

III-420

三次元異方透水性地盤における浸透流

—— 一次元透水試験における一次元拘束流れの適用性 ——

神戸大学 農学部 正会員 ○田中 勉, 豊國永次
神戸市役所 高田泰光

1. まえがき 一般的に地盤は異方透水性を有するものと考えられる。この場合、透水係数はテンソルで表され、種々の興味ある様相を呈する。本研究は、三次元異方透水性地盤における浸透流の基本的性質を明らかにすることを目的とする。ここでは、前報¹⁾で述べた一次元透水試験における一次元拘束流れの適用性について、有限要素法によって数値解析的に詳しく考察する。

2. 一次元透水試験 三次元異方透水性地盤における浸透流に関して、拡張されたダルシー則は、 x, y, z 座標系において、

$$\begin{Bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{xx} & k_{yx} & k_{zx} \\ k_{xy} & k_{yy} & k_{zy} \\ k_{xz} & k_{yz} & k_{zz} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} i_x \\ i_y \\ i_z \end{Bmatrix} = [D] \begin{Bmatrix} i_x \\ i_y \\ i_z \end{Bmatrix} \quad (1)$$

と表される。ここに、 v_x, v_y, v_z : x, y, z 方向の流量流速, i_x, i_y, i_z : x, y, z 方向の動水勾配, $[D]$: 透水係数マトリックスである。

ここでは、 y 方向に切り出した供試体に関して一次元透水試験を行った場合について考える (Fig.1 参照)。前報¹⁾で述べたように、 y 方向に動水勾配 i_y を与えると、 x 、及び、 z 方向に誘導動水勾配 $i_{x\ IND}$ 、及び、 $i_{z\ IND}$ が生じる。これが生じることによって、 x 、及び、 z 方向の流れが発生しないものと考えられる。 $i_{x\ IND}$ 、 $i_{z\ IND}$ 、及び、 y 方向の一次元拘束流の透水係数 $k_{y\ 1DCF}$ は、

$$\frac{i_{x\ IND}}{i_y} = -\frac{k_{zz}k_{yx} - k_{yz}k_{zx}}{k_{xx}k_{zz} - k_{xz}k_{zx}}$$

$$\frac{i_{z\ IND}}{i_y} = -\frac{k_{xx}k_{yz} - k_{yx}k_{xz}}{k_{xx}k_{zz} - k_{xz}k_{zx}}$$

$$k_{y\ 1DCF} = k_{yy} + \begin{bmatrix} \frac{i_{x\ IND}}{i_y} & \frac{i_{z\ IND}}{i_y} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} k_{xy} \\ k_{zy} \end{Bmatrix} \quad (4)$$

と表される。本研究は、一次元透水試験において、

実際に (2)~(4) 式が成り立つかどうかを有限要素法を用いて数値解析的に調べることを目的とする。ここでは、とくに、透水係数の主方向が $(n, r, s)^T$ なる方向にあり (Table 1 参照), $k_{nn} = 0.75 \times 10^{-4} \text{ m/s}$, $k_{rr} = 1.0 \times 10^{-4} \text{ m/s}$, $k_{ss} = 0.5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$, $k_{nr} = k_{rs} = k_{sn} = 0$ の場合について考える。このとき、

$$k_{xx} = 0.625 \times 10^{-4} \text{ m/s} \quad k_{xy} = 0.088388 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$k_{yy} = 0.8125 \times 10^{-4} \text{ m/s} \quad k_{yz} = -0.1875 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$k_{zz} = 0.8125 \times 10^{-4} \text{ m/s} \quad k_{zx} = 0.088388 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$\frac{i_{x\ IND}}{i_y} = -0.17678 \quad \frac{i_{z\ IND}}{i_y} = 0.25$$

$$k_{y\ 1DCF} = 0.750 \times 10^{-4} \text{ m/s} \quad \text{となる。}$$

3. 解析結果 ここでは、試料の幅 D と長さ B の比

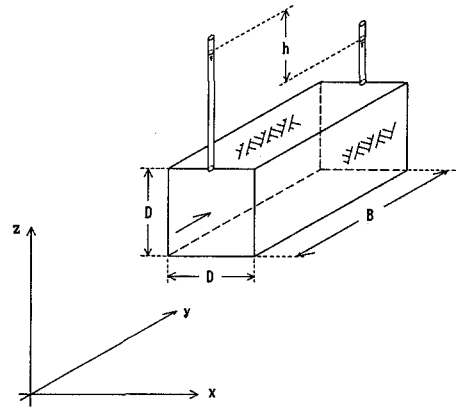


Fig.1 異方透水性土の一次元透水試験

	x	y	z
n	45	60	60
r	90	45	135
s	135	60	60

Table 1 透水係数の主方向の方向余弦 (°)

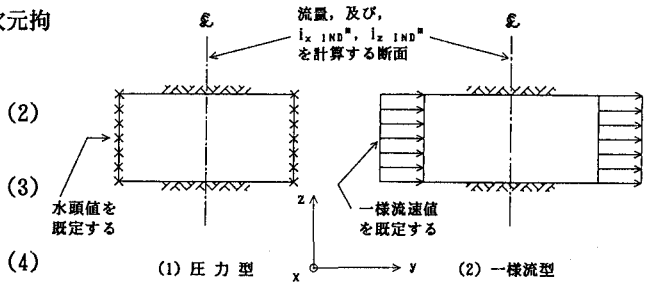


Fig.2 試料へ水を流す条件

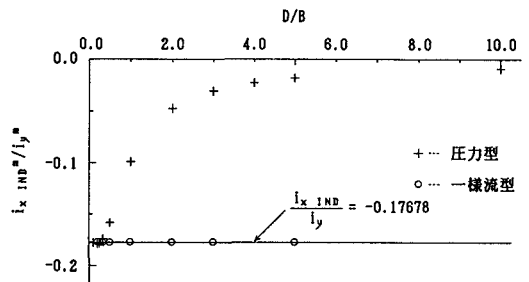


Fig.3 $D/B \sim i_{x\ IND}^n / i_y^n$ の関係

D/B が 0.1~10.0 の値をとる場合について解析を行った。

解析結果は供試体へ水を流す条件, すなわち, (1) 圧力型, 及び, (2) 一樣流型によって全く異なる様相を呈することがわかった。(1) 圧力型とは Fig.2(1) に示すように試料の両端の水頭値を既定する場合であり, (2) 一樣流型とは Fig.2(2) に示すように試料の両端の一樣な流入及び流出流速を既定する場合である。供試体を通れる流量 $Q_{y\ 1DCF}^m$, 及び, x, z 方向の誘導動水勾配 $i_{x\ IND}^m$, $i_{z\ IND}^m$ は供試体中央断面で計算し, y 方向の動水勾配 i_y^m は供試体上部両端における水頭差 h を用いて計算した (Fig.1 において, $i_y^m = h/B$)。また, y 方向の一次元拘束流れの透水係数 $k_{y\ 1DCF}^m$ は,

$$k_{y\ 1DCF}^m = \frac{Q_{y\ 1DCF}^m}{i_y^m D^2} \quad (5)$$

として計算した。

D/B と $i_{x\ IND}^m/i_y^m$, 及び, $i_{z\ IND}^m/i_y^m$ の関係を Figs.3, 4 に, D/B と $k_{y\ 1DCF}^m$ の関係を Fig.5 に示す。Figs.3~5 には, 圧力型と一樣流型の結果を示しているが, これらの図から次のような事柄が結論づけられる。

(1) 圧力型の場合 この場合, (2)~(4) 式で与えられた関係は成り立たず, 一般的に次の事柄が言える。

(i) D/B が小さいとき: D/B が小さくなるにつれて, $i_{x\ IND}^m \rightarrow i_{x\ IND}$, $i_{z\ IND}^m \rightarrow i_{z\ IND}$, $k_{y\ 1DCF}^m \rightarrow k_{y\ 1DCF}$ となる。また, $D/B < 0.30$ ($B/D > 3.3$) のとき $i_{x\ IND}^m$ は $i_{x\ IND}$ を, $D/B < 0.35$ ($B/D > 2.9$) のとき $i_{z\ IND}^m$ は $i_{z\ IND}$ を, $D/B < 0.20$ ($B/D > 4.9$) のとき $k_{y\ 1DCF}^m$ は $k_{y\ 1DCF}$ を約 1% 以内の誤差で近似できる。

(ii) D/B が大きいとき: D/B が大きくなるにつれて, $i_{x\ IND}^m \rightarrow 0$, $i_{z\ IND}^m \rightarrow 0$, $k_{y\ 1DCF}^m \rightarrow k_{yy}$ となる。また, $D/B > 3.8$ ($B/D < 0.26$) のとき, $k_{y\ 1DCF}$ は k_{yy} を約 1% 以内の誤差で近似することができる。

圧力型の条件の場合には, D/B が小さくなるにつれて流れは y 軸方向により拘束され一次元拘束流れに近づく。また, D/B が大きくなるにつれて x, 及び, z 軸方向の動水勾配はなくなり y 軸方向が動水勾配の方向に近づく。このとき, とくに供試体の流断面の中央付近において, 流れの方向は透水係数の主方向に近づき, y 方向は流れの方向とはならない。このような事柄から, (i) の場合を一次元(拘束)流問題 ($v_x=0$, $v_z=0$), (ii) の場合を一次元動水勾配問題 ($i_x=0$, $i_z=0$) と名づけることができる。

(2) 一樣流型の場合 一樣流型の場合, D/B の大きにかかわらず(2)~(4)式で与えられた関係が成り立つ。

4. 考察 このようにして, (2)~(4) 式で与えられた関係は一樣流型の条件に対して成立するものであり, 一樣流型の実験を行えば問題がないことがわかる。しかしながら, 一樣流型の実験を行うのは非常に困難であり, 実験は一般的に圧力型の条件となるものと考えられる。圧力型の実験においては, 水の流れが前述したように一次元拘束流の状態からはずれ, この状態をより正確に作り出すためには, ① D/B を小さくする (B/D を大きくする: 本例の場合には B/D を 4.9 程度以上にする), ② 試料中央の例えば 80%とか 60%の部分を考える, ③ 試料の両側に一樣流の条件を与える フィルター を設置することなどが必要であると考えられる。今後, これらの事柄について考察を行ってゆく予定である。

引用文献 1) 田中 勉, 豊國永次 (1990): 平成2年度 農業土木学会 大会講演会 講演要旨集

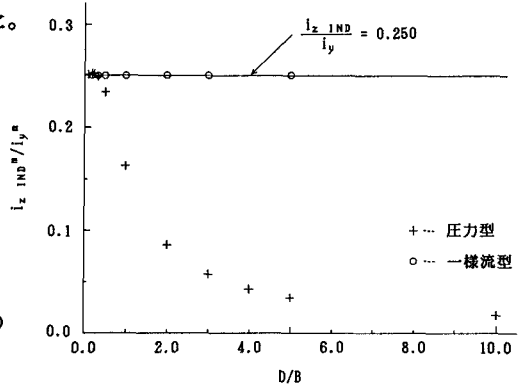


Fig.4 D/B~ $i_{z\ IND}^m/i_y^m$ の関係

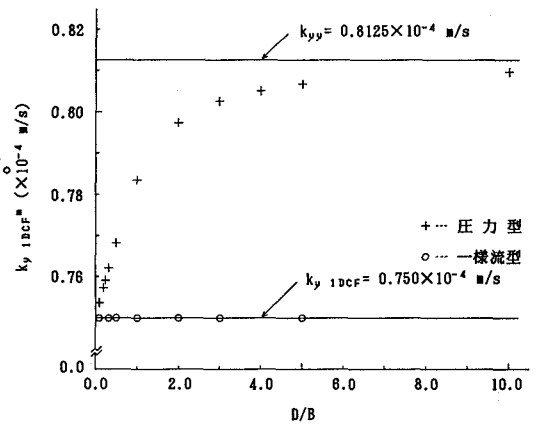


Fig.5 D/B~ $k_{y\ 1DCF}^m$ の関係