

氏名	さとう くに あき 佐藤 邦 明
学位の種類	博士（農学）
学位記番号	甲第370号
学位授与年月日	平成17年 3月15日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	Quantitative Characterization of Water Movement and Treatment Processes of Wastewater in the Multi-Soil-Layering System (多段土壤層法における装置内部の水移動及び汚水処理プロセスの定量的評価)
学位論文審査委員	(主査) 相崎 守弘 (副査) 増永 二之 進藤 晴夫 本名 俊正 若月 利之

学位論文の内容の要旨

多段土壤層法は混合土壤ブロックを交互に積層し（混合土壤層）、ブロック間に通水性の良い資材を配置した構造（通水層）を持ち、土壤の物理性と化学性の制御による生物性の機能強化と制御が可能な新しいタイプの土壤式バイオリアクターである。

本論文では、この多段土壤層法による水質浄化技術の研究開発において、以下に示す4つの基礎及び応用研究を行った。

1) 多段土壤層法による水質浄化 –装置内部の水移動特性–

今まで、不明確であった装置内の水移動についての調査を行った。装置内部に採水管としてV字管を挿入し処理途中の水を採取できる装置を作成した。幅50cm、奥行10cm、高さ73cmのアクリル水槽に多段構造を作り、各土壤層間のゼオライト層に2cm角のV字管を傾斜約9°で各段5本ずつ5段設置した。

装置内の水移動についての考察として、水道水を負荷流量約1000、3000、5500L・M²・day⁻¹としたときに各採水管からどれだけ水が流出するかを計測した。そして各採水管からの流出量を下段から5分間ずつ3反復3装置について計測した。

また、滞留時間の測定のために採水管を設置しない装置を秤の上ののせ、流入負荷を約250、500、1000、3000、6000L・M⁻²・day⁻¹に設定して、水道水を流入させ装置の含水量の変化を計測した。流入負荷量を変える時には1日流入を止め、圃場容水量にまで落としてから、再流入

を行うようにした。

また、はかりにのせた装置に集落排水処理施設からの汚水を3倍に希釈したものを原水として流入させ、浄化試験を行いながら装置重量を計測した。

負荷量と各位置での流出量との関係では負荷量の増加によって、土壌層よりも土壌層間の通水層を流れる水の割合が大きくなることが示され、多段土壌層法の構造的性質である通水層の存在が、従来の土壌による水質浄化法に比べ高速処理を可能にしていることがわかった。

滞留時間と負荷量との関係は相関よく累乗近似曲線を描いた。

重量変化と水質浄化との関係では、汚水流入開始から30日間ほどは装置重量が上昇し、流入したSSや有機成分、微生物の増殖によって透水性が低下し、装置内部の水分量が増加したと考えられた。その後、100日目ぐらいまでは重量が安定し、原水による有機物の流入と微生物による分解が平衡状態になっていると考えられた。また、目詰まりによって有機物、リン除去については処理能力が低下し、窒素については処理能力が向上した。

2) 多段土壌層法による水質浄化 —装置内部の処理プロセス—

装置内部における浄化機構を明らかにする目的で装置内部の処理途中水を採取する実験を行った。上記の採水管を挿入した装置に、集落排水処理施設の排水を3倍希釈した(約COD70 mg L⁻¹, T-N10 mg L⁻¹, T-P1 mg L⁻¹)ものを流入させ、送気のある(装置A)、なし(装置B)で比較し、送気量を2.7×10⁴L・M⁻³・day⁻¹、流入負荷を1000L・M⁻²・day⁻¹で行った。

実験開始後、装置Bでは203日目で目詰まりを起こした。送気を行った装置Aでは実験期間中に目詰まりせず、送気が目詰まりに対して有効であると考えられた。

有機物除去(COD)では土壌ブロック層でその除去能が高かった。また装置上部で主に除去されており、上部土壌層1,2段で約8割の浄化が行われていた。

りん除去においては、土壌層下の流出水でその濃度が低くなっており、又、通水層の値も装置下方で低くなった。りんの吸着除去機構は、黒ボク土つまり活性アルミニウム及び添加した金属鉄のりん吸着によるものである。添加した鉄は、混合土壌中で二価鉄として溶出し、それがさらに酸化されて不溶性の水酸化鉄となり高いりん吸着を示すようになる。このように鉄とりんとの吸着では酸化還元が重要なファクターであり、本実験においても送気を行った装置AではBと比べ浄化効率の上昇が見られた。

窒素浄化において、アンモニアは装置上部での吸着、硝化により装置下段でその値が低かった。硝酸は通水層に比べ土壌層下の値が低く、土壌により脱窒が行われていると示唆された。無送気の装置Bでより低い硝酸濃度を示しており、送気を行ったものに比べ嫌氣的となり脱窒が起りやすかったのではないかと考えられた。

3) 多段土壌層法による生物系排水処理

—モデル装置の送気位置の違いによる処理能力の比較—

多段土壌層法において、有機物、りん、窒素処理に対して重要なファクターである送気について、その位置の違いによる処理能力の比較を行った。

幅50cm、奥行10cm、高さ60cmの亚克力水槽に多段土壌層構造を作成した。混合土壌には

黒ぼく土、金属鉄粒、おがくず、粉末木炭をそれぞれ重量比率で 67.5, 11.25, 11.25, 10%となるように混合した。その混合土壌をブロック状に積層し、その間に粒径 1~3mm のゼオライトを配置した。そして、送気管の位置を上(H)、中(M)、下(L)段に配置したものをそれぞれ作成した。

装置を集落排水処理施設に設置し、原水にはその集落排水施設に流入する直前のほとんど無処理の汚水を 1ton のタンクに貯留しその上澄み液をモデル多段土壌層装置へ定量ポンプにより流入させた。流入負荷は $288 \text{ L}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ で行い、送気条件は $48000 \text{ L}^{-1} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$ とした。

上層送気では目詰まり、窒素除去に対して有効であったが、送気が上面より漏出し送気効率に問題があった。中層送気では、リン除去能、有機物分解能が高かったが、脱窒のおこるような嫌気環境の不足からか、窒素除去は不安定であった。下層送気の装置では、目詰まりが起りやすかったが、装置内が嫌气的であると考えられる中、鉄・マンガンの溶出が抑えられた。

4) 多段土壌層法による汚濁河川の直接浄化を目的とした高速処理技術の開発

— 資材および構造 —

多段土壌層法を用いて、汚濁負荷の大きい河川浄化システムの開発を目的とし、福岡県を流れる一級河川遠賀川の支流、熊添川の BOD 除去を対象に基礎試験を行い、資材および構造の検討を行った。

H144×W80×D56 cm の装置を 10 基作成し、通水層及び混合土壌層資材を検討し、構造については資材が同じで土壌層の幅を変えたものを作成した。流入原水は対象河川と同程度の BOD 値 (約 40 mg L^{-1}) である農業集落排水処理施設の処理水を用いて $4000 \text{ L m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ の負荷で実験を行った。

混合土壌層において対象河川河川敷の現地土割合の高い装置で初期に目詰まりが起こった。この現地土は旧炭坑由来の微粉炭を含み、易分散性のシルト・粘土含量が高く、孔隙の閉塞を起こし易いからだと考えられた。今回のような特殊な現地土を使用する場合、他資材の添加によって物理性を向上させることが重要だと示唆された。また現地土に黒ボク土を混ぜた装置よりマサ土を混ぜた装置で目詰まりが起りにくく現地土へは大きな粒径の割合が多いマサ土の添加が好ましいと考えられた。BOD 値においても、現地土のみより (平均 $12.4 \sim 8.0 \text{ mg L}^{-1}$)、特にマサ土を混合した装置 (平均 $3.3, 5.4 \text{ mg L}^{-1}$) で高い処理能力を示した。通水層資材の違いについては BOD 処理には大きな差は出なかった。構造については、土壌層幅の大きな装置で先に目詰まりを起こし、土壌層幅が狭いほうが有利であると考えられた。TP 除去能も土壌層幅の狭い装置で良い結果を示した。土壌との接触効率が高かったためだと考えられた。

論文審査の結果の要旨

土壌生態系の機能を利用した水質浄化技術である多段土壌層法における水処理過程において、装置内部での水の移動量および各種汚濁物質の動態の詳細を定量的に調査し、多段土壌層法に

よる汚水の処理プロセスについて解析した研究である。研究項目は以下に示す4つの内容に分けられる。

1) 多段土壌層法による水質浄化 –装置内部の水移動特性–

幅50cm, 奥行10cm, 高さ73cmサイズの多段土壌層装置内部に採水管としてV字管を挿入し処理途中の水を採取できる装置を用いて、水移動特性について研究を行った。負荷量と各位置での流出量との関係では負荷量の増加によって、土壌層よりも土壌層間の通水層を流れる水の割合が大きく、多段土壌層法の構造的性質である通水層が、従来の土壌による水質浄化法に比べ高速処理を可能にしていた。また、滞留時間と負荷量との関係は相関よく累乗近似曲線を描いた。重量変化と水質浄化との関係では、汚水流入開始から30日間ほどは装置重量が上昇し、流入したSSや有機成分、微生物の増殖によって透水性が低下し、装置内部の水分量が増加したと考えられた。その後、100日目ぐらいまでは重量が安定し、原水による有機物の流入と微生物による分解が平衡状態になっていると考えられた。また、目詰まりによって有機物、リン除去については処理能力が低下し、窒素については処理能力が向上した。

2) 多段土壌層法による水質浄化 –装置内部の処理プロセス–

装置内部における浄化機構を明らかにする目的で、上記の採水管を挿入した装置に、集落排水処理施設の排水を3倍希釈した(約COD70 mg L⁻¹, T-N10 mg L⁻¹, T-P1 mg L⁻¹)汚水を流入(1000 L・M⁻²・day⁻¹)させ装置内部の処理途中水を採取し分析を行った。また、送気(2.7×10⁴ L・M⁻³・day⁻¹)の効果についても考察した。装置Bでは203日目で目詰まりを起こした。送気を行った装置Aでは実験期間中に目詰まりせず、送気が目詰まりに対して有効であると考えられた。

有機物除去(COD)では土壌ブロック層でその除去能が高かった。また装置上部で主に除去されており、上部土壌層1,2段で約8割の浄化が行われていた。りん除去においては、土壌層下の流出水でその濃度が低く、又、通水層の値も装置下方で低くなった。りんの吸着除去機構は、黒ボク土つまり活性アルミニウム及び添加した金属鉄のりん吸着によるものである。添加した鉄は、混合土壌中で二価鉄として溶出し、それがさらに酸化されて不溶性の水酸化鉄となり高いりん吸着を示すようになる。このように鉄とりんとの吸着では酸化還元が重要なファクターであり、本実験においても送気を行った装置AではBと比べ浄化効率の上昇が見られた。窒素浄化において、アンモニアは装置上部での吸着、硝化により装置下段でその値が低かった。硝酸は通水層に比べ土壌層下の値が低く、土壌による脱窒が示唆された。無送気の装置Bでより低い硝酸濃度を示し、送気装置に比べ嫌氣的となり脱窒が起こりやすかったと考えられた。

3) 多段土壌層法による生物系排水処理 –モデル装置の送気位置の違いによる処理能力の比較–

多段土壌層法において、有機物、りん、窒素処理に対して重要なファクターである送気について、幅50cm, 奥行10cm, 高さ60cmサイズで、送気管の位置を上(H), 中(M), 下(L)段に配置した多段土壌層装置を用い、その位置の違いによる処理能力の比較を行った。上層送気では目詰

まり、窒素除去に対して有効であったが、送気が上面より漏出し送気効率に問題があった。中層送気では、リン除去能、有機物分解能が高かったが、脱窒のおこるような嫌気環境の不足からか、窒素除去は不安定であった。下層送気の装置では、目詰まりが起こりやすかったが、装置内が嫌气的であると考えられる中、鉄・マンガンの溶出が抑えられた。

4) 多段土壤層法による汚濁河川の直接浄化を目的とした高速処理技術の開発—資材および構造—

H144×W80×D56 cm の装置を用いて農業集落排水の処理実験を行い、通水層及び混合土壤層資材を検討した。混合土壤層において旧炭坑由来の微粉炭を含む沖積土壤の割合の高い装置で初期に目詰まりが起こった。これは土壤中の易分散性のシルト・粘土含量が高く、孔隙の閉塞を起こし易いからだと考えられた。このような土壤を使用する場合、マサ土のような他資材の添加による物理性の向上が重要だと示した。通水層資材の違いについては、ゼオライトと軽石の間に BOD 処理については大きな差は出なかった。構造については、土壤層幅の大きな装置で先に目詰まりを起こし、土壤層幅が狭いほうが有利であると考えられた。T-P 除去能も土壤層幅の狭い装置で良い結果を示した。土壤との接触効率が高かったためだと考えられた。

以上、本論文は、水処理過程における装置内部の水の移動量の測定および処理途中の水を採取分析することにより各種汚濁物質の動態の詳細を定量的に調査し、過去に解明されていなかった多段土壤層装置内部での汚水の処理プロセスを解明し、また装置の資材・構造の違いによる浄化特性の変化についても論じたものである。これらのデータおよび解析結果は、土壤の浄化機能を解明するための基礎的な知見を与えるだけでなく、応用的には土壤の浄化能を様々な汚水処理条件に適応させるためのデータを与えるものであり、学位論文として十分な価値を有するものと判定した。