

III-480

不織布の透水性実験装置

三井石油化学工業㈱
東京大学生産技術研究所○ 西村 淳
H. I. LING
龍岡文夫
佐藤剛司

1. まえがき 不織布の透水性についての統一的な実験装置・実験評価方法は、まだないようである。一方、一般的に透水試験機は現場の状況を再現できるように、不織布透水性の時間依存性(短期、長期)、応力依存性(応力レベル、応力履歴)、異方性(面の鉛直方向、面内方向)、in-soil状態の影響などの検討ができる必要がある。しかしこれら要因を系統的に調べられる装置及びその検討結果の例は少ない。ここでは、これらの要因の影響を検討する目的で製作した透水試験装置を紹介する。論文¹⁾では不織布の面垂直方向の透水試験結果を解析し、応力レベルや応力履歴などを考慮に入れた透水係数の定式化について述べる。

2. 透水試験装置 新しく開発した透水試験装置(図1)は定水頭のものであり、次の4つの部分からなっている。**(1) 給水タンク①**: この給水口での全水頭(TH_1)を一定にしている。この目的のために、タンク内の水中にパイプ②を立て、パイプ内に一定空気圧(p_1)を加える。タンク内の水位にかかわらず給水口での圧力は一定なので、タンクの位置が一定ならば TH_1 は一定になる。水温はセンサー温度計③で測定する。**(2) 受水タンク④**: 供試体を経由した水は、受水タンク④内に底面から立てたパイプ⑤の先端から流出してタンク内に入る。タンクに加わっている空気圧 p_2 が一定で、パイプ先端の位置が固定されているので、受水タンクでの全水頭、即ちパイプ先端の全水頭は一定である。従って、損失水頭は一定である。流出量は受水タンク内の水位を低容量差圧計(LC-DPT、⑥)で測定する。**(3) 供試体部⑦**: 三軸試験セルを改良したものである。特徴として供試体⑧は平面ひずみ試験の供試体と同じ直方体であり、メンブレンに囲まれているため側面での漏れが生じないことである。載荷ピストン⑨と供試体キャップは鉛直荷重の載荷・除荷によって上下に移動するので、透水パイプのキャップとセルのつなぎ④をコイル状にした。空気圧⑤で拘束圧を加え、また別途に軸荷重⑩を加えられる。また、新たに分散器(図2a)を取り付けたことにより、供試体の上下端部⑥で水が不織布の全断面に分散でき、供試体内の水流れが鉛直方向に一次元流れとなった。**(4) 測定部**: 供試体内の損失水頭は、キャップとベDESTALの表面近くの二点間でLC-DPT⑥で測定する。また、供試体の有効応力は高容量差圧計(HC-DPT⑩)で測定する。供試体の鉛直変位は電気式変位計(LVDT⑩)で測定する。これら測定値は、analog signalをA/D converterによってdigital signalに変換され、指定された時間間隔で自動的にfloppy diskに記録され、解析が行われる。図3は測定例であり、測定値が時間的に非常に安定していることがわかる。

図1(あるいは図2b)に示すのは面鉛直方向の透水の場合のものであるが、図2cは不織布をin-soil状態にして拘束圧を加えて面内の透水性を測定する場合である。

3. 装置の検定: 差圧計などの測定原理や検定などは龍岡²⁾が詳しい。ここでは、装置損失水頭の検定だけについてふれる。図2bに示すようにベDESTAL及びキャップ内の測定点間に水頭損失(h_{1a})が潜在する。損失は管内摩擦と断面形状変化によるものである。摩擦損失はDarcy-Weisbach則($h_f = f(l/D)(v^2/2g)$, $f = 64/Re$, $Re = vD/\nu$)によると流速 v の一乗に比例するが、形状損失は流速の自乗に比例する。実際測定値は、図4のように

$$h_{1a} = a v + b v^2 \quad (1)$$

でよく近似できる。この装置については、管内摩擦損失は少ない。実験値から最小自乗法を用いて得られた定数は、 $a=0.0187$ で $b=0.0015$ である。

透水性の高い不織布では損失水頭が小さいので、測定損失水頭(h_{1m})を装置損失水頭(h_{1a})に対して、

$$h_1 = h_{1m} - h_{1a} \quad (\text{cm}) \quad (2)$$

で補正する必要がある(図5参照)。

4. 透水系: 線形と非線形のものがある。Darcy's Lawは線形式に属し、層流の場合に成り立つ。非線形式の中で、Forchheimer Equation と Exponential Law があるが、いずれも乱流を考慮に入れた式である。

Darcy's Law は $v = k i$ (3)

のように表されている。ここで、 $v(\text{cm/s})$ は流速で、 $k(\text{cm/s})$ は透水係数で、 i (無次元)は動水勾配である。

ところで、面状の不織布に適用する場合、透水係数の代わりに鉛直方向及び面内方向の透水について、その厚みをパラメーターとしない次のようなものが導入されている。

Permittivity: $\phi = k_n / t_g = v / h$ Transmissivity: $\theta = k_h \cdot t_g = (v \cdot t_g) / i$ (4)

ここで、 k_n は鉛直方向の透水係数、 k_h は水平方向の透水係数、 t_g (cm)は不織布の厚みである。 ϕ, θ が k_n, k_h の替わり用いられるのは、不織布は厚さが正確に確定しにくく、条件によっても変わるため透水実験により求めた透水係数が不正確な値となるからである。一方、透水係数が正確に分かっていても、実際に設計で必要になる ϕ, θ が不正確になる。

なお、水の粘性が温度によって変化するので、 ϕ と θ はある一定の温度に補正することがある。式4は Darcy's Law に基づくもので、ジオテキスタイルの普及とともに、簡便であるため多くの国で使われている³⁾。不織布を n 枚使用する場合、その境界面の水頭損失を無視すると一枚あたりの ϕ と θ の平均値はそれぞれ次のようになる。

$$\phi_{1 \text{ sheet}} = \phi_{n \text{ sheets}} \cdot n \text{ (1/sec)} \quad \theta_{1 \text{ sheet}} = \theta_{n \text{ sheets}} / n \text{ (cm}^2\text{/sec)} \quad (5)$$

5. 実験結果： 鉛直応力の作用のもとでの鉛直方向の透水性については論文1で詳しく述べられているが、ここで結果を図6に示す。図からわかるように ϕ は応力レベルや応力履歴に依存することがわかる。

6 参考文献：

1. H.I.LING、龍岡文夫、西村淳：不織布の透水性実験結果、土木学会第44回年次学術講演会、1989。
2. Tatsuoka, F.: Some Recent Developments in Triaxial Testing System for Cohesionless Soils, ASTM STP No. 977, pp.7-67, 1988.
3. R. Veldhuijzen van Zanten(ed.): Geotextiles and Geomembrane in Civil Engineering, Balkema, 1986.

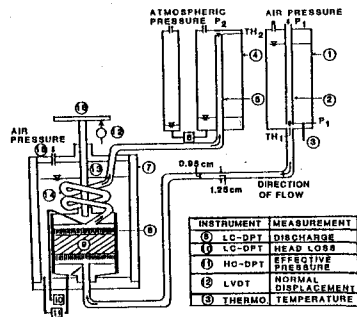


図1 透水試験装置

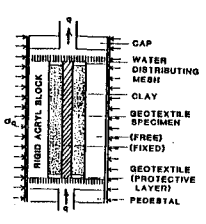
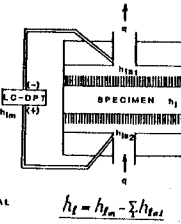
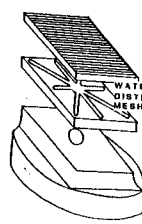


図2 (a)水分散器 (b)装置損失水頭 (c) in-soil状態の不織布面内透水試験

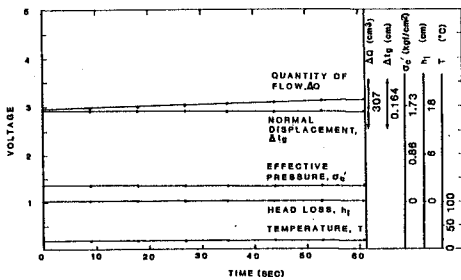


図3 透水試験の測定例

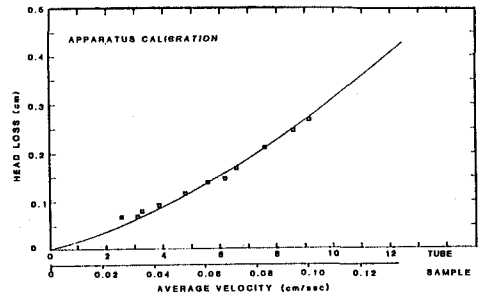


図4 装置損失水頭検定

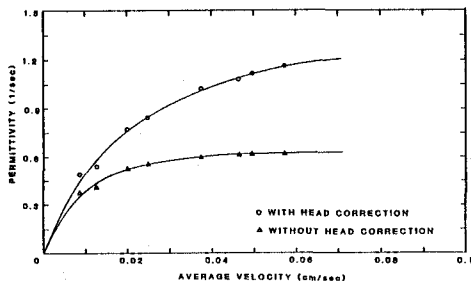


図5 装置損失水頭による結果の補正

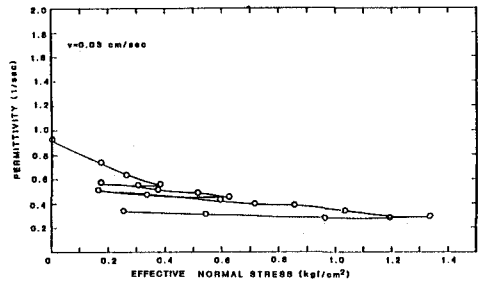


図6 不織布の鉛直方向の透水性結果