

発表番号 3

竹の建設分野への活用法

福岡大学
工学部 社会デザイン工学科

教授 佐藤 研一

■ 新技術の概要

日本では放置竹林が問題となり、この伐採された竹材の有効利用が急務となっている。竹は高い吸水効果と繊維質で引張強度に非常に強い性質を持っている。そこでこれらの特性を地盤の改良材として有効活用する方法を提案する。

■ 従来技術・競合技術との比較

自然由来の竹の吸水性を有効活用し、超軟弱な浚渫土砂を瞬時に改良できる工法である。周辺土壌のpHが上昇する一般的なセメント改良工法に比べ、自然にやさしい工法で、竹チップの吸水によりその後の処理におけるセメント添加量が減少するエコな工法である。

■ 新技術の特徴

廃棄物となる竹を有効利用し、竹の吸水特性、繊維強度、無害で自然由来の素材の有効利用として、地盤改良における含水比低下に伴うセメント系固化材の減少と、竹繊維自体の引張強度を地盤の補強材として発揮する。さらに防草の効果もある。

■ 想定される用途

- ため池、高炉浚渫などの高含水比底泥の地盤改良
- 竹繊維を活かした短繊維補強土工法への利用
- 竹繊維を活かした新しい土系舗装

Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

竹の建設分野への活用法の提案

Proposal of a utilizing method to the construction field of the bamboo

福岡大学 工学部 社会デザイン工学科
 教授 佐藤 研一
 助教 藤川 拓朗
 助手 古賀 千佳嗣

福岡大学 工学部 社会デザイン工学科
 道路・土質研究室

Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

研究背景 ◇竹林の現状

1981年 14万4千ha
 30年 → 2011年 16万1千ha



竹林急増 放置深刻

九州各地の竹林面積の推移


年	面積 (ha)	増減 (ha)
1981年	14,400	-
1991年	14,800	400
2001年	15,200	400
2011年	16,100	900

30年で11%増 九州は15%増

ヤフオクドーム 約2400個分
 九州で顕在化する竹の問題
 西日本新聞：2013年8月1日

Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

研究背景 ◇竹林の現状と有効利用



- 輸入量の増大、生産者の減少
- 竹林が放置され、竹林保護のため伐採された竹廃材（廃棄物）が大量に発生（繁殖力が強いため定期的な伐採が必要）

現在では、竹チップ・竹フレック・竹粉などへ加工が進められている。

竹廃材の有効利用が求められている。

【加工品の性質】

- 吸水力が高い
- 繊維質である

現状

- 堆肥として農業分野への利用
- 飼料として畜産分野への利用

Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

研究背景

■竹の特徴■

竹はイネ科タケ亜科
 ◇草本的特性
 ○1年間に10~20mまで成長する
 ○地下茎の節から新しい筍が発生
 ◇木本的特性
 ○硬く木質化した稈を持つ
 ○10mを超える大きさに育つ

竹は高い生産性と再生力、1m/日という著しい伸長速度、2~3m/年という拡大分散する力を持っている。

■竹の種類■

種類	特徴	用途
真竹 (まけ)	・直径1.5cm、高さ24mの大型種 ・節間の節が特徴 ・竹の皮は茶たてたものが少ない	・伝統的な工芸品として扇子、弓、ちよらん、籠籠籠、かさなどの竹工業に専らしている。
成竹 (なりけ)	・直径2.5cm、高さ35m ・日本では最大の竹 ・若い節の節間には白粉がある ・節は赤い、緑	・主に薪が食用にされる。 ・工業品では、籐の床など、家庭用や竹炭などへの活用、経路にも長く使われている。
産竹 (うぶけ)	・ベークが自然に剥がれ落ちる ・若い節には白粉がある ・竹の皮には繊維質がない ・耐水性が強く、北海道で利用されている。	・薪、薪割り、のり、製紙などの工業用材料やすだめの材料に用いられる。 ・家庭用や竹炭などへの活用、経路にも長く使われている。

写真 竹チップのSEM画像

繊維状
 ポラス状

建設分野への活用の可能性

Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

研究① 竹の吸水性を用いた建設発生底泥の改良工法の開発



日本には約21万箇所ものため池が存在し、農業用水の貯水、洪水の調整池、親水施設等、重要な役割を担っている。

全ため池の約70%以上が築後100年以上経過し、老朽化している。

老朽化に伴う堤体の崩壊や漏水、底泥の堆積による水質悪化、貯水量の減少

ため池整備事業の必要性

《堆積した底泥》


- 高含水比であるため運搬が困難
- 処分地の確保が困難

ため池底泥の有効利用が強く求められている。

Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

研究① 新技術の特徴・従来技術との比較


【従来】 固化材



ため池底泥

- 含水比が高いため、運搬するため脱水・固化技術が必要
- 大量の固化材投入によるため池地盤の高アルカリ化 → 農業に悪影響

【本研究】 竹廃材



ため池底泥

- 固化材の添加量削減
- 天然材料（竹）による吸水・固化 → 環境にやさしい改良

運搬可能

■ 高含水比な底泥（浚渫土）の含水比を効果的に低下させる

吸水効果を有する竹廃材を吸水材として添加させ、セメント添加量を大幅に削減する（あるいは使用しない）

Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

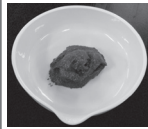
研究① 竹の吸水性を用いた建設発生底泥の改良工法の開発

◇室内試験概要

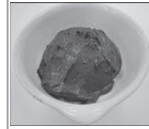
土質試料



カオリン粘土
■吸収材■



港湾浚渫改良工事
有明海浚渫土



ため池改良工事
長場恵池底泥



乾燥竹
 $w_B=0\%$
 $S_u=180.0\%$



湿潤竹
 $w_B=72.0\%$
 $S_u=139.6\%$

吸水比 S_u : 吸水材1gに対する吸収した水の質量

$$\text{吸水比 } S_u = \frac{\text{吸水材の吸水量}(g)}{\text{絶乾状態の吸水材の質量}(g)} \times 100$$

Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

研究① 竹の吸水性を用いた建設発生底泥の改良工法の開発

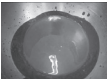
◇室内試験概要


コーン指数試験条件

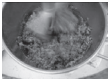
土試料	初期含水比 $w(\%)$	吸水材添加率 $B(\%)$
カオリン粘土	1.0 w_L	0~60
有明海(港口)	1.5 w_L	
長場恵池	2.0 w_L	

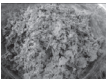
◆静置時間は吸水材の吸水効果が最も発揮できる3時間に設定


【室内試験の流れ】



含水比調整


吸水材添加


攪拌


静置

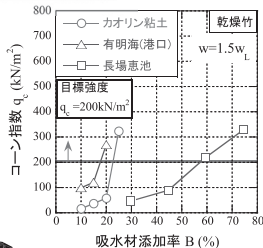

突固め


コーン指数試験

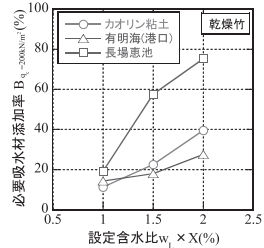
Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

研究① 竹の吸水性を用いた建設発生底泥の改良工法の開発

◇室内試験結果



コーン指数試験結果



設定含水比と必要吸水材添加率の関係

目標強度 $q_c \geq 200 \text{ kN/m}^2$

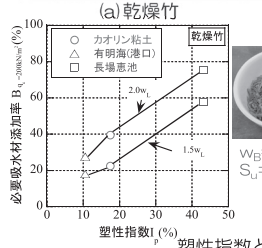
運搬する際の処理土の目標強度: $q_c \geq 200 \text{ kN/m}^2$ になるように改良

- 吸水材(竹廃材)混入率の増加に伴い、コーン指数は増加する。
- 適切な添加量が存在する。
- 土質試料によって改良効果が異なる。

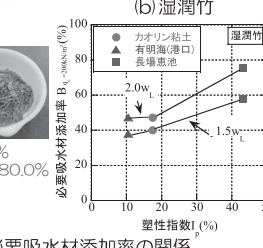
Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

研究① 竹の吸水性を用いた建設発生底泥の改良工法の開発

◇室内試験結果およびまとめ



(a) 乾燥竹



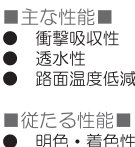
(b) 湿潤竹

吸水材による底泥の改良効果

- 要求強度を満たすための吸水材添加率は、竹チップの持つ吸水比に依存し、改良対象底泥の塑性指数にも影響を受ける。
- 竹チップの持つ吸水性は、底泥の含水比を効果的に低下させる。吸水処理後のセメント改良時においてもセメント量の削減ができる。

Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

研究② 竹チップを用いた土系舗装材料の開発



■主な性能■
● 衝撃吸収性
● 透水性
● 路面温度低減


■従たる性能■
● 明色・着色性

■用途・適用箇所■

- 遊歩道・公園園路
- 広場
- 屋外スポーツ施設
- 自転車道
- 園内・構内道路

景観性、ヒートアイランド対策等から、公園・緑地において注目されている。

《土系舗装》
舗装材料が引張りに弱く、さらに乾湿繰返しに伴うひび割れが発生し、長期耐久性に問題あり。




土系舗装のひび割れ劣化対策が強く求められている。

Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

研究② 竹チップを用いた土系舗装材料の開発

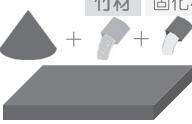
【従来】



固化材

- ・土は引張強度に弱い
- ・固化材投入による衝撃吸収性の低下

【本研究】




竹材 固化材

- ・固化材の添加量削減
- ・天然材料(竹)の靱性効果を利用
→ 衝撃吸収性の増加
歩き心地の向上
→ 引張り強度の増加によるひび割れ防止

Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

研究② 竹チップを用いた土系舗装材料の開発

◇室内試験概要



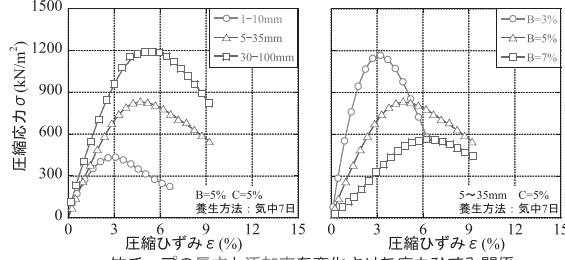
竹の状態	竹チップの長さ (mm)	竹チップ添加率 B(%)	固化材添加率 C(%)	試験項目
乾燥竹	1-10	0, 3, 5, 7	0, 3, 5, 7	一軸圧縮試験 (3, 7日, 水浸)
	5-35			
	30-100			

竹チップの種類	フィルター目の大きさ		
	円形5mm	円形20mm	楕円形20mm×40mm
竹チップの状態	乾燥竹	乾燥竹	湿潤竹
竹チップの含水比	0.0%	0.0%	66.7%
竹チップの長さ	1-10mm	5-35mm	30-100mm

Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

研究② 竹チップを用いた土系舗装材料の開発

◇室内試験結果

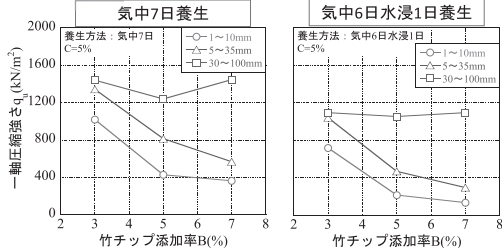


◆添加率の増加に伴う強度の低下
 締固め密度が影響
 ◆竹の長さが長くなるに従って強度の増加
 30-100mmでは竹自体の引張強度が供試体の圧縮強度に現れた

Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

研究② 竹チップを用いた土系舗装材料の開発

◇室内試験結果

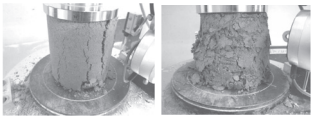


◆竹チップの添加率が増加しても土質材料と上手く混合されることで30-100mmでは強度が一定に保たれた
 ◆水深養生ではいずれも約150kN/m²の q_u の低下
 若材令では僅かに浸水の影響がみられる

Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

研究② 竹チップを用いた土系舗装材料の開発

◇室内試験まとめ



チップ長が長いものほど強度増加する
 チップ長が長いものは添加率の影響を受けず強度が一定値を示す
 竹土舗装材料における変形係数はチップ長に関わらず低下傾向を示す
 チップ長が長いものは固化材の影響が顕著に現れる

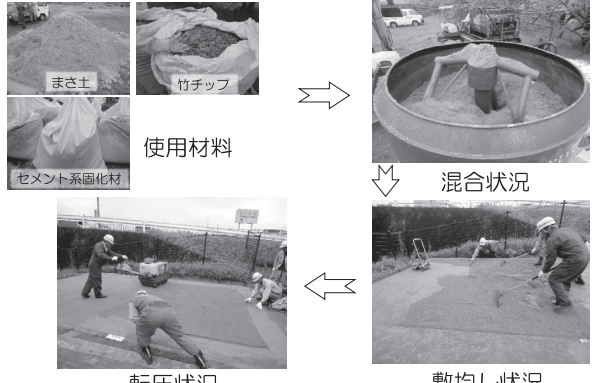
「 靱性材による土系舗装の改良効果 」

- 今回用いた靱性材の中では、チップ長さが長いものほど固化材との結合効果を発揮し、靱性効果をもたらした。
- 竹チップを土系舗装の靱性材として用いることが可能であり、天候によるひび割れ防止の抑制効果に期待できる。

Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

研究② 竹チップを用いた土系舗装材料の開発

◇現場施工 施工例：国土交通省 九州地方整備局 九州技術事務所構内



Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

竹廃材を活用した土系舗装技術の開発

◇現場施工 施工例：国土交通省 九州地方整備局 九州技術事務所構内



Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

研究② 竹チップを用いた土系舗装材料の開発

◇現場施工追跡調査 施工例：静岡市

GB・SB試験

反発係数 (GBまたはSB係数) (%) = $\frac{H_0}{H} \times 100$

ここで、H₀: 3地点×3回の反発高さの平均値(cm)
H: ボールを落とす高さ(100cm)

□ GB・SB係数は、値が低いほど、脚への負担は少ないとされている。

Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

研究② 竹チップを用いた土系舗装材料の開発

◇現場施工追跡調査 施工例：静岡市

● 竹チップ舗装

人工芝、ポリウレタン、粘土、アスファルト

舗装の種類とGB, SB係数

本舗装材料 ⇒ 人工芝、ポリウレタン、アスファルト舗装よりも歩行者への脚への負担の少ない舗装材料（粘土系）であることが分かる。

Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

研究② 竹チップを用いた土系舗装材料の開発

◇現場施工

日田市 県道法面

施工日：2015年10月9日
場所：大分県日田市大字羽田
日田玖珠線一般道法面

使用用途：法面防草対策
施工規模：厚さ5cm、面積6.6m² 3か所
発注・協力機関：
大分県日田土木事務所 福岡大学、
株式会社NIPPO、ニチレキ㈱

※締固めタイプ及びスラリートイプ

Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

研究② 竹チップを用いた土系舗装材料の開発

(1) あんずの里運動公園
施工日：2008年9月4日
場所：福岡県福岡市東区1706番地1
あんずの里運動公園
使用用途：歩道
施工規模：延長90m、幅2m、厚さ7cm、面積100m²

(2) @アトサキセブン
施工日：2013年3月26日
場所：静岡県静岡市葵区七間町映画館跡地
@アトサキセブン
使用用途：駐車場、作業場
施工規模：厚さ5cm、面積100m²
※2014年2月に水造地建設に伴い解体

(3) 一般住宅
施工日：2013年9月21日
場所：静岡県浜松市浜北区西美郷811-1
一般住宅
使用用途：駐車場
施工規模：厚さ7cm、面積91m²
配合条件：竹チップ3%、固化材5%

(4) マフラーミュージアム
施工日：2013年8月28日
場所：愛知県名古屋市中区丸の内一丁目3番1号
第三五 E0035マフラーミュージアム内
使用用途：駐車場
施工規模：幅90cm、延長13m、厚さ7cm、面積10.4m²

(5) 国土交通省九州地方整備局 九州技術事務所構内
施工日：2014年4月18日
場所：福岡県久留米市高野1丁目3番1号
国土交通省九州地方整備局
九州技術事務所構内
施工規模：幅4m、延長7.2m、厚さ7cm、面積28.8m²

Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

研究② 竹チップを用いた土系舗装材料の開発

◇防草効果

竹チップなし B=5% B=5%
セメント C=5% C=5% C=9%

1箇所200種

0日 土層(側面) 21日
0日 土層(上部) 21日

Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：土質材の改良方法および土質改良材
- 特許番号：第5717126号
- 出願人：学校法人 福岡大学
- 発明者：佐藤研一

- 発明の名称：舗装材料の製造方法
- 特許番号：第5777084号
- 出願人：学校法人 福岡大学 株式会社NIPPO
- 発明者：佐藤研一、松木重夫

福岡大学 工学部 社会デザイン工学科
道路・土質研究室

Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

企業への期待

底泥のセメント固化処理による農地のアルカリ化を防止する場合や底泥を堤体の補修材料として有効利用する場合、高含水比な汚泥の改良を行う場合及び学校グラウンドや公園の維持延命には、竹廃材を用いた本技術がコスト・環境面において有効である。

- ため池改良及び竹チップの土系舗装の施工実績と施工技術を持つ企業との共同研究を希望
- 竹林放置や竹林の伐採に問題を抱えている自治体・企業等に協力して欲しい。

Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

想定される業界

利用者・対象 国・地方自治体、農業組合
農林・建設業界
廃棄物処理業界

市場規模として
ため池の数・・・全国21万箇所（西日本を中心に）
（70%が築後100年以上経過）
土系舗装・・・全国、公園、学校グラウンド

改良した土の利用用途

Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

実用化に向けた課題

- 竹廃材の吸水効果、引張りに対する靱性効果、基本的な力学特性・溶出特性については十分なデータを有している。しかしながら、材料の長期的耐久性については、今後更なる実験データの収集が必要。
- 竹の普及・発展・ビジネスネットワークを構築
- 竹のチップ化技術

Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

BIG 竹イノベーション研究会 BAMBOO INNOVATION GROUP

代表 佐藤 研一
(福岡大学 工学部 教授)

副代表 鍋島 克仁
(翰林田産業 顧問)

事務局長 角中 正博
(福岡大学 研究推進部教授)

【竹イノベーション研究会(BIG)】
近年諸外国から安価な竹材の輸入が増え、建築資材の高度化、畜産農家の後継者不足等から竹材が放置され、里山が荒廃する原因となっています。「竹」は使用用途で広範囲な有効利用が可能な資源です。様々な利活用において可能性を秘めた「竹」の用途開発・普及し、放置竹林の対策による里山保全に向けて有効なネットワーク形成のため九州福岡にて、この研究会を発足いたしました。

平成24年9月17日発足会

Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

BIG 竹イノベーション研究会 BAMBOO INNOVATION GROUP

技術委員会
・竹の有効利用に関する 土木技術・農業資材技術開発
・伐竹に関する技術、森林管理技術など

企画委員会
・勉強会、フォーラム
・関連機関(産官学)との 連携・情報交換
・伐竹活動・その他 イベント活動の企画・運営

広報委員会
・外部へのPR活動
・情報の共有
・他のイベント・情報収集
・情報伝達管理 (HP,FBなど)

Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

BIG 竹イノベーション研究会 BAMBOO INNOVATION GROUP

現在、法人正会員7団体、法人賛助会員 14団体、一般会員29者

～主な年間行事～

4月	筍掘り
5月	勉強会・交流会
6月	総会
7月	他の竹団体参加
8月	勉強会・交流会
9月	
10月	他の竹団体参加
11月	竹フォーラム
12月	勉強会・交流会
1月	
2月	
3月	他の竹団体参加

◇主な研究会参加団体◇

大学
福岡大学 九州大学 山口大学
九州産業大学 大分大学
同志社大学 東京農工大学 佐賀大学
自治体
福岡市 八女市 うきは市 筑後市
民間企業
翰林田産業 榊NIPPO九州支店 榊大橋
東和スポーツ施設 日新興業 榊
大坪GSI 榊 玉石重機 榊 ニチレキ 榊
日本乾溜工業 榊 竹虎 榊 榊山竹材店
榊福岡建設材 榊 住友大阪セメント 榊
榊Eプラス 榊 榊和 (株)リアライズ
団体
Groomしずおか 京都竹カフェ
竹の高度利用研究センター 豊田バンブー 榊
おむた環境ネットワーク
NPO法人かいらう基山
太宰府市「月山の会」 その他多数

Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

BIG 竹イノベーション研究会 BAMBOO INNOVATION GROUP

勉強会
 荀堀り 参加者22名
 平成27年4月12日(日)
 場所：福岡県古賀市筵内544医王寺



Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

BIG 竹イノベーション研究会 BAMBOO INNOVATION GROUP

第21回博多灯明ウォッチングへの参加
 参加者数：延約90名

○平成27年9月27日(日) 竹採取・運搬
 場所：福岡県福岡市早良区曲淵
 ご協力：ながおさ竹林整備組合



Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

BIG 竹イノベーション研究会 BAMBOO INNOVATION GROUP

第21回博多灯明ウォッチング
 参加者：延約90名
 平成27年10月3日(土) 竹灯籠作製
 場所：福岡県糟屋郡宇美町
 NIPPO九州試験所内

ご協力：
 ㈱NIPPO
 かいろう基山
 ボランティア皆様



Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

BIG 竹イノベーション研究会 BAMBOO INNOVATION GROUP

平成27年10月17日(土)
 竹灯運搬設置・片づけ
 場所：福岡県福岡市
 ハイサイドプレイス博多

○竹トンボ他ワークショップ
 協力：かいろう基山
 ○竹楽器による演奏
 協力：竹漂共振



Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

BIG 竹イノベーション研究会 BAMBOO INNOVATION GROUP

◇問合わせ先◇



研究会への入会、ボランティア参加、お問い合わせは
 ホームページ
<http://bamboo-big.com>

Facebook：竹イノベーション研究会
<https://www.facebook.com/bambooinnovationgroup>

e-mail：big@fukuoka-u.ac.jp



Faculty of Civil Engineering, Fukuoka University

福岡大学 工学部 社会デザイン工学科
ROAD&GEOTECH
道路・土質研究室

福岡大学 工学部 社会デザイン工学科
 道路・土質研究室
 教授 佐藤 研一
 助教 藤川 拓朗
 助手 古賀 千佳嗣

〒814-0180 福岡県城南区七隈8丁目19番1号
 TEL：092-871-6631 内線(6464)
 FAX：092-865-6031
 e-mail：sato@fukuoka-u.ac.jp
 takuro-f@fukuoka-u.ac.jp
 chikashi@fukuoka-u.ac.jp