

仁淀川河床掘削による 西畑地区の地下水塩水化対策について

高知河川国道事務所 工務課 伊藤 遥子
高知河川国道事務所 工務課長 中岡 昭浩
高知河川国道事務所 工務課係長 武政 和希

一級河川仁淀川西畑地区は、出水時の流量確保のため、河床掘削工事が計画されている。しかし当地区では近年地下水の塩分濃度が上昇しており、河床掘削による塩水化促進が懸念されている。そこで、3次元地下水シミュレーションを実施し、河床掘削が地下水環境に与える影響および塩水化抑止対策の効果を検証した。その結果、鋼矢板打設による塩水侵入防止や堤脚水路の改良による雨水浸透量の増加、またその組み合わせによって、河床掘削工事を実施した場合においても、地下水の塩分濃度上昇が回避できる可能性があることを確認した。

キーワード 河床掘削、塩水化、地下水シミュレーション

1. はじめに

仁淀川は、流路延長124 km、流域面積1,560 km²の高知県の一級河川である。流域の平均年間降水量は約2,500 mmであり、全国でも有数の多雨地域である。昭和50年台風5号では、本川の堤防が越水、多くの支川においても内水氾濫が発生し、5,272戸が床上浸水した。

現在仁淀川では、出水時の流下能力確保のため、堤防改築事業や河床掘削事業が進められている。しかし、2021年4月時点における仁淀川下流の流下能力は10,000 m³/sであり、河川整備計画目標流量12,900 m³/s（八田堰下流）を満足していない。

河口近くに位置する西畑地区においても、河床掘削事業が計画されている。しかし当地区では地下水の塩分濃度が近年上昇しており、地元は塩分濃度が現況よりも悪化しないことを河床掘削事業の実施条件として強く要望している。実は、仁淀川対岸の新居地区も西畑地区と同様、以前地下水の塩分濃度が上昇し、農産物の収穫量が減少する等、深刻な問題となっていた。そのため新居地区の一部を掘削し波介川河口導流路事業が行われた際には、波介川潮止堰が事業の一環として建設され、2017年より運用されている。その結果、平常時において潮止堰上流の導流路内に淡水が滞留するようになり、新居地区では地下水の塩分濃度が減少した。

近隣地域でこのような事例があることも踏まえ、今回は地元住民の理解が得られやすいと思われ、また今後河床を掘削する際も西畑地区で実現可能な二種類の塩水化対策を検討し、その効果を地下水シミュレーションにて検証した。

2. 流域および西畑地区の概要

高知市西畑地区（旧春野町）は、仁淀川河口から約2km上流の左岸側に位置し、仁淀川の堤防と背後の産地に囲まれた地区である（図-1）。約7km上流の八田堰より取水した吾南用水が地区内を縦断している。

旧来は稲作が盛んな穀倉地帯であったが、1992年から県の圃場整備事業による区画整理が進められ、多くの水田が農業用ハウスへと変容した（図-2）。現在は地区面積の50%以上が農業用ハウスであり、地下水揚水を利用したハウス栽培が盛んに行われている。また2002年頃には、メロン（平均かん水量0.0001 m³/m²・日）を栽培していた農家の多くが、キュウリ（平均かん水量0.0013 m³/m²・日）やトマト（平均かん水量0.0013 m³/m²・日）へ作物を変更した。2018年時点における、旧春野町のキュウリおよびトマトの作付け面積は県内1位である。



図-1 高知市西畑地区（黄色枠内）

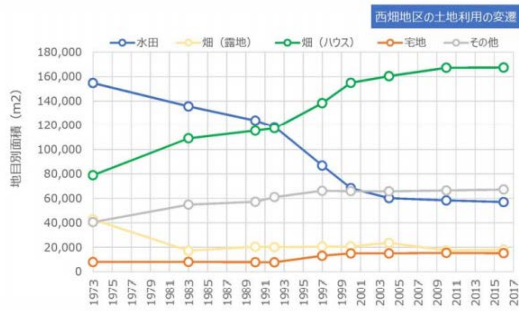


図-2 西畑地区の地目別面積の経年変化

3. 地下水塩水化の原因分析

(1) 想定される地下水塩水化のメカニズム

西畑地区の観測井No.4 (図-3) における塩分濃度の推移を図-4に示す。西畑地区では1998年頃から地下水の塩分濃度が問題となり始めた。なお、例えばトマト栽培に適した用水塩分濃度は300mg/l程度以下とされている。



図-3 観測井No.4の位置および河道掘削範囲(黄色枠内)

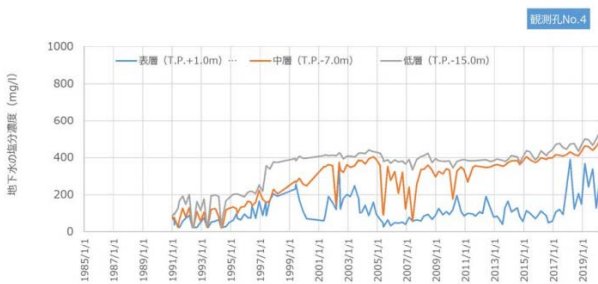
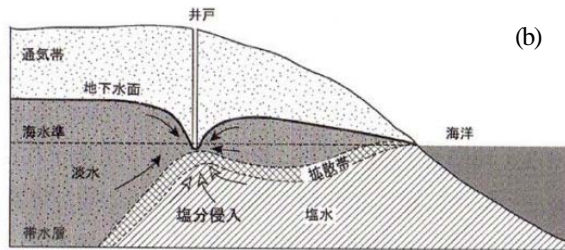
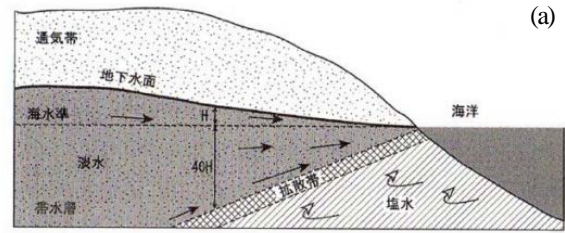


図-4 観測井No.4の塩分濃度の変化

海水(塩水)は淡水と比べ密度が大きいので、海岸線付近では一般的に、図-5(a)に示すような塩水くさび(淡水と塩水の境界)が形成される。塩水くさびは、地下水揚水量が多く地下水の淡水涵養量が少なくなると、内陸側に移動する(図-5(b))。西畑地区では農業用ハウスの増加に伴い、取水井の数が1993年から2019年にかけて、10本から54本に大幅に増加しており、年間地下水揚水量は1.6万から9.4万程度に増加したと推定できる。一方ハウス上面に降った雨は三面張りの水路へ排水する仕組みとなっているため、地表からの年間地下水浸透量は10万

から3.6万t程度に減少したと想定されている。西畑地区においては、営農形態の変更に伴い地下の淡水涵養量が減少したことで、塩水くさびが内陸側へ移動し地下水の塩分濃度が上昇したのではないかと推察できる。



出典：鞠子正, 2002. 環境地質学入門, 古今書院, 147-148.

図-5 塩水くさび(a)地下水揚水前(b)地下水揚水後

(2) 地下水モデルの構築および精度検証

西畑地区の塩水化対策を検討するため、本業務ではまず三次元地下水モデルを作成した。解析モデルは、多相多成分流体を対象とし表流水と地下水を同時に解析する汎用地圏シミュレータGETFLOWSを採用した。

まずは、地下水の塩水化傾向がみられる以前の1992年から2019年を解析対象期間とし、現況を再現出来るかの検証を行った。解析モデルには、地形地質、河川流量、気象条件等の自然条件のほか、土地利用、地下水取水量、地下浸透雨量の推移等も反映させた。モデル底標高はT.P.-300mとし、深度方向の分割数は35層とした。



図 6.2-1 解析領域の設定

図-6 地下水モデルの解析対象範囲

構築した地下水モデルを用いて、1992年および2018年の塩分濃度を再現できることを確認した。

4. 河床掘削範囲および対策工事の概要

平成28年に制定された仁淀川水系河川整備計画では、河道内樹木の伐採や河道の掘削等を行う箇所として、西畑箇所（左岸1.2k～2.5k）（図-3、図-11黄色枠内）が計画されている。

掘削が予定されている範囲は、現在土砂が堆積しているため、水際と西畑地区は離れている。しかし河床掘削が進むと、水際が堤内地に近づき、より多くの塩水が地区内地下に侵入することが懸念されている（図-8）。

そこで今回、主に二つの塩水化防止対策を検討した。一つ目は、矢板の打設による塩水の浸入防止である。堤防沿いに矢板を打設することによって、塩水の地区への侵入点が低くなり、地区内に侵入する塩水量は少なくなると考えられる（図-9）。

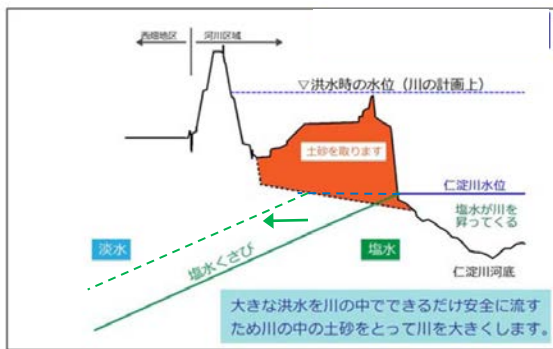


図-8 河床掘削で想定される塩水くさびの移動

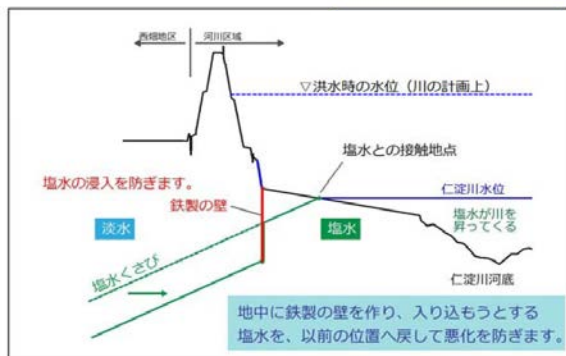


図-9 鋼矢板の打設による塩水化抑制

二つ目は、地区内の堤脚水路を改良し、表流水の地下浸透量を増加させることによる塩分濃度の上昇防止である。これは、新居地区で導流路内の淡水の滞留により地下水塩分濃度が低減したのを参考に、淡水涵養量の増加による地下水塩水化抑制を図っている。西畑地区における既存の堤脚水路は三面張りとなっているが、これを浸透層を水路床とした二面張りに改良することで、淡水の涵養量を増加させることができると考えられる（図-10）。

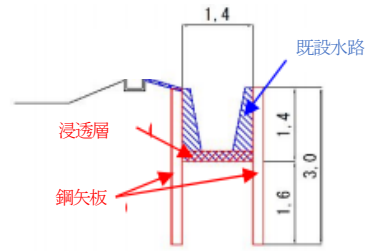


図-10 堤脚水路の計画横断面図（青:改良前 赤:改良後）

検討したケースの一部を表-1に示す。ケース①は、打設する鋼矢板下端の標高を、現況（河床掘削前）の塩水侵入点の標高と一致させた。なお、現況の塩水侵入点の標高は地下水シミュレーションの結果から約200mごとに算出し、1k300付近がT.P.-3m、2k300付近でT.P.-11.5mと上流ほど高くなっている。ケース②は鋼矢板の下端標高は全長にわたって一律T.P.-11.5mとした上で、塩水化の影響を受けやすいと考えられる下流側の打設範囲を約130m延長した。ケース③は堤脚水路の改良のみを行い、河道掘削による塩分濃度の上昇を回避するために必要な水路流量を確認することとした。ケース④では、鋼矢板の打設深さおよび延長はケース①と同様とし、堤脚水路の改良を合わせて実施した。ケース④についても、ケース③と同様、河床掘削による塩分濃度の上昇を回避するために必要な水路流量を確認した。

表-1 検討したケース一覧

| | 鋼矢板下端標高 | 鋼矢板延長 | 堤脚水路 |
|------|------------|-------------|------|
| 無対策 | 打設無し | | 改良なし |
| ケース① | 現況塩水侵入点深さ | 1k300-2k300 | 改良なし |
| ケース② | T.P.-11.5m | 1k200-2k300 | |
| ケース③ | 打設無し | | 改良あり |
| ケース④ | 現況塩水侵入点深さ | 1k200-2k300 | |

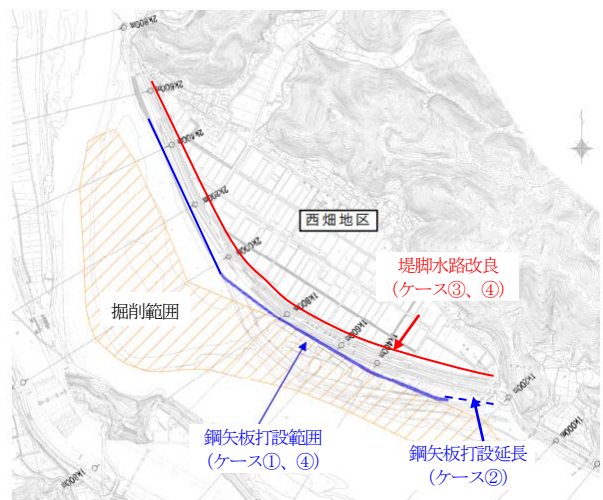


図-8 河道掘削範囲（黄色枠内）および塩水化対策（鋼矢板打設、堤脚水路改良）範囲

5. 塩水化対策工事の効果検証

(1) 無対策の場合

塩水化対策をとらずに河床掘削をおこなった場合の、現況との塩分濃度の差を深度別に図-11に示す。図-11より、表層の地下水の塩分濃度はほぼ変わらないものの、TP. -5.0 m以下の塩分濃度が特に西畑地区の下流側において大幅に上昇することがわかる。なお、西畑地区内に設置されている井戸のほとんどはTP. -1.0 m～-5.0 m付近から取水していると考えられている。TP. -10 m付近から取水している井戸はないものの、地下水の塩分濃度が近年上昇傾向にあることを踏まえ、今回TP. -10 mの塩分濃度分布も確認することとした。深度が深いほど、対策による効果の違いが明らかであるため、以降TP. -10 mでの塩分濃度分布を比較する。

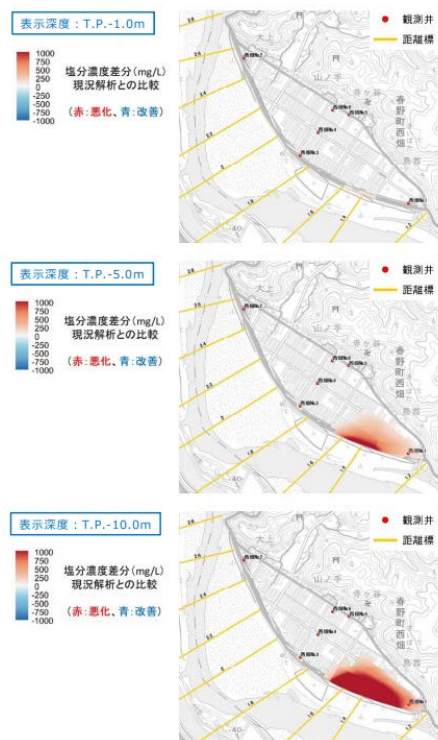


図-11 深度別塩分濃度差分分布（無対策）

(2) ケース①（現況塩水侵入点までの鋼矢板打設）

ケース①における現況との塩分濃度差分を図-12に示す。鋼矢板の打設にもかかわらず、塩分濃度が上昇することがわかる。

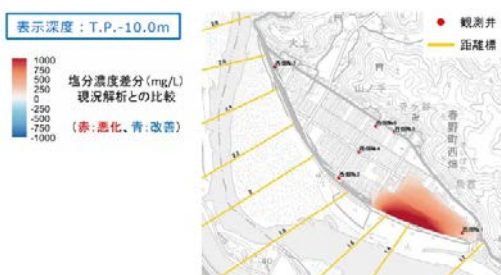


図-12 TP. -10mにおける塩分濃度差分（ケース①）

(3) ケース②（鋼矢板の深度・延長）

全長約1200mにわたってTP. -11.5mの深さまで鋼矢板を打設した場合においても、TP. -10 mでは塩分濃度が上昇する地区が残存することがわかる（図-13(b)）。

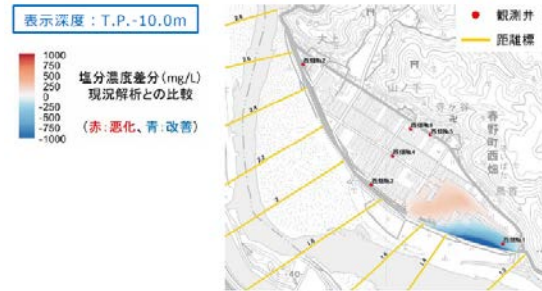


図-13 TP. -10mの塩分濃度（ケース②）

(4) ケース③（堤脚水路の改良のみ）

堤脚水路の改良のみで、西畑地区全域TP. -10 mにおける塩分濃度の上昇回避に必要な最小流量は0.05 m³/sであった。これは転用可能な流量0.045m³/s（水利権の届出がある非かんがい期の流量のうち、全体受益面積に対する届出当時の西畑地区の田畑面積の割合0.08 m³/sと、地区内用水路の常時流量0.035 m³/sの差）を上回っている。したがって、潤沢な水路流量が見込める場合に限り有効であると考えられる。

(5) ケース④（鋼矢板の打設＋堤脚水路の改良）

ケース①と同条件の鋼矢板の打設と堤脚水路による地下水涵養を合わせて実施する場合、0.02 m³/sの水路流量で塩分濃度上昇が回避できることがわかった（図-14）。これは転用可能な流量0.045 m³/sを下回っており、実現可能だと考えられる。

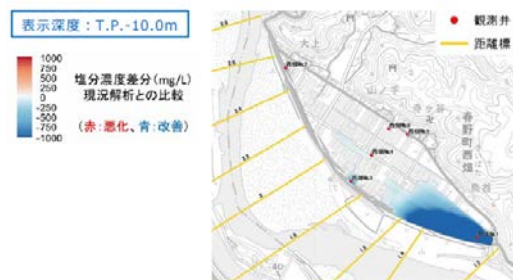


図-14 TP. -10mの塩分濃度差分分布（ケース④）

5. 今後の課題

前項より、現況塩水侵入点までの鋼矢板の打設では地下水の塩分濃度上昇を抑制することは出来ず、打設深度を大幅に深くした場合においても、塩分濃度上昇を回避できない可能性があることがわかった。一方表流水による地下水涵養はある程度有効であることがわかったため、西畑地区で調整可能な流量の精査や地区内の用水路を活用する案の検討が必要だと考えられる。今後は各ケースについて、効果の確実性や施工性、維持管理性、経済性等の確認が必要だと考えられる。