

線型重合波浪場の波向き分布解析

九州大学建設都市工学科 武若 聡

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線形重合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. 波向き分布の推定方法

(1) 波向き分布の計算方法

実験、計算、解析等により単一周期(角周波数 ω)から成る重合波浪場の M 点(x_m, y_m ; $m = 1 \sim M$)での水位 η_c の振幅および位相が知られているとする。

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

ここに A は複素振幅、 i は虚数単位、 t は時間である。

この与えられた波浪場を、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、 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。場全体の誤差

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

が最小となるよう、 a_n を以下の連立方程式から求める。

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

計算方法の妥当性を確かめるために、2～3の進行波を重ね合わせた波浪場の解を与えて、波向き分布の解析を行った。与えたデータは $L \times L$ (L は波長)の領域内の $121 (= M)$ 地点の位相と振幅である(各点は 11×11 の格子状に並んでおり、その間隔は $L/10$)。また、 N は8, 16, 20と変化させ、 $\theta_n = \frac{2\pi}{N}(n-1)$ とした。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 θ_n に一致しない場合には、近接する方向

に進行する波が分担して与えられた進行波を表現することになり、各々の波の振幅は与えた波の振幅よりも小さくなる。この時 N が大きくなるにつれて、与えた波の進行方向に最も近い方向で進行する波の振幅が、与えた波の振幅に近づく。

(2) 計算方法について

本方法の原理から考えて、与え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有効な情報が多ければ(データ数 M が十分に大きい)、 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と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等である。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、本方法の場合にはこれはデータ数 M とデータの与え方が対応する。本方法とFourier変換を比較した場合、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、データを与える点の不規則に配列していても容易に対応できること、等が特徴的な点である。

3. 半無限堤周辺の波浪場の波向き分布

ここでは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(入射振幅1, 波長 L)が半無限堤に直角入射する状況を考える。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($a \sim d$)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。 $N = 20, \theta_n = \frac{2\pi}{N}(n-1)$ として波向き分布を求めた結果を図-2に示す。ここに $\bar{a}_n$ は θ_n 方向に進行する波の振幅、 $\phi_n = \arg(a_n)$ は位相である。以下に各領域毎の計算結果について述べる。

領域 a : 入射波成分($\theta_0 = 0.5\pi$)が卓越しているが、堤先端から発生する散乱波の影響を受けて、その振幅は1以下である。この領域では $\theta_2 \sim \theta_5$ の方向に進行する波動成分は存在しないはずであるが、方向分解能の制約を受けてこれらの進行波の a_n が値を持った。

領域 b : 防波堤背後の回折領域は主進行方向0と 0.25π の進行波を重ね合わせた波動場として捉え得る。前者は

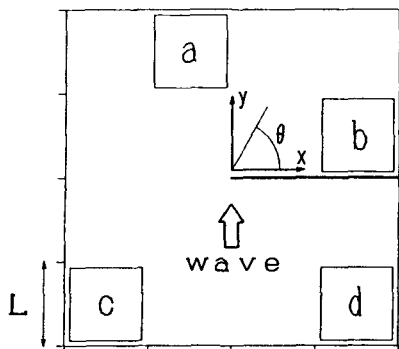


図1(a) 解析領域

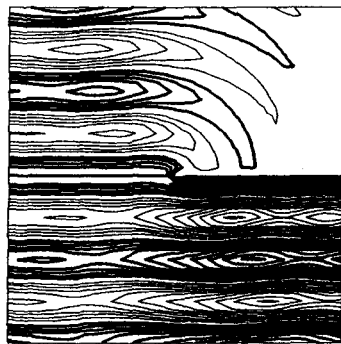


図1(b) 水位分布 (太線: 水位 ≥ 0 , 細線: 水位 ≤ 0)

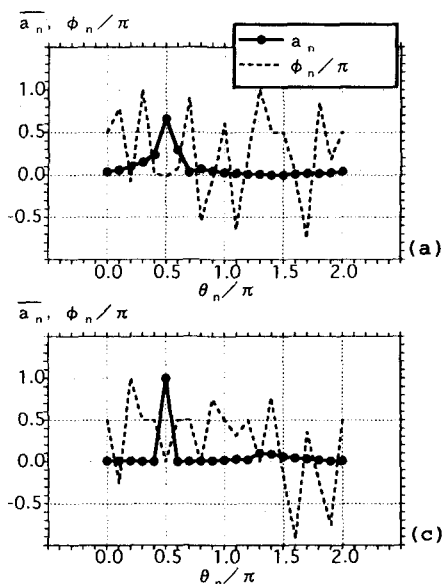


図2 波向き分布の推定結果 (実線: $\bar{a}_n$, 破線: ϕ_n/π); (a) 領域 a, (b) 領域 b, (c) 領域 c, (d) 領域 d

堤に沿って進行する波に対応する⁴⁾。

領域 c: 入射波成分 ($\theta_6 = 0.5\pi$) 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 1.3π) の存在が認められる。

領域 d: 入射波成分と堤からの反射波成分 ($\theta_{16} = 1.5\pi$) が卓越している ($\bar{a}_{16}/\bar{a}_6 = 0.94$)。これに堤先端から発生する弱い散乱波 (主進行方向 1.7π) が重合している。

堤の先端近傍 ($\sqrt{x^2 + y^2} \leq L$) の波浪場は非一様性が強く、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もつ場合の結果の解釈、について検討を深める必要がある。本手法を波浪制御構造物の効果の測定¹⁾、平面波浪場の数値計算の境界条件処理に応用することを試みている。

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, 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.