

載荷試験によるコンクリート中の破壊過程の直接観察 Direct observation of the fracture process of concrete at load test

人見 尚^a, 杉山 隆文^b
Takashi Hitomi^a, Takafumi Sugiyama^b

^a(株)大林組, ^b北海道大学
^aObayashi co., ^bHokkaido University.

コンクリートのひび割れ発生を抑止するためには、載荷時のそのミクロな硬化体組織の挙動を把握することが必要である。本研究ではその場引張り試験装置を導入し、引張応力下のセメント硬化体の X 線 CT 観察を試みた。普通ポルトランドセメントを対象とした CT 観察結果より、全体として試料に大きな変形は生じていないが、カルシウムシリケートに変形が生じ、成分の中で選択的な変形が生じている可能性が示唆される結果となった。

キーワード： コンクリート、イメージング、X 線 CT、載荷試験

背景と研究目的：

コンクリートは、セメントと水、砂、砂利を練り混ぜ、硬化させる複合材料である。セメントは水と反応することでセメント硬化体となり、砂や砂利の結合材の役割を果たしている。それぞれ線膨張係数の異なる材料が含まれ、硬化の際に発熱を伴うことや、長期的にセメント硬化体が形成される過程でセメント硬化体の収縮が発生すること、全ての材料がぜい性材料で構成されるために、コンクリートにはひび割れ発生リスクがあることが知られている。ひび割れ発生を抑止するためには、硬化時の適切な温度管理やそもそもの品質の管理などが検討されてきたが、その対策にも限界が見えてきた。これまでの検討方法は、コンクリート全体としてのマクロな挙動に着目したものに留まり、載荷時のミクロな硬化体組織の挙動に関心が払われることは無かった。その原因として、これまで、載荷時のその場観察方法を持たなかったことが一因として挙げられる。本研究ではその場引張り試験装置を導入し、引張応力下のセメント硬化体の X 線 CT 観察を試みた。

実験：

観察対象としたのは、水セメント比が 0.5 の普通ポルトランドセメント(OPC)のセメント硬化体である。これらは、水と練混ぜ後に、型枠打設を行い、1 日で脱型後、3 年 6 ヶ月の間水中養生を行なった。これを、試験前に断面が一辺 1mm の正方形で長さが 15mm の角材型に成型したものを試験体とした。写真 1 に試験体の外観を、写真 2 に引張り試験装置の外観を示す。試験体は上端と下端をエポキシ系接着剤で固定し、反力を確保し X 線の透過を妨げないようプレクシングラス製の円筒内に収め、上端を固定し下端を引張ることによって試験を行う。引張り力発生にはピエゾ素子を用い、支点を設けピエゾの伸張を試験体の引張りに変換した。またこの部分とピエゾ素子との間に圧電素子を設置し、発生電圧により引張り力を管理した。引張り長さは、5 μ m とした。



写真1 試験体の外観



写真2 引張り試験装置外観

結果および考察：

張り荷重を加える前後の試験体の内部を比較することで、セメント硬化体組織の荷重に対する応答を調べた。比較方法は、断面を再構成し、外形や特徴のある空隙の形状比較により位置を揃え、引張り方向に平行な任意の断面を取り出し、そこから、カルシウムシリケート化合物、水酸化カルシウム、未水和のセメント鉱物に分類し、断面の相互比較を行った。分析対象とした断面を図1に示す。断面の大きさは縦が700ピクセル、横が500ピクセルで、 $350\mu\text{m} \times 250\mu\text{m}$ の領域である。引張り方向に平行な断面の合成にはSlice[1]を用いた。そして、画像の輝度分布より、空隙、カルシウムシリケート化合物、水酸化カルシウムおよび未水和セメントを抽出した画像を作成した。

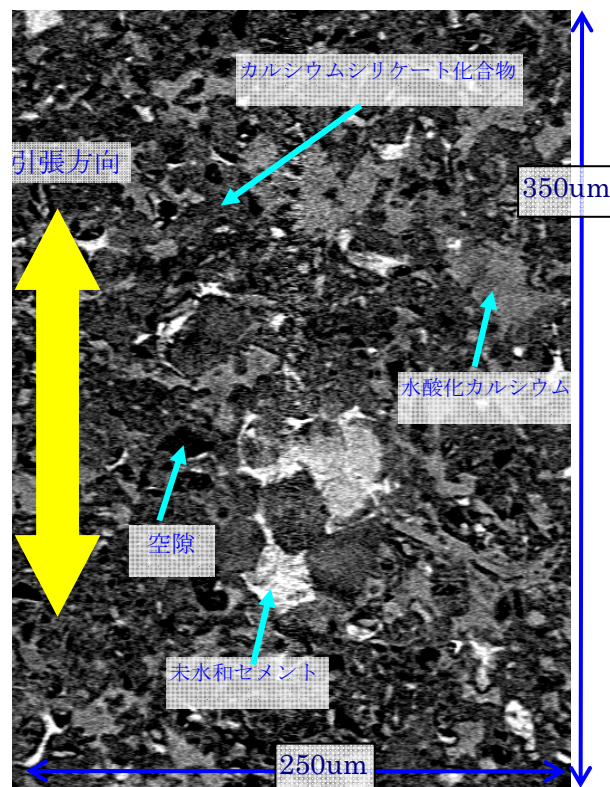


図1. 分析対象としたセメント硬化体断面

同じ処理を、引張荷重をかけた後の同一位置の断面に対し行い、画素ごとに成分の一致する場所と一致していない場所を検出し、可視化を行った。図2～図4にカルシウムシリケート化合物、水酸化カルシウム、未水和セメントの可視化結果を示す。図中の青色の領域は、荷重をかける前後のいずれの断面でも目的の物質と異なる成分、緑色の領域は、いずれの断面でも目的の物質について同一の成分、赤色の領域は、いずれの断面でも目的の物質であったものが荷重後で異なる成分に変わった場所を示す。図2では、赤色が成分に一様に分布し、図3では中心部分のみ成分の内部まで赤色が見られ、図4の未水和セメントの領域では、赤い色の画素がほとんど見られない結果となった。これらより、まず全体として試料に大きな変形は生じていないが、カルシウムシリケートに変形が生じている可能性が示唆され、成分によって変形度合いが異なる結果となった。このことが、セメント硬化体の引張りに対するぜい性的挙動の一因となると考えられる。

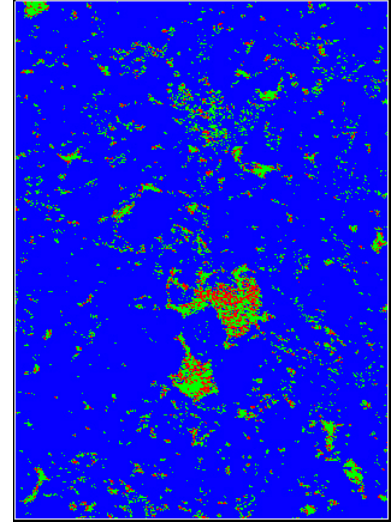
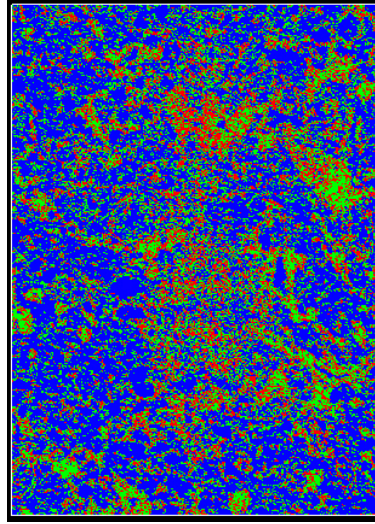
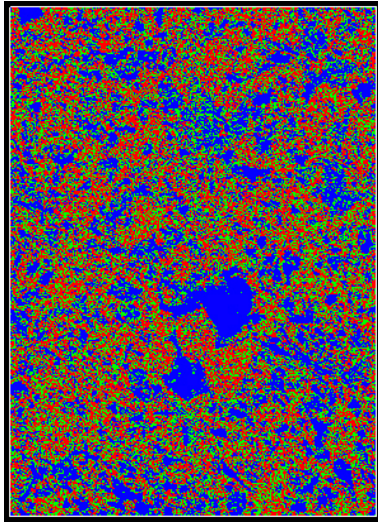


図2. カルシウムシリケート分布 図3. 水酸化カルシウム分布 図4. 未水和セメント分布

今後の課題：

引張りに対し、わずかに成分の一部が引張りによって変形したようにも見られるが、明確な変形は見られなかった。今後装置の改良を行い、引張り長さの増大などを行い、引張りによる変形を明瞭に捉えることを試みる。

参考文献：

- [1] 中野司, 土山明, 上杉健太郎, 上梶真之, 篠原邦夫(2006) "Slice" -Softwares for basic 3-D analysis-, Slice Home Page (web), <http://www-bl20.spring8.or.jp/slice/>, 財団法人 高輝度光科学研究センター