

## 1. はじめに

土壌を利用した下水の処理は古くから行われてきたが、1940年代以降①近代的な下水道技術の発達、②下水の散布による土壌、植生、地下水への汚染に対する危惧などの理由により実施例は増加していない<sup>1)</sup>。近年、野水池や湖沼での富栄養化が問題となってくるにつれ、小規模下水処理施設においても栄養塩類の除去が必要となってきた。本文は下水中に含まれるリンに対する土壌の除去能力を検討した結果について報告する。

## 2. 土壌のリン吸着能力について

土壌のもつリン吸着能力は土壌中のpH、粘土鉱物、有機物、三산화物( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ )などの含有量によって決まる。このリン吸着能力を表わすものとしてリン酸吸収係数とラングミュアの等温吸着式から求められる最大吸着量( $B_{\text{max}}$ )とが一般的である。リン酸吸収係数の求め方は0.1Mの正リン酸 $100\text{ml}$ と土壌10gとを24時間振とう混合した時の溶液中のリン減少量から算出するもので、単位は $\text{mg}/100\text{g}$ である。 $B_{\text{max}}$ の求め方は、土壌1gをリン酸溶液の種々の濃度のものと48時間振とう混合して反応させ、単位土壌重量当りのリン除去量( $X/m$ )と48時間後における平衡リン濃度(EPC,  $C\text{ mg/l}$ )を求める。

図1に黒ボク土壌を用いた時の例を示す。横軸に平衡リン濃度、縦軸に吸着量( $X/m$ )と吸着比( $C/X$ )が示してある。曲線

はラングミュアの等温吸着式  $\frac{C}{X/m} = \frac{1}{Kb} + \frac{C}{b}$  によく

従う。そして $B_{\text{max}}$ は直線関係のSlope<sup>1)</sup>として求めることができる。岩手、茨城、千葉、静岡、愛知の各県で採取した土壌について両者の値を求めた結果、土壌中の三산화物含有量で説明できることがわかった。これらの相関を(1)、(2)式に示す。

$$[\text{リン酸吸収係数}] = 1.118 \times [\text{Al含有量}] + 0.072 \times [\text{T-Fe含有量}] + 0.150, \quad n=26, R=0.936 \quad (1)$$

$$[B_{\text{max}}] = 0.210 \times [\text{Al含有量}] + 0.050 \times [\text{T-Fe含有量}] - 0.04, \quad n=26, R=0.772 \quad (2)$$

ここで、AlとTFe含有量は%表示、リン酸吸収係数と $B_{\text{max}}$ は $\times 10^3 \text{ mg}/100\text{g}$ である。

$B_{\text{max}}$ はリン酸吸収係数の約20%程度の値をとり、Tofflemireら<sup>2)</sup>が土壌処理の設定条件に $B_{\text{max}}$ を用いれば安全側であるとしたのもこうした結果によるものと考えられる。

土壌処理を実施する場合には「土粒子-水」システムにおけるリンの平衡関係に依拠して挙動するものと考えられるので、このような平衡実験で得られる平衡吸着量と室内実験で得られた $B_{\text{max}}$ との関係を検討した。平衡吸着量を求めるために図2に示すような破過実験装置を使用し、流入させるリンの濃度はそれぞれ使用する土壌のリン吸着能力に応じて変えた。得られた破過曲線を図3に示す。それぞれの破過点(A~D)を過ぎると浸出水中にはリンの検出限界値(EPAの混合試薬法で $0.01 \text{ mg/l}$ )以上が存在することになる。この破過点までに土壌が吸着する量を平衡吸

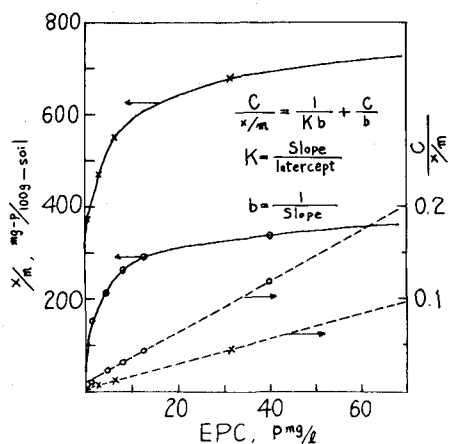


図1. 土壌とリンの等温吸着反応

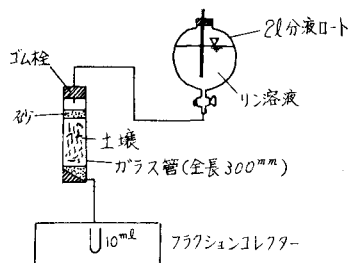


図2 破過実験装置

着と定義すると、リン酸吸収係数の約13%に相当することがわかった。すなわち、土壤にリン酸塩を含む二次処理水を散布した場合、リン酸吸収係数の13%程度が土壤に吸着した以後は浸出水中にリンが出現するということである。

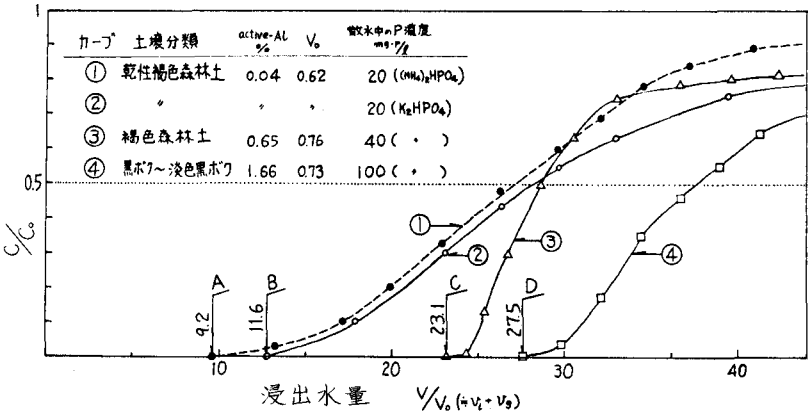


図3 土壤のリン酸による破過曲線

### 3. リン吸着についての土壤の寿命

平衡吸着量に達するまでの期間をリンに対する土壤の寿命と定義し、各種の土壤についてその寿命を試算した。計算条件としては土壤1㎡当りにP=5mgの二次処理水を週50mmの割合で散水するものとした。

試算例：黒ボク土；活性アルミ含有量  $2.5 \times 10^3 \text{ mg/ccg}$

|                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| (i) 平衡吸着量： $23\% = 2.5 \times 10^3 \times 0.132 = 3.3 \times 10^3 \text{ mg/g}$              |
| (ii) 土壤1㎡当りの固相重量： $0.3 \times 2.4 (d) = 0.72 \text{ ton}$                                    |
| (iii) 土壤1㎡当りの平衡吸着量： $3.3 \times 10^3 (\text{mg/g}) \times 0.72 \text{ ton} = 2380 \text{ g}$ |
| (iv) 破過点までの散水可能量： $2380 \text{ g} \div 5 \text{ g/m}^3 = 476 \text{ m}^3$                    |
| (v) 散水量50mm/週での寿命： $476 \text{ m}^3 \div 50 \text{ mm/週} = 180 \text{ 年}$                    |

表1. 下水散布による土壤の寿命

| 土壤分類  | リン酸吸収係数 (mg/100g)  | 固相比 | 真比重 ( $\text{g/cm}^3$ ) | 寿命 (年) |
|-------|--------------------|-----|-------------------------|--------|
| 黒ボク   | $2.5 \times 10^3$  | 0.3 | 2.4                     | 180    |
| 淡色黒ボク | $1.75 \times 10^3$ | 0.3 | 2.5                     | 130    |
| 赤黄色土* | $3.88 \times 10^2$ | 0.5 | 2.6                     | 50     |
| 反色低地土 | $6.0 \times 10^1$  | 0.5 | 2.6                     | 8      |

\* 赤土、黄色土の試料6種体の平均値を使用した。

同様な方法で計算した結果を表1に示す。この結果、土壤の種類により大きな差の有ることがわかる。

### 4. まとめ

一般に土壤のリン吸着能力を評価するものとしてリン酸吸収係数とBmaxがあり、これらの示標は式(1)と(2)で表わせる。図4は式(1)、(2)を求めたデータ以外のものも加えて式の妥当性をみたものであり、ほぼ満足できる結果となった。また、土壤によるリン除去には一定の限界があり、リン吸着能力はBmaxよりもさらに小さめに評価する方が安全で、リンの平衡吸着量はリン酸吸収係数の13%程度である。

リン吸着量は特に土壤中に含まれる活性アルミナの含有量に規定されるので、火山灰土地帯に形成された黒ボク土壌が有効である。

以上の結果は室内での小規模なカラム実験によるものであり、今後は規模の大きなラインメータで検討を進めて行く予定である。

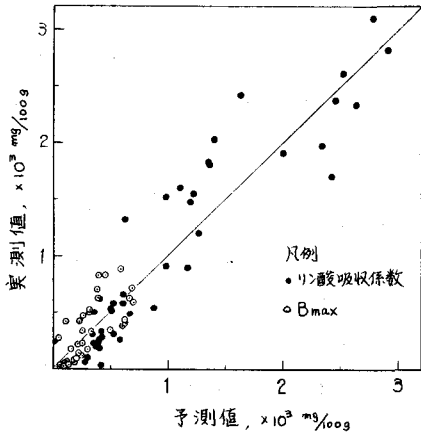


図4 式(1)、(2)による予測値の検討

### 参考文献

- 1) 安中徳二「下水処理水の土壌散布」 土木技術資料 19-11 (1977)
- 2) T.J. Tofflemire, M.Chen "Phosphate removal by sand and soils" Ground Water, Vol.15, No.5, Sep~Oct, 1977