

運搬処理後の有効利用を考慮した竹チップ改良工法の検討

福岡大学大学院 学生会員 村尾 勇成

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 著者らは、これまでに高含水比粘性土に対し、竹チップを混合することで運搬可能な強度まで改良できることを示している。また、この運搬処理に必要な竹チップ添加率は、高含水比粘性土の液性限界及び含水比に関係していることも明らかにしている<sup>2)</sup>。そこで本研究では、運搬可能な強度まで処理した竹チップ混合土に固化材を添加し、竹チップ混合固化処理土の土木資材への有効利用を目的としている。しかしながら、竹チップ混合固化処理土は、固化材混合直後では竹チップが混入していることから、一般の土の固化処理土に対して非常に流動性が低い。そのため、通常の施工法では、施工後の処理土の密度にばらつきに伴う固化強度の低下が生じることが考えられる。そこで、この問題の解決にあたり、竹チップ混合固化処理土に一定のエネルギーによる締固めを行い、処理土の密度の均一化と固化強度増加の検討を行った結果について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験試料 粘土試料として物理特性の異なるカオリン粘土と木節粘土、有明粘土の3種類を用いた。粘土の物理特性を表-1に示す。竹チップの外観を表-2に示す。竹チップは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、チップ化したものを60℃の炉乾燥で2日間乾燥させて $w_B=0\%$ のものを使用した。また、固化材は高炉セメントB種を用いた。

2-2 運搬可能な竹チップ添加率の検討 今回、竹チップ混合による改良目標強度は、トラックにて運搬可能な一軸圧縮強さ<sup>3)</sup>である $q_u=50\text{kN/m}^2$ とし、コーン指数 $q_c=200\text{kN/m}^2$ ( $q_c=4q_u$ )とした。図-1に含水比の異なるカオリン粘土の竹チップ混合土のコーン指数試験(JIS A 1228)結果を示す。また、竹チップ添加率は、粘土の乾燥質量に対して比率とし、目標強度( $q_c=200\text{kN/m}^2$ )を満たした時の竹チップ添加率を必要竹チップ添加率と定義する。図-2に必要竹チップ添加率と粘土の初期含水比の関係を示す。目標強度に必要な竹チップ添加率は、各粘土の初期含水比の影響を受け、比例関係があることが分かる。また、各粘土試料の液性限界における必要竹チップ添加率が約30%を示していることがわかる。本報告では、ため池工事時における水抜き、自然乾燥後の粘土の含水比が液性限界に近いこと<sup>4)</sup>に着目し、粘土試料について運搬処理の竹チップ添加率を30%として運搬処理後の有効利用の検討を行った。

2-3 実験概要 運搬可能強度改良後の竹チップ混合土のフロー値を表-3に示す。今回の実験では、竹チップ混合土の流動性の低下による施工法の検討のためタッピング法と締固め法を用いて供試体を作製した。タッピング法<sup>5)</sup>は、これまでセメント系固化処理土において従来用いられている方法である。竹チップ混合土に固化材を混合し、攪拌混合後、直径5cm、高さ10cmのモールド内に3層で各層25回モールドを床に叩くようにエネルギーを与え気泡が残らないように作製した。今回、締固め法は、締固めエネルギー $E_c=550\text{kJ/m}^3$ として、質量1.5kg、落下高さ20cmのランマーで1層あたり12回締固めを行い、全3層で作製した。表-4に実験条件を示す。実験は、液性限界に調整された各粘土試料に粘土の乾燥質量に対して竹チップ添加率30%を混合した竹チップ混合土に、固化材添加率 $C=5, 10, 15\%$ を混合した竹チップ混合固化処理土にて行った。ここで、固化材添加率は環境負荷の観点より低改良率としている。竹チップ混合固化処理土の強度・変形特性の検討は一軸圧縮試験(JIS A 1216)より行った。

表-1 土質試料の物理特性

	カオリン粘土	木節粘土	有明粘土
土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.731	2.690	2.614
自然含水比 $w$ (%)	-	3.9	87.2
乾燥減量 $I_g$ -loss (%)	3.1	8.5	8.4
細粒分含有率 $F_c$ (%)	100.0	96.4	67.2
液性限界 $w_L$ (%)	51.7	44.0	93.5
塑性限界 $w_p$ (%)	34.3	16.1	34.8
塑性指数 $I_p$	17.4	27.9	58.70

表-2 竹チップの外観

竹チップ	
外観	
フィルター目の大きさ	円形20mm
最大繊維長	2-35mm
含水比 $w$ (%)	0.00%

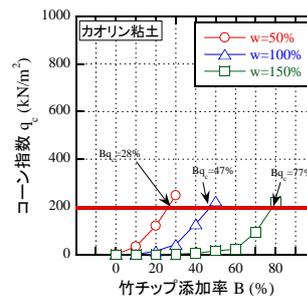


図-1 コーン指数と竹チップ添加率の関係

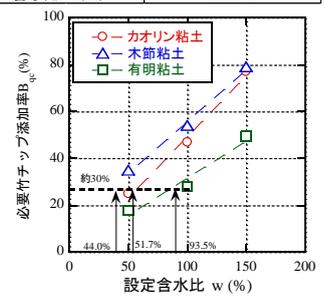


図-2 必要竹チップ添加率と設定含水比の関係

表-3 竹チップ混合土のフロー値

土質試料	フロー値(mm)
カオリン粘土	78.2
木節粘土	71.7
有明粘土	95.7

表-4 実験条件

土質試料	液性限界 $w_L$ (%)	設定含水比 $w$ (%)	固化材添加率 $C$ (%)	竹チップ添加率 $B$ (%)	供試体作製方法
カオリン粘土	51.2	$w_L(51.2)$	5 10 15	30	タッピング法 締固め法
木節粘土	44.0	$w_L(44.0)$			
有明粘土	93.5	$w_L(93.5)$			

3. 実験結果及び考察 図-4(a), (b)に竹チップ混合固化処理土供試体の湿潤密度と固化材添加率の関係を示す。供試体作製方法の違いに着目すると締固めを行うことで密度は 0.2~0.4g/cm<sup>3</sup> 程度増加しており、締固め法による密度の改善がみられる。図-5(a)~(c)に一軸圧縮試験結果を示す。ここで、有明粘土のような塑性指数の大きい粘土では、締固めの際にオーバーコンパクションを起こし、供試体作製が不可能だった。これは、竹チップが粘土内で吸水できる量は一定であるため塑性指数の差により、竹チップ混合土の塑性状況が異なってしまふ。そのため、竹チップ混合土内の水分量による流動性の差が要因であると考えられる。液性限界が高く、塑性指数が大きな粘土の竹チップ混合固化処理土の締固めを行うには、竹チップの混合量を再検討する必要がある。一軸圧縮試験における供試体作製法に着目すると、タッピング法と比較して、締固め法においては明確なピーク強度を示し、高い強度が発揮されていることがわかる。さらに、いずれの土質試料においても竹チップの靱性効果により、靱性的な破壊形態を示している。図-6(a)~(c)に各土質試料における一軸圧縮強さと固化材添加率の関係を示す。タッピング法では、液性限界の低いカオリン粘土、木節粘土においては、固化材添加率の増加に伴い強度は増加傾向

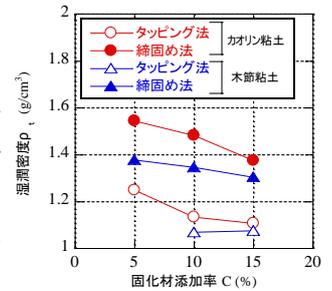


図-4 湿潤密度と固化材添加率の関係

の竹チップ混合固化処理土の締固めを行うには、竹チップの混合量を再検討する必要がある。一軸圧縮試験における供試体作製法に着目すると、タッピング法と比較して、締固め法においては明確なピーク強度を示し、高い強度が発揮されていることがわかる。さらに、いずれの土質試料においても竹チップの靱性効果により、靱性的な破壊形態を示している。図-6(a)~(c)に各土質試料における一軸圧縮強さと固化材添加率の関係を示す。タッピング法では、液性限界の低いカオリン粘土、木節粘土においては、固化材添加率の増加に伴い強度は増加傾向

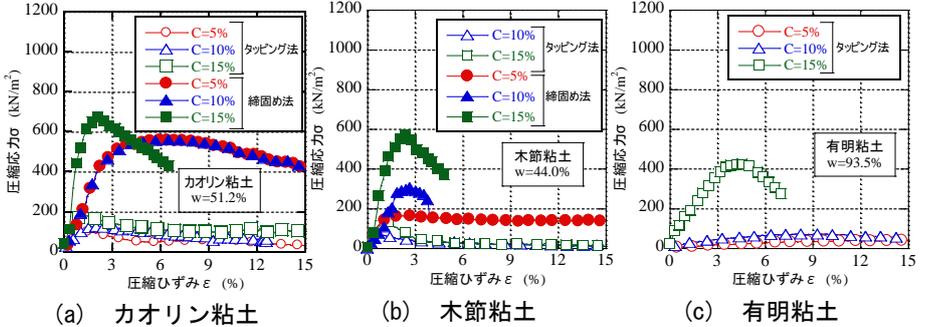


図-5 一軸圧縮試験結果

を示している。しかしながら一軸圧縮強さは低い値を示している。これは、表-3 に示したフロー値のような流動性の低さに起因していると考えられる。一方で液性限界が高く塑性指数の高い有明粘土は、タッピング法においても固化材添加率 C=15%時に大幅な強度増加を示し、盛土材として利用可能な目標強度を満足した。一方、締固め法に着目すると、カオリン粘土、木節粘土の両試料ともに締固めを行うことでタッピング法に比べ一軸圧縮強さが大幅に改善されていることが分かる。これは、図-4 に示すような締固めに伴う密度の改善に起因していると考えられる。また、カオリン粘土では C=5%添加時に盛土材として有効利用の可能な強度 q<sub>u</sub>=300kN/m<sup>2</sup> を満たしており、少量の固化材添加で有効利用が可能であることが示された。これは、木節粘土においても同様の傾向が示されている。今回の検討により、改良する粘土試料の液性限界と塑性指数は、竹チップ混合固化処理土の適用性に対して重要なパラメータであることが明らかとなった。

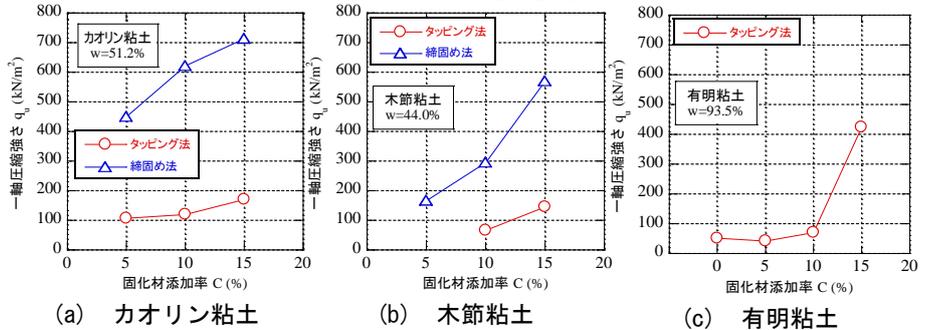


図-6 一軸圧縮強さと固化材添加率の関係

を示している。しかしながら一軸圧縮強さは低い値を示している。これは、表-3 に示したフロー値のような流動性の低さに起因していると考えられる。一方で液性限界が高く塑性指数の高い有明粘土は、タッピング法においても固化材添加率 C=15%時に大幅な強度増加を示し、盛土材として利用可能な目標強度を満足した。一方、締固め法に着目すると、カオリン粘土、木節粘土の両試料ともに締固めを行うことでタッピング法に比べ一軸圧縮強さが大幅に改善されていることが分かる。これは、図-4 に示すような締固めに伴う密度の改善に起因していると考えられる。また、カオリン粘土では C=5%添加時に盛土材として有効利用の可能な強度 q<sub>u</sub>=300kN/m<sup>2</sup> を満たしており、少量の固化材添加で有効利用が可能であることが示された。これは、木節粘土においても同様の傾向が示されている。今回の検討により、改良する粘土試料の液性限界と塑性指数は、竹チップ混合固化処理土の適用性に対して重要なパラメータであることが明らかとなった。

4. まとめ 1) 竹チップ混合土の流動性が低い試料に対して、固化材混合後に一定の締固めを行うことにより密度低下の改善が行えることが示された。2) 締固めを受けた竹チップ混合固化処理土の一軸圧縮強さは、3~4倍程度の強度増加が見られ、竹チップの持つ靱性力を効果的に発揮させることが明らかになった。また、少量の固化材添加で盛土材として有効利用が可能であることが示唆された。3) 液性限界と塑性指数の高い粘土試料においては、水分の保持量が多いことにより締固め時にオーバーコンパクションを起こすことから、液性限界が高く、塑性指数が大きな粘土の竹チップ混合固化処理土に締固めを行うには、竹チップの混合量を再検討する必要がある。

【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.1,16-21, 2016 2) 加藤ら:初期含水比の異なる竹チップの吸水効果の検討, 土木学会西部支部研究発表会, pp.429-430, 2016. 3) セメント系固化材による地盤改良マニュアル第4版, p.248, 2012. 4) 田中ら:高含水比粘性土の含水比低下方法に関する一考察, 土木学会第60回年次学術講演会, pp.5-6, 2005. 5) 日本建築総合試験所試験研究センター構造部土質基礎試験室 HP:わかりやすい試験シリーズ室内配合試験, [http://www.gbrc.or.jp/assets/test\\_series/documents/so\\_18.pdf](http://www.gbrc.or.jp/assets/test_series/documents/so_18.pdf).