

植物繊維を用いた重金属等を含む排水の 室内と現場での浄化実験について

(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 防災地質チーム ○岡崎 健治
(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 防災地質チーム 吉野 恒平
愛媛大学 共創学部 榊原 正幸

天然素材である植物繊維を用いた重金属等を含む排水や浸出水の浄化方法を構築するため、室内と現場での浄化実験を行った。浄化方式として、現場での仮設排水管等に植物繊維を敷設し、そこへ排水や浸出水を流入循環させることで浄化する方法を考えている。それを模擬した形態で酸性とアルカリ性の試験水による実験を行い、植物繊維による浄化の効果や適用性を調べた。室内実験の結果、試験水のpH、六価クロム、ヒ素の濃度が減少した。また、現場実験の結果、pH、ヒ素の濃度が管理値以下に減少した。

キーワード：重金属類、浸出水、植物繊維、浄化

1. はじめに

グリーンインフラ推進戦略2023¹⁾では、自然の多様な機能を容易かつ効率的に導入、または、引き出せる技術を求めている。土木インフラや資源循環関連の産業分野においても自然環境が有する機能の活用に向けた新技術の開発、地域特性や利用用途に応じた水環境の管理方法を推進している。

土木事業では、切土やトンネルの工事に伴う仮置き土から重金属等を含む水が発生する場合があります。排水基準値や環境基準値に基づく管理値以下に濃度を減少する必要があります。しかし、管理値に適合させるには、その処理過程で、改質資材の使用や運搬処分など、環境負荷や処理コストが生じており、それらを軽減させる方法の構築が必要である。

これまで筆者らは、植物繊維を敷設した屋外での水路に酸性かつ砒素を含む水を循環させた実験を行った。その結果、砒素の初期濃度1.3 mg/Lを循環開始2日目に0.41 mg/L、7日後に0.003 mg/Lと管理値(0.01 mg/L)以下に減少させ、植物繊維への重金属等の吸着も確認した²⁾。

一方、トンネル工事で発生する浸出水や排水はアルカリ性であることが多いほか、重金属等を含む場合もあり、それらに対する処理が問題となることがある。

そこで本稿では、排水や浸出水に含まれる重金属等の浄化方法の構築に向けて、酸性とアルカリ性の両極性における植物繊維の浄化の効果を調べるため、植物繊維を詰めたアクリル管へ通水させる室内実験を行うとともに、植物繊維を敷設した仮設排水管へアルカリ性の試験水を通水循環させた現場実験を行い、室内と現場による植物繊維の浄化の効果や適用性について考察した。

2. 実験概要

(1) 植物繊維について

パンヤ科カポックという植物繊維(写真-1)を実験で使用した。カポックはインドネシアをはじめとした亜熱帯地域に広く分布する落葉樹で15 cmほどの紡錘形の実をつける。実の内部に種子を包む綿状繊維が入っている。

カポックの繊維は半透明で中空な構造を有し多孔質であり撥水性、弾力性に富む³⁾。石油系の原料から作られる化学繊維と比べ地球環境に優しく、布団や枕、救命道具などにも利用されている⁴⁾。

さらに、カポックは水銀や濁水中の粒子の吸着に用いるフィルター材として水質改善にも利用されている^{5, 6)}。ただし、カポックの繊維の表面には脂分が付着している(写真-1右)。このため撥水性を有するが、表面を酸性の条件下で処理し親水性に変えることで、様々な物質を吸着する媒体として利用する事例も示されている⁷⁾。

なお、本実験では、カポックの撥水性を除去するため、



写真-1 浄化実験で使用する植物繊維(カポック)

左：実験で使用するシート状のカポック

右：シート状のカポックの拡大写真(1000倍)

洗剤溶液に24時間浸漬後、室温で48時間自然乾燥させて用いた。洗剤溶液はシャボン玉石けん株式会社製の台所用液体石けん（主な成分は23%脂肪酸カリウム）2.5 mLを1,000 mLの蒸留水に添加して作成した。なお、カボックはシート状に加工された製品を両実験に使用した。

(2) 室内実験の概要

a) 通水実験の概要

通水実験は、アクリル管内に植物繊維を詰めて、そこへ試験水を流入して循環させることで、重金属等の濃度の減少を確認するための室内実験とした。

実験では1回当たりの通水時に試験水と植物繊維を、液個比100 : 1（試験水2,000 mL : 植物繊維20 g（縦10 cm、横70 cm、厚さ4 mm））とした。植物繊維は内径48 mm、長さ50 cmの透明なアクリル管に詰めて（写真-2）、そこへ試験水を250 mL/minで下向きに通水させた。通水回数は全20回とし、各通水後の試験水を回収して次の通水に繰り返し用いた。

実験での植物繊維の表面積は0.07 m²、総通水量は40 L/20回、総通水時間は2.7 時間/20回である。また、植物繊維の単位面積当たり・単位時間当たりの試験水との接触水量は212 L/m²・時間である。

b) 酸性の試験水

酸性の試験水は、壮瞥町の廃止鉱山から採水した。

試験水のpHは2.3、電気伝導度は260 mS/m、六価クロムの濃度は0.005 mg/L未満、総水銀は0.0001 mg/L未満、鉛は0.069 mg/L、砒素は3.24 mg/L、セレンは0.058 mg/L、フッ素は4.0 mg/L、ホウ素は3.11 mg/L、鉄は122 mg/Lである。

c) アルカリ性の試験水

アルカリ性の試験水は、蒸留水、フライアッシュ、重金属等を溶出する堆積岩を用いて作成した。まず、蒸留水500 mLとフライアッシュ50 gを混合して24時間攪拌し、1時間静置後の上水を採水した。次に、その水500 mLと粒径2 mm以下の堆積岩50 gを混合して24時間攪拌し、1時間静置後に上水を採水して試験水とした。

試験水のpHは9.3、電気伝導度は112 mS/m、六価クロムは0.096 mg/L、総水銀は0.0001 mg/L未満、鉛は0.001 mg/L未満、砒素は0.041 mg/L、セレンは0.115 mg/L、フッ素は7.4 mg/L、ホウ素は6.15 mg/L、鉄は0.1 mg/Lである。

d) 分析方法

通水開始から1、5、10、20回後の試験水のpHと電気伝導度を測定した。あわせて、採水した試験水の重金属等の濃度を土壤汚染対策法に示される方法⁸⁾で分析した。そのうち、鉄はJIS K0102(2016) 57.4の方法で分析した。また、実験前後の植物繊維は室温で48時間自然乾燥させて粉碎後に重金属等の含有量を土壤汚染対策法に示される方法⁹⁾で分析した。また、管理値は、土木事業での土壤環境基準値を適用している事例を参考に設定した。

(3) 現場実験の概要



写真-2 室内での通水実験の状況（アクリル管内の植物繊維）



写真-3 現場での浄化実験の状況



写真-4 仮設排水管内に敷設した植物繊維の状況

a) 循環通水実験の概要

循環通水実験は、現場で一般的に使用される仮設排水管内に植物繊維を敷設し、そこへ排水や浸出水を流入して循環させることで、重金属等の濃度の減少を確認するための現場実験とした。

循環通水実験では、単管等の資材を用いて仮設排水管を矩形状に配置し、勾配0.5%として延長20 m設置した（写真-3）。仮設排水管は直径50 cmの半円管を使用し、植物繊維を幅25 cm、延長20 mで敷設した（写真-4）。そこへ試験水500 Lを50 L/minで7日間循環させた。

実験ケースは、植物繊維1枚を敷設したケースと植物繊維2枚を重ねて敷設したケースの2ケースとした。なお、両ケースの実験期間中に降雨はなかった。

実験での植物繊維の表面積はケース1で5 m²、ケース2で10 m²、総通水量は7日間で504,000 L、総通水時間は7日間で168 時間である。また、植物繊維の単位面積当たり・単位時間当たりの試験水との接触水量を室内の通水

試験での212 L/m²・時間と比べると、ケース1は600 L/m²・時間で約3倍、ケース2は300 L/m²・時間で約1.5倍である。ただし、総通水時間は室内実験で2.7時間、現場実験で168時間と、植物繊維と試験水との接触時間が異なる。

b) 試験水

試験水は、共和町のトンネル工事現場内に、処理前に一時的に保管されていた浸出水を用いた。

試験水のpHは9.0、六価クロムの濃度は0.02 mg/L未満、砒素は0.028 mg/L、フッ素は0.2 mg/L、鉄は0.1 mg/Lであった。

c) 分析方法

循環開始から2、3、4、5、6、7日目に採水した試験水のpHを測定した。あわせて、重金属等の濃度を土壤汚染対策法に示される方法⁸⁾で分析した。そのうち、鉄はJIS K0102(2016) 57.4の方法で分析した。また、管理値は土木事業での土壤溶出量基準を運用している事例を参考に設定した。なお、実験後の植物繊維の重金属等の含有量は分析していない。

3. 実験結果

(1) 室内での酸性の試験水による通水実験の結果

a) 試験水の重金属等の濃度

表-1に試験水の重金属等の濃度の分析結果を示す。まず、pHの初期値2.3は通水20回目で2.2と大きな変化はなかった。

次に、鉛の初期濃度0.069 mg/Lは通水20回目に0.014 mg/L、砒素の初期濃度3.24 mg/Lは通水20回目に0.703 mg/L、セレンの初期濃度0.058 mg/Lは通水20回目に0.015 mg/L、フッ素の初期濃度4.0 mg/Lは通水20回目に3.7 mg/L、ホウ素の初期濃度3.11 mg/Lは通水20回目に2.86 mg/L、鉄の初期濃度122 mg/Lは106 mg/Lと減少した。特に、砒素の濃度の減少が大きい。なお、六価クロム、総水銀の濃度は定量下限値未満であった。

b) 植物繊維の重金属等の含有量

表-2に植物繊維の重金属等の含有量の分析結果を示す。まず、総クロムの含有量は9.3 mg/kgから6.9 mg/kgに減少した。吸着せずに減少した理由は、植物繊維が本来含有していたものが通水によって溶出したことが理由のひとつと考えられる。

次に、鉛の含有量は0.4 mg/kgから3.0 mg/kg、砒素の含有量は0.1 mg/kg未満から124 mg/kg、セレンの含有量は0.1 mg/kg未満から2.1 mg/kg、ホウ素の含有量は3.1 mg/kgから30.8 mg/kg、鉄の含有量は69.1 mg/kgから1,250 mg/kgに増加した。特に、砒素と鉄の含有量の増加が大きい。なお、総水銀、フッ素の濃度は定量下限値未満であった。

ここで、鉄のEh-pHダイアグラム¹⁰⁾ではpHが2.0以上になると溶存する鉄(Fe³⁺やFe²⁺)が水酸化鉄(Fe(OH)₃)に変化することが示されている。また、その課程では、砒素が鉄との化合物を生成¹¹⁾して共沈することが考えられる。このことが試験水の砒素の濃度を大きく減少させた理由と考えられ、植物繊維の砒素と鉄の含有量が大きく増加したことから推定される。

表-1 酸性の試験水を用いた室内での通水実験による重金属等の濃度の分析結果

分析項目	初期値	通水1回目	通水5回目	通水10回目	通水20回目	管理値
pH	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	5.8~8.6
電気伝導率(mS/m)	260	273	270	270	266	—
六価クロム(mg/L)	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.05以下
総水銀(mg/L)	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0005以下
鉛(mg/L)	0.069	0.017	0.013	0.013	0.014	0.01以下
砒素(mg/L)	3.24	1.52	1.07	0.800	0.703	0.01以下
セレン(mg/L)	0.058	0.024	0.019	0.015	0.015	0.01以下
フッ素(mg/L)	4.0	3.8	3.6	3.8	3.7	0.8以下
ホウ素(mg/L)	3.11	2.96	2.97	2.99	2.86	1以下
鉄(mg/L)	122	117	110	109	106	—

表-2 酸性の試験水を用いた室内での通水実験による植物繊維への重金属等の含有量の分析結果

分析項目	初期値	通水1回目	通水5回目	通水10回目	通水20回目	管理値
総クロム(mg/kg)	9.3	—	—	—	6.9	250以下
総水銀(mg/kg)	<0.01	—	—	—	<0.01	15以下
鉛(mg/kg)	0.4	—	—	—	3.0	150以下
砒素(mg/kg)	<0.1	—	—	—	124	150以下
セレン(mg/kg)	<0.1	—	—	—	2.1	150以下
フッ素(mg/kg)	<20	—	—	—	<20	4000以下
ホウ素(mg/kg)	3.1	—	—	—	30.8	4000以下
鉄(mg/kg)	69.1	—	—	—	1,250	—

表-3 アルカリ性の試験水を用いた室内での通水実験による重金属等の濃度の分析結果

分析項目	初期値	通水1回目	通水5回目	通水10回目	通水20回目	管理値
pH	9.3	8.3	7.2	7.0	7.0	5.8～8.6
電気伝導率 (mS/m)	112	113	114	116	118	—
六価クロム (mg/L)	0.096	0.092	0.030	0.058	0.041	0.05以下
総水銀 (mg/L)	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0005以下
鉛 (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.01以下
砒素 (mg/L)	0.041	0.045	0.043	0.045	0.046	0.01以下
セレン (mg/L)	0.115	0.120	0.090	0.114	0.111	0.01以下
フッ素 (mg/L)	7.4	7.0	7.0	7.1	7.0	0.8以下
ホウ素 (mg/L)	6.15	5.87	5.91	5.80	5.95	1以下
鉄 (mg/L)	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	—

表-4 アルカリ性の試験水を用いた室内での通水実験による植物繊維への重金属等の含有量の分析結果

分析項目	初期値	通水1回目	通水5回目	通水10回目	通水20回目	管理値
総クロム (mg/kg)	9.3	—	—	—	7.3	250以下
総水銀 (mg/kg)	<0.01	—	—	—	<0.01	15以下
鉛 (mg/kg)	0.4	—	—	—	0.3	150以下
砒素 (mg/kg)	<0.1	—	—	—	0.1	150以下
セレン (mg/kg)	<0.1	—	—	—	0.6	150以下
フッ素 (mg/kg)	<20	—	—	—	28	4000以下
ホウ素 (mg/kg)	3.1	—	—	—	30.8	4000以下
鉄 (mg/kg)	69.1	—	—	—	64.8	—

以上のことから、酸性の水に含まれる鉛、砒素、セレン、フッ素、ホウ素の浄化に植物繊維を適用することで濃度を減少させることができ、それらの元素を植物繊維に吸着できることを含有量の分析結果から確認した。特に水中に溶存する鉄がありpHが2.0以上に変化する場合、砒素の濃度の減少と植物繊維への吸着が期待できる。

(2) 室内でのアルカリ性の試験水による通水実験の結果

a) 試験水の重金属等の濃度

表-3に試験水の重金属等の濃度の分析結果を示す。

まず、pHは初期値9.3が通水1回目で8.3と管理値以内となった。通水1回目でpHが減少する原因は本実験で未解明であるが、乾燥状態の植物繊維へ初回の通水時に試験水が浸透し接触したことで試験水中の水酸基が植物繊維の表面に吸着することでpHが減少したと考えられる。また、pHの減少は大気中の二酸化炭素が試験水と接触して中和¹²⁾ されることで生じたことも考えられる。

次に、六価クロムの初期濃度0.096 mg/Lは通水20回目に0.041 mg/Lと管理値以下となった。砒素の初期濃度0.041 mg/Lは通水20回目に0.046 mg/Lであった。セレンの初期濃度0.115 mg/Lは通水20回目に0.111 mg/L、フッ素の初期濃度7.4 mg/Lは通水20回目に7.0 mg/L、ホウ素の初期濃度6.15 mg/Lは通水20回目に5.95 mg/Lと濃度が減少した。なお、総水銀、鉛、鉄、溶解性鉄の濃度は定量下限値未満であった。

今回の実験で対象とした元素は陰イオンである。試験水がアルカリ性の場合、水中の物質表面の電荷はマイナ

スが卓越する¹³⁾。そのため、植物繊維に陰イオンが吸着しづらい環境となり、濃度の変化が小さかったことが考えられる。

一方、六価クロムの濃度の変化は他の元素より大きかった。水中に陽イオンや有機物が存在すると六価クロムはそれらを酸化させて安定した三価クロムとなる^{14, 15, 16)}。このことが六価クロムの濃度を減少させた理由のひとつと考えられる。

b) 植物繊維の重金属等の含有量

表-4に植物繊維の重金属等の含有量の分析結果を示す。まず、総クロムの含有量は9.3 mg/kgから7.3 mg/kg、鉛の含有量は0.4 mg/kgから0.3 mg/kgと減少した。これらの元素が減少した理由は本実験で未解明であるが、植物繊維が本来含有していたものが通水によって溶出したことが理由のひとつと考えられる。

次に、砒素の含有量は0.1 mg/kg未満から0.1 mg/kg、セレンの含有量は0.1 mg/kg未満から0.6 mg/kg、フッ素の含有量は20 mg/kg未満から28 mg/kg、ホウ素の含有量は3.1 mg/kgから30.8 mg/kgに増加した。砒素以外の元素は試験水中の濃度が減少した元素に対応する。すなわち、試験水中の濃度が減少した元素は植物繊維に吸着したことが考えられる。

以上のことから、アルカリ性の水に含まれる六価クロム、セレン、フッ素、ホウ素の浄化に植物繊維を適用することで濃度を減少させ、これらの元素を植物繊維に吸着できることを含有量の分析結果から確認した。

表-5 現場での循環通水実験による試験水の濃度の分析結果

ケース	分析項目	初期値	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	管理値
1	pH	9.0	7.6	7.5	7.6	7.5	7.6	7.6	5.8~8.6
	六価クロム (mg/L)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.05以下
	砒素 (mg/L)	0.028	0.011	0.005	0.004	0.002	0.002	0.001	0.01以下
	フッ素 (mg/L)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.8以下
	鉄 (mg/L)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	—
2	pH	9.0	7.8	7.9	7.8	7.7	7.7	7.7	5.8~8.6
	六価クロム (mg/L)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.05以下
	砒素 (mg/L)	0.028	0.026	0.013	0.010	0.005	0.002	0.002	0.01以下
	フッ素 (mg/L)	0.2	0.2	0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.1	0.8以下
	鉄 (mg/L)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	—

(3) 現場での循環通水実験の結果

表-5に試験水の重金属等の濃度の分析結果を示す。

ケース1の結果、pHは初期値9.0が循環2回目で7.6と管理値以内となった。このpHが減少する原因は室内でのアルカリ性の試験水による通水実験の結果と同様に、乾燥状態の植物繊維へ初回の通水時に試験水が浸透し接触したことで試験水中の水酸基が植物繊維の表面に吸着したこと、また、試験水が大気中の二酸化炭素と接触して中和¹²⁾されたことで生じたと考えられる。

次に、砒素の初期濃度0.028 mg/Lは循環3日目に0.005 mg/Lと管理値以下となった。フッ素の濃度に大きな変化は確認できなかったが初期濃度と実験終了時の濃度は管理値以下であった。また、鉄の濃度は全て定量下限値未満であった。

ケース2の結果、pHは初期値9.0が循環2回目で7.8と管理値以内となった。このpHが減少する原因はケース1と同様と考えられる。

次に、砒素の初期濃度0.028 mg/Lは循環4日目に0.010 mg/Lと管理値以下となった。また、フッ素の濃度に大きな変化は確認できなかったが、初期濃度と実験終了時の濃度は管理値以下であった。

ここで、砒素の初期濃度0.028 mg/Lは、ケース1で循環3日目に0.005 mg/Lと約82%減少し、ケース2で循環3日目に0.013 mg/Lと約54%減少した。ケース2の植物繊維の敷設量はケース1の2倍のため、ケース1よりも減少割合の大きいことが想定された。しかし、ケース2において、仮設排水管内に2重で敷設した際、植物繊維の端の一部で浮き上がりが生じ試験水と接触しない部分があったこと、植物繊維と植物繊維との境界で滑りが生じ上部の植物繊維が流れる方向へ偏りが生じた。このような試験水と接触しない部分が多く生じたことから、濃度の減少割合がケース1よりも小さくなったと考えられる。このため、水路勾配を緩くする、または、植物繊維を固定するなどの対応が求められるが、植物繊維1枚でも濃度が0.028 mg/L程度であれば、およそ3日で管理値以下の濃度に減少できることがわかった。

(4) 植物繊維による浄化の効果と適用性

a) 室内実験と現場実験の比較

本実験でのアルカリ性の試験水による室内と現場での実験の結果、対象にできた共通の元素は砒素とフッ素であった。まず、フッ素は、室内実験で植物繊維の含有量の増加を確認したが、試験水の濃度の減少は明瞭に確認できなかった。このため、アルカリ性の水に含まれるフッ素の浄化に植物繊維の適用は難しいことがわかった。

次に、砒素は、室内実験での濃度の減少、植物繊維の含有量の増加は確認できなかった。しかし、現場実験では前節のとおり、ケース1で循環3日目に初期濃度を約82%減少させた。この理由は、総通水時間が室内実験で2.7時間、現場実験では168時間と、試験水と植物繊維の接触時間が異なることが考えられる。そのため、砒素の浄化に植物繊維を適用する場合、試験水と植物繊維の接触時間を、より多くすることが浄化に有効になる場合があることがわかった。

b) 試験水の植物繊維による砒素の濃度低下可能量

現場での浄化実験の結果、前述のとおり、ケース1で循環3日目に初期濃度を約82%減少させた。そこで、実験3日目までの濃度低下量をもとに、植物繊維の単位面積当たり・日当たりの砒素の濃度低下可能量を求めた。

まず、試験水の砒素の濃度低下量は0.023 mg/L (=初期濃度0.028 mg/L-3日目の分析濃度0.005 mg/L) である。この値を実験時の面積と日数で割って植物繊維の単位面積当たり・日当たりの砒素の濃度低下可能量を求めると0.002 mg/L・m²・日 (=0.023 mg÷3日÷5m²) となる。

この値が現場での仮設排水管用して砒素を浄化するための参考値になると考えられる。ただし、仮置き土から浸出する重金属等の濃度や水量は、溶出源となる岩種や土砂の特性によって違いがあること、pHや気象条件等によっても違いがあることに留意が必要である。

4. まとめと今後の課題

本実験の結果、得られた主な知見は次のとおりである。

- 1) 室内での酸性の試験水による通水実験の結果、鉛、砒素、セレン、フッ素、ホウ素の濃度が減少した。特に砒素の初期濃度 3.24 mg/L は通水20回目に 0.703 mg/L と減少し、植物繊維の砒素の含有量は 0.1 mg/kg 未満から 124 mg/kg に増加した。
 - 2) 室内でのアルカリ性の試験水による通水実験の結果、砒素の濃度に変化はみられなかった。セレン、フッ素、ホウ素の濃度はやや減少したが、六価クロムは初期濃度 0.096 mg/L が通水20回目に 0.041 mg/L に減少した。このうち、植物繊維の砒素を除いた元素は含有量が増加した。
 - 3) 酸性とアルカリ性での植物繊維による濃度の減少や吸着の違いを整理すると、まず、酸性では、水中に鉄が溶存する場合、特に砒素は鉄との化合物の生成に伴い共沈することで砒素の濃度も減少すると考えられた。また、アルカリ性の場合、水中の植物繊維の表面の電荷はマイナスが卓越し、本実験で対象とした陰イオン元素は植物繊維に吸着しづらい環境にあることから、濃度の減少が少なかったと考えられる。ただし、水中の元素の種類や、pHが変化する環境など、個々の条件により各元素の濃度の減少や傾向は異なる。
 - 4) 現場でのアルカリ性の試験水による循環通水実験の結果、砒素の初期濃度 0.028 mg/L は循環3日目に 0.005 mg/L と約82%減少した。また、本実験の条件で、植物繊維の単位面積当たり・日当たりの砒素の濃度低下可能性を求めた結果、 $0.002\text{ mg/L}\cdot\text{m}^2\text{日}$ であった。この値が本実験条件に類似した現場での仮設排水管を用いた水中の砒素を浄化する際の参考値になると考えられる。
 - 5) アルカリ性の試験水による室内と現場の実験結果を砒素について比較すると、室内実験では濃度の減少、植物繊維の含有量の増加を確認できなかった。しかし、現場実験では循環3日目に初期濃度を約82%減少させた。この違いの原因は、試験水と植物繊維の接触時間が異なることが考えられ、砒素の浄化に植物繊維を適用する場合、試験水と植物繊維の接触時間を、より多くすることで浄化できる場合があることがわかった。
- 今後は、より多種類の重金属等を含むアルカリ性の排水や浸出水を対象に、現場での浄化の適用性や効果を明らかにするとともに、さらに浄化に適した設備や方法についても検討したい。

謝辞：本実験にご協力を賜った国土交通省北海道開発局、壮瞥町の関係各位に深謝致します。

参考文献

- 1) 国土交通省：グリーンインフラ推進戦略2023，23p，2023.
- 2) 岡崎健治，倉橋稔幸，榊原正幸：植物繊維を用いた重金属類を含む排水の浄化事例について，第66回(2022年度)北海道開発技術研究発表会，管16(道)，2023.
- 3) 片野未咲子，梅澤史人，木山修一，吉成伸一，前田秀一：ハンセン溶解度パラメータと浸漬仕事を指標としたカポック繊維への機能性材料内包方法の最適化，日本画像学会誌，第56巻，第5巻，pp.497-501，2017.
- 4) 鈴木洋行：各種天然素材繊維の開発，繊維と工業，第60巻，第1号，pp.3-6，2014.
- 5) Nurfitri Abdul Gafur, Mohamad Jahja, Saitoh Akira, and Hiromichi Takebe, Treated Kapok Fiber (Ceiba Pentandra) as Mercury absorbent, Proceeding of International Conference of Transdisciplinary research on Environment Problem in Southeastern Asia 2014, pp.68-71, 2014.
- 6) Nurfitri Abdul Gafur, Masayuki Sakakibara and Mohamad Jahja, Ability of treated kapok (Ceiba pentandra) fiber for removal of clay particle from water turbidity, 2nd Transdisciplinary Research on Environmental Problems in Southeast Asia, *Earth and Environmental Science*, 71 012017, doi : 10.1088/1755-1315/71/1/012017, 6p., 2017.
- 7) Yian Zheng, Jintao Wang, Yongfeng Zhu, and Aiqin Wang, Research and application of kapok fiber as an absorbing material, *J. Environ. Sci.*, Doi.org/10.1016/j., 2015.
- 8) 環境省：土壤汚染対策法に基づく告示，土壤溶出量調査に係る測定方法，<https://www.env.go.jp/water/dojo/law/kaisei/2009.html> (2025年12月15日確認)。
- 9) 環境省：土壤汚染対策法に基づく告示，土壤含有量調査に係る測定方法，<https://www.env.go.jp/water/dojo/law/kaisei/2009.html> (2025年12月15日確認)。
- 10) 竹野直人：Eh-pH 図アトラス熱力学データベースの相互比較，産業技術総合研究所地質調査総合センター研究資料集，No.419，287p.，2005.
- 11) 島田允堯：自然由来重金属と環境汚染-応用地質学・地球化学的データバンク，愛智出版，240p.，2014.
- 12) 青木卓也，五十嵐俊文，飯尾佳浩，西尾英明：大気中二酸化炭素の溶解によるアルカリ性トンネル排水のpH低減、応用地質、第51巻、第5号、pp.220-228、2010.
- 13) 魚崎浩平：色々な界面—その電気的性質 2. 個体/液体界面の構造と電気的性質、電気化学および工業物理化学、第54巻、第7号、pp.538-542、1986.
- 14) 環境省：化学物質の環境リスク評価、第10巻、[2]六価クロム化合物、2012.
- 15) 松田 強：改良土の六価クロム溶出試験、住品協だより、第24巻、pp.15-18、2023.
- 16) 宇賀神尊信：セメントに含まれる微量成分の環境への影響、コンクリート工学、第39巻、第4号、pp.14-19、2001.