

カンボジア Kampong Saom 湾の流動機構の把握

水工学研究室 成田 浩明
指導教官 細山田 得三

1. はじめに

現在，カンボジア国内では急速に開発が進められており，沿岸域もその例外ではなく，大規模な開発が計画されている．図 1 に本研究の解析対象となるカンボジアの Kampong Saom 湾を示す．Kampong Saom 湾はタイ湾の東中部に位置しており，湾の開口部付近にカンボジア随一の港湾都市 Sihanoukville がある．Sihanoukville は国際港湾，国際空港，石油会社，リゾート地等として発展しており，現在も新たなリゾート計画や港湾計画が挙がっている．また，Kampong Saom 湾内の東中部にある Oknha Mong Port でも港湾の計画が進められており，Kampong Saom 湾はこうした開発による環境の変化が顕著に現れる箇所であると言える．さらに Kampong Saom 湾はタイ湾に面しているため，湾内での環境の悪化はタイ湾全体へと影響を与えることが予想される．こうした事態を回避するために，事業による環境への影響を予測・評価する環境アセスメントが近年盛んに行われてきているが，対象海域では環境アセスメントは行われていなかった．沿岸域において環境アセスメントを行う際にはその領域での流動機構を把握しておく必要がある．しかし，地域の情勢などの問題があり，現地観測がなされていないため，数値解析を行うための潮汐データが入手できず，Kampong Saom 湾の流動機構は未だ解明されていないのが現状である．

よって本研究では，海洋潮汐モデル NAO.99b による潮汐調和定数の推算値を入力条件として用いた数値解析により Kampong Saom 湾の流動機構を把握し，今後周辺地域で開発を行う際の基礎的情報として資する事を目的とした．

2. 数値解析

(1) 数値計算方法

数値計算は球面座標系で下のように示される水の長波流動を記述するナビエ・ストークスの運動方程式および連続式を陽的に中央差分する手法を利用して計算を行う．

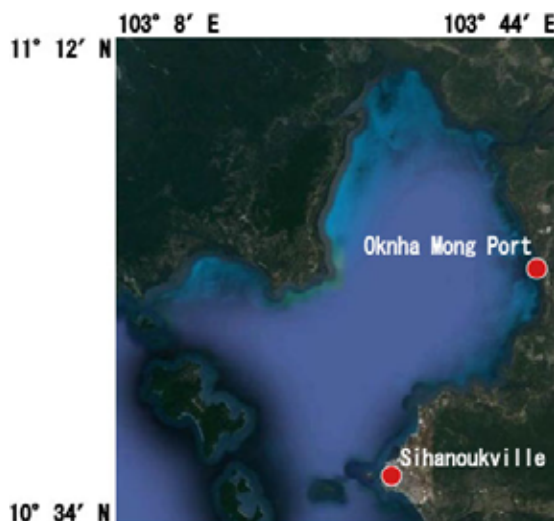


図 1 解析対象領域

1) 運動方程式

(a)(経度方向)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + A_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \frac{gu\sqrt{u^2 + v^2}}{(\zeta + h)C_z^2}$$

(b)(緯度方向)

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + A_h \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \frac{gv\sqrt{u^2 + v^2}}{(\zeta + h)C_z^2}$$

2) 連続式

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

3) 拡散方程式

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right)$$

ただし，

u : x 方向速度(m/s), v : y 方向速度(m/s), h :水深(m), ζ :水位(m), f :コリオリ力, A_h :渦粘度(m^2/s), C :濃度, a :地球の半径($=6.37 \times 10^6 m$), C_z :海底摩擦係数

(2) 対象地形

解析に用いる地形データには、NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)が公開している全球を1分メッシュでカバーする海洋底地形データETOPO1に加え、Google Earth、及び現地の測量・観測で得られたデータに基づき、格子間隔100m、格子数626×699の地形データを作成し、使用した。

3. 結果

(1) 潮汐流

Kampong Saom 湾では1日周期の分潮が卓越しており、潮汐は満潮と干潮が1日に一度現れる1日周期のものとなっていた。水位については潮位差1m程度となっており、全体的に経度方向の流速は小さく、湾内では緯度方向の流速が卓越していた。湾の奥に位置するOknha Mong Portでの流速は、流速の小さくなる満潮、干潮時で0.01m/s以下となり、流速が大きくなる上げ潮、下げ潮時で0.03m/sとなった。一方、湾の入り口付近にあるSihanoukvilleでは岬上の地形となっている事もあり、流速は最大で1.3m/sにもなるという結果になった。

潮汐残差流は全体的な流れの方向は湾の外へと向かう残差流が強く、湾の入り口の陸地に挟まれた海峡部で特に流速が大きくなり0.2m/s程度の流れが生じていた。また、湾の左側では時計周りの循環流を形成しているが、タイ湾との境界部に近く湾外へと向かう流れが支配的であると考えられる。一方、湾の中央部から奥では潮汐残差流は非常に小さく、大部分で0.01m/s以下となっていた。特に湾奥では潮汐残差流の流速は限りなく0m/sに近くなっていた。以上のことより、Kampong Saom 湾において潮汐が海水交換機構に与える影響は湾の入り口付近では大きい、湾の中央部から奥では非常に小さいと言え、湾の奥の海水交換性は低い事が分かった。

次に、汚染の拡散状況を調べるために、Sihanoukville及びOknha Mong Port周辺に濃度1.0を与え続け拡散計算を行った。Sihanoukvilleでは拡散の速度は速く、計算開始から3週間もたつと湾内の面積の半分程度まで汚染が広がるが、その濃度のほとんどは南側の開口部からタイ湾へと拡散していた。一方、Oknha Mong Portでは、Sihanoukvilleに比べるとその拡散速度は非常に遅く、湾の奥で発生した汚染物質は湾内に長く

留まることが分かった。

(2) 吹送流

吹送流の計算では、対象海域に西風10m/sを吹送させ流速と水位の時間変化を確認した。水位については西からの風により東側に海水が吹き寄せられて計算開始から2時間で水位の上昇は6cm程度となっていた。このことより吹送流による水位変動が沿岸地域に与える影響は非常に小さいと言える。流速については、計算開始から2時間後で湾の奥へと向かう流れが見られた。湾の入り口付近や岬で流速が大きくなっておりSihanoukville周辺では0.15m/s程度の流れが発生しているが、Oknha Mong Portでは0.01m/s程度と流速は非常に小さい。以上の結果より潮汐流に比べて吹送流が湾内の流動機構に与える影響は小さいと言える。

4. 結論

- NAO.99bにより求めた潮汐調和定数を潮汐条件に使用しKampong Saom 湾の潮汐流を再現する事が出来た。
- 潮汐流は湾の開口部において流速が大きくなるが、湾の中央部から湾奥にかけては非常に小さくなり流速の差異が大きい海域である事を確認した。また潮位差は1m程度となり、潮汐流の卓越した海域である事を確認した。
- Kampong Saom 湾では、吹送流の影響は潮汐流と比較して小さく、吹送流が湾内へ与える影響は小さいことを確認した。
- Sihanoukville、Oknha Mong Portの2地点で拡散計算を行った結果、Sihanoukvilleでは濃度の大部分が湾の南側からタイ湾へ拡散し、その後西側の開口部からも湾外へと拡散していったため、海水交換性が高い事を確認した。また、Oknha Mong Portでは拡散の速度は遅く、長時間湾の奥に留まっていたため、非常に停滞性が強い事を確認した。

5. 参考文献

- (1) 松本晃治(2004):海洋潮汐モデルNAO.99bの構築と普及、測地学会誌、第50巻、第3号、pp187-200。
- (2) 前田祥吾:カンボジア沿岸域の流動機構の把握、長岡技術科学大学工学研究科修士論文、2009。