

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 25 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22360383

研究課題名（和文） 廃棄物の複合利用による低コスト耐震性地盤材料の開発と堤防補強・環境修復への適用

研究課題名（英文） Development of low cost quake-resistive ground materials by integrating several wastes and its application for Environmental Restoration

研究代表者

高橋 弘(TAKAHASHI HIROSHI)

東北大学・大学院環境科学研究科・教授

研究者番号：90188045

研究成果の概要（和文）：

稲わらをミキサーで湿式粉砕することにより、古紙破砕物の代替品として使用可能であることを確認した。さらにこの方法で粉砕した稲わらを用いて繊維質固化処理土を作成し、乾湿繰り返し試験および水中噴流試験を実施した結果、稲わら入り繊維質固化処理土は非常に高い耐久性および耐侵食性を有していることが確かめられた。また繊維質固化処理土の強度特性をシミュレートできる計算モデルを開発した。

研究成果の概要（英文）：

It was confirmed that rice straw crushed by the mixer with wet condition can be used as a substitute of paper debris. Fiber-cement-stabilized soils were made by using the crushed rice straw and cyclic test for drying and wetting and submerged jet erosion test were carried out by using Fiber-cement-stabilized soils with crushed rice straw. In a result, it was found through these tests that Fiber-cement-stabilized soils have high durability for drying and wetting and high durability for erosion. Furthermore, a simulation model to estimate the strength characteristics of Fiber-cement-stabilized soils.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2011 年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
2012 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
年度			
年度			
総計	9,300,000	2,790,000	12,090,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・リサイクル工学

キーワード：繊維質固化処理土、稲わら、耐震性地盤材料、環境修復、堤防補強、再資源化、社会基盤整備

(1) 研究開始当初の背景

循環型社会の構築を目指して様々な廃棄物の再資源化が試みられているが、建設汚泥や浄水発生土などは含水比が高いため直接利用が困難であり、再資源化率が低いのが現状である。高含水比泥土をセメント系固化材で固化し、盛土などに利用する再資源化工夫

も提案されているが、生成される土砂の品質が悪く、普及には至っていない。そこで、申請者らは、国策でもある循環型社会の構築に寄与するため、これらの高含水比泥土に古紙破砕物(古新聞などの古紙を15mm角程度に破砕したもの)を混合し、良質な土砂に再資源化する「繊維質固化処理土工夫」を開発した。

本工法で生成される土砂は、高い破壊強度・破壊ひずみを有し、乾湿繰り返しに対する高耐久性を示すなどの成果、優れた強度特性・変形特性を有することから、本工法は既に200を超える施工実績を有し、2007年には国土技術開発賞を、また2008年には産官学連携推進功労者表彰・国土交通大臣賞を受賞するとともに、資源・素材学会の論文賞を受賞するなど、社会的にも学術的にも高い評価を得ている。

ところが、近年、古紙の価格は高騰を続けており、また昨今の経済事情より施工コストの縮減が強く求められている。特に最近では古紙の購入費用は繊維質固化処理土工法の施工単価の約半分を占める程度まで増大しているため、古紙に代わる安価な代替品の開発が急務になっている。

そこで、着目したのが農業廃棄物である稲わらである。国内外を問わず、ほとんどの農家で稲わらの処分には苦慮しており、10cm程度に裁断して水田にすき込んでいるのが実情である。しかし、村松の報告(千葉大学博士学位論文、2009)では、水田にすき込んだ稲わらは農作物の生産量を減少させるばかりではなく、セルロースが水田の微生物により分解され、地球温暖化の原因となるメタンガスを発生させることが指摘されている。稲わらを本工法に適用できれば、稲わらの購入価格はほぼゼロと考えてよいので、セメント系固化材のみを用いる従来工法よりもさらに安価な極めて低コストの再資源化処理が可能になる。しかも、稲わらの粉碎方法を工夫し、再資源化の過程で耐震性という付加価値を付与できれば、生成土の適用範囲は格段に広がり、今後、高含水比泥土の再資源化に関する標準工法に成り得る可能性がある。本研究では、生成土を堤防の補強盛土など盛土材として利用することを考えているため、多少のセメント系固化材も使用する。従って、土壌のpHはアルカリ域に保たれるため、微生物が生育できず稲わらが分解されることもなく、水田からのメタン発生を抑え、地球温暖化の抑制にも貢献できる。

(2) 研究の目的

① 稲わら粉碎技術の確立と土質特性の把握

古紙破砕物を使用して生成された繊維質固化処理土が有する従来の特性(高い破壊強度・破壊ひずみ、乾湿繰り返しに対する高耐久性)と同等の特性を有する土砂を生成することができる稲わらの粉碎手法、必要添加量、処理手順について検討する。具体的には、種々の方法で稲わらを粉碎し、粉碎物を用いて添加量を変化させながら繊維質固化処理土工法により高含水比泥土を再資源化し、生成土の土質特性を室内実験により把握する。これまでの実績を踏まえ、目標破壊強度は

200kN/m²以上、目標破壊ひずみは5%以上とする。また乾湿繰り返しに対する耐久性は、10サイクル(1サイクルは40℃炉乾燥2日間、20℃水浸1日間)終了時まで崩壊せず、初期強度を維持することを目標とする。

② 耐震性付加と計算機シミュレータの開発

耐震性を付加するための稲わらの粉碎手法、稲わらの添加量、再資源化手法を確立する。耐震性の検証は、繊維質固化処理土を用いた繰り返し三軸圧縮試験により行う。さらに振動台に模擬堤防を作成し、過去の地震波を入力して模擬堤防を振動させ、通常土による模擬堤防と繊維質固化処理土による模擬堤防の崩壊の様子を観察し、耐震性を検証する。一方、耐震性の実験と平行して、計算機上で耐震性の有無を判断できるシミュレータの開発を行う。

③ 耐侵食性と緑化技術の確立

河川堤防を景観と調和させるためには、堤防の緑化技術は必要不可欠である。また生成土を高温多雨地域における土砂流失防止・環境修復に適用するためには、激しい降雨に対する耐侵食性の付加も必要不可欠である。そこで、アルカリ土壌でも成育し、かつ雑草の繁殖を防ぐ植物(例えばイワダレソウ)を選定し、土壌の吹き付け厚と生育度の関係、根の伸張と土壌のせん断抵抗力との関係、激しい降雨に対する耐侵食性の付加技術などを明らかにする。

(3) 研究の方法

① 稲わら粉碎技術の確立と土質特性の把握

初めに稲わらを種々の方法で粉碎・裁断した破砕物をマイクロスコープで観察し、繊維質の長さ、太さなど古紙破砕物に近い粉碎物を生み出すことのできる粉碎・裁断法を見出す。次に生成土を作成し、一軸圧縮試験を実施して強度特性・変形特性を把握し、目標値をクリアする稲わらの添加量などを決定し、最適な粉碎・裁断方法および添加量を求め、強度特性・変形特性の観点から見た「稲わらを用いた繊維質固化処理土工法」の最適施工条件を明確にする。さらに40℃炉乾燥2日、20℃水浸1日を1サイクルとした乾湿繰り返し試験を10サイクル継続し、生成土の耐久性を実験的に調べる。

② 耐震性付加と計算機シミュレータの開発

粉碎時間と稲わら繊維質の強度との関係、混合時間の変化による土粒子と繊維質の絡み合いの程度などを調べるとともに、繰り返し三軸圧縮試験を実施して生成土の動的強度について実験的に検討する。さらに振動台の上に生成土を用いて模擬堤防を作成し、振動実験を行い、堤防内部の土圧変化を調べ、

堤防崩壊のメカニズムを解明するとともに、本工法で生成される土砂の耐震性を定量的に評価する。さらに個別要素法を用いて計算機上で耐震性の有無を判断できるシミュレータの開発を行う。

③耐侵食性と緑化技術の確立

水中噴流試験装置を設計・作成し、繊維質固化処理土に噴流をあて、侵食の程度から耐侵食性を定量評価する。さらに固化処理を施さない繊維質処理土も作成し、保水性、軽量性、透水性などの土壌物理特性を計測し、環境修復のための基礎資料を得る。

(4)研究成果

①稲わら粉碎技術の確立と土質特性の把握

1) 繊維質固化処理土の目標破壊強度および目標破壊ひずみをそれぞれ 200kN/m² および 5%と設定した。さらに稲わらをハンマーミルおよびミキサーを用いて粉碎し、繊維質固化処理土を生成するとともに、一軸圧縮試験を実施し、最適な粉碎方法について検討した。その結果、稲わらをミキサーを用いて湿式粉碎すれば、生成される繊維質固化処理土は目標値を満足することが確認された。すなわち稲わらの粉碎方法としてはミキサーによる湿式粉碎がベストであることが確認された(図-1)。



(a) ミキサーによる乾式粉碎



(b) ミキサーによる湿式粉碎

図-1 稲わらの粉碎状況

2) 稲わらの破砕物の添加量を種々に変化させ、さらにセメント系固化材の添加量も変化させて繊維質固化処理土を作成し、一軸圧縮試験により強度特性・変形特性について検討

した。その結果、稲わら破砕物およびセメント系固化材の最適添加量を把握することができた。

3) 稲わらを用いた繊維質固化処理土を盛土材として使用するために乾湿繰り返し試験を実施し、耐久性について実験的に検討した。その結果、稲わらを用いた繊維質固化処理土は、乾湿繰り返しの影響を受けず高い耐久性を有することが確認された(図-2)。

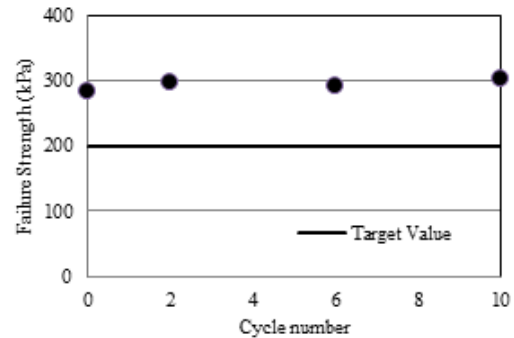


図-2 サイクル数と破壊強度との関係

②耐震性付加と計算機シミュレータの開発

1) 稲わら入り繊維質固化処理土を高温多雨地域における堤防補強に適用するためには、激しい降雨に抵抗できる高い耐侵食性を有することが必要とされる。そこで、本研究では、水中噴流装置を作成し、稲わら入り繊維質固化処理土の耐侵食性について実験的に検討した(図-3)。その結果、稲わら入り繊維

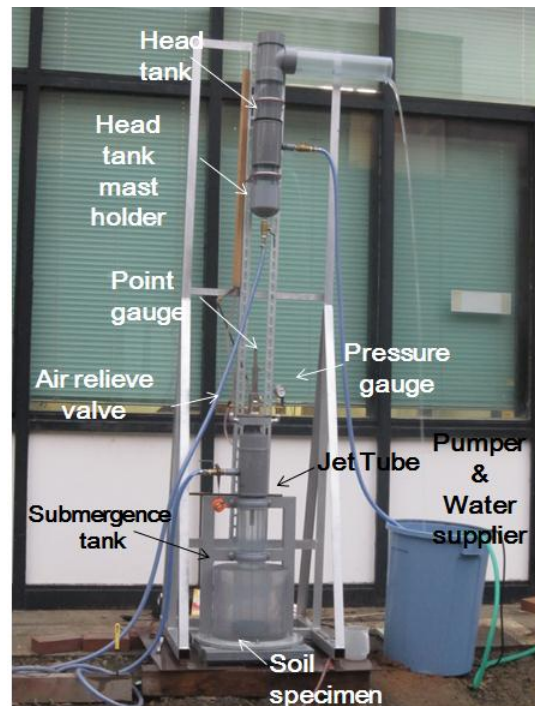


図-3 本研究で作成した水中噴流試験装置

質固化処理土は通常土と比較して侵食され難く、高い耐侵食性を有することが確認された。またこの傾向は、セメント系固化材の添加量が大きくなるほど顕著であった。

2) 任意の粒度分布の建設汚泥でも耐震性を確保するのに必要な稲わら粉碎物の最適添加量や最適混合時間を計算機上でシミュレートできる計算機シミュレータを開発した。シミュレータの開発には、連続体から粒状体まで連続して解析できる個別要素法 (DEM) を採用した。モデル化した固化処理土と繊維質固化処理土に対して振動模型シミュレーションを行った結果、繊維質固化処理土は非常に大きな振動を加えたにもかかわらず崩壊するまでには至らず、限定的に高い耐震性を有することが確認できた (図-4)。

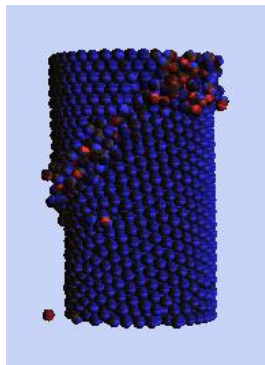


図-4 シミュレータによる一軸圧縮試験結果

③耐侵食性と緑化技術の確立

1) 河川堤防は、自然災害から地域住民の生命・財産を守る重要構造物と位置づけられているが、日本では全国の堤防の約4割が強度不足で決壊の可能性があると言われており、早急な対策が必要とされている。一方、河川堤防を周辺の景観と調査させるためには、堤防のり面の緑化技術は必要不可欠である。そこで本年度は、河川浚渫土を再資源化し、緑化基盤材を作成するとともに、その土壌物理特性を計測した (図-5)。その結果、生成した緑化基盤材に廃木材チップを混合することにより、保水力、軽量性、通気性、三相分布、保肥力の全てを満足する緑化基盤材を生成することが確かめられた。また上記の性能を満足するために必要な廃木材チップの添加量を明らかにした。



図-5 本研究で作成したチップ入り緑化土

2) 本工法により生成された土砂を堤防の補強盛土として利用するためには、降雨による土砂流出を防ぐため、耐侵食性に関する検討が必要不可欠である。稲わらの繊維成分と土粒子との結合により耐侵食性を付加することができることから、泥土に古紙破砕物および稲わらを混合し、さらにセメント系固化材を添加して地盤材料を作成し、水中噴流装置により耐侵食性を定量的に検討した。その結果、繊維質物質およびセメント系固化材の添加量の増加とともに侵食係数は減少し、限界せん断応力は増大すること、すなわち、地盤材料の耐侵食性が増大することが確認された。特に繊維質固化処理土の耐侵食性は未改良土に比べて、侵食係数に関して約1,000倍、限界せん断応力に関して約100倍の値になることが分かった。

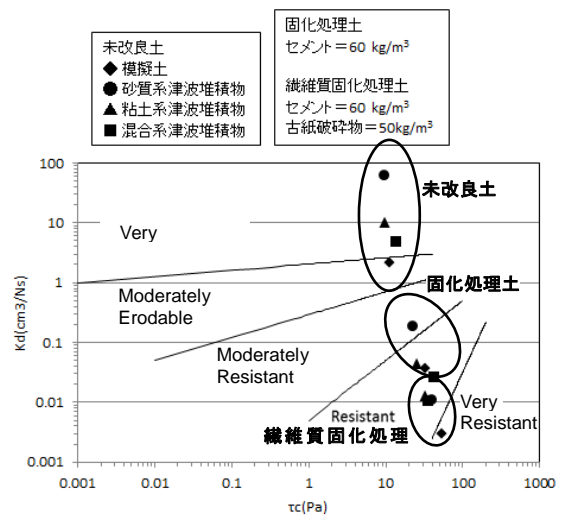


図-6 限界せん断力と侵食係数との関係

(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 12 件)

- ① 高橋 弘, 栗原 弘樹, 里見 知昭, 東日本大震災で発生した廃木材と津波堆積物の再資源化による地盤材料の開発, 第6回土砂災害に関するシンポジウム論文集, 査読有, 2012年, 1-6
- ② H.Takahashi, T.Satomi and M.Mori, Creation of Artificial Ground by Recycling Tsunami Sludge, Proc. of the 2nd Vietnam/Japan Joint Seminar on Geohazards and Environmental Issues, 査読有, 1巻, 2012年, S3-3-1~S3-3-9
- ③ H.Takahashi, H.Kuribara and T.Satomi, Development of Ground Material by

- Recycling the Wasted Wood and Tsunami Sludge Generated in the Great East Japan Earthquake, Proc. of the 2nd Vietnam/Japan Joint Seminar on Geohazards and Environmental Issues, 査読有, 1 巻, 2012 年, S3-2-1~S3-2-9
- ④ H.Takahashi, S.Kumagai and T.Satomi, Study on Durability for Erosion of Fiber-Cement-Stabilized Soils, Proc. of the 2nd Vietnam/Japan Joint Seminar on Geohazards and Environmental Issues, 査読有, 1 巻, 2012 年, S3-1-1~S3-1-9
- ⑤ 高橋 弘, 森 雅人, 益子 恵治, 繊維質物質を用いた高含水比泥土の再資源化工法の開発, 季刊 環境研究, 査読無, 165 号, 2011 年, 34-43
- ⑥ 里見 知昭, 今田 直希, 高橋 弘, 個別要素法を用いた繊維質固化処理土の変形強度特性の評価, 応用力学論文集, 査読有, 14 巻, 2011 年, 375-384
- ⑦ Ngoc NGUYEN ANH, Hiroshi TAKAHASHI, Masato MORI and Luu Xuan LOC, Study on Fiber-Cement-Stabilized Soils by using Rice Straw, Proc. of the International Symposium on Earth Science and Technology, 査読有, 1 巻, 2010 年, 33-38
- ⑧ Naoki KONDA, Hiroshi TAKAHASHI, Yuko SUTO and Tomoaki SATOMI, DEM Simulation on Strength and Deformation Characteristics of Ground Materials, Proc. of the 5th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, 査読有, 1 巻, 2010 年, CD-ROM
- ⑨ Hiroshi TAKAHASHI, Masato MORI, Satoshi SHIBATA and Takashi NAGANUMA, Study on Durability of Fiber-Mixed Planting Soils with Wood Chips for Rainfall, Journal of Japanese Society of Experimental Mechanics, 査読有, 10 巻, 2010 年, 193-198
- ⑩ 高橋 弘, 里見 知昭, 森 雅人, 柴田 聡, 木材チップ入り繊維質処理土の降雨耐久性に関する実験的研究, 第 5 回土砂災害に関するシンポジウム論文集, 査読有, 1 巻, 2010 年, 225-230
- ⑪ 高橋 弘, 今田 直希, 繊維質処理土の変形・強度特性に関する数値シミュレーション, 建設機械, 査読無, 46 巻, 2010 年, 37-42
- ⑫ Hiroshi TAKAHASHI and Hirokazu KANAHAMA, A New Recycling System of Waste Gypsum Board Paper : Application of Waste Gypsum Board Paper for Soil Improvement, International Journal of the Society of Materials Engineering for Resources, 査読有, 17 巻, 2010 年, 64-68
- [学会発表] (計 13 件)
- ① 朱 海濱, 里見 知昭, 高橋 弘, 高含水比泥土の再資源化による植生基盤材の開発, テラメカニクス研究会, 2012 年 10 月 12 日, 宮城県南三陸町
- ② 高橋 弘, 栗原 弘樹, 里見 知昭, 東日本大震災で発生した廃木材と津波堆積物の再資源化による地盤材料の開発, 第 6 回土砂災害に関するシンポジウム, 2012 年 8 月 23 日, 宮崎市
- ③ H.Takahashi, T.Satomi and M.Mori, Creation of Artificial Ground by Recycling Tsunami Sludge, 2nd Vietnam/Japan Joint Seminar, 2012 年 3 月 13 日, ベトナム・ホーチミン
- ④ H.Takahashi, H.Kuribara and T.Satomi, Development of Ground Material by Recycling the Wasted Wood and Tsunami Sludge Generated in the Great East Japan Earthquake, 2nd Vietnam/Japan Joint Seminar, 2012 年 3 月 13 日, ベトナム・ホーチミン
- ⑤ H.Takahashi, S.Kumagai and T.Satomi, Study on Durability for Erosion of Fiber-Cement-Stabilized Soils, 2nd Vietnam/Japan Joint Seminar, 2012 年 3 月 13 日, ベトナム・ホーチミン
- ⑥ Hiroshi TAKAHASHI and Masato MORI, A New Recycling System for High Water Content Mud and Strength Characteristics of Modified Soils Produced by This System, The 1st Vietnam/Japan Joint Symposium on Saigon River Bank Erosion, 2011 年 3 月 8 日, 滋賀県草津市
- ⑦ Ngoc NGUYEN ANH, Hiroshi TAKAHASHI, Masato MORI and Luu Xuan LOC, Study on Strength and Durability of Fiber-Cement-Stabilized Soils by using Rice Straw, The 1st Vietnam/Japan Joint Symposium on Saigon River Bank Erosion, 2011 年 3 月 8 日, 滋賀県草津市
- ⑧ Naoki KONDA, Hiroshi TAKAHASHI, Yuko SUTO and Tomoaki SATOMI, Numerical Simulation on Strength and Deformation Characteristics of Fiber-Cement-Stabilized Soil, The 1st Vietnam/Japan Joint Symposium on Saigon River Bank Erosion, 2011 年 3 月 8 日, 滋賀県草津市
- ⑨ Ngoc NGUYEN ANH, Hiroshi TAKAHASHI, Masato MORI and Luu Xuan LOC, Study on Strength of Fiber-Cement-Stabilized Soils by using Rice Straw, The International Symposium on Earth Science and Technology 2010, 2010 年 12 月 7 日,

- 福岡
- ⑩ Naoki KONDA, Hiroshi TAKAHASHI, Yuko SUTO and Tomoaki SATOMI, DEM Simulation on Strength and Deformation Characteristics of Ground Materials, The 5th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, 2010年11月5日, 京都
 - ⑪ 今田 直希, 高橋 弘, 繊維質固化処理土の変形・強度特性に関する数値シミュレーション, 第4回オーガナイズド・テラメカニックス・ワークショップ in 東根, 2010年10月28日, 東根
 - ⑫ Ngoc NGUYEN ANH, Hiroshi TAKAHASHI and Luu Xuan LOC, Study on Strength of Fiber-Cement- Stabilized Soils by using Rice Straw, 第4回オーガナイズド・テラメカニックス・ワークショップ in 東根, 2010年10月28日, 東根
 - ⑬ 高橋 弘, 里見 知昭, 森 雅人, 柴田 聡, 木材チップ入り繊維質処理土の降雨耐久性に関する実験的研究, 第5回土砂災害に関するシンポジウム, 2010年8月11日, 宇部

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 弘 (TAKAHASHI HIROSHI)

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 (FUKAGAWA RYOICHI)
立命館大学・理工学部・教授
研究者番号：20127129

須藤 祐子 (SUTO YUKO)

東北大学・大学院環境科学研究科・助教
研究者番号：70344687

(3) 連携研究者

()

研究者番号：