

土壌含有元素の溶出挙動に関する不溶化処理の影響評価

染矢雅之・東野和雄・佐藤綾子・下間志正

【要 約】本研究では、ヒ素・鉛汚染土壌とその不溶化処理土壌を用いたシリアルバッチ溶出試験を実施し、土壌含有 32 元素の長期溶出特性の把握を試みた。その結果、不溶化処理に関する有害物質の長期溶出リスクを総合的にマネジメントするためには、土質および土壌含有元素全体の挙動を考慮・把握した評価が重要と考えられた。

【目 的】

重金属汚染土壌の不溶化処理は、従来の掘削除去に比べて、環境負荷、経済的負担が少ない対策手法であり、その普及が期待されている。しかしながら、対策手法としての不溶化は、不溶化機構の解明が不十分な点や長期安定性に対する不安感が払拭できていない点などから、実際にはその適用が見送られるケースが多い。そのため不溶化処理の普及には、不溶化処理土壌からの重金属類の長期溶出特性の把握を目的とした評価を実施し、科学的知見を集積することが重要と思われるが、とくに長期安定性に関わる情報は少ないのが現状である。また、土壌中元素の観点からみると、ヒ素や鉛の溶出挙動には、他の元素との相互作用が深く関与しており、評価の際には、他の土壌含有元素との関係も合わせて行うことが重要と考えられる。そこで本研究では、ヒ素・鉛汚染土壌とその不溶化処理土壌を用いたシリアルバッチ溶出試験を実施し、ヒ素と鉛をはじめとする土壌含有 32 元素 (Li, B, Mg, Al, Si, P, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Rb, Sr, Zr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, W, Pb) の長期溶出特性の把握を試みた。

【方 法】

試料：都内のヒ素と鉛の実汚染土壌 1 検体を対象にした（溶出基準値超過土壌）。土壌試料は、風乾処理した後、2mm 目のふるいを用いて粒径調整した。汚染土壌の不溶化処理は、塩化第二鉄（六水和物）およびマグネシア系不溶化剤であるスーパー MAG を用いて実施した。汚染土壌に添加した不溶化剤の添加率は、事前検討の結果から土壌乾燥重量の 4% とした。

試験方法：シリアルバッチ溶出試験は、水溶性成分を繰り返し抽出する溶出試験方法であり、溶出速度の変化の把握、すなわち長期溶出特性の推定を目的とする。本試験では、2 通りのデザインのシリアルバッチ溶出試験を実施した。その試験デザインを図 1（試験 ①）と図 2（試験 ②）に示す。32 元素の測定は、ICP-MS と原子吸光度計で実施した（なお、ろ過後にろ液の濁度、EC、pH を測定した。）。

【結果の概要】

未処理汚染土壌および 2 種類の不溶化処理土壌を対象にした 2 通りのデザインのシリアルバッチ溶出試験を実施し、土壌中 32 元素の溶出挙動について評価した結果として以下の知見が得られた。

- (1) 4%塩化第二鉄および4%スーパーMAG を用いた不溶化処理によってヒ素と鉛の溶出濃度が減少し、試験①と②のいずれの場合においても試験期間を通して溶出基準を継続的に下回ることが確認された（図 3）。本試験結果に基づく、今回の条件で不溶化処理した場合、長期的にもその不溶化効果は継続するものと判断できた。また、不溶化処理によって、その他の土壌含有元素の溶出濃度についても一部の元素を除いて減少した。
- (2) 溶出基準を下回ったものの、図 3 (B)-Pb に示すように、4%塩化第二鉄不溶化処理土壌では、経時的な鉛溶出濃度の変動がみられた。これは、抽出操作を重ねることで土壌から溶液に溶け出すイオン成分量（EC で評価）が低下し、そのことが引き金となって土壌コロイドの分散が生じることが原因と推測された。そこで、溶出液中の土壌コロイド（濁度として評価）と鉛などの粒子吸着性の強い元素との関係性を評価した結果、両者の間には強い正の相関関係が認められた（図 4）。このことは、土壌コロイドの分散に伴って鉛等の有害元素の溶出が助長されることを示唆する。よって、コロイド粒子に吸着した有害元素が地下水に移動・再溶出する懸念がある場合は、長期的にみても土壌コロイドの分散が生じにくい不溶化手法を選択することが望ましいと考えられる。
- (3) 不溶化処理方法によっては、不溶化のターゲットとしたヒ素や鉛などの有害物質の不溶化を十分に達成できたとしても、その一方でマンガンなど水質汚濁に係る要監視項目に選定されている他の有害元素の早期の溶出を招く恐れがあることが示された（図 5）。マンガンについて、未処理汚染土壌では、溶出濃度と濁度との間に相関があり、その大半が粒子吸着態と考えられたのに対し、不溶化処理土壌では濁度との関係は消失しており、処理によって溶出成分の大半が溶存態に変化したことが示唆された（図 6）。この化学系態の変化がマンガンの早期溶出量増加の原因と考えられる。

【結言】

結論として、不溶化処理に関する有害物質の長期溶出リスクを総合的にマネジメントしていく上で、土質および土壌含有元素全体の挙動を考慮・把握した評価が重要であり、本試験法はそれら評価に役立つ有用なツールの一つになると考えられる。

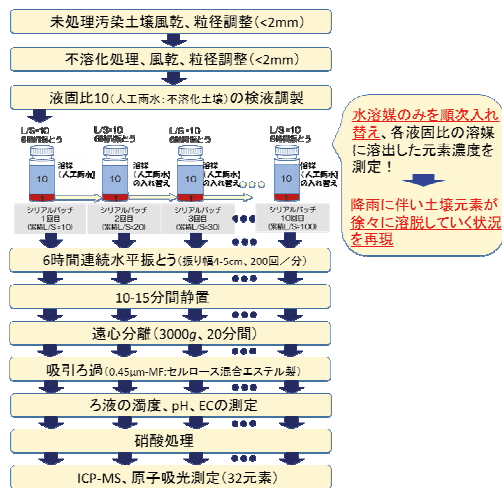


図1 経時的な有害物質溶出量の把握を想定したシリアルパッチ溶出試験（試験①）

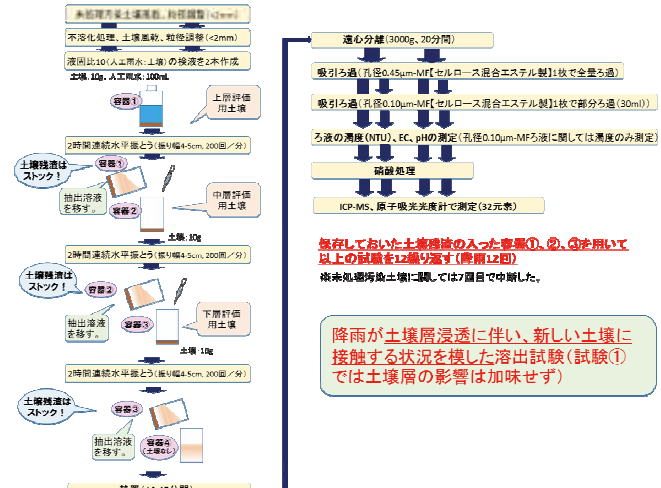


図2 降雨の土壌層浸透に伴う経時的な有害物質の溶出状況を再現したシリアルパッチ溶出試験（試験②）

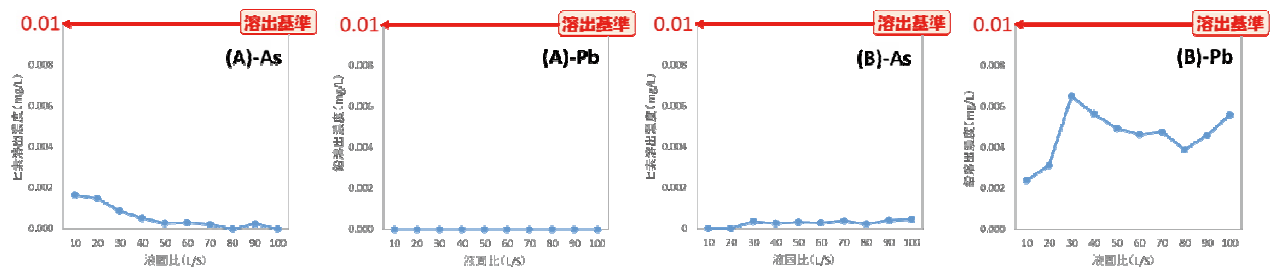


図3 不溶化処理土壌を対象としたシリアルパッチ溶出試験（試験①）から得たヒ素と鉛の経時的な溶出挙動および溶出基準値との比較

※ (A) : 4%スーパーMAG不溶化処理土壌、(B) : 4%塩化第二鉄不溶化処理土壌

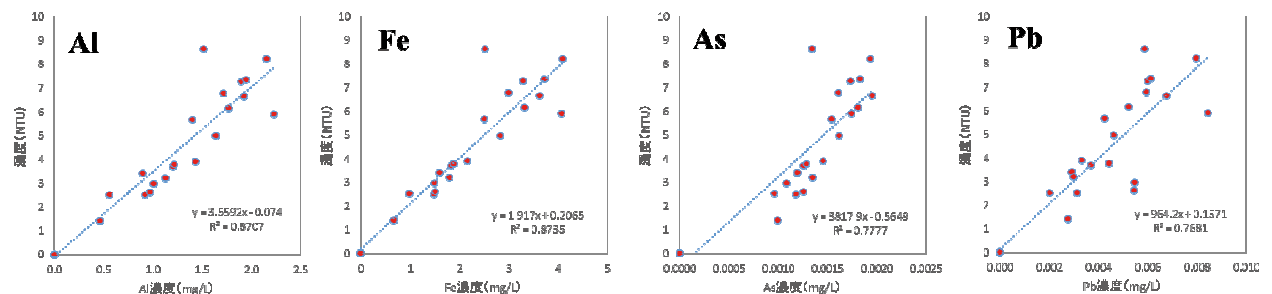


図4 4%塩化第二鉄不溶化処理土壌のシリアルパッチ溶出試験（試験②）から得た元素溶出濃度と濁度との関係

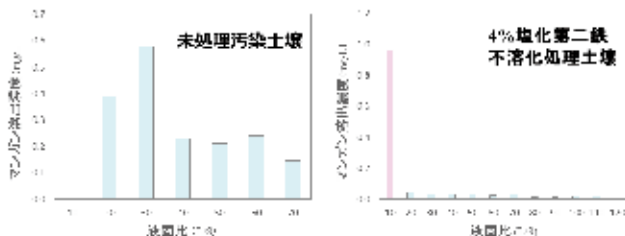


図5 シリアルパッチ溶出試験（試験②）における未処理汚染土壌と4%塩化第二鉄不溶化処理土壌から経時的に溶出したマンガン濃度の比較

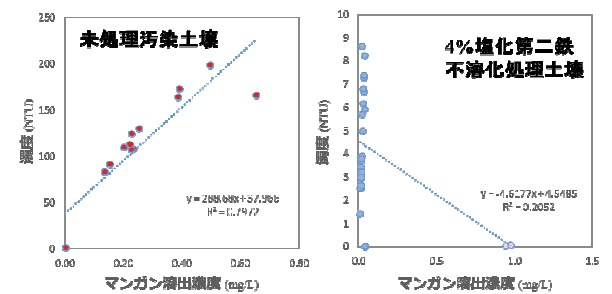


図6 未処理汚染土壌と4%塩化第二鉄不溶化処理土壌のシリアルパッチ溶出試験（試験②）におけるマンガン溶出濃度と濁度との関係

4%塩化第二鉄による不溶化処理でマンガン溶出が早まることが示唆
→ 溶出マンガンの化学形態が粒子吸着態から溶存態に変化したことが原因

【マンガンの化学形態】未処理土壌：粒子吸着態、4%塩化第二鉄不溶化処理土壌：溶存態 → 不溶化処理でマンガンの化学形態が変化