

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

松宮弘信*・米山 望**・田中 尚***・鮫島竜一***・佐藤広章****

Numerical Analysis of Salt Water Behavior Caused by River-Runup of Tsunami in the Upstream Part of the Yodo River Weir

Hironobu MATSUMIYA *, Nozomu YONEYAMA **,
Takashi TANAKA ***, Ryuichi SAMEJIMA ***,
and Hiroaki SATO ****

Abstract

If Tounankai - Nankai earthquake occurs, the associated tsunami will strike Osaka about 2 hours after the main shock and ascend Yodo river in Japan 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 two dimensional tsunami propagation model and the two or three 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 kousui intake.

キーワード：津波，河川遡上，東南海・南海地震，塩水，浄水場

Key words：Tsunami, river-runup, Tounankai-Nankai earthquake, salt water, water treatment plant

* 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻
Department of Urban Management, Graduate School of
Engineering, Kyoto University

** 京都大学防災研究所
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

*** 大阪市水道局
Osaka City Waterworks Bureau
**** (株) ニュージェック
Newjec Inc.

本報告に対する討論は平成22年2月末日まで受け付ける。

1. はじめに

東南海・南海地震が発生した場合、地震自体や津波などにより様々な被害が複合的に発生することが予測され、これらの被害の軽減を目的とした様々な検討が各方面で行われている。著者らは災害時発生する被害の詳細をできるだけ正確に予測しておくことが被害軽減のための重要な要素であると考え、様々な現象を対象に地震や津波発生時の被害予測に関する研究に取り組んでいる。

本研究では、津波が河川を遡上した場合に河口堰上流で発生が懸念される塩水被害について検討する。河口堰は海水が河川へ侵入することを防ぐ役割があり、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。一般的な処理方法である凝集沈澱・砂ろ過方式の浄水場では、津波の越流により塩水が混入すると、処理機能が低下し、その結果、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。このため、塩水を取水する恐れがある場合には、水道事業者は直ちに取水を停止する必要がある。以上から、津波発生時に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り、これを本研究の目的とする。

本研究のように、津波の河川遡上時に河口堰を越流する塩水の挙動を予測したうえで、水道供給の観点から塩分濃度を評価・検討した例は、著者らの一連の研究^{1,2)}以外では、これまでのところ報告されていない。

以下では、本研究で対象とした淀川および淀川大堰について概要と運用方法について説明した後、平面二次元津波挙動解析とその結果を示す。さらにその結果を用いて行った、鉛直二次元、平面二次元、三次元の塩水挙動解析とその結果について説明し、取水影響の評価結果について示す。

2. 東南海・南海地震の概要³⁾

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、フィリピン海プレートが陸側のプレートに潜り込み、陸

側のプレートの変形が限界に達したとき、元に戻ろうとして発生す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、最近では昭和19年に東南海地震および昭和21年に昭和南海地震が発生しているため、次は21世紀前半にも発生する可能性がある。また、特徴として、マグニチュード8程度という我が国で発生する最大級の地震が想定されており、被害が極めて広域にわたること、津波被害が甚大なことがあげられる。昭和21年の昭和南海地震においてもマグニチュード8.0、被害は中部以西の日本各地に及び、死者1,330名、全壊23,487戸、津波は静岡から九州までの広範囲に襲来し震源域に近い高知・三重・徳島沿岸では4～6 mに達した。

このため次の地震の被害を最小限に抑えるため、国、地方公共団体、地域住民等が連携をとって防災対策を推進しており、大阪府・和歌山県・大阪市でも「東南海・南海地震津波対策検討委員会⁴⁾を設置し、防災対策を行っている。

大阪では、震源域に近い地域に比べ、到達までに若干の時間的猶予があるとされているものの、特に津波による被害が懸念される。このため津波挙動解析を実施し、被害の予測に努めている。津波挙動解析を実施するにあたり条件として重要なものは波源モデルの設定である。波源モデルとは、海底地盤で断層変位が生じた直後の海面の隆起・沈降の空間的分布を示すものである。現在、大阪湾内に襲来する津波の挙動解析には以下の3つの波源モデル(A, B, C)からいずれかを採用するのが一般的である。モデルAは1854年の安政南海地震(M8.4)の断層モデルを対象地点で最も危険となる位置(南海トラフ上)に移動させたモデルであり、特徴として大和川から大阪府境までのエリアにおいて水位が最大となる。モデルBは中央防災会議によって想定された東海・東南海・南海地震が三連続で発生するモデルであり、特徴としてモデルAと後述するモデルCとのほぼ中間的な最高津波水位となるエリアが多く、淀川河道内では最高津波水位は最も低くなる。モデルCは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であり、

特徴として大阪港を含む大和川以北エリアにおいて水位が最大となる。本研究では、モデルCを用いている。

3. 淀川および淀川大堰の概要¹⁾

淀川は、その源を滋賀県山間部に発する大小支川を琵琶湖に集め、大津市から南流し、桂川と木津川を合わせて大阪平野を西南に流れ、途中神崎川及び淀川大堰で大川(旧淀川)を分派して大阪湾に注ぐ、幹川流路延長75km、流域面積8,240km²の一級河川であり、流域は、近畿二府四県に及んでいる。淀川には、流域に暮らす人々の生活や産業に必要な水を供給するため、様々な水道事業者の取水口が設けられている。

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および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から大川に供給する役割を担っている。大堰から上流約24kmの区間に大阪市が管理する凝集沈澱・砂ろ過方式の浄水場取水施設が6箇所存在する(図1参照)。また、大川から大阪市内へ河川維持のための流量が供給されている。

大堰の全幅は330mであり、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いる。そして、これらのゲートを操作することにより、上流側水位をO.P.+3.0m(O.P.は大阪湾最低潮位)に保つとともに、大川への

放流量が120m³/sを超えないように調節している。図2に大堰ゲートおよび毛馬水門の模式図を示す。

近い将来発生が予測されている東南海・南海地震発生時、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、淀川大堰では地震時に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。

4. 検討に用いた淀川の河川流量

淀川大堰を越流する塩水量や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の影響を受ける可能性がある。また、河川流量によりゲートの開度が異なるため、大堰を越流する塩水量も大きく変化する。これらを考慮するため、本研究では、上流からの河川流量を5ケース(62, 196, 500, 820, 3,000m³/s)想定して検討を行った。

淀川大堰のゲート操作は、次のように行われている(図2参照)¹⁾。まず、河川流量120m³/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820m³/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。820m³/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節し、3,000m³/sを超えると、全ゲートを開放する。本研究での検討に用いた流量の位置づけと放流量、



図1 淀川大堰および取水口位置

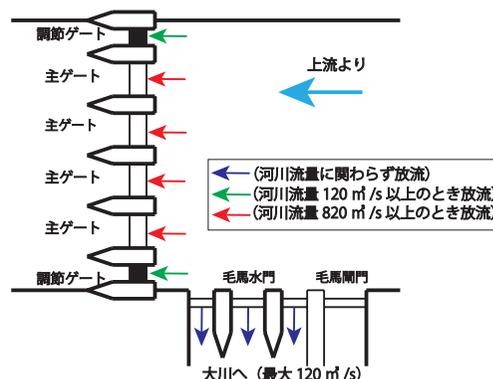


図2 淀川大堰模式図

ゲート高さを以下に示す（図3参照）。

河川流量 $62\text{m}^3/\text{s}$ は、渇水時に頻度が高い流量である。 $120\text{m}^3/\text{s}$ を下回っているため、淀川大堰の全ゲートが閉鎖され、大川へ全て放流される。このときの主ゲートの高さは、O.P. + 3.8mであり、調節ゲートの高さはO.P. + 3.6mである。

河川流量 $196\text{m}^3/\text{s}$ は、平水時にもっとも頻度の高い流量である。大川へ $120\text{m}^3/\text{s}$ が放流され、両端の2つの調節ゲートから $38\text{m}^3/\text{s}$ ずつ淀川に放流し、主ゲートは全閉している。主ゲートの高さは、O.P. + 3.8mであり、調節ゲートの高さはO.P. + 2.3mである。

河川流量 $500\text{m}^3/\text{s}$ は、調節ゲートの操作を開始する $120\text{m}^3/\text{s}$ と主ゲートの操作を開始する $820\text{m}^3/\text{s}$ の中間の流量である。 $196\text{m}^3/\text{s}$ から $820\text{m}^3/\text{s}$ へ変化する過程の塩水挙動を確認するため実施した。大川へ $120\text{m}^3/\text{s}$ が放流され、両端の2つの調節ゲートから $190\text{m}^3/\text{s}$ ずつ淀川に放流し、主ゲートは全閉している。主ゲートの高さは、O.P. + 3.8mであり、調節ゲートの高さはO.P. + 0.9mである。

河川流量 $820\text{m}^3/\text{s}$ は、主ゲートを開く操作を始める基準の流量である。大川へ $120\text{m}^3/\text{s}$ が放流され、両端の2つの調節ゲートから $350\text{m}^3/\text{s}$ ずつ淀川に放流し、主ゲートは全閉している。主ゲートの高さは、O.P. + 3.8mであり、調節ゲートの高さはO.P. - 0.2mである。

河川流量 $3,000\text{m}^3/\text{s}$ は洪水時の流量である。大川へ $120\text{m}^3/\text{s}$ が放流され、淀川大堰は主ゲートと調節ゲートを全て開放し、合計で $2880\text{m}^3/\text{s}$ 放流する。

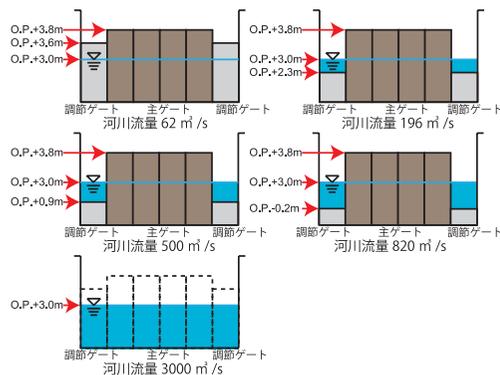


図3 淀川大堰天端高

主ゲート及び調節ゲートの高さはO.P. - 4.0mである。

5. 平面二次元津波挙動解析

5.1 解析方法

本研究で塩水挙動解析を行う際の対象領域の流れ場を求めるために行った津波挙動解析には、平成15年度に大阪府・和歌山県・大阪市が開催した「東南海・南海地震津波対策検討委員会」で採用された平面二次元津波計算法を用いた。対象津波には、先述の3つのモデルから淀川大堰上流部への越流量がもっとも多いモデルとしてモデルCを選んだ⁴⁾。

平面二次元津波挙動解析の基礎式⁵⁾を以下に示す。

<連続式>

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

<非線形長波理論式>

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \frac{M^2}{D} + \frac{\partial}{\partial y} \frac{MN}{D} + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} = fN - \frac{gn^2MQ}{D^{7/3}}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \frac{MN}{D} + \frac{\partial}{\partial y} \frac{N^2}{D} + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} = -fM - \frac{gn^2NQ}{D^{7/3}}$$

ここで、 η ：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、 f ：コリオリ定数、 n ：マニングの粗度係数、 $Q = \sqrt{M^2 + N^2}$ である。

平面二次元津波挙動解析の計算条件を以下に示す。差分スキームは、空間差分としてスタックカード格子法、時間差分として中央差分を用いた二次精度の差分法であるリーブ・フロッグ法を用いた。ただし、運動方程式における移流項の取り扱いには計算の安定性を考慮して一次精度の風上差分を用いた。

越流公式として以下の本間公式を用いた。

$$H_d \geq \frac{2}{3} H_u \text{ の場合 (完全越流)}$$

$$Q_c = \mu_1 H_d B \sqrt{2gH_d}$$

$$H_d \geq \frac{2}{3}H_u \text{ の場合 (もぐり越流)}$$

$$Q_e = \mu_2 H_u B \sqrt{2g(H_d - H_u)}$$

ここで、 Q_e : 越流量, μ_1, μ_2 : 流量係数でそれぞれ0.35, 0.91, H_d, H_u : それぞれ下流側・上流側の越流水深, B : 基本格子一辺の幅である。

初期水位 η は, Manshinha and Smylie⁶⁾の方法により推定された海底面の隆起・沈降量をそのまま海面の水位変動量とみなした。この時, 各計算格子における流量フラックス M, N はゼロである。

計算潮位は朔望平均満潮位 (O.P. +2.10 m) とした。計算時間は, 1 タイムステップを0.3秒とし, 河川流量62, 196, 500, 820 m³/s では地震発生から12時間, 河川流量3,000 m³/s では地震発生から8時間とした。

計算格子は, 地形形状は現在計画中の新島などを考慮にいれた将来的な海岸地形を用いた。格子間隔は, 大領域から小領域へと領域接続を行いつつ, 計算範囲ならびに格子間隔を狭めていく手法を用いた。具体的には, 波源域を含む沖合で最大1,350 mとし, そこから徐々に450 m, 150 m, 50 m, 25 mと細分化していく。そして本研究の対象領域である淀川河道を含む大阪湾内では, 淀川河道は直線的で単純な形状であるものの, 淀川の支川にあたる大川の河道は狭隘かつ曲線的であるため, これをモデル化し得る格子間隔を設定する必要がある。このため, 以下に示す C.F.L. 条件を鑑み, 適切な格子間隔として12.5 mを採用した。

$$\frac{\Delta s}{\Delta t} > \sqrt{2gh_{max}}$$

なお, Δs は格子間隔 (m), Δt は計算ステップ (s), h_{max} は計算領域内の最大水深 (m) である。

この場合, 小領域の沖側境界では, 大領域からの進入波と, 陸側境界で反射した波が沖側 (大領域側) へと戻っていく反射波が混在することとなる。仮に沖側境界で波を強制入力した場合, 計算領域内からの反射波が沖側境界を自由透過できなくなるため, 本解析では, 進行性長波の特性曲線

を解析モデルに取り入れた後藤ら^{7,8)}の手法により, この反射波を沖側へ自由透過させた。

陸域境界では, 淀川河道内のみ高水敷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⁹⁾。それ以外の領域では通常, 津波が陸上に遡上しない堤防等の壁面との境界面では, 津波は完全反射するものとし, 壁面に直角な流量をゼロとする完全反射境界とした。

渦動粘性係数は, 値を小さくすれば津波水位は大きくなる傾向を示す。本解析では津波防災の観点から安全側で解析を行うことが望ましいと判断し, 0.0とした。マンニングの粗度係数は, 海底を規則的な断面を持つ大流路として考え0.025 m^{-1/3}sとした¹⁰⁾。解析範囲は東南海・南海地震の波源域から楠葉取水口付近 (淀川河口から34 km 上流) までとした。

5.2 解析結果

図4は河川流量196 m³/sにおける最大津波水位図である。同図から津波が河川遡上することにより, 河口から30 km 上流まで影響が及ぶことが分かる。

図5に河川流量62, 196, 500, 820 m³/sの淀川大堰直下流位置での津波の水位変化を示す。なお, 河川流量3,000 m³/sでは淀川大堰の全てのゲートを開放し, 水面が平常時においても連続しているため, 水位変化, 総越流量に関しては比較

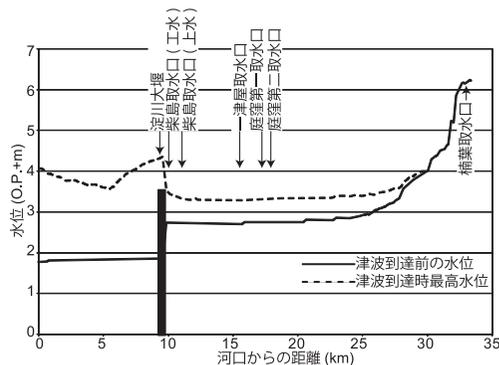


図4 最大津波水位図 (河川流量196 m³/s)

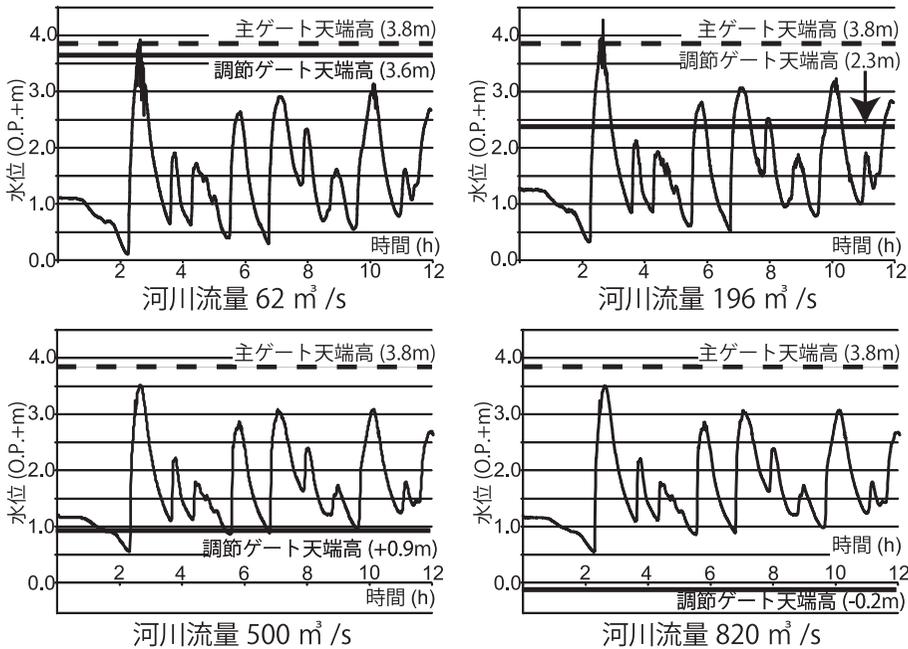


図5 淀川大堰下流位置での水位変化

の対象外とした。淀川を遡上する津波は、本研究で検討したケースでは、地震発生約2時間30分後に第1波目が淀川大堰に到達している。その後、第2波目以降も第1波より波高が小さいが、淀川大堰に到達している。

淀川大堰から上流への越流に関しては、河川流量 $62\text{m}^3/\text{s}$ では、全ゲートの天端高が高いため第1波目のみ淀川大堰を越流する。河川流量 $196\text{m}^3/\text{s}$ では、天端高の高い主ゲートは第1波目のみ越流する。しかし、天端高の低い調節ゲートを越える波は第2波目以降も到達している。河川流量 $500, 820\text{m}^3/\text{s}$ では、天端高の高い主ゲートを越える波は一度も到達しないが、天端高の低い調節ゲートを越える波は到達している。

なお、地震発生後12時間までの総越流量の計算結果は、河川流量 $62, 196, 500, 820\text{m}^3/\text{s}$ でそれぞれ、約 $40\text{万}\text{m}^3$ 、約 $238\text{万}\text{m}^3$ 、約 $766\text{万}\text{m}^3$ 、約 $1,261\text{万}\text{m}^3$ であった。

図6に越流発生前後の淀川大堰近傍の流速変化(河川流量 $196\text{m}^3/\text{s}$)を示す。津波が大堰に到達する前の地震発生2時間20分後では、上流からの流

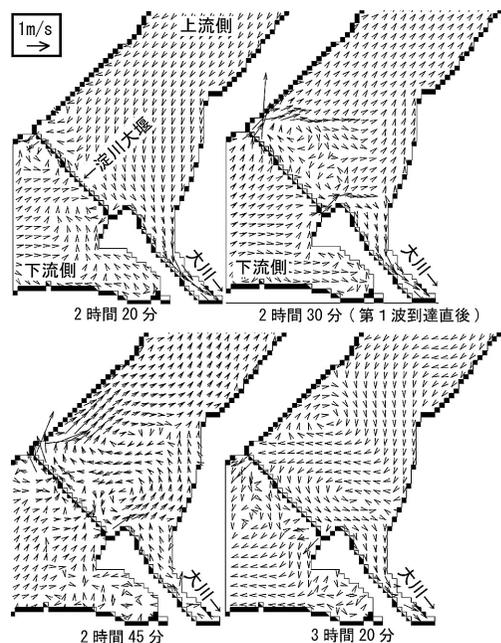


図6 淀川大堰近傍の流速変化(河川流量 $196\text{m}^3/\text{s}$)

れが大川および大堰両端の調節ゲートから放流されていることがわかる。津波到達後の地震発生2時間30分後、45分後では、流速ベクトルが上流に向かうとともに、大堰直上流では複雑な流況になっている。さらに、地震発生3時間20分後では、上流に向かう流速ベクトルが解消されつつあることがわかる。以上から、塩水は流速が上流の向きを示している間に上流側に運ばれる可能性があること、大堰直上流では複雑な流況を呈することがわかる。

6. 塩水挙動解析

前節で示した平面二次元津波挙動解析結果を用いて、塩水挙動解析を行った。本研究の塩水挙動解析では、以下の標準的な移流拡散方程式を用いて行う。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(u_j C - K_j \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) = 0$$

ここで、 C : 塩分濃度、 u_j : 流速の各方向成分、 K_j : 各方向の拡散係数である。

実現象では、塩水の密度により沈降しながら拡散することが予想されるが、その挙動を再現するためには、流動場を密度流として解析する必要がある。本研究の検討では、流速場を平面二次元津波解析結果に固定しているためそのような解析ができない。このため、実現象では本解析結果よりも塩分濃度分布が下層にシフトしている可能性がある。

以下では、鉛直二次元塩水挙動解析の概要と結果について説明した後、この結果を踏まえて行った平面二次元、三次元の詳細解析結果について説明する。

6.1 鉛直二次元塩水挙動解析

淀川河口から河口上流34kmまでの範囲を対象に鉛直二次元塩水挙動解析を行った⁴⁾。

計算条件を以下に示す。計算格子は、河道方向に200m間隔、水深方向には1m間隔とした。計算時間間隔は、1秒とした。また、流下方向の流速は、平面二次元津波挙動解析の該当する断面平均

値を用いて以下のように設定した。津波が長波もしくはボアとして河川を遡上する場合、長波に対する流速分布になる。また、ボア状になって河川の流れに反して短時間で長距離にわたって水塊が移動するときには、ボアのフロントに大きな乱れが発生し、完全混合に近い状態になっていると推測されるため、津波遡上時は一様分布とした。津波流下時は、通常の河川流に近い状態となると考えられるため、対数則分布とした。鉛直方向の流速は、連続式をそれぞれの格子で満足するように設定した。淀川大堰からの越流量は先述の平面二次元津波計算と同様の本間の越流公式により算出された値を用いた。初期の塩分濃度は、淀川大堰上流側では、全ての計算ケースで 0.03kg/m^3 、淀川大堰下流側では、河川流量 $62,196\text{m}^3/\text{s}$ のケースで 27.82kg/m^3 、河川流量 $500\text{m}^3/\text{s}$ のケースで 15.00kg/m^3 、河川流量 $820\text{m}^3/\text{s}$ のケースで 10.00kg/m^3 とした。拡散係数は $0\text{m}^2/\text{s}$ とした。

最大塩素イオン濃度の計算結果（河川流量 $196\text{m}^3/\text{s}$ ）を図7に示す。なお、塩素イオン濃度と塩分濃度 C の換算式は、以下の式で表される。

$$C(\text{kg/m}^3) = \text{塩素イオン濃度}(\text{mg/L}) \div 1000 \times 1.80655$$

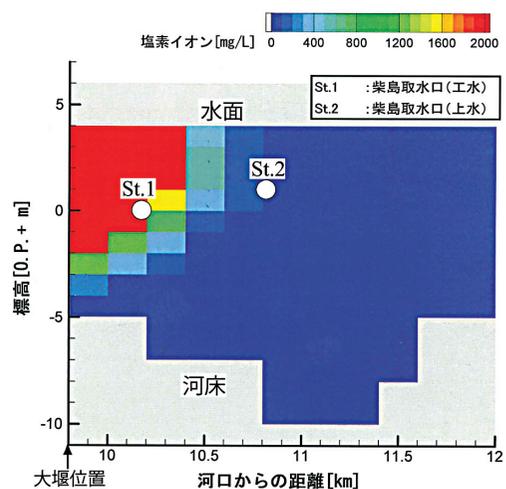


図7 鉛直二次元塩水挙動解析結果（河川流量 $196\text{m}^3/\text{s}$ ）

同図から塩水は大堰の上流 1 km 程度しか遡上しないため、主に影響を受けるのは、大堰に近い柴島取水口（工水）および柴島取水口（上水）のみであることがわかった。

6.2 塩水挙動の詳細解析

鉛直二次元解析の結果を踏まえ、柴島浄水場の 2 つの取水口を含む範囲（南北 1550.0 m、東西 1212.5 m）に限定した領域での塩水挙動を平面二次元および三次元手法により詳細に解析した。詳細解析の対象領域を図 8 に示す。

平面二次元塩水挙動解析条件を以下に示す。計算格子は、平面二次元津波計算と同じ 12.5 m 間隔とした。淀川大堰からの越流量、流速分布も平面二次元津波計算結果を用いた。拡散係数は $0.1 \text{ m}^2/\text{s}$ とした。

三次元塩水挙動解析条件を以下に示す。計算格子は、水平方向は平面二次元津波計算と同じ 12.5 m 間隔、鉛直方向は 2 m 間隔で河床を含む断面 O.P. - 5.1 m ~ - 3.1 m（断面 1）、O.P. - 3.1 m ~ - 1.1 m（断面 2）、O.P. - 1.1 m ~ + 0.9 m（断面 3）、水面を含む断面 O.P. + 0.9 m ~ + 2.9 m（断面 4）の四つに分割した。なお、断面 3 に柴島取水口（上水）O.P. + 0.100 m、断面 4 に柴島取水口（工水）O.P. + 1.168 m が含まれる。淀川大堰からの越流量、水平方向の流速分布は平面二次元津波計算結果を用いた。拡散係数は水平方向 $0.1 \text{ m}^2/\text{s}$ 、鉛直

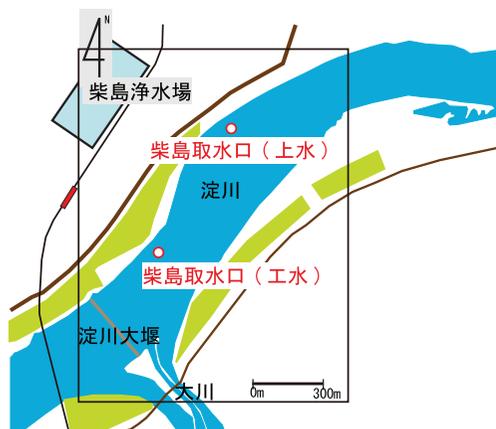


図 8 詳細解析の対象領域

方向 $0.0001 \text{ m}^2/\text{s}$ とした¹¹⁾。

初期塩分濃度、計算時間間隔、計算時間は平面二次元解析、三次元解析どちらにおいても同じ値を用い、塩分濃度は淀川大堰上流側を $0.03 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、淀川大堰下流側を $27.82 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、計算時間間隔は 0.3 s、計算時間は河川流量 $3,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以外の 4 ケースでは 12 時間、河川流量 $3,000 \text{ m}^3/\text{s}$ のケースでは 8 時間とした。

三次元解析による塩水挙動解析結果を柴島取水口（工水）を含む断面 4 について河川流量 $62 \text{ m}^3/\text{s}$ 、河川流量 $196 \text{ m}^3/\text{s}$ 、河川流量 $820 \text{ m}^3/\text{s}$ それぞれ図 9、図 10、図 11 に示す。河川流量 $62 \text{ m}^3/\text{s}$ では

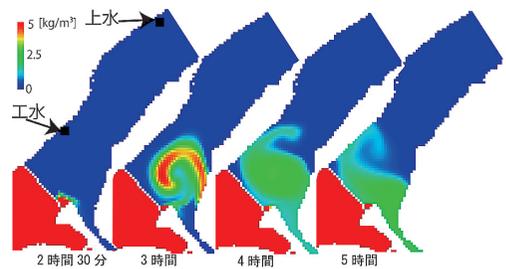


図 9 三次元塩水挙動解析結果河川流量 $62 \text{ m}^3/\text{s}$

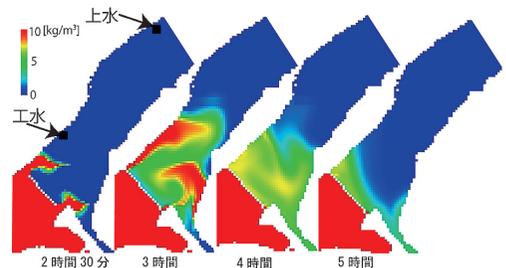


図 10 三次元塩水挙動解析結果河川流量 $196 \text{ m}^3/\text{s}$

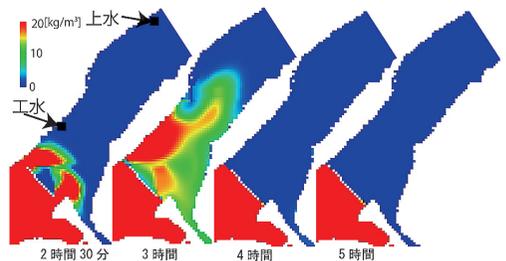


図 11 三次元塩水挙動解析結果河川流量 $820 \text{ m}^3/\text{s}$

越流する濃度は小さいが大堰上流に長時間滞留することや、その一方で、河川流量 $820\text{m}^3/\text{s}$ では越流する濃度が高いものの短時間で流下することなど、河川流量により塩水挙動が大きく異なることがわかる。

6.3 取水影響評価

詳細解析結果に基づいて、柴島取水口（工水）および柴島取水口（上水）における取水影響評価を行った。具体的には、2つの取水口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）と比較する。河川流量 $62, 196, 500, 820, 3,000\text{m}^3/\text{s}$ での各取水口での塩素イオン濃度の時間変化をそれぞれ図12, 図13, 図14, 図15, 図16に示す。これらの図には、鉛直二次元解析の結果もあわせて示している。これらの図よ

り以下のことがいえる。

- ・検討した河川流量において、柴島取水口（上水）前面には水質基準を超える塩水が到達しなかったが、各流量とも柴島取水口（工水）前面には水質基準を超える塩水が到達した。
- ・柴島取水口（工水）前面において塩素イオンS濃度が最大になったのは河川流量が $820\text{m}^3/\text{s}$ のケースで、最大値は $13,200\text{mg/L}$ となった。
- ・柴島取水口（工水）前面において水質基準を超えた時間が最大になったのは河川流量が $62\text{m}^3/\text{s}$ のケースで、超過時間は約5.5時間となった。

また、鉛直二次元解析結果と詳細解析結果は柴島取水口（工水）前面については第一波目においてある程度一致した。これは大堰直上流では塩水が河川水と十分混合するため、幅方向に分布を持たない鉛直二次元でも予測可能であったと考えら

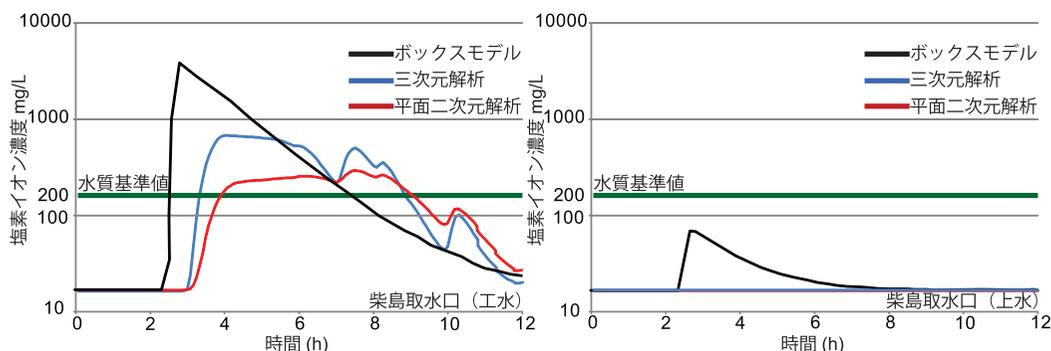


図12 取水影響評価河川流量 $62\text{m}^3/\text{s}$ (左：工水, 右：上水)

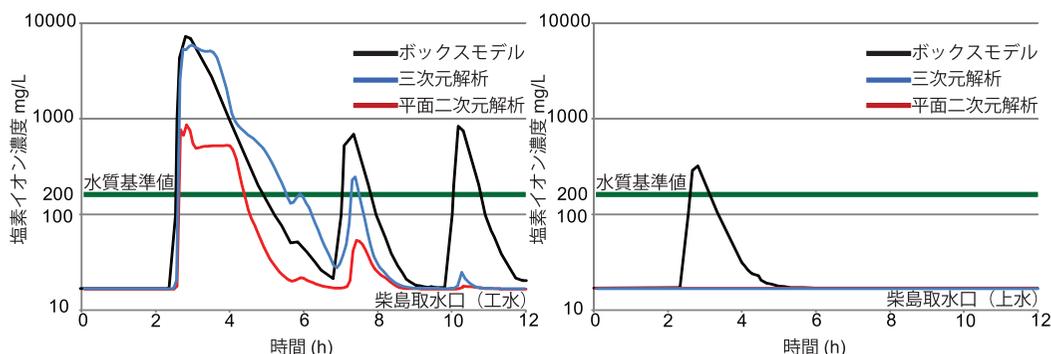


図13 取水影響評価河川流量 $196\text{m}^3/\text{s}$ (左：工水, 右：上水)

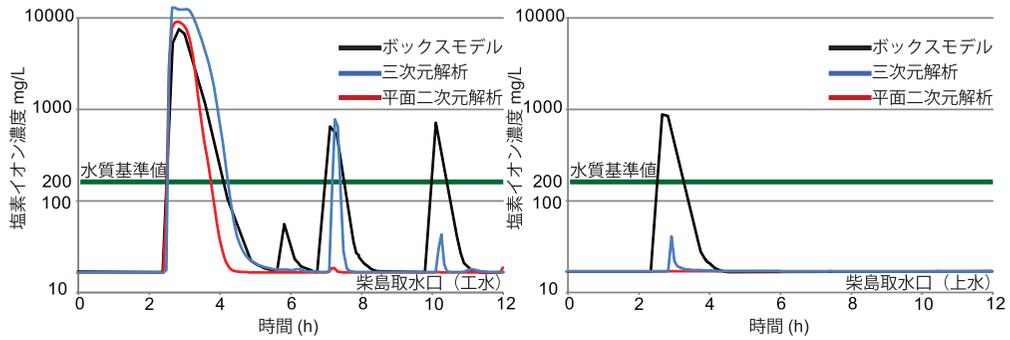


図14 取水影響評価河川流量 $500\text{m}^3/\text{s}$ (左：工水, 右：上水)

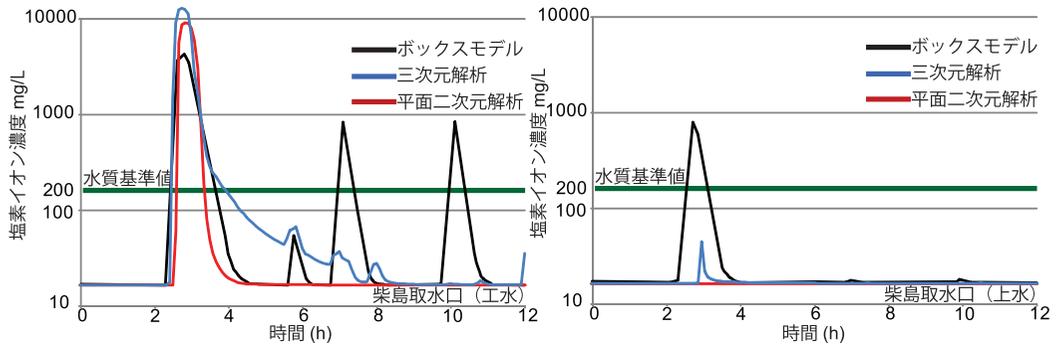


図15 取水影響評価河川流量 $820\text{m}^3/\text{s}$ (左：工水, 右：上水)

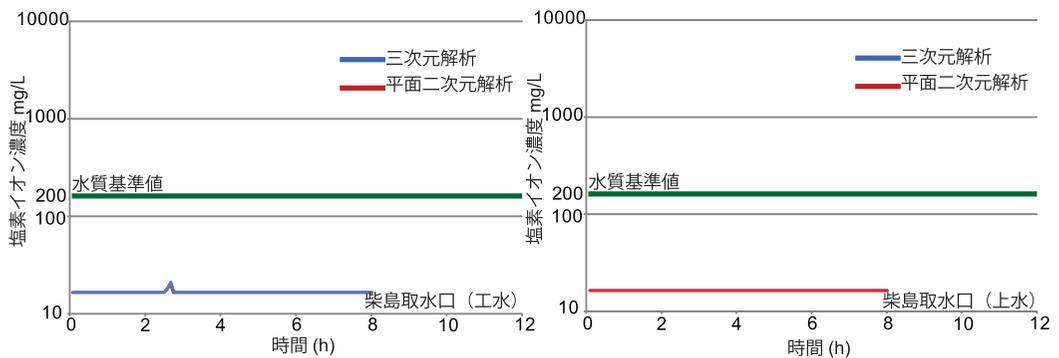


図16 取水影響評価河川流量 $3000\text{m}^3/\text{s}$ (左：工水, 右：上水)

れる。一方、柴島取水口（上水）前面で過大評価となったのは、鉛直二次元解析の流下方向のメッシュ分割を200mと大きくしたため塩水が上流に広がりやすくなっていたことが主な原因と考えられる。

7. まとめ

東南海・南海地震発生時に予測される淀川での河川遡上に関連して、平面二次元津波挙動解析により流動場を予測した上で、鉛直二次元、平面二次元、三次元の移流拡散計算をおこなって淀川大堰上流での塩水挙動について検討した。その結果、以下のことがわかった。

- ・波源を含めた津波挙動予測に通常用いられる平面二次元解析手法により、津波挙動を解析したところ、地震の条件によっては、津波が淀川を遡上し、その影響は、淀川大堰を越えて、河口から30km付近にまで及ぶことがわかった。
- ・渇水時、平水時に想定される河川流量下で、淀川大堰上流の塩水挙動を解析したところ、大堰に近い柴島浄水場の取水口付近では塩分濃度の上昇が見られるが、それより上流では上昇しないことがわかった。
- ・柴島浄水場の工水および上水の取水口前面での塩素イオン濃度を詳細に検討したところ、より大堰に近い、工水で水質基準を超える塩素イオン濃度が最大約5.5時間程度継続すること、上水では水質基準を超えないことがわかった。

本研究で、各種塩水挙動解析に用いた流動場は、一般的に用いられている平面二次元津波挙動解析手法により算出された流動場に固定した。しかし、実際には塩水は密度差により沈降しながら拡散していくと考えられるため、今後、密度差による流れの変化を考慮した三次元解析を実施することで、より高精度な現象把握に努めたい。

謝辞

本検討を実施するにあたり、多大なご協力、ご指導、および貴重なご意見を頂いた関西大学河田恵昭教授、京都大学防災研究所戸田圭一教授、国

土交通省近畿地方整備局淀川河川事務所に深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 大阪市水道局：淀川の津波遡上に伴う取水影響調査最終報告会資料，2006. 8.
- 2) 鮫島竜一・山野一弥・田中 尚・中井 隆・三島豊秋・佐藤広章：東南海・南海地震による淀川の津波遡上に伴う取水影響評価について，土木学会第62回年次学術講演会概要集，第2部門，pp573-574，2007. 9.
- 3) 内閣府，平成21年度版防災白書，pp93-97，2009. 5.
- 4) 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.
- 5) 土木学会：水理公式集 [平成11年度版]，pp491，1999.
- 6) Mansinha, L. and D.E. Smylie: The displacement fields of initial faults, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 61, No. 5, 1971.
- 7) 後藤智明・小川由信：Leap-Flog法を用いた津波の数値計算法，東北大学土木工学科資料，pp. 10-pp. 13，1982.
- 8) 後藤智明：津波・高潮数値計算プログラムマニュアル，pp. 20-23，1997（改訂）.
- 9) 岩崎敏夫・真野 明：オイラー座標による二次元津波遡上の数値計算，第26回海岸工学論文集，土木学会，pp. 70-74，1979.
- 10) 土木学会：水理公式集 [平成11年度版]，pp. 89，1999.
- 11) 廣田健次・柿木理史・綾 史郎：3次元数値実験による新淀川の流れと塩分濃度に関する研究，土木学会第57回年次学術講演会概要集，第2部門，pp225-226，2002. 9.

（投稿受理：平成21年3月31日
訂正稿受理：平成21年7月30日）