

マルチステップ法による不飽和浸透特性のヒステリシス測定

ウメダジオリサーチ 正会員○梅田美彦
鳥取大学乾燥地研究所 井上光弘

1. はじめに

地盤内部の地下水の浸透現象を予知、予測したり計測結果の妥当性を検討したりする場面で、飽和、不飽和浸透流解析が日常的に用いられるようになってきている。この解析を実施するためには、現地の土の不飽和浸透特性を入力する必要がある。しかしながら、国内ではまだ有効な不飽和浸透特性の測定法が確立されておらず、文献等から入力値を得ているのが実状である。また、不飽和浸透特性には、水分の侵入時と排水時とで値が異なるヒステリシスが存在することが古くから指摘されているが、これを測定する方法についても有効な手法が得られていないのが現状である。マルチステップ法は試料に段階的に加圧して排水時の不飽和浸透特性を測定する手法として海外では確立されているが、加圧時と同様に減圧時の測定を行えば、侵入過程における不飽和浸透特性を測定できる可能性があり、ヒステリシスの測定が可能と考えられる。そこで、本研究ではマルチステップ法によるヒステリシス測定の可能性を探ってみた。その結果について報告する。

2. 測定手法

2.1 測定装置

測定装置は加圧型マルチステップ法の測定装置を使用した。装置は図-1に示すように、試料容器、レギュレータ、コンプレッサー、水量測定用秤、水圧測定用圧力計、データロガーからなっている。試料容器の下部にはエアージェンリーバリュウの大きなフィルターを敷いている。通常の排水過程の測定では、試料内部から排除される水を排水管から滴下させるようにしているが、侵入過程の測定では水の吸引量を測定するため、排水管の先端を排水瓶の水の中に入れておくようにしている。

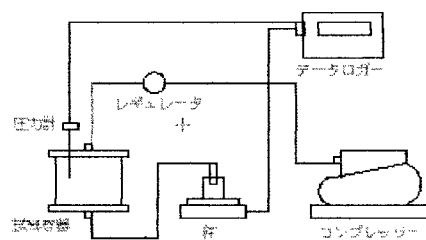


図-1 測定装置

2.2 測定方法

含水比調整をして所定の密度に締め固めた試料を、圧力容器にセットしセンサーを取り付ける。試料下部から通水して飽和させた後測定を開始する。

・加圧時の測定

試料の上部から、30, 60, 80, 100, 120, 150 cmの空気圧を段階的に载荷し、試験中の排水量、試料内部の水圧を測定した。

・減圧時の測定

加圧試験が終了した後、空気圧を100, 80, 60, 40, 20, 0 cmに段階的に減圧し、減圧時の吸引水量、試料内部の水圧を測定した。

2.3 不飽和浸透特性の算出

加圧時、減圧時とも測定結果を排水量、及びサクシンの経時変化として整理した後、逆解析により不飽和浸透特性を算出した。不飽和浸透特性関数として **Mualem-vanGenuchten** の提案式を用いた。

2.4 試料

試料にはガラスビーズを用いた。ガラスビーズは標準砂よりやや細かな粒径の均一な物質である。試験時の乾燥密度は 1.47g/cm^3 である。

3. 試験結果と考察

3.1 測定結果

加圧時の排水量、水圧の経時変化を図-2に減圧時の吸水量、水圧の経時変化を図-3に示す。

加圧時には、試料下部からの排水は 80 cm の水頭を載荷した時点から開始され 150 cm の載荷でほぼ終了している。また、試料内部の水圧は空気圧の載荷とともに上昇するが、排水に伴って順次低下し最終的に大気圧のゼロとなっている。一方、減圧時には試料下部からの吸水は水頭を 60 cm 程度に下げた時点から始まり 20 cm の水頭でほぼ終了している (図-2)。

また、水圧は空気圧の減小により瞬時に低下するが、その後水の吸引とともに上昇し大気圧に収れんしている (図-3)。

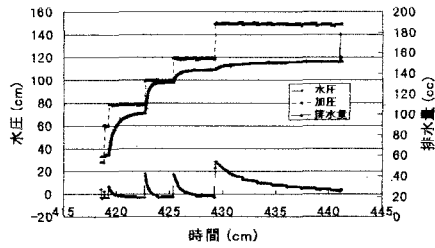


図-2 加圧時の測定結果

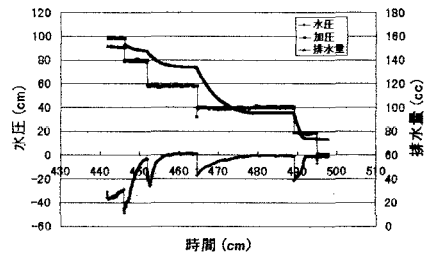


図-3 減圧時の測定結果

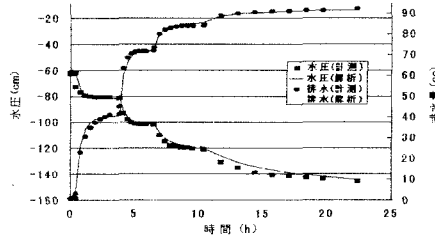


図-4 加圧時の排水量、水圧変化

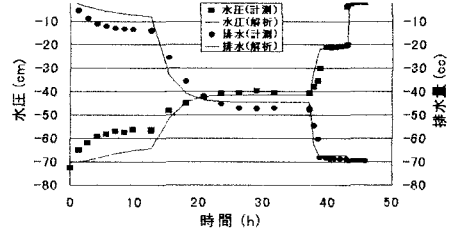


図-5 減圧時の吸水量、水圧変化

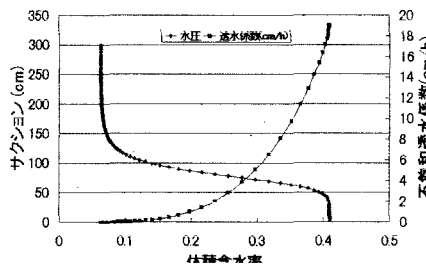


図-6 排水過程の不飽和浸透特性

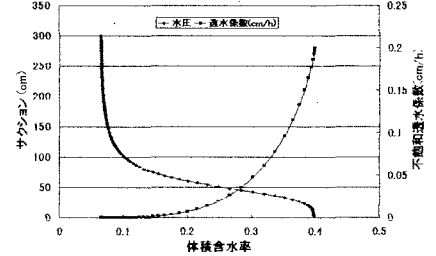


図-7 吸水過程の不飽和浸透特性

3.2 不飽和浸透特性の算定

計測結果から排水量 (吸水量) とサクシジョンの経時変化を算出した。その結果を図-4, 5 に示す。また、この結果に合うような不飽和浸透特性値を Levenberg-Marquardt 法によって同定した結果から、体積含水率とサクシジョン及び不飽和透水係数を算出した結果を図-6, 7 に示す。図-4, 5 中の実線は同定された特性値を用いて試験を再現した結果であるが、加圧時に比べて減圧時の適合が悪い。図-6, 7 の結果をみると不飽和水分特性曲線についてはほぼ妥当な値が得られているように思われる。一方、不飽和透水係数については、排水時と侵入時の値が 2 オーダほど異なり侵入時の値が低くなっている。過去の試験例によれば、飽和透水係数の値は排水時の同定結果がほぼ妥当な値と考えられるが今後の検討が必要である。

4. おわりに

マルチステップ法によって不飽和浸透特性のヒステリシスを測定する事を試みた。試験手法としては、最初に試料に空気圧を加圧し、その後減圧を行うことで一連の実験が終了することが確認できた。また、計測結果から逆解析により不飽和水分特性を同定することも可能なことが確認できた。ただし、同定結果についてはまだ十分満足できるまでには至らなかった。今後は、試験手法及び同定手法に検討を加えてよりよい試験手法として確立していきたい。

参考文献

- 1) 梅田、井上：マルチステップ法の不飽和水分特性試験への適用性、第 53 回土木学会年次講演会 pp652
- 2) S.O.Eching & J.W.Hopmans: Inverse Solution of Unsaturated Soil Hydraulic Functions from Transient Outflow & Soil Water Pressure Data, LAWR-Hydrologic Science, April 1993