

老朽ため池における漏水状況の推移と長期計測

Changes in Water Leakages and Long-term Monitoring at the Old Agricultural Reservoir

松井 萌¹⁾, 中村 直樹²⁾, 佐藤 真理³⁾

1) Moe MATSUI, 技師, 山陰開発コンサルタント(株), m-matsui@sankaict.co.jp

2) Naoki NAKAMURA, 次長, 山陰開発コンサルタント(株), n-nakamura@sankaict.co.jp

3) Mari SATO, 助教, 島根大学学術研究院, maris@life.shimane-u.ac.jp

全国各地のため池において、劣化状況の評価や地震・豪雨耐性評価、防災工事が進められているが、老朽ため池では管理者の自主的な対策のみで使用が継続されている場合も多い。本報告では、長年にわたり漏水が発生している老朽ため池において、自治体による点検終了後に堤体下流法面の複数個所に土壌水分センサーを設置し、土壌水分量の計測を行い降水量や貯水位・漏水量などとの関連を検証し、およそ1年半の長期調査を実施した。長期計測期間内に降水による漏水量の増大と、営農や落水による貯水位変化や漏水状況に連動した土壌水分量の変動を捉えた。堤体パイピング状況の簡易な調査結果についても併せて報告する。

キーワード：ため池、劣化状況評価、パイピング

(IGC : E-07, H-04)

1. はじめに

平成30年7月豪雨（通称西日本豪雨）では多くのため池が決壊する被害が発生した。被害を踏まえて「防災重点農業用ため池に係る防災工事等の推進に関する特別措置法（2020年（令和2年）法律第56号）」¹⁾が施行され、全国各地の防災重点農業用ため池を対象に劣化状況や地震・豪雨耐性評価、防災工事が進められている。

島根県では1,305箇所（令和3年7月時点）のため池が防災重点農業用ため池に指定され、評価のための調査が進むにつれ、多くのため池で老朽化や地震・豪雨への性能不足が露呈している²⁾。築造年代の古いため池では、現行の設計基準に満たない構造の欠陥や堤体盛土の土質的な脆弱性により、漏水が発生し管理者の自主的な対策のみで、根本的な劣化状況の改善がされないまま使用を継続している状況が散見される。

2018年の西日本豪雨で決壊した岡山県のため池では、降雨に伴うすべり破壊に加え、パイピングの発生による浸透破壊の可能性が報告³⁾された。決壊要因となりうる漏水については、評価の具体的手法が「防災重点農業用ため池の劣化状況評価等の手引き」⁴⁾に示され、漏水量計測や経時的な変化の把握を求めている。

ため池の漏水に関する既往の研究は、例えば堀ら^{5), 6)}はため池堤体に間隙水圧計を設置し、漏水があるため池では漏水がない場合と比較して、豪雨時に顕著に間隙水圧が増大することを明らかにした。また、地中レーダ探査を用い

て、水位上昇時と落水時の比較により漏水経路を特定する手法の提案を行った。研究が進みため池の漏水状況についての詳細が明らかになるとともに、漏水時のため池の挙動は明らかになりつつある。しかし、全国各地に膨大な数のため池が存在するため、実務上は点検調査の頻度は限られており、既に一度評価付けされたため池や、漏水量が増大したことで管理者が低水位管理を行っているため池では、漏水状況の適切な把握は難しい。点検評価結果をもとに、ため池の規模や受益面積、被害想定範囲などから優先順位をつけて、補修改修工事や廃止工事が行われる¹⁾が、膨大な数のため池がある中で、防災工事の目途が立たずに決壊の危険性を抱えたまま使用され続けることもある。また点検時から状態が変わってしまったため池のフォローアップは次の点検を待たなければ難しいという問題もある。

本研究では、築造年不明の未改修で漏水が長年にわたり発生している島根県内老朽ため池において、漏水量の増加やパイピングホール拡大などの危険性が高まる場合、堤体内の状態把握を目的に、低コストで設置が簡単な土壌水分計を堤体浅部に設置して土壌水分量を長期計測し、降雨・ため池貯水位・漏水量との関連を検証した。対象のため池は調査中も平常通りのため池利用が行われ、営農の年間スケジュールに沿った水位変動があった。また調査開始前には点検が行われ、その時点では漏水量は基準範囲内であったが、その後1年程度で漏水量が急増し、落水と簡易な補修工が行われた。その間の約1年半の計測結果と、漏水や劣化の進行状況について報告する。



図-1 神子谷池（地理院タイルに丸印を追記して掲載）

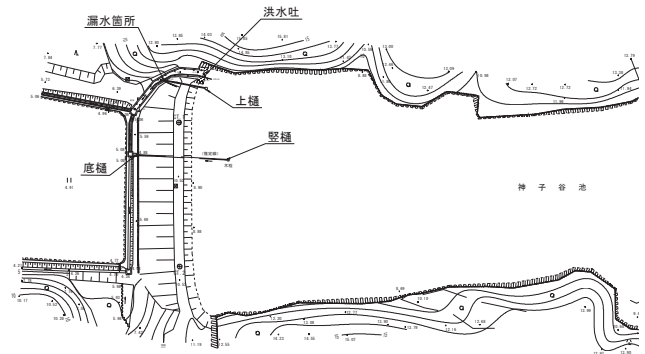


図-2 平面図（島根県⁷⁾に加筆）

2. 対象ため池の概要と調査前の状況

2.1 調査ため池の概要

調査対象のため池，島根県内の「神子谷（カコゴニ）」である（図-1）。築造年代不明，堤高 5.7m，堤長 50.0m の谷池である⁷⁾（図-2, 3）。



図-3 ため池全景写真

2.2 ため池点検業務⁷⁾の概要と調査前ヒアリング状況

防災重点ため池に指定され，平成 30 年に「農村地域防災減災事業 ため池耐震点検調査業務⁷⁾」により劣化状況や地震・豪雨耐性の調査・解析が行われた（図-4）。表-1 にため池耐震点検調査業務結果の概要を示す。堤体安全率から一定の耐震性はあるが，洪水吐能力判定による耐豪雨性能の不足や漏水等老朽状況を踏まえ「改修の要有り」と判定された。

表-1 ため池耐震点検調査業務結果（島根県⁷⁾より引用）

ダム型式	均一型と推定される。	
安全率(FWL 地震時)	上流：1.323	下流：1.272
取水施設	上樋，豎樋，底樋。	
洪水吐	設計洪水流量に対し断面不足。	
漏水量	42.6 (L/min/100m)	
点検調査結果	耐震性能○，耐豪雨性能×	

ため池耐震点検調査業務における聞き取り調査では，神子谷の受益面積は 0.6～0.7 ha，関係戸数 4 戸とされる。本研究開始時に管理者へヒアリングしたところ，下流域の宅地化により受益地が減少しているとのことである。また，ため池を廃止にする予定はないが，近年営農者の減少や高齢化が顕著だという。

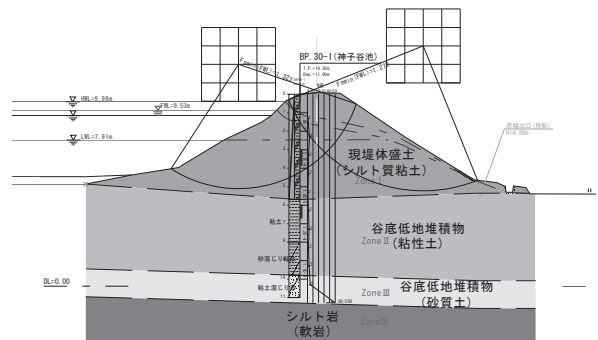


図-4 解析断面図（島根県⁷⁾より引用）

2.2. 調査開始前の漏水状況の経緯

本ため池は，洪水吐付近で断続的な漏水が発生している。漏水状況の過去 10 年弱の経緯を以下にまとめる。

2013 年：管理者の相談を受けた水土里ネットしまねが漏水をはじめて確認する。漏水浸入部を特定するため，色粉を投入するが特定できなかった。洪水吐と堤体盛土の境界部において，パイピングホールらしき形跡が確認された（図-5）。

2016 年：漏水浸入口と推定された洪水吐と堤体盛土境界部に，水土里ネットしまねによって土壌やベントナイトが塗布された。この対策により漏水は一時的に止まったが，

その後漏水が再開したため漏水量計測用に直径 50 mm の塩化ビニルパイプ 1.5 m を堤体下流法面の漏水部に挿入した（図-6, 7）。ビニルパイプはあくまで漏水排水用のもので，堤体内を貫通するような排水工は行われていない。本報と直接関連しないが，ビニルパイプは本調査期間中に漏水量増大により一度径の大きいものに付け替えられた。

2019 年 5 月：耐震・耐豪雨点検調査⁷⁾が行われ，パイプ設置部において漏水量の簡易計測が実施された。漏水量は

42 L/min/100m (水位 : F.W.L.-0.28 m) であり, パイピングが認められるもの, 「ため池整備」⁸⁾の基準値 60 L/min/100m 以下であったため「要観察」であると報告された (図-8)。

2019年7月:本研究による堤体の長期調査が開始された。詳細を後述する。



図-5 2013.6.17 (水土里ネットしまね提供)

3. 調査方法

本調査の調査項目は, 堤体の土壌水分量 (体積含水率), 土壌の温度, ため池の貯水位, ため池の水温, パイプからの漏水量である。調査期間は, 2019年7月30日~2021年3月22日である。

3.1 土壌水分量の計測

METER社製の土壌水分センサー(5TE, 10HS, TEROS12)を設置した。設置地点それぞれを Port1~Port5 と呼称し, 図-9, 10の通り設置する。Port3はパイプ位置から約1.0m 離して設置し最も漏水漏出部に近く, Port4とPort5はPort3と同一の標高で順に漏水部に近い。Port1とPort2はPort3と同一断面でPort1は常時満水位9.53mより上にあり, Port2はPort1とPort3の中間地点の標高に位置する。Portごとの設置位置と計測期間について表-2に整理した。設置深さは約30cmとし, 垂直に土壌水分センサーを挿入後, 土を埋め戻した。計測周期10分とし堤体土壌の体積含水率を測定し, METER社の土壌水分校正結果を用いた⁹⁾。

3.2 土壌の温度とため池水温

10HSは体積含水率のみを計測するため, 土壌水分センサーのうち5TE, TEROS-12により計測周期10分とし土壌の温度を測定した。また, 後述する水位計でため池の水温も測定した。どちらも精度は $\pm 1^{\circ}\text{C}$ である。

3.3 ため池貯水位

貯水位は調査開始時から2019年12月22日までは, 池内に設置した標高表示目盛りを貼った木杭により観測者



図-6 2016.5.30 (水土里ネットしまね提供)
下流法面の漏水漏出部



図-7 2016.6.30 (水土里ネットしまね提供)



図-8 漏水量調査状況 2019.5.20 (島根県⁷⁾)

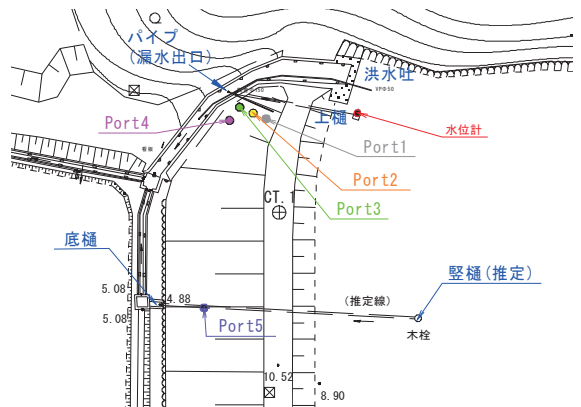


図-9 土壌センサー設置平面図 (島根県⁷⁾に加筆)

の目視で計測したが、2019年12月22日以降は洪水吐近くの上樋横に設置した水位計 (HYDROS-21) の値 (水深) を10分間隔で計測し貯水位に換算した。水位は設置個所の敷高により算出したが、途中で水位計の位置を付け替えているため、計測期間全体で0.1m程度の誤差がある。

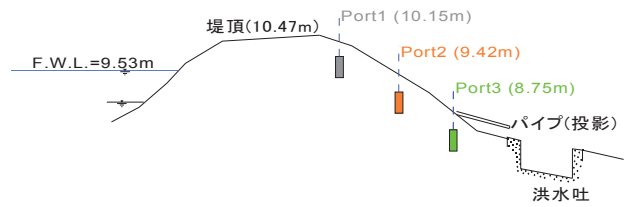


図-10 土壌センサー設置位置横断イメージ図

3.4 漏水量の簡易計測

パイプから出てくる漏水の流量計測を簡易計測方法⁴⁾で実施した。パイプからの漏水をバケツで受け、漏水が4Lたまった時間を計測した。6回行い飛値を抜いた4回の平均値を漏水量とした。

2019年9月から同年11月までは週1回程度の計測を行い、以降の期間は2ヶ月に1回程度の頻度で計測した。ただし、2019年10月7日以降はパイプを通らない漏水が増え、パイピング箇所の全量を計測することが不可能であった。法尻の浸み出し漏水などパイプ内を流下しない漏水については計測できていない。

4. 調査結果

調査期間のうち、水位を目視観測していた期間と、水位計設置後の期間を分けて説明する。前者は具体的には2019年7月30日から2019年11月4日までの期間であり、「点検⁷⁾終了直後の期間 (以下期間 A)」と呼ぶ。後者は2019年12月22日から2021年3月22日までの期間であり、「漏水変動と補修工期間 (以下期間 B)」と呼ぶ。

4.1 期間 A の土壌水分量と降水・貯水位・漏水の推移

2019年7月30日から2019年11月4日の期間 A の計測結果を図-11に示す。土壌水分量 (以下、含水率) は10分間隔で取得した値の日平均値とした。降水量は松江地方気象台¹⁰⁾の日ごとの合計降水量のデータである。

含水率は一部を除き、低い値から Port1, Port3, Port2 の順で推移した。常時満水位より高い位置の Port1 の含水率の低さが際立つ。全ての Port において降水による含水率の増加が認められる一方、貯水位の変化に対しては含水率の連動した増減を認められなかった。2019年10月上旬には貯水位低下中の漏水量増加という現象を捉えた。

図-12に代表的な降水時 (2019年8月23日, 49.5 mm/日) における10分ごとの含水率の変動状況を示す。降水量は10分間雨量¹⁰⁾のデータである。いずれの Port も降雨後1~2時間後に含水率の増加が認められ、Port3の含水率は降雨時にはPort2より増加幅が大きいことが分かる。

表-2 センサーの観測期間

	設置高	計測期間	センサー種類
Port1	約 10.15m	2019.7.29~2019.11.5	5TE
		2019.12.22~2020.4.18	5TE
Port2	約 9.42m	2019.7.30~2019.11.5	10HS
		2019.12.22~2020.4.18	10HS
		2020.10.30~2020.11.27	10HS
		2020.11.30~2021.3.22	10HS
Port3	約 8.75m 漏水横	2019.7.30~2019.11.5	5TE
		2019.12.22~2020.4.18	5TE
		2020.5.26~2020.7.27	5TE
		2020.7.31~2020.11.27	10HS
		2020.11.30~2021.3.22	5TE
Port4	約 8.75m Port3 横	2020.7.31~2020.11.27	5TE
		2020.11.30~2021.3.22	5TE
Port5	約 8.75m 底樋上	2020.5.26~2020.10.30	TEROS-12

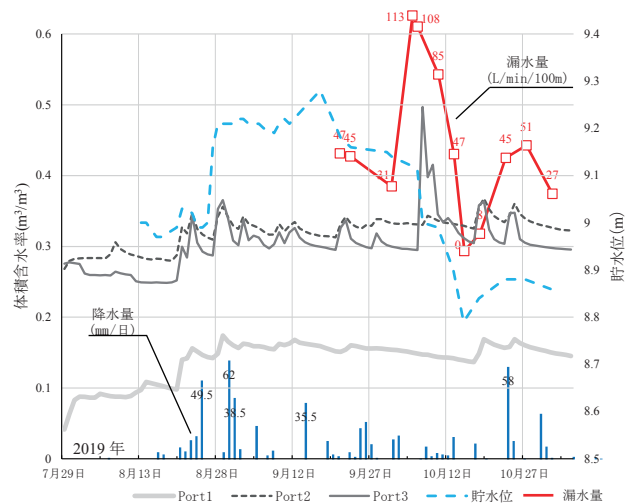


図-11 期間 A の計測結果 (松井ら¹¹⁾を加筆修正)

図-13は、漏水量が113(L/min/100m)まで増加した前後の2019年10月6日16:30~10月9日23:50の期間を載せる。降雨がなく貯水位低下中に関わらず、10月6日深夜にPort3のみ含水率が急増加し、漏水状況の急変を捉えている。この現象の原因究明については今後の課題である。含水率が降水時と異なる変動形態を示し¹¹⁾、2019年10月9

日に漏水の濁水(図-14)を確認しており、パイピングホール拡大を捉えた。

4.2 期間Bの土壤水分量と降水・貯水位・漏水の推移

2019年12月22日～2021年3月22日までの測定結果を図-15に示す。期間Aと同様に10分間隔で取得した含水率の1日ごとに平均値をまとめ、気象庁の日ごとの降水量を用いた。

土壤水分センサーは調査期間中に何度か不具合が発生し計測不能となる期間があった。その度に設置位置の移動、機器の取り換えを行った。また土壤水分センサーの計測値の絶対値については厳密にはセンサーの種類の違いによる影響があると考えられる。

ため池の貯水位は、降雨に伴い上昇し、管理者が樋やサイフォン(取水施設)を操作することにより低下している。以下に時系列に沿って調査結果をまとめる。

4.2.1 2019年12月～2020年6月(代かき期含む)

2020年2月下旬以降、営農に向けて水を貯め、貯水位が上昇した。2月20日以降にはPort3のみ含水率が急激に増加する現象が繰り返し発生した。3月以降にはPort4でも含水率がゆるやかに増加し高い値となった。

2020年4月中旬から下流田地の代かきを行うため、ため池の水が使用され貯水位の低下が見られた。貯水位の低下とともにPort3の含水率も減少した。5月26日には漏水が止まっていることを確認した。

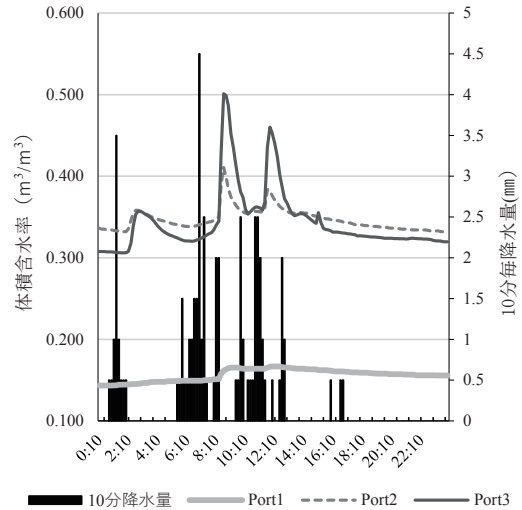


図-12 降雨時の変動(8月23日)

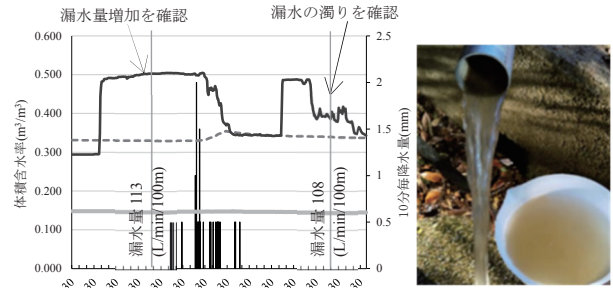


図-13 漏水増加時の変動 (10月6日16:30～10月9日23:50)



図-14 漏水濁り (10月9日)

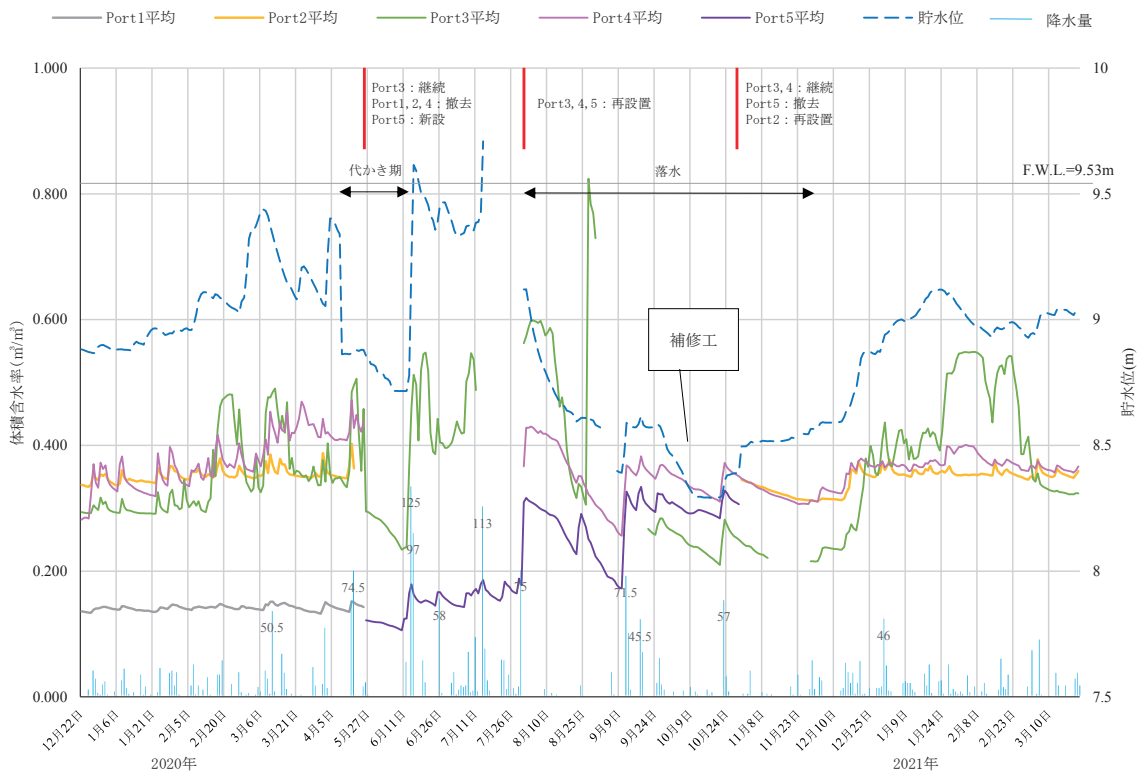


図-15 期間Bの計測結果

4.2.2 2020年6月～2020年7月（代かき終了後の雨期）

2020年6月13, 14日の大雨に伴い、貯水位が大幅に上昇し常時満水位を超える期間がある程度継続した。それによってPort3の含水率も著しく増加した。

ケーブルやセンサーの不備はそれまでの計測では見られなかったが、2020年7月12日16:00からPort3センサーが計測不能となった。また、水位計はケーブルが記録機器から抜け、7月15日以降計測不能な期間があった。7月15日に現地調査によりは漏水量の増加が目視で確認された（図-16）。7月30日に朱墨を投入し洪水吐と堤体盛土の境界において吸い込みを確認した（図-17）。ため池管理者もこれまで経験したことがない漏水量であり、緊急対策のため落水される。

4.2.3 2020年7月～2020年10月（緊急落水）

漏水の増加が見られたため、ため池管理者がため池中央の堅樋を操作し底樋から落水させ、ため池貯水位は低下した。2020年8月27日以降落水により漏水が止まったことを確認した。また、漏水の増加によるセンサー設置箇所の地盤のゆるみが考えられたため、Port3～Port5のセンサーを再設置した。

Port3センサーでは漏水が発生していないにも関わらず含水率が急上昇し、2020年8月30日以降計測不能となり9月21日に計測が再開するという挙動を示し、計測異常と考えられる。このような特殊な挙動を除くと、降水が少ない8月中はPort3～5の含水率が貯水位低下とともに減少し、9月の降水時に増加する傾向が見られた。落水により洪水吐と堤体盛土境界部では、図-18のようにパイピングホールが明瞭に形成され、洪水吐下面部も空洞が続いていることが確認された（図-19）。

4.2.4 2020年10月～2021年3月（管理者による補修工とその後の経過）

2020年10月中旬から下旬にかけて、ため池管理者により洪水吐の補修工が行われた。具体的には自主的な対策として、洪水吐付近のパイピングホール入口と洪水吐と堤体地盤境界部にコンクリートが打設された（図-20）。洪水吐補修工の後、貯水位を上げると、12月26日に再びパイプから少量の漏水を確認した。貯水位上昇とともにPort3含水率の増加がみられ、2021年1月下旬には増加幅が大きく2月中旬まで高い値のまま維持された。同時期にPort4も微増した。その後2021年2月23日以降はPort3含水率が減少したが、3月にはパイピング箇所から顕著な漏水がみられた。筆者らによる調査はその後継続して行われている。



図-16 漏水量の増加



図-17 朱墨による漏水箇所調査状況



図-18 洪水吐境界部のパイピングホール



図-19 洪水吐下面の空洞
（図-18 矢印方向に撮影）



図-20 管理者による洪水吐補修工

4.3 土壌温度とため池水温の関係

期間 B の土壌温度と水温の計測結果を図-21 に示す。季節変化に伴う長期的な水温の変化と土壌温度の変化を捉えている。図-22 のように水温と土壌温度の関係を整理すると、漏水に近い Port3 は他 Port よりも水温に連動することが分かる。

4.4 採土器による含水比・密度

2021 年 3 月 22 日に採土器を用いて、土壌水分センサー設置箇所付近の土を採取し、含水比と密度試験を行った。表-3 に測定結果を示す。センサー測定含水率と比較すると多少の差異もあり、土壌水分計は低密度で含水率が高い状態では計測が難しい可能性もあるが、いずれにせよ漏水に近い Port3 の乾燥密度が小さく、含水比が大きいことが分かった。そのため、Port3 は調査した通りパイピングホールが近くで形成されており、周囲地盤が緩んでいることが推測される。

5. 調査結果の考察

全調査期間において、浅部に設置された土壌水分センサーでは、降雨による含水率の増加が認められた。一方漏水が増加する前の期間 A でも漏水部に近い Port3 では降雨に関係ない含水率の上昇や漏水の濁りを捉えており、パイピングホールの拡大が徐々に進行していた可能性がある。また漏水増加が見られた期間 B 中は特に漏水部付近の Port3 では機材の不備が頻発し計測が困難であったが、補修工後に同じような挙動が観察され、図-13 のような含水率が高い値で長時間推移する挙動が、堤体パイピングホール内への水の浸入等の動きを捉えている可能性がある。

図-23 のように、貯水位と含水率の関係を整理すると、

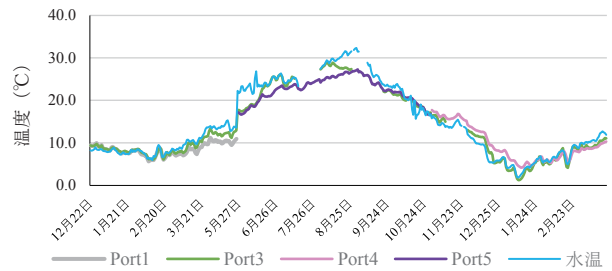


図-21 水温と土壌温度の変化 (期間 B)

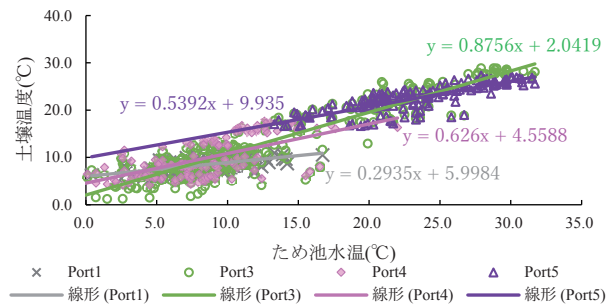


図-22 水温と土壌温度の関係 (期間 B)

表-3 含水比と密度試験結果

採取場所	含水比 (%)	湿潤密度 (g/cm ³)	乾燥密度 (g/cm ³)	センサー含水率(m ³ /m ³)
Port1	34.83	1.7445	1.3388	0.361
Port3	47.83	1.7262	1.1810	0.323
Port4	39.26	1.7775	1.3078	0.366
Port5	39.49	1.7204	1.3147	—

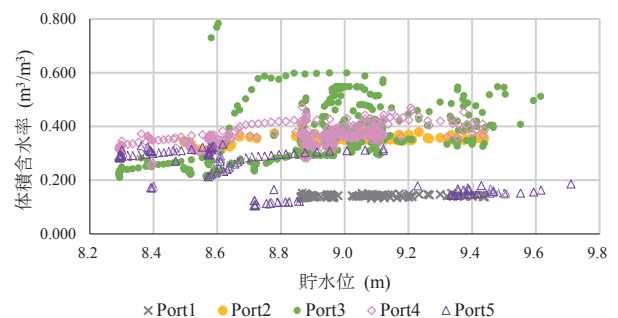


図-23 貯水位と含水率の関係 (期間 B)

貯水と漏水の影響を受けないと考えられる Port1 と、漏水の影響を受けないと考えられる Port2 は、含水率の変動幅が小さいのに対し、漏水横の Port3 は貯水位が 8.6 m 以上になると含水率の変動幅が大きいため、8.6 m 付近にパイピングホールの呑口高さが存在することを示唆すると考えられる。また、Port3 とほとんど同じ地盤高に設置した Port4, Port5 にも貯水位に対する含水率の違いが見られ、堤体縦断方向に水分量が異なる状況を捉えた可能性がある。Port3 は同一断面の他 Port と比較してパイプからの排水

により常時はやや低い含水率であるが、降雨や貯水位の変化に感度が高く増加した。密度試験結果も踏まえると、漏水漏出部付近では低密度領域が形成されており、降水や貯水が浸潤しやすく排水されやすい状況が考えられる。ただし調査で用いたセンサーは主として農地土壌などを対象としており、漏水増加後は計測不能となる期間も多かった。パイピングホール周囲などの急激な浸透や、密度が極端に低い領域を適切に計測できるかどうかは今後の検討が必要である。

漏水量はため池点検⁷⁾で基準値内と診断された直後の本調査期間中に大幅な増加が確認され、経年的に貯水位の変動によってパイピングホールが拡大し、堤体内部が脆弱化する状況が観測された。前兆としては濁水の観測や漏水量の一時的な増加などが見られたが、その後の大雨による急激な水位上昇と常時満水位を超える期間が長く続いたことが漏水量増加の主要因であると考えられる。

6. まとめ

本報告では、漏水状況の推移と長期計測による降雨・貯水位・土壌水分量などとの関連性を考察した。長期計測により営農に合わせた水位変化や、大雨による漏水量の増加などによる影響が観測された。また、計測機器の不具合など長期計測する上での課題もみられた。

漏水が長期的に発生している老朽ため池では、既往の点検調査からわずかな期間でも劣化状況が進行し脆弱化する危険性が示された。近年は異常気象により豪雨災害が頻発しており、また豪雨が多発する梅雨から夏にかけては営農に必要な貯水量の確保が優先され、水位が上昇しやすい条件が重なっている。ため池管理者が減少していく中で、水位の急上昇による本報告のような事例は増加する可能性がある。漏水状況が調査期間中に大きく変化した事例として報告し、調査や評価のタイミングによってはパイピングや漏水の過小評価につながることを示したい。

今後の課題として調査データの詳細な検証を行い、長期的な漏水を抱える小規模な老朽ため池における経済的な対策工法や管理手法の提案を目指したい。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 16K21112、農業農村工学会 2020 年度学術基金の助成を受けました。水土里ネットしまねには調査ため池に関する画像や情報提供を賜り、佐藤（真）

研究室卒業生の皆さんや山陰開発コンサルタントの皆様にご協力を頂いた。

参考文献

- 1) 農林水産省：防災重点農業用ため池に係る防災工事等基本指針（令和 2 年農林水産省告示第 1845 号），https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/koujitokusohou.html, (参照 2022.5.20).
- 2) 島根県：防災重点農業用ため池に係る防災工事等推進計画，https://www.pref.shimane.lg.jp/industry/norin/seibi/bousai/ameikejouhou.data/01_suishinn_keikaku.pdf, (参照 2022.5.20).
- 3) 泉明良，堀俊和，梶尾義範：平成 30 年 7 月豪雨における岡山県内のため池被災状況，農研機構報告，農村工学部門 3，p.69，2019.
- 4) 農林水産省農村振興局整備部防災課：防災重点農業用ため池の劣化状況評価等の手引き，pp.19-21，2021.
- 5) 堀俊和，毛利栄征，松島健一：豪雨時におけるため池堤体の間隙水圧変動と安定性低下メカニズム，農業工学研究所成果情報，pp.83-84，2004.
- 6) 堀俊和，森充広，毛利栄征，森山咸康：地中レーダによるため池の漏水経路の調査手法，農業土木学会論文集，No.218，pp.115-125，2002.
- 7) 島根県：平成 30 年度農村地域防災減災事業島根第 5 地区ため池耐震点検調査業務（松江 6 地域）報告書，2019.
- 8) (公社) 農業農村工学会：土地改良事業設計指針「ため池整備」，2015.
- 9) METIER（メータージャパン株式会社）：土壌水分センサー，https://www.metergroup.co.jp/product/e_ECH2Oprobe-soil.html, (参照 2022.5.20).
- 10) 気象庁：過去の気象データ，<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/>, (参照 2022.5.20).
- 11) 松井萌，佐藤真理，中村直樹：老朽化したため池における漏水漏出部周辺の土壌水分量の長期モニタリング，農業農村工学会第 75 回中国四国支部講演会，pp.73-75，2021.

(2022 年 6 月 13 日 受付)