

Pseudomonas stutzeri NT-I 株による不溶化处理土のセレン溶出挙動評価

株式会社ケー・エフ・シー (正)○大塚治,(正)西里亮,(正)奥野稔

芝浦工業大学大学院 理工学研究科 (非)山下光雄

1. 目的

セレン (Se) は主に火山堆積物に含まれている重金属元素であり, 日本では低濃度で広く分布している. このためトンネル工事に伴って発生する掘削ずりには自然由来の Se が含まれることがある. 4 価および 6 価 Se は高い可溶性と毒性を持つことから, 土壤汚染対策法で環境基準値が定められた. 一般的に重金属は無機薬剤を土壤に混ぜ込み不溶化されるが 6 価 Se は薬剤との反応性が低く, 不溶化处理が難しい. 筆者らは 6 価 Se を 0 価 Se まで還元できる微生物 *Pseudomonas stutzeri* NT-I 株を土壤に混合することで, 既存の不溶化工法と同様の施工で土中の可溶性 Se を環境基準値未満まで不溶化できることを報告してきた¹⁾.

一般的に不溶化处理後の土はリスク評価に合った盛土処理等を求められる. リスク評価が適切でないと過大な対応策によって処理せざるを得ないため, 土壤汚染対策費用や工期に負担がかかる. 短期的な溶出挙動の評価として土壤溶出量試験や硫酸・消石灰添加溶出試験法などのバッチ試験, 長期的な溶出挙動評価としては上向流カラム試験が広く実施されている²⁾. これまでに NT-I 株による Se 不溶化处理後の土 (NT-I 株処理土) は短期的な溶出評価はおこなってきたが, 0 価 Se 再溶出リスクなどの長期的な溶出挙動について知見が少ない. そこで長期的な溶出挙動を推定するために上向流カラム試験によって NT-I 株処理土の評価をおこなった.

2. 実験方法

2.1 模擬 6 価 Se 汚染土壌作製と土中 6 価 Se 不溶化試験

掘削ずりを乳棒と乳鉢で碎き, 1mm 以上 2mm 以下となるよう篩分けをした. この掘削ずりにセレン酸ナトリウム水溶液を土壤溶出量が 0.04 mg/L となるように添加し, 72 時間風乾させたものを模擬 6 価 Se 汚染土壌とした. この模擬 6 価 Se 汚染土壌に OD₆₀₀=1.0, pH7.0 の NT-I 株培養液を土壤重量の 10% 添加し, 20°C で静置養生した. NT-I 株培養液を模擬 6 価 Se 汚染土壌に添加してから 0~72 時間目の試験土壌を採取した. 採取した試験土壌は 50°C の恒温器で 2 時間乾燥し, 土壤溶出試験を行った. 対照実験は無菌の TSB 培地を同条件で添加養生し, 同様な土壤溶出試験を行った.

2.2 土壤溶出試験

土壤溶出試験は環境省告示第 18 号に定められた試験方法を一部修正し用いた. 具体的には乾燥した試験土壌を 5.0g 定量し, 50 mL の純水で 6 時間振とう溶出した. 溶出液をフィルターろ過にて模擬汚染土壌を取り除き検液とした. 検液中の各元素濃度を誘導結合プラズマ発光分光分析装置にて定性定量した. 分析を 3 回おこない, 平均値を土壤溶出量とした.

2.3 上向流カラム試験

上向流カラム試験は ISO21268-3 に準じて試験を実施した. 内径 5cm, 高さ 30cm のアクリル製カラムに NT-I 株処理土をを充填した. 土壤の充填は 5 層に分けておこない, 各層を 125g のランマーで突き固めた. 土壤の流出を防ぐため, カラムの上下に不織布を設置した. 定量ポンプにて 1mM CaCl₂ 溶液をカラムに流し 2 日以上静置した. 続いて流量 12mL/h (線速度 6.3mm/h) で 1mM CaCl₂ 溶液をカラムへ導入し, 固液比 0.1~10 でカラムを通過した溶液を採取した. この溶液中の各元素濃度を誘導結合プラズマ発光分光分析装置にて定性定量した. 分析を 3 回おこない, 平均値を溶液中の Se 濃度とした.

キーワード: Selenium, セレン還元微生物, *Pseudomonas stutzeri* NT-I, バイオオーグメンテーション

連絡先 〒347-0010 埼玉県加須市大桑 1 丁目 19 株式会社ケー・エフ・シー加須技術研究所 TEL (0480)76-0095

3. 実験結果および考察

3.1 模擬 6 価 Se 汚染土壌

掘削ずりと模擬 6 価 Se 汚染土壌の土壌溶出量を表 1 に示す. 掘削ずりと比較して顕著に増減する元素が Se 以外に見当たらないため, 作製したこの模擬 6 価 Se 酸汚染土壌を試験に使用した.

表 1 掘削ズリと模擬 6 価 Se 汚染土壌中の溶出量 (単位: mg/L)

	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Pb	Se	Zn
掘削ずり	N.D.	0.13	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	7.7	7.1	N.D.	0.006	N.D.
模擬 6 価 Se 汚染土壌	N.D.	0.13	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	7.4	6.9	N.D.	0.039	N.D.

3.2 6 価 Se の不溶化試験

図 1 に Se 土壌溶出量の経時変化を示す. 対照実験は無菌の TSB 培地を添加養生した未対策では試験開始から 72 時間目まで Se 溶出量は 0.04mg/L から減少することがなかった. 一方で NT-I 株処理の場合, Se 溶出量は時間を経るごとに低減し 72 時間目に溶出量基準値以下の 0.009 mg/L まで低減した. この結果から NT-I 株によって土壌中の 6 価 Se が少なくとも不溶性の 0 価 Se まで還元され, 土壌汚染対策法における環境基準値以下まで不溶化できたと示唆された. 土壌溶出量試験は液固比 10 でのバッチ試験であるため, NT-I 株処理土 1kg に 0.09 mg の可溶性 Se が含まれていると算出できた.

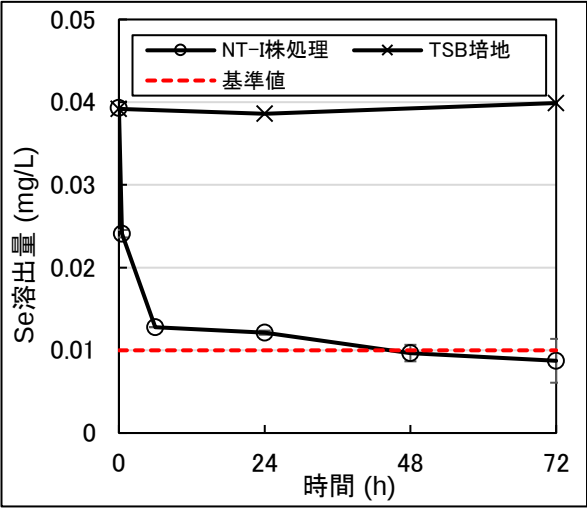


図 1 Se 土壌溶出量の経時変化

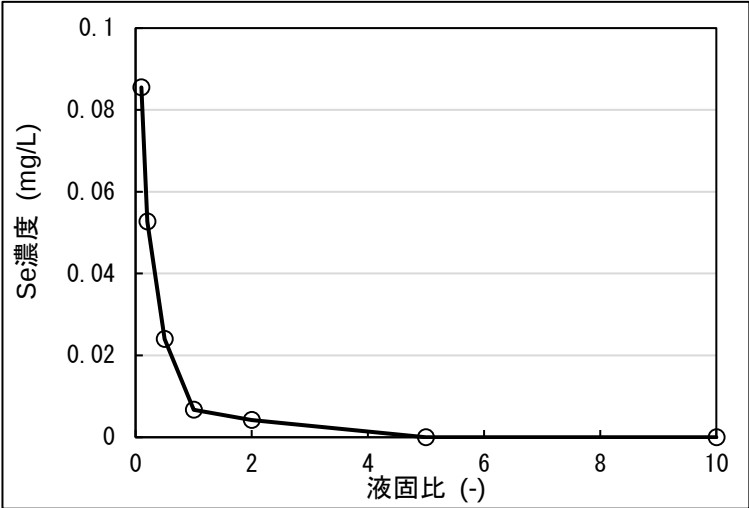


図 2 NT-I 株処理土からの Se 溶出挙動

3.3 上向流カラム試験による NT-I 株処理土からの Se 溶出挙動

次に NT-I 株処理土からの Se 溶出挙動を調べるために上向流カラム試験を実施した.各液固比での Se 濃度を図 2 に示す.NT-I 株処理土からはカラム通水直後の液固比 0.1 で最大濃度である 0.08 mg/L が検出された. 液固比が大きくなるにつれて Se 濃度は減少し液固比 1.0 では 0.01mg/L 未満,それ以降では検出できなかった.NT-I 株処理土 1 kg から溶出した可溶性 Se 量を計算するとカラム試験では 0.05 mg であり,土壌溶出量試験の値を使って算出した可溶性 Se 量よりも少なかった. したがって NT-I 株処理土中に含まれる 0 価 Se は再溶出していないことが示唆された.

4. まとめと考察

本報告で NT-I 株処理土から 0 価 Se は再溶出していないことが示唆された. しかし NT-I 株処理土は通水初期に Se が最大濃度で溶出されることから, 盛土する場合には難透水性の覆土など検討が必要である.

参考文献

1) O. Otsuka *et al.*, Metallomics Research 2(2023)28-39. 1) T. Kato *et al.*, Japanese Geotechnical Society 16(2021)209-220.