

基礎地盤の透水性がため池堤体内の浸潤線に及ぼす影響 Influence of Foundation Permeability on Phreatic Line in Embankments in Small Earth Dams

○松本 赳* 澤田 豊* 清水正義** 河端俊典*

Takeru MATSUMOTO, Yutaka SAWADA, Masayoshi SHIMIZU, Toshinori KAWABATA

1. はじめに 近年、農業用ため池の老朽化に伴う改修が増加している。設計には、堤体内浸潤線の決定が重要である。ため池の現行設計によると、一般的な改修工法である前刃金工法（傾斜コアを用いた改修）では、堤体の断面形状、上流側水位、堤体材の透水係数をもとに下式で計算される。

$$q = \frac{(H - 0.5h)}{(b + CM)/2} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{H}{\sin \theta_1} + \frac{h}{\sin \theta_2} \right) \cdot k_c \quad (1)$$

$$Y = \sqrt{2Y_0 \cdot X + Y_0^2}, \quad Y_0 = q / k_r \quad (2)$$

ここで、 k_c ：傾斜コアの透水係数、 k_r ：傾斜コア以外の堤体土（以下、ランダム材という）であり、その他の変数は、**Fig. 1** に従う。松本ら¹⁾は、この方法では堤体材の透水係数の感度が高く、計算誤差が大きいことから、その修正法を提案した。同研究では、基礎地盤内の浸透流の影響による計算誤差についても指摘しており、本研究では、この問題について検討した。

2. 実験概要 本研究では、FEM 解析により得られた浸潤線を実際の浸潤線とみなし、現行設計値との比較を行った。解析には、汎用ソフトウェア「2D-Flow」を用いた。**Fig. 2** に解析モデルを、**Table 1** に各ケースの解析パラメータを示す。地盤の異方性を考慮し、水平方向の透水係数は鉛直方向の5倍とした。不飽和パラメータは、既往研究²⁾と同じものを用いた。

3. 解析結果 **Fig. 3** に Case C について FEM 解析と、現行設計法で求めた浸潤線を示す。**Fig. 3** より、基礎地盤の透水性が高くなるにつれて、浸潤線が上昇していることがわかる。これは、**Fig. 4** に示した全水頭分布にみられるように、基礎地盤内の浸透流の一部が堤体内に侵入することによる起因するものと考えられる。

4. 現行設計法の修正 Case C のほか、本解析ケースのほとんどで、基礎地盤の透水性が高い場合、FEM 解析の浸潤線は、現行設計法のそれより高かった。したがって、より適切な浸潤線

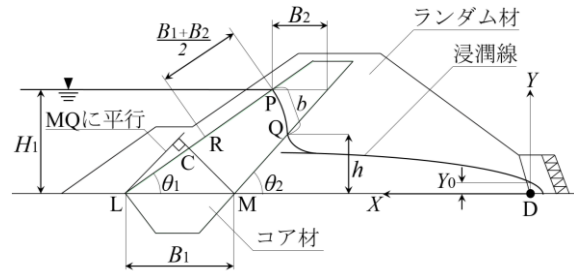


Fig. 1 堤体内浸潤線計算
Calculation of phreatic line in embankment

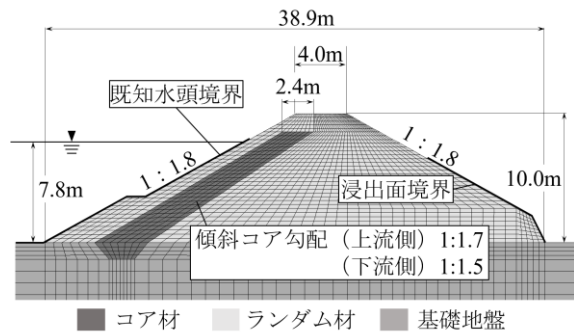


Fig. 2 FEM 解析モデル
The model for FEM analysis

Table 1 解析ケース
Case of analysis

解析ケース	鉛直方向透水係数 (m/s)		
	コア材 k_c	ランダム材 k_r	基礎地盤 k_f
Case A	1.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}	1.0×10^{-10} から 1.0×10^{-6}
Case B		1.0×10^{-5}	
Case C	1.0×10^{-7}		
Case D	1.0×10^{-9}	1.0×10^{-6}	
Case E		1.0×10^{-5}	

※ただし、Case C では、 k_r が k_f 以上の値となるよう、 $k_f = 1.0 \times 10^{-6}$ (m/s) のケースは除外した。

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

**株式会社エース ASIA CIVIL ENGINEERING キーワード：ため池，浸潤線，FEM 解析

を得るには、基礎地盤から堤体への浸透量を求め、浸潤線計算式に反映させる必要がある。以下に、提案方法を述べる。Fig. 4 より、堤体内浸潤線に影響する基礎地盤内浸透流の範囲は、基礎地盤表面から湛水深の約 1/2 であるとわかる。そこで、Fig. 5 に示す範囲の基礎地盤内全体の浸透量 q_f を求める。

$$k_f' = \frac{l}{\frac{l - (B_1 + B_3)/2}{k_f} + \frac{(B_1 + B_3)/2}{k_c}} \quad (3)$$

$$k_f'' = \frac{k_f' \cdot h_c + k_f(H_1/2 - h_c)}{H_1/2} \quad (4)$$

$$q_f = k_f'' \cdot \frac{H_1}{l} \cdot \frac{H_1}{2} = k_f'' \cdot \frac{H_1^2}{2l} \quad (5)$$

ここで、 k_f' は Fig. 5 で深さ h_c までの層の透水係数、 k_f'' は深さ $H_1/2$ の層全体の透水係数である。次に、浸透量 q_f のうち、堤体内に浸透する割合を求める。はじめに、基礎地盤の透水性が高い場合と低い場合の水位差（例えば、Fig. 3 の○と◇の水位差）を浸透量に換算し、浸透量 q_f に対する割合を求める。本研究で実施したケースのうち、基礎地盤内の浸透流により、浸潤線が大きく上昇したケースで、基礎地盤内浸透流の影響割合を求めたものを Table 2 に示す。この影響割合は、各堤体材の透水性に左右されると考えられる。そこで、各堤体材の透水係数を変数から影響割合を求める式を最小二乗法により決定した。

$$G = |\log k_c|^{2.82} \cdot |\log k_r|^{-2.16} \cdot |\log k_f|^{-2.35} \quad (6)$$

以上より、基礎地盤内からの浸透に起因する浸潤線の増分は、式 (7) で表される。

$$Y' = \sqrt{2X \cdot Y_f + Y_f^2}, \quad Y_f = (G \cdot q_f) / k_r \quad (7)$$

ここで、 Y_f は堤体下流端での、基礎地盤の浸透流による水位の増分を指す。最終的な浸潤線は、焦点を D とし、式 (2) の Y_0 に増分 Y_f を加えた点 S を通る基本放物線として表される。

5. まとめ 本研究では、農業用ため池について、

基礎地盤内の浸透流が堤体内浸潤線に及ぼす影響を、FEM 解析を用いて検討した。その結果、基礎地盤の透水性が高い場合、基礎地盤内の浸透流が堤体内に流れ込み、浸潤線が上昇することがわかった。また、基礎地盤内の浸透を考慮できるように、式の修正を行った。

参考文献

1) 松本ら (2021) : 農業用ため池の堤体内浸潤線の予測に関する一考察, 農業農村工学会京都支部第 78 回研究発表会講演要旨集, pp.27-28. 2) 澤田ら (2021) : ジオシンセティッククレイライナーが敷設されたため池堤体の浸潤線設定方法の提案, 農業農村工学会論文集, No.313, pp.I_363-I_369.

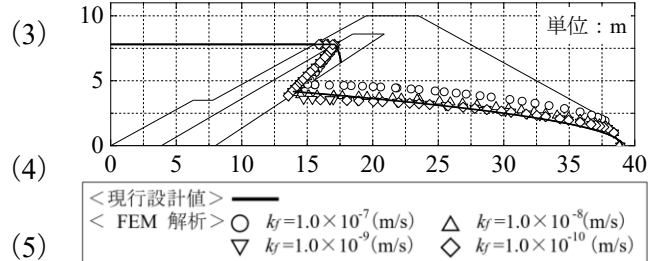


Fig. 3 FEM 解析結果 Results of FEM analysis

※数値は、全水頭 (m) を示す。

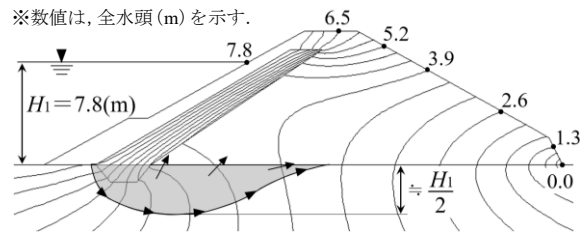


Fig. 4 全水頭分布 Distribution of total head

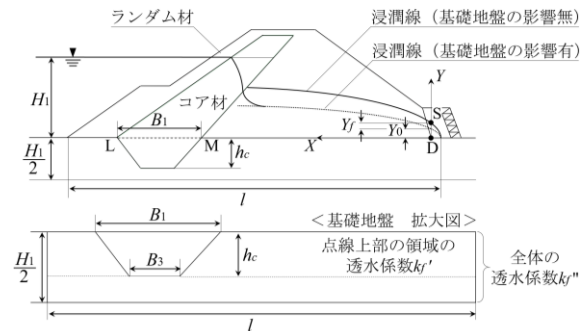


Fig. 10 基礎地盤の透水性を考慮した計算 Calculation considering permeability of foundation

Table 2 基礎地盤内浸透流の影響割合 Influence ratio of seepage flow in foundation

k_c (m/s)	k_r (m/s)	k_f (m/s)	影響割合 (%)
1.0×10^{-7}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-6}	12.37
1.0×10^{-8}	1.0×10^{-6}	1.0×10^{-6}	11.90
1.0×10^{-9}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-6}	23.00
1.0×10^{-9}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-7}	16.18
1.0×10^{-9}	1.0×10^{-6}	1.0×10^{-6}	15.48
1.0×10^{-9}	1.0×10^{-6}	1.0×10^{-7}	8.40