

軽質炭酸カルシウム微粉末の置換率がモルタルのフレッシュ性状に及ぼす影響
ーG I 基金事業『CUCO』開発成果ー

鹿島建設(株) フェロー会員 ○坂井吾郎

正会員 境 美緒 向 俊成 関 健吾 取違 剛 森香奈子 クマルアワド 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 年カーボンニュートラル実現に向けて、筆者らはグリーンイノベーション基金事業のコンクリート分野の 1 テーマを受託し、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。この研究開発の一環として、戻りコンクリートや残コンクリート（コンクリートスラッジ）から抽出したカルシウムに CO₂を固定化させた軽質炭酸カルシウム微粉末¹⁾（以下 EC）等を利用する技術を検討している。EC をコンクリートに練り混ぜるとコンクリートへの確実な CO₂固定効果が見込まれる一方で、EC の粒子形状は写真-1 に示すとおり表面に凹凸を多く含むため、フレッシュコンクリートの性状に悪影響を及ぼすことが懸念される。そこで本研究では、セメント代替として EC を用いたモルタルにより、EC の置換率がモルタルのフレッシュ性状に及ぼす影響を評価した。

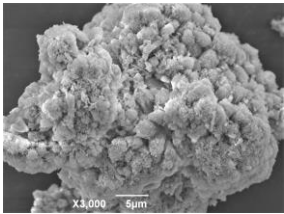


写真-1 軽質炭酸カルシウム微粉末

表-1 モルタルの使用材料

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 ブレン比表面積 3280cm ² /g，BET 0.94m ² /g
混和材	EC	軽質炭酸カルシウム微粉末，密度 2.46g/cm ³ ブレン比表面積 3000cm ² /g，BET 5.75m ² /g 平均粒径 36.5 μm
細骨材	S	砕砂，表乾密度 2.64g/cm ³
混和剤	Ad	高性能 AE 減水剤，ポリカルボキ酸系

表-2 モルタルの配合

置換率	W/P (%)	単位量 (kg/m ³)			
		W	OPC	EC	S
0%	28.3	246	869	0	1093
10%			782	87	1077
20%			695	174	1063
30%			608	261	1047
40%			522	348	1033
50%			435	435	1018

W/P：水粉体質量比，P=OPC+EC

2. 実験概要

モルタルの使用材料を表-1、配合を表-2 に示す。本研究においては、高流動コンクリートを想定した配合を用いてモルタルを作製した。EC の置換率は、セメントに対して内割で質量比 0～50%とした。

試験項目を表-3 に示す。練混ぜは、公称容量 10L のホバートミキサを使用し、低速で実施した。300±20mm のモルタルフローを得ることを目標とし、混和剤添加率を適宜調整した。また、EC 置換率の増加に伴って、混和剤の効果が得られるまでに時間を要する傾向が見られたため、目視にて練混ぜ完了を判断した。練混ぜ後にモルタルフローを測定するとともに、共軸二重円筒形回転粘度計を用いて、測定されたせん断応力とせん断速度の関係から、降伏値および塑性粘度を求めた。

表-3 試験項目

項目	摘要
モルタルフロー	300±20 mm を目標とする
回転粘度計試験	共軸二重円筒形回転粘度計（定トルク方式）

表-4 モルタルのフレッシュ性状

置換率	混和剤添加率 (P×%)	練混ぜ時間 (秒)	モルタルフロー (mm)
0%	1.6	90	279×276
10%	1.9	150	283×287
20%	2.4	150	321×318
30%	2.7	210	311×311
40%	3.3	300	307×307
50%	4.3	420	305×308

3. 実験結果および考察

モルタルのフレッシュ性状を表-4 に示す。EC 置換率が

キーワード CUCO，環境配慮型コンクリート，軽質炭酸カルシウム微粉末，混和剤，フレッシュ性状，CO₂排出量
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

増加するにつれて、練混ぜに要する時間が長くなった。また、所定のモルタルフローを得るための混和剤添加率は増大する傾向が見られ、置換率が40%を超えると、置換率0%のモルタルと比較して2倍以上の混和剤が必要となることが確認された。置換率50%においては、混和剤添加率が $P \times 4.3\%$ となり、本研究で用いた混和剤の標準添加量(0.5~2.5%)を大きく超える多量の混和剤が必要であった。

回転粘度計試験の結果を図-1に示す。本研究では、フレッシュ時のモルタルをビンガム流体と仮定した。この時、せん断応力 P とせん断速度 V の間には(1)式が成立することから、図中の横軸切片を降伏値 τ 、線形近似の傾きの逆数を塑性粘度 λ とした。

$$P = \lambda \times V + \tau \tag{1}$$

ここで、 P ：せん断応力 (Pa)、 λ ：塑性粘度 (Pa・s)

V ：せん断速度 (1/sec)、 τ ：降伏値 (Pa)

EC置換率と降伏値の関係を図-2に、置換率0%の塑性粘度を基準とし、各置換率における塑性粘度比を求めた結果を図-3に示す。図-2について、既往の研究より、モルタルフローと降伏値には相関があることが示されており²⁾、本実験においても同様の傾向が確認された。一方、図-3に示すように、塑性粘度はEC置換率の増加に伴って増大した。表-1より、セメントとECの物性を比較すると、プレーン比表面積は同程度であるが、BETはECがセメントの約6倍であった。これは、セメントに比べてECの粒子表面には亀裂や細孔が多いことを示しており、粘性が増大する理由として、練混ぜ時にECの粒子構造が解砕され、微粒分量が増加すること、EC置換率が増加するとその影響が顕著になっていくこと等が考えられるが、今後さらに検討が必要である。

本研究で用いた配合に関して、EC置換によるCO₂削減量を試算した。使用材料のCO₂排出量原単位を表-5に示す。また、各置換率におけるCO₂排出量の試算結果を図-4に示す。図示するように、EC置換率が10%増加するごとにCO₂排出量を約15%削減可能であり、EC置換率を70%以上とすると、混和剤添加率は増大するものの、CO₂排出量がゼロ以下のカーボンネガティブを達成可能であることが示された。ただし、混和剤の過剰添加による凝結遅延や施工不良が懸念されるため、CO₂排出量原単位の小さい混合セメントとの併用によって、良好な施工性を併せ持つコンクリートが製造できると考える。これらについては、今後詳細な検討が必要である。

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（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) 八木利之ら：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.
- 2) 日本コンクリート工学協会：第2回超流動コンクリートに関するシンポジウム論文報告集,pp.45-50,1994,5
- 3) 土木学会：コンクリートライブラリー134,p.12,2012

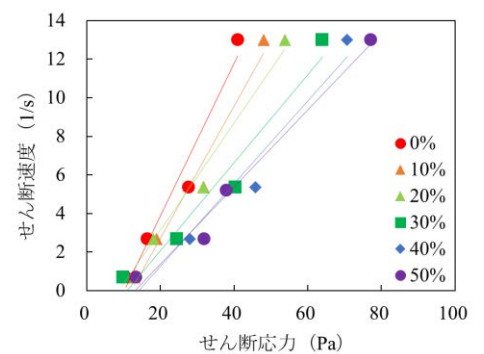


図-1 回転粘度計試験結果

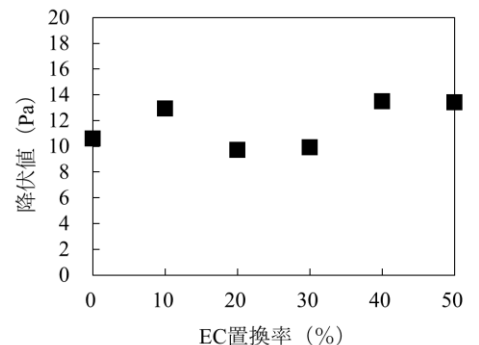


図-2 EC置換率と降伏値

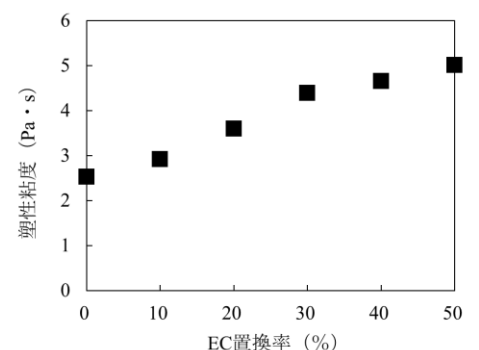


図-3 EC置換率と塑性粘度

表-5 使用材料のCO₂排出量原単位

使用材料のCO ₂ 排出量原単位 ³⁾ (kg-CO ₂ /t)		
セメント	軽質炭酸カルシウム 微粉末 ¹⁾	砕砂
766.6	-390	3.7

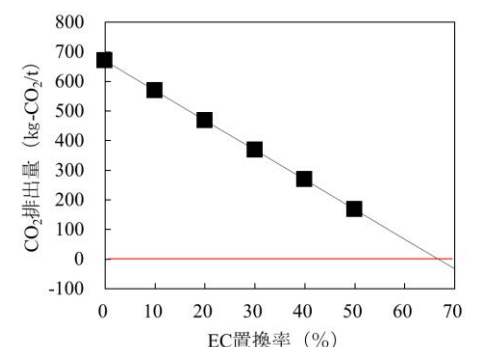


図-4 EC置換率とCO₂排出量比