

造粒炭酸化骨材のCO₂吸収コンクリートへの適用性に関する基礎的検討

鹿島建設(株) 正会員 ○取違 剛 田口翔也 向 俊成
(株)神鋼環境ソリューション 藤原 大 後藤幸宏

1. はじめに

地球温暖化への懸念から、CO₂ 排出削減の動きが急激に加速しており、コンクリート分野においても、政府主導の2050年カーボンニュートラル社会の実現に向けた様々な検討が具体的に始まっている。久田ら¹⁾によると、CO₂ 排出削減につながる環境配慮型コンクリートは、①コンクリート中のセメントを産業副産物などで置換する技術、②骨材や粉体にCO₂を固定化したCCU (Carbon dioxide Capture and Utilization) 材料をコンクリートに練り混ぜる技術、③コンクリートにCO₂を吸収させる技術の3つに大別して整理されている。筆者らはこれまで、③の技術として、炭酸化養生によるCO₂吸収カーボンネガティブコンクリートの開発を進めてきた²⁾。一方で、特に最近では、練混ぜ時にコンクリートに添加するだけでCO₂固定が可能となるという考えのもと、②のようなCCU材料が注目を集めている³⁾。本検討では、②の技術として、バイオマス発電時に発生する木質バイオマス焼却灰とCO₂を反応させつつ、セメントにて造粒固化したCCU骨材(以下、造粒炭酸化骨材、写真-1)の、CO₂吸収コンクリート(③の技術)への適用性を評価することを目的に、造粒炭酸化粗骨材がコンクリートのフレッシュ性状ならびに硬化性状に及ぼす影響を確認した。



写真-1 炭酸化造粒粗骨材

2. 実験概要

2.1 使用材料とコンクリートの配合

造粒炭酸化粗骨材の物性を表-1に示す。同表には、JIS A 5002に記載された人工軽量骨材の規格値を併記した。密度や実積率は同規格を満足する一方で、強熱減量、三酸化硫黄および塩化物が規格値を大きく超過した。これは、造粒炭酸化骨材の原料となるバイオマス焼却灰に有機粒や硫黄分、塩化物が含まれるためである。なお、これらの化学成分がコンクリートの品質に及ぼす影響は別途評価する必要がある。

CO₂吸収コンクリートの使用材料を表-2に、配合を表-3に示す。高炉スラグ微粉末ならびにCO₂と反応して硬化する性質を有するγ型の2CaO・SiO₂(以下、γC₂S)をセメントの一部に用いた²⁾。水粉体比W/P=50%、スランプ8cm、空気量4.5%のCO₂吸収コンクリートをリファレンスとし、粗骨材の全量を造粒炭酸化骨材で置き換えた配合、ならびにW/Pを40、60%にした配合を試験に供した。表-3に示した配合の材料を55リットル強制二軸ミキサに30リットル投入し、90秒練り混ぜ、スランプと空気量を計測した。なお、造

表-1 炭酸化造粒粗骨材の物性

試験項目	試験方法	JIS A 5002 規格値	試験値
絶乾密度 (g/cm ³)	JIS A 1109	区分 H:1.8-2.3 区分 M:1.3-1.8 区分 L:1.3未満	1.66 区分 H
実積率(%)	JIS A 1104	区分 A:50以上 区分 B:45-50	69.4 区分 A
強熱減量(%)	JIS R 5202	5以下	19.9
酸化カルシウム(%)		50以下	29.3
三酸化硫黄(%)		0.5以下	3.2
塩化物(%)		0.01以下	3.34

表-2 使用材料

材料名	記号	摘 要
水	W	上水道、密度=1.0g/cm ³
セメント	C	普通ポルトランドセメント、密度=3.16g/cm ³
混和材	BFS	高炉スラグ微粉末、密度=2.91g/cm ³
	γC ₂ S	ダイカルシウムシリケートγ相、密度=2.85g/cm ³
細骨材	S	砕砂、表乾密度=2.64g/cm ³ 、FM=2.61
粗骨材	G	碎石、表乾密度=2.66g/cm ³ 、Gmax=20mm
	CG	造粒炭酸化骨材、表乾密度=2.08g/cm ³ 、16.0~6.3mm
混和剤	AD	AE減水剤 高機能タイプ(標準形1種)

表-3 コンクリートの配合

内容	W/P (%)	s/a (%)	Air (%)	単位量 (kg/m ³)							スランプ ^o cm
				W	C	BFS	γC ₂ S	S	G	CG	
G-W/P50	50	42	4.5	169	101	135	101	744	1038	0	7.5
CG-W/P50	50	42		169	101	135	101	744	0	787	6.0
CG-W/P40	40	40		169	127	169	127	679	0	780	2.0
CG-W/P60	60	46		169	85	113	85	838	0	754	4.5

※P=C+BFS+γC₂S、AD=P×1.1%で一定

キーワード 造粒、炭酸化、軽量骨材、CO₂、CO₂固定量、木質バイオマス焼却灰

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

粒炭酸化骨材については、軽量骨材と同様に、十分に吸水させてから練混ぜに供した。同一混和剤添加率におけるコンクリートのスランプは表-3に示すとおりであり、造粒炭酸化骨材を用いることでスランプはやや低下した。しかしながら、混和剤添加率の調整で対応可能な範囲と考えられた。このコンクリートにてφ100×200mmの円柱供試体を作製し、1日で脱型後、温度50℃、湿度50%、CO₂濃度80%の環境で炭酸化養生を行った。材齢1, 2, 3, 7, 28日にてJIS A 1108に準拠して圧縮強度を測定するとともに、材齢3, 7, 28日にてJIS A 1152に準拠して炭酸化深さを測定した。さらに、材齢28日まで炭酸化養生した供試体の炭酸化部を対象に、粗骨材を含めて全粉碎し、示差熱・熱重量分析を行った。

3. 実験結果および考察

材齢と圧縮強度の関係を図-1に示す。W/P=50%の配合に着目すると、造粒炭酸化粗骨材を用いた場合には一般的な粗骨材を用いたCO₂吸収コンクリートに比べて圧縮強度が低下する結果となった。これは造粒炭酸化骨材の密度が小さく、空隙を有するためと考えられる。一方、造粒炭酸化骨材を用いた場合にも、W/Pを40%とすることで、一般的な粗骨材を用いたW/P=50%のCO₂吸収コンクリートと同等の圧縮強度が得られることが確認された。

次に、材齢と炭酸化深さの関係を図-2に示す。造粒炭酸化骨材を用いることで、炭酸化速度が大幅に低下する結果となった。造粒炭酸化骨材は吸水率が18.2%と大きく、その内部に多量の水を持っている。本検討のように、材齢初期から高濃度CO₂環境で炭酸化する場合、造粒炭酸化骨材に含まれる水分がコンクリートへのCO₂の浸透を遅延させたものと考えられる。

熱分析における温度と質量減少率の関係を図-3に示す。同図には、CaCO₃の脱炭酸が生じると考えられる600～800℃における重量減少率を数値で併記した。造粒炭酸化骨材を用いた配合においては、同骨材製造時に用いた練混ぜ水やセメント水和物、原料である木質バイオマス焼却灰に含まれる有機物等の影響で、昇温開始当初から大きな重量減少が生じた。また、造粒炭酸化骨材を用いたCO₂吸収コンクリートは、600～800℃における質量減少率が大きくなった。同温度帯における質量減少がすべてCaCO₃の脱炭酸によると仮定したときの、コンクリートに固定されたCO₂量は、G-W/P50で97.6kg/m³、CG-W/P50で161.4kg/m³、CG-W/P60で146.7kg/m³となり、コンクリートに大量のCO₂が固定できていることを確認した。なお、特に造粒炭酸化骨材についてはCO₂の固定形態が明らかにできていないことから、他の分析手法によるCO₂固定量の評価を行うとともに、造粒炭酸化骨材の化学成分がコンクリートの品質に及ぼす影響について、今後検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 久田真, 宮里心一, 坂田昇: 環境配慮型コンクリートの全体像と今後の展望, コンクリート工学, Vol.60, No.10, pp.881-8871, 2022
- 2) 取違剛, 横関康祐, 吉岡一郎, 盛岡実: 炭酸化したセメント系材料におけるCO₂固定量の評価手法及び物性変化に関する研究, 土木学会論文集 E2, Vol.77, No.2, pp.37-52, 2021
- 3) https://oco.co.uk/wp-content/themes/crush-theme/assets/pdf/OCO_Brochure-June-2022.pdf

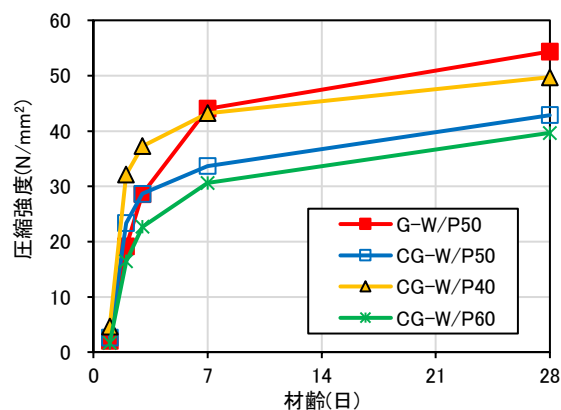


図-1 圧縮強度試験結果

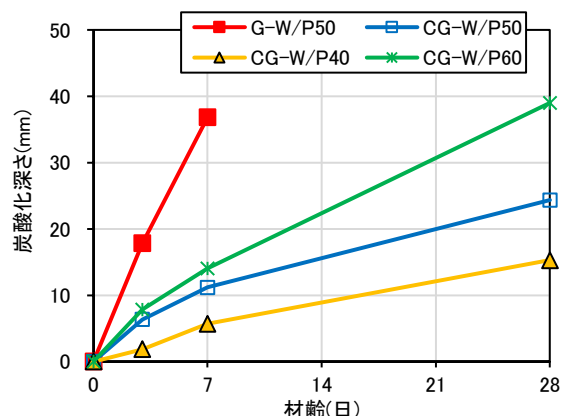


図-2 材齢と炭酸化深さの関係

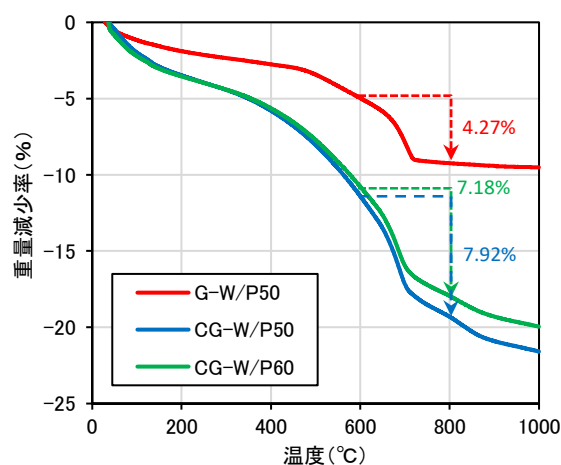


図-3 熱分析試験結果