

有機フッ素化合物（PFOS/PFOA）汚染土壌を対象とした不溶化処理の効率化

株式会社大林組 正会員 ○日野 良太 正会員 西川 直仁

1. 目的

有機フッ素化合物（以下、PFAS）は、撥水・撥油性、熱・化学的安定性等の物性を示すことから、撥水・撥油剤、金属メッキ処理剤、水成膜泡消火剤および調理用器具コーティング剤等の幅広い用途で使用されている。PFASに明確な定義はないが、およそ数千種類の物質が特定されており、その管理の在り方について国際的に議論されている。本検討では、PFASのうち日本で水道法の水質管理目標設定項目として指定されたペルフルオロオクタンスルホン酸（以下、PFOS）とペルフルオロオktan酸（以下、PFOA）を対象とした。

環境中のPFOSおよびPFOAについては、2020年度に水道法の要監視項目に位置付けられ、水環境に関する指針値（暫定）（50 ng/L）が設定されている。環境省が実施した2020年度の有機フッ素化合物全国存在状況把握調査¹⁾では、調査を実施した143地点のうち、21地点で指針値（暫定）を超過する値が検出され、PFOSおよびPFOAが環境中に広く存在していることが確認された。

筆者らは、これまで消石灰および高炉セメントB種を用いたPFOSおよびPFOA汚染土壌の不溶化処理方法について検討してきたが²⁾、本報では、不溶化処理の効率化を目的として、活性炭の併用および中性域の固化資材を用いた不溶化処理の室内試験結果について報告する。

2. 不溶化処理

PFOSおよびPFOAにより汚染された地盤において、汚染物質の敷地外への拡大防止策の一つに原位置不溶化処理が挙げられる³⁾。当処理は、地盤内の汚染土壌と薬剤を建設重機によって混合攪拌⁴⁾するか井戸や裸孔等から薬剤を浸透させるものである⁵⁾。また、掘削土壌に対して資材を混合した後に埋め戻しもしくは濃度低減した後に場外へ搬出する現地不溶化を行う場合もある。

本研究では、原位置不溶化もしくは現地不溶化を対象として検討を行った。そのため、重機作業および処理後の掘削・積込などを勘案して、不溶化および固化の効果を有する資材を混合する必要があると考えた。

3. 室内試験方法

3. 1. 模擬汚染土壌の作製

模擬汚染土壌は、所定量の土壌と試薬を用いて作製した。土壌と所定濃度（合計 200,000ng/L、PFOS：100,000ng/L、PFOA：100,000ng/L）の溶液を重量割合で液固比 10 の条件において、環告 18 号の条件で 24 時間振とうした。振とうした後は、遠心分離（1,000G、5 分間）を行い、土壌と溶液を分離し、分離土壌を模擬汚染土壌とした。土壌は、市販の真砂土を 2mm 未満に篩分けした。試薬は、WAKO 製の純度 95%を使用した。

3. 2. 資材の混合

不溶化処理の資材は、既往検討²⁾においてカルシウム成分として消石灰、固化材およびカルシウム成分として高炉セメントB種を使用した。その結果、土壌溶出量の低減率は、PFOSが64%、PFOAが32%であり十分とは言えず、処理土壌のアルカリ化も課題であった。そこで、粉末活性炭を加えた3資材混合、中性域で固化できる半水石膏を高炉セメントB種に代替した。試験では、土壌と資材を均一に混合するために、混合資材に水を加えることでスラリー化させた。水の添加量は、施工時にスラリー状態を維持できる条件を想定した。

試験ケースを表-1に示す。模擬汚染土壌 20g に対して所定のスラリー資材を混合し、屋内で7日間養生した後に環告 18 号で溶出試験を行い、溶液のPFOSとPFOAの分析によって不溶化効果を確認した。ここで、PFOSとPFOAの分析方法は、令和2年環水大発第2005281号および第2005282号の付表1（LC/MS/MS法）を適用した。pHは、ガラス電極法である。

キーワード 有機フッ素化合物、不溶化処理、カルシウム資材、活性炭

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 (株)大林組 エンジニアリング本部 TEL03-5769-1057

4. 室内試験結果

図-1 と図-2 に試験結果を示す。消石灰と高炉セメントの添加量は、既往検討²⁾と同様である。不溶化処理前の土壌溶出量は、PFOS が 2,750ng/L、PFOA が 3,650ng/L であった。既往検討の消石灰と高炉セメントのみのケース①と比較して、活性炭を少量混合することで、大幅な濃度低減を確認できた。さらに、中性域の資材として半水石膏を用いた場合（ケース⑥⑦）でも、同量の活性炭を混合したケース③と同程度の不溶化効果を確認できた。また、処理土壌の pH は、ケース①が 12.4、ケース⑦が 7.8 であった。

高炉セメント B 種または半水石膏を混合することによる固化作用については、2 つの条件（飽和条件、不飽和条件）を想定して養生および試験を実施した。資材の添加量は、表-1 の①と⑦である。飽和条件は、地下水位以深を想定して、試料土を水槽内で養生した。一方、不飽和条件は、地下水位位浅を想定して、試料土を室内で養生する。強度発現の確認は、7 日間の養生後に一軸圧縮強度を測定した。その結果、半水石膏を混合したケースでは不飽和条件で 165kN/m²、飽和条件で 205kN/m² となり、高炉セメント B 種を混合したケースの 1,200kN/m² に劣るものの、建設重機の作業地盤としては十分な強度が確保できることが確認した。

表-1 試験ケース

凡例名	土量	消石灰	高炉セメントB種	半水石膏	粉末活性炭	イオン交換水
	g					
①	20	0.6	2.8	—	—	6
②	20	0.6	2.8	—	0.1	6
③	20	0.6	2.8	—	0.05	6
④	20	0.6	2.8	—	0.2	6
⑤	20	0.6	2.8	—	0.01	6
⑥	20	0.6	—	5.6	0.05	6.2
⑦	20	0.6	—	2.8	0.05	3.4

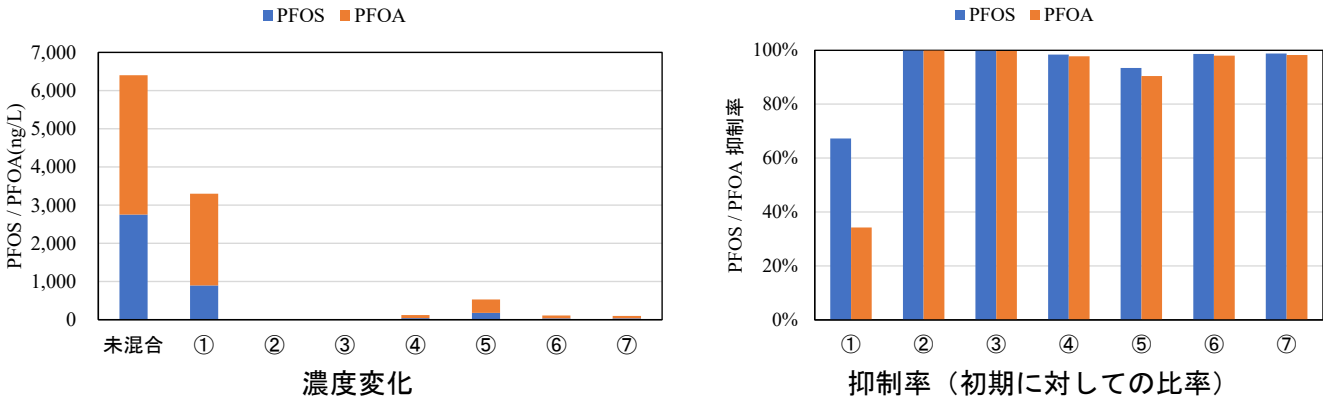


図-1 試験結果

5. まとめ

本原稿では、PFAS の一種である PFOS と PFOA の汚染土壌を対象として、不溶化処理の適用可能性を検討した。筆者らは、不溶化および固化の効果を有することが重要であると考えて資材を選定した。その結果、カルシウム系資材および固化材を中心として、少量の活性炭を混合することによる不溶化処理の向上を確認できた。さらに、高炉セメントの混合により地盤内がアルカリ化するため、跡地利用や周辺環境影響を低減する方法として、半水石膏の混合により中性域での不溶化および固化が可能になることを確認した。今後の課題として、不溶化のメカニズム探索に加えて活性炭による吸着効果の長期安定性を評価するとともに、トラフイカビリティを確保しながら不溶化効果を有する資材の探索を進める予定である。

参考文献

1)環境省：令和2年度有機フッ素化合物全国存在状況把握調査の結果について、2021年6月22日. 2)日野良太ほか：有機フッ素化合物（PFOS/PFOA）汚染土壌の不溶化処理の検討，投稿中. 3)地盤工学会：土壌・地下水汚染の調査・予測・対策, 2003. 4)上岡誠一ほか：土壌に含有する6価クロムのセメント系固化材による原位置不溶化処理に関する基礎研究, 2000. 5)西田憲司ほか：微細な酸化鉄粒子の地盤注入による汚染拡散防止手法の実証試験, 2013.