

長大栈橋を利用した容量型波高計群による 波浪観測について

土屋 義人*・山口 正隆**・芹 沢 重厚***

1. 緒 言

最近沿岸海洋の高度利用に伴って、各種の波浪観測が実施されてきたが、浅海における波浪の変形などの観測には、海岸から沖方向に設置された栈橋がきわめて有効であることは、すでに岩垣¹⁾によって強調されているところである。防災研究所附属大湊波浪観測所では、帝国石油 K.K. の第1人工島長大栈橋を利用して、1965 年より浅海における波浪観測を階段抵抗式波高計によって実施してかなりの成果をあげてきたが、栈橋の鋼管杭に取付けた波高桿への波のうちあげなどが問題となって、詳細な波の変形特性の究明には少なからず支障をきたしてきた。このために、今回これらの問題点を解消して、浅海における波の変形、特に方向スペクトル、屈折による波の分散、碎波後の波の変形、海底摩擦および平均海面の変動などを究明するために、若干の集中観測を実施したので、ここではその方法と得られた興味ある二、三の結果について報告する。

2. 容量型波高計群と観測方法

(1) 容量型波高計

被覆電線と海水との間の電気容量が水面の変動によって変化することを利用したこの種の波高計は最近ではかなり普及してきたが²⁾、これは次のような長所に依存するものと思われる。電気容量の変化を搬送電圧の変化とし、これを検波後増幅して記録させるので、出力に対する直線性がきわめてよく、記録後の校正を必要としない。また、抵抗線式波高計のように、水質による影響をほとんどうけず、被覆電線の太さの影響は實際上皆無であるので、たとえば超音波式波高計のような波形のひずみも生じない。そのうえ、増幅器の一部の回路の交換によって、数十センチメートルから数十メートル程度まで約 0.1% の精度で測定することができ、また搬送波に高周波を用いるために、100Hz $\pm$ 1db 程度の高周波領域まで測定可能である。センサーとしては被覆が一様であればそれぞれの用途によって適宜選択することができる。一方、これらの長所に対して、唯一の短所は長時間の使

用による水あかの付着の影響と漂流物に対するセンサーの保護の問題である。

この観測では、以上の諸点を考慮して次の仕様による容量型波高計を用いた。まず、センサーとしての被覆線は、1mm ϕ または 2mm ϕ のポリウレタン被覆銅線を用いて、現場で自由に交換できるようにし、また測定最大波高は 4m (若干短かったと思われる) と、増幅回路は市販のものを前述した配慮のもとに若干改良して製作した。

(2) 波高計の配置

第1人工島栈橋は海面より約10~20mの高さにあるので、容量型波高計を次の方法によって取付けた。栈橋のデッキに小型の手動ウィンチを取付け、これに約 100kg の鋼柱をおもりとして 4mm ϕ のワイヤーロープで結び、これに 25mm ϕ の鋼管をアース兼用の支持材として製作した波高計センサーを緊結し、同軸ケーブルによって増幅器に連結した。このような波高計を 図-1 に示すように、合計 9 台を次の目的のために配置した。その1つは、栈橋に沿う波浪の変形の観測のためであり、波高計間の間隔は約 36m とした。これによって碎波後の波浪の変形と各点での波向の観測も可能となり、浅海における波浪の屈折分散の特性も実測できるし、また長時間の連続記録を解析すれば、サーフビートなどの諸現象の究明にも役立てることができる。いま1つは、浅海における波浪の方向スペクトルの究明のためであって、栈橋先端の事情により必ずしも適切な配置ではないが、3 また

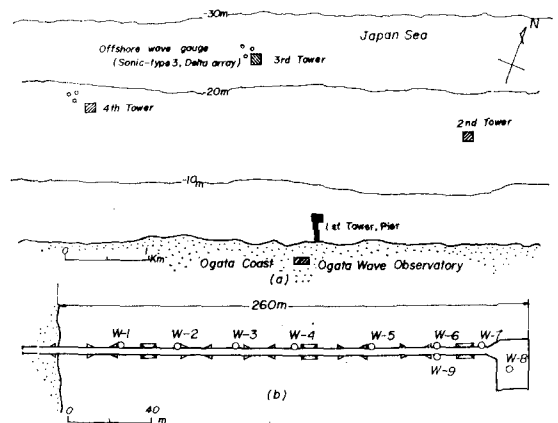


図-1 波高計の配置

* 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所
 ** 正会員 工修 京都大学助手 防災研究所
 *** 正会員 工修 京都大学技官 防災研究所

は4台の波高計群による同時観測結果から、方向スペクトルが算出できるようにした。

(3) 観測方法

この観測は1971年10月より試みられ、1972年1月および1973年1月および3月とすでに4回実施されてきたが、そのうちの1月に行なわれた観測⁹⁾は舞鶴海洋気象台との協同観測の一部として実施されたものである。したがって、ほとんどの場合、当波浪観測所の外洋波浪観測装置(水深約20m, 階段抵抗式波高計1台, 超音波型波高計3台によるデルタアレイを構成)を併用し、漂砂・沿岸流・海浜変形などの観測も同時に行なわれた。

波浪の観測はデーターレコーダーに8点同時記録し、また9点を同時にペンがきレコーダーに記録させることにして、原則として偶数時20min間の観測としたが、波浪条件によっては適宜連続観測を行なった。また、来襲波浪が碎波した場合には、その波浪記録にマークし、おおよその碎波点を記入することにし、さらに水深約7m付近の棧橋先端における波向をトランシットによってほぼ定時に観測した。

3. 浅海における波浪特性に関する観測結果

前述した方法によって観測された波浪記録を解析して得られた二、三の興味ある結果について述べる。

(1) 浅海における波浪の変形

図-2には波浪記録をゼロアップクロス法によって読取り、有義波高の棧橋に沿う変化の一例を示す。図中には水深変化も記入してあるが、離岸距離50m付近では海底勾配が約1/30、それより約250m付近までは約1/130ときわめて緩やかである。この図から明かなように、波高が小さな場合にはほぼ一様に減衰しているが、波高が大きくなると減少してから増大したのち再び減衰する傾向

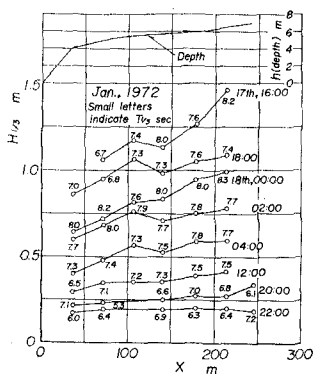


図-2 有義波高の変化

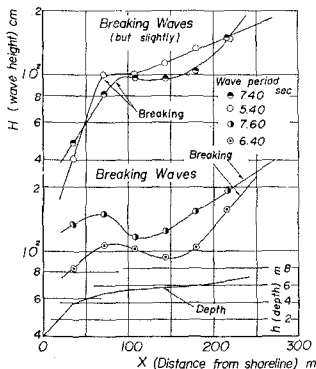


図-3 うねりの碎波後の波高変化

を示す。このことは図-3に示すように、うねりの各波浪についての波高変化においてさらに明確にされる。この図には、主として碎波後の波高変化が示されており、碎波してからの波高の減少はきわめて著しいが、離岸距離約100m付近において波高はむしろ増大し、再び碎波して急速に減衰することが見出される。この過程には浅海における波の非線型性の卓越による波形変化が重要となるようであり、いわゆるソリトンの発生を示唆する場合もみられた。

波向によっては棧橋そのものの影響をうけるけれども、棧橋方向よりわずかに波向が片寄っている場合には、図-2に示した観測結果を用いて、波浪による海底摩擦係数をかなりの精度で推定することができる。すなわち、水深がほぼ一定な範囲を対象とすることにすれば、周知の Bretschneider および Reid の式を用いて海底摩擦係数 f を容易に推定することができる。たとえば、図-2に示した結果のうち波高がほぼ直線的に減少している波高が小さい場合には、 $f=0.02\sim0.03$ 程度となるが、図-3に示すような波高減衰を生ずる比較的波高の大きな場合や碎波後の波高変化に対しては、 $f=0.1$ 程度にも及ぶことがわかっている。したがって、このような波高減衰の観測結果から海底摩擦係数を推定する場合には、少なくとも波形勾配などをパラメーターとして碎波の影響を導入することが必要であろうと思われる。

図-4は波浪のエネルギースペクトルの棧橋に沿う変化を示す一例である。これは資料数1,000個($\Delta t=0.625$ sec, $m=50$, $f=40$)で Blackman-Tukey 法によって得られたものであるが、水深6.6mより4.0mに至るに従って、非線型干渉によるエネルギーの高周波側への移行と海底摩擦や碎波による減少が確認される。また、このような浅海における波浪においても、高周波側では $E_f \sim f^{-5}$

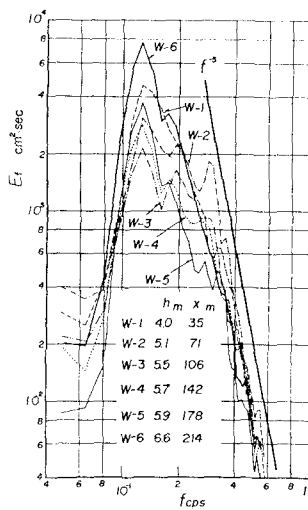
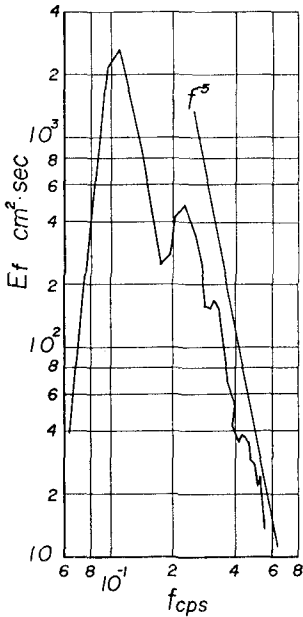
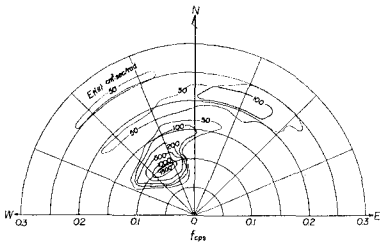


図-4 波浪のエネルギースペクトルの変化



図—5 方向スペクトルを算出した波浪のエネルギースペクトル ($h=6.6\text{m}$ の場合)



図—6 方向スペクトルの一例

則が成立しているようである。

(2) 波向および方向スペクトル

図—5は波浪のエネルギースペクトルであり、ピーク周波数の約2倍のところにも第2のピークをもつものがあるが、このとき方向スペクトルを図—6に示す。この方向スペクトルはいわゆる best fit の方法によって、橋橋先端における4台の波高計の同時記録から算出したものの一例であるが、これから図—5にみられる2つのエネルギースペクトルのピークは、波浪の非線型性によるものではなく、2方向からの波浪の重じゅうに起因していることがわかる。大湊海岸では、しばしばこのような場合が出現するので、波浪の非線型性を検討する場合には、方向スペクトルの算出を行なって各成分波の合成過程を明らかにしておくことが大切であろう。

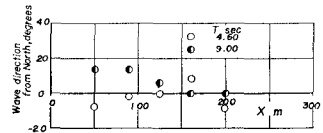
一方、図—7には波高計間の波浪記録の位相差から波向を推定し、その波向の橋橋に沿う変化として示したものの一例であって、ここでは比較のために図—6の波浪について図示してある。波向はN方向より左回りを正と

して示し、約100波のうち大きい波10波の波向の平均として微小振幅波理論に基づいて推定してあるが、図—6にみられる主方向と橋橋先端付近においてはほとんど一致しており、また汀線に近づくにしたがって、次第に屈折する傾向がある程度見出すことができる。したがって、各測点について各成分波の波向を算出するか、あるいは3台または4台の波高計群の同時記録から方向スペクトルを推定すれば、屈折による波浪の分散特性とそれに及ぼす非線型性や沿岸流などの影響を調べることもできるであろう。

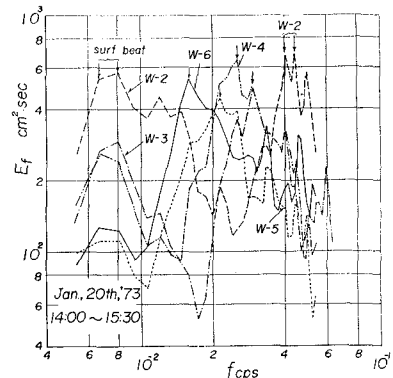
(3) 平均海面の変動

前述したように、橋橋で数台の容量型波高計による長時間の波浪観測を行なうと、ゼロ点の移動など電氣的な支障がほとんどないので、それらの記録を適切に解析すれば、平均海面の変動特性を見出すことができる。図—8は橋橋に沿う6台の波高計の長時間の同時記録を cut off frequency 0.051 cps (波浪のエネルギースペクトルのピーク周波数の2.5倍) の low pass filter を使用し、資料数1000個 ($\Delta t=5\text{sec}$, $m=75$, $f=26$) で Blackman-Tukey の方法によってスペクトル解析した結果の一例である。図中 $(6\sim 8)10^{-3}\text{ cps}$ 付近にみられるスペクトルのピークは各測点においていずれも存在しており、これは surf beat と思われるが、 $(1.5\sim 5)10^{-3}\text{ cps}$ 付近に見られるピークは各測点によって周波数が相違し、汀線から離れるにしたがって低周波側に移っている。

図—9は surf beat と考えられる前述した周波数に対応したエネルギースペクトルの値の沖方向変化を示したものである。この周波数の範囲についての積分値で図示すべきであるが、便宜的にスペクトルの値そのもので表



図—7 橋橋に沿う波向の変化の一例



図—8 平均海面の変動のエネルギースペクトルの変化の一例

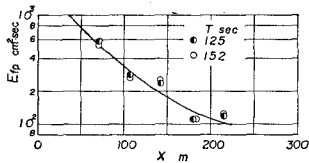


図-9 Surf beatの沖方向の変化

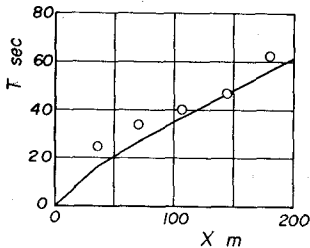


図-10 ピーク周波数の沖方向の変化

わしてあるにもかかわらず、沖方向へかなり著しく減少していることが見出されるであろう。図-10にはさらに高周波側に存在する各測点ごとのピーク周波数の沖方向変化を示したものであって、これからその周波数が離岸距離に密接に関係し、図中に示す長波の波速で反射した場合の関係にきわめて近いことがわかる。すなわち、前述したように、この海岸は汀線付近では約 1/30 程度の勾配をもつので、波浪の周期によっては反射を無視することができず、特に、 10^{-2} cps 程度の長波性の海面変動に対しては当然のことといわねばならない。言い換えれば、波浪を含む海面変動にはかなり広周波数の水位変動が重じゅうされているが、そのなかで波高計の位置で定められる離岸距離を往復する水位変動の周期に対応した波が測定上卓越することになるのである。したがって、一般に海岸の 1 点における水位変動の観測結果から、surf beat などの比較的長周期の波動現象の特性を究明する場合には、以上のような測定上現われる卓越した水位変動を包含する可能性があるので注意すべきであろう。

4. 結 語

以上、長大棧橋に容量型波高計群を設置して波浪の同時観測を実施した結果の概要について述べた。観測結果を解析して得られた成果のうち、これまであまり報告されていなかった興味ある若干の結果を示すことができた。特に、浅海における波浪の変形に関しては、砕波後の波高変化や海底摩擦係数の推定などの再検討ができるに値する多くの観測記録を得ている。また、これらの波浪観測の経験から、容量型波高計群を用いた長大棧橋の利用は、この種の観測法としてきわめて有効であると考えられるので、今後さらに改良を加えて、波浪観測の推進に努めたいと考えている。

この観測方法の計画および実施には、主として著者らがあたったが、海洋气象台との協同観測をはじめとして大渦波浪観測所での集中観測に多大の協力をされた波浪観測グループの諸兄、特に白井亨助手、中村重久助手、芝野照夫助手をはじめ海岸災害部門関係の諸君に厚く謝意を表明する次第である。また、観測結果の考察において適切なご教示をいただいた工学部岩垣雄一教授に深謝するとともに、この研究が文部省科学研究費による研究成果の一部であることを付記する。

参 考 文 献

- 1) 岩垣雄一：長大棧橋による沿岸海況の観測，沿岸海洋研究ノート，第5巻，第1号，1966，pp. 41~45.
- 2) 川上善久・広本文泰・阿部淑輝・須藤 茂：名古屋港における波浪観測—容量型波高計の現地への適用—，港湾技研資料，No. 32，1967，pp. 57~80.
- 3) 土屋義人（波浪観測グループ代表）：日本海沿岸における冬期波浪の協同観測，京大防災研年報，第15号，1973，pp. 29~39.

訂正： 図-7 に間違いがあり、 $T=9$ sec で $x=160$ m および 200 m のものの波向は約 33° である。