

CCU粉体の炭酸化による諸物性の変化およびモルタル材料としての評価
ーG I 基金事業『CUCO』開発成果ー

鹿島建設(株) 正会員 ○森香奈子 クマルアワド 取違 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

2050 年までに温室効果ガスの排出量を実質ゼロにし、カーボンニュートラルによる脱炭素社会を実現するためには、二酸化炭素 (CO₂) 排出量の削減は社会全体で取り組むべき重要な課題である。このようななか、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基金」が造成され、筆者らもコンソーシアム「CUCO (Carbon Utilized CO₂crete)」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いる。そこで本研究では、コンクリートスラッジを原料としたCCU材料について、CO₂吸収による諸物性の変化を分析するとともに、モルタルにてフレッシュ性状および圧縮強度への影響を評価することにより、コンクリート材料としての適用可能性を検討することとした。

2. コンクリートスラッジ由来のCCU材料

筆者らは、コンクリートスラッジに含まれるカルシウムを抽出し、固液分離した溶液にCO₂を吹き込むことで軽質炭酸カルシウムを生成する技術を開発している²⁾。この生成物は炭酸カルシウム (CaCO₃) 純度が高く、コンクリート材料としての利用が進められている。一方、固液分離で発生した固形分は、自然乾燥後に破碎・粉砕により粒度調整した後で、環境浄化材として利用されている。この固形分は、自然乾燥の過程で大気中のCO₂を吸収しているためCCU材料として利用できる可能性がある。さらに、水酸化カルシウム (Ca(OH)₂) が残存するため、炭酸化によりCO₂固定量の増加も期待できる。

3. 実験概要

本研究では、コンクリートスラッジを固液分離した後に排出される固形分を自然乾燥し、30μm以下に粉砕した粉体 (以下、P) および P を約 300℃の高温かつCO₂濃度2%程度で炭酸化した粉体 (以下、CP) をCCU粉体とした。高温炭酸化によるCCU粉体の諸物性を評価するため、密度、水分量、化学組成、比表面積および粒度分布の測定を行った。さらに、CCU粉体を混合したモルタル試験を実施した。使用材料を表-1に、配合を表-2に示す。セメントの外割で細骨材の一部にCCU粉体を置換し、コンクリートに換算した場合にCP50で50kg/m³、P100およびCP100で100kg/m³となるように単位量を決めた。CCU粉体を混入した配合では、高性能AE減水剤を使用して試験体の成形が可能なフレッシュ性状を得られるようにした。また、空気量調整剤を使用し、全配合で練上がり時の空気量を3.5

表-1 使用材料

名称	記号	摘要
水	W	上水道水、密度：1.0 g/cm ³
セメント	C	普通ポルトランドセメント、密度：3.16 g/cm ³ 、ブレン比表面積：3280cm ² /g
CCU 粉体	CCU	P：コンクリートスラッジの固形分を自然乾燥後に粉砕した粉体、CP：Pを炭酸化した粉体 (詳細は、表-3、図-1)
細骨材	S	砕砂と山砂の混合砂、表乾密度：2.64 g/cm ³
化学 混和剤	SP	高性能 AE 減水剤 (低空気連行タイプ)、主成分：ポリカルボン酸エーテル化合物
	AF	空気量調整剤 (消泡剤) 主成分：ポリアルキレングリコール誘導体

表-2 モルタル配合

No.	記号	CCU 種類	W/C (%)	単位量(kg/m ³)				C×%	
				W	C	CCU	S	SP	AF
1	N	なし	50	274	548	0	1405	0	0.002
2	P100	P	50	274	548	166	1199	0.9	0.002
3	CP50	CP	50	274	548	83	1314	0.6	0.020
4	CP100	CP	50	274	548	166	1222	3.0	0.060

表-3 CCU 粉体の物性および組成

記号	密度 (g/cm ³)	水分量 (%)	Ca(OH) ₂ (%)	CaCO ₃ (%)	平均径 (μm)	比表面積 (m ² /g)
P	2.13	17.98	12.4	34.3	13.9	39.17
CP	2.40	0.40	9.5	38.9	15.9	16.85

キーワード CUCO, CCU 粉体, BET 比表面積, 粒度分布, フレッシュ性状, 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

～4.0%の範囲に調整した。実験項目は、モルタルフロー（0打、15打）、空気量、温度および圧縮強度とした。φ50×100mm 試験体は、成形後1日で脱型し、所定の材齢まで20℃水中で標準養生を行った。

4. 実験結果および考察

CCU 粉体の分析結果を表-3に示す。自然乾燥を行ったのみのPは約18%の水分量であったのに対し、約300℃の高温で炭酸化したCPは水分量が1%以下となった。熱重量示差熱分析の結果より、炭酸化の前後でCa(OH)₂が減少し、CaCO₃が増加したことが確認できた。

レーザー回折法により測定した粒度分布を図-1に、メディアン径を平均径として表-3に示した。炭酸化により平均径は大きくなったものの、わずか2μmであった。一方、粒度分布は明らかに変化しており、炭酸化によって1～7μmの粉末が減少、7～25μmの粉末が増加して粒径がシャープになった。これは、粒子表面にCaCO₃が生成されたことにより粒子径が微増したと推察する。BET法による比表面積の値は、Pで39.17m²/g、CPで16.85m²/gとなり、炭酸化後に半分以下の値となった。粒度分布を見ると、Pは小径の粒子が多くCPは粒径3μm以下の粒子がなくなっており、このことがBET比表面積の減少に影響したと考える。

CCU粉体を使ったモルタルについて、練上がり時のモルタルフロー、空気量および温度の結果を表-4に示す。また、圧縮強度の結果を図-2に示す。CCU粉体を混合した場合、Nと比べてモルタルフローが低下した。CCU粉体量が等しいP100とCP100を比較すると、SPを3倍以上添加したにもかかわらず、CP100のモルタルフローは小さくなった。これは、粉体の水分量がPで18%、Cで0.4%のため、P100は水が約30kg/m³増加し、その分のCCU固相が減少したことで実質的な水粉体比が増加したためと考える。P100の圧縮強度は材齢7日でN同等、材齢28日ではN以下となった。一方、CP50およびCP100は各材齢で圧縮強度がN以上となり、CP量が多いほど強度が増加した。P100の強度低下は、上述の通りP自体の水分量の影響と推察する。石灰石微粉末は若材齢でエーライトの水和反応を促進することが知られている³⁾。CPの強度向上は、同様の効果が得られたことが一因と考えるものの詳細については今後さらに検討が必要である。

5. まとめ

コンクリートスラッジを炭酸塩鉱物化する工程で発生するスラッジ固形分を自然乾燥、破碎・粉砕したCCU粉体を対象に、炭酸化による諸物性の変化を評価した。さらに、CCU粉体を細骨材の一部に置換したモルタル評価を実施し、コンクリート材料としての適用可能性を検討した。その結果、混和剤の使用により所要のフレッシュ性状が得られること、炭酸化したCCU粉体を混合した場合、圧縮強度が向上することが判明し、コンクリートへの適用可能性が確認できた。今後さらに、炭酸化によるCCU粉体の形状や細孔の変化について評価するため、表面形状の観察などを行う計画である。

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（JPNP201014）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) 取達ほか: 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, コンクリートテクノ, Vol.42, No.1, pp.58-64, 2023.1.
- 2) 佐々木ほか: エコタンカルCO₂を原料とした環境にやさしい軽質炭酸カルシウム, 土木施工, Vol.62, No.11, pp.87-90, 2021.11.
- 3) 盛岡: 石灰石微粉末, コンクリート工学, Vol.52, No.5, pp.405-408, 2014.5.

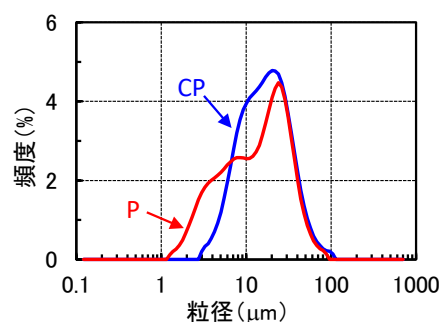


図-1 CCU 粉体の粒度分布

表-4 モルタルのフレッシュ性状

記号	SP (C×%)	フロー(mm)		空気量 (%)	温度 (℃)
		0打	15打		
N	0	106	193	3.8	22
P100	0.9	141	210	3.7	22
CP50	0.6	101	160	3.9	24
CP100	3.0	105	144	3.7	27

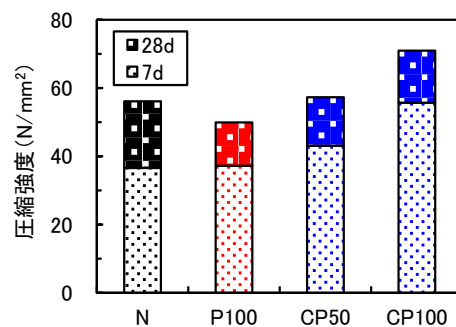


図-2 モルタルの圧縮強度