

## (S4-24) 不溶化処理土に於ける長期安定性の評価

○森 真菜実<sup>1</sup>・梅田 敦<sup>1</sup>・川上 栄史<sup>2</sup>・松澤 郷至<sup>2</sup>・李 富生<sup>3</sup>・加藤 雅彦<sup>4</sup><sup>1</sup>(株)メイホーエクステック・<sup>2</sup>前田建設工業(株)・<sup>3</sup>岐阜大学・<sup>4</sup>明治大学

## 1. はじめに

土壌汚染対策に基づく調査及び措置に関するガイドライン(平成24年8月改訂版2版)では、汚染の除去などの措置技術として、原位置不溶化処理が挙げられている<sup>1)</sup>。不溶化処理は汚染土壌に不溶化材を添加、混合することで、土壌中の重金属類を難溶性の化学形態に変化させ、溶出量を抑制させる技術である<sup>2)</sup>。この技術を利用した処理は、掘削除去の対策に比べ低コストで、工程の短縮が見込まれることから、面積が広く資産価値の低い土地には有効的であると考えられる。しかし、土壌溶出量基準以下とした不溶化土壌は、土壌溶出量基準に適合する状態になっただけであって、特定有害物質(重金属類)が除去されているわけではないことから、酸性雨等による土壌化学条件変化に伴った長期安定性への懸念が残る。現在、重金属類に対する新たな不溶化材や吸着材の開発、その後の溶出挙動については研究されているが、処理後の長期安定性、すなわち環境変化などの伴う不溶化された重金属類の再溶出性についての研究は限られているのが現状である。そこで新たな不溶化材の開発から実際施工した後の長期安定性までを一貫して評価した。これまでに、現地で発生したヒ素を含む掘削ズリを不溶化処理しそのサンプルを用いて、pH4.97の酸性雨を想定し、5年間透水した状態をカラム試験にて調査し、5年経過後不溶化材の長期安定性は保たれる、すなわちヒ素溶脱濃度が土壌環境基準未満であることを報告した<sup>3)</sup>。本研究では、100年間透水した状態をカラム試験にて調査し、不溶化材の更に長期的な安定性について評価した。

## 2. 試験手法

## 2.1 供試材及び不溶化材添加等

供試材は、ヒ素の不溶化処理済の掘削ズリ(黒色泥岩)を破碎して、粒径0-4.75mm(以下粒径小とする)と、粒径4.75-9.5mm(以下粒径大とする)に篩別し風乾したものをを用いた。なお、不溶化材未添加の掘削ズリも粒径ごとに準備し、対象とした。添加した不溶化材は、鉄系とカルシウム系を主成分とした懸濁状態のものをを用いた。ヒ素の不溶化処理は、不溶化材を掘削ズリの重量比1.1%で混合して行った。

## 2.2 カラム試験

カラムは、内径10.4cm高さ40cmの透明な円筒管を使用した。100年間暴露する降雨(酸性雨)を想定して水道水に硝酸を添加してpH4.97に調整(観測地:名古屋南(国立研究所))して模擬雨水とした。チューブポンプを使用して透水試験を行った。岐阜県美濃加茂市の30年(1981-2010)の年間平均降雨量は、1739.6mm(国土交通省)であることから、年間降水量を1800mmとした。カラム断面積84.9cm<sup>2</sup>より、1年間のカラム面積に対する透水量は15.3Lとした(総透水量1530L/100年)。カラム透水速度を200mm/h、カラム透水量を1.7L/hとした。よって、1年間の再現に必要な実験時間は9時間、100年間の再現に900時間を要した。pH、電気伝導率(EC)、酸化還元電位(ORP)、ヒ素濃度を測定し、透水時間と、相当年数を換算して描き、その結果を累積ヒ素溶脱量として評価した。

風乾した供試材を、4つ秤量した(以下、①不溶化無処理 粒径小 ②不溶化処理 粒径小 ③不溶化無処理 粒径大 ④不溶化処理 粒径大)。カラムに設置する前の供試材のヒ素溶出量を測定して、その値を初期値とした。内径10.4cmの円筒管の底部にフィルターを取り付け、供試材を10cmの高さまで充填した。チューブポンプを使用して模擬雨水を流量1698ml/hに調整して、下方向へ透水させた。透水時間(相当年数)においてヒ素濃度及びpH等の測定を行った。

---

Evaluation on long term stability of arsenic in immobilized soil

Manami Mori<sup>1</sup>, Atsushi Umeda<sup>1</sup>, Eiji Kawakami<sup>2</sup>, Satoshi Matsuzawa<sup>2</sup>, Fusheng Li<sup>3</sup>, Masahiko Katoh<sup>4</sup>

(<sup>1</sup>Meiho Extech Inc., <sup>2</sup>MAEDA CORPORATION, <sup>3</sup>Gifu University, <sup>4</sup>Meiji University)

連絡先: 〒500-8326 岐阜県岐阜市吹上町6-21 (株)メイホーエクステック

TEL 058-253-8808 FAX 058-253-8812 E-mail m\_mori@meihoextech.co.jp

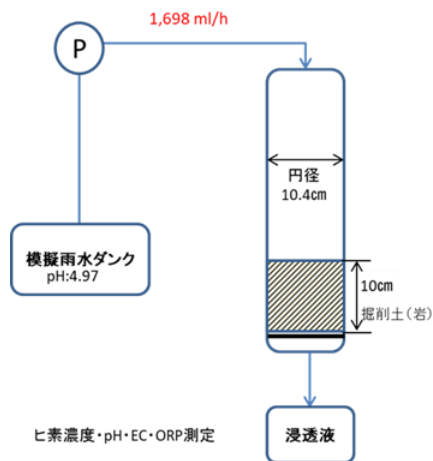


図-1. カラム試験模擬図



写-2. カラム試験

### 3. 結果と考察

#### 3.1 累積液固比と pH

図-2 に累積液固比と pH の関係を示す。酸性雨を想定して pH4.97 に調整した模擬雨水を 1530L (100 年間の降雨量) 透水したところ、②不溶化処理 粒径小が、50 年経過後 (V/S=764.1) の時に pH5.18 まで低下したがその後上昇し、100 年経過後 (V/S=1528.2) には 4 供試材全てが pH5.8~6.5 の範囲を推移した。また、4 供試材とも 100 年間に渡り、5.18~7.0 の範囲でほぼ同様の pH 挙動を示した。特に不溶化処理の有無に関係なく、同じ粒径の供試材 (粒径小の 2 供試材、粒径大の 2 供試材) は、より類似した pH 変化の挙動を示した。したがって、不溶化処理による pH への影響はないと考えられる (図-2)。

#### 3.2 累積液固比と EC

図-3 に累積液固比と EC の関係を示す。透水直後、4 供試材の EC (電気伝導度) は高い値を示した。その後、急激に低下し、3 年経過後 (V/S=45.8) 以降は、10mS/m 以下となり、そのまま安定した。したがって、不溶化処理による EC の大きな変化はないと言える。また、透水直後の②不溶化処理 粒径小と④不溶化処理 粒径大の EC が高い値を示したのは、不溶化処理をしている為、掘削ズリの表面に付着している不溶化材中の無機イオンが流出したためと考えられる (図-3)。

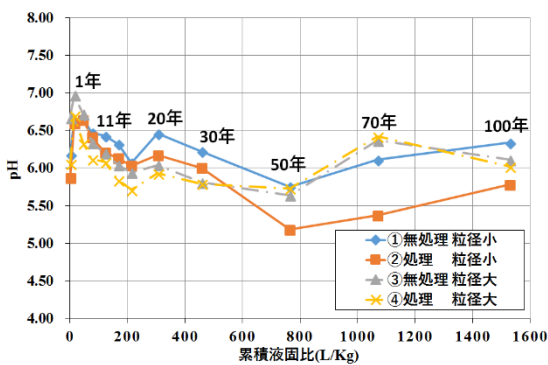


図-2. 累積液固比と pH の関係

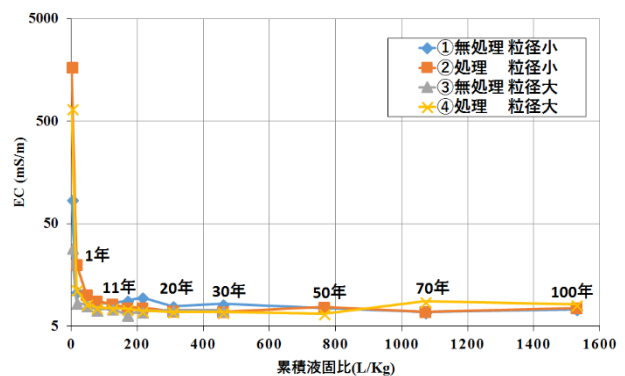


図-3. 累積液固比と EC の関係

### 3.3 累積液固比と ORP

図-4に累積液固比と ORP の関係を示す。不溶化処理をした、②不溶化処理 粒径小と④不溶化処理 粒径大の ORP は、安定して+200mV 以上で推移した。ヒ素は、酸化鉄・水酸化鉄を構成する 3 価の鉄鉱物に保持されるが、鉄イオンが 2 価に還元されると溶出する性質を持つ。ORP の値がプラス側にあることから、不溶化材の主成分である鉄イオンが常に 3 価の状態が存在していると推測される。したがって、不溶化材中の鉄イオンが、保持したヒ素を溶出しにくい状態のまま 100 年間維持できると示唆された (図-4)。

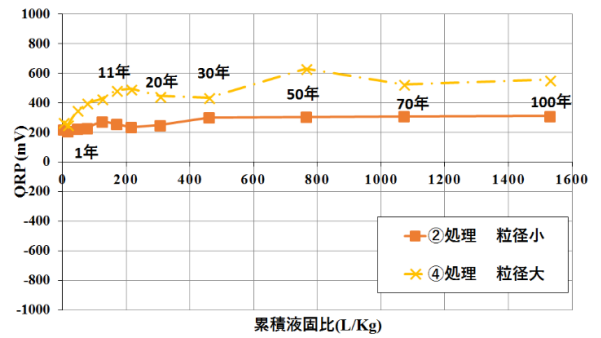


図-4. 累積液固比と ORP の関係

### 3.4 ヒ素溶脱濃度

図-5に累積液固比とヒ素溶脱濃度の関係を示す。11 年経過後 (V/S=168.1) の時、②不溶化処理 粒径小と④不溶化処理 粒径大のヒ素溶濃度が 0~0.0001mg/L であったのに対し、それぞれ①不溶化無処理 粒径小では 5 倍、③不溶化無処理 粒径大では 20 倍のヒ素溶脱濃度であった。その後、100 年経過後 (V/S=1528.2) までは、②不溶化処理 粒径小と④不溶化処理 粒径大のヒ素溶濃度は 0mg/L を維持して推移した (図-5)。

### 3.5 累積ヒ素溶脱量

図-6に累積液固比と累積ヒ素溶脱量の関係を示す。①不溶化無処理 粒径小と③不溶化無処理 粒径大の累積ヒ素溶脱量は、緩やかに増加し続け、100 年経過後 (V/S=1528.2) には、①不溶化無処理 粒径小 0.018mg/kg、③不溶化無処理 粒径大 0.008mg/kg となった。①不溶化無処理 粒径小と③不溶化無処理 粒径大の累積ヒ素溶脱量に 2 倍以上の差があるのは、掘削ブリの粒径の大きさにより接触する表面積が異なるためである。一方、不溶化処理をした②不溶化処理 粒径小と④不溶化処理 粒径大は、100 年経過後 (V/S=1528.2) においても 0.0015mg/kg 以下であった (図-6)。

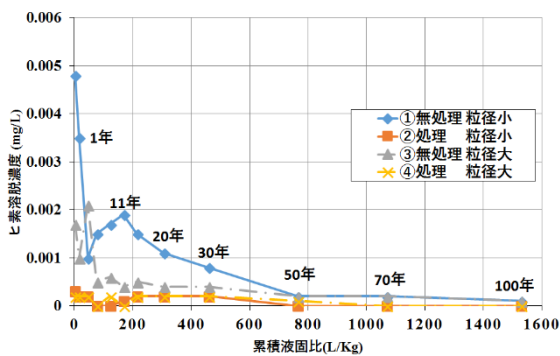


図-5. 累積液固比とヒ素溶脱濃度の関係

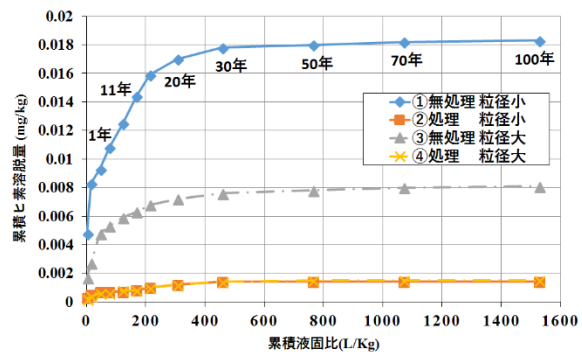


図-6. 累積液固比と累積ヒ素溶脱量の関係

### 3.6 カルシウム濃度と鉄濃度

不溶化材の主成分であるカルシウムと鉄の濃度の挙動について図-7、図-8に示す。カルシウム濃度は透水直後、②不溶化処理 粒径小が 3000mg/L、④不溶化処理 粒径大が 1200mg/L と高い値であった。その後 2 供試材ともに、カルシウム濃度は急激に低下し、1 年経過後 (V/S=15.3) 以降 100 年経過後 (V/S=1528.2) まで 3~5mg/L の濃度で推移した。透水直後のカルシウム濃度が高かったのは、不溶化材中のカルシウムが溶出した為だと考えられる。これは、透水直後の EC が高い値を示したことと関連している (図-7)。

鉄濃度については、②不溶化処理 粒径小が 30 年経過後 (V/S=458.2) から徐々に上昇し始め、100 年経過後 (V/S=1528.2) には、0.1mg/L まで上昇した。④不溶化処理 粒径大は、0mg/L で推移し 100 年経過後 (V/S=1528.2) に 0.03mg/L となった。②不溶化処理 粒径小の鉄濃度の方が高い濃度を示したのは、④不溶化処理 粒径大よりも表面積が大きい為、不溶化材の付着面積が大きい為だと考えられる (図-8)。

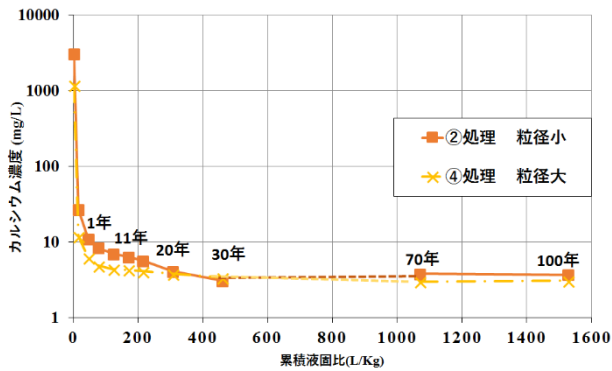


図-7. 累積固液比とカルシウム濃度の関係

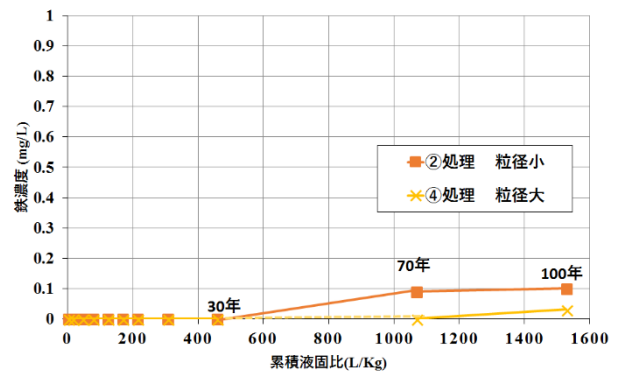


図-8. 累積固液比と鉄濃度の関係

#### 4. まとめ

本試験では、酸性雨 (pH4.97) が 100 年間暴露した条件における、ヒ素の不溶化処理後の長期安定性について評価を行った。

ヒ素の不溶化処理をした掘削ズリは、粒径の大小に関わらず、100 年経過後 (V/S=1528.2) も、環境基準に定められている 0.01mg/L を超えることはなかった。ORP の結果からも、ヒ素は不溶化材中の鉄と溶出しにくい状態を長期維持していると考えられる。また、pH が 100 年経過後 (V/S=1528.2) に 5.8~6.0 で保たれていることより、不溶化材や掘削ズリが酸性雨を長期にわたって中和する効果があることが分かった。

したがって、開発した不溶化材を使用してヒ素の不溶化処理を行った掘削ズリは、100 年間酸性雨に晒される環境下においても、ヒ素溶出量は環境基準値以下を保持できると考えられる。したがって、100 年間の長期安定性を持つと示唆される。

#### 参考文献

- 1) 環境省 水・大気環境局 土壤環境課 (2015) ,平成 25 年度土壤汚染対策法の施行状況及び土壤汚染調査・対策事例等に関する調査結果
- 2) 建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壤への対応マニュアル 暫定版,平成 22 年 3 月
- 3) 榊原努, 梅田敦, 柘植太朗, 加藤雅彦, 李富生 (2017) カラム試験による不溶化後のトンネルズリ仮置き期間中におけるヒ素溶脱挙動, 第 23 回地下水・土壤汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, pp322-325