

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19360409

研究課題名（和文） 未利用高含水比泥土の新しい再資源化処理による環境対応型
高機能性地盤材料の開発研究課題名（英文） Development of Eco-Friendly Functional Ground Materials by
New Recycling Method for Unused High Water Content Mud

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：

建設汚泥等の未利用高含水比泥土を繊維質固化処理土工法により再資源化した土砂は、高い動的強度を有していること、すなわち耐震性地盤材料として最適であることを実験的に確認した。さらに、浄水発生土を本工法で処理した繊維質処理土は、軽量であるばかりでなく、高い保水力・保肥力を有することから、屋上緑化用植生基盤材として最適であることを確認した。さらに、廃石膏ボードを利用した半水石膏系固化材を開発し、高含水比泥土の土質改良に適用した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	8,500,000	2,550,000	11,050,000
2008年度	6,700,000	2,010,000	8,710,000
年度			
年度			
年度			
総計	15,200,000	4,560,000	19,760,000

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，建設汚泥，リサイクル，耐震性地盤材料，環境地盤工学，
緑化基盤材，環境保全・環境修復

1. 研究開始当初の背景

建設汚泥、浄水発生土、湖沼におけるヘドロ、沈砂池における堆積土砂、浚渫土などは含水比が高く、そのままでは直接利用が困難なことから、リサイクル率が低いのが現状である。そこで、研究代表者らは高含水比泥土に古紙破砕物と高分子系ポリマーを混合することにより、脱水を施すことなく良質な土砂に再資源化する「繊維質固化処理土工法」を開発した。

ところで、土砂流出による環境問題(例えば、沖縄県における赤土流出による珊瑚の死

滅などの海洋被害)、地震時における埋戻し土の液状化による下水道施設の被害や堤防の崩壊、災害現場で発生する軟弱泥土処理など地盤に関する様々な問題が顕在化してきている。また廃棄物の増加は最終処分場の残存容量を逼迫させ、処理コストの負担から不法投棄が頻繁に行われ、一種の社会問題・環境問題を引き起こしている。それゆえ、地盤上の問題と廃棄物に関する環境問題を同時に解決し得る高機能性地盤材料の開発が望まれている。

2. 研究の目的

本研究では、研究代表者らが既に開発した繊維質固化処理土に耐震性および耐侵食性の機能を付加すること、および廃棄物を利用してこれらの高機能性を実現し、環境調和型高機能性地盤材料の開発を目指す。具体的には、泥土の再資源化処理技術を工夫し、各種廃棄物から作成した土砂添加物を攪拌・混合することにより、土粒子間結合力・せん断抵抗力を高め、土壌に対して、液状化し難くかつ繰り返し荷重に抵抗できる「耐震性」を付加する処理技術および激しい降雨にも抵抗し、降雨により侵食されない「耐侵食性」を付加する処理技術を開発することを目的とする。さらに難処理物質の1つであるは廃石膏ボードを利用した新しい土質改良工法について検討することを目的とする。

3. 研究の方法

- (1) 繊維質固化処理土および固化処理土を用いて繰り返し三軸圧縮試験を実施し、間隙水圧の上昇から動的強度を定量的に把握する。
- (2) 繊維質処理土を用いて、保水力・保肥力、通気性などの土壌物理特性を計測する。
- (3) 繊維質処理土に木材チップを混合し、自然降雨および人工降雨機を用いて降雨耐久性を把握する。
- (4) 攪拌時間を変えて繊維質固化処理土を作成し、攪拌時間が強度特性に及ぼす影響を一軸圧縮試験により確認する。
- (5) 粒度分布などの異なる様々な泥土に対して古紙破砕物の添加量を変え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を計測することにより、泥土の違いに対する最適古紙破砕物添加量を把握する。
- (6) 振動台上に模擬堤防を作成し、振動実験を行うことにより、繊維質固化処理土の耐震性を定性的に把握する。
- (7) 繊維質固化処理土の強度特性をコンピュータ上でシミュレートできる計算モデルを開発する。
- (8) 廃石膏ボードのリサイクル率向上を目指して、繊維入り半水石膏系固化材を作成し、土質改良への適用性について検討する。
- (9) 半水石膏系固化材を使用する際の硫化水素発生抑制技術を開発する。

4. 研究成果

- (1) 様々な泥土に古紙破砕物およびセメント系固化材を添加し、繊維質固化処理土を作成した。この処理土を用いて繰り返し三軸圧縮試験を実施した結果を図-1に示す。この図に示されるように、繊維質固化処理土は従来の固化処理土や通常土に比べて液状化し難く、高い動的強度を有すること、す

なわち高い耐震性を有することが実験的に確かめられた。

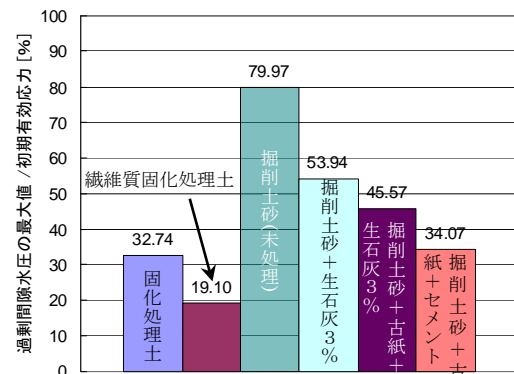


図-1 各試料の「過剰間隙水圧/初期有効応力」の値の比較

- (2) 繊維質処理土の土壌物理特性を測定した結果を表-1に示す。湿潤時比重や気相率など目標値をクリアしていない項目もあるが、全体的に本は優れた土壌物理特性を有していることが確認された。なお、有効水分保持量は極めて大きな値を示していることから、多少水分保持量を犠牲にしても本処理土に木材チップなどを混合することにより、湿潤時比重や気相率が改善されると考えられる。

表-1 目標性能と測定結果

測定項目	単位	目標値	測定値
有効水分保持量	L/m ³	100以上	261
湿潤時比重	—	1.0以下	1.27
三相分布	%	固相率30以下	23.9
		気相率25以上	16.2
透水性	Cm/s	10 ⁻³ 以上	1.8×10 ⁻³
陽イオン交換容量	cmol/kg	6以上	17.7

- (3) 様々な泥土に古紙破砕物および木材チップを混合し、繊維質処理土を作成した。こ

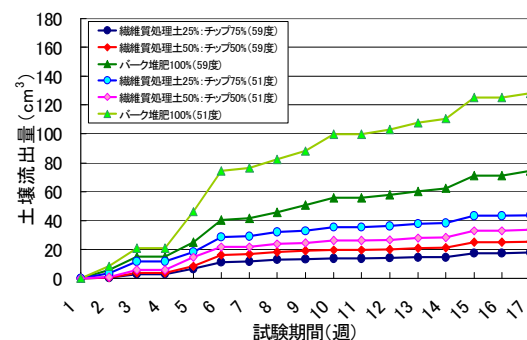


図-2 自然降雨による土砂流出量の経時変化

の処理土を用いて、自然降雨による土砂流出量を計測した。その結果を図-2に示す。図-2に示されるように、本処理土は従来のバーク堆肥に比べて高い降雨耐久性・耐侵食性を有することが確かめられた。

- (4) 大量の泥土を処理するためには、連続式の処理機械が必要であるが、現在、このような処理機械は存在しない。そこで、処理機械の開発に資するため、攪拌時間が処理土の強度特性に及ぼす影響について検討した。その結果、攪拌時間の増加とともに処理土の強度特性が強くなり、攪拌時間は200秒程度あれば十分であることを確認した。

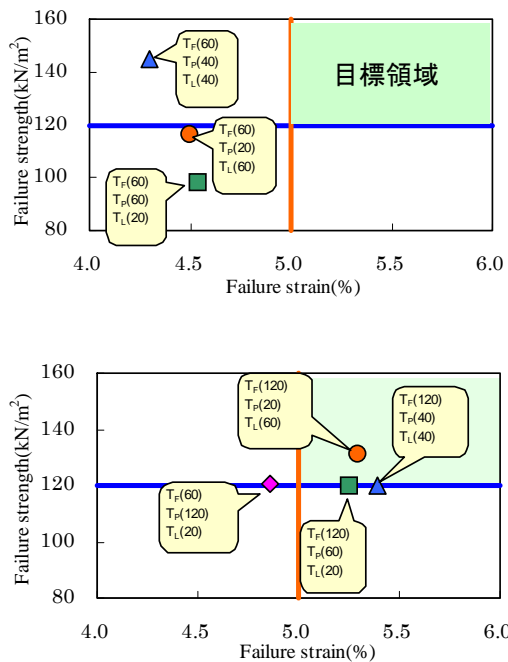


図-3 強度特性に及ぼす攪拌時間の影響：図中の数値の合計が攪拌時間(秒)

- (5) 様々な泥土に対して、古紙破砕物の添加量を変化させて繊維質固化処理土を作成し、その力学特性について検討した。その結果、泥土中の土粒子の粒度分布から最適な古紙破砕物の添加量を決定することが可能となった。

- (6) 繊維質固化処理土を用いて振動台の上に模擬堤防を作成し、振動実験を行った結果、繊維質固化処理土は高い耐震性を有することが確認された。図-4に振動試験後の供試体の様子を示す。左は通常土(黒土)であり、左は通常土に繊維質物質を加えた繊維質固化処理土である。この図に示されるように、通常土は数回の振動で崩壊するが、繊維質固化処理土は崩壊せず、耐震性が高いことが分かる。

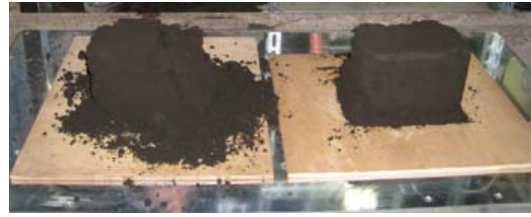


図-4 振動試験後の供試体の様子

- (7) DEM(個別要素法)を用いて繊維質固化処理土の力学特性をコンピュータ上で再現できる計算機シミュレータの開発を行った。その結果、高い破壊強度・破壊ひずみという繊維質固化処理土の力学特性をコンピュータ上でシミュレートすることが可能となった。図-5は本研究で開発したシミュレータを用いて計算したシミュレーション結果と実験値との比較を示したものである。改良の余地は残されているものの、シミュレーション結果は実験値をほぼ推定し得ることが分かる。

なお、現在は古紙破砕物とセメント系固化材の添加量を入力すれば、破壊強度および破壊ひずみが出力できるように修正中である。

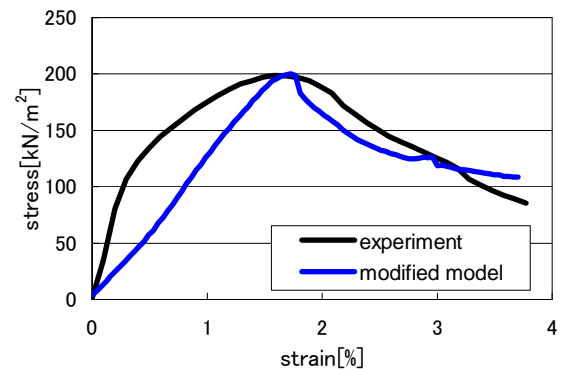


図-5 応力ひずみ曲線(実験値とシミュレーション結果)

- (8) 難処理物質の1つである廃石膏ボードの石膏部分から半水石膏系固化材を作成し、さらにボード紙を粉砕してボード紙粉砕物を作成し、繊維質固化処理土工法に適用した。図-6に、古紙破砕物とボード紙粉砕物を用いて繊維質処理土を作成し、両者の破壊強度および破壊ひずみを比較した結果を示す。黒塗りのバーが古紙破砕物を用いた時の結果であり、その他がボード紙粉砕物を用いた時の結果である。横軸は、[半水石膏系固化材:セメント系固化材]を示す。この図に示されるように、ボード紙粉砕物を用いても古紙破砕物を用いた時の結果とほとんど変わらないことから、ボード紙粉砕物は従来の古紙破砕物の代替品になり得る

ことが確認された。

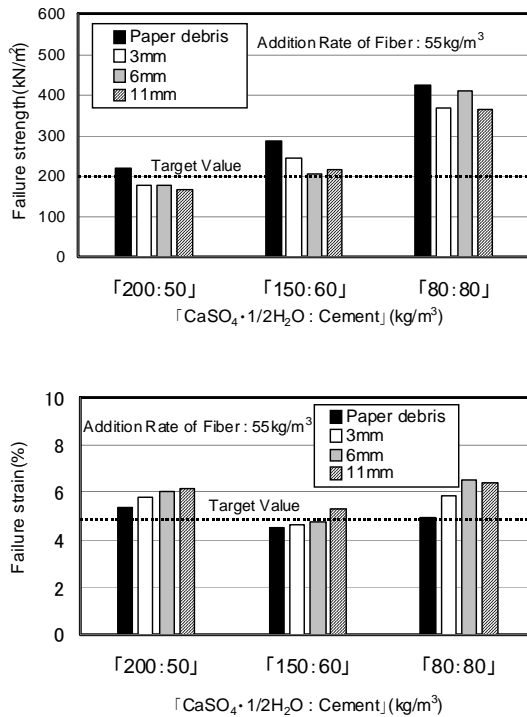


図-6 古紙破砕物とボード紙粉砕物を用いて作成した繊維質固化処理土の強度特性の比較(上：破壊強度，下：破壊ひずみ)

(9) 半水石膏系固化材を土質改良に適用する場合，硫化水素の発生が懸念されるため，本研究では，硫化水素発生抑制技術について検討した．ここでは，次の2つの方法について実験的に検討した．

- ① 土砂をアルカリ性に保ち，硫酸塩還元菌が生育できない環境を作る．
- ② 硫化水素と反応しやすい酸化鉄等を添加することにより，発生した硫化水素の吸着除去を行う．

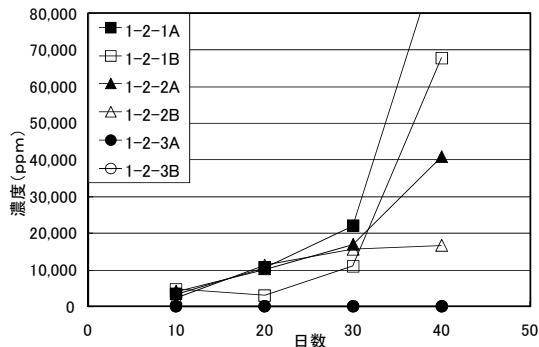


図-7 硫化水素濃度と経過日数との関係

図-7 に土砂の pH を変化させて発生する硫化水素の濃度を計測した結果を示す．1-2-1 は pH9，1-2-2 は pH10，1-2-3 は pH11 である．

1-2-1 と 1-2-2 は高濃度の硫化水素が発生しているが，1-2-3 では，硫化水素の発生は全く見られなかった．このことより，土砂の pH を 11 以上のアルカリ域に保てば，硫化水素は発生しないと考察される．なお，鉄材も硫化水素と反応し，安定な硫化鉄となることから，鉄材を土砂に層状に混合した場合は，硫化水素の発生はほとんど見受けられないことが実験により確認された．

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 7 件)

- (1) H. TAKAHASHI, H. KANAHAMA, Y. MORI, M. MORI and H. NISHIMURA: Study on Soil Improvement by using Wasted Gypsum Board -- Restraint Technology for Generation of Hydrogen Sulfide and Strength Characteristics of Improved Soils --, Proc. of Int. Symposium on Earth Science and Technology 2008, pp.207-214, 2008, 査読無
- (2) 山崎 淳, 高橋 弘, 金成 英夫, 森 雅人: 土壌物理特性の観点から見た緑化基盤材の生成に関する実験的研究, Journal of MMIJ(資源・素材学会誌), 第 124 巻, pp. 818-823, 2008, 査読有
- (3) 高橋 弘, 中村 浩之, 森 雅人: 繊維質固化処理土の強度特性および降雨耐久性と環境保全への応用に関する研究, 日本混相流学会誌, 第 22 巻, pp. 322-329, 2008, 査読有
- (4) 高橋 弘, 高橋 研太, 森 雅人: 繊維質固化処理土の動的強度に関する実験的研究, 第 4 回土砂災害に関するシンポジウム論文集, 第 1 巻, pp.1-5, 2008, 査読有
- (5) H. Takahashi, K. Takahashi and M. Mori: Study on Application of Fiber-Cement -Stabilized Soil to the Earthquake-Resistant Landfill Materials, Proc. of the 5th Int. Symposium on Earth Science and Technology, 第 1 巻, pp.25-31, 2007, 査読無
- (6) H. Takahashi, H. Kanahama and M. Mori: Fundamental Study on Development of Continuous Recycling Machine for High-Water Content Mud, Proc. of the 9th Int. Symposium on East Asian Resources Recycling Technology, 第 1 巻, pp. 375- 378, 2007, 査読無
- (7) 森 雅人, 山崎 淳, 高橋 弘: 高含水比泥土リサイクルの新たな展開と応用, 日本混相流学会誌, 第 21 巻, pp. 22-28, 2007, 査

読有

〔学会発表〕（計 4 件）

- (1) 金濱 弘和, 高橋 弘: 廃石膏ボードを利用した土質改良に関する研究—硫化水素の発生抑制技術について—, 第29回テラメカニックス研究会大会, 平成20年9月25日(夕張市)
- (2) 金濱 弘和, 高橋 弘: 繊維質固化処理土の強度特性に及ぼす攪拌時間の影響に関する研究, 平成19年度建設施工と建設機械シンポジウム, 平成19年10月18日(東京都)
- (3) 高橋 研太, 高橋 弘: 繊維質固化処理土の耐震性地盤材料としての適用可能性に関する研究, 第3回オーガナイズド・テラメカニックス・ワークショップin仙台, 平成19年10月4日(仙台市)
- (4) 金濱弘和, 高橋 弘: 廃石膏ボードを利用した「繊維入り半水石膏系固化材」の開発と土質改良への適用に関する研究, 第3回オーガナイズド・テラメカニックス・ワークショップin仙台, 平成19年10月4日(仙台市)

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

○取得状況（計0件）

〔その他〕

なし

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
建山 和由 (TATEYAMA KAZUYOSHI)
立命館大学・理工学部・教授
研究者番号 10179731
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

なし