

有限区間における不規則波の振幅と波向の発生頻度について

鳥取大学工学部 正員 ○太田隆夫
 (株) サンフラワー 吉岡里央
 鳥取大学工学部 正員 木村 晃

1. はじめに

海岸構造物は、波などの自然外力に抵抗しながらその機能を十分に果たすように設計しなければならない。そのため、一つには、主要な外力である波浪の統計的特性を知る必要がある。現行の設計法は、海面のある1点における時間変動を対象とした波浪統計に基づいており、ある程度以上の規模をもつ構造物に対しては、設計波浪を過小に見積もる可能性もあり、危険であると考えられる。そのため有限な区間（幅）を考慮した波浪統計を考える必要がある。本研究は有限区間における不規則波の振幅と波向を対象として、数値シミュレーションによりその発生頻度を検討するものである。

2. 数値シミュレーションおよび解析の方法

まず、多方向不規則波浪場において、主波向と直交する一直線（y 軸）上に、多数の測定点（波高計、流速計）を設置した場合を考え、各点での水位および水平水粒子速度（2成分）の時間変動を計算する。計算には式(1)のように表される single summation 法を用い、方向スペクトルを JONSWAP スペクトル($\gamma=3.3$) および光易型方向関数で与える。

$$\eta(y, t) = \sum_{m=1}^M a_m \cos(k_m y \sin \theta_m - 2\pi f_m t + \varepsilon_m) \quad (1)$$

ここに、 η は水位、 a_m , k_m , θ_m , f_m , ε_m はそれぞれ m 成分波の振幅、波数、方向角、周波数、初期位相角である。水粒子速度は式(1)に伝達関数を掛けた形で表される（たとえば、合田, 1990）。つぎに、得られたデータの解析は以下のように行う。①1点でのデータを対象とした従来の不規則波の解析では、波形データをゼロクロス法で区切り、振幅（波高）や周期を求めるといった方法が用いられる。しかし、ある有限区間における波形、すなわち複数の測定点での波形データを対象とする場合には、ゼロクロス法に代わる方法が必要となる。そこで、時間方向には便宜的に有義波周期($T_{1/3}$)で区切り、空間方向には区間幅 b で区切った $[b \times T_{1/3}]$ を1領域とし、その領域での水位の最大値を振幅と定義する。②各領域で水位が最大となる点において、波向定義Ⅰ；水平流速ベクトルの方向、波向定義Ⅱ；波の峰線の伝播方向（木村ら, 1995）、の2通りで波向を定義する。③シミュレーションデータから各領域の振幅と波向を計算し、それらの結合頻度分布を求める。④1点での時間変動を対象として赤井ら（1988）が導いた、振幅と波向の結合分布（理論分布）との比較を行う。

3. 波向の定義

上述の波向はつぎのような方法で定義する。波向定義Ⅰは、理論分布に用いられている波向の定義と同じもので、水位が最大となる点での水平2成分の水粒子速度から求めた合成（流速）ベクトルの方向で表される。波向定義Ⅱは、波別解析でいう個々波の波向としては波の峰が伝播していく方向といった、より直観的な定義が本来のものであるという考えに基づくものである。ただし、多方向不規則波においては、短時間（たとえば数秒程度）での波峰の「平均的」な伝播方向という意味合いになる。この定義法では、水位が最大となる点とその近傍点の2点における波形より、式(2)によって波向を算定する。

$$\theta = \sin^{-1}\{\varepsilon L / (2\pi y_0)\} \quad (2)$$

ここに、 $\varepsilon = 2\pi \Delta t / T$, Δt は波峰が通過する時間差、 T は周期、 L は波長、 y_0 は2点間の距離である。

4. 解析結果

不規則波形のシミュレーションの諸元は、有義波高 $H_{1/3} = 4.0$ (m)、有義波周期 $T_{1/3} = 8.0$ (s)とし、主波向 θ_p

$=0$ (測定線と直交, 角度は反時計回りに正をとる), 方向集中度パラメータ $S_{\max}=10, 25, 50$ のケースについて計算する. 測定点は 2 m 間隔で設置し, 区間幅を $b=10, 20, 30(\text{m})$ の 3 種類とする. 上記の値を用いて数値シミュレーションとそのデータの解析を行い, 振幅と波向の結合頻度分布を求める. また比較のために, 区間幅以外の条件を同じにして理論分布を計算する. その結果の一例を図-1 に示すが, 図の縦軸は波向 θ , 横軸は振幅 A である. 頻度は, 波向の階級幅を $0.2(\text{rad})$, 振幅の階級幅を $0.3(\text{m})$ として求めた. また, 振幅と波向の結合頻度分布と理論分布を比較するために, 振幅と波向のそれぞれで値を設定して結合分布の断面を取った. 振幅については $0.9\sim 1.2(\text{m})$, $1.5\sim 1.8(\text{m})$, $2.4\sim 2.7(\text{m})$ の階級で, 波向は $\theta = -0.8 \sim -0.6(\text{rad})$, $0.0\sim 0.2(\text{rad})$, $0.6\sim 0.8(\text{rad})$ の階級での断面とした. 図-2 にその一例を示すが, グラフの縦軸は相対度数および確率密度, 横軸は振幅もしくは波向である. 図中のヒストグラムで, 実線は波向定義 I の場合, 破線は定義 II の場合の結合頻度分布を表している. 本研究で得られた主要な結果を以下に列記する.

- (i) 波向定義 I の場合, 小さな振幅での波向の分布幅は広く, 振幅が大きくなるにつれて狭くなる. それに対し, 定義 II の場合はある程度振幅が大きくなるまで分布幅はあまり変わらない.
- (ii) 区間幅 b を変化させたとき, b の増加にともない, どちらの結合頻度分布も全体的に振幅の大きい方へシフトしていく. 波向定義 I では b の増加につれて主波向 ($\theta=0$) 周辺の頻度が高くなる.
- (iii) 波向定義 I では, $S_{\max}$ が大きくなるにつれ主波向周辺の頻度が高くなり波向の分布幅は狭くなるが, 定義 II の場合は $S_{\max}$ による変化は小さい.

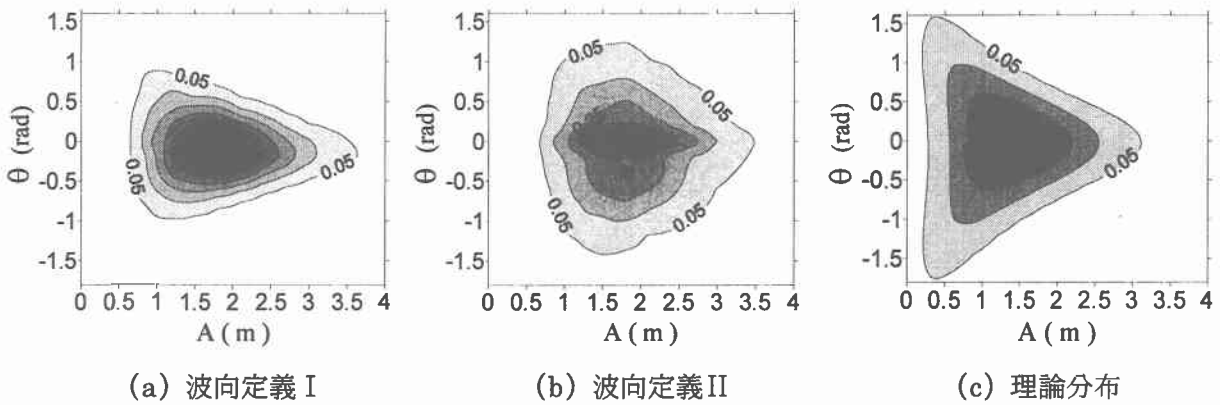


図-1 波高と波向の結合分布 ($S_{\max}=10, b=30(\text{m})$)

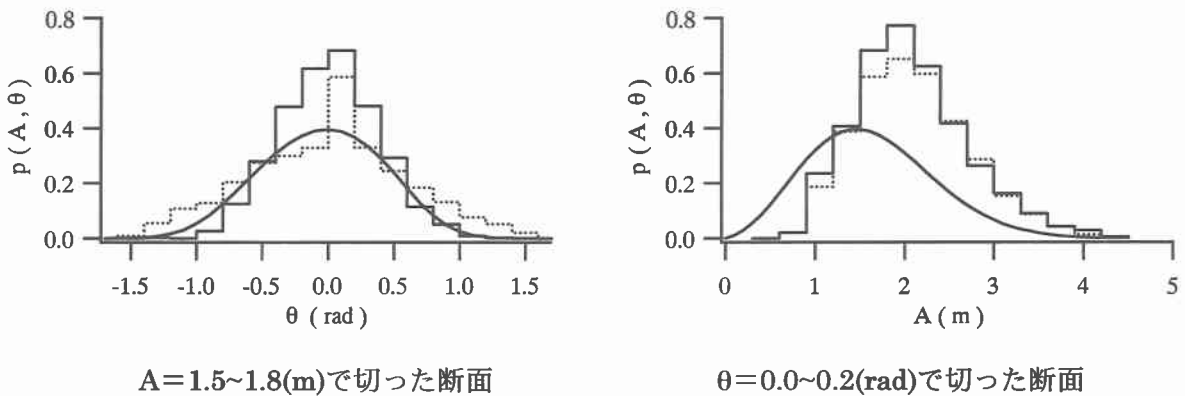


図-2 結合分布の断面比較 ($S_{\max}=10, b=30(\text{m})$)

【参考文献】合田良実 (1990) : 港湾構造物の耐波設計, 鹿島出版会 赤井鈴子・水口 優(1988) : 多方向不規則波浪における波高・周波数・波向の結合確率分布, 第 35 回海岸工学講演会論文集, 143-147 木村 晃・早川幸子 (1995) : 不規則波の波向に関する研究, 海岸工学論文集, 第 42 巻, 261-265