長水槽における方向スペクトル波中 航走時船体運動試験

正員 竹 沢 誠 二* 正員 平 山 次 清*

Towed ship motion test in directional spectrum waves in a long tank.

by Seiji Takezawa, *Member*
Tsugukiyo Hirayama, *Member*

Abstract

Recently the techniques of generating short crested waves with arbitrary directional spectrum are developed, and some experiments are conducted in such waves. However, ship towing or running tests in such waves are not conducted yet, because sufficiently uniform experimental area could not be obtained. This paper reports ship motion test in towed condition (Froude numbers are 0.2 and 0.275) in a long tank by generating uniform irregular waves with arbitrary directional spectrum, and describe the comparison between analyzed results and theoretically estimated results. The compared results show relatively good agreement.

For this experiment, a snake type wave maker was newly developed and installed at the end of the long tank of Yokohama National University.

For the analysis of directional wave spectrum, we adopted so called Maximum Likelyhood Method.

Theoretical estimation is made by using analyzed directional wave spectrum as input wave and also by using directional motion transfer functions calculated by so called New Strip Method.

1. 緒 言

耐航性に関する水槽試験の理想はより実際に近い波浪状態でかつそれが任意にコントロールできる状況のもとで試験できる事である。従ってそのような試みは古くからあったが連続的な方向スペクトルを持つ短波頂不規則波（ここでは方向スペクトル波と呼ぶ）が、解析による確認も含めて造波可能になったのは最近の事である。過去の例では、古くはオランダ（NSMB）で長水槽の端部及び長手方向の片方の側壁にスネーク型の造波機をつけ不規則波を造波し航走モデルの運動を計測した例¹⁾がある。しかし造波板各ユニットの駆動は独立ではなく任意の短波頂不規則波が造波可能というわけではなかった。また方向スペクトル波の計測が試みられた様子もなく従って解析結果も報告されていない。またわが国において長水槽で側壁反射を利用した短波頂“規則”波中の船体運動計測実験としては吉岡²⁾（停止状態）、田才³⁾（航走状態）の実験例等があるが短波頂“不規則”波の造波例はなく従ってそのような波の中での航走実験はなされていない。田才ら⁴⁾の造波機はスネーク型で

あり短波頂不規則波も造波可能としているが各ユニットの駆動はやはり独立とはなっていない。

最近の例については竹沢^{5,6)}に詳しいが、日本においては石田ら⁷⁾が角水槽の一边にスネーク型の造波機を設置し、斜め規則波を造波している。また前田ら^{8,9)}は角水槽において直交する 2 方向不規則波の発生およびセミサブの運動計測実験を報告している。ごく最近になって任意の方向分布関数を有する短波頂不規則波の造波およびその中での運動応答計測、解析例として長水槽で側壁反射を利用した形ではじめて水槽長手方向に一樣な方向スペクトル波水面を実現した竹沢ら¹⁰⁾（セミサブモデル使用）、国外では角水槽での Mynett ら¹¹⁾（観測船のモデル使用）の報告があるが未だ航走実験はなされていない。

本報告は竹沢ら^{5,6)}が示した“長水槽で造波された一樣な方向スペクトル波”という特徴を生かして、主方向が向い波である方向スペクトル波中を航走する模型船の応答を計測、解析するとともに、従来のストリップ法による計算値とも比較を行いこのような短波頂不規則波の中での推定計算の妥当性を実験室レベルではじめて検討し得た結果を報告するものである。なお航走中の出会い方向波スペクトルの詳細な検討は次の機会に譲る。

* 横浜国立大学工学部

また数値は実船換算値で示す事としたがモデルスケール表示する場合は () で示すなど断わりがきをいれた。但し明かにモデルスケールと判る場合には断わっていない場合もある。

2. 実験及び解析

2.1 方向スペクトル波の造波

詳細は参考文献^{5,6)}に譲りここでは概略のみを述べる。造波装置は幅 8 m, 長さ 100 m, 深さ 3.5 m の横浜国立大学曳航水槽の幅方向に設置した 16 ユニットのプランジャー式スネークタイプのものである。造波信号は Single summation 法によった。方向分布は 2 種類とした。方向分布関数を掛ける前の 1 次元スペクトル $S(\omega)$ としては P-M タイプの ITTC スペクトルで実現の平均周期 (T_{02}) は実船スケールで 8.42 sec (モデルスケールで 0.90 sec), 9.63 (同 1.03), 11.4 (同 1.22) の 3 種類、有義波高 ($T_{1/3}$) は約 6.1 m (同 7 cm) とした。これは風浪階級としては 6 程度のやや荒れた状態であるが有義波高をこの半分にした実験と比較して波高による非線型影響はあまり無かった。出会の波周期でみるとこれらの波周期ケースはヒープ、ピッチの固有周期を含んでいる。また方向分布関数 $D(\omega, \chi)$ としては良く使われる (2) 式の他に Longuet-Higgins により提唱され光易¹²⁾によって詳しく検討された s パラメータ表現による (3) 式の型も考えた。すなわち

$$S(\omega, \chi) = D(\omega, \chi) S(\omega) \quad (1)$$

$$\text{において } D(\omega, \chi) \equiv D_1(\chi) = C_1 \cos^{2n}(\chi) \quad (2)$$

$$\text{但し } |\chi| \leq \pi/2$$

$$\text{又, } D_2(\chi) = C_2 \cos^{2s}(\chi/2) \quad (3)$$

$$\text{但し } |\chi| \leq \pi$$

ここで波の入射角は運動と区別するためカイ (χ) を用いた。向い波を 180 度とする。更にここでは方向分布関数の周波数依存性はない場合、即ち $D(\chi)$ を想定したが、後で示されるように周波数依存性がある程度あったとしても応答の 1 次元スペクトルを推定するに際して与える影響は非常に小さいようである。

なお良く使われるコサイン $2n$ 乗型即ち (2) 式における n と (3) 式の s との間には $n \approx 0.23s$ 逆に言えば $s \approx 4.3n$ なる対応があり¹²⁾実質的には違いがないといえる。但し文献 12) では $2n$ を n とし表現しているので注意する必要がある。

2.2 実験状態

実験に使用したモデルは SR 108 で使用された一軸コンテナ船の 2 m モデルで主要目を Table 1 に示す。状態は ITTC 比較計算および比較実験と同じとした。曳航速度はフルード数 (Fn) で 0.2 および 0.275, ノットで 16.1 knot (モデル 0.8854 m/s) および 22.1 knot (同 1.217 m/s) の 2 種類である。Table 1 には各速度に於いての自由動揺試験から得た運動の固有周期も示した。ピッチ、ヒープの固

有周期は船速変化に対して殆ど変化していないのに対してロールは通常言われているように船速が大で固有周期は短くなっている。但し今回の実験ではピッチ、ヒープ、ロールのみ自由とし、スウェー、ヨー、サージは拘束した。応答関数の理論計算もこれに対応させた。

方向スペクトル解析用の 5 本組の容量式波高計^{5,6)}は曳航台車上 Fig. 1 に示す位置に設置し、出合い波を計測した。更に船体重心側方にもサーボ式の波高計を設置した。

Fig. 1 Arrangement for model experiment

Table 1 Principal Particulars

ITEMS	SHIP		MODEL	
	SPECIFIED		VALUE	EXP. VALUE
LENGTH (P.P.)	175.00	(m)	2.000	(m)
BREADTH	25.40	(m)	0.290	(m)
DEPTH	15.40	(m)	0.176	(m)
DRAFT	9.50	(m)	0.1086	(m)
DISPLACEMENT	24742	(ton)	36.032	(kg)
BLOCK COEFF.	0.562		0.562	
C.G. FROM KEEL	9.52	(m)	0.1088	(m)
C.G. FROM 〇〇	-3.164	(m)	-0.0362	(m)
LONGI. RADIUS OF GYRATION	0.24	L_{PP}	0.24	L_{PP}
TRIM	0.0	(m)	0.0	(m)
GM	1.0	(m)	0.01143	(m)
KM	10.52	(m)	0.1202	(m)
T (PITCH)	$Fn = 0$	7.47 (sec) ←	0.799	(sec)
	$Fn = 0.2$	7.46 (sec) ←	0.798	(sec)
	$Fn = 0.275$	7.45 (sec) ←	0.796	(sec)
T (HEAVE)	$Fn = 0$	7.25 (sec) ←	0.775	(sec)
	$Fn = 0.2$	7.22 (sec) ←	0.772	(sec)
	$Fn = 0.275$	7.24 (sec) ←	0.774	(sec)
T (ROLL)	$Fn = 0$	19.4 (sec) ←	2.07	(sec)
	$Fn = 0.2$	18.9 (sec) ←	2.02	(sec)
	$Fn = 0.275$	18.2 (sec) ←	1.94	(sec)
SCALE	1		2 / 175

Fig. 2 Example of measured timehistory in long crested irregular wave (left) and in short crested irregular wave (right) shown by actual ship scale ($F_n=0.2$). Wave condition for both cases are the same. $H_{1/3}=6.46$ m (0.0738 m in model scale) $T_{02}=11.4$ sec (1.22 sec)

また本造波機運動の再現性の良いこと⁶⁾を利用して同一波を再造波し造波機より 40 m 位置で停止した状態で船をはずし、波だけの計測も実施した。そしてこれにより得られた時系列より推定した方向波スペクトル（ここでは計測方向波スペクトルと呼ぶ）をストリップ法による応答スペクトルの理論推定時に入射波として使用した。出会い方向波スペクトルを用いた場合については次の機会に述べる。

各状態に於ける航走回数は出会いの波の山数が 200 山程度となるよう速度に応じて 3~5 回の航走とした。また出会い波が定常な不規則波となるよう波が船に到達しても十分に待った後で曳航を開始した。

2.3 解析方法

Fig. 2 に本曳航実験で得られた時系列の例を示す。左半分は長波頂波中のものである。右半分は短波頂波中のものであり主方向が向い波状態であるが方向分布が $\cos^2 \chi$ に近い形を有する場合で、かつ実験に使用した 3 種の波のうち最も周期が長いものなので左半分には見られないロールも結構出ているのが特徴である。また良くみるとヒープの変動が左に比べて少しゆっくりしているが解析結果ではその変化は 12 % ぐらいである。波の時系列は船体重心横に置いたサーボ式波高計によるものでそのほか船首近く (ss 8 1/2) に於ける上下加速度も示した。

これら船体応答の時系列については FFT 法によるスペクトル解析及び統計解析を行なった。一方停止時に模型船無し状態で計測した 5 本の波時系列からは MLM (最尤法) により 5 度おきに方向スペクトルを求めた。これは 5

度置きに理論計算した応答関数に対応させるためである。この停止時の時系列のサンプリングタイムは 0.468 sec (モデルスケールで 0.05 sec) データ長さは約 31 分 (モデルで 3.3 分) である。

なお長波頂波に比べて短波頂の場合だと長水槽内が空間的に定常状態に達するのに余計時間がかかる。すなわち水槽側壁の鏡像効果を考えると遠方の造波ユニットから発生した短波長の波が水槽のある点に到達するのに時間がかかるわけである。そこで全体が 70 分 (モデルで 7.5 分) の定常と思われる時系列を計測して前半と後半に分けて解析結果を比較したところ、後半の方が $H_{1/3}$ で 3~4 % 増、 T_{02} で 1~2 % 減といった程度の変化であったのでここでは前半部分でも十分定常であると判断して解析を行った。

3. 解析結果及び理論推定値との比較

3.1 応答の 2 次元スペクトルの例

Fig. 3 に (a) 停止状態で模型船無しで計測し推定した方向波スペクトル, (a') 波傾斜スペクトル, 航走時の運動のストリップ法 (NSM 法) による方向別応答関数 $H(\omega, \chi)$, (b) ヒープ, (d) ピッチ, (f) ロール, (h) 上下加速度及び (a) の波スペクトルと, (但しピッチ, ロールについては (a') の波傾斜スペクトルと) それぞれの応答関数の 2 乗とを掛け合わせて推定した応答の 2 次元スペクトル $S(\omega, \chi)$, (c), (e), (g), (i) の例を示す。横軸はすべて絶対周波数 ω_0 ベース即ち波長を基準とした表現になっている点に注意されたい。なおロールの減衰係数には実験値を用い

Fig. 3 Analyzed directional wave spectrum (a) from the measured timehistory at zero forward ship speed. (a)' correspond to wave slope spectrum. Theoretical transfer functions of heave (b), pitch (d), roll (f) and vertical acceleration (h). Estimated two dimensional power spectra of each motions (c), (e), (g), (i). Wave and running conditions are the same with Fig. 2 (right)

Fig. 4 Theoretical directional transfer functions of pitch and roll expressed as the wave amplitude response. L, M, S correspond to those in Fig. 8

ている。

フルード数 (F_n) は 0.2 で波については Fig. 2 と同一で $T_{02}=11.4$ sec, (2) 式に対応する方向分布のパラメータ $2n \approx 4$, (3) 式の $2s \approx 18$ の場合である。当然の事ながらヒープ応答の指向性は比較的一様であるのに対してピッチ, ロールのそれは一様ではなく, 方向分布関数の違いにより応答の統計量も違ってくるのが予想される。即ち波の方向分布が広がるにつれてヒープの有義値は大きくなり逆にピッチは小, ロールはゼロから大となると予想される。なおピッチ, ロールの通常の応答関数表示は Fig. 3 で示したように波傾斜で割り算した形であり応答のスペクトルを波傾斜スペクトルでなく通常の波振幅スペクトルを用いて計算する時には更に波数, 従って周波数の 2 乗がかかった応答関数形となる事に注意する必要がある。これを Fig. 4 に示した。そしてこれでみたピッチの応答関数のピーク周波数と応答スペクトルのピークが一致している事が判る。ロール, 上下加速度についても同じでそれぞれの応答関数のピーク周波数で応答もピークを示している。いずれにしても実際の面からは波傾斜でなく波高に対する応答関数で判断の方が良いと考えられる。

3.2 方向分布関数の例

Fig. 5 Analyzed spectra in short crested irregular wave of Fig. 3, (a): Power spectra from five wave probes for directional wave analysis, (b): Directional distribution function at specified frequencies. (c): Averaged directional distribution function.

実測した時系列により推定された方向スペクトルから得られた方向分布関数の例を Fig. 5 に示す。Fig. 2, Fig. 3 と同じケースである。まず (a) は 5 本の波高計各々の時系列を独立に解析したときの 1 次元のスペクトル。実線は 5 つの $H_{1/3}$, T_{02} 値の平均値に対応する ITTC スペクトルであり良く一致していると言えよう。(b) は (a) のスペクトルのピーク周波数を含む 3 つの周波数で見た方向分布関数であるが高周波数になるに従って方向分布の広がりが狭くなっている。これは高周波数になるにしたがって造波可能な方向範囲が狭くなるという特性^{5,6)}によるものと思われるが, 平均特性としては (c) 図に示されるものとなり, 書き入れた s パラメータで 9 の曲線がほぼ対応しており狙った方向分布形状が実現されていると言える。このとき (2) 式の $2n$ は 4 程度である。 s (あるいは n) パラメータは方向分布関数の方向集中度を表わす訳で長波頂波は $s=\infty$ となる。そこで次節の方向分布の広がりによる応答の変化を示す図においては, 広がりを表わすパラメータとして $1/s$ を横軸に取った。この場合長波頂波は原点にくる。

3.3 理論推定との比較

3.3.1 スペクトルについて

Fig. 6 に実験による出会いの応答スペクトル (*印) およ

び停止時に計測した方向波スペクトルを入力とし、ストリップ法 (NSM) による波入射角ごとの周波数応答関数を用

いて推定した結果を更に角度ベースに積分して得た応答スペクトル (○印) の比較例を示すがやはり Fig. 2, Fig. 3 と同一の実験である。ここで注意すべき点は出会い周波数 (ω_e) と絶対周波数 (ω_0) の対応は次の (4) 式の様に出会い角毎に異なる点である。

$$\omega_e = \omega_0(1 - (\omega_0/g)v \cos \chi) \quad (4)$$

(a) のヒープについては推定値が比較の実験値に近いと言えるが、(b) のピッチについては高周波数域で、又(c)のロールについては低周波数域での一致度が良くなく後出の Fig. 8 の結果にもそれが現われている。(c)の加速度についてはピッチ、ヒープ、ロール三者の複合結果であるがピッチの影響が大きく出ている。なお $F_n=0.2$ での固有周期も各図に矢印で記入した。これで見るとロールも含めて固有周期のあたりで違いが出ており Fig. 4 の応答関数のピーク値の推定精度およびその近辺での方向波スペクトルの解析精度も効いているように思われる。

この点に関して、過渡水波中の試験で得た実測の周波数応答関数を用いて推定した長波頂波中での応答スペクトルと実験値を比較したものを Fig. 7 に示す。これで見られる様に理論応答関数を用いて推定したもの (○印) より実測の応答関数を用いたもののほう (×印) が実験値 (*印)

Fig. 6 Spectra for each motions in short crested waves correspond to Fig. 3. (analyzed and estimated)

Fig. 7 Motion spectra in long crested waves. Cal is obtained by using theoretical transfer function and Cal (M) is obtained by using measured transfer function.

Fig. 8 Ratio of root mean square of motion and wave elevation in ship scale, vs. angular spreading factor (=inverse of s -parameter). L, M, S correspond to Long, Middle and Short wave period. Significant wave height is about 6.5 m

に近い。従って斜め規則波中で実験値とストリップ法による理論値とは可なり合っていると言う報告がある¹³⁾が応答関数自体の問題もまだあると言える。勿論先にも述べたように解析した方向波スペクトル自体の精度の問題も有り得るわけで今後の検討の余地がある。

次に実測の方向分布関数が周波数別に見ると高周波数で狭くなっている点は3.2節で触れたが、この影響に関しても検討した。即ち Fig. 3(a) で示された方向スペクトルの代わりに Fig. 5(c) で示された平均の方向分布関数と Fig. 5(a) の1次元スペクトルを用いて推定した応答の1次元スペクトルを Fig. 6 中に (×印) で示した。これで判るように推定値どうし (○, ×印) は殆ど違いがなく、本報告で実験した範囲では平均の方向分布関数を使って差し支えないと言える。もちろん実験値との違いは別途検討する必要がある事はいうまでもない。

3.3.2 統計量について

つぎに Fig. 8 に3.2節で述べた s パラメータの逆数即ち方向分布のひろがり (1/s) を横軸にとり、各々の運動の標準偏差 (RMS 値) を不規則波のそれで割った値を縦軸にとり実験値を○で推定値を●で示した。横軸の原点は長波頂波に対応する。各図の上辺に方向分布の広がりがより直感的に判る形として横軸に対応する(2)式を示した。 L , M , S なる記号はそれぞれ平均波周期 (T_{02}) が長い (≈ 11.5 sec), 中程度 (≈ 9.5 sec), 短い (≈ 8.5 sec) 場合を意味している。各々上段が $F_n=0.2$, 下段が 0.275 の場合である。ヒープ、ピッチ、加速度の縦軸はゼロから始まっていないので注意されたい。ヒープについては実験値と推定値との間に若干の差はあるものの大略平行して変化しており波の主方向が向い波の場合で方向分布範囲が広くなるにつれて、また今回の範囲で周期が長くなるに従って応答振幅の統計量が増える傾向にあること、しかも周期の短いほど増加の傾向が大であるといえる。これはまた Fig. 3 の応答関数からもうなずける。フルード数の影響も大略平行的に上昇する形で変化が見られる。縦軸上の▲印は Fig. 7 でも×印で示した応答関数に実験値を用いた推定値を示す。この場合は先に触れた様に実験値に10%以内の誤差で近づく。一方ピッチについては L と S の場合は実験値と推定値が平行的に変化しているのに対して、 M の場合は $1/s=0.11$ で両者は近いが原点では離れる傾向にある。また先述したように実験値と推定値の違いがやや大きくなっている。全体的な傾向としては S についてはやや右上がり、 L についてはやや右下がり、 M については実験値は右上がりなのに対して推定値は右下がりとなっている。この傾向は $F_n=0.275$ でも同じであり共通の原因が有りそうである。いずれにしてもヒープほどはっきりした傾向が出ておらず複雑な傾向となっている点は Fig. 4(a) に示した L, M, S に対応する応答関数の方向特性から予想される傾向とはやや異なる様に思われ意外である。なおピッチについても▲印で示

した点は5%以内の誤差で実験点に近づいている。ロールについては右上がりの傾向は一致しているが実験値の方は方向分布の広がりに比例する形で、しかも波周期に関係なく同程度の値となっているのに対して推定値のほうは方向分布の広がりとともに頭打ちでしかも周期差が明瞭に出ており L の方が大と諾ける結果となっている。これはヒープ、ピッチと異なった傾向であるがやはりロールの応答関数の精度の問題及び方向波スペクトルの90度付近の推定精度の問題があるものと思われる。加速度についてはピッチと同じ傾向となっており L で右下がり S で右上がりの傾向が実験値、推定値ともに見られる。

3.3.3 周期について

最後に図は示していないが周期についてみると統計量どうしの間、例えば T_{PP} と T_{24} の間の関係については1次元スペクトルの場合と変わらない事が既に示されている⁵⁾が航走時には(4)式のように出合いの周波数関係は方向角によっても変わるので方向分布の違いにより平均周期も変化するものと考えられる。但し実験結果では $F_n=0.2$ で $T_{02}=11.2$ sec (モデルで1.2 sec) の波については、長波頂で出合いの平均波周期 (T_{02e}) を基準にすると今回実験した最大の方向分布の広がりの場合で波の出合い平均周期は12.2%増、ヒープも4.9%増、ピッチについては1.9%減、ロールは $1/s=0.11$ から0.2への変化に対して4.7%減程度であった。この増減の傾向は異なる T_{02} 及び $F_n=0.275$ でも同様であって、理論周波数応答関数を用いた推定でもある程度推察できる傾向と思われるが詳細な検討結果は次の機会にゆづる。

4. 結 言

本報告では長水槽全面において一様な、かつ希望する方向スペクトル波を実現しうる造波機を開発した結果^{5,6)}に引きつづいて、短波頂不規則波中で船体の曳航試験を実施し、運動に関して方向スペクトルの解析も含めてはじめて一貫した評価を得た結果を報告した。但しヒープ、ピッチ、ロールのみを自由にした船体を曳航したもので、主方向が向い波状態での方向スペクトル波中の運動応答を計測し、更に従来のストリップ法にもとづく理論推定との比較をも行ったものである。なお理論推定時には航走時の出合い方向波スペクトルでなく停止時に計測推定した方向波スペクトル (ここでは計測方向波スペクトルと呼ぶ) を用いた。その結果、次の事が明らかとなった。

(1) 計測方向波スペクトルと出合い角ベースの理論応答関数を使用して推定したヒープの1次元スペクトル形は計測したものとはほぼ合う。

(2) ピッチ、ロール、及び両者の影響を受ける上下加速度 (ss 8 1/2 位置で中心線より実船で5m左舷側、これは船幅の20%に当たる) については実験結果と推定結果で無視し得ない違いも見られる。

(3) 但し応答関数として理論値でなく過渡水波中での計測値を用いて推定した場合(但し長波頂向い波のみ)は可なり違いが改善される事から、出会い角ベースの理論応答関数(特にピーク値)にもまだ検討の余地があると言える。もちろん方向波スペクトルの解析についても更に検討する余地は有ると思われる。なおピッチ、ロールの応答関数は波傾斜に対する表現でなく波高に対する表現で見た方が良い。

(4) 計測された方向波スペクトルの方向分布関数は周波数毎に変化しているがそれらの平均関数を使用して推定した応答スペクトルは周波数毎の計測値を忠実に使って推定したものと殆ど一致した。従って(3)の検討結果がはつきりすれば、応答スペクトルの推定に平均の方向分布関数を使っても実験結果と一致する結果が得られると考えられる。

(5) 波の方向分布関数の広がりか応答振幅の統計量に与える影響については実験結果で見るとヒープ、ロールについては明かに右上がり、即ち分布が広がると大きくなるのに対して、ピッチ、上下加速度については明確な傾向は見られない。又細かく見ると波の平均周期によっても傾向が異なっており2次元の波スペクトルのピークと2次元の応答関数のピークの微妙な相対位置関係が効いて来ていると思われる。

(6) 一方推定値と実験値とを比較して見るとロールを除いて方向分布の広がり、周期影響、速度影響とも傾向はほぼ一致しており、使用した理論応答関数値、方向波スペクトルの解析法、が基本的には良い事を逆に示していると言える。

最後に出会い方向波スペクトルの解析結果については今回示さなかったが、追い波中実験の課題等とともに次の機会に報告したい。

謝 辞

本報告に於ける実験、解析等に関して本学の宮川清、高山武彦両氏にお世話になった。また短期間で実施した実験、解析、理論計算、図面作製については本学大学院1年の板橋正泰、シバシス・アチャリヤ、陳 剛、君、卒業研究生として宮島 康、宮下典久両君らおよび研究室の諸君に夜遅くまで多大な協力をいただいた。又造波信号作製等につ

いては大学院博士課程3年の小林頭太郎君に協力いただいた。厚く御礼申しあげたい。また理論計算等は横浜国立大学計算機センター、東京大学計算機センターを利用した。

参 考 文 献

- 1) van Lammeren, W. P. A and, Vossers, G.: "The Seakeeping Laboratory of the Netherlands Ship Model Basin", Int. Shipb. Prog. Vol. 4, No. 29 (1957)
- 2) Yoshioka, I.: "Research of Ship Oscillations on the Short Crested Waves", Bulletin of the Faculty of Engineering, Yokohama National University, Vol. 13 March (1964)
- 3) 田才福造: "Short Crested Wave 中における Sway, Yaw, Roll の運動について" 西部造船会会報 42号 (1971)
- 4) 栗原道德, 田才福造, 栖原寿郎: "九州大学応用力学研究所の海洋災害研究用大水槽について", 西部造船会会報, 第32号 (1966)
- 5) 竹沢誠二, 小林頭太郎, 笠原昭夫: "長水槽で発生させた方向スペクトル波について", 日本造船学会論文集, 第163号, (1988)
- 6) 竹沢誠二, 平山次清, 宮川清, 高山武彦: "長水槽用方向スペクトル波発生装置", 関西造船協会誌 第211号 (1988)
- 7) 石田茂資, 渡辺巖: "Snake Motion をする造波機によって発生する斜め規則波の特性について", 西部造船会会報, 第69号 (1984)
- 8) 前田久明, 笠原昭夫: "2次元人工不規則水波の発生法と解析法", 関西造船協会誌, 第202号, (1986)
- 9) 前田久明, 諸岡一之, 笠原昭夫, 木下健: "多方向波中におかれた浮体の挙動に関する研究", 日本造船学会論文集, 第160号 (1986)
- 10) Takezawa, S and Kobayasi, K: "On the Motion Characteristics of Semi-Submersibles in Short-Crested Irregular Waves", BOSS '88 (1988)
- 11) Mynett, A. E, Bosma, J., Keuning, J. A and Gerritsma, J. "Laboratory Simulation of Ship Motions in Directional Seas", BOSS '88 (1988)
- 12) 光易 恒, 水野信二郎, 本多忠夫, 力石国男: "海洋波の方向スペクトルについて(続)", 第21回海岸工学講演会論文集 (1974)
- 13) 小林頭太郎, 小保方準: "コンテナ船型の斜波中船体運動及び波浪荷重試験", 友友重機械技報 Vol. 29, No. 86 (1981)