

## 第7章

# 透水試験

### 7.1 はじめに

地盤内に存在する水を総称して土中水または地下水と呼ぶ。我が国は、諸外国と比較して地下水位が高い方で、平野部では地表面から1 m程度のところに地下水面が存在する。地下水面以下にある地盤は飽和状態にあり、地下水面より上は不飽和状態にある。この飽和、不飽和状態は地盤の間隙部分が水で満たされているか否かによる。この間隙部分を通じて降雨が浸透したり、晴天が続けば水分が気化したりすることが地盤内では絶えず繰り返されている。

建設工事におけるトラブルの多くは、この地下水の挙動が関係していることが多く、地下水に関する知識は重要であり、この浸透現象は地盤工学の重要な諸問題に関連する。この諸問題を整理すると図7.1に示すようになる。これらを大きく分けると、地盤および構造物の安定問題と地下水利用による問題に分けられる。前者は降雨浸透による地すべりや斜面崩壊の発生、ダムや堤体からの漏水、堤防内の浸透による安定問題、地下水面を低下、あるいは止水して行う掘削工事の安定、そのときの排水処理の問題などが挙げられる。後者は、地下水汲み上げ過多による地盤沈下の発生や地下水の枯渇、土壌汚染に関連した地下水汚染や塩水化など多種に渡る。

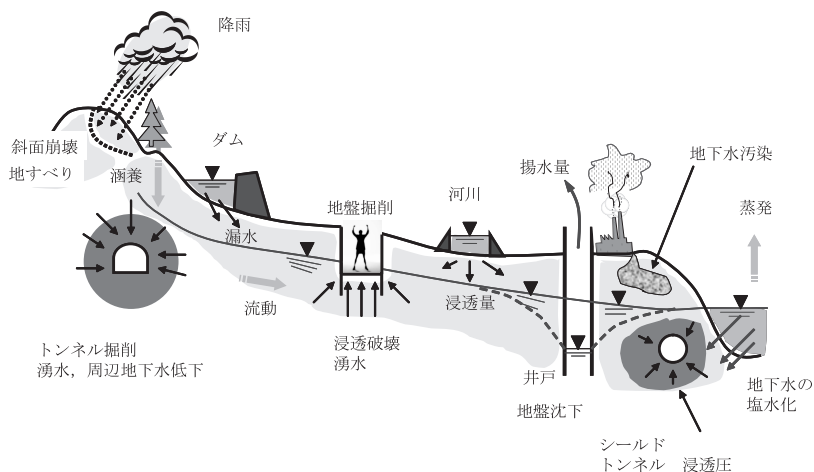


図 7.1 地下水に関連する諸問題

## 7.2 土中水の分類

地下水面を境界に，地盤は飽和状態と不飽和状態に分かれると前節で述べた．図 7.2 には第 2 章の説明と重複するが，その境界面を想定して水の形態による違いを示した．①重力水は雨水，地表面の貯留水などが地下に浸透し，重力の作用により地下水面に向かって移動する水である．②保有水は重力のみでは移動できないが，間隙あるいは土粒子表面に保持されている水である．③毛管水は表面張力によって間隙に保持されている水で，土粒子表面の吸引力によって吸着されている水を④吸着水という．本章で説明する透水試験では，地盤の飽和状態における①の重力水の流れを対象とする．

## 7.3 ダルシーの法則

水が地盤の間隙中を移動する状況，程度を土の透水性と表現する．この透水性を定量的に評価するための定数が透水係数  $k$  である．ダルシー (Darcy) は，動水勾配と土の中の流速  $v$  (cm/s) との間には式 (7.1) の比例関係が成

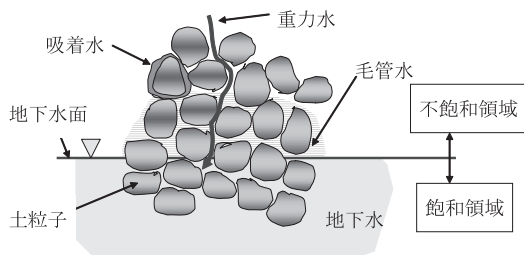


図 7.2 地下水の存在形態

り立つことを 1856 年に実験結果から見出した．この式はダルシーの法則と呼ばれ，一次元浸透流の運動方程式として用いられている．

$$v = ki \quad (7.1)$$

ここに， $v$ ：流速， $k$ ：透水係数， $i$ ：動水勾配で土の中を流れる際に消費されるエネルギーで，図 7.3 の記号を使うと，水頭差  $h$  と試料中を流れる長さ（浸透長） $L$  との比， $i = h/L$  で表される．

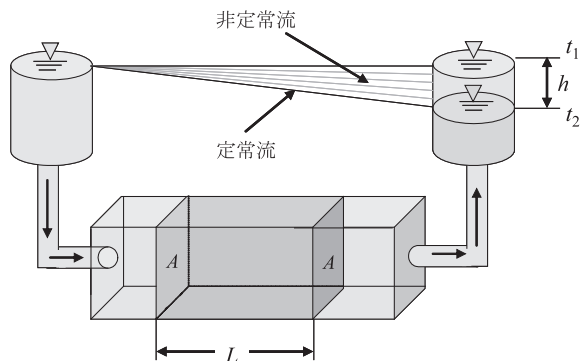


図 7.3 土中の流れの説明

なお，ダルシーの法則が成り立つ条件として，流れは時間的な変化がない定常流である必要がある．これを図 7.3 で説明するなら，時間  $t_1$  では試料を挟んで左右の水頭差はなく，流れは生じていないとする．ただし，試料

の間隙は水で満たされていて飽和状態にある．次に一瞬にして右側の水頭を  $h$  (cm) 下げたとする．一瞬のうちに水頭が下げられても，左右の流れも直ちに定常流になるわけではなく，図中に示した非定常流の流れが生じた後に，徐々に定常状態に落ち着くのである．それには  $(t_2 - t_1)$  の時間が必要だったことを図は意味している．水理学でいう層流状態でなくてはならない．また，試料の断面積を  $A$  (cm<sup>2</sup>) とすると，この試料中を流れる水の流量  $Q$  (cm<sup>3</sup>/s) は次式で表すことができる．

$$Q = vA = kiA \quad (7.2)$$

## 7.4 透水係数の求め方

さて，透水係数を得るための室内試験法を大きく分けると，比較的透水性の大きい試料に用いられる定水位透水試験と，透水性の小さいものに対して行う変水位透水試験の2種類に分けられる(図7.4および表7.3参照)．図7.4(a)の定水位透水試験は，比較的小さな一定の水頭差を与えて，一様な断面積内に流れを生じさせて，一定時間内での浸透水量を計測すればよいので，式(7.2)の関係がそのまま利用できる．

$$k = Q/iA = Q \cdot L/h \cdot A \quad (7.3)$$

一方，図7.4(b)の変水位透水試験では，試験対象となる供試体の透水性が低い場合，任意の時間  $t_1$  から  $t_2$  の間にスタンドパイプ内の水位が， $h_1$  から  $h_2$  に低下する状態を計測する．スタンドパイプの断面積  $a$  は，供試体の透水性が低い場合には小さく，高い場合には大きいものを選択し，スタンドパイプ内の水位降下量の計測が容易となるように配慮する．透水係数は図の記号を利用して，次のように式を誘導した結果から算出される．

断面積  $a$  のスタンドパイプの水位が  $dt$  時間に， $dh$  だけ低下したなら，その水量  $dq$  は，

$$dq = -adh$$

また， $dq$  は， $dq = kAidt$  であるから，

$$-adh = kAidt = kA(h/L)dt$$

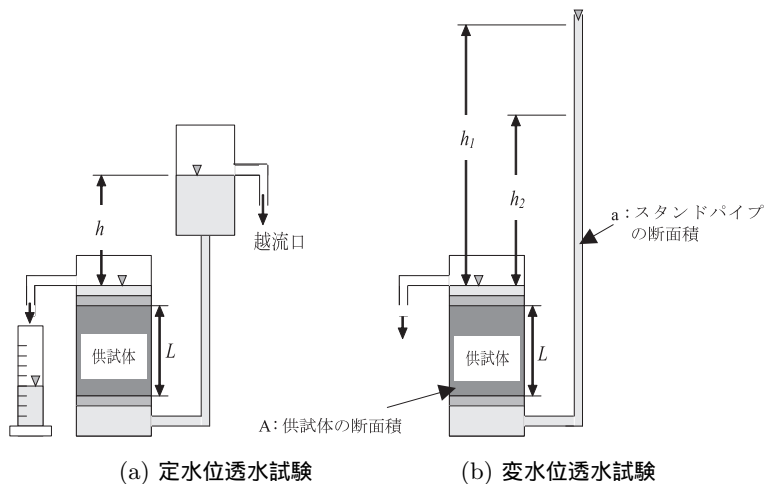


図 7.4 室内透水試験の概念図

この式を変数分離すると，

$$-\frac{1}{h}dh = kA\frac{1}{aL}dt$$

積分の形にすると，

$$-\int_{h_1}^{h_2} \frac{1}{h}dh = kA\frac{1}{aL} \int_{t_1}^{t_2} dt$$

これを積分すると，

$$\begin{aligned} -[\log_e h]_{h_1}^{h_2} &= kA\frac{1}{aL} [t]_{t_1}^{t_2} \\ -(\log_e h_2 - \log_e h_1) &= kA\frac{1}{aL} (t_2 - t_1) \\ (\log_e h_1 - \log_e h_2) &= kA\frac{1}{aL} (t_2 - t_1) \\ \log_e \frac{h_1}{h_2} &= kA\frac{(t_2 - t_1)}{aL} \end{aligned}$$

自然対数では，

$$k = \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \log_e \frac{h_1}{h_2} \quad (7.4)$$

常用対数では，

$$k = \frac{2.303 \times aL}{A(t_2 - t_1)} \log_{10} \frac{h_1}{h_2} \quad (7.5)$$

前述した層流状態について説明しておく，水理学で言う層流は，流速がある限界より小さいうちは，水の粒子は管の軸線に平行に層状を整然と流れる．乱流は，流速が大きくなれば水粒子は互に入り混じって渦を巻いて流れる．これはレイノルズ (Reynolds) が行った実験からの結論である．そして，その結果からレイノルズは，レイノルズ数  $R_e$  を導いた．これによって層流と乱流への変化がわかり，移り変わるときのレイノルズ数を限界レイノルズ数という．

$$R_e = \frac{vD}{\nu} \quad (7.6)$$

ここに， $v$ ：断面の平均流速 (m/s)， $D$ ：管の内径 (m)， $\nu$ ：水の動粘性係数 ( $\text{m}^2/\text{s}$ )．管内の流れでの目安は， $R_e \leq 2000$  である．

さて，地盤中の流れにおける限界レイノルズ数は一般に  $R_e \leq 1$  の関係が成立するときに層流状態にあると言われ，次式から算定される．

$$R_e = \frac{\rho_w v D}{\eta} \quad (7.7)$$

ここに， $\rho_w$ ：水の密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )， $v$ ：流速 (cm/s)， $D$ ：平均粒径 ( $D_{50}$  または  $D_{60}$ ) (cm)， $\eta$ ：水の粘性係数 ( $\text{g}/\text{s cm}$ ) である．また，乱流状態では式 (7.1) は次の式 (7.8) となる．

$$v = k' i^m \quad (7.8)$$

ここで， $k'$ ：透水係数に係数する係数， $m$ ： $0.5 < m < 1$  の間にあるといわれている．この関係を図示すると図 7.5 のようになる．

これに関連して，動水勾配が大きくなると流速が増す．これ以上の大きな動水勾配による浸透流が生じた際には，土粒子が流動し砂地盤などでは安定を失う限界の動水勾配がある．このとき生じる現象をクイックサンドと呼び，この限界動水勾配  $i_c$  は次の関係式で示すことができる．

$$i_c = \frac{h}{L} = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w(1 + e)} \quad (7.9)$$

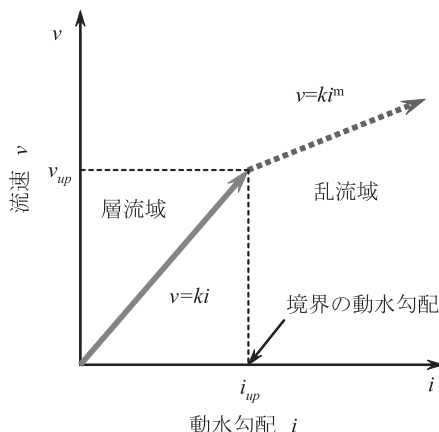


図 7.5 流速と動水勾配の関係

ここに、 $\gamma'$ ：土の水中単位体積重量， $\gamma_w$ ：水の単位体積重量， $\rho_s$ ：土粒子の密度， $\rho_w$ ：水の密度， $e$ ：間隙比である．式 (7.9) の水中の単位体積重量と水の単位体積重量との重量比が土塊の安定を失う限界動水勾配  $i_c$  を示すのは分かりやすいことである．さらに，動水勾配が上昇すると地盤が破壊（噴砂）する現象をボイリングという．

以上が，透水試験を行う上での基礎知識であった．次節以降では JIS A 1218 土の透水試験方法について紹介する．

## 7.5 試験装置と試験器具

図 7.4 には，定水位，変水位透水試験の二種類の試験器の概略図を示したが，より実際の試験器に近い断面図を図 7.6 に示す．両試験器に共通の試験装置と器具の必要条件を述べる．①透水円筒は，内径 10 cm，高さ 12.5 cm で，締固め試験に使用するモールドと同じ寸法であり，締固めた供試体をそのまま用いることができる．透水円筒の大きさは，試料の最大粒径の 10 倍以上の大きさがあればよい．②有孔板はフィルターや供試体を支持，保持する多数の孔の開いた板である．大抵，透水円筒と組み合わせて固定できるように作られている．③フィルターは，粗砂やポーラスストーンを用いる．必





を用意すればよいと考えている．

## 7.6 100 % の飽和度の確保と動水勾配

試験を行う上で最も注意することは、供試体を飽和させる操作にある．礫や粗砂などでは、それほど問題としないが、それ以外の土質材料では不飽和の部分が存在すると透水係数に影響し、透水係数を小さく見積もる結果となる．供試体の飽和度を高める方法には真空ポンプで脱気する水浸脱気法と吸水脱気法がある．利用しやすいのは図 7.7 に示す水浸脱気法である．水を容器に満たしたところへ透水円筒を入れるより、容器に透水円筒を設置した後水位を徐々に上昇させた方がよい．透水円筒が水没したなら真空ポンプで徐々に減圧を高めていく方法をとる．急激に減圧を高めると、間隙中の空気が膨張して水と置き換えにくくなるからである．三軸試験で飽和度を高める方法に利用されている、減圧前に空気より水によく溶ける二酸化炭素を通気して空気と置き換えてから、減圧する方法を採用するのも良い．何れにしても、供試体上面から気泡が出なくなるまで減圧を続ける．

供試体に与える動水勾配はダルシーの法則が成り立つ層流状態の範囲になくってはならない．実際の動水勾配は  $1/500$  程度の小さな値で流れている所もあるが、これを試験で再現するのは難しく、層流の範囲で流れを生じさせて計測することになる．おおよその試料別の動水勾配は、

1. 砂や砂礫 → 緩い  $i < 0.2 \sim 0.3$ ，密  $i < 0.3 \sim 0.5$
2. 粘土やシルト → 普通の動水勾配  $i$  では層流状態にある．低い値ではダルシーの法則が成立しない．

となる．動水勾配を決定しにくい試料では、図 7.5 に示したように動水勾配を変化させて、流速との関係が比例する範囲を確認してから測定するのもよい．

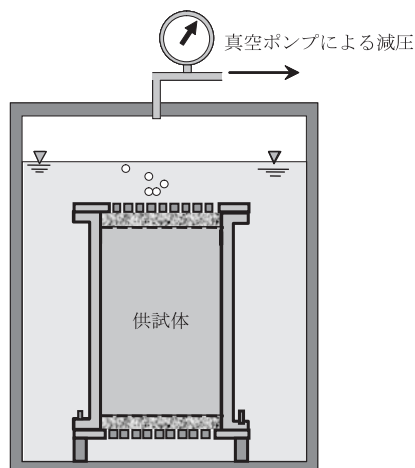


図 7.7 水浸脱気法

## 7.7 透水試験の実施

まず，透水円筒の内径と高さ  $L$  (cm) をノギスではかり，断面積  $A$  (cm<sup>2</sup>) を求める．そして質量  $m$  (g) をはかる．突き固めながら供試体を作成する場合は，所定の密度になるように詰める．試料の試験前の含水比  $w$  (%) を測定する．JIS A 1210 によってモールド内に締固めた供試体を，そのまま透水試験に用いてもよい．乱さない試料を透水円筒に入れて供試体とする場合は，供試体と透水円筒内面とに隙間が生じていることが考えられる．試料の上下面から漏水防止材を挿入して密封する．

以上の方法で透水円筒内に供試体を作成したなら，有孔板にフィルター，その上を金網で覆い，その上に透水円筒を載せて固定する．透水円筒の上面には，金網，フィルターの順に載せ，有孔板で固定する．それを水浸脱気法で説明した水浸減圧容器に入れて，供試体の飽和度を高める．2 時間程度は徐々に減圧を高めながら脱気する必要がある．ここまでは，定水位，変水位透水試験とも同様である．

## 7.7.1 定水位透水試験

減圧を終えた供試体を容器から出し、透水円筒カラーを透水円筒に取り付けて、給水用水槽から透水円筒カラーへ注水して、越流口から排水する水量を確認しながら一定の水位を保つように調整する。透水円筒カラーと越流水槽との水位差  $h$  (cm) をはかる。越流する水量を見て、計測する時間を決定する  $t(s)$  または、開始時間  $t_1$  と終了時間  $t_2$  との差  $(t_2 - t_1)$ 。この時間間隔で、越流する水量  $Q$  (cm<sup>3</sup>) を最低 3 回は計測を繰り返す。越流水槽の水温  $T^{\circ}\text{C}$  をはかる。計測が終了したなら、試験器を解体して供試体の試験後の含水比  $w_f(\%)$  をはかる。

供試体の乾燥密度  $\rho_d(\text{g/cm}^3)$ 、間隙比  $e$ 、試験前、試験後の飽和度  $S_r$  (%) を次式から算出する。

$$\rho_d = \frac{m}{A \cdot L \left(1 + \frac{w}{100}\right)} \quad (7.10)$$

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 \quad (7.11)$$

$$S_r = \frac{w\rho_s}{e\rho_w} \quad (7.12)$$

$$S_{rf} = \frac{w_f\rho_s}{e\rho_w} \quad (7.13)$$

水温  $T^{\circ}\text{C}$  における透水係数  $k_T$  (cm/s) は次式で求める。

$$k_T = \frac{L}{h} \cdot \frac{Q}{A(t_2 - t_1)} \quad (7.14)$$

浸透水の温度変化は  $\gamma_w$  に対しては鈍感であるが、粘性係数  $\eta$  については鋭敏に影響を受ける。そのため標準温度に対して補正しておけば、統一的な比較ができるので、次式により標準温度を  $15^{\circ}\text{C}$  としたときの透水係数  $k_{15}$  を求める。

$$k_{15} = k_T \cdot \frac{\eta_T}{\eta_{15}} \quad (7.15)$$

ここに、 $\eta_T/\eta_{15}$  は温度  $15^{\circ}\text{C}$  の透水係数  $k_{15}$  を求めるための補正係数で、表 7.1 から求める。

表 7.1 温度 15°C の透水係数に補正する粘性係数の比

$T(^{\circ}\text{C})$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.575	1.521	1.470	1.424	1.378	1.336	1.295	1.255	1.217	1.181
10	1.149	1.116	1.085	1.055	1.027	1.000	0.975	0.950	0.925	0.902
20	0.880	0.859	0.839	0.819	0.800	0.782	0.764	0.748	0.731	0.715
30	0.700	0.685	0.671	0.657	0.645	0.632	0.620	0.607	0.596	0.584
40	0.574	0.564	0.554	0.544	0.535	0.525	0.517	0.507	0.498	0.490

### 7.7.2 変水位透水試験

透水円筒に上蓋を取り付けて越流水槽に入れて，スタンドパイプを取り付ける．スタンドパイプの断面積  $a$  ( $\text{cm}^2$ ) をはかる．水を入れて，その水面と越流水槽の水面までの高さ  $h_1$  ( $\text{cm}$ ) をはかる．スタンドパイプのバルブを開けたと同時に，ストップウォッチを始動させる．スタンドパイプには目盛が付いているので， $h_1$  ( $\text{cm}$ ) から任意の高さの位置にある  $h_2$  ( $\text{cm}$ ) まで，スタンドパイプの水面が下がる時間を数回繰り返す．ほぼ一定になったことが確認できたなら，3 回以上測定を行う．越流水槽の水温  $T^{\circ}\text{C}$  をはかる．計測が終了したなら，試験器を解体して供試体の試験後の含水比  $w_f$  (%) をはかる．

供試体の乾燥密度  $\rho_d$  ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )，間隙比  $e$ ，試験前，試験後の飽和度  $S_r$  (%) を式 (7.10)～式 (7.13) により求める．水温  $T^{\circ}\text{C}$  における透水係数  $k_T$  ( $\text{cm}/\text{s}$ ) は次式で求める．

$$k_T = 2.303 \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \log_{10} \frac{h_1}{h_2} \quad (7.16)$$

ここに， $t_1$  は開始時のスタンドパイプの水面が  $h_1$  のときの時刻， $t_2$  は終了時のスタンドパイプの水面が  $h_2$  のときの時刻で， $(t_2 - t_1)$  は測定時間となる．標準温度 15°C の透水係数  $k_{15}$  は式 (7.15) から算出する．なお，計測に長時間を要するときには，スタンドパイプの水面に少量の油を浮かべて蒸発を防ぐことも行われる．

これらの得られた結果を、それぞれのデータシートに記入すればよい。

試験水については、水道水ではなく脱気水を用いる。蒸留水を密封できる容器に入れて真空ポンプで減圧してつくるか、水道水を 30 分以上沸騰させて、それを冷却して利用する。水の中にある溶存空気を除去して使用しないと、供試体中の空気を減圧して飽和度を高めてあっても良い結果は得られない。

## 7.8 透水係数の概略値

透水係数の概略値を土の粒度分布や間隙率から求める式は多く提案されている。何れも見当をつける程度のものであるが、ある透水問題に関する大家が、かなり大きなプロジェクトの検討委員会で、現場透水試験の結果の妥当性を、粒度分布による近似的な式 (7.17) に示す推定式で確認することを提案する発言をなされた。上手く表現できないが、決して的外した発言でなく、その場の雰囲気はなるほどと感心したものであるとともに、私自身勉強になったと今でも心に残っている。

ヘーゼン (Hazen) の式

$$k = C(0.7 + 0.3t)D_{10}^2 \quad (7.17)$$

簡単に、

$$k = CD_{10}^2 \quad (\text{cm/s}) \quad (7.18)$$

と表現されることも多い。 $C$ : 定数で 50~100 の値,  $t$ : 温度  $^{\circ}\text{C}$ ,  $D_{10}$ : 有効径 (cm). 透水係数の大体の目安をつけるには便利な式である。

表 7.2 はクレージャー (Creager) によって実測した試料の  $D_{20}$  の値と透水係数の関係である。

透水係数に影響を及ぼす因子を表す次式もある。

$$k = D_s^2 \frac{\gamma_w}{\eta} \cdot \frac{e^3}{1+e} C \quad (7.19)$$

ここで、 $D_s$ : 土の全粒子をまとめたものの (体積と表面積の比) と等しい比を持つ球の直径,  $\gamma_w$ : 水の単位体積重量,  $\eta$ : 水の粘性係数,  $e$ : 間隙比,  $C$ : 粒子の形状、配列などから定まる係数である。

表 7.2 クレーガーによる粒径 ( $D_{20}$ ) と透水係数の関係

$D_{20}$ (mm)	$k$ (cm/s)	土質分類	$D_{20}$ (mm)	$k$ (cm/s)	土質分類
0.005	$3.00 \times 10^{-6}$	粗粒粘土	0.30	$2.20 \times 10^{-2}$	中粒砂
0.01	$1.05 \times 10^{-5}$	細粒シルト	0.35	$3.20 \times 10^{-2}$	
0.02	$4.00 \times 10^{-5}$	粗粒シルト	0.40	$4.50 \times 10^{-2}$	
0.03	$8.50 \times 10^{-5}$		0.45	$5.80 \times 10^{-2}$	
0.04	$1.75 \times 10^{-4}$		0.50	$7.50 \times 10^{-2}$	
0.05	$2.80 \times 10^{-4}$		0.60	$1.10 \times 10^{-1}$	粗粒砂
0.06	$4.60 \times 10^{-4}$	極微粒砂	0.70	$1.60 \times 10^{-1}$	
0.07	$6.50 \times 10^{-4}$		0.80	$2.15 \times 10^{-1}$	
0.08	$9.00 \times 10^{-4}$		0.90	$2.80 \times 10^{-1}$	
0.09	$1.40 \times 10^{-3}$		1.00	$3.60 \times 10^{-1}$	
0.10	$1.75 \times 10^{-3}$		2.0	1.80	細礫
0.12	$2.60 \times 10^{-3}$	微粒砂			
0.14	$3.80 \times 10^{-3}$				
0.16	$5.10 \times 10^{-3}$				
0.18	$6.85 \times 10^{-3}$				
0.20	$8.90 \times 10^{-3}$				
0.23	$1.40 \times 10^{-2}$				

式 (7.19) から，透水係数に及ぼす影響を列挙すると，

1. 透水係数は粒径の二乗に比例する．
2. 透水係数は間隙比  $e^3/(1+e)$  に概ね比例する
3. 浸透水の影響は，水の単位体積重量  $\gamma_w$  に比例して，水の粘性係数  $\eta$  に反比例する．この影響については，透水係数の補正のところでも説明したように水の粘性係数  $\eta$  の影響が大きい．
4. 土の間隙の形，土粒子の配列，土の構造の影響を受ける．

これらから，透水係数を一般式に表すと，

$$k = f(\text{土の粒度, 間隙比 } e, \gamma_w/\eta, \text{配列, 土の構造}) \quad (7.20)$$

と書き表される．

最後に，透水係数の概略の範囲と適用する試験方法を表 7.3 にまとめてある．また，図 7.8 には圧密試験装置を利用した変水位透水試験を示す．透水係数は式 (7.16) によって求められる．

表 7.3 土の透水性と適用される透水試験

透水係数 (cm/s)												
	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>0</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>2</sup>
透水性	実質上不透水		非常に低い		低い		中位		高い			
土の種類	粘土		微細砂，シルト 砂ーシルトー粘土混合土				砂および礫		礫			
室内透水試験	圧密試験を利用		変水位透水試験 ←→					定水位透水試験				

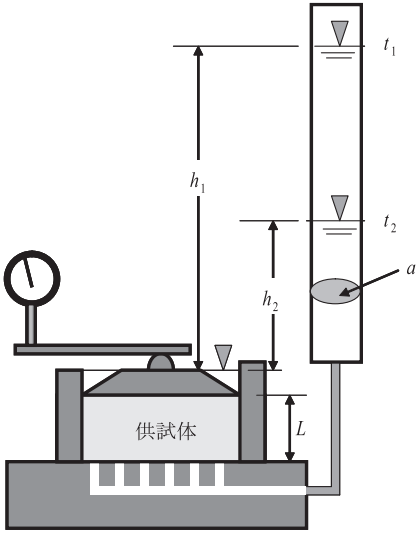


図 7.8 圧密試験装置を利用した変水位透水試験

JIS A 1218 JGS—0311		土の透水試験(定水位, 変水位)				
調査件名			試験年月日		2006.11.27	
試料番号 (深さ)			試験者			
試料	土質名称	珪砂		容器 No.	T-11	
	最大粒径 mm	2.0		透水円筒 内径 $D_m$ cm	10.00	
	土粒子の密度 $\rho_s$ g/cm <sup>3</sup>	2.63		長さ $L_m$ cm	12.75	
	スタンバイ <sup>1)</sup>	内径 cm		質量 $m_2^{2)}$ g	1678.2	
	断面積 $a$ cm <sup>2</sup>			試験用水	蒸留水	
供試体作成、飽和方法		水浸脱気法				
供試体寸法	供試体 No.	1	供試体の状態		試験前	試験後 <sup>3)</sup>
	直径 $D$ cm	10.00		(供試体+透水円筒)質量 $m_1$ g	3564.8	
	断面積 $A$ cm <sup>2</sup>	78.54		供試体質量 $m=m_1-m_2$ g	1886.6	
	長さ $L$ cm	12.75		湿潤密度 $\rho_w=m/V$ g/cm <sup>3</sup>	1.884	
	体積 $V$ cm <sup>3</sup>	1001.4		乾燥密度 $\rho_d=\rho_w/(1+w/100)$ g/cm <sup>3</sup>	1.821	
				間隙比 $e=(\rho_s/\rho_d)-1$	0.444	
				飽和度 $S_r=w\rho_s/(e\rho_w)$ %	20.5	
含水比	試験前			試験後 <sup>3)</sup>		
	容器No.	1	2	3		
	$m_a$ g	310.5	308.9	312.5		
	$m_b$ g	303.7	302.5	304.6		
	$m_c$ g	100.5	99.6	100.3		
	$w$ , $w_f$ %	3.3	3.2	3.9		
平均値 %		3.5				
測定 No.		1	2	3	4	5
測定開始時刻	$t_1$	0	0	0		
測定終了時刻	$t_2$	60	60	60		
測定時間	$t_2-t_1$ s	60	60	60		
定水位	水位差 $h$ cm	12	12	12		
	透水量 $Q$ cm <sup>3</sup>	175	178	172		
T℃に対する透水係数 $k_1^{4)}$ cm/s		3.95E-02	4.01E-02	3.88E-02		
変水位	時刻 $t_1$ における水位差 $h_1$ cm					
	時刻 $t_2$ における水位差 $h_2$ cm					
	T℃に対する透水係数 $k_2^{5)}$ cm/s					
測定時の水温	$T$ °C	21	21	21		
温度補正係数	$\eta_T/\eta_{15}$	0.859	0.859	0.859		
T℃に対する透水係数 $k_{15}$ cm/s		3.39E-02	3.45E-02	3.33E-02		
代表値 $k_{15}$ cm/s		3.39E-02				
特記事項						
1) 変水位試験の場合 2) 透水円筒、底板、シール材などを含む。 3) 保水性の小さい試料は測定を省いてよい。 4) $k_T = \frac{L}{h} \cdot \frac{Q}{A(t_2-t_1)}$ 5) $k_T = 2.303 \frac{aL}{A(t_2-t_1)} \cdot \log \frac{h_1}{h_2}$ $k_{15} = k_T \cdot \eta_T / \eta_{15}$						

図 7.9 記入例 7-1 土の透水試験（定水位）



JIS A 1218 JGS—0311		土の透水試験(定水位, 変水位)						
調査件名			試験年月日		2006.11.27			
試料番号 (深さ)			試験者					
試料	土質名称		関東ローム		容器 No.	T-23		
	最大粒径 mm		2.00		内径 $D_m$ cm	10.00		
	土粒子の密度 $\rho_s$ g/cm <sup>3</sup>		2.790		長さ $L_m$ cm	12.73		
					質量 $m_2^{2)}$ g	1709.3		
スタンドパイプ <sup>1)</sup>		内径 cm	3.00		試験用水	蒸留水		
		断面積 $a$ cm <sup>2</sup>	7.07					
供試体作成、飽和方法			締固め土, 吸引脱気法					
供試体寸法	供試体 No.	2	供試体の状態			試験前	試験後 <sup>3)</sup>	
	直径 $D$ cm	10.00		(供試体+透水円筒)質量 $m_1$		g	3264.30	3271.00
	断面積 $A$ cm <sup>2</sup>	78.54		供試体質量 $m=m_1-m_2$		g	1555.00	1561.70
	長さ $L$ cm	12.73		湿潤密度 $\rho_w=m/V$		g/cm <sup>3</sup>	1.555	1.562
	体積 $V$ cm <sup>3</sup>	999.8		乾燥密度 $\rho_d=\rho_w/(1+w/100)$		g/cm <sup>3</sup>	0.889	0.889
				間隙比 $e=(\rho_s/\rho_d)-1$			2.139	2.139
				飽和度 $S_r=w \rho_s/(e \rho_w)$		%	97.8	98.8
含水比				試験前		試験後 <sup>3)</sup>		
	容器No.	G-1	G-3	G-7	E-2			
	$m_a$ g	120.64	123.49	130.41	109.66			
	$m_b$ g	106.00	107.44	119.01	99.11			
	$m_c$ g	86.70	85.99	103.67	85.19			
	$w$ , $w_f$ %	75.9	74.8	74.3	75.8			
	平均値 %	75.0						
測定 No.		1	2	3	4	5		
測定開始時刻		$t_1$	0	0	0			
測定終了時刻		$t_2$	600	600	600			
測定時間		$t_2-t_1$ s	600	600	600			
定水位	水位差	$h$ cm						
	透水量	$Q$ cm <sup>3</sup>						
T℃に対する透水係数 $k_T^{4)}$ cm/s								
変水位	時刻 $t_1$ における水位差	$h_1$ cm	169.5	170.0	169.5			
	時刻 $t_2$ における水位差	$h_2$ cm	141.8	142.4	143.1			
	T℃に対する透水係数 $k_T^{5)}$ cm/s		3.41E-04	3.38E-04	3.23E-04			
測定時の水温		$T$ ℃	20	20	20			
温度補正係数		$\eta_T/\eta_{15}$	0.880	0.880	0.880			
T℃に対する透水係数		$k_{15}$ cm/s	3.00E-04	2.98E-04	2.85E-04			
代表値		$k_{15}$ cm/s	2.94E-04					
特記事項								

1) 変水位試験の場合  
2) 透水円筒、底板、シール材などを含む。  
3) 保水性の小さい試料は測定を省いてよい。  
4)  $k_T = \frac{L}{h} \cdot \frac{Q}{A(t_2-t_1)}$   
5)  $k_T = 2.303 \frac{aL}{A(t_2-t_1)} \cdot \log \frac{h_1}{h_2}$   
 $k_{15} = k_T \cdot \eta_T / \eta_{15}$

図 7.10 記入例 7-2 土の透水試験 (変水位)