

炭酸化した乾燥スラッジ微粉末における CO₂固定量の評価方法に関する基礎研究
—GI 基金事業『CUCO』開発成果—

東海大学大学院 学生会員 ○竹澤 一輝 正会員 笠井 哲郎
三和石産(株) 正会員 大川 憲 橋本 雄太 宮田 夏侑
鹿島建設(株) 正会員 閑田 徹志 百瀬 晴基 巴 史郎

1. はじめに

現在、国内では 2050 年のカーボンニュートラル実現に向け様々な分野での取組が行われている。セメント分野においては、一般社団法人セメント協会の報告によると 2021 年度のセメント産業における CO₂排出量は約 4,000 万 t とされており、国内全体の CO₂排出量の約 4%を占めている。その内、約 6 割はセメントの主原料である石灰石の熱分解による脱炭酸反応によるものと言われており、これを回収、分離する技術の開発が行われている。一方、コンクリート分野においては、 γ -C₂S と副産物混和材などを用い、これに高濃度の CO₂ で炭酸化養生を行うことでカーボンネガティブとなる環境配慮型コンクリートが製造されている¹⁾。

筆者らはこれまでに戻りコン起源のスラッジについて、コンクリート製造からスラッジ処理完了までの時間を短縮することで、未水和セメント分を多く残存した水和活性の高い乾燥スラッジ微粉末(以下、DSP と称す)を提案し、これをプレキャストコンクリートや生コンに適用した事例およびこれらのコンクリートの CO₂排出削減効果について報告した^{2), 3)}。そこで本研究では「CUCO (Carbon Utilized COConcrete)」の一員として、DSP の更なる低炭素化を実現することを目的とし、炭酸化した DSP (以下、DSP(C)と称す)の基礎物性および CO₂固定量を算出し、その簡易な評価方法について検討した。

2. 実験概要

実験概要を表-1 に示す。DSP の試料は炭酸化前の DSP が比表面積 5,290cm²/g (以下、DSP(C)-L0 と称す)、比表面積 6,790cm²/g (以下、DSP(C)-M0 と称す) および比表面積 10,360cm²/g (以下、DSP(C)-H0 と称す) の計 3 種類を用いた。炭酸化養生は高濃度炭酸化槽を用い、温度 50℃、湿度 50%、CO₂ 濃度 80%の槽内に各 DSP を厚さ 3mm 以下でバットへ均等に広げ静置し、所定の炭酸化時間まで養生した。炭酸化時間は 0, 3, 6, 12, 18, 24h の 6 水準とし、炭酸化養生後に基礎物性試験を実施し、CO₂固定量を測定した。

3. 試験方法

基礎物性試験は、セメントの物理試験方法 (JIS R 5201) に準拠し密度試験、比表面積試験を行い、セメントの化学分析方法 (JIS R 5202) に準拠し、強熱減量試験を実施した。CO₂固定量の試験は、示差熱-熱重量同時測定装置 (リガク社製、Thermo plus EVO2 TG-DTA8122) を使用した。窒素雰囲気下 (流量 100ml/min) において昇温速度 20℃/min で 1,000℃まで昇温した。測定により得られた TG-DTA 曲線において 600~800℃に表れる質量減少量が CaCO₃由来の脱炭酸であると考え、この温度範囲における炭酸化前後の DSP の質量減少量の差を CO₂固定量とした。

表-1 実験概要

No	記号	炭酸化時間	基礎物性試験	CO ₂ 固定量
1	DSP (C)-L0	0	○	○
2	DSP (C)-L3	3	○	○
3	DSP (C)-L6	6	○	○
4	DSP (C)-L12	12	○	○
5	DSP (C)-L18	18	○	○
6	DSP (C)-L24	24	○	○
7	DSP (C)-M0	0	○	○
8	DSP (C)-M3	3	○	○
9	DSP (C)-M6	6	○	○
10	DSP (C)-M12	12	○	○
11	DSP (C)-M18	18	○	○
12	DSP (C)-M24	24	○	○
13	DSP (C)-H0	0	○	○
14	DSP (C)-H3	3	○	○
15	DSP (C)-H6	6	○	○
16	DSP (C)-H12	12	○	○
17	DSP (C)-H18	18	○	○
18	DSP (C)-H24	24	○	○

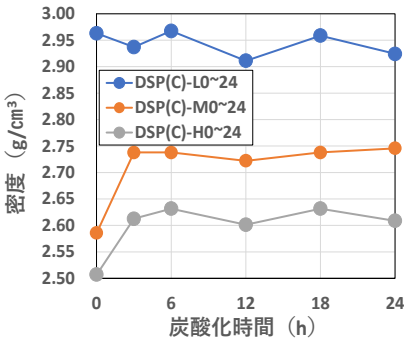


図-1 炭酸化時間-密度

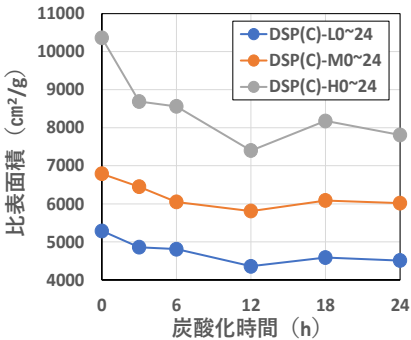


図-2 炭酸化時間-比表面積

キーワード CUCO, 炭酸化, 乾燥スラッジ微粉末, CO₂固定量, 比表面積, 戻りコンクリート

連絡先 〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 4-1-1 東海大学 TEL:0463-58-1211 FAX:0463-50-2045

4. 実験結果および考察

4. 1 基礎物性およびCO₂固定量

炭酸化時間と密度，比表面積，強熱減量，CO₂固定量の関係を図-1～4に示す．図-1から，DSP(C)-L0～24の密度は炭酸化時間にかかわらず同程度であったが，DSP(C)-M0～24およびDSP(C)-H0～24の密度は炭酸化時間3hで大きくなり，その後変化は見られなかった．図-2から，全てのDSP(C)で炭酸化時間が長くなるほど，比表面積が小さくなる傾向となり，炭酸化前の比表面積が大きいDSP(C)-Hでは最大2,960 cm²/g低下した．図-3から，強熱減量は炭酸化時間が長くなるに従い大きい結果となった．図-4から，CO₂固定量は炭酸化時間が長くなるほど大きくなり，炭酸化前の比表面積が大きいDSP(C)-H0でCO₂固定量が最も大きくなった．これらは，炭酸化前の比表面積が大きいDSP(C)-H0ほど水和生成物凝集体が多く含まれていることが影響しており，その凝集したCa(OH)₂等とCO₂が反応し，CaCO₃などが結晶化することで緻密化したことが，密度，比表面積，強熱減量およびCO₂固定量に影響したものと考えられる．

4. 2 DSP(C)のCO₂固定量の評価方法

炭酸化養生前後の比表面積の変化量または強熱減量の変化量とCO₂固定量の関係を図-5および図-6に示す．図-5から全てのDSP(C)において比表面積の変化量が大きいほどCO₂固定量は大きくなり，強熱減量の変化量が大きくなるほどCO₂固定量は大きくなった．これらから，DSP(C)のCO₂固定量は，DSPの実製造時の品質管理項目である比表面積や強熱減量の変化量から管理できる可能性が示唆された．

5. まとめ

本研究の範囲において，下記の結論が得られた．

- 1) 炭酸化時間が長くなるほど，DSP(C)の密度が大きくなり，比表面積が小さくなり，強熱減量は大きくなった．
- 2) 炭酸化時間が長くなるほど，CO₂固定量が大きくなり，炭酸化前の比表面積が大きいDSP-HでCO₂固定量が最も大きくなった．
- 3) DSP(C)のCO₂固定量は，DSPの実製造時の品質管理項目である比表面積や強熱減量の変化量から管理できる可能性が示唆された．

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で得られた成果である．

参考文献

- 1) 取違剛，関健吾，渡邊賢三，坂井吾郎：炭酸化養生によるCO₂吸収型カーボンネガティブコンクリートの開発と今後の展開，コンクリート工学，vol.59，No.9，pp.813-818，2021.9
- 2) 百瀬晴基，大川憲，津嶋武志，城戸隆宏：乾燥スラッジ微粉末を混和剤として用いたレディーミクストコンクリートの適用事例，コンクリート工学年次論文集，Vol.40，No.1，pp.1467-1472，2018.7
- 3) 大川憲，青木真一，関田徹志，笠井哲郎：レディーミクストコンクリート工場の戻りコンクリートから製造した乾燥スラッジ微粉末の諸特性とCO₂排出原単位，コンクリート工学年次論文集，Vol.42，No.1，pp.1372-1377，2020.7

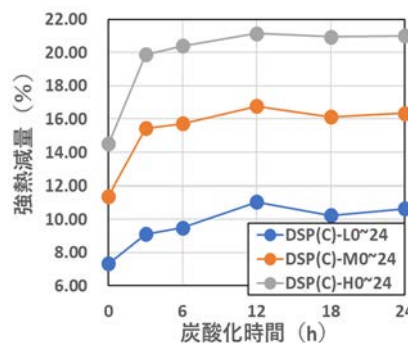


図-3 炭酸化時間-強熱減量

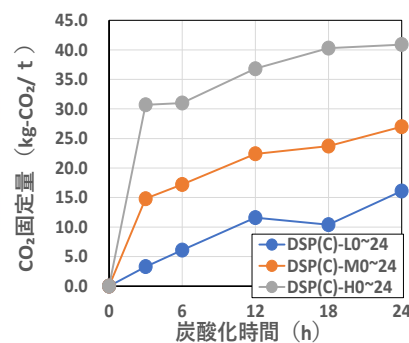


図-4 炭酸化時間-CO₂固定量

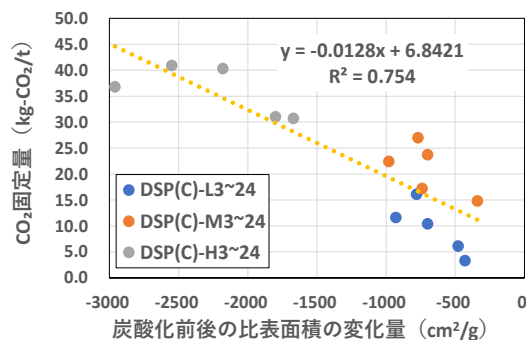


図-5 CO₂固定量-比表面積変化量

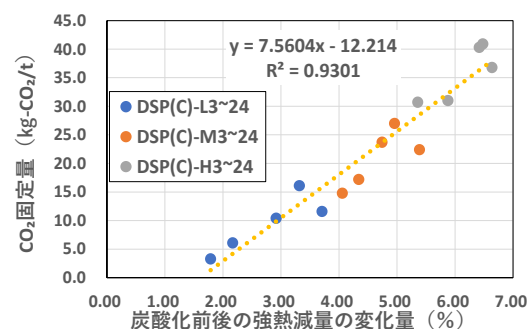


図-6 CO₂固定量-強熱減量変化量