

再生半水石膏地盤改良土のふっ素溶出挙動の把握

福岡大学大学院 学生会員 吉田英史

福岡大学工学部 正会員 佐藤研一 藤川拓朗

福岡大学大牟田産学連携推進室 正会員 押方利朗

1. はじめに 現在、新築・解体現場から排出される廃石膏ボードは、紙と石膏に分離・中間処理し、リサイクルが出来ないものについては管理型最終処分場へと処分することが義務付けられている¹⁾。しかし、処分場の容量不足や民間処分場の受入拒否などの問題から、廃石膏の有効利用が急務とされている。廃石膏ボードから得られる二水石膏を焼成処理して得られる半水石膏(以下再生半水石膏)は、水を加えると固化する性質を有している。そこで現在この特徴を利用した地盤改良材としての有効利用技術の研究²⁾が進められている。そこで本研究では、特に高含水比の軟弱地盤の改良を想定し、固化材として再生半水石膏を用いた地盤改良材の開発を目的として、実地盤への適用性の検討を行っている。本報告では、再生半水石膏を地盤改良材として利用し、降雨を想定した際のふっ素溶出挙動の把握を目的とし、カラム試験による実験的検討を行った結果について報告する。

2. 実験概要

(1) 実験試料 土質材料として福岡市内の現場で採取した海成粘土を用い、2mm ふるいにて粒度調整したものを使用した。また、固化材としてIH式半水化装置(130 ～160 で一定加熱)で焼成されたβ型再生半水石膏、補助固化材として高炉セメントB種を使用した。また、実地盤を想定した吸着効果を確認するため、まさ土を覆土として用いた。図-1に各試料の粒径加積曲線を、表-1に物理特性値を示す。図-1及び表-1より、博多粘土は粘土・シルト分が多く高有機質土であることがわかる。また再生半水石膏はシルト分で構成されていることが分かる。一方、博多粘土、再生半水石膏自体のふっ素溶出濃度は、土壤環境基準値(0.8mg/l)を大きく上回るふっ素が溶出している。pHについては、再生半水石膏は中性域にあり、中性固化材としての特徴を有している。

(2) 実験方法 再生半水石膏を混合した改良土が実地盤に与える影響を把握するため、図-2に示す内径5cmの狭径カラム装置を用いて溶出試験を行った。

表-2にカラム試験の実験条件を示す。供試体については、安定処理土の締固めを行わない供試体作製方法³⁾(JGS 0821-2000)に準じて、直径φ5×高さh10(cm)の塩ビ製モールドに打設した。一定期間養生させたこの供試体を、一軸圧縮試験終了後に破壊断片をプラスチックハンマーで破碎し、2mm ふるいを通過したものを試料として使用した。ここで、2mm ふるいに通過した試料を使用した理由は、セメント改良土では透水係数が低いため通水が困難であることを考慮して、供試体を破碎することにより、成型体に比べ溶出しやすい条件を想定したためである。供試体の作製には、廃棄物資源循環学会標準試験⁴⁾(草案)の規格に従い、125gのランマーを落下高さ約20cm、落下回数3回として充填高さが30±5cmになるように5層に分けて突き固めて作製した。溶媒には、pH5.8～6.3に設定した蒸留水を用い、試料を通過する流出液の速度はポンプを用い上向流で12mL/hになるように調整した。また、採水の条件は表-3の採水条件に従い、全分画を7分画とし累積L/S=10となるまで採水した。表-4に配合条件を

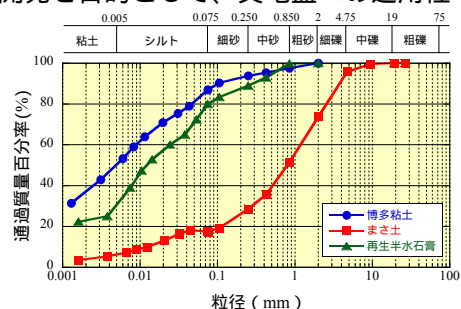


図-1 実験に用いた試料の粒径加積曲線

表-1 物理特性値

	海成粘土	まさ土	IH式再生半水石膏
粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.737	2.721	2.951
細粒分含有率 F_c (%)	86.90	17.40	80.0
液性限界 W_L (%)	79.65	44.9	-
塑性限界 W_P (%)	30.94	33.79	-
塑性指数 I_p	48.71	11.11	-
強熱減量(%)	9.79	4.14	-
pH	8.08	-	7.46
F(mg/l)	1.21	-	5.94

表-2 カラム試験の実験条件

条件	ランマー質量(g)	ランマー落下高(cm)	モールド内径(cm)	各層の突固め回数	最大粒径(mm)
まさ土	125	20	5	3	9.5
粘土					2.0

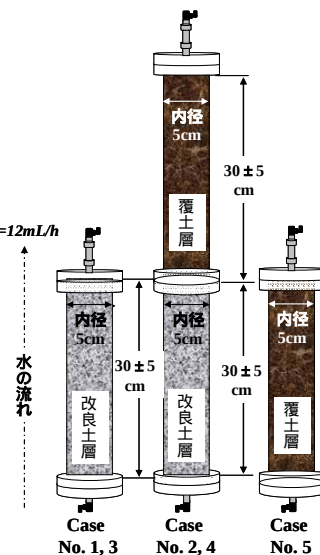


図-2 カラム模型

示す。配合条件については、浅層混合処理の要求強度⁵⁾である養生7日において $q_u=300\text{kN/m}^2$ を満足するものとした。得られた検体は全て、イオンクロマトグラフ（ダイオネクス社製 ICS-1000）によりふっ素溶出濃度を測定した。

3. 実験結果及び考察 図-3 に示す pH の変化に着目すると、Case No.1, 3 の覆土なしの条件では、高炉セメント B 種を添加した影響からアルカリ性を示していることがわかる。これに対し、Case

No.2, 4 の覆土ありの条件は Case No.5 のまさ土のみの条件と同様に溶媒の pH の中性を保っていることがわかる。図-4, 5 に各分画ごとのふっ素溶出濃度の経時変化及び累積ふっ素溶出濃度を示す。図に示すように、覆土を施していない Case No.1, 3 の条件で高いふっ素溶出濃度が確認できる。その傾向は、再生半水石膏添加量が多い Case No.3 の条件において顕著である。しかし、Case No.2, 4 の覆土ありの条件でのふっ素溶出濃度は、Case No.1, 3 の覆土なしの条件と比べて著しく低下していることがわかる。また、いずれも 2mm ふりを通過した試料を用いたにも関わらず、

土壌環境基準値を満足する値が得られた。このような結果は、改良土から溶出したアルカリ成分やふっ素は、覆土として用いたまさ土粒子により吸着された事が原因であると考えられる。実地盤への適用を想定した場合、セメントを補助固化材として用いた際の改良土表面からは、ふっ素の溶出やアルカリ分の溶出が予想される。しかし、セメント添加量 50kg/m^3 の粘性土では $k=1 \times 10^{-6} \sim 10^{-7}(\text{cm/s})$ と透水性が非常に低いため⁶⁾、移流による改良土内部のアルカリ分や重金属等は溶出しにくいことが考えられる。そのため、今回溶出しやすい条件を想定した検討結果において環境的に安全な結果が得られたことから、実地盤に適用する際にも周辺地盤によりその移動を抑制でき、環境面においても安全であると予想される。今後、タンクリーチング試験を行い、成型体からの溶出を確認するとともに、拡散による溶出について評価していく事も重要である。

4. まとめ 1) 再生半水石膏を用いた軟弱粘土地盤改良土から溶出されるふっ素は周辺地盤の土質材料により、その移動を抑制できる。2) セメントを補助固化材として用いると改良土の透水係数が低いため、内部はアルカリ性を保ったままふっ素の溶出も抑制できると予想される。さらに、移流による改良土内部のアルカリ分や重金属等は溶出しにくいことが考えられる。今後、拡散による溶出について評価していく事も重要である。

謝辞：本研究は、環境省平成 23 年度循環型社会形成推進科学研究費(No.K2359)および文部科学省化学研究費(No.21560527)の一部として実施された研究である。関係各位に心より感謝申し上げます。

参考文献 1) 社団法人石膏ボード工業会ホームページ 2) 例えば亀井ら:半水石膏の地盤改良材としての有効利用, 地盤工学ジャーナル, vol.2, No.3, pp.245-252, 2007. 3) 地盤工学会,土質試験の方法と解説 - 第一回改正版 -, 「安定処理土の締固めをしない供試体作製」, PP.308-316, 2000. 4) 廃棄物資源循環学会標準試験(草案) JWS-020X (2006-11-30 DRAFT). 5) (社)日本建築学会, 建築基礎のための地盤改良設計指針案, PP.37-42. 6) セメント系固化材による地盤改良マニュアル [第二版], 社団法人セメント協会, PP.42, 1994.

表-3 各分画と累積 L/S

分画	分画体積(L) (=L/S比×試料乾燥重量)	累積L/S比 (L/kg乾燥試料)
1	$(0.1 \pm 0.02) \times m_0$	0.1 ± 0.02
2	$(0.1 \pm 0.02) \times m_0$	0.2 ± 0.04
3	$(0.3 \pm 0.05) \times m_0$	0.5 ± 0.08
4	$(0.5 \pm 0.1) \times m_0$	1.0 ± 0.15
5	$(1.0 \pm 0.2) \times m_0$	2.0 ± 0.3
6	$(3.0 \pm 0.2) \times m_0$	5.0 ± 0.4
7	$(5.0 \pm 0.2) \times m_0$	10.0 ± 0.1

表-4 配合条件

Case No	土質材料	含水比 w (%)	再生半水石膏 B (kg/m^3)	高炉セメントB種 B _c (kg/m^3)	養生日数 t_c (day)	覆土
1	博多粘土	100	100	50	7	なし
2			100			まさ土
3			200			なし
4			200			まさ土
5	まさ土	初期含水比	0	0	0	

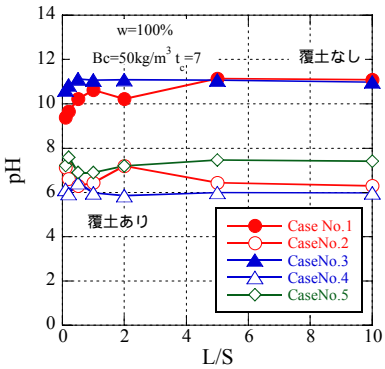


図-3 pH と L/S の関係

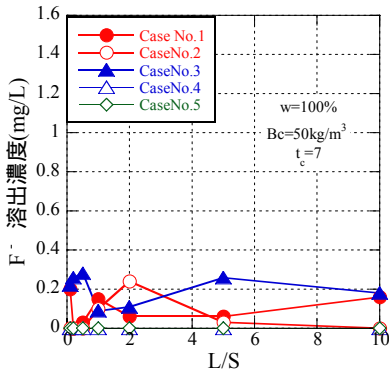


図-4 F-溶出濃度と L/S の関係

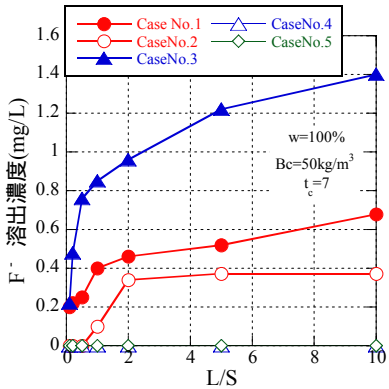


図-5 累積 F-溶出濃度と L/S の関係