

秋田海岸の波浪観測について

岩 垣 雄 一* ・ 吉 田 幸 三****
樋 口 明 生** ・ 柿 沼 忠 男****
土 屋 義 人*** ・ 井 上 雅 夫*****

1. 緒 言

海岸の波浪を予知するという問題はきわめて重要な課題であるが、浅海における波浪の特性についてはあまり知られていない。とくに、遠浅の浅海領域で重要な役割を果たす海底摩擦によるエネルギー損失については、Bretschneider の 1952 年から 1953 年にかけてのメキシコ湾での観測¹⁾があるだけで、その実態はくわしくない。そこで、著者らは海底摩擦による波高減衰の実態を調べることをおもな目的として、1961 年 11 月 19 日から 12 月 7 日までの約 20 日間、秋田海岸において波浪観測を実施した。

この観測の対象となった秋田市新屋海岸は、北緯約 40 度、東経約 140 度 2 分に位置し、海岸付近は日本海沿岸に似あわず、なだらかな地形であり、等深線はほぼ海岸線と平行に走っている。この海岸には、汀線より約

図-1 秋 田 海 岸 付 近 図

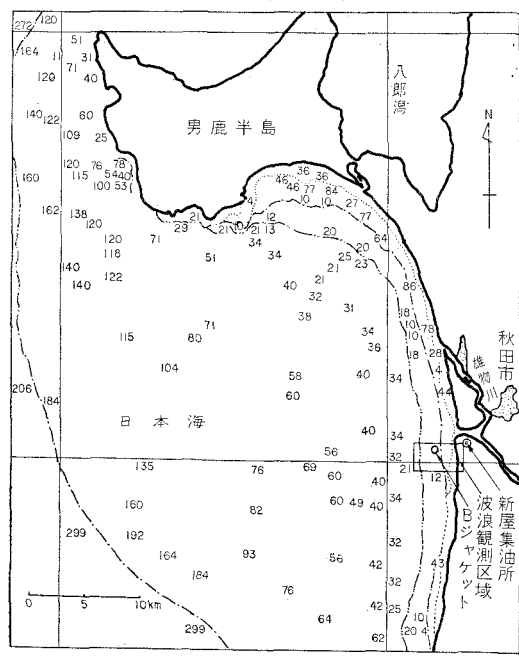
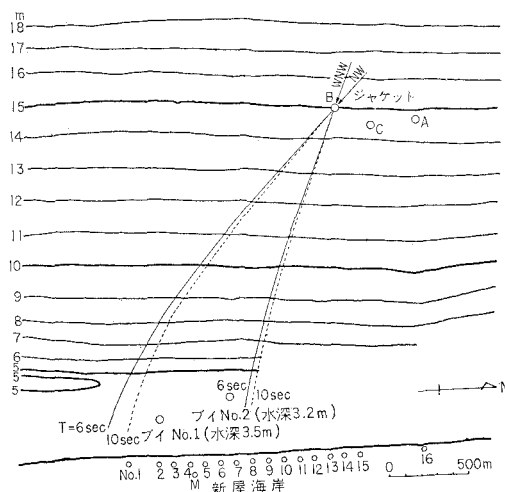


図-2 波 浪 観 測 位 置 図



2.3 km、水深約 15 m の地点に海底油田を採掘する石油資源開発KKの海中タワーが3基あり、波高計あるいは風速計などの観測機器のとりつけにも便利で、2点間の波高の減衰を観測するにはきわめて有効である。図-1は秋田海岸付近の海図であり、図-2は等深線とともに観測地点の位置を示したものである。

この論文では現地観測で用いた機器、施設、および観測方法について述べるとともに、この観測によって得られ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. 観測機器および施設

(1) 海中タワー（ジャケット）

石油資源開発KKが海底油田を採掘するために秋田市新屋沖に3基建設したものであり、油井を支持する保護構造物で、4本の脚の根入くいによって海底に固定され、頂部はヘリポートになっている。水圧式波高計および風速計が取り付けられているのは、これらのうちのBジャケットである。図-3はBジャケットの構造図で、風速計の取り付け位置も示してある。

(2) 水圧式波高計

2点における波浪観測のうち、沖側の波浪記録を得るために用いた波高計で、石油資源開発KK所有の MR-Mark III であり、ジャケットの下、水深 15 m の海底

*正員 工博 京都大学 教授 防災研究所
**正員 理博 京都大学 助教授 防災研究所
***正員 工修 同 上
****正員 理修 京都大学 助手 防災研究所
*****正員 同 上

図-3 Bジャケットの構造図および風速計の取り付け位置

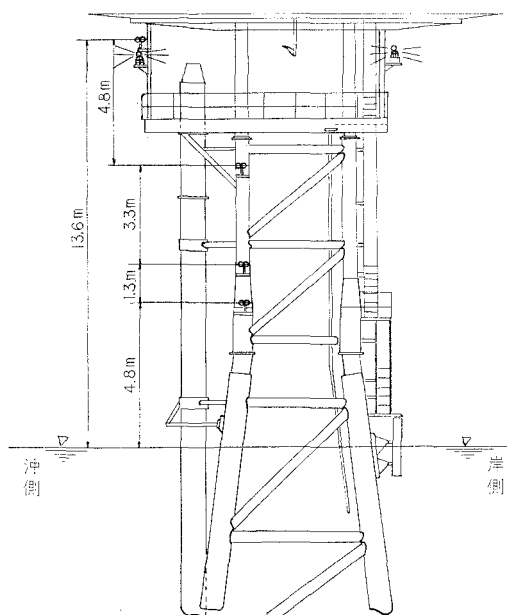
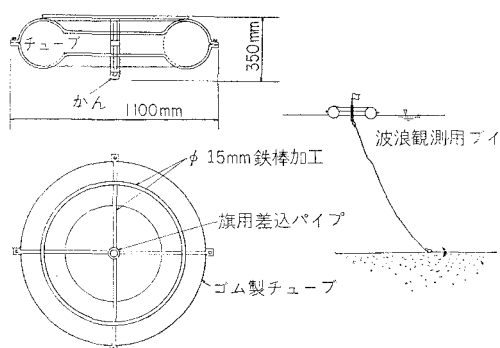


図-4 波浪観測用ブイ概略図



石油資源開発KK新屋集油所に取りつけられているのは3風杯型で、Bジャケットには4風杯型を取りつけた。また、風向計はセルシン型のもので、ロビンソン3風杯型風速計とともに新屋集油所に設置されている。

3. 観測方法

(1) 測点の決定と観測用ブイの設置

波浪観測の手初めとして、岸側の波浪観測に必要な観測位置およびブイの投入地点を決定するために、図-2に示すように、A、BおよびCの各ジャケットをもとにしてレーマンの方法により各点の位置を地図上にきめた。ブイの投入地点はBジャケットを通過する波向線上に定める必要がある。観測期間が冬期に近いため、この海岸の冬期における風向頻度分布を考慮し、沖波がWNWからNNWの間にBジャケットを通過するような波向線を想定して、小型船を2測点からトランシットによって誘導し、ブイ No. 1 は水深 3.5 m、ブイ No. 2 は水深 3.2 m の地点に設置した。

(2) 沖側の波浪観測

Bジャケットにおける水圧式波高計 MR-Mark III は奇数時の0分から5分までの5分間の水圧変動を記録するようになっており、またCジャケット上からBジャケットにおける水面変動を16mm撮影機によって撮影し、水圧式波高計の記録を校正した。

(3) 岸側の波浪観測

ブイ No. 1 またはブイ No. 2 の上下運動を手動式簡易波高計によって、図-2に示すくい No. 4あるいはくいMより沖側の観測時に対応して10分間だけ観測し、同時に手動式簡易波高計の記録を校正するために、望遠レンズつき16mm撮影機により同地点からブイ No. 1 またはブイ No. 2 を撮影した。

(4) 海上風速分布の観測

Bジャケットにおいて、ロビンソン4風杯型風速計4個を海面上4.8m、6.1m、9.4m、および13.6mの高さに取り付け、自記記録させた。

(5) 陸上風速および風向の観測

Bジャケットから約3.1kmはなれた地点にある石油

のくぼみの上に鉄板をのせて設置し、漂砂の影響を受けないようにしてある。

(3) 手動式簡易波高計

2点における波浪観測のうち、岸側の波浪記録を得るために用いた波高計で、1959年嵯峨漁港の漂砂調査の際に岩垣が考案したもの²⁾を多少改良したものである。その原理はトランシットの縦微動ねじのピッチを5mmという粗いものに改良し、ねじのわずかの回転によってトランシットの叉線が大きく動くようにしたもので、この微動ねじとペンを連動するようにし、微動ねじの回転を直接ペンに伝えて自記記録紙に自記させるようになっている。したがって、トランシットによって目標物を視準し、改良微動ねじによって追跡すれば、その結果が直接自記されるようになっている。

(4) 16mm撮影機

(2)および(3)で述べた波高計による記録を校正するために用いた。そのままでは撮影速度が速すぎるので、カムを用いて2コマ/secとなるよう付加装置を取りつけ撮影した。

(5) 波浪観測用ブイ

岸側の波浪観測に用いたブイは直径1.1m、厚さ0.35mのゴム製チューブにφ15mm鉄棒を加工したわくを取りつけ、チューブを保護するとともに、長さ80cmの鉄棒に40cm×40cmのブリキ製赤旗とφ16mm、長さ10mのナイロンザイルを2本より合わせて、80kgと20kgのいかり2個に結びつけたものである。図-4はその概略図を示す。

(6) 風速計および風向計

風速計としてはロビンソン風杯型風速計を用いたが、

資源開発 KK 新屋集油所内,地上 17 m に設置されているロビンソン 3 風杯型風速計およびセルシン型風向計の記録を使用した。

(6) 海底地形および底質

深浅測量は波が荒くて不可能であったので, 1957 年 8 月運輸省秋田港工事事務所が実施してえた資料を使用した。底質の粒度分布については, 汀線付近の砂礫を採集したが, 海底におけるものは明らかでない。

4. 観測結果

(1) 波浪の資料

観測した波浪記録は有義波法によって解析し, 有義波高 $H_{1/3}$ および有義波周期 $T_{1/3}$ とともに, $1/10$ 最大波高 $H_{1/10}$ および周期 $T_{1/10}$, 最大波高 $H_{\max}$ および周期 $T_{\max}$, 平均波高 H_{mean} および周期 T_{mean} を算出した。

a) 沖側の波浪記録 水圧式波高計によって測定されたものは波によって起こる水中または水底の圧力変動であって, 水面の変動ではない。水深 h の海底における圧力波高 (変動圧力波の波高) を $\Delta p/w$ (Δp : 変動圧力, w : 海水の単位重量), その周期を T , 補正係数を α とすれば, 水面波高 H は次式で与えられる。

$$H = \alpha \frac{\Delta p}{w} \cosh \frac{2\pi h}{L} \quad (1)$$

また, 波長 L と周期 T との間には

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L} \quad (2)$$

の関係がある。

水深 h が波長 L の $1/4$ 程度以下の場所では, $T_{p1/3} \approx 1.04 T_{1/3}$ ($T_{p1/3}$: 水圧波の有義波周期, $T_{1/3}$: 水波の有義波周期) で, 多少圧力波の周期が大きくなるが, 実用上大差ないといわれている³⁾。新屋沖の B ジャケットに設置された水圧式波高計の位置は水深 15 m であり, それによって記録された周期 $T_{p1/3}$ は 7 sec 程度であるから, $h/L \approx 1/4.5$ である。こうしたことから, 水圧式波高計によって記録された $T_{p1/3}$ を $T_{1/3}$ として用いることにした。この $T_{1/3}$ と $\Delta p_{1/3}$ とを用いて, 式(1), (2) から求められる $H_{1/3}$ を 16 mm 撮影機による同時観測によって較正した結果, $H_{1/3}$ の値に対しては $\alpha = 1.34$ の値が求められた。同様に, H_{mean} , $H_{1/10}$ および $H_{\max}$ の値に対しても, それぞれ $\alpha = 1.55, 1.38$ および 1.25 の値が定められた。なお, 周期に関しても適当な較正が必要と思われるが, 16 mm 撮影機の撮影速度が不均一であり, 信頼度が高くないので, 圧力波形の周期 T_p の値をそのまま実際の波の周期として用いることにした。

b) 岸側の波浪記録 ブイの上下運動を観測した手動式簡易波高計の記録はつぎのようにして較正した。すなわち, 波高計からブイまでの水平距離を陸上にとり, スタッフを立て一定目盛を上下させてこれを波高計に自記

表一(a) 沖側の波浪記録

1962年 12月	波数	H_{mean} (m)	T_{mean} (sec)	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)	$H_{1/10}$ (m)	$T_{1/10}$ (sec)	H_{max} (m)	T_{max} (sec)
3日 9時	48	0.93	6.9	1.33	7.0	1.89	6.8	2.21	6.4
	11	0.84	7.0	1.09	7.0	1.52	6.7	1.55	6.9
	13	0.73	7.5	1.02	7.4	1.30	7.5	1.46	6.9
	15	0.60	7.5	0.82	7.2	0.99	7.4	1.30	6.9
	17	0.70	6.6	0.83	7.1	1.28	6.7	1.91	5.9
	19	0.60	7.7	0.78	7.9	1.12	7.8	1.35	6.9
	21	0.91	7.5	1.17	7.7	1.48	7.9	1.34	8.4
	23	0.79	7.6	1.05	7.6	1.28	8.1	1.34	7.9
4日 1時	44	0.76	7.3	1.03	7.4	1.53	7.3	1.49	7.4
	3	0.71	6.9	0.99	7.2	1.20	7.4	1.31	7.4
	5	0.56	7.2	0.63	7.5	0.92	7.2	1.13	6.9
	7	0.57	7.3	0.87	7.0	0.99	7.0	0.81	7.4
	9	0.43	6.9	0.56	6.7	0.68	7.1	0.66	7.9
	11	0.47	7.4	0.60	7.1	0.80	7.1	1.01	6.9
	13	0.53	7.0	0.50	7.8	0.84	7.0	0.95	6.9
	15	0.43	7.4	0.50	6.7	0.57	6.8	0.59	6.9
6日 3時	55	1.74	5.9	2.17	6.1	2.87	6.0	3.83	5.9
	5	2.12	6.7	2.51	7.0	3.45	6.5	3.29	6.4
	7	1.33	7.3	1.73	7.3	2.43	7.0	2.20	7.4
	9	2.17	7.9	2.76	7.9	3.44	7.6	4.14	6.9
	11	1.86	7.9	2.49	7.9	3.23	7.6	3.71	7.4
	13	1.36	8.1	1.78	8.2	2.36	8.0	2.44	7.9
	15	1.40	8.4	1.80	8.6	2.37	8.1	2.19	8.4
	17	1.50	8.3	1.97	8.1	2.91	7.5	2.38	8.4
19	1.55	8.3	2.00	8.5	2.73	8.5	2.71	8.9	
21	1.71	8.4	1.98	9.5	2.61	9.3	2.65	8.9	
23	0.96	8.7	1.22	8.7	1.86	8.0	2.05	7.4	

(注) $T_{\max}$: $H_{\max}$ に対応した周期

表一(b) 岸側の波浪記録

1961年12月	波 数	H_{mean} (m)	T_{mean} (sec)	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)	$H_{1/10}$ (m)	$T_{1/10}$ (sec)	
3日12時56分	146	0.52	4.1	0.78	5.1	1.02	5.2	
	13 07	133	0.52	4.4	0.80	5.5	1.00	5.3
	13 20	153	0.57	3.9	0.92	5.2	1.14	5.7
	14 55	123	0.51	4.9	0.74	5.5	0.90	5.7
	15 25	151	0.52	4.0	0.79	5.6	0.99	5.2
4日10時50分	104	0.30	6.0	0.44	6.4	0.56	6.8	
	11 00	103	0.31	5.7	0.47	6.4	0.63	6.7
	11 20	92	0.31	6.1	0.48	6.7	0.66	6.8
	12 55	141	0.32	5.9	0.46	6.4	0.56	6.4
	14 55	80	0.35	5.1	0.49	6.3	0.56	6.9
15 55	125	0.31	4.1	0.45	4.7	0.54	5.4	
6日12時55分	133	1.61	6.7	2.53	7.6	3.56	7.6	
	13 12	97	1.76	5.9	2.97	7.5	3.93	7.2

し, その記録紙上の長さを実際の長さから比例的に実際の波高を算出した。そして, これらの記録も 16 mm 撮影機によって較正した。この 16 mm 撮影機からえられた $H_{1/3}$, $H_{1/10}$ および H_{mean} はいずれも記録から求めたものの 1.15 倍であった。この場合も周期については前述のように問題があると思われるので, 較正せずそのままの値を示した。

表一(a), (b) はそれぞれ沖側と岸側の波浪記録を整理したものを示す。沖側の記録と岸側の記録をくらべると, 対応する時間における両者の波高は 12 月 6 日 13 時頃の記録を除き, すべて岸側が小さい。この 12 月 6 日 13 時頃のものは有義波高が 2.5~3.5 m 程度で, ブイ付近で砕波しているときの記録である。

また、周期については、すべての場合に沖側の記録の方が大きく出ているが、この原因は水圧式波高計であるMR-Mark III が小さい周期の風波には追従しなくなるためと、岸側の手動式簡易波高計がブイの微小振動を過剰に追跡するためと思われる。

(2) 風の資料

図-5 は海上の鉛直方向の風速分布を2時間間隔で選り出して、同時刻における陸上風向を付記して図示したものの一例である。いずれも10分間平均風速である。これによれば、その分布は一定の形を示していないことがわかる。図-3 に示した風速計の取り付け位置の関係上、風向きによってはジャケット部材による障害が原因になっていると思われるが、なかでも最上部のものに対しては遮へい効果が顕著である。これは $1.5 \times 0.7 \times 1.7$ m 程度の建物が風速計のカップから0.8mはなれたところに存在しているためと思われる。EからSに至る範囲の風向に対して、その影響が強くあらわれている。このような障害物による風速の補正に関してはあまり明らかでない。こうした理由から、このままの風速分布の資料をもとにして風から波へのエネルギー伝達を議論することは不可能に近い。とくに障害物の影響を調べるためには風洞実験が有効と思われ、今後研究してゆかねばならない重要な問題である。

(3) 海底地形および底質

汀線付近のくい No. 2, No. 4, No. 15 の4点(図-2)で砂礫を採集し、おのおのを0.25 mm, 0.3 mm, 0.4 mm, 0.6 mm, 0.85 mm のタイラー フルイであるいわけ、中央粒径 d_{50} として、それぞれ0.430 mm, 0.277 mm, 0.269 mm, 0.655 mm をえた。また、海底はほぼ一様な勾配を示し、Bジャケットとブイ No. 1 の間の平均海底勾配は 5.83×10^{-3} である(図-6)。

図-6 海底断面図 (ブイ No. 1~Bジャケット)

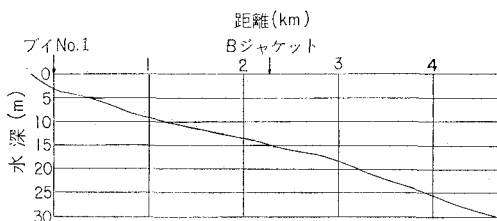
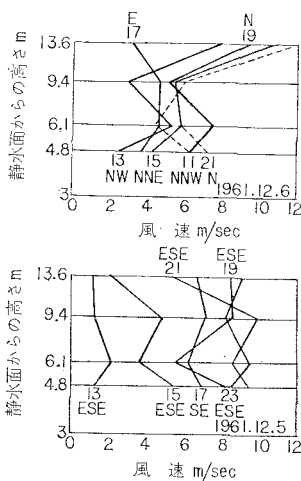


図-5 海上風速分布の数例



5. 波浪特性

図-7 は1961年12月3日から12月6日までの間にBジャケットで記録された波の資料から、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} の関係を求めたものである。これによれば、つぎの関係がえられる。

$$H_{\text{mean}} = 0.76 H_{1/3} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$H_{1/10} = 1.34 H_{1/3} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$H_{\text{max}} = 1.45 H_{1/3} \pm 20\% \quad \dots\dots\dots (5)$$

とくに、図-7 (a), (b) の $H_{1/3}$ と H_{mean} および $H_{1/10}$ の関係は、かなりきれいな直線性を示していることは興味ぶかい。

なお、ほかの人々によってえられた資料を比較するため表-2 に一括して表示した。 $H_{\text{max}}/H_{1/3}$ の値がほかのものに比して小さいのは観測時間が短いためと思われる。

図-7 (a) $H_{1/3}$ と H_{mean} との関係

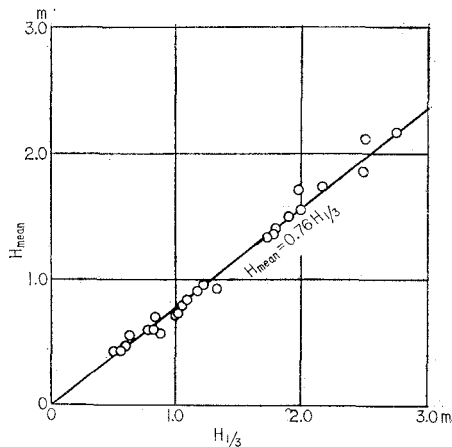


図-7 (b) $H_{1/3}$ と $H_{1/10}$ との関係

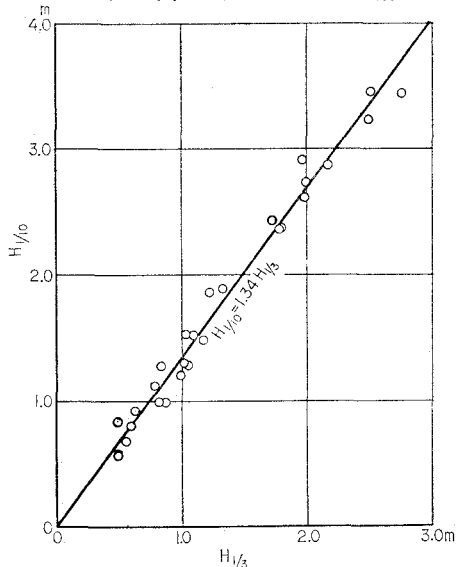


表-2 各種平均波高の比

著 者	場 所	$H_{\max}/H_{1/10}$	$H_{\max}/H_{1/3}$	$H_{\max}/H_{\text{mean}}$	$H_{1/10}/H_{1/3}$	$H_{1/10}/H_{\text{mean}}$	$H_{1/3}/H_{\text{mean}}$	$T_{\text{mean}}(\text{sec})$	$h(\text{ft})$
1. Seiwel (1949)	Cuttyhunk, Mass. Bermuda						1.57 1.57	8.4 9.9	75 120
2. Wiegel (1949)	Pt. Arguello, Cal. Pt. Sur, Cal. Heceta Head, Ore.	1.42 1.46 1.47	1.85 1.85 1.91		1.30 1.27 1.30				75 68 50
3. Munk and Arthur (1951)	La Jolla, Cal.		1.63				1.49		
4. Putz (1952)	Oceanside, Cal. Pt. Sur, Cal. Heceta Head, Ore. Guam, M.I. Pt. Arguello, Cal.						1.59 1.66 1.66 1.55 1.54	13.1 11.4 10.3 11.3 14.1	47 64 53 60 83
5. Watters (1953)	Greymouth, N.Z.				1.24	1.94	1.58		
6. 井島, 柴山 (1953)	久 里 浜		1.48 1.48				1.40 1.50	7.4 6.4	16 19
7. 吉田, 堀浦, 日高 (1953)	八 丈 島*			2.0			1.5		
8. Darlington (1954)	N. Atlantic Ocean ¹⁾		1.50	2.40			1.60	8~9	
9. Bretschneider (1954)	Atchafalaya Bay, Louisiana		1.70 1.76 1.62 1.58		1.22 1.28 1.23 1.27			2~4 2~4 5~6 5~6	16 11 38 16
10. Pierson, Neuma- nn and James (1955)	Long Branch, N.J. ²⁾		1.29	1.93			1.50		33
11. 井島, 高橋, 中村 (1955)	小 名 浜		1.58				1.46	8~9	37
12. Farmer (1956)	Bermuda ¹⁾				1.24		1.61		
13. Wiegel and Kukk (1957)	Devenport, Cal. ²⁾ Devenport, Cal.		1.40 1.64	1.90 2.64	1.19 1.32	1.61 2.09	1.37 1.48	13~15 13~15	46
14. Longuait- Higgins (1953)	理 論				1.27	2.03	1.63		

1) 船舶用波高計 2) 段変抵抗波浪計 1), 2) 以外は水圧式波高計

* 不 明

図-7 (c) $H_{1/3}$ と $H_{\max}$ との関係

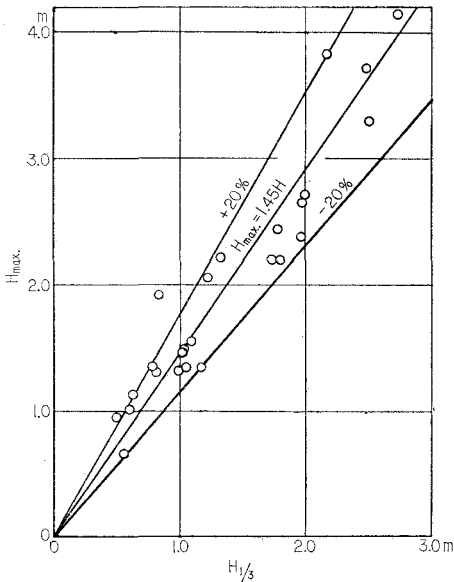
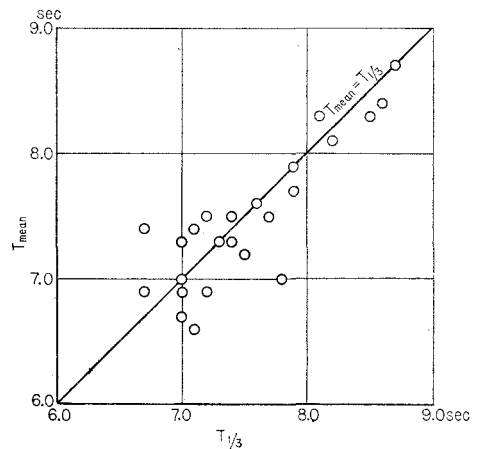


図-8 $T_{1/3}$ と T_{mean} との関係



の直線にのることは興味のあることであり、この場合には $T_{1/3}$ のかわりに T_{mean} を用いてもそれほど問題はないことを示しているようである。

図-8 は有義波周期 $T_{1/3}$ と平均周期 T_{mean} の関係を表わしたものである。この図からわかるように、多少のばらつきが見られるが、ほぼ

$$T_{\text{mean}} = T_{1/3} \dots\dots\dots (6)$$

図-9 (a) は沖側の波高の頻度分布とその累加曲線の一例を示すものであり、図-9 (b) は岸側の波高のもの一例である。斜線部は 1/3 最大波高および 1/10 最大波高の算出に用いた部分であり、さらに累加曲線には求められた H_{mean} , $H_{1/3}$ および $H_{1/10}$ の位置が示してあ

図-9 (a) 沖側の波高の頻度分布および累加曲線

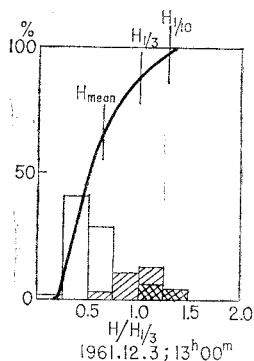
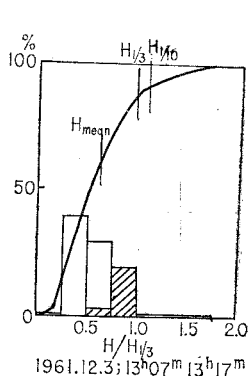


図-9 (b) 岸側の波高の頻度分布および累加曲線



る。

6. 結 語

以上、著者らは秋田海岸において波浪観測を実施し、浅海波の特性、とくに海底摩擦による波高減衰の性状を

明らかにしうる若干の資料をえた。こうした観測をさらに日本各地の海岸で行ない、海岸波浪の予知に必要な基礎的資料をえたいと思っている。

最後に、この研究をすすめるにあたり、石油資源開発KK、トウジョウ・ウェザー・サービス・センター、および秋田県土木部河港課の方々には絶大な援助をいただき、また神戸製鋼KKの氈受昌和氏、KK 銭高組の立白正光氏、防災研究所の久下元一氏および人見哲夫氏には観測に加わって大いに助力していただいた。ここに心から感謝の意を表する次第である。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する。

参 考 文 献

- 1) Bretschneider, C.L.: Field Investigation of Wave Energy Loss of Shallow Water Ocean Waves, Beach Erosion Board, Tech. Memo. No. 46, 1954, pp. 1~21.
- 2) 石原藤次郎・岩垣雄一・野田英明： 荻崎港の漂砂調査について、京大防災研究所年報，第4号，昭．36，
- 3) 井島武士：海岸港湾測量，昭．35，p. 222