

II-78

浸透池の濁質による浸透能力の低下について

九州大学 工学部 ○ 学 中野 昌司
" 正 安田 裕
" 正 神野 健二

1 まえがき; 浸透池が各地で計画されている¹⁾。浸透池の計画、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⁾。浸透池の先進国ともいえる西ドイツ、オランダ等では濁質により浸透能力の低下した浸透池底面をかきとる作業が運用上不可欠となっている³⁾。本報では浸透池に生じる浸透能力の低下は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②浸透池底面上に濁質が堆積して生じるマッドケキによるものとして、これらについて実験、解析を行っている。

2 実験; 実験は図-1に示す装置を用いた。装置本体は10cm×10cmの角柱状でマンメータおよび実験終了後に砂を採取するための孔を有する。また、濁度計で注入濁度を測定できる。装置の下部40cmには0.5mm均一粒径の砂を詰め、濁質には図-2の粒径分布を持つ博多湾ヘドロを用いた。本報では表-1の実験を対象とする。実験9はマッドケキが形成された場合である。

表-1 実験

実験	注入濁度 (mg/l)	初期透水係数 (cm/sec)	初期 空隙率	最終浸透 能力(%)	マッド ケキ厚(mm)
4	500	0.15	0.47	71.0	0
5	1000	0.23	0.48	35.9	0
6	1100	0.19	0.45	1.9	0
7	4200	0.27	0.48	12.8	0
9	7000	0.16	0.46	(0)	46

* 最終浸透能力は浸透層全体について初期透水係数と実験最終時の透水係数の比(%)。

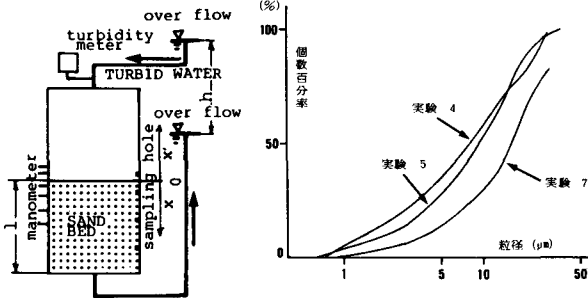


図-1 実験装置

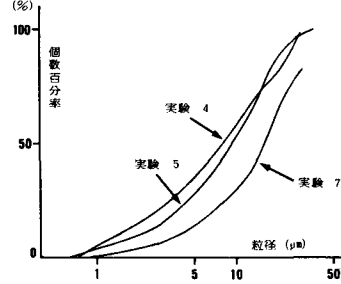


図-2 懸濁物質の粒径分布

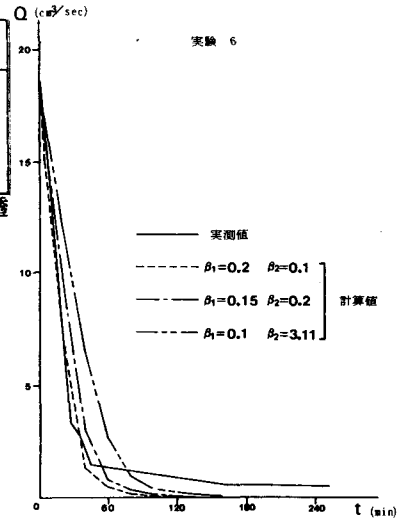


図-3 流量の変化

3 基礎式; ① 砂層の目づまりに対して 連続の式: $\partial u / \partial x = 0$ (1), Darcy則 $u = -k \partial \phi / \partial x$ (2),

懸濁物質保存の方程式; $\partial C / \partial t + u / \epsilon \cdot \partial C / \partial x + Q_s (1 - \epsilon_0) / \epsilon \cdot \partial Q_s / \partial t = 0$ (3),

懸濁物質の抑留式; $Q_s (1 - \epsilon_0) / \epsilon \cdot \partial Q_s / \partial t = \beta_1 (1 - \beta_2 Q_s) (1 - \beta_3 Q_s) C$ (4),

空隙率と懸濁物質抑留量の関係式; $\epsilon = \epsilon_0 - Q_s (1 - \epsilon_0) / (Q_r (1 - f_r))$ (5),

透水係数と懸濁物質抑留量の関係式

$$\frac{k}{k_0} = \frac{(\epsilon_0 - (1 - \epsilon_0) Q_s / (Q_r (1 - f_r)))^3}{\epsilon_0^3 (1 + Q_s Q_r / (Q_r (1 - f_r)))^2} \left\{ \frac{Q_s Q_r}{3 Q_r (1 - f_r)} + \frac{1}{4} \right\}^{1/2} + \frac{Q_s Q_r}{Q_r (1 - f_r)} + \frac{1}{2} \} \quad (6)$$

ここに; u ; 断面平均流速 (cm/sec), k ; 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_r 懸濁物質の単位体積重量 (g/cc), Q_s ; 砂単位重量あたりの懸濁物質抑留量 (無次元), $\beta_1, \beta_2, \beta_3$; 実験定数, t ; 時間 (sec), f_r ; 二次空隙率 初期透水係数 (cm/sec)

② 濁水部 に対して 液相の連続式 $\partial n / \partial t + \partial (u_1 \cdot n) / \partial x = 0$ (a), 液相の運動方程式

$0 = -n \partial p / \partial x - F(u_1 - u_s) + n \rho \cdot g$ (b), 固相の連続式 $\partial (1 - n) / \partial t + \partial \{ (1 - n) u_s \} / \partial x = 0$ (c), 固相の運動方程式 $0 = -(1 - n) \partial p / \partial x - \partial \sigma / \partial x + F(u_1 - u_s) + (1 - n) Q_r \cdot g$ (d), ここに; n ; 濁水の空隙率, u_s ; 固相流速 (cm/sec), F ; 抵抗係数 $[= 18(1 - n) \nu \rho / (ds^2 \cdot n^{1/2})]$, ν ; 動粘性係数 (cm²/sec), ds ; 懸濁物質粒径 (cm), u_1 ; 液相流速 (cm/sec), p ; 圧力 (dyn/cm²), g ; 重力加速度, σ ; 有効応力 (dyn/cm²), α ; 定数, q ; 全体フラックス $[= (1 - n) u_s + n u_1]$ 数値計算はこれらの式を差分して行う。

4 実験結果; ① 流量 浸透流量は図-3のように減少する。水平方向の流れに生じる目づまりによる流量の減少

②に比較して、急速な減少といえる。特に、マッドケキが形成された場合には、図-8のように短い時間で急激に減少する。マッドケキが形成されない場合(図-3)、流量は数%に減じた後、減少がゆるやかとなる。これは、砂層空隙に懸濁物質がほぼ完全に抑留され、砂層の透水係数が激減した後は、砂層空隙の抑留懸濁物質の空隙を水が流れていくためと考えられる。なお、図中の計算値は基礎式を数値計算したものである。③ 水頭 図-4のようにマッドケキが形成された場合と形成されなかった場合で大きく異なる。マッドケキが形成されない場合、水頭の低下は砂層の内部で生じる。砂層上部より数cmの範囲で集中的に低下している。マッドケキが形成される場合、水頭の低下はマッドケキ内で集中的に生じる。この場合、低下の程度は大きく、数10mmの範囲でほとんど全水頭分の低下が生じている。

○透水係数 水頭の低下に対応して、砂層上部、マッドケーキ内部で透水係数の低下がみられる。図-5のようにマッドケーキがない場合は、砂層上部から数cmの範囲で透水係数が 10^{-3} (cm/sec)程度のオーダーにまで低下している。図-8にはマッドケーキの成長に伴い、透水係数の低下が上方へ進行していく様子が示されている。

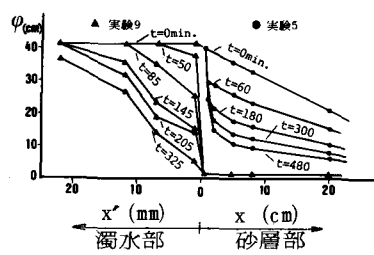


図-4 水頭の変化

マッドケーキ形成の初期段階では、マッドケーキの透水係数は 10^{-3} (cm/sec)程度であり、マッドケーキの成長に伴い 10^{-5} (cm/sec)程度に収束しているようである。マッドケーキがない場合の砂層上部の透水係数は最終的に 10^{-3} (cm/sec)程度であり(図-5)、マッドケーキ形成の初期段階に近いものとなっている。このことから、砂層内の目づまりによってある程度以上低下した透水係数は懸濁物質のものであると考えられる。

○懸濁粒子抑留量 図-6に懸濁物質抑留量の分布が示されている。懸濁物質の抑留は砂層上面から数cmまでの範囲で顕著である。マッドケーキが形成された場合(実験9)、抑留量はマッドケーキが形成されなかった場合に対して1オーダー低いものになっている。これは、高濃度の濁水が注入され、短時間のうちにマッドケーキが形成されて砂層内部への濁質の供給がほとんどなかったためと考えられる。

○透水係数と懸濁物質抑留量の関係 図-7には透水係数と懸濁物質抑留量の関係が示されている。図中の曲線は基礎式(6)透水係数と懸濁物質抑留量の関係式である。水平方向の流れに生じる目づまりについての透水係数と懸濁粒子抑留量の関係⁹⁾に比べて、より少ない懸濁物質抑留量で透水係数が大きく低下している。式(6)は二次空隙率 f_0 をパラメータとして持つ。 f_0 は抑留した懸濁物質の空隙率にあたるもので、この空隙内では水が流れないとしている。本報の実験結果から、抑留懸濁物質空隙内を水が流れると考えられる。本式の適用には検討を要す。

5 むすび 1)浸透池の濁質による浸透能力の低下は、①浸透層空隙での濁質の抑留による目づまり②浸透池底面上への濁質の堆積、マッドケーキの二つの要因から生じると考えられる。2)水平方向の流れに生じる目づまりと比べて、鉛直方向(浸透池の場合)の流れに生じる浸透能力の低下は、急速な現象で、程度が大きい。3)浸透層空隙に懸濁物質が抑留して砂層の透水係数が減少した後は、懸濁物質の透水係数によって水が流れると考えられる。4)基礎式中の定数を与えることにより浸透池の濁質による浸透能力の低下をシミュレーションできる。

参考文献 1)山本 雅史;多目的地下水人工涵養について、第2回水資源に関するシンポジウム、1982 2)村下 敏夫;地下水人工涵養の現状と将来、第1回水資源に関するシンポジウム、1977 3)Huisman; Artificial Groundwater Recharge, 1983 4)上田 年比古;懸濁物質による砂充填層内の目づまりと再揚水による透水係数の回復について、日本地下水学会誌、第25巻第3号、1983

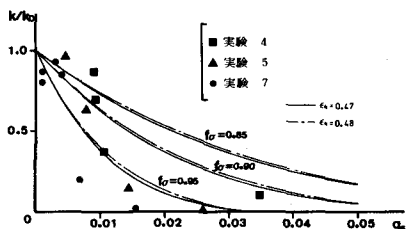


図-7 透水係数と懸濁物質抑留量の関係(式(6))

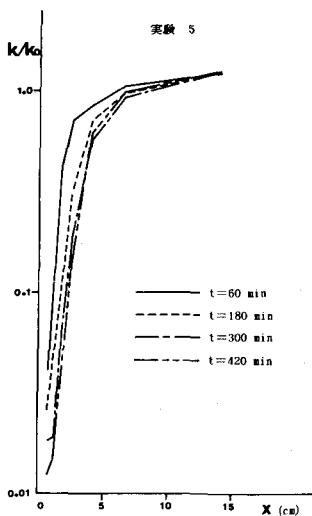


図-5 透水係数

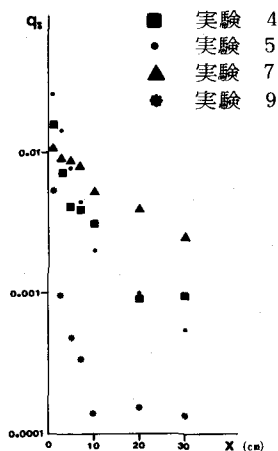


図-6 懸濁物質抑留量の分布

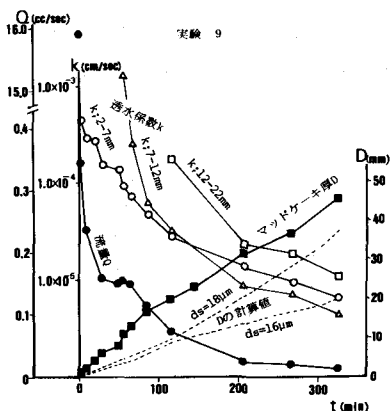


図-8 マッドケーキの成長と透水係数,流量