

伊勢湾台風時の愛知県および三重県の北部海岸 における最大波浪の推定

永 井 莊 七 郎*
久 保 弘 一**

要 旨 伊勢湾台風時の愛知県および三重県北部の海岸の浅海における最大波浪を風速、吹送時間、吹送距離および水深より計算し、海岸堤防の形状および天端高より越波の状況を推定して、堤防の被災状況と比較した結果を記したものである。

1. 緒 言

深海波の波高および周期の推定には SMB 法が広く一般に知られているが、われわれが港湾工事あるいは海岸工学を行う浅い海岸における波浪の推定法については、タイセー (Thijssse) およびブレットシュナイダー (Bretschneider) の浅海波に対する図表が紹介されているだけで¹⁾、波浪推定の理論および方法についてくわしく論じられたものはないようである。海岸に近い浅海波の波高および周期は深海波と異なり、海底の形、水深、海岸線の形などによって大きく変化し、また波高 H に対して水深 $h \div (1.3 \sim 1.5) H$ になると砕波するので、波浪の推定は非常に困難であつて、深海波における SMB 法のように 1 枚の図表 (風速、吹送距離、吹送時間と波高、周期との関係図) のみから、ただちに浅海波の波高および周期を求めることはできない。それゆえ、屈折、海底摩擦、砕波などによる波浪の変化を考慮して、できるかぎり合理的な方法で逐次計算して推定するよりほかに方法はない。このような方法によって伊勢湾台風時の愛知および三重両県の北部海岸における最大波高を算出し、その値を用いて最高波頂高および最高はい上り高さを求めて海岸堤防の被災状況と比較したところ、大体において妥当であると考えられた。またこの計算が終つたのち、名古屋港の港口付近において台風時の波浪記録がとられたことを知り、計算値と比較した結果、波高 ($H_{1/3}$) は全く同じであつた。またこの方法を用いて大阪湾北岸諸港における波浪の推定を行なつたが、大体において妥当と思われる値が得られた。大阪湾における波浪の推定については稿を改めて発表するつもりである。

2. Molitor 式について

この式はスティーブソン (Stevenson) の観測値、ゲイラード (Gaillard) のミシガン湖 (Michigan) における観測値およびモリターのオンタリオ湖 (Ontario) に

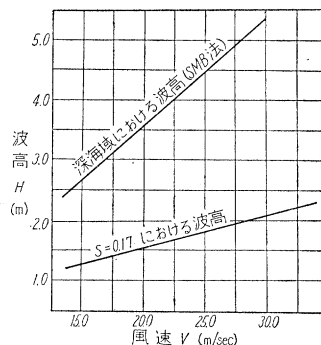
*正員 工博 大阪市立大学教授, 工学部土木工学教室
**正員 大阪市立大学講師, 工学部永井研究室

における観測値を用いて作られた実験式である。

岸博士²⁾は gF/V^2 と gH/V^2 との対数紙上で、モリター式の波高 H は、深海波に対する SM 曲線 ($h/L \geq 0.5$) による値と、 $h/L=0.17$ なる浅海域での観測値との中間にあることを示しているが、モリター式は浅海である五大湖の観測値によつて作られたものであるから、当然そうあるべきであつて、このことからただちにモリター式が一般の浅海波の波高を推定するに適當であるとはいえない³⁾。例えば大阪港の SW 方向 ($F=55 \text{ km}$) について、SMB 法による波高 H およびサビル (Saville) の観測波高 ($h/L=0.17$) と風速 V との関係を示すと 図-1 のごとくで、両波高の範囲は非常に広く、浅海波の大部分の波高は、この中にふくまれてしまう。

すでに述べたように、海岸における波高は海底の地形、水深、海岸線の形などによって大きく変化するから、波高は各場所によつて大きく違うわけで、モリター式のように単に風速と吹送距離だけから漠然と波高を推定する方法は現在では認められない。大阪港、伊勢湾などにおける沖波波高の推定においてモリター式を検討してみたが、一般に過小の値を与えた³⁾。

図-1 $h/L=0.5$ および 0.17 のときの風速と波高との関係



3. 浅海における波高の減衰

深海波が浅い海にきたときに生ずる波高および周期の変化のおもな原因は、水深の減少による群速度の変化、海底における摩擦損失、屈折、回折、および砕波である。このほかに海底の透過性、海底泥土の波動運動、海水の粘性と乱れなどによるエネルギー損失も考えられるが、一般には前者に比してはるかに小さい。サバージ (Savage) の実験⁴⁾によると、海底砂粒が 0.5 mm 以下の場合には透過性によるエネルギー損失を無視しうるから、伊勢湾や大阪湾のように海底が細かい泥土からできている場合には無視してよい。

プレートシュナイダーは海底地質がきわめて軟弱で、半波状をなしている場合には、水面の波動によつて海底の泥土が波状運動をすることを考え、そのために波のエネルギーの一部が消費されるだろうといっているが⁵⁾、このようなことはメキシコ湾の海底のように粒径が 0.001~0.004 mm のゼラチン状泥土からできている場合に、あるいは考えられるかも知れないが、伊勢湾や大阪湾においては考えなくてよいと思われる。

(1) 群速度の変化による波高の変化

深海波が水深 h なる浅海に伝わる間に海底摩擦および屈折によつてエネルギーの損失を受けないとすると、単位時間に伝わる波のエネルギーは変化しないから

$$\frac{1}{2} C_0 E_0 = C_g E \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中 E_0 : (波高 H_0 なる深海波のエネルギー) $= \frac{1}{8} \rho g H_0^2$

E : (波高 H なる浅海波のエネルギー) $= \frac{1}{8} \rho g H^2$

C_0 : 深海波の伝播速度, C_g : 浅海波の群速度

(1) 式より浅海波と深海波との波高の比を求めると

$$K_s = \frac{H}{H_0} = \left[\frac{C_0}{2 C_g} \right]^{1/2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

浅海波の伝播速度を C で表わすと、

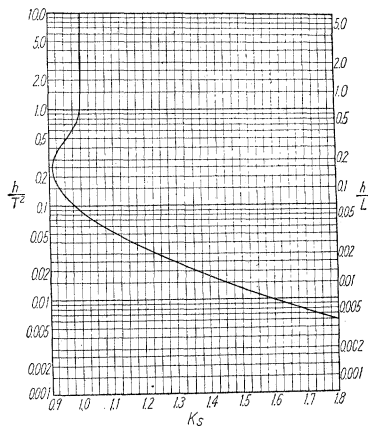
$$\left. \begin{aligned} C_g &= \frac{1}{2} \left(1 + 4 \pi \frac{h}{L} \operatorname{cosech} 4 \pi \frac{h}{L} \right) \cdot C \\ C_0 &= \frac{L_0}{T_0} \div \frac{L_0}{T} = C \frac{L_0}{L} = C \cdot \coth 2 \pi \frac{h}{L} \end{aligned} \right\} (3)$$

(3) 式を (2) 式に代入すると、

$$\begin{aligned} K_s &= \left[\frac{\coth 2 \pi \frac{h}{L}}{1 + 4 \pi \frac{h}{L} \operatorname{cosech} 4 \pi \frac{h}{L}} \right]^{1/2} = f_1 \left(\frac{h}{L} \right) \\ &= f_2 \left(\frac{h}{L_0} \right) = f_3 \left(\frac{h}{T^2} \right) \quad \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

(4) 式より、 図-2 K_s と h/T^2 との関係

波高 H_0 , 周期 T_0 なる深海波が、水深 h なる浅海にきたとき、周期は変化しないとする、 K_s なる波高の変化を生ずる (K_s を英語では shoaling factor と呼んでいる)。 K_s と h/T^2 との関係



を m,sec 単位で画くと 図-2 のような曲線になる。

(2) 海底摩擦による波高の減衰

海底の単位面積に働らく摩擦抵抗力あるいはせん断応

力 τ は、海底における波動運動の水平速度を u_b とすれば $\tau = f \cdot \rho u_b^2 \quad \dots\dots\dots (5)$

で表わされる。式中 f は海底の摩擦係数, ρ は海水の密度である。単位時間に摩擦によつて失なわれるエネルギーは $\tau \cdot u_b = f \cdot \rho u_b^3 \quad \dots\dots\dots (6)$

1 周期についての平均の単位時間あたりのエネルギー損失は

$$\frac{dE}{dt} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} \tau u_b \cdot dt = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} f \cdot \rho u_b^3 \cdot dt \quad \dots\dots\dots (7)$$

水深 h なる浅海における微小振巾波においては

$$u_b = \frac{\pi H}{T} \frac{1}{\sinh 2 \pi \frac{h}{L}} \sin 2 \pi \left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right) \quad \dots\dots\dots (8)$$

であるから、(7) 式より

$$\frac{dE}{dt} = -\frac{4}{3} \pi^2 \rho f \left(\frac{H}{T \sinh 2 \pi \frac{h}{L}} \right)^3 \quad \dots\dots\dots (9)$$

いま h : const. である場合を考えると、波が dx なる距離に進む間に失なうエネルギーは、 dt 時間における波のエネルギーの変化に等しいから、

$$\frac{dE}{dx} dx = \frac{dE}{dt} dt \quad \dots\dots\dots (10)$$

$\frac{dx}{dt} = C_g$ であるから

$$C_g \frac{dE}{dx} = \frac{dE}{dt} \quad \dots\dots\dots (11)$$

(9), (11) 式より

$$\frac{dH^2}{dx} = -\frac{32 \pi^2}{3} \frac{f}{g C_g} \cdot \left(\frac{H}{T \sinh 2 \pi \frac{h}{L}} \right)^3 \quad (12)$$

$x=0$ において $H=H_0$, $x=x$ において $H=H$ と置いて、両波高の比を K_f と置けば、

$$K_f = \frac{H}{H_0} = \left[1 + \frac{16 \pi^2}{3} \frac{1}{g} \cdot \frac{f \cdot H_0 \cdot x}{\left(T \sinh 2 \pi \frac{h}{L} \right)^3} \right]^{-1} \quad \dots\dots\dots (13)$$

あるいは (2) 式を代入すると

$$K_f = \left[1 + \frac{64}{3 g^2} \cdot \frac{K_s^2}{T^4} \cdot \frac{f \cdot H_0 \cdot x}{\left(\sinh 2 \pi \frac{h}{L} \right)^3} \right]^{-1} \quad \dots\dots\dots (14)$$

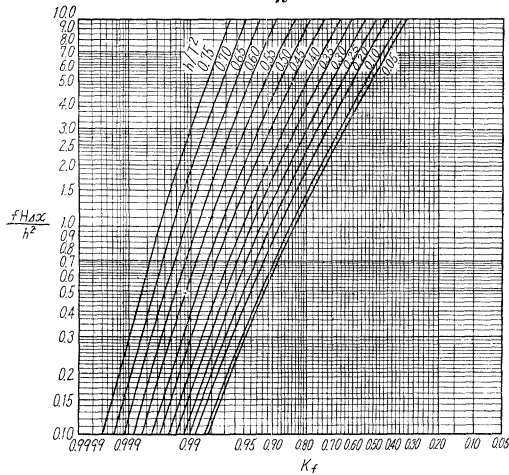
となる。 h/T^2 (m,sec 単位) をパラメーターとして、 K_f と $\frac{f \cdot H \cdot x}{h^2}$ との関係を示すと 図-3⁶⁾ の曲線のようなのである。

$h/L \leq 1/20$ なる非常に浅い等水深海域においては、 $C_g = C = \sqrt{gh}$ であるから次式となる。

$$K_f = \left[1 + \frac{2}{3 \pi} \cdot \frac{f \cdot H_0 \cdot x}{h^2} \right]^{-1} \quad \dots\dots\dots (15)$$

海底摩擦係数 f の値は海底および波の状況によつて 0.01~0.08 に大きく変化しているが、それらとの相関性はいまだ明らかでない。プレートシュナイダーは風浪の発生が定常状態にある場合には、底が砂質のオキーチョ

図-3 K_f と $\frac{f \cdot H \cdot \Delta x}{h^2}$ との関係



ビー湖(アメリカ, Okeechobee) やメキシコ湾の大陸棚の浅海域などでは $f=0.01$ であるといっている⁷⁾。

海底地質が非常に軟弱で、粒径が $0.001 \sim 0.004 \text{ mm}$ のゼラチン状の泥土からできているアチャファラヤ湾(Atchafalaya, メキシコ湾内)では平均 $f=0.053$ および $0.08^7)$ 、新潟海岸(海底砂の粒径 $0.3 \sim 0.5 \text{ mm}$)の砂波しない傾斜海底では $f=0.034 \sim 0.037^8)$ である。

ブレットシュナイダーは波高の減衰計算では $f=0.01$ と置き、メキシコ湾のように $f > 0.01$ の場合には、 f の増加分は海底泥土の波動運動によると仮定して、その係数 $r=0.015 \sim 0.020$ をえている。海底泥土の波動運動についてはいまだ想定域を越えず、今後の研究によつてその真実性を確かめる必要があること、および $f=0.01$, $r=0.015$ と置いて、海底摩擦と泥土の波動運動とを考慮した波高減衰係数 K_{f_0} の値は、 $f=0.015$, $r=0$ と置いた場合の K_f の値にほぼ等しいことを考慮して⁶⁾、この論文の計算においては $f=0.015$ を採用した。また実験の結果によると⁹⁾、海底勾配が $1/10$ というような非常に急な汀線付近を除けば、海底勾配の変化ならびに波の周期の変化は f の値にはほとんど影響を与えないから、この論文においては、すべての場合に $f=0.015 = \text{const.}$ において計算を行なつた。

4. 浅海波の波高および周期の推定方法

この論文において行なつた浅海波の波高および周期の推定方法は次のごとくである。

(1) 深海波 ($h=L_0/2$) の波高 H_0 および周期 T_0 を、台風時の風の吹送時間 t , t 時間中の平均風速 V および吹送距離 F を用いて、SMB 法により求める(伊勢湾では水深 30 m 以上の海域を深海波の下にとつた)。

(2) 深海から陸岸までの海域を水深がほぼ等しい幾つかの区間に分割し、各区間 Δx_i ($i=1, 2, 3, \dots$) はその平均水深の等水深海域と考える。

(3) 第1区間 Δx_1 の平均水深 h_1 、平均周期 $T_1 \doteq T_0$ より h_1/T_0^2 を求め、図-2 を用いて K_{s1} を求める。屈折図より屈折係数 K_{r1} を求める。

波高 H なる深海波が海底摩擦の影響を受けないで水深 $h_1 : \text{const.}$ なる浅海域に伝わってきたときの波高 H_1 は次式から求まる。

$$H_1 = K_{r1} \cdot K_{s1} \cdot H_0 \dots \dots \dots (16)$$

$\frac{f \cdot H_1 \cdot \Delta x_1}{h_1^2}$ と $\frac{h_1}{T_0^2}$ を用いて図-3 より海底摩擦による波高減衰係数 K_{f1} を求める。これと(16)式より第1区間の終端における浅海波の波高 H_{s1} は次式より求まる。

$$H_{s1} = K_{f1} \cdot K_{r1} \cdot K_{s1} \cdot H_0 \dots \dots \dots (17)$$

(4) 波高 H_0 なる深海波が $h_1 : \text{const.}$ なる浅海域を海底摩擦の影響を受けて、うねりの形態で伝わりと考へたときの第1区間の終端における波高 $H_{01}' = K_{f1} \cdot H_0$ と風速 V を用いて SMB 法により吹送距離 F_{e1}' および周期 T_{01}' を求める。

(5) 第2区間 Δx_2 の終端における深海波に対する吹送距離 $F_2 = F_{e1}' + \Delta x_2$ と風速 V を用いて SMB 法により H_{02}' および T_{02}' を求める。第2区間は平均波高 $H_{01}' + H_{02}' / 2$ および平均周期 $1/2 (T_{01}' + T_{02}')$ なる波が伝わりと考へて、図-2 および 3 より K_{s2} および K_{f2} を求める。第2区間の終端における波高 H_{s2} は次式より求まる。

$$H_{s2} = K_{f2} \cdot K_{r2} \cdot K_{s2} \cdot \frac{H_{01}' + H_{02}'}{2} \dots \dots \dots (18)$$

(6) 第3区間では $H_{03}' = K_{f2} \cdot 1/2 (H_{01}' + H_{02}')$ と風速 V とを用いて SMB 法により F_{e2}' および T_{03}' を求め、以下順次前記の方法をくり返してゆく。

この方法によつて推定した波高はおそらく実際の波高に近い値を与えるであろうと考えられるが、周期は実際よりもかなり大きいと考えられる。おそらく計算値の 90% くらいが実際の周期に近いと思われる。

5. 伊勢湾台風時の深海波の推定

(1) 風速および潮位

伊勢湾台風時の風速および風向は観測地点によつてかなり違うので、どこの記録をもつて伊勢湾上の代表的な風速および風向と見なすべきかは非常にむずかしい問題であるが便宜上、名古屋港分室における記録を使用することにした。ただし同港の記録は 26 日 21 時以後は器械が故障して欠測しているので、21 時以後は名古屋気象台における記録に、19 時および 20 時における両記録の比 1.07 をかけた値をもつて名古屋港分室の風速とした。また 21 時の同気象台の記録 $V=23.1 \text{ m/sec}$ は器械の故障で不正確であるように思われたので、その値を用いず、20 時から 22 時まで直線的に増大したものと仮定して 21 時の風速を求めた。このようにして求めた名古屋

港分室の記録は表-1のごとくである。

表-1 名古屋港分室における風速および風向

日 時	風 向	名古屋港分室 における風速 V(m/sec)	名古屋気象台 における風速 V(m/sec)	分室における 風 速
26日18時	ESE	17.7	16.1	実測
19"	SE	19.9	18.7	"
20"	SE	27.4	25.7	"
21"	SSE	33.5	(23.1)	推定
22"	SSE	39.6	37.0	"
23"	S	22.5	21.0	"
24"	SSW	19.5	18.2	"

つぎに 18 時から 24 時までの 2 時間ごとの名古屋港における平均潮位および平均風速, ならびに四日市港における平均潮位は表-2のごとくである。

表-2 名古屋港および四日市港における平均潮位と平均風速

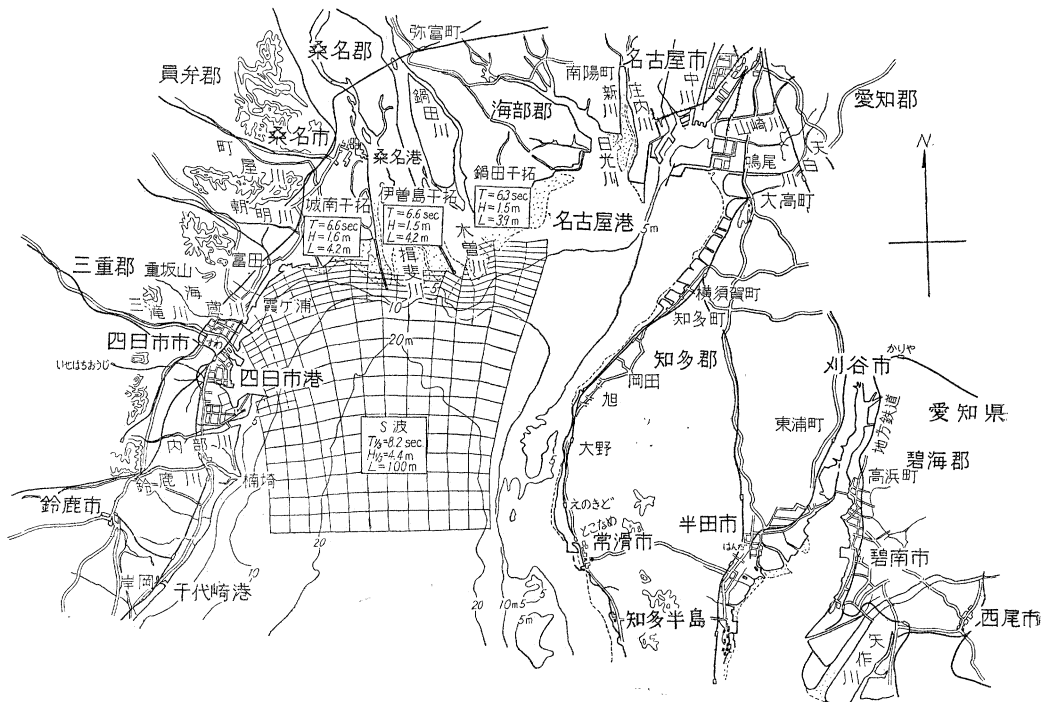
時刻	名古屋港			四日市港	
	平均潮位 (T.P.+) (m)	平均潮位 (海図D.L.+) (m)	平均風速 (m/sec)	平均潮位 (T.P.+) (m)	平均潮位 (海図D.L.+) (m)
18~20時	1.5	2.9	SE 22	2.1	3.4
20~22時	3.1	4.5	SSE 34	3.1	4.4
22~24時	2.8	4.2	S 27	2.0	3.3

名古屋港および四日市港における $Z_0=1/2(M_2+S_2+K_1+O_1)$ の値は, 海上保安庁書誌第 741 号, 平均水面および基本水準面一覧表における値 1.42m および 1.31 m を用い, cm の桁を切り捨てた。

(2) 深海波の波高および周期の推定

海図によると水深(海図の D.L. 以下)が 27 m 以上の区間は SE~S の方向においては大体 33 km あるの

図-4 伊勢湾北岸における屈折図(三重県北部海岸)



で, この区間を深海波の吹送距離 F_0 にとり, SMB 法によつて 2 時間ごとの有義波の波高 H_0 および周期 T_0 を求めると表-3 のようである。

表-3 深海波の有義波の波高および周期

時 刻	波 H_0 (m)	周 期 T_0 (sec)
18~20時	2.7	6.0
20~22時	4.4	8.2
22~24時	3.5	7.0

表-3 より台風時における最大の深海波有義波の $H_0=4.4$ m, $T_0=8.2$ sec である。平均水深 $h_0=30$ m とすると, $L_0=100$ m である。波の方向は S 方向および SW 方向にとる。参考までにプレットシュナイダーがアボッツ湖 (Abbotts Lagoon) の実測値から作った実験式(19)あるいは(20)式¹⁰⁾より有義波の波高および周期を求めると, $H_0=4.74$ m, $T_0=8.33$ sec である。

$$H_0=0.0555 \sqrt{V^2 F}, T_0=0.5 \sqrt{V^2 F} \dots (19)$$

あるいは

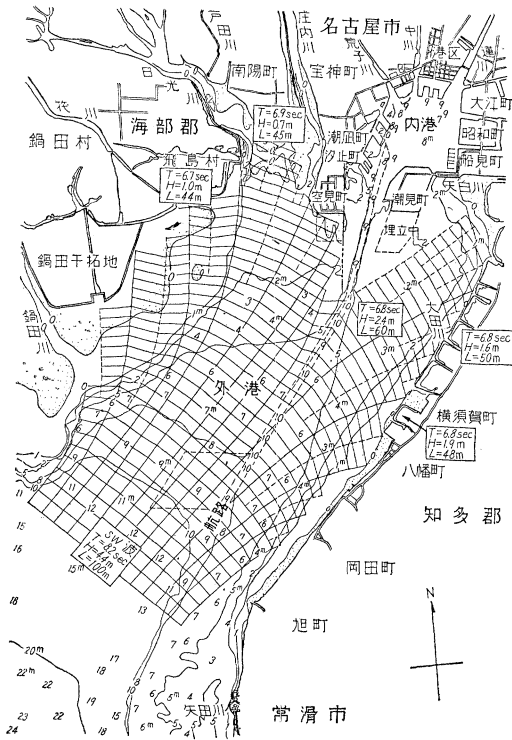
$$H_0=0.000767 \sqrt{V^2 F}, T_0=0.106 \sqrt{V^2 F} \dots (20)$$

(19) 式では V は ft/sec, F はカイリ単位, (20) 式では V は m/sec, F は m 単位である。

6. 伊勢湾北岸における屈折図

波高 $H_0=4.4$ m, 周期 $T_0=8.2$ sec なる S 方向および SW 方向の深海波について, 伊勢湾北岸における屈折図を画くと図-4 および 5 のようである。図-4 では水深が大なる区域は $10 T$ ごと, 水深が浅い海岸近く

図一5 伊勢湾北岸における屈折図(愛知県北部海岸)



の区域ではごとに、図一5は5Tごとに画かれている。

7. 伊勢湾北部の海岸における最大波浪

(1) 城南干拓(揖斐川河口右岸)前面の波浪

海岸までの浅海域を3区間に分けた。各区間の長さ、20時から22時の間の各区間の平均水深は表一4のようである。平均潮位は名古屋港および四日市港がそれぞれ海図のD.L.上4.5mおよび4.4mであるが、近似的に伊勢湾北部海面の平均潮位を一様にD.L.+4.5mとした。

表一4

波の方向	区分	区間長 Δx(km)	平均水深(m)	
			海図のD.L.下	高潮時の水深
S	1区	5	23	27.5
〃	2区	2	14	18.5
〃	3区	3	0.5	5.0

a) 第1区間 (16)式より $H_1 = K_{r1} \cdot K_{s1} \cdot H_0$

$H_0 = 4.4\text{m}$, 屈折図より $K_{r1} = \sqrt{\frac{L_0}{L_1}} \cdot \sqrt{\frac{B_0}{B_1}} = 1.04 \times 0.901 = 0.937$, この区間における平均周期を $T_1 \doteq T_0 = 8.2\text{sec}$ にとると

$$\frac{h_1}{T_1^2} = \frac{27.5}{8.2^2} = 0.41$$

ゆえに 図一2 を用いて, $K_{s1} = 0.935$

$$\therefore H_1 = 0.937 \times 0.935 \times 4.4 = 3.85 \doteq 3.9\text{m}$$

$$\frac{fH_1 \cdot \Delta x_1}{h_1^2} = \frac{0.015 \times 3.9 \times 5000}{27.5^2} = 0.39$$

および $h_1/T_1^2 = 0.41$ より 図一3 を用いて, $K_{f1} = 0.982$ をうる。ゆえに第1区間の終端における浅海波の波高 H_{s1} は (17) 式より

$$H_{s1} = 0.982 \times 0.937 \times 0.935 \times 4.4 = 3.78 \doteq 3.8\text{m}$$

水深 $h_1 = 27.5\text{m} = \text{const.}$ なる海域を波高 H_0 なるうねりが伝わると考えた場合の第1区間の終端における波高 H_{01}' は

$$H_{01}' = K_{f1} \cdot H_0 = 0.982 \times 4.4 = 4.32 \doteq 4.3\text{m}$$

である。 $H_{01}' = 4.3\text{m}$ と 20時から22時までの間の平均風速 $V = 34\text{m/sec}$ より, SMB法により深海波としての吹送距離 F_{e1}' および周期 T_{01}' を求めると

$$F_{e1}' = 32\text{km}, T_{01}' = 8.0\text{sec}$$

b) 第2区間 吹送距離 $F_2 = F_{e1}' + \Delta x_2 = 32 + 2 = 34\text{km}$ と $V = 34\text{m/sec}$ を用いて SMB法より深海波としての波高および周期を求めると

$$H_{02}' = 4.5\text{m}, T_{02}' = 8.2\text{sec}$$

以上の2つの波の平均波高および周期で第2区間を伝わると考えて K_{s2} を求めると,

$$\frac{h_2}{[1/2(T_{01}' + T_{02}')]^2} = \frac{18.5}{8.1^2} = 0.28 \text{ より 図一2 を用いて } K_{s2} = 0.915. \text{ 屈折図より}$$

$$K_{r2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} \cdot \sqrt{\frac{B_1}{B_2}} = 1.11 \times 0.927 = 1.03$$

$$\therefore H_2 = K_{r2} \cdot K_{s2} \cdot \frac{1}{2} (H_{01}' + H_{02}')$$

$$= 1.03 \times 0.915 \times 4.4 = 4.14 \doteq 4.1\text{m}$$

$$\frac{f \cdot H_2 \cdot \Delta x_2}{h_2^2} = \frac{0.015 \times 4.1 \times 2000}{18.5^2} = 0.36$$

と $V = 34\text{m/sec}$ より 図一3 を用いて $K_{f2} = 0.968$ をえる。ゆえに第2区間の終端における浅海波の波高 H_{s2} は

$$H_{s2} = 0.968 \times 1.03 \times 0.915 \times 4.4 = 4.02 \doteq 4.0\text{m}$$

である。

c) 第3区間 ①砕波しないとした場合: この区間では $H_{s2} = 4.0\text{m}$, $T_2 = 1/2(H_{01}' + H_{02}') = 8.1\text{sec}$ の浅海波が $h_3 = 5.0\text{m} = \text{const.}$ なる浅海を海底摩擦の影響を受けながら屈折して海岸堤防の前まで伝わると考える。ゆえに

$$\frac{h_3}{T_2^2} = \frac{5.0}{8.1^2} = 0.0762$$

$$\frac{f \cdot H_{s2} \cdot \Delta x_3}{h_3} = \frac{0.015 \times 4.0 \times 3000}{5^2} = 7.2$$

より 図一3 を用いて, $K_{f3} = 0.43$ を求め, 屈折図より

$$K_{r3} = \sqrt{\frac{L_2}{L_3}} \cdot \sqrt{\frac{B_2}{B_3}} = 1.22 \times 0.872 = 1.07$$

ゆえに第3区間の終端すなわち海岸堤防の前における波高 H_{s3} は

$$H_{s3} = 0.43 \times 1.07 \times 4.0 = 1.84\text{m}$$

である。

②砕波すると考えた場合: 第3区間の水深 $h_3 = 5.0\text{m}$ (海図のD.L.-0.5m)の地点では, 波形勾配はほぼ

$\frac{H_{s2}}{L_3} = \frac{4.0}{54} = 0.074$ で、 $\frac{h_3}{H_{s2}} = \frac{5.0}{4.0} = 1.25$ であるから、おそらく部分的砕波をするものと考えられる。水深、波高、波形勾配がこの場合に類似している新潟海岸における実測結果¹¹⁾によると、砕波によつて波高はほぼ70%に減少しているから、この場合もこの割合で減少すると仮定すると、砕波後の波高 H_3' は

$$H_3' = 4.0 \times 0.7 = 2.8 \text{ m}$$

となる。

$$\frac{h_3}{T_2'^2} = 0.0762, \quad \frac{f \cdot H_3' \Delta x_3}{h_3^2} = \frac{0.015 \times 2.8 \times 3000}{5^2} = 5.04$$

を用いて 図-3 より、 $K_{f3} = 0.53$

ゆえに第3区間の終端における波高 H_{s3}' は

$$H_{s3}' = 0.53 \times 1.07 \times 2.8 = 1.59 \approx 1.6 \text{ m}$$

となる。砕波して波高が減少すると、海底摩擦による波高の減衰が小さくなるので、砕波しないと考えた場合と25 cm しか違わない。

砕波後の波の周期は一般にある程度減少すると考えられるが、それを裏づける十分な実測資料がない。新潟海岸における観測の一例によると¹¹⁾、ほぼ90%に減少している。また長さ3 kmのいそ波帯では波高および周期ともかなり減少すると考えられるので、この区間でさらに90%に減少すると考えると、海岸における波の周期 T_{s3}' は

$$T_{s3}' = 8.1 \times 0.81 = 6.6 \text{ sec}$$

となる。おそらく実際の周期はこの値に近いであろう。

(2) 伊曾島村松陰新田前面の波浪

第2区間の終端における浅海深の波高および周期は城南千拓前面と同様に $H_{s2} = 4.0 \text{ m}$ 、 $T_2 = 8.1 \text{ sec}$ である。第2区間の終端から海岸堤防までの区間を第3区間にとると、 $\Delta x_3 = 3500 \text{ m}$ 、平均水深 $h_3 = 5 \text{ m}$ である。

1) 砕波しないとした場合

$$\frac{h_3}{T_2'^2} = 0.076, \quad \frac{f \cdot H_{s2} \Delta x_3}{h_3^2} = \frac{0.015 \times 4.0 \times 3500}{5^2} = 8.4$$

を用いて 図-3 より、 $K_f = 0.41$ 屈折図より

$$K_{r3} = \sqrt{\frac{L_2}{L_3}} \cdot \sqrt{\frac{B_2}{B_3}} = 1.28 \times 0.84 = 1.075$$

ゆえに第3区間の終端における波高 H_{s3} は

$$H_{s3} = 0.41 \times 1.075 \times 4.0 = 1.76 \text{ m}$$

である。

2) 砕波すると考えた場合 砕波後の波高 $H_{s2}' = 4.0 \times 0.70 = 2.80 \text{ m}$ である。

$$\frac{f \cdot H_{s2}' \Delta x_3}{h_3^2} = 5.88$$

であるから 図-3 より $K_{f3} = 0.49$

ゆえに終端における波高 H_{s3}' は

$$H_{s3}' = 0.49 \times 1.075 \times 2.8 = 1.47 \text{ m} \approx 1.5 \text{ m}$$

となる。この場所の周期 T_{s3}' もおそらく $T_{s3}' \approx 6.6 \text{ sec}$ くらいであろう。

(3) 鍋田千拓前面の波浪

海岸までの海域を表-5に示すような4区間に分けた。

表-5

波の方向	区 分	区 間 長 Δx (km)	平均水深 (m)	
			海図の D.L.下	高潮時の水深
S	1区	5	17.5	22.0
"	2区	2	12.0	16.5
"	3区	2	6.5	11.0
"	4区	2	0	4.5

1) 第1区間

$$K_{r1} = \sqrt{\frac{L_0}{L_1}} \cdot \sqrt{\frac{B_0}{B_1}} = 1.04 \times 0.850 = 0.884$$

$$\frac{h_1}{T_0'^2} = \frac{22}{8.2^2} = 0.327$$

ゆえに 図-2 より $K_{s1} = 0.920$

$$\begin{aligned} \therefore H_1 &= K_{r1} \cdot K_{s1} \cdot H_0 \\ &= 0.884 \times 0.920 \times 4.4 = 3.58 \approx 3.6 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\frac{f \cdot H_1 \Delta x_1}{h_1^2} = \frac{0.015 \times 3.6 \times 5000}{22^2} = 0.558$$

ゆえに 図-3 より $K_{f1} = 0.960$

第1区間の終端における浅海波の波高は

$$H_{s1} = 0.960 \times 0.884 \times 0.920 \times 4.4 = 3.44 \approx 3.4 \text{ m}$$

である。波高 H_0 なるうねりがこの区間を伝わつたと考えた場合の終端における波高は

$$H_{01}' = K_{f1} \cdot H_0 = 0.960 \times 4.4 = 4.22 \approx 4.2 \text{ m}$$

$H_{01}' = 4.2 \text{ m}$ と $V = 34 \text{ m/sec}$ より深海波としての吹送距離および周期を求めると、SMB法より

$$F_{e1}' = 29 \text{ km}, \quad T_{01}' = 7.8 \text{ sec}$$

2) 第2区間 $F_2 = F_{e1}' + \Delta x_2 = 31 \text{ km}$ 、 $V = 34 \text{ m/sec}$

を用いて SMB法より $H_{02}' = 4.4 \text{ m}$ 、 $T_{02}' = 8.0 \text{ sec}$ をえる。屈折図より

$$K_{r2} = 1.04 \times 0.954 = 0.991$$

$$\frac{h_2}{[1/2(T_{01}' + T_{02}')]^2} = \frac{16.5}{7.9^2} = 0.264$$

ゆえに 図-2 より $K_{s2} = 0.913$

$$\begin{aligned} \therefore H_2 &= K_{r2} \cdot K_{s2} \cdot 1/2(H_{01}' + H_{02}') \\ &= 0.991 \times 0.913 \times 4.3 = 3.89 \approx 3.9 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\frac{f \cdot H_2 \Delta x_2}{h_2^2} = \frac{0.015 \times 3.9 \times 2000}{16.5^2} = 0.430$$

図-3 より $K_{f2} = 0.960$

ゆえに第2区間の終端における波高は

$$H_{s2} = K_{f2} \cdot K_{r2} \cdot K_{s2} \cdot 1/2(H_{01}' + H_{02}') = 3.74 \approx 3.7 \text{ m}$$

となる。うねりと考えたときの波高は

$$H_{02}'' = K_{f2} \cdot 1/2(H_{01}' + H_{02}') = 4.13 \approx 4.1 \text{ m}$$

この波高と $V = 34 \text{ m/sec}$ より深海波としての吹送距離および周期は

$$F_{e2}' = 29 \text{ km}, \quad T_{02}' = 7.8 \text{ sec}$$

3) 第3区間 $F_3 = F_{e2}' + \Delta x_3 = 31 \text{ km}$ と $V = 34 \text{ m/sec}$

を用いて SMB法により $H_{03}' = 4.3 \text{ m}$ 、 $T_{03}' = 8.0 \text{ sec}$ をえる。

$$K_{r3} = 1.16 \times 0.864 = 1.00$$

$$\frac{h_3}{[1/2(T_{02}' + T_{03}')]^2} = \frac{11.0}{7.9^2} = 0.176$$

図-2 より $K_{s3} = 0.922$

$$\begin{aligned} \therefore H_3 &= K_{r3} \cdot K_{s3} \cdot 1/2(H_{02}'' + H_{03}') \\ &= 1.00 \times 0.922 \times 4.2 = 3.43 \div 3.4 \text{ m} \\ \frac{f \cdot H_3 \cdot \Delta x_3}{h_3^2} &= \frac{0.015 \times 3.4 \times 2000}{11^2} = 0.841 \end{aligned}$$

図-3 より $K_{f3} = 0.90$

ゆえに第3区間の終端における波高は

$$H_{s3} = K_{f3} \cdot K_{r3} \cdot K_{s3} \cdot 1/2(H_{02}'' + H_{03}') = 3.48 \div 3.5 \text{ m}$$

4) 第4区間

a) 砕波しないとした場合:

$$\begin{aligned} \frac{h_4}{T_4^2} &= \frac{4.5}{7.9^2} = 0.072, \\ \frac{f \cdot H_{s3} \cdot \Delta x_4}{h_4^2} &= \frac{0.015 \times 3.48 \times 2000}{4.5^2} = 5.16 \end{aligned}$$

図-3 より $K_{f4} = 0.53$

屈折図より $K_{r4} = 1.09 \times 0.946 = 1.03$

ゆえに第4区間の終端における浅海波の波高は

$$H_{s4} = 0.53 \times 1.03 \times 3.48 = 1.90 \text{ m}$$

b) 砕波すると考えた場合: 水深 $h = h_4 = 4.5 \text{ m (D.L.}$

$\pm 0 \text{ m)}$ の地点では、波形勾配はほぼ $\frac{H_{s3}}{L_4} = \frac{3.48}{50} = 0.070$

で $\frac{h}{H_{s3}} = \frac{4.5}{3.48} \div 1.29$ であるから、部分的砕波をする

と考えられる。ゆえに砕波直後の波高

$$H_4' = 3.48 \times 0.7 = 2.44 \text{ m}$$

$$\therefore \frac{f \cdot H_4' \cdot \Delta x_4}{h_4^2} = \frac{0.015 \times 2.44 \times 2000}{4.5^2} = 3.61$$

図-3 より $K_{f4} = 0.61$

$$\therefore H_{s4}' = 0.61 \times 1.03 \times 2.44 = 1.53 \text{ m}$$

周期は $T_{s4}' = 7.9 \times 0.8 \div 6.3 \text{ sec}$ くらいであろう。

(4) 名古屋港港口の波浪

港口までの海域を表-6のように3区間に分けた。この海域には名古屋港へ通ずる航路(巾250m前後、水深約10m)があつてその部分だけが周囲より急に深くなつているので、平均水深は航路を中央にはきんだ巾1kmの区間の水深の平均をとつた。

表-6

波 向	区 分	区 間 長 Δx (km)	平均水深 (m)	
			海図の D.L. 下	高潮時の水深
SW	1区	5	19.0	23.5
〃	2区	5	10.0	14.5
〃	3区	5	6.5	11.0

1) 第1区間 屈折図より

$$K_{r1} = \sqrt{1.10} \sqrt{1.0} = 1.05$$

$$\frac{h_1}{T_0^2} = \frac{23.5}{8.2^2} = 0.349, \text{ 図-2 より } K_{s1} = 0.925$$

$$\therefore H_1 = K_{r1} \cdot K_{s1} \cdot H_0$$

$$= 1.05 \times 0.925 \times 4.4 = 4.28 \div 4.3 \text{ m}$$

$$\frac{f \cdot H_1 \cdot \Delta x}{h_1^2} = \frac{0.015 \times 4.3 \times 5000}{23.5^2} = 0.584$$

ゆえに 図-3 より $K_{f1} = 0.961$

第1区間の終端における波高は

$$H_{s1} = 0.961 \times 1.05 \times 0.925 \times 4.4 = 4.11 \div 4.1 \text{ m}$$

うねりと考えた場合の終端における波高は

$$H_{01}' = K_{f1} \cdot H_0 = 0.961 \times 4.4 = 4.23 \div 4.2 \text{ m}$$

$H_{01}' = 4.2 \text{ m}$ と $V = 34 \text{ m/sec}$ より深海波としての放送距離および周期を求めると、

$$F_{e1}' = 30 \text{ km}, T_{01}' = 7.9 \text{ sec}$$

2) 第2区間 $F_2 = F_{e1}' + \Delta x_2 = 35 \text{ km}$ と $V = 34 \text{ m/sec}$ より深海波としての波高、および周期を求めると、

$H_{02}' = 4.5 \text{ m}, T_{02}' = 8.3 \text{ sec}$ である。屈折図より

$$K_{r2} = \sqrt{1.17} \sqrt{0.865} = 1.08 \times 0.930 = 1.01$$

$$\frac{h_2}{[1/2(T_{01}' + T_{02}')]^2} = \frac{14.5}{8.1^2} = 0.221$$

を用いて 図-2 より $K_{s2} = 0.910$

$$\therefore H_2 = K_{r2} \cdot K_{s2} \cdot 1/2(H_{01}' + H_{02}')$$

$$= 1.01 \times 0.910 \times 4.4 = 3.98 \div 4.0 \text{ m}$$

$$\frac{f \cdot H_2 \cdot \Delta x_2}{h_2^2} = \frac{0.015 \times 4.0 \times 5000}{14.5^2} = 1.43$$

を用いて 図-3 より $K_{f2} = 0.855$, ゆえに第2区間の終端における浅海波の波高は

$$H_{s2} = K_{f2} \cdot K_{r2} \cdot K_{s2} \cdot 1/2(H_{01}' + H_{02}') = 3.42 \div 3.4 \text{ m}$$

うねりと考えたときの波高および周期は

$$H_{02}'' = K_{f2} \cdot 1/2(H_{01}' + H_{02}') = 3.72 \div 3.7 \text{ m}$$

$H_{02}'' = 3.7 \text{ m}$ と $V = 34 \text{ m/sec}$ より深海波としての放送距離および周期は $F_{e2}' = 24 \text{ km}, T_{02}' = 7.2 \text{ sec}$ である。

3) 第3区間 $F_3 = F_{e2}' + \Delta x_3 = 29 \text{ km}$ と $V = 34 \text{ m/sec}$ より深海波としての $H_{03}' = 4.2 \text{ m}$ および $T_{03}' = 7.8 \text{ sec}$

屈折図より

$$K_{r3} = \sqrt{1.065} \sqrt{0.605} = 1.03 \times 0.778 = 0.803$$

$$\frac{h_3}{[1/2(T_{02}' + T_{03}')]^2} = \frac{11.0}{7.5^2} = 0.196$$

より 図-2 を用いて $K_{s3} = 0.915$,

$$\therefore H_3 = K_{r3} \cdot K_{s3} \cdot 1/2(H_{02}'' + H_{03}')$$

$$= 0.803 \times 0.915 \times 1/2(3.7 + 4.2) = 2.90 \text{ m}$$

$$\frac{f \cdot H_3 \cdot \Delta x_3}{h_3^2} = \frac{0.015 \times 2.9 \times 5000}{11.0^2} = 1.80$$

を用いて 図-3 より $K_{f3} = 0.810$, ゆえに第3区間の終端、すなわち港口前面における波高は

$$H_{s3} = K_{f3} \cdot K_{r3} \cdot K_{s3} \cdot 1/2(H_{02}'' + H_{03}')$$

$$= 2.37 \div 2.4 \text{ m}$$

この地点の周期は $T_{s3} = 7.5 \times 0.9 \div 6.8 \text{ sec}$ くらいであろう。この計算結果を海岸堤防研究打合せ(昭和34.12.23, 大学と運輸, 建設, および農林の3省との研究打合わせの会)で報告した際, 名古屋港西防波堤先端から南西へ約200mの沖合で台風時の波浪が記録されたことを知つた¹²⁾。その結果の概要は表-7のごとくである。

表一7 名古屋港港口における波浪記録

時刻	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)
26日14~15~25	0.15	9.0
16 " "	1.2~2.2	4.0~4.5
18 " "	1.5	6.6
20 " "	2.4	6.5
22 " "	0.9	5.7

表一7によると、20時15分から25分までの記録が最大で波高 $H_{1/3}=2.4$ m, 周期 $T_{1/3}=6.5$ sec である。これは計算から求めた波高 $H_{1/3}=2.4$ m と一致し、周期は $T_{1/3}=7.5$ sec の約87%であるから、90%とした推定周期6.8 sec は実測値に近い。最初に記したように、この推定方法は波高については信頼度は高いと考えられるが、周期の推定にはなお研究を要する点があるので、計算値は実際よりも幾分過大に出ると考えられる。計算周期の90%くらいが妥当な値であろう。

(5) 海部郡飛鳥村前面の波浪

この海域は4区間に分けた。そのうち第1区間は(4)の場合と同じである。

表一8

波高	区分	区間長 Δx (km)	平均水深 (m)	
			海図の D.L.下	高潮時の水深
SW	1区	5	19.0	23.5
"	2区	5	10.0	14.5
"	3区	2	4.5	9.0
"	4区	3.5	0.5	5.0

1) 第2区間 $F_2 = F_{e1}' + \Delta x_2 = 35$ km と $V = 34$ m/sec より、 $H_{02}' = 4.5$ m, $T_{02}' = 8.3$ sec。屈折図より

$$K_{r2} = \sqrt{1.185} \sqrt{1.15} = 1.09 \times 1.07 = 1.165$$

$$\frac{h_2}{[1/2(T_{01}' + T_{02}')]^2} = \frac{14.5}{[1/2(7.9 + 8.3)]^2} = \frac{14.5}{8.1^2} = 0.221$$

ゆえに図-2より $K_{s2} = 0.912$

$$\therefore H_2 = K_{r2} \cdot K_{s2} \cdot 1/2(H_{01}' + H_{02}') = 1.165 \times 0.912 \times 1/2(4.2 + 4.5) = 4.62 \div 4.6$$

$$\frac{f \cdot H_2 \cdot \Delta x_2}{h_2^2} = \frac{0.015 \times 4.6 \times 5000}{14.5^2} = 1.64$$

ゆえに図-3より $K_{f2} = 0.835$

$$\therefore H_{s2} = K_{f2} \cdot K_{r2} \cdot K_{s2} \cdot 1/2(H_{01}' + H_{02}') = 3.86 \div 3.9$$

うねりと考えたときの波高および周期は

$$H_{02}'' = K_{f2} \cdot 1/2(H_{01}' + H_{02}') = 3.63 \div 3.6$$

$$\therefore F_{e2}' = 24$$
 km, $T_{02} = 7.3$ sec

2) 第3区間 $F_3 = F_{e2}' + \Delta x_3 = 26$ km と $V = 34$ m/sec より $H_{03}' = 4.0$ m, $T_{03}' = 7.5$ sec。屈折図より

$$K_{r3} = \sqrt{1.22} \cdot \sqrt{0.52} = 1.10 \times 0.721 = 0.793$$

$$\frac{h_3}{[1/2(T_{02}' + T_{03}')]^2} = \frac{9.0}{[1/2(7.3 + 7.5)]^2} = 0.164$$

より $K_{s3} = 0.930$

$$\therefore H_3 = K_{r3} \cdot K_{s3} \cdot 1/2(H_{02}'' + H_{03}') = 0.793 \times 0.930 \times 3.8 = 2.8$$

$$= 0.793 \times 0.930 \times 3.8 = 2.8$$

$$\frac{f \cdot H_3 \cdot \Delta x_3}{h_3^2} = \frac{0.015 \times 2.8 \times 2000}{9^2} = 1.04$$

より $K_{f3} = 0.870$

第3区間の終端 (D.L. -2.0 m) における波高は

$$H_{s3} = K_{f3} \cdot K_{r3} \cdot K_{s3} \cdot 1/2(H_{02}'' + H_{03}') = 2.44 \div 2.4$$

周期は $T_{s3} = 7.4$ sec

3) 第4区間 この区間では波高に比して水深が大きいためから砕波しない。

$$\frac{h_4}{T_4^2} = \frac{5.0}{7.4^2} = 0.0912,$$

$$\frac{f \cdot H_{s3} \cdot \Delta x_4}{h_4^2} = \frac{0.015 \times 2.4 \times 3500}{5^2} = 5.04$$

図-3より $K_{f4} = 0.535$

屈折図より

$$K_{r4} = \sqrt{1.17} \sqrt{0.539} = 1.08 \times 0.734 = 0.792$$

ゆえに第4区間の終端における波高は

$$H_{s4} = 0.535 \times 0.792 \times 2.44 = 1.03$$

である。周期 $T_{s4} = 7.4$ sec であるが、実際はその90%の6.7 sec くらいであろう。

(6) 日光川河口 (南陽町地先) の波浪

この海域も4区間に分け、第1区間は(4)および(5)の場合と同じである。

表一9

波向	区分	区間長 Δx (km)	平均水深 (m)	
			海図の D.L.下	高潮時の水深
SW	1区	5	19.0	23.5
"	2区	5	10.0	14.5
"	3区	5	4.0	8.5
"	4区	3	0.5	5.0

1) 第2区間 $F_2 = F_{e1}' + \Delta x_2 = 35$ km と $V = 34$ m/sec より、 $H_{02}' = 4.5$ m, $T_{02}' = 8.3$ sec。屈折図より

$$K_{r2} = \sqrt{1.17} \sqrt{0.803} = 1.08 \times 0.896 = 0.968$$

$$\frac{h_2}{[1/2(T_{01}' + T_{02}')]^2} = \frac{14.5}{8.1^2} = 0.221$$

より $K_{s2} = 0.912$

$$\therefore H_2 = K_{r2} \cdot K_{s2} \cdot 1/2(H_{01}' + H_{02}') = 0.968 \times 0.912 \times 1/2(4.2 + 4.5) = 3.84 \div 3.8$$

$$\frac{f \cdot H_2 \cdot \Delta x_2}{h_2^2} = \frac{0.015 \times 3.8 \times 5000}{14.5^2} = 1.36$$

より $K_{f2} = 0.860$

$$\therefore H_{s2} = 0.860 \times 0.968 \times 0.912 \times 3.84 = 2.91 \div 2.9$$

うねりと考えたときの波高は

$$H_{02}'' = K_{f2} \cdot 1/2(H_{01}' + H_{02}') = 3.74 \div 3.7$$

$H_{02}'' = 3.7$ m と $V = 34$ m/sec とより $F_{e2}' = 25$ km, $T_{02}' = 7.3$ sec。

2) 第3区間 $F_3 = F_{e2}' + \Delta x_3 = 30$ km, $V = 34$ m/sec を用いて

$$H_{03}' = 4.4$$
 m, $T_{03}' = 8.0$ sec をえる。屈折図より

$$K_{r_3} = \sqrt{1.245} \sqrt{0.350} = 1.12 \times 0.592 = 0.663$$

$$\frac{h_3}{[1/2(T_{02}' + T_{03}')]^2} = \frac{8.5}{[1/2(7.3+8.0)]^2} = 0.145$$

より $K_{s_3} = 0.938$

$$\therefore H_3 = K_{r_3} \cdot K_{s_3} \cdot 1/2(H_{02}'' + H_{03}') = 0.663$$

$$\times 0.938 \times 1/2(3.7+4.4) = 2.55 \div 2.6 \text{ m}$$

$$\frac{f \cdot H_3 \cdot \Delta x_3}{h_3^2} = \frac{0.015 \times 2.6 \times 5000}{8.5^2} = 2.70$$

より $K_{f_3} = 0.715$ 。

ゆえに第3区間の終端における波高は

$$H_{s_3} = K_{f_3} \cdot K_{r_3} \cdot K_{s_3} \cdot 1/2(H_{02}'' + H_{03}') = 1.81 \div 1.8 \text{ m}$$

周期 $T_{s_3} \div 7.7 \text{ sec}$ である。

3) 第4区間 この区間の高潮時(20hから22h)の水深は少なくとも4.5m以上あるから砕波しない。ゆえに

$$\frac{h_4}{T_4^2} \div \frac{5.0}{7.7^2} = 0.084$$

$$\frac{f \cdot H_{s_3} \cdot \Delta x_4}{h_4^2} = \frac{0.015 \times 1.8 \times 3000}{5^2} = 3.26$$

図-3より $K_{f_4} = 0.635$, 屈折図より

$$K_{r_4} = \sqrt{1.19} \sqrt{0.350} = 1.09 \times 0.592 \times 0.645$$

ゆえに第4区間の終端における波高は

$$H_{s_4} = 0.635 \times 0.645 \times 1.81 = 0.74 \div 0.7 \text{ m}$$

周期 $T_{s_4} \div 7.7 \text{ sec}$ であるが, これは少し過大で, その90%の6.9secが実際に近いであろう。

(7) 大田川河口および横須賀海岸の波浪

この海域はおのおの4区間に分けたが, 第1, 2, 3区間までは共通である。また第1区間は(4), (5), (6)の場合と同一であるから, $H_{01}' = 4.2 \text{ m}$, $F_{e1}' = 30 \text{ km}$, $T_{01}' = 7.9 \text{ sec}$ である。

表-10

波 向	区 分	区 間 量 Δx (km)	平均水深(m)	
			海図のD.L.下	高潮時の水深
SW	1区	5	19.0	23.5
	2区	5	10.0	14.5
	3区	3	9.0	10.5
	大田川河口 4区	3.2	2.0	6.5
	横須賀 4区	1.8	1.5	6.0

1) 第2区間 $F_2 = F_{e1}' + \Delta x_2 = 35 \text{ km}$ と $V = 34 \text{ m/sec}$ より, $H_{02}' = 4.5 \text{ m}$, $T_{02}' = 8.3 \text{ sec}$ 。屈折図より

$$K_{r_2} = \sqrt{1.14} \sqrt{0.625} = 1.07 \times 0.791 = 0.846$$

$$\frac{h_2}{[1/2(T_{01}' + T_{02}')]^2} = \frac{14.5}{8.1^2} = 0.221$$

より $K_{s_2} = 0.912$

$$\therefore H_2 = K_{r_2} \cdot K_{s_2} \cdot 1/2(H_{01}' + H_{02}') = 0.846$$

$$\times 0.912 \times 1/2(4.2+4.5) = 3.36 \div 3.4 \text{ m}$$

$$\frac{f \cdot H_2 \cdot \Delta x_2}{h_2^2} = \frac{0.015 \times 3.4 \times 5000}{14.5^2} = 1.21$$

より $K_{f_2} = 0.875$

$$\therefore H_{s_2} = K_{f_2} \cdot K_{r_2} \cdot K_{s_2} \cdot 1/2(H_{01}' + H_{02}') = 2.94 \div 2.9 \text{ m}$$

うねりと考えたときの波高は

$$H_{02}'' = K_{f_2} \cdot 1/2(H_{01}' + H_{02}') = 3.81 \div 3.8 \text{ m}$$

$H_{02}'' = 3.8 \text{ m}$ と $V = 34 \text{ m/sec}$ より $F_{e2}' = 25 \text{ km}$, $T_{02}' = 7.4 \text{ sec}$ 。

2) 第3区間 $F_3 = F_{e2}' + \Delta x_3 = 28 \text{ km}$ と $V = 34 \text{ m/sec}$ より $H_{03}' = 4.0 \text{ m}$, $T_{03}' = 7.5 \text{ sec}$ 。屈折図より

$$K_{r_3} = \sqrt{1.315} \sqrt{0.518} = 1.15 \times 0.720 = 0.828$$

$$\frac{h_3}{[1/2(T_{02}' + T_{03}')]^2} = \frac{10.5}{[1/2(7.4+7.5)]^2} = 0.189$$

より $K_{s_3} = 0.920$ 。

$$\therefore H_3 = K_{r_3} \cdot K_{s_3} \cdot 1/2(H_{02}'' + H_{03}') = 0.828$$

$$\times 0.920 \times 1/2(3.8+4.0) = 2.97 \div 3.0 \text{ m}$$

$$\frac{f \cdot H_3 \cdot \Delta x_3}{h_3^2} = \frac{0.015 \times 3.0 \times 3000}{10.5^2} = 1.225$$

より $K_{f_3} = 0.870$

ゆえに第3区間の終端における波高は

$$H_{s_3} = K_{f_3} \cdot K_{r_3} \cdot K_{s_3} \cdot 1/2(H_{02}'' + H_{03}') = 2.58 \div 2.6 \text{ m}$$

周期は $T_{s_3} = 7.5 \text{ sec}$ である。

3) 第4区間, 大田川河口の波浪 この区間の水深(20hから22hの間の)は大部分の場所で5m以上あるから砕波しない。

$$\frac{h_4}{T_4^2} \div \frac{6.5}{7.5^2} = 0.12,$$

$$\frac{f \cdot H_{s_3} \cdot \Delta x_4}{h_4^2} = \frac{0.015 \times 2.6 \times 3200}{6.5^2} = 2.95$$

より $K_{f_4} = 0.680$, 屈折図より

$$K_{r_4} = \sqrt{1.20} \sqrt{0.642} = 1.10 \times 0.801 = 0.881$$

ゆえに第4区間の終端における波高は

$$H_{s_4} = 0.680 \times 0.881 \times 2.58 = 1.55 \div 1.6 \text{ m}$$

周期は $T_{s_4} = 7.5 \text{ sec}$ であるが, 実際は6.8secくらいであろう。

4) 第4区間, 横須賀海岸の波浪 この区間でも大部分の場所の水深は5m以上であるから砕波しない。

$$\frac{h_4}{T_4^2} \div \frac{6.0}{7.5^2} = 0.107,$$

$$\frac{f \cdot H_{s_3} \cdot \Delta x_4}{h_4^2} = \frac{0.015 \times 2.6 \times 1800}{6^2} = 1.95$$

より $K_{f_4} = 0.755$, 屈折図より

$$K_{r_4} = \sqrt{1.33} \sqrt{0.712} = 1.15 \times 0.844 = 0.970$$

ゆえに横須賀海岸における波高は

$$H_{s_4} = 0.755 \times 0.970 \times 2.58 = 1.89 \div 1.9 \text{ m}$$

周期は多分6.8secくらいであろう。

8. 伊勢湾北部の海岸堤防における波のはいり高さ

城南干拓, 松陰新田(伊曾島村), 鍋田干拓, 飛鳥干拓, 南陽町, 藤高前干拓および大田川河口の干拓堤防に

おける最高の波頂高および波のはいり高さを計算し、10月6日から9日の間にそれらの堤防の被災状況を調査した結果と比較検討した。海岸堤防における波のはいり高さは潮位（すなわち水深）、波高、波形勾配並びに堤防の断面形によつて大きく変化するので、正確にはこれらの堤防断面について模型実験を行なわなければ求めることがむずかしいが、今までに行なわれた模型実験の結果¹³⁾を参考にし、台風時の堤防法先における水深 $h_d = 4.5 \sim 5.0$ m（風下側のみ）、 $h_d/L = 0.12$ 、 $h_d/H = 3 \sim 4$ であることを考慮すると、風下側にあつた堤防においては少なくとも次のようなはいり高さが推定される。

前面の法勾配が 1:0.5 およびこれより急なものでは

$$R = 1.5 H$$

前面の法勾配が 1:3~1:3.8 のものでは $R = 1.8 H$

前記の海岸堤防前面における最高潮位は場所によつてかなり違つていて、正確に推定することはできないが、大体の値として T.P.+(3.30~3.50 m) とした。このようにして計算した結果をまとめたものが表-11である。

表-11 海岸堤防における最高波頂高およびはいり高さ

	城南干拓	伊曾島干拓	鍋田干拓	飛鳥干拓	藤高前干拓	大田川河口
堤防天端高 (T.P.上,m)	5.50	6.50	5.74	5.14~6.00	5.70~6.00	5.50
最高潮位 (T.P.上,m)	3.30	3.30	3.30	3.50	3.50	3.40
平均潮位 (T.P.上,m)	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10
堤防法先水深 h_d (m)	5.0	5.0	4.5	5.0	5.0	6.5
計算波高 $H_{1/3}$ (m)	1.6	1.5	1.5	1.0	0.7	1.6
計算周期 $T_{1/3}$ (sec)	6.6	6.6	6.3	6.7	6.9	6.8
計算波長 L (m)	42	42	39	44	45	50
$H_{1/3}/L$	0.038	0.036	0.038	0.023	0.016	0.032
重複波の H_u (m)	1.9	1.8	1.8	1.1	0.8	1.8
最高波頂高 (T.P.上,m)	5.2	5.1	5.1	4.6	4.3	5.2
平均波頂高 (T.P.上,m)	5.0	4.9	4.9	4.2	3.9	4.9
最高はいり高さ (T.P.上,m)	6.2	6.0	5.6	5.3	5.2	5.2

注：名古屋港の D.L. は T.P.-1.40 m とせる。

表-11 により明らかなように、海岸堤防法先における水深は波高の 3~4 倍あるから、海岸堤防が直立壁か直立壁に近い場合には、堤防前面の波は重複波になる。

表-11 において、最高波頂高は最高潮位に水面から重複波の波頂までの高さ H_u を加えたもの、平均波頂高は 20 時から 22 時までの間の平均潮位に H_u を加えたものである。最高はいり高さは、風下側の海岸堤防においては、最高潮位に波の法面における最高はいり高さ R を加えたもの、風上側の堤防では最高波頂高と同じにとつた。

(1) 城南干拓堤防

堤防天端高が 5.50 m に対し、重複波の最高波頂高が 5.2 m、平均波頂高が 5.0 m である。この計算に用いた波高はすでに記したように有義波の波高 $H_{1/3}$ であるから、 $H_{1/3}$ 以上の波が来たときには最高波頂高が 5.50 m あるいはそれ以上になるから越波したと考えられる。実際には 20.30 時頃から越波がはなはだしくなつたと思われる。最高潮の 21 時には $H_{1/3}$ の波のはいり高さが 6.2 m であるから、多量の波が天端上を越流したであろうと考えられる。その上、前法および胸壁ともに控えの小さい間知石積であつたから、堤防は容易に破壊したであろう。

(2) 伊曾島村松陰新田堤防

海に面した堤防の胸壁の天端は 6.50 m で、最高波頂高が 5.1 m、最高はいり高さが 6.0 m であるから、 $H_{1/3}$ 以上の波が来たときは相当量のしぶきは堤防天端に飛び上つたであろうが、波そのものは越さなかつたであろうと考えられる。現地を調べた結果では、天端に積んであつたセメント袋や、お地藏さん、その前の小さい電柱が全く動いておらず、ただ被覆されていない天端の堤内側の部分が洗掘されているだけであつた。このことは前記の推定が正しいことを証明していると考えられる。一部倒壊した部分があつたが、おそらく、前法面の間知石の脱落が原因ではないかと思われる。

(3) 鍋田干拓堤防

この堤防は大部分が崩壊して海中に残がいを横たえていたから、一目して多量の越波量があつたことが推定される。表-11 によると、天端高が 5.74 m であるのに対し、 $H_{1/3}$ の最高波頂高が 5.1 m、最高はいり高さが 5.6 m であるから、 $H_{1/3}$ 以上の波は完全に天端を越して堤内に流入したと考えられ、事実をよく証明している。

(4) 飛鳥村干拓堤防

この部分は天端高がまちまちであつて、その上、堤防法線にもかなりの凹凸があつた。完全に破壊されているのは局部的で、最も海側に突出した部分は、天端も 6.0 m あつたのであまりひどくは破壊されていなかった。この場所の最高波頂高は 4.6 m で、最高はいり高さは 5.3 m であるから、 $H_{1/3}$ 以上の波のときにかなりのしぶきが飛びこんだ程度であろうと考えられる。完全に破壊された部分は構造的に欠陥があつたが、波が特に集中したためであろう。

(5) 南陽町藤高前干拓堤防

この場所では新川河口の左岸の堤防が完全に切断されていた。これはいうまでもなく、新川の堤防の天端が 4.5 m で急に低くなつていたためである。しかし海に面した堤防も大部分が半壊または全壊していた。目撃したところ、この部分の堤防は相当古いらしく、構造的に大きな欠点があつたと考えられる。それが破壊のおもな原

因であろう。

(6) 大田川河口の干拓堤防

知多半島の西海岸は風上に当るから、堤防前面の波は重複波のままで、いちじるしいはい上りはなかつたと考えられる。それゆえ、堤防天端高5.5mに対し最高波頂高が5.2mでも、あまり大した越波はなかつたと考えられる。現地を見ても、海に面した堤防は健全であつた。ただ入江あるいは河川の堤防が破壊して干拓地が浸水していた。

9. 結 論

台風時、深海波が浅い海岸へ伝わる間にその波高および周期は変化するが、そのおもな原因は、風、群速度の変化、海底摩擦および屈折である。この4要素を考慮した浅海波の推定方法は、浅海波を水深一定な一つの大層を伝わるうねりと考える方法にくらべて、はるかにすぐれていることはいままでの間ではない。

伊勢湾台風の直後、海岸堤防の被害状況を視察した伊勢湾北岸の6カ所について、この方法によつて堤防前面の波高および周期を推定し、堤防の海側法面における最高波頂高および最高はい上り高さを求め、堤防の被害状況と比較したところ、ほぼ妥当な結果をえた。また名古屋港港口における波高の推定値はその場所における実測値に一致した。ただこの方法による周期の推定法は波高の推定法に比してやや不備であるので、一般に推定値は実際よりも過大であると考えられる。それゆえ、砕波しない場合には推定値の90%、砕波した場合には80%を採用するのが適当であろうと考える。

この推定法は1年前に大阪港の設計波浪を求めるときに初めて試みた。同港では今年から波浪観測を行なうので、台風時の記録がとれば、推定値と比較検討したい

と考えている。また関門海峡の洞海湾においてもこの方法によつて波浪を推定し、実測値と比較検討中である。

付記 この論文中の図面の作製にあつて当研究室助手の玉井佐一、久保 直の両君および笹川久子嬢の援助をえた。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 海岸保全施設設計便覧, p.9, 図 1.5。
- 2) 岸 力: 海岸の波浪について, 海岸工学講演会講演集, 昭 30, 11
- 3) 永井荘七郎・堤 道夫: 大阪港の設計波の計算, 土木学会年次講演会, 昭和 34 年 5 月。
- 4) Savage, R.P.: Laboratory study of wave energy loss by bottom friction and percolation, Beach Erosion Board, Tech. Memo. 31, Feb., 1953.
- 5) Abramson, H.N. & Bretschneider, C.L.: Some observations concerning the analysis of surface waves when the bottom is nonrigid, B.E.B., Tech. Memo., No. 46, Sept., 1954.
- 6) 堤 道夫: 大阪港に襲撃せる波浪の推定とその作用について, 昭和 33 年度大阪市立大学大学院研修報告書。
- 7) Bretschneider: Field investigation of wave energy loss of shallow water ocean waves, B.E.B., Tech. Memo. No. 46, Sept., 1954.
- 8) 岸 力: 海岸堤防に関する研究 (5), 海底まさつによる浅水波のエネルギーの散逸, 土木研究所報告, 第 93 号の 1, 昭 29. 7。
- 9) Putnam, J.A. & Johnson, J.W.: The Dissipation of wave energy by Bottom friction, Trans. AGU., Vol 30, No. 1, Feb., 1949.
- 10) Bretschneider: Hurricane Design Wave Practices, Vol. 83, WW 2., Proc. ASCE, May 1957.
- 11) 井島武士: 実体写真法による波浪の観測 (第 1 報), 運研報告, 第 1 巻, 第 9~10 号, 1951 年 10 月。
- 12) この記録は名古屋港管理組合でとつたものを、運研の井島博士が整理したものである。同氏によると、1部 scale out しているの、その部分を補正して後整理したとのことである。
- 13) 以下に示せ文献はすべて無風時における実験である。台風時、風下側では風によつて波のはい上りおよび跳波が増大する。
京大の実験, 海岸工学講演集, 昭 30. 11。
土研の実験, 海岸工学講演集, 昭 31. 11。
九州農業試験場の実験, 海岸工学講演集, 昭 33. 11。
Beach Erosion Board の実験, Proc. ASCE, WW 2., April, 1956。
Beach Erosion Board の実験, Proc ASCE, WW 3., May, 1958。

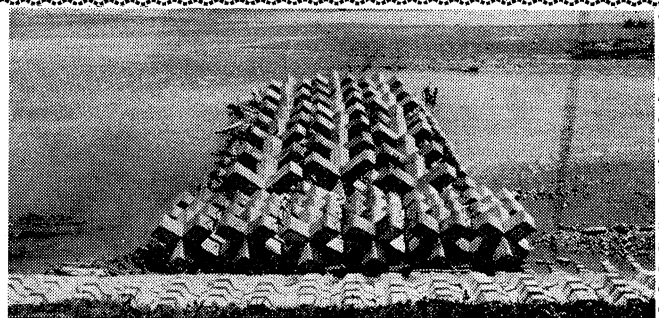
土木工学論文抄録 第3集	A 4 判 230 頁	頒価: 500 円	会員特価: 250 円 (〒 70 円)
同 第4集	A 4 判 273 頁	頒価: 450 円	会員特価: 225 円 (〒 70 円)
同 第5集	A 4 判 378 頁	頒価: 1200 円	会員特価: 800 円 (〒 80 円)

間隙が自由自在の
組合せ

六脚ブロック工法

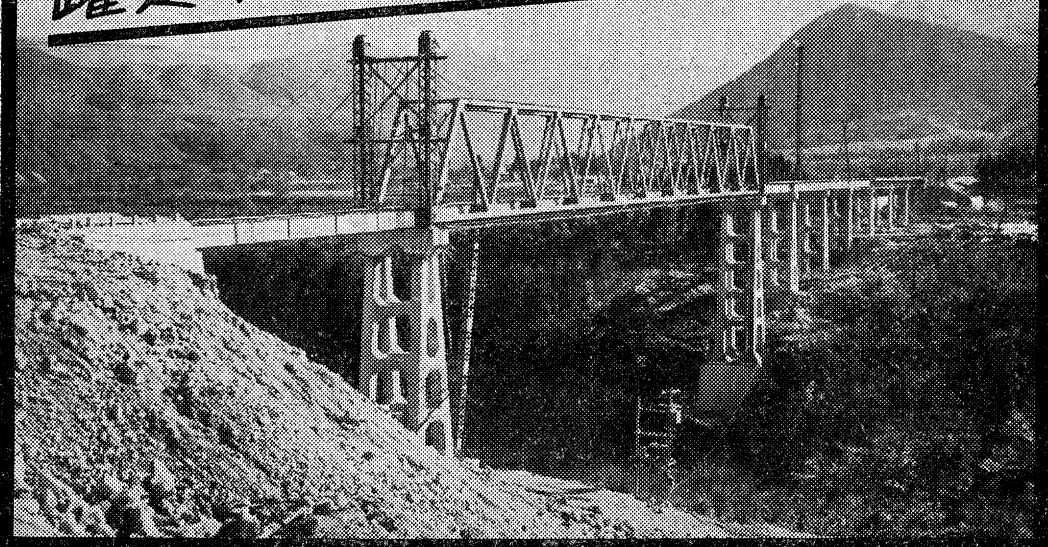


技研興業株式会社



本社・研究所 東京都港区芝浜松町1-7 江口ビル
Tel (431) 8 0 4 4
四国出張所 徳島市紙屋町2-7 徳島ビル
Tel 徳島 5 1 6 8

躍進ある石川島 橋梁



H T50を使用した90 m 1径間トラスです
東北地方建設局殿納入
天ヶ瀬橋橋長278 m

支間割 @24.40(活合成桁)+
@90.00(ワーレントラス)+
7@22.60(活合成桁)
上下部共設計、製作1括施工

- 鉄 骨
- その他鉄構物



当社は古くより各種橋梁を数多く製作して参りました。例えば東京を貫く隅田川の主要な橋梁は殆んど、当社の製作によるものであり最近では、関東地方建設局御注文の“一の橋”（本邦初の3径間連続ボックスガーダー）“法師大橋”（上路逆ランガーガーダー）中部地方建設局御注文の“神田橋”（二鉸補剛構付吊橋）東北地方建設局御注文の“天ヶ瀬橋”（HT使用90M I径間トラス）を始め、目下製作中の道路公団御注文による名神高速道“瀬田川橋”（四径間連続鉸桁）等があります。これらの橋梁は全て合理的近代設計によるもので、当社の合理化された設備により製作され、益々その真価を發揮しています。

石川島重工業株式会社

本社 東京都千代田区大手町2の4(新大手町ビル)電話 (211)2171・3171
札幌・仙台・横浜・新潟・名古屋・大阪・神戸・広島・福岡