

II-33 土壌による排水処理の実験 その3

北海道工業大学工学部 正員 宇土澤 光 賢
平 田 師 心
藤 本 正 志
細 川 優

1. まえがき

土壌を利用して排水を処理する方法（以下土壌処理と称す）の歴史は古いが現在あまり使用されているとはいえない。現在は活性汚泥法に代表される生物処理が主流であるが水処理の多様化の一つとして著者らは土壌処理について以前から実験、研究してきた¹⁾。土壌処理は確かに都市下水や工場排水を直接処理するには向いてはいない。しかし、それらの二次処理後に更に処理（三次あるいは高度処理）を考えると有効な方法ではないかと思われる。土壌処理は地下水の涵養に関しては多大に貢献するが一步誤れば、土壌と地下水の汚染にもつながるので施設の設計、維持管理には十分留意しなければならない。

今回は次のような実験を行ったので報告する。

- (1) 不飽和流土壌カラムに対する連続及び間欠散水実験
- (2) 不飽和及び飽和流土壌に対する散水・流入実験
- (3) 処理の異なる不飽和流土壌への散水実験

2. 実験の装置・方法・条件など

不飽和流土壌カラムの実験装置は図-1に示すように硬質塩化ビニール管（内径51mm）に所定の長さ（10cmまたは5cm）に土壌を充填し、上から人工下水を滴下するものである。飽和流土壌カラムは同じ方法で土壌を充填し、下から流入させ、カラム土壌表面1cm上で越流させ、さらにカラム途中2カ所に水頭計を取り付けた装置である。

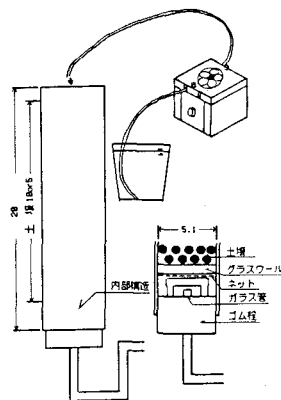


図-1 実験装置 (単位cm)

今回の実験に使用した土壌は、(1) 不飽和流土壌カラムに対する連続及び間欠散水実験、(2) 不飽和及び飽和流土壌に対する散水・流入実験は黒土1種類とし、土壌厚は10cmとした。(3) 処理の異なる不飽和流土壌への散水実験については次に示すような3種類の 방법으로土壌の処理・調整を行った。(処理に用いた土壌は(1)、(2)の両実験に使用したのと同じ黒土である。)

- ① 600度で土壌を4時間電気炉の中で強熱したもの。(以下、強熱処理土と称する)
 - ② 160度で土壌を4時間乾熱滅菌したもの。(以下、乾熱処理土と称する)
 - ③ 高圧蒸気滅菌器を用いて、 1.055 kg/cm^2 で30分間滅菌したもの(以下、高圧滅菌土と称する)
- この他に比較対照の意味でまったく処理を施さなかった土壌と合わせて4種類にし、土壌厚は5cmとした。人工下水（グルコース、ペプトン、塩化アンモニウム、硝酸カリウム、りん酸二カリウム、炭酸水素ナトリウムを水道水に溶解したもの）は $\text{NH}_4\text{-N}$: 5.05 mg/l 、 $\text{NO}_3\text{-N}$: 4.00 mg/l 、 P : 2.01 mg/l 、 pH = 7.0 になるように調整したものを用いた。土壌カラムには、人工下水をマイクロチューブポンプで不飽和カラムには上から滴下し、飽和カラムには下から流入させた。また(1)の実験における間欠散水カラムは4日間運転し、3日間中止するというサイクルをとった。また人工下水の流量は全ての実験において 100 ml/hr とした。

測定項目は流量、pH、ORP、電気電導度、硝酸イオン（電極法）、TOC、TN、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、正リンで週3回測定した。TOC以下の項目の分析には $0.45 \mu\text{m}$ の濾紙でろ過した検水を用いた²⁾。

3-2. 不飽和及び飽和流土壌に対する実験

アンモニア性窒素は日数の経過につれ不飽和・飽和流とも減少してきている(図-3)。

図-4によると、硝酸性窒素は不飽和及び飽和流ともに、運転初期は流入水とほぼ同じ値であるが約3週間すぎあたりから流入水のそれを上回る値が検出されるようになり、さらに経日と共に流入水との差が大きくなってきているのが示されている。この初期の値は硝酸性窒素 NO_3-N (NO_3^-) は陰イオンであるために土壌のコロイドにあまり吸収されないで、前記3-1.の結果と同様、そのまま流出してきたものである。また、後半は経日と共に不飽和流の方が飽和流より硝酸性窒素の値が大きくなっている。これは不飽和流の方がより好気性を保ってきていると思われる。

りんの場合(図-5)連続・間欠と共に初期10日間は検出されなくて土壌の吸着が大きいことを示している。その後経日と共に徐々に増加してきている。約一ヶ月後から不飽和流の方が大きい値となってきている。これは不飽和流土壌カラム内に人工地下水滴下後、ある一定の流路が生じ、その流路付近のみでりんが処理され、全土壌が吸着に有効に働いていないのに対し、飽和流土壌は、流入水を土壌全体で処理しているためと思われる。

TOCに関して両者とも差は無く経日変化も変わりなく約40%の除去率である(図-6)。

3-3. 処理の異なる不飽和流土壌への散水実験

前記2.の実験条件の項で調整した土壌各30gを三角フラスコにとり、蒸留水200mlをいれ1時間攪拌し、20分静置後の上澄水のろ液を測定した。その結果は表-1に示す。図-7は処理別のTOCの経日変化である。初期に乾熱処理・高圧滅菌土が高い値を示しているがこれは土壌中の有機物が分解され流入水によって洗い流されて出てきたものである。24時間以降は処理による差はなく推移している。

図-8はアンモニア性窒素の経日変化で、運転初期に大きな違いがみられる。乾熱処理土が異常に流入水濃度より大きな値となっている。次に高圧滅菌土、強熱処理土と無処理土の順にアンモニア性窒素が出ており、この傾向は30時間位まで続くが、時間の経過と共に4種類の土壌はすべて流入水のアンモニア性窒素量とほぼ等しい値とな

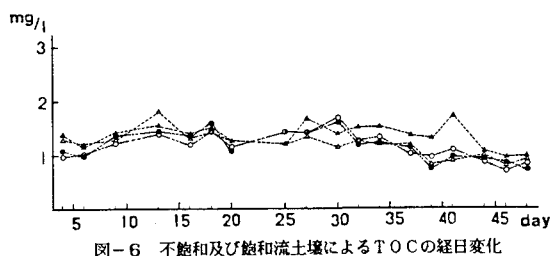


図-6 不飽和及び飽和流土壌によるTOCの経日変化

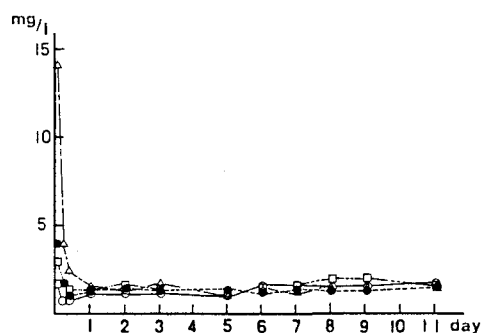


図-7 処理別の土壌によるTOCの経日変化

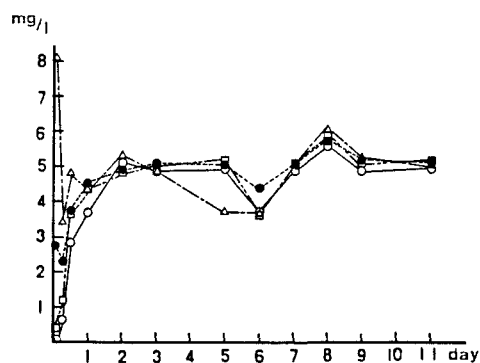


図-8 処理別の土壌によるアンモニア性窒素の経日変化

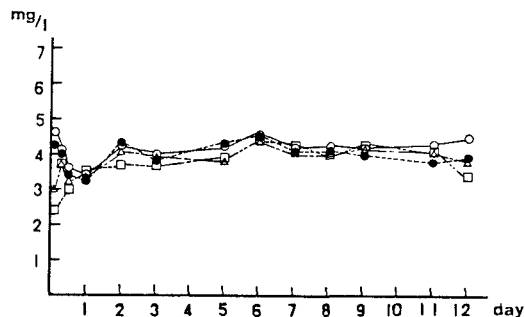


図-9 処理別の土壌による硝酸性窒素の経日変化

3. 実験結果と考察

3-1. 不飽和流土壌カラムに対する連続及び間欠散水実験

TOC（全有機炭素）は連続・間欠に差がなく、除去率が40%位である。ただ僅かではあるが間欠運転の場合、休止後の値が高くなる場合がある（図-2）。

図-3によると、アンモニア性窒素は連続散水の場合、日数の経過とともに減少してきており一部は好気性菌によって硝酸性窒素になっているものと思われる。間欠散水の場合、休止期間を置くとすべて休止前の値より最初は低くなっており、休止期間の効果は大きい。しかし、その後上昇する場合もあり、装置全体のアンモニア性窒素の除去に対する間欠散水の効果に関する結論は未だ早いと思われる。

図-4によると、硝酸性窒素は連続の場合、運転初期は流入水と同じ値であるが約3週間すぎあたりから流入水のそれを上回る値が検出されるようになり、さらに経日と共に流入水との差が大きくなってきているのが示されている。この初期の値は硝酸性窒素 $\text{NO}_3\text{-N}$ (NO_3^-) は陰イオンであるために土壌のコロイドにあまり吸収されないの、そのまま流出してきたものである。また、後半は経日と共に土壌内部での硝化菌の働きが大きくなってきているからと思われる。それに対し、間欠の方は（運転初期の値は疑問ではあるが）25日以降のデータからは休止期間を置いた方が連続より大きい硝酸性窒素の値が検出されている。これは、硝酸性窒素は、好気性的条件下に於てアンモニア性窒素が硝化菌によって酸化（硝酸化成作用と呼ばれるもの）されたもので、硝化菌が運転を少しでも休めることで（負荷を低くすることができ）活動が活発化したためであると考えられる。

りんの場合（図-5）、連続・間欠と共に初期10日間は検出されなくて土壌の吸着が大きいことを示している。その後、経日と共に徐々に増加してきている。特に間欠の場合、運転再開後の値は休止前の値とほぼ同じで間欠による効果は生じていない。これはりんの土壌内での除去は単なる物理的吸着が主だからと思われる。土壌内微生物による利用は少ないと推測される。

表-1 蒸留水溶出試験結果

	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	P (正リン)
無処理土	0.251	1.171	※
強熱処理土	0.035	※	※
乾熱処理土	2.947	0.614	※
高圧処理土	0.513	0.941	※

※ 検出限界以下

単位 mg/土壌100g

表-2 各記号の説明

△	不飽和連続カラム A1
▲	不飽和連続カラム A2
○	不飽和間欠カラム B1
□	不飽和間欠カラム B2
●	飽和連続カラム C1
◆	飽和連続カラム C2
○	無処理土壌
●	乾熱処理土壌
▲	強熱処理土壌
△	高圧滅菌土壌

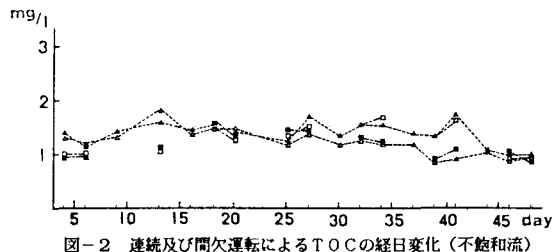


図-2 連続及び間欠運転によるTOCの経日変化（不飽和流）

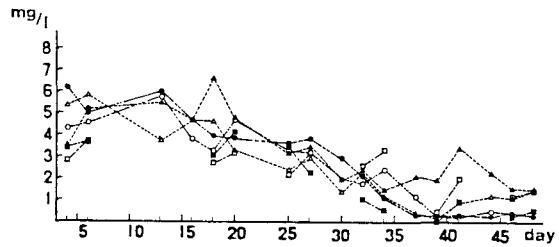


図-3 アンモニア性窒素の経日変化

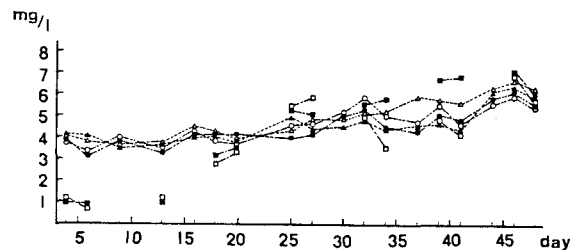


図-4 硝酸性窒素の経日変化

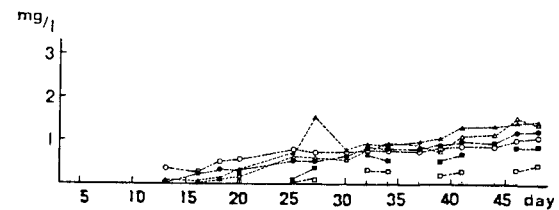


図-5 りん（正りん）の経日変化

っていることがわかる。おそらく初期の値の差は高圧滅菌土・乾熱処理土で土壤有機物の一部が脱水作用によって分解され易い状態になり、アンモニア性窒素が増加したものである。また、強熱処理土ではその作用が強烈で、だいたい200度以上の処理を施した土壤はかえってアンモニア性窒素量が減少してくることがわかっている³⁾。このことから乾熱処理土については土壤中に含まれているアンモニア性窒素が洗い流されて出てきたためであると考えられる。強熱処理土では有機物及

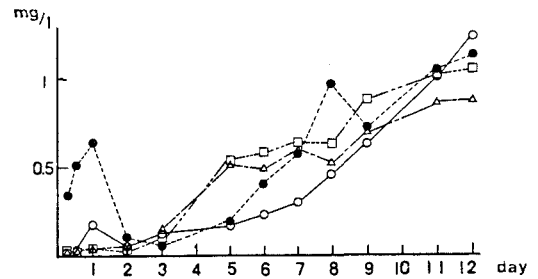


図-10 処理別土壤によるりん(正りん)の経日変化

び微生物量はゼロであるから、単なる吸着のみしか生じないので無処理土に比較して少し多く出ている。時間が経過するにしたがって無処理土のアンモニア性窒素量が他の処理土に比較して低くなってきている。これはアンモニアが酸化され硝化作用が少し現われてきたためと思われる。他の処理土、特に強熱処理土では逆に高くなる傾向がある。これは強熱土は灰化しているため、同じ充填方法を用いても間隙が少なくなり、好気性を維持していくのが困難で還元作用が現れてきたためと思われる。図-9は硝酸性窒素の経日変化である。これによると、図-8のアンモニア性窒素の変化と運転初期は似ており、さらにその値の大小は表-1の結果とも一致している。経過時間を追っても無処理土が多く、乾熱処理土及び高圧滅菌土がその次で強熱処理土が一番低くなっている。特に後半、その差が更に大きくなってきている。これは前記のアンモニア性窒素の場合と同様に硝化作用及び還元作用が徐々に現れてきた結果と思われる。

図-10は正りんの経日変化である。初期に高圧滅菌土が大きいののは土壤有機物の一部及微生物が分解され洗い流されてきたものと推測される。無処理土が途中低い値となっているのはこの土壤には有機物と微生物が他の処理土に比較して多く存在するから吸着量が多いと思われる。

4. あとがき

土壤処理の実験の場合、室内でのカラム実験と現場での実験では太陽光線(エネルギー)、植物の有無によって大きく結果が異なることが予想されるので上記の結果すぐ設計に利用されることはないと思われる。特に間欠運転の場合、室内では休止期間は水分の変化が主となるが現場では他への物質変化が十分考えられる。このことは不飽和・飽和流土壤でも同じことがいえる。また、処理別土壤による実験ではアンモニア性窒素あるいは硝酸性窒素の含まない人工下水を使用して更に検討したいと思っている。最後に図表の作成にご協力下さいました高田助手に感謝します。

5. 引用、参考文献

- 1) 宇土澤、他：土壤による排水処理の実験 その1、その2、土木学会北海道支部論文報告集 第41, 42号、1986, 1987
- 2) 下水道協会編：下水試験方法 - 1984年版 -
- 3) 山根 一郎：土壤学の基礎と応用、農山漁村文化協会、99~109
- 4) 八幡 敏雄：土壤の物理、東京大学出版会、23~28
- 5) 松本 聡：土壤の浄化能に係る諸特性、水質汚濁研究, VOL.10 NO.7 1987 P.388
- 6) 杉原・新井：汚染物質の土壤中における挙動と問題点〔1〕 土壤中における有機物の分解と蓄積、水質汚濁研究, VOL.10 NO.7 1987 P.398
- 7) 新井・杉原：汚染物質の土壤中における挙動と問題点〔2〕 土壤中における窒素・リンの挙動、水質汚濁研究, VOL.10 NO.7 1987 P.402