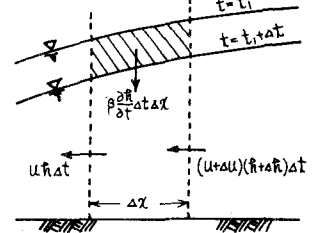


1. まえがき

自由地下水面を有する非定常浸透流の解析には、浸透層パラメーターを常数として取り扱う手法が従来用いられているが、その解析結果はかならずしも満足できるものではないことが指摘されている。^{1),2),3)} 本研究は、この解析誤差を、比産出率の値が空間的に変化することによるものと考えて、解析手法の検討を行なっているものであり、本報では、対象とする地盤の比産出率の値がどのように変化するかを、簡易なモデルを用いたシミュレーションにより、土の粒径分布と空隙率から評価することを考えた。

2. 比産出率について

まず比産出率 (Specific yield) は、自由地下水面の低下によって、飽和されていた土中から排出される水の体積の全体の体積に対する割合で定義される浸透層パラメーターであり、従来は有効空隙率 (Effective porosity) とほぼ同じ意味に用いられてきたが、最近 USGS により区別して使う事が提唱された。⁴⁾ 現象的には図-1のように自由地下水面が低下した際に、地下水面より上方の土中の水の一部は、毛管作用によって空隙中に保持され、全ては

図-1 比産出率 β の説明図

排出されない事を表示したものである。なお不飽和-飽和浸透流の解析手法においては、不飽和部分の流れの基礎式に用いられる体積含水率 (保持される割合) が比産出率と同様の効果を表わしているものと考えられる。⁵⁾

この比産出率の値に関する従来の研究^{6),7)}のうち、本報と同様の考え方で、武内の空隙モデルを用いたシミュレーション⁹⁾があるが、武内の空隙モデルは、モデルの構成から二次元モデルであり、隣接する空隙の連絡通路 (以下、流路と呼ぶ) の数が二次元と三次元で異なることから、本報においては三次元的な空隙モデルを用いた。⁸⁾

3. シミュレーションの判定条件

図-3のように空隙中に水が保持される様子をモデル化すると、図-4の毛細管内に上昇した水面を保持する現象であらわされる。図-4の場合の力の均合いの式は $w \pi d^2 / 4 = T \pi d$ (1) であるが、流路の断面を円に置換した場合の直径 (流路径と呼ぶ) を d_v とおくと、 $d_v \geq 4T / (w \cdot 2)$ (2) によって、空隙中に水が保持されるか否かを判定できる。また制限条件として、隣接する空隙が少なくとも一個以上空であれば、その空隙が空になること、および隣接する空隙が全て空であれば、その空隙は空にならないとする2つの条件を付した。

4. 空隙モデル

三次元の空隙モデルによるシミュレーションの一方途として、土粒子を三次元的に配置して空隙を決定し、その空隙につながる複数の流路について、式-2の判定を行なってゆく手法が考えられるが、その算定は非常に複雑であると考えられたため、つぎのような簡易なモデルを用いた。すなわち、土粒子4個を一平面上に配置して流路径だけを決定する。ここにモデルの空隙率は、与えられた空隙率と暗黙のうちに一致するものとした。さらに、式-2による判定は、その空隙がもつ代表的な流路一ヶ所について行なうと考えた。この場合、土粒子4個の配置は図-5あるいは図-6のいずれかであり、流路数が6個の場合の空隙と流路の配置

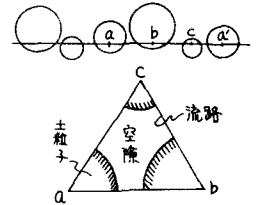


図-2 武内の空隙モデル

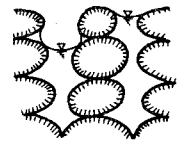


図-3 空隙中の水の保持

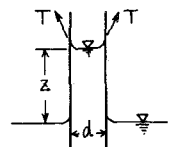


図-4 毛細管内の水面の上昇

は図-7のように考えている。

5. シミュレーションの手順とその結果

①まず、対象とする地盤の土粒子の粒径分布と対数正規分布と考へ、平均粒径 d_m と標準偏差 δ と、水文統計に用いられる簡易法により算出する。②図-5の場合は、5個の正規乱数(平均値 $\log d_m$, 標準偏差 δ) を発生させて指数を取り、その内の始めの4個を粒径($d_1 \sim d_4$)とし、5個目を C_1 とする。図-5の粒子2と3の間隔を $L_1 = (d_2 + C_1 + d_3)/2$ とおいて、4個の土粒子が互いに接する様に配置する。また図-6の場合、上記5個の乱数の他に、さらに一つの正規乱数を発生させて、その指数を C_2 とする。図-6の粒子1と2の間隔を $L_2 = (d_1 + C_2 + d_2)/2$ と定め、4個の土粒子が1・4・3・2の順に連結する様に配置する。なお、図-5と図-6の組合わせの判断は、これも正規乱数(平均値0, 標準偏差1)を発生させ、値と一定値と比較させて決定する。③角度 $\theta_1 \sim \theta_4$ を求め、四辺形1234内に含まれる土粒子部分の各面積 $S_1 \sim S_4$ を求める。④四辺形1234の面積 S を求め、 $S = (S_1 + S_2 + S_3 + S_4) = S_v$ により、流路の面積を定める。⑤流路長を $d_v = \sqrt{4S_v/\pi}$ より求める。⑥以上の①～⑤の手順を繰返して図-7の空隙モデルを決定する。⑦図-7の最上段の空隙を空にして置き、その中心位置から逐次0.5 cmだけ水面を低下させて、各空隙ごとに式-2の判定を行なう。判定の操作は、水平方向に往復しながらその時の水面の位置まで下がった後、2段目にもどり、再度同じ判定の操作を行なった後には、水面を下げることにした。

以上の手順により $d_m = 0.70 \text{ mm}$, $\delta = 0.255$, $\lambda = 0.43$ の場合について行なった算定結果を図-10に示す。図中には、図-5と図-6の混合割合を0% [図-5の配置が100%, 図-6が0%], 50%, 100%と変化させた場合の結果と、流路径分布が粒径分布と同じと考えた場合の結果、武内モデルによる算定結果 [$d_m = 0.85 \text{ mm}$, $U_c = 1.21$, $\lambda = 0.36$] およびガラス球 [$d_m = 0.85 \text{ mm}$, $U_c = 1.21$, $\lambda = 0.36$] を用いた実験結果を示している。武内の空隙モデルによるシミュレーションの場合は、孤立する制限条件を用いていないため、その結果は与えられた空隙率の36%に漸近するが、今回のシミュレーションの結果では、孤立して残留水となる割合が、各段毎に20%程度あるため、与えられた空隙率の3/4の30%程度の値に漸近する傾向を示すようである。

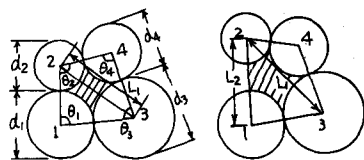


図-5 土粒子の配置

図-6 土粒子の配置

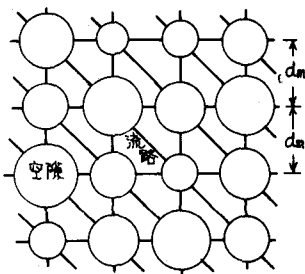


図-7 空隙と流路の配置

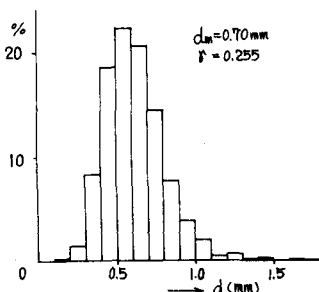


図-8 粒径分布

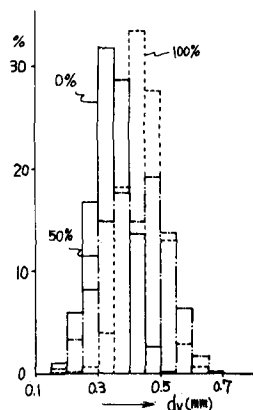
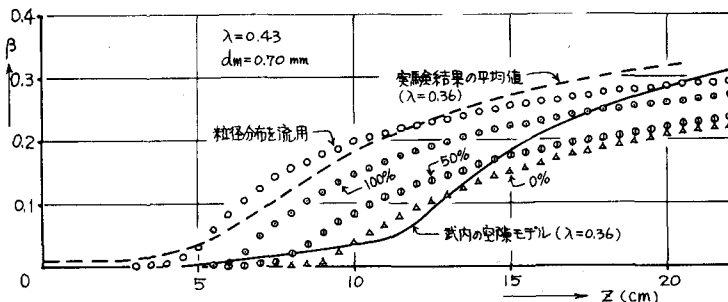


図-9 流路径分布

図-10 シミュレーション結果



参考文献 1) 嶋: 浸透性土層の流動現象について、才28回年講。 2) 尾島: 浸透性土層中の水位変動と流動量に関する結果、才21回水理講演会。 3) 杉本 忠邦: 自由地下水と有する非定常流の検討、九工大工研報 才12号。 4) 建設省水工研究センター: 最新地下水学。 5) 本井 和也: 有隙率集注による飽和-非飽和流の解析、土研会論叢集。 6) Tailor: Drainable Porosity Evaluation from Outflow Measurements and its Use in Darcy's Equation, Soil Science。 7) White & Other: Physics of Penetration in Porous Materials, ASCE Vol 96, IR2。 8) 武内: 空隙モデルによる土体内の流れのシミュレーション、土研会論叢集 No. 187。 9) 上田 利雄: 土質: シミュレーションによる土質の空隙率の算定、九工大工研報 Vol 96, NO. 5。 10) 橋本: 河川工学