

原位置飽和地盤における超音波を用いた簡易透水試験法の提案

立命館大学大学院	学生員	○平岡	伸隆
立命館大学大学院	学生員	黒原	雄大
立命館大学		原	沙綾
立命館大学	正会員	田中	克彦
立命館大学	正会員	藤本	将光
立命館大学	フェロー	深川	良一
東日本旅客鉄道株式会社	正会員	外狩	麻子

1. はじめに

降雨による斜面崩壊を予測,あるいは発生の要因を調査する際に,その地盤の持つ透水性は極めて重要な要素である.透水係数を決定するために実施される透水試験は,現場から採取した供試体を用いて行う室内試験と,実地盤に対して行う原位置試験がある.室内試験で使用する試料は実地盤のごく一部であるため,室内試験の結果を広い自然土層の透水性とみなせない場合がある.このため,適切な透水係数を知るために原位置試験の実施が望ましい.比較的簡易な原位置透水試験法として単孔式の試験が一般的である¹⁾.しかしながら,試験で用いる水位計は高価なうえ,ボーリング孔を用いるため試験が大掛かりであり,危険斜面での運用には難がある.他にも簡易な透水試験法として,竹下らが不飽和土にも適用可能な透水試験法を提案しており²⁾,飽和・不飽和透水係数を簡易に計測可能であると報告されている.本研究ではこれら従来の原位置透水試験に比べて,相対的に簡便かつ安価であり,原位置における多地点での計測に適した,超音波測定による透水試験法を提案し,確認実験を実施した.

2. 透水係数の算出方法

単孔式原位置透水試験は,定常法と非定常法の2種類に分けられる.本研究では非定常法の注水法と同様の方法を超音波による透水試験に適用し,試験を行う.超音波検出器を用いた透水試験の概略図を図1に示す.超音波検出器は測定用パイプと超音波トランスデューサ,およびそれを測定用パイプに固定するための台座から構成され,簡素で安価な構成となっている.設置方法は単孔式原位置透水試験非定常法と同様に,まず対象地盤に地下水位以下までオーガ等で孔を掘り,そこに,測定用パイプを差し込む.測定用パイプ下端に透水係数の測定対象となる測定区間を設ける必要があり,測定区間の孔壁が崩壊してしまう場合はスクリーンを使用するなど対策が必要である.設置完了後,測定用パイプに注水し,水位を一時的に上昇させ,測定用パイプ内の水位が地下水位と平衡状態に戻る時の水位変化を経時的に測定し,地盤の透水係数を求める.算出式¹⁾を式(1)に示す.

$$k = \frac{(2.3R_w)^2 \log_{10}(2L/D) \log_{10}(s_1/s_2)}{8L(t_2 - t_1)} \quad (1)$$

ここに, k : 透水係数(m/s), R_w : 管の内径(m), L : 測定区間の長さ(m), D : 測定区間の孔径(m), S_1 : t_1 (sec)時の平衡水位からの水位差(m), S_2 : t_2 (sec)時の平衡水位からの水位差(m). (ただし, $L/D \geq 4$)

既往の単孔式原位置透水試験では,時系列水位を測定するために水位計を用いるが,本試験では超音波で水位の計測を行う.超音波測定を原位置透水試験に適用することで,以下のメリットが考えられる.1)超音波トランスデューサが安価であるため,地盤に設置する検出器部分の大幅なコスト削減ができる.2)超音波トランスデューサの

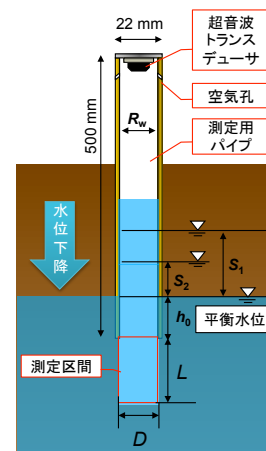


図1 透水試験概略図

キーワード 透水試験, 透水係数, 超音波, 地下水, 原位置調査

連絡先 〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1 立命館大学 TEL 077-561-2666

径に合わせ、試験孔を小さくすることが可能であり、設置作業の手間を大幅に軽減できる。3)超音波測定は非接触法であるため、測定用パイプ内の水位変化に影響を及ぼさない。4)コスト削減、設置作業の簡略化により、多点に設置をして広範囲かつ多点の透水係数を求めることが可能である。以上より、簡易に設置できる超音波測定による透水試験を実施することで、多点での試験が容易となり、不均一地盤等において面的な透水係数の把握が可能となると考えられる。そこで、室内においてモデル実験を実施し、試験孔を小さくして超音波による水位測定を用いても試験が可能か、またどの程度の透水係数の地盤まで適用可能かについて検討する。

3. 超音波測定を用いた室内透水試験

超音波透水試験の概略図を図2に示す。容器左部のバルブより注水、別のバルブから排水をし続けることで、水位を一定に保ち、地下水位を実現した。試験試料は滋賀県信楽産まさ土、豊浦砂、珪砂3号の透水係数の異なる3種類の試料を用いた。超音波検出器のパイプ上部より水を注水し、直ちに超音波トランスデューサを設置する。測定用パイプ内の水位が平衡水位に戻るまでの時間と水位差を読み取り記録する。グラフの縦軸に水位差を対数目盛で取り、横軸に時間をとる。このときの最初の直線部分の2点を抽出し、飽和透水係数を算出する。まさ土を用いた試験結果を図3、各試験の計算結果を表1にまとめる。

同試料、同密度設定で室内において定水位透水試験³⁾をした結果と比較すると、まさ土、豊浦砂において、概ね評価結果間に整合性がとれていることがわかる。珪砂3号に関しては、測定用パイプ内に注水し、トランスデューサを設置するまでの間に、水位が平衡状態に戻ってしまうため計測ができなかった。室内定水位透水試験結果より、珪砂3号の飽和透水係数は 5.32×10^{-3} であり、既往の単項式現場透水試験同様、飽和透水係数が 10^{-4} m/s 程度以下の地盤でないと計測できないことが確認された。

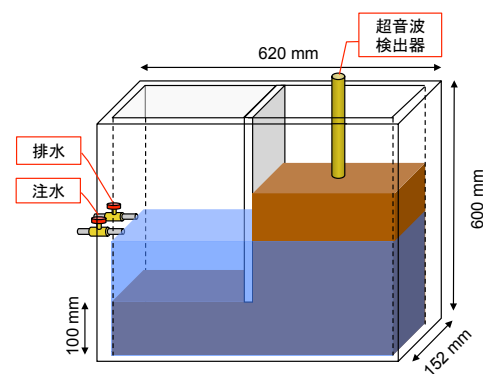


図2 原理検証試験概略図

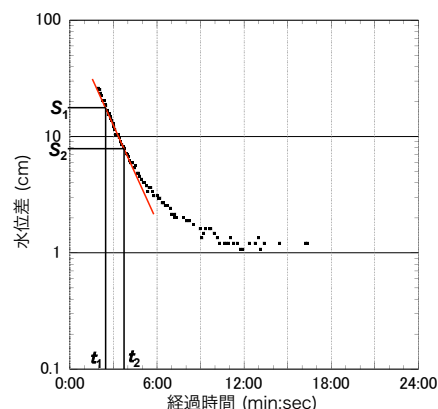


図3 透水試験結果（まさ土）

4. まとめ

超音波測定を用いた透水試験結果より、超音波を水位計として利用し、既往の現場透水試験よりはるかに小さい孔径(22 mm)を使用した場合においても、飽和透水係数が 10^{-4} m/s 程度以下であれば、透水係数の測定が可能であることが確認された。今後は、この簡易化した超音波測定による透水試験を実地盤に適応し、より多地点かつ広域の透水係数の計測により、面的な透水性の把握が可能か検証して行きたい。

参考文献

- 1) 社団法人地盤工学会：地盤調査の方法と解説，丸善出版，pp.377-380，2004.
- 2) 竹下祐二，森井俊広：土中水分計測データを用いた簡便な原位置試験方法による不飽和砂質土地盤の飽和・不飽和透水係数の測定，土木学会論文集 C, Vol.62 No.4, pp.831-839, 2006.
- 3) 社団法人地盤工学会：土質試験基本と手引き，丸善出版，pp.91-102，2011.

表1 透水試験結果

		まさ土	豊浦砂	珪砂3号
初期設定乾燥密度		1.7 g/cm ³	1.6 g/cm ³	1.5 g/cm ³
超音波による透水係数	1回目	1.59×10^{-5}	1.24×10^{-4}	-
	2回目	1.47×10^{-5}	1.28×10^{-4}	-
	3回目	1.66×10^{-5}	1.39×10^{-4}	-
	4回目	1.32×10^{-5}	1.34×10^{-4}	-
	5回目	-	1.24×10^{-4}	-
	平均	1.51×10^{-5}	1.30×10^{-4}	-
定水位透水試験結果	平均	1.67×10^{-5}	2.18×10^{-4}	5.32×10^{-3}