

炭酸化時の養生条件が乾燥スラッジ微粉末の基礎物性に及ぼす影響
ー G I 基金事業『CUCO』開発成果ー

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 関田徹志 非会員 百瀬晴基 巴史郎
東海大学 正会員 笠井哲郎 学生会員 竹澤一輝

1. はじめに

現在、脱炭素社会に向けた動きは世界中に広まっており 2021 年 2 月時点で 120 か国を超える国が「2050 年カーボンニュートラル」を宣言しており、我が国でも「2050 年カーボンニュートラル」を目標に、その動きが加速している。国内において、セメント・コンクリート分野では CO₂ を吸収しコンクリートに固定化させることができる CO₂ 吸収・硬化セメントの開発や、高濃度の CO₂ による炭酸化養生で CO₂ を吸い込みカーボンネガティブとなる環境配慮型コンクリートが開発されている^{1) 2)}。これまで筆者らは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し、水和活性を高めたことを特徴とする乾燥スラッジ微粉末(以下、DSP と称す)を開発し、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³⁾、戻りコン由来の廃棄物縮減と CO₂ 削減を同時に解決できることを明らかにした。そこで本研究では、「CUCO (Carbon Utilized COncrete)」の一員として、この DSP の環境性能を更に向上させることを目標に、炭酸化時の養生条件(温度、湿度、CO₂ 濃度)における DSP (以下、DSP(C)と称す)の CO₂ 固定量および基礎物性に及ぼす影響を明らかにすることを目的として検討を行った。

2. 実験概要

2. 1 実験水準と試験概要

実験概要を表-1 に示す。実験要因は炭酸化前の DSP の比表面積、炭酸化養生時間、炭酸化養生条件(温度・湿度・CO₂ 濃度)の 3 要因とし、DSP に関しては炭酸化前の比表面積が 5390cm²/g (以下、DSP(C)-L と称す)、比表面積 8370cm²/g (以下、DSP(C)-M と称す)、比表面積 10580cm²/g (以下、DSP(C)-H と称す)の 3 種類を用いた。炭酸化養生時間は 0, 3, 24h とし、炭酸化養生条件は温度 20, 50℃、湿度 30, 50, 80%, CO₂ 濃度 50, 80%について実施した。表の記号は、DSP(C)-L, M, H の後の数字は、炭酸化養生時間ー温度・湿度・CO₂ 濃度の順に表記した。表に示す No.1 ～21 までの 21 水準にて、これらの要因が DSP(C)の CO₂ 固定量および基礎物性に及ぼす影響について検討した。

表-1 実験概要

No	記 号	炭酸化前の DSP の比表面積 (cm ² /g)	炭酸化養生時間 (h)	炭酸化養生条件			CO ₂ 固定量 (TG-DTA)	基礎物性 (密度、比表面積、強熱減量)
				温度 (℃)	湿度 (%)	CO ₂ 濃度 (%)		
1	DSP(C)-L0	5390	0	-	-	-	○	○
2	DSP(C)-L3-505080		3	50	50	80		
3	DSP(C)-L24-505080		24	50	50	80		
4	DSP(C)-L3-205080		3	20	50	80		
5	DSP(C)-L24-205080		24	20	50	80		
6	DSP(C)-M0	8370	0	-	-	-		
7	DSP(C)-M3-508080		3	50	80	80		
8	DSP(C)-M24-508080		24	50	80	80		
9	DSP(C)-M3-505080		3	50	50	80		
10	DSP(C)-M24-505080		24	50	50	80		
11	DSP(C)-M3-505050		3	50	50	50		
12	DSP(C)-M24-505050		24	50	50	50		
13	DSP(C)-M3-503080		3	50	30	80		
14	DSP(C)-M24-503080		24	50	30	80		
15	DSP(C)-M3-205080		3	20	50	80		
16	DSP(C)-M24-205080		24	20	50	80		
17	DSP(C)-H0	10580	0	-	-	-		
18	DSP(C)-H3-505080		3	50	50	80		
19	DSP(C)-H24-505080		24	50	50	80		
20	DSP(C)-H3-205080		3	20	50	80		
21	DSP(C)-H24-205080		24	20	50	80		

2. 2 DSP(C)の製造方法

DSP(C)は高濃度炭酸化槽を用い、表-1 の炭酸化条件で槽内に炭酸化前の各 DSP をバット(幅 37.6 cm×奥行 27.6 cm)に厚さ 0.4 cm 程度となるように敷均し、静置して養生した。

2. 3 試験方法

DSP(C)の 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。DSP(C)の基礎物性試験は、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。

キーワード CUCO, 乾燥スラッジ微粉末, 炭酸化, CO₂ 固定量, 温度, 湿度

連絡先 〒252-0823 神奈川県藤沢市菖蒲沢仲之桜 710 三和石産(株)テストング事業部 TEL0466-48-5515

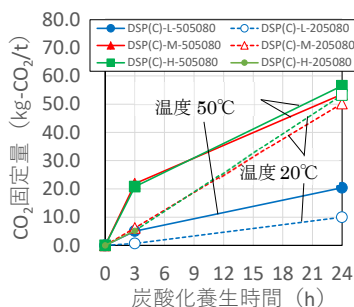
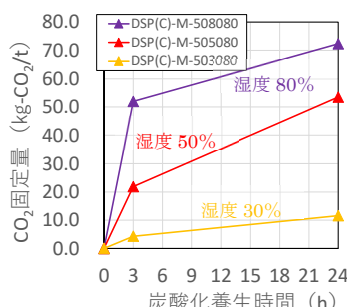
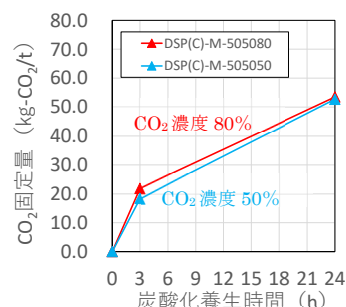
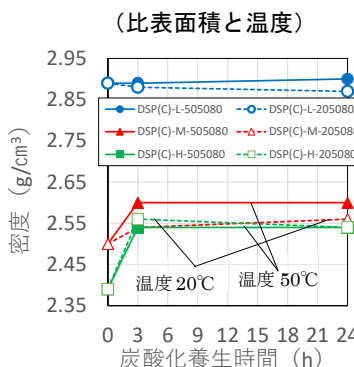
図-1 炭酸化養生時間と CO₂ 固定量図-2 炭酸化養生時間と CO₂ 固定量図-3 炭酸化養生時間と CO₂ 固定量

図-4 炭酸化養生時間と密度

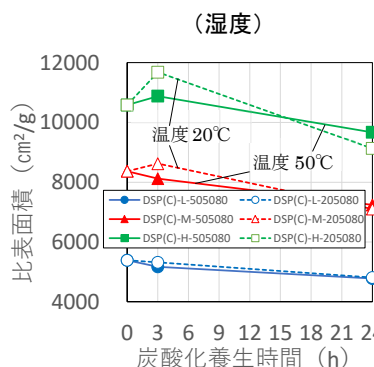


図-5 炭酸化養生時間と比表面積

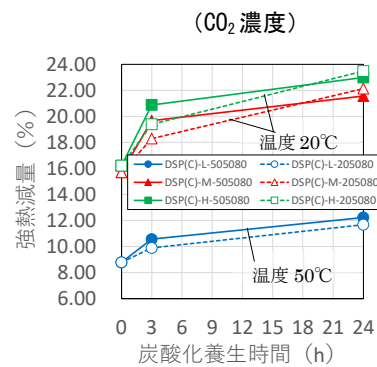


図-6 炭酸化養生時間と強熱減量

3. 実験結果および考察

3. 1 DSP(C)の CO₂ 固定量

炭酸化養生時間と CO₂ 固定量の関係を図-1～3 に示す。図-1 より全ての DSP(C)で炭酸化養生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ほど、CO₂ 固定量は大きくなった。また、炭酸化養生条件の温度 50°Cは 20°Cよりも CO₂ 固定量が大きくなり、50°Cと 20°Cの CO₂ 固定量の差は、炭酸化養生時間の短い 3h の方が 24h より大きいことから、CO₂ 固定の高温による促進効果の可能性が示唆された。図-2 は炭酸化養生条件の湿度のみ異なる条件の結果を示しており、湿度が大きくなるほど、CO₂ 固定量が大きくなった。図-3 は炭酸化養生条件の CO₂ 濃度のみ異なる条件の結果を示しており、CO₂ 濃度の違いによる CO₂ 固定量への影響はほとんど見られなかった。

3. 2 DSP(C)の基礎物性試験結果

炭酸化養生時間と密度、比表面積および強熱減量の関係を図-4～6 に示す。図より全ての DSP(C)において炭酸化することにより、密度が大きく比表面積は小さく強熱減量が大きくなり、炭酸化前の DSP の比表面積が大きいほど炭酸化前後のこれらの差は大きくなった。また炭酸化養生温度が高いほど、炭酸化養生時間 3h でその差が大きくなった。これらは DSP(C)に含まれる水和生成物の水酸化カルシウムが炭酸化することにより空隙の多い水和生成物の凝集体が緻密化したためであると考えられる。

4. まとめ

- (1) 炭酸化養生条件の温度が高い程、DSP(C)の CO₂ 固定量は大きくなり、CO₂ 固定の促進効果の可能性が示唆された。
- (2) 炭酸化養生条件の湿度が高くなる程、DSP(C)の CO₂ 固定量は大きくなった。
- (3) 炭酸化養生条件の CO₂ 濃度の違いによる DSP(C)の CO₂ 固定量への影響はほとんど見られなかった。
- (4) 炭酸化養生温度が高く養生時間が長い程、DSP(C)の密度が大きく比表面積が小さく強熱減量が大きくなった。

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) 橋本真幸ほか：CO₂ 吸収・硬化セメント「カーボフィックス®セメント」の開発，セメント・コンクリート，No.906，pp.10-16，2022.8
- 2) 取達剛ほか：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
- 3) 大川憲ほか：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