

# 淀川における河川遡上津波発生時の 三次元塩水挙動解析

THREE DIMENSIONAL NUMERICAL ANALYSIS FOR SALT WATER  
BEHAVIOR CAUSED BY RIVER-RUNUP OF TSUNAMI IN THE YODO  
RIVER

米山 望<sup>1</sup>・松宮弘信<sup>2</sup>・鯨島竜一<sup>3</sup>

Nozomu YONEYAMA, Hironobu MATSUMIYA and Ryuichi SAMEJIMA

<sup>1</sup>正会員 博 (工) 京都大学准教授 防災研究所 (〒 611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

<sup>2</sup>学生員 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 (〒 611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

<sup>3</sup>正会員 大阪市水道局 (〒 559-8558 大阪市住之江区南港北 1-14-16)

If Tonankai and Nankai earthquakes occur, the associated tsunami will reach Osaka about 2 hours after the earthquakes and ascend Yodo river in Osaka to the upstream part of the Yodo river weir, approximately 10 km away from its river mouth. At the same time, the salt water would arrive there.

This study aims to simulate the salt water behavior at the upstream part of the Yodo river weir and calculate a concentration of salt at the front of the intakes of the water treatment plants there. The three and the two dimensional salt water behavior model are applied to the Yodo river. As a result, it is found that the tsunami brings a high concentration of salt to the front of Kunijima water intake.

**Key Words :** *Tsunami, river-runup, Tonankai-Nankai earthquake, salt water, water treatment plant*

## 1. はじめに

津波が河川を遡上した場合に河口堰上流で塩水被害の発生が懸念されている。河口堰は海水の河川への侵入を防ぐ役割があり、その上流には水道事業者の浄水場取水口が設置されることが多い。このため、凝集沈澱・砂ろ過による浄水処理方式では津波の越流により塩水が混入すると処理機能が低下し、重要なライフラインのひとつである水道水を、災害発生直後に供給できなくなる可能性がある。水道事業者は、塩分を取水する恐れがある場合には、取水を停止する必要がある。津波発生時の円滑な取水停止と停止期間中の処理水の確保を行うため、塩分の最大濃度および高濃度状態の継続時間をできるだけ正確に予測・評価しておくことが重要となる。

これまで、河口部など淡水と海水が自然に混じり合う領域における塩水挙動については数多くの研究が行われているが、本研究のように、津波の発生を念頭に置き、海水が河口堰を越流して上流側の淡水領域に直接流れ込む際の塩水の挙動について検討された例や、水道供給の観点からその塩水挙動を評価・検討した例は著者らの一連の研究以外では、これまでのところ報告されてない。

著者らは、平面二次元津波挙動解析により求めた流動場を用いた移流拡散解析により淀川大堰直上流部での塩水挙動を予測評価できる手法を構築し、淀川大堰に最も近い位置にある東淀川浄水場工業用水取水口で水質基準

を超える塩素イオン濃度が数時間継続するとの評価結果を得ている<sup>1)</sup>。しかし、この評価手法には、(1) 大堰を越流する塩水量の平面二次元解析結果の妥当性が検討できていないこと、(2) 平面二次元解析の流動場を用いた移流拡散解析では、大堰直上流での複雑な三次元流動や塩水と河川水の密度差による流動場の変化を考慮できないこと、などの課題があった。

このため、本研究では、淀川大堰を挟んで、大堰下流約 10km の淀川河口から大堰上流約 10km までの範囲での三次元密度流解析を行うことにより、大堰上流での塩水挙動を大きく左右する塩水越流量を二つの手法で検証すること、および、密度差に伴う流動場の変化も考慮することにより、より信頼性の高い塩分挙動予測手法の構築を試みた。

本研究のように水理実験が大変困難でかつ、実測などかなわない事象を扱う場合、数値シミュレーション結果の妥当性の検証が十分行えないが、本研究で用いている三次元解析コードはこれまでに津波現象や水温変化等による密度変化などに適用してその妥当性を検証している<sup>2),3)</sup>ことから、本研究にも適用しうると判断している。これに加え、河川分野で広く利用されている平面二次元解析を併せて行うことで、解析結果が妥当な範囲であることを確認する。

以下では、本研究で対象とした東南海・南海地震津波の概要や淀川大堰について概要と運用方法について説明

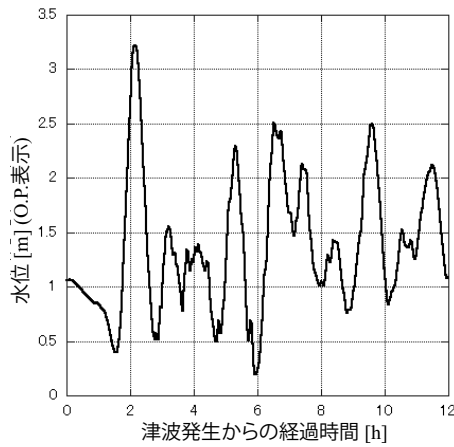


図-1 淀川河口での水位変化（波源を含む平面二次元津波解析結果）

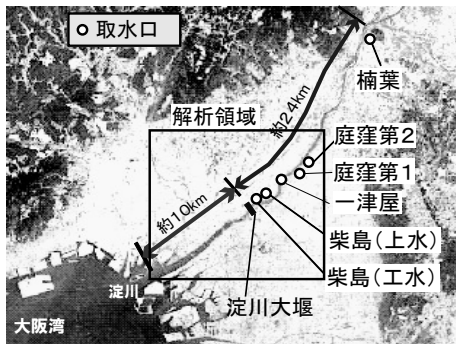


図-2 淀川大堰および取水口位置

する。次に、三次元塩水挙動解析手法および平面二次元塩水挙動解析手法について説明し、取水影響の評価結果を示す。

## 2. 東南海・南海地震津波の概要

東南海・南海地震は、南海トラフ沿いの遠州灘西部から紀伊半島沖を経て土佐湾までの地域で発生が懸念されている海溝型地震である。歴史的に100～150年間隔で発生しており、次は21世紀前半にも発生する可能性がある。大阪府・和歌山県・大阪市では「東南海・南海地震津波対策検討委員会」<sup>4)</sup>を設置し、津波挙動解析を含めた防災対策を行っている。

津波挙動解析では波源モデルの設定が重要となるが、本研究では、淀川河道内の最高津波水位が最も高くなるモデル、すなわち、1946年昭和南海地震（M8.0）の断層モデルを相似則によってM8.4にまで上げたモデル<sup>4)</sup>を用いて解析された淀川河口での水位変化を境界条件として塩水挙動解析に適用した。図-1に同委員会の検討結果に基づいて解析された淀川河口位置（中央）における津波の水位変化を示す。

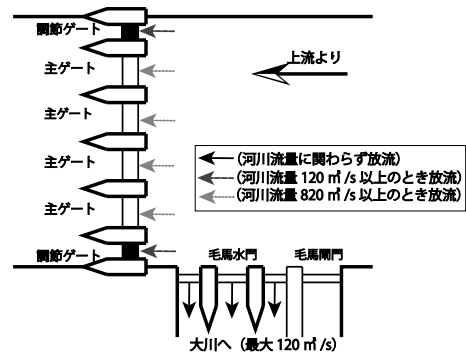


図-3 淀川大堰模式図

## 3. 淀川大堰の概要と河川流量

淀川大堰は、昭和46年に淀川河口から約10km上流に建設され、塩水の河川への浸入を防いで水道用水、工業用水を確保するとともに、淀川の流れの一部を毛馬水門を通じて大川に供給する役割を担っている。大堰から上流約24kmの区間に大阪市の取水施設が6箇所存在する。また、大川を通じて大阪市内の河川維持のための流量が供給されている（図-2参照）。

大堰の全幅は330m、幅55mの主ゲート4門とその両端に位置する幅40mの調節ゲート2門により構成されており、これら进行操作することにより、上流水位をO.P.+3.0mに保つとともに、大川への放流量が $120 \text{ m}^3/\text{s}$ を超えないように調整している。図-3に大堰ゲートおよび毛馬水門の平面図を示す。

東南海・南海地震時、津波は淀川を遡上し、淀川大堰を越流する可能性があるが、淀川大堰では津波遡上を阻止することを目的としたゲート操作は行わない。そのため、水道事業者等が独自に塩水対策を行う必要がある。

津波発生時に淀川大堰を越流する塩水量や大堰上流の塩水挙動は、河川遡上発生時における上流からの河川流量や、河川流量に応じて変化する淀川大堰のゲート開度により、大きな影響を受ける可能性がある。

淀川大堰のゲート操作は、次のように行われている（図-3参照）。まず、河川流量 $120 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下のときは、淀川大堰の全ゲートが閉鎖され、毛馬水門から大川への放流のみとなる。その後、河川流量 $820 \text{ m}^3/\text{s}$ までは、河道両端にある調節ゲートの操作のみによって流量の調節が行われる。 $820 \text{ m}^3/\text{s}$ を超えると、調節ゲートだけでは調節できなくなり、主ゲートも利用して流量を調整し、 $3000 \text{ m}^3/\text{s}$ を超えると、全ゲートを開放する。

本研究では、渇水時に頻度が高い河川流量 $62 \text{ m}^3/\text{s}$ 、平水時にもっとも頻度が高い河川流量 $196 \text{ m}^3/\text{s}$ を検討対象とした。河川流量 $62 \text{ m}^3/\text{s}$ では全量大川に放流され、 $196 \text{ m}^3/\text{s}$ では、大川に $120 \text{ m}^3/\text{s}$ 、残りを調節ゲートから淀川に放流する。また、各流量でのゲート開度を図-4に示す。河川流量 $62 \text{ m}^3/\text{s}$ では淀川大堰により淀川上下流の水面が完全に分離されているが、 $196 \text{ m}^3/\text{s}$ では、調節ゲートにおいて水面が連続している。

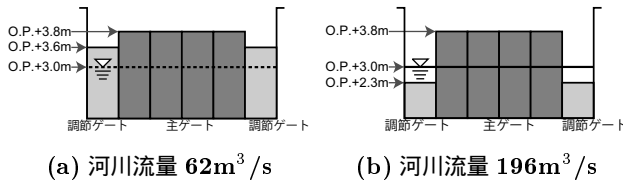


図-4 淀川大堰天端高

#### 4. 三次元塩水挙動解析

三次元塩水挙動解析には、著者らがこれまでに水温・濁度による密度流解析に適用しその妥当性を検証している方法<sup>3)</sup>を用いる。以下では、三次元密度流解析の基礎方程式と解析の流れ、本研究の解析条件について示す。

##### (1) 基礎方程式

###### ・連続式

$$\frac{\partial \tilde{u}_j}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

###### ・水温 $\bar{T}$ 、塩分 $\bar{S}$ と河川水密度 $\bar{\rho}$ の関係式

$$\bar{\rho} = 1028.14 - 0.0735\bar{T} - 0.00469\bar{T}^2 + (0.802 - 0.002\bar{T})(\bar{S} - 35.0) \quad (2)$$

###### ・運動方程式 ( $i = 1, 2, 3$ )

$$\begin{aligned} \frac{\partial \tilde{\rho} \tilde{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \tilde{\rho} \tilde{u}_i \tilde{u}_j}{\partial x_j} = \tilde{\rho} G_i - \frac{\partial \tilde{p}}{\partial x_i} \\ + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \tilde{\rho} (\nu + \nu_t) \left( \frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \tilde{u}_j}{\partial x_i} - \delta_{ij} \frac{2}{3} \frac{\partial \tilde{u}_k}{\partial x_k} \right) - \frac{2}{3} \tilde{\rho} k \delta_{ij} \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

###### ・塩分 $S$ の移流拡散方程式

$$\frac{\partial \bar{S}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( -\bar{S} \cdot \tilde{u}_j + \frac{\nu + \nu_t}{S_c} \frac{\partial \bar{S}}{\partial x_j} \right) \quad (4)$$

###### ・水面形状の移流方程式

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \tilde{u}_j \frac{\partial F}{\partial x_j} = 0 \quad (5)$$

###### ・乱流エネルギー ( $k \equiv \overline{\rho u'_i u'_i} / 2\bar{\rho}$ ) 方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{\rho} k}{\partial t} + \frac{\partial \bar{\rho} \tilde{u}_j k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \bar{\rho} (\nu + \nu_t) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \\ + \bar{\rho} (P_k - \varepsilon) \end{aligned} \quad (6)$$

###### ・乱流エネルギー散逸率 ( $\varepsilon \equiv \nu \overline{\rho u'_{i,j} u'_{i,j}} / \bar{\rho}$ ) 方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{\rho} \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial \bar{\rho} \tilde{u}_j \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \bar{\rho} \left( \nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] \\ + \bar{\rho} \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} P_k - C_{\varepsilon 2} \varepsilon) \end{aligned} \quad (7)$$

###### ・渦動粘性係数

$$\nu_t = \begin{cases} C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \left( 1 - 0.1 \frac{g}{\bar{\rho}} \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial x_3} \frac{k^2}{\varepsilon^2} \right)^{-1} & \left( \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial x_3} \leq 0 \right) \\ C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} & \left( \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial x_3} > 0 \right) \end{cases} \quad (8)$$

###### ・乱流エネルギーの生成項 $P_k$ のモデル化式

$$P_k = -\bar{\rho} \tilde{u}_i'' \tilde{u}_j'' \frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} \quad (9)$$

ここに、 $\bar{\quad}$ ；レイノルズ平均， $\tilde{\quad}$ ；レイノルズ平均変動量， $\tilde{\quad}$ ；ファール平均， $\quad''$ ；ファール平均変動量を表し， $\delta_{ij}$  はクロネッカーのデルタである。また， $u_i[m/s]$ ；流速の各方向成分 ( $i=3$  は鉛直方向を表す)， $G_i[m/s^2]$ ；単位体積あたり外力の各方向成分， $\nu[m^2/s]$ ；動粘性係数， $F$ ；計算セル内の河川水存在率 ( $0 \leq F \leq 1$ )，シュミット数  $S_c=0.833$ ，乱流関係の定数は  $\sigma_\varepsilon=1.3, C_{\varepsilon 1}=1.45, C_{\varepsilon 2}=1.92, C_\mu=0.09$  としている。

解析は直交座標系では表現できない形状を考慮するため、各計算セルに空隙率、セル境界に開口率を設定して基礎方程式を積分した後有限差分法に基づいて離散化した<sup>2)</sup>。また、物理量はスタッガード配置とした。

底面境界条件は、流速および乱流量についてフリースリップとし、水面では、流速と乱流エネルギー  $k$  を除く乱流量をフリースリップとし、 $k$  のみ水面において、流体内部セルの値の 8 割とした。

##### (2) 解析の流れ

三次元解析の流れは以下のようなものである。

- (i) 全ての物理量が既知とする。
- (ii) VOF 法<sup>5)</sup>に基づき、流速値  $\tilde{u}^n$  を用いて  $dt$  秒後の水面形状  $F^{n+1}$  を求める。
- (iii) 塩分の移流拡散方程式を用いて、 $dt$  秒後の塩分  $\bar{S}^{n+1}$  を、水温・塩分と流体密度の関係式を用いて、 $dt$  秒後の密度  $\bar{\rho}^{n+1}$  を計算。
- (iv) 乱流関連式から、 $dt$  秒後の乱流量を計算。
- (v) 運動方程式から、 $dt$  秒後の流速値  $\tilde{u}^{n+1}$  を推定。
- (vi) 流速値  $\tilde{u}^{n+1}$  を用いて連続式の誤差  $D$  を算定し、 $D$  が許容値以下であれば、つぎに進む。許容値より多い場合、SIMPLE 法<sup>6)</sup>に基づいて圧力値を修正し、(v) に戻る。
- (vii) 密度、流速値、水面形状を更新して、時間を  $dt$  進め、(ii) にもどる。

#### 5. 平面二次元塩水挙動解析

##### (1) 解析方法

平面二次元塩水挙動解析には、以下の基礎式を用いた。

###### ・連続式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (10)$$

###### ・非線形長波理論式

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \frac{M^2}{D} + \frac{\partial}{\partial y} \frac{MN}{D} + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2 MQ}{D^{7/3}} \\ = \nu_t \left( \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \frac{MN}{D} + \frac{\partial}{\partial y} \frac{N^2}{D} + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2NQ}{D^{7/3}} = \nu_t \left( \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) \quad (12)$$

ここで、 $\eta$ ：水面の鉛直変位、 $M, N$ ： $x, y$  方向の単位幅あたりの流量、 $D$ ：全水深、 $n$ ：マンニングの粗度係数、 $Q = \sqrt{M^2 + N^2}$  である。

・塩分  $S$  の拡散方程式

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) \quad (13)$$

ここで、 $u, v$ ： $x, y$  軸方向の流速、 $K_x, K_y$ ： $x, y$  軸方向の拡散係数である。

式 (11)、式 (12)、式 (13) は、時間に関しては前進差分、移流項については一次風上差分、その他の項は中心差分とした。また、式 (10) の差分化は時間に関して前進差分、空間に関して中央差分として、リーブフロッグ法に基づいて計算を進める。

陸域境界では、高水深への津波遡上を考慮し、波先端部での地形を階段状に考え、陸側格子点の地盤高より海側格子点の水位が高い場合に、その差を実水深として流量計算を行った<sup>7)</sup>。

渦動粘性係数  $\nu_t$  はリチャードソンの  $4/3$  乗則で求められる値を用いた。マンニングの粗度係数  $n$  は海底を規則的な断面を持つ大流路として考え  $0.025$  とした<sup>8)</sup>。

## 6. 解析条件および解析方法

### (1) 解析条件

解析領域は、淀川河口から上流約 20km の領域とした (図-2 参照)。計算格子は、水平方向に 12.5m 四方の正方形格子とし、三次元解析は鉛直方向は 2m とした。図-5 に大堰周辺詳細図および鉛直格子分割と取水口標高などの関係を示している。下流端には淀川河口を設定し、上流端には淀川大堰から約 10km 地点、淀川河口より約 20km 地点を設定した。

初期水位は、淀川大堰下流側を朔望平均満潮位である O.P.+2.1 m とし、河口での水位変化 (図-1) を初期値が O.P.+2.1 m になるよう平行移動して境界条件とした。上流側の水位は淀川大堰の運用方針に従い O.P.+3.0 m とした。

計算時間刻みは三次元解析では最大値を 0.3 秒とし、それ以下になるように一定の条件で変化させ、平面二次元解析では一定値の 0.3 秒とした。総計算時間は第一波の反射波が下流端境界に到達する地震発生から 4 時間後までとした。これは、計算境界である河口で設定している水位変化と大堰からの反射波の水位変化にずれが生じるため、それ以降の計算の信頼性が低いと考えたためである。

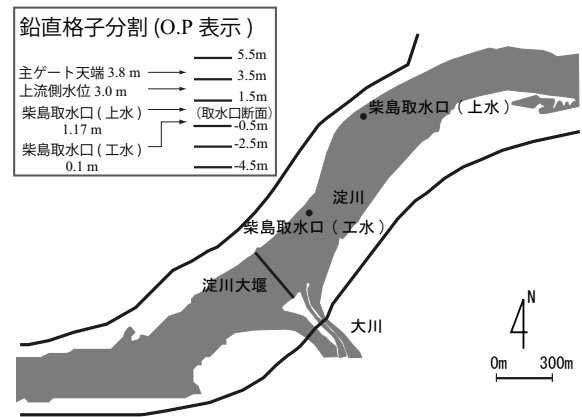


図-5 大堰周辺詳細図と鉛直格子分割

国土交通省実施の塩分調査 (H11 ~ H15) では、解析領域上流に位置する JR 赤川鉄橋における実測値の平均値が 0.03 psu 最大値が 0.04 psu であり、大堰下流に位置する伝法大橋での実測値の最大値が 27.82 psu である。本研究では安全側評価を行うため解析領域上流端および大堰上流側の初期塩分を 0.03 psu とし、大堰下流側の塩分を 27.82 psu で解析を行った。一方、河川水の水温は国土交通省実施の伝法大橋での調査結果 (H17 年の平均値) より 18 とした。

### (2) 解析方法

解析では、河川流量ごとに津波来襲前の定常状態を作成したのち塩水挙動を解析した。

定常状態を得る解析では、三次元解析・平面二次元解析とともに計算境界上流端から一定流量を流入、下流端で自由流出として、計算境界下流端での流量が所定の流量に達するまで計算した。大川に向かう毛馬水門の境界では、運用に従って  $120\text{m}^3/\text{s}$  までは自由流出、それ以上は流量一定 ( $120\text{m}^3/\text{s}$ ) とした。

津波来襲時の解析においては、上流端と毛馬水門は定常計算と同様にし、下流端境界は河口での水位変化を与えた。なお、大川を遡上して淀川に到達する津波については考慮していない。

## 7. 解析結果

### (1) 津波挙動解析結果

図-6 および図-7 に河道中央部の縦断方向の水面形変化を示す。対象とした河川流量では淀川を遡上する津波は河口から 20 km 上流にまで影響を与えることがわかった。津波の高さは淀川大堰直下流では、平常時の水位である O.P.+2.1 m よりも三次元解析で 3 m 以上増加する結果となった。二次元と三次元の比較では、位相のずれなどで値は一致しないが、津波の挙動パターンは概ね一致している。また、淀川大堰の総越流量を図-8 に示す。同図から分かるように総越流量は三次元解析結果と平面二次元解析結果は時間変化を含めほぼ一致している。こ

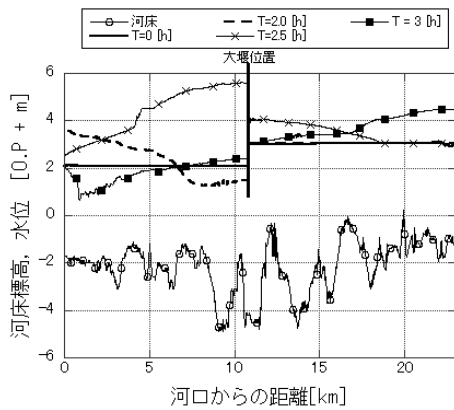


図-6 水面形の時間変化（三次元，河川流量  $196 \text{ m}^3/\text{s}$ ）

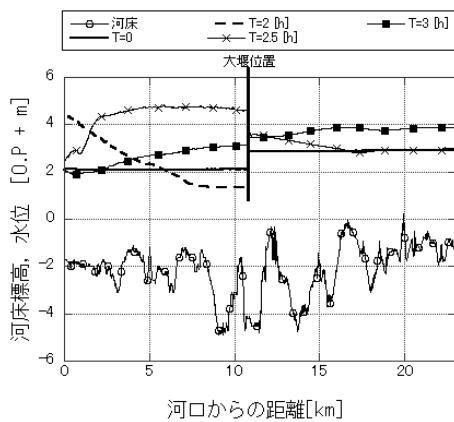


図-7 水面形の時間変化（二次元，河川流量  $196 \text{ m}^3/\text{s}$ ）

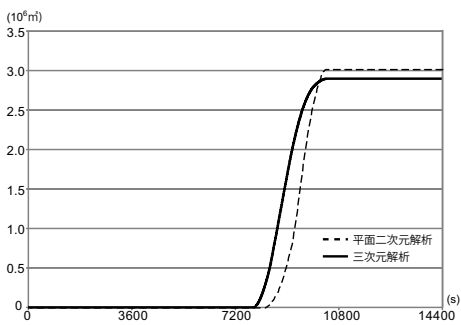
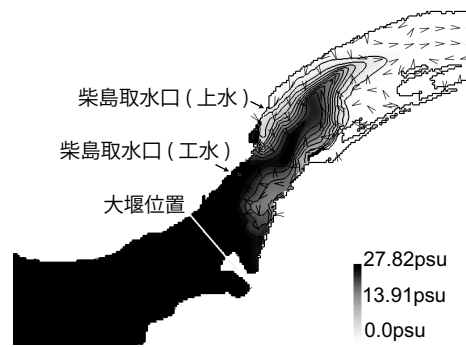


図-8 越流量変化，河川流量  $196 \text{ m}^3/\text{s}$

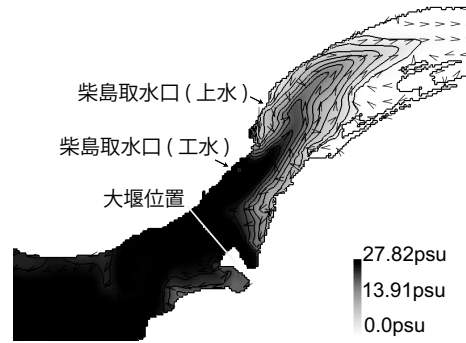
のことから解析された越流量は妥当な値であるといえる。

## (2) 塩水挙動解析結果

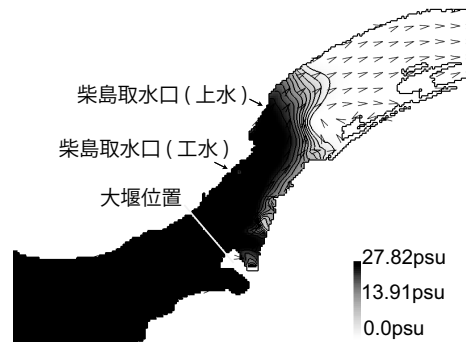
高濃度の塩水が最も上流にまで到達する地震発生 9,960 秒後の図-9 に各ケースの取水口断面における塩水分布を表示した。同図では塩分を実用塩分 (psu) で表した。すべての解析結果において、高濃度の塩水は柴島浄水場取水口 (上水) をも超え上流へと遡上している。また、右岸側がより上流にまで塩水が遡上している様子がわかる。



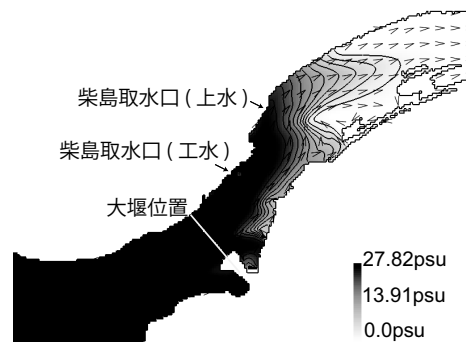
a) 三次元解析，河川流量:  $62 \text{ m}^3/\text{s}$  (地震発生 9,960 秒後)



b) 三次元解析，河川流量:  $196 \text{ m}^3/\text{s}$  (地震発生 9,960 秒後)



c) 平面二次元解析，河川流量:  $62 \text{ m}^3/\text{s}$  (地震発生 9,960 秒後)



d) 平面二次元解析，河川流量:  $196 \text{ m}^3/\text{s}$  (地震発生 9,960 秒後)

図-9 取水口を含む断面における塩水分布

これは、左岸側は淀川大堰上流部で大川と分流しており、大川へと向かう流れにより塩水遡上が抑えられることが原因であると考えられる。

以上より淀川を遡上した塩水は淀川大堰を越流後、淀川大堰の約 1km 上流にまで高濃度の塩水が達することがわかった。

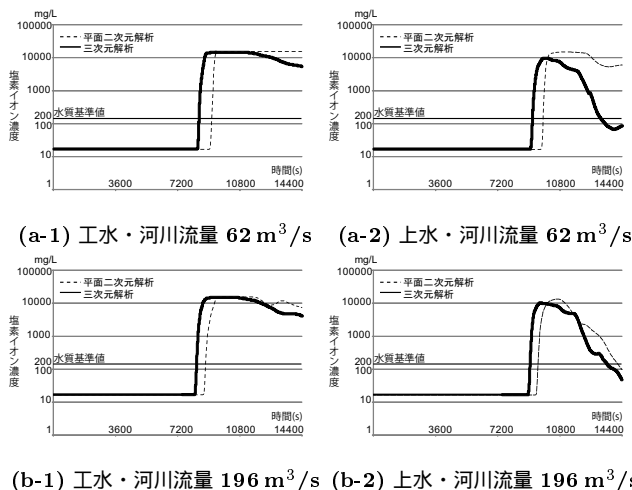


図-10 取水影響評価結果 (柴島取水口)

### (3) 取水影響評価

図-10 は柴島取水口 (上水・工水) 位置を含む計算格子の塩素イオン濃度を水質基準 (塩素イオン濃度 200mg/L 以下) と比較したものである。なお、1 mg/L=1 psu×1000 / 1.80655 の関係がある。

三次元解析の結果、津波が淀川大堰を越流した直後の地震発生約 2 時間 20 分後から水質基準を大幅に上回る高濃度の塩水が到達し、塩素イオン濃度のピークは、河川流量の違いや取水口の違いにかかわらず、10,000[mg/L] 程度となった。これは二次元解析結果でも同様であった。

ピーク後の挙動についても、三次元解析と二次元解析で河川流量 62 m³/s、上水放水口 (図-10 (a-2)) のケースをのぞいておおむね同様の結果を得た。図-10 (a-2) のケースで局所的に違いが出たのは、平面二次元では全層 (水面から河床まで) を評価しているのに対し、三次元解析がそのうちの取水口断面 (を含む格子) のみを評価しているためと考えられ、三次元解析の方が現実に近い結果、平面二次元は平均された結果であると考えられる。

## 8. まとめ

東南海・南海地震時に淀川で発生が懸念される河川遡上に伴う浄水場の塩水被害を対象に、取水口での塩分挙動を予測するための数値解析コードの構築を行った。また、平面二次元解析も併せて行い、解析結果の定量的な妥当性を確認した。本研究により得られた成果は以下のようなものである。

- 構築した三次元密度流コードにより、津波が淀川を遡上し淀川大堰を越流する挙動を把握したところ、淀川河口より 20 km 上流にまで津波の影響により水位上昇がみられることがわかった。
- 三次元解析と平面二次元解析の結果を比較したところ、淀川大堰に到達する津波の挙動や越流量、柴島浄水場の柴島取水口 (上水) および東淀川浄水場の

柴島取水口 (工水) 前面での塩分最大値などがほぼ一致しており、それらの値の妥当性が二つの手法により確認されたと言える。

- 一方、2 つの柴島取水口 (上水・工水) 前面における塩分の滞留については、三次元解析と平面二次元解析で一部 (河川流量 62 m³/s、柴島取水口 (上水) のケース) で異なる結果となった。この違いは、三次元解析が取水口断面のみを評価しているのに対し、平面二次元では全層を評価しているために、三次元解析の方が現実に近い結果、平面二次元解析の方は全層の平均値になっていると考えられた。

以上のように、著者らがこれまで実施していた平面二次元解析に加え、三次元密度流解析を行い、両者を比較することで、実験や実測が難しい現象に対し、一定の信頼性を持って評価することができた。また、塩分濃度が急増するタイミングやピーク値は、平面二次元解析でも十分予測できていることも分かった。

大阪市水道局では、今後本研究で構築した三次元密度流解析コードを用いて、様々な河川流量、潮位等を変化させた解析を行い、取水停止時間を予測するとともに、停止期間中の処理水の確保等を検討する予定である。

なお、本研究の解析結果では、今回は計算領域の海側境界を河口としたため、河口で与えている水位変化と計算された大堰からの反射波との整合がとれず、地震発生から 4 時間で計算終了とした。このため、柴島取水口 (工水) において、二・三次元とも計算終了の 4 時間経過後も、塩分濃度が高い状態が続いたが、それ以降の挙動把握ができなかった。今後の計算では三次元解析領域をさらに沖側に拡大し、計算時間を延長する予定である。

### 参考文献

- 松宮弘信・米山 望・田中尚・鮫島竜一・佐藤広章：河川遡上津波発生時の淀川大堰上流部における塩水挙動解析，自然災害科学，Vol.28-2，pp.125-135，2009.9.
- 米山 望，松山昌史，田中寛好：1993 年北海道南西沖地震津波における局所遡上の数値解析，土木学会論文集，No.705/II-59，pp.139-150，2002.
- 米山 望・井上素行：三次元数値解析による揚水発電所貯水池内水温・濁質挙動の予測手法，土木学会論文集，No.684/II-56，pp.127-140，2001.
- 東南海・南海地震津波対策検討委員会事務局：平成 15 年度東南海・南海地震津波等対策検討委員会報告，2004.3
- Hirt, C. W. and Nichols, B. D. : Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries, *Journal of Computational Physics*, Vol.39, pp.201-225, 1981.
- Patankar, S.V. and Spalding, D.B. : A Calculation Procedure for Heat, Mass and Momentum Transfer in Three-Dimensional Parabolic Flow, *Journal of Heat Mass Transfer*, Vol.15, pp.1787, 1972.
- 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫：GIS を利用した津波遡上計算と被害推定法，海岸工学論文集，第 45 巻，pp.356-360，1998.
- 土木学会：水理公式集 [平成 11 年度版]，pp.89，1999. (2010.4.8 受付)