

埋込みパイプを用いたコンクリート内部からの CO₂ 固定方法に関する一検討

鹿島建設(株) 正会員 ○田口翔也 関 健吾 水野 健 取違 剛

1. はじめに

近年、地球温暖化対策として CO₂ の削減が世界的に重要な課題となっている。建設分野においても様々な検討が行われているが、筆者らは、コンクリートを強制的に炭酸化すること（以下、炭酸化養生と称す）により CO₂ を固定化する技術の開発を進めており、既にプレキャストコンクリートで適用している。一方で、現場打ちコンクリートは、プレキャストコンクリートと比較し市場規模が大きいことから、これらに CO₂ を固定化できれば、さらなる CO₂ 削減に貢献できる。しかし、炭酸化養生はこれまでコンクリート外部から行っていたため、かぶりコンクリートが炭酸化することで、鉄筋の腐食を招く恐れがある。そこで、内部からコンクリートを炭酸化させることで、かぶりコンクリートを炭酸化させることなく CO₂ を固定する方法を検討している。本稿では、コンクリート内部に CO₂ を透過可能なパイプを設置することで炭酸化を試み、さらに、より短期間で炭酸化を行う方法を検討した。

2. 実験概要

実験概要図を図-1に示す。試験体の長さは 400mm で統一し、断面寸法は 100×100, 150×150, 200×200mm の 3 種とした。角柱型の木製型枠に CO₂ ガスを透過するパイプを設置し、20℃、60%RH 環境下でコンクリートを打設した。その後は同環境下で封かん養生を行ったのち、所定の材齢で型枠を脱型し、外気温環境下で CO₂ を圧入した。CO₂ の注入圧力はレギュレータで調整し、終端にボールバルブを取り付けて密閉空間とすることで内部から炭酸化養生を行った。

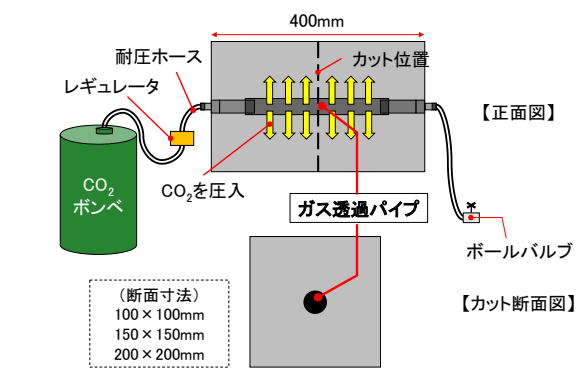


図-1 実験概要図

表-1 実験ケース

Case	換気の有無	配合	CO ₂ 注入圧力 (MPa)	脱型日数 (日)	炭酸化日数 (日)	断面寸法 (mm)		
						100×100	150×150	200×200
1	×	γ30	0.2	2	5	○	○	○
2				1	3	○	-	-
3	○	γ5	0.5	1	3	○	○	○
4						○	○	○

表-2 コンクリートの使用材料

項目	摘要
W	水道水
C	普通ポルトランドセメント 密度 3.16g/cm ³
BFS	高炉スラグ微粉末 (セッコウ添加) 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
S1	砕砂 表乾密度 2.64g/cm ³ F.M. 2.80
S2	山砂 表乾密度 2.63g/cm ³ F.M. 1.65
G1	砕石 表乾密度 2.65g/cm ³ 実積率 62.2%
G2	砕石 表乾密度 2.64g/cm ³ 実積率 60.6%
AD	AE 減水剤 (リグニンスルホン酸系)

表-3 コンクリートの配合

配合	W/P (%)	s/a (%)	Air (%)	単位量(kg/m ³)								
				W	P			S1	S2	G1	G2	AD
					C	BFS	γC ₂ S					
γ30	55	47.0	4.5	175	111	111	95	760	75	378	565	3.98
γ5	50			169	135	186	17					4.23

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, 現場打ち, 炭酸化, CO₂ 固定

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

れない可能性がある．そこで Case2 は粉体の 30%を $\gamma\text{C}_2\text{S}$ で置換した配合 ($\gamma 30$)，Case3 は 5%を $\gamma\text{C}_2\text{S}$ で置換した配合 ($\gamma 5$) とした．また，Case2, 3 において，それぞれの試験体と同条件で作製した直径 100mm×高さ 200mm の円柱供試体を用いて，炭酸化開始時点の圧縮強度を確認した．Case3, 4 では CO_2 注入圧力をそれぞれ 0.2MPa, 0.5MPa とし，その影響を確認した．炭酸化養生終了後は図-1 に示す位置で試験体をカットし，断面に 1%フェノールフタレイン溶液を噴霧し炭酸化状況を確認した．

3. 実験結果および考察

表-4 に試験体の炭酸化状況およびその面積率を示す．Case1 では，100×100mm の試験体は 64.5%が炭酸化した．一方で，寸法が大きくなるほど炭酸化しにくくなる傾向であり，200×200mm ではパイプ周りのわずかな範囲のみ炭酸化する結果となった．既往の文献³⁾においても，コンクリート外部からの炭酸化であるが同様の結果を示しており，コンクリート表面では環境の湿度に近づくが，内部では湿潤状態が保たれるため，炭酸化が進みにくくなったと考えられる．次に，Case1, 2 における 100×100mm の場合を比較すると，換気を行った Case2 の方が炭酸化面積率は大きい結果となった (90.4%)．これは，Case1 では炭酸化によって発生した水が CO_2 の進行を阻害し炭酸化が進みにくくなった一方で，Case2 では換気によって発生した水を取り除くことで相対湿度の上昇が抑制され炭酸化が進行した可能性がある．Case2, 3 における断面寸法 100×100mm の試験体を比較すると，Case3 の炭酸化面積率が大きい結果となった (98.1%)．一方で，炭酸化開始時点 (σ_1) の圧縮強度は Case2 で 3N/mm^2 ，Case3 で 7N/mm^2 であり，Case3 の方が高かった．既往の文献⁴⁾では，コンクリートの強度が低いほど炭酸化が進みやすいとされているが，圧縮強度の高い Case3 の方が炭酸化が進んだ．このことから，本研究ではコンクリートの強度が高いことよりも， $\gamma\text{C}_2\text{S}$ を含むコンクリートが炭酸化養生されると緻密化する⁵⁾ことの方が，炭酸化を進みにくくする影響が大きかったと考えられる．ただし， $\gamma\text{C}_2\text{S}$ は長期的な強度に影響をおよぼす可能性があると考えられるため，今後さらに検討する必要がある．最後に Case3, 4 を比較すると，寸法にかかわらず，圧力の大きい Case4 の方が炭酸化面積率が大きい結果となった．このことから， CO_2 の注入圧力を高めることで，より短期間で炭酸化させることができると考えられる．

4. まとめ

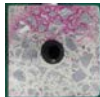
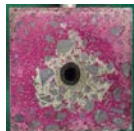
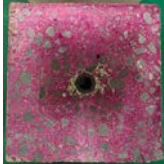
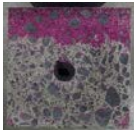
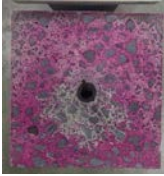
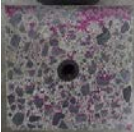
コンクリート内部に CO_2 を透過可能なパイプを設置することで炭酸化を試み，さらに，より短期間で炭酸化を行う方法を検討した．その結果，パイプによりコンクリート内部からの炭酸化が可能であること，さらに，換気を行う，配合を工夫する， CO_2 の注入圧力を高める方法によって炭酸化に要する期間を短縮可能なことを確認した．

謝辞：この成果は，国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP16002）の結果得られたものです．

参考文献

- 1) 盛岡実ほか：工業原料を用いた $\gamma\text{-2CaO} \cdot \text{SiO}_2$ の製造とその二酸化炭素排出量の評価，セメント・コンクリート論文集，No.64，pp.30-34，2010
- 2) 土木学会；コンクリート標準示方書【施工編】，pp.157，2017
- 3) 小林聖ほか：供試体寸法および初期養生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 回年次学術講演会概要集，第V部門，pp.1387-1388，2010
- 4) 和泉ほか；コンクリートの中性化に及ぼすセメントの種類，調合および養生条件の影響について，コンクリート工学会年次講演会論文集，No.7，pp.117-120，1985
- 5) 渡邊ほか； $\gamma\text{-2CaO} \cdot \text{SiO}_2$ を用いたセメント系材料の炭酸化養生による高耐久化，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，2004

表-4 試験体の炭酸化状況および面積率

Case	断面寸法 (mm)		
	100×100	150×150	200×200
1	 64.5%	 22.3%	 1.9%
2	 90.4%	—	—
3	 98.1%	 68.4%	 13.9%
4	 99.7%	 90.1%	 61.2%