

研究助成実施報告書

助成実施年度	2020 年度
研究課題（タイトル）	省エネルギー・高効率な解体工法開発のためのコンクリート破壊メカニズムの解明
研究者名※	高橋 駿人
所属組織※	東京理科大学 理工学部土木工学科 助教
研究種別	研究助成
研究分野	都市環境工学
助成金額	150 万円
発表論文等	

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

() は、報告書提出時所属先。

大林財団 2020 年度研究助成実施報告書

所属機関名 東京理科大学
申請者氏名 高橋 駿人

研究課題	省エネルギー・高効率な解体工法開発のためのコンクリート破壊メカニズムの解明
<p>(概要) ※最大 10 行まで</p> <p>本研究は、コンクリートに制御した応力を加えて、制御したひび割れを発生させて静的な解体に導く工法の開発を最終目標として、その起点として変形・破壊挙動を理解することを目的に実施した。実験では、鉄筋を模擬した鋼線の有無や砂セメントといった材料パラメータを設定したセメント硬化体を用意し、それらが制御した応力下で変形・破壊挙動に与える影響を検討した。観察は、大型放射光施設 SPring-8 内のビームライン BL28B2 内で実施できる高分解能 X 線 CT 法で行い、応力載荷状態を再現するために測定治具を加工して観察を行った。結果から、砂セメントを混入したセメント硬化体の場合は、鋼線の有無に関わらず骨材を起点にひび割れが発生し、砂セメント比が低い場合はセメントペーストとの界面から発生するが、砂セメント比が高い場合は骨材から破壊することが示唆された。今後は、供用している構造物を想定し、環境作用を受けて変質した場合を検討する必要があると考えられる。</p>	

1. 研究の目的

現在、国内では老朽化したコンクリート構造物が大量に存在しており、維持補修や供用終了の際にはコンクリートの解体が必要となる。現状は大型重機を利用した解体作業がほとんどであり、騒音、粉塵等の環境問題のために、施工時間の制限など解体工事は大きな制約を受けている。また解体で排出されるコンクリート塊は、鉄筋を除去した後に、道路の路盤材やコンクリート用再生骨材として利用が進められている。これらの製造では、品質確保に課題が多い。これら課題の解決のため、コンクリートブロックを任意形状に解体し、ダムなど大容積の中心材に利用するなどの、新たな解体工法開発へのニーズは高いと考えられる。そこで本研究は、脆性材料であるコンクリートが、内部応力を高めるとひび割れを生じて破壊できることを利用し、内部を起点にひび割れ発生応力を導入できる手法を開発し、ひび割れ発生メカニズムをマクロ/ミクロな観点で解明することを目的とする。本研究の遂行により、ひび割れを制御して解体コンクリートを発生させる、効率性の高い解体工法の開発が推進できると考えられる。

建設業者が実践している解体技術は、環境負荷を低減したマクロな解体の新技术は提案されているが、小分けに切断したブロックとしてのコンクリート材料として再利用するための最終処理段階の技術は未発達である。また、これまでに解体に着目した研究に、電磁誘導加熱を利用した手法や、静的破砕剤を利用した手法がある。しかし、これらは大きな発熱を伴い内部に高い水蒸気圧が発生し危険であるとともに、ひび割れ発生制御は不可能である。そこで本研究の目標は、コンクリートに制御した応力を加えて、制御したひび割れを発生させる静的な解体工法の開発で

ある。ひび割れの発生を制御することで、任意形状にコンクリートを解体し、再利用を簡単にすると考えられ、ここに本研究の独創性がある。本申請では、その開発の起点として、コンクリート供試体を外部から応力を加える手法を検討し、その変形・破壊挙動の理解より、制御可能な解体技術工法の開発に資する知見を取得することを目的とする。具体的には、コンクリートの外部から応力を制御し、破壊の起点となる微小なひび割れの発生とその伝播について、独自の技術である高分解能 X 線 CT や微細な領域での鉱物組成に着目して内部から観察し、知見を取得する。

2. 研究の経過

本研究では、大型放射光施設 SPring-8 内のビームライン BL28B2 で実施できる高分解能 X 線 CT 撮影の際に、ひび割れの進展メカニズムを解明するために、応力載荷状態を再現することが最大の課題であった。当初は、 piezoアクチュエータで制御することを想定していたが、ビームラインハッチ内での設置が、サイズや配線等の都合から困難であったため、後述のような測定治具の改良で対応した。

図-1 に改良前後の測定治具を示す。従来は、測定治具および供試体ホルダーが一体となっており、作用を受けた供試体に X 線を照射して測定を行っていた。しかし、本システムの仕様では応力制御の再現は困難であった。そこで、測定治具の側面から据え付けたボルト式の回転制御部および供試体への押込圧子が連結したシステムの測定治具を製作した。供試体と圧子が接触後に、ボルトの回転角度を制御することで、応力状態を段階的に増加できる。本測定治具を用いて、後述する水準で供試体破壊試験を実施した。

コンクリート中のひび割れの発生と伝播に関して、影響する因子として考えられるのは、鉄筋および骨材と、各材料間の界面の存在である。そのため、セメントペースト単味および砂セメント比を変えたモルタル供試体、鋼材を模擬したピアノ線を埋設したモルタルを作製した。使用した材料は、セメントは普通ポルトランドセメント（密度： 3.15 g/cm^3 ），細骨材は秩父産の石灰石砕砂（絶乾密度： 2.59 g/cm^3 ），水は上水道水（密度： 1.00 g/cm^3 ），ピアノ線はニラコ社製のピアノ線 $\phi 0.3\text{mm}$ である。供試体のサイズは、測定に適するよう $\phi 3\text{mm} \times 15\text{mm}$ 程度とした。図-2 に各

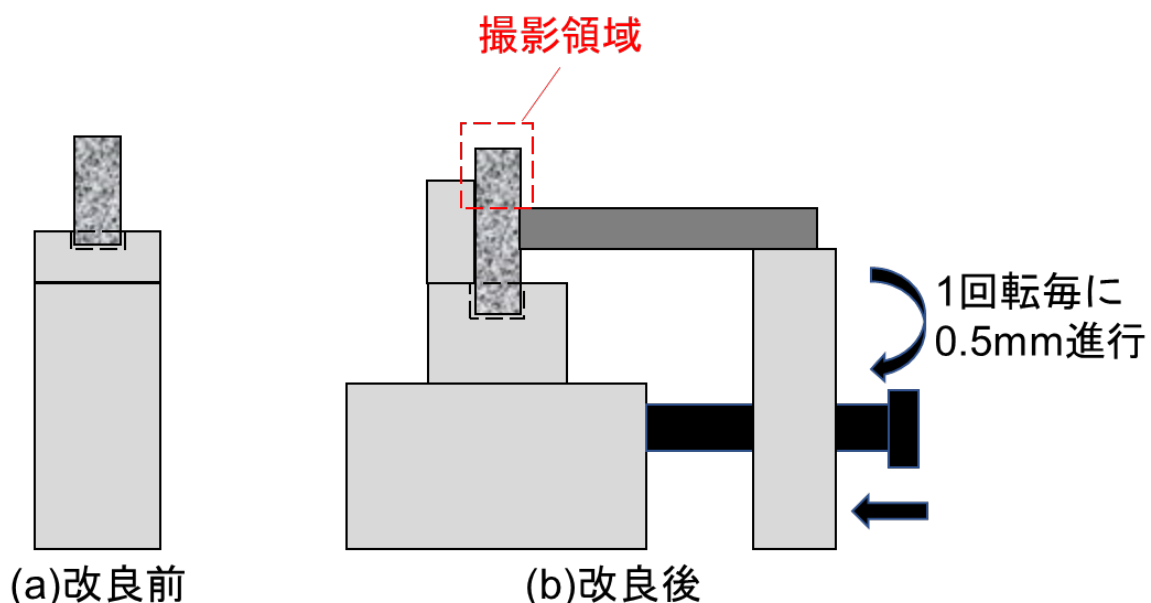


図-1 本研究のために改良した測定治具

供試体の断面画像を示す。これによると、各水準の構成材料および空隙が視認出来ている。したがって、画像解析等により破壊機構の分析は可能であると考えられ、本システムを基に分析を行った。

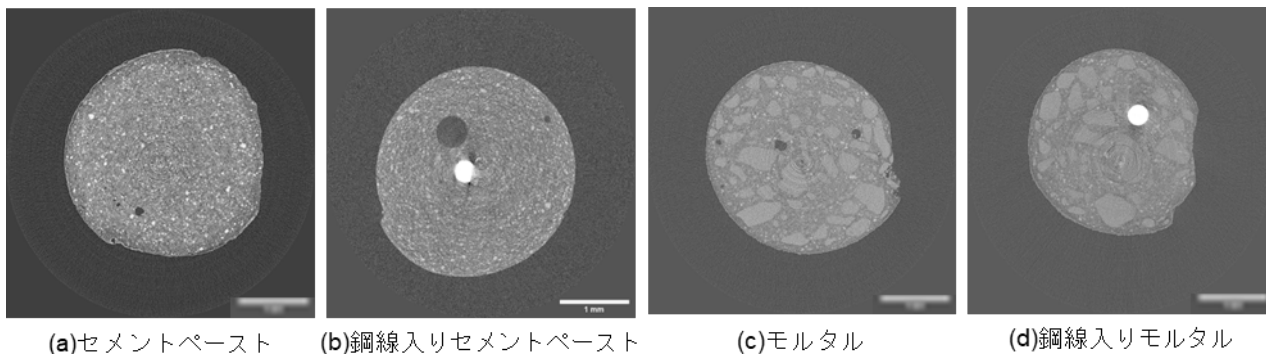


図-2 各供試体水準の断面画像

3. 研究の成果

図-3 に砂セメント比が 1.0 の鋼線入りモルタル供試体のひび割れ前後 CT 断面画像を示す。ひび割れはネジを 720°回転させたときに観察された。ひび割れの形状に着目して観察すると、ひび割れはペースト領域を通ったのちに、粒径の大きな骨材の界面に発生して剥落していることがわかる。これは骨材とセメントペースト間に、材料的に不連続で空隙が多い遷移帯と呼ばれる領域があり、この領域を起点にひび割れが発生したためと考えられる。また鋼線部へひび割れは伝播しなかった。その後、回転を加えて応力を増加させても、ひび割れ幅の進展は見られなかった。

図-4 に砂セメント比 1.0 および 2.0 のモルタル供試体のひび割れの CT 断面画像の比較を示す。ひび割れの形状に着目して観察すると、砂セメント比 1.0 は図-3 と同様にひび割れはペースト領域を通ったのちに、粒径の大きな骨材の界面に発生していることがわかる。しかし砂セメント比 2.0 の場合は、骨材が破壊してひび割れが発生していることがわかる。これは、マトリクス内に骨材

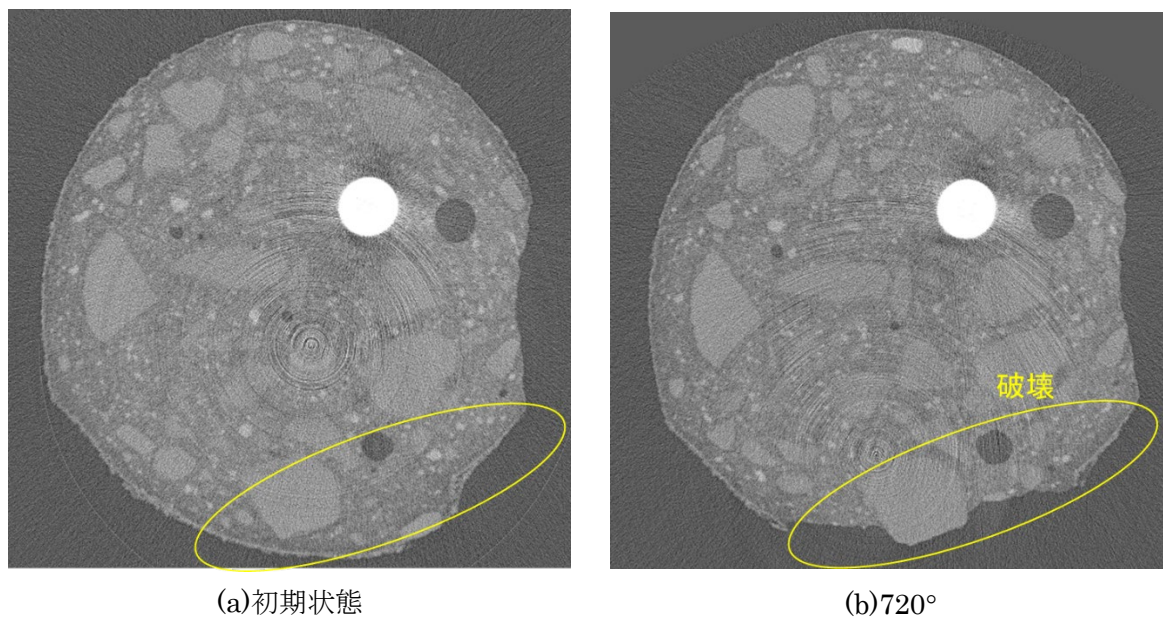
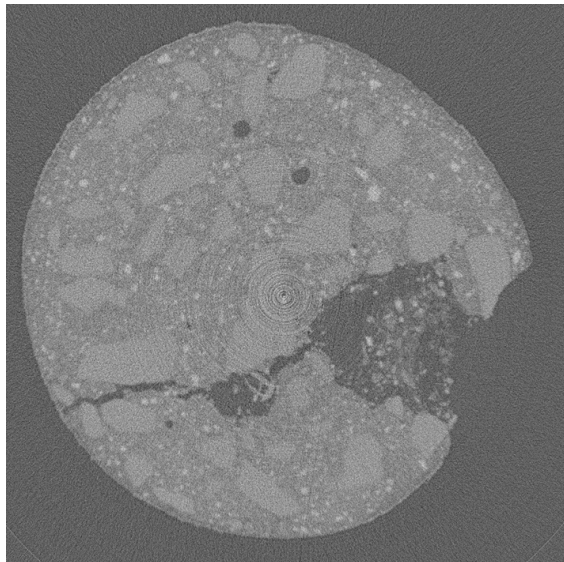
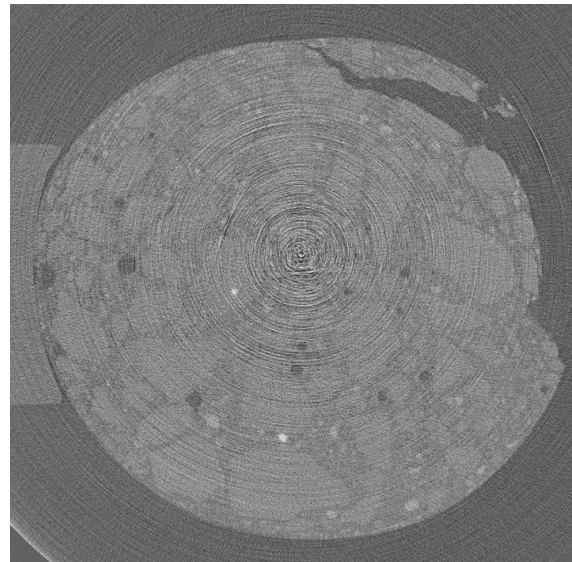


図-3 砂セメント比 1.0, 鋼線入りモルタル供試体の CT 画像

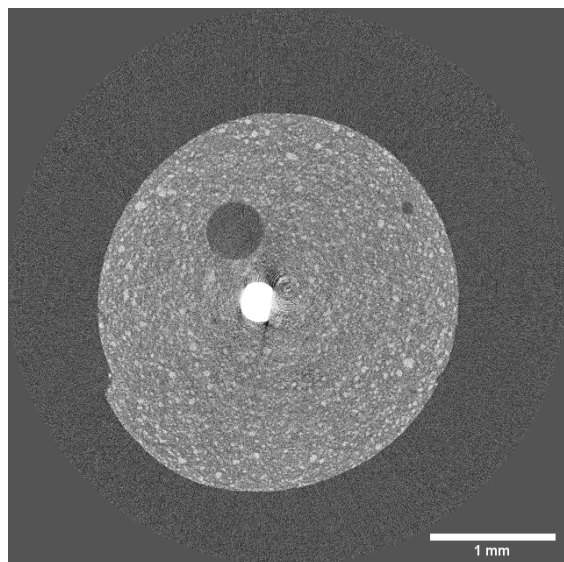


(a)砂セメント比 1.0

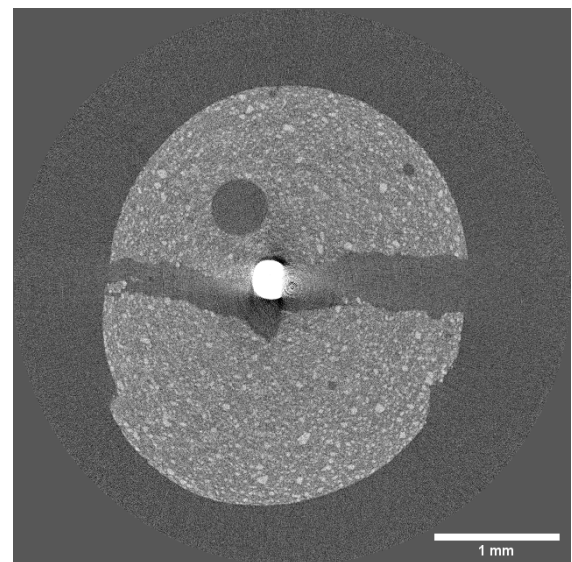


(b)砂セメント比 2.0

図-4 砂セメント比の影響



(a) 0°



(b) 360°

図-5 鋼線入りセメントペースト供試体の CT 画像

が多く存在しているため、荷重を加えた際に骨材に応力が集中して骨材を起点にひび割れが発生したためと考えられる。したがって、砂セメント比はひび割れの発生の起点に影響することが示唆された。図-5に鋼線入りセメントペースト供試体のひび割れの経時変化を示す。これによると、ひび割れが発生すると、鋼線界面を通じてひび割れが進展していったことがわかる。また、骨材近傍に比較的大きな空隙が見られたが、そこへとひび割れは伝播していないことがわかる。これについても、鋼材—セメントペースト間の遷移帯領域が影響したためと考えられる。

なお、セメントペースト供試体は、ひび割れが発生した瞬間に供試体が破壊され、ひび割れを観察出来なかった。セメントペーストは破壊に対する靱性が少ないことが考えられる。

4. 今後の課題

供用されている構造物は、経年的に環境作用を受けて変質していることが考えられる。そのため、変質/未変質の領域が存在しており、その領域または界面が破壊メカニズムに影響を与えることが考えられる。そのため、供試体中に面的に変質させて、変質領域が存在する中で実験を実施し、その影響を把握する必要があると考えられる。そのような知見を取得次第、実構造物への適用に向けた方策の検討を始める予定である。