

鳥取県環境学術研究等振興事業費補助金（環境創造部門）研究実績報告書

研究期間（1年目/3年間）

研究者 又は 研究代表者	氏名	(ふりがな) しみず かつゆき 清水 克之
	所属研究機関 部局・職	鳥取大学 農学部・准教授 電話番号 0857-31-5395 電子メール shimizu@muses.tottori-u.ac.jp
研究課題名	ため池の防災・減災力を強化する「ため池ルールカーブ」の開発	
研究結果	<p>【水文観測体制の確立と観測の実施】 対象ため池の水文観測データと降雨流出モデル（タンクモデル）を用いてため池の水収支を明らかにした。これにより、ため池ルールカーブの汎用化に向けた基礎的な水文・水利用データが蓄積された。また、同程度の規模の貯水量を持つため池であっても、集水面積および受益面積の大きさによって取水管理が大きく異なることが示された。</p> <p>【水位－容量曲線の新たな作成方法の確立と実施】 小型UAVと三次元画像解析ソフトを用いたため池の水位－容量曲線の簡易な作成法が開発された。</p> <p>【ルールカーブの作成方針】 既往の論文をレビューした結果、確保容量方式を採用することにした。</p>	
研究成果	<p>【学会誌（査読有）】 福田祐樹・清水克之・吉岡有美・木下治・津村佳英・山内康二：鳥取県湯谷池におけるため池の防災・減災に対する取組み，水土の知，85(1)：37-40，2017年1月</p> <p>【学会発表】 福田祐樹・清水克之・吉岡有美・津村佳英・田村晴久：小型UAVを用いたため池の水位－容量曲線の作成と課題，第71回農業農村工学会中国四国支部講演会講演要旨集，pp.142-144，2016年10月，愛媛県松山市</p>	
次年度研究計画	<p>対象ため池の水文観測を継続する。コンセプトに基づき、ルールカーブを作成する。さらに、水文データおよび用いた流出モデル，作成した水位－容量曲線それぞれの更なる精緻化が求められる。具体的には、</p> <p>【水文観測欠測期間の最小化】次年度は現地観測のネットワーク環境を整備することで、トラブル時に即座に対応できるようにする。</p> <p>【水位－容量曲線の精緻化】空撮時に複数の適切なGCP（地上基準点）を設定する。</p>	
報告責任者	所属・職 氏名	研究推進部研究推進課 高田 志保 電話番号 0857-31-5494 電子メール ken-jyosei@adm.tottori-u.ac.jp

- 注1) 表題には、環境部門、地域部門、北東アジア学術交流部門のいずれかを記載すること。
 2) 「研究期間（ 年目/ 年間）」及び「次年度研究計画」は、環境部門のみ記載すること。
 3) 研究者の知的財産権などに関する内容等で、非公開としたい部分は、罫線で囲うなど明確にし、その理由を記すこと。
 4) 研究実績のサマリーを併せて提出すること。

平成28年度研究実績概要（環境創造部門）

研究課題名 ため池の防災・減災力を強化する「ため池ルールカーブ」の開発

鳥取大学農学部・生命環境農学科
准教授 清水克之

【水文観測体制の確立と観測の実施】

対象ため池を鳥取市の七谷池，大池，湯谷池に選定した。各池の水文観測体制を確立し，水文データと湯谷池については降雨流出モデル（タンクモデル）を用いてため池の水収支を明らかにした。これにより，ため池ルールカーブの汎用化に向けた基礎的な水文・水利利用データが蓄積された。また，水管理調査の結果，同程度の規模の貯水量を持つため池であっても，集水面積および受益面積の大きさによって取水管理が大きく異なることが示された。

【水位－容量曲線の新たな作成方法の確立と実施】

小型 UAV と三次元画像解析ソフトを用いたため池の水位－容量曲線の簡易な作成法が開発された。

【ルールカーブの作成方針】

既往の論文をレビューした結果，確保容量方式を採用することにした。

研究業績は以下のとおり。

【学会誌（査読有）】

福田祐樹・清水克之・吉岡有美・木下治・津村佳英・山内康二：鳥取県湯谷池におけるため池の防災・減災に対する取組み，水土の知，85(1)：37-40，2017年1月

【学会発表】

福田祐樹・清水克之・吉岡有美・津村佳英・田村晴久：小型 UAV を用いたため池の水位－容量曲線の作成と課題，第71回農業農村工学会中国四国支部講演会講演要旨集，pp. 142-144，2016年10月，愛媛県松山市

鳥取県湯谷池におけるため池の防災・減災に対する取組み

Approach to Disaster Prevention and Mitigation of Yutani Irrigation Pond in Tottori Prefecture

福田 祐樹*

(FUKUDA Yuki)

清水 克之**

(SHIMIZU Katsuyuki)

吉岡 有美**

(YOSHIOKA Yumi)

木下 治***

(KINOSHITA Osamu)

津村 佳英****

(TSUMURA Yoshihide)

山内 康二*****

(YAMAUCHI Koji)

I. はじめに

近年の東日本大震災など自然災害による被害により、多くの施設の防災・減災対策が模索されており、ため池もその中の1つであると言える。ため池における防災・減災には、ハード対策としては、緊急放流施設や洪水吐の改修が挙げられる。またソフト対策では、重岡ら¹⁾の提案する、災害リスク認識を醸成する手段として手作り防災マップワークショップ手法や、浸水想定区域を求め、それに基づき住民の意見を組み込んだハザードマップの作成のほかにも、井上ら²⁾により提案されている、ため池が決壊した場合の氾濫エリアの予測計算、リアルタイム気象情報を用いて豪雨により決壊する可能性のあるため池の選別をし、警告するシステムが挙げられる。

鳥取県鳥取市の湯谷池は、集水域からの流出のみで貯水するため池であり、ため池台帳によると湯谷池の総貯水量は3,800 m³、流域面積は0.083 km²、満水時水面積は2,100 m²、堤高は4 mである。本池は集落の上流約200 mに位置しており、決壊時の集落への洪水到達時間はきわめて短い。その上、洪水吐の規模が小さく、土地改良事業設計指針「ため池整備」³⁾で示されている洪水吐の整備水準に対応する200年確率の洪水流量を流下させることができない。しかし、十分な規模の洪水吐に改修するには多大なコストを要する。そこで、本報では鳥取県「とっとり発ため池安全向上対策モデル事業」で湯谷池を対象に実施された防災・減災対策を紹介する。

II. 防災に対する取組み

1. 緊急放流装置の設置

本来であれば、200年確率流量を流下させる規模の洪水吐に改修することが望ましいが、コストの制約上それがすぐには実施できないため、現在の洪水吐の機能を補完する緊急放流装置を設置することにした。地域住民との話し合いを経て、操作・維持管理が容易で低コストな緊急放流装置として、サイホン管が採用された。緊急放流装置の概要を写真-1に示す。本装置はサイホン管（管径200 mmの耐圧ホース、カナフレックスコーポレーション（株）製、カナライン N.S.）、注水管（カナフレックスコーポレーション（株）製、ブレードホース、口径50 mm）、電動弁（旭有機材（株）製、バタフライバルブ57型 電動式 T型、口径200 mm）、手動弁（旭有機材（株）製、バタフライバルブ57型レバー式、200 mm）、空気抜き弁（旭有機材（株）製、ボールバルブ21α型、口径25 mm）と電動弁

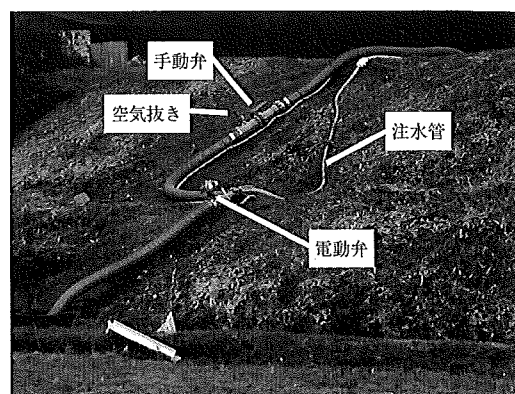


写真-1 緊急放流装置の概要

*鳥取大学大学院農学研究科

**鳥取大学農学部

***鳥取県農林水産部農地・水保全課

****（同）ローディーネット

*****旭有機材（株）

キョウコ

緊急放流装置、水位警報装置、事前放流、サイホン管、低コスト

のコントローラと電源（太陽光発電パネル 180 W）で構成される。

本装置では注水管を取り付けることで、サイホン管吸込み口から水を入れる必要がなく、サイホン管を持ち上げるなどの労力を伴わない。また、携帯型発電機とポンプ（揚水量 130 l/min）を用いることで、1 人でも 4 分間程度でサイホン管に注水できる。手動弁はトラブルでサイホンが閉じない場合に使う非常用であり、通常操作しない。

サイホン管の取水口の設定位置は緊急放流装置において重要な設定項目である。サイホン管の取水口が高すぎれば、ため池水位が低下した際にサイホン管が機能しなくなる。また低すぎる場合はなんらかの理由でサイホン管からの漏水が発生した際に、多くの水を放流する恐れがある。これらのリスクを踏まえ、サイホン管の取水口の設定位置は慎重に決める必要がある。現状では満水位より 30 cm 下に設置している。また維持管理として動作確認のために、年に 1, 2 回程度試運転を行うことが望ましい。

2. 各確率年降雨におけるため池水位の応答

緊急放流装置の機能評価を行うために、各確率年 60 分降雨におけるため池の水収支を 1 秒単位で計算した。なお、ため池の水収支計算は洪水流出モデルによる逐次計算とは異なり、概略的に流出として洪水吐と緊急放流装置による放流、流入として各確率年降雨のピーク流量のみを考慮した。ため池水位計算フローを図-1 に示す。対象を時間降雨としているため、1 時間

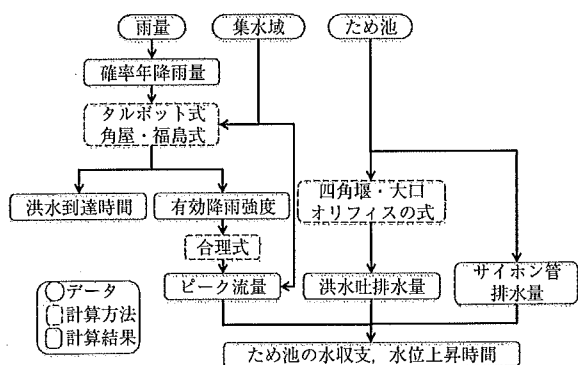


図-1 ため池水位計算フロー

表-1 確率年降雨算定結果

確率年 (year)	時間降雨量 (mm/h)	日降雨量 (mm/d)
30	60.5	191.5
40	64.5	199.7
50	67.8	206.1
60	70.5	211.4
70	73.0	215.8
200	91.5	246.7

から降雨到達時間を減じた時間においてピーク流量が流下すると仮定した。

気象庁ホームページより 1974~2013 年の鳥取地方気象台における日雨量および時間降雨量の上位 40 サンプルを選定し、岩井法を用いて確率年降雨量を推定した。次に土地改良事業設計指針「ため池整備」の「計算例 1.2 降雨強度式の作成」に基づき、各確率年の時間降雨量、洪水到達時間、有効降雨強度を算出し、ピーク流出係数を 0.75 として合理式でピーク流量を推定した。岩井法による確率年降雨量の推定結果を表-1 に、各確率年時間降雨量に対応するピーク流量、洪水到達時間の算定結果を表-2 に示す。対象池において 200 年確率時間降雨量は 91.5 mm であり、降雨開始から 36.2 分後にピーク流量 2.44 m³/s がため池に流入することが示された。

ため池の水位上昇量を計算するために、ため池満水位から天端までの水位-容量曲線作成に必要な法面勾配やサイホン管流量の算定に必要な堤体の形状の測量を行った。なお、本報では満水位、すなわち洪水吐底を基準（水位 0 cm）として以後、水位を表記する。また天端は水位 95 cm に相当するので、その水位を超えると越流が始まるとする。洪水吐の流量計算では、洪水吐側壁の上端が 54 cm であるため、洪水吐水位が 54 cm までは水路流入型（堰無）の公式を用いて、それより高い水位では大口オリフィスの式を用いた。サイホン管（口径 200 mm）の取水口の設定位置は満水位から 30 cm 下とした。流入量、流出量の計算に用いたパラメーターを表-3 に示す。これらより、ため池の水収支を計算し、ため池水位を算出した。

緊急放流装置の有無を考慮した各確率年降雨におけるため池のピーク水位を図-2 に示す。図より、① 50

表-2 ピーク流量の計算結果

確率年 (year)	時間降雨量 (mm/h)	洪水到達時間 (min)	有効降雨強度 (mm/h)	ピーク流量 (m ³ /s)
30	60.5	42.8	66.0	1.52
40	64.5	41.8	66.4	1.53
50	67.8	40.9	74.8	1.73
60	70.5	40.2	78.5	1.81
70	73.0	39.7	81.6	1.88
200	91.5	36.2	105.9	2.44

表-3 計算に用いたパラメーター

算定項目	計算方法	係数
水路流入型（堰無）	水路流入型（堰無）	流入係数：0.82
洪水吐放流量	大口オリフィスの式	流量係数：0.6
有効落差（サイホン管放流量）	損失水頭計算	摩擦損失計算：0.0186 曲がり損失計算：0.035 流入損失計算：0.5 流出損失計算：0.5 弁損失計算：0.895

年以下の確率降雨ではサイホン管の有無に関わらず越流しない、②60年確率の降雨では現状のため池は越流し、サイホン管を設置した場合はため池水位がほぼ天端に達する、③70年確率降雨ではサイホン管の有無に関わらず越流する、ことが分かる。この結果から60年を超える確率年降雨発生時の減災対策が必要となり、次に事前放流の検討を行った。

3. 緊急放流装置を用いた事前放流の検討

緊急放流装置を設置した対象ため池において200年確率降雨の際に、越流しないため池の水位を水力計算により概算した。各計算に用いたパラメーターは対象池の諸元を用い、緊急放流装置、取水孔の管径はそれぞれ、200mm、80mmである。取水孔の使用数は水面下の2つを開放すると仮定して前述と同様のため池の水収支計算を行い、事前放流で下げるべき水位を算出した。その結果、ため池水位が満水位から55cm以下の場合、200年確率時間雨量時のピーク流量が流下しても、ため池が越流しないことが示された。さらに緊急放流装置の有無による事前放流に要する時間を分単位で比較した結果、取水孔2つのみの放流では、25時間53分の時間を要するが、サイホン管を含めた放流の場合、所要時間は2時間10分であった。以上のことから、緊急放流装置は、事前放流装置として有用性が高い。しかし、どの程度の雨が降るのかを正確に予測することは非常に困難であるため事前放流の要否判断は困難である。そこで減災策として、60年を超える確率年降雨発生時に安全に避難できる警報システムの水位設定が重要であることが示された。

III. 減災に対する取組み

1. ため池水位早期警報システムの設置

減災対策として平成26年度に、ため池の水位が2段階の設定水位に到達すると、集落住民にメールや警

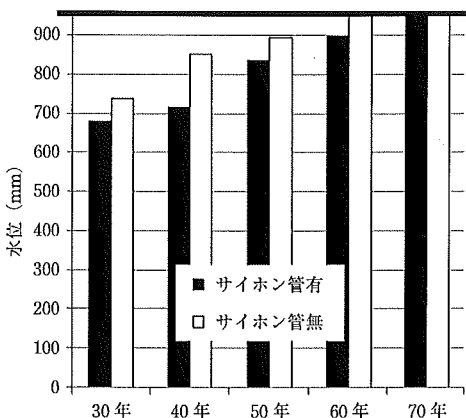


図-2 各確率年におけるピーク水位 (黒線は天端 (95 cm) を示す)

告灯で通知する水位警報システムを設置した。水位警報システムの概要を図-3に示す。本システムは、単に設定された注意・危険水位にため池水位が到達した際に知らせるだけでなく、注意水位から危険水位に到達するまでの時間で避難の要否が判断できるように工夫した。

2. 注意・危険水位の設定

避難の要否およびタイミングを考慮した注意・危険水位の設定を行う上で、注意水位から危険水位までの到達時間内に避難準備を行い、危険水位から天端までの到達時間内に避難を行うと想定した。そこで避難準備時間、ならびに湯谷池直下の集落で作成されたハザードマップの避難経路を参考にして避難時間を定めた。避難準備時間としては約3分、避難時間としては避難場所に一番遠い家屋から避難所までの避難に要する約7分を見込み、注意・危険水位を設定する際には若干の余裕を持たせ、それぞれ5分、10分とした。

緊急放流装置を設置した場合の60年確率降雨時における降雨前ため池水位別の水位上昇時間を表-4に示す。同表より、避難時間を10分以上確保できる上昇前水位は54cm以下の場合であることから、危険水位は54cmとする。なお、前述のとおり54cmは洪水吐側壁の上端であり、目視による水位の確認が容易である。また、54cmを危険水位とした場合には、注意水位を30cmとすれば5分程度の避難準備時間を確保できる。

なお、60年確率を超える降雨においては、60年確率降雨時よりも水位上昇の所要時間は短くなるものの、200年確率において逆解析的に求めた注意水位を30cm、危険水位を54cmとした場合の避難準備時間と避難時間はそれぞれ3分35秒、7分3秒であり、ハザードマップの避難経路を参考に見込んだ時間は確保できる。ただし、湯谷池では越流のおそれがある豪雨

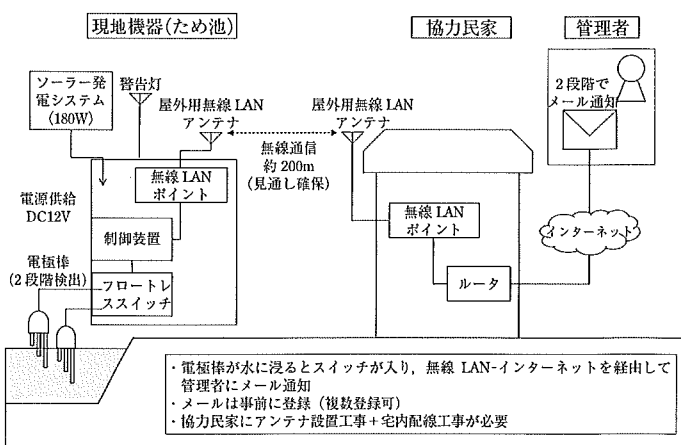


図-3 水位警報システムの概要

表-4 水位上昇に要する時間
(60年確率雨量発生時で緊急放流装置設置時)

上昇前水位 (cm)		上昇後水位 (cm)			
		40	54	60	95
20		4分4秒	7分0秒	8分19秒	17分21秒
30		2分3秒	4分59秒	6分18秒	15分20秒
40			2分56秒	4分15秒	13分17秒
54				1分19秒	10分21秒
60					9分2秒

(たとえば、ため池水位が20cmから40cmまで上昇するのに要する時間は4分4秒となる。)

時には短時間での水位上昇が想定されることから、警報システムの整備と合わせ、住民自らが把握した降雨状況などに基づいて早期に避難準備と避難を行う避難計画と防災意識の醸成が重要である。

IV. おわりに

緊急放流装置の運用上の課題として、サイホン管取水部の設置位置、事前放流のタイミングが挙げられる。本来、ため池の防災対策としては、200年確率時間降雨に対して越流しない洪水吐の整備が望ましいが、コストの制約や洪水吐の大きさが十分ではないため池が多くあることから、すべてのため池に早急に対応することは現実的ではない。次善策として、緊急放流装置、水位警報装置、およびハザードマップを組み合わせた低コストな防災・減災対策を提案したい。今回設置・設定を行った緊急放流装置、水位警報装置の設置コストはそれぞれ約100万円であった。設置コストは一般的な洪水吐の改修と比べて、はるかに安価である。

なお、本報では堤体のすべり破壊は考慮せず、越流にのみ着目した。今後は諸計算の精緻化を進めることに加え、すべり破壊も考慮していきたい。

引用文献

- 1) 重岡 徹, 山本徳司: 防災・減災意識を醸成する「手作り防災マップWS」プログラム, 水と土 81(8), pp.13~17 (2013)
- 2) 井上敬資, 谷 茂: リアルタイムで防災情報を提供する「ため池DBハザードマップ」, 水と土 160, pp.62~64

(2011)

- 3) 農林水産省農村振興局整備部: 土地改良事業設計指針「ため池整備」, 農業農村工学会, p.32, pp.165~166 (2015) [2016.12.5.受理]

福田 祐樹 (学生会員)



2015年 鳥取大学農学部卒業
鳥取大学大学院農学研究科入学
現在に至る

略 歴

清水 克之 (正会員)



2001年 大阪府立大学大学院農学生命科学研究科
修了 博士(農学)
IWMI, 農業工学研究所を経て
2006年 鳥取大学農学部
現在に至る

吉岡 有美 (正会員)



2009年 神戸大学農学部卒業
2014年 京都大学大学院農学研究科修了, 博士(農学)
農研機構農村工学研究所を経て
鳥取大学農学部
現在に至る

木下 治



1989年 鳥取大学卒業
1991年 鳥取県入庁
2013年 農林水産部農地・水保全課
2016年 西部総合事務所農林局地域整備課
現在に至る

津村 佳英



1992年 倉吉産業高等学校情報処理課卒業
建設コンサルタント, ICTシステム開発業を経て
2013年 (同) ローディーネット設立, 鳥取大学工学部
現在に至る

山内 康二 (CPD 個人登録者)



1981年 青山学院大学卒業
2015年 旭有機材(株)市場開発グループ
現在に至る

