

核磁気共鳴表面スキャナーによるコンクリート建造物のメンテナンス技術の開発

産業技術総合研究所 正会員 ○中島 善人
New Mexico Resonance 宇津澤 慎

1. はじめに

コンクリートは、すべての建築材料と同様、いつかは耐用年数を迎えて崩壊する。言うまでもなく、コンクリート建造物の崩壊は、国民の生命と財産を脅かす深刻な危機であり、事故を未然に防ぎ建造物の寿命を延ばすため、保守点検によって欠陥を早期発見し適切な補修工事を施す必要がある。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、水を含む欠陥を定量的に評価・検出できない場合がしばしばある。そこで、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(図1)の開発を行っており¹⁻⁴⁾、ここに開発進捗状況をレポートするものである。

2. NMR 表面スキャナー

核磁気共鳴(Nuclear Magnetic Resonance, 以下 NMR と略記)とは、磁場中での原子核の歳差運動を計測する分光学である。コンクリート欠陥の評価においては、ターゲットとなる原子核は、コンクリート中の空洞や亀裂中の水分子中の ^1H 核(プロトン)である。このように、NMR は水分子を非破壊で直接的に計測できることを最大の特長としており、弾性波や電気伝導度を用いた他の物理探査技術に比べて水の定量能力で抜きん出ている。

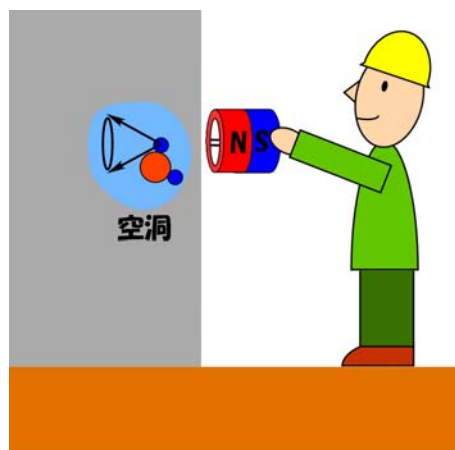


図1 NMR 表面スキャナーによるコンクリート壁の検査のイメージ。水で満たされた空洞中の水分子の水素原子核を、磁石で歳差運動させコイルで検出する。



図2 NMR 表面スキャナーシステムのセンサー部分(磁石とコイルからなる)。センサーの感度領域の概形を立方体(1.5 cm³)で図示。

図2は、NMR 表面スキャナーのセンサー部分である。円筒形の磁石の端面に「背中合わせ状態」のD型コイルが2つ載せてある。このコイル表面から1.5 cm離れた空間がセンサーの感度領域であり、探査深度は1.5 cmということになる。このセンサーは、シグナルの増幅・フィルタリングなどを行う分光器本体に同軸ケーブルで接続されている。

計測手順としては、まず、センサーをコンクリートに押し当てて(図3)、コイルから ^1H 核の共鳴周波数に相当する3.5MHzのラジオ波パルス照射する。次に、パルスの照射によって励起されたスピンの系が熱平衡に回復する横緩和

キーワード: メンテナンス、水、非破壊検査、NMR、多孔質媒体

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 物理探査研究グループ

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

過程を、同じコイルを用いてリアルタイム計測する。横緩和過程はたかだか 2-3 秒のスケールの現象であるが、S/N が悪いと多数回積算することになるので、計測所要時間は、現状では数分から 10 数分になる場合がある。ちなみに、計測中はコイルに電流が流れるだけなので、機械的に動く部分はなく、したがって騒音はほとんど発生しない。

3. 開発の進捗状況と今後の展開

現行バージョンの装置については、基本的なシステム構築作業は完了し、屋外での試運転(図 3)を開始したところである。また、水の定量能力を確認するための室内実験も併行して行っている。一例として、図1において空洞のサイズが 1.5 cm^3 の場合を想定した室内実験データを図 4 に示す。これは、図 2 の感度領域がすべて水で満たされている状態（空隙率 100%）に相当するケースである。90° パルス繰り返し間隔が 700 ms のもとでシグナル積算を 1024 回行ったので、計測所要時間は 12 分であった。高周波ノイズはあるものの、時定数約 35 ms の指数関数的な横緩和現象が確認できる。一般に、得られた横緩和時系列データの振幅は、感度領域中の水分子の数に比例するので、水の体積分率すなわち水で飽和した多孔質媒体の空隙率(図 4 の場合は空隙率 100%)に定量的に換算できる。さらに、緩和時間の値は、多孔質媒体の空隙サイズや透水係数にも換算できる可能性がある。現行バージョンでは計測に多少時間はかかるが、水の定量、および空隙率や透水係数などの水理学的パラメータの定量ができるという点で、NMR 表面スキャナーは他の物理探査手法にくらべて優位性がある。なお、室内実験は、模擬亀裂試料の亀裂幅の定量計測実験についても行っており、その詳細については、別資料^{1,4)}を参照されたい。

今後は、計測時間短縮のための磁気回路の全面的な見直し作業を行う予定である。トンネル等での原位置試験も計画している。また、コンクリート表面には現れない、より深部の空洞または亀裂の検出も重要な開発課題である。我々は、探査深度約 5 cm の NMR 表面スキャナーも別途開発中であり、企業や公的研究機関との共同研究を視野に入れながら、NMR 物理探査技術の社会への提供を今後も進めていく予定である。



図3 NMR 表面スキャナーシステムをもちいた屋外計測作業のイメージ。図 2 のセンサー部分をコンクリートに押し当てて、表面から 1.5cm 奥にある水を計測する。右隣のラックは分光器本体で、3 相 200V 電源に接続される。

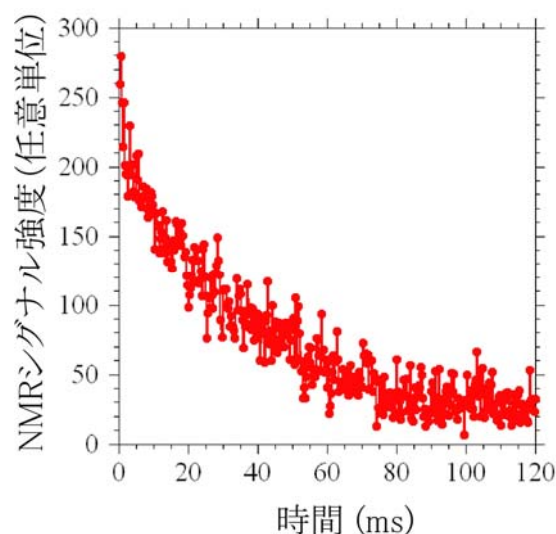


図4 PAPS シーケンスを採用した CPMG 法によるプロトン横緩和データの例。サンプリング間隔は、0.3 ms。試料は、バルクの 0.21 wt%硫酸銅水溶液。

参考文献

- (1) 中島善人(2005) 産総研 TODAY, vol. 5, No. 10. pp. 32-33.
- (2) 中島善人・宇津澤慎 (2005) 地質と調査, 通巻第 105 号, pp. 27-31.
- (3) 中島善人・宇津澤慎 (2005) 検査技術, vol. 10, pp. 30-37.
- (4) Utsuzawa, S., Nakashima, Y., and Kemmer, R. (2006) Journal of Magnetic Resonance (投稿準備中).