

1. はじめに 実験あるいは計算で得られた波浪場の波向き分布を知りたい場合がある¹⁾. 不規則波浪場を対象にした方向スペクトルの推定法については多くの研究²⁾が進められている. これに対して, 単一周期の波が重合した波浪場の波向き分布の推定に関する研究は, 著者の知る限り殆どなされていない. 本研究では単一周期の波が重合した波浪場の波向き分布を推定する方法を紹介し, これを用いて防波堤先端周辺の波向き分布を求める.

2-(1) 波向き分布の計算方法 実験, 計算あるいは解析により単一周期(角周波数 ω) から成る線型重合波浪場の M 点(位置 (x_m, y_m) ; $m = 1 \sim M$) での水位変動 η_c の振幅および位相が与えられているとする.

$$\eta_c(x_m, y_m, t) = A(x_m, y_m) \exp(-i\omega t); m = 1 \sim M \quad (1)$$

ここに A は複素振幅, i は虚数単位, t は時間である.

この波浪場を, 予め進行方向を指定した N 個の進行波(角周波数 ω , 波数 k) の重ね合わせとして表現することを考える.

$$\eta(x, y, t) = \sum_{n=1}^N a_n \exp(ik(x \cos \theta_n + y \sin \theta_n)) \exp(-i\omega t) \quad (2)$$

ここに, (x, y) は水平方向座標, a_n, θ_n は n 番目の波の複素振幅および進行方向(x 軸から半時計回りに測った角度)である.

a_n を求めるにはいくつかの方法が考えられるが, ここでは最小自乗法を用いて a_n を求める. 重ね合わせて得られる水位 η と与えられた水位 η_c の各位置 (x_m, y_m) での誤差の総和

$$r^2 = \sum_{m=1}^M (\eta_c(x_m, y_m, t) - \eta(x_m, y_m, t))^2 \quad (3)$$

が最小となるよう a_n を以下の連立方程式から求める.

$$\frac{\partial r^2}{\partial a_n} = 0; n = 1 \sim N \quad (4)$$

以上の a_n に関する連立方程式を解くことにより θ_n 方向に進行する波の振幅 ($|a_n|$) と位相 ($\arg(a_n)$) が求まる.

計算方法の妥当性を確かめるために, 2~3 の進行波(波長 L) を重ねて得られる波浪場の解を与えて, 波向き分布の解析を行った. $L \times L$ の領域内の $11 \times 11 = 121 (= M)$ の格子状の各点(点間距離 $L/10$) での複素振幅 A を与えた. N は 8, 16, 20 と変化させ, $\theta_n = \frac{2\pi}{N}(n-1)$ として計算した. 以下に推定結果について説明する. 与えた波の進行方向が θ_n のいずれかに一致する場合には, その振幅と位相は正確に求まる. 与えた波の進行方向がいずれの

θ_n にも一致しない場合には, いくつかの波の重ね合わせにより与えた進行波を表現することになり, 重ね合わせる各波の振幅は与えた波の振幅よりも小さくなる. この時 N が大きくなる, すなわち方向分解能が高まるにつれて, 与えた波の進行方向に近い方向の波の振幅が大きくなる.

2-(2) 計算方法について 本方法の原理から考えて, 推定に用いるデータは波浪場が一樣とみなせる領域から選ばなければならない. 与える波浪場についての情報が多ければ(=データ数 M が大きい), N , すなわち方向分解能を高めることができる. しかしながら, 実際の波浪場では状況が一樣であると見なせる領域は限られているために, 与えられるデータ数 M は限られ N を無限に大きくすることはできない. 与える情報を増やさずに分解能だけを上げようすると非現実的な解が求まる.

本方法は Fourier 変換を用いて波浪場を構成する波動の波数分布を求めるのと同様である. Fourier 変換の分解能は与えるデータ数とデータのサンプリング間隔により定まるが, 本方法の場合にはデータ数 M とデータの与え方がこれに対応する. 本方法が Fourier 変換に比較して有利となる点は, 式(4)の係数行列の逆行列を一回求めれば, 波浪場の各点での位相と振幅を与えることにより直ちに波向きの分布が求まること, データを与える点が不規則に配列していても容易に対応できること, 等であると考えられる.

3. 半無限堤周辺の波浪場の波向き分布 Sommerfeld の半無限堤周辺の回折解³⁾を用いて, 防波堤先端周辺の波向き分布を調べる. 図-1(a) に示すように波が半無限堤に斜め入射する状況を考える(振幅 1, 波長 L , 入射角 0.4π). 図-1(b) のある時刻の水位分布が示すように, 堤の前面には重複領域が形成され, 背後には回折領域が形成される. 図中に示した各領域(1~16)の波向き分布を計算した. 各領域の大きさは $0.8L \times 0.8L$ であり, 領域内の各点($M = 13 \times 13 = 169$, 間隔 $L/15$)の振幅と位相を与えた. $N = 20$, $\theta_n = \frac{2\pi}{N}(n-1)$ として求めた各領域の波向き分布を図-2 に示す. 以下にいくつかの領域の計算結果について説明する.

領域 $<1>$: 入射波成分($\theta_5 = 0.4\pi$) が卓越している. 堤先端から発生する弱い散乱波(主進行方向 1.35π) が捉えられている.

領域 $<8>$: 入射波成分と堤からの反射波成分($\theta_{17} = 1.6\pi$) が卓越している. さらに, 堤先端から発生する散乱波(主進行方向 $0, 1.8\pi$) がこれに重合している.

領域 $<12>$: 防波堤背後の回折領域は主進行方向 0.25π と 0 の進行波を重ね合わせた波動場として捉え得る. 後者は堤に沿って進行する波に対応する⁴⁾.

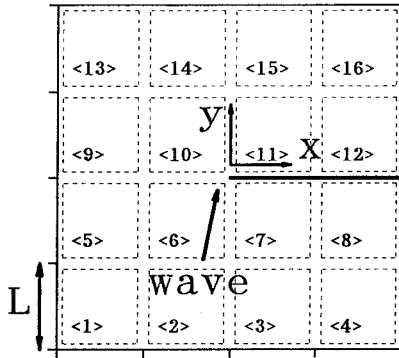


図-1(a) 解析領域

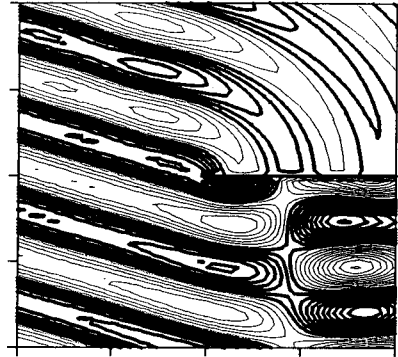


図-1(b) 水位分布(太線：水位 ≥ 0 , 細線：水位 < 0)

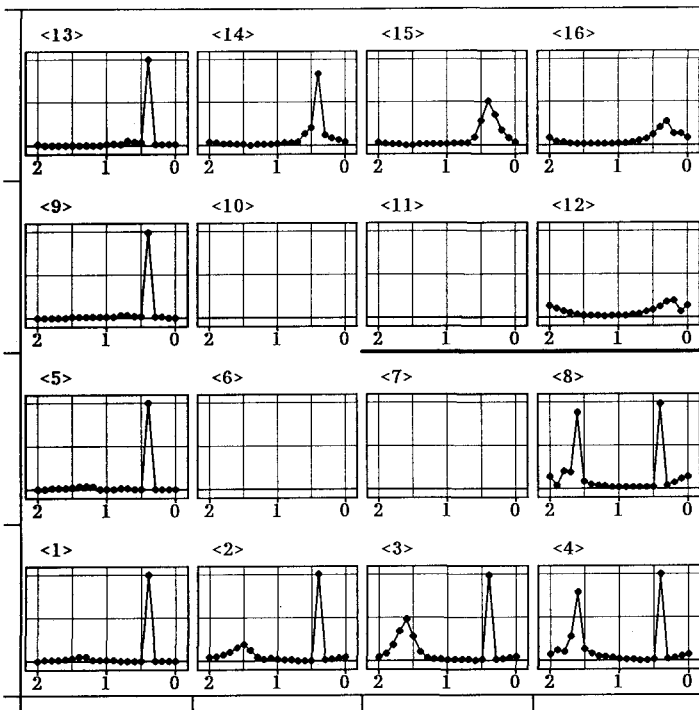
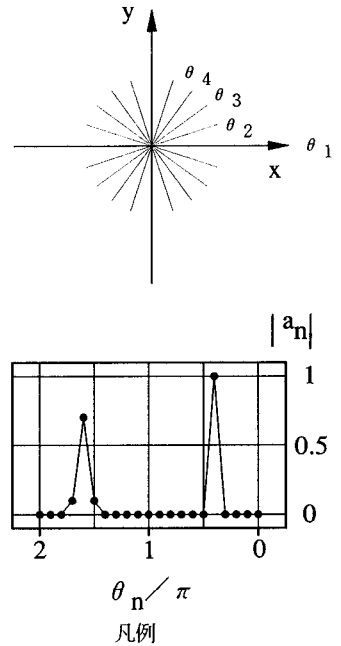


図-2 波向き分布の推定結果



領域<14>：入射方向の成分は防波堤背後にエネルギーが流出することにより(回折効果)入射波振幅より小さくなる。

堤の先端近傍の領域(6,7,10,11)は散乱波成分の空間的な減衰が大きく、波浪場の非一様性が強かったために本方法により波向きの分布を推定することは不可能であった。

4. おわりに 本研究では線型重合波浪場の波向き分布を推定する方法を紹介した。今後、方向分解能の高め方、推定された波向き分布が1方向に集中せず広がりを持つ場合の結果の解釈、について検討を深める必要がある。本手法を用いてテーパー型潜堤¹⁾の波向き制御効果を評

価することを検討している。

参考文献

- 1) 黒田 寛, 武若 聡, 入江 功, 牛房幸光：テーパー型潜堤による波向き制御に関する研究, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.170-171, 1994.
- 2) 例えば, 橋本典明：海洋波の方向スペクトルの推定方法に関する研究, 港湾技研資料, No.72, 118p., 1992.
- 3) 例えば, 堀川 清編：海岸環境工学, 東京大学出版会, 582p., 1985.
- 4) 西村 仁嗣：屈折・回折を含む波の場の解析法に関する考察, 海岸工学論文集, Vol.36, pp.95-98, 1989.