

日本沿岸での Freak wave の出現特性

岐阜大学 正会員 安田孝志 学生会員 森 信人・○中谷行男

1. 緒言

Freak wave の定義としては、 $H_{max}/H_{1/3} > 2.0$ を満たす最高波とするものが一般的であるが、その本質は Rayleigh 分布の下では捉えられない異常な波という点にある。これは、Rayleigh 分布の下で最大波高を確率有義波高の 1.6~1.8 倍として算定する従来の立場に再検討を要求するものと言える。ここでは、気象庁による日本沿岸での波浪観測記録を用いて Freak wave の出現特性について極値統計解析を行い、それが Rayleigh 分布の下で捉えられる波であるか否かを明らかにしたい。

2. 波浪観測データの概要

ここでは、有義波高 $H_{1/3}$ の毎年最大値資料に基づく極値統計解析を行う立場から、観測期間が 14 年以上の表-1 に示す 4 測点でのデータを解析する。各データは汀線より沖 1~2km、水深約 50m の地点に設置された超音波式波高計によるものであり、正常観測と判定されたものを対象としている。

表-2 は各測点での最高位から 5 番目までの最高波高 H_{max} を示したものであり、江ノ島および佐喜浜では観測期間中の最大最高波高 $(H_{max})_{max}$ が共に Freak wave によっていることがわかる。また、他の 2 測点でも最大最高波の $H_{max}/H_{1/3}$ の値は 1.90 以上であり、しかも上位 5 番までに 2 個の Freak wave が入っており、高波浪時においてその存在が無視できないことがわかる。

表-1 観測点と観測期間

測点	観測期間	有効観測回数	平均観測波数
佐喜浜	1977-1991	70124	215
経ヶ岬	1976-1991	62750	249
石廊崎	1976-1991	61587	216
江ノ島	1978-1991	38476	186

表-2 最高位から 5 番目までの H_{max} の $H_{1/3}$, $H_{max}/H_{1/3}$, N

佐喜浜					経ヶ岬					石廊崎					江ノ島				
No.	H_{max}	$H_{1/3}$	$H_{max}/H_{1/3}$	N	No.	H_{max}	$H_{1/3}$	$H_{max}/H_{1/3}$	N	No.	H_{max}	$H_{1/3}$	$H_{max}/H_{1/3}$	N	No.	H_{max}	$H_{1/3}$	$H_{max}/H_{1/3}$	N
1	14.15	7.01	2.02	124	1	11.82	6.00	1.97	139	1	12.70	6.69	1.90	133	1	14.10	6.36	2.22	150
2	11.90	7.73	1.54	113	2	11.61	6.05	1.92	139	2	12.00	5.69	2.11	134	2	13.50	7.01	1.93	108
3	11.70	7.12	1.64	118	3	11.38	4.70	2.42	138	3	11.90	7.13	1.67	122	3	12.50	4.84	2.58	122
4	11.55	6.76	1.71	113	4	11.20	5.46	2.05	147	4	11.34	5.40	2.10	139	4	11.80	7.10	1.66	124
5	11.44	7.13	1.60	131	5	11.11	6.02	1.85	135	5	11.24	6.00	1.87	132	5	11.70	5.83	2.01	115

3. $H_{1/3}$ の極値統計解析

波浪の極値統計解析の手順については合田によって詳細な解析がなされており、日本沿岸での波浪に対する極値分布関数として Weibull 分布が推奨されている。ここでは、各測点での $H_{1/3}$ を表-3 に示す順序統計量に置き換え、これに対して極値分布関数として FT-I 分布および 4 通りの母数 $k=0.75, 1.0, 1.4, 2.0$ を持つ 4 種類の Weibull 分布を仮定し、前者に対しては Gringorten 公式、後者に対しては修正 P&A 公式によって非超過確率を計算するとともに、最小二乗法によって母数推定値 $\hat{A}$ および $\hat{B}$ を計算した。表-4 は、各分布関数域の適合度を表す相関係数の値を各測点ごとに示したものである。これから、いずれの測点においても Weibull 分布が最適であり、母数 k の値も佐喜浜では 1.4 であるが、他はすべて 2.0 となっている。さらに、合田の数値シミュレーション結果に基づく実験式を用い、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、いずれも棄却されず有意と判定された。こうして計算された確率波高 H_R の偏り ΔH_R の補正を行うとともに、その 95%信頼区間を計算し、再現期間 R (年) とそれに対する確率波高 $H_R(m)$ との関係を示したものが図-1 である。図中の真中の実線は、最小二乗法によって求められた計算式

$$R = \exp\{[(H_R - \Delta H_R - \hat{B})/\hat{A}]^k\} \tag{1}$$

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。また、丸印は前述の表-3 に基づく実測値を示し、式(1)にほぼ従っていることがわかる。観測期間が 16 年という問題はあるが、この間の $H_{1/3}$ の毎年最大値はほぼ Weibull 分布に従っていると見ることができる。

4. Freak wave の極値統計的評価

表-5 は前述の表-1 に示した各測点での $(H_{max})_{max}$ と上述の手法によって求めた最現期間 $R=15$ 年および $R=20$ 年の確率波高 $(H_{1/3})_R$ の関係を示したものであり、() 内の数値は 95%信頼区間を示す。これから、佐喜浜および江ノ島で観

測された Freak wave は、再現期間 20 年の確率波高の 1.6 倍は上回っているが、1.8 倍は超えないため、 $1.8(H_{1/3})_{20}$ を設計最大波高としておけば安全側とはいえる。ただし、波の数を 120 としたときの Rayleigh 分布の下での $H_{max}/H_{1/3}$ の期待値は 1.64 であり、この点からすれば、これらの Freak wave に対して 1.8 倍としなければならないという事実は Rayleigh 分布の下で Freak wave を捉えることにおお検討が必要なることを示すものと言える。

表-3 各測点における $H_{1/3}$ の毎年最大値資料に

基づく順序統計量

順位	佐喜浜	経ヶ岬	石廊崎	江ノ島
1	8.28	7.01	7.13	8.18
2	7.73	6.94	6.94	7.50
3	7.13	6.67	6.69	7.41
4	5.91	6.36	6.19	7.10
5	5.87	6.27	6.04	6.95
6	5.68	6.17	6.02	6.71
7	5.57	5.88	5.90	6.46
8	5.14	5.75	5.68	6.41
9	5.01	5.55	5.55	6.40
10	4.96	5.46	5.40	5.81
11	4.84	5.43	5.33	5.50
12	4.80	5.43	4.89	5.37
13	4.30	5.08	4.73	4.81
14	4.17	5.01	4.59	4.76
15	3.80	4.95	4.51	*
16	*	4.79	3.46	*

表-4 5 分布関数での母数推定値と相関係数

(*は相関係数が最大のケースを示す)

		FT-I	Weibull (k=0.75)	Weibull (k=1.0)	Weibull (k=1.4)	Weibull (k=2.0)
佐喜浜	$\hat{A}$	1.05	0.86	1.36	2.04	2.85
	$\hat{B}$	4.97	4.53	4.19	3.69	3.02
	COR	0.9843	0.9474	0.9753	*0.9853	0.9795
経ヶ岬	$\hat{A}$	0.57	0.44	0.72	1.10	1.58
	$\hat{B}$	5.48	5.28	5.08	4.79	4.40
	COR	0.9770	0.8894	0.9421	0.9756	*0.9877
石廊崎	$\hat{A}$	0.77	0.57	0.94	1.46	2.13
	$\hat{B}$	5.14	4.90	4.63	4.23	3.68
	COR	0.9556	0.8300	0.8910	0.9394	*0.9690
江ノ島	$\hat{A}$	0.82	0.62	1.02	1.57	2.27
	$\hat{B}$	5.93	5.65	7.13	4.95	4.37
	COR	0.9661	0.8558	0.9120	0.9551	*0.9791

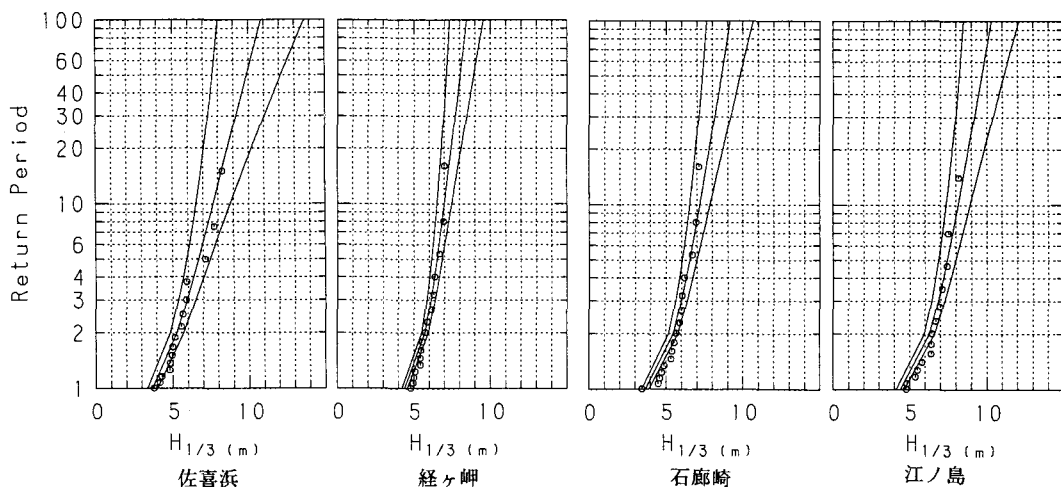


図-1 各測点における確率波高と再現期間

表-5 確率波高と $(H_{max})_{max}$

確率波高	再現期間 (年)	佐喜浜 Weibull(k=1.4)	経ヶ岬 Weibull(k=2.0)	石廊崎 Weibull(k=2.0)	江ノ島 Weibull(K=2.0)
$H_{1/3}$	15	8.23(6.86 ~ 9.61)	7.26(6.69 ~ 7.84)	7.55(6.76 ~ 8.34)	8.53(7.61 ~ 9.45)
	20	8.63(7.06 ~ 10.19)	7.45(6.80 ~ 8.09)	7.80(6.91 ~ 8.69)	8.80(7.77 ~ 9.84)
$1.6H_{1/3}$	15	13.17(10.97 ~ 15.37)	11.62(10.70 ~ 12.54)	12.08(10.82 ~ 13.35)	13.65(12.17 ~ 15.13)
	20	13.80(11.30 ~ 16.31)	11.91(10.88 ~ 12.94)	12.48(11.06 ~ 13.90)	14.09(12.43 ~ 15.75)
$1.8H_{1/3}$	15	14.82(12.34 ~ 17.29)	13.07(12.04 ~ 14.10)	13.59(12.17 ~ 15.01)	15.36(13.70 ~ 17.02)
	20	15.53(12.71 ~ 18.34)	13.40(12.24 ~ 14.56)	14.04(12.45 ~ 15.64)	15.85(13.98 ~ 17.72)
$(H_{max})_{max}$	-	14.15	11.82	12.70	14.10

() 信頼区間 (単位 m)

参考文献

- 1) 合田良実 (1988), 波浪の極値統計解析, 水工学シリーズ 88-B-6, 土木学会, pp.1-18