

島周辺の波浪特性と浮体動揺

九州大学大学院 学生員 ○一田 剛 宮本 好英
九州大学大学院 正会員 山城 賢 吉田 明德 入江 功

1. まえがき

近年、石油備蓄基地や発電プラント等の重要施設が沖合の無人島等を利用して建設される事例が増加している。このような海洋工事を安全に行う上で、島周辺の波浪特性、建設作業船の動揺特性を把握することは重要である。また、当研究室では、島嶼部の住民に対して劇場、ファッションショップ、レストラン、図書館や博物館などの文化施設、レクリエーション施設や医療施設などを搭載し、島に対して訪問周回し各種サービスを提供する海洋システム(モバイルステーション)を考案しており、この構想の実現においても、モバイルステーションの係留場所、及び暴浪時の避難場所を設定するうえで島周辺の波浪特性や浮体動揺について把握する必要がある。

以上のような観点から、本研究は、白島石油備蓄基地を対象に、島周辺での波浪特性と浮体動揺について検討したものである。

白島石油備蓄基地は北九州市の北方約8kmの沖合に浮かぶ白島に建設された原油備蓄量約560万klの大規模洋上備蓄基地である。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、定期的に原油貯蔵船を基地から出し入れする必要があり、その際、東防波堤のケーソンの一部が撤去される。この作業を安全かつスムーズに行うために作業船の動揺特性を把握する必要があり、基地では、建設時に作業船の動揺観測と波浪観測が行われている¹⁾。ただし、作業船の動揺観測は、東防波堤付近であるのに対し、波浪観測はシーバース位置(図-1参照)で行われていることから、本研究では、境界要素法による計算法を用いて、1996年5月の基地建设時に離れた位置で行われた波浪観測と浮体動揺の実測結果を関連付け、島周辺での波浪特性と浮体動揺について検討することを目的に、まず白島周辺の波浪変形の解析を行った。

2. 計算理論の概略

図-2に示すように、一定水深hの海域に任意平面形状の鉛直壁からなる構造物があり、これに対し角周波数 σ 、振幅 ζ_0 の微小振幅波がx軸と θ の角度を成して入射する場合を考える。この時、速度ポテンシャルは、入射波のポテンシャル関数 $\phi_I(x,y)$ と構造物からの散乱波を表すポテンシャル関数 $\phi_S(x,y)$ の和で表せるものとする。ここで、 $\phi_S(x,y)$ はラプラス方程式を満足することより次式のHelmholtzの方程式を満足する関数である。

$$\nabla^2 \phi_S(x,y) + k^2 \phi_S(x,y) = 0 \quad (1)$$

外界領域の任意点に対してグリーンの定理を適用すると $\phi_S(x,y)$ は次の積分方程式で表すことができる。

$$\phi_S(X_P) = \frac{i}{4} \int_{\Gamma} \left\{ \phi_S(X_b) \frac{\partial H_0^{(1)}(kr)}{\partial n} - H_0^{(1)}(kr) \frac{\partial \phi_S(X_b)}{\partial n} \right\} ds \quad (2)$$

ただし、 X_P は開領域の任意点 $X(x_P, y_P)$ 、 X_b は境界上の点 $X(x_b, y_b)$ 、 r は X_P 、 X_b の距離、 n は境界線に対する内向き法線、 Γ は構造物の境界線を表し、積分の方向は領域を左側に見て進む向きとする。柱体表面は不透過であるので式(2)を境界条件 $\partial \phi_S / \partial \phi_n = -\partial \phi_I / \partial \phi_n$ で離散化した連立方程式を解き境界上のポテンシャル値を算定する。次いで、得られた境界上のポテンシャル値を用いて柱体周りの散乱波のポテンシャル値を算定する。なお、本計算法は土木学会編「海岸波動」²⁾等で詳細に説明されている。

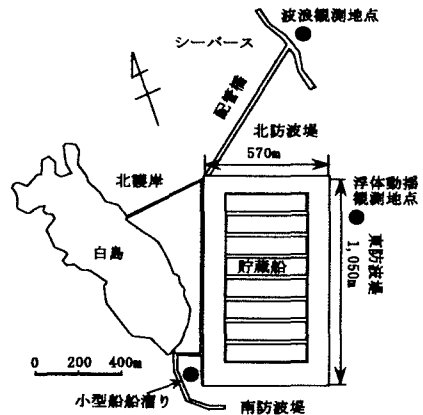


図-1 白島石油備蓄基地

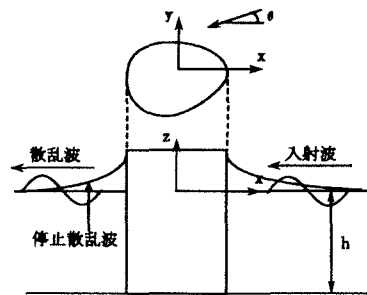


図-2 計算領域の概要

3. 計算結果と考察

境界要素法は境界上のポテンシャル値から開領域でのポテンシャル値を算定する計算法であるため、境界上のポテンシャルの算定精度が開領域全体の算定結果に影響する。一般に、解の精度は境界要素の分割幅を入射波長に対して小さくすることで向上する。しかし、白島の様な比較的広大な領域の解析では、要素をあまり小さくすると計算時間が増大するため、様々な周期や入射角度の波を対象とした計算を行う場合に問題となる。そこで、まず、計算精度と計算時間の両面から最適な要素幅を決定するため、円柱周りの回折波の厳密解である Maccamy・Fuchs の解との比較を行った。白島での計算条件を想定して、円柱半径 $r=500$ (m)、水深 $h=20.0$ (m)、周期 $T=5.0\sim 20.0$ (s)、無次元波数 $kh=3.23\sim 0.46$ とし、波長 λ に対する境界要素の長さ ds を変化させて計算を行った。図-3 は計算結果の一例で、 $T=6.0$ (s) での境界上の波高分布を厳密解と比較したものである。(a) は $\lambda/ds=14$ 、(b) は $\lambda/ds=7$ にとった場合の結果で、(c) は $\lambda/ds=7$ の時の解を用い、連続する5個の要素のポテンシャル値による平滑化を行った結果である。検討の結果、厳密解上で解のばらつきは若干見られるが、最低限 $\lambda/ds=7$ 程度に設定し、若干の平滑化を行うことによって、計算時間を実際に種々の検討が可能な程度に減少することができ、実用上十分な精度が得られることを確認した。したがって、以後の白島を対象とした計算では、対称とする最小周期の波に対して $\lambda/ds=7$ を目安に境界要素を設定した。

図-4 は白島周辺の波高分布を示したもので、入射波周期は $T=10.0$ (s)、入射角は上から $\theta=90^\circ, 120^\circ$ である。島の境界で完全反射としているため、島前面での波高が過大となる部分があるが、島による波の回折現象はよく計算されているといえる。また、入射角度が変化しても島の背面には常に波高が小さい遮蔽域が見られる。実際には、この場所は連絡船や作業船など小型船の船溜りとなっており、船の係留に適した場所であることが追認できる。

浮体の動揺解析に関しては現在進行中で、その概略は次のとおりである。まず、本計算法によって波浪観測地点

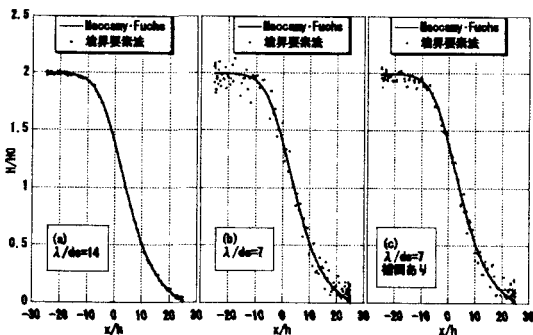


図-3 境界上ポテンシャル値

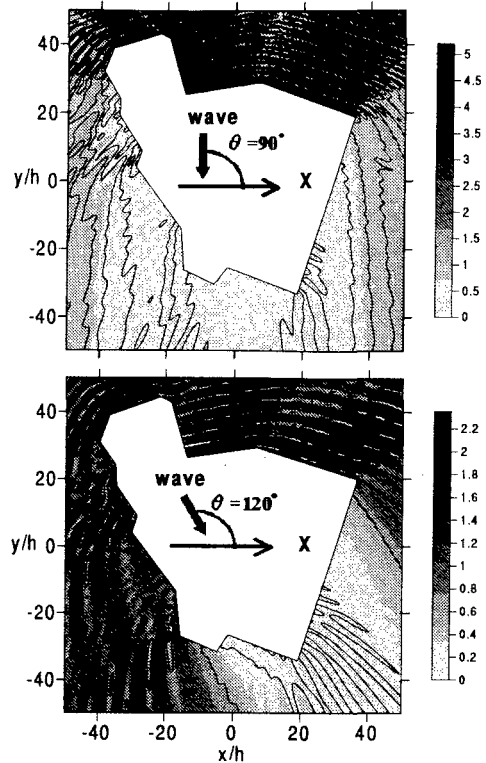


図-4 白島周辺の波高分布 (入射角上から $90^\circ, 120^\circ$)

と浮体動揺観測地点との波高の応答特性を把握し、波浪観測データから浮体動揺観測地点の波浪状況を推定する。次いで、推定した波浪状況をもとにその地点での浮体の動揺計算を行い動揺の実測値との比較検討を行って解析法の妥当性について検討する。その後、本計算法を用いてさまざまな入射条件に対する船体動揺の特性について検討する。なお、これらの検討結果については、講演時に報告する予定である。

4. おわりに

本研究では、境界要素法に基づく計算法により、波長に対する要素長を $\lambda/ds=7$ に取ることで島周りの波高分布を精度よく計算出来ることを確認した。今後は、白島石油備蓄基地での観測結果をもとに島周辺の波浪特性と浮体動揺について検討する予定である。

5. 参考文献

- 1) 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
- 2) 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