

# 東北地方の気候条件下における人工湿地の畜産排水処理性能

東北大学大学院工学研究科 正会員 ○中野和典, 西村 修  
東北大学大学院工学研究科 千木良純貴, 丸尾知佳子, 相川良雄  
東北大学大学院生命科学研究科 矢野篤男, 中村和徳

## 1. はじめに

自然の環境条件下で運用する人工湿地の水質浄化性能は気候条件により左右されると考えられ、寒冷な地域においてはより大きな面積を要することが予想されるが、わが国の気候条件下における原単位は検討されていない。そこで本研究では、厳寒期を含む東北地方の気象条件下において果たしてどの程度の汚水処理性能が実現できるのかを検証し、人工湿地の単位面積当りの水質浄化性能を明らかにすることを目的とした実証実験を行った。

## 2. 人工湿地システムとその運用手法

宮城県鳴子温泉地区の東北大学川渡実験フィールドセンタに5段の鉛直流人工湿地で構成される有効面積111m<sup>2</sup>の人工湿地システム（図1）を設置し、30頭の乳牛に由来する畜産排水を流入させて汚水処理性能を検証した。各段の湿地面積とろ床条件を表1に示した。1-4段目の湿地はろ床厚を0.70mとし、下流ほど懸濁物質負荷が小さくなることから小粒径のろ材を用いた。また、下流ほど汚濁負荷が小さくなることから、湿地面積を小さくした。5段目の湿地はポリッシングを目的とするため面積を大きく取り、ろ床厚は0.15mとした。1-5段目のろ床表層にはヨシを植栽した。ろ床内の水位条件はろ床底部とし、汚水流入時以外はろ床内への大気の拡散が見込める不飽和条件となるようにした。湿地への汚水の間欠的流入を自動制御するため、汚水量が1m<sup>3</sup>に達すると作動するサイフォン桝を1-4段目の湿地に設置した。このようにまとまった水量を一度に流入させると湿地表面全体に汚水が行き渡るため、湿地面積を有効に利用することができる。各段の湿地は3つに分画し、3-4日毎に汚水流入区画を交替させた。このように汚水流入を管理することで、各区画は3-4日間の汚水流入期間と6-7日間の休止期間で運用される。このような手法で運用した人工湿地システムによる実証実験を2年間継続し、BOD, 懸濁物質(SS), 総ケルダール窒素(TKN), 総窒素(TN), 総リン(TP)について除去性能をモニタリングした。

表1 人工湿地システムを構成する各段のろ床条件

| Treatment stage      | 1 <sup>st</sup> stage       | 2 <sup>nd</sup> stage       | 3 <sup>rd</sup> stage    | 4 <sup>th</sup> stage    | 5 <sup>th</sup> stage    |
|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Top media (depth)    | ALC 3-15mm (0.05m)          | ALC 3-15mm (0.05m)          | ALC 3-15mm (0.05m)       | ALC 3-15mm (0.05m)       | —                        |
| Filter media (depth) | Large gravel 5-10mm (0.65m) | Small gravel 1-5 mm (0.65m) | Coarse sand 3mm> (0.65m) | Coarse sand 3mm> (0.65m) | Coarse sand 3mm> (0.15m) |
| Area                 | 12m <sup>2</sup> ×3         | 6m <sup>2</sup> ×3          | 4m <sup>2</sup> ×3       | 3m <sup>2</sup> ×3       | 12m <sup>2</sup> ×3      |

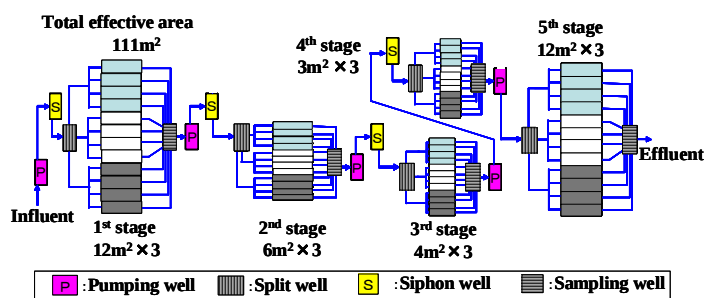


図1 5段の鉛直流人工湿地で構成される人工湿地システム

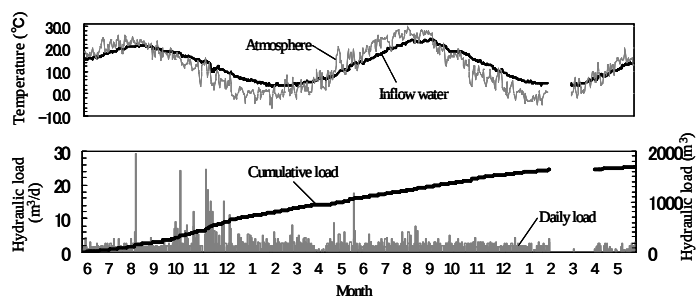


図2 2年間の実証実験における人工湿地の運用条件

## 3. 結果および考察

### (1) 東北地方の気候条件下における人工湿地の運用

2009年6月から開始した2年間の実証実験における人工湿地システムの運用条件を図2に示す。初年度1年間の現場の日平均気温の最高値は26.3度、最低値は-6.3度であり、年間平均気温は10.6度であった。一方、流入した汚水の日平均水温の最高値は21.8度、最低値は3.6度であり、年間平均水温は12.1度であった。2月の厳寒期には60cmを超える積雪となったが、凍結等による処理の中断は生じなかった。これは湿地に流入した汚水が直ちに伏流する（浸透する）ため大気に接する時間が短いと考えられた。初年度の流入水量にみられるピークは台風等による大雨によるものである。本人工湿地システ

Key words: 人工湿地、排水処理、原単位、畜産排水、東北地方、気候条件

〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学大学院工学研究科 環境生態工学研究室

ムでは日常的な畜産排水に加えて雨天時に発生するパドックからの流出水も受け入れたことで、そのような天候による流入水量の変動が生じていた。年間流入汚水量は1075m<sup>3</sup>であり、日平均処理量は3.1m<sup>3</sup>/dであった。一方、次年度は、東日本大震災の影響で2011年2月から4月にかけての58日間のデータが欠損した。その期間を除いた1年間の現場の日平均気温の最高値は29.9度、最低値は-4.8度であり、年間平均気温は11.8度であった。流入した汚水の日平均水温の最高値は24.5度、最低値は3.8度であり、年間平均水温は12.5度であった。初年度と同様に厳寒期においても処理の中断は生じなかったが、震災によりパドック流出水の配管が破損したため、その流入がない状態での処理となった。データ欠損期間を除いた年間流入汚水量は625m<sup>3</sup>であり、日平均処理量は2.0m<sup>3</sup>/dであった。

(2) 人工湿地の畜産排水処理性能の変化

2009年6月から開始した2年間の実証実験で得られたBOD, SS, TKN, TNおよびTPに対する除去性能の経時変化を図3に示す。水質項目に関わらず初年度では11月以降に除去率の低下が認められ、冬季から春季にかけて水質浄化性能が低下した。しかし、次年度にはそのような冬季から春季に生じた明らかな水質浄化性能の低下は見られなかった。初年度と次年度で水質浄化性能に明らかな差異が生じたため、それぞれの期間毎に年間性能を整理した結果を表2に示す。初年度においては、汚水原水および処理水の平均BOD濃度はそれぞれ992mg/lおよび61mg/lであり、平均除去率は94.8%であった。一方、次年度は、東日本大震災の影響で汚水原水の平均BOD濃度が1309mg/lにまで増加したにも関わらず処理水の平均BOD濃度は17mg/lにまで低下し、平均除去率は98.8%に改善された。このような水質浄化性能の改善は他の4つの水質項目でも顕著であり、初年度と次年度の平均除去率は、ssでは84.9%から93.7%に、TKNでは83.7%から96.3%に、TNでは78.9%から91.3%に、TPでは89.1%から92.0%に改善された。このように年間の平均除去率が改善された理由は、図3より明らかなように冬季から春季にかけての水質浄化性能の低下が解消されたことにあった。このことは性能維持に厳しい条件であると考えられた東北地方の寒冷な気候条件にも適応できるレジリエントな能力が人工湿地に備わっていることを示唆している。これらの結果より、人工湿地の水質浄化性能は運用開始から1年間は発展途上にあり、運用から1年を経て気候条件に適応した性能が発揮されることが分かった。

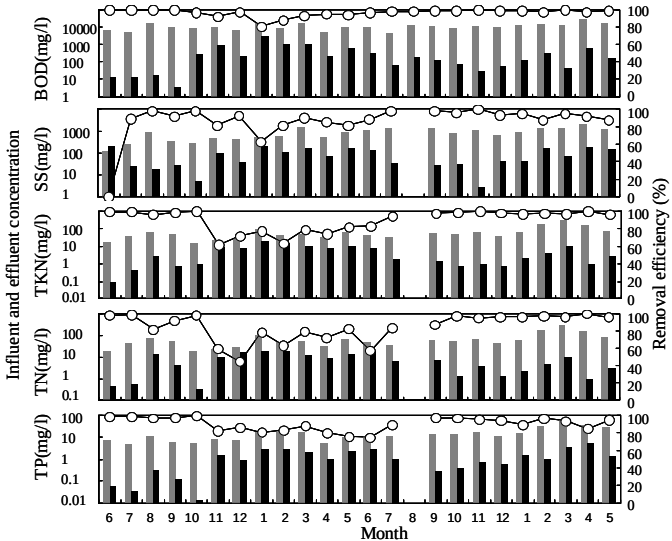


図3 2年間の実証実験における人工湿地の水質浄化性能の経時変化

表2 2年間の実証実験で得られた人工湿地の水質浄化性能

| Costituent       |              | 1 <sup>st</sup> year (n=12) |       | 2 <sup>nd</sup> year (n=11) |       |
|------------------|--------------|-----------------------------|-------|-----------------------------|-------|
|                  |              | Mean                        | SD(±) | Mean                        | SD(±) |
| BOD <sub>5</sub> | In (mg/l)    | 991.7                       | 394.5 | 1309.3                      | 561.6 |
|                  | Out (mg/l)   | 61.1                        | 85.7  | 16.8                        | 15.0  |
|                  | Reduction(%) | 94.8                        | 5.5   | 98.8                        | 0.9   |
| SS               | In (mg/l)    | 579.7                       | 380.3 | 1225.3                      | 474.6 |
|                  | Out (mg/l)   | 78.0                        | 65.3  | 79.4                        | 60.7  |
|                  | Reduction(%) | 84.9                        | 13.1  | 93.7                        | 4.0   |
| TKN              | In (mg/l)    | 44.2                        | 21.3  | 93.9                        | 73.2  |
|                  | Out (mg/l)   | 7.2                         | 6.5   | 2.8                         | 3.0   |
|                  | Reduction(%) | 83.7                        | 14.0  | 96.3                        | 4.5   |
| TN               | In (mg/l)    | 44.9                        | 21.9  | 94.4                        | 73.4  |
|                  | Out (mg/l)   | 9.4                         | 6.5   | 5.2                         | 5.4   |
|                  | Reduction(%) | 78.9                        | 16.2  | 91.3                        | 11.6  |
| TP               | In (mg/l)    | 10.1                        | 5.0   | 23.4                        | 16.0  |
|                  | Out (mg/l)   | 1.2                         | 1.2   | 1.7                         | 1.5   |
|                  | Reduction(%) | 89.1                        | 8.3   | 92.0                        | 6.5   |

(3) 人工湿地の汚水処理性能の原単位

次年度に得た年間負荷量と年間平均除去率を用いて各水質項目について人工湿地の単位面積あたりの処理性能を求めると、BODでは23.3g/m<sup>2</sup>・d、ssでは20.7g/m<sup>2</sup>・d、TKNでは1.63g-N/m<sup>2</sup>・d、TNでは1.55g-N/m<sup>2</sup>・d、TPでは0.39g-P/m<sup>2</sup>・dの値が得られた。下水道の設計基準に用いられている人口ひとり当たりの汚濁排出量 (BOD:42.5g/人・d、SS:34.5g/人・d、TN:3.0g-N/人・d、TP:0.9g-P/人・d) を基に人口一人あたりに必要な湿地面積を求めると、BODでは1.82m<sup>2</sup>、ssでは1.67m<sup>2</sup>、TNでは1.94m<sup>2</sup>、TPでは2.31m<sup>2</sup>の値が得られた。したがって、本実証実験で得られた性能であれば、生活排水処理において一人あたり2m<sup>2</sup>前後の面積で高度処理が行えることが分かる。このように本研究で明らかになった原単位により汚水処理に必要な人工湿地面積を算定することができる。人工湿地の適用性を判断する際に不可欠なパラメーターとして、今後これらの原単位の活用が期待される。