

東洋大学 正会員 石田 哲朗・赤木 俊允  
日本大学 正会員 山村 和也

1. はじめに これまでに採取したシンウォールチューブを直接用いた水平方向透水試験法を提案し<sup>1)</sup>その適用例を示してきた<sup>2)</sup>。円形チューブ断面内に生じると思われる浸透流については理論解析を行い、透水係数を求めるには次の $k=q/h \cdot N_d/N_r$ で、流線網を描いて求められる $N_d/N_r$ の比(これを $\alpha$ とおく)を4とすると結論したものの、理論解析と実際との違い、つまり二次元解析上の流出入口の幅と一定間隔で連続した小孔群との違いなどを含んだ十分な説明を加えることができなかった。本報では、この点を明らかにするためにに行った実験結果について考察を加える。

2. 実験装置と実験方法 実験に用いた測定器具の断面図を図-1に示す。実験を繰り返すために、シンウォールチューブを15cmほどに切断し、その両端に簡単に取り付けられかつ止水を容易に行える蓋を取り付けたものである。実用上の浸透断面の検討は表-1に示した8ケースで行った。ここで、 $n$ はチューブ側面の通水断面積と直径寸法との比を示す。目安とした砂の供試体の湿潤密度は $\rho_t=1.68g/cm^3$ 、間隙比 $e=0.58$ 程度であった。透水試験は水頭差5,10,20cmの3段階を標準とした。また、試験機の浸透形状から給排水口では局所的な流れが生ずることが考えられる。その特性を見極めるためにチューブのみの透水試験を加えることにした。なお、チューブ側面の開口部分には砂が入り込み浸透断面を減少させることが考えられるので、#40のメッシュを開口部の内面に張り付けたものに対しても計測を行い比較した。

3. 実験結果に対する考察 水で満たされたチューブの中を流れる場合には、オリフィスからの流出と同様な現象が生じると考えられる。したがって、出口の開口部の間を流れるときの前後の損失水頭は、管路などの摩擦抵抗と同一に $\Delta h=v^2/2g$ の形で運動エネルギーは表される。一定時間に流出した水量とその通水断面積から $v$ を求める。その値から $\Delta h$ を計算し両対数目盛にプロットすると図-2に示す直線となり、 $Q=K'(\Delta h)^m$ の形で表すことができる。このときの $m$ は0.5に近い値である。砂を詰めたときの流出口における損失水頭を、同様に計算してプロットすると図-3のとおりになる。この場合メッシュの有無がかなり浸透水量に影響する。 $m$ の値はチューブのみの結果と同様に水位差の0.5乗となっており、ダルシーの法則とは異なる関係を示していることがわかる。結果から、砂の有無にかかわらず、浸透断面が急激に減少するために、僅かであるが側面の開口部の前後で水が堰き上げられて水位差を生ずることになる。ただし、図-3の横軸の目盛の値を見てもわかるように、その大きさは問題となるほどのものではない。

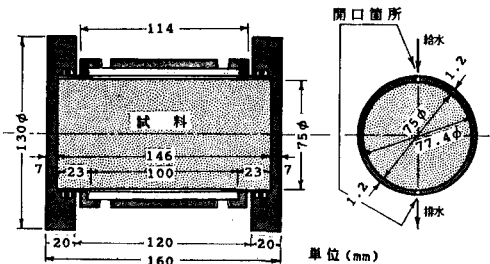


図-1 試験装置

表-1 試験条件

開口(孔)条件	孔数	通水断面積 (cm <sup>2</sup> )	換算スリット幅 (cm)	n
2mm-slit	—	2.00	0.200	0.0267
2mm-3mm p	34	1.07	0.107	0.0142
1mm-slit	—	1.00	0.100	0.0133
1mm-1.5mm p	67	0.53	0.053	0.0071
1mm-2.5mm p	41	0.32	0.032	0.0042
1mm-3.0mm p	34	0.27	0.027	0.0036
1mm-5.0mm p	21	0.16	0.016	0.0021
1mm-7.0mm p	15	0.12	0.012	0.0016

数値は長さ10cmにおけるものを示し、—mm pは穿孔径の中心間の距離を表す。

さて、砂の中に生じている流れは層流状態である限りダルシー則が成り立っていると思われる。このことについてレイノルズ数 $Re$ を用いて検討してみる。 $Re=\rho Dv/\mu$ の値は1~10の範囲で層流から乱流に移行すると言われている。いま、 $Re$ を求める式で $Re=1$ とにおいて、水の密度を $\rho=1(g/cm^3)$ 、平均粒径を0.05(cm)測定時の水温17℃のときの粘性係数 $\mu=0.0108(g/sec \cdot cm)$ とすると、 $v=0.216(cm/sec)$ となる。実測された透水係数と

ともに  $v=k \cdot dh/dx$  に代入して動水勾配を求めると、 $dh/dx < 2.65$  の範囲でダルシーの法則を十分満足させることになる。また、円形チューブ内の浸透領域を、図-4の一次元化浸透流解析における境界条件とすると<sup>3)</sup>、浸透長さ(x方向)における水頭が与えられ、その方向の動水勾配が得られる(図-5)。図は小孔を2.5mm間隔で連続して穿孔したときのものであるが、他の開口条件が異なるケースもほぼ同一の値で同様な傾向を表す。実験で与えられた動水勾配は試験法<sup>4)</sup>に示されている値に比べて大きなものであることから、 $Re$  の範囲を10まで広げるとすれば、ダルシーの適用限界を越える範囲は僅か2mmとなる。よって、この透水試験機内での流れは、十分にダルシーの法則が適用される範囲内にあると判断される。

まして、この試験法が対象としている透水係数の小さい粘土では流出入口での損失は問題にならないと結論される。

次に、透水係数の測定値について考える。図-6には、縦軸に  $1/\alpha$  をとり  $n$  との関係を示した。1mmスリットの  $\alpha$  を4とした場合の透水係数と等しい数値を得るために必要な  $\alpha$  を図中に記入してある。それらの計算値は破線のフローネット法の解析解と同様な傾向を示す。例えば、 $n=0.0042$  の場合には  $\alpha$  は4.5となり、破線の解析解  $\alpha=4.7$  に近づいていることがわかる。

**4. まとめ** 浸透流モデルによる検討結果から、本試験法における浸透流は十分にダルシーの法則が適用される範囲にあると判断される。また、実用上の穿孔条件に対応する  $\alpha$  は、整数4の小數部分を含めて算定した方が実際の透水係数に近づくことは明らかである。すなわち、ここで定義した  $n$  の違いによる影響は著しく差異は無視できないと判断される。 $\alpha$  の小數点以下1桁目の数値を決定するための必ずしもはつきりした理由は見当たらないが、その変化の傾向から  $n$  に対応するフローネット法での二次元浸透流の解析解を用いることが妥当であると結論される。したがって、チューブ側面に1mmφの小孔を2.5mm間隔で穿孔した場合の透水係数は次式のようなる。

$$k=4.7 \cdot q/h$$

参考文献) 1)赤木・石田(1988):土木学会論文集 第394号。2)赤木・石田(1989):土と基礎 Vol.37, No.6。3)石田(1990):日本大学博士論文。4)土質工学会(1990)土質試験の方法と解説。

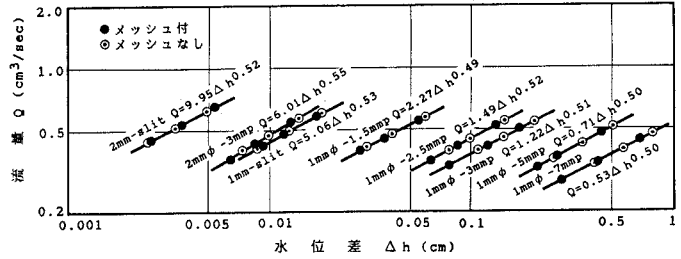


図-2 チューブのみの場合の流出口からの浸透水量

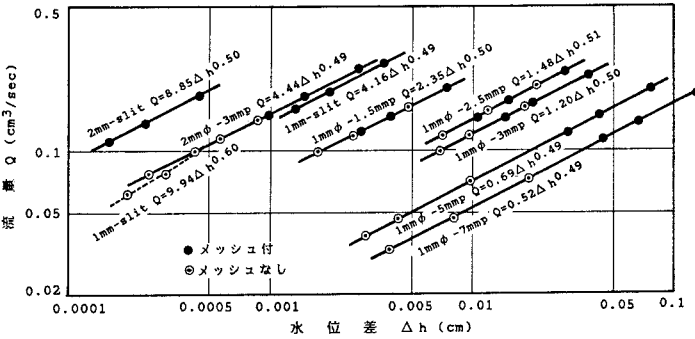


図-3 試料を詰めた場合の流出口からの浸透水量

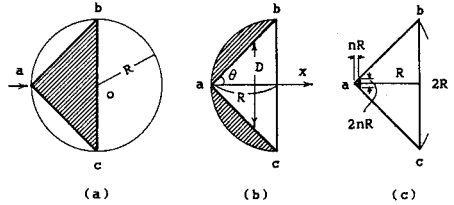


図-4 境界条件(一次元化浸透流)

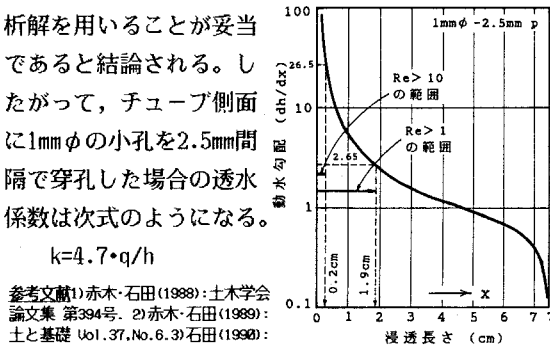


図-5 動水勾配の変化

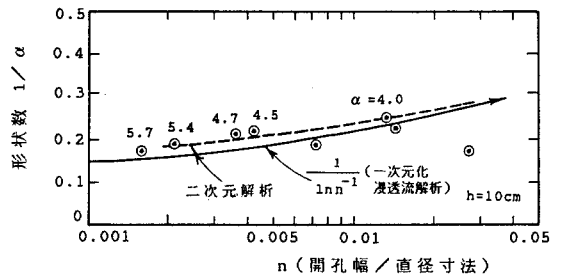


図-6 実用上のαの比較