

南方定点観測船上における波浪の観測

田 宮 真

1. 序

造船研究協会第 17 研究部会においては船舶の波浪中における復元性能の総合研究を行っているが、その一課題として大洋波の観測と、その中での実船の動揺計測を筆者が担当し、1955 年 10 月に南方定点観測船上で実測を行った。記録の解析された結果は将来第 17 部会の総合報告に発表されるが、現在までに整理を終った観測資料について若干の報告をまとめて発表することとする。

2. 観測船“おじか”

観測船おじかは現在海上保安庁の巡視船であるが、昭和 19 年建造の旧海防艦を改装したもので、その主要目は次の通りである。

長 72.57m, 幅 9.10m, 深 5.34m, 満載吃水 2.70m
満載排水量 860 kT, 総屯数 877.97, 主機ジーゼル 2100 IHP×2, 巡航速力 12 kn(2600 IHP)

長幅比 8.0, 方形係数 0.47 というのはなほだ細長い船形であるが、ビルジキールは特別に大形であって動揺に対する抵抗は強い。また水中側面積と水上側面積との比は約 0.8 となっている。

この船は 5 月～10 月の台風シーズンには僚船“あつみ”と交替に南方定点 (N29. E135) で台風観測に従事するのであるが、筆者の乗船したのは、1955 年最後の航海で、約 4 週間の長期にわたるため、出港時には平均吃水 3.05m, 横 GM 109 cm, 排水量も 1,000 kT をこえていた。横揺の固有周期は約 7 sec と推定される。

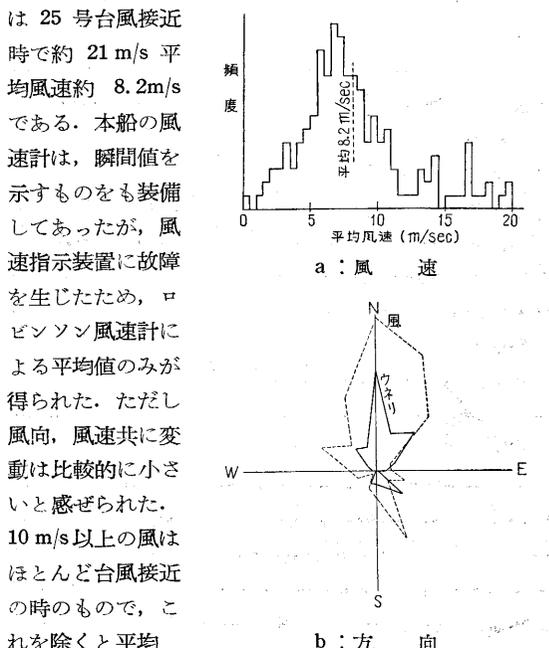
本船は前述の通り細長い船形を有するために、動揺に対する方向性が敏感で、波との出合角度によって縦揺、横揺のいずれかのみを顕著に示し、かつ台風観測の使命より、当然のことながら復元性が十分大きいので、波浪中での復元性、動揺性能の研究には極めて好適であった。

3. 気象

南方定点とは N29, E135 の点を指すのであるが、大体屋久島と同緯度、明石の真南にあたり、東京から 460 哩の距離である。船はこの点を中心とし、半径 50 哩の円内 (定点圏) を漂流し、圏外に脱するようになると中心まで位置修正を行い、再び漂流を続ける。ただし台風等で危険の増大するときは、圏外に退避することもある。

われわれ (筆者と東大船舶工学教室の永島, 和田) は 10 月 1 日東京出港, 途中 23 号台風をよけつつ 10 月 4 日定点到着。以後 10 月 24 日 24 時まで定点圏にあり、東京に 10 月 27 日朝帰着した。

この間 23 号, 25 号, 26 号と相ついで台風に遭遇し、帰航時にも不連続線のため 25 日より 26 日午後までシケをくうなど風波の恩恵は十分に頂戴した。最高気温は最初 27～28 度, 後に 24～25 度となったが、一日中の変化ははなはだ少なく、多くは 1～2 度であった。風向風速は第 1 図 a, b に頻度分布で示した。平均最大風速は 25 号台風接近時で約 21 m/s 平均風速約 8.2 m/s である。本船の風速計は、瞬間値を示すものをも装備してあったが、風速指示装置に故障を生じたため、ロビンソン風速計による平均値のみが得られた。ただし風向、風速共に変動は比較的に小さいと感ぜられた。

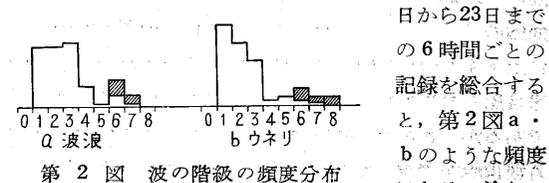


第 1 図 風向風速等の頻度分布

湿度は十分の記録がないが、予想外に低く、台風の時を除けばはなはだ快適な気候であった。

4. 海象一般

目視による海況の記録をログブックから借用する。これには波浪階級と、ウネリの階級とが記されてある。4



第 2 図 波の階級の頻度分布

日から 23 日までの 6 時間ごとの記録を総合すると、第 2 図 a・b のような頻度になる。塗りつぶした部分は台風 25 号に接近した 9, 10 日の分である。波浪の方向は風と一致しているのでこれを省き、ウネリの方向は第 1 図 b の通りの分布を示す。両者ははなはだよく似ており、風浪がウネリに生長して行ったあとがう

かがわれる。おそらく陸岸付近ではこのような類似性は求められないであろう。

観測期間中のこの地点の波は、ほとんど風浪、ウネリ各1系ずつ2系の波の合成と考えられ、比較的その構成は簡単であった。1955年1月末における三陸沖での観測では3系統の波が混在するが多かったのと比べ、観測もしたがってかなり楽であった。波浪階級4以下では個々の波ははなはだ不規則で多数の週期の波が入り混っていたが、シケてくるとかなり規則だった様相を呈し、波長、波高の目測もかえって多少楽になった。また数個の大波がきてしばらく波が小さくなるいわゆる群波の構成もときどきはっきりと認められることがあった、波頂線もかなり長く連続したものを認めることができた。最大平均風速が25 m/s をこすことはなかったので、波頭がちぎられる有様はみられなかったが、かなりの縞模様は波頂から尾をひき、あちこちで波頭が真白く砕けちるのは壯観であった。

5. 波長、周期

以下波の性状の数量的な計測結果の若干を述べる。今回の計測は種々の事情で多分に予備試験的な意義を持ち、その上準備に時間不足のため、計測装置はできるだけ簡単なものとせざるを得なかった。海上における波浪の観測は、基本となる船自身の運動が丁度波の高さと同じ程度になるため古くから要望されながらもはなはだ困難で、従来のほとんどすべての資料が、単なる目測に出ている。

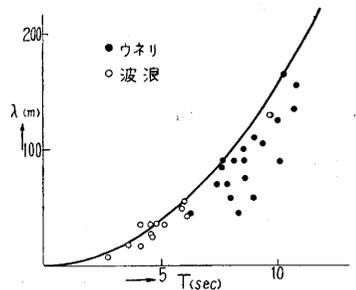
ごく最近に到って船自体の運動を独立に計測し、これに相対的な波の運動を記録することが英国で行われ、また空中写真による方法も実施せられているときが、わが国では双眼写真撮影が先年行われたのみである。今回の観測にあたっては、これ等の方法は採用せず、以下各項にのべる如き原始的ではあるが、比較的实施容易かつ確実と思われる計測方法をとった。ただし船が機関を停止して漂流中に観測を実施することができるという利点を利用した。

まず周期、波長については全長200m位のロープを用意し、これに45cm×45cm角の板浮子6枚を30m間隔に一端より取付け船尾より海上に放流し、これを水平面内のスケールとして利用すると共に、板浮子が波と共に上下するのを目標として秒時計で周期を計測した。従来自船の長さ等をスケールとすることは行われたところであるが、船が波と共に上下するため、船の付近では案外波頂線が確認できず、かつ任意の小波長に対し、船長が過大にすぎることが多い。上述の簡単な考案は波長30~150mの波に対してかなりはっきりと波長のスケールをあてるばかりでなく、一つの波頂が浮子間を走る時間を測ることで波速をすることもでき、かつ浮子間隔を適当にえらべば波形をも記録し得る可能性がある。もっ

とも今回は波長に対し間隔が大きすぎ、かつ板浮子の大きさ、形状、材質が若干不適當であったため、波形記録には適さなかった。船は主として風によって1kn内外の速さで真横に流れてゆくが、船上から投入された小物体はすべて船より漂流速度が小さく、風上に取残される。

上述のロープもほぼ船と直角に海上に一直線にのびる。風浪は風上から進んでくるので、風浪の観測には極めて好適であるが、ウネリは一般に任意の方向に進行しており、観測にあたってはロープと進行方向とのなす角度を記録しておかねばならない。またこのような目測にあたって風浪とウネリとを判別して波長、周期等を計測するのにかなり困難を伴うのはやむをえない。

ただし周期は写真撮影等で連続記録を行っておけば、あとで解析して見出すことができる。



第3図 波長と周期

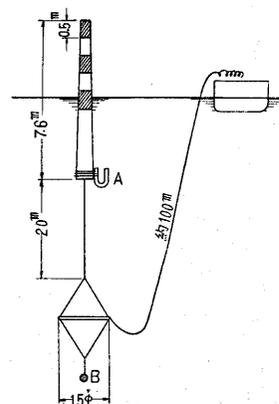
第3図は観測した平均周期 T と平均波長 λ との関係を示す。

図中の曲線は理論式 $\lambda = gT^2/2\pi$ (g :重力加速度) をあらわすもので、比較よく観測値と一致しているが、やはり周期から算定すると観測波長より大きい値を得る傾向がある。

周期については後にまたふれる。

6. 波高

波の計測で最も困難なのは波高(波底から波頂までの高さ)である。波高計としては、古く Froude の考案した Froude 式波高計を使用した。これは細長いポールを主体とし、これに吃水調節用の浮子と、直立させかつ上下動を極小にするための抵抗体を付したものである。最初用意したのはポールの全長15m、外径60mm、抵抗体重錘を含めた全水中重量約116kgのものであったが、



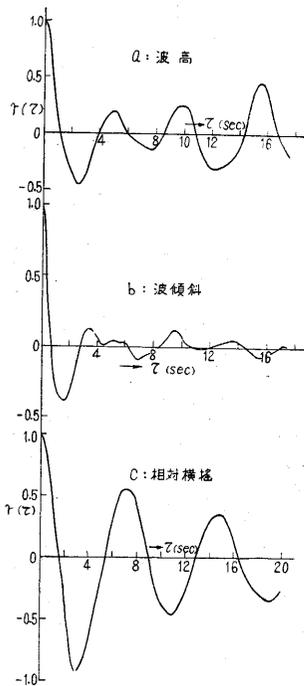
第4図 応急波高計

強度不足がわざわざして使用できなかった。そこで船上にあった長さ約7.6mの竹竿を利用して応急波高計を製作使用したが、結果は一応満足すべきものと思われる。第4図に示す通り根本の径約6.3cm、先端で約2.5cm、の竹竿を上端より50cmおきに黑白に塗りわけてスケールとし、重錘(A=5.3kg, B=3.1

kg)と、直径 15 吋キャンパス製海錨とを 8mm ロープでつけ、これを約 100m のロープで船から放流する。これで先端約 2m 余が空中に出るので、最高 4m 程度までの波高が計測できるわけであるが、実用した期間の最大波高は約 2.5~3m の範囲にあったので、先端が水中に没することはなかった。海錨の深度が小さいためか、かなりの長週期で上下動をしているようであるが、2分程度はほぼ一定の平衡位置に静止していることが、解析した 2 例では明らかになった。動揺する船上で操作するには、この程度の簡単なものを設計製作して、場合によっては流失を意に介せず使用するのが得策と思ふ。ただし長さは今少し長いものがのぞましく、またスケールはさらに明視できるよう工夫するとよい。

波高の記録は 16mm シネフィルムの撮影によった。送りは約 8 コマ毎秒とした。大きい波を目標とすれば毎秒 1 コマでも十分であるが、撮影機の都合でこれ以上の緩速度は得られなかった。

この方法では恐らく風速 15m/s 以上、波高 5m 以上ではポールが直立せず、かつ撮影もはなはだ困難となり実用できないと思われるので、別法を考えねばならない。



第 5 図 コレログラム
上の解析には到っていない。

7. 波 傾 斜

船体動揺を考える場合は直接には波の傾斜に比例する外力のモーメントが重要であるが、従来これを実測した例をきかない。筆者は大型の浮子を使用して波傾斜を実測することを試みた。浮子としては最初鋼板製、木製等

を考えたが、当所安藤助教授の意見により、三菱電機製のドーナツ型ゴム筏(外径 3m)に高さ 2m のアルミ製マストを立てて使用し、好結果を得た。全備重量約 30 kg で 2 人で楽に持運びができ、尖った箇所破れることさえ注意すれば、筏自体にも周囲のものにも危険がなく、はなはだ便利であった。波傾斜に対する追従性も十分であったが、外径の数倍程度の波長の波にも反応するので、むしろでき得れば外径をさらに大きくして、実用上重要な長さ以下の波傾斜はフィルターできる方がよいとも思われた。しかしこの種のものでは外径をそう大きくすることは困難であろう。また風速がおそらく 15 m/s をこえると軽量なため風に吹きとばされる危険がある。根本的の難点は船からロープで放流するときは、これを波の進行方向と直角の方向から見るのが常に可能とは言えないことである。波傾斜は筏のマストと水平線とのなす角度を、シネフィルム上で測って求めるのであるが、仮に一方方向にのみ波が進んでいても、もし撮影点と筏とをむすぶ直線と、この波の進行方向とが平行であれば傾斜は全然画面にあらわれない。船の上は狭いのでたとえ撮影場所をかえても、その移動範囲は限られていてこの困難をさけるには十分でない。なおマストの傾斜を正しく定めるには、当然 2 方向からの同時撮影を必要とするが、これも実施はかなり厄介である。その上一般には波は 2 系以上が併存するので、すべてに好適な条件下での撮影記録ははなはだ困難である。これを克服するためには、船とゴム筏とをきりはなし、船を移動して適当な方向からマストと水平線とを画面におさめればよいが、今回はそれは不可能であった。しかしウネリまたは風浪の一方がごく微弱である場合には、波の進行方向とレンズの光軸の方向とのなす角度がわかれば少なくとも画面に平行な平面内での大略の傾向はわかる。また 2 系併存してその進行方向がほぼ一致しているときは、両者を分離せずの一つの波と考えて取扱っても実際には差支えない。今回の実測資料を通覧すると結局 4% はこれ等の意味で解析に使用できることがわかった。実験番号 16 の場合を第 5 図 b に示す。光軸の方向と波の進行方向とは約 130° の角度をなす。図は画面上の傾斜をそのままとって計算したもので、もし実際の傾斜角を求めるならば $\cos 50^\circ$ で除してやればほぼ近いものが得られるであろう。この修正を施さずに、平均傾斜角は風上側に、約 1.9 deg 平均のまわりの分散は 11.7 deg² となっている。マスト取付角の誤差を無視すると、この平均傾斜が風上側に出ることは一寸意外であるが、他の 1 例もほぼ同様で、おそらく、時間的に波の風上側の上っている期間が大きいと思われる。波傾斜のコレログラムと波高のそれとはかなり異なっている。波が規則正しい周期波であればこのようなことはないが、実際の波の不規則性と、外力に対する応答性能が傾斜計と波高計とで異なる

ことが図の結果を生じたものであろう。もちろん傾斜においては短くても急峻な波の成分が、長大偏平なものより大きくあらわれてくるので、波高記録にみられる長周期における山の高さの増大はみられず、相関係数ははなはだ小さくなっている。

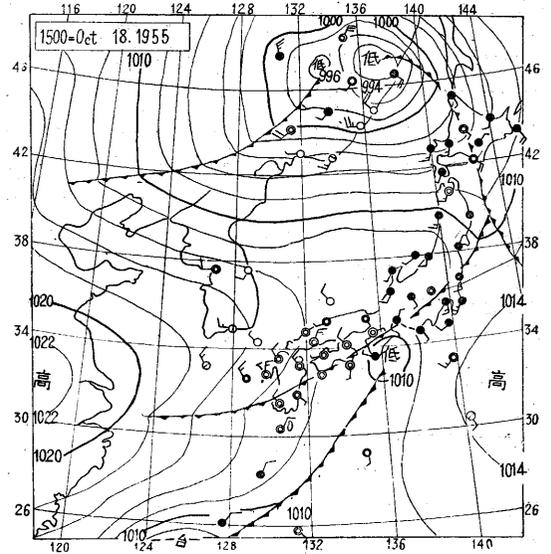
8. 船体動揺

船体動揺は、スペリー人工水平儀1台と、振子式動揺計2台によって、絶対動揺、相対動揺をそれぞれ自記せしめた。計測を行った期間中の最大値は横揺で片舷約24 deg (絶対) 19 deg (相対) であった。このとき舷は波頂線にはほぼ平行のまま漂流している。平均の動揺角は最大動揺角の大略程度である。横揺について絶対動揺と相対動揺とを平均全振幅で比較すると大角度(約20 deg 以上)では相対動揺角の方が大きく出ているが、他は大差がない。計測装置の性能(誤差を含めて)の差がはっきりしないと、このことを説明することはできない。位相差から説明をつけようとする、結果は逆になるように思われる。

縦揺の記録については、スペリーの方は明らかに過大に出ていて、そのままでは信用できない。振子式による記録は台風25号を退避航海中の分を除き、最大全振幅でも3度をこえることはなく、平均全振幅では1度以下が計測値の半分以上である。船形と、漂流という条件からこの結果を生じたもので、横揺との相互干渉はしたがってごく小さいと考えられる。航行を始めると必ず波に対して斜行する形となるので相当の縦揺を生じ、ときどき激しい船首底への衝撃を伴った。この最も強かったのは25日帰航の途上で、大島に向けてNE 30°位で半速前進中、波をほとんど真正面にうけ、連続衝撃をうけて微速でも危険を感じたので、針路を約20°Nに変えると、半速に復してもほとんど衝撃もなく、縦揺も大幅に緩和された。

第5図cに実験番号16の相対横揺角のコログラムを示す。このとき平均傾斜角は5.2 deg 平均のまわりの分散は2.1 deg²である。これはa, bに比べてはなはだとのつた形をしていて、約7.5 secの卓越した週期の成分をもっている。この周期は本船の固有横揺周期に極めて近い。今のところこの1例しか計算が終っていないのでなんらの結論を導くことは困難であるが、a, b, cをあわせ眺めるとウネリが微弱ながらかなり規則正しい外力として作用しているのではないかと推察される。

大洋波の波高分布については、Neumann のスペクトル分布の式が発表されているが、比較的近傍を台風が移動するような場合にも、発達過程に応じてこれがそのまま適用できるか否かは実測にまたねばならない。今回の計測はいろいろ不十分な点も多いが、この方面への研究の一助とはなるものと信じている。実際の波浪解析は主として東大地球物理教室において行われる予定である



第6図 実験番号16の時の天気図

が、筆者の手許でも若干の例をとってペリオドグラム解析まで行い、不規則動揺研究の手掛りとするつもりである。

第6図として参考までに実験番号16の時刻の天気図を掲げた。これは中央気象台のご好意により一括譲与されたものの一つである。

9. 結 び

われわれの望むところは、船上よりもっと簡単、確実に波の様相を定量的に記録する装置を考案し、海上における実船性能向上の基となすことにあるが、今回台風観測船を足場としてもかく定量的計測の一步を踏み出し得たことを感謝する。これを捨石として、次の機会に備え早急に装置の改良、新考案を行いたいと考えている。たとえば一番ほしいのは風速20~25 m/sにおける波の様相であるが、今回の方法そのままではこのような状態の計測はほとんど不可能である。これには全然別の方法を考える必要があろうし、また今の方法でもせめて風速20 m/s近くまではさらに確実に観測を行いたいと考える。

終りにあたって“おじか”乗組の各位ならびに中央気象台海上気象課第二観測班の各位に厚く御礼申上げる。

(1956.1.5)

表 紙 説 明

外径3m、ドーナツ状のゴムボートを、船首楼甲板より卸して浮遊させたところ。ドーナツの底にはゴム布の船底があり、ドーナツの切口は直径約40cm、上面に十字梁をわたし、これに高2mの柱が立ててある。船首から揚卸するのは、この辺りでは船体横断面が、上方に朝顔形になっていて、船側とボートとの接触の危険が少ないからである。