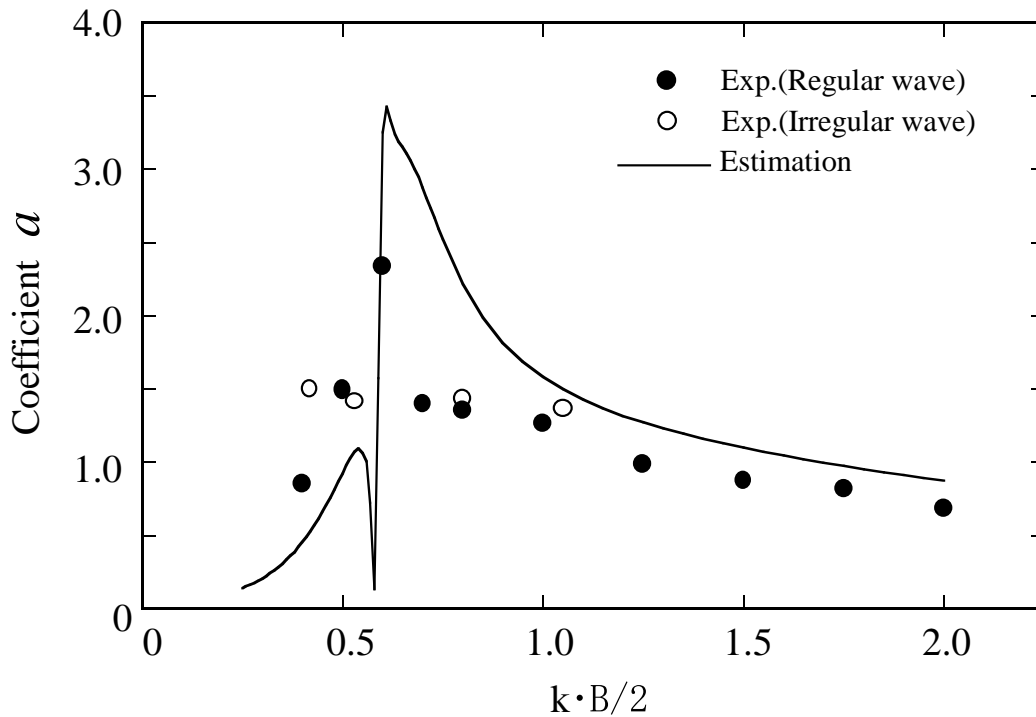


図-7 波漂流速度係数

5 あとがき

2次元における浮体の波漂流速度について実験を行い、また数値計算で得られた値と比較検討することにより次のことが明らかになった。

1. 規則波中において、漂流速度は漂流力と流体抗力の釣り合いから決定され、波高と線形の関係がある。
2. 不規則波中における漂流速度は、 λ_V と \bar{H}_W を規則波の波長と波高に当てはめることで規則波と同様に推定できる。
3. 実験で求めた抗力係数と線形数値計算より求めた漂流力係数を用いて推定した漂流速度係数は計測値とおおむね一致した。

今回用いた線形数値計算は漂流速度を考慮したものではないが、その値を用いても推定は可能である。さらに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。

参考文献

- 1) 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, pp181-185
- 2) 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, 造船学会論文集, vol.187, 2000
- 3) Tanizawa, K., Minami, M. and Naito, S.: Estimation of wave drift force by numerical wave tank Proc. 9th ISOPE Conf., vol.3, Brest, (1999)
- 4) 合田良実, 鈴木康正, 岸良安治, 菊池治: 不規則波実験における入・反射波の分離測定法, 港湾技研資料, vol.248, pp3-24, (1976)
- 5) 野尻, 村山: 規則波中の2次元浮体に働く漂流力に関する研究, 西部造船会会報, 第51号, (1975)
- 6) Maruo, H.: The drift of a body floating on waves, J.S.R., Vol.4, No.3, (1960)