

SCP 工法への適用を目指した乾式炭酸化再生細骨材の CO₂ 固定量の評価

九州大学 学 〇阪本 優平
 九州大学 正 石藏 良平 F 安福 規之
 九州大学 正 アデル・アロウイシー 学 峰 渉磨
 竹中工務店技術研究所 河野 貴穂 西家 翔

1. はじめに

近年、世界規模で地球温暖化が進行している。地球温暖化の原因は温室効果ガスであり、特に二酸化炭素が地球温暖化の最も大きな原因である。政府は 2020 年に「2050 年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする」カーボンニュートラルを目指すことを宣言した。セメント業界では、コンクリート利用に伴うセメントの大量消費による二酸化炭素排出を抑える必要がある。人為的な二酸化炭素吸収手段として、コンクリート塊からできた再生骨材に二酸化炭素を固定した CCU (Carbon Capture and Utilization) 材の開発が期待されている。図 1 に示す SCP (サンドコンパクションパイル) 工法は、軟弱地盤に対してケーシングを用いて砂や碎石等を振動させながら締め固め、杭を打設する地盤改良工法である。SCP 工法には、世界的な砂需要の増加を受け、すでに持続可能な地盤改良材としてコンクリート塊や高炉スラグなどの碎石の適用例がある。本研究では、新規に CCU 材を適用することを想定し、カーボンニュートラルへの貢献と砂に代わる新たな SCP 材とすることを目標とする。本報告では、乾式炭酸化装置で炭酸化した再生細骨材 (CCU 材) の土粒子密度、粒度分布を把握するとともに、CO₂ 固定量の測定方法について検討を行った。

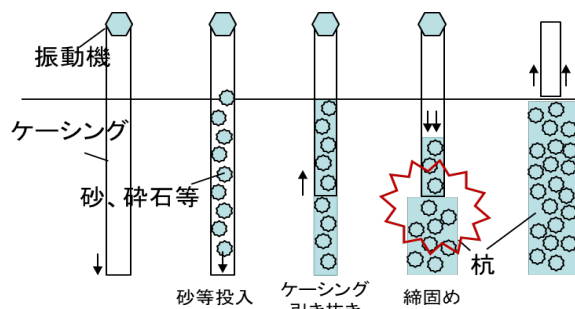


図 1 SCP の概要

2. 材料特性と実験概要

表 1 調合・ブラスト処理条件

No.	調合	
2	21-18-20-N_石灰岩	
3	30-18-20-N_硬質砂岩	
4	21-18-20-BB_硬質砂岩	
T	ブラスト時間 (s)	集塵風 (m ³ /min)
50	50	250
40	40	160

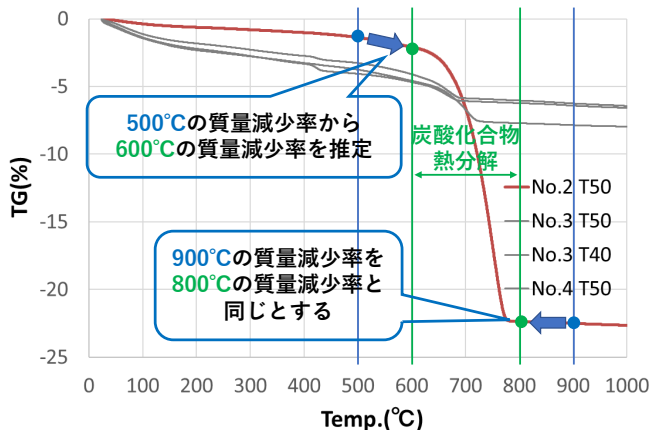


図 2 未炭酸化試料の TG グラフ

使用した試料は、No.2 T50、No.3 T50、No.3 T40、No.4 T50 の 4 種類である。これらの調合・ブラスト処理条件は表 1 に示す。ブラスト時間が変化すると、CCU 材粒径と細骨材のセメント付着量に変化する。乾式炭酸化装置によって試料に CO₂ を固定し、これら 4 種類の試料の違いによる材料特性のばらつきを把握した。

CO₂ 固定量の把握は、強熱減量試験、TG-DTA (示差熱分析) により行った。強熱減量試験は、試料を高温で加熱し、質量減少を測る試験である。また、TG-DTA は「その物質の温度を調節されたプログラムに従って変化させながら、その物質と基準物質との温度差を温度の関数として測定する技法」¹⁾である。本試験では、加熱による炭酸化合物の熱分解反応によって発生した減少質量を、試料初期質量で割ったものを CO₂ 含有率とする。熱分解反応が起こる明確な温度の

基準は無く、強熱減量試験では、未炭酸化試料および炭酸化試料の 500°C-900°Cの質量差からそれぞれの CO₂ 含有率を測定し、その差を CO₂ 固定量と定義した。また、未炭酸化試料は 600°C~800°C、炭酸化試料は 500°C~800°Cで熱分解反応が起こると仮定した場合においても CO₂ 含有率を推定し、その比較を行った。未炭酸化試料については、図 2 に示す未炭酸化試料の TG (熱重量測定) グラフの勾配から、600°C加熱時の減少質量を推定し、強熱減量試験結果で得られた CO₂ 含有率から差し引いた。800°C加熱時の減少質量は、TG グラフから 800°C~900°Cにおいて質量変化がほぼ無いものとみなし、900°Cと同じとした。TG グラフから修正した未炭酸化試料の CO₂ 含有率と炭酸化試料の CO₂ 含有率の差を炭酸化処理による CO₂ 固定量とした。

3. 試験結果と考察

CCU 材の密度試験結果を表 2 に示す。これらの値は試料種類由来の値であると考えられ、全ての試料において 2.6~2.7g/cm³ 程度の密度であった。ふるいわけ試験、沈降分析により得られた粒径加積曲線を図 3 に示す。4つの粒径加積曲線は全て SCP の実績範囲²⁾内にあり、SCP 材適用性はあると考えられる。

表 2 土粒子の密度試験結果

試料	土粒子の密度(g/cm ³)
No.2 T50	2.636
No.3 T50	2.620
No.3 T40	2.685
No.4 T50	2.660

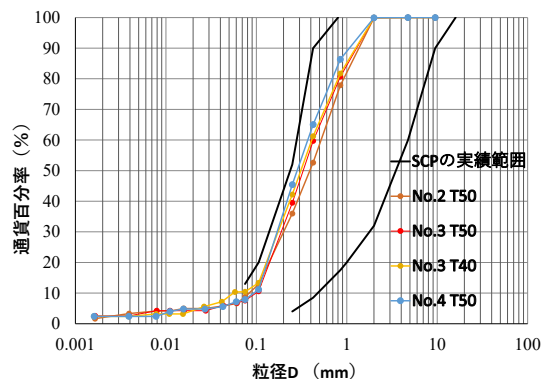


図 3 粒径加積曲線

表 3 未炭酸化試料 CO₂ 含有率比較

	TG-DTA	推定
No.2 T50	20.23%	19.21%
No.3 T50	1.50%	2.12%
No.3 T40	1.20%	2.10%
No.4 T50	2.84%	2.82%

強熱減量試験から得られた未炭酸化、炭酸化試料の CO₂ 含有率と炭酸化処理による CO₂ 固定量を図 4 に、TG-DTA の結果より 600°C-800°Cの質量差から推定した未炭酸化、炭酸化試料の CO₂ 含有率と炭酸化処理による CO₂ 固定量を図 5 に示す。表 3

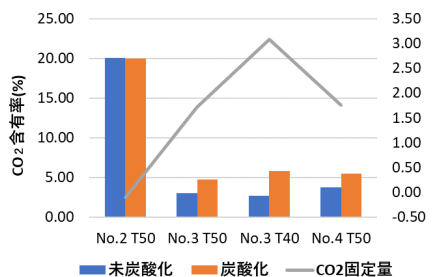


図 4 CO₂ 含有率と CO₂ 固定量 (未炭酸化・炭酸化：500°C-900°C)

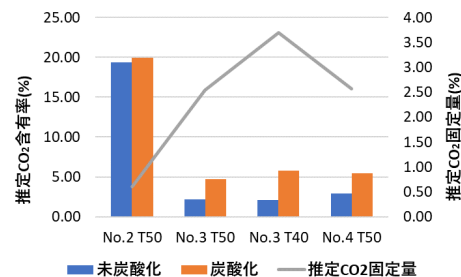


図 5 推定 CO₂ 含有率と推定 CO₂ 固定量 (未炭酸化：600°C-800°C 炭酸化：500°C-800°C)

は、600°C-800°Cにおける TG-DTA と推定した未炭酸化試料の CO₂ 含有率の比較を示す。図 4 と図 5 を比較すると、推定 CO₂ 含有率は小さいため、推定 CO₂ 固定量は相対的に大きくなる。一方で、強熱減量試験 (500°C-900°Cの質量差) から得られた CO₂ 固定量は No.2 T50 の値が負である。これは、500°C~900°Cが炭酸化物の熱分解反応が起こる温度として適切でない可能性を示唆している。

4. まとめ

再生細骨材に二酸化炭素を固定した CCU 材の基礎的特性を把握するとともに、CCU 材の CO₂ 固定量の評価について検討した。CCU 材は、いずれも SCP 工法の実績範囲内の粒度分布を示すことを確認した。また、強熱減量試験や TG-DTA (示差熱分析) の結果から、炭酸化処理により CO₂ が固定されていることを確認した。試験方法によって、CO₂ 固定量を適切に推定できない可能性があり、熱分解反応の温度設定等について、今後検討する必要がある。

【参考文献】

- 1) 杉浦茂樹, 金沢利恵子: 1991 熱分析法 https://www.jstage.jst.go.jp/article/shikizai1937/64/3/64_178/_pdf (2023年1月6日取得)
- 2) 地盤工学会 (2020): 戻し施工によるサンドコンパクションパイル工法設計・施工マニュアル p.52

【謝辞】

本成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務 (JPNP21014) を受け、「革新的カーボンネガティブコンクリートの材料・施工技術及び評価技術の開発プロジェクト」で得られた成果である。