

異なる環境が高炉セメントの炭酸化メカニズムに与える影響

芝浦工業大学 正会員 ○伊代田 岳史

1. はじめに

コンクリートの中性化は、構造物中の鉄筋腐食を誘発する可能性があり、注意が必要である。中性化のメカニズムは、大気中の二酸化炭素がコンクリート内に浸透し、アルカリ性が低下することで鉄筋の不動態皮膜が消失して腐食しやすい状態となり、酸素と水の供給により腐食が進行すると広く知られている。ここで、コンクリート中の細孔が水で満たされている場合、二酸化炭素が進行しづらくなるため、中性化進行は遅延するが、細孔が空隙であれば水が供給されずに腐食の進行は遅延する。このように中性化の進行は細孔中の水により大きく左右される。さらに、中性化の進行は他の劣化と比較して著しく遅いため、促進試験が JIS で提案されているが、二酸化炭素濃度を 5%、相対湿度を 60%にして実施するため、二酸化炭素濃度も細孔内の相対湿度も一般環境とは乖離がある。これまで、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートでは、促進試験と実環境での多くの対比があり、促進試験結果から実環境での中性化進行予測も確立してきている。しかし、混合セメントにおいては、そもそもコンクリート中の pH なども異なることから一概に適応できるとは思えない。そこで相対湿度は一定とし、二酸化炭素濃度の違いによる炭酸化の進行を普通ポルトランドセメントと置換率を変化させた高炉セメントを用いて比較を行い、炭酸化による生成物の違いを明確にすることを目的とした。

2. 実験概要

セメントは、少量混合成分の影響を排除するため、研究用普通ポルトランドセメントに石こうが SO_3 で 2%添加された高炉スラグ微粉末 4000 ブレーンを 0, 20, 50, 70, 90%添加置換して試製した高炉セメントを用いた。水結合材比 50%のセメントペーストを XRD がそのまま測定可能な図-1 示す $\phi 40 \times 5$ mm の型枠内に打込んだ。ガラス板で表面の水分逸散を防ぎ、翌日にガラス板を取り除き、水和の進行を促すため、材齢 28 日まで 20°C 環境下で封緘養生とした。

養生終了後、二酸化炭素の濃度を変化させた環境に試験体を静置し炭酸化させた。二酸化炭素の濃度は 0%, 0.05%, 0.5%, 5%とし、促進 5%はコンクリートの促進中性化試験方法 (JIS A 1153) に基づいた。0.5%は低濃度促進とし、5%の 1/10 となるようにした。また、0.05%の濃度は実環境下である実験室内とした。0%環境は、養生終了後も封緘状態を継続した。いずれの環境も温度は 20°C 、湿度は 60%RH とした。

従来行われてきた粉末 X 線回折試験では、試験体を粉砕して測定を行うため、炭酸化部と未炭酸化部を区別することが困難であり、粉砕した全領域を平均化した値が算出されていた。また、粉砕等の測定までの処理に手間がかかること、材齢の経過ごとに試験体が異なってしまうため誤差が生じることなどが問題となる。そこで本研究では、図-1 に示すように試験体そのものを粉砕せずに極表面層を X 線回折試験に用いた。試験体は表面から炭酸化が進行していくと考えられるため、経時的に表面 X 線分析することで、炭酸化の進行を捉えることができると考えた。また、試験体を粉砕しないため、同一の試験体を用いることが可能であり、試験体による誤差を無くすることができる。X 線の測定条件は管電圧 40kV、管電流 250mA、スキャン速度 $0.25^\circ/\text{min}$ 、サンプリング間隔 0.025° とした。本研究では、炭酸化による炭酸カルシウムの生成に着目し、回折ピーク (Calcite: 29.4° , Vaterite: 27.03°) から積分強度を算出し、生成量とした。それぞれの二酸化炭素濃度環境下で試験体を炭酸化させた後、炭酸化開始から 0.2, 0.4, 1, 2, 4, 7, 10, 14, 21, 28 日の材齢で同一試験体を用いた表面 X 線回折試験を行った。なお、同時に TG-DTA により $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の定量分析も実施した。

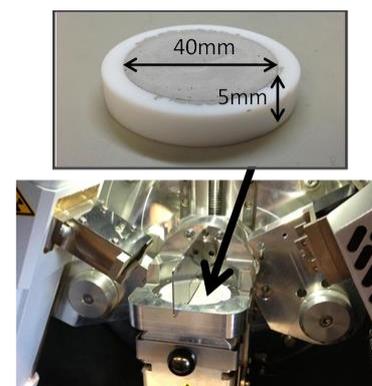


図-1 XRD 用試験体

キーワード 炭酸化, 高炉セメント, Calcite, Vaterite, 表面 X 線回折試験

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:iyoda@shibaura-it.ac.jp

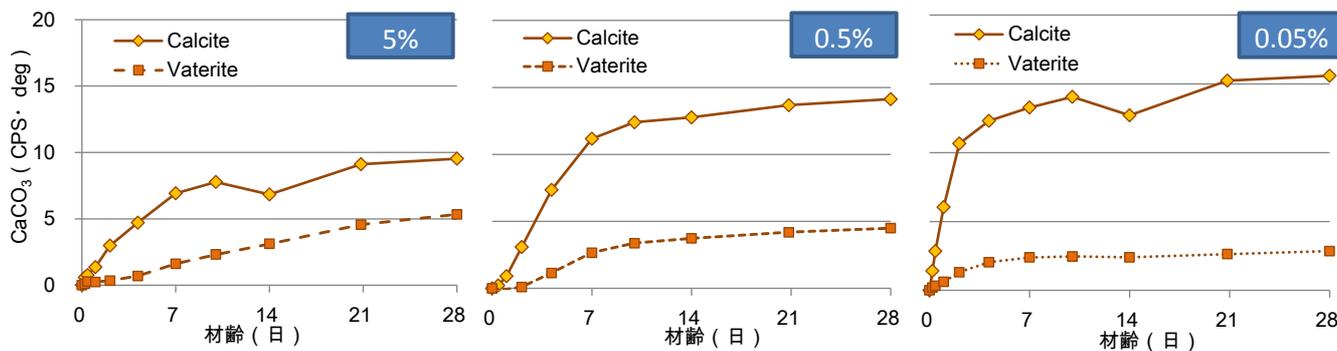


図-2 XRDによる炭酸カルシウム生成量の変化（普通ポルトランドセメント [N]）

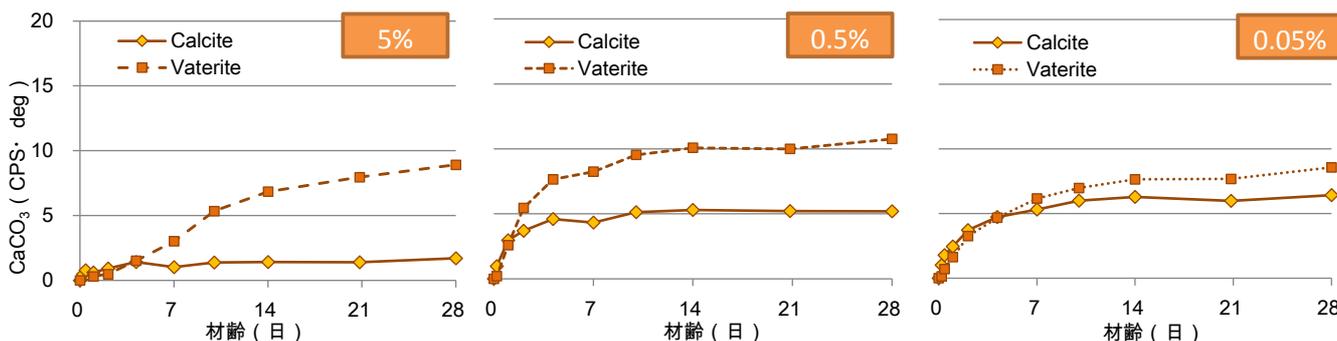


図-3 XRDによる炭酸カルシウム生成量の変化（高炉セメント B 種_置換率 50% [B50]）

3. 実験結果と考察

図-2, 3 に N と B50 の炭酸化材齢経過に伴う炭酸カルシウム生成量の変化を示す. N, B50 共に, 材齢の経過につれ, Calcite と Vaterite の両炭酸カルシウムが増加していることが確認できる. N はいずれの濃度においても, Vaterite と比べて Calcite が多く生成された. B50 は N と異なり, どの二酸化炭素濃度においても Calcite と比べて Vaterite の生成量が多い傾向を示した. Calcite と Vaterite は結晶構造と密度が異なり, Calcite と比べて Vaterite の安定性は低い. Calcite に比べ, Vaterite は C/S 比の低いケイ酸カルシウム水和物 (以下 C-S-H と記す) やモノサルフェートから生成されると報告されており, 高炉スラグ微粉末の混入された B50 は C/S 比が低いため Vaterite が多く生成されたと考えられる.

次に置換率の異なるセメントにおける養生材齢 28 日における TG-DTA により求めた水酸化カルシウム生成量と炭酸化材齢 28 日における Calcite 生成量の関係を図-4 に示す. 生成した水酸化カルシウムが多いほど Calcite が多く生成され, 二酸化炭素濃度が変化しても同様の傾向がみられた. しかし, 低濃度のほうが Calcite の生成量が多くなる傾向を示した. このことから本研究では炭酸化前の Ca(OH)₂ 生成量から生成される Calcite の量が濃度ごとに概ね決定される可能性が示唆された.

4. まとめ

二酸化炭素濃度の異なる炭酸化進行メカニズムは, 使用セメントにより異なることが分かった. 水酸化カルシウムの炭酸化のみならず, C-S-H の炭酸化についても検討を加える必要があることがわかった.

謝辞: 本研究は平成 25 年度土木学会吉田研究奨励賞の研究計画に基づいた研究であり, 助成に感謝します.

参考文献

太田利隆: 十勝大橋コンクリートの特性, 北見工業大学地域共同研究センター研究成果報告書第 7 号, 2000

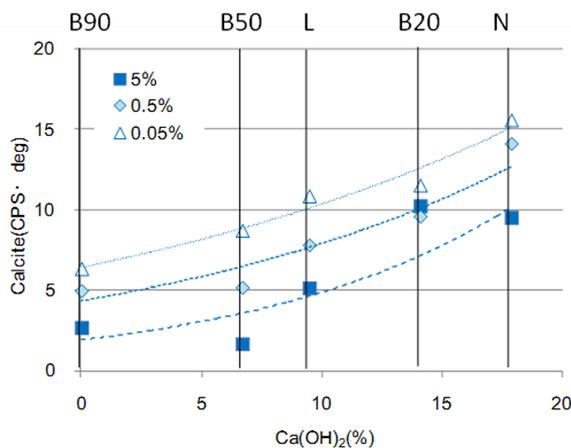


図-4 Ca(OH)₂量と Calcite の関係