

竹チップ混合固化土の引張り補強・靱性効果

福岡大学大学院 学生会員 山下 航

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 全国の竹林面積は、放置竹林の問題が顕在化し、年々増加傾向にあることから、竹の定期的な伐採と伐竹後の有効利用法が求められている。著者らは、これまでに高含水比軟弱土に竹チップとセメントを混合した竹チップ混合固化土において、その改良効果の有効性を示している^{1),2)}。この竹チップの改良効果には、竹チップと土の固結による引張り補強効果、竹チップの剛性、吸水効果による水セメント比の改善等がある。しかしながら、竹チップの地盤改良工法の確立のためには、各効果における竹チップの有効な添加範囲や必要条件が得られていないのが現状である。そこで本研究では、引張り補強効果と靱性効果に着目し、曲げ試験より竹チップ添加の有効範囲について検討した結果を報告する。

2. 実験概要

2-1 実験試料 土試料として含水

比が調整しやすいカオリン粘土を使用した。表-1に土試料の物理特性を示す。また、竹専用粉砕機にて

カッティングフィルターの目が円形20mmを用い、長さの範囲が2-35mmにチップ化し、自然乾燥させた竹チップ(写真-1)を使用した。表-2に竹チップの物理特性を示す。固化材には高炉セメントB種を使用した。

2-2 竹チップ混合固化土の供試体作製方法 供試体の配合条件を表-3示す。竹チップ混合前のカオリン粘土の設定含水比は $w_0=75\%$ 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引張り補強効果の影響を考慮し、竹チップ添加率 $B=10, 20, 30, 40, 50\%$ とした(以下、竹チップ添加率:B)。供試体の作製方法は、含水比調整したカオリン粘土に竹チップを添加し、12時間静置後³⁾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、要求性能を十分に満たすため、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。

2-3 実験内容 一般的に引張り補強の評価は直接引張試験を多く用いられるが、今回使用する小さい繊維状では評価難しいのが現状である。そこで短繊維の引張り補強効果⁴⁾の検証に用いられている曲げ試験(JIS A 1106)を実施した。また、曲げ試験は、側応力による破壊のため、圧縮による竹チップ骨格構造の剛性効果の影響を控除できると考えられる。式-1に曲げ応力の算出式、式-2に曲げひずみの算出式、式-3に曲げヤング係数の算出式(JIS K 7074)を示す。表-2に靱性評価指標⁴⁾を示す。そして、評価指標を定義する上で、応力、仕事量(力×変位量)の2つをパラメーターとして考えた。靱性度とは破壊後の応力低下の度合いを表すもので、1に近い程靱性が大きくなっていることを示す。靱性ポテンシャルとは靱性度同様破壊後の応力低下の度合いを表すもので、1に近い程靱性が大きくなっていることを示す。これらの靱性度の評価のため、曲げ試験をひずみ $\varepsilon=10\%$ もしくは、曲げ応力 $\sigma=0$ 時の達成時に試験終了としている。

表-1 土試料の物理特性

	カオリン粘土
土粒子の密度 $\rho_s(\text{Mg/m}^3)$	2.731
強熱減量 $\text{Ig-loss}(\%)$	3.1
細粒分含有率 $\text{Fc}(\%)$	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

表-2 竹チップの物理特性

フィルターの目の大きさ		円形20mm
繊維長幅		2-35mm
自然乾燥時の初期含水比		5.0%
密度 $\rho_k(\text{Mg/m}^3)$		1.587
竹チップの長さ	~4.75mm	32.15%
	4.75mm~	43.19%
	9.5mm~	22.16%
	19mm~	1.90%
	26.5mm~	0.60%



写真-1 竹チップの外観

表-3 竹チップ混合固化土の配合条件

土質試料	設定含水比 $w_0(\%)$	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	75	20	0,10,20 30,40,50	7

$$\text{曲げ応力 } \sigma = \frac{3FL}{2bh^2} \times 10 \quad \text{式-1}$$

$$\text{曲げひずみ } \varepsilon = \frac{600sh}{L^2} \quad \text{式-2}$$

$$\text{曲げヤング係数 } E = \frac{L^3}{4bh^3} \times \frac{\Delta F}{\Delta s} \times 10 \quad \text{式-3}$$

F: 曲げ荷重 L: 支点間距離 b: 試験片幅

h: 試験片厚さ s: たわみ

 ΔF : 曲げ荷重の変化量 Δs : たわみの変化量表-2 靱性の評価指標⁴⁾

パラメーター	靱性評価指標	呼称
応力	$\sigma_{\varepsilon=10\%}/\sigma_{\max}$	靱性度
仕事量	$P_1/(P_1+P_2)$	靱性ポテンシャル

3. 実験結果及び考察 図-1 に竹チップ混合固化土の曲げ試験結果を示す。B=0%に着目すると明確な破断がみられ、脆性的な破壊していることがわかる。一方、竹チップを添加した B=10~50%では、ピーク後の曲げ応力は緩やかに低下し、強度を維持した延性的な破壊形態を示している。これは、供試体内の竹チップの引張り補強効果が発揮され、竹チップ混合固化土の靱性が破壊形態に影響したと考えられる。また、図-2 に曲げ試験結果から得られた曲げヤング係数と竹チップ添加率の関係を示す。竹チップ添加率の増加に伴い、曲げヤング係数は B=20%まで減少し、その後 B=40%でピークを示し、50%で低下しており、30MN/m² 前後の値を示している。竹チップ添加による靱性効果において、効果的な竹チップ添加率があることがわかる。次に、図-3 に竹チップ添加率と曲げ強さ $\sigma_{\max}$ 及び曲げひずみ $\epsilon=10\%$ 時の曲げ応力 $\sigma_{\epsilon=10\%}$ を示す。曲げ強さ $\sigma_{\max}$ は、曲げヤング係数同様、B=0%に比べ、竹チップの混合により大きく減少している。また、B=10~50%において竹チップ添加率に関係なく、同程度の値を示している。また、曲げ応力 $\sigma_{\epsilon=10\%}$ は、B=20%まで一旦増加し、その後低下していることがわかる。これは竹チップ混合固化土に靱性効果があり、その効果は竹チップ添加量に影響を受けることを示している。ここで、同配合条件、同供試体密度における竹チップ添加率と一軸圧縮強さの関係を図-4 に示す。曲げ強さと一軸圧縮強さを比較すると、一軸圧縮強さは、竹チップ添加率の増加に伴い強度が増加していることがわかる。これは、一軸圧縮強さは引張り補強効果と剛性⁵⁾によって強度発現しており、曲げ強さは竹チップ混合による引張り補強効果のみによる効果を生じたことが要因と考えられる。つまり、圧縮強度において B=50%では、竹チップの剛性による強度発現が大きく、引張り補強による強度発現と考えられ、竹チップ混合固化土の引張り補強効果を有効活用できる範囲が選定できることが示された。次に、竹チップ混合固化土の靱性評価について、図-5 に曲げ試験における竹チップ添加率と靱性度の関係を示す。竹チップ添加率の増加に伴い、靱性度は増加傾向を示し、B=50%では減少することがわかる。したがって、B=10~40%間においては靱性度 0.25 以上、つまりピーク強度の約 1/4 の曲げ応力を持続できることが確認できる。図-6 に曲げ試験における竹チップ添加率と靱性ポテンシャルの関係を示す。靱性ポテンシャルは竹チップ添加率の増加に伴い、増加傾向を示し、B=50%では減少することがわかる。つまり、B=40%時に最も靱性効果を維持し、破壊後の耐力が増加していることがわかる。そして、B=50%時の低下は、供試体の湿潤密度が大幅に低下することから(図-7)、竹チップが供試体の中で偏在し、粘土と竹チップの摩擦が減少したこと⁶⁾が原因と考えられる。これらの靱性効果の評価から、今回の試験条件においては、引張り補強効果による靱性効果が発揮される竹チップ添加率の範囲は、B=10~40%であることが示された。

4. まとめ 竹チップ混合固化土の引張り・靱性効果は、竹チップ添加率によりその効果に変化し、有効範囲があることが明らかとなった。しかしながら、竹チップ混合固化土の固化材添加率および養生条件によっても、竹チップの引張り補強効果が異なることが予測されることから更なる検討をする予定である。

【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, pp.16-21, 2016. 2) 米丸ら:竹チップ混合固化処理土の強度・変形特性, 第12回地盤改良シンポジウム論文集, pp.337-340, 2016. 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, pp.341-346, 2016. 4) 高山ら:短繊維材添加による気泡混合軽量土の脆性的挙動の改善, 人工地盤材料の利用技術に関するシンポジウム発表論文集, pp.55-58, 2005. 5) 山下ら:竹チップ混合固化土の強度発現に及ぼす竹骨格形成の影響, 第56回地盤工学研究発表会, 12-3-4-04, 2021. 6) 山下ら: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, 令和2年度土木学会関西支部研究発表会, pp.399-400, 2021.

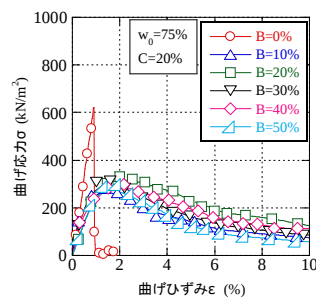


図-1 曲げ試験結果

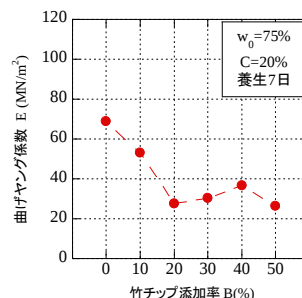


図-2 竹チップ添加率と曲げヤング係数の関係

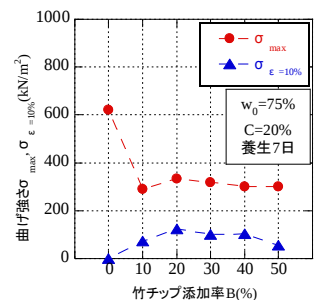


図-3 竹チップ添加率と曲げ強さの関係

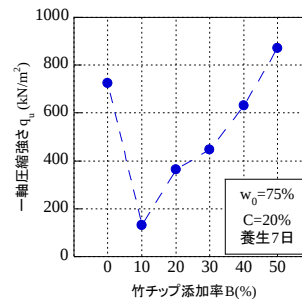


図-4 竹チップ添加率と一軸圧縮強さの関係

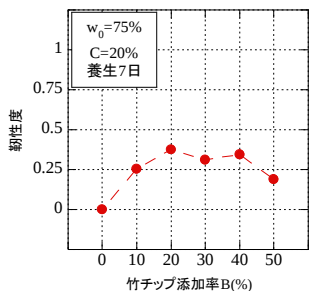


図-5 竹チップ添加率と靱性度の関係

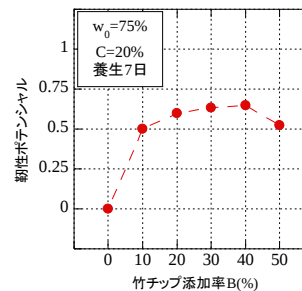


図-6 竹チップ添加率と靱性ポテンシャルの関係

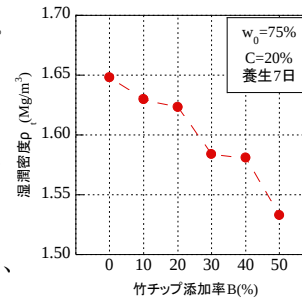


図-7 竹チップ添加率と湿潤密度の関係