

もみ殻炭のリン除去効果の検証(その3) . 水路レーン方式

東川 圭吾 富永 勇太 成田 修司* 山内 康生

圃場からの排水中のリンの除去を目的に、干拓地排水(遊水池)においてリン吸着に効果のあるカルシウム含有もみ殻炭(秋田県特許)を利用し、当該もみ殻炭のリン吸着除去効果について、フィールドでの検証を行った。試験は2つのタイプ、横向流式レーンと上向流式レーンで実施した。その結果、T-P 吸着除去量及びSS 除去量から通水方式は、上向流式が良い結果が得られた。また、流入水の T-P 濃度が高くなるとリンの吸着効果も高くなることが示唆された。もみ殻炭 1 g あたりのリン吸着量の伸びは約 1 ヶ月で小さくなるが、2 ヶ月間でも頭打ちとはならず効果が持続する可能性が示唆された。

キーワード: もみ殻炭, リン吸着, 水質浄化

はじめに

2008 年度から諫早湾干拓事業により出来上がった干拓地での営農が始まった。現在、調整池の水質は水質保全目標値(COD:5 mg/L, T-N:1 mg/L, T-P:0.1 mg/L)を超過しており、その水質動向の把握とさらなる水質保全に向けた取組み、並びに自然干陸地等の利活用の推進が重要な課題となっている¹⁾。遊水池では九州農政局が使用済み上水場発生土を用いてリンの吸着試験を実施しているが、リン吸着後の上水場発生土は、再利用の方法が確立できなければ産業廃棄物として処理しなければならない²⁾。一方で、リンは枯渇資源であることから、排水中から回収し、再利用する試みが 20 年以上前から行われている。湖沼の富栄養化等の課題を抱える秋田県ではその対策としてリン酸イオンを吸着するもみ殻炭を開発した。もみ殻炭は、水中に含まれるリンの除去ばかりでなく、リンを吸着後は土壤改良や肥料として農業者へ還元するなど有効利用が

見込めるものである³⁾。

長崎県環境保健研究センターでは、平成 23 年度に調整池への流入負荷削減を目的として秋田県が開発したもみ殻炭を用いた室内実験を行い、リン除去効果を検証した室内試験(バッチ式)を行った⁴⁾。調整池水、調整池に流入する水及び前処理水を用いた実験により、もみ殻炭は模擬水での実験結果と同様にリン吸着能を発揮することがわかった。また、初期濃度によって、リン吸着量に違いがあることがわかった。平成 24 年度には遊水池でのフィールド試験を行い、室内実験とほぼ同レベルのリン除去効果が得られた⁵⁾。

本研究では、調整池への流入負荷削減のための水質浄化材として期待できる、もみ殻炭のリン除去効果について検証した。

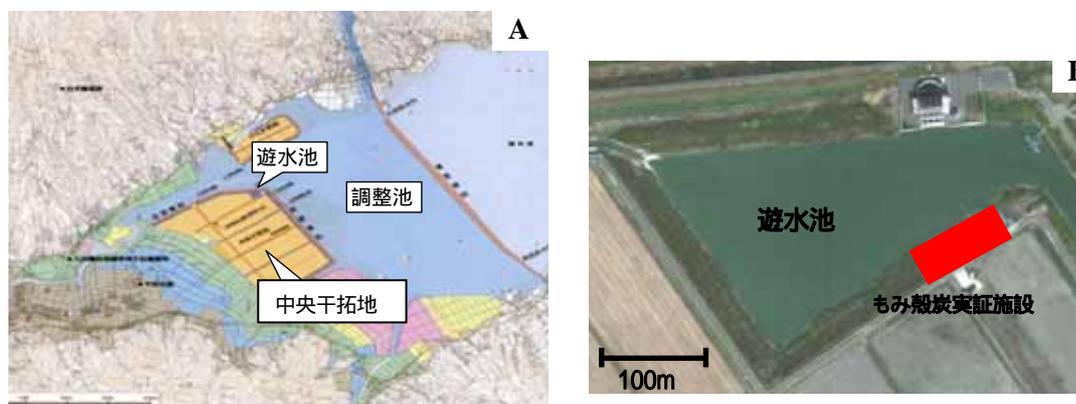


図1 調整池(A)および遊水池(B)

* 秋田県健康環境センター 主任研究員

材料および方法
もみ殻炭について

秋田県が開発したもみ殻炭は、リンとの親和性が高いカルシウムをもみ殻に担持させ、炭化することで、リン酸イオンを選択的に回収する機能を持つだけでなく、リン回収後に肥料として再利用可能である⁴⁾。本研究では、このもみ殻炭を実験に供した。



図2 もみ殻炭の外観

調査地点

もみ殻炭実証施設のフローと採水地点を図3に示す。

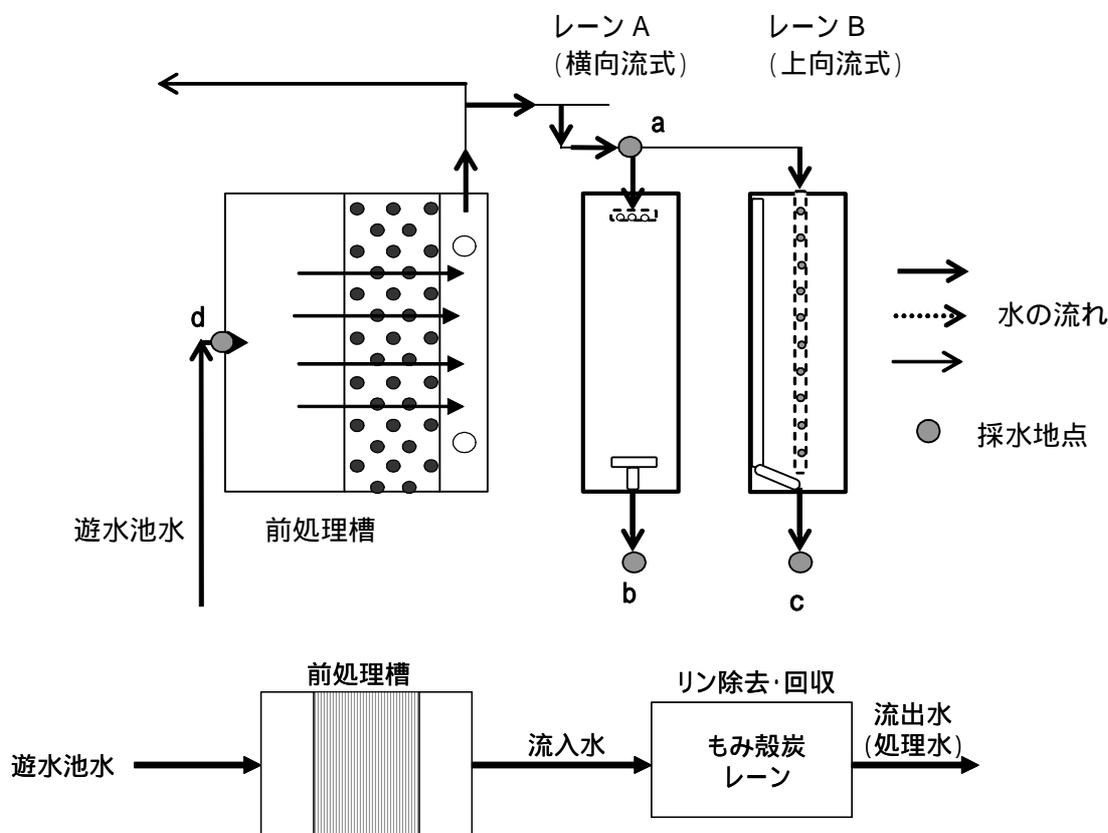
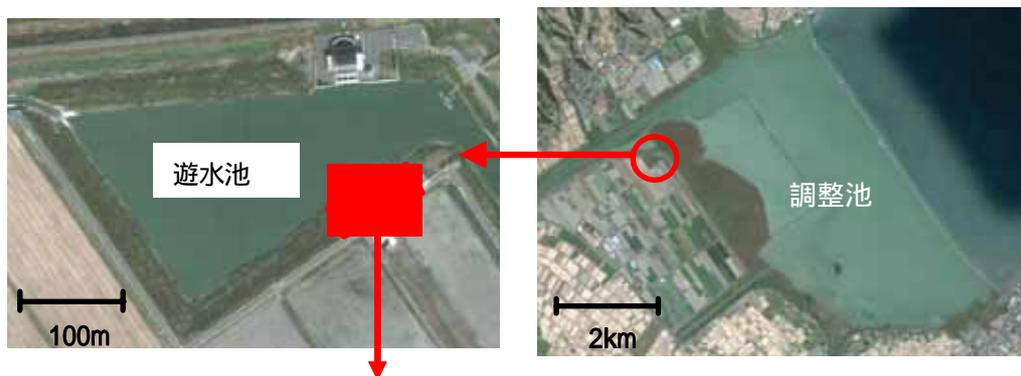


図3 遊水池実験施設(平面図)、採水地点及び処理フロー

調査方法

遊水池から取水された水(以降、「遊水池水」という。)は、前処理槽を通過後、もみ殻炭実証施設内レーンに供給される。レーンは2種類あり、それぞれにもみ殻炭を1,000 kg投入した。通水方法は、レーン内に充填されたもみ殻炭に対し、横向きに通水する方法(横向流式)と、下から上向きに通水する方法(上向流式)の2通りとした。採水地点は、a)レーン導入前(以降、「流入水」という。)、b)横向流式レーン(以降、「レーンA」という)、c)上向流式レーン(以降、「レーンB」という)及びd)遊水池水である。

(1)第1期試験:もみ殻炭によるリン吸着除去効果及び通水方法について、レーンA及びレーンBにて、検証を試みた。レーンA及びレーンBにそれぞれ1,000 kg投入し、遊水池水を通水してから2ヶ月間、経過時間毎に採水し、リン濃度(T-P)及びSSを測定した。流入水の設定流量(目標値)は20 L/min.とした(表1)。

(2)第2期試験:第1期試験で良好な結果が得られたレ

ーンBにて、再度リン吸着除去効果の検証を行った。もみ殻炭をレーンBに1,000 kg投入し、遊水池水を通水してから2ヶ月間、経過時間毎に採水し、リン濃度(T-P)及びSSを測定した。流入水の設定流量(目標値)は最大(20 L/min.<)とした(表1)。

(3)平成24年度からの改良点:レーンAについて、以下の2点の改良を行った(図6)。

流入部のSS対策

平成24年度の第1期試験では、レーンAの流入部近くのもみ殻炭層において、SSによる目詰まりが頻繁に起こり、十分な試験ができなかった。このため、レーンAの流入部に吸出防止材で被覆したコンテナを設置し、流入部でのSSによる目詰まりの軽減を図った。

流出部における集水管の位置調整

もみ殻炭と遊水池水との接触効率を高めるため、レーンA内の水位をもみ殻炭層よりも低く保つことができるように貯水槽を設け、集水管の位置をもみ殻炭表層よりも下部に設置した。

表1 もみ殻炭における実用化可能性調査方法

通水方式	第1期試験		第2期試験
	横向流式 (レーンA)	上向流式 (レーンB)	上向流式 (レーンB)
流速(目標値)	20L/min.		最大(20L/min.<)
もみ殻炭使用量	1,000kg	1,000kg	1,000kg
調査期間	平成25年7月10日～9月11日		平成25年10月7日～12月10日
採水地点	流入部(地点a)、流出部(地点b、c)		
調査項目	全リン(T-P)、浮遊物質(SS)		
分析方法	T-P: JIS K0102 46.3.1(ペルオキシ二硫酸カリウム分解法) SS: 環境庁告示第59号 付表9		

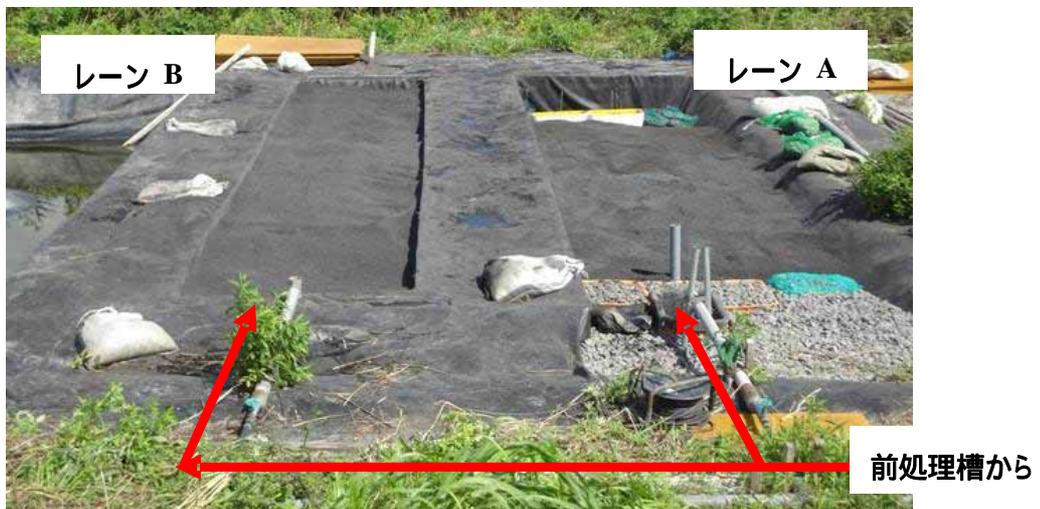
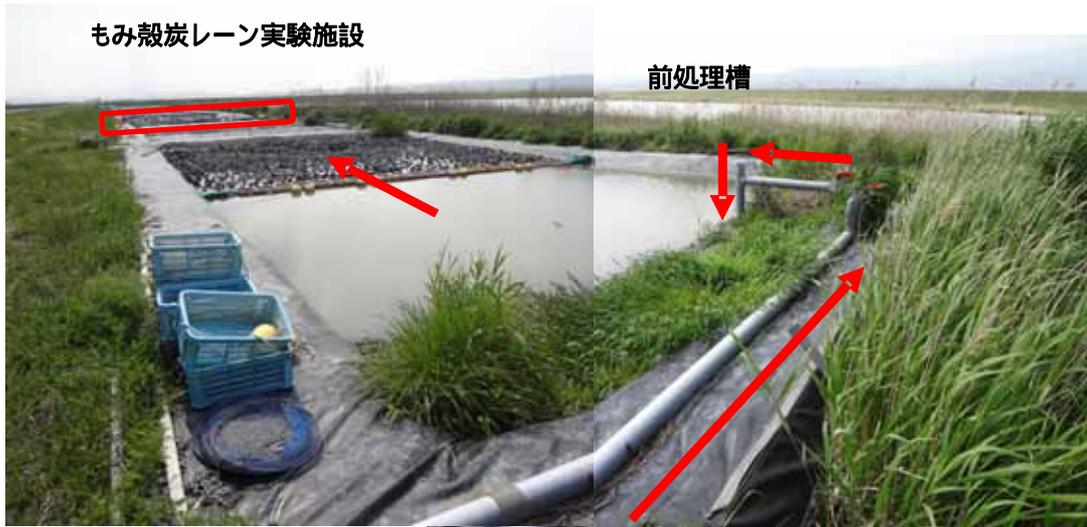


図4 遊水池実験施設の概観



図5 レーン流出部(採水地点 b, c)の様子

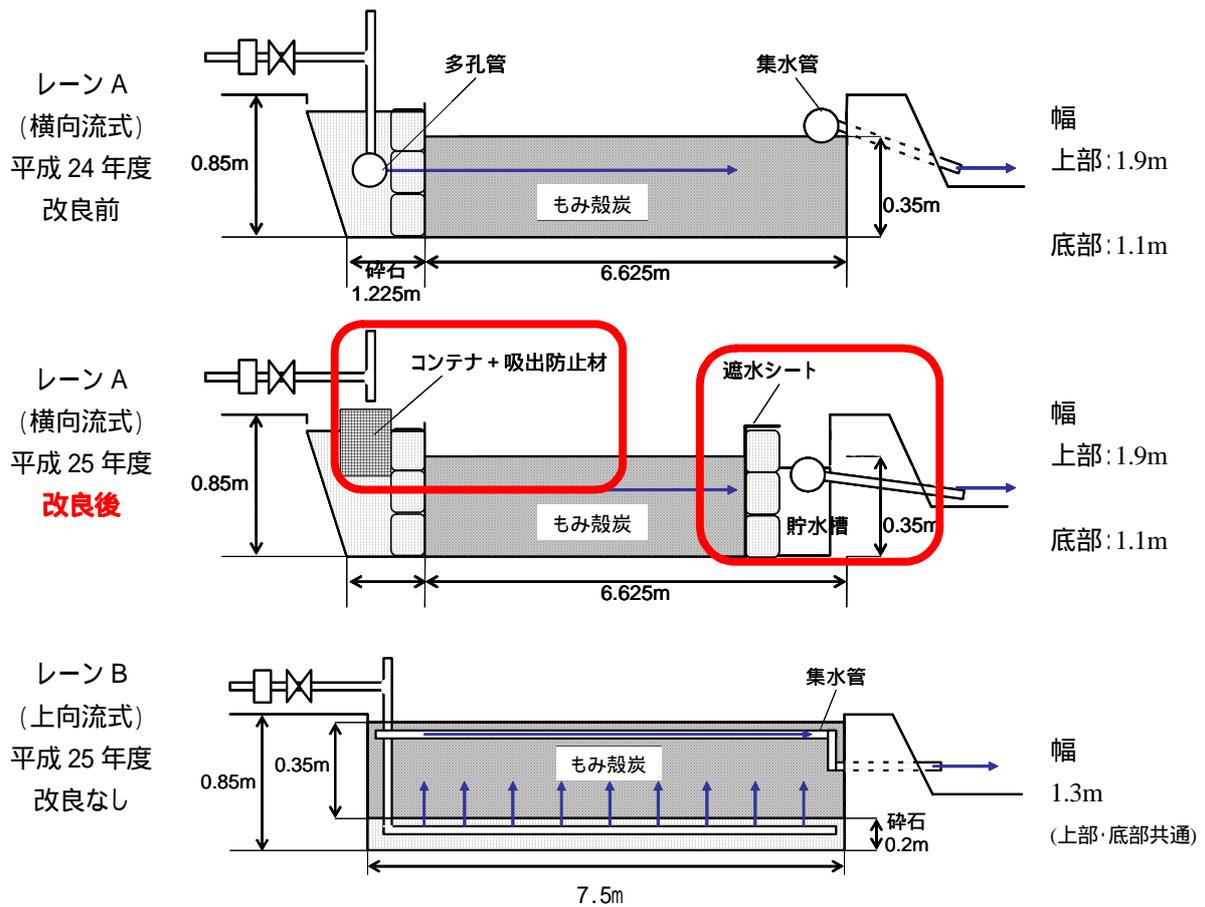


図 6 もみ殻炭実証施設(断面図)

結果および考察

1 第 1 期試験結果

(1)流速の推移

第 1 期試験の通水開始からの流速の推移を図 7 に示す。流速は各調査日間の平均値とし、期間毎の流量は平均流速に時間を乗じて算出した。線グラフは流速を、棒グラフは期間毎の流量を示す。

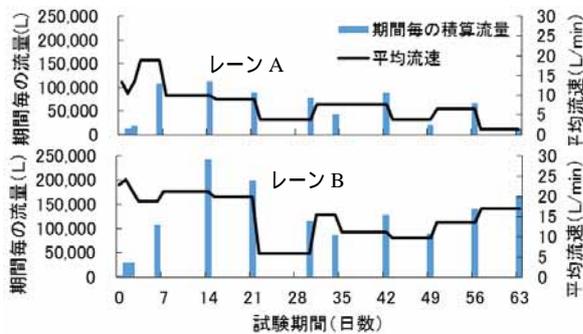


図 7 流速の推移

全期間を通しての平均流速はレーン A で約 9 L/min、レーン B で約 17 L/min.となり、目標値(20 L/min.)に設

定することが困難であった。また、平均滞留時間は、使用したもみ殻炭の体積(5 m³)を平均流速で割って求めたところ、レーン A で約 0.71 日、レーン B で約 0.22 日と算出された。

(2)T-P 測定結果

第 1 期試験の通水開始からの T-P 濃度の推移を図 8 に示す。

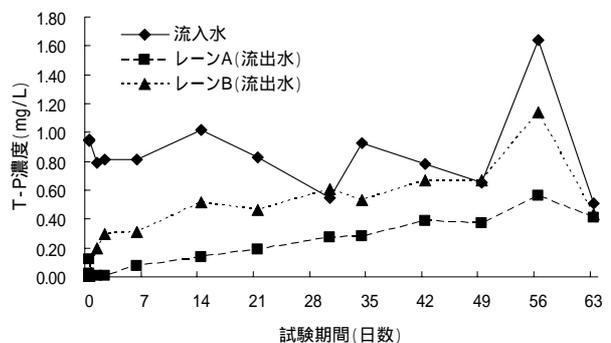


図 8 T-P 濃度の推移

各レーン通過後の流出水の T-P 濃度は、試験開始 30 日目(8 月 9 日)を除き、流入水に比べて低い濃度で推移した。試験期間の経過とともに流入水と流出水の差は小さくなっていった。それぞれの T-P の平均濃度は、流入水が 0.87 mg/L、レーン A 流出水が 0.20 mg/L、レーン B 流出水が 0.42 mg/L であった。

(3)リン吸着除去率及び除去量

リン除去率を求める際に用いた T-P 濃度は、各調査日間の平均値とした。この T-P 濃度と各調査日間の流量を乗じ、レーン内を通過した T-P 量ともみ殻炭によって除去された T-P 量を算出し、T-P 除去率を求めた。T-P 吸着除去率ともみ殻炭 1 g あたりの T-P 吸着除去量(積算値)の推移を図 9 に示す。折れ線グラフは T-P 吸着除去率を、棒グラフは T-P 吸着除去量を示す。

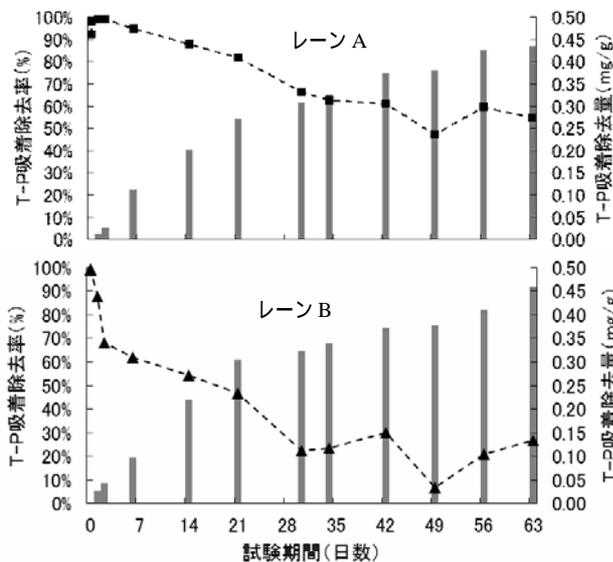


図 9 T-P 吸着除去率ともみ殻炭 1 g あたりの除去量の推移

各レーンにおける T-P 除去率は、試験開始直後は 90% 以上であった。レーン A は 49 日目を除きほぼ 50% 以上を維持しているが、レーン B は 21 日目から 50% を下回った。もみ殻炭 1g あたりの T-P 除去量は、約 1 ヶ月後には積算量の伸びは小さくなったものの、頭打ちとならずにその後も増加し続け、63 日間(約 2 ヶ月間)ではレーン A が 0.43 mg、レーン B が 0.45 mg とほぼ同じ値となった。

(4)SS 測定結果

第 1 期試験の通水開始からの SS 濃度の推移を図 10 に示す。

各レーン通過後の流出水の SS は、もみ殻炭による

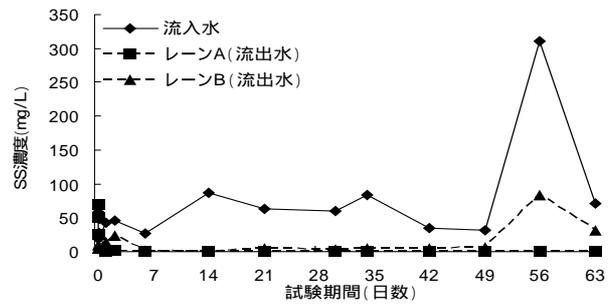


図 10 SS 濃度の推移

る過効果で流入水よりも低かった。それぞれの SS の平均濃度は、流入水が 71 mg/L、レーン A 流出水が 11 mg/L、レーン B 流出水が 14 mg/L であった。

(5)SS 除去率及び除去量

SS 除去率を求める際に用いた SS 濃度は、各調査日間の平均値とした。この SS 濃度と各調査日間の流量を乗じ、レーン内を通過した SS 量と除去された SS 量を算出し、SS 除去率を求めた。SS 除去率とレーンの SS 除去量(積算値)の推移を図 11 に示す。折れ線グラフは SS 除去率を、棒グラフは SS 除去量を示す。

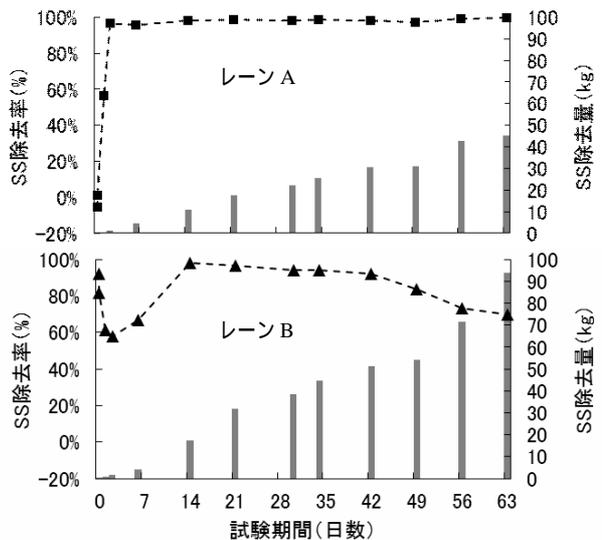


図 11 SS 除去率及び除去量の推移

レーン A における SS 除去率は、試験開始直後はもみ殻炭の微粉末の流出やレーン内の洗い出しによって低かったが、2 日目から 90% 以上を維持した。レーン B も試験開始直後に SS 除去率が低下したが、14 日目から 90% 以上となり、49 日目からは平均流量の上昇とともに再び低下した。SS 除去量は、63 日間でレーン A が 45 kg、レーン B が 94 kg となり、レーン B のほうが多かった。

(6)第2期試験で検証を行うレーンの選定

第1期試験の結果、T-Pの除去効果はレーンA、レーンBとほぼ同程度(表2)であったが、以下の理由からレーンBで第2期試験の検証を行うこととした。

フィールド施設の構造上、レーンBの方が安定して流量調整が可能である。

SS除去効果がレーンBの方が高い。

表2 第1期試験の結果の比較

レーンの種類	もみ殻炭1gあたりの T-P吸着除去量(mg)	レーンあたりの SS除去量(kg)
レーンA(横向流式)	0.43	45
レーンB(上向流式)	0.45	94

2 第2期試験結果

第1期試験で結果のよかったレーンBにて、もみ殻炭を交換後、試験を行った。

(1)流速の推移

第2期試験の通水開始からの流速の推移を図12に示す。

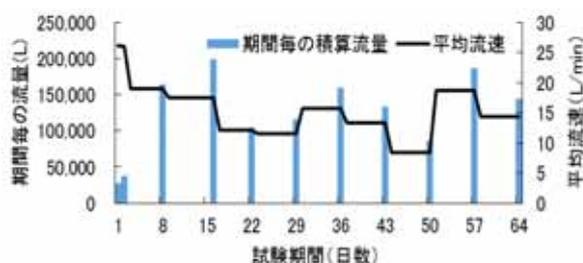


図12 流速の推移

試験開始2日目までは25 L/min.以上と流速が速い時もあったが、全期間を通しての平均流速は約17 L/min.となり、目標値である最大(20 L/min.<)に設定することが困難であった。また、平均滞留時間は、使用したもみ殻炭の体積(5 m³)を平均流速で割って求めたところ、約0.22日と算出された。

(2)T-P 測定結果

第2期試験の通水開始からのT-P濃度の推移を図13に示す。

第2期試験における流入水のT-Pの平均濃度は、第1期試験と比べて低い値で推移した。レーン通過後の流出水のT-P濃度は、流入水に比べて低い濃度で推移したが、試験期間の経過とともに流入水と流出水の差は小さくなっていった。それぞれのT-Pの平均濃度

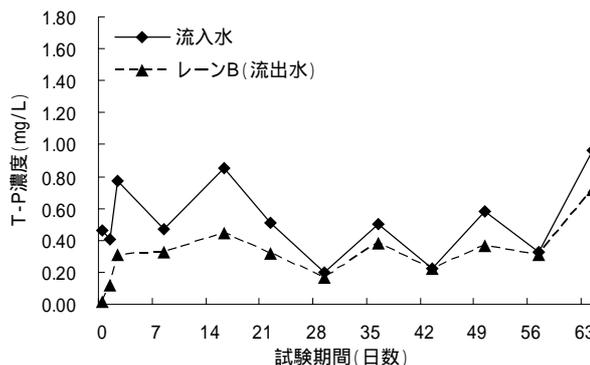


図13 T-P濃度の推移

は、流入水が0.52 mg/L、レーンB流出水が0.31 mg/Lであった。

(3)リン吸着除去率及び除去量

T-P吸着除去率ともみ殻炭1gあたりのT-P吸着除去量(積算値)の推移を図14に示す。

レーンBにおけるT-P除去率は、開始直後は80%以上であったが、2日目から急速に低下し、8日目からは50%を下回った。もみ殻炭1gあたりのT-P吸着除去量は0.24 mgと第1期試験の約半分となった。また、第1期試験と同様、約1ヶ月でT-P吸着除去量の伸びは小さくなったものの、頭打ちとならずにその後も少しずつ増加し続けた。

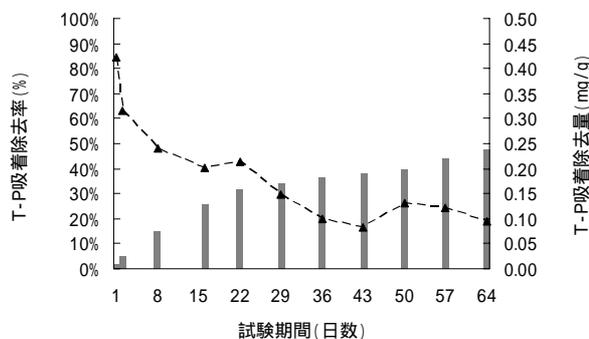


図14 T-P吸着除去率ともみ殻炭1gあたりの除去量の推移

(4)SS 測定結果

第2期試験の通水開始からのSS濃度の推移を図15に示す。

レーン通過後の流出水のSSは流入水よりも低かった。第2期試験を開始した10月は流入水のSSは高い濃度で推移していたが、11月には低くなった。それぞれのSSの平均濃度は、流入水が94 mg/L、レーンB流出水が65 mg/Lであった。

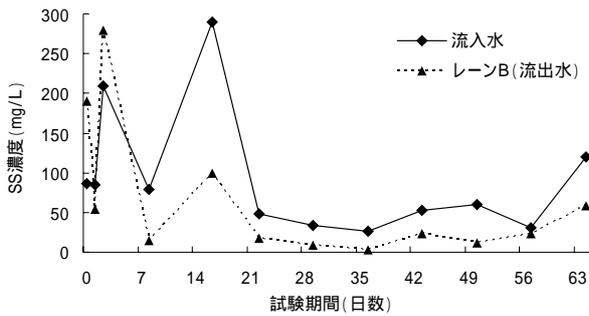


図 15 SS 濃度の推移

(5)SS 除去率及び除去量

SS 除去率とレーンの SS 除去量(積算値)の推移を図 16 に示す。

第 2 期試験における SS 除去率は 60 ~ 70% 程度で推移し、第 1 期試験に比べてあまり良くなかった。これは開始時の流速が速かったために、レーン側面ともみ殻炭層の隙間から水が流出し、もみ殻炭層による除去効果が低下したためと考えられる。実際にレーン B 内を観察したところ、いくつか水が通り抜けたような跡が確認され、通水と同時に水が一気に流れ出てくる様子も確認できた。

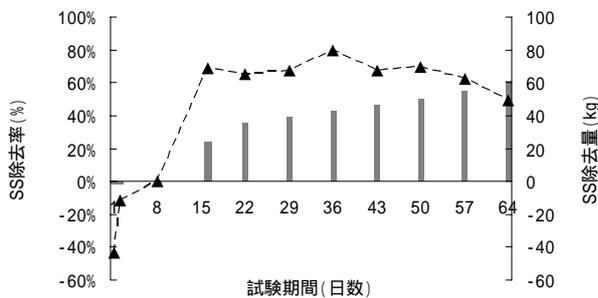


図 16 SS 除去率及び除去量の推移

3 平成 24 年度の試験結果との比較

(1)リン除去効果

平成 24 ~ 25 年度の流入水の T-P 平均濃度とレーン B におけるもみ殻炭 1g あたりの T-P 吸着除去量の結果

表 3 平成 24 年度と平成 25 年度の試験結果の比較(レーン B)

年度	試験期間	流入水の T-P 平均濃度(mg/L)	もみ殻炭 1g あたりの T-P 吸着除去量(mg)
H24	第 1 期試験 (秋~冬季)	0.49	0.24
	第 2 期試験 (冬季)	0.40	0.23
H25	第 1 期試験 (夏季)	0.87	0.45
	第 2 期試験 (秋~冬季)	0.52	0.24

を表 3 に示す。

平成 24 年度におけるレーン B のもみ殻炭 1g あたりの T-P 除去量(0.23 ~ 0.24 mg/g)と比較すると、今年度の第 1 期試験の結果(0.45 mg/g)は昨年度より上回った。これは昨年度の試験が秋季から冬季に行ったのに対して、今年度の第 1 期試験は夏季に行ったので、試験期間中における流入水の平均 T-P 濃度(0.87mg/L)が昨年度(0.40 mg/L)よりも高かったためと考えられる。今年度の第 2 期試験と比較しても同様の傾向であり、流入水の T-P 濃度が高いと T-P 吸着除去量も増加することが示唆された。

模擬水のリンの初期濃度ともみ殻炭 1g あたりのリン除去量について、平成 23 年度に行ったバッチ式試験結果をプロットしたグラフを図 17 に示す。このグラフの直線式を用いて算出される、流入するリン濃度に対応する除去量の予測値と、今回のフィールド試験の結果(実測値)を比較した結果を表 4 に示す。

フィールド試験の結果は、バッチ式試験からの予測値とほぼ同レベルの値となった。このことは、実証試験のシステムが、もみ殻炭の持つ性能を引き出すようなシステムになっていたと考えられる。

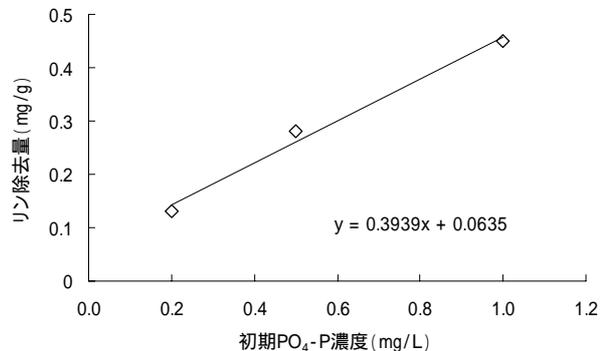


図 17 模擬水のリンの初期濃度ともみ殻炭 1g あたりのリン除去量

表 4 バッチ試験結果からの予測値とフィールド試験結果の比較

	流入水の T-P 平均濃度 (mg/L)	もみ殻炭 1g あたりの T-P 吸着除去量 (mg)	
		予測値	実測値
第 1 期試験	0.87	0.41	0.45
第 2 期試験	0.52	0.27	0.24

平成 23 年度に実施したピーカー試験の概要 PO₄-P 濃度を 0.2 ~ 1.0 mg/L に調整した模擬水を用いてもみ殻炭によるリン吸着除去効果を確認した。あらかじめ超純水に 2 時間浸したもみ殻炭を 1 g/L と

るようにネット状の袋にパック詰めして対象水中に投入し、100 rpm で攪拌した。投入後 24 時間まで経過時間毎に、検水中の PO₄-P 濃度を測定した。もみ殻炭によるリン吸着能は、対象水中へもみ殻炭投入から 24 時間後にほぼ平衡に達することから、24 時間後の濃度差で評価した。

(2)SS 除去効果

平成 24 ~ 25 年度の流入水及び流出水の SS の平均濃度とレーン A における SS 除去量の結果を表 5 に示す。

平成 24 年度におけるレーン A の SS 除去量(16 kg)と比較すると、今年度の第1期目の結果(45 kg)は昨年度より上回り、流入部での SS 対策の効果が見られた。

表 5 平成 24 年度と平成 25 年度の試験結果の比較(レーン A)

年度	試験期間	SSの平均濃度(mg/L)		1レーンあたりのSS除去量(kg)
		流入水	流出水	
H24	第1期試験	51	37	16
H25	第1期試験	71	11	45

まとめ

諫早干拓調整池の水質保全目標値は、T-P:0.1 mg/L であるが、目標値を超過している状況が続いている。本研究では調整池への流入負荷削減を目的として秋田県が開発したもみ殻炭を用いたリンの吸着除去効果の検証を行ったところ以下の結果が得られた。

- 1.もみ殻炭と流入水の接触方法は、レーン B の上向流式で良好な結果が得られた。
- 2.設定流速を高くする(25 L/min <)と、レーンの側面ともみ殻炭層の隙間から水が流出するため、除去率が急速に低下する場合があることが示唆された。
- 3.流入水の T-P 濃度が高くなるとリンの吸着除去効果も高くなることが示唆された。
- 4.もみ殻炭 1 g あたりのリン吸着除去量の伸びは約 1 ヶ月で小さくなるが、2 ヶ月間でも頭打ちとならずに効果が持続する可能性が示唆された。
- 5.もみ殻炭 1 g あたりのリン吸着除去量は、室内試験(バッチ式)で行った試験結果から予測される値とほぼ同レベルの結果が得られ、フィールドでも初期濃度によってリン吸着量に違いがあることがわかった。

表 6 まとめ

		試験結果	
通水方式	レーンB(上向流式)で良い結果が得られた。		
設定流速	流速が高い(25L/min以上)とレーンの側面ともみ殻炭層の隙間から水が流出するため、T-PやSSの除去率が急速に低下する場合がある。		
もみ殻炭1gあたりのリン吸着除去量	流入するT-Pの濃度が高くなると除去量は増加する。		
	夏季	(T-P平均濃度) 0.87mg/L	(除去量) 0.43 ~ 0.45mg
	冬季	(T-P平均濃度) 0.52mg/L	(除去量) 0.24mg
効果の持続について	約1ヶ月で効果は小さくなるが、2ヶ月間でも頭打ちとはならず効果が持続する可能性が示唆された。		

今後の検討事項

以上のことから、もみ殻炭によるリンの吸着除去効果を高めるために、以下の点を踏まえた検討が考えられる。

1. 流入水の T-P 濃度が高い夏季に試験を行う必要がある。
2. 流速は 20 L/min を上限に設定する必要がある。
3. T-P 吸着除去量の伸びが小さくなる 1 ヶ月毎を目安にもみ殻炭層の攪拌を定期的に行う必要がある。

4. T-P 吸着除去量の飽和量を確認する必要がある。(試験期間を従来の 2 ヶ月間から 4 ヶ月間にするなど)

謝辞

本研究を遂行するにあたり、もみ殻炭の提供及び有用な情報を提示いただきました秋田県健康環境センター 成田修司 主任研究員に厚く御礼申し上げます。また、

本研究の趣旨をご理解いただき、研究遂行のご協力をいただいた九州農政局、秋田県の関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 第2期諫早湾干拓調整池水辺環境の保全と創造のための行動計画 長崎県 平成19年度
- 2) 九州農政局資料 2010年度
- 3) 成田修司: 籾殻を原料としたリン回収材の合成とそのリン回収挙動, 秋田県健康環境センター年報, 2, 101~104 (2006)
- 4) 小橋川千晶 他: もみ殻炭のリン吸着効果の検証, 長崎県環境保健研究センター所報, 57, 65-68 (2010)
- 5) 玉屋千晶 他: もみ殻炭のリン除去効果の検証(その2), 長崎県環境保健研究センター所報, 58, 52-58(2012)

Effect of Carbonized Rice Husk on Phosphorus Removal in Water by Water Flow Lane System - The Third Report -

Keigo Higashikawa, Yuta Tominaga, Shuji Narita*, Yasuo Yamauchi

Nitrogen and phosphorus have been the problem as the factor of eutrophication in semi-closed water area. For example, nitrogen and phosphorus in the farm drainage are one of them.

We have verified phosphorus removal ability in the field using the calcium-containing carbonized rice husk (Akita Prefecture patent). We tested two types of water flow lane system (upward-flow lane and side counter-current lane), for the purpose of phosphorus removal in the reclaimed land (flood control basin) drainage from the agricultural field.

As a result, it was found that the upward-flow lane system is superior to the side counter-current lane system in the removal ability of suspended solid (SS) and total phosphorus (T-P).

Moreover, it was suggested that phosphorus adsorption ability of the calcium-containing carbonized rice husk is higher, as T-P concentration of the influent water is increased.

Although growth of phosphorus adsorption amount of carbonized rice husk per 1g is reduced by about a month, the effect is remained effective for about two months.

Key words: carbonized rice husk, phosphorus adsorbent, water purification

*Akita Research Center for Public Health and Environment Senior Researcher