

高度処理型小型合併処理浄化槽の研究

嶋 津 暉 之 和 波 一 夫

要 旨

りん除去型の小型合併処理浄化槽を開発するため、住宅団地汚水処理場に実用規模の実験装置を設置して汚水処理の実験を行った。この実験により、次の結果が得られた。

- ① ケイ酸カルシウムを主成分とするロール状接触材をバラ積みで充填した実験装置Ⅰのりん除去率は、2年間の実験で50%前後であった。
- ② 逆洗時の接触材表面の剝離を促すため、ロール状接触材を紐で結んで懸下した実験装置Ⅱのりん除去率は、8カ月間の実験では60~75%であった。
- ③ 土粒子成分によるりんの物理化学的吸着と土壤微生物によるりんの固定を企図した土壤微生物処理（実験装置Ⅲ）のりん除去率は、8カ月間の実験では99%以上であった。

キーワード：小型合併処理浄化槽、りん除去、ケイ酸カルシウム、接触材、土壤微生物

Study on Development of Small Size Sewage Treatment Equipment having High Removal Ability

Teruyuki Shimazu and Kazuo Wanami

Summary

We experimented on the sewage treatment by setting up three practical scale experimental devices in the sewage treatment plant of housing complex, in order to develop small size sewage treatment plants having the ability of phosphorus removal. The following results were obtained:

- (1) In the experimental device I, the contact materials which mainly contained calcium silicate and were in the form of rolls, were filled in a scattered manner. The phosphorus removal rate of this device was about 50% during the two year experimental period.
- (2) In the experimental device II, we hanged the same contact materials as in device I which were connected by the strings in order to urge the flaking off of the surface of the contact materials when back washing. The phosphorus removal rate of this device was 60-75% during eight month experiment.
- (3) In the experimental device III, we planned the phosphorus removal by physicochemical adsorption of the soil elements along with the fixation of the soil microorganisms, and, thus, used the soil microorganism treatment method. The phosphorus removal rate of this device was 99% or more during experimental period of 8 month.

Keywords: small size sewage treatment equipment, phosphorus removal, calcium silicate, contact material, soil microorganism

1 はじめに

東京湾の富栄養化対策を推進していくためには、下水道未普及地域の生活排水中の窒素とリンについてもその削減を進める必要がある。東京都内においては下水道がかなり普及してきているが、東京湾流域全体で見れば、下水道未普及の地域がまだ多く残されており、未普及地域の生活排水に対する窒素・リン削減技術の確立が急務となっている。未普及地域の生活排水の浄化対策としてすでに小型合併処理浄化槽の普及が図られつつあるが、従来の市販型小型浄化槽は窒素、リンの除去率が低い。そこで、窒素、リンの除去が可能な浄化槽の開発を目指して、実用規模の実験装置を住宅団地汚水処理場に設置し、窒素・リンの除去実験を進めてきた。その結果、得られた窒素高率除去の条件は、建設省が1995年に告示した窒素除去型小型合併処理浄化槽の構造基準に反映された。その後、リンの除去機能を持つ小型合併処理浄化槽の研究を進めてきたので、その結果を報告する。

2 方法

(1) 実験の方法

住宅・都市整備公団八潮団地（埼玉県八潮市）の汚水処理場の敷地内に実験装置を設置し、同処理場の原水槽から汚水を導いて運転を行った。原則として、数週間に一度、原水、処理工程水、処理水をスポット採水して、水質分析を行った。運転の期間は装置Ⅰが1994年9月～96年9月、装置Ⅱ、Ⅲが97年12月～（継続中）である。

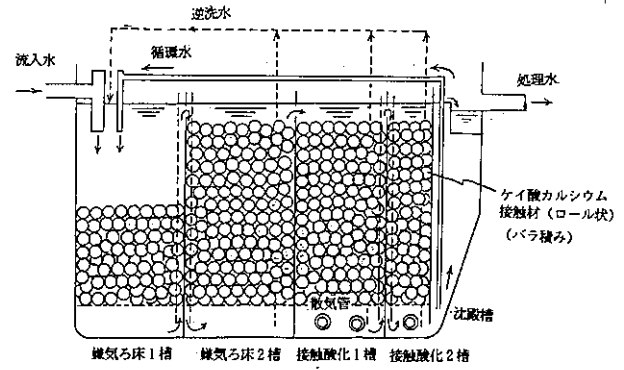
(2) 実験装置の概要

実験装置の概要は次のとおりである。それらの構造を図1、諸元を表1に示す。

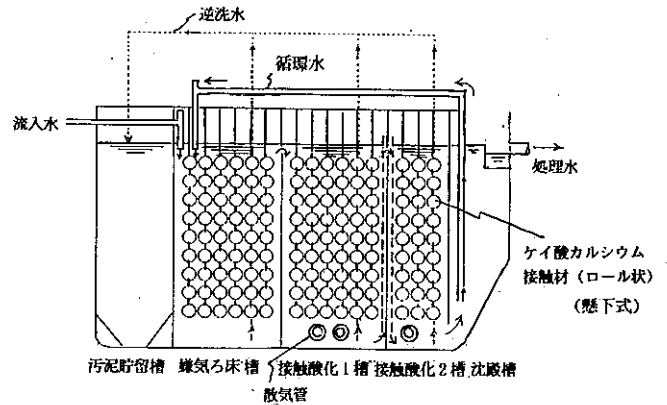
ア 実験装置Ⅰ：Ca接触材充填浄化槽

ケイ酸カルシウムにリンを吸着させるため、ケイ酸カルシウムを主成分とするロール状の接触材をバラ積みで嫌気ろ床1、2槽、接触酸化1、2槽に充填した。リンの吸着能を維持するためには、接触材表面の剝離を促す必要があるため、その手段として1日1回、嫌気ろ床2槽、接触酸化1、2槽それぞれを数分ずつ、散気用ブロワとは別の逆洗ブロワで逆洗を行った。同時に、逆洗ブロワによって作動するエアリフトポンプで各槽の懸濁水を嫌気ろ床1槽に送り、リン反応生成物を嫌気ろ床1槽から汚泥として排除できるようにした。

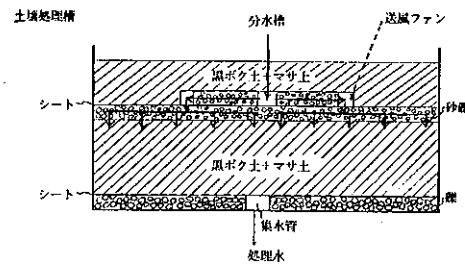
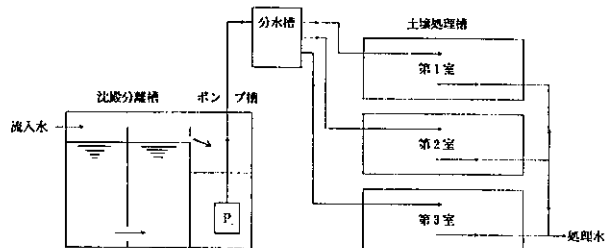
なお、この実験に用いた接触材は軽量気泡コンクリー



(1) 実験装置Ⅰ (Ca接触材充填浄化槽)



(2) 実験装置Ⅱ (Ca接触材懸下浄化槽)



(3) 実験装置Ⅲ (土壌微生物処理浄化槽)

図1 実験装置の構造

トの廃材を粉砕して粒状にし、それにノリ材として石灰等を加えてロール状に加圧成形したものである。前回の研究に用いた同種の接触材は、ケイ砂や石灰、アルミニウム粉末等の混合物を高圧で発泡固化し、そのブロックをロール状に切断したものであり、それと比べると、

表 1 浄化槽実験装置の諸元

	容 量 (m ³)						接 触 材
	嫌気ろ床1槽	嫌気ろ床2槽	接触酸化1槽	接触酸化2槽	沈殿槽	計	
I Ca接触材充填浄化槽	1.45	1.45	1.20	0.58	0.43	5.11	外径75mm、内径30mm、長さ100mmのロール状Ca接触材をバラ積みで合計3120個充填
II Ca接触材懸下浄化槽	汚泥貯留槽 0.74	嫌気ろ床槽 1.03	接触酸化1槽 1.02	接触酸化2槽 0.58	沈殿槽 0.43	計 3.80	同上のロール状Ca接触材を9個単位で紐でつないで、計1620個を懸下
III 土壌微生物処理浄化槽	第1槽 0.72	沈殿分離槽 第2槽 0.38 砂槽 0.20		計 1.30	土壌処理槽 1.2m ³ ×3		

今回の接触材は粒状のものの固まりであるので、浸水性が優れている。

イ 実験装置II：Ca接触材懸下浄化槽

アの方式を改善したもので、接触材表面を一様に剝離させるため、逆洗時に接触材の間を空気と水流が勢いよく動くように、上記のロール状接触材を9個単位で紐で結んで数珠状にし、それを嫌気ろ床槽、接触酸化1、2槽に懸下した。嫌気ろ床槽、接触酸化1、2槽の逆洗はアと同じである。ただし、この装置では逆洗時の懸濁水を汚泥貯留槽に送るようにした。

ウ 実験装置III：土壌微生物処理浄化槽

土壌および土壌微生物によってりんを除去するため、沈殿分離槽通過後の汚水上澄液をポンプで並列3槽の土壌処理槽に送った。土壌処理槽内の好気状態が常に維持されるよう、4時間おきの間欠送水にするとともに、土

壌層に送風ファンで空気を送るようにした。なお、この処理方式は、土壌処理水をそのまま地中に浸透させるのではなく、処理後の水を汲み上げて地上に排出することを前提としている。

(3) 運転条件

各実験装置の運転条件は表2のとおりである。

(4) 原水の水質と流入パターン

原水は住宅団地汚水処理場の微細スクリーンを通過した流入汚水である。自動採水器と手採水により、原水を時間別に採取して水質を分析した結果の例を図2に示す。一日の水質変動は非常に大きく、午前6時～9時の濃度上昇が著しい。本実験では一般家庭の汚水の排出特性を考慮し、図3に示す流入パターンで、原水を各実験装置に流入させた。このパターンでは朝と夕方に原水の流入を集中させているので、水質濃度が高い時の原水が流入するようになっている。

原水水質の時間別調査結果とこの流入パターンから求めた流入原水の一平均水質は表3のとおりである。

(5) 分析方法

JISに準じて、次の項目を分析した。

BOD、C-BOD、COD、SS、TOC、溶解性TOC、T

表 2 実験装置の運転条件

	流入水量	滞留日数	循環水量	空気吹込量
I Ca接触材充填浄化槽	1.35 m ³ /日	3.8日	400~ 500%	60~70 ℓ/分
II Ca接触材懸下浄化槽	1.0 m ³ /日	3.8日	200~ 400%	60~70 ℓ/分
III 土壌微生物処理浄化槽	0.4 m ³ /日	—	—	5Wのファン3台

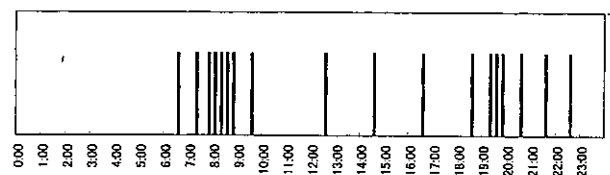


図 3 実験装置への汚水流入パターン

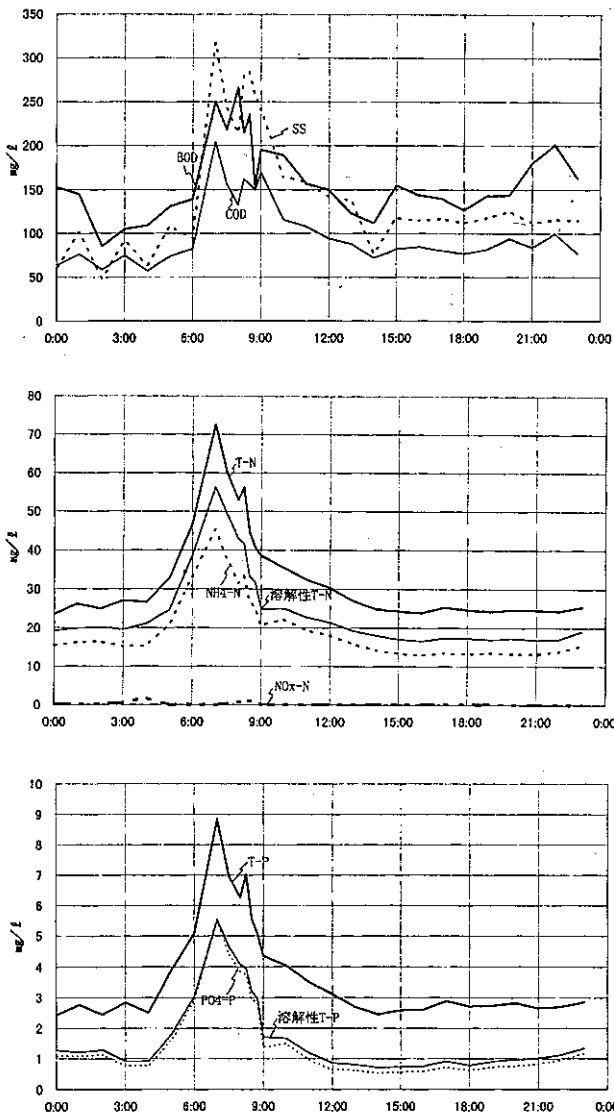


図2 原水水質の時間変化

—N、溶解性T-N、NH₄-N、NO₃-N、NO₂-N、T-P、溶解性T-P、PO₄-P

3 実験結果

(1) 実験装置 I (Ca接触材充填浄化槽)

実験装置 I の処理水質の経時変化を図4に示す。処理水の水温は季節により、7～32℃の間を大きく変動した。実際の浄化槽は地下に埋設するものであるため、気温変化の影響が小さいが、本実験装置は地上置きであるため、その影響が大きく、浄化微生物にとって過酷な条件になっている。

処理水のT-Pは、実験開始後の数カ月は1.5mg/ℓ前

表3 流入汚水の平均水質 (mg/ℓ)

BOD	COD	SS	T-N	溶解性T-N	NH ₄ -N	T-P	溶解性T-P	PO ₄ -P
200	115	180	38	29	23	4.3	2.3	2.1

後であったが、その後は2mg/ℓ前後となった。翌年の夏期には再び1.5mg/ℓ近くまで低下したが、その後は2mg/ℓ程度の値で推移した。PO₄-PはT-Pより0.2～0.5mg/ℓ低い値であった。

流入原水の平均T-Pは4.3mg/ℓであるから、当初のりん除去率は65%程度、その後は50～60%であり、後半は50%前後であった。

処理水のC-BODは実験開始2カ月後を除けば、2～9mg/ℓで、大半の時期は5mg/ℓ前後であった。実験開始2カ月後のC-BODの上昇は、団地ゴミ置場の消毒液と思われる白液が流入原水に混入し、浄化微生物の活性が阻害されたことによるものである。全BODは2～20mg/ℓの間を大きく変動した。全BODとC-BODとの差、すなわち、N-BODは、NH₄-Nが或る程度存在している状態では、採水試料への硝化菌の混入度によって変動する。そのN-BODの変動を受けて、全BODの値が変動した。

処理水のT-Nは実験開始2～5カ月後を除くと、概ね10～20mg/ℓであった。当初のT-Nの上昇は上述のとおり、白い薬液の混入により、硝化菌の活性が阻害されたことによるものである。硝化菌はBOD酸化菌に比べて比増殖速度が小さく、特に低水温においては著しく小さくなるため、冬場に向かう時期に活性を阻害されると、その回復は容易ではなく、翌年の春になってようやく回復した。その後は10mg/ℓ前後で推移したが、実験の後半期になってからは15mg/ℓ前後まで上昇した。この原因として、接触材の間の一部に汚泥がたまり、接触材の有効機能表面積が減少したことが考えられる。

(2) 実験装置 II (Ca接触材懸下浄化槽)

実験装置 II の処理水質の経時変化を図5に示す。処理水のT-Pは概ね1.5mg/ℓ前後の値で推移し、夏期には1mg/ℓ程度まで低下した。春先に多少の上昇があったが、これは、3月末に急激な気温上昇があり、それに伴う水温の急上昇によって、浄化槽堆積汚泥の分解が進んで、浄化槽内部からりんが供給されたことによるものと

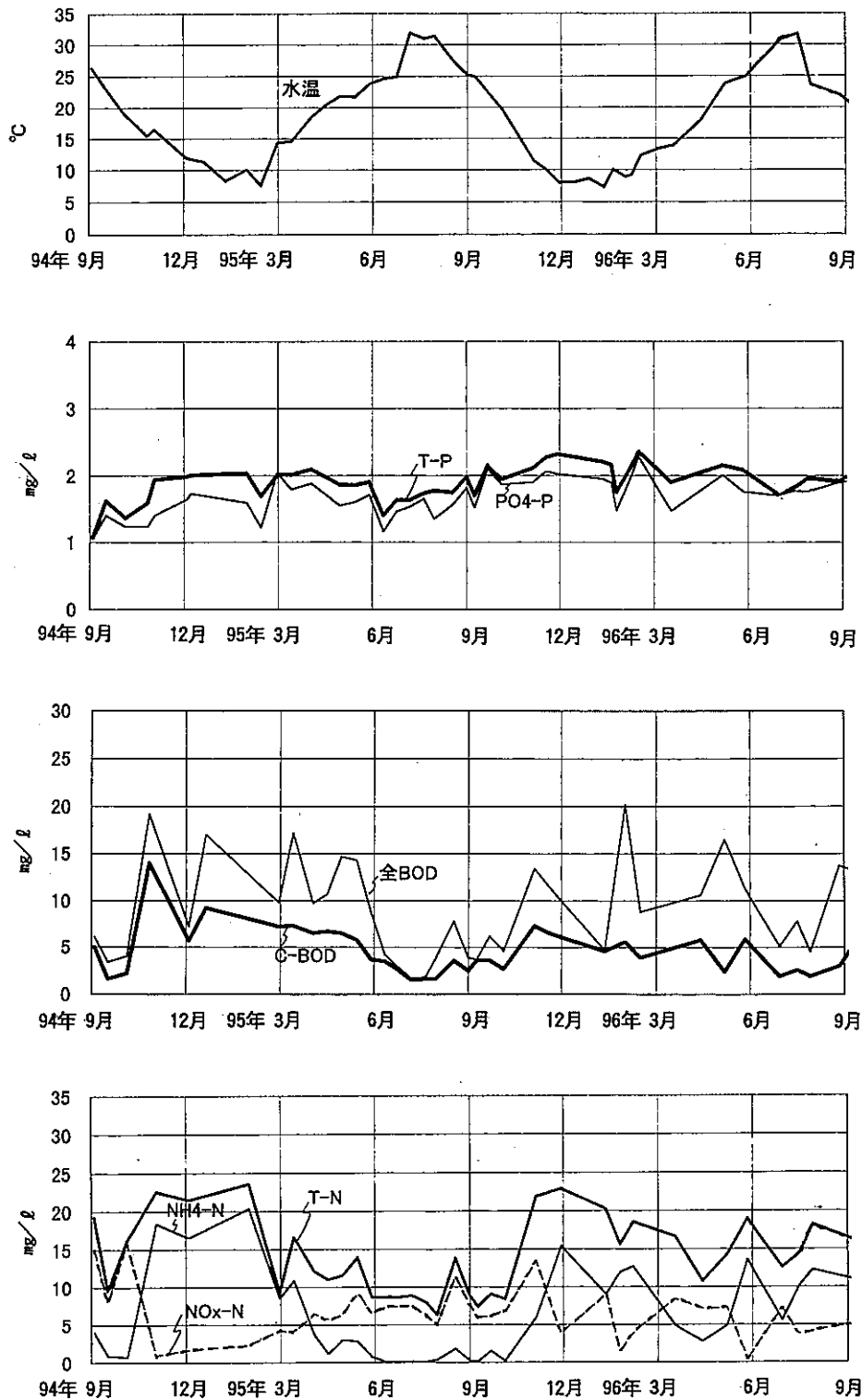


図4 実験装置I (Ca接触材充填浄化槽)の処理水質の経時変化

考えられる。りん除去率は60～75%であった。

処理水のC-BODは実験開始が冬期であったので、安定するまで1.5カ月かかったが、安定後は2～10mg/ℓ

で推移した。全BODは夏期以外はC-BODより約5mg/ℓ高く、夏期はC-BODとほぼ同じ値であった。

処理水のT-Nも、実験開始1.5カ月後で十数mg/ℓ

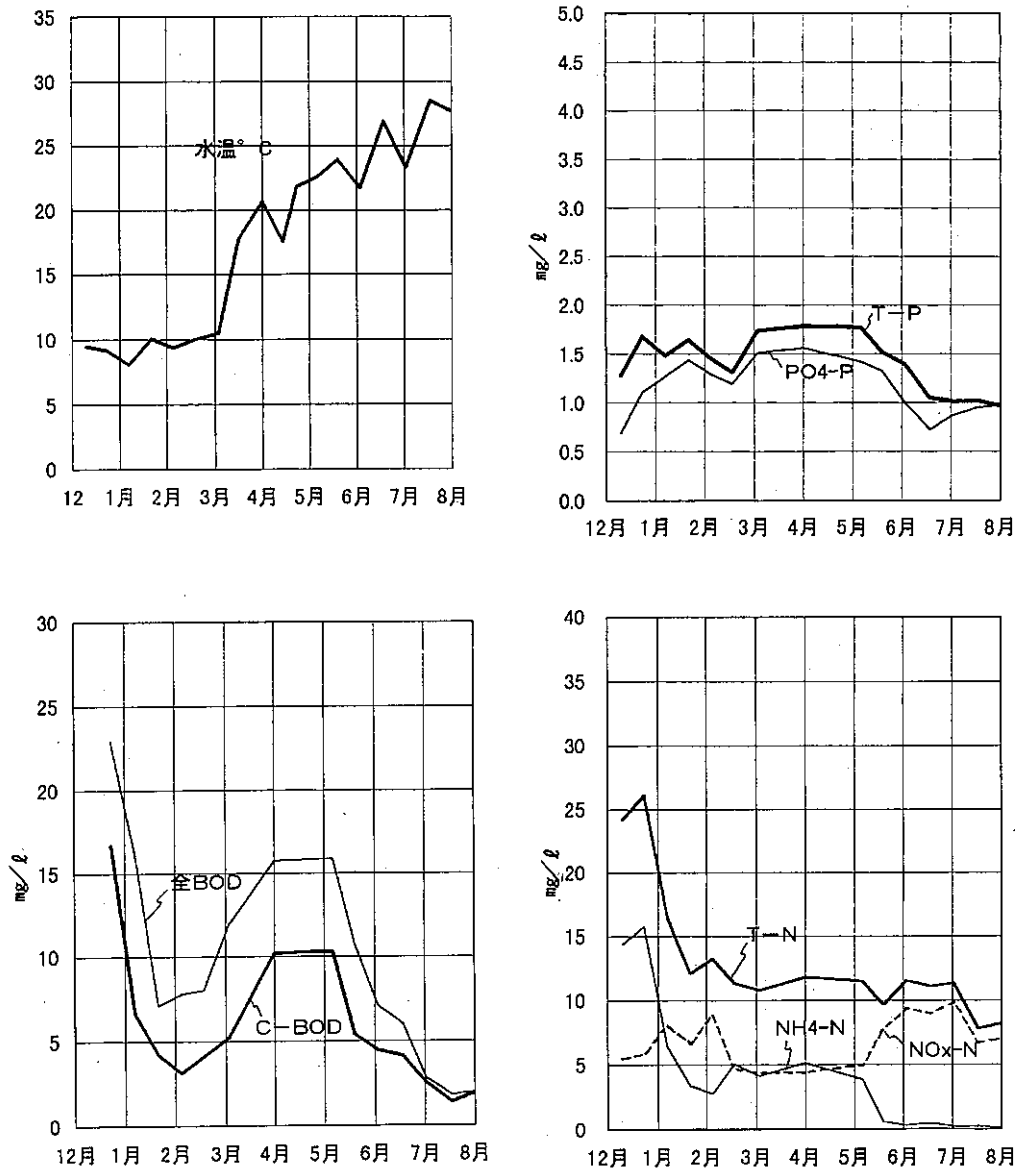


図5 実験装置II (Ca接触材懸下浄化槽) の処理水質の経時変化

まで低下し、その後は10mg/ℓ前後の値で推移した。冬期であるにもかかわらず、予想外に早く硝化菌の増殖が進んでNH₄-Nが低下し、同時に脱窒によるNO_x-Nの減少でT-Nが低下した。

参考までにりんと窒素の槽別の挙動を調査した例を図6に示す。溶解性T-Pは嫌気ろ床槽では浮遊性有機物質の分解で増加し、接触酸化槽で減少した。特に、接触酸化1槽での減少が大きい。このようにりんの吸着は主に接触酸化槽で行われる。また、窒素については嫌気ろ床槽では循環水中のNO_x-Nの還元(脱窒)がほぼ完了するが、一方で、浮遊性有機物質の分解でNH₄-Nが供

給されるため、溶解性T-Nはほとんど変わらなかった。その後、接触酸化1槽で硝化と脱窒が同時進行して溶解性T-Nが減少し、2槽ではほとんど硝化のみが進行した。

(3) 実験装置III (土壌微生物処理浄化槽)

実験装置IIIの処理水質の経時変化を図7に示す。処理水T-Pは0.03mg/ℓ以下の値が維持された。T-PのほとんどはPO₄-Pであった。流入原水の平均T-P4.3mg/ℓに対する除去率は99%以上であった。

処理水のC-BODは冬期は水温の低下により、6mg/ℓまで上昇することはあったが、その後は2mg/ℓ以下

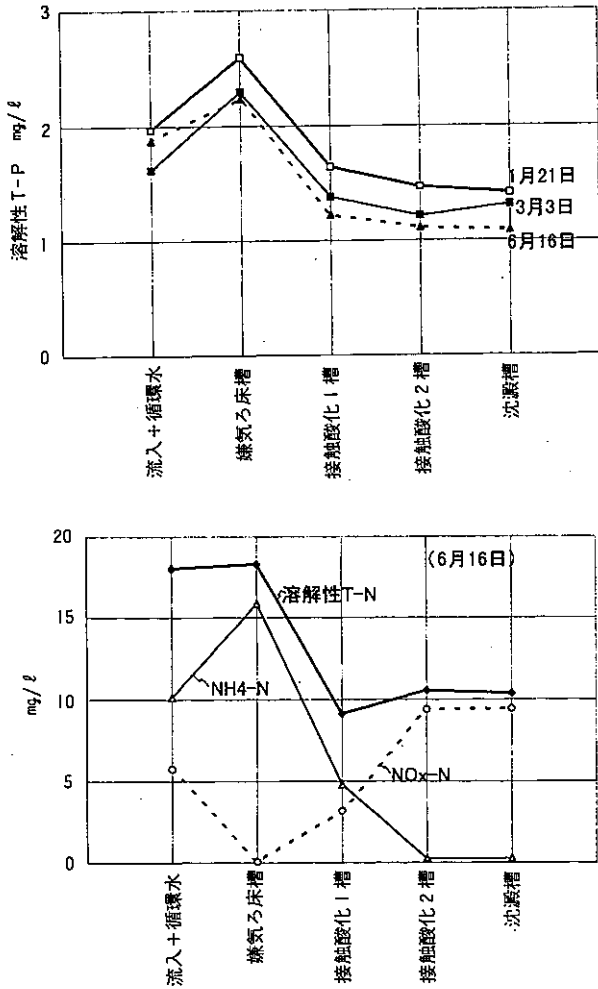


図6 実験装置II (Ca接触材懸下浄化槽)の槽別水質変化

であった。全BODは0.3~9 mg/ℓの間を変動した。この実験装置も地上置きで、更に、土壤は水より比熱が小さいため、気温の影響がとりわけ大きい。1月下旬には処理水の水温は2.6℃まで低下した。この時は、土壤の一部は氷結し、霜柱が立つ状態であった。実際の土壤処理槽は地下埋設であるので、このような温度低下はなく、10℃以上の温度が維持されるものと考えられる。

処理水のT-Nは概ね20~33mg/ℓで、窒素の除去率は高くなかった。実験を開始してから数カ月は冬期であったため、硝化菌の増殖が遅く、硝化はあまり進まなかったが、気温の上昇とともに硝化が進み、NH₄-Nが低下した。しかし、土壤処理の場合は脱窒が十分には進行しないため、硝化が進んでも、必ずしもT-Nの減少にはなっていない。

4 考察

(1) ケイ酸カルシウムによるりん除去

小型合併処理浄化槽におけるりん除去の方法としては、アルミニウム板を接触酸化槽に組み込んで電気分解でアルミニウムイオンを溶出させる方法、嫌気ろ床槽に鉄材を浸漬し、硫酸塩還元菌等の作用を利用して鉄イオンを溶出させる方法等が試みられてきている。しかし、アルミニウム電気分解法に関しては一定条件のもとでりん除去率を60%程度増加させたという報告はあるものの²⁾³⁾、長期的な現場実験の結果は示されていない。また、鉄材に関しては反応生成物等が付着することにより、浸漬後2カ月で、りん除去能が急減する結果が出されており⁴⁾、解決すべき課題が残されている。特に、アルミニウムイオンに関してはアルツハイマー病との関連が指摘されており、アルミニウム系凝集剤注入法も含めて、未反応のアルミニウムイオンを水中に溶出させるりん除去法の使用が妥当かどうかを今後、検討する必要がある。このように、小型合併処理浄化槽のりん除去に関しては未だ有効な方法が見出されていないので、本研究では、接触材そのものにカルシウム系のものを使用することを考え、その実験を進めてきた。

使用した接触材は、軽量気泡コンクリートと同じ材質のもので、ケイ酸カルシウムを主成分としている。既報¹⁾では粒状の接触材も実験したが、接触材同士が固着する問題が生じたため、今回の実験ではロール状に成形したものを使用した。それも浸水性が向上した新型のロール状接触材を使った。

この接触材を使うと、りんや炭酸との反応生成物がその表面を覆って、りんの吸着能が次第に低下していくことが予想されるので、一日に1回、逆洗ブロワにより、実験装置Iでは順次、嫌気ろ床2槽、接触酸化1、2槽の下から空気を噴出させ、その空気と水流の力で接触材表面の剥離を促すようにした。更に、逆洗ブロワによって同時に作動するエアリフトポンプで、逆洗時の各槽の懸濁水を嫌気ろ床1槽に送り、剥離した反応生成物を嫌気ろ床1槽に貯留するようにした。嫌気ろ床1槽は1年に1~2回の頻度で汚泥の引き抜きが行われるので、その時にりんとの反応生成物も系外に排出される。

このようなりん除去の仕組みをつくり、実験を行ったところ、ロール状接触材をバラ積みした実験装置Iでは、3(1)で述べたとおり、2年間のりん除去率はわずかな低下傾向はみられるが、概ね50%であった。市販の小型合

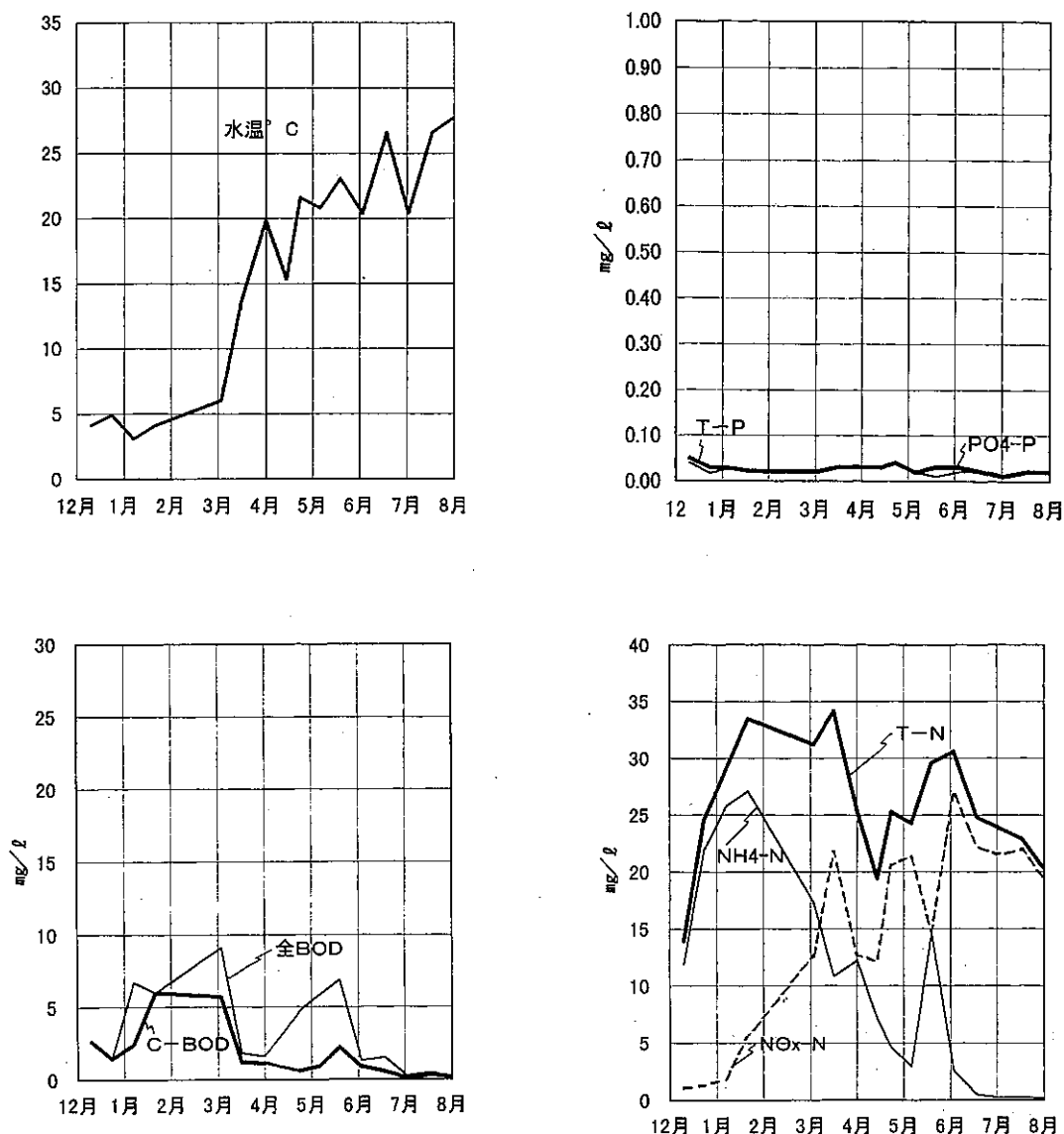


図7 実験装置Ⅲ（土壤微生物処理浄化槽）の処理水質の経時変化

併処理浄化槽のりん除去率は10%程度であるから、それと比べると、この方式でもりん除去について一定の役割を果たしている。しかし、りん除去の効果はまだ十分ではない。

この方式のりん除去率が今一つ向上しない原因として、逆洗による接触材表面の剥離が十分に進んでいないことが考えられる。ロール状接触材をバラ積みしているため、逆洗時の空気と水流の勢いがそがれ、表面を剥離させる力が不足している可能性がある。そこで、実験装置Ⅱではロール状接触材を紐で結んで数珠状に懸下するようにした。それによって逆洗時の上昇空気と水流の通りがよくなって接触材の表面が勢いよく洗われ、剥離が進むこ

とが期待される。

その結果、3(2)で述べたとおり、実験装置Ⅱのりん除去率は60~75%であった。まだ8カ月間しか経過していないため、この除去率を今後も維持できるかは不明であるが、60~75%の除去率が続くならば、市販の浄化槽に対しては50%以上の向上になるから、りん除去機能を持つ小型合併処理浄化槽として一定の評価がされるものと考えられる。

(2) 土壤微生物処理によるりん除去

土壤がりん除去能を持つことはよく知られている。土壤のりん固定は、土粒子の成分である活性鉄と活性アルミニウム等による物理化学的吸着と、土壤微生物による

りんの固定がある^{5),6)}。前者は、土壌が持つ成分によってきまり、乾燥土壌のりん吸着テストから各土壌のりん吸着容量を知ることができる。りん吸着テストから黒ボク土について試算した例を示すと、0.9m³/日の浄化槽処理水のりんを20年間除去するのに必要な黒ボク土の容積は約27m³である。前者のみによってりんを除去し続けるためには、このように大きな土壌吸着槽が必要となる。しかし、後者の作用が加わると、この容量をもっと小さくできる可能性がある。

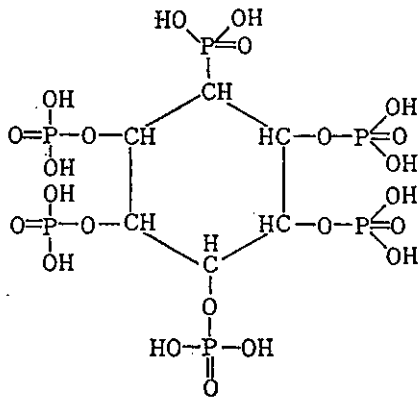


図8 イノシトールリン酸の例⁷⁾
(土壌微生物が生成する有機態りん)

土壌微生物は有機物質を分解する際に、りんを捕捉して、リン酸エステルであるイノシトールリン酸(図8)を生成する。イノシトールリン酸はアルミニウム、鉄、カルシウムなどと低溶解性の塩を形成して土壌に固定される。この有機態りんが土壌中りんの大半を占める場合もあるので、この形態によるりん固定を進めれば、土壌のりん吸着能が大幅に上昇することが期待される。ただし、この形態のりんがどこまで安定したものであるかは不明である。

土壌微生物の活動を盛んにするためには、浄化槽処理水ではなく、有機物質を十分に含む、生活污水に近い水を土壌に入れる必要がある。このような観点に基づき、今回、土壌微生物処理によるりん除去実験を行った。その結果、3(3)で述べたとおり、実験装置IIIの処理水T-Pは0.03mg/l以下の値が維持され、きわめて高いりん除去能が示された。

しかし、まだ8カ月間の実験であるので、今後も実験を継続して、りん除去能の推移を見守るとともに、土壌に固定されたりん化合物の形態を分析し、リン酸イノシ

トールの生成率とその安定性について解析を行う必要がある。また、汚水の土壌微生物処理は、土壌内が嫌気化すれば、直ちに目詰まりを起こしてしまうので、常に好気状態を保てる注入量や注入間隔が装置運転の重要な要素であり、それらについても検討していく必要がある。

なお、土壌微生物処理法は、りん除去法としては有望であるが、窒素の除去率は高くはない。土壌微生物処理では、有機物質のほとんどが分解され、更に土壌中に十分な硝化菌が保持されれば、冬期においても硝化はよく進行するので、ほとんど中性塩類と硝酸のみを含むような無色透明の水が排出される。今後はそのように中性塩類以外はほとんど硝酸だけを含む水を対象とする窒素除去技術について検討を進める必要がある。

5 おわりに

りんの除去機能を持つ小型合併処理浄化槽の開発を目指して、住宅団地汚水処理場に実用規模の実験装置を設置し、汚水処理の実験を進めてきた。この実験により、次の結果が得られた。

- ① ケイ酸カルシウムを主成分とするロール状接触材をバラ積みで充填した実験装置Iのりん除去率は50%前後で、2年間の実験の後半期には多少の除去率低下がみられた。
- ② 実験装置Iの処理水のC-BODは5mg/l前後、T-Nは10~15mg/lの値を示すことが多かった。
- ③ 逆洗時の接触材表面の剥離を促すため、ロール状接触材を紐で結んで懸下した実験装置IIのりん除去率は、8カ月間の実験では60~75%であった。
- ④ 実験装置IIの処理水のC-BODは2~10mg/l、T-Nは10mg/l前後であった。
- ⑤ 実験装置IIIでは土粒子成分によるりんの物理化学的吸着と土壌微生物によるりんの固定を考え、土壌微生物処理を行った。そのりん除去率は8カ月間の実験では99%以上であった。
- ⑥ 実験装置IIIの処理水のC-BODは安定期においては2mg/l以下、T-Nは20~30mg/lで、有機物質は十分に除去されるが、窒素の除去率は高くなかった。

今後は実験装置II、IIIの処理実験を続けて、りん等の除去率の推移を見守るとともに、より効率的な除去方法を考え、実験装置の改善を進めていくことにしたい。

本実験におけるケイ酸カルシウムの接触材は、小野田

エー・エル・シー(株)のTBXを使用した。同社の羽田野一幸氏から本実験の進め方について種々の助言を得た。厚く謝意を表する。

引用文献

- 1) 嶋津暉之ら：家庭用合併処理浄化槽の処理水質向上に関する研究(その4)，東京都環境科学研究所年報，1992,p.127～137.
- 2) 伊与 亨ら：アルミニウム接触材を用いた小型合併処理浄化槽の処理性能,用水と廃水 38, 9,p.24～32 (1996)
- 3) 伊与 亨ら：アルミニウム電解法のリン除去特性に及ぼす電解装置の仕様および操作条件の影響,用水と廃水 40,3,p.38～44 (1998)
- 4) 小川 雄比古ら：嫌気槽に鉄材を浸漬する簡易なりん除去, 水環境学会誌 20,2,p.89～94 (1997)
- 5) G.H.Bolt,M.G.H.Bruggenwert：土壌の化学, 学会出版センター, 1980,p.233～243
- 6) 若月利之：土壌圏の生態工学をめざして, 生物系排水の多段土壌層式高度処理及び循環システムの開発, 1998,p.49～63