

多段土壤層法による汚水の浄化に関する実験的研究

吉田 勲*・尾初瀬徳生**・小村修一***

(昭和63年5月31日受付)

Experimental Study on the Treatment of Wastewater by the Multi-Soil Layer Method

Isao YOSHIDA*, Norio OBASE** and Schuichi OMURA***

Nowadays, wastewater treatment techniques in rural areas are drawing increasing attention, not only because of their role in improving life-environment and the quality of irrigation water, but also as important and useful methods for conservation of the environmental water front.

Various treatment methods have also been constructed in rural areas. Among these different water treatment methods is the multi-soil layer method which is claimed to be simple in operation and useful for tertiary treatment of wastewater. This method has a conspicuous merit in that it utilizes the self-purification ability of soil in the cycle system matter. However, there are still many unknown factors related to the soil type used for treatment and the quality of the load.

This paper attempts to clarify the above-mentioned factors experimentally and reports the results obtained.

緒 言

近年、都市、農村を問わず汚水処理への要望が高まり、様々な汚水処理施設が普及している。

現在の汚水処理方式は生物学的処理が主流であるが、

最近では土壤処理装置による汚水の二次、三次処理法が研究されつつある。土壤処理法とは、土壤の持つ自浄作用を利用した汚水処理法の一つで使用する土によっては、窒素、リンの除去が経済的に行なえ、しかも、維持管理の点でも有利であるといわれている。

-
- * 鳥取大学農学部農林総合科学科生存環境科学講座
Department of Environmental Science, Faculty of Agriculture, Tottori University
 - ** 北海道開発局農林水産部
Hokkaido Development Bureau
 - *** カナツ技建工業株式会社
Kanatu Engineering Constructor Co., LTD

若月³⁾らは土壌の持つ特長を生かして汚水の三次処理を行うために多段土壌層法を考察した。本報告は鳥取大学砂丘利用研究施設の圃場内のライシメータに四種類の土壌構造をもつ多段土壌層を設置し、多段土壌層法による一日当りの処理可能水量、汚水処理性能調査及び脱窒・脱リンに適するといわれている土壌の持つ処理能力を検定するために61年と62年に行った研究成果を纏めたものである。

多段土壌層法

本法は性質の極めて異なる2種類の土壌、即ち通気性(透水性)に優れた土壌と、通気性は劣る(不透水性)が活性アルミニウム、活性鉄、炭素源などに富む土壌を、層状(段階状)に組み合わせることにより汚水の脱窒・脱リンに必要な相互に矛盾する諸条件を満足させるものである。

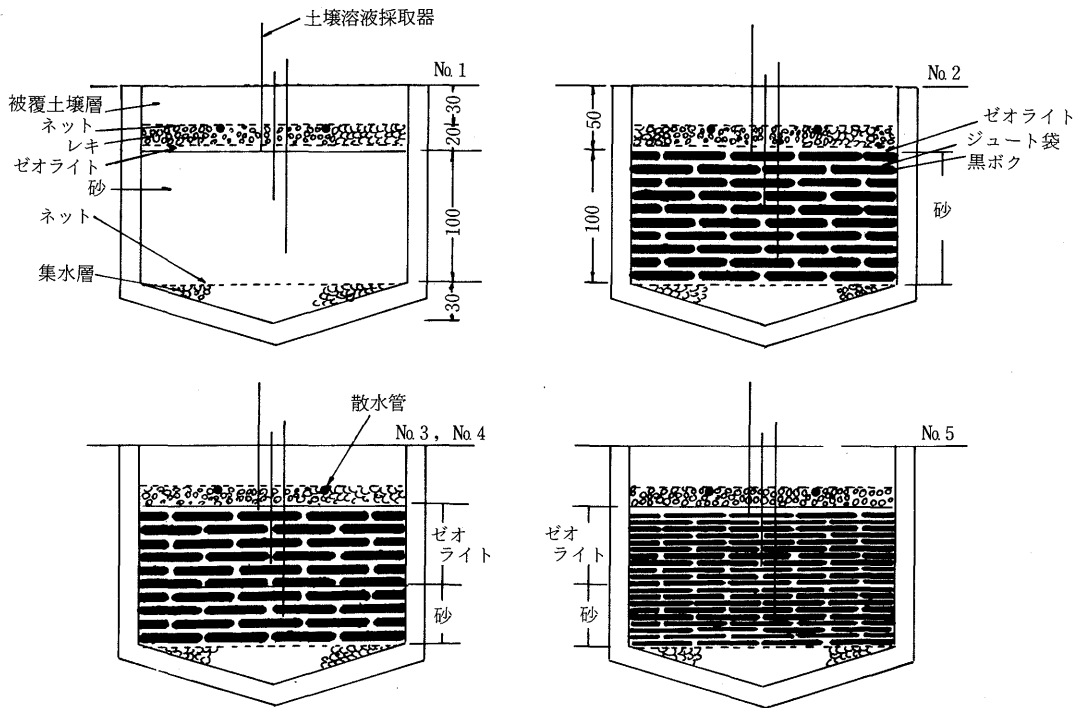
先ず流入汚水は第1図に示す通り汚水散水管を通してトレンチ周辺の被覆土壌層に浸透する。この通気性の良い領域において、主として、好気性土壌微生物によって汚水中の有機物および有機態窒素の分解および除去が行

なわれ、またアンモニア態窒素は硝化作用により硝酸態窒素になる。他方、リンは主にアルミニウムや鉄との物理化学的反応によって除去されるので、この被覆土壌層での除去はわずかである。

浸透水の一部は地表面から蒸発散するが、残りの大部分は、トレンチの下方に配置された両土壌層間を重力で浸透流下する。

浸透性(好気性)土壌層は、通気性(透水性の高い)土壌(例えばマサ土)からなり、浸透水は主として、この層を通り、その間に、より酸化的条件下におかれる。透水性(好気性)土壌層の上下及び左右には難透水(嫌気性)土壌層(例えば黒ボク)が連なっている。従って、浸透水は難透水(嫌気性)土壌層に接触したり、一部浸透拡散し、浸透水中のリン酸は容易に吸着・固定される。一方、硝酸態窒素は同じく嫌気的で炭素源に富む難透水(嫌気性)土壌中で、脱窒菌の作用によって亜硝酸態窒素や窒素ガスに変化して脱窒される。また、各種重金属も吸着・除去される。この様な作用により浄化された処理水はライシメータ下部の排水管を通して放流される。

以上述べてきたように、本方法は汚水の脱臭や汚濁有



第1図 土壌処理実験装置断面図

機物の分解除去だけでなく、従来法では困難であった窒素およびリン成分の除去を質、量ともに効率的に行うことを目的としている。

実験条件および実験方法

1. 実験条件

本研究では、流入負荷量、滞留時間、土壌層との接触効率などの実験条件を変えて、多段土壌層法による浄化能力の比較検討を行なった。

1) 土壌層の構造

使用したライシメーターの総数は5個で、その1個の寸法は幅2×2m、高さ1.5mで、これらのライシメーターに次のような土壌層(第1図)を設置した。

No.1は砂のみ、No.2はジュート袋で被覆した厚さ60mmの黒ボク層10段と厚さ40mmの砂層10段とからなり、No.3はジュート袋で被覆した厚さ60mmの黒ボク層10段、厚さ40mmのゼオライト層5段および厚さ40mmの砂層5段とからなっている。No.4はNo.3と同じ構造をしている。No.5はジュート袋で被覆した厚さ30mmの黒ボク層20段、厚さ20mmのゼオライト層10段と厚さ20mmの砂層10段とからなっている。

このように黒ボク層の段数を変えたのは汚水の浸透路長(滞留時間)を変えることを目的としている。

No.2, No.3, No.4, No.5土槽中の黒ボクの量はほぼ等しいが、No.5のジュート袋の数は他の3土槽の2倍である。またNo.3, No.4, No.5のゼオライトの量も等しい。

使用した黒ボクは黒色で腐植を多く含み、活性アルミニウムが多くリン酸の吸収力が強い等の特徴を有するので脱リンのために、ゼオライト(関東以西では島根県のみ産出する特殊土壌)は窒素の吸着力に優れているといわれているので、脱窒のために使用した。

61年度には5土槽を使用した。No.1は対照土槽として、No.2とNo.3はゼオライト層の有無による浄化能力を知るために、No.3とNo.4は流入負荷量の違い(No.3は400ℓ/日、No.4は800ℓ/日)による浄化能力、No.4とNo.5は土壌層の厚み及び段数が浄化能力に与える影響を比較するために使用した。

62年度は、No.3及びNo.4のみを使用した。そのうち、No.3には大豆を播種し三次処理のために給水した二次処理水のみで大豆を栽培した。また、土槽外の幅2×2mの砂地にも同数の大豆を播種して、ここには水道水を散水し、両者における大豆生長を比較した。本実験の最後には河川水を各槽へ流入させ、河川水による土壌の洗水を採水した。

2) 使用原水

原水として鳥取市秋里下水処理場二次処理水を使用した。

3) 流入負荷量

61年度の実験においてはNo.1, No.2, No.3のライシメーターに100ℓ/㎡・日(400ℓ/日)、No.4, No.5に200ℓ/㎡・日(800ℓ/日)の負荷量を給水した。この量を1日3回(7:00~9:00, 12:00~14:00, 17:00~19:00)に分けて間断的に流入させた。

62年度は、実験期間を大豆の成長する前期(6月下旬から9月下旬)と大豆の生育の止まる後期(9月下旬から11月中旬)の2期に分け、2槽とも前期に100ℓ/㎡・日(400ℓ/日)、後期に400ℓ/㎡・日(1600ℓ/日)の負荷量を与えた。

2. 実験方法

実験にあたり下水処理場の二次処理水を実験場内の貯溜槽にバキューム車で運搬し、その貯溜槽より原水を地上2mのタンクへポンプアップし、そこから重力で、一定流量を、1日3回に分けて、各土槽へ送水した。流入量は水道メーターで、排水量は排水口下に設置した転倒マスに自記させてそれぞれ計測した。

次に水質試験用の水の採水についてのべる。原水はタンクより、処理水はライシメーター下部の排水口より定期的に採水した。また土壌溶液は、各土壌処理装置に土壌溶液採取器を3箇所の深さ(土壌被覆面から50cm, 90cm, 130cmの地点)に設置して定期的に採水した。

62年度はNo.3の土槽内と外で大豆を栽培し、土槽内には汚水を、土槽外には水道水をかん水した。

これらの、原水、処理水、洗水については水素イオン濃度(pH)、浮遊物質(SS)、生物化学的酸素要求量(BOD)、化学的酸素要求量(COD)、アンモニア態窒素(NH₄-N)、亜硝酸態窒素(NO₂-N)、硝酸態窒素(NO₃-N)、全窒素(T-N)、全リン(T-P)、ナトリウムイオン濃度(Na)、カルシウムイオン濃度(Ca)、カリウムイオン濃度(K)、土壌溶液についてはpH、COD、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、T-N、T-Pについての水質試験をJIS-KO102に準拠した方法で行った。

結果および考察

1. 滞留時間

実験開始前に、水道水を流入させ、各ライシメーターからの浸透流出に要する時間を測定したところ、その所用時間はNo.1からNo.5土槽に対し、それぞれ、20分、41

分, 31分, 26分及び31分であった。

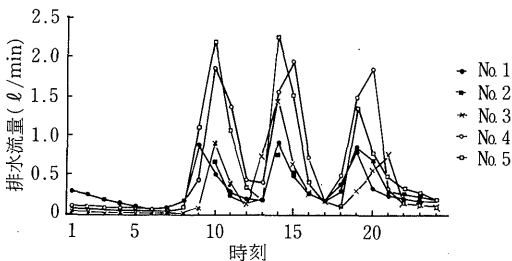
浸透時間のみについて考察すると, No.1つまり砂のみの土壌構造が滞留時間が最も短いことがわかる。また, No.2が時間的に最も長くなっているが, これはNo.2の施工時に降雨があり, そのため黒ボクが良く締め固められたためと推定される。No.3とNo.4は同じ土壌構造であるが, 滞留時間に5分の差が生じている。またNo.5の滞留時間は設計段階では最も長いと推定されていたが, No.3のそれと同じ値であった。これは黒ボクの締め固めが不十分であったために, 汚水が通水性土壌のみを流れるのではなく, 緩く詰まった黒ボクの土中をも流れたことに起因する。これらのことから黒ボクの締め固めを充分に行わないならば, 段数を増やしても滞留時間は変化しないことがわかる。

2. 排水量の時間変動

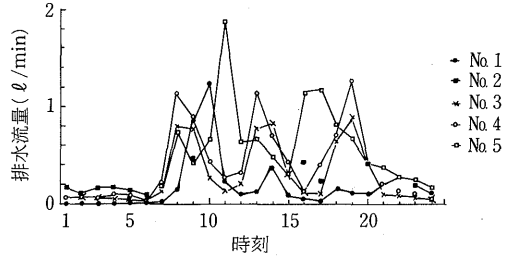
前述したように, 午前7~9時, 12~14時, 17~19時の3回に分けて原水を各土槽に配水し, その浸透流下した水を各土槽の下部の排水口で記録した。その記録の1例を第2図に示す。第2図において, 各土層とも, 給水開始から2~3時間後に排水量がピークになっているが, 時間がたつにつれて(第3図), パラつきが生じ, 特にNo.5が目立って不規則となった。これはNo.5において土粒子間隙が目詰まりしたことに原因があると思われる。

62年度の実験(第4図)では, No.3とNo.4には同じ流量を給水したにもかかわらず, No.4の流量のピークが常にNo.3のそれを上回る傾向にあった。これはNo.3にて栽培した大豆により汚水が吸収されたり, 蒸発散発したことに起因すると思われる。

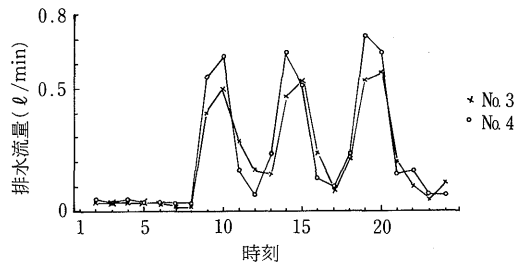
大豆の成長がとまった9月下旬に流入量を4倍の1,600/4 m²に増加させ, 過負荷のため土壌表面に湛水するかどうかを観察したが, 何等表面に湛水することもなく汚水の浄化が行われた。



第2図 61年7月15日の排水流量の変化



第3図 61年11月17日の排水流量の変化

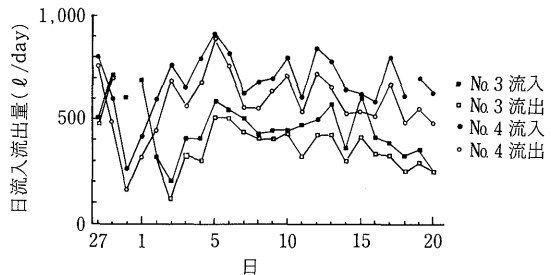


第4図 62年7月30日の排水流量の変化

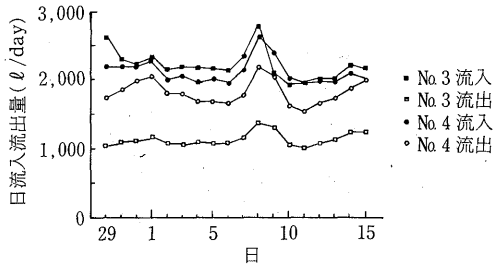
3. 日流入・排水量の変遷 (62年度)

第5図に62年度の計測期間(7月2日~7月20日)における日流入量及び日排水量の変遷を示す。ただし日流入量はメータ計測流入量と日降水量の和から日蒸発量を差し引いた値である。

7月下旬までは, No.4への流入が設定値より大幅に多いが, 日流入量と日排水量の差(以降流入差と呼称する)はほぼ一定である。8月に入って中旬までは, 2槽とも流入量の変化に関わらず排水量が安定しているが, 中旬以降は流入量の変化に呼応した排水量を記録した。



第5図 62年6月27日から7月20日までの日流入流出量



第6図 62年10月29日から11月15日までの日流入流出量

9月に入って中旬までNo.3がNo.4を上回っているが、これはNo.4への給水管が目詰まりを起こしていたためである。9月下旬に入って2槽への流入負荷設定を4倍に増加させた。一例として、62年9月29日から62年11月15日の期間の流入量と排水量の記録を第6図に示す。No.3、No.4ともに流入量はほぼ等しいが、流出量には大きな差がある。すなわち、No.3の方が流出量が少ない。この原因としては、No.4の土槽の中に水みちがで、その結果、排水量が多くなったと推定されるが、現在のところ確証を得るに至っていない。

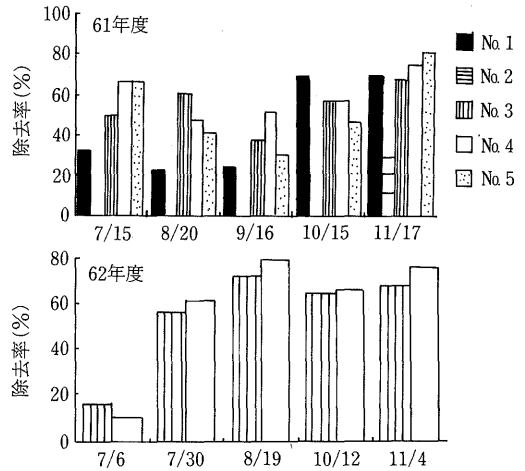
4. 水質浄化能力

1) BOD及びCODの除去

BODの除去率の時間的変化を第7図に示す。第7図において、No.2のデータが欠落しているが、これは配水管に汚物の膜ができていたために、SSの値が非常に多く、測定したBOD値は信頼できないので省略したためである。第7図において、各測定日毎に除去率に順位をつけ、6回の測定について、その順位の合計をし、BOD除去率を判定したところ、高い順位から示すおNo.4 > No.5 > No.3 > No.1となった。同じ土層構造を持つNo.3とNo.4を比較すると除去率はNo.4の方が優れていた。次に、同じ汚水量を加えた時のBOD除去率を同じ方法で比較したところ、No.4 > No.3となった。この原因は現在不明であり、今後、この点を追求して問題点を明らかにしたい。

以上のことから、土層段数はBOD除去率には関係がなく、むしろ施工時の土の締め固めが大きな影響を与えると思われる。

対照土槽 (No.1) の砂に浸透させたのみでも、BODは除去され、特に低気温下では除去率が高いが、高気温下においては、低くなる傾向がみられる。これは2次処理水に汚濁成分がかなり残留している場合が多かった為と考えられる。吸着除去と段数の間には明確な関係が見い



第7図 BODの除去率の変化

出せなかった。

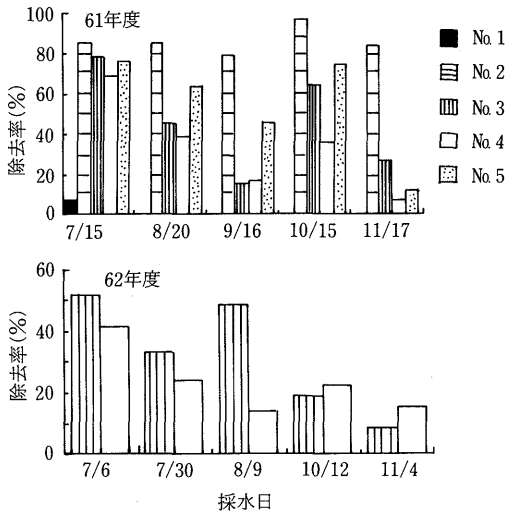
採取時刻における1時間平均排水流量と除去率との関係を見ると、排水流量が多いほど除去率もやや高くなる傾向があるようである。実験で使用した原水は2次処理水であり、濃度が既に低レベルであるため、土壤中を浸透流下する過程で有機性汚濁成分は吸着除去される一方、土壌そのものを洗浄する効果も伴って、処理水に溶脱混入される分量もあると思われ、排水流量すなわち浸透速度が小さいことは、その前者よりもむしろ後者を増やす結果を生んでいるという見方ができる。流入負荷や浸透速度には、除去に最適な範囲が存在するのではないかとと思われる。

CODについてもまったく同様なことが言える。

2) T-Nの除去 (第8図)

供試汚水の全窒素はほとんど無機態からなり、砂層を通しただけでは除去は低い。そこで、脱窒率を高めるためには、無機炭素化合物を豊富に含む還元土層への接触浸透および特殊土壌による吸着が必要となる。そこで、アンモニア除去のために使用したゼオライトの脱窒効果を見ると、ゼオライト層のない処理槽 (No.2) の方がゼオライト層のある方 (No.3) より効果は高く、ゼオライトの脱窒効果を確認することはできなかった。本実験でNo.2の脱窒効果が高いのはNo.2槽での汚水の滞留時間がNo.3のそれよりも大きいことに起因しているためだとと思われる。

流入負荷量の違いによる脱窒能力差を見るために、土層層構造は同じNo.3とNo.4の結果を比較する。No.4には



第8図 T-Nの除去率の変化

No. 3の2倍の汚水量を负荷したにも関わらず、両者の除去率には大差がない。次に、No. 4槽（黒ボク層10段）と土壌層の段数を2倍にしたNo. 5槽（黒ボク20段）の脱窒効果をみると、No. 4よりもNo. 5の脱窒効果が高い。従って、滞留時間の長短が脱窒にもっとも関係があると思われる。

61年度の実験では全各土槽の脱窒率の平均値では70%程度であったが、62年度の実験では50%以下に低下し、浄化能力の低下がみられた。しかし、前期では大豆を栽培しているNo. 3の脱窒率はNo. 4よりも高い。これは大豆の生育期間に窒素が大豆に利用されたことに起因する。

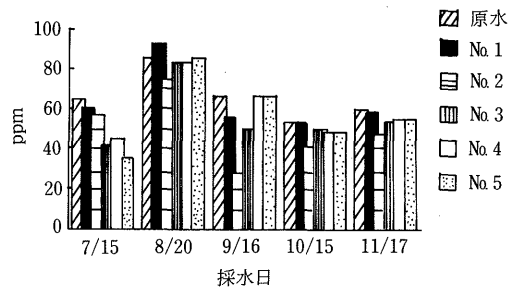
3) T-Pの除去

全リンは土壌（黒ボク）内の活性アルミニウム等と結合吸着することによって除去（脱リン）され、しかも、高気温下で大きい効果があった。砂には脱リン能力のないのがわかる。その他の土槽については脱リンの効果はみられるが、使用黒ボク量が等しいこともあって土槽間の差はない。また植物栽培による影響は見出しにくかった。

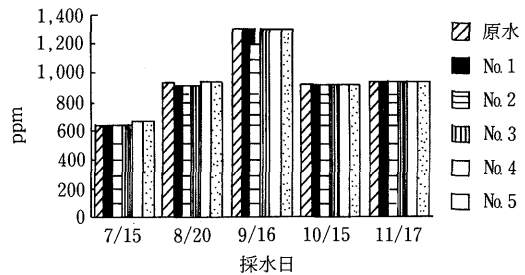
全体的にみて、夏場の除去は順調であるが、気温が高くない時期に課題があるようである。

4) Na, Kの除去

第9図～第10図にK, Naの除去率を示す。原水・処理水にさほど濃度差がなく、全土槽にわたって除去はほとんどなされていない。62年度に大豆によるKの吸収がわずかにみられたのみで、土壌構造、流入負荷量の違いに



第9図 排水中に含まれるKの変化(61年度)



第10図 排水中に含まれるNaの変化(61年度)

よる浄化能力の差もほとんど認められない。土壌処理法においては、これらの項目の除去はほとんど期待できないようである。

5. 土壌溶液の水質

土壌溶液はNo. 1～No. 5の土壌処理装置の被覆面から50cm, 90cm, 130cmの深さに土壌溶液採取器を設置して採水したが、水質分析に十分な量の土壌溶液の採水ができない箇所が相当あり、全体的な傾向は見出しにくい。測定できた結果からみる限りでは、CODでは深い地点ほど濃度が増加しているようである。浸透流下とともに汚濁成分が徐々に混入してきていたと考えられる。T-Nでは61年度で深い地点ほど濃度が減少している例が多く、62年度は深さによる大小が不規則であり、判断が難しい。

T-Pについては両年度とも低濃度で終始し、62年度はほとんど0.1ppm以下と非常に低い濃度を示していた。

6. 大豆の生長(62年度)

6月3日に播種した大豆は、最終的に土槽の内外で、茎1本当り茎長で33～60cm、重量で40～60g、豆数で30～65の差があった。通常の水よりも、実験で原水として使用した2次処理水程度の汚水から汚濁成分を栄養素として吸収することで、大豆はそれ相当の生長ができる

ことがわかった。

7. 洗水の水質

62年度の実験終了後、河川水を2槽に浸透させ、排水を逆洗水として採取してその水質を測定した結果、ほとんど全項目について河川水濃度<No.3濃度<No.4濃度であった。BOD及びCODでは、土壌に吸着された有機性汚濁物質や微生物が再度溶脱して洗出され、逆流水濃度が増加したと考えられる。No.3で大豆を栽培していたので、T-N、T-P及びKがいずれも栄養素として根毛に吸収された分だけNo.4に比べて土壌内の残留が少なかったのではないかと考えられる。Na、Caは土中に残留しているので、これは土壌内への塩分集積にも関わってくると思われ、今後の土壌処理法で対策が必要になる可能性がある。SSは実験処理水とさほど変わらなかった。

結 論

以上の考察から、No.2～No.5は人間1人が1日に使用する水量を200ℓとすると、2人用の脱窒・脱リンの施設として使用できると考えられる。

現在、農業用水の水質保全が叫ばれ、高度処理の必要性が高まってきている。こうした情勢下において、施設

全体の景観を良好に保ち、維持管理も割合容易であるという利点も備えた多段土壌層法は、農村における汚水の3次処理法として充分適用できる方式であり、古来の農業が保ってきた自然と土壌の循環系（リサイクルシステム）に合致した理想的な農村集落排水処理施設を実現する可能性をもつように思われる。

以上の事は本実験の範囲内で言えることで、今後も実験を継続して土壌の吸着力が何年後に飽和するかなどについて研究を行う予定である。

謝 辞

実験施設の設計・施工を全面的に担当して頂いたカナツ技研工業(株)の中村豊氏、ライシメーター施設及び降雨及び蒸発量のデータを御提供頂いた農学部附尻砂丘利用研究施設水文かんがい部門及び砂丘環境部門の先生方に厚く御礼申し上げます。

引 用 文 献

- 1) 若月利之, 国松孝男, 小村修一, 阿部裕治: 「汚水の浄化方法及び装置」, 公開特許広報 昭和61-212386 (1986)