

H-12

水セメント比及び湿度の違いがセメント硬化体中のC-S-Hの炭酸化に及ぼす影響

The Effects of Carbonation of Calcium Silicate Hydrate in different Water Cement Ratio and Humidity of Hardened Cement

○青木泰志¹, 佐藤正己², 梅村靖弘²

*Taishi Aoki¹, Masaki Sato², Yasuhiro Umemura²

Abstract: Concrete with low water-cement ratio hardly undergoes Carbonation. This is thought to be due to the slow diffusion of carbon dioxide. On the other hand, the CaO/SiO₂ (C/S) ratio of calcium silicate hydrate (C-S-H) in cement differs depending on the water cement ratio, and Carbonation progress rate varies depending on humidity. However, when comparing cements with different water cement ratios in Carbonation, the effect of voids is dominant. In this study, we experimented with powder samples and examined the carbonation resistance of hydrates produced at different water cement ratios. As a result, it was found that C-S-H produced with a low water cement ratio is difficult to be carbonized.

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(CO₂)の拡散が遅いことが要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硬化体中のケイ酸カルシウム水和物(C-S-H)のCaO/SiO₂モル比(C/S比)が要因であることが指摘されており²⁾、また、湿度条件の違いが炭酸化の進行度に影響を及ぼすことも知られている³⁾。本研究は、W/Cの違いと湿度条件によって変化するセメント水和物の相組成が炭酸化抵抗性へ与える影響について検討した。W/Cが異なるセメント硬化体中へのCO₂の拡散は、硬化体中の空隙構造の影響を大きく受けることから、この影響を極力排除するために、本実験では、セメント硬化体を微粉碎した粉末試料を用いて炭酸化試験を行った。

2. 研究概要

本研究で使用した材料をTable-1、セメントペースト配合表をTable-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、粉碎し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2.0~3.5μmに合わせ、CO₂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(CO₂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C60・H30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Figure1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

Table 1. Materials

| 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 |

Table 2. Mix proportion

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

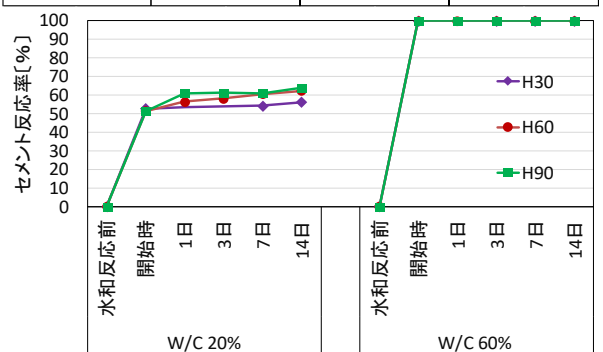


Figure 1. Cement reaction ratio

1:日大理工・院(前)・土木 2:日大理工・教員・土木

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。

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Figure2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、C60H60・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Figure3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Figure4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こり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

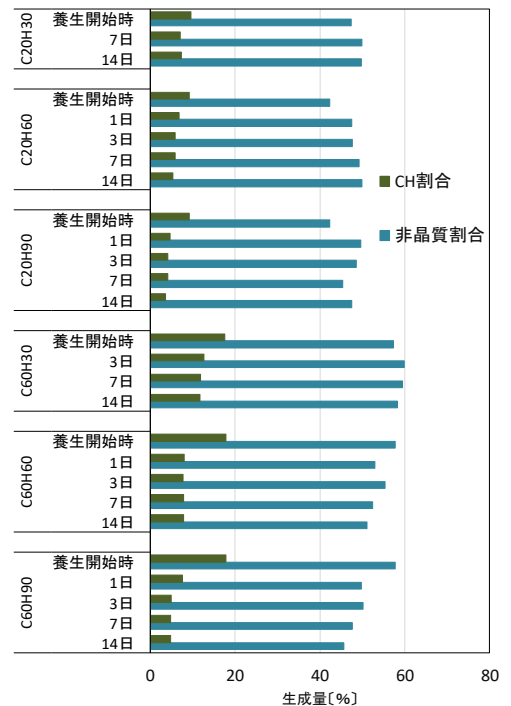


Figure 2. Amorphous ratio and CH ratio

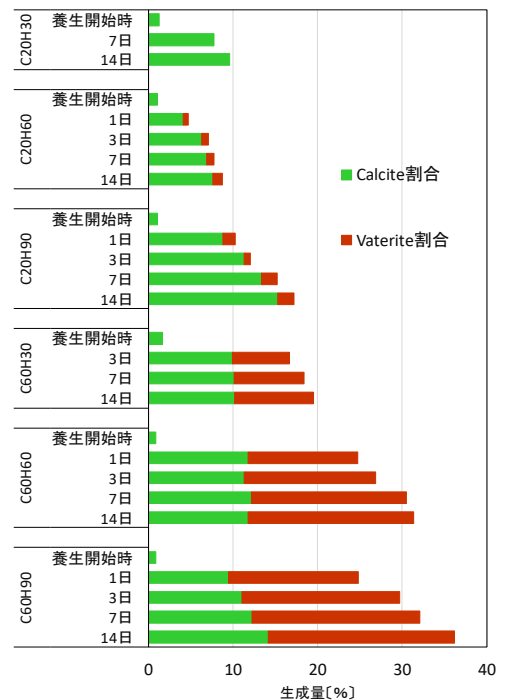


Figure 3. Calcite and Vaterite ratio

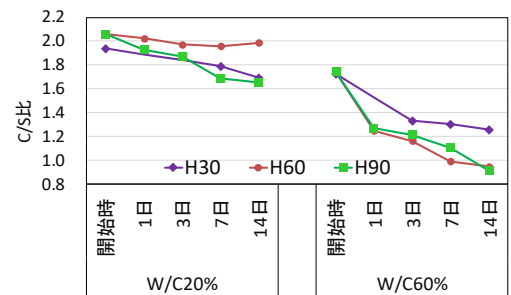


Figure 4. C/S ratio