

ふっ素汚染土壌に対する不溶化処理の事例

(株)大林組 正会員 ○福武 健一 正会員 三浦 俊彦
 正会員 日野 良太 正会員 亀田健太郎
 正会員 日笠山徹巳

1. はじめに

土壌汚染対策法においては、特定有害物質（主に第二種特定有害物質）が含まれた地下水の飲用リスクを遮断する方法の一つとして不溶化措置がある。第二種特定有害物質の不溶化処理は、セメント系材料等による固化・不溶化若しくは各種不溶化材によって難溶性物質を形成する方法についてこれまでに数多くの手法が報告されている。ふっ素汚染土壌の不溶化処理に対しては、セメント系固化材及びマグネシウム系固化材による固化・不溶化が有効であると報告されている¹⁾²⁾。また、ふっ素含有排水処理の分野では、カルシウム塩を添加して難溶性のふっ化カルシウム（ CaF_2 ）を生成させ、沈殿除去する方法が用いられている。本報では、単独の不溶化処理技術による土壌溶出量基準（以下、溶出量基準）を満たすような不溶化が困難であったふっ素汚染土壌に対して、カルシウム系の不溶化材を複合して用いることにより溶出量基準を満たした原位置不溶化処理の施工事例を報告する。

2. 地盤条件及び汚染状況

対象地は、GL-0m～-3m に廃棄物や副産物を由来とする人工材料等（以下、鉍さい等）が埋め立てられており、GL-3m～-5m はローム、シルト、凝灰質粘土により構成しており、GL-5m 以深は砂層土であった。土壌汚染調査の結果、GL-0m～-5m でふっ素の溶出量基準不適合（最大濃度：15mg/L）、土壌含有量基準適合を確認した。

3. 室内配合試験

3.1 試験方法

3.1.1 室内試験フロー 試験フローを図-1 に示す。STEP1 は、単独で用いた時の不溶化材の効果を確認した。STEP1 にて不溶化効果が認められない時は、STEP2 を実施することとした。また、原位置不溶化処理では、注入量（混合量）が多くなると周辺地盤に変形を生じさせ、周辺環境や既設構造物への影響を及ぼす可能性が懸念される¹⁾。このため、多量の不溶化材混合を行うケースでは、STEP3 の試験を行うこととした。

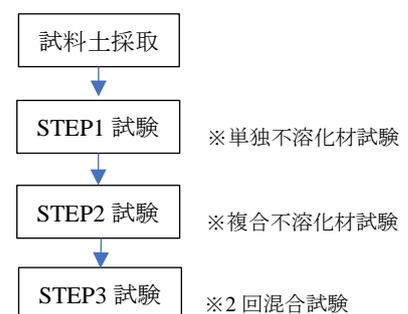


図-1 試験フロー

3.1.2 試料土 試料土は、土壌汚染調査で比較的高濃度な汚染が確認されている6地点より土壌試料採取した。採取した試料は、試験室に送付し、夾雑物を除去して自然含水比状態で必要な量を混合し、環告46号に準じて2mm以下に粒度を調整した。その後、汚染土壌と模擬試験土（汚染土壌と鉍さい等を1:1で混合）の試料土を作製し試験に用いた。

3.1.3 不溶化材 試験で用いる不溶化材として、ふっ素化合物汚染土壌の不溶化処理に実績のある高炉セメントB種（カルシウム系）と2種類の酸化マグネシウム系不溶化材（Mg系）及びふっ素含有排水処理に用いられている消石灰（カルシウム系）とアルミニウム系不溶化材（Al系）を選定した。

3.1.4 試験方法 不溶化材添加量は、高炉セメントB種では、60kg/t、140kg/t、消石灰では、60kg/t、100kg/t、140kg/t、酸化マグネシウム系では、50kg/t、100kg/t、アルミニウム系では、5kg/t、10kg/tと設定した。土壌に対して、各不溶化材をW/C100%でスラリー化した後に添加し、ソイルミキサーにより混合した。処理後の土壌は、安定処理土の締固めをしない供試体作製（JGS 0821-2009）に準じて供試体を作製した。不溶化材混合後は、20°Cの恒温室で材令3日及び7日まで密封養生した後に一軸圧縮試験を行い、破壊供試体に対して溶出量試験（平成15年環境省告示18号）を行った。

キーワード ふっ素、不溶化、カルシウム系、セメント、消石灰、土壌汚染対策
 連絡先 〒108-8502 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティーB棟 (株)大林組 TEL03(5769)1054

3.1.5 判定基準 室内配合試験の判定基準は、ふっ素溶出量基準 (0.8mg/L 以下) 適合とし、強度は、重機による不溶化材攪拌混合時の地耐力確保のため一軸圧縮強度 $\geq 100\text{kN/m}^2$ とした。

3.2 試験結果 STEP1 試験結果を図-2 に示す。STEP1 試験より、高炉セメント B 種及び 2 種類の酸化マグネシウム系不溶化材単独では、ふっ素溶出量基準を満たすことが出来なかった。次に、STEP2 試験として高炉セメント B 種と消石灰、消石灰とアルミニウム系材料からなる複合した不溶化材を混合する試験を行った。STEP2 試験結果を図-3 に示す。STEP2 試験より、高炉セメント B 種と消石灰の複合不溶化材にて溶出量基準を満たすことが出来たが、実際の施工時の注入量が多くなることがわかったため、STEP3 試験を実施した。STEP3 試験結果を図-4 に示す。STEP3 試験より、高炉セメント B 種 140kg/t と消石灰 60kg/t の複合材料を 2 回混合することにより溶出量基準に適合することが確認できた。以上の結果から、不溶化処理の施工計画は、「高炉セメント B 種 140kg/t と消石灰 60kg/t」の組み合わせによる 2 回混合を行うことを想定した施工計画とした。

4. 原位置不溶化

4.1 方法 対象地の地盤は、GL-0m~-3m に位置する鈹さい等の N 値が 50 以上であった。そこで、不溶化材攪拌工法は、硬質地盤改良が可能な混合攪拌翼を持つ機械を用いたスラリー式混合工法を採用した。

4.2 措置の結果 原位置不溶化措置を実施した結果、事前のふっ素溶出量から 22 区画にて 2 回混合の必要があると想定していたが、1 回目の混合を施工後、2 回目の混合が必要であったのは 4 区画であった。その 4 区画に対して 2 回目の混合を行った結果、溶出量基準適合が確認できた。

5. 不溶化処理土壌の長期溶出抑制効果 不溶化処理土壌の長期溶出抑制効果を評価するため、現地で採取した不溶化処理土壌を用いて通水カラム試験を実施した。試験方法は、日野らの研究³⁾と同様である。不溶化処理土を充填したカラム ($\phi 5\text{cm} \times 30\text{cm}$) に 1mM の CaCl_2 を含んだイオン交換水を上向流にて速度 0.25mL/min (15mL/h) で通水した。浸出液は、液固比 (L/S) 0.1, 0.5, 1, 5, 10 で採水し、ふっ素濃度及び pH を分析した。図-5 に試験結果を示す。ふっ素濃度は、通水を開始してから L/S=0.1 でピークを示し、徐々に低下し、L/S=5, 10 ではほぼ横ばいとなった。液固比 10 (通水量 5,800mL) を通水した結果、ふっ素濃度の基準不適合は認められなかった。pH についても、通水を開始してから L/S=10 までは、強アルカリ性を維持できることを確認した。

6. まとめと今後の課題

- ・各種不溶化材を単独で用いることでは不溶化困難であったふっ素汚染土壌に対して、高炉セメント B 種と消石灰を組み合わせたカルシウム系複合材料による不溶化効果が適用できた。
- ・今後、原位置不溶化処理を実施した地盤内での有害物質の溶出挙動及び長期安定性の評価に取り組む予定である。

参考文献

- 1) (社)セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル第 4 版、技報堂出版、2012
- 2) 大山将，他 4 名：マグネシウム系固化材によるフッ素汚染土壌の固化・不溶化処理事例，第 11 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究会講演集，2005
- 3) 日野良太，他 5 名：原位置不溶化処理に伴う地盤内汚染物質挙動に関する定量評価法の提案，第 54 回地盤工学研究発表会（投稿中），2019

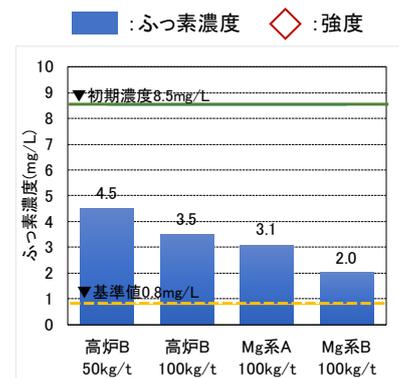


図-2 STEP1 試験結果

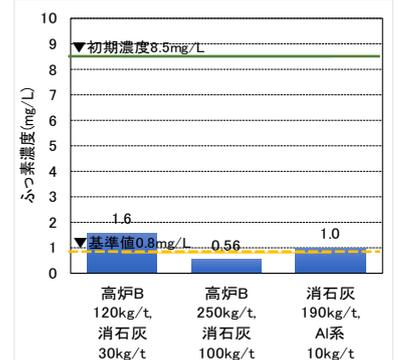


図-3 STEP2 試験結果

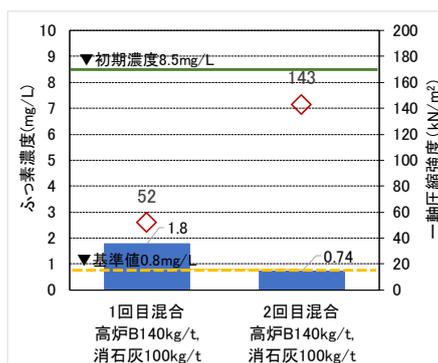


図-4 STEP3 試験結果

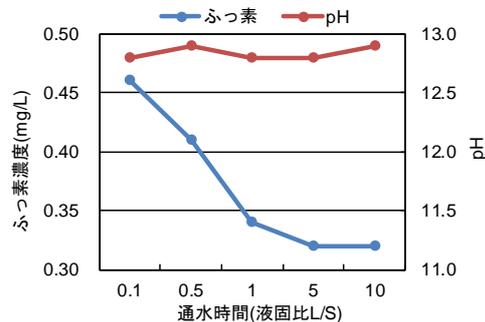


図-5 通水カラム試験結果