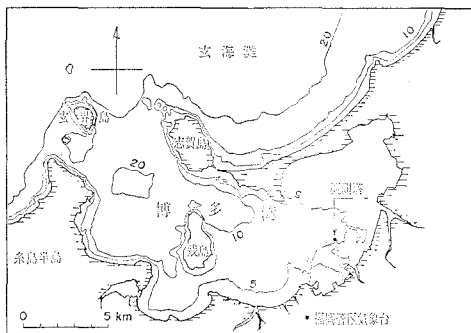


# 博多湾の風と波

—低風速時の一例—

光 易 恒\*

図-1 博多湾略図



## 1. 緒 言

博多湾のほぼ中央部にある観測塔を利用して、博多湾の風および波に関する一連の観測が、運輸省第四港湾建設局博多港工事事務所との共同のもとに進められている。

この報告は、昭和 42 年秋に行なわれた予備観測の資料の一部を解析して、比較的低風速時の海面上の風の構造ならびに湾内の波に関して得られた結果について 2, 3 の考察を行なったものである。

この湾内における観測塔を利用した風および波の観測の目的としては、大別するとつぎの二つのものがあげられる。一つは、博多湾内、特に博多港の港湾構造物の設計などのために必要な自然条件に関する基礎資料を得ること、もう一つは、比較的地形の単純な湾内を一つの実験場とみなして、ここで精密な測定を系統的に行なうことにより室内実験の結果を外洋における現象に結びつける際の橋渡しをなすような基礎資料を得ることである。たとえば、湾内の波に関連した現象についてみると、狭い湾口を通過して侵入する外海の波は湾内に分散し、湾内で発生した風波と重なって共存系を形成することになり、両者の相互干渉なども考えられる。このような波の現象より、波高、周期、波向、波の統計的性質、波の力学的構造など設計波としての波の特性を求めることが観測目的の実用的な側面であり、規則的な条件のもとに発生した湾内風波の微細構造や侵入波と湾内発生波との非線型干渉などに関するくわしい資料を得ることが観測目的の基礎的な側面である。湾内の風についてみると、港湾構造物や船舶などに対する風の作用を推定することや、風速と湾内に発生した風波との関係を求め、風波の推算公式の精度を向上することなどが実用的な側面であり、吹送流や高潮を発生させる外力としての海面に作用する風のせん断力の推定、あるいは波と風の相互作用の機構などを調べることなどが風の観測の基礎的な側面である。

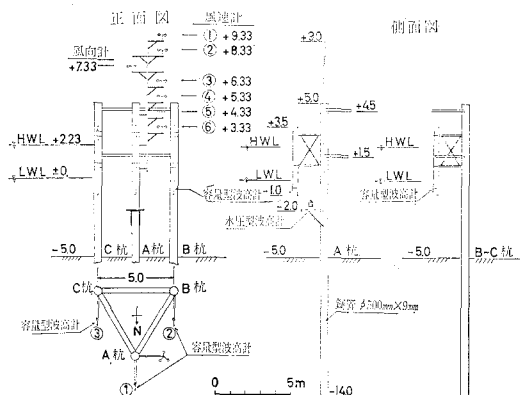
## 2. 観測地点、施設および観測方法

博多湾は図-1 に示されたように、玄海灘に面した入り海が陸地と志賀島を結ぶ東西にのびた海の中道(砂洲)

で外海とわかたれた湾で、東西約 17 km、南北約 5 km の広さを有している。湾口には玄界島があって口を狭くしており、湾内には残島があって、湾はほぼ二分されたような形になっている。残島より西の湾の入口に近い部分の水深は 15~20 m とかなり深い、残島より東側の湾奥の部分の水深は 3~7 m 程度である。

観測塔は図-1 に示されたように、奥側の湾のほぼ中央部にあつて、博多港の東防波堤の北端より約 150 m 北北東に位置している。観測塔の構造は図-2 に示されたように、三本の鋼管(φ500 mm)を 5 m の間隔で海底に打ち込み、一つの頂点が北に向くような正三角形のやぐらに組立てたもので、この地点の水深は -5 m である。この塔には、風の場をできるだけ乱さないようにするため、上部構造物はもうけられておらず、したがって、各計測器の検出部のとりつけのためにのみ使用される。観測塔の 3 本の各鋼管には波に対する鋼管の影響ができ

図-2 博多湾海象気象観測塔 (単位 m)



\* 正会員 理博 九州大学助教授 応用力学研究所

るだけおよばないように補助支柱を介して3組(①, ②, ③)の容量型波高計(電子工業製)の電極が一辺5mの正三角形を形成するようにとりつけてある。

北側の鋼管(A杭)には図-2に示されたように、基準面下-2mのところに、ケーブル式の水圧型波高計が、また、補助支柱を利用して5個の三杯型ロビンソン風速計と1個の風向計(回転角をポテンシオメーターで検出する形式のもの)が、それぞれとりつけられている。基準面上の風速計の高さは、上から、①9.33m, ②8.33m, ③6.33m, ④5.33m, ⑤4.33mで、場合により、高さ3.33mのところに補助的に⑥の風速計をとりつけた。風向計の高さは基準面上7.33mである。風および波の記録はすべて防波堤上の北端にある観測室において行なわれ、観測室と塔との間は3組の海底ケーブルで結ばれている。

現在のところ、常時の自動観測においては、水圧式波高計の指令時計で2時間ごとに10分間だけ水圧式波高計の記録をとり、この同じ時刻にもしも風速が一定値(たとえば10m/sec)以上であれば、3本の容量型波高計ならびに風速計および風向計の回路を全部作動させてペンオッシュログラフに記録をとるという方法が採用されている。このために、風速が一定値に達すると、測定系が作動して記録を自動的に始めるようにするための発電型風速計を含む制御回路が使用されている。

### 3. 風に関する観測結果

今回とりまとめた観測資料は、風、波ともに昭和42年9月21日と同年10月4日に得られたものである。9月21日は秋晴れのよい天候、10月4日は少し曇り気味ではあるが、いずれも穏やかな秋の天候であった。

#### (1) 風速の全般的変化

風の観測は両日とも朝10時より16時にかけて行なわれ、この間の風速(9分間平均)の変化は図-3(a), (b)に示されたとおりで、両日とも類似した時間的変化を示している。すなわち、朝10時頃には風速1~2m/secの微風が吹いているが、時間とともに風速は増大して、15時頃にそれぞれ最大値約8m/secおよび10m/secに達し、その後は減少の傾向を示している。これらの図には福岡管区気象台で測定された風速(風速計の高さ24.4m)の1時間おきの値も示されているが、ほとんど同一の変化を示しており、微風時を除き、両者の一致はかなり良好である。風速の測定時間中、断片的に測定された\*風向は、北を0度として、時計回りの角度で-30°~+10°の範囲にあった。気象台で測定された風向は各時刻の風速値の点の所に16方位の値で示されている。これらより、両日とも観測の時間中の風向はNNW~NNEの範囲でほとんどN方向より吹いていたことがわかる。

図-3(a) 風速の時間的変化(1)

(昭和42年9月21日)

—測定値, .....福岡管区気象台における値  
( )内の値は同気象台における風向  
・印は風速分布を图示した時刻の風速に対応

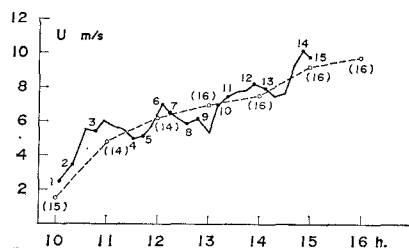
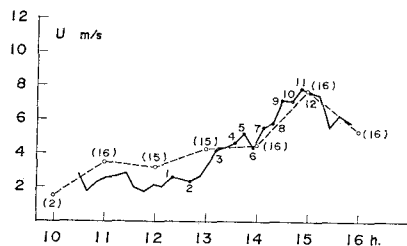


図-3(b) 風速の時間的変化(2)

(昭和42年10月4日)

記号 図-3(a)に同じ



#### (2) 風速の鉛直分布

図-4(a), (b)にはそれぞれ適当に抽出された時刻における風速の鉛直分布がまとめて示されている。なお、

図-4(a) 風速の鉛直分布(1)

(昭和42年9月21日)

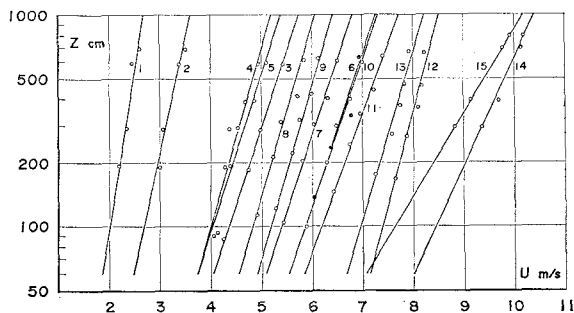
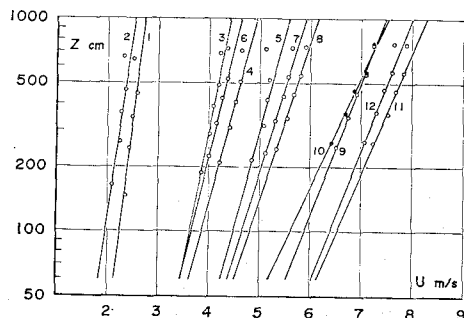


図-4(b) 風速の鉛直分布(2)

(昭和42年10月4日)



\* ペンオッシュログラフのチャンネル数に制限されて、風向の記録は No. 2 の風速記録を一時中断して行なった。

風速計の高さは水位を観測塔の近くで実測して、各時刻の平均水面上の高さに換算してある。また、図—4 (a), (b) の各鉛直分布につけてある通し番号はそれぞれの図—3 (a), (b) 風速の時間的变化図につけてある番号に対応している。

図—4 (a), (b) に示されたように、風速の鉛直分布は海面近く水面上 5 m 付近までほぼ対数分布していることがわかる。

そこで、風速分布を次式

$$U(z) = \frac{2.303}{\kappa} U_* \log \frac{z}{z_0} \dots\dots\dots (1)$$

$\kappa$  : Karman の定数 ( $\approx 0.4$ ),  $U_*$  : 摩擦速度,  
 $z_0$  : 海面の粗度定数

にしたがうものとして、実測の分布より決定した  $U_*$  および  $z_0$  の値は、一括して表—1 に示されている。また、表—1 には式 (1) を利用して外挿して求めた  $z=10$  m における風速  $U_{10}$  および  $U_{10}^2$  に対応する後述する海面の抵抗係数  $r_{10}^2$  も合わせて示されている。

ただし、つぎのような点は注意しなければならないであろう。図—4 (a), (b) の風速分布を注意深くみると、全般的にわずかではあるが、風速分布は対数分布よりはずれて少し上に弯曲している傾向がある。このような分布は、大気が不安定な場合にみられるものであるが、観測の時間中に測定された気温と表面水温との差は 9 月 21 日に  $\Delta T \approx -2.0^\circ\text{C} \sim -0.7^\circ\text{C}$ , 10 月 4 日に  $\Delta T \approx -0.4^\circ\text{C}$  で両日とも水温の方が少し高く、大気はわずかに不安定の状態にあったものと考えられる。しかしながら、上記の風速分布の対数法則よりのわずかなはずれが、この温度差に原因するものかどうかは不明である。

### (3) 海面の抵抗係数

一般に海面に作用する風のせん断力  $\tau$  は、次式で表わされる場合が多い。

$$\tau = \rho r_{10}^2 U_{10}^2 \dots\dots\dots (2)$$

$\rho$  : 空気密度,  $r_{10}^2$  : 抵抗係数 ( $U_{10}$  に対応する),  $U_{10}$  :  $z=10$  m における風速

式 (1) の摩擦速度  $U_*$  はこの海面に作用するせん断力  $\tau$  とつぎの関係にある。

$$U_* = \sqrt{\tau/\rho} \dots\dots\dots (3)$$

式 (2), (3) より

$$U_*^2 = r_{10}^2 U_{10}^2 \dots\dots\dots (4)$$

となり、 $U_*$  および  $U_{10}$  の値が風速分布より決定されると海面の抵抗係数が求められる。このようにして求めた  $r_{10}^2$  の値は表—1 にまとめて示されている。

海面に作用する風のせん断力は、沿岸の高潮の主要な外力であり、これはまた、吹送流の成因でもある。したがって、このせん断力  $\tau$  を風速より求めるための係数としての  $r_{10}^2$  の値については、古くより多くの研究が行なわれている。その詳細に関しては、ここでは立入らないが〔たとえば、文献<sup>3)</sup> 光易参照〕問題は式 (2) で定義された  $r_{10}^2$  の値が一定の定数であるか、あるいは風速その他に依存して変化するものか、もし変化するならば、どのような特性を示すかである。

われわれが今回の風の観測で求めた  $r_{10}^2$  の値を風速  $U_{10}$  に対してプロットしたものが図—5 (a), (b) である。図—5 (a) は、9 月 21 日の風のデータにもとづくものであり、図—5 (b) は、10 月 4 日の風のデータより求めたものである。図—5 (b) には、9 分間平均の風速の分布より求めた  $r_{10}$  の値 (白丸) に加えて、参考までに 3 分間平均の風速の分布より求めた値 (黒丸) も記入されている。これらの図を比較してみると、 $r_{10}^2$  と  $U_{10}$  との関係が両日でかなり異なっていることがわかる。10 月 4 日の結果は、最近報告されている結果 (Sheppard 1958, Deacon 1962) に比較的近いが、9 月 21 日の結果は傾向自体がかなり異なっている。風速の範囲、したがって、波のスケールもほとんど同一であるにもかかわらず、このようないちじるしい差が生じたことは理解しがたいことである。

ただ、両日の条件の差をくわしくみると、気温と水温との差が 9 月 21 日の方が 10 月 4 日よりわずかに大きいことである。比較的低風速のときには大気の安定度が風の構造にかなりの差を生じることは予想されるので、上記の差異はあるいは安定度の差によるものかも知れない。しかしながら現在解析を行なったのはこの 2 例のみであるので、現在の段階ではあまりはっきりしたことは

表—1 風の測定結果

| 日時, その他                                                                                                                                  | No. | $U_{10}$<br>(m/sec) | $U_* \times 10^2$<br>(m/sec) | $r_{10}^2 \times 10^3$ | $z_0 \times 10^5$<br>(cm) |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|---------------------|------------------------------|------------------------|---------------------------|
| 42.9.21<br>{ 10 時 08 分 }<br>{ 15 時 00 分 }<br>気温 21.5°~22.8°C<br>表面水温 23.5°C<br>No. 13 付近の波 :<br>$H_{1/3} = 30$ cm<br>$T_{1/3} = 2.3$ sec | 1   | 2.68                | 11.7                         | 1.91                   | 10.5                      |
|                                                                                                                                          | 2   | 3.63                | 16.3                         | 2.02                   | 13.5                      |
|                                                                                                                                          | 3   | 5.75                | 24.2                         | 1.76                   | 71.4                      |
|                                                                                                                                          | 4   | 5.20                | 21.0                         | 1.63                   | 49.3                      |
|                                                                                                                                          | 5   | 5.35                | 23.5                         | 1.91                   | 105                       |
|                                                                                                                                          | 6   | 7.27                | 24.5                         | 1.14                   | 7.07                      |
|                                                                                                                                          | 7   | 6.81                | 24.7                         | 1.32                   | 16.4                      |
|                                                                                                                                          | 8   | 6.07                | 21.7                         | 1.28                   | 13.8                      |
|                                                                                                                                          | 9   | 6.41                | 21.4                         | 1.12                   | 6.36                      |
|                                                                                                                                          | 10  | 7.31                | 25.2                         | 1.19                   | 9.10                      |
|                                                                                                                                          | 11  | 7.73                | 27.0                         | 1.22                   | 10.5                      |
|                                                                                                                                          | 12  | 8.51                | 19.5                         | 0.53                   | 0.03                      |
|                                                                                                                                          | 13  | 8.23                | 22.1                         | 0.72                   | 0.33                      |
|                                                                                                                                          | 14  | 10.40               | 33.9                         | 1.06                   | 4.56                      |
|                                                                                                                                          | 15  | 10.20               | 44.5                         | 1.90                   | 102                       |
| 42.10.4<br>{ 12 時 24 分 }<br>{ 15 時 07 分 }<br>気温 22.0°C<br>表面水温 22.4°C<br>No. 12 付近の波 :<br>$H_{1/3} = 29$ cm<br>$T_{1/3} = 2.2$ sec       | 1   | 2.73                | 8.4                          | 0.94                   | 2.13                      |
|                                                                                                                                          | 2   | 2.54                | 9.9                          | 1.52                   | 34.6                      |
|                                                                                                                                          | 3   | 4.42                | 13.6                         | 0.94                   | 2.13                      |
|                                                                                                                                          | 4   | 4.92                | 18.8                         | 1.44                   | 26.1                      |
|                                                                                                                                          | 5   | 5.58                | 19.1                         | 1.18                   | 8.66                      |
|                                                                                                                                          | 6   | 4.63                | 16.9                         | 1.33                   | 17.0                      |
|                                                                                                                                          | 7   | 5.91                | 21.7                         | 1.35                   | 18.5                      |
|                                                                                                                                          | 8   | 6.15                | 23.1                         | 1.41                   | 23.4                      |
|                                                                                                                                          | 9   | 7.47                | 27.7                         | 1.37                   | 20.0                      |
|                                                                                                                                          | 10  | 7.52                | 33.0                         | 1.93                   | 110                       |
|                                                                                                                                          | 11  | 8.28                | 30.6                         | 1.37                   | 20.0                      |
|                                                                                                                                          | 12  | 8.00                | 27.8                         | 1.21                   | 10.0                      |

図-5 (a) 海面の抵抗係数 (1)  
(昭和 42 年 9 月 21 日)

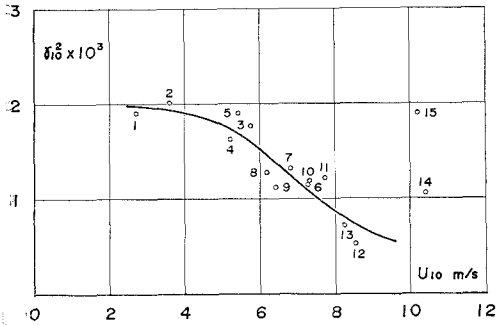
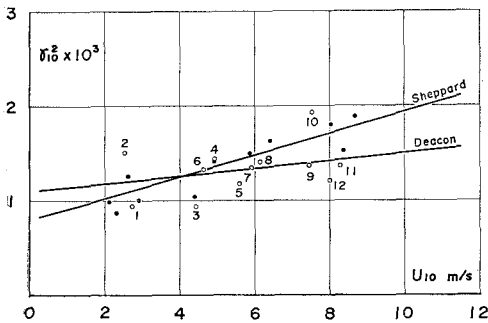


図-5 (b) 海面の抵抗係数 (2)  
(昭和 42 年 10 月 4 日)



いえない。今後、新しい資料の集積、ならびに風の微細構造の測定により、この問題に関するさらに進んだ検討を行なってゆく予定である。

#### 4. 波に関する観測結果

波の観測は、両日とも容量型波高計の検定および性能テストをかねて行なわれ、これらが終了したのちに行なわれた。したがって、測定データは断片的ではあるが、精度の点ではきわめて信頼しうるものである。ただ、9月21日の測定では、③の波高計の性能に少し異常がみ

られたので、①および②の波高計による測定データのみを解析し、③のものは除外した。

##### (1) 波の実測値と推算値との比較

表-2 よりもわかるように、今回測定した範囲の波は深海波とみなしうるので、S.M.B. 法 (深海波) によりつぎのような過程で波の推算を行なった。

まず、観測塔で実測された風速分布より外挿して、 $U_{10}$  を求め、図-3 (a), (b) に対応する  $U_{10}$  の時間的変化図を作成し、これより波の観測時刻の前後で、風速の適当な平均化を行なって、風速および吹送時間を定めた。一方、風向は、波の測定中ほぼ N 方向とみなされたので、吹送距離は観測地点より N 方向に延長して海の中道に達するまでの距離 4.5 km とした。波は両日とも吹送距離により制限されるものとみなし得た。このような条件のもとに推算された有義波の特性は実測値とともに表-2 に示されている。実測値にくらべると波高、周期ともに推算値がわずかに大きくなっているが、両者の一致はかなり良好なものといえることができる。

##### (2) 波のスペクトル

図-6 (a), (b) は、波のスペクトル (一次元) を示したもので、図-6 (a) は、9月21日の14時2分~14時12分の10分間の波の記録より求めたもの、図-6 (b) は、10月4日、15時43分~15時48分の5分間の波の記録より求めたものである。自由度はそれぞれ47および23である。

低周波成分をろ波 (たとえば、数値フィルターを使用) しなかったために、周波数0付近に少しエネルギーの蓄積がみられるが、これは湾振動などを含む長周期の水位変動に対応しているものと考えられる。また、0.14 c/s 付近にエネルギーの小さなピークがみられ、とくに9月21日のスペクトルにおいて明瞭であるが、これは湾口よりの侵入波に対応しているものと考えられ、このことは後述する波の方向特性よりも確かめられる。

表-2 波の実測値と推算値との比較

$2.83 \sqrt{E}$  および  $1/f_m$  はスペクトルより算出  
 $E$ : 波の全エネルギー,  $f_m$ : スペクトルのピークの周波数

| 日 時                         | 測 点<br>No. | 実 測 値                |                       |                           |                     | 推 算 値                |                       | 風 速<br>$U_{10}(\text{m/sec})$ | 吹送距離<br>$F(\text{km})$ | 水 深<br>$h(\text{m})$ |
|-----------------------------|------------|----------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------------|----------------------|
|                             |            | $H_{1/3}(\text{cm})$ | $T_{1/3}(\text{sec})$ | $2.83\sqrt{E}(\text{cm})$ | $1/f_m(\text{sec})$ | $H_{1/3}(\text{cm})$ | $T_{1/3}(\text{sec})$ |                               |                        |                      |
| 42.9.21<br>14時02分<br>14時12分 | 1          | 29                   | 2.3                   | 22                        | 2.3                 | 37                   | 2.5                   | 8.3                           | 4.5                    | 6.6                  |
|                             | 2          | 31                   | 2.2                   | 24                        | 2.3                 | 37                   | 2.5                   | 8.3                           | 4.5                    | 6.6                  |
|                             | 平 均        | 30                   | 2.3                   | 23                        | 2.3                 | 37                   | 2.5                   | 8.3                           | 4.5                    | 6.6                  |
| 42.10.4<br>15時11分<br>15時21分 | 1          | 31                   | 2.1                   | —                         | —                   | 35                   | 2.4                   | 7.9                           | 4.5                    | 5.6                  |
|                             | 2          | 24                   | 2.3                   | —                         | —                   | 35                   | 2.4                   | 7.9                           | 4.5                    | 5.6                  |
|                             | 3          | 32                   | 2.3                   | —                         | —                   | 35                   | 2.4                   | 7.9                           | 4.5                    | 5.6                  |
| 15時43分<br>15時48分            | 平 均        | 29                   | 2.2                   | —                         | —                   | 35                   | 2.4                   | 7.9                           | 4.5                    | 5.6                  |
|                             | 1          | 29                   | 2.0                   | 23                        | 2.2                 | 28                   | 2.2                   | 6.4                           | 4.5                    | 5.6                  |
|                             | 2          | 28                   | 2.1                   | 21                        | 2.2                 | 28                   | 2.2                   | 6.4                           | 4.5                    | 5.6                  |
|                             | 3          | 27                   | 2.0                   | 20                        | 2.2                 | 28                   | 2.2                   | 6.4                           | 4.5                    | 5.6                  |
|                             | 平 均        | 28                   | 2.0                   | 21                        | 2.2                 | 28                   | 2.2                   | 6.4                           | 4.5                    | 5.6                  |

図-6 (a) 波のスペクトル (1)  
(昭和 42 年 9 月 21 日)

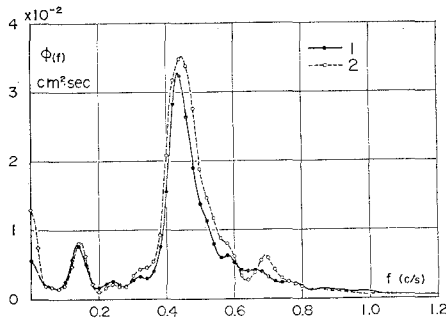


図-6 (b) 波のスペクトル (2)  
(昭和 42 年 10 月 4 日)

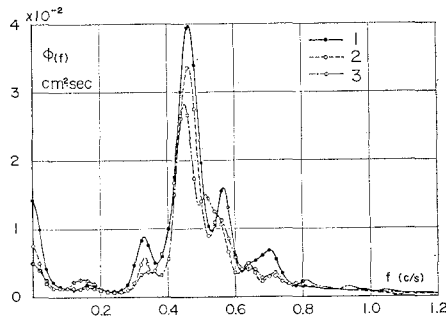


図-7 波のスペクトル

(昭和 42 年 9 月 21 日, 測点 2 のデータ)

図中の直線は  $\phi(f) = \beta g^2 (2\pi)^{-4} f^{-5}$ ,  $\beta = 1.48 \times 10^{-2}$   
(Burling 1959)

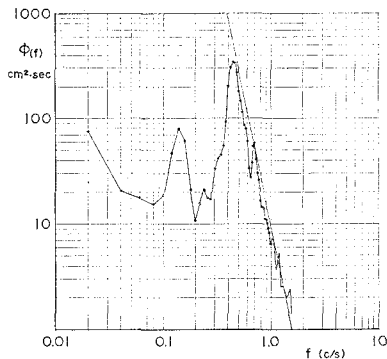


図-7 は、図-6 (a), (b) に示されたスペクトルを両対数の座標で示したものの一例であるが、これより、スペクトルの高周波側は平衡領域のスペクトル型である  $f^{-5}$  則にきわめて良い一致を示していることがわかる\*。図中の直線は Burling (1959) のデータをもとにして Phillips (1966) が定めた式

$$\phi(\omega) = \beta g^2 \omega^{-5} (2\pi)^{-4} f^{-5}, \quad (\beta = 1.48 \times 10^{-2})$$

によるもので、実測値との一致はきわめて良好である。

### (3) 波の方向特性

この塔による観測の主要な目的の一つは、波の方向特性を明らかにすることにある。そのための第一段階とし

て、現在の正三角形に配列されている 3 本の容量型波高計 (①, ②, ③) の記録より、前述の一次元スペクトルに加えて、①—②, ②—③および③—①の組の波の記録よりそれぞれクロス・スペクトルを求め、Munk. et al (1963) と同様な方法により、波の方向を決定した。

すなわち、2 点でそれぞれ測定された波の信号のクロス・スペクトル ( $\psi$ : quad-spectrum,  $\Phi$ : co-spectrum) より、両者の信号の位相差  $\theta$  は次式で与えられ、

$$\theta(f) = \tan^{-1} \frac{\Psi(f)}{\Phi(f)} \quad (5)$$

簡単な考察より、波峯線が 2 点を結ぶ線とのなす角  $\alpha$  は位相差  $\theta$  とつぎの関係にあることが導かれる。

$$\sin \alpha = \frac{g \theta}{(2\pi f)^2 l} \quad (6)$$

ただし、波速  $c$  を深海波の式  $c = g/2\pi f$  で近似したので、浅海波の場合には補正が必要である。波高計の間隔  $l$  が来襲波の半波長より長い時には式 (6) は一般的に書くことつぎようになる。

$$\sin \alpha_n = \frac{g(\theta + 2n\pi)}{(2\pi f)^2 l} \quad (n=0, \pm 1, \pm 2 \dots) \quad (7)$$

ただし、 $|\sin \alpha_n| \leq 1$

したがって、2 点で測定された波の信号よりクロス・スペクトルを計算すると、式 (5) より位相角  $\theta$  が求まり、これを式 (7) に代入すると波の入射角  $\alpha$  が定められる。ただし、式 (7) の解としては、 $\alpha_n$  のほかに、 $\pi - \alpha_n$  が存在するので、実際の現象に応じてそのいずれかを選ぶ必要がある。

図-8 の最下段は、9 月 21 日の波高計①および②の記録を使用して上述の方法で求めた波の来襲方向を  $N$  を 0 度とした右回りに正として示したものである。これより、波のスペクトルの  $f=0.14$  c/s 付近における小さなピークに対応する波の方向 (これは湾口よりの侵入波と考えられるもの) はまさしく西方向、すなわち、湾口付近より来襲していることがわかる。また、湾内で発生した風波の支配的波に対応する  $f=0.46$  c/s 付近の波は、このときの風向である  $N$  方向より来襲していることがわかる。表-3 は 10 月 4 日の波の記録を使用して同様に求めた波の来襲方向を侵入波の周波数付近と湾内で発生した風波の周波数付近のみについて示したものである。ただし、この図には、波高計の組、①—②, ②—③, ③—①の 3 組を使用して、それぞれ求めた角度がすべて  $N$  方向を 0 となるように調節されてまとめて示されている。これより、風波のスペクトルのピーク ( $f=0.46$  c/s) 付近の波の方向は、いずれの組で求められたものも  $N$  方向であることがわかる。ただ、侵入波に相当する  $f=0.14$  c/s 付近の波の来襲方向は②—③および③—①の組の波高計で検出された値に少し異状を示しているが、これは侵入波自体のエネルギーが、この日は非常に小さ

\* 他のものも高周波側はほとんど同様な特性を示した。

図-8 波の方向特性

(昭和 42 年 9 月 21 日 14 時 04 分~12 分)

上より  $\phi(f)$ : スペクトル(一次元),  $R_{1-2}$ : 測点 1, 2 の波のコヒーレンス,  $\theta_{1-2}$ : 測点 1, 2 の波の位相差,  $\alpha$ : 測点 1, 2 を結ぶ線に対する波の入射角

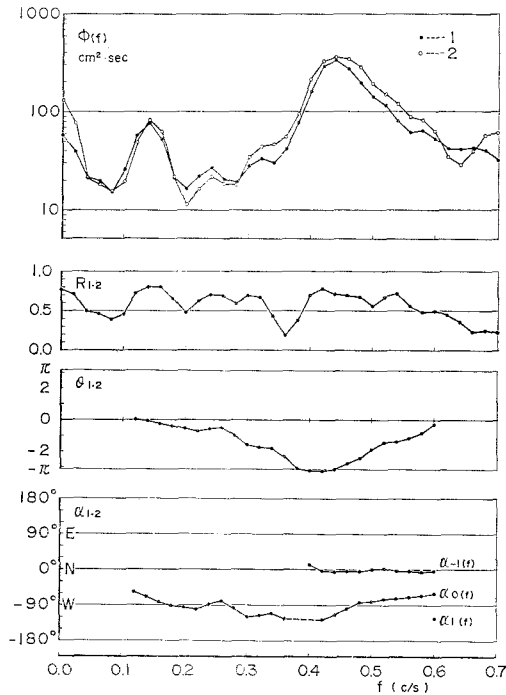


表-3 波向の測定結果

(昭和 42 年 10 月 4 日 15 時 43 分~48 分のデータ)  
R: コヒーレンス,  $\theta$ : 位相差,  $\alpha$ : 入射角 (N 方向~0°)

| 波      | $f$ (c/s) | 波高計組 | R     | $\theta$ (radi) | $\alpha$ |
|--------|-----------|------|-------|-----------------|----------|
| 侵入波    | 0.14      | 1-2  | 0.401 | -0.338          | -91°50'  |
|        |           | 2-3  | 0.538 | 0.438           | -39°10'  |
|        |           | 3-1  | 0.326 | 0.094           | -128°25' |
|        |           | 平均   |       |                 | -86°28'  |
| 侵入波    | 0.16      | 1-2  | 0.544 | -0.131          | -70°00'  |
|        |           | 2-3  | 0.625 | -0.041          | 3°10'    |
|        |           | 3-1  | 0.408 | 0.043           | -123°20' |
|        |           | 平均   |       |                 | -63°23'  |
| 侵入波    | 0.18      | 1-2  | 0.596 | -0.152          | -70°05'  |
|        |           | 2-3  | 0.552 | -0.109          | 7°10'    |
|        |           | 3-1  | 0.421 | -0.120          | -112°05' |
|        |           | 平均   |       |                 | -58°20'  |
| 湾内発生風波 | 0.44      | 1-2  | 0.834 | -2.716          | 6°10'    |
|        |           | 2-3  | 0.736 | 0.064           | -0°55'   |
|        |           | 3-1  | 0.803 | 2.715           | -6°10'   |
|        |           | 平均   |       |                 | -0°18'   |
| 湾内発生風波 | 0.46      | 1-2  | 0.854 | -2.466          | 3°40'    |
|        |           | 2-3  | 0.773 | 0.176           | -2°20'   |
|        |           | 3-1  | 0.765 | 2.361           | -6°55'   |
|        |           | 平均   |       |                 | -1°52'   |
| 湾内発生風波 | 0.48      | 1-2  | 0.831 | -2.025          | 6°40'    |
|        |           | 2-3  | 0.595 | 0.256           | -3°10'   |
|        |           | 3-1  | 0.612 | 2.066           | -5°20'   |
|        |           | 平均   |       |                 | -0°37'   |

く, そのため, スペクトルの測定精度が悪かったために生じたものと考えられる。

### 5. 結 語

解析を終えた風および波の資料は現在のところ, まだ数例にすぎないので, 博多湾に固有な波および風の特性に関しては, はっきりした結論を導く段階にいたらないが, 今回の資料の解析により明らかにされた点をあげるとつぎのようなものである。

1) 博多湾のほぼ中央部で観測された風は, 風向, 風速ともに, 福岡管区气象台 (湾内の観測塔より約 5 km 離れ, 海岸より約 1.5 km 陸に入った位置にある) で測定されたものと同様な時間的变化を示す。風速の値についてみると, 5 m/sec 以下の低風速では必ずしも一致がよくないが, 5 m/sec から 10 m/sec にかけては比較的良好な一致を示す。ただし, この結果は秋の普通の天候の日の海風について得られたものであることに注意しなければならない。

2) 海面上の風速の鉛直分布は, 高さ 5 m 付近まではほぼ対数分布を示している。風速分布に対する大気不安定度の影響は多少みられるが, 現在までの資料ではあまりはっきりしたことはいえない。

3) 海面の抵抗係数  $r_{10}^2$  に関しては, 風速  $U_{10}=2\sim 10$  m の範囲で,  $1\times 10^{-3}\sim 2\times 10^{-3}$  の範囲の値が得られたが, 抵抗係数  $r_{10}^2$  と風速  $U_{10}$  との関係は, 日によってまったく逆の傾向を示し, あまりはっきりとしない。これに関しても, 大気不安定度が多少影響しているように見受けられるので, 今後, 系統的な観測を行なってこの点を明らかにしてゆきたい。

4) 湾内で発生した風波の実測値と S. M. B. 法による推算値との一致はかなり良好であるが, 波高, 周期ともに推算値がわずかに大きい。

5) 風波のスペクトル (一次元) の高周波側は平衡領域のスペクトル型  $f^{-5}$  則にきわめて良好な一致を示す。

6) 2 組の波高計を使用して求めた波の方向特性により, 湾口よりの侵入波と湾内で発生した風波との方向をそれぞれ近似的に求めることが可能で, 風波の方向は風向にほとんど一致し, 侵入波は湾口方向より来襲していることが確かめられた。

### 謝辞

この報告に使用した資料は, 運輸省第四港湾建設局博多港工事事務所との共同のもとに行なった観測により得られたものの一部で, この観測調査に際しては, 博多港工事事務所の非常に多くの方々の援助を受けた。とくに大音宗昭所長, 馬渡敦次工務課長, 松永信一, 野口末太郎両工事専門官の各氏, ならびに事務所および現場の方々の絶大なるご尽力によるところが多い。ここに厚く感謝の意を表わします。

また、観測の実施ならびにデータの整理は、当研究所の中山竜三、小森利雄、江藤賢次の諸氏の協力のもとに行なった。ここに記して謝意を表わします。

#### 参 考 文 献

- 1) Burling, R.W(1959) : Deutch. Hydrogr. Zeit., 12, 45-64, 96-117.
  - 2) Deacon, E.L. & Welb, E.K. (1962) : The Sea. vol 1, p. 61, Interscience Pub.,
  - 3) 光易 恒 (1964) : 第 11 回海岸工学講演会講演集, 42-48.
  - 4) Munk, W.H., G.R. Miller, F.E. Snodgrass and N.F. Barber (1963) : Phil. Trans. Roy. Soc., London. No. 1062. vol 255 505-584.
  - 5) Phillips, O.M (1966) : The Dynamics of the Upper Ocean, Cambridge. Univ. Press.
  - 6) Sheppard, P.A. (1958) : Q.J. Roy. Met. Soc., 84. 205-224.
-