

浅水域における人工島建設による 潮流変化の数値シミュレーション

(株)大林組 正員 浜嶋 鉦一郎

○石垣 衛

1. はじめに

東京湾、大阪湾を始めとして全国各地に多くの人工島が建設および計画されている。閉鎖性海域においては、人工島により潮流が阻害され、流速が低下したり滞留を招くことが危惧される。このため、人工島の建設によりどのように潮流が変化するかを予測することは、重要である。潮流変化の予測方法は、対象範囲が広いと計算機の処理容量の制限のため厳密な計算に問題が生じる。閉鎖性海域を解析の対象とする場合、外海との境界条件から対象領域を解析するが、人工島の領域が全体領域に対して小さいとき、人工島周辺部を十分に細かい要素に分割することが困難となり、厳密なシミュレーションとならず、計算結果の信頼性が問題となる。ここでは、一度全体領域を粗い要素分割で解析し、その結果を利用して更に対象領域を細かく要素分割し解析を行なうことで問題点を解決した。

具体的な問題例として大阪湾に建設計画される人工島を対象としてシミュレーションを行なった。この結果、人工島内部にある幅200mの運河の流れまで解析することができた。本文では、その概要を紹介し解析法の有効性を述べる。

2. 潮流シミュレーションの解析方法

本シミュレーションは、2次元の有限要素法を用いて解析し、結果として流速の方向ベクトル、潮位のコンター図を得る。

(1) 支配方程式

潮流の運動を支配する基礎方程式として連続の式、海面の上下運動によって生じる流れの運動方程式が用いられる。ここでは座標 (x, y) を水平面内の2次元平面として扱い、 u, v は流速を鉛直方向へ積分した線流量を水深で割った平均流量を用いる。

この方程式は、波長が水深に対して十分長い浅い海域で使用されるため「浅水方程式」と呼ばれ、水

深が波長の $1/20$ より浅いところで近似が成り立つ。

・運動方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - f v + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} \\ = \frac{1}{\rho H} \left(\frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x H \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y H \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right) + \frac{K W^2}{H} \cos \psi - \frac{g U (U^2 + V^2)^{1/2}}{H C^2} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + f u + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} \\ = \frac{1}{\rho H} \left(\frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x H \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y H \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right) + \frac{K W^2}{H} \sin \psi - \frac{g V (U^2 + V^2)^{1/2}}{H C^2} \end{aligned}$$

・連続の式

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial (u H)}{\partial x} + \frac{\partial (v H)}{\partial y} = 0.$$

ここで、 g は重力加速度、 $H = h + \zeta$

ただし、 h は平均水深、 ζ は潮位を表す。

(2) 解析モデル

解析モデルの作成にあたっては、有限要素を用いた。具体的に、海岸線の複雑な地形を要素分割するにあたっては、要素自動分割プログラムを用いた。モデル作成の手順を以下に示す。

- (a) 海岸線および島の地形線の入力
- (b) 要素自動分割プログラムによる解析対象領域の要素分割
- (c) 境界条件の入力

ここに、陸地境界を Γ_1 、海上境界を Γ_2 とおくと境界条件は、以下のようになる。

陸地境界 $V_n = 0 \quad (x, y \in \Gamma_1)$

海上境界 $\zeta = \zeta_b(t) \quad (x, y \in \Gamma_2)$

ただし、

V_n : 境界に対する法線方向の流速

ζ_b : 計算時刻 t の潮位

(3) 人工島周辺の局所解析

有限要素の計算容量に制限があるため、人工島周辺部を解析するには、まず粗い要素により閉鎖性海域全体を解析する。その解析結果をもとに新たに人工島周辺部について細かい要素の解析モデルを作成し、解析を行なうこととした。ここでの問題点は人工島周辺部の解析モデルの海上境界をどのように決

定するかである。ここでは、予め全体領域を解析するときに幾つかの節点の潮位の経時変化の計算データを記録しておき、それを海上境界の条件として与えるズームング方法を用いる。

3. 大阪湾の潮流について

本適用例は、大阪湾の一番奥にあたる地域に人工島を建設する場合の潮流解析を行い、潮流の変化の予測を行なったものである。

(1) 大阪湾の潮流の特徴

図-1に示されるように大阪湾の出入口は、本州と淡路島との間の明石海峡、淡路島と紀伊半島との間の友ヶ島水道の2ヶ所である。大阪湾は楕円状をしており、北半分は潮流の速度が弱い、そこにポートアイランド、六甲アイランドなどがすでに建設され、さらに多くの人工島が計画されている。潮流は明石海峡を西側から東側に流れる動きとその逆の流れがあり1日の内に2回、潮の向きを変える。したがって潮の流れが反転するときは、流速が徐々に小さくなり反転時には速度が無くなる。

(2) 境界条件

a) 潮位

明石海峡における潮位を1.5m、友ヶ島水道における潮位を1.35mとした。

b) 周期

12時間。ただし、明石海峡と友ヶ島水道に1時間の位相差を考慮した。

c) 水深

大阪湾の海図をもとに各要素節点に対しそれぞれ水深を与える。

d) 流入河川の流量

大阪湾では、対象領域の流れに影響を与える淀川がありこの流量を考慮した。

(3) 対象地域の特徴

今回の解析対象領域となる人工島は阪神地区の沖合いの海上にあり、第2期ポートアイランドおよび六甲アイランドが並ぶ東側に位置する。北側は、西宮のヨットのセーリング海域であり、人工島の北端となる位置にはすでに防波堤があり波を防いでいる。東側は、淀川の河口からの流れ道となっている。淀川の流れをはきんで、大阪市の北港北地区および南地区の人工島がある。

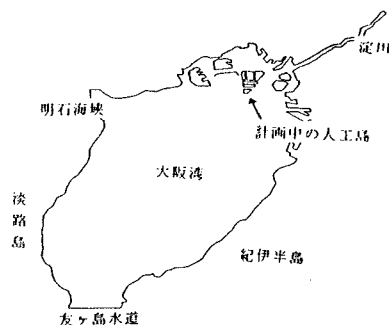


図-1 解析対象領域

4. 解析例

人工島の建設による潮流の変化を予測するために、以下の2つのモデルを作成した。計算時間は、24時間であり、結果は、2周期目の15時間目から3時間間隔で、24時間目までを出力した。

(1) 現況モデル

人工島の建設前の潮流の状況を解析し、人工島建設後のシミュレーション結果を評価するのに用いる。現況の潮流は、第2期六甲アイランドの防波堤および対象地区の防波堤により妨げられていることがわかる。

また、淀川の流れは、干潮時には海にそそいでいるが、満潮時には潮流が逆流している。図-2に解析結果を示す

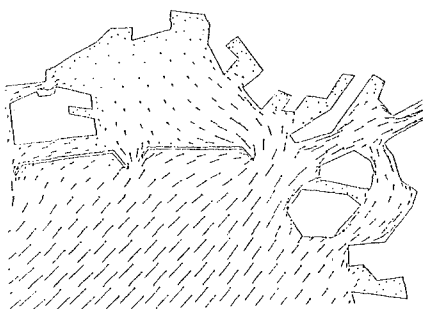
(2) 人工島建設計画案のモデル

本人工島の形状は縦横に幾つかの運河をもっていることが特徴である。これは、親水性と海水浄化を目標とした計画方針から考案された。図-3に解析結果を示す。

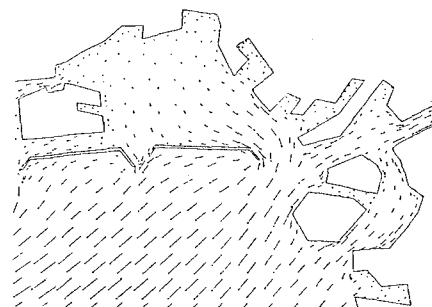
(3) 解析結果の考察

現況および人工島の建設モデルで顕著な相違が見られたのは、24時間目の結果である。人工島の位置は淀川の流れの方向に位置している。潮流の干満の流れの変化により淀川の流れは向きを変えている。

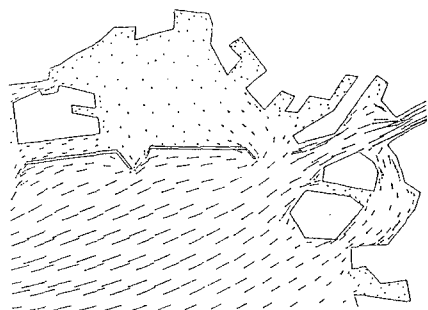
現況の24時間目は、西側から東側に流れる潮流と淀川の流れの強さが同等となる時間帯である。ここでは、人工島は淀川の流れを押え、潮流を南側へ向かわせることとなり、図-4で示すように人工島南側の潮流が変化することが確認された。



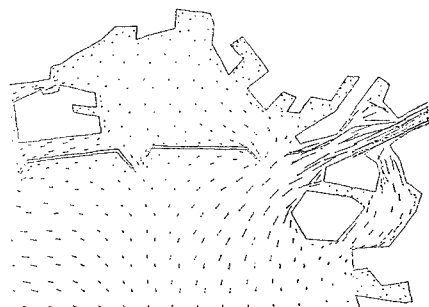
(1) 15時間後



(2) 18時間後

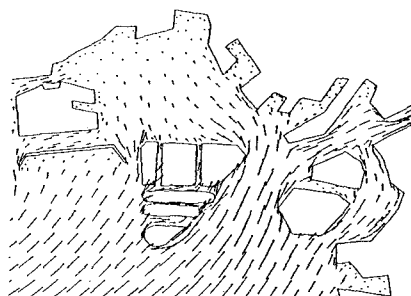


(3) 21時間後

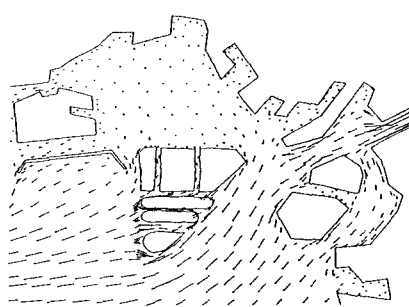


(4) 24時間後

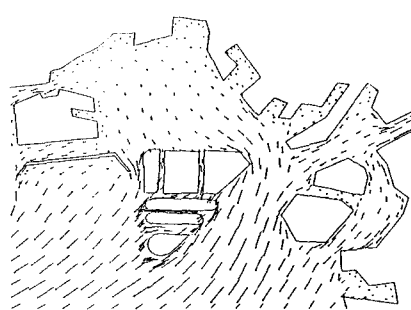
図-2 現況モデルの流速ベクトル



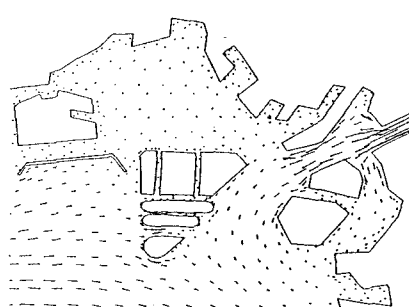
(1) 15時間後



(2) 18時間後



(3) 21時間後



(4) 24時間後

図-3 計画案モデルの流速ベクトル

また、運河の海水は、最大流速が秒速0.3mで流れるため、運河内の海水は潮流の反転毎に入れ替わり、滞留することはない。狭い運河でも海水が流れることは、潮流が運河を抜けて分散する効果があり、この点に関して人工島における運河の意義がある。

5. おわりに

広範囲の開鎖性海域における局所的な地域の潮流解析を行なった。

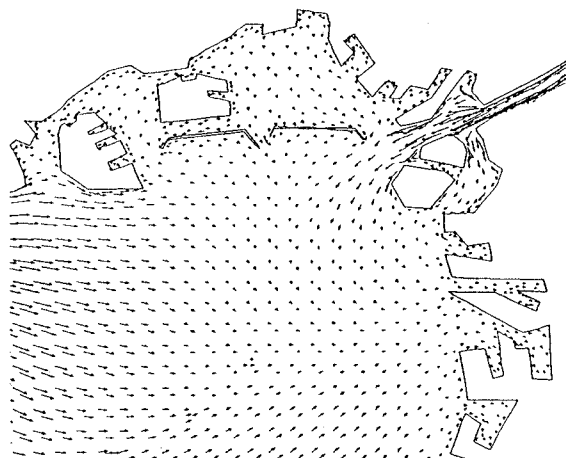
本方法により以下の結果を得た。

(1) 大容量のコンピュータにより詳細なモデルが構築可能となり、人工島の周辺部などのような局所的な領域を解析できた。

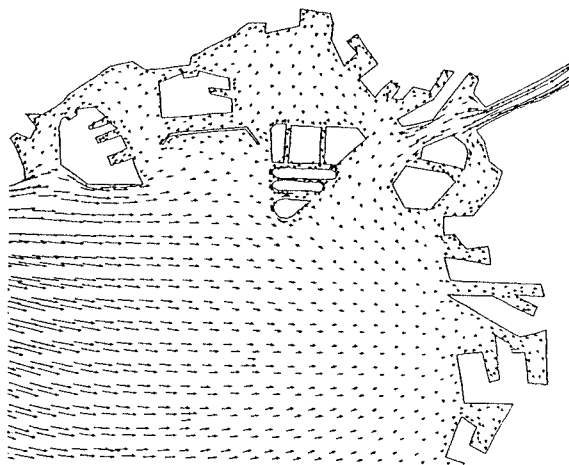
(2) 計算時間は1ケースあたり、スーパーコンピュータで3時間、EWSで14時間程度である。

(3) 運河や防波堤などの幅の狭い領域や複雑な地形に対しても、自動分割プログラムを用いることで、容易にモデル化できる。

本研究に用いた潮流解析プログラムは、今後の環境評価および予測に役立つものと期待している。



(1) 現況モデル



(2) 計画案モデル

図-4 24時間後の解析結果の比較