

鹿島建設技術研究所

坪井直道
正員の木島謙郎

1. まえがき

最近、帯水砂質土層内に地下鉄、上下水道など地下構造物を建設する際には、圧気工法を採用する場合が多くなって来た。対象となる砂質土層が圧気工法で施工可能か否かを知るためには、砂質土層中における空气の流通機構を十分握しなければならない。発表者等はこれらの問題に關し現場施工の可否を中心に一連の実験を進めているが、圧気に必要な空気量は対象土層の透気性に大きく影響されると思われるので、この基本的なデータを得ることを目的として標準砂および千葉県銕ヶ崎産海砂の室内透気試験を実施し、透気係数を求め透水係数との比較を行なったので、その結果の一部を紹介する。

2. 透気係数の算定式

土層内を流れる水は、層流状態においては Darcy の法則 $v = k_w i$ (但し、 v = 流速, k_w = 透水係数, i = 動水勾配) が成立ち、この法則が適用されるのは $v = \text{const.}$ なる連続条件を満足する粘性流体に限られる。

次に流体が空气のように気体である場合に Darcy の法則を適用するには $PQ = \text{const.}$ (但し、 P = 気体の圧力, Q = 気体の体積) なる連続条件が満足されなければならず、

$$PQ = P \cdot A \cdot v = -P \cdot A \cdot \frac{1}{r_w} \cdot \frac{dp}{dx} \cdot k_a = C \quad (\text{但し、} A = \text{透気断面面積, } k_a = \text{透気係数, } \frac{1}{r_w} \cdot \frac{dp}{dx} = \text{圧力勾配, } P = \text{空気圧, } C = \text{常数})$$

r_w = 水の単位体積重量) となり、これを解くと

$$k_a \cdot \frac{P^2}{2} = \frac{r_w}{A} \cdot (-C) \cdot x + d \quad \text{となり、今 } x=0, P=P_0$$

である境界条件を入れると

$$k_a = \frac{\frac{r_w}{A} \cdot (-C) \cdot x}{\frac{P^2 - P_0^2}{2}} \quad \dots \dots \dots (1)$$

となる。

今回の実験において、 Q_0 = 送気面における空気量, P_0 = 送気面における空気圧, P = 空気流出面における空気圧 (大気圧) L = 試料の長さ、とすると(1)式は

$$k_a = \frac{\frac{Q_0}{A} \cdot P_0}{\frac{P_0 - P}{L} \cdot \frac{P_0 + P}{2}} = \frac{2 \cdot L \cdot r_w \cdot Q_0 \cdot P_0}{A (P_0 - P) (P_0 + P)} \quad \dots \dots \dots (2)$$

となる。

3. 室内透気試験の方法

透気係数測定装置は図-1に示す形状、寸法のもを

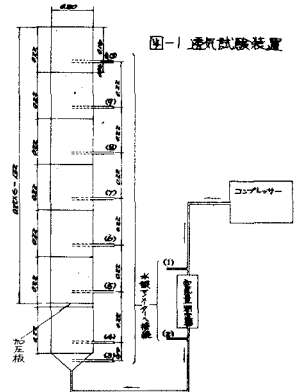


図-1 透気試験装置

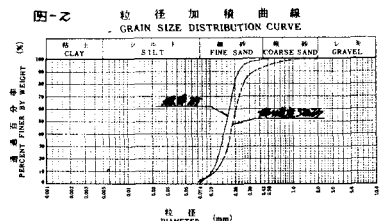


図-2 粒径加積曲線
GRAIN SIZE DISTRIBUTION CURVE

内径係数: (標準砂 1.70
砂ヶ崎産海砂 1.75)

使用した。また透気試験を実施した試料（標準砂および姉ヶ崎産海砂）の粒径加積曲線は図-2に示す通りである。まず試験容器に乾燥状態の試料を密度が一定となるように詰め、試料下端部より空気を圧送した。空気量は流量計を使用して測定し、また試料内空気圧は水銀マンノメータを使用して規定した時刻に測定し、空気の流動が定常状態となるまで試験を継続した。

4. 室内透気試験の結果

送気面における圧送空気量は、標準砂の場合 $283 \text{ cm}^3/\text{sec}$ および $1008 \text{ cm}^3/\text{sec}$ 、姉ヶ崎産海砂の場合 $250 \text{ cm}^3/\text{sec}$ および $733 \text{ cm}^3/\text{sec}$ とし、試料内の各測定位置において空気圧力を測定した結果は、表-1、および表-2に示すとおりである。実験実施時の室内温度は 15°C 、また大気圧は 1033 g/cm^2 であり、試料の乾燥密度および間隙率比は表-1、表-2に併記したとおりである。試料内の各点における透気係数 k_a はいずれも相異しいが

$$k_a = \frac{\frac{10}{A} \cdot (C) \cdot x}{\frac{P^2 - P_0^2}{Z}} = \frac{\frac{10}{A} \cdot (C) \cdot L}{\frac{P^2 - P_0^2}{Z}}$$

となり、送気面からの任意の距離 x における空気圧 P の理論値は、
 $P = \sqrt{\frac{Z}{L} (P^2 - P_0^2) + P_0^2}$ で与えられる。この式を用いて理論値を求め、実測値と比較図示すると図-3、および図-4に示すようになり、両者がほぼ一致しているの、今回の測定結果を用い、前記理論式(2)式から透気係数を算出してみた。この結果は

乾燥標準砂の場合 $k_a = 2.1 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$

乾燥姉ヶ崎砂の場合 $k_a = 1.4 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$

となり、同一条件下で実施した各試料の透水試験結果

標準砂の場合 $k_w = 8 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$

姉ヶ崎砂の場合 $k_w = 4 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$

と比較すると

標準砂の場合 $\frac{k_a}{k_w} = \frac{2.1 \times 10^{-3}}{8 \times 10^{-3}} \approx 260 \text{ 倍}$

姉ヶ崎砂の場合 $\frac{k_a}{k_w} = \frac{1.4 \times 10^{-3}}{4 \times 10^{-3}} \approx 350 \text{ 倍}$

となった。

5. おとがき

以上乾燥状態における砂の透気性に関する室内透気試験の結果の一部について述べたが、実際の土層内の空気の流通機構に関しては数多くの問題があり、今回の実験結果はその糸口にすぎず、今後逐次このような問題の研究を進めて行きたいと思う。

参考文献

Die Bautechnik, Februar, 1963
 Luftverbrauch und Überdeckung beim
 Tunnel vortrieb mit Druckluft.

表-1 標準砂 (乾燥) の室内透気試験結果

測定位置	送気量 (cm³/sec)	透気係数	透水係数
1	283	2.0×10^{-3}	8×10^{-3}
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

測定位置	送気量 (cm³/sec)	透気係数	透水係数
1	1008	2.1×10^{-3}	8×10^{-3}
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

(注) 透気係数測定位置は圧力測定位置より2cm手前

表-2 姉ヶ崎産海砂 (乾燥) の室内透気試験結果

測定位置	送気量 (cm³/sec)	透気係数	透水係数
1	250	1.3×10^{-3}	4×10^{-3}
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

測定位置	送気量 (cm³/sec)	透気係数	透水係数
1	733	1.4×10^{-3}	4×10^{-3}
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

(注) 透気係数測定位置は圧力測定位置より2cm手前

図-3 標準砂の室内透気試験結果 (乾燥) の比較図

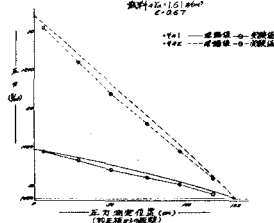


図-4 姉ヶ崎産海砂の室内透気試験結果 (乾燥) の比較図

