

現地海岸の海底摩擦係数について (2)

岩 垣 雄 一*・柿 沼 忠 男**

1. 緒 言

浅海における海岸波浪の予知法を確立するに際しては、現地海岸での海底摩擦係数の値が、波浪特性や海底の状態によってどのように変化するかを調べておくが必要になってくる。

著者らは、前報告¹⁾において、ブイを用いた波浪観測の結果にもとづいて、沖側と陸側の相対応する2点間の有義波高の減衰と波浪スペクトルの変形から、有義波法と波浪スペクトル法(この方法では、波浪スペクトルの各成分波は独立に伝達すると仮定した)によって求めた現地海岸での海底摩擦係数の値が、浅海における波浪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²⁾ 0.01 よりはるかに大きく、また、そうした値と波浪特性との間に特定の関係があることを見いだした。

著者らは、さらに、わが国各地の海岸で、比較的大きな波に対して海底摩擦係数を算出しよう資料を得た。すなわち、1964年11~12月に実施した鳥取県日吉津海岸での波浪観測では、有義波法による波浪資料の整理結果とデジタル計算機 KDC-1 によって求めた波浪スペクトルが得られ、1965年3月に実施した福井県高浜海岸での波浪観測では、有義波法による波浪資料の整理結果と周波数分析器を用いて求めた波浪スペクトルが得られた。

この研究は、有義波法と波浪スペクトル法によって、こうした両海岸での海底摩擦係数の値を算出するとともに、新たに平均波法によって算出した結果をも示し、比較的大きな波に対する海底摩擦係数と波浪特性との関係を見出だそうとしたものである。

2. 波浪の資料とその処理

(1) 日吉津海岸と高浜海岸の特性

a) 位置と海底地形 観測の対象とした日吉津海岸と高浜海岸は、それぞれ、北緯 $35^{\circ}45'$ 、東経 $133^{\circ}22'$ と北緯 $35^{\circ}30'$ 、東経 $135^{\circ}32'$ に位置している。等深線は、日吉津海岸では、ほぼ海岸線に平行に走っているが、高浜海岸では、かなり傾いている。図-1および2は、両

図-1 日吉津海岸位置図

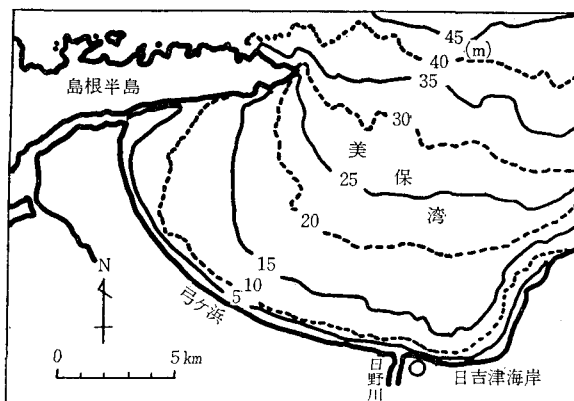
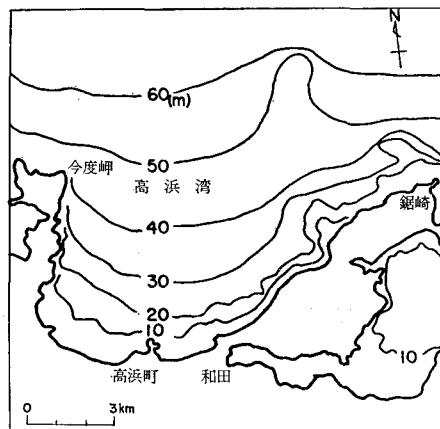


図-2 高浜海岸位置図



海岸の位置図、図-3および4は、等深線とともに波浪観測地点と砂れん測定地点や底質採取点の位置を、図-5および6は、波浪観測地点を結ぶ海底断面を示したものである。同図によれば、両海岸の海底は、ブイ No. 1とブイ No. 2の間はほぼ一様な勾配を示し、その間の平均海底勾配は、日吉津海岸では 6.03×10^{-3} 、高浜海岸では 5.72×10^{-3} である。

b) 砂れん 日吉津海岸では、波浪観測終了5日後の12月8日に、Inman³⁾ にならって、砂れんの特性を測定することを試みた。波浪観測終了後の4日間は、目視観測によってであるが、有義波高 50 cm、周期 10 sec

* 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所

** 正会員 理修 立命館大学助教授 理工学部

図-3 波浪観測地点および砂れん測定地点位置図
(日吉津海岸)

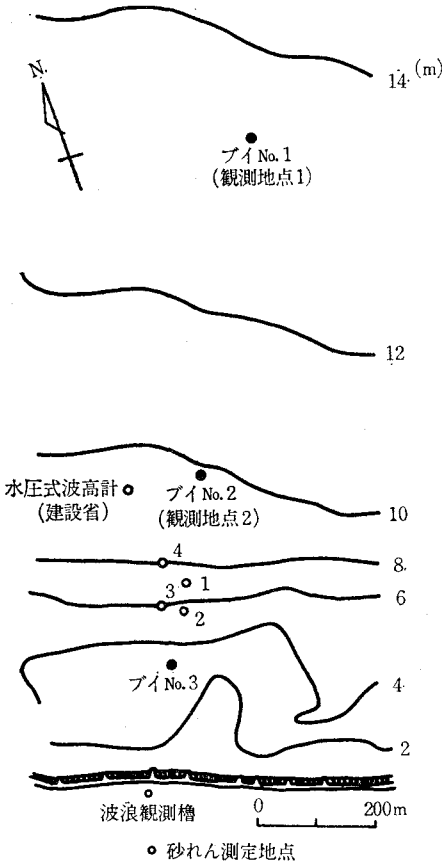


図-4 波浪観測地点および底質採取点位置図
(高浜海岸)

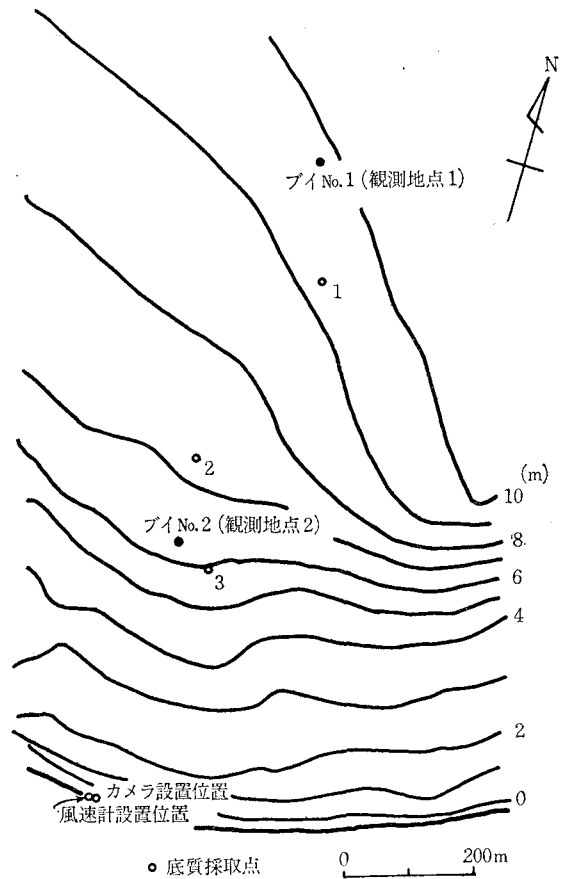


図-5 海底断面図 (プイ No. 2-1, 日吉津海岸)

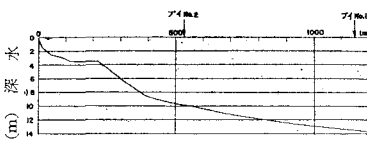


図-6 海底断面図 (プイ No. 2-1, 高浜海岸)

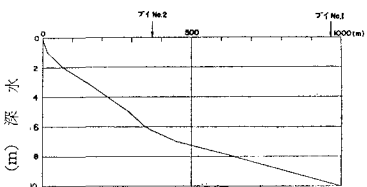
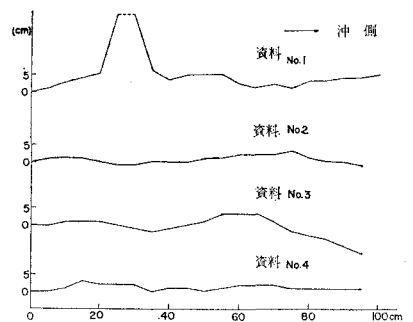


図-7 砂れんの測定結果 (日吉津海岸)



前後の波があった。図-7 は、砂れんの測定結果を示す。

(2) 波浪資料

波浪資料は、図-3 および 4 に示した位置にあるプイの上下運動を、1000 mm と 400 mm 望遠レンズ付きの 16 mm シネカメラによって、2 コマ/sec の速さで 15 分間撮影し、そのフィルムを、映写機あるいはナックモー

ションアナライザによって映写し、プイの上下運動を 2 コマごとに読みとった。表-1 および 2 は、両海岸で得た波浪資料と諸条件を示す。表-1 に示す風の資料は、観測地点から約 0.8 km 離れた日吉津小学校におけるもの、表-2 に示す風の資料は、波浪観測期間中、携帯用の自記風速風向計を海岸堤防上 (図-4) に設置して得たものであるが、風速風向計は、いずれも、ロビンソン 3 風杯型風速計と矢羽式風向計で、それぞれ、陸上 17 m および 2 m の高さに位置していた。また、表中に示す

表一 波浪資料と諸条件(日吉津海岸)

資料番号 () 観測地点 No.	有義波高 (cm)	有義波周期 (sec)	観測日時 (1964年12月)	波 向	風 向	風 速 (m/sec)
H'-1(1) H'-1(2)	1.77 1.95	9.1 9.9	2 13 36	N	E	1.2
H'-2(1) H'-2(2)	1.95 1.85	10.0 10.0	2 14 05	N	E	0.3
H'-3(1) H'-3(2)	2.36 2.13	10.6 10.5	2 14 34	N	E	2.5
H'-4(1) H'-4(2)	1.94 2.40	10.0 11.0	2 15 03	N	E	0.6
H'-5(1) H'-5(2)	2.02 1.98	10.1 9.6	2 15 27	N	N	1.3
H'-6(1) H'-6(2)	1.92 1.91	9.3 10.3	2 15 46	N	E	1.1
H'-7(1) H'-7(2)	2.31 2.15	13.0 14.0	3 13 49	NNE	E	7.1
H'-8(1) H'-8(2)	2.32 2.41	12.4 13.6	3 14 14	NNE	E	6.5
H'-9(1) H'-9(2)	2.23 2.47	14.6 15.5	3 14 34	NNE	E	4.8

(注) 水深(1):13.5m, (2):9.8m

表二 波浪資料と諸条件(高浜海岸)

資料番号 () 観測地点 No.	有義波高 (cm)	有義波周期 (sec)	観測日時 (1965年3月)	波 向	風 向	風 速 (m/sec)
T-1(1) T-2(2)	1.26 1.25	7.4 7.8	10 11 41	NNE	W	0.5
T-2(1) T-2(2)	1.11 1.13	7.2 7.3	10 13 17	NNE	WNW	0
T-3(1) T-3(2)	1.34 1.45	9.8 11.0	10 13 51	NNE	W	0
T-4(1) T-4(2)	1.29 1.56	9.0 10.4	10 14 14	NNE	SSW	0
T-5(1) T-5(2)	1.35 1.60	9.9 11.3	10 14 55	NNE	W	0
T-6(1)	1.16	8.7	10 15 14	NNE	W	0
T-7(1) T-7(2)	1.49 1.35	10.0 10.2	10 15 51	N	W	0
T-8(1) T-8(2)	1.37 1.63	9.9 10.7	10 16 30	N	SW	0
T-9(1) T-9(2)	1.39 1.38	11.4 12.5	11 11 00	N	W	0
T-10(1) T-10(2)	1.05 1.16	7.4 9.4	11 11 45	NNE	W	0
T-11(1) T-11(2)	1.46 1.34	11.9 11.0	11 14 40	NNE	ENE	0
T-12(1) T-12(2)	1.44 1.16	11.4 11.5	11 15 30	NNE	E	0

(注) 水深(1):9.8m, (2):6.3m

写真一 海面の状況(日吉津海岸)



波向は、目視観測によったものであるが、日吉津海岸では、美保航空自衛隊の協力を得て航空写真をとり、観測時の波の向きを知る若干の資料を得た。写真一は、そうして得た海面状況の一例を示したもので、撮影は、波浪資料 H'-7 を得る直前の 12 月 3 日 13 時 38~43 分にわたって行なった。

(3) 周波数分析器による波浪資料の処理

日吉津海岸の資料については、自由度をほぼ 25 とし、デジタル電子計算機 KDC-1 によって波浪スペクトルを求めたが、高浜海岸の資料については、上述の読みとり間隔での読みとり値を曲線で結び、それを解析資料として周波数分析器により波浪スペクトルを求めた。なお、波浪資料 T-1, 7, および 9 については、KDC-1 によっても解析を行なった。ここでは、用いた周波数分析器について簡単に説明し、ついでこれによって求めたスペクトルについて述べる。

a) 周波数分析器⁴⁾ この周波数分析器は、日本電気KK製のもので、有限長さの波の記録を、電氣的にフーリエ解析することからなりたっている。すなわち、まず、波を時間の関数として磁気テープに記録し、この磁気テープを増速再生して、一つのループを作る。つぎに、このループを連続的にくり返し再生しながら、そうした信号を、周波数範囲を一樣な速さで走査するほかの一つの信号で周波数変調し(ヘテロダイン方式)、こうしてできた波を固定帯域濾波器に通し、直線検波あるいは二乗検波して、amplitude spectrum あるいは power spectrum を得るわけで、主要な特性はつぎのとおりである。すなわち、分析周波数は 5~1 000 cps、走査時間は 2 000 sec および 4 000 sec、増速比は 100 および 1 000、帯域濾波器(水晶)の中心周波数は 20 Kc、帯域幅は 2 cps と 4 cps であるが、現在 10 cps および 20 cps を計画中である。また、ループのテープ速度は 75 in/s、テープ長は最大 12 sec (22.9 m)、最小 1 sec (1.9 m) である。

b) デジタル計算機 KDC-1 で得た波浪スペクトルとの比較 各地海岸で得た波浪資料ほぼ 20 個について比較し、最高のピークの現われる周波数は完全に一致し、また、きわめて低い周波数範囲を除けば、全体的な傾向も似ているという結果を得た。しかし、周波数分析器で得たスペクトルは変動が激しく(帯域濾波器の帯域幅:4 cps、ループ周期:1 sec)、海岸波浪の統計的性質を調べるには、これを平滑化して用いた方が都合がよいので、現在、帯域濾波器の帯域幅を広くすることによって⁵⁾、周波数分析器の自由度を高めて検討するよう計画中である。図-8 は、周波数分析器と KDC-1 から得た波浪スペクトルを、両者の最大ピークの高さのみを一致させ、縦軸には KDC-1 の値を目盛ってプロットした代表例である。

c) 周波数分析器で得たスペクトル密度の絶対値の決定

この決定については、(1) 周波数分析器で得たスペクトル密度の最大値を、KDC-1のその値とする、(2) 周波数分析器で得たスペクトルの面積 S が、KDC-1で得た同一周波数帯における variance に対応するものとして、周波数分析器で得た最高のピークを含んだせまい周波数帯でのスペクトルの面積を S と比較して決定する、(3) 正弦波では、variance と振幅との間に一定の関係があることを利用して決定する、の3方法を、各地海岸で得た波浪資料ほぼ20個について比較し、(1)と(2)による値は、それぞれ、(3)による値の1.3倍および1.7倍であるという結果を得た。

(4) 浅海における波浪スペクトルとその変形

図-9は、KDC-1で得た両海岸での波浪スペクトルと $E_f = f^{-2} \sim f^{-6}$ との比較を示したもので、(a)、(b)、は、それぞれ、日吉津海岸の観測地点1、2での資料、(c)は高浜海岸での資料を示す。図-9をみると、スペクトルのピーク付近の高周波側の形は、(a)と(b)では $f^{-4} \sim f^{-5}$ 、(c)では $f^{-3} \sim f^{-5}$ にほぼ平行であることがわかるが、こうした結果は、前報告¹⁾で示した結果とほぼ同一である。

図-10(a)~(c)は、KDC-1によって求めたものであるが、日吉津海岸で得た沖側と陸側の相対対応する2点での浅海における波浪スペクトルの変形を示し、図-10(d)~(f)は、帯域濾波器の帯域幅が4 cps、分析周波数が5~250 cps、走査時間が500 sec、ループ周期が1 secとして、周波数分析器で得た高浜海岸での結果を示す。

図-9 浅海における波浪スペクトルと $E_f = f^{-2} \sim f^{-6}$ の比較

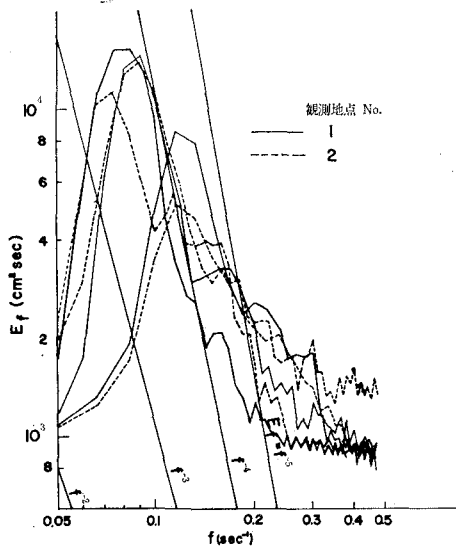
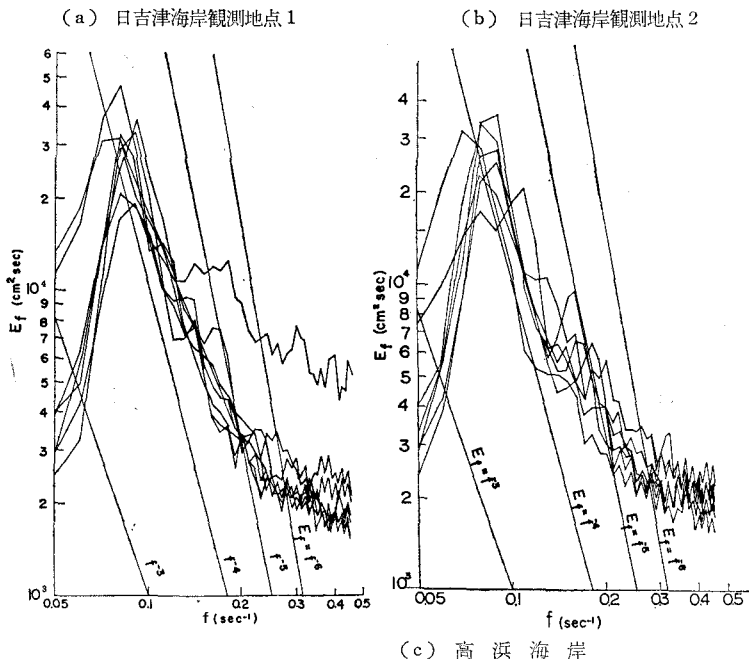
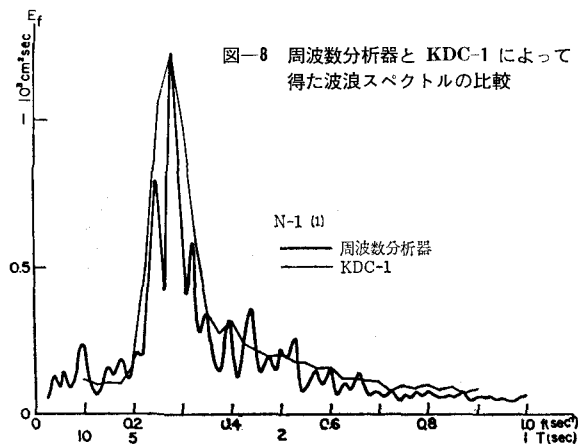


図-8 周波数分析器と KDC-1 によって得た波浪スペクトルの比較



3. 日吉津海岸と高浜海岸における海底摩擦係数の値

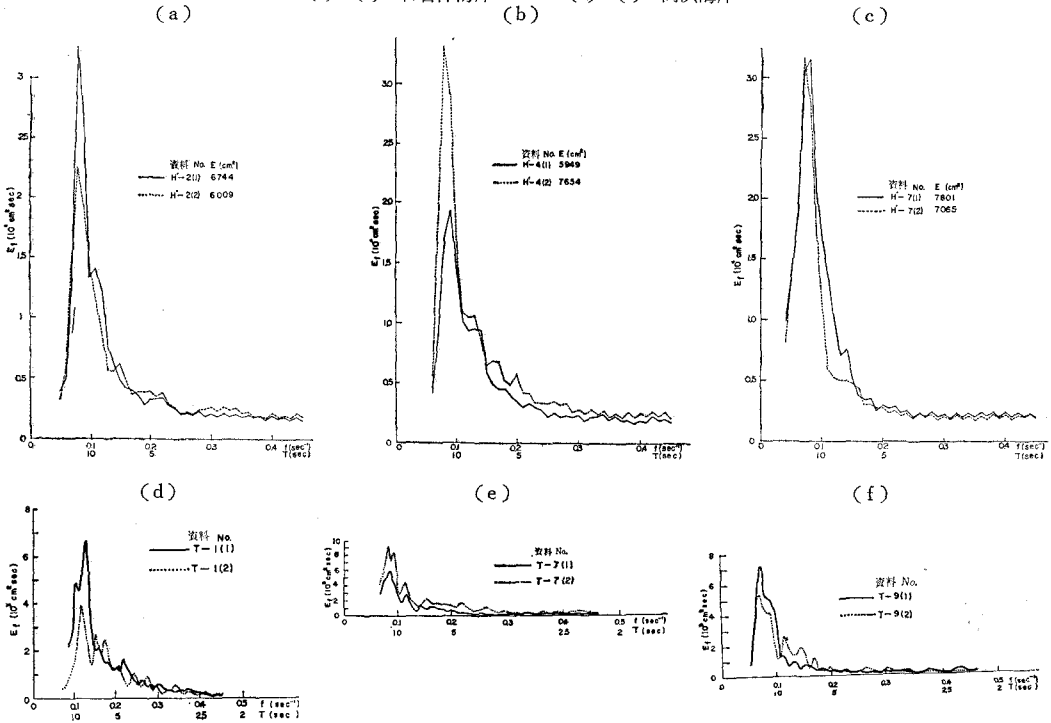
表-1に示した波浪資料 H'-1~9, T-1~12 を用い、前報告¹⁾と同様、有義波法と波浪スペクトル法によって、両海岸での海底摩擦係数を求めると同時に、平均波法によっても求める。なお、波浪スペクトル法では、沖側の波浪スペクトルのピークに対応する周期についてのみ解析した。

(1) 日吉津海岸における海底摩擦係数の値

a) 浅水係数 K_s に対する考察

この解析に用

図-10 浅海における波浪スペクトルの変形例
(a)~(c): 日吉津海岸 (d)~(f): 高根海岸



いた波の周期 6.9 sec~15.5 sec の範囲での観測地点 1, 2 における浅水係数 $(K_s)_1$, $(K_s)_2$ の値は 0.914~1.156 であって, $(K_s)_1$ は $T=7.5$ sec で, $(K_s)_2$ は $T=6.9$ sec で最小となる。また, $(K_s)_2/(K_s)_1$ の値は 0.998~1.067 であって, $T=6.9$ sec で最小となり, 単調に増加する。

b) 浸透効果による波高減衰係数 K_p に対する考察
著者らは, 1963 年にこの海岸で波浪観測を実施した際, 底質資料を採集し, 定水位透水試験を行なって, 透水係数 k の値が 0.029~0.0063 cm/sec であることがわかったが, これらの値を用いて各周期に対する K_p を求めると, いずれも, $K_p \approx 1.000$ となり浸透の効果は無視してよいという結果を得た。こうしたことから, 1964 年の日吉津海岸の観測では, 底質資料を採集せず, ここでは, 前年の結果を参考にして, $K_p=1$ とした。

c) 屈折係数 K_r に対する考察 表-1 に示した目視観測による波向にもとづいて, 屈折係数を求めた。H'-1~6 と H'-7~9 の解析には, それぞれ, 波向 N と NNE の場合の屈折係数を用いたが, 観測地点 1 での波向 N についての $(K_r)_2/(K_r)_1$ の値は 0.996~1.002 であり, NNE については 0.991~0.992 である。

d) 内部摩擦の効果に対する考察 観測時においては, 周期が 2 sec 以上の波に対して, 粘性のための内部摩擦による深海波の波高の減衰は無視してよいことがわかった。

e) 風の効果に対する考察 表-1 によれば, H'-1~6 では, 観測時における風速はほとんどなく, 風の効果は無視してよいと思われる。

また, H'-7 は 7.1 m/sec, E, H'-8 は 6.5 m/sec, E, H'-9 は 4.8 m/sec, E であるが, 有義波法における著者らの方法によって風の効果を調べると, 観測地点 1 から 2 までの有義波高の風による増分は 1% 以下であって, 風が波を発達させる効果は無視してよいと思われる。一方, 浅海における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では, 風が波を発達させる効果を見いだすことはきわめて困難である。

なお, H'-7~9 の観測中, 若干の白波が見られたが, 前報告¹⁾でのべたような理由から, 結局のところ, この解析においては, 風の効果は無視することにする。

f) 摩擦係数の算出 以上のことから, 前報告¹⁾式 (1) を用いて, 日吉津海岸での海底摩擦係数の値を求めた。海底摩擦係数 f の相対誤差 $|df/f|$ が 50% 以下のものについて, $h_N/L_N < 0.4$ (ここに, h_N : 陸側の波浪観測地点の水深, L_N : 陸側の有義波, 平均波, あるいは波浪スペクトルのピークに対応する成分波の波長) の場合の H'-1~9 の有義波法, 平均波法, および波浪スペクトル法による f の値は, 表-3 に示すとおりである。こうして求めた f の値は, いずれの方法によっても, 浅海における波浪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 よりかな

表—3 海底摩擦係数の値(日吉津海岸)

波浪資料	有義波法	平均波法	波浪スペクトル法	波浪資料	有義波法	平均波法	波浪スペクトル法
H'-1	—	0.03	—	H'-6	0.03	—	0.18
H'-2	0.06	0.17	0.07	H'-7	0.06	0.12	0.03
H'-3	0.07	0.14	0.06	H'-8	0.01	0.05	0.03
H'-4	—	—	—	H'-9	0.06	0.05	0.06
H'-5	0.04	0.07	0.04				

り大きい。

(2) 高浜海岸における海底摩擦係数の値

この解析では、波浪スペクトルは周波数分析器で得たものを用いる。このスペクトルは変動が激しく、周波数分析器の自由度を高めて、平滑化することが望ましいが、ここでは、そのままの値を用いて、前記方法で与えたスペクトル波高の値により、海底摩擦係数を算出した。

なお、T-1, 7 および 9 については、KDC-1 で得た波浪スペクトルをも用いた。

a) 浅水係数 K_s に対する考察 この解析に用いた波の周期 5.95 sec~13.3 sec の範囲での観測地点 1, 2 における浅水係数 $(K_s)_1$, $(K_s)_2$ の値は 0.914~1.19 であり、 $(K_s)_1$ は $T=6.5$ sec で、 $(K_s)_2$ は $T=5.95$ sec で最小となる。また、 $(K_s)_2/(K_s)_1$ の値は 1.010~1.095 であって、 $T=5.95$ sec で最小となり単調に増加する。

b) 浸透効果による波高減衰係数 K_p に対する考察 前報告¹⁾と同様にして、採集した底質(中央粒径約 0.17 mm)の透水係数を求め(ほぼ 1.18×10^{-2} cm/sec)、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) 屈折係数 K_r に対する考察 表—2 に示した目視観測による波向にもとづいて、屈折係数 K_r を求めた。T-1~5 および 10~12 と T-7~9 の解析には、それぞれ、波向 NNE と N の場合の屈折係数を用いたが、観測地点 1 での波向 NNE に対する $(K_r)_2/(K_r)_1$ の値は 1.014~0.996、N に対しては 0.995~0.997 である。

d) 内部摩擦の効果に対する考察 観測時においては、周期 2 sec 以上の波に対して、粘性のための内部摩擦による深海波の波高の減衰は無視してよいことがわかった。

e) 風の効果に対する考察 表—2 によれば、観測時において風はほとんどなく、T-1~12 では、風の効果は無視してよいと思われる。

f) 摩擦係数の算出 以上のことから、前報告¹⁾式(1)を用いて、高浜海岸での海底摩擦係数の値を求めた。 f の相対誤差 $|df/f|$ が 50% 以下のものについて、 $h_N/L_N < 0.4$ の場合の T-1~12 の有義波法、平均波法、および波浪スペクトル法による f の値は、表—4 に示すとおりであるが、いずれの方法によっても、Bretschneider が考慮した f の値 0.01 よりかなり大きい。

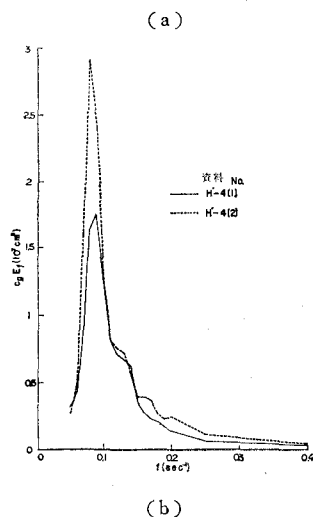
表—4 海底摩擦係数の値(高浜海岸)

波浪資料	有義波法	平均波法	波浪スペクトル法
T-1	0.03	0.01	0.15(0.10)
T-3	—	0.04	0.04
T-7	0.06	0.05	—(—)
T-9	0.03	0.06	0.06(0.08)
T-12	0.08	0.25	0.08

(注) 波浪スペクトル法は(3)の方法で求めた値を示し、() 内の値は KDC-1 によるものを示す。

以上、両海岸での解析では、波浪スペクトル法においては、沖側の波浪スペクトルのピークに対応する周期についてのみ解析して、海底摩擦係数を算出したが、日吉津海岸では、H'-1, H'-4, および H'-6 に対しては、算出方法によって陸側の波高が沖側の波高にくらべて過剰に大きい場合があり(こうした値のまま計算すると f の値が負になってしまう)、 f の値が求められなかった。どうして陸側の波高が沖側の波高にくらべて過剰に大きいのか、その理由はわからない。

図—11(a), (b) は、日吉津海岸の観測地点 1, 2 におけるスペクトル成分波の微小振幅波として求めた群速度 c_g と図—9(b), (c) に示した E_f との積 $c_g E_f$ を周波数 f に対してプロットしたもので、(a) は波浪資料 H'-4, (b) は波浪資料 H'-7 に対応する。この積 $c_g E_f$ は、成分波は独立に伝達するという仮定にもとづけば、単位幅単位時間あたりの成分波のエネルギー輸送量に比例する量となるが、こうした量は、H'-7 では、浅海領域において一般に沖側の値が大きいにくらべて、H'-4 では、深海、浅海を問わず、陸側の値が非常に大きいことがわかる。

図—11 浅海における $c_g E_f$ の変形例(日吉津海岸)

図—12 は、H'-4 および H'-7 に対する cross-covariance を示したものである

図-12 cross-covariance (日吉津海岸)

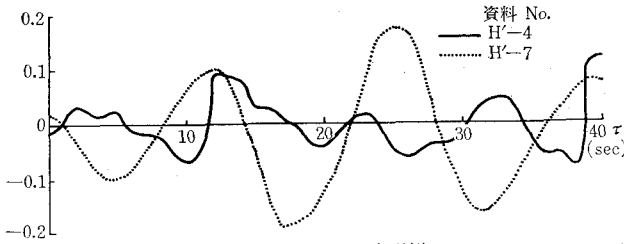
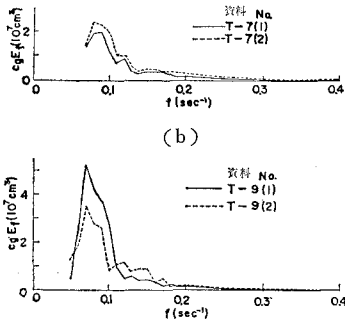


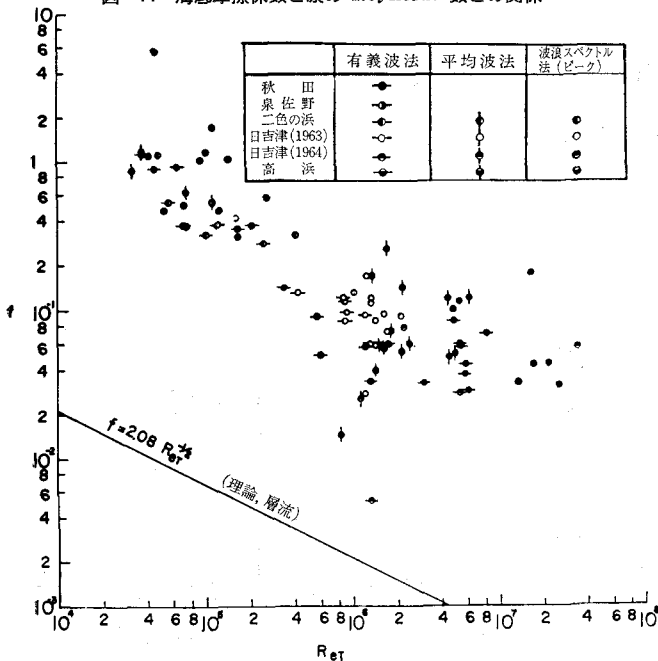
図-13 浅海における $c_g E_f$ の変形例 (高浜海岸)



が、この図をみると、 $H'-7$ では周期がほぼ 13 sec の比較的規則的な変動を示しているのにくらべ、 $H'-4$ では不規則的な変動を示していることがわかる。このことは陸側の方が波高が大きいことと関連があるかも知れないが、まだこれについて十分な考察をしていない。

また、高浜海岸においても算出の方法によっては f の値が求められない場合もあり、また T-2, 4, 5 および 8 のように 3 方法とも算出できない資料もあった。図-13

図-14 海底摩擦係数と波の Reynolds 数との関係



(a) および (b) は、それぞれ、T-7 および T-9 の $c_g E_f$ を示す。

4. 海底摩擦係数と波浪特性との関係

図-14 は、 $h_N/L_N < 0.4$ の波浪資料を用いて、秋田海岸、泉佐野海岸、日吉津海岸 (1963, 1964)、二色の浜海岸、および高浜海岸で求めた海底摩擦係数 f のうち、 $|df/f|$ が 50% 以下のものを、波の Reynolds 数 Re_T に対してプロットしたもので、層流境界層理論によって求めた f と Re_T との Eagleson の関係式も記入してある。

なお、波浪スペクトル法によるものは、スペクトルのピークから求めた f の値だけをプロットし、周波数分析器によった高浜海岸でのものは、KDC-1 で求めた f の値にもっとも近い (2) の方法で求めたものをプロットした。

図-14 をみると、求めた f の値は、有義波法、平均波法、波浪スペクトル法のいずれによっても、 $Re_T < 2 \times 10^6$ の範囲では、 Re_T が大きいほど小さくなる傾向があり、波浪スペクトル法によって求めた f の値はかなりばらついていて、 Re_T の値が 2×10^4 から 2×10^6 へ増大するにつれて、層流境界層にもとづく理論値のほぼ 20~600 倍から 10~70 倍になっていることがわかる。

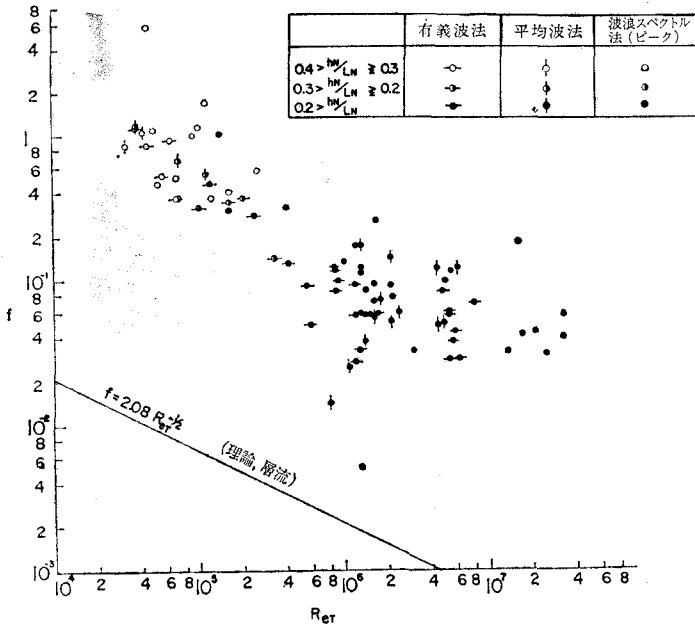
また、 $Re_T \geq 2 \times 10^6$ の範囲では、 f は Re_T の値に関係なく、一定の値 0.03~0.1 を示す。この領域はいわゆる quadratic drag の領域で、海底の粗度だけが重要となるであろう。

図-15 は、図-14 に示した f の値を、 h_N/L_N によって区別してプロットしたものである。この図をみると、 Re_T の値が小さくて f の値が大きい点は、 h_N/L_N が比較的大きい場合であることがわかる。いま、便宜的ではあるが、 $h_N/L_N < 0.2$ の場合にのみ着目すれば、図-14 に示した f の値は、かなりまとまった傾向を示し、 Re_T の値が 10^5 から $(1 \sim 2) \times 10^6$ へ増大するにつれて、層流境界層にもとづく理論値のほぼ 60~200 倍から 15~70 倍になり、 $Re_T \geq (1 \sim 2) \times 10^6$ では、 f の値はほぼ一定となることがわかる。

図-16 (a), (b), および (c) は、図-15 から、それぞれ、波浪スペクトル法、有義波法、および平均波法によって求めた f の値をとり出してプロットしたものである。

なお、図-17 は、波浪スペクトル法で求めた日吉津海岸 (1963) での f の値と成分波の Re_T との関係を資料別にプロットしたもので、スペクトルのピークに対応する値は黒丸で示してある。

図-15 h_N/L_N によって区分した f と R_{eT} との関係

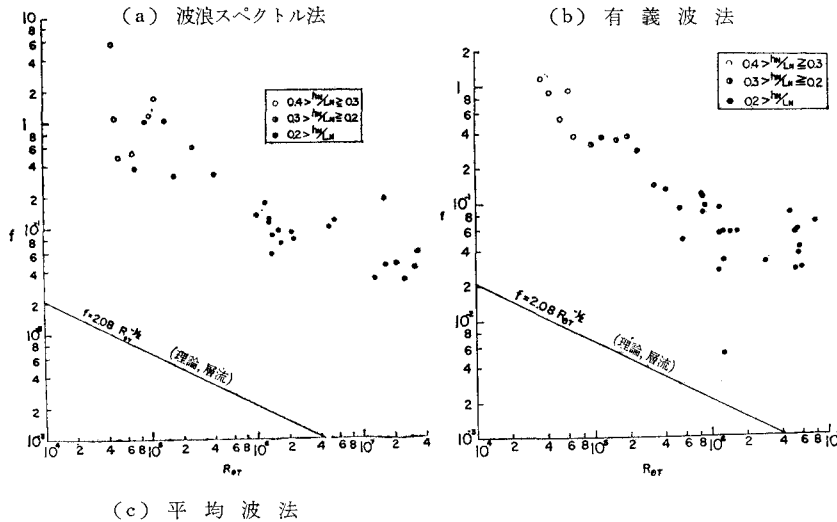


5. 結 語

以上、著者らは比較的大きな波に対する日吉津海岸と高浜海岸での波浪観測の結果を用いて、両海岸での海底摩擦係数を求めると同時に、各地海岸で求めた海底摩擦係数と波浪特性との関係を調べた。

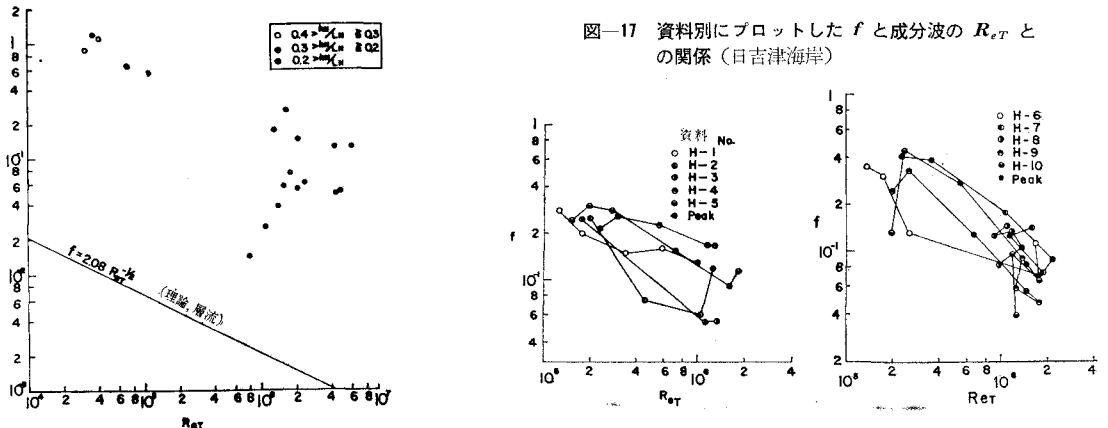
その結果、波浪スペクトル法、有義波法、および平均波法で求めた各地海岸の海底摩擦係数の値は(相対誤差: 50%以下)、いずれも、浅海における波浪予知法を確立するに際して Bretschneider が考慮した値 0.01 よりはるかに大きいことを見いだした。さらに、そうした海底摩擦係数 f の値と波の Reynolds 数 R_{eT} の間には、つぎのような普遍的な関係があることがわかった。 $h_N/L_N < 0.2$ の資料についてみると、(1) 有義波法に

図-16 h_N/L_N によって区分した f と R_{eT} との関係



おいては、 $1.2 \times 10^5 \leq R_{eT} < 10^6$ では、 $0.37 \geq f > 0.027 \sim 0.091$ 、 $10^6 \leq R_{eT} < 8 \times 10^6$ では、 f の値は Reynolds 数の値に関係なく一定で、いわゆる quadratic drag の領域を示し、その値は、 $f = 0.027 \sim 0.091$ であり、(2) 波浪スペクトル法においても同様な傾向がみられ、 $1.4 \times 10^5 \leq R_{eT} < (1 \sim 2) \times 10^6$ では $0.31 \sim 1.00 \geq f > 0.052 \sim 0.17$ 、 $(1 \sim 2) \times 10^6 \leq R_{eT} < 3.3$

図-17 資料別にプロットした f と成分波の R_{eT} との関係(日吉津海岸)



$\times 10^7$ では、 f の値は Reynolds 数の値に関係なく一定で、その値は、 $f=0.032\sim 0.18$ である。

従来、著者らは、ブイを用いた波浪観測を実施し、二次元波浪スペクトルによって現象を記述してきたが、現在、長大栈橋に6台の波高計を設置して、精度を上げた波浪観測を行なうよう計画中である⁶⁾。海底摩擦の現象を含めた波の変形に関しては、Tick⁷⁾ や浜田⁸⁾ が示唆した nonlinear random wave model にそっての研究を考慮するとともに、とくに、日吉津海岸や高浜海岸において現われた説明できないような現象を含めて、auto-spectrum だけでなく cross-spectrum や方向スペクトルを求めて⁹⁾、浅海における波浪スペクトルの変形に関して、現地観測にもとづいた十分な検討を加えていきたいと思う。

最後に、この研究を行なうにあたり、日吉津海岸での波浪観測に際しては、建設省倉吉工事事務所および美保航空自衛隊の方々に絶大なご援助をいただき、高浜海岸での波浪観測に際しては、福井県および高浜町役場の方々に絶大なご援助をいただいた。また、資料の整理や計算に際して、建設省近畿地方建設局の宮井 宏氏と防災研究所の人見哲夫技官には大いに助力をいただいた。ここに心から感謝する次第である。なお、この研究は文部

省特別事業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) 岩垣雄一・柿沼忠男・宮井 宏：現地海岸における海底摩擦係数について、第12回海岸工学講演会講演集、昭 40. 11, pp. 35-40.
- 2) Bretschneider, C.L.: Generation of Wind Waves over a Shallow Bottom, B.E.B. Tech. Memo. No. 51, 1954, pp. 1-24.
- 3) Inman, D.L.: Wave-Generated Ripples in Nearshore Sands, B.E.B. Tech. Memo. No. 100, 1957, pp. 1-42.
- 4) 岩垣雄一・樋口明生・柿沼忠男・宮井 宏：海岸波浪の周波数分析器による解析、京都大学防災研究所年報第9号、昭 41.3, pp. 703-713.
- 5) Caldwell, J.M. and L.C. Williams: The Beach Erosion Board's Wave Spectrum Analyzer and Its Purpose, Proc. Conf. Ocean Wave Spectra, 1963, pp. 259-266 および浜田徳一氏からの書簡.
- 6) 岩垣雄一：長大栈橋による沿岸海況の観測、沿岸海洋研究ノート、第5巻第1号、投稿中.
- 7) Tick, L.J.: Nonlinear Probability Models of Ocean Waves, Proc. Conf. Ocean Wave Spectra, 1963, pp. 163-169.
- 8) Hamada, T.: On the f^{-5} Law of Wind-Generated Waves, Report of Port and Harbour Technical Research Institute, Report No. 6, June 1964, pp. 1-16.
- 9) Barber, N.F.: The Directional Resolving Power of an Array of Wave Detectors, Proc. Conf. Ocean Wave Spectra, 1963, pp. 137-150.