

複合滞水層よりの揚水試験

岐阜大学工学部 正員 宇野尚雄

1. まえがき

地盤の透水性をもっとも正確に算出する方法は現地での揚水試験であろう。しかし、揚水試験の解析法には現在のところ単一滞水層のごとき単純な条件下の場合だけでなく、現地で実際に行なわれる複合滞水層よりの揚水試験は容易に解析できないことが多い。本文は別途の目的も兼ねて行なわれる特殊な複合滞水層からの揚水試験の結果とその解析について述べるものである。

2. 揚水試験地点の地質・地下水理条件

揚水試験地点は琵琶湖東岸守山町の石田であって、地質柱状図を図1に示す。深度37~50mの砂質シルトを除けば8mまでの砂礫層(第1滞水層)、8~15mは粘土・シルトの不透水層で、15~20mが砂礫層(第2滞水層)、20~22.7mは粘土・シルトの不透水層、22.7m以下が砂礫層(第3滞水層)となっている。これらの透水層の水圧はほぼ静水圧分布をなしており、地下水の層的不均質性はない。単孔式の揚・注水試験による透水係数は表-1のようであるが、真の値より小さくでくいる。*)

表-1 単孔式揚・注水試験結果

測定深度(m)	透水係数(cm^2/sec)	平均(cm^2/sec)	透水層の区分
5.55	3.89×10^{-4}	3.55×10^{-4}	第1滞水層 (1.50~8.46m)
7.35	3.22×10^{-4}		
16.50	5.38×10^{-4}	1.65×10^{-3}	第2滞水層 (15.60~20.05m)
20.05	2.75×10^{-3}		
25.30	2.15×10^{-3}	2.21×10^{-3}	第3滞水層 (22.7~30.2m)
28.50	2.28×10^{-3}		

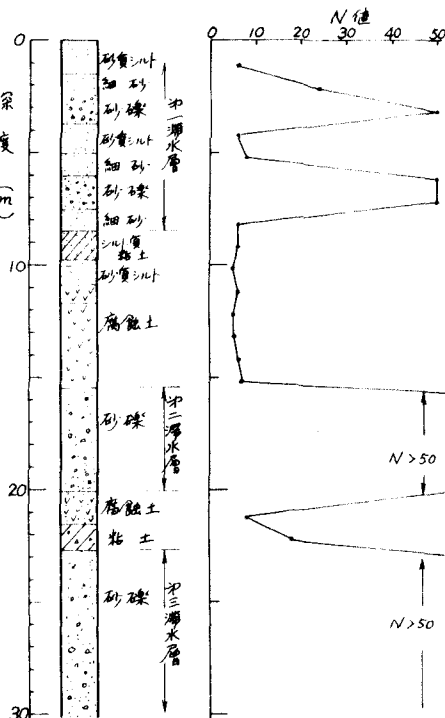


図-1 試験地点の土質柱状図

3. 採用した特殊な揚水試験方法

前項に述べたように滞水層が3層に分れているので、揚水の方法として次のような手法を採用した。揚水井の深さを第1, 第2, 第3の各滞水層まで届くようにした3種類の揚水方法である。それぞれに対して観測井は第1透水層にのみスレーナーを切、通じている井戸 No.4, No.5 (これらの水位低下量を δ_1 と記す), 第1と第2の両透水層に通じている観測井 No.6, No.7 (δ_2), 全透水層に通じている No.1, No.2, No.3 (δ_{123}) の3種類のものを用いた。

4. 解析方法と解析結果

観測井がいま水頭 h_1 の層 (透水量係数 $T_1 = K_1 H_1$) と水頭 h_2 の層 ($T_2 =$

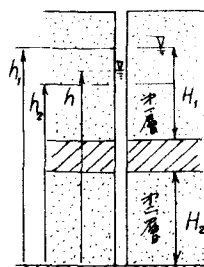


図-2 観測井の水頭

$k_2 H_2$ の 2 層にわたってストレナーが切つてあるとき観測井の木頭 h を求めよう (図-2 参照)。
 第 1 層から観測井に流入する流量は $k_1 H_1 (h_1 - h)$ に比例するとし、また観測井から第 2 層に流出する流量は $k_2 H_2 (h - h_2)$ に比例すると仮定しよう。このとき h は次式で与えられる。

$$h = (T_1 h_1 + T_2 h_2) / (T_1 + T_2) \quad (1)$$

この関係と水位低下量の関係にすると

$$\Delta s_{12} = (T_1 \Delta s_1 + T_2 \Delta s_2) / (T_1 + T_2) \quad (2)$$

式 (2) は 2 層含水層について合成したものであるが、3 層に対して同様を考へて合成すると

$$\Delta s_{123} = (T_1 \Delta s_1 + T_2 \Delta s_2 + T_3 \Delta s_3) / (T_1 + T_2 + T_3) \quad (3)$$

第 1, 第 2, 第 3 の各透水層からの揚水量をそれぞれ Q_1, Q_2, Q_3 とすると、各層の水位低下量と

$$0.183 Q_1 = T_1 \Delta s_1 \quad (4), \quad 0.183 Q_2 = T_2 \Delta s_2 \quad (5), \quad 0.183 Q_3 = T_3 \Delta s_3 \quad (6)$$

なる関係がある。一方、第 1 層だけから揚水するときの全揚水量を Q' 、第 1 層と第 2 層から揚水するときの全揚水量を Q'' 、第 1 と第 2 と第 3 の全層から揚水するときの全揚水量を Q''' とすると

$$Q_1 = Q' \quad (7), \quad Q_1 + Q_2 = Q'' \quad (8), \quad Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q''' \quad (9)$$

$$\text{さて、式 (4) と式 (7) より} \quad T_1 = 0.183 Q' / \Delta s_1 = a_i \quad (i \text{ は資料の番号}) \quad (10)$$

$$\text{式 (2), (4), (5), (8) から} \quad T_1 + T_2 = 0.183 Q'' / \Delta s_{12} = b_j \quad (j \text{ は資料の番号}) \quad (11)$$

$$\text{式 (3), (4), (5), (6), (9) から} \quad T_1 + T_2 + T_3 = 0.183 Q''' / \Delta s_{123} = c_k \quad (k \text{ は資料の番号}) \quad (12)$$

いま、揚水試験の結果、資料として表-2 のように得られているとき、 $i=6, j=4, k=4$ である。式 (10), (11), (12) に対して最小 2 乗法を適用すると

$$\left. \begin{aligned} 14 T_1 + 8 T_2 + 4 T_3 &= 810.8 \\ 8 T_1 + 8 T_2 + 4 T_3 &= 661.7 \\ 4 T_1 + 4 T_2 + 4 T_3 &= 325.2 \end{aligned} \right\} \text{ が得られ、この解は } T_1 = 26.5 \text{ cm}^2/\text{sec}, T_2 = 55.0 \text{ cm}^2/\text{sec}, T_3 = 0 \text{ となる。}$$

$T_3 = 0$ なることは第 3 透水層が揚水には及ばないことを示すと考えられる。 $H_1 = 5.15 \text{ m}, H_2 = 4.60 \text{ m}$ とすると、 $k_1 = 5.14 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}, k_2 = 1.20 \times 10^{-1} \text{ cm/sec}$ なる値を得る。

一方、貯留係数については表-2 を得る前の段階の整理 (Jacob 法) における $s_1 = 0, s_{12} = 0, s_{123} = 0$ に対応する t/r^2 値を読み取り、第 1 層から順に計算することができる。

表-2 揚水試験結果の一資料

	揚水量 (Q)	Δs_1 (cm)	s_1 (cm)	Δs_{12} (cm)	Δs_{123} (cm)	Δs_{123} (cm)	記号 Δ の意味は	k_1	式 (10) による k_1, k_2, k_3 の計算		
揚水深度 8m (Q')	2.0 (揚)	16.5	35	3.1	10	15.4	意味は揚水経過時間があるとき、意図的時間の 10 倍	3.47×10^{-2}	$k_1 = \frac{Q_1}{3.55 \times 10^{-2}} = \frac{Q_2}{1.65 \times 10^{-2}} = \frac{Q_3}{2.21 \times 10^{-2}} = k$ とすると、式 (10), (11), (12) より k_1, k_2, k_3 が求まる。	k_2	k_3
	2.0 (回)	13.1	40	1.8	8	14.4		4.37×10^{-2}			
	1.5 (揚)	9.1	30	1.8	6	9.7		4.72×10^{-2}			
	1.5 (回)	9.6	30	1.6	6	9.4		4.47×10^{-2}			
	1.0 (揚)	7.4	20	1.4	4	8.3		3.86×10^{-2}			
	1.0 (回)	7.2	20	1.2	4	7.1		3.97×10^{-2}			
揚水深度 20m (Q'')	2.0 (揚)	3.9	12	5.1	34	6.9	の時間経過後に生ずる水位低下量の値	2.58×10^{-2}		1.20×10^{-1}	k_3
	2.0 (回)	4.7	10	5.0	38	5.5		2.63×10^{-2}		1.22×10^{-1}	
	3.0 (揚)	8.3	24	5.8	50	9.4		3.41×10^{-2}		1.58×10^{-1}	
	3.0 (回)	8.2	20	6.3	45	9.8		3.12×10^{-2}		1.46×10^{-1}	
揚水深度 30m (Q''')	2.5 (揚)	1.5	4	4.6	27	4.8		9.50×10^{-3}		4.41×10^{-2}	5.90×10^{-2}
	2.5 (回)	2.0	6	3.6	30	6.5		1.28×10^{-2}		5.95×10^{-2}	
	3.0 (揚)	2.5	10	11.5	50	7.9		9.34×10^{-3}		4.34×10^{-2}	
	3.0 (回)	1.6	4	5.5	45	6.1		1.21×10^{-2}		5.63×10^{-2}	

1) 宇野: 井戸の水利と揚水試験法, 講義会要 21 「土木工学における土木の振興」, 土木学会, 1969, pp. 19~38.