

1. はじめに 軟弱粘土の透水係数は通常、圧密試験の結果から容易に算出されるので、水平方向の透水係数が必要となる場合には試料を垂直に切り出して圧密試験を行えば、一応その目的は達せられる。しかし、水平方向の透水性が問題になる場合は一般に、かなりの厚さを持つ土全体、いわばマス・パーミヤビリティが問題となるのであって、通常の圧密試験に用いられる小さな試料では土全体の透水性を把握することはできない。実際、軟弱粘土には層状構造やシルトの層、腐蝕性物質、クラックなどが存在し、これらが粘土内部における間隙水の流れ、間隙水圧の消散、土全体の圧密挙動に重大な影響を及ぼすことが知られている。軟弱粘土では水平方向のマクロな透水係数が垂直方向のそれを数十倍乃至数百倍上回るケースもあることが指摘されているが、マス・パーミヤビリティのデータがなくては、時間-圧下関係の解析やバーティカル・ドレーンの有効性などについて、ケース・ヒストリーの経験をも十分に活かすこともできない。それにも拘わらず現在のところ、水平方向のマス・パーミヤビリティについて情報が極めて乏しいのみならず、その測定方法すら確立されていない。ボーリング孔を利用する透水試験や間隙水圧計による原位試験が望ましく一応可能であることが実証されているが、未だ技術的に難関が多い上、多くの場合経費・時間の点で魅力に乏しい。そこで筆者は手軽にルーティン化できる可能性をもつ試験方法として、採取されたシンワール・サンプルをそのまま用いて行う簡便な水平方向透水試験を開発することにした。特に粘土の場合、シンワール・チューブによる不浸透性材料は一般に浸透の度合いが小さいと思われるが、透水試験の後で試料を押し出し、土の状態を精査して試験結果との関連をチェックできる利点もある。しかし、粘土中にレンズ状またはポケット状に存在する砂やシルトは、直径75mmのサンプラーでは透水戸となってしまう可能性がある。この点も土の状態を決定する際にも不可避であり、小口径のチューブを使用する限り、粘土の咬みつきや連続・不連続の判断としないことによるものである。結局は小口径のサンプラーを使用するや、小口径のものを平面的に密な間隔で採取して比較検討する必要がある。ここでまず、試験方法を確立するために直径75mmのシンワール・サンプルを利用して、水平方向の透水係数を簡便・確実に求められるかどうか、を検討することにする。

2. 試験概要 外径75mmの真鍮製シンワール・チューブを用い粘土試料を採取した後、チューブの両側面、対称の位置に相対する一連の小孔(直径2mm)を間隔10mmで穿ち、図1に示す様に所定の圧力の蒸溜水を流して定常流を発生させる。あらゆる断面において図2の様に、対称的な

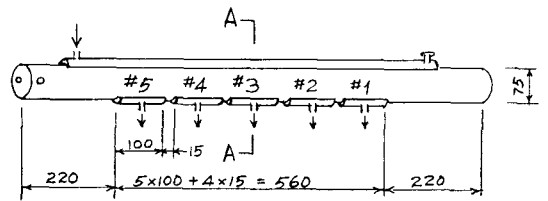


図1 シンワール透水試験(単位 mm)

流線網の透水が考えられるから、ダルシーの法則が成立つ限りは容易に透水係数を求めることができる。図1に見られる様に、この実験では試料に沿って一区間の長さ d が100mmの5区間を設け、各区間内には入口と出口になる小孔が各々10ヶ宛、相対する位置に穿たれている。図1に示された特製キャップの小孔上を覆ってハンダ付けされているので、入口の水圧はすべて等しく出口の流量は各区間毎に測定できる様になっている。区間#1と#5の外側には約100mmの粘土が詰まったまゝで、更にその外側には栓を当て、水洩れがない様に密閉されている。各区間における単位時間当りの透水量 q を測定すれば、透水係数は $k_h = q / (d \cdot H)$ として求めることができる。但し、 H は透水中の水頭、この場合出口は開放になっているので入口の水頭が H となる。長さ d の区間の透水係数 k_h が求めれば、全区間を通じての平均透水係数は $k_h = \sum q_i / (H \cdot \sum d_i) = \sum (k_i d_i) / \sum d_i$ となる。

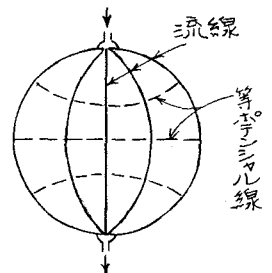


図2 流線網(断面A-A)

表1: 圧密試験による透水係数

圧密圧力 (kg/cm ²)	透水係数(10^{-8} cm/sec)	
	k_v	k_h
0.05		
0.1	5.3	6.5
0.2	5.7	5.5
0.4	4.4	7.0
0.8	3.8	4.0
1.6	2.7	3.1
3.2	1.6	1.9

表2: シンワール・サンプルによる水平方向透水試験結果の一例

頂水水頭 H (cm)	平均透過流速(ml/hr) q						透水係数($\times 10^{-8}$ cm/sec) k					
	#1	#2	#3	#4	#5	全区間	#1	#2	#3	#4	#5	全区間
2.0	.22	.59	.21	.31	.35	1.67	3.1	8.1	2.9	4.2	4.9	4.6
4.0	.49	1.90	.80	1.05	.28	4.50	3.4	13.2	5.5	7.3	1.9	6.3
5.0	.65	2.46	1.17	1.93	.96	7.17	3.6	13.7	6.5	10.7	5.3	8.0
10.0	1.25	7.30	2.18	23.9	1.73	36.4	3.5	20.3	6.1	66.5	4.8	20.2

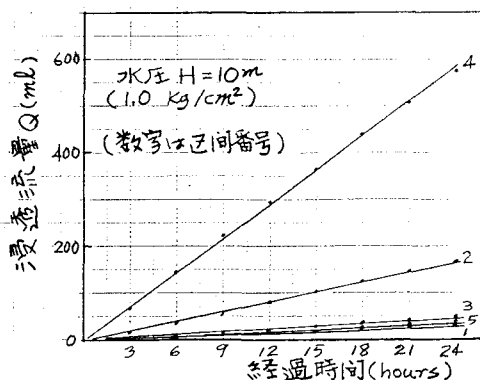
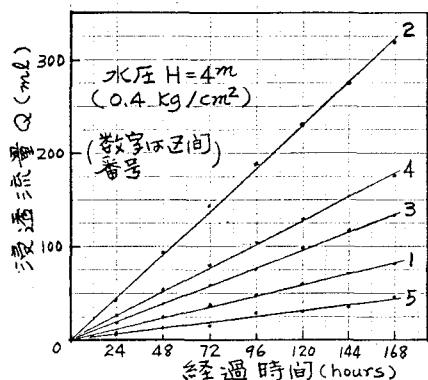


図3 浸透流量と時間の関係

3. 試料と試験結果 埼玉県川越市の越辺川河床、地表面下1.4~2.4mの深さよりシンワール・チューブを挿入して採取した軟弱粘土を用い水平方向透水試験を行った。粘土はLL=70, PL=30程度、自然含水比56~68%、飽和度は計算上ほぼ100%である。この粘土は一般に非常に均質な感じのもので砂の混入などは含んでいないが部分的には細砂やシルト分の含有量の異なった処があり、腐敗した植物の断片も散在している。水平・垂直に印り出した試料の標準圧密試験結果はほぼ全粒であり、 C_c は0.5~0.6の範囲、また0.6 kg/cm²前後の先行圧密荷重を示している。表1は通常の圧密試験によって水平に印り出した試料から得た k_v と垂直に印り出して得た k_h を示す一例であるが、先行荷重以下では 5×10^{-8} cm/secのオーダーで両者の値はほぼ等しくなっている。一方表2は図1の透水試験の結果の一例であるが、水圧が比較的低い範囲内(e.g. $H \leq 5$ m)では漸増の傾向が認められるもの全区間に亘って k は $10^{-8} \sim 10^{-7}$ cm/sec程度であり、表1の値とほぼ同じであることがわかる。しかし高圧($H=10$ m)になると、比較的均質で等方性の試料であるにもかかわらず、区間#2と#4の値に透水性の高い処が顕著に表われ、全区間500mmのマス・パーミアビリティも数倍に増加する。透水試験後に試料を押し出し観察した限りでは、両区間の粘土其他区間に比べて細砂の含有量と有機物の混入率が僅かに高いが、見受けられる程度で、特に水みちが發生した形跡は認められなかった。相当量の透過量が測定される例になっても、出てくる水は清浄で、粘土粒など流出は見られなかった。軟弱粘土が高い間隙水圧に対して大きな透水性を示すことは例えば、杭打ち時や排水ドレーンが打設時における間隙水圧の急速な消散について、どことも部分的にその理由を説明するものとならう。最初の水圧($H=2.0$ m)では不飽和の部分があった故か、流量と時間とは比例しない区間もあったが、図3に見られる様に透過流量は各区間とも長時間に亘って定常状態を示した。各圧力下における透過流量の測定は数時間ではよいとはいえないと思われる。今回の試料の採取深度が浅いため、シンワール内部壁に沿う流線が単純なものではないかと懸念されたが、白絵具を流した実験では粘土試料内部にはほぼ均一に絵具が分布しており、図2の如き流線網をもつ定常流が發生するとうい仮定は妥当なものと考えられる。

4. おわりに 試験方法・装置については更に簡便化すべく改良を進めているが、本測定方法の実用性については一定のメドが得られたのでここに発表する。本報告のデータは昨年度筆者の研究室で卒業研究を行なった島根弘光・渡辺康之両君の実験に負う処が多い。両君の労と熱意に対し謝意を表する。[JSCE, 広島, Oct. '81]