

異なる自己治癒条件によるセメントペースト硬化体の微細ひび割れ制御に関する実験的研究

北見工業大学 正会員 ○ 崔 希燮

北見工業大学 正会員 井上 真澄

北見工業大学 学生会員 鎌田 美佳

北見工業大学 正会員 岡田 包儀

1. はじめに

コンクリートに発生するひび割れは、内部にCO<sub>2</sub>やCl<sup>-</sup>などといった劣化因子を浸透させるため、将来的にはコンクリート構造物に致命的な損傷を引き起こす懸念がある。そこでひび割れの発生や拡大を防ぐ方法の一つとして、コンクリートの自己治癒<sup>1)</sup>がある。この現象について、内部に至るひび割れ部分を修復しているかどうか現段階では検証されていない。本研究では、微細なひび割れを導入したセメントペースト硬化体の自己治癒性能を把握するため、セメント硬化体の物理的变化およびひび割れ表層部・内部と空隙の組織変化、析出物分析および最適な自己治癒条件について検討を行った。

2. 実験概要

セメントは普通ポルトランドセメント(C、密度：3.16g/cm<sup>3</sup>)を使用し、W/C=0.35, 0.45, 0.55で試験体を製作した。また乾燥作用により0.1~0.01mm程度の微細なひび割れを導入し、自己治癒前の試験体とした。表-1に実験内容を、表-2に本実験における自己治癒条件の詳細を示す。水道水と水酸化カルシウム(以下、Ca(OH)<sub>2</sub>)水溶液<sup>2)</sup>、各々にCO<sub>2</sub>マイクロバブル<sup>3)</sup>を加えたものを溜めた水槽に試験体を浸漬し、自己治癒前後で評価項目を測定することにより、自己治癒性能を評価した。浸漬期間は7日間とし、水温は30℃で自己治癒を進めた。

表-1 実験内容

| 手順 | 実験項目  | 評価項目                     |
|----|-------|--------------------------|
| A  | 自己治癒前 | —物理的特性変化：密度<br>—組織変化：MIP |
| B  | 自己治癒後 | —自己治癒析出物：TG-DTA          |

表-2 自己治癒条件

|        |                                    |       |         |
|--------|------------------------------------|-------|---------|
| 自己治癒条件 | Water (水道水)                        | W     | pH 7.0  |
|        | Ca(OH) <sub>2</sub> 水溶液            | Ca    | pH 11.7 |
|        | Water + Micro-bubble               | W+MB  | pH 6.1  |
|        | Ca(OH) <sub>2</sub> + Micro-bubble | Ca+MB | pH 8.8  |

3. 実験結果および考察

図-1に自己治癒前を0とした自己治癒後の密度変化率を示す。自己治癒前に比べ、W/Cの変化に関わらず、すべての条件で密度が増加する傾向にある。特に、自己治癒の開始から24時間後までの密度変化率が最も大きく、その後徐々に増加する傾向を示した。また、密度変化はW/Cの増加に伴い大きくなる傾向を示した。特に微細ひび割れ部において水和率が比較的高いW/C=0.55の場合、自己治癒の主な反応物である多量のCa(OH)<sub>2</sub>が自己治癒による析出物であるCaCO<sub>3</sub>の反応を促進させ、密度が増大したと推測できる。

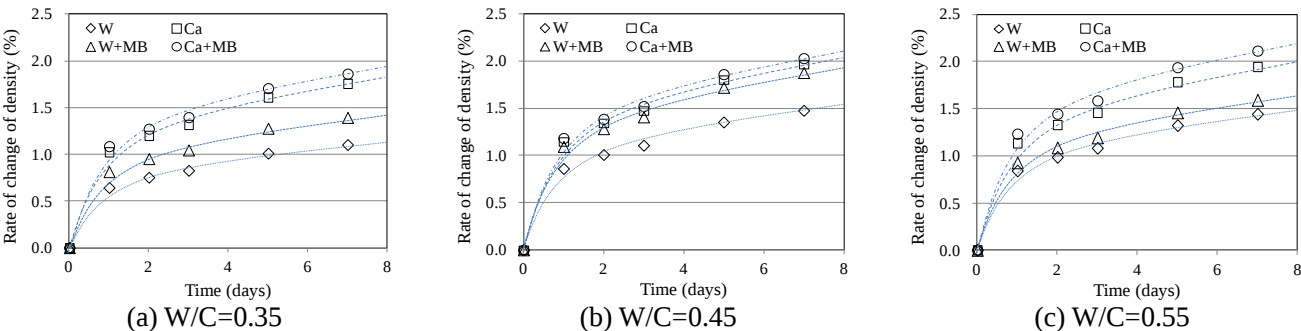


図-1 密度変化率

図-2 に水銀圧入ポロシメーター (MIP) による細孔分布の測定結果を示す。縦軸に累積細孔容積、横軸に細孔の直径として、試験体の空隙とともに残った微細ひび割れの検出を試みた。その結果、累積細孔量の比較は  $0.55 > 0.45 > 0.35$  の順番で、細孔直径  $0.01 \sim 0.1 \mu\text{m}$  と  $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$  付近において、W+MB と Ca+MB は、W と Ca に比べ、細孔容積が約 6-8% 程度減少する傾向を示した。これは、試験体に生じた主な微細ひび割れが細孔直径  $0.01 \sim 1 \mu\text{m}$  付近の空隙層に含まれ、W と Ca に残存するひび割れが検出されたと推定される。一方、W+MB と Ca+MB では、細孔直径  $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$  付近の空隙層がほとんど検出されなかったため、微細ひび割れおよび空隙が自己治癒による析出物および再水和によって修復閉塞したと考えられる。

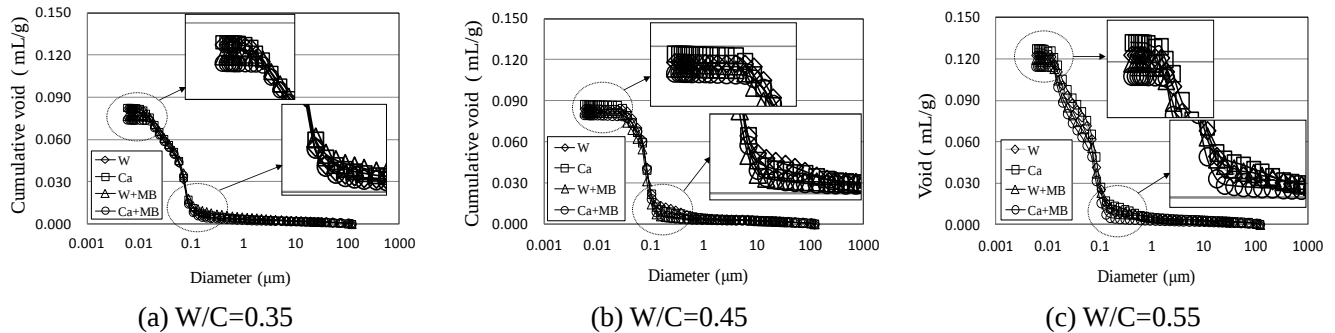


図-2 MIP 測定結果

図-3 に TG-DTA 分析による自己治癒前後の  $\text{Ca(OH)}_2$  および  $\text{CaCO}_3$  の構成比の算出結果を示す。すべての自己治癒条件で、W/C の変化に関わらず、自己治癒前よりも  $\text{Ca(OH)}_2$  の量は減少し、W と Ca の条件下で約 3~5% 程度、W+MB と Ca+MB の条件下では約 6~8% 程度の減少が確認された。同時に W+MB と Ca+MB においては、 $\text{CaCO}_3$  の占める割合が大きく増加した。この結果より、W+MB と Ca+MB の条件下では、 $\text{CO}_2$  マイクロバブルによって供給された  $\text{CO}_3^{2-}$  が、 $\text{Ca(OH)}_2$  の  $\text{Ca}^{2+}$  との反応を促し、 $\text{CaCO}_3$  をより多く生成したと考えられる。

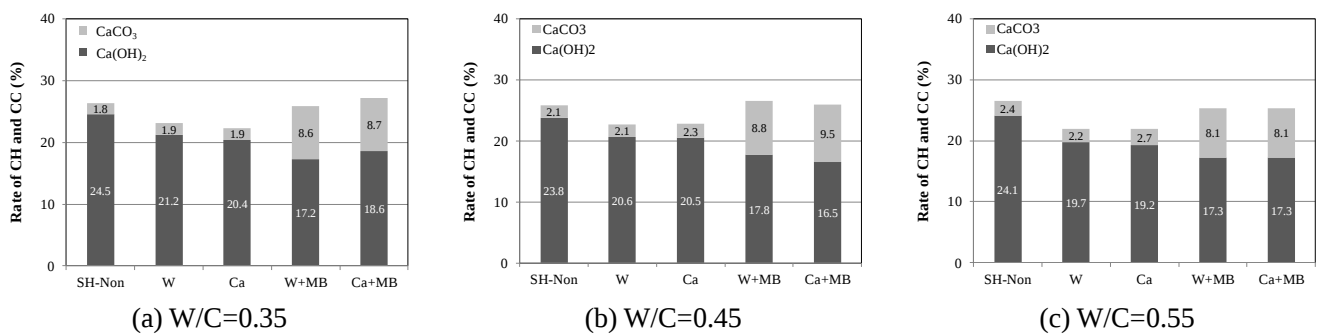


図-3 TG-DTA 測定結果

#### 4. まとめ

- 1) いずれの自己治癒条件によっても微細なひび割れ ( $0.1\text{mm}$  以下) の修復が可能であり、セメント系材料の自己治癒は微細ひび割れの表層および内部に析出物を発生させ、この析出物はほとんど  $\text{CaCO}_3$  であることが確認できた。
- 2) ひび割れ表層部および内部ともに  $\text{CO}_2$  マイクロバブルを供給した  $\text{Ca(OH)}_2$  水溶液の自己治癒条件で、 $\text{Ca}^{2+}$  と  $\text{CO}_3^{2-}$  の供給が  $\text{CaCO}_3$  の反応を促し、より効果的に自己治癒性能を発揮することが確認できた。

#### 参考文献

- 1) Neville A.M. : Properties of Concrete, Person Education Limited, p.328, 1995
- 2) Haoliang Huang, Guang Ye : Self-healing of cracks in cement paste affected by additional  $\text{Ca}^{2+}$  ions in the healing agent, Journal of intelligent Material Systems and Structures, 1-12, 2014.03
- 3) Han-sic Kim, etc. : Fundamental Study on Recycling of Low-quality Recycled Fine Aggregate using Carbonated Nanobubble Water, Proceedings of first international Conference on concrete sustainability, S3-1-4, 2013