

CS - 63

三段階テラーガラ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

中央大学 学生員 伊藤英恵

中央大学 正会員 櫻山和男

1. はじめに

従来より、東京湾における潮流解析は差分法や有限要素法をにより、多数行われてきた。^{1,2,等}しかし、湾内の物質移動に大きな役割を果たしている恒流構造については、十分に解明されていない。本報告は、東京湾の地形を細部まで再現した有限要素分割を用い、季節風や河川流の影響を考慮した潮流解析を行い、恒流構造を検討するものである。なお、時間方向の離散化手法には、従来、浅水長波解析において有効に用いられてきた二段階陽の解法に代わり、これよりも精度を一次向上させた三段階陽の解法を用いた。

2. 基礎方程式と境界条件

基礎方程式には、単層の浅水長波基礎方程式を用いる。

$$\dot{U}_i + U_j U_{i,j} + g \zeta_{,i} - A_l (U_{i,j} + U_{j,i})_{,j} + \frac{\tau^b U_i}{\rho(h+\zeta)} + \frac{\tau_i^s}{\rho(h+\zeta)} + f_i = 0 \quad (1)$$

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

ここで、 U_i 、 ζ はそれぞれ流速、水位変動量を、 h 、 g はそれぞれ水深、重力加速度を表す。また、 A_l は鉛直方向に平均化された渦動粘性係数とし、 τ^b は底面応力、 τ_i^s は海面応力、 ρ は海水の密度、 f_i はコリオリ力とする。

境界条件は、次の式で表される。

$$U_i = \hat{U}_i \quad \text{on} \quad S_1, \quad \zeta = \hat{\zeta} \quad \text{on} \quad S_2 \quad (3)$$

ここで、 $\hat{U}_i$ は既知量を表し、 S_1, S_2 はそれぞれ境界を表す。

3. 三段階テラーガラーキン有限要素法

式(1)、(2)に対する空間方向の離散化として、ガラーキン法に基づく有限要素法を用いる。なお、要素としては、三節点三角形一次要素を使用する。

時間方向の離散化手法には、三段階陽の解法を用いる。これにより得られる方程式は、時刻 t における変数値を $f(t)$ 、微小時間増分量を Δt とすると時刻 $t + \Delta t$ における変数値 $f(t + \Delta t)$ は、式(4)のように三段階に分割して記述される。

$$f(t + \frac{\Delta t}{3}) = f(t) + \frac{\Delta t}{3} \frac{\partial f(t)}{\partial t}, \quad f(t + \frac{\Delta t}{2}) = f(t) + \frac{\Delta t}{2} \frac{\partial f(t + \frac{\Delta t}{3})}{\partial t}, \quad f(t + \Delta t) = f(t) + \Delta t \frac{\partial f(t + \frac{\Delta t}{2})}{\partial t} \quad (4)$$

本手法、および比較のために二段階陽の解法について、水深一定かつ線形を仮定した浅水水長波方程式を用いて安定性解析を行うと、安定条件は、式(5)、(6)のようになる。ここで、 Δt は微小時間増分量、 Δx は要素幅、 e はランピングパラメーターである。

$$\langle \text{三段階陽の解法} \rangle \quad \mu = \frac{\Delta t}{\Delta x} \leq \frac{3}{\sqrt{gh}} \cdot \frac{\sqrt{1-e}}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

$$\langle \text{二段階陽の解法} \rangle \quad \mu = \frac{\Delta t}{\Delta x} \leq \frac{2}{\sqrt{gh}} \cdot \frac{\sqrt{1-e}}{\sqrt{3}} \quad (6)$$

これより、三段階陽の解法が、二段階陽の解法と比較した場合、1.5 倍の安定性があることを示された。

4. 解析結果

図-1に本報告で用いた有限要素分割図を示す。節点数は4118、要素数は6425である。図-2は流速の観測ポイントであり、これは運輸省港湾研究所が潮流観測を行った際に使用したポイントである。図-3は恒流の原因として考えられる潮汐残差流、吹送流、河川の流入による流れの三者について、各観測ポイントにおける強さを表したものである。潮汐残差流としては、潮汐流として M_2 分潮のみを考慮し、その周期である12.42時間分の流速を足し合わせて潮汐流の非線形効果を抽出したものをを用いた。吹送流としては、冬季に卓越するといわれる北東風(3m/sec)を解析領域内全体に吹かせた結果を、また、河川については全体の淡水供給量の約7割を占める主要四河川である江戸川、荒川、多摩川、鶴見川のそれぞれの平均流量が湾に流れ込んだ場合の結果を用いた。場所により、恒流の主成因が異なっていることが分かる。測点1においては、潮汐残差流は恒流の成因として無視できないが、湾奥の測点10では河川の流入による効果が大きく潮汐残差流の影響は殆ど無視できるといってよい。図-4は冬季における東京湾の恒流パターン¹である。湾内が大きな時計回りの循環となっている。図-5及び図-6は、それぞれ潮汐残差流、冬季の季節風と潮汐残差流を考慮した流速ベクト

ル図である。潮汐残差流は、特に湾奥ではかなり小さく、恒流に寄与する度合いは小さいといえる。しかし、地形が大きく変化する富津岬周辺では、10cm/secほどの地形に沿うかなり大きな残差流がみられた。これは恒流のパターンと一致しており、この地域における恒流の成因は、潮汐残差流であることが確認できる。吹送流は、一番大きな恒流の一因であり、図-6では、局所的な循環流が認められる。夏季については、明確なパターンは見いだせず、これは観測結果でも示されている。図-7は M_2 分潮による潮流楕円である。本解析結果は実測結果と比較的よい一致しているといえる。

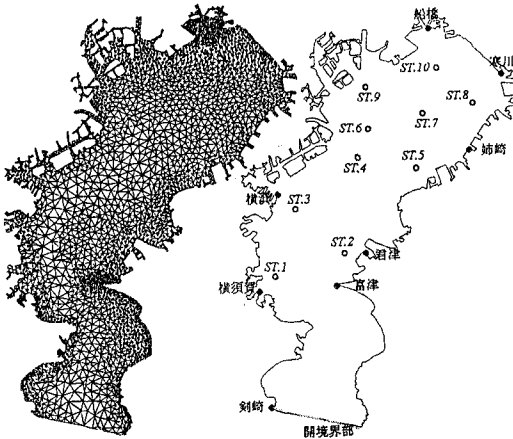


図-1 有限要素分割図
節点数:4118 要素数:6425

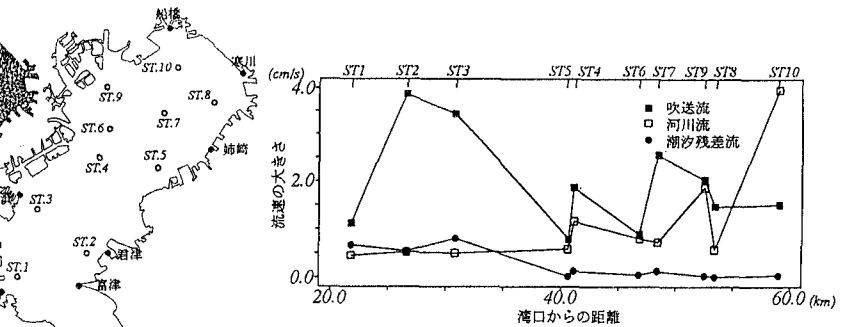


図-3 潮汐残差流、吹送流、河川流の強さ



図-4 冬季の東京湾の
恒流パターン

図-5 潮汐残差流
の流速ベクトル図

図-6 吹送流の影響を考慮した
潮汐残差流の流速ベクトル図

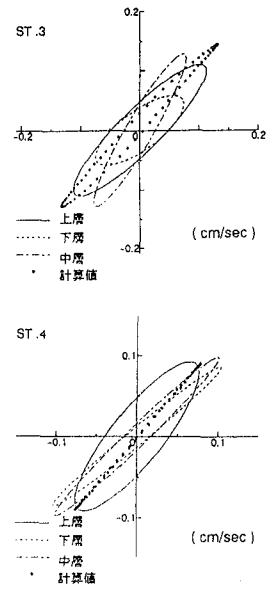


図-7 M_2 分潮による潮流楕円

5. 終わりに

本報告において、地形を正確に再現した潮流解析を行い、恒流についての考察を行った。湾奥における循環流は、河川と季節風との影響であり、西岸における南下流は河川の、地形が急変する地域の地形に沿う流れは潮汐残差流の影響であると思われる。今後は、恒流についての検討を深めるため、多層モデルを用いた解析を行っていく予定である。

参考文献:

1. 村上和男 “有限要素法による潮汐流の数値計算”, 港湾技研資料 NO.404, p49 (1981)
2. 市原正史 “東京湾の潮流観測とシュミレーション”, 第27回海岸工学講演会論文集, pp448-452 (1980)
3. 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”, p53 (1983)
4. 東海大学出版会 “日本全国沿岸海洋誌 第9章 東京湾”, pp335-361 (1985)