

植物の浄化機能を活用した重金属類の合理的な対策に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 25～平 27

担当チーム：防災地質チーム

研究担当者：倉橋 稔幸、岡崎 健治、
田本 修一、山崎 秀策

【要旨】

本研究では、植物（カヤツリグサ科マツバイ：以下、マツバイ）を用いて、貯水槽ならびに人工水路を使用した重金属等の吸収効果を確認するための浄化実験を行った。貯水槽による浄化実験の結果、浸出水のセレン濃度は0.039mg/Lから90日で0.002mg/Lに減少し、マツバイへの吸収も確認した。本実験条件におけるマツバイのセレン吸収速度は0.4～1.7mg/kg/日であった。また、人工水路による浄化実験の結果、試験水のヒ素濃度を低下させることを確認し、マツバイへのヒ素の吸収量は4.16mg/kg～105.0mg/kgであった。あわせて、人工水路からの蒸発散によって、浸出水自体を41～64%に低減させる効果を確認した。

キーワード：植物浄化、浸出水、重金属等、セレン、ヒ素

1. はじめに

道路建設事業では、ヒ素、鉛、セレン等の重金属を含む掘削土や岩石ズリが発生する場合がある¹⁾。掘削土や岩石ズリが一時的に仮置きされる場合があり、仮置き期間中の降雨等により、環境基準値または排水基準値を超える重金属等を含む排水や浸出水が発生することがある。

「建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル（暫定版）」²⁾では、排水や浸出水の対策方法のひとつとして、浸出水処理を挙げている（図-1）。この方法は、仮置きした掘削土や岩石ズリから浸出した重金属等を含む水を適切に処理するための方法として示されており、環境基準値または排水基準値を超過する自然由来の重金属等が溶出する場合、周辺環境の保護や事業コストの

観点から、適切な試験と評価が求められている。

近年では、カヤツリグサ科マツバイ（以下、マツバイ）等の植物を用いた環境汚染修復技術であるファイトレメディエーション（phytoremediation）による重金属吸収効果が注目されている^{3～9)}。

この技術は、他の環境汚染修復技術と比較して、気象条件に影響を受ける、植物の根圏の範囲しか汚染修復できない、植物の生育に時間がかかるなどの短所はあるが、低コスト、低エネルギー、環境調和型であるなどの長所がある。また、マツバイは、北海道から沖縄まで全国各地の池、ため池、水田などに群生する多年草の植物であり、根を増やすことで繁殖する。マツバイは、多種類の重金属等に対して耐性があり、多種類の重金属等を同時に吸収蓄積できる。しかし、マツバイの浄化機能を活用した重金属対策は、土木事業での適用例が少なく実用的な対策手法として確立されていない。

そこで、本研究では、土木事業におけるマツバイの浄化機能を活用した自然由来重金属対策を確立させるため、マツバイを貯水槽や人工水路に植栽し、セレンを含む浸出水やヒ素を含む河川水と鉱山廃水を対象とした浄化実験を実施した。

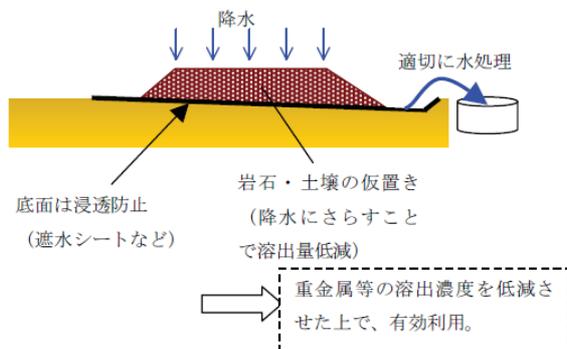


図-1 浸出水処理の概要図²⁾

2. 研究方法

2.1 浸出水と排水の実態調査

事業実施中の8トンネルにおいて、その掘削ズリ

から溶出する浸出水または排水に含まれる重金属種と対策方法を調べた。また、供用中の6トンネルから浸出水と排水を採水し、pHと重金属種を調べた。

2. 2 貯水槽での浄化実験

2. 2. 1 実験概要

本実験では、北海道のトンネル現場に設置された開放系の貯水槽内でマツバイを浮かべて、セレンを含む浸出水とマツバイを定期的に採集し、それらに含まれるセレン濃度の変化を測定した。

浸出水は、仮置き場に保管された新第三紀の泥岩から降雨の浸透によって溶出したものであり、トンネル事業者により貯水槽へ移動された。実験では、空のペットボトルを装着した複数の容器に総量26.8kgのマツバイを入れ、貯水槽内で浮かばせるフローティング栽培法^{3~5)}を行った(写真-1)。

貯水槽の浸出水とマツバイを実験開始時、10日、20日、30日、60日および90日目(実験終了時)に採取した。マツバイは、各採取時に10gを3試料ずつ採集した。各採取時に浸出水のpH、ECおよび貯水槽の水量を測定した。試験期間における総雨量は800mm(30日目まで163mm、60日目まで612mm)であった。

2. 2. 2 分析方法

浸出水のセレン濃度は、濾過後に1%濃度となるよう硝酸を添加保管後、ICP-MS法で分析した。また、マツバイに含まれるセレンについては、前処理後にICP-MS法で分析した。前処理では、採集したマツバイを超純水で十分に洗浄し、乾燥器により80

°Cで2日間乾燥させて微粉末にした。次に、粉末試料へ30%過酸化水素、61%硝酸および38%フッ化水素酸を添加して98°Cで蒸発乾固させた。その後、61%硝酸を添加し、再び98°Cで蒸発乾固後、30%硝酸を添加して分析のための溶液とした。

2. 2. 3 セレンの収支

浸出水のセレン減少量とマツバイのセレン吸収量を計算して、セレンの収支を分析した。浸出水のセレン減少量を浸出水のセレン濃度と貯水槽の水量との積として、経過日数別に求めた。また、マツバイのセレン吸収量をマツバイの経過日数別のセレン含有量とマツバイ重量との積として求めた。

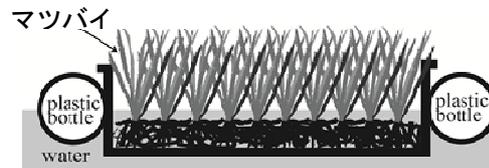
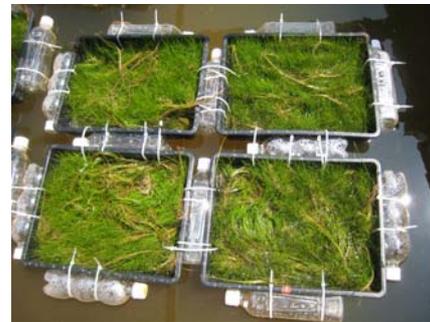
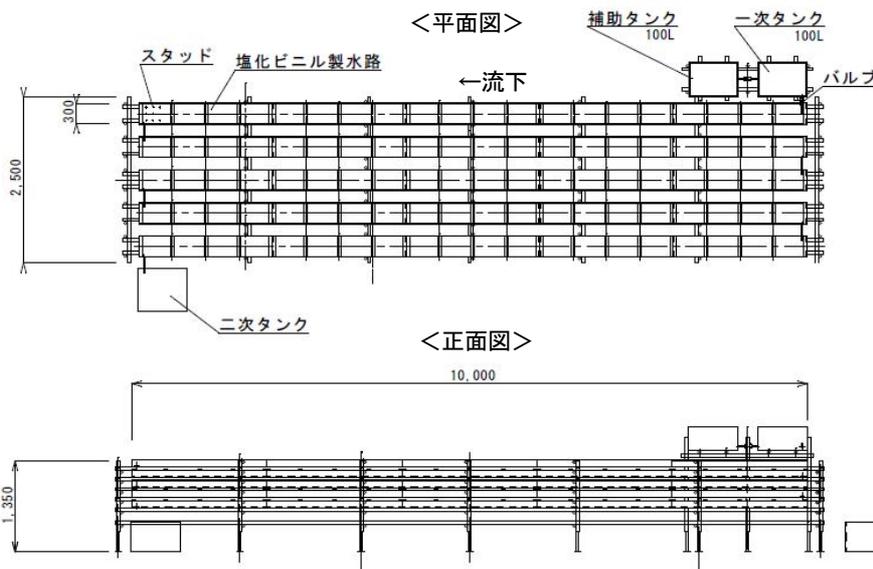


写真-1 貯水槽内に設置したマツバイの状況



人工水路とマツバイの敷設状況

図-2 人工水路の概要図

2. 3 人工水路での浄化実験

2. 3. 1 浄化実験の概要

本実験では、人工水路(図-2)にマツバイを敷設し、ヒ素を含む試験水を一次タンクから50m流下させ、二次タンクで浸出水を回収し、ヒ素の濃度を分析した。人工水路は、塩ビ製で、幅30cm、長さ10mの水路を5列で連結し、総延長50mで導水勾配は0.5%である。試験水は、北海道札幌市の温泉近傍の河川水、北海道壮瞥町の休止鉱山からの廃水の2種類を対象として、それぞれの試験ごとにマツバイを交換した。

マツバイは、実験開始時と100L流下させるごとに、0m地点、25m地点および50m地点から50gを採取した。その後、マツバイの水分を拭き取り湿潤重量を測定した。人工水路に敷設した全マツバイの湿潤重量は、河川水の実験で54.5kg、鉱山廃水の実験で49.3kgであった。なお、河川水のヒ素濃度は0.234mg/Lと排水基準の約2倍であり、ヒ素は河床の岩盤から湧出する温泉水等に恒常的に含まれていた¹⁰⁾。また、鉱山廃水のヒ素濃度は7.45mg/Lと排水基準の約75倍であり、ヒ素は鉱石に含まれる黄鉄鉱が酸化分解することで溶出していた¹¹⁾。

1) 河川水の実験

河川水の実験では2日間で300Lを3回に分けて流下させた。流下速度は0.4~0.6L/分とした。試験水は、実験開始時と100L流下させるごとに流末部の50m地点で浸出水50mlを5回採水した。また、実験開始時と各採水時に気温、水温、pHおよびECを測定した。

2) 鉱山廃水の実験

鉱山廃水の実験では2日間で200Lの試験水を2回に分けて流入させた。流下速度は0.4~0.6L/分とした。試験水は、実験開始時と100L流入させるごとに流末部の50m地点で浸出水50mlを5回採水した。また、実験開始時と各採水時に気温、水温、pHおよびECを測定した。

2. 3. 2 分析方法

浸出水のヒ素濃度、マツバイのヒ素の分析方法は、貯水槽による浄化実験と同様である。なお、分析用に採取した全マツバイの湿潤重量1,050.6gは、乾燥後に195.7gと19%に減少した。

2. 3. 3 ヒ素の収支

河川水と鉱山廃水におけるヒ素の総量とマツバイが吸収したヒ素の吸収量との収支を分析した。

ヒ素の総量は、試験水の初期ヒ素濃度と流下させ

た総水量との積とした。また、マツバイのヒ素の吸収量は、ヒ素の総量から、各流下後における浸出水量とヒ素濃度の積和を引いた値として求めた。

2. 3. 4 蒸発散量の測定

人工水路やマツバイからの蒸発散量を測定するため、マツバイを湿潤重量で68.6kgを敷設し、500Lの水道水を5日間で5回に分けて人工水路に流下させた。流下速度は0.4~0.6L/分とした。なお、河川水と鉱山廃水による実験は、平均気温が25℃以上の7月下旬~8月上旬に実施したが、本実験は、平均気温が15℃以下の10月上旬に実施した。これらの結果をもとに、人工水路やマツバイからの蒸発散量を、実験の実施時期の平均気温の違いに応じて分析した。

また、マツバイを敷設しない状態でも水道水を100L流下させて水路に残存する水量を確認した。

3. 研究結果

3. 1 排水の実態調査結果

表-1に事業実施中の8トンネルにおける掘削ズリからの溶出が問題となる重金属種と対策方法を示す。トンネルの主な地質は、熱水変質を受けた火砕岩が1トンネル、その他の7トンネルは海成の堆積岩類である。溶出が問題となる重金属種は、主にヒ素であるが、その他にセレンの処理が課題となっている。これらを含む掘削ズリは、恒久対策として、盛土や廃トンネルへ密閉されていることがわかった。一方、表-2に供用後の6トンネルからの排水に含まれるpHおよび重金属種を示す。pHは3.5~8.9であり、排水基準の範囲から外れる値を示すトンネルもあった。ヒ素、セレンおよび鉛の分析の結果、一部のトンネルでは、ヒ素、セレンが排水基準を超過することがあった。

3. 2 貯水槽での浄化実験結果

3. 2. 1 セレン濃度の変化

表-3に試験結果を示す。マツバイのセレン含有量は10日目で4.2mg/kgであり、90日目に7.2mg/kgと増加した。ただし、60日目に10.2mg/kgを示した。ここで、本実験条件による湿潤状態でのマツバイの吸収速度である日当たりのセレン吸収量を求めると0.4~1.7mg/kg/日となった。一方、浸出水のセレン濃度は、実験開始時(初期値)に0.039mg/Lであるが、90日目に0.002mg/Lを示し、経過日数の増加に応じて低下した。また、浸出水のpHは6.2~6.9、ECは55.6~89.8(mS/m)を示し、実験期間中に大きな変化はなかった。貯水槽の水量は、実験開始時に9.0

表一 事業実施中のトンネルにおける掘削ズリからの溶出が問題となる重金属種と対策方法

No.	延長(m)	関連地質	重金属類				恒久対策
			ヒ素	セレン	鉛	ホウ素	
1	4,686	海成堆積岩	●		●		盛土に密閉
2	4,460	海成堆積岩	●	●		●	盛土に密閉
3	2,995	熱水変質火砕岩		●			廃トンネルに密閉
4	2,928	海成堆積岩	●				盛土に密閉
5	2,699	海成堆積岩	●	●			盛土に密閉
6	520	海成堆積岩	●				盛土に密閉
7	347	海成堆積岩	●				盛土に密閉
8	145	海成堆積岩	●				盛土に密閉

表二 供用中のトンネルの排水に含まれる pH および重金属種

分析項目	A	B	C	D	E	F
pH	7.3	7.4	5.9	8.9	8.2	3.5
ヒ素 (mg/L)	<0.005	<0.005	0.042	0.04	0.015	0.135
セレン (mg/L)	<0.002	<0.002	0.002	0.103	0.035	<0.03
鉛 (mg/L)	<0.005	<0.005	<0.005	<0.01	<0.01	<0.01

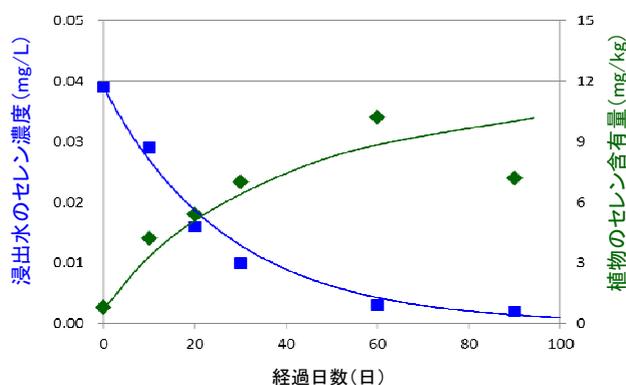
表三 貯水槽による現場浄化実験の結果

採取回数	経過日数	浸出水					マツバイ		貯水槽	
		pH	EC (mS/m)	セレン濃度 (mg/L)	セレン総量 (mg)	セレン減少量 (mg)	セレン含有量 (mg/kg)	セレン吸収量 (mg)	水量 (m³)	増減 (m³)
1	0	6.9	87.1	0.039	351.0	—	0.8	—	9.0	
2	10	6.6	89.8	0.029	263.9	87.1	4.2	91.1	9.1	0.1
3	20	6.5	78.5	0.016	171.2	179.8	5.4	123.3	10.7	1.6
4	30	6.2	79.7	0.010	116.0	235.0	7.0	166.2	11.6	0.9
5	60	6.5	61.2	0.003	33.6	317.4	10.2	251.9	11.2	-0.4
6	90	6.2	55.6	0.002	24.4	326.6	7.2	171.5	12.2	1.0

m³であり、60日目に水量が一時低下したが、90日目に12.2 m³と増加した。今回の実験期間中に、気温と湿度を測定していないが、降雨と蒸発の影響によって水量に増減が生じたと考えられる。

3. 2. 2 セレンの収支の検討

浸出水のセレン総量は、試験開始時に351.0mgであったが90日目に24.4mgまで低下した。セレン減少量は、試験開始から10日目で87.1mgであり、90日目で326.6mgとなった。マツバイのセレン吸収量は、10日目で8.8mgを示し、60日目に21.4mgと最も高い値を示した。それと同時にマツバイのセレン濃度も10.2mg/kgと高い値を示した。しかし、90日目にはマツバイのセレン吸収量は15.1mgに減少した。これは、浸出水のセレン減少量326.6mgの約5%に相当する。このように、セレンの収支は一致していない。この原因は、マツバイの体内でセレンがメチル化して気化¹²⁾した可能性が考えられる。そのため、今後、マツバイから蒸散された水蒸気を回収し、そのセレン濃度を分析する必要がある。



図三 貯水槽の浄化実験によるセレンの収支

3. 3 人工水路での浄化実験結果

3. 3. 1 ヒ素濃度の変化

1) 河川水のヒ素濃度の変化

表一4 に河川水の試験結果を示す。試験水は、初期濃度0.234mg/Lから流下回数に応じて0.045mg/L、0.133mg/L、0.249mg/Lに変化し、マツバイは、ヒ素の濃度を低下させることが可能であることを確認し

た。ただし、3回目の試験結果が0.249mg/Lと初期濃度と同等になったことから、今回の試験条件では、マツバイによるヒ素の吸収蓄積能力に限界があるといえる。なお、試験水のpHは6.7~7.9とほぼ中性であり、ECは0.38~0.90mS/mであった。水質にあまり変化はなかった。

また、マツバイのヒ素の吸収量は、試験水の流入回数に応じて初期値から増加した。0m地点で最も多く、25m地点、50m地点の順に少なくなることを確認した。マツバイのヒ素の最大吸収量は、0m地点における3回目の試験水の流入後に4.16mg/kgであった。このため、25m地点や50m地点では、マツバイにヒ素を吸収する能力に余力を残していると考えられる。

2) 鉱山廃水のヒ素濃度の変化

表-5に鉱山廃水による試験結果を示す。初期濃度7.45mg/Lは、流入回数に応じて1.62mg/L、3.12mg/Lに変化した。河川水の濃度と比べて、概ね10倍の違いがあるが、ヒ素の濃度を低下させることが可能であることを確認した。また、試験水のpHは2.0~3.8、ECは3.7~5.0mS/mであった。

また、マツバイのヒ素の吸収量は、試験水の流下回数に応じて初期値から増加した。また、試験水の流下回数に応じて0m地点で最も多く、25m地点、50m地点の順に少なくなることを確認した。マツバイのヒ素の最大吸収量は、0m地点における2回目の試験水の流入後に105mg/kgであった。このため、

25m地点や50m地点では、マツバイにヒ素を吸収蓄積する能力に余力を残していると考えられる。

以上のことから、マツバイはヒ素を吸収する能力を有することが分かった、しかし、限界を有すると考えられることから、より効率的に吸収させる条件について、今後検討する必要がある。

3. 3. 2 ヒ素の収支の解析

1) 河川水のヒ素の収支

河川水におけるヒ素の総量ならびにマツバイのヒ素の吸収量は、次のとおりである。

$$\begin{aligned} & \text{河川水におけるヒ素の総量} \\ & = \text{初期濃度 } 0.234\text{mg/L} \times \text{流入総量 } 300\text{L} \\ & = 70.2\text{mg} \\ & \text{マツバイのヒ素の吸収量} \\ & = 1 \text{ 回目のヒ素濃度 } 0.045\text{mg/L} \times \text{浸出水量 } 8.9\text{L} + \\ & \quad 2 \text{ 回目のヒ素濃度 } 0.133\text{mg/L} \times \text{浸出水量 } 66.8\text{L} + \\ & \quad 3 \text{ 回目のヒ素濃度 } 0.249\text{mg/L} \times \text{浸出水量 } 32.8\text{L} \\ & = 17.5\text{mg} \end{aligned}$$

すなわち、ヒ素の総量は70.2mgから17.5mgに減少した。この差は52.7mgであり、試験水に含まれるヒ素の総量のおよそ75%に相当する。

2) 鉱山廃水のヒ素の収支

鉱山廃水におけるヒ素の総量ならびにマツバイのヒ素の吸収量は、次のとおりである。

$$\begin{aligned} & \text{鉱山廃水におけるヒ素の総量} \\ & = \text{初期濃度 } 7.45\text{mg/L} \times \text{流入総量 } 200\text{L} \\ & = 1,490\text{mg} \end{aligned}$$

表-4 河川水による試験結果

流入回数	試験水(*:実験開始時/実験終了時 - :未計測)							マツバイ		
	ヒ素濃度(mg/L)	気温*(°C)	水温*(°C)	pH*	EC*(mS/m)	流入時間(時間)	水量*(L)	ヒ素含有量(mg/kg)		
								0m地点	25m地点	50m地点
初期	0.234	-						0.14	0.07	0.12
1	0.045	24.6/31.9	26.2/31.0	7.51/6.72	0.52/0.38	2.5	100/8.9	0.87	0.41	0.15
2	0.133	31.9/30.4	31.9/34.5	7.57/7.87	0.64/0.63	4.5	100/66.8	1.01	0.71	0.31
3	0.249	27.5/ -	31.0/26.5	7.50/7.52	0.70/0.90	4.5	100/32.8	4.16	2.46	1.10
合計	-	-	-	-	-	11.5	108.5	-	-	-

表-5 鉱山廃水による試験結果

流入回数	試験水(*:実験開始時/実験終了時)							マツバイ		
	ヒ素濃度(mg/L)	気温*(°C)	水温*(°C)	pH*	EC*(mS/m)	流入時間(時間)	水量*(L)	ヒ素含有量(mg/kg)		
								0m地点	25m地点	50m地点
初期	7.45	-						0.18	0.06	0.11
1	1.62	28.3/30.3	29.0/32.0	2.06/3.80	3.7/4.2	4.0	100/11.7	88.5	29.6	7.2
2	3.12	28.9/27.9	28.5/37.0	2.04/2.80	4.8/5.0	7.0	100/45.8	105.0	52.8	37.8
合計	-	-	-	-	-	11.0	57.5	-	-	-

マツバイのヒ素の吸収量

$$\begin{aligned} &= 1 \text{ 回目のヒ素濃度 } 1.62\text{mg/L} \times \text{浸出水量 } 11.7\text{L} + \\ & 2 \text{ 回目のヒ素濃度 } 3.12\text{mg/L} \times \text{浸出水量 } 45.8\text{L} \\ &= 162\text{mg} \end{aligned}$$

すなわち、ヒ素の総量は 1,490mg から 162mg に減少した。この差は 1,328mg であり、試験水に含まれるヒ素の総量のおよそ 89% に相当する。

以上のことから、試算の結果では、流入させた試験水に含まれるヒ素の総量は、75～89% 低下したことになるが、流下後に人工水路内に残存する試験水が 3% あること、マツバイの個体中または表面に付着した水量があることなどから、実際にはマツバイに吸収されないヒ素が人工水路に滞留した試験水中に存在していたと推察される。

3. 3. 3 試験水の蒸発散量

1) 河川水と鉱山廃水による実験時の蒸発散量

河川水の流入量 300L に対する浸出水の総量は、108.5L と約 36% であった。また、鉱山廃水の流入量 200L に対する浸出水の総量は、57.5L と約 29% であり、試験水自体が 64～71% 減少したことになる。ここで、河川水と鉱山廃水による実験は、7 月下旬～8 月上旬に実施しており、気温が 24.6～31.9℃ の範囲であり、平均気温が 25℃ 以上と比較的高かった。ゆえに、人工水路からの蒸発散量が比較的多く、減少の割合も大きい結果になったと考えられる。

2) 水道水による実験時の蒸発散量

水道水の流入量 500L に対する浸出水の総量は、295.0L と約 59% であり (表-6)、試験水自体は 41% 減少した。この実験時の気温は、8.1～16.7℃ の範囲であり、平均気温が 15℃ 以下と比較的低かった。

以上のことから、平均気温が 25℃ 以上の場合では、約 60～70% が減少し、平均気温が 15℃ 以下の場合でも約 40% が減少することがわかった。

3) 蒸発散量

人工水路に敷設したマツバイの単位面積当たり、かつ単位時間当たりの試験水の減少量を試算した。マツバイの敷設面積は全て 15 m²、河川水と鉱山廃水の流下時間の合計は 22.5 時間 (表-4、表-5)、水道水の流下時間の合計は 93.0 時間である (表-6)。

河川水の流入量 300L に対する浸出水の減少量は 191.5L、鉱山廃水の流入量 200L に対する浸出水の減少量は 142.5L で合計 334.0L であった。この水量を 15 m²、さらに 22.5 時間で割ると、マツバイの単位面積当たりかつ単位時間当たりの試験水の減少量は、1.0L/m²・時間と計算される。

一方、水道水の 10 月上旬の実験での減少量は 205.0L である。この水量を 15 m²、さらに 93.0 時間で割ると、マツバイの単位面積当たりかつ単位時間当たりの試験水の減少量は、0.2L/m²・時間と計算される。これらのマツバイの単位面積当たりかつ単位時間当たりの試験水の減少量は、実験時の平均気温によって異なるといえ、平均気温に応じた蒸発散量の目安とすることができる。

以上のことから、人工水路において植物を介し、試験水を蒸散させることができ、試験水自体を減少させることが可能である。また、人工水路を使用することで、マツバイへのヒ素の吸収蓄積と同時に試験水自体をマツバイの蒸散によって減少させるという複合した効果が期待できることがわかった。

4. まとめと今後の課題

本研究の成果は、以下のようにまとめられる。

- 1) 貯水槽による浄化実験の結果、マツバイのセレン含有量は、経過日数に応じて増加した。また、セレン吸収量は 0.4～1.7mg/kg/日であることを明らかにした。
- 2) 人工水路による浄化実験の結果、試験水のヒ素濃度を低下させることを確認した。また、マツバイへのヒ素の吸収量は、試験水の流下回数に応じて増加し、4.16mg/kg～105.0mg/kg であった。
- 3) 水路からの蒸発散量は、気温が概ね 25℃ 以上の場合では約 60～70% が減少し、概ね 16℃ 以下の場合でも約 40% が減少することがわかった。また、今回の実験結果をもとに、単位面積当たり、かつ単位時間当たりの試験水の減少量を試算すると前者で 1.0L/m²・時間、後者では 0.2L/m²・時間であった。この処理方法がマツバイへのヒ素の吸収と同時に蒸発散機能によって試験水自体

表-6 水道水による実験の結果

流入回数	試験水(実験開始時/実験終了時) - : 未計測				
	気温(°C)	湿度(%)	水温(°C)	流入時間(時間)	水量(L)
1	16.7/11.5	41.7/70.7	16.5/10.9	17.0	100/56.2
2	11.5/8.1	64.1/72.1	16.3/9.2	21.0	100/54.4
3	11.3/13.6	58.4/59.0	16.2/12.5	24.0	100/69.0
4	13.6/10.2	59.0/73.7	16.2/10.0	22.0	100/58.5
5	10.2/ -	73.7/ -	16.0/ -	9.0	100/56.9
合計	-	-	-	93.0	295.0

を減少させるという複合した効果が期待できることがわかった。

- 4) 今後は、人工水路内で一定の試験水を循環させた場合の重金属等の濃度低下や排水等の減少量の確認試験、常時排水が流れ込むような実際の現場や気象条件に応じたマツバイのヒ素の浄化効果の確認と特性把握に向けた調査研究を進めていきたい。

謝辞

本実験を進めるにあたり、現地調査にご協力いただいた国土交通省北海道開発局、北海道経済部産業振興局環境エネルギー室ならびに（株）北硫建設の各位に、ここに記して厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 井上豊基・田本修一・伊東佳彦：北海道内における自然由来重金属類の対策事例の現状と課題について、平成23年度北海道開発局技術研究発表会，<http://thesis.ceri.go.jp/db/giken/h23giken/JiyuRonbun/GT-25.pdf>, 2012.
- 2) 建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル検討委員会：建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル（暫定版），pp.72-84，2010.
- 3) 榊原正幸・蔵本 翔・岡崎健治・伊東佳彦・大日向昭彦・竹花大介：セレンに富む残土排水のカヤツリグサ科マツバイによるファイトレメディエーション，第18回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会，pp.225-228，2012.
- 4) 榊原正幸・原田亜紀・佐野 栄・堀 利栄・井上雅裕：マツバイを用いたファイトレメディエーションによる重金属に汚染された水環境の浄化，第12回地下水・土

壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集，pp.545-548，2006.

- 5) 岡崎健治・宍戸政仁・倉橋稔幸・榊原正幸：植物による重金属等を含む排水の現場浄化実験，第51回環境工学研究フォーラム講演集，土木学会，pp.7-8，2014.
- 6) Ha, N. T. H., Sakakibara, M., Sano, S., Hori, R. S. and Sera, K.: The potential of *Eleocharis acicularis* for phytoremediation: case study at an abandoned mine site, *CLEAN - Soil, Air, Water*, Vol.37, pp.203-208, 2009.
- 7) Ha, N. T. H., Sakakibara, M. and Sano, S. : Phytoremediation of Sb, As, Cu and Zn from Contaminated Water by the Aquatic Macrophyte *Eleocharis acicularis*, *CLEAN - Soil, Air, Water*, Vol.37, pp.720-725, 2009.
- 8) Sakakibara, M., Harada, A., Sano, S. and Hori, R. S. : Heavy Metal Tolerance and Accumulation in *Eleocharis acicularis*, a Heavy Metal Hyper Accumulating Aquatic Plant Species, *Geo-pollution Science, Medical Geology and Urban Geology*, Vol.5, pp.1-8, 2009.
- 9) 榊原正幸・彦田真友子・佐野 栄・世良耕一郎：重金属汚染された河川のカヤツリグサ科マツバイによるファイトレメディエーション，第17回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会，pp.225-228，2011.
- 10) 久保田有紀・榊原正幸・佐野 栄：北海道札幌市の定山溪温泉地域における温泉水および周辺の豊平川のヒ素濃度，愛媛大学理学部紀要，Vol.16，pp.7-13，2010.
- 11) 高橋 良・原 淳子・駒井 武・八幡正弘・遠藤祐司：幌別硫黄鉱山地域における砒素や重金属を溶出させる熱水変質岩の地質学的特徴，応用地質，Vol.50, No.4，pp.228-237，2009.
- 12) Terry, N., Carlson, C., Raab, T. K. and Zayed, A., Rates of selenium volatilization among crop species, *Journal of Environmental Quality*, Vol.21, pp.341-344, 1992.

A STUDY ON RATIONAL COUNTERMEASURES OF HEAVY METALS BY THE PHYTOREMEDIATION

Budget : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2013-2015

Research Team : Cold Region Construction

Engineering Research Group

(Geological Hazards)

Author : KURAHASHI Toshiyuki

OKAZAKI Kenji

TAMOTO Shuichi

YAMAZAKI Shusaku

Abstract :

This paper reports the results of heavy metals purification experiment by plants named *Eleocharis acicularis* for the leachate from the tunnel rock muck including selenium, river water and mine water including arsenic. As the results of water storage tank experiment, reduction of selenium concentrations of the leachate were confirmed from 0.039 mg/L to 0.002 mg/L during 90 days. And we also confirmed the reduction of the arsenic concentrations of the leachate by *E. acicularis* in the artificial channel experiment. In addition, the amount of test water was reduced to 41 - 64 % of test water through evapotranspiration from the plants and the artificial channel.

Key words: phytoremediation, leachate, heavy metals, selenium, arsenic.