

# 異なる炭酸化環境における空隙構造変化の定量化

芝浦工業大学

H10073 本多 和博

指導教員 伊代田 岳史

## 1. 研究背景および目的

鉄筋コンクリート構造物の劣化現象の1つに中性化がある。中性化は、コンクリートのアルカリ性を低下させて鉄筋の不導電性被膜を破壊し腐食させる現象である。中性化を引き起こす原因はいくつかあるが、その大部分が炭酸化である。炭酸化はコンクリート中に大気中の二酸化炭素( $\text{CO}_2$ )が侵入し、水酸化カルシウム( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )と反応して炭酸カルシウム( $\text{CaCO}_3$ )が生成することである。 $\text{CaCO}_3$ が生成するとコンクリート中の累積細孔量や細孔径分布などの空隙構造が変化し、中性化の進行速度に影響を及ぼす<sup>1)</sup>と言われている。しかし、炭酸化は混和材や $\text{CO}_2$ 濃度による影響を強く受ける。例えば $\text{CO}_2$ 濃度が高い中性化促進試験を行うと、高炉セメントを使用したコンクリートの方が、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートよりも中性化の進行速度が速いと評価される。一方、実環境ではどちらのセメントも中性化の進行速度に差はないという報告<sup>2)</sup>がある。

そこで本研究では、異なる炭酸化環境による炭酸化メカニズムの相違を明確にするため、混和材の有無や $\text{CO}_2$ 濃度を変動させた場合の空隙構造変化を把握することを目的とした。

## 2. 実験概要

### 2.1 供試体概要

セメントは研究用普通ポルトランドセメント(以後 N と記す)と、混和材として高炉スラグ微粉末(以後 BFS と記す、石こう 2% 添加、4000 ブレーン)を 50% 置換し、高炉セメント B 種に相当するセメント(以後 BB と記す)を使用した。炭酸化の進行を促すために、水セメント比は 100% として作製した。高水セメント比による材料分離を防止するために、混和剤として高機能特殊増粘剤を使用した。これらの材料を手練りによる練り混ぜ後、10×5×100(mm)のアクリル製型枠に打ち込み、ガラス板で封緘した。3 日後に脱型し温度 20°C 一定環境で、材齢 28 日までラップによる封緘養生を行った。

### 2.2 $\text{CO}_2$ 濃度環境及び中性化深さ試験

養生終了後  $\text{CO}_2$  濃度 0.05% の恒温槽(以後実環境と記す)と、 $\text{CO}_2$  濃度 5% の中性化促進試験装置(以後促進環境と記す)の中に供試体を静置した。いずれも温度 20°C、湿度 60% 一定とした。その後炭酸化の進行度合いを確認するため、経時的に各供試体を 5mm 厚毎に切断しフェノールフタレイン溶液を噴霧し、赤色の呈色変化を観察した。全面が赤色に呈色しなくなった時点で炭酸化完了とする。

### 2.3 水銀圧入法による累積細孔量と細孔径分布の測定

水銀圧入式ポロシメーター(以後 MIP と記す)によって、累積細孔量と細孔径分布を測定した。測定は封緘養生 28 日と、炭酸化完了に測定し、またフェノールフタレイン溶液の発色領域が pH8.2~10.0 以上であるため、呈色しなくなった後もアルカリ性が低下する可能性があると考え、炭酸化完了からさらに 28 日後にも測定した。これを以後炭酸化後 28 日とする。

### 2.4 示差熱重量分析試験による生成物の測定

示差熱重量分析試験(以後 TG-DTA と記す)により  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  と  $\text{CaCO}_3$  の生成量を測定した。測定は水銀圧入法と同じ材齢で行い、生成量は DTA 曲線の変曲点から TG 曲線の重量変化量を用いて算出した。

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 炭酸化による細孔径分布の変化

MIP によって求めた N、BB の炭酸化による細孔径分布の変化を図-1、2 に示す。N、BB どちらも炭酸化によって細孔径分布が大きな径へシフトした。また、実環境の場合 N では 10nm 付近の細孔径が残存しているのに対し、BB では 10nm 付近の細孔径が生成している。BFS を置換することで MIP では測定できない 6nm 以下の細孔径が 10nm 付近に移行したと考えられる。しかし、実環境と比べ促進環境下では、10nm 付近の小さな径は残存せず、1000nm 付近の大きな径が増加した。 $\text{CO}_2$  濃度が高いと、小さな径からより大きな径へと移行することが考えられる。

### 3.2 炭酸化による累積細孔量の変化

各配合の炭酸化による累積細孔量の変化を図-3に示す。炭酸化によって総細孔量はNでは減少し、BBでは増加した。これはBFSを置換することで生成するCaCO<sub>3</sub>量が減少し、また3.1節より、6nm以下の細孔が大きな径へ移行するため、総細孔量は増加したと考えられる。一方で、炭酸化完了と炭酸化完了後28日比較をすると、いずれの配合でも総細孔量に変化はほとんどみられない。一度炭酸化すると空隙は変化しない、もしくは一か月程度では大きな変化はみられないことが考えられる。

### 3.3 炭酸化による生成物の変化

図-4、5にTG-DTA測定によるCa(OH)<sub>2</sub>量とCaCO<sub>3</sub>量の変化量を示した。Nと比べBFSを置換することで、Ca(OH)<sub>2</sub>の生成量は減少する。また、CO<sub>2</sub>濃度の違いにより中性化の進行速度に違いはあるが、炭酸化後のCa(OH)<sub>2</sub>量やCaCO<sub>3</sub>量は、セメント種ごとで、ほぼ同程度となった。また、累積細孔量変化同様、炭酸化完了と炭酸化完了後28日では、大きな変化は見られないことから、Ca(OH)<sub>2</sub>量やCaCO<sub>3</sub>量はある一定の値まで変化すると一定となる、もしくは変化量は少なくなる事が考えられる。

### 4.まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 実環境の場合、Nでは10nm付近の細孔径が残存しているのに対し、BBでは10nm付近の細孔径が生成する。
- 2) 促進環境下では、10nm付近の小さな径は少なく、1000nm付近の大きな径が増加した。累積細孔量は炭酸化することでNは減少し緻密化するが、BBは増加し粗大化する。
- 3) CO<sub>2</sub>濃度が違うと中性化の進行速度に差はあるが、炭酸化完了と炭酸化完了後28日のCa(OH)<sub>2</sub>量やCaCO<sub>3</sub>量は、セメント種ごとで、ほぼ一定となる。

### 参考文献

- 1) 佐伯竜彦、大賀宏行、長滝重義:中性化によるコンクリートの微細組織の変化、土木学会論文集No420,N-13,pp.33-42,1990
- 2) 松田芳範、上田浩、石田哲也、岸利治:実構造物調査に基づく中性化に与えるセメント及びおよび水分の影響、コンクリート工学年次論文集vol.32,No1,pp.629-634,2010

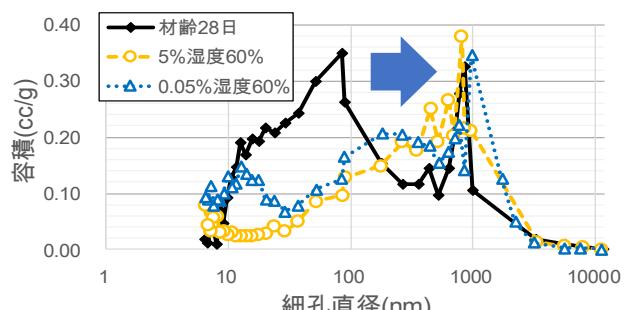


図-1 N配合の炭酸化による細孔径分布の変化

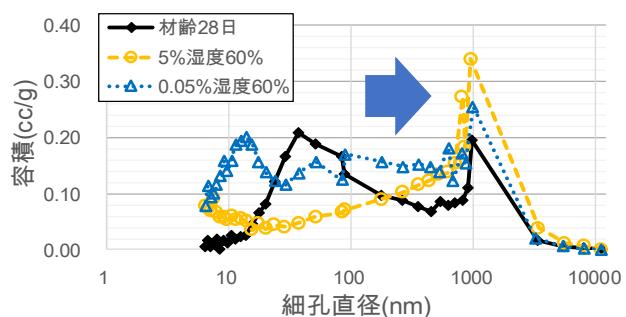


図-2 BB配合の炭酸化による細孔径分布の変化

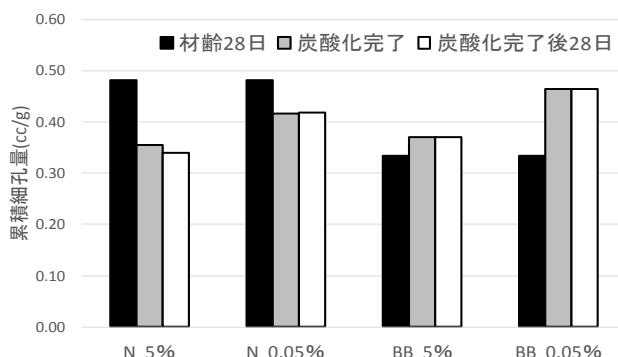


図-3 各配合の炭酸化による累積細孔量の変化

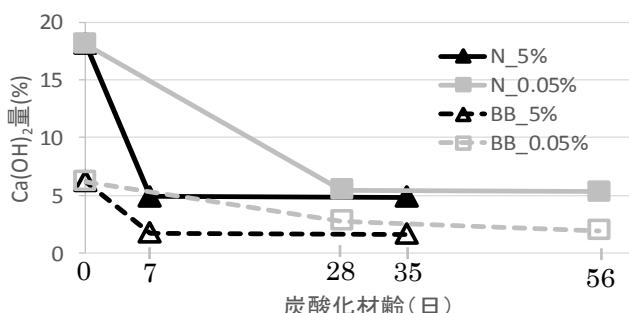


図-4 TG-DTA測定によるCa(OH)<sub>2</sub>変化量

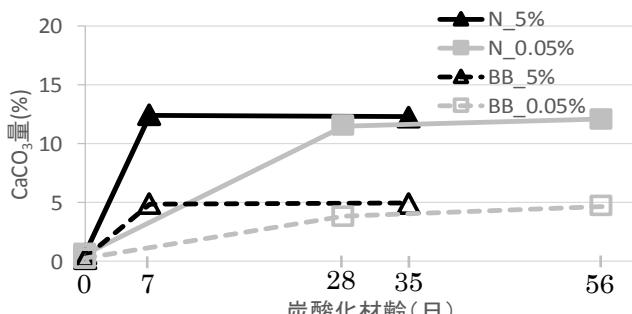


図-5 TG-DTA測定によるCaCO<sub>3</sub>変化量