

## N-6 植物による重金属等を含む排水の 人工水路での浄化実験

○岡崎 健治<sup>1\*</sup>・山崎 秀策<sup>1</sup>・倉橋 稔幸<sup>1</sup>・榊原 正幸<sup>2</sup>

<sup>1</sup>土木研究所寒地土木研究所（〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34）

<sup>2</sup>愛媛大学大学院理工学研究科（〒790-8577 愛媛県松山市文京町2-5）

\* E-mail: 90185@ceri.go.jp

### 1. はじめに

土木事業で発生する掘削土や岩石から基準値を超過する重金属等が溶出する場合、周辺の環境保護や事業費の観点から、その対策に適切な試験と評価が求められる。

「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」<sup>1)</sup>では、対策方法のひとつとして浸出水処理がある。この処理方法は、掘削した岩石・土壌を風雨にさらした状態で仮置きし、浸出水中に溶出する重金属等を適切に処理する方法である。しかし、浸出水の濃度が基準値より高い場合、その処理に多くの費用を要することが課題となっている。これまで筆者らは、基準値以上のセレンを含む浸出水を処理するため、重金属等を吸収する植物を用いた貯水タンク内での現場処理実験を行い、浸出水中のセレン濃度を低減できることを確認した<sup>2)</sup>。本報告では、ヒ素を含む河川水を試料として、重金属等を吸収する植物を人工水路へ設置する方式で浄化の実験を行い、試験水のヒ素濃度の低減効果を確認したので、その結果について述べる。

### 2. 実験方法

#### (1) 実験概要

本実験では、屋外に設置した人工水路に重金属等の集積植物として知られているカヤツリグサ科マツバイ<sup>3)</sup>を並べて試験水を流下させ、浸出水とマツバイを定期的に採集し、それらに含まれるヒ素濃度の変化を測定した。

人工水路は幅30cm、延長50m（10m×5列）、導水勾配0.5%で塩ビ製である。マツバイは各個体の根を相互に繋げるように密集させてマット状に成長させ、幅30cm、長さ60cmに成型したものを人工水路に連続敷設した（写真-1）。試験水は北海道札幌市定山溪温泉の近傍下流の河川から採水した。河川水に含まれるヒ素は、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る<sup>4)</sup>。

実験では2日間で300Lの試験水を0.5L/分で断続的に流下させた。試験水は実験開始時、100L流下ごとに50m地点で50mlを5回採水した。採水後に1%濃度となるよう硝酸を添加した。流末部では浸出水量を測定した。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。一方、マツバイは実験開始時、試験水を100L流下させ、全て流下した後に0m地点、25m地点および50m地点から50g程度を採集した。マツバイは採集後、水分を拭き取り湿潤重量を測定した。なお、人工水路に敷設した全マツバイの湿潤重量は54.5kgである。

#### (2) 分析方法

試験水のヒ素濃度の分析は濾過後、ICP質量分析法（JIS K102 61.4）で行った。試験結果は5回の分析値から上下を除いた値を平均した。一方、マツバイのヒ素含有量は、まず、採集したマツバイを超純水で十分に洗浄後、恒温器により80℃で2日間乾燥させて微粉末にした。次に、粉末試料へ過酸化水素、61%硝酸および38%フッ化水素酸を添加して98℃で蒸発乾固させた後、61%硝酸



写真-1 人工水路と浄化用植物の設置状況

表-1 試験結果

| 流下<br>回数 | 試験水(*:実験開始時と実験終了時の値を示す) |            |            |           |               |              | マツバイ         |       |       |
|----------|-------------------------|------------|------------|-----------|---------------|--------------|--------------|-------|-------|
|          | ヒ素濃度<br>(mg/L)          | 気温*<br>(℃) | 水温*<br>(℃) | pH*       | EC*<br>(mS/m) | 浸出水量*<br>(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     | 100→8.91     | 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     | 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     | 100→32.8     | 4.16         | 2.46  | 1.10  |

を添加し、再び98℃で蒸発乾固させた後に30%硝酸を添加した溶液作成し、濃度の分析と同様にICP質量分析法で分析した。なお、含有量は分取した重量をもとに濃度から変換した。また、採集した全マツバイの湿潤重量653.4gは、乾燥後に110.7gと17%に減量した。

### 3. 実験結果

#### (1) ヒ素濃度の変化

表-1に試験結果を示す。初期濃度0.234mg/L（排水基準値0.1mg/Lの約2倍、環境基準値0.01mg/Lの約23倍）での試験水を0.5L/分で流下させた結果、浸出水のヒ素濃度は流下回数に対して0.045mg/L、0.133mg/L、0.249mg/Lであった。この初期濃度によるマツバイのヒ素の含有能力には限界があるといえるが、ヒ素濃度を低下できることが確認できた。また、浸出水のpHは6.7～7.9の範囲でほぼ中性であり大きな変化はない。ECは0.38～0.90(mS/m)を示し、大きな変化はなかった。

次に、マツバイのヒ素含有量は、試験水の流下回数に応じて増加している。また、ヒ素含有量は、0m地点で多く、50m地点で少ない傾向を確認できる。なお、0m地点における3回目の流下後のヒ素含有量は最大値を示し、4.16mg/kgを確認した。このため、25mや50m地点ではヒ素を含有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、マツバイはヒ素を含有する能力を有しているが、濃度や流下速度によっては、限界があることから、より効率的に蓄積させるための条件について検討する必要があることがわかった。

#### (2) ヒ素の収支

試験水に含まれるヒ素の総量とマツバイが蓄積したヒ素含有量の対応について分析した。ヒ素の総量は初期濃度0.234mg/L×流下量300Lで70.2mgである。マツバイのヒ素含有量は、各流下後の浸出水量×流下後のヒ素濃度の和をヒ素の総量から差し引きした値であり、1回目のヒ素濃度0.045mg/L×1回目の浸出水量8.91L+2回目のヒ素濃度0.133mg/L×2回目の浸出水量66.8L+3回目のヒ素濃度0.249mg/L×3回目の浸出水量32.8L=17.45mgである。

ヒ素の総量70.2mgから17.45mgを引くと52.75mgであり、試験水に含まれるヒ素のおよそ75%を含有していることになる。ただし、各流下後における浸出水量は、流下後に人工水路内に残存している。別途実施したブランク試験では、マツバイのない状態でも人工水路からの試験水の回収率は97%であったことから、実際には、マツバイに蓄積されないヒ素が人工水路に存在することになる。一方、300Lの試験水を流下させた結果、浸出水量（水路に残存する量は未計測）は、108.51L（=8.91+66.8+32.8）であり、およそ36%に減量している。このことは、植物を介して試験水を蒸散させることで、試験水自体を減量することが可能といえる。すなわち、人工水路を用いることで、マツバイへのヒ素の含有と試験水自体の減量という複合した効果が期待できることを確認した。

### 4. まとめと今後の課題

本実験では、重金属等の浄化用植物であるマツバイを人工水路に設置して、ヒ素を含む試験水を流下させた結果、浸出した試験水に含まれるヒ素の濃度が低下し、マツバイにはヒ素が蓄積されていることを確認した。

今後は、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や特性の把握に向けた調査研究を進めていきたい。

### 参考文献

- 1) 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、同検討委員会、pp. 72-84、2010。
- 2) 岡崎健治・穴戸政仁・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、土木学会第51回環境工学研究フォーラム講演集、pp. 7-8、2014。
- 3) 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・土壤汚染とその防止対策に関する研究集会、pp. 225-228、2011。
- 4) 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。