

止水壁が浸透力に及ぼす影響について (1)

—透水性地盤が等方性の場合—

中崎 昭人・篠 和夫

(農学部構築工学研究室)

On the Effect of a Sheetpile for Seepage Force (1)

—The Case of Permeable Layer Being Homogeneous—

Akito NAKAZAKI and Kazuo SHINO

Laboratory of Construction Engineering, Faculty of Agriculture

Abstract: This paper discusses the seepage force that occurs under the percolating flow of a dam-sheetpile system built on a permeable layer. A sheetpile is set on the end of upstream side of dam. Finite element method is used for the above confined flow problem. Variables used are dam width W , depth of permeable layer T and depth of sheetpile D . Distribution of seepage force and effective length of percolating path are obtained and effect of the sheetpile on suppressing seepage force is discussed.

Results obtained are as follows; Deeper the sheetpile, smaller the seepage force near the end of downstream side of dam is but larger the seepage force near the end of sheetpile is. Above effect, that is, suppressing seepage force near the end of downstream side of dam, is proportional to D/W in the region of T/W being 1.0~1.5. Further, effective length of percolating path is obtained as following equation that is described as function of T/W and D/T .

$$ELPP = \left\{ \left(-0.30 + 1.37 \cdot \frac{T}{W} \right) \left(\frac{D}{T} \right)^{1.40} + 1.00 \right\} W$$

I. 緒 言

透水性地盤上に築造された取水ダム下の浸透流量を抑制し、また浸透水によるパイピングを防止するために止水壁を設けることが行われている。

パイピングの防止のために必要な浸透路の長さは、Bligh や Lane の方法によって求められており、これらによって得られた値以上の浸透路の長さを確保するため、下流側エプロンによる水平浸透路長と止水壁による鉛直浸透路長とが考慮されている¹⁾。このとき、止水壁による浸透路の長さは、止水壁に沿う長さ、すなわち止水壁の深さの2倍にとるのが一般である。したがって、止水壁を設けた場合の浸透路の長さは、堰体と下流側エプロン及び止水壁に沿う長さを考慮することになっている。

しかしながら、パイピングは、地盤内の浸透水による浸透力によって土粒子が動かされ、地盤内に水孔を作り、やがては基礎の破壊に至る現象である。したがって、パイピングには浸透力が重要な役割をもつものである。

したがって、ここでは取水ダム上流端に止水壁を設けた場合、取水ダム底面幅に対する透水性地盤の深さ、透水性地盤の深さに対する止水壁の深さによって、取水ダム下流端付近における浸透力がどのように変化するかを有限要素法によって求め、止水壁の深さが浸透力に及ぼす影響から、取水ダム下のパイピングの防止に対する止水壁の効果を明らかにして、取水ダムの合理的設計のため

の一助にしようとするものである。

II. 浸透力

浸透層内の任意の位置にある土の単位体積中の土粒子に作用する力について、次の3力が考えられる²⁾。

(1) 土粒子実質部分の乾燥重量, F_1

$$F_1 = -(1-n)r_s \cdot k$$

ここに, n : 間隙率, r_s : 土粒子実質部分の単位体積重量, k : z 軸方向の単位ベクトル (鉛直上向きを正)。

ここで

$$k = \text{grad } z$$

であるから

$$F_1 = -(1-n)r_s \text{ grad } z \dots\dots\dots(1)$$

となる。

(2) 土粒子に作用する水圧, F_2

$dx \cdot dy \cdot dz$ の土粒子に作用する水圧の様子を Fig. 1 に示す。

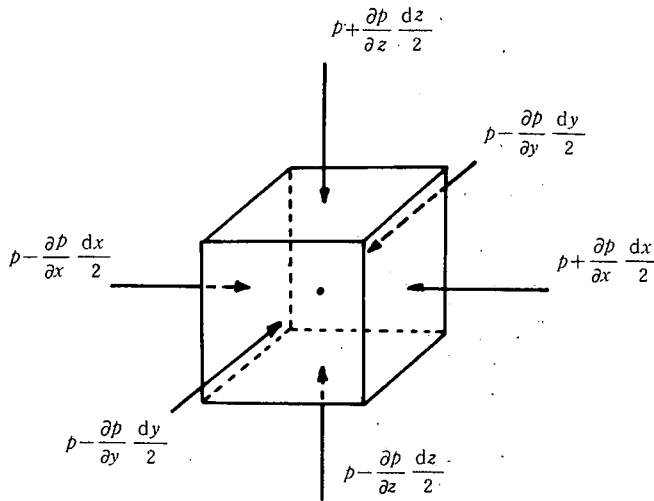


Fig. 1 水圧の作用図

x 軸方向の水圧差は

$$\left(p - \frac{\partial p}{\partial x} \frac{dx}{2} \right) dydz - \left(p + \frac{\partial p}{\partial x} \frac{dx}{2} \right) dydz = -\frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz$$

ここに, p : 間隙水の水圧
 となる. 同様に y 及び z 軸方向の水圧差はそれぞれ次のようになる.

$$-\frac{\partial p}{\partial y} dx dy dz, \quad \frac{\partial p}{\partial z} dx dy dz$$

したがって, $dx \cdot dy \cdot dz$ の体積の受ける水圧をベクトル表示すると

$$-\left(\frac{\partial p}{\partial x} i + \frac{\partial p}{\partial y} j + \frac{\partial p}{\partial z} k \right) dx dy dz$$

ここに, i, j : x 及び y 軸方向の単位ベクトル
 であるから, 土の単位体積に含まれる土粒子の受ける水圧は次のようである.

$$-\left(\frac{\partial p}{\partial x} i + \frac{\partial p}{\partial y} j + \frac{\partial p}{\partial z} k \right) (1-n)$$

即ち, 土粒子に作用する水圧 F_2 は

$$F_2 = -(1-n) \left(\frac{\partial p}{\partial x} i + \frac{\partial p}{\partial y} j + \frac{\partial p}{\partial z} k \right)$$

となり,

$$F_2 = -(1-n) \text{grad } p \dots\dots\dots(2)$$

と表わされる.

(3) 浸透流が土粒子に作用する力, F_3

一般に, 浸透速度が小さく, また間隙水を非圧縮性とすると, Navier-Stokes の運動方程式は次のようである.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \nabla^2 u \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \nabla^2 v \\ \frac{\partial w}{\partial t} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \nabla^2 w - g \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

ここに, u, v, w : 間隙中を流動する浸透水の x, y 及び z 軸方向の真の流速, ρ : 間隙水の密度, g : 重力の加速度, ν : 動粘性係数.

(3)式を次のように書き改める.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + f_x \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + f_y \\ \frac{\partial w}{\partial t} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + f_z - g \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

(3)式と(4)式との対応から、 f_x, f_y, f_z は間隙水に作用する粘性摩擦を表わすことになるが、一般に浸透速度が小さく、間隙水相互の内部摩擦は非常に小さいと考えられるので、これらは主として間隙水と土粒子の間の摩擦と考えてよいことになる。

ところで

$$H = \frac{p}{r_w} + z$$

であるから、Darcy の法則により

$$v_x = -k_x \frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{k_x}{r_w} \frac{\partial p}{\partial x}$$

同様に

$$\left. \begin{aligned} \therefore \frac{\partial p}{\partial x} &= -\frac{r_w}{k_x} v_x \\ \frac{\partial p}{\partial y} &= -\frac{r_w}{k_y} v_y \\ \frac{\partial p}{\partial z} &= -\frac{r_w}{k_z} v_z - r_w \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

となる。ここに、 H : 全水頭、 v_x, v_y, v_z : x, y 及び z 軸方向の見掛けの流速、 k_x, k_y, k_z : x, y 及び z 軸方向の透水係数、 $r_w : \rho g$ 。

通常の浸透流では、(4)式の左辺の慣性項は極微小量であるので、これを無視すると

$$\begin{aligned} f_x &= \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \\ f_y &= \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \\ f_z &= \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + g \end{aligned}$$

となり、これに(5)式を代入すると

$$\left. \begin{aligned} f_x &= -\frac{g}{k_x} v_x = g \frac{\partial H}{\partial x} \\ f_y &= -\frac{g}{k_y} v_y = g \frac{\partial H}{\partial y} \\ f_z &= -\frac{g}{k_z} v_z = g \frac{\partial H}{\partial z} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

となる。これは単位質量当たりの間隙水が土粒子から受ける力である。したがって、土の単位体積に含まれる間隙水が土粒子から受ける抵抗力は、間隙水の質量が $n\rho$ であるから、(6)式に $n\rho$ を乗じたものである。これを f_{nx} , f_{ny} , f_{nz} で表わすと

$$\left. \begin{aligned} f_{nx} &= n\tau_w \frac{\partial H}{\partial x} \\ f_{ny} &= n\tau_w \frac{\partial H}{\partial y} \\ f_{nz} &= n\tau_w \frac{\partial H}{\partial z} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

となる。

逆に、土の単位体積に含まれる土粒子は、反作用として(7)式に逆符号を付した力を間隙水から受けることになる。これらを F_{3x} , F_{3y} , F_{3z} としてベクトル表示すると

$$\begin{aligned} F_{3x} &= -n\tau_w \frac{\partial H}{\partial x} i \\ F_{3y} &= -n\tau_w \frac{\partial H}{\partial y} j \\ F_{3z} &= -n\tau_w \frac{\partial H}{\partial z} k \end{aligned}$$

となり、したがって F_3 は次のようになる。

$$F_3 = -n\tau_w \text{grad } H \dots\dots\dots (8)$$

以上の(1); (2)及び(8)式に示される3つの力の合力をFとすると

$$\begin{aligned} F &= F_1 + F_2 + F_3 \\ &= -(1-n)\tau_s \text{grad } z - (1-n)\text{grad } p - n\tau_w \text{grad } H \end{aligned}$$

となり、これを整理すると

$$F = -\tau_w \text{grad } H - r' \text{grad } z \dots\dots\dots (9)$$

となる。ここに $r' = (1-n) \cdot (\tau_s - \tau_w)$: 土の水中単位体積重量。

(9)式の右辺第1項は浸透流が単位体積の浸透層に作用する力であって、これを浸透力といっている。第2項は土の水中単位体積重量である。

なお、(9)式を2次元平面について考えることにし、 x を水平方向、 y は鉛直上方を正にとると、(9)式は次のように書き改められる。

$$\begin{aligned} F &= -r_w \text{grad } H - r' \text{grad } y \\ &= -r_w \left(\frac{\partial H}{\partial x} i + \frac{\partial H}{\partial y} j \right) - r' j \end{aligned}$$

Ⅲ. 計算モデル

Fig. 2 に示すように、取水ダム底面幅を W 、透水性地盤の深さを T 、止水壁の深さを D とするとき、 T/W が1.0, 1.5, 2.0, 2.5及び3.0のそれぞれの場合について、 $D/T \cdot T/W = D/W$ を0.0から0.2間隔で深くしたときの総計49通りについて、透水性地盤内における水平及び鉛直方向の浸透力の分布状況を求めた。このとき、有限要素法によって数値解析を行うためには透水性地盤を有限の領域にする必要がある。いまの場合、 T/W を先の5通りとし、各 T/W について D/T を0.0, 0.4及び0.8の3通りにとり、それぞれの場合について L/T を0.5から4.0まで0.25間隔にとって、取水ダム下の浸透流量及び取水ダム近傍の浸透力の分布状況を求めたが、これらは L/T が2.0~2.5程度以上ではほぼ一定になることがわかった。また、 T/W が増加するにつれて、これらが一定になる L/T の値は、やや減少する傾向がみられた。したがって、ここでは L/T を2.5にとって解析のための領域を定め、要素分割を行うことにした。要素分割は、止水壁先端及び取水ダム下流端付近の要素が細くなるようにし、要素の最小辺長を $0.05 W$ とした。なお、透水性地盤は等方性とした。

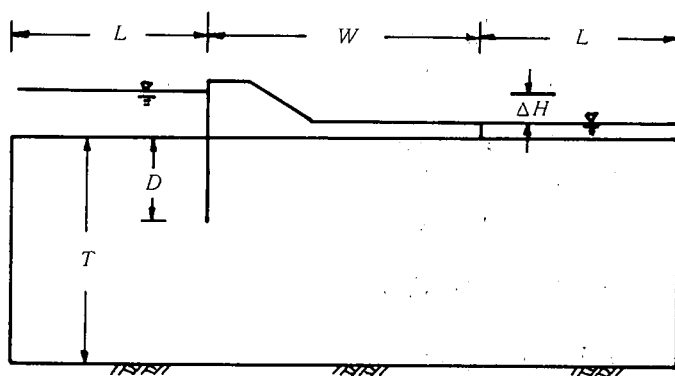


Fig. 2 計算モデル

Ⅳ. 計算結果とその考察

1. 浸透力の分布状況

透水性地盤の深さ T/W が1.0, 2.0及び3.0のそれぞれの場合について、止水壁の深さ D/T を

0.0 から 0.2 間隔で止水壁を深くしたときの x 及び y 方向の正 (x は水平下流向き, y は鉛直上方) の浸透力の分布状況を求めたが, ここではその中の 1 例として, Fig. 3 (1)~(4) 及び Fig. 4 (1)~(4) に, T/W が 1.0 で D/T が 0.0, 0.2, 0.4 及び 0.6 の場合の x 及び y 方向の浸透力の分布状況図を示す. なお, 浸透力 (SF: seepage force) の値は, $\Delta H/W=1.0$ として求めた値を r_w で除した無次元量で表わした.

Fig. 3 の x 方向の浸透力の分布状況図は, 浸透力の大きさの 0.5 間隔に, Fig. 4 の y 方向は 0.25 間隔のコンターで描いた.

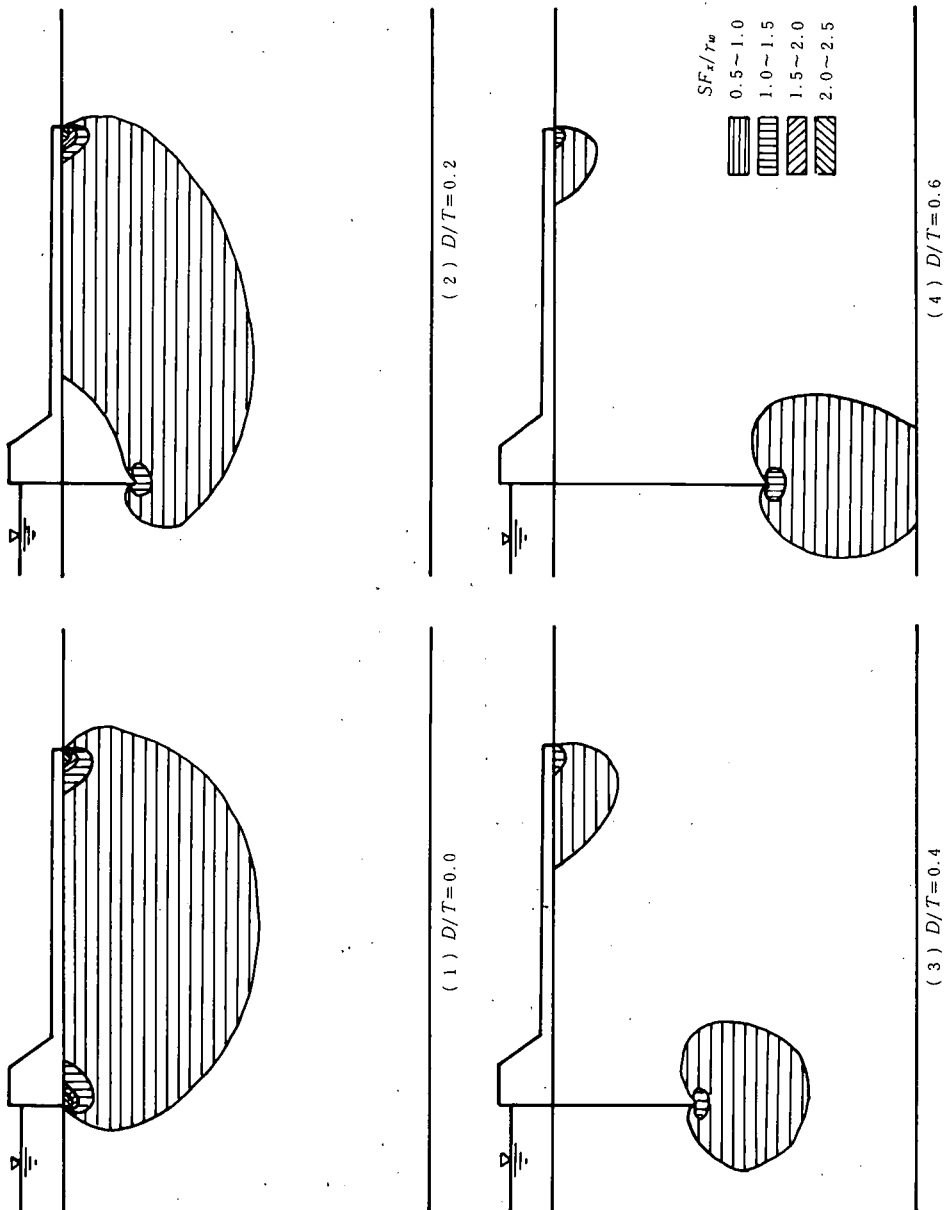


Fig. 3 x 方向に正の浸透力 (SF_x/r_w) の分布, $\Delta H/W=1.0$, $T/W=1.0$

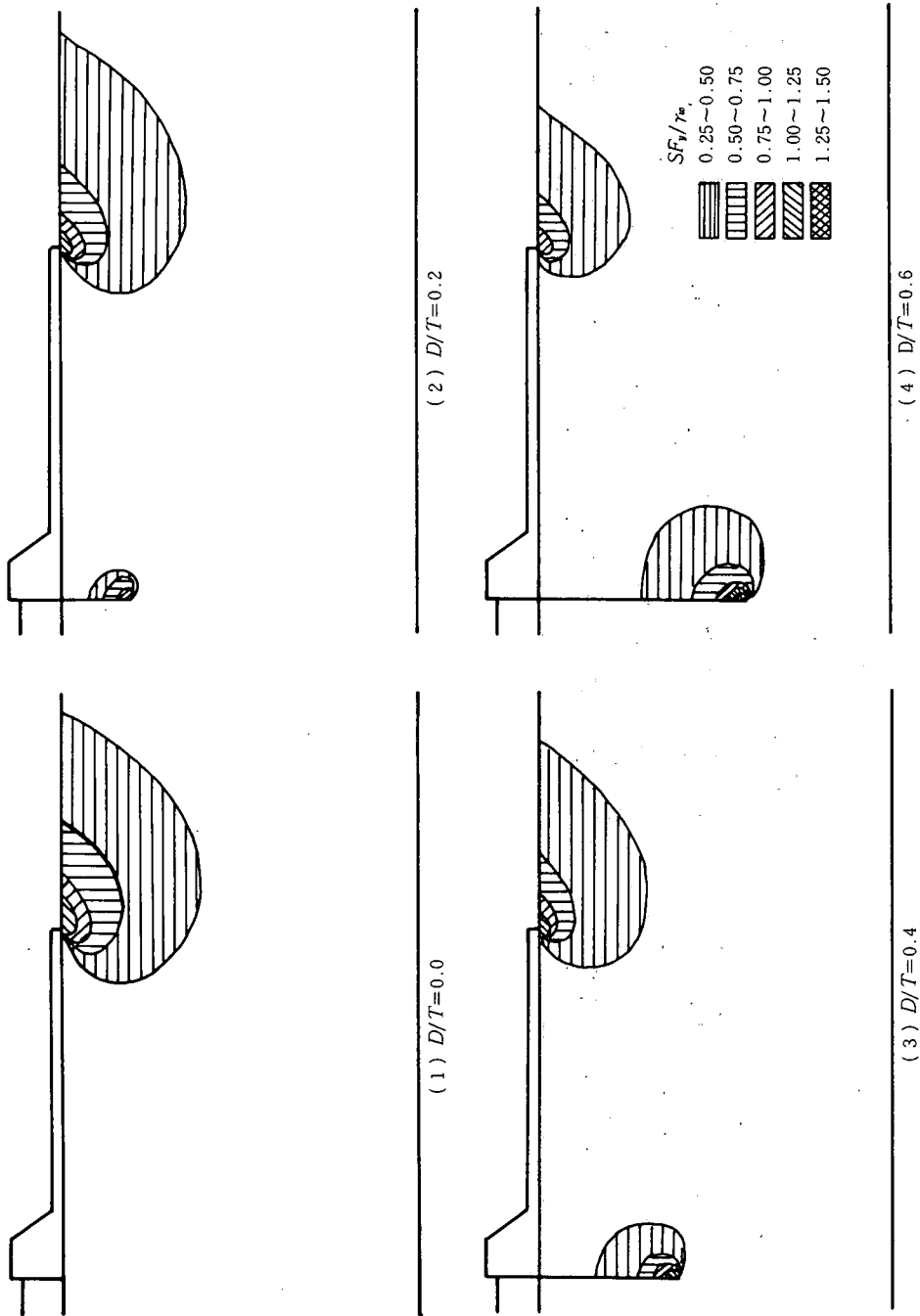


Fig. 4 y 方向に正の浸透力 (SF_y/r_w) の分布, $\Delta H/W=1.0$, $T/W=1.0$

(1) x 方向に正の浸透力の分布状況

Fig. 3 (1)~(4)にみられるように、取水ダム下流端付近の浸透力は、止水壁の効果が顕著に現われ、 D/T の増大につれて減少し、同一値のコンターに囲まれる面積が小さくなる傾向が認められる。

また、Fig. 3 では、止水壁先端付近の浸透力は D/T の増大につれて僅かではあるが増加の傾向が認められる。しかしながら、ここでは示さなかったが、 T/W が 2.0, 3.0 と透水性地盤の深さが比較的深くなると、Fig. 3 の場合と異なって、止水壁先端付近の浸透力は D/T の増大につれて僅かではあるが減少する傾向が認められた。

(2) y 方向に正の浸透力の分布状況

取水ダム下流端付近における鉛直上向きの浸透力は、地盤に空洞を作り基礎を破壊し、ひいては取水ダムの崩壊の原因となる、いわゆるパイピングに最も影響を及ぼすものであると考えられる。

Fig. 4 (1)~(4)にみられるように、取水ダム下流端付近の浸透力は、 D/T の増大につれて減少し、同一値のコンターに囲まれる面積が小さくなっているのが認められる。また、ここでは示さなかったが、当然のことではあるが、 T/W が大きいほど、 D/T の増大による取水ダム下流端付近の浸透力の減少の度合いが大きくなった。

しかしながら、いずれの T/W の場合とも、止水壁先端付近の浸透力は、取水ダム下流端付近とは逆に、 D/T の増大につれて大きくなる傾向が認められた。

2. 取水ダム下流端付近の浸透力

透水性地盤の深さ T/W を 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 及び 3.0 に変化させ、それぞれの場合について止水壁の深さ D/W を 0.0 から 0.2 間隔で深くしたときの、 T/W , D/T と取水ダム下流端付近の浸透力との関係を求めたが、そのうち T/W が 1.0, 2.0 及び 3.0 の場合についての関係図を Fig. 5 (1)~(3)に示す。

なお、図中における SF_x , SF_y は、有限要素法によって、各要素の重心の位置で求められた x 及び y 方向の浸透力のうち、取水ダム下流端付近で最大の値を、また $SF_x^{(av)}$, $SF_y^{(av)}$ は SF_x , SF_y の生じた要素に接し、 x 及び y 方向の浸透力の比較的大きかった 4 要素の平均の浸透力を示すが、それらの要素の位置を Fig. 6 に示す。

Fig. 5 (1)~(3)から明らかなように、いずれの T/W においても D/T の増大につれて、 SF_x , SF_y , $SF_x^{(av)}$ 及び $SF_y^{(av)}$ はほぼ同じ傾向で小さくなり、またそれらは、 $SF_y^{(av)}$, $SF_x^{(av)}$, SF_y , SF_x の順に大きいことが認められる。

また、止水壁が取水ダム下流端付近の浸透力を抑制する効果をみると、 T/W が 1.0 のように透水性地盤の深さが比較的浅い場合は、 D/T の増大につれて浸透力がほぼ直線的に小さくなる傾向がみられるが、 T/W が 2.0, 3.0 と透水性地盤の深さが次第に深くなると、 D/T が小さいときに浸透力の抑制効果が大きく、 T/W が 2.0 では、 D/T が 0.6 程度より大きく、 T/W が 3.0 では D/T が 0.4 程度より大きくなると、 D/T が 0.95 程度以下において、止水壁が浸透力を抑制する効果は小さくなることが認められる。

さらに、ここで 1 例として、 T/W をパラメータとして、 D/W による浸透力 ($SF_y^{(av)}$) の変化の様子を図に示すと Fig. 7 のようになる。

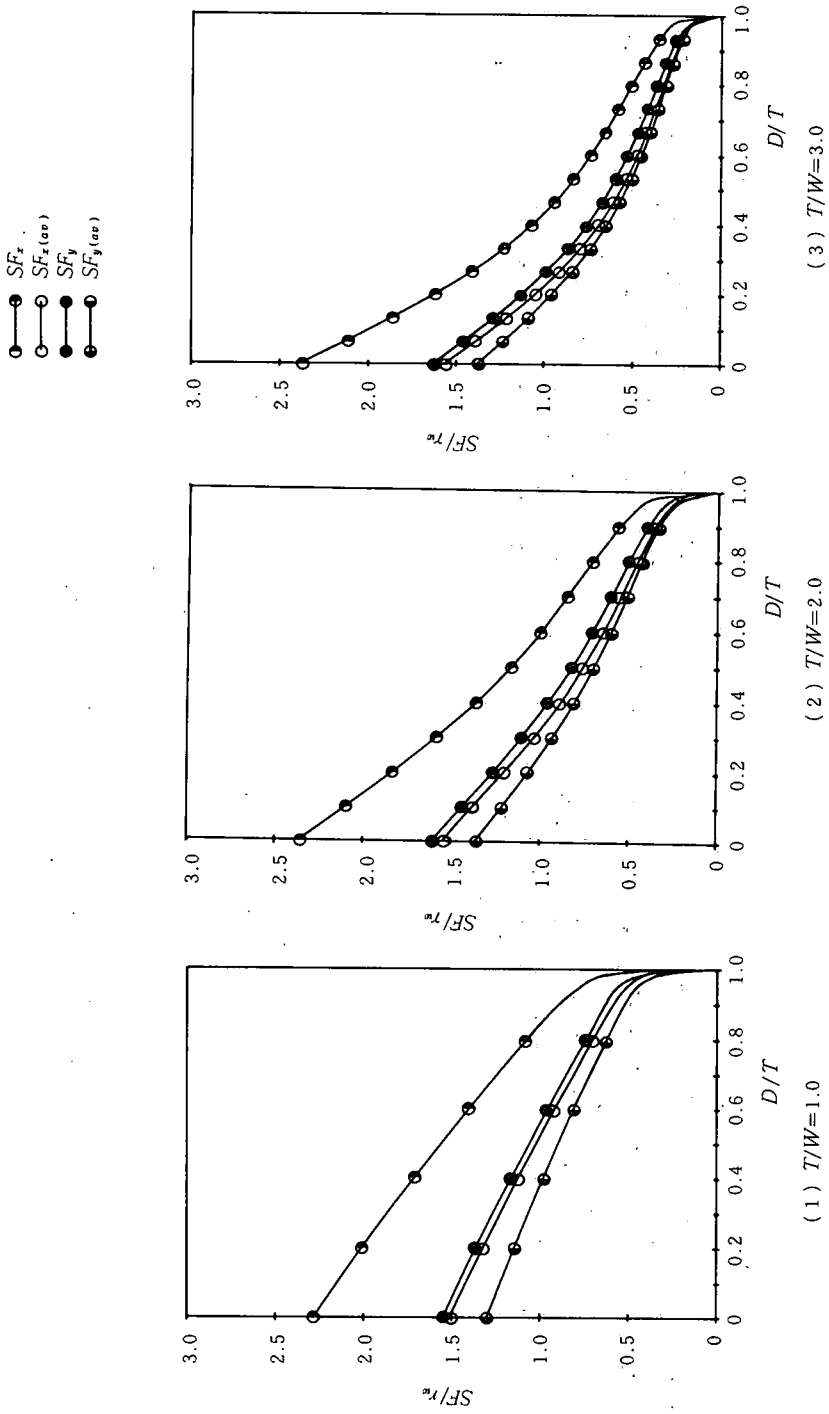


Fig. 5 SF/r_w と D/T との関係, $\Delta H/W=1.0$.

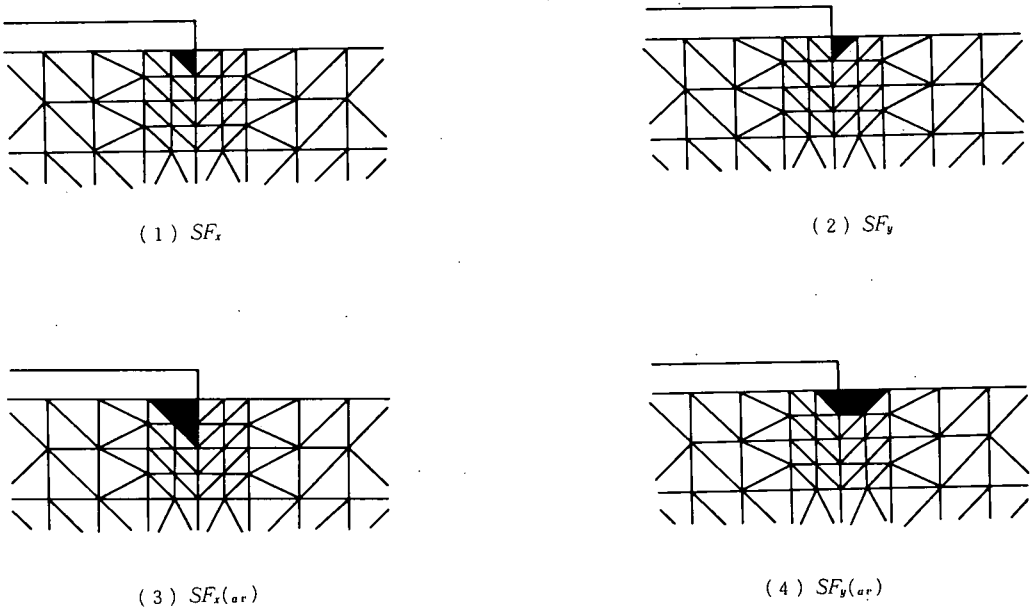


Fig. 6 $SF_x, SF_y, SF_{x(ar)}, SF_{y(ar)}$ の要素の位置

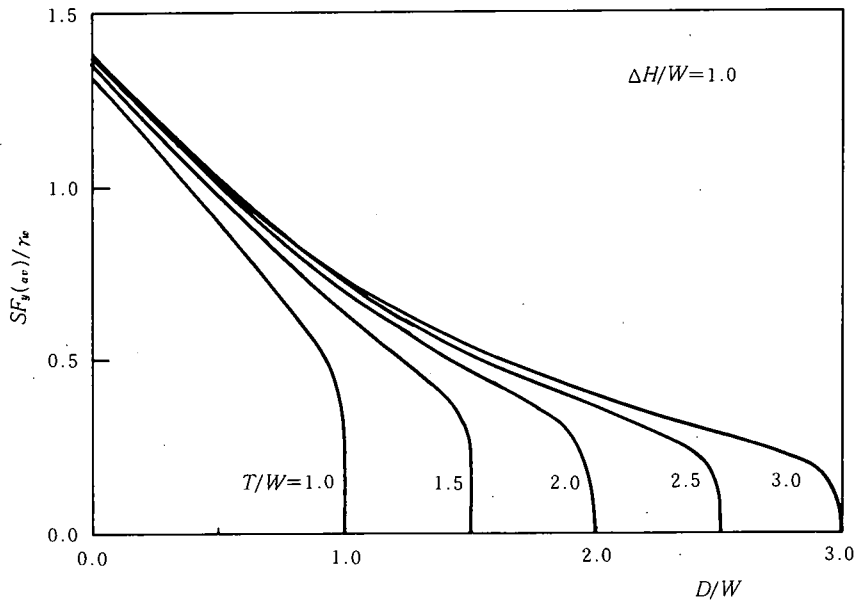


Fig. 7 T/W による $SF_{y(ar)}/\gamma_w$ と D/W との関係

これから、 T/W が比較的大きく2.0程度以上になると、止水壁の取水ダム下流端付近の浸透力抑制効果は、 D/W が1.0程度までは止水壁の深さが深くなるにつれてほぼ直線的に小さくなるが、それを越えると次第にその効果の減少の程度は小さくなる。

また、同じ止水壁の深さであるならば、透水性地盤の深さが浅いほど、止水壁による浸透力抑制効果が大きいことなどが認められる。

3. 有効浸透路長とショートパス長

透水性地盤上に取水ダムを築造した場合、前述のように浸透力によるパイピングが大きな問題になる。浸透力は取水ダムの底面幅、止水壁の深さ及び透水性地盤の深さに影響されることがわかった。

したがって、ここでは浸透力が抑制されたことは、それだけ浸透路長が長くなったためであると考えた。

この浸透路長は、止水壁を設けない場合の取水ダム下流端付近の浸透力を止水壁を設けた場合の同位置の浸透力で除して得られる値を、止水壁を設けないときの浸透路長に乗じた長さである。この浸透路長を有効浸透路長 (ELPP: effective length of percolation path) と呼ぶことにする。

また、浸透水は透水性地盤中の最短距離を流れるという仮定に基づいたショートパス (short path) の方法がある。ショートパスの方法による浸透路長 (SPL: short path length) は、Fig. 8 に示すように、

$$SPL = D + \sqrt{D^2 + W^2}$$

で表わされる。

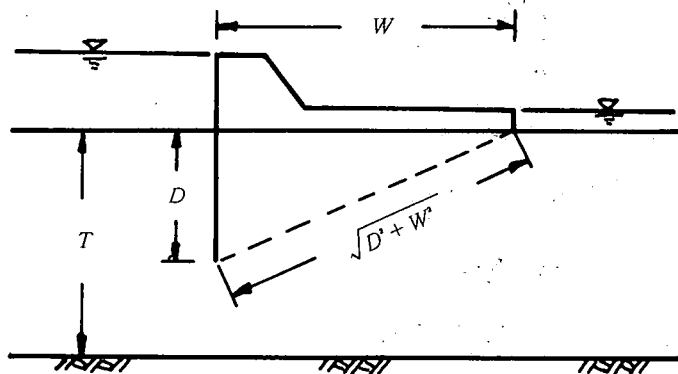


Fig. 8 ショートパス

さて、 T/W , D/T を変化させて求めた SF_x , SF_y , $SF_{x(av)}$, $SF_{y(av)}$ のそれぞれについて上記の計算を行い、有効浸透路長を求めたが、いずれの T/W , D/T の場合においても $SF_{x(av)}$ による有効浸透路長が最も長く、 $SF_{y(av)}$ によるのが最も短かった。

したがって、各 T/W における $ELPP(SF_{x(av)})$, $ELPP(SF_{y(av)})$ と D/T との関係性を求めたが、ここでは T/W が1.0, 2.0及び3.0の場合を Fig. 9 (1)~(3)に示す。なお、図中には、そのときの D/T と SPL との関係性も示してある。

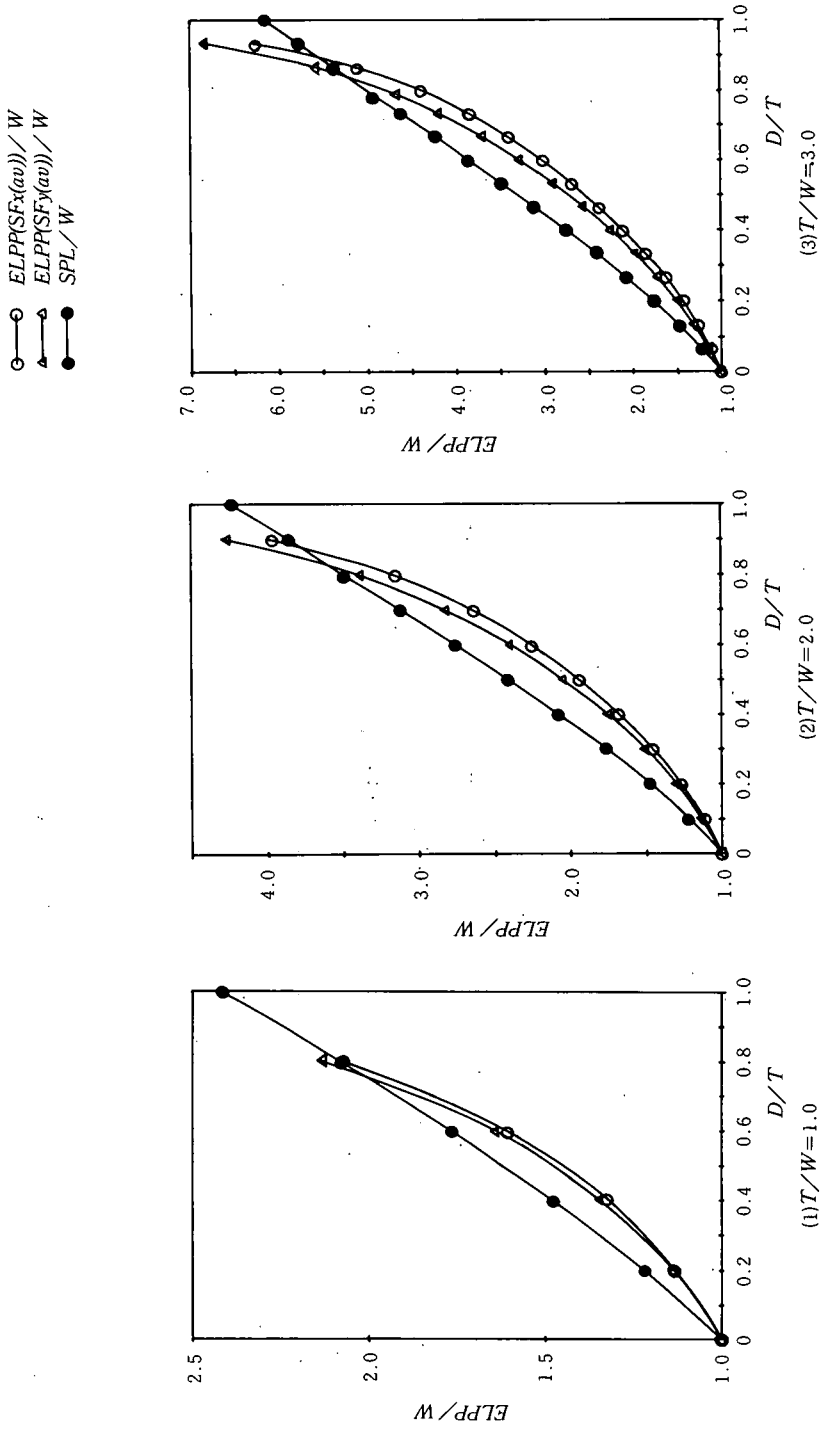


Fig. 9 $ELPP$ と D/T との関係

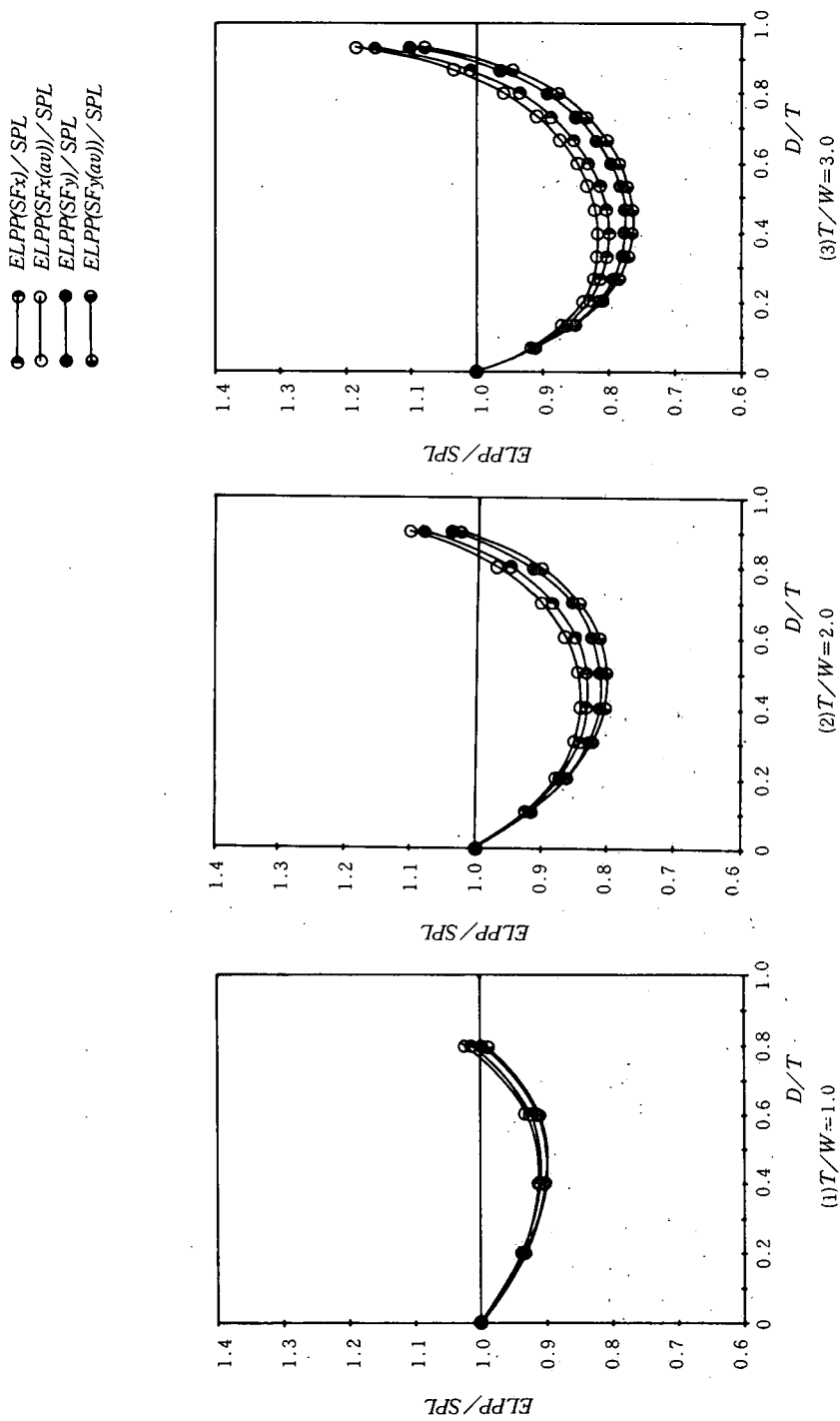


Fig. 10 $ELPP/SPL$ と D/T との関係

これらの図から、いずれの T/W においても、 $ELPP$ と D/T との関係は指数関数的であり、 D/T の増大につれて大きくなる傾向がみられる。

また、 D/T が小さいときは $ELPP$ の方が SPL より小さく、 D/T が0.8前後より大きくなると $ELPP$ の方が SPL より大きくなっているが、その境界の D/T の値は T/W の増大につれて大きくなる傾向がみられる。

さらに、 T/W が1.0, 2.0及び3.0のときの、 $ELPP$ と SPL との比と D/T との関係を Fig. 10 (1)~(3)に示す。

これらの図から、各 T/W における $ELPP/SPL$ と D/T との関係をみると、前述のように T/W によって多少異なるが、 D/T が0.8~0.9程度までは $ELPP$ の方が SPL より短く、 D/T が0.45程度のときにその比が最も小さくなり、 T/W が増大するにつれてその比が減少する傾向が認められる。

また、4通りの浸透力に対する有効浸透路長のうちでは、いずれの T/W の場合においても $ELPP$ ($SF_y(av)$) が最も短くなったので、安全側に考えて、ここでは、この $SF_y(av)$ によって求めた値を有効浸透路長 ($ELPP$) とする。

この有効浸透路長は、Fig. 9 にみられるように T/W , D/T によって異なるものである。したがって、これを T/W と D/T の関数として表わす式を示すことはパイピング現象を抑制するための設計資料として有効であると考えられる。

このようなことから、次のような式を求めた。

$$ELPP = \{(-0.30 + 1.37 \cdot \frac{T}{W}) (\frac{D}{T})^{1.40} + 1.00\} W \dots\dots\dots (10)$$

この式によって計算された値と先の $SF_y(av)$ によって求めた有効浸透路長の値を Table 1 に示す。

なお、表中における誤差は、 $ELPP$ ($SF_y(av)$) から式(10)によって求めた $ELPP$ を引き、これを $ELPP$ ($SF_y(av)$) で除した値である。

この表より、いずれの T/W においても浸透力 ($SF_y(av)$) によって求めた有効浸透路長と式(10)で求めた有効浸透路長とでは後者による方が短くなるが、その差は D/T が0.4までの範囲内では3%程度以内で、 D/T が0.4以上になると D/T の増大につれてその差も次第に増大し、 D/T が0.8程度にもなると11~14%にまでなる。しかしながら、いずれの場合においても両者の差は安全側であって、 D/T が0.6程度まではその差が5.6%以内であり、 T/W が1.0~3.0の計算範囲では十分実用的に適用できるものと思われる。

V. 結 言

透水性地盤上に取水ダムを築造する場合、浸透流量を抑制しパイピングを防止する目的で、止水壁を設けることが行われている。

ここでは、底面幅 W の取水ダムの上流端に止水壁を設けた場合、透水性地盤の深さ T 及び止水壁の深さ D の変化に伴う浸透力を有限要素法によって数値解析し、浸透力の分布状況、有効浸透路長 ($ELPP$) などを求めて、止水壁の浸透力抑制効果について考察を行った。その結果として、次のことが明らかになった。

1) 止水壁の深さによる浸透力抑制効果は、取水ダム下流端付近では十分な効果がみられるが、止水壁先端付近では鉛直上向きの浸透力が大きくなる傾向がある。

Table 1. T/W と D/T による $SF_y (av)$ と式 (10) によって求めた有効浸透路長

T/W	D/T	ELPP/W		Error (%)	T/W	D/T	ELPP/W		Error (%)	
		$SF_y (av)$	Eq. (10)				$SF_y (av)$	Eq. (10)		
1.0	0.00	1.00	1.00	0.00	2.5	0.16	1.26	1.24	1.59	
	0.20	1.14	1.11	2.63		0.24	1.44	1.42	1.39	
	0.40	1.33	1.30	2.26		0.32	1.65	1.63	1.21	
	0.60	1.61	1.52	5.59		0.40	1.89	1.87	1.06	
	0.80	2.07	1.78	14.01		0.48	2.15	2.12	1.40	
1.5	0.00	1.00	1.00	0.00		0.56	2.46	2.39	2.85	
	0.13	1.12	1.10	1.79		0.64	2.82	2.67	5.32	
	0.27	1.28	1.28	0.00		0.72	3.24	2.97	8.33	
	0.40	1.49	1.49	0.00		0.80	3.77	3.29	12.73	
	0.53	1.75	1.72	1.71		0.88	4.50	3.61	19.78	
	0.67	2.09	2.00	4.31		3.0	0.00	1.00	1.00	0.00
	0.80	2.58	2.28	11.63			0.07	1.11	1.09	1.80
2.0	0.00	1.00	1.00	0.00			0.13	1.26	1.22	3.17
	0.10	1.12	1.10	1.79			0.20	1.43	1.40	2.10
	0.20	1.27	1.26	0.79			0.27	1.63	1.61	1.23
	0.30	1.45	1.45	0.00	0.33		1.86	1.81	2.69	
	0.40	1.68	1.68	0.00	0.40		2.11	2.06	2.37	
	0.50	1.94	1.92	1.03	0.47	2.39	2.32	2.93		
	0.60	2.26	2.19	3.10	0.53	2.69	2.57	4.46		
	0.70	2.64	2.48	6.06	0.60	3.03	2.86	5.61		
	0.80	3.16	2.79	11.71	0.67	3.41	3.17	7.04		
	0.90	3.97	3.11	21.66	0.73	3.85	3.45	10.39		
2.5	0.00	1.00	1.00	0.00	0.80	4.39	3.79	13.67		
	0.08	1.11	1.09	1.80	0.87	5.11	4.14	18.98		
					0.93	6.25	4.44	28.96		

2) 止水壁の深さによる取水ダム下流端付近の浸透力の抑制効果は、 T/W が1.0~1.5程度の透水性地盤が比較的浅い場合にはほぼ D/W に比例して効果があるが、 T/W が2.0~3.0と比較的深くなると D/W が1.0程度までは止水壁の深さに比例して効果があるが、1.0程度より大きくなるにつれてその効果は小さくなる。

3) 止水壁を設けることによって、取水ダム下流端付近の浸透力が小さくなるのは、浸透路長がそれだけ長くなったためであると考え、有効浸透路長 (ELPP) という概念を導入した。この有効浸透路長を T/W 、 D/T の関数として表わすことを試み、次の式を得た。

$$ELPP = \{(-0.30 + 1.37 \cdot \frac{T}{W}) (\frac{D}{T})^{1.40} + 1.00\} W$$

この式によって求められた有効浸透路長は、有限要素法によって求めた浸透力による有効浸透路長に比して短くなるがこれは安全側であり、またその差は D/T が0.6程度以下では5.6%以内であって、十分実用的に有効浸透路長を計算できる。

最後に、今回は止水壁先端付近の浸透力について特に取り上げなかったが、止水壁先端付近における大きな浸透力の分布範囲はさほど広くはないが、かなり大きい浸透力が生じており、これがパイピングに及ぼす影響について研究する必要があるようにも思われる。

なお、次には透水性地盤が異方性の場合について報告する予定である。

本研究における計算は高知大学情報処理センターを利用して行ったことを付記する。

参 考 文 献

- 1) 農林水産省構造改善局: 土地改良事業計画設計基準, 設計・頭首工, pp. 51—53 (1979)
- 2) 山上拓男: 浸透力と浸透水圧, 土と基礎, 28巻4号, pp. 65—66 (1980)

(昭和60年9月19日受理)

(昭和61年2月22日発行)