

再生二水石膏と PS 灰を用いた中性化固化材の開発に関する実験的検討

福岡大学工学部

学生会員 廣松 南美 近松 周平

福岡大学工学部

正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗 古賀 千佳嗣

(株)ダイセキ環境ソリューション

成田 尚宣 竹内 隼人

1.はじめに 廃石膏ボードは管理型最終処分場への処分が義務化されているが、処理費用の高騰や処分場の不足等の問題からリサイクル技術の早期開発が期待されている。また、再生紙を製造する過程でペーパースラッジ(PS)が発生しこれらを安定化・減量化するために焼却処理して発生するペーパースラッジ焼却灰(PS 灰)は、保水性や通気性に優れていることから、セメントの原料として使われている。しかしながら、セメントの国内需要の減少もあり再生石膏同様、有効利用が急務となっている。そのため、これらを大口用途として期待される地盤改良材としての研究が進められている¹⁾²⁾。しかし、再生石膏に含有しているフッ素の溶出や、PS 灰がアルカリ性であることが懸念されている。そこで本報告では、これらの廃棄物を用い、地盤改良材の中でも産業廃棄物である非自硬性の泥状物質を再利用でき、処理土の pH を中性域において処理できる中性化固化材³⁾の開発を目的としている。本報告では、新しく中性化固化材の性能を有する配合設計について溶出特性から検討を行った結果について考察する。

2. 実験概要

2-1 実験に用いた試料 本研究では表-1 に定義する固化材を用いた。再生石膏については経済性を考慮し、焼成の過程が不要な再生二水石膏を用いている。また、PS 灰は 3 種類の PS 灰(a, b, c)を使用しており、それぞれの物理特性は表-2 に示すとおりである。また、本報告では、粉体の状態で土壤環境基準を満たすことを固化材の具備する条件と定めているため、いずれの試料も粉体の状態における溶出濃度の把握を行った。

2-2 実験方法 固化材 A1、A2、試料単体の溶出特性を把握するため、平成 3 年環境庁告示第 46 号法に基づきフッ素、六価クロムの溶出濃度を把握した。固化材 A1 については、PS 灰によるフッ素抑制効果を把握するため表-3 に示す配合条件で検討を行った。固化材 A2 については、PS 灰に加え、さらに浄水汚泥によるフッ素の不溶化効果を把握するため表-4 に示す配合条件で検討を行った。浄水汚泥は風乾させ破碎した後、最大粒径を 2mm に調整したものを、再生二水石膏、PS 灰と混ぜ合わせ、環境庁告示第 46 号法に準拠した方法で検液を作製した。なお、フッ素の分析にはイオンクロマトグラフィー(ダイオネクス社製 ICS-1000)、六価クロムの分析には分光光度計(SHIMADSU 社製 UVmini-1240)を用いている。

3. 実験結果及び考察

3-1 固化材 A1 の不溶化効果 各試料単体の溶出結果を表-5 に示す。PS 灰単体の pH、フッ素、六価クロムに着目してみると、発生場所によって溶出特性が異なることが分かる。これは、PS 灰製造の際の吸水性能や未燃カーボン量が影響し、異なる PS や異なる焼成工程から発生する PS 灰は工学的性質にも違いが認められることが要因と考えられる⁴⁾。また、pH においては、いずれの PS 灰単体においても PS 灰 a は 12.67、PS 灰 b は 11.69、PS 灰 c は 10.74 とアルカリ性を呈している。一般的に、植物が生育するうえでの最適な pH は弱酸性から中性程度であり、アルカリ土壌の場合は植物にとって重要な要素である土壌中のリン酸が不溶化してしまい植物が吸収できなくなるという問題があるため、PS 灰単体での使用は

pH の観点から望ましいものではない。固化材 A1 の pH を図-1 に示す。再生二水石膏と PS 灰を混合することで PS 灰単体に比

表-1 固化材名と内訳

固化材名	内訳
固化材 A1	再生二水石膏・PS 灰
固化材 A2	再生二水石膏・PS 灰・浄水汚泥

表-2 PS 灰の物理特性

試料	PS 灰a	PS 灰b	PS 灰c
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.876	2.779	2.860
含水比 w (%)	0	0	0
液性限界 w_L (%)	N.P.	N.P.	N.P.
塑性限界 w_p (%)	N.P.	N.P.	N.P.
細粒含有率 F_c (%)	100	100	100
強熱減量 lg -loss(%)	4.9	1.7	4.3

表-3 溶出試験の配合条件(A1)

質量比
二水石膏:PS 灰
10:0
8:2
5:5
2:8
0:10

表-4 溶出試験の配合条件(A2)

質量比
二水石膏:PS 灰:浄水汚泥
1:1:1
1:1:2
1:2:1
2:1:1

表-5 各試料単体の溶出結果

	再生二水石膏	PS 灰a	PS 灰b	PS 灰c	浄水汚泥
pH	6.91	12.67	11.69	10.74	7.92
F 溶出濃度(mg/l)	5.07	4.74	0.25	0.47	0.08
Cr(VI)溶出濃度(mg/l)	0.07	n.d.	0.06	0.03	n.d.

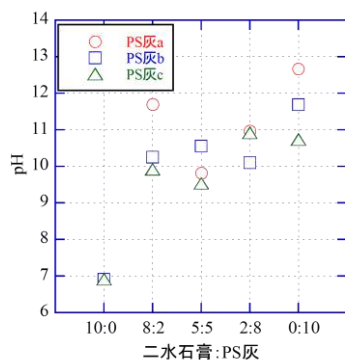


図-1 A1 の pH 測定結果

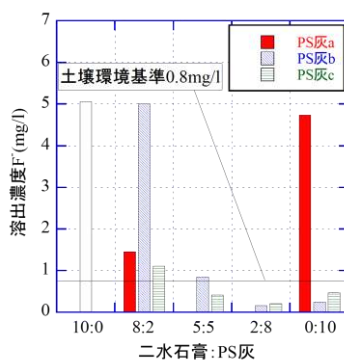


図-2 A1 のフッ素溶出結果

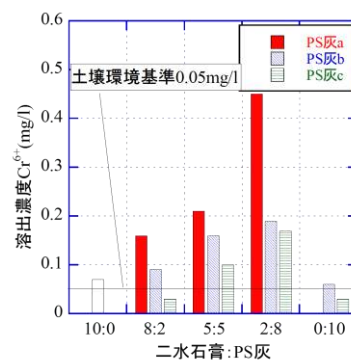


図-3 A1 の六価クロム溶出結果

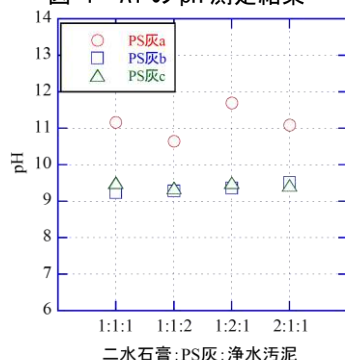


図-4 A2 の pH 測定結果

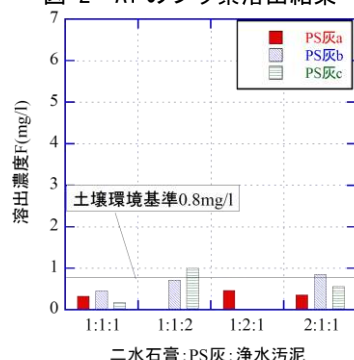


図-5 A2 のフッ素溶出結果

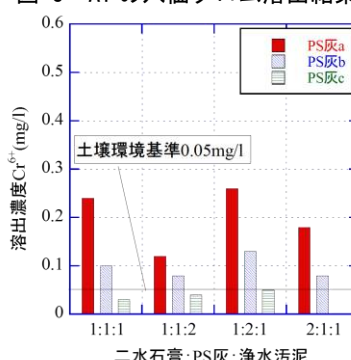


図-6 A2 の六価クロム溶出結果

べ pH は低下傾向を示していることが分かる。一般的な地盤改良材を使用した際の pH は 12~13 程度⁵⁾であることや PS 灰単体の pH 結果に比べると、固化材 A1 は中性に近い環境面に配慮した固化材として期待が持てる。また、図-2 のフッ素溶出結果から、再生二水石膏、PS 灰単体では溶出されたフッ素も、これらを混合することで溶出を抑制することができ、内訳としては PS 灰の配合率が大きい程フッ素の溶出を抑制できることが分かる。一方で、図-3 に示すように、PS 灰の配合率が大きい程六価クロムの溶出濃度は大きくなる傾向を示した。PS 灰自体からの六価クロムの溶出は確認されなかったことを考えると、PS 灰に含まれ得る C_3A や C_4AF 等の鉱物に六価クロムを固定する能力があり、石膏中に含まれる SO_4^{2-} が加わることにより新たな鉱物が生成され、六価クロムが溶出された可能性があり⁶⁾、今後更なる検討が必要である。

3-2 固化材 A2 の不溶化効果 固化材 A2 の pH を図-4、フッ素の溶出結果を図-5、六価クロムの溶出結果を図-6 に示す。pH においてはいずれの条件においても弱アルカリ性で一定の値を示しており、図-1 と比較しても全体的に pH が低下していることが分かる。また、図-5 から分かるように工場によるばらつきはあるものの、図-2 に示す固化材 A1 と比べフッ素の溶出が浄水汚泥により抑制できていることが分かる。これは、浄水汚泥が含有しているアルミニウムと溶出したフッ素が反応してフッ化アルミニウムを生成し吸着したと考えられる。これらの結果は、浄水汚泥を用いることで、PS 灰の性状に左右されずフッ素の溶出を抑制できることを示している。今回の一連の結果から、再生二水石膏、PS 灰、浄水汚泥を併用することで、フッ素を抑制でき、一般的な地盤改良材に比べ pH が低い中性化固化材の可能性を示すことができた。しかしながら、図-6 に示す固化材 A2 の六価クロム溶出結果から分かるように、浄水汚泥を併用した場合においても六価クロムの溶出が見られたため、この点については今後、更なる検討が必要である。

4. まとめ 1) 本実験で検討した中性化固化材の pH は、セメント等の固化材に比べ中性域に近い値を示した。2) PS 灰の配合率を増加させることでフッ素の溶出を抑制でき、浄水汚泥を添加することでさらに効果的な結果が得られた。3) 浄水汚泥の有無に関わらず PS 灰の添加に伴い、六価クロムの溶出が見られたため、この点については、今後更なる検討が必要である。

【参考文献】1) 豊里ら:再生石膏を混合した固化材による高有機質土の改良効果, 第 51 回地盤工学研究発表会, D-06, pp739-740, 2016. 2) 足立ら:製紙スラッジ焼却灰利用による砂地盤の改良効果, 土木学会西部支部研究発表会, III-034, pp549-550, 2015. 3) 中村ら:中性固化材を用いた汚泥のリサイクル施工例, 第 38 回地盤工学研究発表会, 1153, pp2305-2306, 2003. 4) 望月ら:PS 灰の工学的特性について, 土木学会第 55 回年次学術講演会, III-B237, 2000. 5) 金子ら:生石灰混合による再生半水石膏を用いた地盤改良土の力学・溶出特性, 土木学会西部支部研究発表会, III-042, pp431-432, 2012. 6) 盛岡ら:カルシウムアルミノフェライト系化合物の六価クロム固定化挙動に及ぼす硫酸イオンの影響, 無機マテリアル学会, pp40-46, 2006.