

浸透池による地下水人工涵養に関する考察

九州大学 工学部 ○学 柳原 浩 学 重藤 恵昭
正 安田 裕 正 神野 健二
正 上田 年比古

まえがき 地下水涵養の一手段として、浸透池が計画されつつある。浸透池の維持管理では、涵養水中の濁質による浸透能力の低下が問題となる。これは、濁質によって浸透池底面及び側面の浸透層が閉塞されることにより生じる。このことは、浸透池の運営に関しては歴史的な実績のあるヨーロッパ諸国でも問題となっており、池の底にたまった汚泥を定期的に除去する作業が行われている²⁾。濁質による浸透池の浸透能力の低下は二つの面から捉えることができる。一つは浸透池底面下の浸透層に濁質が抑留して発生する目づまりによるもの、もう一つは浸透池底面上に濁質が堆積することによって生じるマッドケーキによるものである。本報は、これら二面による浸透池の浸透能力の低下のメカニズムを解き明かすことを目的とし、一次元浸透層について濁水注入の実験を行い考察を加えたものである。

実験 実験には図-1に示す一次元浸透層モデルを用い、平均粒径1.0mmの砂を透水係数がほぼ 0.8 cm/sec 前後の値になるように詰めて浸透層とし、図のようにマノメータを取り付けている。粘土質シルトを水道水に混入した濁水を浸透層に注入することにより、浸透層表面及び内部で浸透能力の低下が生じるようにする。今回の実験は、注入水の濁度がそれぞれ、1000, 2000, 3000及び5000 mg/l の場合について行われている。各実験の条件を表-1に示す。注入時には、浸透流量及びマノメータにより水頭を計測し、併せて浸透層表面付近での濁質の挙動を観察する。また、実験終了後、浸透層の所定の位置から砂を採取し、砂の単位重量あたりに抑留された懸濁粒子重量を測定する。

表-1 実験条件

実験番号 条件	1	2	3	4
注入水濁度 (mg/l)	1000	2000	3000	5000
浸透層初期空隙率	0.448	0.446	0.444	0.440
浸透層初期透水係数 k_0 (cm/sec)	0.806	0.846	0.756	0.821
動水勾配	0.616	0.570	0.700	0.568
Reynolds 数	8.45	8.23	9.05	8.08
実験終了時の浸透層 透水係数 k/k_0	0.591	0.051	0.023	0.030

実験結果

○流量、透水係数
浸透流量、浸透層
全体の見かけの透水
係数は図-2のように
時間とともに減少し
ていく。注入濁度が

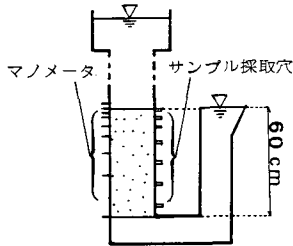


図-1 実験装置

高いほど、流量、透水係数ともに減少は著しい。注入濁度が1000 mg/l (実験1)の場合は、減少の度合は緩慢であるが、注入濁度が2000 mg/l 以上の場合(実験2, 3, 4)は急激な減少を示している。また、浸透層全体の透水係数の時間変化を図-3に示している。同図からも、流量と同様に、高濃度の場合の減少が顕著であることがわかる。なお、実験2~4では濁度の相違による流量、透水係数の時間変化の相違はあまり認められない。次に、砂層内の透水係数の分布の時間変化を実験2について図-4に示す。図では、透水係数の低下は砂層上部で著しく、深部で小さい。砂層上部では、実験初期から透水係数の低下が生じ、低下速度が大きい。また、図-5には各実験に対し砂層上部に着目し、上端よりおよそ1.0cmまでの区間における透水係数の時間変化を示す。これによると、注入濁度の低い場合(実験1, 2)、透水係数の低下速度が大きく、同一経過時間における透水係数も小さい。これは、注入濁度が低い場合にはマッドケーキが形成されずに砂層内部へ懸濁粒子が直接流入して、抑留されるためと考えられる。なお、注入濁度の高い場合は砂層表面での濁質の堆積(マッドケーキ)によって浸透流量が低下すると考えられる。実際に、実験4(注入濁度5000 mg/l)では、実験最終状態で砂層表面に厚さ5mm程度のマッドケーキが認められている。

○懸濁粒子抑留量 実験3, 4の最終状態における砂層の懸濁粒子抑留量

を図-6に示す。また、透水係数と抑留量の関係を図-7に示す。図から、抑留量が増加するほど、透水係数が減少していることがわかる。ここで、透水係数と懸濁粒子抑留量との関係式(Stein-Kozeny式)¹⁰⁾の適合性を検討してみる。

$$\frac{k}{k_0} = \frac{[E_0 - (1-E_0)\sigma_s \delta_s / \{\sigma_h(1-f_r)\}]^3}{E_0^3 [1 + \sigma_s \delta_s / \{\sigma_h(1-f_r)\}]^2} \cdot \left[\left\{ \frac{\sigma_s \delta_s}{3\sigma_h(1-f_r)} + \frac{1}{4} \right\}^{\frac{1}{2}} + \frac{\sigma_s \delta_s}{3\sigma_h(1-f_r)} + \frac{1}{2} \right]$$

ここに、 σ_s ；砂の単位重量(g/cm³)、 σ_h ；懸濁粒子の単位重量(g/cm³)、 f_r ；抑留粒子の二次空隙率、 δ_s ；浸透層構成砂1g当りの抑留量(g/g)、 k_0 ；初期透水係数(cm/sec)、 k ；透水係数(cm/sec)、 E_0 ；初期空隙率

同式は、浸透層に懸濁粒子が抑留したときの透水係数の低下を表している。また、抑留した懸濁粒子の空隙率(二次空隙率； f_r)を考慮している。図中の実線は、式中で $E_0 = 0.44$ 、 $f_r = 0.93, 0.95, 0.97$ の場合であり、傾向的には実験値と近似していると言える。

むすび

砂層に鉛直方向に濁水を注入する場合、砂層での目づまりと砂層上面のマッドケーキによる透水係数の低下が生じる。今回の実験では、注入濁度の高い場合は、マッドケーキによる透水係数の低下が見られる。また、砂層上部での懸濁粒子抑留は、注入濁度の低いものよりも少なくなっている。逆に、注入濁度の低い実験例

では、マッドケーキは発生せずに、砂層の透水係数の低下は砂層上部の懸濁粒子の抑留によって生じている。

今後、濁水注入による浸透層の浸透能力の低下のメカニズムを明らかにし、浸透池運用に供するシュミレーションを目指したい。

参考文献

- 1) 山本雅史, 藤野光明, 大野治一; 多目的地下水涵養計画について、第2回水資源に関するシンポジウム前刷集, 1982
- 2) 高村弘毅; オランダの砂丘地における地下水の人工涵養について、日本地下水学会誌, 1982
- 3) 肥田登; 西ドイツ, ルール(Ruhr)川流域の水管理, 水利科学, No.129, 1979
- 4) 北川明, 石崎勝義; 浮遊物による目づまりに関する研究, 第24回水理講演会論文集, 1980
- 5) Camp, C. R; Theory of Water Filtration, A.S.C.E., SA4, 1964

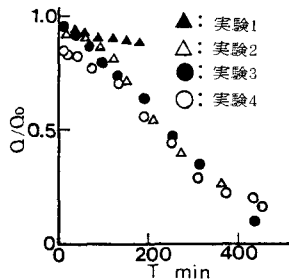


図-2 流量の時間変化

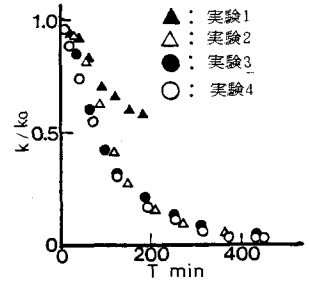


図-3 浸透層の透水係数の時間変化

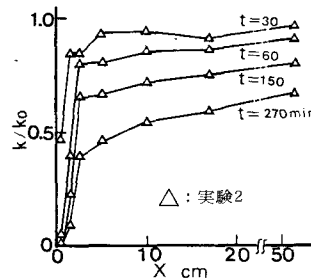


図-4 透水係数分布の時間変化

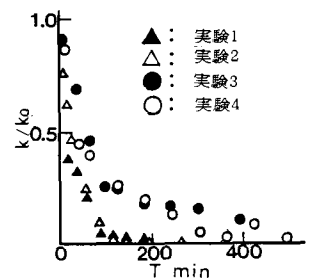


図-5 砂層上部の透水係数の時間変化

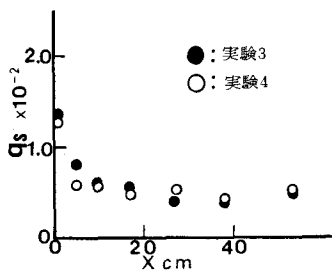


図-6 懸濁粒子抑留量の分布

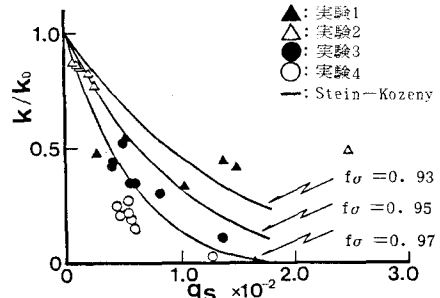


図-7 懸濁粒子抑留量と透水係数の関係