No. 6

地下水排除工の地下水位に与える影響の定量化

藤井三千男

1. まえがき

地すべり対策に地下水排除工が有効であることは、よく知られている。

排除工の効果は、地下水位の低下で表現され、すべり計算上の安全率に反映される。

しかし排除工がどの程度地下水位を低下させるかということについて、理論的にも実用的にも検討されたものは殆んどない。

ここでは、これらの問題について検討を試みる。　まず降雨量から地すべり域の地下水位を合目的に求め、次に地下水排除工（集水井、排水ボーリング工）を設けた場合の地下水位の変動を求める。

2. 降雨量と地下水位

1). 土塊の性質と地下水位

土塊は、土粒子・水・空気から成り立っている。

地下水位以下では空隙は水で満たされている。地下水位以上では空隙は水と空気で構成されそれの比率・量は、土塊の性質・自然環境に支配される。

図-1に示す様に1m²にR'(m)の降雨量があって、水位がΔH(m)上昇したとする。

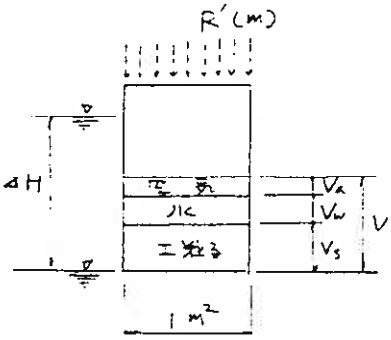


図-1

$$\text{空隙率 } Va = \frac{Va}{V} \times 100$$

$$\Delta H \cdot Va = 100\,R'$$

$$\therefore \Delta H = \frac{100R'}{Va} \quad (m) \quad \cdots\cdots\cdots (1)$$

土塊の定量的性質として、土粒子の比重（Gs）間隙率（n）、飽和度（Sr）で表わす。

他の性質との関係は、次の通りである。

$$\text{含水比 } w = \frac{1}{G_s} \cdot \frac{Sr \cdot \gamma_w}{1-n}$$

$$\text{単位重量 } \gamma_t = \frac{1+w/100}{1/G_s + w/Sr \cdot \gamma_w}$$

$$\text{乾燥重量 } \gamma_d = \frac{}{1/G_s + w/Sr\,\gamma_w}$$

$$\text{間隙比 } e = \frac{n}{1-n}$$

$$\text{空隙率 } Va = G_s \left\{ \frac{n}{G_s} - (1-n)\frac{w}{100\,\gamma_w} \right\} \times 100$$

代表的な土として、花崗岩風化土（マサ土）及び泥岩の性質を図・2，図・3に示す。

参考に一定量の降雨量が浸透した場合の上昇水位を求める。

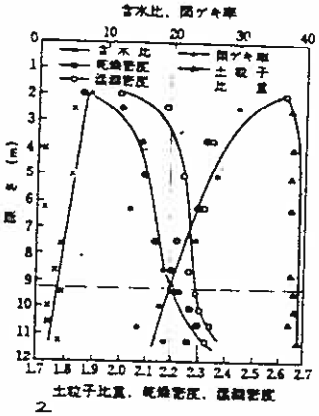


図-2 乱さないマサ土の物理的性質
（松尾・西田）

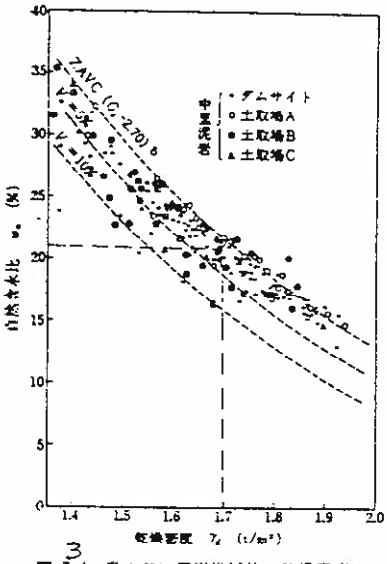


図-3 乱さない泥岩供試体の乾燥密度
—自然含水比関係の例

土の性質	マサ土	泥岩
G_s	2.7	2.0
n	0.19	0.37
S_r	52.9	96.1
γ_t	2.3	2.06
γ_d	2.2	1.7
e	0.23	0.59
w	4.5 %	7.1 %
v_a	9.06 %	1.35 %

表・1

今降雨量が 50 mm とし全透した場合の上昇水位高を求める。

(1)式より

$$\text{マサ土}\quad \Delta H = \frac{100 \times 0.05}{9.06} = 0.55 \text{ m}$$

$$\text{泥岩}\quad \Delta H = \frac{100 \times 0.05}{1.35} = 3.70 \text{ m}$$

即ち 同一の降雨でも，透水土塊により水位の上昇には著しい差があることを示す。

岩塊の場合も基本的には、土塊と同様に考える。 間隙率(n)は、節理数と間隔で表わし（表・2）、地下水位以上の岩塊の飽和度(S_r)は0%とする。

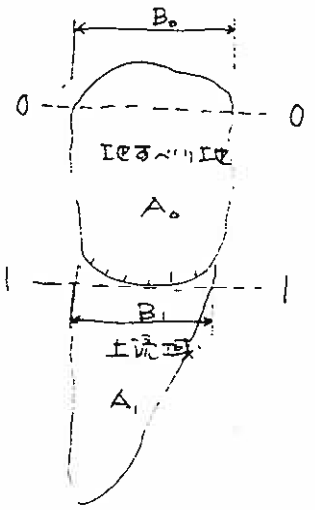
間隔 (e) (m) ＼ 数 (n) (/m)	間隙率 (n)				
	0.01	0.05	0.1	0.5	1
1	0.0003	0.0015	0.0030	0.0150	0.0300
5	0.0015	0.0075	0.0150	0.0750	0.1500
10	0.0030	0.0150	0.0300	0.1500	0.3000
20	0.0060	0.0300	0.0600	0.3000	0.6000

表・2 岩塊の間隙率

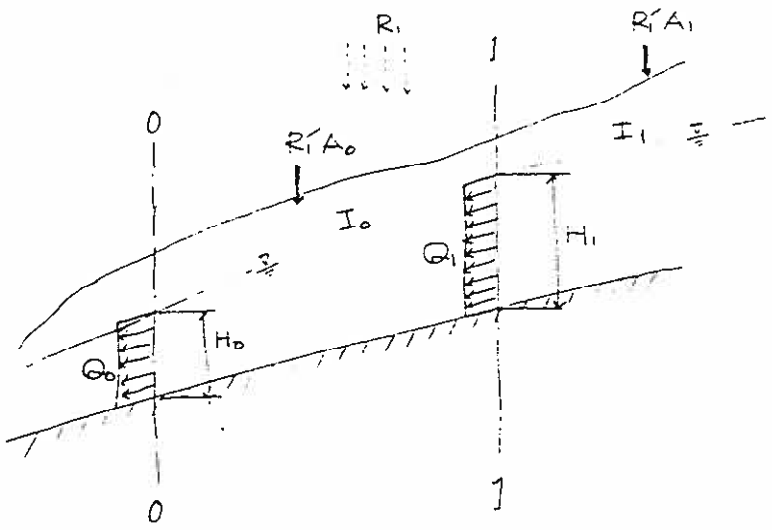
更に X, Y, Z 軸方向で異っている場合では $n = \sum^{X,Y,Z} n_i \cdot e_i$ で (1)式は

$$\Delta H = \frac{100 R'}{n} \quad \cdots\cdots (1)'$$ となる。

2) 地すべり地のモデル化



図・4 平面のモデル



図・5 断面のモデル

図・4, 図・5に示す様に、地すべり地に単純なモデルを考える。

1. 地すべり地を、面積(A_0 m^2)、巾(B_0 m)で表わす。
2. 地すべり地に流入する降雨の範囲として、地すべり地に接続する上流域を、面積(A_1 m^2)、流入巾(B_1 m)で表わす。
3. 日降雨量(R mm)に対して $R' = \frac{1-f}{1.000} \cdot R$ (m) が浸透するものとする。
   但し f は流出係数。
4. 地すべり地内での貯留量又は流出量は $J_0 = R'A_0 + Q_1 H_1 - Q_0 \cdot H_0$ で表わす。但し Q_0, Q_1 は 0-0, 1-1 位置での流量(m/日)、H_0, H_1 は 0-0, 1-1 位置での地下水位(m)を表わす。

表一ゟ3 日本内地河川の流出係数 f の値

急峻な山地	0.75~0.90
三紀層山岳	0.7 ~0.8
起伏のある土地および樹林	0.5 ~0.75
平坦な耕地	0.45~0.60
かんがい中の水田	0.7 ~0.8
山地河川	0.75~0.85
平地小河川	0.45~0.75
流域のなかば以上が平地である大河川	0.50~0.75

5. 流量は次式で表わす。 $Q_0 = K I_0 \cdot B_0 \cdot H_0$, $Q_1 = K \cdot I_1 \cdot B_1 \cdot H_1$

   $K = 86400 k_f$ (m/日)

   但し、k_f : 透水係数(cm/sec) (表・4)
   I_0, I_1 : 図に示す動水勾配

6. 動水勾配 I_0, I_1 は降雨の強度にかかわらず一定とする。
7. 地すべり地内での地下水位上昇量は(1)式より $\Delta H = \frac{J_0}{A_0} \cdot \frac{100}{V_a}$
   上流域についても同様とする。

表 5　代表的岩石および土の透水係数

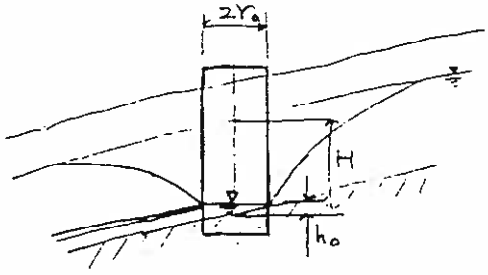
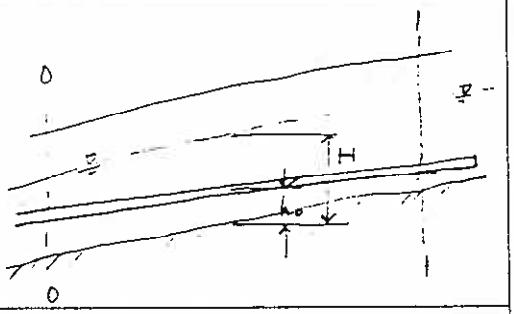
	k – cm/sec	造岩鉱物	割れ目のある岩石	土 壌
実質的に不透水性	10^{-10}	粘板岩		風化帯水下にある一様な粘土
	10^{-9}	ドロマイト		
	10^{-8}	花崗岩		
	10^{-7}			
流出量小、排水困難	10^{-6}	石灰岩		
	10^{-5}		粘土で満たされた節理	極く細砂、有機質および無機質シルト、砂・粘土混合物、氷河粘土、層状の粘土堆積物
	10^{-4}			
	10^{-3}	砂		
流出量大、排水容易	10^{-2}		節理のある岩盤	
	10^{-1}			きれいな砂、きれいな砂礫混合物
	1.0		開口節理のある岩盤	
	10^{1}			
	10^{2}		割れ目の多い岩盤	きれいな礫

8. 地すべり地の底には、必ず不透水層があるものとする。

9　地すべり地の側方からの流出については、地形により変化するものとし側方流出係数（$\alpha = 1.0 \sim 1.2$）をQ_0に乗じた量が流出するものと仮定する。

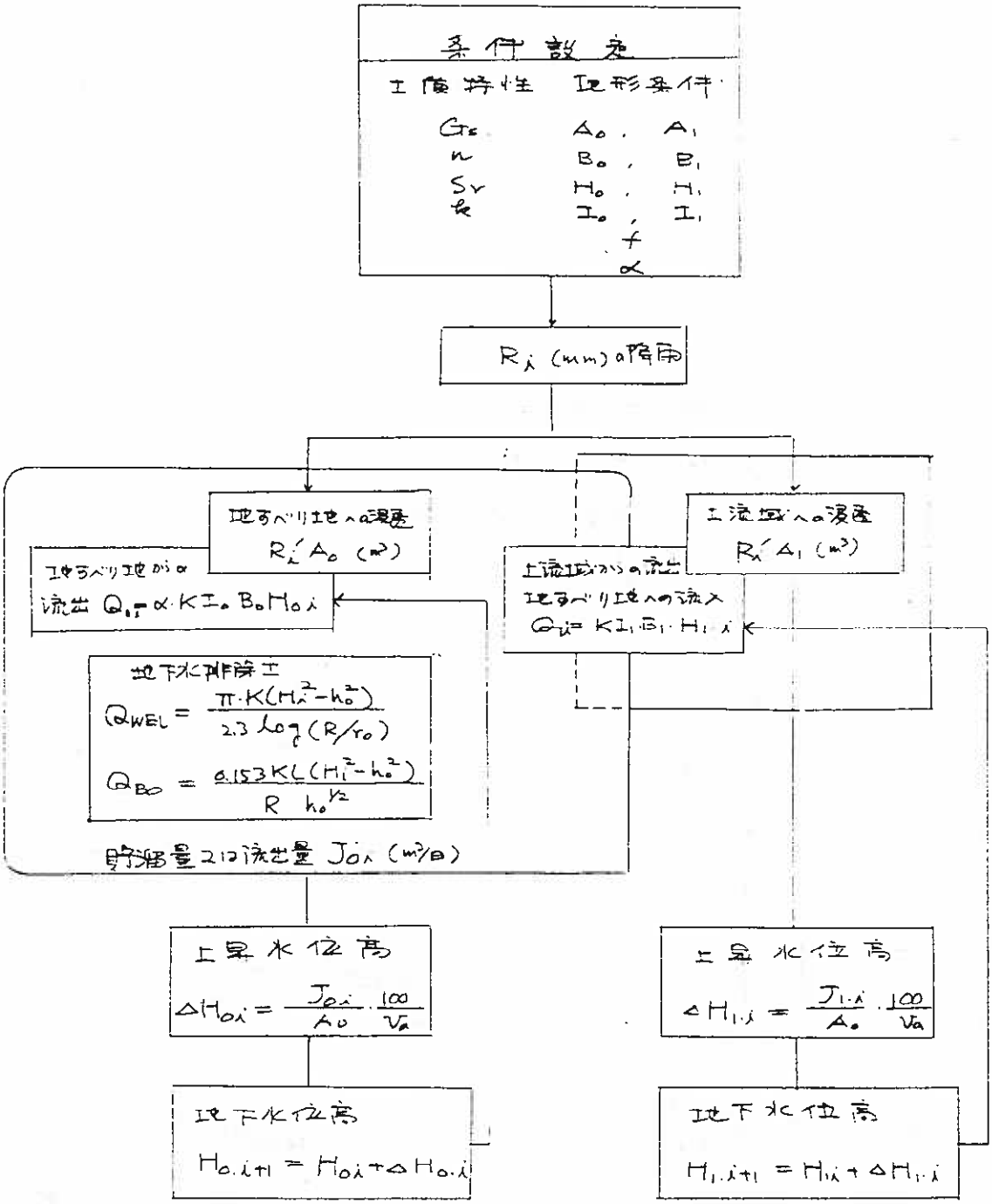
3. 地下水排除工の効果

1). 地下水排除工の排水量

集水井工法	排水ボーリング工
	
$Q_{WEL} = \dfrac{\pi K (H^2 - h_0^2)}{2.3 \log (R/r_0)}$ m³/日 $H = \dfrac{H_0 + H_1}{2}$	$Q_{BO} = \dfrac{0.153 K \cdot L^{※} (H^2 - h_0^2) \cdot n}{R \cdot h_0^{1/2}}$ m³/日 $H = \dfrac{H_0 + H_1}{2}$ L：ボーリング長 m n：ボーリング本数
※ 集水井工とボーリング工を併用する場合はボーリングの有効長は $L/2$ とする。	

2) 地下水排除工の地下水位に与える影響

以上検討した事項を整理し，日降雨量（mm/日）を与えることで，地すべり地の地下水位を求めることが出来る。以下そのフローを示す。



土質条件，地形条件及び日降雨量の30日分をインプットし地下水位 H_0, H_i をアウトプットするプログラムを作成した。

3). 検討例.

盛土地区道路（松江市宍道町地内）の切取に伴う崩壊について適用してみる。

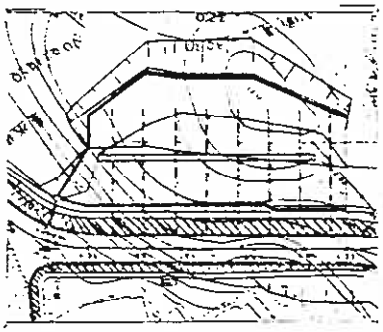


図-6 平面図

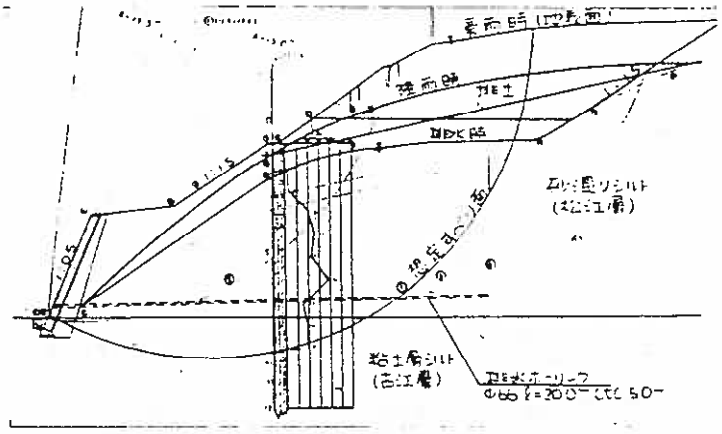


図-7 断面図

設定条件は、表-5に示す。

アウトプットした計算水位と実測水位を図-8に示す。

3 トンネル ﾄｸﾃｲ

Gs	ｶﾝｾｲﾘﾂ	Sr(%)	k(cm/s)	ﾘｭｳｼｭﾂﾌﾗｲｱﾝ	ｿｳｾｷﾌﾗｲｱﾝ
2.700	.480	97.000	.2000E-03	.100	1.000

4 ﾁﾎｳｲ ｼﾞｮｳｹｳｼｮｳ

A0	B0	ｼｮｷH0	I0	A1	B1	ｼｮｷH1	I1
5000.00	100.00	5.50	.220	1000.00	100.00	10.00	.030

5 コーﾌﾘｮｳ (mm/day)

ﾆｯｹ	ﾌﾘｮｳ	ﾆｯｹ	ﾌﾘｮｳ	ﾆｯｹ	ﾌﾘｮｳ	ﾆｯｹ	ﾌﾘｮｳ	ﾆｯｹ	ﾌﾘｮｳ
1	1.5	6	0.0	11	-0.0	16	25.0	21	0.0
2	14.5	7	0.0	12	0.0	17	0.0	22	3.0
3	20.0	8	3.0	13	0.0	18	0.0	23	0.0
4	14.0	9	3.5	14	0.0	19	0.0	24	0.0
5	.5	10	.5	15	0.0	20	0.0	25	0.0

表-5 条件設定

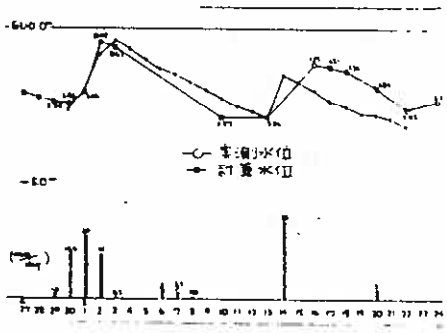


図-8

次に観測を開始した日（4.29）に排水ボーリング工が完成した場合と、集水井工＋排水ボーリング工が完成した場合とにつき、昭和56年6月1日～6月30日の降雨が、ひきつづき発生したものと仮定して、地下水位を求めてみる。

日降雨量を表-6に示し、計算結果を図-9に示す。

5 コーﾌﾘｮｳ (mm/day)

ﾆｯｹ	ﾌﾘｮｳ	ﾆｯｹ	ﾌﾘｮｳ	ﾆｯｹ	ﾌﾘｮｳ	ﾆｯｹ	ﾌﾘｮｳ	ﾆｯｹ	ﾌﾘｮｳ	ﾆｯｹ	ﾌﾘｮｳ
1	1.0	6	0.0	11	2.0	16	0.0	21	7.0	26	12.5
2	0.0	7	0.0	12	40.0	17	0.0	22	2.5	27	29.5
3	0.0	8	0.0	13	3.0	18	11.0	23	10.0	28	57.0
4	0.0	9	0.0	14	4.0	19	0.0	24	0.0	29	131.5
5	0.0	10	0.0	15	35.0	20	25.5	25	96.5	30	14.0

表-6 S56.6 日降雨量

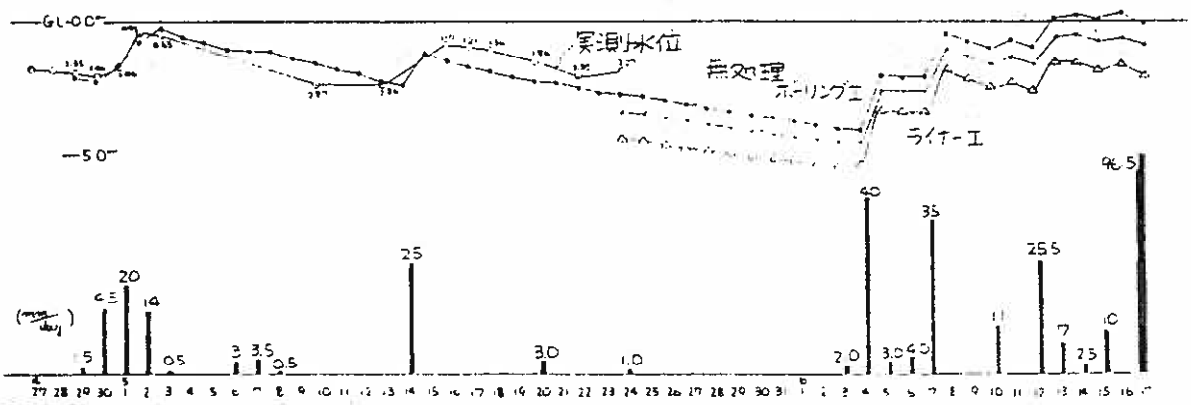


図-9

4. 今後の問題点

実施にあたっての適用方法は、まず調査期間中の降雨量と地下水観測を行い、地下水観測記録に合うように、条件設定を行う。次にその条件に従い、排水計画を立案し出来るだけ実施に近い形で、地下水排除工の効果を地下水位の変動として把握する。地下水低下が不十分な場合は、排水計画を再検討し、計算をくり返す。

実施例から、設定条件について言い得ることについて整理してみる。

1. 地下水より上部の土について、もしさまざまな資料の物理的特性値を把握しておく。
2. 水位変動量に影響をもつのは、飽和度である。
3. 飽和度は、降雨条件により変動するものと考えられる。
4. 水位上昇及び下降の形状は、透水係数・上流域の動水勾配に影響される。
5. 地すべり地への上流域からの流入量は、上流域の動水勾配（I_1）に起因される。
6. 流出係数（f）は一定としたが、恐らく降雨量が多くなれば大となるものと予測される。
7. 動水勾配を一定としたが、実際には変化するものと考えられるが、その場合は地すべり地内を分割することで対応する。

5. あとがき

降雨量から、地下水位を求める簡単なシュミレーションを行い、地下水排除工が地下水位をどの程度低下させるかについて、求めてみた。この方法が確立されれば、地下水排除工の効果を適確に把握することが出来有効である。

しかし特に地下水排除工施工後の水位観測記録が、殆んどないため、今後はこれらの観測を行い、資料を蓄積することが何より重要である。

参考文献：「土質力学」テルツァギ・ペック，流出解析法 菅原正巳，不飽和浸透と地下水谷誠，水理と式集・土木学会，