

# Tidal Residual Circulation に関する基礎的研究 (III)

柳 哲雄・樋口 明生

## FUNDAMENTAL STUDY ON THE TIDAL RESIDUAL CIRCULATION (III)

By *Tetsuo YANAGI* and *Haruo HIGUCHI*

### Synopsis

The tidal residual circulation in a bay was experimentally investigated with use of a simplified hydraulic model. The change of strength and pattern of the tidal residual circulation was investigated with respect to some variable parameters, the period and amplitude of the tide, the width and shape of the mouth and the depth of the bay.

As a result, the following were revealed. The strength of the tidal residual circulation depends upon the vertical Reynolds number. Owing to the construction of the training wall at the mouth, the strong tidal residual circulation does not occur in the bay.

### 1. ま え が き

沿岸海域の物質輸送に恒流の果たす役割が大きいことが最近各方面で明らかにされつつある<sup>1)-3)</sup>。われわれは恒流と呼ばれる流れの主成分は潮流の非線形性に起因する潮汐残差流であると考え、前報<sup>4)</sup>、前々報<sup>5)</sup>において基礎的な実験によりその発生・維持機構を明らかにしようとした。その結果、片寄った湾口から出入りする潮流によって湾内には強い潮汐残差環流が生じ、その潮汐残差環流の強度は潮流の非線形項によって供給され、水平・垂直の粘性によって逸散されて定常状態にあることがわかった。

今回、潮汐周期、潮差、湾口幅、湾口形、水深などを変えて湾内の潮汐残差環流がどのように変化するかを調べた。いまだ十分な結果を得るに至っていないがこれまでに得られた結果について述べる。

### 2. 実 験 経 過

実験装置、測定方法は前報までのものと同様である。

Table 1. List of experiments.

Run No.	Tidal Period $T$ sec.	Tidal Range $A$ cm	Depth $H$ cm	Width of the Mouth $l$ cm	
1	360	0.99	10.0	100	
2	180	0.72	10.0	100	
3	540	0.79	10.0	100	
4	360	0.90	10.0	50	
5	360	0.86	10.0	200	
6	360	0.84	5.0	100	
7	360	0.49	10.0	100	
8	360	0.90	10.0	100	with a training wall

前報までに行なった実験に加えて、今回他の条件は同一にして潮汐周期を3分と9分に、潮差を0.5 cmに、湾口幅を50 cmと200 cmに、水深を5 cmにそれぞれ変えて実験を行なった。実験の一覧を **Table 1** に示す。**Table 1** に示した潮差は各実験ケースとも前々報の Fig. 5 で1.13と示した湾奥の測点のものである。

### 3. 実験結果

Run 2~Run 7 の実験で得られた潮汐残差流を **Fig. 1~Fig. 6** に示す。これらを見ると強さの違いはあるがいずれも前報に述べた Run 1 の場合と同様反時計回りの環流を形成している。環流の中心の位置はどの場合もほぼ中央にあり、系統的な移動はみられない。

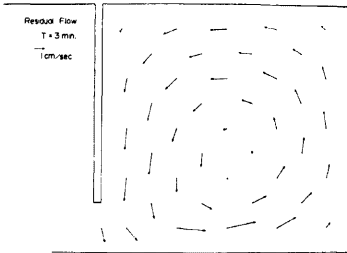


Fig. 1. Residual flow of Run 2.

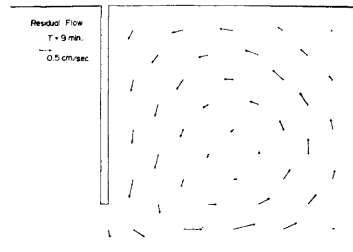


Fig. 2. Residual flow of Run 3.

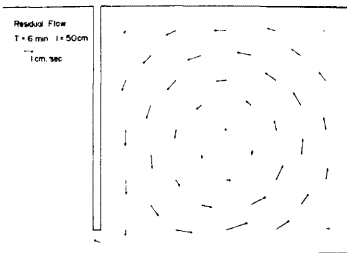


Fig. 3. Residual flow of Run 4.

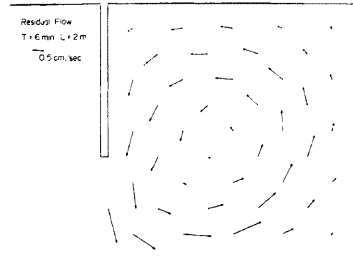


Fig. 4. Residual flow of Run 5.

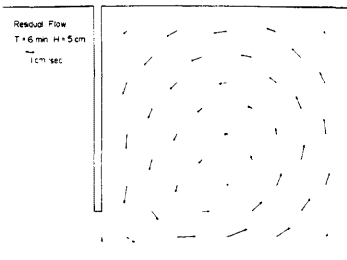


Fig. 5. Residual flow of Run 6.

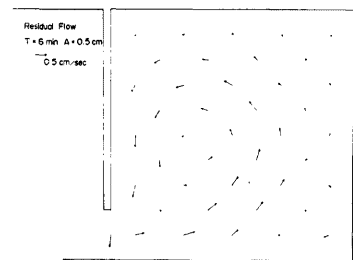


Fig. 6. Residual flow of Run 7.

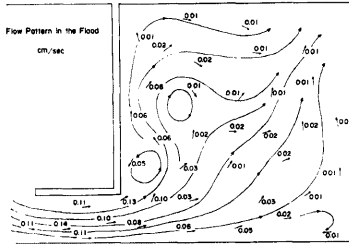


Fig. 7. Flow pattern in the flood of Run 8.

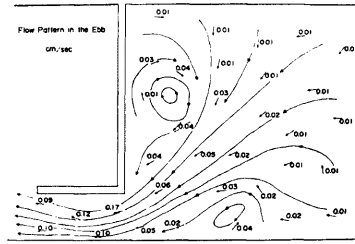


Fig. 8. Flow pattern in the ebb of Run 8.

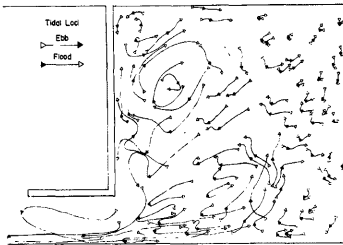


Fig. 9. Tidal loci of Run 8.

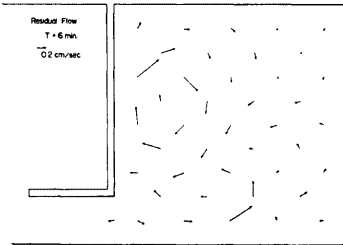


Fig. 10. Residual flow of Run 8.

湾口に導流堤をつけると流れの様相は今までの場合と全く異なった。上げ潮の場合湾口から流入する潮流は Fig. 7 に示すように放射状に広がり、下げ潮の場合は Fig. 8 に示すようにその逆向きに流れる。Fig. 9 に流跡を示す。これらは前々報の Fig. 6, Fig. 7, Fig. 9 に対応するものである。その結果潮汐差流は Fig. 10 に示すように潮流の渦に伴う小規模な環流を伴っているが今までのような湾全体を循環する潮汐差環流は発生しない。

#### 4. 考 察

鉛直方向に平均した潮流を表わす運動方程式は次式のようなのである。

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + (\mathbf{U} \cdot \nabla) \mathbf{U} = -\frac{g}{\rho} \nabla h + \nu \nabla^2 \mathbf{U} - R\mathbf{U}. \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここで  $\mathbf{U}$  は潮流、 $\rho$  は密度、 $h$  は水位、 $\nu$  は水平渦動粘性係数、 $R$  は底の摩擦係数を表わしている。上式の非線形項を時間変化項、圧力項、水平粘性項、底の摩擦項でそれぞれ割って、各実験ケースごとにストローハル数 (St.)、フルード数 (Fr.)、水平レイノルズ数 (Reh.)、鉛直レイノルズ数 (Rev.) を求めた。その場合用いた代表流速値  $U$  は湾口部の潮流の平均流速で次式により求めた。

$$U = \frac{2AL^2}{HTI}. \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここで  $A$  は潮差、 $L$  は湾幅、 $H$  は水深、 $T$  は潮汐周期、 $I$  は湾口幅を表わしている。 $\nu$  と  $R$  は前報の結果から  $\nu=0.5 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 、 $R=0.05/\text{sec}$  とした。水深を 5 cm にした Run 6 では  $R=0.1/\text{sec}$  とした。

また、湾内の潮汐差流の流速の 2 乗の和 (Er.) を半日周潮流の潮流楕円の主軸方向の流速の 2 乗の和 (Et.) で割った無次元数を求めた。

結果を Table 2 と Fig. 11 に示す。これを見ると湾口に導流堤をつけた Run 8 を除いていずれも Et.

Table 2. Nondimensional numbers.

Run No.	Mean Velocity at the Mouth $U=2AL^2/HT$ cm/sec.	Strouhal number St. = $UT/L$	Froude number Fr. = $U^2/gA$ $\times 10^{-3}$	Horizontal Reynolds number Reh. = $UL/\nu$ $\times 10^3$	Vertical Reynolds number Rev. = $U/RL$ $\times 10^{-2}$	Energy of tidal residual flow Er. = $\sum \mu^2$ cm <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup> .	Energy of tidal current Et. = $\sum \mu^2$ cm <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup> .	Er./Et.	Mark
1	1.38	0.99	2.0	1.4	5.5	14.82	13.44	1.10	○
2	2.00	0.72	5.7	2.0	8.0	99.26	55.15	1.80	◎
3	0.73	0.79	0.69	0.73	2.9	8.43	5.79	1.46	⊗
4	2.50	1.8	7.1	2.5	10	56.48	15.10	3.74	□
5	0.60	0.43	0.43	0.60	2.4	16.01	7.65	2.09	⊠
6	2.33	1.7	6.6	2.3	4.7	49.12	37.95	1.29	△
7	0.68	0.49	0.96	0.68	2.7	3.59	2.07	1.74	▲
8	1.25	0.90	1.8	1.3	5.0	2.13	7.43	0.29	⊕

$L=500$  cm  $g=980$  cm<sup>2</sup>/sec.  $\nu=0.5$  cm<sup>2</sup>/sec.  $R=0.05$ /sec. (0.1/sec.: Run 6)

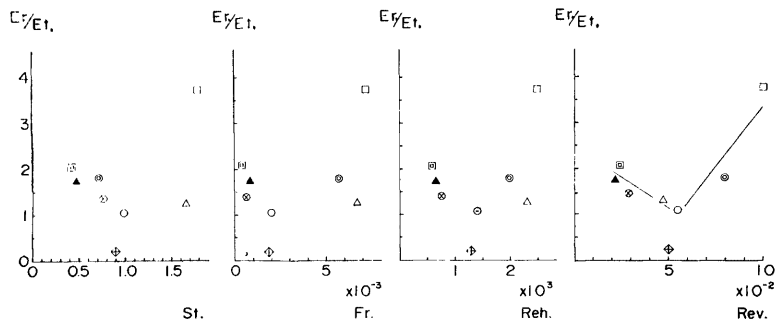


Fig. 11. Er./Et. versus St., Fr., Reh. and Rev. numbers.

よりも Er. の方が大きくなっている。また Er./Et. は Rev. によっているようにみえる。Run 8 を除くと Er./Et. は Run 1 の場合に極小値をとり、Rev. がそれより大きくても小さくても Er./Et. は大きくなっている。この理由については現在検討中である。

## 5. あとがき

以上、われわれは片寄った湾口を持つ 5 m × 5 m の正方形の湾に潮流を与え、それによって引き起こされる tidal residual circulation に関する基礎実験を行なった結果次のことが明らかになった。

- 1)~3) は前報に述べた。
- 4) 与えた潮流に対する湾内の潮汐残差流の強さは鉛直レイノルズ数によっているようである。
- 5) 湾口に導流堤をつけることで潮汐残差環流の発生を制御することができる。

この研究を進めるにあたって貴重な助言・討論を頂いた京大大学院工学部国司秀明教授、実験にご協力頂いた京大防災研究所北川吉男技官、京大大学院理学研究科武岡英隆氏に深甚なる謝意を表する。なお本研究は文部省科学研究費自然災害特別研究による研究の一部であること、データ処理に際して愛媛大学計算機センターの Facom 230-28 を使用したことを付記する。

## 参 考 文 献

- 1) 樋口明生, 柳 哲雄: 潮流模型における恒流と分散, 沿岸海洋研究ノート, Vol. 12, No. 1, 1974, pp. 41~46.
- 2) 柳 哲雄, 友沢憲治: 周防灘・燧灘の流動と底質に関して, 昭和49年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集, 1974, pp. 58~59.
- 3) 柳 哲雄, 柿沼忠男: 水島からの流出重油の拡がりについて, 昭和51年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, 1976, pp. 75~76.
- 4) 柳 哲雄, 樋口明生: Tidal Residual Circulation に関する基礎的研究 (Ⅱ), 京都大学防災研究所年報, 第18号 B, 1975, pp. 597~603.
- 5) 柳 哲雄, 柏井誠, 安田秀一, 樋口明生, 北川吉男: Tidal Residual Circulation に関する基礎的研究, 京都大学防災研究所年報, 第17号 B, 1974, pp. 657~664.