

波別解析法により得られる波浪代表量の統計誤差について

名古屋工業大学大学院 正会員 北野 利一
 名古屋工業大学大学院 ○ 安藤 智樹

1. 目的 有義波高は沿岸構造物の設計において代表的な外力指標であり、来襲する沖波を設定する極値波浪解析においては、暴浪時の有義波高の極大値が基礎資料として用いられる。有義波高は、波列の特性量を表わすための平均量の1つであり、統計的変動性による誤差が含まれる。合田(1987)は、所与の波浪スペクトルに対する不規則波を数値シミュレーションにより発生させ、有義波高を含む各種の波浪統計量の統計的変動特性を検討している。波浪統計量の変動性についての理論的検討としては、Tucker(1957)による波形の標準偏差 η_{rms} と Cavanie(1979)による平均周期 T_{02} のみが挙げられる。これらの統計量は、周波数領域のスペクトルモーメントで直接定義されるものであるのに対し、時間領域における波別解析法で定義される統計量、特に、有義波高のような波列の部分集合に対する統計量の変動特性については、理論解が得られていない。本研究では、波列の部分集合に対する統計量の変動特性を順序統計量の統計的特性として理論的に扱うために、波別解析法の個々波に対して“自由度”を導入し、有義波高の統計的変動特性に関する理論解を誘導する。ここで定義する自由度とは、互いに相関のある波高の標本を統計的に独立な波高の標本とみなした場合の波の数(標本の大きさ)を意味し、本来の自由度の意味を少し拡張させている。

2. 理論の概要 平均値の推定誤差分散が、標本の大きさに逆数に比例し、その比例係数は母分布の分散であるという統計理論の基本的定理を理論的な枠組みとして、有義波高の誤差理論を構築した。ただし、この定理は、同一分布からの独立に抽出された標本であることを前提としており、波列における波高は互いに相関があること、波高の大きい順に並べた上位の部分集合を扱うため、全ての波高に対する母分布が上位部分集合に属する波高の母分布とはならないことから、有義波高という平均値にそのまま適用することはできない。そこで、(1)水位変動の確率分布(正規分布)と波高の確率分布(Rayleigh分布)の特性の違いを考察すれば、周波数領域の全エネルギーに対する周波数成分波の自由度と個々波の波高に対する自由度の関係式が導ける。この関係式を利用し、Tucker(1957)による波形の標準偏差 η_{rms} の誤差理論を拡張して得られる周波数領域の自由度をもとに、個々波に対する自由度が算定できる。その結果、(2)独立な波高を大きい順に並べ替えた標本の母分布は、順序統計量の同時結合分布として扱

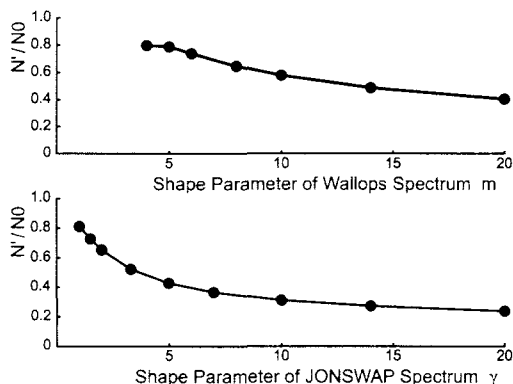


図-1 スペクトル形状に対する自由度の変化

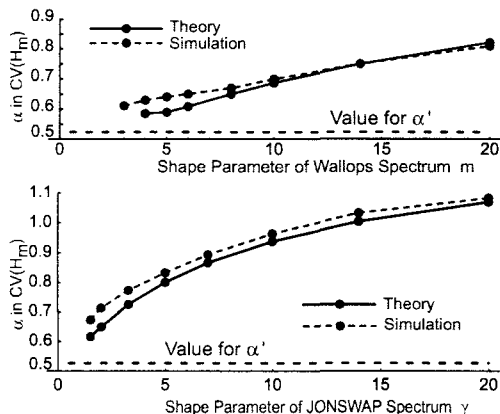


図-2 a) 平均波高の統計的変動性

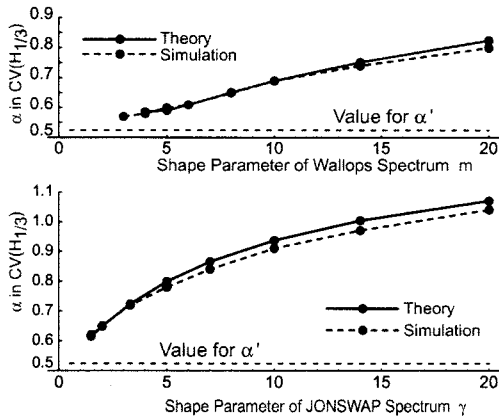


図-2 b) 有義波高の統計的変動性

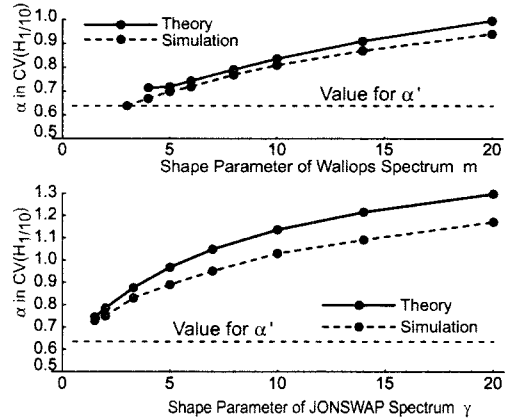


図-2 c) 1/10 最大波高の統計的変動性

うことが可能となり、順序統計量の分散および共分散を用いれば、有義波高の統計的変動性が算定できる。以上により、有義波高の統計的変動性（変動係数 CV として表現）は、次式のように導かれる。

$$CV = \frac{\alpha'}{\sqrt{N'}}; N' = \text{Min}(N_0, N_f/2); N_f = 2 N_0 m_0^2 / \left\{ \int_0^\infty S^2(f) df \right\} \quad \dots (1)$$

ここで、 N_0 、 N_f および N' は順に、標本内に含まれる個々波の数、周波数領域の自由度、個々波の自由度である。また、 α' は、Rayleigh 分布に対する順序統計量の分散および共分散から算出される量である。また、平均周期 T_{01} は、周波数領域におけるエネルギー密度の重心を表すだけでなく、Gimenez et al. (1994) で提案された新たな波別解析法による平均周期として重要である。Cavanie (1979) により導かれた平均周期 T_{02} の誤差分散と同様に、平均周期 T_{01} の誤差分散も次式のように導かれる。

$$\text{Var}\left\{ \log\left(\hat{T}_{01}/T_{01}\right) \right\} = \int f_m \left(\frac{1}{m_0^2} - 2 \frac{f}{m_0 m_1} + \frac{f^2}{m_1^2} \right) S^2(f) df / N_0 \quad \dots (2)$$

上式は、帯域幅パラメータ ν を用いて近似することも可能である（講演時に提示する）。

図-1 に Wallops 型および JONSWAP 型のスペクトルについて、形状パラメータに対する N'/N_0 の変化を示す。例えば、 $\gamma = 20$ の JONSWAP スペクトルの波列 100 波を統計的に独立な波として換算すれば、約 2.5 波程度であるといえる。なお、平均波高 \bar{H} や 1/10 最大波高 $H_{1/10}$ の変動係数 CV については、式(1)における係数 α' の値のみが異なる。図-2 に示すとおり、代表波高の統計誤差について、理論結果は合田(1987)による数値シミュレーション結果に良好に一致する。なお、合田(1987)は、波浪統計量の変動係数 CV を $\alpha/\sqrt{N_0}$ で表現した係数 α で整理しているため、図-2 では、係数 α とそれに対応する理論値 $\alpha'\sqrt{N_0}/N'$ の比較を示した。平均周期についての検討は、講演時に示す。

3. 結論 互いに相関のある波高の標本を統計的に独立な波高の標本と換算した場合の波の数を自由度として導入し、有義波高を代表とする波列の特性量についての統計的変動性の理論を構築した。また、平均周期の統計的変動性についても検討した。

参考文献

合田良実 (1987): 数値シミュレーションによる波浪の標準スペクトルと統計的性質, 第3回海岸工学講演会論文集, pp.131-135.
 Tucker, M. J. (1957): The analysis of finite-length records of fluctuating signals, Brit. Jour. Appl. Phys., Vol. 8, pp.137-142.
 Cavanie, A. G. (1979): Evaluation of the standard error in the estimation of mean and significant wave heights as well as mean period from records of finite length, Proc. Conf. on Sea Climatology, pp. 73-88.
 Gimenez, M. H., Sanchez-Carratala, C. R. and J. R. Medina (1994): Analysis of false waves in numerical sea simulations, Ocean Eng., Vol. 21, pp. 751-764.