

現場施工を考慮した竹チップ混合による高含水比粘性土の改良方法の検討

福岡大学工学部 正会員 ○古賀 千佳嗣 佐藤 研一 藤川 拓朗

1. はじめに 近年、竹林面積の増加に伴う生物多様化性や水源涵養性の低下等から、竹の定期的な伐採と伐採された竹材の有効利用が急務となっている¹⁾。一方、ため池や浚渫改修工事で発生する大量の高含水比で軟弱な浚渫土は、処分場の残余許容量と新設処分場の建設が難しいことから有効利用が求められている。著者ら²⁾はチップ化した竹を浚渫土砂へ適用し、竹チップの持つ高い吸水性を用いた改良方法を提案している。ここでは、トラックで運搬可能な強度コーン指数 200kN/m^2 以上の改良を目的として、現場施工を考慮し、竹チップを高含水比粘性土に混合した際の最適な改良方法の提案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 表-1 に竹チップの外観と初期特性を示す。近年では小型の竹粉碎機が開発され、現場において手軽に竹チップを供給することが可能である。これらを踏まえ、今回用いた竹チップは竹専用粉碎機(大橋製、GS120G 型)にて、カッティングフィルターの目を円形 20mm を用い、チップ化したものを使用した。竹の初期状態の違いとしては 60°C の炉乾燥で 2 日間乾燥させた絶乾竹($w_B=0\%$)、伐採直後粉碎機にてチップ化した青竹

($w_B=78.8\sim 170.6\%$)、竹チップを天日干しにし、乾燥させた自然乾燥竹($w_B=16.7\%$)の 3 種類がある。これらの竹チップの特徴として、一度、絶乾状態もしくは自然乾燥状態になった竹チップは、気中環境下においては含水比の変動がみられず、同じ含水状態で保管できることが確認できている²⁾。また、これまでの知見として、吸水材 1g に対し、吸水可能な水の重量比を吸水比 S_u ²⁾とした時、竹チップの初期含水比と絶乾竹

の吸水比を把握することで、竹チップの許容吸水比を計算できることを確認している²⁾。土質試料には液性限界、塑性指数、粒径幅の異なる、カオリン粘土、木節粘土、有明粘土の 3 種類の粘土を用いた。表-2 に本実験に用いた土質試料の物理特性を、図-1 に粘土試料の粒径加積曲線を示す。カオリン粘土は細粒分含有率 $F_c=100\%$ の試料であり、木節粘土はカオリン粘土に比べ液性限界が低い、塑性指数の幅が広い試料となっている。また、有明粘土については粒径幅が広く、液性限界が非常に高い試料であり、かつ塑性指数が高く、含水比変化における塑性状態の広い幅を示す試料となる。

2-2 実験方法 粘土中における竹チップの吸水効果は、液性限界 w_L の $0.75\sim 1.50$ 倍にした粘土に竹チップ添加率 $B=0, 10, 20, 30\%$ を混合し、粘土のみの含水比を測定し、その含水比変化について測定を行った。高含水比土質材料の改良効果の目標強度は、底泥をトラックにて運搬可能な一軸圧縮強さ³⁾である $q_u=50\text{kN/m}^2$ または、コーン指数 $q_c=200\text{kN/m}^2$ により評価を行った。実験では、粘土の設定含水比を 50, 100, 150%とした。吸水材には一般的に生産性の高い中チップを用い、その添加率は、粘土試料の絶乾質量に対する外割り配合で行い、目標強度を得るため $0\sim 80\%$ の範囲で 10%ずつ変化させ検討を行った。なお、コーン試験の供試体は、含水比を調整した底泥に竹チップを混合・攪拌し 12 時間静置させ、十分吸水させた後、直径 10cm、高さ 12cm のコーン試験用モールドにタンピング法にて 3 層 8 回に分けて、各層、同一エネルギーで突固めて作製した。

表-1 竹チップの外観と初期特性

外観	
繊維長幅	2-35mm
自然乾燥の含水比(%)	16.7
密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	1.587
吸水比 $S_u(\%)$	141.1

表-2 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 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.731	2.690	2.614
自然含水比 $w(\%)$	-	3.9	87.2
強熱減量 $I_g\text{-loss}(\%)$	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	58.7

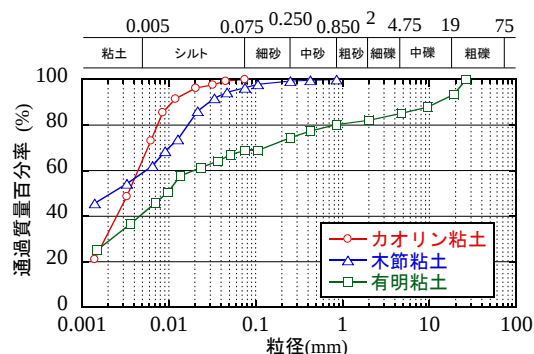


図-1 粘土試料の粒径加積曲線

キーワード 吸水比, 竹チップ, コーン指数

連絡先 〒814-0180 福岡市城南区七隈八丁目 19-1 福岡大学 TEL092-871-6631(内線 6464)

3. 結果及び考察

3-1 粘土中における竹チップの吸水効果

図-2(a), (b)に液性限界 w_L の 0.75~1.50 倍にした粘土における竹チップに吸水された吸水量を示す。図-2(a)より、竹チップ添加率の増加に伴い竹チップによる粘土内における吸水量は増加し、各添加量別に粘土の設定含水比と比例関係にあることが分かる。また、図-2(b)より粘土の種類の違いに着目すると、設定含水比 $w=0.75w_L \sim 1.25w_L$ ではいずれの粘土においても一定の吸水量の増加がみられ、粘土

の種類の違いにより、吸水量が異なっていることが分かる。また、 $1.25w_L$ 以上になると吸水量が増加する傾向がみられ、特にカオリン粘土の増加量が多いことも分かる。これは、液性限界より高い含水比では、透水性が高くなり、水が吸水されやすい状態になったためと考えられる。ここで、水中における吸水比に対して、粘土中の吸水比の割合を吸水率とする時、粘土の含水比と吸水率の関係を図-3に示す。図-2(b)と同様に設定含水比 $w=0.75w_L \sim 1.25w_L$ では粘土の種類に関係なく、吸水率に一樣の関係がみられる。これにより、今回の竹チップにおいては、竹の吸水比と吸水率を求めることにより調整したい含水比に対する必要な竹チップが算出されることが示された。

3-2 竹チップの改良効果 図-4に各試料における竹チップ添加率とコーン指数の関係を示す。いずれの条件においても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を満足していることがわかる。ここで、図-4中の今回設定した目標強度 $q_c=200\text{kN/m}^2$ を満たした時の竹チップ添加率を必要竹チップ添加率

Bq_c と定義しその値を示す。次に、図-5に必要竹チップ添加率と設定含水比の関係を示す。設定含水比の増加に伴い、必要竹チップ添加率は増加傾向を示している。また、各粘土試料の液性限界に着目すると、液性限界の高い粘土試料ほど、必要竹チップ添加率は低い値を示している。さらにそれぞれの液性限界の含水比における必要竹チップ添加率をみると約30%を示していることがわかる。図-6に図-2より求めた竹チップ添加率 $B=30\%$ 時の粘土の含水比と塑性指数内の関係を示す。竹チップによる吸水後の各粘土の含水比はカオリン粘土44.0%、木節粘土38.1%、有明粘土79.6%と変化し、いずれも液性限界から $w/w_L =$ 約85%に含水比が低下しており一定の関係性が伺える。液性限界にある粘土の中に30%の竹チップを入れると15%程度の含水比の低下が生じて、 200kg/m^2 のコーン値を得られるということが明らかになった。

4. まとめ 1)水中の竹チップの吸水比と粘土中の吸水率を求めることで、目標の含水比に必要な竹チップ添加量が算出されることが示された。2)液性限界近くにある改良対象粘土に竹チップを混合し、 $w/w_L =$ 約85%程度に含水比を低下させることが出来れば、トラック運搬に可能な強度を得ることができると示された。

謝辞：本研究は、文科省科研費26420488の助成を受けたものです。関係各位に心より感謝申し上げます。

参考文献 1) 林野庁：都道府県別森林率・人工林率（平成24年3月31日現在）調査 2) 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. 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.240, 2012.

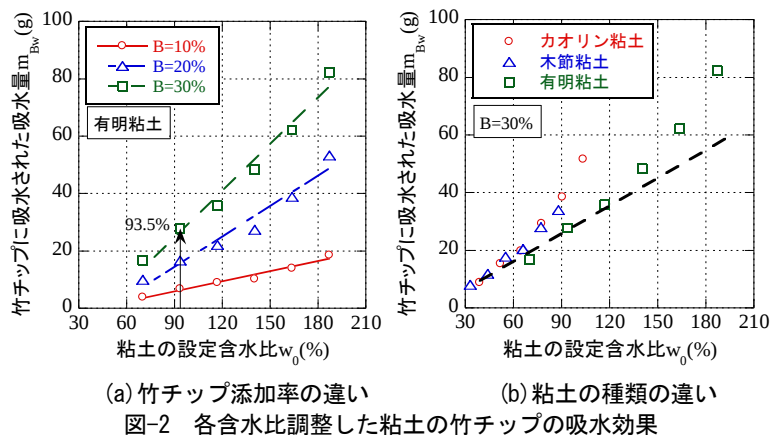


図-2 各含水比調整した粘土の竹チップの吸水効果

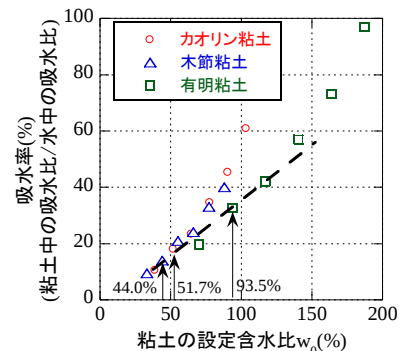


図-3 各含水比と吸水率の関係

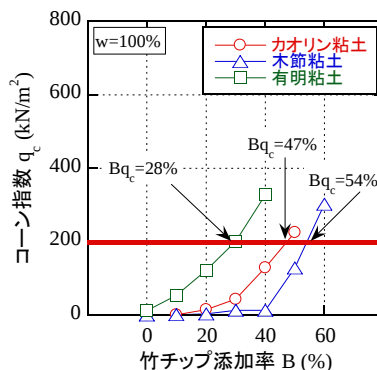


図-4 コーン指数試験結果

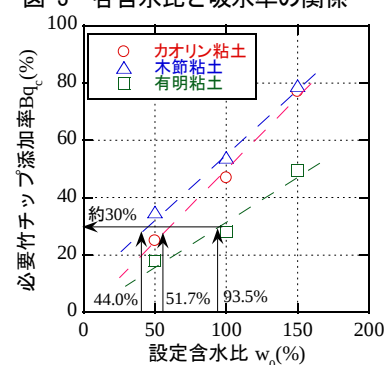


図-5 必要竹チップ添加率と設定含水比の関係

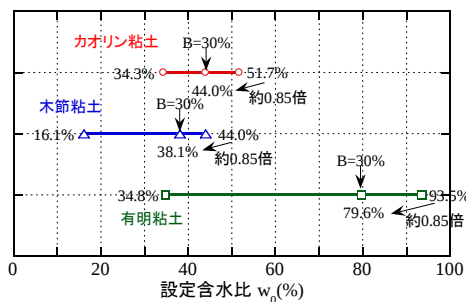


図-6 各粘土の含水比変化