

III-346

乱したしらすの不飽和(毛管)透水係数の評価に関する実験的考察

宮崎大学工学部 正員 藤本 廣
(橘)5361 研究所 久留木 雅裕

1. まえがき

しらすによる盛土や地山しらす層の降雨時における安定性を検討する場合、しらす層中に降雨水が浸透していく過程、つまり、不飽和(毛管)浸透性状の把握が基本的に必要である。この場合、浸透のフロントにおいてはサクションが本質的な影響要因となるが、土質工学的見地からのしらすについてのこの種の研究は現在までのところ二・三例^(1),2)あるにすぎず、また、不飽和浸透現象の定量的解析にあたって必要の不飽和(毛管)透水係数の採用に際しては、その測定法とともに評価の規準も確立されていない。本文では、上述の観点から、特に盛土を対象としたしらすの不飽和(毛管)透水係数の測定法とその評価規準について、水平毛管透水試験と毛管上昇試験とによって得られた資料を基にして考察した結果を報告する。

2. 実験方法

実験に使用したしらす試料は、鹿児島県曾於郡岩川町のしらす(試料-A)と宮崎県都城町市間之尾のしらす(試料-B)の粒径2.0mm以下のもの、並びに試料-Bを粒径0.074~0.42mmの範囲に粒度調整したもの(試料-B')の3種である。それらの試料の粒度曲線を図-1に示す。

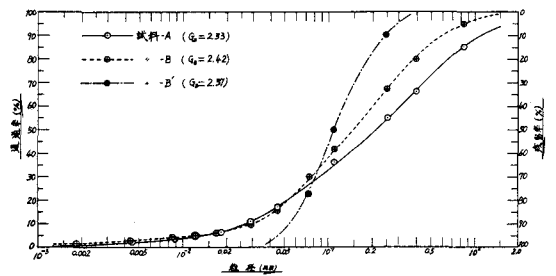


図-1. 試料の粒度曲線

水平毛管透水試験には図-2に示すLambe, T.W.³⁾の考案した装置を採用した。この装置で、水頭 h_1 と h_2 はそれぞれ $h_1=33.5$ cm, $h_2=197.0$ cmである。試料を詰める透水管は長さ46.0cm, 内径5.0cm, 外径5.8cmである。透水管には軸方向に1.0cm毎の目盛が刻印されている。試料は気乾状態で透水管に詰め、初期間隙比 e_0 と初期飽和度 S_{r0} はスプリングタンパーによる締固め程度を変えることによって調整した。透水試験は、試料長の前半($x_1=L/2$)と水頭 h_1 で、後半($x_2=L/2$)と h_2 の水頭で行い、浸透距離 $x=1$ cm毎にその所要時間 t を計測した。

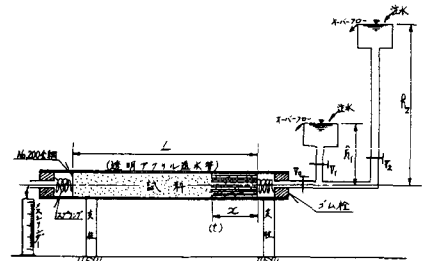


図-2. 水平毛管透水試験装置略図

鉛直方向の毛管浸透実験は実際問題への対応という点からは一定水頭による毛管下降浸透実験が望ましいが、今回は試験の簡便性を優先させて毛管上昇試験を採用した。試験は、内径2.1cm, 長さ120cmのガラス管(最小1mmの目盛付で底部に200メッシュ金網を装着)に上記と同称の方法で気乾試料を詰め、ガラス管底部を水中に2.0cm入れて直立固定させて2cm毎の毛管上昇に要した経過時間 t を測定した。(図-3)

3. 不飽和(毛管)透水係数の決定

水平毛管透水係数 k_{ch} は、Lambeの解析により図-4に例示した試験結果から $m=(\Delta x)^2/\Delta t$ を求め、次式を解いて計算される。

$$\left. \begin{aligned} m_1 &= \frac{(\Delta x)^2}{(\Delta t)_1} = \frac{2k_{ch}}{n_0 S_{r0}} (h_1 + h_c) \\ m_2 &= \frac{(\Delta x)^2}{(\Delta t)_2} = \frac{2k_{ch}}{n_0 S_{r0}} (h_2 + h_c) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

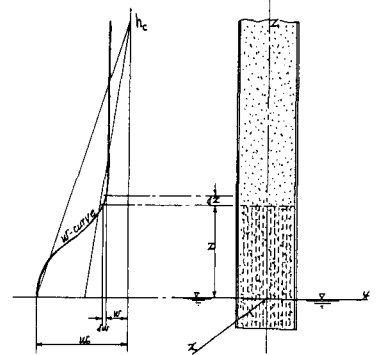


図-3. 毛管上昇試験時の体積含水率分布曲線

毛管上昇試験による毛管透水係数 k_{cz} は、Richard, L. A. の式⁴⁾を基にして次のような考え方で決定した。すなわち、図-3において、 w を供試土の体積含水率、 k_{cx} , k_{cy} , k_{cz} をそれぞれ、 x , y , z 軸方向の毛管透水係数、 w_0 を供試土のサクション場における重力ポテンシアル以外のポテンシアル和とし、①土中水の流れは z 軸方向のみ、② w は z の関数、③毛管上昇の初期では k_{cz} は一定、と仮定すると次式が成立する。

$$\frac{\partial w}{\partial t} = k_{cz} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial z^2} - 1 \right) \quad (2)$$

式(2)で、④ $\frac{\partial w}{\partial z} = \left(\frac{h_c - z}{h_c} \right)^\alpha$, ⑤ $\frac{\partial w}{\partial t} = \left(\frac{h_c - z}{h_c} \right)^\beta w_0 \frac{dz}{dt}$, ⑥ $\alpha = 1$, $\beta = 1$ 、なる仮定の下に誘導される次式

$$k_{cz} \left(\left(\frac{h_c - z}{h_c} \right) - 1 \right) = - \left(\frac{h_c - z}{h_c} \right) w_0 \frac{dz}{dt} \quad (3)$$

を、測定した毛管上昇高 ($z_1 \sim z_2$) に対する時間 ($t_1 \sim t_2$) について積分すると次式が得られる。

$$k_{cz} = \frac{1}{2 h_c} \frac{(z_2^2 - z_1^2)}{(t_2 - t_1)} w_0 \quad (4)$$

式(4)により毛管上昇透水係数 k_{cz} を計算した。上式で、 w_0 は水面下供試土の体積含水率である。図-5に毛管上昇試験結果の一例を示す。

4. 実験結果の考察と評価

水平毛管透水試験の結果は、図-4に例示したようにLambeの解析によく適合している。毛管上昇試験では、図-5に例示したように、実測値が理論式(4)に適合する範囲は毛管上昇の初期の一定時間内に限られる。図-5で、毛管上昇の終期に実測値が理論式に適合しなくなる主要な原因は重力ポテンシアルの影響と考えられる。

図-6に、 k_{ch} と k_{cz} の実用性を評価する手段として、周知の $k = C e^3 / (1 + e)$ --- (5)⁵⁾ なる関係を利用して、 k_{ch} 及び k_{cz} とそれぞれの試験時における初期間隙比による $e^3 / (1 + e)$ との関係プロットしてみた。その結果と要約すると以下のようになる。すなわち、水平毛管透水

試験については、試料-A ($e_0 = 0.66 \sim 0.82$) で $k_{ch} = 1.15 \times 10^{-3} \frac{e^3}{1 + e}$ が成立し、試料-B ($e_0 = 1.00 \sim 1.23$) では近似的に $k_{ch} = 0.84 \times 10^{-3} \frac{e^3}{1 + e}$ が成立するが、試料-B' ($e_0 = 1.70 \sim 2.30$) では式(5)は成立しないようである。毛管上昇試験については、試料-B'のみであるが、理論式(4)の適合範囲内では $k_{cz} = 0.76 \times 10^{-3} \frac{e^3}{1 + e}$ 、適合範囲外ではデータの散らばりが大きくなるが $k_{cz} = 0.27 \times 10^{-3} \frac{e^3}{1 + e}$ として一応式(5)が近似的に成立するようである。

5. おわりに

盛土を対象とした乱したしらすの飽和浸透解析に必要な毛管透水係数の測定法の標準化とその評価法の確立を目的として、水平毛管透水試験と毛管上昇試験の資料について検討した結果、前者については間隙比が $e = 1.23$ 以下なら実用性が認められ、後者については一応近似的に利用し得るのではないかと、という結論が得られた。

参考文献 1) 藤本廣他：乱したしらすの毛管透水性状に関する実験的考察、第17回土工学会研究発表会講演集2-1, 1982年6月。2) 周林功他：地山しらす斜面における雨水の浸透特性、昭和7年土木学会西部支部研究発表会講演集, 1982年2月。3) T.W. Lambe: Capillary Phenomena in Cohesionless Soils, Proc. of A.S.C.E., 76-2, Feb., 1950。4) 八幡敏雄：土壌の物理, PP.91~102, 東大出版会, 1975年。5) D.W. Taylor: Fundamentals of Soil Mechanics, PP.111~115。

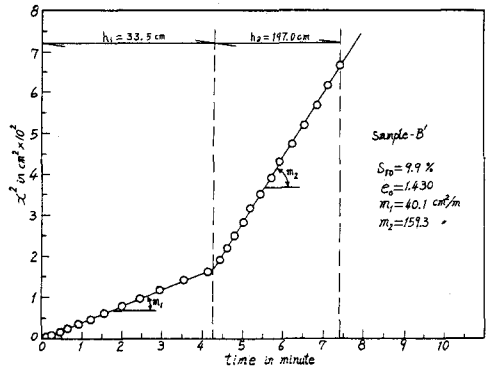


図-4. 水平毛管透水試験結果の一例

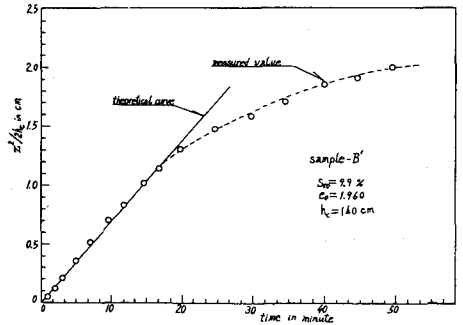


図-5. 毛管上昇試験結果の一例

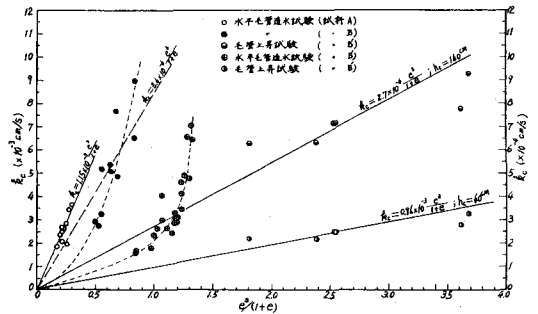


図-6. 飽和毛管透水係数(k_c)と間隙比指数($\frac{e^3}{1+e}$)との関係