

海面上昇・河川改修に伴う塩水遡上対策 ～前例のない対策案と農業者との協力体制構築～

株式会社 建設技術研究所 ○ 芥田 直輝
株式会社 建設技術研究所 守谷 将史
株式会社 建設技術研究所 大屋 敬之
株式会社 アスコ 浜納 一樹

論文要旨

鳥取県の二級河川由良川では、近年、河川改修や海面上昇の影響を受けて塩水遡上が拡大し、農業用水取水への影響が見られている。本検討では、準三次元塩水遡上数値解析モデルを用いて、塩水遡上機構を分析したうえで、従来検討されていた取水堰よりも大幅にコスト低減が期待できる表層取水装置による対策を提案するとともに、実機サイズの装置を用いた現地実証実験を行い、安定的に表層の淡水を取水できることを確認した。また、シミュレーション結果を活用し、塩水遡上拡大の要因が河川改修だけでなく、海面上昇の影響を受けていることをわかりやすく説明する資料を作成することで、河川管理者と農業関係者の協力体制を構築することができた。

キーワード：塩水遡上、気候変動、農業用水、河川改修、準三次元数値解析

まえがき

鳥取県の二級河川由良川では、河川整備基本方針(H14.8)、河川整備計画(H21.12)¹⁾に沿って図-1のように河川改修を進めている。しかし近年、塩水遡上範囲が拡大し、図-2に示すように潮位が高くなる夏季に農業用水取水(原ポンプ場)への影響がみられ始めているため、残る改修予定箇所の改修が進められていない。また、図-3に示すように、河川改修に着手した1988年頃と比較して年平均潮位が18cm程度上昇しており、これも塩水遡上拡大の原因の一つとなっている可能性がある。

これに対し鳥取県では、これまで取水堰の新設が検討されてきた。しかし、取水堰は確実に塩水遡上の影響を回避することができる一方、治水・汽水環境への影響が生じる可能性や、維持管理の負担が非常に大きい等の課題がある。

以上をふまえて、本検討では塩水遡上機構を分析したうえで、最適な対応策として小規模な表層取水装置を提案し、実証実験により現地への適用性を確認した。また、塩水遡上の

者の役割分担や協力して実施すべき事項をとりまとめた「塩水遡上対策実施計画書」を立案した。

1. 経済性・実現性に優れた表層取水装置の提案 (1) 準三次元塩水遡上数値解析モデルによる予測

由良川における最適な塩水遡上対策を検討するため、準三

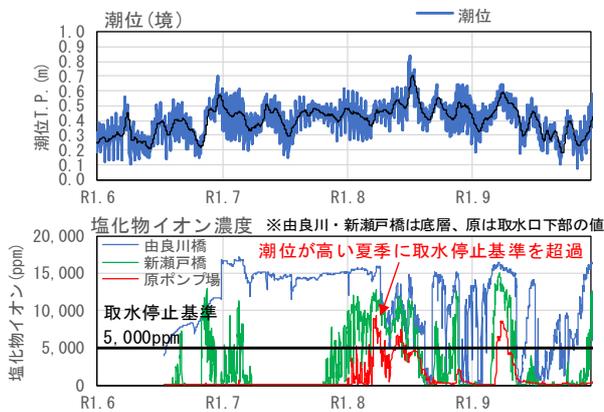


図-2 潮位・塩化物イオン濃度の経時変化(R1.6~9)

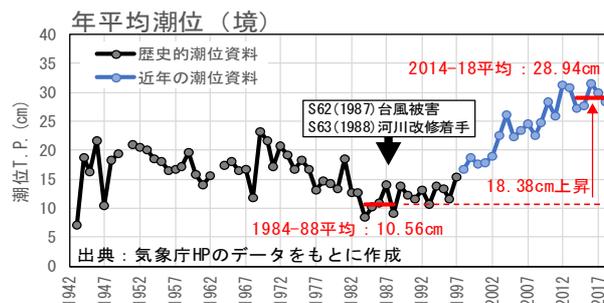


図-3 年平均潮位の経年変化(境)

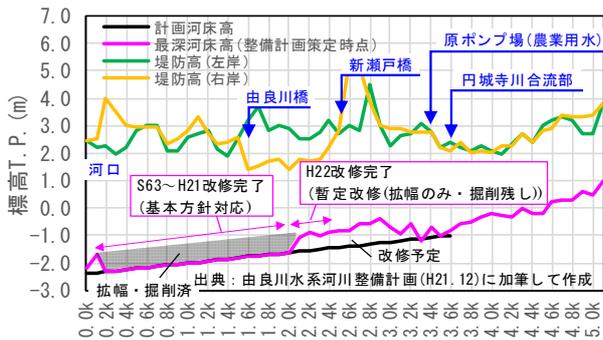


図-1 由良川縦断図(河川改修の状況)

影響を将来に渡って回避するために、河川管理者と農業関係

表一 1 準三次元塩水遡上数值解析モデルの概要

項目		設定
算定項目		流速・水位・水温・塩分(塩化物イオン濃度)
メッシュ分割	水平	直交曲線座標系 縦断方向:50m、横断方向:1~9メッシュ
	鉛直	シグマ・レベル座標系 T.P.-0.5m以上:シグマ座標系(7層) T.P.-0.5m以下:レベル座標系(8層(0.3~5.0m厚))
静水圧近似		水圧は静水圧のみ考慮
密度		水温、塩分による線形和で表現
粘性および拡散項	水平	SGSモデル
	鉛直	成層化関数
その他		「潮位変動(潮汐)」、「上流・支川からの淡水流入」、「風による流動の変化」、「大気との熱交換」を考慮

次元塩水遡上数值解析モデルを構築し、今後の河道改修および海面上昇を想定した、将来の塩水遡上の特性を予測した。

モデルの概要を表一 1、図一 4に示す。モデルは連続式、運動方程式、拡散方程式および密度の状態方程式で構成される²⁾。精度確認は、近年の中でも塩水遡上が大きかった2017年7~8月の再現計算により実施した。

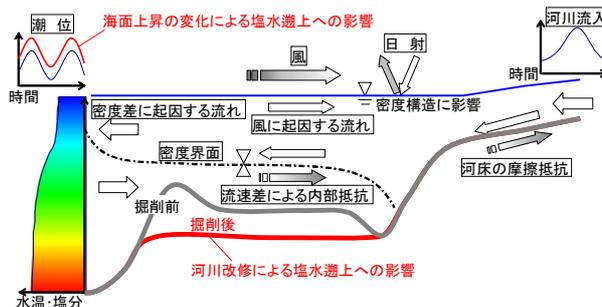
図一 5のように、計算値は潮位・流況による変化や、弱混合(淡水と塩水があまり鉛直混合しない塩水遡上の形態)で遡上する塩水の挙動を良好に再現できている。

また、現在の由良川における塩水遡上は、図一 5下に示すように弱混合であるが、予測の結果、河川改修後も表層には淡水が残存し取水可能であることが予測された(図一 6)。

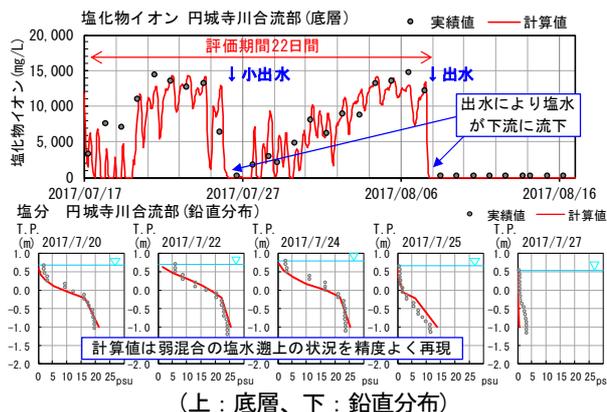
(2) 対策案の検討

上記の予測結果をふまえて、由良川における塩水遡上の対策案として、表層取水装置(図一 7)を提案した。この装置は、従来小規模なダムの濁水対策として使用されていた取水装置に着想を得て、塩水遡上対策として適用することを本検討において考案したものである。装置は、上向きに配置した取水口がフロートにより河川水位に追従することで、表層に残存する淡水のみを取水する仕組みである。既存の農業用水取水用のポンプに直接接続できる小規模な装置であるため、取水堰等と比較して大幅にコストを低減でき、治水や汽水環境への影響も回避できる。

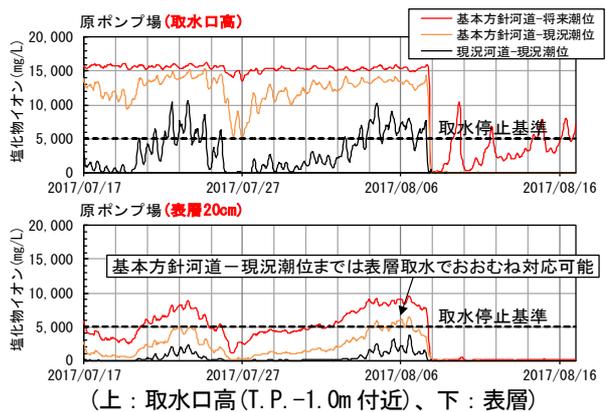
検討にあたっては、一般的な取水堰(本川下流部で塩水を遮断)による対策やため池(河川からの取水が不可となる際の代替水源)を別途設ける対策、舞鶴市等で事例のある取水堰の代わりに簡易な防潮幕を設置する対策等と比較評価の上、表層取水装置を最適案として選定した(表一 2)。ただし、図一 6に示すように基本方針河道-将来潮位の条件(「3. (2) 塩水遡上拡大に対する寄与度の分析」を参照)では、表層においても塩化物イオン濃度が取水停止基準を上回る日数が多くなると予測される。このため、表層取水装置による対策後においてもモニタリングを継続し、新たに影響が生じる状況となる場合は、将来対策として防潮幕やため池等の導入を追加検討する必要がある。



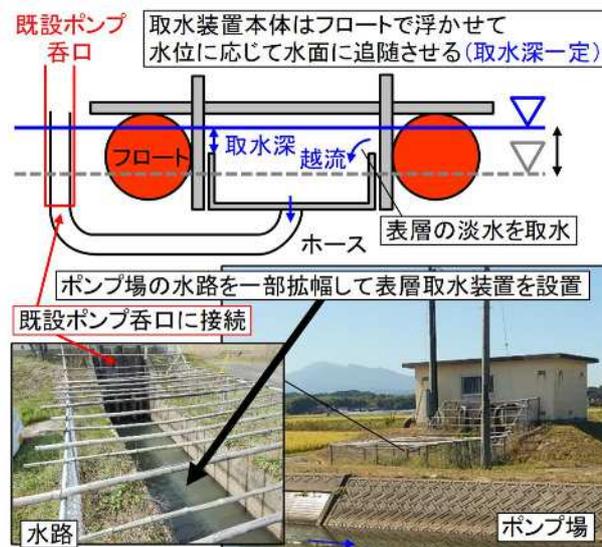
図一 4 準三次元塩水遡上数值解析モデルの概要



図一 5 モデルの現況再現計算結果(円城寺川合流部)



図一 6 塩化物イオン濃度予測結果(原ポンプ場)



図一 7 表層取水装置のイメージ

表一 2 由良川における塩水遡上対策の比較評価

	費用 ^{※1}	効果	その他留意事項	選定
取水堰	初期：△440百万円(1基) 維持：×11百万円/年	○構造上、塩水遡上を完全に抑制できる。	△建設期間が長い △施設操作による浸水被害拡大等のリスク △地下水や生物生息環境、土砂堆積への影響	×
防潮幕	初期：○8.7百万円(1箇所) 維持：△4.4百万円/年	△塩水遡上を大きく低減できる(事例有)。ただし、現地実験による由良川への適用性確認が必要。	△架設・撤去の負担が大きい △施設操作による浸水被害拡大等のリスク △地下水や生物生息環境、土砂堆積への影響	△ 【将来】
ため池	初期①：×6,026百万円 ^{※2} 初期②：△440百万円 ^{※2} 維持：○取水ポンプの費用程度	○取水不可日数分の容量を確保できれば、将来の海面上昇にも対応可能	△事業期間が長い	△ 【将来】
表層取水	初期：○90百万円(5箇所) 維持：○1.7百万円/年	△河川改修(整備計画河道)による影響を概ね低減できる。河川改修(基本方針河道)および将来潮位に対しては、さらなる対策が必要。	△適切な諸元・運用方法を検討するための現地実験および農業関係者への説明・理解が必要	○ 【当面】

※1 維持管理費には施設更新費含む(取水堰の耐用年数は30年、防潮幕は10年、表層取水は20年を想定)

※2 初期①：整備計画河道・現況潮位^{※3}で取水不可となる日数分のため池容量を確保する場合(850,000m³)

初期②：基本方針河道・将来潮位^{※3}で表層取水単独では取水不可となると予測される日数分のため池容量を確保する場合(62,000m³)

※3 河道および潮位の条件は「3. (1) 塩水遡上拡大に対する寄与度の分析」を参照

2. 現地実証実験による適用性確認

(1) 実験の方法

表層取水装置を農業用水取水の塩水遡上対策として使用した前例がないため、実際の前ポンプ場の取水量に応じたサイズの実験装置を試作した。

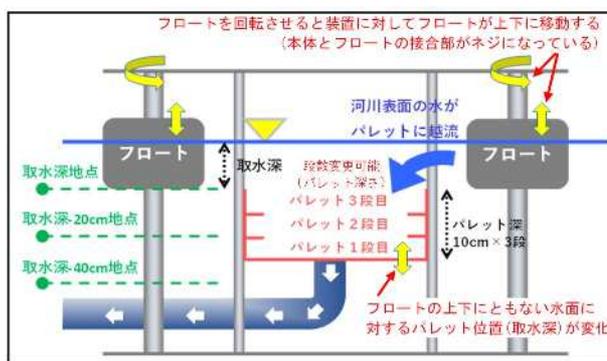
実験装置は、表層の淡水のみを安定して取水可能とする取水深や、気泡の混入なく取水可能なパレット深さ等の諸元を設定するため、フロート位置やパレット段数等が可変となる構造とした(図一 8、図一 9左)。なお、取水装置の越流長(パレット外枠の外周長)は、原ポンプ場の取水量 8.7m³/min を取水深(越流水深)5cm で取水可能な越流長を羽型堰の越流公式で求めた値(7.0m)とした。取水深5cm は極力表層の淡水のみを取水できるように設定した値である。

実験は、図一 9右に示すように、原ポンプ場前の河道内において塩水が遡上しており、水深 20~30cm より下層で農業用水の取水停止基準である塩化物イオン濃度 5,000mg/L を超過しているタイミングで実施した。

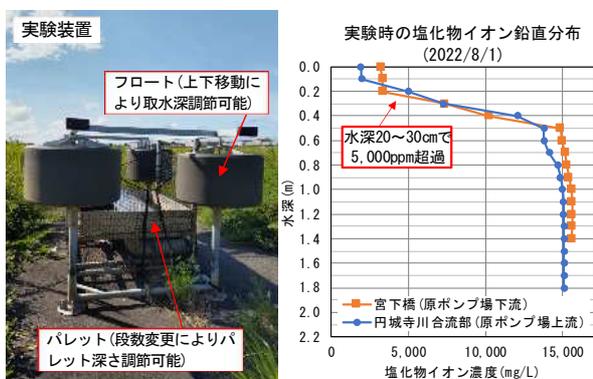
(2) 実験の結果

実験の結果、表一 3に示すように、取水深が大きい 30cm のケースにおいても、水深 30cm 以深に存在する高濃度の塩水を取水することなく、表層の淡水を取水できる結果となった。実験時は、現状の前ポンプの取水深付近の塩化物イオン濃度が 13,000~14,000mg/L 程度の高濃度となっていたが、取水された水の塩化物イオン濃度は農業用水の取水停止基準 5,000mg/L を下回っており、表層取水により取水が可能となることが確認できた。

常時安定した取水の実現性については、取水深 5cm とした場合、取水量に対してパレット内に越流する水が不足し、パレット内の水位が低下するため、装置全体が浮上して取水不可となった。また、取水深 10cm のケースでも、取水が不安定になる場合が見られたことから、越流長を大きくするか、取水深を 20cm 程度とすることが望ましい。



図一 8 実験装置(表層取水装置)の構造



図一 9 左: 実験装置、右: 実験条件(塩化物イオン)

表一 3 実験結果(取水深別の塩化物イオン濃度)

実験ケース(取水深)	30cm	20cm	10cm	
取水された水の塩化物イオン濃度(mg/L)	3,332	4,954	2,973	
河川内の塩化物イオン濃度鉛直分布(mg/L) [※]	水深0cm	2,373	2,856	2,784
	水深10cm	2,408	3,139	2,784
	水深20cm	2,539	4,200	2,777
	水深30cm	6,628	6,106	2,821
	水深40cm	10,608	11,475	9,139
	水深50cm	11,584	12,689	—
	水深60cm	12,641	—	—
※ポンプ停止時に測定	原ポンプ場 取水深 水深1m程度	13,196	13,510	14,220

■ : 5,000mg/L以上、■ : 10,000以上、□ : 各ケースの取水範囲

パレット深さについては、浅いほど取水口上部に渦が発生し、エアの混入がみられたことから、パレット深さは30cm程度とする必要がある。

3. 農業者との協力体制構築

(1) 塩水遡上拡大に対する寄与度の分析

由良川では、過去に河道改修を実施した際に塩水遡上の問題が顕在化したため、農業関係者から河川管理者に対して対策を求めている。一方で河川管理者は、今後も海面上昇が継続すると予測される中で塩水遡上対策を進めるためには、農業関係者との協力体制の構築が必須であると考えていた。

そこで本検討では、上記で構築したモデルを用いて、河道条件①改修前、②現況河道、③整備計画河道、④基本方針河道と潮位条件①過去潮位(現況-18cm)、②現況、③将来潮位(現況+42cm)を変化させたシミュレーションを行うことで、塩水遡上拡大に対するそれぞれの寄与度を定量的に示した。なおここでは、最下流の取水地点である原ポンプ場の塩化物イオン濃度が取水停止基準を超過する日数を指標として評価した。また、将来潮位はIPCC SROCC 2019がRCP2.6のケースで予測している2100年時点の海面上昇量³⁾を用いて設定した。

シミュレーションの結果、人為由来(河道改修:①改修前→②現況河道)と自然由来(海面上昇:①過去潮位→②現況潮位)の影響は同程度(図-10中のA)、人為由来(河道改修:②現況→④基本方針)と自然由来(海面上昇:②現況潮位→③将来潮位)による塩水遡上拡大に対する影響は同程度(図-10中のB)であることが示された。

(2) 塩水遡上対策実施計画書の立案

上記のシミュレーション結果を整理し、河川改修だけではなく、今後想定される海面上昇によっても塩水遡上が拡大する可能性が高いことをわかりやすく説明した。その結果、鳥取県では河川管理者と農業関係者の協力体制を構築することができた。

協力体制の構築にあたっては、塩水遡上の影響を将来に渡って回避するために必要な、河川管理者と農業関係者の役割分担や協力して実施すべき事項をとりまとめた「塩水遡上対策実施計画書」を立案した。当面の対策として進める表層取水装置による対策においては、装置の設置・モニタリングは河川管理者、維持管理・更新を農業関係者が行うこととしている。モニタリングでは、装置設置後の効果を把握するとともに、河道改修や海面上昇の影響を確認し、追加対策の必要性判断の根拠資料として活用することを想定している。

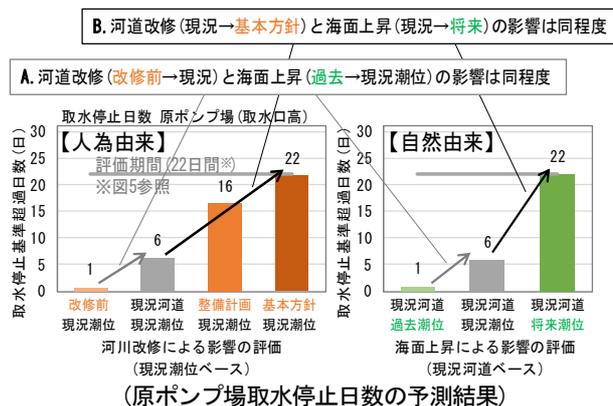


図-10 塩水遡上拡大への人為・自然由来の影響分析

あとがき

本検討では、由良川の塩水遡上の機構をふまえて、従来検討していた取水堰よりも大幅にコスト縮減が可能な表層取水装置による対策を提案し、現地実証実験によりその適用性を示すことができた。また、準三次元塩水遡上数値解析モデルを用いたシミュレーションにより、塩水遡上拡大に対する人為由来と自然由来の寄与が同程度であることをわかりやすく説明することで、河川管理者と農業関係者が協力して対応することの必要性を示した。

現在は、現地への実装に向けて、既設ポンプ場の条件等をふまえながら、装置の諸元検討や詳細設計等を行っているところである。

全国には、同様の課題を持つ水域が多数あると想定されるため、今後、由良川において本装置が実装され、その有効性が実証されれば、他水域への展開も期待できる。

最後に、本検討では鳥取県中部総合事務所から多大なる協力を得た。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献(または引用文献)

- 1) 由良川水系河川整備基本方針・整備計画
<https://www.pref.tottori.lg.jp/47804.htm>
- 2) 溝山勇、大屋敬之、福岡捷二、: 連結汽水湖における流動機構と長期流動シミュレーション, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.67, No.3, 101-120, 2011.
- 3) 変化する気候下での海洋・雪氷圏に関する IPCC 特別報告書(海洋・雪氷圏特別報告書; SROCC), 2019.