

## B-47 埋立地浸出水処理に対するラボスケールの人工湿地の適用性の検討

○岡 正雄<sup>1\*</sup>・惣田 訓<sup>1</sup>・池 道彦<sup>1</sup>

<sup>1</sup>大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻（〒565-0871大阪府吹田市山田丘2-1）

\* E-mail: oka@wb.see.eng.osaka-u.ac.jp

### 1. はじめに

日本や台湾などを除く、多くのアジア諸国では、焼却処分をせずに直接埋め立てによって都市廃棄物を処分している。そのような埋立地には、様々な廃棄物が混在するため、浸出水は、腐敗しやすい有機物やアンモニア性窒素を多く含んでいる。東南アジアの多くの地域はモンスーン気候であり、特に降水量が多い雨季には、大量の浸出水が溢れ出し、周辺地域を汚染してしまう (Tränler *et al.*, 2005)。浸出水処理に膜分離のような高度処理を用いた場合、財政や人材の不足のため、運営が止まってしまうことも懸念される。そのため、設置・導入がしやすく、維持・管理コストが安い処理技術が必要である。

本研究では、このような地域に適した浸出水の処理方法として人工湿地に着目した。人工湿地とは、生態系がもつ高い自浄能力を活用して、排水処理を目的に人工的に造られた湿地である。人工湿地における汚染物質の主な浄化メカニズムは、植栽された植物体への吸収や、土壌への吸着・濾過、根圏微生物による分解であり、自然の浄化能力によるものであるから、機械類や化学薬品・エネルギーの使用が少なく済むうえ、高度処理に比べて管理が簡易である。また、使用エネルギーが少ないことは、温室効果ガスの削減効果にもつながるメリットである。また、東南アジアは主に熱帯・亜熱帯気候であるから、植物の育成に適した地域であるが、東南アジアにおいて、浸出水処理に人工湿地を用いている事例は必ずしも多くない。そこで本研究では、東南アジアの埋立地浸出水処理への人工湿地の適用性を評価することを目的とし、ラボスケールの人工湿地を用いたモデル埋立地浸出水の処理実験を行い、その浄化能力を評価した。

### 2. 実験方法

#### (1) モデル浸出水の作製

浸出水の成分は埋め立て開始からの時間の経過とともに変化することが報告されている。この原因は主に埋立地内部での起こる微生物分解などの反応である。埋立初期の酸発酵期には、易分解性の有機物の分解が進み、浸出水は酢酸やプロピオン酸、アンモニア態窒素を高濃度を含む。一方、埋立中期から後期にかけてのメタン発酵期には、低級脂肪酸や窒素の濃度は相対的に減少し、黒褐色を呈するフミン酸を多く含むことになる。そのため、メタン発酵期の処理試験(a)、酸発酵期の処理試験(b)それぞれのモデル浸出水を表 1 に示した成分を水道水に添加して作製した。処理試験(b)では、表示した成分の浸出水を用いた Run1 の後、塩化アンモニウムと有機物（フミン酸、酢酸、プロピオン酸）の濃度を Run1 の 1.5～5.5 倍まで段階的に高めて Run2 に供した。その後、塩化アンモニウムと有機物の濃度をさらに 6.5～8.5 倍まで段階的に高めて Run3 を行った。

#### (2) ラボスケールの人工湿地の作製

本研究ではラボスケールの鉛直流式人工湿地リアクターを作製した (図-1: 直径 18 cm、高さ 63.2 cm の円柱型カラム (塩化ビニル製))。濾材は 3 層の土壌で構成されており、1 層目は植物の根が張りやすいように粒径 3-

表 1 モデル浸出水の組成

	処理試験(a) メタン発酵期	処理試験(b) 酸発酵期(Run1)
塩化アンモニウム (mg)	191	382
フミン酸ナトリウム (mg)	279	255
酢酸(mg)	0	47.6
プロピオン酸 (mg)	0	2.4
水道水	1L	1L
pH	7.47	5.6

4 mmの比較的粒の細かい赤玉土を約 32 cm、2層目には粒径 10-15 mm の粒が粗めの赤玉土を約 13 cm、3層目（最下層）には軽石を約 10 cm 充填した。植生種にはヨシ (*Phragmites australis*) とイグサ (*Juncus effusus*) を選定し、対照系を2つ、ヨシ植栽系を2つ、イグサ植栽系を2つ、計 6系のリアクターを製作した。東南アジアの気候を再現するために温室（平均気温約 25℃）にリアクターを設置し、カラムに水道水を満たして 2011年 6月 13日に植栽し、6月 27日に実験を開始した。本リアクターのカラムの下部に達した浸出水は、ポンプで上部に戻し、カラムの中の水を流量 11.5 L/day で下向流で循環させた。

人工湿地による処理試験の方式はシーケンシングバッチ式とした。メタン発酵期のモデル浸出水の処理試験(a)では、バッチサイクルを2日、酸発酵期のモデル浸出水の処理試験(b)では4日とした。処理試験の初日にリアクターにモデル浸出水を6 Lずつ流入し、各バッチサイクル毎にカラムの下層部から排水し、新たに調製したモデル埋立地浸出水を流入した。排水量及び流入量は処理試験(a)で3 L、処理試験(b)で2 Lとした。処理試験(a)および処理試験(b)のRun1の最終日にリアクター内の全ての水を排水した後、水道水を各系に6 Lずつ入れ、同流量で1日循環し、内部に残存しているアンモニア態窒素やフミン酸を排水した。各バッチにおける処理水をサンプリングし、分析を行った。処理試験(a)は2011年6月27日から7月26日、処理試験(b)のRun1は8月6日から10月9日、Run2は10月12日から11月17日、Run3は11月29日から12月19日に行った。

処理試験では、植物の茎の本数と最高背丈、蒸発散量を測定した。また、処理水のアンモニア態窒素、硝酸態窒素、溶存有機炭素、色度、低級脂肪酸の濃度を測定し、その除去率を求めた。

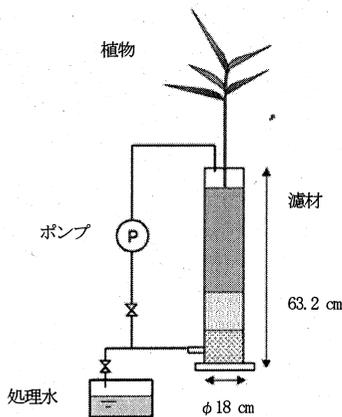


図-1 鉛直流式人工湿地のリアクターデザイン

### 3. 結果と考察

#### (1) メタン発酵期のモデル浸出水の処理試験 (a)

ヨシの最高背丈は、実験中に0.9 mから1.4 mと高くなった。一方、イグサの背丈は、1.1 mでほとんど変化しなかったが、本数が約90本から110本に増加し、ヨシ・イグサとも良好に育成した。

9日目から25日目までの流入水量のうち、対照系で5.8%、ヨシ植栽系で19.0%、イグサ植栽系で19.3%が蒸発散し、植栽による浸出水の処理水量の低減効果が確認された。

アンモニア態窒素の除去率は、実験当初は特にヨシ植栽系、イグサ植栽系で高かったが、1ヶ月後には各系で除去率が60-70%にまで低下した(図-2)。特に対照系では、濾材への吸着が飽和したことにより、リアクターから流亡するアンモニア態窒素の量が増えたと考えられた。一方、ヨシ植栽系ではリアクターの立ち上げ時に硝化の促進が見られ、実験後期には硝化率は35-40%に達したものの、リアクター内のpHが5-6と、硝化菌の増殖の最適pH域(7-8)よりも低くなったため、硝化反応は抑制されていたと考えられる。

pHが低く、フミン酸が沈殿・吸着しやすい条件(Gaffney *et al.*, 1996)であったためか、流入水中の有機物は、終始ほぼ完全に除去され、フミン酸による色度も終始完全に除去された。

#### (2) 酸発酵期のモデル浸出水の処理試験 (b)

ヨシは実験中に茎の本数はほとんど増えなかったが、背丈は緩やかであるものの伸長した。一方、イグサは背丈の変化は小さく、Run1当初から枯れ始め、Run3の

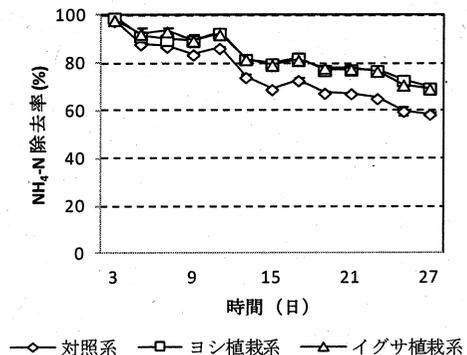


図-2 アンモニア態窒素の除去率の推移

終了時には、数本のみが正常な育成状態を保った。イグサが枯れた要因には、水位の変動が著しかったことや温室の気温が高かったことなど、環境条件が良くなかったことがあげられる。

流入水量に対する蒸発散量の割合は、Run1の48日間の累積で対照系8.6%、ヨシ植栽系39.6%、イグサ植栽系19.0%であり、Run1の初期から植物が枯れはじめたイグサ植栽系ではヨシ植栽系と比較して小さくなった。Run2でもヨシ植栽系で21.2%であったが、イグサ植栽系は8.9%となり、対照系の8.2%と同程度であった。

アンモニア態窒素の除去率は、Run1の初期には高かったが、1カ月半後には対照系では35%に、両植栽系では55%にまで低下した。一方、流入濃度を増加させたRun2では、1カ月後でも各系で約70%のアンモニア態窒素の除去率が維持された。Run3では濃度負荷に対して、ほぼ一定の除去率を維持したものの、各系ともに除去率は40-50%に留まった。硝化率はRun1では各系とも上昇が見られ、実験後期には全ての系で40-50%に達した(図3)。Run2ではモデル浸出水のアンモニア態窒素を600 mg-N/Lにまで上昇させたことで、硝化菌の最適基質濃度の範囲(一般に~140mg-N/L)を外れたためか、全系で5%以下まで低下した。Run3の開始前には、ヨシ植栽系で循環ラインが破損したため、カラム内部の水が一時的に流出してしまい、それによって土壌が通気されたために、硝化率が20%にまで上昇した。

酸発酵期の浸出水に高濃度で含まれる低級脂肪酸は、各Runとも完全に除去された。一方、フミン酸はRun1ではいずれの系でも100%除去されたが、Run2の対照系では17日目に吸着が破過に達したためか、処理水が黒褐色に呈し始めた(図4)。また、Run3の21日目には、対照系だけでなく、ヨシ植栽系でも、フミン酸の除去率が低下し、処理水の色度が上昇した(浸出水12000 CU、処理水3300 CU)。一方、イグサ植栽系では、実験期間を通じて処理水の色度は、流入水の5%以下に維持され、植栽することでフミン酸の除去効果が継続的に発揮された。

#### 4. 結論

浸出水の水量の削減効果、並びにアンモニア態窒素と有機酸に対する高い浄化能が示されたことから、人工湿地は植物が育成しやすい東南アジア諸国で十分に利用できることが示された。しかし、処理を重ねるごとにアンモニア態窒素とフミン酸の除去能は低下することが明らかとなり、これらの除去能の維持には、中性の濾材を用いることで硝化反応を促進することや、植栽によりフミン酸を分解し、濾材の吸着能の再生を図ることが必要であることが示された。また、植生種の比較から、ヨシは

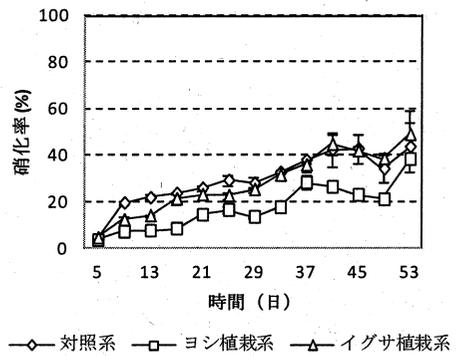


図-3 硝化率の推移

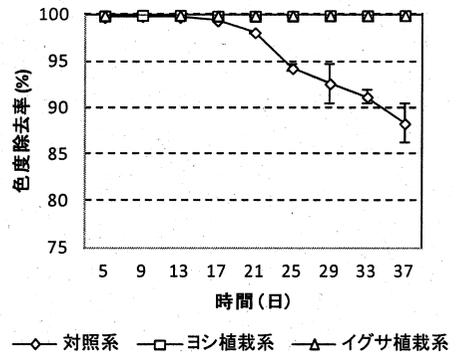


図-4 色度除去率の推移

立ち上げ時のアンモニア酸化の促進効果が高く、イグサはフミン酸の除去能の向上効果が高いことが明らかとなり、人工湿地の設計の際には植生種の検討重要であることが示された。

#### 5. 参考文献

Gaffney J. S., Marley N. A., Clark S. B. Humic and fulvic acids and organic colloidal materials in the environment. American Chemical Society. 1996; 1: 2-16.

Tränkle J., Visvanathan C., Kuruparan P., Tubtimthai O. Influence of tropical seasonal variations on landfill leachate characteristics—Results from lysimeter studies. Waste Management. 2005; 25: 1013-1020.

#### 6. 謝辞

本研究の一部は、環境省環境研究総合推進費補助金 K113027 (代表: 石垣智基) の助成を受けて実施した。