

植種 - ばっ気 - トレンチ法 (SAT 法) による山岳地域のし尿処理

鈴木富雄¹・村上隆一²

山岳地域対応のし尿処理装置の一つである植種 - ばっ気 - トレンチ (SAT) 法について、標高約 2500m の山小屋で現地実証調査を行った。得られた主な結果は以下のとおりである。

(1) ばっ気処理に伴い BOD, COD 及び TN は、それぞれ 94 ~ 97, 39 ~ 49 及び 51 ~ 54% 除去された。しかし、TP は全く除去されなかった。BOD 及び COD が除去されるのは、主に微生物による分解が、また TN が除去されるのは NH₃ の放散が主な原因と考えられる。

(2) ばっ気処理及び土壌浸透処理を含めた BOD, COD, TN 及び TP の除去率は、雨水による希釈を含め、それぞれ 99, 88 ~ 94, 93 ~ 96 及び 64 ~ 82% であった。土壌浸透により TP が除去されるのは、りんが土壌中の Al や Fe 等と結合し、水に難溶な塩を作るためと考えられる。

キーワード：し尿処理，汚水処理，生物処理，土壌浸透処理，山岳地域

1. はじめに

長野県は全国でも有数の山岳観光県で、通称日本アルプスをはじめとする高山が峰を連ねている。これらの山域には多数の山小屋が散在しているが、近年ここから排出されるし尿が問題にされている。即ち、通常低地ではし尿を処理する場合下水道、浄化槽あるいはバキュームカーで抜き取った後、し尿処理施設で処理しているが、高山ではその特殊な環境のため、これらがほとんど利用できない。そのため、多くの山小屋ではし尿を未処理のまま排出し、山岳環境を損ねている^{1)~9)}。

近年、各種の山岳地域対応のし尿処理装置が開発されてきたが、処理性能等に関する情報が少なく、山小屋経営者等からその提供が求められている。

本報告は、山岳地域対応のし尿処理法の一つである植種 - ばっ気 - トレンチ法 (以下、SAT 法と略記する) に関し、現地での実証試験結果をまとめたものである。

2. 施設の概要

調査対象施設は、北アルプスの標高約 2500m の山小屋に設置された SAT 法のし尿処理施設 (2000 年 8 月設置) である。当施設では、小屋のくみ取

り便槽から抜き取ったし尿に *Bacillus* 属の細菌を主成分とする微生物製剤 (ナショナル商事株式会社コンボザイム) を添加 (9kg/5m³) し、通常約 4 週間ばっ気処理した後、その処理水をトレンチを用いて土壌浸透処理するものである。ただし、今回の調査では、ばっ気開始から 3 週後に便槽が満杯になり、便槽内のし尿を処理槽に投入する必要があったため、ばっ気期間は 3 週間であった。トイレの年間利用者数は、テント場の宿泊客数を含め年間約 20,000 人である。当山小屋のトイレでは、使用済みのトイレトーパーは便槽内に投入せず、分別し焼却処分している。

装置の概要を図 1 に示す。ばっ気槽は直径 2m、高さ 2.2m、実容積 5m³ のものが 2 基 (以下、J1 及び J2 と略記する) 併設されており、ばっ気強度はいずれも 12m³ / (m³・h) である。これらのばっ気槽には接触材は充填されていない。ばっ気槽には 2kw のヒーターが付設されており、必要な加温が行えるようになっている。

またばっ気槽からの排気は、活性炭を充填した脱臭装置に導入されるようになっている。

トレンチは幅 1m、深さ 80cm、長さが 4 ~ 10m のものが合計 5 本設置されており、総延長は 32m である。トレンチ埋設区のほぼ中央には検水井が設置されており、トレンチに導入されたばっ気処理水

1 長野県環境保全研究所 〒380-0944 長野市安茂里米村 1978

2 長野県飯田保健所 〒389-0034 飯田市追手町 2-678

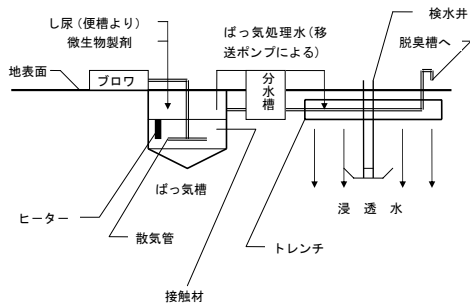


図1 SAT法の概要

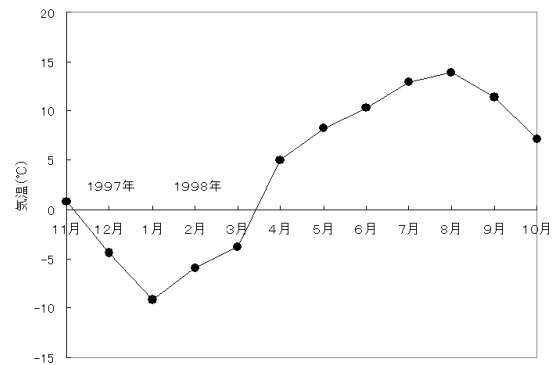


図3 調査対象地点の月平均気温の経時変化

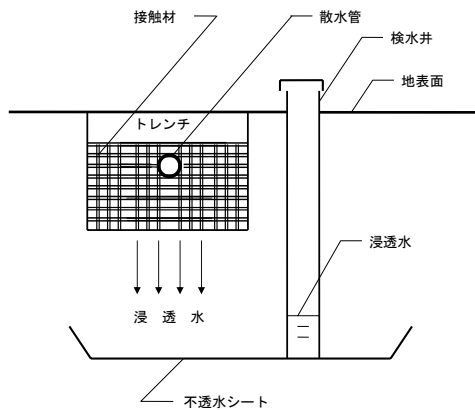


図2 トレンチ及び検水井の概要

が土壤浸透した後の水（以下、浸透水と略記する）を採取できるようになっている（図2）。トレンチは屋外に設置されているため、浸透水は一部雨水の希釈を受けている。検水井の不透水膜が設置されている深さはトレンチの底部から1m下層である。

なお、調査年の気温は未測定であるが、当山小屋から提供された資料によると、1997年11月～1998年10月における小屋周辺の外気の月平均気温は-9.2～13.9℃、年平均気温は3.9℃であった（図3）。

3. 方法

山小屋の異なる便槽からバキュームタンクを用いてし尿 5m³ をばっ気槽に導入し、微生物製剤を投入後、その一部を採取し処理前のし尿（以下、処理前し尿と略記する）とした。ばっ気槽において約3週間ばっ気処理を行った後、槽内の処理水（以下、ばっ気処理水と略記する）を採取し、処理前し尿の水質と比較することにより、ばっ気に伴う処理効果

を見た。ばっ気終了後、ばっ気処理水をラバーポンプを用いてトレンチに導入し土壤浸透させた。ばっ気処理水のトレンチへの移送に当たっては、処理水を固液分離せずに、汚泥が混合したものをそのまま導入した。導入に要した時間は、ポンプの送水能力が105L/分であるので約50分である。また、ばっ気処理水をトレンチに導入した翌日、検水井より浸透水を採取し、その水質を見た。浸透水の水質とばっ気処理水及び処理前し尿の水質を比較することにより、土壤浸透に伴う処理効果及びばっ気処理と土壤浸透を含めたSAT法全体の処理効果を見た。なお、採取した浸透水は、土壤間隙中に保持されていた雨水及び既に検水井内滞留していた浸透水と混合したと考えられるが、土壤浸透に伴う除去率の計算等に当たっては、これら全てを含めた見かけ上の値として考察した。水質分析は、JIS K0102に準拠した。ばっ気槽へのし尿の導入及びばっ気処理の開始は2003年8月1日、ばっ気処理の終了日及びばっ気処理水のトレンチへの導入日は2003年8月19日である。

4. 結果及び考察

4.1 水温

8月19日に採取したばっ気処理水の水温は23℃であった。当施設には30℃に温度制御された加温装置が付置されているが、夏期等比較的高い水温が確保できる場合は加温を停止する場合もある。SAT法を用いている他の施設では、初期水温が17～19℃の場合、2m³のばっ気槽を30℃に加温するには、概ね48時間を要している¹⁰⁾。当施設の容量は5m³であるので、初期水温が前記した施設と同程度と仮定した場合、加温・ばっ気開始からほぼ5日後に

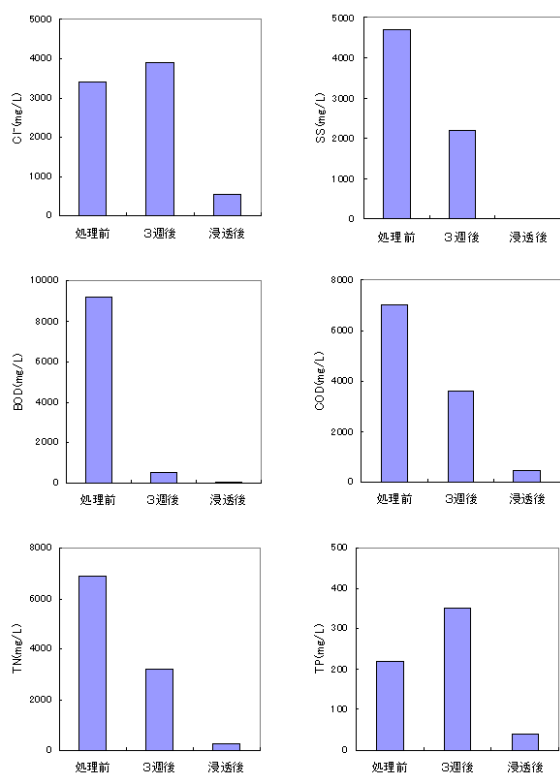


図4 J1における汚濁成分等の処理効果
 処理前：ばっ気処理前の水質
 3週後：3週間ばっ気処理した後の水質
 浸透後：ばっ気処理水の土壌浸透後に検水井から採取した浸透水の水質

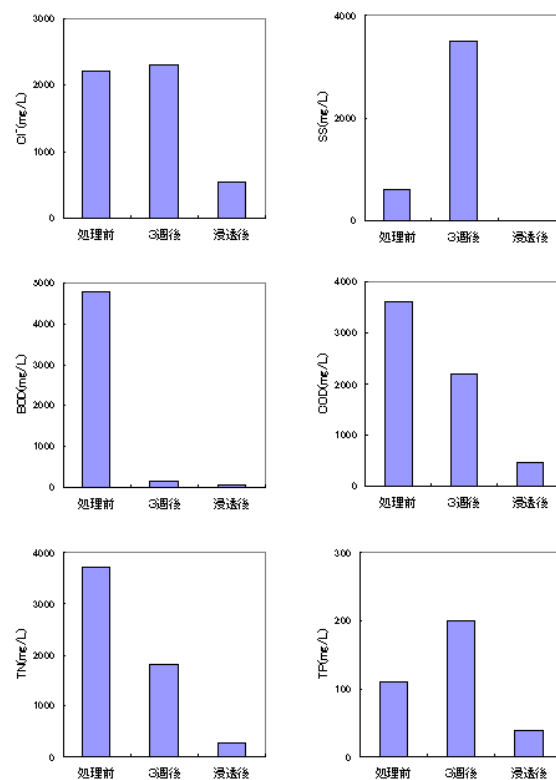


図5 J2における汚濁成分等の処理効果
 処理前：ばっ気処理前の水質
 3週後：3週間ばっ気処理した後の水質
 浸透後：ばっ気処理水の土壌浸透後に検水井から採取した浸透水の水質

は30℃に達するものと推察される。以上を考慮した場合、今回の調査期間中加温は停止していた可能性もある。なお、小屋から提供された資料によると、1998年8月1～19日の平均地温(0～100cm)は14.7℃、また8月の月平均気温は前記したとおり13.9℃であった。気温、地温が1998年と同程度であったと仮定した場合、これらの温度と今回測定した水温の差は、微生物の活動に伴う発熱及びプロワから供給された空気の影響によるものと考えられる。

4.2 塩化物イオン

J1, J2から採取した処理前し尿、ばっ気処理水及び浸透水の測定結果を図4～5に示す。

処理前し尿の塩化物イオン(以下、CFと略記する)は、J1及びJ2においてそれぞれ3400及び2200mg/L、またばっ気処理後は3900及び2300mg/Lで、ほとんど変化なかった。この結果から、ばっ気槽内においては雨水等の混入により、内容物が希釈された可能性はないと考えられる。J1

及びJ2の水質が異なるのは、それぞれ別の便槽からし尿を抜き取り投入したためである。

浸透水のCFは550mg/Lで、J1及びJ2における土壌浸透前のばっ気処理水の14及び24%に低下していた。CFは土壌浸透では除去されにくいことから^{11), 12)}、これは主に雨水等による希釈によるものと考えられる。

検水井はトレンチ埋設区に1基設置されているだけであり、この地点にJ1あるいはJ2から排出されたばっ気処理水がどのくらいの割合で浸透しているか不明である。また、トレンチに導入したばっ気処理水が、浸透水として検水井に浸出してくるまでの時間あるいはその土壌の間隙水との混合割合も不明である。そのため、以下J1, J2のばっ気処理水が、それぞれ単独で1日を要して浸透したと仮定し、それぞれについて除去率等を検討した。

なお、浸透水の浸出時間に関しては、合併処理浄化槽放流水をトレンチ1m当たり毎日80L/日で浸透させた場合、概ね24～48時間との報告がある¹¹⁾。

4.3 懸濁性物質

懸濁性物質（以下、SSと略記する）は、J1及びJ2で異なった変化を示した。

J1においては、処理前し尿のSSが4700mg/Lであったのに対し、処理後には2200mg/Lに減少した。この原因は、ばっ気処理によりし尿中のSSが分解したこと、及びばっ気に伴い一旦は微生物が増殖したものの、長時間ばっ気を継続したため、汚泥が内生呼吸あるいは細胞溶解等により減少したと考えられる¹³⁾。

J2では処理前のSSが600mg/Lであったのに対し、処理後は3500mg/Lに増加した。J2に投入されたし尿のSS濃度は比較的lowだったが、後述するようにBODが4800mg/Lと比較的高く、多くの有機物を含んでいたと考えられる。したがって、J2でばっ気に伴いSSが増加したのは、有機物の処理に作用する好気性微生物が増加したためと考えられる。ただし、J1の調査結果から、J2においても汚泥の内生呼吸あるいは細胞溶解が進行していたと考えられる。なお、J2に投入されたし尿のSSが当初から低かったのは、前年から約9か月間小屋の便槽内に貯留されていた間に嫌気分解されたためと考えられる。今回の調査では、直接越冬前後のSSの比較を行ってないが、2004～2005年に当所で実施した他の山小屋における調査では、越冬前のし尿中のSSが2600mg/Lであったのに対し、6か月間越冬させた後のSSは490mg/Lに減少し81%が除去された¹⁰⁾。したがって、当小屋の便槽においてもほぼ同様の嫌気分解が行われていたと考えられる。前記した他の山小屋における越冬に伴うBODの除去率は42%で、SSに比べるとその値は低かった。

なお浸透水のSSは、試料量が少なかったこと等により未測定である。

4.4 生物化学的酸素要求量

処理前し尿の生物化学的酸素要求量（以下、BODと略記する）は、J1及びJ2においてそれぞれ9200及び4800mg/Lであったが、ばっ気処理後はそれぞれ520及び140mg/Lに低下し、除去率はそれぞれ94及び97%であった。また、浸透水のBODは50mg/Lで、処理前のし尿に対する除去率は、雨水等による希釈を含め、見かけ上いずれも99%であった。浸透水のCl⁻から計算した希釈率は、J1では7.1倍、J2では4.2倍であった。この値から土壌浸透前のばっ気処理水がそのまま雨水等の希釈

を受けたと仮定すると、J1では73mg/L、J2では33mg/Lとなり、除去率はJ1及びJ2で、それぞれ46及び34%と計算された。また、平均では-6%で実測値とほぼ同程度であった。したがって、全体としてはこの場合土壌浸透によるばっ気処理水のBOD浄化効果は見かけ上ほとんどなかったと考えられる。

長野県が策定した「し尿浄化槽放流水の地下浸透に関する指導基準」¹⁴⁾では、単独処理浄化槽放流水の場合、トレンチ1m当たり最高50Lとする旨定められている。この指導基準に準拠した場合、BODの90%以上の除去効果が期待できる¹²⁾。また、合併処理浄化槽放流水等の土壌浸透施設においても、80%以上の除去効果が得られている^{11)、15)}。これに対し当施設のトレンチへの負荷水量は、トレンチ1m当たり約300Lと計算されるので、指導基準に定められた負荷水量と比べると6倍高かった。トレンチ幅は指導基準の2倍あるが、これを考慮しても負荷量は指導基準を上回っており、このことが土壌の浄化作用が十分に発揮されていない原因の一つと考えられる。当小屋では、借地内に最大限トレンチ設置面積を確保しており、現状ではこれ以上の拡大は困難であるが、し尿処理の面からはトレンチ設置面積の拡大が望まれる。

本処理装置が目標としている処理性能は、1か月間のばっ気処理後におけるBOD除去率が95%以上、土壌浸透を含めたBOD除去率が99%以上であるので、ばっ気処理期間が3週間であることも考慮すると、目標としている性能はほぼ確保されていると考えられる。

4.5 化学的酸素要求量

処理前し尿の化学的酸素要求量（以下、CODと略記する）は、J1及びJ2においてそれぞれ7000及び3600mg/Lであったが、ばっ気処理後はそれぞれ3600及び2200mg/Lに低下し、除去率はそれぞれ49及び39%であった。ばっ気処理に伴うCOD除去率がBODに比べ低いのは、微生物を利用したばっ気処理では、BODとして測定される易分解性有機物は除去され易いが、比較的難分解性の有機物が残留し、これがCODとして測定されるためと考えられる。

浸透水のCODは450mg/Lで、処理前し尿に対する見かけ上の除去率は、それぞれ94及び88%であった。Cl⁻より求めた希釈率から、浸透水のCOD低下

がばっ気処理水の雨水等による希釈のみに起因すると仮定すると、J1及びJ2のCODはそれぞれ510及び520mg/Lと計算される。これらの値と浸透水のCODを比べると、実測値の方がいずれも低いことから、浸透水は雨水等による希釈以外に土壤による浄化作用も受けていると考えられる。その原因として、SSの土壤粒子によるろ過作用あるいは土壤微生物による分解等が考えられる。

なお、土壤浸透によりCODの除去効果が若干認められたのに対し、BODで除去効果が認められなかったのは、土壤中で難分解性有機物の一部が易分解性有機物に分解され、それがBODとして測定されたことも考えられる。

4.6 全窒素

処理前し尿の全窒素（以下、TNと略記する）は、J1及びJ2においてそれぞれ6900及び3700mg/Lであったが、ばっ気処理後はそれぞれ3200及び1800mg/Lに低下し、除去率はそれぞれ54及び51%であった。ばっ気処理により窒素が減少する原因として、生物学的脱窒素及びアンモニアストリッピングが考えられるが、本処理装置では、ばっ気処理水中の酸化態窒素が1mg/L未満でほとんど検出されていなかったことから、アンモニアストリッピングによるものが主体と推察される。

浸透水のTNは270mg/Lで、処理前し尿に対する除去率は、それぞれ見かけ上97及び93%であった。CIより求めた希釈率から、浸透水のTN低下がばっ気処理水の雨水等による希釈のみに起因すると仮定すると、J1及びJ2ではそれぞれ450及び430mg/Lと計算される。これらの値と浸透水のTNを比べると、実測値の方がいずれも低くなっている。このことから、浸透水は雨水等による希釈以外に、土壤浸透による浄化作用も受けているものと考えられる。その主な原因として、SSの土壤粒子間への捕捉及びNH₃の土壤への吸着等が考えられる。

4.7 全りん

処理前し尿の全りん（以下、TPと略記する）は、J1及びJ2においてそれぞれ220及び110mg/Lであったが、ばっ気処理後はそれぞれ350及び200mg/Lに増加した。TPがBOD、COD、TNのようにばっ気処理により減少しないのは、BODあるいはCOD成分がCO₂として、また窒素がNH₃やN₂として大気中に放散するのに対し、りんは大気中へ

の散逸がないためである。またばっ気処理によりりんが増加するのは、ばっ気中に処理槽下部に沈殿していた一部のSSが徐々に分解し、ここに含まれていたりんが溶出したためと考えられる。沈殿していたSSの分解により、BOD、COD及びTNも増加したと考えられるが、これらの増加分も含め、ばっ気処理により除去されたと考えられる。

浸透水のTPは40mg/Lで、処理前し尿に対する除去率は、それぞれ見かけ上82及び64%であった。CIより求めた希釈率から、浸透水のTP低下がばっ気処理水の希釈のみによると仮定すると、J1及びJ2ではそれぞれ49及び48mg/Lと計算される。これらの値と浸透水のTPを比べると、実測値の方がいずれも低くなっている。このことから、浸透水は雨水等による希釈以外に、土壤による浄化作用も受けていると考えられる。その主な原因として、SSの土壤粒子間への捕捉及びりんの土壤への吸着が考えられる。りんが土壤に吸着されるのは、それが土壤中のAlやFe等と化学結合し、水に難溶な塩を作り易いためと考えられる¹⁶⁾。

5. まとめ

北アルプスの標高約2500mに位置する山小屋に設置されたSAT法のし尿処理装置について現地実証調査を行い、以下の結果を得た。

- (1) 処理前し尿のBODは9200及び4800mg/Lであったが、ばっ気処理後にはそれぞれ520及び140mg/Lに減少し、除去率は94及び97%であった。また、浸透水のBODは50mg/Lで、処理前し尿から見た見かけ上の除去率はいずれも99%以上であった。
- (2) 処理前し尿のCODは7000及び3600mg/Lであったが、ばっ気処理後にはそれぞれ3600及び2200mg/Lに減少し、除去率は49及び39%であった。また、浸透水のCODは450mg/Lで、処理前し尿から見た見かけ上の除去率は94及び88%であった。
- (3) 処理前し尿のTNは6900及び3700mg/Lであったが、ばっ気処理後にはそれぞれ3200及び1800mg/Lに減少し、除去率は54及び51%であった。また、浸透水のTNは270mg/Lで、処理前し尿から見た見かけ上の除去率は96及び93%であった。
- (4) 処理前し尿のTPは220及び110mg/Lであった

が、ばっ気処理後にはそれぞれ 350 及び 200mg/L に増加した。この原因は、TP が大気中に放散し失われることがないこと、及びばっ気槽下部に沈殿していた SS 中のりんが、分解、溶出したためと考えられる。また、浸透水の TP は 40mg/L で、処理前し尿から見た見かけ上の除去率は 82 及び 64%であった。土壌浸透によりりんが除去されるのは、これが土壌中の Al や Fe 等と結合し、水に不溶な塩を作るためと考えられる。

文 献

- 1) 環境科学研究会 (1980) 山岳観光地における環境浄化対策調査報告書。
- 2) 長野県衛生公害研究所 (1981) 登山に起因する日本アルプスの環境汚染。
- 3) 環境庁自然保護局 (1981) 梓川源流部の排污水による汚染の実態と対策調査報告書。
- 4) 環境科学研究会 (1981) 山岳観光地における環境浄化対策研究会調査報告書。
- 5) 南安曇郡山岳観光地におけるし尿処理対策小委員会 (1988) 山岳観光地におけるし尿処理の将来対策についての中間報告。
- 6) 長野県山岳総合センター (1989) 調査・研究、北アルプスの水場の調査・中間報告、長野県山岳総合センター所報第 43 号。
- 7) (財)日本環境整備教育センター (1990) 中部山岳国立公園山岳高冷地におけるし尿処理対策検討調査報告書。
- 8) 長野県山岳総合センター (1990) 調査・研究、北アルプスの水場の調査・中間報告、長野県山岳総合センター - 所報第 44 号。
- 9) 信州山岳環境保全のあり方研究会 (2002) 信州山岳環境保全のありかた研究会第 1 次報告、p13。
- 10) 長野県 (2005) 環境技術実証モデル事業 (山岳トイレし尿処理技術分野) 委託業務完了報告書
- 11) 鈴木富雄, 樋口澄男, 山浦源太郎 (1985) トレンチ方式によるし尿浄化槽放流水の地下浸透とその土壌への影響, 水質汚濁研究, 8, 587-594。
- 12) 長野県生活環境部, 長野県衛生公害研究所 (1986) し尿浄化槽放流水の地下浸透に係る水質, 土壌及び地域許容量等の調査
- 13) 松尾友矩他訳 (1993) 水質管理工学, p280, 技報堂出版。
- 14) (長野県) し尿浄化槽放流水地下浸透処理研究委員会 (1988) し尿浄化槽放流水の地下浸透に関する指導基準。
- 15) 鈴木富雄, 山浦源太郎, 樋口澄男 (1983) トレンチ方式による旅館排水の地下浸透とその土壌への影響, 水質汚濁研究, 6, 343-352。
- 16) 国松孝男 (1985) 土壌による排水処理の実際と展望, 公害と対策, 21, 1357-1381。

Night Soil Treatment Using Seeding Aeration Trench(SAT) Method in Alpine Zone

Tomio SUZUKI¹ and Ryuichi MURAKAMI²

1 *Nagano Environmental Conservation Research Institute, Environmental Conservation Division,
1978 Komemura, Amori, Nagano 380-0944, Japan.*

2 *Nagano Prefecture Iida Public Health Center, 2-678 Otemachi, Iida 395-0034, Japan.*

Abstract

A research on a night soil treatment was performed at a treatment system set in a lodge situated at an alpine zone 2500m above the sea level. The system, the seeding-aeration-trench method abbreviated as SAT method, was developed for the exclusive use of the night soil treatment in alpine zones. The results obtained were summarized as follows.

(1) BOD and COD were removed 94-97 and 39-49% , respectively, by the action of microorganisms increased in the aeration tank. TN was removed 51-54 % by the diffusion of ammonia accompanied with the aeration. However, TP was rarely removed by the aeration.

(2) Removal efficiency of BOD, COD, TN and TP indicated 99, 88-94, 93-96 and 64-82 % , respectively, through the two treatment steps of SAT method, the aeration and the soil permeation, including a dilution with rainwater intermixed during soil permeation.

Key words: night soil treatment, land application, wastewater treatment, biological treatment, alpine zone