

II-370 潮流場における潮汐残差環流の形態と運動エネルギー

名古屋大学 正〇和田 清 名古屋大学 正 高木 不折
 名古屋大学 学 富田 孝史 水資源開発公団 正 田野 弘明

1. はじめに： 閉鎖的な内湾の湾口部では、地形の急変に伴って大きな渦流を発生したり、潮流の非線形性を増幅することによって、湾内に循環流を形成することが多い。この湾内循環流(残差環流)の規模や形態を明らかにすることは、湾全体の長期的な海水交換および物質輸送機構を把握する上で、非常に重要である。本研究では、海底が幅方向に一樣傾斜している台形断面の長方形湾を考え、湾口部での幅方向の流速シア構造がどのように残差環流の形成を支配するかを、潮流および残差環流の運動エネルギーの観点から考察する。

2. 水理実験： 実験は、一端に潮汐発生システム(マイコン制御の水供給式)を持った両面アクリルの鋼製水槽(全長6.5m, 横幅 0.9m, 側壁長 0.6m)を用い、潮汐波の進行方向に対して台形断面となる2種類の地形条件(斜面勾配: $\tan \theta = 1/6, 1/9$)について行った。水深条件については、表-1に示す。対象とした潮汐波の周期 T は、64~119s、水位振幅は0.20~0.44cmの範囲内で変化させた12種類である。また、水位計測はサーボ式水位計を、湾口断面内での流速測定には、電磁流速計および差温式微流速計¹⁾を使用し、流況は水面上約3mの位置に固定した計測用ビデオにより、表面フロートの移動を撮影することによって求め、流れの微細な構造は補足的に染料(ローダミンB)の投入による拡散状況から観察した。

表-1 実験諸元

CASE	$\tan \theta$	$\bar{h}$ (cm)	h_1 (cm)	
I	1/6	8.5	1.0	
II	1/9	8.5	3.5	
III	1/9	6.0	1.0	

3. 結果および考察： a) **残差環流の形態変化** CASE I における残差環流の水平形態は、湾口付近で浅水域から深水域への半時計回りの環流(第1環流)が生成されることは共通しているが、その残差環流の強さに応じて、交互に逆回転の環流を形成している。さらに、これら環流の強さおよびその長軸スケールは異なるが、環流の分割個数に着目して分類すれば、(a) 3個、(b) 2個、(c) 1個のセル構造に大別することができる。また CASE II、III の場合には、湾口付近から湾奥にかけて、環流の長軸スケールが大きい反時計回りの環流が生成されている²⁾。これらすべてのケースについて、潮流(表面流速 U_t) および残差環流(U_r)の空間平均運動エネルギーを $g \bar{h}$ ($\bar{h}$: 平均水深)で無次元化して示したものが図-1である。一見して、潮流と残差環流の運動エネルギーの関係が、斜面勾配によって異なることがわかる。すなわち、同じ潮流の運動エネルギーに対して、急勾配($\tan \theta = 1/6$)の方が、残差環流の運動エネルギーは大きくなる。この両者の差異は、染料の可視化によると、湾口部の流れ場で剝離が卓越するか(CASE I)あるいは剝離しないか(CASE II、III)に依存している。CASE I では、傾斜の効果が強調され、湾口境界の浅水域で、上げ潮時に生じた微小な一過性の渦列が、カスケードアップして強い地形性渦流を生じる。その結果偏った流入が強制され、かつ湾口流速が強い場合には、上述の地形性渦流が湾中央付近にまで流入し、慣性の効果の分だけ戻らなくなる。このような過程を通じて、恒流としての潮汐残差環流が形成されるものと思われる。一方、CASE II、III では、局所的な渦は発生せず、その環流形態は、振動流の形成する底面境界層と底面傾斜の相互作用により生じる水平循環流の傾向³⁾とほぼ対応している。ただし、理論的には、 ℓ/L (ℓ : 湾長、 L : 波長) $> 1/4$ の場合、すなわち長周期波が湾内に節を持つときに水平循環流は分割される。

b) **潮流および残差環流の運動エネルギー** 次に、湾口部において潮流の水平シア構造による潮汐残差環流の生成機構を定量的に評価する第1段階として、潮流および残差環流の運動エネルギーがどのようなパラメータによって支配されているかを考察する。まず、潮流の水平シアによって生成される残差環流の運動エネルギーを求めるために、湾口部に形成される残差環流を Kirchhoff の2次元楕円渦と仮定して、その循環を湾口部における潮流の1周期間の平均渦度 flux を用いて表す⁴⁾。さらに、その関係を用いて楕円渦内の運動エネルギーを求め、断面内における流量の連続性から次式のような残差環流の運動エネルギー(K.E.)_{RC}

と潮流の運動エネルギー $(K.E.)_T$ との比 λ を定義した。

$$\lambda = \frac{(K.E.)_{RC}}{(K.E.)_T} = \frac{1}{16} \cdot \frac{a^2 + b^2}{ab} \cdot \frac{(Re)_m}{(CT)^2} \cdot \frac{1}{(\beta h_1)^2} \cdot \frac{(r-1)}{r(r+1)} \cdot \tan \theta \quad (1)$$

ここで、 a, b : 残差環流の長軸と短軸スケール、 C : 1次の底面摩擦係数、 $(Re)_m$: $(= u_{max} \cdot h_1 / \nu, u_{max}$: 浅水域の最大流速、 ν : 動粘性係数) 湾口Re数、 βh_1 : 相対水深比 ($\beta = \sqrt{\pi / T \nu}$)、 $r = h_2 / h_1$ である。

上式からわかるように、 λ は湾口Re数、底面勾配、水深条件、底面摩擦係数と潮汐周期の積、および相対水深比によって変化する。また、式(1)の誘導過程において、 $(K.E.)_T$ は断面平均流速に、 $(K.E.)_{RC}$ は流速の水平シアの表現としての幅方向速度差に比例するものとしている。すなわち、 $(K.E.)_T$ が同一であっても、海底傾斜や水深条件によって断面形状が異なれば、 $(K.E.)_{RC}$ は変化し、したがって λ も変わることになる。この λ と環流の個数 N との関係についてはまだ十分検討されていないが、 λ の一つの表現として次式で定義されるパラメータ Sc と N の関係を示したのが図-2である。

$$Sc = (Re)_m \cdot \tan \theta \cdot (\ell / h_1) / r \quad (2)$$

同図から、 Sc が増加、すなわち湾口Re数が大きくなると水平循環流の個数が複数個形成されることがわかる。本実験では、湾長と湾幅の aspect 比が 0.18 で、細長い形状の内湾を対象としており湾口で生成された地形性渦は 1 周期毎に消滅するために、tidal excursion と湾長比が小さい場合には、渦流の持つ渦度は湾口付近で拡散され第 1 環流を形成する。全ケースに共通して得られる湾口部の水平循環流の第 1 環流に着目し、その長軸スケールと湾長の比 a / ℓ と湾口Re数との関係を示したのが図-3である。同図では、 a / ℓ は $\tan \theta$ によって明確に分割されるが、Re数にはほとんど依存していない。 a / ℓ はいわば第 1 環流のスケールを表現するものである。なお、詳細な検討を要するが、以上の事柄は、斜面の傾斜に応じて生じる第 1、第 2 および第 3 環流のスケールとその形成のための運動エネルギーの分配の状況を議論する上で、示唆を与えるのではないかと考えている。

4. おわりに: 以上、水理実験により斜面勾配と水深条件を変化させて、湾口境界での流速のシア構造がどのように残差環流を生成するかについて述べた。その結果、一様傾斜の単純な海底地形でも水平地形の凹凸と同様、流れの剝離が生じ、湾口部で生成された残差環流の強さに応じて交互に逆回転の環流が形成され、その個数は潮流と残差環流の運動エネルギーの比 λ に比例するパラメータ Sc に依存することが明らかにされた。

(参考文献)

- 1) 高木他: 土木学会論文集, 第387号, 1987.
- 2) 和田他: 中部支部年講, 1988.
- 3) Yasuda, H.: J. Oceanogr. Soc. Japan, vol.40, 1984.
- 4) Kashiwai, M.: J. Oceanogr. Soc. Japan, vol.40, 1984.

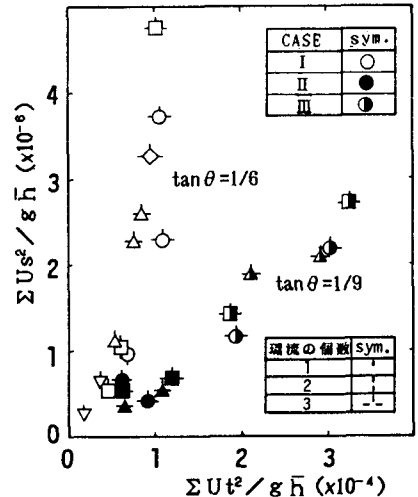


図-1 潮流および残差環流の無次元空間平均運動エネルギー

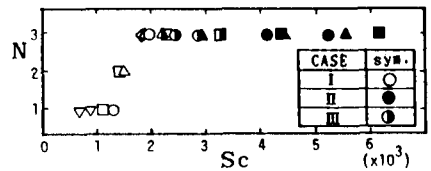


図-2 環流の個数とパラメータ Sc

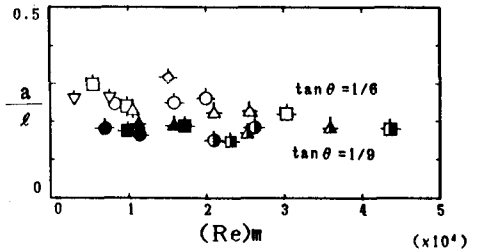


図-3 第 1 環流のスケールとRe数