特集2・土壌による排水の浄化と再利用

混合土を用いたトレンチ式浄化法による 汚水の高度処理

菅 原 正 孝*

1. はじめに

土壌式浄化法は、適切な負荷のもとで運転している限りは、その機能は長期にわたり十分に発揮されるが、場合によっては過負荷の状態になることは避けられず、その状態で運転を続けると早い段階で目詰まり現象が現れる。こうした事態をできるだけ避ける方策として、十分な土壌容量の確保や適当な休止期間の設定が行われてきた。この場合、どうしても単位面積あたりの処理能力としては小さくなり、その結果土壌式浄化法はかなり小規模な処理施設向きという評価にとどまり、これまではその利用分野や範囲は狭くならざるをえなかった。

土壌式浄化法に新たな展開を期待するには、やはり処理量の増大はもちろん、安定して良質の処理水を生み出せるシステムの構築が不可欠である。そのためには、こうした目的に合った土壌を探し出すことも必要であるが、あるがままの自然土壌を使うことに拘泥する必要はなく、人工的にブレンドして新たにつくりだした混合土を使うことによってある程度目的が達せられる。

ブレンド土（混合土）を用いたトレンチ方式で汚水を処理し、しかもその処理水を再利用することを目的とした高度処理法としては、すでに実用化され数年の実績のある「循環式トイレ」、ならびに最近その改良を図ったシステムとして「せせらぎプラント」がある。

「循環式トイレ」は、主として野外での設置を意図した水流水循環型のトイレである。そのシステムは、浄化槽で前処理されたトイレ排水を土壌式浄化法でもって高度処理し、そこで得られた高度処理水をトイレ水流水として循環再利用できるように構成

図-1 せせらぎプラントの基本フローシート

されている。

「せせらぎプラント」とは、都市公園等に設置し、周辺の下水管から下水を引き込み浄化槽で前処理した後、土壌式浄化法でもって高度処理する装置である。高度処理水は、通常は公園のせせらぎや池の用水、散水用水として、また震災時には避難所である「防災型都市公園」のトイレ水流水として使用することができる。

本稿では「せせらぎプラント」を中心に紹介し、その性能の一端について実証実験に基づき述べる。

2. せせらぎプラントの概要

2.1 プラントの構成

基本となるフローシートを図-1に示す。前処理装置は、合併式浄化槽であり、ここからの前処理水が流量調整槽で分配されて高度処理装置に流入する。高度処理装置というのがトレンチ式土壌浄化装

* 大阪産業大学土木工学科
Masataka SUGAHARA

(a) 1号トレンチ

(b) 2号トレンチ

図-2 トレンチ断面図

置である。トレンチとしては2種類を用いた。すなわち、1号トレンチと2号トレンチであり、構成要素やその容量が異なる。おのおののトレンチの構造を図-2および表1に示す。1号トレンチは、トレンチは1本であり、土壤層は上から混合土、空気層、混合土、ろ過層で構成されており、その下に貯留槽が設けられている。2号トレンチは、トレンチを2本とし、土壤層は上から混合土、ろ過層、空気層で構成されている。その他、混合土そのものについても後述のように粒度や層厚などが異なる。なお、トレンチ1本あたりの基本の長さは4mであるが、1号トレンチではやや長めの5mとしている。

なお、図-1に示したように、本プラントは高度処理水の用途先を増やし、かつ安全性を高めるために、滅菌装置および緊急時対応用のろ過装置を含めたシステムとなっているが、ここでは、高度処理装置の性能に限って述べる。

2.2 混合土

本施設では、従来のトレンチ構造に基づく土壤式浄化装置にいくつかの改良を加えているが、そのうちもっとも重要なものが混合土である。

これまでのトレンチ方式浄化装置の多くは、現地

表1 混合土の組成・物性および層厚

測定項目		単位	1号 トレンチ	2号 トレンチ	備 考
混合土の層厚		cm	97	82	
組 成	無機質	%	83.22	83.98	真砂土・川砂・軽石・パーライト・鉄粒
	活性炭	%	1.77	1.68	
	有機質	%	15.01	14.32	腐葉土・パーク堆肥・鶏糞・骨粉
混合土の有効径		mm	0.090	0.100	真砂土・川砂による合成粒径

の自然土を用いてきた。処理性能は土壤特性、地下水位などの条件に左右されるものであるからこの場合、一定の機能を維持することは困難であった。また、こうした現地の条件によっては、そもそも浄化装置それ自体の設置が無理であるということも少なくなかった。

こうした経緯に加えて、本施設は、処理水の再利用を図るという目的からも、安定して、かつ良質の処理水を得ることが使命として負わされており、そのため一定の浄化能力が確保しやすい混合土を使用することがそれを保証するものと考えられた。

本施設の実証実験に用いた混合土の組成、有効径、単位体積重量をトレンチごとに表2に示す。組成としては、真砂土、川砂、軽石等の無機質、腐葉土、パーク堆肥、鶏糞等の有機質および活性炭であるが、約83%は無機質で占められている。混合土の組成を決めるに際しては、1つは通気状態を良くすること、1つは処理機能の持続期間を長くすること、を念頭においた。

2.3 通気層

トレンチの下部に通気層を設けることにより土壤層内での空気の流通性を高め、積極的に好気状態を保つ構造とした。これによって、目詰まりの進行を抑制し、機能回復時間を短縮することを期待した。

2.4 流量調整装置

前処理槽と高度処理装置との間に、流量調整装置を設けた。この理由の1つは、トレンチへの流入水の供給方式にある。すなわち、これまでの経験から連続的よりも間欠的な供給方式の方が処理能力の向上には有効であることが確認されている。それを具体化するには、流量調整槽にいったん汚水を溜めることと、さらに水位センサーを用いたポンプの適切な運転制御が必要である。もう1つの理由は、ピー

表2 用途別目標水質と実験施設で得られた水質

項目	単位	親水用水	修景用水	水洗便所用水	本施設
ph		5.8～8.6	5.8～8.6	5.8～8.6	6.5～8.1
BOD	mg/ℓ	3以下	10以下	15以下	3以下
COD	mg/ℓ	—	20以下	30以下	11以下
SS	mg/ℓ	—	—	10以下	5以下
大腸菌群数	個/ml	0.5以下	10以下	10以下	0.5以下 ¹⁾
濁度	度	5以下	10以下	—	5以下
色度	度	10以下	40以下	—	25以下
臭気		不快でない	不快でない	不快でない	不快でない
備考		人体の接触を前提としない	人体の接触を前提としない		

1) 大腸菌群数は、滅菌装置との併用による。2) 用途別目標水質(平成2年3月建設省)「下水処理水の修景・親水利用水質検討マニュアル(案)」より(平成2年3月厚生省)「再利用水を原水とする雑用水道の水洗便所用水の水質基準等の設定について」より

ク時対策である。とくに公園、河川敷での野外設置型トイレにおいて循環再利用を図る場合、そこでイベントがもたれるとピーク時には相当の量となる。こうした時にも、土壌への供給負荷変動を小さくし、安定した処理水を得るための装置とすることが肝要であり、この意味から、流量調整装置は最小限の必要な装置である。

3. セセラギプラントの性能

3.1 実験方法および測定項目

装置の運転方法は、1日につき16時間の稼働後8時間の休止というパターンを採用した。トレンチへの流入水は、間欠的になされたが、60分に1回の割合でそれぞれの流入量に応じてポンプが作動するような設定とした。また、全期間を通じての運転パターンは、2ヵ月運転、1ヵ月休止とした。なお、期間は、1998年8月から1999年4月の約8ヵ月である。

測定項目のうち、水質については原水、前処理水、高度処理水をあらかじめ設定した頻度でもって測定した。測定対象水質項目は、pH、BOD、COD、SS、大腸菌群数、総リン(T-P)、総窒素(T-N)、透視度、濁度、色度とした。

なお、実験に供した原水は、下水処理場の分配槽から取水した。それを前処理槽(合併式浄化槽)にて処理した水を前処理水、さらにそれをトレンチに通して処理した水を高度処理水と称する。

3.2 実験結果および評価

3.2.1 処理能力

処理量について、1日あたり、1㎡につき処理さ

れる量(ℓ)で表して、その経日変化を図-3に示す。1号トレンチでは、80 ℓ/㎡・日あたりで推移しており、一時は70 ℓ/㎡・日にまで低下したものの、休止による回復効果もあってほぼ安定した処理量が維持されていた。それに対し2号トレンチの処理量は、はじめこそ80 ℓ/㎡・日であったが、すぐに上昇し、一時110 ℓ/㎡・日にも達し、100 ℓ/㎡・日を超える状況のもと休止期間を迎えた。運転再開後もしばらくは同じく高い処理量を保っていたが、その後急激に低下し、50 ℓ/㎡・日まで落ち込んだ。

このあたりで予定通り2回目の休止期間にはいった。この休止により処理量は、当初の80 ℓ/㎡・日に回復し、その後安定した処理量が得られたことは図からも明らかである。なお、急激に処理量が低下した原因は、流量調整槽底部のヘドロを吸い込んだことと、その際の対策が不十分だったことが確認された。こうした不測の事態にもかかわらず、結果的には回復は順調であったと思われる。いずれにしても、過負荷運転は目詰まりを急速に促進させ結果的には後半における処理量の大幅な減少につながる事が分かる。この点からすると、変動範囲を小さくし、適正な負荷に制御しながら運転する方が安定した処理量が確保でき、処理水の再利用という観点からは望ましいと考えられる。

調査期間を通した平均処理量で見ると、1号トレ

図-3 トレンチ処理量の経日変化

ンチでは77.1 $\text{l}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ 、2号トレンチでは80.2 $\text{l}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ とそれほど大きな差は出ていない。1号トレンチに比べて2号トレンチでは、混合土の層厚をやや薄くし、かつ混合土の粒度をわずかではあるが大きくなるなど、処理量の増大を図ったが、一時的な効果は別として総体的にはその効果は期待したほどではなかったと言える。

3.2.2 浄化能力

浄化能力については、まず基本となるSS, BODについて前処理水と高度処理水の値を図-4, 5に示す。SSは、流入水においてかなり大きく変動しているものの除去率は高く、処理水としては、おおむね5 mg/l 以下が確保されている。前処理水としては、時折200 mg/l 前後に及ぶが、前段の調整装置などで清掃作業などがある時以外は、通常の状態では100 mg/l までにほぼ収まるものと思われる。BODについては、前処理水の値が、SS同様に大きく変動しているにもかかわらず、高度処理水においては1号トレンチで常に0.5 mg/l であり、2号トレンチでも1.4 mg/l 以下が保たれるなど高い除去性能が認められる。これは、再利用水に対する用途別目標水質として数値化されているSS, BODのいずれの値をも満足するものである(表2参照)。

再利用を考えた場合、その他の水質項目としては、表2に掲載されているようにpH, COD, 大腸菌群数、濁度、色度がその対象となる。そこで、次にこれら水質項目について、2号トレンチにおける浄化特性を見ることにする。

pHについては、高度処理水は6.9から8.1の範囲にあり、問題はない。CODについては図-6に示すように、高度処理水はほぼ10 mg/l 以下で推移しており、前処理水が大きく変動しても十分それに対応できるだけの性能が本装置に備わっていることが分かる。水洗便所用水30 mg/l 、修景用水20 mg/l という目標値をはるかに下廻っている数値である。

大腸菌群数については、十分に除去されていない。とくに、初期には不安定な状況にあり、2度にわたり100個/ ml を超えている。しかし、後半期には修景用水目標値である10個/ ml 以下になることがほとんどである。この結果から判断すると、さらに厳しい目標値0.5個/ ml が設定されている親水用水には、処理水の安定性の面からいづれにしても適用は難しい。濁度については、確実に3度以下に処理され、しかも安定して維持されているなど、厳しい親水用

図-4 SSの経日変化

図-5 BODの経日変化

図-6 CODの経日変化

水目標値をも満足している。

そして、色度であるが、6～24度の範囲(平均13.3

図-7 T-Nの経日変化

図-8 T-Pの経日変化

度)にあり、修景用水目標値40度を下回る値は得られているが、やはり大腸菌群数と同じく親水用水としての利用においては問題がある。

最後に、T-N、T-P、透視度に関しては、再利用水に対する目標値としては設定されていないが、参考までに結果の概略を示す。T-N(図-7)の場合、高度処理水は夏期は3 mg/l以下であるが、冬期には6~7 mg/lと浄化能に低下が見られる。T-P(図-8)の場合、高度処理水はほとんど1 mg/l以下を示し、除去率としてはほぼ80~90%が維持されている。透視度(図-9)は、高度処理水で19~100 cmであり、夏期に比べて冬期に高い値が得られている。透視度を悪化させているのは、SS、濁度はともに効率よく除去されていることから考えて、多分残留色度成分によるものであろう。

4. おわりに

混合土を用いた高度処理装置の概要およびその処理能力、浄化能力について実証実験の結果を中心に述べた。本装置で対象とした汚水は流域下水道の終末処理場への流入水を合併浄化槽にて処理した処理水である。その結果からは、水洗便所用水、修景用水への利用には、最後に滅菌を行うことにより十分に適用可能であることが判明した。しかし、親水用水までの利用となると、とくに色度の除去対策を考える必要があり、たとえばオゾン装置の導入も選択肢の1つとなりうると考える。ただ、処理場によっては、色度がそれほど問題にならないところも多い

図-9 透視度の経日変化

と思われる。

なお、紙数の関係で本稿では紹介できなかった「循環式トイレ」は、本高度処理装置とほぼ同一システムのものであるが、1993年を最初として水洗便所用水の循環利用を目的に公園、河川敷、治水緑地公園、遊水地などで実績がある。

本実証実験は、土壌浸透浄化技術研究会会員である(株)環境開発研究所が同研究会の協力のもとで実施したものであること、またその際には場所および試料の提供に関しては、大阪府下C処理場の多大なご協力を賜ったことを記すとともに関係機関の諸氏に謝辞を申しあげます。以上の経緯から、本稿は、土壌浸透浄化技術研究会会員である著者が代表して成果の一部を紹介したものであることを付言します。