

炭酸カリウムを混和したコンクリートを使用した模擬部材の施工

中国電力（株）正会員 ○福本直 河内友一 井上丈揮
鹿島建設（株）正会員 向俊成 関健吾 取違剛

1. はじめに

気候変動の抑制のため CO₂ を回収して貯留や有効活用を行う CCUS (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage) の技術に注目が集まっている¹⁾。CCUS の技術は幅広い分野で研究開発が進められているが、土木分野で利用の可能性が高い技術として、CO₂ 吸収コンクリートに注目した。本技術はコンクリートの炭酸化反応を利用し、CO₂ をコンクリート中に吸収させる方法である。本報では CO₂ 吸収コンクリートとして、石炭ガス化複合発電所から分離回収された CO₂ ガスを使用して製造した炭酸カリウム水溶液をコンクリートに混入し、模擬部材を施工した実績を報告する。

2. 実験概要

対象構造物は図-1 に示す高さ 1.6m×厚さ 0.5m×延長 5.0m の壁部材とした。使用した配合と使用材料を表-1 に示す。固形分換算で 96 kg/m³ (含有する CO₂ 量として 30kg/m³) の炭酸カリウムを水溶液として添加した。また、コンクリートにおける原料起因の CO₂ 排出量を低減するため、結合材の一部を高炉スラグ微粉末で置換した。また、炭酸カリウムに含まれる CO₂ との反応による強度増進を期待して、γ-C₂S を主成分とする炭酸化混和材を使用した。フレッシュ性状や可使時間の調整は各種混和剤を添加することで行った。



図-1 作製した模擬部材

表-1 配合表

W/B (%)	s/a (%)	Air (%)	単位量 (kg/m ³)						
			W	C	BFS	γ	S	G	K
55.0	49.4	4.5	169	123	169	15	872	940	96

コンクリートに混合する炭酸カリウム水溶液は、33mass%の水酸化カリウム水溶液に石炭ガス化複合発電所から分離回収された CO₂ ガスを 2 日間吹き込むことで製造した。水酸化カリウムと CO₂ の反応により液温が上がるため、適宜冷却を行いながら CO₂ ガスの吹込みを行い、溶液の pH を記録して反応の終了を判定した。

コンクリートの製造はドライミックスコンクリートを使用し、ブレミックスした粉体および骨材に炭酸カリウム水溶液と混和剤を加え、車載ミキサ (容量 500L) で練り混ぜてコンクリートを製造した。コンクリートのフレッシュ性状はスランプ 11.5~14.5cm、空気量 3.3~5.5%であった。製造したコンクリートはホッパーで運搬し、型枠内に打ち込んだ。コンクリートの締固めはフレキシブルパイプ

レータを使用した。製造したコンクリートは経時によるスランプの低下がやや早い傾向が見られたが、本試験体の打設においては問題とならない程度であった。今後、アジテータ車などによる長時間の運搬が必要となる場合にはフレッシュ性状や経時変化の検討が必要と考えられる。また、打込み、締固めに関しては炭酸カリウムを添加していないコンクリートと同様に作業可能であった。

コンクリートの硬化後、型枠を取り外して約 4 か月間屋外に保管した。その後、テストハンマを用いて推定圧縮強度 (JSCE G504) を測定した。また、模擬部材から分析用のコア試料を採取し、コア試料および同日に練り混ぜたコンクリートから採取したテストピースをアセトンで水和停止を行ったのち粉砕し、全有機炭素計 (島津製 TOC-L CSH および SSM-5000A) による全炭素量と無機炭素量の測定を行った。

キーワード CO₂ 吸収コンクリート, 炭酸カリウム, 炭酸化, 環境配慮コンクリート

連絡先 〒739-0046 広島県東広島市鏡山 3-9-1 中国電力(株) エネルギア総合研究所 TEL.082-420-0700

3. 実験結果

炭酸カリウム水溶液製造時の pH 変化を図-2 に示す。水酸化カリウムと CO₂ ガスの反応は水酸化カリウム→炭酸カリウム→炭酸水素カリウムの順に 2 段階で反応が進行するが、炭酸水素カリウムは炭酸カリウムに比べ溶解度が小さいため、過剰な CO₂ ガス吹込みを行うと炭酸水素カリウムの沈殿が生じ、練混ぜ水中に溶存する炭酸イオン量が減少する。これを防止するため、CO₂ ガスの吹込み中に溶液の pH を確認し、1 段階目の反応終了を確認した時点で CO₂ ガスの吹込みを終了した。CO₂ ガスの吹込みが終了した溶液には沈殿物や析出物は生じていなかった。作製した溶液のイオン濃度を測定した結果、カリウムイオン 256g/L、炭酸イオン 215g/L、炭酸水素イオン 33g/L であり、一部炭酸水素カリウムが生成していたものの、ほとんどが炭酸カリウムとなっていることを確認した。

テストピースによる圧縮強度試験結果およびテストハンマによる圧縮強度の推定結果を表-2 に示す。テストピースによる測定では、炭酸カリウムなしに比べ、炭酸カリウムありのものは圧縮強度が低下する傾向が見られた。テストハンマによる模擬部材の推定圧縮強度は炭酸カリウムのなしのコンクリートの圧縮強度と同等程度となった。炭酸カリウムを添加した場合、通常のコンクリートと同等程度の圧縮強度を得るためには、強度の管理材齢や水粉体比の検討が必要となると考えられる。

全炭素量および無機炭素量の測定結果を表-3 に示す。テストピースによる測定結果はいずれも約 80kg/m³ となった。この量は練混ぜ時に混入した炭酸カリウム水溶液に含まれている CO₂ 量 (30kg/m³) に比べて大きくなった。これはセメントの反応によって生じた水酸化カルシウムと炭酸カリウムが反応して水酸化カリウムが新たに生成し、打設中や養生中に空気中の CO₂ と反応したことが要因と考えられる。部材から採取したコアによる分析ではテストピースと比較して CO₂ 量がやや減少する傾向であった。これは、テストピースと比較して模擬部材の寸法が大きく、コンクリートの体積に対する大気と触れる表面積が相対的に小さくなったためと考えられる。

表層部分から採取したコア試料を割裂した断面にフェノールフタレイン溶液を噴霧した状況を図-3 に示す。前述の CO₂ 含有量の測定ではコンクリートの自然炭酸化によると考えられる CO₂ 含有量の増加が見られたが、躯体内部のコンクリートはフェノールフタレイン溶液により呈色しアルカリ性を保っていることが確認できた。このことから、鋼材の防錆能力を保持しており、鉄筋コンクリートにも適用可能と考えられる。

4. まとめ

CO₂ を固定化可能な建設材料として、炭酸カリウムを混合したコンクリートを製造し、模擬部材を作製して施工性やコンクリートの品質、CO₂ 含有量の検討を行った。その結果、解決すべき課題は抽出されたものの、圧縮強度や CO₂ 含有量を確保できることが確認された。

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) 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 グリーンイノベーション基金 HP, <https://green-innovation.nedo.go.jp/> (2023.3.17 閲覧)

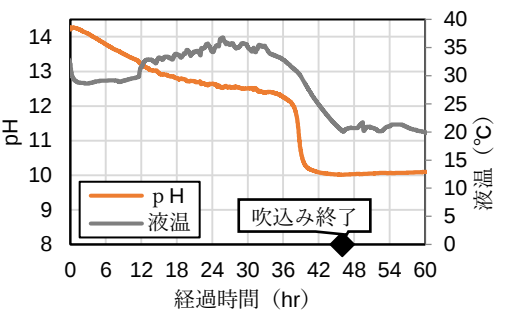


図-2 pH の変化

表-2 強度試験の測定結果

種類		圧縮強度 (N/mm ²)		
		7 日	28 日	125 日
炭酸カリウムなし	テストピース	24.3	34.5	—
炭酸カリウムあり	テストピース	19.5	22.7	—
炭酸カリウムあり	テストハンマ	—	—	33.1

表-3 CO₂ 含有量の測定結果

kg/m ³	全炭素量	無機炭素量
テストピース	80.7	80.4
コア試料	78.3	65.6



図-3 自然炭酸化の状況