

鉛直線グリーン関数法による波向きの推定法について

(株)荒谷建設コンサルタント

○佐伯 信哉

(株)アライズソリューション

村上 剛

(一財)災害科学研究所

正会員

中村 孝幸

1. まえがき

港湾域において波の作用方向を知ることは、防波堤等の平面配置の決定や断面設計における波力を評価する上で重要となる。既に著者らは、線形理論ではあるが、任意平面形状の港湾域を対象にして、回折現象のみならず水深変化に伴う屈折現象をも考慮できる鉛直線グリーン関数法に基づく平面波高分布の数値解析法について明らかにしてきた。この解析法では、波高分布や波の同位相線図を参照することで、波高値および波向きを推定できるが、円筒波(グリーン関数)の重ねあわせとして波高分布を求めるという解析法であることから、波向きについては図的に認識できても数値的に推定することは困難であった。ここでは、このような波向き特性の推定を可能にする方法論を明らかにすると共に、それを用いた波向き特性の算定例を紹介する。

2. 研究の経緯

鉛直線グリーン関数法は、陸域境界線や等深線の上に円筒波で表される波湧き出し(グリーン関数)を、境界条件を満足するように決定した湧き出し強さを与えて分布せしめることで、海域の波高分布や波位相を算定する方法である。この際、水深方向には進行波モードの波浪ポテンシャル関数形を仮定することで、3次元的な波浪境界値問題を平面2次元的なそれに導き、海域境界の線積分解析で境界値問題の解法を可能にしている。

図-1, 2は、鉛直線グリーン関数法による図-3に示す岬地形まわりの波変形の算定結果の代表例を示す。これらは、それぞれ波高分布のコンター図および波の同位相線図に相当する。波の同位相線図は、ある特定の時間に抽出した波峰線図を示すもので、波の平面的な進行状況を表す。この図に基づき、波の進行方向すなわち波向きを判定できるが、図的に波向きを読み取るなど非常に煩雑な作業を要求される。図-1, 2を併せた検討により、N方向からの入射波は、岬の先端部を過ぎると屈折と回折の影響により漸次に波向きを左方向へ転向し、岬背後に回りこむようになることや波の収束により高波高域が現れるようになることなどが分かる。

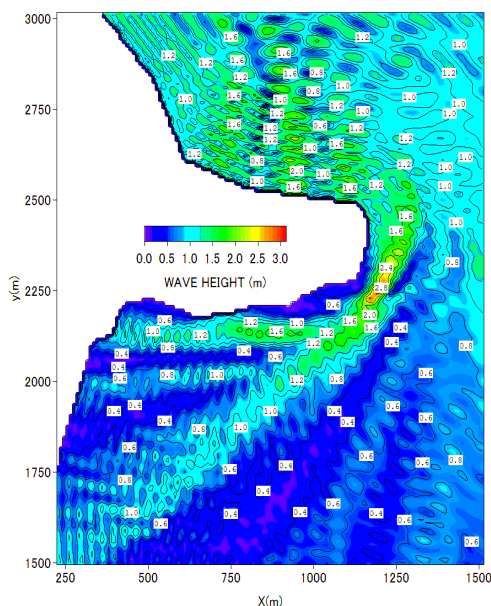


図-1 岬地形まわりの波高分布の算定結果(T=9s, H=1m, N方向波)

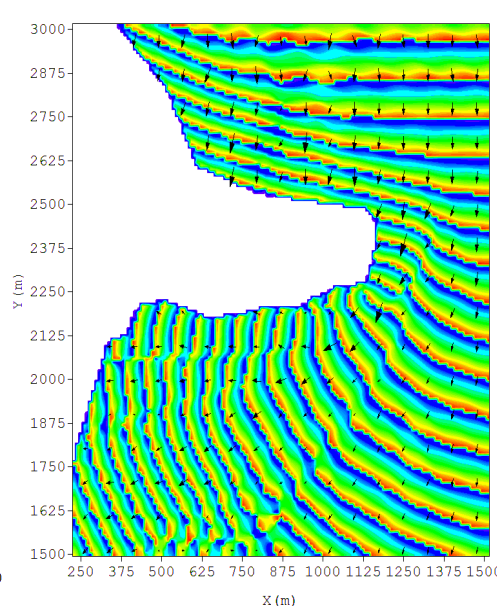


図-2 波の同位相線図および波運動の平面流速から求めた波向き(矢印)

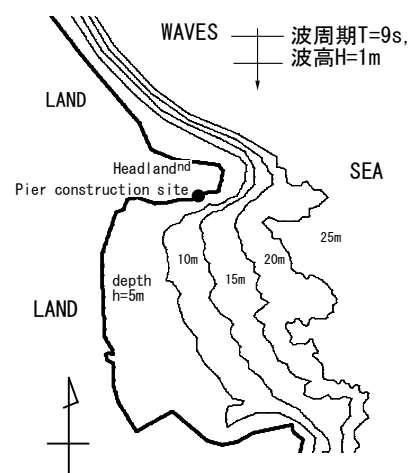


図-3 算定対象にした岬地形(Great Coco Island)と等深線図および波条件.
図中の●は、埠頭建設地点。

キーワード 波向き, 鉛直線グリーン関数, 進行波

連絡先 〒730-0831 広島市中区江波西1丁目25番5号 (株)荒谷建設コンサルタント TEL 082-292-5481 (代表)

3. 鉛直線グリーン関数法 (VLG 法) に基づく波向き の推定法

図-2 に示す波の同位相線図を検討することで、屈折・回折現象による波向きの変化を判定できるものの、波向き方向角などの数値データが求められればさらに工学設計に便利であり、多方向不規則波などへの展開も容易になるものと考えられる。ここでは、波向き方向角を数値的に求める方法として、波運動による平面的な流速 2 成分に着目してみた。この解析の流れは、次のようになる。

①VLG 法を用いて、任意の海域位置 (x,y) で水面変動 η と水平 2 方向の流速成分 (U,V) の絶対値とピーク位相を求める。② η が正ピーク(波峰)を示す時間位相 $\omega t = \delta_p$ において、水平 2 成分の流速値を求める。このときの流速ベクトルの方向は、波向きと一致することから波向きを数値的に求める。この波峰位相での流速 2 成分 (U_p, V_p) は、次式のように表せる。

$$U_p(x_i, y_i; t) \Big|_{\omega t = \delta_p} = \hat{U}(x_i, y_i) \cos(\delta_{U_i} - \delta_{P_i}), \quad V_p(x_i, y_i; t) \Big|_{\omega t = \delta_p} = \hat{V}(x_i, y_i) \cos(\delta_{V_i} - \delta_{P_i})$$

ここで、上付き $\hat{}$ は絶対値を、 δ_U, δ_V はそれぞれ U, V のピーク時間位相を示す。波向き θ は、これら (U_p, V_p) で構成される流速ベクトルの方向で与えられる。

このような波向き算定では、進行性の波面パターンを仮定しており、陸域境界からの反射波が有意な大きさで重複波が形成されるような状況下では正しくない。すなわち、重複波では波向きの定義ができず、意味をなさない。

4. 算定結果

図-2 中に示す矢印ベクトルは、上記の (U_p, V_p) を成分に持つベクトルを示すもので、その大きさはほぼ水平流速の絶対値に比例する量である。図-1, 2 の算定例では、岬まわりが岩礁であることから陸域境界の反射率は 0.3 としてあるが、岬の南側などでは波峰線と直交するように波向きベクトルが現れるなど、

ほぼ正確な波向きを示しているものと判断される。今回、提案した流速ベクトルで示す波向き表示は、流速が波高値に比例することから、矢印ベクトルの長さが波高に比例することになり、波向きだけでなく、波高値も同時に評価できる。そのため、波力など外力予測の検討に有用になると考えている。

図-4 は、図-3 中に示す岬の南側に建設予定の埠頭において、施工時における波の作用を弱めるため、岬の突端南側に設けた突堤式防波堤(95m 延長)を示す。図-5, 6 は、防波堤を設けるときの岬まわりの波高分布と波向き特性の算定結果を示す。これらの図から、岬の突端南側に約 100m 延長の防波堤を設けると、施工時における埠頭建設地点への作用波高を大幅に低減することができる。このため、防波堤の建設により、図-1, 2 で示した岬先端を回り込む波を効果的に遮断できるものと考えている。

5. まとめ 以上、VLG 法による波向きの推定法とその有効性を岬地形について検討してきた。その結果、北よりの入射波に対して、岬の南側に建設予定の埠頭を防護するには、波向き特性から予測される岬先端部に近い場所に突堤式防波堤を設けると効果的であるなど、波向き推定の方法論の有用性が確認できた。

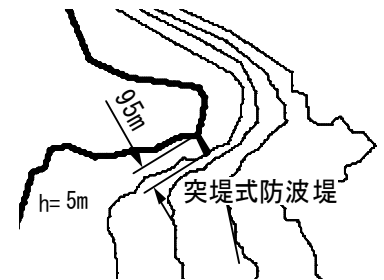


図-4 回り波を防ぐための突堤式防波堤

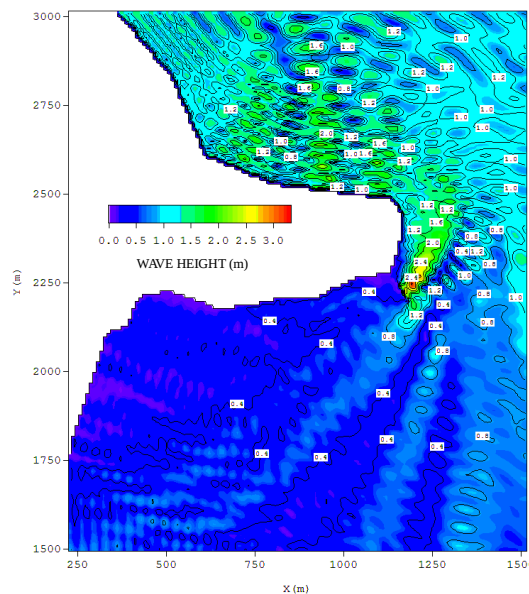


図-5 防波堤を設けた場合の波高分布 (T=9s, H=1m, N 方向波)

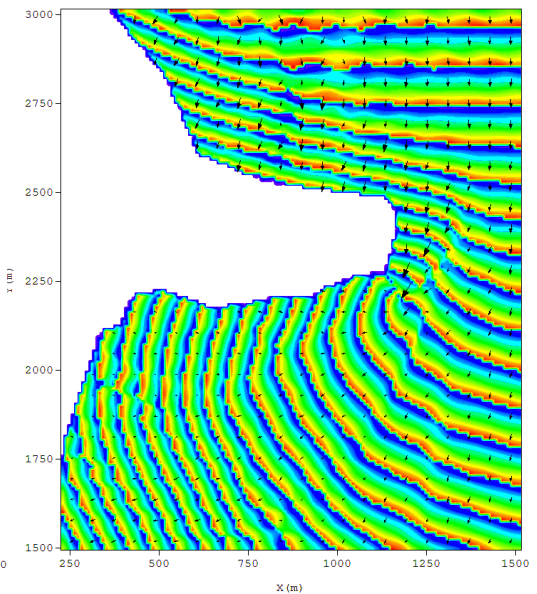


図-6 防波堤を設けた場合の波向き特性 (T=9s, H=1m, N 方向波)