

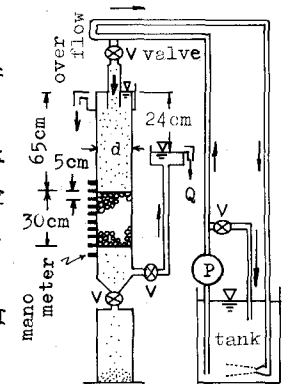
九州大学 学生員 ○ 百田 徹也

〃 正会員 神野 健二

〃 〃 上田 年次古

1. まえびき 地下水の人工かん養における目づまりは重要な問題とされているが、また近年海岸埋立で始めにその外周に土砂で透過性媒体を築造し、内部に投入されたしゅんせつ埋立土の上澄水が媒体を透過するとその媒体の除濁効果および目づまりが検討されている。目づまりには、微生物の繁殖による生物学的目づまりと、懸濁粒子の滞留による物理的目づまりが考えられるが、ここでは物理的目づまりについて検討することにして、懸濁粒子にガラスビーズを用いて、垂直円筒による1次元の実験、および媒体による2次元の実験を行い、目づまりの発生機構を解明し、両者の相異などを若干考察した。

2. 1次元の実験 図-1の実験装置を用い、浸透層は粒径4.7mmのガラスビーズ(空げき率 $\varepsilon_0=0.373$ )、懸濁粒子は粒径0.5mmのガラスビーズ(比重 $S_p=2.47$  空げき率 $\varepsilon_p=0.382$  浸透層内の実測下降速度 $U_p=1.3\%/min$  (3.311目 0.42~0.59mmの間の40))を用いた。滞留粒子量は次のようにして求めた。あらかじめ懸濁粒子を層全体に一樣に滞留させ、その時の滞留粒子濃度と透水係数の関係が求められ、次に懸濁水を浸透層に流入させながら、動水勾配と流量から得られる透水係数により時間毎の層内の滞留粒子量を求めた。図-2の点はこゝに求めた浸透層の表面から10cmの区間の滞留粒子濃度 $N_b$ (浸透層単位体積当たりの重量 $\%/cm^3$ )である。ここに $N_0$ は流入濃度(水単位体積当たりの粒子重量 $\%/cm^3$ )、いま粒子の滞留<sup>飽和</sup>濃度 $N_s$ (水単位体積当たりの粒子重量 $\%/cm^3$ )に比例するとし、また図-2の点の時間変化から $N_b$ に限界が存在することと推定されることから、



pipe diameter  $d=10.5cm$   
図-1 実験装置(1次元)

$$\frac{dN_b}{dt} + (u + U_p) \frac{N_b}{\varepsilon_0} = -\frac{\beta_1}{\varepsilon} N_s (1 - \beta_2 N_b) \quad (1) \quad \frac{dN_b}{dt} = \beta_1 N_s (1 - \beta_2 N_b) \quad (2)$$

$u$ は実質流速、 $\varepsilon$ はある時刻の浸透層空げき率、 $\beta_1, \beta_2$ は浸透層と懸濁粒子の特性及び流速などにより決まる定数である。懸濁水流入初期では、(2)式の $1 - \beta_2 N_b = 1$ 、 $N_s = N_0$ と $1 = \frac{dN_b}{dt} \left( \frac{N_b}{N_0} \right) = \beta_1$  (3) となる。初期の $N_b$ の勾配から $\beta_1$ が得られる。すなわち図-2の点線から $\beta_1 = 4.8\%/min = 0.08\%/min$ と求む。次に $\beta_2^* = \beta_2 N_0$ と $\beta_2^*$ を仮定し(4)式を数値計算して図-2の曲線を得た。これより、 $\beta_2^* = 0.065$ 、 $\beta_2 = \beta_2^* / N_0 = 8.8\%/g$ が得られる。よって飽和滞留粒子濃度 $N_{bs}$ は $\frac{dN_b}{dt} = 0$ より $N_{bs} = 1/\beta_2 = 0.11\%/cm^3$ 、滞留粒子のみかけ体積濃度は $N_{bs} = N_{bs} / S_p (1 - \varepsilon_p) = 0.07\%/cm^3$  (4)、これは浸透層の空げき体積の19%( $=N_{bs}/\varepsilon_0$ )となる。

次に浸透層に粒径2.41mmのガラスビーズ( $\varepsilon_0=0.384$ )、懸濁粒子に粒径0.2mmのガラスビーズ( $S_p=2.50$   $\varepsilon_p=0.407$ )を用いて実験し、初期浸透流速 $0.22\%/min$ 、流入濃度 $N_0=0.001\%/cm^3$ 、継続時間60分で透水係数の変化がなく、滞留が進行しなくなり、たとえられたので、全層飽和に達していると考え、この時の滞留粒子量を実験し、146gを得た。浸透層全容積 $40 \times 86.59cm^3$ より、飽和滞留粒子濃度は $N_{bs}=0.042\%/cm^3$ 、(4)式より浸透層初期空げきの7%で飽和に達するといえる。

3. 2次元の実験 図-3の2次元媒体と想定した実験装置で、浸透層粒子径2.41mm、懸濁粒子径0.2mmの両者ともにガラスビーズを用いて、目づまり

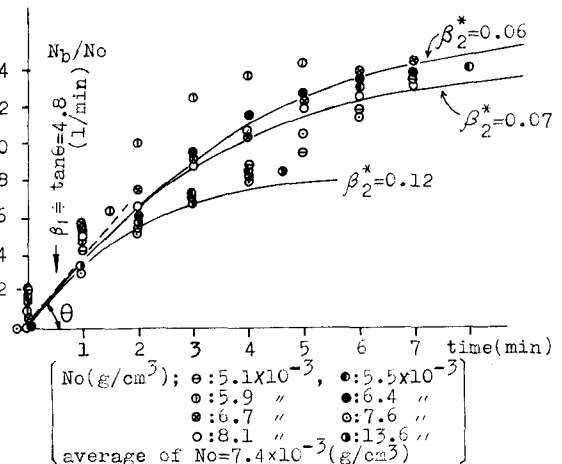


図-2 滞留粒子濃度の時間変化  
(計算値と実験値)

の進行を調べた。実験1.(図-4a)は、上流側水深 $H_0=44.0\text{cm}$ 、下流側水深 $H_1=39.8\text{cm}$ にし、初期流量 $Q_0=184.1\text{cm}^3/\text{sec}$ で行った。浸透層の透水係数は $k=3.4\text{cm}^2/\text{sec}$ である。実験2.(図-4b)は、 $H_0=43.8\text{cm}$ 、 $H_1=27.0\text{cm}$ 、 $Q_0=427.3\text{cm}^3/\text{sec}$ である。目づまり進行の肉眼の観察結果を図-4a,bに示す。図の $X_0$ は目づまり部の先端である。目づまり部は、

懸濁粒子が浸透層の空けき全体にゆるくつまった状態を呈し、浸透流は目づまり部内をわずかに流れ、 $\Gamma$ 部分は目づまり部を越えて流れる。図-4bの点線は100分後の目づまり部内の流れの方向である。図-5abは流量 $Q$ 、流入濃度 $C_0$ 、及び目づまり部の高さ $h$ の時間変化である。次に実験2の目づまり部からサンプリングし、滞留粒子量を測定し目づまり部の単位体積当たり重量 $0.40\text{g/cm}^3$ を得た。これより、滞留粒子が浸透層の空けき全体に一律にたまっているとして、層内の滞留粒子の空けき率は $1 - \frac{Q_p}{Q_0} = 0.58$ となり、 $\Sigma p = 0.407$ (メスシリンダー内に充満した状態)に比べると、ややゆるい状態が目づまりをまびいていることになる。

4. 考察 同一径の粒子を用いた1次元と2次元の実験の比較から、流速に對して懸濁粒子の沈降速度が無視できない程に大きい時、流れの方向は垂直下向の場合と、そうでない場合、目づまりの発生機構が異なるようである。

(本実験で $0.2\text{mm}$ 径ガラスビーズの静水中の沈降速度は実験値として $0.05\text{cm}/\text{sec}$ 、2次元の実験2の初期浸透実験水平流速は $1.3\text{cm}/\text{sec}$ であった。) すなわち懸濁粒子の沈降方向と流れの方向が一致する時は、粒子の重なりで形成される浸透通路のそれと隔ち空けきに滞留されるのみで飽和に達し、それ以上の滞留は行われなくなる。一方、粒子の沈降方向と流れの方向が異なる場合、目づまりは沈降作用の要因が小さくなり、滞留された粒子は浸透層の空けきの $\Gamma$ 部分を埋め、ほゞまるとして目づまり層を形成し、透水性は大きく変化する。この目づまり部の形状は、流速と懸濁粒子沈降速度 $u_p$ 、及び粒径などに依存することと推定される。

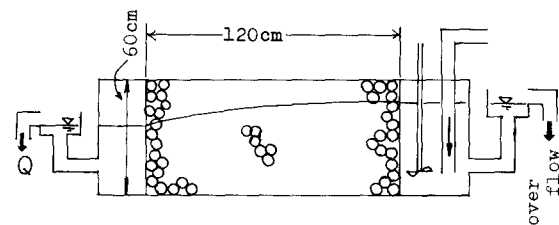


図-3 実験装置(2次元)

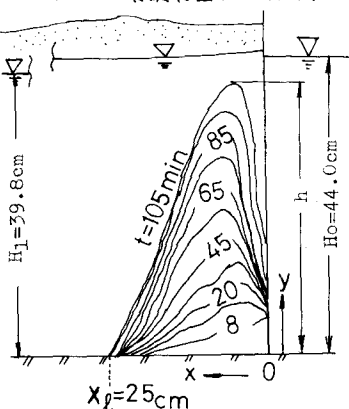


図-4a. 目づまり進行状況(実験1)

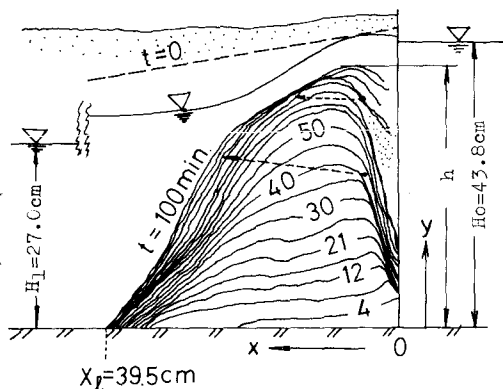


図-4b. 目づまり進行状況(実験2)

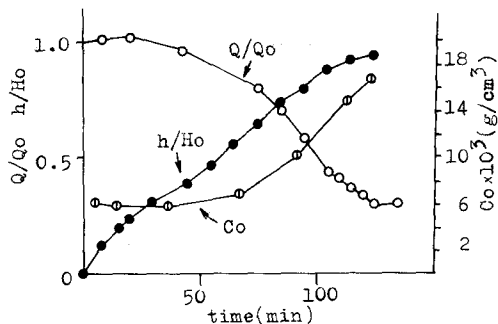


図-5a(実験1)

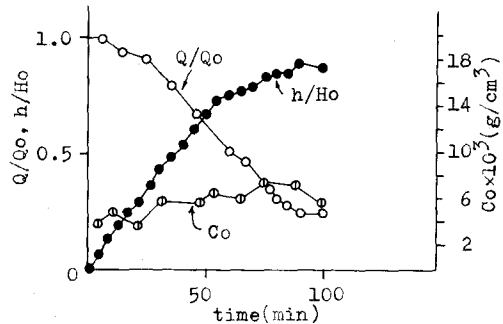


図-5b(実験2)

#### 参考文献

- 1) ヨー・イ・ス・M.T. 「浸透地の目づまりに関する二つの考察」 第30回年報
- 2) Robert C. Rice "Soil Clogging during infiltration of secondary effluent" Journal WPCF Vol.46, No.4, April 1974