

日本沿岸における確率波高の推定値に及ぼす2004年異常波高の影響

Effect of Unusual Wave Height Data in 2004 on the Estimate of Return Wave Height
around the Coasts of Japan

山口正隆¹・大福 学²・畑田佳男³・野中浩一⁴

Masataka YAMAGUCHI, Manabu OHFUKU, Yoshio HATADA and Hirokazu NONAKA

Least-squares-based extreme value analyses are conducted for annual maximum (AM) and peaks-over-threshold (POT) wave height data, extracted from measurements carried out over a period of 16 to 36 years at 37 coastal stations around Japan. The main findings are as follows : (1) a statistically significant trend is not detected at almost all stations, (2) a POT analysis yields a more proper estimate of the 50-year return wave height (RWH) than an AM analysis, (3) the inclusion of unusual wave height data in 2004 and 2005 into the POT data increases the estimates of both RWH and its confidence interval, (4) neither separating storm types nor censoring the data improves the efficiency of the RWH estimated in the POT analysis.

1. 緒 言

2004年と2005年の巨大台風や低気圧により生じた異常波高はわが国沿岸の10ヶ所以上の波浪観測地点で期間最大波高を更新する値か、あるいは一層多くの地点で期間最大波高に迫る値をとっていることから、これらは日本沿岸の各地点で波高観測資料を用いて推定されてきた確率波高の値を有意な程度に変化させる可能性がある。

ここでは、わが国沿岸の多数の地点で長年にわたり収録されてきた観測開始年から2003年までと2005年までの波高観測資料に対する極値統計解析に基づいて、2004年以降の異常波高が確率波高の推定値に及ぼす影響を検討することを主な目的とする。これに先だち、年最大波高資料に含まれる傾向変動の分析や年最大波高資料と極大波高資料を用いた解析結果の比較を行い、併せて気象要因別極値資料に対する解析手法の有効性および第1位値を人為的に欠測とする解析手法の妥当性も調べる。

2. 波浪観測資料および極値統計解析の方法

(1) 波浪観測資料と極値資料の抽出

解析には、国土交通省港湾局および気象庁により16年以上観測が継続されている太平洋岸および東シナ海沿岸に位置する22地点(5地点が気象庁)と、日本海沿岸に位置する15地点(4地点が気象庁)の合計37地点における2005年までの波浪観測資料を用いる。図-1は各観測地点の名前とそこでの波高計設置水深(m)を与える。資料期間は16~36年、観測時間間隔は港湾局(NOWPHAS)資料

で2時間、気象庁資料で3時間または1時間である。

波高極値資料として、年最大波高(AM)資料および極大波高(POT)資料を全ストームと、台風およびそれ以外のストームについて合計6種類求めたのち、それぞれ2003年までの資料と2005年までの資料を別個に解析する。2004年以降にそれまでの期間最大波高が更新された地点は太平洋岸で八戸、常陸那珂、鹿島P、石廊崎、潮岬、室津、志布志、名瀬、中城の9地点と、日本海沿岸で留萌、深浦、酒田、玄界灘の4地点の計13地点である。更新は鹿島P、常陸那珂、八戸、深浦、酒田の5地点で低気圧や季節風時の波浪、それ以外の8地点で台風時の波浪による。これらのストームは観測地点ごとに異なる。2005年における更新は常陸那珂、鹿島P、名瀬の3地点、2004年における更新は残りの10地点で生じている。2003年以前で期間最大波高が最も多く生起している年とその時の地点数はそれぞれ1990年と1991年の4であるので、2004年がいかに異常波高を生じた年にあたるかがわかる。



図-1 波浪観測地点と波高計設置水深

1 正 会 員 工博 愛媛大学大学院理工学研究科教授
2 愛媛大学工学部技術専門職員
3 正 会 員 博(工)愛媛大学大学院理工学研究科講師
4 正 会 員 博(工)愛媛大学工学部契約職員

(2) 極値統計解析の方法

a) 傾向変動の解析

2005年までのAM資料の傾向変動を調べるために、年時系列にあてはめた直線の勾配値 a に対する t 検定(L 指標)と鈴木(1975)のトレンド示数(I_T)検定を行う。 t 検定では、有意水準5%(信頼区間95%)の片側検定で統計的に有意な増加傾向の場合を $L=1$ と表す。これに対応するトレンド示数は $I_T > 1.65$ である。

b) 極値統計解析モデル

各種の極値資料に対する解析には、候補分布をGumbel分布、0.5~10の間の27種類の形状母数をもつWeibull分布、2.5~40の間の20種類の形状母数をもつFT-II型分布の合計48種類とし、各資料に対する非超過確率の割付を合田(1990)のプロットング公式、母数推定を最小2乗法、最適分布の選択を相関係数最大基準、確率波高の分散(標準偏差)の推定をjackknife法によるYamaguchi・Hatada(1997)のモデルを適用する。

c) 気象要因別極値統計解析モデル

極値統計解析では標本資料の等質性が要求される。このため、発生要因別に抽出した極値資料を解析し、それぞれの結果を合成して確率波高とその標準偏差を求める気象要因別解析手法の検討が必要になろう。気象要因別の年最大波高資料あるいは極大波高資料の確率分布 $F_j(H)$ が推定された場合、これらを結合した合成確率分布 $F(H)$ は n を気象要因数として次式で求められる(合田, 1990)。

$$F(H) = \prod_{j=1}^n F_j(H) \quad (1)$$

$$F(H) = \exp \left[- \sum_{j=1}^n \lambda_j \{ 1 - F_j(H) \} \right] \quad (2)$$

ここに、 H は波高に関する確率変数、 λ_j は気象要因別極大波高資料の年平均発生数である。再現期間 R に対する合成確率波高 H_R は式(1)あるいは式(2)から求められる。気象要因別確率波高の分散に対する理論合成式は泉宮(2000)により次式のように導かれており、その精度が高いことが山口ら(2001)により確認されている。

$$\sigma^2(H_R) = \sum_{j=1}^n \lambda_j^2 f_j^2(H_R) \sigma_j^2(H_R) / \left\{ \sum_{j=1}^n \lambda_j f_j(H_R) \right\}^2 \quad (3)$$

ここに、 $\sigma_j^2(H_R)$ ：合成確率波高に対応する気象要因別分散、 $f_j(H_R)$ ：気象要因別極値資料の確率密度関数、である。

d) 第1位値欠測解析法

極値資料において第1位資料は第2位以下の資料に比べて突出した値をとることも少なくない。この値は極値統計解析結果に大きく影響する可能性をもつので、統計的に安定した解析結果を得るために、第1位値を人為的に欠測とする解析方法も検討に値すると考えられる。

母数推定に最小2乗法を用いる極値統計解析モデルの第1位値欠測解析への適用可能性とその精度はモンテカルロシミュレーションに基づく山口ら(2000)の検討によって確認されている。最小2乗法を用いるモデルでは、第1位値が得られていても、これを空位とし、それ以外の資料を第2位以下の資料として解析を進める。

3. 極値統計解析結果とその特性

(1) 傾向変動

表-1は37地点における2005年(温海、喜屋武岬、志布志の3地点は欠測のため2004年)までのAM資料の勾配値 a に対する t 検定(L 指標)とトレンド示数(I_T)検定の結果のうち、統計的に有意な傾向変動($L=1$, $I_T > 1.65$ で表される増加傾向)が認められる地点の一覧を与える。表中の Δa は有意水準5%に対する勾配値の範囲を表す。これらは日本海沿岸の1地点と太平洋岸の6地点の計7地点であり、八戸、中城、名瀬の3地点で相対的に強い増加傾向が検出される。逆に言えば、残りの30地点におけるAM資料には統計的に有意な傾向変動は認められない。

図-2は上記7地点における年最大波高 H_y の時系列を示す。これらは波高が漸増する地点(八戸、名瀬など)と、ある年を境に不連続的に増加する地点に大別されるが、前者に属する地点で、より強い増加傾向が観察される。

(2) AM資料とPOT資料に対する解析

図-3は2005年までのAM資料とPOT資料に対する解析から得られた相関係数 ρ 、50年確率波高 H_{50} とその標準偏差 $H_{50\sigma}$ および資料年数 K を太平洋岸・東シナ海沿岸の22地点と日本海沿岸の15地点について示す。POT資料は、各観測地点の波高を考慮に入れて、2.5~6.0 mの範囲で設定した基準波高を上まわるストーム時ピーク波高として抽出する。また、極値統計解析で使用する資料総数 N_T には、観測地点ごとに1~2 mの範囲で決めた基準波高を上まわるストーム時ピーク波高数を用いる。したがって、POT資料数 N や資料総数 N_T は観測地点ごとに異なる。平均値でみれば、資料数 N は資料年数 K の3~4倍、資料総数は10~20倍である。

相関係数は太平洋岸にある喜屋武岬、中城、志布志の

表-1 年最大波高資料の傾向変動の解析結果

location	yrs.	a cm/year	Δa cm/year	L	I_T
Sakata	36	4.02	3.24	1	1.66
Mutsuogawara	31	4.99	3.98	1	2.16
Hachinohe	32	4.00	2.34	1	2.50
Shibushi	25	9.14	7.87	1	2.20
Nakagusuku	32	8.36	5.29	1	2.04
Naze	29	8.36	3.41	1	3.64
Ioujima	30	8.88	7.27	1	2.81

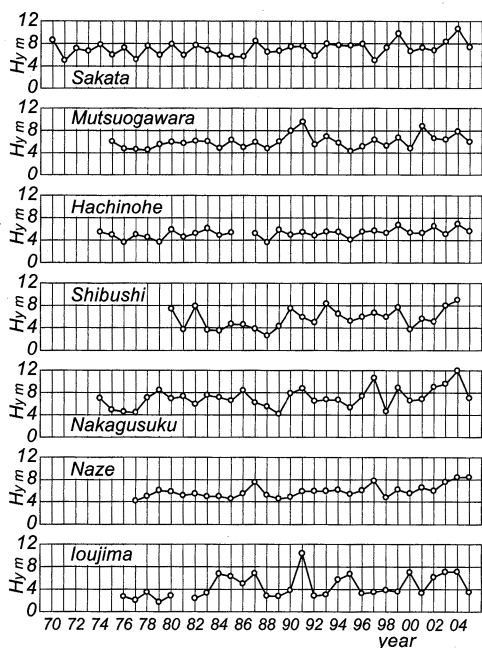


図-2 年最大波高の時系列

3地点と日本海沿岸の金沢の合計4地点を除いて、POT資料の場合に大きい。つまり、極値資料に対する適合度は資料数が多いPOT資料の場合に高い。POT資料の場合の相関係数の値は最も小さい伊王島での0.974を除いて、0.984(名瀬)～0.997(温海)の範囲に分布し、0.995以上の地点が18ヶ所、0.990～0.995の地点が8ヶ所、0.980～0.990の地点が10ヶ所となっている。これらの数値は全般的にPOT資料に対する最適分布の適合度がかなり高いことを表す。両極値資料を用いた確率波高推定値を比べると、

沖縄本島太平洋岸の喜屋武岬で1.2 m、中城で0.6 mの差がみられる以外、両資料に基づく確率波高は有意な差をもたないが、ほとんどの地点でPOT資料の場合に、相関係数は大きく標準偏差も小さい。すなわち、POT資料の場合に最適分布の適合度が高く確率波高がより有効な推定値になっている。

POT資料に基づく50年確率波高とその標準偏差は室津で 14.59 ± 2.16 mをとり、確率波高は37地点の中で最も大きい。標準偏差も大きく、変動係数は約15 %となって信頼度が低い。これは台風0423号に伴う第1位波高13.55 mが突出した第1位波高(第2位波高は10.02 m)をとるためである。50年確率波高が10 mを越える地点は太平洋岸で室津、潮岬、喜屋武岬、中城、志布志、石廊崎の6地点、日本海沿岸で酒田の1地点であるが、室津を除いて変動係数は3.8～6.5 %であり、室津ほど大きい値をとらない。これから、わが国沿岸では沖縄本島から紀伊半島沖において確率波高が大きいことがわかる。また、日本海沿岸でも東北地方の北部では50年確率波高が10 mに達するほど大きい。50年確率波高が9 mを越える地点は太平洋岸・東シナ海沿岸で11地点、日本海沿岸で4地点である。

(3) 気象要因別解析

図-4は全ストーム時POT資料と気象要因別POT資料に基づく50年確率波高とその標準偏差を太平洋岸・東シナ海沿岸の22地点と日本海沿岸の15地点で表す。後者は台風時POT資料とそれ以外のストーム時POT資料に対する極値統計解析結果を式(2)および式(3)に従って結合することにより合成値(POT c.)として求めている。

両資料に基づく確率波高は有意な差をほとんど与えな

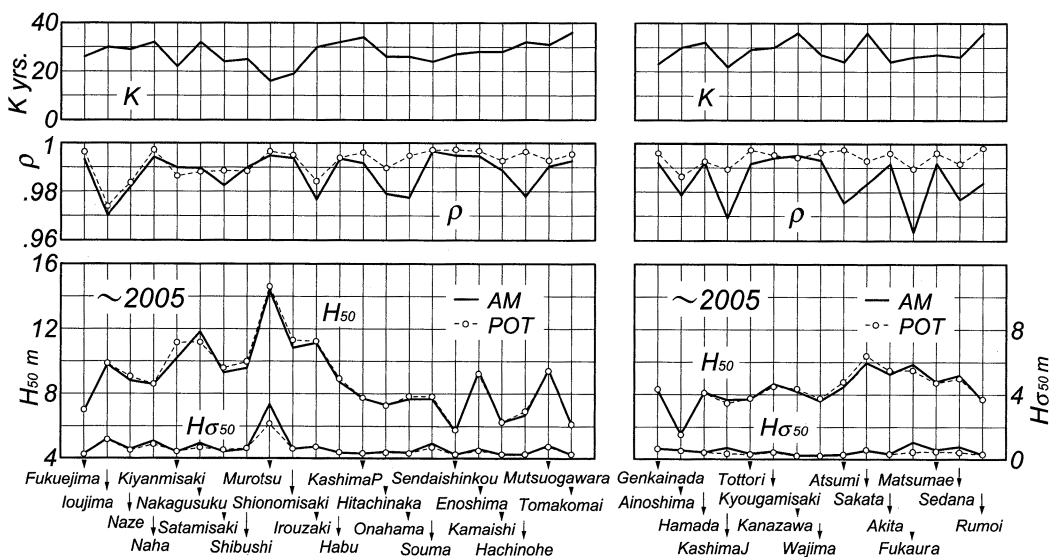


図-3 年最大波高資料と極大波高資料に基づく極値統計解析の結果

いが、標準偏差は気象要因別POT資料の場合に大きい。とくに、日本海沿岸の観測地点では北方に位置する観測地点においてこの傾向が著しいし、太平洋岸でも同様の傾向がうかがわれる。これらの観測地点では西側に位置する観測地点に比べて台風に伴う高波高の影響が少ないので、台風時POT資料に基づく確率波高の標準偏差が大きくなり、しかもその確率波高も有意な値をとるので、これが合成標準偏差に反映されると考えられる。以上の事例では、気象要因別極値統計解析手法は確率波高推定値の有効性の改善にほとんど寄与しないと言わざるを得ない。

(4) 第1位値欠測解析

図-5は2005年までのPOT資料において全資料を用いた場合(全資料解析, complete data)と第1位値を欠測とした場合(第1位値欠測解析, censored data)の解析から得た相関係数および50年確率波高とその標準偏差を日本沿岸全域の37地点で示す。確率波高については、第1位値欠測解析が全資料解析と同程度かあるいは大きめの値を与える地点が大部分である。とくに、石廊崎で1.3 m、名瀬で0.9 m、志布志で0.8 m、玄界灘で0.7 m、佐多岬で0.6 m、浜田と藍島で0.5 m、波浮で0.4 m大きい。逆に、

深浦で0.6 m、瀬棚で0.5 m、那覇で0.4 m小さい。

適合度を表す相関係数については、第1位値欠測解析が全資料解析に比べてやや小さい値を与えるか、あるいは有意な程度に大きい値を与える地点が多い。後者に関しては、石廊崎、名瀬、深浦、浜田、瀬棚などが該当する。すなわち、第1位値の人為的削除に伴う資料数の減少によって適合度がやや低下するが、突出する第1位値資料の場合には最適分布の適合度が向上する傾向にある。ただし、伊王島のように相関係数の値がかなり小さくなる地点もある。確率波高の標準偏差については、第1位値欠測解析は大部分の観測地点で全資料解析に比べて同程度の値か、あるいは大きい値を与え、限られた数地点で小さい値を生じるにすぎない。したがって、より有効な確率波高推定値を得るという観点からみて、第1位値欠測解析は有用な結果を生じていない。

(5) 確率波高推定値に及ぼす資料期間の影響

図-6は2005年までと2003年までのPOT資料に対する解析から得た相関係数および50年確率波高とその標準偏差を日本沿岸の37地点で与える。2003年までの資料に基づく相関係数は2005年までのものに比べて名瀬、深浦、中城の順で有意な程度に大きく、伊王島、那覇、常陸那珂、

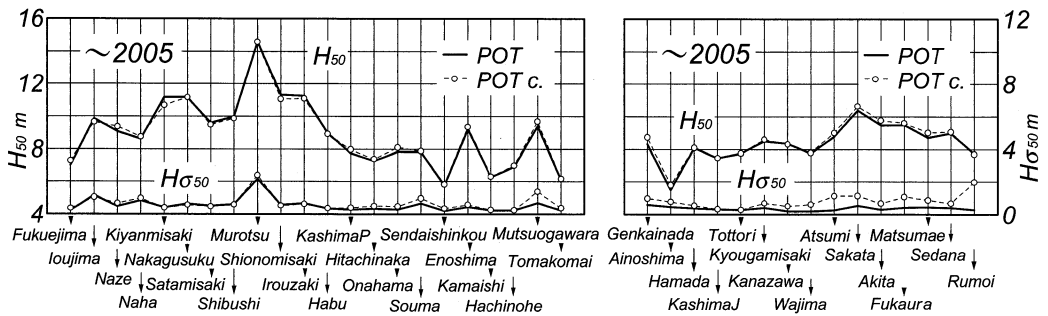


図-4 全ストーム時極大波高資料と気象要因別極大波高資料に基づく確率波高および標準偏差

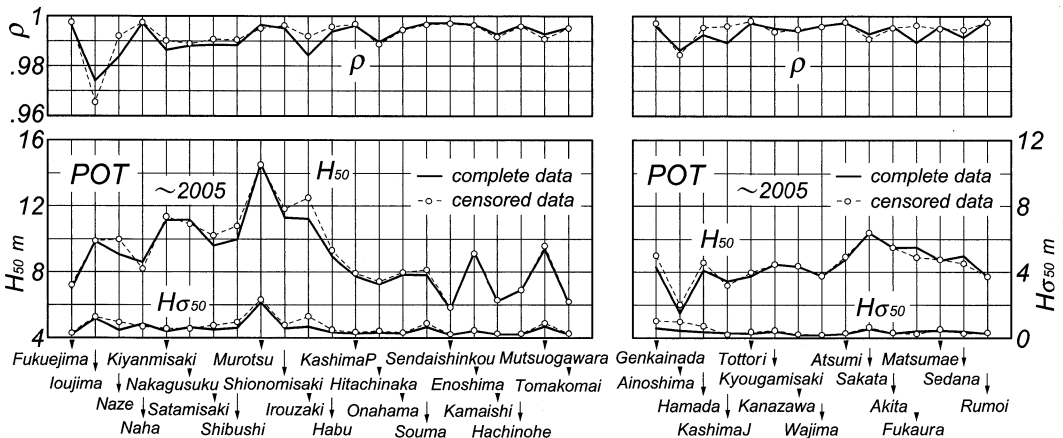


図-5 極大波高資料に対する全資料解析と第1位値欠測解析に基づく極値統計解析の結果

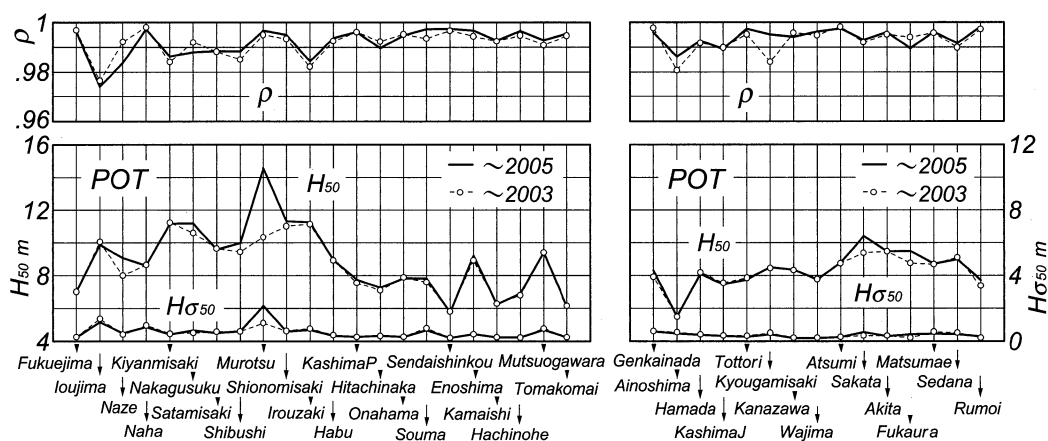


図-6 2003年までと2005年までの極大波高資料に対する極値統計解析の結果

金沢、温海、玄界灘、福江島の7地点でやや大きいけれども、他の28地点では、ほぼ同程度かあるいは小さい。つまり、大部分の観測地点では資料年数と資料数の増大に伴って、POT資料への最適分布の適合度が向上する。ただし、2003年までの第1位値を上まわる異常波高が2004年以降に生じた観測地点では、資料数の増大によってかえって相関係数の値が小さくなることもある。

確率波高をみると、太平洋岸・東シナ海沿岸においては2004年以降にそれまでの期間最大波高を4 m以上更新した室津で確率波高が4.2 m増加するが、標準偏差も1.1 m増加し、両者の比の%値で与えられる変動係数は10.7%から14.8%に急増する。中城(期間最大波高を1.3 m更新)、名瀬(期間最大波高を0.7 m更新)、志布志(期間最大波高を0.7 m更新)でも確率波高がそれぞれ0.6 m、1.1 m、0.5 m増加するが、標準偏差の変化はそれほど大きくない。他の地点では確率波高はほとんど有意な変化を示さず、標準偏差は少し小さくなる。日本海沿岸でも深浦(期間最大波高を2.3 m更新)と酒田(期間最大波高を0.8 m更新)で0.7 mおよび1.0 mの確率波高の増加とそれぞれ0.2 mの標準偏差の増加がみられる。

4. 結 語

本研究の結果はつぎのように要約される。

①年最大波高資料には、統計的に有意な傾向変動はほとんど見出されない。

②年最大波高資料と極大波高資料による確率波高の推定値に有意な差は生じないが、標準偏差に関して後者が小さい値をとり、より有効な推定値を与える。

③気象要因別極大波高資料に対する解析結果の確率的

合成手法や第1位値欠測解析手法は統計的有效性(確率波高の標準偏差の減少)をほとんど向上させない。

④2004年以降に期間最大波高が大幅に更新された地点では、2003年までの資料に基づく結果と比べて、確率波高のみならず標準偏差の有意な増加がみられる。確率波高の増加が大きくない地点では、標準偏差はほぼ不変かあるいはやや小さくなる。期間最大波高が同じ値を保つ地点では、確率波高はほとんど変化せず、標準偏差はやや小さくなる。

⑤要するに、できるだけ長い期間の極大波高資料を標準的な方法で解析する場合に、最も高い精度の確率波高推定値が得られる。

最期に、本研究では波浪観測資料としてNOWPHAS資料および気象庁資料を全面的に利用していることを記して、謝意を表する。

参 考 文 献

- 泉宮尊司(2000)：設計波の合理的設計法，2000年(第36回)水工学に関する夏期研修会講義集，Bコース，土木学会海岸工学委員会・水理委員会，pp.B-3-1-B-3-20。
- 合田良實(1990)：港湾構造物の耐波設計—波浪工学への序説—，鹿島出版会，333p。
- 鈴木栄一(1975)：気象統計学(第5版)，地人書館，314p。
- 山口正隆・畑田佳男・大福 学・野中浩一(2000)：最小2乗法を用いた極値統計解析モデルのcensored dataに対する精度の検討，海岸工学論文集，第47巻，pp.211-215。
- 山口正隆・畑田佳男・野中浩一・大福 学(2001)：極値統計解析における層別化手法の適用性の検討，海岸工学論文集，第48巻，pp.181-185。
- Yamaguchi, M. and Y. Hatada(1997)：An extremal analysis system and its application to the estimation of extremes of meteorological and oceanographic elements around the coasts of Japan, Proc. WAVES97, Vol.2, pp.932-946。