

Ⅲ-A291

プレッシャーインフィルトロメータ法を用いた土の原位置透水試験

新潟大学農学部

正 森井俊広

鳥取大学乾燥地研究センター

井上光弘

岡山大学環境理工学部

正 竹下祐二

1. 研究の背景と目的

盛土構造物での原位置透水試験法は、たとえば E19 法のように透水係数を算出するための理論背景と実際との間にずれがあることや、締固めにともなう構造異方性あるいは深さ方向の密度こう配に起因する透水異方性、礫の混入や試験規模の大きさから危惧される代表性などの問題をもつ^{[1][2]}。ソイルサイエンスの分野においても一部同様の問題が指摘され、より現実的な試験法の開発が指向されている。この中で、90 年代初めに、Reynolds と Elrick^{[3][4]}を中心にプレッシャーインフィルトロメータ法が提案された。この試験法は、一定水頭条件下で地表面からの浸潤を再現し、現場の飽和透水係数 (field-saturated hydraulic conductivity) K_f を測定しようとするものである。明確な浸潤理論にたちながら、試験装置がシンプルで、測定を迅速におこなえるという優れた利点をもつ。本論文では、プレッシャーインフィルトロメータ法を簡便で迅速な原位置透水試験法であると位置づけ、その理論背景を紹介するとともに、砂地盤における現地計測試験を通して適用性を調べた。

2. 試験法の概要

プレッシャーインフィルトロメータは、図 1 のように、鋼製の単一リングにマリ奥特式の給水タンクを連結した構造となっている。半径 a のリングを地盤表面から深さ d に挿入したのち、一定の圧力水頭 H のもとでリング内から地盤へ浸潤させ、定常状態に達したときの浸潤量 Q_s を測定する。 Q_s は、浸潤理論にもとづき、次式のように与えられる^[5]。

$$Q_s = \frac{a}{G} \left(K_f H + \frac{K_f}{\alpha^*} \right) + \pi a^2 K_f \quad (1)$$

ここで、 G は形状係数である。地表面の点湧源からの定常浸潤に対する厳密な理論解を、リング内からの面状浸潤へ拡張するため、数値実験により求められた。プレッシャーインフィルトロメータ法の特徴の一つは、この G の導入にある。数値実験では $a=5-10\text{cm}$ 、 $d=3-5\text{cm}$ 、

$d/a=0.3-1.0$ 、 $H=5-25\text{cm}$ が条件となっているが、 G は d/a のみに依存するため、基本的には a または b そのものに制約を受けないと考えられる。 α^* は、土の不飽和透水係数 K とサクション ϕ の関係を指数関数で表したときのパラメータである。プレッシャーインフィルトロメータ法の二つめの特徴がこの指数関係の仮定であり、浸潤流れにしめる毛管力の寄与をシンプルな形で表現したことになる。ただし、土の K - ϕ 関係がつねに指数関数で記述できるとは限らない。このため、実際の K - ϕ 関係を、マトリックスフラックスポテンシャルを介して積分的に等価な指数関係に置き換える必要がある^[5]。粘土や砂などに対する α^* の推奨値が示されている^[6]が、今後、プレッシャーインフィルトロメータ法の普及をはかるうえで、土の種類に応じてより適切な α^* 値を定めていくことが必要かと考えられる^[5]。

式(1)から明らかなように、 Q_s は、右辺第 1 項で表される一定水頭条件下での飽和浸潤成分、第 2 項の毛管力による成分、第 3 項の重力による成分を含み、実際の浸潤流れを忠実に反映した形になっている。 a 、 d 、 G は装置のサイズによって決まるため、対象とする地盤土の α^* さえわかれば、設定した H で生じる Q_s を測定し、式(1)から K_f を算出できる。

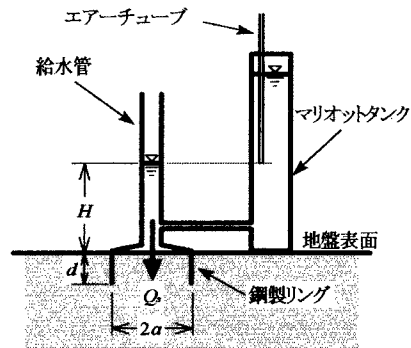


図1 プレッシャーインフィルトロメータ法の構造概要

Key words: プレッシャーインフィルトロメータ法、原位置透水試験、砂地盤、数値解析、土壌コア

連絡先: 〒950-2181 新潟市五十嵐二の町 8050 Tel&Fax: (025)262-6652 E-mail: morii@agr.niigata-u.ac.jp

3. 現地計測試験による適用性の検討

地盤中の水分挙動 砂地盤で $a=5\text{cm}$ 、 $d=3.0\text{cm}$ の装置を用い、プレッシャーインフィルトローメータ試験を実施した。 $H=9.7\text{cm}$ の一定水頭条件下で、約 10 分程度で $Q_s=12.89\text{cm}^3/\text{s}$ がえられた。試験中、深さ 50cm までの地盤内で ϕ と体積含水率 θ をモニターした。別途公表されている試験データから求めた砂の不飽和水分特性によると、積分的に等価な α^* は 0.0683cm^{-1} で、式(1)より、 $K_{\beta}=2.74 \times 10^2 \text{cm/s}$ となる。図 2 に、計測値と有限要素法を用いた数値計算結果を比較する。数値計算による再現性は非常に良好で、砂地盤においては 0.06cm^{-1} 程度の α^* を設定することにより、式(1)で代表的に表現される地盤内の浸潤挙動を適切に説明できることになる。

土壌コアによる透水係数との比較 プレッシャーインフィルトローメータ試験後に、100cc サンプラーにより土壌コアを採取し、一昼夜水に浸したのち、定水位透水試験をおこなった。図 3 に、 K_{β} と土壌コアの飽和透水係数 K_{core} を対比する。いずれも水温 15°C に換算した値である。慣行法としての K_{core} を基準とすれば、おおむね 1.2-1.3 倍程度大きめの透水性を算出していることになる。

4. まとめ

地盤の複雑さと各試験法がもつ理論的、実務的な制約などにより、単一の標準的な原位置試験法を確立することは非常に難しい。そのかわりに、各種試験法を組み合わせた互いに補足し合う方法が必要になろう。ここで議論したプレッシャーインフィルトローメータ法は、このような組み合わせの基本的な核になりうるのではないかと考える。プレッシャーインフィルトローメータ法に関わる課題として d/a の有効性と土質に応じた α^* の設定、また原位置透水試験法としての問題である透水異方性等について継続して検討していきたい。本研究を進めるにあたり、鳥取大学乾燥地研究センターの共同利用研究による補助を受けた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- [1] 北本・笹倉: 密度試験孔を利用した現場透水試験結果に関する考察、土木学会第 53 回年次学術講演会講演概要集、3(A)、788-789、1998。
- [2] 藤山・石黒・幸村・塚田・太田: 締固め地盤の透水性評価に関する実験的検討(その1)、第 32 回地盤工学研究発表会発表講演集、2、1929-1930、1997。
- [3] Reynolds, W. D. and Elrick, D. E.: Ponded infiltration

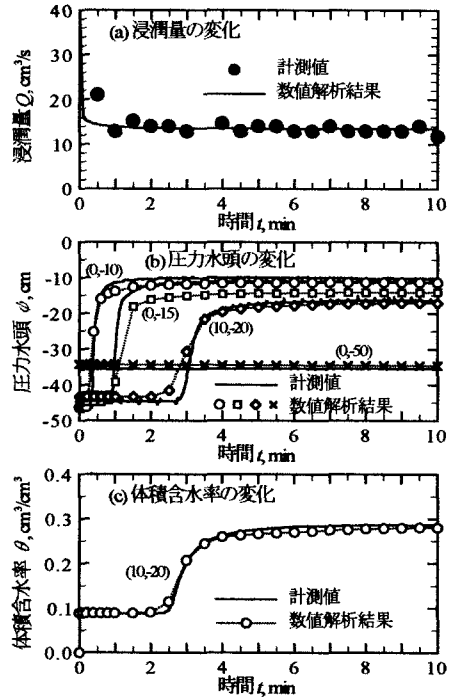


図 2 プレッシャーインフィルトローメータ試験中の地盤内の水分挙動の計測値と数値計算値との比較。括弧内の数値は給水管中心軸からの半径、深さ位置(cm)を表す。

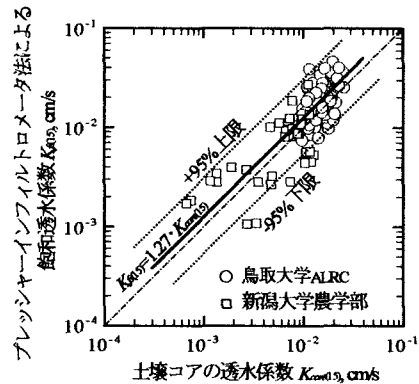


図 3 プレッシャーインフィルトローメータ法と土壌コアから求めた透水係数の比較。いずれも水温 15°C に換算。

from a single ring, Soil Sci. Soc. Am. J., 54, 1233-1241, 1990.

- [4] Elrick, D. E. and Reynolds, W. D.: Infiltration from constant-head well permeameters and infiltrometers, SSSA Special Publication 30 edited by Topp, G. C., et al., 1-24, 1992.
- [5] 森井・秋田・井上・竹下: プレッシャーインフィルトローメータ法による砂地ほ場の透水性の測定、平成 11 年度農業土木学会大会講演会講演要旨集、1999。