

数値模型による東京湾横断堤の防潮効果に関する研究

伊藤 剛*・日野 幹雄**・渡辺 二郎***・日野 和子****

1. 序 論

(1) 東京湾計画

東京湾の川崎——木更津間に横断堤を築造する案が昭和 36 年 11 月に産業計画会議から提出された¹⁾。この横断堤は東京湾湾奥の低地帯を高潮の脅威から守ることと、東京湾周辺の陸上交通を円滑にすることを目的としたもので、いわば一石二鳥の役割りを果すものである。

横断堤築造に関する技術的諸問題とくに高潮に対する防潮効果についてはすでに理論計算が行なわれた^{1), 2)}。その後、昭和 37 年産業計画会議はオランダから海岸工学・干拓学の権威である Jansen 博士、Dronkers 氏を招いて東京湾計画の検討を求めた。両氏はいくつかの問題点を指摘したが³⁾、水理学上の問題点として ④防潮堤開口部が横断堤両端部に 500 m ずつという当初の案は船舶の航行や工業用地の使用上好ましくないから、これを堤中央部に移すべきこと、⑤通常の日潮汐と高潮の干渉について検討すべきこと、⑥数値計算の際の湾口条件の妥当性についても検討すべきものの勧告があった。

この論文は以上の諸点を解決するために行なった計算結果の総合的な報告であり、一部すでに発表した部分もある^{4), 5), 6)}。ここでは、とくに数値計算上の問題と高潮を引き起こす諸要因の検討について述べる。

電子計算機は IBM 7090 を使用しており、プログラミングは前回気象庁に依頼したものとは別のものを作成した。

(2) 今回の数値計算の特徴

横断堤の防潮効果については、すでに前 2 回^{2), 7), 8)}行なわれている。これらの計算に対して、今回の計算の特徴は、①まず第一に積分領域がいちじるしく広げられ、湾口係数という不確定要素を除いたことである。東京湾内の水域面積は約 1 000 km² であるが、今回の計算ではさらに伊豆半島・大島・房総半島を包む水域面積約 9 000 km² の積分領域を加えた(図-1)。積分領域を外海までに広げたことで、境界線上の水位上昇を気圧低下分に等しいとする仮定は十分確かであると考えられるので湾口係数を用いる必要はなくなった。

高潮計算に用いる台風の気圧分布や風速分布は現実の複雑な台風の一つのモデル化にすぎないから、積分領域を広げすぎても数値計算の時間や費用が増すだけで信頼度の増加になるとは限らない。

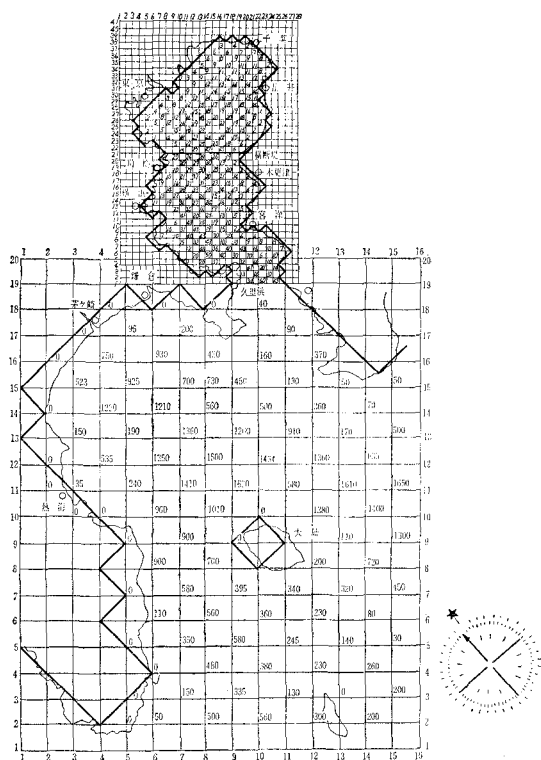
なお、東京湾内の格子点位置や横断堤の位置も前回とは多少異なっている。

② つぎに積分領域を広げたことのために、格子点間隔のことなる東京湾と相模湾の 2 領域を接続しなければならないが、普通に行なわれるように両領域をべつべつに計算する——つまり、東京湾の湾口で一度区切ってここの潮位を記録し、これを境界条件としてさらに東京湾内を計算するとか、一度粗い格子点間隔で全領域を計算し、その一部をもう一度細かな格子点間隔で計算するなどの——手間をはぶいて一度の計算ですむようにした。

③ また細かな点では、コリオリの力を考慮し、また、海底摩擦力に流速の 2 次式を用いた。

④ 開口部を中央に移し、種々のケース(開口幅: 開

図-1



* 正会員 工博 電力中央研究所

** 正会員 工博 電力中央研究所

*** 三菱原子力工業KK

**** 三菱原子力工業KK

口部水深・台風コース)について防潮効果を調べた。

⑤ とくに、日々の潮汐と高潮との重ね合わせの問題を検討した。

2. 定差方程式および計算上の二、三の注意

(1) 基礎方程式および安定な定差方程式

高潮計算に用いる基礎方程式は良く知られているように次式である。

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{M}{(h+\zeta)} \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{N}{(h+\zeta)} \frac{\partial M}{\partial y} = -g(h+\zeta) \frac{\partial(\zeta-\zeta_0)}{\partial x} + fN - \frac{\tau_b^{(x)}}{\rho_w} + \frac{\tau_s^{(x)}}{\rho_w} \dots (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{M}{(h+\zeta)} \frac{\partial N}{\partial x} + \frac{N}{(h+\zeta)} \frac{\partial N}{\partial y} = -g(h+\zeta) \frac{\partial(\zeta-\zeta_0)}{\partial y} - fM - \frac{\tau_b^{(y)}}{\rho_w} + \frac{\tau_s^{(y)}}{\rho_w} \dots (2)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -\left(\frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y}\right)$$

ここに、 t : 時間、 x, y : 座標軸 (x を東向き、 y を北向き)、 U, V : 水深方向の平均流速の x, y 成分、 M : UH , N : VH , H : $h+\zeta$, h : 水深、 ζ : 水位上昇高、 ζ_0 : $4p/\rho_w g$, $4p$: 大気圧降下分、 f : $2\omega \sin \phi$ (コリオリー・パラメーター)、 ω : 地球の回転角速度、 ϕ : 緯度

また、風の応力 (τ_s)、海底摩擦力 (τ_b) および気圧降下の水柱換算高さ (ζ_0) はそれぞれつぎのようになる。

$$\vec{\tau}_s = \rho_a r^2 |\mathbf{W}| \mathbf{W} \quad (\rho_a r^2 = 3.2 \times 10^{-6}) \dots (4)$$

$$\vec{\tau}_b = \rho_w r_b^2 |\mathbf{V}| \mathbf{V} - k \vec{\tau}_s \dots (5)$$

$$\zeta_0 = \frac{a}{\rho_w g} \left\{ 1 + \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 \right\}^{-1/2} \dots (6)$$

ここに、風速 $\mathbf{W}$ は次式で与えられる。

$$W_x = C_1 U_x \exp\left(-\frac{r\pi}{5 \times 10^7}\right) - \frac{C_2 f}{2} \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{4a}{\rho_a f^2} \cdot \frac{1}{r_0^2 \left\{ 1 + \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 \right\}^{3/2}}} \right] (0.500x + 0.866y) \dots (7)$$

$$W_y = C_1 U_y \exp\left(-\frac{r\pi}{5 \times 10^7}\right) - \frac{C_2 f}{2} \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{4a}{\rho_a f^2} \cdot \frac{1}{r_0^2 \left\{ 1 + \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 \right\}^{3/2}}} \right] (0.866x - 0.500y) \dots (8)$$

また、 r : 台風の中心からの距離、 a, r_0 : それぞれ台風の強さと大きさに関する係数、 U_x, U_y : 台風中心の進行速度、 C_1, C_2 : 定数、 $\mathbf{V} = U + iV$

式 (6) は藤田の経験式であり、式 (7), (8) はこれから導かれたものである。

境界条件として、外海の積分領域線上では水位上昇が気圧降下による水位上昇 ζ_0 と天文潮 ζ_* の和に等しいと考える。また、自然海岸では流量フラックス M, N を

0 とし、横断堤ではこれに直角な流量フラックスはないとした。さて、式 (1), (2), (3) を用いて計算を行なうには、これらを定差方程式に書き換えなければならない。この際、数値計算が安定に進行するために時間に関する定差 Δt と格子間隔 Δs との間には

$$\frac{\Delta s}{\Delta t} \geq \sqrt{2gh_{\max}} \dots (9)$$

の関係が満たされなければならないことは良く知られている。いわゆる“Courant-Friedrichs-Lewy criterion”である。われわれの場合、この条件を満たすためには実際問題としては不必要な細かい時間間隔 (30 sec) で計算をすすめるなければならないことになる。

しかし、差分計算が安定して行なわれるためには、式 (9) の条件では不十分であり、とくに非線型項 (慣性項や2次の海底摩擦力) をふくむときには問題が複雑になる。計算が安定に進行するための差分式形はすでに発表したようにつぎのようでなければならない^{4), 6)}。

$$M_{j,k}^{n+2} = \frac{1}{\left[1 + \frac{c}{2} d(x,y) \sqrt{(M_{j,k}^n)^2 + (N_{j,k}^n)^2} \right]} \left\{ M_{j,k}^n - a(x,y) \left\{ \zeta_{j+1,k}^{n+1} - \zeta_{j-1,k}^{n+1} - \zeta_{0j+1,k}^{n+1} + \zeta_{0j-1,k}^{n+1} \right\} + bN_{j,k}^{n+1} - \frac{c}{2} \left\{ d(x,y) M_{j,k}^n \sqrt{(M_{j,k}^n)^2 + (N_{j,k}^n)^2} - 3\tau_{sj,k}^{(x)} \right\} - I_{11} - I_{12} \right\} \dots (10)$$

ここに、

$$I_{11} = \begin{cases} f(x,y) M_{j,k}^n \{ M_{j,k}^n - M_{j-1,k}^n \} & (M_{j,k}^n \geq 0) \\ f(x,y) M_{j,k}^n \{ M_{j+1,k}^n - M_{j,k}^n \} & (M_{j,k}^n < 0) \end{cases} \dots (10a)$$

$$I_{12} = \begin{cases} f(x,y) N_{j,k}^n \{ M_{j,k}^n - M_{j,k-1}^n \} & (N_{j,k}^n \geq 0) \\ f(x,y) N_{j,k}^n \{ M_{j,k+1}^n - M_{j,k}^n \} & (N_{j,k}^n < 0) \end{cases} \dots (10b)$$

$$N_{j,k}^{n+2} = \frac{1}{\left[1 + \frac{c}{2} d(x,y) \sqrt{(M_{j,k}^n)^2 + (N_{j,k}^n)^2} \right]} \left\{ N_{j,k}^n - a(x,y) \left\{ \zeta_{j,k+1}^{n+1} - \zeta_{j,k-1}^{n+1} - \zeta_{0j,k+1}^{n+1} + \zeta_{0j,k-1}^{n+1} \right\} - bM_{j,k}^{n+1} - \frac{c}{2} \left\{ d(x,y) N_{j,k}^n \sqrt{(M_{j,k}^n)^2 + (N_{j,k}^n)^2} - 3\tau_{sj,k}^{(x)} \right\} - I_{21} - I_{22} \right\} \dots (11)$$

ここに

$$I_{21} = \begin{cases} f(x,y) M_{j,k}^n \{ N_{j,k}^n - N_{j-1,k}^n \} & (M_{j,k}^n \geq 0) \\ f(x,y) M_{j,k}^n \{ N_{j+1,k}^n - N_{j,k}^n \} & (M_{j,k}^n < 0) \end{cases} \dots (11a)$$

$$I_{22} \begin{cases} = f(x, y) N_{j,k}^n \{N_{j,k}^n - N_{j,k-1}^n\} & (N_{j,k}^n \geq 0) \\ = f(x, y) N_{j,k}^n \{N_{j,k+1}^n - N_{j,k}^n\} & (N_{j,k}^n < 0) \end{cases} \quad (11b)$$

$$\zeta_{j,k}^{n+3} = \zeta_{j,k}^{n+1} - e \{M_{j+1,k}^{n+2} - M_{j-1,k}^{n+2} + N_{j,k+1}^{n+2} - N_{j,k-1}^{n+2}\} \quad (12)$$

また、開口部 (m, n) では $N_{m,n} (= V_{m,n}(h+\zeta))$ のかわりに

$$N_{m,n}^* = \frac{l}{2\Delta s} N_{m,n} \quad (13)$$

を用いなければならない。式に現われる係数は

$$\left. \begin{aligned} a(x, y) &= g(h+\zeta)\Delta t/\Delta s & b &= 4\omega(\sin\phi)\Delta t = 2f\Delta t \\ c &= 2\Delta t/\rho\omega & d(x, y) &= \tau b^2\rho\omega/(h+\zeta)^2 \\ e &= \Delta t/\Delta s & f(x, y) &= 2\Delta t/(h+\zeta)\Delta s \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

である。これらのうち $a(x, y)$, $d(x, y)$ および $f(x, y)$ は時間変化がゆるやかであるので n ステップごと (われわれの場合には $20 \text{ 分} = 40\Delta t$ ごと) に計算すればよい。

このようにして求められた M, N, ζ は差分計算のための誤差をふくむから、 n ステップごとに各点のまわり 4 点の値と平滑化しなければならない。たとえば、 M については

$$(M_{j,k}^n) = \alpha M_{j,k}^n + \frac{1-\alpha}{4} \{M_{j+1,k}^n + M_{j-1,k}^n + M_{j,k+1}^n + M_{j,k-1}^n\} \quad (0 \leq \alpha \leq 1) \quad (15)$$

となる。平滑化係数 α は $0 \leq \alpha \leq 1$ の間の値であり、ある重さで周り 4 点との平均をとることを意味する。

計算時間を節約するために M, N と ζ は交互に (M, N は偶数時間ごとに ζ は奇数時間ごとに) 計算する。同様に M, N を計算する点と ζ を求める点は互い違いに配列する。図-1 で水深を記入した点が M, N を求める点であり、それ以外の点は ζ を計算する点である。

なお、計算時間を節約するためには M, N の計算点で M か N の一方をある規則で (図-2(b) でいえば、I-系の $\odot$ 点で M , $\odot$ 点で N , $\circ$ 点で ζ) を計算するようにすれば十分である。しかし、この論文では慣性項その他を全領域で計算するため、宮崎・宇野木らより細かい計算をした。

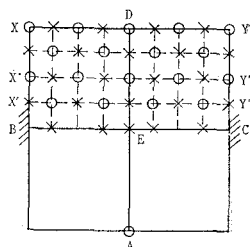
(2) 二領域の接続法

数値計算の際の境界条件 (境界上の潮位が気圧降下分に等しいとする仮定) が十分正確であるように、積分領域をいちじるしく拡大した。この結果、積分領域は最大水深がいちじるしく異なる二領域に分けられる。かつ、東京湾内の高潮計算を対象としているから、二領域のそれぞれに要求される格子点間隔も異なっている。したがって、式(9)の安定条件を満たすために両領域の格子点間隔や積分時間間隔がことなる。このように、 Δs ,

Δt の違う二つの領域を数値積分するにはいろいろの方法が考えられるが、ここでは Δt を共通に選んで一度で二つの領域内の積分が行なわれるようにした。すなわち図-2(a) で $\circ$ 印は M, N

を $\times$ 印は ζ を求める点であり、B, C, D, E 点は二領域に共用される点である。相模湾の点としての E 点の ζ を求めるには、A 点での N の他に D 点での N の値が必要である。この $(N)_D$ には東京湾領域の点として計算

図-2 (a)



された $X-Y$ 線上の N の平均値を用いる。また逆に、東京湾領域の点としての $B-C$ 線上の ζ は、相模湾領域の点として求められた $(\zeta)_E$ に等しいとする。 $X''-Y''$ 上の ζ は、一ステップ前の東京湾領域の M, N から直接求まる。 $X'-Y'$ 上の ζ は、 $B-C$, $X''-Y''$ 上の ζ の平均値として与える。

なお補足すれば、 $B-C$ 上で ζ のみを相模湾領域の点としての $(\zeta)_E$ に等しいとして与え、 M, N を与えなかったのは次の理由による。E 点は相模湾領域の点としては ζ のみが求められる。もし、 $B-C$ 上の M, N を与えたとすれば、この点の M, N を、A, D 点の M, N の平均値とし、これを $B-C$ 上の点に配分する方法が考えられる。しかし、実際に試みてみるとうまく行かなかった。恐らく、この接続区域では M, N が急激に変化するため平均値をとることが妥当ではないからであろう。

(3) 横断堤開口部付近の計算

横断堤開口部での慣性項のとり方は先に述べたように N の正負によって後方もしくは前方差分をとらなければならない [式 (10a, b), (11a, b)]。その他注意しなければならないのは、ここが振動源とならないように、開口部の M, N, ζ の急激な変化をすべての格子点に伝えなければならない。開口部も一種の二領域の接続線と考えられる。図-2(b) に示すように、計算格子は 2 系列の格子点の集合であり、それらは平滑化とコリオリ力・海底摩擦力を通してのみ互に結びついているから開口部 $A(m, n)$ 点の急激な変化はある時間ステップ後、 $A \rightarrow a \rightarrow b \rightarrow C \rightarrow P' \rightarrow P$ または $A \rightarrow a \rightarrow d \rightarrow c \rightarrow P' \rightarrow P$ の線を通して伝播し、ここに時間遅れが生じ振動の原因となる (N_A の変化は I-系の $\odot$ 点の N , $\circ$ 点の ζ および I-系の $\odot$ の M には早く伝わるが、II-系の $\odot$ 点の M , II-系の $\odot$ 点の N , および $\cdot$ 点の ζ にはコリオリの力や海底摩擦力を介してのみ伝わる)。

このような現象の伝播の遅れを防ぐ一つの方法として P 点の ζ を a, b, P' 点の ζ から (たとえば $(\zeta_a + \zeta_b)/2 = (\zeta_p + \zeta_{p'})/2$ として) 与える方がよい。

もちろん、先に述べたように、 M と N の計算点を交

潮は少なく横断堤の影響はまったくないので図示は省略した。

Aコース伊勢湾台風による最高潮位時刻を含む前後4時間の等潮位偏差図は図-6(a)(現状)および図-6(b)(開口幅1000m)に示すとおりである。図-7は横断堤築造後の流速流向図である。現状の場合は宇野木^{7),8)}を参照されたい。

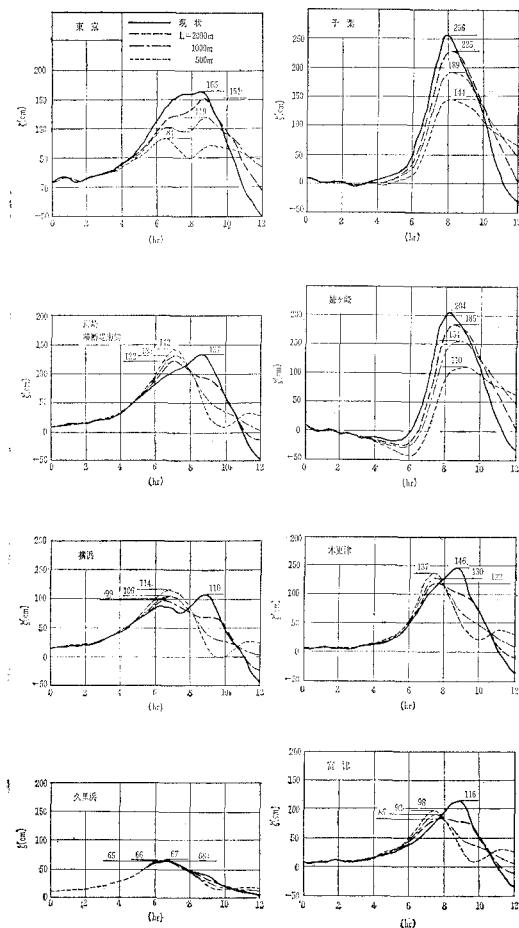
横断堤の防潮効果を見安く図示したのが図-8である。横軸には湾口から時計回りに代表地点が並べられている。図-9, 10はEコース, Iコースを通る伊勢湾台風についての計算結果を同様に図示したものである。

また, 防潮効果と横断堤開口部流水断面面積の関係を示したのが図-11であり, 開口幅と開口部の流速の時間変化を示したのが図-12である。

これらの数値計算の結果から, つぎのような結論が引き出される。

① 横断堤の築造によって一般に, 堤の内側では最高潮位はいちじるしく低くなるが, 反面潮の滞留時間が永びく傾向がある。最高潮位時はやや遅れるがそれほど大きくはない。また堤外の各地では, 潮位はやや減少する

図-5



が, それほど顕著ではない。むしろ, 最高潮位時が1~2時間早まるのがいちじるしい特徴である。

② 台風のうち最も危険なものは, 東京湾の長軸に平行に東京のやや西方を通るAコースの台風である。Iコースを通るものが最高潮位を与える場合(堤築造後)もるが, 実際問題としてこのコースを通る台風は陸上を通

図-6(a)

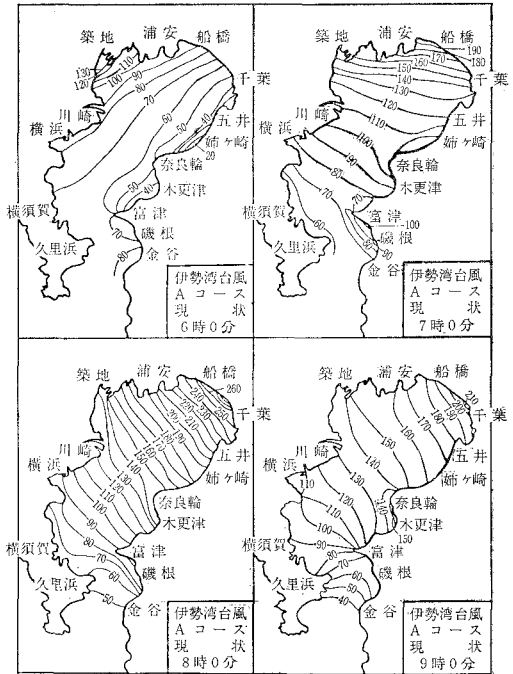
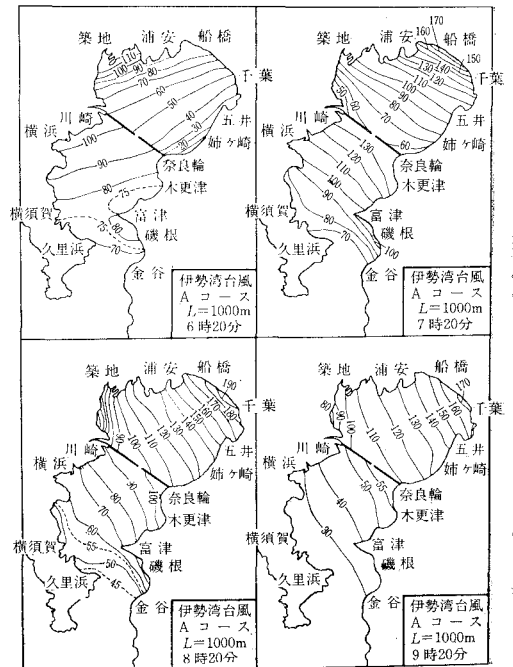


図-6(b)



るので、かなり減勢されて大きなものは少ないと考えられる。最大潮位は湾奥の千葉・船橋の一带に起こる。

③ 横断堤効果は開口部流水断面積 (A) でほぼ定まり、開口部を中央にするか端部にするか、開口部水深が浅いか深いかにはほとんど関係しない。つまり、開口幅 1000 m (水深 28 m) と 500 m×2 (水深 21 m) では、前者の防潮効果は少ないが、開口幅 1000 m でも水深を 21 m とすれば 500 m×2 と同じ効果がある。

A コース伊勢湾台風の場合には、開口部流水断面積の対数と横断堤内部の各地の最大潮位偏差 $\zeta_{\max}$ の間にはほぼ直線的関係

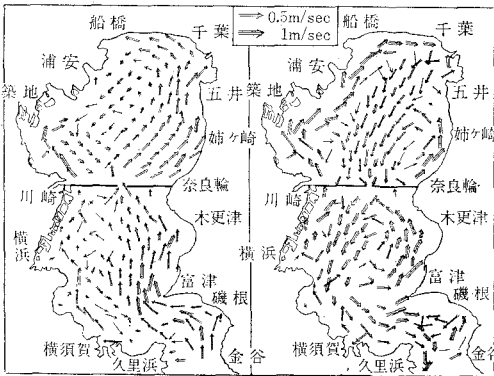
$$\zeta_{\max} = a - m \log A$$

$$(1.3 \times 10^4 \text{ m}^2 \leq A \leq 5.5 \times 10^4 \text{ m}^2)$$

が見出される (図-11)。

図-7 (a)

図-7 (b)



ここに、 a は各沿岸地点によって異なる定数であるが、 m は地点にはほとんど無関係である。

④ 横断堤の設置によって堤外の地点、とくに堤の付根の地点に築造前より大きな高潮を生ずることはない。

しかし、後述のように湾内の最大潮位が堤の付け根付近に生ずることはありうる。

(3) 日潮汐と開口部最大流速

横断堤開口部は船舶の航行路にあたっているから、日常の潮汐による流速が大きすぎてはならない。また、堤

防の洗掘防止の上からも適当な流速内におさえなくてはならない。

このためまず、日潮汐 (天文潮) の計算精度を M_2 分潮について調べた。外海境界線上の境界条件として、大島岡田港の潮汐の 0.92 倍を与えての計算結果の比較を図-13 に示した。この結果、日潮汐の運動が安定するまでには約 2 昼夜分の計算の続行が必要であることがわかる。また、計算値と推算値は良く一致する。

つぎに、日潮汐としては 13 個の分潮 (表-1) からなるモデルを考えた。分潮周期 n は、地球子午線に対する平均太陽の角速度 ($\theta = dT/dt$) を考えてモデル化してある。 n のゆるやかな変化を与える太陽・太陰の平均位置 (h, s)、太陰・太陽の近地点平均位置 (p, p_1) は α, β にまとめ一定とした。大潮の時には $h=s$ であり、 p_1 は無視できる。また、分潮のその他の成分は小さいので無視しうる。たがって、日潮汐は

$$\zeta = \sum fH \cos(nt + \alpha + \beta - \kappa)$$

であり、これが最大となるパラメーター h, p の値を trial and error でやはり IBM 7090 で求めた。その結果は、ほぼ $h=170^\circ, p=140^\circ$ である。このような h, p の組み合わせで計算された大潮差は潮汐表にみられる大潮差と一致する。

計算で与えられた日潮汐 (大潮) の最大流速は開口幅 1000 m の場合 図-14 のようである。

(4) 日潮汐と高潮との加算の問題

これまでの計算は、日潮汐と高潮との相互作用を考慮していないが、実際に高潮の被害が大きくなるのはちょうど伊勢湾台風がそうであったように満潮と高潮とが重なる場合である。横断堤のない場合には、基礎方程式中に表われる非線型項は海底摩擦項のみであり、この項はほぼ線型で近似できるから日潮汐と高潮との重ね合わせが可能である。

しかし、横断堤のある場合には開口部の慣性項の影響が大きいため、重ね合わせには問題がある。

さて、大潮と高潮との相互作用を調べるために、湾奥

図-8

図-9

図-10

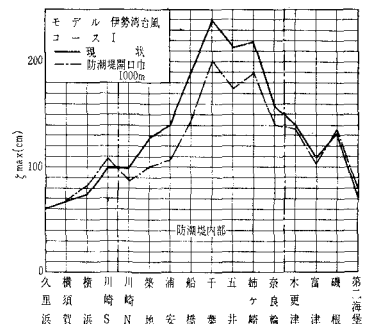
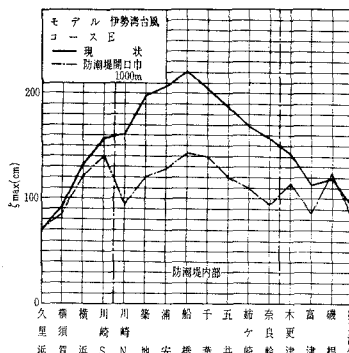
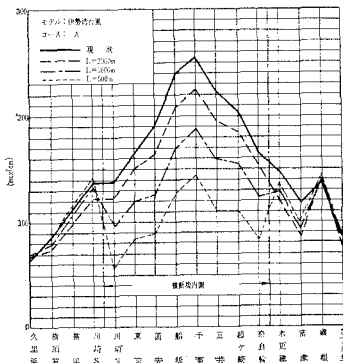


図-11

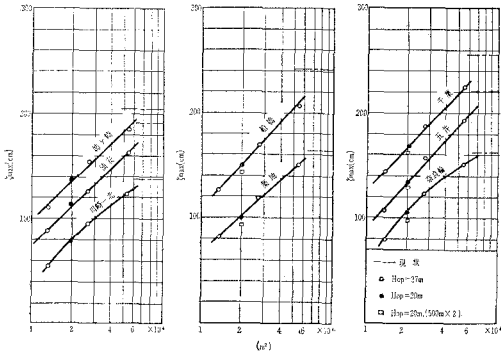


図-12

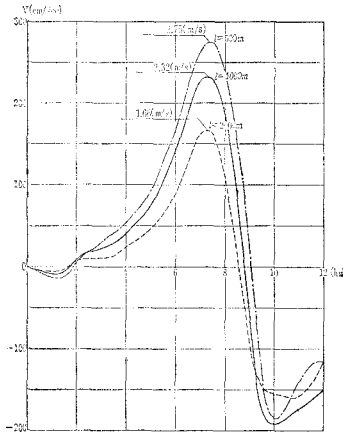


図-13(a)

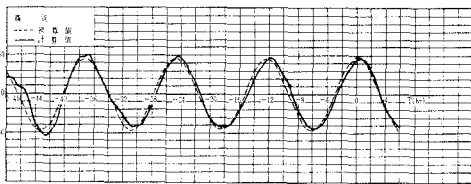
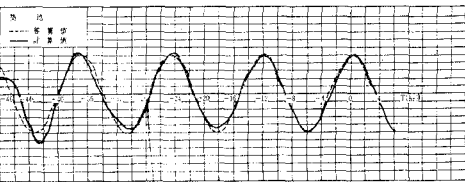


図-13(b)



長い計算の終り12時間分を図示したものである。この図には、同時に別々に計算した大潮と高潮との重ね合わせによる曲線も図示してある。図-16は、千葉の最大潮位時(8hr 20m)をふくむ前後4時間の等潮位線図である。図-17は、東京湾沿岸の代表点を時計回りにたどってその最高潮位を示したものである。

ここで行った計算から、つぎのように結論しうる。

① 慣性項の影響の大きい横断堤のある場合には、日

に最高日潮位を予想される時刻に、ちょうど台風(Aコース伊勢湾台風)による高潮のピークが重なるように台風位置を設定し-17hr から+21hr 40min にわたる長時間の計算を行なった。開口幅は1000mとした。

図-15は、この

表-1

分潮	n	α	β	x	H
M ₂	30	0	0	149.1	35.1
μ_2	30	0	0	2.1	0.5
S ₂	30	0	0	175.8	16.7
K ₂	30	+2h	0	162.5	7.0
O ₁	15	-h	+90°	162.8	17.6
P ₁	15	-h	90°	180.6	8.0
K ₁	15	+h	-90°	180.5	22.9
M ₄	60	0	0	79.9	0.8
MS	60	0	0	255.6	0.7
ν_2	30	h	-p	170.0	1.4
N ₂	30	-h	p	138.9	4.5
Q ₁	15	-2h	90°+p	140.3	3.4
L ₂	15	h	180°+p	153.6	2.0

図-14

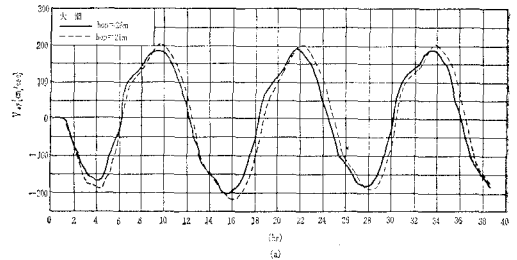


表-2

開口部水深	日満汐の開口部最大流速 (開口幅 1000 m)
28 m	1.90 m/sec
21 m	2.00 m/sec

潮位と高潮との重ね合わせは、最高潮位をかなり過大に推定することになる。つまり満潮時に高潮が起こる場合には、横断堤の防潮効果はさらに顕著である。湾奥地点で daily tide との干渉を考えない場合の潮位減少は70 cm くらいであるが、相互干渉を考えると潮位減少は1 m 20 cm 程度になる。

② 横断堤の外側の地点では、大潮と高潮とを別計算し、その結果を加算する方法でもよい。

③ その結果、湾奥地点と同程度の最高潮位が堤のすぐ外側(川崎・木更津)に生ずるが、これは横断堤の設置によってとくに潮位が高まったためではない。むしろ、潮位は堤の築造前より小さくなる。

また、大潮と高潮の重なった場合の開口部最大流速は(開口幅 1000 m, 水深 28 m の場合に)、3.25 m/sec である(図-18)。

4. 高潮潮位におよぼす諸因子の影響

(1) 気圧降下・風の海面摩擦力

高潮はいろいろの要素が互に結び合って引き起こされる。それが相対的にどれだけの寄与をしているかということはきわめて興味のあることである。

まず、台風の進行速度であるが、これについてはすでに宇野木・磯崎^{7),8)}により計算がなされている。それに

図-15

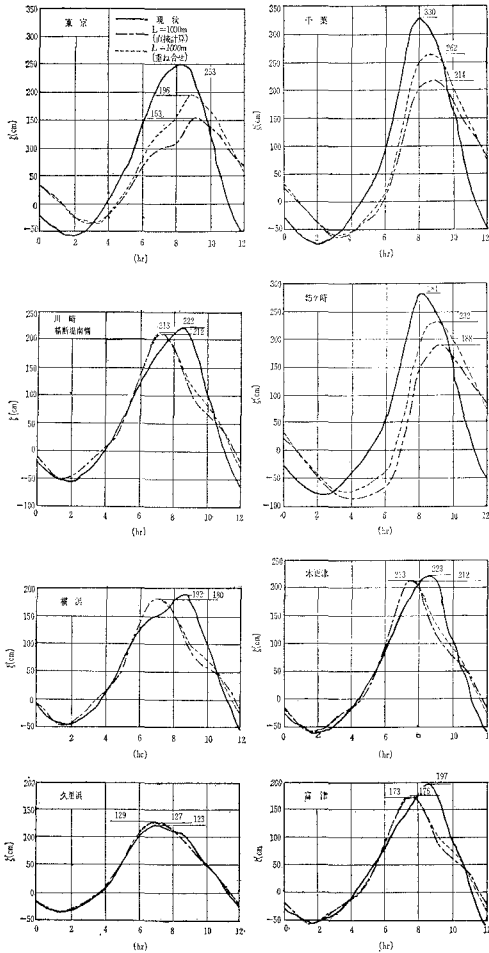


図-16 大潮+高潮 (伊勢湾Aコース)

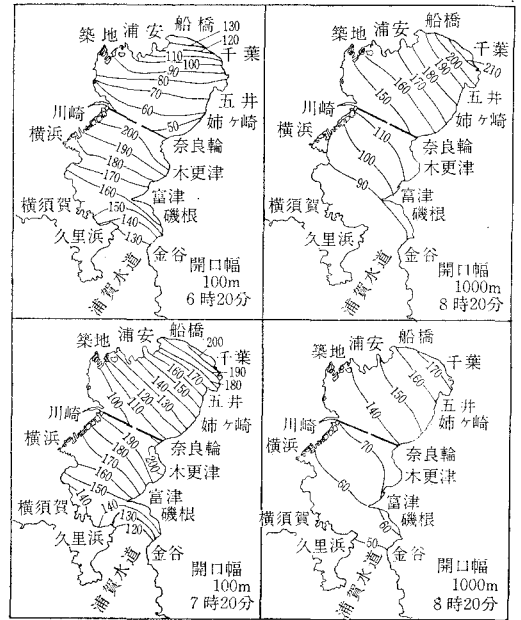


図-17

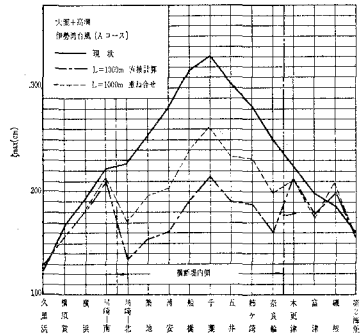
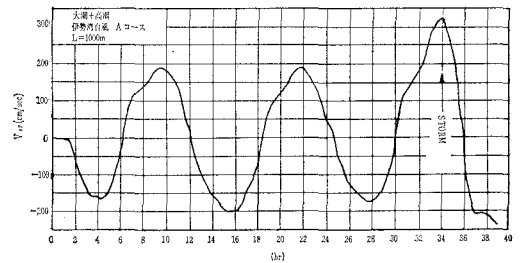


図-18



よれば、東京湾の場合台風速度が 40 km/h から 80 km/h では、ほとんどその影響がない。このことは東京湾内の長波の伝播速度が 55-60 km/h であることを考えるときわめて重要な点である。つまり、東京湾のような限られた水域では気圧降下の進行にともなう共鳴現象が十分発達しえないということである。ハリケーンにともなう storm surge がむしろ気圧降下の進行による水面の共鳴現象として説明されるのに対比して注目すべき点である。

それならば、気圧降下と風の応力とは相対的にどう作用するのかを調べる必要がある。数値計算の結果は図-19 (a), (b) に示すとおりで、相模湾 (図省略) あるいは久里浜など東京湾入口ではほとんど高潮は気圧降下によって引き起こされるが、湾奥に進むにつれて (気圧降下の影響は港口付近と同程度であるが) 風の応力の影響がどんどん大きくなることがわかる。

(2) 海底摩擦力

高潮を起こす外力にはまだ十分信頼しうる式のないも

のも多いが、海底摩擦力もその一つである。ここで用いた式は定常状態での二次元の場合の式であるし、またしばしば海水には躍層ができており一様な状態ではない。したがって、海底摩擦力が高潮潮位にどれほど影響するかを極端な場合 (つまり $\tau_b \approx 0$) と比較する必要がある。外海では、水深が大きく海底摩擦力の影響がないのはも

図-19 (a)

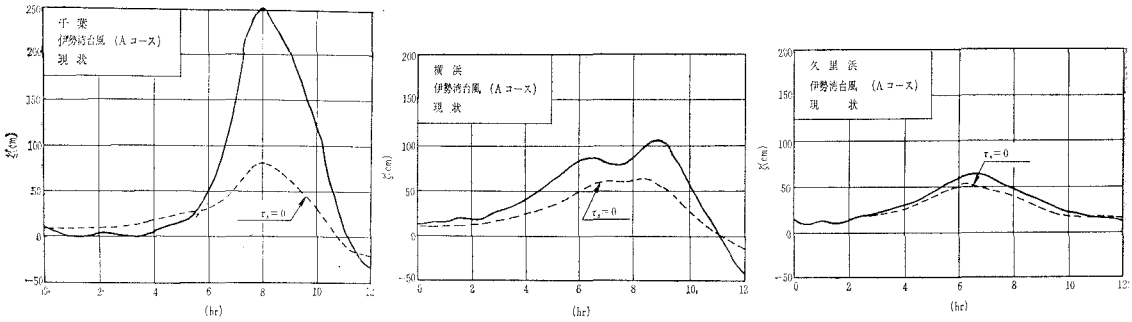


図-19 (b)

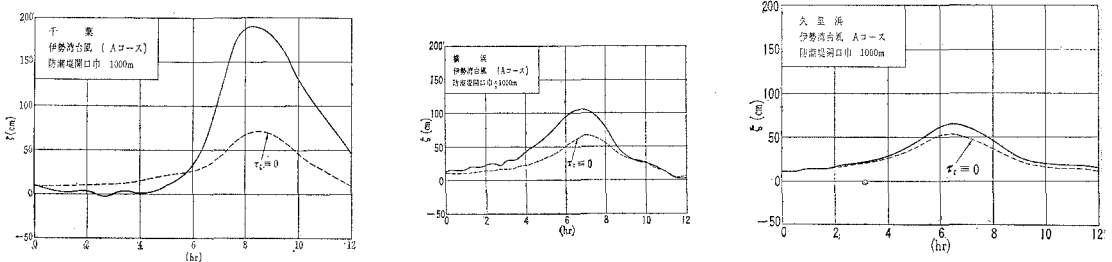
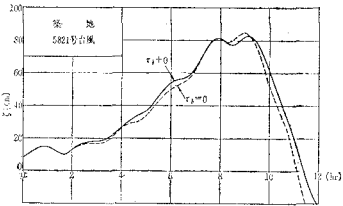


図-20



ちろんである。図-20 は一つの計算例である。これによれば、高潮現象には海底摩擦力は外見上はほとんど影響がない。しかし、差分計算の上ではこの項の形が不適当であると計算不安定引き起す^{4), 8)}。なお、宇野木^{7), 8)}らの計算では $\tau_b \equiv 0$ とした場合に、副振動現象があらわれたが、われわれの計算ではそのような変化はみられなかった。

図-21 (a)

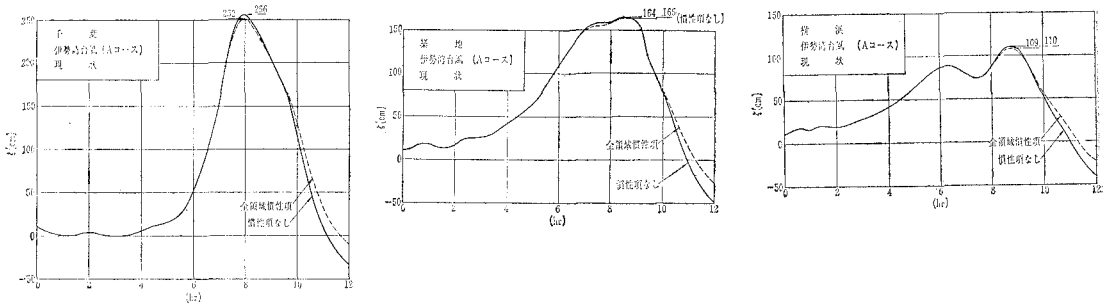


図-21 (b)

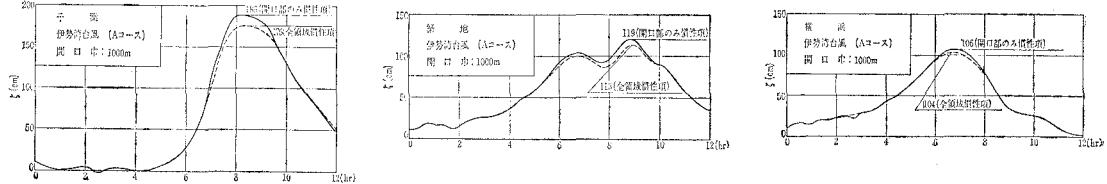
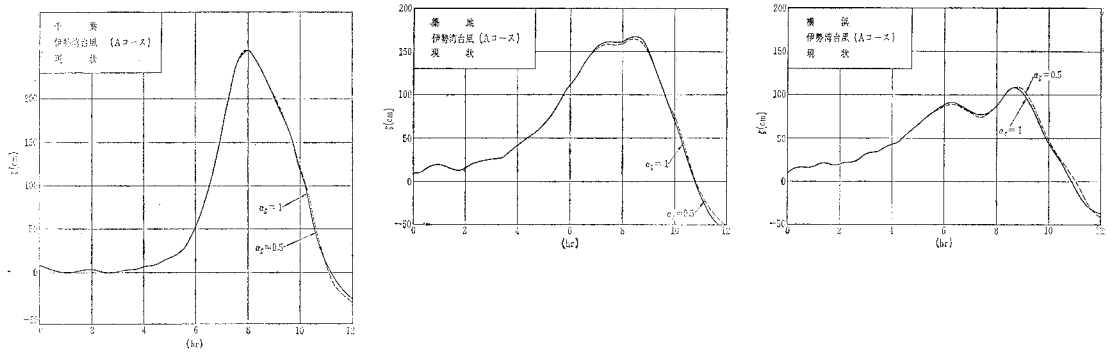


図-22



(3) 慣性項

普通の計算では慣性項は省略される。高潮計算の場合にも横断堤開口部以外では省略した。この点を検討するために、現状および開口幅 1000 m の場合について、東京湾の全面に慣性項を入れた計算を行なった(図-21, 相模湾では前と同様省略)。それは、海岸線近くでは水深が浅く慣性項(場所的加速度項)が大きくなるのではないかと思われたことと、横断堤のある場合には開口部のみではなく、その付近でも慣性項はまたかなり大きいと思われたからである。しかし、図-21 (a), (b) にみられるようにこのような危惧はないことがわかった。

(4) 平滑化係数

すでに 2. で述べたように、平滑化操作は計算過程で入ってくる格子点間隔よりも波長の短い攪乱を除くためである。宮崎²⁾は、この平滑化係数にとくに物理的意味をもたせるような数値を選んだが、この数値は小さすぎてほとんど平滑化操作は行なわれていない。そこで、われわれの計算では流量フラックス M , N については宮崎の与えた平滑化係数を用い、水位 ζ に関してはこれとは別に平滑化係数を与えた。図-22 は ζ に関する平滑化係数が 1 (つまり平滑化を行なわない) の場合と 0.5

の場合の比較例である。平滑化を行なわない場合とかなり強い平滑化を行なった場合との差異はほとんどみとめられない。

参考文献

- 1) 産業計画会議：“東京湾に横断堤を——高潮と交通の解決策として”，昭和 36 年 11 月。
- 2) 産業計画会議：“東京湾に対する高潮数値計算とこれが対策”，昭和 36 年。
- 3) Jansen, P. Ph. and Dronkers, J.J. : “Memorandum on Dike Construction as a part of a Masterplan for Tokyo Bay” (1962) 産業計画会議。
- 4) 伊藤剛・渡辺二郎・平本和子・日野幹雄：“高潮数値計算における二、三の問題点について”，第 8 回水理講演会講演集，土木学会，昭和 38 年 10 月。
- 5) 伊藤剛・日野幹雄・平本和子：“東京湾横断堤の防潮効果に関する数値計算——(要報)” 電力中央研究所，昭和 39 年 3 月。
- 6) Ito, T., Hino, M., Watanabe, J. and Hino, K. : “Numerical Prediction of Typhoon Tide in Tokyo Bay” Proc. IXth Conference on Coastal Engineering (Lisbon), (to be published).
- 7) 宇野木早苗・磯崎一郎：“東京湾の高潮と津波について”，木更津，富津地区の高潮と波浪について，第 II 編，八幡製鉄株式会社計画部立地調査室 昭和 36 年。
- 8) 宇野木早苗・磯崎一郎：“高潮の数値実験による二、三の結果について” 第 9 回海岸工学講演会講演集 p.1—6 昭和 37 年。