

淀川遡上津波の数値解析手法 の開発とその応用

M2 松宮 弘信

京都大学大学院工学研究科
都市社会工学専攻 都市耐水研究室

河川遡上津波とは

- 日本の大都市は沿岸部に多く、津波の被害を受けやすい。
- 津波は沿岸部に被害を与えるだけでなく、河川を遡上することがある。

※2003年十勝沖地震時
の河川遡上の様子



土木研究所 寒地土木研究所HP
<http://river.ceri.go.jp/rprt/tokachi/tokachi01.htm>
より引用

研究の目的

1. 淀川を対象に河川遡上津波の予測・評価.

◆ 想定地震：東南海・南海地震

津波は地震発生約2時間後に大阪湾に到達し、河口から約10km上流にある河口堰(淀川大堰)を越流する可能性がある。

2. 塩水が遡上するため、塩水による影響の予測・評価.

◆ 河口堰上流部に設置されている浄水場取水口への影響.

津波遡上に伴う塩水が、淀川大堰上流部に流入し、浄水場の取水口に到達することで浄水場の水処理に影響を与える可能性がある。

3. 河川構造物の被害.

◆ 淀川大堰に与える津波波力の評価**.

**大塚 健太：東南海・南海地震発生時における
淀川遡上津波の三次元数値解析(2009)

これまでの研究

1) 平面二次元津波遡上計算と鉛直二次元モデルを用いた予測・評価*

*鮫島ら, 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(2007)

2) 平面二次元津波遡上計算と平面二次元及び三次元塩分挙動解析を用いた予測・評価.**

**松宮ら, 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63回年次学術講演会(2008)

問題点

1)

- ・河道中央部を対象とした解析のため, 取水口のある河道端と流れが異なる.
- ・流下方向に200m間隔で分割しているため, 上流側に塩分が伝わりやすい.

2)

- ・平面二次元の津波遡上計算の水位・流速場を固定して用いるため,
淀川大堰周辺部の複雑な地形を考慮できない.
- ・密度流変化を取り扱うことができない.

今回の研究では・・・

- ◆ 淀川河口から約20km上流までの計算領域で、三次元の津波遡上計算を実行し、津波挙動の詳細な予測評価を行う。
- ◆ 塩水密度が変化することによっての変化を取り扱い、より詳細に塩水挙動を把握する。
- ◆ 以上で開発した手法の確認のため、従来より幅広く用いられている平面二次元塩水挙動解析を三次元解析と同条件で実施し、解析手法の確認を行う。

研究の進め方

①計算領域である河口から約20km上流までの計算格子を作成.



②「波源域からの平面二次元計算」*により, 下流端境界条件を取得.

*「東南海・南海地震津波対策検討委員会」(H15大阪府・和歌山県・大阪市)

波源モデル: 1946年の昭和南海地震(M8.0)の断層モデルを相似則によってM8.4にまで拡げたモデル



③各計算ケースごとに河川の平常時の状態を作成.



④作成した計算領域において, 三次元密度流解析.

この際, 下流端境界条件として②の結果を使用.



⑤平面二次元解析を, ④と同一条件で行い, 解析手法の確認.



⑥対象領域に含まれる浄水場取水口の塩水による取水影響を評価.

三次元解析手法(1/2)

- 計算領域を直交格子で分割

- 以下の基礎方程式を連立させて、

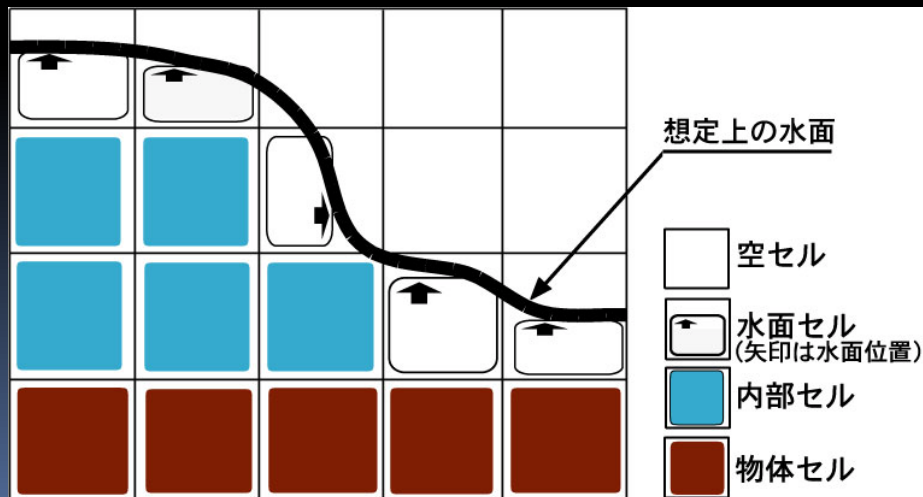
- 各計算格子での流速, 水の存在割合を算定する方法

 - 運動方程式(水平二方向と鉛直方向)

 - 連続の式(質量保存式)

 - VOF法に基づく水面方程式

- VOF法での流体表現法



計算セル内の流体配置を
流体充填率Fで表す

$$F = \frac{\text{計算セル内の流体体積}}{\text{計算セル内の空隙体積}}$$

三次元解析手法(2/2)

■ 基礎方程式

□ 連続式

$$\frac{\partial \tilde{u}_j}{\partial x_j} = 0$$

□ 水温, 塩水, 密度の関係式

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

□ 運動方程式(i=1,2,3)

$$\frac{\partial \bar{\rho} \tilde{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \bar{\rho} \tilde{u}_i \tilde{u}_j}{\partial x_j} = \bar{\rho} G_i - \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \bar{\rho} (v + v_t) \left(\frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \tilde{u}_j}{\partial x_i} - \delta_{i,j} \frac{2}{3} \frac{\partial \tilde{u}_k}{\partial x_k} \right) - \frac{2}{3} \bar{\rho} k \delta_{i,j} \right\}$$

□ 塩水の移流拡散方程式

$$\frac{\partial \bar{S}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(-\bar{S} \cdot \tilde{u}_j + \frac{v + v_t}{S_c} \frac{\partial \bar{S}}{\partial x_j} \right)$$

平面二次元解析手法

- 計算領域を直交格子で分割

- 以下の基礎方程式を連立させて、各格子での流速、水深を算定

- 運動方程式 (非線形長波理論式)

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2 M \sqrt{M^2 + N^2}}{D^{7/3}} = \nu \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2 N \sqrt{M^2 + N^2}}{D^{7/3}} = \nu \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right)$$

- 連続式

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

- 移流拡散方程式

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

C : 拡散物質の濃度

K_x, K_y : 拡散係数

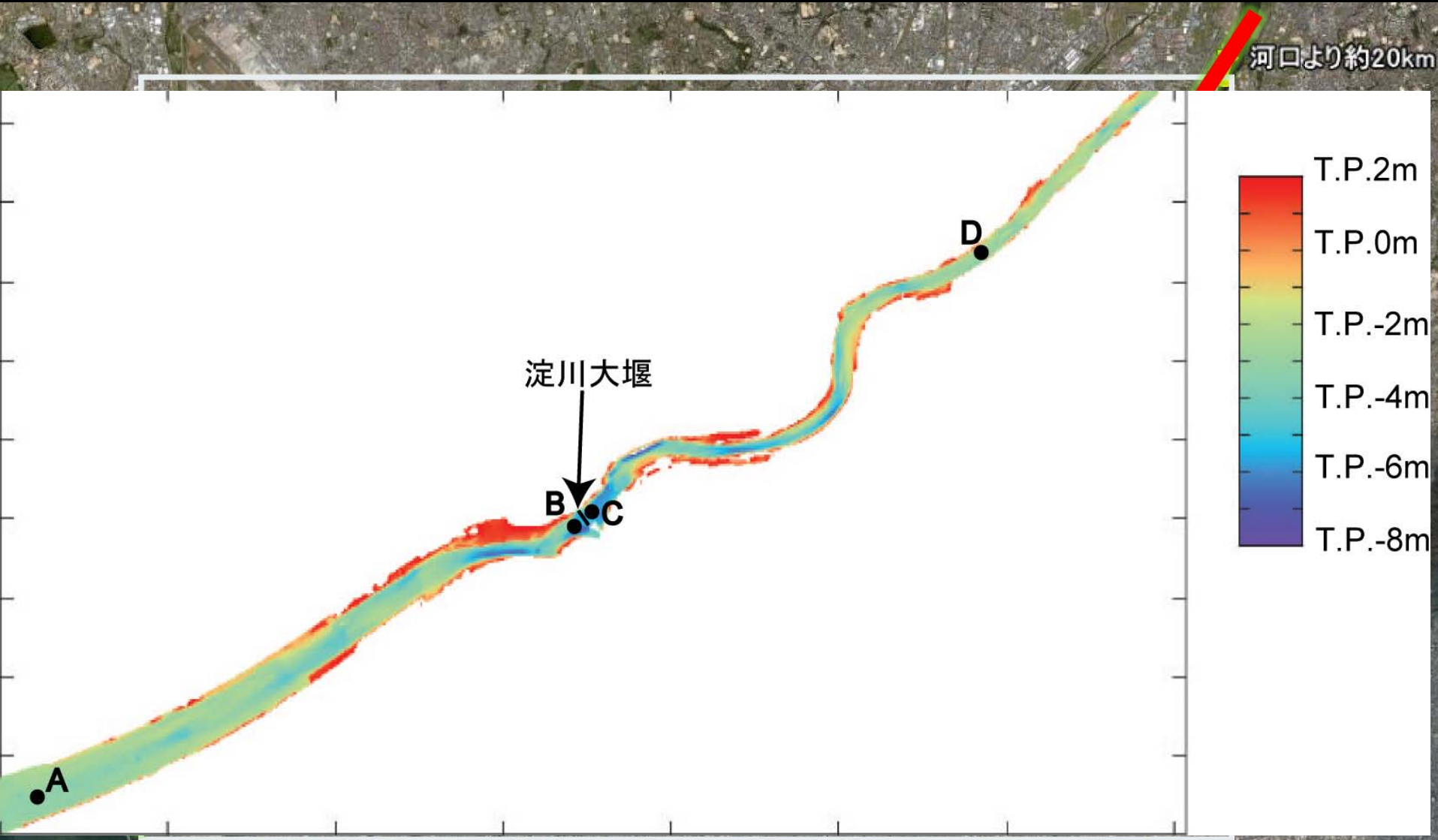
u, v : x, y 方向の流速

$S_i(C)$: 流体内部での発生または消滅の項

解析対象領域

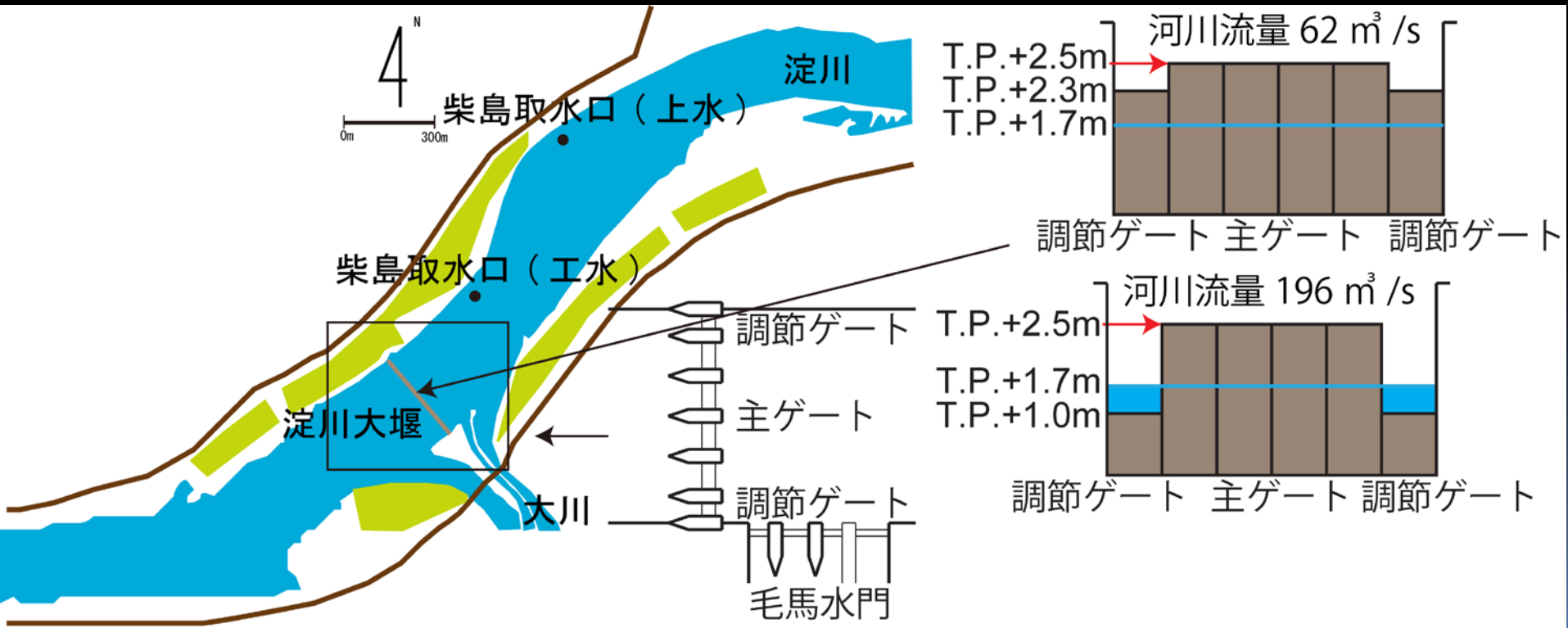
②計算領域を河口から20km付近にまでの領域.

上流端境界



津波解析ケース

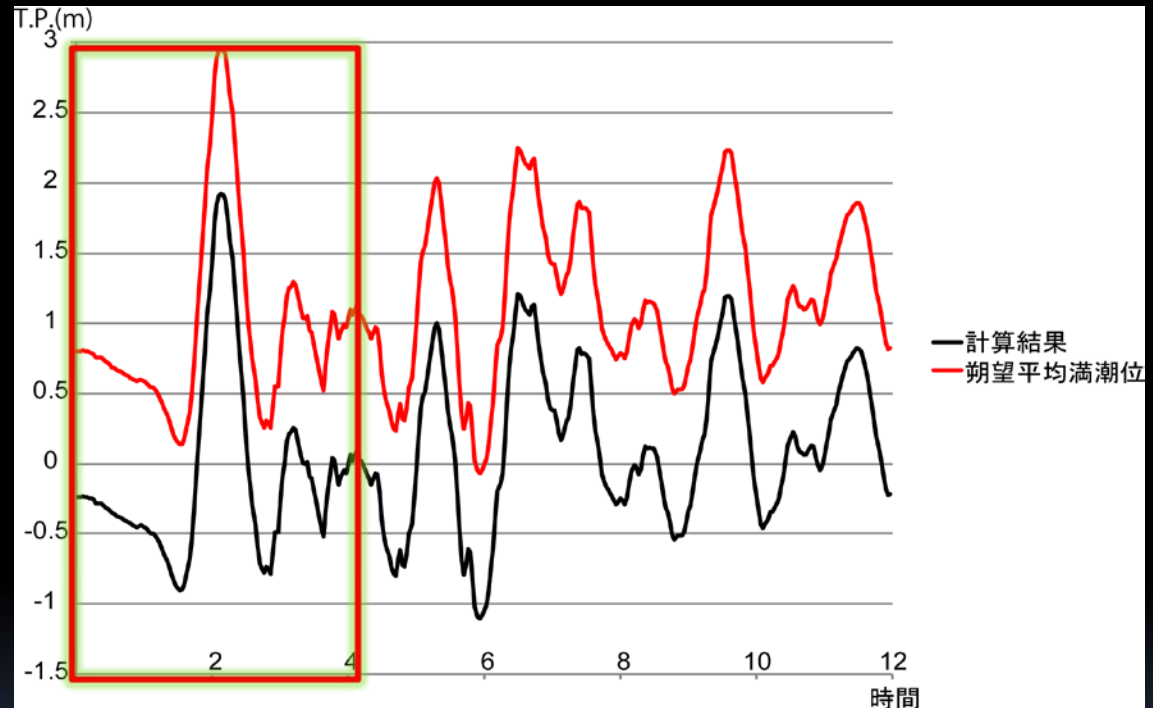
ケース	河川流量	大川への流量	主ゲート高	調節ゲート高	大阪湾潮位	解析手法
1	62m ³ /s			2.3m	T.P.0.8m	三次元解析
2	196m ³ /s	120m ³ /s	T.P.2.5m	1.0m		
3	62m ³ /s			2.3m	朔望平均満潮位	平面二次元解析
4	196m ³ /s	120m ³ /s		1.0m		



三次元解析条件

下流端境界条件:波源域からの淀川河口での津波計算結果.

*「東南海・南海地震津波対策検討委員会」(H15大阪府・和歌山県・大阪市)
1946年の昭和南海地震(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



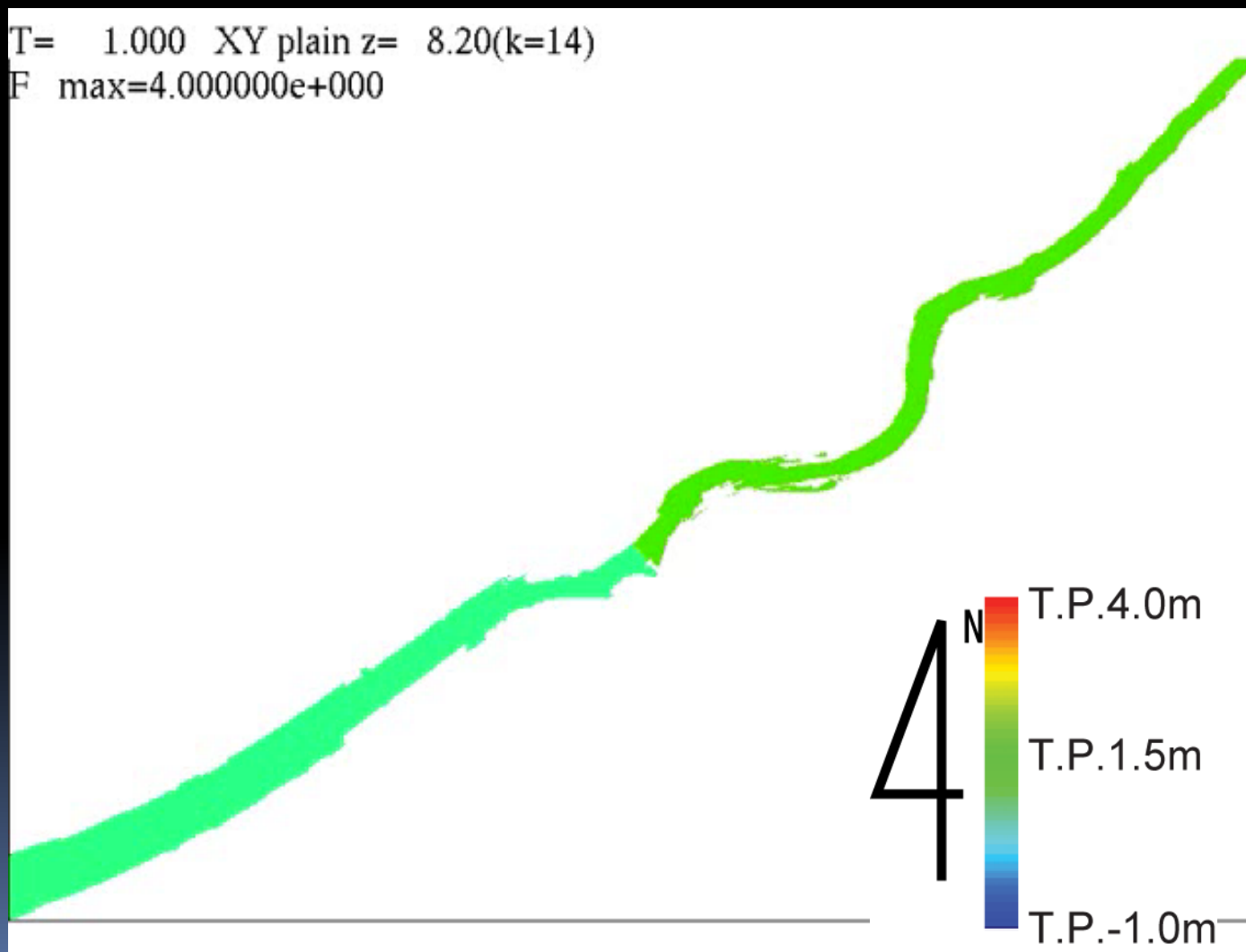
- 上流端境界・大川接続部:それぞれ規定の流量を設定.
- 格子間隔:水平方向12.5m四方, 鉛直方向2m
- 計算時間間隔:最大値として0.5秒を設定し, 変動させる.

三次元解析結果(ケース2)<領域全体>

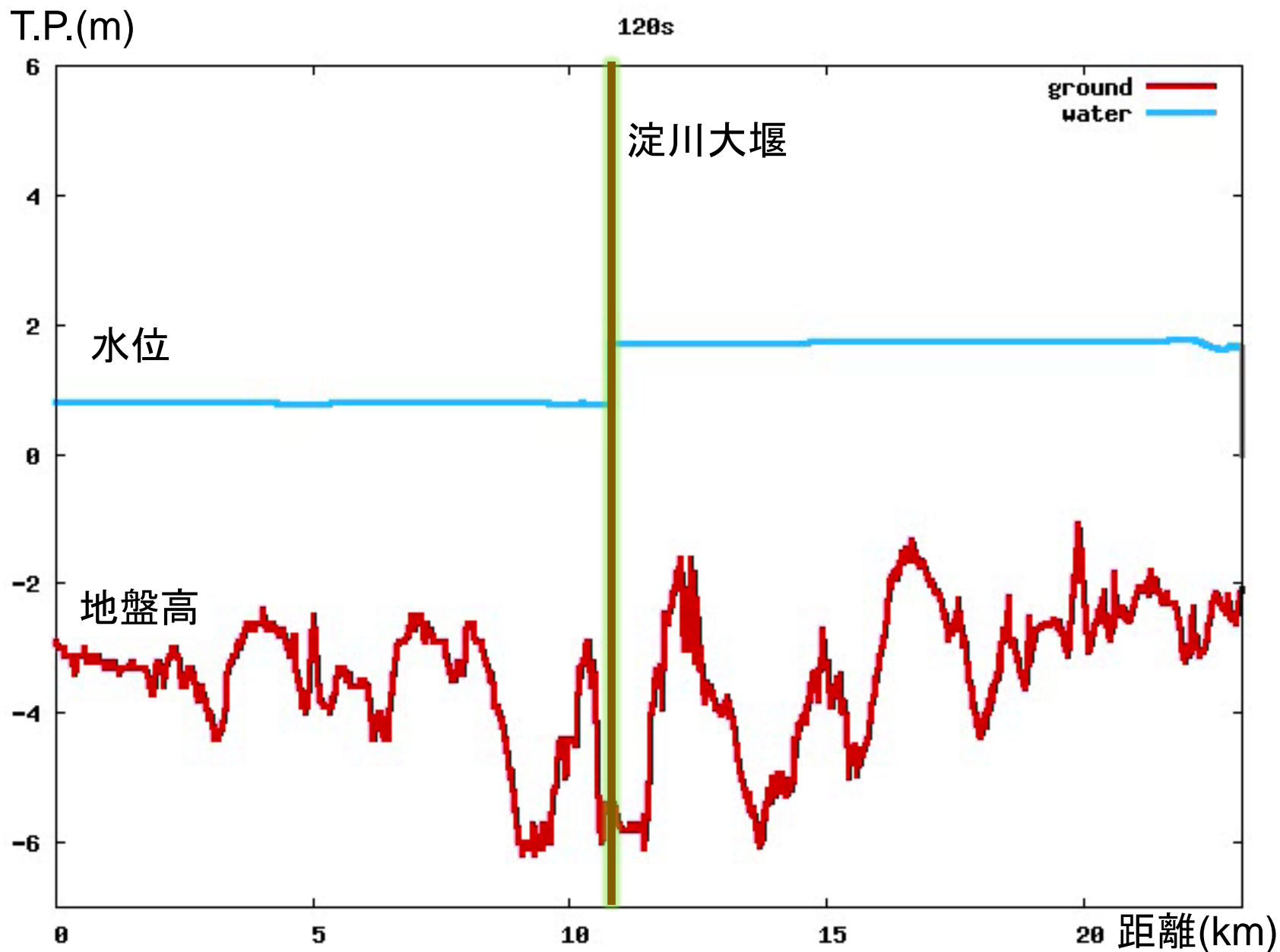
ケース	河川流量	大川への流量	主ゲート高	調節ゲート高	大阪湾潮位	解析手法
2	196m ³ /s	120m ³ /s	T.P.2.5m	1.0m	T.P.0.8m	三次元解析

T= 1.000 XY plain z= 8.20(k=14)

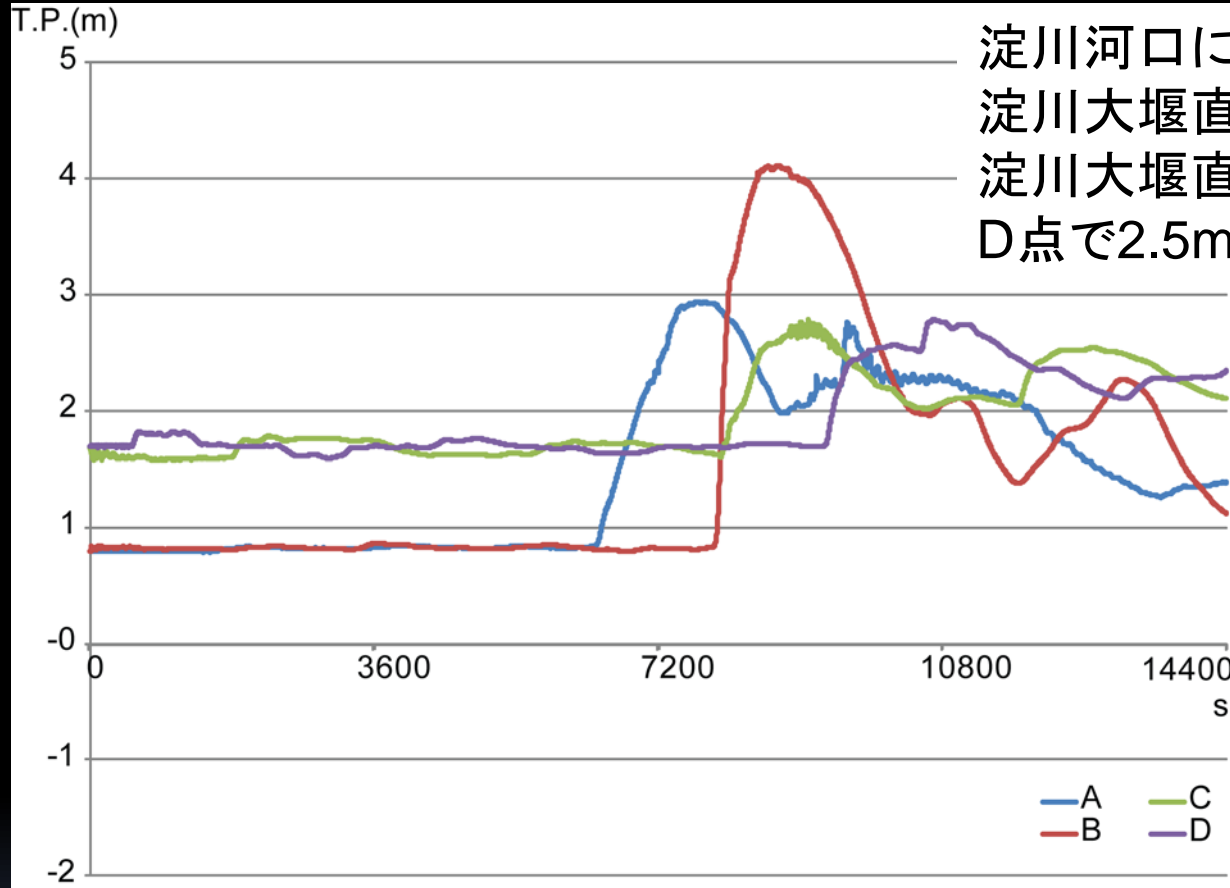
F max=4.000000e+000



三次元解析結果(ケース2)<河道縦断方向>



三次元解析結果(ケース2) <各地点での水位の時系列変化>

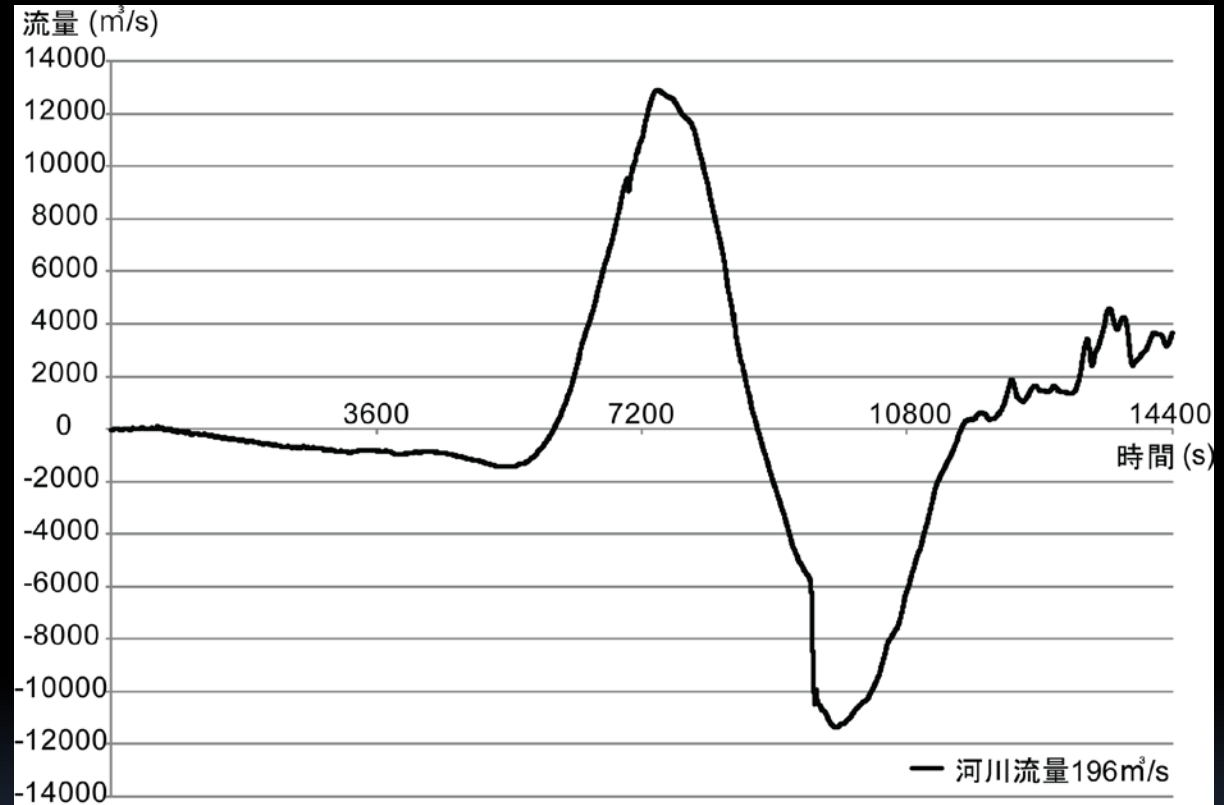


淀川河口に近いA点で3m程度
 淀川大堰直下流のB点で4m以上
 淀川大堰直上流のC点で2.5m以上
 D点で2.5m以上



平面二次元解析条件

- 下流端境界条件:三次元解析での下流端流入量

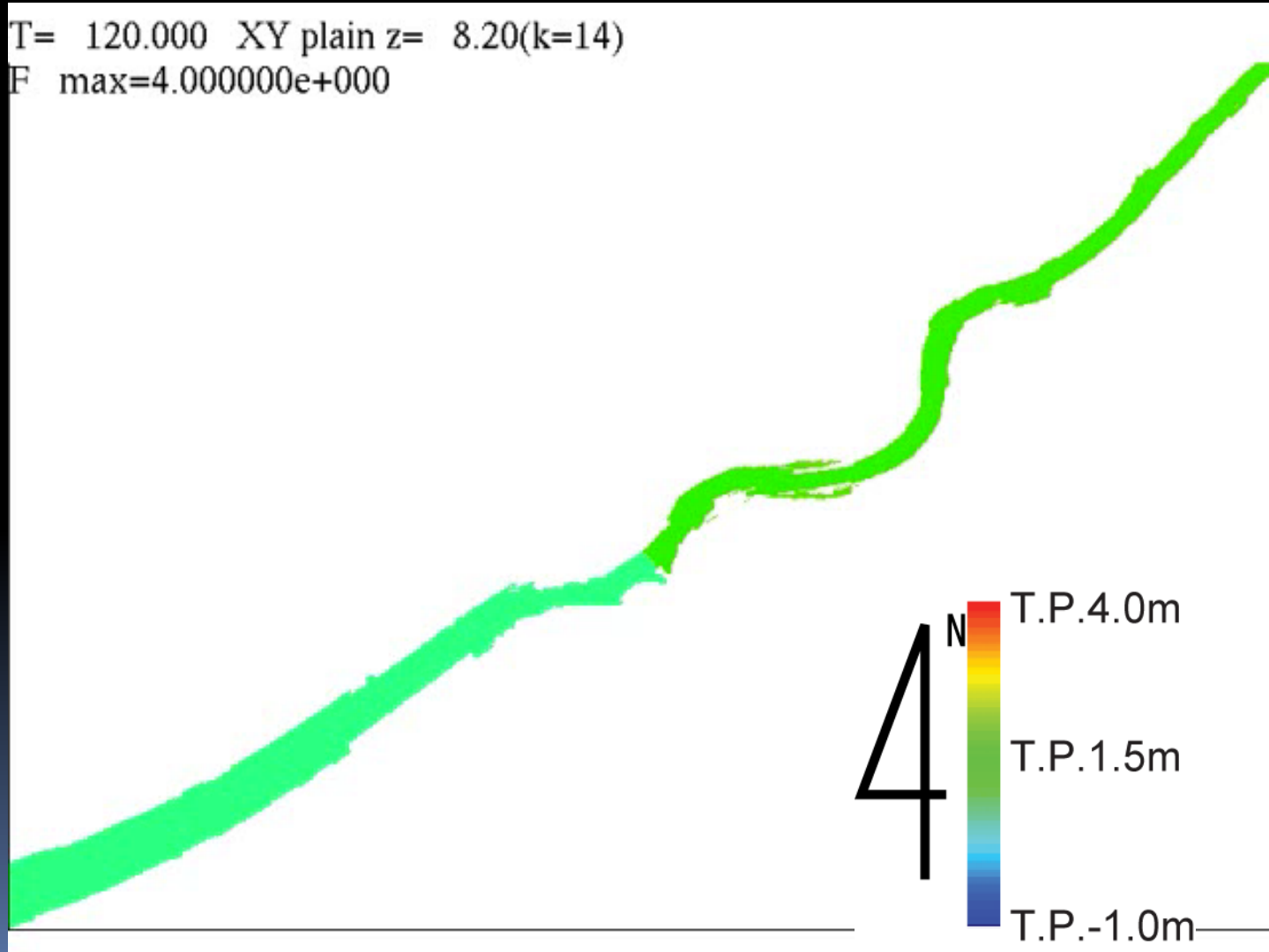


- 上流端境界・大川接続部:それぞれ規定の流量を設定.
- 格子間隔:水平方向12.5m.
- 計算時間間隔:一定値として0.3秒を設定.

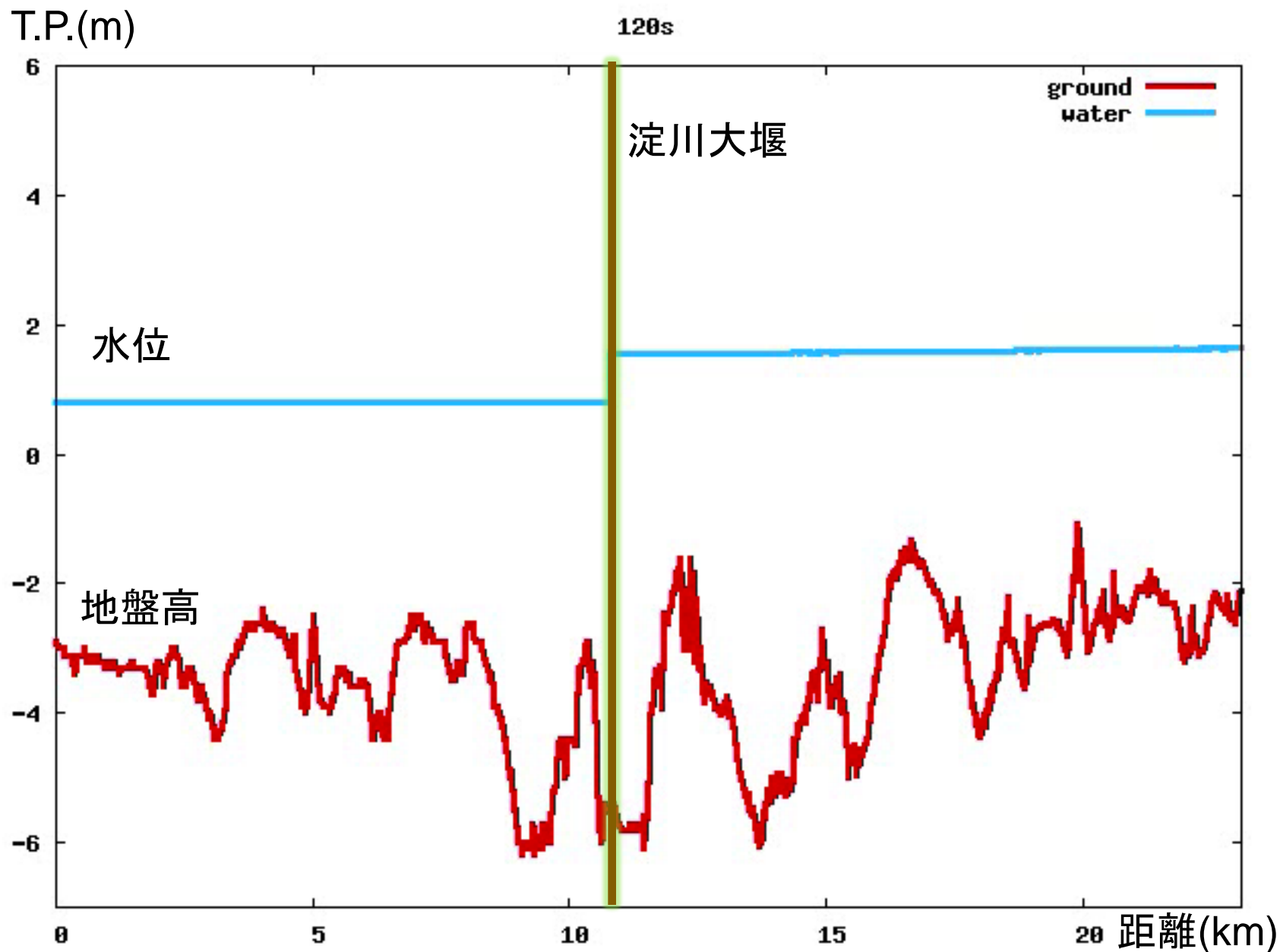
平面二次元解析結果(ケース4)<領域全体>

ケース	河川流量	大川への 流量	主ゲート高	調節 ゲート高	大阪湾 潮位	解析手法
4	196m ³ /s	120m ³ /s	T.P.2.5m	1.0m	T.P.0.8m	平面二次元解析

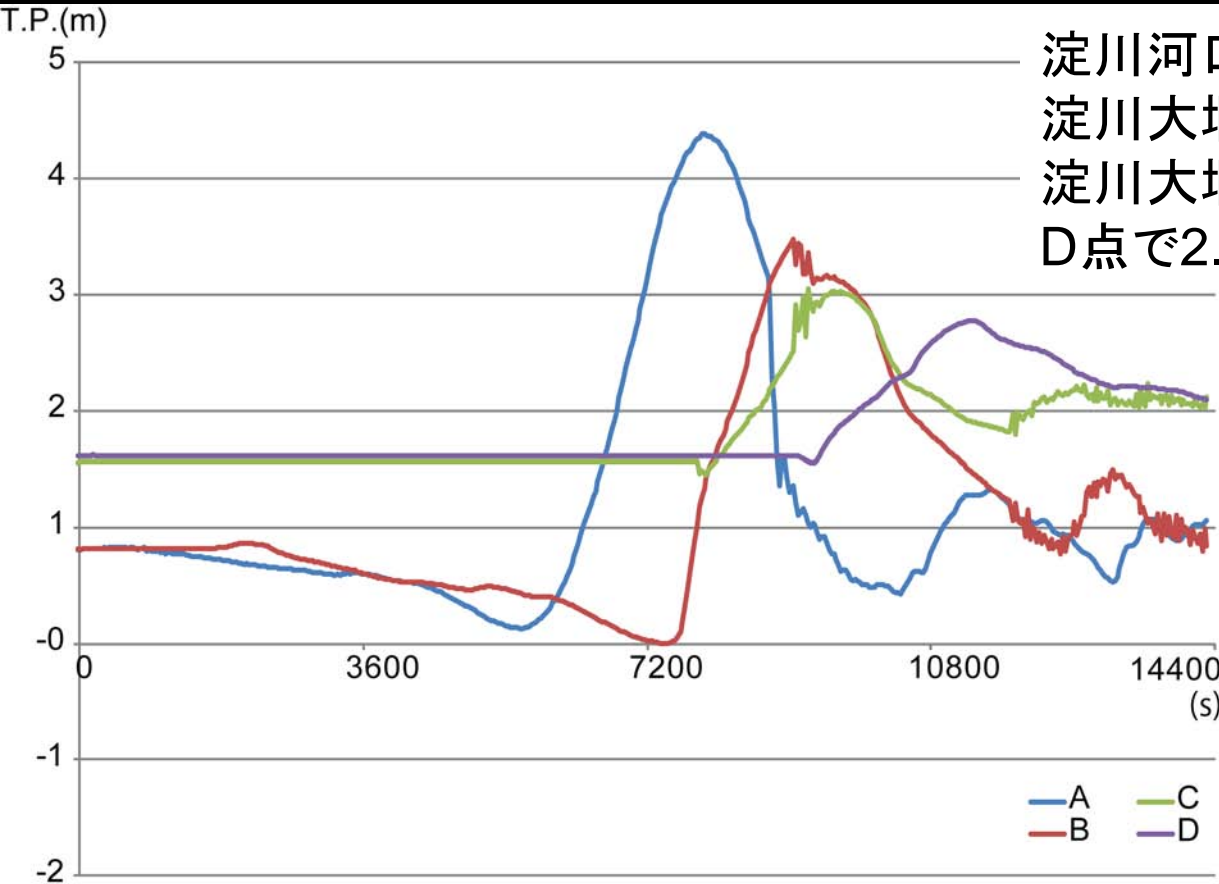
T= 120.000 XY plain z= 8.20(k=14)
F max=4.000000e+000



平面二次元解析結果(ケース4)<河道縦断方向>



平面二次元解析結果(ケース4) <各地点での水位の時系列変化>

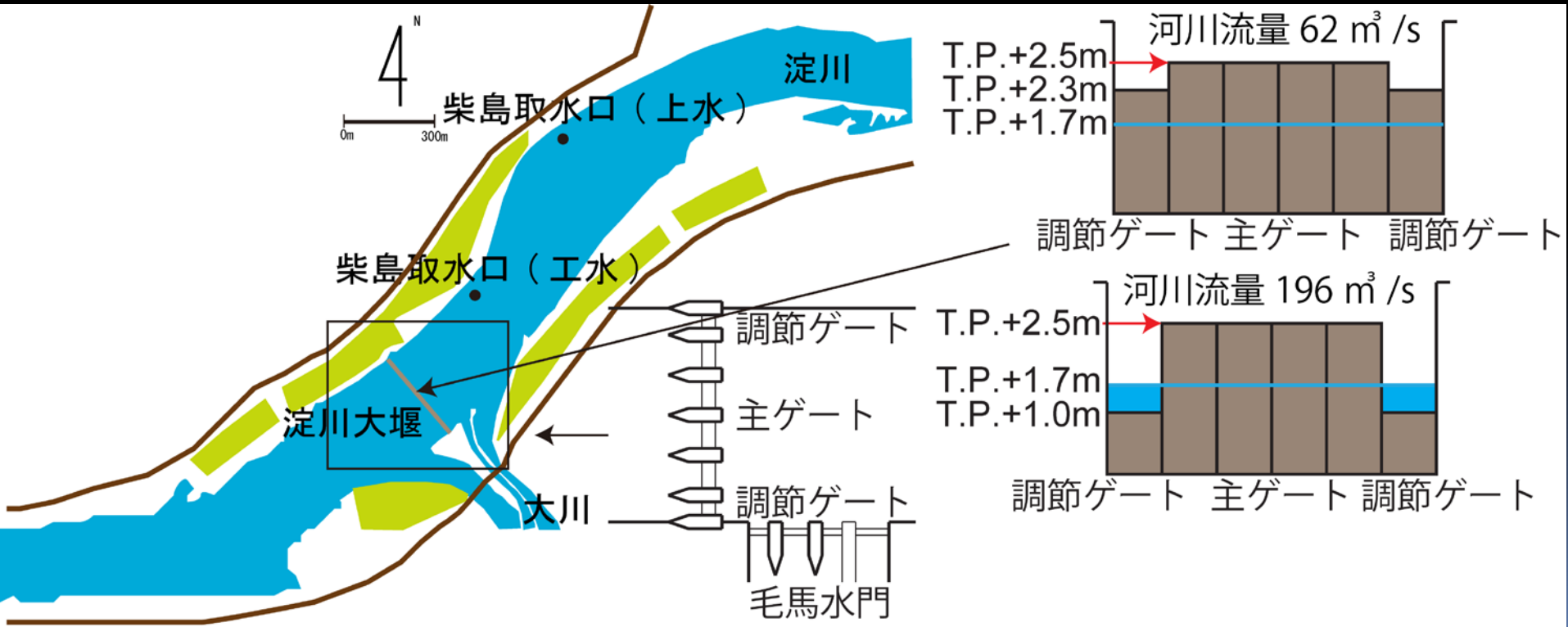


淀川河口に近いA点で4m以上
 淀川大堰直下流のB点で3m以上
 淀川大堰直上流のC点で3m以上
 D点で2.5m以上

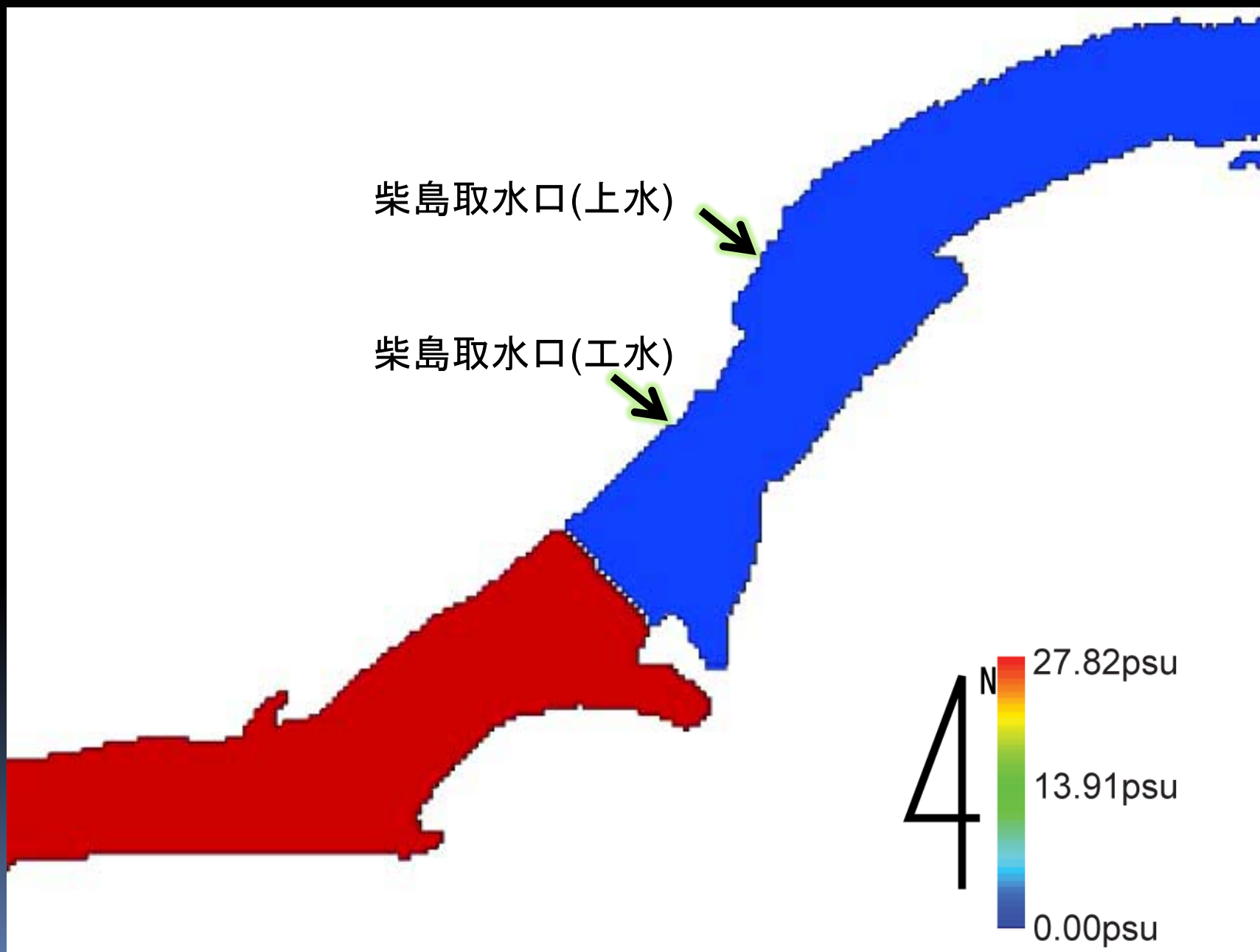


塩水挙動解析ケース

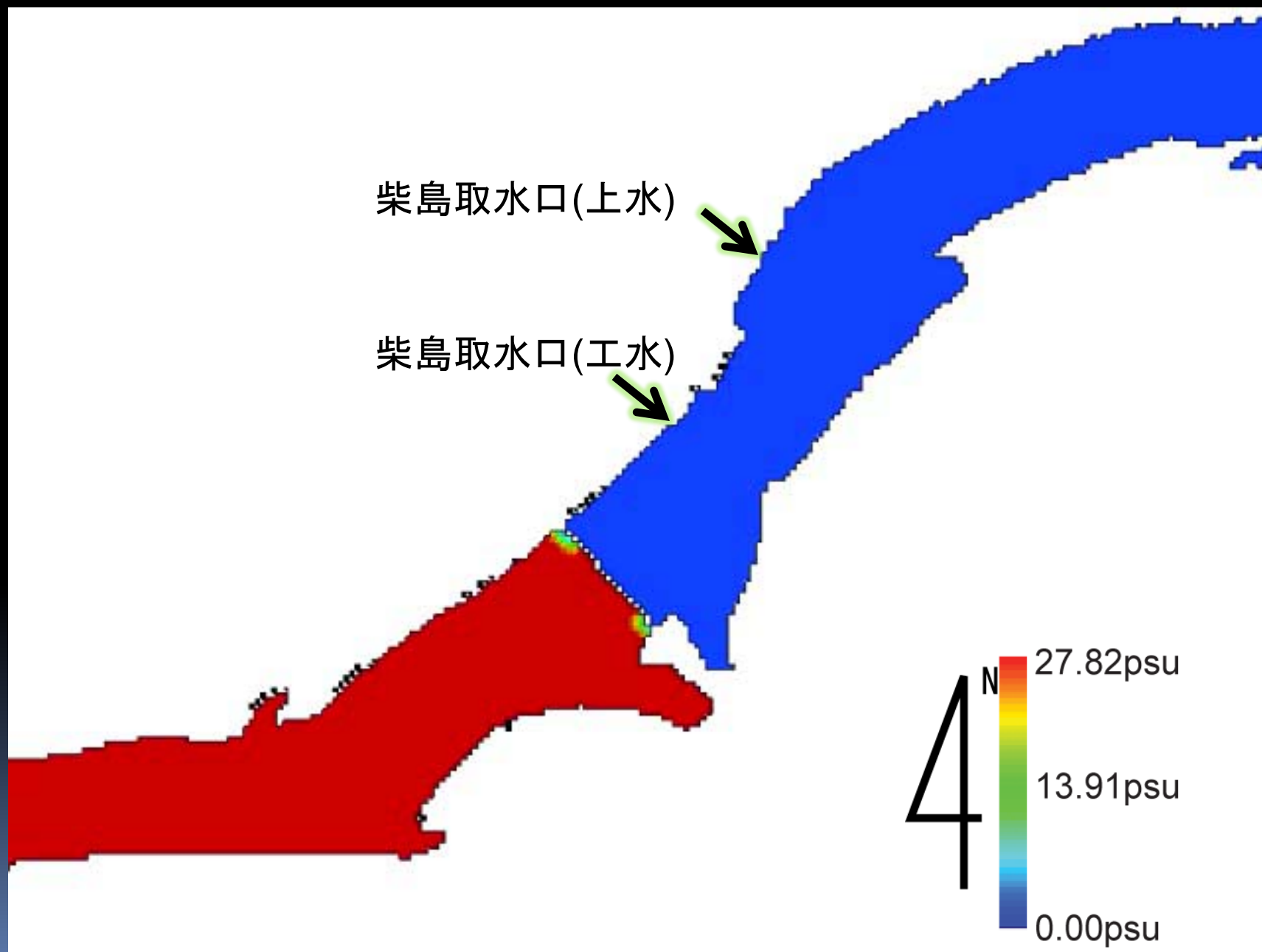
ケース	河川流量	淀川大堰下流側の濃度	淀川大堰上流側の濃度	解析手法
A	62m ³ /s	15.34psu	0.03psu	三次元解析
B		27.82psu		
C	196m ³ /s	15.34psu		
D		27.82psu		
E		62m ³ /s		平面二次元解析
F	196m ³ /s			



三次元解析結果(ケースD)



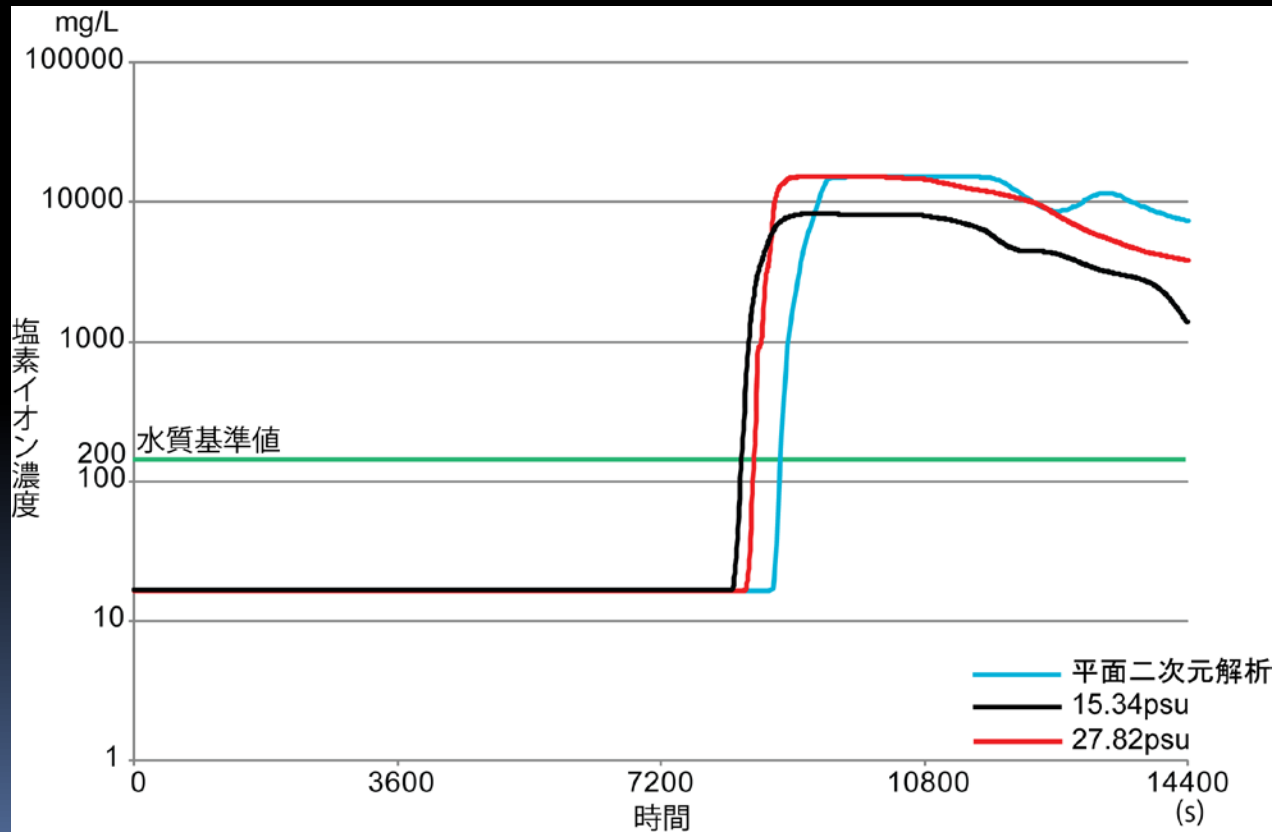
平面二次元解析結果(ケースF)



取水影響評価

河川流量196m³/s柴島取水口(工水)

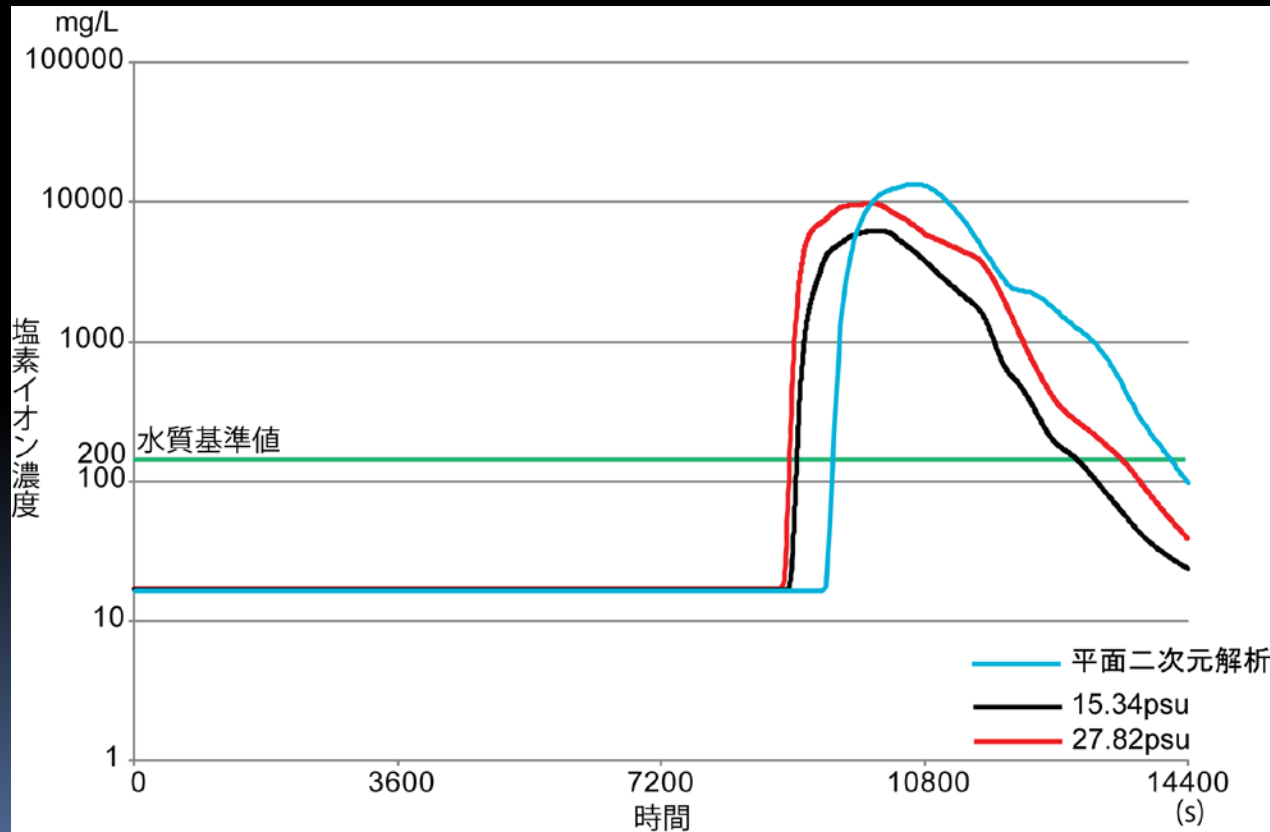
- ◆ 取水口位置での塩素イオン濃度の時間変化を水質基準値比較
- ◆ 塩素イオン濃度 (mg/L) = 塩分 (psu) × 1000 / 1.80655 で換算
- ◆ 8,500秒以降継続して、水質基準値を超過し続ける。



取水影響評価

河川流量196m³/s柴島取水口(上水)

- ◆ 取水口位置での塩素イオン濃度の時間変化を水質基準値比較
- ◆ 塩素イオン濃度(mg/L)=塩分(psu) × 1000/1.80655で換算
- ◆ 8,500秒後から1時間以上超過.



まとめ

- 三次元密度流解析と平面二次元塩水挙動解析の結果を比較すると、淀川大堰に到達する津波の挙動までは2つの解析結果はほぼ一致しており妥当性が確認された。
- しかし、高濃度の塩水が河川水と混在する領域である淀川大堰上流部の塩水挙動は大きく異なった。

成果

- 津波は、淀川大堰の約10km上流にまで遡上。
- 津波は淀川大堰で反射するため、平常時の水位より3m以上上昇。
- 高濃度の塩水が淀川大堰の約1km上流にまで到達。
- 塩水が浄水場に与える影響を評価した。

本研究で想定した条件では、

淀川大堰直上流に設置されている柴島浄水場の2つの取水口が高濃度の塩水によって長時間影響を受けることがわかった。

今後の課題

- 本研究では、平面二次元津波シュミレーションによって得られた津波波形を下流端境界条件として入力したため、第一波の反射波が下流端境界に到達後、入力波と混在することになり、解析に信頼性がなくなる。

このため、

①河川流の影響を受けない沖域からの計算

②平面二次元、三次元解析を組み合わせて波源から一体化計算

→平面二次元解析と三次元解析との間の流れの受け渡しの妥当性検討が必要

以上のことを検討すれば、よりよい解析を行うことができる。