

## 傾斜海域における潮汐残渣環流の運動エネルギー特性

名古屋大学 工学部 ○正員 和田 清 正員 高木 不折  
 学生員 富田 孝史 学生員 田野 弘明

1. はじめに： 閉鎖的な内湾の湾口部は、地形の急変に伴って大きな渦流を発生したり、また、潮流の非線形性を増幅することによって、海域内に循環流を形成することが多い。このような渦流は地形性渦流と呼ばれるもので、湾内水と湾外水とを一時的に強く交換させる要因となっている。湾口部で形成される湾内循環流(残渣環流)の規模や形態は、湾全体の海水交換や物質輸送に大きな役割を持つので、湾規模での海水交換機構を把握する上で、湾口部を通じての水塊の挙動と混合状態を明確にすることが重要である。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場合を考え、湾口部での幅方向の流速シア構造がどのように残渣環流の形成を支配するかを、潮流および残渣環流の運動エネルギーの観点から考察する。

2. 水理実験： 一端に潮汐発生システムを持った長方形水槽(全長 6.5m, 横幅 0.9m, 側壁長 0.6m)を用い、長周期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:  $\tan\theta = 1/6, 1/9$ )について実験を行った。水深条件については、表-1に示す。対象とした長周期波の周期は、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<sup>1)</sup>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。

3. 結果および考察： 図-1(a),(b),(c)は、CASE Iについてビデオ解析から得られる残渣環流の水平形態を示した代表例である。その形態は、湾口付近で浅水域から深水域への半時計回りの環流が生成されることは共通しているが、その残渣環流の強さに応じて、残渣環流の主流が偏向しながら、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)単一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。これらすべてのケースについて、潮流および残渣環流の空間平均運動エネルギーを無次元化して示したものが図-2である。一見して、潮流と残渣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、残渣環流の運動エネルギーは大きくなる。なお上述した残渣環流の分割個数の限界値については、図中の破線で示している。この両者の差異は、染料の可視化によると、湾口部での流れ場が乱流あるいは層流状態であるかに依存している。CASE Iでは、傾斜の効果が強調され、湾口境界の浅水域で、上げ潮時に微小な一過性の渦列が生じ、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、かつ潮流が強い場合には、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い。その範囲でこの渦流が拡散し、さらにカスケードアップされて、恒流としての潮汐残渣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、振動流の形成する底面境界層(Stokes層)が底面傾斜的作用により生じる水平循環流の傾向<sup>2)</sup>と比較的対応している。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。このように考えると、残渣環流の生成、特に環流の分割個数には、湾口における水平 Reynolds 数  $Re_1 (= u_{max}^2 T / \nu, u_{max}$ : 湾口最大流速、 $T$ : 周期、 $\nu$ : 動粘性係数)が密接に関係しているものと思われる。図-3は、CASE Iについて湾口付近に形成される残渣環流の空間平均無次元運動エネルギーと湾口 Reynolds 数の関係を示したものである。図中、パラメータとして境界層厚  $\delta$  と平均水深の比  $\beta \bar{h}$  ( $\beta \bar{h} = 1/\delta = \sqrt{\pi/T\nu}$ )を用いている。前述した環流の分割される限界 Reynolds 数は、(a)と(b)の場合  $1.5 \times 10^4$ 、(b)と(c)では  $5 \times 10^3$ 程度である。また、 $\beta \bar{h}$ の大きい値の方

が残渣環流の運動エネルギーは大きくなる傾向にある。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残渣環流を形成する。またその強さに応じて複数個の環流のセル構造が顕在化してくるものと思われる。したがって、CASE I のような剝離タイプでは残渣環流は、本質的には水の慣性力が傾斜の効果により偏向し、流入時と流出時の不均一性によって生じていると言える。

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不均一性(シア-構造)がどのように残渣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渣環流の強さに応じて交互に逆回転の環流が形成され、その運動エネルギーは、湾口 Reynolds 数に支配されていることが明らかにされた。このことは、また現地を想定した潮流模型実験に当たって、海底地形の効果によって起こる残渣環流の再現性、湾口部での潮流シア-の再現について、断面流量を合わせつつシア-を弱めるような模型の修正が必要であることを示唆している。

- (参考文献) 1)高木不折他：土木学会論文集、第387号、II-8、pp135~143、1987。  
 2) H.Yasuda：Journal of the Oceanographical Society of Japan, vol.40, pp124~134,1984。  
 3)大西行雄他：京大防災研究所報告、第24号B-2、pp525~538、1981。

表-1 実験諸元

CASE	tanθ	$\bar{h}$ (cm)	$h_1$ (cm)	
I	1/6	8.5	1.0	$\bar{h} = (h_1 + h_2) / 2$ 
II	1/9	8.5	3.5	
III	1/9	6.0	1.0	

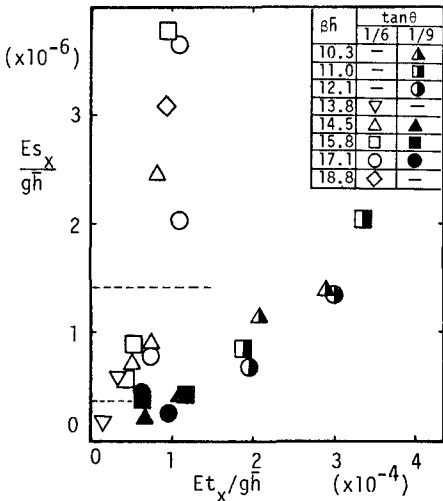


図-2 潮流および残渣環流の無次元空間平均運動エネルギー

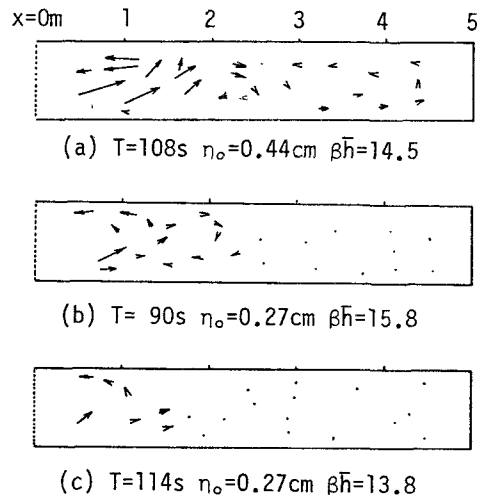


図-1 水平残渣環流の形態分類(CASE I)

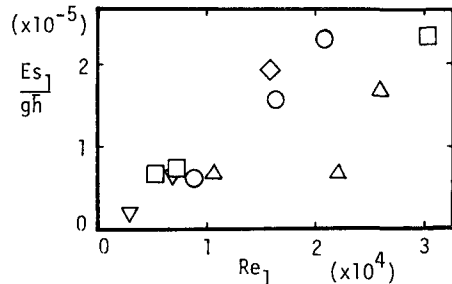


図-3 湾口 Re 数と残渣環流の無次元運動エネルギー(CASE I)