

平均海面の共振応答系としての 波群特性値評価法

琉球大学工学部 学生員 与儀 実和

琉球大学工学部 正会員 津嘉山正光

琉球大学工学部 正会員 仲座 栄三

1. はじめに

海の波の特性を述べる場合、代表波—スペクトル—波群特性の三つの特性値で表現される。この中で、スペクトルは波群中の個々波に対するスペクトルを意味しており、有義波に対する波高及び周期を用いて普遍的なスペクトル形が得られる。波群特性に関しては、合田・木村らによる連長の概念、あるいは、Funke-MansardらによるSIWEH及びG.F.なる特性値を用いるのが一般的である。ところが、こうした従来の波群特性値評価法は、個々波の一波一波の変化に基づいており、波群によるサーフビートの発生、あるいは平均海面の共振応答の発生メカニズムの問題に対して、そのままでは適用し得ない。なぜならば、こうした問題に対しては、個々波の一波一波の変化というより、むしろ何波かの平均量が意味を有するからである。本研究においては、波群をリーフ上の平均海面の共振応答系に関する外力としての観点から捉え、新たな波群特性の導入の必要性を提起する。

2. 平均海面の長周期振動システムとしての波群特性値

図-1は、Bretschneider-光易型のスペクトルを有する不規則波によって、リーフ上に引き起こされたサーフビートの無次元振幅値(η/H_o ; η はサーフビート波形のr.m.s.値、 H_o は入射波の波高、 l はリーフフラット長)を示している。この図より、平均海面の長周期振動は、リーフ長が3m付近で、入射波群と共振しているのがわかる。リーフ地形海岸の固有周期は、近似的に $T_o = 4l(1+\Delta\tau)/\sqrt{gh}$ で与えられる。 $\Delta\tau$ は、平均海面の長周期振動の振動モード曲線がわずかにリーフ先端より、沖側で節を有することを考慮した補正係数であり、実験結果より、 $\Delta\tau=0.2$ 程度である。いま、リーフ上の静水深を $h=2.5\text{cm}$ とすると、リーフ上の平均海面の近似的固有周期は、約29秒となる。このことから、実験波の平均波群周期は、約29秒程度であったことが推定できる。しかしながら、従来の波群評価法、すなわち一波一波の波高変化を基にして求めた実験波の平均波群周期は、約10秒であり、この特性値を用いては図-1の実験結果は説明できない。

ところで、ある周波数応答関数 $H(f)$ を有する線形応答システムを考えた場合、不規則なインプット信号の周波数スペクトル $S_{ii}(f)$ とアウトプット信号のスペクトル $S_{oo}(f)$ との間には、次式が成立する。

$$S_{oo}(f) = H^2(f) \cdot S_{ii}(f) \quad \text{--- (1)}$$

すなわち、振動系の応答値を求めるには、入力信号のスペクトル形を知る必要がある。リーフ上の平均海面の長周期振動は、かなり非線形性が強いけれども、長周期波の波高値に関しては、非線形性の効果があまり現れないことが、筆者らの実験結果から明かとなっている。すなわち、長周期波の振幅あるいは波高値のみについて考えると、リーフ上の平均海面の振動系を線形システムとして仮定し得る。そうすると、サーフビートの振幅を式(1)より推定できることになる。

このようなことから、サーフビートの発生、あるいは平均海面の共振応答の発生メカニズムに関しては、個々波に対するスペクトルのピーク周波数より、かなり低周波数側のスペクトル値が必要となる。

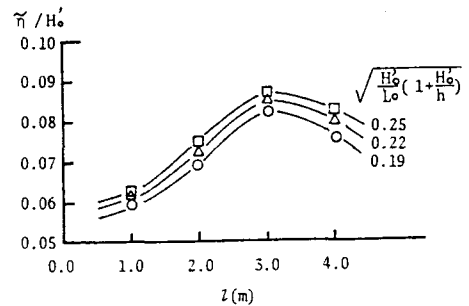


図-1 波群によるリーフ地形海岸上の
平均海面の共振応答

しかしながら、観測データなどをそのままスペクトル分解したのでは、必要とする低周波側のスペクトルがうまく出てこない。また、リーフ上の平均海面の長周期振動が波群に伴うRadiation Stressの時間的な変化によって引き起こされているとすると、応答系に対するインプット側の周波数スペクトル $S_{ii}(f)$ としては、適当に平滑化されたエネルギーの時間変動に対するスペクトルを求めた方が、より良いということになる。この平滑化されたエネルギーの時間変動としては、次式で示すFunke-MansardらのSIWEHの概念が用いられる。

$$E^*(t) = \frac{1}{T_p} \int_{-\infty}^{\infty} \eta^*(t+\tau) Q(\tau) d\tau \quad \text{--- (2)}$$

$$Q(\tau) = \begin{cases} 1 - (|\tau|/T_p) & : -T_p \leq \tau \leq T_p \\ 0 & : \tau < -T_p, \tau > T_p \end{cases} \quad \text{--- (3)}$$

ここに、 η は平均海面からの水位、 T_p は $1/f_p$ で波のスペクトルのピーク周期、 $E^*(t)$ はSIWEHを表す。また、 τ はタイムラグ、 $Q(\tau)$ は平滑化するためのデータウィンドを表す関数である。

図-1で示す実験に用いられた実験波のエネルギーの時間変動を、式(2)で与え、その周波数スペクトルを求めたのが図-2である。図中に、示す矢印は、従来のように、一波一波の波高の時系列から求めた波群周期に対する周波数(Aで記す矢印)、及び図-1に示す平均海面の共振応答値より得られた共振周期に対応する周波数(Bで記した矢印)を示している。図-2で示す周波数スペクトルは、矢印で示す周波数付近で極大値をとっており、ピーク周波数は、上述の共振周波数に一致している。すなわち、この周波数スペクトル特性値を用いて、平均海面の長周期振動を予測し得ることになる。

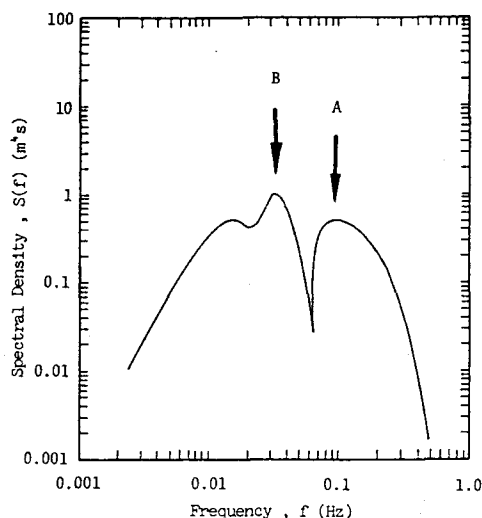


図-2 平滑化された波のエネルギー周波数

3. おわりに

本研究では、波群による平均海面の長周期変動あるいはサーフビートの発生メカニズムなどを検討するのに、従来の波群特性値評価法が、不十分であることを指摘し、このような問題に対しては、平滑化された波のエネルギーの時間変動に対する周波数スペクトルの特性値が有効であることを示した。これは、来襲波の包絡波形に対するスペクトル特性値と関連するもので、今後、来襲波の波高の包絡波形(あるいは、平滑化されたエネルギーの時間変動)に対するスペクトルの普遍的な形を見いだすことが必要である。しかし、観測された全波数の $1/3$ 平均値である有義波が、個々波に対する特性値を有しているように、何波かの平滑化を行った後の波高の時系列を用いて、波群の代表的な波群周期を得ることが可能かもしれない。もし、そのような代表値で波群を定義し得るならば、平均海面の共振応答系からみた波群特性値としては、平均波群周期、及び連続する波群周期間の相関が問題となることになる。

参考文献

合田良実： 波の連なりの統計的性質について、港湾技術研究所報告，第15巻，第3号，pp.3-19, 1976.

Funke, E.R. and E.P.D. Mansard: Synthesis of realistic sea states in a laboratory flume, National Res. Council of Canada, Hydraulics Laboratory Report, LTR-HY-66, 54p., 1979.

Kimura, A.: Joint distribution of the wave heights and periods of random sea waves, Coastal Eng. in Japan, Vol.24, pp.77-92, 1981.