

## II-599 湾域の海水交換に関する研究（3）

京都大学防災研究所 正 員 大 年 邦 雄  
 京都大学防災研究所 正 員 今 本 博 健  
 運 輸 省 井 上 慶 司

## 1. はじめに

海岸線に沿うくぼみ状の湾や河川感潮域内の掘り込み港湾などは、外部水域の流動に対して湾内での流動が著しく縮小された閉鎖性水域の代表例である。本研究では、このような水域を外部水域の潮流方向に対して直角に開口した矩形状の湾として扱い、湾内の流動と海水交換について実験的に検討したものである。

## 2. 実験の概要

表-1に示す3種(A, B, C)の水利条件の下で、潮流速ベクトル場の時間的変化および湾内外の交換量の時間的変化を計測した。case-A, Bは湾外が潮流のみの場合であり、大小2種の潮差条件を与えている。case-Cはcase-Bでの潮流に一方方向の恒流を付加したものである。

## 3. 潮流場の時間的変化と海水交換

case-Bにおける潮流速ベクトルの数例を図-1に示している。上げ潮時および下げ潮時には、それぞれ回転方向の異なる環流が湾口付近に生成され、湾幅スケールにまで成長している。湾外潮流が最盛の時、湾口断面には非常に強いシェアーが働き、湾内は閉鎖性の極めて高い（流動の小さい）水域となっている。

本実験で対象とした潮流場の基本的特性は、湾口付近に形成される渦流である。この渦流は、潮流が湾口の隅角部で剥離して放出される流れの不連続面が湾内に巻き込まれて形成されている。剥離によって形成された渦流は湾外流速の増大とともに発達し、湾口幅のスケールをもつ渦流（環流）へと成長している。湾外流速が減少してゆくと、成長した渦流（環流）

はそのスケールを保持したまま次第にその流速を減じてゆくが、転流時を迎えても流速は零にはならず、湾外へ若干押し出された格好で残っている。その時、湾内外水の交換が相対的に顕著である。

転流後はもう一方の隅角部から生成される剥離渦流の成長とともに消失し、回転方向の異なる新たな渦流が湾口付近を占めるようになって、それが湾口幅スケールをもつ環流へと発達している。この環流も湾外流速の減少とともに流速を減じ、転流時には湾外へ若干押し出された格好の環流となっている。

このような剥離渦流の1周期内における変化は、『不連続面→剥離渦流の生成→環流へと発達→環流の減衰→消滅→不連続面→』のように要約され、湾内外の海水交換の機構（交換量）は、剥離渦流のライフサイクルに対応して説明される。

表-1 水利条件

| case | L (cm) | B (cm) | h (cm) | T (sec) | H (mm) | $U_p$ (cm/s) | $\mathcal{Q}/B$ |
|------|--------|--------|--------|---------|--------|--------------|-----------------|
| A    | 200    | 50     | 5.0    | 180     | 10.0   | 0.0          | 14.4            |
| B    | 200    | 50     | 5.0    | 180     | 5.0    | 0.0          | 5.3             |
| C    | 200    | 50     | 5.0    | 180     | 5.0    | 2.7          | 6.3             |

L : Length of the basin    H : Tidal range of outer currents  
 B : Breadth of the basin     $U_p$  : Velocity of permanent flow  
 h : Mean water level     $\mathcal{Q}$  : Tidal excursion of outer currents  
 T : Tidal period

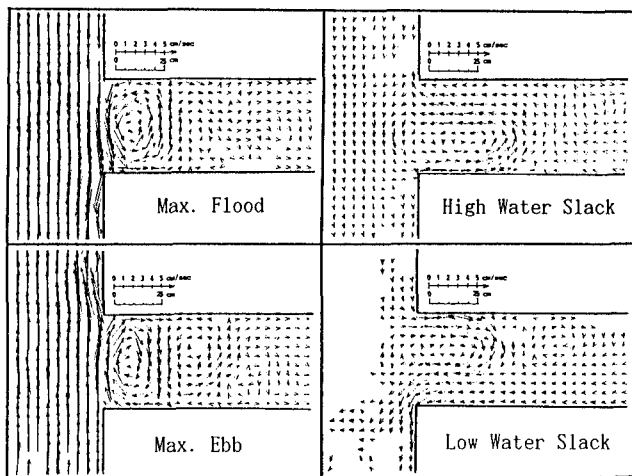


図-1 潮流速ベクトルの計測例 (case-B)

このことを潮流場の渦度方程式を介して検討する。本実験で対象とした潮流場の支配方程式は1次の摩擦係数  $R$  を用いて次のように表わされる<sup>1)</sup>。

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + Ah \left( \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) - \frac{R}{h} U \quad \dots (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + Ah \left( \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) - \frac{R}{h} V \quad \dots (2)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + h \left( \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} \right) = 0 \quad \dots (3)$$

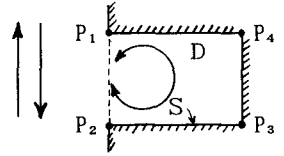


図-2 模式図

ここに、 $U$  および  $V$  はそれぞれ  $x$  および  $y$  方向の水深平均流速、 $\zeta$  は平均水面からの水位変量、 $h$  は平均水深、 $Ah$  は水平方向の渦動粘性係数。このとき、渦度  $\omega$  ( $= \partial V / \partial x - \partial U / \partial y$ ) は次のように表わされる<sup>1)</sup>。

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + U \frac{\partial \omega}{\partial x} + V \frac{\partial \omega}{\partial y} = \frac{\omega}{h} \frac{\partial \zeta}{\partial t} + Ah \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right) - \frac{R}{h} \omega \quad \dots (4)$$

次に、湾内領域の循環  $\Gamma$ （その殆どは図-1 に示した湾口環流の循環である）について考える。湾内領域を  $D$ 、境界を  $S$  とすると、式(4) より式(5) が得られる。

$$\frac{\partial \Gamma}{\partial t} = - \int_S \omega u_n ds + Ah \int_S \frac{\partial \omega}{\partial n} ds - \frac{R}{h} \Gamma \quad (\Gamma = \iint_D \omega dx dy) \quad \dots (5)$$

ここに、 $ds$  は境界  $S$  に沿う線素、 $u_n$  は  $S$  に垂直外向きの速度成分、 $n$  は  $S$  に外向きの法線である。湾口境界  $P_1P_2$  を除く各境界 ( $P_2P_3, P_3P_4, P_4P_1$ ) では、 $u_n=0$ 、 $\partial \omega / \partial n = 0$  であるから、式(5) のもつ物理的な意味は次のように説明できる。『生成・発達・消滅を繰り返す剥離渦流のもつ循環の時間的変化（左辺）は、湾口境界  $P_1P_2$  から流入する水塊が運び込む渦度（右辺1項）、湾口境界の不連続面から拡散する渦度（右辺2項）および底面摩擦によって逸散する渦度（右辺3項）の三者によって決定される。』

1 周期内における  $\Gamma$  の時間変化と湾内外の交換量の時間変化を示すと、それぞれ図-3および図-4のようである。これより、湾外潮流が最盛で湾内に顕著な環流が存在する時には交換量が小さく、逆に、環流の消滅する転流時付近での交換量が大いことがわかる。すなわち、湾内外の海水交換量は剥離渦流のライフサイクルに対応して周期的に変化していると言える。

#### 4. おわりに

湾外の潮流特性の相違に依る海水交換特性の相違については、講演時に言及する。

参考文献 柳 哲雄：沿岸海洋学、恒星社厚生閣、1989。

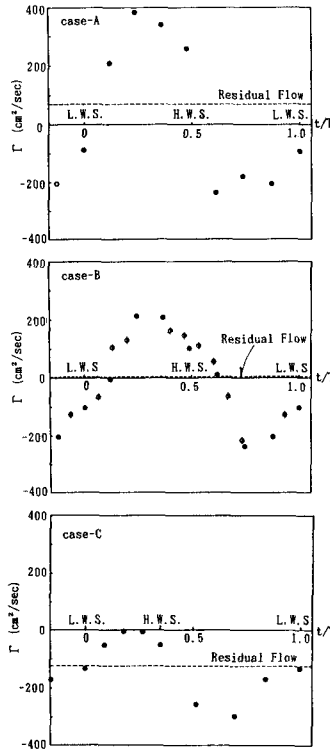


図-3 湾内循環値の時間的変化

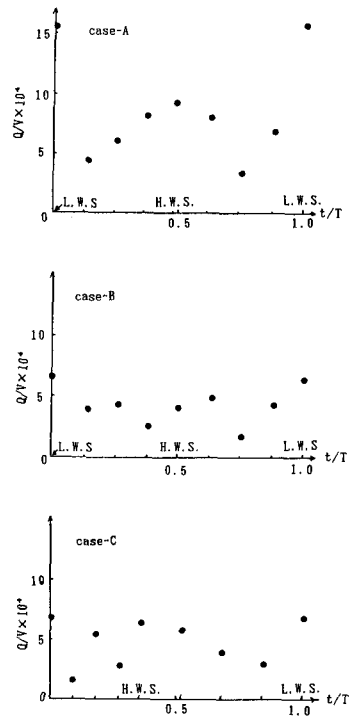


図-4 交換量の時間的変化