

(II-17) 東京湾潮流解析における種々の計算条件の影響について

中央大学 学生員 ○森下 正志
中央大学 正会員 樫山 和男
運輸省港湾技術研究所 正会員 日比野 忠史

1. はじめに

東京湾の潮流解析は、これまで数多く行われてきたが、種々の計算条件の差異が計算結果に及ぼす影響については明確にされていない。

本報告は、東京湾の単層モデルを用いた潮流解析において種々の計算条件(解析メッシュ、河川流入、風、また開境界における潮汐条件)の差異が流れ場に及ぼす影響、特に物質の移流拡散で重要となる残差流への影響について検討した。なお、離散化手法としては、複雑形状への適合性に優れている有限要素法を用いた。

2. 基礎方程式と離散化

本研究では、基礎方程式として、非線形非定常の浅水長波方程式(1)、(2)式を用いた。

$$\dot{u}_i + u_j u_{i,j} + g \zeta_{,i} - A_l (u_{i,j} + u_{j,i})_{,j} + B_i - S_i + f_i = 0 \quad (1)$$

$$\dot{\zeta} + \{(h + \zeta) u_i\}_{,i} = 0 \quad (2)$$

ここに、 u_i : 流速、 h : 水深、 ζ : 水位変動量、 A_l : 渦動粘性係数、 ρ : 海水の密度、 g : 重力加速度、 B_i : 底面応力項($= \frac{\tau_{ib}}{\rho(h+\zeta)}$)、 S_i : 海面応力項($= \frac{\tau_{is}}{\rho(h+\zeta)}$)、 f_i : コリオリ力項である。ここで、 $\tau_{ib} = C_b \rho \|u\| u_i$ 、 $\tau_{is} = C^* \rho_a \|w\| w_i$ である。底面動摩擦係数 C_b は、 $gn^2 \sqrt{u^2 + v^2} / (h + \zeta)^{1/3}$ で決定され、 n はマンニングの粗度係数である。また、 C^* は海面摩擦係数、 w_i は風速を表す。

空間方向の離散化には Galerkin 法に基づく重み付き残差法を用い、要素は三角形一次要素とした。また、時間方向の離散化にはランピングパラメータを導入した三段階陽的解法¹⁾²⁾を用いる。

3. 数値解析例

東京湾において単層モデルによる潮流解析を行った。検討する計算条件として、(1) 解析メッシュ(2) 河川流入(3) 風(4) 開境界における潮汐の4項目を取り上げ、各条件の差異が流れ場に及ぼす影響について観測結果⁴⁾との比較により検討した。図-1に、解析領域及び各観測ポイントを示す。なお、境界条件としては陸岸境界ではslip条件とし、開境界条件としては(1)~(3)ではM2分潮、(4)ではM2分潮と主要四分潮を用いた。

3.1. 解析メッシュの影響

ここでは、メッシュ幅の異なる表-1に示す3種類のメッシュを用いてメッシュ分割の差異が計算結果に及ぼす影響に

ついて調べた。図-2にメッシュ分割の一例として、meshMの要素分割を示す。計算結果として、図-3にst.9の潮流楕円を示す。図より、メッシュ幅が最も細かいmeshLが最も観測値と一致していることがわかる。また、残差流に着目するとmeshSではmeshM,Lで見られる循環流が十分に表現できない結果となった。ここでは、図-5にmeshSを用いた場合の富津岬付近の潮汐残差流を、図-6,7にmeshMを用いた場合の湾奥部と富津岬付近の潮汐残差流を示す。

表-1 解析メッシュ

	meshS	meshM	meshL
節点総数	4377	7225	28970
要素総数	6962	12620	54708
最小要素幅(m)	206.7	183.3	88.4
最大要素幅(m)	2017.5	2017.5	1577.6
平均要素幅(m)	622.8	458.9	218.4

3.2. 河川流入の影響

ここでは、河川流入の及ぼす影響について調べた。対象河川として、東京湾の主要六河川(江戸川、旧江戸川、荒川、隅田川、多摩川)を取り上げ、それらの夏季の平均流量が湾内に流れ込むと仮定して計算を行った。図-3にst.9での潮流楕円、図-8に湾奥での残差流を示す。st.9の潮流楕円では河川流入の有無における大きな差は見られないが、残差流の流況では、図-6と図-8の比較から河口部付近でその差異が顕著に見られる。

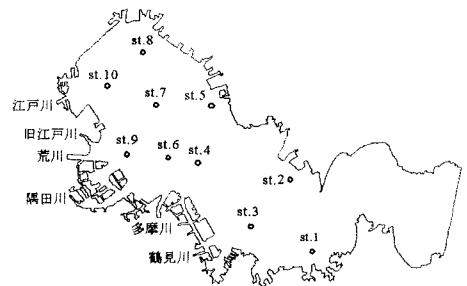


図-1 東京湾解析領域

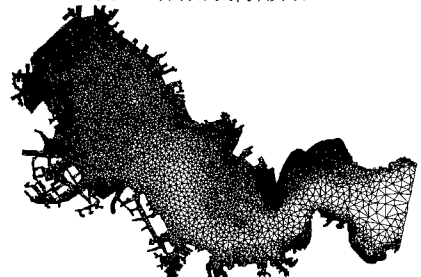


図-2 解析メッシュ(meshM)

KeyWords: 東京湾, 潮流解析
〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27,
Tel:03(3817)1815, Fax:03(3817)1803

3.3. 風の影響

ここでは、冬季に卓越するとされる北東風を考慮した場合と夏季に卓越する南西風を考慮した場合の2通りの計算を行った。なお、風速は共に6m/sで解析領域全体で一様とし、解析メッシュはmeshMを用いた。図-10に北東風、図-12に南西風を考慮した場合の湾奥での残差流をそれぞれ示す。図-6の風を考慮しない場合と比較すると湾奥で大きな循環流が生じていることがわかる。また、両図より、北東風と南西風では全く逆方向の循環流が生じており、風は残差流に大きく影響を与えることがわかる。

3.4. 潮汐条件の影響

ここでは、開境界に与える潮汐条件として主要四分潮の中で最も起潮力が大きいM2分潮のみを考慮した場合と、主要四分潮O1,K1,M2,S2分潮を考慮した場合の2通りを考え、潮汐残差流の比較を行った。なお、各分潮は固有の振幅及び周期をもつ正弦波⁵⁾として与え、解析メッシュはmeshMを用いた。計算結果として、図-9に小潮期、図-11に大潮期の潮汐残差流をそれぞれ示す。図-7に示すM2分潮のみを考慮した場合の潮汐残差流と比較して、主要四分潮を考慮した場合の残差流において富津岬を境に2つの大きな循環流が生じていることがわかる。この流れが物質移流拡散に大きな影響を及ぼすことが考えられる。³⁾

4. おわりに

本報告では、東京湾を対象に、現象を捉えるための各計算条件の流れ場に与える影響について検討を行った。その結果得られた結論は以下の通りである。

- 1) 解析メッシュは水深形状及び境界形状を正確に表現した上で、捉えようとする残差流の循環渦のスケールを考慮して要素幅を決定する必要がある。
- 2) 現況の再現には、風のデータ及び河川流入データをいかに正確に与えるかが重要である。
- 3) 潮汐条件としてM2分潮のみを考慮した計算では主要四分潮を考慮した計算と比べて明確な残差流を生じない。

今後は、さらに詳細な検討を行うとともに、多層モデルにおいて同様の検討を行う予定である。

参考文献

1) Kazuo Kashiya, Hanae Ito : Three-step Explicit finite element computation of shallow water flows on a massively parallel computer *International journal for numerical methods in fluids*, vol.21, 885-900,1995
2) 伊藤 英恵, 樫山 和男 : 三段階テララーガーキン有限要素法による微細メッシュを用いた東京湾の恒流解析, 土木学会第49回年次学術講演会, 平成6年9月
3) 日比野 忠史, 野村 宗広 : 東京湾における塑望周期での密度構造の変化と流れ場, 準備中
4) 運輸省港湾技術研究所 "昭和58年度 東京湾潮流調査報告書", 1983
5) 日本沿岸 潮汐調和定数表, 海上保安庁, 書誌第742号, 平成4年2月

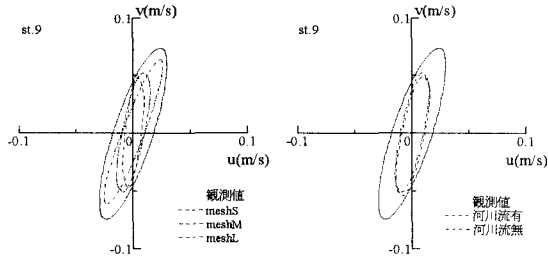


図-3 潮流楕円

図-4 潮流楕円 (河川流を考慮)

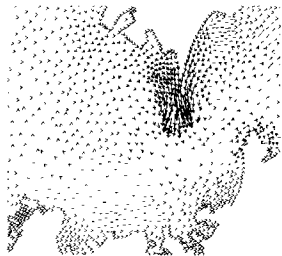


図-5 潮汐残差流 (meshS)

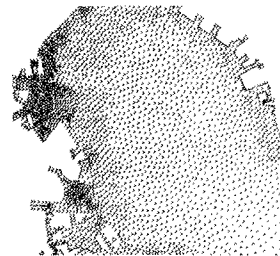


図-6 潮汐残差流 (meshM)



図-7 潮汐残差流 (meshM)

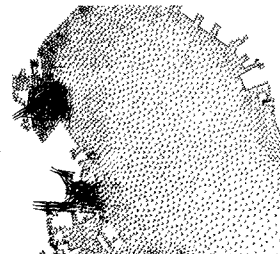


図-8 残差流 (河川流を考慮)

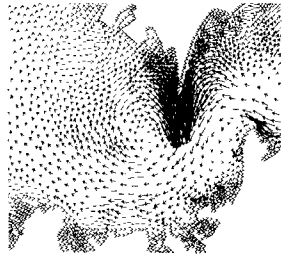


図-9 潮汐残差流 (小潮期)

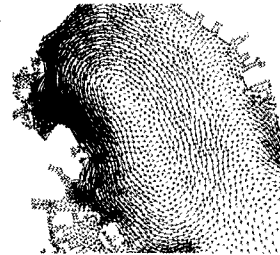


図-10 残差流 (北東風を考慮)

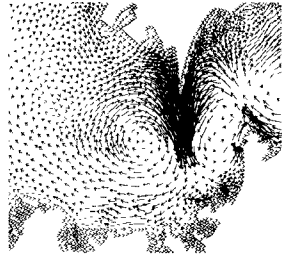


図-11 潮汐残差流 (大潮期)

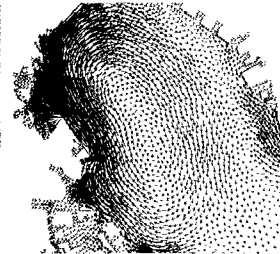


図-12 残差流 (南西風を考慮)