

浅海における波浪スペクトルの変形に関する二、三の実例

岩 垣 雄 一*・柿 沼 忠 男**

1. 緒 言

海岸に襲撃する波浪を的確に予知することは、海岸構造物を設計するための設計波浪を決定したり、あるいは海岸での漂砂量を推定するという意味において、海岸工学上きわめて重要な問題の一つである。

実際の海岸には、種々の波高や周期をもった一連の波、いわゆる不規則波が襲撃してくるわけであるが、従来はこうした不規則波を一つの代表値であらわすことによって、その特性を知ろうとした。たとえば、Sverdrup および Munk は目視観測の値とよく一致するような有義波という一つの平均波を提唱し、これを用いて、深海における波浪予知法を提案している¹⁾。

しかし、たとえば、海岸堤防の越波量に関する実験によると、そうした不規則波の大きさを示す代表値が一定であっても、波の不規則性の程度によって越波量が異なることがわかったが^{2), 3)}、こうした場合には、その不規則波の特性を一つの代表値のみによってあらわすことは不適当であり、どうしても波浪エネルギーの周期あるいは周波数に対応する分布、すなわち波浪エネルギースペクトルを知ることが必要になってくる。

さて、水深が波長の 1/2 程度以下の領域においては、波は風の影響のほか、海底の影響を受けて、浅水、屈折、回折、反射、海底摩擦、浸透効果、砕波などによってその特性を変える。こうした浅海領域における波浪の資料はきわめて少なく、まして、浅海における波浪スペクトルの変形についての資料は皆無といってよい状態であり、その実態がわからなければ海岸波浪を的確に予知することはできない。

この研究は、1963年2月および10月に、京都大学防災研究所が大阪府泉佐野海岸⁴⁾ および鳥取県日吉津海岸⁵⁾ において実施して得た波浪観測の資料を、波浪スペクトル法によって解析し、沖側と陸側の相対する2～3点間の波浪スペクトルの変形を求めて、これらの海岸の海底摩擦係数を算出するとともに、有義波法によって求めた海底摩擦係数とも比較し、海底摩擦による波高減衰を量的に明らかにしようとしたものである。

2. 波浪の資料

(1) 泉佐野海岸および日吉津海岸の位置と海底地形
観測の対象とした泉佐野海岸および日吉津海岸は、それぞれ北緯 $34^{\circ}24'$ 、東経 $138^{\circ}18'$ および北緯 $35^{\circ}45'$ 、東経 $133^{\circ}22'$ に位置し、等深線はほぼ海岸線と平行に走っている。図-1 および 2 は、それぞれ泉佐野海岸および日吉津海岸位置図であり、図-3 および 4 は、それぞれ等深線とともに波浪観測地点および底質採取点の位置を示したものである。図-5 および 6 は、それぞれブイ No. 1, 2 および 3 を結ぶ海岸断面を示したものである。図-5 によれば、泉佐野海岸の海底はほぼ一様な勾配を示し、ブイ No. 1 とブイ No. 2 の間の平均海底勾配は 4.3×10^{-3} であり、ブイ No. 1 とブイ No. 3 の間は 4.0×10^{-3} である。また図-6 によれば、日吉津海岸における平均海底勾配は、ブイ No. 1 とブイ

図-1 泉佐野海岸位置図

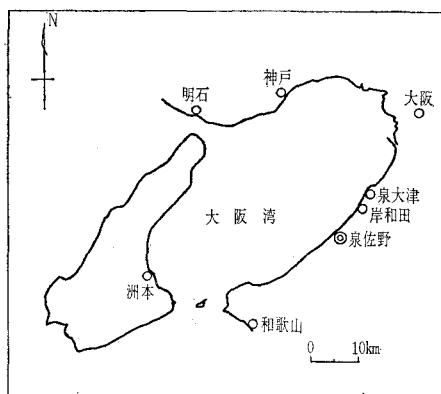
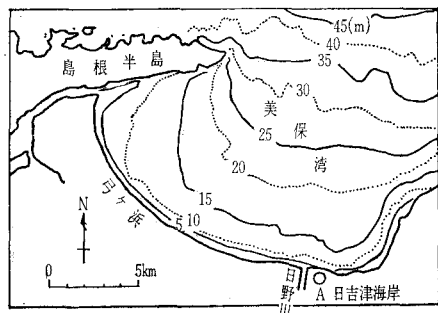


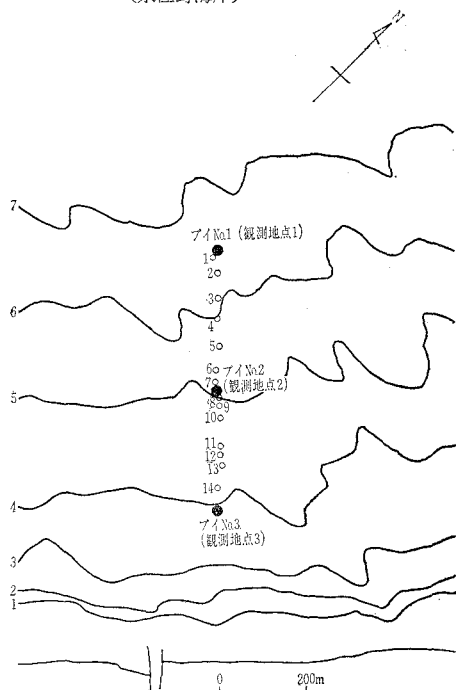
図-2 日吉津海岸位置図



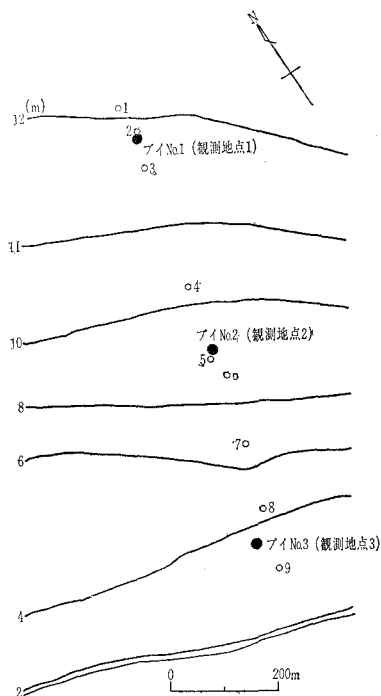
*正会員 工博 京都大学教授 防災研究所

**正会員 理修 京都大学助手 防災研究所

図—3 波浪観測地点および底質採取点位置図
(泉佐野海岸)



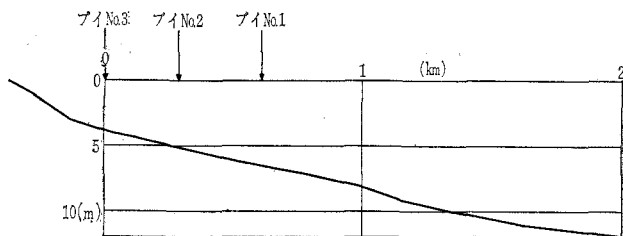
図—4 波浪観測地点および底質採取点位置図
(日吉津海岸)



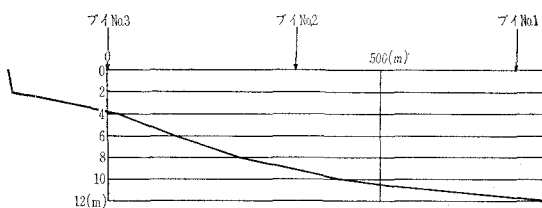
No. 2, プイ No. 2 とプイ No. 3, およびプイ No. 1 と
プイ No. 3 の間で, それぞれ 5.9×10^{-3} , 1.69×10^{-2} お
よび 1.10×10^{-2} となっている。

(2) 波浪資料の整理法

図—5 海底断面図 (プイ No. 3-2-1, 泉佐野海岸)



図—6 海底断面図 (プイ No. 3-2-1, 日吉津海岸)

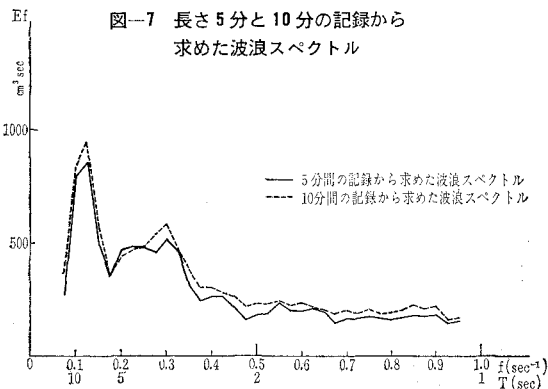


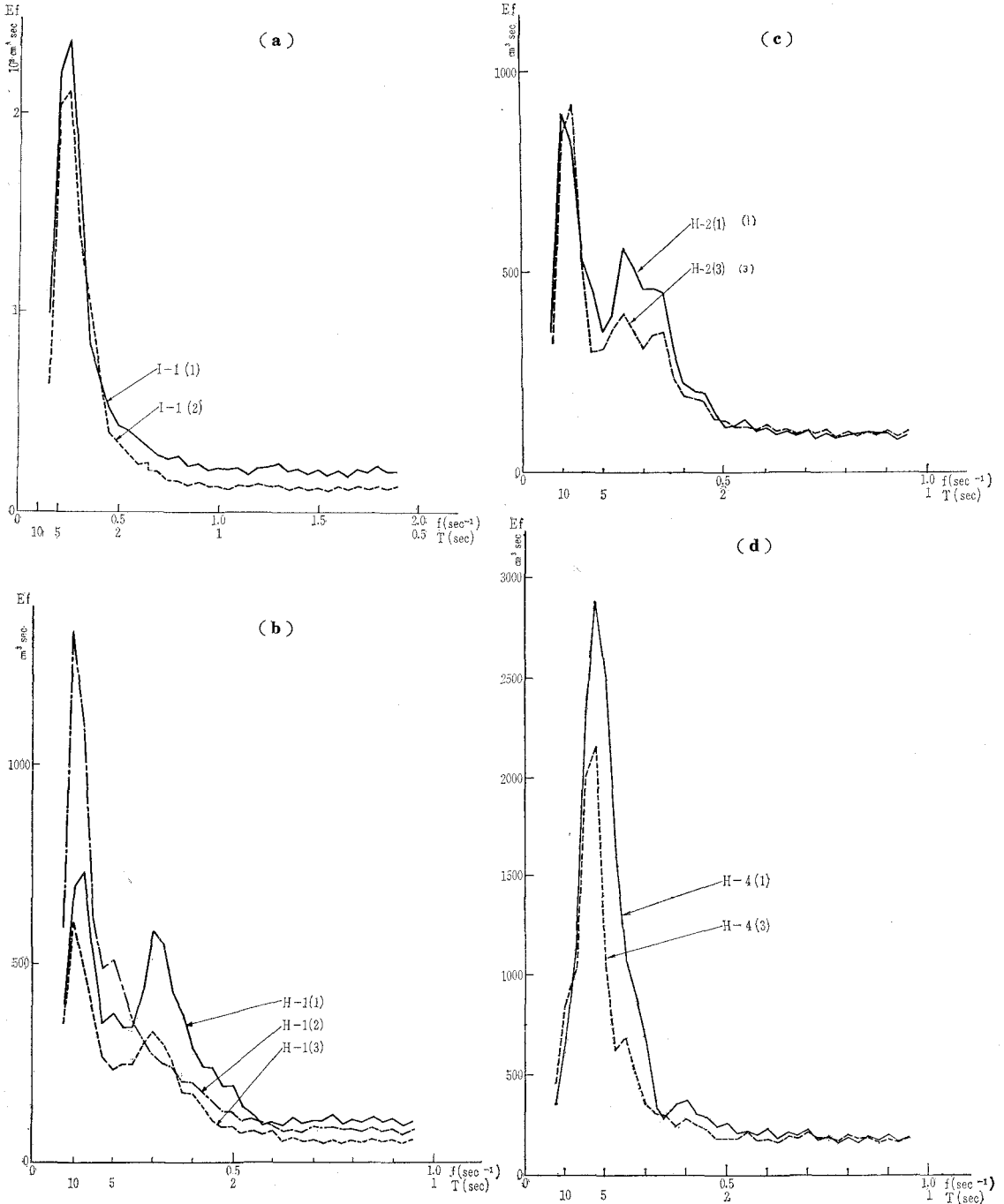
図—3 および 4 に示した位置にあるプイ No. 1, プイ
No. 2, プイ No. 3 の上下運動を, 望遠レンズ付きの
16 mm 撮影機によって 10~15 分間の同時観測をして得
たフィルムを, 映写機 (Elmo DM 16 mm を改良し,
1 コマ送りができるようにしたもの) によって映写し,
プイの上下運動を読みとった。読みとりの間隔は, 泉佐
野海岸の場合 0.25 sec, 日吉津海岸の場合 0.5 sec であ
る。こうした記録を有義波法および波浪スペクトル法に
よって解析したわけであるが, 波浪スペクトルの計算
は, Tukey の計算法 (1949)⁶⁾ を用いて, 京都大学の電
子計算機 KDC-1 によって行なった。記録の読みとり個
数を 600 個, lag を 40 として, 自由度はほぼ 30 とし
た。この計算に要した時間は, 資料一つにつき 30 分
である。図—7 は, 同一観測資料に対して, 読みとり間隔
および lag を同一にして, 長さ 5 分と 10 分の記録を用
いて求めた波浪スペクトルの一例であり, 横軸に周波数
 $f(\text{sec}^{-1})$ あるいは周期 $T(\text{sec})$, 縦軸にエネルギー密度
 $E_f(\text{cm}^2\text{sec})$ をとってあらわしている。

(3) 浅海における波浪スペクトルの変形の実例

図—8 (a), (b), (c), および (d) は, 沖側と岸側の
対応する 2~3 点での浅海における波浪スペクトルの変

図—7 長さ 5 分と 10 分の記録から
求めた波浪スペクトル



図—8 浅海における波浪スペクトルの変形の代表例
 (a) 泉佐野海岸 (b)～(d) 日吉津海岸


形を示したもので、浅海でのエネルギー変換を解明するためには、きわめて重要な資料である。図中、(1)、(2)、および(3)は、それぞれ観測地点1、2および3で得た資料をあらわす。

3. 海底摩擦係数の算出

(1) 算出の方法

海底摩擦係数 f は、海底の摩擦応力を τ 、海底流速を u_b として、 $\tau = f \rho u_b^2$ (ここに、 ρ : 海水の密度) で定義される。Bretschneider-Reid⁷⁾ は、海底摩擦、浸透、屈折および浅水による波高の変化を決定するために、数多くの算定式を提案した。その後、Reid-梶浦は、Putnam⁸⁾ が見出だした浸透効果によるエネルギー消費量⁸⁾ は4で割らねばならないことを指摘した⁹⁾。次式は、

Bretschneider-Reid の様な海底勾配 m に対する海底摩擦係数 f の算定式である。

$$f = \frac{H_1(K_p K_r K_s)_2 - 1}{H_2(K_p K_r K_s)_1} \dots (1)$$
$$\frac{H_1}{(K_s)_1 m T^2} \int_{(h/T^2)_2}^{(h/T^2)_1} \frac{K_p K_r}{(K_p K_r)_1} d(h/T^2)$$

ここに、添字 1 は沖側の地点での値、添字 2 は岸側の地点での値、 K_p は浸透効果による波高減衰係数で、Reid 一掃浦による修正の結果は、

$$K_p = (\tanh 2\pi h/L)^{2\pi p/\nu m T} \dots (2)$$

K_r は屈折係数で、

$$K_r = (b_0/b)^{1/2} \dots (3)$$

K_s は浅水係数で、

$$K_s = (c_0/2nc)^{1/2} \dots (4)$$

ϕ_f は

$$\phi_f = \frac{64\pi^3}{3g^2} \left(\frac{K_s}{\sinh 2\pi h/L} \right)^3 \dots (5)$$

である。ここに、 b は相隣れる波向線の間隔、 n は群速度と波速との比、 c は波速、 ν は動粘性係数であり、 p は長さの 2 乗であらわした透水係数で、速度の次元をもつ透水係数 k との関係は $k = gp/\nu$ である。また、添字 0 は沖波の値を示す。

なお、以上の式において、有義波法においては、周期 T を沖側の地点の有義波周期と岸側の地点のそれとの平均値として f の値を算定し、一方、波浪スペクトル法においては、 $E_f = H_f^2/4$ という関係式を用いて、各周期に対する平均波高 H_f を求め、周期ごとに f の値を算定する。この方法は Bretschneider が理論的に浅海による波浪スペクトルの変形を推算したときのもと同じである¹⁰⁾。

(2) 泉佐野海岸における海底摩擦係数の値

泉佐野海岸にはほぼ様な勾配を示し、また、得られた資料 I—1 (1), (2) および I—2 (1), (3) は砕波していない資料であるから、これらの資料から前述したような算定式にもとづいて、有義波法および波浪スペクトル法によって、この海岸の海底摩擦係数 f の値を求める。

a) K_s に対する考察

浅水係数 K_s は式 (4) によってあらわされる。この解析で用いた観測地点 1, 2, 3 における浅水係数 $(K_s)_1$, $(K_s)_2$, $(K_s)_3$ の値は 0.90~1.00 で、 $T=3\sim 5$ sec で最小となる。また $(K_s)_3/(K_s)_1$ および $(K_s)_2/(K_s)_1$ の値は 0.95~1.02 で、 $T=3$ sec 付近で最小となる。

b) K_p に対する考察

浸透効果による波高減衰係数 K_p は式 (2) によってあらわされる。

Hazen は均等係数 d_{60}/d_{10} がおよそ 2 以下の場合に、透水係数 k (cm/sec) を求めるつぎのような実験式を与えている¹¹⁾。

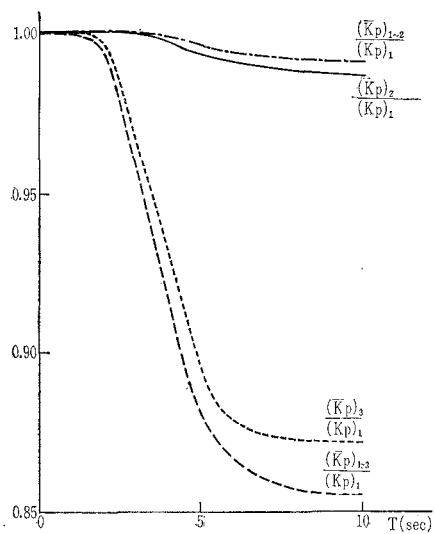
$$k = C_1 d_{10}^2 \dots (6)$$

ここに、 d_{10} は有効径を cm であらわしたものであり、

C_1 ($\text{cm}^{-1}\text{sec}^{-1}$) はおよそ 100 から 150 まで変化する。

海底表面での資料の均等係数の値は 3.6~18.5 で、2 より大きな値を示しているが、この解析では、便宜的に $C_1=100$ ($\text{cm}^{-1}\text{sec}^{-1}$) とした Hazen の実験式を用いて、各採取点での透水係数を求めた。実際には厚さが 0.3 L 程度の砂層内の資料の粒度分布から透水係数を求めねばならないわけであるが、資料の採取が困難なので便宜的に海底表面での透水係数を用いて、式 (2) によって K_p を求めた。なお 底質資料番号 12 および 13 は、有効径 d_{10} を求めることができなかったので、便宜上 Casagrande-Fadum によるきれいな砂利に対する透水係数の最小値 10 cm/sec¹²⁾を用いて解析した。図—9 は、 $(K_p)_2/(K_p)_1$ および $(K_p)_3/(K_p)_1$ を周期に対してプロットし

図—9 浸透効果による波高減衰係数の比 (泉佐野海岸)



たものである。ここに、

$$\frac{(\bar{K}_p)_{1\sim 2, 1\sim 3}}{(K_p)_1} = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N \left[\frac{(\bar{K}_p)_i}{(K_p)_1} + \frac{(\bar{K}_p)_{i+1}}{(K_p)_1} \right] \dots (7)$$

で、①、② および ③ は観測地点 1, 2 および 3, i は底質採取点、 $i+1$ は i より一つ岸側の採取点をあらわし、 N は①~②あるいは①~③で分割数を示す。図—9 からわかるように、 K_p の $(K_p)_1$ に対する比は $T=10$ sec 付近の最小となり、 $(\bar{K}_p)_{1\sim 2}/(K_p)_1$ および $(\bar{K}_p)_{1\sim 3}/(K_p)_1$ の値は 0.99 および 0.87 程度である。

c) K_r に対する考察

屈折係数 K_r は波の周期および波の方向によって変化するが、波の方向は目視観測と、観測地点からほぼ 8 km の距離にある岸和田港における風向記録から推定した。I—1 の波向はほぼ WNW と思われるが、I—2 については WNW, NW のどちらの方向とも思える。この解析に用いた $(K_r)_2/(K_r)_1$ および $(K_r)_3/(K_r)_1$ の値は 0.96~1.0 である。

d) 内部摩擦の効果に対する考察

粘性のための

内部摩擦による深海波の波高の減衰は、

$$H/H_0 = \exp \left[-(8\pi^2\nu/L_0^2) \cdot \sqrt{2\pi/(gL_0)} \cdot x \right] \quad \dots\dots\dots (8)$$

によってあらわされる¹³⁾。ここに、 x は波向線にそった距離で、 H_0 および L_0 は深海波の波高および波長、 H は x だけ離れた点での波高である。式(8)にもとづいて、I-1 および I-2 に対する内部摩擦による波高減衰を調べたのであるが、周期が 2 sec 以上の波は内部摩擦による波高の減衰はしないことがわかった。

e) 風の効果に対する考察 観測地点1における波が、風による影響を受けて発達するかどうかは、有義波法においては、観測地点1での有義波高、有義波周期および波向と観測時における風速および風向がわかれば、著者らの方法¹⁴⁾ によって判定することはできるが、波浪スペクトル法においては、同一周期に対応するエネルギーの風による変化を考慮することになり、こうした波浪スペクトルの風による変形の問題があまり明確でない現状においては、風の効果を見出すことはきわめて困難である。

観測時における岸和田港での風速および風向は、I-1 は 13.5 m/sec, WNW, I-2 は 7.4 m/sec, NW で、Wilson の経験式にもとづいた著者らの方法¹⁵⁾ によれば、I-1 は観測地点1での有義波高は風によって1.8%程度増大して観測地点2に到達することになるが、この程度の増分は測定誤差の範囲に入り、風による波の発達は無視することができる。一方、I-2 の観測地点1での有義波高は風によって8%増大して観測地点3に到達することになるが、800 m 程度の距離を風速 7.2 m/sec 程度の風が吹いて波高がこのような増大するかは問題である。なお、8%の増分を考慮して有義波法によって求めた f の値は考慮しない場合の f の値より 64 % 大きい。

この解析においては、風の効果を無視することにして、今後の解析に待つことにした。

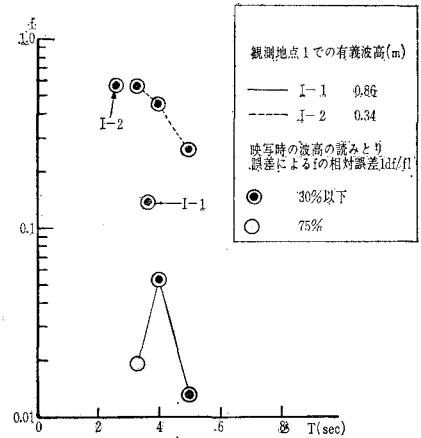
f) 摩擦係数の算出 以上のことから、式(1)を簡単化した

$$f = \left[\frac{H_1(K_p K_r K_s)_2}{H_2(K_p K_r K_s)_1} - 1 \right] \left[\frac{H_1}{(K_s)_1 m T^2} \frac{1}{2} \left\{ 1 + \frac{(K_r)_2}{(K_r)_1} \right\} \times \frac{1}{2N_i} \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{(K_p)_i}{(K_p)_1} + \frac{(K_p)_{i+1}}{(K_p)_1} \right\} \int_{(h/T^2)_1}^{(h/T^2)_2} \phi_f d(h/T^2) \right] \dots (9)$$

によって、泉佐野海岸での海底摩擦係数の値を求めた。

図-10 は海底摩擦係数 f を周期 T に対してプロットしたもので、直線で結んである点は波浪スペクトル法によって見出した値であり、矢印で示した点の値は有義波法によって見出したものである。I-1 は波向 WNW に対する値を示し、I-2 は波向 WNW と NW に対する値の平均値を示している。なお、2. (2) でのべたよ

図-10 海底摩擦係数の値 (泉佐野海岸)



うな整理方法のために、映写時に波高の読みとり誤差が入るわけで、こうした読みとり誤差によって f の相対誤差がいくらかになるかを知ることが必要になってくる。沖側および岸側のそうした読みとり誤差を、それぞれ、 dH_1 および dH_2 とすれば、 f の相対誤差 $|df/f|$ は次式で与えられる。

$$\left| \frac{df}{f} \right| = \frac{1}{\frac{(K_p K_r K_s)_2}{(K_p K_r K_s)_1} H_1 - H_2} \left| H_2 \frac{dH_1}{H_1} - H_1 \frac{dH_2}{H_2} \right| \quad \dots\dots\dots (10)$$

図-10 の各点は、こうした相対誤差によって区別してプロットしてある。図-10 をみると、I-2 の f の値はかなり大きな値を示しているが、この資料の波高は有義波高にして 30 cm 程度で、I-1 の有義波高が 86 cm であるのにくらべると波高がかなり小さい。

結局、I-1 および I-2 の有義波法による f の値はそれぞれ 0.14 および 0.55 であり、波浪スペクトル法からは、 f の値は 0.013~0.054 および 0.25~0.55 である。

(3) 日吉津海岸における海底摩擦係数の値

得られた資料 H-1 (1), (2), (3); H-2 (1), (3); H-3 (1), (2), (3); H-4 (1), (3) を用いて、泉佐野海岸の場合と同様にして解析するわけであるが、H-1 および 3 において、(1) と (3) は、図-8 (b) からわかるように、周期 4 sec 付近に第 2 の山をもち、スペクトルの形が似ているが、一方、(2) はそうした山が消えるばかりでなく、第 1 の山の spectral energy も過大で、さらに H-3 (2) においては、全エネルギーも(1)に比較して増大している。そこで、この解析においては、観測地点1での資料(1)に観測地点3での資料(3)を対応させて、有義波法および波浪スペクトル法によって、日吉津海岸の海底摩擦係数 f の値を求めた。

a) K_s に対する考察 この解析で用いた $(K_s)_1$, $(K_s)_2$, $(K_s)_3$ の値は 0.91~1.20 で、それぞれ、 $T \approx 7 \text{ sec}$, 6 sec , 4 sec で最小となる。また、 $(K_s)_3/(K_s)_1$,

$(K_s)_3/(K_s)_2$, $(K_s)_2/(K_s)_1$ の値は、それぞれ、 $0.92 \sim 1.27$, $0.94 \sim 1.22$, $0.98 \sim 1.04$ で、 $T \approx 3$ sec, 4 sec, 5 sec で最小となる。

b) K_p に対する考察 直径 4 cm, 長さ 24 cm の定水位透水試験器を製作し、これによって透水係数 k_1 (cm/sec) を求めた。使用した底質資料の容量は $80 \sim 170 \text{ cm}^3$ である。こうして求めた透水係数 k_1 は、均等係数 d_{60}/d_{10} がおよそ 2 以下の値を示すときには、従来いわれているように、Hazen の実験式によるものとよく合っているが、2 程度よりも大きな値を示すときには、きわめて小さい値を示していることがわかった。

この解析においては、定水位透水試験による透水係数 k_1 を用い、式 (2) によって、各周期に対して K_p を求めたが、いずれも $K_p \approx 1.000$ であって、浸透効果は無視してよいと思われる。

c) K_r に対する考察 波向は日吉津小学校における風向記録と目視観測から推定した。日吉津小学校は地点 A (図-4) から 800 m 離れたところにあり、その間は畑地でなんらの障害物もなく、陸上 17 m の高さにセルシン型の風向計が設置されている。すべての資料に対して、沖波としては、波向は NNE と思われるが、NE の波向に対しても屈折係数を求めた。観測地点 1 での波向 NNE についての $(K_r)_3/(K_r)_1$, $(K_r)_2/(K_r)_1$ および $(K_r)_3/(K_r)_2$ の値は、それぞれ $0.99 \sim 1.00$, $1.00 \sim 1.01$ および $0.98 \sim 1.00$ であり、NE については、 $0.99 \sim 1.01$, $1.00 \sim 1.01$ および $0.99 \sim 1.01$ である。

d) 内部摩擦の効果および風の効果に対する考察 泉佐野海岸と同様、観測時においては、周期 2 sec 以上の波は、粘性のための内部摩擦によって波高は減衰しない。

また、風の効果についてであるが、観測時の風速および風向は、H-1 は 10.1 m/sec, NNE, H-2 は 9.4 m/sec, NNE, H-3 は 11.2 m/sec, NNE, H-4 は 8 m/sec, NE であり、著者らの方法¹⁵⁾によれば、すべての資料の観測地点 1 での有義波高は風によって増大して観測地点 3 に到達することになり、その増分はすべて 1% 以下である。この程度の増分は測定誤差の範囲に入り、有義波法においては、風の効果は無視してよいと思われる。一方、波浪スペクトル法においては、3. (2) e) にのべたような理由で、風の効果を無視することにする。

e) 摩擦係数の算出 以上のことから、式 (1) を簡単化した

$$f = \frac{H_1(K_r K_s)_2 - 1}{H_2(K_r K_s)_1} \cdot \frac{1}{(K_s)_1 m T^2} \cdot \frac{1}{2} \left[1 + \frac{(K_r)_2}{(K_r)_1} \right] \int_{(h/T^2)_1}^{(h/T^2)_2} \phi_f d(h/T^2) \quad (10)$$

によって、日吉津海岸での海底摩擦係数の値を求めた。

図-11 海底摩擦係数の値 (日吉津海岸)

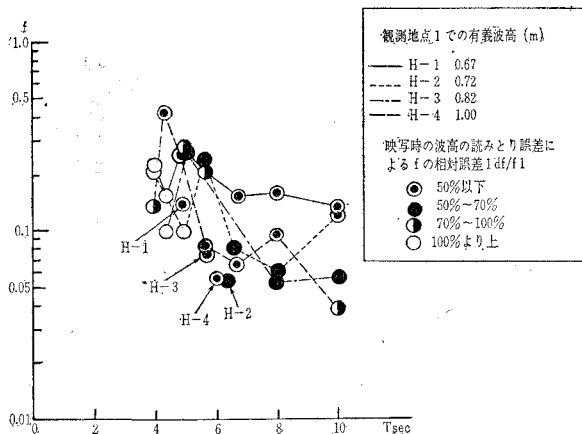
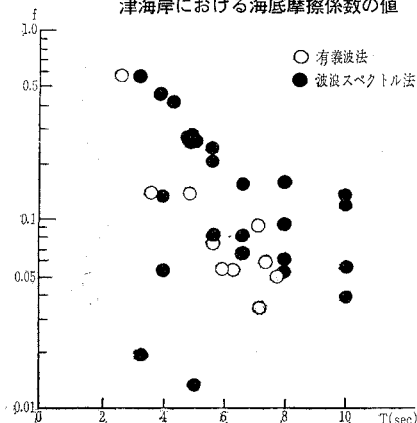


図-11 は、海底摩擦係数 f を周期 T に対してプロットしたもので、直線で結んである点は波浪スペクトル法によって見出した値であり、矢印で示した点の値は有義波法によって見出したものである。図中の点はすべて、波向 NNE に対する値を示しているが、図-10 と同様に、 $|df/f|$ によって区別してプロットしてある。図-11 をみると、 f は 0.043 から 0.44 という値をとり、かなりばらついているが、 $|df/f|$ が 100% 以下のものから判別すれば、そうした f の値は、周期が大きいはど小さくなっていることがわかる。

結局、H-1, H-2, H-3 および H-4 の有義波法による f の値は、それぞれ、0.13, 0.059, 0.083, 0.054 であり、波浪スペクトル法からは、 f の値は 0.13~0.28, 0.060~0.25, 0.052~0.25 および 0.040~0.44 である。以上、求めた f の値は、波浪スペクトル法によるにせよ、有義波法によるにせよ、浅海における風波予知法を確立するに際して Bretschneider が考慮した f の値 $0.01^{16)}$ よりはるかに大きな値を示す。

図-12 は、秋田海岸¹⁴⁾、泉佐野海岸および日吉津海岸において求めた海底摩擦係数 f のうち、 $|df/f|$ が

図-12 秋田海岸、泉佐野海岸および日吉津海岸における海底摩擦係数の値



100%以下のものを周期 T に対してプロットしたもので、○印は有義波法によって見出した値であり、●印は波浪スペクトル法によって見出した値である。この図をみると、有義波法によって求めた f の値は周期が大きいほど小さくなっていることがわかるが、一方、波浪スペクトル法によって求めた f においても、そうした傾向が見出されるようではあるが、かなりばらついていて、今後、横軸に周期 T のかわりに適当な無次元量をとって、さらに解析を進めたい。

4. 結 語

以上、著者らは泉佐野海岸および日吉津海岸における波浪観測の結果にもとづいて、有義波法によってこれら両海岸での海底摩擦係数を求めるとともに、浅海における波浪スペクトルの変形の実例から、これら両海岸での各周期に対する海底摩擦係数を求めて、エネルギースペクトルをもった不規則波の海底摩擦によるエネルギー損失の機構を解明しようとした。

その結果、泉佐野海岸においては、有義波法から求めた海底摩擦係数の値は 0.14 および 0.55 であり、波浪スペクトル法からは 0.013~0.054 および 0.25~0.55 という値を得た。一方、日吉津海岸においては有義波法からは 0.054~0.13、波浪スペクトル法からは 0.043~0.44 という値を得た。これらの値は、浅海における風波予知法を確立するに際して Bretschneider が考慮した海底摩擦係数の値 0.01 よりはるかに大きい。また、これら両海岸での海底摩擦係数の値と秋田海岸での値から、有義波法によって求めた海底摩擦係数の値は周期が大きいほど小さくなる傾向があることを見出した。また、波浪スペクトル法によるものでも I-1 の資料を考えなければ同じ傾向が見出されるが、さらに資料を追加して調べていきたい。

結局、波浪観測の精度をあげること、波浪スペクトルの計算法の精度をあげること、風の波におよぼす効果を調べること、微小振幅波の理論にもとづいた海底摩擦係数を求める算定式について吟味すること、などがこの研究に要求される今後の課題である。こうした点を少しずつ解決して、現地海岸の海底摩擦による波高減衰を調べていきたいと考えている。

最後に、この研究を行なうにあたり、波浪観測に際し

ては、大阪府土木部港湾課および建設省倉吉工事事務所の方々に絶大な御援助をいただき、また資料の整理や計算に際して、大阪市総合計画局の池田順一、大学院学生宮井宏および防災研究所の人見哲夫の諸氏には大いに助力をいただいた。ここに心から感謝するしだいである。なお、この研究は文部省特別事業費および試験研究費による研究の一部であることを付記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) Sverdrup, H.U. and Munk, W.H.: Wind, Sea and Swell: Theory of Relations for Forecasting, U.S. Hydrographic Office, Pub. No. 601, pp. 1-44, 1947.
- 2) Paape, A.: Experimental Data on the Overtopping of Seawalls by Waves, Proc. 7th Conf. on Coastal Eng., Vol. 2, pp. 674-681, 1961.
- 3) 岩垣雄一・土屋義人・井上雅夫: 由比海岸堤防の模型実験について, 京都大学防災研究所年報第 6 号, pp. 328-337, 昭 38.
- 4) 樋口明生・土屋義人・柿沼忠男: 名古屋港および泉佐野海岸における波浪観測について, 京都大学防災研究所年報第 7 号, pp. 420-433, 昭 39.
- 5) 京都大学防災研究所年報第 8 号に投稿予定
- 6) Tukey, J.W.: The Sampling Theory of Power Spectrum Estimates, Symposium on Applications of Autocorrelation Analysis to Physical Problems, pp. 47-68, 1949.
- 7) Bretschneider, C.L. and Reid, R.O.: Modification of Wave-Height Due to Bottom Friction, Percolation, and Refraction, B.E.B. Tech. Memo. No. 45, pp. 1-36, 1954.
- 8) Putnam, J.A.: Loss of Energy Due to Percolation in a Permeable Sea Bottom, Trans. A.G.U., Vol. 30, No. 3, pp. 349-356, 1949.
- 9) Reid, R.O. and Kajiura, K.: On the Damping of Gravity Waves Over a Permeable Sea Bed, Trans. A.G.U., Vol. 38, No. 5, pp. 662-666, 1957.
- 10) Bretschneider, C.L.: Modification of Wave Spectra on the Continental Shelf and in the Surf Zone, Proc. 8th Conf. on Coastal Eng., pp. 17-33, 1963.
- 11) テルツァギ・ベック著小野薫ら訳: 土質力学, 基礎編, p. 38, 昭 36.
- 12) 11) p. 41.
- 13) 岩垣雄一: 海岸および港湾の模型実験について, 海岸工学の最近の進歩, pp. 21-42, 昭 36.
- 14) 岩垣雄一・柿沼忠男: 秋田海岸の海底摩擦係数について, 第 9 回海岸工学講演会講演集, pp. 81-84, 昭 37.
- 15) 岩垣雄一・柿沼忠男: 秋田海岸における波浪推算の一例, 第 10 回海岸工学講演会講演集, pp. 25-30, 昭 38.
- 16) Bretschneider, C.L.: Generation of Wind Waves Over a Shallow Bottom, B.E.B. Tech. Memo. No. 51, pp. 1-24, 1954.