

# 

九州大学 工学部 学生会員 土方栄示  
九州大学大学院工学研究院 正会員 広城吉成

九州大学大学院 工学府 学生会員 小田圭太  
九州大学大学院工学研究院 正会員 神野健二

### 1. はじめに

湛水した水田土壌では、主に微生物による酸化還元反応や陽イオン交換反応が生じる。陽イオンの吸着は土粒子表面が負に帯電しているため生じる。水田土壌は表面の数ミリまでは酸化的環境であり、硝化により  $\text{NH}_4\text{-N}$  が  $\text{NO}_3\text{-N}$  に酸化される。水田土壌表面の数ミリ以深は還元的環境となり、脱窒や  $\text{Mn}$ 、 $\text{Fe}$  水和酸化物の還元がおこる。脱窒では微生物が有機物を利用し、 $\text{NO}_3\text{-N}$  が  $\text{N}_2$  に還元される。おが屑は製材所などから発生する産業廃棄物であるが、そのおが屑を有機物源として水田土壌に混合することで、脱窒による窒素除去効果を維持しつつ透水性を向上させることが期待される<sup>1)</sup>。

本研究では有機物源としておが屑を混合した水田土壌に下水処理水を浸透させ、水田土壌のみでは水量の確保が困難と予想されるので水田土壌におが屑を入れることで水量・水質の両面から農業用水としての再利用の可能性を検討した。

### 2. 内容

#### 2. 1 実験内容

実験装置概略を図 1 に示す。実験装置はおが屑を混合した水田土壌(図 1 中の C、以下、混合土壌)を詰めた土壌槽(165cm×165cm×60cm)と、砂利を詰めた開水路(図 1 中の開水路、以下、開水路)、砂利を 35cm 厚に詰めたカラム(図 1 中のカラム、以下、カラム)から成る。下水処理水をポンプにより土壌槽に送り、土壌槽下部からの流出水を開水路に流し、カラムに通した。下水処理水は前原下水管理センターの下水処理水を使用した。また土壌槽下部、開水路、カラムの砂利は粒径約 5mm のものを、土壌槽上部の砂は粒径約 1.2mm のものを用いた。

#### (1) 土壌槽内の混合土壌による窒素除去

実験では砂程度の透水係数を目安とし、混合土壌の初期透水係数が  $1 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$  以上となるようにおが屑の混合比を設定した[水田土壌:おが屑=4:6(体積比)]。

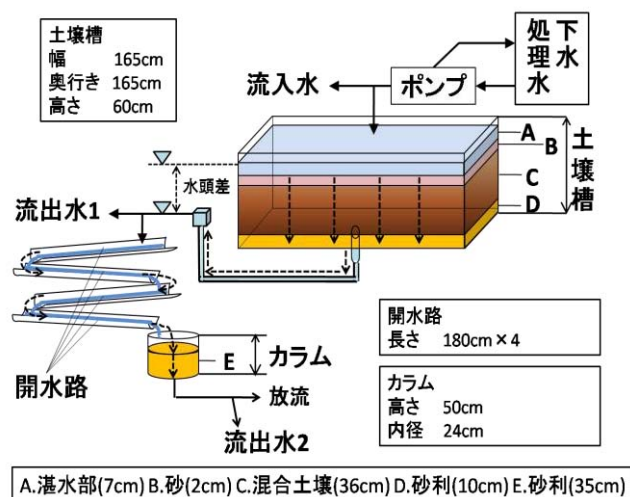


図 1 実験装置概略

土壌槽には最初に砂利を 10cm 厚に詰め(図 1 中の D)、次に混合土壌を 36cm 厚(図 1 中の C)、砂を 2cm 厚に詰め(図 1 中の B)、その後下水処理水を下からゆっくりと浸透させることで混合土壌を飽和状態に近づけた。なお、土壌槽上部におが屑の浮遊・分離を防ぐため砂層を設けた。

#### (2) 開水路、カラムによる $\text{Mn}$ 、 $\text{Fe}$ の除去

下水処理水が混合土壌に湛水され浸透することで、酸化的となる混合土壌表層以深で還元的雰囲気となり  $\text{Mn}$ 、 $\text{Fe}$  水和酸化物が還元され溶出する。そこで実験では、還元され溶出した  $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$  に対して、酸化による除去を試みた。実験開始時はカラムに土壌槽から流出した浸透水を直接流したが、カラムのみではカラムを通過した浸透水の ORP、溶存酸素濃度が上昇せず、酸化が十分に進まなかったため、実験開始 19 日目から酸化を促すための開水路(長さ 7.2m)を設けた。

#### 2. 2 測定および分析

土壌槽から流出した処理水(以下、流出水 1)とカラムから流出した処理水(以下、流出水 2)をそれぞれ採水し、 $\text{T-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{T-Fe}$ 、 $\text{T-Mn}$  濃度を分析した。なお、前処理として試料にろ過を行い、溶存態のみを分析した。土壌槽に流入する下水処理水の  $\text{T-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、溶存態  $\text{Fe}$ 、溶存態  $\text{Mn}$  濃度は、前原下水管理

センターによる下水処理水の水質試験結果(月2回)を用い、平均したものを表1に示す。また流入水、流出水1、流出水2それぞれの溶存酸素濃度、ORP、pH、流量を測定した。

表1 下水処理水の水質試験結果(11月平均)

| 項目       | T-N | NO <sub>2</sub> -N | NO <sub>3</sub> -N | NH <sub>4</sub> -N | Fe    | Mn   |
|----------|-----|--------------------|--------------------|--------------------|-------|------|
| 濃度(mg/L) | 24  | 1.3                | 6.0                | 16                 | <0.05 | 0.09 |

### 2. 3 実験結果、及び考察

図2は混合土壌中の断面平均流速と流出水2のORPの変化を示している。断面平均流速は実験開始から8日目までは緩やかに減少している。9日目から20日目までにかけは、断面平均流速が80cm/dayから40cm/dayへと急激に減少した。後述の図4より8日目から鉄の溶出がみられ、鉄還元菌などの微生物の増殖によりクロッキングが進行し、断面平均流速が低下した可能性も示唆される。

図3は流出水1のT-N、NO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-Nの濃度変化を示している。5日目以降のNO<sub>3</sub>-N濃度、および27日目のNO<sub>2</sub>-N濃度は定量下限値以下となった。流出水1のNO<sub>3</sub>-Nは下水処理水(NO<sub>3</sub>-N≒6.0)に比べ減少している。流出水1のT-N濃度は実験初期においては減少したが、時間経過とともに増加し20日目以降で20mg/L弱の濃度を示した。流出水1ではこのNO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N濃度が小さいため、流出水1のT-NはNH<sub>4</sub>-Nの割合が大きいと考えられる。流入水1のT-N濃度の増加は、時間経過とともに陽イオン交換反応が平衡状態に近づきNH<sub>4</sub>-Nが吸着されなくなったことや、断面平均流速の低下により溶存酸素が輸送されにくくなったため、混合土壌表面からの酸化的環境となる層の厚さが小さくなり、硝化が進まなくなったことが原因と考えられる。

図4は流出水1、流入水2の溶存態Fe、Mnの濃度変化を示している。開水路設置後(19日目以降)のFeの除去率は30～58%となった。しかしMn濃度は流出水1と流出水2で差はなく、Mnの酸化には至らなかった。

### 3. 結論

下水処理水を混合土壌に浸透させることによりNO<sub>3</sub>-Nは除去されたが、NH<sub>4</sub>-Nは多く残留しており、十分な硝化過程が必要であった。Feは今回の実験装置で酸化により概ね除去ができたが、Mnの酸化にはさらに工夫が必要である。

おが屑を混合した水田土壌に下水処理水を浸透させ

るとき、浸透流速の違いで酸化的環境となる層の厚さが変化する可能性がある。今後は浸透流速を制御し、酸化環境となる土壌層を厚くすることでNH<sub>4</sub>-Nの硝化を促し、それ以深の還元環境で硝化されたNO<sub>3</sub>-Nを脱窒させ、窒素除去効果を検討する予定である。

[謝辞]

本研究にあたり前原市役所下水道課課長の渡辺孝司様には実験に関する多大な御高配を賜りました。また実験場所、下水処理水を提供して下さった前原下水管理センターの皆様のご協力に厚く御礼申し上げます。

[参考文献]

- 1) 古賀亮太：有機土壌および大鋸屑・竹チップを混合させた土壌による下水処理水の脱窒効果についての検討、九州産業大学大学院工学研究科修士論文、2007

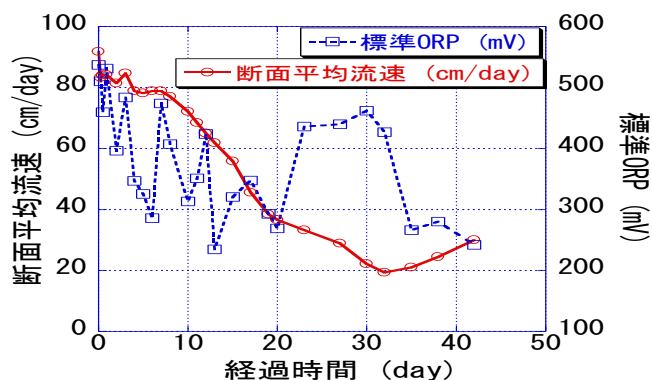


図2 断面平均流速・流出水2のORPの変化

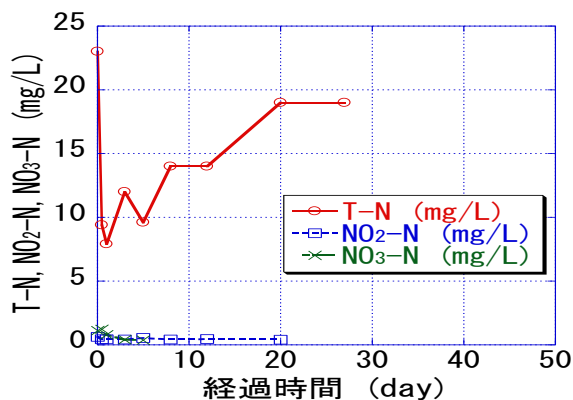


図3 流出水1の窒素濃度の変化

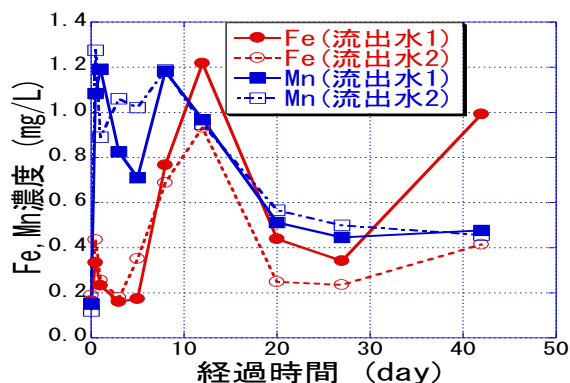


図4 Fe、Mnの濃度変化