

極値波浪統計の母分布関数に関する実証的研究

合 田 良 実*・小長谷 修**・永井紀彦***

1. ま え が き

極値波浪統計は設計波を選定する際の基本資料であり、長年にわたる波浪観測成果に基づいて、信頼できる極値分布を定めなければならない。波浪の極値の母分布関数は理論的に求めることができないため、これまでは観測値に最も適合する分布関数を選択せざるを得なかった。しかし、選ばれた分布が真の分布関数でない場合には、100 年確率波高などに大きな偏りが生じるおそれがある。このため、極値波浪統計の母分布関数を見いだすことが急務となっている。

先に合田・小舟 (1989) は極値分布のあてはめ基準を導き、日本沿岸の海域ごとに特定の極値分布が母関数となる可能性を指摘した。運輸省港湾局を中心とする波浪観測は、全国港湾海洋波浪情報網 (NOWPHAS) として発展を続けている。そこで 1988 年以降のデータを追加して標本の信頼度を高め、より高い確度で日本沿岸の高波の母分布関数を見いだすことを目的とする。ただし、本研究では太平洋東岸のみを対象とした。

2. 波浪データの概要

(1) データ取得状況と高波の抽出

解析を行ったのは、表-1 の苫小牧港から波浮港 (伊豆大島) の 11 港の 2 時間ごとの有義波高・周期のデータである。1972~95 年の期間が対象であるが、苫小牧・鹿島港については波高計の移設以前のデータを含んでいない。波高計はいずれも超音波式である。

観測対象期間は 12~24 年であるが、48 時間以上の欠測は日単位で長期欠測日として積算した。また、高波のピーク付近で断続的な欠測がある場合、後述の方法でピーク値を推定できないときにはその高波の期間全体を欠測として扱った。極値統計解析では、こうした長期欠測日を除外した総日数を年単位に換算した有効年数 K を使用した。この有効年数は 8.3~21.2 年であった。

高波の定義は、有義波高がある限界値を超えて上昇し、

やがて下降してある下限値以下となるまでの事象とし、これらの限界値を港毎に「開始波高」、「終了波高」として表-1 のように定めた。そして、一つの高波の期間の間の最大有義波高を極値データとして採択した。ただし、二つの高波のピークが時間的に近接している場合には一つの高波とみなし、二つのピーク値の大きなほうを極値データとした。今回は、二つのピークが 48 時間以上離れていることを独立な高波の条件とした。これによって、高波の事象は $N=117\sim431$ 個となった。なお、欠測を生じていない状態での各地点での最大有義波高は 5.1~9.6 m である。

以上の方法で抽出した 3578 個の高波は、すべて天気図を参照して発生原因となる気象擾乱を特定した。西高東低の冬型気圧配置によるものが累計 707 個、台風やそれが崩れた低気圧による風波・うねりが累計 611 個、それ以外が累計 2260 個であった。台風系のものは 8~10 月が

表-1 波浪観測地点の観測状況の概要

地 点 名	水深 (m)	観測 年数	欠測率	有効 年数	限界波高 (m)		最大波 高 (m)	高波 個数
					開始	終了		
苫 小 牧	50.7	14.0	2.5%	13.65	2.00	1.50	5.64	293
むつ小川原	49.0	22.0	3.5%	21.24	2.50	1.50	9.56	358
八 戸	24.0	24.0	12.7%	20.95	2.00	1.50	6.09	431
宮 古	23.3	12.0	13.2%	10.41	1.50	1.00	5.14	117
釜 石	49.0	18.0	13.8%	15.51	1.50	1.00	6.13	375
仙 台 新 港	20.0	17.0	12.8%	14.82	1.50	1.00	5.36	406
相 馬	16.0	14.0	13.9%	12.05	2.00	1.50	5.99	224
小 名 浜	20.0	16.0	19.9%	12.81	2.00	1.50	7.48	352
常 陸 那 珂	30.0	16.0	8.6%	14.63	2.00	1.50	6.50	426
鹿 島	23.4	12.0	30.6%	8.32	2.50	1.50	6.70	188
波 浮	49.0	23.0	21.6%	18.04	3.00	2.00	8.36	409

注：最大波高はピーク時欠測を伴わない観測記録中の最大有義波高である。

表-2 ピーク時欠測に対するスプライン補間

地 点 名	ピーク値 欠測個数	補間 個数	最大波高 (m)		平均波高 増 加 率
			補間前	補間後	
苫 小 牧	2	2	2.72	2.85	106.2%
むつ小川原	6	5	6.02	6.12	104.1%
八 戸	12	9	5.24	5.85	105.3%
宮 古	0	0	—	—	—
釜 石	13	5	4.85	4.05 ¹⁾	105.5%
仙 台 新 港	11	1	4.80	4.90	103.4%
相 馬	4	3	3.62	3.82	106.3%
小 名 浜	7	4	6.80	7.48	107.6%
常 陸 那 珂	3	3	6.99	6.99	104.6%
鹿 島	4	3	5.87	6.08	103.0%
波 浮	15	9	6.74	5.82 ²⁾	106.5%

注：1), 2) は欠測中の最大値に対しては補間が適用できず、補間は釜石では実測 3.70 m、波浮では実測 5.59 m に対するものである。

* フェロー 工博 横浜国立大学教授 大学院工学研究科
** 日本工営 (株) 国際事業部
*** 正 会 員 工博 運輸省港湾技術研究所 水工部

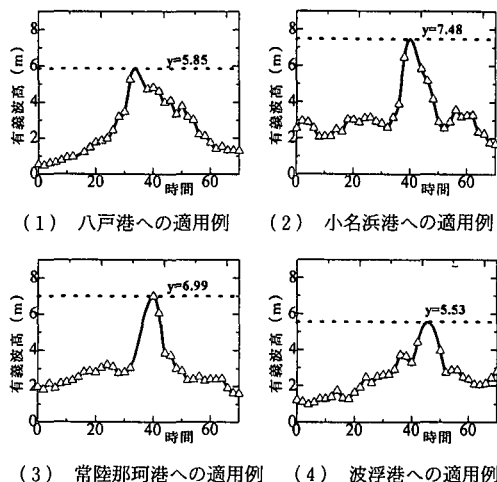


図-1 スプライン曲線によるピーク値の推定例

85%を占めるが、5～7月や11～12月にも発生する。また、冬型気圧配置による高波は12～3月が82%であるが、10～11月や4～5月にも起きる。したがって、月毎の区分で気象擾乱を区別することは困難であった。

(2) スプライン曲線によるピーク時欠測の補間

超音波式波高計では、高波浪時に作動不良となって記録が欠落することがある。ピーク付近で欠測が生じた高波の個数を表-2に示す。高波の総数に対しては3%程度以下であるが、常陸那珂港のように記録欠落の次の時刻に6.99mという、無欠測時の最大値6.50mを上回る波高を示す場合がある。このため、欠落した部分を前後のデータの変化傾向で補間することを考え、スプライン曲線のあてはめを行った。この際に、以下の条件に当てはまる場合には補間が不適当と考え、その期間の記録を長期欠測として処理した。

- 1) スプライン曲線のあてはめが不成功。
- 2) 補間したピーク値が記録中の最大値よりも著しく大きい。
- 3) 近隣の観測記録と比べ、波高変化の傾向が異なる。
- 4) ピーク時付近での欠落が続き、ピーク付近の波高変化の傾向が推測できない。

スプライン補間の例を図-1に示す。△印が観測データであり、太曲線が補間した結果である。補間によって推定したピークの最大波高は表-2に記載した。なお、表-2の平均増加率は、補間によって推定されたピーク波高と補間前の記録の最大波高との比率である。

3. 極値分布関数と判定基準

(1) あてはめ対象の極値分布関数

高波の極値統計解析は、合田(1990)の提案する方法に従い、以下の9種の極値分布関数を候補とした。

- 1) FT-II型分布 (4種: $k=2.5, 3.3, 5.0, \& 10.0$)

$$F(x) = \exp \left[- \left(1 + \frac{x-B}{kA} \right)^{-k} \right] : B - kA < x < \infty \quad \dots\dots\dots (1)$$

- 2) FT-I型分布

$$F(x) = \exp \left[- \exp \left(- \frac{x-B}{A} \right) \right] : -\infty < x < \infty \quad \dots\dots\dots (2)$$

- 3) ワイブル分布 (4種: $k=0.75, 1.0, 1.4, \& 2.0$)

$$F(x) = \exp \left[- \left(\frac{x-B}{A} \right)^k \right] : B < x < \infty \quad \dots\dots (3)$$

ここに、 x は波高の極値、 $F(x)$ は非超過確率、 A, B, k はそれぞれ尺度母数、位置母数、形状母数である。なお、FT-I型分布はFT-II型分布の $k=\infty$ の場合に相当する。

(2) あてはめ方法と最適合の判定

各港の極値データは波高の大きさの順に並べ替え、9種類の分布関数にあてはめて各母数を最小2乗法によって推定した。その際は、あてはめる分布関数ごとに最適なプロット・ポジション公式を使用し、確率波高の推定値に偏りを生じさせないようにした。なお、合田・小舟(1989)の解析では高波の平均発生率を仮定し、データ採択率を導入した。しかし、本研究では表-1の開始・終了波高の限界値で定義された高波のみを対象とし、採択率は $\nu=1$ として取り扱った。

分布関数への適合の度合いは最小2乗法の相関係数の値で判断した。この際は、相関係数の1に対する残差の平均値が分布関数によって異なることを考慮し、標本の相関係数の残差とあてはめた分布における残差平均値との比率が最小のものを最適合と判断するMIR基準に従った。

(3) 分布関数の棄却判定

極値データの解析では、特定の分布関数にうまくあてはめられないことがある。一つは相関係数が低い値にとどまる場合であり、もう一つはデータ中の最大値が分布関数から予測される範囲の外に出る場合である。

前者に対しては、あらかじめ分布関数ごとに相関係数の残差の95%非超過値を求めておき、極値データをその分布関数にあてはめたときの相関係数の残差がこの限界値を超えたときは不適合としてその分布関数を棄却する。これをREC基準と称する。

後者に対しては、まずデータ中の最大値 $x_{\max}$ を全体の平均値 $\bar{x}$ と標準偏差 s を用いて無次元化し、 $\xi = (x_{\max} - \bar{x})/s$ を定義する。そしてこの ξ 値があてはめる分布関数における5%値以下、あるいは95%値以上であれば不適合としてその分布関数を棄却する。これをDOL基準と呼ぶ。以上の棄却判定の結果については5.で述べる。

4. 大波浪データの欠落への対応

解析を行った期間のうちから、顕著な高波の事例4ケースを表-3に示す。順位は各港における高波の順位である。Aは全データ中の最大波高がむつ小川原港で観測された事例、Bは同港で第2位の高波が観測された事例である。Cは小名浜と常陸那珂で第1位の高波、Dは波浮港で第2位の高波である。

八戸港では上記のA、Bのケースとも長期欠測中であったが、むつ小川原港との距離が50 km程度であるので、八戸港へも異常に大きな高波が来襲していたと想定

表-3 顕著な高波の事例

A. 二つ玉低気圧と冬型気圧配置				
地名	順位	発生日	波高 (m)	周期 (s)
苦小牧	14	'91年2月16日	4.34	10.6
むつ小川原	1	'91年2月17日	9.56	12.5
八戸	*	*	*	*
宮古	1	'91年2月17日	5.14	12.7
釜石	1	'91年2月17日	6.13	12.3
仙台新港	**	**	**	**
相馬	4	'91年2月16日	4.96	12.3
小名浜	4	'91年2月16日	6.67	11.4
常陸那珂	9	'91年2月16日	5.47	9.7
鹿島	*	*	*	*
波浮	*	*	*	*

B. 9028 台風と崩れの低気圧				
地名	順位	発生日	波高 (m)	周期 (s)
苦小牧	4	'90年12月1日	4.92	13.5
むつ小川原	2	'90年12月1日	7.91	11.0
八戸	*	*	*	*
宮古	98	'90年12月1日	1.60	11.7
釜石	16	'90年12月1日	4.58	12.2
仙台新港	*	*	*	*
相馬	1	'90年12月1日	5.99	11.9
小名浜	2	'90年12月1日	7.10	12.0*
常陸那珂	2	'90年11月30日	6.50	11.6
鹿島	*	*	*	*
波浮	*	*	*	*

C. 8913 台風				
地名	順位	発生日	波高 (m)	周期 (s)
苦小牧	157	'89年8月7日	2.53	10.1
むつ小川原	183	'89年8月7日	3.29	8.2
八戸	270	'89年8月6日	2.42	7.2
宮古	***	***	***	***
釜石	297	'89年8月7日	1.73	8.7
仙台新港	5	'89年8月6日	4.86	10.9
相馬	16	'89年8月7日	3.82	10.9*
小名浜	1	'89年8月6日	7.48	13.1*
常陸那珂	1	'89年8月6日	6.99	11.3*
鹿島	4	'89年8月6日	6.45	10.4
波浮	116	'89年8月6日	3.99	9.9

D. 日本海低気圧と8818 台風				
地名	順位	発生日	波高 (m)	周期 (s)
苦小牧	81	'88年9月16日	3.03	13.7
むつ小川原	96	'88年9月16日	3.94	8.5
八戸	82	'88年9月16日	3.62	8.3
宮古	21	'88年9月16日	2.82	8.6
釜石	38	'88年9月17日	3.66	10.6
仙台新港	15	'88年9月16日	3.97	13.7
相馬	8	'88年9月15日	4.24	11.8
小名浜	3	'88年9月16日	6.71	14.4
常陸那珂	*	*	*	*
鹿島	10	'88年9月16日	5.41	11.1
波浮	2	'88年9月15日	7.92	14.2

注：*印は長期欠測中、**印はピーク時欠測、***印は観測記録なし。上付き記号*はピーク値補間前の周期

される。これに対して、八戸港で観測された最大値は6.09 mにとどまっている。このため、A、Bの二つの高波を無視して八戸港の全データに対して解析を行うと、高波データの最大値偏差が $\xi=3.49$ と極めて小さく、ワイブル分布の $k=2.0$ 以外の分布はDOL基準の5%限界値以下となって棄却される。また相関係数も小さく、9種類の全候補に対してREC基準によって棄却される。

八戸港の高波データが極値分布に不適合となったのは大波浪の欠測によるところが大きい。そこで、A、Bの両ケースとも観測最大値の6.09 mを超えていたと考え、高波の総個数を2個増して $N=431+2=433$ に変更した。そして、観測最大値の順位を第3位とし、それ以降を2ずつ繰り下げて最下位を第433位(431+2)とし、第1位、2位を空欄のまま、431個のデータに対して最小2乗法を適用した。こうした操作が可能なのは最小2乗法の特長の一つである。

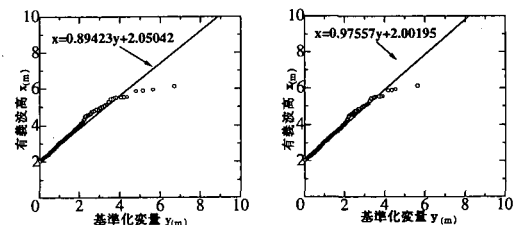
図-2は八戸港の高波データに対して最適と判定されたワイブル分布($k=1.0$)のあてはめ結果を図示したものである。観測最大値を第1位としたのが左側であり、それを第3位に引き下げたのが右側である。この欠測処理によって、八戸港の確率波高がむつ小川原港に近い値に推定されることとなった。図の横軸の $y_{(m)}$ は $(x-B)/A$ の基準化変量であり、高波の極値 $x_{(m)}$ の順位 m に応じてプロット・ポジション公式によって非超過確率を推定し、それによって定めたものである。

なお、他の港については長期欠測中の高波の発生状況が不明確であったので、この述べた補正法は適用しなかった。

5. 太平洋東岸の高波の極値統計解析結果

(1) 台風系の高波の極値統計

まず、台風系の高波611個に対する極値統計解析の結果を表-4にまとめて示す。図中の記号の説明は表-5のとおりである。また、 N は高波の個数、 λ は平均発生率で N/K (ここに K は有効年数)に等しい。これによると、D型のFT-II型分布($k=10.0$)とH型のワイブル分布($k=1.40$)以外は1港以上で棄却と判定されている。



(1) 欠測処理以前 (2) 欠測処理済み

図-2 八戸港へのワイブル分布($k=1.0$)のあてはめ結果

表-4 台風系の高波の極値データに対する統計解析結果

地 点 名	N	λ	適合・棄却検定		H_{100} (m)	
			ABCDE	FGHI	最適	H型
苦 小 牧	45	3.30	◇◇◇◇◇	◇◇◇◇◇	7.14	6.34
むつ小川原	65	3.06	◇◇◇◇◇	◇◇◇◇■	8.84	7.84
八 戸	54	2.58	◎◇◇◇△	◇◇◇△	14.82	7.09
宮 古	12	1.15	◇◇◇◇◇	◇◇◇◇◇	4.35	4.66
釜 石	56	3.61	■▼▼◇◇	▼▼◇◇◇	6.24	6.24
仙 台 新 港	80	5.40	■●■◇◇	■●■◇◇	6.13	6.13
相 馬	50	4.15	◇◇◇◇◇	◇◇◇◇■	7.37	6.43
小 名 浜	69	5.39	■◇◇◇◇	◇◇◇◇◇	8.98	8.98
常 陸 那 珂	67	4.58	■◇◇◇◇	▲◇◇◇◇	8.32	8.32
鹿 島	29	3.49	■▼▼◇◇	■◇◇◇◇	9.07	9.07
波 浮	83	4.60	■▼▼◇◇	▼▼◇◇△	9.57	9.57

表-5 極値データの統計解析結果の記号説明

記号	分 布 関 数	記号	適合・棄却判定
A	FT-II型 ($k=2.50$)	◎	MIR 基準による最適合分布
B	FT-II型 ($k=3.33$)	○	MIR 基準による次点の最適合分布
C	FT-II型 ($k=5.00$)	◇	棄却基準に該当しない分布
D	FT-II型 ($k=10.00$)		
E	FT-I 型分布		
F	ワイブル分布 ($k=0.75$)	▲	REC 基準により棄却される分布
G	ワイブル分布 ($k=1.00$)	▼	DOL 基準により棄却される分布
H	ワイブル分布 ($k=1.40$)	■	両基準により棄却される分布
I	ワイブル分布 ($k=2.00$)		

表-6 台風系以外の高波の極値データに対する統計解析結果

地 点 名	N	λ	適合・棄却検定		H_{100} (m)	
			ABCDE	FGHI	最適	G型
苦 小 牧	248	18.17	■●▼△▲	■▼◎▲	6.14	7.13
むつ小川原	293	13.79	▲◇◎◎■	▲◇◎■	10.17	9.74
八 戸	377	18.00	◇◇◇◇△	◇◎◎▲	9.51	9.51
宮 古	105	10.09	◇◇◇◇◇	◇◎◎■	6.43	6.43
釜 石	319	20.57	■●▼△▲	■◎◎■	8.09	8.09
仙 台 新 港	326	22.00	■▼◎◎▲	◇◎◎■	8.46	6.52
相 馬	174	14.43	■▼◎◎▲	◇◎◎■	6.56	6.56
小 名 浜	283	22.09	■●▼△▲	◇◎◎■	10.77	8.31
常 陸 那 珂	359	24.54	■●▼△▲	▼◎◎■	7.71	7.71
鹿 島	159	19.11	■▼◎◎◇	▲◇◎▲	9.28	8.79
波 浮	326	22.00	■◇◎◎▲	◇◎◎■	8.09	8.09

表-7 高波の極値の全データに対する統計解析結果

地 点 名	N	λ	適合・棄却検定		H_{100} (m)	
			ABCDE	FGHI	最適	G型
苦 小 牧	293	21.47	■●▼△▲	■◎◎▲	6.39	7.48±0.43
むつ小川原	358	16.85	▲◇◎◎■	▲◎◎■	10.58	10.05±0.53
八 戸	431	20.57	◇◇◇◇△	◇◎◎■	9.45	9.45±0.44
宮 古	117	11.14	◇◇◇◇◇	◇◎◎■	6.50	6.50±0.61
釜 石	375	24.11	■●▼△▲	■◎◎▲	8.30	8.30±0.47
仙 台 新 港	406	27.40	■●▼△▲	■◎◎■	7.15	7.15±0.37
相 馬	224	18.59	■◇◎◎◇	◇◎◎■	7.23	7.23±0.47
小 名 浜	352	27.48	■●▼△▲	▼◎◎■	9.67	9.67±0.55
常 陸 那 珂	426	29.12	■●▼△▲	■◎◎■	8.78	8.78±0.44
鹿 島	188	22.60	■▼◎◎◇	■◎◎■	9.71	9.71±0.70
波 浮	409	22.67	■●▼△▲	◇◎◎■	9.68	9.68±0.44

注：1) 鹿島ではG型分布がDOL基準で棄却限界にあるがMIR基準では最適と判定される。
2) 100年確率波高のうちG型分布の土の後の数値は推定値に対する標準偏差である。

いまここで、苦小牧港から波浮港にいたる本州東岸の沿岸における高波が類似の出現特性を持つと仮定する。そうすると、複数の地点で極値分布として棄却されるものは、その沿岸の母分布関数である可能性が極めて低い。すなわち、消去法でいえば棄却判定の最も少ない分布関数が母分布関数といえる。表-4の中で棄却されなかった二つの関数のうちでは、最適合の判定が多いワイブル分布 ($k=1.40$) がこの沿岸における台風系の高波の極値の母分布関数の可能性が高い。

表-4には再現期間100年に対する確率波高 H_{100} も試算してある。1地点のデータに最適合の分布をあてはめると、八戸港のように14.8mと非常に大きな値が出ることもある。しかし、この沿岸全体の共通の分布としてワイブル分布 ($k=1.40$) をあてはめると、100年確率波高が7.1mと推定される。このように、地点ごとのばらつきが小さくなることが、共通の極値分布関数を用いることの長所である。

(2) 台風系以外の高波の極値統計

台風系以外のうち、冬型気圧配置による高波を対象として極値統計解析を行ったが、地点ごとの差が大きく、明確な結論が得られなかった。そのため、台風系以外をまとめた各データについて解析した結果が表-6である。棄却判定が最も少なく、しかも最適合の判定が最多であるGのワイブル分布 ($k=1.0$) が母分布関数である可能性が高い。

なお、苦小牧港の第1位は台風系の5.64m、第2位は二つ玉低気圧による5.17mであり、他の地点よりも最大波高が小さい。地形的にやや遮蔽されているため、極値分布の特性が他と異なるかもしれない。

(3) 高波の全データに対する解析結果

今回解析した太平洋東岸の場合には、台風系の高波とそれ以外との違いが顕著でない。そのため、気象擾乱の差異を無視し、一括して解析した結果が表-7である。G型のワイブル分布 ($k=1.0$) は鹿島港でDOL基準で棄却されているのみで、最適合の判定も最多である。

鹿島港は最大波高が6.70mとあまり大きくなく、最大値偏差が $\xi=3.48$ であって5%下限値の3.54を僅かに下回る。また、長期欠測率が30.6%と高いこともあって、さらに大きな高波を観測できていない可能性がある。また、鹿島港についてもMIR基準ではG型のワイブル分布 ($k=1.0$) が最適合であるので、太平洋東岸全体ではこの分布が高波の極値の母分布関数ではないかと判断される。なお、この結論は合田・小舟(1989)でも得られていたが、そのときは観測期間が短い地点もあり、データ数も十分ではなかった。

各港の高波全データに対するワイブル分布 ($k=1.0$) の適合状況を図-3に示す。八戸港については図-2に示してある。ここにあてはめた極値分布関数から再現期間R年に対する確率波高を算定するには、まずR年に対する

るワイブル分布の基準化変量 y_R を次式で計算する。

$$y_R = [\ln(\lambda R)]^{1/k} \dots \dots \dots (4)$$

ここに、 λ は高波の年間の平均発生率であり、表-7 に記

載されている。これにより確率波高 x_R は次式で算定される。

$$x_R = Ay_R + B \dots \dots \dots (5)$$

尺度母数 A および位置母数 B の値は図-2, 3 の中の回帰式の値を使用すればよい。

表-7 には、式 (4), (5) を用いて推定した 100 年確率波高を推定値の標準偏差と併せて示してある。隣接する地点の間で確率波高の推定値が異なっている、その差異はおおむね信頼区間の範囲以内と考えられる。ただし、宮古港については地形的影響の有無を検討する必要がある。また、表-1 の設置水深を参照すると、碎波による有義波高の減衰の影響も考えられるので、表-7 の結果を設計に参照する際には、この点についてさらに検討する必要がある。

6. む す び

本研究では、日本沿岸のうちで北海道の苫小牧港から伊豆大島の波浮港に至る太平洋東岸を対象とし、全国港湾海洋波浪情報網 (NOWPHAS) の波浪観測データに基づいて高波の極値関数について吟味した。方法論としては、11 港が同一の母分布関数に従うであろうことを前提とし、極値分布関数のあてはめが棄却されることがもっとも少ない分布を母分布と見なすものである。その結果、この沿岸ではワイブル分布 ($k=1.0$) が高波の極値の母分布関数である可能性が極めて高いことが示された。

分析の手法としては、データの部分的欠落をスプライン曲線で補間する方法を試用し、また長期欠測期間中に最大級の高波が来襲していたと考えられる場合の最小 2 乗法の補正法を提示した。

今後、こうした手法を太平洋東岸以外の海域にも適用し、各沿岸での高波の極値の母分布関数を推定することによって、設計波高の選定の信頼度を高めることができれば幸いである。

参 考 文 献

- 運輸省港湾局監修 (1996): 全国港湾海洋波浪観測資料 (NOWPHAS 1995), (財)沿岸開発技術研究センター, 912 p. (1991~1994 年版も同センターから刊行済み。)
- 合田良実 (1990): 港湾構造物の耐波設計 (増補改訂), 11 章, 鹿島出版会, pp. 265-322.
- 合田良実・小舟浩治 (1989): 波浪の極値統計における分布関数のあてはめ基準, 海岸工学論文集, 第 36 巻, pp. 134-138.
- 永井紀彦・菅原一晃・渡邊 弘・川口浩二 (1997): 全国港湾海洋波浪観測年報 (NOWPHAS 1995), 港湾技研資料, No. 859, 318 p. (1970~1994 年の観測年報は同資料 No. 137, No. 158, No. 178, No. 209, No. 233, No. 258, No. 282, No. 311, No. 332, No. 378, No. 417, No. 445, No. 480, No. 517, No. 545, No. 574, No. 612, No. 642, No. 666, No. 712, No. 721, No. 745, No. 770, No. 796, No. 821 として発行済み。)

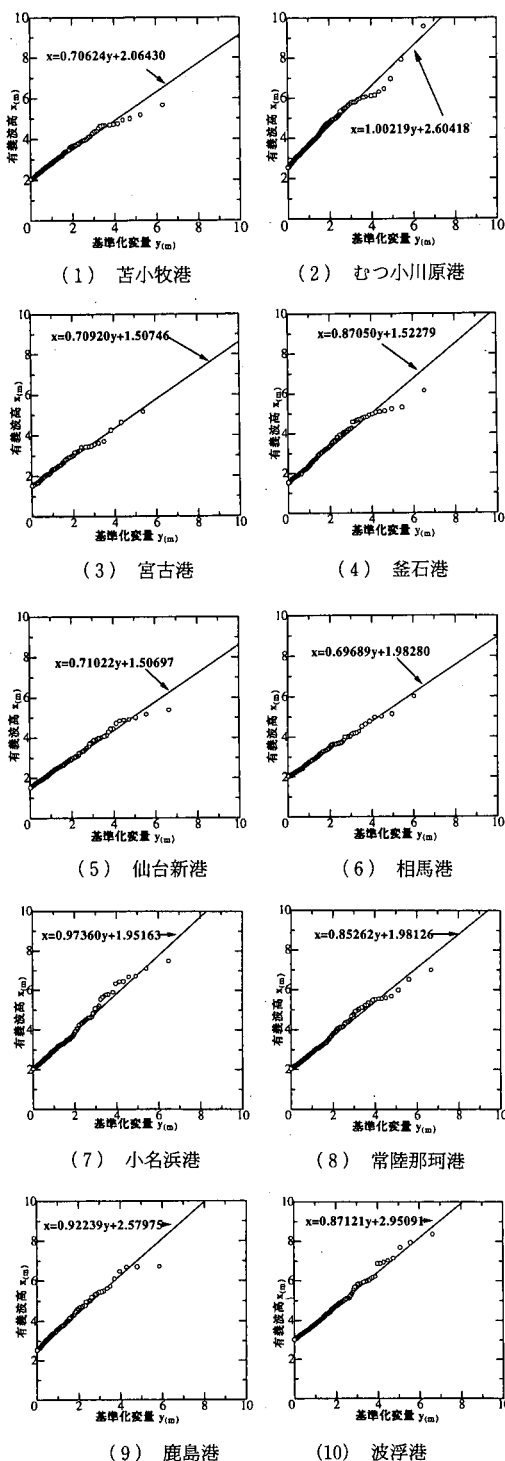


図-3 太平洋東岸の諸港に対するワイブル分布 ($k=1.0$)