

# 伊勢湾台風時の愛知県及び三重県の北部海岸における最大波浪の推定

大阪市立大学 工学部 永井 莊七郎\*  
久保 弘一\*\*

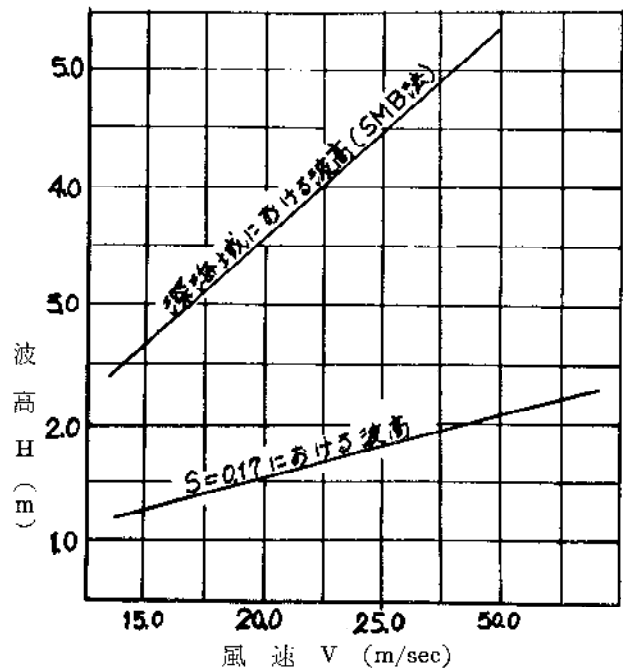
## 1. 緒言

深海波の波高及び周期の推定には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事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) 及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<sup>1)</sup>、波浪推定の理論及び方法について詳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及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  $h \approx (1.3 \sim 1.5)H$  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)のみから直ちに浅海波の波高及び周期を求めることは出来ない。それ故、屈折、海底摩擦、砕波などによる波浪の変化を考慮して、出来る限り合理的方法で逐次計算して推定するより外に方法はない。このような方法によって伊勢湾台風時の愛知及び三重両県の北部における最大波高を算出し、その値を用い海岸で最高波頂高及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検討したところ、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て後、名古屋港の港口附近において波浪記録がとられたことを知り<sup>2)</sup>、計算値と比較した結果、波高 ( $H/3$ ) 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湾における波浪の推定を行ったが、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積りである。

## 2. Molitor 式について

この式はスティブソン (Stevenson) の観測値、ゲイラード (Gaillard) のミシガン湖 (Michigan) における観測値及びモリターのオンタリオ湖 (Ontario) における観測値を用いて作られた実験式である。岸博士<sup>2)</sup>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5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<sup>3)</sup>。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  $H$  及びサビル (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含まれてしまう。



第1図  $h/L=0.5$  及び  $0.17$  のときの風速と波高の関係

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も吹送距離だけから莫然と波高を推定する方法は現在では認められない。大阪湾、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

\*教授 \*\*講師

てみたが、一般に過小の値を与えた<sup>3)</sup>。

### 3. 浅海における波高の減衰

浅海波が浅い海に来たときに生ずる波高及び周期の変化の主な原因は、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、回折及び砕波である。この外に海底の透過性、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遙かに小さい。サベージ (Savage) の実験<sup>4)</sup>によると、海底砂粒の直径が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出来ている場合には無視してよい。

ブレットシュナイダーは海底地質が極めて軟弱で、半液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と考え、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<sup>5)</sup>、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 mm ~ 0.004 mm のゼラチン状泥土から出来ている場合には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もよいと思われる。

#### (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及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

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

浅海波の伝播速度を  $C$  で表わすと

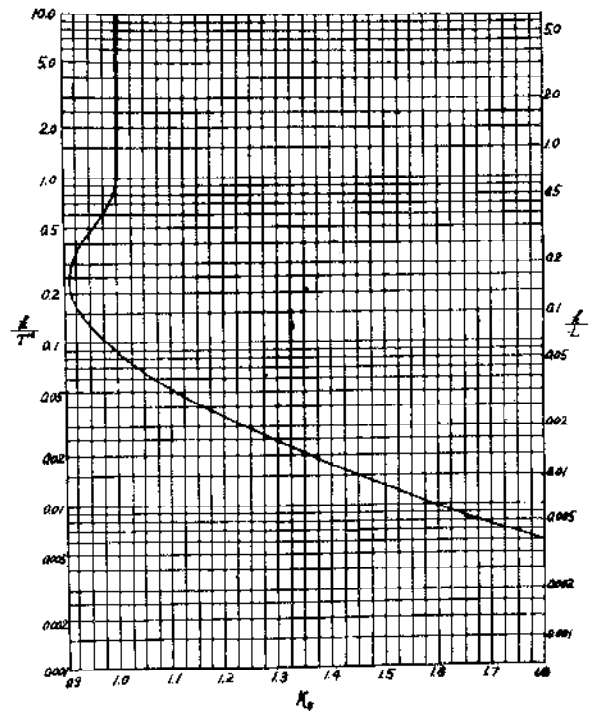
$$\left. \begin{aligned} C_g &= \frac{1}{2} \left( 1 + 4\pi \frac{h}{L} \operatorname{cosech} 4\pi \frac{h}{L} \right) \cdot C \\ C_0 &= \frac{h_0}{T_0} = \frac{L_0}{T} = C \frac{h_0}{L} = C \cdot \coth 2\pi \frac{h}{L} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(3)$$

(3)式を(2)式に代入すると

$$K_s = \left[ \frac{\coth 2\pi \frac{h}{L}}{1 + 4\pi \frac{h}{L} \operatorname{cosech} 4\pi \frac{h}{L}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= f_1 \left( \frac{h}{L} \right) = f_2 \left( \frac{h}{L_0} \right) = f_3 \left( \frac{h}{T^2} \right) \quad \dots\dots\dots(4)$$

(4)式より、波高  $H_0$ 、周期  $T_0$  なる深海波が、水深  $h$  なる浅海に来たとき、周期は変化しないとすると、 $K_s$  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  $m, sec$  単位で描くと図-2<sup>6)</sup> のような曲線になる。



第2図  $K_s$  と  $h/T^2$  との関係

#### (2) 海底摩擦による波高の減衰

海底の単位面積に働く摩擦抵抗力あるいは剪断応力  $\tau$  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、 $\rho$  は海水の密度である。単位時間に摩擦によつて失われるエネルギーは

$$\tau \cdot u_b = f \rho u_b^3 \quad \dots\dots\dots(6)$$

1 周期についての平均単位時間当りのエネルギー損失は

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

水深  $h$  なる浅海における微小振幅波においては

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

であるから、(7)式より

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

いま  $h =$  一定である場合を考えると、波が  $dx$  なる距離を進む間に失うエネルギーは、 $dt$  時間における波の

エネルギーの変化に等しいから、

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

$\frac{dx}{dt} = C_g$  であるから

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

(9), (11)式より

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

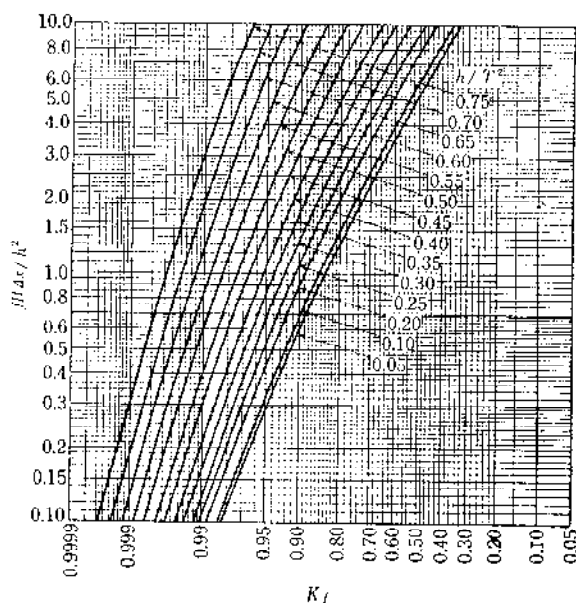
$x=0$  において  $H=H_0$ ,  $x=x$  において  $H=H$  とおいて、  
両波高の比を  $K_f$  とおけば

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

あるいは(2)式を代入すると

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

となる。  $h/T^2$  (m,sec 単位) をパラメーターとして、  $K_f$  と  $\frac{f \cdot H_0 \cdot x}{h^2}$  との関係を示すと図-3の曲線<sup>6)</sup> のようである。



第3図  $K_f$  と  $f \cdot H_0 \cdot \Delta x / h^2$  との関係

$\frac{h}{L} \leq \frac{1}{20}$  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

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

となる。

海底摩擦係数  $f$  の値は海底及び波の状況によつて0.01~0.08に大きく変化しているが、それ等との相関性はい

まだ明らかでない。プレットシュナイダーは風浪の発達  
が止んで、海面が定常状態にある場合には砂質のオキー  
チョビー湖 (アメリカ, Okeechobee) やメキシコ湾の  
大陸棚の浅海域などでは  $f=0.01$  であるといつてい  
る。<sup>7)</sup>

海底地質が非常に軟弱で、粒径が 0.001~0.004 mm  
のゼラチン状の泥土から出来ているアチャフアラヤ湾  
(Atchafalaya, メキシコ湾内) では平均の  $f=0.053$  及  
び 0.08,<sup>7)</sup> 新潟海岸・海底砂の粒径 0.3~0.5 mm の砕  
波しない傾斜海底では  $f=0.034 \sim 0.037$ <sup>8)</sup> である。

プレットシュナイダーは波高の減衰計算では  $f=0.01$   
とおき、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、 $r=0.015 \sim 0.020$  を得ている。海底泥土の波動運動  
についてはいまだ想定の域をいせず、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及び  $f=0.01$ ,  $r=$   
 $0.015$  とおいて、海底摩擦と泥土の波動運動とを考慮し  
た波高減衰係数  $K_{fb}$  の値は、 $f=0.015$ ,  $r=0$  とおいた  
場合の  $K_f$  の値にはほぼ等しいことを考慮して<sup>6)</sup>、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<sup>9)</sup>、海底勾配が 1/10 というような非常に  
急な汀線附近を除けば、海底勾配の変化並びに波の周期  
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  $f=0.015 = \text{const}$  と  
おいて計算を行つた。

#### 4. 浅海波の波高及び周期の推定方法

この論文において行つた浅海波の波高及び周期の推定  
方法は次のごとくである。

(1) 深海波 ( $h=L_0/2$ ) の波高  $H_0$  及び周期  $T_0$  を、台  
風時の風の吹送時間  $t$ ,  $t$  時間中の平均風速  $V$  及び吹送距  
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  $F$  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  $\Delta x_i (i=1, 2, 3, \dots)$  はその  
平均水深の等水深海域と考える。

(3) 第1区間  $\Delta x_1$  の平均水深  $h_1$ , 平均周期  $T_1 \approx T_0$  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  $H_0$  なる深海波が海底摩擦の影響を受けなくて水  
深  $h_1$  一定なる浅海域に伝つて来たときの波高  $H_1$  は  
次式から求める。

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

$\frac{f \cdot H_1 \cdot \Delta x_1}{h_1^2}$ ,  $\frac{h_1}{T_0^2}$  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  $HSI$  は次式より求める。

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

(4) 浪高  $H_0$  なる深海波が  $h_1 =$  一定なる浅海を海底摩擦影響を受けて、「うねり」の状態で伝わると考えたときの第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  $F_{e1}'$  及び周期  $T_{01}'$  を求める。

(5) 第2区間  $\Delta x_2$  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  $H_{02}'$  及び  $T_{02}'$  を求める。第2区間は平均波高  $\frac{H_{01}' + H_{02}'}{2}$  及び平均周期  $\frac{1}{2}(T_{01}' + T_{02}')$  なる浅海波が伝わると考えて図-2及び3より  $K_{s2}$  及び  $K_{f2}$  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  $V$  を用いて SMB法により  $F_{e2}'$  及び  $T_{03}'$  を求め、以下順次前記の方法を繰返してゆく。

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) 風速及び潮位。伊勢湾台風時の風速及び風向は観測地点によつてかなり違うので、何処の記録をもつて伊勢湾上の代表的な風速及び風向と見なすべきかは非常に難しい問題であるが、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時及び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

第1表 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 $V \text{ m/sec}$	名古屋気象台における風速 $V \text{ m/sec}$	分室における風速
26日18時	ESE	17.7	16.1	実測
19時	SE	19.9	18.7	"
20時	SE	27.4	25.7	"
21時	SSE	33.5	23.1	推定
22時	SSE	39.6	37.0	"
23時	S	22.5	21.0	"
24時	SSW	19.5	18.2	"

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。

つぎに18時から24時までの2時間毎の名古屋港における平均潮位及び平均風速並びに四日市港における平均潮位は表-2のごとくである。

第2表 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時~20時	1.5	2.9	SE 22	2.1	3.4
20時~22時	3.1	4.5	SSE 34	3.1	4.4
22時~24時	2.8	4.2	S 27	2.0	3.3

名古屋港及び四日市港における  $Z_0 = \frac{1}{2}(M_2 + S_2 + K_1 + O_1)$  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  $1.42 \text{ m}$  及び  $1.31 \text{ m}$  を用い、cmの桁を切り捨てた。

(2) 深海波の波高及び周期の推定。海図によると水深(海図の  $D.L$  以下)が  $27 \text{ m}$  以上の区間は  $SE \sim S$  の方向においては大体  $33 \text{ km}$  あるので、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時間毎の有義波の波高  $H_0$  及び周期  $T_0$  を求めると表-3のごとくである。

第3表 深海波の有義波の波高および周期

時刻	波高 $H_0 \text{ (m)}$	周期 $T_0 \text{ (sec)}$
18時~20時	2.7	6.0
20時~22時	4.4	8.2
22時~24時	3.5	7.0

表-3より台風時における最大の深海有義波の  $H_0 = 4.4 \text{ m}$ 、 $T_0 = 8.2 \text{ sec}$  である。平均水深  $h_0 = 30 \text{ m}$  とすると、 $L_0 = 100 \text{ m}$  である。波の方向は  $S$  方向及び  $SW$  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(9)あるいは(10)より有義波の波高及び周期を求めると

$$H_0 = 4.74 \text{ m}, \quad T_0 = 8.33 \text{ sec}$$

である。

$$\left. \begin{aligned} H_0 &= 0.0555\sqrt{V^2 F} \\ T_0 &= 0.5\sqrt{V^2 F} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (19)$$

あるいは

$$\left. \begin{aligned} H_0 &= 0.000767\sqrt{V^2 F} \\ T_0 &= 0.106\sqrt{V^2 F} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (20)$$

(19式では  $V$  は ft/sec,  $F$  は海里単位, (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  $H_0 = 4.4\text{ m}$ , 周期  $T_0 = 8.2\text{ sec}$  なる  $S$  方向及び  $SW$  方向の深海波について, 伊勢湾北岸における屈折図を描くと第4図及び5のごとくである。第4図では水深が大なる正域は  $10T$  ごと, 水深が浅い海岸近くの区域では  $5T$  ごとに, 第5図は  $5T$  ごとに描かれている。

### 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第4表のごとくである。平均潮位は名古屋港及び四日市港がそれぞれ海図の  $D.L$  上  $4.5\text{ m}$  及び  $4.4\text{ m}$  であるが, 近似的に伊勢湾北部海面の平均潮位を一様に  $D.L + 4.5\text{ m}$  とした。

(i) 第1区間

(19式より  $H_1 = K_{r1} \cdot K_{s1} \cdot H_0$

第4表

波の方向	区分	区間長 $\Delta x$ (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

$H_0 = 4.4\text{ m}$ , 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  $T_1 \approx T_0 = 8.2\text{ sec}$  にとると

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

ゆえに第2図を用いて,  $K_{s1} = 0.935$

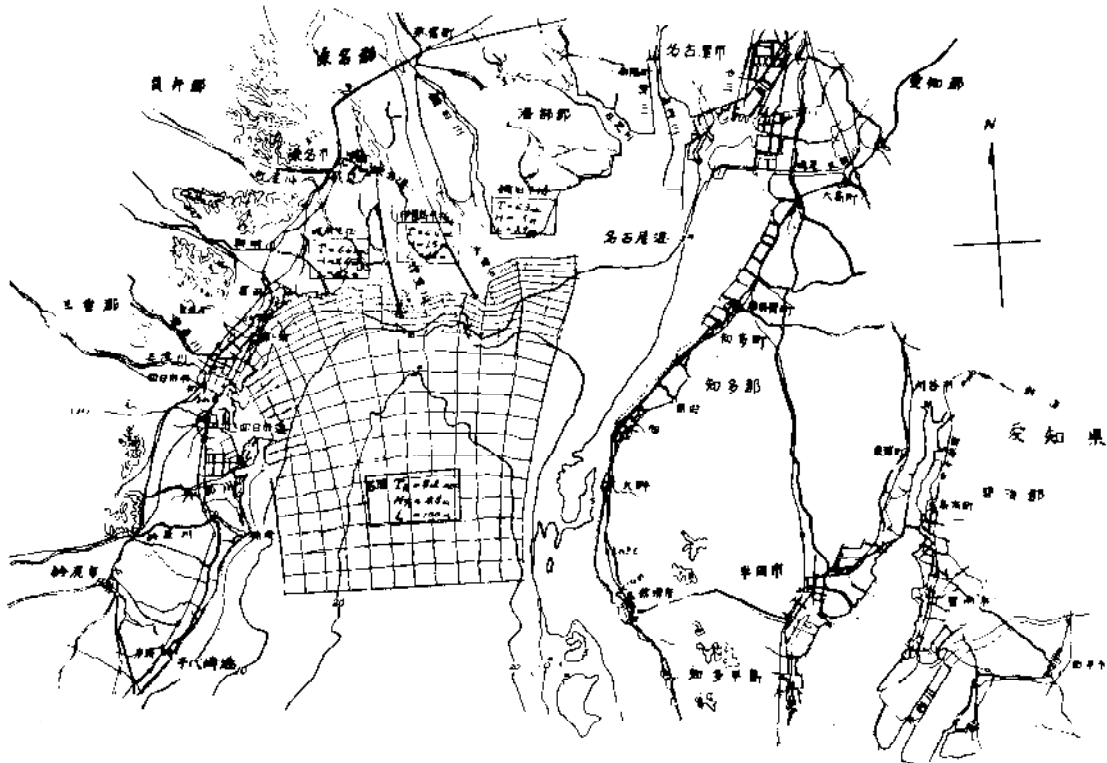
$$\therefore H_1 = 0.937 \times 0.935 \times 4.4 = 3.85 \approx 3.9\text{ m}$$

$$\frac{fH_1 \cdot \Delta x_1}{h_1^2} = \frac{0.015 \times 3.9 \times 5000}{27.5^2} = 0.39, \quad \text{および} \quad \frac{h_1}{T_1^2} =$$

0.419 より第3図を用いて,  $K_{f1} = 0.982$  を得る。ゆえに第1区間の終端における浅海波の波高  $H_{s1}$  は(19式より

$$H_{s1} = 0.992 \times 0.937 \times 0.935 \times 4.4 = 3.78 \approx 3.8\text{ m}$$

水深  $h_1 = 27.5\text{ m}$  = 一定なる海域を波高  $H_0$  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



第4図 伊勢湾北岸における屈折図 (三重県北部海岸)

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

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}'\$ および波の周期 \$T\_{01}'\$ を求めると

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

である。

(2) 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

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

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 
$$\left[ \frac{h_2}{\frac{1}{2}(T_{01}' + T_{02}')} \right]^2$$

$$= \frac{18.5}{8.1^2} = 0.28 \text{ より第2図を用いて } K_{s2} = 0.915$$

$$\text{屈折図より } K_{r2} = \sqrt{L_1/L_2} \cdot \sqrt{B_1/B_2} = 1.11 \times 0.927 = 1.03$$

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

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

$$\frac{f \cdot H_2 \cdot \Delta x_2}{h_2^2} = \frac{0.015 \times 4.1 \times 2000}{18.5^2} = 0.36 \text{ と } V = 34 \text{ m/sec}$$

より第3図を用いて \$K\_{f2} = 0.968\$ を求める。ゆえに第2区間の終端における浅海波の波高 \$H\_{s2}\$ は

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

である。

(3) 第3区間

(a) 砕波しないとした場合

この区間では

$$H_{s2} = 4.0 \text{ m}, \quad T_2 = \frac{1}{2}(H_{01}' + H_{02}') = 8.1$$

secの浅海波が \$h\_3 = 5.0 \text{ m} = \text{一定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}

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

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

より第3図を用いて、\$K\_{f3} = 0.43\$ を求め、屈折図より

$$K_{r3} = \sqrt{\frac{L_2}{L_3}} \cdot \sqrt{\frac{B_2}{B_3}}$$

$$= 1.22 \times 0.872 = 1.07$$

故に第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

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

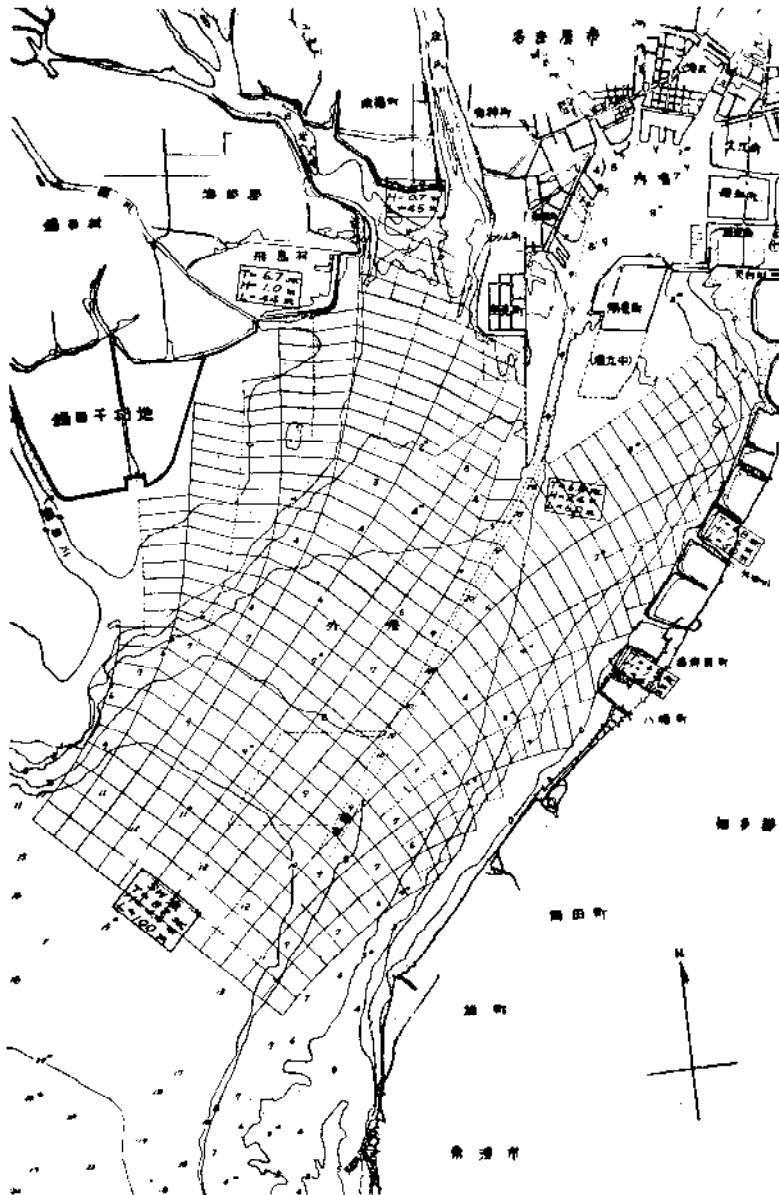
である。

(b) 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 - 0.5 \text{ m}\$ の地点では、波形勾配はほぼ

$$\frac{H_{s2}}{L_3} = \frac{4.0}{54} = 0.074 \text{ で、 } \frac{h_3}{H_{s2}}$$

\$= 5.0/4.0 = 1.25\$ であるから、おそらく部分的に砕波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<sup>1)</sup>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



第5図 伊勢湾北岸における屈折図(愛知県北部海岸)

生産と技術

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。

$$\frac{h_3}{T_2^2} = 0.0762,$$

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

を用いて第3図より、 $K_{f3} = 0.53$ 、ゆえに第3区間の終端における波高  $H_{s3}'$  は

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

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、それを裏付ける十分な実測資料がない。新潟海岸における観測の1例によると<sup>10)</sup>、ほぼ90%に減少している。また長さ3 kmの磯波帯では波高および周期ともに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) 伊曽島村松陰新田前面の波浪

第2区間の終端における浅海波の波高及び周期は城南干拓前面と同様に  $H_{s2} = 4.0 \text{ m}$ 、 $T_2 = 8.1 \text{ sec}$  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。

(a) 砕波しないとした場合

$$\frac{h_3}{T_2^2} = 0.076$$

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

を用いて第3図より、 $K_f = 0.41$ 、屈折図より

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

故に第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。

(b) 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。

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

であるから第3図より、 $K_{f3} = 0.49$ 、

故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) 鍋田干拓前面の波浪

海岸までの海域を第5表に示すような4区間に分けた。

第5表

波の方向	区分	区間長 $\Delta x$ (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

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

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

故に第2図より  $K_{s1} = 0.920$

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

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

ゆえに第3図より  $K_{f1} = 0.960$

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法により

$$F_{c1}' = 29 \text{ km}, \quad T_{01}' = 7.8 \text{ sec.}$$

(2) 第2区間

$$F_2 = F_{c1}' + \Delta x_2 = 31 \text{ km}, \quad V = 34 \text{ m/sec}$$

を用いてSMB法より

$$H_{02}' = 4.4 \text{ m} \quad T_{02}' = 8.0 \text{ sec.}$$

をえる。屈折図より

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

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

ゆえに第2図より  $K_{s2} = 0.913$

$$\begin{aligned} \therefore H_2 &= K_{r2} \cdot K_{s2} \cdot 12 (H_{01}' + H_{02}') \\ &= 0.991 \times 0.913 \times 4.3 = 3.89 \approx 3.9 \text{ m} \end{aligned}$$

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

第3図より  $K_{f2} = 0.960$

ゆえに第2区間の終端における波高は

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

となる。「うねり」と考えたときの波高は

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

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

$$F_{s2} = 29 \text{ km}, \quad T_{02}' = 7.8 \text{ sec}$$

(3) 第3区間

$F_3 = F_{s2}' + \Delta x_3 = 31 \text{ km}$  と  $V=34 \text{ m/sec}$  を用いてSMB法により

$$H_{03}' = 4.3 \text{ m} \quad T_{03}' = 8.0 \text{ sec}$$

をえる。

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

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

第2図より  $K_{s3} = 0.922$

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

$$= 1.00 \times 0.922 \times 4.2 = 3.43 \approx 3.4 \text{ m}$$

$$\frac{f \cdot H_3 \cdot \Delta x_3}{h_3^2} = \frac{0.015 \times 3.4 \times 2000}{11^2} = 0.841$$

第3図より  $K_{f3} = 0.90$

ゆえに第3区間の終端における波高は

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

(4) 第4区間

(a) 砕波しないとした場合

$$\frac{h_4}{T_4^2} = \frac{4.5}{7.9^2} = 0.072,$$

$$\frac{f \cdot H_{s3} \cdot \Delta x_4}{h_4^2} = \frac{0.015 \times 3.48 \times 2000}{4.5^2} = 5.16$$

第3図より  $K_{f4} = 0.53$

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  $H_{s3}/L_4 = 3.48/50 = 0.070$  で  $h/H_{s3} = 4.5/3.48 \approx 1.29$  であるから、部分的、砕波をすると考えられる。故に砕波直後の波高  $H_4' = 3.48 \times 0.7 = 2.44 \text{ m}$ 。

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

第3図より  $K_{f4} = 0.61$ ,

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

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

4) 名古屋港々口の波浪

港口までの海域を第6表のように3区間に分けた。この海域には名古屋港へ通ずる航路(幅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挟んだ幅1kmの区間の水深の平均をとつた。

第6表

波向	区分	区間長 $\Delta x(\text{km})$	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

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

$$\frac{h^4}{T_0^2} = \frac{23.5}{8.2^2} = 0.349,$$

第2図より  $K_{s1} = 0.925$

$$\therefore H_1 = K_{r1} \cdot K_{s1} \cdot H_0 = 1.05 \times 0.925 \times 4.4 = 4.28 \approx 4.3 \text{ m}$$

$$\frac{f \cdot H_1 \cdot \Delta x_1}{h_1^2} = \frac{0.015 \times 4.3 \times 5000}{23.5^2} = 0.584$$

ゆえに、第3図より  $K_{f1} = 0.961$

第1区間の終端における波高は

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

「うねり」と考えた場合の終端における波高は

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

$H_{01}' = 4.2 \text{ m}$  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

$$F_{s1}' = 30 \text{ km}, \quad T_{01}' = 7.9 \text{ sec}$$

(2) 第2区間

$$F_2 = F_{s1}' + \Delta x_2 = 35 \text{ km} \quad \text{と} \quad V=34 \text{ m/sec}$$

より深海波としての波高および周期を求めると、

$$H_{02}' = 4.5 \text{ m}, \quad T_{02}' = 8.3 \text{ sec}$$

である。屈折図より

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

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

を用いて第2図より  $K_{s2} = 0.910$

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

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



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

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

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

「うねり」と考えたときの波高および周期は

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

$H_{02}'' = 3.7 \text{ m}$  と  $V = 34 \text{ m/sec}$  より深海波としての伝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

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

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

より第2図を用いて  $K_{s3} = 0.915$ 、

$$\begin{aligned} \therefore H_3 &= K_{r3} \cdot K_{s3} \cdot \frac{1}{2} (H_{02}'' + H_{03}') \\ &= 0.803 \times 0.915 \times \frac{1}{2} (3.7 + 4.2) = 2.90 \text{ m} \end{aligned}$$

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

を用いて第3図より  $K_{f3} = 0.810$ 、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

$$H_{s3} = K_{f3} \cdot K_{r3} \cdot K_{s3} \cdot \frac{1}{2} (H_{02}'' + H_{03}') = 2.37 \approx 2.4 \text{ m}$$

この地点の周期は  $T_{s3} = 7.5 \times 0.9 \approx 6.8 \text{ sec}$  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250 m の沖合で台風時の波浪が記録されたことを知った<sup>12)</sup>。その結果の概要は第7表のごとくである。

第7表によると、20時15分から25分までの記録が最大

第7表 名古屋港における波浪記録

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

で、波高  $H_{1/3} = 2.4 \text{ m}$ 、周期  $T_{1/3} = 6.5 \text{ sec}$  である。これは計算から求めた波高  $H_{1/3} = 2.4 \text{ m}$  と一致し、周期は  $T_{1/3} = 7.5 \text{ sec}$  の約87%である。最初に記したごとく、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%の  $T_{s3} = 6.8 \text{ sec}$  が実測値に近い。

5) 海部郡飛島村前面の波浪

この海域は4区間に分けた。その中第1区間は4の場合と同じである。

第8表

波 向	区 分	区間長 $\Delta x$ (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

$F_2 = F_{e1}' + \Delta x_2 = 35 \text{ km}$  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

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

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

故に第2図より  $K_{s2} = 0.912$

$$\begin{aligned} \therefore H_2 &= K_{r2} \cdot K_{s2} \cdot \frac{1}{2} (H_{01}' + H_{02}') = 1.165 \times 0.912 \\ &\quad \times \frac{1}{2} (4.2 + 4.5) = 4.62 \approx 4.6 \text{ m} \end{aligned}$$

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

ゆえに第3図より  $K_{f2} = 0.835$

$$\begin{aligned} \therefore H_{s2} &= K_{f2} \cdot K_{r2} \cdot K_{s2} \cdot \frac{1}{2} (H_{01}' + H_{02}') = 3.86 \\ &\approx 3.9 \text{ m} \end{aligned}$$

「うねり」と考えたときの波高及び周期は、

$$H_{02}'' = K_{f2} \cdot \frac{1}{2} (H_{01}' + H_{02}') = 3.63 \approx 3.6 \text{ m}$$

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

(2) 第3区間

$F_3 = F_{e2}' + \Delta x_3 = 26 \text{ km}$  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

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

$$\left[ \frac{h_3}{\frac{1}{2}(T_{o2}' + T_{o3}')^2} \right]^2 = \frac{9.0}{\left[ \frac{1}{2}(7.3+7.5) \right]^2} = 0.164$$

より  $K_{f3} = 0.930$

$$H_3 = K_{r3} \cdot K_{s3} \cdot \frac{1}{2} (H_{o2}' + H_{o3}') = 0.793 \times 0.930 \times 3.8 = 2.8 \text{ m}$$

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

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

$$H_{s3} = K_{f3} \cdot K_{r3} \cdot K_{s3} \cdot \frac{1}{2} (H_{o2}' + H_{o3}') = 2.44 \approx 2.4 \text{ m}$$

周期は,  $T_{s3} = 7.4 \text{ sec}$

(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。

$$\frac{h_4}{T_4^2} = \frac{5.0}{7.4^2} = 0.0912, \quad \frac{f \cdot H_{s3} \cdot \Delta x_4}{h_4^2} = \frac{0.015 \times 2.4 \times 3500}{5^2} = 5.04$$

第3図より  $K_{f4} = 0.535$

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

故に第4区間の終端における波高は

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

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

6) H吉川河口 (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)及び5)の場合と同じである。

第9表

波向	区分	区間長 $\Delta x(\text{km})$	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

$F_2 = F_{o2}' + \Delta x_2 = 35 \text{ km}$  と  $V = 34 \text{ m/sec}$  より,  $H_{o2}' = 4.5 \text{ m}$ ,  $T_{o2}' = 8.3 \text{ sec}$ . 屈折図より

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

$$\left[ \frac{h_2}{\frac{1}{2}(T_{o1}' + T_{o2}')^2} \right]^2 = \frac{14.5}{8.12^2} = 0.221 \text{ より } K_{s2}$$

$$= 0.912$$

$$\therefore H_2 = K_{r2} \cdot K_{s2} \cdot \frac{1}{2} (H_{o1}' + H_{o2}') = 0.968 \times 0.912$$

$$\times \frac{1}{2} (4.2 + 4.5) = 3.84 \approx 3.8 \text{ m}$$

$$\frac{f \cdot H_2 \cdot \Delta x_2}{h_2^2} = \frac{0.015 \times 3.8 \times 5000}{14.5^2} = 1.36 \text{ より } K_{f2} = 0.860$$

$$\therefore H_{s2} = 0.860 \times 0.968 \times 0.912 \times 3.84 = 2.91 \approx 2.9 \text{ m}$$

「うねり」と考えたときの波高は

$$H_{o2}' = K_{f2} \cdot \frac{1}{2} (H_{o1}' + H_{o2}') = 3.74 \approx 3.7 \text{ m}$$

$$H_{o2}' = 3.7 \text{ m と } V = 34 \text{ m/sec とより } F_{o2}' = 25 \text{ km,}$$

$$T_{o2}' = 7.3 \text{ sec.}$$

(2) 第3区間

$F_3 = F_{o2}' + \Delta x_3 = 30 \text{ km}$ ,  $V = 34 \text{ m/sec}$  を用いて  $H_{o3}' = 4.4 \text{ m}$ ,  $T_{o3}' = 8.0 \text{ sec}$  をえる。屈折図より

$$K_{r3} = \sqrt{1.245} \sqrt{0.350} = 1.12 \times 0.592 = 0.663$$

$$\left[ \frac{h_3}{\frac{1}{2}(T_{o2}' + T_{o3}')^2} \right]^2 = \frac{8.5}{\left[ \frac{1}{2}(7.3+8.0) \right]^2} = 0.145$$

より  $K_{s3} = 0.938$

$$\therefore H_3 = K_{r3} \cdot K_{s3} \cdot \frac{1}{2} (H_{o2}' + H_{o3}') = 0.663 \times 0.938$$

$$\times \frac{1}{2} (3.7 + 4.4) = 2.55 \text{ m } \approx 2.6 \text{ m}$$

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

$$K_{f3} = 0.715$$

故に第3区間の終端における波高は

$$H_{s3} = K_{f3} \cdot K_{r3} \cdot \frac{1}{2} (H_{o2}' + H_{o3}') = 1.81 \text{ m } \approx 1.8 \text{ m}$$

周期  $T_{s3} \approx 7.7 \text{ sec}$  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 4.5 m 以上あるから砕波しない。ゆえに

$$\frac{h_4}{T_4^2} \approx \frac{5.0}{7.7^2} = 0.084, \quad \frac{f \cdot H_{s3} \cdot \Delta x_4}{h_4^2} = \frac{0.015 \times 1.8 \times 3000}{5^2} = 3.26$$

第3図より  $K_{f4} = 0.635$ , 屈折図より

$$K_{r4} = \sqrt{1.19} \sqrt{0.350} = 1.09 \times 0.592 = 0.645$$

ゆえに第4区間の終端における波高は周期

$$H_{s4} = 0.635 \times 0.645 \times 1.81 = 0.74 \text{ m } \approx 0.7 \text{ m}$$

周期  $T_{s4} \approx 7.7 \text{ sec}$  であるがこれは少し過大で、その90%の6.9 sec が実際に近いであろう。

7) 太田川河口及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。

第 10 表

波 向	区 分	区間長 $\Delta x(\text{km})$	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	6.0	10.5
"	太田川河 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

$$K_{r2} = \sqrt{1.14} \sqrt{0.625} = 1.07 \times 0.791 = 0.846$$

$$\left[ \frac{h_2}{\frac{1}{2}(T_{01}' + T_{02}')} \right]^2 = \frac{14.5}{8.1^2} = 0.221 \text{ より } K_{s2} = 0.912$$

$$\therefore H_2 = K_{r2} \cdot K_{s2} \cdot \frac{1}{2}(H_{01}' + H_{02}') - 0.846 \times 0.912 \times \frac{1}{2}(4.2 + 4.5) = 3.36 \approx 3.4\text{ m}$$

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

$$K_{f2} = 0.875$$

$$\therefore H = K_{f2} \cdot K_{r2} \cdot K_{s2} \cdot \frac{1}{2}(H_{01}' + H_{02}') - 2.94 \approx 2.9\text{ m}$$

「うねり」と考えたときの波高は

$$H_{02} = K_{f2} \cdot \frac{1}{2}(H_{01}' + H_{02}') - 3.81 \approx 3.8\text{ m}$$

$H_{02} = 3.8\text{ m}$  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

$$K_{r3} = \sqrt{1.315} \sqrt{0.518} = 1.15 \times 0.720 = 0.828$$

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

より  $K_{f3} = 0.920$

$$\therefore H_3 = K_{r3} \cdot K_{s3} \cdot \frac{1}{2}(H_{02}' + H_{03}') - 0.828 \times 0.920 \times \frac{1}{2}(3.8 + 4.0) = 2.97 \approx 3.0\text{ m}$$

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

$$K_{f3} = 0.870$$

故に第 3 区間の終端における波高は

$$H_{s3} = K_{f3} \cdot K_{r3} \cdot K_{s3} \cdot \frac{1}{2}(H_{02}' + H_{03}') - 2.58$$

$$\approx 2.6\text{ m}$$

周期は  $T_{s3} \approx 7.5\text{ sec}$  である。

(3) 第 4 区間、大田川河口の波浪

この区間の水深 (20 h から 22 h の間の) は大部分の場所です 5 m 以上あるから碎波しない。

$$\frac{h_4}{T_4^2} \approx \frac{6.5}{7.5^2} = 0.12, \quad \frac{f \cdot H_{s3} \cdot \Delta x_4}{h_4^2} = \frac{0.015 \times 2.6 \times 3000}{6.5^2} = 2.95$$

より  $K_{f4} = 0.680$ 、屈折図より

$$K_{r4} = \sqrt{1.20} \sqrt{0.642} = 1.10 \times 0.801 = 0.881$$

故に第 4 区間の終端における波高は

$$H_{s4} = 0.680 \times 0.881 \times 2.58 = 1.55\text{ m} \approx 1.6\text{ m}$$

周期は  $T_{s3} = 7.5\text{ sec}$  であるが、実際は 6.8 sec 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 5 m 以上であるから碎波しない。

$$\frac{h_4}{T_4^2} \approx \frac{6.0}{7.5^2} = 0.107, \quad \frac{f \cdot H_{s3} \cdot \Delta x_4}{h_4^2} = \frac{0.015 \times 2.6 \times 1800}{6^2} = 1.95$$

より  $K_{f4} = 0.755$ 、屈折図より

$$K_{r4} = \sqrt{1.33} \sqrt{0.712} = 1.15 \times 0.844 = 0.970$$

故に横須賀海岸における波高は

$$H_{s4} = 0.755 \times 0.970 \times 2.58 = 1.89 \approx 1.9\text{ m}$$

周期は多分 6.9 sec 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、藤高前干拓及び大田川河口の干拓堤防における最高の波頂高及び波のはいり高さを計算し、著者が 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わなければ求めることが難しいが、今までに行われた模型実験の結果<sup>13)</sup>を参考にし、台風時の堤防法先における水深  $hd = 4.5\text{ m} \sim 5.0\text{ m}$  (風下側のみ)、 $hd/L \approx 0.12$ 、 $hd/H \approx 3$

~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及びこれより急なものでは、

$$R=1.5H$$

前面の法勾配が1:3~1:3.8のものでは、

$$R=1.8H$$

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出来ないが、だいたいの値として  $T.D.+(3.30\sim 3.50\text{ m})$  とした。このようにして計算した結果をまとめたものが第11表である。

第11表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

第11表 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	伊曾高干拓	鍋田干拓	飛高干拓	藤高前干拓	太田川河口
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 $hd$ (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 $Hn$ (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	4.8	5.2

名古屋港の  $D.L.$  は  $T.P.-1.40\text{ m}$  とする。

立壁に近い場合には、堤防前面の波は重複波になる。第11表において、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  $H_r$  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  $H_r$  を加えたものである。最高のはいり高さは、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のはいり高さ  $R$  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すごとく有義波の波高  $H_{1/3}$  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時半頃から越波が甚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、前法及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骸を横たえていたから、一旦して多量の越波量があつたことが推定される。第11表によると天端高が 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) 飛高村干拓堤防 この部分は天端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つた。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、 $H_{1/3}$  以上の波のときかなりのしぶきが飛び込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斷されていた。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のである。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。それが破壊の主な原因であろう。

(6) 太田川河口の干拓堤防 知多半島の西海岸は風上

## 生産と技術

に当るから、堤防前面の波は重複波のまま、著しいはい上りはなかつたと考えられる。それ故堤防天端高 5.5 m に対し、最高波頂高が 5.2 m 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下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及び周期は変化するが、その主な原因は、風、群速度の変化、海底摩擦及び屈折である。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陸棚を伝わる「うねり」と考える方法に比べて、遙かに優れていることはいうまでもない。

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ヵ所について、この方法によつて堤防前面の波高及び周期を推定し、堤防の海側法面における最高波頂高及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。それ故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られる。

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。

## 文 献

- 1) 海岸保全施設設計便覧, 9頁, 第1, 5図
- 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) 永井莊七郎, 堤道夫: 「大阪港の設計波の計算」土木学会年次講演会, 昭34, 6.
- 4) R.P. Savage; "Laboratory study of wave energy

loss by bottom friction and percolation", Beach Erosion Board. Tech. Memo. 31, Feb. 1953.

- 5) H. N. Abramson and C. L. Bretschneider; "Some Observations Concerning analysis of surface when the bottom is Nonrigid", B.E.B., Tech memo., No. 46, Sept., 1954.
- 6) 堤道夫: 「大阪港に襲撃す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), 海底摩擦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, 昭和29. 7.
- 9) J. A. Putnam & J. W. Johnson; "The Dissipation of Wave Energy by Bottom Friction", Trans. A. G. U., Vol. 30, No. 1, Feb., 1949.
- 10) Bretschneider: "Hurricane Design wave Practices", Vol. 83, WW2, 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、運研の井島武士博士が整理したものである。同氏によると、1部 scale out しているのので、その部分を補整して後整理したとのことである。
- 13) 以下に示す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, " " 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, WW2, April, 1959.  
" " WW3, May, 1958.