

第Ⅲ部門

超音波導波管を用いた透水試験法の室内土槽による評価

立命館大学理工学部 学生員 ○稲垣 大基

立命館大学理工学部 学生員 伊良知 慎太郎

労働安全衛生総合研究所 正会員 平岡 伸隆

立命館大学理工学部 正会員 藤本 将光

立命館大学総合科学技術研究機構 正会員 田中 克彦

立命館大学理工学部 フェロー 深川 良一

1. はじめに

斜面崩壊発生の予測精度向上のための手法として、崩壊発生の誘因モニタリングと物理モデルの解析を組み合わせた手法が提案されている。しかし、物理モデルに組み込む透水係数など、現場の地盤パラメータを入手することは容易でない。そこで Tanaka ら¹⁾が提案した超音波測定システムを応用し、広域多地点の現場透水係数を簡便に測定する手法を検討している。

本研究では、この手法の地下水位より浅い不飽和地盤での適用の妥当性を判断するため、室内にてカラム土槽実験によって本手法の評価を行った。

2. 試験手法の概要

超音波測定システムでは導波管内の水位を伝搬時間として測定する。これを利用し、本試験手法では水位変動と経過時間から透水係数を算出する非定常法を採用した。本手法で用いる導波管径が小さいため、水の交換面積が広く算出値が安定するピエゾメータ法を用いた。

本試験手法の概略図を図-1に示す。超音波測定システムの導波管上端に注水器具、下端にピエゾメータ用ジグ、貫入コーンを取り付けている。これを測定深度まで貫入し注水を行う。水位上昇後に注水を止め、水位低下を測定する。事前に行ったキャリブレーション試験の結果から伝搬時間を水位に換算し、透水係数を算出する。算出は Hvorslev²⁾の式を用いて行い、図-1のパラメータを用いると以下の様に表される。

$$k = \frac{r_0^2}{2L(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2} \cdot \ln \frac{L}{r_w}$$

ここに、 k : 透水係数(m/sec), t_1, t_2 : h_1, h_2 時の経過時間(sec)。

Hvorslev の式の適用範囲の条件として、i) 地下水位が一定であり、ii) 試験中の試験区間、形状が変形せず(非圧縮)、iii) ダルシー則が成り立つというこ

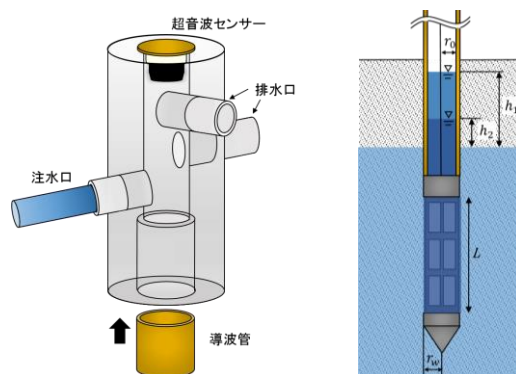


図-1 試験手法概略(左: 上端, 右: 下端)

とが示されており、地下水位より浅い不飽和帯での試験は考慮されていないことがわかる。一方で、実際には地下水位より上の不飽和帯においても、地盤の透水係数を求めるために透水試験が行われており、その算出に Hvorslev の式が使用されていることが多い³⁾。Hvorslev の式において、平衡水位は圧力が平衡する位置である。本試験手法において地下水位より浅い不飽和帯で圧力のかかる場所は、ピエゾメータ用ジグの流水部分である。流水部分の圧力分布は台形となるため、平均をとった流水部分中央が理論的な平衡水位であると言える。

3. 実験概要

地下水位より浅い不飽和帯での透水係数の算出値の妥当性を調べるために、室内でのカラム土槽での実験を行い、室内での定水位透水試験(JIS A1318)から算出された透水係数と本試験手法の算出値を比較により評価した。実験土槽の概容を図-2、試験条件を表-1に示す。注水器具の排水口から排水が始まった時点で注水を止め、導波管内の水位が0cmになるまでを1サイクルとした。また、ピエゾメータ用ジグから土槽に注水された水を注水量、底面から排水された水を排水量とし、注水量と排水量の差を貯留量とした。なお、土槽作製時の初期含水比設定の際に与えた水分量は貯留量

に含めない。

4. 実験結果

実験中の水分推移，サイクル毎の透水係数の推移をそれぞれ図-3，図-4に示す。実験結果から，透水係数は土槽の水分状態の推移とほぼ同様の変化をしていることがわかる。透水係数はサイクル 1～4 にかけて収束しており，土槽の貯留量もこの間増加を続けている。サイクル 5 以降では，透水係数 $1.0 \times 10^{-5} \text{m/sec}$ 程度の値が連続して算出されている。この時，各サイクルの導波管への注水時には貯留量が増えているが，土槽底面から排水が行われ，サイクル 5 以降のサイクル開始時の貯留量は約 3200～3300ml で一定であった。土中の水分量が一定であったことが，ほぼ同じ値の透水係数が連続して測定されたことの要因であると考えられる。また，サイクル 6～10 の透水係数の平均値と定水位試験による算出値の差は，約 $1.7 \times 10^{-5} \text{m/sec}$ である。現場飽和状態での試験であるため，飽和状態の定水位試験より算出値が低くなること，孔壁の状態などで算出値が 0.5～2 倍程度変化すること⁴⁾を考慮すると，本試験手法の地下水面より浅い不飽和帯への適用は妥当であると評価できる。

5. おわりに

室内での土槽実験により，本試験手法の地下水位より浅い不飽和地盤へ適用しても妥当であることが示された。

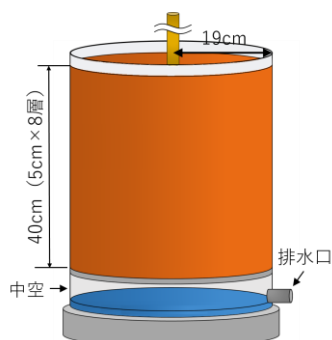


図-2 土槽概容

表-1 実験条件

センサ周波数(kHz)	40.0
使用導波管(cm)	150.0
水位校正式(cm)	$H = -14042.8 \cdot t + 162.6$
試料	信楽産まさ土
最大粒形(mm)	2.0
土粒子密度(g/cm^3)	2.6
設定乾燥密度(g/cm^3)	1.6
初期含水比(%)	10.0

本実験では，サイクル 1～4 にかけて貯留量の上昇と共に透水係数が収束し，サイクル 5 以降ではほぼ一定の値が算出された。このことを実地盤での試験に置き換えると，複数回試験を行うことで透水係数は徐々に収束していき，収束した現場飽和状態での透水係数が，その場の現場飽和透水係数と評価できる可能性が示唆された。今後，本試験手法を用いて現場透水試験を行うことで現地適用の検証を行う必要がある。

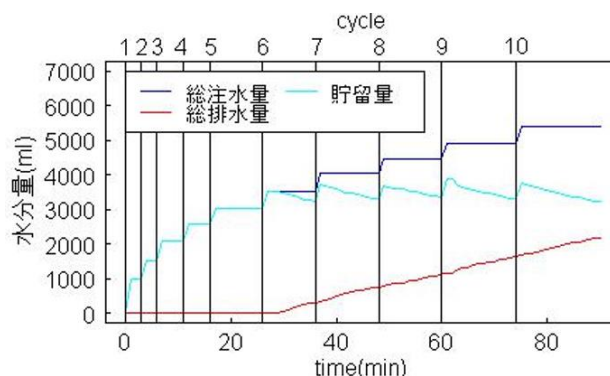


図-3 実験中の水分推移 (縦線：サイクル開始)

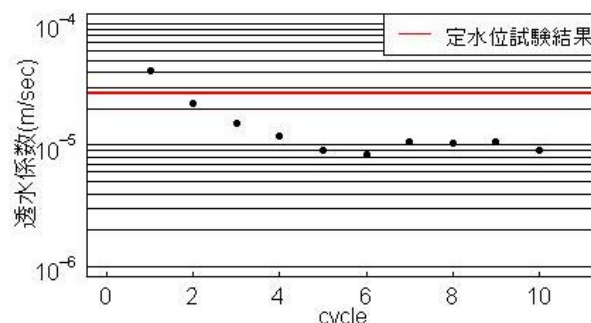


図-4 サイクル毎の透水係数の推移

謝辞

本研究は，科研費基盤研究 C(No.15K01265 H27-30)の助成を受けて行った。

【参考文献】

- 1) K. Tanaka, T. Suda, K. Hirai, K. Sako, and R. Fukagawa. Monitoring of soil moisture and groundwater level using ultrasonic waves to predict slope failures. Japan. J. Appl. Phys., Vol. 48, No. 9, pp.09KD12- 1-09KD12-4, 2009.
- 2) Hvorslev M. J, Time lag and soil permeability in ground water observations. Waterways Experiment Station, Vol. 36, pp.01-48, 1951.
- 3) 地盤工学会. 地盤調査の方法と解説. pp. 377-393, 2013.
- 4) 河野, 西垣. 原位置透水試験法の解析手法に関する研究.土質工学会論文報告. Vol. 23, No. 4, pp. 164, 1983.