山口大学 フェロー会員 羽田野 袈裟義	山口大学 正会員	永野 博之
九州産業大学 正会員 細川 土佐男	山口大学 正会員	鈴木 素之

## 1. はじめに

近年,洪水や渇水の被害が頻発するもののダムや堤防 に代わる有効な対策の確立はされていない.そこで本研 究は,渇水対策に焦点を絞り降水を取水施設の上流で降 水を上昇した水位のエネルギーを利用し上向き浸透でい ったん地中に貯留し,降雨終了後にその水が徐々に河川 に戻るようにすることによって渇水に対応する技術につ いて考察する.

## 2. 上向き浸透

雨水が地表から不飽和土壌に浸透する場合,土壌中の 隣接土粒子の間隙での水と空気の交換が困難なため浸透 能が小さい.

この状況に鑑み,雨水の効率的な不飽和浸透の方法を 提案する.その概念図を図-1に示す.例えば小河川など 流路の側岸において,平時には水面上にあり出水時に水 面下となる位置から有孔パイプを流路側方の地中へと埋 設し,出水時に流路の水頭を利用して不飽和土中に上向 き浸透により貯留する.この方式では,パイプの有孔部 より上方の空隙に存在する空気は,パイプから排出され た水により心太(ところてん)式に上方へと押され大気 中に放出される.

## 3. 基礎式の検討

図-2のように地下水面位置で $\Delta P$ の過剰間隙圧が生じ、 これが不飽和土層中の空気を大気中に押し出すと考える。 そして土層中の水の透水係数を $k_w$ ,空気の透水係数を  $k_a$ で表し、1本のパイプが有効幅bで地下水位上昇を生 じさせると考える。

浸透流速は、水路の水深を $H_w$ 、地盤高を $H_s$ 、地下水 位を $H_g$ 、パイプ上面位置を $H_p$ 、浸透流の平均流速をv、 動水勾配をi、水の単位体積重量wとすると式(1)のよう になる.

$$v = ki = k_a \frac{\Delta P/w}{H_s - H_g} = k_w \frac{H_w - H_g - \Delta P/w}{H_g - H_P}$$
(1)  
式(1)を変形して AP/w について解くと式(2)を得る



山口大学 学生会員 〇佐藤 功平

## 図-1 上向き不飽和浸透の概念図



(a) <u>断面図</u> (b) <u>側面図</u> 図-2 上向き浸透による地下水位上昇の模式図

$$\frac{\Delta P}{w} = \frac{k_w \frac{H_w - H_g}{H_g - H_p}}{\frac{k_a}{H_s - H_g} + \frac{k_w}{H_g - H_p}}$$
(2)

式(2)を式(1)に代入し整理すると地下水位上昇速度 v=dH<sub>e</sub>/dtについて式(3)を得る.

$$\frac{dH_g}{dt} = v = k_a \cdot k_w \frac{H_w - H_g}{k_a (H_g - H_P) + k_w (H_s - H_P)}$$
(3)

# 4. 実験

本実験は、基本的な問題として、砂層内に配置した穴 あきパイプを用いて、水を貯留する場合と排水する場合 の両方について地下水位の時間的変化を定性的に調べる 実験を行った.

## 4.1. 実験装置

実験装置の概要を図-3 に示す.実験装置は、アクリル 板で仕切られた、幅 10cm、長さ 30.2cm、高さ 27.2cmの 砂室と幅 10cm、長さ 69.3cm、高さ 27.2cmの水室が主要 な部分であり、砂室の底部には水室と連通した管径が 8mmの穴あきパイプと地下水位測定用の水位計の受感 部が設置されている.穴の直径は 1mm である.水貯留 の実験では水頭を一定に保つため水室の上端縁の一辺で 越流するようになっている.

## 4.2. 実験の方法とケース

## (1) 実験方法

実験は、粒径 0.985mm の砂と粒径 4.76mm のガラスビ ーズを用いて次のように行った. ①まず表乾状態の試料 を砂 19.4cm, (ガラスビーズ 21.3cm)の層厚で砂室内に敷 き詰め、水室内のパイプ穴を塞ぎ、水室で越流させて水 位を一定に保つ. ②パイプの穴を開放して水貯留を開始 し、その後の砂室内の水位変化を調べた. ③砂室の水位 が砂層表面を覆った時点で、パイプの穴を塞ぎ、水室の 水位をパイプの上端の少し上部の位置に固定した. そし てパイプの穴を開放して以降の砂室内の水位変化を調べ た. ④上記の②と③を繰り返した. 砂では3回、ガラス ビーズでは2回繰り返した.

## (2)実験ケース

実験試料と繰り返し回数により実験を次の6ケースと して区別する. case 1 砂の1回目, case 2 砂の2回目, case 3 砂の3回目, case 4 ガラスビーズの1回目, case 5 ガラ スビーズ2回目, case 6 水での実験

## 5.実験結果および考察

図-4 は前述の全行程までの地下水位の時系列変化を 示した.また図-5は2回目以降の実験の貯留開始時刻を 0にシフトして地下水位の時系列変化を示したものであ る.それによると砂の case 2, case 3 はほぼ同一の結果と なっている.case 1 は貯留時に水位がピークになるまで に case 2, case 3 よりも長時間を要する.case 4, case 5 についても同じような結果であるが水位のピークまでの 時間差が少し短い.この時間差は, case 1, case 4 での貯 留開始時の粒子が表乾状態であったことに影響している と考えられる.すなわち,粒子の構造に着目すると,表 乾状態では間隙がすべて空気で満たされていて下方から 浸透する水が粒子表面を湿らせるために使われ,このた



図-3 実験装置模式図

実験ケース						
Case	試料	粒径 (mm)	状態	空隙率 (%)	貯留or排水	
Casa 1	砂 0.985 表乾状態 46	16	貯留時	(1回目)		
Case		0.985 表乾状態 46	0.985 衣乾状態 40	40	排水時	(1回目)
Caral		16	貯留時	(2回目)		
Case2 119 0.98	0.985	0.985 湿润状態	46	排水時	(2回目)	
Curve Th	0.095	治治	16	貯留時	(3回目)	
Cases	ISE3 砂 0.985 湿润状態 46	40	排水時	(3回目)		
Casa4	ガラフビーブ	176	主动中能	40	貯留時	(1回目)
Case4	J J J Z E - Z	4.70	衣轧扒悲		排水時	(1回目)
Case5 ガラスビース	ガニュレーブ	4.76	5 湿潤状態	40	貯留時	(2回目)
	<i>ガラスヒース</i>				排水時	(2回目)
Gund H	-14				貯留時	(1回目)
Caseb	Caseo TK — —		_	排水時	(1回目)	



図-4 地下水位日の時系列変化



図-5 地下水位Hの時系列変化(case 別)

め水位上昇速度が遅くなっていると考えられる.砂とガ ラスビーズとでピークまでの時間差が異なるのは粒径の 違いによると考えられる.すなわち粒径の小さい砂はガ ラスビーズに比べて比表面積が大きいため吸水量が大き いことが考えられる.

図-6 は、2回目以降の実験の排水開始時刻を0にシフトして排水時に着目した地下水位の時系列変化を示したものである。それによると case 1~3 と case 4,5 は、それぞれほぼ一致している。このことから一度砂表面まで地下水位が上昇するとその後の砂層条件に変化は、生じないことが分かる。次に図-7 と図-8 は、貯留時の地下水位の時系列変化である。このグラフは、式(3)のダルシー則を各ケースについて透水係数を同定した場合の理論曲線を併せて示したものである。計算値を求めるにあたり式(3)で水の透水係数と空気の透水係数 $k_a$ の比 $k_a/k_w$ は、水の動粘性係数 $\mu_w$ 、空気の動粘性係数 $\mu_a$ 、水の密度 $\rho_w$ 、空気の密度 $\rho_a$ を用いて式(4)のように評価した。

$$\frac{k_a}{k_w} \doteq \frac{\rho_w / \rho_a}{\mu_a / \mu_w} \doteq 80 \tag{4}$$

式(4)から透水係数を同定した.同定した値を表-2に示す. ここで各ケースについて計測値と計算値を比較すると case 4, case 5 で計測値と計算値が概ね良好な適合といえ るものの case 1, case 2 で砂層内水位が上昇する過程では, 地下水位が砂層上端部に近づくと水位上昇が急に速くな っている.これは空気が少量である上裁砂を噴砂してい る可能性を示唆する.したがってダルシー則をそのまま 適用することはできない.今後,体積含水率を考慮した 不飽和浸透の評価手法を適用した場合に,本実験結果が どのように解釈されるかを調べる必要がある.

## 6. 結語

以上,簡単な装置を用いて上向き浸透を利用した雨水 地中貯留に関する摸擬試験を行った.そして表乾状態の 試料に対して水貯留と排水を繰り返した場合,第1回目 と第2回目の水貯留でこの地下水位上昇の時系列が異な ることを示した.また簡単な量的評価を行った.今後よ り詳細な検討を行い定量評価の方法を確立したい.





表-2 同定した透水係数

	空気の透水係数ka(mm/s)	土層中の透水係数kw(mm/s)
砂(表乾)	3.2	0.04
砂(湿潤)	6.08	0.076
ガラスビーズ(表乾)	8.0	0.1
ガラスビーズ(湿潤)	30.4	0.38

参考文献

 羽田野袈裟義:河川等の水位平準化方法,特開 2009-270256,日本国特許庁,2009.

- 2009-270230, 日本国村市7月, 2009.
- 2) 社団法人地盤工学会:土質試験, pp59~63
- 3) 椿東一郎:水理学 I, p4