

竹チップ混合固化土の改良効果に及ぼす混合状況の影響

福岡大学工学部 学生会員 山下 航 福本 祐太
 福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗 古賀 千佳嗣

1. はじめに 西日本から東日本へ各地に生息領域を拡大している竹は、繁殖力と竹林従事者の減少による放置竹林の問題から伐竹後の有効利用法が求められている。竹は高い吸水性を持ち、ため池の高含水比底泥と混合することで運搬可能にし、さらにセメントによる固化改良後では堤体や護岸材料、盛土材料などへの有効性を示している。また、この竹チップ混合固化土は、竹チップの吸水と引張り補強効果により一軸圧縮強さが増加し、延性的破壊挙動を示すことも確認している。本研究では、竹チップ添加に伴う竹の混合状態に着目し、地盤改良効果への影響について検討を行った。本報告では、供試体内部のチップ混合・分布状態に着目し、竹チップの形状（混合、単一、粉末）が竹チップ混合固化土の強度発現に及ぼす影響について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験に用いた試料 土質試料としてカオリン粘土を使用した。表-1 に物理特性を示す。また、補強材には小型竹専用粉砕機²⁾にて、カッティングフィルターの円形 20mm 目を用い、長さの範囲が 2-35mm にチップ化した竹チップ((a) 混合)を使用した。また、(a) 混合状態よりふるい分けし、引張り補強効果が高いと想定されるチップ長 20mm のみの(b) 単一と、さらに吸水効果が高い³⁾チップ長 2mm 以下の(c) 粉末の合計 3 種類の竹チップを用いた。写真-1 に 100g の各竹チップの外観を示す。固化材には高炉セメント B 種を使用した。

表-1 物理特性

	カオリン粘土
土粒子の密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.731
強熱減量 Ig-loss(%)	3.1
細粒分含有率 Fc(%)	100.0
液性限界 $w_L(\%)$	51.7
塑性限界 $w_P(\%)$	34.3
塑性指数 I_p	17.4

2-2 供試体作製方法 表-2 に竹チップ混合固化土の配合条件を示す。供試体は直径 5cm、高さ 10cm の円柱供試体を使用した。竹チップ混合前の粘土の初期含水比は $w_0=75\%$ とし、固化材添加率は $C=20\%$ 一定とした。また、竹チップ添加量による構造変化を考慮し、竹チップ添加率 $B=0, 10, 30, 50\%$ とした(以下、竹チップ添加率を $B(\%)$ とする)。供試体の作製方法は、調整したカオリン粘土に竹チップを添加し、12 時間静置³⁾後に固化材を添加混合し、モールド内に 3 層で各層 25 回のタッピング法により供試体を作製した。供試体の養生期間は 7 日間とした。ここで竹チップ添加率と固化材添加率は、粘土試料の乾燥質量に対する外割としている。

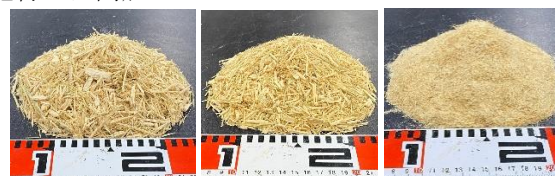


写真-1 100g の各竹チップの外観

表-2 配合条件

土質試料	竹チップの形状	初期含水比 $w_0(\%)$	固化材添加率 $C(\%)$	竹チップ添加率 $B(\%)$	養生日数 (日)
カオリン粘土	混合 単一 粉末	75	20	0 30 50	7

2-3 実験内容

1) 形状の違いによる改良効果の検討 本検討では、竹チップ添加に伴う改良効果において、竹チップの粉末部分と単一繊維長の強度発現への影響を把握するため、一軸圧縮試験(JIS A 1216)を用いて評価を行った。また、竹チップによる吸水効果の把握のために一軸圧縮試験後に含水比の測定も行っている。

2) 竹チップの混合・分布状態の把握 竹チップの形状や、竹チップ添加率の変化による供試体内の分布状態は強度発現に影響すると考えられる。そこで、供試体内部を画像により観測した。図-1 に混合・分布状態を観測した供試体断面図を示す。混合・分布状態の把握方法は、供試体を横方向に 4 等分した上中下の 3 断面と、縦方向に 2 等分した縦断面を上下左右の 4 等分した 4 断面を画像解析により調査した。写真-2 に各竹チップ添加率の混合状態の横断面の様子を示す。画像解析には、WinROOFver7.0 を用いて画像を 2 色化し、竹チップの面積割合を検体数 $N=3$ の平均から算出し、全面積 A に対する竹チップの面積 A_B の割合を面積率とした。写真-2 より、 $B=10\%$ では粘土上に浮遊している状態であり、竹チップ添加率の増加に伴い竹チップが骨格を形成していることがわかる。

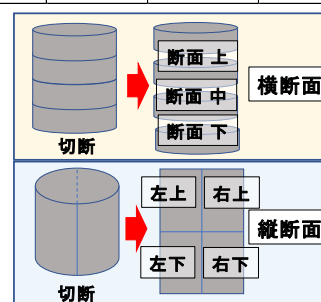


図-1 供試体断面図

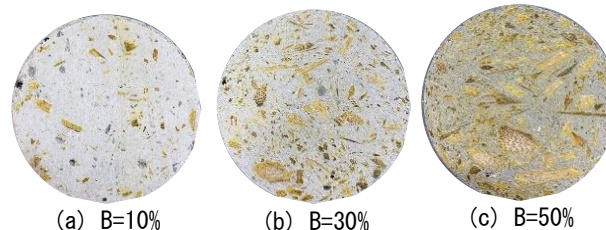


写真-2 各竹チップ添加率の混合状態の横断面の様子

面の様子を示す。画像解析には、WinROOFver7.0 を用いて画像を 2 色化し、竹チップの面積割合を検体数 $N=3$ の平均から算出し、全面積 A に対する竹チップの面積 A_B の割合を面積率とした。写真-2 より、 $B=10\%$ では粘土上に浮遊している状態であり、竹チップ添加率の増加に伴い竹チップが骨格を形成していることがわかる。

3. 実験結果及び考察 図-2 竹チップ添加率と乾燥密度の関係を示す。B=10, 30%では、同一乾燥密度で供試体が作製されている。一方、B=50%では供試体密度が低い値を示している。これは、写真-2(c)に示したように竹チップの体積割合が増加し、骨格を形成したことが原因と考えられる。また、B=50%時の粉末においては改良後に試料が団粒化し、タッピング法による供試体の作製が不可能であった。また、図-3に竹チップ添加率と一軸圧縮試験終了後の混合固化土の含水比の関係を示す。これにより竹チップの添加に伴う吸水効果が確認でき、チップ形状による影響を受けないことがわかる。次に図-4に各竹チップ形状における一軸圧縮試験結果を示す。いずれの形状において竹チップ添加率の増加に伴い、圧縮応力が増加している。また、明確なピーク強度はみられず、せん断に伴い緩やかに圧縮応力が増加していることがわかる。形状に着目すると、低添加率 B=10%では、せん断挙動に形状の影響はみられない。一方、B=30, 50%と添加率を増加させると、長い竹繊維を含む(a)混合と(b)単一では、(c)粉末と比較して明らかに強度増加傾向がみられ、その傾向は、(a)混合の方が大きいこともわかる。図-5に竹チップ添加率と一軸圧縮強さの関係を示す。B=30%における竹チップの形状に着目すると、混合と単一が粉末よりも高い一軸圧縮強さを示している。これは、図-2に示す供試体密度や、図-3に示す含水比の影響でないことが確認できる。そこで、図-6に混合状態における(a)横断面と(b)横断面中央部の形状別における竹チップ添加率と面積率の関係を示す。各断面に着目すると、竹チップ添加率の増加に伴い面積率は増加し、竹チップ添加率と同程度の値を示し、竹チップが供試体内部に均等に分布していることがわかる。次に、竹チップの形状に着目すると、粉末の竹チップは、混合および単一と比べ、高い面積率を示している。これは、写真-1(c)からわかるように粉末は、他の形状と比較し、単位体積重量が小さく、混合後のかさが増加したためと考えられる。また、写真-3に B=30%時の竹チップ形状別の縦横断面の様子を示す。混合と単一では、長い竹チップが縦横方向に広がり、粉末では、断面全域均等に混合されていることがわかる。以上のことにより、竹チップ混合固化土の一軸圧縮せん断挙動は、供試体内の長尺な竹チップの混合・分布状況による引張り補強効果が大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。また、B=50%にて高い一軸圧縮強さを示したのは、竹チップの骨格構造(写真-2(c))により竹チップの剛性が強度に反映されたものと考えられる。

4. まとめ 1) 竹チップ混合固化土は、竹チップの形状に関係なく、チップの吸水効果を受けることが示された。2) 竹チップ混合固化土のせん断挙動は、竹チップの形状に影響を受け、長尺なチップが縦・横断に広く混合・分布することにより、チップの引張り補強効果が高くなり、強度増加を示すことが明らかになった。また、竹チップ添加率の増加により供試体内にチップによる骨格構造が形成された場合、チップの剛性が強度発現の要因であることも示された。

【参考文献】1) 古賀ら:軟弱地盤改良における竹の有効利用法の検討, 材料, Vol65, No.1,16-21, 2016. 2) 坂本慎也ら: 竹チップの性状が竹土舗装の締固め・強度変形特性に及ぼす影響, 平成26年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.681-682, 2015. 3) 古賀ら: 軟弱地盤改良に用いる竹チップの吸水性能の検討, 第12回地盤改良シンポジウム論文集, pp341-346, 2016.

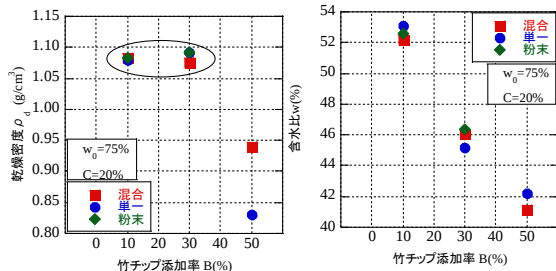


図-2 竹チップ添加率と乾燥密度の関係

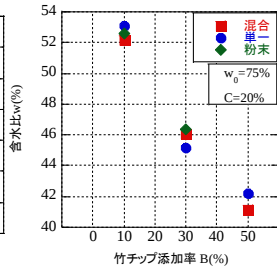
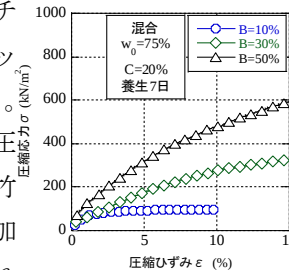
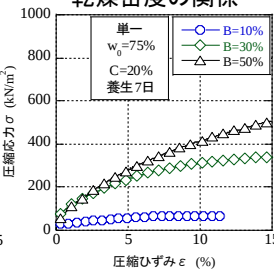


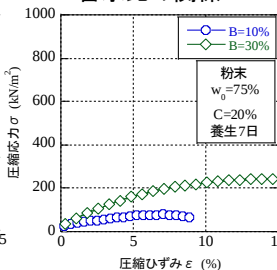
図-3 竹チップ添加率と含水比の関係



(a) 混合



(b) 単一



(c) 粉末

図-4 一軸圧縮試験結果

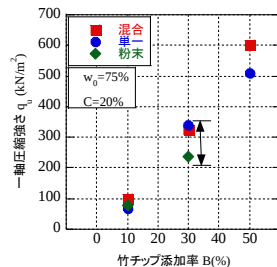
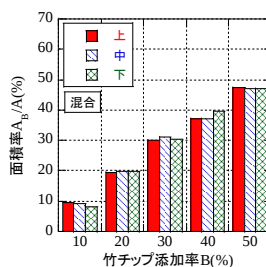
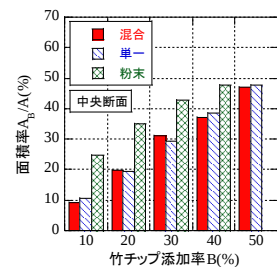


図-5 竹チップ添加率と一軸圧縮強さの関係



(a) 横断面



(b) 竹チップの形状別

図-6 竹チップ添加率と面積率の関係

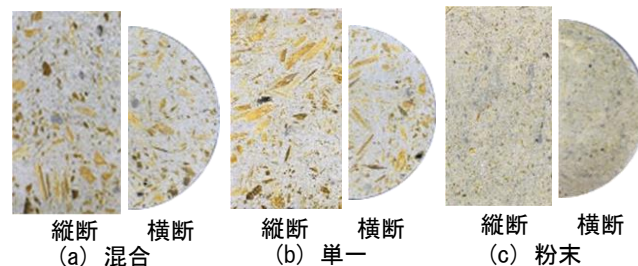


写真-3 B=30%時の竹チップ形状別の縦横断面の様子