

炭酸化度合の異なる炭酸化スラリーを用いたコンクリートの基礎物性

太平洋セメント（株）

正会員

○岡田 明也

正会員

田場 祐道

早川 隆之

1. はじめに

著者らは CO₂ をフレッシュコンクリートに固定化する新たな技術を開発し提案している¹⁾。この技術は、予め CO₂ を固定化したセメントスラリー（以下、炭酸化スラリー）を作製し、当該スラリーをコンクリート製造時に配合の一部として置換することで、CO₂ を安定的に固定化する技術である。また、炭酸化スラリーを使用したコンクリート（以下、炭酸化コンクリート）は、未使用のものと比べて、強度増進等の効果も確認されている¹⁾。しかしながら、製造条件の異なる炭酸化スラリー用いたコンクリートの物性等については十分な検討はなされていない。

本研究では、製造条件（時間）を変化させて炭酸化度合の異なるスラリーを製造し、それらを用いたコンクリートの基礎物性を評価した。

2. 試験方法

2.1 炭酸化スラリーの製造

炭酸化スラリーは、既往の研究¹⁾と同様に、セメントと上水道水を混合して製造したセメントスラリーを CO₂ が充填した密閉装置内に循環させ炭酸塩化反応を生じさせて製造した。その製造過程において、図-1 に示す pH が 9.9、9.0、8.1 及び 6.4 の時点（矢印）の炭酸化スラリーを採取し、炭酸化スラリー中に含まれる水分と固形物の液個比を 200±10%となるように W/C を調整した。炭酸化スラリーの CO₂ 固定化量は、TG-DTA により未水和セメント及び窒素雰囲気下で乾燥させた炭酸化スラリー固形物の 550℃～800℃における重量減少量から脱炭酸量を求め、両者の差から算出した。その結果、pH9.9 の炭酸化スラリーでは 301kg/t-cem、pH9.0 では 353kg/t-cem、pH8.1 では 385 kg/t-cem、pH6.4 では 396kg/t-cem であった。

2.2 コンクリート試験

使用材料を表-1 に、配合を表-2 に示す。炭酸化コン

クリートの配合は、炭酸化スラリーの固形物をセメントの一部として 50kg/m³ 混和した S-9.9、S-9.0、S-8.1 及び S-6.4 の 4 配合である。なお、各配合を示す記号の数値は使用した炭酸化スラリーの pH を表している。また、比較対象として炭酸化スラリー中の固形物と同じ質量の石灰石微粉末を混和したコンクリート（LC）についても評価した。いずれの配合も目標スランプ 18±2.5cm、目標空気量は 4.5±1.5%とし、SP を用いて調整した。供試コンクリートは、JIS A 1138 に準拠して 180 秒間練り混ぜ、表-3 に示す試験項目の試験体を成型した。その後、24 時間静置 [20℃, 60% (RH)] +27 日間水中 (20℃) 養生を行って供試体を作製した。

3. 試験結果及び考察

各炭酸化コンクリートの CO₂ 固定化量を図-2 に示す。使用した炭酸化スラリーの pH が低下するのに伴い、

表-1 使用材料

材料	記号	詳細
練混ぜ水	W	上水道水 (密度: 1.00 g/cm ³)
セメント	C	普通ポルトランドセメント (密度: 3.15g/cm ³)
細骨材	S	静岡県産山砂 (表乾密度: 2.59g/cm ³)
粗骨材	G	茨城県産砕石 (表乾密度: 2.62g/cm ³)
混和材	LSP	石灰石微粉末 (密度: 2.44g/cm ³ , 比表面積: 3670cm ² /g)
混和剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系化合物
炭酸化スラリー	-	pH:9.9, 9.0, 8.1 及び 6.4

表-2 配合

種類	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					
			W		C		LSP	S
			W1	W2*	C1	C2*		
LC	50	48.0	165		281		50	847
S-9.9			65	100	281	50	-	852
S-9.0			65	100	281	50	-	852
S-8.1			65	100	281	50	-	852
S-6.4			65	100	281	50	-	852

*炭酸化スラリーとして投入される水及びセメント量

表-3 試験項目

測定項目	試験規格	備考
凝結時間	JIS A 1147	
ブリーディング	JIS A 1123	
圧縮強度	JIS A 1108	・試験体寸法: φ 100×200mm ・材齢: 1, 14, 28 及び 91 日
空隙量	-	・水銀ボロシメーター ・材齢 91 日
CO ₂ 固定化量	-	・TG-DTA にて測定 (550～800℃)

キーワード

炭酸化スラリー, CO₂ 固定化量, pH

連絡先

〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2

太平洋セメント（株）中央研究所

TEL043-498-3905

CO₂ 固定化量は増加するが、pH が 8.0 を下回るとほぼ一定となり 20.5kg/t-cem 程度となった。

LC, S-6.4 及び S-9.9 の凝結時間を図-3 に示す。炭酸化スラリーを使用した S-6.4 及び S-9.9 の凝結時間は、LC に比べて始発で 30 分、終結で 45 分程度短くなった。これは、既報¹⁾の通り、炭酸化スラリー中の微細なカルサイトや固形物が水和核として作用し、石灰石微粉末を用いた場合よりも水和初期のエーライトの反応を促進したためと考えられる。次に、同配合のブリーディング量を図-4 に示す。S-6.4 及び S-9.9 のブリーディング量は LC の 1/3 以下まで減少した。これは、炭酸化スラリー中の固形物が 5~10 μm ¹⁾程度であり、LC に用いた石灰石微粉末よりも小さいことから、コンクリート中に存在する自由水の拘束量が増加したためと推察される。なお、本試験の範囲であれば、炭酸化スラリーの pH が炭酸化コンクリートの凝結並びにブリーディングに及ぼす影響は小さい。

圧縮強度を図-5 に示す。いずれの材齢においても炭酸化コンクリートの圧縮強度は、LC に比べて 8~14% 高い傾向を示した。この強度増進は、ブリーディング量が減少したことや後述する炭酸化スラリーの反応によって組織がち密化したことによるものと考えられる。一方、使用した炭酸化スラリーの pH 別に比較すると、材齢 14 日までの圧縮強度に差はみられないが、それ以降の材齢においては pH の高いものを用いたもの程高い傾向にあり、特に材齢 91 日においてその傾向は顕著である。炭酸化スラリーの製造時において、セメント粒子の炭酸化は、粒子外周から進行し粒子を覆うように CaCO₃ が生成されると推測され、その生成量は、pH の低下に伴い多くなる。従って、pH の高い炭酸化スラリーを用いた方が未水和部分は多く、水和が徐々に進行するために強度が増進したものと考えられる。また、CaCO₃ 以外のシリカゲル等のポズラン系の反応も影響した可能性もあるが、本研究の限りではこれらの原因を明確にするに至らず、今後の研究課題としたい。

なお、使用する炭酸化スラリーの pH を低下させることで CO₂ 固定化量は増加し、圧縮強度が若干減少することを踏まえると、これらの観点からは、最適な炭酸化スラリーの pH は 8.0 付近だと考えられる。

空隙量を図-6 に示す。総空隙量は、LC で最も多く 0.08ml/g 程度であった。一方、炭酸化コンクリートの空

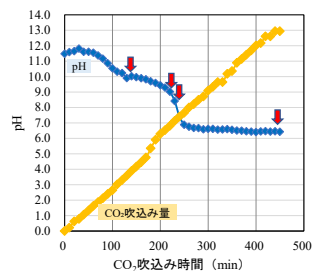


図-1 pH 及び CO₂ 吹込み量の経時変化

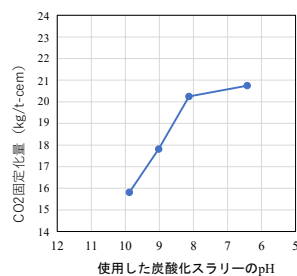


図-2 CO₂ 固定化量

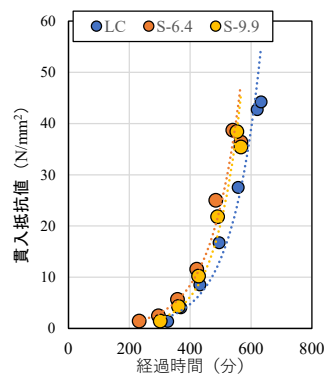


図-3 凝結時間

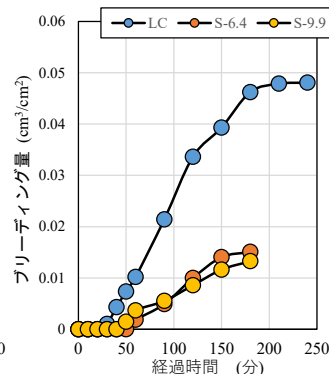


図-4 ブリーディング量

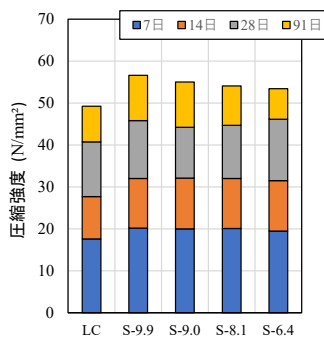


図-5 圧縮強度

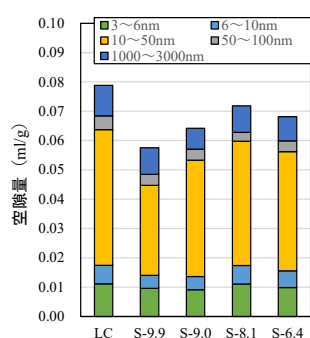


図-6 空隙量

隙量は、圧縮強度の高いもの程少ない傾向にあった。空隙径別にみると、50nm 以上の空隙に大きな差異は認められないが、50nm 未満の空隙量は、強度が高い、即ち pH の高い炭酸化スラリーを用いたもの程少ない傾向を示しており、この差が圧縮強度の増加に影響を及ぼしているものと推察される。

4. 結論

炭酸化コンクリートは、石灰石微粉末を使用したコンクリートに比べて、凝結は促進され、ブリーディング量が減少し、強度が増進した。また、使用する炭酸化スラリーの pH によってコンクリートの細孔構造は変化し、圧縮強度に影響を及ぼすことが確認された。本研究の条件下において、CO₂ 固定化量と圧縮強度の観点からは、最適な炭酸化スラリーの pH は 8.0 付近であるものと考えられた。

参考文献

1) 阿武稔也, 佐々木幸一, 田場祐道, 岡田明也, 早川隆之: セメントスラリーを利用したコンクリートへの CO₂ 固定化技術に関する基礎的検討, 日本建築学会構造系論文集, Vol.88, No.803, pp.38-46 (2023)