

# 規則重合波浪場の成分波推定法

武若 聡<sup>1</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 九州大学助手 工学部建設都市工学科 (〒 812 福岡市東区箱崎 6-10-1)

単一周期の波が重合した線形波浪場を構成する成分波を推定する方法を紹介する。解析の対象とする波浪場を、予め進行方向を指定した進行波の重ね合わせとして表現することを考え、各進行波の振幅と位相を最小二乗法により定める。本推定法を用いて成分波を求める際の諸条件の設定について述べる。本推定法を用いて半無限堤周辺の波浪場の構造を調べた。

**Key Words** : component wave analysis, monochromatic composite wave field, semi-infinite breakwater

## 1. はじめに

実験あるいは計算により得られた平面的な波浪場がどのような成分波により構成されているかについて知りたい場合がある<sup>1)</sup>。不規則波浪場を対象とした場合、波浪場を構成する成分波の周期と進行方向は種々である。各周期および進行方向毎の成分波のエネルギー密度が方向スペクトルと呼ばれ、方向スペクトルの推定法については多くの研究が進められている<sup>2)</sup>。これに対して、単一周期の波が重合した波浪場を構成する成分波の推定を扱った研究は、著者の知る限りでは存在しないようである。対象とする波浪場を限定した場合には、例えば、規則的に配列された堤体列背後の波浪場の波向き特性の評価<sup>3)</sup>、防波堤前面での入反射波分離<sup>4)</sup>、を扱った研究が存在するが、いずれの手法も一般的に波浪場を構成する成分波を推定することは難しい。

本研究では、単一周期の波が重合しているという意味での規則重合波浪場を対象とし、波浪場を構成する成分波を推定する方法を紹介する。成分波の推定計算を行う際の諸条件の設定方法について検討した後、本推定法を用いて半無限堤周辺波浪場を構成する成分波を求める。

本研究で紹介する成分波推定法と方向スペクトル推定法との相異点、方向スペクトル推定法が本研究で取り上げる規則波浪場の成分波推定に適用できない理由、については本文中に節を設けて述べる。

## 2. 成分波の推定方法

### (1) 成分波の推定法：基礎式

一様水深  $h$  の領域に単一周期  $T$  から成る重合波浪場が存在し、実験、計算あるいは解析により  $M$  点 (位置  $(x_m, y_m)$ ;  $m = 1 \sim M$ ) での水位変動の振幅および位

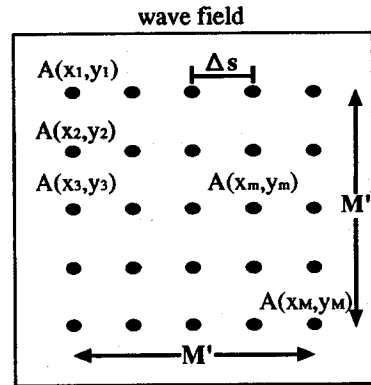


図-1 波浪場中の複素振幅

相が知られているとする (図-1)。

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

ここに  $A$  は複素振幅、 $\omega = 2\pi/T$  は角周波数、 $i = \sqrt{-1}$  は虚数単位、 $t$  は時間である。  $\eta_c$  の実部が水位変動であり、 $A$  の絶対値  $|A|$  が振幅、偏角  $\arg(A)$  が位相に対応する。

この波浪場を、予め進行方向を指定した  $N$  組の進行波 (角周波数  $\omega$ 、波数  $k$ ) の線形重ね合わせとして表現することを考える (図-2)。

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

ここに、 $(x, y)$  は水平方向座標、 $a_n$ 、 $\theta_n$  は  $n$  番目の進行波の複素振幅および進行方向 ( $x$  軸から反時計回りに測った角度) であり、 $\omega$  と  $k$  は微小振幅波の分散関係式を満たす。

$$\omega^2 = gk \tanh kh \quad (3)$$

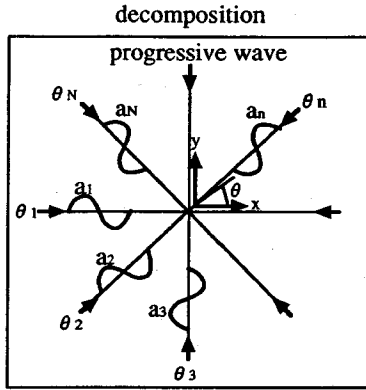


図-2 進行波を用いた波浪場の分解

ここに、 $g$ は重力加速度である。 $\theta_n$ は $0 \sim 2\pi$ の間を $N$ 等分する形で与えればよい。

$$\theta_n = \frac{2\pi}{N}(n-1) \quad (4)$$

$a_n$ を求めれば $\theta_n$ 方向に進行する波の振幅 $|a_n|$ と位相 $\arg(a_n)$ 、すなわち、波浪場を構成する成分波が求まる。この際、 $N$ を大きく設定すれば、成分波推定の方向分解能が高まる。

$a_n$ を求めるにはいくつかの方法が考えられるが、ここでは最二乗法を用いて $a_n$ を求める。成分波を重ね合わせて得られる水位 $\eta$ と与えられる水位 $\eta_c$ の各位置 $(x_m, y_m)$ での誤差の総和

$$R = \sum_{m=1}^M \{\eta_c(x_m, y_m, t) - \eta(x_m, y_m, t)\}^2 \quad (5)$$

が最小となるよう $a_n$ を以下の連立方程式から求める。

$$\frac{\partial R}{\partial a_n} = 0; \quad n = 1 \sim N \quad (6)$$

上式は具体的に書き下すと次のようになる。

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \cdots & C_{1N} \\ C_{21} & C_{22} & \cdots & C_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{N1} & C_{N2} & \cdots & C_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_N \end{bmatrix} \quad (7)$$

ここに、

$$C_{IJ} = \sum_{m=1}^M \exp\{ik(x_m \cos \theta_I + y_m \sin \theta_I)\} \times \exp\{ik(x_m \cos \theta_J + y_m \sin \theta_J)\}$$

$$C_{IJ} = C_{JI}$$

$$b_I = \sum_{m=1}^M A(x_m, y_m) \exp\{ik(x_m \cos \theta_I + y_m \sin \theta_I)\}$$

である。

式(7)左辺の係数行列は波浪場の振幅と位相が知られている位置 $(x_m, y_m)$ を与えることにより定まり、右

表-1 式(8)の計算パラメータ

| $j$ | $ \tilde{a}_j $ | $\arg(\tilde{a}_j)$ | $\tilde{\theta}_j$ |
|-----|-----------------|---------------------|--------------------|
| 1   | 1.0             | $0.0 \pi$           | $0.25 \pi$         |
| 2   | 0.6             | $0.3 \pi$           | $0.80 \pi$         |
| 3   | 0.3             | $0.6 \pi$           | $1.33 \pi$         |

辺は各点での水位変動の位相と振幅を与えることにより定まる。成分波の振幅と位相は $a_n$ に関する連立方程式(7)を解くことにより求まる。

## (2) 成分波の推定計算

成分波の推定計算を行う際には、水位変動の振幅と位相を与える位置 $(x_m, y_m)$ とこれらの総数 $M$ 、重ね合わせに用いる波の総数 $N$ を定めなければならない。波浪場の情報を与える点の総数 $M$ を小さく、かつ、成分波推定の分解能を高める、すなわち、 $N$ を大きく設定し得ることが望ましい。ここで、 $M \geq N$ を満たす必要があるのは明白である。

### a) $N$ および $M$ の設定の検討方法

3組の進行波(波長 $L = 2\pi/k$ )を重ね合わせて得られるモデル波浪場の成分波を推定することにより、 $N$ および複素振幅を与える位置とこれらの総数 $M$ の設定について検討する。

モデル波浪場は次式で与えた。

$$\eta_c(x, y, t) = \sum_{j=1}^3 \tilde{a}_j \exp\{ik(x \cos \tilde{\theta}_j + y \sin \tilde{\theta}_j)\} \exp(-i\omega t) \quad (8)$$

$\tilde{a}_j$ および $\tilde{\theta}_j$ の値を表-1示す。図-3にはモデル波浪場を構成する成分波を、これ以降に示す推定結果の表示方法に合わせて示す。横軸が重ね合わせに用いる進行波の進行方向( $0 \sim 2\pi$ )であり、縦軸がこれら各進行波の振幅(上段)と位相( $0 \sim 2\pi$ , 下段)である。

波浪場を式(2)の形式で表現していることから、解析の対象とする波浪場の性質は一樣であるとみなせる必要がある。モデル波浪場では着目する地点によらず、その性質は一樣である。これに対して現実の波浪場ではその性質は地点毎に変化する。本研究では波浪場中に $L \times L$ の領域を設け、推定の際に重ね合わせて用いる各進行波が少なくとも1波長分この領域内に収まることを確保し、その上で波浪場に含まれる成分波を推定することを考える。これは波浪場中に設けた $L \times L$ の領域内の波浪の性質をほぼ一樣とみなして成分波の推定を行うことを意味する。言い換えれば、本推定法は設定した領域内の波浪の性質をほぼ一樣であるとみなせる時に適用しなければならない。波浪場が $L \times L$

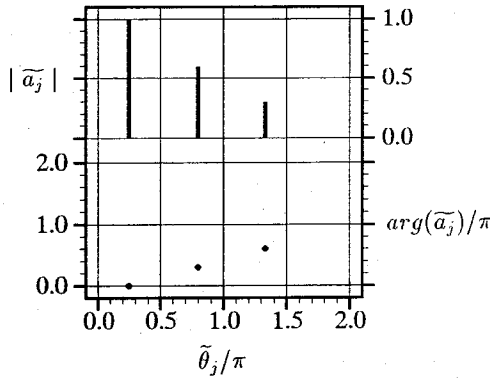


図-3 モデル波浪場の成分波の振幅と位相

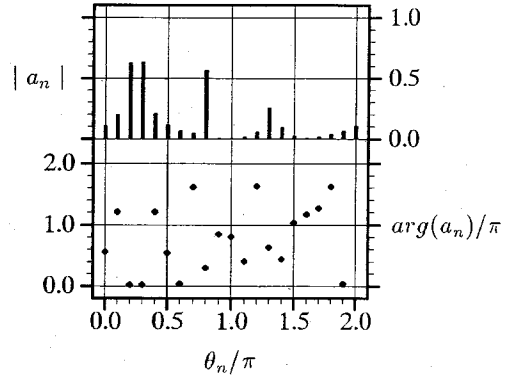


図-5 成分波の推定結果 (N = 20)

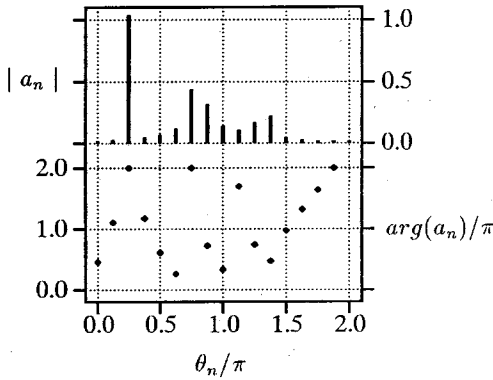


図-4 成分波の推定結果 (N = 16)

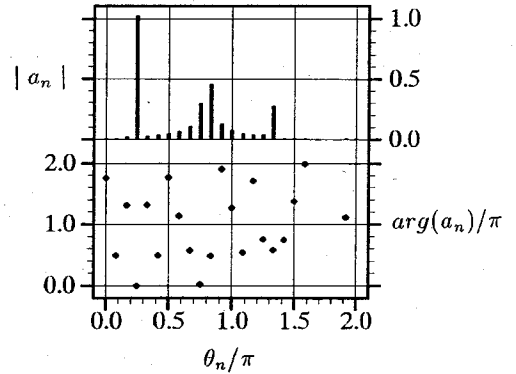


図-6 成分波の推定結果 (N = 24)

程度のスケールで一様とみなすことのできない例に没水構造物近傍の波浪場が挙げられる。ここには空間的な減衰の著しい減衰定常波が発生することが知られている。

成分波の推定計算の手順を具体的に記す。モデル波浪場内の複素振幅  $A(x_m, y_m)$  を図-1 に示すように、間隔  $\Delta s$  の格子点上の各点で与え、縦および横方向に同数  $M'$  の点を設けた。従って、 $M = M'^2$  となり、格子間隔は

$$\Delta s = \frac{L}{\sqrt{M} - 1} \quad (9)$$

となる。 $\theta_n$  は式 (4) で与え、 $N=16, 20, 24$  と設定した。各  $N$  に対して  $M$  を変化させた計算を行い、妥当な推定結果を得るための  $M$  の設定指針を探った。得られた推定結果の妥当性は、与えた波浪場を構成する成分波 (図-3) と推定された成分波を比較し、また、推定された波浪場と正解との誤差  $R_e$  を調べることにより判断した。

$$R_e = \frac{1}{L^2} \int \int_{L \times L} \{\eta_c(x, y, t) - \eta(x, y, t)\}^2 dx dy \quad (10)$$

ここで、面積分は成分波の推定を行った領域について

表-2 成分波推定計算のパラメータ

| N  | $M(M' \times M')$ | $\Delta s$ | 分解能   |
|----|-------------------|------------|-------|
| 16 | 36(6 × 6)         | L/5        | 22.5° |
| 20 | 49(7 × 7)         | L/6        | 18.0° |
| 24 | 81(9 × 9)         | L/8        | 15.0° |

実行する。

各  $N$  に対応する解析の方向分解能を度で表示すると、22.5° ( $N=16$ )、18° ( $N=20$ )、15° ( $N=24$ ) となる。計算プログラムは複素数を簡便に扱える FORTRAN 言語を用いて作成した。

#### b) 検討結果

妥当な推定が行われたと判断された結果を図-4 ( $N=16$ )、図-5 ( $N=20$ ) および図-6 ( $N=24$ ) に示す。表-2 には各推定計算の際に採用した  $\Delta s$  および  $M$  の値を示す。これらの各推定計算の際には、式 (7) を Gauss の消去法により解法し、複素演算は倍精度<sup>付録1</sup>で実行した。

推定結果からは以下のことが示される。

i) 与えた波浪場に存在する波の進行方向と成分波の推定に用いた $\theta_n$ のいずれかが一致する場合には、この波の振幅と位相は正確に求まり、

ii) 両者が一致しない場合には、与えた波の進行方向に近接する $\theta_n$ 方向の進行波の重ね合わせにより波浪場を表すことになる。

今の例では、与えた波浪場に $\tilde{\theta}_1 = 0.25\pi$ 方向に進行する波が含まれていたが、 $N = 20$ の時にはこれに一致する $\theta_n$ が存在せず、図-5に示したように、 $|a_3|$ および $|a_4|$ を中心に $|a_2|$ 、 $|a_5| \dots$ が値を持った。これに対して、 $N=24$ (図-6)の場合には、 $\tilde{\theta}_1 = 0.25\pi$ 方向の波の振幅と位相は正確に求まった。

次に、上に示した推定結果を妥当と判断した過程について説明する。図-7に $N = 20$ の場合の推定誤差 $|R_e|$ の挙動を示す。この際、 $R_e$ は式(10)を離散化し、積分間隔 $L/20$ でもって数値的に求めた。誤差の減少は $M = 36$ を境に緩やかになる。同時に、推定される成分波の結果もこの値を境に急変し、妥当と判断される結果が得られるようになる。図-8には $N = 20$ 、 $M = 25$ と設定した場合の成分波の推定結果を示す。図-3の正解と比較すると、これが疑わしいことは明らかである。表-2に示した値は以上の手順を経て求めた値である。 $M$ を表中に示した値よりも大きく設定しても推定結果は殆ど変化しない。尚、本推定方法では $M < N$ と設定した場合にも何らかの解が得られることに注意しなければならない。この場合、得られる結果に意味が無いことは明らかであり、推定誤差も極端に大きいことが図-7に示されている。

$N$ を大きく設定し推定の方向分解能を高めたい時に、波浪場のより多くの点の水位情報を与える必要があるのは $a_n$ を定めるのに必要とするデータが増すことに対応する。また、式(7)の複素演算を倍精度で行い、計算精度の維持に細心の注意を払う必要があるのは式(7)の係数行列の性質が悪いことによる。これは、重ね合わせに用いる波の進行方向が互いに近接しているために、各方程式間の数値上の独立性が弱まっていることに起因する。

$N$ をより大きな値に設定し、推定計算の方向分解能を高めることも可能である。しかしながら、この際には $M$ を大きく( $\Delta s$ を小さく)設定し、また、式(7)の解法に複素CG法<sup>5)</sup>を用い、4倍精度<sup>付録1)</sup>の複素演算を行う必要がある。以上の制約は使用し得る計算機環境への依存性が強い。本論文は、簡便に成分波の推定を行うことを主眼に置き、この点にはこれ以上詳しく触れないこととする。

### c) $\theta_n$ の設定変更による方向分解能の向上

与えた波浪場に含まれる波の進行方向と成分波の推定に用いた $\theta_n$ に一致が見られない場合には、推定され

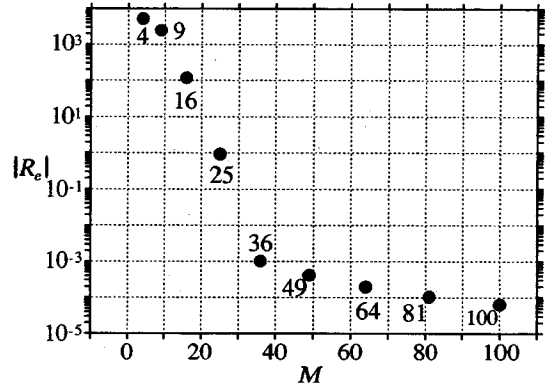


図-7 推定結果の誤差の減少 ( $N = 20$ )

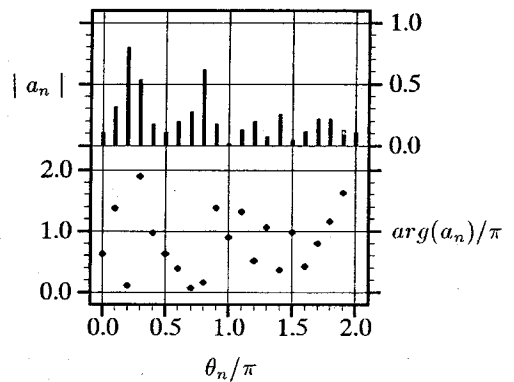


図-8 成分波の誤推定の例 ( $N = 20$ ,  $M = 25$ )

る $|a_n|$ の分布に拡がりが生じることを前節に示した。ここでは $\theta_n$ の設定を式(11)のように変更し、 $\theta_n$ を与えた波浪場の卓越する波の進行方向に一致させるように努め、成分波推定の方向分解能を向上させることを図る。

$$\theta_n = \frac{2\pi}{N}(n-1) + \theta_0 \quad (11)$$

ここに、 $\theta_0$ は計算される $|a_n|$ の分布の鈍化を防ぐために導入されるオフセットであり、式(11)と式(7)から求めた $a_n$ より計算される次の量

$$S = \sum_{n=1}^N |a_n| \quad (12)$$

が最小となるように

$$0 \leq \theta_0 < \frac{2\pi}{N} \quad (13)$$

の範囲で定める。 $S$ は $|a_n|$ の分布の拡がり按比例する量である。波浪場の中で卓越する波の進行方向に式(11)で表される $\theta_n$ のいずれかが接近すれば、 $S$ は小さくなる。

$\theta_0$ は次の手順で求めた。 $\theta_0$ を式(13)の範囲内で徐々

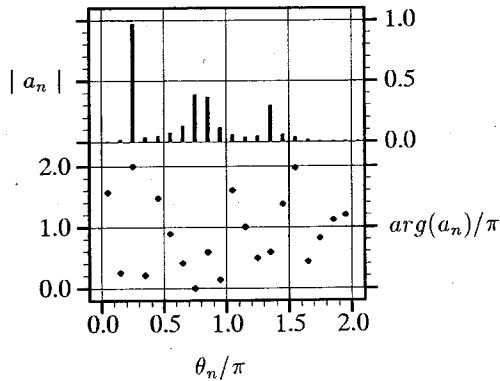


図-9 成分波の推定結果 ( $N = 20, \theta_0 = 0.05\pi$ )

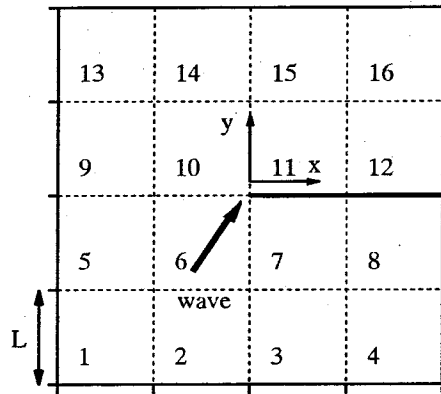


図-10 半無限堤周辺の解析領域

に変化させ、これに対応する  $a_n$  と  $S$  を各々求め、 $S$  を最小とする  $\theta_0$  を最適値とした。以上のような原始的な計算方法によらず、式(6)の段階で、 $R$  と  $S$  を共に停留化させる定式化を行い、 $a_n$  と最適な  $\theta_0$  を同時に求めることも原理的には可能であるが、式の展開が非常に複雑になる。

図-9に以上の手続を経て求めた推定結果 ( $N=20$ ) を示す。 $\theta_0$  は  $0.1\frac{2\pi}{N}$  刻みで変化させ、 $S$  は  $\theta_0 = 0.5\frac{2\pi}{N}$  の時に最小となった。図-5の推定結果と比較すると、波浪場中で最も卓越する波(進行方向  $0.25\pi$ ) に対する推定結果が改善されている。すなわち、 $|a_n|$  の拡がりが見えなくなり、 $|a_3|$  および  $arg(a_3)$  は正解をほぼ与えている。

### (3) 計算方法について

#### a) 不規則波の方向スペクトル推定法との比較

方向スペクトルを推定する際には、数少ない波浪場に関する情報(例えば、数点での水位変動記録)から圧倒的に多い波浪場を記述するパラメータ(周期毎、進行方向毎の成分波のエネルギー密度)を定めなければならない。数多くの方向スペクトル推定アルゴリズム<sup>2)</sup>が提案される背景はこの点にある。これに対して、本推定法は波浪場に関する情報を十分に与えた上で波浪場を記述するパラメータ(成分波の振幅と位相)を定める。ここには経験的な要素が入り込む余地は殆ど存在せず、得られる結果は客観的である。

方向スペクトル推定法を用い、単一周期の波が重なった波浪場の方向スペクトルを推定することが原理的に不可能になる場合を、合田<sup>6)</sup>が二方向合成波に対する方向分解能の検討を通じて詳しく説明している。方向スペクトル推定理論の基礎は、共分散関数の Fourier 変換が方向スペクトルを与えるという点にある<sup>7)</sup>。この際、理論的に共分散関数と方向スペクトルを結び付ける段階で、不規則波に含まれる成分波の位相がランダムか

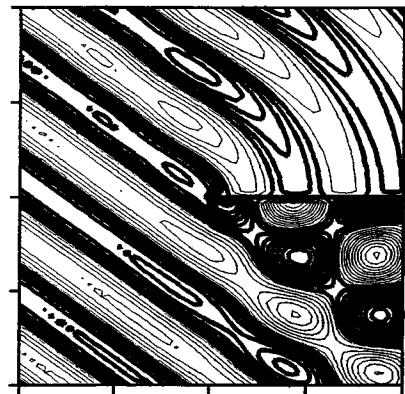


図-11 水位分布 (太線: 水位  $\geq 0$ , 細線: 水位  $< 0$ )

つ等密度に分布するという仮定を用い、成分波間の干渉項が相殺するという性質を利用する。単一周期から成る重合波浪場でもこの仮定が満たされていれば方向スペクトル推定法を適用することに原理的な問題はない。しかしながら、本研究で対象とする波浪場(モデル波浪場: 2章(2); Sommerfeld の回折解: 3章)はこのような仮定を満たさず、この仮定を満たさない場に方向スペクトルの推定法を適用するのは誤っている。

#### b) Fourier 変換との比較

本方法は Fourier 変換を用いて波浪場を構成する波の波数分布を求めるのと同等である。Fourier 変換の分解能力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。本方法の場合には  $M$  と水位変動の複素振幅を与える位置の設定がこれに対応する。本方法が Fourier 変換と比較した場合に特徴的と考えられる点は、式(7)の係数行列の逆行列を一回求めれば、波浪場の各点での複素振幅を与えることにより直ちにこれを構成する成分波が求まること、原理的にはデータを与える点が不規則に配列していても対応が容易であるこ

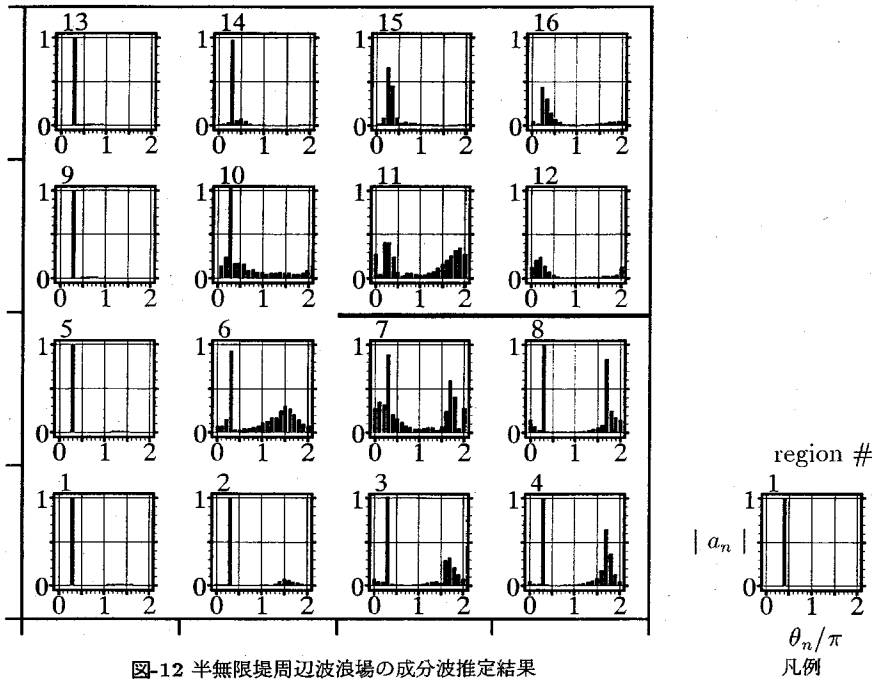


図-12 半無限堤周辺波浪場の成分波推定結果

と、等である。また、Fourier 変換を FFT(Fast Fourier Transform) によって行う場合には、与えるデータの数に対する制約が生じる。通常、FFT を用いる際にはデータ数が  $2^{\ell}$  個 ( $\ell$  は整数) であることが要求されるが<sup>付録2)</sup>、本推定方法にはこの種の制限はない。

### 3. 半無限堤周辺波浪場の解析

本章では Sommerfeld の半無限堤周辺の回折解<sup>9)</sup> を用い、防波堤先端周辺の波浪場を構成する成分波を推定し、その構造を調べる。堤の周辺の波浪場は長峰性の波と波面が曲がった円筒状の波 (散乱波) により構成されることが知られている。円筒状の波はその波源近傍での減衰が著しいが、波源からある程度離れば近似的に長峰性の波とみなすことが可能である。

図-10 に示すように波が半無限堤 ( $y = 0, x > 0$ ) に斜め入射する状況を考える (入射波振幅 1.0, 波長  $L$ , 入射角  $0.3\pi$ )。図-11 のある時刻の水位分布が示すように、堤の前面に重複領域が、背後に回折領域が形成される。図-10 に示した各領域 (1 ~ 16) の波浪場を構成する成分波を推定した。この際、 $\theta_n$  は式 (11) に従って設定し、 $N = 20$  とした。各領域の大きさは  $L \times L$  であり、領域内の格子上的各点 ( $M = 7 \times 7 = 49, \Delta s = L/6$ ) の水位振幅と位相を与えた。各領域の成分波の推定結果 ( $|a_n|$ ) を図-12 に示す。以下に代表的な推定結果について解説する。

領域 1 : 入射波成分 ( $\theta_5 = 0.3\pi$ ) 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  $1.35\pi$ ) 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 ( $\theta_{18} = 1.7\pi$ ) が卓越している。さらに、領域 12 の推定結果を参考にすると、ここには堤先端から発生する散乱波 (主進行方向  $1.8\pi$ ) 重合していると考えられる。

領域 12 : 防波堤背後の回折領域は主進行方向が概ね  $0.2\pi$  の波動場として捉え得る。

領域 15 : 入射方向の波の振幅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。

以上の結果は通常に理解されている防波堤周辺波浪場の特徴と一致するものである。

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いため波浪場の非一様性が強く、本推定法によりこの場を構成する成分波を調べることは原理的に難しい。図-12 に示した推定結果は一見妥当に感じられるが、これらは棄却すべきものである。

### 4. 結び

規則波が重合した波浪場を構成する成分波を推定する方法を紹介し、簡便に推定計算を行えることを示した。本研究では解析解を用いて本推定法の適用性について検討した。水槽実験で得られる波のデータに対し

て本推定法を適用するにあたっては、水位振幅と位相の測定精度、ノイズの混入等に対する検討が残されている。

本推定法を応用し得る例として波浪制御構造物の性能評価が挙げられる。現在の技術水準を考えると、構造物の波浪制御効果を評価する場合には不規則波浪を入力とした検討が要求される。しかしながら、構造物の基礎的なデザインを模倣する段階では規則波を入力とした検討も有効である。本研究はこのような背景から生まれたものであり、本推定法を用いて波向き制御機能を有するテーパー型潜堤の性能評価を行い、制御効果の高まる形状を探っている<sup>1)</sup>。

謝辞：九州大学入江 功教授ならびに吉田明徳助教授には本論文を書くにあたり御助言を頂きました。また、この研究の根源となるアイデアは筑波大学西村仁嗣教授に御教示頂きました。ここに記して謝意を表します。

#### 付録

1) 著者の周辺では、PC上のMicrosoft FORTRAN (Microsoft(株))にて倍精度の複素数、大型計算機シ

ステム上のUXP/M FORTRAN 77EX (富士通(株))にて倍精度および4倍精度の複素数が扱える。JIS工業規格のFORTRAN 77では単精度の複素数のみが規定されている。

2) 与えるデータ数が素因数(2,3,5,7...)の積で表される場合に対応可能なFFTのアルゴリズムおよびプログラムも存在する(参考文献：例えば、FACOM FORTRAN SSL II 使用手引書、富士通(株))。

#### 参考文献

- 1) 武若 聡, 入江 功, 黒田 寛: テーパー型潜堤による波向き制御, 海岸工学論文集, Vol.41, pp.726-730, 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) 中村孝幸, 小野正順: 波向き特性を考慮した堤体列まわりの平面的な波浪変形の評価法について, 海岸工学論文集, Vol.37, pp.534-538, 1990.
- 4) 森屋陽一, 大福浩之, 水口 優: 斜め反射の場合の入・反射波の分離手法について, 土木学会第49回年次学術講演会講演概要集, 第2部(B), pp.656-657, 1994.
- 5) 例えば, Panchang V. G. and B. R. Pearce: Solution of the mild-slope wave problem by iteration, *Applied Ocean Research*, Vol.13, No.4, pp.187-199, 1991.
- 6) 合田良実: 波高計群による方向スペクトルを用いた反射波推定方法の検討, 港湾技術研究所報告, Vol.19, No.3, pp.38-70, 1980.
- 7) 合田良実: 港湾構造物の耐波設計(増補改訂), 鹿島出版会, 333p., 1990.
- 8) 例えば, 堀川 清編: 海岸環境工学, 東京大学出版会, 582p., 1985.

(1994. 6. 22 受付)

## COMPONENT WAVE ANALYSIS OF MONOCHROMATIC COMPOSITE WAVE FIELD

Satoshi TAKEWAKA

A method for the estimation of component waves, which form a monochromatic composite wave field, is proposed. The wave field is decomposed with progressive waves, where their progressive directions are given; and their amplitudes and phases, which specify the component waves, have to be determined. The least square method is employed to calculate the amplitudes and phases. Parameters of the estimation are tested by computing the component waves of a composite wave field, which is simulated by superposing 3 progressive waves. Then the method is applied to the analysis of the wave field around a semi-infinite breakwater.