

水セメント比及び湿度の違いがセメント微粉末中の C-S-H 及び $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の炭酸化に及ぼす影響

日本大学大学院理工学研究科 学生会員 ○青木 泰志
 日本大学理工学部 正会員 佐藤 正己
 日本大学理工学部 正会員 梅村 靖弘

1. はじめに

水セメント比(W/C)の低い高強度コンクリートは、十年以上経過しても殆ど炭酸化が進行しない¹⁾。これは、一般的に空隙量が少ないため二酸化炭素(CO_2)の拡散が遅いことが原因であると考えられている。一方でW/Cの違いによりセメントペースト中のC-S-Hの CaO/SiO_2 モル比(C/S比)が異なること²⁾や、炭酸化は試験中の環境条件(湿度)の違いにより、炭酸化の進行に影響を及ぼすことも知られている³⁾。また、W/Cが異なる試料を比較する場合は空隙構造の影響を大きく受けることから、これらを極力排除することが望ましい。従って本研究では、粒度をそろえた粉末試料を用いて試験を行うことで空隙構造による影響を最小限とした。また、炭酸化に伴う相組成を合わせて検討することで、W/Cの違いによって構造の異なる水和物の炭酸化抵抗性の検討を行った。併せて環境条件(湿度)の影響も検討した。

2. 研究概要

本研究で使用した材料を表-1、セメントペースト配合表を表-2に示す。試料はW/C20%・60% (以下C20・C60と表記)で作製し、20°Cで材齢28日まで封緘養生した後、粉碎シバットに試料を乗せ炭酸化養生を行った。粉末試料の粒度は平均粒径を2.0~3.5 μm に合わせ、 CO_2 との接触面積がほぼ同一となるようにした。養生条件は、促進養生(CO_2 濃度10%)とし、湿度は30%・60%・90%(以下H30・H60・H90と表記)の3水準とした。試験材齢はC20H30では7日・14日とし、炭酸化の進行が早いと予測されたC60H30では3日、H60・H90では1日、3日を加えた。炭酸化養生の材齢経過時には槽内から取り出した直後のバットの質量を測定し、乾燥及び吸湿、炭酸化による質量変化率を求めた。間隙水量は、試料を105°Cの炉に入れ、質量減少分を計算し求めた。水酸化カルシウム(CH)・炭酸カルシウム(CC)量は、熱重量示差熱分析計(TG-DTA)を用い、吸熱ピーク温度の質量減少量から定量した。セメント鉱物及び水和物の定量は、粉末X線回折(XRD)/リートベルト法により行った。総CC量は、TG-DTAの結果を用い、XRDの結果から求めたCalciteとVateriteの質量比から含有量を推定した。

以上の試験結果を用いて相組成を求めた。なお、試料中の結晶質水和物以外の水和物、水和物の炭酸化分解によって生じる非晶質を全て含めて非晶質とした。C-S-HのC/S比は、相組成より収支計算を行うことで求めた。

3. 実験結果

3.1. セメント反応率

各水準のセメント反応率の経時変化を図-1に示す。C20は促進炭酸化試験の経過に伴い反応率が高くなった。湿度が高いH90は、乾燥の影響が最も少ないため変化率が大きくなった。一方、C60は養生開始時点で100%となった。

表-1 使用材料

| 材料の種類 | 略号 | 備考 |
|--------------|----|---|
| 早強ポルトランドセメント | C | 密度=3.13g/cm ³ ブレン値=4720cm ² /g |
| 蒸留水 | W | — |
| 超高強度用高性能減水剤 | SP | ポリカルボン酸系 |

表-2 使用配合

| W/C | 単位量[kg/m ³] | | SP添加量 C×[%] |
|-----|-------------------------|------|----------------|
| | W | C | |
| 20 | 385 | 1925 | 1.5 |
| 60 | 653 | 1088 | |

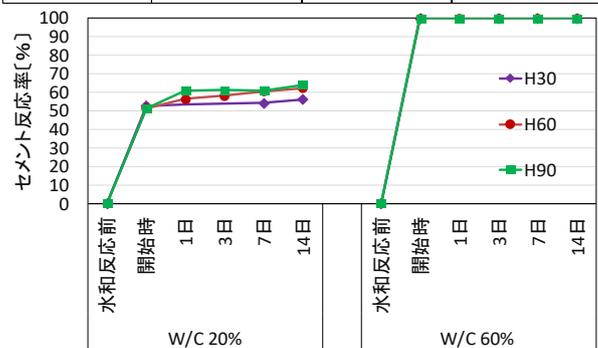


図-1 セメント反応率の経時変化

キーワード 炭酸化 C-S-H $\text{Ca}(\text{OH})_2$ W/C C/S 比

連絡先 〒101-8308 東京都神田駿河台1-8-44 日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻 TEL/FAX 03-3259-0682

3.2. 非晶質量及び水酸化カルシウム量の経時変化

各水準の非晶質量及び CH 量の経時変化を図-2 に示す。C20 では、非晶質量は概ね増加傾向を示した。これは炭酸化による C-S-H の分解だけでなく、セメントの反応による C-S-H の生成も影響を与えたと考えられる。一方で、C60 H60・H90 は減少傾向を示した。これは C-S-H の炭酸化によって、結晶質の CC が生成されたことが原因と考えられる。また、CH 量は湿度が高い程炭酸化による減少量が多くなった。これは小林らの研究⁴⁾から、炭酸化はセメント粒子間の水分を介して起こることが報告されているため、このような結果になったと考えられる。

3.3. 炭酸カルシウム量の経時変化

各水準の CC 量の経時変化を図-3 に示す。材齢 14 日の Calcite 量は同一湿度では W/C によらずほぼ同等であり、C60 では湿度が高い程生成量は多くなった。C-S-H は、炭酸化分解により Calcite と Vaterite が生成されるといわれている。今回の実験においても、材齢 3 日以降で C60H90 および C20 の Calcite 量は、CH 量が一定であるにも関わらず増加していることから、C-S-H の分解により Vaterite だけではなく Calcite も生成されていると考えられる。一方、C20 の Vaterite 量は、いずれの湿度でも C60 と比較して著しく少なくなった。また、C60 では、Vaterite 量は湿度が高いほど多くなった。以上のことから、W/C20%において生成された C-S-H は炭酸化による分解が起こりにくい可能性が示唆された。

3.4. C/S 比の経時変化

C-S-H の C/S 比の経時変化を図-4 に示す。C-S-H の分解が活発であった C60 の C/S 比は、材齢の経過に伴って大きく低下した。一方 Vaterite 量が少ない C20 も、わずかではあるが C/S 比が低下した。これは養生中における試料の乾燥と C-S-H の分解が複合して作用した結果であると考えられる。

4. まとめ

- (1) W/C20%や湿度 90%においては、セメントペースト中の C-S-H の炭酸化により Vaterite だけでなく Calcite も生成されていた。
- (2) 総 CC 量や Vaterite 量から判断すると、W/C20%のセメントペースト中において生成された C-S-H は炭酸化による分解が起きにくい可能性がある。

参考文献

- 1) 杉山央ほか：材齢 10 年以上を経過した高強度コンクリートの強度性状に関する研究，建築研究所年報，No.43,pp.29~30,2008
- 2) 五十嵐豪ほか：普通ポルトランドセメントを用いたセメント硬化体の比表面積と水和反応に関する基礎的検討，Cement Science and Concrete Technology, No.64, pp213~222, 2010
- 3) 白川敏夫ほか：コンクリートの中酸化と湿度の関係に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.18, No.1, pp723~728, 1996
- 4) 小林一輔ほか：コンクリート炭酸化のメカニズム，コンクリート工学論文集，Vol.1, No.1, pp.37~49, 1990

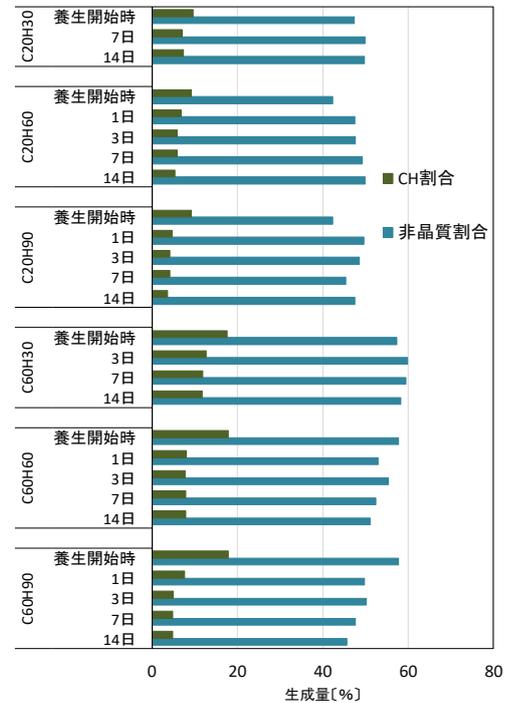


図-2 非晶質及び CH 量の経時変化

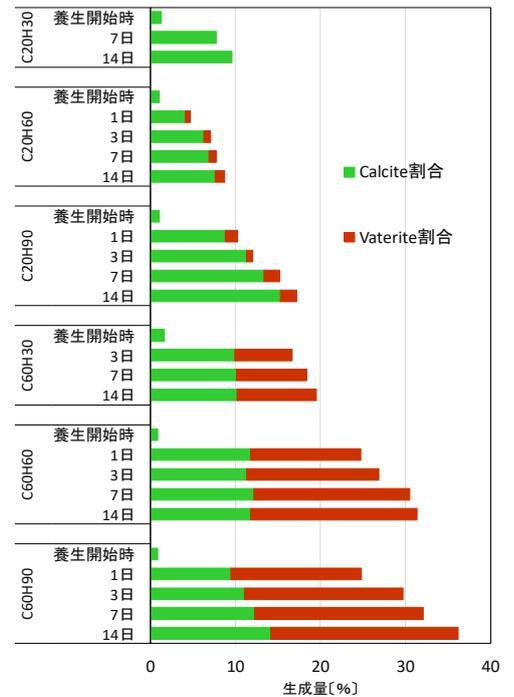


図-3 CC 量の経時変化

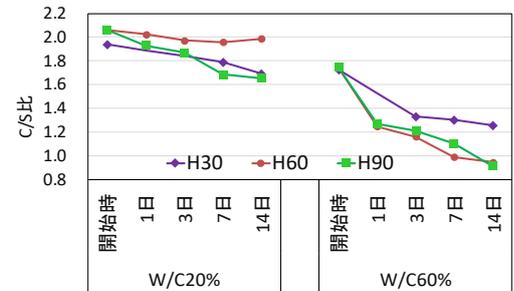


図-4 C/S 比の経時変化