

炭酸化養生前後における質量変化に基づく炭酸化の進行評価に関する基礎的検討

鹿島建設(株) 正会員 ○荒渡光貴 関 健吾 取違 剛 渡邊賢三 向 俊成 田口翔也
(株)ホクエツ 正会員 樋川孝治 貝森英樹

1. はじめに

筆者らはこれまでに、CO₂を吸収・固定したプレキャストコンクリートの研究開発を行っている。今後、カーボンリサイクルにおいては、セメント系材料中に固定したCO₂量の定量評価が重要な指標となる。一般的に、CO₂固定量の測定手法としては、示差熱分析重量試験による炭酸カルシウム量の定量や、無機炭素分析によるCO₂量の測定などが考えられる。しかしながら、これらの測定手法は、破壊試験であるとともに、特殊な分析装置が必要であることや、試料採取・前処理・試料調整に測定結果が作用されやすいことなどから、例えばプレキャストコンクリート中に固定されたCO₂量を日常的に管理することには不向きである。そこで本研究では、プレキャストコンクリート中に固定されたCO₂量を日常管理する方法の一つとして、炭酸化に伴う質量変化に基づいた評価方法について検討した。

2. 実験概要

実験の流れを図-1に示す。本研究では、実際のプレキャストコンクリートの製造を想定し、練混ぜ・打込み後に前養生を実施し、その後の蒸気養生に代えて炭酸化養生を行うこととした。養生終了後は、打込み翌日に脱型した。この際、炭酸化養生前後でのコンクリートの質量変化を測定するとともに、試験体の炭酸化面積率を測定し、その関係を整理した。

使用材料を表-1に、配合を表-2に示す。練混ぜは20℃環境下にて50L強制二軸コンクリートミキサーを用いて行い、供試体はφ100mm×h50mmの円盤型供試体および40mm×40mm×160mmの角柱供試体とした。打込み後は、ただちに40℃環境にて3時間および60℃環境にて2時間の前養生を行ったのちに16時間の炭酸化養生を行った。この際、前養生終了後および炭酸化養生終了後に質量測定を行い、型枠質量を除いた試験体質量の変化を測定した。CO₂は、市販の炭酸ガスを用い、2L/minで供給した。養生期間中、槽内のCO₂濃度は平均で90%程度であった。炭酸化養生終了後は型枠を取り外した供試体の割裂面に1%フェノールフタレイン溶液を噴霧し、炭酸化面積率を測定した。炭酸化面積率は、炭酸化部と未炭酸化部を画像処理にて二値化することで得た。

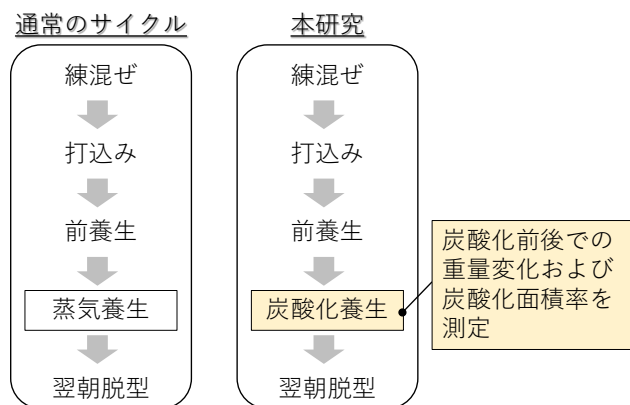


図-1 実験の流れ

表-1 コンクリートの使用材料

項目	記号	摘要
セメント	OPC	普通ポルトランドセメント, 密度 3.16g/cm ³
混和材	BFS	高炉スラグ微粉末, 密度 2.92g/cm ³
	γ	ダイカルシウムシリケートγ相, 密度 2.95g/cm ³
細骨材	S	砕砂, 表乾密度 2.64g/cm ³
粗骨材	G	砕石, 表乾密度 2.64g/cm ³
混和剤	Ad	AE減水剤, リグニンスルホン酸化合物 とポリオール複合体

表-2 コンクリートの配合

W/P (%)	単位量 (kg/m ³)							U.W. kg/m ³
	W	OPC	BFS	γ	S	G	Ad	
42.0	165	94	204	94	675	1060	5.88	2,292

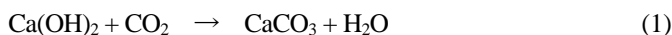
W/P : 水粉体重量比, P=OPC+BFS+γ

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, カーボンリサイクル, 質量変化

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

3. 炭酸化反応による質量増加分の試算

コンクリートの炭酸化による質量増加の理論値を試算した。試算にあたり、コンクリート中のペーストは $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (密度: $2.21\text{g}/\text{cm}^3$) および C-S-H (密度: $2.20\text{g}/\text{cm}^3$)²⁾のみで構成され、その比率は質量比で 2 : 8 とした。また、炭酸化する水和物は、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ や C-S-H などが考えられるが、ここでは単純化し、炭酸化によって質量変化が生じるのはペースト中の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ のみ、すなわち、下式(1)に従って炭酸化反応が進行すると仮定した。



ここで、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$: $74\text{g}/\text{mol}$, CaCO_3 : $100\text{g}/\text{mol}$, H_2O : $18\text{g}/\text{mol}$ とすると、式(1)において、 74g の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が炭酸化した際、 100g の CaCO_3 および 18g の H_2O が生じることとなる。同反応において、コンクリートとしての重量は理論上重くなる結果となる。なお、この H_2O は環境条件により外部に逸散する可能性もあるが、ここでは全てコンクリート中に保持されるものとした。本研究で用いたコンクリートのペースト部分は表-2 より $557\text{kg}/\text{m}^3$ であるため、上記仮定に基づくと $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量は $111.4\text{kg}/\text{m}^3$ となり、この全てが炭酸化したとすると質量増加分は、 $[111.4\text{kg}/\text{m}^3 \times \{(100+18)/74\}] - 111.4\text{kg}/\text{m}^3 = 65.7\text{kg}/\text{m}^3$ となる。これは炭酸化前のコンクリートの 2.86% に相当する。

4. 実験結果および考察

炭酸化前後におけるコンクリートの質量変化を図-2 に示す。図中には、炭酸化深さの測定結果から算出した炭酸化面積率も併記した。図より、炭酸化面積率が大きくなるにつれて、質量変化率も高くなる傾向が見られる。また、炭酸化面積率が 0.95 と最も大きかった試験体 3 の質量変化率は 2.24% であった。前述した炭酸化による質量増加率の理論値 2.86% と比較するとやや小さい値ではあったものの、概ね同等の結果であった。理論値と差異が生じた要因としては、本研究では、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ のみ炭酸化すると仮定していることや、前養生を実施していること、低湿度環境下で炭酸化を行っているため、理論値と比較して水分保持量に差異が生じたことなどによると考えられる。

次に、質量変化率と炭酸化面積率の関係を図-3 に示す。図より、理論値における質量変化率と炭酸化面積率の関係とは差が見られたものの、質量変化率と炭酸化面積率は概ね比例関係にあることが分かる。以上より、前養生中や炭酸化養生中における水分保持量もしくは逸散量に留意する必要があるものの、質量変化率を継続的に測定することで、一定の精度で炭酸化面積率すなわち CO_2 固定量を評価できる可能性が示された。

5. まとめ

将来的なカーボンリサイクル技術のプレキャストコンクリートへの普及を想定し、プレキャストコンクリート工場で簡易に実施できる CO_2 固定量の評価手法確立を目標に、基礎的な検討として質量変化率と炭酸化面積率の関係を評価した。その結果、コンクリート中の水分保持量または水分逸散量などに留意が必要であるものの、質量変化を測定することで、炭酸化の進行度合いを評価できる可能性が示された。

参考文献

- 1) 取達ほか; 炭酸化養生を行ったコンクリートの CO_2 収支ならびに品質評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.1450-1455, 2012.
- 2) 田中ほか; C-S-H の密度に関する基礎的検討, Cement Science and Concrete Technology, No.63, pp.70-76, 2009.

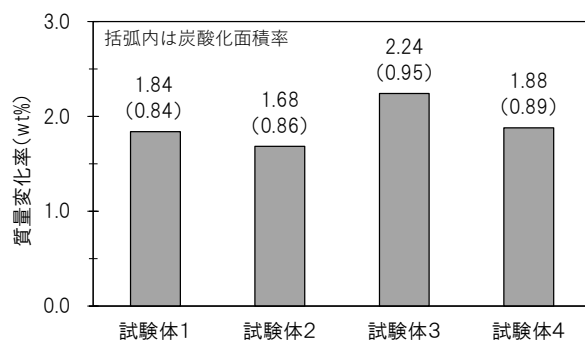


図-2 炭酸化前後における質量変化率

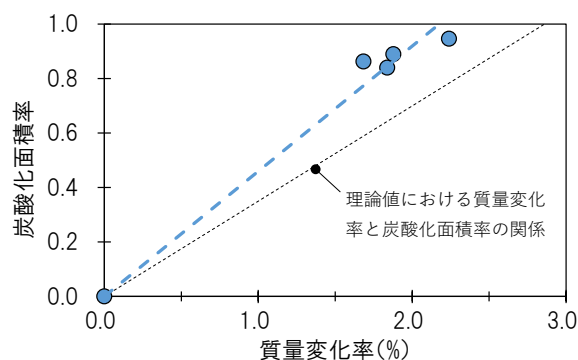


図-3 質量変化率と炭酸化面積率の関係