

堆積岩中の坑道周辺の不飽和領域を対象とした連続波レーダー調査結果の評価

核燃料サイクル開発機構 正会員 ○升元 一彦, 竹内 真司, 藪内 聡
鹿島建設株式会社 正会員 渥美 博行, 名児耶 薫

1. はじめに

地下深部の坑道掘削により坑道周辺岩盤の力学・水理・地球化学環境が変化することが予想される。この内、酸化フロントの進展等の地球化学環境の変化は、坑道掘削に伴う不飽和領域の発生に起因して生じるため、不飽和領域を定量的に評価する手法を開発しておく必要がある。東濃地科学センターでは、不飽和領域の総合的評価方法の開発として、レーダーやTDR (Time Domain Reflectometry) といった電磁特性を利用した調査技術の原位置での適用性評価を進めており、これまで、泥岩への透過度の大きい地表連続波レーダーを用いた適用試験を堆積岩の坑道壁面に対して実施してきた¹⁾。今回、地表連続波レーダー調査結果の検証を目的として、同じサイトにおいて壁面から掘削された試験孔を利用して、1)試験孔コアを用いた室内比誘電率計測、2)試験孔間の連続波レーダートモグラフィ計測、3)パッカーによる間隙水圧計測、を実施した。

2. これまでの計測結果¹⁾

連続波地表レーダーの原位置試験を、東濃鉱山の地下約 130m に位置する試験坑道において実施した。試験位置における地質は、新第三系の泥岩、砂岩、礫岩からなる。この試験坑道の側壁において、地表連続波レーダー計測 (50～500MHz) をプロファイル法とワイドアングル法の 2 種類の方法で実施した。プロファイル法の計測結果とワイドアングル法の各中心位置 (WR-1～WR-5) における深度方向の速度構造解析結果を図-1 に示す。図は計測データに対し波形処理を行った後の結果であり、坑道壁面からの深度はワイドアングル法で求めた電磁波速度構造を基に計算した。この結果、深度 1.2m 以深で数枚の坑壁にほぼ平行な反射面が見られ、電磁波速度は壁面から奥に行くほど減少することが分かった。

3. 今回の計測結果

(1) 試験孔コアを用いた比誘電率計測：試験坑道の側壁から水平方向に 6 m の試験孔 (No.1～No.3) を 3 本掘削した (図-2)。この試験孔コアから粗粒砂岩 12 個のサンプルを採取し、周波数 40MHz において室内比誘電率計測を実施した結果を図-3 に示す。この図から飽和度の増加に伴い比誘電率は増加することが分かる。計測結果を直線近似で外挿すると、飽和度 100% で比誘電率 40 程度になることから、比誘電率が 40 以下の時は不飽和であることが分かる。電磁波速度 v と比誘電率 ε の間には周波数が大きい場合、 $v = c_0 / \sqrt{\varepsilon}$ (c_0 は光速) の関係があることから、比誘電率が 40 以下の時は電磁波速度で 0.047m/ns 以上を示す。このことから図-1 の粗粒砂岩分布域において 0.05m/ns 以上の電磁波速度を示す坑壁から約 2m 以浅の領域は不飽和領域であると推定できる。

(2) 連続波レーダートモグラフィ計測：図-2 に示す No.2 孔と No.3 孔の孔間で連続波レーダートモグラフィ計測 (1～80MHz) を行った。各孔において坑壁より 1m から 4m までの区間を 0.25m 間隔で送、受信アンテナを移動させ計測を行った。図-2 にトモグラフィ解析結果による電磁波速度分布を示す。この結果、No.2 孔と No.3 孔の孔間で坑壁から 2m 以浅において電磁波速度 0.05m/ns 以上の領域が見られ、地表連続波レーダーのワイドアングル法から得られた電磁波速度構造と良い相関が認められた。

(3) パッカーによる間隙水圧計測：図-4 に示す間隙水圧計測装置を用いて、No.1 孔沿いの坑道壁面近傍の間隙水圧計測を行った。計測装置は 1.0m 長のパッカーを孔口側として、奥に 0.2m 長のパッカーが 5 個連なっている構造をしている。各計測区間長 (P2～P6) は 0.2m で、最奥の区間 (P1) のみ約 3.0m の区間長である。この装置を用いた間隙水圧計測結果を図-5 に示す。各区間に注水し、圧力を 0.1MPa に上昇させた時点を計測開始とした。P1, P2 の間隙水圧はゆるやかに圧力が低下するのに対し、P3～P6 の間隙水圧は計測開始直後から負圧を示し、その後、0.001～0.002MPa に回復し安定した。P3～P6 の間隙水圧が一時的に負圧を示したのは、周辺が不飽和であることによる岩盤中へのサクシオン過程によるものと考えられ、その後回復した値は、圧力計から観測区間までの配

キーワード：不飽和領域，レーダー，間隙水圧
連絡先：サイクル機構，〒509-6132 岐阜県瑞浪市明世町山野内 1-64 TEL0572-66-2244 FAX0572-66-2245

管中の水頭を反映していると考えられる。一方、P1 においては定常値に至るまで時間がかかることが予想されたため、計測開始後 22 日目にバルブを一時開放して強制的に圧力を低下させた。P1, P2 ではまだ定常状態に至っていないが、圧力は保持していると考えられたため、飽和状態にあると判断した。間隙水圧計測結果は、飽和・不飽和の境界が P2 と P3 の間（深度 2.3~2.5m）にあることを示しており、地表連続波レーダーと室内比誘電率計測から推定された WR-2 における飽和・不飽和の境界が 2m 以深であることと一致している（図-2）。

4. おわりに

今回の結果から、地表連続波レーダー、レーダートモグラフィ、間隙水圧計測等の調査結果を総合的に評価することにより、坑道周辺の不飽和領域について詳細な情報を取得することが可能であるとの知見が得られた。

参考文献 1) 升元一彦・片岡達彦・竹内真司：連続波レーダーと TDR を用いた坑道周辺の不飽和領域の評価，平成 15 年度応用地質研究発表会講演論文集，p.191-194，2003。

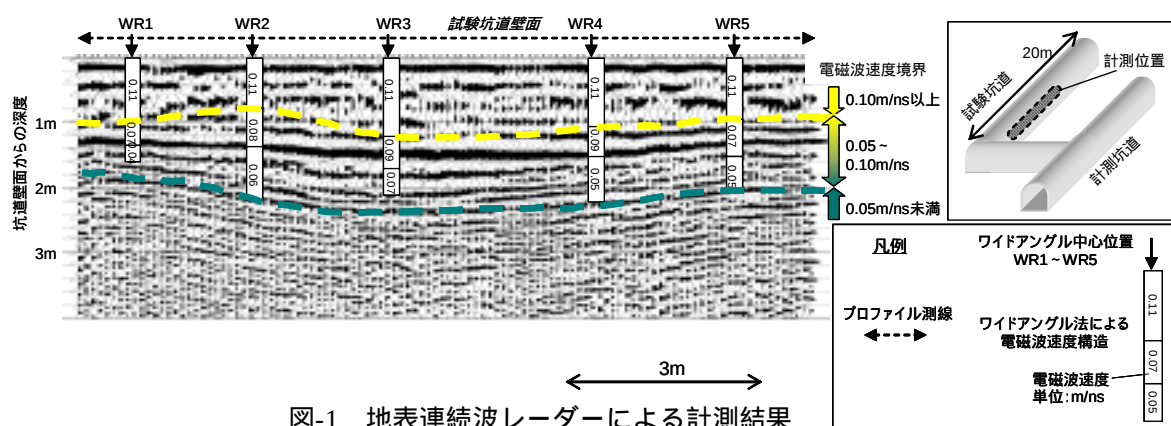


図-1 地表連続波レーダーによる計測結果

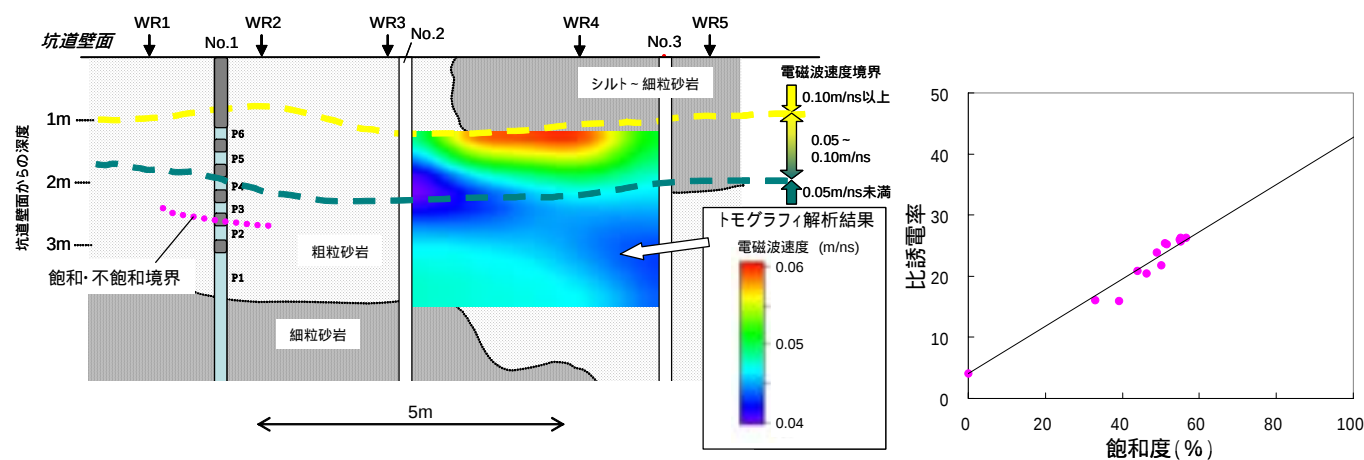


図-2 試験孔位置とトモグラフィ解析結果

図-3 室内比誘電率計測結果

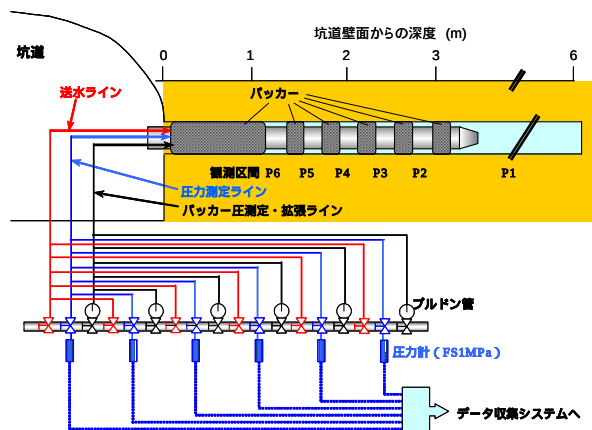


図-4 坑壁近傍の間隙水圧計測装置の概念図

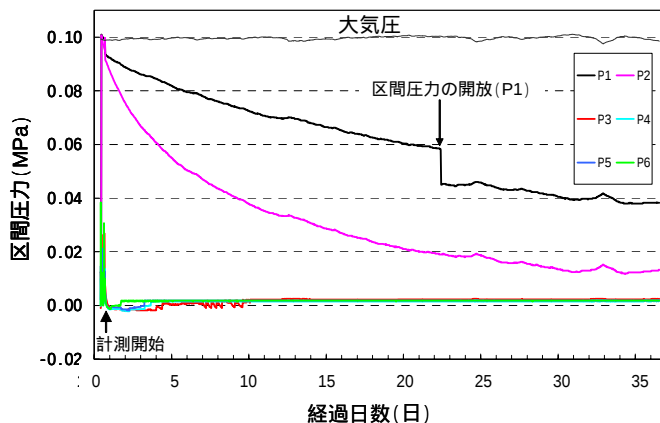


図-5 間隙水圧計測結果