

九州大学工学部 正員 井島武士

九州大学工学部 正員 松尾隆彦

九州大学工学部 学生員 副島 毅

1. まえがき

台風域の波の分布については、従来 Bretschneider, 宇野木, 坂本-井島等の推定方法があるが、何れも観測値に基づくもので、台風の進行速度の影響あるいは波高及び周期分布の推定について不明確な点で少なくない。特に台風が海岸に接近し、地形及び水深の影響を受ける場合については、その効果は殆んど不明である。これらの点を解明する一つの方法として、電子計算機を用いて種々のモデル台風に進捗速度を与えて、波の分布を推定する試みを行った。ここではその第一段階として海洋上の波の分布を計算した結果を簡単に示し、引続き海岸部での波の計算を行う予定である。

2. 台風域内の風速分布

進行する台風による風速分布は、高潮計算において気象庁が用いた方法をそのまま用いることにした。即ち、台風域内では台風中心に対して同心円の形で風速と風向が分布する“中心対称風”と台風の移動によって生ずる“場の風”の合成として与えられるものとする。“中心対称風”では風速値 U_1 は中心からの距離 r のみで決まり、次の様に表わされる。

$$U_1 = C_1 F(r) \quad (1)$$

$$\text{但し } F(r) = \sqrt{\frac{4P \cdot Y_0}{r^2}} e^{-\frac{Y_0}{2r}} - \frac{f}{2} r$$

$$C_1 = 0.6 \quad (\text{無次元常数})$$

上式で ρ は空気密度で $1.20 \times 10^{-3} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$ とする。 $4P$ は台風中心示度と台風域外の気圧との差を、mb で示す。 Y_0 は台風中心から最大風速の起っている点までの距離、 r は中心から考える場所までの距離、 f はコリオリの係数で $\frac{f}{2} = \omega \sin \varphi$ (ω は地球自転の角速度 $7.29 \times 10^{-5} \text{ rad/sec}$, φ は考える点の緯度) である。 $F(r)$ は摩擦を考えない時の傾度風速で、海面上では摩擦のためその 0.6 倍の風速となると仮定し、 $C_1 = 0.6$ とする。(1) で与えられる風速が、台風中心の同心円の切線に対して 30° の傾きをなして吹き込むとする。次に“場の風”は風速 U_2 で風向は台風の進行方向と同じである。

$$U_2 = C_2 \times \frac{F(r)}{F(r_0)} \times V \quad (2)$$

上式で V は台風の進行速度である。

実際の風は U_1 と U_2 とのベクトル和となるからその大きさ U は次の様になる。

$$U = C_1 F(r) \sqrt{1 + M^2 - M (\sin \theta - \sqrt{3} \cos \theta)} \quad (3)$$

$$\text{但し } M = V / F(r_0)$$

$$\tan \theta = \frac{\sqrt{3} + 2 M \cos \theta}{1 - 2 M \sin \theta} \quad (4)$$

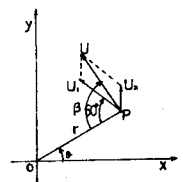


図-1

図-1 は台風中心を原点とし y 軸方向に進行する台風について点 P における上述の関係を示すものである。この様な風速分布を伊勢湾台風について当てはめると、 $\Delta P = 75 \text{ mb}$, $Y_0 = 75 \text{ km}$ となり、風速分布は図-2 のようになる。(但し $M = 0.4$, 従って $V = 18.1 \text{ m/sec} \approx 65 \text{ km/hr}$ の場合である。)

3. 計算法

次の仮定の下に計算を行う

- (1) 台風域内の波の進行方向はその点の風向と一致する。
- (2) 有義波として取扱う場合、考える地点を通過する波は各方向からの波が互いに作用し合っ変形することはない、従って考える地点を通過するもっとも大きい波高がその点における卓越波高を示すものとする。
- (3) 台風の規模と進行方向及び速度は一定である
- (4) 風速と有義波の関係については Wilson が 1955 年及び 1965 年に発表した次の二つの関係式を仮定した。

$$(1) \quad \frac{gH}{U^2} = 0.26 \tanh \left(0.01 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right) \quad (5)$$

$$\frac{gT}{2\pi U} = 1.40 \tanh \left[0.043 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (6)$$

$$(11) \quad \frac{gT}{2\pi U} = 2K_1 \left(1 - \frac{1}{\{1 + K_2 (gF/U^2)^{\frac{1}{2}}\}^{\frac{1}{2}}} \right) \quad (7)$$

$$\frac{gH}{U^2} = K_3 \left(1 - \frac{1}{\{1 + K_4 (gF/U^2)^{\frac{1}{2}}\}^{\frac{1}{2}}} \right) \quad (8)$$

こゝで、 $K_1 = 0.685$, $K_2 = 0.008$, $K_3 = 0.30$, $K_4 = 0.004$

ある点 a において群速度 C_a , 波高 H_a をもつ波が風速 U_a を受けて距離 Δx を進行して点 b に到達したとき、この波の群速度 C_b , 波高 H_b は (7) 及び (8) 式を用いた場合、次式で計算される。

$$C_b = C_a + \frac{5}{3} K_1 K_2^3 \frac{X^{\frac{3}{2}}}{(1 - X^{\frac{1}{2}})^2} \frac{g}{U_a} \Delta x \quad (9)$$

$$H_b = H_a + K_3 K_4^2 \frac{Y^2}{1 - Y^{\frac{1}{2}}} \Delta x \quad (10)$$

但し、 $X = 1 - \frac{C_b}{C_a}$, $Y = 1 - \frac{gH_b}{gH_a} \left(\frac{U_b}{U_a} \right)^2$

(5) 風波は $X = 0$ 又は $Y = 0$ の状態になるとそれ以上発達せず、それ以後はうねりとなり風の影響を受けず進行方向を変えないで波高及び波長は次式に従って変るものとする。

$$\frac{H_F}{H_0} = \cosh \left[0.66 \left(\frac{F}{F_0} \right)^{0.06} \left(\frac{D}{F} \right)^{0.25} \tanh \left\{ 3.0 \left(\frac{D}{F} \right)^{0.30} \right\} \right] \quad (11)$$

$$\frac{L_F}{L_0} = \cosh \left[1.74 \left(\frac{F}{D} \right)^{-0.05} \left(\frac{D}{F} \right)^{0.20} \tanh \left\{ 1.02 \left(\frac{F}{F_0} \right)^{-0.04} \left(\frac{D}{F} \right)^{0.32} \right\} \right] \quad (12)$$

即ち初めの波高 H_F , 波長 L_F , その波の通過した距離 F , 波の進行した無風域の長さ D によって、その点のうねりの波高 H_0 , 波長 L_0 が与えられるもので、これは Bretschneider によるうねりの算定図表を式で表わしたものである。図-3 は図-2 の台風についての計算の結果、海面上の各点から発生する波の進行経路を、海面に対して静止した座標に関して示したもので、図中の数値は $X = 0$ 又は $Y = 0$ になった状態の周期及び到達時間を示したものである。

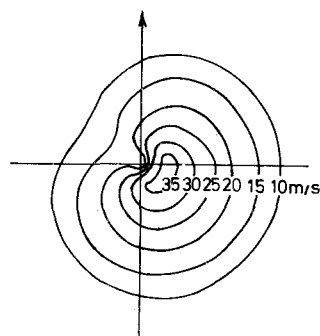


図-2 風速分布

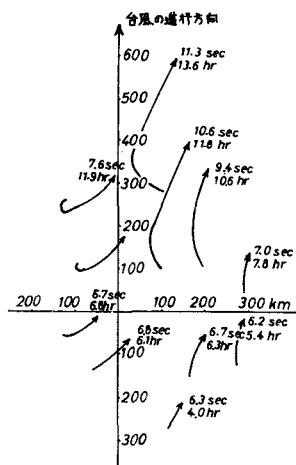


図-3 波の進行経路図

この計算結果は静止した海面に突然台風が発生し進行した場合に相当するもので、必ずしも定常状態に入った台風域内の波とは断定されない。これを求めるために第2次計算として上記計算結果を初期値(初期波高及び周期)とする波の発達を再び計算し又更にこれを初期値として計算を繰り返せば、定常状態を得ることができる。以上のようにして台風域内での波の分布が知れる。

4. 結果

上記のような近似計算を風波について、第3次近行い引続き $X=0$ 又は $Y=0$ の状態に入った波についてうねりの計算を行い、台風域内の予め定められた領域内を通過する最も卓越した波を取ってその分布を示したものが図4～7である。伊勢湾台風、枕崎台風等の重要な6つの台風をモデルとし、 M (台風の進行速度/候度風の最大風速)が0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50の場合について計算を行い波の分布を求めた。台風域内の最大波高 H_{max} 及びその最大波高を示す波の周期 T_{max} に対する台風域内の各点の波高及び周期の比を取って見る。そうすると台風の種類にかかわらず、 M について同じ分布を示す。図は台風中心を原点とし、台風と共に移動する座標系について、考える地点と台風の中心との距離 r と、最大風速の起る点と中心の距離 r_0 の比 r/r_0 を座標として $M=0.1$ と $M=0.4$ の波高、周期分布について示した。図中の実線は風波が卓越する領域、破線はうねりの卓越する領域を示すものである。

最大波高の生ずる点は、 $M=0.1$ の場合およそ $r/r_0=1$ 、 $\theta=45^\circ$ の点に、進行速度が大きくなって $M=0.4$ になると、 $r/r_0=3$ 、 $\theta=150^\circ$ の点に生ずる。但し θ は台風の進行方向から右回りに取った角度である。 $M=0.1$ の場合、台風の中心付近を除いてはほとんどうねりが卓越する。又周期は全領域について、その大きさにあまり差がない。

$M=0.4$ の場合進行速度が大きいため、ほとんど全領域について風波が卓越する。台風中心より後方にうねりの卓越する領域があるが、これは波の進行速度が台風の進行速度より小さいため、波が台風に取り残されて居るためである。

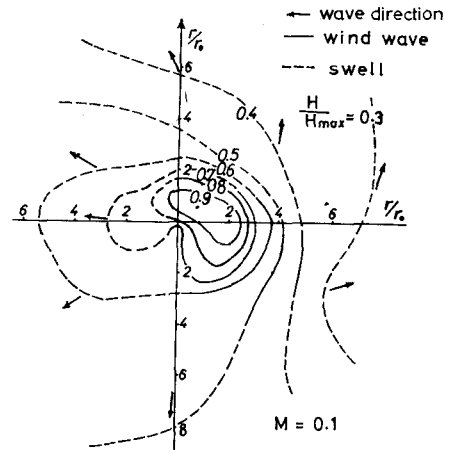


図-4 波高分布

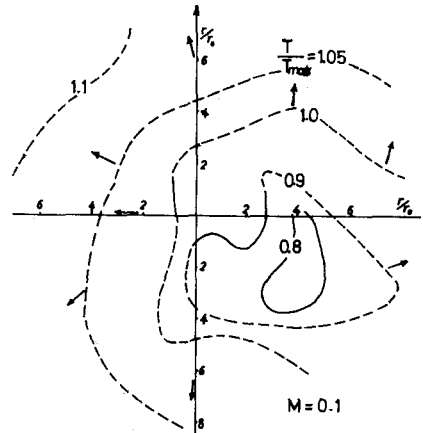


図-5 周期分布

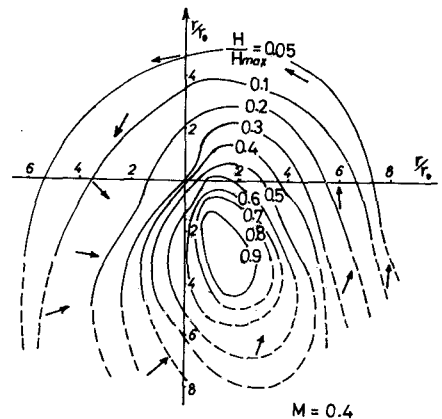


図-6 波高分布

上記計算によつて台域内に生じた有義波の最大波高 H_{max} 、及びその最大波高を示す有義波の周期 T_{max}

と、台風の規模を示す台風の中心示度の深さ ΔP 及び最大風速と中心との距離 r_0 、台風の進行速度 V の関係について示したものが図-9である。

図中で実線部は Wilson が 1965 年に発表した風と波の関係、式 (7)、(8) を用いて第三次の近似計算まで行った結果である。破線部は Wilson が 1955 年に発表した風と波の関係、式 (5)、(6) を用いて第一次の近似計算を行った結果である。

面対数グラフ上で $gT_{max}/2\pi V$ と $r_0\Delta P/V^4$ はほぼ直線的関係にあり、その傾きは $\tan\theta = 1/3.7$ ぐらいである。 gH_{max}/V^2 と $r_0\Delta P/V^4$ もほぼ直線的関係にあるが、 $r_0\Delta P/V^4$ が小さくなるとその傾きがやや大きくなっている。

図-8 は摩擦を考えない時の傾度風速 $F(r)$ (式 1 より) に $r=r_0$ を代入した値、即ち傾度風の最大風速と、 ΔP 、 r_0 の関係を示したものである。

図-8、図-9 及び各 R の M について求められた波高及び周期分布図 (図-4~7 のようなもの) を用いて任意の ΔP 、 r_0 、 V の台風の風域内での波高、周期を知ることができる。

図-8 は $M = V/F(r_0)$ を簡単に知るために描いたものである。

以上によつて海洋上での台風域内での波の推定ができるわけであるが、引続き海岸部の境界条件が入る場合の推定法について考える予定である。

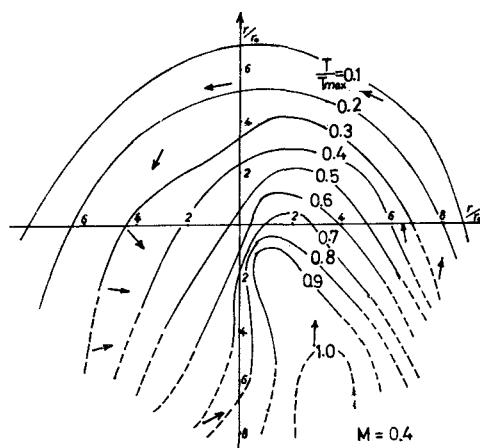


図-7 周期分布

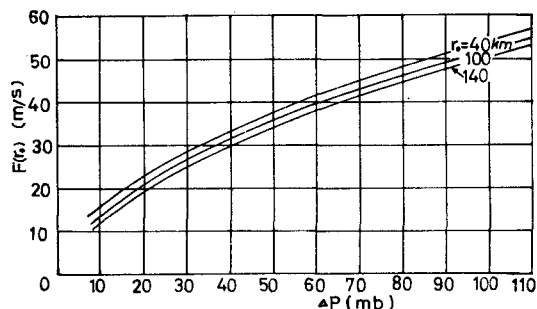


図-8

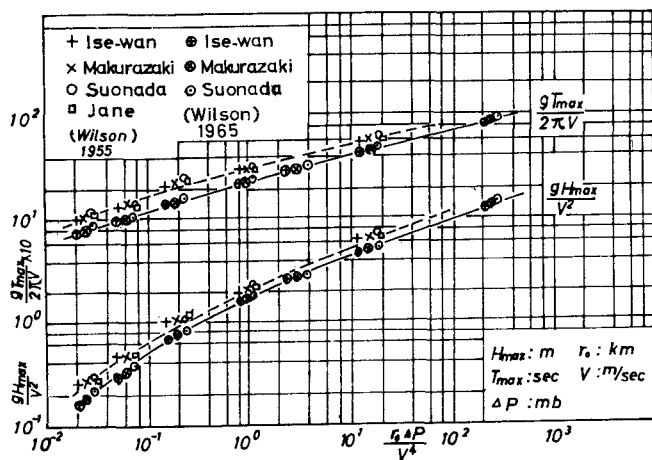


図-9