

令和5年度特別研究テーマB(個人) 報告書

東京工業大学 博士後期課程 坂本 亮

1. 研究テーマおよび概要

「空隙形成メカニズムに着目したジオポリマーの収縮低減法の開発」

セメントに代わる新たな建設材料であるジオポリマー(以下, GP)について, 耐久性低下の要因となる収縮を低減させる手法を開発する. GP中の反応生成物の成長プロセスの解明を通じて, 収縮挙動に大きく影響を与える空隙構造の形成メカニズムを明らかにし, 空隙量, すなわち収縮量を制御できる配合設計法を確立する.

2. 訪問先

アリゾナ大学(アメリカ合衆国アリゾナ州ツーソン)

3. 旅程

2023年10月25日~2024年3月31日(予定)

本報告書では執筆時までの成果について述べる.

4. 研究背景および目的

GPは, アルミナシリカ粉末とアルカリシリカ溶液の脱水縮重合反応を基本とする固化体である(図-1). セメントに比べて製造時のCO₂排出量を大幅に抑制できることに加え, 耐酸性, 耐高温性, 有害重金属や放射性物質の固定など, セメントと比較して優れた特性を有しており, セメントに代えてコンクリート中の結合材として用いることで, カーボンニュートラル, インフラ長寿命化, 原発汚染水, 原発廃炉などの国家的課題への貢献が期待されている. しかし, GPは未だ研究段階の材料であり, 実用化に向けて様々な検討が進められている一方で, 克服途上の課題も存在する. 特に大きな課題として, 収縮の制御が難しいことが挙げられる. コンクリート構造物にとって, 収縮はひび割れを引き起こし, 耐久性を低下させる大きな要因である. GPの建材利用を見据えた場合, 収縮挙動・メカニズムの解明および収縮制御法の確立は必要不可欠である.

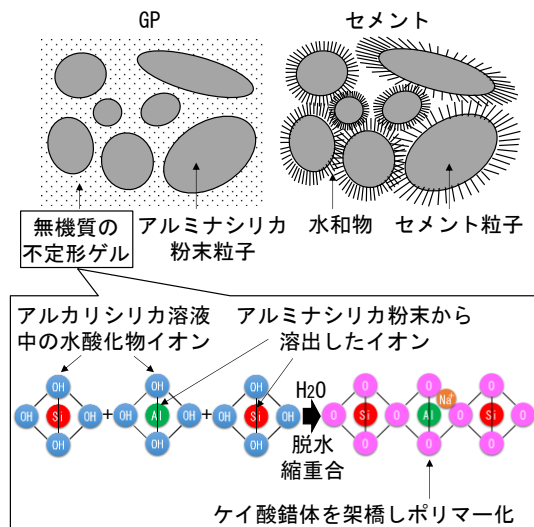


図-1 GP 固化体および固化メカニズムの模式図

GP の収縮には複数の収縮駆動力が複合的に作用していると考えられるが、本研究においては、固化体が乾燥することにより生じる乾燥収縮の低減を目指す。GP における乾燥収縮は、空隙からの脱水によって生じた毛細管張力によって生じるものと考えられる。すなわち、乾燥収縮を低減するためには、空隙量の低減により毛細管張力を低減することが有効と考えられる。しかし、反応の特殊性や材料の多様性から、GP 内の空隙形成メカニズムは未だに明らかになっていない。そこで本研究では、GP における詳細な空隙形成メカニズムの解明を通じて、空隙量を制御できる配合設計法を確立し、最も空隙量を低減した配合の実現を目指す。

5. 研究進捗および今後の予定

GP 中の詳細な空隙形成メカニズム解明のため、訪問先では反応生成物の成長プロセスの解明に注力している。そのための手法として、顕微ラマン分光法を用いた GP ペーストの In-situ(その場)観察を行っている。顕微ラマン分光法とは、光学顕微鏡とラマン分光法による化学的な定性分析を組み合わせた手法である。光学顕微鏡により得られる空間情報とラマン分光法により得られるラマンスペクトル情報を組み合わせることで、指定した範囲における化学物質の分布および濃度をマッピングしたラマンイメージを得ることができる。本手法により GP 内の反応生成物の分布を明らかにし、加えて In-situ の定点観察によりその分布の時間変化を明らかにすることで、反応生成物の成長プロセスを解明できると考えている。

現時点での成果として、反応生成物を示している可能性が高いラマンスペクトル、およびその分布の時間変化が得られている(図-2)。なお、ラマンイメージにおいて反応生成物が存在している部分は明るい色で示されており、時間は練混ぜ開始からの経過時間である。しかし、この結果からは、分布が時間経過とともに広がるといった様子をはっきりと確認できな

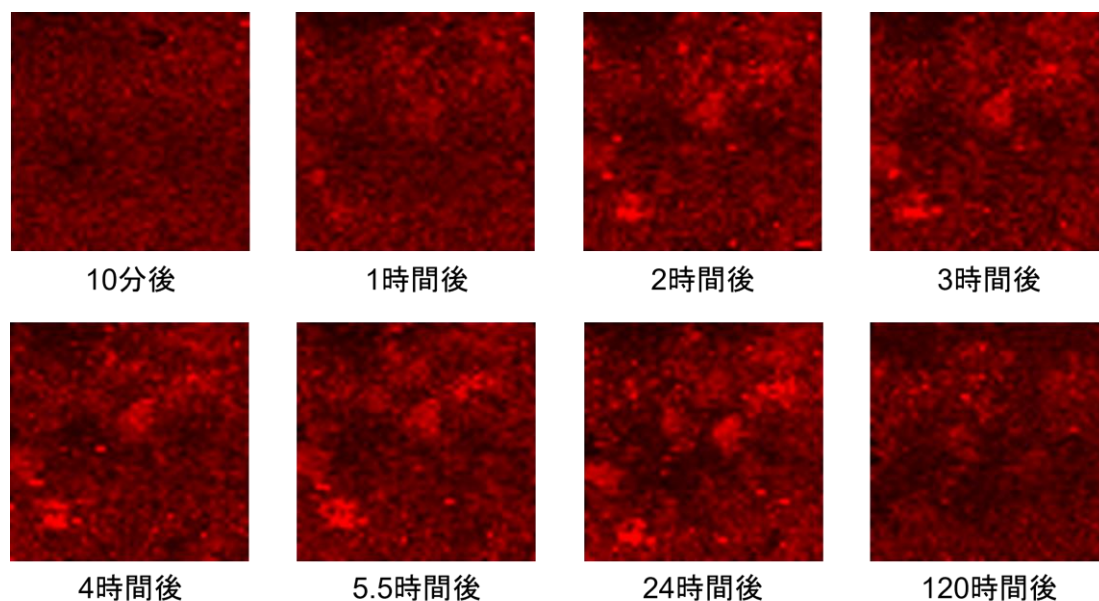


図-2 反応生成物のラマンイメージ

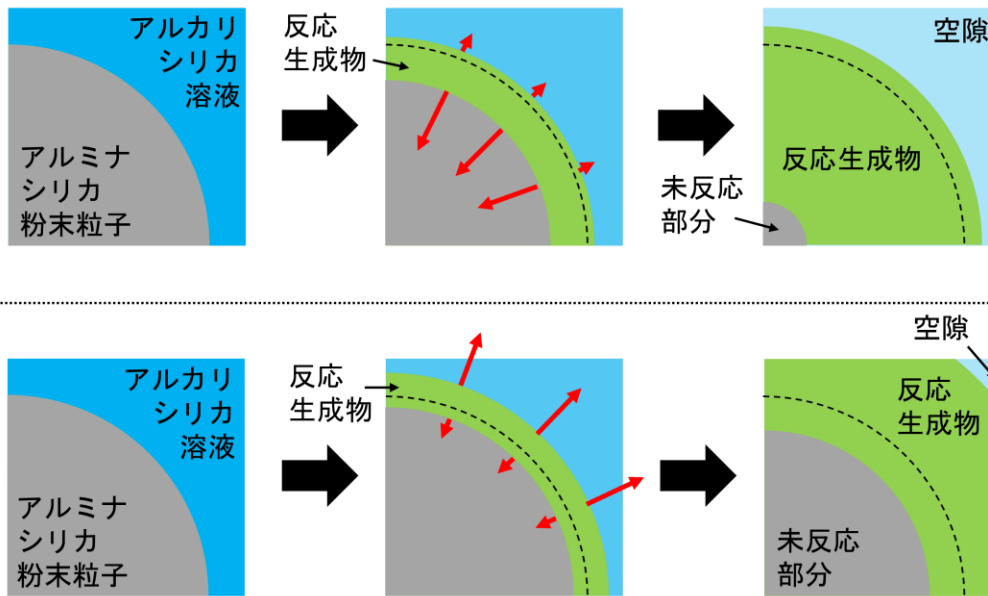


図-3 配合による反応生成物の成長プロセスの違い

い。これは、GPの固化反応速度が緩やかであること、また時間経過とともにサンプル表面が沈下し、ラマン分光の焦点が変化したことで、厳密な定点観察ができていないことが主な原因であると考えられ、現在はこれらの問題を解決するために試行を重ねている。

今後は、まず上記の問題の解決に努め、解決後は様々な配合のGPを用いてIn-situ観察を繰り返し、配合による反応生成物の成長速度や分布の違い、および空隙構造の違いを明らかにしていく予定である(図-3)。この結果をもとに、反応生成物の成長プロセス、ひいては空隙構造に対する影響因子を明らかにすることで、空隙量を制御できる配合設計法の提案に繋がりたいと考えている。

6. 何を感じ、何を得て、今後どう活かしたいか

アリゾナ大学での研究活動を通じて感じたことは、日本と比較して分野間の結びつきが強いということである。特に土木分野と材料分野との結びつきは強固であり、所属する研究室の学生の過半数が実は材料分野の学生である。材料分野との密な連携によって、新素材や新工法、また環境負荷低減や持続可能性などコンクリート材料や施工に関する研究が盛んに行われている。中でも、多種多様な分析装置を用いたミクロスケール分析が盛んに行われており、筆者もその恩恵にあずかって研究を遂行することができている。筆者はこれまで主にセメント系材料のマクロスケール特性に注目してきたが、本研究活動を通じてミクロスケール分析手法およびセメント系材料のミクロスケール特性に理解を深めることができた。この経験を活かし、今後はマルチスケールな視点で事象を捉え、事象の本質を見極める力を身につけていきたい。

また特筆すべき点として、宇宙開発分野と密に連携した研究が行われていることが挙げ



写真-1 大型 3D プリンタ



写真-2 小型 3D プリンタ

られる。筆者は将来的に GP をはじめとするセメント系材料の宇宙利用に向けた研究に取り組みたいと考えており、将来の研究に向けた連携基盤の構築につながっていると感じる。今後はこの連携基盤をより確固たるものにするとともに、さらに他の分野とも連携を図り、分野横断的な視点を養っていきたい。

加えて、日本と比較して研究開発が進んでいると感じた特徴的な技術として、3D プリンティング技術が挙げられる。ここ数年、日本でも認知度が高まりつつある技術であるが、構造物に要求される性能が日本ほど厳しくない米国はより技術が進歩しやすい環境にあると言えるだろう。研究室でも 3D プリンタを大型のものと小型のものをそれぞれ 1 台ずつ保有しており、それらを用いた 3D プリンティングの研究が進められている(写真-1, 写真-2)。筆者も実験に参加することで、3D プリンティングの利点や課題を実感することができた。ただし、研究開発が進んでいるとはいえ未だ発展途上の技術であり、研究の余地は大いにある。また、極限環境における施工方法として、セメント系材料の宇宙利用に向けた大きな一助となる可能性が高いことから、ここで得られた知見を活かし、今後 3D プリンティングに関する研究にも携わってみたいと考えている。

研究活動のみならず日常生活の中で感じることとして、ここで働く人々や学生の多くは仕事と私生活のメリハリがしっかりしているということが挙げられる。時間や場所ではっきりと境界線を引くことで、どちらも全力で取り組むことができるようだ。これに倣い、筆者もメリハリを意識するようにしたところ、以前よりも充実した生活を送れていると感じる。今後研究者として生きていく中で、この意識は常に持つておくように心掛けたい。

最後に、本研究を助成いただいた前田記念工学振興財団をはじめ、サポートいただいたすべての方々に感謝の意を表します。