

炭酸化養生における CO₂ ガスの圧力と初期乾燥がコンクリートの炭酸化速度に及ぼす影響

鹿島建設(株) 正会員 ○武地真一 取違 剛 関 健吾 小林 聖 渡邊賢三 坂井吾郎
東洋大学 正会員 横関康祐

1. はじめに

日本が目標として掲げている 2050 年カーボンニュートラル社会の実現に向けて経済産業省から提示された「グリーン成長戦略」では、コンクリート分野におけるカーボンリサイクル技術として CO₂ 吸収コンクリートが取り上げられている。CO₂ 吸収コンクリートは、高濃度 CO₂ 環境下にてコンクリートを炭酸化養生し、セメントや混和材に含まれる Ca 成分と CO₂ との反応によってコンクリート中に CO₂ を吸収・固定させたコンクリートである。CO₂ 吸収コンクリートの製造生産性を向上させるためには、CO₂ を固定する時間の短縮、すなわち炭酸化速度の増大が重要となる。本検討では、材齢初期からコンクリートに加圧しながら CO₂ を供給できる設備を用いて、コンクリートの炭酸化速度増大に及ぼす圧力の影響および、既往の研究¹⁾に基づいて、炭酸化速度増大に及ぼす乾燥の影響を評価した。

2. 試験概要

使用材料を表-1 に、コンクリートの配合を表-2 に示す。結合材には高炉セメント B 種、ダイカルシウムシリケート γ 相、石炭灰を用いた。なお、石炭灰は JIS A 6201 に規定されるフライアッシュ IV 種相当に該当する原粉を用いた。W/P=60%とし、目標スランプ 8cm、目標空気量 4.5%となるように単位水量や AE 剤によって調整した。材料を公称容量 55 リットルの強制二軸ミキサにて 90 秒練り混ぜ、スランプおよび空気量を計測し、表-2 に示す結果を得た。フレッシュ性状を確認したコンクリートを用いて φ100mm×200mm の円柱供試体を作製し、同試験体を写真-1 に示す加圧炭酸化養生装置にセットした。加圧炭酸化養生装置は、供試体設置治具に φ100mm×200mm の円柱供試体が 3 本直列に配置できる大きさであり、ステンレスメッシュで製作された内部に供試体を配置することで、供試体の外周全面から炭酸化が進むようにした。CO₂ ガスと空気の 2 つの気体を別々にピストンシリンダーで流量調整しながら装置内に押し込むことで、設置治具内の圧力を高める機構となっている。また、設置治具にはコイルヒーターを巻いて加温できるようにした。さらに、炭酸化反応によって発生した水分を除去するための吸湿材を経路内に設置した。この装置を用いて、表-3 に示すように、加圧する前の乾燥工程をパラメータとして試験を行った。試験ケースとしては、打込み翌日に脱型し、直ちに加圧養生装置にセットして、温度 50℃、CO₂ 濃度 15%、装置内圧力 0.2MPa にて 6 時間炭酸化させたケース、および、材齢 3 日で脱型し、その後の乾燥工程を試験パラ

表-1 使用材料

材料名	記号	摘要
水	W	上水道水
セメント	BB	高炉セメント B 種、密度=3.04g/cm ³
混和材	γ	ダイカルシウムシリケート γ 相、密度=2.85g/cm ³
	F	石炭灰原粉：密度=2.2g/cm ³ 、フライアッシュ IV 種相当
細骨材	S	砕砂：表乾密度=2.63g/cm ³ 、粗粒率=2.65
粗骨材	G	碎石：Gmax=20mm、表乾密度=2.65g/cm ³ 、実積率=63.5%
混和剤	AD	変性リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸型化合物の複合体
	AE	アニオン及びノニオン系特殊界面活性剤

表-2 コンクリートの配合とフレッシュ性状

W/P** (%)	s/a (%)	設計スランプ (cm)	設計空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)						AD (P×%)	AE (P×%)	実測スランプ (cm)	実測空気量 (%)
				W	BB	γ	F	S	G				
60	47	8	4.5	166	189	33	55	857	969	0.25	0.045	8.0	5.1

※P=BB+γ+F

キーワード：環境配慮型コンクリート、CO₂ 吸収コンクリート、炭酸化、圧力、乾燥、CO₂

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 080-8022-2095

メータとしたうえで、温度 50°C、CO₂ 濃度 15%、装置内圧力 0.2MPa の環境で 6 時間炭酸化した。なお、いずれのケースにおいても、加圧中の温度、CO₂ 濃度、圧力は所定の数値で安定していた。また、比較として、打込みの翌日に脱型し、直ちに温度 50°C、湿度 50%RH、CO₂ 濃度 15% に設定した炭酸化養生槽内で 7 日間炭酸化させた。それぞれ、表-3 に示した総材齢にて、JIS A 1152 に準拠して炭酸化深さを測定した。

3. 試験結果

加圧炭酸化養生装置を用いたケースにおける、炭酸化深さを図-1 に示す。打込みの翌日に脱型し、乾燥養生を行わず直ちに加圧炭酸化養生を行ったケースでは、全く炭酸化しなかった。供試体を装置から取り出したところ、写真-2 に示すように、供試体の表面に大量の水分が付着していた。高圧力下にて、コンクリートに多量の水分を含む状況で温度を 50°C に高めたことにより、供試体に含まれる水分の一部が蒸気となって放出されるなどして、炭酸化反応が抑制されたと考えられる。これに対して、乾燥養生として温度 50°C、湿度 50%RH で 3 日間養生したあとに 6 時間加圧炭酸化させると、9.4mm 炭酸化した。また、温度 20°C、湿度 60%RH で 5 日および 11 日乾燥養生させたあとに、6 時間加圧炭酸化させると、50°C で乾燥させたときよりも炭酸化深さが大きくなった。以上のことから、乾燥によってコンクリートに含まれる水分を逸散させることが、加圧による炭酸化の進行に大きく影響することを明らかにした。

次に、本試験にて得られた、炭酸化養生日数と炭酸化深さの関係を図-2 に示す。圧力をかけない炭酸化養生槽内での炭酸化の進行に比べて、乾燥養生を行った後に加圧炭酸化したケースでは炭酸化が著しく早く進行する結果となった。

4. おわりに

コンクリートの炭酸化速度増大に及ぼす圧力と初期乾燥の影響を評価した結果、初期に乾燥させてから加圧炭酸化養生を行うことで、炭酸化の進行が著しく促進されることを確認した。今後、炭酸化速度に及ぼす圧力と初期乾燥の影響度について詳細に検討予定である。

参考文献

- 1) Q.T. Phung et al : Effect of fillers on microstructure and permeability due to carbonation of cement paste under controlled CO₂ pressure conditions, Construction and building materials, Vol.82, pp.376-390, 2015.

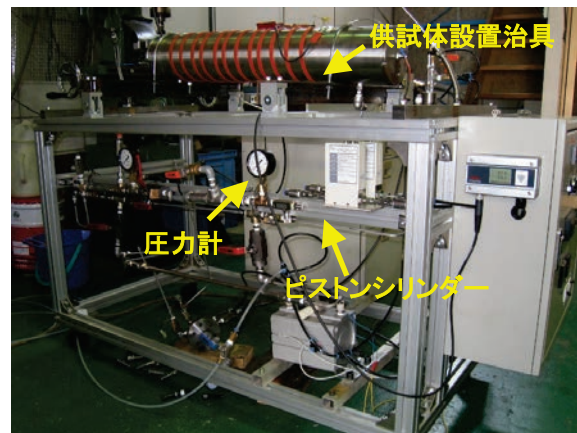


写真-1 加圧炭酸化養生装置の概要

表-3 試験パラメーター一覧

脱型	乾燥養生		炭酸化養生		総材齢
	環境	日数	環境	日数	
1日	無し		50°C, 15%CO ₂ , 0.2MPa	6時間	2日
3日	50°C, 50%RH	3日		6時間	7日
3日	20°C, 60%RH	5日		6時間	9日
3日	20°C, 60%RH	11日		6時間	15日
1日	無し		50°C, 50%RH, 15%CO ₂ , 大気圧	7日	8日

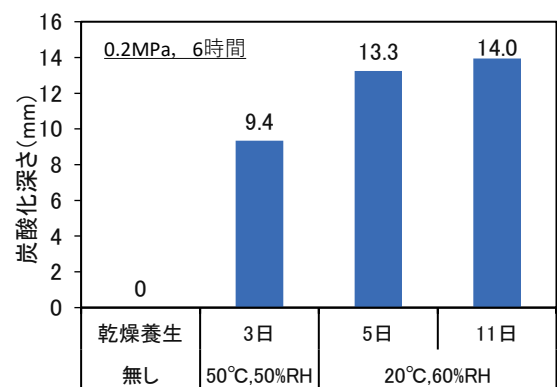


図-1 乾燥養生が炭酸化深さに及ぼす影響

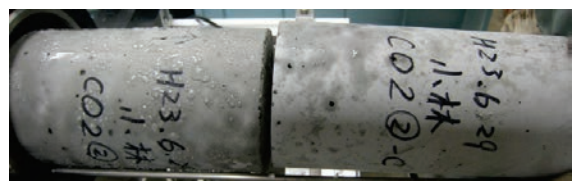


写真-2 乾燥養生無しで加圧炭酸化した状況

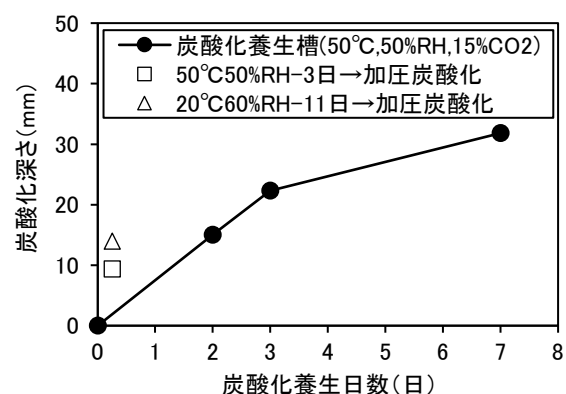


図-2 炭酸化養生日数と炭酸化深さの関係