

最大波を与える日本沿海での Freak wave の出現特性

安田孝志*・森 信人**・中谷行男***

1. 緒 言

大水深海域では水深が波高の上限とはなり得ないため、構造物などの設計においてはその耐用期間中に出現する最大波を何らかの方法で推定する必要がある。このため、最高波高の確率分布に対する検討はなされているが、一般には、波高は Rayleigh 分布に従うとの仮定の下に、耐用期間中の最大有義波高 ($H_{1/3}$)_{max} に対して確率的に最も起り得る最高波高 H_{max} を持つ波を最大の波と推定している。これ以外に Battjes による波高の長期分布に基づく方法が知られているが、Rayleigh 分布の仮定を基にしている点では上の方法と変わらない。

しかしながら、突出した波形を持つ Freak wave が最大波となる場合、その波形の特異性からしても Rayleigh 分布に従うとは必ずしも考えられず、こうした最大波の推定を Rayleigh 分布の仮定の下に行うことには疑問が残る。この問題に答えるには、最大波となるような Freak wave の発生機構を解明し、これを物理現象として捉えなおす必要があるが、まずは現地データを基にその出現特性を明らかにすることが先決であろう。

そこで本研究では、気象庁による波浪観測開始以来の全データを解析し、高波浪時の Freak wave の出現確率および観測期間中の最大波 (H_{max})_{max} を与える Freak wave の出現特性について検討を行い、これらが Rayleigh 分布の枠内で捉えられるか否かを明らかにするとともに、(H_{max})_{max} の推算における Freak wave の重要性について明らかにしたい。

2. 波浪観測の概要

ここでは、図-1 に示す 9 測点（水深 50 m）での観測開始以来のデータを解析した。表-1 に各測点ごとの観測期間、有効観測回数、1 回の観測（20 分間）当りの平均波数に加え、 $H_{1/3}$ 、 H_{max} および $T_{1/3}$ の観測平均<>を示す。

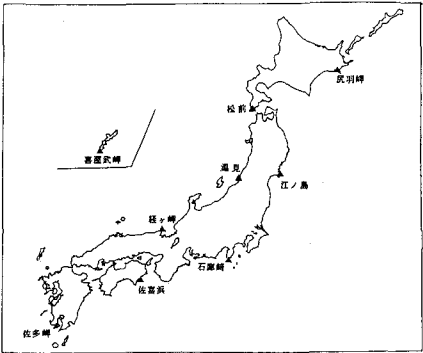


図-1 観測点の位置

表-1 各測点における観測期間と観測波の諸量

測点	観測期間	有効観測回数	有効観測波数	$\langle H_{1/3} \rangle$	$\langle H_{max} \rangle$	$\langle T_{1/3} \rangle$
尻羽岬	1985-1991	57352	222	1.24 m	2.08 m	7.39 s
松前	1979-1991	33515	247	1.03	1.72	5.71
温海	1981-1991	55004	233	1.18	1.96	6.15
江ノ島	1978-1991	38476	186	1.28	2.09	8.54
石廊崎	1976-1991	61587	216	1.21	2.02	6.98
経ヶ岬	1976-1991	62750	249	1.13	1.90	6.13
佐多岬	1982-1991	25865	200	0.84	1.39	7.58
佐喜浜	1977-1991	70124	215	0.95	1.59	7.33
喜屋武岬	1983-1991	26965	198	1.14	1.88	7.58

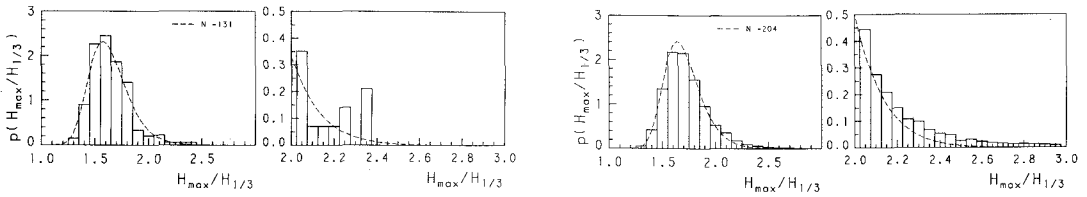
3. Freak wave の出現特性

3.1 $H_{max}/H_{1/3}$ の分布

前報（安田ら，1992）において $H_{max}/H_{1/3}$ の分布が $H_{1/3}$ に依存することは明らかとなっているが、ここでは、 $H_{1/3} \geq 5\text{m}$ の高波浪時の $H_{max}/H_{1/3}$ の分布特性について調べる。このような高波浪データは、その数が少ないため、高波浪が主として台風によっている太平洋側の 6 測点でのデータ（467 個）を一括して整理した。

図-2 は、こうして求めた $H_{max}/H_{1/3}$ の相対度数分布を比較のために同じ 6 測点での全データによるものとともに示したものである。また、図中の破線は次式の Rayleigh 分布に基づく理論分布を示す。

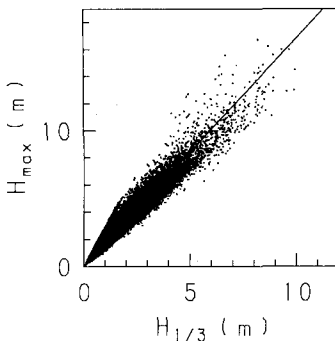
* 正 会 員 工 博 岐阜大学教授 工学部土木工学科
** 学生会員 工 修 岐阜大学大学院 工学研究科（日本学術振興会 特別研究員）
*** 正 会 員 関西国際空港株式会社 空港計画部

(a) $H_{1/3} \geq 5$ m のデータ

(b) 全データ

図-2 太平洋側6測点での $H_{\max}/H_{1/3}$ の相対度数分布表-2 $H_{\max}/H_{1/3}$ の観測平均と $H_{1/3}$ の関係

測点	全データ	$H_{1/3} < 1$ m	$1\text{m} \leq H_{1/3} < 3$ m	$3\text{m} \leq H_{1/3} < 5$ m	$5\text{m} \leq H_{1/3}$
尻羽岬	1.68(57352)	1.72(24474)	1.67(31680)	1.62(1128)	1.60(70)
松前	1.70(33515)	1.72(20195)	1.67(12419)	1.64(853)	1.56(48)
温海	1.68(55004)	1.71(31538)	1.67(19530)	1.64(3582)	1.59(354)
江ノ島	1.65(38476)	1.68(16730)	1.63(20471)	1.61(1153)	1.55(122)
石廊崎	1.67(61587)	1.69(29016)	1.67(31532)	1.63(1157)	1.63(62)
経ヶ岬	1.71(62750)	1.75(35992)	1.68(23444)	1.64(3180)	1.59(134)
佐多岬	1.66(25865)	1.67(19241)	1.64(6451)	1.60(158)	1.53(15)
佐喜浜	1.68(70124)	1.71(46684)	1.65(22694)	1.60(681)	1.54(65)
喜屋武岬	1.66(26965)	1.66(14952)	1.65(11199)	1.62(671)	1.64(143)
$E(H_{\max}/H_{1/3})$	1.68	1.7	1.66	1.63	1.59

図-3 太平洋側6測点での $H_{1/3}$ と $H_{\max}$ の関係

$$p(H_{\max}/H_{1/3}) = 2.832(H_{\max}/H_{1/3})\xi \exp(-\xi) \left\{ \begin{array}{l} \xi = N \exp\{-(1.416 H_{\max}/H_{1/3})^2\} \\ \dots\dots\dots (1) \end{array} \right.$$

ここに、 N は波列を形成する波の数である。これから、全データについて見ると、全体的にはほぼRayleigh分布に従っているが、 $H_{\max}/H_{1/3} > 2$ では理論分布を上回る分布となっており、前報での結果を確認できる。これに対し、 $H_{1/3} \geq 5$ mの波について見ると、 $H_{\max}/H_{1/3}$ の値が1.8以下では式(1)の理論分布にほぼ従っていると見なせる。しかし、これを超えた部分では標本分布にばらつきもあって理論分布との差は大きく、理論分布に従っているとはとても言えない。このため、 $H_{1/3}$ が5 mを超えるような高波浪時のFreak wave ($H_{\max}/H_{1/3} > 2$ の波)の出現をRayleigh分布の枠内で扱うには、なおデータの蓄積を初めとした検討が必要と言える。

このような $H_{\max}/H_{1/3}$ の分布と $H_{\max}$ の関係を明らか

にするため、 $H_{\max}/H_{1/3}$ の分布特性に依存するその標本平均 $\langle H_{\max}/H_{1/3} \rangle$ と $H_{1/3}$ との関係を各測点ごとに調べた。表-2はその結果であり、()内の値は観測数を示し、最下段の $E(H_{\max}/H_{1/3})$ はRayleigh分布に基づく $H_{\max}/H_{1/3}$ の期待値

$$E(H_{\max}/H_{1/3}) = (\ln N)^{1/2}/a + \gamma/\{2a(\ln N)^{1/2}\} - (\pi^2 + 6\gamma^2)/(48a(\ln N)^{3/2}) \dots (2)$$

による。ここで、 N は全測点を通した平均観測波数を示し、 $\gamma=0.5772$ 、 $a=1.416$ である。これから、高波浪化に伴って20分当りの観測波数が減少し、これに応じて $E(H_{\max}/H_{1/3})$ とともに標本平均の値も減少しており、測点による違いはあるが、両者の値はほぼ対応していることがわかる。しかし、石廊崎や喜屋武岬では、標本平均が $H_{1/3}$ に関係なくほぼ一定であり、このために $H_{1/3} \geq 5$ mの高波浪時には期待値を上回るようになっている。これは、 $H_{1/3}$ が5 mを超えるような高波浪下での最高波の推算にRayleigh分布が必ずしも安全側とはならないことを示すものであり、上述の結果に符合する。

$H_{\max}/H_{1/3}$ の分布の $H_{1/3}$ に対する依存性を明らかにするには、 $H_{\max}$ の $H_{1/3}$ に対する関係を調べる必要がある。図-3は太平洋側6測点での全データによる結果であり、図中の実線は $N=204$ としたときの式(2)による期待値を示す。 $H_{1/3} \leq 5$ mでは $H_{\max}$ は $H_{1/3}$ に対して実線の周りにほぼ対称に分布しているが、 $H_{1/3}$ が5 mを超える付近から非対称分布が顕著となっている。また、データ数では期待値を下回る $H_{\max}$ の方が多いものの偏差では期待値を上回る $H_{\max}$ のほうが大きくなり、Freak waveの出現が顕著となっている。ただし、それも $H_{1/3}$ が7 m付近までであり、これを超えると碎波の影響と推察されるが、期待値を下回る $H_{\max}$ の方がデータ数および偏差共に卓越してくる。これらは、高波浪の $H_{\max}$ が碎波だけでなく、波高を異常に突出させる何らかのメカニズムの影響も受けていることを示唆している。

3.2 Freak wave の出現状況

$H_{\max}/H_{1/3}$ の分布が $H_{1/3}$ の値に依存するならば、Freak

表-3 Freak wave の出現確率に及ぼす $H_{1/3}$ の影響

測点	全データ	$H_{1/3} < 1\text{m}$	$1\text{m} \leq H_{1/3} < 3\text{m}$	$3\text{m} \leq H_{1/3} < 5\text{m}$	$5\text{m} \leq H_{1/3}$
尻羽岬	9.37(7.04)	12.75	7.00	3.01	4.29
松前	11.08(7.80)	15.40	4.70	2.08	2.08
温海	11.12(7.37)	15.83	5.21	2.85	1.12
江ノ島	5.47(5.93)	8.54	3.16	2.08	3.28
石廊崎	6.80(6.85)	8.96	4.95	2.94	4.84
経ヶ岬	13.04(7.86)	18.48	6.09	3.17	2.23
佐多岬	7.79(6.36)	8.92	4.63	0.63	0.00
佐喜浜	10.23(6.82)	13.04	4.72	2.06	1.54
喜屋武岬	5.87(6.30)	7.17	4.23	4.02	6.29
$p; N$	6.98;221	7.55;240	6.37;201	5.15;162	4.36;136

表-4 $H_{\max}$ の波が Freak wave となる割合 (%) と $H_{\max}$ の関係

測点	全データ	$H_{\max} \geq 2\text{m}$	$H_{\max} \geq 4\text{m}$	$H_{\max} \geq 6\text{m}$	$H_{\max} \geq 8\text{m}$	$H_{\max} \geq 10\text{m}$
尻羽岬	9.37	10.77	9.19	10.33	11.90	26.67
松前	11.08	6.04	7.02	7.53	11.29	9.99
温海	11.12	5.99	6.18	7.05	9.16	14.49
江ノ島	5.47	4.62	6.03	6.67	8.54	26.07
石廊崎	6.80	7.60	9.01	11.26	15.00	21.43
経ヶ岬	13.04	7.32	6.87	10.33	12.97	42.86
佐多岬	7.79	8.90	7.57	3.17	0.00	0.00
佐喜浜	10.23	8.34	9.04	7.77	8.20	11.11
喜屋武岬	5.87	6.88	7.86	11.00	14.47	21.13

wave の出現確率も $H_{1/3}$ に依存することは当然である。表-3 は、このことを明らかにするため、Freak wave の出現確率と $H_{1/3}$ の関係を各測点ごとに示したものである。表中 () 内の数字は、各測点ごとの平均観測波数に対する式 (1) による Freak wave の出現確率を示す。また、最下段の p および N は各 $H_{1/3}$ の値ごとの全測点データの平均観測波数 N に対する式 (1) による出現確率を示す。全データに対しては、式 (1) が全般に過小評価となることは既に示した通りであるが、そのことは Freak wave の出現確率についても一般に言えることがわかる。また、高波浪化に伴って観測波の数が減少し、これに応じて Freak wave の出現確率が理論値および観測値共に低下しているが、その低下傾向は観測値において著しい。しかし、前述の $\langle H_{\max}/H_{1/3} \rangle$ の場合と同様、測点によっては $H_{1/3}$ が 5 m を超えるようになると、逆に

出現確率が増大に転じ、式 (1) による理論値を超える測点も現れることがわかる。これらの結果は、 $H_{\max}/H_{1/3}$ の分布が $H_{1/3}$ に依存することの当然の帰結であるが、波高が 10 m を超えるような Freak wave の出現確率を Rayleigh 分布の枠内で論じることには問題があることを示すものと言える。

さらに、表-4 に Freak wave として出現する最高波の割合とその波高 $H_{\max}$ との関係を示す。これから、 $H_{\max}$ の値が 4 m を超える付近から $H_{\max}$ とともに Freak wave の割合が増大し、 $H_{\max} \geq 10\text{m}$ では半数以上の測点において 20 % を超える割合となっている。これは、前報においても述べたが、10 m を超えるような最高波の出現の相当部分が Freak wave によっていることを示している。

こうした波高が 10 m を超える Freak wave と各測点での観測期間中の最大波 ($H_{\max}$)_{max} との関係を明らかにするため、主要 6 測点での上位 5 番までの $H_{\max}$ とそのとき

の $H_{1/3}$ および波の数 N を表-5 に示す。これから、最大波は最大の有義波高 ($H_{1/3}$)_{max} を持つ波列ではなく、それよりも小さな $H_{1/3}$ の波列において生じており、しかもそれらの約半数は Freak wave によっていることがわかる。また、石廊崎および経ヶ岬の最大波の $H_{\max}/H_{1/3}$ の値もそれぞれ 1.90 および 1.97 と Freak wave のものに近くなっており、Freak wave によって日本沿海における最大波が与えられると言って必ずしも過言ではない。したがって、問題はこのような最大波の波高 ($H_{\max}$)_{max} をいかに推算するかであるが、いずれの ($H_{\max}$)_{max} も ($H_{1/3}$)_{max} の波列からは生じておらず、しかもその半数近くが Freak wave によっている事実がある以上、こうした事実を踏まえた検討が必要と言える。

3.3 最大波の出現特性

ここでは、9 測点での ($H_{\max}$)_{max} とそのときの $H_{1/3}$ 、さ

表-5 主要測点での上位 5 番目までの $H_{\max}$ と Freak wave (太字で表示) の関係

(a) 尻羽岬					(b) 江ノ島					(c) 石廊崎				
順位	$H_{\max}$	$H_{1/3}$	$H_{\max}/H_{1/3}$	N	順位	$H_{\max}$	$H_{1/3}$	$H_{\max}/H_{1/3}$	N	順位	$H_{\max}$	$H_{1/3}$	$H_{\max}/H_{1/3}$	N
1	12.64	6.29	2.01	137	1	14.10	6.36	2.22	150	1	12.70	6.69	1.90	133
2	12.32	5.99	2.06	126	2	13.50	7.01	1.93	108	2	12.00	5.69	2.11	134
3	11.89	6.02	1.98	124	3	12.50	4.84	2.58	122	3	11.90	7.13	1.67	122
4	11.54	6.84	1.69	139	4	11.80	7.10	1.66	124	4	11.34	5.40	2.10	139
5	11.54	6.60	1.75	126	5	11.70	5.83	2.01	115	5	11.24	6.00	1.87	132
(d) 経ヶ岬					(e) 佐喜浜					(f) 喜屋武岬				
順位	$H_{\max}$	$H_{1/3}$	$H_{\max}/H_{1/3}$	N	順位	$H_{\max}$	$H_{1/3}$	$H_{\max}/H_{1/3}$	N	順位	$H_{\max}$	$H_{1/3}$	$H_{\max}/H_{1/3}$	N
1	11.82	6.00	1.97	139	1	14.15	7.01	2.02	124	1	16.72	8.17	2.05	115
2	11.61	6.05	1.92	139	2	11.90	7.73	1.54	113	2	16.21	8.67	1.87	104
3	11.38	4.70	2.42	138	3	11.70	7.12	1.64	118	3	16.00	9.30	1.72	120
4	11.20	5.46	2.05	147	4	11.55	6.76	1.71	113	4	15.60	8.91	1.75	117
5	11.11	6.02	1.85	135	5	11.44	7.13	1.60	131	5	15.60	6.65	2.34	124

表一6 各測点での $(H_{\max})_{\max}$ とそのときの $H_{1/3}$ および $(H_{1/3})_{\max}$

測点	$(H_{\max})_{\max}$	$H_{1/3}$	$(H_{1/3})_{\max}$	$(H_{\max})_{\max}/H_{1/3}$	$(H_{\max})_{\max}/(H_{1/3})_{\max}$
尻羽岬	12.64	6.29	7.44	2.01	1.70
松前	12.70	8.70	8.70	1.46	1.46
温海	12.80	7.56	7.56	1.67	1.67
江ノ島	14.10	6.36	8.17	2.22	1.73
石廊崎	12.70	6.69	7.13	1.90	1.78
経ヶ岬	11.82	6.00	6.94	1.97	1.70
佐多岬	9.80	6.10	6.10	1.61	1.61
佐喜浜	14.15	7.01	8.28	2.02	1.71
喜屋武岬	16.72	8.17	9.30	2.05	1.79

らに観測期間中の $(H_{1/3})_{\max}$ との関係を調べ、仮に $(H_{\max})_{\max}$ の波が $(H_{1/3})_{\max}$ の波列から生じた場合、 $(H_{\max})_{\max}/(H_{1/3})_{\max}$ は式 (3) の期待値 (この場合、 $N=130$ とすれば 1.64 となる) に対してどのような関係にあるかを明らかにしたい。 $(H_{\max})_{\max}/(H_{1/3})_{\max}$ が式 (1) に従うなら、それは期待値 1.64 の周りに分布すると予想される。

表一6 はその結果を示したものであり、 $(H_{\max})_{\max}/(H_{1/3})_{\max}$ が 1.64 以下のものもあるが、ほとんどは 1.64 を上回っており、特に最大波が Freak wave によっている場合、いずれも期待値 1.64 を超えている。Freak wave の定義は単に $H_{\max}/H_{1/3} > 2$ であり、例えば、 $H_{\max}/H_{1/3} = 1.64$ の波と物理的にどのような差異があるのか現時点では不明である。しかし、その波形の異常な突出性などから推察して通常の Rayleigh 分布の枠内で捉えられる波とは別のジャンルに属するものとも考えられる。Freak wave による最大波の $H_{\max}/H_{1/3}$ がすべて Rayleigh 分布に基づく期待値 1.64 を超えている事実は、確率的にこのことを裏付けるものと言え、このような最大波の取り扱いには注意が必要であろう。

このような最大波の出現確率を知るには、高波浪時の個別波の長期統計あるいは $H_{\max}$ の確率分布が必要となるが、それにはなお検討が必要である。このため、 $H_{\max}$ の年最大値に基づく極値統計による方法が考えられるが、 $H_{\max}$ は変動性の大きい統計量であるため、極値統計には適していない。そこで、以下では統計量として安定性に優れた $H_{1/3}$ に着目して極値統計を行い、その確率波高を用いて最大波の出現特性の評価を試みる。

4. Freak wave による最大波の極値統計的特性

4.1 $H_{1/3}$ の極値統計解析

波浪の極値統計解析については合田 (1988 a, b) によって詳細な解説がなされている。ここでは、 $H_{1/3}$ の時系列データから暴風波浪ごとに極大値を抽出することが実際には容易ではなかったため、 $H_{1/3}$ の年最大値に基づいて極値統計解析を行うことにし、観測期間が 14 年以上の江ノ島、佐喜浜、経ヶ岬、石廊崎に、観測期間は 9 年と

表一7 $H_{1/3}$ の年最大値に基づく順序統計量 (m)

順位	江ノ島	石廊崎	経ヶ岬	佐喜浜	喜屋武岬
1	8.18	7.13	7.01	8.28	9.30
2	7.50	6.94	6.94	7.73	8.21
3	7.41	6.69	6.67	7.13	7.58
4	7.10	6.19	6.36	5.91	7.34
5	6.95	6.04	6.27	5.87	6.88
6	6.71	6.02	6.17	5.68	6.30
7	6.46	5.90	5.88	5.57	6.02
8	6.41	5.68	5.75	4.14	5.32
9	6.40	4.55	5.55	5.01	4.06
10	5.81	5.40	5.46	4.96	
11	5.50	5.33	5.43	4.84	
12	5.37	4.89	5.43	4.80	
13	4.81	4.73	5.08	4.30	
14	4.76	4.59	5.01	4.17	
15		4.51	4.95	3.80	
16		3.46	4.79		

短い、波高が 16.72 m の Freak wave が出現している喜屋武岬の 5 測点でのデータを対象とした。

まず、各測点での $H_{1/3}$ を表一7 に示す順序統計量に置き換え、これらに対する極値分布関数として FT-I 分布および 4 種類の母数 $k=0.75, 1.0, 1.4, 2.0$ を持つ Weibull 分布を仮定した。合田 (1988 a) の手法に従い、前者に対しては Gringorton 公式、後者に対しては修正 P & A 公式によって非超過確率の計算を行うとともに、最小自乗法によって母数推定値 $\hat{A}$ および $\hat{B}$ を求めた。同時に、各分布関数の適合度を表す相関係数 r の値をそれぞれ求め、いずれの測点においても Weibull 分布が最適であり、母数 k の値も表一8 に示すように佐喜浜では 1.4 であるが、他はすべて 2.0 となることを見出した。ついで、合田 (1988 b) の実験式を用い、DOL および REC 棄却基準による最適極値分布関数の棄却検定を行ったが、いずれも有意と判断された。こうして計算される再現期間 R 年に対する確率波高 H_R の偏り補正 ΔH_R を合田の手法 (1988 b) によって行うとともに、その 95 % の信頼区間を求めた。図一4 は、こうして求めた H_R と R の関係を表一7 に示した毎年最大値資料による値 (丸印) と比較したものである。図中の真ん中の実線は、最小自乗法による計算式

$$R = \exp \left[\frac{(H_R - \Delta H_R - \hat{B})}{\hat{A}} \right] \dots \dots \dots (3)$$

によるものであり、両側の実線はこれの 95 % 信頼区間を示す。観測期間が短く、データが少ないという問題はあるが、この間の $H_{1/3}$ の毎年最大値は式 (3) にほぼ従っていると見ることができる。

4.2 最大波の極値統計的特性

前述したように、 $(H_{\max})_{\max}$ の推定においては、 H_R と $(H_{\max})_{\max}$ の関係が重要となる。そこで、 R を各測点ごとの観測期間として確率波高を求め、これと $(H_{\max})_{\max}$ との関係調べることにした。表一9 はその結果であり、最

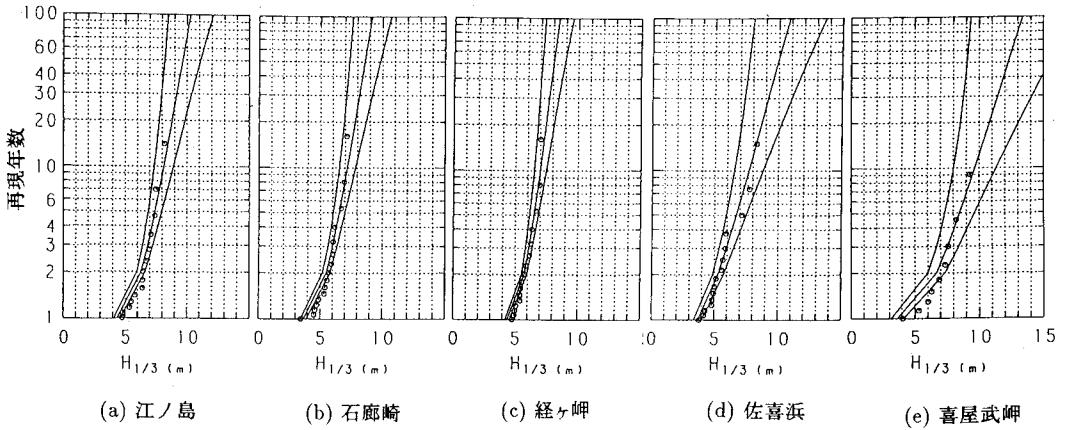


図-4 推定された極値分布に基づく確率波高 H_R と再現年数 R の関係 (実線) ; 毎年最大値資料 (○)

表-8 各測点ごとの最適極値分布関数とその母数推定値 $\hat{A}$, $\hat{B}$ および相関関数 r

測点	k (Weibull)	$\hat{A}$	$\hat{B}$	r
江ノ島	2.0	2.27	4.37	0.979
石廊崎	2.0	2.13	3.68	0.969
経ヶ岬	2.0	1.58	4.40	0.988
佐喜浜	1.4	2.04	3.69	0.985
喜屋武岬	2.0	3.55	3.63	0.983

表-9 観測期間 R に対する H_R と $(H_{\max})_{\max}$ の関係

測点	R	H_R	$(H_{\max})_{\max}/H_R$
江ノ島	15	8.23	1.54
石廊崎	16	7.61	1.67
経ヶ岬	16	7.30	1.62
佐喜浜	14	8.23	1.72
喜屋武岬	9	9.50	1.76

表-10 $(H_{\max})_{\max}$ の再現期間 (年)

測点	$(H_{\max})_{\max}/1.6$	$(H_{\max})_{\max}/1.64$	$(H_{\max})_{\max}/1.8$
江ノ島	20.1	15.2	7.4
石廊崎	22.6	17.2	8.5
経ヶ岬	15.1	11.0	5.0
佐喜浜	25.3	20.6	12.0
喜屋武岬	40.7	28.57	12.71

大波がFreak waveによっている江ノ島、佐喜浜、喜屋武岬での $(H_{\max})_{\max}/H_R$ はいずれも130波に対する期待値1.64を超えており、 $(H_{\max})_{\max}$ を H_R から推定するには倍数を1.8程度とする必要があると言える。

ついで、各測点での $(H_{\max})_{\max}$ を1.6, 1.64および1.8で除して $H_{1/3}$ を求め、これの再現期間を計算することにより、間接的に各最大波の大きさを再現年数によって評価する。表-10はその結果であり、倍数1.6では、喜屋武岬でのわずか9年の観測期間における最大波の再現年数が約41年となり、過小評価となる。

5. 結 語

気象庁による日本沿海における最長16年間の波浪観測データを用いて $H_{1/3}$ が5mを超える高波浪時の $H_{\max}/H_{1/3}$ の分布特性およびFreak waveの出現特性について調べ、測点によっては必ずしもRayleigh分布は過大評価とはならないことを明らかにするとともに、約半数の測点における観測期間中の最高波高 $(H_{\max})_{\max}$ がFreak waveによっており、Freak waveが $(H_{\max})_{\max}$ の推定に無視できないことを示した。ついで、このような $(H_{\max})_{\max}$ と観測期間中の最大有義波高 $H_{\max}/H_{1/3}$ の関

係について調べ、その比がすべてRayleigh分布による期待値を上回っていることを示し、 $(H_{\max})_{\max}$ は $(H_{1/3})_{\max}$ の波列においてRayleigh分布の下で最も起こり得る最高波高として出現するという考え方がFreak waveの出現によって不合理なものとなることを明らかにした。さらに、Freak waveによる $(H_{\max})_{\max}$ を極値統計的に評価し、再現期間 R 年に対する確率波高 H_R からこれを推定するには H_R の1.8倍以上とすることが必須となることを示した。

最後に、本研究で用いた波形観測データは、気象庁海洋気象部に提供して頂いたものであり、ここに謝意を表すとともに、本研究が造船学術研究推進機構からの交付金による成果であることを付記し、深謝する。

参 考 文 献

- 合田良実 (1988a): 波浪の極値統計解析, 水工学シリーズ 88-B-6, pp. 1-18.
- 合田良実 (1988b): 極値統計におけるプロットング公式ならびに推定値の信頼区間に関する数値的検討, 港湾技術研究所報告, 第27巻, 第1号, pp. 31-92.
- 安田孝志・森 信人・林 修市 (1992): 日本近海におけるFreak waveの出現特性について, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 131-135.