

## 地下空洞型処分施設性能確証試験におけるベントナイト水分量測定方法の評価

ハザマ 正会員 ○千々松正和

岡山大学大学院 正会員 小松満

(財) 原子力環境整備促進・資金管理センター 正会員 中島貴弘、寺田賢二

### 1. はじめに

地下空洞型処分施設の構築から閉鎖後の段階において、周辺地山からの地下水の浸透により緩衝材の水分量が増加し、緩衝材は、膨潤圧の発生や変形係数の低下などの影響を受ける。このため、緩衝材の水分の時間変化の把握が重要である。一方、緩衝材の水分をある程度の長期にわたり測定する手法は確立しているとは言えない。特に、地下空洞型処分施設で用いられることが想定されるベントナイト（クニゲル GX 100%）を高密度に施工した緩衝材に対して体系的に水分測定手法の検討を行った例は少ない。本検討では、緩衝材の合理的な挙動測定手法の確立を目的に、各種の水分量測定方法の適用性について検討した。

### 2. 水分量測定方法

原位置において、土壌の水分を測定する（原位置モニタリング）方法の代表例<sup>1)</sup>としては、①中性子散乱法、②ガンマ線密度計、③電気抵抗法、④誘電率測定、⑤地中レーダー、⑥熱伝導測定などがある。また、ベントナイト系材料の水分量測定法としては、サイクロメータ法や湿度計を用いた方法も用いられている<sup>2)</sup>。今回は、これらの測定法のうち、誘電率測定法に関して、その適用性を検討した。なお、この方法はハザマと岡山大学との共同研究にて開発したものである。

物質の比誘電率は、真空の誘電率を基準として正規化したものであり、空気では 1、水では 81 である。誘電率測定法は、飽和度が上昇して間隙の空気が水で置換えられると土の見かけの比誘電率が上昇することを利用して土の水分量の測定を行う方法である。

**(1)TDR 法**；TDR 法は、Time Domain Reflectometry（時間領域反射法）の略であり、電磁パルスを測定プローブに放射し、それが反射して戻る時間から電磁波の伝播速度を測定することにより誘電率を求める方法である。誘電率が土の比誘電率のわずかな含水量の違いにより大きく変化することを利用して計測する。この TDR 法に基づいたセンサとして、IMKO 社の TRIME センサがある。ここでは、その一つである挿入型の TRIME-IT、塩分濃度が比較的高い場合の間隙水に適用される挿入型の TRIME-ITC、表面接触型の TRIME-S3F-Surface のそれぞれの適用性を検討した。TRIME センサは、回路が本体に内蔵されているので、水分量に比例した値（0-1V または 0～20mA）がアナログ出力され、通常のロガーでの計測が可能である。また、比較検討のために、オシロスコープを用いた TDR 測定も行った。各プローブの形状を図-1 に示す。

**(2)ADR 法**；ADR 法は Amplitude Domain Reflectometry 法の略であり、測定プローブを供試体にセットして電磁波パルスを発信し、パルスがプローブからの反射波振幅を測定し、振幅値から誘電率を求める方法である。TDR 法と同様に、水の誘電率が土や鉱物粒子自体の誘電率よりも大きいことを利用して測定する。測定センサとして、Delta-T 社の Theta プローブ ML2x を選定した。プローブの形状を図-2 に示す。

**(3)FDR 法**；FDR 法は Frequency Domain Reflectometry（周波数領域反射法）の略である。電磁パルスを測定プローブに放射し、センサ部での高周波の干渉を周波数領域で測定することにより、測定対象の誘電率を求める。センサ部の根本で反射した電磁波と先端で反射した電磁波の干渉波は、センサ部周囲の水分量によって周波数スペクトルに一定間隔のピークを生ずる。この周波数間隔  $\Delta f$  から誘電率を算定する。測定センサは、1 本の電極部からなるセンサ部を同軸ケーブルに接続しただけの単純な構造であり、測定された反射波形をスペクトラムアナライザにより解析する。プローブの形状を図-3 に示す。

**(4)FDR-V 法**（ベクトルネットワークアナライザを用いた FDR 法）；本測定手法は同軸プローブ先端での電

キーワード：誘電率、体積含水率、ベントナイト

連絡先：〒105-8479 東京都港区虎ノ門 2-2-5、Tel:03-3588-5793、Fax:03-3588-5795

磁波の反射特性を利用して、電磁波の複素振幅比である振幅と位相の差を同時に測定することで、被測定物質内のインピーダンスをSパラメータによる反射係数から複素数として求め、複素誘電率に変換するものである。複素振幅比の測定にはベクトルネットワークアナライザを用いる。プローブの形状を図-4に示す。



図-1 TDR 法プローブ



図-2 ADR 法プローブ



図-3 FDR 法プローブ



図-4 FDR-V 法プローブ

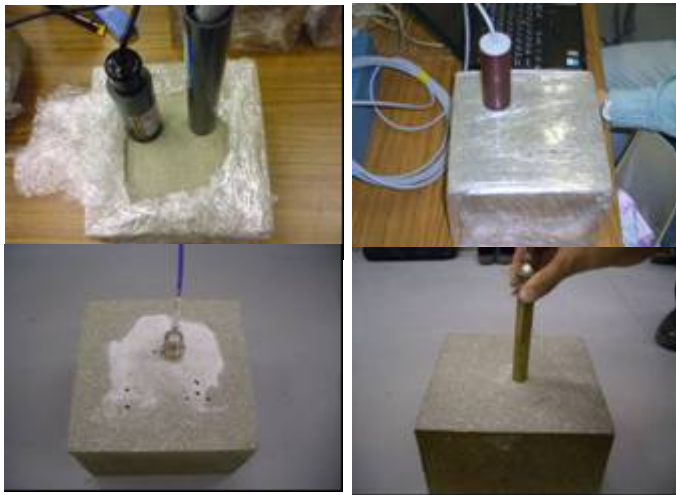


図-5 測定状況

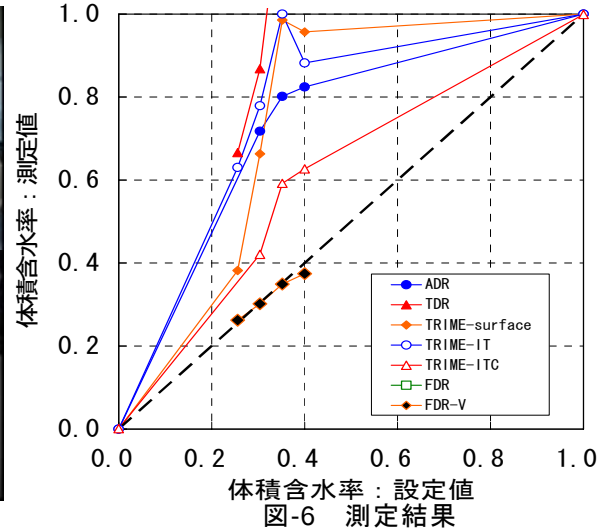


図-6 測定結果

### 3. 測定結果

4種類の含水比（16、19、22、25%）に調整したベントナイトを用い、乾燥密度  $1.6\text{Mg/m}^3$  に締固めた供試体の測定を行った。供試体の原材料はクニゲル GX 100%である。供試体のサイズは、測定プローブを挿入できるように  $20\text{cm}\times 20\text{cm}\times 20\text{cm}$  とした。TRIME-S3F-Surface 以外の TDR、ADR、FDR は挿入型のセンサであるため、事前に供試体に穴を削孔してプローブを挿入した。FDR-V は接触型であり、プローブ先端を供試体に接触させた。図-5 に測定状況を示す。図-6 にはベントナイトブロックの体積含水率の設定値（製作後の密度と含水比から算出）と体積含水率の測定値の関係を示す。FDR については測定値が得られなかった。TDR については体積含水率を Topp の式<sup>3)</sup> から算出し、FDR-V による測定誘電率から体積含水率を算出する校正式は西垣ら<sup>4)</sup> により得られたものを用いた。各測定法の中で、FDR-V により得られた値は設定値とほぼ同じ値が得られており、他の測定手法に比べ、精度良く測定が行える測定方法であることが分かる。

### 4. まとめ

本研究では、原位置におけるベントナイト内の水分量測定手法の確立を目的に各種誘電率測定法の比較を行った。その結果、FDR-V 法が最も良好な結果が得られた。今後の課題としては、実際の現場においてどのように測定機器を設置すべきかを検討する必要がある。なお、本報告は経済産業省からの委託による「管理型処分技術調査等委託費（地下空洞型処分施設性能確証試験）」の成果の一部である。

【参考文献】1)地盤工学会：不飽和地盤の挙動と評価、2005、2)千々松ほか：釜石原位置試験場における粘土充填・熱負荷試験結果（研究報告）、核燃料サイクル開発機構、JNC TN8400 99-024、1999、3)G.C.Topp et al. : Electromagnetic Determination of Soil Water Content: Measurement in Coaxial Transmission Lines, Water Resour. Res., Vol.16, No.3, pp.574-582, 1980、4)西垣ほか：FDR 法による高配合圧縮ベントナイト系材料の水分量測定方法に関する研究、日本地下水学会 2005 年秋季講演会講演要旨、pp.260 - 265、2005。