

高潮推算に関する一考察

堀 口 孝 男*

1. はしがき

近来、河川高潮対策事業として大阪市の市内河川に大水門を設置する計画が提案され、大阪湾の高潮に関する設計条件について関係当局者の間に種々の議論が交換された。筆者も関係者の一人としてこの問題に参加し、高潮の推算を行なったが、これら高潮の推算に関連して生じた問題点について多少の考察を述べることにする。

大阪湾の高潮に関する計算はすでに宮崎・上野により実施され、Platzman が用いた方法、いわゆる staggered system に基づく結果が得られている。その後、計算方法については宇野木が東京湾において、また上野は関門海峡あるいは瀬戸内海西部において、それぞれ新しい方法を開発している。今回行なった計算は宇野木の方法に基づいて実施し、さきに行なわれた staggered system の結果と比較したものである。いうまでもなく、高潮の推算にはモデルとする台風の規模およびその経路の与え方、海水の表面あるいは海底のせん断応力などが大きい影響を与えることは明らかであるが、計算方法の差異によっても推算値に高低の差が表われる。したがって推算値に基づいて高潮対策の設計条件を決定しようとする場合には、この推定計算に含まれる種々の仮定、各係数の物理的性格を考慮して決定することが望ましい。

2. 考 察

(1) 計算方法について

宮崎・上野の最初に行なった計算では、慣性項ならびに高次の微小項を省略した線形方程式に基づいている。しかしながら、大阪や堺などの湾奥部では比較的水深が浅く、平均海面から 5~6m 程度であるため、これらの地域に 3m に近い偏差を生ずる高潮を対象とするときには、慣性項の影響を計算に含めなければならない。慣性項を含め、一次の項までを考慮して二次以上の微小項を省略した運動方程式ならびに連続の式はつぎのようになる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial M_x}{\partial t} = & -g(h+\zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial x} + g(h+\zeta) \frac{\partial \zeta_0}{\partial x} + \frac{\tau_s^{(x)}}{\rho_w} \\ & - \frac{\tau_b^{(x)}}{\rho_w} + f M_y - (h+\zeta) \left\{ \frac{\partial U^2}{\partial x} + \frac{\partial(UV)}{\partial y} \right\} \end{aligned} \right\}$$

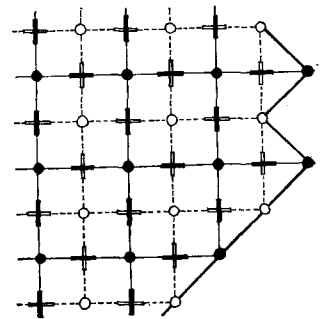
$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial M_y}{\partial t} = & -g(h+\zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial y} + g(h+\zeta) \frac{\partial \zeta_0}{\partial y} + \frac{\tau_s^{(y)}}{\rho_w} \\ & - \frac{\tau_b^{(y)}}{\rho_w} - f M_x - (h+\zeta) \left\{ \frac{\partial(UV)}{\partial x} + \frac{\partial V^2}{\partial y} \right\} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -\frac{\partial M_x}{\partial x} - \frac{\partial M_y}{\partial y} \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

ここで x, y 軸は平均海面上に、 z 軸は鉛直下方を正にとる。 f は Coriolis の係数、 ρ_w は海水の密度、 $z = h(x, y)$ は海底を表わし、 $z = -\zeta(x, y, t)$ は海面を示す。 ζ_0 は気圧変化をそれに相当する水柱の高さで示したものである。また $M_x = (h+\zeta)U$ 、 $M_y = (h+\zeta)V$ で、 M_x, M_y は $M_x = \int_{-\zeta}^h u dz$ 、 $M_y = \int_{-\zeta}^h v dz$ のごとく積分された流量である。 τ_s は表面のせん断応力、 τ_b は海底の抵抗を示す。staggered system は式 (2.1), (2.2) の

うちの線形方程式に適用され、大阪湾で初めて試みられたものである。図-1 に示すごとく、staggered system は時間の step が異なるたびに二つの格子系を交互に用い、広域の計算における計算量、計算時間の節約

図-1 共役格子系



をはかる方式であるが、式 (2.1) で非線形項を省略した場合、両者の格子による計算を結びつける量は Coriolis の力だけになる。Coriolis の力を他の項たとえば水面勾配の項と比較してみると、

$$\frac{f M_y}{g(h+\zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial x}} = \frac{f(h+\zeta)V}{g(h+\zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial x}} \sim \frac{f}{\sigma} \sim \frac{10^{-5}}{10^{-4}} = 10^{-1}$$

の程度であり、共役の格子系を結びつけるための役割はあまり期待できない。したがっておのおのの格子系は、それぞれの境界に応じた運動を示す結果になりやすく、とくに大阪湾程度の海域では、境界の影響が海域全体に比較的鋭敏におよぶことが予想される。また湾奥の高潮を問題とするときには、おのおのの系の境界に近接しているため計算値に凹凸が表われるのではないかと想像さ

* 正会員 運輸省港湾局防災課

れる。

この影響を排除するためにはいわゆる smoothing の効果が考えられる。しかしながら、 τ に関する鉛直混合と水平混合の比較をしてみれば、

$$L \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} / \nu \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \sim \frac{L \cdot u \cdot \left(\frac{\sigma}{c}\right)^2}{\nu \cdot \frac{u}{(h+\zeta)^2}} = \frac{L}{\nu} \frac{\sigma^2}{g} (h+\zeta)$$

水平混合の係数 $L \sim 10^5$ 、鉛直混合の係数 $\nu \sim 10^2$ 、 $(h+\zeta) \sim 10^3$ 、 $\sigma \sim 10^{-4}$ とすれば、

$$L \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} / \nu \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \sim 10^{-5}$$

したがって、平滑化に対して物理的意味を与えるために振動系のエネルギーの減少を水平混合による減少に合わせる方法は、実際の効果がきわめて小さくなることが予想される。これについてはすでに伊藤・日野が指摘しており、staggered system による結果には強力な smoothing が要求される。強力な smoothing は一方からみるならば計算安定度を増加することになるが、逆に実在する湾の振動を平滑化してしまうことになる。

上野が改良した点は、上述の共役系の結びつきを強化したことにある。すなわち、 $M_x \Delta t / \Delta s = X$ 、 $M_y \Delta t / \Delta s = Y$ となし、 $\tau_s^{(x)} = \rho_a r^2 R$ 、 $\tau_s^{(y)} = \rho_a r^2 S$ 、 $R = W_x \cdot \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$ 、 $S = W_y \cdot \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$ 、 W_x 、 W_y は風速の x 、 y 成分、 $\tau_b^{(x)} = \rho_w r^2 U \sqrt{U^2 + V^2} - \beta \tau_s^{(x)}$ 、 $\tau_b^{(y)} = \rho_w r^2 V \sqrt{U^2 + V^2} - \beta \tau_s^{(y)}$ とするとき、式 (2.2) はつぎのようになる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial X}{\partial t} &= fY - \Gamma X + \varphi \\ \frac{\partial Y}{\partial t} &= -fX - \Gamma Y + \psi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.3)$$

ここで、 $\Gamma = r^2 \sqrt{M_x^2 + M_y^2} / (h+\zeta)^2$

$$\begin{aligned} \varphi &= \left\{ -g(h+\zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial x} - (h+\zeta) \left(\frac{\partial U^2}{\partial x} + \frac{\partial UV}{\partial y} \right) \right. \\ &\quad \left. + g(h+\zeta) \frac{\partial \zeta_0}{\partial x} + \frac{1+\beta}{\rho_w} \rho_a r^2 R \right\} \frac{\Delta t}{\Delta s} \\ \psi &= \left\{ -g(h+\zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial y} - (h+\zeta) \left(\frac{\partial UV}{\partial x} + \frac{\partial V^2}{\partial y} \right) \right. \\ &\quad \left. + g(h+\zeta) \frac{\partial \zeta_0}{\partial y} + \frac{1+\beta}{\rho_w} \rho_a r^2 S \right\} \frac{\Delta t}{\Delta s} \end{aligned}$$

式 (2.3) の左辺には $\frac{X^{t+2} - X^t}{\Delta t}$ 、 $\frac{Y^{t+2} - Y^t}{\Delta t}$ を代入し、右辺は $t=t+1$ の step をとる。さらに X 、 Y には、

$$X^{t+1} = \frac{X^{t+2} + X^t}{2}$$

$$Y^{t+1} = \frac{Y^{t+2} + Y^t}{2}$$

を代入する。このとき、 $(X, Y)^{t+2}$ に関する連立二元一次方程式になるから、差分化された解はつぎのように得られる。

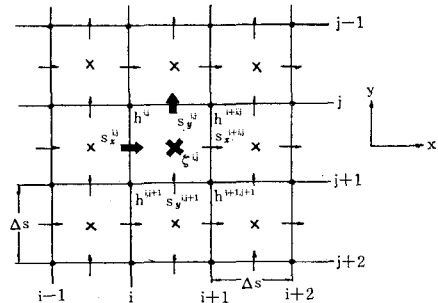
$$\begin{aligned} \left\langle \begin{matrix} X \\ Y \end{matrix} \right\rangle^{t+2} &= \left\{ \left[1 - \left(\frac{\Gamma \Delta t}{2} \right)^2 - \left(\frac{f \Delta t}{2} \right)^2 \right] \right. \\ &\quad \times \left\langle \begin{matrix} X \\ Y \end{matrix} \right\rangle^t \pm f \Delta t \left\langle \begin{matrix} Y \\ X \end{matrix} \right\rangle^t - g(h+\zeta)^{t+1} \frac{\Delta t^2}{\Delta s} \\ &\quad \times \left[\left(1 + \frac{\Gamma \Delta t}{2} \right) \left\langle \begin{matrix} \frac{\partial \zeta}{\partial x} \\ \frac{\partial \zeta}{\partial y} \end{matrix} \right\rangle \pm \frac{f \Delta t}{2} \left\langle \begin{matrix} \frac{\partial \zeta}{\partial y} \\ \frac{\partial \zeta}{\partial x} \end{matrix} \right\rangle \right]^{t+1} \\ &\quad - (h+\zeta)^{t+1} \frac{\Delta t^2}{\Delta s} \left[\left(1 + \frac{\Gamma \Delta t}{2} \right) \left\langle \begin{matrix} E_x \\ E_y \end{matrix} \right\rangle \right. \\ &\quad \left. \pm \frac{f \Delta t}{2} \left\langle \begin{matrix} E_y \\ E_x \end{matrix} \right\rangle \right]^{t+1} + (h+\zeta)^{t+1} \frac{\Delta t^2}{\Delta s} \\ &\quad \times \left[\left(1 + \frac{\Gamma \Delta t}{2} \right) \left\langle \begin{matrix} \frac{\partial \zeta_0}{\partial x} \\ \frac{\partial \zeta_0}{\partial y} \end{matrix} \right\rangle \pm \frac{f \Delta t}{2} \left\langle \begin{matrix} \frac{\partial \zeta_0}{\partial y} \\ \frac{\partial \zeta_0}{\partial x} \end{matrix} \right\rangle \right]^{t+1} \\ &\quad \left. + \frac{1+\beta}{\rho_w} \rho_a r^2 \frac{\Delta t^2}{\Delta s} \left[\left(1 + \frac{\Gamma \Delta t}{2} \right) \left\langle \begin{matrix} R \\ S \end{matrix} \right\rangle \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \pm \frac{f \Delta t}{2} \left\langle \begin{matrix} S \\ R \end{matrix} \right\rangle \right]^{t+1} \right\} / \left[\left(1 + \frac{\Gamma \Delta t}{2} \right)^2 + \left(\frac{f \Delta t}{2} \right)^2 \right] \\ &\quad \dots\dots\dots (2.4) \end{aligned}$$

ここで、

$$E_x = \frac{\partial U^2}{\partial x} + \frac{\partial (UV)}{\partial y}, \quad E_y = \frac{\partial (UV)}{\partial x} + \frac{\partial V^2}{\partial y}$$

式 (2.4) からわかるように、 X に関しては水面勾配、慣性項、気象項、抵抗項の y 成分が、 $f \Delta t / 2$ を通じて X に関係しており、共役系の結びつきが強化されている。このほか、慣性項の計算に座標軸を 45° 回転した計算法が試みられており、共役系の連結を強めるため、あるいは曲りくねった海峡などの計算に利用できるための努力が払われている。

図-2 格子のとり方



一方、宇野木が東京湾で用いた方法は、前述のごとき共役系を用いずに慣性項を含めた計算を行なったもので、図-2 のように水深を表わす点と流量を示す位置、潮位を示す位置が異なっているところに特徴がある。差分式の方程式の解を示せば、

$$\left. \begin{aligned} \zeta^{i,j}(t+\Delta t) &= \zeta^{i,j}(t) - S_x^{i+1,j} \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) \\ &\quad + S_x^{i,j} \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) - S_y^{i,j} \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) \\ &\quad + S_y^{i,j+1} \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) \end{aligned} \right\}$$

$$\begin{aligned}
 S_x^{i,j}(t+\Delta t) &= S_x^{i,j}(t) - \frac{g}{2} \left(\frac{\Delta t}{\Delta s} \right)^2 \\
 &\times \left\{ \zeta^{i,j} \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) + \zeta^{i-1,j} \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) + h^{i,j} + h^{i,j+1} \right\} \\
 &\times \left\{ \zeta^{i,j} \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) - \zeta^{i-1,j} \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) \right\} + A_x^{i,j} \\
 S_y^{i,j}(t+\Delta t) &= S_y^{i,j}(t) - \frac{g}{2} \left(\frac{\Delta t}{\Delta s} \right)^2 \\
 &\times \left\{ \zeta^{i,j-1} \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) + \zeta^{i,j} \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) + h^{i,j} + h^{i+1,j} \right\} \\
 &\times \left\{ \zeta^{i,j-1} \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) - \zeta^{i,j} \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) \right\} + A_y^{i,j} \\
 &\dots\dots\dots(2.5)
 \end{aligned}$$

ここで,

$$\begin{aligned}
 A_x^{i,j} &= \frac{g}{2} \left(\frac{\Delta t}{\Delta s} \right)^2 (\zeta^{i,j} + \zeta^{i-1,j} + h^{i,j} + h^{i,j+1}) \\
 &\times (\zeta_0^{i,j} - \zeta_0^{i-1,j}) + \frac{\rho a r^2 (1+\beta) (\Delta t)^2}{\rho_w \Delta s} \\
 &\times \sqrt{(W_x^{i,j})^2 + (W_y^{i,j})^2} \cdot W_x^{i,j} - r^2 \frac{(\Delta t)^2}{\Delta s} U^{i,j} \\
 &\times \sqrt{(U^{i,j})^2 + \{(V^{i,j} + V^{i-1,j} + V^{i-1,j+1} + V^{i,j+1})/4\}^2} \\
 &+ \frac{f \Delta t}{4} (S_y^{i,j} + S_y^{i-1,j} + S_y^{i-1,j+1} + S_y^{i,j+1}) \\
 &- \frac{1}{8} \left(\frac{\Delta t}{\Delta s} \right)^2 \cdot (\zeta^{i,j} + \zeta^{i-1,j} + h^{i,j} + h^{i,j+1}) \\
 &\times \{(U^{i+1,j} - U^{i-1,j})(U^{i+1,j} + 2U^{i,j} + U^{i-1,j}) \\
 &+ (U^{i,j+1} - U^{i,j})(V^{i,j} + V^{i-1,j}) \\
 &- (U^{i,j} + U^{i,j+1})(V^{i,j+1} + V^{i-1,j+1})\} \\
 A_y^{i,j} &= \frac{g}{2} \left(\frac{\Delta t}{\Delta s} \right)^2 (\zeta^{i,j-1} + \zeta^{i,j} + h^{i,j} + h^{i+1,j}) \\
 &\times (\zeta_0^{i,j-1} - \zeta_0^{i,j}) + \frac{\rho a r^2 (1+\beta) (\Delta t)^2}{\rho_w \Delta s} \\
 &\times \sqrt{(W_x^{i,j})^2 + (W_y^{i,j})^2} \cdot W_y^{i,j} - r^2 \frac{(\Delta t)^2}{\Delta s} \cdot V^{i,j} \\
 &\times \sqrt{\{(U^{i+1,j-1} + U^{i,j-1} + U^{i,j} + U^{i+1,j})/4\}^2 + (V^{i,j})^2} \\
 &- \frac{f \Delta t}{4} (S_x^{i+1,j-1} + S_x^{i,j-1} + S_x^{i,j} + S_x^{i+1,j}) \\
 &- \frac{1}{8} \left(\frac{\Delta t}{\Delta s} \right)^2 (\zeta^{i,j-1} + \zeta^{i,j} + h^{i,j} + h^{i+1,j}) \\
 &\times \{(U^{i+1,j-1} + U^{i+1,j})(V^{i+1,j} + V^{i,j}) \\
 &- (U^{i,j-1} + U^{i,j})(V^{i,j} + V^{i-1,j}) \\
 &+ (V^{i,j-1} - V^{i,j+1})(V^{i,j-1} + 2V^{i,j} + V^{i,j+1})\}
 \end{aligned}$$

この計算法によれば、 $A_x^{i,j}$ 、 $A_y^{i,j}$ の計算に時間を要するが、 Δt step ごとには計算せず、ある一定間隔ごとに計算を行ない、その間は一定とみなして計算量の節減をはかる工夫がなされている。これは上野の方法でも同様に用いられており、大阪湾程度の海域では staggered system の計算所要時間と大きな差はないようである。宇野木の計算方法で留意すべき点は、図-2 のごとく格子点を配列することにより、境界において海岸を横切る流れがないように条件を定められることである。すなわち従来の格子点の配列では共役格子系から生ずる不均等

を除くため、 $S_x=0$ 、 $S_y=0$ の境界条件を置いているが、宇野木の方法では海岸に直角な流量を $S_n=0$ と置くことができる。

以上述べたことから、共役格子系の不利を排除し、境界の条件を合理的に表現し、また差分式も繁雑にわたらず計算時間が長くないという点からみて、宇野木の計算法を今回の計算に用いた。staggered system による計算結果との比較を、大阪、神戸における室戸台風の例で示したものが図-3、図-4 である。大阪、神戸いずれの場合にも二つの計算結果は同様の傾向を示す変動で

図-3 大阪における計算値

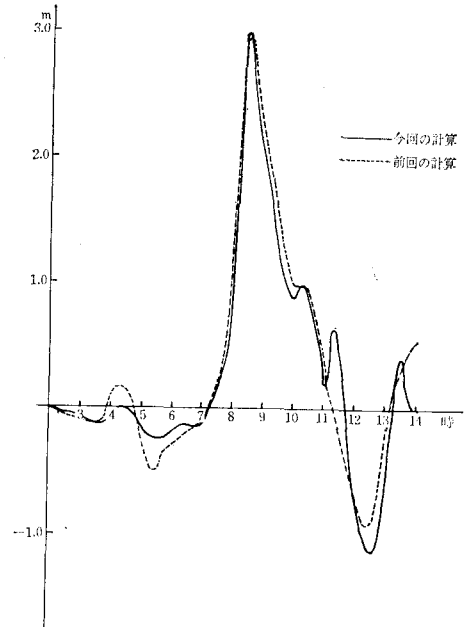


図-4 神戸における計算値

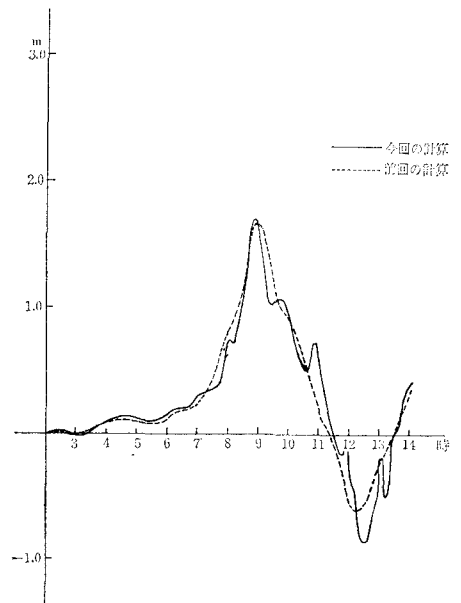
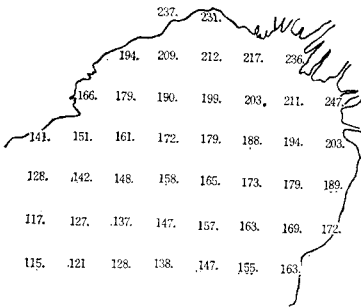


図-5 室戸台風による偏差の分布

(A) 前回の計算



(B) 今回の計算

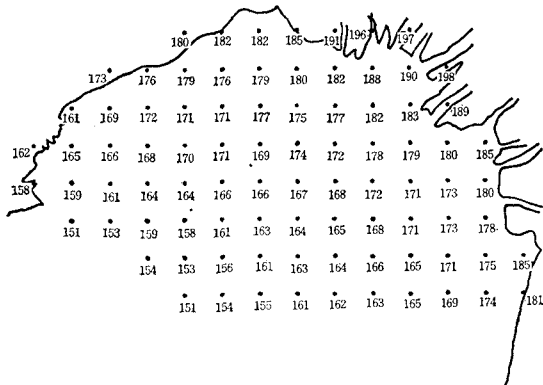
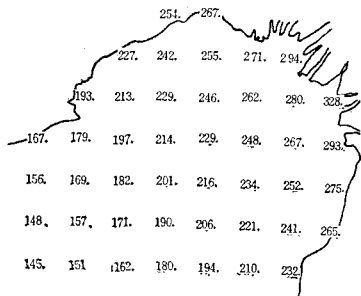
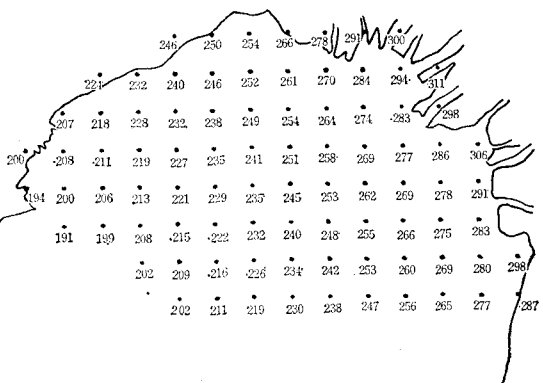


図-6 伊勢湾台風による偏差の分布

(A) 前回の計算



(B) 今回の計算



あるが、今回の計算の方が振動の目立つ動きを示している。ところが一定の時間における平面的な分布を示す図—5 (a), (b), 図—6 (a), (b) ではかなりの差が表われている。図—5 (a), (b) は室戸台風の場合で、すでに8時30分に大阪において最高値を記録した後の9時における状況を示している。また 図—6 (a), (b) は室戸台風の経路に伊勢湾台風を移動させた場合で、9時において最高値が記録された例である。staggered systemの計算では4kmの間隔で値が与えられており、この間に挿入されるもう一つの格子系の値が示されていない。しかしいずれの場合でも、staggered systemの結果では木津川、大和川河口付近に大きい値が表われており、今回の計算ではむしろ新淀川河口付近に大きい偏差が示されている。

(2) 風速の表現について

台風域内の風の分布はきわめて複雑で、高潮推算ではもっともその表現に苦心する問題である。通常用いられる方法は、場の風と中心対称風とのVector合成によって風の分布を表わしている。場の風は台風の運動方向に平行な風向をもち、台風中心から距離とともに指数関数的に減少する風速をもつ風である。すなわち、

$$\left. \begin{aligned} F_x &= C_1 V_x \exp\left(-\frac{r}{500}\pi\right) \\ F_y &= C_1 V_y \exp\left(-\frac{r}{500}\pi\right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.6)$$

ここで C_1 は係数、 V_x , V_y は台風の移動速度、 r は中心よりの距離 (km) である。

中心対称風は傾度風に比例し、風が等圧線に対して 30° 内側に吹きこんでいると仮定する。傾度風速 G は r の距離において、

$$G = \sqrt{\frac{r}{\rho_a} \frac{dp}{dr} - \frac{f}{2} r}$$

となるから、

$$p = p_\infty - \frac{a(t)}{\sqrt{1 + \left(\frac{r}{r_0}\right)^2}}$$

のごとく、 a が時間的変化する藤田の式を適用すれば、

$$\left. \begin{aligned} G_x &= -C_2 \left[\sqrt{\frac{10^3 a}{\rho_a}} \cdot \frac{1}{r_0} z^{3/2} - \frac{f}{2} \right] \\ &\quad \times (0.500x + 0.866y) \\ G_y &= C_2 \left[\sqrt{\frac{10^3 a}{\rho_a}} \cdot \frac{1}{r_0} z^{3/2} - \frac{f}{2} \right] \\ &\quad \times (0.866x - 0.500y) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.7)$$

ここで、

$$z = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{r}{r_0}\right)^2}}$$

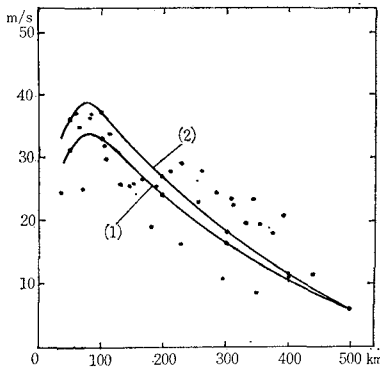
C_2 は係数

式 (2.6), (2.7) から台風域内の風の成分 W_x , W_y はつぎのようになる。

$$\begin{aligned}
 W_x &= C_1 V_x \exp\left(-\frac{r}{500}\pi\right) - C_2(0.500x + 0.866y) \\
 &\times \left[\sqrt{\frac{10^3 a}{\rho_a}} \cdot \frac{1}{r_0} z^{3/2} - \frac{f}{2} \right] \\
 W_y &= C_1 V_y \exp\left(-\frac{r}{500}\pi\right) + C_2(0.866x - 0.500y) \\
 &\times \left[\sqrt{\frac{10^3 a}{\rho_a}} \cdot \frac{1}{r_0} z^{3/2} - \frac{f}{2} \right]
 \end{aligned}
 \quad (2.8)$$

C_1 は各台風によって異なり, r_0 の比較的小さい台風で 6/7, r_0 の大きいものでは 4/7 の値が採用されている。 C_2 は今まで一律に 0.6 の値が用いられていたが, 上野は非常に強い台風の場合には, $C_2 = 0.7 \sim 0.8$ として観測値に合わせるようにしている。図-7 は観測値と計算値との比較である。 C_2 は 0.6 と置き, C_1 を (1) の曲線において 4/7, (2) の曲線において 6/7 とし, 伊勢湾台風が大阪湾を横断するときの値を示した。図-7 より (1) の曲線は値が小さすぎ, (2) の曲線によって台風中心より 200 km までは最大風速に合致する値が得られている。しかしながら伊勢湾台風の特徴として, r の大きい所まで風速が大きい傾向を示すためには, C_2 の値も 0.7~0.8 にする必要があろう。これは大阪湾程度の狭い湾では 200 km 以上離れた地点の風は大勢に影響はないとしても, 広い海域の場合には注意しなければならない点である。

図-7 風速の距離による変化



(3) 海底の抵抗について

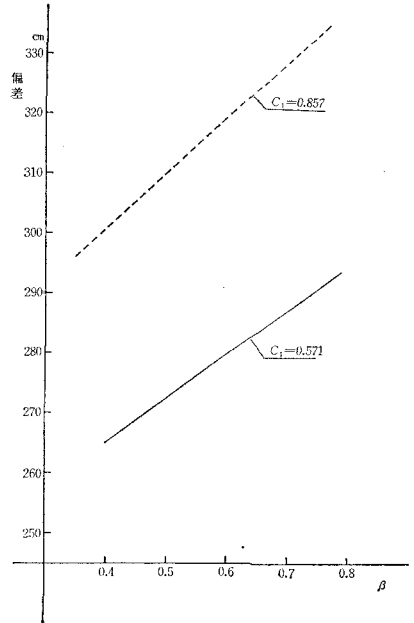
海底のせん断力は, 高潮が生ずるときのように表面に応力が作用する場合, 流速の鉛直分布が不明であるため表現に困難な点が生ずる。現在用いられている方法は, R.O. Reid の表現に準じてつぎの式を使用している。

$$\tau_b = \alpha |B|B - \beta \tau_s \quad (2.9)$$

B : 平均流の Vector

α, β : 係数

α には通常 2.6×10^{-3} の値を用いているが β は任意で, 高潮の推算値を実測値に合致させることから決定している。図-8 は室戸台風の場合, 場の風の係数に 4/7, 6/7 を採用したときの β による大阪の偏差量の変化を示した

図-8 偏差と β との関係

ものである。場の風の係数が大きいときは, 湾奥部の大阪に対する τ_s は増加し, 高潮の実測値に合致させるためには β を小さくする必要がある。また τ_s が小さいときには逆に β を大きくしなければならない。このように風速の与え方に対応して β の値は変動する。

宮崎・上野の指摘によれば, 流速が深さに関する二次式で表現されるとき,

$$\tau_b = \frac{3\nu_b \rho_w}{h} B - \frac{\tau_s}{2} \frac{\nu_b}{\nu_s} \quad (2.10)$$

ν_b, ν_s : 海底および海面のうず粘性係数

となり, $\nu_b = \frac{h\tau_b^2}{3}|B|$, $\nu_s = \frac{h\tau_s^2}{3}|B|$, τ_b, τ_s は無次元定数と仮定するとに式 (2.10) は,

$$\tau_b = \rho_w \tau_b^2 |B|B - \frac{\tau_s}{2} \left(\frac{\tau_b}{\tau_s} \right) \quad (2.11)$$

となる。式 (2.11) は (2.9) と同形であり, 一般に $\tau_b < \tau_s$ であるから β は 0.5 以下になることが予想される。今回の計算では室戸台風の実測値から $\beta = 0.35$ と決定し, ジェーン台風の実測値と計算値から検討してみると実測値では大阪において 13 時に最大偏差 237 cm を記録しているのに対し, 計算では同時刻に最大偏差 240 cm となる。したがってほぼ妥当した β の値であるものとみなされる。しかしさきにも述べたごとく, τ_s の値により β は変化することに留意することが肝要である。

3. 結 語

高潮推算で問題となる点は, 上述のほか Air-Sea Boundary におけるせん断力の表現, あるいは湾口の条

件などがある。これらの諸問題は、結局のところ異常な気象、海象における観測が繰返して行なわれて、それぞれの問題の数式による表現が物理的に根拠のあるものにならないと前進することは困難である。高潮推算は現段階ではすでに行きつける所まで達した感があり、今後はいま存在している Barrier を破ることが努力目標となる。

この計算は日本 I.B.M. 社の 7090 型を使用しており気象資料、計算の扱い方については、気象庁の宮崎正衛、宇野木早苗、上野武夫各氏の御教示を得ている。

参 考 文 献

- 1) 気象庁、第三港湾建設局：大阪湾高潮の総合調査報告，昭 36 年 3 月。
- 2) 第二港湾建設局：東京湾における高潮の推算，昭 39 年 2 月。
- 3) 第四港湾建設局：関門海峡周辺調査報告書 IV，昭 40 年 3 月。
- 4) 伊藤 剛・日野幹雄他：数理模型による東京湾横断堤の防潮効果に関する研究，第 11 回海岸工学講演会講演集，昭 39 年 11 月。
- 5) G.W. Platzman : The Dynamical Prediction of Wind Tides on Lake Erie, Tech. Report. No. 7, Univ. of Chicago, Dec. 1962.