

II-278

任意スペクトル形状の不規則波浪の特性および周期確率分布の提案

新潟大学大学院工学研究科 学生員 古俣 弘和

新潟大学工学部建設学科 正員 泉宮 尊司

1. はじめに 任意スペクトル形状の不規則波浪の特性を知ることは、海岸構造物の信頼設計を行う上できわめて重要なことである。しかしながら、従来の研究では狭帯域スペクトルであるとの仮定を用いているために、特に確率変数の変異係数の推定値の精度が悪く、周期分布のように発散する場合もある。そこで本研究では、任意スペクトル形状の不規則波浪を数値シミュレーションにより発生させ、その統計的特性を調べ、スペクトル形状との関係を明かにするとともに、周期確率分布については簡便な方法により求めた公式を提案する。

2. 不規則波浪の発生方法およびスペクトル形状 不規則波浪の統計的特性に関する研究は、Longuet-Higgins(1952, 1957, 1975)により狭帯域の仮定を用いた理論的な研究が行われている。また、数値シミュレーション法を用いた合田(1970, 1977, 1985)による詳しい研究がなされている。これらの研究により、不規則波の特性がかなり明かとなったが、スペクトル形状との関係については未だ不明なところが多い。そこで本研究では、まず磯部・古市(1986)による逆FFT法を用いて任意スペクトル形状の不規則波浪を発生させ、代表統計量と狭帯域パラメタ ν との関係を調べた。数値シミュレーションに用いた周波数スペクトル $S(f)$ は、

$$S(f) = \alpha_1 H^2_{1/3} T_p (f/f_p)^{-m} \exp [-(m/n) * (f/f_p)^{-n}] \quad (1)$$

であり、 $n=4$ と固定し $m=3, 4, 5, 10$ と変化させた。発生させた不規則波のスペクトルと目的のスペクトルとを比較したのが、図-1である。両者の一致度はかなり良いが、データ長が有限 ($N=8192$, $T=2048$ s) であるので、低周波側において幾分異なっていることがわかる。

3. 代表統計量と狭帯域パラメタ ν との関係 代表統計量とスペクトル形状の一種の尺度である狭帯域パラメタ ν との関係をプロットしたのが、図-2である。図中の○印および△印は、それぞれ ν の理論値およびスペクトルの数値積分によって求めたものを用いてプロットしたものである。この図をみてもわかるように、 ν の値が1に近づくにつれて、Rayleigh分布より求めた理論値との差が大きくなっている。代表波高と ν との間に一意的な関係が存在しているようなので、次のような関係式を用いて最小2乗法により、係数を決定した。

$$H_r / \sqrt{m_0} = A (1 - B \nu^m) \quad (2)$$

ここに、 H_r は代表波高、 m_0 は全エネルギー、 A はRayleigh分布に基づく理論値であり、 B および m は求めるべき係数である。最小2乗法により△印の有義波高に対しては、 $B=0.126$, $m=0.814$ 、なる値が得られた。この結果を用いて、 $H_{1/3} / \sqrt{m_0}$ の値を計算すると、 $\nu=0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ に対してそれぞれ 3.87, 3.77, 3.67, 3.58 となる。

4. 周期確率分布の提案 周期確率分布に関しては、Longuet-Higgins(1957)による狭帯域スペクトルの仮定に基づいた理論分布があるに過ぎない。また経験的な公式としては、Bretschneider(1959)による T^2 -Rayleigh分布や岩垣・木村(1975)によるWeibull分布の適用例があるが、スペクトル形状との関連については、殆ど議論されていない。そこで本研究では、周期確率分布とスペクトル形状とを関連付けるために、次のような方法によった。まず、波別解析によって得られた周期 $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ に対して、 $\sigma_1 = 2\pi/T_1$, $\sigma_2 = 2\pi/T_2$, $\sigma_3 = 2\pi/T_3$, $\dots$, $\sigma_n = 2\pi/T_n$ を作り、その分布 $P(\sigma)$ を考える。 $P(\sigma)$ と角周波数スペクトル

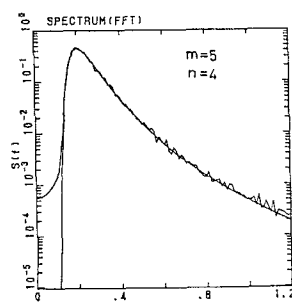


図-1

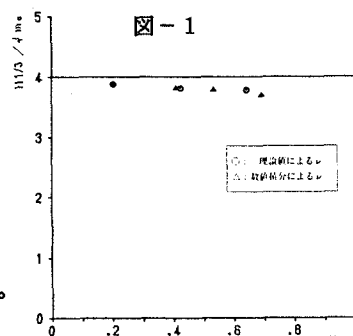


図-2

$E(\sigma)$ との間に線形的な変換関係が存在すると仮定すると、 $P(\sigma)$ は次のような畳み込み積分を用いて表される。

$$P(\sigma) = \int_0^\sigma E(\sigma') h(\sigma - \sigma') d\sigma' \quad (3)$$

ここに、 $h(\sigma - \sigma')$ は線形応答関数である。上式の積分を評価する際に、 $h(\sigma - \sigma')$ が δ 関数に十分近いとして近似的に積分を行った。その結果は、

$$P(\sigma) \doteq \gamma E(\beta \sigma) / m_0 \quad (4)$$

である。ここに、 β, γ はある定数である。 β, γ の値を決定するために、次の2つの条件を用いる。

$$\int_0^\infty P(\sigma) d\sigma = 1, \quad \bar{T} = \int_0^\infty T P(T) dT = (m_0 / m_2)^{1/2} \quad (5)$$

ここに、 $P(T) = P(\sigma) | d\sigma / dT |$ である。以上の方法により求められた周期確率分布は、

$$P(T) = m(T/\beta T_p)^{m-2} \exp[-(m/n) * (T/\beta T_p)^n] / \{(m/n)^{n-m+1} / n \Gamma((m-1)/n)\} \quad (6)$$

である。ここに、 $\beta = \Gamma^{3/2}((m-1)/n) / \{\Gamma(m/n) * \Gamma^{1/2}((m-3)/n)\}$ である。式(6)の周期確率分布は、平均周期が存在する範囲において、分散値も存在する。また、 $m = n + 1$ のときには Weibull 分布になることがわかる。

図-3および図-4は、数値シミュレーションによる結果(ヒストグラム)と新たに提案された周期分布(実線)および Longuet-Higgins(1957)(点線)とを比較したものである。本研究で求めた周期確率分布は、ピーク周辺でやや大きな値を示すようであるが、その他の範囲ではシミュレーション結果と良く一致しているといえる。周期の出現確率の小さいところでの、理論分布とシミュレーション結果との一致度を確かめるために、周期の累積分布を Weibull 確率紙上で比較したのが、図-5および図-6である。これらの図をみると、Longuet-Higgins の理論分布より本研究で提案された分布の方がシミュレーション結果に良く一致していることがわかる。

図-7は、周期の変異係数を比較したものである。図中の○印は本研究のシミュレーション結果であり、△印は合田(1985)によるもの、実曲線は式(6)の確率分布より求めたものである。理論値の方がやや値が小さいが、狭帯域パラメタの値が大きくなるにつれて変異係数が増加する様子は比較的良く類似しているといえよう。

5. 結言 数値シミュレーションにより、代表波高と狭帯域パラメタとの関係を調べ、その関係式を提案した。また、周期の確率分布についてもスペクトル形状を考慮した分布式を提案し、数値実験結果と比較したところ、その適合性はかなり良好であることがわかった。

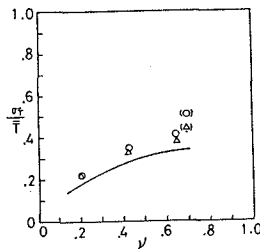


図-7

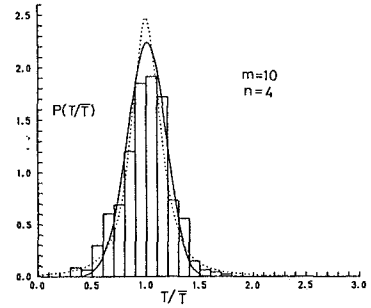


図-3

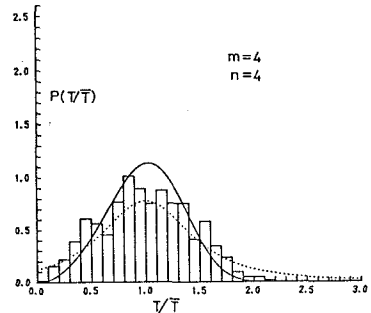


図-4

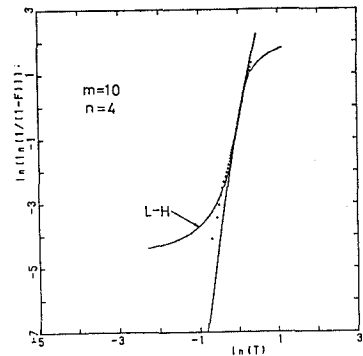


図-5

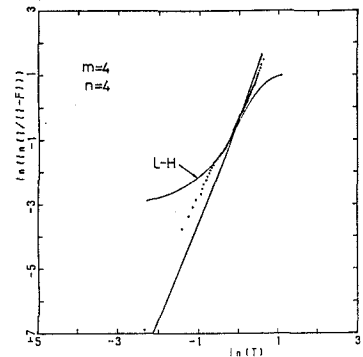


図-6