

B-26 地下水人工涵養における稲わら添加による水質改善に関する研究

○那須 和也^{1*}・清水 将貴²・大久保 俊治¹

¹和歌山工業高等専門学校 エコシステム専攻科 (〒644-0023 和歌山県御坊市野島77)

²和歌山工業高等専門学校 環境都市工学科 (〒644-0023 和歌山県御坊市野島77)

1. はじめに

地域における水循環は、降水、川・湖・海への流出、地下浸透などから成り立つ「自然の水循環」と水道、下水道、人工水路などから成り立つ「人工的な水循環」から構成されている。都市化にともない、水循環のバランスが崩れ、地下水・湧水の枯渇や質の低下、河川水量の減少や水質悪化、慢性的な水不足など、様々な問題が発生している。そのため、河川、地下水を含めた健全な水循環の重要性が益々高まっている。

水循環の健全化のために、都市部での浸透面積の増大、河川の水質浄化、水源の水質対策、下水処理水の再利用、雨水の利用などが行われているが、地域の水循環システムに大きく寄与する地下水涵養については、土壌成分や地下水流動・生物化学的反応の複雑さから、涵養過程における水質変化や目づまりの基礎的知見も充分得られておらず、地下水涵養の促進技術や水質改善手法は未だ確立されていない。¹⁾

一方、地球温暖化の防止や循環型社会の形成につながるものとして、バイオマスが注目を集めている。バイオマスとは、「再生可能な生物由来の有機性資源で化石資源を除いたもの」と定義されている。本研究では生物学的硝化・脱窒反応を促進する有機炭素源としてバイオマスを活用し、地下水人工涵養過程における水質改善を図り、水資源とバイオマス資源の循環利用²⁾を推進するものである。

過去の研究成果より、生物学的硝化・脱窒反応を促進する有機炭素源として、和歌山地域に豊富に存在する、稲わら、もみがら、木くずのバイオマスを利用した砂カラム浸透実験において、バイオマス添加は窒素除去に大きな効果があることが明らかになった。³⁾

本研究では、このうち最も窒素除去に効果が得られた稲わらを用いて、下水処理水の浸透に伴う水質挙動を明らかにし、地下水涵養過程における水質改善の効果を定量化するものである。

2. 実験装置および方法

(1) 実験装置

実験装置は、透明塩ビ製カラムで、内径 80mm、高さ 1500mm である。各カラムの充填状況を表 2-1 に示す。標準砂カラム (カラム①) は、底部に砂利層 100mm 充填し、その上に標準砂を 900mm 充填して計 1000mm とし、コントロールカラムとした。稲わら添加カラム (カラム②~④) は、底部に砂利層 100mm 充填し、その上に標準砂を 800mm 充填し、さらに稲わら (12.5g 添加, 25.0g 添加, 50.0g 添加の 3 条件) を添加し、その上に標準砂を充填した。充填高は計 1000mm とした。カラム⑤の稲わら添加カラムはカラム④と同一条件で充填した。カラム①~④は流出口を充填層と同じ位置 (飽和状態) に設置し、飽和浸透流で浸透を行った。カラム⑤は稲わら充填層より低い位置 (稲わらを不飽和状態にする) に流出口を設置し、不飽和状態で浸透を行った。

表 2-1 各カラムの充填条件

カラム番号	充填物	バイオマス量 (g)	浸透状態	稲わら状況
カラム①	標準砂のみ コントロール	—	飽和状態	—
カラム②	標準砂+稲わら	12.5g	飽和状態	—
カラム③	標準砂+稲わら	25.0g	飽和状態	—
カラム④	標準砂+稲わら	50.0g	飽和状態	1~2cmに切断し充填
カラム⑤	標準砂+稲わら	50.0g	不飽和状態	—

(2) カラム流入水および浸透方法

カラム流入水は和歌山高専寮排水処理施設の活性汚泥処理水を用いた。

本実験ではポンプを使用して、各カラムに一定の流量で流入水を供給した。浸透速度条件を以下に示す。

①実験 I 0.2m/day (滞留時間: 約 2.5 日)

流入水を浸透速度 0.2m/day で供給し、流入水とカラム流出水の水質分析を行った。その後、目づまりが発生した時点で実験を終了した。次の実験に備え、目づまりの改善のために表層を数センチかきとり、表層の砂補給、次の実験を開始するまで水道水の浸透を

行った。

②実験Ⅱ 0.4m/day (滞留時間：約1.25日)

流入水を浸透速度 0.4m/day で供給し、同様な実験を行った。

③実験Ⅲ 0.8m/day (滞留時間：約0.63日)

流入水を浸透速度 0.8m/day で供給し、同様な実験を行った。

(3)分析項目

分析項目は以下のとおりである。

$\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, TOC, pH, DO, SS
VTS, 透水係数

3. 実験結果および考察

カラム浸透実験の結果を以下に示す。

(1)流入水

実験期間中のカラム流入水の性状を表3-1に示す。実験期間中、宿泊学生人数や水温などの影響を受け、水质に変動がみられた。

表3-1 流入水の主な性状

	平均濃度 (mg/L)	濃度幅 (mg/L)
TOC	2.7	1.3-5.3
SS	3.2	0.5-9.5
$\text{NH}_4\text{-N}$	4.1	0.01-12.6
$\text{NO}_2\text{-N}$	0.1	0.002-2.3
$\text{NO}_3\text{-N}$	6.1	0.4-18.3
$\text{PO}_4\text{-P}$	1.7	0.6-2.5
DO	7.5	4.2-9.0
pH	6.9	5.9-7.9

(2)水温

本実験では、水温が季節に応じて変動し、実験結果に影響を及ぼすのを防ぐため、室温を 23.0℃に設定した。各期間の流入水の平均水温は、実験Ⅰは 23.0℃ (水温幅 20.2℃ - 24.7℃), 実験Ⅱは 23.3℃ (水温幅 21.9℃ - 24.7℃), 実験Ⅲは 23.7℃ (水温幅 22.4℃ - 25.9℃), と、全期間を通じて平均水温 23℃~24℃であった。

(3)窒素成分の挙動および除去効果

浸透速度 0.2m/day (滞留時間：約2.5日)におけるカラム流入水 (活性汚泥処理水) のD-N挙動を図3-1に示す。稲わら 50.0g 添加カラム (カラム④) の流出D-N挙動を図3-2に示す。流入水中に溶解性の有機窒素がほとんど存在しないことから $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ を加えた値をD-N (溶解性全窒素) とした。図3-1より、この期間の流入水の性状は $\text{NO}_3\text{-N}$ が多くを占めていた。図3-1 および図3-2より、稲わら添加カラム流出水の濃度は流入D-N濃度と比べて低下していることがわかる。これは、稲わらを添加することにより脱窒反応が促進さ

れ、 $\text{NH}_4\text{-N}$ が $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ に硝化され、それが脱窒反応により窒素ガスとして空气中に放出されたものと考えられる。

次に、表3-2の稲わら添加量別、浸透速度別の平均D-N濃度をみると、稲わら添加量が多いほど、カラム流出D-N濃度が低くなっていることがわかる。また、標準砂カラム流出平均D-N濃度が流入水よりわずかに高い原因は、流入SSの有機性窒素がカラムに捕捉・無機化されて流出したためであると考えられる。図3-3に稲わら添加量別、浸透速度別のD-N除去率を示す。浸透速度が遅い、すなわち滞留時間が長いほど高いD-N除去率が得られた。

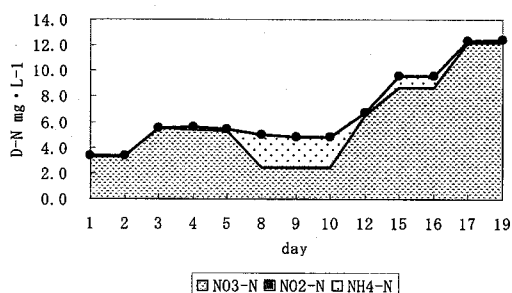


図3-1 カラム流入水のD-N挙動

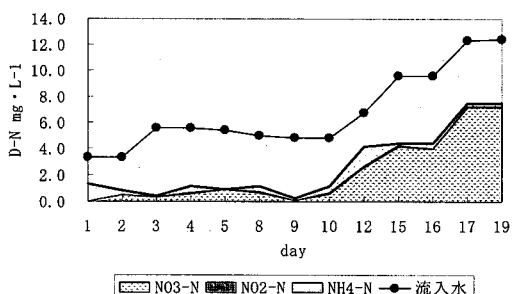


図3-2 稲わら 50.0g 添加カラム (カラム④) の流出D-N挙動

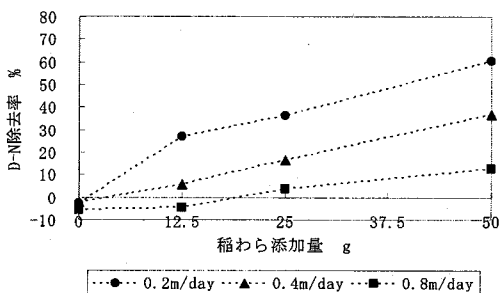


図3-3 稲わら添加量別、浸透速度別のD-N除去率

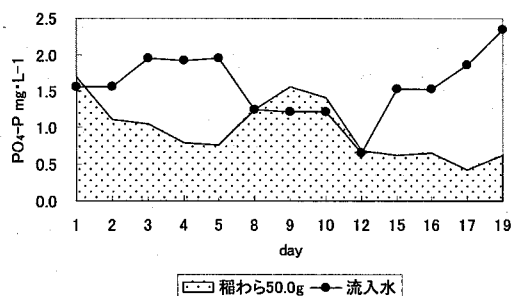
表3-2 稲わら添加量別，浸透速度別の平均D-N濃度

	流入水	標準砂流出水	稲わら12.5g添加 流出水	稲わら25.0g添加 流出水	稲わら50.0g添加 流出水
0.2m/day	6.8	7.0	5.0	4.4	2.7
0.4m/day	13.7	13.9	12.9	11.4	8.7
0.8m/day	8.6	9.1	9.0	8.3	7.5

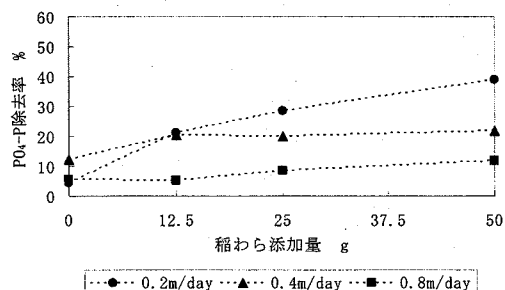
(4) リン成分の挙動および除去効果

浸透速度 0.2m/day における稲わら 50.0g 添加カラム流出水（カラム④）の $PO_4\text{-P}$ 挙動を図3-4に示す。この図より，稲わら添加カラム流出水の $PO_4\text{-P}$ 濃度は，流入水の $PO_4\text{-P}$ 濃度に比べておおむね低い測定値を示していた。

次に，表3-3の稲わら添加量別，浸透速度別の平均 $PO_4\text{-P}$ 濃度をみると，稲わら添加量が多いほど，カラム流出 $PO_4\text{-P}$ 濃度が低くなっていることがわかる。また，図3-5の稲わら添加量別，浸透速度別の $PO_4\text{-P}$ 除去率をみると，滞留時間が長いほど $PO_4\text{-P}$ 除去率が高くなる傾向であった。

図3-4 稲わら 50.0g 添加カラム（カラム④）の流出 $PO_4\text{-P}$ 挙動表3-3 稲わら添加量別，浸透速度別の平均 $PO_4\text{-P}$ 濃度

	流入水	標準砂流出水	稲わら12.5g添加 流出水	稲わら25.0g添加 流出水	稲わら50.0g添加 流出水
0.2m/day	1.6	1.5	1.2	1.1	1.0
0.4m/day	2.1	1.8	1.6	1.6	1.6
0.8m/day	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2

図3-5 稲わら添加量別，浸透速度別の $PO_4\text{-P}$ 除去率

(5) 湿潤状態と水質挙動

稲わら 50.0g 添加カラムを2本用いて，稲わらを飽和状態（流出口を充填層と同じ高さ，カラム④）と不飽和状態（稲わら充填層より低い位置に流出口を設置，カラム⑤）にし，稲わらの湿潤状態が水質挙動に及ぼす影響を調べた。結果を表3-4に示す。浸透速度 0.4m/day のケースで，流入水の平均濃度が 13.7mg/L に対し，稲わら飽和カラム流出水が 8.7mg/L，稲わら不飽和カラム流出水が 9.6mg/L であった。また，流入水の平均濃度が 2.1mg/L に対し，稲わら飽和カラム流出水が 1.6mg/L，稲わら不飽和カラム流出水が 1.7mg/L であった。稲わらを飽和状態にしたほうが窒素の除去がわずかによい結果となった。

表3-4 湿潤状態と水質挙動 単位 mg/L

	流入D-N	流出D-N	流入 $PO_4\text{-P}$	流出 $PO_4\text{-P}$
飽和状態	13.7	8.7	2.1	1.6
不飽和状態		9.6		1.7

4. 結論

本研究は，地下水涵養過程における稲わら添加による水質改善について，実験検討したものである。特に，既存の下水処理場では処理しにくい窒素，リンについて検討を行った。本実験で，次の点が明らかになった。

(1) D-N 除去については，稲わらの添加量が 12.5g, 25.0g, 50.0g と増加するほど，D-N 除去率は高く，浸透速度が 0.2m/day, 0.4m/day, 0.8m/day と大きくなるほど D-N 除去率が小さくなることがわかった。D-N 除去率は，浸透速度 0.2m/day において，稲わら 12.5g 添加で 26.7%, 25.0g 添加で 36.2%, 50.0g 添加で 60.2% であった。

(2) $PO_4\text{-P}$ 除去については，D-N 除去と同様に，稲わらの添加量が 12.5g, 25.0g, 50.0g と増加するほど， $PO_4\text{-P}$ 除去率は高く，浸透速度が 0.2m/day, 0.4m/day, 0.8m/day と大きくなるほど $PO_4\text{-P}$ 除去率が小さくなることがわかった。

謝辞：本研究は日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究 C，課題番号 17560483）を受けて行われたことを付記します。

参考文献

- 1) 松尾友矩，都市・地域水代謝システムの現状と課題，水環境学会誌 Vol. 24, No7, pp. 408-412 (2001)
- 2) 和歌山県，バイオマス総合活用マスタープラン，pp. 8-13 平成 17 年 3 月
- 3) 天倉和也・平岡大雅・那須和也・大久保俊治，地下水人口涵養におけるバイオマスの有効利用，土木学会第 43 回環境フォーラム講演集，pp. 86-88 (2006)