

# 風波併存時における漁船の横揺特性と 海水打込みについて

原口 富博\*・猿田 俊彦\*

## Experimental Investigation on Rolling Characteristics and Shipping Water of a Fishing Boat in Wind and Waves

By

Tomihiko HARAGUCHI\* and Toshihiko SARUTA\*

### Abstract

It is well known that the running conditions in beam sea and wind as well as in quartering sea are the most dangerous for the stability of a fishing boat. It is considered that the factors affecting ship motions in these conditions are the drifting velocity by wind and the oscillating characteristics in the small freeboard condition like a small fishing boat.

So the experimental investigation was made to examine the conditions generating shipping water as a criterion of stability and the oscillations in beam sea and wind such as the bulwark top reaches to water surface. The model experiments were carried out in regular, irregular and transitionally concentrated waves under the constant wind velocity, and the response characteristics of rolling in the listed conditions and relative wave elevations were obtained. A lot of shipping water on the deck and large heel causing capsize were not generated because wind velocity and wave height were moderate in these experiments but the critical wave height on shipping water were evaluated.

### 目次

	頁
1. 緒言	43
2. 実験方法	44
2.1 供試模型船	44
2.2 波強制力の測定および動揺試験	45
2.3 風による傾斜角, 漂流速度の計測	46
2.4 横波, 横風中の動揺試験	46
2.5 波浪中風速変動の計測	46
2.6 実験装置および計測項目	47
3. 波強制力および動揺試験結果および考察	47
3.1 自由横揺試験	47
3.2 波強制力および動揺試験	49
3.3 集中波中における動揺試験	52

4. 風による傾斜角, 漂流速度の計測結果	56
4.1 風速分布	56
4.2 風による傾斜角および漂流速度	56
5. 横波風中の動揺試験結果および考察	57
5.1 横風規則波中における動揺試験	57
5.2 横風不規則波中の動揺試験	63
6. 結言	72
7. 謝辞	72
8. 参考文献	73
付録 風速変動について	73

### 1. 緒言

小型漁船の復原性に対して, 横風と横波を受ける状態が斜め追波中航走時と並んで最も危険度の高い航走状態であると考えられている。我国における旅客船の

\* 運動性能部 原稿受付: 昭和57年7月7日

復原性の基準も横波と横風の中での船体動揺の安定性を判別する方法が採られており、世界的にも同様な考え方が採られる傾向にある。この様な状態の船体動揺に影響する因子としては、風圧による船体の漂流および横傾斜、小型漁船のように乾舷の小さい船にあっては甲板上への打込水等が挙げられる。田宮<sup>1),2)</sup>は、波および風の中の横揺れ実験によって甲板縁の没するような非対称動揺では重畳の原則が適用しがたいこと、また箱型船の実験から大角度横揺、大きな相対上下揺、大きな風圧による傾斜等で上甲板縁が没すると転覆につながるおそれがあることを示している。また小林<sup>3)</sup>は2次元柱状体が傾斜している場合の上下揺による横揺れに対する影響を調べている。ここでは、小型漁船の復原性基準を作るという目的に従って転覆現象を考える上での基礎となる横波横風中の動揺に与える上記の因子の影響を調べ、転覆の誘因の1つであり復原性の判断基準の1つでもある打込水の発生条件を明らかにするために小型漁船の模型を用いて実験的研究を行った。

実験は定常風圧下における規則波中、不規則波および過渡的集中波中において行われ、風波併存時の横揺れと船側の相対水位変動の応答特性が得られた。実験時の風速および波高が中位の値であったため、甲板上への大量の打込み水の発生や転覆につながるような大傾斜の発生までは到っていないが、その前の段階である海水打込み限界波高に対するデータを得ることができた。

## 2. 実験方法

### 2.1 供試模型船

供試模型船としては、斜め波中航走時の転覆現象の研究<sup>4)</sup>に用いたものと同一の鮭鱒流し網漁船の縮率1/7.6 模型を使用した。その主要目を Table 1 に、模型船の概略図を Fig. 1 に示す。Table 1 における横揺周期はビルジキールが付いていない時のものである。この模型船におけるボックスキールおよびビルジキールの寸法は以下の通りである。

ボックスキール 深さ×幅=0.0197×0.029 (m)

ビルジキール 深さ×長さ=0.0263×0.6Lpp (m)  
(S. S. 2~S. S. 8)

また今回の実験においては、放水口からの上甲板への水の浸入を防ぐため放水口は閉鎖した。

Table 1 Particulars of model

	SHIP	MODEL
LENGTH (m)	15.20	2.000
BREADTH (m)	3.80	0.500
DEPTH (m)	1.48	0.195
DISP. (kg)	60.96 t	135.5
$d_f$ (m)	1.083	0.143
$d_a$ (m)	1.653	0.218
$d_m$ (m)	1.368	0.180
TRIM (m)	0.570	0.075
GM (m)	0.295	0.038
KG (m)	1.704	0.224
$\overline{\overline{G}}$ (m)	0.845	0.111
FB <sub>水</sub> (m)	0.112	0.015
T <sub>R</sub> (sec)	6.34	2.24

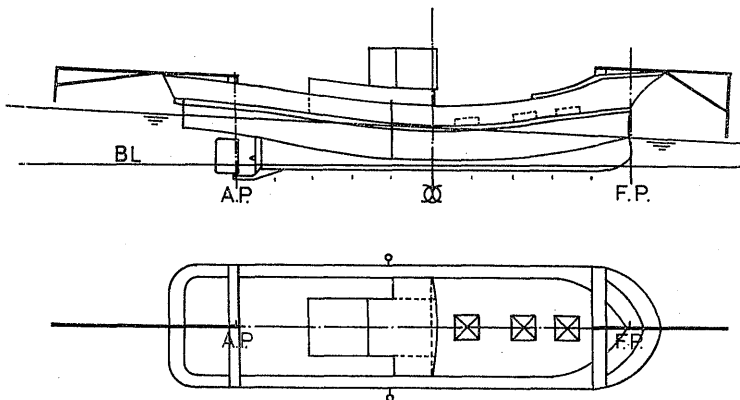


Fig. 1 Model sketch of fishing boat

2.2 波強制力の測定および動揺試験

2.2.1 規則波中動揺試験

- (1) 動揺水槽において模型船を横波の状態に置き、前後揺、船首揺、左右揺を拘束し、横揺れ、縦揺れ、上下揺れを自由にして動揺試験を行った。模型船の実験状態としては Table 2 に示す 6 状態とした。この時の船体定常傾斜角は重錘の移動によって与へ、右舷側を Weather Side とした。規則波としては、波長を  $\lambda/L=0.5\sim 7.0$  で適当に選び、 $\lambda/L < 5$  では波傾斜一定 ( $H_w/\lambda=1/50$ )、 $\lambda/L > 5$  では波高一定 ( $H_w=20\text{cm}$ ) とした。
- (2) さらに横風横波中の動揺との比較のため、模型船を菱形に張った水系により前後揺、船首揺を拘束し、

横揺れ、縦揺れ、左右揺れ、上下揺れを自由にした動揺試験を行った。模型船の実験状態は Table 2 と同様である。規則波としては、波長を  $\lambda/L=0.5\sim 6.0$  で適当に選び、 $\lambda/L \geq 2.5$  では波傾斜一定 ( $H_w/\lambda=1/50$ ) とし、 $\lambda/L < 0.5\sim 2.5$  では波高一定 ( $H_w=10\text{cm}$ ) とした。模型船は曳航台車計測部内にある様に台車を運転し、この時の台車速度と左右揺の記録から模型船の漂流速度を求めた。

2.2.2 規則波中波強制力測定試験

上下揺、縦揺れを自由とし他を拘束して、船体直立時の重心回りの横揺れモーメントおよび左右揺れを計測した。模型船の定常傾斜角、ビルジキールの有無については Table 2 の 6 状態とした。規則波としては、

Table 2 Experimental conditions of model

Listed Condition of a Model Hull Bilge Keel	Upright	10° Listed to Starboard	10° Listed to Port
without B.K.	○	○	○
with B.K.	○	○	○

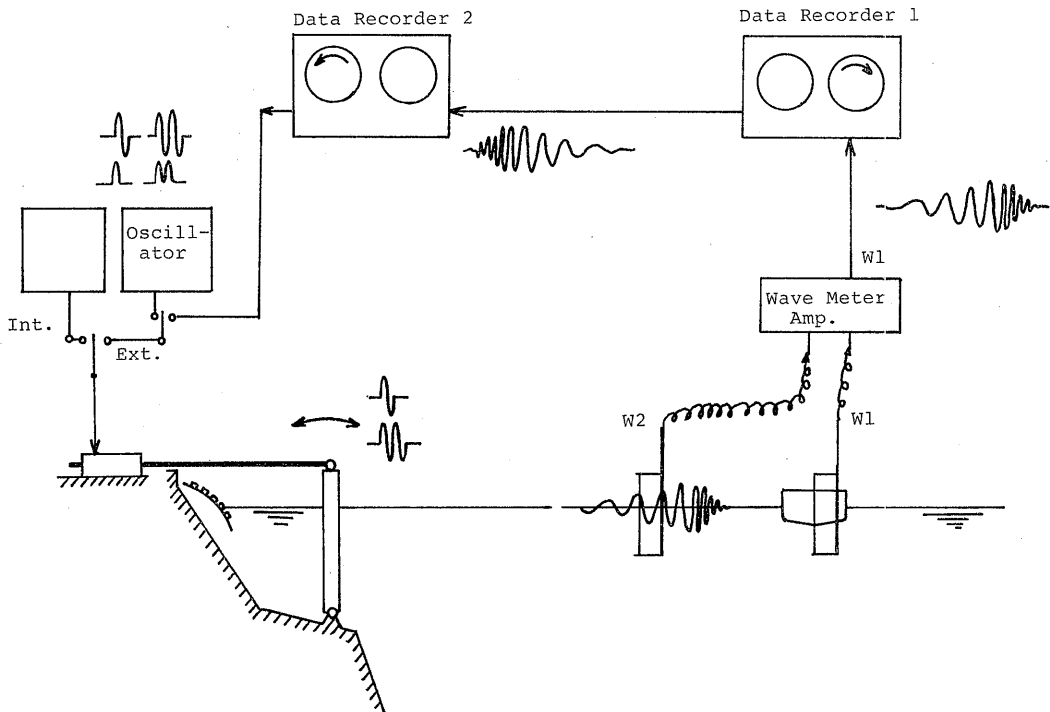


Fig. 2 Block diagram on generating method of concentrated wave

2.2.1(1)の動揺試験の時と同じとした。

### 2.2.3 自由横揺れ試験

直立船体および傾斜船体の横揺れ減衰係数を求めるため、停船中および前進速度を有する場合の自由横揺れ試験を行った。船速はフルード数  $F_n$  で0~0.3、船体の定常傾斜角は  $0^\circ$  および  $10^\circ$  である。模型船は重心を通る前後軸で、縦揺れ自由、左右揺れと船首揺れ拘束のジンバルに取り付け曳航台車で曳引した。自由横揺れの初期傾斜角は  $10^\circ$  とした。

### 2.2.4 集中波による動揺試験

一発大浪の様な大浪による船の動揺を見るために集中波を起し、これによる模型船の動揺試験を行った。集中波は、大松の方法<sup>5)</sup>に従い、正弦波の1周期および2周期のものを造波板の変位信号として入力し、発生した波を定点で記録し、これをリバース再生したものを再び造波板の変位信号として入力し、前記の定点に発生させた。集中波発生のための正弦波の周期としては、ビルジキール無しの場合の横揺固有周期およびその約2/3の周期とした。集中波発生のプロックダイヤグラムを Fig. 2 に示す。

また、模型船は菱形に張った水糸により前後揺、船首揺を拘束し、左右揺その他は自由とし上記定点の位置にセットした。船体の定常傾斜角は  $0^\circ$  および左右舷各  $10^\circ$  の3状態とし、ビルジキールは付いた状態とした。

## 2.3 風による傾斜角、漂流速度の計測

### 2.3.1 風速分布の計測

(1) 送風機性能の確認のため、台車計測部中央断面での風速分布を計測した。風速分布が左右方向には対称であることを確認するため、吹出口中央高さ位置

で送風機の幅方向に50cmおきに測定した他は、送風機に向けて左半分を吹出口中央から上下方向に10cmおきに風速分布を測定した。

### (2) 風による傾斜角、漂流速度の計測

模型船の前後揺と船首揺を拘束し、他を自由とした。送風機の風により漂流する模型船が、曳航台車計測部中央にくる様に台車を運転し、この台車速度を漂流速度とした。この時の傾斜角はジャイロにより測定した。風速は、1.87, 3.73, 5.60, 7.46, 9.33 m/s (実船でそれぞれ10, 20, 30, 40, 50 kt に相当) とした。模型船の定常傾斜角およびビルジキールの有無については Table 2 の6状態とした。

## 2.4 横波横風中の動揺試験

模型船は、前後揺と船首揺を拘束し他を自由として横風、横波状態で動揺試験を行った。模型船の定常傾斜角、ビルジキールの有無については Table 2 に示す6状態とし、規則波としては2.2.1(2)の動揺試験と同じとした。風速は5.60m/sとし、送風機吹出口中央から水面までの高さは438mmとした。

さらに不規則波中における動揺試験も行った。不規則波としては、平均周期と有義波高がそれぞれ1.48 sec, 10.12cm (実船で約4.08 sec, 波高0.77 m) と2.07 sec, 11.74cm (実船でほぼ横揺同調周期の5.71 sec, 波高0.89m) の2つのI. S. S. Cスペクトラムを使用した。模型船の定常傾斜角が  $0^\circ$  と Lee Side に  $10^\circ$  の2状態とし、ビルジキールは無しとした。

## 2.5 波浪中風速変動の計測

波浪による風速の変動率を調べるため熱線風速計を用いて波浪中での風速分布を測定し、同時に波との位相も調べた。実験パラメータとしては、風速、送風機

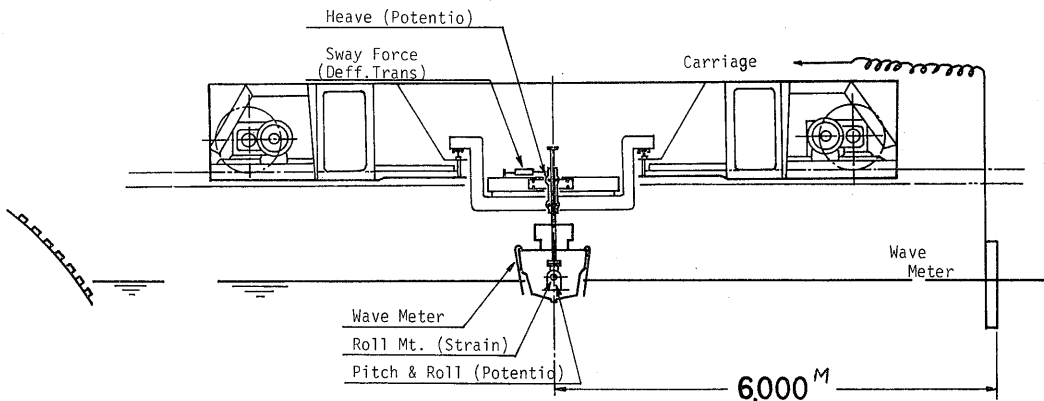


Fig. 3 Arrangement of model and measuring equipment (sway fixed)

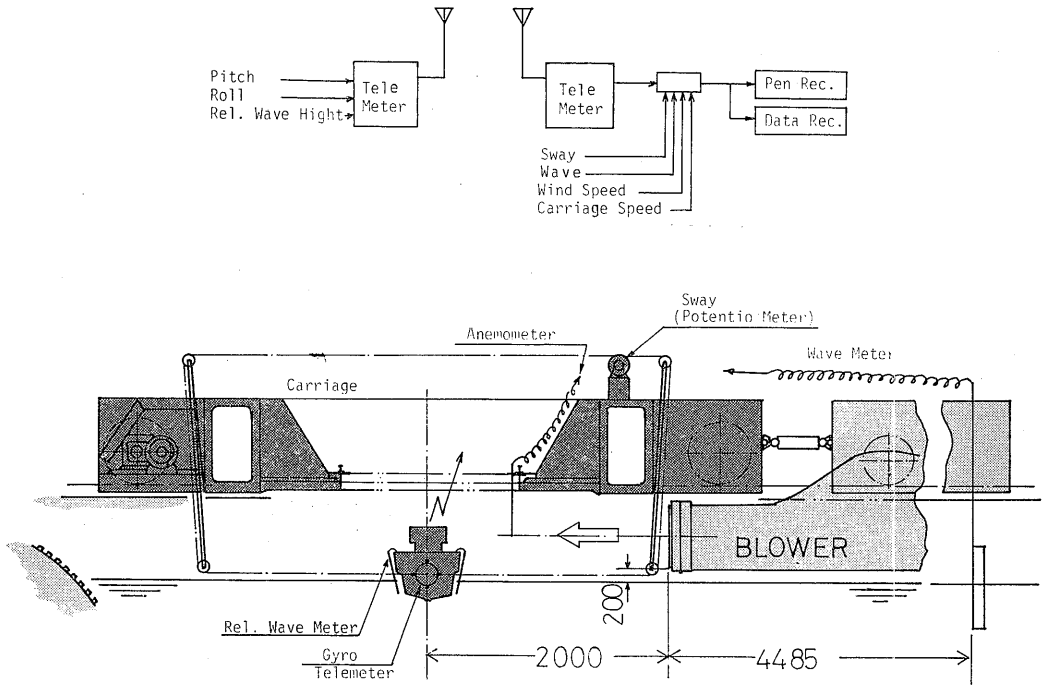


Fig. 4 Arrangement of model and measuring equipment (sway free)

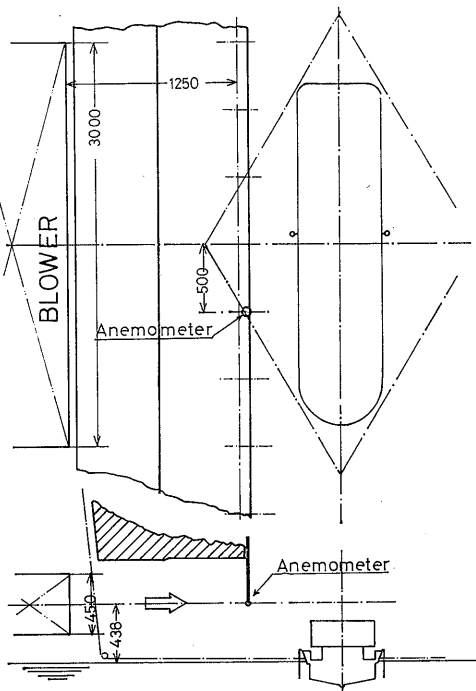


Fig. 5 Arrangement of model and blower

高さ、波周期とした。風速計は高さ方向に10cm間隔で並べ、一番下の風速計と水面との間は10cmとした。

### 2.6 実験装置および計測項目

実験は動揺試験水槽で行った。左右揺を拘束した規則波中動揺試験および波強制力測定試験の実験装置の概略図を Fig. 3 に、左右揺自由の時の規則、不規則、集中波、横風横波中の動揺試験、風による傾斜角、漂流速度測定試験の実験装置の概略図および模型船の配置図を、Fig. 4, Fig. 5 に示す。また変動風速測定時の風速計の配置図を Fig. 6 に示す。

計測項目は以下の通りである。

船体運動：縦揺れ、横揺れ、上下揺れ（左右揺拘束時のみ）、左右揺れ

波強制力：横揺モーメント、左右揺れ力

相対水位：S. S. 4の両舷における相対水位変動

### 3. 波強制力および動揺試験結果および考察

#### 3.1 自由横揺試験

Fig. 7~Fig. 9 に自由横揺試験結果を示す。ビルジキールなしの場合、等価線形減衰係数は速度によって

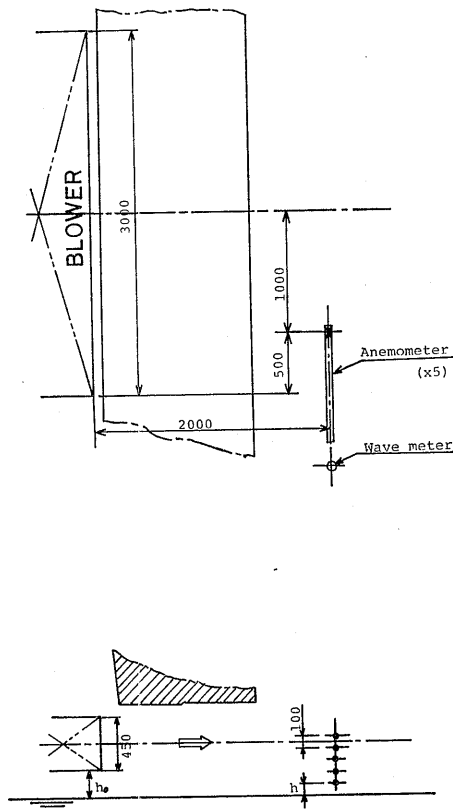


Fig. 6 Arrangement of measuring equipment of wind velocity variation

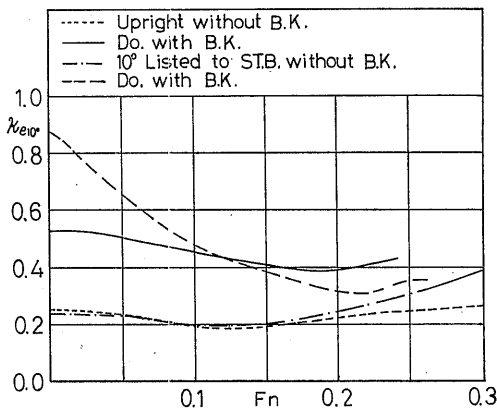


Fig. 7 Equivalent-linear coefficients of roll-damping

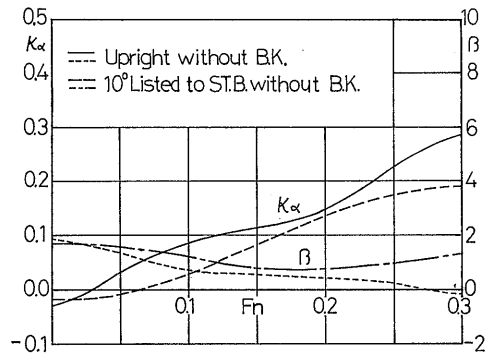


Fig. 8 Linear and non-linear coefficients of roll-damping (without B.K.)

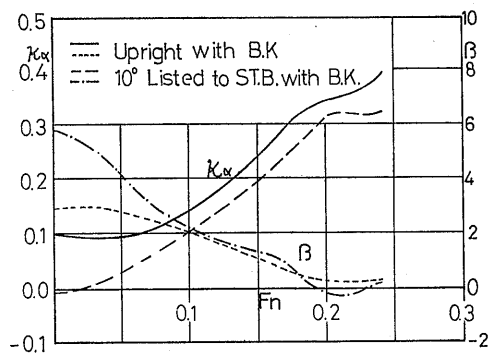


Fig. 9 Linear and non-linear coefficients of roll-damping (with B.K.)

大きい変化はない。しかし、線形係数と非線形係数とに分けて見ると、線形係数は速度とともに増加し、非線形係数は速度とともに減少するという一般の船と同じ傾向を示す。直立状態と10°定常傾斜状態の間でも顕著な差は見られないが、傾斜状態の場合線形項が小さく非線形項が大きく、結果的に  $F_n > 0.2$  の高速時に直立状態より減衰係数がやや大きい値となっている。このような傾向は、9.9トン型底曳網漁船<sup>9)</sup>と異なる傾向である。

ビルジキール付の場合、直立時で減衰係数はほぼ2倍に増加する他はビルジキールなしと同じ傾向を示す。10°定常傾斜状態では  $F_n = 0$  でほぼ3倍に増加するが、速度とともに減少し  $F_n > 0.1$  では直立状態よりやや小さくなる。これを線形項と非線形項に分けて見ると、全体的にはビルジキールなしと同じ傾向を示すが、直立時に比べて非線形項が  $F_n < 0.1$  でかなり大きく  $F_n > 0.2$  で小さくなっており、結果として

$F_n > 0.2$  で減衰係数が小さくなっている。

3.2 波強制力および動揺試験

3.2.1 横揺振幅

Fig. 10~Fig. 11 に横揺振幅曲線を示す。ここで横軸は左右揺拘束の場合の波円周波数であり、左右揺自由の場合には出会波円周波数である。これらの図から左右揺拘束の場合、左右揺自由と比べて同調横揺振幅は

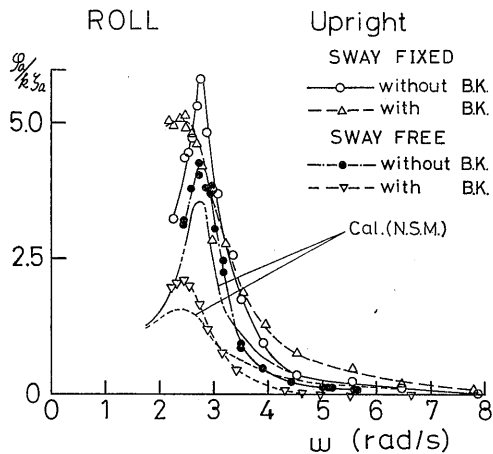


Fig. 10 Roll amplitude (upright)

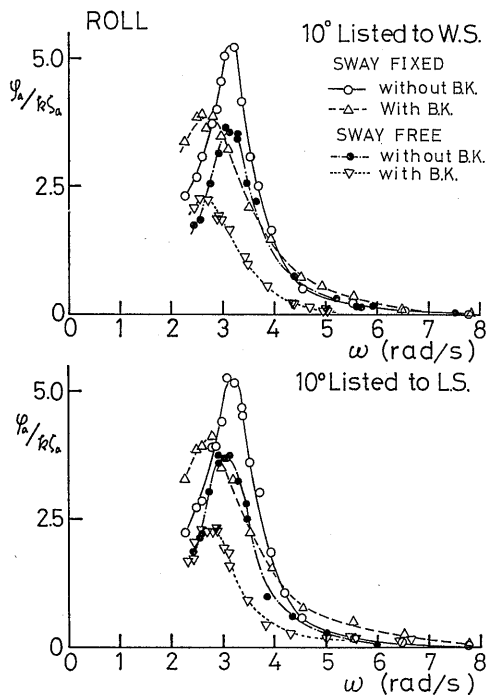


Fig. 11 Roll amplitude (10° listed conditions)

増加しビルジキールの減揺効果が減少して現われていることがわかる。また図中の計算は、横揺振幅が10°の直立時の等価線形減衰係数を用いてストップ法(N.S.M)で計算したもので、横揺同調付近で実験値よりやや小さい値を示している。

3.2.2 波強制横揺モーメントおよび波強制左右揺力

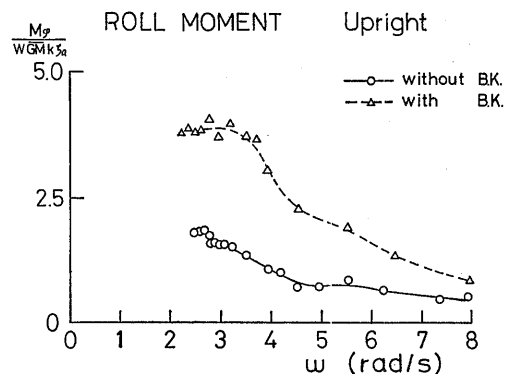


Fig. 12 Excited roll moment (upright)

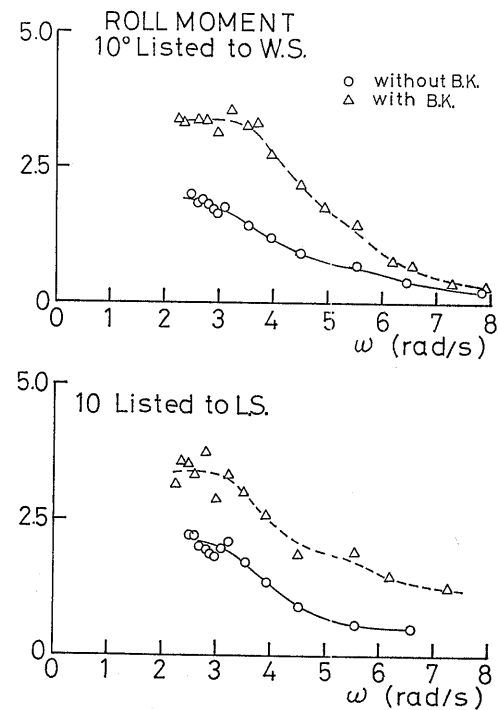


Fig. 13 Excited roll moment (10° listed conditions)

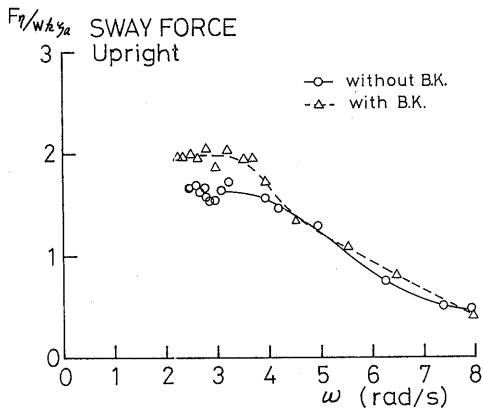


Fig. 14 Excited sway force (upright)

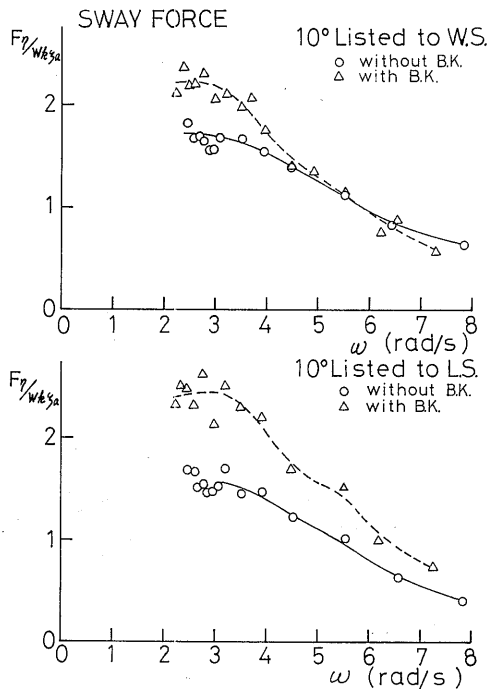


Fig. 15 Excited sway force  
(10° listed conditions)

強制左右揺力の計測結果を示す。横軸は波円周波数である。これからビルジキールの有無による差を見ると、横揺モーメントはビルジキール付がない場合の大略2倍となっており、左右揺力ではビルジキール付の方が全体として大きくなっており、その差は横揺同調付近で大きくωが4より大きい所では小さくなっている。これらのことから左右揺拘束の場合、ビルジキ

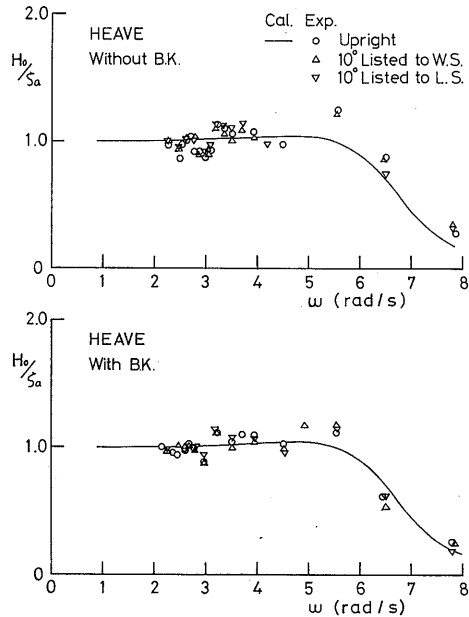


Fig. 16 Heave amplitude

ールを付けることによって横揺減衰係数は増加するものの、そこに左右揺力が作用し横揺モーメントを増加させ、ビルジキールの減揺効果を減少させたと考えられ、その結果として横揺振幅がビルジキールの有無で大差なかったものと考えられる。また左右揺自由の場合、左右揺と横揺の連成で見掛上横揺モーメントが減少しビルジキールの減揺効果が現われ、横揺振幅が減少したものと推測される。

3.2.3 上下揺振幅

Fig. 16 に上下揺振幅曲線を示す。上下揺の同調周期は直立時ビルジキール付で  $\omega=5.5$  であった。計算値は前項と同様ストリップ法によるものだが、実験値と良く一致している。またこの実験結果からは、ビルジキールの有無の差、船体の定常傾斜角による差は見られず、さらに船体の定常傾斜角による左右非対称の影響としての上下揺と横揺の顕著な連成影響も見られない。これは他の例<sup>3)</sup>と比べて横揺減衰力が大きいと思われる。

3.2.4 相対水位変動

Fig. 17~Fig. 19 に相対水位変動の実験結果を示す。全体に横揺の同調点付近および上下揺同調周期付近にピークがあり、上下揺同調付近の方が横揺同調付近より大きくなっている。また、Weather SideとLee Sideとを比べると横揺同調付近では大差がないが、



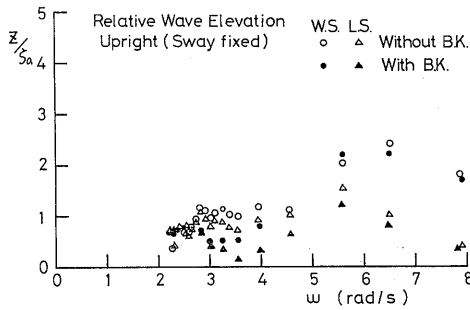


Fig. 17 Relative wave elevation (upright)

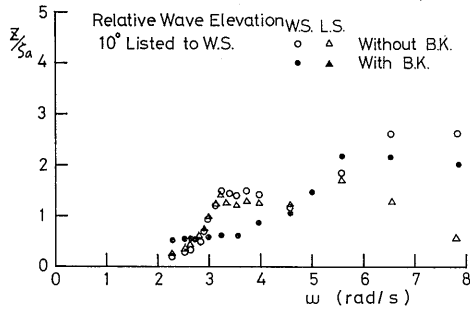


Fig. 18 Relative wave elevation (10° listed to W.S.)

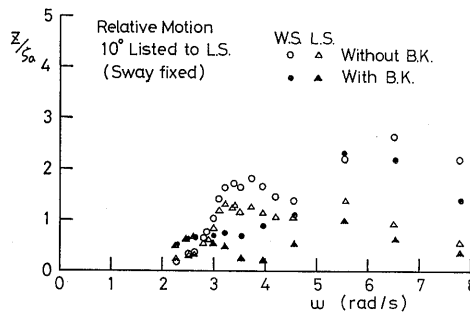


Fig. 19 Relative wave elevation (10° listed to L.S.)

$\omega=5.5$ より大きい所では Weather Side の方が Lee Side よりかなり大きくなる。ビルジキールの有無による差は横揺同調付近でビルジキール付の方が小さくなるが、それ以外では大差がない。

3.2.5 直立時と定常傾斜時の横揺振幅の比較

Fig. 20~Fig. 21 に船体が直立時と定常傾斜時の横揺振幅の比較を示す。図中の曲線は、Fig. 10~Fig. 11の実験点を結んだものである。これらの図から直立時と定常傾斜時の横揺同調周期がずれることがわかるが、これは定常傾斜によりGMが変化したためと考えられる。また、Weather Side, Lee Side いずれに傾斜しても大差はない。これらの傾向は9.9トン型小型底曳網漁船と同じ傾向である。さらにまた、船体の定常傾斜による左右非対称性から生じる横揺と上下揺の顕著な連成影響は見られない。

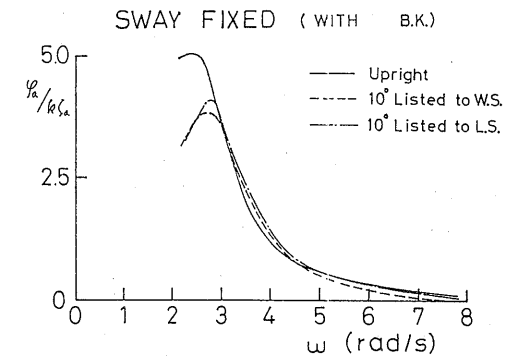
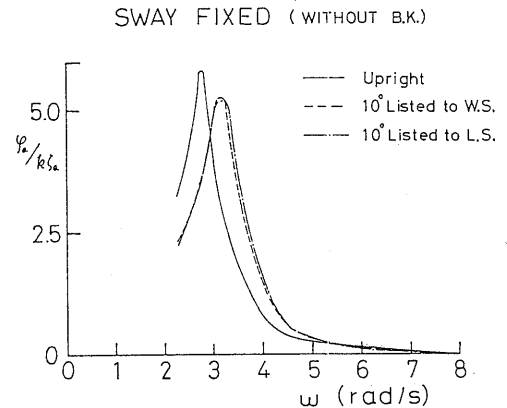


Fig. 20 Comparison of roll amplitude in listed conditions (sway fixed)

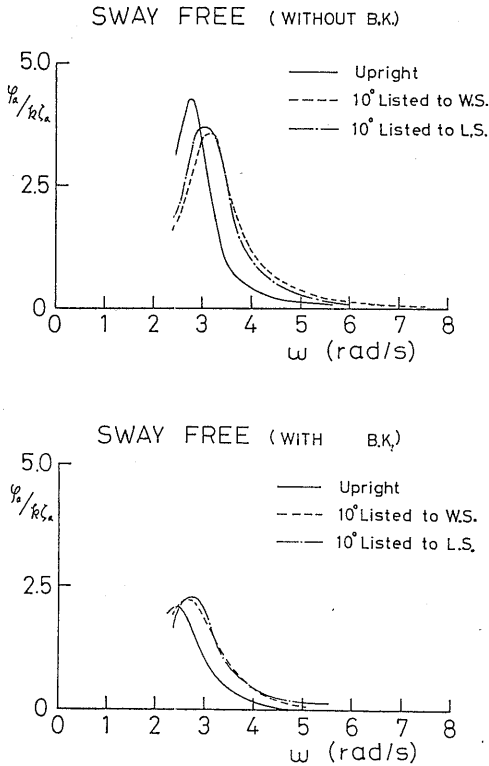


Fig. 21 Comparison of roll amplitude in listed conditions (sway free)

3.3 集中波中における動揺試験

Fig. 22~Fig. 32 および Table 3 に集中波中における動揺試験結果を示す。またこの時の実験の様様を Photo. 1 に示す。図における横軸は時間軸であり、各図の右上には集中波を起す入力信号を得るために造波した時の入力信号を略図で示してある。左端が造波板の変位を与える入力信号であり、この時の入力信号の周期が右端に示してある。wave 1 が模型船のセット位置での集中波を示し、wave 2 がその前方 6.5 m の位置での波を示している。また、Body Plan から求めた水面からブルワークトップまでの距離を相対水位と併せて記してある。

この図の相対水位を見ると、直立時で周期が 2.25 sec の場合を除いてほとんど打込水があったことになるが、観測結果と一致しない。これはブルワークトップまで来た水が張出部によって外側へ排除されたためと推測される。これを集中波中動揺の前後で横揺の零点の記録にずれが有る場合打ち込み水があったと考え

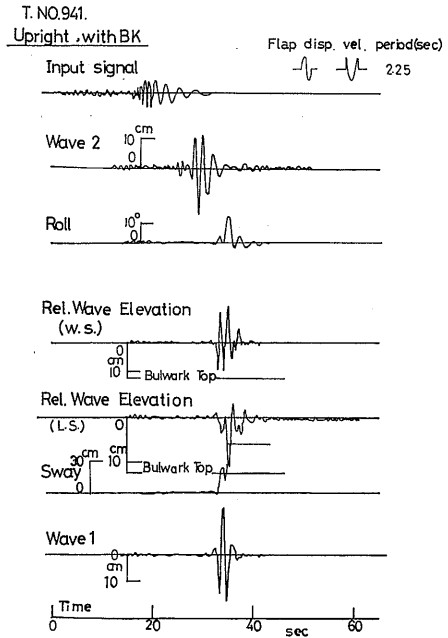


Fig. 22 Oscillations in concentrated wave (upright)

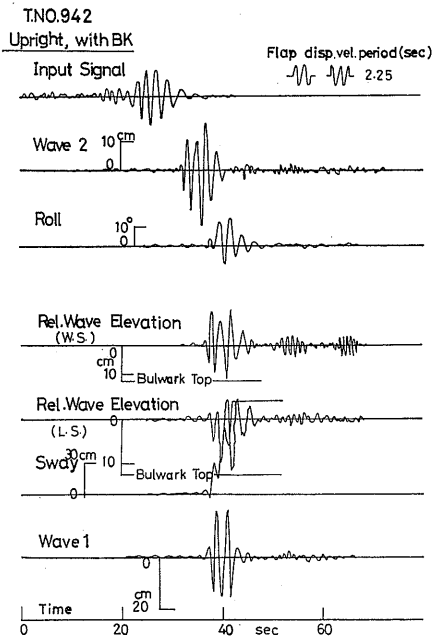


Fig. 23 Oscillations in concentrated wave (upright)

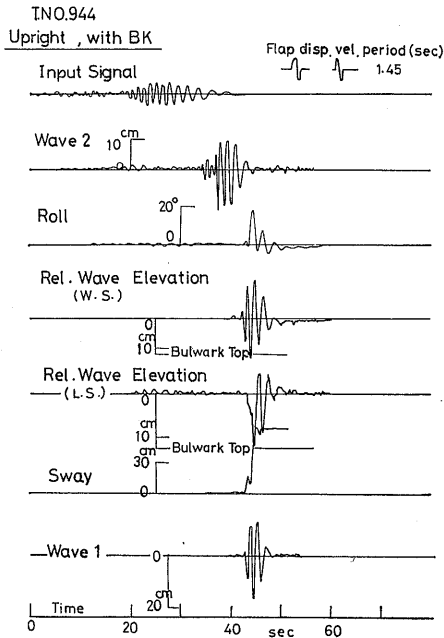


Fig. 24 Oscillations in concentrated wave (upright)

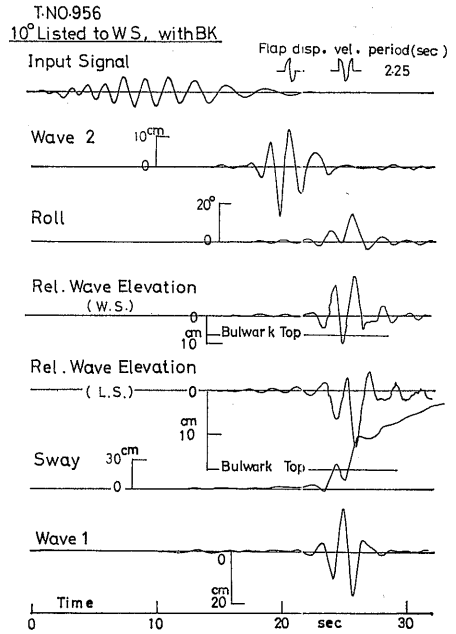


Fig. 26 Oscillations in concentrated wave (10° listed to W.S.)

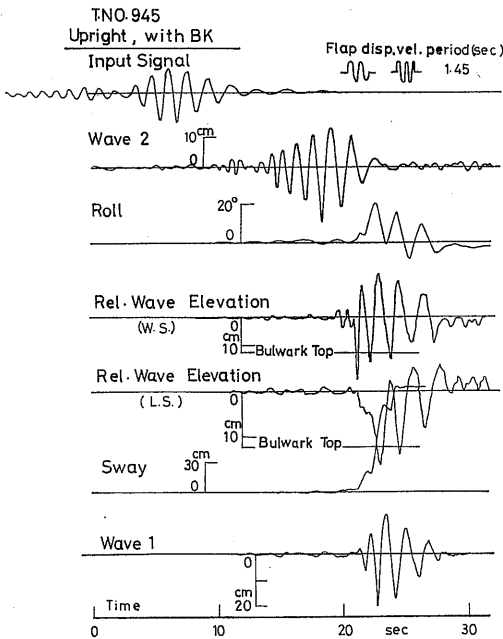


Fig. 25 Oscillations in concentrated wave (upright)

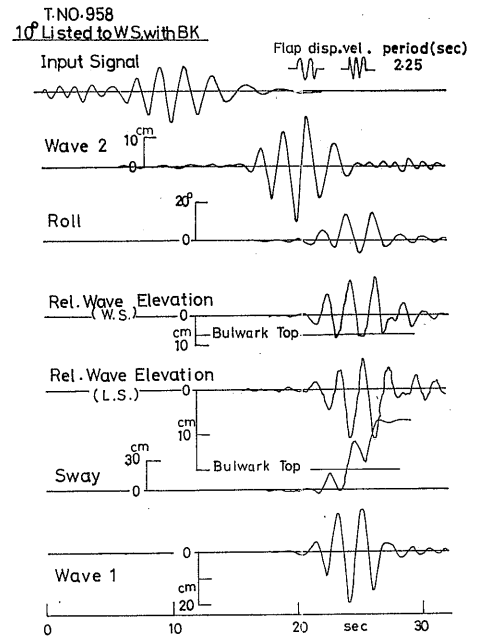


Fig. 27 Oscillations in concentrated wave (10° listed to W.S.)

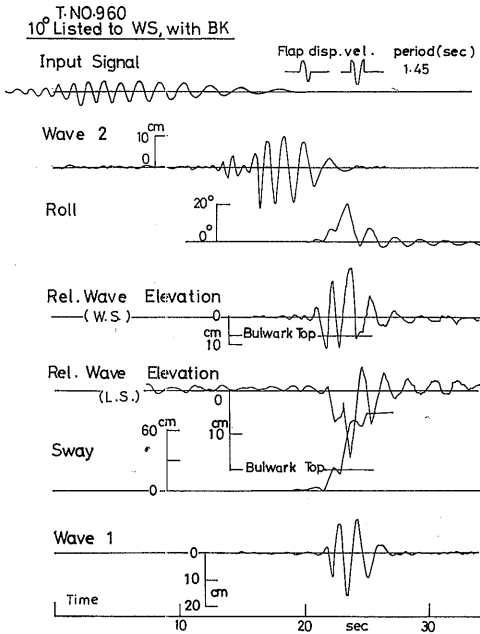


Fig. 28 Oscillations in concentrated wave (10° listed to W.S.)

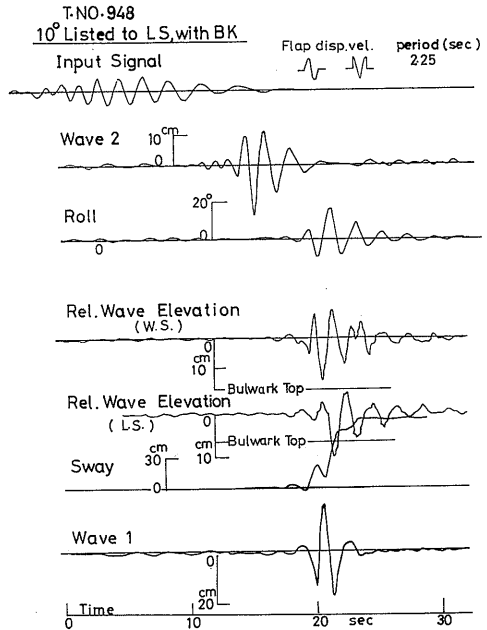


Fig. 30 Oscillations in concentrated wave (10° listed to L.S.)

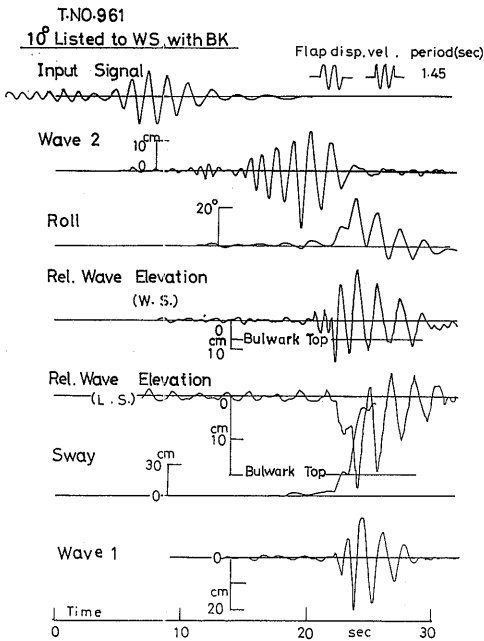


Fig. 29 Oscillations in concentrated wave (10° listed to W.S.)

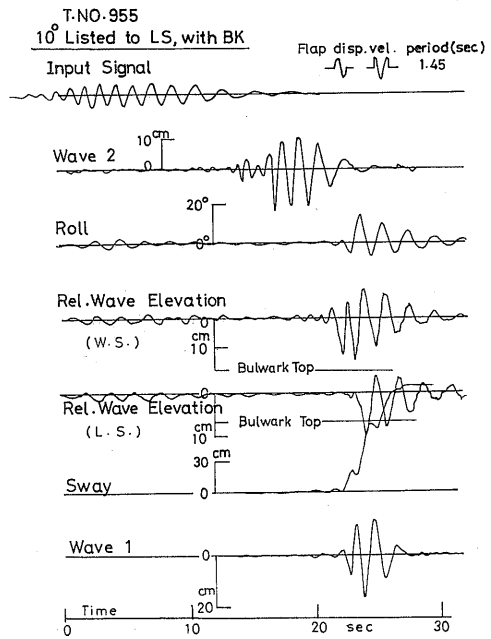


Fig. 31 Oscillations in concentrated wave (10° listed to L.S.)

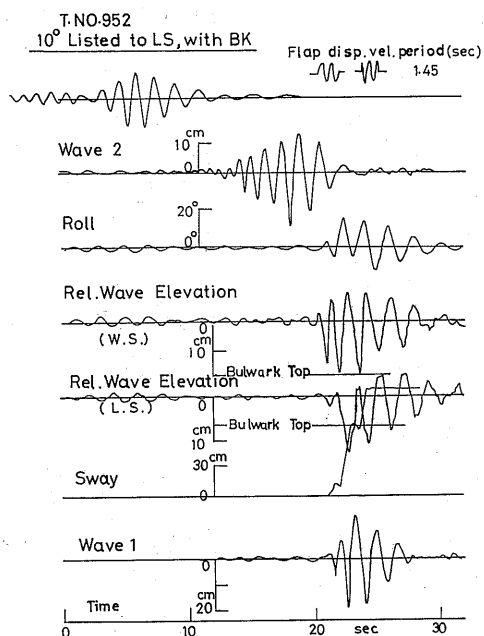


Fig. 32 Oscillations in concentrated wave (10° listed to L.S.)

Table 3 Max. amplitude of oscillations in concentrated waves

T.NO.	MODEL CONDITION	SET PERIOD (sec)	CONCENTRATED WAVE		ROLL MAX. (DEG)	Zrws MAX. (cm)	Zrls MAX. (cm)	REMARKS
			NO.	MAX. (cm)				
941	UPRIGHT WITH B.K.	2.25	1	33.3	16.3	22.8	14.3	
942	UPRIGHT WITH B.K.	2.25	2	34.9	23.3	24.3	16.2	
944	UPRIGHT WITH B.K.	1.45	1	28.6	21.7	27.6	16.5	SHIPPING WATER
945	UPRIGHT WITH B.K.	1.45	2	35.7	24.8	32.5	20.0	SHIPPING WATER
956	10° LISTED To W.S. WITH B.K.	2.25	1	33.7	18.4	24.1	16.9	
958	10° LISTED To W.S. WITH B.K.	2.25	2	35.6	21.4	20.4	12.2	
960	10° LISTED To W.S. WITH B.K.	1.45	1	28.9	22.7	28.4	21.0	SHIPPING WATER
961	10° LISTED To W.S. WITH B.K.	1.45	2	35.4	25.0	28.7	23.4	SHIPPING WATER
948	10° LISTED To L.S. WITH B.K.	2.25	1	34.3	26.3	24.8	14.6	
955	10° LISTED To L.S. WITH B.K.	1.45	1	29.8	21.3	24.5	13.7	
952	10° LISTED To L.S. WITH B.K.	1.45	2	35.7	26.4	28.3	15.5	

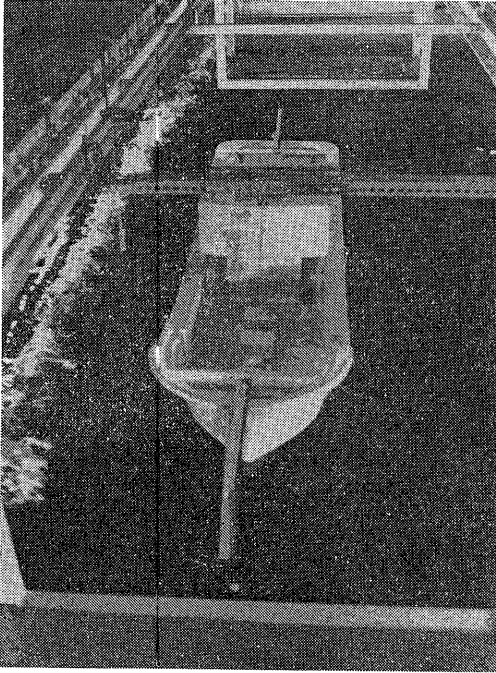


Photo. 1 Oscillation in concentrated wave  
a) Before concentration

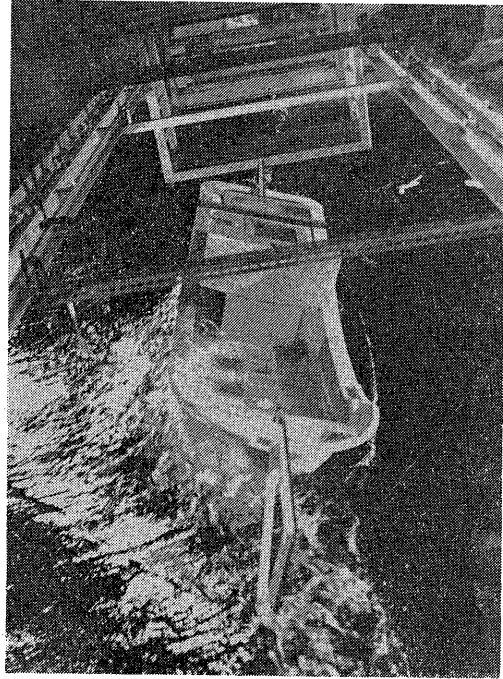


Photo. 1 c) After concentration

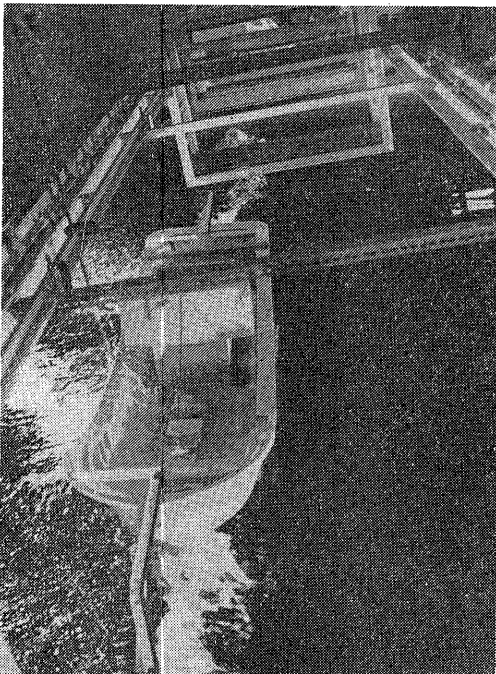


Photo. 1 b) In concentration

ると、直立時と Weather Side に  $10^\circ$  定常傾斜した場合に周期が 1.45 sec の時に打込水があったことになる。

#### 4. 風による傾斜角、漂流速度の計測結果

##### 4.1 風速分布について

Fig. 33 に風速分布の計測結果を示す。この時の風速は吹出口中央で  $5.60 \text{ m/s}$  である。この吹出口中央での風速を設定風速とした。横方向の風速分布は吹出口中央付近は一様である。縦方向には図中3番でほぼ一様であるが、それ以外は吹出口高さより下につれ風速が落ちている。

##### 4.2 風による傾斜角と漂流速度について

Fig. 34~Fig. 35 に各々風による定常傾斜角と漂流速度を示す。定常傾斜角は風速が速くなるにつれ大きくなり、ビルジキール付の方が無しの時と比べて大きくなる傾向がある。また、船体の定常傾斜角の差で比べると、直立、Lee Side 傾斜時、Weather Side 傾斜時の順に定常傾斜角は大きくなっている。漂流速度は、ビルジキールの有無、船体の定常傾斜角の違いのいずれについても大差は見られず、ほぼ風速の3%程度である。

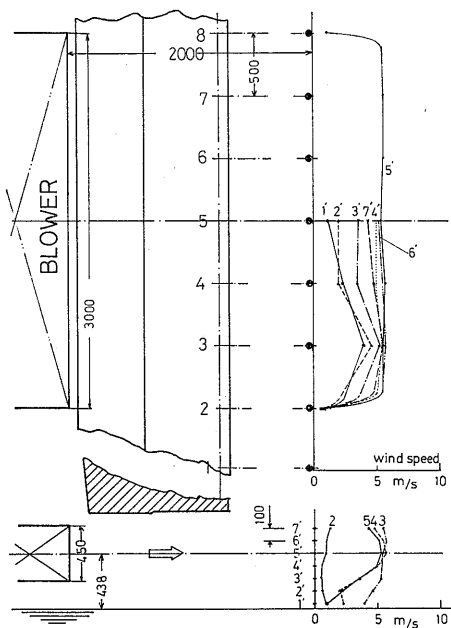


Fig. 33 Distribution of wind velocity

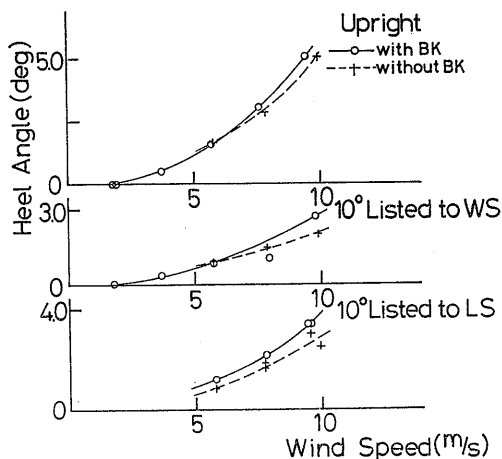


Fig. 34 Steady heeling angle by wind pressure

5. 横波横風中の動揺試験結果と考察

5.1 横波規則波中における動揺試験

5.1.1 横波横風中の横揺

Fig. 36~Fig. 38 に波だけの場合の横揺と横波横風中の横揺との比較を示す。横軸は波円周波数である。横波横風中の場合、同調横揺周波数が波だけの場合よ

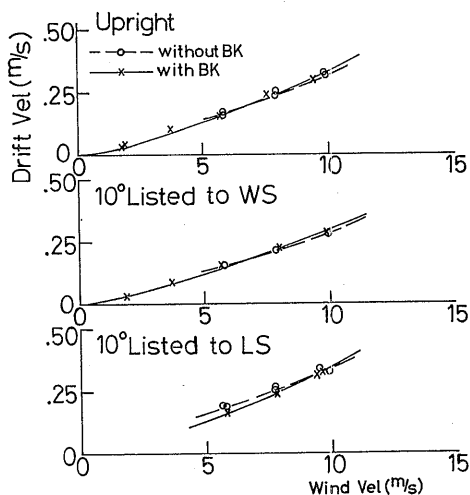


Fig. 35 Drifting velocity by wind

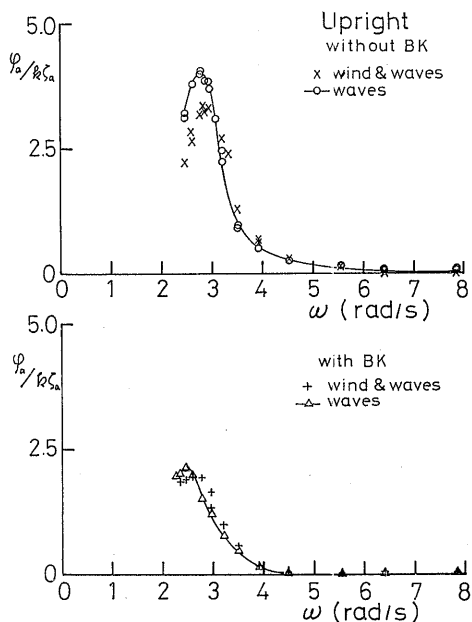


Fig. 36 Roll amplitude (upright)

り高い方へずれる傾向が見られる。これは風により漂流速度が増加し、波との出会周期が長くなったこと、風により船体の定常傾斜角が変わりGMが変化したことの両方の効果におけるものと考えられる。ビルジキールの有無における差は、ビルジキールなしの場合同調横揺振幅は横波横風中の方が波だけの時より減少しており、ビルジキール付の場合大差は見られない。

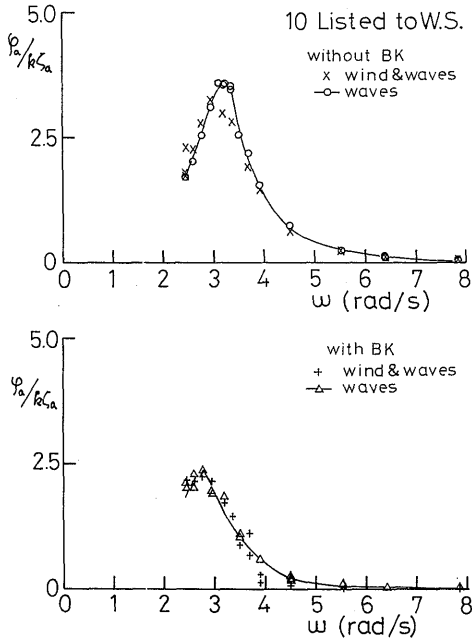


Fig. 37 Roll amplitude (10° listed to W.S.)

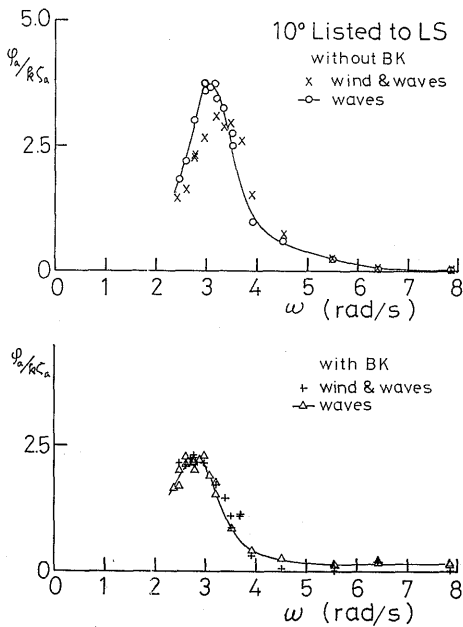


Fig. 38 Roll amplitude (10° listed to L.S.)

5.1.2 定常傾斜角

Fig. 39~Fig. 41 に波、風および横波横風による定常傾斜の計測結果を示す。波だけあるいは横波横風のいずれの場合においてもビルジキール付の方がなしの場合と比べて傾斜角が増加する傾向があり、 $\omega$  が5より大きい所ではその傾向がはっきりする。これはビルジキールに作用する抵抗成分による傾斜モーメントの

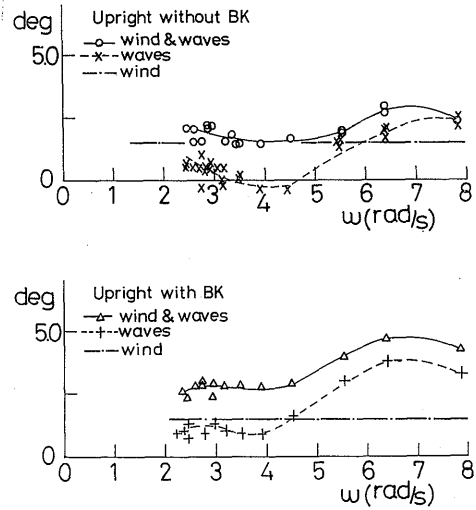


Fig. 39 Steady heeling angle (upright)

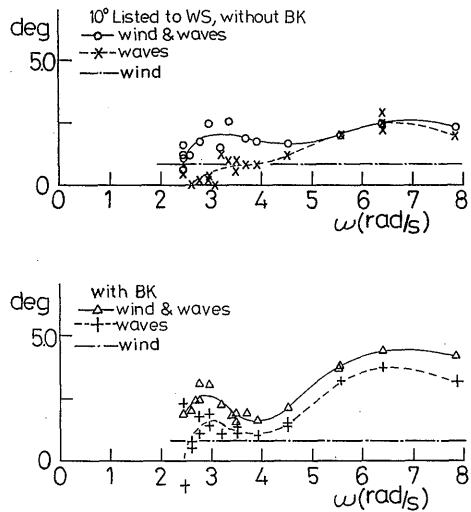


Fig. 40 Steady heeling angle (10° listed to W.S.)



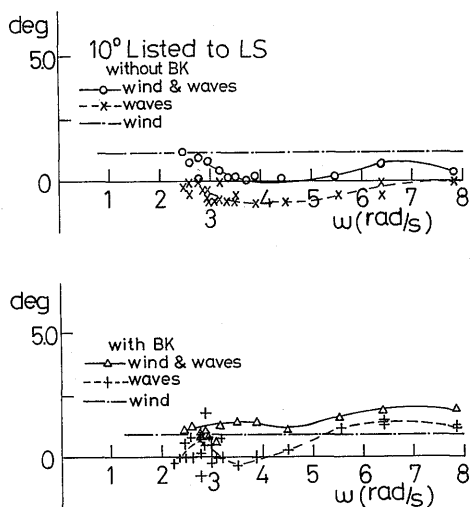


Fig. 41 Steady heeling angle  
(10° listed to L.S.)

増加によって傾斜角が増すものと推測される。また、波によるものと風によるものとを重ねて横波横風中のものとを比べるとほぼ等しくなる。従って横波横風中の傾斜角は、波だけの時と風だけによるもの足し合せて表わされる。

### 5.1.3 漂流速度

Fig. 42~Fig. 43 に風、波および横波横風による漂流速度の計測結果を示す。図中破線で示したものは、次式で計算した漂流速度 ( $V$ ) である。

$$V(\omega) = \sqrt{V_{wa}^2(\omega) + V_{wi}^2} \quad (1)$$

ここで  $V_{wa}(\omega)$ ; 波による漂流速度

$V_{wi}$ ; 風による漂流速度

この図から明らかな様に、 $\omega$  が 5 より小さい所では風の影響が卓越し、 $\omega$  が 5 より大きい所では波の影響が卓越することがわかる。波によるものと風によるものとを合せた推定値 (図中破線で示したもの) と横波横風中の実験値とを比べると、 $\omega$  が 5 より小さい所ではほぼ等しく、 $\omega$  が 5 より大きい所では横波横風中のものがやや小さくなっており、 $\omega$  が 5 より小さい所では(1)式による足し合せて表わされる。

ビルジキールの有無、船体定常傾斜角による差は、波のみおよび横波横風中のいずれの場合にもほとんどない。

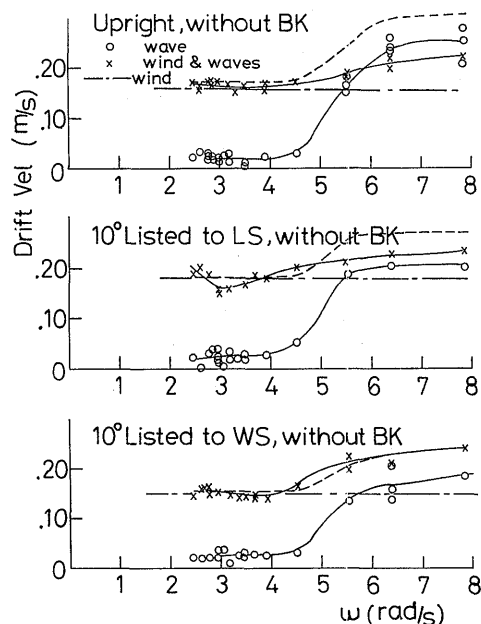


Fig. 42 Drifting velocity (without B.K.)

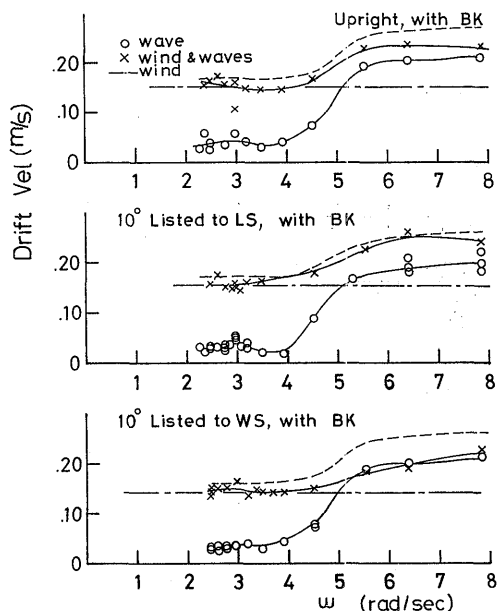


Fig. 43 Drifting velocity (with B.K.)

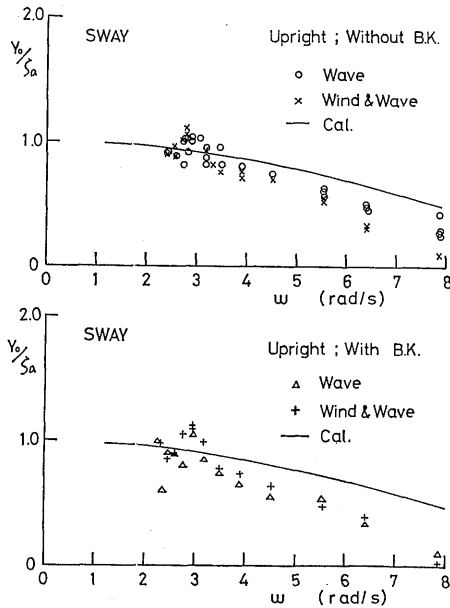


Fig. 44 Sway amplitude (upright)

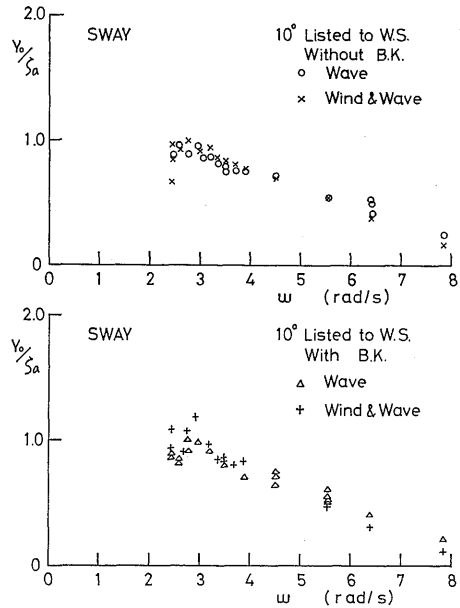


Fig. 46 Sway amplitude (10° listed to L.S.)

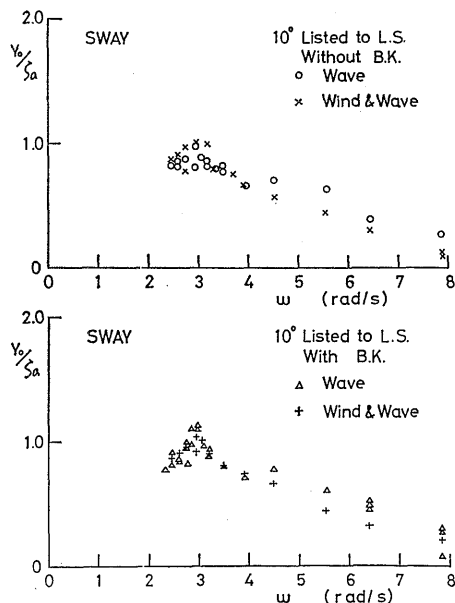


Fig. 45 Sway amplitude (10° listed to W.S.)

## 5.1.4 横波横風中の左右揺

Fig. 44~Fig. 46 に波および横波横風中の左右揺の

計測結果を示す。横軸は波円周波数である。船体の定常傾斜角による左右非対称性から生じるものも含めて、左右揺と横揺との連成の影響はこの結果では顕著ではない。風の有無、ビルジキールの有無、船体定常傾斜角による差も顕著ではない。また、直立時の左右揺の計算 (N. S. M) との一致も良好である。

## 5.1.5 相対水位変動

Fig. 47~Fig. 49 に相対水位変動の結果を示す。横軸は波円周波数である。プルワークトップの水面上高さが最も低い船体中央部 (S. S. 4) における相対水位変動の大きさは横揺れ同調時に大きくなるが、Weather Side では短周期波 ( $\omega > 5$ ) 中の方が横揺れ同調時より大きい。横揺れ同調時は、Weather Side と Lee Side の相対水位変動はほとんど同じであるが、短周期波中では Weather Side が波振幅の1.5~2倍の値になるのに対し、Lee Side では波振幅の0.3~0.5倍となり Weather Side がかなり大きい。

船体定常傾斜角 (10°) あるいは風の有無によって相対水位変動の特性はほとんど変わらない。また、船体定常傾斜が Weather Side か Lee Side でも大差ない。また、直立時の計算 (N. S. M) 値は、横揺れ同調付近では実験値と良好な一致を示すが、短周期波 ( $\omega > 5$ ) では計算値がやや大きくなる。

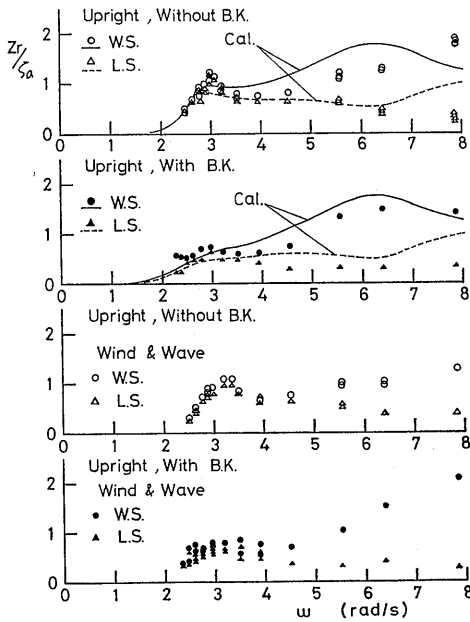


Fig. 47 Relative wave elevation (upright)

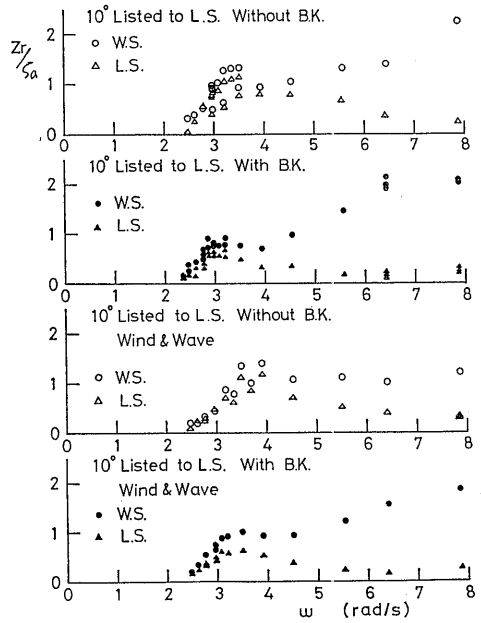


Fig. 49 Relative wave elevation (10° listed to L.S.)

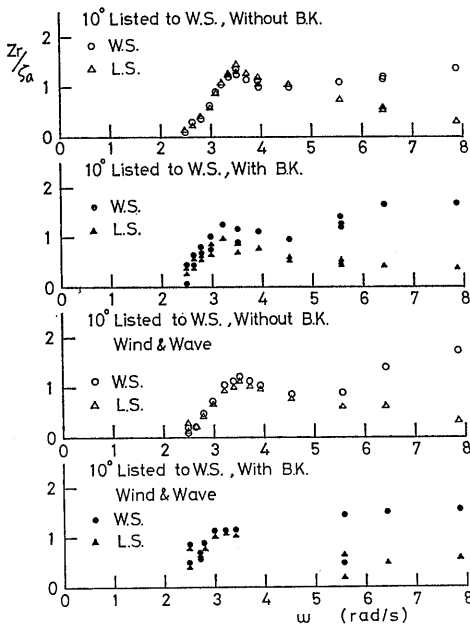


Fig. 48 Relative wave elevation (10° listed to W.S.)

5.1.6 海水打込限界波高

相対水位変動の実験値から海水打込限界波高を求めた結果を Fig. 50~Fig. 52 に示す。水面からブルワークトップまでの高さは、直立時の静水面を10°傾斜させその水面からブルワークトップまでの高さとした。従って風による定常傾斜の影響は考慮していない。

Weather Side からの海水打込限界波高は、船が Weather Side に定常傾斜した時が最も小さく、横揺同調周期の波から短周期の波までほとんど同じ値(実船で約1 m)となる。直立時および Lee Side に定常傾斜した場合は、短周期波( $\omega > 5$ )中で Weather Side からの海水打込みが起り易い(実船で波高約1.5 m)。Lee Side からの海水打込み限界波高は、船が Lee Side に定常傾斜した時が最も小さく、かつ横揺れ同調時に最小となる(波高約1 m)。これらのことから海水打込みを考える場合、横揺同調周期付近だけでなく波周期が短い所も考慮していく必要がある。

またビルジキールの効果をみると、直立時における横揺同調周期の波ではビルジキールにより限界波高は増すが、短周期の波の中の Weather Side からの海水打込み限界波高はビルジキールの有無で変化しな

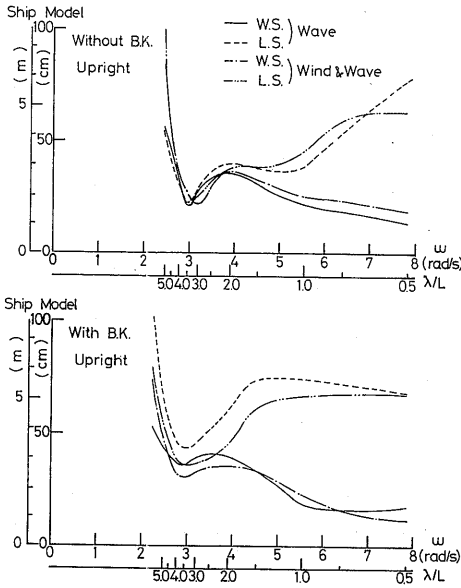


Fig. 50 Critical wave height for deck wetness (upright)

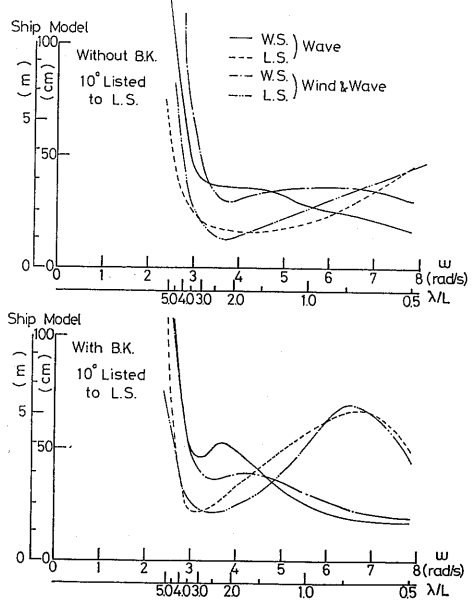


Fig. 52 Critical wave height for deck wetness (10° listed to L.S.)

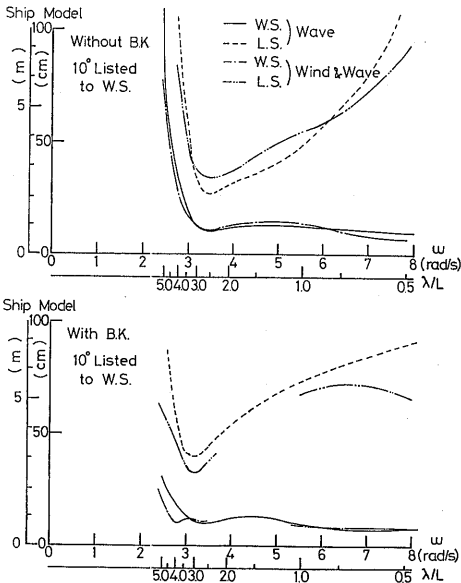


Fig. 51 Critical wave height for deck wetness (10° listed to W.S.)

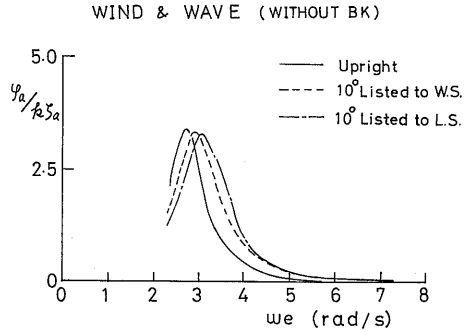


Fig. 53 Comparison of roll amplitude in listed conditions in wind and wave (without B.K.)

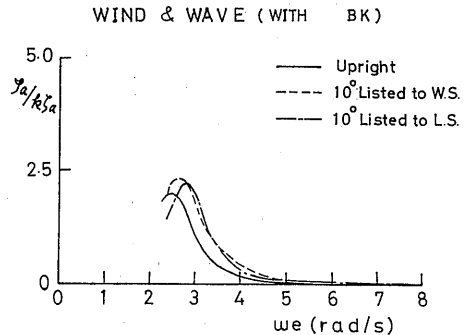


Fig. 54 Comparison of roll amplitude in listed conditions in wind and wave (with B.K.)

い。風の有無による変化については著しい差が見られなかったが、これは風速が中位だったためと考えられ、さらに強い風の中での実験が必要と思われる。

5.1.7 横波横風中の直立時と定常傾斜時の横揺振幅の比較

Fig. 53~Fig. 54 に横波横風中の横揺振幅の実験点を結んだものを、波との出会波円周波数を横軸にして示す。これから船体が定常傾斜している場合、横揺同調周期が短くなり、その定常傾斜の方向によって横揺同調周期の変化が異なっている。この横揺同調周期の定常傾斜の方向による違いは、波だけの場合の結果と異なっているが、これは Fig. 40, Fig. 41 からわかる様に風によって定常傾斜角が変化したためと推測され、定常傾斜角による非対称性から生ずる横揺の特徴は波だけの時と同じと考えられる。

5.2 横風不規則波中の動揺試験  
波、横揺および相対水位の統計解析結果

果を Table. 4 に、スペクトラム解析結果を Fig. 55 ~Fig. 62 に示す。相対水位の図中破線で示したものは規則波中動揺試験結果から求めた応答曲線に波スペクトラムを掛けて求めた相対水位の推定スペクトラム

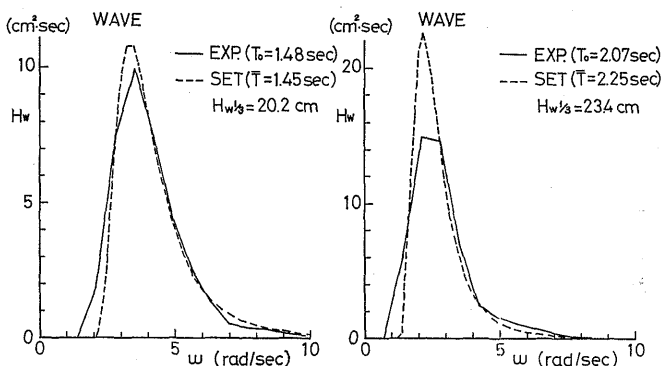
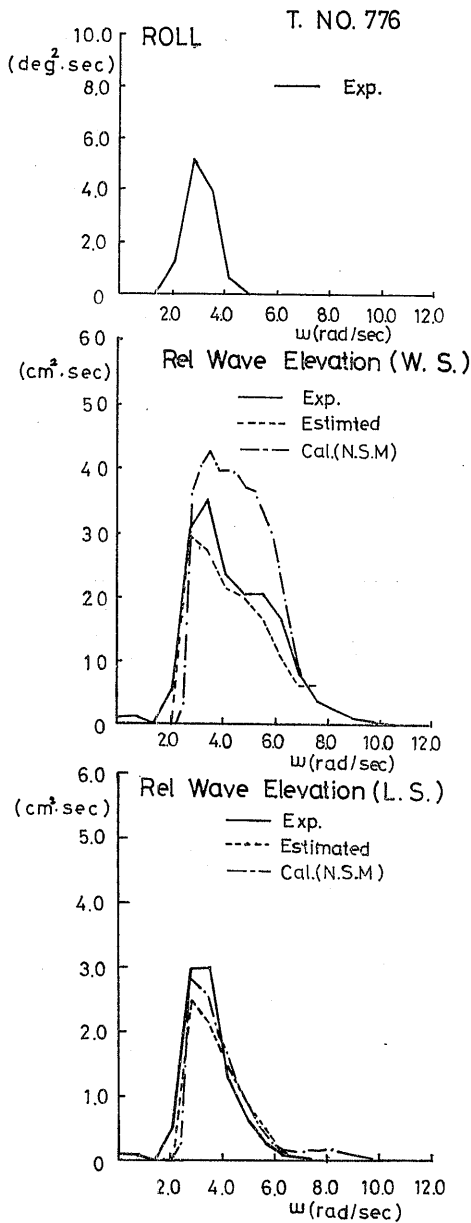


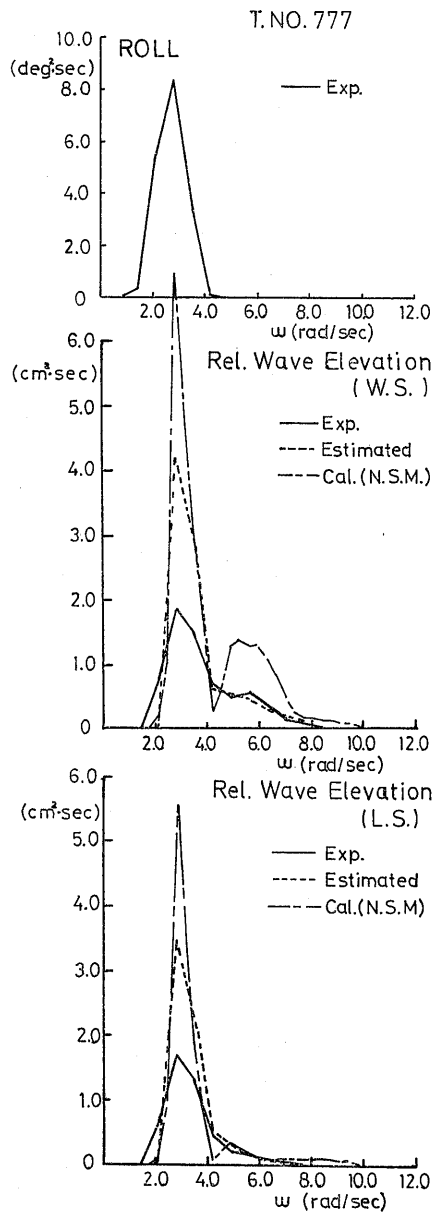
Fig. 55 Irregular wave spectra

Table 4 Statical analysis result of oscillations in irregular waves

T.NO.	MODEL CONDITION	WIND VEL. (m/s)	WAVE			ROLL σ (deg)	Zrws		Zrlw											
			T (sec)	σ (cm)	σ (deg)		σ (cm)	σ (cm)												
									SET	MES. zero cross	H max	H 1/3	H 1/10	φ max	Z11/3	Z11/10	Z21/3	Z21/10	Z2max	
774	UPRIGHT	0	1.45	1.57	6.84	5.97	6.06	4.99	20.3	22.4	19.5	14.8	25.9	26.6	22.5	17.7	33.1	29.1	24.3	19.2
776	UPRIGHT	0	1.45	1.54	6.71	5.83	5.48	4.57	18.5	21.4	18.5	14.0	25.2	27.9	22.0	17.3	33.7	32.2	27.7	18.9
777	UPRIGHT	5.60	2.25	2.29	6.79	5.08	3.44	2.44	22.1	18.4	12.0	9.83	26.7	23.8	14.6	11.3	27.4	24.2	15.8	11.7
778	UPRIGHT	5.60	1.45	1.62	6.27	5.75	4.87	3.68	17.8	22.2	15.6	12.9	24.3	26.9	18.7	15.4	31.0	29.5	21.2	16.3
804	10 LISTED To L.S.	0	2.25	2.26	7.28	6.02	4.54	2.77	23.3	22.4	15.4	10.0	27.0	25.5	17.8	11.3	29.7	26.8	22.1	11.7
805	10 LISTED To L.S.	0	1.45	1.62	6.84	7.12	5.45	3.46	19.8	23.7	19.1	11.4	25.6	29.4	21.9	14.2	30.5	33.2	23.9	15.7
806	10 LISTED To L.S.	5.60	2.25	2.26	7.51	5.68	3.55	2.79	23.2	20.7	13.5	10.5	26.5	23.4	15.9	11.9	27.3	28.1	19.8	12.9
807	10 LISTED To L.S.	5.60	1.45	1.64	7.10	7.44	4.18	3.77	19.9	22.9	16.7	11.8	26.4	29.1	18.8	14.0	35.0	33.2	20.1	15.4



**Fig. 56** Spectra of oscillations in irregular wave (upright)



**Fig. 57** Spectra of oscillations in wind and irregular wave (upright)

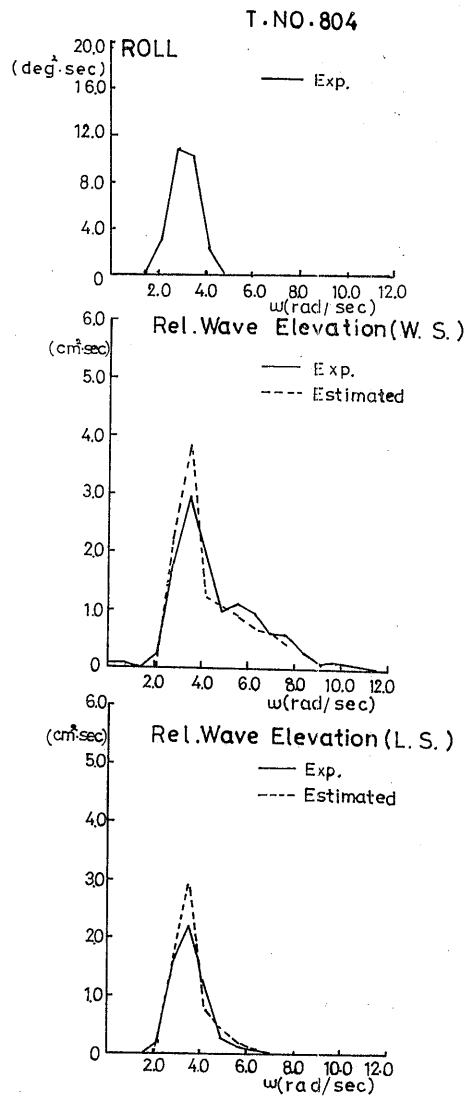
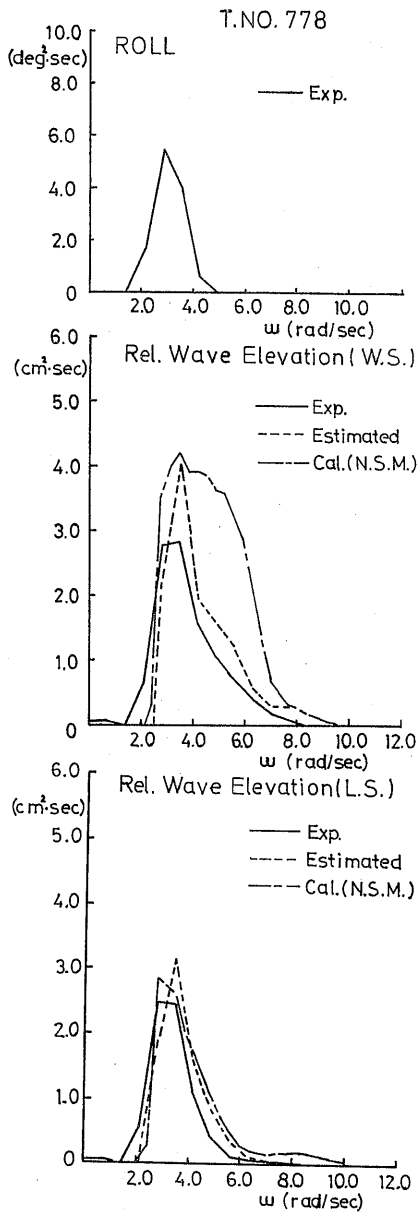


Fig. 58 Spectra of oscillations in wind and irregular wave (upright)

Fig. 59 Spectra of oscillations in irregular wave (10° listed to L. S.)

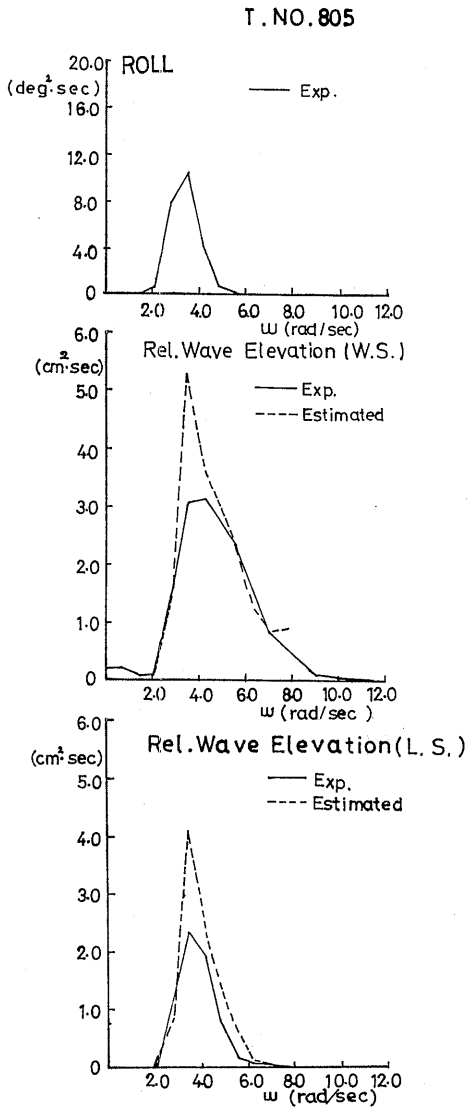


Fig. 60 Spectra of oscillations in irregular wave (10° listed to L.S.)

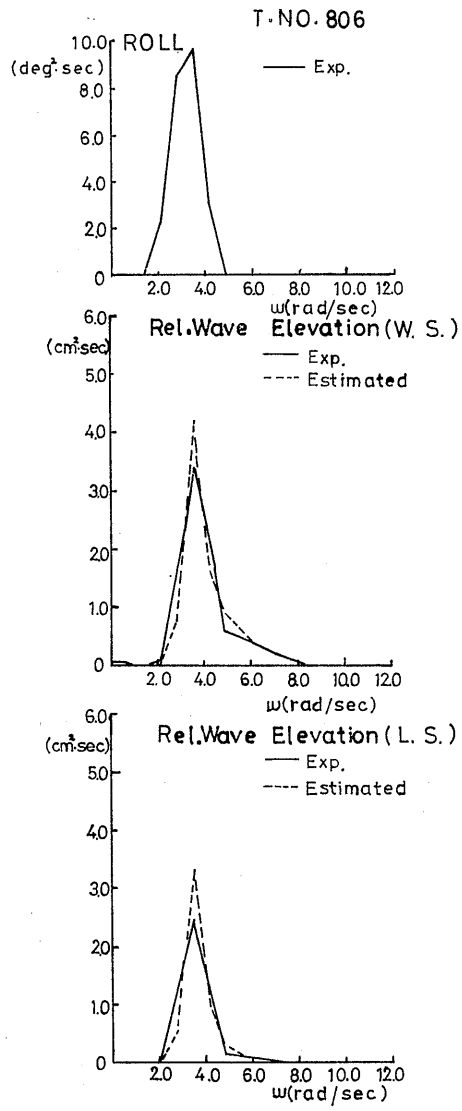


Fig. 31 Spectra of oscillations in wind and irregular wave (10° listed to L.S.)



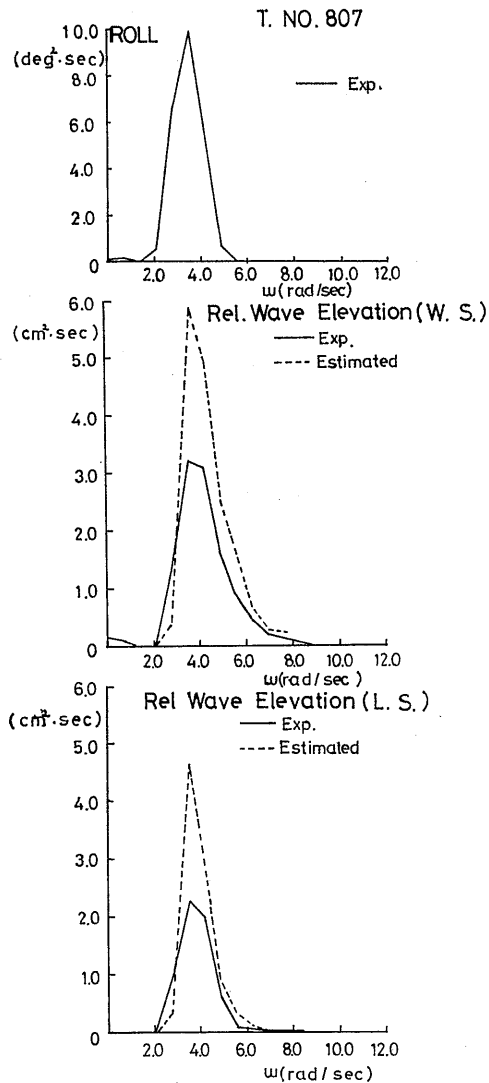


Fig. 62 Spectra of oscillations in wind and irregular wave ( $10^\circ$  listed to L.S.)

である。また、Fig. 56~Fig. 58 の一点鎖線は実験の波スペクトルを用いてN. S. Mで計算した相対水位のスペクトルである。従って、横軸は解析結果では波との出会波円周波数になるが、応答曲線から求めた方は波円周波数となる。この2つのスペクトラムを比べると、直立時、Lee Side 定常傾斜時とも良好な一致を示しており、規則波中の応答曲線から不規則波中の応答が線型重ね合せて推定できることを示している。また、直立時の計算値との一致も概ね良好であることから明らかである。

Fig. 63~Fig. 69 に横揺、相対水位、波高の統計解析による振幅のヒストグラムを示す。図中の実線は統計解析より得られた分散から求めたレイレー分布を表わしている。これらの統計解析結果を見ると大略レイレー分布になっていると思われる。また、T. No. 1776の相対水位のヒストグラムで斜線を引いた部分は、水面からブルワークトップまでの高さの2倍以上の相対水位の倍振幅の部分で、海水打込みが起こる確率を表わしている。ここで2倍したのは横軸が複振幅を表わしているためである。Fig. 70 に計測の記録例を示す。図中の直線はブルワークトップを示しており、それを越える部分を黒く塗りつぶしてある。この例では実際に打込み水が観測されている。この実験の範囲では、直立時有意波高20cm (実船で約1.5m)で30波に1回程度の頻度で海水打込みが起こることになる。

また、模型船の横揺固有周期に近い周期の不規則波とそれより周期の短い不規則波を比べると、相対水位変動の振幅の有義値、最大値とも短周期の方が大きい。従って規則波中の相対水位変動の項でも述べたように横揺同調周期の波だけでなく、さらに短周期の波の中の相対水位変動も考慮する必要がある。

T.NO.10777 HISTOGRAM OF DOUB. AMP.

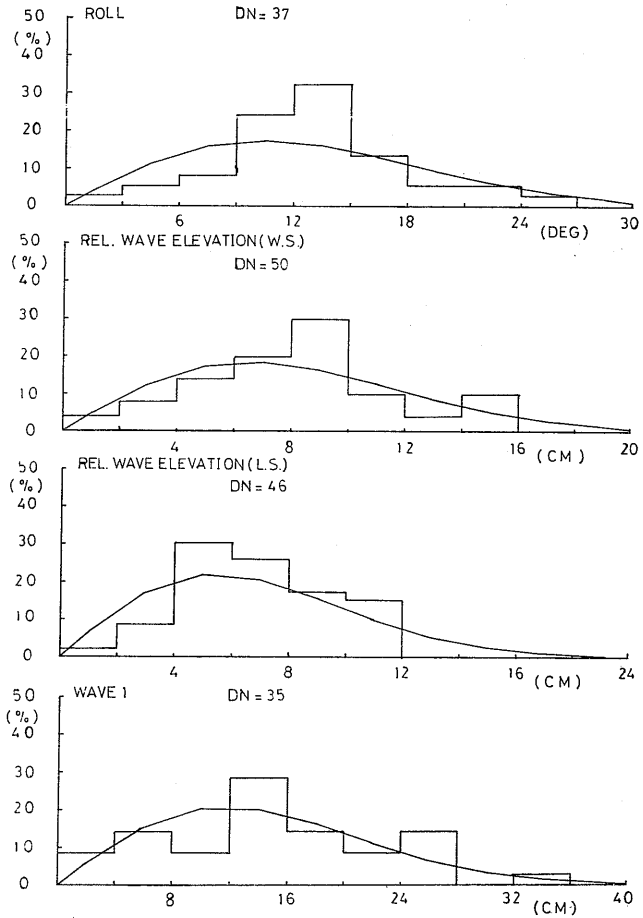


Fig. 64 Histogram of oscillations in wind and irregular wave (upright)

T.NO.10776 HISTOGRAM OF DOUB. AMP.

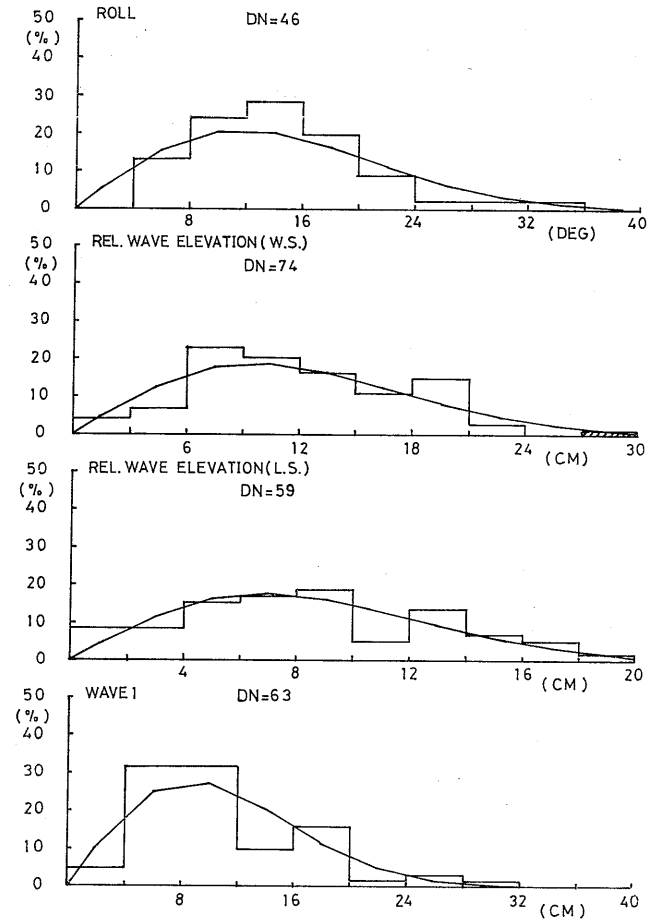


Fig. 63 Histogram of oscillations in irregular wave (upright)

T.NO.10804 HISTOGRAM OF DOUB. AMP.

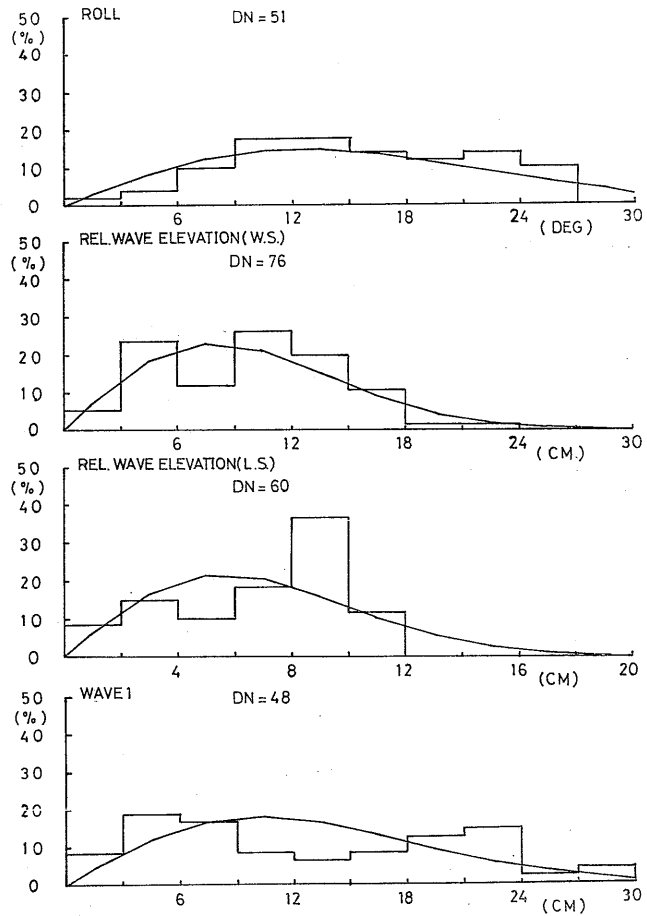


Fig. 66 Histogram of oscillations in irregular wave (10° listed to L.S.)

T.NO.10778 HISTOGRAM OF DOUB. AMP.

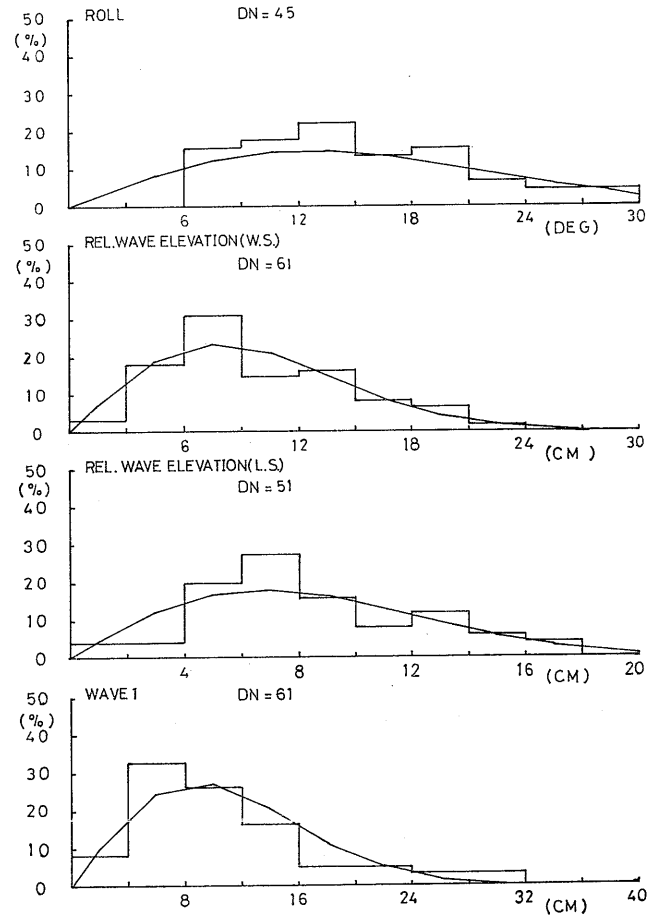


Fig. 65 Histogram of oscillations in wind and irregular wave (upright)

T.NO.10806 HISTOGRAM OF DOUB.AMP.

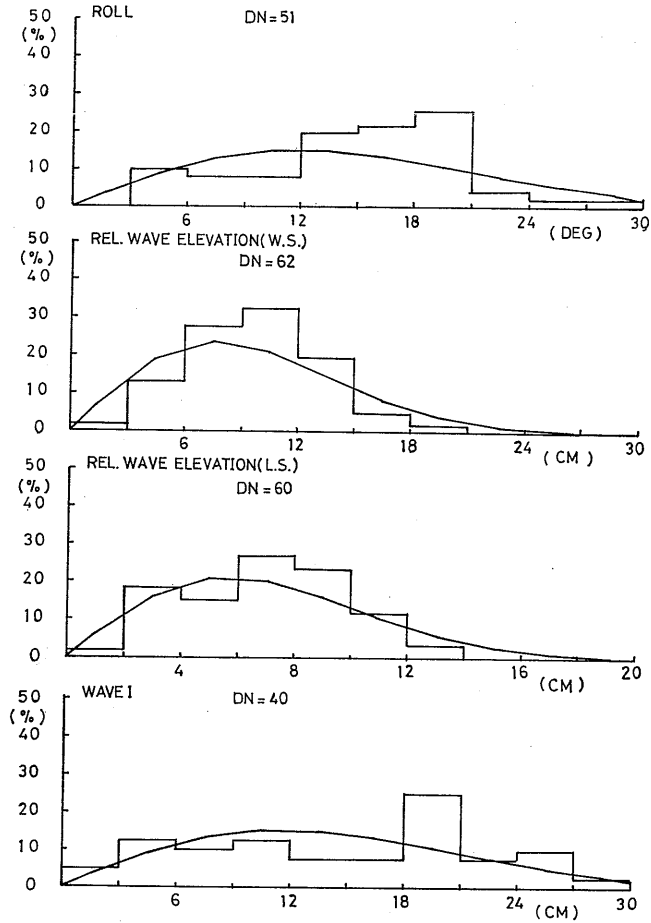


Fig. 68 Histogram of oscillations in wind and irregular wave (10° listed to L.S.)

T.NO.20805 HISTOGRAM OF DOUB. AMP.

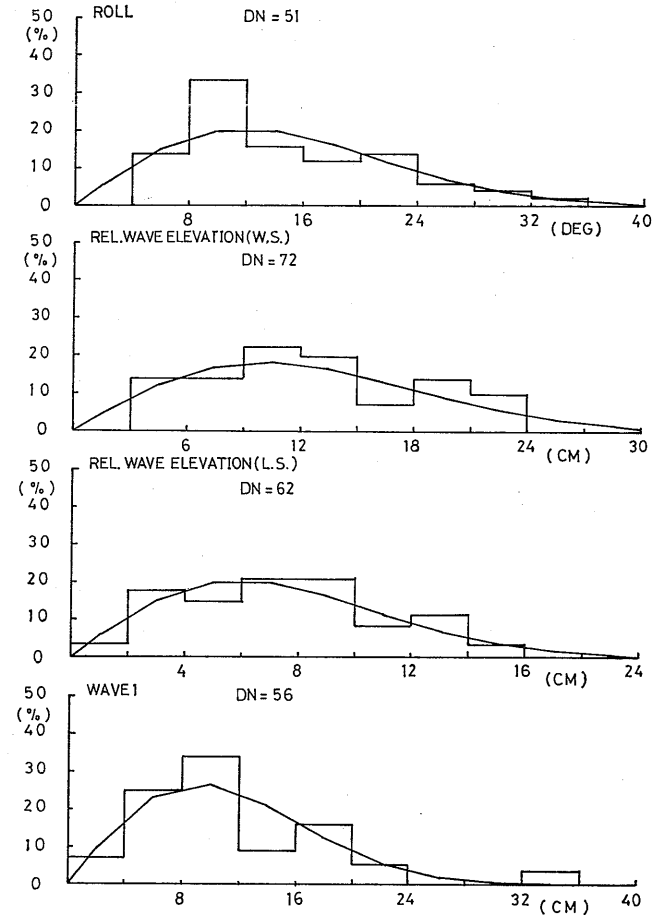


Fig. 67 Histogram of oscillations in irregular wave (10° listed to L.S.)

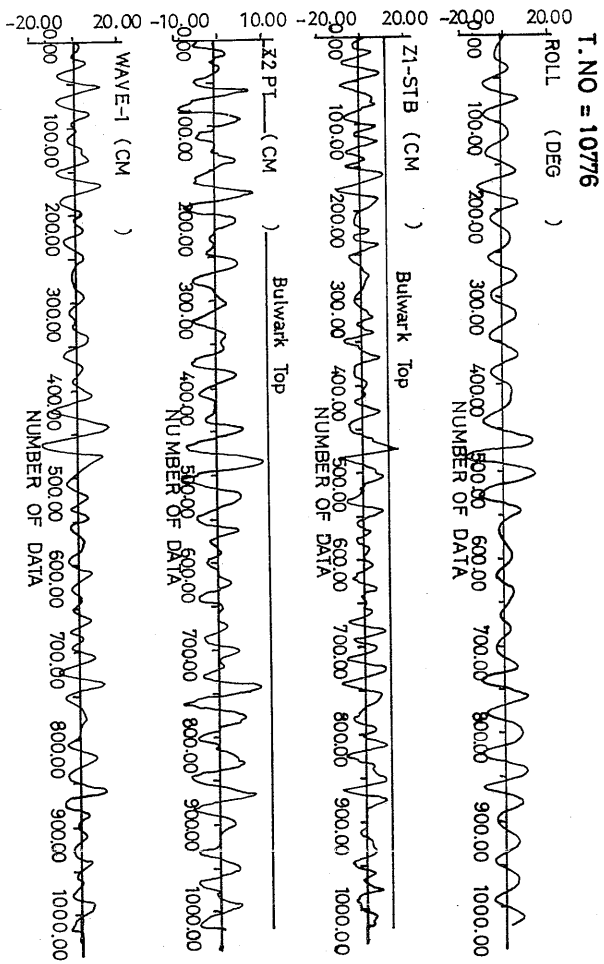


Fig. 70 An example record of oscillations in irregular wave (upright)

( 379 )

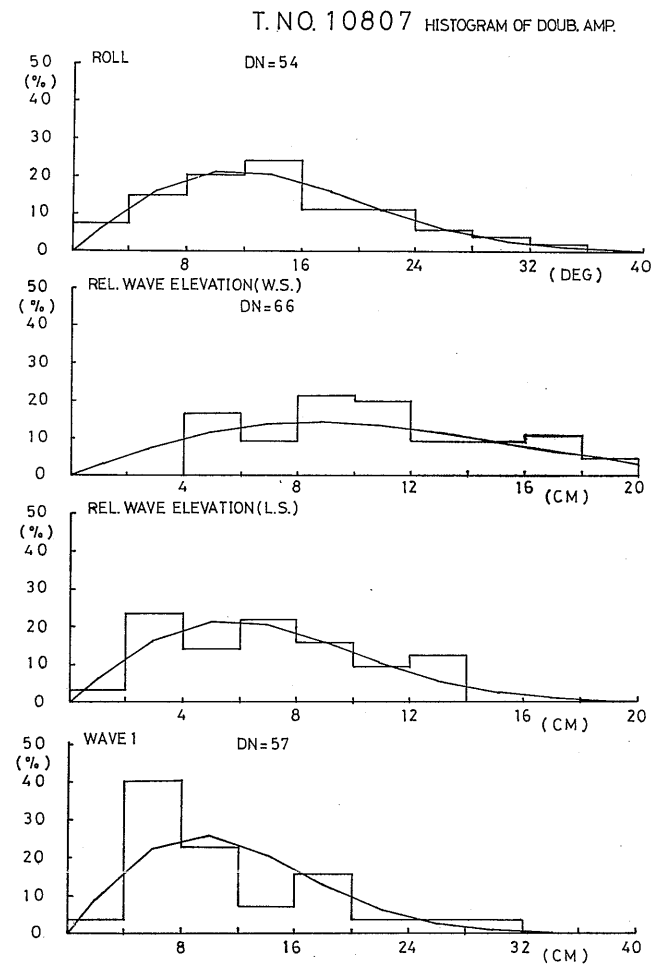


Fig. 69 Histogram of oscillations in wind and irregular wave (10° listed to L. S.)

## 6. 結 言

今回行った19.9トン型鮭鱒流し網漁船の横波横風中の横型実験から次のようなことが判った。

### (1) 横揺減衰係数について

ビルジキールなしの場合、等価線形係数は速度によって大きい変化はない。しかし、線形係数と非線形係数とに分けてみると、線形係数は速度とともに増加し非線形係数は速度とともに減少するという一般の船と同じ傾向を示す。直立時と $10^\circ$ 定常傾斜時との間でも顕著な差は見られないが、傾斜時の場合線形項が小さく非線形項が大きい。

ビルジキール付の場合、直立時で減衰係数はほぼ2倍に増加する他はビルジキールなしと同じ傾向を示す。 $10^\circ$ 傾斜時では $F_n=0$ ではほぼ3倍に増加するが、速度とともに減少し、 $F_n>0.1$ では直立時よりやや小さくなる。

### (2) 定常傾斜時の横揺特性について

船体の定常傾斜角（重量移動による場合も風圧に基づく場合も同様に）により生じる非対称横揺れ特性は初期GM値の変化により横揺れ固有周期が短くなる。また、定常傾斜角が Weather Side か Lee Side かで横揺れ特性にほとんど差がない。

### (3) 波強制力に対するビルジキールの影響について

ビルジキール付の場合、波強制左右揺力は全体的に増加し特に横揺同調付近で大きくなる。波強制横揺モーメントは大略2倍となる。その結果として左右揺拘束の場合、ビルジキールの減揺効果が減少する。

### (4) 船側の相対水位変動の特性について

船体中央部（S.S.4）における相対水位変動の大きさは横揺同調時に大きくなるが、Weather Side では短周期波中の方が横揺同調時より大きい。また、定常傾斜角（ $10^\circ$ ）の有無によって相対水位変動特性の変化に大差なく、定常傾斜が Weather Side か Lee Side でもほとんど同じ特性を示す。

### (5) 船側からの海水打込限界波高

Weather Side からの海水打込み限界波高は、船が Weather Side に定常傾斜した時が最も小さく、横揺れ同調周期の波から短周期の波までほとんど同じ値となる。直立時および Lee Side に定常傾斜時は、短周期波中で Weather Side からの海水打込みが起り易い。Lee Side からの海水打込み限界波高は、船が Lee Side に定常傾斜した時が最も小さく、かつ横揺同調時に最小となる。

従って海水打込みを考える場合、横揺同調周期だけでなく、さらに短周期での打込みを考える必要がある。

### (6) 海水打込みに対するビルジキールの効果

直立状態における横揺同調周期の波では、ビルジキールにより限界波高は増す。しかし、短周期の波の中での Weather Side からの海水打込み限界波高はビルジキールの有無で変化しない。

### (7) 不規則波中の海水打込み

不規則波中の相対水位変動は、波スペクトラムと規則波中の応答特性を用いて推定したスペクトラムと良く一致する。従って海水打込みが起るか否かの判定に線形重ね合せの原理による推定が利用できる。模型船の横揺れ固有周期に近い周期の不規則波とそれより周期の短い不規則波中とを比べると同じ有義波高の場合には周期の短い波の方が海水打込みを起し易い。

### (8) 風と波による傾斜角と漂流速度

風と波とを受けて漂流中の定常傾斜角と漂流速度は長波中（ $\omega \leq 5$  (rad/sec)）では風による成分が卓越し、風によるものと波によるものとの重ね合せが大略成り立つ。短周期の波（ $\omega > 5$  (rad/sec)）では波によるものが卓越し、定常傾斜角については重ね合せが大略成り立つが、漂流速度については風圧力と波の漂流力とを合せて求めた漂流速度の値より小さい。

### (9) また、今後に残された問題は次のような点である。

イ) 実験波高（ $H_w=20\text{cm}$ または $1/50$ ）、風速（30kt）とも中程度であったため、今回の実験では海水打込みがそれほど発生しなかった。従って、甲板上に打込み水が滞留するような状態にまで至らず、打込み水の動的効果については検討できなかった。

ロ) 風速が本船の操業限界の30ktで実験したが、転覆に対する安全性を検討するためには、さらに極限状態（50~60kt）での実験が必要である。

ハ) 集中波（1波、2波、3波連続）を用いて比較的高い波高での実験を行った。そのような波の中で海水打込みが容易に起きたが、不規則波中の海水打込みとの関連をさらに調べる必要がある。

ニ) 横波を含め斜め波中航走時の転覆実験の結果と横風横波中漂流時の本実験との相関を調べる必要がある。

## 7. 謝 辞

おわりに本実験に際して御援助頂いた水産工学研究所の山越康行技官および終始熱心な討論を頂いた当所

海洋開発工学部高石敬史部長，運動性能部耐航性研究室菅信室長ならびに実験の労を惜しまなかった稲富繁治君に感謝の意を表します。また，本研究が日本造船研究協会第17基準部会との共同研究で行われたことを付記する。

参 考 文 献

- 1) 田宮 真；“非対称横揺れの性質について（その2）”，造船協会論文集 第120号，1966
- 2) 田宮真他；“箱型船の転覆限界”，日本造船学会論文集 第128号（昭和45年12月）
- 3) 小林正典；“船体傾斜時の波浪中の運動について”（第1報）西部造船会々報 第51号（昭和50年11月）
- 4) 第17基準研究部会；“小型漁船の復原性能に関する調査研究報告書”，日本造船研究協会研究資料 No. 99R（昭和56年3月）
- 5) Shigeo OHMATSU；“A Simple Method to Generate Arbitrary Waves in Model Basin”，PAPERS OF SHIP RESEARCH INSTITUTE No. 65, 1981

- 6) 第17基準研究部会；“小型漁船の復原性能に関する調査研究報告書”，日本造船研究協会資料 No. 91R（昭和55年3月）

付 録 風速変動について

波浪中の風速分布の計測結果を Fig. 71~Fig. 77 に示す。Fig. 71 は横軸を時間軸とし，波の山，谷などの位置での風速分布を示したもので，波の山では下層の風速が加速され，波の谷では減速することがわかる。Fig. 72 は風速による風速変動率の違いを示したものである。縦軸は静水面からの高さを示し，横軸は変動率 ( $u/\bar{U}$ ) を示す。ここで  $u$  m/s は，風速の計測結果をフーリエ解析し得られた波と同周期の変動成分の振幅を表わし， $\bar{U}$  m/s は送風機吹出口高さの平均風速を表わす。Fig. 73 は送風機高さを変えた時の変動成分の変化を示したものである。Fig. 74~Fig. 77 に波周期による変動率の変化と波と変動成分の位相を示したもので，ここで  $h'$  は風速計の水面からの高さを表わしている。これから風速の変動成分が波の周期が長くなるにつれて大きくなることがわかる。

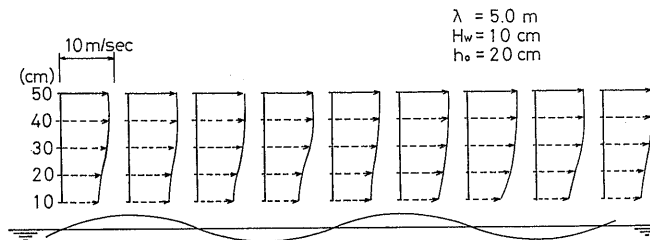


Fig. 71 Change of wind velocity distribution dependent on time

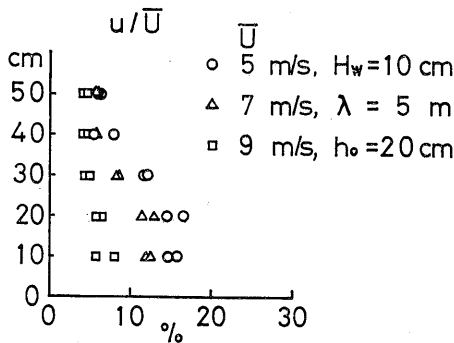


Fig. 72 Ratio of wind velocity fluctuation to mean wind velocity

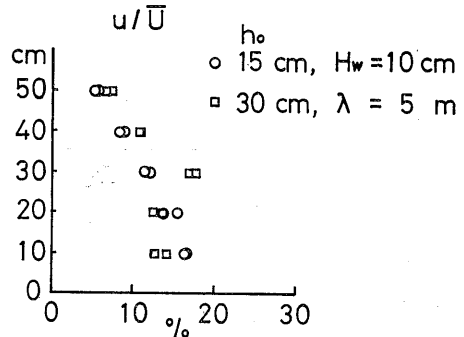


Fig. 73 Ratio of wind velocity fluctuation to mean wind velocity

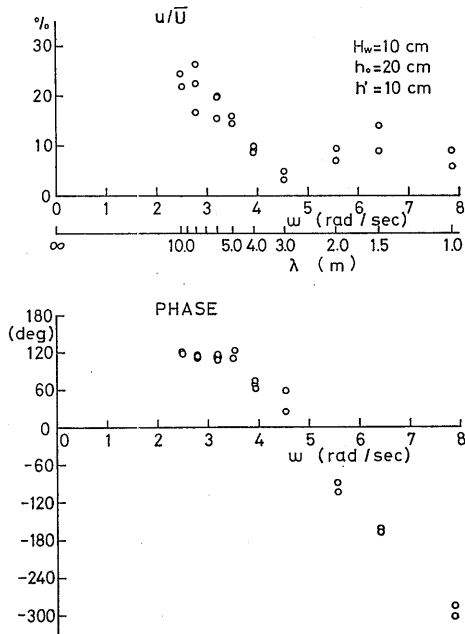


Fig. 74 Ratio of wind velocity fluctuation to mean wind velocity and phase ( $h'=10\text{cm}$ )

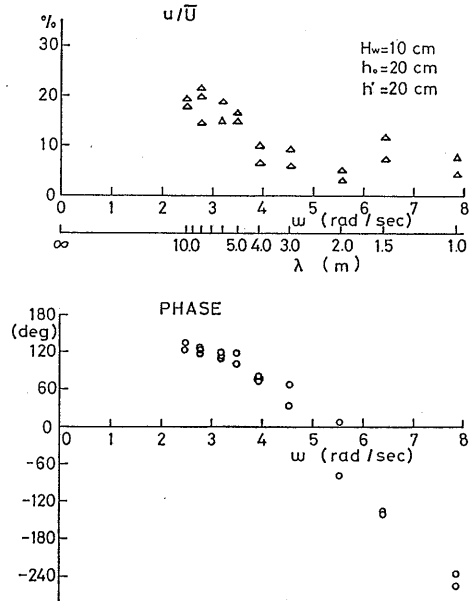


Fig. 76 Ratio of wind velocity fluctuation to mean wind velocity and phase ( $h'=30\text{cm}$ )

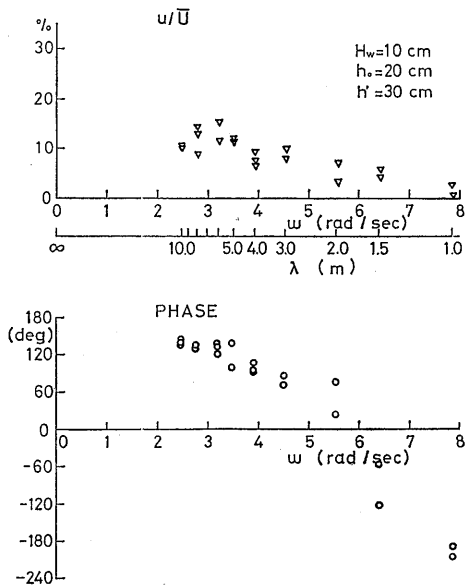


Fig. 75 Ratio of wind velocity fluctuation to mean wind velocity and phase ( $h'=20\text{cm}$ )

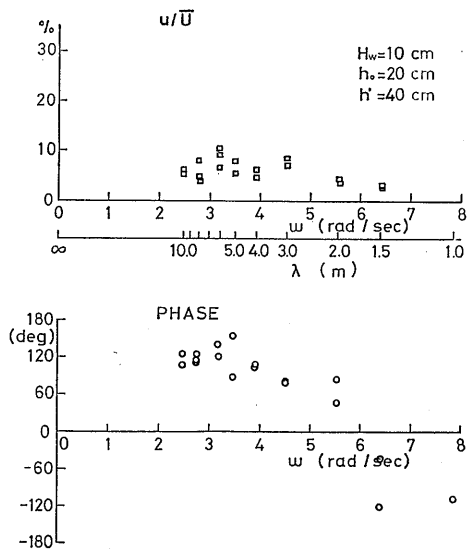


Fig. 77 Ratio of wind velocity fluctuation to mean wind velocity and phase ( $h'=40\text{cm}$ )