

(21) 岩盤内亀裂計測用反射式電磁波検層器の開発

電気通信大学	荒井 郁 男
東電設計	正会員 菊池 宏 吉
川崎地質(株)	登内 正 治
川崎地質(株)	○ 飯島 利 仁

1. はじめに

電磁波の活用は最近人工衛星を使ったりリモートセンシング等利用され注目されている。土木学の分野でも地下埋設物を地表面より探る物理探査に1970年代後半より応用されている。従来のこのような孔内検層には孔内弾性波探査が行われている。このような弾性波探査の分解能は理論上利用する弾性波の波長の $1/4$ であり、波長は(弾性波速度/周波数)で求められる。従って弾性波探査に使われる周波数が大体30~100Hz前後であるので分解能は1~2mである。これ以上の分解能が必要な時にはもっと高い周波数が必要となる。そこで、電磁波は数MHzから1GHzの波を発生させることが可能で岩盤内での減衰が少ないことから、高い分解能が期待でき、構造物施工に必要な土木的定数(亀裂性岩盤の評価)のより精度の高い値を得ることが可能となりきわめて有効な方法と考えられる。

岩盤内構造物建設に伴う問題点は地殻の応力、地下水の流動、熱、地震学的安定性等である。これらの問題点に共通に必要なことは岩盤内亀裂評価の重要性である。そこで、海外でも最近話題を集め研究されている高周波で岩盤中において、減衰が少ない電磁波の応用は非常に有効であり、同時に孔内弾性波探査より現場計測がかなり容易である。海外で研究されている方法は、2本のボーリング孔に受信器と発信器を別々に挿入し岩盤内に電磁波を伝ばさせ計測しTomographyで処理する透過法であり、この方法は我々もすでに開発を完了している。本開発の反射式電磁波検層器は1本のボーリング孔に受波器と送信器を内蔵したソndeを挿入し、孔壁周辺の亀裂面からの反射波を計測する方法である。本検層器には方位計、回転計を内蔵しており、ボーリング孔を回転させながら降下させる計測方法をとる。この方法を行うことにより、解析結果はボーリング孔の周囲の亀裂面を3次元の表示が可能となる。

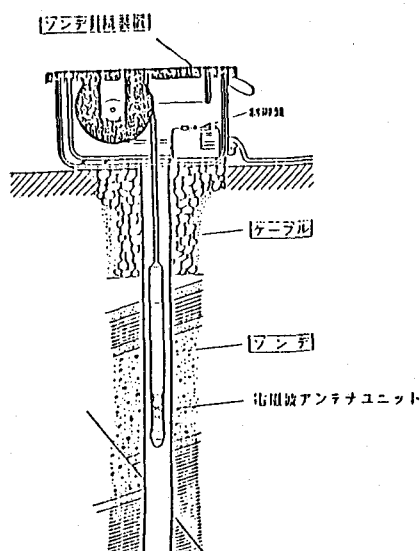


図1. 反射式電磁波検層ソnde部

2. 従来技術と問題点

岩盤は、亀裂・ジョイント・破碎帯・断層等を含む不連続なものであり、その幾何学的、力学的、及び水理学的性質を知ることは地質、土木工学上の大きな課題となっている。

亀裂性岩盤の評価は、断層や地層の境界を求める地質構造調査とは異なり、岩盤中の亀裂を求める分解能の高い計測方法が必要となる。従来の調査法としては、ボーリング孔を掘削し孔壁ボアホールカメラで視測するか、ボーリングのコア観察、孔内超音波検層等がある。しかし、ボアホールカメラ観察及び孔内超音波検層は孔壁の表面探査方法であり、また、ボーリング孔掘削時の応力解放による亀裂と前からの潜在亀裂との区別は困難である。さらに、孔壁への泥水の付着により孔壁の亀裂観察が出来ない。ボーリングコア観察は開口亀裂か、そうでないかの区別が出来ない。孔内弾性波探査では岩盤中の小さな亀裂を計測する分解能がない。この点、電磁波の応用はこのような問題点が解決できるとともに、透水性に重要な岩盤内部の亀裂の連続性の評価が可能となる。

反射式電磁波検層は一本の孔に送受信二つのアンテナを挿入して計測する方法である。この方法は他の従来の方法に比べて現場での計測が早く経済的メリットがある。しかし、この方法の問題点は発信する電磁波の周波数を計測中に変えることが出来ない点である。周波数が高い電磁波は減衰が大きく孔壁から短距離の部分の詳細に計測することが有効であり、一方低周波は長い距離の比較的大きな亀裂を調査するのに有効である。そこで本装置は300MHz、500MHz、1GHzの周波数を発信できるアンテナを調査目的によって変えることが出来るようにしてある。

このように計測に使用する電磁波の周波数を変えて、分解能を変えることによりボーリング孔周辺の微細亀裂あるいは孔から離れた部分の亀裂情報を3次元で得ることが出来る。この計測から得られたデータにより亀裂分布の評価、亀裂の密度関数を求めることにより、浸透流解析に結びつけ岩盤の透水性の評価、あるいは、施工に必要な土木定数を得ることは岩盤内構造物の設計、施工方法の検討の上できわめて有効な検層法となる。

3. 発明の構成

1) 方法

一般の土木調査用ボーリング孔は孔径が66mmの直径である。この孔に発信、受信アンテナ、方位計、回転計を内蔵したゾンデ部を地表よりボーリング孔内に挿入する。発信アンテナから放射した電磁波はボーリング孔壁から岩盤中に入射し、物理的物性の異なった境界面で反射しボーリング孔壁に帰ってくる。この波を受信アンテナで獲得し解析する。計測深度はセンサ部と陸上を結ぶケーブル長を巻上げユニット部でとらえる。同時に計測中の深度調整は深度制御ユニットで行う。また、計測方向は内蔵の方位

計で捕え、方位調整は地上の方位制御ユニットで行う。受信された電磁波の信号は低周波に変換しケーブルで地表に伝送し、深度信号、方位信号と一緒にマイコンに取込み現場で大まかな亀裂情報を得る。また同時に現場でデータはレコーダに収録し室内に持ちかえりミニコン程度の計算機で波形解析をおこない結果を3次元で表示する。

2) 機器構成のユニット

1. ソンデ部（方位計、回転計、発信アンテナ、受信アンテナ）
2. ケーブル
3. 制御PCBユニット
4. A/DインターフェイスPCBユニット
5. ディスプレイユニット（PC9801, 11インチカラーブラウン管）
6. データ記録ユニット
7. 深度制御ユニット
8. 方位方向スケールユニット

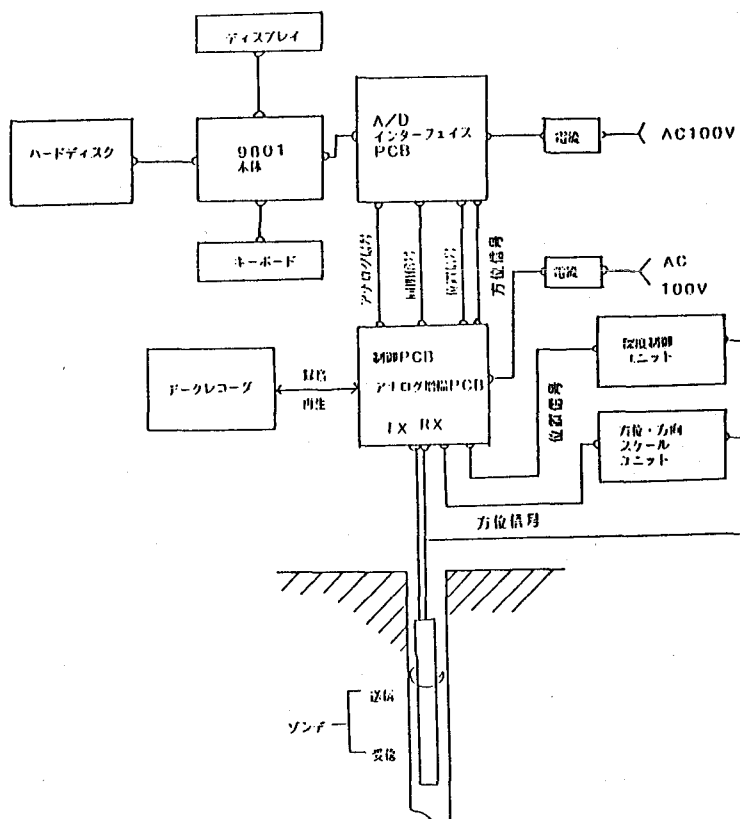


図2. 反射法検層器の概略図

4. 反射法機器のソフト

現場ではPC9801のマイコン及び11インチカラーブラウン管で計測中の状態をチェックする。詳細解析は現場でテープに収録したデータを室内に持ちかえり、ミニコンあるいは大型計算機で処理する。

計測方法はボーリング孔の上部から挿入したゾンデを回転しながら下方に移動させて計測する。この時、深度制御ユニットから位置信号が、方位方向スケールユニットから方位信号が制御PCBに伝達され、電磁波計測信号と調整される。すなわち計測時の方向、深度がわかる。そこで、ボーリング孔に直角の16断面上に信号データを取出す(図3)。この断面上の亀裂面からの反射信号を結びボーリング孔周辺の亀裂を3次元で表示する。

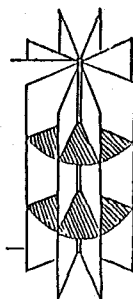


図3. 反射信号の処理法

5. 解析結果の応用

反射式電磁波検層法により得られたデータは岩盤内構造物建設に伴う資料として次の項目への利用が有効と考えられる。

- 1) 地下水の流動解析への応用
- 2) 地下応力への応用(水圧破碎との併用)
- 3) 岩盤評価への応用
- 4) 地震学的安定性の検討
- 5) 地質構造への応用

岩盤は亀裂、ジョイント、破碎帯、断層を含む不連続なものであり、その幾何学的

、力学的及び水理学的性質を知ることが地質、土木工学上重要であり他の計測手法あるいは解析方法との複合的使用法は計測法の向上となる。

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.

R. D. RADCLIFF and C. A. BALANIS, 1981, Electromagnetic Geophysical Imaging Incorporating Refraction and Reflection, IEEE Trans. Ant. Propa. P. 288-292.

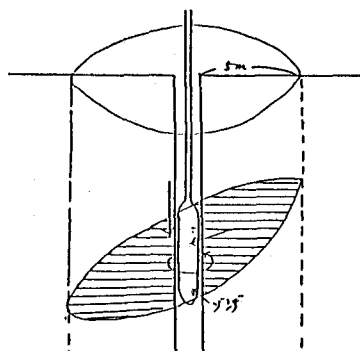


図4. 解析結果模式図

(21) The design of a reflective borehole radar system for detection of cracks in rock

Kunio ARAI,¹⁾ Kokichi KIKUCHI, Shoji²⁾
TONOUCHI and Toshinori IJIMA³⁾

Radar systems used for geological survey normally use in the frequency range 10~1000MHz. Surface radar systems have been used for determination of the location of buried pipes and cables, groundwater prospecting, peat survey and so on. Radar has been used in boreholes and from drifts in rock salt to detect fractures and rock salt boundaries. Recent development of borehole radar systems has been performed by Prakla-Seismos in Germany, the US Geological Survey (USGS) and Boliden Mineral AB in Sweden. A common feature of these system is that they are short pulse system and that they work in the frequency below 100MHz.

A new borehole radar system has been constructed to obtain information about small cracks around a borehole. It is important to detect these small cracks for the construction in rock, namely dam, tunnel and etc. Electromagnetic waves are transmitted and received by dipole antennas inserted into one borehole. The system uses very short pulses for the aim of the survey and can change the frequency range from 300 to 1000MHz. The received signal is sampled at a high rate, converted into long pulses and transmitted on cables together with the exact orientation and location signals to PCB unit at the ground surface. A microcomputer with floppy disc units for data storage, data presentation and signal analysis.

1) The University of Electro-Communications

2) Tokyo Electric Power Services Co., Ltd.

3) Kawasaki Geological Engineering Co., Ltd.