

## コンクリートのひび割れの自己修復過程の直接観察 Direct Observation of Self Curing Process of Concrete

人見 尚<sup>a</sup>  
Takashi Hitomi<sup>a</sup>

<sup>a</sup>(株)大林組  
<sup>a</sup>Obayashi Co. Ltd.

コンクリートの劣化現象の一つに、ひび割れの発生がある。これらの解決はいまだ困難であり、ひび割れの補修や予防に、多くの労力が割かれ、多くの技術者がその対策に従事している。コンクリートのひび割れがコンクリートの成分により自動で補修されることを自己治癒と呼んでいる。このメカニズムの解明を目的として、X線CTを用いモルタル供試体に導入したひび割れに水を注入し、ひび割れ部に発生した析出物の直接観察を通じ、自己治癒過程の直接観察を試みた。その結果、自己修復につながると思われるひび割れ周囲に析出物の存在が確認され、使用するセメントの量の調整や材料の選択によりコンクリートの自己修復実現の可能性があると考えられる結果を得た。

キーワード： コンクリート、ひび割れ、X線CT、イメージング、自己修復

### 背景と研究目的：

コンクリートの劣化現象の一つに、ひび割れの発生がある。ひび割れの発生原因として、硬化時の部材内外の温度差によることやコンクリートが脆性材料からなる複合材料であるために引張り荷重の生じた部分でも弾性変形ができないことが知られている。これらの解決はいまだ困難であり、ひび割れの補修や予防に、多くの労力が割かれ、多くの技術者がその対策に従事している。

コンクリートのひび割れがコンクリートの成分により自動で補修されることは、コンクリートの自己治癒または自己修復と呼ばれている[1]。この現象の身近な例としてエフロレッセンスがある。これは、コンクリート中のカルシウムがひび割れを経路として表面に現れた際に空中の二酸化炭素と反応して炭酸カルシウムを作り、ひび割れを埋める現象である。

これらの自己治癒に関してはそのメカニズムの解明が更なる自己治癒性能の向上に寄与すると考えられる。しかしこれまでは、ひび割れ面の表面観察や引き剥がして開いたひび割れ面の観察に留まっており、ひび割れ内部の直接観察は不可能であった。このため、ひび割れ内部の幅の把握やひび割れ内部の水の流れとの自己治癒との関係を定量的に考察することは困難であった。コンクリート内部観察法として、近年盛んに利用が進められてきたX線CTがある。本研究では、X線CTを用いモルタル供試体に導入したひび割れに水を注入し、ひび割れ部に発生した析出物の直接観察を通じ、自己治癒過程の直接観察を試みた。

### 実験：

試験対象とした供試体は、水セメント比が0.5の普通ポルトランドセメントモルタル（以下、OPC）で観察時の材齢は2年である。モルタルとは、水およびセメントに細骨材（砂）を混ぜ練り固めたものである。セメントと水の混合物が硬化したものをセメント硬化体と呼ぶ。供試体は、試験1日前に直径5mmで高さが6~7mmの円筒形に加工（写真1）後、試験直前に熱収縮チューブの中心に設置し両端に通水用のシリコンチューブを継ぎ足し、ドライヤーで加熱し供試体とシリコンチューブを固定した（写真2）。さらに、固定した供試体に万力を用い、割裂によりひび割れを導入した。本実験では二回の測定期間を設けた。この供試体を第一期間で初期値として観察し、その後ひび割れ部に注水し、水に常時触れている（浸漬）状態で60日保持し、第二期間で再度同一の供試体の観察を行った。

得られたCT像に対し、ImageJを用いて位置合わせを行った。さらに、浸漬前後の供試体の断面図に関し差分を取ることで、供試体内部の変化を求めた。



写真1. コンクリート小片供試体

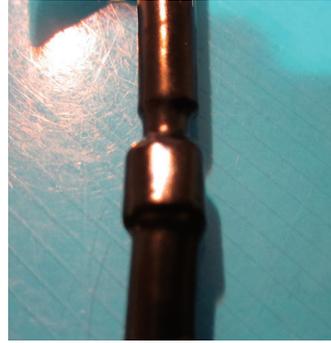


写真2. 熱収縮チューブ封入

### 結果および考察：

図1は浸漬前の OPC の断面である。細骨材（砂）はケイ素を主成分とし、セメントはカルシウムを主成分とするため、細骨材は比較的暗い色調、セメントは、比較的明るい色調で表示され、これらの区別が可能であることを示している。またセメントは一部に微量ながら鉄分を含んでいるため輝点が分散して存在している。供試体の大きさはおよそ 5mm でひび割れ幅は大きいところで 1mm 程度のものが入っている。また、割裂によってひび割れ内に細かい破片状のものが分散している。ひび割れは、骨材とセメント硬化体との境界を縫うように発生している傾向が見て取れる。図2に示す浸漬後の OPC の同一断面と比較し、ほぼ同じような形状であり、目視では目立った変化は認められなかった。図3に重ねあわせ後の差分画像を示す。それぞれひび割れの表面に新たな析出物が発生している様子が確認できる。析出物はごく微量であるが、セメント硬化体が空隙に接する部分に多く見られ、逆に細骨材に接する部分ではほとんど見られない。このことは、ひび割れが発生し、水に接するとセメント硬化体組織からその成分が溶出し、水と反応することにより、新たな物質を生成していることが考えられる。この物質は現在では水酸化カルシウムと考えられるが、詳細な分析を待つ必要がある。

今回の供試体は比較的セメントの含有量が小さい。セメント量を増やすことや、水との反応性の高いセメントの選択で、自己治癒がさらに大きく進む可能性を示唆すると考えられる。

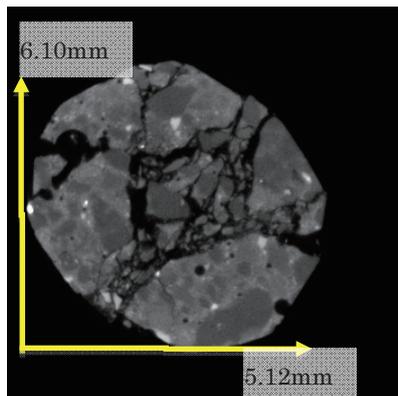


図1. 浸漬前の断面

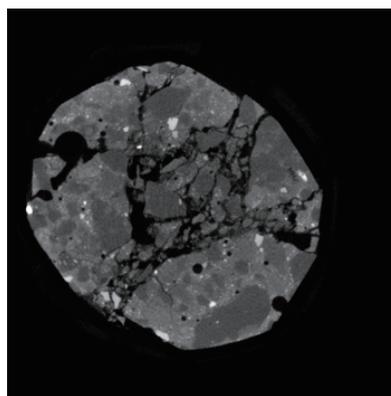


図2. 浸漬後の断面

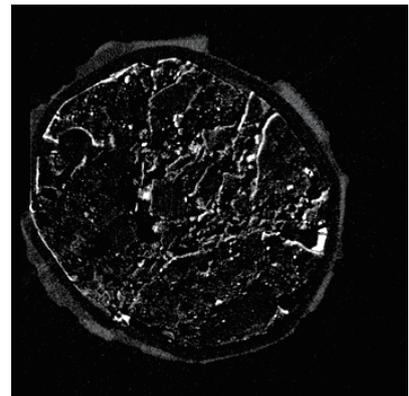


図3. 前後の差分画像

### 今後の課題：

今後は候補となる材料を選定し、長期間の浸漬や、ひび割れ位置と析出物の位置関係などの把握より、メカニズムの解明を通じ自己治癒性を有するセメント系の材料を見出すことが挙げられる。

### 参考文献：

- [1] 日本コンクリート工学協会編，セメント系材料の自己修復性の評価とその利用法研究専門委員会報告書，(2009).