

1. まえがき

従来の解析手法では、非定常自由地下水面の変動を表現できないので、浸透層の外水面が周期的に変動する場合について解析手法を検討してきたが、浸透層パラメータの比産出率（被圧状態の貯留係数に相当）の値を、浸透層地盤の空隙率と砂粒子の粒径分布から構成した空隙モデルを用いて算定し、これを流れの基礎式に与えて解く手法を提案した¹⁾。本報は同手法を浸透層の外水面が急降下する場合について適用し、砂モデルによる模型実験結果と比較したものである。

2. 模型実験

模型実験は本研究の初期に行っている²⁾ので、その結果を用いた。実験は幅40cmの浸透水槽の、長さ106.3cmの区間に高さ62cmまで砂($d_w = 0.74\text{mm}$ $U_c = 1.19$)を空隙率0.43でつめたものを用いたものであり、初め、水槽内の水位を60.5cmに保っておき、外水面を32.2cmあるいは10.9cmまで急激に降下させた場合の自由地下水面の降下を、マノメーターにより観測している。

3. 比産出率の算定

実験砂および空隙率が、外水面が周期変動する場合の実験と同じであるから比産出率の値は上記の解析に用いた値そのままを用いているが、その算定法について簡単にふれておこう³⁾。まず、砂の粒度分析による重量百分率から平均粒径 d_m および標準偏差 σ を求めておく。次に地盤の空隙率より、砂粒子の接触点数の分布を用いて表-1から仮定し、表-2と組み合わせ、空隙相互間を結ぶ空隙流路の四辺形的な数 $N_{\square}$ と三角形的な数 $N_{\triangle}$ の比率を決定する。この比率に応じて空隙流路の形状を決定し、四辺形的な空隙流路の場合は正規乱数 $G(\log d_m, \sigma^2)$ を5個、三角形的な場合は3個発生させて、これらの大きさの砂粒子に挟まれる空隙流路の面積を円に置換した直径 d_v を算出する。この d_v を規則的に配列した空隙モデルに、自由地下水面より z^* 上方にある空隙中の水が排水される条件

$d_v > 4T/(\omega \cdot z^*)$ (1)

制限条件1. 隣接する空隙が1個以上は即ち排水されている事。

制限条件2. 隣接する空隙が全て排水されてはいない事。

を適用し、自由地下水面を想定して、順次低下させると、自由地下水面の位置の関数として比産出率が算定される。なお数値解析では $\beta(z^*)_{min} = 0.02$ としている。

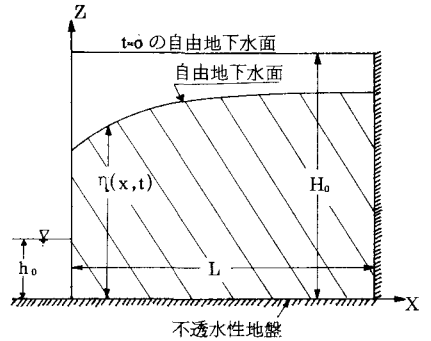


図-1 浸透領域

表-1 接触点数ごとに数えられた個数の分布⁴⁾

接触点数 空隙率	6	8	10	12
0.359	4.93%	20.62%	13.32%	12.29%
0.372	5.76	15.60	10.78	26.04
0.426	7.78	35.63	9.81	0.0
0.440	19.10	25.72	1.55	0.0
0.447	26.85	22.10	0.22	0.0

注：実験結果では、上記以外の接触点数があるため、表の数値を横に合計しても100%にならない。

表-2 砂粒子のつまり方

つまり方	接触点数	空隙流路数		空隙比
		四辺形的	三角形的	
simple cubic	6	6	0	0.9098
cubical tetrahedral	8	3	2	0.6539
tetragonal sphenoidal	10	2	4	0.4324
pyramidal	12	1	4	0.3504

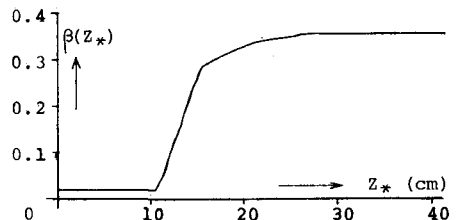


図-2 比産出率の値

4. 数値解析

流れの基礎式は連続式と準一次元流の運動方程式を用いた。

$$\begin{cases} \beta(x) \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0 & \dots (3) \quad (q = \int_0^{\eta} u dz) \\ \frac{1}{\lambda} \frac{\partial q}{\partial t} + \eta \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{q}{\eta} = 0 & \dots (4) \end{cases}$$

これらを空間的に $\Delta x/2$ 、時間的に $\Delta t/2$ ずらした計算点において η と q を交互に計算する Scheme を用いて差分化した。安定条件は $\Delta x/\Delta t \geq \sqrt{g\eta_{max}}$ を用い $\eta_{max}=60.5$ cm, $\Delta x=8.18$ cm において $\Delta t=0.03$ sec とした。また $10\Delta t$ ステップ毎に次式により q の平滑化を行った。

$$q_i = m q_i + (1-m)(q_{i-1} + q_{i+1})/2 \quad \dots (5) \quad (m=0.8)$$

5. 検討

図-1の流れの場合においては、外水面付近で、鉛直流速の効果が大きいと考えられるので、すでに行った比産出率を一定とする数値解析では、二次元流として計算を行っている。この計算結果を模型実験結果と比較した図を参考までに示すと図-3.4の様であり、傾向的に全く異なった結果しか示していないことが明らかであり、Hele-Slawモデル実験結果と非常に良く一致する事と対照的であった。本数値解では、外水面が周期的に変動する場合の解析プログラムをそのまま用いた。この場合、準一次元流の計算になり、鉛直流速成分も考慮していないため浸出面が表現できない。したがって外面付近で相違が大きくなる事は避けられないが、この解析誤差を認めに上で、実験結果と比較してみよう。まず図-5は外水面の降下量が少ないから鉛直流速の効果が小さく、解析により近い条件のもとでの比較になる。実験結果を実線で、数値解析結果を点線で示している。実験開始初期に若干相違するが、図-3に比べれば数値解は非定常変動を良く表現しているといえよう。次に図-6は外水面の降下量が多く鉛直流速の効果が大きい場合である。当然の様に、解析誤差が大きいが、それでも図-4に比べればある程度は非定常変動を表現しており、しかも150秒以後は良く一致していることがわかる。以上の様に、外水面が急降下する場合について、空層モデルと援用する解析手法を適用したが、解析結果は実験結果とほぼ一致しており、その有用性が確かめられたものと考えらる。

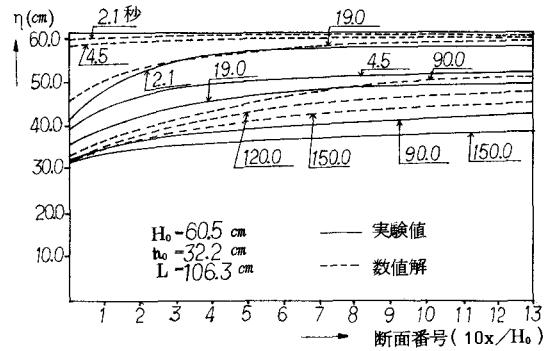


図-3 従来の数値解との比較

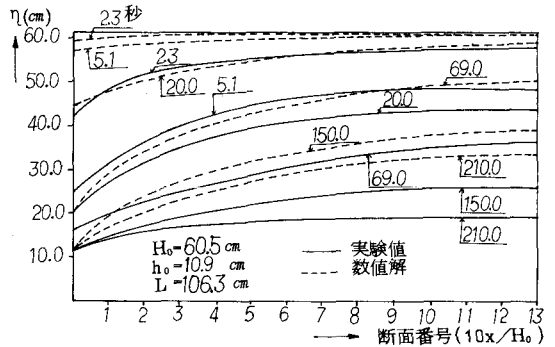


図-4 従来の数値解との比較

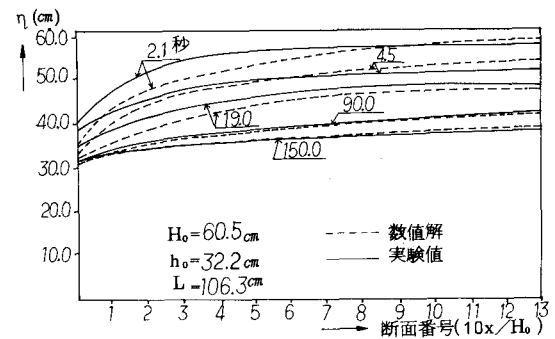


図-5 本数値解との比較

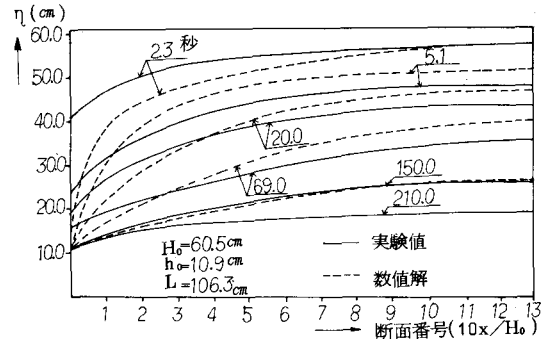


図-6 本数値解との比較

参考文献 1) 杉尾：浸透層内の長周期波動について(オ3報), オ33回年報.
2) 杉尾：本邦：自由地下水面を有する非定常浸透流の検討, 九州産業大学工学部研究報告, オ12号, 昭和50年. 3) 杉尾：モンテカルロ法による土の比産出率の算定(オ2報), 昭和53年度西部支部研究発表会講演集. 4) 最上武雄編：土質力学, 技報堂, 1969.