

## MRIによるセメント硬化体への水分浸透の非破壊観察

東京大学 生産技術研究所 正会員 ○酒井 雄也  
 東京大学 大学院 正会員 横山 勇気  
 東京大学 生産技術研究所 フェロー会員 岸 利治

## 1. はじめに

コンクリート構造物の劣化現象には水の浸入が重要な役割を果たすことが知られている。コンクリートへの水の浸潤挙動は、供試体を割裂して断面を観察する方法や、水分センサを用いる方法などにより検討されてきたが、得られる情報は一次元もしくは二次元である。中性子線を用いる方法も検討されているが、基本的に試料厚さが数 cm 以下に制限される。

本研究では磁気共鳴画像法 (MRI) によるコンクリート中への水分浸透の観察を検討した。MRI の利点として、非破壊であること、厚い供試体に対しても適用可能であること、三次元情報が得られることが挙げられる。一方で、MRI の欠点としては、鉄筋や多量の鉄分を含むコンクリートの観察は困難である、という点が挙げられる。これまでに MRI によりコンクリート中の水分浸透を試みた研究として、Kaufmann et al.<sup>1)</sup>による検討があるが、普通セメントを用いたために画像が不鮮明であり、また取得画像と実際の水分浸透との対応が直接的に確認されていない。また通常の水の代わりに、高価な重水を使用している。Marfisi et al.<sup>2)</sup>も MRI をコンクリートに適用したが、主にクラックの観察を目的としている。

本研究ではまず、MRI による浸潤水の観察の可否を確認するため、普通セメントと白色セメントで作製したセメントペーストに吸水させ、MRI での観察を実施した。次に、様々な乾燥状態の白色セメントペーストを吸水させた後に、MRI により水の浸潤深さを測定し、その後に割裂して目視観察される浸潤深さと比較した。最後に、今回の測定条件で検出可能な水分量を把握するため、様々な相対湿度 (RH) 下で保管した白色セメントペーストを撮像した。

2. MRI の原理<sup>3)</sup>

MRI では、基本的にプロトン (水素原子核) のスピンの信号により像を得る。撮像においては、

まず強い磁場が撮像対象に与えられる。プロトンを有する対象が外磁場におかれた場合、磁場の方向にプロトンスピンが整列する。整列した方向を z 軸とする。この状態でプロトンスピンと同じ周波数のラジオ波を与えると、プロトンスピンは x-y 平面に倒される。ラジオ波を止めると、x-y 平面に倒されたプロトンスピンの z 軸方向に戻ってくる (緩和する)。MRI では、このような緩和時にプロトンスピンから発せられる信号により、画像を構築する。

## 3. 実験方法

## 3. 1 供試体の作製

白色および普通ポルトランドセメントを用いて W/C=40% の円柱セメントペースト供試体 ( $\phi 50 \times 100 \text{mm}$ ) を作製した。いずれも、材齢 28 日まで封緘養生した後に、20°C60%RH で 1 か月乾燥した試料と、40°C10%RH で 2 週間乾燥した試料とした。下部 1cm が水に漬かるようにこれらを水道水に浸漬し、3 日後に MRI に供した。MRI での撮像後、供試体を割裂して、割裂面に水漏れ発色検査剤を散布し、水分の浸入深さを測定した。相対湿度の影響を検討するための供試体は、 $\phi 50 \times 100 \text{mm}$  の型枠に打設し、材齢 28 日まで封緘養生した後に、20°C60%RH で 1 か月乾燥した。その後、水冷式カッターで厚さ 2cm に切断し、20°C60%RH で 2 週間乾燥した。そして、76, 85, 98, 100%RH に調整したデシケーター中に 1 か月静置した後に、MRI に供した。

## 3. 2 MRI による撮像

撮像には SIEMENS 社製の 3T-MRI 装置 MAGNETOM PrismaMRI を用いた。撮像の際に設定する重要なパラメータとして  $T_E$  と  $T_R$  が挙げられる。ここで  $T_E$  とは、ラジオ波を与えてから信号を受信するまでの時間であり、 $T_R$  とはラジオ波を与える時間間隔である。本研究では  $T_E=1.19 \text{ms}$ 、 $T_R=8.4 \text{ms}$  と設定して撮像した。

キーワード MRI, セメントペースト, 水分浸透

連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 Be406 TEL 03-5452-6098 (ext.58086)

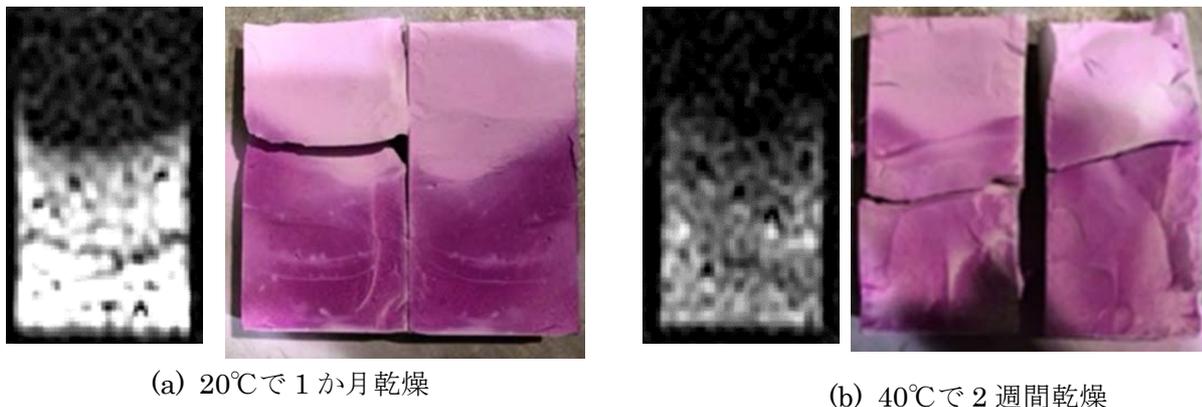


図1 MRIによる取得画像と割裂面との比較

### 4. 結果と考察

図1には、白色セメントで作製したセメントペースト供試体の撮像結果と、撮像後に断面を割裂し、水漏れ発色検査剤を散布した様子を並べて示す。MRI画像では白い部分が、また割裂面では色の濃い部分が水分の検出された位置を表す。いずれの乾燥を与えた供試体においても、両者は良好に対応していることが確認できる。図1(a)と(b)のMRI画像の明るさが異なるのは、撮像時の供試体位置が異なることによる影響である。図1の比較より、MRIにより水の浸潤深さを測定することは十分に可能であると考えられる。一方で、普通セメントペーストの場合、いずれの試料も今回の撮像条件では水分を検知することができなかった。割裂面を見ると、白色セメントより少ないものの、水は浸入していたことから、普通セメント中の鉄分の影響により、信号が弱まり、水が検出できなかったものと考えられる。

図2に、異なるRHで保管した供試体の画像を示す。図より、76%と85%RHで保管した供試体では水分がほとんど確認できないが、98%と100%で保管した供試体では、RHが増加するほど白く表示、すなわち信号が強くなっていることが確認できる。76%と85%RHで保管した供試体は、撮像の時点でほぼ恒量に達していることから、今回の撮像条件では、20°C 85%RHで恒量になった場合の水分量以上の水分を有する領域が検出されているものと考えられる。図2で98%および100%で保管した供試体は、MRI撮像時点ではまだ恒量に達していないため、恒量状態ではより明確に水分が検出されるものと考えられる。

### 5. 結論

MRIによりセメント硬化体への水分浸透の観察

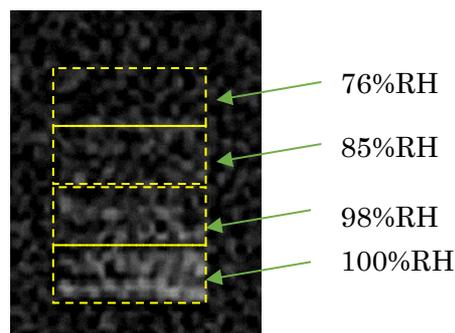


図2 異なるRH下に置いた試験体

を試みた。今回の測定条件では以下の知見を得た。

- ・白色セメントを使用したセメントペーストに浸入した液状水はMRIにより観察することが可能であった。MRIおよび割裂による観察結果には良好な対応が見られた。普通セメントを用いた供試体では水分の観察は困難であった。
- ・85%RHを上回る湿度下で保管した白色セメントペーストにおいて水分が検出されたことから、今回の撮像条件では、85%RHでの平衡状態を上回る水分を有する空間が検出されたものと見られる。

### 謝辞

東京大学進化認知科学研究センターの中谷裕教氏と、シーメンスヘルスケア株式会社の村田勝俊氏にはMRI撮像の Protokol 設定で多大なご協力をいただいた。ここに記して謝意を示す。

### 参考文献

- 1) F. Kaufmann et al.: Magazine of Concrete Research, Vol. 49, No. 180, pp. 157-165, 1997
- 2) E. Marfisi et al.: Magazine of Concrete Research, Vol. 57, No. 2, 101-109, 2005
- 3) 荒木力: MRIの基本パワーテキスト(第3版), メディカル・サイエンス・インターナショナル, 2013