

日本大学 学生会員 ○秋田 紘志
 日本大学 中村 和徳
 日本大学 正会員 中野 和典

1. はじめに

人工湿地で除去されたリンは、ガス化が可能な有機物や窒素と異なり人工湿地内に蓄積するため、運転期間の長期化に伴う除去性能の低下が懸念される。よって長期的なリン収支を把握することは持続可能な排水処理法の観点より重要である。そこで本研究では、畜舎排水を6年間受け入れてきた多段型人工湿地を調査対象とし、リン除去性能の変遷とその要因の解明を試みた。

2. 実験方法

本研究では5段構成の人工湿地を調査対象とした。それぞれの段は初年度にヨシを植栽した植栽区と遮光等によって植物の生育を制限した無植栽区に分けられている。それぞれの段の面積は、1段目：12m²、2段目：6m²、3段目：4m²、4段目：3m²、5段目：12m²である。流入させた汚水は30頭の乳牛に由来する畜舎排水であり、総リン(T-P)およびオルトリン酸態リン(PO₄-P)の6年間の平均濃度は、それぞれ19.2および9.3mg/lであった。本研究では、畜舎排水の処理を開始した2009年6月から2015年8月までの6年間に渡り毎月1回の採水を行い測定したT-PおよびPO₄-P濃度に基づき、6年間のリン除去性能の変遷について解析した。

3. 結果および考察

3.1 リン除去率の変遷

畜舎排水原水と5段目の人工湿地出口の最終処理水の濃度より算出した年間平均除去率の6年間の変遷を図-1に示す。T-P、PO₄-Pともに年間平均除去率が経年に伴い減少する傾向にあるが、無植栽区に比べ植栽区での減少が明らかに少ないことが分かる。また、植栽区、無植栽区ともに年間平均除去率の減少がT-PよりもPO₄-Pでより顕著であることが明らかとなった。T-PおよびPO₄-Pの年間平均除去率の6年間の平均値は、それぞれ植栽区で86.7および79.4%、無植栽区で78.4および78.6%となった。

3.2 リン除去係数の変遷

多段処理全体でのリン除去性能低下の要因を明らかにするため、各段のリン除去係数を算出し、その変遷について検討を行った。リン除去係数は、横軸と縦軸をそれぞれ流入負荷量と除去負荷量とし、年間に得られた12組のデータのプロットに対する近似直線(切片はゼロとする)の傾きとした。T-PおよびPO₄-Pについて算出したリン除去係数の経年変化を図-2に示す。1段目では植栽区、無植栽区とも経年に伴うリン除去係数の減少が著しく、T-PよりもPO₄-Pでより顕著であった。同様の傾向は2段目でも観察されたが、リン除去係数の減少は1段目よりも小さかった。これに対し3段目以降ではリン除去係数がわずかに増加する傾向となった。よって、経年に伴うリン除去性能低下の要因が1段目と2段目のリン除去性能の低下であるこ

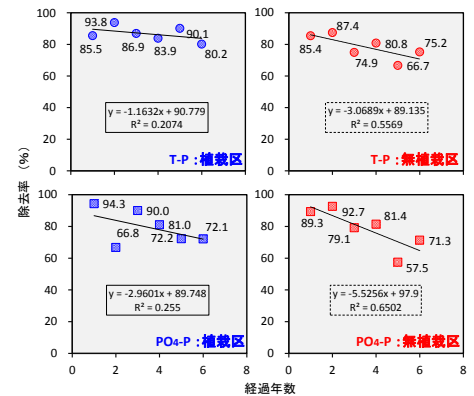


図-1 6年間のリン除去率の変遷

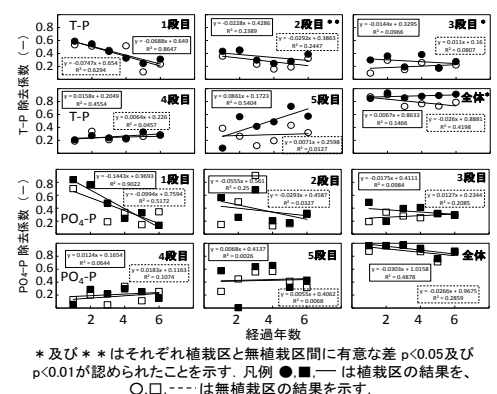


図-2 各段でのリン除去係数の変遷

キーワード：多段型人工湿地、総リン、リン酸態リン、植栽、除去性能延命化

〒 963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 番地 日本大学工学部 土木工学科 環境生態工学研究室

とが示唆された。さらに、各段のリン除去係数の変遷について植栽区と無植栽区の差異を t 検定で評価したところ、T-P の 2 段目と 3 段目において有意な差 ($p<0.05$) があることが明らかとなった。この結果より、経年に伴う植栽区と無植栽区のリン除去性能の差異の要因が 2 段目と 3 段目のリン除去性能の差異であることが示唆された。

3.3 リン除去負荷量の各段での比率

経年による各段のリン除去係数の変化より、各段の貢献度の変化も示唆された。そこで年間のリン除去負荷量に対する各段での除去負荷量の割合を求めた結果を図-3に示す。どのグラフでも当初は 1 段目の貢献度が圧倒的に高いが、経年により下段の貢献度が高くなる傾向が観察された。これは、上段ほど流入負荷量が大きく、経年に伴うリン除去性能の低下が早く進行する一方で、リン吸着容量に余裕のある下段が上段のリン除去性能の低下を補っていることを示している。そのような現象は無植栽区で早く進行していることが示唆された。したがって植栽の存在が上段の貢献度を延長し、経年に伴う植栽区と無植栽区のリン除去性能の差異となっていることが示唆された。一方、T-P と $\text{PO}_4\text{-P}$ のグラフを比較すると、各段の貢献度の変動が $\text{PO}_4\text{-P}$ でより顕著であることが分かる。 $\text{PO}_4\text{-P}$ は T-P 成分の分解により派生することから、その消長は各段での除去作用だけでなく溶出も反映しており、大きな変動を生み出していることが推察された。

3.4 各段の単位面積当たりのリン除去量

調査対象とした多段型人工湿地は各段の面積が異なっており、リン除去における各段の貢献度が面積に依存した可能性がある。そこで各段での単位面積当たりのリン除去性能の変遷を植栽区と無植栽区で比較した結果を図-4に示す。T-P について植栽区に着目すると、当初は上段ほど面積当たりのリン除去量が高いが、経年に伴い下段との差が減少し、面積当たりのリン除去量が均等化していく傾向が観察された。一方、無植栽区ではこの傾向が植栽区よりも早く現れており、上段の面積当たりのリン除去性能が植栽の存在により延命化されていることが確認できた。

$\text{PO}_4\text{-P}$ に着目すると、当初は 1 段目での $\text{PO}_4\text{-P}$ 除去量が特に大きく T-P 除去量の大部分を $\text{PO}_4\text{-P}$ が占めていたが、経年に伴い 1 段目の面積当たりの除去量が大きく減少していたことが分かる。植栽区と無植栽区におけるその差異は小さく、植栽の存在による面積当たりの $\text{PO}_4\text{-P}$ 除去性能の延命化効果は確認できなかった。

4. まとめ

多段型人工湿地における 6 年間のリン除去性能の変遷を検討した結果、リン除去率は経年に伴い減少しており、T-P よりも $\text{PO}_4\text{-P}$ でより顕著である結果となった。この要因は 1 段目と 2 段目のリン除去性能の低下が主であると考えられる。また、植栽区と無植栽区のリン除去性能の差異は 2 段目と 3 段目のリン除去性能の差異が主な要因であり、上段ほど経年に伴うリン除去性能の低下が早く進行し、下段が上段のリン除去性能の低下を補う傾向が示された。このような現象が無植栽区で早く進行することから、植栽は上段のリン除去性能の低下を遅らせる役割を果たしているといえる。さらに、当初上段ほど面積当たりのリン除去量は高いが、経年に伴い下段との差は減少し、面積当たりのリン除去量が均等化していくことが分かった。このような現象が無植栽区で早く進行することが T-P で確認できるが、 $\text{PO}_4\text{-P}$ では確認できなかった。

謝辞 本研究は環境省の環境研究総合推進費（5-1504）により実施した。ここに記して謝意を表する。

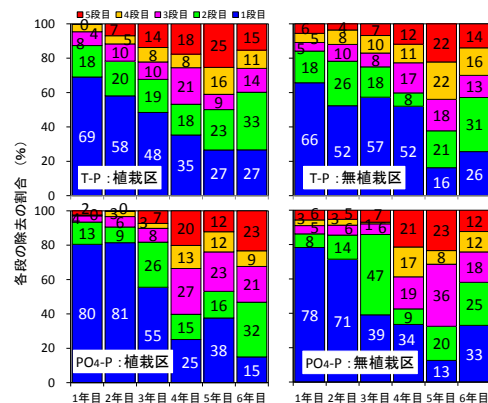


図-3 リン除去における各段の貢献度の変遷

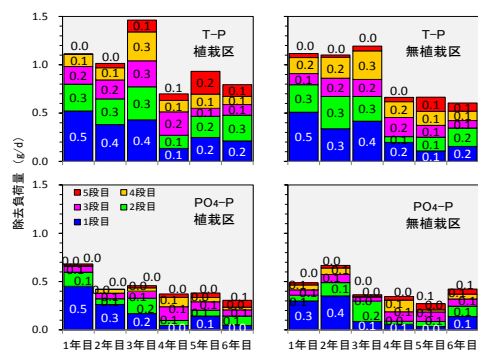


図-4 各段の単位面積当たりのリン除去量の変遷