

# 児島湾締切堤防排水樋門改修工事における水位予測システムの構築

大成建設(株) 正会員 ○大野剛

高山百合子 織田幸伸

清水剛 遠山正恭

## 1. はじめに

農林省(現在の農林水産省)が、昭和 25 年度に岡山県南部に位置する児島湾干拓地の農業用水を確保し、高潮による浸水被害を防止するため、児島湾を約 1.6km の堤防で締め切る工事に着手し、昭和 36 年度に児島湾締切堤防(以下「締切堤防」という)が完成し、淡水化が図られ児島湖が誕生した。その後、昭和 55 年度から締切堤防の堤体補強及び 2 カ所の樋門・閘門を 1 箇所統合する工事が行われ、平成 13 年度に現在の締切堤防(幅約 110m)になっている。

(図 1)<sup>1)2)3)</sup>。締切堤防には、児島湖に流れ込む雨水を児島湾へ排水するための樋門が設置されており、排水樋門は、海水が混ざらないよう、通常は閉じられている。しかし、排水樋門を閉じたままだと、東京都 23 区面積の約 9 割に匹敵する流域(約 540km<sup>2</sup>)から大小河川を通じて雨水等が児島湖に流入し、水位が上昇し続け、児島湖周辺が浸水する。そのため、岡山県から管理操作を受託している児島湾土地改良区(以下「操作者」)が、排水樋門の開閉操作を年間約 300 回行い、児島湖の水位を適正に管理している。また、台風襲来前等の豪雨が予測される場合は、児島湖の水位を事前にできるだけ低下させることで児島湖の貯水容量を増やし、豪雨に伴う児島湖周辺の浸水被害のリスクを軽減できるように努めている<sup>1)2)3)</sup>。

農林水産省中国四国農政局では、大規模地震に備え 2019

年度より国営総合農地防災事業により締切堤防の耐震対策を実施しており、当該工事についても、2021 年度より排水樋門の耐震対策に着手し、排水樋門の門柱、堰柱を鋼製函体で締切り内部をドライアップする工法を採用して工事を実施している。当該工事では、排水樋門の操作を併用しながら進める必要があり、排水樋門が開くと児島湖から児島湾に向かって水流が生じる。そのため、安全性を考慮し、開門 1 時間前にはダイバー作業を中断し、作業船舶を撤収させる必要がある。排水樋門の開閉のタイミングを毎回、前日、工事担当者が操作者に確認して工事の段取りを決めている。豪雨等により児島湖の水位が急上昇する場合は、排水樋門が急遽開門されることになり、作業員や作業船舶の退避遅れ、資機材の流出と回収、予定していた作業の遅延などが想定される。そこで当該工事では、天気予報の降水量に基づく水位予測手法を用いて児島湖水位を 36 時間先まで予測し、排水樋門の開閉時刻を把握する水位予測システムを構築、適用している。本システムは樋門の開閉のタイミングを事前に把握する際の信頼度を向上させるシステムとして活用されている。



(a) 広域地図



(b) 工事地点周辺

図 1 児島湾・児島湖・工事地点の位置

キーワード 締切堤防, 排水樋門, 耐震補強工事, 水位予測, 安全管理

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 技術センター TEL 080-9579-4352

## 2. 排水樋門の開閉と児島湖の水位の関係

図2は既往の情報<sup>12)</sup>を参考に児島湖の水位と排水樋門の開閉のタイミングの関係を模式図にしたものである。排水樋門は児島湾の潮位が干潮から上げ潮となる、または児島湖水位が児島湖周辺の干拓地への灌漑に伴う管理水位以下になる前に閉門する(図2の①)。児島湖の水位は、非灌漑期(10月16日～5月31日)のA.P.+0.5mと灌漑期(6月1日～10月15日)のA.P.+0.8mの2つの管理水位で管理されている。ここでA.P.とは児島湾飽浦港最低海面のことであり、児島湖や締切堤防の基準となる標高である。A.P.は児島湖でT.P.とともに水位管理で使用されている(A.P.=T.P.+1.33m)。排水樋門が閉門している場合は、児島湖の水位は流域内からの降雨等の流出水により上昇する(図2の②～④)。児島湾の潮位が下げ潮となり、児島湖の水位より低くなったときに排水樋門が開門され、児島湖内の水が湖外に流出し(図2の⑤、⑥)、その後、排水樋門が閉門する(図2の①)。排水樋門の開閉は①～⑥をくり返している。

図3は2020年5月における児島湖水位、児島湾潮位と児島湖の上流域における降水量である。児島湖の水位は、児島湾潮位が干潮から次の干潮までの間、徐々に水位が上昇しており(例えば図3(b)の上向き矢印)、この間排水樋門は閉門されている。児島湾潮位が干潮になるにしたがい、児島湖水位は低下している(図3(b)の下向き矢印)。この水位の低下は排水樋門の開門によるものである。排水樋門が閉門時に降雨があった場合、児島湖内の水位上昇量は降雨がない場合に比べて大きくなる。これは降雨が無いときの水位上昇と降雨による降雨上昇の差から確認できる(図3(c))。

## 3. 水位予測システムの概要と水位予測の手順

### (1) 概要

当該工事で適用している水位予測システムは、降水量の予報値や児島湾の予測潮位を用いて児島湖の水位を36時間先まで予測し、排水樋門の開閉時刻を工事関係者に周知するシステムである。本システムのフローを図4に示す。水位予測は、入力データの準備、水位の予測、予測結果の整理と配信である(図4(a))。水位の予測は排水樋門の開閉状況の把握、水位上昇量および水位の予測、排水樋門の判定を逐次計算により行っている(図4(b))。以下、各手順の内容を記す。

### (2) 入力データ

入力データは、児島湾の予測潮位、児島湖の実況水位と児島湖上流域の降水予報値である。

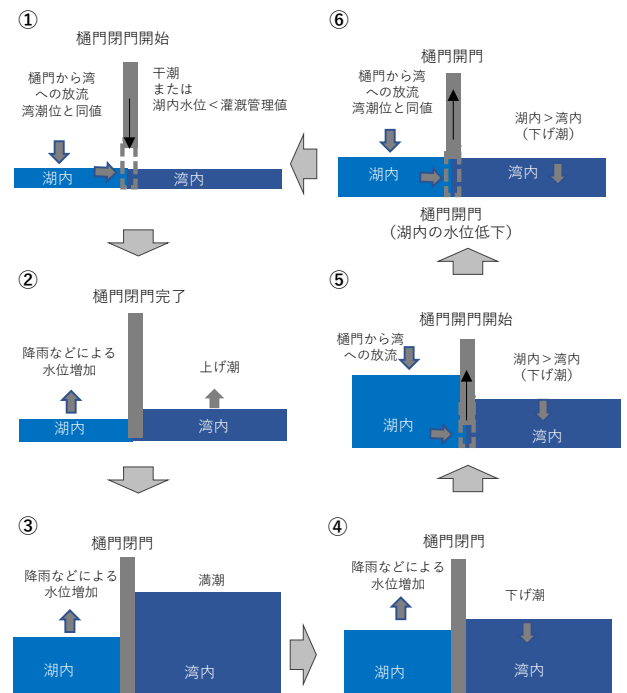


図2 排水樋門の開閉と児島湖水位の関係

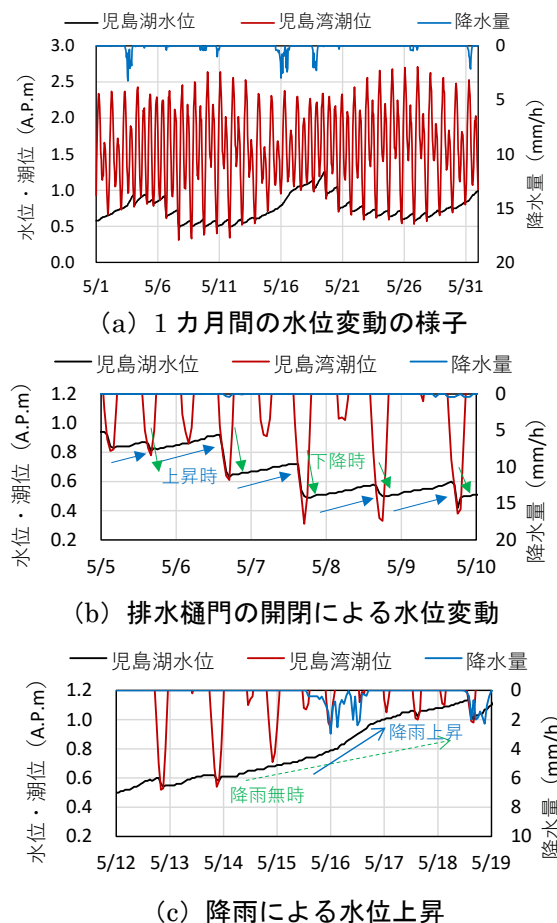


図3 児島湾および児島湖の潮位・水位変化

児島湾の予測潮位は、岡山県の HP「児島湖水位情報」<sup>4)</sup>にある「児島湾潮位」の過去潮位（2011～2021 年）を用いて、調和解析により算出した。児島湖の実況水位は、岡山県の HP「児島湖水位情報」<sup>4)</sup>の「児島湖水位」を取得して利用する。降水量の予報値は気象庁が 3 時間ごとに配信する 39 時間先までの天気予測計算「メソスケールモデル」(MSM, 5km 格子)<sup>5)</sup>から、児島湖の上流域内にある格子点（図 1 (a) の◆)における降雨量の予報値（1～36 時間先,  $t$  は水位を予測する時刻（毎正時））を取得する。

### (3) 水位の予測

#### a) 初期値の設定

水位の予測は、①初期値の設定、②水位上昇量および水位の算出、③排水樋門の開閉判定の 3 ステップである。水位予測時の初期値は排水樋門の開閉状況により式を選択する。排水樋門が閉門しているときは、児島湖の実況水位を初期値とする。排水樋門が開門している時は、児島湾の水位は児島湖の水位と同値であるため、児島湖潮位を初期値とする。

#### b) 水位上昇量および水位の算出

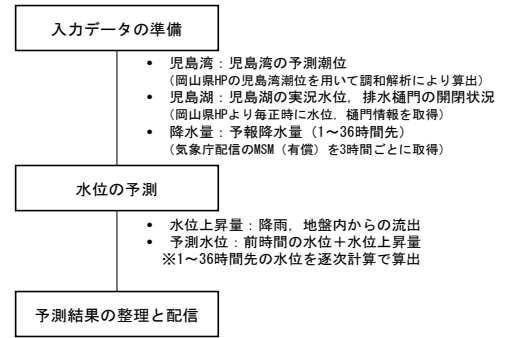
水位の予測式は排水樋門の開門時と閉門時で異なる式を用いる。排水樋門が閉門している時は、まず以下の式 (1) を用いて  $t \sim t + \Delta t$  における水位上昇量を求める。

$$\Delta \eta = (\alpha + \beta q(t)) \quad (1)$$

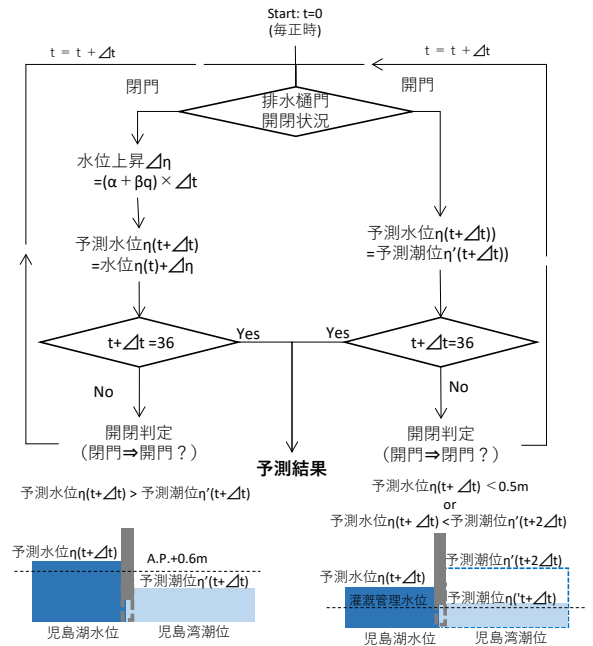
$\alpha$  は単位時間当たりの水位上昇量であり、降雨の有無によらず流域内の土壌からの流出量などによる水位上昇量を示している。 $\beta$  は児島湖の上流域における降雨に伴う単位時間当たりの水位上昇量 (m/mm・h) である。 $q$  は単位時間当たりの降水量 (mm/h) である。 $\alpha$ ,  $\beta$  の値は 2011 年～2021 年の排水樋門が閉門していた期間を選定して実際のデータとの関係から設定した。

$\alpha$  の値は閉門期間中（閉門～開門までの間）の水位上昇量を月ごとに調べて設定した。図 5 は 2011 年～2021 年の各月の  $\alpha$  値の平均値を求めたものである。月ごとの水位上昇量にばらつきがみられたため、全データ数の  $\pm 10\%$  を棄却して平均値を求めて  $\alpha$  値とすることとした。結果から多雨時期は 0.00745m/mm・h（7 月と 9 月の平均値）、少雨時期は 0.00462m/mm・h（1～5 月, 8 月, および 10～12 月の平均値）の 2 つの値を採用した（図 5 の破線内）。なお 6 月は梅雨明け時期の前後で多雨と少雨が分かれていたため、本システムを運用後、梅雨明けのタイミングを見て  $\alpha$  値を変えている。

$\beta$  は排水樋門が閉門している間における降雨量の累加値と水位上昇量の関係を回帰式で表し、線形回帰式の傾きから求めており、0.0113m/h としている（図 6）。



(a) 全体のフロー



(b) 水位の予測（逐次計算）

図 4 水位予測システムのフロー

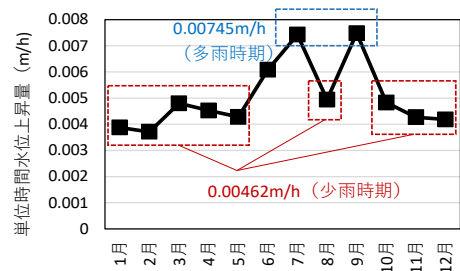


図 5 月ごとの水位上昇量と平均値

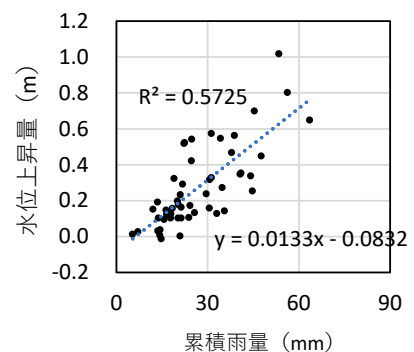


図 6 降雨有時の水位上昇量

$t \sim t + \Delta t$  の水位上昇量  $\Delta \eta$  を求めた後、 $t$  の水位 ( $\eta(t)$ ) に加えて  $t + \Delta t$  における水位 ( $\eta(t + \Delta t)$ ) とした。

$$\eta(t + \Delta t) = \eta(t) + \Delta \eta \quad (2)$$

排水樋門が開門している間は、児島湖水位と児島湾潮位は同値であるとして、水位上昇量は求めず、 $t + \Delta t$  の潮位を  $t + \Delta t$  の水位とした。

### c) 排水樋門の開閉判定

b) で求めた児島湖水位と予測潮位を比較して、 $t + \Delta t$  における排水樋門の開閉を判定する。排水樋門が閉門していた場合、予測した  $t + \Delta t$  の児島湖水位が  $t + \Delta t$  の予測潮位より高ければ樋門を開門する。排水樋門が開門している場合、 $t + \Delta t$  の児島湖水位が管理値（非灌漑時期：A.P. +0.5m、灌漑時期：A.P. +0.8m）より低い、または  $t + 2\Delta t$  の潮位より低い場合は排水樋門を閉門する。

以上の計算、判定を逐次繰り返し、36時間先までの水位を求め1回の予測を終了する。

### d) 予測結果の配信

水位予測結果は図化して工事関係者にメール配信する。当該工事では予測水位と排水樋門の開閉・閉門の予測時刻を時系列のグラフにして毎朝6時に配信している(図7)。グラフには実況および予報の降水量と、配信した時刻における排水樋門の開閉状況も記している。また9~17時の工事実施時間内において、朝6時に予測した排水樋門の開閉時刻が変更となった場合、結果を再度配信する。降水量の予報値が10mm/hを超える場合、警報としてメール配信するなどの配信に関する工夫を行い、安全管理に活用している。

## 4. 実測水位と予測水位の比較

図8は2020年5月における予測水位例と実測水位を時系列で比較した結果である。降雨がない5月11日(図8

(a)は、予測水位と実測水位が概ね一致していることが確認できる。また、降雨が有る5月16日(図8(b))は、実測水位の水位変動に合わせて予測水位が上昇しており、予測水位が実測水位より0.2mほど高くなっている。図9は予測手法の精度確認を目的に、2018年~2020年を対象に排水樋門が閉門中の実測水位と予測水位を比較した結果である。図9(a)は10月から翌年5月の少雨時期、図9(b)は7月、9月の多雨時期の結果である。水位の予測では降水量の実況値を用いた。図9(b)では実測水位が高い時に予測水位との差異が大きくなる傾向があり、予測水位は実測水位に対して概ね0.5m以内の差異であった。

予測水位と実測水位の差異の要因は、 $\alpha$ 、 $\beta$ の値によるものである。 $\alpha$ 、 $\beta$ の値は2011年~2021年の過去データから平均値を採用しており、 $\alpha$ は±10%のデータを除外して

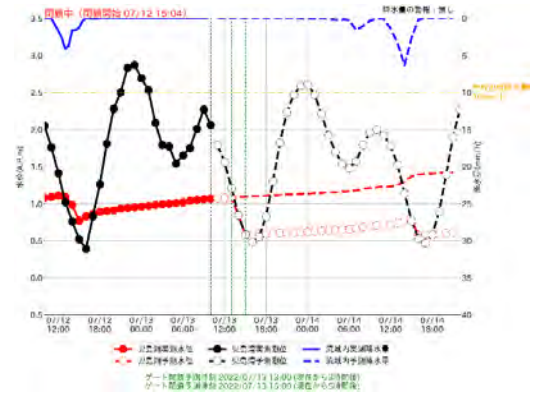
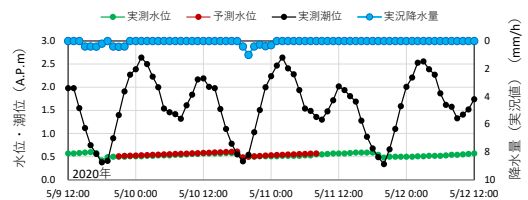
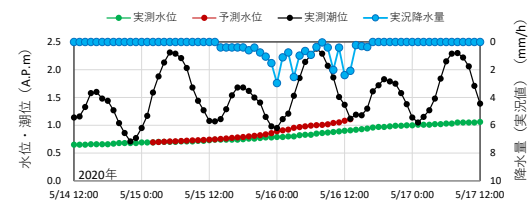


図7 水位予測結果の配信グラフ例



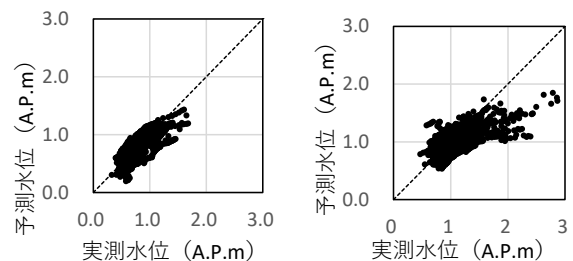
(a) 2020年5月11日



(b) 2020年5月16日

図8 実測水位と予測水位の比較例例

(2020年5月)



(a) 10月~5月, 8月

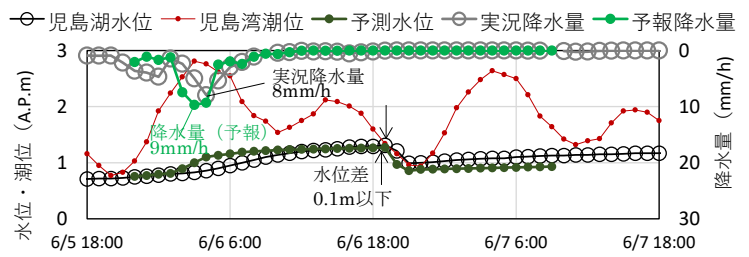
(b) 7月, 9月

図9 実測水位と予測水位の比較

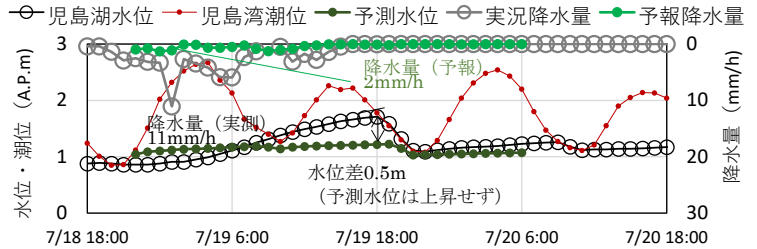
(2018年~2020年)

求めているため、あらゆる水位を当てることは困難である。しかし本システム適用開始後のデータを含めて多くのデータを用いて設定することで、予測精度が高まることが期待される。そのため運用開始後も  $\alpha$ 、 $\beta$  の調整を継続的に実施することが必要と考える。

本システムの当該工事への適用で、実測水位と予測水位の差異の要因としては、営農に伴う利水など人為的な水位変動の他に、降水量の予報値と実測値の差異による影響が挙げられる。降水量の予報値と実測値の差異による影響の一例として、2022年6月6日および2022年7月19日の予測結果を図10に示す。2022年6月6日は水位差が0.1m未満であった。2022年7月19日は予測水位が上昇せず、排水樋門開門前の水位は予測値より実測値が約0.5m高くなった。2022年7月19日に0.5m



(a) 2022年6月6日



(b) 2022年7月19日

図10 降水量の予報値が水位予測に与える影響

の差異が発生した要因は予報と実際の降水量が異なったためである。7月18日21時の段階では、36時間先まで降雨は2mm以下であったが、実際は7月19日01時に11mm/hのやや強い雨を観測している(図10(b))。これに対して6月6日の水位予測では、実際の降水量が8mm/h、予報が9mmであり差異が1mmであったため予測水位と実測水位の差が小さくなったと考えられる(図10(a))。このように降水量の予報値が過大、過小になると予測水位も過大、過小となり、安全や工程など施工管理に影響を及ぼすことが推察される。降水量の予報値は予報時間が現在の時刻に近いほど予測精度が高くなる傾向がある<sup>5)</sup>。そのためクリティカルパスになるような重要な作業で本システムの水位予測値を活用する場合は、工事関係者に水位予測値を毎正時に配信して、配信図中の降水量の予報値にも注目することが必要と考える。

## 5. おわりに

児島湾締切堤防の耐震補強工事における安全管理を目的に、降水量の予報値と児島湖の水位を入力値として、児島湖水位を最大36時間先まで予測し、排水樋門の開閉時刻を予測する水位予測システムを構築した。本システムは2022年5月から当該工事にて運用を開始した。今後は当システムで用いる降水や流域に関するパラメータ値を適宜更新しながら、引き続き安全な施工管理に寄与できるように本システムを運用していく。

## 参考文献

- 1) 農林水産省中国四国農政局：国営総合農地防災事業「児島湾沿岸地区」, <https://www.maff.go.jp/chushi/kj/okayamam/1/index.html>, 参照 2022.07.
- 2) 岡山県：児島湾締切堤防と児島湖, <https://www.pref.okayama.jp/page/detail-5965.html>, 参照 2022.07.
- 3) 三浦慎吾, 風早淳平, 樋口輝久, 馬場俊介：防災・環境面から見た児島湖造成の多面的評価, 土木史研究 論文集, 25巻, pp.157-168, 2006.
- 4) 岡山県：児島湖水位情報, <https://www.pref.okayama.jp/page/290996.html>, 参照 2022.07.
- 5) 国土交通省 気象庁：メソモデル・局地モデル, <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-6.html>, 参照 2022.07.