

§1. はじめに

不規則波の波高・周期の結合確率特性を知ることは、浅海域における波浪の力学的特性を推定するうえで重要なことである。波高・周期の結合確率分布に関して、従来、Longuet-Higgins, Bretschneider, Battjes, 等の研究を挙げることができるが、まだ必ずしも十分満足できるものはない。木村ら¹⁾は不規則波の波高と周期の結合確率が具備すべき要件として次の3点を挙げ次式で示す2次元Weibull分布を提案した。3要件とは、①波高の確率分布はRayleigh分布であること、②周期のそれはWeibull分布、もしくはそれに近い分布であること、③波高と周期の相関特性を考慮していることである。

$$P(h, t) = \frac{mn}{4A} h^{m-1} t^{n-1} \exp\left[-\frac{1}{2A}(\phi_1 h^m + \phi_2 t^n)\right] I_0\left(\frac{h^{\frac{m}{2}} t^{\frac{n}{2}}}{A}\right) \quad (1)$$

ここで m, n は2次元Weibull分布の形状母数、 $A = \phi_1 \phi_2 - \rho^2$ 、 $\phi_1 = \frac{1}{2}[\Gamma(\frac{m+2}{m})]^{-\frac{m}{2}}$ 、 $\phi_2 = \frac{1}{2}[\Gamma(\frac{n+2}{n})]^{-\frac{n}{2}}$ 、 $I_0(\cdot)$ は変形Bessel関数、 $\Gamma(\cdot)$ はガンマ関数であり、 h, t は波高(H)および周期(T)をそれぞれの rms 値(H_r, T_r)を用いて正規化したものである。また、 ρ は波高と周期の相関に関するパラメータであり、これは、相関係数(r_{ht})との間に次式の関係を有する。

$$r_{ht} = \frac{\Gamma(\frac{m+1}{m}) \Gamma(\frac{n+1}{n}) \left\{ F(-\frac{1}{m}, -\frac{1}{n}; 1; \frac{\rho^2}{\phi_1 \phi_2}) - 1 \right\}}{\sqrt{[\Gamma(\frac{m+2}{m}) - \Gamma(\frac{m+1}{m})^2][\Gamma(\frac{n+2}{n}) - \Gamma(\frac{n+1}{n})^2]}} \quad (2)$$

ここで $F(\cdot)$ は超幾何関数である。

2次元Weibull分布と実測値との対応は、データの集中する部分においては非常に良好であるが、データの少ない部分では幾分悪くなっている。木村らは、これは波高・周期の結合分布は、部分的に両者の相関特性が変化するという非常に複雑な分布特性を有するためであると結論している。この研究は(1)式で示す2次元Weibull分布をこうした相関特性に対処することができるよう修正を試みたものである。

§2. 2次元Weibull分布の修正

ここで用いたデータは岩垣・木村・岸田の実験結果であり、電気油圧式不規則波発生機を用いて発生させたものであり、Pierson-Moskowitz型等のsingle peakスペクトルシミュレーションの結果である。図-1は波高・周期の2次元分布と2次元Weibull分布との比較を示したものである。ここでは示さなかったが、波高および周期のそれぞれの分布はWeibull分布と非常に良好な対応を示した。図-1より、2次元Weibull分布は H/T_r 、 T/T_r が1.0付近より離れるにつれてデータとの対応が悪くなっていることがわかる。そこで、周辺分布を変化させずに、データと2次元Weibull分布との対応を改善するため、 h あるいは t の値を固定した断面において ρ の値を変化させ、データと式(1)とが最も良好な適合性を示すときの ρ 値を求めた。その結果、 ρ/ρ (ここでは式(2)より求めた平均的な値である)は固定した t の値が増加するにつれて、ほぼ直線的に減少していることがわかった。すなわち、 ρ が1.0より大きな領域では ρ を大きくすることで、 ρ が1.0より小さな領域では逆に ρ を小さくすることで、(1)式と

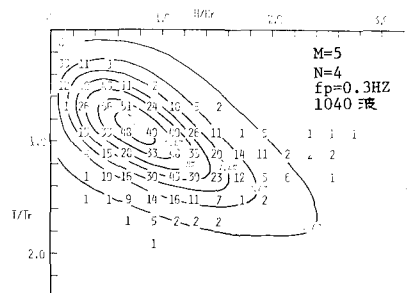


図-1 実測値と2次元Weibull分布との比較

データとの対応が改善される。その値による β の変化を次式のように直線で近似すると、

$$\beta_0/\beta = (\alpha - 1)\alpha + 1 \quad (3)$$

直線の勾配 α は、周期に対するWeibull分布の形状母数 n との間にほぼ次式の関係を有するようである。

$$\alpha = 0.46n - 1.05 \quad (4)$$

図-2は、この n と α の関係を示したものである。図中の直線が(4)式である。図-2より、データのばらつきも少なく直線との対応も良好であり、ここで用いたデータの範囲内では、(3)、(4)式は妥当であると考えられる。

§3. 考察

§2で求めた実験式(3)、(4)による(1)式の修正が他のデータについても適用できるかどうかを検討するため、合成波法によるシミュレーションで5000波の波を発生させて、そのデータに対して修正2次元Weibull分布の適用を試みた。期待スเปクトルとしては、 $S(f) = C_1 f^{-M} \exp\{C_2 f^{-N}\}$ のタイプのものを用い、 $N=4$ と固定し、 M を4～8まで変化させて用いた。図-3～5は実測値と修正2次元Weibull分布との比較を示したものである。各図とも両者の対応は良好であり、特に n が比較的大きな領域および小さな領域で、両者の対応が改善されている。

§4. おわりに

本研究ではデータが大部分集中している領域、すなわち T/T_r が0.4～1.6までの領域について最適となる β を求め、その結果から β が直線的に変化すると仮定した。しかし、 T/T_r が非常に小さな部分では、式(3)、(4)を用いて計算した β_{fit} の値が1.0を越える部分があったり、逆に T/T_r が非常に大きな部分では β_{fit} の値が-1.0より小さくなる場合もあり、ここで示した修正はあくまで0.4 < T/T_r < 1.6の範囲の中に限られる。しかしながら、データのほとんどすべてはこの範囲の内にあり、その限りにおいては、ここで示した修正はほぼ妥当であるといえる。ここでは非常に多くのデータを用いてその波高・周期の結合分布を検討したが、実際の現地波高において数千波も定常状態が続くことは考えられない。その意味において、こうした多量のデータによる研究結果がすぐ適用できるかどうか疑問であり、今後検討を要すると思われる。

最後に、本研究で用いたデータは岩垣・木村・岸田の実験結果であることを記し、感謝の意を表する。

(参考文献)

- 1) 木村晃・上総周平；波高・周期の結合分布について、昭和52年度土木学会関西支部年次学術講演会講演要旨集、1977

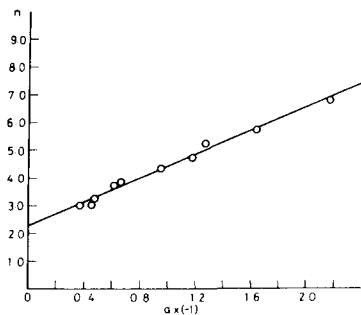


図-2 n と α の関係

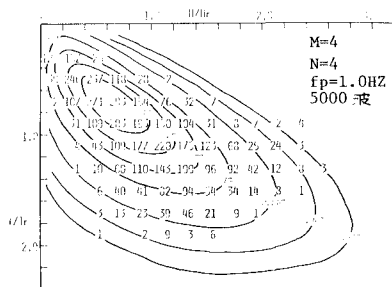


図-3 実測値と修正2次元Weibull分布との比較

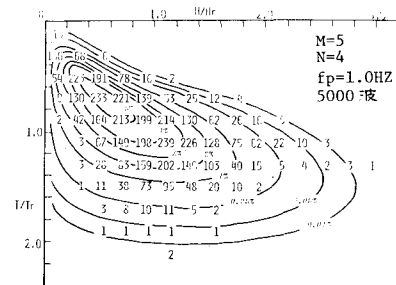


図-4 実測値と修正2次元Weibull分布との比較

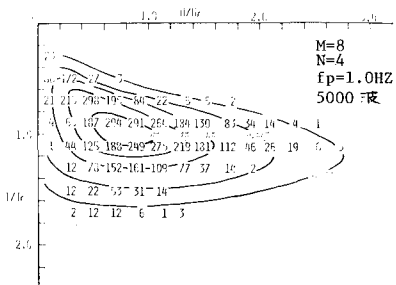


図-5 実測値と修正2次元Weibull分布との比較