

Wave Group を考慮した不規則波のシミュレーションとその特性

京都大学工学部 正員 岩恒雄一・間瀬肇 清水建設 正員 北道紀

1. まえがき 現在不規則波を用いる水理実験では、ある種のスペクトル形をシミュレートした不規則波を用いる方法が一般に行われている。しかしスペクトル形状が同じであっても、wave group 特性が異なっている場合が考えられる。したがって、wave group 特性が見逃され、設計波に対し安全であるはずの海岸・海洋構造物が被災する原因の一つとなっているともいわれている。本研究は同じスペクトル形状を持ちながら、異なった wave group 特性を有する不規則波のシミュレーション手法をFunke・Mansard (1979)の研究に基づいて確立しようとするものである。

2. シミュレーション方法 波の連なり状態を表すものとして、次式のようなSIWEH(平滑化された波エネルギーの時間変化)が定義されている。

$$E(t) = 1/T_p \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \eta^2(t+\tau) \cdot Q(\tau) d\tau \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 $\eta(t)$ は水位変動、 τ はタイムラグ、 T_p はエネルギースペクトルのピーク周期、 $Q(\tau)$ はデーターウィンドウである。 $Q(\tau)$ としては本研究では三角形ウィンドウを用いた。

式(1)によって求められるSIWEHがあるレベルより大きいところ、すなわち波が連なっているところではエネルギースペクトルのピーク周波数 f_p で振動し、それ以外では f_p より大きな周波数で振動するようにシミュレートする。以下にその手順を示す。

(i)再現したいエネルギースペクトル形 $S(l)$ とSIWEH、 $E(l)$ を与える。

$$\text{エネルギースペクトル; } S(l), \quad l=1, N/2+1 \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで N は高速フーリエ変換を使うように2のべき乗としてあり、また折り返し周波数の関係より l の最大値は $N/2+1$ となる。 $S(l)$ はone-sideで定義する。

$$\text{SIWEH; } E(l), \quad l=1, N \quad \dots\dots\dots (3)$$

(ii)エネルギースペクトルより振幅スペクトルを計算する。 l 番目の周波数に対応する振幅とエネルギースペクトルの関係より次式の計算をする。

$$\left. \begin{aligned} A(l) &= \sqrt{2 \cdot S(l) \cdot \Delta f}, \quad l=1, N/2+1 \\ A(l) &= A(N-l+2), \quad l=N/2+2, N \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (4)$$

(iii) $E_l(l)$ が平均値 $\bar{E}$ の1/2より大きいgroup内では f_p で、group外では f_p より大きな周波数で振動するように位相関数を調整する。

$$\chi(l) = \sin \{ 2\pi \cdot f_p(l-1) \cdot \Delta t + \text{THET}(l) \} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{ただし, } \text{THET}(1)=0, \text{THET}(l)=\text{THET}(l-1)+2\pi \cdot \Delta t \cdot 5f_p \{ 1-U(l) \}, \quad l=1, N \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここで、group内($E(l) \geq \bar{E}/2$)の場合は $U(l)=1$ 、group外($E(l) < \bar{E}/2$)の場合は、1未満になるように $U(l)=\{E(l)/(\bar{E}/2)\}^2$ とする。

(iv)波形の第一次近似を次式で計算する。

$$y_1(l) = \sqrt{E_l(l)} \cdot \chi(l), \quad l=1, N \quad \dots\dots\dots (7)$$

Yūichi IWAGAKI, Hajime MASE, Naoki KITA

(v) $y_1(t)$ のフーリエ変換を行い、振幅スペクトル $Y_1(\omega)$ と位相スペクトル $\phi_1(\omega)$ とを求めて、 $Y_1(\omega)$ を棄て、 $\phi_1(\omega)$ と (ii) で求めた $A(\omega)$ から逆フーリエ変換を行い、波形の第二次近似 $y_2(t)$ を求める。

(vi) 波形 $y_2(t)$ の SIWEH, $E_2(\lambda)$ ($\lambda=1, N$) の計算をする。

(vii) 波形の第三次近似 $y_3(t)$ を次式のように計算する。

$$y_3(t) = y_2(t) \sqrt{E_1(\lambda)} / \sqrt{E_2(\lambda)} \quad \text{----- (8)}$$

(viii) $y_3(t)$ のエネルギー・スペクトル形 および SIWEH が与えられた形に収束していれば計算を終え、そうでない時は $y_3(t)$ を $y_1(t)$ として (v) へ戻る。

3. 発生波の特性 図-1, 図-2 はそれぞれ group 程度の大きい場合と小さい場合についてシミュレーションを行った結果で、4 回程度のくり返し計算でほぼ収束する。水位の出現確率は Gauss 分布にほぼ対応していた。波高の頻度分布について調べてみると、Rayleigh 分布よりも $H/H = 1.0$ 付近で尖っており、Weibull 分布の方がより良く近似しうる。周期の分布についてみると、 T^2 -Rayleigh 分布よりも平坦であり、これは合田(1970)の行ったシミュレーションの F-4 スペクトル (Pierson-Muskowitz 型) の分布と同様である。琵琶湖のデータについて group 内の周期の分布特性を調べたところ、 T/T_p が 0.8 ~ 1.2 の区間に全体の 62% が含まれており、group 内ではピーク周期 T_p で振動していることが示唆されているが、この点については今後 より多くのデータについて調べていく必要がある。

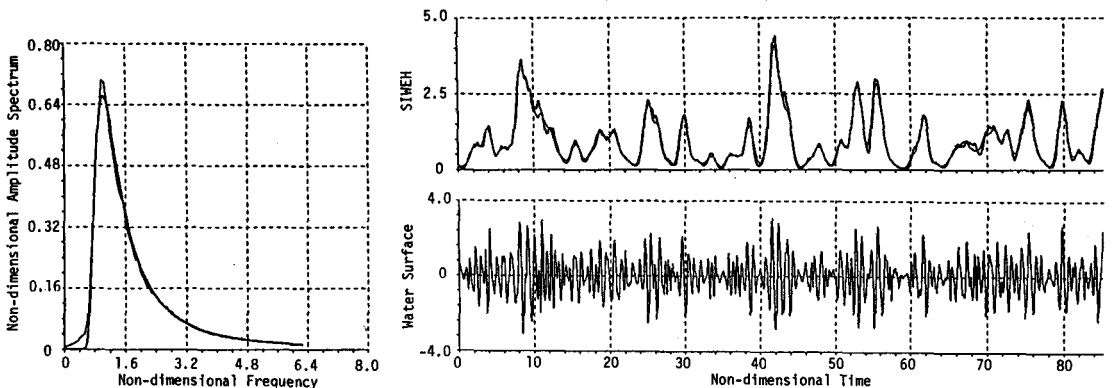


図-1 不規則波のシミュレーション結果 (group の程度が大きい場合, Pierson-Muskowitz 型 $S_A(THL)$)

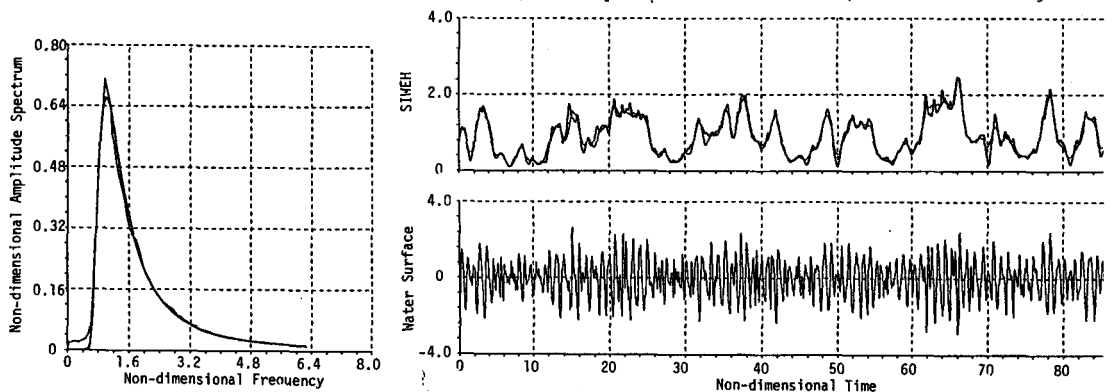


図-2 不規則波のシミュレーション結果 (group の程度が小さい場合, Pierson-Muskowitz 型 $S_A(THL)$)