

地中レーダの紹介

吉永 徹

熊本大学工学部技術部 環境建設技術系

1. はじめに

地中レーダ(Ground Penetrating Radar, GPR)はアンテナから送信される電磁波の波としての性質を利用し,地下に存在する地質境界など電気的性質の異なる境界面からの反射波・屈折(透過)波を受信することで地下をイメージングする物理探査法である.地中レーダの主な特徴をまとめると以下のようである.

- 対象物に対し非接触での計測が可能
- 高分解能(送信周波数によるが数 cm 程度の分解能計測も可)
- 計測対象は金属,非金属を問わない.
- また,空気を含む媒質でも計測が可能
- 装置の構成が非常にシンプル

図1は筆者らが使用している地中レーダ(GSSI社製,アンテナは400MHzを使用)である.本装置は上述の特徴に加え,一人でも計測が可能な小型・軽量であり,アンテナを移動させながらリアルタイム(Sampling Rate 512/1024/sec)でスキャン画像を得ることができる.以上のように,地中レーダは簡便性,高速性,再現性の良さに加え,同じ波動(地震波)を利用した地震探査では適用困難な空気層や砂層などを含む状況でも使用できることから,我が国では都市部におけるパイプ,ケーブル等の地中埋設物検知や路面空洞調査,コンクリート構造物の保全調査など土木,非破壊検査の工学分野で広く用いられ,地中レーダが一般的に知られるようになった遺跡調査への適用や文化財調査等にも活用されている.

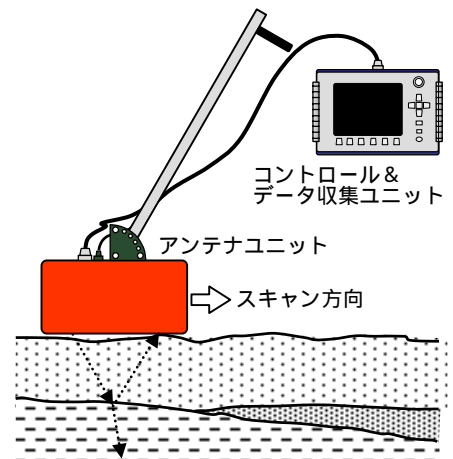


図1. 地中レーダシステム

表1. アンテナの周波数と探査深度

周波数	探査深度(m)
1.5GHz	0.5
900MHz	1
400MHz	4
200MHz	8
100MHz	20

(出典:GSSI社)

2. 地中媒質中における電磁波の伝播

土壌や岩石など地中媒質は水を含むため導電性($\sigma > 0$)であり,媒質の電磁波伝播特性は導電率 σ ,誘電率 ϵ ,透磁率 μ によって定まる.このうち実際の地球構成物質の透磁率は,金属鉱床など特殊な場合を除いて真空の透磁率 μ_0 にほぼ等しい.

地中媒質の電気的性質の評価に誘電正接 $\tan \delta = \sigma / \omega \epsilon$ が用いられる.媒質は $\tan \delta \ll 1$ のとき誘電性, $\tan \delta \gg 1$ のとき導電性である.図2は典型的な地球構成物質の誘電正接と周波数との関係を示したもので,同じ物質でも周波数によって電磁波に対する振る舞いが異なることがわかる.地中レーダは電磁波の波動性を利用するため媒

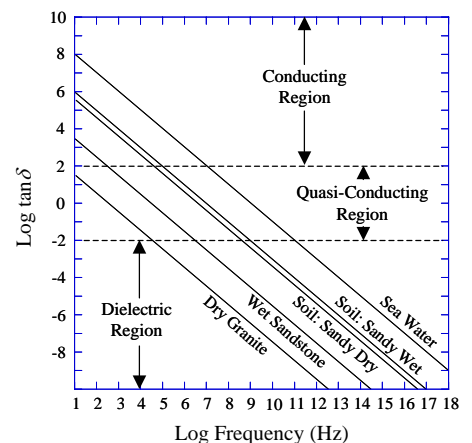


図2. 誘電正接と周波数の関係

質が誘電的となる10MHz～10GHzの周波数領域が使用される。なお、この周波数領域は伝播媒質中における電磁波の減衰が周波数に依存しない領域(位相・伝播速度についても同じ)でもある(図3)。地中レーダの最大の欠点は計測可能な探査深度が小さいことにあるが(表1)、地中レーダは送受信した電磁波の反射往復時間から地下構造を直接イメージングする技術であるために、周波数に依存して減衰率や伝播速度が複雑に変化しては対象物を正しく計測することはできない。

伝播媒質中における電磁波の減衰は媒質の導電率に比例する。また、通常の地球構成物質の透磁率は真空の透磁率に等しいことから、地中レーダ計測(反射往復時間、伝播速度)では媒質の誘電率が最も重要なパラメータとなっている。

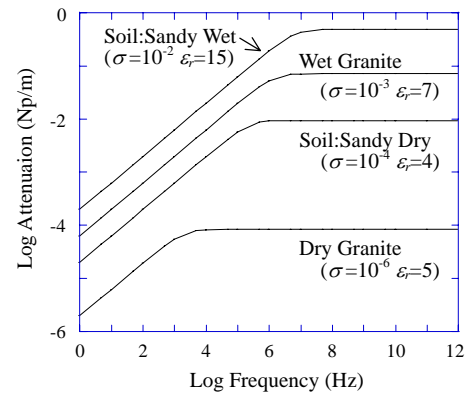


図3. 媒質中における電磁波の減衰率

3. 計測システム

地中レーダは使用するレーダの変調方式によって種類が分けられる。図4に我々が使用する地中レーダ、インパルスレーダシステムの基本構成を示す。変調をかけない直流パルスを送信を行い、受信波を時間領域で計測するのがインパルスレーダ方式である。インパルスレーダでは反射波形が反射体位置・形状に対応するので信号処理を経ずに受信信号から直接反射体の深度や位置を特定することができる。

図5は計測で得られる記録表示を模したものである。反射波形の山と谷部を色や白黒濃淡で表現する濃淡記録では様々な色調、階調が用意されているが、これらの計測結果から地中の状態を推測、計測結果を判断するにはある程度の反射パターンを経験的に知っておかなければならない。今年度に入って十数回計測を行ってみたが全くと言っていいほど判断がつかない。なかなか難しい・・・のである。

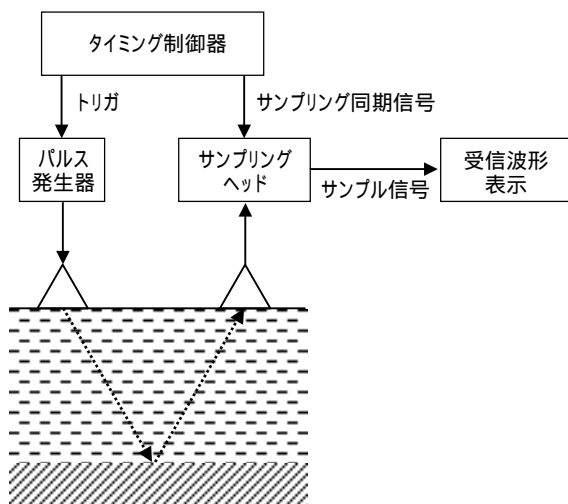


図4. インパルスレーダシステム

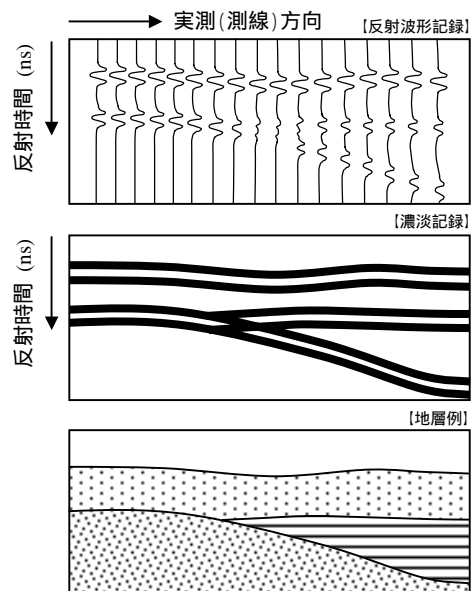


図5. 地中レーダの記録表示

【参考文献】

- ・物理探査ハンドブック：物理探査学会, 1999.
- ・佐藤 源之：地中レーダによる地下イメージング, 電子情報通信学会論文誌 C, vol.J85-C, No.7, 2002.