

貫通孔を有するコンクリートの炭酸化速度に及ぼす孔径の影響に関する一考察

鹿島建設(株) 正会員 ○松井雅紀 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、コンクリートの表面積を確保するために内部に貫通孔を設けたコンクリート部材を想定し、その孔径がコンクリートの炭酸化速度に及ぼす影響について評価した。

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。結合材には早強ポルトランドセメント、高炉スラグ微粉末、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=48%とし、目標スランブ 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 55 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、スランブ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、内部に孔を有する試験体となるように、図-1 に示す 150×150×530mm の鋼製型枠に打ち込んだ。150mm×150mm の棲面は木製の型枠とし、木製棲型枠に丸鋼とシリコンチューブが通るように穴をあけ、チューブの穴に丸鋼を通した外径 12mm、24mm、52mm、75mm のシリコンチューブを 150mm×150mm の断面中心を貫通するように設置した。打込みの翌日に鋼製型枠を脱型し、シリコンチューブと丸鋼を引き抜くことで試験体に貫通孔を形成した。脱型した試験体を、温度 50℃、湿度 40%RH、CO₂ 濃度 20%に設定したチャンバーに入れ、炭酸化養生を行った。なお、別途φ100×200mm のテストピースを採取し、同様の養生を行った。炭酸化養生 3 日（総材齢 4 日）、ならびに 27 日（総材齢 28 日）にて割裂し、JIS A 1152 に準拠した炭酸化深さを測定した。また、養生開始時（材齢 1 日）、材齢 4 日および 28 日にて JIS A 1108 に準拠して圧縮強度を測定した。なお、養生開始時、材齢 4 日、材齢 28 日の圧縮強度はそれぞれ 3.0N/mm²、20.4N/mm²、26.7N/mm²であった。

表-1 使用材料

材料名	記号	摘要
水	W	上水道水
セメント	HPC	早強ポルトランドセメント、密度=3.14g/cm ³
混和材	BFS	高炉スラグ微粉末、密度=2.91g/cm ³
	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	砕石：Gmax=20mm、表乾密度=2.70g/cm ³ 、実積率=64.3%
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	アニオンおよ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※ (%)	W/B※ (%)	s/a (%)	スランブ [†] (cm)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)								AD (P×%)	AE (P×%)	実測 スランブ [†] cm	実測 空気量 %
					W	HPC	BFS	γ	F	S	G					
48.0	60.0	45.0	8	4.5	172	86	115	86	71	784	935	1.0	0.13	8.5	4.9	

※B=HPC+BFS+γ, ※P=HPC+BFS+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、貫通孔、孔径、CO₂

連絡先：〒540-0001 大阪府大阪市中央区城見 2-22-2 鹿島建設(株)関西支店土木部 TEL 06-6946-3311

3. 試験結果

炭酸化養生 3 日における，孔径 $\phi 24\text{mm}$ ， $\phi 52\text{mm}$ ， $\phi 75\text{mm}$ の試験体の炭酸化状況を写真-1 に示す．孔径 75mm の試験体については，養生 3 日でほとんどの部分が炭酸化していた．また，孔径によらず，供試体の外側からの炭酸化の進行は同程度と考えられた．ここで，各試験体の炭酸化速度係数を整理した結果を図-2 に示す．同図には， $\phi 100 \times 200\text{mm}$ のテストピースにて得られた炭酸化速度係数を併記した．本試験においては，貫通孔の孔径が小さくなると，孔側からの炭酸化速度が小さくなる結果となった．孔径が小さくなるほど，コンクリートへの CO_2 の供給面積が小さくなるため，炭酸化が進みにくくなったと考えられる．また，貫通孔の孔径が小さくなると，炭酸化反応によって発生した水分によって孔内の湿度が上昇し，炭酸化が進行しにくくなった可能性がある²⁾．

ここで，過去の検討¹⁾に基づき，各試験体の体積 V と，試験体の外周および孔内面積を含めた表面積 S の比を V/S と定義し， $\phi 100 \times 200\text{mm}$ のテストピース ($V/S=20$) 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¹⁾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 が大きくなると炭酸化速度係数が小さくなる傾向であり，また，過去の研究¹⁾ で得られた回帰曲線上に本試験データがプロットされる結果となった．ただし， $\phi 12\text{mm}$ の貫通孔を有する試験体における炭酸化速度は過去の検討¹⁾ に比べて小さく，孔径が小さい場合には， V/S だけでなく，孔内湿度の影響を大きく受ける可能性があると考えられる．

4. おわりに

本検討により，コンクリートに貫通孔を設けることで孔の表面から炭酸化が進行すること，および孔からの炭酸化速度は孔径の影響を大きく受けることが分かった．

参考文献

- 1) 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.
- 2) T.Torichigai, et al : Study on efficient absorption method of CO_2 to concrete by carbonation curing, 6th International conference on construction materials, 2020.

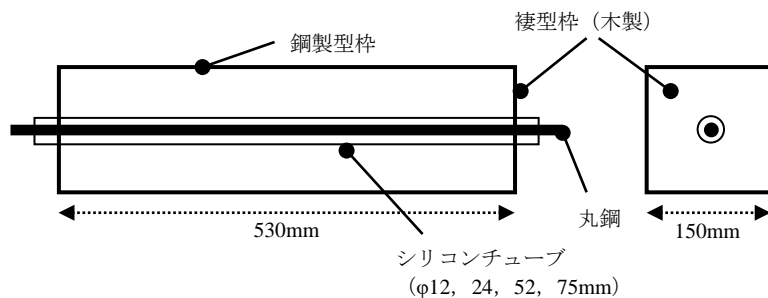


図-1 試験体の概要

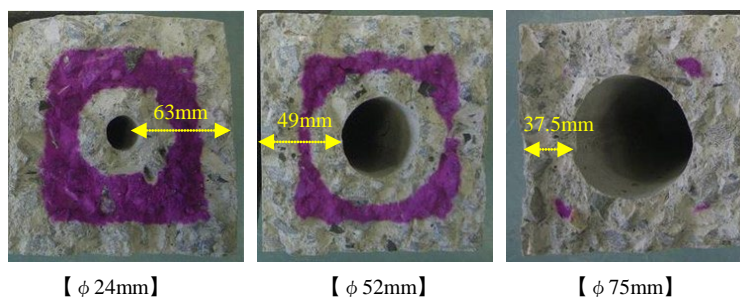


写真-1 炭酸化養生 3 日における各試験体の炭酸化深さ

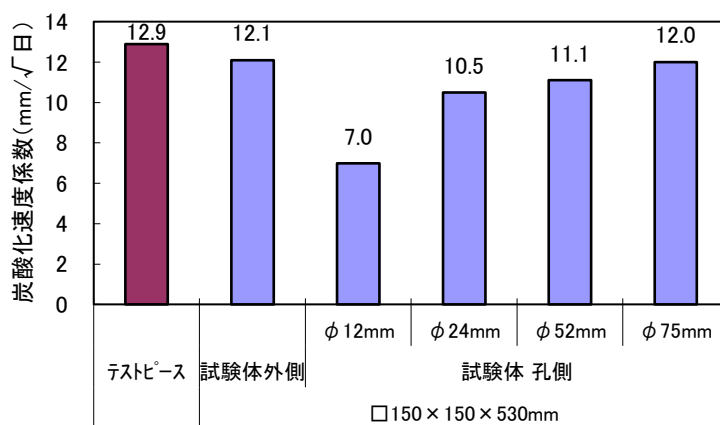


図-2 各試験体の炭酸化速度係数

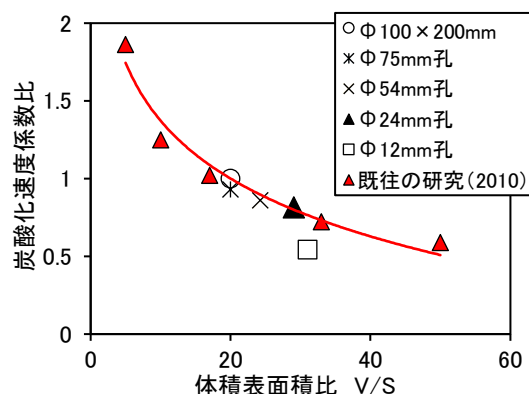


図-3 V/S と炭酸化速度係数比の関係