

高松工業高等専門学校 正 ○向谷光彦, 学 山本陸登, 岡崎芳行
鳴門測量設計(株)設計部 田中勝彦

1. はじめに

わが国では昭和40年台後半から止水性が確実で工場において品質管理された施工性の良い各種シート材が、諸外国より輸入され一部の地域ではあるが採用されてきた。しかし、シートの種類は多種多様で物性が異なり、設計法や検査法もまちまちで現場技術者の経験に頼るところが多く、一部の現場では混乱もみられたため普及実績は十分でないのが現状である。

以上の経緯を踏まえ、前刃金工法に替わる代替工法の一つとして、表面遮水シート工法を取り上げた。本報告では第3報として、降雨時のため池堤体内における浸潤線の予測、これを地下水位に換算して斜面の安定性を簡便に計算する手法について検討した。

2. 目的

本解析手法の検討に際して、次の2点について着目した。①表面遮水シート工の覆土内の降雨時のすべり安全率を求める解析であるが、一般斜面にも適用できるよう配慮すること。②降雨時に現場斜面での判定が容易にできること。そして、ため池堤体の盛土中に雨水が浸透して、シート上で地下水面が上昇する場合の浸潤線を算定しようとするものである。そして、堤体斜面の表層すべり（滑動）に対する安定性を評価する。

3. 解析の前提条件

定式化を行う前提条件として、図-1を参照しながら、以下の項目を考慮した。①土粒子の堆積方向と透水係数の相違が問題になるが、土粒子は水平に堆積したものとした。降雨は、斜面に打ちつけるものと想定することが最も危険な想定である。これによって、斜面に平行な流れと覆土に垂直な流れが発生する。②水平方向の透水係数 k_h が k_v より大きいので、面①④と③⑤を通過する流量に貯留はないと仮定した。また、面①③と④⑤を通過する流量に貯留があると仮定した。この時の貯留係数を $(1-1/\alpha)$ とした。（流入1に対し流出 $1/\alpha$ となる。）③覆土の転圧は、タイヤローラーが多いので、透水係数 k の異方性が発生する。通常、 $k_h/k_v=20\sim30$ （ ≈ 25 ）程度。④降雨の浸透速度 $v (=k_0 \cdot i_0)$ は裸地で $2\sim3\text{mm/hr}$ 、芝地で $5\sim6\text{mm/hr}$ 、

自然の植生地で 18mm/hr 程度である。（盛土で $10\sim300\text{mm/hr}$ 程度）浸透速度 v は降雨強度 r に比例するが、鉛直方向透水係数 k_v' （飽和）とは異なる。流入量 r は、まき土26%、ローム質65%、有機質火山灰で92%で、残りが斜面を流下する。

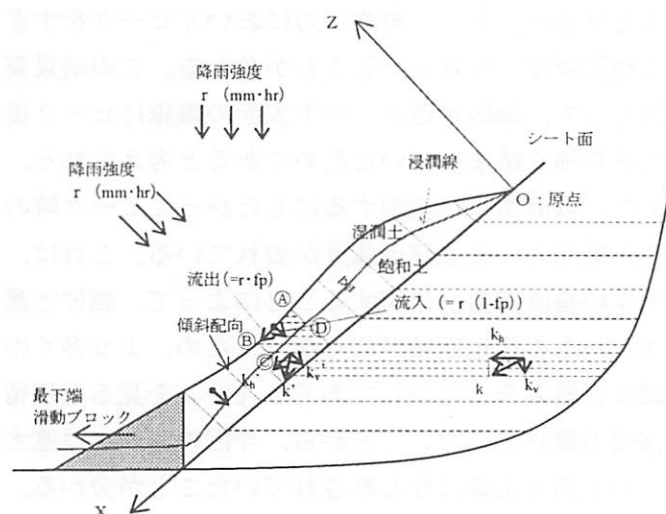


図-1 定常状態における堤体内浸潤線の形成

4. 理論式による浸潤線の誘導

図-2に示すように、座標原点：Oを法肩のシート部に設定する。降雨強度： r (mm/hr)，流出率： fp ，斜面： i 割勾配，出口水位： D (m)，入口水位： Z_0 (m)，斜面長： L (m)，飽和透水係数： k (cm/s)，浸透雨量： $q' = r \cdot (1-fp)$ (cm/s)，覆土厚： D_{max} (m)，間隙比： e ，浸透速度： v (cm/s)，動水勾配： $i_0 = v/k_0 \approx 1$ ，不飽和透水係数： k_0 (cm/s)とすると、定常状態における浸潤線が、以下の式で示される。

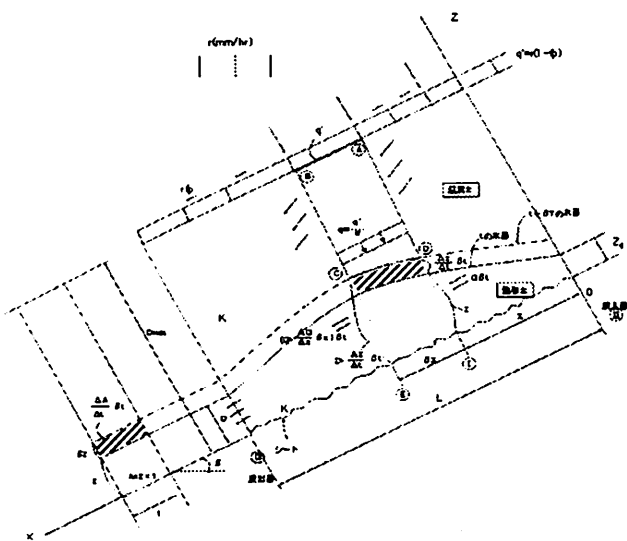
$$Z = \left\{ \frac{-(D^2 - Z_0^2)}{(-L^2 + 2 \cdot X_{max} \cdot L)} X^2 + \frac{2 \cdot X_{max} \cdot (D^2 - Z_0^2)}{(-L^2 + 2 \cdot X_{max} \cdot L)} X + Z_0^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

これより、定常状態では微小要素に出入りする水の量： $Q_{in}=Q_{out}$ より、 $\alpha = L \cdot q' / (k \cdot \tan \beta \cdot D)$ が求まる。

また、雨水浸透によって地下水面は上昇するが、その形状は放物線に近く、斜面長中央部より少し法尻側

にピーク値：Xmax を有することになる。

$$X_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{(D^2 - Z_0^2)}{\tan \beta \cdot D} + L \right\}$$



図－２ 浸潤線定式化のための諸量

浸潤線の最大値を示す斜面長位置：Xmax は、浸出点の高さ：D、斜面傾斜角：β、斜面長：Lにのみ関係していることが分かる。

5. 覆土内に貯留している浸透水の排水時間の推定

降雨がやんで、定常流の流速がゼロになる時間を T₁ とすると、覆土内に貯留している浸透水の排水時間に相当する。間隙率：n = e / (1+e) × 100(%)、出口水位：D は D～0 まで変動するので、平均的に D/2 であるとした。これより、排出時間：T₁(s) は次式により求められる。

$$T_1 = \frac{n/100 \cdot \int_0^L Z \, dX}{k \cdot \tan \beta \cdot D/2} = \frac{2e \int_0^L Z \, dX}{(1+e) \cdot k \cdot \tan \beta \cdot D}$$

なお、浸透時間：T₂ = Dmax / v で求まる。

6. 浸潤線から平行水浸率 (PSR) への換算

提案法による安定解析に持ち込むためには、2 次曲線である浸潤線を平行水浸率：PSR (Parallel submergence ratio) = hw / h に換算する必要がある。これは、浸潤線下の面積を斜面長：L で除して (Zmean)、さらに覆土厚：Dmax で除して求められる。

$$PSR = \frac{Z_{\text{mean}}}{D_{\text{max}}} = \frac{\int_0^L Z \, dX / L}{D_{\text{max}}}$$

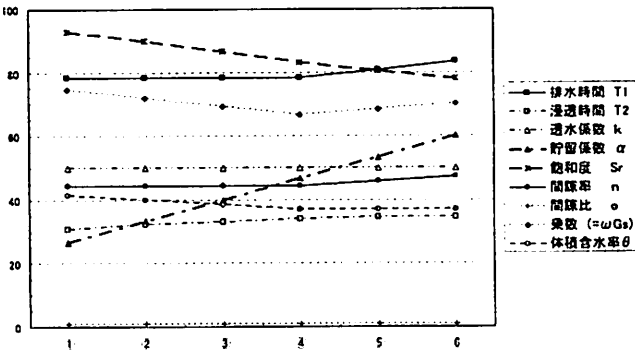
7. ケーススタディ

実事例や室内試験のデータとの照合ができないので、可能な範囲でパラメータを変動させたときに、どのような影響を及ぼすかを調べたのが表－１である。いくつかの係数は、表示のため 10～10000 倍して表示した。

表－１ ケーススタディ

No.	T ₁ (hr)	10 × T ₂ (hr)	10 ⁴ × k (cm/s)	10 × α	Sr (%)	n (%)
①	78.3	30.8	50	26.7	93.0	44.4
②	78.3	32.3	50	33.3	89.8	44.4
③	78.3	33.1	50	40.0	86.6	44.4
④	78.3	33.9	50	46.7	83.2	44.4
⑤	80.9	34.7	50	53.3	80.3	45.9
⑥	83.4	34.7	50	60.0	78.0	47.4

No.	e	e × Sr (%)	10 ⁴ × k ₀ (cm/s)	P S R	r (mm/h)	体積 含水率 θ (%)
①	0.80	74.4	45	0.528	20	41.3
②	0.80	71.9	43	0.528	25	39.9
③	0.80	69.3	42	0.528	30	38.5
④	0.80	66.6	41	0.528	35	36.9
⑤	0.85	68.3	40	0.528	40	36.9
⑥	0.90	70.2	40	0.528	45	37.0



図－３ ケーススタディのまとめ

図－３より、以下のことが分かってきた。①排水時間：T₁と降雨強度：rは比例する。②覆土の浸透時間：T₂と不飽和透水係数：k₀は逆比例する。③貯留係数：αと排水時間：T₁は比例する。④浸透時間：T₂と貯留係数：αは比例する。⑤降雨強度：rが上げれば覆土内では飽和度：Srを小さくしようとする。⑥体積含水率：θと排水時間：T₁は逆比例する。