

(昭和 38 年 11 月造船協会秋季講演会において講演)

平均海象下における船体運動 (第 1 報)

正 員 竹 沢 誠 二

Ship Motions in Average Sea States (1)

By Seiji Takezawa, *Member*

Summary

It has become a established theory that the ship motions in irregular waves are estimated from the transfer functions of ship motions and the Neumann spectra. But, according to this method we can only know the information of ship motions in irregular waves to be defined by spectra. Therefore it has a weak point, because we can not directly compare the actual ship performances in a certain wave height or a certain wind wave scale with the estimated qualities from it.

This paper makes a proposal to exclude that fault of the conventional method. In the first place, the author investigated the relation between wind velocity and mean wave height in average sea states. Next, he tried on to substitute the assumed partially developed Neumann wave spectra for the average relations between wind velocity and mean wave heights. Hereupon, the significant wave heights of the assumed spectra are equal to the average wave height of actual average sea states. Moreover, he calculated the ship motions in that assumed spectra by the ordinary method. Then, it is considered that the calculated values by this method are equivalent the ship motions in average sea states.

The obtained results show that the estimated values by the use of the fully developed Neumann spectra develop a tendency to over estimate, and that estimations give the inverse qualities at comparative calculations between various ship forms is possible.

Then he predicts the critical ranges of the navigation in the average sea state arising from severe ship motions or seasickness. Moreover, the cumulative occurrence frequency of ship motions are predicted.

The used ship forms for calculations are four kinds of destroyers. In this report, pitching and bow vertical accelerations in head seas are calculated.

1 緒 言

不規則波中の船体運動を海洋波のエネルギー・スペクトルと船体運動の周波数応答特性から定量的に推定する方法は一般化されつつある。この方法によると実海面のエネルギー・スペクトルさえ判つていると、特に大波高の場合すなわち船体応答が波高に関し非線型になる場合を除き、水槽試験等によつて求まる周波数応答特性から任意の不規則波中特性が計算できる。しかしここで得られる情報はスペクトルで与えられたときのみ適用できることに注意せねばならない。したがつて用船者等が平均波高なん m のときあるいは波浪階級いくつのときに船体運動はどの程度になると設問したときの答にはなり得ない。同一平均波高に対してスペクトルは無限に存在し、また波浪階級等はスペクトルと直接結合できる定義に基づいていないからである。

本論はこの欠点を除去する一つの試みを提案するものである。

まず実海面の統計的な平均特性とノイマンの波スペクトルの関係を調査し、平均波高をノイマンの不完全発達波で置き換え得ると仮定した。次に各平均波高下での平均船体運動特性を表わすものとして、仮想されたスペク

原稿受付 昭和 38 年 6 月 20 日

* 防衛庁技研

トル中での船体運動が駆逐艦型の船について計算された。本論ではこのようにして得られたピッチング、船首上下加速度の推定値の検討を行ない、さらに本法の応用例について若干考察を加えた。なお実海面の波高に主眼を置いて論議を進めた。したがって得られた結果は風浪階級に関連するものが多い。

2 平均海象とノイマンスペクトルの対応

2.1. 実海面の資料

ノイマンスペクトルは風速およびその吹続時間と吹送巨離によつて規定される。したがってノイマンスペクトルと実海面の平均特性の対応を考える場合風速と平均波高の関係を与える資料がまず必要である。Roll⁽¹⁾の北大西洋における大規模な観測結果の総平均特性および北方定点⁽²⁾での観測結果を Fig. 1 に示した。Roll のデータの各点はビューフォート風力階級に対応している。また添字は観測数を示す。北方定点と北大西洋の特性間にはほとんど差がないことが目立つ。台風内の波高⁽²⁾は $H=0.31 U$ (m unit) なる実験式で与えられるが、これは前二者より若干高い。この値は台風内という特殊条件下であるから本論の対象にはならない。Probable Wave Ht. (W.M.O.) と記入されているのはビューフォート風力階級表の参考欄に示されている値で実測値ではないが、低風速時に前者の実測値より低い。これは Roll が指摘しているように風がほとんどなくても“うねり”が存在する場合が多いので、実海面の平均としては風速 0 m/s でも波高は 0 m にならない。低風速時における実測線と W.M.O. の線との差はこの範囲では“うねり”が優位な状況にあるとの理由で説明されよう。次に平均周期 (Fig. 2) の比較をしてみると、台風内の値は他より若干高く波高の場合と同傾向を示す。北方定点と北大洋を

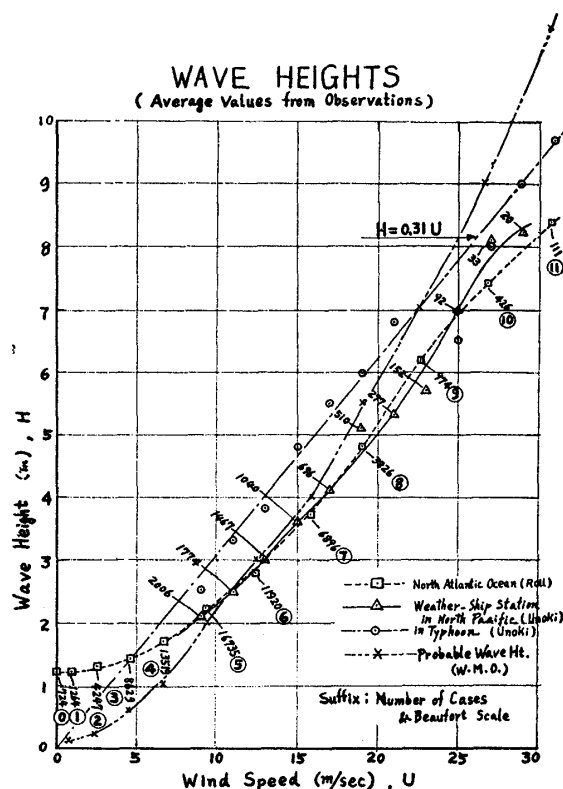


Fig. 1.

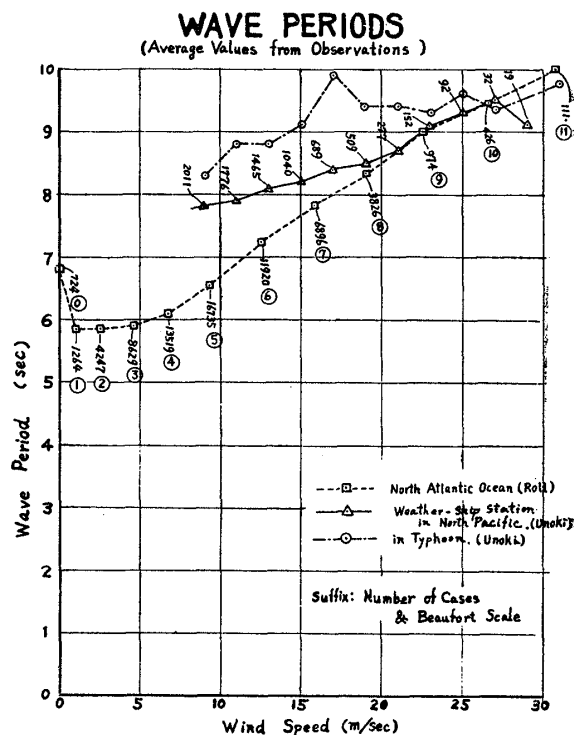


Fig. 2.

比べると平均波高の場合ほどの一致はみられないが、いま考えているようなごくおおまかな近似の場合には同程度としてよいだろう。

以上の資料から風速と平均波高の関係がわかり、またその特性は海域によつて著しい差がないとしてもよさそうである。本論では観測海域が広く、観測数が北方定点の1桁上であり、風速範囲も大である Roll の平均波高実測線を、平均海象を表わす特性とみなすことにした。この仮定は統計的な平均特性に対するもので、風速から波高を求めるといつた予報方法としては使用できないことに注意せねばならない。なお Roll によれば北大西洋内の海域差によつて同一風力階級でも波高差が認められるとされているが、本論で使用した実例線は北大西洋全域の平均であるから、少なくとも北大西洋全域の平均に近いものを示しているものと考えられる。より詳細な資

料が得られた時には世界の海域を適当に分割して平均海象を求めるべきであろう。

2.2. 平均海象に対応する仮想ノイマンスペクトル

目視では有義波高を観測するものとされているから、Roll の平均波高実測値とノイマンの完全発達波の有義波高を比較すると Fig. 3 を得る。風速 10 m/s 以下ではノイマンが低い、この傾向は前述したように実海面では“うねり”が平均的に存在するということで説明できよう。一方、10 m/s 以上ではノイマンが著しく高い。ノイマンスペクトルが物理的に正しいものであるとするならば、実海面では大風速時のノイマンの完全発達波が発生する機会が少ないことを示し、平均的には実海面はノイマンの不完全発達波に対応する場合が多いと考えられる。P.N.J 法で実測線の波高になるには風速を固定した場合に吹続時間、吹送距離はそれぞれどうなるかを計算して見ると○印の下に記入してある値を得る。なお約 10 m/s 以下では完全発達波に低い“うねり”が重合しているものとする。これらの値が規定する不完全発達ノイマンスペクトルを平均海象を表わすスペクトルと仮定する。完全発達波とこの仮想不完全発達波の吹続時間と吹送距離を比較すると (Fig. 4) 風速の増大につれ

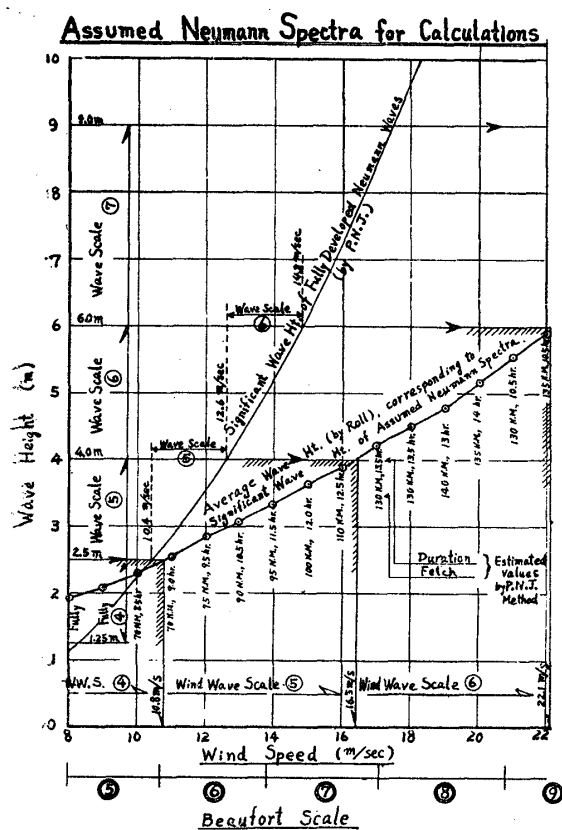


Fig. 3.

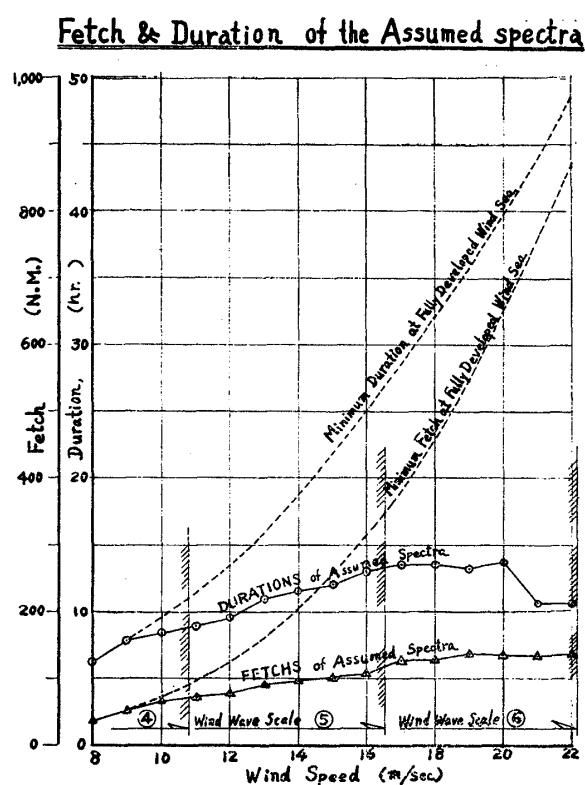


Fig. 4.

て仮想スペクトルは完全発達にほど近いものとなることがわかる。仮想スペクトルの平均周期と Roll の実測平均周期を比較したものが Fig. 5 である。仮想スペクトルに対する算定値は実測値より低い、有義周期の上限と下限を記入してみると実測線はこの範囲内にあり仮想したスペクトルは周期に関してもほぼ妥当な値を与えているといえよう。

風浪階級⁽³⁾は波高範囲のみで規定されているので、その範囲を Fig. 3 に記入すると、風浪階級と風速範囲の対応したがつて風力階級⁽⁴⁾との対応、さらに各風浪階級が平均的にはノイマン・スペクトルのいかなる範囲に対応するかがわかる。風浪階級を完全発達波の有義波高と対応させてみると、得られる風速範囲すなわち対応風力階級が実測線に対するものと著しく異なってしまうことも示されている。Fig. 6 にスペクトルの形で完全発達波と仮想した不完全発達波を比較しておいたが、両者間に累積エネルギー密度および周波数範囲に大差がある。

かくして平均海象として Fig. 3, 6 の不完全発達ノイマン・スペクトルを仮想すれば、実海面の海象は複雑でありこのような単純なスペクトルで与えられるものではないが成分波の波長および波高の範囲、スペクトルの累積エネルギー密度等は実海面の平均値に類似のものを与えるであろうから、仮想スペクトル中での船体諸特性を計算すれば平均海象下における船体運動を得ることができよう。

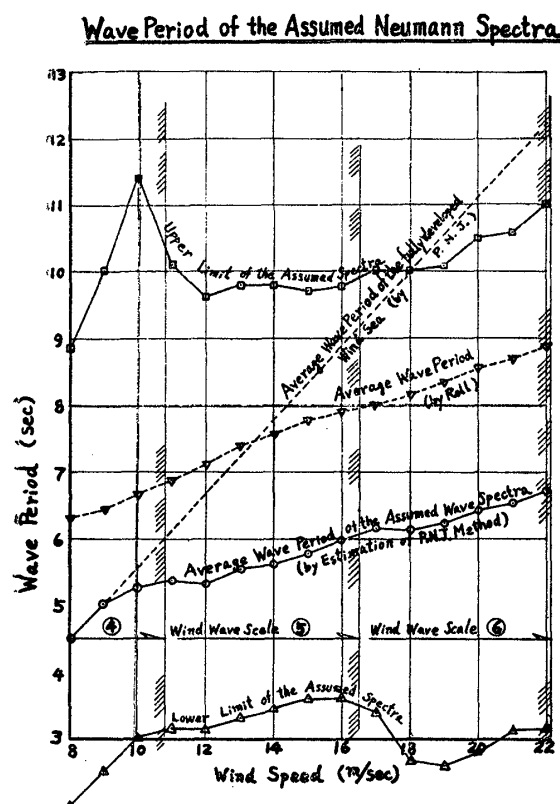


Fig. 5.

2.3 波高の出現頻度

実海面の有義波高の長期分布は Log-Normal 分布になるが, Jasper⁽⁵⁾ の与えたデータと, 前述の Roll の北大西洋全域の平均特性の場合を対数正規確率紙上で比較して Fig. 7 とした。低波高時を除き大略 Log-Normal 分布に従うようである。なお Roll の線は計算されたものではなく単に累積頻度をプロットしてその傾向を示したものである。

このようにある海域で波高の長期分布が与えられると, 次章に示す船体運動計算結果からその海域での運動の長期分布を推定し得るだろう。

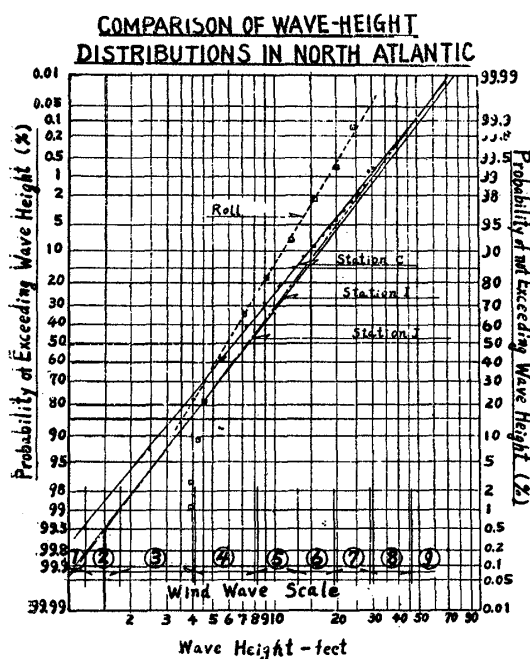


Fig. 7.

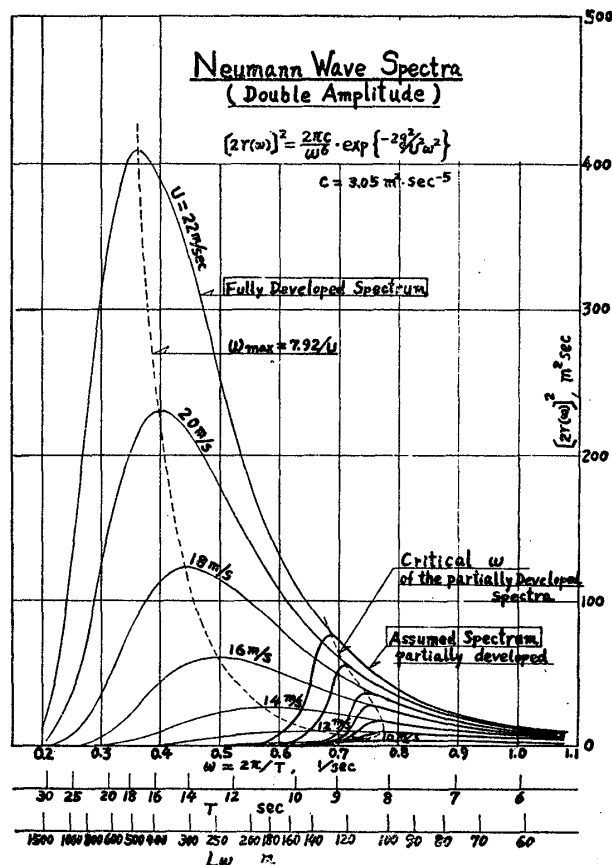


Fig. 6.

なお本図によると風浪階級 7 (波高 6m) 以上の出現頻度は大略 5% に過ぎず, またほとんどの航洋船において運動性能上大なる影響を与えない風浪階級 4 (波高 2.5m) 以下の累積頻度は大略 70% におよぶ, したがって運動計算の重点は風浪階級 5, 6 に置けばよいであろう。なお文献 (2) の図 2 より推定すると北方定点では風浪階級 7 以上が 8%, 4 以下が 57%, 南方定点では 5% および 74% となる。

3 仮想スペクトル中の船体運動

3.1. 計算法

前記の仮想した波スペクトルにおけるピッチングおよび船首上下加速度を正面向い波の場合について駆逐艦型の船型について計算した。船型は M. 58, 59, 60 および M. 59-⑦ と呼ばれる 4 種であるが, M. 58, 59, 60 は狭義のシリーズ・モデルで排水量, 船長および C_b , C_p , C_m , C_w を一定に保ち船巾を変化させてある。番号が大になるに従

つて船巾が増し喫水が減っている。M. 59-⑦は M. 59 に大型船首バルブを付加した船型である。これらの主要目等は M. 58* を除き前に発表した論文⁽⁶⁾⁽⁷⁾に掲載されている。なお実船の長さは 115 m にして計算を進めた。

各船型の周波数応答特性として規則波中（波高と船長の比，1/30）の自航試験から得られた曲線（文献⁽⁷⁾の Fig. 1, 2）を使用した。仮想波スペクトルと船体周波数応答特性とを乗じ船体応答スペクトルを求め積分を行なえばその波スペクトル中での船体運動の累積エネルギー密度（ E ）を得る。計算結果を船速一定の条件下で整

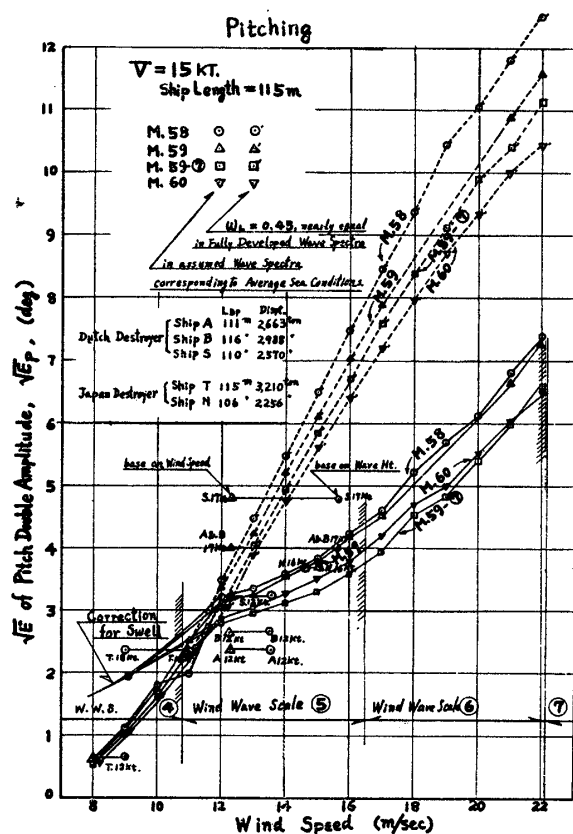


Fig. 8.

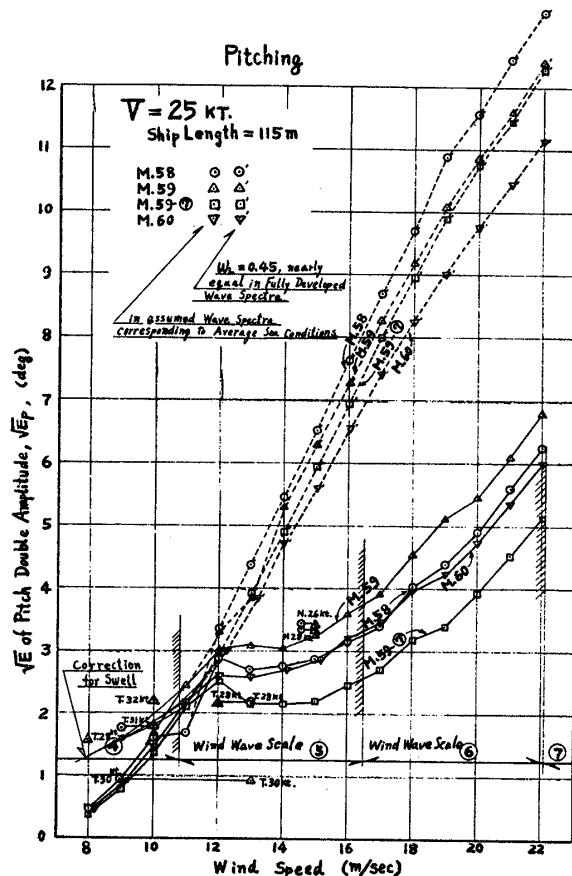
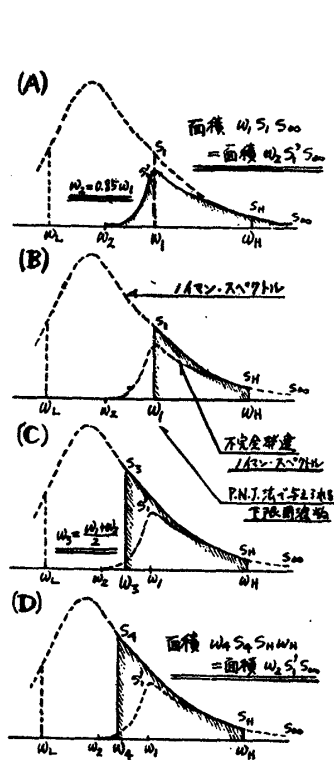
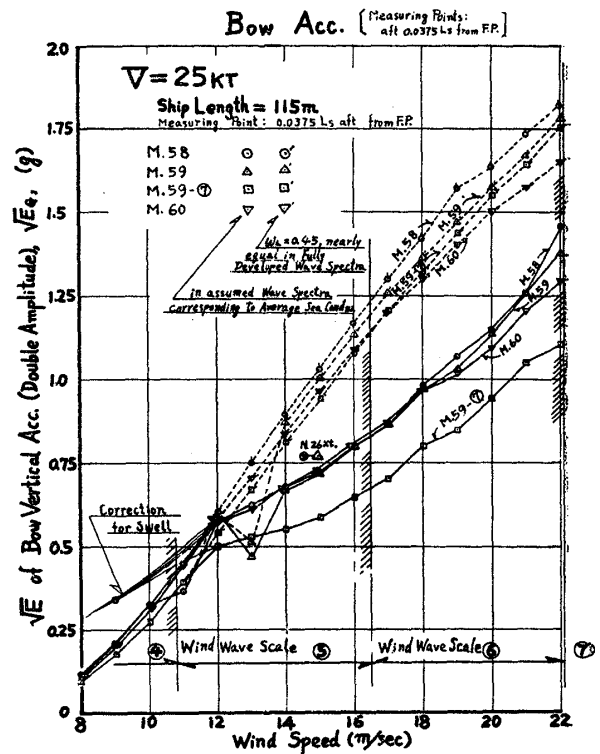
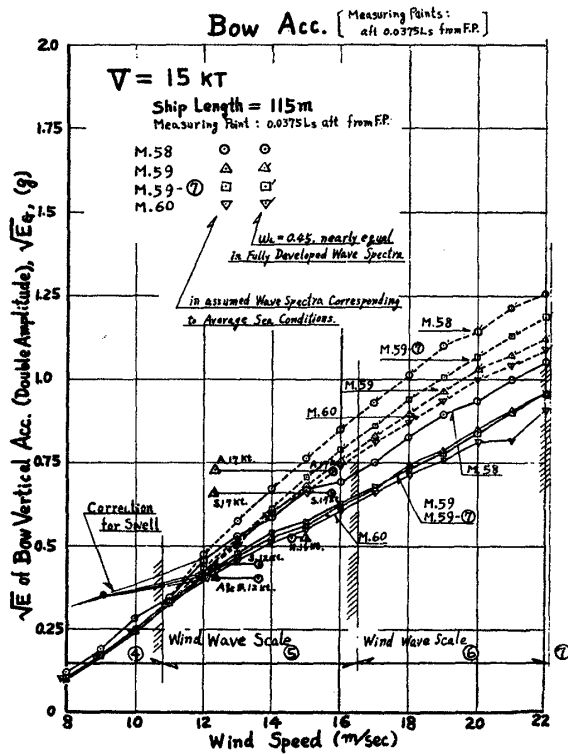


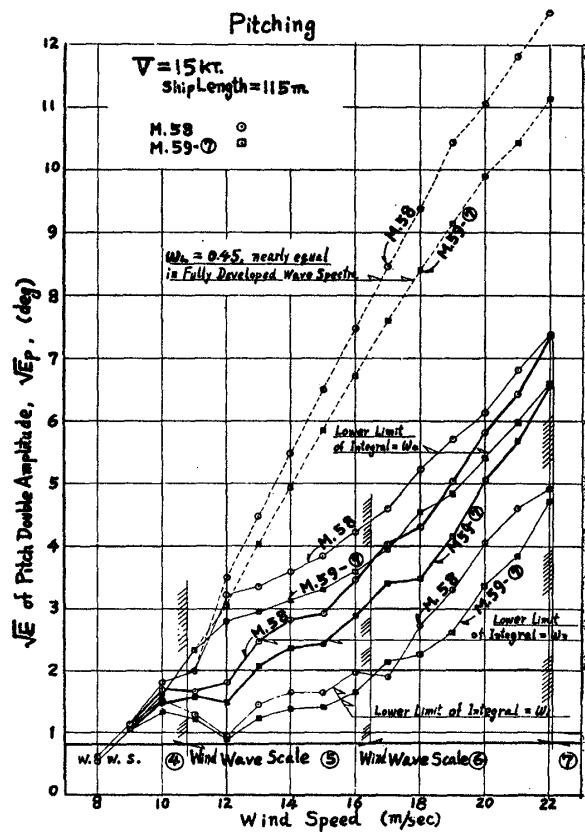
Fig. 9.

理して、ピッチング (Fig. 8, 9), 船首上下加速度 (Fig. 10, 11) に全振巾の $\sqrt{E}$ で示した。完全発達波中の特性に相当する場合として、積分の下限である最低円周波数 (ω_L) は風速に関係なく $\omega_L = 0.45$ 1/sec として計算されているが、この周波数は本計算例では波長/船長 ≈ 2.7 に対応し、これ以下の周波数では周波数応答特性は小さくなるので、船体応答に及ぼす影響は小さい。また積分の上限は全計算を通じて $\omega_H = 1.10$ 1/sec (波長/船長 ≈ 0.45 に対応する) としてが、この理由として Fig. 6 に示されているようにこれ以上の周波数では波のエネルギーが小さくなること、また船体周波数応答が求められていない、その値も小であらうなどがあげられる。このように切捨て部分があるので図中の点線は完全発達波中の特性に厳密に対応するものではないが、ほぼ近い値を示すものと考えられる。不完全発達波のスペクトルは P.N.J. 法によれば説明図に示したように限界周波数 (ω_1) をピークとし周期が 18% 大である ω_2 で周波数の有意範囲が終る。このスペクトルの形は P.N.J. 法には与えられていないが、説明図 (A) のようにスペクトルの面積は P.N.J. 法の E に等しく、周波数範囲も一致するスペクトルを仮定するのが最良の方法と思われるが、この場合全く新しいスペクトルに対して不完全発達波中の船体特性を計算することになり、計算が著しく繁雑になる。したがって本論ではノイマン・スペクトルがある周波数で切断された形のスペクトルを使用することとし、まず説明図 (B) の場合について計算を行なってみた。これは ω_1 以下の部分を切捨てた場合で、計算結果の 1 例を Fig. 12 に示したが著しく低い値となる。これは本船型の場合には $\omega_1 \sim \omega_2$ の間に船体周波数応答の大なる部分が重なるためである。次に説明図 (C) のように

* M. 58 の要目: $B=0.8348$ m, $d=0.2783$ m (even), $L/B=9.58$, $B/d=3.0$ その他の要目は M. 59, 60 と同一。



説明図



$\omega_3 \left(\omega_3 = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \right)$ を選定してみた。これはスペクトルの面積をほぼ等しくすると共に ω_H 以上の切捨て部分に対する補正をも含めたつものもので数値上の根拠はない、計算結果は Fig. 12 の通りで $\omega_1 \sim \omega_2$ 間の切捨ての影響が大であることがわかる。次に説明図 (D) に示されているように不完全発達ノイマン・スペクトルの E と $\omega_H \sim \omega_4$ 間で等しい E を与える ω_4 を求め、そこで切断されたスペクトルを使用してみた。今までの計算法に比して高い値を与えるが、この場合は有義波高はノイマンの場合と等しく、有意周期範囲に関しても改善されているので、近似計算として適用可能であると考えられる。風速と計算に使用した周波数の関係を Table 1 にしておいたが、周波数だけで考えると ω_4 の場合は ω_2 で切つた場合に近く 13 m/sec 以下では $\omega_4 < \omega_2$ であり、得られる結果がオーバー・エスティメーションであることがわかる。この方法による計算結果が Fig. 8~11 の実線として示されている。以上の前提で計算が行われたが、風速の変化にともない積分範囲が変化すること、風速と船速の組合せ数だけ計算せねばならないこと等で予想外にばら大な計算となるので、電子計算機が使用された。Fig. 8~11 の置点は計算箇所を示しているが、計算範囲は風浪階級 6 をカバーするように風速 22 m/sec までとなっている。

3.2 計算結果の検討

Table 1. 計算に使用した円周波数

風 速 (m/s)	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
ω_H 全計算を通じて使用した最高円周波数, (1/s)	1.10														
ω_L 完全発達波中の計算に使用した最低円周波数, (1/s)	0.45														
ω_1 不完全発達波仮想(スペクトル)の P.N.J 法で与えられる限界円周波数, (1/s)	—	—	.65	.73	.78	.76	.76	.77	.76	.74	.74	.73	.71	.70	.68
ω_2 同上の最低円周波数 ($\omega_2 = 0.85 \omega_1$), (1/s)	.71*	.63*	.55	.62	.66	.65	.65	.65	.65	.63	.63	.62	.60	.60	.58
ω_3 説明図 (C) の最低円周波数 ($\omega_3 = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$), (1/s)	.71*	.63*	.60	.68	.72	.71	.71	.71	.71	.69	.69	.68	.66	.65	.63
ω_4 説明図 (D) の最低円周波数	.71*	.63*	.57*	.52*	.57	.64	.66	.67	.67	.67	.66	.66	.65	.64	.63

* 完全発達波の有意下限を示す

一般的傾向としては予想外に点のばらつきおよび線の交錯が少ない。特に目立つ傾向としては仮想スペクトルに対する線が風速約 12 m/sec で折れ曲っていることである。これは Table 1 に示されているように、前述の計算法によると 13~10 m/sec でオーバー・エスティメーションになることに一因があると思われる。一方大約 10 m/sec 以下では低い“うねり”が優位であることを考えると、この補正を行なう必要があろう。いま“うねり”は Fig. 3, 5 の観測波高および周期を有する規則波と考え風速 9 m/sec でその運動振幅を計算し、得られた結果は有義値であると考え、 $\sqrt{E}$ に換算し前述の結果に加えると Fig. 8~11 の記入点(船型間の差は小であるので平均値を示した)のようになり、折れ曲った所と結んでみると自然な傾向を与えるようである。この近似は極めて粗雑であるが現象はこの傾向に近いと考えられる。

完全発達波中の特性に近い場合と平均海象下に相当する場合を比較してみると、計算過程から考えて当然のことであるが風速が大になるにつれて両者の差は大となる。これも予想されたことであるが、船型間の優劣が完全発達波中と平均海象下では逆転することがある。この点に関しては船型の比較をする場合に特に注意せねばならない。Fig. 3 で求めた各風浪階級に対応する風速範囲を記入すれば、各風浪階級下の平均海象での船体運動がわかる。一方有義波高のみの対応を考えると完全発達波中の特性にも風浪階級を記入しうが、この方法が示す値と前者の値を比較するとほぼ同じ値を示すこともあるが、著しく異なる値を与える場合もあることがわかる。

船型間の差に注目してみると、平均海象下では船巾を増す程運動が減少し、バルブをつけた場合にはさらに減少する傾向にあることが示されている。しかしその量は船型の変化の程度に比し意外に少ない。

ここに与えた平均海象下における推定値が妥当であるかどうかは、推定の対称とした現象が通常航海時には測定されていない要素であるので、早急には判定困難であろう。本論に用いた船型とはほぼ同型船とみなされるオランダの駆逐艦⁽⁸⁾および著者等が測定した実測データーのうち正面向い波の場合を Fig. 8~11 に記入しておいた。これらのデーターは風速および波高の観測がなされているので、両者をそれぞれ基準にとり 1 つの実測値に対し

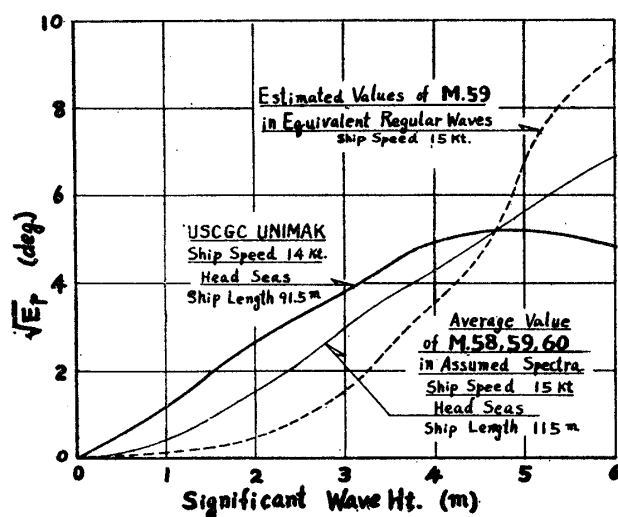


Fig. 13.

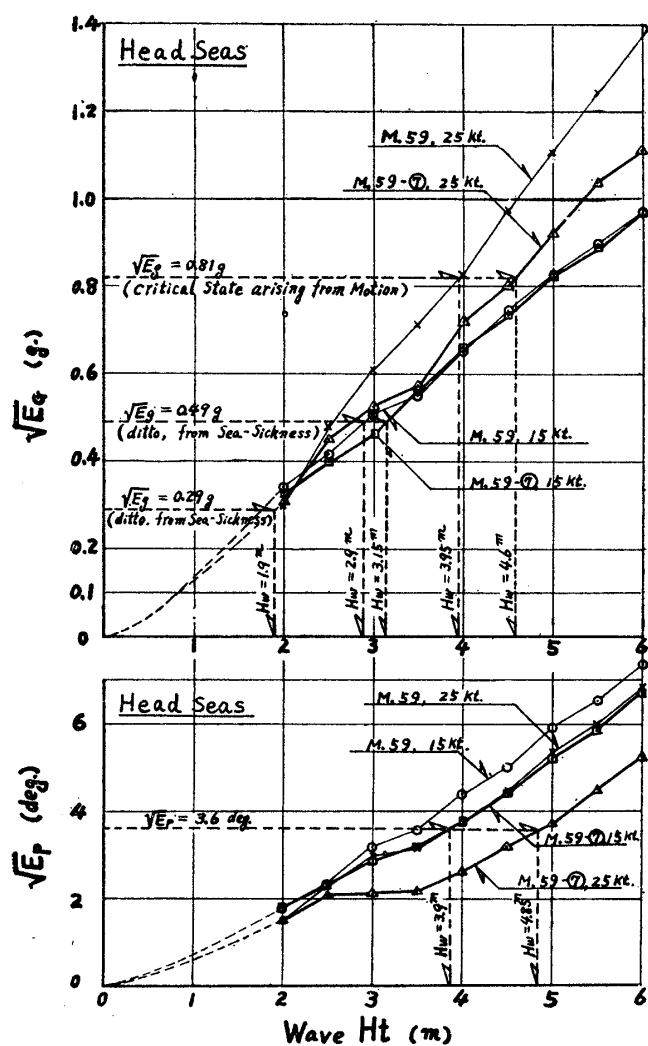


Fig. 14.

て2点ずつプロットしてある。点数が僅少であり、計算例と船速、船長も異なるので評価はさけたいが、少なくとも完全発達波が与える特性は高すぎると云えよう。

Fig. 13 に Jasper の論文⁽⁵⁾から引用した実測値 ((5) の Fig. 23) と本論の Fig. 8 から得られた波高とピッチングの関係を比較しておいた。船型、船長の相違を考慮に入れると両者はほぼ同傾向を示していると云えよう。なお、本論の推定線は波高約 4 m (波高/船長 $\approx 1/30$) 以上では、非線型性があらわれ船体周波数応答特性が減少すると考えられるから、若干オーバーエスティメーションになっていると思われるので、このことを考えに入れると両者はさらによく一致するであろう。次に各波高に対して相当規則波を考えて計算してみると点線のごとき特性が得られる。ここで相当規則波として前述の“うねり”の補正の場合と同様に Fig. 3 の波高と Fig. 5 の実測波周期に相当する波長を有する規則波を想定し、得られた結果は有義値であると仮定した。図に示されているように前2者に比し、低波高では運動が小さく高波高では大きく算出される傾向にある。本例の場合波高 4.5~6 m に対する相当波の波長は 100~120 m であり丁度船体応答のピーク付近であるためこの傾向が強く示されている。

3.3 応用例
(a) 常用航行可能限界
Fig. 13 と同様に Fig. 8~11 の横軸を波高に換算すると Fig. 14 を得る。本図は目測平均波高 (計算上は有義波高) に対する平均海象下の船体運動特性を与えるものであるから、航行可能限界における船体運動量を仮定できれば航行可能波高が推定できる。一例として正面向い波中の高速航行時にピッチングの全振幅の $\sqrt{E}$ ($\sqrt{E_p}$) が 3.6 deg., あるいは、船首上下加速度の全振幅の $\sqrt{E}$ ($\sqrt{E_g}$) が 0.81 g に達すると航行可能限界に達すると仮定してみよう*。図中に示されているように船速 25 kt の場合に適用すると M. 59 は波高約 3.9 m, M. 59-7 は約 4.7 m で高航行可能限界に達する。ピッチングの限界から得られる波高と、加速度から得られる波高とがほぼ一致しているのが目立つ。風浪階級で表現すると M. 59 は階級 5,

* $\sqrt{E_p}=3.6$ deg., $\sqrt{E_g}=0.81$ g の根拠は、本論の船型と大略同型の実船試験結果から得られたもので高速航行時における正面向い波中の約 10 分間計測によるものである。状況は大量の甲板上への被波があり、甲板上の小器物が破壊しそれ以上の高速航行を状況判断で中止した程の難航であった。もちろん船底あるいは上甲板が構造上危険にさられるという状況ではなく、実用運航上の限界を示すものである。

M. 59-⑦は階級6で限界に達することになる。

富氏⁽⁹⁾によると半振巾の力度*が約 1.0 m/sec^3 を越えると普通の人は船酔を起こす。用船者はより以上の力度に耐えられるであろうから、エレベーターの力度⁽⁹⁾ 1.8 m/sec^3 まで限界を上げて、船酔からの航行可能限界を推定してみる。いま考えている平均海象の実測平均周期は $6 \sim 9 \text{ sec}$ であるから $\omega = 1.05 \sim 0.7 \text{ 1/sec}$ として力度 1.8 m/sec^3 に対する半振巾の加速度を計算してみると船速 15 kt. では $0.52 \sim 1.33 \text{ m/sec}^2$, 25 kt. では $0.40 \sim 0.71 \text{ m/sec}^2$ となる。これを全振巾に直し、また人間は有義値を感じるものとして $\sqrt{E}$ に換算し、さらに船首部では居住区の2倍の加速度が現われると仮定して、その平均値をとると、船速 15 kt. で $\sqrt{E_G} = 0.49 \text{ g}$, 25 kt. で $\sqrt{E_G} = 0.29 \text{ g}$ となる。この限界値を Fig. 14 に記入してみると、船速 15 kt. では M. 59 は波高 2.9 m , M. 59-⑦ は波高 3.15 m ; 25 kt. になると、M. 59, M. 59-⑦とも波高 1.9 m で限界状態になることが示される。船速 25 kt. の場合には前記のピッチングおよび船首上下加速度の限界波高の約半分の波高で限界状態に達することになり、また風浪階級で表わすと船速 15 kt. の場合は階級5, 25 kt. の場合は階級4で船酔が起こる。

(b) 船体運動の出現頻度

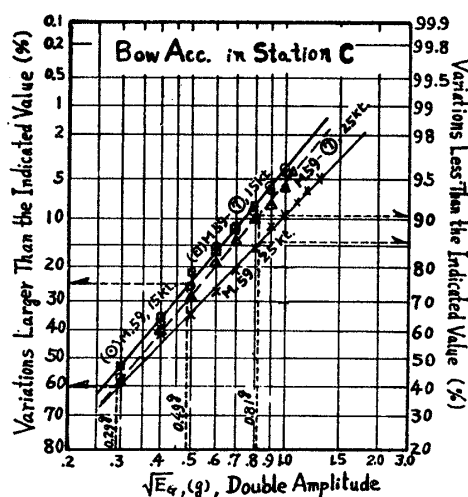


Fig. 15

ある海域における波高の長期分布が Fig. 7 のように与えられていると、Fig. 14 を参照し波高を消去した形で Fig. 15 のとき船体運動の長期分布が得られる。Fig. 15 には Fig. 7 の Station C における正面向い波中の船首上下加速度の長期分布が示されているが、まず Fig. 14 である加速度に対応する波高を読み、次に Fig. 7 からその波高の累積頻度を求めてその加速度に対する累積頻度としたものである。記入してある直線はプロットした点の平均線であるが、予想外に Log-Normal 分布に適合している。本図によると 50% の累積出現頻度を示す加速度は $\sqrt{E_G} \approx 0.35 \text{ g}$ である。一方 Fig. 14 の場合と同様に航行限界を与える $\sqrt{E_G}$ を仮定してみると、高速航行可能な場合が約 90% (M. 59-⑦)～約 85% (M. 59), 高速航行時 (約 25 kt.) に船酔を起こす場合が約 60%, 低速航行時 (約 15 kt.) に船酔を起こす場合が約 25% であることがわかる。

4 結 言

不規則波中船体運動特性の推定法を応用して、平均海象下における船体運動の平均的特性を求める方法を提案したが、計算過程に次の疑問が残されている。

1. 本論で採用した Roll の平均波高特性が平均海象として妥当であるかどうか。この解明のためにはより多くの海象資料 (風速と波高の関係) の収集が望まれる。
2. 不完全発達スペクトルの近似が適当であるかどうか。本論の計算例では P.N.J. 法で与えられる限界周波数 (不完全発達スペクトルが最高になる点の周波数) 近辺に船体周波数応答特性のピークがあるので特に問題になった。
3. 船体周波数応答特性の非線型性を考慮に入れなくてよいかどうか。本論では概略の傾向を求めるのを目的としたため考慮していないが、前論文⁽¹⁰⁾の結果によると本論で得られた結果は有義波高が船長の約 $1/30$ 以下では少なく、約 $1/30$ 以上では大きく算出されていることになる。

一方、以上のように推定精度に若干の疑点はあるが、平均海象下における船体運動特性の推定法を提示しえた。また完全発達ノイマン・スペクトルを使用した推定は平均海象下における船体特性を求めるためには不適当であり、その推定値は大きく算定される傾向にあり、かつ船型間の比較計算にあたっては逆傾向を与える可能性があることがわかった。また平均海象下における波高と船体運動の関係および船体運動の出現頻度が本法の適用によって推定されることを示した。なお本法の応用例としては種々の問題点が考えられるが、船速低下あるいは

* 半振幅の力度 $= a\omega e$; a : 半振幅の加速度, $\omega_e = \omega + \omega^2 V/g$ 出合円周波数; ω : 波の円周波数, V =船速

シー・マージンの算定および波との出会特性を含めた場合の各種特性について引続き研究したいと考えている。

おわりに本研究に関しご支援をいただいた防衛庁技術研究本部の関係各位に厚くお礼申し上げます。特に電子計算機のプログラミング等にご協力いただいた防衛庁第1研究所電子計算機室日暮技官のご協力に対し心から感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) Roll : Dimensions of Seawaves as Functions of Wind Force Based Upon Wave Observations by North Atlantic Weather Ships, English Translation S.N.A.M.E., 1958.
 - (2) 宇野木 : 沖合の波浪 造船協会誌 382 号, 1961.
 - (3) 気象庁波浪階級表 : 気象庁公報, (WMO Code 3700) 昭和 38.1.1. より実施.
 - (4) 気象庁風力階級表 (ビューフォート風力階級表) : 船舶気象観測指針 (WMO Code 1100) 昭和 31.1.1. より実施.
 - (5) Jaspher : Statistical Distribution Patterns of Ocean Waves and Wave Induced Ship Stresses and Motions, with Engineering Applications, Trans. S.N.A.M.E. 1956.
 - (6) 竹沢 : 高速船型における大型球状船首の研究 (その1) 造船協会論文集 110 号 1961.
 - (7) 竹沢 : 同 上 (その2) 造船協会論文集 111 号 1962.
 - (8) Bledsoe, etc : Seakeeping Trials on Three Dutch Destroyers, Trans. S.N.A.M.E. 1960.
 - (9) 富 : 船舶における振動および動揺の許可限界値に関する研究 (第2報) 関西造船協会誌 105 号, 1962.
 - (10) 竹沢 : 船体縦揺れに関する水槽試験と実船試験との比較の1例について 造船協会論文集 107 号, 1960.
-