

土壌浸透処理における生物学的目詰りについて

東北大学 正 松本 順一郎
 " 〇 正 工 保 俊治
 仙台市 正 高橋 健一
 東北大学 内藤 西次夫

1. はじめに 地下水工かん養は下水の再利用及び水資源の合理的利用の
 実用的システムであると考えられるが、下水処理水あるいは汚染された河川
 水をかん養する場合、土壌中での水質変化及び生物学的目詰りに関する知見
 は乏しい。本研究は、生物学的目詰りに及ぼす基質濃度の影響について
 実験的に検討したものである。

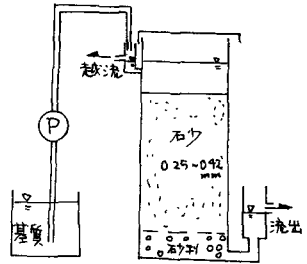


図1. 実験装置

2. 実験装置及び方法 図1に実験装置の概要を示す。内径10cm、長さ74
 cmの不透明塩ビ製装置に砂利を敷き、粒径0.25~0.42mmの河過砂を約40cm高
 に充填した。定水位減衰河過方式で連続的に基質(表1)を投入し、基質濃
 度の影響について検討した。実験装置は18±2℃に温度コントロール

表1 基質組成 (mg/l)

	Run 1	Run 2	Run 3
C ₆ H ₁₂ O ₆	9	18	36
NH ₄ Cl	9.5	19	38
KH ₂ PO ₄	1.36	2.72	5.44
Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	8.35	16.7	33.4
Tap water	1 1	1 1	1 1

を行った。分析は東洋3紙NO.5cで河過した試料について行
 った。分析項目はCOD_{Cr}、多糖類(7-20法)、DO、NH₄-N、PO₄³⁻、
 有機酸である。表2に実験の初期条件を示す。

表2 初期実験条件

	Run 1	Run 2	Run 3
初期浸透速度 (m/day)	1.60	3.48	3.67
水位差 (cm)	5.5	3.8	3.5
石層高さ (cm)	39.4	39.8	39.3
間隙率 (%)	43.1	44.7	46.9
乾燥密度 (g/cm ³)	1.49	1.45	1.39

3. 実験結果及び考察 表3に実験期間中の平均水質及び平
 均除去率を示す。実験は浸透速度が0.1%以下になるまで継続
 した。Run-1については、約3カ月の基質連続投入にもかかわらず、
 浸透速度は0.5%程度を維持していた。表3より、COD
 及びPO₄³⁻の除去は流入濃度の高い場合に高い除去率を示して
 いる。NH₄-Nの除去は基質濃度にかかわらず、ほぼ同様な除去
 率を示している。図2に経日変化の例を示す。PO₄³⁻、NH₄-N
 の除去は、浸透速度が遅くなるにつれて、増加する傾向が見ら
 れる。図3にPO₄³⁻と浸透速度の関係を示す。また、CODの除去
 量に比べ、NH₄-N、PO₄³⁻の除去量が比較的多く、NH₄-N、PO₄³⁻
 の除去は土粒子(砂)あるいは生物体への吸着除去が主体である
 と思われる。さらに、PO₄³⁻の吸着平衡時間はNH₄-Nの吸着平衡
 時間の数倍であり、PO₄³⁻の除去は浸透速度(接触時間)に大きく
 影響されたと考えられる。CODの流出(残留)成分は糖
 類ではなかった。

4. 土の生物学的目詰りモデル 同一径の直線的な毛細管から
 なる多孔質体を考える。毛細管の方向は流下方向と一致し、毛細
 管の本線は一定であるとす。図5にモデルを示す。円管内の定
 常的な流れに対するハーゲン-ポアズイユの法則が毛細管内の流
 れにも成立するとして解析を行った。⁽¹⁾ 次のような仮定を行う。

(1) 毛細管は円形であり、毛細管径は生物学的目詰りの進行と
 もに一樣に細くなる。

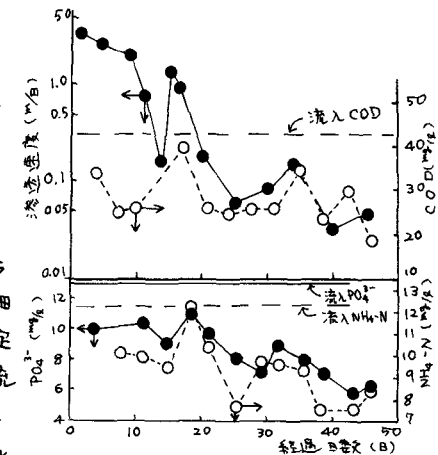


図2 Run3 経日変化

表3 平均水質 (mg/l) 及び平均除去率 (%)

	Influent COD	Effluent COD	Influent NH ₄ -N	Effluent NH ₄ -N	Influent PO ₄ ³⁻	Effluent PO ₄ ³⁻
Run 1 (0-40B)	14.4	12.9 (10.4%)	3.04	2.23 (26.6%)	3.27	2.69 (17.6%)
Run 2 (0-46B)	26.9	23.6 (12.2%)	6.16	4.61 (25.1%)	6.58	5.32 (19.2%)
Run 3 (0-46B)	42.4	28.7 (32.2%)	12.2	8.93 (26.8%)	12.9	8.89 (31.1%)

(2) 毛細管の間隙の減少量は浸透累積水位高(累積水量)及び流入基質濃度に比例する。

流れは垂直な単位断面当り N本の毛細管が存在すると、多孔管体は通過する初期浸透速度 q_0 (mm/day) は次式で表わす。

$$q_0 = R_1 N \frac{\pi r_0^2 d_0^4}{128 \mu} \left(-\frac{dQ}{dS}\right) \quad (1)$$

目詰りが進行し、毛細管径が d_0 より d に減少した時、浸透速度は次式になる。

$$q = R_2 N \frac{\pi r_0^2 d^4}{128 \mu} \left(-\frac{dQ}{dS}\right) \quad (2)$$

仮定(2)より、間隙の減少量は浸透累積水位高 Q (m) と流入基質濃度 C_i (mg/l) で表現でき、次式を得る。

$$\frac{\pi}{4} (d_0^2 - d^2) = R_3 C_i Q \quad (3)$$

本実験では動水勾配 $(-\frac{dQ}{dS})$ 及び流入基質濃度 C_i は一定であるので、

(1)(2)(3)式を連立させることにより次式をうる。

$$q = \frac{dQ}{dS} = R_4 q_0 \{1 - R_5 Q\}^2 \quad (4)$$

ここで、 $R_4 = R_2/R_1$ (5), $R_5 = \sqrt{\frac{R_1 R_3^2 N^2 r_0^2}{8 \mu \pi q_0}} \left(-\frac{dQ}{dS}\right) \cdot C_i$ (6)

(4)式を積分し、基質投入前の初期条件 $Q=0$ で $Q=0$ を用いると次式をうる。

$$Q = \frac{(1/R_5) \tau}{(k_2/R_5 q_0) + \tau} \quad (7)$$

各実験条件における目詰り現象と比較するため、基質投入前の初期浸透速度 q_0 で(7)式の両辺を割り次式をうる。

$$\bar{Q} = \frac{Q}{q_0} = \frac{k_1 \tau}{k_2 + \tau} \quad (8)$$

ここで、 $k_1 = \frac{1}{R_5 q_0}$ (9), $k_2 = \frac{R_5}{R_5 q_0}$ (10)。

各実験結果に対して(8)式を用いて整理し、図6を得た。 \bar{Q} は基質投入からある時間後に、浸透累積水位高が初期浸透水位高の何倍であることを示し、 k_1 は飽和定数、 k_2 は浸透累積水位高が初期浸透水位高の何倍になった時の時間を示す定数である。図6より、流入COD 14.4 mg/lのRun 1の結果と計算結果はほぼ一致している。生物学的目的を妨ぐためには、流入水のCODは10 mg/l以下であることが望ましい。著者らがすでに報告している初期浸透速度を変化させた実験結果と同様に整理すると、流入COD = 6.9 ~ 69 mg/lで $k_1 = 5.6 \sim 7.1$, $k_2 = 2.7 \sim 4.4$ であり、 k_1, k_2 は初期浸透速度の影響を受けなれないと思われる。<文献>(1) "Dynamics of fluids in porous media, pp162-164, Jacob Bear (1972)" (2) 第33回年報; 本誌. 22頁. 下: "二次処理水の工場排水による実験的研究." 以下に本研究は科研費・環境科学特別研究 203007より一部補助されたことを記載。

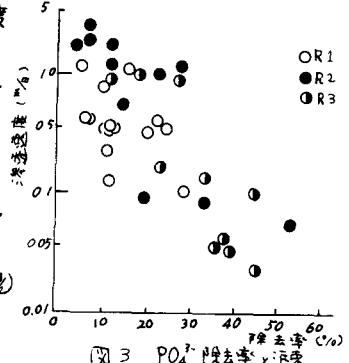


図3 PO₄³⁻除去率と流速

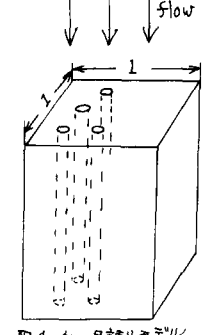


図4 土の目詰りセッパ

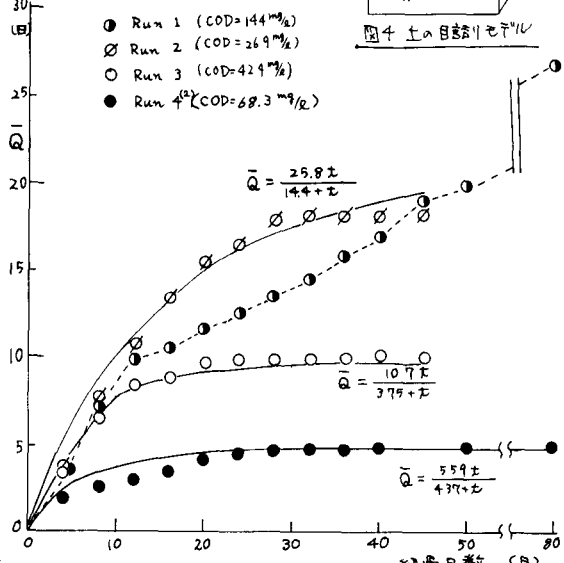


図5 \bar{Q} と t の関係