

東京大学工学部 正会員 五博 本向 仁  
 東京大学工学部 正会員 五博 堀川 靖司  
 東京大学大学院 学生員 五修 趙 栄耀  
 東京大学工学部 学生員 田平 武輔

### 1. まえがき

より精度の高い波浪推算方式を求めるために、われわれはまず種々の推算方法によってえられた結果が、実際に現地で観測された結果と、どの程度の一致を示すかについて検討を行っている。ここでは日本海沿岸の波浪を例にして、S.M.B.法とP.N.T.法を用いて推算した結果を観測結果と比較しながらその適用性を検討し、さらにいくつかの向題点について行った考察結果を述べる。波浪推算の対象期間は昭和38年10月11日～12日の間であり、推算地点ならびに風および波浪観測地点は図-1に示しているようである。

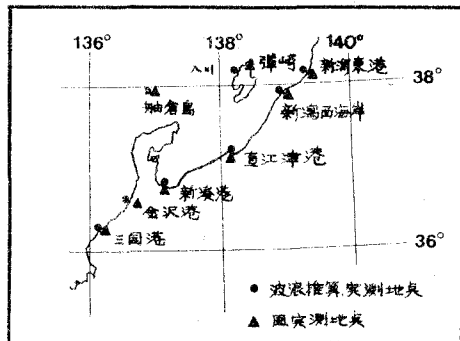


図-1 推算地点と観測地点

### 2. 風の条件の決定

ここに言う風の条件とは波の推算に必要な吹送距離、風速、吹送時間および減衰距離等を指すものである。風の条件の決定にあたっては、3時間毎の極東天気図を用い、次の手順に従って行った。

- (1) 日本海域内の等圧線と緯度線の交点を格子点とし、これらの点における等圧線の切線から15度の角度を取り、気圧配置に従って風向を求めた。
- (2) 風域は推算地点が格子点における風向の $\pm 30$ 度以内にあるような格子点を選んで囲んだ。吹送距離は推算地点と風域の中心を結ぶ線の風域前端から後端までの距離であり、減衰距離は風域の前端から推算地点までの距離である。
- (3) 風域内の各格子点における等圧線の間隔と曲率半径を測り、等圧線間隔の平均値と風域中心の緯度を用いて地衡風を求め、さらに平均曲率半径を用い、気温と水温の差を0度として海面平均風速を求めた。
- (4) 減衰距離のある場合は(3)に述べた海面風速を用いて波浪を推算した。若し推算地点が風域前端にあり、その付近の実測風向が吹送距離方向と $\pm 30$ 度以内の誤差範囲ならば実測風速と海上風速の平均値を用い、 $\pm 30$ 度以上の誤差ならば海上風速を用いて波を推算した。
- (5) 吹送時間は、 $t_2$ 時刻の推定風速を $U_2$ 、その前後の風速推定時刻を $t_1$ および $t_3$ とすると、 $U_2$ の吹送時間は $(t_1+t_2)/2 \sim (t_2+t_3)/2$ であるとした。

### 3. 波の推算

S.M.B.法およびP.N.T.法による波の算定と減衰の推定方法はすでに Bretschneider<sup>2)</sup>および Pierson-

Neumann-James<sup>3)</sup>によって発表されており、またその具体的手順は井島<sup>4)</sup>によって詳しく説明されているのでここでは省略するが、推算結果並びに水圧式波高計による実測値（波高は相当沖波波高）を図示すると図-2のようである。ただし、波の推算に用いた風の条件は6時間毎（3, 9, 15, 21時）のものである。

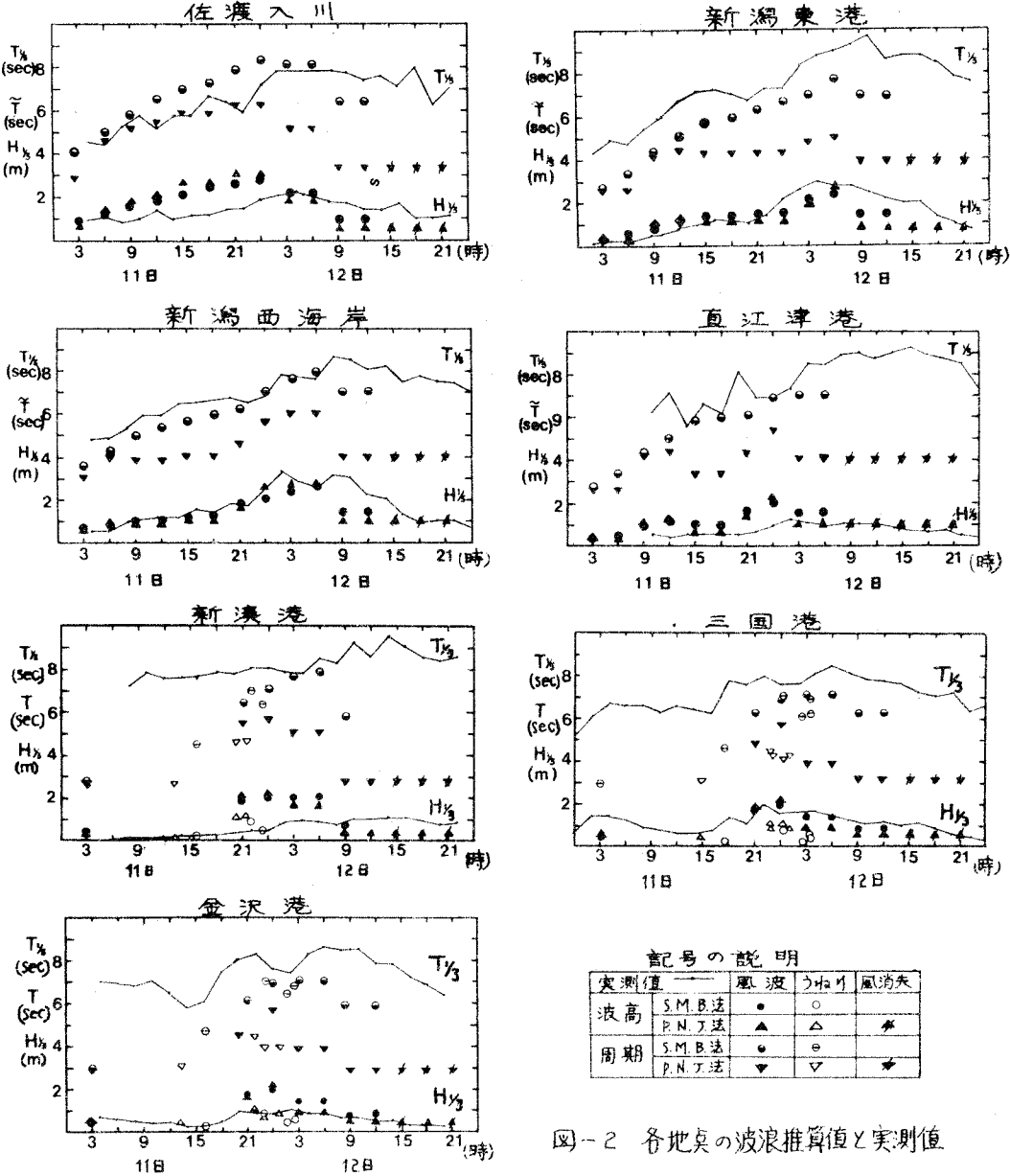


図-2 各地奥の波浪推算値と実測値

#### 4. 考察

(1) 減衰時の波浪 一般に風域内の波を推算する場合、若し風速が時間的に変わる場合には、波のエネルギーが一定のままで、波高と周期が変わるものと考え、等エネルギー線（S.M.B.法は $H^2T^2 = \text{一定}$

の曲線、P.N.J.法は $E = \text{一定の直線}$ ）を利用して変った風速に対応する波高と周期を求める。風速が次第に増加している場合はあまり問題はないが、若し風速が減少、特に若しその減少の程度がかなり急激である場合は等エネルギー線は風速の曲線と交わらない。この場合、波は減少した後の風速とその時刻の吹送距離によって制限される。このため、風速の急減にともなって波も急速に減少する。しかしながら図-2に示しているように、風域内の波が減衰状態の場合、推算値の方はかなり急な勾配をもって減衰しているが、実測値の方はそれと相対的に緩やかな勾配で減衰している。一方、風域内が無風状態（風速が $5 \text{ sec}$ 以下）になった場合、S.M.B.法では波は急速に減少し、静穏状態になると仮定しているが、実測値を見るとわかるように波は急速には消失しない。P.N.J.法では波の速度分散を考慮し、Fetch lineの各地点における波がその周期に対応する群速度で進むと考えて波の減衰状態を推算している。しかしながらその減衰状態は実測結果によって示されている減衰状態よりもはるかに緩い。

(2) 発達時の波表 新湊港を除けば、推算法による波表の発達状態はかなり観測結果と一致している。実測値は波高計の換算係数や読み取り誤差の関係で必ずしも海面の波を表しているとは言えないが、一応それを基準として推算結果と比較

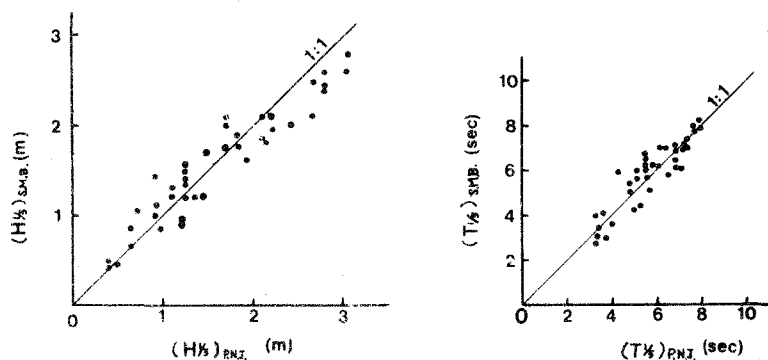


図-3 S.M.B.法とP.N.J.法による推算値の比較

してみると、一般に、波高の方ではS.M.B.法とP.N.J.法ともかなり実測値に近い、一方、周期の方では一般に実測値より小さい。特にP.N.J.法による周期は一見極端に小さい。これは平均周期を用いたためであると思われる。若しSibul<sup>3)</sup>が提案した $T_{1/2} = 1.24 T$ の關係式を用いて平均周期を有義波周期に換算し、さらに同じ風の条件にもとづいて求めたS.M.B.法とP.N.J.法の推算値を比較してみると図-3に示しているようになる。波高の方は、波高が比較的小さい場合はS.M.B.法による推算値が大きいが、波高が大きくなるとP.N.J.法による推算値が大きくなる。一方、周期の方は若干のちがいがあがるが、その一致性は良好である。

(3) 3時間毎と6時間毎の推算値の比較 波浪推算を行う場合、風の条件は6時間毎の天気図によって求めるのが一般のようである。しかしながら必要ならば3時間毎の天気図も得られる。この場合、3時間毎の天気図と6時間毎の天気図から求めた風の条件を用いて波表を推算した場合、どの程度の誤差が起るかはかなり興味のある問題である。いま一例として3時間毎と6時間毎の天気図から求めた風の条件を用い、S.M.B.法で波浪を推算した結果を図で示すと図-4のようである。横軸と縦軸はそれぞれ3時間毎と6時間毎の推算を行った場合の波高および周期である。図からわか

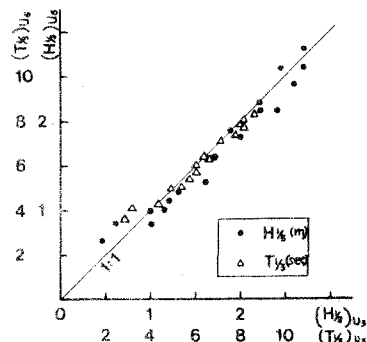


図-4 3時間毎と6時間毎の推算値の比較

るように若干のちうばりはあるがその一致性は良好である。すなわち、精度と労力の観点から見ると6時間毎の天気図を使えば良いであろう。

(4) 能登半島の新湊港に対する遮蔽効果 図-2に示しているように新湊港における発達時の波浪の推算値は実測値と較べると極端に大きくなっている。その原因は能登半島の遮蔽効果によるものと考えられる。能登半島の遮蔽作用として考えられるのは、半島の端における波の回折、屈折と方向分散の作用

表-1 能登半島の遮蔽効果

| 日.時   | Arthurによる方法 |                 |                   |                       | Piersonらによる方法 |                   |                   |               |                       |
|-------|-------------|-----------------|-------------------|-----------------------|---------------|-------------------|-------------------|---------------|-----------------------|
|       | H<br>(m)    | $\theta$<br>(度) | H <sub>0</sub> /H | H <sub>0</sub><br>(m) | H<br>(m)      | $\theta_0$<br>(度) | $\theta_a$<br>(度) | K( $\theta$ ) | H <sub>0</sub><br>(m) |
| 11.21 | 1.85        | 45              | 0.61              | 1.13                  | 2.10          | 20                | 55                | 0.24          | 1.01                  |
| 12.0  | 2.10        | 45              | 0.57              | 1.20                  | 2.20          | 20                | 55                | 0.24          | 1.07                  |
| 3     | 2.00        | 45              | 0.56              | 1.12                  | 1.70          | 20                | 55                | 0.24          | 0.81                  |
| 6     | 2.10        | 45              | 0.56              | 1.16                  | 1.70          | 20                | 55                | 0.24          | 0.81                  |

である。しかしながら半島の端における水深はかなり大きく、また新湊港までの距離もかなり長いので屈折と回折の影響はあまりないようである。波の方向分散の作用について、Arthur<sup>6)</sup>は Sverdrup-Munk の風の切線応力と直応力によって波に供給するエネルギー ( $R_T, R_N$ ) の式をそれぞれ  $\sec^2 \theta$  と  $\sec \theta$  の商数と仮定して風の主方向と  $\theta$  の角度をもって進行する波の高さと周期を求める方法を提案している。一方、Pierson<sup>3)</sup>は波のエネルギーは  $\cos^2 \theta$  に比例すると仮定して、主風向から  $\theta$  角度をもって進行する波の高さを求めている。いま能登半島の遮蔽効果を考慮しないで求めた S.M.B.法と P.N.J.法による推算値をそれぞれ Arthur と Pierson らの方法によって修正すると表-1 のようになる。表からわかるように波高は約半分減り、実測値とかなり接近している。

最後に、この研究をなすにあたって、現地観測資料について、運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所ならびに新潟県土木部信濃川工事事務所の御好意によった。ここに記して謝意を表す。

## 参 考 文 献

- 1) 井島武士：海岸港湾測量，森北出版，昭和37年。  
B.E.B. Tech. Rept. No. 4 : Shore protection planning and design, 1961.
- 2) Bretschneider, C.L. : Revisions in wave forecasting, deep and shallow water, Proc. 6th Conf. Coast. Eng., 1958.
- 3) Pierson, W. J., Jr., G. Neumann and R. W. James : Practical method for observing and forecasting ocean waves by means of wave spectra and statistics, U. S. Navy, H. O. pub. No. 603, 1955.
- 4) 土木学会：水理公式集，昭和38年増補改訂版。  
井島武士：風波の発達とその推定法，水理公式集の解説と例題，土木学会関西支部 昭和39年。
- 5) Sibul, O. : Laboratory study of the generation of wind waves in shallow water, B.E.B. Tech. Memo. No. 72, 1955.
- 6) Arthur, R. S. : Variability in direction of wave travel, Am. N. Y. Academy of Science, Vol. 51. Art. 3, 1949.