

(38) 岩盤レーダーに関する室内および現地実験について

幀 間 組 正会員 向上 拙美
同 上 " ○北村孝海
同 上 " 塩崎 功
川崎地質幀 " 登内正治

BASIC AND FIELD TEST RESULTS BY RADAR

Hiromi KOJO, Takaomi KITAMURA, Isao SIOZAKI (HAZAMA-GUMI, LTD.)
Shoji TONOCHI (Kawasaki Geological Engineering Co., LTD)

Abstract

For surveying the structure of the strata, faults, etc., borehole radar system using electromagnetic waves has been developed.

Basic and field test results were as follows: ①The amplitude attenuation was influenced considerably the crack on electromagnetic wave paths. Especially, an incident angle of the ray against the crack plane effect the attenuation. ②The measured range exceeded 20m in cracky rock mass of granodiorite by a borehole radar. The influence of an incident angle on the attenuation was also noticed at the field test.

1. まえがき

筆者らは、岩盤の構造、断層、弱線部等を探索する技術として、電磁波を用いたボアホール型岩盤レーダーの開発を進めてきた。この開発に当っては、岩盤中の電磁波伝播特性を知ることが不可欠であるが、未だ十分な研究がなされているとは言い難い。そこで、岩盤中に亀裂がある場合、亀裂の挟在物の種類、電磁波の入射方向による影響に着目した室内実験を実施した。また、岩盤レーダーによる探索性能については、探索可能距離の延伸が望まれているが、これに関して複数のタイプのアンテナを用いた現地実験を実施したので合せて報告する。

2. 室内実験

直交亀裂と斜交亀裂による伝播特性の差異、亀裂挟在物の種類による伝播特性の差異を調べるために実験を行った。

2.1 実験方法

実験は、直方体もしくは立方体の表面が滑らかな試験岩体を、亀裂を模擬するため所定の隙間を開けて床に並べ、岩体の側面の一端に発信アンテナ、他端に受信アンテナを密着させて透過法による測定を行った。また、電磁波の入射方向が隙間と直交・斜交する場合のデータを得るため、受信アンテナは岩体側面を水平方向に移動しながら複数の点で測定を行った。以下に、実験条件を示す。

1) 使用試験体：10×30×30cmおよび30×30×30cmの真壁花 岩

2) 使用アンテナ：中心周波数780MHzの平板アンテナ(不要反射波の影響を少なくするため、アンテナ背面

にはフェライト板を取付けた。)

3) 亀裂幅：密着、4mm、8mm、12mm

4) 使用亀裂挟在物：空気、純水、イオン水A、イオン水B、ベントナイト泥水

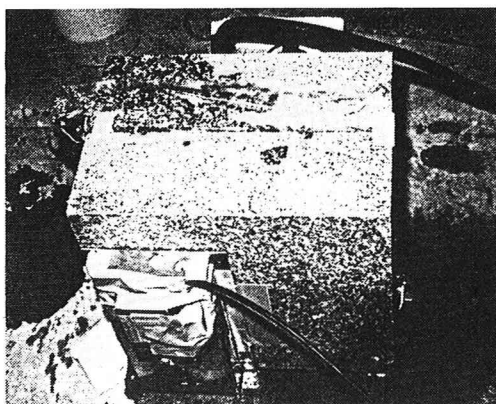


写真-1 室内実験の状況

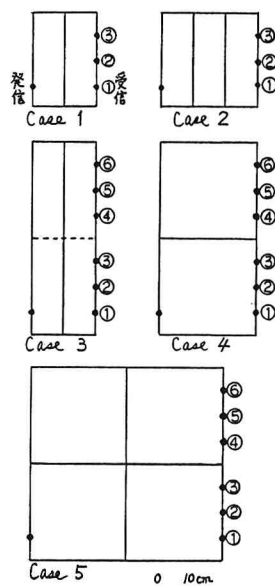


図-1 実験ケース

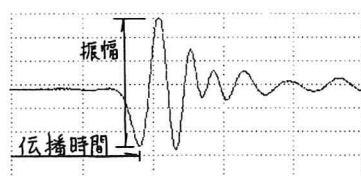


図-2 波形読みとり方法

2.2 実験結果

(1) 電磁波伝播速度に対する亀裂の影響

波線と亀裂の交差角による影響を図-3、挟在物の種類による影響を図-4に示す。

1) 波線と亀裂の交差角による影響

直交から順次斜交するにしたがい、伝播速度が速くなるものがみられ、その増加率は最大で10%程度である。しかし、伝播速度については、①図-2に示したデータ読みとり方法による場合、発受信点間の伝播距離が長くなると伝播速度が速くなり、今回の実験では最大約5%であり、また、②データ取込み時間間隔による誤差が約5%みこまれる。伝播速度の変化はこの範囲に留まっており、交差角による影響はあまりないと考えられる。

2) 亀裂挟在物の種類による影響

実験ケースによって異なる傾向が生じており断定することは難しいが、純水の場合が若干伝播速度が遅くなる様子が見られる。亀裂のない30cm立方の岩体で別途測定した伝播速度は9.9cm/nsecであり、亀裂がある場合の結果も伝播距離が同

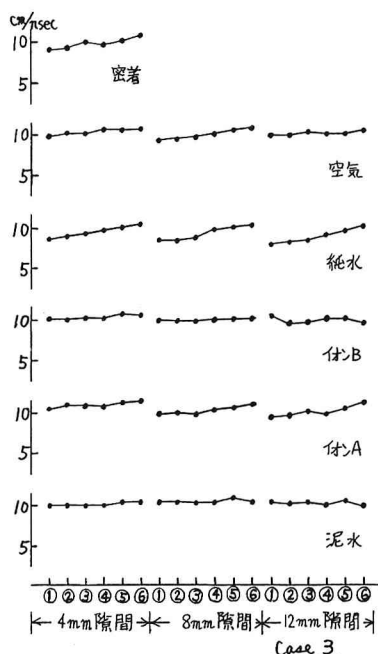


図-3 波線と亀裂の交差角による影響

程度のものはこの値とほぼ同じ速度を示している。このことから、岩の実質部長さに対して今回の実験程度の亀裂幅であれば、伝播速度に変化はほとんど見られないと考えられる。

(2)振幅に対する亀裂の影響

波線と亀裂の交差角による影響を図-5.6、挟在物による影響を図-7に示す。図-5.6については、距離に伴う振幅減衰を補正した結果を示してある。補正は、各ケースの①の場合を基準に $e^{-\alpha r}/r$ の逆数をかけることによった。

1)波線と亀裂の交差角による影響

図-5によれば交差角が直交から斜交へと移るにしたがい、振幅の減少は著しく、最大80%程度減少している。一方、図-6によれば斜交による振幅減衰はほとんど見られず、むしろ振幅増加が見られるものがある。この両者の差は、亀裂の入り方による影響が大きいのではないかと推定される。すなわち、単純な1方向のみの亀裂が卓越する場合は、それと波線との交差角のみによって振幅に影響が生じるのに対し、亀裂が複雑に交錯する場合は、波線の入射方向が複数となることに加え、亀裂間の重複反射等の影響があるため、条件によっては振幅が増加することもあるのではないかと考えられる。

また、亀裂の幅による振幅への影響も認められ、幅4mmに対し12mmの場合には最大20%程度の振幅減少が見られる。

2)亀裂挟在物の種類による影響

密着と挟在物が空気の場合は、振幅に差はあまり見られないが、挟在物が水溶液の場合は振幅の減少が見られ、密着・空気に比べ20~40%振幅が小さい。水溶液の種類で比較すると、電気伝導度の高い方が振幅の減少はわずかに大きいようである。

3.現地実験

電磁波の探査可能距離を延伸する上で、有効なアンテナタイプを検討するために現地実験を行った。

3.1実験方法

実験は、福島県宮松ヶ房ダム(施工中)洪水吐横の実験サイトで透過法の測定を行った。実験サイトの地質は白亜紀後半の花崗閃緑岩

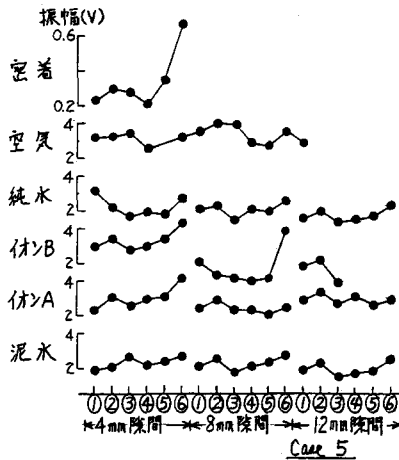


図-6 波線と亀裂の交差角による影響Case5

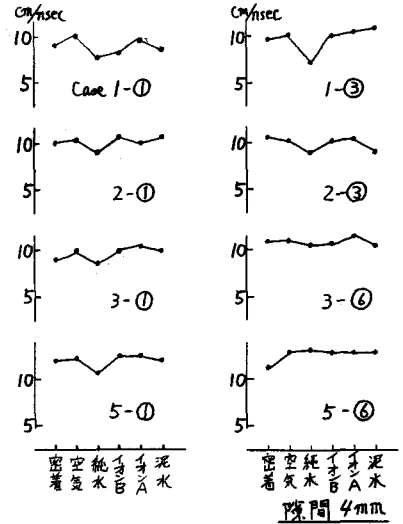


図-4 挟在物の種類による影響

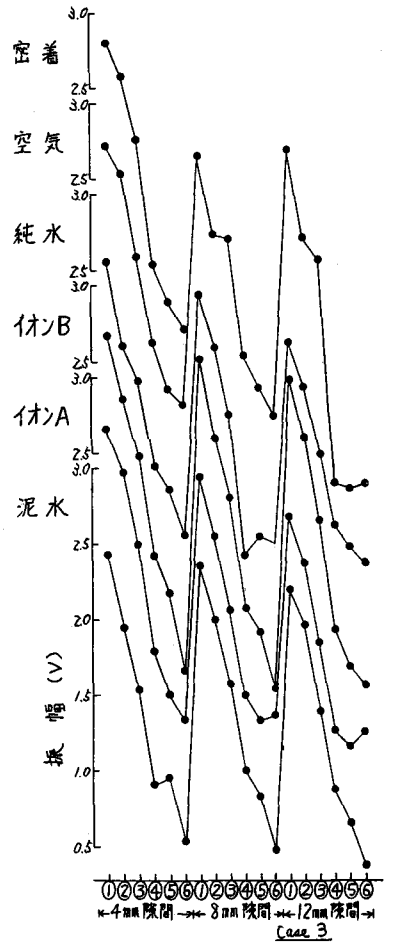


図-5 波線と亀裂の交差角による影響Case3

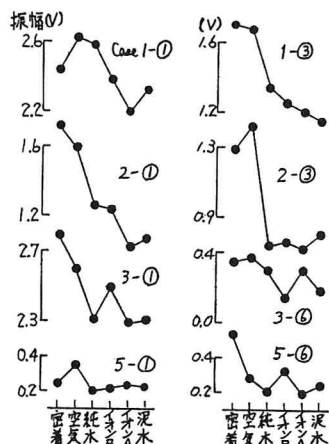


図-7 挟在物の種類による影響

で、岩盤等級は $C_M \sim C_L$ 、RODは平均40%程度、亀裂頻度は5~10本/m程度である。以下に、実験条件を示す。

1)使用アンテナ：中心周波数30MHzのボアホール型で、通常ダイポールアンテナ(通常型)・ローディングコイル型・タンザク型・誘電体型の4種

2)ボーリング孔間距離：10m、20m

使用したアンテナと実験状況を写真-2,3に示す。

3.2実験結果

実験によって得られた受信波形を図-8に示す。孔間距離10mにおいてはいずれも明瞭な波形が得られているが、距離20mにおいてはノイズ成分が多くなっている。アンテナタイプ別に見ると、基線の安定・波形のなめらかさ・波形の明瞭さにおいて通常型のアンテナが最も優れているようである。距離20mにおける波形は、読みとりづらいもののノイズ部分とは判別可能であり、当実験サイトのように亀裂頻度の高い $C_M \sim C_L$ 級岩盤においても、20m以上の探査能力を有することが確認できた。

次に、孔間距離10mでのトモグラフィ用測線について得られたデータのうち、室内実験の章で述べた「波線と亀裂の交差角」に関連する結果を図-9に示す。図-9において特徴的なことは、いずれの深度においても発信機が受信機より上(浅い所)に位置する場合が、その逆の場合より振幅が大きいことである。また、振幅の最大は発・受信機が同一深度ではなく、発信機が受信機より1~2m高い位置で生じている。当実験サイト横で実施した亀裂観察結果によると(図-10)、60~80°の傾斜を持つ縦亀裂が卓越していることがわかっている。

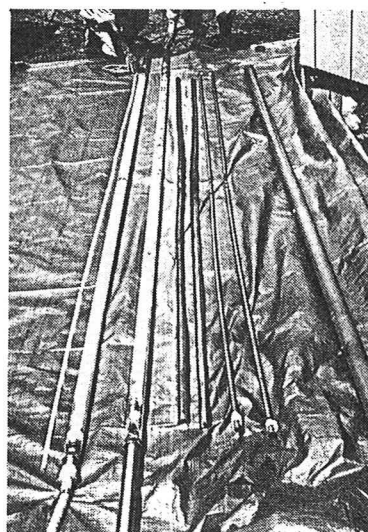


写真-2 使用アンテナ 左:タンザク型
中:通常型 右:誘電体型

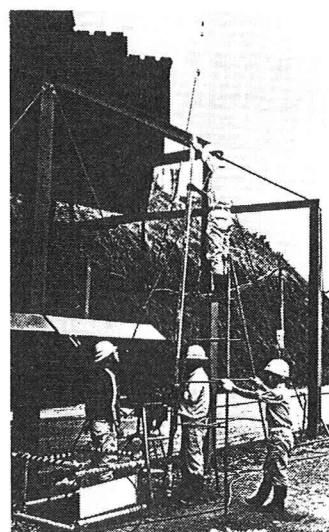


写真-3 実験状況

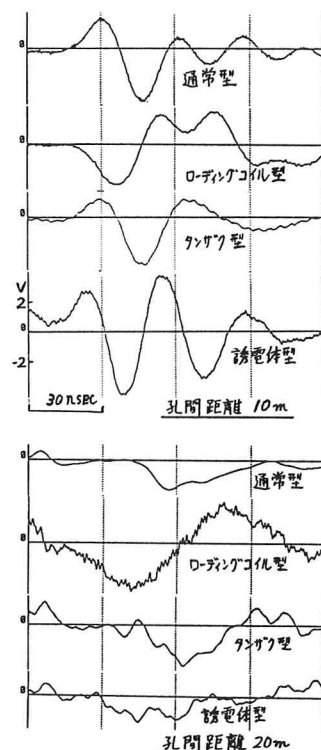


図-8 受信波形

この亀裂分布と室内実験の結果を踏まえて考えると、発信機が受信機より上に位置する場合は波線が亀裂と直交する方へ向かうこととなり、最も直交に近い状態になった時(孔間距離10mで高低差1~2mは、80~85°の傾斜となる)に振幅が最大となったものと推定される。

4. まとめ

1)電磁波伝播経路中に存在する亀裂によって、伝播速度にはあまり影響は認められないが、振幅には大きな影響が現われる。とくに、波線と亀裂の交差角によっては、著しい振幅の減少を生じる場合がある。この結果は、実際の探査においては、伝播速度より振幅の方が有効であることを示すと同時に、振幅の結果の取扱いには注意が必要であることを示している。さらに、振幅が交差角の影響を受けることは、卓越する亀裂の走向・傾斜も情報として得られることを示していると考えられる。

2)ボアホール岩盤レーダーによって、非常に亀裂の多いC_M~C_L級の花 岩盤において、20m以上の探査性能が得られた。このことは、堅硬で亀裂の少ないC₄級以上の岩盤では50m以上の探査性能を有するものと推定される。また、現地実験においても室内実験の結果と同様に、波線と亀裂の交差角による振幅への影響が認められた。

5. あとがき

今回の報告は、実験結果を述べるに留まった。今後、媒質間の透過・反射と媒質の電気的性質の関係から現象の理論的考察などを行い、現場での探査結果にその影響を考慮できるようにする必要がある。

参考文献

1)坪田浩二、則竹和光、登内正治、大沼寛:岩石に対する電磁波特性基礎実験(その1)、物理探査学会第78回学術講演会講演論文集、pp.303~304、1988.5

2)向上拡美、北村孝海、塩崎功、登内正治:ボアホール型岩盤レーダーによる探査結果について、第20回岩盤力学に関するシンポジウム講演集、pp.21~25、1988.2

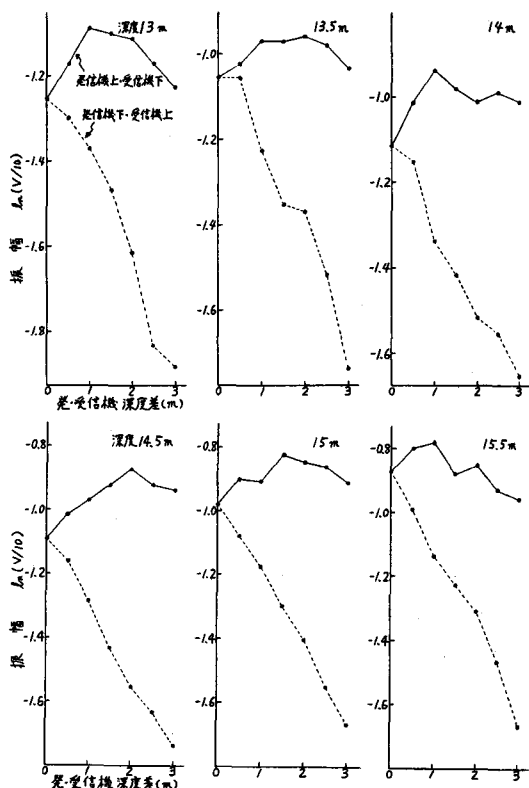


図-9 発・受信機の位置関係による振幅の変化

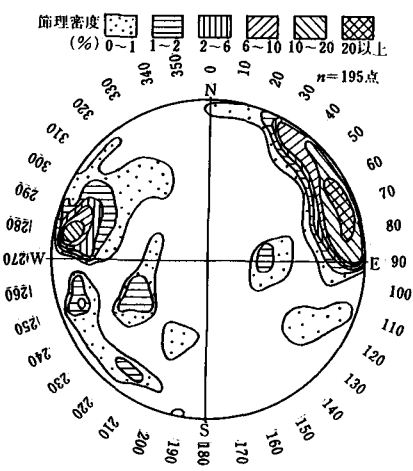


図-10 シュミットネット