

出水警報システム「T-iAlert[®]River」の 河川工事への適用

出水を事前に把握し河川工事の安全管理に寄与するシステム

大野 剛・飯村 浩太郎・高山 百合子・遠山 正 恭

河川工事では、出水から作業従事者の安全を確保し、建設重機などの建設資機材を退避、養生させるために、12時間以上前に出水による水位上昇の可能性を把握し、早期に出水対策を講じることが求められる。そこで、工事地点の水位を最大で36時間前に予測し、予測水位が施工上の設定された「危険水位」に達する場合に、メールやWEBでアラートを配信する出水警報システム「T-iAlert[®]River」を開発した。本システムは現在までに複数の河川工事に適用されており、工事中の安全管理に寄与することを確認している。

キーワード：河川工事，水位予測，出水，危険水位，警報配信，安全管理

1. はじめに

地球温暖化の影響による局所豪雨の増加や台風の強大化により、豪雨災害が激甚化、頻発化している¹⁾。建設工事のうち河川工事では、豪雨に伴う河川の増水や出水により工事エリア内に水が流入し、浸水や資機材の流出などの被害を受ける可能性がある。そのため、作業従事者の安全を確保するとともに、建設重機などの建設資機材の退避、養生を半日以上前に開始することが必要である。

そこで、天気予報や工事地点上流の観測所水位を活用して、河川工事地点の水位や出水の有無を最大で36時間前に予測する出水警報システム「T-iAlert[®]River」(以下、本システムという)を開発した^{2)~4)}。本システムは、予測結果をWEBやメールで確認でき、工事地点で設定した「危険水位」に達する場合には関係者にメールで警報を配信するものである。警報メールは工事関係者に対する注意喚起や出水対策に伴う待機・招集の迅速化に寄与している。また本システムは予測結果から出水の発生時刻を把握できるため、計画的に人や重機を退避・避難させることが可能となる。

本稿では、本システムの概要と石狩川頭首工建設工事(2004年~2012年)および児島湾締切堤防排水樋門改修工事(2021年~2026年(予定))への適用事例について紹介する。

2. 出水警報システムの概要

本システムの概要図を図-1に示す。本システムは、工事地点より上流域の雨や河川水位のデータをインターネットを介して自動で取得し、構築した水位予測手法に入力して工事地点の水位を予測するものである。入力データは主に過去および予報の降雨量と、観測水位であり、降雨として用いるデータには、気象庁が配信している解析雨量データ(1kmメッシュ、実況雨量)⁵⁾やメソ数値予報モデルGPV(5kmメッシュ、1~39時間後の予報雨量)⁶⁾等がある。観測水位としては、工事地点近傍にある国や自治体が測定、公開する観測所の水位があり、例えば国土交通省の「水文水質データベース」⁷⁾がある。予測水位は入力データを取得して即時に計算され、観測水位や過去および予報の降雨などととも時系列グラフとして工

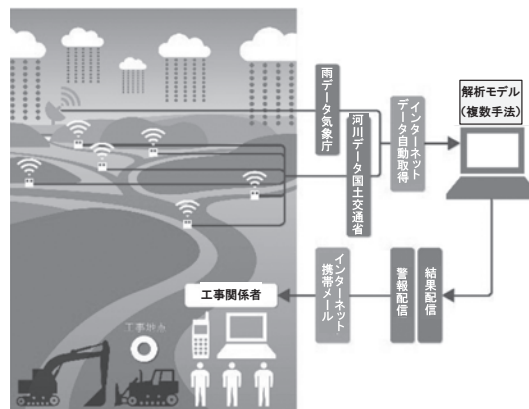


図-1 本システムの概要図

事関係者にメールで配信，または専用のウェブサイト
にアップロードされる。工事関係者はメールやウェブ
サイトで予測水位や予報の降雨等を適宜確認できる。
また本システムは，施工上の設定された「危険水位」
を予測水位が超えた場合に警報メールが自動配信され
る，プッシュ型の警報配信機能を有している。

一般に水位の予測手法は図-2の3種類に分類で
きる。図-2(a)の「直接手法」は，予測地点の水位を，
直近の上流の水位や降雨量との相関関係式から算出
するものであり，主に回帰式によるものである。図-2
(b)の「物理手法」は，降雨からの流出流量を物理
的なモデル式で求めるものであり，流域を表層や地
下層などのタンクに見立てるタンクモデルや，流域
を格子に分割して上流から下流への水の流れを逐次
計算で求める分布型流出モデルなどがある。図-2(c)
の「データ駆動型手法」は，近年のPC性能の向上に
伴い，ビッグデータを用いて機械学習などにより水
位を予測する手法である。この手法は，水位予測の
分野では2015年以降広く使われるようになり，
ニューラルネットワークやランダムフォレストを用
いる手法などがある。

本システムでは，上流域の土地利用や流域面積な
どの流域特性や，融雪期や渇水期などの予測時期，
上流の水位観測所の数などに基づき，最適な水位
予測手法を選定して採用している。

3. 出水警報システムの活用事例

(1) 石狩川頭首工建設工事

(a) 工事概要

石狩川頭首工建設工事は，国土交通省北海道開
発局が篠津中央二期農業水利事業として，北海
道樺戸郡月形町にあった旧石狩川頭首工（1963
年完成）の老朽化に伴い新たな頭首工を構築した
工事である。工事地点を図-3に示す。施工は河
積を阻害しないよう中央部，右岸部，左岸部に
分割し，順次二重の仮締切工

により内側をドライアップして進められた（写真
-1）。本工事では最盛期に仮締切工内で80名
以上の作業員や複数台の重機が工事に携わって
いた。当該工事では仮締切工（天端高E.L.+9.14
m）の構造的な安定性が確保できない出水が懸
念される場合，仮締切工内に注水を行う対策を
実施することとしていた。そのため安全管理の
観点から，なるべく早く工事関係者に出水する
可能性を周知し，作業員の退避や資機材の移
動，養生を完了させる必要があった。そこで本
工事では予測水位がE.L.+7.5mを超えた時に
警報を配信する出水警報システムを構築，運
用した。



図-3 頭首工位置



写真-1 工事実施状況

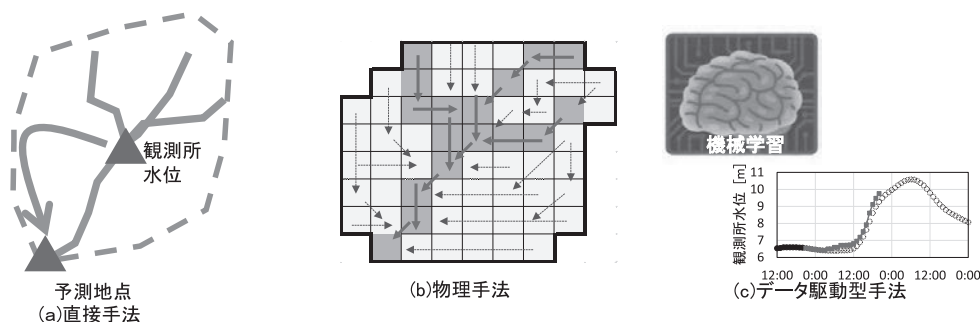


図-2 水位予測手法の分類

(b) 予測手法の概要

当該工事ではリードタイムが異なる3つの水位予測手法を用いた。リードタイムとは、水位予測手法が出水を予測する時刻と、観測水位が出水する時刻との差であり、水予測手法が何時間前に出水を予測するかを意味している。1つ目は頭首工の上流域における雨量の48時間累積値から頭首工地点の出水の有無を判定する「直接手法」（以下、累積雨量モデルという）であり、リードタイムは21時間である。2つ目は、**図一3**に示す頭首工上流に位置する5地点の水位観測所（頭首工から上流に向かって奈井江大橋、砂川橋、橋本町、妹背牛橋、伊納）と頭首工水位の回帰式を用いて、観測所水位から頭首工水位を求める「直接手法」（以下、回帰モデルという）である。リードタイムは頭首工から最上流にある伊納が11時間、頭首工から最も近い奈井江大橋が3時間である。3つ目は「物理手法」の一つである分布型流出解析（以下、数値モデルという）であり、リードタイムは13時間である。

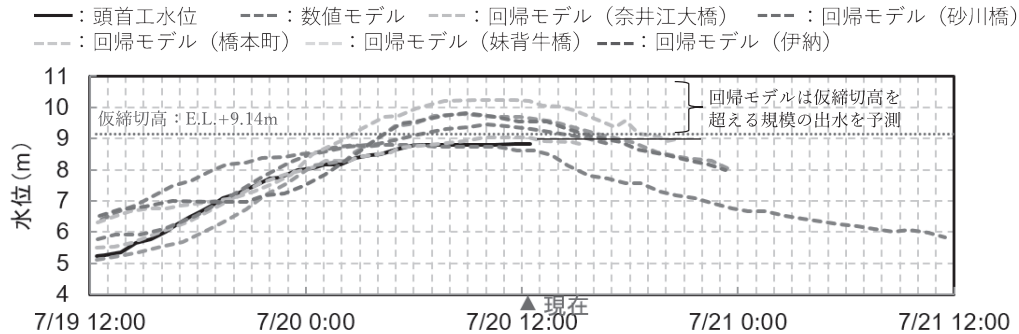
(c) 2009年7月の出水事例

写真一2のように、当該工事では2009年7月19日から20日にかけて大規模な出水が発生した。**図一4**は回帰モデルと数値モデルの予測水位と観測水位を示

している。観測水位は7月20日の12時に仮締切高より13cm低いE.L.+9.01mまで上昇した。予測水位は伊納、妹背牛橋、砂川橋の観測所水位における回帰モデルが危険水位を超えた。**表一1**は工事担当者にとっての行動と本システムの予測結果を時系列でまとめたタイムラインである。最高水位を記録した7月20日11時の29時間前に「累積雨量モデル」が警報を配信し、工事作業所は退避の準備を開始した。「累積雨量モデル」のリードタイムは21時間であるが、8時間早く警報を配信している。工事作業所は回帰モデル（伊納、リードタイム11時間）が危険水位の超過を予測したタイミング（観測水位が最高水位に到達する18時間前）で施工ヤードにある重機や資機材の移動、撤去を開始し、開始から4時間後に移動、撤去が完了



写真一2 出水時状況



図一4 水位予測結果

表一1 出水への対策状況

時刻	最大出水との時間差	頭首工水位 (E.L.m)	現場対応状況	出水警報システムの予測状況
7月19日 6:00	29時間前	4.84	退避の準備開始	累積雨量モデルが警報配信
7月19日 7:00	28時間前	4.93	待機	-
7月19日 17:00	18時間前	6.42	重機や資機材の移動・撤去開始	伊納観測所の回帰モデルが警報を配信
7月19日 21:00	14時間前	7.59	重機の退避完了	-
7月19日 21:00	14時間前	7.59	待機	-
7月20日 1:00	10時間前	8.26	設備の撤去	-
7月20日 3:00	8時間前	8.48	全出水対策を完了、仮締切工内に注水	-
7月20日 11:00	最大水位発生	9.01	最高水位に到達	数値モデルの予測水位と実測水位が一致
7月20日 13:00	2時間後	9.00	仮締切内に注水した水の排水と設備の復旧	-
7月21日 8:00	21時間後	6.35	復旧完了と作業再開	-

した。観測水位が最高水位に到達する10時間前には仮締切天端にある設備の撤去を開始し、8時間前には全ての出水対策を完了させ、仮締切工内への注水を開始した。

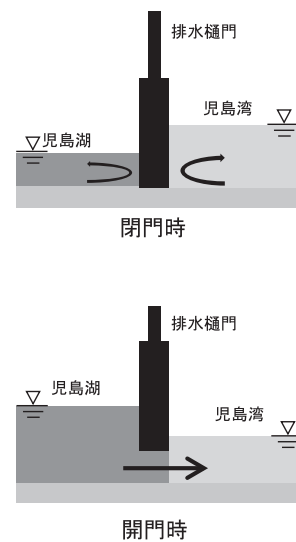
この出水では、工事関係者が予測結果を逐次確認しながら、時間的な余裕をもって退避行動をとることができた。当該工事では工事期間中に大規模な出水が5回発生し、上記事例と同様に本システムを活用しながら退避行動などの安全行動をとることができた。また退避、養生した重機や資機材の復旧作業を開始するタイミングの把握に水位予測結果を活用しており、本システムが出水後の作業計画を効率的に立案するための工程管理にも寄与することを確認できた。

(2) 児島湾締切堤防排水樋門改修工事

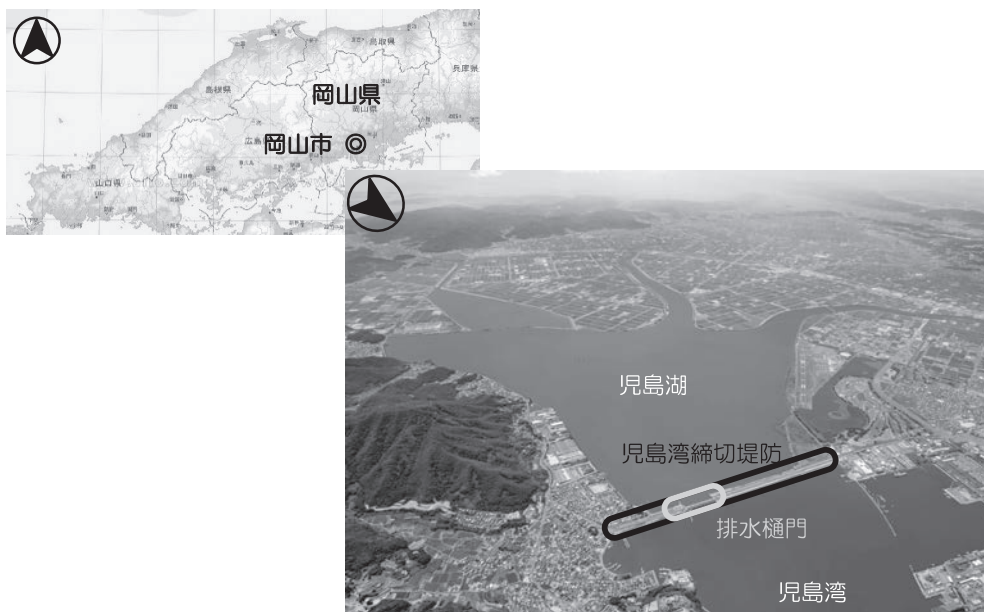
(a) 工事概要

児島湖は農業用水の確保と高潮による浸水被害の防止を目的に児島湾を約1.6kmの堤防で締め切る（以下、締切堤防という）ことにより昭和36年に誕生した湖である（図一5）。児島湖は締め切った状態が続くと、流域から集まった雨水などの流入水により水位が上昇し続け、周辺が浸水する。そのため、締切堤防を管理する岡山県（操作は児島湾土地改良区）は児島湖の水位を適切に管理するため、児島湾の潮位が児島湖の水位より低くなるタイミングで排水樋門を開放し、適宜児島湖の水位を下げる操作を行っている（図一6）。締切堤防では2019年度より耐震対策が実施されており、排水樋門は2021年より樋門の門柱および堰柱を鋼製函体で締切り、内部をドライアップする工

法による耐震化工事が進められている。当該工事は、排水樋門を供用しながら進める必要があるため、工事中は安全管理の観点から開門1時間前にはダイバー作業を中断し、作業船舶を退避させる必要がある。工事作業所は排水樋門の開閉のタイミングを排水樋門の管理者に確認して工事の段取りなどを決めているが、突然の豪雨等により児島湖の水位が急上昇した場合、排水樋門を急遽開門することが想定され、作業員や作業船舶の退避遅れや資機材の流出などが懸念される。そこで、天気予報の降水量に基づく水位予測手法により児島湖水位を36時間先まで予測し、児島湾の予測潮位（天文潮位）より低い期間に排水樋門を開放することをモデル化した水位予測手法を構築し適用している。



図一6 排水樋門の開閉



図一5 児島湾締切堤防の位置

(b) 予測手法の概要

水位の予測は、「直接手法」の一つである、降雨量と湖内の水位上昇量との回帰モデルを用いた。図-7は水位予測および結果の配信フロー図である。入力データは、児島湾の予測潮位、児島湖の実況水位（「児島湖水位情報」⁸⁾）および児島湖上流域の36時間先までの降水予報値である。水位の予測は、予測時における排水樋門の開閉状況をリアルタイムにインターネットで把握し、降雨に伴う水位上昇量を求めて児島湖水位の予測および排水樋門開閉の判定を逐次計算で行う。そして得られた水位予測結果と排水樋門の開門・閉門の予測時刻を、毎朝6時に工事関係者にメール配信する。

(c) 台風時における重機退避への活用事例

2022年9月19日に台風14号が工事地点付近に来襲した。来襲の数日前から工事作業の中止と重機や建設資機材の台風養生を実施することが決定していた

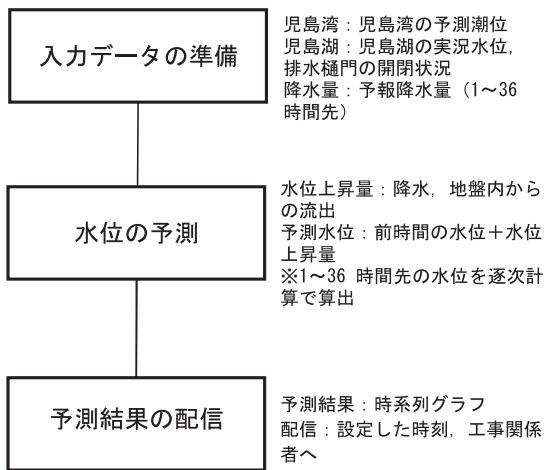


図-7 水位予測フロー図

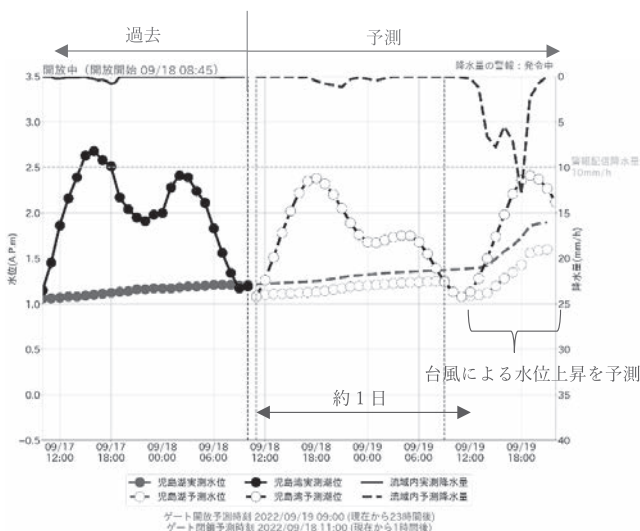


図-8 出水警報システムの予測結果

が、水位予測結果（図-8）から、排水樋門付近に設置した作業架台が浸水、流出することが懸念された。作業架台には地盤改良機とクローラークレーンがあったため、作業架台が浸水する可能性がある時刻を予測結果から確認して、作業架台に設けた高さ90cmの嵩上げ用の架台に地盤改良機とクローラークレーンを移動した（図-9）。その結果、作業架台は浸水したが削孔マシンとクローラークレーンの浸水、流出を防ぐことができた。

4. 出水警報システムの安全管理への効果

安全管理への効果は以下の3点が挙げられる。

①工事関係者や建設資機材の退避・養生行動のタイミングを判断する際に活用できる。

工事担当者は天気予報や河川の水位変化と自らの経験を参考に、出水対策の有無やそのタイミングを判断する。事例で紹介したように、工事担当者は本システムの予測結果を出水対策の判断材料の一つとすることができる。

②工事関係者に対して早期に出水の可能性を注意喚起でき、迅速な行動につながる。

本システムの警報メールを受信することで、例えば作業員の待機や招集を想定し、出水に備えた事前の準備や早めの行動をとるなど早期に出水への心構えができる。その結果、工事関係者が迅速に待機、招集に応じることにつながっている。また出水の危険性が工事関係者にも周知されるため、万が一甚大な出水が発生した場合は、応援、支援を迅速に受けられる状況を構築できる。

③出水後の復旧作業や工事開始のタイミングを想定できる。

本システムにより、出水後に平常時と同等の水位になるまでの時間や水位の時系列変化を把握できる。そ

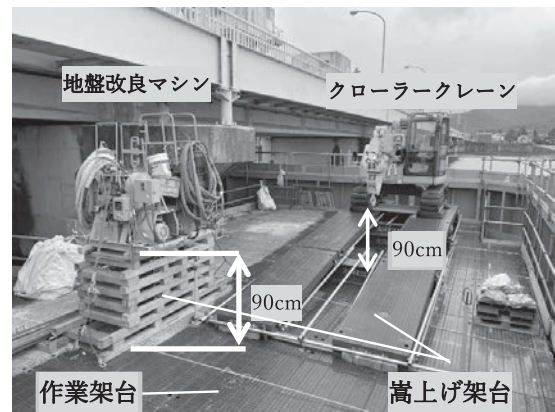


図-9 建設重機の嵩上げ状況

のため、退避、養生した重機や建設資機材の復旧作業に関する計画や作業開始のタイミングを判断することが可能であり、出水による工程遅延を最低限に抑えることにつながる。

5. おわりに

出水の有無やその規模を事前に把握し、出水発生が予測される際には、工事関係者に WEB やメールで警報を伝える出水警報システム「T-iAlert[®]River」について、2つの河川工事への適用事例を紹介した。本システムは河川工事の安全管理や工程管理に有効であることを確認しており、今後も本システムを様々な河川工事に積極的に活用していく予定である。



《参考文献》

- 1) 気候変動による水害研究会：激甚化する水害，日経 BP 社，2018.
- 2) 大野剛，永野雄一，本田隆英，高山百合子，伊藤一教：河川工事の安全管理に用いる「出水警報システム」の長期適用と予測精度の向上に関する検討，河川技術論文集，第 24 巻，pp.425-430，2018.
- 3) 大野剛，永野雄一，本田隆英，高山百合子，伊藤一教：出水警報システム「T-iAlert[®]River」の河川工事への長期適用と予測精度の向上に関する要因の把握，大成建設技術センター報 第 51 号，43，2018.
- 4) 大野剛，伊藤一教：降雨分布画像を用いた深層学習による出水予測手法の構築と実河川への適用性検討，河川技術論文集，第 27 巻，pp.117-122，2021 年 6 月.
- 5) 気象庁：解析雨量，<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kurashi/kaiseki.html> (参照 2023/6/30).
- 6) 気象庁：メソモデル，https://www.data.jma.go.jp/suishin/cgi-bin/catalogue/make_product_page.cgi?id=MesModel (参照 2023/6/30).

- 7) 国土交通省：水文水質データベース，<http://www1.river.go.jp/> (参照 2023/6/30).
- 8) 岡山県備前県民局：児島湖水位情報，<http://www.kojimakoinfo.pref.okayama.jp/> (参照 2023/6/30).

【筆者紹介】



大野 剛 (おおの ごう)
大成建設㈱
技術センター 社会基盤技術研究部 水理研究室
水防・保全チーム
課長



飯村 浩太郎 (いむら こうたろう)
大成建設㈱
技術センター 社会基盤技術研究部 水理研究室
水防・保全チーム
係員



高山 百合子 (たかやま ゆりこ)
大成建設㈱
技術センター 社会基盤技術研究部 水理研究室
水防・保全チーム
チームリーダー



遠山 正恭 (とよやま まさゆき)
大成建設㈱
中国支店 児島湾締切堤防排水樋門改修工事
作業所長