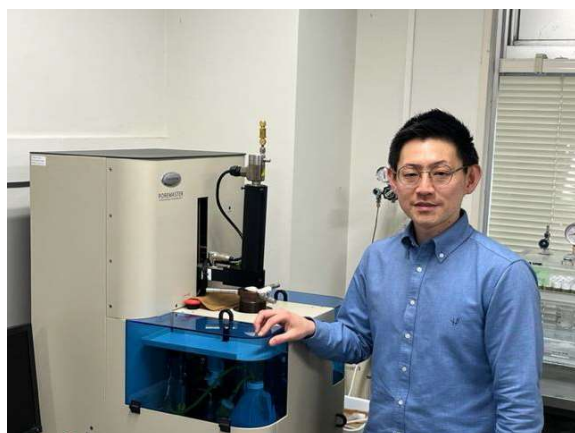


山梨中央銀行は、大学等の研究機関が保有する技術シーズと企業ニーズを結びつけ、新技術の開発や新規事業の創出を支援するリエゾン（橋渡し）活動に取り組んでいます。

本リポートが、中小企業の皆さまが抱える経営課題の解決や新産業創出の“ヒント”となり、ビジネスチャンスにつながればと考えております。

<第95回>



研究室の佐藤先生

コンクリートの性能・耐久性 評価と劣化メカニズムの解明

～セメント水和物に着目した
セメント系材料の研究～

佐藤 賢之介先生

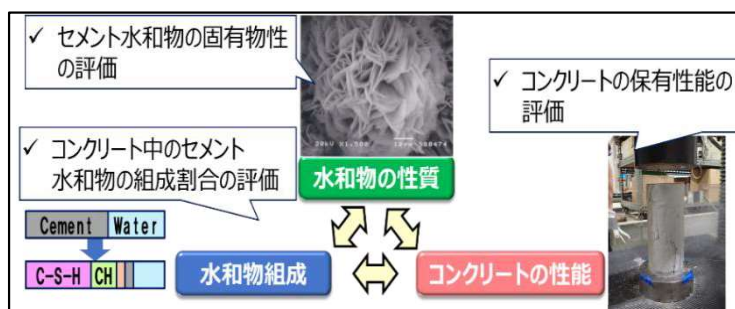
（工学域 土木環境工学系 助教）

■ 研究の概要について教えてください。

私の研究では、土木・建築を含む建設分野において、最も主要な材料であるコンクリートを対象に、その性能評価や耐久性を評価する研究を、コンクリートの最小構成要素であるセメント水和物の観点から化学的に研究しています。

コンクリートは、土木・建築の分野を問わず、建設材料として広く用いられていますが、構成材料であるセメントと水が化学反応を生じることにより“セメント水和物”と呼ばれる化合物が形成され、硬化します。

コンクリートがどのようなセメント水和物でできているのか、そして、その水和物が物理的、化学的にどのような性質を持っているのかについて分析を行い、ミクロのセメント水和物を理解することで、コンクリートの性能・耐久性の評価や劣化メカニズムの解明を行っています（図1）。



【研究のアプローチ手法】【図1】

【研究テーマ】

- ・コンクリートの硫酸塩劣化メカニズムの解明など

■具体的にはどのような研究なのでしょうか？

コンクリートはメンテナンスが不要で半永久的に使用可能であると思われるかもしれませんが、実際のコンクリート構造物は、周囲の環境からさまざまな作用を受けて経年劣化を生じて、何もメンテナンスをしなければ性能が低下してしまいます。

経年劣化現象は多岐にわたりますが、例えばコンクリート中の骨材に化学反応性のある岩石が使用されていた場合、セメントや環境から供給されるアルカリ成分とコンクリート中の岩石が反応して膨張を生じ、ひび割れが激しい場合には、鉄筋の破断を生じさせてしまいます。この劣化をアルカリシリカ反応（ASR）と呼びます。

また、コンクリート二次製品（工場で製造したコンクリート製品）などで初期養生として蒸気養生などの高温作用を受けた場合、コンクリート硬化後に「エトリングライト」と呼ばれる膨張性の鉱物が多量に生成されて、著しい膨張・ひび割れを生じることがあります。この劣化現象は、Delayed ettringite formation (DEF)、日本語では「エトリングライトの遅延生成」と呼ばれています。

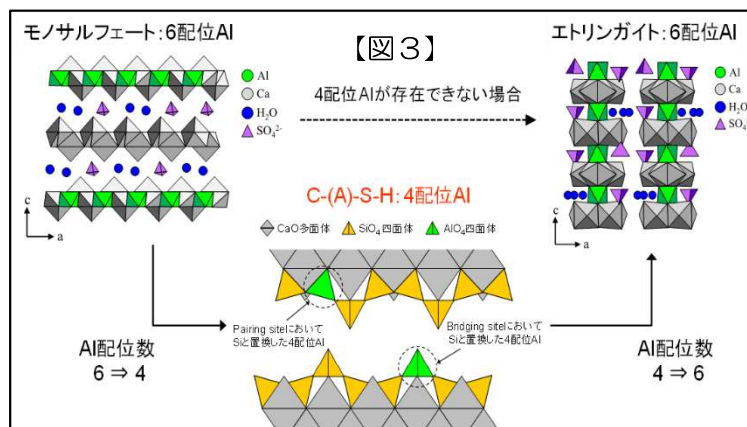
この ASR や DEF という劣化現象は、その反応や膨張発生のメカニズムが不明な点が数多く残されています。コンクリートの維持管理を適切に行うには、劣化の進行を高い精度で予測し、コンクリートの性能変化を評価することが必要ですが、そのためには、劣化メカニズムを正確に明らかにしておく必要があります。

■ ナノ・ミクロスケールの“セメント水和物”の観点から、コンクリートの性能評価や劣化メカニズムを解明する研究に取り組んでいるとのことですが、具体的にはどのようなことでしょうか？

コンクリートはセメント・水・

砂・砂利を基本的な材料として練り混ぜたもので、セメントと水との化学反応により硬くなります。セメントと水が反応したセメントペーストがのり

のような役割をして、砂と砂利を結合しています。（図2）



セメントペーストはさまざまな“セメント水和物”によって構成されており、ケイ酸カルシウム水和物（C-S-H）、モノサルフェート、エトリングライトなどと呼ばれるものが存在し、これらがコンクリートの最小構成要素になっています。

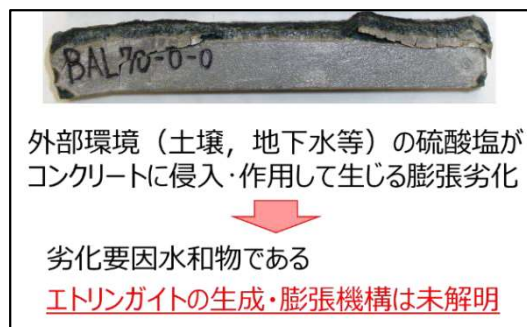
（C-S-H）が共存することにより、エトリングライトが迅速かつ多量に生成するなど、C-S-Hによるエトリングライト生成促進効果を世界で初めて実証しました。（図3）

以上を踏まえるとセメントペースト、ひいてはコンクリートの性能を決定するのは、化学反応によって形成されるセメント水和物の種類やその量と考えられます。

ASR については、アルカリシリカゲルという生成物が形成されて膨張を生じますが、どのような条件でどのようなアルカリシリカゲルが生成されるのか、ひいてはどのような膨張性を示すのかということが整理されていません。そこで、化学組成や温度などをさまざまに変化させて、アルカリシリカゲルを人工的に合成して、その物性を評価する研究を行っています。

DEF については、モノサルフェートというセメント水和物に硫酸イオンが作用することで、エトリンガイトが生成して膨張劣化が生じます。（図4）

しかし、これも詳細なメカニズムが不明であるため、モノサルフェートやエトリンガイトを合成して、その生成条件や膨張性の評価を行っています。



【硫酸塩劣化】【図4】

■廃棄物を利用した低環境負荷のコンクリート開発への応用も可能とのことですが、将来どのような分野での活用が期待できますか。その可能性について先生の考えはどうでしょうか？

コンクリートに使用されるセメントは、もともとは石灰石などの天然資源を原材料として 1400℃以上の高温で焼成する必要があるため、大量のエネルギーを必要として CO₂ を大量に排出して製造されます。

日本では、現在、セメントの原材料や焼成の際の燃料として、他の産業から排出される廃棄物や副産物を大量に受け入れています。例えば、高炉スラグや石炭灰、下水汚泥、建設発生土、都市ごみ焼却灰、廃油、廃タイヤなどを有効利用しており、セメント 1 トンあたり 500kg 程度の廃棄物・副産物を活用していると言われています。

また、災害廃棄物なども積極的に受け入れており、循環型社会、自然共生社会、低炭素社会などのいわゆる持続可能な社会形成に大きく貢献するものです。コンクリートとしても、セメントの代替として高炉スラグ微粉末や石炭焼却灰の一種であるフライアッシュを一部置き換えて、副産物の有効利用がすでになされています。

このようにコンクリートは、廃棄物や副産物を有効利用しようという土壌があるため、あらゆる産業分野での廃棄物や産業副産物を受け入れて利用できる可能性を持っていると言えます。

現在は CO₂ を吸収する能力の高いコンクリートや、CO₂ ガスとの反応により硬化するコンクリート等が研究・開発されており、コンクリートは低炭素社会やカーボンニュートラルの実現に、大きく貢献するポテンシャルを十分に有していると考えています。

■研究による課題は何ですか？

セメント水和物を用いた劣化メカニズムの解明に関しては、合成物を用いた室内実験において、これまでに明らかにされていなかった事象を発見することができています。

一方で、実際のコンクリート中で同じ事象が発生する／発生しているか否かについては、十分検証できていないため、今後取り組むべき課題と考えています。

■具体的にはどのような企業ニーズが想定されますか？

基本的にはセメントメーカー、コンクリート二次製品、建材メーカーさんでご活用いただけるのではないかと考えています。

過去には、建設コンサルタントとの共同研究で、新しい混和材を利用した低収縮型コンクリートの開発・性能評価を行った経験があります。



【コンクリート構築物】

■地域（企業）との連携（共同研究等）の可能についてお聞かせください。

コンクリート二次製品、建材メーカーさんと連携ができればと思っています。

産学連携可能なテーマとしては、コンクリートの経年劣化予測ツールの開発や高耐久、低環境負荷（廃棄物利用）、機能性材料などの新しいセメント系材料・コンクリートの開発などが挙げられます。

廃棄物や副産物の処分に困っている、あるいは有効利用したいとお考えの企業がありましたら、無機材料であれば有効利用できる可能性は十分ありますので、ご相談いただければ幸いです。

（取材～地域連携コーディネータ 内藤）

山梨大学との共同研究、技術的な相談や指導のご要望は

山梨中央銀行 地方創生推進部 山梨未来創生室

TEL: 055-224-1091 まで、お気軽にご連絡・ご相談ください。