

SCP 工法に用いる竹チップ・RC 混合材料の締固め・力学特性

福岡大学工学部 学生会員 山本 航司
 福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗 古賀 千佳嗣
 (株)不動産トラ 渡辺 英次 布川 直矢

1. はじめに 液状化対策工法の1つであるサンドコンパクションパイル工法(以下 SCP 工法)の歴史は古く、半世紀以上に渡り時代のニーズに応じて、工法の設計、施工、材料が改良されてきた。SCP 工法の中詰材料は砂や礫が一般的であるが良質な材料の枯渇やリサイクル性などの環境的な配慮から代替材として、これまで製鉄スラグ、高炉スラグ、再生砕石、貝殻混じり砂など使用されている²⁾。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、炭素を取り込んでいるバイオマス材を使用した様々な土木技術が開発されている。そのため、SCP 工法も脱炭素という時代のニーズに対応できる新しい中詰材の開発が必要と考える。そこで本研究では、成長が早く繁殖力が強い、放置竹林が深刻化している竹をチップ化し、SCP 工法の従来の中詰め材と混合して使用することで、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、従来の中詰め材と竹チップを混合した竹チップ混合材料の締固め特性及び力学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 本研究で使用するバイオマス材は、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。混合する中詰め材には、代替材として実績³⁾のある再生砕石(RC-40、以下 RC)を用いた。また、比較材料として砂杭 SCP 工法の中詰め材として用いられる山砂を用いた。写真-1(a)~(c)に使用する竹チップ、山砂と RC の外観、図-1 に使用した材料(竹チップ・RC 混合材を含む)の粒径加積曲線を示す。また、表-1 に試料それぞれの物理特性を示す。

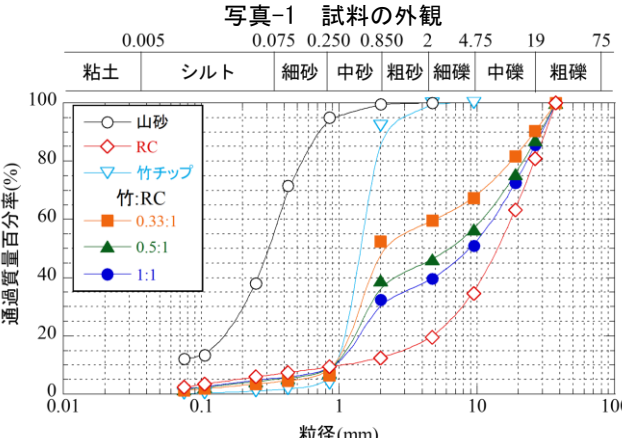
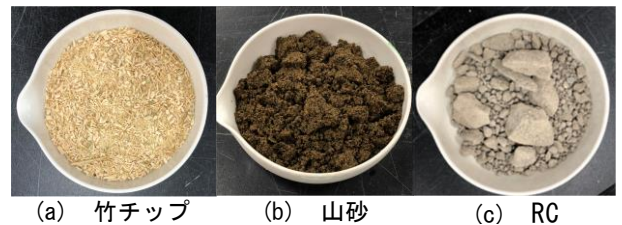


図-1 粒径加積曲線
表-1 物理特性

	山砂	RC	竹チップ
密度 ρ_d (Mg/m ³)	2.75	2.68	1.59
細粒分含有率(%)	12.1	3.3	0.2
均等係数	NP	29.9	1.66
曲率係数	NP	0.849	1.048
最小密度(Mg/m ³)	1.215	1.501	0.297

表-2 実験条件

試料	混合比 (竹チップ:RC)	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	0.8
	0.5:1		2.1
	1:1		4.5

2-2 条件及び実験方法

(a) 締固め特性の把握 本研究では、砂地盤を対象とした杭間地盤密度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・RC 混合材料の SCP 杭内の締固め状態の把握は重要である。SCP 材料の混合方法は現場の体積比を模擬した混合方法(1m³あたりの最小密度)により材料と竹チップの混合を行った。混合比(竹チップ:RC=0.33:1, 0.5:1, 1:1)より混合した竹チップ、RC と水を混合し、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、締固め試験(JIS A 1210) (E-b 法)を行った。

(b) 力学特性の把握 本研究では、SCP 工法の中詰め材の目標強度として、従来の砂杭と同等の強度、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、今回、目標値は $N_d=N^5$ として、CBR 値は 15.1%とした。

$$CBR=0.44 \times N^{1.32} \quad (1)$$

表-2 に実験条件を示す。今回、現場と室内試験との相関を踏まえ、締固めエネルギーを変化させ、CBR 試験を実施した。供試体作製手順は絶乾状態の試料をそれぞれの混合比(竹チップ:RC=0.33:1, 0.5:1, 1:1)における最適含水比 w_{opt} (13.9% (0.33:1), 17.3% (0.5:1), 20.5% (1:1)) で混合・攪拌を行い、各層それぞれ 17, 42, 92 回突き固めを行った。その後、4 日間水浸膨張を行った後に貫入試験を行った。

3. 実験結果及び考察

3-1 締固め特性 図-2 に各条件における締固め曲線を示す。一般的な礫分である RC は、最適含水比は低く、最大乾燥密度は高い値を示している。混合比に着目すると、竹チップの増加する 0.33:1 から 1:1 となるにしたがい、最大乾燥密度が低下しており、含水比の変化に対し、密度変化が小さくなっている。これは竹チップの吸水効果により竹チップが保水することや、単位体積中の竹チップの量が多くなり、締固めづらい状態に移行していることが要因と考えられる。また、従来の SCP 工法に用いる山砂と比較すると、混合比 0.33:1 時に近い締固め挙動を示していることが確認できる。

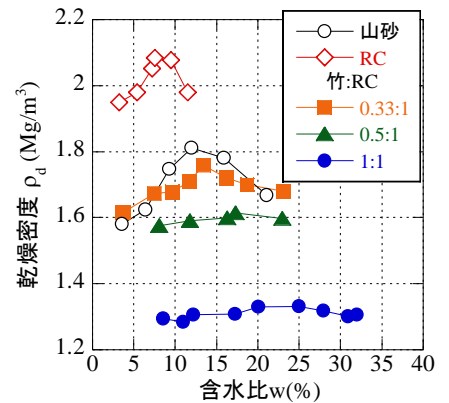


図-2 締固め曲線

3-2 力学特性 図-3(a), (b) に各竹チップ混合比及び締固めエネルギーにおける竹チップ混合材料の荷重と貫入量の関係を示す。(a) より混合比に着目

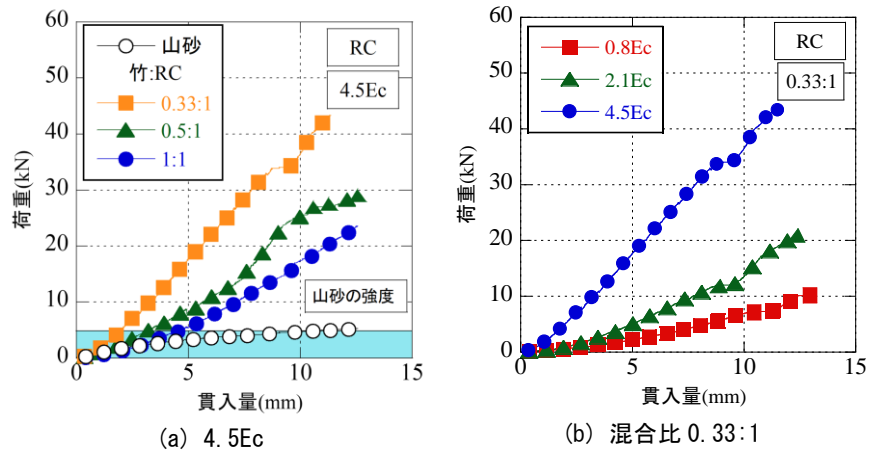


図-3 荷重と貫入量の関係

すると、竹チップの混入率増加に伴い貫入抵抗は大きく低下していることがわかる。しかしながら、比較材である山砂と比較するといずれの混合比ともに山砂以上の強度を有していることが確認できる。次に、締固めエネルギーに着目すると (b) より、竹チップ混合材料は締固めエネルギーが大きくなるほど強度が増加していることがわかる。ここで、

図-4 に締固めエネルギーと乾燥密度の関係を示す。竹チップを混合すると乾燥密度は大きく低下し、締固めエネルギーの増加により乾燥密度は増加していることも確認できる。また、図-5 に締固めエネルギーと CBR 値の関係を示す。従来の砂杭の N 値は 15 程度であり、式 1 より $CBR_{5.0}=15.1\%$ となる。この CBR 値を SCP 杭の CBR 目標値とすると、山砂では、締固めエネルギー 4.5Ec の時に現場における従来の砂杭と同等の N 値 ($CBR=16.5\%$) を確認できる。一方、竹チップ・RC 混合材では、同じ締固めエネルギー (4.5E) においていずれの混合率にお

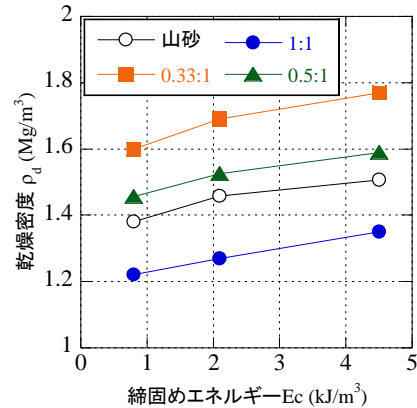


図-4 締固めエネルギーと乾燥密度の関係

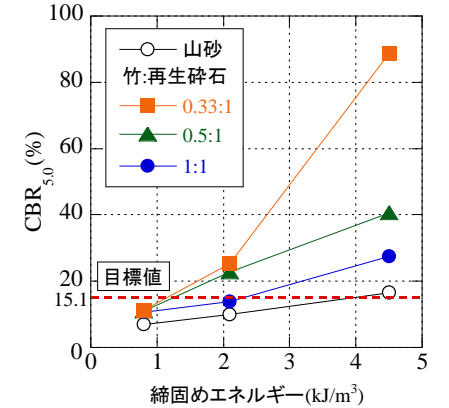


図-5 締固めエネルギーと CBR 値の関係

いても、目標値を満足していることも分かる。また、竹チップ・RC 混合材は、締固め時の乾燥密度が山砂よりも、低いにもかかわらず CBR 値は高い値を示しており、単位体積中の竹チップの量が多くなり、締固めがしづらい状態においても竹チップ混合材料は十分な強度を有していることがわかる。

4. まとめ SCP 工法に用いる竹チップ・RC 混合材は、締固め時の乾燥密度が山砂よりも、低いにもかかわらず従来の砂杭 ($N=15$) と同等以上の強度を有しており、中詰材として十分な強度を有していることが示された。また、SCP 工法の中詰材として利用することで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, September 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.