

包絡線法の波別解析への適用について

鳥取大学工学部 正員 ○太田 隆夫
鳥取大学工学部 正員 木村 晃

1. はじめに

不規則波の解析法には、大別してスペクトル解析法と波別解析法の2つがある。包絡線法はこの2つの解析法を結び付ける方法として用いられており、これによってゼロクロス波の波高の確率特性や波群の確率特性などがスペクトルと関連付けて論じられている。従来の研究ではRiceの定義による包絡線が主に用いられており、この包絡線の振幅の確率分布がRayleigh分布となることをもとに包絡線法の理論が展開されている。しかしこの方法は狭帯域スペクトルの場合にのみ有意となる方法であり、広帯域スペクトルの場合に適用することには問題がある。また包絡線法は線形理論であり、非線形性を有する実際の波浪に用いる場合にも考慮すべき点がある。本研究は、広帯域スペクトルを対象とした場合にも包絡線による波別解析を可能とするためにスペクトルの狭帯域化を試みたもので、一定の狭帯域化規準を与えるとともにこの規準が非線形な波の場合にも有効であることを示したものである。

2. 狭帯域化規準

包絡線法においては、ゼロクロス波の最大点、最小点の水位がそれぞれの同じ時刻の包絡線振幅で置き換えられるばかりでなく、最大点と最小点の水位の確率特性が包絡線の確率特性と等しいことが前提条件となっている。これは狭帯域スペクトルの場合にはほぼ成り立つが、広帯域スペクトルの場合は包絡線波形がかなり局所的に変化することから、この前提条件は成立しない。著者らは、広帯域スペクトルの不規則波に対して最大点と最小点を滑らかに結ぶ3次スプライン曲線および直線を用いて包絡線とし、検討の結果これらの包絡線が狭帯域化したスペクトルの不規則波に対するRiceの包絡線とほぼ等しい確率特性を有することを示した¹⁾。その中で著者らは、スペクトルがある値以下となる周波数帯でスペクトルをゼロとして狭帯域化をはかった。本研究ではまず、スペクトルの形状を変えて同様の検討を行い、スペクトルを狭帯域化する規準の定式化を試みた。不規則波の期待スペクトルとしては、正規化したWallopスペクトルで $m=4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20$ としたものをを用いた。このうち $m=5$ の場合はPierson-Moskowitzスペクトルに対応する。検討の結果スペクトルをゼロとするレベルと m との次のような関係式を得た。

$$\log_{10} R = -0.054m - 0.310 \quad (1)$$

ここに、 R ：スペクトルをゼロとするレベルとスペクトルのピーク値との比
また狭帯域化したスペクトルの上限の周波数および下限の周波数と m との関係式を得た。

$$f_H = 1.333/m + 1.354 \quad (2)$$

$$f_L = -0.265/m + 0.794 \quad (3)$$

ここに、 f_H, f_L ：上限および下限の周波数とピーク周波数 f_0 との比

式(1)あるいは式(2), (3)によって狭帯域化したスペクトルを用い、Tayfun²⁾と同様の手法により波高の確率分布を導いた。なおここではLonguet-Higginsの波高と周期の結合分布をもとに波高と周期の相関を考慮して、若干の補正を行っている。この確率分布と、シミュレートした波形をZERO-CROSS法で定義した場合の波高の頻度とを比較したものが図-1～3で、図-1が $m=5$ 、図-2が $m=10$ 、図-3が $m=20$ の場合である。

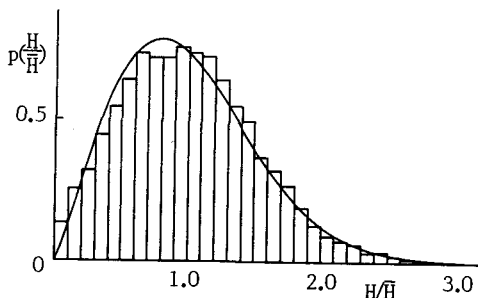


図-1 波高の確率分布 ($m=5$)

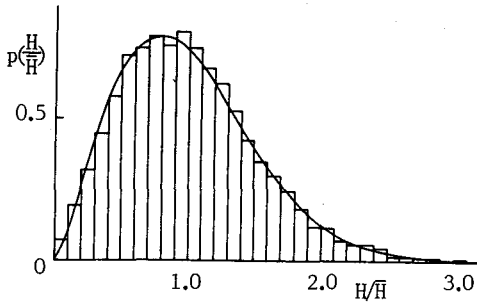


図-2 波高の確率分布 ($m=10$)

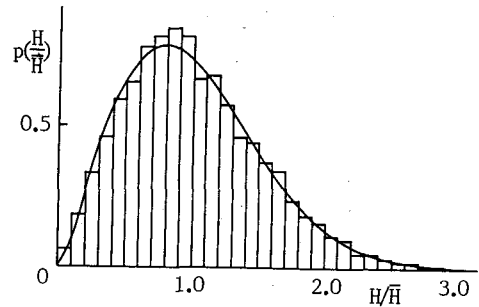


図-3 波高の確率分布 ($m=20$)

つぎに、この方法を非線形性を有する不規則波に適用することを試みた。非線形性をもつ波では峰が尖り谷が平坦となるため、これに対して包絡線法を適用するには問題がある。スペクトルを狭帯域化すれば非線形性を除去できることは知られているが、その方法に対して一定の規準はない。そこで、ここでは式(1)あるいは式(2)、(3)で与えられる狭帯域化の規準が非線形成分除去の規準ともなり得るかについて検討を行った。ここでは対象となる不規則波として、2次干渉までを考慮したシミュレーション波形を用いた。その際、1次成分波の振幅は有義波高と有義周期をパラメータとしたWallopsスペクトルを用いて与え、その波形勾配を0.03とし、 $m=5, 10, 20$ の3種類の期待スペクトルについてシミュレートした。これらのスペクトルに対して、式(1)あるいは式(2)、(3)を用いて狭帯域化して、前述の方法により波高の確率分布を導いた。この確率分布と、非線形性を含む波形をzero-cross法で定義した場合の波高の頻度とを比較したものが図-4～6であり、図-4は $m=5$ 、図-5は $m=10$ 、図-6は $m=20$ の場合である。

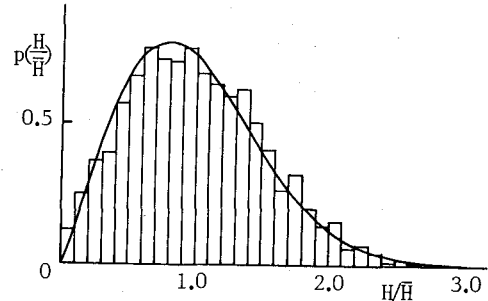


図-4 波高の確率分布 ($m=5$, 非線形波)

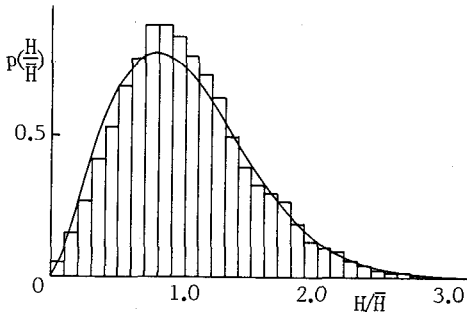


図-5 波高の確率分布 ($m=10$, 非線形波)

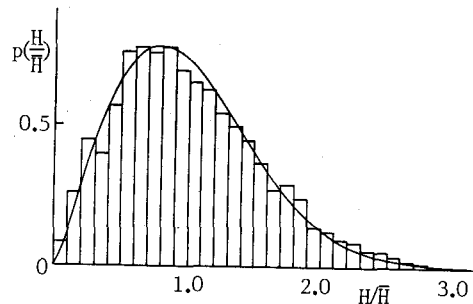


図-6 波高の確率分布 ($m=20$, 非線形波)

3. 結果

本研究では、まず従来の包絡線法を波別解析に用いる際の問題点に対する修正（スペクトルの狭帯域化）の規準を定式化した。この結果を用いて計算した波高の確率分布は数値シミュレーションによるデータと良好な適合性を示し、この規準の妥当性が確認された。また2次干渉波を含む不規則波についても同様の結果を得たことから、この規準はスペクトルの非線形成分除去の規準ともなり得ることがわかった。

[参考文献] 1) 木村ら：海岸工学論文集，第37巻，pp.116-120. 2) Tayfun, M.A.: Ocean Eng., Vol.10, No.2, pp.107-118