

港内係留船の回折・散乱問題に及ぼす港湾境界の影響について

大阪府 正員○浜本 敏
 大阪大学工学部 正員 榎木 亨
 大阪大学工学部 正員 青木伸一

1. はじめに： 船体の動揺を運動方程式を用いて解析する際、付加質量や造波減衰係数を精度良く算定することが動揺予測の向上につながる。特に港内係留船の様に船の周辺が港湾境界で制限されている場合、流体力係数は港湾境界の影響を受けると考えられるが、これに関する研究はあまり見られない。本研究は港湾内でも特に隅角部における係留船の流体力係数を鏡像法を用いた境界要素法により数値計算を行い、港湾境界が流体力係数に与える影響を評価しようとするものである。

2. 数値解析の定式化： ここで用いた解析手法は、清川ら¹⁾のグリーン関数を用いた直接法を岸壁境界がある場合に拡張したものである。図-1に示す様に、一様直線岸壁に係留されている船体を考え、X, Y軸を水平面に、Z軸を鉛直上方にとり水深は一定とする。船体の動揺による6運動方向の造波ポテンシャル ϕ_i ($i=1\sim6$) は次式(1)~(5)及び無限遠方での発散条件を満足する。

$$\nabla^2 \phi_i = 0 \quad (1) \quad \frac{\partial \phi_i}{\partial n} - \frac{\omega^2}{g} \phi_i = 0 \quad (\text{on } S_F) \quad (2) \quad \frac{\partial \phi_i}{\partial z} = 0 \quad (\text{on } S_B) \quad (3)$$

$$\frac{\partial \phi_i}{\partial n} = v_n \quad (\text{on } S_v) \quad (4) \quad \frac{\partial \phi_i}{\partial x} = 0 \quad (\text{on } S_w) \quad (5)$$

ここに n_i は6方向の単位速度の法線方向成分及び単位角速度に対応する速度の法線方向成分である。領域にグリーンの公式を適用し式(1)~(5)を考慮すると、 ϕ_i に関する積分方程式(6)が得られる。

$$2\pi\phi_i(P) = - \iint_{S_v} \left\{ \phi_i(Q) \frac{\partial}{\partial n} G(P, Q) - n_i(Q) G(P, Q) \right\} dS(P, Q \in S_v) \quad (6)$$

ここに S_v は船体の没水表面、P, Qは S_v 上の任意点、GはWehausen & Laiton及びJohnにより求められた3次元のグリーン関数である。積分方程式(6)を数値的に解くために没水表面 S_v を N個の微小要素に分割する。式(6)を離散化し未知ポテンシャル ϕ_i に関する連立一次方程式とし ϕ_i を求め流体力を算定する。

3. 岸壁形状の考慮： Wehausen やJohn によるグリーン関数は岸壁の不透過条件を考慮していないので鏡像法により不透過条件を満足させる必要がある。図-1に示す様に、点 $P=(\xi, \eta, \zeta)$ のY軸に関する対称な鏡像 $P' = (-\xi, \eta, \zeta)$ であるのでこれを用いて

$$G'(P, Q) = G(P, Q) + G(P', Q) \quad (7)$$

と定義する。このグリーン関数 G' は岸壁の不透過条件を満足しているので式(6)のGの代わりに G' を用いることで一様直線岸壁を考慮することができる。図-2に示す様な頂角が 60° の隅角部を有する岸壁についても実像Pに対する鏡像 P_i' ($i=1, 5$) を用いることで、岸壁形状を考慮したグリーン関数が求まり同様に解くことができる。²⁾

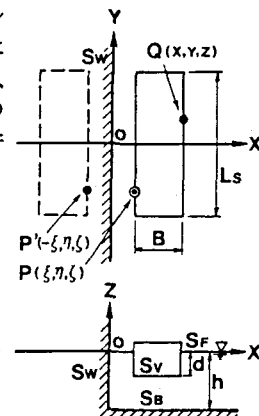


図-1 一様直線岸壁における解析モデル

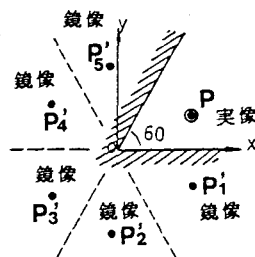


図-2 隅角部岸壁(60°)における鏡像法の適用

Satoshi HAMAMOTO, Toru SAWARAGI, Shin-ichi AOKI

4. 岸壁の影響評価：次にこの手法を用いて港湾境界の影響評価を行う。図-3 の様に水深15mで岸壁形状が、岸壁無し、直線岸壁及び頂角が 90° 、 60° 、 45° の隅角部、に係留された100m $\times$ 15m $\times$ 5m 箱型浮体を考える。岸壁形状の変化に伴う流体力係数の周波数特性を示したのが図-4である。図より流体力係数は周辺岸壁の形状が異なると大きく変化し、低周波数側の変化が著しく、特に減衰係数は岸壁からの影響が大きいことがわかる。更に離岸距離の影響を見るために、図-5に示す一様直線岸壁と 90° 隅角部岸壁における箱型浮体を考える。図中(b)におけるY軸上の岸壁から船体までの離岸距離をDとし、X軸からの離岸距離は一定でDのみを変化させて計算した。パラメータとしてDと波長Lとの比 D/L を選り離岸距離の変化に対する流体力係数の変化を示したのが図-6である。

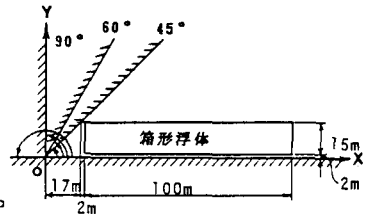


図-3 一様直線及び隅角部の岸壁における箱型浮体の計算諸元

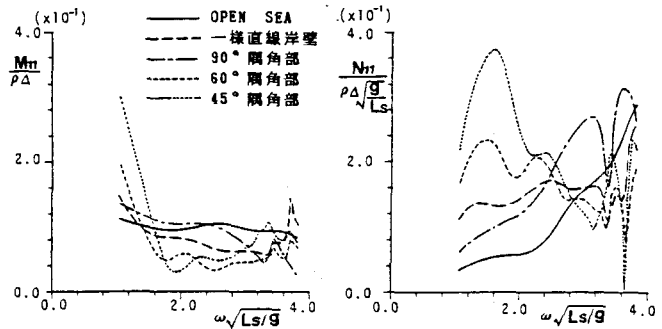


図-4 岸壁形状の変化に伴う流体力係数の変化(SURGE)

縦軸には 90° 隅角部における付加質量・減衰係数 M_{ij}^{90} , N_{ij}^{90} を一様直線岸壁における係数 M_{ij}^{180} , N_{ij}^{180} で除して無次元化した量を用いている。図から付加質量・減衰係数とも Surge(M_{11}' , N_{11}') において $D/L < 1.0$ の範囲で大きく変動していることがわかる。Sway(M_{22}' , N_{22}') においても同様に $D/L < 1.0$ で大きく変動しているが、特に付加質量より減衰係数の変動が著しい。また、反射波の影響は岸壁から、 $D/L < 1.0$ の範囲、即ち一波長分程度まで及ぶことがわかる。

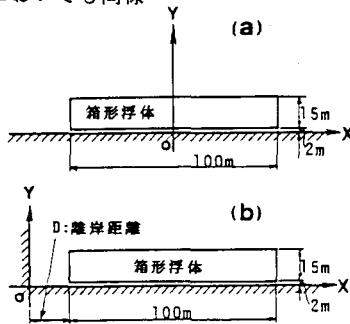


図-5 離岸距離モデルの計算諸元

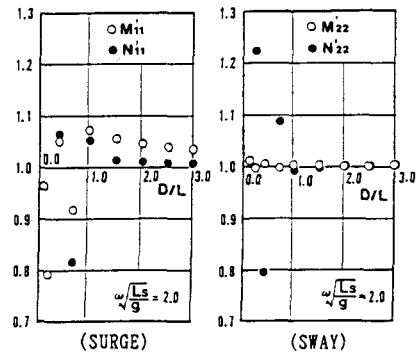


図-6 離岸距離による流体力係数の変化

5. 結語：鏡像法を利用した境界要素法を用いて岸壁形状、特に港湾隅角部が船体の流体力係数に与える影響を数値解析により評価した結果、流体力係数は港湾境界の影響を大きく受け、その影響は一波長程度及ぶことがわかった。

参考文献：1)清川哲志・大山巧ら：グリーン関数法による任意形状浮体の動揺解析、土木学会論文報告集232号、1983。2)ゾンマーフェルト：物理数学、講談社