

P4. 利便性に優れた原位置透水試験装置の開発について

Development of In-Situ Permeability Test Device in Convenience

○能野一美 菅原大介 露口耕治 久保慶徳
(株四電技術コンサルタント)

1. はじめに

ため池堤防や河川堤防などの盛土構造物には、その重要な機能の一つとして、水位変動と降雨時の浸透に対する安全性が要求される。この水理的な安全性を支配するのは土の透水性であり、これを適切に管理し検査するためには、土の透水性を簡便に精度良く測定できる現場透水試験法の導入が必要となる¹⁾。

一般に、盛土構造物の透水係数は、「締め固めた地盤の透水試験方法」地盤工学会基準(JGS1316-2003)²⁾により求められる。ところが、同基準に準じた既存の透水試験装置は、装置構成が複雑で扱いが難しく、設置および測定作業も煩雑である。

そこで著者らは、従来の装置に比して構成が簡易で、測定も容易な透水試験装置を開発した。本稿では、試験装置の概要を述べるとともに、室内実験と現場実験による実用性に関する検討結果を報告する。

2. 既存透水試験装置の問題点

「締め固めた地盤の透水試験方法」では、図-1に示すようなマリオットサイフンの原理を応用した装置が標準型となっており、試験孔に一定水位で水を注入することによる定常法が用いられている。

図-1の装置は、気密水槽、定水位保持管と注水管から構成されている。

透水係数 k は、注水管から試験孔に流入する流量 $Q(\text{m}^3/\text{s})$ から、定常法の関係式で導かれる。注水管の径については、締め固めた土の透水試験が主にロックフィルダムのコア材などの低透水性材料を対象としており、その透水係数 k は $1.0 \times 10^{-8} \text{m/s}$ ($1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$) 程度であることから、流入流量の測定精度をよくするために、注水管の直径は2~4cmの小さいものでよいとされている²⁾。しかしながら、堤防の型式等によっては透水性の高い地盤を計測する場合があるため、透水係数の大小に応じた流入量が得られる適切な管径を選定する必要がある。

地盤工学会基準²⁾には、地盤の透水性がきわめてよい場合には、水槽の半径の大きいもの、あるいは複数のマリオットサイフンを用いる必要があると述べられているが、従来の装置で、多種多様な状況に応じた試験を行うことは難しいのが実状である。

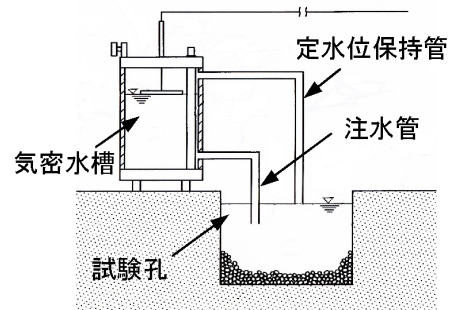


図-1 標準型透水試験装置の一例

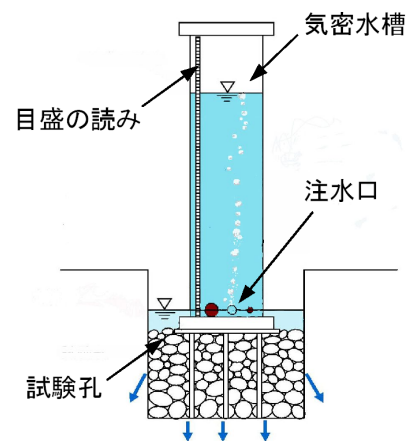


図-2 開発した透水試験装置

3. 開発した原位置透水試験装置の概要

著者らが開発した試験装置を図-2に示す。装置は単体の透明な円筒体(容器)からなり、装置本体が従来の気密水槽部分に相当する。円筒体の下端には開口(孔)を設け、これがマリオットサイフンの定水位保持管と注水管の両方の役割を果たす。この装置では、図のように試験孔内へ直接設置することが可能であり、マリオットサイフンの原理で水位が一定に保たれるため定常法の試験が行える。試験作業自体が容易になる他、従来の2つの管が不要になり装置構成が簡易で軽量(約5kg)となるため、持ち運びも容易である。

また、試験孔の掘削径を大きくして複数個の試験装置を設置すれば、より透水性の大きな地盤にも適用が可能となる。

さらに、紙面の都合上別報にて報告するが、本装置は、ハンドオーガー等で削孔した浅層地盤(深度 GL-1.0~3.0m程度)にも適用できる(図-3)。従来型は、試験孔の深さを30~100cm程度にすることが一般的である。それ以深に適用するためにはボーリング孔を利用しなければならず、大がかりな調査になる。本装置は、その問題点を解決している点でも優れた装置であると考えている。

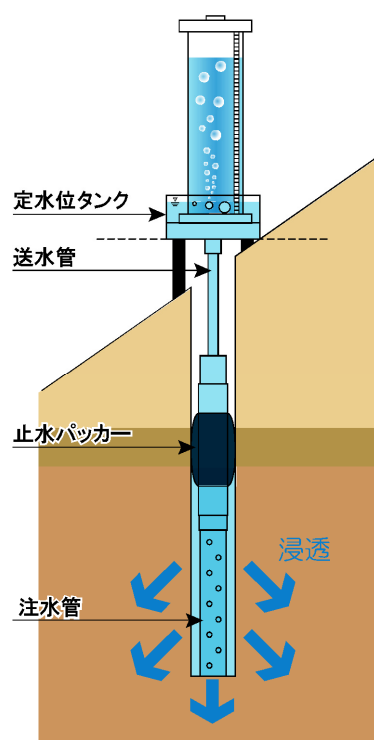


図-3 浅層地盤測定装置

4. 室内実験

著者らは、開発した原位置透水試験装置の基礎データを得るために、室内実験を行った。室内実験では、透水性(ここでは水の量)を制御できる模擬地盤装置を作成し、透水係数 k の測定可能範囲(上限)を調べた。

(1) 室内実験装置と実験の概要

室内実験を実施するにあたり、試験装置本体には、写真-1に示すように、直径がそれぞれ10mm(6個)、12mm(1個)、13mm(1個)の注水口(孔)を設けた。孔の大きさと個数に違いを持たせているのは、測定できる透水係数 k の範囲を調べるのに試行実験を要すると考えたためである。

透水性を制御できる模擬地盤(タンク)を写真-2に示す。同タンクでは、排出する水の量を弁により調整し、異なる透水係数の確認が出来るものである。

(2) 実験方法

実験の目的は、異なる実験条件(解放する注水口の数)のもとで最大となる一定流入量から透水係数を算出し、装置の適用範囲(測定できる透水係数の上限)を検証することにある。

実験方法の手順を以下に示す。

- ・ 試験装置に水を入れ、全ての孔にゴム栓をする。

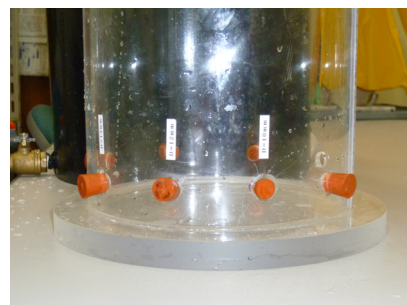


写真-1 試験装置の注水口



写真-2 模擬地盤装置

- ・ 水の入った装置を模擬地盤(タンク)に乗せた後、タンク内に試験装置の注水口(孔)付近まで水を入れる。
- ・ 注水口(孔)のゴム栓を解放する。この時、解放する孔の数を変化させることでタンクへの注水量が変わる。
- ・ タンクの弁をあけ、装置からの流入量が最大となるようタンクの弁で(タンクからの)排水量を調整した後、注水口(孔)で水面が安定した状態を定常状態とみなし測定を開始する。
- ・ 試験装置の水位が5cm 低下する毎に、その時間を測定し、タンクへの一定流入量 Q (cm^3/s) を求める。

透水係数 k は、下記の算定式²⁾により求めている。

$$k = \frac{Q}{2\pi H^3} \left\{ H \sinh^{-1}(H/r) - \sqrt{r^2 + H^2} + r \right\} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 H ：試掘孔(タンク)内の水深(cm)、 Q ：一定流入量(cm^3/s)、 r ：試掘孔(タンク)の半径(cm)、 k ：透水係数である。

(3) 実験結果

実験は8通りの条件で、それぞれ5回ずつ実施した。

透水係数と注水口面積の関係を図-4に示す。同図から、透水係数は $1.0 \times 10^{-5} \text{m/s}$ ($1.0 \times 10^{-3} \text{cm/s}$) \sim $1.6 \times 10^{-4} \text{m/s}$ ($1.6 \times 10^{-2} \text{cm/s}$) の範囲でバラツキが小さく良好な結果が得られていることが分かる。この実験では意図的に適用の上限を検証しているが、下限は水の蒸発を防止する仕組みを付加することで $1.0 \times 10^{-9} \text{m/s}$ ($1.0 \times 10^{-7} \text{cm/s}$) 程度の範囲まで拡大できると考えている。

また、透水係数と注水口面積の間には良好な相関関係が認められている。相関関係がどこまで成り立つのかは今後の検討によるが、今回の実験結果から、開発した装置では、実務に適用する上で支障のない広範囲の透水係数を測定できると考えられる。

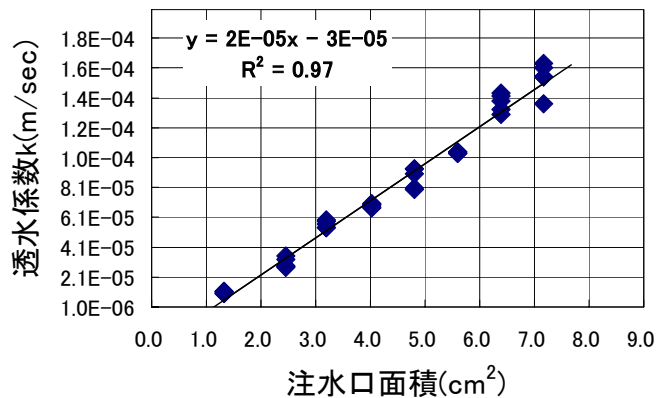


図-4 室内実験による透水係数と注水口面積の関係

5. 現場実証実験

図-5に、開発した装置で現地実験を行って求めた透水係数 k と水平ドレーン材（仕様： $k > 1.0 \times 10^{-5} \text{m/s} = 1.0 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ ）の締固め度 D_c との関係を示す。透水係数の算出には式(1)を用いている。試験は事前注水を十分に行い、定常状態を確認してから実施した。同図には、比較のために行った室内透水試験結果も併せて示している。当装置を現場で適用した結果、透水係数が $1.5 \times$

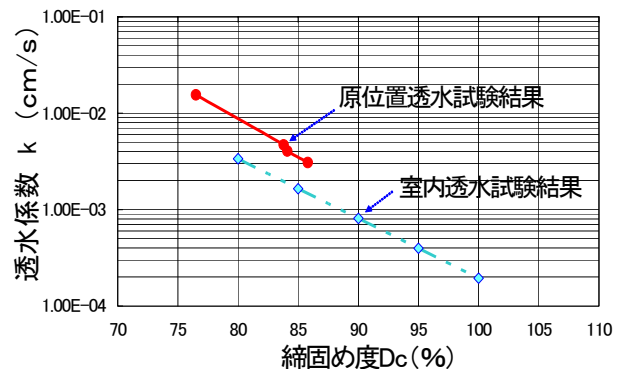


図-5 水平ドレーン材の締固め度と透水係数の関係

10^{-4}m/s ($1.5 \times 10^{-2}\text{cm/s}$) 程度の高透水性地盤でも問題なく測定できた。また、室内透水試験結果と比較すると、室内と現場という締め固め条件の違いや鉛直方向と水平方向の透水係数の異方性の問題から、得られた値に差があるものの、透水係数 k と締め固め度 D_c の関係は同様の傾向を示していることが分かる。これより、開発装置は高透水性地盤にも十分に適用が出来ると言える。

6. 結語

著者らが開発した、構成が簡易で測定が容易な原位置透水試験装置の実用性を検証するため、室内実験と現場実験を行った。その結果、注水口を増設することにより、実務に適用する上で支障のない範囲まで透水係数を求められることが分かった。

また、本稿では詳細を述べていないが、貯水タンクと止水パッカーの組み合わせを付加することで、浅層地盤の透水性を測定することも可能であり、これについては既に現場検証を行っている(図-3, 写真-3)。現場実験や現場での適用性検討については別報にて報告する予定である。

なお、本装置は(株)四電技術コンサルタントにより特許申請中(特許願 15552)であることを付記する。



写真-3 堤体のり面部での現場透水試験状況

《引用・参考文献》

- 1) 森井俊広：盛土堤体の品質照査に向けた簡便で精度のよい現場透水試験法の提案，新潟大学農学部研究報告 第57巻2号，pp. 129～137，2005
- 2) 地盤工学会編：地盤調査の方法と解説，pp. 413～437，2004. 6.