

コンクリートスラッジから得られた CCU 粉体を混合したコンクリートの基礎物性
ーG I 基金事業『CUCO』開発成果ー

鹿島建設(株) 正会員 ○クマル アワド 森香奈子 吉田祐麻 取達 剛 フェロー会員 渡邊賢三
日本コンクリート工業(株) 正会員 佐々木猛 八木利之

1. はじめに

日本では 2050 年カーボンニュートラル社会の実現に向けて、CO₂ の排出を最小限に抑えるための取組みが加速している。このような中、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) に「グリーンイノベーション (GI) 基金」が造成され、筆者らもコンソーシアム「CUCO (Carbon Utilized COncrete)」の一員として、研究開発を進めている¹⁾。同事業の中で筆者らは、CO₂ を吸収・固定した CCU (Carbon dioxide Capture and Utilization) 材料の製造技術の開発に取り組んでおり、その一つにコンクリートスラッジから CCU 材料を製造する技術がある。コンクリートプレキャスト工場では、スラッジをフィルタープレスで固液分離し、固形物を自然乾燥後に破碎することにより、スラッジ中の水和生成物に大気中の CO₂ が固定された粉体(以下 CCU 粉体と称す)を得ることができる²⁾。ここで得られる CCU 粉体には水和生成物が残存しているため、排気ガス等の CO₂ をさらに固定できる可能性がある。本研究ではコンクリートスラッジから得た CCU 粉体のコンクリートへの適用性を評価した。

2. 実験概要

使用した材料を表-1 に示す。CCU 粉体として、①コンクリートスラッジ固形分を自然乾燥後に 2mm 以下に粉碎した N-SZ02、②N-SZ02 を高温環境で炭酸化した C-SZ02、③自然乾燥後の破碎物を約 15~30 μm に粉碎した後に高温環境で炭酸化した C-SZ00 の 3 試料を使用した。CCU 粉体の炭酸化状況を確認するために、粉碎した試料を窒素環境下で 20℃/min の速度で 1000℃まで昇温させ、熱重量分析を実施した。炭酸カルシウムの量の変化は、質量減少曲線と 600℃から 850℃までの微分熱重量測定 (DTG) ピークから確認した。表-2 に実験項目を、表-3 にコンクリート配合を示す。B はベースケースとして、普通ポルトランドセメントを用いた目標スランプ 12cm、目標空気量 5%の一般的なコンクリートとした。N-02、C-00 および C-02 では、CCU 粉体を 50 kg/m³ 混入し、体積増加分は細骨材を減じて調整した。C-00-W では、炭酸化によって乾燥した C-SZ00 の吸

表-1 コンクリートの使用材料

項目	記号	摘要
水	W	水道水, 密度 1.00g/cm ³
セメント	OPC	普通ポルトランドセメント, 密度 3.16g/cm ³
CCU 粉体	N-SZ02	自然乾燥した CCU 粉体, 粒径: 2 mm 以下, 密度 2.13g/cm ³ , 含水率: 15%
	C-SZ02	炭酸化した CCU 粉体, 粒径: 2 mm 以下, 密度 2.37g/cm ³ 含水率: 0.4%
	C-SZ00	炭酸化した CCU 粉体, 粒径: 15~30 μm, 密度 2.40g/cm ³ 含水率: 0.4%
細骨材	S	砕砂, 表乾密度 2.64g/cm ³
粗骨材	G	碎石, 表乾密度 2.65g/cm ³ , G _{max} : 20mm
混和剤	Ad	AE 減水剤, リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体

表-2 実験項目

項目	試験材齢	摘要
スランプ	-	JIS A 1101
空気量	-	JIS A 1128
圧縮強度	7, 30 日	Φ100×H 200mm・水中養生: 20℃

表-3 コンクリート配合

No.	記号	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							Ad (%×C)	空気量 (%)
				W	OPC	N-SZ02	C-SZ02	C-SZ00	S	G		
1	B	50.0	45.0	165	330	-	-	-	811	1003	1.7	3.9
2	N-02	50.0	45.0	165	330	50	-	-	750	1003	2.5	6.3
3	C-02	50.0	45.0	165	330	-	50	-	756	1003	2.5	5.3
4	C-00	50.0	45.0	165	330	-	-	50	756	1003	3.0	6.0
5	C-00-W	55.0	45.0	180	330	-	-	50	756	1003	1.7	4.9

キーワード CUCO, コンクリートスラッジ, カーボンリサイクル, CCU 粉体, 炭酸化, 圧縮強度

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL. 042-485-1111

水がスランプの低下を招く可能性を考慮し、C-SZ00 に対して単位水量を外割で 15 kg/m^3 増加させた。

3. 実験結果および考察

図-1 に CCU 粉体の熱分析の結果を示す。炭酸化することで $600^\circ\text{C} \sim 850^\circ\text{C}$ における DTG ピークが大きくなったことから、試料中の炭酸カルシウム含有量の増加が確認でき、CCU 粉体に CO_2 が固定されたものと考えられる。コンクリートのスランプおよび空気量を図-2 に示す。図中の数値は AE 減水剤(%)の実測値である。N-02 の場合、B に比べてスランプが低下するが、AE 減水剤の量を増加することで B と同等のスランプを確保できた。C-02 の場合、混和剤を N-02 と同量にしてもスランプは N-02 より低下した。これは、炭酸化時の乾燥により CCU 粉体の含水率が 15% から 0.4% に低下し、実質的な単位水量が減少したためと考えられる。C-00 は C-02 に比べてさらに AE 減水剤の添加量 0.5% を増加することで C-02 と同等のスランプとなった。これは、C-00 は C-02 よりも粉体の粒度が細かいことに起因していると考えられる。C-00 に対して単位水量を 15 kg/m^3 増加した C-00-W の場合、C-00 と比較してスランプは増加した。

図-3 に材齢 7 日と 30 日の圧縮強度の結果を示す。図の縦軸は、B との圧縮強度の比を示し、図中の数値は圧縮強度 (MPa) の実測値である。N-02 の場合には、CCU 粉体の混入による圧縮強度の変化は認められなかった。しかし、 CO_2 を固定した C-00 および C-02 の場合には、約 20% の強度増加が認められた。これは、炭酸化した CCU 粉体は含水率が低く、実質的な W/C が小さくなり、圧縮強度が増加したものである。さらに、炭酸化した CCU 粉体の表面に析出した炭酸化カルシウムがセメント中の C_3A および C_3S の反応を促進し、コンクリートの圧縮強度に寄与した可能性もある。また、C-00-W は単位水量を増やし、W/C が 50% から 55% に増大したにもかかわらず、圧縮強度は 10% 増加した。以上から、CCU 粉体の添加に併せて適切な範囲で単位水量の調整を行えば、所要のワーカビリティを確保しつつ、強度を増加させることができる可能性がある。

4. まとめ

本研究では、プレキャスト工場から発生するコンクリートスラッジを自然乾燥、粉砕、炭酸化して得られた CCU 粉体を、細骨材に置き換えてコンクリートに添加した場合にフレッシュ特性と圧縮強度に及ぼす影響について検討した。その結果、炭酸化した CCU 粉体によってスランプは低下するが、混和剤の調整と単位水量の調整によって、フレッシュ性状を確保しつつ、圧縮強度を高められる可能性を示した。

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) 取達, 森, 小島: 革新的カーボンネガティブコンクリートの材料・施工技術および品質評価技術の開発—CUCO (Carbon Utilized COncrete) によるカーボンニュートラル社会の実現へ—, コンクリートテクノ, Vol.42, No.1, pp.58-64, 2023.1.
- 2) Iuzuka A., Sasaki T., Honma M., et al., "Pilot-scale operation of a concrete sludge recycling plant and simultaneous production of calcium carbonate" Chemical Engineering Communications, Vol. 204, pp. 79-85, 2017

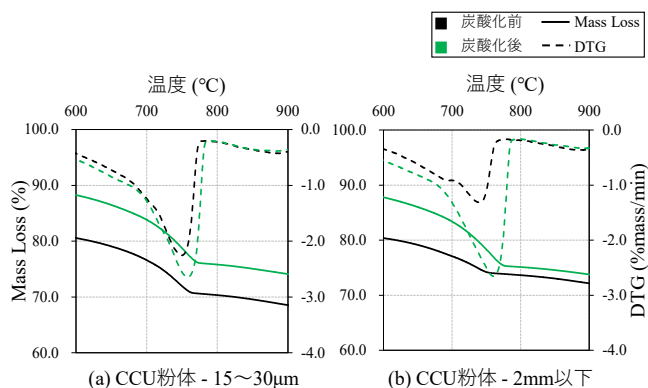


図-1 熱分析試験結果

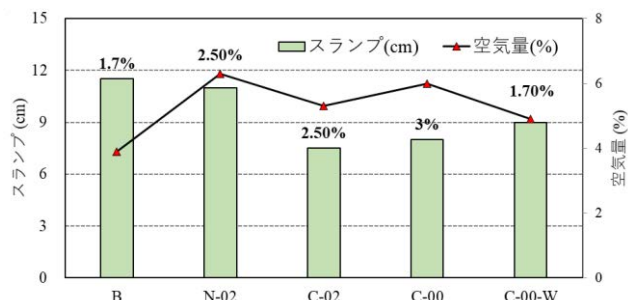


図-2 スランプおよび空気量の結果

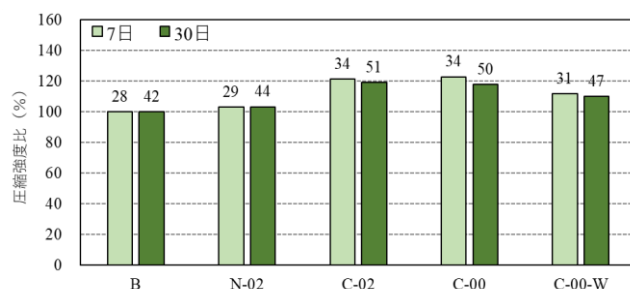


図-3 圧縮強度の結果