

炭酸化による混合セメント硬化体の微細構造変化に及ぼす相対湿度の影響

琉球大学 正会員 ○須田 裕哉
琉球大学 正会員 富山 潤

1. 背景および目的

近年、環境負荷低減、低炭素社会の実現の観点から、コンクリート構造物に高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの混和材を置換したセメントの利用が進められている。一方で、これら混和材を使用したコンクリートでは、中性化抵抗性が低下することが一般的に知られている。しかしながら、実環境と促進環境では混合セメントを使用したコンクリートの中性化進行に大きな差がないことも報告されている¹⁾。環境の違いとして、二酸化炭素濃度や湿度が異なることが挙げられるが、個々の影響は明確ではない。本研究では、環境条件として湿度の違いに着目し、混和材を使用したセメント硬化体内で生成した水和物の炭酸化挙動を調査した。さらに、個々の水和物の炭酸化挙動がセメント硬化体の空隙構造の変化に及ぼす影響について検討を行った。

2. 実験概要

(1) 使用材料および配合

使用材料は普通ポルトランドセメント（以下、NC）、普通ポルトランドセメントにフライアッシュを15%、30%内割置換した試料（以下、NF15、NF30）および普通ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末を50%内割置換した試料（以下、NB）とした。供試体はセメントペーストとし、水結合材比は55%、供試体寸法は80×20×4mmとした。初期養生として182日間の20℃水中養生を行った。

(2) 供試体の乾燥および炭酸化条件

初期養生後、20℃相対湿度43%、56%、66%、85%で調湿したデシケータ内で5ヶ月間供試体を静置し乾燥を行った。その後、乾燥時と同じ温湿度環境でCO₂濃度3%の混合ガスを流量100ml/sec.、4h/day流通させる促進環境で炭酸化を行った。本研究では、促進炭酸化を63日間行った試料に対して各種分析を行った。

(3) 分析概要

水和物の炭酸化進行の評価では、熱重量分析よりポルトランダイト、炭酸カルシウムを定量した。また、非晶質の水和物であるC-S-Hの炭酸化を評価するため、フーリエ変換赤外分光光度計よりIRスペクトルを測定した。本研究では、全反射測定法によりゲルマニウムプリズムを用いて試料の分析を行った。

炭酸化による空隙構造の変化を評価することを目的とし、水蒸気吸着試験および走査電子顕微鏡による反射電子像の観察を行った。水蒸気吸着試験では、前処理として供試体を減圧環境下で24h-110℃で乾燥を行った後、飽和塩類を用い各湿度で調湿したデシケータ内に90日間静置し、水蒸気吸着等温線を取得した。反射電子像の取得では、試料を減圧環境下で24h-50℃で乾燥を行った後、エポキシ樹脂で含浸した。樹脂硬化後に耐水研磨紙およびダイヤモンドスラリーを用いて、観察面が平滑となるよう試料を研磨した。また、炭酸化前後の試料の反射電子像をランダムに10枚取得し、二値化処理により固相と空隙部を分離し、空隙率を求めた。

3. 実験結果

(1) 相対湿度の違いによる水和物の炭酸化挙動

図-1に各供試体の炭酸カルシウム生成量を示す。全ての供試体で相対湿度56%、66%において、炭酸カルシウム生成量が多くなる結果となった。また、各湿度においてNF、NBはNCに比べ炭酸カルシウム生成量が少ない結果となった。NC、NF30では、相対湿度43%、85%の炭酸カルシウム生成量がほぼ同程度であった。炭酸化したポルトランダイト量は、湿度が高いほど多くなる傾向を示した。図-2に、NC、NBのフーリエ変換赤外分光測定によるIRスペクトルの結果を示す。NC、NBともに相対湿度85%の供試体では、C-S-HのSi-

キーワード 炭酸化、C-S-H、ポルトランダイト、空隙構造、相対湿度

連絡先 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町線千原1 琉球大学 工学部 TEL098-895-8570

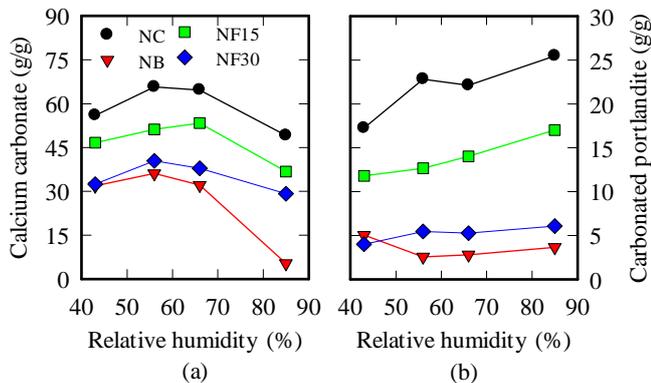


図-1 炭酸化カルシウム生成量 (a) と炭酸化したポルトランドイト量 (b)

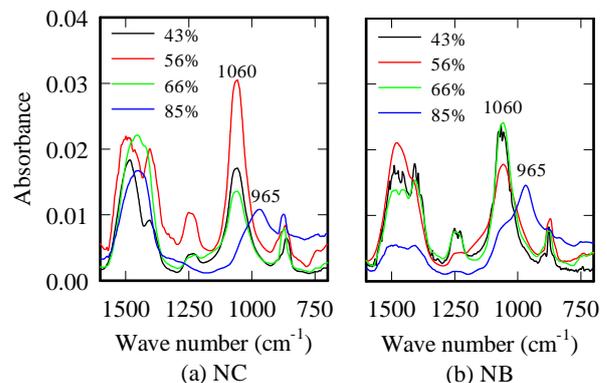


図-2 IR スペクトルの変化 (a) NC, (b) NB

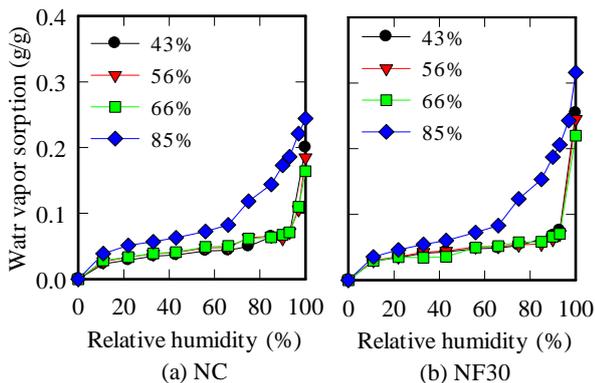


図-3 水蒸気吸着等温線 (a) NC, (b) NF

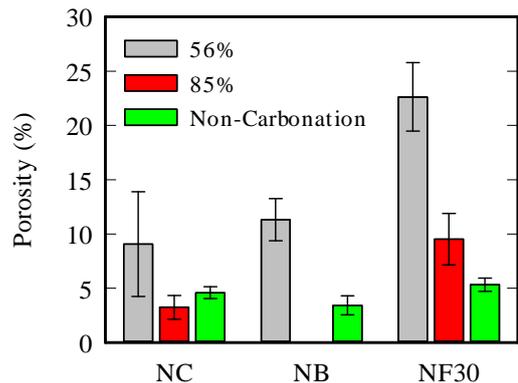


図-4 反射電子像観察による空隙率の変化

○伸縮振動に由来する 965cm^{-1} のスペクトルが確認された。一方で相対湿度 43%, 56%, 66% の供試体では、非晶質シリカや低 Ca/Si 比の C-S-H に由来する 1060cm^{-1} のスペクトルが確認され、これらは C-S-H の decalcification を示しているものと考えられる。特に、NC において、相対湿度 43% と 85% の供試体の炭酸カルシウム生成量は同程度であったが、IR スペクトルの結果から 43% では C-S-H の炭酸化が早期進行しているものと推察される。

(2) 炭酸化による空隙構造の変化

図-3 に NC と NF30 の水蒸気吸着量を示す。NC, NF30 とともに相対湿度 43%, 56%, 66% の供試体の吸着量に大きな差は見られなかった。一方で、相対湿度 85% で炭酸化を行った供試体では、他の湿度の供試体よりも吸着量は多く、炭酸カルシウム生成量は同程度の相対湿度 43% の供試体と比較すると吸着量に大きな差が示された。図-4 に、反射電子像の観察像から二酸化処理によって得られた空隙率を示す。相対湿度 85% で炭酸化を行った供試体では、未炭酸化と比較すると、NC では空隙率が僅かに減少し、NF30 では増加した。一方で、相対湿度 56% で炭酸化を行った供試体では、未炭酸化よりも空隙率が増加し、NF30 では未炭酸化供試体よりも 4 倍程度増加した。相対湿度 56% で炭酸化を行った供試体では、C-S-H の炭酸化が進行しており、C-S-H の炭酸化が粗大な空隙の形成に影響を及ぼしているものと考えられる。

4. まとめ

本研究では、炭酸化時の相対湿度が個々の水和物の炭酸化挙動に及ぼす影響について検討を行った。その結果、炭酸化時の相対湿度の違いによって水和物の炭酸化挙動が異なり、相対湿度が低いと C-S-H の炭酸化が進行しやすく、C-S-H の炭酸化によって空隙が粗大化する可能性があることが示唆された。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 20K04644 の助成を受けて実施されました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 松田芳範, 上田洋, 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および水分の影響、コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, 2010