

島周辺の方向スペクトル推定と浮体動揺解析

九州大学大学院 学生員 ○横田 雅紀 (株)山本基礎 正会員 宮本 好英
九州大学大学院 正会員 山城 賢 吉田 明德 入江 功

まえがき

海洋工事を安全かつスムーズに行う上で、島陰部における静穏度と作業船など浮体の動揺特性の把握は重要である。

本研究では島周辺や岬、半島周辺など散乱波が複雑に重なり合う海域における波浪特性と浮体動揺特性の把握を目的とし、白島石油備蓄基地を対象に、境界要素法に基づく波の散乱解析を用いて島周辺の任意点における波の方向スペクトルの推定を試みた。

白島石油備蓄基地

白島石油備蓄基地は北九州市の北方約 8km の沖合に位置する大規模洋上備蓄基地で、周囲の水深は約 20m、海岸の勾配は急である。基地の平面図を図-1 に示す。この基地では原油貯蔵船のメンテナンスのため、定期的に貯蔵船を基地から出し入れする必要があり、建設時に作業船の動揺観測と波浪観測が行われており、この観測値を用いて推定したスペクトルの妥当性を検証することを考えている。

波の散乱解析法の概略

図-2 に示すように一定水深 h の海域に任意形状の柱状構造物があり、これに対し、各周波数 $\sigma = 2\pi f$ 、振幅 ξ の微小振幅規則波が x 軸と θ の角度をなして入射する場合を考える。このとき速度ポテンシャルはラプラス方程式を満足する関数であり、入射波のポテンシャル関数 ϕ_i と構造物からの散乱波を示すポテンシャル関数 ϕ_s の和で表せるものとする。ここで島周りの開領域に対してグリーンの定理を用いて散乱波のポテンシャルに関する積分方程式を導き、これを離散化し、境界条件を用いて数値的に解くことにより境界上ポテンシャルを算定する。なお、詳細は土木学会編「海岸波動」等に説明されている。

方向スペクトルの算定

現地観測から方向スペクトルを推定する場合、観測地点が高々数点に限られてしまうという欠点がある。また現地の実測データには散乱波の影響が含まれており、外海からの入射波スペクトルを推定するにも散乱波の影響を除く必要がある。これに対して数値解析では、入射波スペクトルの各成分波について任意計算領域の水面変動が容易に算定できるため、任意地点での方向スペクトルを精度良く推定できる。以下に波の散乱解析の結果を用いて島周辺の任意点における方向スペクトルを求める手順について説明する。

① 波の散乱解析と散乱波および回折波ポテンシャルの算定

まず仮定した多方向不規則波を構成する入射波スペクトルを周波数に関して N_f 個、波向について N_θ 個に分解し、計 $N_f \times N_\theta$ 個の成分波 (f_i, θ_j) について波の散乱解析を行い、境界上の散乱波ポテンシャルを算定する。次に任意領域における散乱波と入射波のポテンシャルを合成し、回折波ポテンシャルの分布を算定する。

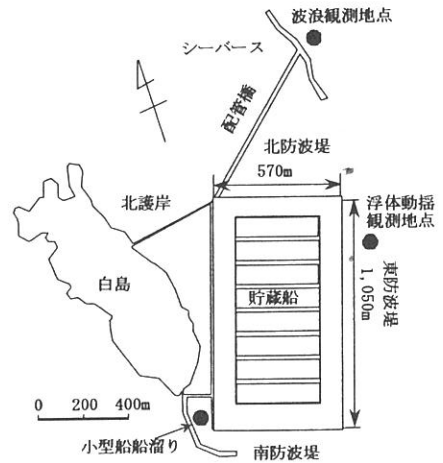


図-1 白島石油備蓄基地

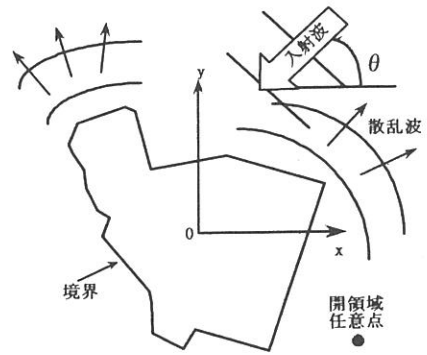


図-2 境界形状と座標軸

計算の一例を図-3(a),(b)に示す。図-3(a),(b)は周期 10 秒,入射角 60° の場合の散乱波(a)と回折波(b)の水面変動分布である。図-3(a)より入射波が一方向の規則波であっても散乱波は多方向に分散している様子が分かる。図-3(b)より島背後では散乱波と入射波が逆位相で重なり合い、遮蔽域を形成する様子などが確認できる。また散乱波の影響が広い範囲に及んでいることから、白島のように反射性の高い島前面では、観測点が相当離れていてもその点での観測結果を入射波としてそのまま使用することはできず、島による散乱の影響を考慮する必要があるといえる。

② 方向スペクトルの推定

まず方向スペクトルを求めたい地点とそこから任意の距離 (X, Y) 離れた地点との水面変動の相関 $\rho(X, Y)$ を下の式に従い求める。

$$\rho(X, Y) = \frac{1}{T} \int_0^T \eta(x, y, t) \eta(x + X, y + Y, t) dt$$

数値計算の場合、実際の計測では困難な任意位置かつ多点での水面変動を知ることができるため、詳細な相関分布を得ることができる。

この相関図の例として図-3(b)中に示す任意領域 A ($500\text{m} \times 500\text{m}$) についての回折波の相関分布を図-4に示す。ここで相関係数が 1 は同位相、-1 は逆位相を意味する。

次いで相関分布に対し、 X, Y の 2 成分についてフーリエ変換を適用し、 x 方向の波数を k_x 、 y 方向の波数を k_y として、 (k_x, k_y) 平面におけるパワースペクトルの分布を求める。その結果から入射波に対応する波数での方向分布を調べる。

図-5 に不規則波に対するパワースペクトル分布図の概略を示す。図中の破線で示した円は特定の波数 k に対応したパワーが分布する領域を示しており、 θ は波向を表す。波の散乱解析を用いる場合は各成分波毎に計算を行うことから観測データの解析とは異なり、データの周波数解析を行う必要が無いという利点がある。

以上①,②の手順を各入射方向および各周波数について行い、重ね合わせることで方向スペクトルが推定される。

あとがき

具体的な入射波スペクトルに関する島周辺任意点における方向スペクトルの特性については現在解析中であり、講演時に述べる予定である。

参考文献

- 1) N. F. Barber: The directional resolving power of an array of wave detectors, Ocean Wave Spectra, Prentice Hall, Inc., New Jersey, pp.137~150,1961.
- 2) 鍛冶壮吉, 宮本好英ほか: 大型起重機船吊り荷の能動型制振装置の開発, 土木学会論文集 No. 549/ I -37 pp. 149-158
- 3) 土木学会(1994): 海岸波動-波・構造物・地盤の相互作用の解析法-pp. 340-349
- 4) 吉田明德, 一田剛ほか: 波の散乱解析法を用いた島周辺の波浪スペクトル推定, 海岸工学論文集 第 49 巻 pp.226 - 230

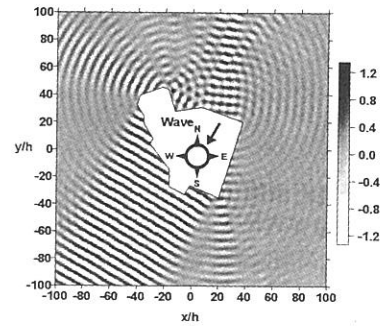


図-3(a) 散乱波水面変動分布

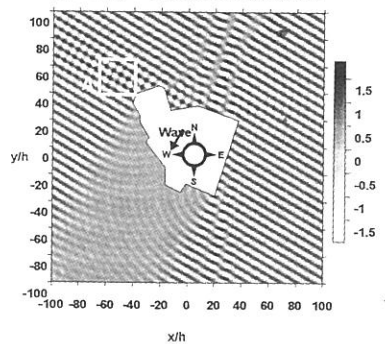


図-3(b) 回折波水面変動分布

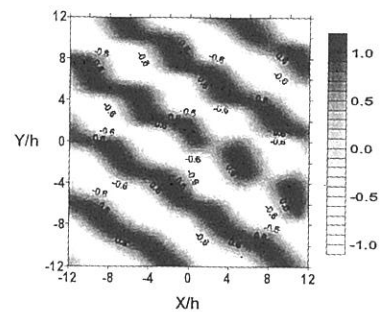


図-4 任意領域の相関係数分布

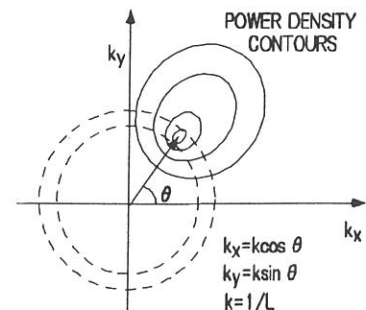


図-5 パワー分布概略