

研究成果報告書

研究開発課題名	サイフォン式小規模ため池の利水・減災（水位低下）簡易装置の開発
研究総括者	(株)チェリーコンサルタント 代表取締役 矢野 均
研究開発組合	(株)チェリーコンサルタント 企画部 国立高等専門学校機構 香川高等専門学校 建設環境工学科 教授 向谷 光彦
試験研究機関	国立大学法人香川大学創造工学部創造工学科 防災・危機管理コース 教授 野々村 敦子

1 事業の実施内容

1.1 事業の背景及び目的

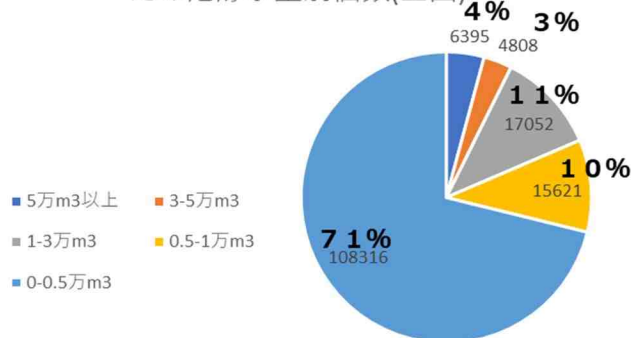
1.1.1 事業の背景

ため池は、農業用水の確保だけでなく、生物の生息・生育場所の保全、地域の憩いの場の提供など、多面的な機能を有している。また、降雨時には雨水を一時的にためる洪水調整や土砂流出の防止などの役割を持っている。しかし、近年、集中豪雨が頻発する傾向にあり、これに伴いため池決壊による浸水被害・土砂災害も増加傾向にある。今後 30 年間に最大震度 7 クラスの地震が約 70% の確率で発生するとされている南海トラフ地震をはじめ、日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震などの発生が懸念されている。ため池の多くは、水利組合や集落などの受益者を主体とした組織によって管理されているが、農家戸数の減少や

土地利用の変化から管理及び監視体制の弱体化が懸念されている。東日本大震災、九州北部集中豪雨による浸水災害後、大規模なため池については点検・改修・ハザードマップなどの対策を講じているが、5 万 m³ より小さい小規模ため池はため池全体の 95%、未整備と思われる超小規模ため池は全体の 70% を上回る数が存在している。（図 1.1 - 1）数多い小

規模ため池に、防災・減災の対策ができれば、地域の安全確保に役立ち住民の安心にもつながる。また、このサイフォンシステムを活用することにより、災害時にため池の水を下水用などに利用することも可能となり、ライフライン復旧までの一時水の確保にも役立つのではないかと考えた。

ため池貯水量別個数(全国)



出典：農林水産省「農業用ため池一覧」より

図 1.1 - 1 ため池貯水量別個数

1.1.2 事業の目的

本事業では、小規模ため池（5 万 m³ 以下）を対象として、サイフォン機能を利用した安価・半自動化・脱着可能な簡易的な利水・減災（水位低下）装置を開発することを

目的とした。小規模ため池は、管理者が個人や少数の場合も多く運搬車両が付近まで行けない場所もあるため、ホームセンター等で購入できるような安価な部品かつ軽量で半自動化・脱着可能な簡易装置の制作を念頭におき研究開発を行った。

1.2 事業の内容及び実施方法

本事業では、豪雨や地震などでため池堤体の決壊防止や下流域への被害低減を図るためには、速やかに貯留水を放流し、水位を低減させることが求められる。緊急放水施設を備えていない中小ため池は多く、また備えていても設備の老朽化、管理不徹底により実質的に機能を発揮できない状況があるので、現地で容易に放流できる手段が求められている。事業の内容及び実施方法については、下記により構成される。

(1) サイフォン式の簡易的な利水・減災装置の開発（技術開発）

- ・真空ポンプで排気時間の室内実験を行い、市販の真空ポンプでの採用の可能性について検討を行う。

(2) 地盤工学、水理学、防災工学、農業土木学にもとづく、提案技術の評価と改良（技術開発）

- ・サイフォン諸元(管種・口径、管長など)、重量、固定場所、固定方法等について室内実験により確認し、現地条件に適応可能なパーツの選定と、排水システムの構築を行う。
- ・香川県さぬき市のため池にて、室内実験で確認したサイフォン装置を現場に適用した部品に改良を続けながら、現地実験を複数回行った。
- ・ため池の規模による水位低下時間の水理解析をする。

(3) 実用化に向けた、現場での適用性の検証実験（実証試験）

- ・サイフォン装置に搭載する遠隔制御システムについて、スマホとの連携、適用範囲・留意点を確認する。
- ・(1) (2) の技術開発を踏まえて、山口県防府市のため池で装置の準備から設置、実証試験、撤去までの流れを行った。
- ・ため池管理者に実証試験動画を見てもらい、現在の防災に関する取り組みと開発装置の有用性や利用の可能性についてヒアリングを行った。
- ・開発したサイフォン式小規模ため池の利水・減災簡易装置に関する運用マニュアルを作成する。

(4) 長期曝露実験（機能監視）

- ・(1) および(2) (3) の中長期的な有効性および耐久性を確認するため、実験を実施した香川県さぬき市でのため池において機能監視を行う。本事業では、半年から1年で装置の点検を行うことを推奨するため、監視を半年以上行うことが望ましい。しかし、現地状況、管理者等の意見を踏まえ機能監視期間として1ヶ月を設ける。

1.3 事業着手時に想定した技術的問題点への対応

大規模なため池については、既に排水管理システムや設備が整備され、様々な防災システム、水位低下措置が講じられるようになっている。上越サイフォンについても、水部に水中ポンプを投入して排水させる工法が提案されているが、降雨時に重量のある水中ポンプの出し入れを高齢の管理者が行うことは、事故誘発の観点から現実的でないものと推察される。

一方で市販の安価な真空ポンプ類を組み合わせ、それらをスマートフォン・アプリで制御するような手法を検討された事例はなく、中小ため池に広く適用可能な低コストで維持管理が容易で、防災効果のある技術は確立されていない。

本件に関する技術的問題点と対策を、次項にまとめる。

技術的問題点	対応
小規模ため池の整備は手付かずであり、所有者である個人や土地改良区が対応に苦慮している現状がある。	大規模改修を伴うような工事や高価な製品を設置するのではなく、市販品の真空ポンプ、ホース、ジョイントなどの組み合わせ技術に真空タンクを加えることで、真空ポンプとの間に水の貯水場を設けホース内の満水判断を容易にする。また、池水の排水することにより所定の水位量低下を確保するというコンセプトにもとづく技術開発により、本問題を解決する。
所有者・管理者の高齢化による管理体制の弱体化が問題となっており、特に降雨の中で高齢の管理者が水門や用水路の設定変更のために近寄って水難に遭うケースが後を絶たない。簡易なシステムを遠隔で操作する技術が確立されていない。	新技術開発組合(香川高等専門学校 向谷研究室)との共同研究により、排水システムとして池内水位の確認と排水操作の自動化システムを開発し、本問題を技術的に解決する。また、本システムを活用し複数のため池の事前放流を有機的に行うことにより、中小河川のピーク流量を制御することで、氾濫抑制、流域の防災力を高めることにつながる。
ため池の放流装置は池の規模によるが、設計・工事を含むと高額になり、農家にとっては負担になる。中小ため池の場合、放流工が設置されていないケースもあり、新たな放流工を設置すると設置費用も高額になる。従って設置当初のコスト及び長期的な維持管理も含めたコストの縮減により、ため池管理者の経済的負担をできるだけ低減する必要がある。	新技術開発組合((株)チェリーコンサルタント)の強みである地域のホームドクターとしての経験を生かし、中四国及び周辺地区内小規模ため池を実証現場とし、地域性に適合したシステムづくりを進め、より汎用性のある実証試験を実施する。また、初期投資が少額であり、簡易な組立て・装着・操作に着目し、農家の負担を最小限に、防災減災機能を最大限に発揮できるシステムを構築する。

1.4 事業の実施体制

(1) 研究開発組合内の役割分担

(2) 試験研究機関と研究開発組合の役割分担

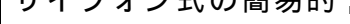
表 1.4-1 役割分担表

研究開発の項目	事業実施主体 (新技術開発組合)		試験研究機関
	(株)チェリー コンサルタント	香川高等専門学校	香川大学
サイフォン装置の開発			-
提案技術の評価と改良			○
実証試験		○	○
機能監視		○	○

(注) は主担当、○は担当

1.5 事業の年度計画と実績

表 1.5-1 計画及び実績工程表

項 目	令和3年度		令和4年度		令和5年度	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期
サイフォン式の簡易的な利水・減災装置の開発 (技術開発)	 					 
地盤工学、水理学、防災工学、農業土木学にもとづく、提案技術の評価と改良(技術開発)		 				
実証試験			 			
機能監視						 

注)  は計画、 は実績。

1.6 研究開発の概要、結果、課題等

(1) サイフォン式の簡易的な利水・減災装置の開発（技術開発）

1) 概要

開発装置の概略図を図1.6-1に示す。概要は下記に示す。

- ・ リモート操作のため排水側の電動弁と配電盤を接続しておき、電源として、ソーラーパネル付きの蓄電池を採用、テープ式水位センサーと配電盤に接続しておく。
- ・ サクションホースに吸水側、排水側の部品を取り付け、堤体上部で接続する。
- ・ 吸水側をため池内に設置し、フート弁が鉛直になるよう設置する。
- ・ 小型の真空ポンプを用いて水槽とホース内の空気を抜き、水を引き上げてホース内を満水にすることでサイフォンを完成させ放水する。
- ・ 放水はスマートフォンを用いて開閉の操作をする。
- ・ 水を引き上げる際の真空ポンプとの間に水槽をおくことにより、ポンプに水が入ることを防ぐ。また、ホースが満水になったことの確認が容易となる。

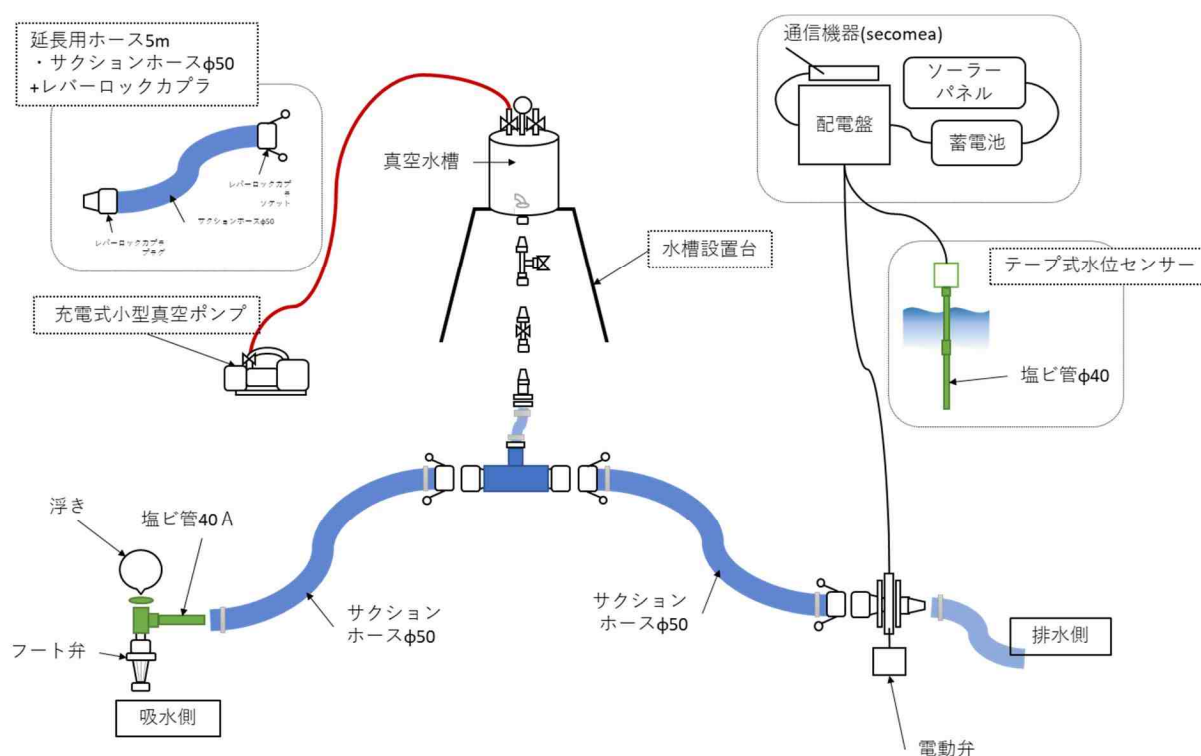


図1.6-1 サイフォン式簡易装置模式図

2) 結果

室内実験

サイフオンの形成を確認するため、室内実験で模型を作成した。(図 1. 6 - 2)



図 1. 6 - 2 簡易モデル (φ20)

第一段階では、口径をφ20とし、バルブ、を開けて真空ポンプにより真空タンクと吸水側ホースの空気を抜いていく。圧力の差を利用して、オレンジ色に着色した水が上流バケツからホース内を通り、まずは真空タンクに溜まっていく。指定した位置まで水を溜めることができればタンク内の圧力を緩め、バルブを開けることで下流のホース内を水で満たしていく。その工程を2回ほど繰り返すとホース全体が水で満たされ、そこからバルブを閉じてバルブを開けるとサイフォン機能により、上流バケツから下流バケツへ水が流れて行く構造となることを確認した。(図 1. 6 - 3)

貯水槽は、内径 16cm × 高さ 25cm、容量 1.26L のアクリル製の水槽と排気速度 (50/60Hz) (L/min) 20/24 の真空ポンプを用いて真空引きによる十分な吸水が確認できた。今回は、サイフォン管φ20を用いているが現地ではサイフォン管をφ50で実験を行い、ホース内を水で満たす回数や時間がどれだけ必要であるかを検証していく。

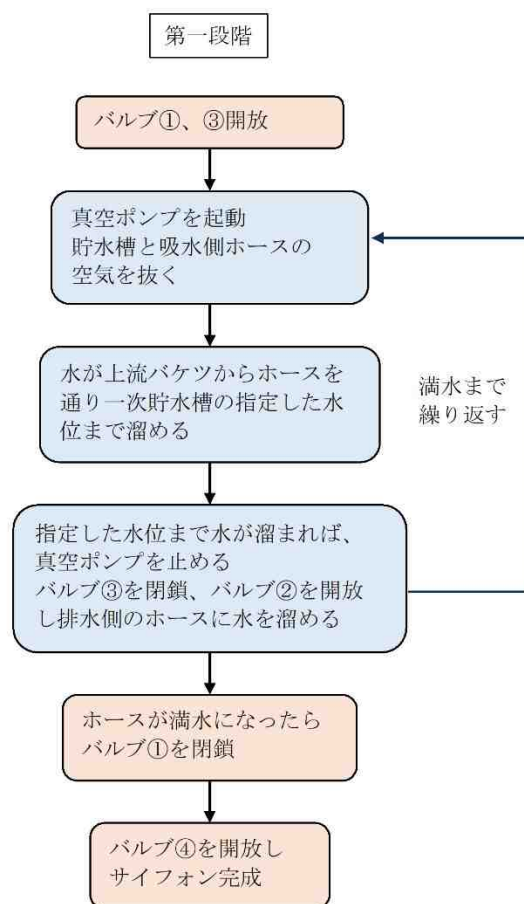


図 1. 6 - 3 サイフォン形成の流れ

第二段階として、水を溜める際の時間を短縮させるための検証をしてみることにした。最初の実験では、貯水槽に水を一時的に溜めるにはバルブ①は閉めているがそこを開けたままとし、貯水槽と下流側のホースの空気を同時に抜き、バルブ①の開閉操作がなくても水を溜めることができるか実験した。結果、排水側に水が溜まっていくことが確認できた。そして、一時貯水槽が水で満たされると、真空ポンプを作動させたまま空気圧を調整することで下流側のホースに水を流す際に前回よりも早くホース内を水で満たすことができることも確認できた。この実験の結果、ホース内を満たす時間が半分程度まで短縮できた。(図1.6-4)

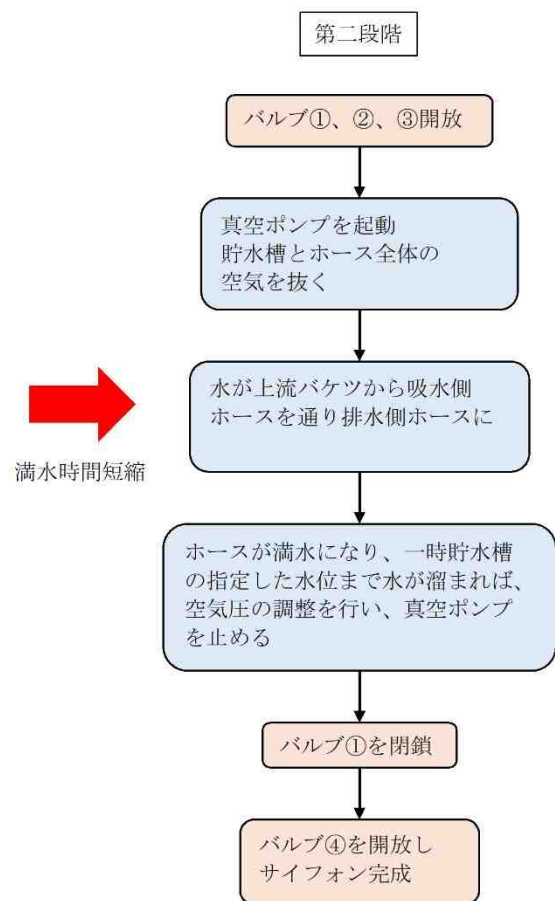


図1.6-4 満水時間短縮実験の流れ

現地実験

香川県さぬき市の上ノ池下池でサイフォン式簡易装置を設置した状況を図1.6-8に示す。また、初期装置の概要を図1.6-5に示す。試験装置ではため池側の吸い込み口にはゴミを吸引しないように、防護柵と網、浮きを装着した。(図1.6-8(右)) (池の底のヘドロを吸い上げないこと、水面のゴミや水面温度の高い水を吸い込まない事などを考慮し、吸水口は水面より30cm程度下げた位置になるようにした。) また、全体の流れが分かるようにビデオ撮影を行い、実験の様子を記録した。

現地実験をするにあたり、サイフォン管がφ50、ホースの長さは全長10m程度で室内試験と同様にサイフォン構造を確認した。また、室内試験時と同様の貯水槽・真空ポンプを用いても、室内時と変わらず十分な吸引力で水を引き込むことが確認できた。また、ホース内に水を溜める際の時間を短縮する試験も行った。

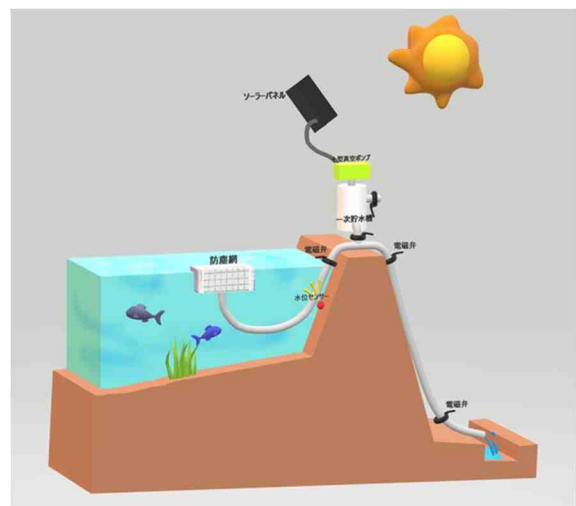


図1.6-5 初期装置概要図

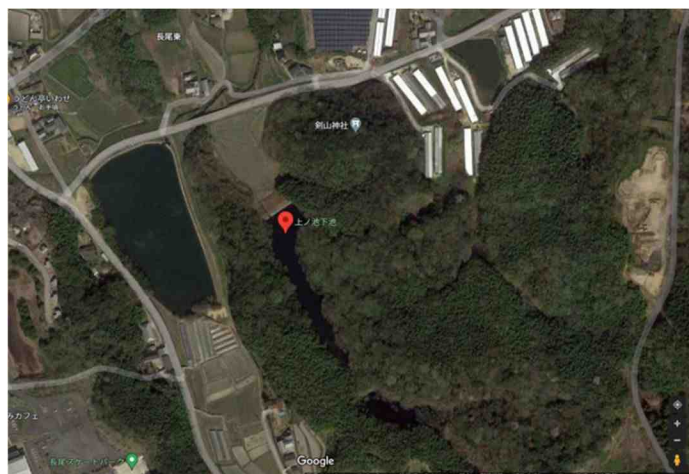


図 1 . 6 - 6 現地実験対象池（上ノ池下池）



図 1 . 6 - 7 上ノ池下池 (左)堤体部(右)貯水部



図 1 . 6 - 8 現地実験の様子 (左)真空ポンプ、貯水槽部分(右)ため池側

3) 課題

現地実験にて、図 1 . 6 - 8 にあるようなホースとタンクを接続してみると、ねじ込み式の金物では各部品間の密閉がうまくできておらず、漏水するという問題が発生した。また、設置作業を熟知した者でも貯水槽とホースを取り外すには時間と労力がかかり、実際に使用する方は地元の未経験者であり設置作業が困難であると感じた。

このことから、接続部自体をカプラ式の部品に変更し、ワンタッチで取り外しができるようにする必要があり、情報収集と検討作業に入った。

(2) 地盤工学、水理学、防災工学、農業土木学にもとづく、提案技術の評価と改良
(技術開発)

装置の改良

1) 概要

実験装置の組立において、水槽を取り外して持ち帰れるようにカプラ部品を採用した。そこで、組立を行ったサイフォン装置の機能の流れをフローチャートと図にて次項に示す。(図 1 . 6 - 9)

また、室内試験や当初の現地実験では真空ポンプを稼働するために電源が必要であったが運搬する物品を少なくするため、小型・充電式の真空ポンプを採用し、サイフォンの形成ができるか確認した。

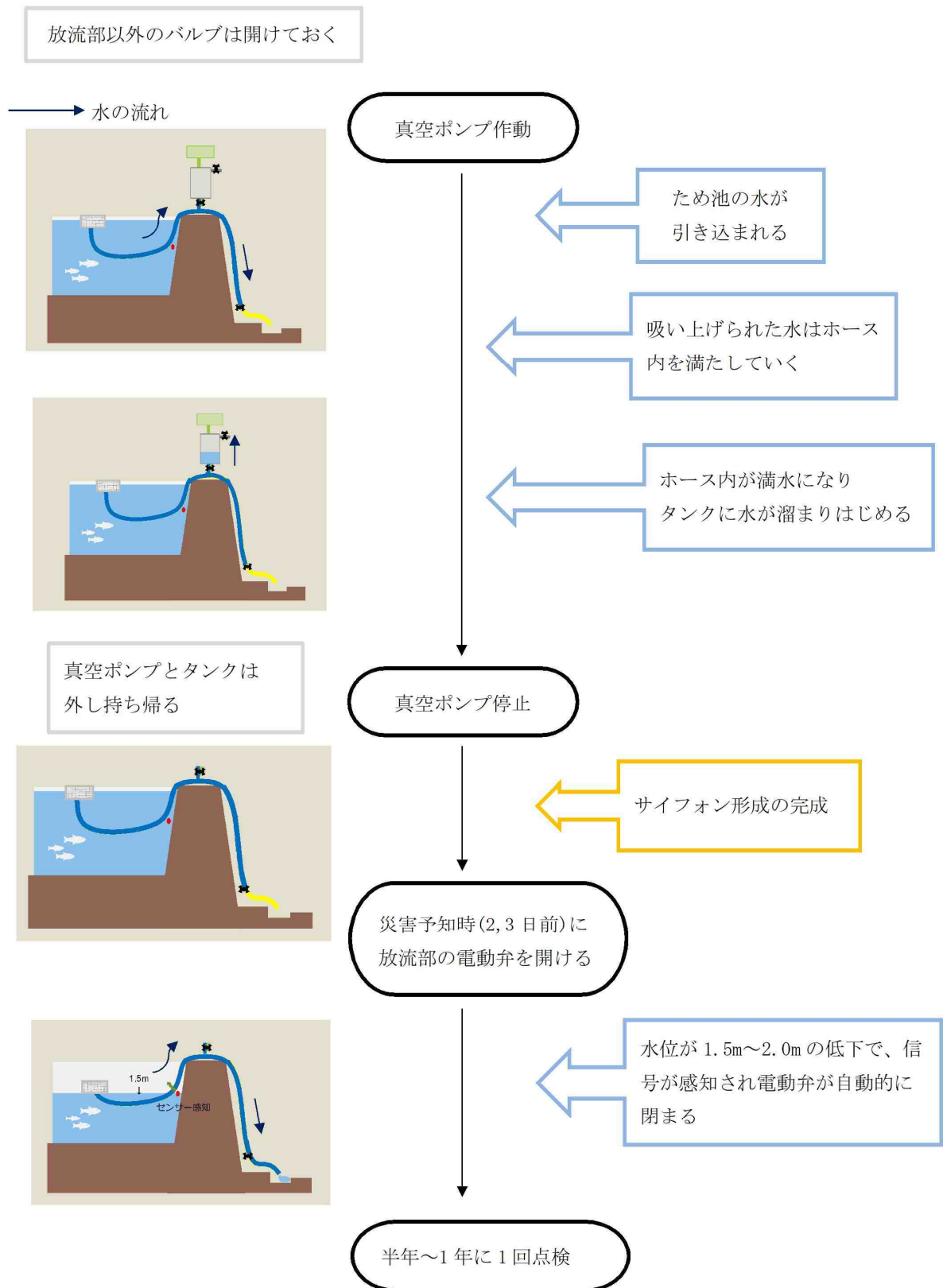


図 1 . 6 - 9 サイフォン装置の機能の流れ

2) 結果

(1) で課題となっていた接続箇所の漏水や、部品間の設置・着脱が困難であることを踏まえ、レバーロックカプラを採用し、装置の脱着を容易にした。 $\phi 50$ のホースでは、重量も増えるためアルミ製のレバーロックカプラを使用して5m 毎に分割して運搬できるようにした。(図1.6-10(左))

また、真空ポンプを止めた際に水が池側に戻る可能性があるのではないかという懸念があったため、池側ホースに逆止弁を設置し実験を行ってみた。しかし、真空引きをして水は上がってくるものの、弁の重量もあり十分な吸水ができないため、ホース間での逆止弁は外すこととし、他の部品を検討することにした。

そして、真空ポンプについても現地に持ち運ぶ備品を減らすため、充電式の真空ポンプ(到達真空度3Pa、排気速度113L/分、連続作業時間約60分)を用いて実験を行った。(図1.6-10(右))充電式であっても、十分に真空引きを行うことができた。真空タンクについても、軽量化と真空度を高くするため継目のない容器に変更した。($\phi 184 \times 192$ 、重さ3.2kg)



図1.6-10 装置改良のための部品 (左)レバーロックカプラ(右)充電式真空ポンプ



図1.6-11 改良後の装置(左)真空ポンプ、貯水槽部分(右)持ち運ぶ部品

3) 課題

現地実験にて、図 1.6-11 (右)にあるようなホースと浮きを池に入水しているが、ホースの重量と浮きがうまく合致しておらずスムーズに着水ができなかった。また、サイフォンを停止した際に水が池側に逆流してしまうことが確認された。実際、逆止弁を導入したがφ50の金属部品となると弁にかなりの重量があり、真空ポンプによる吸水がうまくできなかった。そこで、塩ビパイプのフート弁を設置して逆流する水を回避し、フート弁が錘となるように吸い込み部分の形状を見直すことにした。

また、全体としてホースや真空ポンプ、水槽等持ち運ぶ物品が多いので、運搬に必要な道具について運搬しやすい工夫を今後検討していく必要がある。現場によっては、道が整備されているところだけではないので、それに対応できるようにしていくことが必要である。そして、水槽についても水槽からφ50のホースまでは、横向きに内径がφ10のホースや部品で繋げているが、脱着してホースのみを現地に設置したままにしておくことが予想されるため、脱着可能なゼロスピルカップラでジョイントする。また、設置位置もサイフォン形成しているホースから真上の位置に水槽を設置することで空気の動きがより分かりやすくなると考えた。そこで、水槽を設置・固定する足場台等も検討し改良していく。(図 1.6-11 (左))

ため池の規模による水理解析

1) 概要

対象ため池について、H27.5月「ため池整備」の設計指針より【緊急時のため池水位は常時満水位に設定し、緊急降下の目標水位は「常時満水位 - 2.0m」と「常時満水位 - (貯水深 × 1/3)」を比較しいずれか高い水位とする。】とあり、表 1.6-12 に記載の常時満水位である 64.87m から -2.0m した水位を目標水位とし、放流管口径を 0.2 m とした場合の水理解析を行った。

流出量 Q_o は流入量 $Q_i = 0$ として、洪水調節数値計算法を用いて算定した。基本式は以下のとおりである。

$$\frac{dv}{dt} = Q_i - Q_o \quad (1)$$

数値計算は(1)式の中央差分をとった(2)式によって行った。

$$V(t + \Delta t) = V(t) + \{Q_i(t + \Delta t/2) - Q_o(t + \Delta t/2)\} \cdot \Delta t \quad (2)$$

ここに、 $V(\text{m}^3)$ は貯留量、 $H(\text{m})$ は水位、 $\Delta t(\text{秒})$ は計算の時間ピッチである。

一方、調節池からの流出量 Q_o となる放流管呑口(オリフィス)からの放流量 Q は、下記の流量公式によって計算した。

$$H \leq H_L + 1.2D_L$$

$$Q = 1.7 \sim 1.8B_L(H - H_L)^{3/2}$$

$$H_L + 1.2D_L < H < H_L + 1.8D_L$$

この区間については、 $H = 1.2D_L + H_L$ での Q および $H = H_L + 1.8D_L$ での Q を用いて、この間を直線近似とする。(3)

$$H_L + 1.8D_L \leq H$$

$$Q = C \cdot DL \cdot BL \sqrt{2g(H - H_L - 0.5D_L)}$$

C はベルマウスを有していないので 0.60 としている。すなわち、この流量公式(3)式と連続式(2)式を連立に解く逐次計算を行った。

表 1 . 6 - 1 2 ため池計算諸元

堤体長 (B) (m)	堤頂標高 (CWL2) (m)	放水管直径 洪水吐幅 (m)	天端標高(放水管) (洪水吐) CWL1 (m)	ダムの水面積 AREA (ha)	計算時間 間隔DT	ダムの初期水位 DWINI (m)	放水管=0 洪水吐=1	洪水吐側壁高 (m)
42	66.2	0.2	62.87	0.65	10	64.87	0	125.74

2) 結果

図 1 . 6 - 1 3 に、放流管口径による水位低下時間を示す。

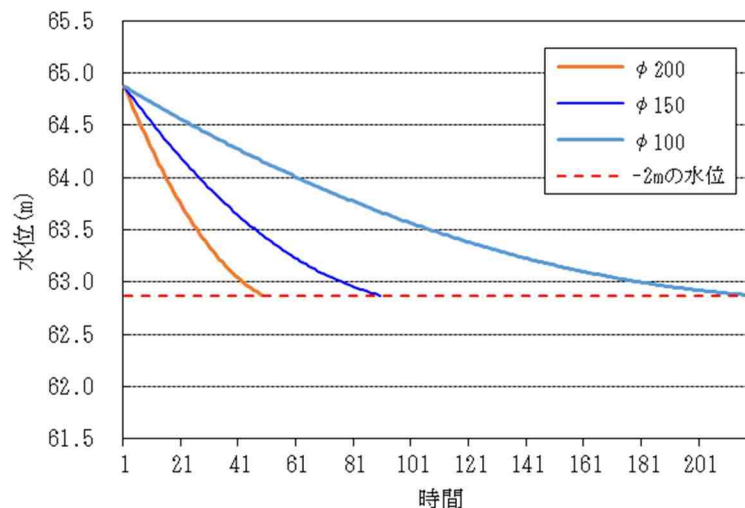


図 1 . 6 - 1 3 放流管口径による水位低下時間

実験装置としては 5 cm の径を使用しているが、現地実験を行ったため池の規模では、貯水位を 2 m 低下させるのに口径が 20cm で約 2 日かかることが図 1 . 6 - 1 3 より確認できる。また、15cm で約 4 日、10cm で約 9 日、現在使用している 5 cm では 1 ヶ月程度という予測となった。

3) 課題

結果より、現在使用している 5 cm のホース一本では排水システムとして運用するには現実的ではなかった。ため池の規模に合わせてホースの径を大きくすることや、本数を増やす等の対応を検討する必要がある。

このように、2 m の水位低下を目標として多種多様なため池の規模に合わせた水理解析を行い、放流管口径による水位低下時間を算出することができるため、ため池に合わせたシステムを提案することができる。

1.7 実証試験（現場適用）の概要、結果、課題等

(1) 実用化に向けた、現場での適用性の検証実験（実証試験）

電動弁の制御システム構築

1) 概要

台風等の豪雨が予測される数日前に電動弁を開け、満水位から 1.5m～2.0m 低下したときに水位計からシステムへ信号送り、それにより電動弁を閉める動作を遠隔で制御するシステムの開発を行った。次項から遠隔制御システムの操作端末 - IOT 端末間の信号について記述する。遠隔制御システムの制御盤制作図を参考資料 1 に示す。

・ IOT 端末（Web ソフト）

1-1. 入出力信号（ハード）

信号区分	No	内容	説明
入力信号	1	バルブ開限	電動バルブが開限の時にオン(排水開始)
	2	バルブ閉限	電動バルブが閉限の時にオン(排水停止)
	3	水位上限	水位が上限時にオン
	4	水位下限	水位が下限時にオン(下限時は、PLC で排水停止します。)
	5	バルブ開応答	電動バルブ開中にオン。(操作端末からのバルブ開指令の PLC 応答)
	6	バルブ閉応答	電動バルブ閉中にオン。(操作端末からのバルブ閉指令の PLC 応答)
	7	PLC READY	PLC の準備完了時にオン
	8	IOTREADY	IOT 端末の準備完了時にオン
出力信号	1	バルブ開指令	操作端末(スマホ等)からのバルブ開指令でオン(排水開始)
	2	バルブ閉指令	操作端末(スマホ等)からのバルブ閉指令でオン(排水停止)

1-2. WEB ソフト処理

処理区分	入力信号No	操作端末(スマホ等)との通信処理内容
入力信号処理	1	電動バルブの開閉状態「バルブ開限」を送信
	2	電動バルブの開閉状態「バルブ閉限」を送信
	3	水位状態「水位上限」を送信
	4	水位状態「水位下限」を送信
	5	電動バルブの開閉応答状態「バルブ開応答」を送信
	6	電動バルブの開閉応答状態「バルブ閉応答」を送信
	7	PLC 状態「PLC 準備完了」を送信
	8	IOT 端末状態「IOT 準備完了」を送信
処理区分	出力信号No	操作端末(スマホ等)との通信処理内容
出力信号処理	1	バルブ開ボタンによる指令を受信。出力信号 1 バルブ開指令をオン(出力信号 2 バルブ閉指令オフ)
	2	バルブ閉ボタンによる指令を受信。出力信号 2 バルブ閉指令をオン(出力信号 1 バルブ開指令オフ)

- ・操作端末（スマホ等）

2-1．操作端末画面

画面に、操作ボタンと状態表示を配置する。

操作ボタン：「バルブ開」「バルブ閉」

状態表示：「バルブ開限」「バルブ閉限」、「水位上限」「水位下限」、「バルブ開応答」、「バルブ閉応答」

「PLC 準備完了」、「IOT 準備完了」（通信状態：内部システム信号）

2-2．操作内容

2-1-1．排水開始操作

IOT 端末からの状態表示確認（PLC 状態オン、IOT 状態オン、水位下限オフ）

上記条件がそろった時、PLC で排水開始可能である。

「バルブ開」ボタンを押す。

IOT 端末からの状態表示を確認（バルブ開オン、バルブ開限オン、バルブ開応答オン、水位下限オフ）

排水を開始する。

2-1-2．排水停止操作

2-1-2-1．自動停止

排水中、水位下限になると、PLC の処理でバルブを閉じて、自動で排水を停止する。

IOT 端末からの状態表示確認。バルブ閉限オン、バルブ開応答オフ、バルブ閉応答オフ）

2-1-2-2．操作停止

排水中、水位下限前に、排水を操作停止する場合は、「バルブ閉ボタン」を押し排水を停止する。

IOT 端末からの状態表示。バルブ閉オン、バルブ開応答オフ、バルブ閉応答オフ）

2-3．操作端末処理内容

画面区分	入力信号№	IOT 端末からの状態表示信号表示内容
状態表示	1	電動バルブの開閉状態表示「バルブ開限」を表示。
	2	電動バルブの開閉状態表示「バルブ閉限」を表示。
	3	水位状態「水位上限」を表示。
	4	水位状態「水位下限」を表示。
	5	電動バルブの開閉応答状態「バルブ開応答」を表示。
	6	電動バルブの開閉応答状態「バルブ閉応答」を表示。
	7	PLC 状態「PLC 準備完了」を表示。
	8	IOT 端末状態「IOT 準備完了」を表示
		IOT 端末状態：内部システム信号の通信状態表示
画面区分	出力信号№	IOT 端末への操作指令信号内容
操作ボタン	1	バルブ開ボタンで、IOT 端末の出力信号 1 をオンさせる。
	2	バルブ閉ボタンで、IOT 端末の出力信号 2 をオンさせる。

2）結果

現地実験にて、末端の放流部バルブを電動弁に変えて実験を行った。まずはホース内を従来同様に真空ポンプと水槽を用いて満水にさせ、手動スイッチで開閉作業を行い放水できるか確認を行った。図 1．7-1 は手動スイッチによる電動弁の操作が確認できたときの状況写真である。

第二段階として水位計を設置し、同様にホース内を満水にさせた状態から電動弁を

開けて満水位から水位が 1.5m～2.0m 低下したと水位計とシステムを連動して感知させ、その信号を受け取った際に電動弁が自動的に閉まるという実験を行った。図 1 . 7 - 3 は動作確認の状況写真である。また、制御盤を風雨から防ぎソーラーパネル設置するため、機器収納小屋を製作した。(図 1 . 7 - 4、図 1 . 7 - 5)図 1 . 7 - 6 はスマホ操作時の画面であり、左は電動弁開放時、右は閉鎖時である。



図 1 . 7 - 1 手動スイッチによる電動弁操作



図 1 . 7 - 2 池内の様子



図 1 . 7 - 3 水位計と電動弁の制御





図 1 . 7 - 4 制御盤

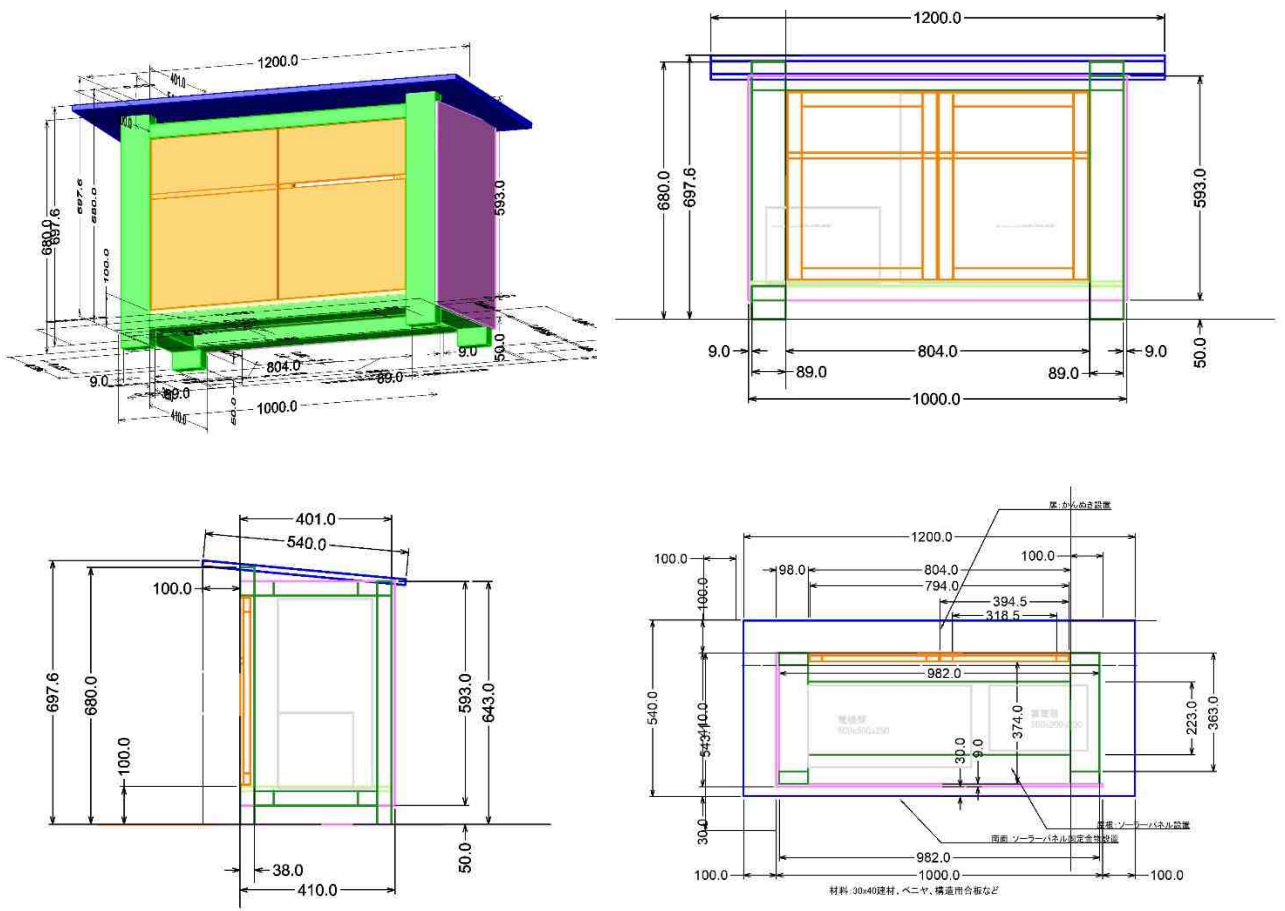


図 1 . 7 - 5 機器収納小屋図面



図 1 . 7 - 6 スマホ操作時画面 (左)開放時(右)閉鎖時

3) 課題

遠隔で電動弁の制御システムを構築することができたが、コスト・運搬について一番の課題は制御盤となった。コストに関しては、電子機器の高騰に伴い部品や制作に時間とお金がかかった。また、運搬については制御盤の重量が一番大きいため軽量化する必要がある。制御盤の小型化、ボックスを樹脂製にすることによる軽量化が見込める。

山口県での実証実験

1) 概要

香川県内だけでなく、中国地方の山口県防府市役所にご協力いただき、選定していただいたため池(南原)にて、簡易装置の実証実験を行った。また、山口県山口農林水産事務所、防府市役所、山口県土地改良事業団体連合会の3団体がサイフォン装置実証実験の見学に参加いただいた。

対象ため池は高速道路脇の側道のそばにあり、洪水吐は機能しているようだが、底樋の有無は確認できなかった。また、天端幅約1.6mと足場の悪い状況だった。(図1.7-7)



図 1 . 7 - 6 対象池位置図(南原)



図 1 . 7 - 7 南原 予備調査

2) 結果

見学に参加いただいた 3 団体の方々と一緒に装置の設置から、作業を行った。作業スペースが狭い場所でも、装置の設置・利用ができた。ホースを満水にすることができサイフォン機能を確認するために、参加者に 2.0m の水位低下で電動弁が自動開閉することとスマホでの緊急開閉を体験いただいた。

3) 課題

参加者からの意見として、山口県土地改良事業団体連合会では「ため池の緊急放流用サイフォン」を災害対応やため池の取水施設の故障で放流ができない場合のために、装置を制作し貸出を行っている。使用している口径は 100mm のため、当事業で使用している径の方が小さいが、遠隔制御や充電式の真空ポンプでの満水方法には興味を持っていた。可能であれば、径を大きくすることや制御盤のコストダウンを目指していくことが必要との意見をいただいた。

ため池管理者へのヒアリング

1) 概要

香川県丸亀市富熊地区でため池を利用している 2 名の方にサイフォン式簡易装置の実験動画を見てもらい、開発装置の有用性や利用の可能性についてヒアリングを行った。

【質問事項】

- ・大雨が予想され、事前放流（2～3 日前）の依頼があった場合に開発装置を用いて放流ができますか。
- ・地域で開発装置を導入するとして気がかりなことはなんですか。
- ・開発装置は地域のため池を管理する上で有用だと思いますか。
- ・地域でため池を管理する上で難しい点はなんですか。
- ・ため池の管理で現在実施している防災の取り組みはありますか。

2) 結果

ヒアリングの結果を次項に示す。

質問事項	回答
・大雨が予想され、事前放流（２～３日前）の依頼があった場合に開発装置を用いて放流ができますか。	・条件によってはおこなえる ・現在利用中のため池には排水設備があるが、放置ため池には排水設備がないものもあるため、この開発装置は有用 ・山間部のため池には排水設備が備わっていないため池もある ・必要な資材を運ぶことができれば利用できる
・地域で開発装置を導入するとして気がかりなことはなんですか。	・導入費用、維持管理方法、耐用年数
・開発装置は地域のため池を管理する上で有用だと思いますか。	・分からない、ため池の管理者の考え方が不明だから ・満水にしておきたいと思う管理者もいる
・地域でため池を管理する上で難しい点はなんですか。	・個々の池で管理者が違うため、考え方も違う
・ため池の管理で現在実施している防災の取り組みはありますか。	・使っていないため池では大雨に備えて水位を下けている ・ため池の水が必要な時期は水の確保に苦労するため、使用中のため池では大雨の前に水を抜く決断はなかなかできない ・サイフォン取付済みのため池がある ・貯水量を制限するために、堤を切るなど対策済みの池がある

３）課題

今回、香川県のため池管理者にヒアリングをすることができた。少雨地域の傾向かもしれないが、ため池の水が必要な時期に確保するのが難しい地域もあるため、農業用水として使用中のため池では大雨の前に水を抜く決断ができないという意見があった。

１．８ 機能監視の概要、結果、課題等

（１）長期曝露実験（機能監視）

１）概要

実証試験で使用した装置の中長期的な有効性および耐久性を確認するため、香川県さぬき市でのため池において曝露実験を行った。本事業では、半年から１年で装置の点検を行うことを推奨するため、監視を半年以上行うことが望ましい。しかし、現地状況、管理者等の意見を踏まえ機能監視期間を１ヶ月とした。

ホースを満水とした状態で、ホースの劣化具合、サイフォン形成の維持、周辺の環境、制御盤・水位計の状態、電源の確保（ソーラーパネル）等を確認した。

2) 結果

監視期間が1ヶ月と短い期間だったということもあり、ホースや制御盤、水位計等の耐久性については特に問題なく使用できていた。問題点を下記に示す。

- ・吸い込み側の水が1/4程度抜けていた
- ・ソーラーパネルの発電では天気や日当たりによって左右される
- ・電子機器への虫(アリ)の混入

3) 課題

機能監視での課題として、一つ目の吸い込み側の水が抜けていた理由として考えられるのは、真空引きの力がないと現在使用しているフート弁では止水できないのではないかと、風やため池の浮遊物の影響によりフート弁が動くことで、フート弁の向きが変わり、水漏れが発生したのではないかと推測できる。運用にあたっては、水位の低下時に備え、フート弁をできるだけ池の中央に設置し固定しておくことも検討しておく必要がある。

二つ目は、ソーラーパネルの発電で蓄電しているが天気や日当たりによって発電に大きく左右される。また、一度蓄電池から電力がなくなってしまうと、再充電されても電源がOFFのままとなっていた。これについては、電源が逐一OFFにならない蓄電池を使用することで解決できる。

三つ目の電子機器への虫の混入については、虫が混入したことで配電盤や電子機器への影響は今回の実験ではなかったが、虫や獣害からの影響に備えて対策を検討しておく必要があると感じた。

2 事業の成果

2.1 成果の内容

本研究により、小規模ため池（5万 m³ 以下）を対象に、サイフォン機能を利用した安価・脱着可能な簡易的な利水・減災（水位低下）装置を開発することができた。さらに、電動弁の開閉にスマートフォンを用いて自動制御するシステムを開発することができた。以下にその成果をまとめる。

- （１）小径の簡易モデルを製作し、サイフォン装置の有用性を確認した。
- （２）径を大きくした際のサイフォン形成と充電式の真空ポンプを用いたホース満水時間を確認した。
- （３）装置運搬のため、軽量化として安価で脱着可能な最適部品を見つけることができた。
- （４）排水側の電動弁を満水位から 2 m 低下で閉まるように自動制御のシステムを構築することができた。
- （５）多様なため池で実証実験を行い開発装置の有用性を確認できた。
- （６）ため池の規模、ホースの口径による水位低下時間の変化を水理解析で確認した。
- （７）開発装置を地域のため池管理者の方に使用していただくため、製作・設置のマニュアルや動画を作成した。

2.2 目標の達成度

（１）成果から得られる効果

本事業での技術開発により、次の効果が期待できる。

ため池において大規模改修を伴うような工事や高価な製品を設置するのではなく、市販品の真空ポンプ、ホース、ジョイントなどの組み合わせ技術に真空タンクを加えることで、真空ポンプとの間に水の貯水場を設けホース内の満水判断を容易にし、池水の排水による所定の水位量低下を確保するというコンセプトにもとづく技術開発により、管理しやすい利水・排水システムとして運用することができる。

新技術研究開発組合（国立高専機構 香川高専向谷研究室）との共同研究により、排水システムにて池内水位の確認と排水操作の自動化を可能とし、管理し難いという問題を技術的に解決できる。本システムを利用して複数のため池の事前放流を有機的に行うにより、中小河川のピーク流量の制御が可能であり、氾濫抑制、流域の防災力を高めることにつながる。

新技術研究開発組合（（株）チェリーコンサルタント）は、香川県に限らず中四国、関西、九州地区で多くのため池の計画、設計及び災害対策（氾濫解析を含む）に長年にわたり担当し、当該技術の基礎となる実務を行ってきた実績がある。上記の各地域で実証サイトを設定して、地域性に適合したシステムづくりを進め、より汎用性のある実証試験を実施できる。

本事業のサイフォン式小規模ため池の利水・減災簡易装置の運用は、専門的な知識・技術を必要としない。したがって管理者以外でも、地区住民との地域防災活動の

一環で設置することも可能である。ため池管理者と地域住民がため池防災マップなどを通して地域の安全・安心の構築や土地改良事業全般への理解を得るためのツールとしても活用できる。

特にため池改修等により生産性の高い農業生産基盤を整備し、少数の担い手に利用集積を図るような場合、担い手農家に防災施設の維持管理にかかる負担まで担ってもらうことは困難であるが、設置コストが安く維持管理が容易なサイフォン施設であれば、地域の共同活動組織が日本型直接支払制度（資源向上支払）を活用して維持管理まで行うことは可能と考えている。

以上により担い手農家等にも維持管理の負担を大きくかけることなく地域防災への配慮が可能となり、今後の地域の安全との調和に配慮したため池整備事業等の推進に寄与できる技術である。

（２）従来技術との比較

１）比較する従来技術

２）従来技術に対する優位性

経済性 工程 品質 安全性 施工性 周辺環境への影響

	装置開発時 (φ50 ステンレス製)	改良後 (φ50 アルミ製)	備考 (類似製品φ100)
経済性	ホース 30m のとき 約 15 万円 (真空ポンプ約 10 万円)	ホース 30m のとき 約 7 万円 (真空ポンプ約 10 万円)	ホース 30m のとき 約 9 万円 2 (エンジンポンプ 約 31 万円)
工程 (時間)	堤体上から真空ポンプにて水を 吸い上げサイフォン形成 ホース 25m を満水に約 5 分	堤体上から真空ポンプにて水を 吸い上げサイフォン形成 ホース 25m を満水に約 5 分	バケツやエンジン ポンプで堤体上の ホースへ注水、 サイフォン形成
品質	ほぼ全ての部品がホームセン ターで購入可能	ほぼ全ての部品がホームセン ターで購入可能、 軽量化成功	ホームセンター等 では取り扱いのな い場合もある
安全性	堤体上でほとんどの操作完了	堤体上でほとんどの操作完了	—
施工性	1 セット 1 約 10kg (充電式真空ポンプ 約 8.1kg) ホースを接続する金具の 重量が大きい	1 セット 1 7kg 未満 (充電式真空ポンプ 約 8.1kg) ほぼ全ての備品は老若男女問 わず持ち運びできる	1 セット約 13kg (エンジンポンプ 約 48.5kg) ホース以外の運搬 が困難である
周辺環境への 影響	周辺の環境に 影響しない	周辺の環境に 影響しない	周辺の環境に 影響しない

1 制御盤の重さを含んでいない

2 現在 φ100 ホース 10m の標準的な価格は約 12 万円

2. 3 成果の利用に当たっての適用範囲・留意点

ほとんどのため池に設置可能であるが、リモート操作をするためには、ソーラーパネルの発電が必要である。しかし、ソーラーパネルの発電は天気によって左右されてしまい、日当たりの良い場所に設置が困難であれば、十分な蓄電にならない可能性がある。

吸い込み側のフート弁設置位置は、ため池満水面より 2 m 以上下がったと推測される水面位置の場所に設置できることが望ましい。

3 普及活動計画

3. 1 想定される利用者

小規模ため池の個人管理者、管理者のなくなった代理管理者（地域住民、町内会長等）、市町村・改良区での管理

3. 2 利用者への普及啓発等の方法

設計・施工・保全方法のマニュアル作成公開、着脱設置方法の動画公開、使用部品のメーカー・品番の公開、問題点の改善案公開

参考資料 2 に添付

3. 3 利用者に対するサポート体制、参考資料等

ホームセンターやネットで入手可能な部品はメーカー品番を公開、装置のマニュアル
水位計・通信機器についてはメーカー問い合わせ

参考資料 2 に添付

3. 4 特許・実用新案等の申請予定

（１）申請者予定者

（２）申請予定時期

申請予定なし

4 研究総括者による自己評価

審査の ポイント	着眼点	申請時計画目標 ^{注1}	自己評価 ^{注2}	自己評価 の理由 ^{注3}
目標の 達成度	・効果 (従来技術に対する優位性)	・サイフォン式の簡易的な利水・減災装置の開発	①：優れている B：概ね妥当 C：不十分	・運搬、設置が容易なサイフォン式簡易装置を開発できた。
	・信頼性 (品質、精度、安全性、耐久性等)	・市販の安価な真空ポンプ類を組み合わせ、管理しやすい利水・排水システムとして運用	A：優れている ②：概ね妥当 C：不十分	・市販品中心に作成したため、品質、安全性は保障されるが、耐久性の実験が不十分である。
	・適用範囲・適用条件等	・初期投資少額、簡易組立て・装着・操作に着目し、ため池管理者の経済的負担を最小限にする。	A：広範囲に適用 B：概ね妥当 ③：限定的	・ほとんどのため池に設置可能。リモート操作はソーラーパネルの発電が必要であるが、天気に左右されるため、日当たりの良い場所に設置する必要がある。
普及の 可能性	・想定される利用者への普及啓発の方法	・開発したサイフォン式小規模ため池の利水・減災簡易装置に関する運用マニュアルの作成	④：十分な利用が見込まれる B：概ね妥当 C：限定的	・ホームページ等で、マニュアルを一般公開するとともに、着脱方法などを動画にし、動画投稿サイトで公開する。また、改良区や自治体へPRする。
	・利用者に対するサポート体制 (設計・積算・施工等の参考資料、相談窓口等)	・開発したサイフォン式小規模ため池の利水・減災簡易装置に関する運用マニュアルの作成	A：十分に整備されている ⑤：概ね妥当 C：改善が必要	・ホームセンターやネットで購入可能な部品に関して、メーカー品番を公開する。 水位計、通信機器についてはメーカー問い合わせとなる。
総合コメント ^{注4}	システムの簡易化、軽量化に成功したのが一番の成果であった。豪雨時の小規模ため池の減災、防災に役立てるほかに、地震などでライフラインに支障が起きた場合、ため池の水をトイレなどの生活用水として利用してもらえる手段になる。			

注1) 成果報告書に記載の研究開発目標を記載する。

注2) 評価結果欄は、A・B・Cのうち「A」を最高点、「C」を最低点として3段階で記入(○付け)する。

注3) 自己評価の理由を記載する。

注4) 総合的なコメントを記載する。

5 今後の課題及び改善方針

- ・ソーラーパネルは太陽の当たり具合と天候で発電力が大きく左右されてしまうため、置く場所を検討する。
- ・システムの中で一番重くなっていた配電盤の小型軽量化を検討する。
- ・配電盤や水位計のハウジングに、アリの侵入があったため防虫シート(わさびシート)等の対策が必要である。(水位計測には問題なかった)
- ・吸い込み側ホースの水が徐々に抜けていたことがあり、風の影響やため池の浮遊物に影響を受けたことも原因の一つとし、フート弁を固定することも検討する。
- ・長期曝露を1ヶ月程度しか確認できなかったため、半年から1年程度放置して劣化具合を確認する必要がある。
- ・初期投資額を最小限に抑えながら、製作・設置・運用を行うことを目標としてきたが、制御盤に関しては価格の高騰や専門的な知識を持つ技術者に制作をしてもらうための製作費が必要である。

参考文献

- 1)ため池とパイプライン地区を繋ぐサイフォン式取水装置の開発，小野寺恒雄 [(株)パディ研究所]，藤森新作 [(独)農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所]，農業農村工学会全国大会講演要旨集，pp. 584-585，2008.
- 2)いざというときに備えて作ってみませんか？(サイフォン式簡易緊急放流装置について)，大阪府 HP，
http://www.pref.osaka.lg.jp/minamikawachinm/m_index/k_siphon.html，
2024.3.31 閲覧
- 3)ハイブリッド・山辰サイフォン排水装置 .馬淵和三，日本ロボット学会誌，Vol. 34，No. 9，pp. 607-608，2016.
- 4)土地改良事業設計指針「ため池整備」，pp.118-119，2015.
- 5)調節池の計画と設計，大白幸夫[都市水文研究グループ]，株式会社山海堂，pp.86-87,94-96，1988.
- 6)サイホン管における自動空気排除装置の開発と作動特性，姜華英[愛媛大学大学院連合農学研究科]，西山壮一[香川大学農学部]，河野広[香川大学農学部]，南信弘[高知大学農学部]，満岡重一[マオカ設計(株)]，農業土木学会論文集，pp101-109，1994.
- 7)サイホン内エアポケットの排除と空気逸出量に関する研究，姜華英[愛媛大学大学院連合農学研究科]，西山壮一[香川大学農学部]，河野広[香川大学農学部]，南信弘[香川大学農学部]，農業土木学会論文集，pp.57-66，1994.
- 8)サイフォン式小規模ため池の利水・減災 簡易装置の研究開発，向谷光彦[香川高等専門学校]，姜華英[(株)チェリーコンサルタント]，四宮優子[(株)チェリーコンサルタント]，第 31 回開催 2022NEW 環境展，2022.
- 9)サイフォン式小規模ため池の利水・減災（水位低下）簡易装置の開発，四宮優子[(株)チェリーコンサルタント]，宮崎誉士[(株)チェリーコンサルタント]，向谷光彦[香川高等専門学校]，2023 年度(第 72 回)農業農村工学会大会講演会講演要旨集，pp.311-312，2023.
- 10)ため池堤体の浸透性能評価とサイフォンによる安全対策，向谷光彦[香川高等専門学校]，久保慶徳[元(株)四電技術コンサルタント]，姜華英[(株)チェリーコンサルタント]，宮崎誉士[(株)チェリーコンサルタント]，四宮優子[(株)チェリーコンサルタント]，大学見本市 イノベーションジャパン 2023，2023.