

風向、風速の変化を考慮した S.M.B. 法による 波の計算について

細 井 正 延*・富 永 正 照**・橋 本 宏***

1. ま え が き

海岸構造物に作用する波のうちで、大きな影響をあたえるものとしては、主として台風時における波である。特に太平洋海岸のように、毎年台風の来襲する状態では、この台風による波を推定することが、非常に重要な問題である。

波の推算法には、S.M.B. 法¹⁾、P.N.J. 法²⁾などがあり、かなり信頼できる結果を得ることもあるが、台風などの場合には、風域が移動し、また風の推定がむずかしいために、波の計算は非常に困難である。このような場合には、Wilson の方法³⁾、宇野木⁴⁾の方法などが提案されているが、ここで Wilson の図式解法を数値解法になおし、台風域内の風速の推定に、伊勢湾、東京湾などの高潮計算に用いた方法⁵⁾を採用して、波を計算する方法を示した。この方法は、時間的にも、場所的にも、風向、風速が変化する場合に、これらの時間、および空間を分割することにより、この分割区間内では、風向、風速に変化がないものと考えて、S.M.B. 法により波を推算する。この分割された各区間の間では、風は不連続であるが、波は連続的に変化しなければならない。この波の連続性を、波のエネルギーが、群速度で進むものと考えて、各区間の間の群速度を一致させることにより保つこととした。

この方法を用いて、昭和 33 年 9 月、台風 21 号、昭和 34 年 9 月、台風 15 号（伊勢湾台風）、による静岡県の田子ノ浦と清水における有義波高、有義波周期を推算した。また実測値が得られているので、これとの比較を行なった。

2. 台風域内の風の推定

台風域内の風向、風速については、台風の気圧傾度による風と、台風域内の風速分布の非対称性を考慮して、台風の進行にともなう風との合成によるものとする。

台風域内の傾度風を計算するために、気圧分布を藤田の式を用いて計算した。この式は、

$$P = P_{\infty} - \frac{a}{\sqrt{1 + \left(\frac{r}{r_0}\right)^2}} \quad (1)$$

のごとく表わされ、 P ：台風内の気圧、 P_{∞} ：台風の影響のおよばない地点の気圧、 r ：台風中心からの距離、 a 、 r_0 ：台風により異なる定数、である。

また気圧傾度による傾度風速は

$$V_0 = \alpha \cdot V_{gr} \quad (2)$$

$$V_{gr} = r \left(\sqrt{\omega^2 \sin^2 \varphi + \frac{\partial P}{\partial r} \cdot \frac{1}{\rho r}} - \omega \sin \varphi \right) \quad (3)$$

で表わされ、 V_0 ：実際の風、 V_{gr} ：気圧傾度による理論風速、 r ：台風中心からの距離、 ω ：地球の自転の角速度 ($7.29 \times 10^{-5} \text{sec}^{-1}$)、 ρ ：空気密度 (気圧 1000 mb, 気温 0°C で $1.29 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$)、 φ ：観測点の緯度、 α ：定数 ($0.5 \sim 0.7$)。

風向は等圧線に平行でなく、ほぼ一定の傾斜角をもって吹き込む。この風向と、等圧線に対する接線とのなす角は $15^\circ \sim 30^\circ$ である。

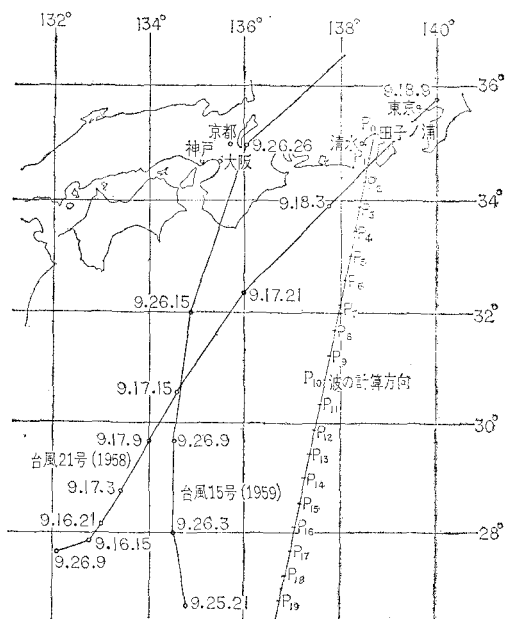
つぎに、台風の進行にともなう風は、つぎのごとく表わされるものと考えた。

$$V_p = V_s \times \alpha \times e^{-r/\beta} \quad (4)$$

ここに、 V_p ：台風の進行にともなう風、 V_s ：台風の進行速度、 α 、 β ：減衰係数、 r ：台風中心からの距離。

以上の式を用いて、台風 21 号 (1958)、台風 15 号

図—1 台風進路図



*正員 工博 建設省土木研究所河川部海岸研究室長

**正員 工修 建設省土木研究所河川部海岸研究室

***正員 同上

図-2 台風 21 号気圧分布図

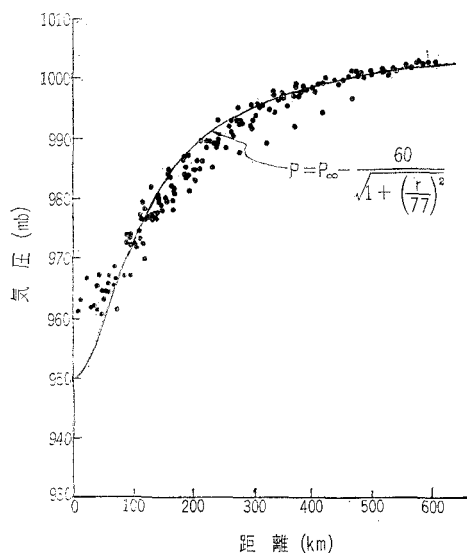


図-3 台風 15 号気圧分布図

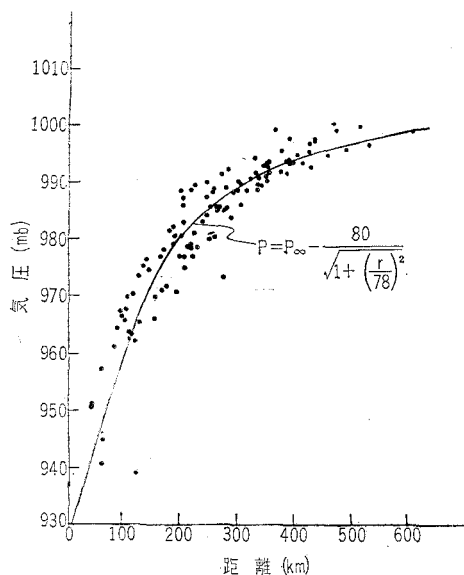


図-4 台風 21 号風速分布図

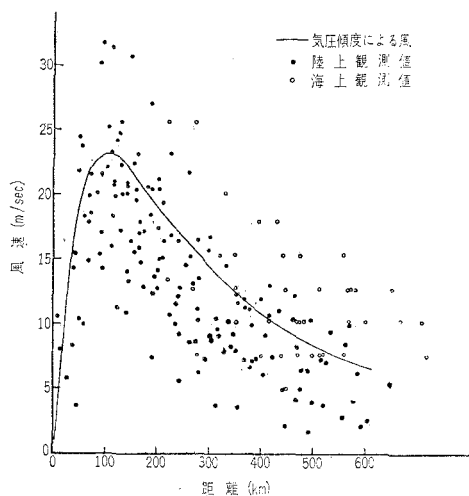
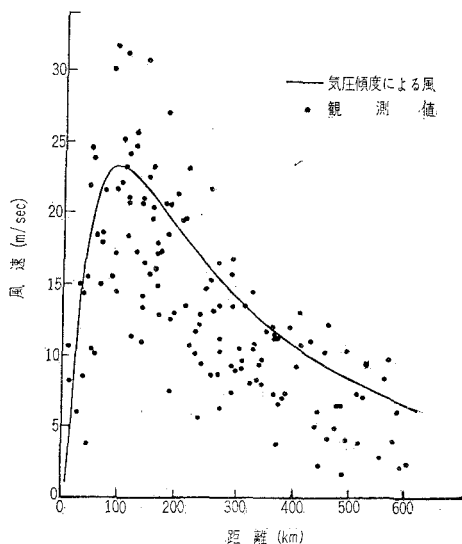


図-5 台風 15 号風速分布図



(1959) の風速分布を計算する。これらの台風の進路は図-1 に示すとおりである。式(3)、式(4)の係数を決定するのに用いた観測値は、潮岬、伊良湖、御前崎、長津呂、横浜、東京、大島、新島、三宅島、富崎における資料、および天気図より読み取った値を用いた。

式(1)の係数を決定するために、各台風の気圧と台風中心からの距離を図-2、図-3 に示す。これらの値より、各係数を決めると図に示したようになる。表-1 は各係数を示す。

式(1)を用いて、式(2)、(3)より傾度風を計算

表-1

台風 21 号 (1958)	$\alpha=60 \text{ mb}$	$r_0=77 \text{ km}$
台風 15 号 (1959)	$\alpha=80 \text{ mb}$	$r_0=78 \text{ km}$

すると、図-4、図-5 に示すごとくなる。ここでは $\alpha=0.6$ 、観測点の緯度を 30° とした。図-4、図-5 には各観測点の値も示してある。この図によると、傾度風はほぼ風速の観測値の平均を示し、式(1)、(2)、(3)の妥当性を表わしている。

つぎに式(4)による台風の進行にともなう風は、図-4、図-5 の、傾度風からの観測値のばらつきを表わしていると考えられる。すなわち、図-4 に示してある海上での観測値は、おもに台風の東側のものであって、風速が大きくなっている。一方、陸上での観測値のうちで、台風中心が南方にある場合には、傾度風と台風の進行にともなう風が、逆向きになるために小さくなることを示している。式(4)の係数は、上に述べたごとく、台風の進行速度が最大で、傾度風の向きと一致するとき最大を、また反対向きときは最低をとるよう

表-2

台風 21 号 (1958)	$\alpha=1$	$\beta=2 \times 10^6 \text{ m}$
台風 15 号 (1959)	$\alpha=0.5$	$\beta=2 \times 10^6 \text{ m}$

に、観測値より決定した。表-2 にこれらの値を示す。

3. 波の推算

波の推算は、前に述べたごとく S.M.B 法を細分区间に適用して行なうために、まず、はじめに波の発達方向を決定して、それを各区间に分割しなければならない。波の発達は直線として計算する。来襲波の最大を求める場合には、地形的影響を考慮して、各方向よりくる波を計算して比較する必要がある。空間および時間の分割間隔は、その区間内の風速の変化による波高と周期の変化が小であればよい。計算に使用する風は、波の発達方向の有効成分をとり、台風域内の風速分布より求める。風速の値は、分割した区間中央の値でその区間の風速を表わし、時間的平均を用いる。波高、周期、到着時刻の計算には、Bretschneider¹⁾ による波浪の予報曲線を用いる。計算方法は、つぎのようになる。

① 出発地点、出発時刻の決定は、計算の出発地点は台風の影響のないところから始めるべきであるが、海岸よりある程度はなれると、到着する波にはあまり影響をおよぼさない。出発時刻を変化させることによって、波が到着する時間的な変化を求めることができる。

② 出発地点、出発時刻における平均風速 V と、風

の吹送時間 t に時間間隔 Δt をとり、波浪の予報曲線より、吹送距離 F 、有義波高 $H_{1/3}$ 、有義波周期 $T_{1/3}$ を求める。この F が出発地点から、 Δt 時間後の到達距離を表わす。

③ ②で求めた $T_{1/3}$ とつぎの時刻、すなわち出発時刻より Δt 時間後の V より、波の予報曲線を用いて F' を求め、これを F' とする。

④ F' と V より t を求め、これを t' とする。

⑤ $t=t'+\Delta t$ と V より、 $F, T_{1/3}, H_{1/3}$ を波の予報曲線より求める。

⑥ 波の到達距離は、②で求めた到達距離に③、⑤で求めた $(F-F')$ を加えたものである。

すなわち、計算している時刻より Δt 前の到達距離に $(F-F')$ を加えたものである。

以上の計算を、到達距離が区間間隔を越えるまでくり返す。区間間隔を越えた場合には、つぎの区間の風速を用いて計算を行なう。これらの計算を、波を求める地点まで行ない、そのときの有義波高、有義波周期、到着時刻を求めることができる。これらの計算は、波の進行方向の有効風速が減少してしまう場合には使用できない。

4. 21号台風および 15 号台風による波の推算

台風 21 号 (1958)、台風 15 号 (1959) に以上の計算方法を適用して、田子ノ浦と清水における波を計算した。波の発達方向は、駿河湾が南に向いて、その形より

図-6 台風 21 号 風速の有効成分

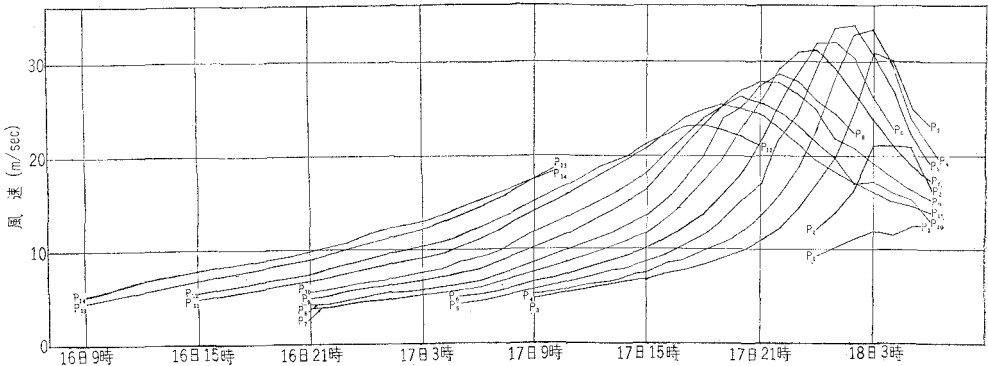


図-7 台風 15 号 風速の有効成分

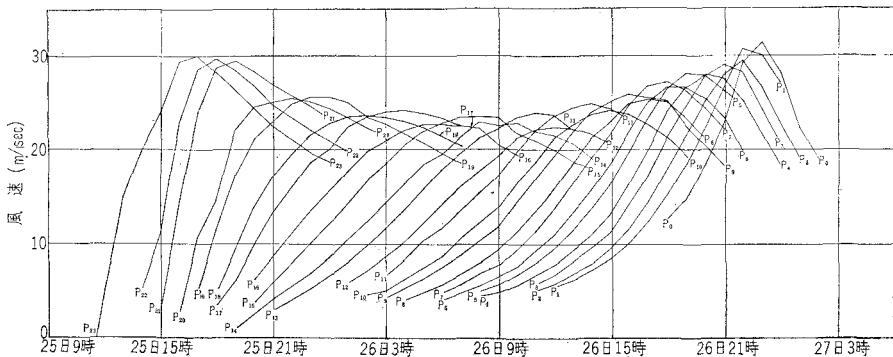


表-3 台風 21 号の中心位置

月 日 時	中心位置		進行方向	進行速度 km/h
	北緯	東経		
9月16日 03時	27.2	131.5	NE	15
09	27.6	132.1	ENE	10
15	27.8	132.8	NE	10
21	28.2	133.1	NE	15
17 03	28.7	133.4	NNE	20
09	29.6	134.0	NNE	20
15	30.6	134.6	NE	35
21	32.3	136.0	NE	35
18 03	33.8	137.8	NE	50
09	35.7	140.0	NE	70

表-4 台風 15 号の中心位置

月 日 時	中心位置		進行方向	進行速度 km/h
	北緯	東経		
9月25日 03時	23.0	137.2	NW	30
09	24.1	136.2	NW	15
15	24.8	135.8	NNW	35
21	26.5	134.8	N	30
26 03	28.0	134.5	N	35
09	29.7	134.5	N	40
15	32.0	134.9	NNE	60
21	35.0	136.1	NNE	80
27 03	38.9	138.9	NE	70

表-5 清水港における観測値 (台風 15 号)

日 時	$H_{1/3}$	$T_{1/3}$
9月26日 22時 15分	4.3 m	14.2 sec
22 35	4.15	17.6
23 15	4.22	16.4
27 0 15	3.68	16.0
1 15	3.71	15.2

波の来襲方向が一定しているため 図-1 のようにきめた。この直線上の風速の有効成分を式(2), 式(4)より求め, これらの値は時間間隔 1 時間, 区間間隔 50km として求めると 図-6, 図-7 のようになる。ここで傾度風は, 等圧線の接線に対して 30° で吹き込むものと考えた。以上の計算に用いた台風の位置, 進行速度は 表-3, 表-4, 図-1 に示すとおりである。これらの値は 6 時間ごとの値であるが, 計算には連続的に変化するものとして直線で結んで用いた。

図-6, 図-7 の風速の値を用いて, 田子ノ浦に来襲する波を計算する。台風 21 号では 図-6 を見てもわかるように, 風速が陸に近づくとき急激に減少しているために, この場合はうねりとして進むものと考えて, Bretschneider²⁾ によるうねりの予報曲線を用いて計算を行なった。計算結果を 図-8, 図-9 に示す。台風 21 号では, 田子ノ浦で波の記録がとられているので, この値も図に示してある。実測値と比較すると, 波高, 周期ともほぼ最大値付近では一致しているが, ほかの値ではかなり差がある。台風 15 号では清水港において 表-5 のように実測値が得られている。これを比較するために清水港の屈折図を描くと 図-10 のようになり, 屈折係数は

図-8 台風 21 号波高と周期

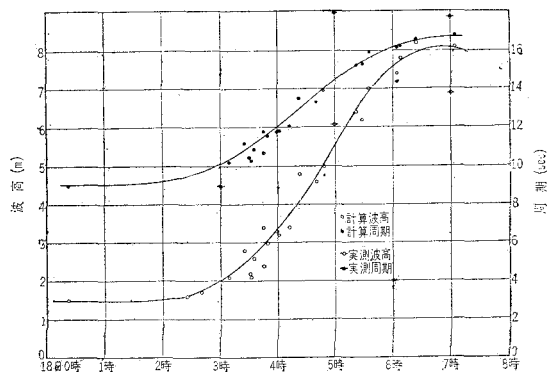


図-9 台風 15 号波高と周期

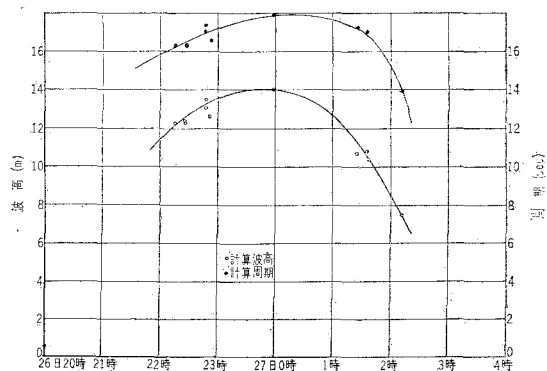
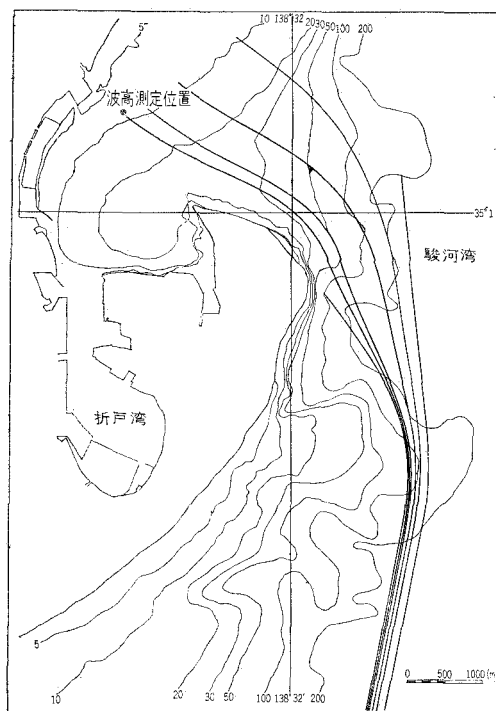


図-10 清水港屈折図 ($T=17.9$ sec)



$T=17.9$ sec で $K_r=0.32$ である。これより来襲波の最大値を求めるとほぼ $H_{1/3}=4.5$ m となり実測値より少し大きめになっている。また周期については大体一致している。

5. あとがき

台風などのように風域が移動する場合に、波を推算する方法を示し、この方法を用いて、台風 21 号、台風 15 号による田子ノ浦の波を計算して、実測値と比較を行った。この結果、最大値については比較的よく一致したが、ほかの場合にはまだ検討する必要がある。この方法は、計算法自体にも、また風速の計算にも、いくつかの仮定をしており、これらについてさらに実測値と比較検討することが必要である。

参 考 文 献

- 1) Bretschneider, C.L.: Revision in Wave Forecasting, Deep and Shallow Water, Proc. 6th Conf. Coastal Eng. (1958).
- 2) Pierson, J.W., Neumann, G., James, R.W.: Practical Methods for Observing and Forecasting Ocean Waves (1955).
- 3) Wilson, B.W.: Graphical Approach to the Forecasting of Waves in Moving Fetches, B.E.B. Tech. Memo. No. 73 (1955)
- 4) 宇野木早苗: 台風内の波浪の構造について, 第5回海岸工学講演会講演集, (1958)
- 5) 宮崎正衛・宇野木早苗・上野武夫: 伊勢湾台風による高潮とその理論計算について, 第7回海岸工学講演会講演集 (1960)