

# 五島有福湾における流況調査と潮通し設置に伴う影響予測

猶木昌史\*・古賀恵美子\*\*・古本勝弘\*\*\*・冨田彰秀\*\*\*

## Field Observations of Tidal Current and Prediction of Effects to accompany the construction of Tidal Flume in Arifuku Bay, Gotoh Islands

by

Masafumi NAOKI\*, Emiko KOGA\*\*, Katsuhiko FURUMOTO\*\*\* and Akihide TADA\*\*\*

The Arifuku Bay located in the middle part of Gotoh Islands in Nagasaki Prefecture has been enclosed by two dikes for the roadway since 1975. In recent years, the red tide often occurs in this bay. Municipality has a plan to promote the seawater exchange by tidal flume in this bay as countermeasure against the red tide. This study deals with the field observations on both tidal currents and water quality, and the numerical simulations for prediction of flow change and calmness to accompany the construction of a new tidal flume gone through the southwestern dike

Keywords : tidal current, tidal flume , ADCP, numerical simulation, calmness

### 1. はじめに

長崎県五島列島の中ほどにある漁生浦島、有福島、日ノ島は、1975年に日ノ島－有福島、有福島－漁生浦島間に堤防道路がそれぞれ設置され閉鎖性の強い海域（有福湾）が形成された。ここ数年、有福湾で赤潮が度々発生<sup>1)</sup>している。地元自治体は赤潮の防止対策として、有福島と漁生浦島を結ぶ南西側堤防の一部を切り欠いて潮通しを設け、外海との海水交換を促進させて有福湾の水質を改善しようと計画しており、潮通し水路の規模とその効果を明確にすることが求められている。現在、有福湾は静穏であり、船舶の停泊地としての利用の他に、養殖漁業も盛んに行われているが、潮通しを南西側堤防に設けることにより、湾内に流れが発生することと外海からの波浪が湾内に浸入するため、それらの利用に悪影響を及ぼす可能性がある。

本研究は、潮通し水路を設けた場合の海水交換の効果を検討するため、現状の流況と潮位関係を調査し、これに基づき流況の変化および湾外からの波の侵入状況を数値シミュレーションにより予測するものである。

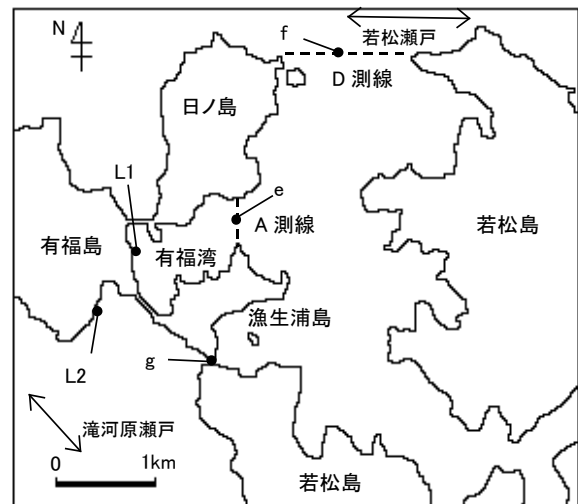


図-1 有福湾概略と観測地点図

平成18年6月23日受理

\* 株式会社竹中土木 (TAKENAKA Civil Engineering & Construction CO. LTD)

\*\* 株式会社コルバック (CORVAC CO. LTD)

\*\*\* 環境システム工学講座 (Structural and Civil Engineering)

## 2. 現地観測

### 2.1 観測概要

有福湾の流動特性を明らかにするために、2003年8月、2004年5月、2005年3月および2005年8月に以下の観測を行った。Ⅰ. 潮位観測：湾内外の測点L1とL2において約2週間、圧力式水位計（日置電機、UIZ3635）により潮位を記録した。なお、水位計のセンサー一部は小孔をあけた塩ビパイプ中に入れて短周期の波動に感応しないようにした。また、記録した潮位は水準測量により標高潮位に換算可能である。Ⅱ. 多項目水質計（アレック電子、Model-AAQ1183）による水質調査：e, f 地点で水温、D0、塩分濃度などの鉛直分布を計測した。Ⅲ. ADCP（RD Instruments WorkhorseADCP 600kHz）曳航観測：図-1に示すA, D 測線においてADCPを使用して1.5時間間隔で各8回観測を行った。Ⅳ. 流速観測：漁生浦瀬戸（g 地点）において1時間毎に橋上から流速計を垂下し流速分布から流量を計測した。Ⅴ. 流向流速観測（2003.8/26-9/8のみ）：図-1中のe 地点（海底から30m）、f 地点（海底から40m）、g 地点（海底から0.5m）にアンダーラ流向流速計（ユニオン、RU-2）を設置して10分間隔で2週間、流向、流速を記録した。

### 2.2 観測結果と考察

#### (1) 潮位観測結果

図-2は、潮位と潮位差の時間変化を表している。潮位観測における各平均潮位を調べると、成層期、非成層期に拘わらず、湾内の平均潮位がいずれも数cm高いことが分かった。成層期である2003年8月と2005年8

月の図に注目すると、潮位差が正の時間が長く（湾内潮位が高い時間が長い）、下げ潮最強時には湾内潮位が湾外潮位より約15cm高いことが分かる。上げ潮時には湾外潮位が湾内潮位より高くなるがその値は10cm以下である。非成層期である2004年5月、2005年3月は湾内潮位が高くなる時間と湾外潮位が高くなる時間は同じ程度である。成層期に比べ湾内潮位が高くなる傾向は見られないものの、内外潮位差に激しい振動が見られ、湾水振動があったことを示唆している。このような観測結果から、

一年を通して有福湾の潮位が外海のそれより高いことが明らかになり、南西側堤防に潮通しを設けた場合、有福湾から南西側海域に海水を効率的に排出できることが分かった。

#### (2) 水質観測結果

成層期と非成層期におけるe 地点（A 測線中央）での塩分濃度と水温の鉛直分布を図-3に示す。図-3より、

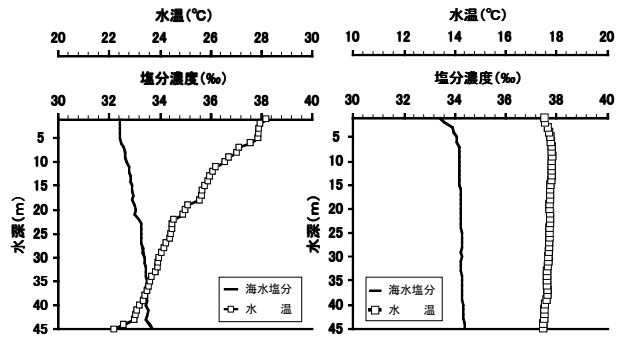


図-3 e 地点の塩分と水温の鉛直分布  
(左：2003.8/25, 右：2004.5/5)

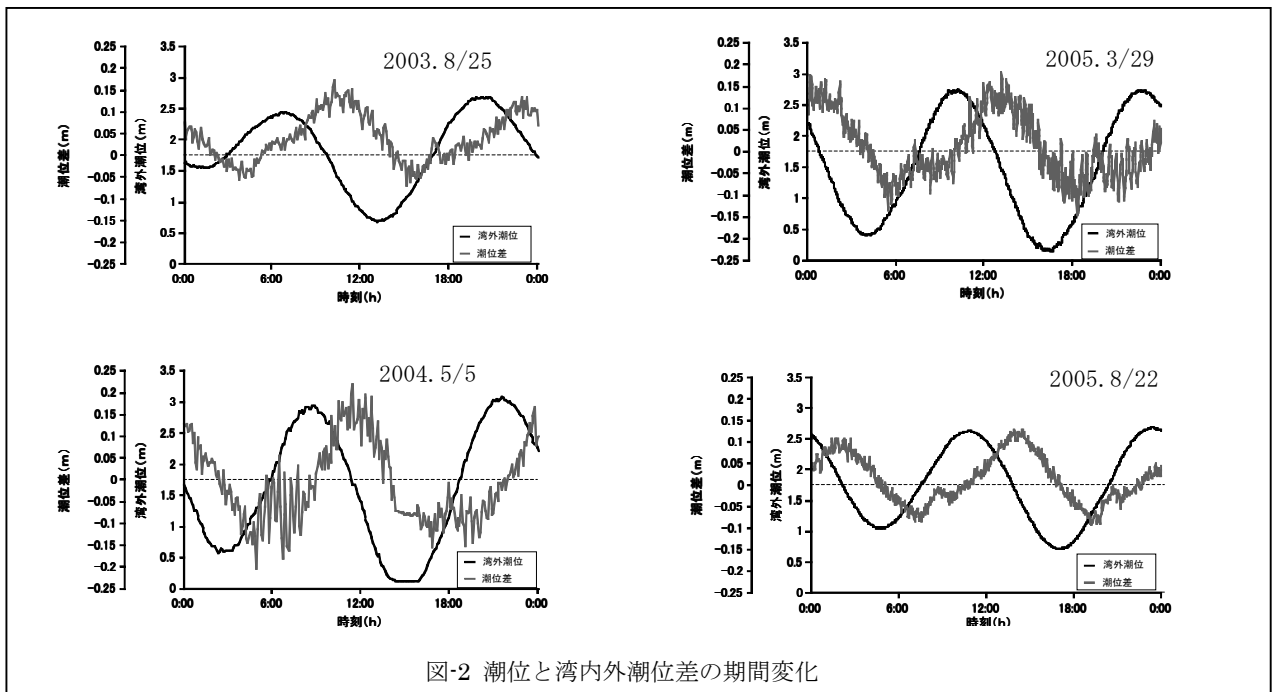


図-2 潮位と湾内外潮位差の期間変化

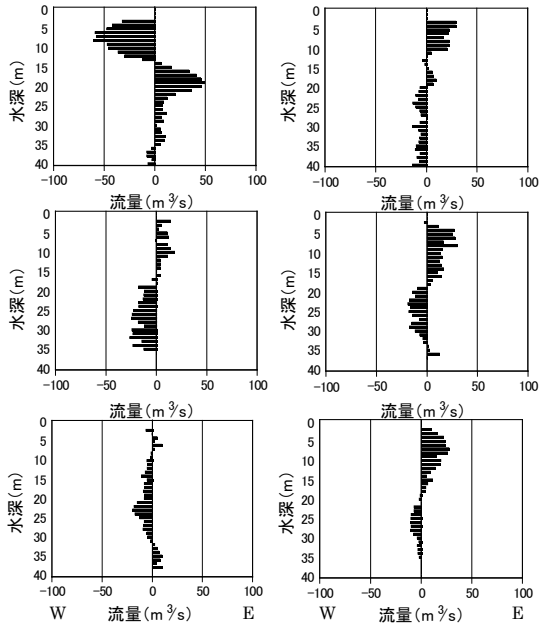


図-4 A 測線における流量配分図

(上：2003.8/25，中：2004.5/5，下：2005.8/22)  
(左：上げ潮最強時，右：下げ潮最強時)

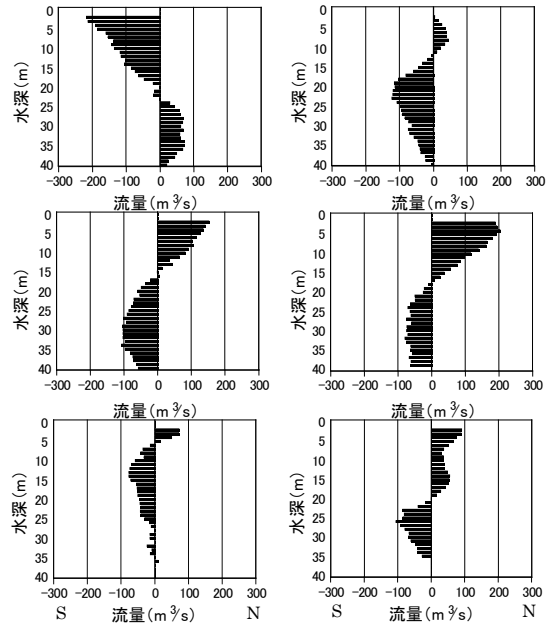


図-5 D 測線における流量配分図

(上：2003.8/25，中：2004.5/5，下：2005.8/22)  
(左：上げ潮最強時，右：下げ潮最強時)

有福湾では塩分濃度の水深による違いは小さく、成層期において水深による密度の違いは主に水温によって支配されていることが分かる。

**(3) ADCP 曳航観測結果**

図-4, 5 は A, D 測線における上げ潮，下げ潮時の鉛直方向の流量配分図である。これは、ADCP によって測定された流速から各水深の平均流速を求め、水深ごとの測線長を乗じることで水深方向 1m 毎の流量を求めたものである。成層期 (図-4, 5 上段と下段) に注目すると、上下層の逆転した流れが見られる。また、潮位変化に応じた上層下層の流向の逆転が起きていることが分かった。非成層期 (図 4, 5 の中段) でも、上下層の逆転流れが見られるが、成層期のように上げ潮と下げ潮で転流が起こることはなく、一潮汐を通して下層には湾内への流入、上層には流出という流れのパターンが維持されている。成層期における上下層の流向の逆転は、密度成層の影響で内部潮汐のような密度流が潮流に加わったためと報告したが (猶木ら, 2004 年 3 月卒論)、2004 年の調査によって非成層期においても上下逆転流れが存在することから、上下層の逆転流れは密度流のみの影響ではなく、かなりの水深を有する水域であることと D 測線の北を流れる潮流の大きな若松瀬戸の流れの構造に影響された、この水域の特性であろうと考えられる。

**(4) 流量観測結果**

漁生浦瀬戸 (図-1 g 地点) における断面流量の時間変化を図-6 に示す。図-6 より、漁生浦瀬戸では下げ潮

時に東側海域から漁生浦を通過し滝河原瀬戸方向へ流出し、上げ潮ではその逆の流れであること、東側海域から滝河原瀬戸方向へ流出する流量の方が、流入する流量

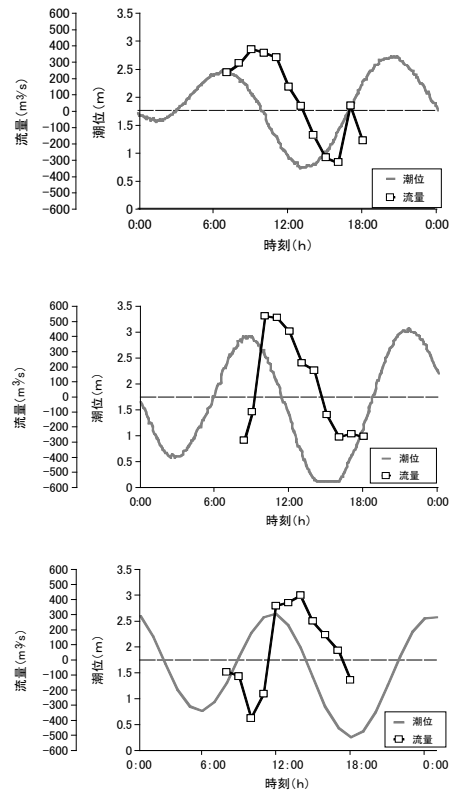


図-6 漁生浦瀬戸における流量時間変化 (西向き+)  
(上：2003.8/25，中：2004.5/5，下：2005.8/22)

より多いことが分かる。また、潮汐とは関係ない流れ込みが生じない場合、上げ潮最強時や下げ潮最強時に流量は極値をとる。これは潮位差が極値をとる時間と同じである。

**(5) 流向流速観測結果**

図-7は、図-1中のe地点(A測線中央の海底から30m)、f地点(D測線中央の海底から40m)およびg地点(漁生浦瀬戸の海底から0.5m)にアンダーラ流向流速計を水底から立ち上げて設置し、10分間隔で記録した2003.8/26における流速ベクトル図である。それぞれの地点で主流の流向と流速の大きさが異なるので、地点により縦軸の目盛りと方向を違えて表示している。なお、潮汐変動がわかるように、同日時の潮位変化も示している。

e地点の流速計は水深10m付近に置かれていたこともあり、流速は微弱であり、時間帯によっては流向、流速を正しく計測出来ていない可能性はあるが、流向、流速の変化は潮位変化より周期は短く、潮汐以外の流れの要素が存在することを示唆している。

f地点の流速は20cm/s以下であり、e地点に比較するとかなり大きな流速ではあるが、その流向、流速の変化はやはりe地点と同じく潮汐変化に対応しない流れが見られる。11, 22時付近のように下げ潮時間帯にもかかわらず流入成分(S方向成分)が現れている。これは、f地点付近は若松瀬戸の東シナ海側の開口部に当たるため、東シナ海における潮汐以外の長周期海面変動の影響を大きく受けていることが考えられる。

g地点は幅員の狭い瀬戸であるため、最盛時の流速は150cm/sを超え、流向は瀬戸の方向に支配されて入退潮

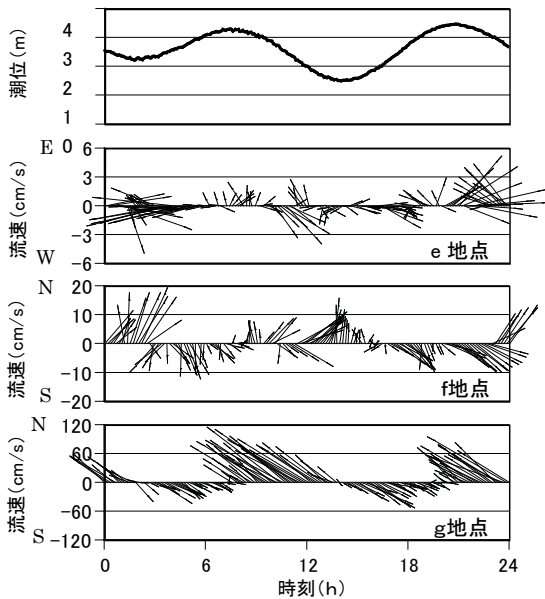


図-7 潮位と流速ベクトルの時間変化

応じて転流する。注目すべきは、引き潮時の湾からの流出速度(NW方向成分)が満ち潮時の流入速度(SE方向成分)よりかなり大きく、一潮汐間において入江奥から滝河原瀬戸方向への潮汐残差流が存在することである。すなわち、湾内潮位が南西側湾外潮位よりも高いという図-2の潮位結果を漁生浦の流速データも裏付けており、有福湾南西側堤防に潮通しを設けた場合に、湾内水が潮通しを経て南西側海域に流出する恒流を期待することができる。

**3. 流動シミュレーション**

**3.1 基礎式と方法**

本研究では対象とする海域がかなりの深さを持つため準3次元計算モデルを用いた。密度は均一とし、静水圧近似およびブシネスク近似を適用すると連続の式、運動方程式は次のように表される。

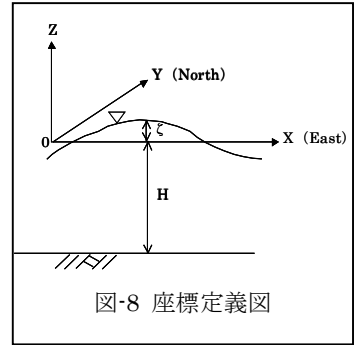


図-8 座標定義図

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + A_h \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + A_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + fv \tag{2}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + A_h \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + A_v \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} - fu \tag{3}$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho_0 g \tag{4}$$

ここで、 $t$ :時間、 $u, v, w$ :流速の $x$ (東向き)、 $y$ (北向き)、 $z$ (上向き)方向成分(図-8)、 $p$ :圧力、 $f$ :コリオリ係数、 $A_h, A_v$ :水平、鉛直方向の渦動粘性係数、 $\rho_0$ :海水密度、 $g$ :重力加速度である。

数値計算には陽形式の差分法を採用し、時間方向には leap-frog 法を、移流項には上流差分スキームを用いた。

**3.2 解析対象領域と境界条件**

シミュレーションは「潮通し」を設置した場合の水路部流量と湾内流動を把握するため、解析対象領域は有福湾と南西側堤防外の海域とし、水平格子幅  $\Delta x = \Delta y = 20m$ 、鉛直格子幅  $\Delta z = 10m$  で分割した(カ

ラム数 2562, セル数 7867)。「潮通し」を置く場合は開水路として 1 つのセル(長さ 20m, 幅可変, 深さ可変)を設置した。初期条件は, 無風でかつ静水状態とした。境界条件は湾口と南西側水域に 2003.8/25 の現地観測で得た潮位と潮位差を sin 関数近似して与えた(図-3)。計算は, 有福湾のみを対象にした領域で「潮通し」を設けない場合と「潮通し」の規模を変えて設けた場合とした。水平方向および鉛直方向の渦動粘性係数  $A_h, A_v$  は, 岩佐らの研究<sup>2)</sup>を参考にしてそれぞれ全域一定値 2.0, 0.001m<sup>2</sup>/s と設定した。底面摩擦は次式で与えた。

$$(\tau_{bx}, \tau_{by}) = \gamma_b^2 \rho_0 (u_b, v_b) \sqrt{u_b^2 + v_b^2}$$

(5)

ここに,  $u_b, v_b$ : 最下層セルの流速,  $\gamma_b^2$ : 底面摩擦係数 (=2.6×10<sup>-3</sup>) である。

計算時間間隔  $\Delta t$  は 0.2sec とし, 10 潮汐周期で計算の収束が確認できたので 11 週期目の結果を解とした。

### 3.3 潮通し水路部に対する特別な配慮

堤防を開削して設ける「潮通し」水路として, 計算では幅可変, 長さ 20m, 厚さ可変の 1 個のセルを配置して湾内外を繋ぐが, 水路の両端は幅 20m, 厚さ 10m のセルであり, 図-9 の状態である。隣接するセルの幅と厚さが異なる時, 鉛直の壁に対する抵抗を考慮することが必要になる。また, 水路部の底面と側壁の抵抗を式(5)で評価するだけでは不足する。すなわち, 渦動粘性係数や底面摩擦係数を一定とおく計算では, 水路入口と出口における局部渦による抵抗を評価できず, 水路の流速が非常に大きく出てしまう。平野ら<sup>3)</sup>によると図-9 の水道部の流速  $V$  は次式で表されている。

$$V = \frac{Q}{Bh} = \sqrt{\frac{2g\Delta h}{(1.4 + \frac{2gn^2L}{R^{4/3}})}} \quad (6)$$

ここに,  $B, L$ : 水路幅, 水路長,  $n$ : Manning 粗度係数,  $R$ : 径深, 分母の 1.4 は入口と出口におけるエネルギー損失係数の和である。分母第 1 項目は,  $n = 0.02, R = 2\text{m}$  と仮定して計算した第 2 項目の 20 倍以上の大きさである。このため, 式(6)を用いて式(5)の抵抗応力に換算すると,

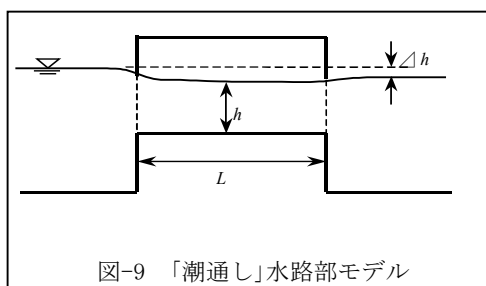


図-9 「潮通し」水路部モデル

$$\frac{\tau_b}{\rho} = gR \Delta h / L = \frac{1}{2} \frac{R}{L} \left( 1.4 + \frac{2gn^2L}{R^{4/3}} \right) V^2 \quad (7)$$

ここで,  $h = R = 2\text{m}$  とし, 上記の諸量を用いると,  $\gamma_b^2 = 0.073$ , 海域の底面抵抗係数の 28 倍の大きさとなる。このため, 水路部のみはこの底面抵抗係数を用いることとした。

### 3.4 水粒子の移流シミュレーション

湾内で発生する赤潮が潮通しを設置することでどの程度の時間で湾外に排出されるかを見るために, 水粒子の移動奇跡を, 流動シミュレーションから得られる流速を用いて計算する。

時刻  $t = t_i$  に  $X_i (= (x_i, y_i))$  に位置する水粒子が, 時刻  $t = t_i + \Delta t$  に  $X_{i+1} (= (x_{i+1}, y_{i+1}))$  へ移動したとする。 $(X_i, t)$  における場の流速を  $U_i(X_i, t)$  とすると 1 計算ステップの移流による水粒子の移動距離は次式により求まる。

$$X_{i+1} = X_i + U_i(X_i, t) \cdot \Delta t \quad (8)$$

ここで,  $U_i(X_i, t)$  は, その粒子の存在するセルの場の流速に,  $x$  方向(東向き),  $y$  方向(北向き)ともに隣り合うセルの流速を按分して加えたものを採用する。

水粒子の乱れによる移動も加味するために, ランダムウォーク (random walk) で与えることによって, モデル化した。ここで,  $\Delta \gamma(\eta_x, \eta_y)$  を  $x$  方向に  $\eta_x$ ,  $y$  方向に  $\eta_y$  のそれぞれのランダムウォークを成分とする微小距離とすると, 乱れを考慮した 1 計算ステップごとの移動距離は, 次式のように表される。

$$X_{i+1} = X_i + U_i(X_i, t) \cdot \Delta t + \Delta \gamma(\eta_x, \eta_y) \quad (9)$$

ここで  $\eta_x$  および  $\eta_y$  は,  $N(0, \sigma_0)$  の正規乱数(平均値 0, 標準偏差  $\sigma_0$  のガウス分布乱数)で,  $\sigma_0$  は平均の乱れ速度に相当する。対象海域の乱れ強さは明らかではないため, 最大流速の約 1/100 程度の値  $\sigma_0 = 0.0001$  とし計算した。流動シミュレーション同様, 時間ステップは  $\Delta t = 0.2 \text{ sec}$  である。

### 3.5 数値シミュレーション結果

図-10 (a) は, 観測で得られた潮汐変化を sin 関数近似して湾口に与えて計算した, 下げ潮最強時, 「潮通し」無しの場合の表層における流速ベクトルである。

(b) は, 「潮通し」(長さ 20m, 幅 10m, 平均水深 2m) を南西側堤防に設けた場合で, 湾口の潮汐条件は (a) と同じくし, 南側海域端にこれも観測で得られた潮位変化を与えて計算した, 下げ潮最強時, 表層における流速ベクトルである。「潮通し」のない (a) の流れが湾口

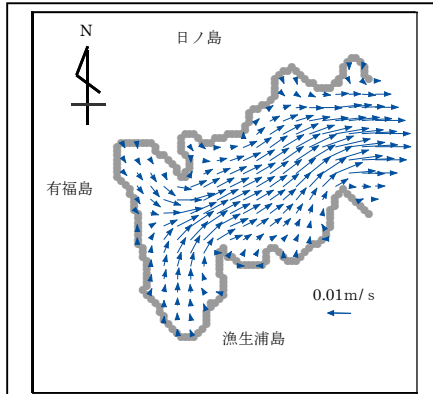
に向かう一方方向であるのに対し、

(b)では、湾口と「潮通し」の2方向に向かう流れが生まれている。「潮通し」における流速は、下げ潮最強時に  $2.68\text{m/s}$  の流速が西向きに出現した（南西側水域への流出）。また、上げ潮最強時には  $1.29\text{m/s}$  の流速が東向きに出現した（有福湾内への流入）。「潮通し」でフラッシュされる最大流量は  $50\text{m}^3/\text{s}$  となった。

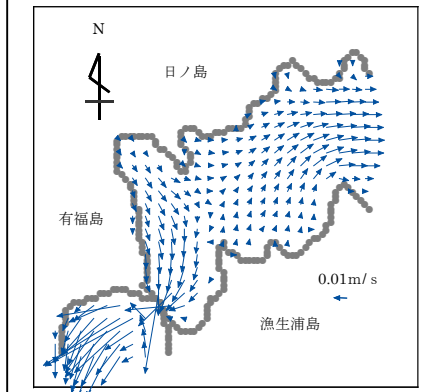
図-11 は表層の1潮汐間における潮汐残差流である。(a) 潮通しなしでは、有福湾湾奥部に渦状に滞留しているが、(b) 潮通しありでは、湾口から「潮通し」水路を経て、南西側水域へ流出する潮汐残差流を確認でき、表層の5m以内に発生することが多い植物プランクトンを湾内に長く留めない効果があると考えられる。

図-12 は、St.A, St.B, St.Cにおける「潮通し」設置前・後の潮流楕円を示したものである。養殖場付近のSt.Aは、湾内中央部であるSt.C同様、両者の長軸の向きはほぼ一致している。また、St.Aにおいて、半径は「潮通し」設置前のほうが長くでているものの、St.A, St.Bともに「潮通し」を設置することで中心が原点から南西へずれている。これは、「潮通し」を設けたことにより、南西方向への恒流が発生することを意味している。St.Bにおいては、湾奥部の滞留している水塊に、「潮通し」に向かう流れが生まれることが確認できる。

図-13, 図-14 は粒子移流シミュレーションの結果である。流動シミュレーションにより得られた11周期目の流速データを採用した。養殖の行われている付近の表層にx軸方向に4個、y軸方向に5個の計20個のセルに5ずつ、計100個の粒子を等間隔に上げ潮時に投入した。「潮通し」無(図-13)では、入退潮に伴い東西方向への動きは見られるが、有福湾湾口から流出はせず、110時間後

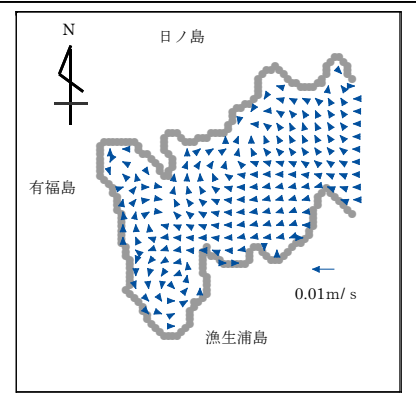


(a) 下げ潮最強時（「潮通し」無）

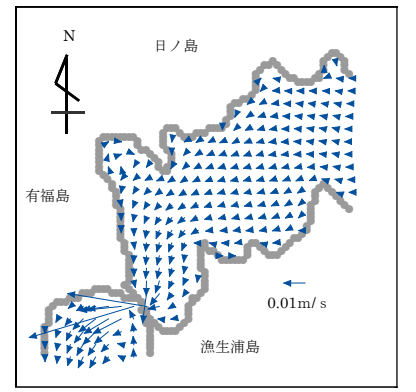


(b) 下げ潮最強時（幅 10m、水深 2m）

図-10 表層における流速ベクトル分布



(a) 「潮通し」無



(b) 「潮通し」無（幅 10m、水深 2m）

図-11 潮汐残差流

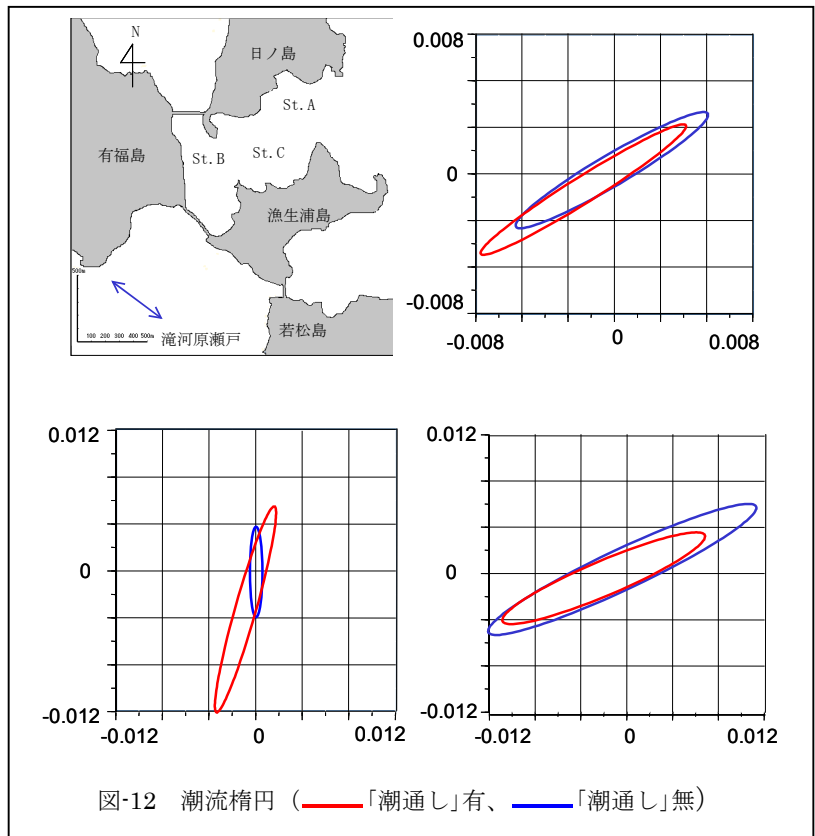


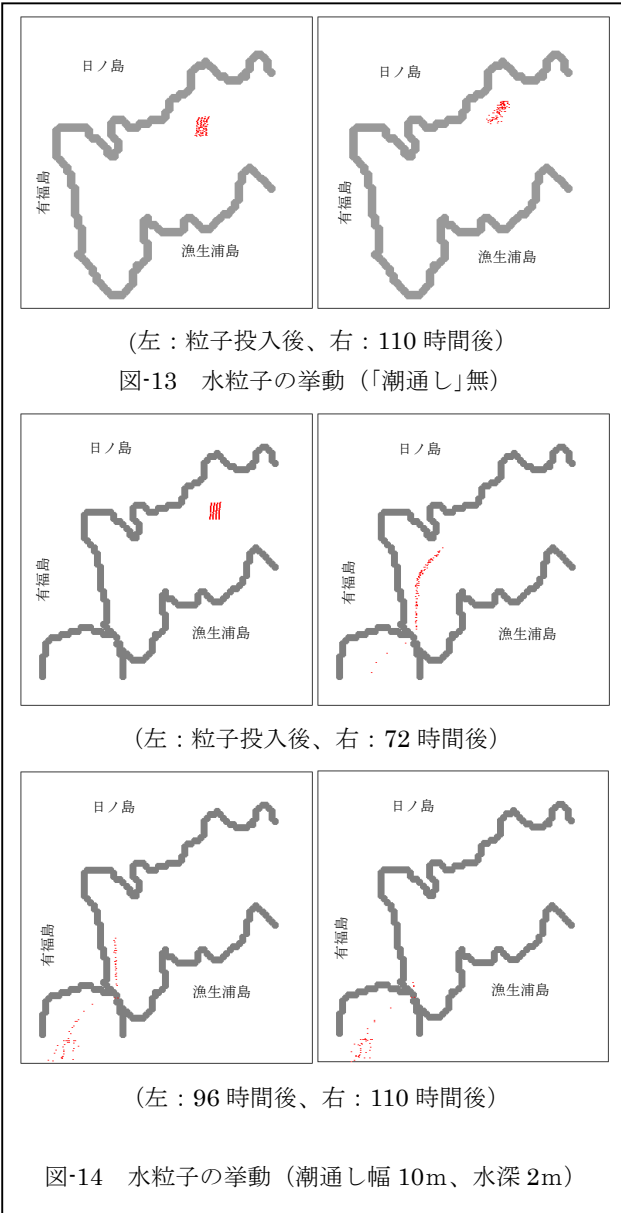
図-12 潮流楕円（—「潮通し」有、—「潮通し」無）

に約 20mほど北へ移動するだけである。

一方、水路幅 10m、水深 2mの「潮通し」を設置した場合、図-14 のように投入後約 72 時間で最初の粒子が「潮通し」へ到達し、出入りを繰り返しながらも 110 時間後には南西海域側へ排出されることが確認できた。

観測潮位に基づいて 3 次元モデルを用いた流動シミュレーションにより「潮通し」設置に伴う流況変化の予測を行った結果、「潮通し」はその規模に応じて海水交換に効果をもつことが確認できた。

また、粒子移流シミュレーションにより、「潮通し」を設置した場合、養殖場付近の表層の 5m 以内に発生することが多い植物プランクトンを、湾内に留めることなく外海へ排出することが出来るようになった。



#### 4. 湾内静穏度の検討

潮通しを開削すると、外海から波浪が侵入し、船舶や養殖施設に影響する可能性があるため、侵入波浪の予測計算を行った。用いた非線形波浪変形モデルプログラム (NOWT-PARI) <sup>4)</sup> の基礎方程式は水深を場所の関数とした修正ブジネスク方程式で、以下に示す連続式と  $x, y$  方向の運動量方程式である。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0 \tag{10}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{P^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{PQ}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - u \left( \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} \right) + \varepsilon P + \frac{f}{2D^2} P \sqrt{P^2 + Q^2} \\ = \left( B + \frac{1}{3} \right) h^2 \left( \frac{1}{3} \frac{\partial^3 P}{\partial x^2 \partial t} + \frac{\partial^3 Q}{\partial x \partial y \partial t} \right) + Bgh \left( \frac{\partial^3 \eta}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 \eta}{\partial x^2 \partial y} \right) \\ + h \frac{\partial h}{\partial x} \left( \frac{1}{3} \frac{\partial^2 P}{\partial x \partial t} + \frac{1}{6} \frac{\partial^2 Q}{\partial y \partial t} \right) + h \frac{\partial h}{\partial y} \left( \frac{1}{6} \frac{\partial^2 Q}{\partial x \partial t} \right) + Bgh^2 \left\{ \frac{\partial h}{\partial x} \left( 2 \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \eta}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial h}{\partial y} \frac{\partial^2 \eta}{\partial x \partial y} \right\} \end{aligned} \tag{11}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{Q^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{PQ}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - v \left( \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Q}{\partial y^2} \right) + \varepsilon Q + \frac{f}{2D^2} Q \sqrt{P^2 + Q^2} \\ = \left( B + \frac{1}{3} \right) h^2 \left( \frac{1}{3} \frac{\partial^3 Q}{\partial y^2 \partial t} + \frac{\partial^3 P}{\partial x \partial y \partial t} \right) + Bgh \left( \frac{\partial^3 \eta}{\partial y^3} + \frac{\partial^3 \eta}{\partial x^2 \partial y} \right) \\ + h \frac{\partial h}{\partial y} \left( \frac{1}{3} \frac{\partial^2 Q}{\partial y \partial t} + \frac{1}{6} \frac{\partial^2 P}{\partial x \partial t} \right) + h \frac{\partial h}{\partial x} \left( \frac{1}{6} \frac{\partial^2 P}{\partial y \partial t} \right) + Bgh^2 \left\{ \frac{\partial h}{\partial y} \left( 2 \frac{\partial^2 \eta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} \right) + \frac{\partial h}{\partial x} \frac{\partial^2 \eta}{\partial x \partial y} \right\} \end{aligned} \tag{12}$$

ここで、 $x, y$  は平面座標、 $\eta$  は水位、 $P$  は  $x$  方向線流量、 $Q$  は  $y$  方向線流量、 $h$  は静水深、 $D$  は全水深、 $f$  は底面摩擦係数である。 $u$  は碎波によって生じる乱れによる運動の混合を表す渦動粘性係数、 $\varepsilon$  はエネルギー吸収帯の吸収係数である。

計算対象領域は有福湾の西側海域に着目し、日ノ島漁港の静穏度が計算できるように図-15 に示す領域を設定した。計算条件は時間積分間隔  $\Delta t = 0.2s$ 、空間格子幅  $\Delta x = \Delta y = 5m$  とし、潮通しの幅は 10m とした。南西堤防の法線方向に約 1.3km 離れた海域に相ノ島が存在し、

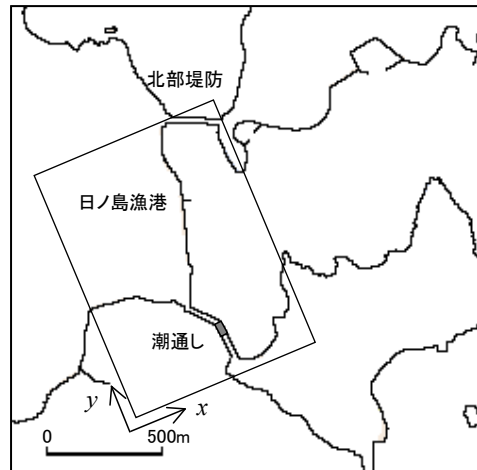


図-15 計算対象領域

この間の距離を吹送距離として、風速 40m/s の風を想定すると、この時発生する風波は SMB 法により有義波高約 1m, 有義波周期約 3s となる。風波が十分に発達したとしても周期はおよそ 10~15s 以下であるので、南西堤防に到達する入射波については有義波高 1m, 有義波周期がそれぞれ 3, 5, 8, 10s の不規則波とし、4 ケースについて数値シミュレーションを行った。

図-16 に侵入波高の数値シミュレーションの結果を示す。この図は潮通しを含む有福湾の南西海域(縦 500m 横 400m)に限定した波高分布図である。

全ての周期に共通して言えることは、潮通し近辺に幅の狭い等波高線が密集していることである。これは、潮通し通過直後に回折波へのエネルギー供給の結果、波高が急激に減衰することを示している。

有義波周期を 3 秒とすると、潮通し通過前に波高は減衰し、潮通し通過時には入射波高の半分程度になっていた。考えられる理由として、周期が短すぎて差分条件に適していなかったためと思われる。実際、本研究で用いた水深データとは異なるデータで計算してみても、波高の著しい減衰が確認できた。

周期 8, 10s と比較的能量が大きい波に対しても、等波高線が 30cm を示している水域は潮通しから半径 100m 辺りまでである。また、等波高線が 50cm を示している水域にいたっては潮通し周辺の半径 25m 辺りまでである。波高が 50cm を超える水域は潮通し周辺に限られており、この水域は船舶の停泊や養殖施設に利用されていないため、潮通し設置が湾内の静穏度に大きく影響することはないことが分かった。

## 5. まとめ

現地観測の結果から、一年を通して湾内潮位が南西側海域のそれより高いことが確認でき、潮通しを設置した場合、有福湾から潮通しを経て南西海域へ湾内水が排出される可能性があることを示すことができた。赤潮発生の抑制にどの程度の効果があるかは不明であるが、少なくとも、赤潮が湾内に滞留して養殖漁業にダメージを与えることは減少するものと予想できる。

潮通しの湾内静穏度に与える影響に関しては、周期 8, 10s と比較的能量が大きい波浪に対しても、50cm 以上の波高が到達する水域は潮通し周辺に限られることが数値計算から判明した。

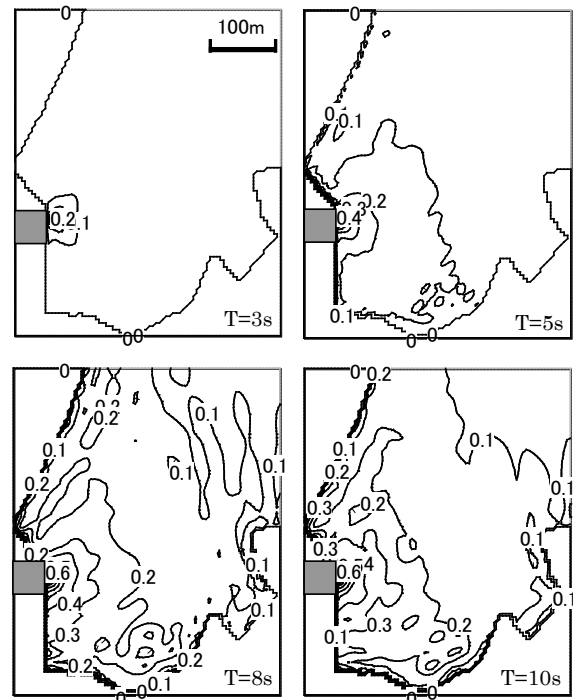


図-16 潮通しから侵入する波高分布

**謝辞:** 現地観測は環境科学試験所と共同で実施され、蒔田 弘明 課長ほか所員の方々には大変お世話になった。また、旧若松町および日ノ島漁協には現地調査で便宜を図って頂いた。さらに、現地調査には多くの卒研学生、とくに松本 武士、染矢 真作、竹之内 健太、中村 仁勇の諸君には熱心にご協力いただいた。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 長崎県水産部：水産のひろば,  
[http://www.n-suisan.jp/yumetobi/suisanhiroba/gyo\\_index.html](http://www.n-suisan.jp/yumetobi/suisanhiroba/gyo_index.html), 参照 2005. 5/10
- 2) 岩佐 義朗, 冨田 彰秀, 福本 育夫：数値解析を用いた湖沼の吹送流解析モデルに関する 2, 3 の考察, 京都大学防災研究所年報, 第 30 号, pp. 2-8 (1987)
- 3) 平野 敏行 監修：沿岸の環境圏, フジ・テクノシステム出版, p. 1137 (1998)
- 4) 平山 克也：非線形不規則波浪を用いた数値計算の港湾設計への活用に関する研究, 港湾空港技術研究所資料, Vol. 40, No. 4 (2002)