

ベントナイト系遮水シートを用いたため池堤体の浸潤線について Phreatic Line in a Small Earth Dams Using Geosynthetic Clay Liners

○松本 赳* 澤田 豊* 井上和徳** 浦部朋子** 河端俊典*

Takeru MATSUMOTO, Yutaka SAWADA, Kazunori INOUE, Tomoko URABE, Toshinori KAWABATA

1. はじめに 現在日本に存在するため池の数は約 16 万箇所に及び、その多くで老朽化が問題になっている。従来、ため池は前刃金工法（傾斜コア）によって改修されてきたが、近年改修に用いる良質な粘性土が不足しており、ジオシンセティッククレイライナー（GCL）を用いた遮水シート工法が用いられている。しかし、GCL を用いた改修事例は少なく、その設計方法は確立されていない。本研究では、堤体法面の安定計算に必要な堤体内下流側の浸潤線の設定方法を提案し、数値解析からその有効性を検討した。

2. 研究概要 現行の傾斜コアに対する浸潤線設定方法では、浸潤線形状は下流側法先付近を焦点（点 D）とする基本放物線で表され、その関数は傾斜コアの形状、透水係数、上流側水位、ランダム材の透水係数の 4 成分からなる。本研究では GCL を用いて改修した堤体の浸潤線設定方法として、GCL に外接する平行四辺形を仮想的な傾斜コアと想定し、現行方法を適用することを提案した（Fig.1）。本研究の提案方法では、コア形状と上流側水位、ランダム材の透水係数は幾何学的条件と設計条件から決定できるが、透水係数は未知量であり適切に決定する必要がある。そこで、傾斜コアの透水係数 k_{vc} の決定に関して、等価透水係数として算出する方法（式 1）と層厚比から計算する方法（式 2）を提案した（Fig. 2）。ここで、 k_g : GCL の透水係数、 k_r : ランダム材の透水係数であり、 D_g および D_c は Fig. 2 に示す定義に従う。

$$k_{vc} = \frac{D_c}{\frac{D_g}{k_g} + \frac{(D_c - D_g)}{k_r}} \quad (1)$$

$$k_{vc} = k_g \times \frac{D_c}{D_g} \quad (2)$$

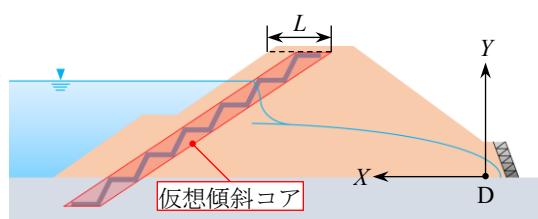
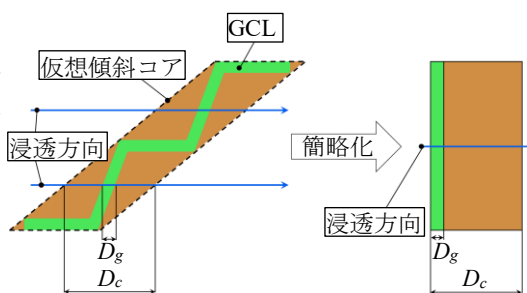
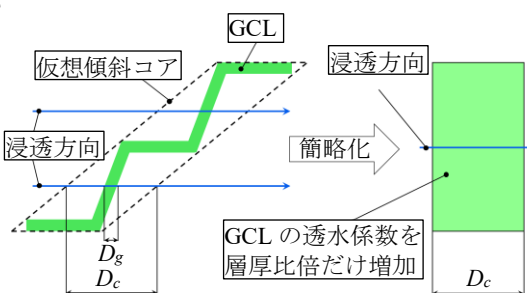


Fig. 1 提案する浸潤線設定方法
Decision procedure of phreatic line



a) 等価透水係数を用いる方法



b) GCL とコアの層厚比から求める方法

Fig. 2 仮想傾斜コアと透水係数
Virtual inclined core and coefficient of permeability

3. FEM 浸透流解析 本研究では、提案方法の有効性を検証するため、飽和-不飽和浸透流 FEM 解析を実施し、GCL と仮想傾斜コアをそれぞれ設置した堤体内浸潤線を比較した。本解析では、Table 1 に示す解析条件を変えた 7 ケースに対して、式 (1)、(2) をもとに透水係数を計算した 2 種類の仮想傾斜コア（それぞれコア材 I、II と呼ぶ）の計 21 ケースの解析を行った。

*神戸大学大学院農学研究科 Graduate School of Agricultural Science, Kobe University

**日本遮水工協会 Japan Lining Systems and Technologies Association キーワード: ため池, 堤体内浸潤線, FEM 解析.

さらに、21 ケースの各々について、ランダム材の透水係数を $1.0 \times 10^{-7} \sim 1.0 \times 10^{-5}$ m/s の範囲で 19 パターンに変化させて解析を行った。

Fig. 3 は CaseA のランダム材の透水係数が 1.0×10^{-6} m/s の堤体内浸潤線と全水頭分布である。GCL と仮想傾斜コアでは、ともに下流側で浸潤線が低下しており、その形状は概ね一致している。また、Fig. 3 の天端中央と下流側法先での水位を抽出しランダム材の透水係数ごとに比較した (Fig. 4)。Fig. 4 より、ランダム材の透水性によらず、仮想傾斜コアの水位が GCL の水位よりわずかに高いものの、コア材 I、コア材 II の間に差は見られなかった。そこで、この差を明確にするため、Table 1 の各ケースで GCL と仮想傾斜コアの水位を比較したときの RMSE を計算した (Fig. 5)。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (h_i - \hat{h}_i)^2} \quad (3)$$

h_i : 仮想傾斜コアの水位, \hat{h}_i : GCL の水位, N : データ数である。Fig. 5 より、コア材 I の方が RMSE の値はわずかに小さいものの、両者の差は最大でも 3.5 cm 程度であり、式 (2) より計算される透水係数を用いても実用上の問題はないと見られる。

4. 結論 本研究では、GCL を用いて改修されたため池の堤体内浸潤線の設定方法を提案し、その有効性を検討するため FEM 浸透流解析を実施した。結論として、GCL と仮想傾斜コアの浸潤線は概ね一致しており、仮想傾斜コアの透水係数は、提案した計算方法で求めたいずれの値を用いても実用上問題ないことが分かった。

引用文献

- 1) 農林水産省農村振興局 (2015) : 土地改良事業設計指針「ため池整備」, 農業農村工学会
- 2) Van Genuchten, M. Th. (1980) : A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils, Soil Science Society of America Journal, 44 (5), pp.892-898

Table 1 解析ケースと条件
Analytical cases and conditions for the FEM analysis

Case	堤高 (m)	GCL の設置条件			基盤	
		一段の高さ (m)	一段の水平幅 (m)	設置位置 L (m)	透水係数 (m/s)	透水係数 (m/s)
A	10	1	1	3.9	1.0×10^{-9}	1.0×10^{-12}
B	10	1	1	3.9	1.0×10^{-9}	1.0×10^{-7}
C	10	1	1	4.9	1.0×10^{-9}	1.0×10^{-12}
D	10	2	2	3.9	1.0×10^{-9}	1.0×10^{-12}
E	10	2	1	3.9	1.0×10^{-9}	1.0×10^{-12}
F	5	1	1	3.3	1.0×10^{-9}	1.0×10^{-12}
G	10	1	1	3.9	1.0×10^{-8}	1.0×10^{-12}

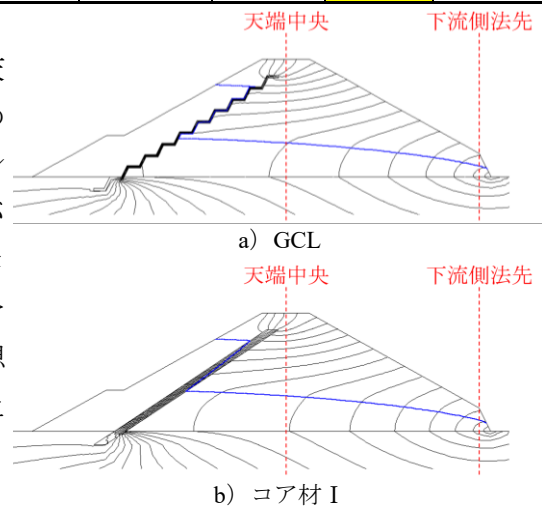


Fig.3 浸潤線および全水頭分布 (Case A)
Phreatic line and total head distribution (Case A)

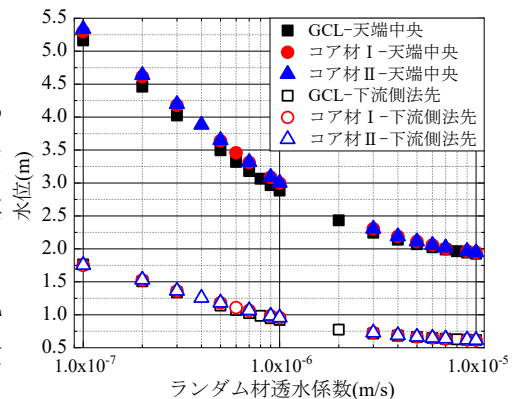


Fig.4 堤体内水位 (Case A)
Water level in the embankment (Case A)

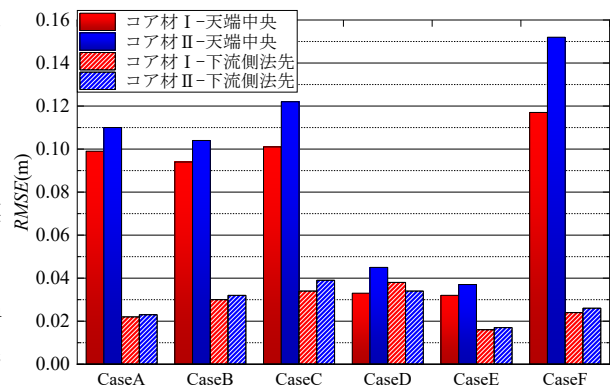


Fig.5 GCL と仮想傾斜コアの水位差の RMSE
RMSE of water level difference between GCL and virtual inclined core