

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：37111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26420488

研究課題名(和文)竹チップの吸水性に着目した高含水比粘性土の地盤改良技術の開発

研究課題名(英文) Development of the ground improvement technology of high water content clay focusing on water adsorption of bamboo chips

研究代表者

佐藤 研一 (Sato, Kenichi)

福岡大学・工学部・教授

研究者番号：20235336

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：研究成果は、1)竹チップの吸水効果は、時間経過に伴い変化し、12時間後に一定値を取ることが分かった。2)竹チップ混合土の強度は、竹チップの添加率の増加に伴って増加し、トラック運搬強度を満足する。3)竹チップと固化材を併用した処理土は、竹チップの形状、土質試料、設定含水比の違いに関係なく、盛土の要求強度を満足する。また、処理土に使用する固化材添加量の削減も可能である。4)竹チップ混合固化処理土は、竹繊維が引張補強材として働き、脆性的な破壊形態の改善や変形追従性の向上が期待でき、十分な改良効果が得られた。5)竹チップ混合処理土は、腐朽による影響は少ない。

研究成果の概要(英文)：Research results, 1) It was found that the water absorption effect of the bamboo chip changes with time and takes a constant value after 12 hours. 2) The strength of the bamboo chips mixed soil increases with increasing additive rate of bamboo chips, to satisfy the truck carrying strength. 3) Treatment soil in combination with bamboo chips and solidified material (cement) satisfies the required strength of embankment regardless of the shape of bamboo chip, soil sample and set water content ratio. In addition, it is also possible to reduce the amount of solidified material used for the bamboo chips mixed treated soil. 4) Bamboo chips mixed treated soil acts as a reinforcement bamboo fiber tensile, it becomes brittle fracture. 5) Bamboo chips mixed treated soil is affected by decay is small.

研究分野：地盤工学

キーワード：竹チップ 吸水効果 靱性効果 腐朽 コーン指数 一軸圧縮強さ

### 1. 研究開始当初の背景

竹は繁殖力が強く他の植物の生育環境にも被害を及ぼすため、森林保護の観点からも定期的な伐採が必要であるとされている。しかしながら、山の管理者の高齢化にともない、竹林が放置されている。竹は繁殖力が強く、2~3ヶ月で10~20mに成長するなど成長が旺盛で、森林に侵入した竹は、樹木を弱らせ、枯らせてしまう。また、竹の伐採作業では、山奥や急峻な場所でも容易に成長する竹の性質上、現地において大がかりな設備による作業は難しく、現位置における中間処理施設の未整備な点からも運搬費が高み放置竹林の増加に拍車をかけている。

現在、伐採された竹を加工し、土木建設分野で有効利用することは今後必要な技術であると考えられる。一方、ため池や河川の改修工事で発生する大量の高含水比で軟弱な浚渫土は、これまでその大半が処分場に投入されてきた。しかし、処分場の残余許容量の逼迫が社会的な問題になっていることを鑑み、建設事業において浚渫土の有効利用が求められている。特に高含水比で軟弱な浚渫土は、現場からの搬出・運搬、さらには有効利用する場合にはあらかじめ安定処理や脱水処理などの土質改良を行う必要がある。日本には約21万箇所ものため池が存在し、そのうちの70%以上のため池が築後100年以上経過しており、今後老朽化に伴う底泥処理を伴う改修工事が必要とされている。

そこで本研究では、ため池周辺に繁殖する竹に着目し、底泥の固化・脱水処理に対し、竹繊維の持つ吸水効果を生かし、高含水比な軟弱土を改良する技術を提案している。これらの研究では、植繊機を用いて竹廃材を粉碎・解繊しフレーク・チップ状に処理したものを高含水比で軟弱な浚渫土に攪拌・混合して、底泥の含水比を安価にかつ効率的に低下させ、改良することを目的としている。また、吸水材による含水比低下後の底泥を通常より少ないセメント等の固化材添加量によって改良効果を発揮させることも研究目的としている。さらに、木繊維の持つ吸水特性と靱性を生かして廃木材をチップ化したものについての検討を進め、東日本大震災や台風・豪雨災害などで多量に発生した廃木材の有効的な処理技術の提案を行う予定である。吸水処理後の改良土を盛土材などの地盤材料へ適用する際のチップ・フレーク材及びセメントの最適配合条件についても検討を行うことを検討課題としている。

### 2. 研究の目的

本研究は、竹や木材を粉碎・解繊させて得られる竹・木チップ・フレーク材を用いて取り扱いが困難な高含水比軟弱粘性土(泥土・汚泥)から竹・木繊維の持つ吸水性を利用し、粘性土中の含水比を見かけ上低下させる地盤改良工法の開発である。さらに、見かけ上含

水比が低下した粘性土にセメント等の固化材を混合させ、竹・木繊維を含有するセメント安定処理土の有効利用方法の検討を行う。また、有機分である竹・木繊維混合処理土の強度・変形特性の把握、土壌環境への影響、竹・木繊維の混合割合と腐朽の有無について検討する。そして、これらの研究成果の東日本大震災瓦礫の有効利用法への応用についても検討する。

### 3. 研究の方法

高含水軟弱土に対し吸水・改良材として、竹チップ・フレークを混合させ、その吸水・改良効果についてコーン指数試験を用いて定量的に評価する。また適用用途に応じ、これらの混合材料に固化材を用いて強度を補完させた材料の力学特性、長期耐久性について一軸圧縮試験を用いて検討する。さらに、促進劣化試験を行い竹の腐朽の有無と腐朽による材料の機能低下の可能性について定量的に評価する。これらのパラメータとして、竹チップ・フレーク材は解繊形状により吸水比(量)が異なる。そこで、チップ・フレーク材の形状と混入率、汚泥の種類の違いが改良効果に及ぼす影響に着目して検討を行う。以上の実験により得られたデータをまとめ、吸水材を混合した高含水比底泥の改良効果の評価および改良方法の提案を行う。

### 4. 研究成果

#### (1) 軟弱地盤改良に使用する竹チップの吸水特性の把握

①水中において竹チップは時間経過に伴い吸水比が変化し、12時間経過後に一定値を取ることが示された。また、竹チップ添加率の増減の影響は少なく、竹チップの吸水可能量は、絶乾状態の竹チップの吸水比から予測可能であることがわかり、竹チップの寸法が小さいものほど吸水効果を発揮することが示めされた。

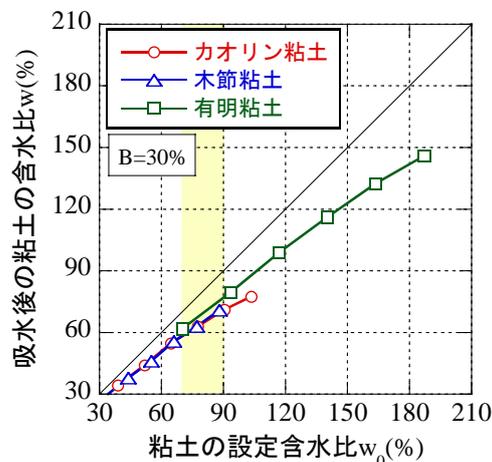


図-1 設定含水比と吸水後の粘土の含水比

②粘土中では水中と比較すると吸水効果は低下するが、高含水比粘性土において水中に近い吸水効果を発揮することが示された。また、物理特性の異なる粘土試料においては、液性限界の高い粘土試料ほどその吸水効果を発揮することが示唆された(図-1)。

## (2) 竹チップを用いた高含水比軟弱地盤改良効果の検討

①竹チップ添加率の増加に伴い、竹の吸水効果と竹チップ繊維の影響によりコーン指数は増加し、本実験の目標強度であるトラックで運搬可能な強度  $q_c=200\text{kN/m}^2$  を満足した。

②同一設定含水比において土質試料によって目標強度を満足する竹チップ添加率は異なり、土質試料の液性限界が大きく影響を及ぼしている。(図-2)

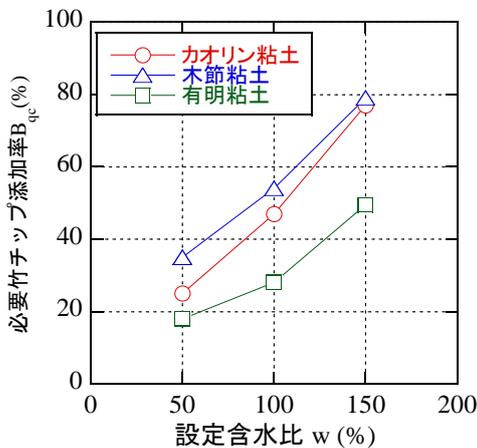


図-2 設定含水比と必要竹チップ添加率の関係

また、図-3 に示すように、現場の浚渫土の初期含水比  $w$  と液性限界  $w_L$  を把握することで運搬可能な材料に必要な竹チップ添加率を算出できることが明らかとなった。

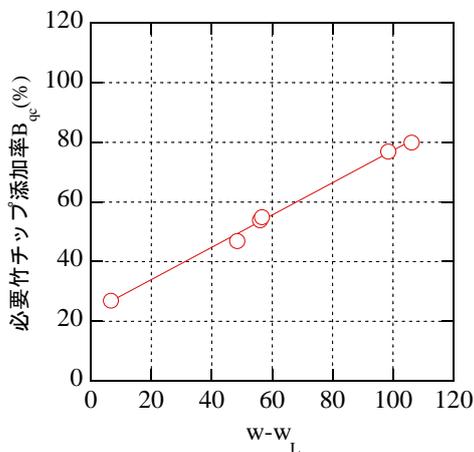


図-3  $w-w_L$  必要竹チップ添加率の関係

## (3) 竹チップと固化材を併用した高含水比軟弱土の改良効果の検討

①固化材を併用した処理土は、竹チップの吸水効果によって一軸圧縮強度が増加する。含水比低下幅の大きい小チップよりも中チップの方が強度は高くなった。このことから、強度増加の要因は粘土の含水比の低下だけではなく、竹チップの繊維長の長さが竹チップ混合固化処理土の強度に大きく影響を及ぼしている。

②同設定含水比における竹チップ混合固化処理土の強度変形特性は、液性限界の増加に伴って一軸圧縮強さは高い傾向にある。これは、液性限界が増加することによって今回設定した初期含水比に近づき、塑性状態に移行したことが要因だと考えられる。

③チップの形状、土質試料、設定含水比の違いに影響なく、竹チップを添加することで盛土の要求強度を満足し、さらに使用する固化材の削減も可能となった。(図-4)

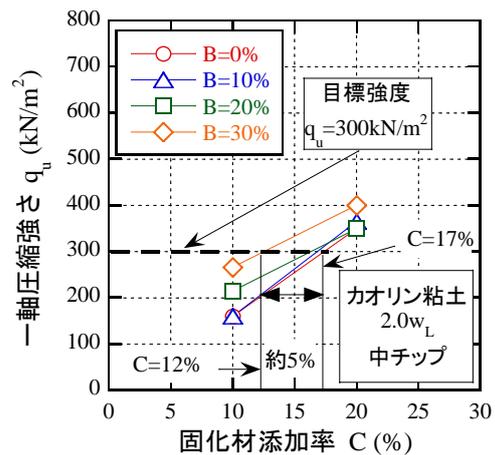


図-4 固化材添加率と一軸圧縮強さの関係

## (4) 竹チップ混合固化処理土を解砕し締固めた「解砕締固め処理土」の力学特性の把握

①解砕後、一度強度低下を示すがその後養生日数の経過に伴い、強度は回復する。t=35日において盛土材として利用可能な目標強度はいずれの竹チップ添加率においても満たしている。また、C=20%時はB=30%において高い回復率を示しており、解砕処理を施しても竹チップを混合することで、解砕前と同程度の強度を有している。(図-5)

②竹チップは解砕締固め処理土に対して靱性効果を発揮し脆性的な破壊形態の改善や変形追随性の向上が期待でき、泥土として区分されるものも、固化材を添加し解砕締固め処理を施すことで第2種改良土まで改良され、十分な改良効果が得られた。(表-1)

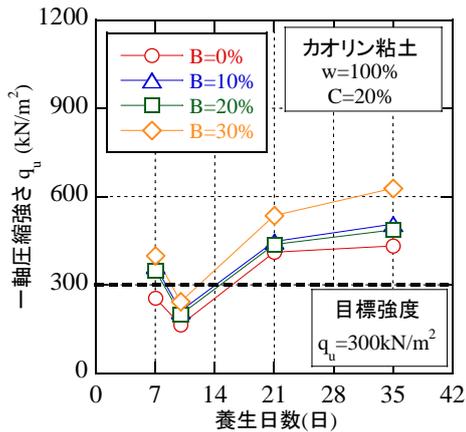


図-5 一軸圧縮強さと養生日数

表-1 改良後の土質区分

試料	設定含水比 w (%)	固化材添加率 C (%)	竹チップ添加率 B (%)	コーン指数 $q_c$ (kN/m <sup>2</sup> )	土質区分
カオリン粘土	100	0	0	0.890	粘土
			10	1.560	粘土
			20	15.36	粘土
			30	43.39	粘土
		20	0	2165	第2種改良土
			10	2541	第2種改良土
			20	2443	第2種改良土
			30	3146	第2種改良土

(5) 腐朽を考慮した竹チップ混合固化処理土の強度・変形特性

①腐朽による竹チップ混合固化処理土の状態変化は、目視、重量変化の結果からは腐朽の傾向は見られなかったが、供試体の含水比、pH は供試体底部において腐朽の傾向が見られた。(図-6, 7)

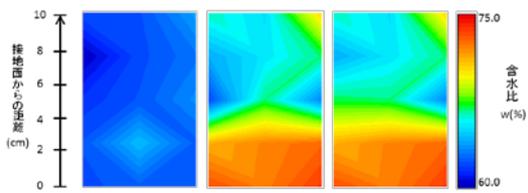


図-6 培養後の供試体各部の含水比

(培養2ヶ月 B=30% コンター図)

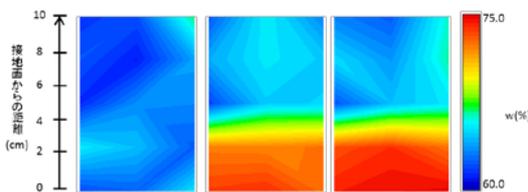


図-7 培養後の供試体各部の含水比

(培養3ヶ月 B=30% コンター図)

②強制腐朽させた竹チップ混合固化処理土の供試体の一軸圧縮強さは、腐朽させていない供試体より強度が若干低いものの高い強度持続性を示した。しかしこの強度低下は、腐朽に大きく影響を及ぼしている重量変化の結果からみても腐朽による影響は少なく、腐朽菌

が排出する過剰な水分が菌糸上部に溜り供試体が常に湿潤状態になっていることが大きく影響していると考えられるため今後も経過を見ていく必要がある。(図-8, 9)

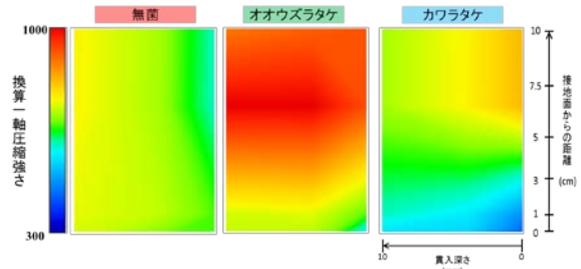


図-8 供試体各部の換算一軸圧縮強さ

(B=40% コンター図)

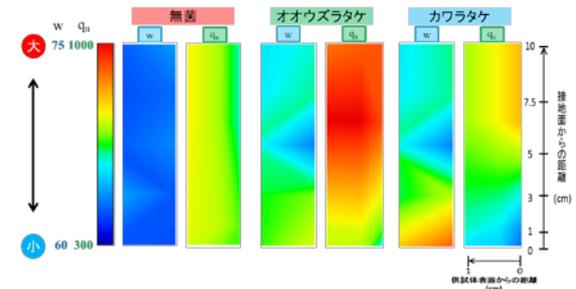


図-9 供試体各部の含水比と換算一軸圧縮強さの関係

(B=40% コンター図)

(6) 竹チップを用いた軟弱地盤改良効果の評価

従来の固化材のみによる泥土改良に比べ竹チップを用いた軟弱地盤改良技術は、トラックで運搬可能まで改良が可能であり、環境に優しく経済性優れた改良工法である。しかし、竹チップのみによる改良は竹チップの腐朽が心配される。竹チップと固化材を併用する竹チップ混合固化処理することで腐朽の影響が小さくなり、処理土の強度へ及ぼす影響はほぼ無いことが明らかとなった。また、盛土材として十分に使用可能となることも示された。

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2件)

①古賀千佳嗣、佐藤研一、藤川拓朗、竹チップを用いた高含水比底泥の改良効果と耐久性評価、地盤工学会誌、査読有り、65巻、pp18-21、2017

②古賀千佳嗣、佐藤研一、藤川拓朗、軟弱地盤改良における竹の有効利用法の検討、材料 (Journal of the Society of Materials Science, Japan)、査読有り、Vol.65, No.1,16-21, 2016.

〔学会発表〕(計23件)

①村尾勇成、米丸佳克、佐藤研一、古賀千佳嗣、藤川拓朗、竹チップ混合解きほぐし締固

め土の靱性効果の検討、平成 28 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、2017.

- ②米丸佳克、村尾勇成、佐藤研一、藤川拓朗、古賀千佳嗣、足立雅樹、腐朽を考慮した竹チップ混合固化処理土の材料特性、平成 28 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、2017.
- ③古賀千佳嗣、佐藤研一、藤川拓朗、米丸佳克、村尾勇成、竹チップ混合固化処理土の物理・強度特性に及ぼす腐朽の影響、地盤工学会 第 52 回地盤工学研究発表会、2017.
- ④古賀千佳嗣、佐藤研一、藤川拓朗、米丸佳克、村尾勇成、腐朽経過に着目した竹チップ混合固化処理土の強度特性、土木学会 第 72 回年次学術講演会、2017
- ⑤ Chikashi Koga, Kenichi Sato, and Takuro Fujikawa, IMPROVEMENT EFFECT OF HIGH WATER CONTENT DREDGED SOIL USING BAMBOO ADSORPTION POTENTIAL, Geo-Environmental Engineering 2017 (国際学会)、2017
- ⑥古賀千佳嗣、佐藤研一、藤川拓朗、米丸佳克、村尾勇成、強制腐朽をさせた竹チップ混合固化処理土の物理・力学特性、日本材料学会 第 12 回環境地盤シンポジウム、査読有り、2017
- ⑦加藤琴美、米丸佳克、佐藤研一、藤川拓朗、古賀千佳嗣、初期含水比の異なる竹チップの吸水効果の検討、平成 27 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、2016.
- ⑧米丸佳克、加藤琴美、佐藤研一、藤川拓朗・古賀千佳嗣、竹チップ混合固化処理土の強度変形特性、平成 27 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、2016.
- ⑨米丸佳克、佐藤研一、古賀千佳嗣、藤川拓朗、竹チップ混合固化処理土の強度・変形特性、日本材料学会 第 12 回地盤改良シンポジウム論文集、査読有り、2016.
- ⑩古賀千佳嗣、佐藤研一、藤川拓朗、軟弱地盤改良に用いる竹チップの吸水性能の検討、日本材料学会 第 12 回地盤改良シンポジウム論文集、査読有り、2016.
- ⑪古賀千佳嗣、佐藤研一、藤川拓朗、米丸佳克、地盤改良に用いる竹の吸水効果に関する基礎的研究、地盤工学会 第 51 回地盤工学研究発表会、2016.
- ⑫米丸佳克、佐藤研一、藤川拓朗、古賀千佳嗣、竹チップ混合固化処理土の強度・変形特性に及ぼす竹添加量の影響、地盤工学会 第

51 回地盤工学研究発表会、2016.

- ⑬C. KOGA, K. SATO and T. FUJIKAWA、Improvement of High Water Content Soft Soil Using Bamboo Chip、The 8th Asian Joint Symposium on Geotechnical and Geoenvironmental Engineering (JS-Tainan2016)、2016.
- ⑭Y. YONEMARU, K.SATO、T. FUJIKAWA and C. KOGA、Strength-Deformation Behavior of Bamboo chip Mixed Material、The 8th Asian Joint Symposium on Geotechnical and Geoenvironmental Engineering (JS-Tainan2016)、2016.
- ⑮古賀千佳嗣、佐藤研一、藤川拓朗、伐採した竹チップを用いた高含水比浚渫土の改良効果、廃棄物資源循環学会 第 27 回廃棄物資源循環学会研究発表会、2016.
- ⑯米丸佳克、古賀新太郎、佐藤研一、藤川拓朗、古賀千佳嗣、足立雅樹、竹チップ吸水材を用いた各種高含水比底泥の改良効果の検討、平成 26 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、2015.
- ⑰古賀千佳嗣、佐藤研一、藤川拓朗、米丸佳克、高含水比粘性土の地盤改良に用いる竹チップの吸水特性、土木学会 第 70 回年次学術講演会講演概要集、2015.
- ⑱米丸佳克、古賀新太郎、佐藤研一、藤川拓朗、古賀千佳嗣、腐朽を考慮した竹チップ混合固化処理土の強度特性、土木学会 第 70 回年次学術講演会講演概要集、2015.
- ⑲古賀千佳嗣、佐藤研一、藤川拓朗、山岸宏、竹チップ混合土における締固め及び強度・変形特性、地盤工学会 第 50 回地盤工学研究発表会、2015.
- ⑳米丸佳克、佐藤研一、藤川拓朗、古賀千佳嗣、古賀新太郎、竹の状態に着目した港湾浚渫土の改良効果の検討、地盤工学会 第 50 回地盤工学研究発表会、2015.
- ㉑古賀千佳嗣、佐藤研一、藤川拓朗、軟弱地盤改良における竹の有効利用法の検討、日本材料学会 第 11 回地盤改良シンポジウム論文集、査読有り、2014.
- ㉒佐藤研一、藤川拓朗、古賀千佳嗣、竹の持つ吸水性能を用いた高含水比軟弱粘土の改良効果、第 29 回ジオシンセティックシンポジウム論文集、査読有り、2014.
- ㉓古賀千佳嗣、佐藤研一、藤川拓朗、竹チップを用いた高含水比底泥の改良効果、地盤工学会 第 49 回地盤工学研究発表会講演集、2014.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 研一 (Sato, Kenichi)

福岡大学・工学部・教授

研究番号：20235336