

埼玉大学大学院 学員 ○中村正明

埼玉大学工学部 正員 風間秀彦

1. まえがき 一次元圧密は圧力の増加に伴い配向性が高くなるが、等方圧密は逆にランダム化する傾向にあることはすでに報告¹⁾した。また、粘土の堆積面に平行な方向(横方向)の透水係数は、鉛直方向に比べて大きいという報告²⁾は多々ある。これは透水方向の微視的構造が、透水係数を左右するためである。そこで、本報告では、一次元圧密と等方圧密をした粘土について透水試験を行い、両者の微視的構造の相違が透水係数にどの程度影響を及ぼすかを示し、また、配向度、間隙比、透水係数の関係について考察を加えた。

2. 試料および実験方法 試料は志木市内で採集した沖積粘土とカオリンを用い、液性限界の2倍程度のスラリー状にして、モールド内で圧密圧力 0.78 kgf/cm^2 で再圧密した。実験は、通常の一次元圧密と三軸セルを用いた等方圧密を行い、圧密荷重を載荷させた状態で変水位透水試験を行った。透水試験は、一次元、等方圧密とも供試体下端面にスタンドパイプを接続し、上端面から排水した。圧密時間は、各荷重とも24時間とし、圧密が十分終了したのを確認してから動水勾配20で透水試験を行った。一方、圧密過程の構造把握は、各荷重段階で除荷した供試体の鉛直断面について配向度 M を測定³⁾した。

3. 結果および考察 一次元圧密と等方圧密した粘土では配向性が異なり、これが透水係数にも影響するはずである。そこで、両者の透水係数と間隙比の関係を示したのが図-1である。この図から志木、カオリンとも初期状態では等方、一次元の透水係数はほぼ等しいが、圧密圧力が増し間隙比が減少するにつれて、等方は一次元よりも透水係数が大きくなる。これは図-2に示すように、一次元では間隙比が減少するにつれて配向度は増加するが、等方では逆に低くなることから説明できる。すなわち、配向度の高い方が低い方よりも鉛直方向の透水流路は長くなり、その結果透水係数は低くなる。

ここで、図-1と図-2から透水係数と配向度の関係式は $\log k = f(M)$ (図-2)と表せる。

図-3はこのようにして求めた一次元と等方の透水係数と配向度の関係を示し、破線は曲線上の等しい間隙比の点を直線で結んだものである。この図から透水係数、配向度お

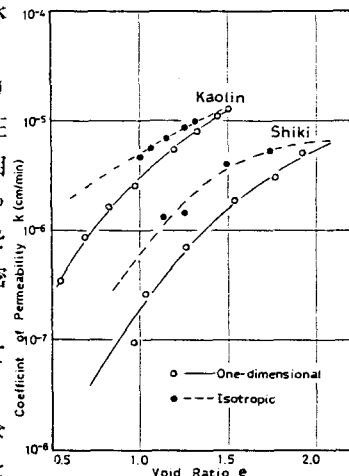


図-1 透水係数と間隙比

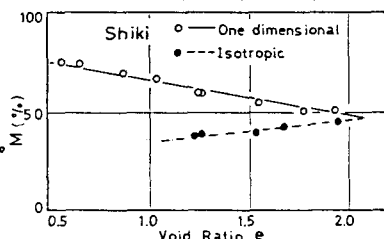


図-2 配向度と透水係数の関係

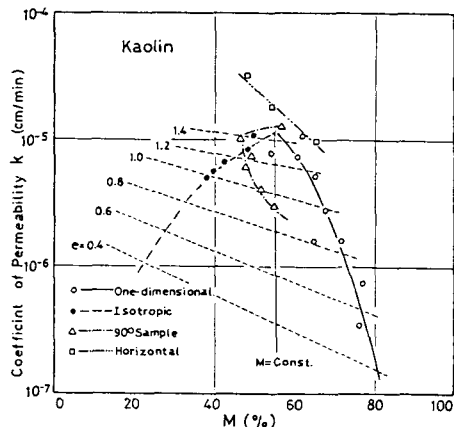
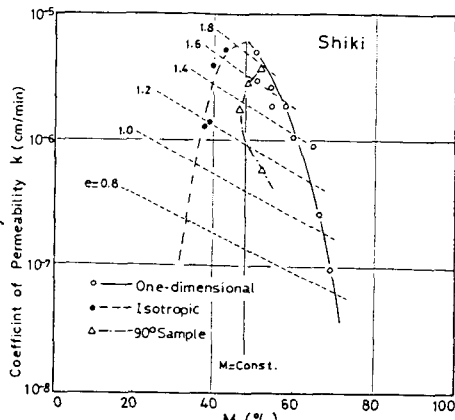


図-3 透水係数と配向度と間隙比の関係

よび間隙比の関係がよく理解でき、配向度が透水係数の一つの要素になっていることは明瞭である。この図にさらに、堆積面と平行な方向(90° Sample)から切り出して圧密試験を行って求めた透水係数と間隙比の関係をプロットしのが△印である。この図から志木、カオリンとも圧密圧力の増加に伴い、配向度は一旦ランダム化し、再び増加していくことがわかる。これは、既に報告した電子顕微鏡写真による90° サンプルの圧密圧力の増加による配向度の変化の様子³⁾とおおむね一致する。また、カオリンについては一次元圧密した供試体の水平方向の透水係数と配向度の関係を口印で示した。水平方向の透水係数は鉛直方向よりも大きいので図の様な位置になる。以上から透水係数と配向度、間隙比の関係を模式的に表わすと図-4のようになる。すなわち、一次元圧密ラインはACBのようにほぼ一本の曲線で表わされ、等方圧密ラインは圧密降伏応力により無数に存在するが、たとえば、点線のCDのようになる。さらに90° サンプルラインは初期の透水係数がやや大きめになり、間隙比の減少とともにEGの曲線で示すような挙動をする。また、一次元圧密の水平方向の透水係数は常に鉛直方向より大きいからEFで示したようになる。そして、間隙比一定ラインは破線のように右下がりの直線になる。

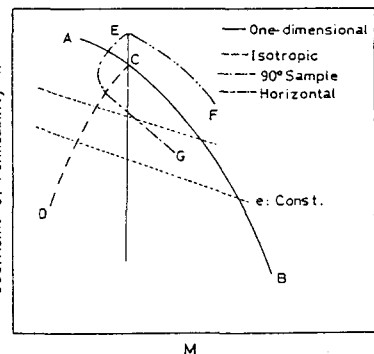


図-4 M、k、eの関係模式図

次に、配向度が一定で間隙比のみが減少した場合は、図-3の $M = \text{Const.}$ の直線になり、間隙比のみの影響が求められる。図-5は、このようにして求めた透水係数と間隙比の関係を示したものであり、当然、等方と一次元の間中に位置する。また、参考のためにTaylorの透水係数式 $k = c(\gamma_w e^3 D_s^2) / \eta(1+e)$ から定数部分を図-1の等方と一次元の曲線の交点から求め、間隙比の変化による透水係数も図に併記した。これより、配向度が一定の前者の式とTaylorの式は、志木粘土では間隙比が小さくなると一致しなくなるが、カオリンでは比較的良好に一致した。圧密圧力による構造変化を考慮していない両者の結果がほぼ一致したことは興味深い。以上の実験結果から、透水係数、間隙比、配向度の関係は $\log k = g(e, M)$ で表わされる。すなわち、図-3より、間隙比一定ライン傾き a と、 $M = 0\%$ の透水係数を間隙比の関数で与えれば、 $\log k = \log k(M=0\%) + aM = g(e, M)$ となる。この式の妥当性を検証するために間隙比、配向度、透水係数が実験から求められていて、志木粘土と粒度組成が比較的に類似の数種類の粘土の

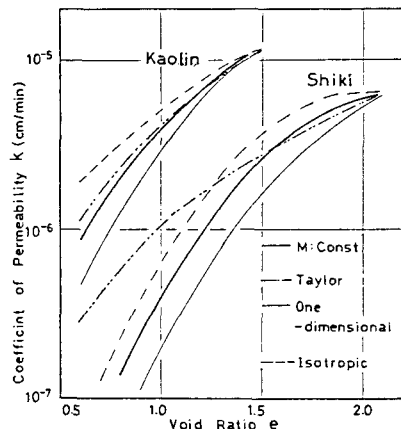


図-5 間隙比と透水係数の関係

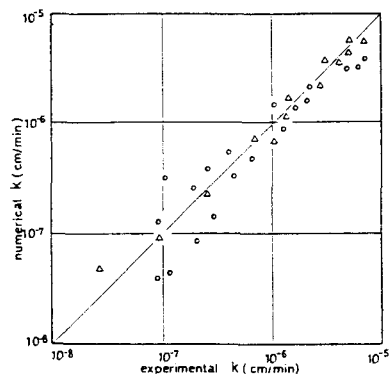


図-6 実測値と計算値の相関

実測値と計算値の透水係数を比較したのが図-6である。図中の△印は前述の解析に用いたデータであるが、それ以外のものでも多少の幅はあるにせよ、良好な対応を示しているといえる。

4. まとめ ①一次元圧密と等方圧密を行った粘土の鉛直方向の透水係数は、間隙比が減少するにつれ、等方は一次元よりも大きくなり、両者の差は広がる。②この違いは、両者の配向度の違いであり、配向性を考慮した透水係数の式を定量的に示し、その結果は他の粘土に適用してもほぼ妥当な結果が得られた。

参考文献 1) 風間：第20回土質工学研究発表会、1985 2) 例えば、風間：18回土質工学研究発表会 p185、1983 3) 風間他：圧密過程における粘土の構造変化、土と基礎、29-3、pp.11-18、1981