

納豆型バクテリアを用いたコンクリート構造物の自己修復技術の開発

東京理科大学 ○今本啓一\*  
東京理科大学 清原千鶴2\*\*

自己修復	コンクリート	納豆菌
人工軽量骨材	強度	透水性

研究の目的

本研究は、コンクリートに内在させたバクテリアの生命活動として生じる炭酸カルシウムを、ひび割れ部に自律的に充填させることによってコンクリートの自己修復を図るものである。バクテリアを用いた補修方法の最大の特徴は、そこにバクテリアが存在し続ける限り、ひび割れが拡大しても生命活動の一環としてそこをさらに充填し続けることができる点にある。本研究では炭酸カルシウムを析出する身近で安価なバクテリアとして、納豆菌に着目し、この納豆菌をコンクリート中に輸送する（内在させる）方法およびその効果を検証したものである。

研究の内容

1. 人工軽量骨材による納豆菌のコンクリート中への輸送

納豆菌は、自己の生命活動の過程として負に帯電したコンクリート中のカルシウム ( $\text{Ca}^{2+}$ ) を吸着して炭酸カルシウム ( $\text{CaCO}_3$ ) を析出する。この納豆菌をコンクリートに輸送するために納豆菌を格納するペレットとして、本研究では人工軽量骨材を用いた（図1）。コンクリートの練混ぜ方法を図2に示す。

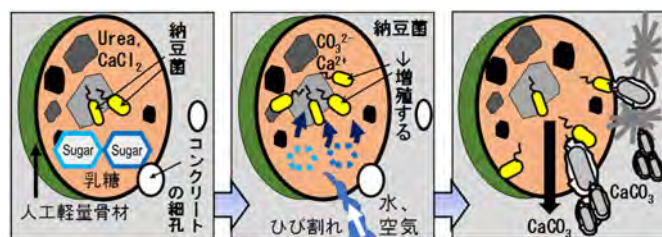


図1 人工軽量骨材にける納豆菌の活動の概念図



図2 練混ぜ方法

図3に見られるように、ひび割れを発生させたコンクリートのひび割れ部には、白色の析出物が見られる。

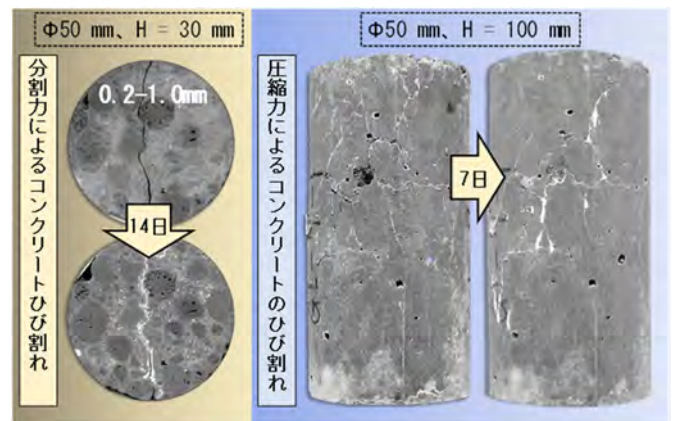


図3 納豆菌によるひび割れの修復

この析出物を走査型電子顕微鏡 (SEM) で観察したところ、図4に見られるようなバクテリアの痕跡が確認され、さらにその周辺部分を経時的にXRDによる成分分析したところ、図5に示されるように、時間とともにコンクリート中の水酸化カルシウム ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) が低下し、代わりに炭酸カルシウム ( $\text{CaCO}_3$ ) が増加していることが明らかとなった。

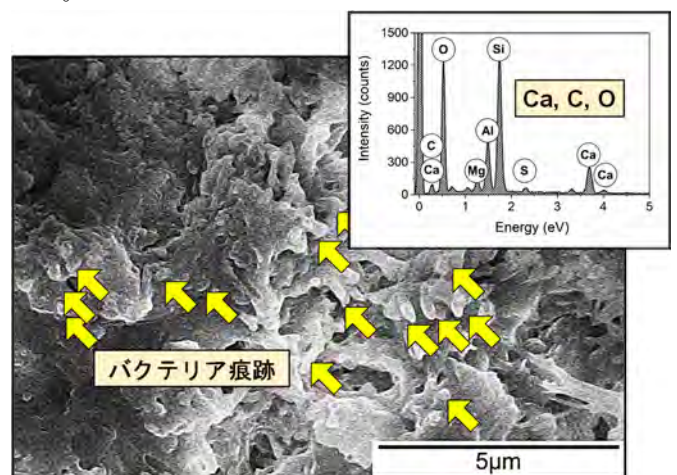


図4 析出物の走査型電子顕微鏡 (SEM)

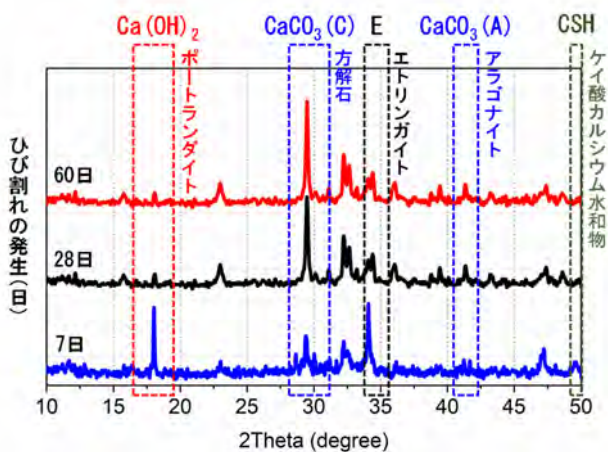


図5 生成物のXRD分析

これは細菌の活動によって  $\text{CaCO}_3$  が析出されていることを示しており、コンクリート中のコンクリート用骨材として汎用的に用いられる人工軽量骨材に細菌（納豆菌）と Lactose（糖分）を共存させ、コンクリートとして練り混ぜることによって、納豆菌をコンクリート中に成功裏に輸送できたと考える。糖分自体は、図6に見られるように、セメントの水和反応を阻害し硬化不良を生じさせるが、納豆菌は糖分を養分としてこれを消費して活性化し、両者を共存させることによって、菌の発育と水和反応阻害を抑制する最適な組み合わせとしてこの系は位置付けられることを実証した。

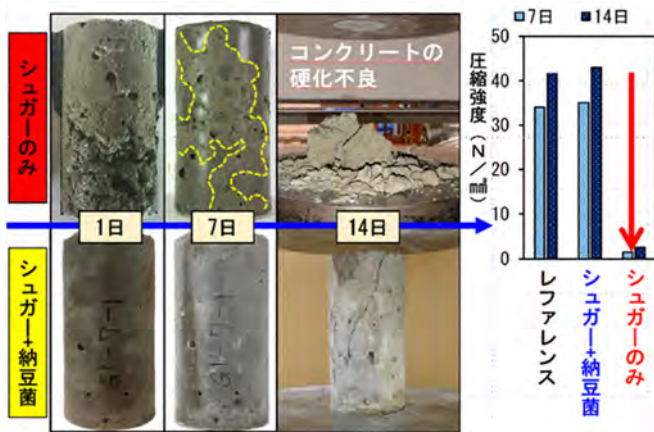


図6 糖分のみによる硬化不良

## 2. ひび割れ修復効果の透水試験による検証

コンクリートの耐久性に影響する透水性に着目して自己修復効果を評価した。透水量の測定は図7に示されるような装置を用い、水位を一定に保つことにより、コンクリートのひび割れ部に一定の水圧が作用するように調整した。

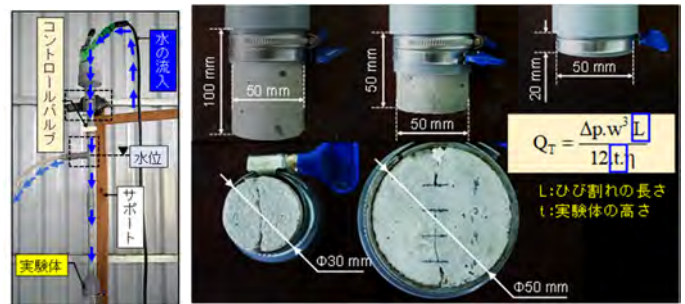


図7 透水試験の概要

試験結果を図8に示す。図に見られるように、ひび割れが生じた試験体では透水量が著しく大きくなるものの、細菌による修復によって、ひび割れ発生前の状態にまで透水性が回復していることが分かる。

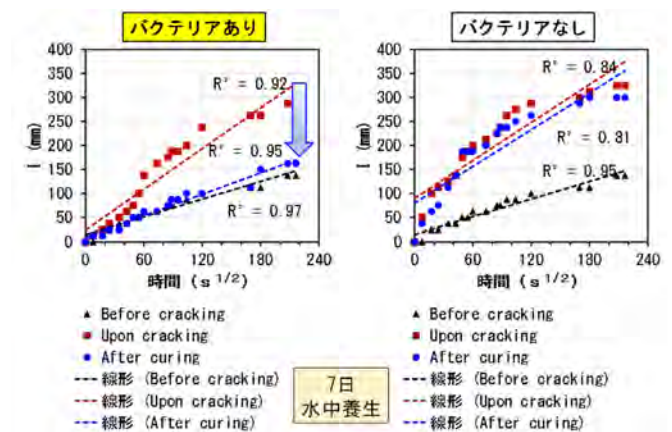


図8 透水量の変化

## 研究の成果、新発見

コンクリート用骨材として汎用的に用いられる人工軽量骨材に細菌（納豆菌）と Lactose（糖分）を共存させ、コンクリートのひび割れ部において  $\text{CaCO}_3$  を析出させてひび割れを埋めることに成功した。糖分自体はセメントの水和反応を阻害するが、納豆菌は糖分を養分としてこれを消費して活性化し、両者を共存させることによって、菌の発育と水和反応阻害を抑制する最適な組み合わせとしてこの系は位置付けられ、この効果を透水性の観点から評価した。

## 今後の予定

本技術を実用化に向けて展開したい。

## 謝辞

本研究により、共同研究者（当時）の Nguyen Ngoc Tri Huynh 氏は、2020年度に東京理科大学において博士（工学）を取得しました。本研究の助成をいただいた大成学術財団に深甚なる謝意を表します。

\*東京理科大学工学部建築学科・教授・博士（工学）

\*\*東京理科大学工学部建築学科・嘱託講師・博士（工学）

\*Tokyo University of Science, Professor

\*\* Tokyo University of Science, Lecturer