

1. 背景と目的

平成 19 年, 国土交通省は海中構造物の設計基準を従来の仕様規定型設計から, 性能設計法へと変更した. この方法は, 多少の破損があっても要求性能を満たしている限り構造物として機能していると考え, 耐用年数の間に破損が進行して機能が低下した場合には補修により対応するなど, 効果的な維持方策をとって長期間の安定的な使用を可能とする, マネジメントの見地からも一歩進んだ考え方である. しかし, 新しい基準の問題点は, 外力による部分的な破損と構造物の機能の低下の関係が明らかでないこと, 設計波の決定に使用されてきた極値波浪統計の他に, 新たに日常的な波候の統計情報が必要となることなどである. 特に, 波候統計は研究例が少なく, 我が国における従来の研究は, 広瀬ら (1982) による有義波高や周期の頻度分布, 両者の結合分布に関する研究などがあるものの数は非常に少ない. 知見についても, 日本海沿岸の波高のデータはほぼ Weibull 分布に従うが, 太平洋沿岸の波高データに対する Weibull 分布の適用はあまり良い結果を与えないことなどと限られている.

筆者らは日本沿岸の波候の総合的な特性について, 新たに波の時系列データには周期的な要素, 台風などによる異常な要素ならびに日常的な波候の要素が混在していると考えてこれらを区分した検討を行っている. 例えば年間の有義波高の時系列は

$$\begin{aligned} \{H\} &= \{H_1, H_2, H_3, H_4, \dots, H_N\} \\ &= \{\text{周期的な現象}\} + \{\text{突発的で異常な要素}\} \\ &\quad + \{\text{日常的な要素}\} \end{aligned} \quad (1)$$

のようであり, それぞれの要素が異なる母集団に属する不規則な要素であると考えられる. 本文では最後の日常的な要素に対する検討結果を示す.

2. データの解析

NOWPHAS (全国港湾海洋波浪情報網) より提供されている観測データより, 日本沿岸 61 ヶ所の観測地点の中から選出した 24 ヶ所を研究対象とし, 2001 年

～2005 年までの 5 年間の 1 日 2 時間毎の有義波高とその有義波周期の観測データを用いた. 図-1 はその一例を示したもので 2002 年の瀬棚の波高の記録である.

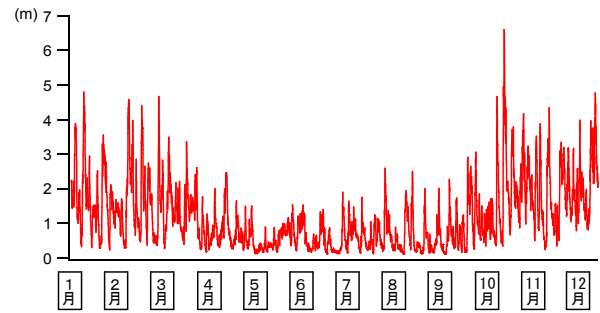


図-1 1 年間の有義波高のデータ

このデータに対してフーリエ変換を行い, 時系列に含まれる 1 週間程度までの周期成分を除いた. 結果の 1 例を示したものが図-2 である.

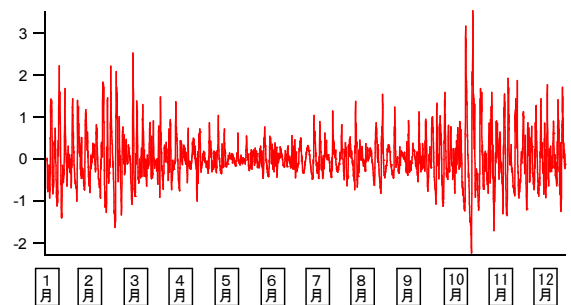


図-2 フーリエ変換後のデータ

図-2 からわかるようにこのデータには夏期小さく, 冬期に大きいという季節特性がある. これを平滑化する為, 各月のデータを月毎のデータの標準偏差 σ で割って正規化した. 図-3 にその結果を示す.

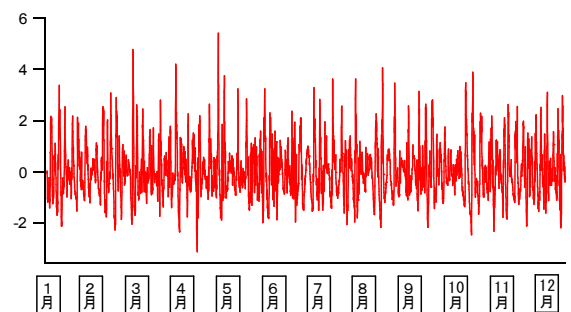


図-3 正規化したデータ

図-3に示したデータの頻度分布を正規分布と比較したところ、日本沿岸全域でデータの分布は例外なく正規分布に比して峰が尖り、負の側に歪みを持つ分布形状を示すことが分かった。ここではデータと上記のような特性を示す頻度分布に対してよく用いられる正規確率分布をGram-Charlier展開を用いて近似した次式（以後、Gram-Charlier分布）および正規分布とを比較し、適合性を検討した。

$$f(x) = \alpha(x) \left\{ 1 + \frac{1}{2}(\mu_2 - 1)(x^2 - 1) + \frac{1}{6}\mu_3(x) + \frac{1}{24}(\mu_4 - 6\mu_2 + 3)(x^4 - 6x^2 + 3) \right\} \quad (2)$$

ここに、 $\alpha(x)$ は標準正規分布の確率密度関数、 $\mu_i = E[x^i] = E[(y - \mu)/\sigma]^i$ 、 $(i = 1, 2, \dots)$ であり、平均値 μ_1 、標準偏差 σ なる確率変数 y について $x = (y - \mu_1)/\sigma$ のように正規化している。

日本海側のデータのGram-Charlier分布との適合性は例外なく非常に良好であった。図-4、図-5はそれぞれ鳥取、瀬棚(北海道)における有義波高の頻度分布とGram-Charlier分布、正規分布をそれぞれ比較したものである。

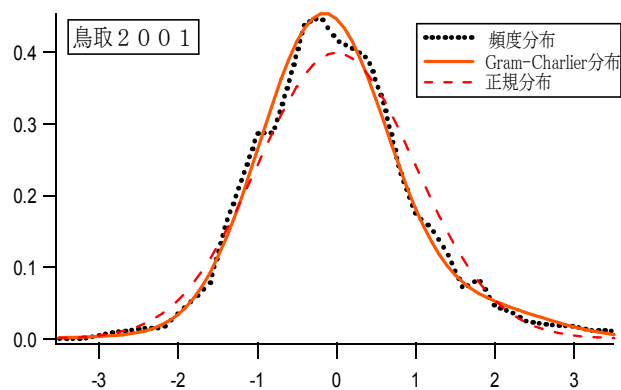


図-4 鳥取2001年の解析結果と比較

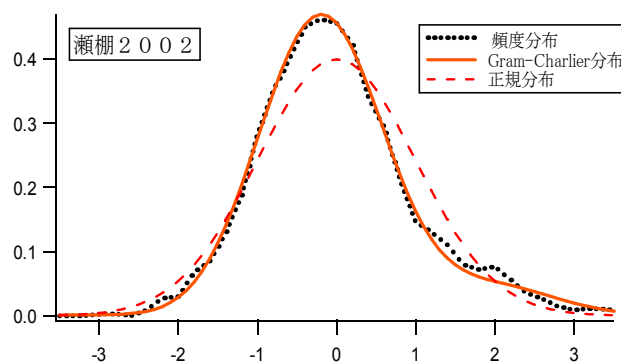


図-5 瀬棚2002年の解析結果と比較

図-4、図-5より、場所、年に関わらず正規化した有義波高の頻度分布とGram-Charlier分布との対応は、非常に良好である。

太平洋側のデータのGram-Charlier分布との比較でも、日本海側のデータの結果と比べると適合度が幾分悪いものの比較的良い結果が得られた。しかし、太平洋側沿岸を南下するにつれてデータとGram-Charlier分布との対応が悪くなる傾向が見られ、特に四国の数箇所で他と比べ対応の悪い結果が得られた。その一例として今回解析の結果、最も適合度の悪かった上川口(高知)の2004年の解析結果を図-6に示す。

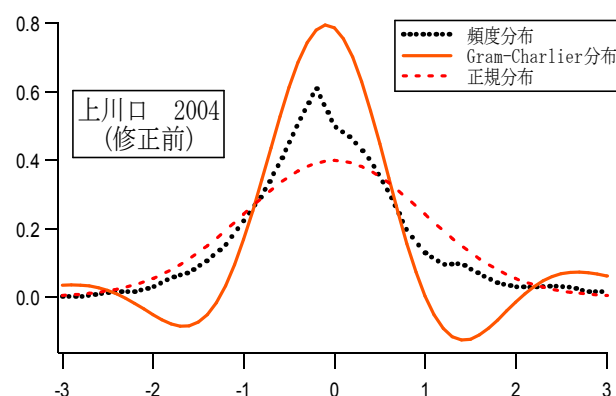


図-6 通常の解析結果と比較

対応の悪い理由は、Gram-Charlier展開の第4項までで打ち切ったことによるもので、データの3次および4次のモーメントが強く影響しているためと考えられる。このため、「台風」などによる大きな波高がこれらのモーメントに影響し、結果として分布形状にひずみを与えている。これらの特異な波の影響を除くため、上川口の台風来襲時を調べ、図-7.1に示すように元の有義波高のデータから台風によるものを除去した。結果を示したものを図-7.2に示す。

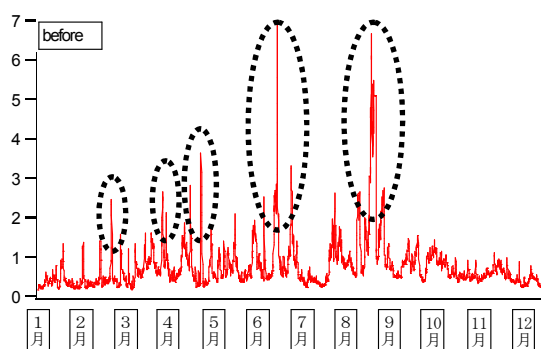


図-7.1 台風を含む有義波高のデータ

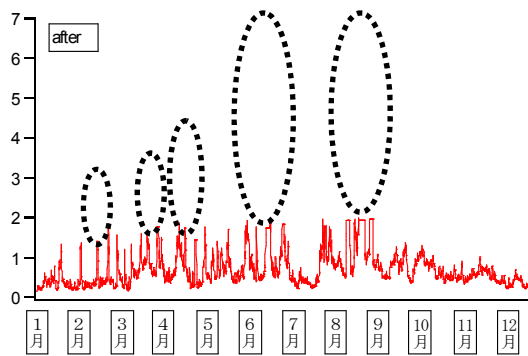


図-7.2 台風を除去した有義波高データ

図-7.2のデータについて再度同様な検討を行った結果を図-8に示す。

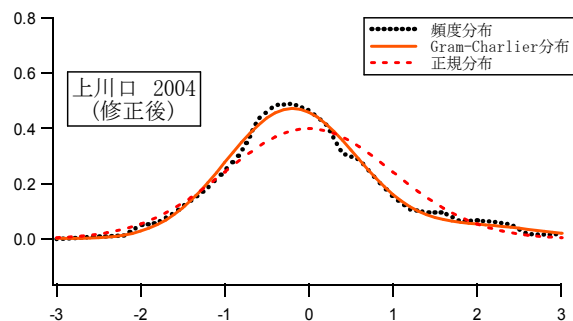


図-8 台風の要素を除去した解析結果と比較

台風の影響を除去した修正後の解析結果は前者と比べ、適合度が大幅に改善されている。台風を除いた太平洋側・日本海側の全てのデータと Gram-Charlier 分布との対応はいずれも良好な結果が得られた。

次に、データの頻度分布の偏り度の主要な指標である 3 次モーメントの Skewness, 同様に分布形状の尖り度である 4 次モーメントの Kurtosis の地域ごとの特性について検討を行った。解析結果の中から、日本海側・太平洋側それぞれ 6 ヶ所ずつ計 12 地点の 5 年分の Skewness と Kurtosis の値をそれぞれ図-9・図-10に示す。

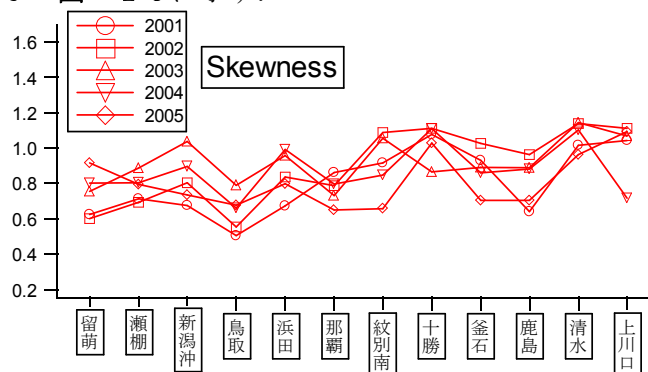


図-9 Skewness (スキューネス)

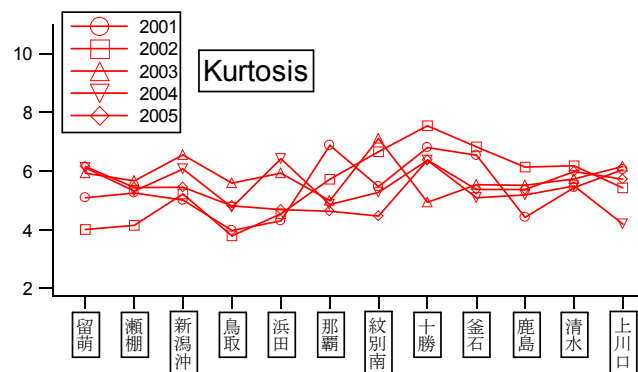


図-10 Kurtosis (クルトシス)

これらの図より、観測地点によって幾分の変動はあるが Skewness の値は約 0.8, Kurtosis は約 6 であり、観測地点によりあまり大きな相違がない結果が得られた。

3. まとめ

日本沿岸の波候の確率特性に内在する不規則構造に関して 5 年間の有義波高とその周期のデータを用いて波候に対する統計的な検討を行った。経年的な変化ならびに台風などによる異常値を除去した値は Gram-Charlier 分布と良好な対応性を示した。Skewness, Kurtosis は観測地点に関わらずそれぞれ 0.8, 6 程度の値が得られた。したがって式(1)の第 3 項に関する確率特性は日本海沿岸全域ではほとんど同じと考えて差し支えない。

参考文献

- ・ナウファス：港湾空港技術研究所，リアルタイムナウファス，有義波実況日表，
<http://www.mlit.go.jp/kowan/now-phas/index.html/>
- ・柳和久：振幅パラメータ (Height Parameters)，
<http://orion.nagaokaut.ac.jp/3Dpara/3Dpara1.html>
- ・福井昭吾：高次積率に対する確率ボラティリティモデルの拡張，九州大学研究 第 7 2 回，2005
- ・合田良実：港湾構造物の耐波設計(増補改訂) 鹿島出版会，pp265～pp326
- ・広瀬宗一，高橋智晴：観測結果に基づく沿岸波浪の出現特性，港湾技術研究所講演集，pp.1～55，1982。