

II-474 波高分布の統計解析手法の検討

東北電力(株) 正会員 氏家久芳 奥野敏彦
(株)大崎総合研究所 正会員 鈴木 誠 ○ 稲田 裕

1 はじめに

海岸構造物の設計を行なう場合、構造物の安全を保証するためには数年、数十年といった長い年月に起こりうる極値波浪を予測し考慮する必要がある。しかし、波浪データは実測値が数年といった短い期間しか得られていない場合が多く、限られた数のデータから長期の時間内に起こりうる極値を推定しなければならない。したがって、波浪データの極値統計解析を正しく行なうことは設計上、非常に重要である。しかし、構造物の設計を目的とした波浪の統計解析を見てみると、用いるデータの選択等が適切に行なわれていないことがある。また、従来の設計手法では、得られた波浪統計の結果はある再現期間に対する期待値として用いられるのみである。しかし、波浪統計解析に基づいた極値波高の分布関数自体を用い、信頼性設計法によって構造物の損傷確率を詳細に検討することができれば、より経済的な設計が可能となると思われる。

ここで波浪データの統計解析手法に関しては、合田が統計理論と数値シミュレーションに基づく手法を提案している。そこで本論文では、合田の手法を基に波浪の観測値について統計処理を行ない極値波高の確率分布を求める。そしてその信頼性を評価し、設計への適用を検討する。

2 解析手法

a) 波高の観測値について：この波浪の統計解析は、発電所防波堤への信頼性設計法の適用のための荷重の評価として行なった。解析に用いるデータは発電所建設のための海域調査のうち、防波堤設置位置で超音波式波高計を用いて測定した記録から、有義波高の日最大波高変化を求めた結果を用いる。

b) 極大値資料の作成：ここでは、年最大波高(有義波高)の確率分布を求めることを目的としたが、波高の測定は1980年から約10年しか行なわれておらず、10個程度の年最大値に基づく分布の推定では信頼性が低くなってしまう。そこで、高波の極大値資料を作成し、まず極大値波高の確率分布を推定する。資料の作成に用いた日最大波高の変動を、1989年度を例として図-1に示す。データ数が適当となるように図中に実線で示した1.5mを足きりラインとし、これを越える波高をまず選び出す。さらに天気図を参照し、同じ要因による高波については極大値のみを選び出す。このようにして得られた極大値波高の頻度分布を図-2に示す。

c) 確率分布の推定手法：極大値波高の分布関数の推定は、極値波高の確率分布として適しているとされているF T - I型分布(Gumbel分布)とワイブル分布を分布関数として用いて行なった。各分布の分布関数は、それぞれ次のように表わされる。

F T - I型分布 : $F(x) = \exp[-\exp\{-(x-B)/A\}]$ 、ワイブル分布 : $F(x) = \exp[-\{(B-x)/A\}^k]$

さらに、得られたデータを順序統計量に組み直し、各データに対する非超過確率を各関数に応じて適当なプロットング公式を用いて計算する。ここでは合田の手法に従い、それぞれグリーンガルテン公式、修正P & A公式を用いた。そして、母数A、Bの推定を最小二乗法を用いて行ない、相関係数が大きいものを適合関数と判定する。なおワイブル分布に関しては、あらかじめ形状母数を4種類($k = 0.75, 1.0, 1.4$ および 2.0)に固定して、残された母数を推定した。

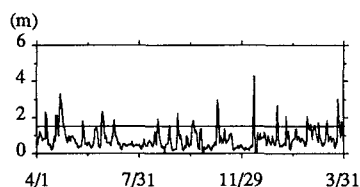


図-1 日最大波高変動(1989)

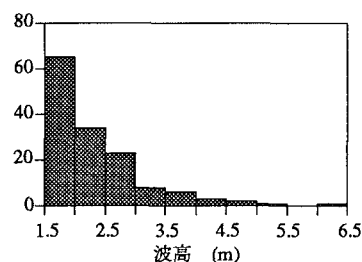


図-2 極大値波高の頻度分布図

3 計算結果とその考察

a) 極大値波高分布の推定: それぞれの分布関数について、求められた母数と相関係数 r を表-1に示す。極大値波高分布として、相関係数の大きい $k=1.0$ のワイブル分布またはF T-I型分布が適していると推定することができる。図-3に、2つの分布関数について確率密度関数を比較する。波高の大きな範囲では、2つの分布関数はほぼ同じ傾向を示していることがわかる。

b) 年最大波高分布の推定: 次に、上で求められた極大値波高の分布関数を $F^*(x)$ とおき、損傷確率の計算に用いる年最大値の分布関数 $F(x)$ を $F^*(x)$ を用いて表わす。今、波高の極大値の発生がポアソン分布に従うと仮定し、またその平均発生回数を λ 回/年とおくと年最大波高の分布関数は次のように表わされる。

$$F(x) = \exp[-\lambda \{1 - F^*(x)\}]$$

そして、前項で求めた極大値波高の分布関数を $F^*(x)$ として上の式に代入することにより、年最大波高の分布関数を求めることができ、それぞれの確率密度関数は図-4に示すようになる。2つの極大値分布関数に基づく年最大波高の分布は、F T-I型による結果の方がややピークの値が大きくなっているものの、ピークを取る波高の値などはほぼ同じ形状の分布である。

c) 期間最大値資料による結果との比較: 年最大波高のみの期間最大値資料に基づく検討はデータ数の不足から信頼性が劣るが、母集団の推定という意味からわかりやすい。そこで、次に年最大値資料に基づく解析を行ない、両資料に基づく結果を比較し、極大値資料による結果の信頼性を検討する。波高の年最大値の資料は、極大値資料から各年における最大の波高を選ぶことにより得られる。そして、極大値資料の際と同様の手法で分布関数の推定を行なった。その結果、 $k=2.0$ のワイブル分布、またはF T-I型分布が適していると推定を行なうことができるが、それらの相関係数は表-1に示したものよりも小さく信頼性は低い。図-5に推定された年最大波高の確率密度関数を表す。図中には、ワイブル分布で表される極大値の分布より得られた年最大波高の確率密度関数を同時に示した。極大値資料と年最大値資料に基づいた結果を比較すると、両資料による分布関数は同じ傾向を示しており、極大値資料を用いた分布関数の推定結果が年最大波高の性質を表わしていることが分かる。したがって、示した手法の極大値資料の選択等は適切であり、得られた極大値波高分布に基づいて信頼性設計を行なうことが可能であると考えられる。

4 まとめ

海岸構造物を設計する際には、作用する波高についてその不確実性を考慮することが重要となる。本論文では、比較的短い期間の波浪観測によって得られた波高データから、構造物の信頼性設計に必要とされる有効な確率分布を統計理論に基づいて求めることができることを示した。

参考文献 合田良実: 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, 港湾技研報告集, 27-3, pp.31-92, 1988.

表-1 分布関数の推定

分布関数	A	B	r
F T-I型	0.756	1.278	0.997
ワイブル ($k=0.75$)	0.465	1.415	0.991
($k=1.0$)	0.829	1.030	0.999
($k=1.4$)	1.421	0.438	0.984
($k=2.0$)	2.300	0.430	0.984

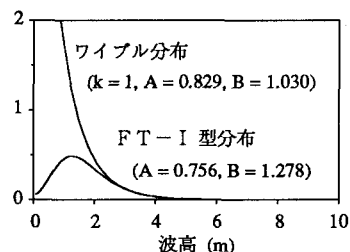


図-3 極大値波高の分布関数の比較

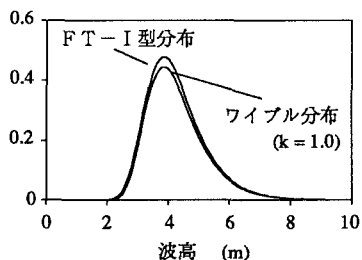


図-4 年最大波高の確率分布の比較

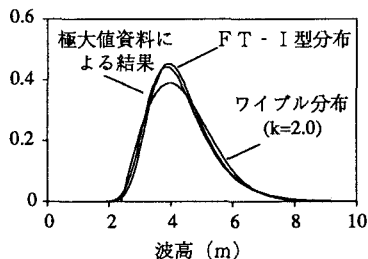


図-5 年最大値資料に基づく推定