

(22) 電磁波検層開発に関する岩盤基礎実験 (その1)

電気通信大学		鈴木 務
電気通信大学		荒井 郁 男
公害資源研究所	正会員	小林 秀 男
間組技術研究所	正会員	向 上 孝 海
間組技術研究所	正会員	北 村 弘 美
川崎地質 (株)		登 内 正 治
川崎地質 (株)		○ 結 城 則 行

1. はじめに

岩盤調査への電磁波の応用は、ヨーロッパや米国のような海外で、最近報告が出てきた。しかし、現状ではたまたま計測したら断層が存在したという程度で、どの程度の周波数帯を使用し、どのような探査距離でどの規模の破砕帯、及び亀裂まで調査可能かという分解能の問題、またこの方法によってどの程度の距離まで探査可能かという減衰の問題等基本的な問題が解決されていない点がある。

電磁波の深層地質調査への応用を考えた場合2通りの方法がある。1つは1本のボーリングを利用して孔壁周辺部の小さい亀裂を比較的高い周波数で(約1GHz)計測する。この方法はボーリング孔壁から入射した電磁波の亀裂面からの反射を計測する反射式方法である。他の方法は2本のボーリング孔を使い、1本の孔に送波器、もう1本の孔に受波器を挿入し岩盤中を透過する電磁波の伝ば速度及び減衰を計測し、得られたデータをTomographyで計算処理し2本のボーリング孔間地層情報を得る方法である。このような2つの方法から得られるデータは、岩盤内構造物建設に伴う設計情報資料としてはそれぞれ異なる。反射法は分解能のよい高い周波数を利用することによりボーリング孔壁周辺の比較的小さな亀裂を3次元で求めることにより、地殻の長期安定性、水圧破砕法と併用により応力、地下水の流動、地震学的安定性、熱、岩盤強度等の有効なデータとなる。透過法のデータは断層や地層境界面等の比較的大きな地質構造探査を目的とし、長い探査距離が必要であることから低い周波数を使用する。この計測データから大きな地質構造を把握し、建設立地条件の検討資料とする。

そこで、このような調査法を開発していく上で最も重要な基礎的データとなる、どの程度の亀裂幅まで探知可能かという分解能実験と、探知可能距離を検討する減衰実験をおこなった。

2. 亀裂幅と反射強度実験

1) 実験方法

図1に示す装置により、約30cm立方体の岩石の供試体2こを重ねて2つの供試体の間の間隔を広げながら、図2に示すような方法で間隔の違いによる反射強度の差の計測をする。

2) 実験結果

小さい供試体を使用したため、今回の実験では電圧は最少でおこなった。亀裂が空間の場合はこのような計測では2mmの亀裂幅まで計測可能である。しかし、亀裂に水が存在する場合は、水と岩石の電磁波に対する物性が異なるため、ほぼ密着した状態でも亀裂をとらえることが可能であることがわかった。

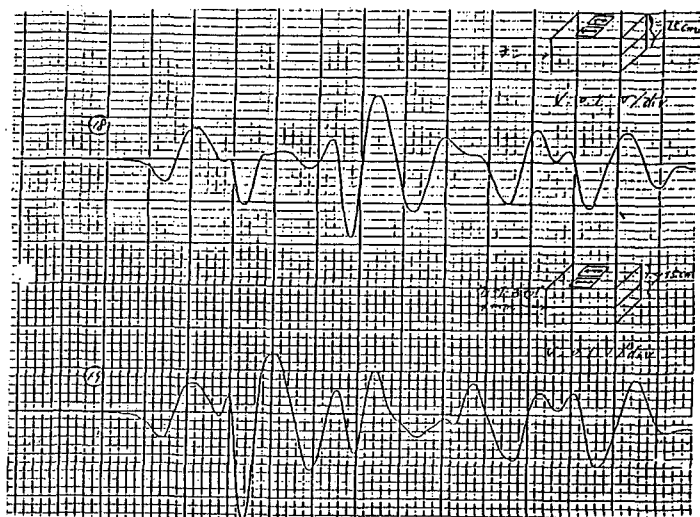


図3. 実験結果例

3. 探知距離に関する実験

1) 実験方法

このような目的の実験では、大きな供試体が必要であり今回の実験も野外採石場で行った。図4に示すような超水圧式カッターで採石用に作られた石の切り出し溝に受信アンテナ及び発信アンテナを挿入し計測距離を変化させることにより実験を行った。使用した周波数は500MHzを使用した。このような減衰率実験の結果から減衰率曲線を導き、このグラフから減衰定数を求め探知距離の検討を行う。また、このような装置の最少検出可能電圧は次式で示される。

$$Pr = K \cdot Tn \cdot Bn \cdot Fn \cdot (So/No) \min$$

K : ボルツマン定数

Tn : 受信器の等価雑音温度

Bn : 雑音帯域幅

Fn : 雑音指数

So/No : 物標検出に必要な最少の信号雑音比

ここで、現在使われた使用装置の定数を上式に代入し最少検出電力を導くと、

$$Tn = 298K, Bn = 100MHz, Fn = 5dB$$

$$So/No = 10dB$$

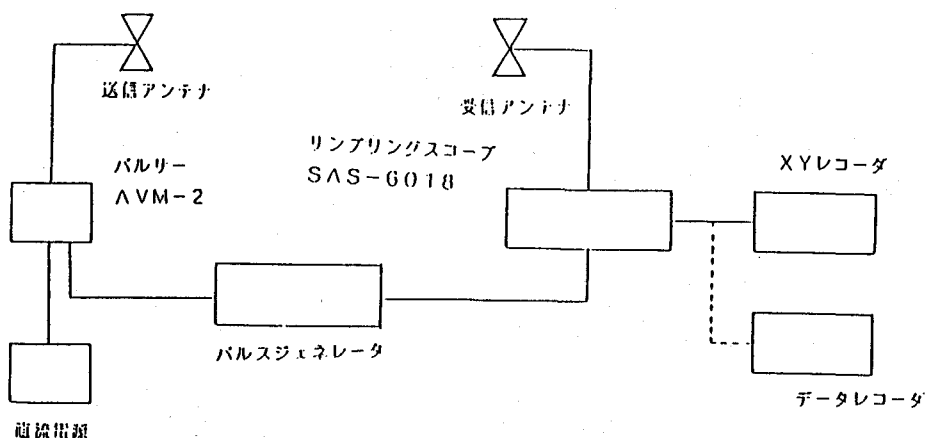


図1. 実験装置

実験に使用周波数は1GHzである。2つ重ねた供試体の上の供試体の上面に受信アンテナと発信アンテナを設置し2つの供試体の間の間隔を変える。上の供試体の上面から入射した電磁波は、この仮想亀裂（供試体間）から反射して帰ってくる。この反射波を受信アンテナで計測を行った。今回の実験に使用した供試体は茨城県筑波産の稲田花こう岩である。また、仮想亀裂間に水が存在する場合とそうでない場合の実験を次の方法で行った。

1) 亀裂が空間の時

電磁波の伝ばに関係しない発泡スチロールを供試体間に入れ、亀裂幅を変化させた。

2) 亀裂に水が入っている時

2つの供試体を水槽に入れ、上の供試体をジャッキで上に吊上げることで亀裂幅を変化させた。

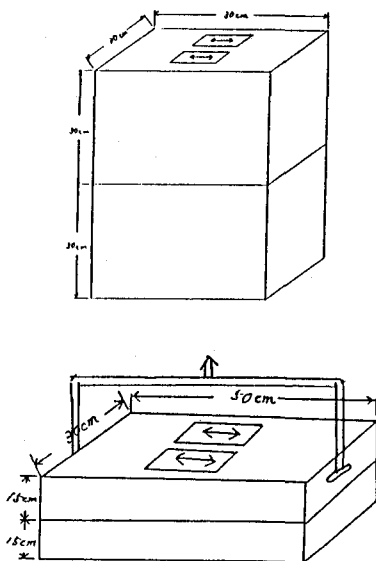


図2. 実験方法

$$Pr = -78.9 \text{ dBm}$$

となる。そこで探知距離と最少受信電力の間は次式で近似される。

$$Pr \propto \left(\frac{R_0}{R} \right) e^{-\alpha(R-R_0)}$$

R_0 : 空気中の実験距離

R : 岩石透過実験距離

Pr : 受信電力 (最少検出可能電力 = -78.9)

この式から逆に探知可能距離を導き検討を行った。また、今回の実験データから空気中の電磁波の伝ば速度との比から花こう岩の誘電率すなわち伝ば速度も同時に求める。

2) 実験結果

500MHzの周波数における花こう岩内探知可能距離を、今回の実験データと最少検出電力 (-78.9 dBm) から求めると、約80mが可能である。

また、本実験において振幅特性から減衰と、空間からの

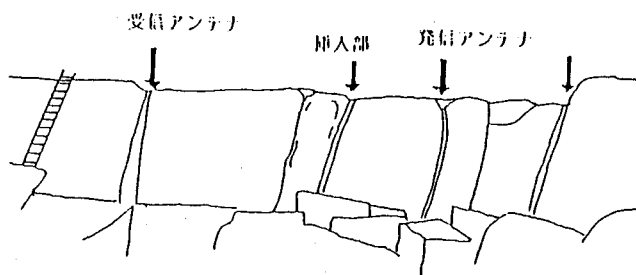


図4. 透過法実験現場

遅延時間を計る方法により、誘電率すなわち花こう岩内伝ば速度も求めた。結果は誘電率は5.57の値が得られた。

今回の実験の亀裂幅と反射強度実験、探知距離に関する減衰実験の結果は岩盤レーダ法における計算処理段階でソフトに相込み計測精度の向上をはかる。更に、現在は周波数をいろいろ変えた周波数特性実験及び岩種別実験を実施中である。

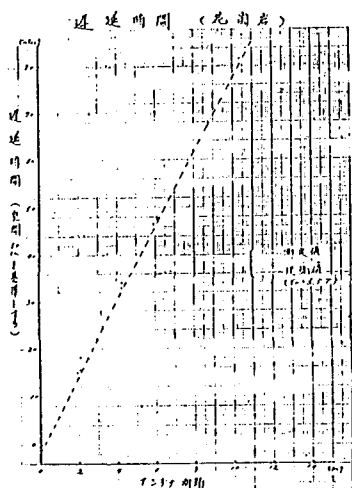


図5. 誘電率計測結果

荒井郁男, 鈴木務, 1983, 地中レーダシステム, 電子通信論文誌, Vol. J. 66-B, No. 6, p. 713-720.

A. L. RAMIREZ and W. DAILY, 1985, Preliminary evaluation of alterant geophysical tomography, 26th US Symposium, Rock Mechanics Rapid City, p. 808-813.

(22) The first investigation concerning the design of a borehole radar system in rock mass

Tsutom SUZUKI, Ikuo ARAI,¹⁾ Hideo KOBAYASHI²⁾
Takaumi KOJO, Hiromi KITAMURA,³⁾
Shoji TONOUCHI and Noriyuki YUKI⁴⁾

Recently the electromagnetic waves has favorably been noticed in the investigation in rock mass. A radar system uses very short pulses, which is transmitted and received by dipole antennas inserted into the boreholes. There are two methods in electromagnetic measurement. One is a single hole radar reflection method, the other is a cross-hole transmission measurement. Reflection method has been used to identify fracture zones and determine their position and orientation. The probe including the transmitter and receiver are lowered into the same hole.

The zones and cracks cause strong and well defined reflection. In a cross-hole survey the transmitter and receiver are placed in separate borehole. The amplitude of the radar pulse propagating directly from transmitter to receiver give information on the properties of the rocks between the two boreholes.

In above mentioned methods it is important to know the reflection intensity from cracks and fracture zones, and how far the methods can survey, namely the attenuation in rock mass. The experiment was conducted in a granitic mass and about 30 centimeters cubes for the purpose of obtaining data of the attenuation, velocity and reflection intensity in granitic rock.

1) The University of Electro-Communications

2) National Research Institute For Pollution and Resources

3) Hazamagumi Ltd.

4) Kawasaki Geological Engineering Co., Ltd.