

二色の浜海岸における波浪観測について

樋口 明生・柿沼 忠男

ON WAVE OBSERVATIONS AT NISHIKINOHAMA COAST

By Haruo HIGUCHI and Tadao KAKINUMA

Synopsis

Forecasting shallow water ocean waves is one of the most important problems in coastal engineering at present. Nevertheless among the characteristics of shallow water ocean waves, the wave height reduction due to bottom friction is not well known.

To make clear the transformation of shallow water ocean waves for relatively small waves, the wave observations were made at Nishikinohama Coast in 1964.

This paper presents the results of wave observations analyzed both by the significant wave method and the wave spectrum method.

Eight wave data at the corresponding two or three stations could be obtained at Nishikinohama Coast and all the wave data are compared with the theoretical values obtained by Longuet-Higgins.

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ことが必要になってくる。

著者らは、そうした海底摩擦係数と波浪特性との関係を見出すために、日本各地の海岸で波浪観測を実施してきたが、これまで、比較的小さな波に対する資料を得ることができなかった^{1)~3)}。

そこで、著者らは、ひきつづいて、1964年1月28日から2月6日まで大阪府二色の浜海岸で波浪観測を実施して、比較的小さな波に対する資料を得た。

この論文では、そうした波浪資料を有義波法および波浪スペクトル法で整理した若干の結果を示して、こうした方面の研究の参考に供したいと思う。

2. 波 浪 の 資 料

(1) 二色の浜海岸の位置、海底地形、および底質

二色の浜海岸の位置および海底地形：観測の対象とした二色の浜海岸は、北緯 $34^{\circ}26'$ 、東経 $135^{\circ}20'$ に位置し、等深線はほぼ海岸線と平行に走っている。Fig. 1 は、二色の浜海岸位置図、Fig. 2 は、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、Fig. 3 は、ブイ No. 1, 2, 3 および 4 を結ぶ海底断面を示したものである。Fig. 3 によれば、二色の浜海岸の海底は、ブイ No. 1 とブイ No. 3 の間はほぼ一様な勾配を示し、その間の平均海底勾配は 3.66×10^{-3} であり、ブイ No. 3 と 4 の間の平均海底勾配は 1.81×10^{-2} である。

底質：1964年1月29日に採取してえた底質資料11コから、それぞれ 100gr 前後をとりだし、自動ふるい分

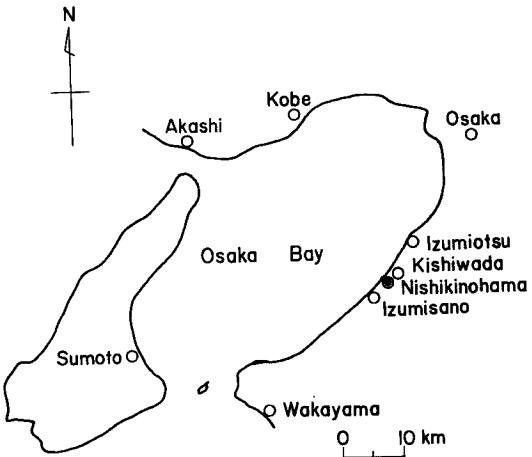


Fig. 1 Topographic map of Nishikinohama Coast.

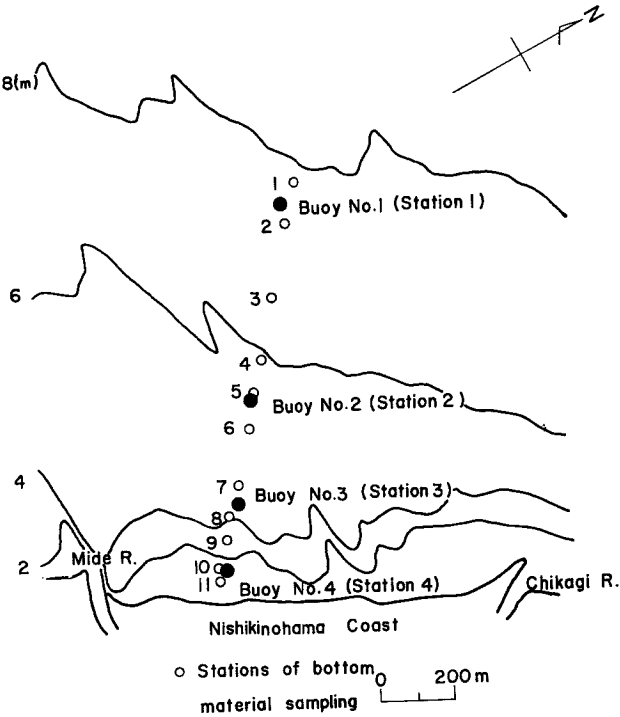


Fig. 2 Stations of wave observation and bottom material sampling.

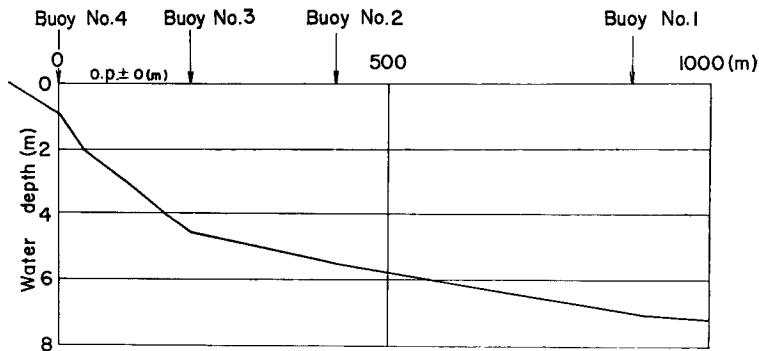


Fig. 3 Bottom profile (Buoys Nos. 4-3-2-1).

け器によって15分間ふるい分けた。用いたふるいは、コンクリート標準ふるいおよび土質試験用標準ふるいで、その大きさは 1.20mm, 0.85mm, 0.60mm, 0.40mm, 0.30mm, 0.15mm, 0.11mm, 0.088mm, 0.075mmである。Fig. 2はそうした底質の採取点を示したものであり、Table 1は底質の特性を示したものである。

Table 1 Size-distributions of bottom material.

Bottom sampling number		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Median diameter	d_{50} (mm)	0.782	0.242	0.435	0.341	0.516	0.390	0.270	0.137	0.145	0.139	0.220
	ϕ_{50} (ϕ -scale)	0.35	2.05	1.20	1.55	0.95	1.36	1.88	2.86	2.78	2.85	2.18
Standard deviation σ_{ϕ} (ϕ -scale)		-1.37	-1.62	-1.42	-1.40	-1.43	-1.46	-1.19	-0.49	-0.48	-0.26	-0.32
d_{10} (mm)		0.870	0.130	0.153	0.150	0.153	0.140	0.130	0.103	0.113	0.122	0.159
d_{60}/d_{10}		1.2	3.1	4.9	3.1	6.3	4.1	2.6	1.5	1.4	1.2	1.5

(2) 波 浪 資 料

波浪資料は、Fig. 2に示した位置にあるブイ No. 1, 2, 3, 4の上下運動を、1,000mm および400mm 望遠レンズ付きの16mm 撮影機によって、2コマ/secの速さで撮影し、10~15分間の同時観測をして得たフィルムを、映写機 (Elmo DM16mm 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、ブイの上下運動を読みとることによって得た。Table 2は二色の浜海岸で得た波浪資料と諸条件を示す。Table 2中に示す風の資料は、観測地点から約4.6km はなれた岸和田港におけるものである。なお、ブイは泉佐野海岸で使用したものと同一で、ブイの旗の大きさは60cm×60cmであるが²⁾、Table 3はブイの旗の映写時の大きさを、たての一辺の値で示したものである。記録の全長に対するそうした代表値と波浪スペクトルを得るのに用いた5分間の記録に対する代表値とを求めたわけであるが、両者の値が異なっている場合には、後者の値を()内に示してある。

a) 有義波法による整理 Table 4は各波浪資料からとり出した波の個数を示す。表中、(i)の()内の数字は、記録の全長をmin単位であらわしたものであり、(ii)は波浪スペクトルの解析に用いた資料に対応するもので、記録の長さは5minである。

Table 5は、Table 4の(i)と(ii)に対応して求めた各種平均波を示す。Fig. 4(a), (b), (c)は、

Table 2 Wave data and conditions

Data number ()Station No	Water depth (m)	Significant wave		Date and time (1964)	Wave direction	Wind at Kishiwada Harbor		
		Height (cm)	Period (sec)			Direction	Speed (m/sec)	Compoment of wind speed to wavedirection (m/sec)
N-1(1)	8.6	76.6	3.4	31st Jan., 1620	WNW	WNW	8.5	8.5
N-1(2)	7.1	71.8	3.3					
N-1(3)	6.2	65.2	3.4					
N-2(1)	8.6	87.0	3.9	31st Jan., 1710	WNW	NW	11.1	10.3
N-2(2)	7.1	87.5	3.9					
N-2(3)	6.2	76.3	3.8					
N-3(1)	8.9	76.4	3.9	1st Feb., 1130	WNW	WNN	7.3	7.3
N-3(2)	7.4	71.7	3.7					
N-4(1)	8.7	85.9	3.9	1st Feb., 1230	WNW	NW	9.4	8.7
N-4(2)	7.2	81.0	3.6					
N-5(1)	8.4	89.2	3.9	1st Feb., 1420	WNW	WNW	7.5	7.5
N-5(2)	6.9	80.3	4.6					
N-6(2)	7.2	76.9	3.5	4th Feb., 1140	NNW	NNE	6.9	4.8
N-6(3)	6.3	69.7	3.5					
N-6(4)	2.7	57.3	3.3					
N-7(2)	6.9	58.3	3.1	4th Feb., 1540	NW	NNE	6.2	2.4
N-7(3)	6.0	50.6	3.0					
N-7(4)	2.4	42.0	3.1					
N-8(2)	6.7	62.9	3.2	4th Feb., 1640	NW	NNE	5.5	2.1
N-8(3)	5.8	48.5	3.2					
N-8(4)	2.2	50.6	3.2					

Table 3 Scales of projected flag.

Data number	N-1(1)	N-1(2)	N-1(3)	N-2(1)	N-2(2)	N-2(3)	N-3(1)	N-3(2)
Scale of projected flag (cm)	4.15	8.36 (8.32)	5.71 (5.55)	4.04	7.96	5.58 (5.69)	4.00 (4.02)	7.82 (7.84)

Data number	N-4(1)	N-4(2)	N-5(1)	N-5(2)	N-6(2)	N-6(3)	N-6(4)	N-7(2)
Scale of projected flag (cm)	4.05	8.07	3.93 (3.90)	7.98 (7.95)	3.12	5.77 (5.74)	17.04	2.98

Data number	N-7(3)	N-7(4)	N-8(2)	N-8(3)	N-8(4)
Scale of projected flag (cm)	5.67 (5.60)	16.96	3.06 (3.04)	5.89	16.89 (16.87)

Table 5 にあらわした (i) と (ii) に対応する各種平均波高を比較したものである。この図をみると、波浪スペクトルの解析に用いた資料 (ii) (記録の長さ：5 min) から算出した各種平均波高は、たいていの場合、**Table 4** の (i) の () 内に示した時間での資料 (i) (記録の長さ：5.6 min~14.8 min) から算出した値のほぼ±10%以内にあることがわかる。

Fig. 5 は、**Table 5** にあらわした (i) の資料から、 $\sqrt{E}$ (b) でのべるような 600 コの読みとり値の variance の 2 倍の平方根) に対する有義波高 $H_{1/3}$ 、および有義波高 $H_{1/3}$ に対する平均波高 H_{mean} 、1/10 最大波高 $H_{1/10}$ および最大波高 H_{max} の関係を、観測地点を区別して求めたものである。図中の理論直線は Longuet-Higgins⁴⁾ によるものであるが、**Fig. 5** によれば、観測地点とは関係なく、つぎの関係式が得られる。

$$H_{1/3} = 2.50 \sqrt{E}, \dots\dots\dots (1)$$

$$H_{\text{mean}} = 0.63 H_{1/3}, \dots\dots\dots (2)$$

$$H_{1/10} = 1.22 H_{1/3}, \dots\dots\dots (3)$$

$$H_{\text{max}} = 1.60 H_{1/3} \pm 20\%, \dots\dots\dots (4)$$

Fig. 6 は、**Table 5** にあらわした (i) の資料から、有義波周期 $T_{1/3}$ と平均周期 T_{mean} および波浪スペクトルのピークに対応する周期 T_{f_0} の関係をあらわしたものである。この図から、 $T_{\text{mean}} \approx 0.86 T_{1/3}$ および $T_{1/3} = 0.91 T_{f_0}$ という関係が得られる。なお、**Fig. 6** (b) には、Darbyshire⁵⁾ が北大西洋での数多くの嵐における波についてえた関係式、 $T_{1/3} = 0.88 T_{f_0}$ をもプロットしてある。

b) 波浪スペクトル法による整理 波浪スペクトルの計算は Tukey の計算法 (1949)⁷⁾ を用いて、京都大学の電子計算機 KDC-1 によって行なった。記録の読みとり間隔は 0.5 sec にとり、読みとり個数を 600 コ、lag を 40 として、自由度はほぼ 30 とした。

Fig. 7 は、二色の浜海岸で得た沖側と陸側の対応する 2~3 点での浅海における波浪スペクトルの変形を示す。図中、(1), (2), (3) および (4) は、それぞれ、観測地点 1, 2, 3 および 4 で得た資料をあらわし、E の値が併記してある。

Table 6 は、二色の浜海岸で得た各波浪資料について、波浪スペクトルの各成分波の周期 T_f と有義波周期 $T_{1/3}$ に対する h/L (h : 各波浪観測地点での水深、 L : T_f あるいは $T_{1/3}$ に対する各波浪観測地点での波長) を示したものである。

Fig. 7 と **Table 2** をみると、 h/L の値が 0.5 に近く、深海波とみなせるような T_f および $T_{1/3}$ の場合にも、沖側と岸側の相対応する 2~3 点間の spectral energy および有義波高に、かなりの減衰があることがわかる。こうした減衰は、観測時における海面観測および **Table 2** に示した風の資料から、white cap によって生じたとも思われるが、どのような理由によって生じたかを解明することは、真の海底摩擦係数を算出する場合に、きわめて重要な問題であろう。

Fig. 8 は、この解析で求めた波浪スペクトルと $E_f = f^{-3}$, f^{-4} , f^{-5} および f^{-6} との比較を示したもので、(a) は観測地点 1, 2 での資料、(b) は観測地点 3, 4 での資料を示す。**Fig. 8** をみると、解析で得

Table 4 Number of waves in each wave datum

Data number	Numbers of waves	
	(i)	(ii)
N-1 (1)	266 (13.2)	101
N-1 (2)	274 (13.4)	105
N-1 (3)	250 (13.0)	98
N-2 (1)	232 (14.8)	87
N-2 (2)	193 (10.4)	84
N-2 (3)	175 (10.2)	87
N-3 (1)	243 (14.4)	84
N-3 (2)	261 (13.3)	99
N-4 (1)	215 (13.0)	82
N-4 (2)	226 (10.3)	93
N-5 (1)	110 (5.7)	92
N-5 (2)	92 (5.0)	84
N-6 (2)	270 (14.3)	97
N-6 (3)	257 (13.7)	93
N-6 (4)	274 (13.7)	93
N-7 (2)	270 (11.4)	104
N-7 (3)	256 (12.1)	99
N-7 (4)	321 (13.7)	105
N-8 (2)	287 (14.7)	101
N-8 (3)	298 (14.4)	101
N-8 (4)	271 (14.3)	94

Table. 5 Data of various mean waves.

	N-1 (1)	N-1 (2)	N-1 (3)	N-2 (1)	N-2 (2)	N-2 (3)	N-3 (1)	N-3 (2)	N-4 (1)	N-4 (2)	N-5 (1)	N-5 (2)	N-6 (2)	N-6 (3)	N-6 (4)	N-7 (2)	N-7 (3)	N-7 (4)	N-8 (2)	N-8 (3)	N-8 (4)
$H_{1/3}$																					
(i)	76.6	71.8	65.2	87.0	87.5	76.3	76.4	71.7	85.9	81.0	89.2	80.3	76.9	69.7	57.3	58.3	50.6	42.0	62.9	48.5	50.6
(ii)	78.1	72.2	63.8	89.1	91.2	76.0	76.7	66.5	77.0	86.3	91.8	78.0	81.0	60.5	61.4	56.3	51.4	38.4	71.1	52.6	50.2
$H_{K/10}$																					
(i)	94.0	87.6	79.9	102.9	105.4	88.2	93.0	86.8	99.2	100.3	114.1	98.6	92.3	83.2	70.0	74.4	61.2	53.2	82.2	81.3	82.2
(ii)	86.6	90.0	80.0	101.9	111.2	90.6	92.3	82.7	90.3	107.9	119.4	95.5	100.6	88.8	73.8	71.4	65.3	47.0	93.0	66.6	60.3
H_{max}																					
(i)	167.7	102.0	115.6	124.7	144.8	120.4	114.0	105.9	124.4	124.8	143.5	118.8	115.4	110.2	101.4	106.5	76.2	70.0	113.7	90.7	75.3
(ii)	96.9	102.4	95.1	109.9	144.8	118.1	98.5	93.4	109.5	119.0	144.6	107.2	112.2	110.8	101.4	84.4	70.7	58.1	114.5	90.7	66.9
H_{mean}																					
(i)	50.6	46.7	45.2	69.2	59.3	54.7	53.4	48.3	55.6	43.8	56.9	54.7	51.9	45.8	37.6	36.2	34.0	27.0	41.0	32.8	34.5
(ii)	51.3	44.0	44.3	63.1	61.1	54.4	54.6	45.2	54.8	46.1	57.8	52.9	52.2	40.8	41.2	36.8	36.6	25.7	45.6	36.8	35.4
$T_{1/3}$																					
(i)	3.4	3.3	3.4	3.9	3.9	3.8	3.9	3.7	3.9	3.6	3.9	4.6	3.5	3.5	3.3	3.1	3.0	3.1	3.2	3.2	3.2
(ii)	3.4	3.3	4.6	4.0	3.8	3.7	3.9	3.6	3.9	3.7	4.0	3.7	3.3	2.9	3.3	2.9	3.0	3.2	3.3	3.2	3.2
$T_{1/10}$																					
(i)	3.4	3.3	3.6	3.8	3.8	3.8	3.8	3.7	3.9	3.6	4.2	3.8	3.5	3.4	3.4	3.2	3.0	3.1	3.3	3.1	3.1
(ii)	3.4	3.4	3.6	4.0	3.7	3.7	3.6	3.6	3.6	3.9	4.2	3.8	3.0	3.4	3.4	2.9	.9	3.1	3.1	3.2	3.1
T_{max}																					
(i)	4.0	3.7	3.6	3.6	3.9	3.8	4.2	4.0	4.0	3.9	3.8	4.1	3.9	3.6	3.7	7.1	1.2	2.8	3.0	3.0	3.9
(ii)	3.3	3.7	3.2	5.0	3.9	3.8	3.6	3.2	3.4	5.4	3.8	3.7	2.8	3.6	3.7	2.8	3.3	3.1	3.0	3.0	4.0
T_{mean}																					
(i)	3.0	2.9	3.1	3.8	3.2	3.5	3.4	3.1	3.6	2.7	3.1	3.2	3.2	3.2	3.0	2.5	2.8	2.6	3.1	2.9	3.2
(ii)	2.9	2.8	3.0	3.3	3.2	3.4	3.5	3.0	3.6	3.1	3.1	3.2	3.1	2.8	3.1	2.5	2.9	2.8	2.9	3.0	3.2

(Note 1) T_{max} : Wave period of H_{max} -wave (Note 2) H : cm, T : sec

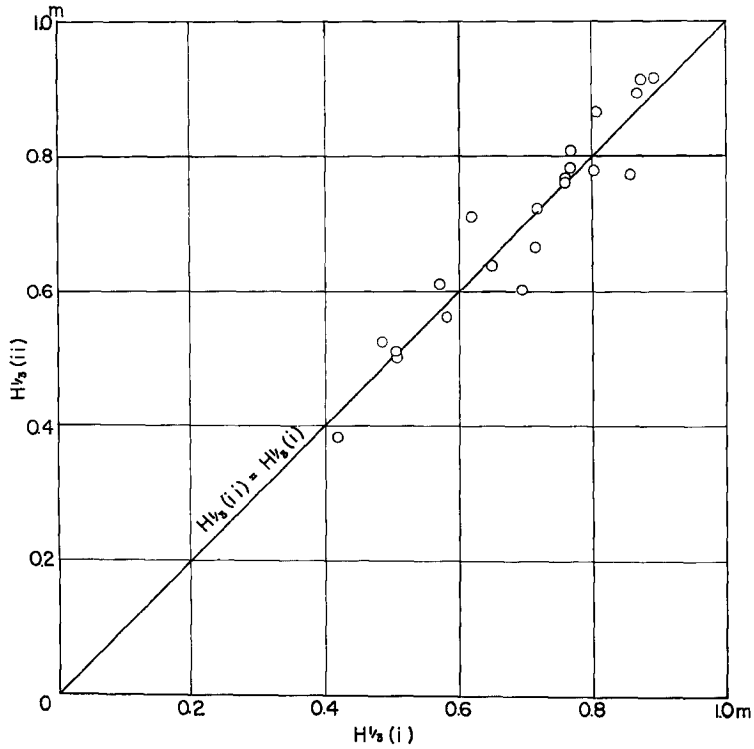


Fig. 4 (a). Comparison between $H_{1/3}$ for (i) and (ii) in Table 4 .

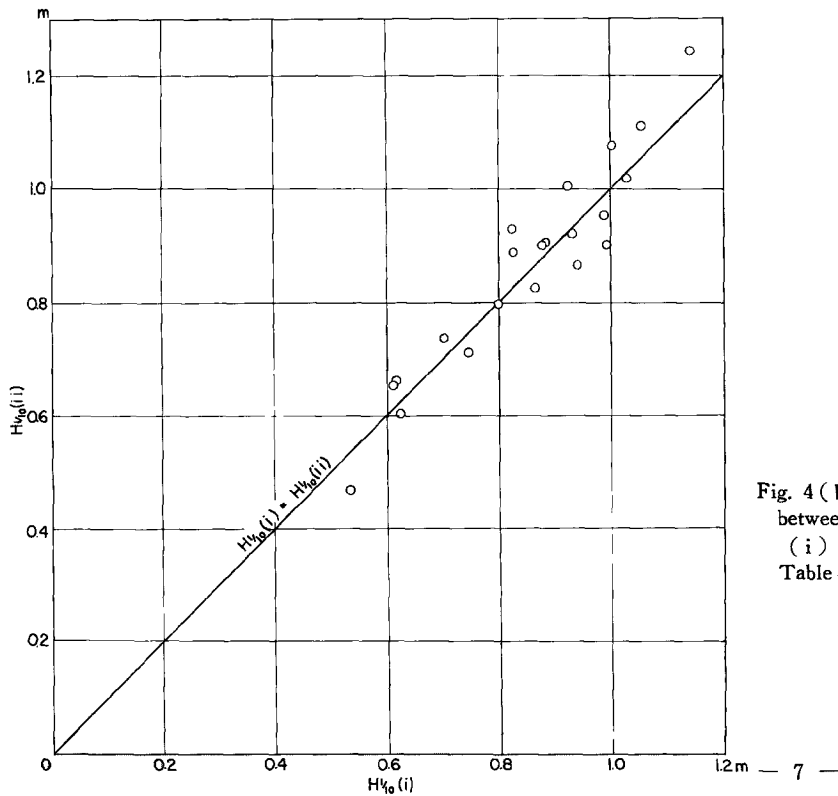


Fig. 4 (b). Comparison between $H_{1/10}$ for (i) and (ii) in Table 4 .

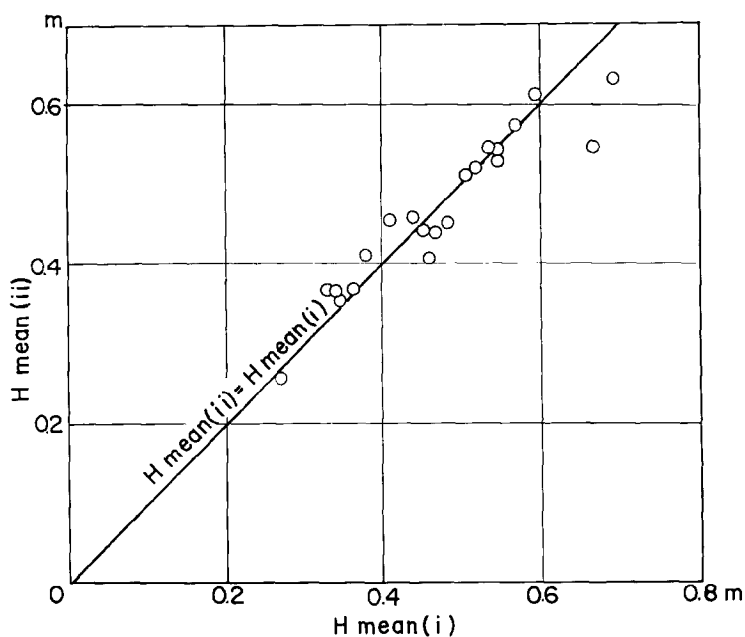


Fig. 4 (c). Comparison between H_{mean} for (i) and (ii) in Table 4.

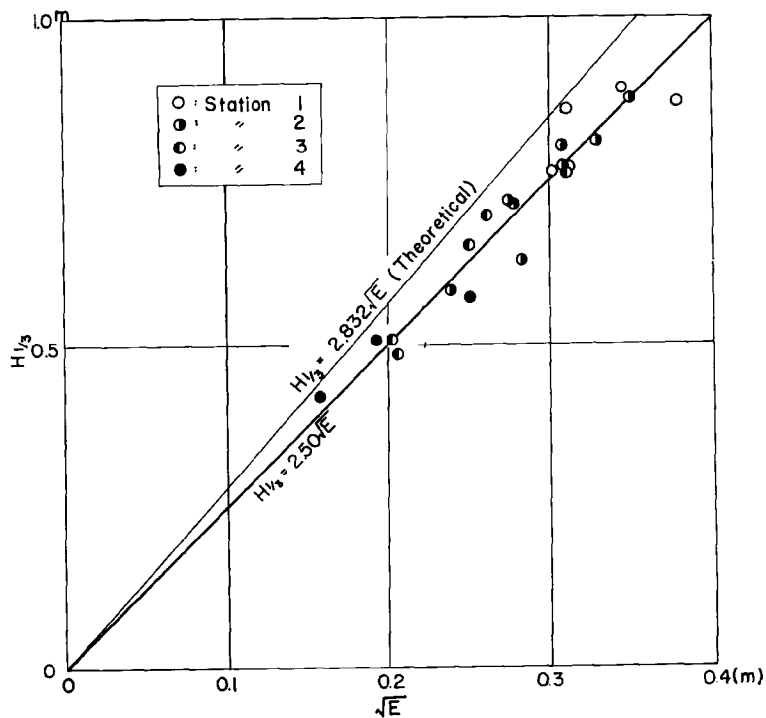
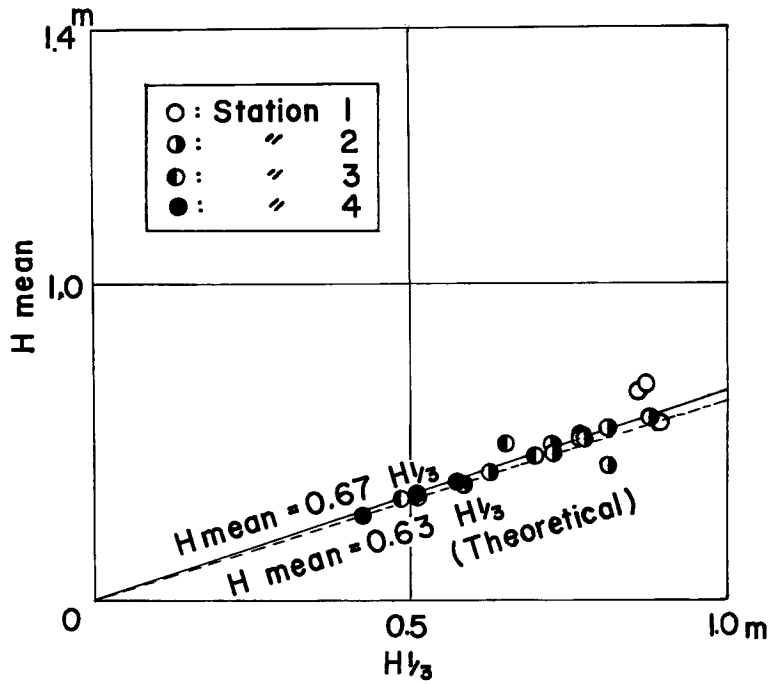
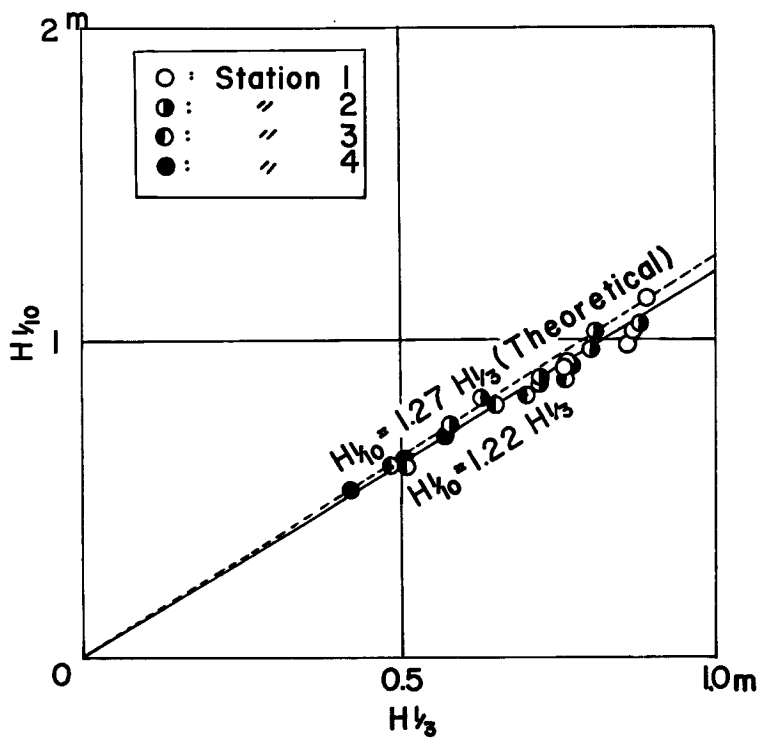


Fig. 5 (a). Relationship of $H_{1/3}$ against $\sqrt{E}$.

Fig. 5 (b). Relationship of H_{mean} against $H_{1/3}$.Fig. 5 (c). Relationship of $H_{1/10}$ against $H_{1/3}$.

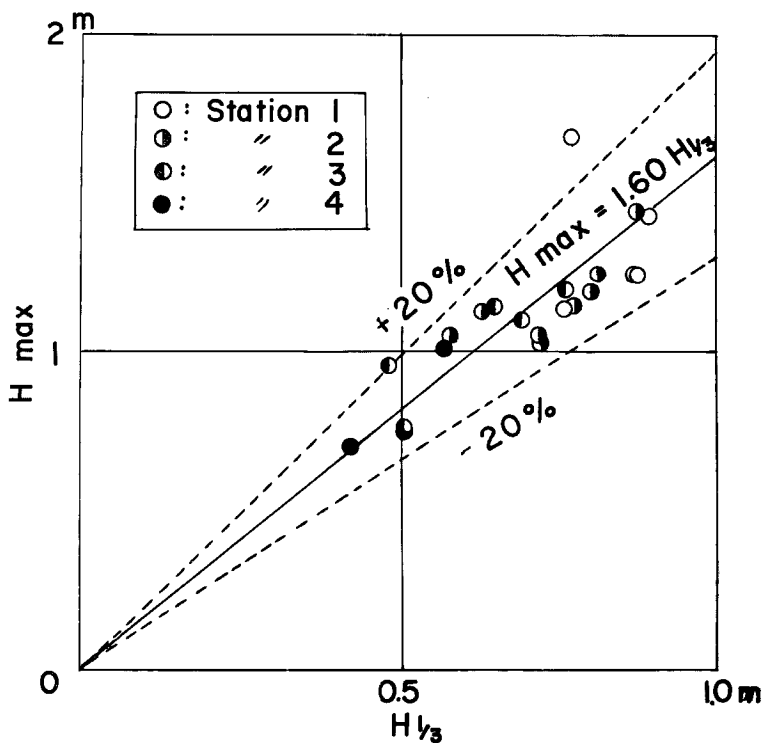


Fig. 5 (d). Relationship of $H_{\max}$ against $H_{1/3}$

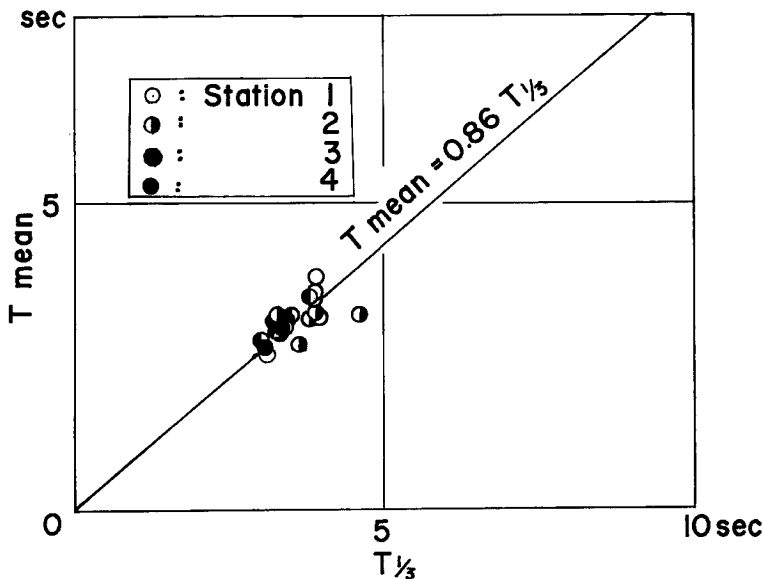


Fig. 6 (a). Relationship of T_{mean} against $T_{1/3}$.

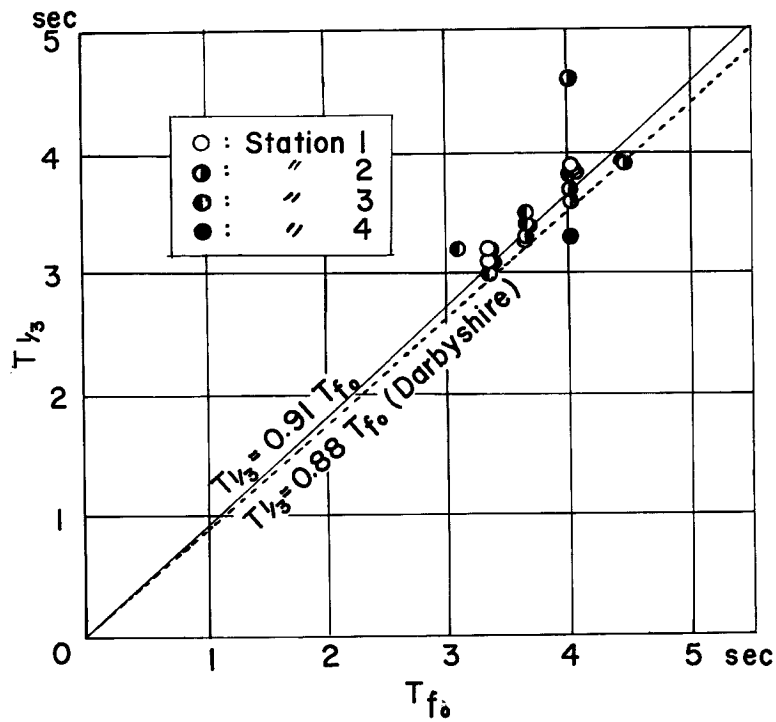
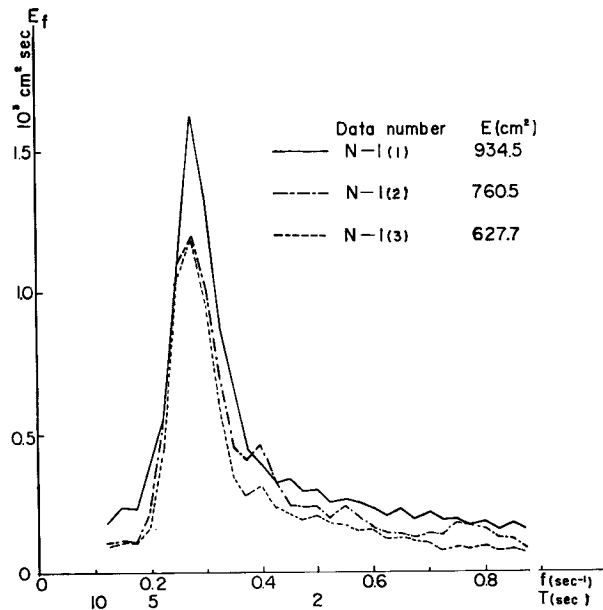
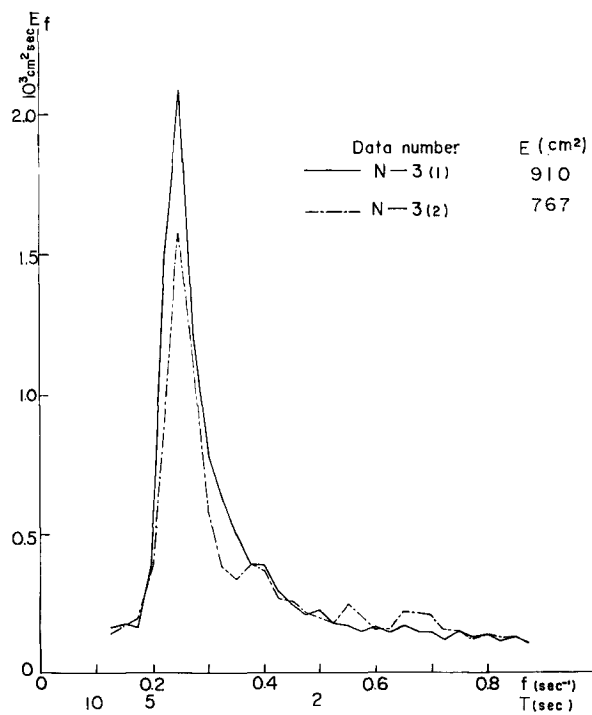
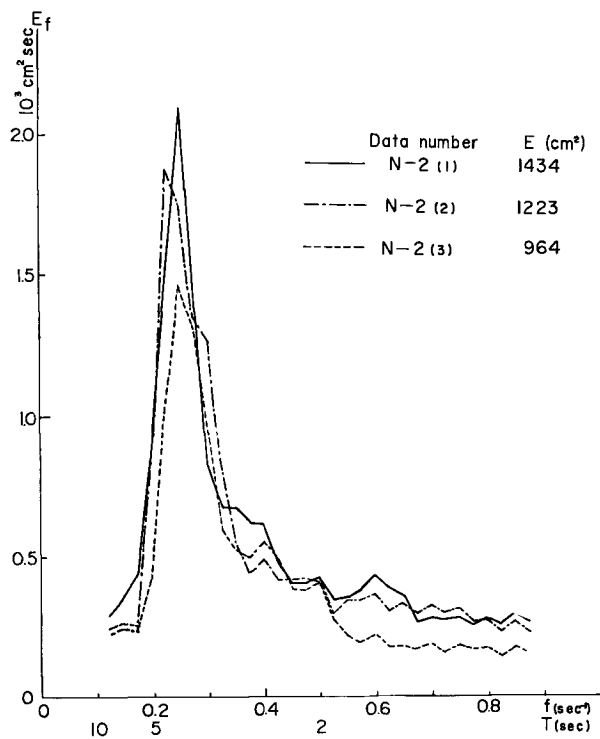
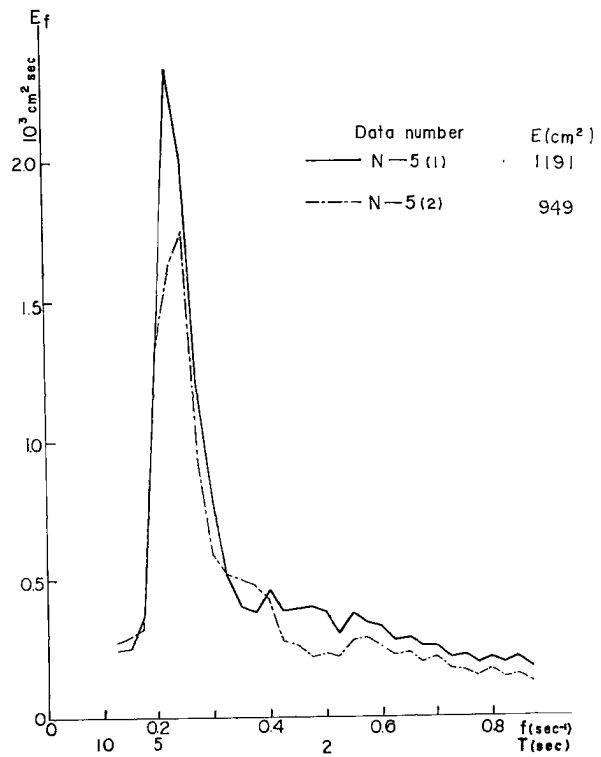
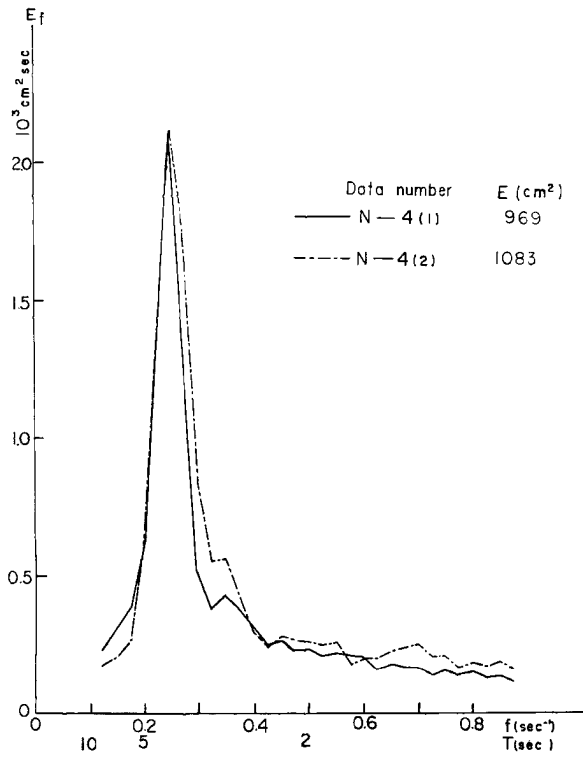
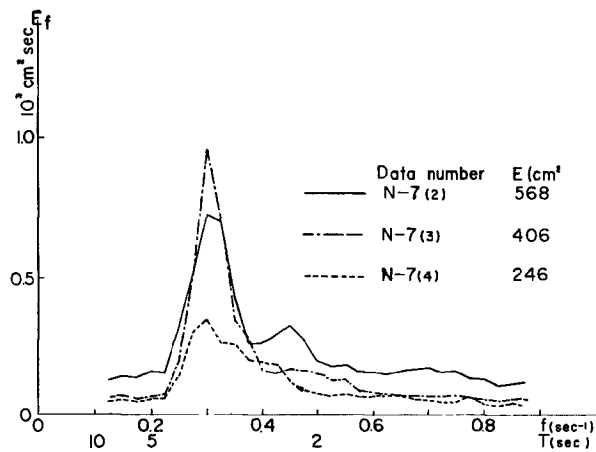
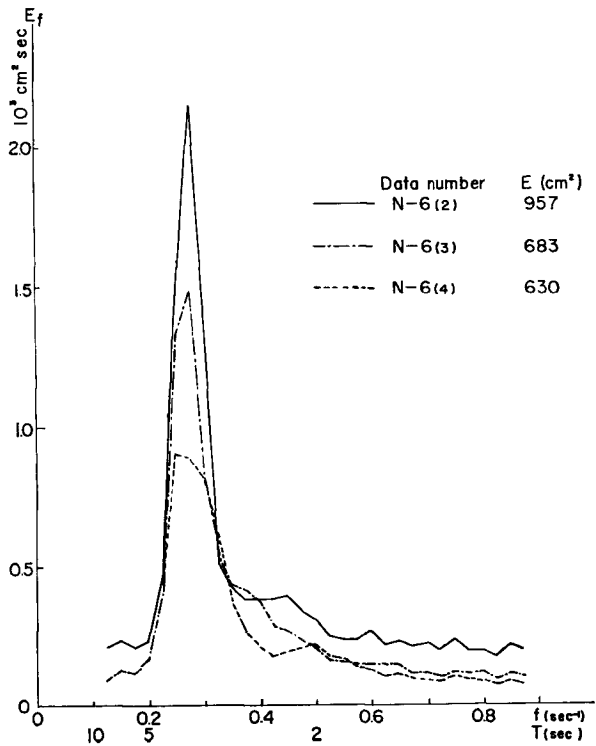
Fig. 6 (b). Relationship of T_{f0} against $T_{1/3}$.

Fig. 7 (a)~(h). Wave spectra at Nishikinohama Coast.







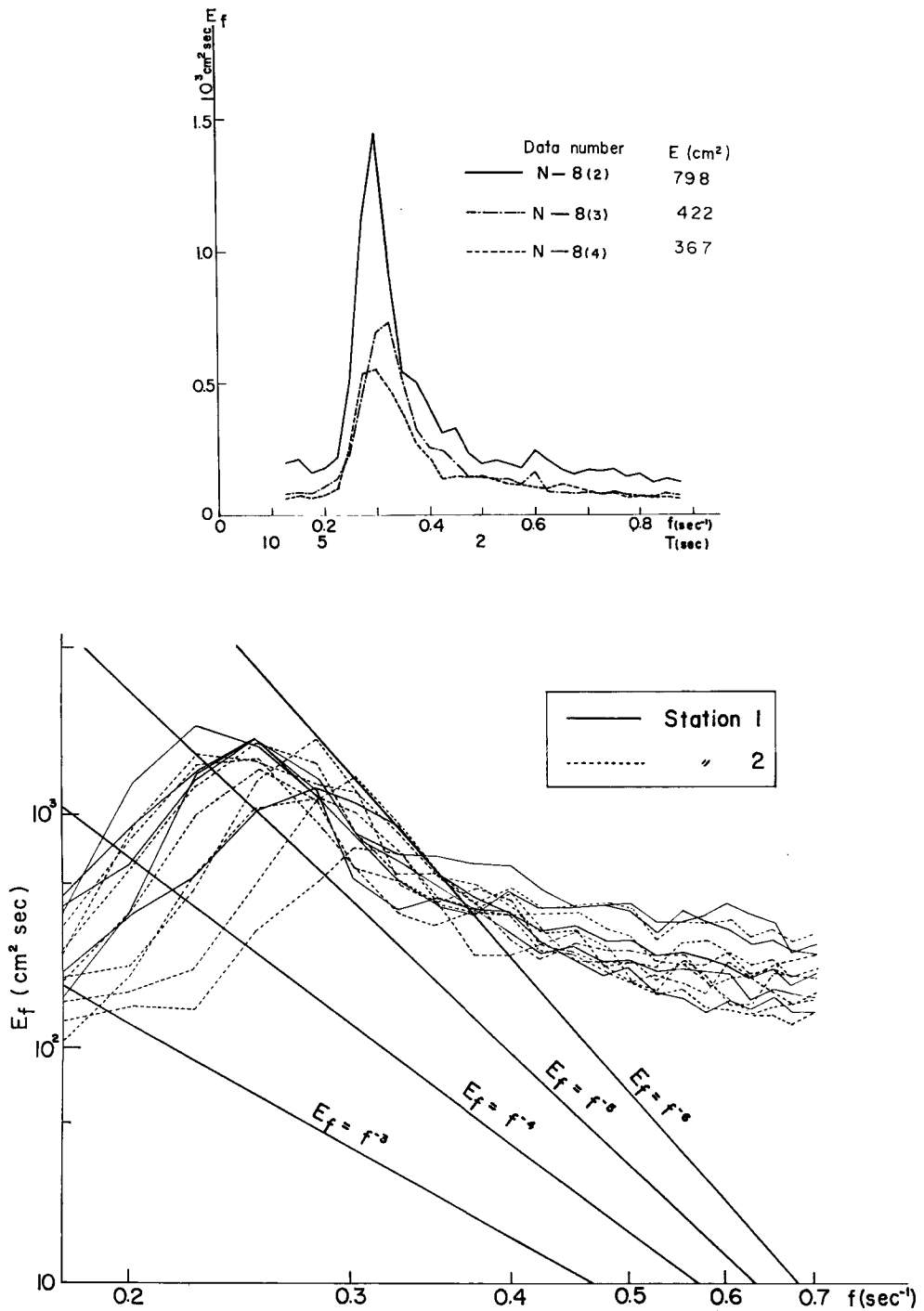
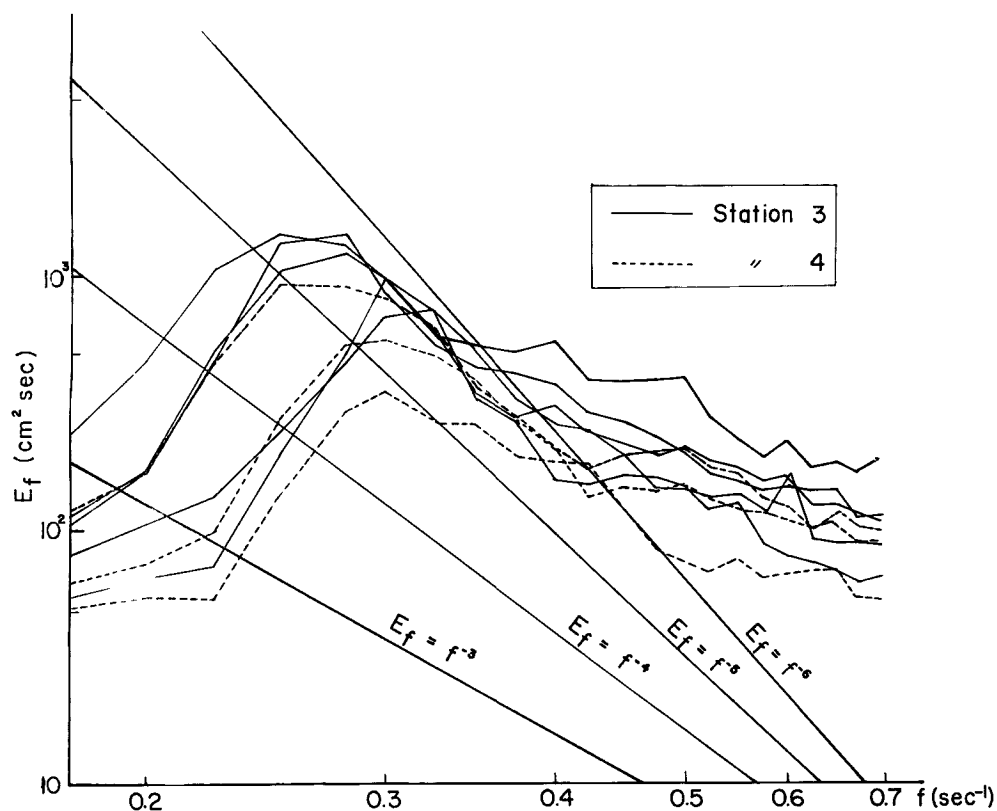
Fig. 8 (a), (b). Comparison of observed wave spectra with $E_f = f^{-3}$, f^{-4} , f^{-5} and f^{-6} .

Table 6 h/L for periods of each spectral component wave and significant waves.

Station No.	Period of each spectral component wave T_f (sec)						Significant wave data No.							
	5	4.44	4	3.64	3.33	3.08	N-1	N-2	N-3	N-4	N-5	N-6	N-7	N-8
(1)	0.24	0.30	0.35	0.42	0.47	0.59	0.48	0.37	0.38	0.37	0.36	—	—	—
(2)	0.21	0.25	0.30	0.35	0.40	0.48	0.42	0.31	0.36	0.37	0.23	0.38	0.46	0.43
(3)	0.19	0.23	0.27	0.31	0.35	0.43	0.35	0.29	—	—	—	0.34	0.43	0.37
(4)	0.11	0.13	0.15	0.17	0.18	0.21	—	—	—	—	—	0.19	0.19	0.17



た波浪スペクトルは、ピーク付近の高周波側において $f^{-3} \sim f^{-5}$ にほぼ平行であることがわかるが、この結果は、さきに新潟県大潟町海岸の水深15mのところに取りつけた接点間隔5cmの階段抵抗式波高計によって得たもの(スペクトルのピークにおける周期: 5.5~9.6sec)⁶⁾ および鳥取県日吉津海岸の水深11.8mと3.4mに設置した波浪観測用ブイによって得たもの(スペクトルのピークにおける周期: 5.7~10.0sec)³⁾ とほぼ同一である。

3. 結 語

以上、著者らは二色の浜海岸において波浪観測を実施し、比較的小さ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しうる若干の資料を得た。しかし、この観測で得た波浪資料は、風の影響下における波浪の資料であり、多かれ少なかれ風の波におよぼす効果を含んでいるので、今後は、そうした効果を詳しく調べるとともに、さらに、日本各地の海岸での波浪観測を行ない、海岸波浪の予知に必要な基礎的資料を得たいと思っている。

最後に、この研究をすすめるにあたり、終始御激励、御指導を賜わった岩垣雄一教授に深く感謝の意を表するとともに、波浪観測に際しては、大阪府土木部港湾課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、防災研究所の人見哲夫技官および大学院学生の宮井宏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によって行なったもの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，樋口明生，土屋義人，吉田幸三，柿沼忠男，井上雅夫：秋田海岸の波浪観測について，第9回海岸工学講演会講演集，昭37. 10，pp. 75～80.
- 2) 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，昭39. 3，pp. 420～433.
- 3) 樋口明生，柿沼忠男：日吉津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8号，昭40. 3，pp. 459～478.
- 4) Longuet-Higgins, M. S. : On the Statistical Distribution of the Heights of Sea Waves, J. Mar. Res., Vol. 11, 1952, pp. 245～266.
- 5) Darbyshire, J. : An Introduction of Storm Waves in the North Atlantic Ocean, Proc. Roy. Soc., London, Vol. 230 (A), 1955, pp. 560～569.
- 6) 柿沼忠男，宮井宏：波浪スペクトルの変動性について，土木学会関西支部年次学術講演会講演概要，昭39. 11，pp. 459～478.