



## ため池堤体の異方透水性と浸透流特性

田中, 勉  
小寺, 義昭

---

**(Citation)**

神戸大学都市安全研究センター研究報告, 11:329-338

**(Issue Date)**

2007-03

**(Resource Type)**

departmental bulletin paper

**(Version)**

Version of Record

**(JaLCD0I)**

<https://doi.org/10.24546/00518538>

**(URL)**

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/00518538>



# ため池堤体の異方透水性と浸透流特性

## Anisotropic Permeability of Fill-Type Dams for Irrigation Ponds

田中 勉<sup>1)</sup>  
Tsutomu Tanaka  
小寺 義昭<sup>2)</sup>  
Yoshiaki Kotera

概要：平成16年台風23号によって被災した淡路島のため池堤体について、現地調査及び試料採取を行い、堤体材料の物理的性質、水平及び鉛直方向の透水係数  $k_h, k_v$ 、そして、異方透水性の値  $k_h/k_v$  を求めた。また、ポール横断によってため池堤体の形状を計測し、計測断面について、等方及び異方透水性を考慮した浸透流解析を行った。そして、ため池堤体の異方透水性及び異方透水特性について考察を行い次の結論を得た。異方透水性については：(1) 均等係数  $U_c$  が大きくなるほど異方透水性の値  $k_h/k_v$  が大きくなる。(2) 15%粒径  $D_{15}$ 、または、20%粒径  $D_{20}$  の値が小さいほど異方透水性の値  $k_h/k_v$  が大きくなる。(3) 鉛直方向の透水係数  $k_v$  は20%粒径の2乗  $D_{20}^2$  に比例する。Aダムの浸透流特性について：(4) 異方透水性による流量増加割合  $Q/Q_{iso}$  は異方透水性の値  $k_h/k_v$  に近い値となる。この関係は、台形断面のフィルダム堤体に非常に近い。(5) 浸潤線は、異方透水性があると、等方と仮定した場合より最大で0.34m上昇する。(6) Aため池堤体は、「台形断面の堤体と同じ透水特性を持つこと」、「異方透水性の流量増加割合への影響が大きい断面形状であること」がわかった。

キーワード：ため池堤体, 透水係数, 異方透水性, 代表粒径, 流量

### 1. まえがき

平成16年台風23号による淡路島被災ため池の調査を行った。

淡路島においては、平成16年10月19日から21日にかけて、最大24時間雨量420mm(旧緑町:10/19 18:00 - 10/20 18:00)、最大時間雨量87mm(旧西淡町:10/20 15:20 - 10/20 16:20)という未曾有の降雨があり、多くのため池で大規模な破堤が起こった<sup>1)2)</sup>。

兵庫県における被害査定調査が一段落した平成17年2月23~24日、第一著者は、「農業土木学会 淡路集中豪雨によるため池被害調査団団員(団長:京都大学青山咸康教授)」として調査に入った。そして、現地調査、及び、堤体の試料採取と室内透水試験を行い、ため池の破堤要因等について考察を行った<sup>3)</sup>。

続いて、平成17年7月14~15日、平成17年10月3日、平成18年3月28日、第一著者は、「農業土木学会 平成17年度 淡路地域における農地・農業用施設災害調査検討委員会委員(委員長:京都大学青山咸康教授)」として調査、検討を行った。そして、破堤したため池堤体から試料を採取し、堤体材料の物理的性質、水平及び鉛直方向の透水係数  $k_h, k_v$ 、そして、異方透水性の値  $k_h/k_v$  を求めた。同時に、ポール横断によってため池堤体の形状を計測し、計測断面について、等方及び異方透水性を考慮した浸透流解析を行い考察を行った<sup>4)</sup>。

### 2. 序論

平成16~17年は、世界的に見ると、スマトラ沖大地震・津波(2004年12月26日)、ハリケーン「カトリーナ」

(2005年8月29日)、ハリケーン「スタン」(2005年10月4日)、パキスタン大地震(2005年10月8日)と、大きな自然災害が相次いで世界各地を襲い大きな被害をもたらした年であった。一方、日本に目を向けると、平成16年は全国的に多くの自然災害に見舞われた年であった。全国的には、福島・新潟豪雨(7月13日)、福井豪雨(7月18日)、台風23号(10月20日)、中越地震(10月23日)と連続して災害に見舞われ甚大な被害を受けた。とくに、日本への台風上陸は観測史上最多の10個を記録した。

平成16年10月20日に大型台風23号(徳島市～和歌山市を通過)が日本列島に上陸し、各地に甚大な被害を及ぼした。淡路島に存在する10ヶ所の雨量観測点における最大日雨量は平均300mm強であり、いかに大型の台風であったかを物語っている。中には最大日雨量426mmの地点もあり、これは100年確率雨量に相当するといわれている。

平成16年には台風23号以前にも6月と9月に台風が上陸している。また、8月には総雨量440mmの集中豪雨があった。台風23号の通過時には多くのため池が破堤したが、その約1週間前には台風21号が通過しており、このときの降雨によりため池堤体は飽和状態に近い状況であり、かつ貯水位が高くなっていたと考えられる。そこに更に大雨が降ることにより、多くのため池が被害を受けることになった。決壊ため池が186箇所、埋没ため池が432箇所など、合計1299箇所のため池が被害を受けた。阪神淡路大震災で被害を免れたため池の多くが被災している。平成16年台風23号による農業関連の被害総額は、阪神淡路大震災のときの1.5～2.0倍となった。

さて、淡路島内に存在するため池の数は約23,000個である。これは兵庫県下に存在する約44,000個の半分程度である。また、淡路島の地質は洲本市と旧西淡町(現南あわじ市)を境に北部がマサ土地帯、南部が泉砂岩系の地質となっている。ため池堤体は、築堤材料として近くの土が使われることが多いので、おおよそ、その地点の地質と同一の土質からなっている。

### 3. 調査ため池

今回の調査では19ダム、19地点より試料を採取した。試料採取日は、

- 第1回 平成17年3月4日
  - 第2回 平成17年3月19日
  - 第3回 平成17年4月8日
  - 第4回 平成17年6月28日
  - 第5回 平成17年10月15～16日
- である。

調査ため池の一覧を以下に示す。全て旧町名で表記する。

- (1) 洲本市上内膳：大財上池，大財池
- (2) 五色町三野畑：大池(非破壊)，夫婦池，新池，瀬戸池
- (3) 洲本市下内膳：大ばね池(非破壊)，能楽池(斜面崩壊)
- (4) 一宮町深草：白池，川池，ワラビコ池，深谷池，井手口池
- (5) 一宮町口遠田：(下流側)新池(斜面崩壊)
- (6) 北淡町黒谷(五斗長)：新池
- (7) 津名町王子：由谷上池
- (8) 一宮町遠田：(上流側)新池，小谷池
- (9) 一宮町高山：鍋倉中池(試料採取時点で改修済)

( )書きの説明のないものは破堤したため池を表す。19箇所の調査ため池の内、五色町三野畑：大池(非破壊)、洲本市下内膳：大ばね池(非破壊)、一宮町口遠田：(下流側)新池(斜面崩壊)、一宮町高山：鍋倉中池(試料採取時点で改修済)は、非破壊、軽微な損傷または改修済みのため試料採取をしていない。また、一堤体において上下流2箇所です料を採取したところがある。上記の調査ため池一覧は、平成16年度、「農業土木学会 淡路集中豪雨によるため池被害調査団(団長：京都大学青山咸康教授)」による調査ため池<sup>3)</sup>に、平成17年度、「農業土木学会 淡路地域における農地・農業用施設災害調査検討委員会(委員長：京都大学青山咸康教授)」による調査ため池<sup>4)</sup>を追加した形となっている。Fig.1にため池堤体の破堤状況の一例(北淡町黒谷(五斗長)：新池)を示す。

上記のため池が存在する地点の地質は全てマサ土地帯である。したがって、これらのため池堤体の盛土材料はマサ土であると考えられる。マサ土は粘質に乏しく、通気性、透水性に富み、わずかな水分を含んだだけで流動しやすく、降雨による崩壊や土壌流亡が激しい。砂質土であることから透水性が大きいと思われるが、風化度合いや締固め具合によっては $k=1.0 \times 10^{-5}$ cm/s程度の透水係数を有する。

#### 4. 堤体材料の物理試験及び透水試験

##### (1) 試料採取

決壊または斜面崩壊のあったため池堤体において試料採取を行った。透水試験用の試料採取にはステンレス製の 100ml モールド(直径 50mm, 長さ約 51mm)を用いた。堤体斜面を掘削し, 作成した水平及び鉛直面上に上記の 100ml モールドを直接打ち込み供試体を採取した。一つの地点で, 水平及び鉛直方向にそれぞれ 3 個ずつの供試体を採取した。また, 同地点から物理試験用に 1~2kg の試料を採取した。Fig.2 に試料採取の状況(モールドを打ち込んだところ: 北淡町黒谷(五斗長): 新池にて)を示す。試料採取を行った 19 地点中 10 地点の試料について, 物理試験及び透水試験を行った。試料採取を行った 10 地点の試料番号を A~J とする。

##### (2) 室内変水位透水試験

試料の透水係数は, 変水位透水試験によった。以下に, 試験の手順を示す。

- a) 透水試験容器に供試体をセットし, 水で満たした水槽(減圧装置付き)に浸し約 1 時間飽和させる。同時に水槽(減圧装置付き)を減圧し供試体内の気泡を抜く。
- b) 脱気, 飽和作業が終了したら, 透水試験容器上部にスタンドパイプを連結する。
- c) バルブを開いてスタンドパイプの水面が, 下流側の一定排水面から 70, 65, 60, 55, 50cm を通過した時刻を記録する。70cm 地点を通過した時刻を  $t_1$ , 50cm 地点を通過した時刻を  $t_2$  とする。
- d) 実験終了後, 透水試験容器の入った水槽の水温を測定する。
- e) 上記の(1)~(4)を 2~6 回繰り返す。
- f) 透水試験容器から供試体を取り外し湿潤質量を測定する。実験前後の, 含水比, 飽和度, 湿潤及び乾燥単位体積重量を計算で求める。

測定時の水温  $T^\circ\text{C}$  における透水係数  $k_T(\text{cm/s})$  を次式より求める。

$$k_T = \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (\text{cm/s}) \quad (1)$$

ここに,

$a$ : スタンドパイプの断面積( $\text{cm}^2$ )

$A$ : 供試体の断面積( $\text{cm}^2$ )

$L$ : 供試体の長さ( $\text{cm}$ )

$t_2 - t_1$ : 測定時間( $\text{s}$ )

$h_2 = 70\text{cm}$

$h_1 = 50\text{cm}$

である。温度  $15^\circ\text{C}$  における透水係数  $k_{15}(\text{cm/s})$  を次式より求める。



Fig.1 ため池堤体の破堤状況の一例(北淡町黒谷(五斗長): 新池)



Fig.2 試料採取の状況(モールドを打ち込んだところ: 北淡町黒谷(五斗長): 新池にて)

$$k_{15} = k_T \frac{\mu_T}{\mu_{15}}$$

ここに、

$\mu_T/\mu_{15}$  : 15°C の水の粘性係数  $\mu_{15}$  に対する T°C の水の粘性係数  $\mu_T$  の比である。

## 5. 試験結果と考察

### (1) 各試料の物理的性質及び透水係数

各試料の物理的性質を Table 1 に、透水係数を Table 2 に示す。Table 1 において、 $G_s$  は比重、 $w_L$  は液性限界、 $w_p$  は塑性限界、 $I_p (=w_L - w_p)$  は塑性指数、 $U_c$  は均等係数、 $U'_c$  は曲率係数を表す。Table 1 において、土質記号は、日本統一分類法(地盤工学会基準 JGS M111-1990)に基づいて、

SC : 粘土質砂

G-C : 粘土混じり礫

SM : シルト質砂

S-M : シルト混じり砂

を表す。Table 2 において、 $k_h, k_v$  は水平及び鉛直方向の透水係数の値、 $k_h/k_v$  は異方透水性の値を表す。

Table 1 10 地点のため池堤体試料の物理的性質

ため池堤体試料 採取地点	$G_s$	$w_L$	$w_p$	$I_p$	$U_c$	$U'_c$	土質記号
A	2.64	29.7	18.0	11.6	97.2	1.27	SC
B	2.64	31.7	19.9	11.7	135.3	1.71	SC
C	2.67	33.9	19.9	14.0	103.5	0.82	SC
D	2.65	28.9	17.8	11.0	30.1	3.60	G-C
E	2.65	28.3	18.0	10.2	56.0	0.94	SC
F	2.65	28.9	18.4	10.4	88.3	0.72	SC
G	2.63	24.1	NP	NP	49.1	4.24	SM
H	2.64	19.4	NP	NP	12.7	1.83	S-M
I	2.65	30.3	18	12.3	13.9	1.64	SC
J	2.65	23.5	NP	NP	12.4	1.93	S-M

Table 2 10 地点のため池堤体試料の透水係数と異方透水性の値

ため池堤体試料 採取地点	透水係数(cm/s)		異方透水性の値 $k_h/k_v$
	鉛直 $k_v$	水平 $k_h$	
A	1.90E-04	1.20E-03	6.34
B	5.45E-05	6.77E-04	12.42
C	1.40E-04	2.10E-04	1.50
D	7.33E-05	9.60E-04	13.10
E	5.79E-05	2.83E-04	4.89
F	4.92E-05	1.58E-04	3.21
G	1.73E-03	4.77E-03	2.76
H	1.69E-02	2.38E-02	1.41
I	3.96E-04	7.04E-04	1.78
J	2.58E-03	3.95E-03	1.53

一般的に大ダム堤体に用いられる土質材料(遮水性材料)の透水係数  $k$  は、 $k < 1.0 \times 10^{-5}$  (cm/s) でなければならないと規定されている。それを考慮するとどの堤体の土質材料も透水係数の値が非常に大きいことがわかる。そのため、

Table 3 10地点のため池堤体試料の代表粒径 ( $D_{10}$ ,  $D_{15}$ ,  $D_{20}$ ,  $D_{25}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{60}$ ) (mm)

試料採取地点	$D_{10}$	$D_{15}$	$D_{20}$	$D_{25}$	$D_{30}$	$D_{50}$	$D_{60}$
A	0.00426	0.00814	0.0148	0.0258	0.0474	0.249	0.414
B	0.00572	0.0149	0.029	0.0503	0.087	0.42	0.774
C	0.004	0.00912	0.0157	0.0257	0.0368	0.171	0.414
D	0.099	0.23	0.424	0.688	1.03	1.34	2.98
E	0.003	0.00604	0.00974	0.0146	0.0218	0.0824	0.168
F	0.00566	0.0103	0.0188	0.03	0.0452	0.24	0.5
G	0.0097	0.03	0.0668	0.104	0.14	0.334	0.476
H	0.124	0.242	0.364	0.48	0.598	1.14	1.58
I	0.00868	0.0153	0.0227	0.0319	0.0415	0.0936	0.121
J	0.0912	0.17	0.257	0.346	0.446	0.886	1.13

大きな漏水が起きたため池もあり、その対応策として次のような方法がとられていた。

ため池(C, D地点試料に対応)：ゴムメンブレンによる表面遮水

ため池(B, F地点試料に対応)：ため池底部にたまった粘土を堤体上流斜面にぬることによる表面遮水

ため池(G地点試料に対応)：ガルフシール(アスファルトフェーシング)による表面遮水

Table 3に10地点のため池堤体試料の代表粒径  $D_{10}$ ,  $D_{15}$ ,  $D_{20}$ ,  $D_{25}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{60}$ を示す。また, Fig.3に, 10地点のため池堤体試料の粒径加積曲線を示す。

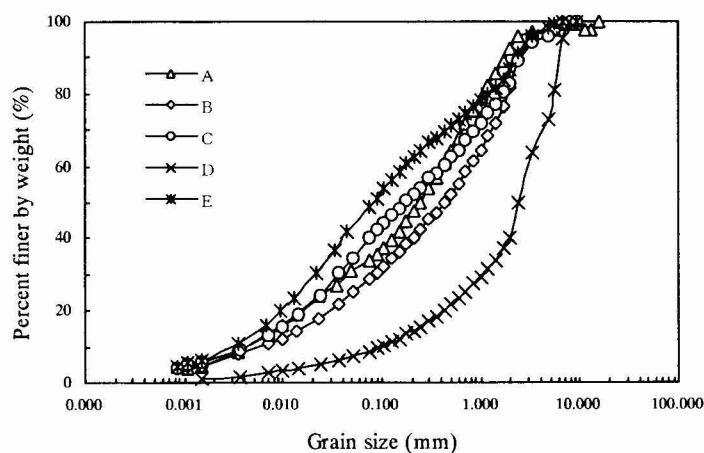
Table 3において,  $D_{10}$ ,  $D_{15}$ ,  $D_{20}$ ,  $D_{25}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{60}$ は, それぞれ, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 60%粒径を表す。平均粒径  $D_{50}$ はため池A~Jの全てについて細砂~粗砂の間にある。Fig.3に示す粒径加積曲線から, どの堤体試料も大きな差はなく, 似たような土質であることがわかる。前述したように, ため池堤体が存在する地点近傍の地質を考慮するとA~Jの堤体は全てマサ土からなると考えられる。

### (2) 均等係数と異方透水性の値の関係

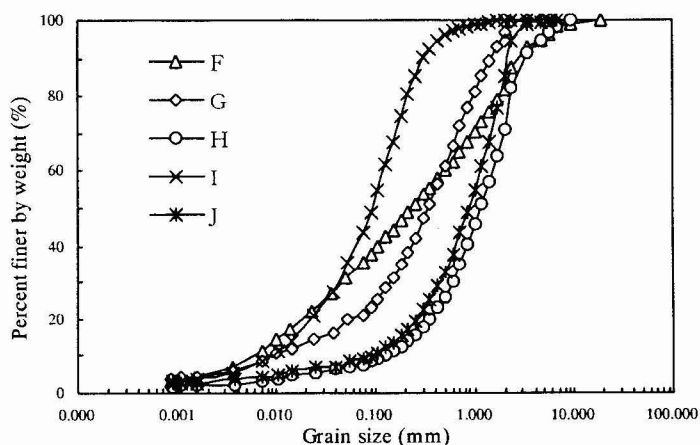
均等係数  $U_c$ と異方透水性の値  $k_h/k_v$ の関係をFig.4に示す(試料Dは異常値を示したため考察から省いた)。Fig.4から, 均等係数が大きくなるほど異方透水性の値が大きくなることわかる。最大粒径はどの試料についてもほぼ等しいので, 均等係数が大きい試料は, 細粒分が多く含まれており, 異方透水性の値が大きくなると考えられる。

### (3) 曲率係数と異方透水性の値の関係

曲率係数  $U_c$ と異方透水性の値  $k_h/k_v$ の関係をFig.5に示す。Fig.5から, データはばらついており,  $U_c$ は異方透水性の値に影響しないパラメータであると考えられる。



(a) ため池堤体試料 A~E



(b) ため池堤体試料 F~J

Fig.3 ため池堤体試料の粒径加積曲線

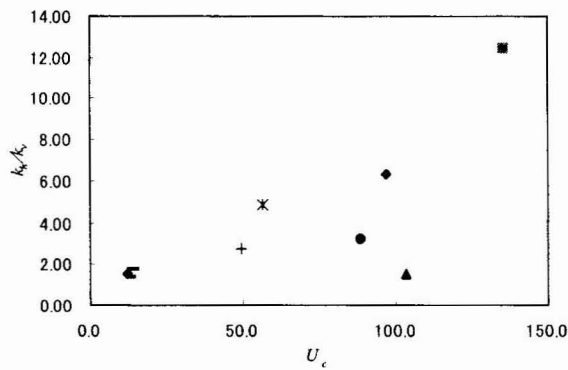


Fig.4 均等係数  $U_c$  と異方透水性の値  $k_h/k_v$  の関係

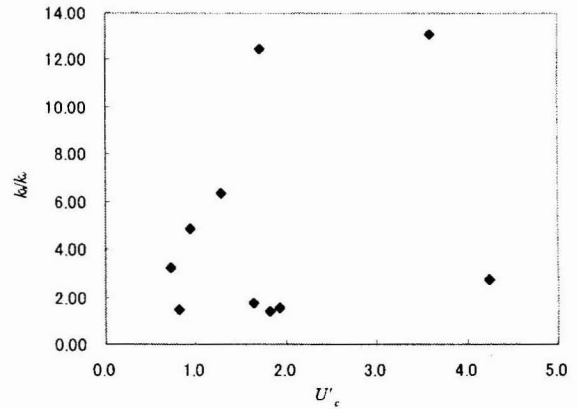


Fig.5 曲率係数  $U'_c$  と異方透水性の値  $k_h/k_v$  の関係

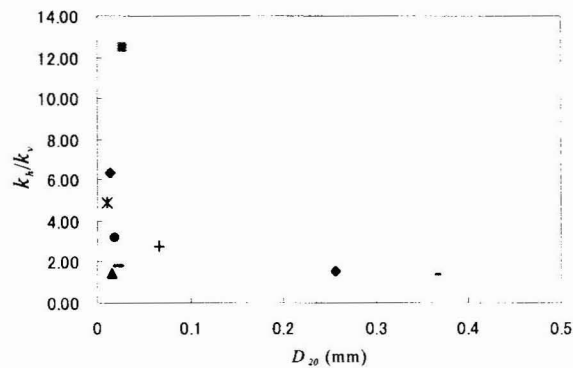


Fig.6 20%粒径  $D_{20}$  と異方透水性の値  $k_h/k_v$  の関係

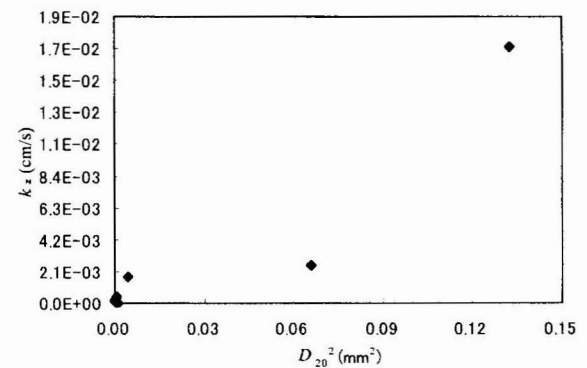


Fig.7 20%粒径の2乗値  $D_{20}^2$  と鉛直方向透水係数  $k_v$  の関係

#### (4) 代表粒径と異方透水性の値の関係

ここでは、代表粒径として  $D_{10}$ ,  $D_{15}$ ,  $D_{20}$ ,  $D_{25}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{50}$  をとり異方透水性の値  $k_h/k_v$  との関係調べた。一例として、 $D_{20}$  と  $k_h/k_v$  の関係を Fig.6 に示す。Fig.6 から、 $D_{20}$  が小さいほど異方性の値が大きくなることからわかる。両者には反比例の関係があると考えられる。粒径の大きな砂質土は一般的に土粒子が球形に近い形状を示すのに対し、粒径の小さな粘性土は一般的に板状、または扁平な形状を示す。堆積土では水平方向に長軸が向き、締固め土では締固めの方向に垂直な方向(すなわち水平方向)に長軸が向くことが知られている。この場合、水平方向の透水係数が鉛直方向の透水係数より大きくなる。今回の実験データについては、 $D_{15}$ ,  $D_{20}$  と  $k_h/k_v$  の関係に高い相関が見られた。

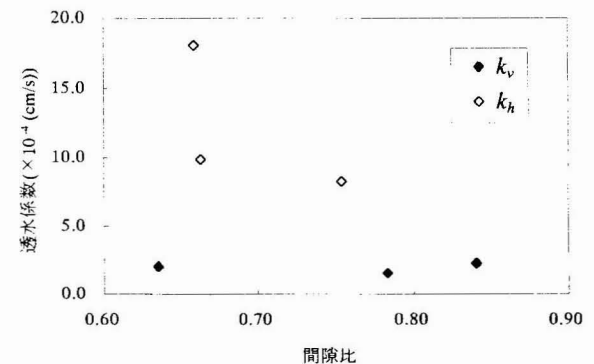


Fig.8 間隙比  $e$  と水平及び鉛直方向の透水係数  $k_h$ ,  $k_v$  の関係 (A 地点試料)

#### (5) 代表粒径の2乗値と鉛直方向の透水係数の関係

代表粒径として  $D_{10}$ ,  $D_{15}$ ,  $D_{20}$ ,  $D_{25}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{50}$  を取り上げ鉛直方向の透水係数  $k_v$  との関係について調べた。透水係数は一般的に、粒径の2乗に比例することが知られている。ここでは、一例として、20%粒径の2乗値  $D_{20}^2$  と鉛直方向の透水係数  $k_v$  の関係を示すと Fig.7 のようになる。 $D_{20}^2$  の値が大きくなるにつれて、透水係数も大きくなっており、その関係は直線的になっていることがわかる。今回の実験データについては、 $D_{20}^2$  と  $k_v$  の関係に高い相関が見られた。

#### (6) 間隙比と透水係数の関係

同一試料の場合、間隙比が大きほど透水係数は大きくなることが知られている。ここでは、A~J の10地点の

試料について、間隙比と透水係数の関係を調べた。一例として、A 地点試料について、間隙比  $e$  と透水係数の関係を示すと Fig.8 のようになる。Fig.8 には水平及び鉛直方向の透水係数  $k_h, k_v$  をおのおの3データずつ示している。Fig.8 に示すように、 $e$  と  $k_h, k_v$  の間には明白な関係が見られなかった。

## 6. ため池堤体の浸透流解析

今回調査した 19 ダムの内、3 ダム 4 測線についてポール横断測量を行い(Fig.9 参照)、堤体の横断面図を作成した。その中で、透水試験により異方透水性の値が得られた堤体(A 地点試料に対応)について、有限要素法により「自由水面追跡法を用いた飽和浸

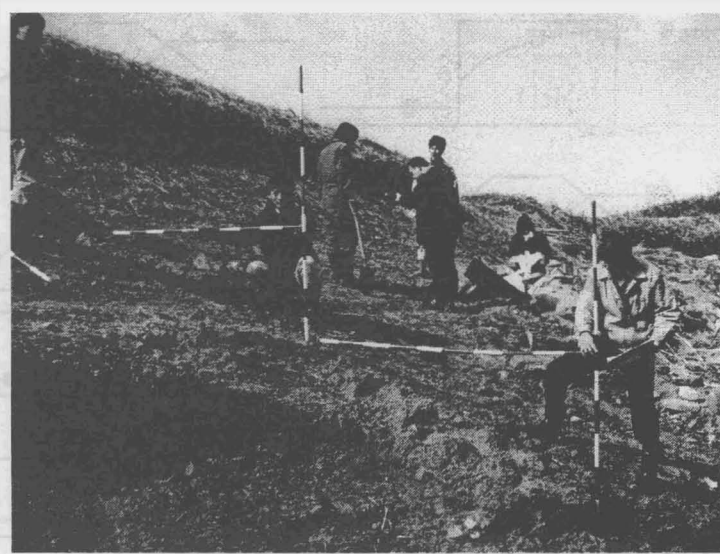


Fig.9 ポール横断測量

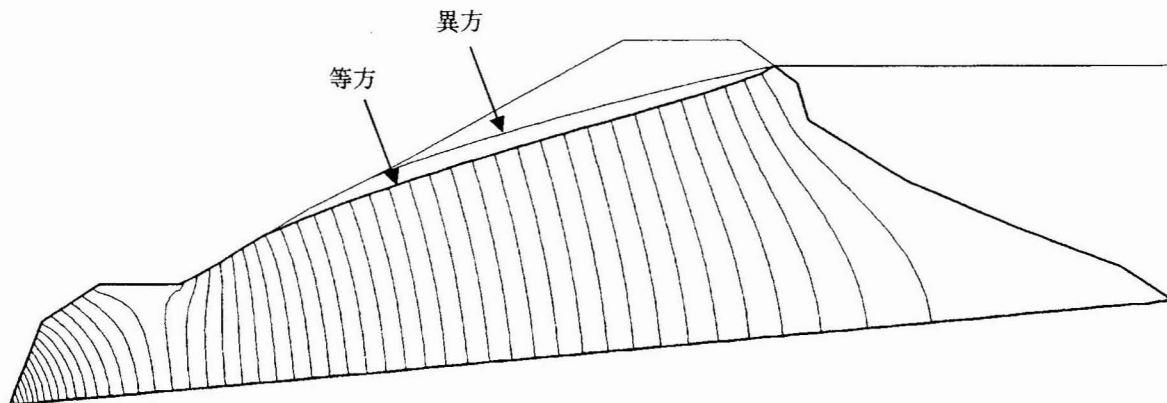


Fig.10 等方及び異方透水性の場合の浸潤線形状(ため池堤体(A 地点試料に対応))

透流解析」を行った。水位は堤高の 90%と仮定した。Fig.10 に、ため池堤体(A 地点試料に対応)を等方と仮定したときの等ポテンシャル線分布の上に、堤体を異方と考えたときの自由水面形状を重ね書きしている。Table 4 に、ため池堤体(A 地点試料に対応)の異方透水性の値  $k_h/k_v$ 、異方透水性による流量増加割合  $Q/Q_{iso}$ 、浸潤線の上昇値(最大値)を示す。 $Q/Q_{iso}$  は、(異方透水性を考慮したときの流量  $Q$ )/(等方の透水係数  $k$  を  $k=k_v$  と仮定したときの流量  $Q_{iso}$ )を表す。 $Q/Q_{iso}$  の値が大きいほど(すなわち、 $Q/Q_{iso}$  の値が  $k_h/k_v$  の値に近いほど)異方性の効果が大きいといえる。

Table 4 ため池堤体(A 地点試料に対応)における  $k_h/k_v$ 、 $Q/Q_{iso}$ 、浸潤線の上昇値(最大値)

ため池堤体試料採取地点	$k_h/k_v$	$Q/Q_{iso}$	浸潤線の上昇値(最大値)(m)
A	6.34	5.79	0.3404

### (1) 異方透水性の効果

#### a) 流量の増加について

Table 4 から  $Q/Q_{iso}$  の値は異方透水性の値に近いことがわかる。すなわち、ため池堤体(A 地点試料に対応)は、異方透水性の値に近い割合で流量が増加すること、すなわち、異方透水性の影響が極めて大きいことがわかる。

#### b) 浸潤線の上昇について

Fig.10 から、地盤に異方透水性がある場合の浸潤線の上昇の様子がわかる。また、Table 4 から、地盤に異方透水性があると、浸潤線は等方と仮定した場合より最大で 0.34m 上昇することがわかる。

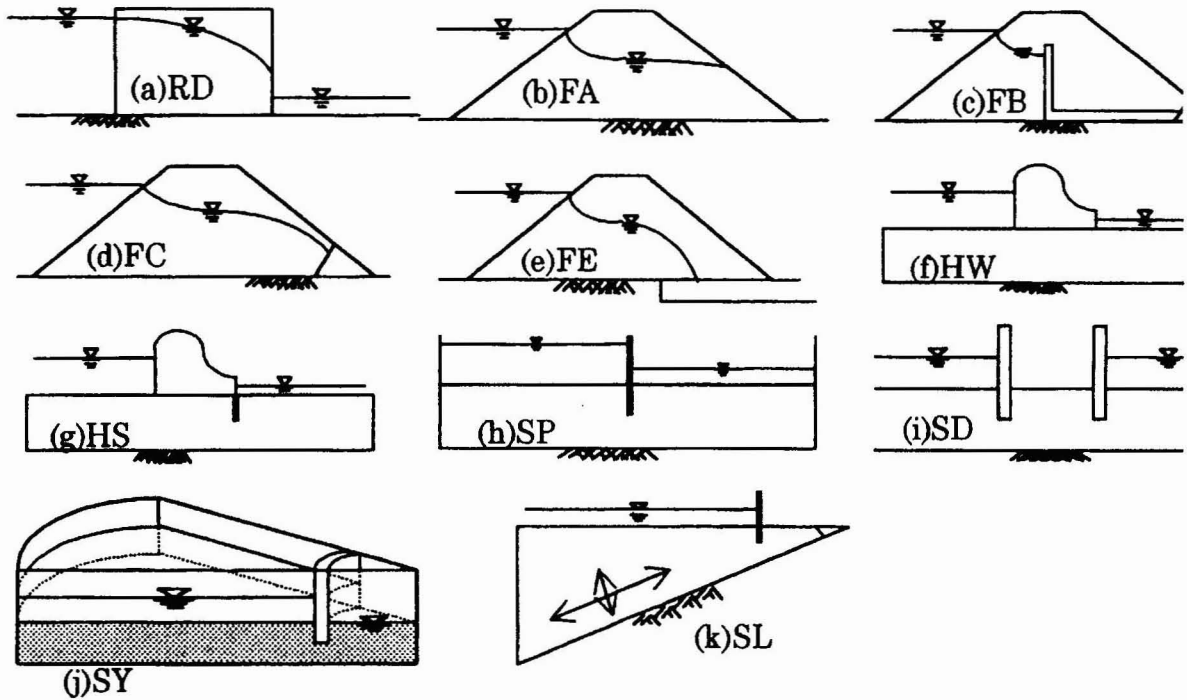


Fig.11 種々の形態の浸透流問題

(2) 異方性の値と流量増加割合の関係

異方透水性の値  $k_h/k_v$  と流量増加割合  $Q/Q_{iso}$  の関係は、フィルダムや頭首工の形状によって異なることが知られている。Fig.11 に示すような種々の形態の浸透流問題について考えると、異方透水性の値  $k_h/k_v$  と異方透水性による流量増加割合  $Q/Q_{iso}$  の関係は Fig.12 のようになる<sup>9)</sup>。図中の記号は、Fig.11 に示すように、フィルダム堤体について、

RD：矩形断面，FA：台形断面，FB：台形断面(立ち上がりドレーンがある場合)，FC：台形断面(下流法先ドレーンがある場合)，FE：台形断面(水平ドレーンがある場合)

頭首工のある地盤について、

HW：矢板なし，HS：矢板あり

その他の場合について、

SP：二次元流地盤(矢板あり)，SD：二次元集中流地盤(矢板あり)，SY：軸対称流地盤(矢板あり)，SL：三角形地盤

を表している。水平方向の流れが卓越した形状のものほど、同じ  $k_h/k_v$  の値に対して  $Q/Q_{iso}$  の値が大きくなり、 $k_h/k_v = Q/Q_{iso}$  直線に近づくことを意味している。言い換えれば、流量に関して、RD, FA, FC は異方透水性の値の影響を大きく受け、SY, SD, SP は異方透水性の値の影響をあまり受けないことを意味している。

ここで、ため池堤体(A 地点試料に対応)について、浸透流解析によって得られた異方透水性の値と流量増加割合の関係を Fig.12 にプロットしている。Fig.12 からわかるように、この関係はほぼ FA を表す曲線にのる。これは、ここで取り扱ったため池堤体(A 地点試料に対応)が、「台形断面の堤体と同じ透水特性をもつこと」、「異方透水性の流量増加割合への影響の大きい断面形状であること」を示している。

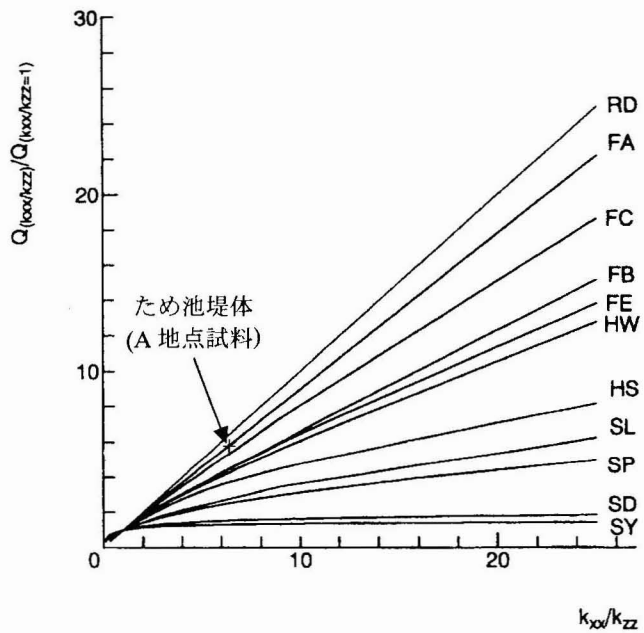


Fig.12 異方性の値  $k_h/k_v$  と異方性による流量増加割合  $Q/Q_{iso}$  の関係

6. 結論

本研究では、平成 16 年台風 23 号によって破堤した淡路島のため池堤体を対象に種々の物理試験、透水試験、及

び、浸透流解析を行った。そして、人工地盤の異方透水性について考察した。

### (1) 物理試験より得られた結論

#### a) 均等係数と異方透水性の値の関係

均等係数  $U_c$  が大きくなるほど異方透水性の値  $k_h/k_v$  が大きくなる。最大粒径はどの試料についてもほぼ等しいので、均等係数が大きい試料は、細粒分が多く含まれており、異方透水性の値が大きくなると考えられる。

#### b) 代表粒径と異方透水性の値の関係

代表粒径の値が小さいほど異方透水性の値  $k_h/k_v$  が大きくなる。その関係は反比例の関係があると考えられる。今回行った実験によって得られたデータの中では、 $D_{15}$ 、または、 $D_{20}$  と  $k_h/k_v$  の関係に高い相関が見られた。

#### c) 代表粒径の 2 乗値と鉛直方向の透水係数の関係

透水係数は、一般的に、粒径の 2 乗に比例することが知られている。たとえば、20% 粒径の 2 乗値  $D_{20}^2$  と鉛直方向の透水係数  $k_v$  の関係について考えると、 $D_{20}^2$  が大きくなるにつれて、鉛直方向の透水係数  $k_v$  も大きくなっており、その関係は直線的になっている。中でも、 $D_{20}^2$  と  $k_v$  の関係に高い相関が見られた。

### (2) 浸透流解析より得られた結論

ため池堤体(A 地点試料に対応)について浸透流解析を行い次の結論を得た。

#### a) 流量の増大

流量増加割合  $Q/Q_{iso}$  の値は異方透水性の値  $k_h/k_v$  に近い値となった。すなわち、異方透水性の値に近い割合で流量が増加することがわかる。このことから、ため池堤体(A 地点試料に対応)は、異方透水性の影響が極めて大きいことがわかる。

#### b) 浸潤線の上昇

異方透水性を有する場合、浸潤線は、等方と仮定した場合より、最大で 0.34m 上昇する。

#### c) 異方透水性の値と異方性による流量増加割合の関係

異方透水性の値  $k_h/k_v$  と流量増加割合  $Q/Q_{iso}$  の関係は FA(台形断面のフィルダム堤体)に非常に近いことがわかった。これは、ため池堤体(A 地点試料に対応)が、「台形断面の堤体と同じ透水特性を持つこと」、「異方透水性の流量増加割合への影響が大きい断面形状であること」を示している。

### 謝辞

平成 16 年台風 23 号で破堤した淡路島のため池について、現地調査、試料採取、及び、報告書作成にあたり、兵庫県 淡路県民局地域振興部 洲本土地改良事務所の梶原孝嘉所長、上月重寛課長、岡村 猛氏には、大変お世話になった。ここに期して謝意を表する次第である。

### 参考文献

- 1) 兵庫県淡路県民局地域振興部洲本改良事務所：農業土木学会近畿支部 淡路島ため池被害調査資料、平成 17 年 2 月 23 日。
- 2) 兵庫県農林水産部農林水産局 農村環境課・農地整備課：台風 23 号(平成 16 年 10 月 20 日) 農地農業用施設災害記録誌、平成 17 年 10 月。
- 3) 農業土木学会京都支部 平成 16 年台風 23 号による淡路ため池被害調査団(青山咸康、河地利彦、田中勉、木全卓)：平成 16 年台風 23 号による淡路ため池被害調査報告書、「平成 16 年台風 23 号による淡路島被災ため池調査報告(田中勉執筆担当)」, pp.34~36, 平成 17 年 3 月。
- 4) 農業土木学会：平成 17 年度 ため池緊急防災対策事業 兵庫県地区淡路地域農地・農業用施設 災害調査・分析等検討業務報告書、「平成 16 年台風 23 号による淡路島被災ため池調査 - 堤体材料の異方透水性 - (田中勉執筆担当)」, pp.101~111, 平成 18 年 3 月。
- 5) 田中 勉、野々村圭造、鶴野千佳子：土の異方性 - 浸透流特性と浸透破壊特性 - , 第 36 回地盤工学研究発表会平成 13 年度発表講演集, pp.1317~1318, 2001.7.

### 著者

- 1) 田中 勉, 神戸大学大学院農学研究科, 教授
- 2) 小寺 義昭, (株)かね善

# Anisotropic Permeability of Fill-Type Dams for Irrigation Ponds

Tsutomu Tanaka  
Yoshiaki Kotera

## Abstract

Typhoon No.23 struck Awaji Island, Japan, in 2004, and caused extensive damage to a number of fill-type dams for irrigation ponds. The soil was sampled from the remaining parts of damaged fill-type dams, and physical properties and permeability coefficients  $k_h$  and  $k_v$  were tested, where  $k_h$  and  $k_v$  are the coefficients of permeability in horizontal and vertical directions, respectively. The value of anisotropy of soil ( $k_h/k_v$ ) was discussed, and the following results were obtained: (1) The larger the uniformity coefficient  $U_c$  becomes, the larger the value of anisotropy ( $k_h/k_v$ ). (2) The smaller the representative grain size (e.g.,  $D_{15}$  or  $D_{20}$ ) becomes, the larger the value of anisotropy ( $k_h/k_v$ ).  $D_{15}$  and  $D_{20}$  are the 15 and 20 percent diameters, respectively. (3) The permeability of soil in the vertical direction  $k_v$  is directly proportional to the 20 percent diameter to the second power  $D_{20}^2$ .

The cross section of the A-dam was also measured using the pole (or ranging rod) surveying method. The seepage flow through soil of the A-dam was analyzed using the finite element method for isotropic (assumed) and anisotropic (actual) cases. The following conclusions were obtained: (4) The ratio of the increase in discharge due to anisotropy ( $Q/Q_{iso}$ ) is almost equal to the value of anisotropy ( $k_h/k_v$ ), and the A-dam has the same property of seepage flow as the trapezoidal dam shape.  $Q$  and  $Q_{iso}$  are the discharges through soil of anisotropic (actual,  $k_h$  and  $k_v$ ) and isotropic (assumed,  $k=k_v$ ) permeability, respectively. (5) The line of seepage has a 0.34m higher maximum in the anisotropic than in the isotropic case. (6) The shape of the A-dam has a marked effect on the increase in discharge through soil due to anisotropic permeability.