

SCP 工法に用いる各竹チップ混合材料の材料特性

福岡大学大学院
福岡大学工学部
(株) 不動テトラ

学生会員
正会員

○山本 航司
佐藤 研一
渡辺 英次

藤川 拓朗
古賀 千佳嗣
布川 直矢

1. はじめに 地震大国である日本では、過去に多く地震が発生し液状化の被害を受けてきた。今後も南海トラフ地震などの発生が懸念されるため、液状化の対策が必要である。一方、近年の地球温暖化の抑制を目指す脱炭素社会に向けて、炭素を取り込んだバイオマス材を使用した様々な土木技術が開発されており、環境にやさしい材料や工法の選定が重要とされている。そこで本研究では、液状化対策を中心とした地盤改良技術の一つであるサンドコンパクションパイル工法¹⁾²⁾ (以下 SCP 工法) に着目し、従来の中詰材に竹をチップ状にした竹チップを混合し、液状化対策を行うと同時に炭素を地盤中に炭素貯留する新しい材料の開発を目的としている。本報告では、従来の中詰め材 (3 種類) と竹チップを混合した竹チップ混合材料の材料特性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 本研究で使用する竹チップは、乾燥させた竹を小型竹専用粉砕機にて、カッティングフィルター円形 5mm を用いてチップ化した竹を用いた。混合する中詰材³⁾には、砂杭 SCP 工法に用いられる山砂と再生碎石 (RC-40, 以下 RC)、製鋼スラグを用い、竹チップと混合した混合材料の締固め・力学特性の検討を行い、SCP 工法への適応性について評価した。写真-1 (a) ~ (d) に使用する竹チップ、山砂、RC と製鋼スラグの外観、図-1 に使用した材料および体積比で 1:1 に混合した混合材料 (竹チップ混合材を含む) の粒径加積曲線を示す。また、表-1 に竹チップおよび各中詰材の物理特性を示す。

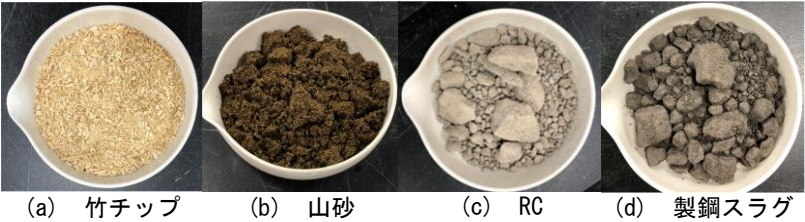


写真-1 試料の外観

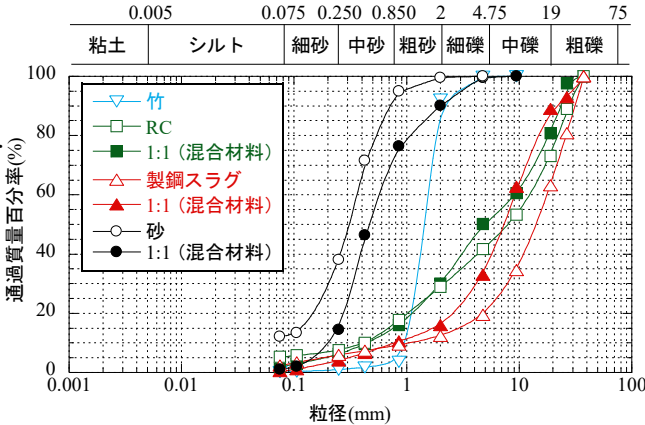


図-1 粒径加積曲線

2-2 条件及び実験方法

(a) 締固め特性の検討 本研究では、砂地盤を対象とした杭間の地盤密度の増加による液状化対策を想定している。そのため、杭に求める性能としては竹チップ混合材料の SCP 杭内の締固め状態の把握は重要である。そこで、締固め試験 (JIS A 1210) (E-b 法) を行った。竹チップ混合材料の混合方法は 1 m³ あたりの最小密度により、中詰材と竹チップを体積比で混合した。試験方法は、竹チップ:中詰材=0.33:1, 0.5:1, 1:1 より、竹チップと各中詰材および水を混合し、直径 15 cm、高さ 12.5 cm のモールド、4.5 kg のランマーを用いて締固めを行った。

(b) 力学特性の検討 本研究では、SCP 工法の中詰材の目標強度として、従来の砂杭と同等の強度である N 値 15 以上とした。そこで強度 (N 値) の把握として CBR 試験 (JIS A 1211) を行い、式 (1) に示す CBR 値から N 値換算⁴⁾ を行い評価し、目標値は N_d=N⁵⁾ として CBR=15.7 % とした。

$$CBR=0.44 \times N^{1.32} \tag{1}$$

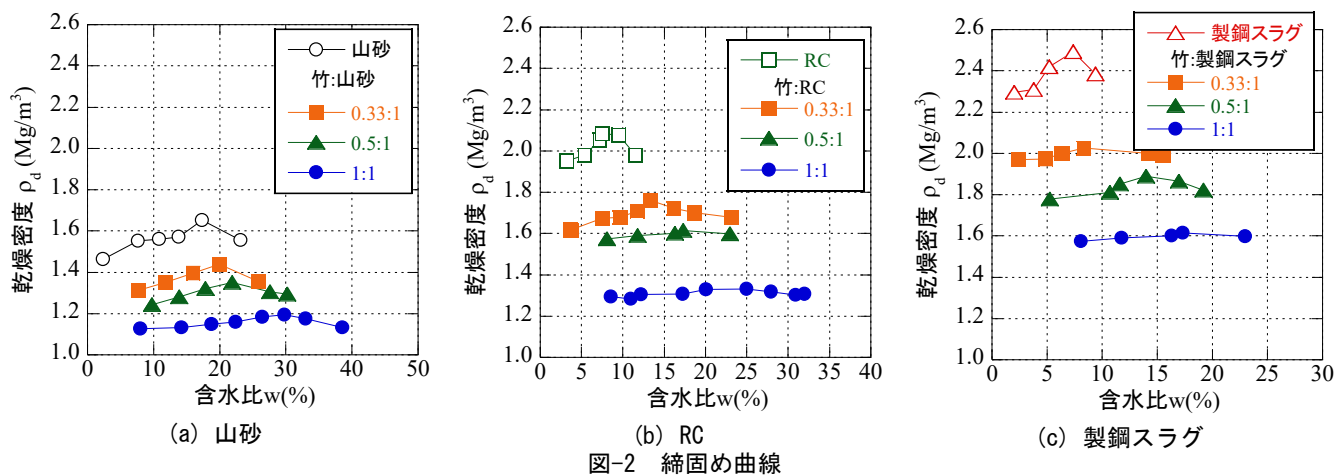
表-2 実験条件

	山砂	RC	製鋼スラグ	竹チップ
粒子密度 ρ_s (Mg/m ³)	2.75	2.68	3.32	1.59
細粒分含有率 F_c (%)	12.1	5.3	2.4	0.2
均等係数 U_c	-	29.9	17.0	1.66
曲率係数 $U_{c'}$	-	0.849	3.48	1.048
最小密度 ρ_{dmin} (Mg/m ³)	1.215	1.501	1.879	0.297

試料	配合比 (竹チップ: 中詰材)	設定含水比 w_{opt} (%)	締固めエネルギー E_c (kJ/m ³)
RC	0.33:1	最適含水比	4.5 E_c
製鋼スラグ	0.5:1		
山砂	1:1		

表-2 に実験条件を示す。供試体作製方法は、締固め試験と同様にそれぞれの配合比 (竹チップ: 試料=0.33:1, 0.5:1, 1:1) において最適含水比 w_{opt} で混合し、各層それぞれ 92 回突き固め供試体を作製した。その後、供試体を 4 日間水浸し、貫入試験により CBR 値を求めた。

キーワード 竹チップ, SCP 工法, CBR
連絡先 〒814-0180 福岡市城南區七隈八丁目 19 番 1 号 TEL 092-871-6631 (内線 6481)



3. 実験結果及び考察

3-1 締固め特性 図-2(a)～(c)に各材料混合条件における締固め曲線を示す。一般的な礫分である製鋼スラグとRCは、最適含水比が低く、最大乾燥密度は高い値を示している。配合比に着目すると、いずれの中詰材も配合比 0.33:1 から 1:1 の竹チップ配合比の増加にしたがい、最大乾燥密度が低下し最適含水比は増加している。また、締固め曲線はなだらかな形状となり、含水比による密度変化の影響を受けないことがわかる。これらは、単位体積質量の小さい竹チップの体積割合が増加することで乾燥密度が低下し、竹チップの吸水効果により⁶⁾最適含水比が増加したと考えられる。次に、各中詰材を比較すると、表-1 に示している粒子密度が高い材料ほど、高い最大乾燥密度を示している。また、図-1の粒径加積曲線から、RCと製鋼スラグは大きな粒径含むため、骨格構造等を形成していたことが確認できている。このように、竹チップと中詰材を混合した場合は、体積中に占める竹チップの割合が多いほど締固め密度は低下し、中詰材の粒径の大きさや粒子密度の影響を受けることがわかる。

3-2 力学特性 図-3に各条件におけるCBR試験の結果を示す。配合比に着目すると、竹チップ配合比の増加に伴いCBR値が低下し、RC、製鋼スラグ、山砂の順で高い値を示している。また、目標値N値15以上つまり、CBR=15.7%以上では、山砂は配合比 0.33:1、RCは配合比 1:1、製鋼スラグは配合比 0.5:1まで竹チップを配合することが可能であると確認できる。しかしながら、図-2の締固め試験結果では、製鋼スラグはRCよりも高い乾燥密度を示しているにもかかわらず、CBR値は低い値を示している。そこで、混合・締固め後の竹チップと中詰材の体積割合に着目して、それぞれの粒子密度から間隙比を求めた。

図-4に間隙比と各配合比の関係を示す。配合比に着目すると、竹チップ配合比の増加に伴い間隙比が増加している。つまり、前述の単位体積質量の小さい竹チップの配合比増加による乾燥密度の低下に加え、竹チップの緩衝により締固めの密度が低下していると考えられる。さらに、RCが製鋼スラグよりも高いCBR値を示したことも、間隙比が製鋼スラグよりもRCの方が低い値を示したためと考えられる。以上のことから、SCP工法に用いる竹チップ混合材料は、竹チップと混合する中詰材により、目標値を満足する配合比があることが示された。また、材料の選定においては、CBR試験の実施により選定可能であり、間隙比との関係性があることが明らかとなった。

4. まとめ 1) 竹チップ混合材は、体積中に占める竹チップの割合が多いほど締固め密度は低下し、中詰材の粒径の大きさや粒子密度の影響を受けることが明らかとなった。2) SCP工法に用いる竹チップ混合材料は、竹チップと混合する中詰材により、CBR目標値を満足する配合比があることが示され、間隙比との関係性があることが明らかとなった。3) SCP工法に用いる材料はCBR試験により選定でき、竹の有効利用と炭素貯蔵できる可能性が示された。

【参考文献】1) 大林・原田・村上・鈴木：サンドコンパクションパイル（締固め砂杭）工法の歴史と新技術，地盤工学会，第63巻，第8号，16-19頁，2015年。2) 原田健二：液状化対策技術—時代のニーズに応じて進化するSCP工法—，土木学会誌，Vol.106，No.9，2021。3) 水上純一，菊池喜昭：吉野博之：リサイクル材としてのコンクリート塊の諸特性，港湾技研資料 No.906，1998年6月。4) 永石義隆，原口暢朗：現場CBR値推定のための簡易貫入試験の応用例。5) 地盤工学会基準，第3章簡易動的コーン貫入試験方法。6) 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，III-079，2016。

