

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：12102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12234

研究課題名(和文) 流体力学的分級およびサクシオン圧密による土壌洗浄

研究課題名(英文) Soil washing by hydrodynamic classification and suction consolidation

研究代表者

京藤 敏達 (KYOTOH, HARUMICHI)

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：80186345

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：湿式洗浄装置の分級槽の構造について実験的な研究を行った。その結果、積層傾斜板の水平からの角度は60度で最も分級効果を発揮すること、60度未満の角度にした場合には傾斜板間に砂堆ができて、その砂堆積が沈澱槽へ流出してしまうこと、60度より角度を大きくした場合には傾斜板間の上昇流と下降流が対向することで発生する乱流が激しくなり傾斜板の沈降作用が機能しないことが判明した。また、分級槽底部に設置したスタティックミキサー(波板、鋭角板)は、分級槽内に土砂をトラップする機能を有することが判明した。

研究成果の概要(英文)：Efficiency of soil washing due to lamellar inclined channel and static mixer is studied experimentally. The soil washing instrument is composed of two zones, i.e., agitation and classification zones. Swirlers and a static mixer are set in the agitation zone, and laminated plates are put in the classification zone. The performance of the lamellar channel is the highest at the inclination angle with 60 degrees from the horizontal line. We found that the static mixer could classify soil by trapping heavy soils in their wakes in the mixer.

研究分野：水工学

キーワード：土壌洗浄 傾斜板 スタティックミキサー 分級

### 1. 研究開始当初の背景

2011年3月の福島第一原子力発電所事故で発生した汚染土壌をいかに減容化するかが問題となっている。また、中間貯蔵開始後30年以内に、汚染土壌を福島県外で最終処分を完了するための基盤技術の開発が今後10年程度で行われる。そのため、減容・再生利用技術の開発が求められ除染・減容等技術実証事業が行われ、汚染土壌の減容化技術として主に3つの処理、分級処理、化学除染、熱処理が提案された。

これら技術の中で分級処理は土壌全体から細かい粒子を取り除く処理を行うため、他の技術と比べて減容化率は下がるが、相対的に安価に処理が可能である<sup>①</sup>。

現状の湿式分級は、土壌の攪拌洗浄、ふるいによる分級、泥水処理という複数の工程を有する。ここで、ふるい分級では10 $\mu$ mオーダーの分級を行う際に、ダマや目詰まりによる処理の遅延が指摘されており、改良及び効率化が必要とされる。

### 2. 研究の目的

我々が開発した土壌洗浄装置<sup>②、③、④</sup>(分級槽、沈澱槽)の改良を行い、スタティックミキサーと傾斜板を用いた湿式分級法を確立し、高効率な新たな土壌洗浄装置の開発を目的とする。

### 3. 研究の方法

我々が開発した土壌洗浄装置<sup>③、④</sup>の分級槽の鉛直ハニカム、傾斜ハニカムを取り除き、旋回流を作る環状管路、スタティックミキサーの上に傾斜板を設置する。分級槽下部に設置された環状管路は旋回流を発生させ、土を連続的に投入することができる(図1参照)。傾

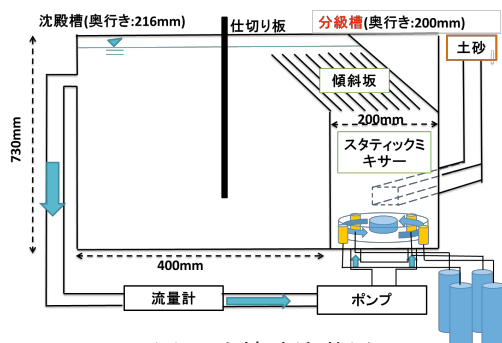


図1 土壌洗浄装置

斜板は分級槽上部に設置され、傾斜角を変更することができる。この傾斜角の最適値、及び、スタティックミキサーが、濁水が高濃度になるのを抑止する効果を有するかについて、実験的に調べる。

図2に使用した実験装置(写真)を示す。この傾斜スリットを用いた分級基礎実験の目的は、土壌洗浄装置に設置する積層傾斜板の最適角度を決定するためである。今回は60度、70度の2パターン、流量を40L/min、48L/min、52L/minの3パターンで実験を行った。実験に使用した砂は東北珪砂8号である。投入する珪

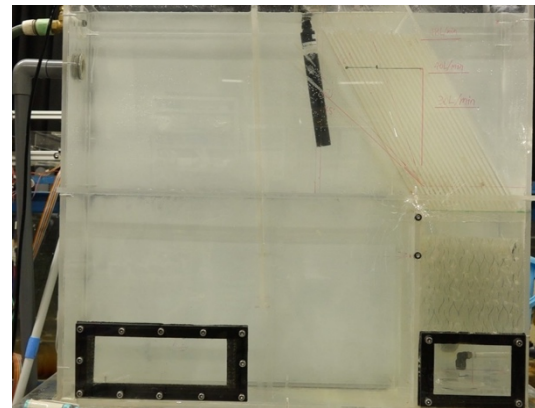


図2 分級実験装置(写真)

砂は2kgで統一した。

実験の流れは、まず土壌洗浄装置に水を溜め、ポンプを稼働させる。流量を決定した後、土砂投入口から東北珪砂と水1.5Lを混ぜた懸濁液を30秒毎に150ml投入する。投入した懸濁液のSSは1,333,000mg/Lである。実験は懸濁液を投入し終えてから、30分間稼働させる合計40分間行う。その後、サンプルを採取する。

サンプルは、実験終了後の分級槽外部の4つのタンクに堆積した粒子、沈澱槽へ堆積した粒子を回収する。分級槽は外部に接続された4つのタンク(図1参照)から粒子を回収する。この際、ポンプを停止させた時に、積層傾斜板、スタティックミキサー、旋回流部に浮遊している粒子が降下し、サンプルの結果に影響を及ぼす可能性がある。そのため、4つのうちの1つの出口を解放し、分級槽に溜まる濁水をそこから放出した。それにより、他の3つのタンクには分級槽に浮遊した粒子が堆積し

ないようにした。

回収した粒子は、乾燥させ、粒度分布を求めて条件ごとに比較し本実験で使用する角度を決定した。また、分級槽出口付近に濁度計を設置し、積層傾斜板を超えてきた懸濁液の濁度を測定した。使用した濁度計は、ポータブル濁度計 TB-31(東亜 DKK)濁度単位は NTU、ホルマジンを濁度標準液としている。

#### 4. 研究成果

図3及び図4にそれぞれ傾斜角が 60 度と 70 度の傾斜板における分級実験結果を示す。ここで、流量は 40L/min に固定した。

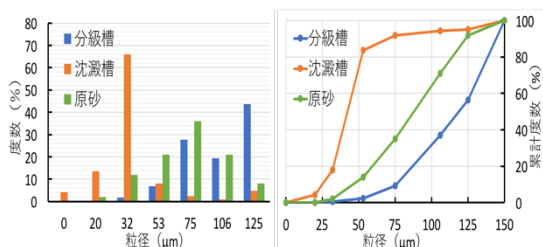


図 3 粒度度数分布  
傾斜角度 60 度、流量 40L/min

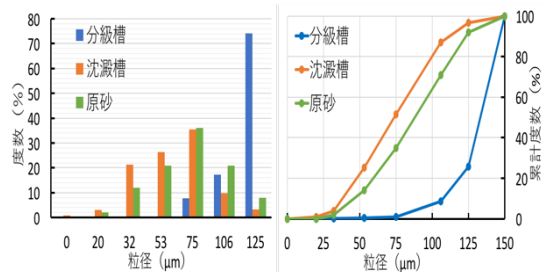
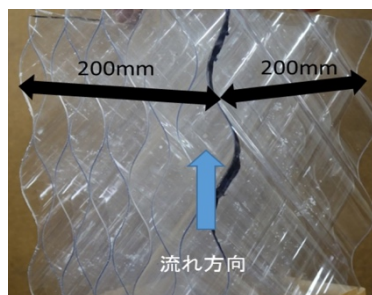


図4 粒度度数分布  
傾斜角度 70 度、流量 40L/min

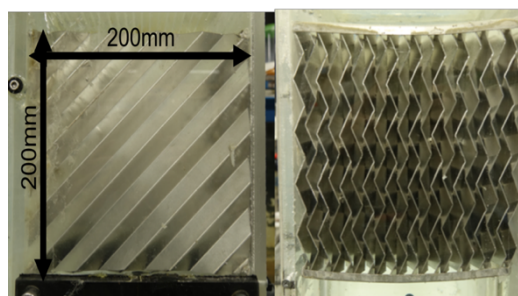
傾斜角が 60 度の傾斜板では、沈澱槽には 50  $\mu\text{m}$  以下の粒子が8割を占めている。一方、傾斜角が 70 度のときは、沈澱槽の粒度分布は、ほぼ原砂の分布に近い。これは、分級されずに分級槽の原砂が沈澱槽に移動したことを示す。この原因は、傾斜角が 70 度になることで、傾斜板間で固液混相流の乱流が発生しているためである。固液混相流では、上昇流下では、粒子の沈降により Rayleigh-Taylor 不安定が発生し、極めて乱流になり易い。

以上のことから、傾斜板の水平からの傾き角

が 60 度の時が、分級が良好に行えることが判明した。すなわち、60 度より小さいときは、傾斜板に土砂が堆積し閉塞に伴って土砂が流出する。また、70 度以上になると乱流が発生し、土砂の拡散浮遊によって、土砂が流れに従って、沈澱槽に移動する。



波板



鋭角

図5 スタティックミキサー

さらに、土砂を旋回流で攪拌した後、スタティックミキサー(図5参照)を通過させると、スタティックミキサー内に発生している剥離域内で、粒径の大きな重い粒子を沈降させることが可能となる。スタティックミキサーは、通常は攪拌の効果を期待して設けられる装置であるが、固液混相流では、エレメントの形状を工夫することで、粒子の分離が可能であることが判明した。

最後に図6、図7は、東北硅砂2kg を分級槽に投入し、40分間ポンプを稼働した後の、分級槽及び沈澱槽における粒度分布を示す。この図から、沈澱槽には75  $\mu\text{m}$  以下の粒子が9割を占めること、分級槽では、鋭角スタティックミキサーの方が、細粒砂が少ないことが分かる。

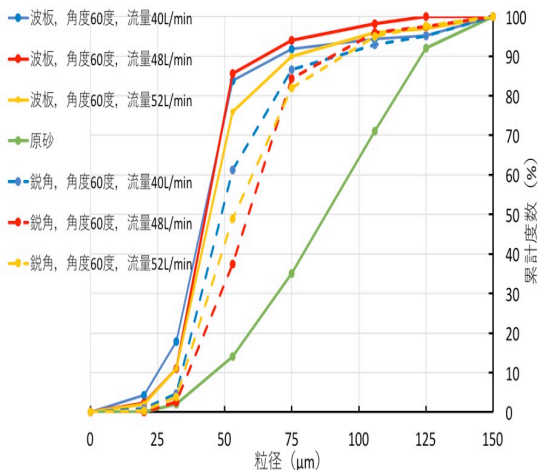


図6 沈澱槽の土砂粒径の累積度数分布

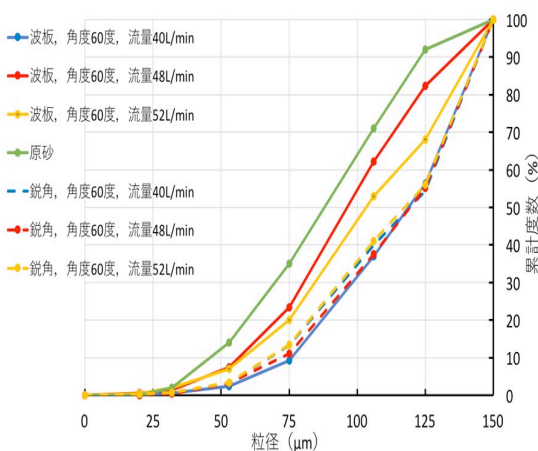


図7 分級槽の土砂粒径の累積度数分布

以上のことから、本方法はバッチ式土壌洗浄方式としては良好に機能することが判明した。本方法によれば、篩による分級と異なり、目詰まりが無く、75  $\mu\text{m}$  以下のシルトや粘土を土壌から分離することができる。

一方で、土砂を連続的に投入し処理する場合には、分級槽の細粒砂の濃度が単調に増加することが想定される。この場合、傾斜板から沈降する土砂を分級槽から除去する工夫が必要となる。

<引用文献>

- ① 前田、辻野ほか、高性能洗浄装置を用いた放射能汚染土壌の除染および減容化技術、佐藤工業技術研究所報 No.37、pp.45-52、2012.

- ② 山下、京藤、放射能汚染土壌の湿式分級による減容化に関する研究、混相流シンポジウム 2014、B153、2014.
- ③ 京藤、懸濁水処理装置ならびに洗浄、分級および処理システム、特願 2014-255762、2014.
- ④ 山下、Wang Jue、京藤、木俣、楠岡、水力学的分級およびサクシオン圧密による土壌洗浄装置の開発、環境放射能除染学会誌、Vol. 3、No. 1、pp. 15-23、2015.

5. 主な発表論文等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

京藤 敏達 (KYOTOH, Harumichi)  
 筑波大学・システム情報系・教授  
 研究者番号：80186345