

地中レーダで推定したため池堤体の浸潤線と解析結果の比較 Comparison between estimated phreatic line of dike using ground-penetrating radar and analytical results

○柴田俊文, 宇野翔太, 西村伸一
○Toshifumi Shibata, Shota Uno, and Shin-ichi Nishimura

1. はじめに

わが国のため池は老朽化が進行しているものが多数あり、改修を検討する際には安定性の評価が必要となる。その際に重要なのが浸潤線（地下水位）の設定であり、通常はボーリング調査によって決定する。しかし、ボーリング調査では調査地点の水位しか把握することができず、空間方向に連続的に推定することが難しい。本論文では、ため池堤体の縦断方向と横断方向に対して地中レーダ¹⁾ (Ground-penetrating radar; 以下 GPR とする) を用い、ボーリング調査の結果と TDR 法を併用して堤体内の浸潤線を推定する。また、有限要素法 (FEM) を用い、飽和-不飽和浸透流解析を行って浸潤線を求め、測定結果との比較を行う。

2. 地中レーダ (GPR)

GPR は送信アンテナから地中に信号を射出し、誘電率が異なる面で反射したものを受け信アンテナで計測して解析を行う調査手法である。本論文では Geophysical Survey Systems, Inc の SIR-3000 (アンテナ一体型) を用い、プロファイル測定により計測を行う。また、後述する調査対象のため池堤体の高さが 5m 以下であるため、400MHz のアンテナ周波数のものを用い、計測データの処理には同社のソフトウェア Randan7 を用いる。

3. 調査対象のため池

調査は、図-1 に示す堤長 38.0m、総貯水量 2,000m³ のため池で行い、縦断方向と横断方向に対して GPR を用いる。ここで、図中の一点鎖線が GPR の測線である。また、図中の最前部に洪水吐があるため、ため池の水位は常に一定となっている。洪水吐から 3.7m の位置でボーリング調査およびサンプリングを行い、天端から深さ 2.80m までが粘土質砂、3.95m までが砂混じり粘土、5.90m までが礫混じり砂で構成され、孔内水位が 2.41m の位置にあることがわかった。

4. 測定

最初に、ため池堤体の比誘電率を推定するため、測線 30m として縦断方向に測定を行った。その際、移動速度を 0.1m/s (毎秒 60 スキャン) とし、比誘電率の値を 5 から 16 まで変化させ、それぞれの値に対応する地下水位を測定した。図-2 に、測定した地下水位 (円形) から最小二乗法で得た近似曲線を破線、ボーリング調査で得た地下水位を実線で示している。破線と実線の交点から、天端から地下水位までの平均の誘電率

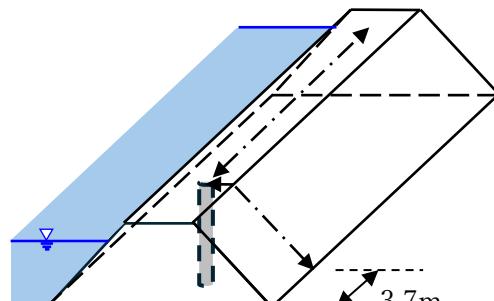


図-1 ため池堤体の測線
Survey line on dike

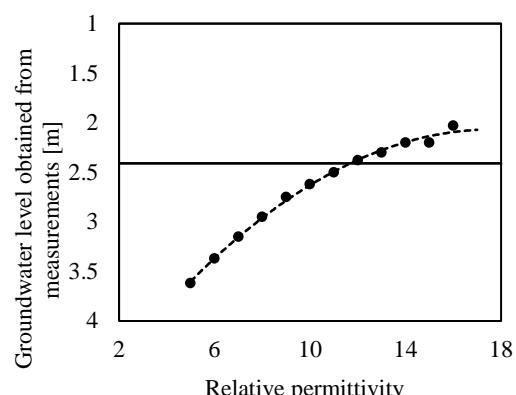


図-2 比誘電率と地下水位
Relative permittivity and groundwater level

岡山大学大学院環境生命自然科学研究科 Graduate School of Environmental Life, Natural Science and Technology, Okayama University

キーワード：地中レーダ、浸潤線、ため池

を 11.65 とした。また、比誘電率の値を直接確認するため、天端表面の土を採取し、土壤水分計を用いて TDR 法により比誘電率を 2 回測定した結果、13.4 および 12.1 という値が得られた。ほぼ同じ値が得られたことから、以後の GPR の測定では比誘電率 11.65 とした。次に、横断方向に対し、法尻から天端に向かって GPR で測定を行った。移動速度は縦断方向の際と同様に 0.1m/s とし、法面に対して法線方向の距離から地下水の位置を推測した。

5. 飽和-不飽和浸透流解析

図-3 に示す要素（節点数 607, 要素数 552）を用い UNSAF-2D²⁾により、飽和-不飽和浸透流解析を行った。ここで、ボーリング調査の結果より、堤体および基礎地盤は 3 種類の土で構成されていると仮定し、各層の飽和透水係数は、サンプリングの土を用い透水試験を実施して決定した。前述したように、ため池の水位は一定であることから左側の水位を固定とし、右端の水位は GPR の結果から決定した。また不飽和浸透特性は、van Genuchten のモデルに基づき図-4 の曲線を用いて解析を行った。

図-5 に GPR の結果から推測した浸潤線と飽和不飽和浸透流解析の解析結果を示す。青色と赤色の境界が浸潤線で、黄色の線が GPR から得た結果である。図より、最大で 0.5m 程度の水位差が生じている箇所があるものの、両者の結果は概ね一致することが確認できた。

6.まとめ

ボーリング調査の結果あるいは TDR 法の結果と GPR の測定結果から比誘電率を適切に決定し、その値を用いて浸潤線を求めることができた。また、不飽和浸透流解析の結果と比較し、精度の良い結果が得られていることが確認できた。

参考文献

- 竹下祐二、小林弘明、田中謙次、田尾一憲、開発一郎、地中レーダによる地盤の水分動態の非破壊計測方法、土木学会論文集、No.729、III-62、169-176、2003。
- 岡山地下水研究会、https://igeol.com/okayama/analysis_program/dl.html（2024 年 1 月閲覧）

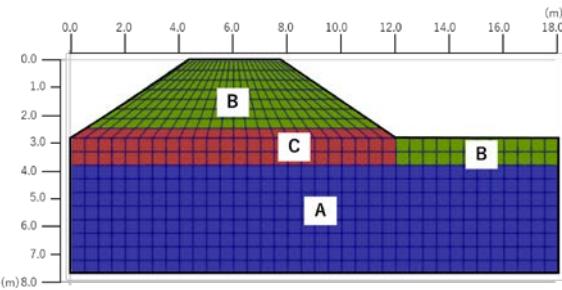


図-3 要素分割図
Element discretization diagram

表-1 透水試験の結果（単位：m/s）
Results of permeability tests

	A : 粘土質砂	B : 粘土質砂 C : 砂混じり 粘土
飽和透水係数	2.58×10^{-5}	3.90×10^{-5}
		1.43×10^{-8}

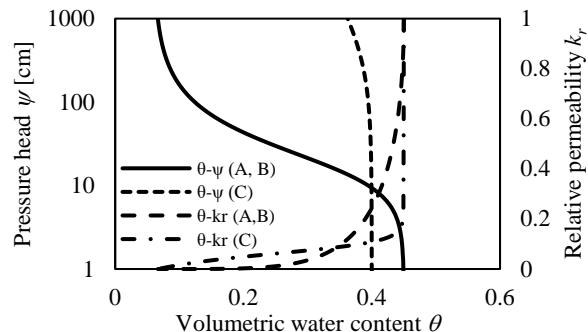


図-4 不飽和浸透特性
Hydraulic properties of unsaturated soils

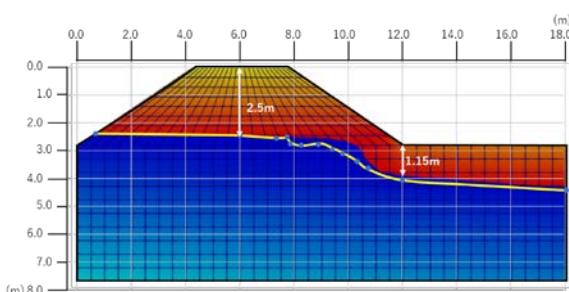


図-5 GPR で得た浸潤線と FEM の結果の比較
Comparison between phreatic line obtained by GPR and FEM result