

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 24 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25289330

研究課題名(和文) 繊維質固化処理土工法による災害復旧対応型泥土処理システムの開発と環境修復への適用

研究課題名(英文) Development of Continuous Sludge Improvement Machine for Disaster Sites by using Fiber-Cement-Stabilized Soil Method and Application of Improved Sludge to Environmental Restoration

研究代表者

高橋 弘 (Takahashi, Hiroshi)

東北大学・環境科学研究科・教授

研究者番号：90188045

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,200,000円

研究成果の概要(和文)：災害現場では大量の軟弱泥土が発生することが多く、迅速な災害復旧の障害となっている。本研究では、災害現場で発生する軟弱泥土を原位置で連続的に再資源化し、生成される改良土を復旧資材として再利用できる連続式泥土処理機械システムを提案し、要素技術について検討するとともに、泥土処理機械モデルを作製し、本研究で提案したシステムの有効性を実験的に検証した。

研究成果の概要(英文)：Generally, a large amount of sludge is generated in the disaster sites, and usually this sludge becomes an obstacle for prompt restoration. In this study, a continuous sludge recycling system was proposed to contribute the prompt restoration of disaster sites. This system can recycle the sludge in the disaster sites and produce the high quality ground materials. In this study, several elements technologies of the system were investigated and then a machine model of continuous sludge improvement was made. By using this model, the usefulness of proposed system in this study was experimentally investigated.

研究分野：環境科学

キーワード：建設機械 災害復旧 リサイクル 泥土処理 環境修復 機械施工システム ジオポリマー

1. 研究開始当初の背景

災害では大量の軟弱泥土が発生することが多く、これらの軟弱泥土は迅速な災害復旧の妨げになる。これまでは軟弱泥土は使い物にならない厄介物として取り扱われ、まずは軟弱泥土を取り除いてから災害復旧に取り掛かる工法が一般的であった。一方、平成16年の中部地震では地滑りが発生し、崩れ落ちた土砂が芋川を閉塞し、大量の軟弱泥土を発生させたが、繊維質固化処理土工法を現場で適用し、泥土改良を行い、改良土を国道の迂回路や資材置き場などに再利用して迅速な災害復旧に貢献した。軟弱泥土を原位置で改良する有効性が確認されたが、繊維質固化処理土工法は基本的にバッチ式処理であるため、作業効率が低いことが課題となっていた。

2. 研究の目的

本研究では、申請者が開発した「繊維質固化処理土工法」を基本技術として災害現場で発生する軟弱泥土を原位置で改良する『災害復旧対応型泥土処理システム』を開発し、災害に強い街づくりに貢献することを目的とする。本研究では、(1)災害現場における軟弱泥土処理システムの開発と(2)生成土を用いた環境修復の2つをメインテーマとし、それぞれのメインテーマに対して年度毎にサブテーマを設定し、『災害復旧対応型泥土処理システム』を構築する。

3. 研究の方法

(1)災害現場における軟弱泥土処理システムの開発：「災害復旧対応型泥土処理システムにおける機械要素技術の開発」

図-1 に本研究で開発する災害復旧対応型泥土処理システムのイメージを示す。本システムは、泥土を機械内部の混合容器に取り込み、泥土と古紙破砕物およびセメント系固化材を均等に混合し、改良土を機械後部から排出して直ちに転圧を行う工程から構成されるため、それぞれの機械要素を開発する。

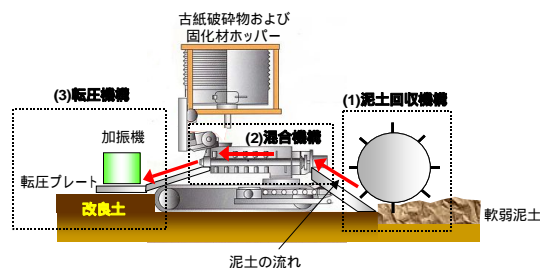


図-1 災害復旧対応型泥土処理システムのイメージ

軟弱泥土回収装置の開発：軟弱泥土をスクリーコンベア方式で回収する方法、ロータリー除雪機のようなロータでかき込む方式やブレードですくい取る方式などについて検討する。

古紙破砕物およびセメント系固化材混合機構の開発：回収されてきた泥土に古紙破砕

物と固化材を混合する装置について検討する。

改良土排出機構および転圧装置の開発：改良土を直ちに重機のアクセス道路などに再利用するため、攪拌・混合が終了した改良土を機械後部から排出し、転圧する機構について検討する。

開発した機械要素技術のインテグレート：上記3つの機械要素をインテグレートし、1つの泥土処理システムにまとめ上げ、災害復旧対応型泥土処理システムのモデルを製作する。

制御システムの開発：泥土回収、添加物の攪拌・混合、改良土の排出・転圧の一連の作業を実行する制御システムについて検討する。

災害復旧対応型泥土処理システムの動作確認と処理能力の評価：実際の軟弱泥土を用いて災害復旧対応型泥土処理システムの一連の動作を確認するとともに、時間当たりの処理能力を計測する。

(2)生成土を用いた環境修復：強度特性の検討

アクセス道路に再利用する際に必要な強度特性：改良土を直ちに重機のアクセス道路に再利用するために、重機が走行可能な必要最小限の強度を実験により把握する。

堤防・防潮堤補強盛土に再利用する際に必要な強度特性：改良土を堤防・防潮堤補強盛土材として再利用するため、強度特性・変形特性について検討する。

アクセス道路に再利用した際の耐久性：改良土の自然環境下での乾湿繰り返しによる強度劣化について実験的に検討する。

堤防・防潮堤補強盛土に再利用した際の耐久性：堤防・防潮堤補強盛土材の乾湿繰り返しに対する耐久性を実験的に検討する。

4. 研究成果

(1)災害現場における軟弱泥土処理システムの開発：「災害復旧対応型泥土処理システムにおける機械要素技術の開発」

軟弱泥土回収装置の開発

最短時間で目標の強度を発現する攪拌羽の形状について検討した。本研究で設計した設計した攪拌羽を図-2に示す。作製した攪拌羽は20枚のブレード(長さ7.5cm、幅1cm、厚さ2mm)から成り、直径15cm、長さ25cmの形状を有する。

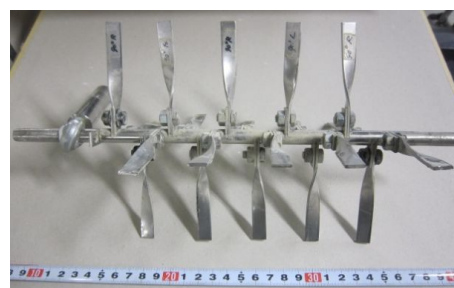


図-2 攪拌羽

混合度と強度発現の両面から検討した結果、図-3 に示す攪拌羽のパターンが最も効率的であることが分かった。数字は角度を R,L はそれぞれ右および左に 45 度曲げることを意味する



図-3 最も効率的な攪拌羽のパターン

古紙破砕物およびセメント系固化材混合機構の開発

本研究では、改良の作業効率を上げるため、泥土との混合を行う前にあらかじめ古紙破砕物とセメント系固化材を混ぜ合わせた古紙入りセメントを作製した。古紙破砕物の粉碎サイズに関しては、古紙破砕物の粉碎サイズの違いによる強度発現への影響は観察されなかった。この要因としては、あらかじめ古紙入りセメントを用いたことで、十分に古紙破砕物とセメント系固化材が混ざり合っていたため、泥土に添加し攪拌されてから即座に強度が発現されたためと考えられる。

改良土排出機構および転圧装置の開発

本研究では、重機が改良土の上を走行することにより、転圧を行うシステムについて考えることにした。そこで、攪拌作業終了後の改良土を 15cm x 20cm x 8cm の土槽に流し入れ、12cm x 15cm の転圧面を用いてシリンダーから 45kPa 接地圧で表層を転圧する装置を作製した。

開発した機械要素技術のインテグレート

開発した機械要素をインテグレートし、連続式泥土処理機械模型の製作を行った。本研究では実機の 1/20 スケールでのモデル装置を用いた実験を想定した。繊維質固化処理土工法の 3 つの要素である (1) 添加物散布、(2) 攪拌、(3) 転圧が円滑に行われるように要素を配置した。実験装置の全体写真を図-4 に示す。

制御システムの開発

攪拌部にはモータ (山洋電気製, T850-012EL8) を取り付け、モータの回転速度によって攪拌羽の回転数を制御した。添加物散布部にはモータ (ORIENTAL MOTOR 製, BLUM220-GFS) を取り付け、モータの回転速度によって添加量を制御した。また、土槽にもモータ (ORIENTAL MOTOR 製, VHR590A2T-GVR) を取り付け、装置に対して土槽を移動させることで、装置と土槽の相対速度を装置の移動速度とした。

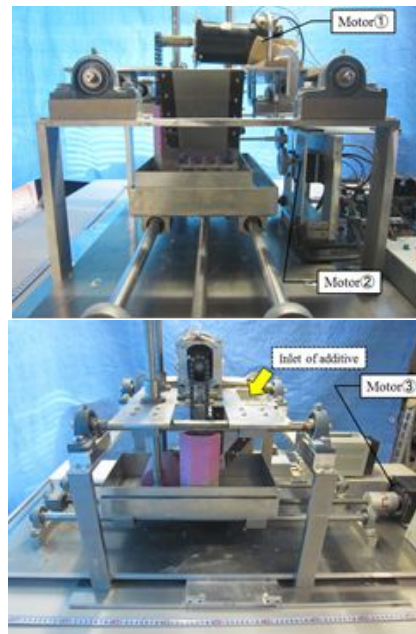


図-4 連続式泥土処理機械模型の外観

災害復旧対応型泥土処理システムの動作確認と処理能力の評価

模型を用いて実験を行った結果、攪拌羽はソイルミキサーに比べて攪拌能力が低い結果が得られた。攪拌部を改善するためには、連続式であっても十分に攪拌が行われるような機構を考える必要がある。そこで、現在の実験装置を使って行うことができる範囲で改善の方法を試し、その方法の有効性を確認した。具体的には、装置そのものを一度後退させ、同じ範囲の泥土を再び攪拌する方法である。攪拌の機構を変えることで、強度発現時間を早めることが可能となった。

(2) 生成土を用いた環境修復：強度特性の検討

アクセス道路に再利用する際に必要な強度特性

改良土をアクセス道路に再利用するには、できるだけ早く重機が被災地に入れるような地盤材料を生成することが必要である。そこで、本研究では、セメント系固化材の代わりにジオポリマーの適用を試みた。その結果、 Na_2SiO_3 : NaOH の質量比を 5:5 および 7:3 としたジオポリマーを用いた場合、12 時間後には目標強度および目標ひずみを満足する結果が得られた。

堤防・防潮堤補強盛土に再利用する際に必要な強度特性

軟弱泥土を築堤材として再資源化する手法について検討した。その結果、以下の結論が得られた。

- 古紙破砕物の添加量が 30, 40, 50 kg/m^3 、セメント系固化材の添加量が 60 kg/m^3 のときの供試体は破壊強度、破壊ひずみの目標値を達成した。
- 湿潤密度の目標値クリアーが最も厳しかつ

たが、泥土の初期含水比を調整することにより、目標値を満足できることが確認された。またコンクリート廃材を混入しても湿潤密度の目標値を満足することが確認された。

アクセス道路に再利用した際の耐久性

ジオポリマーを用いた改良土の乾湿繰返しに対する耐久性に関しては、養生期間が重要な因子であることが確認された。28日養生の場合、古紙破砕物の必要量は 30kg/m^3 であったが、42日養生の場合、 20kg/m^3 でも高い耐久性を示した。このことは、もし長い養生期間を確保できるのであれば、古紙破砕物の添加量を削減できる可能性があることを示している。

堤防・防潮堤補強盛土に再利用した際の耐久性

図-5 および図-6 に改良土の一軸圧縮試験結果を示す。A~Dは4種類の条件下で改良された試料を示している。0サイクル時、全ての条件で破壊強度、破壊ひずみの目標値を達成した。また、全ての条件で10サイクル終了時においても破壊強度、破壊ひずみの減少がみられず、耐久性の目標値である初期値の80%以上を満足した。これらの結果から、築堤材として再資源化された改良土(繊維質固化処理土)は乾湿繰返しを受けても劣化せず、高い耐久性を示すことが確認された。

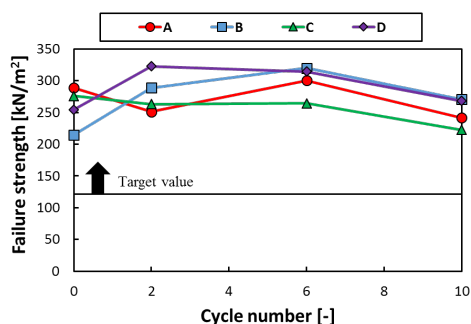


図-5 乾湿のサイクル数と破壊強度との関係

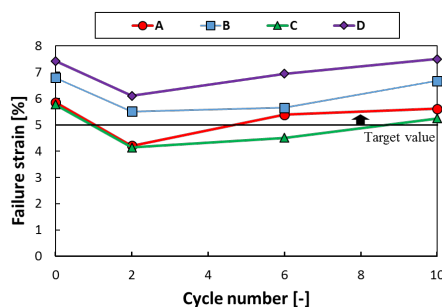


図-6 乾湿のサイクル数と破壊ひずみとの関係

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計15件)

1. Study on Development of New Fiber-Geopolymer-Stabilized Soil Method to

Improve the Sludge Generated in the Disaster Sites

Proc. of the 7th Vietnam/Japan Joint Seminar on Geohazards and Environmental Issues, Paper No. S3-1, pp.1-10, 2017(査読無)

Vu Minh Chien, Tomoaki Satomi, Hiroshi Takahashi and Le Anh Tuan

2. Study on Strength Characteristics of Sludge Reinforced by Rice Straw Fiber and Cement in Mekong Delta

Proc. of the 7th Vietnam/Japan Joint Seminar on Geohazards and Environmental Issues, Paper No. S3-6, pp.1-7, 2017(査読無)

Phan Thanh CHIEN, Tomoaki SATOMI and Hiroshi TAKAHASHI

3. Study on Recycling of Tsunami Sludge in the River as Banking Materials

Proc. of the 6th Vietnam/Japan Joint Seminar on Geohazards and Environmental Issues, Paper No. S3-1, pp.1-11, 2016(査読無)

Masanori SATO, Tomoaki SATOMI and Hiroshi TAKAHASHI

4. Study on Development of Placing Type Fiber-Cement-Stabilized Soil Method and Evaluation of Strength Properties of Modified Soil

Proc. of the 6th Vietnam/Japan Joint Seminar on Geohazards and Environmental Issues, Paper No. S3-2, pp.1-8, 2016(査読無)

Subaru TACHIHANA, Tomoaki SATOMI and Hiroshi TAKAHASHI

5. Study on Sludge Improvement by using Rice Husk

Proc. of the 6th Vietnam/Japan Joint Seminar on Geohazards and Environmental Issues, Paper No. S3-3, pp.1-13, 2016(査読無)

Phan Thanh CHIEN, Tomoaki SATOMI and Hiroshi TAKAHASHI

6. Study on Sludge Reinforcement with Placing type Fiber-Cement-Stabilized Soil Method by using Raw Rice Husk

Proc. of 11th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, (USB), 2016(査読有)

Phan Thanh CHIEN, Tomoaki SATOMI and Hiroshi TAKAHASHI

7. Study on Application of Geopolymer for Fiber-Cement-Stabilizes Soil Method to Improve the Sludge Generated in the Disaster Sites

Proc. of 11th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, (USB), 2016(査読有)

- Vu Minh Chien, Le Anh Tuan, Tomoaki SATOMI and Hiroshi TAKAHASHI
8. Experimental Evaluation on Strength Properties of Placing Type Fiber-Cement- Stabilized Soil
Proc. of International Symposium on Earth Science and Technology 2016, Vol.1, pp.79-84, 2016(査読有)
Subaru TACHIYANA, Tomoaki SATOMI and Hiroshi TAKAHASHI
 9. 津波堆積土砂の浚渫と築堤材への再資源化に関する研究
テラメカニックス, 第 35 号, pp.41-44, 2015(査読無)
佐藤 政則, 里見 知昭, 高橋 弘
 10. Study on Dredging of Tsunami Sludge in the River and Recycling of Tsunami Sludge as Banking Materials
Proc. of 10th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, (CD-ROM: Paper Number 006), 2015(査読有)
Masanori SATO, Tomoaki SATOMI and Hiroshi TAKAHASHI
 11. Experimental Investigation of Optimum Condition of Development of Continuous Recycling Machine of High-Water Content Mud Generated From Disaster Sites
Proc. of the 9th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, 2014(CD-ROM) (査読無)
Chiaki KUJI, Tomoaki SATOMI and Hiroshi TAKAHASHI
 12. FUNDAMENTAL STUDY ON DEVELOPMENT OF CONTINUOUS RECYCLING MACHINE OF HIGH-WATER CONTENT MUD GENERATED FROM DISASTER SITES (査読無)
Proc. of the 4th Vietnam/Japan Joint Seminar on Geohazards and Environmental Issues, Paper No. S3-2, pp.1-8, 2014
Hiroshi TAKAHASHI, Chiaki KUJI and Tomoaki SATOMI
 13. Experimental Investigation of Optimum Condition of Development of Continuous Recycling Machine of High-Water Content Mud Generated From Disaster Sites
Proc. of the 9th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, 2014(CD-ROM)(査読有)
Chiaki KUJI, Tomoaki SATOMI and Hiroshi TAKAHASHI
 14. 災害復旧対応型連続式泥土処理機械の開発に関する研究
テラメカニックス 第 34 号, pp.41-45, 2014(査読無)
- 高橋 弘, 久慈 千晶, 里見 知昭
15. 災害復旧対応型連続式泥土処理機械の開発に関する研究
テラメカニックス 第 34 号, pp.41-45, 2014(査読無)
高橋 弘, 久慈 千晶, 里見 知昭
- 〔学会発表〕(計 16 件)
1. Study on Strength Characteristics of Sludge Reinforced by Rice Straw Fiber and Cement in Mekong Delta
The 7th Vietnam/Japan Joint Seminar on Geohazards and Environmental Issues, 2017 年 3 月 10 日, 東北大学(宮城県・仙台市)
Phan Thanh CHIEN, Tomoaki SATOMI and Hiroshi TAKAHASHI
 2. Study on Development of New Fiber-Geopolymer-Stabilized Soil Method to Improve the Sludge Generated in the Disaster Sites
The 7th Vietnam/Japan Joint Seminar on Geohazards and Environmental Issues, 2017 年 3 月 10 日, 東北大学(宮城県・仙台市)
Vu Minh Chien, Tomoaki Satomi, Hiroshi Takahashi and Le Anh Tuan
 3. Experimental Evaluation on Strength Properties of Placing Type Fiber-Cement- Stabilized Soil
International Symposium on Earth Science and Technology 2016, 2016 年 12 月 8 日～9 日, 九州大学(福岡県・博多市)
Subaru TACHIYANA, Tomoaki SATOMI and Hiroshi TAKAHASHI
 4. Study on Application of Geopolymer for Fiber-Cement-Stabilizes Soil Method to Improve the Sludge Generated in the Disaster Sites
The 11th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, 2016 年 11 月 1 日～4 日, ホーチミン(ベトナム)
Vu Minh Chien, Le Anh Tuan, Tomoaki SATOMI and Hiroshi TAKAHASHI
 5. Study on Sludge Reinforcement with Placing type Fiber-Cement-Stabilized Soil Method by using Raw Rice Husk
The 11th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, 2016 年 11 月 1 日～4 日, ホーチミン(ベトナム)
Phan Thanh CHIEN, Tomoaki SATOMI and Hiroshi TAKAHASHI
 6. 繊維質固化処理土工法施工機械の開発に関する基礎的研究
テラメカニックス研究会, 2016 年 10 月 13 日～15 日, 両津地区公民館(新潟県・

- 両津市)
高橋 弘, 大島 慎平, 里見 知昭
7. Study on Sludge Improvement by using Rica Husk
The 6th Vietnam/Japan Joint Seminar on Geohazards and Environmental Issues, 2016年3月11日, ハノイ(ベトナム)
Phan Thanh CHIEN, Tomoaki SATOMI and Hiroshi TAKAHASHI
 8. Study on Development of Placing Type Fiber-Cement-Stabilized Soil Method and Evaluation of Strength Properties of Modified Soil
The 6th Vietnam/Japan Joint Seminar on Geohazards and Environmental Issues, 2016年3月11日, ハノイ(ベトナム)
Subaru TACHIHANA, Tomoaki SATOMI and Hiroshi TAKAHASHI
 9. Study on Recycling of Tsunami Sludge in the River as Banking Materials
The 6th Vietnam/Japan Joint Seminar on Geohazards and Environmental Issues, 2016年3月11日, ハノイ(ベトナム)
Masanori SATO, Tomoaki SATOMI and Hiroshi TAKAHASHI
 10. Study on Improvement of Sludge in Mekong Delta Area, Vietnam by Using Rice Husk
The 10th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, 2015年11月1日~4日, くにびきメッセ(島根県・松江市)
Phan Thanh CHIEN, Tomoaki SATOMI and Hiroshi TAKAHASHI
 11. Study on Dredging of Tsunami Sludge in the River and Recycling of Tsunami Sludge as Banking Materials
The 10th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, 2015年11月1日~4日, くにびきメッセ(島根県・松江市)
Masanori SATO, Tomoaki SATOMI and Hiroshi TAKAHASHI
 12. Experimental Investigation of Optimum Condition of Development of Continuous Recycling Machine of High-Water Content Mud Generated From Disaster Sites
The 9th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, 2014年11月1日~4日, ニューデリー(インド)
Chiaki KUJI, Tomoaki SATOMI and Hiroshi TAKAHASHI
 13. 災害現場における連続式泥土再資源化

- 処理機械の開発に関する基礎的研究
資源・素材学会東北支部春季大会, 2014年6月17日, 東北大学さくらホール(宮城県・仙台市)
久慈 千晶, 里見 知昭, 高橋 弘
14. FUNDAMENTAL STUDY ON DEVELOPMENT OF CONTINUOUS RECYCLING MACHINE OF HIGH-WATER CONTENT MUD GENERATED FROM DISASTER SITES
The 4th Vietnam/Japan Joint Seminar on Geohazards and Environmental Issues, 2014年3月12日, ホーチミン(ベトナム)
Hiroshi TAKAHASHI, Chiaki KUJI and Tomoaki SATOMI
 15. 災害復旧対応型連続式泥土処理機械の開発に関する研究
第34回テラメカニックス研究会, 2013年12月12日~12月14日, ホテルグランビュー石垣(沖縄県・石垣市)
久慈 千晶, 里見 知昭, 高橋 弘
 16. Experimental Investigation of Optimum Condition of Development of Continuous Recycling Machine of High-Water Content Mud Generated From Disaster Sites
The 9th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, 2013年10月30日~11月1日, ホーチミン(ベトナム)
Chiaki KUJI, Tomoaki SATOMI and Hiroshi TAKAHASHI

〔その他〕

ホームページ:

<http://www2.kankyo.tohoku.ac.jp/htaka/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 弘 (Hiroshi TAKAHASHI)

東北大学・大学院環境科学研究科・教授
研究者番号: 90188045

(2) 研究分担者

深川 良一 (Ryoichi FUKAGAWA)

立命館大学・理工学部・教授
研究者番号: 20127129

里見 知昭 (Tomoaki SATOMI)

東北大学・大学院環境科学研究科・助教
研究者番号: 80588020