

1. まえがき

土の比産出率とは、非定常浸透現象で自由地下水面が低下する際に、地下水面が低下した部分の土中の空隙から、重力排水によって産出される水の容積、全体の容積に対する割合を表わす浸透層パラメーターであり、自由地下水面下の浸透水の移動に寄与する有効空隙率とは異なる。本研究は、この比産出率と、土の空隙率と土粒子の粒度分布とから評価するモデルの作成を目的としたものであるが、昨号巻末にモデルでは、適当な値しが評価できなかったため、モデルの改良を行なった。また同時に、土粒子の平均粒径の算出法も変更した。

2. シミュレーションの判定条件

図-1の様に、自由地下水面より上の土粒子のすきま、すきわち空隙同巻を互いに結びあう連絡通路(以下、流路と呼ぶ)の部分に水面が保持される現象を、図-2の毛細管内の上昇した水面を保持する現象にモデル化して考え、水面が保持されずに降下してしまう条件として、図-2の力の均合いから式-1がえられる。

$$dv > 4T / (w \cdot Z^*) \quad \text{--- (1)}$$

ここに dv は、隣接する空隙の流路の断面を円に置換した場合の直径(流路径と呼ぶ)である。また空隙水が降下するには、空隙水が他の空隙水と連結しており、さらに当該空隙が水面を有していることが必要である。このため空隙水が満たされている空隙を $M(I, J) = 1$ 、すでに排除された空隙を $M(I, J) = 0$ とおき、式-2により判定した。

$$\left. \begin{aligned} M(I-1, J-1) * M(I-1, J) * M(I, J-1) * M(I, J+1) * M(I+1, J) * M(I+1, J+1) &= 0 \\ M(I-1, J-1) + M(I-1, J) + M(I, J-1) + M(I, J+1) + M(I+1, J) + M(I+1, J+1) &\neq 0 \end{aligned} \right\} \quad \text{--- (2)}$$

3. 空隙モデルの構成

まず土粒子ごとの様によって土層を構成していきながら考えてみると、土粒子の粒径が均一でないため、非常に複雑であり、不明な点が多い。そこで等球の場合について行なわれた実験結果および解析結果を準用して考えることにする。種々の空隙率になる様に球をつめた場合に、一つの球が他の球と接触する接触点の数と、その様な球の個数の分布を表-1の様にえられており、これらの接触点の数の場合には、表-2の様なつまりオが考えられている。またこの場合の球と球との間のすきま、あるいは流路には、四辺形的なより大きいものと、三角形的なより小さいものとがあり、それぞれの形の流路の

個数も明らかである。したがって、空隙の総数と空隙率を与えれば、例えば表-3の様に四辺形的の流路の数 $N_{四}$ と三角形的のそれ $N_{三}$ およびその混合割合が知れることになる。一方、土粒子の分布が対数正規分布であるとみなし、粒度分析による重量百分率から個数分布を表-4の様に求めると、これら土粒子の平均径 d_m および標準偏差 σ が求まる。そこで $\log d_m$ と σ を与えて $N_{四}$ 個の流路径と $N_{三}$ 個の流路径と決定する。この際に土粒子の配置は図-3と図-4であるととし、図-3は $d_1 \sim d_4$ および c の5個の正

規乱数 $G(\log d_m, \sigma)$ 、同様に図-4は3個の正規乱数を発生させて、互いの配置位置を決定する。図-3、4が決めれば

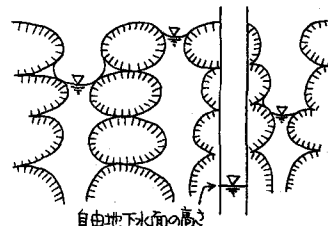


図-1 流路での水面の保持

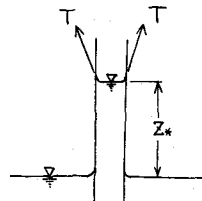


図-2 毛細管内の水面の保持

表-1 接触点の数に数えられた球の数

空隙率	接触点の数			
	6	8	10	12
0.359	77	322	208	192
0.372	86	233	161	389
0.426	69	316	87	0
0.440	173	233	14	0
0.447	243	200	2	0

表-2 球のつまり方

つまり方	接触点の数	四辺形的の数	三角形の数	割合
simple cubic (6面体)	6	6	0	0.9098
cubical tetrahedral (三角柱状5面体)	8	3	2	0.6539
tetragonal sphenoideal (斜三角柱状5面体)	10	2	4*	0.4324
pyramidal (5面体)	12	1	4	0.3504

* 底面の変形した四辺形と三角形2つと計算

接触回数	6	8	10	12	$\lambda = 0.36$
粒子個数	77	322	208	192	※
空隙個数*	70.05	210.56	299.44	67.28	437.83
	159.99	480.92	205.42	153.67	1000.
四角形の数	959.44	1442.76	410.84	153.67	2967.21
三角形の数	0	961.84	821.68	614.68	2387.20

*空隙個数は粒子個数に表-2の割合を乗じて得る

表-3
空隙流路
形状の
個数の算
定例

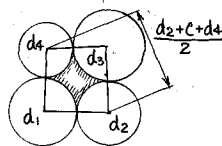


図-3 四辺形的な流路

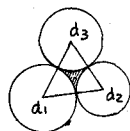


図-4 三角形的な流路

表-4 個数分布の算定例

d	log d	log d _{av}	d _{av}	$\sqrt{\sum (\log d)^2}$	W(%)	W/V	個数分布: f _m
1.190 ^{mm}	0.17395	0.08698	1.09087	0.67977	0.25	0.3678	0.1236
1.000	0	-0.08718	0.91652	0.4031	0.50	1.2404	0.4167
0.840	-0.17435	-0.35099	0.70399	0.1827	0.25	1.3684	0.4597
0.590	-0.52763						

Wは粒度分析からえられる重量百分率

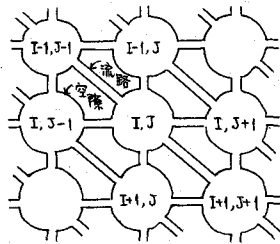


図-5 空隙と流路の基本配置

log d _{av}	f	f · log d _{av}	$(\log d_{av})^2$	$f(\log d_{av})^2$
0.08698	12.36	1.07502	0.007565	0.09350
-0.08718	41.67	-3.63267	0.007600	0.31669
-0.35099	45.97	-16.13515	0.123196	5.66332
※	100.0	-18.69279		6.07351

表-5
土粒子の
平均径と
標準偏差
の算定例

$$\log d_m = -0.186928 \quad d_m = 0.8295 \text{ (mm)}$$

$$S^2 = Z \{ (\log d_{av})^2 - 100 \cdot (\log d_m)^2 \} = 2.5793 \quad \sigma = \sqrt{\frac{S^2}{100-1}} = 0.16141$$

流路部分の面積がわかるので、これを円に置換して流路径を求め、図-3の形状の流路径の平均値 d_m と標準偏差 σ_m 、および図-4のそれら d_m , σ_m を算出しておく。次に $N(0,1)$ の標準正規分布表において、 $\int_{Z_\alpha}^{\infty} \phi(z) dz = N_m / (N_m + N_{\text{空}})$ を満たす確率変数 Z_α を求め、正規乱数 $G_N(0,1)$ を発生させて $G_N > Z_\alpha$ の場合は図-4の流路、 $G_N \leq Z_\alpha$ の場合は図-3の流路と判断させ、正規乱数 $G_X(\log d_m, \sigma_m)$ を発生させて、その値を図-5の各空隙の流路径とした。この時、各空隙は1個の流路径の値のみで与えられ、空隙径式(2)の条件を満たす場合には、その条件を満たした流路の流路径が与えられた流路径になっていると考えた。また図-5のモデルの空隙率は、与えられた空隙率になっているものとする。この様に空隙モデルが決定すれば、逐次、一定値 ΔZ_α (0.5cm, 1.0cm等) づつ地下水水面を下げながら、式-1, 2の条件を用いて判定し、さらになる空隙の個数と、4Z区間に含まれる総空隙数との比を求め、これに空隙率を乗じた値を比産出率とした。

図-6はシミュレーション結果の一例を示したものであり、白い部分が排水された空隙を示している。また図-7は $d_m = 0.85 \text{ mm}$ のガラス球について行なった実験結果とシミュレーション結果の比較を行なったものであり、両者が良く一致していることから、本モデルの妥当性が確かめられたものと考えられる。したがって、本モデルにより土の比産出率を算出し、これを非定常汚濁流の基礎方程式に与えて、自由地下水面の移動を数値的に追跡することが可能であると考えられる。

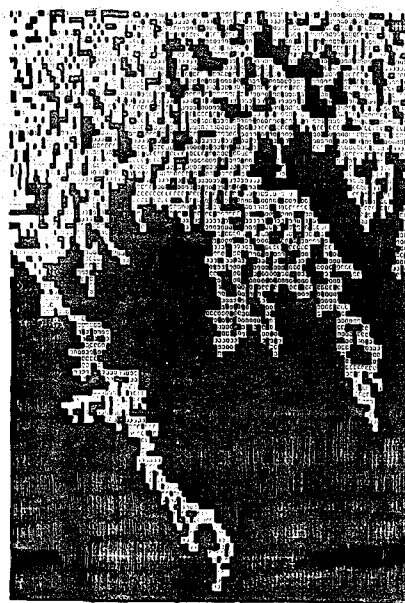


図-6 $Z_\alpha = 10 \text{ cm}$ 時の空隙水の分布図 (横方向空隙数100個)

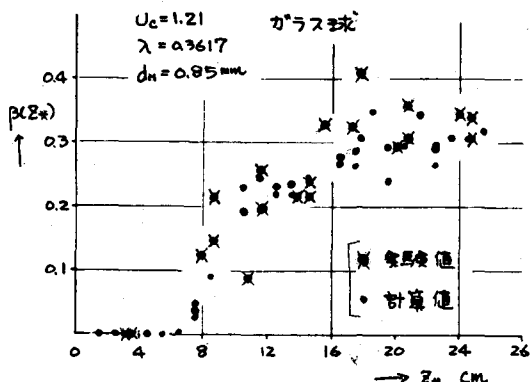


図-7 実験値との比較によるモデルの検証