

炭酸化養生を行ったコンクリートの熱膨張係数に関する考察

鹿島建設(株) 正会員 ○石橋靖亨 吉田祐麻 関 健吾 田口翔也 取違 剛

1. 目的

近年、地球温暖化対策に関する取組みが世界的に加速しており、我が国でも「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定され、CO₂削減・有効利用技術の開発が期待されている。筆者らはこれまでCO₂と反応して硬化するダイカルシウムシリケートγ相（以下、 $\gamma\text{C}_2\text{S}$ ）を混和材として用い、強制的に炭酸化（以下、炭酸化養生）させることで、CO₂をコンクリート中に固定し、環境負荷を低減する技術について研究してきた¹⁾。炭酸カルシウムを主成分とする石灰石骨材は、他の岩種の骨材と比べて熱膨張係数が小さいことが知られており²⁾、炭酸化養生によって炭酸カルシウムが生成されるため、炭酸化養生が熱膨張係数に影響をおよぼすことが予想された。そこで、 $\gamma\text{C}_2\text{S}$ の混和および炭酸化養生が熱膨張係数に与える影響を実験により検証した。

2. 試験概要

2.1. 供試体の概要

表-1に使用材料を、表-2にコンクリートの配合を示す。結合材として普通ポルトランドセメント、高炉スラグ微粉末および $\gamma\text{C}_2\text{S}$ を使用した。粗骨材は砂岩碎石を用いた。配合をN、BB、 γ の3種類とし、結合材の割合を表-2に示す値とした。なお、3種類の配合で単位水量、水結合材比および細骨材率は同一とした。供試体は100×100×400mmの角柱とし、打込み後、温度20°C、相対湿度60%の環境で封かん養生を行い、材齢5日で脱型を行った。実験ケースは表-3に示すように、配合で3水準および養生条件で2水準の計6ケースとした。ここで、標準養生とは、温度20°Cの水中で脱型後から材齢91日まで養生したもの、炭酸化養生とは、温度50°C、相対湿度40%、CO₂濃度20%の環境で脱型後から材齢91日まで養生したものを指す。なお、炭酸化養生を行った試験体は全面炭酸化したことを、フェノールフタレイン溶液により確認した。材齢91日以降は温度20°C、相対湿度60%に調整した環境で材齢1.5年まで保管した。供試体は試験ケースごとに3体ずつ作製した。

2.2. ひずみの測定方法

ひずみの測定はJIS A 1129-1のコンパレータ方法に準拠して行った。供試体を作製した際、標線用の板を供試体に埋め込み、刻線具で標線を引いた。材齢1.5年となった供試体のひずみを温度20°Cにおける値として測定した。次に、温度5°Cの恒温内で1週間保管し、その後測定を行って温度5°Cにお

表-1 コンクリートの使用材料

項目	記号	摘要
水	W	上水道水、密度 1.00g/cm ³
セメント	C	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	$\gamma\text{C}_2\text{S}$ 、密度 2.95g/cm ³
細骨材	S1	山砂、密度：2.64g/cm ³ 、F.M.：2.80
	S2	砕砂、密度：2.63g/cm ³ 、F.M.：1.65
粗骨材	G1	砂岩碎石、密度：2.65g/cm ³ 、実積率 60.6%
	G2	砂岩碎石、密度：2.64g/cm ³ 、実積率 62.2%
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
	AE	AE剤

表-2 コンクリートの配合

配合	W/B %	s/a %	結合材割合(wt%)			単位量 (kg/m ³)							
			C	BFS	γ	W	C	BFS	γ	S1	S2	G1	G2
N	55.0	48.0	100	0	0	169	307	0	0	768	104	408	545
BB			50	50	0		154	154	0	763	104	406	542
γ			30	40	30		92	123	92	761	103	404	540

※B=C+BFS+ γ

表-3 実験ケース

No.	配合	養生方法
①	N	標準養生
②		炭酸化養生
③	BB	標準養生
④		炭酸化養生
⑤	γ	標準養生
⑥		炭酸化養生

キーワード：環境配慮型コンクリート、 $\gamma\text{C}_2\text{S}$ 、CO₂吸収コンクリート、炭酸化養生、熱膨張係数

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

けるひずみを得た。最後に温度 50°Cの恒温室内で1週間保管し、その後測定を行って温度 50°Cにおけるひずみを得た。5°Cにおけるひずみを基準として、温度の上昇に伴うひずみの増分を膨張量とし、最小二乗法で得た直線の傾きを熱膨張係数とした。

3. 試験結果

3.1. 膨張量

図-1 に温度 5°Cのひずみを基準とした、20°Cおよび50°Cのひずみの増分を膨張量として示す。プロットは3つの供試体で得られた膨張量の平均値を表している。標準養生を行った場合と炭酸化養生を行った場合を比較すると、すべての配合で炭酸化を行ったものの方が標準養生を行ったものより膨張量が小さくなった。次に、標準養生を行ったもので配合の違いを比較すると、本試験では N と BB が同等の膨張量となる一方、 γ の膨張量が若干小さくなった。また、炭酸化養生を行ったもので比較すると、本試験では N と γ が同等の膨張量となる一方、BB の膨張量が若干小さくなった。

3.2. 熱膨張係数

図-2 に熱膨張係数の算出結果を示す。標準養生を行った場合と炭酸化養生を行った場合を比較すると、すべての配合で炭酸化養生を行ったものの方が標準養生を行ったものより熱膨張係数が小さくなった。炭酸化養生を行ったものの熱膨張係数は、コンクリート標準示方書³⁾に示される 10~12 $\mu\text{°C}$ より小さく、マスコンクリートのひび割れ制御指針²⁾に示される石灰石骨材の値 5.5 $\mu\text{°C}$ や石灰石骨材を使用したコンクリートの値 4.3~10.3 $\mu\text{°C}$ に近くなった。また、標準養生では N と BB が同等で γ が若干小さくなり、炭酸化養生では N> γ >BB となった。炭酸化養生によって熱膨張係数が小さくなる理由の一つとして、炭酸カルシウム単体の熱膨張係数が、水酸化カルシウム単体の熱膨張係数より小さく⁴⁾、炭酸化により水酸化カルシウムが炭酸カルシウムに変化することによって、コンクリートの熱膨張係数が小さくなったことが考えられる。しかし、本試験の範囲では炭酸化養生により熱膨張係数が大きく低減するメカニズムを特定できないため、含有する鉱物の同定、定量評価など化学分析の手法から検証を行う必要がある。

4. まとめ

同一の供試体で温度変化を与えてからひずみを測定することで、 $\gamma\text{C}_2\text{S}$ の混和および炭酸化養生が熱膨張係数に与える影響を検討した。その結果、炭酸化養生を行うことで熱膨張係数が小さくなる傾向が確認された。

(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) 取違ら：炭酸化養生を行ったコンクリートの CO₂ 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) 日本コンクリート工学会：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016，2016.
- 3) 土木学会：2017年制定 コンクリート標準示方書 [設計編]，2017.
- 4) 平野賢一：固体の熱膨張，熱測定，Vol.15，No.1，pp.10-18，1988.

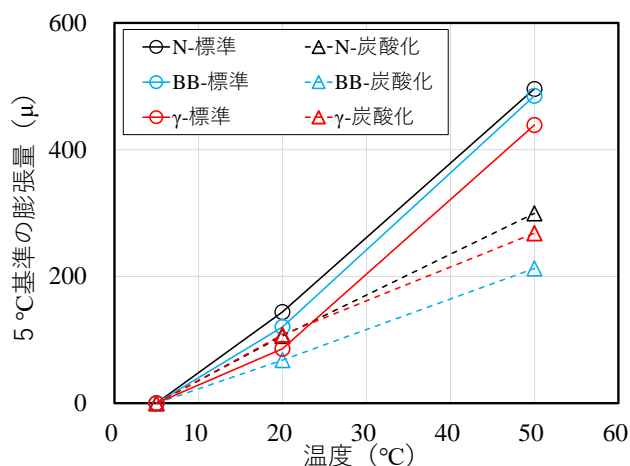


図-1 温度と膨張量の関係

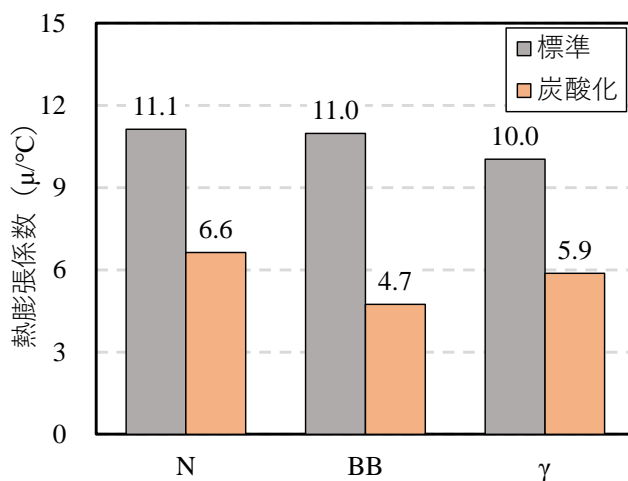


図-2 熱膨張係数