

PFAS 含有土壌洗浄排水への凝集剤添加が PFAS 吸着資材の吸着性能に与える影響の検討

前田建設工業株式会社 正会員 〇梅原 悠平 正会員 太田 匡哉
正会員 國井 聡 正会員 芳賀 直樹

1. 目的

PFAS とは有機ふっ素化合物の総称であり、このうち、ペルフルオロオクタンスルホン酸(PFOS)、ペルフルオロオクタン酸(PFOA)、及びペルフルオロヘキサンスルホン酸(PFHxS)は熱や化学的に安定で、かつ優れた界面活性を示すことから、撥水剤や表面処理剤、泡消火剤等の様々な用途で用いられてきた。しかし、化学的に非常に安定であるため、環境中で分解されず、環境残留性や生物濃縮性、毒性について懸念されている。近年、これら PFAS の環境中への拡散が報告されており¹⁾、浄化技術の開発が急務とされている。

当社は、PFAS 汚染土壌に対する洗浄プロセス(工法)を確立すべく、ラボスケールの検討を行ってきた²⁾。想定する洗浄プロセスとしては、土壌を洗浄した後、洗浄排水中に含まれる土壌粒子(SS)を凝集剤添加によって沈殿、分離する工程と、SS が除去された洗浄水中の PFAS を除去する工程から成る。これらの工程において、凝集剤添加によって、「洗浄水中の PFAS が凝集フロックに取り込まれ、土壌粒子(固相)へ再蓄積する懸念」及び、「凝集剤成分が洗浄排水中に共存することで、PFAS 吸着材(粒状活性炭、イオン交換樹脂)の吸着性能を低下させる懸念」が考えられた。

そこで、本研究では無機系凝集剤として、ポリ塩化アルミニウム(以下、PAC)、硫酸アルミニウム(以下、硫酸バンド)、ポリ硫酸鉄(以下、ポリテツ)を用い、凝集剤添加による①沈殿物への PFAS の蓄積特性の確認、及び、②PFAS 吸着材の吸着性能に及ぼす影響の評価を行った。

2. 試験方法

①凝集剤添加による沈殿物への PFAS 蓄積特性の確認

珪砂と粘土を 25:75 で混合した土壌に PFAS 試薬(PFOS, PFOA, PFHxS)を添加し、攪拌、乾燥、粉碎することで PFAS 模擬汚染土を作製した。PFAS 模擬汚染土中の PFAS 濃度は、土壌 1g に対し各 PFAS が 10ng 含まれるよう調製した。この PFAS 模擬汚染土壌と水を固液比=1/10 で振とうした(200rpm, 2 時間)。その後、各凝集剤(PAC, 硫酸バンド, ポリテツ)を洗浄水に対して 300mg/L 添加し、0.1M NaOH 水溶液を用いて pH=7 に調整の上で、良く混合した後、遠心分離(3000rpm, 10 分間)にて固液分離した。PFAS の分析は固相抽出を行った後、LC/MS/MS にて測定した。

②凝集剤添加による PFAS 吸着材の吸着性能に及ぼす影響の評価

珪砂と粘土を 25:75 で混合して作製した土壌に水を加え、固液比 1:10 にて振とうした(200rpm, 2 時間)。その後、1 時間静置し、上澄み液を回収した。上澄み液に各凝集剤(PAC, 硫酸バンド, ポリテツ)を洗浄水に対して 300mg/L 添加し、0.1M NaOH 水溶液を用いて pH=7 に調製した。その後、2 時間静置した検体を、0.45 μ m のメンブレンフィルターにより固液分離を行い、「各凝集剤成分が溶け込んだ検体」として回収した。この検体に PFOS 試薬を 400,000ng/L となるように添加し、各凝集剤成分と PFOS が混在する水溶液を調製した。この水溶液をポリ瓶に 100ml 分取し、吸着材を段階的に添加して振とうした。100rpm で 72 時間振とう後、0.45 μ m のメンブレンフィルターにてろ過し、LC/MS/MS にて分析を行って、各吸着材量における平均吸着濃度と吸着量を求めた。吸着材には粒状活性炭およびイオン交換樹脂を用いた。

キーワード 有機ふっ素化合物, PFOS, PFOA, 土壌洗浄, 凝集沈殿, 吸着 連絡先

〒102-8151 東京都千代田区富士見 2-10-2 前田建設工業株式会社 土木技術部 TEL 080-9549-7436

3. 結果と考察

①凝集剤添加による沈殿物への PFAS 蓄積特性の確認

凝集剤の添加が無い条件、及び各凝集剤添加の条件による水相、及び沈殿物(固相)から検出された各 PFAS の割合を図 1 に示す。凝集剤の有無による、土壌への PFAS 残存割合に大きな差は見られなかった。また、各凝集剤を比較したところ、土壌への PFAS 残存割合に大きな差は見られなかった。よって、本試験の条件下において、凝集剤添加によって生じる沈殿物へ PFAS が取り込まれ、蓄積する可能性は低いと考えられた。

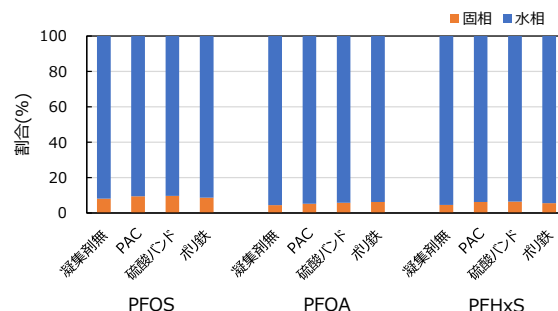


図 1 凝集沈殿の PFAS 吸着への影響評価結果

②凝集剤添加による PFAS 吸着材の吸着性能に及ぼす影響の評価

凝集剤の添加が無い条件、及び各凝集剤を添加した土壌洗浄水を用いた PFOS 吸着等温線を図 2,3 に、また、吸着等温線から得られる Freundlich 式によって計算した破過濃度 50ng/L における PFOS 吸着容量を図 4 に示す。粒状活性炭では各種凝集剤を添加することで吸着容量が 9 割程度低下し、各種凝集剤の種類による PFOS 吸着容量に大きな差は認められなかった。

イオン交換樹脂においても、凝集剤の添加により吸着容量が低下する傾向が見られたが、吸着容量の低下は粒状活性炭ほどではなかった。PAC の影響を受けた PFOS 吸着容量を例にイオン交換樹脂と粒状活性炭を比較すると、イオン交換樹脂は粒状活性炭に対し、約 10 倍もの吸着容量を示す結果となった。また、イオン交換樹脂における各凝集剤の比較では、ポリ鉄 > PAC > 硫酸バンドと吸着容量に差が生じたが、イオン選択性に競合する陰イオンの種類による影響は傾向が認められず、土壌からの溶出成分の影響、または、イオン濃度の総量による影響によるものであると考えられる。

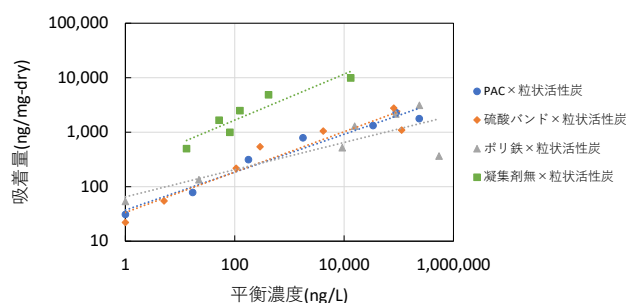


図 2 粒状活性炭の PFOS 吸着等温線

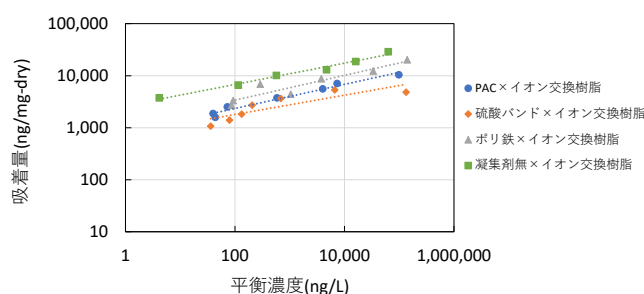


図 3 イオン交換樹脂の PFOS 吸着等温線

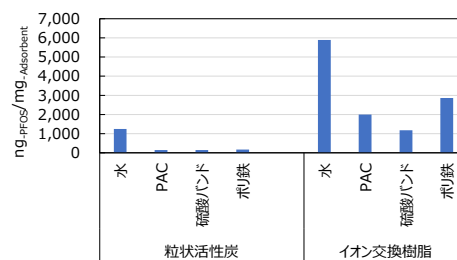


図 4 破過濃度 50ng/L における PFOS 吸着容量

4. まとめ

①凝集剤添加による沈殿物への PFAS 蓄積特性を確認したところ、凝集剤の添加の有無、凝集剤種による沈殿物中の PFAS 蓄積に差は認められなかった。

②凝集剤添加による PFAS 吸着材の吸着性能に及ぼす影響を確認したところ、凝集剤の添加により、粒状活性炭では吸着容量が 9 割程度低下したものの、イオン交換樹脂では一定の吸着容量を維持でき、凝集剤成分共存下においても、イオン交換樹脂は粒状活性炭と比較し、約 10 倍の PFOS 吸着容量を示すことを確認した。

5. 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結果一覧(PFOS 及び PFOA), (2021).
- 2) 梅原 悠平ら 防衛施設学会年次フォーラム(2023) PFAS 汚染土壌の浄化工法開発に向けた基礎的検討