

# 自己昇降式海上作業台（マット付）の波浪中動揺試験

安藤 定雄\*

## Experiments on a Self Elevating Offshore Platform with Large Mat in Regular Waves

By

Sadao Ando

### Abstract

The motions and the drifting forces of a self elevating offshore platform model with a large mat were measured in regular waves at various wave lengths and directions.

Four sorts of distance between the platform and the mat were adopted as the test conditions, and the results are expressed as functions of wave length for each condition.

The towing tests were carried out at various speeds and trims in still water.

### はしがき

今回実験を行なった海上作業台は海底油田の掘削を目的とするものであり、その特長として、作業する場合にはスパッドをかいてバargeに付いているマットを海底に着底させ、さらにバargeを海面上6.5mの位置まで持ち上げて、掘削作業を行なうように設計されている構造物である。

試験は、この構造物が目的場所に到着し、そこで、上記の状態になるまでの途中におけるいくつかの段階で、波浪中においてどのような運動をするか、また如何なる力を受けるかを調査し、波浪中において、決められた位置を保つに必要な力、作業可能な海象などを推定し、設計および操業に役立つ基礎資料を得るためのものである。

なお、本試験研究は川崎重工業株式会社からの受託試験として行なったものである。

### 1. 供試模型

今回の試験に使用した模型は実機の 1/50 で、バargeとマットは木製であり、スパッドは金属製である。

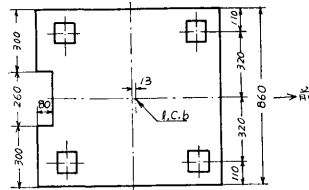
その構造物の主要目は Table. 1 に示すとおりであるが、総重量および喫水は動揺試験時の値である。

構造物の各部の寸法および形状は Fig. 1 に示し、模型を組立てた場合の外観を Fig. 2 に示す。

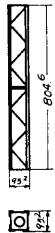
\* 海洋開発工学部

原稿受付 昭和45年8月21日

### BARGE



### SPUD



### MAT

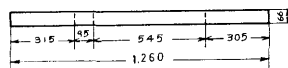
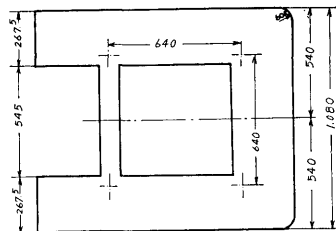


Fig. 1 Model of the self elevating offshore platform with large mat

Table. 1 Principal Particulars

		model	actual
Displacement in test	$\Delta$	113.19 kg	
Draft in test	d	0.076 m	
<b>BARGE</b>			
Length	L	0.900 m	45.0 m
Breadth	B	0.860 m	43.0 m
Depth	T	0.110 m	5.5 m
<b>MAT</b>			
Length	$L_m$	1.260 m	63.0 m
Breadth	$B_m$	1.080 m	54.0 m
Depth	$T_m$	0.066 m	3.3 m
<b>SPUD</b>			
Length	$L_s$	1.7069 m	85.345 m
Breadth	$B_s$	0.0952 m	4.76 m
		×	×
		0.0952 m	4.76 m
Structure		Lattice Type	
Number of Spuds		4	

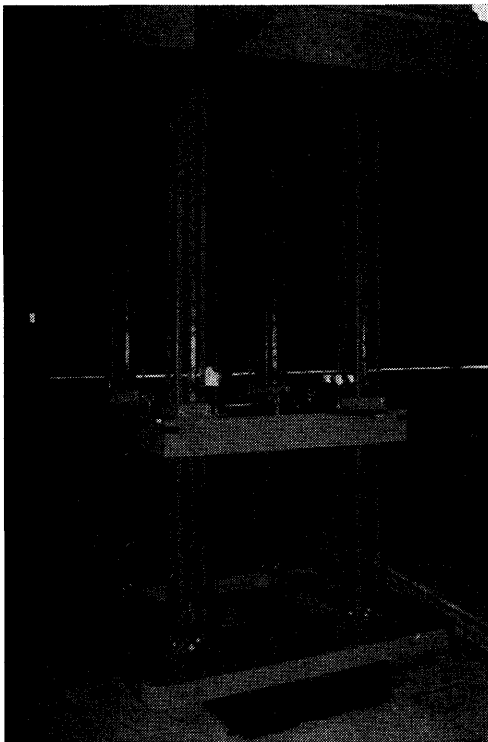


Fig. 2 Model

## 2. 試験状態

試験は海上作業台が掘削地点に到着し、マットのバ

(318)

ラストタンクに注水した状態からマットが海底に着底する状態までの4段階の場合について波浪中の運動性能を調べる。その4つの状態は下記のとおりである。

(以後記号にて状態を示す)

A状態……掘削地点に到着し、バラストタンクに注水した段階。この状態はマットが最も高く、バargeとマット間が0.5mである(模型で1cm)。

B状態……A状態から実機で4.5m マットが下った段階(模型で9cm)。

C状態……A状態から実機で30m マットが下った段階(模型で60cm)。

D状態……A状態から実機で61m マットが下った段階(模型で122cm)。

各状態で、重心位置を設計状態と合わせるために、重心調整用重錘をスパッドの内側に4箇所取付けた。

位置	重錘
右舷の前方	3.26 kg (模型)
〃 後方	0.60 kg
左舷の前方	1.80 kg
〃 後方	1.40 kg

各状態における重錘の重心は、バargeの上甲板から上方にA状態では34.8cmであり、B状態では31.0cmで、C状態では14.7cmで、D状態では9.2cmである。

また、動揺試験のほかに、平水中において曳航試験を行なったが、このときは、計画喫水に合わせた。しかし、マットが木製で、その重量の関係で、総重量75.9kgとなり、計画の曳航状態の70kgよりいくぶん重くなった。

## 3. 試験の種類および計測項目

### 3.1 重心位置および縦・横の環動半径

前述の4つの状態について、バarge、マット、スパッドおよびその他の付加物を総て装備した状態で測定した。この時の模型の総重量は113.19kgであった。

Table. 2に示す縦方向の環動半径の値は試験前の状態に対するもので、試験時に木製のマットの一部に水が浸透する個所があったので、多少試験中の値とは相違すると思われる。

### 3.2 平水中における自由動揺と傾斜試験

平水中において、各状態についてそれぞれ数回の縦揺れ、横揺れまたは上下揺れの自由動揺試験を行なった。それぞれの平均周期からそれぞれの固有周波数 $\omega$

Table. 2 Tested value (Model)

CONDITION		A	B	C	D
RADIUS OF GYRATION					
Longitudinal	$k_{xx}$	0.617 L	0.551 L	0.629 L	0.838 L
Transverse	$k_{yy}$	0.608 B	0.597 B	0.689 B	0.907 B
CENTER OF GRAVITY ABOVE BASE LINE OF BARGE					
	KG	0.222 m	0.267 m	0.444 m	0.746 m
HEIGHT OF METACENTER					
Longitude	$GMl$	0.227 m	0.241 m	0.281 m	0.337 m
Transverse	$GMt$	0.220 m	0.232 m	0.280 m	0.326 m
NATURAL CIRCULAR FREQUENCY					
Pitch	$\omega_\theta$	1.98 sec <sup>-1</sup>	2.09 sec <sup>-1</sup>	2.12 sec <sup>-1</sup>	1.79 sec <sup>-1</sup>
Heave	$\omega_z$	3.81 sec <sup>-1</sup>	4.00 sec <sup>-1</sup>	3.70 sec <sup>-1</sup>	3.45 sec <sup>-1</sup>
Roll	$\omega_\phi$	1.98 sec <sup>-1</sup>	2.07 sec <sup>-1</sup>	2.05 sec <sup>-1</sup>	1.73 sec <sup>-1</sup>
DIMENSIONLESS DAMPING COEFFICIENT					
Pitch	$\kappa_\theta$	0.052	0.055	0.101	0.115
Heave	$\kappa_z$	0.063	0.057	0.090	0.114
Roll	$\kappa_\phi$	0.074	0.059	0.096	0.135

$=2\pi/T$  を求めた。また、線型運動と仮定した場合における減衰係数を  $2\alpha$  とし、 $\kappa=\alpha/\omega$  であらわされる無次元減衰係数を求めた<sup>1)</sup>。それらの結果を Table. 2 に示す。

各状態での重心と縦方向および横方向のメタセンターとの距離  $GM$  は傾斜試験から  $GM=w \cdot d / (d \cdot \theta \text{ rad})$  により求め、それらを Table. 2 に示す。この場合の排水量は 113.19 kg を用いた。

### 3.3 規則波中における動揺試験

規則波は次のとおりである。

波長	0.5~5.5 L の間で 8~16 種
波高-波長比	1/30, 1/50, 1/80
波との出会う角	Beam seas (90°) と Bow seas (135°)

変位は 6 成分変位計を用い、横波中においては横揺れ、上下揺れおよび左右揺れの振幅を計測し、斜め波中においては縦揺れ、横揺れ、上下揺れおよび前後揺れの振幅を計測した。首揺れについてはいずれの出会う角の場合も拘束した。

なお、変位計の取付位置はバージの船体中心面上で、

船体中央より前方に 13 mm の LCB の位置で、バージの上甲板より上方 65 mm の位置である。

また、波浪中における係留や位置を保つために必要な力として、漂流力を重力方式によって計測した。

### 3.4 平水中における曳航試験

曳航速度 (模型) 0.24, 0.40, 0.53 m/sec

イニシャルトリム 3~4 種

平均喫水 28.5 mm

計測は全抵抗をバネ計りで計測し、曳航時のトリムの変化は元良式精密傾斜計を用いて傾斜角を測定した。

## 4. 試験結果

### 4.1 規則波中における動揺および漂流力

横波中における横揺れ、上下揺れおよび漂流力に関する結果を Fig. 3~Fig. 10 に示す。

斜め波中における縦揺れ、横揺れ、上下揺れ、前後揺れおよび漂流力の結果を Fig. 11~Fig. 15 に示す。

なお、各状態での横および斜め波中の様子を Fig. 16~Fig. 23 に示す。

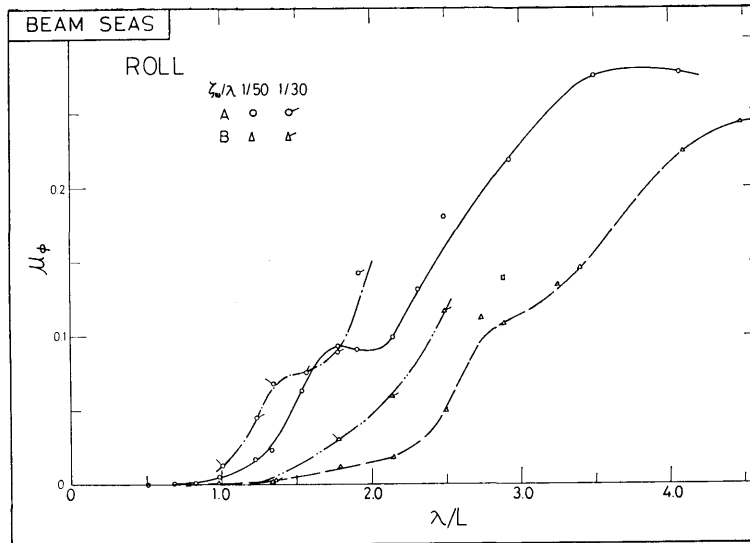


Fig. 3 Rolling amplitude of A and B conditions in beam seas

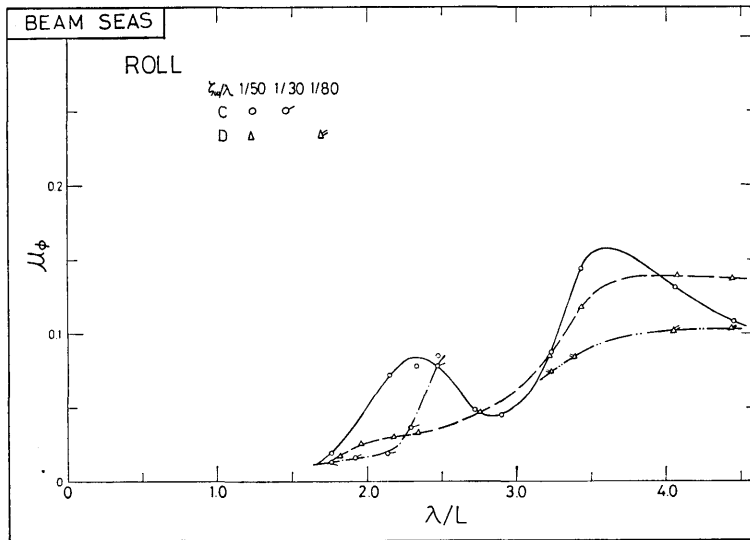


Fig. 4 Rolling amplitude of C and D conditions in beam seas

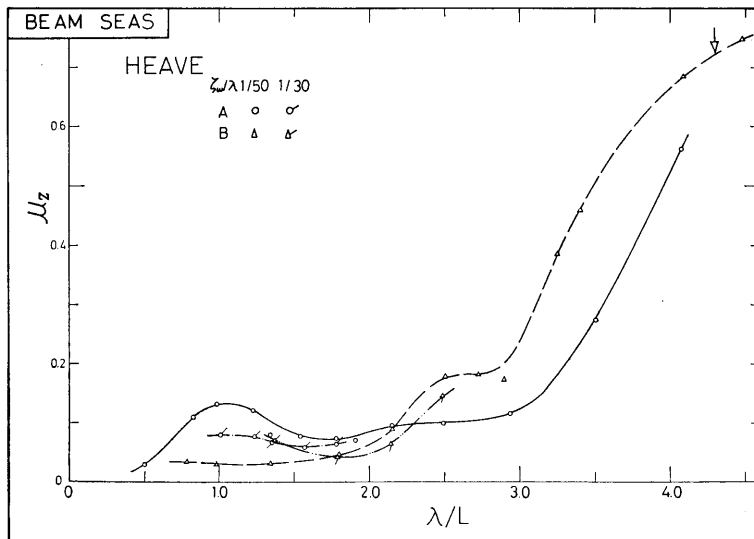


Fig. 5 Heaving amplitude of A and B conditions in beam seas

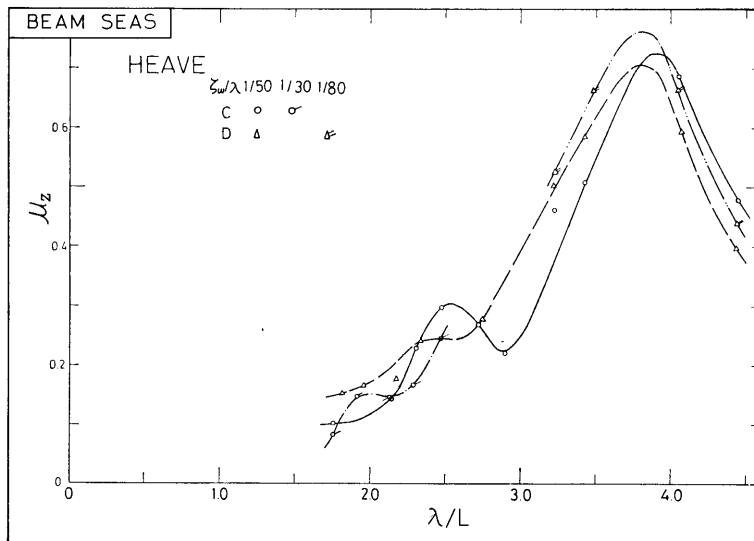


Fig. 6 Heaving amplitude of C and D conditions in beam seas

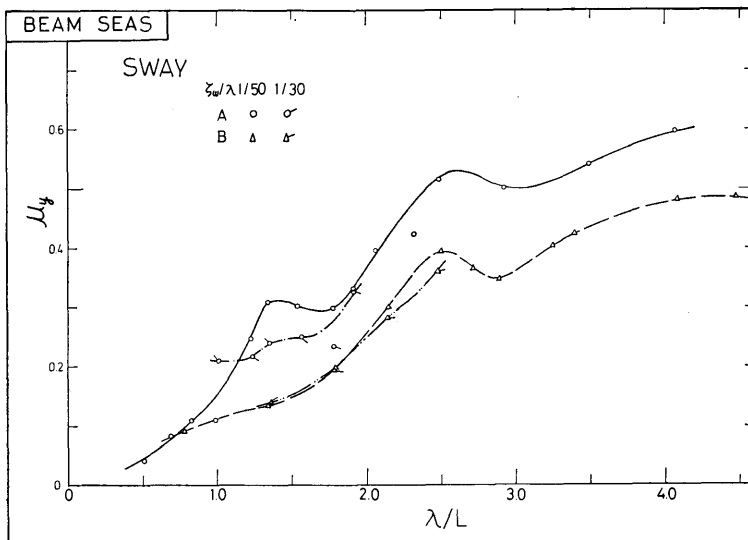


Fig. 7 Swaying amplitude of A and B conditions in beam seas

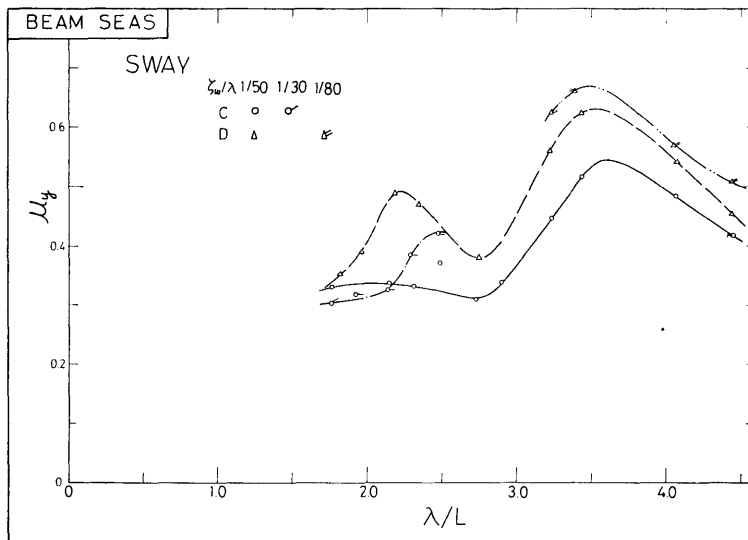


Fig. 8 Swaying amplitude of C and D conditions in beam seas

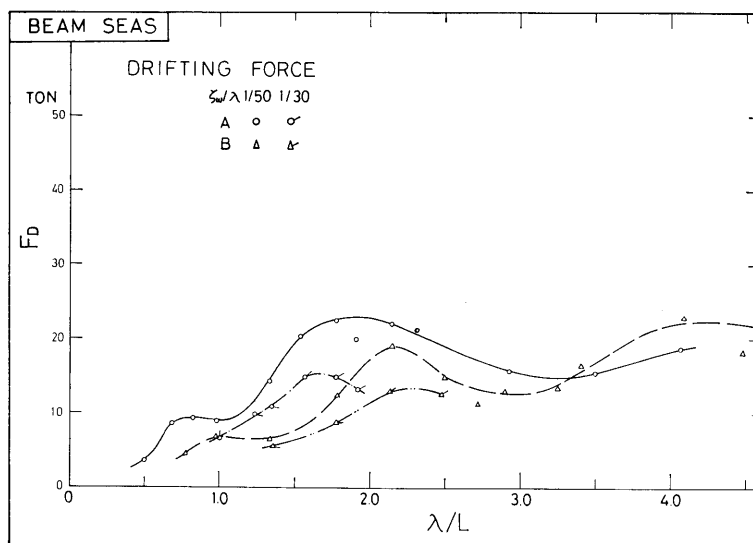


Fig. 9 Drifting force of A and B conditions in beam seas

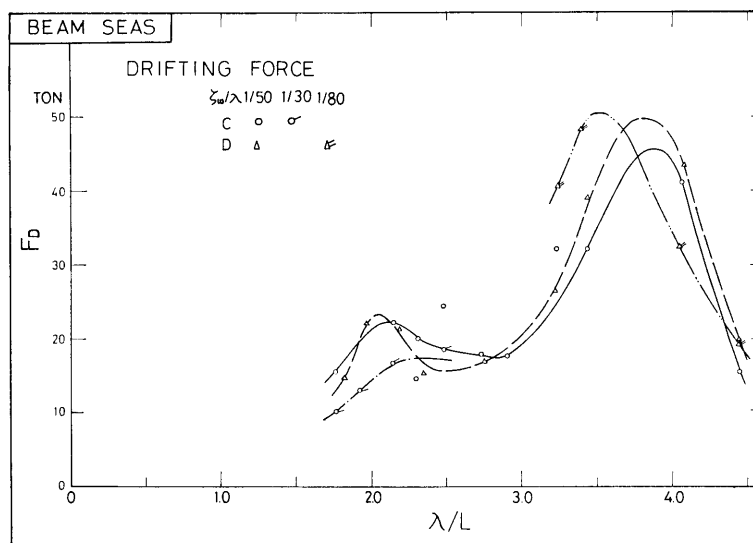


Fig. 10 Drifting force of C and D conditions in beam seas

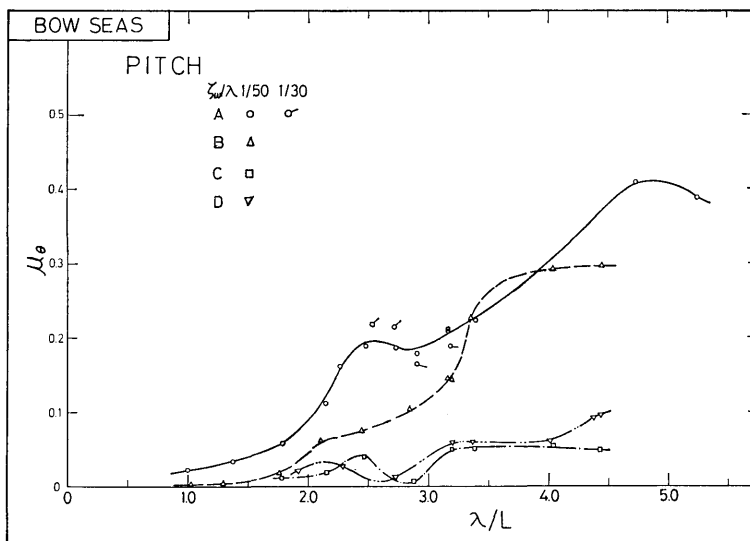


Fig. 11 Pitching amplitude in bow seas

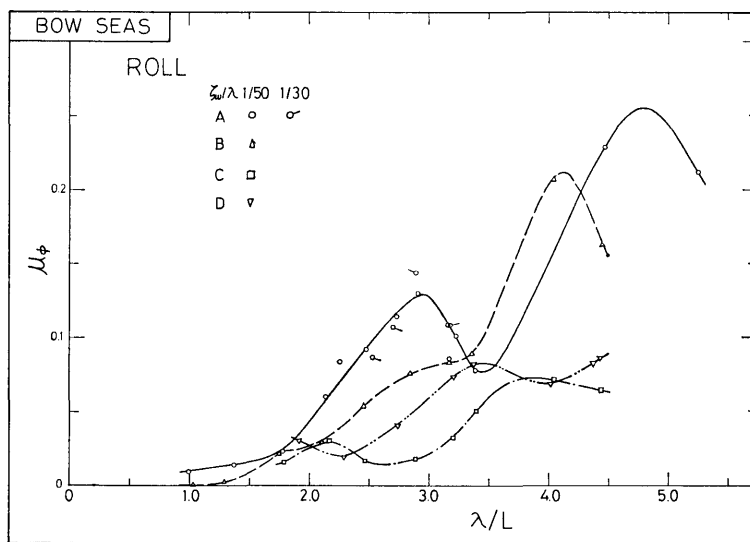


Fig. 12 Rolling amplitude in bow seas



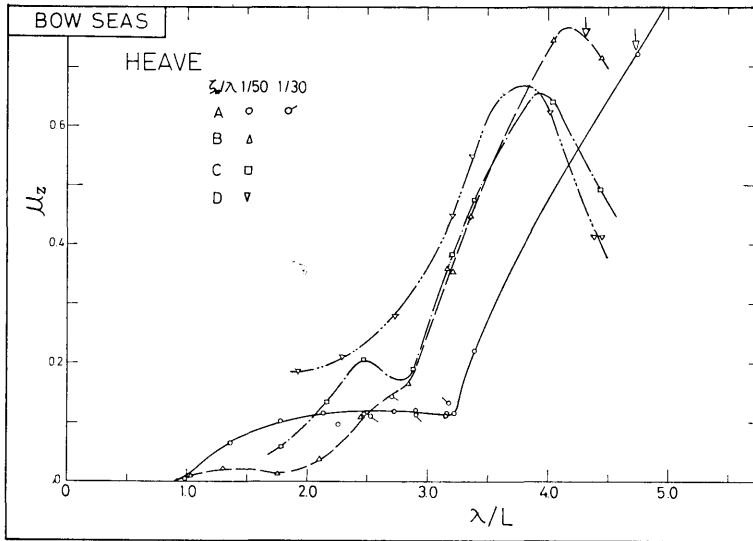


Fig. 13 Heaving amplitude in bow seas

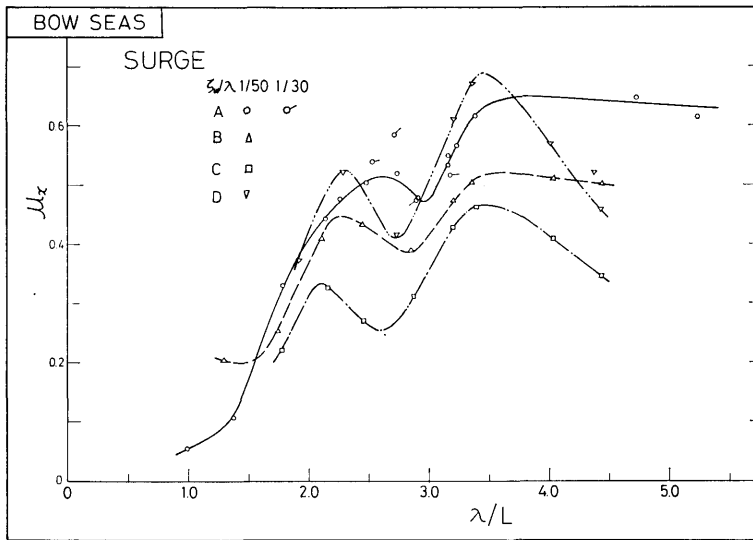


Fig. 14 Surging amplitude in bow seas

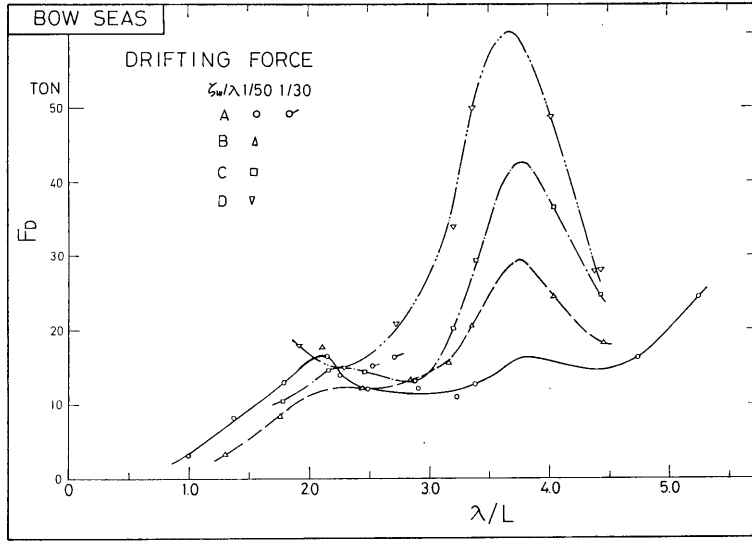


Fig. 15 Drifting force in bow seas

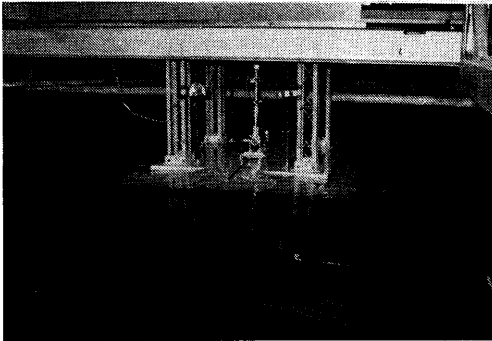


Fig. 16 Condition A: in beam seas  
( $\lambda/L=2.6$ ,  $\zeta_\omega/\lambda=1/50$ )

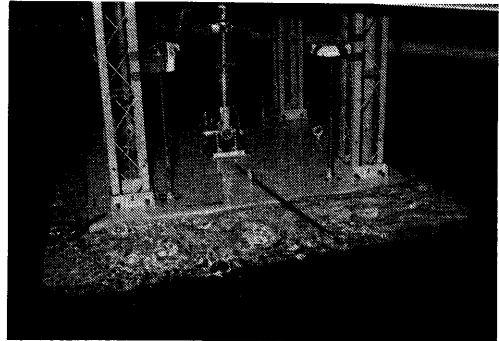


Fig. 17 Condition A: in bow seas  
( $\lambda/L=3.5$ ,  $\zeta_\omega/\lambda=1/50$ )

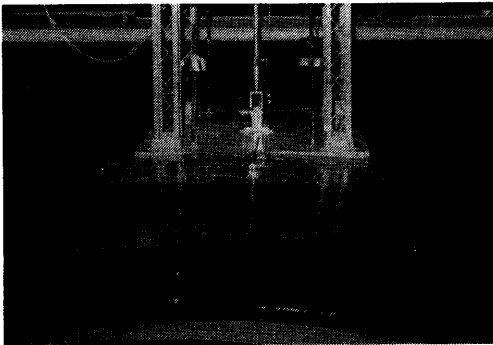


Fig. 18 Condition B: in beam seas  
( $\lambda/L=2.2$ ,  $\zeta_\omega/\lambda=1/50$ )

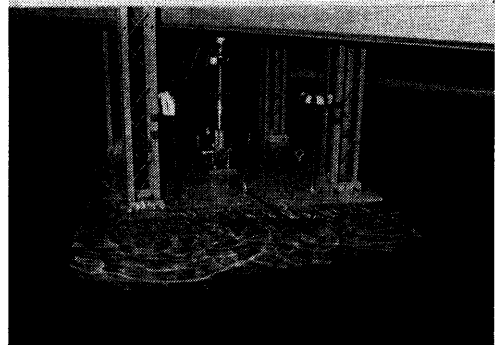


Fig. 19 Condition B: in bow seas  
( $\lambda/L=3.3$ ,  $\zeta_\omega/\lambda=1/50$ )

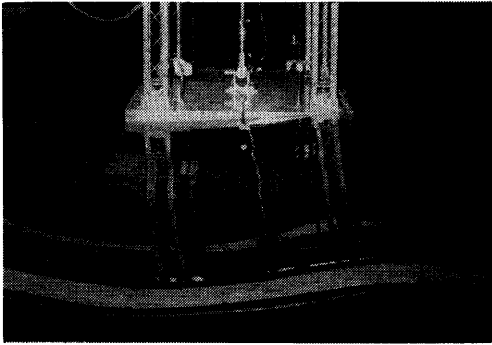


Fig. 20 Condition C: in beam seas  
( $\lambda/L=2.0$ ,  $\zeta_w/\lambda=1/50$ )

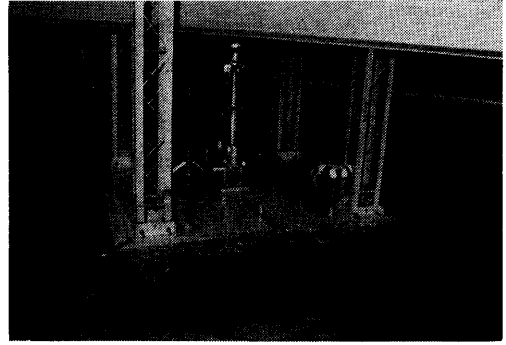


Fig. 21 Condition C: in bow seas  
( $\lambda/L=2.6$ ,  $\zeta_w/\lambda=1/50$ )

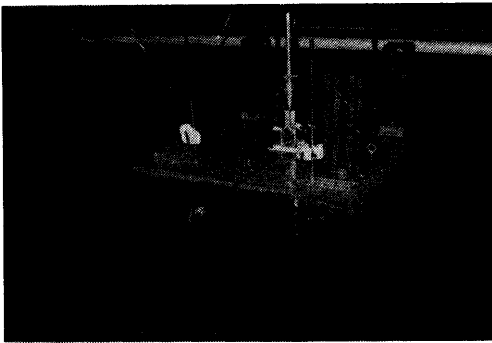


Fig. 22 Condition D: in beam seas  
( $\lambda/L=2.8$ ,  $\zeta_w/\lambda=1/50$ )

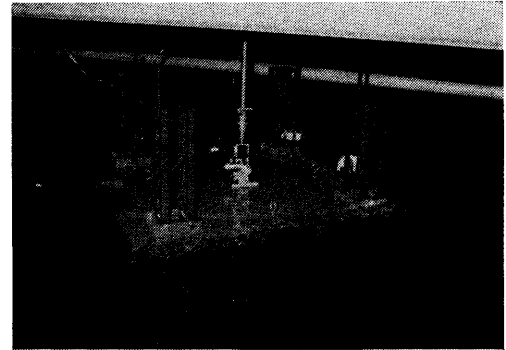


Fig. 23 Condition D: in bow seas  
( $\lambda/L=3.5$ ,  $\zeta_w/\lambda=1/50$ )

#### 4.2 平水中における曳航試験結果

全抵抗係数と曳航によるトリム変化とを速度に対して示したものが Fig. 24 である。

模型の静止時におけるトリムを  $1\text{ cm}$  ( $0.636^\circ$ ) 変えるに要するモーメント (MTC) の計測結果は  $0.456\text{ kg-m}$  であった。

### 5. 考 察

#### 5.1 重心およびメタセンター

A 状態での試設計時における実機の KG は  $12.8\text{ m}$  で、GM は  $9.6\text{ m}$  となっているが、今回の試験時においては KG が  $11.1\text{ m}$  で、GM が  $11.0\text{ m}$  相当となり、多少の違いを生じている。これは前にも述べたようにマットに水が浸透したためにマットが重くなってしまったものと思われる。

#### 5.2 固有周期と減衰係数

固有周期は精度よく計測できたと思えるが、減衰係数の値は減衰が早いことと水槽壁からの反射波による

影響などによって信頼度が高い値であるとは思われない。

固有周期、減衰係数および環動半径はマットがわずかに下がった (模型の寸法で  $20\text{ cm}$ ) 付近において極値になる (Table 2 参照)。

固有周期より同調する波長を求めると、横揺れと縦揺れとが共に  $\lambda/L$  で  $15\sim 22$  付近となるので、これは今回の実験した波の範囲と非常に違っている。しかし、上下揺れの同調する波長は次のとおりである。

状 態	同調する波長 ( $\lambda/L$ )
A	4.72
B	4.30
C	5.01
D	5.74

#### 5.3 波浪中における運動応答

まず、試験結果からいえることは、縦揺れおよび横揺れは各状態とも揺れが小さい。特に、A と B 状態に比べて C と D 状態の方が急激に揺れは減少する。

しかし、一般には横揺れは波高に比例するといわれ

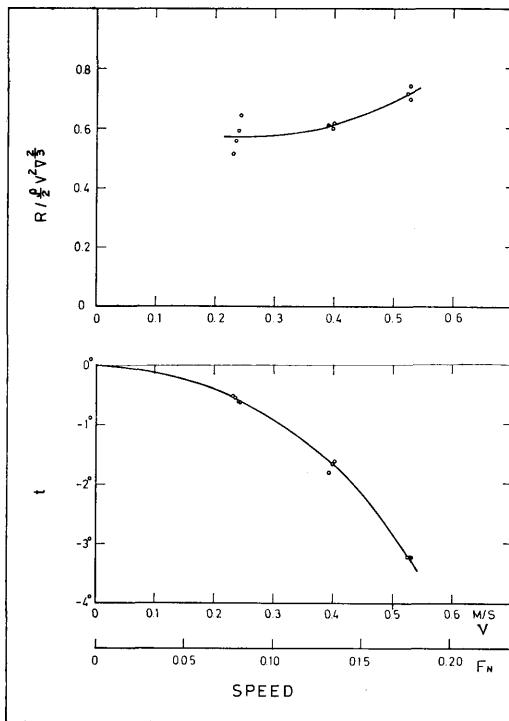


Fig. 24 Total resistance coefficient and trim in still water

ているが、今回の横波中における結果では、波高一波長比が  $1/80$ ,  $1/50$ ,  $1/30$  と波高を変えた場合の横揺れの無次元値はそれぞれの波高で相当違っており、波高による影響が相当現われている。

上下揺れは一般にいわれているとおりに波高に比例している。また、斜め波中でも横波中에서도ほとんど相連ない揺れである。

この作業台の場合、 $\lambda/L$  で  $3.0$  付近から急激に揺れが増加する傾向がある。

前後揺れおよび左右揺れは上下揺れと同様に斜め波中と横波中とは大差ない揺れである。

以上波浪中における本海上作業台の運動応答について述べてきたが、全般的には、おのおのの波の最大波傾斜角か、または、波高よりも小さい揺れであるといえる。

だが、一般船型と非常に相違する点が認められる。それは山が一つではなく複数の山が存在することである。

今回の結果においても同調する波長とはまったく関係ない波長で山が存在している。この現象はかつて行

なったA社のプラットフォームの試験の場合には横揺れで上下揺れの同調波の  $0.7$  付近にもう一つの山が現われており。B社の場合には、 $2 \sim 3$  つの山が整数倍波のところに現われている。

これらの例より、この現象は水槽の側壁影響ということも考えられるので、次の機会には、角水槽でも試験を行なって、水槽の側壁影響を調査してみようと考えている。

#### 5.4 位置を保つに必要な力

漂流力は一度無次元値にしてから、すべて波高を  $\zeta_0/\lambda=1/50$  の実機の漂流力に換算した値にしたものである。

漂流力はマットが降下して行くにつれて増加して行く傾向がある。

たとえば  $D$  状態において、 $\lambda/L$  で  $4.0$  付近が最も大きい値を示し、 $50 \sim 60$  トンの漂流力となる。

#### 5.5 平水中における曳航試験

曳航によるトリム変化は非常に大きい。それが曳航点によるトリムモーメントの影響ではないかと思われたので、前面の面積中心より求めてみると、速度が  $0.23 \text{ m/s}$  では  $0.04^\circ$  であり、 $0.43 \text{ m/s}$  では  $0.13^\circ$ 、 $0.53 \text{ m/s}$  では  $0.27^\circ$  という値にしかならないので、曳航点による影響ではないといえる。

曳航時に even keel になる場合、抵抗値が最小となると思われたが、トリムによる抵抗変化よりも測定精度によるバラつきが大きかった。

曳航試験中に興味ある現象と思われるものとして、縦揺れがピートを起こして揺れだすことであった。これは水面の静止状態の悪さや曳航速度のむらなどによることも多少あると思われるが、曳航中に人手によって静止させてもすぐに揺れだす点から渦や流体力のアンバランスによるものであろうと思われる。

#### 5.6 その他の結果について

今回の試験においても、各実験時に写真をとった。それによると作業台の周囲に複雑な渦や水面の様子が非常によくわかるので、今後の研究の足掛りとなればと思い、各状態で興味あるものを掲載した。

## 6. 結 論

本海上作業台の試験結果からいえる結論として、

1) 波浪中における運動は無次元値で  $1.0$  以下と全般に少ない。ただし、上下揺れは  $\lambda/L=4.0 \sim 5.0$  の同調波付近で多少大きく揺れる傾向がある。

2) 波浪中における漂流力は  $C$  と  $D$  状態で上下揺

れが激しくなる  $\lambda/L=4.0$  付近で大きな漂流力となる。

3) 上記の事実からマットを着底させる作業には、 $\lambda/L=3.0$  以上では困難であろう。

以上、今回実施した試験によって、本海上作業台の実機の設計および作業上必要と思われる運動、漂流力、平水中曳航などに関しての資料が得られた。

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いるので、次の機会には海洋構造物特有の現象かそれとも水槽の側壁の影響であるかの山が存在することに関する試験を加えて調査する予定である。

最後に、本試験を行なうに当って御協力をいただいた川崎重工業株式会社技術研究所および同社海洋機器部の方々に深く感謝致します。

#### 参 考 文 献

- 1) 安藤・猿田：“海底観測塔の動揺試験”，船舶技

術研究所報告，第7巻，第3号13頁。

#### 記 号 表

$x_a$ ……前後揺れの振幅	$\zeta_a$ ……波の振幅
$y_a$ ……左右揺れの振幅	$\zeta_w$ ……波高
$z_a$ ……上下揺れの振幅	$\lambda$ ……波長
$\theta_a$ ……縦揺れの振幅	$k$ …… $2\pi/\lambda$
$\phi_a$ ……横揺れの振幅	$L$ ……バージの長さ
$u_x$ …… $x_a/\zeta_a$	$V$ ……曳航速度
$u_y$ …… $y_a/\zeta_a$	$V$ ……排水容積
$u_z$ …… $z_a/\zeta_a$	$t$ ……トリム
	(船尾トリムを正とする)
$u_\theta$ …… $\theta_a/k\zeta_a$	$F_N$ …… $V/\sqrt{gL}$
$u_\phi$ …… $\phi_a/k\zeta_a$	$R$ ……全抵抗
$F_D$ ……実機に換算した漂流力	