

2025年度(R07年度)

地下水盆管理学

福島大学 共生システム理工学類

地球環境コース

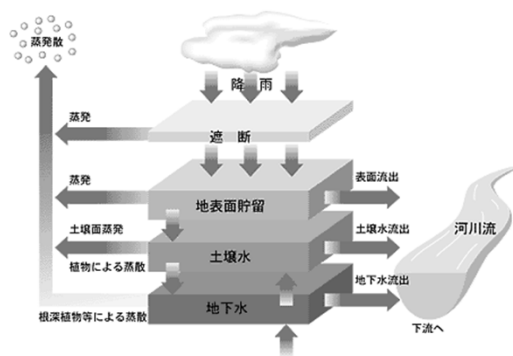
柴崎 直明

1

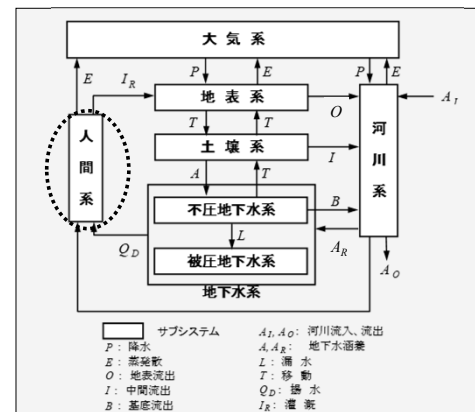
2. 地下水の存在形態



水循環の模式図



水文的水文循環系を構成する諸要素



水文的水文循環系と地下水

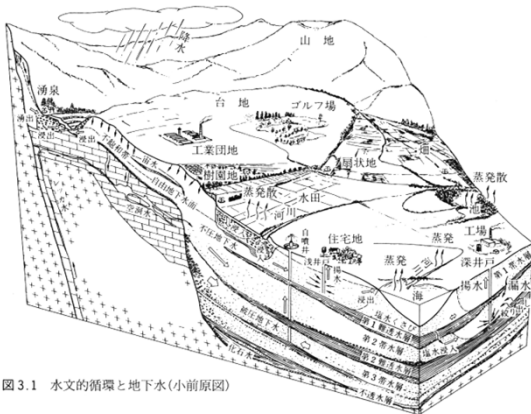


図 3.1 水文的水文循環系と地下水(小前原図)

地下水(Groundwater)とは？

広義：地下に存在するすべての水のこと

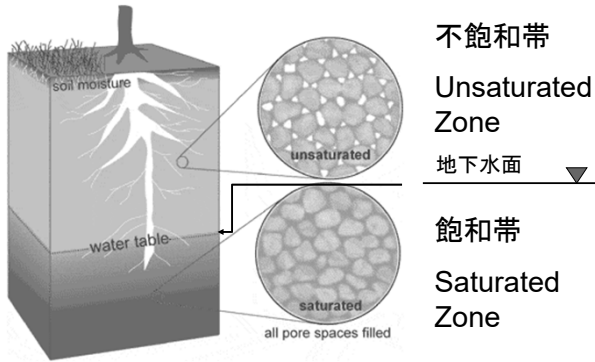
狭義：地下水面より下位にある水のこと。

ただし、マグマ水(地殻の内部で生成された水)は含まない。

地下水面より上位の部分：不飽和帯

地下水面より下位の部分：飽和帯

飽和帯と不飽和帯



不飽和帯中の水と空気

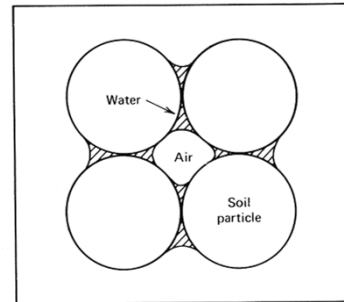


Fig. 2.6 Illustration of vadoso water held at contact points of particles in the unsaturated zone.

【Todd, D. K. (1980) : "Groundwater Hydrology 2nd Ed."より】

地下水の存在形態の特徴

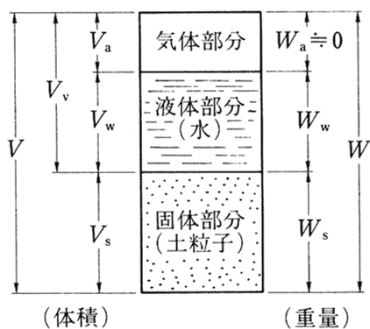
地下水の存在形態は、地層間隙（＝空隙）の形状・規模・連続性と、それに含まれる水量で大きく異なる

碎屑物の粒径区分と碎屑岩

粒 径 (mm)	碎 屑 物	碎 屑 岩
256	巨礫	礫 岩
64	大礫	
4	中礫	
2	細礫	
1	極粗粒砂	砂 岩
1/2 (0.500)	粗粒砂	
1/4 (0.250)	中粒砂	
1/8 (0.125)	細粒砂	
1/16 (0.063)	極細粒砂	シルト 泥
1/32 (0.031)	粗粒シルト	
1/64 (0.015)	中粒シルト	
1/128 (0.008)	細粒シルト	
1/256 (0.004)	微粒シルト	シルト 岩
	粘土	
	土	粘土岩
		頁 岩

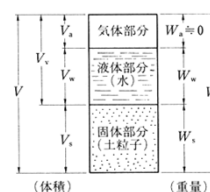
土の3相分布

土壌は、固相・液相・気相の3相からなる



3相の量的な関係を示す指標(1)

間隙率（＝空隙率）、 n

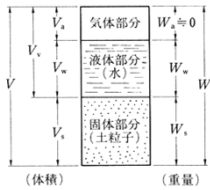


$$n = \frac{V_v}{V} \times 100(\%)$$

土壌中に占める
全間隙の割合

3相の量的な関係を示す指標(2)

体積含水率、 θ

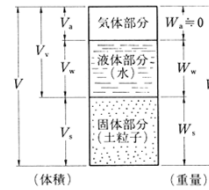


$$\theta = \frac{V_w}{V} \times 100(\%)$$

土壤中に占める
水分の割合

3相の量的な関係を示す指標(3)

含水比、 w



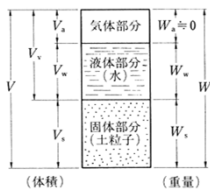
$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100(\%)$$

水と土の重量比

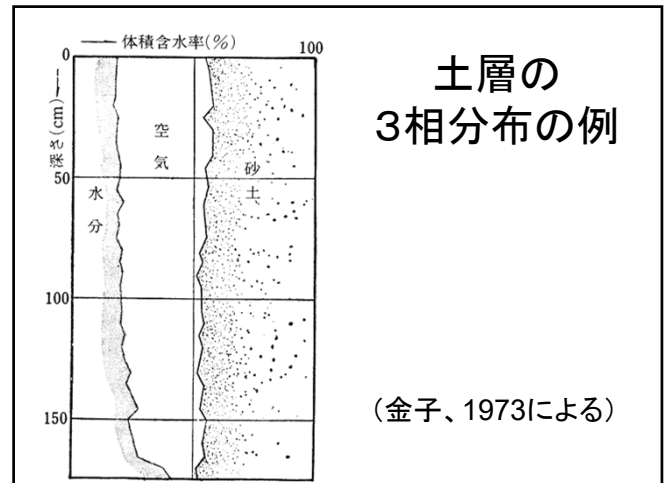
3相の量的な関係を示す指標(4)

飽和度、 S_a

$$S_a = \frac{V_w}{V_v} \times 100 = \frac{\theta}{n} \times 100(\%)$$



土壤中の間隙が水分
で満たされている割合



間隙中の水

土粒子との結合の強弱により、水の挙動は異なる。

水と土粒子の結合の強弱



pFという単位で示す

圧力を水柱の高さ(cm)に
換算し、その対数をとった
もの(SI単位系ではない)

土壌水の種類

3大区分:

蒸気態水分、結合水(吸着水)、自由水

表 3.1 土壌水の分類 (Поляевによる)

土壌水 (地中水)		p F
蒸気態水分	結合水 (吸着水)	7 以上
	強結合水 (吸着水分)	4.5~7
	弱結合水 (付着水分)	2.7~4.5
自由水	懸垂水	2.7 以下
	重力水 { 地下水, 支持水 }	

毛管水と吸着水の分類

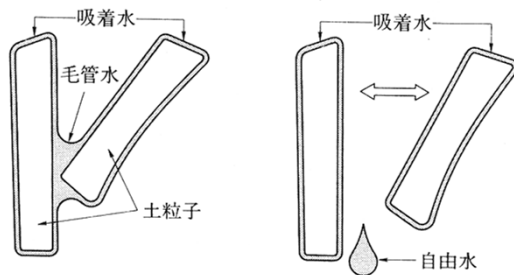
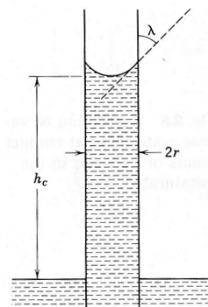


図 3.4 毛管水と吸着水 (Hillel⁴⁾を改編)

毛管中の水の上昇



毛管上昇量の概略式：

$$h_c = \frac{0.15}{r}$$

【Todd, D. K. (1980) :
“Groundwater Hydrology 2nd
Ed.”より】

Fig. 2.7 Rise of water in
a capillary tube.

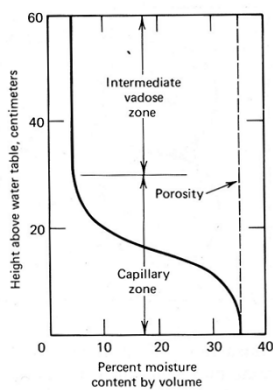


Fig. 2.8 Distribution of water
in a coarse sand above the water
table after drainage (after Prill³⁷).

地下水面 よりも上位の 粗粒砂中の 水の分布 (排水後)

【Todd, D. K. (1980) :
“Groundwater Hydrology 2nd
Ed.”より】

粒子の粒径と表面積

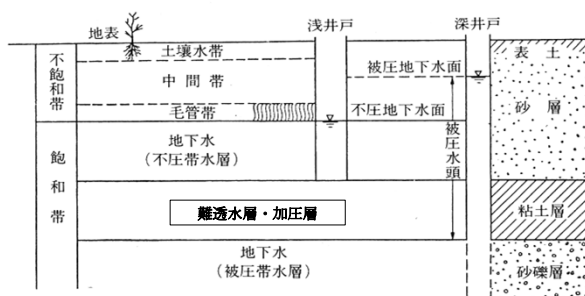
TABLE 2.3 Relation of Surface Area
to Particle Size for Uniform Spheres

Diameter of Particle, mm	Soil Classification	Number of Particles per cm ³	Total Surface Area, cm ²
10	Medium gravel	1	3.14
1	Coarse sand	1×10^3	31.4
0.1	Very fine sand	1×10^6	314
0.02	Silt	1.25×10^8	1,570
0.002	Clay	1.25×10^{11}	15,700

NOTE: Rectangular packing is assumed in a cubic container 1 cm on a side so that the total volume, and weight, of spheres remains constant at $\pi/6$ cm³.

【Todd, D. K. (1980) : “Groundwater Hydrology 2nd Ed.”より】

地下水の垂直分布



不飽和帯の水分

上位より、土壌水帯、中間帯、毛管帯に区分

毛管帯：

毛管現象で、地下水面から水分が上昇した部分

粗粒砂： 2～15 cm

細粒砂： 35～75 cm

粘土： 150～300 cm

飽和帯の地下水

飽和帯の地下水は、連続体として移動する

飽和帯の地下水の挙動:

間隙(=空隙)の性質を理解する必要

一般に、地層の構成物が細粒なほど、
間隙率は大きい

間隙の形状、規模、粒子の配列も地下
水流動を規制している

代表的な地層の間隙率

粘土:	45%
砂:	35%
礫:	25%
砂礫:	20%
砂岩:	15%
石灰岩・頁岩:	10%
チャート・花崗岩:	5%

地層の組織と間隙の種類

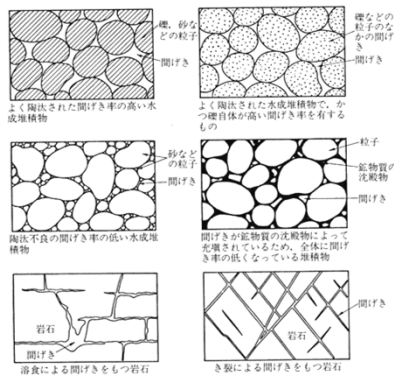
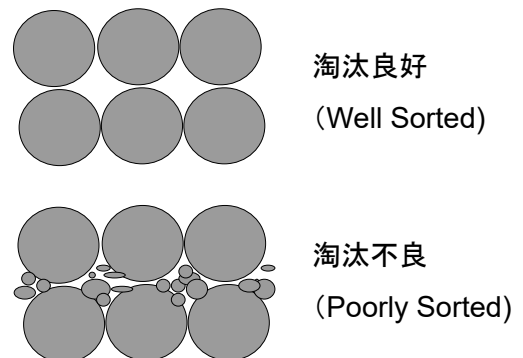


図 3.6 地層の組織と間隙の種類 (Meinzer[®]による)

粒子の淘汰度と間隙率



有効間隙率

飽和帯の間隙中の水は、排水や揚水で間隙から完全に排除されない

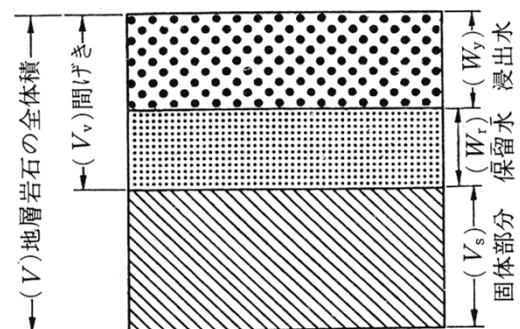


一部は、吸着水や毛管水として保留される

土粒子間を流動できる水分の割合は、間隙率よりも小さい

$$\text{間隙率}(n) > \text{有効間隙率}(n_e)$$

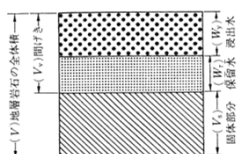
飽和帯の保留水と浸出水



保留水と比保留量

保留水： 飽和帯の間隙に保留される水

比保留量、 S_r



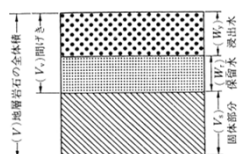
$$S_r = \frac{W_r}{V} \times 100(\%)$$

地層・岩石など飽和帯の全体積に対する比

浸出水と比浸出量

浸出水： 排水または揚水で排出される水

比浸出量、 S_y



$$S_y = \frac{W_y}{V} \times 100(\%)$$

排出される水量の全容量に対する比

比浸出量と有効間隙率

比浸出量＝有効間隙率

比浸出量あるいは有効間隙率は、地下水の定量化にあたっての基本的概念

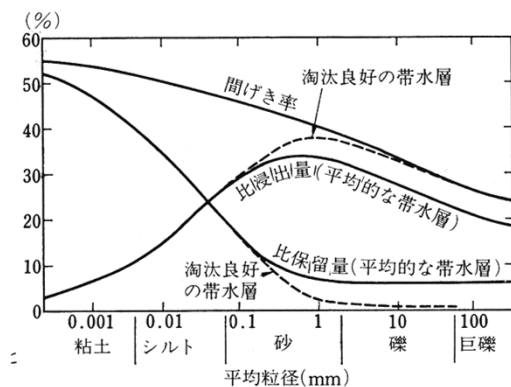
主に粒度組成で決定される

一般に10～20%程度の値

代表的な地層の間隙率と比浸出量

地層名	間隙率	比浸出量
粘土：	45%	3%
砂：	35%	25%
礫：	25%	22%
砂礫：	20%	16%
砂岩：	15%	8%
石灰岩・頁岩：	10%	2%
チャート・花崗岩：	5%	0.5%

粒径と比浸出量・比保留量



参考文献

水収支研究グループ編
「地下水資源・環境論—その理論と実践—」
共立出版、1993年

Todd and Mays : “Groundwater Hydrology
3rd Ed.”, John Wiley & Sons, 2005年

それでは、また来週!!