

コンクリートスラッジから製造されたCCU材料のコンクリート材料としての検討
ーG I 基金事業『CUCO』開発成果ー

鹿島建設(株) フェロー会員 ○坂田 昇 正会員 森香奈子 クマルアワド 取違 剛 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。そこで本検討では、コンクリート分野では未利用のCCU材料について、コンクリート材料としての適用可能性を検討するためにモルタル実験を実施した。

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（EC）を生成する技術を開発している³⁾。ここで製造したECは、コンクリート材料としての利用が拡大している。一方、本製造工程で発生する固液分離後の固形分は、自然乾燥後に破碎して粒度調整した材料を製造しているものの、主な用途は環境浄化材に限られており、コンクリート材料としては使用されていない。今後、さらにCO₂固定量を増加させてコンクリート向けCCU材料として用途展開することを目指している。

3. 実験概要

本研究では、コンクリートスラッジの固形分を自然乾燥後に破碎して0～2mmに粒度調整した破碎物をCCU材料として用いた。CCU材料の状態を①自然乾燥のみ（気乾状態）、②105℃乾燥（乾燥状態）、③200℃-CO₂100%炭酸化（乾燥・炭酸化状態）の3パターンとし、①と②の比較をTest 1、①と③の比較をTest 2としてモルタル評価を実施した。使用材料を表-1に示す。Test 1のCCU材料は、自然乾燥のPNは水分量13.2%、乾燥したPDは水分量0.1%未満となった。Test 2のCCU材料は、自然乾燥のPN2は水分量13.9%、高温で炭酸化したCPNは水分量0.73%となった。また、熱重量示差熱分析により求めたPN2とCPNの炭酸カルシウム（CaCO₃）量は、それぞれ21.6%と39.7%であった。モルタルの配合を表-2に示す。セメントの外割で細骨材の一部にCCU材料を置換し

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 、ブレーン比表面積：3280cm ² /g
CCU材料	CCU	PN：コンクリートスラッジ固形分を自然乾燥後に粉碎、密度：1.65 g/cm ³ 、水分量：13.2% PD：PNを105℃乾燥、密度：2.34 g/cm ³ 、水分量：<0.1% PN2：コンクリートスラッジ固形分を自然乾燥後に粉碎（PNと別ロット）、密度：2.13 g/cm ³ 、水分量：13.9% CPN：PN2を高温で炭酸化、密度：2.37 g/cm ³ 、水分量：0.73%
細骨材	S	砕砂と山砂の混合砂、表乾密度：2.64 g/cm ³ （Test 1）、2.63 g/cm ³ （Test 2）
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	
1	OPC1	なし	50	273	546	0	1345	-
2	PN-200	PN	50	273	546	330	816	-
3	PD-200	PD	50	372	744	330	546	-
4	OPC2	なし	50	274	548	0	1405	-
5	PN2-100	PN2	50	274	548	166	1199	0.5
6	CPN-100	CPN	50	274	548	166	1220	1.2
7	CPN-200	CPN	50	274	548	332	1035	3.0

※No.1～No.3がTest 1、No.4～No.7がTest 2
※Test2では、No.4に1T、No.5およびNo.6に10T、No.7に30TとなるようにAFを添加

キーワード CUCO, CCU材料, 炭酸化, CO₂固定, フレッシュ性状, 圧縮強度

連絡先 〒107-8477 東京都港区元赤坂 1-3-8 鹿島建設(株)土木管理本部 TEL. 03-5544-1111

た. CCU 材料の単位量は、コンクリートに換算した場合に Test 1 では 200kg/m³, Test 2 では 100kg/m³ または 200kg/m³ となるように設定した. Test 1 では空気量の調整は行わず, Test 2 では消泡剤添加により空気量を 4.0±0.5%の範囲で調整した. また, Test 2 の CCU 材料を混合した配合では高性能 AE 減水剤を使用した. 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

モルタルのフレッシュ性状の結果を表-3 に, 圧縮強度の結果を図-1 に示す. Test 1 について, PN-200 では OPC1 と比べて 15 打モルタルフローが低下した. これは, PN の水分量が骨材の表面乾燥状態に比べて少ない状態であり, 練混ぜ水の一部を吸収したことが原因と考える. PD-200 では OPC1 と PN-200 に比べて単位水量を約 100kg/m³増加している. これは, 単位水量を 273kg/m³と

した場合, SP を添加してもモルタルの練混ぜが困難であったため, W/C を一定にしつつ単位水量を増やすことで練混ぜを可能とし, 試験体采取了. 乾燥状態の PD を混合した場合, PD に練混ぜ水の一部が吸収され, その量は PN よりも多くなると考える. そのため, PD 混合のためには, 単位水量の増加, PD 混合量の低減, 高減水率の SP 使用などの対策が必要になる. 図-1(a)より, 材齢 28 日の強度を比較すると OPC > PN-200 > PD-200 となった. しかし, OPC1 と PD-200 で 5%程度の差であることから, W/C 一定であれば同等の強度になると推察する.

Test 2 について, 表-3 のとおり, SP を添加することで試験体成形可能なフレッシュ性状が得られた. ただし, PN2-100 と CPN-100 の比較より, 炭酸化した CCU 材料の場合は SP 増加の傾向にあった. これは, CCU 材料の水分量が低下したことに起因すると考える. さらに, CCU 材料の増加に伴い SP も増加した. 図-1(b)より, 材齢 28 日の OPC2 と PN2-100 の強度は同等となった. この結果は Test 1 と同様の傾向であった. CPN を混合した場合, 各材齢で OPC2 以上の強度となり, 材齢 28 日では約 15%大きくなった. 一方で, CPN の混合量の違いによる圧縮強度の差は認められなかった. 本研究で使用した CCU 材料は, コンクリートスラッジ固形分を破碎して製造される 0~2mm の材料であるため, CCU 材料自体の強度は小さく, 内部に空隙を持つと推測される. そのため, CCU 材料が練混ぜ水の一部を吸収・吸着することにより, 実質的な W/C が低下することでモルタル強度が増加する可能性が考えられる. しかし, Test 1 の PD の結果より, 乾燥のみではモルタル混合が難しく, 乾燥と炭酸化の両方を行うことでモルタル材料として適用可能となることが確認できた.

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・破碎した CCU 材料, さらに炭酸化した CCU 材料を対象に, 細骨材の一部に置換したモルタル評価を実施した. その結果, 高温で炭酸化した CCU 材料を使用することにより, 高温乾燥のみの CCU 材料よりも多量に混合できること, 炭酸化なしの CCU 材料よりも高い圧縮強度が得られることが判明した. これより, CCU 材料をコンクリート材料として使用できる可能性が確認できた.

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 (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) 取違ほか; 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

表-3 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		
Test 1	OPC1	-	110	219	4.0	19.4
	PN-200	-	101	175	5.5	19.8
	PD-200	-	109	212	5.7	23.5
Test 2	OPC2	-	105	193	3.8	22.3
	PN2-100	0.5	141	210	3.7	22.1
	CPN-100	1.2	110	163	3.6	23.7
	CPN-200	3.0	103	141	4.3	24.3

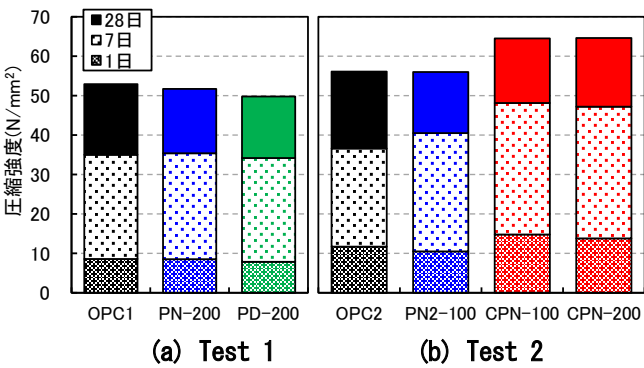


図-1 圧縮強度