

N-2 黒ぼく土を用いた浸透流れ 植生浄化法の現地実験

○小島 富士夫^{1*}・阿部 徹¹・佐藤 和明²・銭谷 秀徳³

¹財団法人河川環境管理財団 河川環境総合研究所（〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町11-9）

²日本上下水道設計株式会社 技術本部（〒162-0067 東京都新宿区富久町6-8）

³国土交通省関東地方整備局 霞ヶ浦河川事務所（〒311-2424 茨城県潮来市潮来3510）

* E-mail: kojima-f@kasen.or.jp

1. はじめに

湖沼の水質改善対策として、近年、面源負荷に関わる対策の遅れが指摘されている。本実験は面源対策技術のひとつとして期待されている植生浄化法のうち日本での導入事例が極めて少ない浸透流れ方式の現地実験である。

植生浄化法は 1960 年代に原型が開発されたという比較的新しい技術と見ることができ¹、国内では 1980 年代後半から主として表面流れ方式の研究が始まったが、歴史が浅く技術的知見の蓄積が十分でない状況である。本実験では、日本において一般的な土壌であり、透水性とリン吸着能に優れている黒ぼく土に着目して、霞ヶ浦の流入支川である山王川の河川水を用いた長期現地実験（3 年 4 ヶ月間）を行った。なお、植生はヨシを用い、比較のため植生基材に礫を用いた実験を行った。

2. 黒ぼく土とヨシの特徴

黒ぼく土は火山灰土を起源とする腐植土の一種であり、黒色をしている。日本では黒ぼく土は一般的な土壌である。黒ぼく土は多量の有機物を Al（一部 Fe）-腐植複合体として貯めており、その有機物のため土壌の団粒構造が発達し安定的であるため水はけも良く保水性にも優れている。黒ぼく土のリン酸吸収係数は、土壌 100g あたりリン酸（ P_2O_5 ）1,500～2,500mg の値の範囲が普通であり、黒ぼく土以外の土壌では 700～800mg 程度以下の値を示すものが大部分である²。

ヨシは植生浄化法で最も用いられている植物であり³、冬季の立ち枯れ後も組織が硬く容易に分解しないこと、茎・地下茎を通して酸素を根に運ぶ能力があり根の周辺で硝化・脱窒が促進されること⁴、茎、新芽により土壌の透水性が維持、回復すること等の特性を有する。

3. 現地実験方法

(1) 実験期間

実験期間は平成 15 年 9 月～平成 19 年 1 月の 3 年 4 ヶ月である。なお、植生、流量等の安定に約 1 年間要したため、実験結果の評価は 2 年目以降（平成 16 年 9 月～平成 19 年 1 月）のデータを用いた。

(2) 実験施設

実験施設のイメージを図-1 と図-2 に示す。実験施設（ゴムシート張り）は実規模スケール（幅 3m、長さ 30m、深さ 0.6m）とし、縦横 50cm 間隔、4 株/㎡の密度でヨシ苗を植栽した。黒ぼく土実験槽は下部集水部に礫（φ10mm）を 20cm 敷設し、その上に黒ぼく土（鹿沼産）を 40cm 敷設した（ヨシ地下茎の深さから設定）。

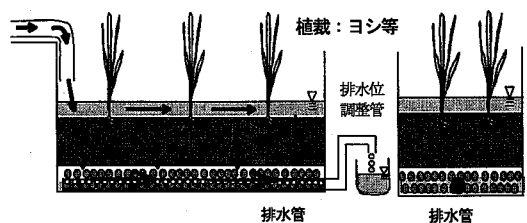


図-1 浸透流れ方式のイメージ

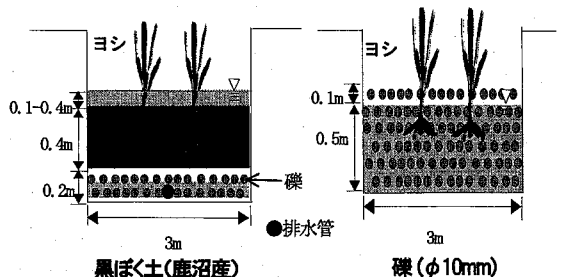


図-2 実験槽の鉛直構造

黒ぼく土実験槽の下部集水部には、集水管（マックスドレーン：メッシュ状（φ約0.2mm）でフレキシブルな暗渠排水管）を敷設した。また、目詰まりにより透水性が低下することが想定されたため、排水管は水位調整（水頭差確保）できる機能とするとともに、干し上げが可能な構造とした。

(3) 水面積負荷

黒ぼく土実験槽の水面積負荷は $0.19, 0.58\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ 、礫実験槽のそれは $0.58, 1.15\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ とした。

(4) 実験管理

実験槽内の水位については黒ぼく土実験槽は+10cm（最大+40cm）、礫実験槽は-10cm（同）を基本とした（図-2）。週1回を基本に各実験槽の水位を測定して、水位が上昇した場合には、排水管の高さを下げて、流出量を確保した。排水位を下げても水位が+40cmを超える場合には、通水を中止して干し上げを行い、土壌の透水性や嫌気化の回復効果の確認を行った。ただし、礫実験槽の高負荷条件 $1.15\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ は目詰まりの発生により透水性が確保できない状態が生じたため、平成18年6月に実験を中止した。

(5) 水質浄化効果等の特性調査

流入水（各実験槽共通）と各実験槽の流出水について、夏期（6～10月）は月2回、冬期（11月～5月）は月1回水質調査を行った。水質調査項目は、水温、pH、DO、ORP、導電率、SS、BOD、COD、T-N、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、T-P、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、クロロフィルaである。また、流入水量の測定もあわせて行った。実験結果の評価期間中（平成16年9月～平成19年1月）の流入水の平均水質濃度を表-1に示す。

黒ぼく土のリン吸着量を見積もるため、実験開始時と実験終了時に、土壌中のリン含有量(T-P)の鉛直分布を測定した。また、実験槽の水理特性（透水性、実滞留時間及び短絡流の発生）については透水性調査（一定水位に対する流出量）及びトレーサー調査（塩化リチウム使用）により、嫌気化の把握については流入水・流出水のORP、DO及び Fe^{2+} （嫌気化により溶出）の測定により把握した。

表-1 流入水の平均水質濃度

水質項目	水質濃度	水質項目	水質濃度
SS	7.1 mg/L	T-KN	1.19 mg/L
BOD	2.8 mg/L	$\text{NH}_4\text{-N}$	0.38 mg/L
COD	5.7 mg/L	T-P	0.304 mg/L
T-N	3.5 mg/L	$\text{PO}_4\text{-P}$	0.172 mg/L

注1) T-KN=有機態窒素+ $\text{NH}_4\text{-N}$

注2) 算定期間は実験データの評価期間である平成16年9月～平成19年1月である。

(6) 黒ぼく土の高負荷リン吸着実験

礫実験槽のうち高負荷のものの処理水をリン吸着実験槽に導入して黒ぼく土（鹿沼産）のリン吸着実験を行った。実験槽の諸元は、鉛直流れ方式、水面積負荷 $14.4\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ 、容積 $80\text{L}(\text{W}0.3\text{m} \times \text{L}0.6\text{m} \times \text{H}0.44\text{m})$ である。

4. 現地実験結果

(1) 黒ぼく土実験槽の透水性の評価

黒ぼく土実験槽のうち低負荷条件 $0.19\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ では計画水量で実験槽内計画水深10cmをほぼ維持したが、高負荷条件 $0.58\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ では目詰まりが発生し、実験槽内水位の上昇が大きく、透水性が低下した（図-3）。

高負荷条件では平成17年8月に1ヶ月間の干し上げ（期間降水量245mm、期間平均気温 30.6°C ）を行ったところ、通水開始時とほぼ同程度の透水性に回復するとともに、干し上げ後1年間、計画水深(10cm)がほぼ維持できた。なお、低負荷条件では通水後約2年間干し上げを行わなかったため、底泥の嫌気化による2価鉄の溶出が認められ、平成18年8月に干し上げを1週間実施したところ、2価鉄の溶出が認められなくなった（図-4）。

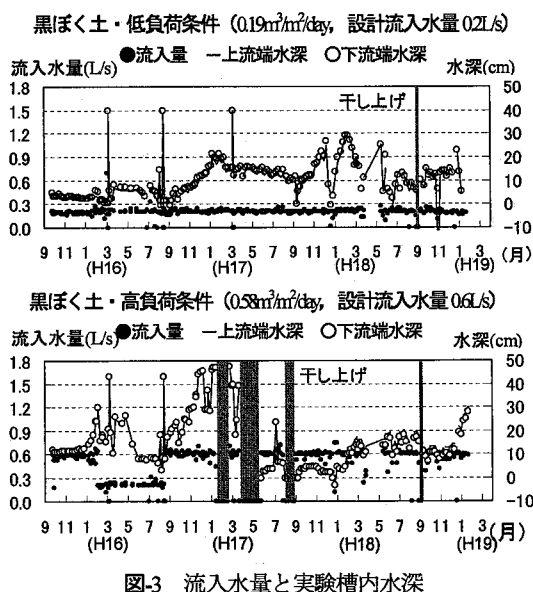


図-3 流入水量と実験槽内水深

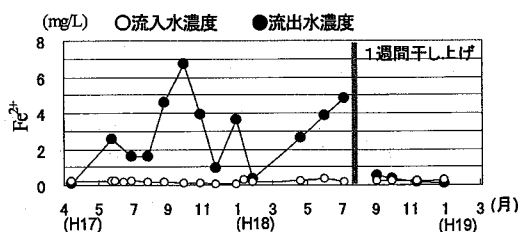


図-4 2価鉄イオン濃度（黒ぼく土実験槽, $0.19\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ ）

(2) リン、窒素除去率の評価

黒ぼく土実験槽の3年目の平均除去率は、低負荷条件 $0.19\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ で T-P 94%, T-N 91%, T-KN 78%, 高負荷条件 $0.58\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ で T-P 62%, T-N 49%, T-KN 63%であり、礫実験槽 ($0.58\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$) と比べて T-P, T-N は高い除去率を示し、低負荷条件ではヨシ生長による期別や経年的な除去率変化はほとんど認められないが、高負荷条件では T-P と T-N の除去率が経年的に低下し、期別変化も比較的大きい結果となった (図-5)。

高負荷条件の T-P 除去率が約 80% に低下した平成 17 年 10 月の流出水の DO 濃度は 1mg/L 以下、ORP は 300mV と低酸素であるが、土壌は還元状態となっていないと考えられ、溶出の影響は小さいといえる。実験終了時の黒ぼく土実験槽下層のリン含有量は $0.52 \sim 124\text{mgP/g}$ 乾泥であり (開始時 0.53mgP/g 乾泥)、リン吸着実験から得られた飽和時累積吸着量 1.71mgP/g (飽和時含有量約 2.2mgP/g 乾泥) と比較すると、まだ十分な吸着能があると考えられ、水理特性調査結果から短絡流 (土壌表面がひび割れし、比較的顕著な「流れの不均一」) の発生が示唆された。

高負荷条件の T-N 除去率の低下については、T-KN 除去率の低下が小さいことから、脱窒効果が低下していると推定され、有機物の減少や土壌中の DO 条件の影響が考えられる。

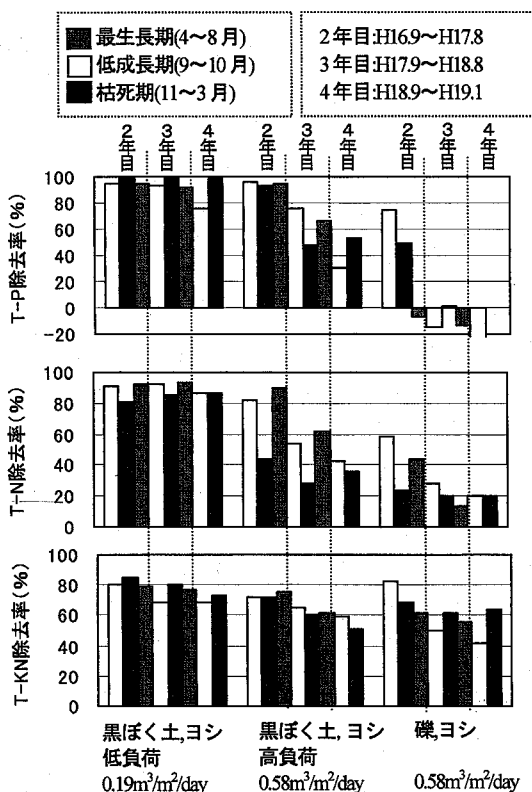


図-5 リン・窒素除去率の期別経年変化

(3) 水面積負荷とリン処理継続期間の関係

黒ぼく土実験槽の高負荷条件 $0.58\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ では、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 除去率 80%以上の処理継続期間は 2.0 年、50%以上のそれは 3.3 年であった。この結果と負荷量条件から、低負荷条件 $0.19\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ の処理継続期間を推定すると 80%以上は 6 年、50%以上は 10 年となる。

一方、別途実施した黒ぼく土のリン吸着実験 (流入水平均 $\text{PO}_4\text{-P}$ 0.2mg/L 程度) から得られた黒ぼく土の $\text{PO}_4\text{-P}$ 吸着能 (累積吸着量 0.59mg/g で除去率 80%, 0.92mg/L で 50%) をもとに、低負荷条件 $0.19\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ の処理継続期間を推定すると 80%以上は 9 年、50%以上は 15 年となり、上記現地実験からの推定値の方が短く (約 70%) になったが、比較的簡易なリン吸着実験から現地におけるリン処理継続期間を推定することがある程度可能であると考えられる。

5. まとめ

本実験により、黒ぼく土を用いた浸透流れ植生浄化法は、高い透水性と高い窒素・リン除去能力 (除去率及び処理継続時間) があることがわかった。黒ぼく土は一般的な土壌であり安価で入手可能であること、農地還元が可能であることから、本浄化法の導入により、地域と連携した資源循環型水環境改善システム (効率的な面源負荷対策による水質浄化及び農地での施肥量削減) の構築が期待できると考えられる。

ただし、黒ぼく土のリン除去能力は主に土壌吸着であり、長期運転により除去率が低下することは避けられない。また、窒素除去率 (特に脱窒効果) も経年的に低下する傾向にあり、実運用に際しては、継続的なモニタリングを行うとともに、計画段階から維持管理 (干し上げや土壌の入れ替え) に配慮することが必要である。

謝辞: 本実験を実施するにあたり、「霞ヶ浦流入河川植生浄化技術検討委員会」(委員長: 細見正明 東京農工大学大学院教授) の指導と助言を得た。記して謝意を表すものである。

参考文献

- 1) IWA Specialist Group on Use of Macrophytes in Water Pollution Control: Constructed Wetlands For Pollution Control, Scientific and Technical Report No.8, IWA Publishing, 2000.
- 2) 久馬一剛: 土とはなんだろうか?, 京都大学学術出版会, 2005.
- 3) (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所: 植生浄化施設計画の技術資料, 河川環境総合研究所資料第 5 号, 2002.
- 4) 須藤隆一 編集: 環境修復のための生態工学, 講談社, 2000.