

問題

右図のタンク内に2層の砂地盤を作成して、上向きの透水を行ったところ、水頭差が h のとき、砂層1でのみボーリングが生じた。以下の問いに答えよ。なお、各層の透水係数 k と飽和単位体積重量 γ_{sat} を次のとおりとする。

砂層1 : $k_1 = 8.0 \times 10^{-3}$ cm/s, $\gamma_{sat1} = 18.6$ kN/m³

砂層2 : $k_2 = 4.0 \times 10^{-2}$ cm/s, $\gamma_{sat2} = 19.6$ kN/m³

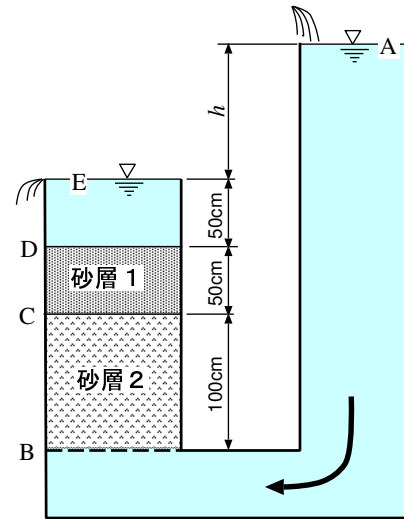
水の単位体積重量は $\gamma_w = 9.8$ kN/m³ とする。

(1) 砂層1の限界動水勾配 i_{cr} を求めよ。

(2) 砂層1の水頭損失を h_1 、砂層2の水頭損失を h_2 と仮定すると、 $h = h_1 + h_2$ が成り立つ。それでは、Darcyの法則の基づいて、各層の流速に関する方程式を示せ。

(3) h_1 の値を求めよ。[(1)(2)の結果を利用。]

(4) h の値を求めよ。[(2)(3)の結果を利用。]



解答例

(1)

$$i_{cr} = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{\gamma_{sat} - \gamma_w}{\gamma_w} = \frac{18.6 - 9.8}{9.8} = 0.898 \approx 0.90$$

(2) 全層で流速は一定であるという条件と、砂層1の厚さが50cm、砂層2の厚さが100cmより、ダルシーの法則を用いて以下の関係が成り立つ。

$$v = k_1 \frac{h_1}{50} = k_2 \frac{h_2}{100}$$

(3) 砂層1の動水勾配 $h_1/50$ が限界動水勾配となる。すなわち、

$$\frac{h_1}{50} = 0.898$$

より、

$$h_1 = 50 \times 0.898 = 44.9 \approx 45 \text{ (cm)}$$

(4) 砂層2の水頭損失は、(2)の関係と(3)の結果より、

$$h_2 = \frac{k_1}{k_2} \frac{100}{50} \cdot h_1 = \frac{8.0 \times 10^{-3}}{4.0 \times 10^{-2}} \frac{100}{50} \times 44.9 = 18.0 \text{ (cm)}$$

したがって、全体の水頭損失は、

$$h = h_1 + h_2 = 44.9 + 18.0 = 62.9 \approx 63 \text{ (cm)}$$

補足 1

ところで、砂層 2 の動水勾配と限界動水勾配を比較すると、

$$i = \frac{h_2}{100} = \frac{18.0}{100} = 0.18 < \frac{19.6 - 9.8}{9.8} = 1.0 = i_{cr}$$

というように、ボーリングを起こす条件には達していないことがわかる。

補足 2

砂層 1 と 2 の層境界、C 点の有効応力を調べてみよう。

全応力は、

$$\sigma = 9.8 \times 0.50 + 18.6 \times 0.50 = 14.2 \quad (\text{kN/m}^2)$$

静水圧は、

$$u = 9.8 \times 1.0 = 9.8 \quad (\text{kN/m}^2)$$

透水力は、

$$i\gamma_w H_1 = 0.898 \times 9.8 \times 0.50 = 4.4 \quad (\text{kN/m}^2)$$

したがって有効応力は、

$$\sigma' = \sigma - u - i\gamma_w H_1 = 14.2 - 9.8 - 4.4 = 0 \quad (\text{kN/m}^2)$$

というようにゼロとなり、ボーリングの条件となっていることがわかる。

補足 3

水頭の変化を確認してみよう。

- ・ B 点の位置水頭をゼロと仮定すると、E 点は位置水頭が 200cm、圧力水頭がゼロなので、全水頭も 200cm となる。
- ・ ED 間は水頭損失がないとみなせるので、D 点の全水頭が 200cm のままで、圧力水頭は 50cm、位置水頭は 150cm になる。
- ・ C → D の水頭損失は $h_1=45\text{cm}$ であるから、C 点の全水頭は $200+45=245\text{cm}$ に増加する。位置水頭が 100cm より、圧力水頭は、 $245-100=145\text{cm}$ である。
- ・ ここで、C 点の圧力水頭から水圧を求めると、 $9.8 \times 1.45 = 14.2 \text{ (kN/m}^2)$ となり、これは全応力と等しいので、このプロセスによっても有効応力がゼロとなることを確認できる。
- ・ B → C の水頭損失は 18cm より、B 点の全水頭は $245+18=263\text{cm}$ である。この値は、AB 間の水位差と等しい。