

海底観測塔の動揺試験

安藤定雄* 猿田俊彦*

Experiments on a Sea-bottom Observation Tower in Regular Waves

By

Sadao Ando and Toshihiko Saruta

Abstract

The motions and the drifting forces on a sea-bottom observation tower model were measured in regular waves.

Two methods of support and three sorts of immersion lengths of the observation cylinder were adopted as the test conditions, and the tests were carried out in regular waves at various wave lengths and directions.

The results are expressed as functions of wave length for each condition.

はしがき

近年、海洋開発の進展に伴い、各分野に種々の海洋開発用機器が現われてきている。それらの海洋構造物は作業目的によって、船舶のように推進器を持たずに、海洋中で、ある目的のために使用し、時には移動する構造物である。その種類は千差万別であるから、海洋機器の波浪中における動揺特性や部材に加わる力などに関する資料は極めて少ないのが現状である。

また、海洋開発の初期段階として、まず、海底の調査・観測をすることが考えられる。そこで、この様な目的から考え出される構造物が“海底観測塔”である。

今回実施した試験は、その構造物を設計する上で欠く事のできない要素である、波浪中における動揺特

性と位置保持に必要な力などを調査することである。その結果が出たので紹介する。

なお、本試験は石川島播磨重工業株式会社の受託試験として行なったものである。

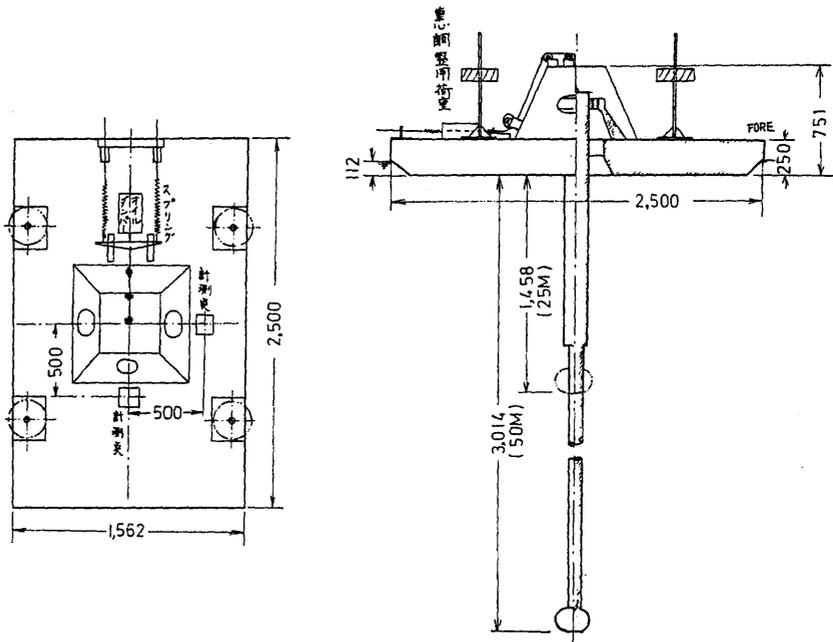


Fig. 1 Sketch of the sea-bottom observation tower model

* 運動性能部

原稿受付 昭和45年3月31日

1. 供試模型

試験に使用した構造物は実機の 1/16 の木製模型である。その各部の要目を Table 1 に、概要図を Fig. 1 に示す。

実機はフロート（台船）と観測筒と観測筒格納部から構成されているが、模型では格納部を省略し、その部分の重量は荷重にて調整した。また、実機のスエルクンペンセータの機能は模型ではスプリングとオイルダンパとで置換え、吊下げ装置よりピアノ線で観測筒を吊下げた。したがって、フロートと観測筒との相対変位を許すようにした。Fig. 2 に吊下げ枠、オイルダンパ、スプリングおよび重心調整用荷重をフロートに

Table 1 Principal Particulars of the Model

FLOAT		
Length over all	L	2.501 m
Length between perpendiculars	L_{pp}	2.475 m
Breadth	B	1.562 m
Draft	T	0.250 m
Block coefficient	C_B	0.926
Displacement volume	∇	0.40101m ³
OBSERVATION CYLINDER		
Type	50M	25M
Vertical length	3.621 m	2.010 m
Draft	3.126 m	1.570 m
Diameter (upper part)	0.144 m	0.144 m
" (lower part)	0.100 m	0.100 m
Displacement volume	0.03985m ³	0.01626m ³
Gross weight	56.85 kg	27.60 kg
Center of gravity under load water line	1.256 m	0.650 m
Radius of gyration	1.160 m	0.597 m
Moment of inertia	7.66 kg-m-sec ²	1.01 kg-m-sec ²
FLOAT		
Type	50M	25M
Center of gravity above base line	0.322 m	0.326 m
Gross weight	384.01 kg	389.67 kg
Longitudinal		
radius of gyration	0.719 m	0.724 m
height of metacenter	4.37 m*	4.70 m*
Transverse		
radius of gyration	0.558 m	0.549 m
height of metacenter	1.61 m*	1.65 m*

(* ... with observation cylinder)

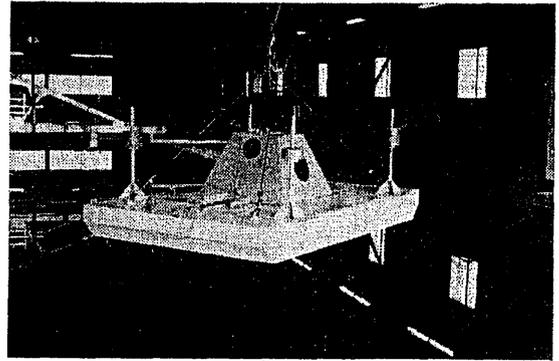


Fig. 2 Float and upper structure.

装備した状態の写真を示す。

実機の観測筒は中央で継ぎ足しになっており、望遠鏡のように下部の筒が上部の筒の中に収納できるようになっているが、模型では Fig. 5 に示すように観測作業時の 50m 用（実機）と半収納時の 25m 用（実機）の 2 本の観測筒を作成し、それらは実機の重量分布に合わせるため芯に鉛棒を入れて調整された。

フロートと観測筒とは前述のように取り付けて、上下揺れを許したが、その他の運動に対しては、2つの方式を用いた。1つの方式は Fig. 4 に示すような縦・横揺れの相対運動を許すジンバル支持にしたものであり、もう1つの方式は、上下揺れだけで他は固定するものである。

Fig. 3 には 25m 用観測筒をジンバル支持でフロートに装備した場合の写真を示す。

2. 試験の状態と方法

2.1 試験状態

模型の喫水は観測筒の有無および観測筒の長さに関係なく、計画満載喫水にした。

Fig. 6 は構造模型を動揺水槽の台車に装備した状態である。

実施した試験状態は次のとおりである。

- 1) 観測筒を除きフロートのみの場合
- 25m 用観測筒をフロートに装備して、
- 2) 観測筒をジンバル支持した場合
- 3) 観測筒を固定支持した場合
- 50m 用観測筒をフロートに装備して、
- 4) 観測筒をジンバル支持した場合

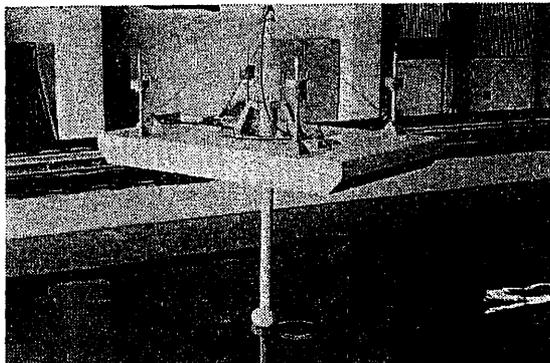


Fig. 3 25 meters observation cylinder of the gimbals support.



Fig. 4 The Gimbals-supporting apparatus.

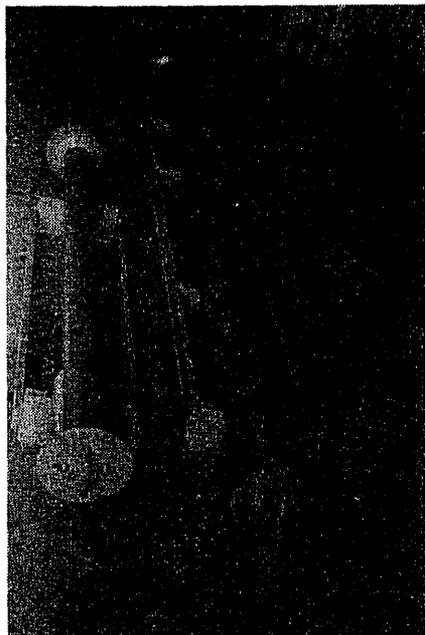


Fig. 5 The observation cylinder.

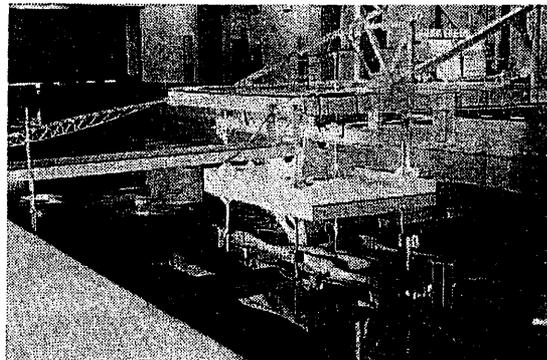


Fig. 6 The model test

5) 観測筒を固定支持した場合

2.2 試験の種類と計測項目

2.2.1 平水中における自由動揺および傾斜試験

各状態において、数回の縦・横・上下揺れのそれぞれについて自由動揺試験を行ない、その平均値を用いて固有周期と減衰係数を求めた。縦・横方向の傾斜試験からは重心とメタセンタとの距離を求めた。

2.2.2 規則波中の動揺試験

動揺試験は模型と波との出会角を縦 (Head seas) と横 (Beam seas) の2種類について、波長—フロートの長さ比を0.5 から 2.5 の間で、波高一波長比を 1/50 を主とし、一部で 1/25 の場合についても行なった。

各状態の試験では6成分変位計 (6自由度) を用いて変位を測定した。しかし、首振り拘束して、縦波中では縦揺れ、上下揺れ、前後揺れを計測し、横波中では横揺れ、上下揺れ、左右揺れを計測した。

なお、上部構造物との関係上、前後にはフロートの中央から波の来る方へ 500 m/m 隔った所で、上下にはフロートの上面から上方に 65 m/m 隔った位置で変位量を測った。

また、波浪中における機器に作用する漂流力は、係留や位置保持などに必要な力であるが、これは重力方式によって計測した。

ジンバル支持の場合のみ、フロートと観測筒との縦揺れもしくは、横揺れの相対変位をポテンシヨメータで測定した。

2.2.3 その他の計測および観察

空気中でプランコによる重心位置並びに、慣動半径を各状態について測定した。ただし、フロートと観測筒は別個に計測した。

規則波中における模型の動揺試験中の写真を Fig. 7, 8 に示す。

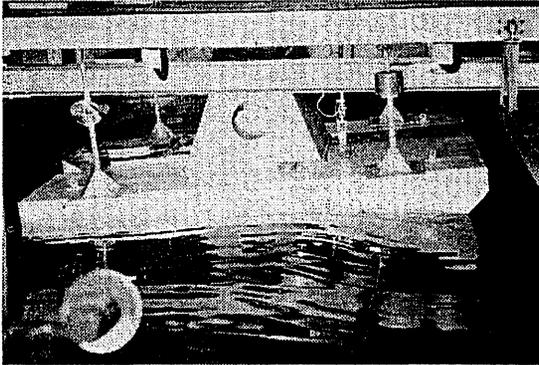


Fig. 7 50 meters observation cylinder of the fixed support in head seas ($\lambda/L \approx 1.6$)

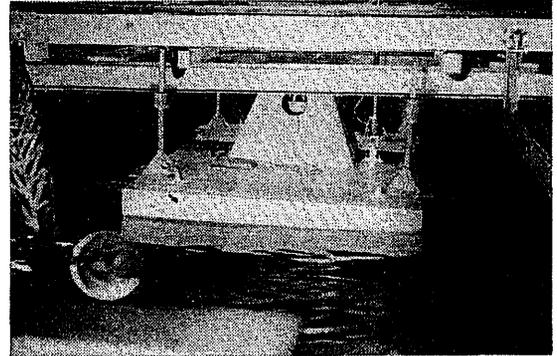


Fig. 8 50 meters observation cylinder of the gimbals support in beam seas ($\lambda/L \approx 1.3$)

Table 2 Tested value of damping and period
FLOAT only

Natural circular frequency		
pitch	ω (sec ⁻¹)	4.5
roll	ω (sec ⁻¹)	4.5
heave	ω (sec ⁻¹)	3.6
Dimensionless damping coeff.		
pitch		0.18
roll		0.10
heave		0.28

FLOAT with OBSERVATION CYLINDER

Type	50M	25M
FIXED		
Natural circular frequency		
pitch	ω (sec ⁻¹)	4.2
roll	ω (sec ⁻¹)	4.0
heave	ω (sec ⁻¹)	3.6
Dimensionless damping coeff.		
pitch		0.14
roll		0.12
heave		0.12
GIMBALS SUPPORT		
Natural circular frequency		
pitch	ω (sec ⁻¹)	4.6
roll	ω (sec ⁻¹)	4.5
heave	ω (sec ⁻¹)	3.6
Dimensionless damping coeff.		
pitch		0.19
roll		0.10
heave		0.23

また、波浪中の運動を観察するために第1船舶試験水槽において、16m/m シネ撮影を行なった。

3. 試験結果

平水中および規則波中の動揺試験は当部の動揺水槽で実施された。

プランコより求めた重心位置および慣動半径を Table 1 に示す。

静水中における自由動揺は一般に線型運動であると仮定して、

$$\ddot{\theta} + 2\alpha\dot{\theta} + \omega^2\theta = 0$$

で近似され、その一般解は

$$\theta = \theta_0 e^{-\alpha t} \cos \omega t$$

となる。そこで、自由動揺の固有周期 T_0 と減衰曲線の傾斜 δ から

$$\omega = 2\pi/T_0, \tan \delta = e^{-\alpha\pi/\omega}, \kappa = \alpha/\omega$$

より固有周波数 ω と無次元減衰係数 κ を求め、その値を Table 2 に示す。

揺れの特性曲線は一般に用いられている表示法にしたがって無次元化した。漂流力は一変 $\frac{1}{2}\rho g L \zeta \omega^2$ にて割算をし、無次元化した後で実機に換算した値で示してある。

位相は上下揺れ ($Z_a \cos \omega t$) を基準とし、縦揺れでは艀部上げを、横揺れでは左舷上げを正として、 $A_0 \sin(\omega t + \delta)$ と仮定し、前後揺れでは後方を、左右揺れでは左方向をそれぞれ正として、 $A_0 \cos(\omega t + \delta)$ と仮定して表わした。

すでに述べたように変位置の計測位置がフロートの中央部よりずれているので、こ

れを中央部における値に換算した。

その方法は、各動揺が Simple harmonic motion であると仮定すれば、

$$Z_a' \cos(\omega t + \alpha) = Z_a \cos(\omega t + \beta) + l \phi_a \sin(\omega t + \gamma)$$

となる。ここで、

Z_a' ……計測された上下揺れの振幅

Z_a ……求めようとする上下揺れの振幅

ϕ_a ……その時の縦か横揺れの振幅

l ……水平移動距離 (500 m/m)

α, β, γ ……各揺れの波に対する位相差

である。これより Z_a と β を求めると

$$Z_a = \sqrt{(Z_a' \cos \alpha - l \phi_a \sin \gamma)^2 + (Z_a' \sin \alpha + l \phi_a \cos \gamma)^2}$$

$$\beta = \tan^{-1}(Z_a' \sin \alpha + l \phi_a \cos \gamma) / (Z_a' \cos \alpha - l \phi_a \sin \gamma)$$

となり、中央部における振幅と位相が得られる。

一方、前後揺れもしくは左右揺れに対しては、

$$x_a' \cos(\omega t + \alpha) =$$

$$x_a \cos(\omega t + \beta) + l [1 - \cos(\phi_a \sin(\omega t + \gamma))]$$

であるから、この修正項の振幅だけを考れば、

$$l(1 - \cos \phi_a) =$$

$$l \left\{ 1 - \left(1 - \frac{1}{2} \phi_a^2 + \frac{1}{6} \phi_a^4 - \dots \right) \right\} \doteq \frac{1}{2} l \phi_a^2$$

となり、 ϕ_a が小さい場合には無視できるので、前後揺れと左右揺れについては計測結果をそのまま用いた。

試験結果は Fig. 9, 10, 11 に縦波中の動揺を、Fig. 12, 13, 14 に横波中の動揺を、Fig. 15 から Fig. 20 に漂流力と位相を、それぞれ波長に対して示した。Fig. 21 はジンバル支持の場合におけるフロートと観測筒との相対角を示す。

なお、実機のスエルクンペンセータの機能を持たせるためスプリングとオイルダンパとを用いた。この機能に関しては数量的に計測を行なわなかったが、オイルダンパを除くと僅かに作動している場合があった。

4. 考 察

4.1 平水中における自由動揺

観測筒の支持方式による固有周期と減衰係数への影響は、ジンバル支持の場合より固定支持の場合の方が周期は長くなり、減衰は悪くなった。

4.2 規則波中における動揺

ジンバル支持の場合には、縦・横波中においては観測筒の長さに関係なくフロートだけの動揺特性によく似ている。また、Fig. 21 に示すフロートに対する観測筒の動揺角すなわち、相対動揺角は太線で示すフロ

ートの動揺特性に傾向がよく似ているが、僅かながら特性は低い値を示している。それは上下揺れを許すためにジンバル支持部と観測筒との間に設けた隙間のためと思われる。以上のことよりジンバル支持の場合には、観測筒はほとんど動揺しないで、鉛直に吊下げられているものと思われる。

波傾斜による動揺の非線型性を調べるために、50M用観測筒をジンバル支持した場合だけについて、 $\lambda/L = 1/25$ の縦波中にて行なったが、この程度では動揺に関する限り非線型性は認められなかった。

一方、固定支持にした場合、全般的に動揺特性はジンバル支持に比べ増加しているが、特に横波中における横揺れの増加が甚だしいという結果がでた。

特異現象として、ジンバル支持の横波中における上下揺れと固定支持の横波中における上下揺れと左右揺れとの $\lambda/L = 1.2$ 付近に応答の山が現われるが、これは一般の船型にはほとんど現われない現象で、海洋機器のフロートを有するものだけに現われるものか、水槽の幅によるものか、現段階では解明できない動揺特性である。

4.3 規則波中の漂流力

フロートのみの場合とジンバル支持の場合に、漂流力と実機に換算した値は、縦波中では 1.5~2.0 トンであり、横波中においては 4.0~6.0 トンになる。

この場合、特にジンバル支持の観測作業時の 50M用観測筒の場合には横波でも縦波中でも余り漂流力は変わらない点が注目している。

一方、固定支持にした場合にはジンバル支持と比べて漂流力は増加する。特に、50M用観測筒の場合で横波中における漂流力は 15 トンであり、縦波中においても 11 トンになり、漂流力は激しく増加する。

漂流力の無次元化を検討するために、Fig. 17 に示すように、ジンバル支持で縦波中の場合において、波高一波長比を $1/50$ と $1/25$ について試験を行ない、その場合の漂流力を前述の $(\rho g L \zeta_w^2)/2$ で無次元化してから、両方の値を波高一波長比で $1/50$ における実機の漂流力に換算をした値が置点してあるが、波高の 2 乗ではよくないという結果である。

5. 結 論

今回の試験結果からいえる結論として、

- 1) 観測筒の支持方式ではジンバル支持が非常に優れている。
- 2) ジンバル支持にした場合、観測筒は波によって

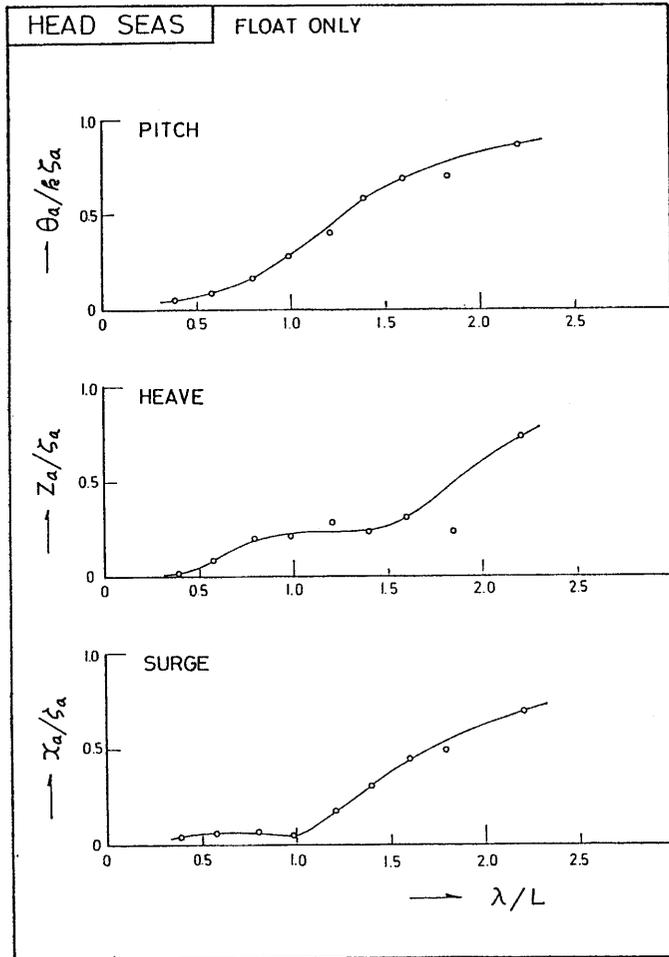


Fig. 9 Amplitudes of pitch, heave and surge as a function of wave length for head seas

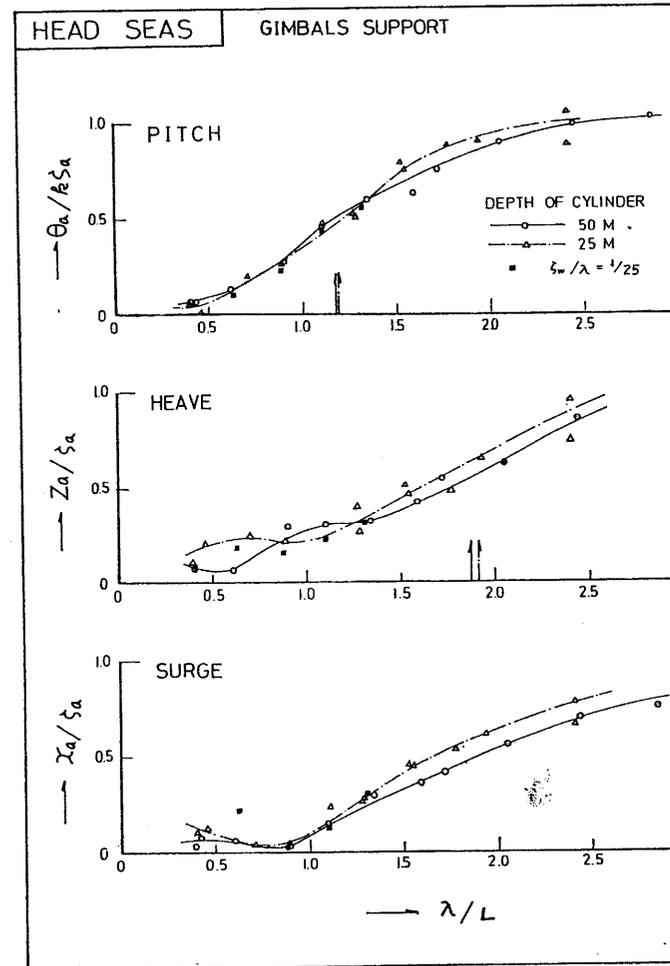


Fig. 10 Amplitudes of pitch, heave and surge as a function of wave length for head seas

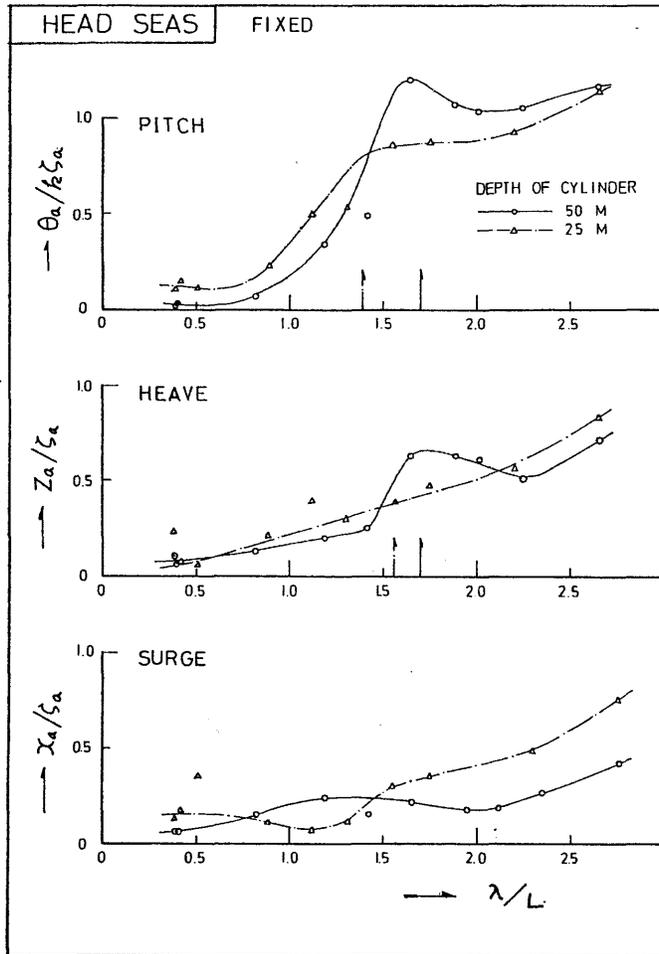


Fig. 11 Amplitudes of pitch, heave and surge as a function of wave length for head seas

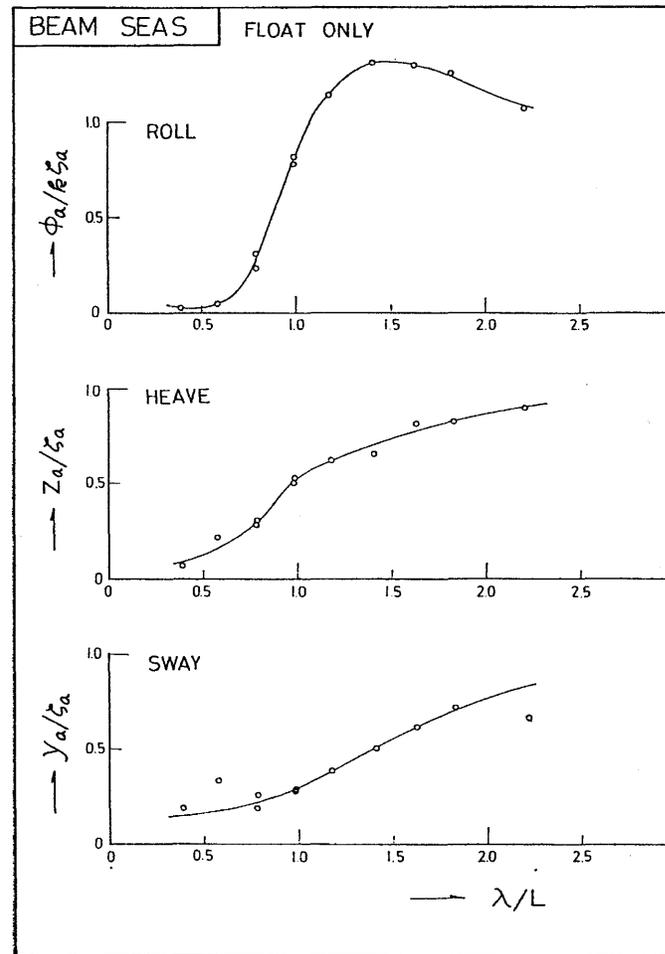


Fig. 12 Amplitudes of roll, heave and sway as a function of wave length for beam seas

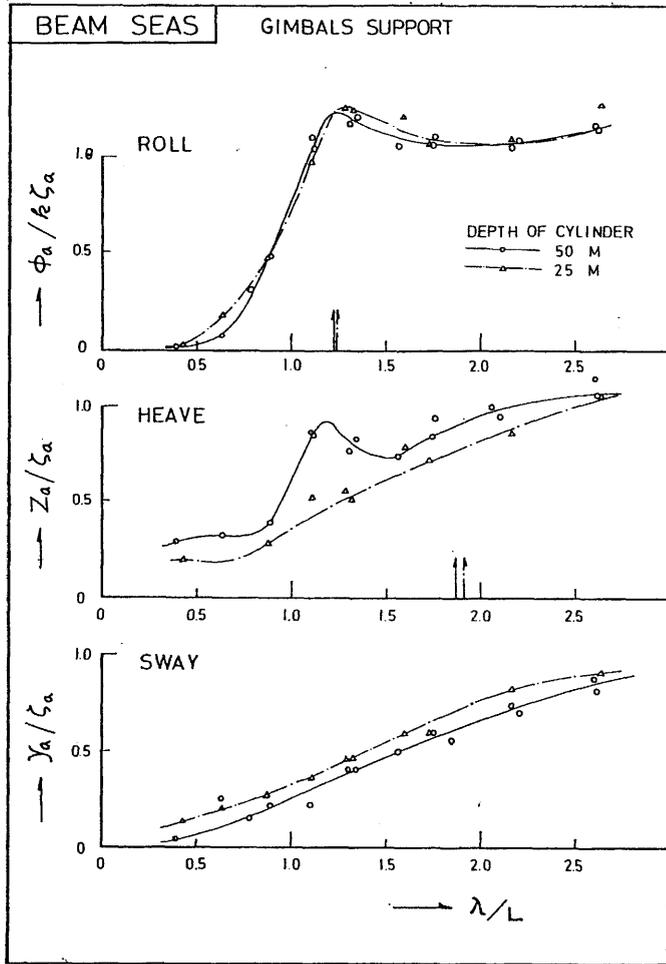


Fig. 13 Amplitudes of roll, heave and sway as a function of wave length for beam seas

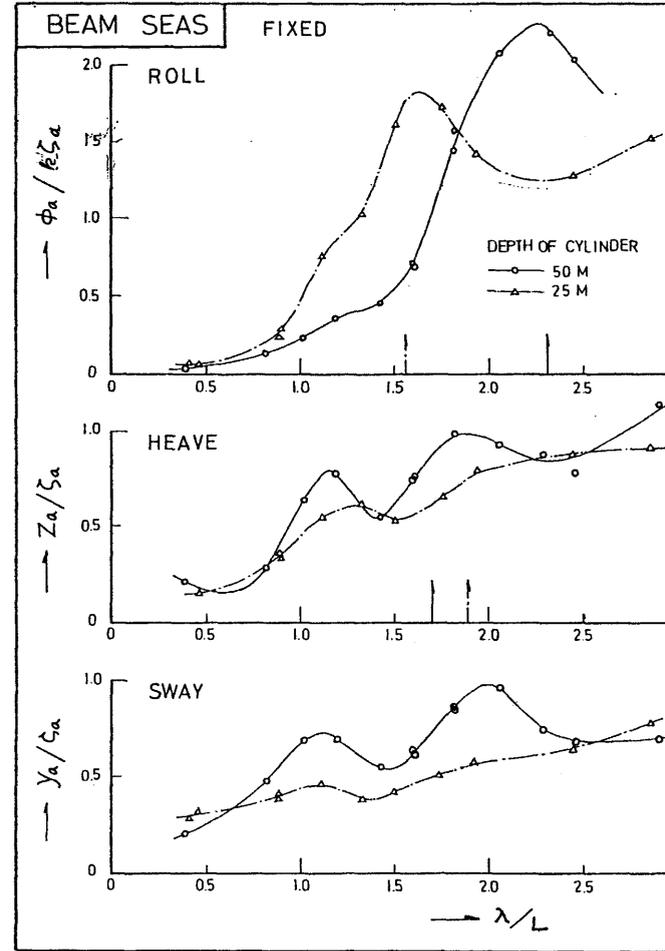


Fig. 14 Amplitudes of roll, heave and sway as a function of wave length for beam seas

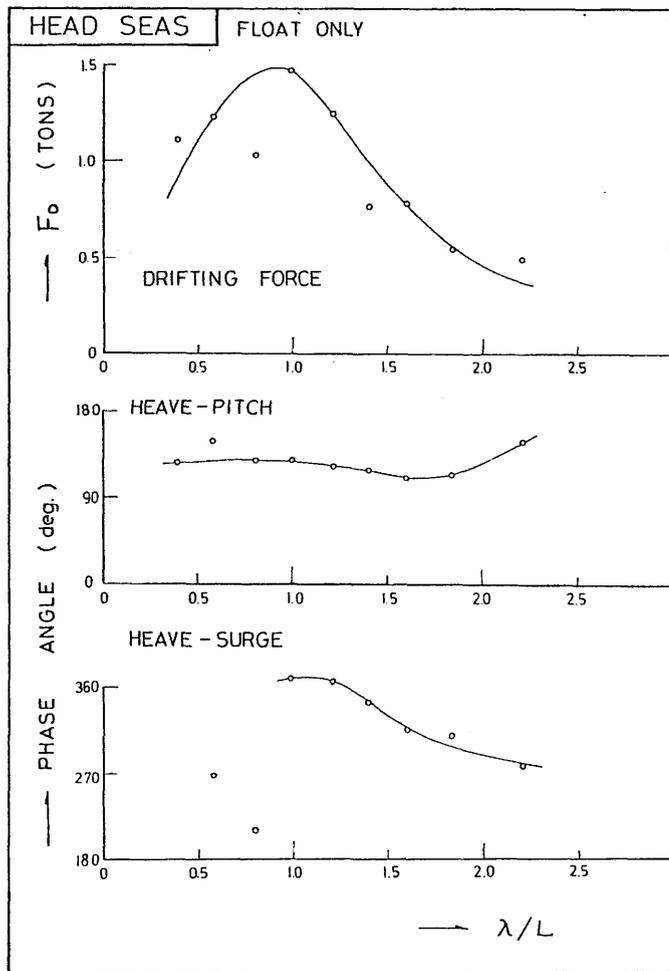


Fig. 15 Drifting force and phase angle of the float only as a function of wave length for head seas

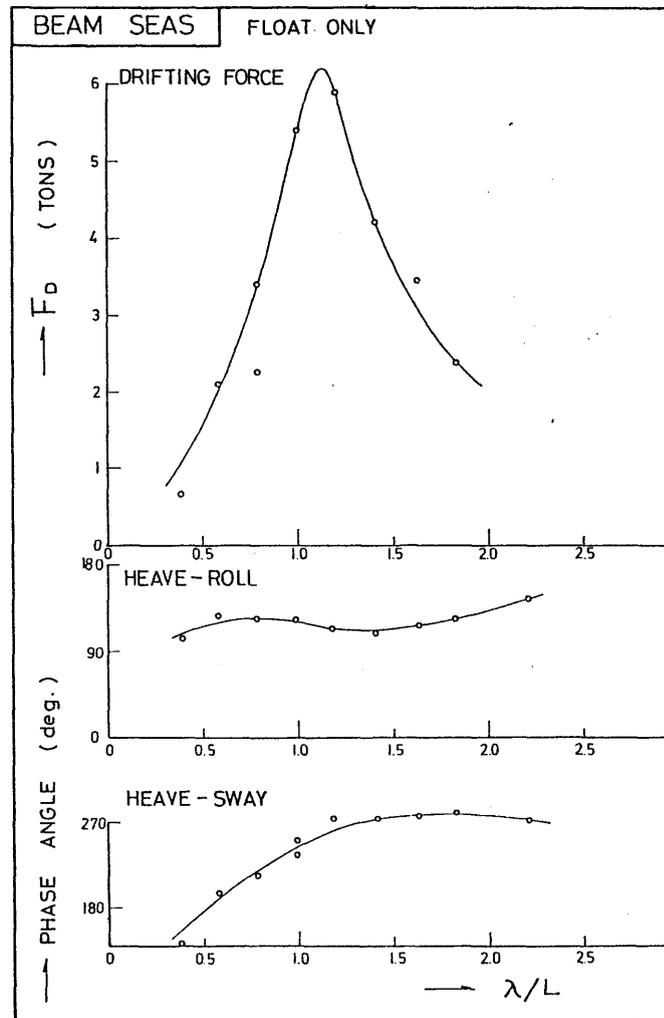


Fig. 16 Drifting force and phase angle of the float only as a function of wave length for beam seas

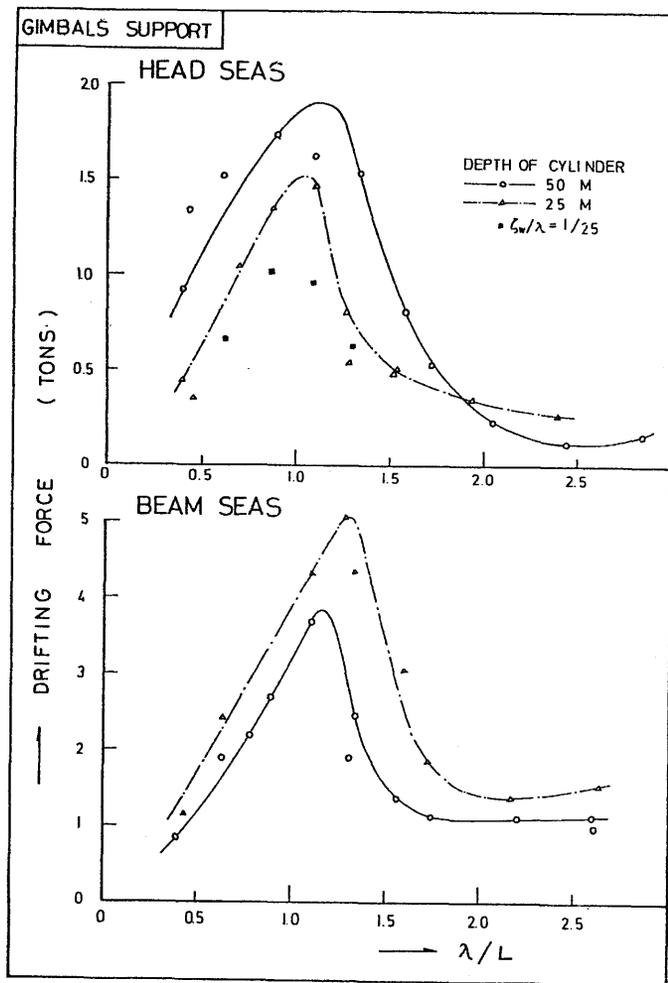


Fig. 17 Drifting force of the model as a function of wave length for head and beam seas

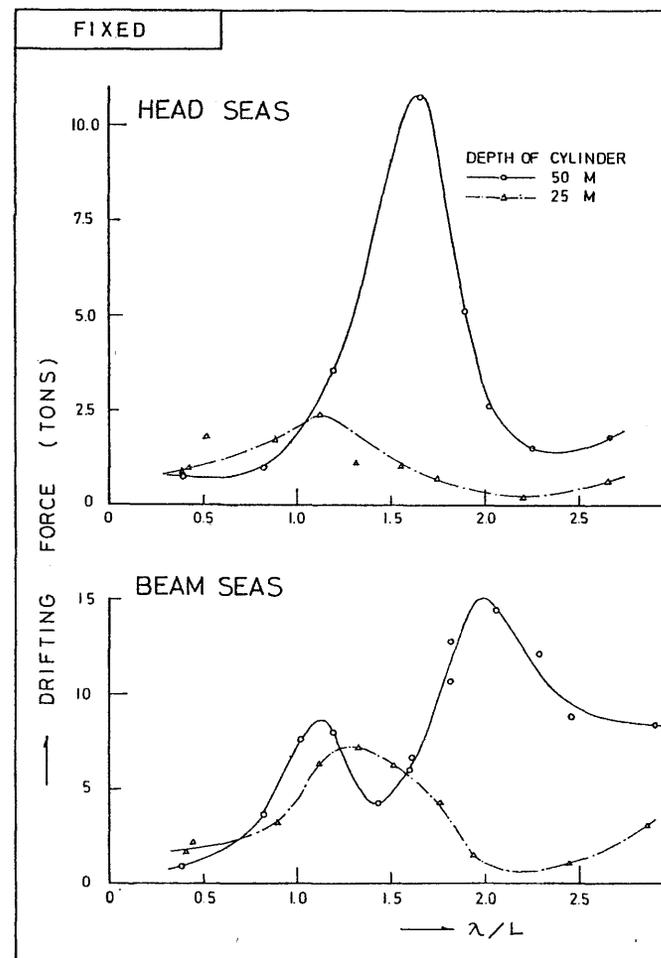


Fig. 18 Drifting force of the model as a function of wave length for head and beam seas

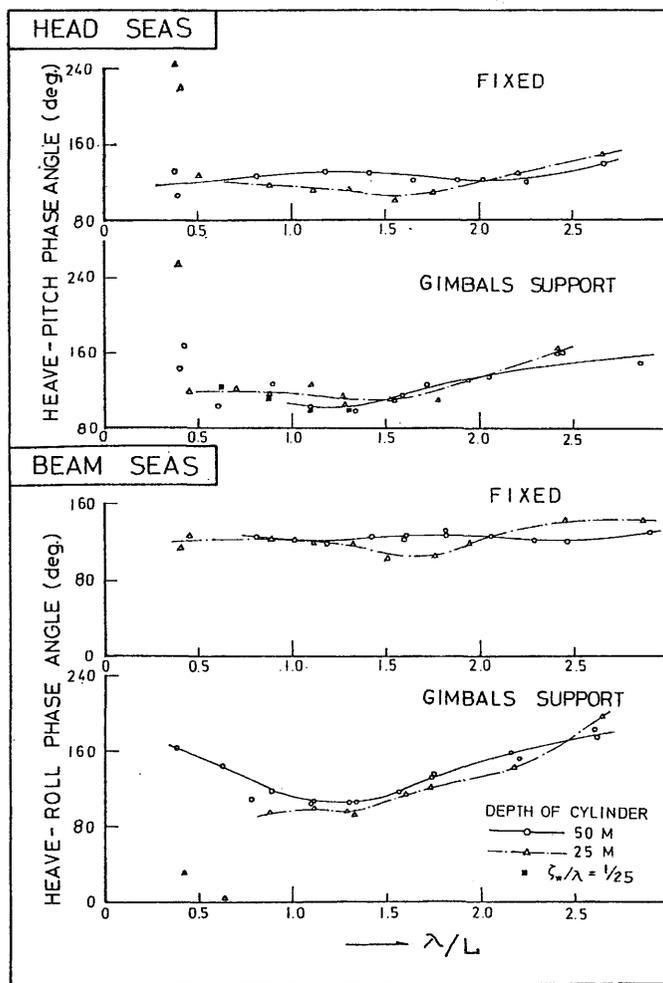


Fig. 19 Phase angle of heave—pitch and heave—roll as a function of wave length for head and beam seas

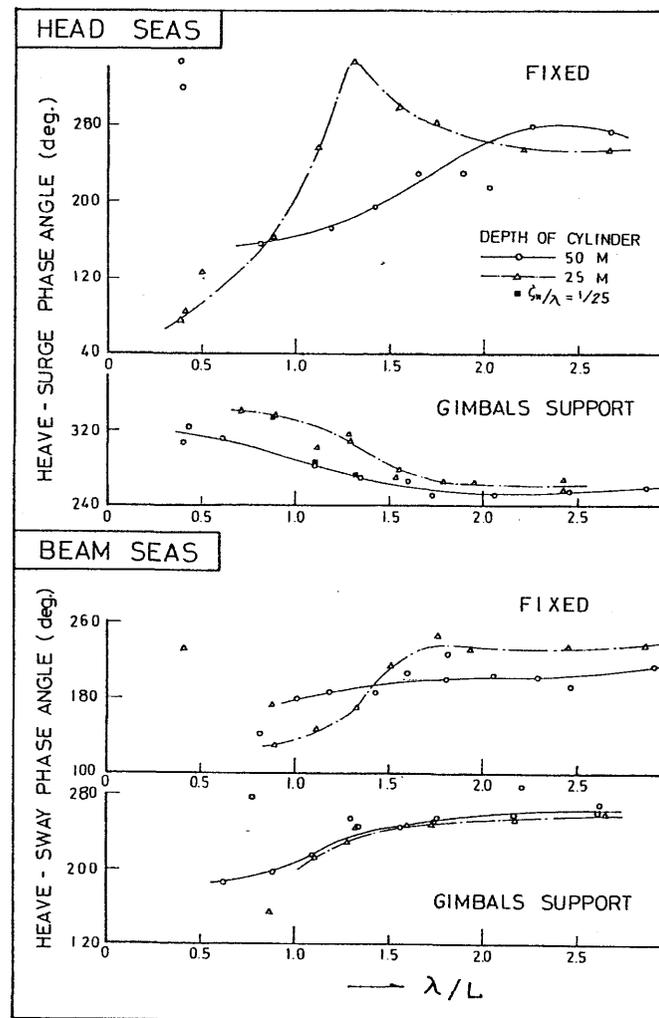


Fig. 20 Phase angle of heave—surge and heave—sway as a function of wave length for head and beam seas

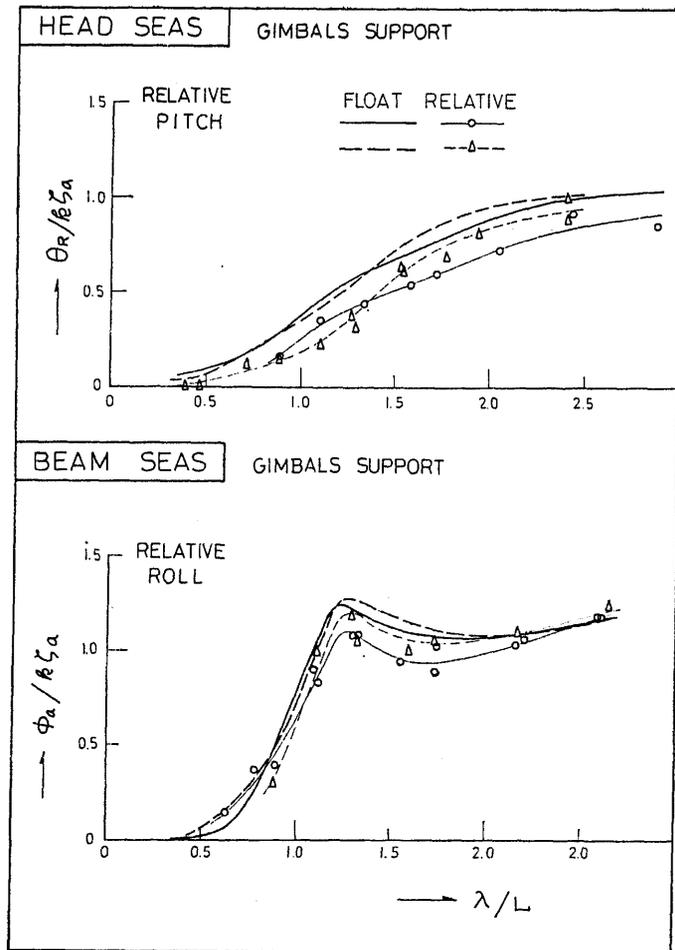


Fig. 21 Relative pitch and roll of the model as a function of wave length for head and beam seas

上下揺れはするが、フロートの動揺に影響されずに鉛直状態を保持している。

3) 固定支持の場合には、フロートおよび観測筒の運動や漂流力は他の支持方式に比べ増大する。

4) 波傾斜による漂流力の非線型性は非常に大きい。

以上今回実施した試験によって、実機の試設計上で必要と思われる運動や漂流力などに関する資料が得られたことと思われる。

なお、海洋構造物に関する種々の問題点の中で波浪中における動揺特性が重要視されてきているので、これを契機として、今後も海洋開発用機器に対する動揺試験が行なわれることであろう。また、なお一層動揺特性を解明するには各部材に働く流体力の性質を究明する必要がある。

参考文献

安藤・猿田：“海底観測塔の動揺試験” 船舶技術研究所研究発表会講演概要，昭和44年秋季（第14回）1969.11, pp. 96

記号表

x_a …前後揺れの振幅	ζ_a …波の振幅
y_a …左右揺れの振幅	ζ_w …波高
z_a …上下揺れの振幅	λ …波長
θ_a …縦揺れの振幅	k …波数 $2\pi/\lambda$
ϕ_a …横揺れの振幅	$k\zeta_a$ …最大波傾斜
θ_R …相対縦揺れの振幅	
ϕ_R …相対横揺れの振幅	
F_D …実機に換算した漂流力	