

コンクリート建造物のメンテナンス用核磁気共鳴スキャナの開発

産業技術総合研究所 正会員 中島 善人

1. はじめに

コンクリート建造物のメンテナンス技術の開発は、社会的ニーズが大きい。種々のコンクリート欠陥の中でも、水を含む空洞や亀裂は、凍結による亀裂進展、雨水や地下水の浸透によるセメント水和物や鉄筋の変質を引き起こすので、早期に検出しなければならない危険性の高いものである。しかし、赤外線や打音等の従来の検査技術では、水を含む空洞や亀裂を定量的に評価・検出できない場合がしばしばある。我々は、プロトン核磁気共鳴分光学を応用して、水を定量計測できるユニークな物理探査装置（核磁気共鳴表面スキャナ）の開発を行ってきた[1]。このたび、探査深度 3cm のプロトタイプ（図 1）の開発に成功したので、ここに室内実験（図 2-3）による亀裂開口幅の検出能力の評価結果（図 4）をレポートするものである。

2. 核磁気共鳴表面スキャナの室内実験

開発したプロトタイプは、希土類永久磁石をもちいた低磁場のプロトン核磁気共鳴システムである（図 1）。イメージングではなく、時系列データ解析型のシステムである。探査深度（永久磁石と高周波コイルからなるセンサーユニットと、感度領域の中心との距離）は 3cm である（図 3）。このシステムの性能評価を行うために、水で満たされた模擬亀裂を検出する室内実験を行った。模擬亀裂としては、図 2 のような、脱イオン水で満たしたプラスチック箱に 2 つのコンクリートブロック（それぞれ $7 \times 6 \times 11 \text{ cm}^3$ ）を沈めたものを準備した。ブロック間の距離を変えることで、さまざまな値の亀裂開口幅（今回は 1mm ~ 70mm）を実現できる。図 2 の試料を図 1 の高周波コイルの上に載せた状態で（その模式図は図 3）PAPS CPMG 法という手法[2]で、水プロトンの横緩和過程を計測し、横緩和波形の信号強度（振幅値）と亀裂開口幅との関係を調べた。計測条件は、共鳴周波数 4.1MHz、エコー間隔 0.5ms、エコー総数 2000、高周波パルス幅 0.2ms、信号積算回数 4 回、積算の繰り返し間隔 10s である。

実験結果を図 4 にしめす。亀裂開口幅が感度領域のサイズ（約 50mm）より十分小さいときは、核磁気共鳴信号の強度は、開口幅の増大とともに単調に上昇する。この範囲であれば、信号強度と亀裂幅の値が 1 対 1 に対応するので、亀裂幅の定量ができる。いっぽう亀裂開口幅が感度領域のサイズ（約 50mm）を超えると、当

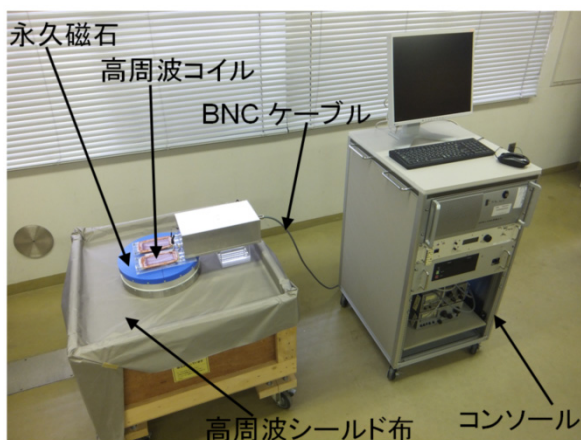


図 1 核磁気共鳴表面スキャナの全景。パソコンと高周波増幅器と送受信機を搭載したコンソール(制御卓)を、永久磁石と高周波コイルからなるセンサーユニットに BNC ケーブルで接続している。青いプラスチック製磁石カバーの直径は、約 30cm。永久磁石は、運搬用木箱の上に置かれ、電波ノイズ遮蔽布と接触している。

キーワード：コンクリート、メンテナンス、非破壊計測、核磁気共鳴、水

連絡先：〒305-8567 茨城県つくば市東 1-1-1 中央第 7 産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門

URL: <http://staff.aist.go.jp/nakashima.yoshito/myhome.htm>

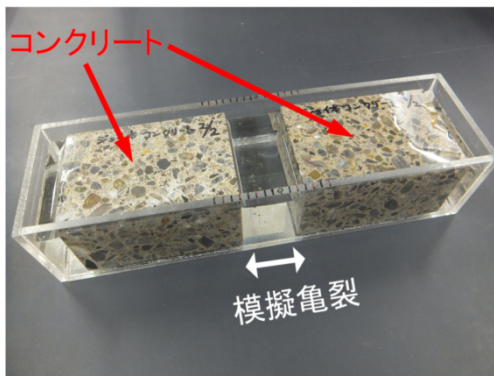


図2 水で満たされた模擬亀裂。亀裂の開口幅すなわちコンクリートブロック間の距離は、40mm。

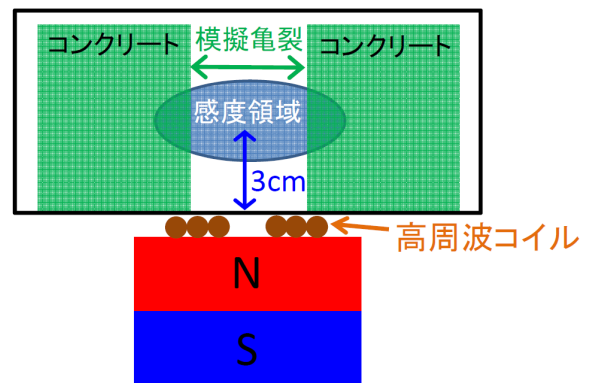


図3 図2の試料を図1のセンサーユニットの上に置いた時の模式的な側面図。

然、信号強度は飽和するので、亀裂幅の定量は困難になる。ちなみに、コンクリートブロック自体も体積含水率約 10vol%の多孔質媒体であり、図3の状況では、コンクリート内部も感度領域にかかっているので、多孔質コンクリート中の微小空隙中の水由来の核磁気共鳴信号も混入してくる可能性は、一般論としては否定できない。しかし、今回の実験条件(97mTという比較的高い磁束密度、0.5msという比較的に長いエコー間隔)のもとでは、そのような微小空隙由来の水の寄与は無視できることを実験的に確認済みである(図3の感度領域を完全に1個のコンクリートブロックで覆う実験をすると、信号強度はほぼゼロになった)。したがって、当該装置は、図2のような巨視的なサイズの亀裂や空洞の検出に特化したスペックといえる。

3. おわりに

プロトタイプの核磁気共鳴表面スキャナが、巨視的な亀裂中の水の定量的な検出に使えることを室内実験で確認できた。今後は、企業や公的研究機関との共同研究を模索しながら、核磁気共鳴物理探査技術の改良と社会への提供を進めていきたい。

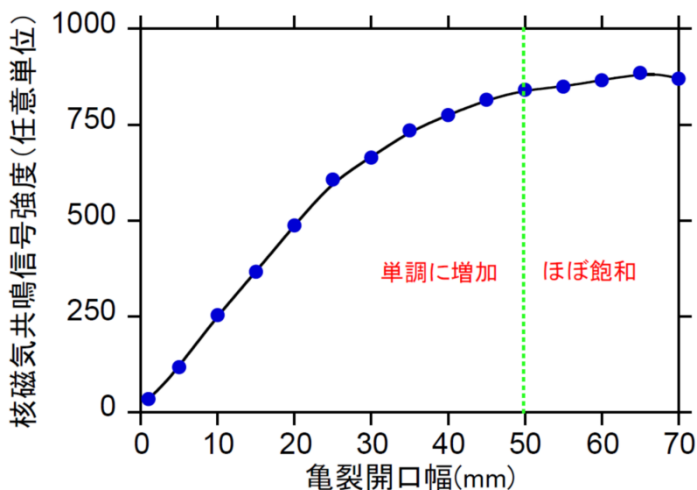


図4 信号強度の亀裂開口幅への依存性。開口幅が、緑色の点線でしめした 50mm 以下ならば、単調増加性が明瞭に確認できる。いっぽう、50mm より大きい開口幅に対しては信号強度がほぼ飽和してしまっている。図の1データ点の計測所要時間は、約 40s。

参考文献

- [1] 中島善人, 宇津澤 慎 (2008) 核磁気共鳴表面スキャナーの農業土木への応用にむけて. 水土の知 (農業農村工学会誌) 76, 795-799.
https://www.istage.jst.go.jp/article/jisidre2007/76/9/76_9_795/pdf
- [2] Nakashima, Y. (2015) Development of a Single-Sided Nuclear Magnetic Resonance Scanner for the In Vivo Quantification of Live Cattle Marbling. Applied Magnetic Resonance (オープンアクセス)
<http://dx.doi.org/10.1007/s00723-015-0657-4>