

令和元年6月6日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04997

研究課題名(和文) 認知アキテクチャを利用したため池総合診療システムの開発

研究課題名(英文) Development of the comprehensive diagnosis system for irrigation tanks using cognitive architecture

研究代表者

小林 範之 (Kobayashi, Noriyuki)

愛媛大学・農学研究科・教授

研究者番号：00314972

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,600,000円

研究成果の概要(和文)：ため池は利水施設であり、「漏水」は最も緊急に治療を講じなければならない機能障害である。そこで、我が国のフィルダム基準やため池整備便覧・指針、米国の方針等を参考にしつつ、ため池堤体の浸透破壊や老朽化の現地調査を行い、底樋や洪水吐等のコンクリート構造物と堤体盛土との接合部での漏水問題に着目し、洪水吐周辺および底樋周辺に沿う漏水対策工法を提案した。また、比抵抗電気探査、表面波探査および常時微動計測を実施し、漏水箇所の特定のための探査データ解析手法を検討した。さらに、比抵抗電気探査および表面波探査結果とボーリング調査結果から、AIを援用し、ため池堤体の土質区分を推定する手法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ため池の漏水「症状」から、最適な診断箇所、診断手法、また、診断対象の違う手法の組合せ方を判断する「ため池の総合診療」は他に例がなく、この点に本研究の顕著な学術的意義がある。また、日本に20万個あり、そのほとんどが老朽化し、耐震対策も考慮されていない。そのため、動特性を含めたため池の診断手法の確立は、喫緊に要請されている社会的課題であり、本研究はその社会的要求に応えようとするものである。また、本研究の完成は、全国のため池の維持管理の足掛かりとなることが予想される。

研究成果の概要(英文)：The irrigation tanks are the important hydraulic structures in the agricultural areas suffering from water shortage, and the water leakage from their embankment is the functional disorder that must be taken urgent measures. Therefore, we proposed the rational method to prevent the leakage from the joint between concrete structures (spillway and outlet) and embankment based on the technical standards for fill dams, handbooks and guideline for maintenance of irrigation tanks in Japan, and US technical policy for small dams and our many field survey results. And, the evaluation method of the nondestructive inspection (electrical resistivity survey, surface-wave method and microtremor measurement) results was examined to specify the leakage path. Further, the evaluation method for soil classification of embankment was developed by using Deep learning with the results of electrical resistivity survey, surface-wave method and boring geological survey.

研究分野：地域環境工学

キーワード：農業施設 ストックマネジメント ため池

1. 研究開始当初の背景

ため池の約75%が築造されてから100年以上経過しており、老朽化のため劣化している。漏水があるとさらに劣化が進み、様々な障害の原因にもなる。さらに、近年ため池の耐震診断が大規模に実施されているが、機能障害を考慮したものとはなっておらず、障害があるものは診断結果より危険な状態であることが予想される。すなわち、「漏水」は万病の元であり、早急に適切な処置をする必要がある。しかしながら、ため池の漏水は、ミズ道が存在するものや遮水性が減少し堤体全体からの浸透量が増加する場合がある。また、堤体からだけでなく、地山や基礎からの場合もある。したがって、診断方法はあっても、その手法が適用できるかどうか、どこを診断すればよいのか、といった問題が常に存在する。また、診断方法を決め実施したとしても、漏水領域が明確にならないことも多い。さらに、様々な原因が絡み合って発生した症状であったり、原因が特定できない場合もあり、単一の診断手法では解明できず、複数の診断方法を組合せる必要がある場合もある。

一方、総合診療は、「どの科を受診していいかわからない」、「様々な病気が絡み合っている」、「症状があるのに異常が見つからない」といった事例に対し、専門各科と連携しながら幅広く医療を提供するものであり、近年の高齢化社会の進行によってその存在意義が大きくなっている。

2. 研究の目的

ため池は利水施設であり、「漏水」は最も緊急に治療を講じなければならない機能障害である。また、「漏水」は耐震性を含めた他の機能にも影響を及ぼす「万病の元」である。しかし、漏水個所の特定が困難であったり、症状はあるが原因不明の場合もある。また、様々な診断方法はあるが、どのケースにどの手法を適用するか、明らかな指針はない。一方、医療の分野では、各診療科を横断する総合診療医 GP の制度が普及し、プライマリ・ケアを実施している。

本研究では、総合診療の考え方に習い、機能障害の症状から原因を解明し、どの診断方法を適用するか、どの診断方法を組合せるか等を判断するため池の総合診療医、すなわち、認知アキテクチャを利用したため池の総合診療手法を開発することを目的とする。本研究では、漏水ため池の事例を収集し、「この症状のときは、この部分を診断し、その際にはこの対策工法を用いる」といった指針を作成する。また、診断方法の組合せ、診断結果の解析、複数の診断結果の総合評価方法の提案を行う。

3. 研究の方法

3-1 漏水ため池の事例収集による対策のための細部設計

多くの老朽化したため池では、堤体の強度低下や沈下・侵食、取水施設（堤体下部の底樋）からの漏水、施設周辺（洪水吐等）からの漏水等の現象が認められ、改修による整備が鋭意進められている。そして、効率的・長期的な維持管理技術やため池の劣化を低減する技術開発等が必要であるとされている。本研究グループでは、我が国のフィルダム基準やため池整備便覧・指針、米国の方針、さらには関連文献を参考にしつつ、ため池堤体の浸透破壊や老朽化の現地調査を行ってきた。本研究では、底樋や洪水吐等のコンクリート構造物と堤体盛土との接合部での漏水問題に着目し、洪水吐周辺および底樋周辺に沿う漏水対策工法を提案した。

(1) 洪水吐周辺の対策

●**フィルタドレーン**：堤体下流法面上端（堤体天端の下流側）から放水路始点（上流端）の間の掘削埋戻し部に、鉛直のフィルタ層と水路底版下に横断ドレーンを設置する（図-2 ①-①断面）。これにより、フィルタ壁設置位置より上流からの貯水浸透、地山地下水や雨水浸透による堤体盛土と埋戻し土の流亡防止が期待できる。

●**側壁最下端ドレーン**：放水路側壁下端の底版横に側壁最下端ドレーンを設ける（図-2 ②-②断面）。これにより、フィルタ壁と水路底横断ドレーンによる集水を速やかに下流へ排水できる。）。

●**水路底横断ドレーン**：放水路底版下に水路横断方向に側壁最下端ドレーンに接続する筋状の水路底横断ドレーンを設置する（図-2 ③-③断面）。これにより、貯水や地山地下水および降雨が水路底版下を浸透することによる底版下の土粒子の流亡を防止する（空洞化防止）とともに、側壁最下端ドレーンによって速やかに下流に排水することができる。

(2) 底樋周辺の対策

●**底樋周りの構造**：底樋管体を台形のコンクリートで覆い、フィルタ隔壁と排水ドレーンを設ける。また、底樋管径の決定は、円管開水路の等流の流量式を用いて行うようにはなっている。

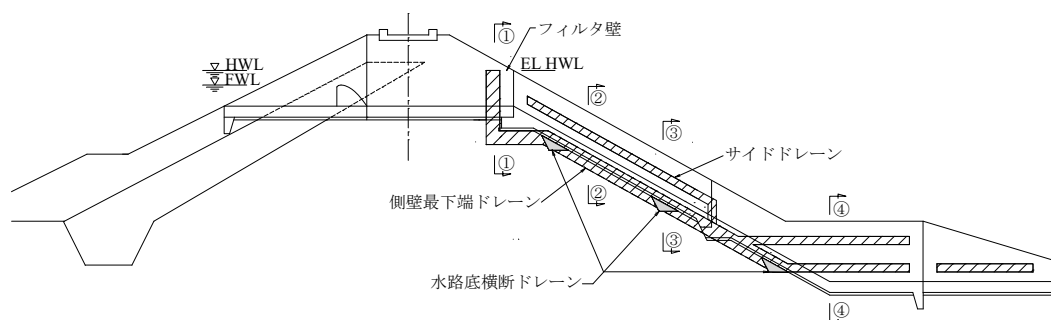


図-1 洪水吐を対象とした漏水・老朽化対策工法の縦断面図

底樋管内の流れは開水路流れとする方が、満流で圧力管の流れ（圧力はほぼ貯水深の水圧に等しい）とするよりも堤体にとっては安全であると考えている。

●**止水壁**：止水壁周辺部の埋戻しは人力施工になるが、均一な締固めや所定の締固め密度を得る事が難しく施工不良が生じやすい。さらに、堤体盛土と止水壁の慣性力の違いによる地震時挙動の相違も問題であると考えられる。したがって、止水壁は使用せず、フィルタとドレーンを使用すべきである。また、基礎や旧堤体の土質状況等を考慮しつつ、開削部に立上りドレーンを設け、この底樋のフィルタ・ドレーンシステムに接続すると、開削部はさらに安全になる。

●**チップング処理**：我が国のため池堤体盛土の締固め施工管理の範囲は、従前の「D値90%以上」23)から、『2015年版 ため池指針』では「この締固め範囲は、・・・D値95%密度（＝最大乾燥密度の95%密度）以上を基本とする」に変更された。この表現は『2003年版 フィルダム基準』の「標準突固め最大乾燥密度（ ρ_{dmax} ）の90～100%（通常は95%）の範囲内で、堤体の規模、施工条件などを考慮し、・・・標準規定値を決める」よりも厳しい表現である。さらに、人力により底樋周辺をD値95%密度以上、かつ均一に締固めることは容易ではない。

●**取水施設耐震化の考え方**：堤体下部に底樋や止水壁等の構造物を設けることは平常時でも地震時でも危険であると見なされている。したがって、トンネル工法や推進工法の技術が発達した現在では可能な限り堤体下の底樋は避け、地山を通る取水トンネルに変更する方がよいと考える。底樋に対する諸々の懸念は無くなり、安心感が増すとともに、堤体のみにも専念して設計・施工が行える。堤体の長寿命化にも資することになる。

3-2 複数の非破壊探査による漏水箇所の特特定

(1) 対象ため池

1857年頃に築造された愛媛県のA池（堤高6.8m、堤頂長48m、総貯水量4,300m³）は、堤体および取水施設からの漏水、堤体の余裕高の不足などから平成14年に前刃金工法による全面改修が行われた。しかし、現在は新たな地点（図1緑○の点）で多量の漏水が確認されている。本研究は、非破壊探査法である表面波探査、比抵抗電気探査および常時微動計測の3つの調査法によってA池堤体内の漏水経路を検討することを目的とした。

(2) 調査方法

表面波探査は、洪水吐より右岸側の堤体天端において1.6mピッチで4.5Hz速度型地震計を配置し、人工起震により発生させた表面波の伝達を記録した。比抵抗電気探査は、電極32本を1.6mピッチで配置した堤体縦断測線1本と電極16本を1.1mピッチで配置した堤体横断測線3本（測線A,B,C）において、2極法を用いて測定を行った。さらに、常時微動計測を堤体法尻の1点と堤体天端上の4点で実施した。計測では、サンプリング周波数を100Hz、計測時間を1分とし、3方向のサーボ型加速度センサーを用いた。

(3) 結果と考察

●**Vs分布**：図4にVs分布を示す。距離程0m地点は洪水吐の右端である。深度約2m、距離程0～6mの箇所においてVs=180m/s程度の小さな値が確認でき、洪水吐に近い箇所では堤体土の軟弱化が進んでいると考えられる。

●**固有振動数 f_n の比較**：バネマスモデルで考えると、固有振動数は $f_n = \sqrt{k/m}$ （ k ：地盤バネ、

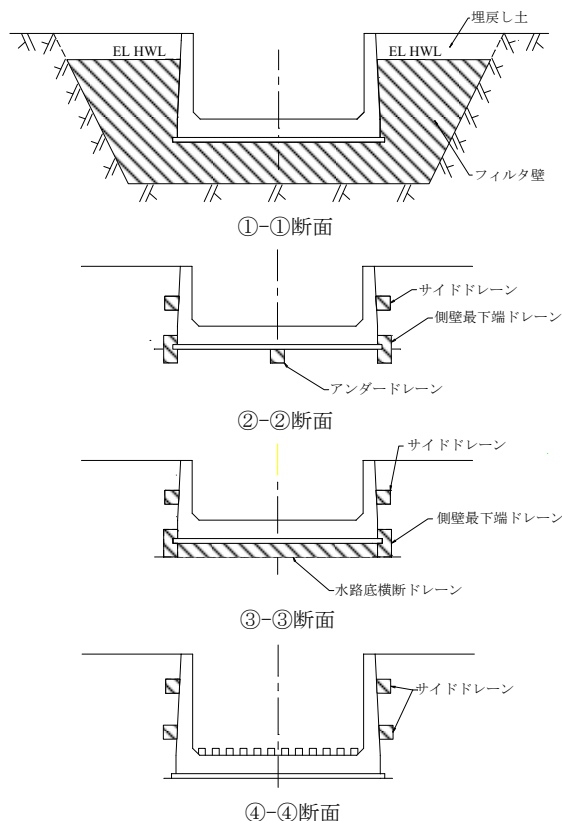


図-2 洪水吐を対象とした漏水・老朽化対策工法

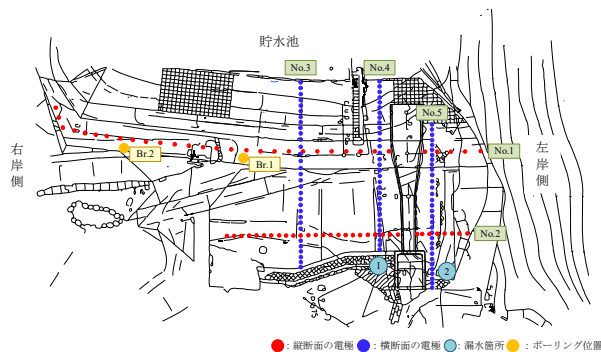


図-3 A池平面図

m : 質量) で表され, f_n が小さい値を取ると地盤バネが小さい, すなわち, 地盤の劣化を示すことになる. 常時微動計測から得られた f_n は①と②で 4.1Hz, ③で 6.7Hz, ④で 9.8Hz であり, 洪水吐に近づくほど堤体が劣化していると考えられる (図-5).

●洪水吐左右での ρ 変化量: 洪水吐から 5m ほど離れた測線 C では, 洪水吐から約 1m の位置の測線 A, B と比べて漏水の影響が小さいことが考えられる. そこで, 測線 A, B における漏水の影響を確認するため, 測線 C の ρ 分布を基準とした ρ の変化量を算出した. 図-6 にこれを示す. 図中の黒線は調査日の水位を表す. 図より, 測線 A, B の双方で, 上流側と下流側を繋ぐように負の変化量を示す含水帯, すなわち漏水経路と思われる箇所が確認された. さらに, 測線 A, B と洪水吐との距離が近い箇所である堤体上流側と堤体下流側において, 顕著な ρ の低下が見られる. これより堤体内の漏水経路は洪水吐接触面付近を沿うようにして発達したものであると考えられる.

3-3 非破壊探査による堤体土質分布の評価

比抵抗電気探査および表面波探査の 2 つの非破壊検査結果とディープラーニングを援用し, A 池堤体内の評価を行った.

(1) ディープラーニング

比抵抗電気探査による比抵抗値 ρ , 表面波探査によるせん断波速度 V_s および飽和性 S_c を入力信号, 土質区分を出力信号とするディープラーニングにより, ため池堤体および基礎地盤の土質分布を推定することとした. ディープラーニングは多層のニューラルネットワークによる機械学習手法であり, 今回は中間層 2 層, 活性化関数はシグモイド関数とした. 教師信号は, 堤体天端のボーリングデータから得られた土質区分である.

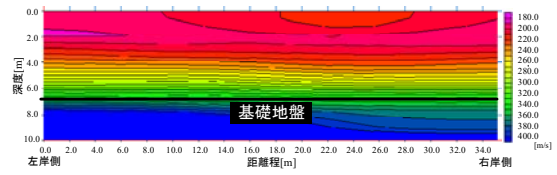


図-4 Vs 分布

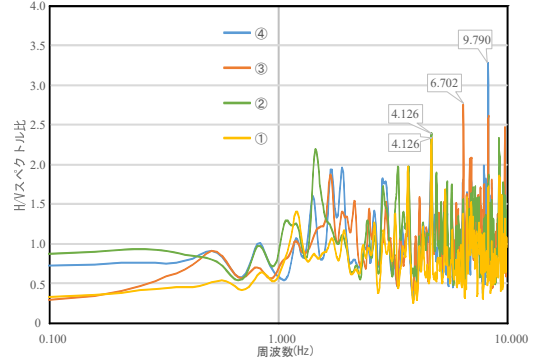


図-5 固有振動数

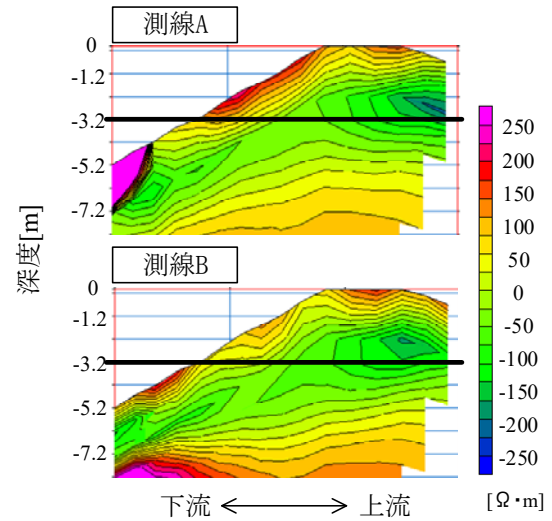


図-6 ρ 変化量

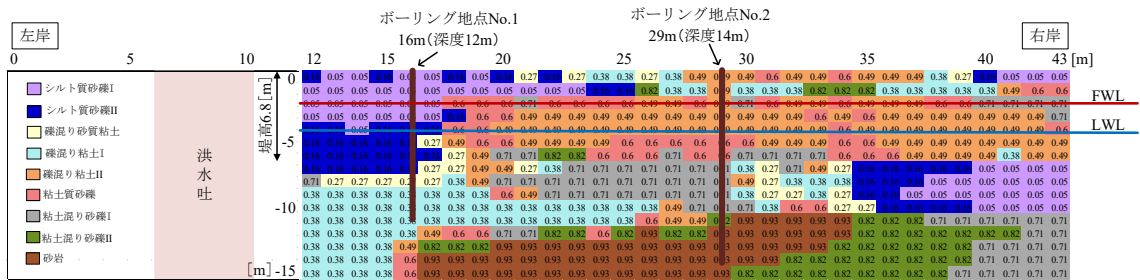


図-7 土質分布の予測結果

(2) 推定土質分布からの考察

図-7 にディープラーニングによって推定した測線 No.1 の距離 12~43m, 深度 0~15m における土質分布を示す. 土地改良事業設計指針「ため池整備」に示されたため池材料の標準的な透水

深度 (m)	土質	透水係数 (cm/s)	性質
0	礫混り粘土II	2.22×10^{-4}	やや遮水性
3	粘土質砂礫	5.13×10^{-5}	遮水性
7	粘土混り砂礫I	5.56×10^{-5}	やや遮水性
8	粘土混り砂礫II	1.32×10^{-5}	遮水性
12	砂岩	3.77×10^{-5}	遮水性

図-8 ボーリング調査結果と土質性状

係数とボーリング調査時に行った現場透水試験結果を比較すると土質材料の性質は図-8 のように評価できる。基礎部は礫混り粘土 I, 粘土混り砂礫 I・II および砂岩であり、堤体の大部分は礫混り粘土 II, 粘土質砂礫で遮水性があるといえる。一方、洪水吐に近い左岸側においては、シルト質砂礫 I・II で透水性があると推定された。

4. 研究成果

当初予定した研究をほぼ計画通りに達成し、その成果は学会大会での発表および学術論文として投稿した。登載が決定した成果は下記の 5. に記載した。

今後は、より多くの漏水ため池の事例を収集し、データベースおよび機械学習を充実させるとともに、「ため池の総合診療」のシステム化、汎用化に向けて発展させる計画である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

- 1) Izumi, T., A. Kan, and N. Kobayashi: A deep neural network model for runoff analysis, International Conference of Agricultural Engineering, CIGR 2018, Papers Book, P-007, 2018.
- 2) Izumi, T., and N. Kobayashi: Runoff analysis model with a deep learning, Proceedings of the 37th IAHR World Congress, pp.3939-3945, 2017.
- 3) Izumi, T., M. Miyoshi, and N. Kobayashi: Runoff analysis using a deep neural network. Proceedings of the 12th International Conference of Hydroscience & Engineering, pp.173-176, 2016.
- 4) 木全 卓: リサイクル材料に起因する混合土の圧縮特性, 地盤工学会誌, 65(9), pp.22-23, 2017.
- 5) 吉武美孝・小林範之: ため池改修におけるコンクリート構造物と堤体盛土との接合部での漏水問題, 農業農村工学会誌, 86(8), pp.41-44, 2018.

〔学会発表〕(計 11 件)

- 1) 田中洋平・小林範之・木全 卓: 三次元個別要素法による EPS 破碎片混合土が持つ衝撃吸収性の検討, 第 71 回農業農村工学会中国四国支部講演会, 松山市, 2016.
- 2) 中島圭菜・小林範之: 個別要素法を用いた農地石垣の安定性評価, 第 71 回農業農村工学会中国四国支部講演会, 松山市, 2016.
- 3) 長井和樹・小林範之: SIS による浸透特性および遮水ゾーン位置の推定, 農業農村工学会中国四国支部講演会, 松山市, 2016.
- 4) 高須賀愛美・小林範之: Hilbert-Huang 変換を用いた地震時における堤体剛性の評価, 第 71 回農業農村工学会中国四国支部講演会, 松山市, 2016.
- 5) 小林範之・長谷拓哉: 地下水位変動による卓越振動数と位相速度への影響について, 第 72 回農業農村工学会中国四国支部講演会, 徳島市, 2017.
- 6) 木全 卓・阪田真世: ゴムチップ混合体の一次元圧縮挙動のモデル化に関する検討, 第 52 回地盤工学研究発表会, 2017.
- 7) 木全 卓・高台敦義・工藤庸介: ゴムチップ混合土の力学特性に関する実験的研究ーゴムチップにより増加する圧縮成分についての考察ー, 第 74 回農業農村工学会 京都支部研究発表会, 2017
- 8) 泉智揮・佐藤嘉展・武山絵美・小林範之: 平成 30 年度 7 月豪雨時の愛媛県内の降水量と土壌雨量指数, 日本雨水資源化システム学会第 26 回研究発表会, 2018.
- 9) 小林範之・武山絵美・泉智揮: 愛媛県における平成 30 年 7 月豪雨による農業災害, 日本雨水資源化システム学会第 26 回研究発表会, 2018.
- 10) 泉智揮・佐藤嘉展・武山絵美・小林範之: 愛媛県における平成 30 年 7 月豪雨による災害報告, 平成 30 年度農業農村工学会大会講演会, 2018.
- 11) 小林範之・武山絵美・泉智揮: 愛媛県内のため池の被害状況と発生機構について, 地盤工学会四国支部特別講演会, 2019.

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 泉 智揮

ローマ字氏名: Izumi Tomoki

所属研究機関名: 愛媛大学

部局名: ・農学研究科

職名: 准教授

研究者番号 (8 桁): 40574372

研究分担者氏名: 木全 卓

ローマ字氏名: Kimata Takashi

所属研究機関名: 大阪府立大学

部局名: 生命環境科学研究科

職名: 准教授

研究者番号 (8 桁): 60254439