

海岸の形状と抵抗性について

防衛大学校教授 工学博士 真 嶋 恭 雄

1. 概 説

一般の可動性物質よりなる海岸例へば砂浜、砂利浜等においては海岸におしよせる波浪のために、その運動にしたがつて海岸海底の表層物質が移動し、移動し難い部分に来て止まり、次第に安定形状に近づく。海岸の波は気象に応じて年間にわたり時々刻々に変化する風によつて発生しては減衰する。これらの波は浅海に近づくと海底の影響を受け次第に Steepness を増して遂に砕波となり、その持っている Energy は波より放出されて海水の渦動、沿岸流などの源となつて海底物質に影響を与へる。かくして波は海岸汀線に達するまで次第にその有する Energy を失うが最後まで保持した Energy は最終砕波線で砕け海浜の up wash と back rush となり、また一部は反射波、Rip Current となつて汀線に近い海岸砂を浮遊移動させることになる。したがつて海岸断面および平面形状は波の作用によつて形成され、波浪に応じた安定形状に近づくものと考へられる。

前の論文¹⁾において海岸線の安定形状の一般条件とその形状の推定および実在海岸の形状の性質についてのべたが本文には海岸の断面形状の一般的安定形状とその性質についてのべると共に実際海岸の Wave Energy の分布を気象台の風向、風速の資料をもとにして求め、これと海岸形状、海岸地質の実測値との関係についてのべることとする。

2. 波の Energy と水深との関係

波の伝播速度 C は $C^2 = \frac{g}{k} \tanh kh$ (1)

波長 $\lambda = CT$ T : 週期 (sec) $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ h : 水深

これより $C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{\lambda}$ または $\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{\lambda}$

または $\frac{2\pi\lambda}{gT^2} = \tanh \frac{2\pi h}{\lambda}$ (2)

沖波が水深の浅い所に来ると波速がおそくなつて波長が減少するため Steepness が増大し遂に砕波となる。このときの Steepness と relativedepth との関係は

$$ak \coth kh + a^2 k^2 \left(\coth^2 kh + \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{4} a^3 k^3 \left(\coth^3 kh + \frac{7}{2} \coth kh \right) = 1 \quad \text{..... (3)}$$

ただし $2a$ = 波高 (m)

この式による $\frac{2a}{\lambda}$ (Steepness) と $\frac{h}{\lambda}$ (relative depth) との関係は

$$\frac{2a}{\lambda} : 0.016 \quad 0.055 \quad 0.088 \quad 0.113 \quad 0.12 \quad 0.1418$$

$$\frac{h}{\lambda} : 0.02 \quad 0.06 \quad 0.10 \quad 0.16 \quad 0.18 \quad \infty$$

である。しかるに (3) 式の第一項を近似式としてとると

$$\frac{2\pi a}{\lambda} = \tanh \frac{2\pi h}{\lambda} \quad \text{..... (4)}$$

となり (3) 式により求めたものに比し同じ relativedepth に対して Critical steepness が 2 倍位になり誤差が大き過ぎる。故に近似式として

$$\frac{2\pi a}{\lambda} = \frac{1}{2} \tanh \frac{2\pi h}{\lambda} \quad \text{または} \quad \frac{2a}{\lambda} = \frac{1}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{\lambda} \quad \text{..... (5)}$$

を用うると

$$\frac{2a}{\lambda} : 0.0199 \quad 0.057 \quad 0.088 \quad 0.121 \quad 0.129 \quad 0.159$$

$$\frac{h}{\lambda} : 0.02 \quad 0.06 \quad 0.10 \quad 0.16 \quad 0.18 \quad \infty$$

である。(3) 式に比して水深の大きい所では誤差が 12 % 位となるが浅い所では割合に誤差が少い。それで海岸に近い所では近似値として (5) 式の関係を用いても差支しないものと考へられる。

海岸に近い所で波が砕けてさらに再び進行して砕ける状態では Munk によると

$$2a = \frac{h}{1.28} = 0.7813 h = \beta h \quad \dots\dots\dots (6)$$

の関係が見出されている。(6) は海岸に極く近い所に適用できる。(2), (5), (6) の式より周期を一定として波高, 波長を水深の函数であらわすと次のようになる。(2) と (5) より

$$\lambda^2 = 2gaT^2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

(6) に入れると $\lambda^2 = 0.7813 ghT^2$

$$\text{ゆえに} \quad \lambda = 0.8839 \sqrt{gh} T = 2.7666 T \sqrt{h} = \alpha_1 h^{1/2} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{ここで} \quad \alpha_1 = 2.7666 T$$

単位幅一波長について波の持っている Energy は

$$E = \frac{\rho g H^2 \lambda}{8} = \frac{\rho g a^2 \lambda}{2} \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\text{ただし } H = 2a$$

であるから海岸に近い所では砕波の Energy は

$$E = \frac{\rho g H^2 \lambda}{8} = \frac{\rho g (\beta h)^2 \alpha_1 h^{1/2}}{8} = \frac{\rho g \alpha_1 \beta^2 h^{5/2}}{8} = \gamma h^{5/2} \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$\gamma = \frac{\rho g \alpha_1 \beta^2}{8} = \frac{\rho g \times 0.7813^2 \times 2.7666 T}{8} = 0.2111 \rho g T$$

単位の進行距離に対する平均の波の Energy は単位幅につき

$$E' = \frac{\rho g H^2}{8} = \frac{\rho g (\beta h)^2}{8} = 0.0763 \rho g h^2 \quad \dots\dots\dots (11)$$

h の減少によつて Energy は (10) または (11) にしたがつて減少し, この減少分は砕波によつて消費されるのと考へることができる。海底の摩擦によつても Energy は消費されるが比較的少いものと考えて無視することにする。もし (6) の関係の適用できない海岸より可なり離れた水域を考えるならば (2) と (5) より波高と波長を水深 h の函数として求めると次のようになる。

$$(5) \text{ より } \frac{\lambda}{4\pi a} = \coth \frac{2\pi h}{\lambda} \quad (2) \text{ に入れて } \frac{gT^2}{8\pi^2 a} \tanh \frac{2\pi h}{\lambda} = \coth \frac{2\pi h}{\lambda} \quad \therefore \tanh \frac{2\pi h}{\lambda} = \frac{2\sqrt{2}\pi\sqrt{a}}{T\sqrt{g}}$$

$$\therefore \lambda = \frac{2\pi h}{\tanh^{-1} \frac{2\sqrt{2}\pi\sqrt{a}}{T\sqrt{g}}} = \alpha' h \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$\text{ただし } \alpha' = \frac{2\pi}{\tanh^{-1} \frac{2\sqrt{2}\pi\sqrt{a}}{T\sqrt{g}}}$$

これを (5) に入れて

$$2a = \frac{\lambda}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{\lambda} = \frac{\frac{2\sqrt{2}\pi\sqrt{a}}{T\sqrt{g}} h}{\tanh^{-1} \frac{2\sqrt{2}\pi\sqrt{a}}{T\sqrt{g}}} = \beta' h \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$\text{ただし } \beta' = \frac{\frac{2\sqrt{2}\pi\sqrt{a}}{T\sqrt{g}}}{\tanh^{-1} \frac{2\sqrt{2}\pi\sqrt{a}}{T\sqrt{g}}}$$

$$(12) (13) \text{ により } E = \frac{\rho g \alpha'^2 \beta'^2 h^3}{8} = \gamma' h^3 \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$\text{ただし } \gamma' = \frac{2\rho\pi^3 a}{T^2} \left(\frac{1}{\tanh^{-1} \frac{2\sqrt{2}\pi\sqrt{a}}{T\sqrt{g}}} \right)^3$$

$$E' = \frac{\rho g \beta'^2 h^2}{8} \quad \dots\dots\dots (15)$$

(12) より $\frac{2\sqrt{2}\pi}{T} \sqrt{\frac{a}{g}} = \tanh \frac{2\pi h}{\lambda}$ が成立つためには a と T との間に $\frac{2\sqrt{2}\pi}{T} \sqrt{\frac{a}{g}} \leq 1$ でなければならぬ, したがつて

$$2a \leq 0.24815 T^2 \quad \dots\dots\dots (16)$$

また波が海底の影響を受けて変形するのは水深が $\frac{\lambda}{2}$ 位のところより浅いところである。

$$h < \frac{\lambda}{2} \quad \therefore \lambda > 2h$$

すなわち Feel Bottom の時の波長は $2h$ より大きい場合で (7) 式を用うれば

$$2a > \frac{4h^2}{gT^2} \quad \dots\dots\dots (17)$$

したがってある水深で海底の影響を受ける波高は (17) 式を満足し (15) 式以下である。

さらに (2), (5), (7) より砕波時の水深と波高との関係は

$$\frac{2a}{h} = \frac{\tanh \frac{2\pi h}{\lambda}}{\tanh^{-1} \frac{4\pi a}{\lambda}} = \frac{\frac{4\pi a}{\lambda}}{\tanh^{-1} \frac{4\pi a}{\lambda}} \quad \dots\dots\dots (18)$$

以上の関係より α' , β' , β'^2 および γ' を T と h で計算すると表-1 となる。ただし海水の密度 $\rho=1.03$, 重力の加速度 $g=9.8 \text{ m/sec}^2$ とした。

表-1

α'							γ'						
$h \backslash T$	2 (sec)	4	6	8	10	12	$h \backslash T$	2	4	6	8	10	12
0.5m	8.16	17.55	26.51	35.30	45.20	55.11	0.5	7.26	20.37	32.08	43.60	55.82	68.05
1	5.21	12.08	18.53	25.13	31.26	38.08	1	3.12	12.88	21.52	30.40	38.04	47.02
2	3.06	8.05	12.88	17.40	22.12	26.51	2	0.86	7.16	14.04	20.21	26.22	32.08
4	2.00	5.21	8.75	12.08	15.29	18.53	4	0.25	3.12	8.15	12.88	17.39	21.52
6	2.00	3.78	6.88	9.67	12.29	14.99	6	0.25	1.50	5.41	9.44	13.10	16.70
8	2.00	3.07	5.75	8.16	10.54	12.87	8	0.25	0.86	3.86	7.26	10.76	14.02
10	2.00	2.24	4.94	7.08	9.01	11.36	10	0.25	0.34	2.80	5.71	8.39	12.12
15	2.00	2.0	3.57	5.48	7.29	9.00	15	0.25	0.25	1.31	3.48	6.02	8.39
20	2.00	2.0	2.91	4.48	6.12	7.60	20	0.25	0.25	0.74	2.24	4.33	6.44
50	2.00	2.0	2.0	2.24	3.06	4.09	50	0.25	0.25	0.25	0.34	0.86	1.79

β'							β'^2						
$h \backslash T$	2	4	6	8	10	12	$h \backslash T$	2	4	6	8	10	12
0.5	0.84	0.96	0.98	0.99	0.99	0.99	0.5	0.71	0.92	0.96	0.98	0.98	0.98
1	0.69	0.92	0.96	0.98	0.99	0.99	1	0.48	0.85	0.92	0.96	0.98	0.98
2	0.47	0.84	0.93	0.96	0.97	0.98	2	0.22	0.71	0.86	0.92	0.94	0.96
4	0.32	0.69	0.86	0.92	0.95	0.96	4	0.10	0.48	0.74	0.85	0.90	0.92
6	0.32	0.56	0.79	0.88	0.92	0.94	6	0.10	0.31	0.62	0.77	0.85	0.88
8	0.32	0.47	0.73	0.84	0.90	0.93	8	0.10	0.22	0.53	0.71	0.81	0.86
10	0.32	0.35	0.67	0.80	0.86	0.92	10	0.10	0.12	0.45	0.64	0.74	0.85
15	0.32	0.32	0.54	0.71	0.81	0.86	15	0.10	0.10	0.29	0.50	0.66	0.74
20	0.32	0.32	0.45	0.63	0.75	0.82	20	0.10	0.10	0.20	0.40	0.56	0.67
50	0.32	0.32	0.32	0.35	0.47	0.59	50	0.10	0.10	0.10	0.12	0.22	0.35

β' と h は図-1 の如く Semi-log 紙上で略直線状になるので β' の近似式を求めると

$$\beta' = 10^{-0.67h/T^{2.03}} \approx 10^{-0.67h/T^2} = e^{-1.5h/T^2} \quad \dots\dots\dots (19)$$

したがって単位距離に対する平均の Wave Energy は

$$\left. \begin{aligned} E' &= \frac{\rho g H^2}{8} = \frac{\rho g (\beta' h)^2}{8} = \frac{\rho g}{8} 10^{-1.34h/T^2} \\ &= 1.26 \cdot 10^{-1.34h/T^2} h^2 \\ &= 1.26 e^{-3h/T^2} h^2 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (20)$$

同様に γ' の近似式は

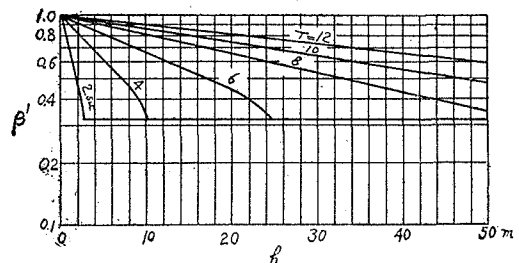
$$\gamma' = 5.1 T h^{-0.5981} - 6.0858 h^{-0.0646} \quad \dots\dots\dots (21)$$

故に一波長についての Wave Energy は (14) より

$$E = 5.1 T h^{2.4019} - 6.0858 h^{2.9354} \quad \dots\dots\dots (22)$$

以上により波が砕けている範囲の海面では Wave Energy は (20) または (22) によつて近似的にあらわすことができる。

図-1



3. 海底地形と波の Energy との関係

(1) 海岸断面の安定形状

海底摩擦による Wave Energy の減少を無視して波の Energy は砕波のみによつて減少すると考えると前章の式によつて表はされる。水深が減るとその地点の波の Energy は減ずる。 y を海岸線に対し垂直に沖に向つて

(+) に取ると Wave Energy の減少の割合は $\frac{dE}{dy}$ で表はされる。 $E=f(h)$ とすると

$$\frac{dE}{dy} = f'(h) \frac{dh}{dy} \dots\dots\dots (23)$$

$$\text{海底勾配 } S = \frac{dh}{dy} \text{ であるから } dE = f'(h) S dy \dots\dots\dots (24)$$

砕波帯で波の Energy が消費される時、消費 Energy を E_s とすると $E_s = \int dE$ である。

ある波の Energy E_0 が E_s と等しくなるような水深と勾配の分布の海岸では、他の波の E_0 が E_s に等しくない場合がある。もし $E_0 > E_s$ ならば過剰 Energy が海岸に作用して侵食の傾向を生じ、 $E_0 < E_s$ ならば他の部分からはこぼれた土砂が堆積の傾向となる。すなわち海岸が安定な場合はその海岸の水深と勾配の分布に対して $E_0 = E_s$ となるような波が作用している場合である。換言すれば作用する波に対して $E_0 = E_s$ となるような水深と勾配の分布になるように変形して安定すると考えることができる。

水深と勾配の配置は一つの地形で表はすことができるから一つの海岸に於て Wave Energy の分布がわかればこれに対して安定するために必要な地形に変形して安定に近づく。もし海岸地質が一様な可動性のものであれば作用 Energy の大きい所では大きく速に変形し海底全体が作用力に対し丁度平衡する抵抗力を持つ状態で安定するであろう。すなわちこの安定海底ではすべての点で同じ抵抗力を持つことになる。

しかるに海岸海底物質が一様でなければ抵抗力の大きいものは移動し難く供給地附近に止り抵抗力の小さいものは移動し水深と勾配は上記とは異なる種類のものとなるであらう。もし岩石の如く抵抗力の極めて大きい物質であれば波の作用に殆ど支配されることなく長い間その位置を保つが長年月の間には侵食変形をうけ波力の大きい所である程大きく海蝕を受ける。

(2) Wave Energy の消費による海岸地形

(a) 海岸に近い部分の地形

水深に応じて保持される Wave Energy が (10) または (11) 式で表はされる時、砕波で消費される Energy は (11) より $E' = 0.7702 h^2$ ($\rho = 1.03$, $g = 9.8 \text{ m/sec}^2$) であるから

$$\frac{dE'}{dy} = 1.5404 h \frac{dh}{dy} \dots\dots\dots (25)$$

いま海底土砂の移動量は砕けて消費された Wave Energy に比例すると仮定すると移動した後に水深を生ずるから

$$h = K \frac{dE'}{dy} \quad K: \text{比例常数} \dots\dots\dots (26)$$

であらわすことができる。

比例常数 K は放出 Energy による海底の侵食性を表はすもので侵食係数とも言うことができ、 $\frac{1}{K}$ は同じ Energy に対する海底の侵食抵抗を表はすものとなるので $\frac{1}{K}$ を抵抗係数と云う。 K は必ずしも一定値ではなく波頭が砕けて放出した Energy が海底に達するまで減衰すると考えられるので水深に関係する。ここでは一応 K を常数として取扱うことにすると (26) に (25) を用うれば

$$h = 1.5404 K h \frac{dh}{dy}$$

$y=0$ にて $h=h_0$ であるとして積分常数を決めると

$$y = 1.5404 K (h - h_0) \dots\dots\dots (27)$$

$$\text{海岸断面は直線形状となり勾配は } \frac{dh}{dy} = \frac{1}{1.5404 K} \dots\dots\dots (28)$$

$$\text{である。もし } y = -y_0 \text{ で } h=0 \text{ であるとする } K = \frac{y_0}{1.5404 h_0} \dots\dots\dots (29)$$

$$\text{断面は } y = \frac{y_0}{h_0} (h - h_0) \dots\dots\dots (30)$$

(b) 砕波区域における海底地形

水深に応じて保持される Wave Energy が (20) または (22) であらわされるとき前節と同様にして

$$h = K \frac{dE'}{dy} = 2.52 K \cdot 10^{-1.34h/T^2} \left\{ -1.54 \frac{h^2}{T^2} + h \right\} \frac{dh}{dy} = 1.26 K e^{-3h/T^2} \left\{ -\frac{3h^2}{T^2} + 2h \right\} \frac{dh}{dy}$$

$y=0$ において $h=h_0$ として

$$y = 1.26 K \left\{ h \cdot 10^{-1.34h/T^2} - h_0 \cdot 10^{-1.34h_0/T^2} - \frac{T^2}{3.08} \left(10^{-1.34h/T^2} - 10^{-1.34h_0/T^2} \right) \right\}$$

$$= 1.26 K \left\{ h e^{-3h/T^2} - h_0 e^{-3h_0/T^2} - \frac{T^2}{3} (e^{-3h/T^2} - e^{-3h_0/T^2}) \right\} \dots\dots\dots (31)$$

$$\frac{dh}{dy} = \frac{10^{1.34h/T^2}}{1.26 K \left(2 - \frac{3.08h}{T^2} \right)} = \frac{e^{3h/T^2}}{1.26 K \left(2 - \frac{3h}{T^2} \right)} \dots\dots\dots (32)$$

$h=0$ で $y=y_0$ とすると

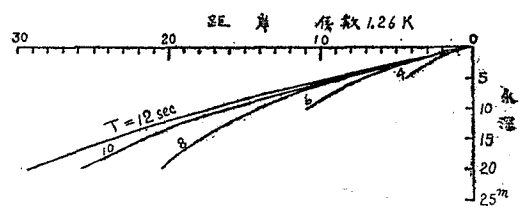
$$y_0 = 1.26 K \left\{ -\frac{T^2}{3} (1 - e^{-3h_0/T^2}) - h_0 e^{-3h_0/T^2} \right\} \dots\dots\dots (33)$$

(31) 式によつて $y=1.26 KC$ において C を計算すると表-2, 図-2 のようになる。

表-2

$\begin{matrix} T \\ h_0 \end{matrix}$		C				
		4(sec)	6	8	10	12
0m		-4.454	-10.970	-20.481	-25.741	-29.321
1		-2.718	-9.112	-18.551	-23.784	-27.351
2		-2.112	-7.445	-16.757	-21.919	-25.446
5		0	-3.708	-12.106	-16.813	-20.083
10			0	-6.363	-9.776	-12.235
15				-2.509	-4.069	-5.598
20				0	0	0

図-2



(c) 抵抗係数が水深の函数であると仮定せる場合

(a) においてのべたように波頂の碎波 Energy が海底に作用する程度は水深 h に関係すると考えられる。よつて K は一定値でなく $K = ke^{-\alpha h}$ $\dots\dots\dots (34)$

ただし k, α は常数

であらわされると仮定し Energy 減衰係数 α の地形に対する関係を求めると次のようになる。

$$h = ke^{-\alpha h} \frac{dE'}{dy}$$

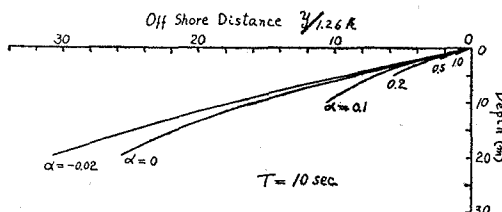
$$y = 1.26 k \left[\frac{\frac{3}{T^2}}{\alpha + \frac{3}{T^2}} \left\{ h e^{-(\alpha+3/T^2)h} - h_0 e^{-(\alpha+3/T^2)h_0} \right\} - \frac{2\alpha + \frac{3}{T^2}}{\left(\alpha + \frac{3}{T^2} \right)^2} \left\{ e^{-(\alpha+3/T^2)h} - e^{-(\alpha+3/T^2)h_0} \right\} \right] \dots\dots\dots (35)$$

$$\frac{dh}{dy} = \frac{e^{(\alpha+3/T^2)h}}{1.26 k \left(2 - \frac{3h}{T^2} \right)} = \frac{m}{1.26 k} \dots\dots\dots (36)$$

$$y_0 = 1.26 k \left\{ \frac{-3h_0(\alpha T^2 + 3) + T^2(2\alpha T^2 + 3)}{(\alpha T^2 + 3)^2} e^{-(\alpha+3/T^2)h_0} - \frac{T^2(2\alpha T^2 + 3)}{(\alpha T^2 + 3)^2} \right\} \dots\dots\dots (37)$$

α が大きいことは K が小さいことになり同じ碎波 Energy でも水深の大きいところでは海底への影響は少い。進行波の Energy E_0 が大きい所では略安定状態の海岸に達するまでは放出 Energy が大きい。したがつて波の状態も含めて α は (+) から (-) まで変り得ると考えられる。しかし水深の大きい程侵食され易いとは考えられないから (35) 式で $\alpha + \frac{3}{T^2} \geq 0$ したがつて最も碎波の作用の大きい場合 $\alpha + \frac{3}{T^2} = 0$ のときは (36) より勾配が水平

図-3



となる。これが例えば波の作用が直接作用する L. W. L 以上の遠浅海岸又は平磯の形成状態を説明するものと考えられる。(35) 式の値を $\alpha = -0.1 \sim 1.0$ に対して計算すると表-3 の通りになる。同じ波でも α の変化によつて海岸断面は図-3 のように変る。

(36) 式より $h=0$ の汀線の勾配は

$$\frac{dh}{dy} = \frac{1}{2.52 k} \dots\dots\dots (38)$$

となり k のみに関係し (38) 式より緩勾配である。ただし

表-3 C-表 (35) 式 $y=1.26 kC$

α	$\frac{T}{h}$	4(sec)	6	8	10	12	α	$\frac{T}{h}$	4	6	8	10	12
-0.1	0	-7.722					0	15			-2.511	-4.272	-24.135
	1	-5.902						20			0	0	-18.557
	2	-4.411						50					0
	5	-1.552											
	10	0											
-0.02	0	-5.318	-13.971	-28.644	-50.27	-67.00	0.1	0	-4.288	-5.930	-6.692	-10.489	-11.083
	1	-3.566	-12.080	-26.693	-48.32	-65.07		1	-2.632	-4.137	-4.851	-8.622	-9.214
	2	-2.241	-10.377	-24.844	-46.43	-63.10		2	-1.523	-2.722	-3.312	-7.009	-7.562
	5	0	-6.307	-19.860	-40.95	-57.54		5	0	0	0	-3.398	-3.768
	10							10				0	0
0	0	-5.120	-10.969	-20.481	-25.735	-47.867	0.2	0	-2.539	-4.886	-5.456	-5.750	-5.916
	1	-3.386	-9.093	-18.552	-23.791	-45.906		1	-0.854	-3.178	-3.703	-3.978	-4.139
	2	-2.098	-7.448	-16.754	-21.907	-43.987		2	0	-1.957	-2.374	-2.589	-2.717
	5	0	-3.435	-12.105	-16.807	-38.608		5	0	0	0	0	0
	10		0	-6.364	-9.781	-30.773							
0	0	-5.120	-10.969	-20.481	-25.735	-47.867	0.5	0	-1.390	-2.276	-2.383	-2.433	-2.463
	1	-3.386	-9.093	-18.552	-23.791	-45.906		1	0	-0.788	-0.859	-0.891	-0.913
	2	-2.098	-7.448	-16.754	-21.907	-43.987		2		0	0	0	0
	5	0	-3.435	-12.105	-16.807	-38.608							
	10		0	-6.364	-9.781	-30.773							
0	0	-5.120	-10.969	-20.481	-25.735	-47.867	1.0	0	-1.128	-1.202	-1.229	-1.241	-1.248
	1	-3.386	-9.093	-18.552	-23.791	-45.906		1	0	0	0	0	0
	2	-2.098	-7.448	-16.754	-21.907	-43.987							
	5	0	-3.435	-12.105	-16.807	-38.608							
	10		0	-6.364	-9.781	-30.773							

表-4

勾配	k	$1/k$	$1.26 k$
$1/1000=0.1(\%)$	396.8	0.00252	500
$1/500=0.2$	198.4	0.00504	250
$1/100=1.0$	39.68	0.0252	50
$5/100=5.0$	7.94	0.126	10
$10/100=10.0$	3.97	0.252	5
$20/100=20.0$	1.98	0.504	2.5
$50/100=50.0$	0.794	1.260	1.0

過剰の Wave Energy により砕波状態が一様でないため実際上は砂堆, Trough および最終砕波線の形状に支配され水面上は up rush の勾配となるので上記の勾配は勾配の一般的基本性を示すものと考えらるべきである。 k の値と勾配との関係は表-4 の通りである。

(36) 式の m は週期 T , 水深 h および α によつて表-5 の通りである。

水深 h , 周期 T および砕波の作用程度 α を推定できれば実測海底勾配 S より抵抗係数 $\frac{1}{k}$ を表-5 または図-4 より求められる。しかし α の推定は困難であるが海岸

に近い所では前論文²⁾によつて $\alpha=0$ として差支えないと思はれる。波の周期はその海岸で最も影響力の大きいものを推定しなければならない。

表-5 m -表 (36) $\text{Slope} = \frac{m}{1.26 k}$

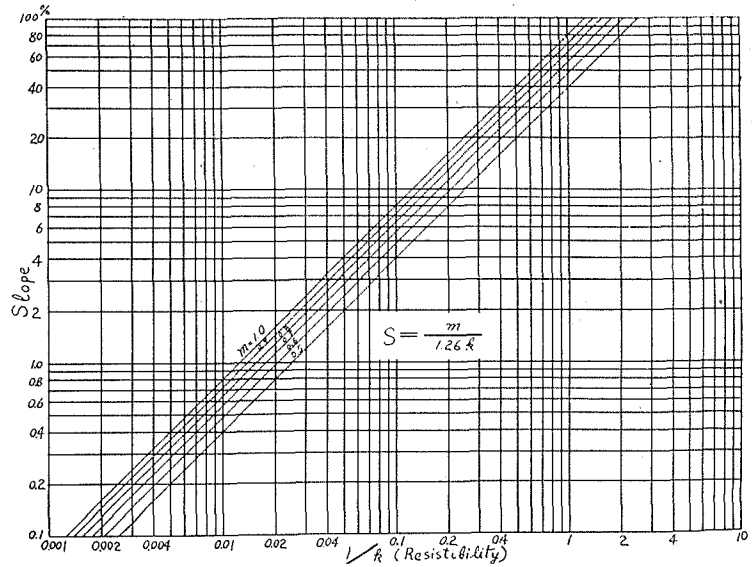
α	$\frac{T}{h}$	4(sec)	6	8	10	12	α	$\frac{T}{h}$	4	6	8	10	12
-0.1	0m	0.5					0	15			1.6090	1.0317	0.8221
	1	0.6069						20			2.5209	1.3389	0.9754
	2	0.7448						50					3.1341
	5	21.341											
	10												
-0.02	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	1	0.6571	0.5583	0.5267	0.5136	0.5057		1	0.7413	0.6289	0.5940	0.5793	0.5700
	2	0.8743	0.6237	0.5556	0.5276	0.5124		2	1.1113	0.7928	0.7057	0.6710	0.6518
	5	31.5121	0.8821	0.6544	0.5724	0.5317		5	57.7056	1.6101	1.1908	1.0423	0.9688
	10		1.6821	0.8715	0.6588	0.5680		10				2.1889	1.8855
0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	1	0.6703	0.5686	0.5372	0.5237	0.5159		1	0.8193	0.6951	0.6564	0.6398	0.6297
	2	0.9103	0.6488	0.5782	0.5489	0.5334		2	1.3575	0.9681	0.8621	0.8190	0.7959
	5	34.895	1.0242	0.7227	0.6325	0.5880		5		2.6500	1.9654	1.7206	1.6000
	10		2.0541	1.0647	0.8041	0.6939							
0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	1	0.6703	0.5686	0.5372	0.5237	0.5159		1	1.1038	0.9389	0.8858	0.8640	0.8502
	2	0.9103	0.6488	0.5782	0.5489	0.5334		2		1.7645	1.5719	1.4913	1.4517
	5	34.895	1.0242	0.7227	0.6325	0.5880							
	10		2.0541	1.0647	0.8041	0.6939							
0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	1	0.6703	0.5686	0.5372	0.5237	0.5159		1	1.8221	1.5457	1.4604	1.4242	1.4024
	2	0.9103	0.6488	0.5782	0.5489	0.5334							
	5	34.895	1.0242	0.7227	0.6325	0.5880							
	10		2.0541	1.0647	0.8041	0.6939							

4. 進入波 Energy と地形保持の抵抗 Energy

沖に発生した波が海岸に近づくとき海底地形の影響を受けて砕波となり保持 Energy を放出しながら海岸に達

しここで波の全 Energy を殆んど放出する。故に最終砕波線で放出する Wave Energy はここに達するまでの地形が関係し波の発達程度が関係する。最終砕波線において保持している Energy の程度によつて汀線附近の地形が影響を受けると考えられる。汀線以上の海浜では海水が押し上げられ斜面を流れ下る状態を繰返している部分であるから押し上げ水量と流下水量の関係から Calm weather では勾配が大きく Storm weather では侵食されて勾配が小さくなる。したがって海岸線附近の変形は沖から伝播してくる Wave Energy が次のように放出される状態に関係する。

図-4



$$\text{供給 Wave Energy } E_0 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} (1) \text{ 砕波 Energy } E_0 - E' \\ (2) \text{ 地形保持 Energy } E' \\ (3) \text{ 不砕波保持 Energy } < E' \end{array} \right\} \rightarrow \text{最終砕波 Energy}$$

前章で取扱つたものは (2) の波浪 Energy の影響を地形形成の主要素と考えたものであつて (1) が常に非常に大きければ海底を侵食して水深を変えその波浪状態が (2) に近づき (3) は波浪が砕けないため海底への影響は極めて小さいと考えたからである。しかしながら汀線附近に到つては残つた Wave Energy がすべて放出して附近地形に作用する。供給波の単位面積についての Energy を E_0 とすると (1) の $E_0 y_0 - \int E' dy$ の大きさが特に汀線附近の地形を左右する。例えば $\alpha=0$ として (20) および (36) より水深 h_0 より岸までの地形保持 Wave Energy E_0' は

$$\begin{aligned} E_0' &= - \int_0^{y_0} E' dy = - \int_{h_0}^0 1.26 e^{-3.08h/T^2} h^2 \frac{1.26K(2 - \frac{3h}{T^2})}{e^{3.08h/T^2}} dh \\ &= \frac{K}{1.26} \left\{ 0.008566 T^6 + (h_0^3 - 0.161 T^2 h_0^2 - 0.0529 T^4 h_0 - 0.008566 T^6) e^{-0.16h_0/T^2} \right\} \\ &= \frac{K}{1.26} \varepsilon \dots \dots \dots (39) \end{aligned}$$

水深 h_0 に到着した波の持つている Energy がそのまた海岸に達したと考えた時の総 Energy $E_0 y_0$ と E_0' と比較して海岸線附近の安定を考えなければならない。(39) 式の ε は表-6, 図-5 の如くである。各周期の波によつて安定せる海底地形の保持 Energy は Feel Bottom の線内で T の大きい程, また水深の大きい所から出発す

図-5

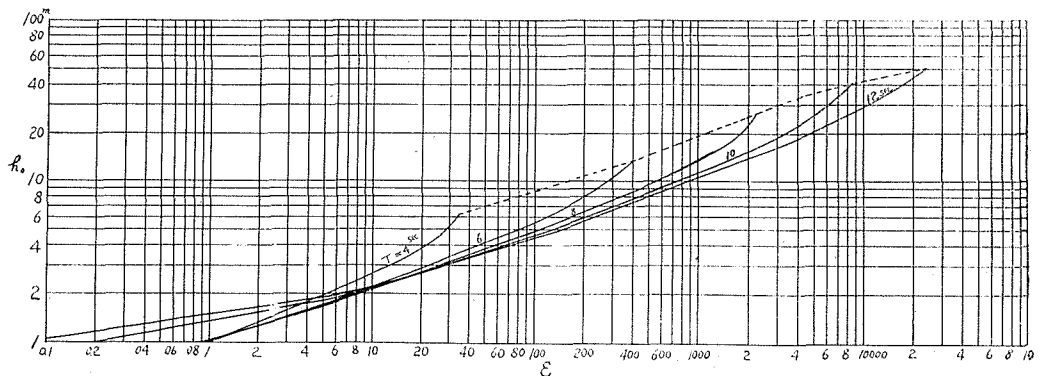


表-6 ε

h_0	T	4 (sec)	6	8	10	12
0m		0	0	0	0	0
1		0.946	1.003	0.900	0.20	0
2		5.232	7.767	8.320	7.70	6.4
5		28.921	75.658	106.332	122.00	145.2
10		35.081	279.32	548.41	754.40	892.5
15			399.655	1197.75	1916.8	2504.7
20				1853.92	3436.2	4847.3
50				2245.52	8566.0	24019.5

—: Feel bottom よりの値。

部分すなわち約 2.5 m 以浅の部分に特殊の地形ができ易い事となる。特に最終砕波線附近は変形の著しい所である。

5. 海岸地質の抵抗性

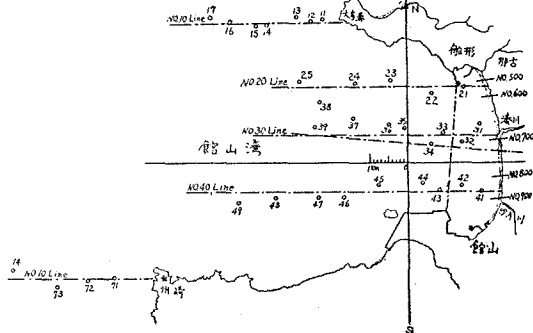
海底および海浜を形成している砂礫が海水の運動によつて移動させられる時の抵抗性に関係する要素は砂礫の密度 ρ_s , 大きさ d , 形状, 混合状態, 締め固め状態などである。海水の運動によつて砂礫に作用する力は, 流速, 粘性係数, 海水の密度, 海水の渦動粘性係数, 海水の流れ, 運動の種類などによつて変る。ここで実在の海岸砂礫の抵抗要素の変化範囲を明らかにするため房総半島の太平洋側にある平砂浦および内房の館山湾附近の海岸海底の地質を調査した。調査地点は図-6, 図-7, 図-8の位置である。

各地点の海岸砂, 海底砂の性質は表-7 の通りであつた。基準面より上の海浜勾配は図-9の通りで平均値は

(館山湾)	那古	6.5(%)
	川崎	8.0
	湊川	8.44
	三軒町	5.19
	汐入川	10.2
	平均	7.66
(平砂浦)	小沼	10.8(%)
	坂井	11.5
	小原	13.2
	州宮	8.0
	平均	10.87

であつた。基準面より下の海底形状は図-10の通りで浅海部は略直線状で前章の図-2, 図-3と類似の形状である。

図-7



る程大きい。 $T=6$ sec の波に対する安定地形は水深約 2.2 m の所で周期 8~12 sec の波に対しても同じ Energy を引受けることができる。2.2 m 以浅では周期の大きい波では急に保持 Energy が小さくなるので超過 Energy がここで多く放出され, この Energy によつて $1/K$ の大きいかまたは勾配の大きい地形を形成し Sand ridge となるものと考えられる。かように超過 Energy の大きい

図-6

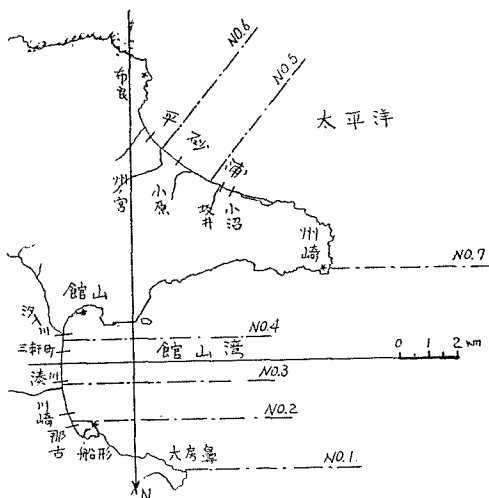
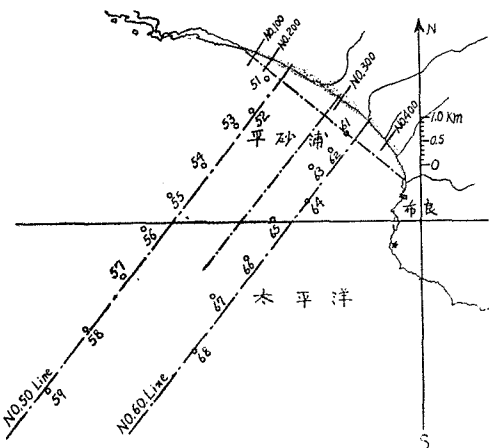


図-8



表一七 平砂浦および館山湾海岸および海底砂

Aug. 21~25, 1959

地名	N_0	中央 径 D_m (mm)	比重 ρ_s	最大 径 D_{max} (mm)	勾配 %	均等 係数 D_{80}/D_{10}	地名	N_0	中央 径 D_m (mm)	比重 ρ_s	最大 径 D_{max} (mm)	勾配 %	均等 係数 D_{80}/D_{10}	地名	N_0	中央 径 D_m (mm)	比重 ρ_s	最大 径 D_{max} (mm)	勾配 %	均等 係数 D_{80}/D_{10}		
小沼	113	0.36	2.751	2.0	21.1 7.87	1.934	川崎	501	1.06	2.835	2.0	14.4 50.0	3.024	測線 No. 3	31	0.055	2.708	0.85	1.25 0.78	4.286		
	112	0.196	2.808	0.85	0.37 0.32	1.629		502	0.27	2.670	2.0	6.5 3.73	3.250		32	0.0315	2.781	0.85	3.84	5.563		
	111	0.67	2.782	2.0	23.0 13.7	2.358		503	0.16	2.704	2.0	—	1.755		33	0.0246	2.696	2.0	1.17	6.731		
	110	0.61	2.734	2.0	0.3 3.89	2.270		611	0.196	2.719	2.0	8.80 2.68	1.759		34	0.0213	2.710	2.0	11.74	4.857		
	100	0.67	2.778	2.0	— 3.89	2.379		610	0.33	2.763	2.0	21.76 6.23	2.144		35	0.0233	2.714	0.85	1.63	4.683		
	101	0.87	2.743	4.8	21.9 9.2	2.476		600	1.21	2.694	4.8	0.54 10.5	4.314		36	0.0240	2.708	0.85	18.92	8.589		
	102	1.03	2.365	2.0	9.2 13.8	3.079		601	0.87	2.687	4.8	11.4 8.0	6.410		37	0.35	2.793	4.8	37.40	3.727		
	103	1.23	2.717	2.0	13.8 10.8	1.972		602	1.70	2.686	15.0	8.0 73.0	2.447		38	0.143	2.756	0.85	20.00	35.473		
	104	1.67	2.716	2.0	10.8 64.7	2.294		603	0.29	2.685	0.85	36.0 1.91	2.182		39	0.114	2.756	2.0	—	24.521		
	105	0.294	2.724	2.0	64.7 —	1.890		604	0.183	2.682	2.0	1.91 4.4	1.649		測線 No. 4	41	0.0485	2.682	0.85	1.53 3.22	5.714	
坂井	217	0.36	2.770	2.0	34.0 6.54	2.000	605	0.16	2.702	2.0	4.4 —	2.192	42	0.023		2.672	0.85	2.35	7.317			
	216	0.37	2.698	0.85	7.77 17.6	1.635	湊川	710	0.285	2.815	0.85	5.42 8.5	1.798	43		0.033	2.725	0.85	1.04	6.053		
	215	0.58	2.760	2.0	1.42 15.6	2.129		700	0.175	2.852	2.0	8.5 11.7	1.773	44		0.053	2.716	0.85	2.28	12.881		
	214	0.47	2.765	0.85	10.78 26.0	2.157		701	1.50	2.670	15.0	8.44 8.7	5.063	45		0.275	2.809	4.8	1.26	3.300		
	213	0.60	2.762	2.0	29.5 24.66	1.663		702	6.3	2.668	25.0	8.7 31.4	5.455	46		0.430	3.003	4.8	9.48	3.567		
	212	0.70	2.782	2.0	24.66 5.05	2.485		703	0.167	2.675	4.8	11.7 3.48	1.900	47		0.345	2.756	4.8	5.51	2.547		
	211	0.71	2.764	4.8	5.05 2.0	2.881		704	0.173	2.591	4.8	3.48 —	1.699	48		0.296	2.873	4.8	21.64	2.835		
	210	0.56	2.769	2.0	2.0 2.3	2.065		三軒 町	810	0.47	2.664	4.8	1.96 8.00	4.918		測線 No. 5	51	0.246	2.743	2.0	0.86 0.50	2.233
	200	0.69	2.743	2.0	2.3 17.1	2.348			800	0.18	2.687	0.85	6.55 5.19	1.695			52	0.178	—	2.0	1.64	1.722
	201	1.44	2.731	4.8	17.1 11.5	4.615			801	0.63	2.702	2.0	5.19 5.91	5.592	53		0.184	2.741	2.0	1.18	1.700	
202	1.52	2.723	10.0	11.5 —	2.210	802			0.16	2.721	2.0	5.91 1.99	1.589	54	0.28		2.925	2.0	3.01	1.969		
小原	312	0.29	2.869	0.85	15.04 30.1	1.576	沙入 川	912	0.332	2.684	10.0	— 1.92	2.963	55	0.72	2.773	4.8	1.23	2.597			
	311	0.28	2.817	0.40	35.1 21.25	1.386		911	0.42	2.582	10.0	1.92 1.41	5.778	56	1.06	2.937	25.0	0.036	7.463			
	310	0.30	2.867	0.85	4.11 0.93	1.526		910	0.33	2.843	2.0	1.41 5.93	3.144	57	3.6	—	20.0	0.37	2.714			
	300	0.44	2.875	2.0	0.93 13.2	2.134		901	1.44	2.704	10.0	10.2 6.13	7.167	58	1.8	—	20.0	15.24	6.304			
	301	0.95	2.721	4.8	13.2 8.0	3.455		902	0.168	2.692	0.85	0.22 —	1.614	測線 No. 6	59	0.615	2.783	2.0	—	2.517		
	302	0.32	2.755	4.8	8.0 —	1.614		12	0.72	1.718	2.0	3.25 4.71	2.806		61	0.188	2.810	2.0	1.89 0.80	1.826		
	州の 宮	412	0.24	3.055	0.85	2.80 1.45		1.862	13	0.42	2.878	4.8	— 3.34		2.413	62	0.190	2.835	0.85	0.40	1.852	
		411	0.205	3.101	0.40	5.72 5.94		1.872	14	0.29	2.835	4.8	— 0.00		2.822	63	0.239	2.954	2.0	0.39	2.258	
410		0.195	2.957	0.85	5.94 3.83	1.789	15	0.29	2.836	4.8	— 2.85	3.091	64	0.46	2.856	4.8	1.27	2.425				
400		0.52	2.827	2.0	3.83 8.0	2.222	測線 No. 2	21	0.37	2.848	2.0	0.71 2.41	1.714	65	0.096	2.786	2.0	1.71	1.295			
401	0.87	2.712	2.0	8.0 8.6	4.798	22		0.51	2.800	4.8	— 0.72	2.285	67	3.4	2.715	15.0	1.28	6.641				
402	0.33	2.827	2.0	8.6 —	2.294	23		0.89	2.778	4.8	16.05 —	2.821	測線 No. 7	68	—	2.775	—	0.55	—			
那古	510	0.25	2.782	2.0	0.46 1.95	2.323		24	0.475	2.838	4.8	3.70		71	0.66	2.815	4.8	1.72 2.63	2.206			
	500	0.49	2.714	2.0	1.36 11.7	3.039	25	0.395	2.829	4.8	—	72		0.51	2.689	10.0	1.63	2.353				
												73		0.68	2.828	2.0	1.52	3.255				
																				2.664		

海底の砂の Median Diameter と水深との関係は 図-11 の如く、-15 m 位までは水深が大きい程小さく且つ 館山湾の方が平砂浦に比して小さい。

砂の比重は

平砂浦砂浜 平均 2.7808 海底平均 2.8179

館山湾砂浜 平均 2.7095 海底平均 2.7705

で水深による差は 図-12 の如く極めて少く 海岸によつて平均値が可なり相違する。

海底勾配は水深によつては余り変化がなく全般的に直線的であるが浅い所は勾配が大となつている。これは前章に説明した事項によるものと考えられる (図-13)。

さらに砂の均等係数は特別の地点以外は殆ど約 2.0 で砂堆, Plunging Point, Sea Canyon, Berm などでも可なり大きく大小粒が広く混合している。

以上の各項目は館山湾と平砂浦とで多少の相違があるが極端なものではない。したがつて砂浜の抵抗性として地質的要素の影響は比較的少ないものと考えられる。しか

図-9

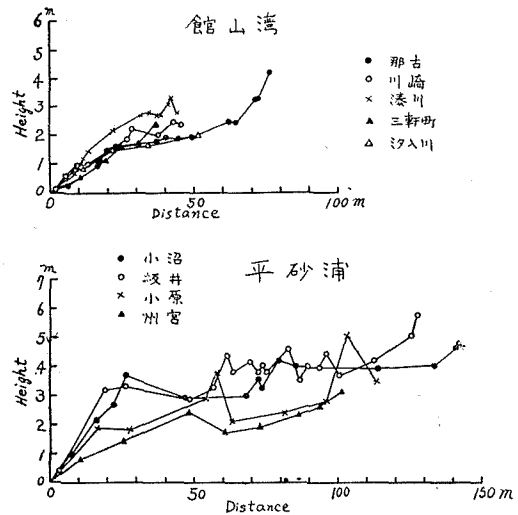


図-10

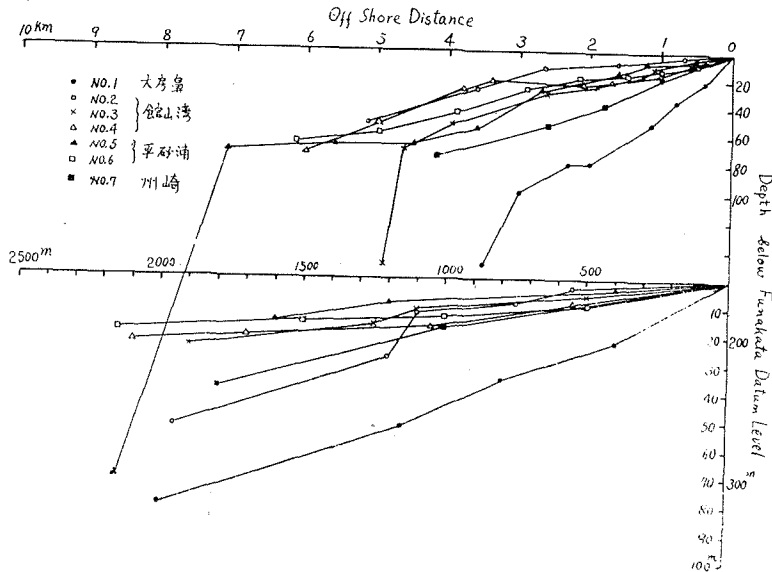


図-11

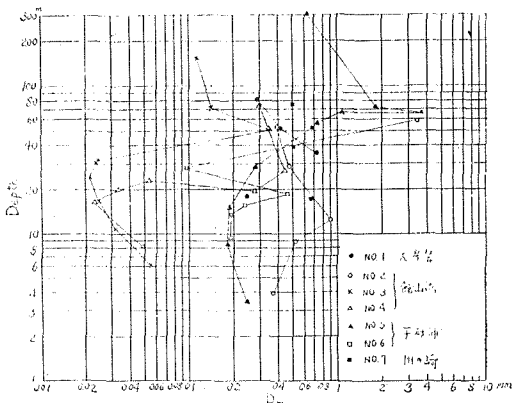


図-12

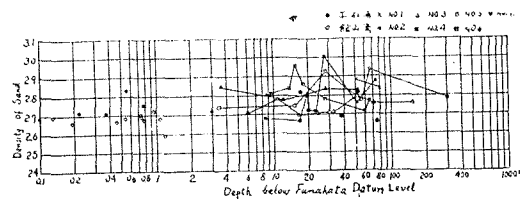
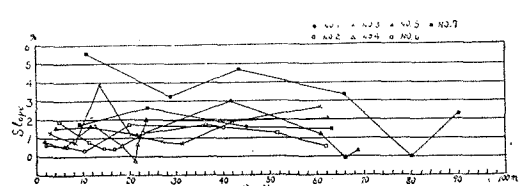


図-13



し、供給源の全く異なる、性質の違う地質の場合は尚調査検討を要するものである。

6. 館山湾、平砂浦および九十九里浜における年間の風向、風力図並びに Wave Energy Diagram

館山湾の波の推定には富崎測候所館山分室の 1958 年 1 ケ年間の風向、風速記録を、平砂浦には富崎測候所の記録を使用した、ただし館山の記録は 3 時間毎の観測値で富崎のものは毎時のものであるため両者の精度は相違することになる。尚参考のため九十九里浜に関係のある銚子測候所の記録も同様に取扱うことにする。

(a) 風向図および風力図 (図-14),

n : 回数 h : 時間 v : 風速 (m/sec)

図中の数字は一ケ年の総計である。図-15 は銚子、富崎、館山の風力を比較せるものである。

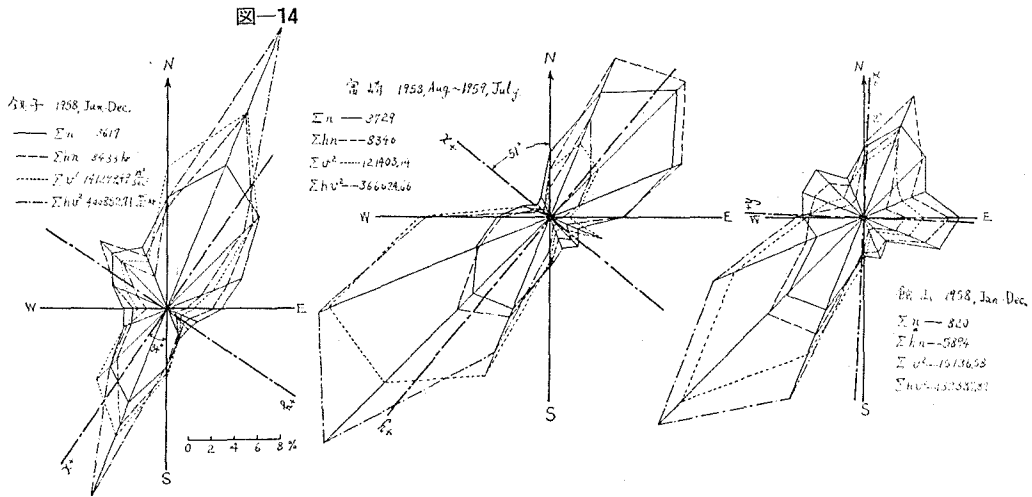


図-15 風力図

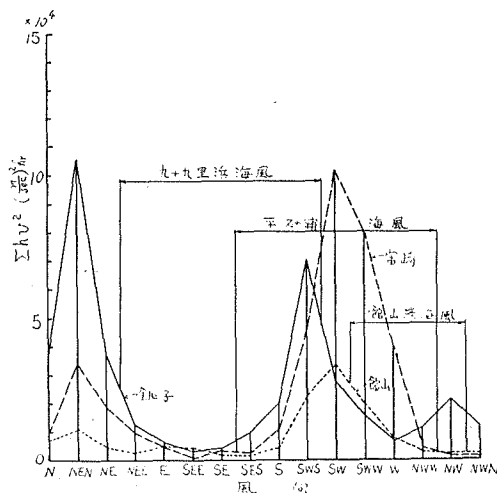
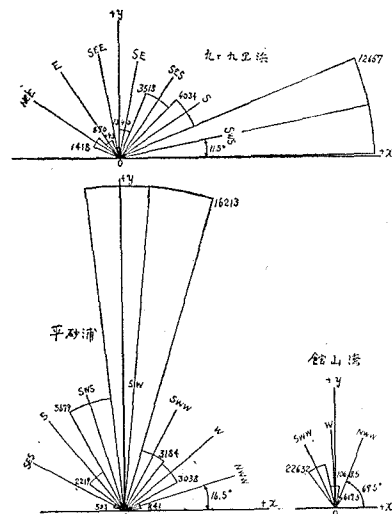


図-16



(b) Wave Energy Diagram

t : 風の継続時間 (hr) V : 平均風速 (m/sec) F : Fetch (km) として前の論文¹⁾の方法により
Land Fetch $F < 3.6tV$ の F に対して Total Wave Energy

$$E_t = 0.06948 \rho g F^{1.159} V^{2.082} t \dots\dots\dots (40)$$

Land Fetch $F > 3.6tV$ のときは Wind Fetch に対して

$$E_t = 0.3066 \rho g t^{2.159} V^{3.841} \dots\dots\dots (41)$$

表一 8 各海岸原点に於ける風向別 1 年間波エネルギーの合計

風 向	館 山 湾		平 砂 浦		九 十 九 里 浜	
	E_t	%	E_t	%	E_t	%
	$t \cdot m$		$t \cdot m$		$t \cdot m$	
N	1,889	0.136	3,393	0.005	241,489	0.595
NNE	1,846	0.136	8,157	0.013	1,239,315	3.056
NE	323	0.021	2,054	0.003	426,970	1.053
NEE	129	0.009	410	0.001	394,960	0.974
E	593	0.043	224	0.000	148,680	0.367
SEE	475	0.034	50	0.000	38,610	0.095
SE	246	0.018	1,963	0.003	352,810	0.870
SSE	390	0.028	49,690	0.079	2,429,580	5.990
S	1,719	0.124	967,420	1.537	3,195,820	7.880
SSW	10,474	0.756	6,333,200	10.063	31,508,060	77.687
SW	60,186	4.344	51,613,920	82.015	292,080	0.720
WSW	1,005,940	72.609	1,990,500	3.163	110,840	0.273
W	224,200	16.183	1,811,990	2.879	25,562	0.063
NWW	74,850	5.403	138,900	0.221	36,714	0.091
NW	600	0.043	673	0.001	74,278	0.183
NNW	1,431	0.103	242	0.000	41,719	0.103
合 計	1,385,291	100.0	62,922,786	100.0	40,557,487	100.0

の式を用ひ $V=5\text{ m/sec}$ 以上の風に対して Total Wave Energy を計算し各風向別に合計すると表一 8 となる。これを各風向の扇形の面積であらわすと図一 16 の一年間の Wave Energy Diagram が得られる。

なおここでは海岸地形の変化が略一ケ年間の Wave Energy によつて一応落着いて定常状態になると考えたので一ケ年間の波を採用したのであるが台風の如き強大な波浪を一時的に生ずる場合の海岸線および地形の変化を検討するためには一暴風期間についてその時の波の回折屈折を考慮に入れた Wave Energy を求め、次章の取扱いを行うべきものである。1 ケ年以上の長期間の波の一ケ年平均値を用うれば更に一般的性質を明確にできるが計算が極めて煩雑であるため Wind Diagram が累年平均のものと大差がなかつたので、ここでは一ケ年資料を採用した。長年月間にわたる Energy 累加の影響は地形変化の進行速度と関係するものと考えられる。

7. 海岸地形抵抗性の Energy 的考察

図一 16 を用いて湾内各点における Wave Energy の分布、方向を計算したのが図一 17—(a), (b), (c) である。これよりさらに現海岸線の位置における海岸線に平行なる Energy Component E_p と垂直方向の Energy Component E_n を求めると図一 18, 図一 19 が得られる。

図一 17 (a) 館 山 湾

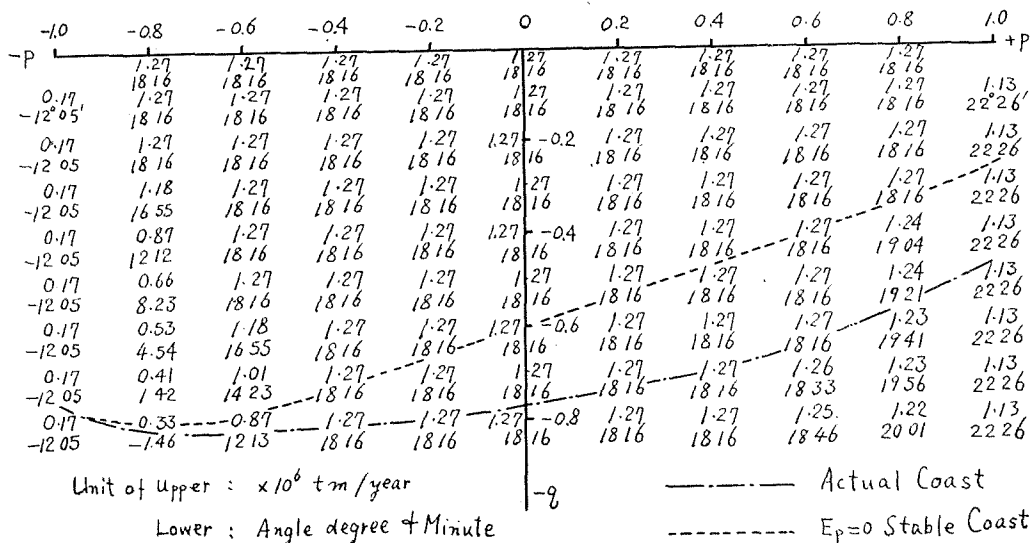


図-17 (b) 平 砂 浦

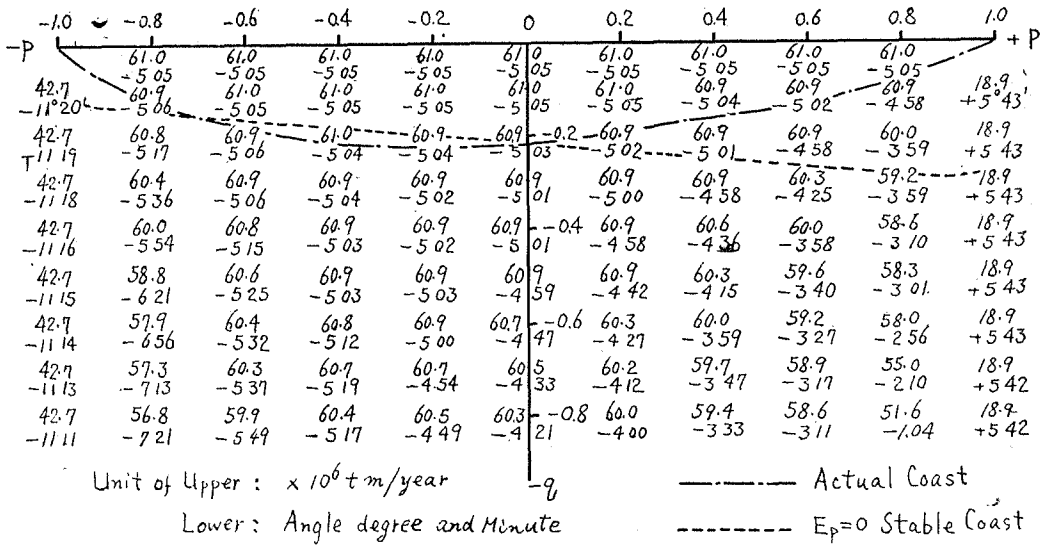


図-17 (c) 九 十 九 里 浜

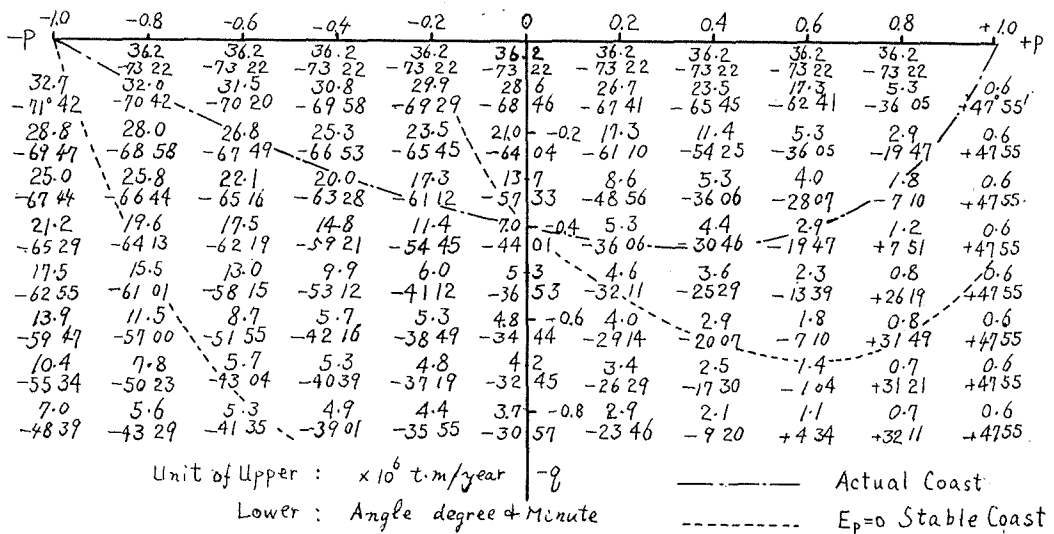


図-18 現海岸に平行な Energy Component

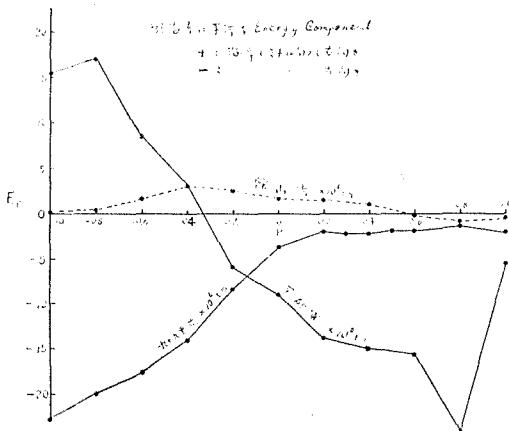
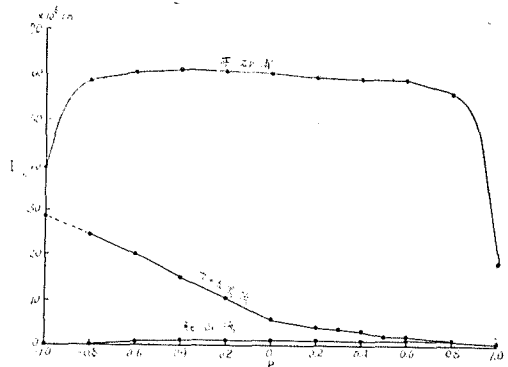


図-19 現海岸に垂直方向の Energy Component



ただし, ℓ : 固定点間の距離 $p = \frac{2x}{\ell}$ $q = \frac{2y}{\ell}$

これらの値の大きさおよび分布は夫々の海岸の性質を明瞭に説明するものである。例えば E_p の分布が一樣であれば沿岸漂砂が一端より入って他端に一樣に移動する安定な海岸であろう。また湾の左右で相反対の E_p のある平砂浦の如きは中央に集つた砂が E_n の大きさに応じて海岸に押し上げられて砂丘を発達させることになるであろう。これらの程度は多くの海岸の比較によつて推定できるものと考えられる。

ここで海岸の抵抗性 (Resistibility) は外的作用による不変程度であらわされるものとするならば作用とその作用状態を共に考えなければならない。外的作用としては種々あるが主なるものは波あるいは波の有する Energy である。作用状態としては前後の振動的作用と一方的に作用する場合、あるいは海岸線に垂直方向の作用と平行な方向の作用とがある。また波が作用すると云つても流動的な作用と衝撃的作用、云ひかえれば物体面に平行な方向の運動と垂直方向の運動による作用がある。波が海岸に作用する状態は非常に複雑で一つ一つ分けて考究することが困難であるので大きく分けて波動 Energy の海岸線に対して垂直方向の作用と平行方向の作用とする。

(a) 垂直方向の作用

これは E_n によるもので変化量は海岸線に垂直に沖に動くか岸に向つて動くかである。元来波は前後の軌道運動であるから前後運動の代数和の方向に動かされる。波の有する Energy はすべてが海底物質の移動に使はれるわけではなく僅く少部分が所により有効に作用する。沖より岸に動かされると勾配は大きくなつて沖に向う作用を増大し遂に平衡状態に達することになるのでこの場合の作用は大きくても安定状態に近づく作用即ち Stable な作用である。これに対して代数和の方向が沖に向うものでは、さらに勾配の大きい方向に移動することで不安定化作用である (ただし浅い皿状湾の場合はこの場合でも安定化作用である)。しかし、波の作用の主なるものは碎波の放出 Energy で碎波は必ず波の伝播方向に向つて碎けるから E_n の作用は安定な作用で海岸はこのために変化するのは勾配の増減のみである。故に E_n による海岸物質の増減は極めて少い (Beach prism の変形のみ) ことになる。ただし汀線以上では風のため失うものはある。したがつて E_n に対する海岸の抵抗性は非常に大きい筈である。前章の平砂浦と館山湾ではそれぞれ E_n が 61×10^6 と 1.27×10^6 の大きで非常に異なるにもかかわらず水深 10 m 地点の海岸からの距離 ℓ は次表の通りである。

館山湾	No. 21	$E_n = 1.02 \times 10^6$	$\ell = 2000^m$	平砂浦	No. 51	$E_n = 59.15 \times 10^6$	$\ell = 1290^m$
	31	1.266 "	970		61	60.70 "	570
	41	0.78 "	640				平均 930 ^m
			平均 1200 ^m				

$$\text{33 式より } \ell = y_0 = 1.26 KC \quad \therefore K = \frac{\ell}{1.26 C}$$

抵抗係数 $\frac{1}{K}$ が E_n によつて変る状態は海底地質が同じであると仮定すると上の値を用いて

$$\frac{1}{K} = 0.0161 E_n^{0.062} \dots \dots \dots (42)$$

E_n	$\frac{1}{K}$	K	$\frac{10}{\ell}$ (平均勾配)
$1 \times 10^6 tm$	0.0161	62.1	0.828%
10 "	0.0186	53.8	0.956
40 "	0.0202	49.5	1.0395
80 "	0.0211	47.4	1.0857

となる。しかし、波の荒い所と静かな所では海底物質が可なり相違することがあるので海底地質による抵抗性を無視することはできない。

(b) 海岸線に平方方向の作用

これは E_p によるもので $E_p = 0$ または一定値であれば海岸物質の増減はなく一定の形状を保ち安定である。 E_p が一定でなければその部分に移動の方向にしたがつて侵食または堆積を生ずる。この時その状態が一方的に進行する場合と安定条件を形成して、進行すると共に安定に近づく場合とがある。この変形量が僅かで安定する場合は抵抗性が大、変形量が大きいときは抵抗性が小であると云えるから海岸形状 (断面形、水平曲線) 海底地質、固定点 (岬、突堤、水制) の状態が抵抗性をあらわすことになる。地質、固定点が不変であるとする E_p を変えるものは海岸形状であるから抵抗性は E_p の変化状態または逆に海岸線の形状であらわされる。抵抗性を増すためには $E_p = 0$ または const になるような海岸線形にすることである。このため人工的固定点となる海岸水制を設け

たり、侵食抵抗を増すための工法が広い面積に必要となる。

8. 結 び

本研究に於て海岸の断面形状の基本形を説明すると共に海岸の抵抗性と安定について館山湾, 平砂浦, 九十九里浜の一ヶ年の波をもとにして検討し, 他の海岸の安定状態の推定, 侵食対策, 防災工法の基礎を与えたもので今後更に海岸地形の局部的形状の研究, 年変化及び進行速度, Wave Energy の配分, 湾内波浪の屈折回折反射などによる Energy 分布の研究を要するものである。

この研究にあつて文部省試験科学研究費による援助, 現地調査には海上自衛隊横須賀総監部舟艇隊, 館山航空隊の協力, 気象資料は富崎, 銚子, 館山各測候所の御好意によるものである。地質試料の採取, 分析は防衛大学校土木教室大平至徳助教授, 成富成規講師, 小山明技官を煩し, 調査実施は水工学研究室 池内正幸助手, 川田秀夫技官, 小林靖技官および物理学教室溝口教授小木助教授の協力による協同研究として行つたものでここに研究結果の一部を発表するものである。

ここに深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 真嶋恭雄：海岸線の安定形状について, 第六回海岸工学講演会講演集 (1959, Nov.)
- 2) 真嶋恭雄：沿岸漂砂量について, 第五回海岸工学講演会講演集 (1958, Nov.)