

高炉セメント硬化体の炭酸化による空隙変化のメカニズムの一考察

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○宮崎 幹太
芝浦工業大学 正会員 伊代田 岳史

1. はじめに

セメント、コンクリート産業においては、二酸化炭素排出削減の取り組みの一つとして、高炉スラグ微粉末（GGBFS）などの混和材をセメントに置換した混合セメントを使用することが進められている。混合セメントを使用することには強度発現などのメリットが多く存在する。一方で、炭酸化抵抗性の低下などのデメリットが存在する。既往の研究¹⁾によると、高炉セメント硬化体は炭酸化することにより、水分浸透性が著しく低下することが報告されている。そこで本研究では、GGBFSを使用したコンクリートの炭酸化が、空隙構造に与える影響とそのメカニズムについて検討を行った。

2. 試験概要

本試験におけるコンクリートは、炭酸化を早めるため W/B を 60% とし、GGBFS の置換率を 0,50,70% と設定した。供試体は透水試験のため φ100×50mm の円柱試験体とした。養生条件を表-1 に示す。脱型後、材齢 28 日まで恒温恒湿室に静置した。炭酸化を行う試験体については、材齢 28 日時点で促進炭酸化装置に静置し、完全に炭酸化した材齢 20 週時点で試験を実施した。

(1) 透水試験

炭酸化の有無による水分浸透性を評価するため、インプット法による透水試験を実施した。載荷圧力を 0.1MPa と設定し 48 時間浸透した水分量を計測し水分浸透速度を算出した。

(2) 空隙率試験

供試体を粉砕し骨材を含まない 5mm 角程度の試料を採取しこれを用いて式より空隙率を算出した。

空隙率(%) = $\frac{(W_2 - W_1)}{(W_2 - W_3)} \times 100$

W₁:乾燥質量(g) W₂:飽水質量(g)
W₃:水中質量(g)

(3) 水銀圧入試験

空隙率試験の試験体と同様のものを用いて試験を実施し空隙の評価を行った。また圧入過程と排出過程の差よりインクボトル空隙について検討を行った。

3. 試験結果および考察

3.1 透水試験結果

表-2 に水分浸透速度を示す。炭酸化した場合、OPC は水分浸透速度に大きな差はないが B50,B70 では水分浸透速度の大幅な増加が確認できた。

3.2 空隙率試験

供試体の空隙率を図-1 に示す。この結果から、OPC の試験体は炭酸化することで空隙率が減少した。一方、B50,B70 は、炭酸化することで空隙率が大きくなった。

3.3 水銀圧入試験結果

水銀圧入試験の結果を未炭酸化のものを図-2 に炭酸化したものを図-3 に示す。未炭酸化のものでは GGBFS を置換していくほど、細孔直径が小さい空隙の量が多くなった。このことから、GGBFS を使用したコンクリートが緻密な構造をしている。一方炭酸化させた試験体においては、B50, B70 のいずれも粗大な空隙が増加している。次に、図-4 にインクボトル空隙の体積割合を示す。結果は加圧過程と減圧過程の差を総空隙量で除した値となっており、その値を硬化体内に存在するインクボトル空隙と定義した。この値が小さいほど、圧入した水銀が排出されやすい連続性がある空隙であり、値が大きいほど圧入した水銀が排出されにくい複雑な構造であると考えられる。この結果から、未炭酸化では GGBFS を置換したものはインクボトル空隙が多い結果となっていることから、複雑な空隙構造になっていることが考えられる。一方炭酸化の結果を見ると、OPC はインクボトル空隙が増加したが、B50,B70 では減少した。

表-1 コンクリートの養生条件

	0日	～	1日	～	7日	～	28日	～	20週
未炭酸化	打設	型枠存置	脱枠	恒温恒湿室					試験実施
炭酸化				恒温恒湿室				促進炭酸化	

キーワード 炭酸化,高炉スラグ微粉末,空隙,水銀圧入

連絡先 〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5 芝浦工業大学 TEL:03-5859-8356 E-mail:me19089@shibaura-it.ac.jp

表-2 水分浸透速度

	水分浸透速度 (ml/ $\sqrt{\text{hours}}$)		
	OPC	B50	B70
未炭酸化	4.5	6.7	6.79
炭酸化	5	10.77	11.15

この結果から、高炉セメントを用いた硬化体は複雑な空隙を有するが、炭酸化することで連続性のある空隙になることが考えられる。

3.4 炭酸化による空隙構造変化の考察

セメント硬化体の空隙は、インクボトル空隙を含め水和物により形成されている。GGBFSを使用したものは、粗大な空隙に蓋をする形で C-S-H を主とする水和物を生成しインクボトル空隙を形成すると考えられる。次に、炭酸化した場合を考える。GGBFS を置換した場合に生成される C-S-H は低 C/S であり $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の炭酸化を卓越することが報告されている²⁾。すなわち GGBFS を使用したものは炭酸化によって粗大な空隙に蓋をするように存在していた C-S-H が CaCO_3 とシリカゲルに分解されやすい。そのため蓋をされていた粗大な空隙が露出し、連続性がある空隙構造になることが考えられる。一方 OPC を使用したものについては、高 C/S の C-S-H が生成される。この C-S-H は炭酸化しにくい。CH が先行し炭酸化することでカルサイトを生成し空隙を緻密化すると考えられる。

4. まとめ

- 1) GGBFS を置換したものは炭酸化させることで空隙率が増加し水分浸透速度が増加した。
- 2) GGBFS を置換したものでは小径空隙が多く複雑な空隙構造を有する。一方で、炭酸化することで C-S-H が分解され連続した空隙を形成すると考えられる。

謝辞：本研究は芝浦工業大学大学院卒業生の水野博貴氏の研究成果を取りまとめた。厚くお礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 水野博貴ほか：炭酸化したセメント硬化体の水分浸透性上の総意と空隙構造変化に関する考察，第73回セメント技術大会講演要旨,3317,pp.270-271
- 2) 伊藤孝文ほか：混和剤を高置換したセメントにおける中性化進行メカニズムの検討，コンクリート工学年次論文集，Vol39，No 1，pp637-642，2017

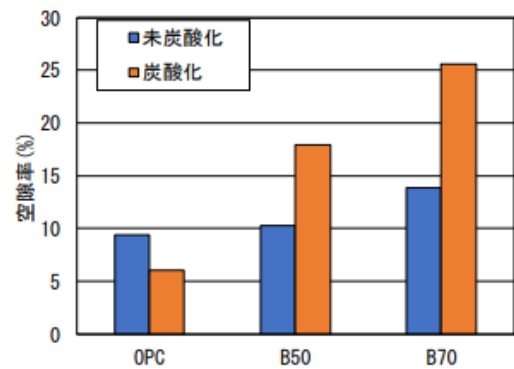


図-1 空隙率

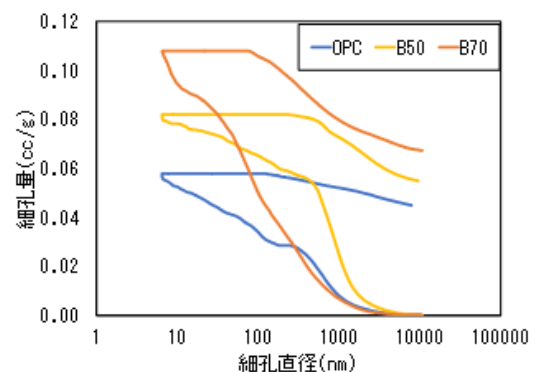


図-2 累積細孔径 (未炭酸化)

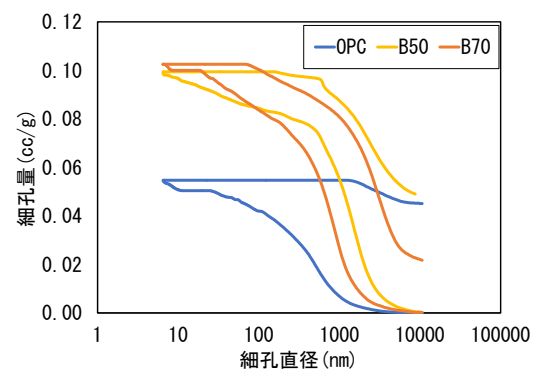


図-3 累積細孔径 (炭酸化後)

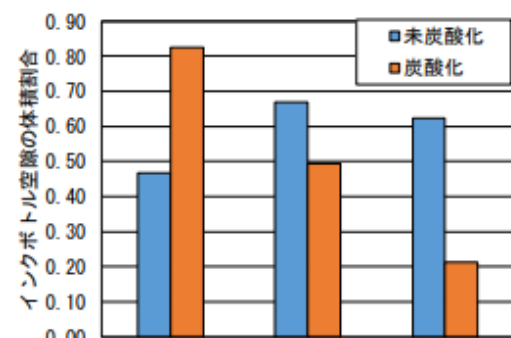


図-4 インクボトル空隙の体積割合