

地盤工学実験 実験報告書  
透水および液状化試験

2019-1 班

実験日 2020/1/31(金)

## Contents

|       |  |   |
|-------|--|---|
| 1     | 実験目的   | 2 |
| 2     | 実験方法   | 2 |
| 2.1   | 定水位透水試験  | 2 |
| 2.2   | 浸透流実験  | 2 |
| 3     | 実験結果   | 3 |
| 3.1   | 定水位透水試験による透水係数の算出                              | 3 |
| 3.1.1 | 透水試験理論   | 3 |
| 3.1.2 | モールドの断面積 $A$ 、高さ $L$ について                      | 3 |
| 3.1.3 | 測定透水量 $q$ , 流出時間 $t$ , 水位差 $h$ について            | 3 |
| 3.1.4 | 水温 $T^{\circ}\text{C}$ のときの透水係数 $k_T$ について     | 4 |
| 3.1.5 | 水温 $15^{\circ}\text{C}$ のときの透水係数 $k_{15}$ について | 4 |
| 3.2   | 浸透流実験における諸量                                    | 4 |
| 3.3   | フローネットの作図と透水係数の算出                              | 5 |
| 3.4   | 境界条件からのボーリングの発生する水頭差の理論値の算出                    | 6 |
|       | References                                     | 7 |

## 1 実験目的

土は粒子が集まったものであるため、粒子と粒子の間に間隙があり、水はそこを流れることができる。この様な多孔質体中の水の流れを浸透といい、この水の浸透しやすさを評価する試験が透水試験である。本実験では、土中の透水現象を理解するために定水位透水試験を行う。また、二次元水槽内にある模型地盤を用いた浸透流実験も行い、土中での水の流れを観察し、土中の浸透流に関する理解を深める。本実験では締固めた試料および乱さない試料を対象に、飽和状態における透水係数を求めることを目的としている。室内供試体で現場を再現できない場合は現場透水試験を用いるのが適切である。

## 2 実験方法

### 2.1 定水位透水試験

1. 水を満たした越流水槽に透水円筒を空気が入らないようにしながら静かに移し替える。
2. 透水円筒カラーに注水し、越流口から越流させ、給水側の水位を一定に保つ。
3. 越流水槽から越流する様子を調べ、越流量がほぼ一定になることを確認する。
4. メスシリンダーを越流口においた時間  $t_1$ (s) から、はずすまでの時間  $t_2$ (s) をストップウォッチではかり、その間にメスシリンダーに流れ込んだ水量で流出水量  $Q(\text{cm}^3)$  を求める。
5. 4. の測定を 3 回以上行う。
6. 4. の条件を保ち、透水円筒カラーの水位と越流水槽の水位の差  $h(\text{cm})$  を測る。
7. 越流水槽の水温  $T(^{\circ}\text{C})$  を 4.5. の作業ごとに測定する。
8. 測定が終われば越流水槽から透水円筒を取り出して、試験後の供試体の含水比  $w(\%)$  を測定する。

### 2.2 浸透流実験

1. 用意した土槽の各寸法を計測する。
2. 試料を入れる予定のラインまで水を入れる。
3. 砂を 2. のラインまで入れる。この時、砂を入れる前後の重さを計測しそこから入れた砂の体積を求める。
4. ホースにより試料を乱さないように気をつけながら静かに試験を開始する。
5. 約 30 分程放置し、定常になったことを確認したら、上流側の試料に三箇所墨汁を滴下する。
6. 墨汁の移動した様子をプラ板に写す。
7. 定常状態の流量を三回計測し、その平均を求め平均流量とする。

### 3 実験結果

#### 3.1 定水位透水試験による透水係数の算出

##### 3.1.1 透水試験理論

定水位透水試験の結果から相対密度  $D_r=80\%$ ,  $60\%$ ,  $30\%$  の豊浦砂の透水係数を求める。

水温  $T[^\circ\text{C}]$  のときの透水係数を  $k_T[\text{m/s}]$ 、単位時間あたりの透水量を  $Q[\text{cm}^3/\text{s}]$ 、モールドの断面積を  $A[\text{cm}^2]$ 、高さを  $L[\text{cm}]$ 、水位差を  $h[\text{cm}]$  とする。

ダルシーの法則より、透水中の流速  $v[\text{m/s}]$  は次のようになる。

$$v = k_T i = k_T \frac{h}{L} \times 100 \quad (1)$$

したがって、単位時間あたりの透水量  $Q[\text{cm}^3/\text{s}]$  は次のようになる。

$$Q = k_T i A = k_T \frac{hA}{L} \times 100 \quad (2)$$

この式と、単位時間あたりの透水量  $Q[\text{cm}^3/\text{s}]$  は測定時間  $t[\text{s}]$  と測定透水量  $q[\text{cm}^3]$  を用いて、 $Q = q/t$  と表せることから、水温  $T[^\circ\text{C}]$  のときの透水係数  $k_T[\text{m/s}]$  は次のようになる。

$$k_T = \frac{qL}{100Aht} \quad (3)$$

したがって、定水位透水試験では  $q, t, L, A, h$  が測定できるので、上記の式から水温  $T[^\circ\text{C}]$  のときの透水係数  $k_T[\text{m/s}]$  を求める。

##### 3.1.2 モールドの断面積 $A$ 、高さ $L$ について

実験では、モールドの高さ  $L(\text{cm})$ ・直径  $D(\text{cm})$  を 3 回測定し、その平均を求めることから、モールドの断面積  $A(\text{cm}^2)$  を出した。その結果をまとめたものが Table 1 である。

Table 1: モールドの寸法

|                      | 1     | 2     | 3     | 平均    |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| 高さ $L[\text{cm}]$    | 12.74 | 12.72 | 12.74 | 12.73 |
| 直径 $D[\text{cm}]$    | 9.92  | 9.92  | 9.97  | 9.94  |
| 断面積 $A[\text{cm}^2]$ |       |       |       | 77.51 |

##### 3.1.3 測定透水量 $q$ 、流出時間 $t$ 、水位差 $h$ について

今回の実験では、30 秒間に流出した水量をメスシリンダーで測定した。1 つの相対密度に対して 3 回の計測を行い、その平均値を以下の表には示している。また、水位差は、相対密度に関わらず、同様の測定値であると仮定している。

Table 2: 測定透水量・水位差

| 相対密度 $D_r$ [%] | 流出水量 $q$ [cm <sup>3</sup> ] | 流出時間 $t$ [s] | 水位差 $h$ [cm] |
|----------------|-----------------------------|--------------|--------------|
| 80             | 20                          | 30           | 3.2          |
| 60             | 21.9                        |              |              |
| 30             | 30                          |              |              |

### 3.1.4 水温 $T^{\circ}\text{C}$ のときの透水係数 $k_T$ について

以上の計測値から、式 (3) を利用して、水温  $T[^{\circ}\text{C}]$  のときの透水係数  $k_T$  [m/s] を求めたものが下表である。

Table 3: 透水係数

| 相対密度 $D_r$ [%] | 透水係数 $k_T$ [m/s]     |
|----------------|----------------------|
| 80             | $3.4 \times 10^{-4}$ |
| 60             | $3.8 \times 10^{-4}$ |
| 30             | $5.0 \times 10^{-4}$ |

### 3.1.5 水温 $15^{\circ}\text{C}$ のときの透水係数 $k_{15}$ について

透水係数は水温によって値が変化するため、水温が  $15^{\circ}\text{C}$  のときの透水係数  $k_{15}$  が透水性の評価の指標として用いられることが多い。

ここで、 $T[^{\circ}\text{C}]$  での水の粘性による補正係数  $\eta_T/\eta_{15}$  を用いて、 $k_{15}$  は次のようになる。

$$k_{15} = k_T \frac{\eta_T}{\eta_{15}} \quad (4)$$

ただし、 $\eta_T, \eta_{15}$  はそれぞれ水温が  $T^{\circ}\text{C}$ 、 $15^{\circ}\text{C}$  のときの水の粘性係数 [Pa・s] である。本実験では、相対密度に関わらず水温は一定であるとし、測定した水温は

$$T=15.1[^{\circ}\text{C}]$$

であった。

そこで、各温度における粘性係数を、土質試験-基本と手引き-第二回改訂版 [1]<sup>1</sup>を参照したところ、水温は整数値のみの記載であったため、今回の実験では、補正係数  $\eta_T/\eta_{15} = 1$  であるとして、Table 3で示した透水係数  $k_T$  と、水温  $15^{\circ}\text{C}$  のときの透水係数  $k_{15}$  が一致するとした。

## 3.2 浸透流実験における諸量

浸透流実験によって得られた相対密度  $D_r$  および流量  $q$  は以下の通りとなった。

<sup>1</sup>p34 表-4.2

Table 4: 相対密度の導出

|                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| 乾燥密度 $\rho_d[\text{g}/\text{cm}^3]$ | 1.38  |
| 間隙比 $e$                             | 0.912 |
| 相対密度 $\text{Dr}[\%]$                | 16.8  |

Table 5: 流量測定

|                                      | 1 回目  | 2 回目  | 3 回目  |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|
| 測定時間 $t[\text{s}]$                   | 30.01 | 29.81 | 29.94 |
| 透水量 $Q[\text{cm}^3]$                 | 38.1  | 38.1  | 39.8  |
| 単位時間当たりの流量 $q[\text{cm}^3/\text{s}]$ | 1.27  | 1.28  | 1.33  |
| 平均 $[\text{cm}^3/\text{s}]$          |       | 1.29  |       |

### 3.3 フローネットの作図と透水係数の算出

浸透流実験において観察したインクの流れを参考にしてフローネットを描くと Figure 1 のようになった。

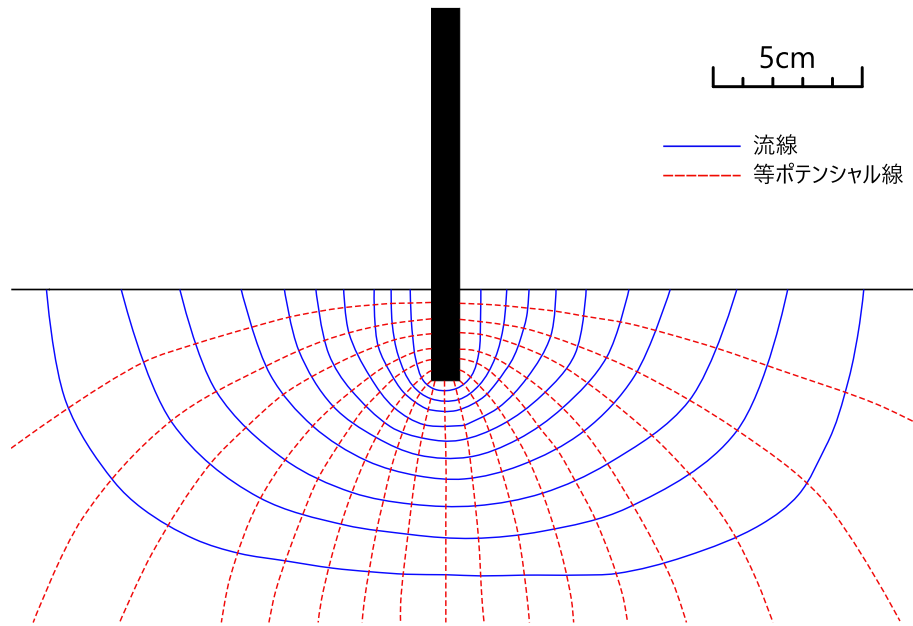


Figure 1: 浸透流のフローネット

いまフローネットの流管の数  $N_f$  は 11、等ポテンシャル線で仕切られた区画の数  $N_d$  は

18 となっている。これらを用いると透水係数  $k(\text{m/s})$  は式 5 のように与えられる。

$$\begin{aligned} k &= \frac{q'}{\Delta h} \frac{N_d}{N_f} \times \frac{1}{100} \\ &= \frac{q}{d\Delta h} \frac{N_d}{N_f} \times \frac{1}{100} \end{aligned} \quad (5)$$

$q'$  : 単位時間単位奥行きあたりの透水量 ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )

$q$  : 単位時間あたりの透水量 ( $\text{cm}^3/\text{s}$ )

$d$  : 奥行き (cm)

$\Delta h$  : 水位差 (cm)

測定によって得られた  $q = 1.29(\text{cm}^3/\text{s})$ 、 $\Delta h = 3.7(\text{cm})$ 、 $d = 15.0(\text{cm})$  を代入すると、透水係数は

$$k = \frac{1.29}{15 \cdot 3.7} \frac{18}{11} \times \frac{1}{100} = 3.80 \times 10^{-4}(\text{m/s})$$

と算出された。

### 3.4 境界条件からのボーリングの発生する水頭差の理論値の算出

ボーリングとは水頭差が大きい2つの地点の動水勾配が限界動水勾配に達すると、その透水力により地盤の有効応力がゼロになることで生じる。

限界動水勾配  $i_c$  は

$$i_c = \frac{G_s - 1}{1 + e} \quad (6)$$

で求められ、限界動水勾配  $i_c$  は次のようになった。

$$i_c = \frac{2.654 - 1}{1 + 0.912} = 0.865$$

ここで、動水勾配  $i$  は、水頭差  $\Delta H$  を地盤内の流線の長さ  $L$  で割ったものであるため、動水勾配が最大となるのは流線の長さが最短のときである。今回の実験において長さが最短となるのは、しきりに沿って右から左に移動したときの長さである。

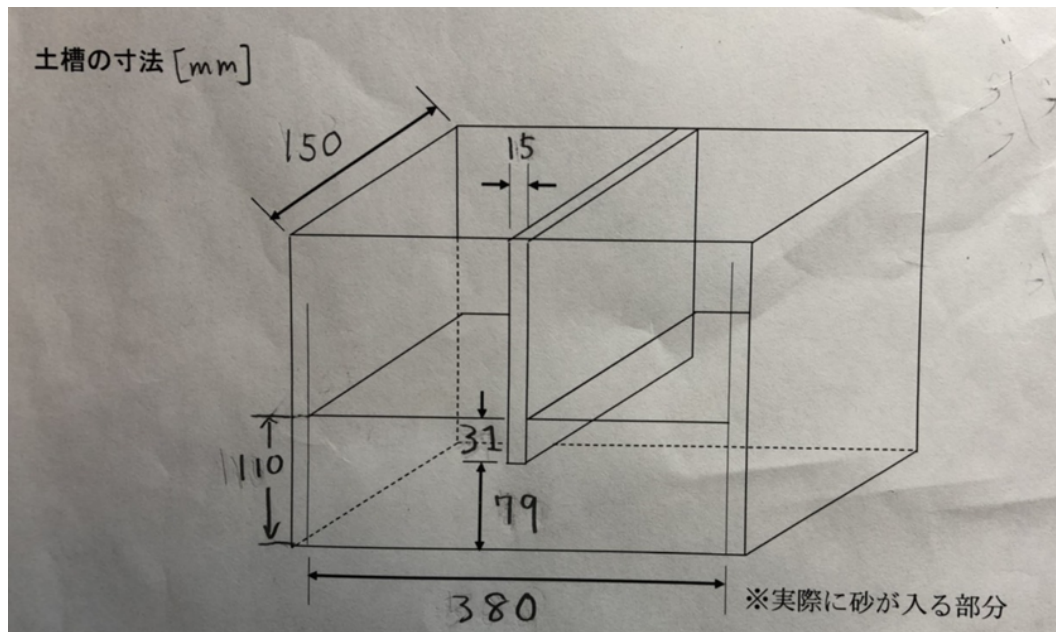


Figure 2: 土槽の寸法

上図より、最短流線の長さ  $L$  は

$$3.1 + 1.5 + 3.1 = 7.7(\text{cm})$$

となる。

ボーリングが発生するのはこの最短流線における動水勾配のときであるから、次の式が成り立つ。

$$i = \frac{\Delta H}{L} = \frac{\Delta H}{7.7} = i_c \quad (7)$$

$$\Delta H = 7.7 \times 0.865 = 6.7(\text{cm})$$

したがってボーリングの発生する水頭差の理論値は 6.7cm となった。  
また、ボーリングが発生した水頭差の実測値は 5.7cm であった。

## References

- [1] 公益社団法人 地盤工学会 土質試験-基本と手引き- 丸善出版 2010
- [2] JIS A 1218 土の透水試験方法 2009