

九州大学 工学部 ○ 正 安田 裕

" 正 神野 健二

" 正 上田 年比古

1 まえがき; 浸透池が各地で計画されている¹⁾が、浸透池の計画及び運用上問題となるのは、濁質による浸透能力の低下である²⁾。本報では浸透池の浸透能力低下は①浸透池底面下の浸透層に濁質が抑留して生じる目づまりによるものと②浸透池底面上に濁質が堆積して生じるマッドケーキによるものとして、一次元浸透層について実験、解析している。

2 実験; 実験は図-1の装置による。装置本体は10cm×10cmの角柱状でマノメータおよび実験終了後に砂を採取するための孔を持ち、濁度計で注入濁度を測定する。装置下部40cmに0.5mmの均一粒径の砂を詰め、濁質には50μ粒径3μm-12μmの博多済ヘドロを用いた。本報の実験は表-1に示す。実験9のみマッドケーキが形成され、それ以外は形成されなかった。

表-1 実験

実験 番号	注入濁度 C_{in} (mg/l)	初期透水係数 k_0 (cm/sec)	初期空隙率 ϵ_0	最終浸透 能力(%)	マッドケーキ 形成の厚D(mm)
run4	500	0.15	0.47	71.0	0
run5	1000	0.23	0.48	35.9	0
run6	1100	0.19	0.45	1.9	0
run7	4200	0.27	0.48	12.8	0
run9	7000	0.16	0.46	(0)	46

* 浸透層全体についての初期透水係数と実験最終時の透水係数の比(%)

3 基礎式; 距離軸は、図のように砂層上面を0とし、砂層下方にx, 濁水部上方にx' とする。① 砂層の目づまりに対して³⁾ 流体の連続式; $\partial u / \partial x = 0$...

(1), Darcy則 $u = -k \partial \phi / \partial x$... (2) 濁質の保存式; $\partial C / \partial t + u / \epsilon \cdot \partial C / \partial x$

+ $Q_s(1 - \epsilon_0) / \epsilon \cdot \partial q_s / \partial t = 0$... (3) 濁質の抑留式; $Q_s(1 - \epsilon_0) / \epsilon \cdot \partial q_s / \partial t$

= $\beta_1(1 + \beta_2 q_s)(1 - \beta_3 q_s)C$... (4) 空隙率と濁質抑留量の関係式; $\epsilon = \epsilon_0 - Q_s(1 - \epsilon_0)q_s / \{Q_s(1 - f_{gr})\}$... (5)

透水係数と濁質抑留量の関係式

$$\frac{k}{k_0} = \frac{(\epsilon_0 - (1 - \epsilon_0)Q_s q_s / \{Q_s(1 - f_{gr})\})^3}{\epsilon_0^3 [1 + Q_s q_s / \{Q_s(1 - f_{gr})\}]^2} \left\{ \left(\frac{Q_s q_s}{3Q_s(1 - f_{gr})} + \frac{1}{4} \right)^{1/2} + \frac{Q_s q_s}{Q_s(1 - f_{gr})} + \frac{1}{2} \right\} \quad (q_s < q_s^* \text{ の場合}) \quad \dots (6)$$

$$k = k^* \exp(-\theta(q_s - q_s^*)) \quad (q_s \geq q_s^* \text{ の場合}) \quad \dots (7) \quad \text{ここに、} u; \text{断面平均流速(cm/sec), } k; \text{透水係数}$$

(cm/sec), ϕ ; 水頭(cm), x; 座標(cm), C; 濁度(g/cc), ϵ ; 空隙率, ϵ_0 初期空隙率, Q_s ; 砂の単位体積重量(g/cc)

Q_s ; 濁質の単位体積重量(g/cc), q_s ; 砂単位重量あたりの濁質抑留量(無次元), f_{gr} ; 抑留濁質の2次空隙率, また、

濁質が砂層空隙を埋めつくし、流体が濁質内部の空隙(2次空隙)を流れる状態に変化した時点の q_s, k を q_s^*, k^* とする。 $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \theta$; 実験定数, t; 時間(sec)である。

② 濁水部に対して 液相の連続式 $\partial n / \partial t - \partial (u_f \cdot n) / \partial x' = 0$... (8), 液相の運動方程式

$$0 = n \partial p / \partial x' - F(u_f - u_s) + n \rho \cdot g_r \quad \dots (9), \quad \text{固相の連続式} \quad \partial (1-n) / \partial t - \partial \{ (1-n)u_s \} / \partial x' = 0 \quad \dots (10),$$

$$\text{固相の運動方程式} \quad 0 = (1-n) \partial p / \partial x' + \partial \sigma / \partial x' + F(u_f - u_s) + (1-n)Q_s \quad \dots (11), \quad \text{ここに、} n; \text{濁水の空隙率、}$$

u_s ; 固相流速(cm/sec), u_f ; 液相流速(cm/sec), F; 抵抗係数, p; 圧

力(dyn/cm²), g_r ; 重力加速度, σ ; 有効応力

(dyn/cm²), 数値計算はこれらの式を差分して行う。

4 実験結果; 実験開始後、流量は図-2のように減少する。特に、注入濁度が高くマッドケーキが形成された場合は、流量は図-4のように急速に減少する。一方、水頭は図-3のように、砂層内で低下する場合(目づまり)(右側の図)とマッドケーキが形成され、ケーキ内部で低下する場合(左側の図)がある。このように、マッドケーキが形成された場合のケーキ内の透水係数の変化は図-4のようになる。ケーキの成長とともにケーキ底面から上に向かって、圧縮が生じ透水係数が低下していく。

いま、ケーキ内の透水係数の変化を算定してみよう。大坪ら

⁴⁾は筒状容器に濁水を入れ、沈殿終了後の定常時の濁質濃度

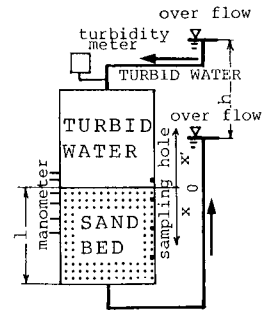


図-1 実験装置

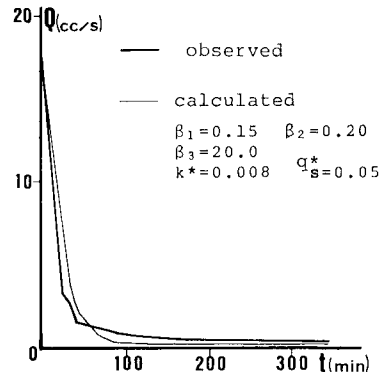


図-2 流量の時間変化 (run 5)

の鉛直分布を求めている。本報では底部にマッドケーキができた状態では、底部はほぼ閉塞され、流量は微量になるので、底とじと考えると、大坪らの解析を近似的に利用することにする。大坪らは式(8)~(11)で $u_f, u_s=0$ とした定常状態を解き、 $x' = -B \cdot (1/A + \rho_s/C) \cdot \text{EXP}[-A\rho_s/C] + H^* \dots (12)$ ここに、 A, B は実験条件により算定される既知数である。積分定数 H^* は、 $x' = 0$ で $C=C_b$ として与えられる。すなわち、 $H^* = B \cdot (1/A + \rho_s/C_b) \cdot \text{EXP}[-A\rho_s/C_b] \dots (13)$ ここで、 H^* は濁質界面高さとなる。ここで、大坪らはヘドローの圧密実験を参照して $C_b = \rho_s A / \{ \rho_s A / C_1 - \ln(\sigma_b / \sigma_1) \} \dots (14)$ と与えている。なお、 C_1, σ_1 はある時点の濁度と有効応力と既知とする。

さてここで σ_b について著者らは次の値を与えた。マッドケーキに沈積してくる濁水部上方の濁質の濃度を C_{in} 、その沈殿速度を U_s とする。 U_s は図-4のD線の平均勾配から近似的に求め、その値を一定とし、また C_{in} も実験中一定とする。したがって、単位面積あたりの堆積量は

$$\int_0^t C_{in} \cdot U_s \cdot dt = C_{in} \cdot U_s \cdot t \dots (15)$$

である。したがって、時刻 t におけるケーキ底部の有効応力 σ_b は、

$$\sigma_b = (\rho_s - \rho) g r / \rho_s \cdot C_{in} \cdot U_s \cdot t \dots (16)$$

いま、式(16)により各時間 t ごとに σ_b を求め、式(14)、(13)ついで(12)より各時間ごとの x' と C との関係が算定される。ここでは、run9を対象とし、 $\sigma_1 = 80.0$ (dyn/cm²), $A = 3.1$, $C_1 = 0.767$ (g/cc), $U_s = 0.03$ (cm/sec)を用いた結果を図-5に示す。次に、透水係数 $k = \text{EXP}(\alpha C + \beta) \dots (17)$ として、 $\alpha = -4.85$, $\beta = -6.04$ とし図-5の C を用いて各時間の透水係数の場所的变化を求めると図-6となる。実験値と比較して、傾向は近似していて、本方法で近似的にマッドケーキ内部の濁度、透水係数が算定できると考えられる。

5 むすび 1)マッドケーキによって生じる浸透能力の低下は、急速な現象で、程度が大きい。2)基礎式中の定数を与えることにより濁質による浸透能力の低下(目づまり、マッドケーキ)を近似的にシミュレーションできる。

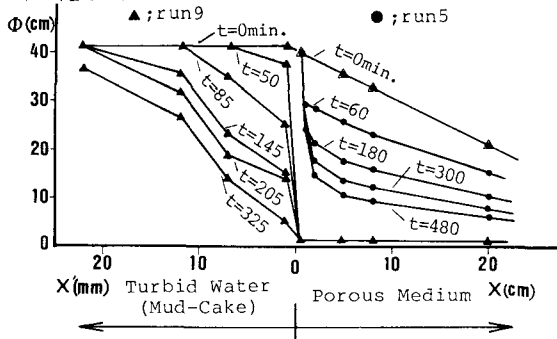


図-3 各時刻の水頭の場所的变化

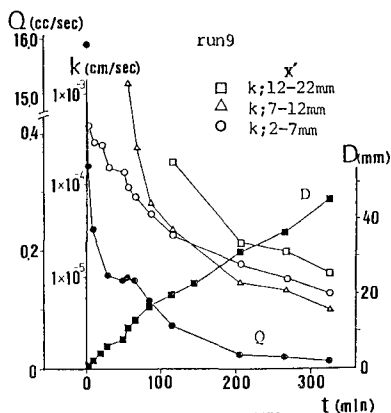


図-4 流量Q,透水係数K
マッドケーキ厚さDの時間変化

参考文献 1)

- 山本 ;第2回水資源シンポ,1982,
- 2)村下;第1回水資源シンポ,1977
- 3)上田、神野ら ;地下水学会誌, 25-3,1983,4)大坪村岡;第27回水講 1983

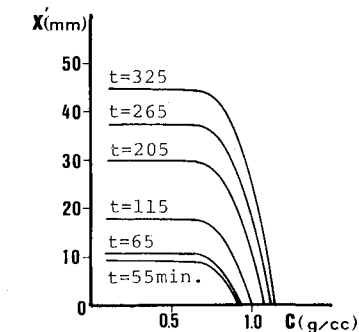


図-5 各時刻の濃度の場所的变化
(run 9)

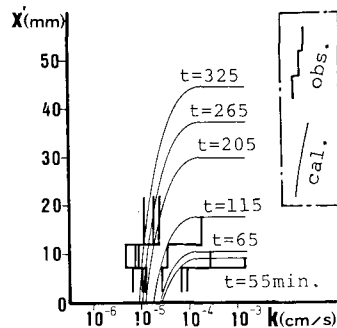


図-6 各時刻の透水係数の場所的变化
(run 9)