

令和 5 年 4 月 25 日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K15622

研究課題名（和文）砕石脱水ケーキのため池コア材への適用性に関する基礎的研究

研究課題名（英文）Fundamental Study on Applicability of Crushed Stone Dehydrated Cake to Core Material of Small Earth Dams

研究代表者

鈴木 麻里子（Suzuki, Mariko）

神戸大学・農学研究科・助教

研究者番号：50756658

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、砕石副産物の再資源化を目指し、砕石脱水ケーキをため池遮水材料へ適用することを検討した。砕石脱水ケーキの土質特性について体系的に取りまとめ、一般的な土質材料とは異なることを明らかにした。砕石脱水ケーキをため池遮水材として使用可能にするために、砕石粉を添加した改質脱水ケーキを作製した。改質した砕石脱水ケーキに対して、物理・力学試験及び試験盛土施工、繰返し三軸試験、動的遠心模型実験を実施した。その結果、改質脱水ケーキは、締固め度95%の場合、透水係数や強度、耐震性等、本研究で検討したすべての項目について、ため池遮水材料への適性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、砕石や砕砂の製造過程から発生する副産物（砕石脱水ケーキ）の遮水性能の高さに着目し、土質系遮水材としての利用可能性を検討したものである。また、適用先として提案したため池遮水材料は枯渇資源として懸念されており、砕石副産物が適用可能となれば農業工学分野における貢献度は高い。本研究では、砕石工場内から別途発生する乾燥材料を添加することにより、安価に液状化強度の増加や施工性の向上を図ることが可能であることを繰返し三軸試験や盛土の試験施工等により明らかにし、盛土の施工管理基準を提案した。枯渇資源の代替品として使用可能になれば社会的意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：In this study, we examined the application of crushed stone dehydrated cake to impermeable materials for small earth fill-dams to aim at recycling crushed stone by-products. The characteristics of crushed stone dehydrated cake were systematically summarized and clarified that it is different from general soil materials. The crushed stone dehydrated cake was added crushed stone powder so that crushed stone dehydrated cake could be used as impermeable material for small earth fill-dams. Physical and mechanical tests, experimental embankment, cyclic triaxial tests, and dynamic centrifugal model tests were conducted on the improved crushed stone dehydrated cake. As a result, the modified dehydrated cake showed suitability for impermeable material for small earth fill-dams in terms of all items examined in this study, such as hydraulic conductivity, strength, and earthquake resistance, when the degree of compaction was 95%.

研究分野：農業工学

キーワード：砕石脱水ケーキ 砕石副産物 再資源化 ため池コア材

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

砕石工場の洗い工程で生じるスラッジ水は、凝集剤の添加、フィルタープレスによる脱水処理を経て、脱水ケーキとして排出される。現在、大部分の砕石脱水ケーキは埋め立て廃棄されているものの、廃棄コストや処分場の減少などの問題が存在し、再資源化は喫緊の課題である。さらに、昨今の日本では、コンクリート骨材の高品質化が要求され、粒径調整や表面加工に伴い、今後益々、砕石副産物の発生は増加することが予想される。よって、砕石業界では、処分場の残余許容量の延命化が求められ、砕石脱水ケーキの再資源化や再利用が強く望まれている。

一方、砕石脱水ケーキの適用先として考案しているため池の多くは老朽化しており、地震や豪雨などの災害による崩壊が懸念されている。特に、経年劣化によって細粒分が流失したため池堤体では浸透破壊が生じやすく、その対策は急務である。2019年5月末日時点において、全国の農業用ため池総数約17万箇所のうち6万4千箇所が新たな防災重点ため池に選定されており、ため池の維持管理は最重要課題である。しかしながら、ため池改修時に、遮水材として使用される粘土質のコア材が不足しており、良質な粘性土を遠方から購入し長距離運搬したり、遮水シートを敷設したりしている現状がある。

### 2. 研究の目的

本研究は砕石脱水ケーキの特性を生かし、ため池遮水材へ適用することを目的に、砕石脱水ケーキをコストやエネルギー利用を最小限に抑えた処理方法で再資源化することを考案する。砕石脱水ケーキは、ため池コア材として再利用可能か？を研究課題の核心をなす学術的「問い」とし、砕石脱水ケーキの物性把握、コストや市場性を考慮した砕石脱水ケーキの再生利用処理方法の検討、ため池コア材としての適用性の検討を行う。

### 3. 研究の方法

#### 【砕石脱水ケーキの物性把握(1年目、R2年度)】

粒度分布、液性塑性限界試験などの土質力学的な基本物性や、X線分析により化学組成を明らかにし、砕石脱水ケーキの諸特性を把握する。また、砕石脱水ケーキの再利用先として挙げているため池は環境と密接に関わるため、環境への影響評価が非常に重要である。ゆえにpH測定や溶出試験などを実施し、砕石スラッジの脱水時に添加される凝集剤による環境への影響の有無を明らかにする。

#### 【強度試験、透水試験など力学試験の実施(1年目、R2年度)】

泥土など軟弱土を用いる際、施工機械のトラフィカビリティ確保(65kPa以上)が重視される。同時に、ため池遮水材には遮水性( $1 \times 10^{-5}$  cm/sec以下)の確保も重要となる。ゆえに、一軸圧縮強度試験や透水試験などの力学試験を実施し、砕石脱水ケーキの力学特性を明らかにするとともに、液状化発生の有無を評価するために三軸試験を実施し詳細な強度特性を把握する。

#### 【小型模型実験(2,3年目、R3~R4年度)】

砕石脱水ケーキで施工したため池堤体の耐震性能を明らかにするために動的遠心模型実験を実施する。耐震対策が必要な防災重点ため池の改修を想定した場合、耐震性能の評価は必要不可欠である。よって、近い将来、発生すると言われている南海トラフ地震を想定したレベル2地震動を与え、均一型堤体と砕石脱水ケーキを用いた遮水ゾーンを有する堤体との比較を実施する。

#### 【施工性確認のための実地試験(2,3年目、R3~R4年度)】

砕石脱水ケーキをため池遮水材に使用した事例はなく、施工性が不明である。まき出しや転圧時に均一かつ十分に締固めができるのか精査する必要があると考えるため、砕石工場内のフィールドにて小型盛り土を築堤し、タンピングローラー等で転圧作業を行う際に不具合がないか確認する。小型盛り土に対し密度試験(RIや砂置換法)を実施し、適切なまき出し厚の決定や施工時に何らかの工夫が必要な場合は特記事項として取りまとめる。

### 4. 研究成果

砕石脱水ケーキ単体は、液性・塑性試験、粒度試験結果から低圧縮性粘土や砂混じりシルトに分類された。しかしながら、締固め特性は一般的な粘性土と異なる砂質材料の特徴を有しており、砕石脱水ケーキの特異性が確認された(図1)。砕石脱水ケーキの強度定数( $c'$ ,  $\phi'$ )や透水係数は、ため池遮水材としての基準を満たしていたものの、副産時の高含水比の状態では十分な一軸圧縮強度が発現せず、乾燥などの処理が必要であることが明らかとなった(図2)。よって、砕石脱水ケーキに同砕石工場から副産される砕石粉の添加を検討し、砕石脱水ケーキの改質を試みた。その結果、砕石脱水ケーキと同程度の粒度分布を有する砕石粉による改質が最も効果的であると結論付け、試験盛土施工や動的遠心模型実験を実施し、実現場への適用へ向けた検討を行った。

大型混練機で砕石脱水ケーキと砕石粉を混合した改質脱水ケーキを作製し、盛土試験を実施

した(図3)。実機で作製した改質脱水ケーキは、ばらつきが小さく、締固めに適した最適含水比近傍で作製することが可能であった。改質脱水ケーキを用いた試験盛土は、締固め度が85.8%とため池遮水材料の施工管理基準を満足しなかった。また、ポータブルコーン貫入試験試験から、十分な締固めエネルギーを伝播させることができたのが盛土表層から10~15cm付近までであることが明らかとなった。これは、600kg級の振動ハンドガイドローラーを転圧に用いたことが原因であり、盛土表層の締固めが早期に完了し、2~3cmの密実な表層が形成されたことで、内部への締固めエネルギーの伝播を阻害したことが確認された。

動的遠心模型実験から、改質脱水ケーキを用いた傾斜遮水ゾーン型堤体の耐震性を無対策均一型と比較して評価した。改修前堤体と仮定した無対策均一型の堤体は加振により越流し、ため池堤体の機能を失った一方、改質脱水ケーキを用いて前刃金工法により改修したことを仮定した傾斜遮水ゾーン型は、加振後も堤体の遮水機能を保った(図4)。

以上の結果より、十分に締固めを行った碎石脱水ケーキ(改質脱水ケーキ:碎石脱水ケーキ+碎石粉)は、ため池遮水材料として使用可能であることが分かった。今後は、再度盛土試験を実施する予定である。実際に工事で使用される3t級のタイヤローラーで転圧し、まき出し厚さや転圧回数などを明らかにし、施工管理指針を策定する。また、必要な追加実験を実施し、碎石副産物を用いたため池改修工事に係るマニュアルを作成する予定である。

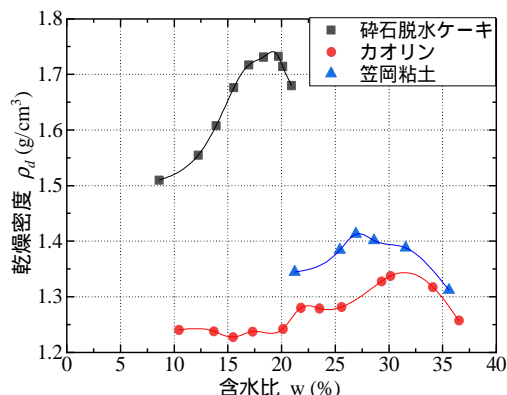


図1 締固め曲線

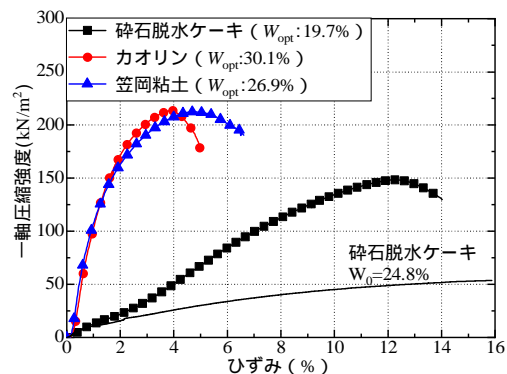


図2 一軸圧縮試験結果



図3 試験盛土作製風景

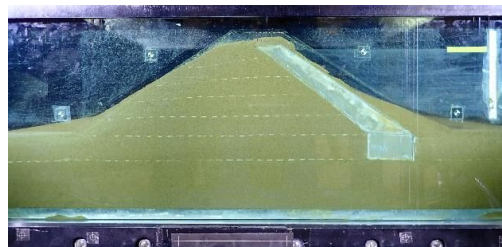


図4 遠心模型実験

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 富田和孝, 鈴木麻里子, 井上一哉	4. 巻 -
2. 論文標題 碎石副産物から作製した土質系遮水材の液状化強度と施工性に関する一考察	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Kansai Geo-Symposium 2022 論文集	6. 最初と最後の頁 68-72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 鈴木麻里子, 齊藤裕仁, 富田和孝, 大門健人, 井上一哉	4. 巻 212
2. 論文標題 碎石脱水ケーキの諸特性とため池遮水材料への適用に向けた検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 骨材資源	6. 最初と最後の頁 163-173
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 鈴木 麻里子、齊藤 裕仁、松家 武樹、松下 晴彦、井上 一哉	4. 巻 88
2. 論文標題 碎石脱水ケーキの物理特性と力学挙動に関する一考察	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 農業農村工学会論文集	6. 最初と最後の頁 I_179 ~ I_184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11408/jsidre.88.I_179	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 富田和孝, 齊藤裕仁, 鈴木麻里子, 井上一哉
2. 発表標題 乾燥材料を添加した碎石脱水ケーキの現場適用性に関する一考察
3. 学会等名 第78回農業農村工学会京都支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齊藤裕仁 , 鈴木麻里子 , 井上一哉
2. 発表標題 湿式砕砂を添加した砕石脱水ケーキの強度改善に関する実験的検討
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木麻里子
2. 発表標題 砕石副産物の高付加価値化と農学分野における持続可能な利用
3. 学会等名 骨材資源工学会2022年度秋季定例研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木麻里子
2. 発表標題 農業工学分野における砕石脱水ケーキの有効利用に関する多面的検討
3. 学会等名 第47回全国砕石技術大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------