

コンクリートの炭酸化速度に及ぼす体積と比表面積の関係に関する一考察

鹿島建設(株) 正会員 ○江頭正之 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。ここで、既往の研究¹⁾において、十分に硬化したコンクリートの炭酸化速度がコンクリートの体積 V と表面積 S の比 (V/S) と高い相関があり、V/S が小さいほど炭酸化しやすいと報告されている。本検討では、材齢初期から高濃度の CO₂ 環境下で炭酸化養生を行ったコンクリートを対象に、V/S が炭酸化速度に及ぼす影響を評価した。

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。公称容量 100 リットルの強制二軸ミキサにてコンクリートを 90 秒練り混ぜ、フレッシュ性状を確認した。その後、図-1 に示す様々な大きさの試験体を作製した。各サイズの型枠に打込み後、1 日間 20°C 封緘養生を行い、その後脱型した。なお、V/S=20, 30, 42 の試験体は全面から炭酸化が進行するようにした 100×100×100mm の試験体および φ100mm×200mm の試験体については、側面をアルミテープでシールすることによって炭酸化させる表面積を調整したうえで、上下面からのみ一次元方向に炭酸化が進行するようにした。上記作業を脱型後直ちに行い、その後、温度 50°C、湿度 50%RH、CO₂ 濃度 15% の環境にて炭酸化養生を行った。炭酸化 6 日、10 日 (V/S=20 のみ 3 日も計測) において、試験体を割裂し、JIS A 1152 に準拠して炭酸化深さを測定した。

3. 試験結果

炭酸化養生 6 日後におけるフェノールフタレイン呈色状況を写真-1 に示す。V/S=20 および 30 の円柱試験

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	S1	砕砂：表乾密度=2.65g/cm ³ 、粗粒率=2.92
	S2	山砂：表乾密度=2.61g/cm ³ 、粗粒率=1.61
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×%)
				W	BB	γ	F	S1	S2	G		
60	47	8	4.5	166	177	31	69	719	137	966	0.25	0.060

※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、体積、表面積、CO₂

連絡先：〒980-0802 宮城県仙台市青葉区二日町 1-2-7 鹿島建設(株)東北支店 TEL 022-261-7111

体、および $V/S=42$ の $250\text{mm} \times 250\text{mm} \times 250\text{mm}$ の角柱試験体については、全周から二次元的に炭酸化が進行している様子が見られた。一方、側面をシールした $V/S=50$ および 100 の試験体については、上下面からのみ炭酸化が進行していることを確認した。

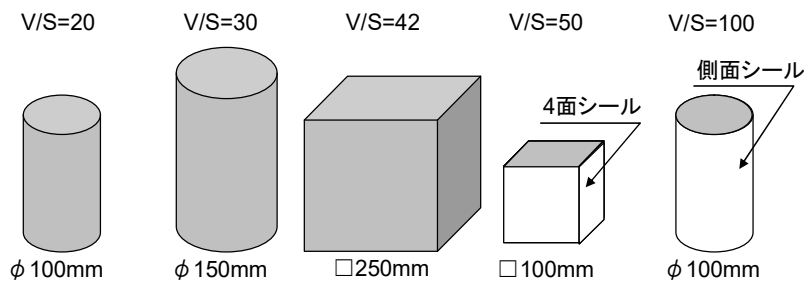


図-1 試験概要

次に、各試験体における炭酸化養生日数と炭酸化深さの関係を図-2 に示す。 $V/S=20$ および 30 については、それ以外の V/S の試験体に比べて炭酸化の進行が早いことが確認された。そこで、過去の検討²⁾に基づき、 $V/S=20$ ($\phi 100 \times 200\text{mm}$ の試験体)における炭酸化速度係数を1としたときの、各 V/S における炭酸化速度係数比の関係を整理した結果を図-3 に示す。同図には、配合は全く異なるものの、過去の研究²⁾にて得られた V/S と炭酸化速度係数比の関係を併記した。 V/S が小さい領域では、炭酸化速度係数が大きくなる傾向であり、また、その変化は過去の研究²⁾で得られた結果と同等となった。すなわち、炭酸化速度係数比は、配合によらず V/S によって一義的に決定される可能性が示唆された。

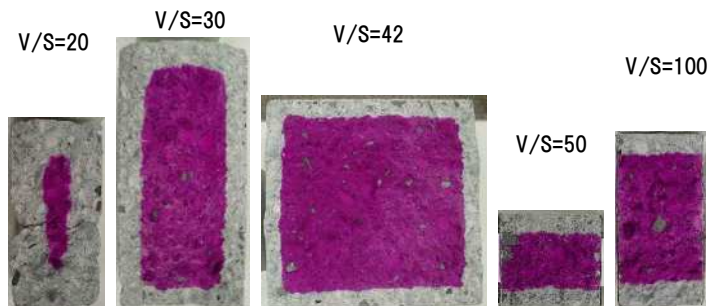


写真-1 炭酸化養生6日後におけるフェノールフタレイン呈色状況

また、 V/S が 40 以上の領域では、炭酸化速度係数が一定となる結果となった。プレキャスト製品を想定すると、 V/S が小さく、比較的薄い部材であれば、 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ のテストピースで評価するよりも炭酸化が進行しやすい一方で、ある程度の部材厚を有し、製品の体積が大きい製品の炭酸化速度は、テストピースよりも遅くなると考えられた。プレキャスト製品の炭酸化速度を別途供試体で管理する場合、対象製品の V/S を適切に模擬できる供試体のサイズを選定する必要があることが分かった。

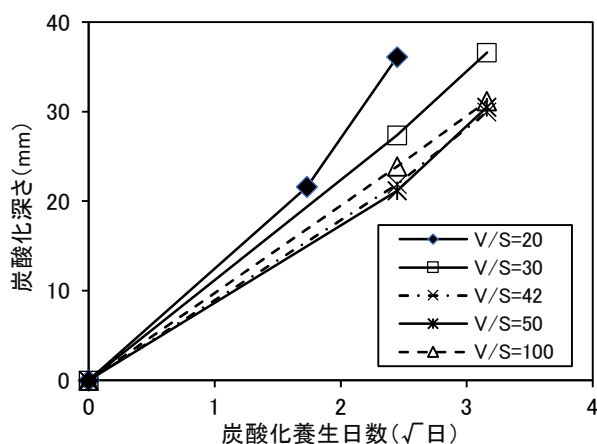


図-2 炭酸化養生日数と炭酸化深さの関係

4. おわりに

材齢初期から高濃度の CO_2 環境下で炭酸化養生を行ったコンクリートの炭酸化速度は、 V/S に大きく依存すること、および $V/S=40$ 以上では炭酸化速度がほぼ一定になることを確認した。

参考文献

- Adriana Souto-Martinez, et al : A mathematical model for predicting the carbon sequestration potential of ordinary portland cement (OPC) concrete, Construction and building materials, Vol.147, pp.417-427, 2017.
- 小林聖, 取違剛, 渡邊賢三, 横関康祐 : 供試体寸法および初期養生条件がコンクリートの炭酸化深さに与える影響, 土木学会第 65 回年次学術講演会, V-694, pp.1387-1388, 2010.

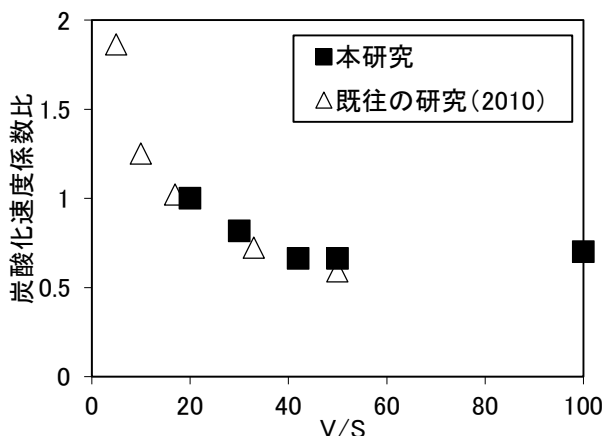


図-3 V/S と炭酸化深さの関係