

水環境再生のためのセラミックス担体導入植栽浄化技術による保全対策の高度化

木持謙(埼玉県環境科学国際センター), 正田武則((株)AZMEC), 三上恭弘, 常田聡 (早稲田大学)

Advanced Technology for Purification of Polluted Water Environment Using Zeolite-Containing Ceramics Blocks and Aquatic Plants, by Yuzuru KIMOCHI (Cent. Environ. Sci. Saitama), Takenori MASADA (AZMEC Co.), Yasuhiro MIKAMI, Satoshi TSUNEDA (Waseda Univ.)

1. はじめに

湖沼等の富栄養化防止を図る上では、窒素・リン対策が必要不可欠である。その場合、コストやエネルギー消費の少ない、環境低負荷型の水質浄化手法、その中でも生態工学を活用した水質浄化技術の適用が効果的である。

天然にも人工的にも存在する多孔質アルミノケイ酸塩であるゼオライトは、富栄養化の原因物質である窒素 (NH_4^+) に高いイオン交換能を有していることから、水質浄化材料として期待されている。本研究では、従来では耐熱性や強度の問題から成形が困難であったゼオライトを含有するセラミックスと、日本全国に分布する抽水植物であるヨシの植栽を組み合わせて活用した、多自然型水質浄化システムの開発を行った。ここで、ゼオライト含有セラミックスは、水中の NH_4^+ をその周囲に吸着・捕捉するため、硝化・脱窒に関わる微生物が担体近傍に長期間高密度に生息できることが期待される。また、ヨシは地上部の葉や茎から吸収した O_2 を通気組織を通じて根圏に供給するとともに、栄養塩として窒素・リンを吸収することが期待される。

2. 実験方法

2.1 供試したゼオライト含有セラミックス

合成ゼオライト Na-X を 10wt% 含有するセラミックス (以下、担体と称する) を作製して実験に用いた。担体の特性値は、気孔率 31%, 比表面積 $59\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$, 曲げ強度 5.8MPa, 焼成温度 600 である。

2.2 人工水路による水質浄化試験

埼玉県環境科学国際センターの生態園 (屋外体験学習フィールド) にある人工水路 (幅 0.50m, 水深 0.38m, 長さ 20m) を用いて水質浄化試験を行った。水路の底面から高さ 33cm まで担体等を充填し、その上部に 5cm の水深が確保される (総水深 38cm) ように、3 系の実験系を設定した (表 1)。Run1 は担体を充填したのみの系、Run2 は担体を充填してヨシの植栽を施した系、Run3 は栗石を充填してヨシ植栽を施した系である。一例として、4 月上旬の Run2 の様子について写真 1 に示す。これらの系に、肉エキス、 NH_4NO_3 等を主成分とし、 $\text{T-N } 4.2\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (うち $\text{NH}_4\text{-N } 3.0\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), $\text{T-P } 0.4\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $\text{BOD } 5.0\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 程度の平均水質に調整した合成汚濁水を流入させた。ここで、合成汚濁水の流入速度 (= 窒素・リンの投入速度) を $16\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ に統一したが、担体と栗石では充填率が異なるため、HRT に差が生じる結果となった。

水質浄化特性についての解析・検討は、ヨシの芽吹き時期を基準として、4 月 ~ 翌年 3 月について行った。また、担体に付着した生物膜による、担体の NH_4^+ 吸着能の再生の可能性について、回分実験で評価した。水路から採取した担体を

三角フラスコに導入し、 $\text{NH}_4\text{-N } 4.0\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $\text{NH}_4\text{-N } 4.0\text{mg}\cdot\text{L}^{-1} + \text{ATU}$ (硝化抑制剤) 添加、対照 (Blank) の 3 系を設定し、 $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ を中心とした水質変化を基に解析した。

3. 結果および考察

3.1 植栽環境特性

Run1 においては、水温、DO、pH 等が昼夜で大きく変動し、特に夏季に顕著であった。これに対してヨシ植栽を施した系 (Run2 および Run3) では、それらの変動幅は小さなものであり、ヨシ植栽は環境を安定化させる効果があることが明らかとなった。

3.2 窒素除去特性

実験期間を水温で区分し高水温期 (20 以上) と低水温期 (20 未満) に分けて浄化特性を解析した。図 1 および図 2

表 1 実験条件

系	充填物	充填率 [%]	HRT [h]
Run1	担体	24.5	3.0
Run2	担体 + ヨシ植栽	24.5	3.0
Run3	栗石 + ヨシ植栽	61.9	1.5



写真 1 4月上旬のRun2の様子

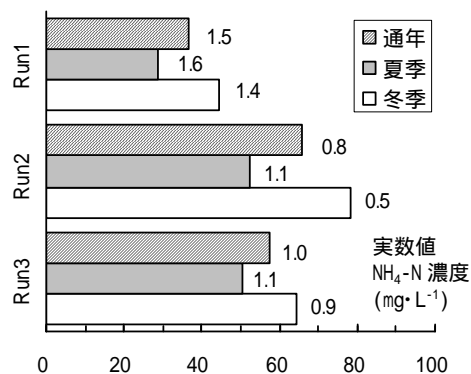


図 1 $\text{NH}_4\text{-N}$ 除去率 [%]

に、それぞれの期間における $\text{NH}_4\text{-N}$ および T-N の除去率を示す。なお、グラフ中の数値は、処理水中の濃度（単位 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ）を表している。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 除去率は、全系とも高水温期より低水温期の方が高く、比較的低温の条件において $\text{NH}_4\text{-N}$ の除去が促進されることが示唆されたが、これについては詳細な解析が必要であると考えられる。また、ヨシ植栽水路では全期間に渡って高い除去率を示したことから、ヨシを植栽することで $\text{NH}_4\text{-N}$ 除去活性が高まることが明らかとなった。

T-N の除去率は、全系で低水温期に低下が見られたが、Run1 および Run3 では低下幅が大きかったのに対して、Run2 では比較的小さかった。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 除去率と併せて考察すると、Run2 では、他の 2 系に比較して、低水温期でも高い脱窒活性すなわち窒素除去活性が維持されることが明らかとなった。この理由についてはさらなる検討が必要であると考えられるが、Run2 と Run3 では処理時間が異なることから、HRT を同一にした検討等の必要性が示唆された。

3.3 リンおよび BOD 除去特性

T-P の除去率について図 3 に示す。グラフ中の数値は、処理水中の濃度（単位 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ）を表している。Run2 において最も高い値が得られた。リンについては、窒素と異なり大気中への放散除去はなされないため、土壌粒子等への吸着や、微生物も含む SS 成分としての沈降やヨシによる吸収が主な除去機構であると考えられるが、窒素以上に Run2 と Run3 に大きな差がみられたことから、同様にさらなる検討の必要性が示唆された。

BOD の除去率についても、同様な結果が得られた。窒素およびリンの除去能の結果と併せて総合的に判断して、担体にヨシを植栽した系が、水質浄化能に最も優れていることが明らかとなった。

3.4 付着生物膜による担体の NH_4^+ 吸着能の再生特性

実験開始後十分な時間が経過し、理論上は NH_4^+ が吸着飽和に達していると考えられる担体を用いて、付着生物膜による NH_4^+ 吸着能の再生確認試験を行った。結果について図 4 および図 5 に示す。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 系では、添加した $\text{NH}_4\text{-N}$ はほぼ全て $\text{NO}_3\text{-N}$ へと変化した。これに対し、 $\text{NH}_4\text{-N} + \text{ATU}$ 系では、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は減少したが、 $\text{NO}_3\text{-N}$ については検出されなかった。これらのことから、担体が NH_4^+ 吸着能を有していた、すなわち担体上の NH_4^+ 吸着サイトが生物再生されているものと考えられた。そしてこの結果から、本技術においては、ゼオライトによる NH_4^+ 吸着能、ひいては窒素除去能が長期的に破過することなく持続が期待できると考えられた。

4. まとめ

ゼオライト含有セラミックスとヨシ植栽を組み合わせた本技術は、従来法に比較して窒素除去能の向上と、長期にわたる NH_4^+ 吸着能の維持が期待でき、湖沼等の富栄養化防止を図る上で極めて効果的であると考えられた。また、本技術は、低コスト、低エネルギー消費、簡易維持管理型の技術として、農業集落排水処理施設等での三次処理にも適用が期待できる。

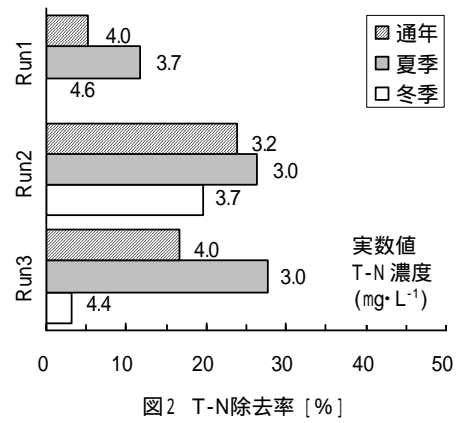


図2 T-N除去率 [%]

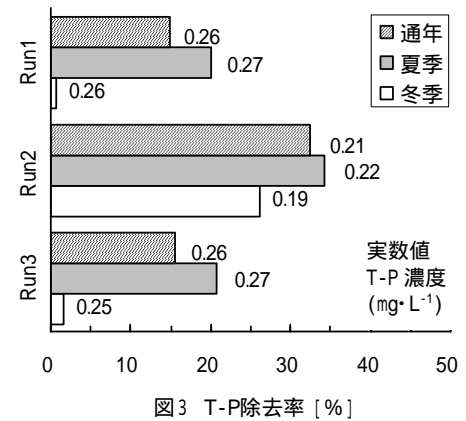


図3 T-P除去率 [%]

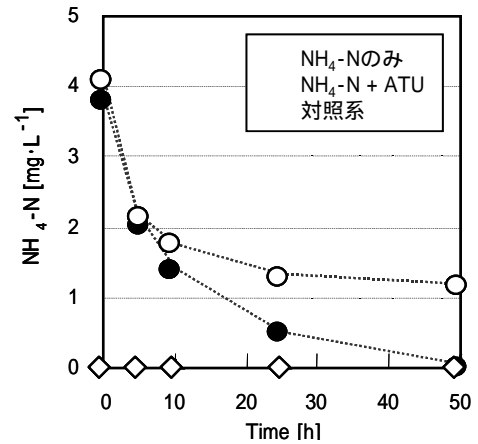


図4 $\text{NH}_4\text{-N}$ を指標とした担体の生物再生効果

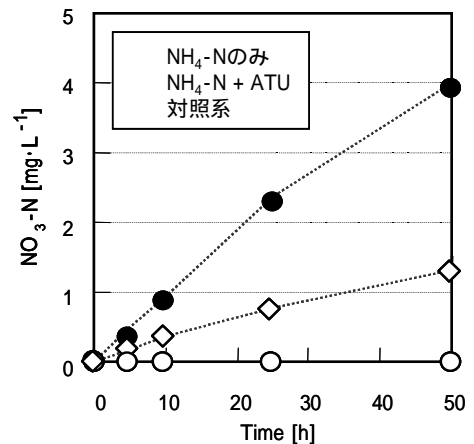


図5 $\text{NO}_3\text{-N}$ を指標とした担体の生物再生効果