

不等水深港湾の副振動解析法

九州大学工学部 正員 吉田明穂

1. まえがき

著者は前論文¹⁾において港内の流体運動の速度ポテンシャルを三次元積分方程式で表示する事によって、港内の水深変化を考慮した副振動の解析法を示したが、この方法は、三次元積分方程式の数値解を求めるに際し、水面および水底面の面要素上のポテンシャル値を未知数とする多元連立一次方程式を解かねばならず、対象とする港湾領域が大きい場合には、計算容量・時間が著しく増大する。そこで、現実の港湾では、水底形状は外海近傍では比較的一様で港奥近傍で著しく変化している場合が多い事より、速度ポテンシャル表示に際し、外海近傍の港内領域では一定水深を仮定して、Lee²⁾が示した二次元積分方程式を用い、港奥近傍の領域に対しては三次元積分方程式を用いる事により、副振動を解析する方法を試みた。

2. 理論解析の概略

図-1に示すように、完全反射の直線海岸に港口を有する港湾に対し、 x 軸と θ の角度で角周波数 ω 、振幅 ζ_0 の規則波が入射するものとする。外海領域(1)および港口近傍の港内領域(2)は一定水深 h で、港奥領域(3)は不等水深の領域である。

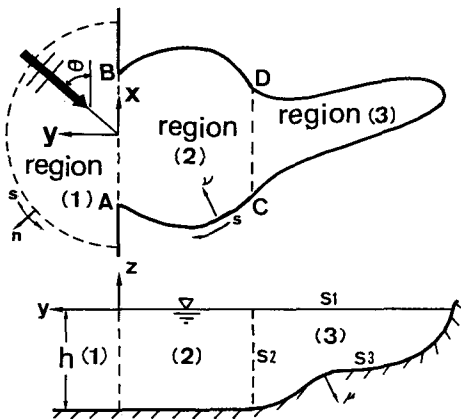


図-1 領域分割図

流体運動は非粘性、非圧縮性完全流体の微小振幅波運動と仮定すると $\Phi(x, y, z; t) = (g\zeta_0/\omega) \phi(x, y, z) \exp(i\omega t)$ の形の速度ポテンシャルが存在し、各領域における

ポテンシャル関数 ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 はそれぞれ次式で表わされる。^{1), 2)}

(i) 港口上では

$$\phi_1(x, y, z) = \left[2 \exp(-i\omega z) \cos \theta + \frac{i}{\pi} \int_A^B H_0^{(2)}(k\sqrt{y-y'}) \frac{\partial \phi_2(\xi, \eta)}{\partial \eta} d\xi \right] C(\xi)$$

(ii) 領域(2)では

$$\phi_2(x, y, z) = \left[\frac{i}{\pi} \int_C \left\{ \phi_2(\xi, \eta) \frac{\partial}{\partial \eta} H_0^{(2)}(k\sqrt{y-y'}) - H_0^{(2)}(k\sqrt{y-y'}) \frac{\partial \phi_2(\xi, \eta)}{\partial \eta} \right\} d\xi \right] C(\xi)$$

(iii) 領域(3)では

$$\phi_3(x, y, z) = \frac{i}{4\pi} \iint_{S_1+S_2+S_3} \left\{ \left(\frac{\partial}{\partial \eta} \right) \frac{\partial}{\partial \eta} \phi_2(\xi, \eta) - \phi_2(\xi, \eta) \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial}{\partial \eta} \right) \right\} dS$$

ただし、 (ξ, η, ζ) は境界上の点を意味し、 $C(\xi) = \cosh k(z+h)/\cosh kh$ で、 k は入射波の波数である。また、 $\phi_2(x, y, z) = \phi_2(x, y, z) C(\xi)$ 、 $\phi_3(x, y, z) = \phi_3(x, y, z) C(\xi)$ で、 ϕ_2 は港口からの散乱波を表わすポテンシャル関数である。

領域(2)の境界線を線要素に分割し、また領域(3)の境界面を面要素に分割して、上記3式を点 (x, y, z) が各領域の境界上の点である場合について離散化した後、それら3式を、港口、および領域(2)と領域(3)の境界面における流体運動の連続条件

$$\partial \phi / \partial n = \partial \phi / \partial n, \quad \phi = \phi_2 \quad (\text{港口 } AB)$$

$$\partial \phi / \partial n = \partial \phi / \partial n, \quad \phi = \phi_3 \quad (\text{境界面 } CD)$$

を用いて連立して解く事により、境界要素上のポテンシャル値とその法線微分値が決まり、それらの値を用いて領域内任意点でのポテンシャル値が決まる。

3. 解析法の検証と数値計算例

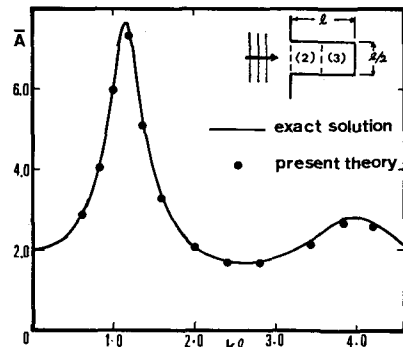


図-2 既知の厳密解との比較

解析法の検証を行うため、図-2中に示すような一定水深の矩形港について、本解析法による解と既知の厳密解とを比較した。図中実線で示したのが厳密解による湾奥での増幅率（湾内波高/入射波高） $\bar{A}$ 、黒丸で示したのが、本解析法を適用して求めた増幅率で、両者の一致は良好である。次いで、比較的複雑な湾形状と水深変化を有する長崎港をモデルに取り、本解析法による計算を行った。長崎港の平面形状を図-3に示す。図中C-Dで示した境界面より奥と水深変化を有する領域(3)とし、港口面は図中A-Bに取り $h=40m$ として計算した。計算に用いた境界要素分割の概略を、領域(2)の線要素と領域(3)の静水面上の面要素について示すと図-4のようである。

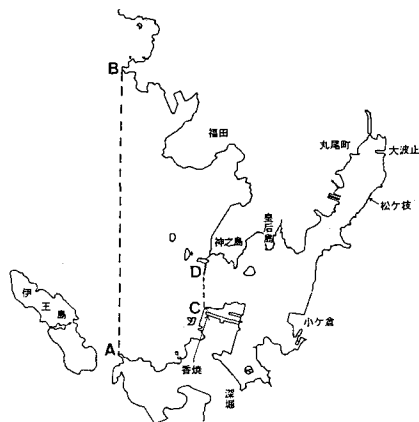


図-3 長崎港平面形状

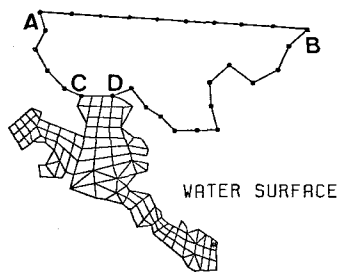


図-4 要素分割の概略(静水面)

図-5は計算の結果を湾奥の点丸尾の増幅率について示したもので、図中の実線は前論文²⁾に示した方法により、C-Dより奥の不等水深域を解析領域に取って求めた丸尾の増幅率である。これを見ると、本解析法により解析対象領域を狭げて、より現実の湾形状に近い場合の方が、湾内領域をC-Dより奥の不等水深域に限っ

た場合に較べ、第一次の共振周期近傍の増幅率が小さくなっている。ただし、共振周期は第一次、第二次ともに本解析法による方が、一分程度大きくなっているものの、解析の対象となる湾形状の変化に対し、共振周期の変動は小さく、共振周期の推定に関しては必ずしも解析対象領域を大きく取る必要はないようである。

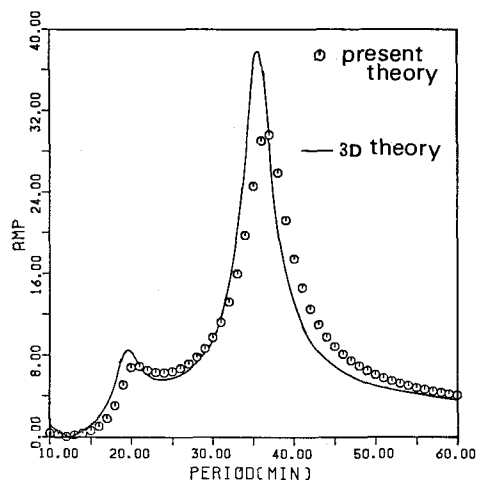


図-5 増幅率(丸尾)

4. あとがき

現実の港湾の共振計算を行う際に、解析上の港口をどこに取るかが常に問題となる。直線状の海岸に港口を有する振込港ではその選択に迷う事はないが例えば長崎港のように複雑な湾形状を有する場合には理論上の仮定(直線状海岸に港口を有する)が出来ただけ満足されるように港口を設定する事が望ましい。ただし、その際には解析領域が広がる事に伴い、計算時間・メモリ・計算労力等が増大する。本解析法はこのような場合の共振計算法として有用であると考えられる。

参考文献

- 1) 井島武・吉田明徳・永田修一・藤期福：任意形状と水深の湾内水面波の分布に関する数値解析(I. 不透透境界面の場合), 九州大学工学集報, 第54巻, 第2号, 1981年3月
- 2) J.J. Lee: Wave-induced oscillations in harbors of arbitrary geometry, J.F.M., vol. 45, part 2, 1971