

## 地下レーダ法の測定原理と適用事例

*Underground Penetrating Radar—Principle and its Application to Field Survey—*

森 充 広<sup>†</sup> 長 東 勇<sup>††</sup> 畑 山 元 晴<sup>††</sup>  
 (Mitsuhiro MORI) (Isamu NATSUKA) (Motoharu HATAKEYAMA)

### I. はじめに

近年、公共事業におけるコスト縮減が重要な課題となっている。特に、国営事業等が完了し、数十年を経過した多くの地区においては、老朽化した施設の改修が喫緊の課題となっている。これらのコストを縮減するためには、補修の必要な箇所を迅速に発見、特定し、部分的な改修で対処できるよう処置することが重要である。しかし、たとえばパイプラインや溜池からの漏水などのように、その異常箇所の特定が難しい場合も多く、やむをえず全面的に開削し、改修するケースも多い。

こうした異常箇所を非破壊で探査できる手法の一つとして、船舶、航空機などで利用されているレーダの原理を地中に適用した地下レーダ法がある。地下レーダ法とは、地中に超短波（VHF）から極超短波（UHF）の領域の高周波電磁波を放射し、この電磁波の反射・屈折・透過などの物理現象を測定することによって地下構造や異常物の位置を調査する物理探査法である<sup>1)</sup>。

本報では、地下レーダ法の原理と測定方法を述べるとともに、コンクリート構造物のポーラス箇所検出、農地の陥没危険箇所予測に適用した事例を紹介する。

### II. 地下レーダ法の概要

#### 1. 地下レーダ法の発達史

電磁波によって地下構造を探査しようという着想は古くからあり、1910年前後のドイツの特許に電磁波による埋設物探査に関するものがみられる。その後、アメリカを中心に研究が進められてきたが、本格的な研究はCookが行った冰雪厚の測定に始まった<sup>2)</sup>。当初は岩塩鉱山の調査、石炭鉱山の調査など、主に資源開発を行うための探査法としてレーダが用いられた。日本においても1971年頃から研究が行われ、地層・土層構造の調査、路面下の空洞・埋設管の探査、あるいは埋蔵文化財の調査に利用されてきた。近年ではトンネル覆工裏の変状や

岩盤内の亀裂、破碎帯の分布状況あるいは断層の調査などにも適用されている。電磁波を放射する装置（アンテナ）の開発も進み、ボーリング孔を利用して地下深部の探査を行うポアホールレーダなども実用化されつつある。

#### 2. 測定原理

地下レーダ法では、アンテナと呼ばれる装置から地中にパルス状の電磁波を周期的に放射し、その電磁波が地中のどこで反射するかを測定する。地下レーダ法による測定方法の概略を図-1に示す。基本的には、次の4ステップを連続することにより探査が行われる。

- ① アンテナからパルス電磁波が発射される。
- ② 電磁波は減衰しながら地中を進行し、異常箇所の上面に到達する。
- ③ 異常箇所の上面に到達すると、一部は反射波として地上に戻ってくるが、一部はさらに透過し、異常箇所内を減衰しながら進行する。
- ④ 異常箇所上面で反射した電磁波がアンテナに到達する。異常箇所下面に到達した透過波は、さらに下

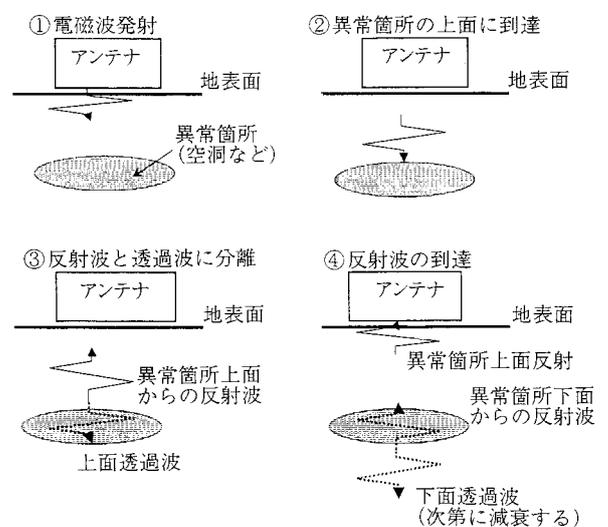


図-1 地下レーダによる探査の概要図

<sup>†</sup> 東北農政局郡山土地改良建設事業所

<sup>††</sup> 農業工学研究所



地下レーダ法、電磁波、比誘電率、非破壊、空洞調査、RCDコンクリート

方へ透過する電磁波と、再び地表へ向かう反射波とに分かれる。

地下レーダ探査では、異常箇所の上層、下層で反射した電磁波がアンテナに戻ってくるために、ある大きさをもった異常箇所の場合、多重反射という現象が見られる。したがって、地下レーダ探査画像の解釈には、この点に留意する必要がある。

あるパルス波が発射されてから地中の異常箇所まで反射し、再びアンテナに戻ってくるまでの時間を往復反射走時といい、単位は一般に ns ( $1\text{ ns} = 10^{-9}\text{ sec}$ ) で表示する。地下レーダの画像として表示される縦軸は、往復反射走時で表される場合が多い。

異常箇所までの深度を  $D$ 、地下レーダの探査画像で検出される異常箇所に対する往復反射走時を  $t$  とすると、この媒質中を伝わる電磁波伝播速度は次式で求められる。

$$V = \frac{2D}{t} \quad \dots (1)$$

したがって、異常箇所までの距離  $D$  を求めるためには、その直上に存在する媒質中を伝わる電磁波伝播速度  $V$  を知る必要がある。地中を電磁波が進行する速度は、その媒質の電気的性質、すなわち透磁率と比誘電率によって次式で表される。

$$V = \frac{C}{\sqrt{\mu \cdot \epsilon}} \quad \dots (2)$$

ここで、 $V$  : 媒質中の電磁波伝播速度、 $C$  : 真空中の電磁波伝播速度、 $\mu$  : 透磁率、 $\epsilon$  : 媒質の比誘電率である。土のような非磁性体では、透磁率はほぼ1であるので、地中の電磁波伝播速度は比誘電率に支配される。したがって、その地盤の比誘電率の値もしくは地盤を伝わる電磁波の伝播速度のいずれかの値が得られていれば、異常箇所までの深度が特定できることになる。

表-1 に主な物質の比誘電率と、その比抵抗値を挙げる。この表から、他の物質の比誘電率と比較して、水の比

表-1 主な物質の比誘電率と比抵抗<sup>3)</sup>

物質	比誘電率 ( $\epsilon$ )	比抵抗値 ( $\Omega \cdot \text{m}$ )	
空気	1	-	
アスファルト	2.5~3.5	~1000	
コンクリート	3~9	~100	
土	れき質土	9~14	100~1,000
	砂質土	11~18	50~400
	シルト土	14~36	20~200
	粘土	25~56	1~30
岩	砂岩	9~14	200~1,000
	石炭岩	6~11	2,000~10,000
水	3.2	-	
水	81	-	
海水	81	$5 \times 10^{-2}$	

誘電率が81と非常に大きいことが分かる。したがって、媒質中の電磁波伝播速度は、主にその媒質の水分量に影響されると言える。逆に水分量と電磁波伝播速度との相関を調査しておけば、電磁波伝播速度を測定することによって、地盤の水分量が特定できる。この原理を応用した水分量の測定方法がいわゆる TDR (Time Domain Reflectometry) である。

3. 探査装置

図-2 に一般的な地下レーダ探査装置のブロック図を示す<sup>4)</sup>。地下レーダ探査装置は電磁波を放射・受信するアンテナ部と、それらの制御を行う本体、および得られた結果を表示するディスプレイから成り立っている。アンテナ部にはパルス電磁波を送信する部分と、反射波を受信する部分があり、ほとんどの場合、送受信部は一体化されている。アンテナ部には、通常アタッチメントとして距離計がセットされており、探査しながら同時に走行距離を測定する仕組みになっている。本体部にはコン

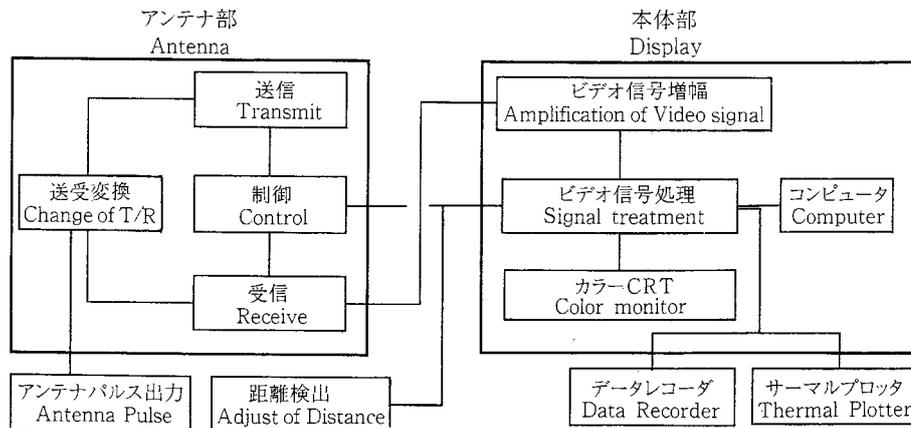


図-2 地下レーダ探査装置ブロック図

コンピュータが搭載されており、得られた信号の増幅・処理を行ってディスプレイに表示する仕組みになっている。得られた画像は、外部記憶装置（磁気テープ等）に保存されるか、もしくはビデオ出力を経てビデオテープに録画される。

アンテナから放射される電磁波の中心周波数はおよそ数十 MHz～数 GHz である。アンテナは、周波数ごとに専用のものとなり、探査目的や期待する探査深度に応じて、数種類のアンテナを使い分ける必要がある。原理的には、周波数が大きくなると、電磁波の波長が短くなるために分解能（近接する2つの物体を分離して識別する能力）が向上する。しかし、地中でのエネルギーの減衰が激しくなるために探査深度は小さくなる。一方、周波数が小さくなると、より深くまで電磁波が到達するため、探査深度は深くなる。しかし、波長が長くなるために分解能が悪くなっていく。このように、地下レーダ探査では、探査深度と分解能とは相反する要素である。さらに、探査深度は、地中の比抵抗値にも関連があり、比抵抗値が高いほど探査深度は大きくなる。これらの相関関係は、レーダ方程式とよばれる関連式で求めることができる。仮に、地盤の比誘電率が9、比抵抗値が100 Ω・m であるとすれば、探査深度は周波数100 MHzで2.7 m、500 MHzで0.55 m、1 GHzで0.27 m となる<sup>3)</sup>。

#### 4. 測定方法

測定方法には、電磁波の送信受信の距離を一定に保ちながらアンテナを動かすプロファイル測定と、送信アンテナ（あるいは受信アンテナ）を固定し、もう一方のアンテナのみを動かすワイドアングル測定<sup>4)</sup>の2種類がある（図-3）。なお、このワイドアングル測定では、明瞭な反射が生ずる地盤境界が水平構造でない場合に電磁波伝播経路長が一定距離とならず、誤差が生じる。これを防

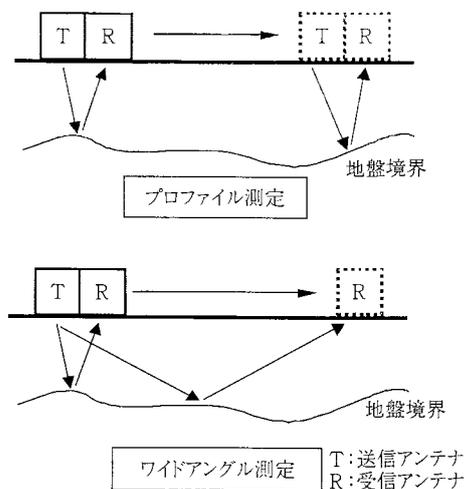


図-3 プロファイル測定とワイドアングル測定

ぐため、送信アンテナと受信アンテナをある一点から互いに逆向きに同じ速度で動かす測定も用いられ、これをワイドアングル測定という場合もある。プロファイル測定は、主に探査線直下の反射面の起伏や地質構造を直接把握する際に用いられるのに対し、ワイドアングル測定は、地盤中の電磁波伝播速度の分布を求める際に用いられる。

#### 5. 地下レーダ探査の特徴

地下レーダ探査は、他の物理探査法と比較すると、次のような利点がある。

- ① 高周波、すなわち波長の短い電磁波を使っているため、分解能が他の物理探査手法と比較すると格段に高い。
- ② アンテナを移動させるだけで、リアルタイムで直下の地下構造が確認できるため、作業性に優れている。
- ③ 非破壊で調査できる。
- ④ ボーリングなどの直接試験結果は、あくまで「点」の情報に過ぎないが、地下レーダ探査では、ある測線上の断面図が連続的に測定できる。

一方、地下レーダ探査の問題点としては、次の点が挙げられる。

- ① 他の物理探査手法と比較すると、分解能は高いものの、探査深度がかなり小さい。アンテナから発射された電磁波は地表面で約60%は反射されるため、約40%の電磁波しか地中に透過しない<sup>5)</sup>。また、透過した電磁波も地中で大きな減衰を受けるため、アンテナの周波数、対象とする地盤の比誘電率にもよるが、可探深度はおよそ4～5 m程度である<sup>7)</sup>。
- ② 得られる画像の解釈が困難である。現時点では、地下レーダ探査技術を熟知した専門家の判断によるところが大きく、客観的で確実な画像処理方法は確立されていない。
- ③ 異常箇所の内容は確認できるが、その「正体」を特定することはできない。
- ④ アンテナが走行できるスペースのある箇所でのみ測定できない。特に平面の凹凸が極端に激しい場合には、平らに均すなどの作業が必要である。

これらの欠点については、種々の改良が試みられている。ハード面では、従来のパルス波を送信するのではなく、チャープ信号（振幅が一定で、時間の経過とともに周波数が低い波から高い波に遷移する連続波）を用いることによって、探査深度を数十 m に改良した例が報告されている<sup>8)</sup>。また、画像の解析方法については、トンネル覆工背面の空洞厚を、±数 cm のオーダーで求める

ことができる時系列解析法も確立されている<sup>9)</sup>。

### III. コンクリート構造物のポーラス箇所 検出実験事例

#### 1. 実験の目的

近年、農業用ダムにおいても重力式コンクリートダムの合理化施工法の一つであるRCD工法を用いた施工事例が見られる。しかし、RCD工法に用いるコンクリートは超固練りのため、施工条件によってはポーラス箇所が生じる可能性がある。このため、現状ではコンクリートの品質を確認するために多点でコアを採取してチェックを行っている。また、多点でコア採取を行っても、それはあくまで「点」のデータであり、面としての確認はできていない。コアを採取する前にあらかじめコンクリートの状態がわかれば、ポーラス箇所があると思われる箇所でのみ点検を行えばよく、経費的な問題のみならず施工管理の確実性が飛躍的に向上する。そこで、地下レーダ法を用いて、こうした完全に空洞ではないものの、密度や間隙比が異なるポーラス箇所を、探査画像パターンの相違として特定できるか否かを明らかにすることを目的として実験を行った。

#### 2. 予備実験

(1) 予備実験の概要 現地実験に先立ち、通常コンクリートと、ポーラスコンクリートでは、地下レーダ探査画像に相違があるのかどうかを調べるために予備実験を実施した。図-4に予備実験モデルの平面図および縦断面図を示す。

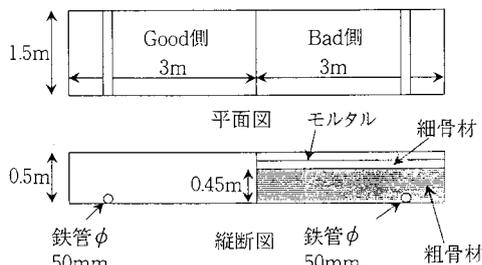


図-4 予備実験モデル供試体の平面図・縦断面図

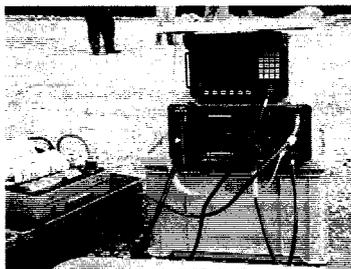


写真-1 本体

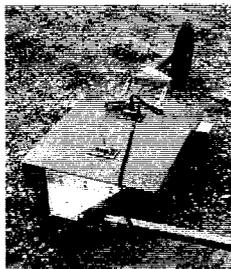


写真-2 アンテナ

図に示すように、長さ6m、幅1.5m、高さ0.5mの型枠を作製して中央で二分し、一方に通常の密実なコンクリート(以降、Good側)、もう一方に疑似ポーラスコンクリート(以降、Bad側)を打設した。Bad側は高さ45cmまで80~150mmの石英斑岩粗骨材2,884kgを投入し、その上に20~40mm石英斑岩粗骨材360kgを敷き、表層にはモルタルを打設した。Bad側の間隙率は約39%である。電磁波の到達深度を確認するために、供試体左右端から50cm、深度50cmのところに目標となる直径50mmの鉄管を埋設した。用いた地下レーダ探査システムは、G社のデジタル式地下レーダ探査装置(写真-1, 2)である。

(2) 予備実験の結果 中心周波数300MHz、500MHz、1GHzの3種類のアンテナを用いて、供試体の探査を行った。300MHzのアンテナを用いた探査は供試体を作製して約1週間後に、500MHzのアンテナを用いた探査は約3.5カ月後に行った。500MHzのアンテナを用いて測定した結果を図-5に示す。この図から明らかなように、Good側とBad側に明瞭な探査画像の相違が確認された。Good側では地表から3ns程度までの反射面しかとらえられなかったのに対し、Bad側では10ns以上の反射面をもとらえていた。また、Bad側ではあらかじめ埋設しておいた鉄管の反射面がとらえられたが、Good側では検出できなかった。この予備実験の結果から、密実なコンクリートと間隙の多いポーラス部分では、探査画像パターンが全く異なり、地下レーダ法によるポーラス部分の検出が可能である見通しを得た。

#### 3. 現地実験

(1) 試験ヤードの概要 予備実験の結果を受けて、実際のRCDコンクリートの探査画像はどのようなもの

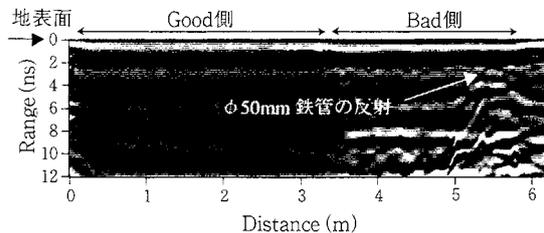


図-5 予備実験モデル供試体探査結果

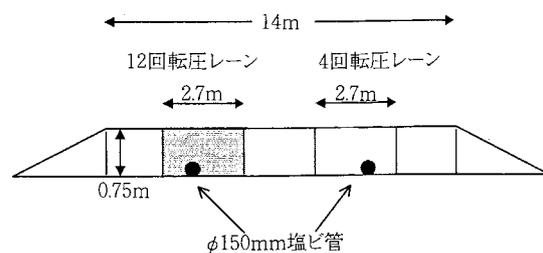


図-6 RCDコンクリート試験ヤード

かを転圧回数を4回と12回とした試験ヤードにおいて探査し、RCDコンクリート中の電磁波伝播速度、比誘電率の値を得ることを目的として現地実験を行った。作製したRCDコンクリート試験ヤードを図-6に示す。転圧機械の進入路であるスロープ区間を除いた全長は14mである。転圧回数を変えた区間は、各レーンとも2.7mであり、その区間内には、電磁波が到達するかどうかを確認するために、φ150mmの塩ビ管(VP)をあらかじめ埋設し、コンクリートとの比誘電率に差をつけるために管中を水で満たした。試験ヤードは平成8年11月に打設し、それ以降、年に1~2回の頻度で探査を実施し、これらの転圧レーンの探査画像が、経日的にどのように変化していくかを調査した。

(2) RCDコンクリート探査結果 周波数500MHzのアンテナによる探査結果(平成10年7月)の一例を図-7に示す。探査深度を確認する目的で埋設した塩ビ管は、明瞭に現れた。しかし、管の直上を示すと考えられる反射面は非常に弱く、その下の多重反射部分が、逆に強い反射面として現れている。これは、RCDコンクリートと管との比誘電率差よりも、管と管内の水との比誘電率差が大きいためであると考えられる。

まず、転圧回数の相違による地下レーダ探査画像の相違については、次の2点のことがいえる。

① 4回転圧区間の探査画像は、12回転圧区間の探査画像と比較すると、若干乱れている部分もあるが、その差はほとんど認められない。

② 12回転圧レーンに設置した管からの反射が、4回転圧レーンに設置した管からの反射よりも、やや強い。

①について、この原因を確認するため、転圧回数4回および12回の供試体を作製し、一軸圧縮試験を実施した。その結果、4回転圧のRCDコンクリートと12回転圧のRCDコンクリートとの間の強度差はほとんどなかった。したがって、転圧回数4回でも十分に締め固まっているため、地下レーダ探査の画像としては差が認められなかったと考えられる。一方、②については、4回転圧レーンでは12回転圧レーンよりも電磁波の減衰が大き

いためであると考えられる。すなわち、4回転圧レーンにおける水分量が多いか、もしくは4回転圧レーンの比抵抗値が低いことによると推測されるが、確認はできていない。

(3) RCDコンクリートの比誘電率 管の埋設深度と、管の直上を示す地下レーダ探査の反射面から、RCDコンクリート中の比誘電率を計算により求めたところ、打設直後は12~14であったが、経日的に低減し、約780日経過後では1.5~2.5程度にまで下がった。なお、転圧回数による差はほとんど認められなかった。

(4) 地下レーダ法によるコンクリート構造物の非破壊診断への適用可能性について 先に示した図-7中に「反射の乱れ」が認められた。この箇所は、数回探査を実施した際、必ず異常が現れていた。そこで、この部分において、平成10年7月の調査時に、コアサンプリングを行った。写真-3の下側がそのコアの写真である。

写真上側に示した健全なコアは、異常反射が検出された地点から約1.2m埋設管寄りの地点でサンプリングしたものである。異常な反射面が認められた地点のコアは、表層から15cm程度までは通常どおり密実であったが、15cm~22cmにかけての約7cmの区間に、「栗おこし」状のポーラス箇所(ジャンカ)が検出された。

反射異常が現れた原因は、ポーラス部分での比誘電率が、周囲のRCDコンクリートの比誘電率と比較して大きく異なっているためであると考えられた。検出できたポーラス部分の間隙率を計算したところ、約34%であ

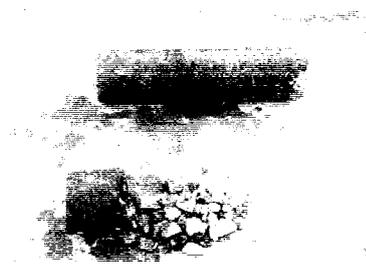


写真-3 反射の乱れがない部分のコア(上)と反射異常箇所から採取されたコア(下)

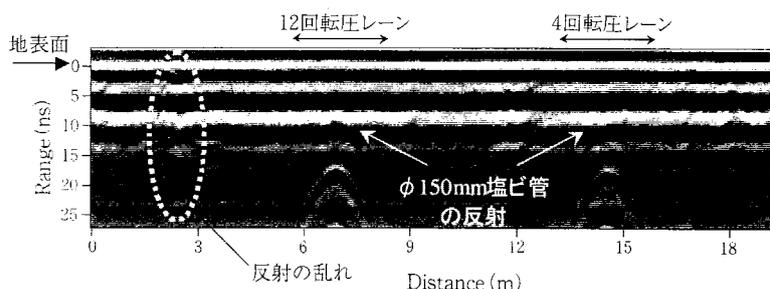


図-7 500MHzのアンテナを用いたRCDコンクリート試験ヤードの探査結果

た。前述したように、予備実験において明瞭な反射面の異常を呈した疑似ポーラス部分の間隙率は約39%であったことも勘案すれば、間隙率が35%程度あれば、300 MHzあるいは500 MHzの周波数のアンテナを適用することによって、こうしたポーラス部分の検出は十分に可能であることが明らかとなった。

#### IV. 地下レーダ法による農地の陥没危険箇所予測事例

##### 1. 探査目的

J地区圃場内において、1998年5月～6月にかけて地盤の陥没が連続的に発生した。圃場作業面での安全性が危惧されたため、地盤陥没の原因究明と、今後陥没が起こりうる箇所を特定することを目的として、地下レーダ法による調査を実施した。

##### 2. 探査方法

図-8に設定した地下レーダ探査測線を示す。陥没箇所がほぼ南北方向の直線上に位置していることと、圃場最北端の陥没箇所付近に防空壕が存在していることから、この防空壕が南北方向につながっている可能性が示唆された。そこで、探査測線は、この南北方向に直交するように東西方向に設定した。最も北側の測線を0-測線とし、以後20 m間隔を基本として測線を設置した。地上

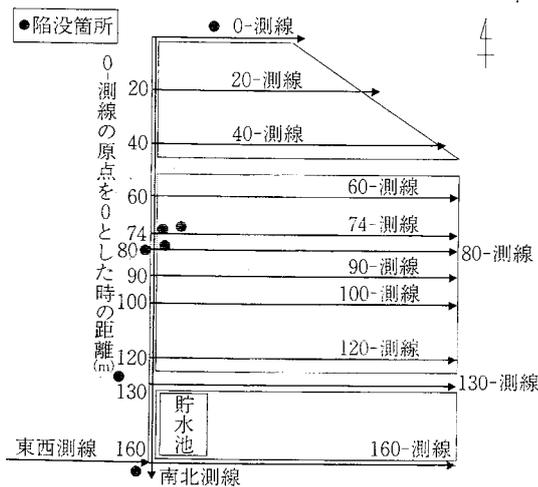


図-8 地下レーダ探査測線図

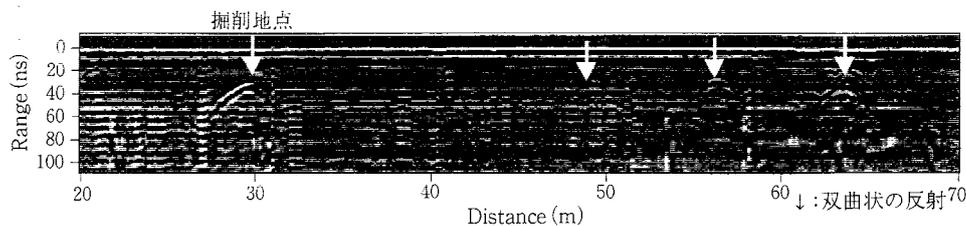


図-9 20-測線探査結果 (20～50 m区間のみ表示)

から陥没が確認される箇所については、測線間隔を密に設定し、中心周波数300 MHzのアンテナを用いて危険箇所の探査を実施した。なお、土地利用の形態は、0-測線～74-測線上は牧草地、80-測線～120-測線は水田、130-測線および160-測線は耕作道(未舗装)である。水田上は凹凸が激しく、データの取得が困難であった。

##### 3. 探査結果

(1) 300 MHz アンテナによる探査結果の一例 例として、20-測線における探査結果を図-9に示す。本測線上の探査結果では、①異常に強い反射面と、②埋設管らしき双曲線状反射、の2種類がとらえられた。①としては、測点26～30m付近に見られた強い反射面が挙げられる。そこで、この地点を深さ約3 mほど掘削し、地層の確認を行った。その結果、地下約1.5 m付近に、上部の赤褐色土層と下部の脆弱層との境界面が検出された。この地点(20-測線30 m地点)で別途実施したサウンディング結果においても、この脆弱層は地下1.5 m～4 m程度に存在していることが確認されている。サウンディング結果では、脆弱層がこのような地表1.5 m付近まで到達している場所は、この地点以外に認められていない。②に関しては、比較的浅い位置に、ほぼ等間隔で配置していることから、配水用の埋設管である可能性が高い。しかし、施工当時の図面からは配水管の正確な位置を推定できなかったため、特定には至っていない。

(2) 異常箇所のマッピング 設置した各測線における地下レーダ探査画像を解析し、その結果検出された異常箇所を図-10にマッピングして示した。図中の凡例は、地下レーダ探査画像から、次のように3種類に大別したものである。比較的浅い位置にあり、明瞭な双曲線状の反射異常地点(埋設管と考えられる)には「×」を、比較的深い位置にある、明瞭な反射面異常が検出された地点には灰色のパッチを、連続性のある反射面が突然途切れている、あるいは不明瞭ではあるものの反射が乱れたように見える地点には格子状のパッチをつけた。なお、配水のための埋設管であれば、圃場内に直線的に配置されていると考えられるが、地下レーダ探査結果では、20-測線と60-測線には埋設管と思われる反射面がある

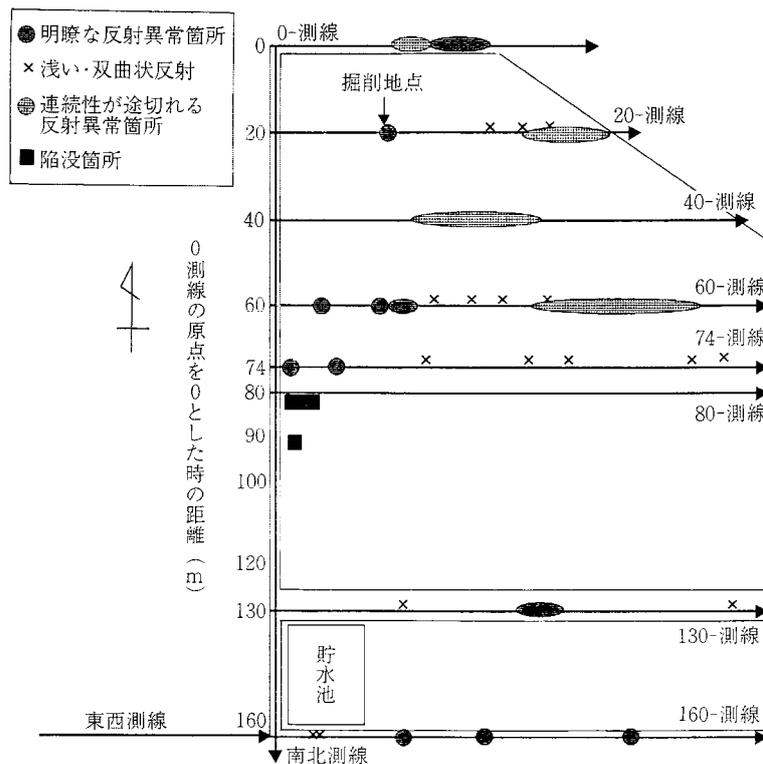


図-10 地下レーダ探査によって検出された異常反射箇所

ものの、その中間に位置する40-測線では、そのような反射が認められないなど、その連続性が十分確認できなかった。

次に、陥没と地下レーダ探査における反射異常箇所との関連について考察する。図-10を見ると、明瞭な反射異常は圃場のやや西寄りに位置し、不明瞭な反射異常は圃場のやや東よりに集中している。この結果のみから判断すると、地下レーダ探査で検出された明瞭な反射異常箇所は、当初予測された防空壕に起因する陥没危険箇所推定ライン上に位置している。そこで、まず、空洞が連続しているのかどうかを検証するため、圃場最北端にあった防空壕直上で地下レーダ探査を実施し、防空壕のような大きい空洞がどのように画像に現れるかを調査した。その結果、防空壕の反射は、

- ① 周囲の反射と比較すると、反射強度が強い。
- ② 多重反射がおこる。

ということが分かった。したがって、検出された異常反射はそのような反射画像でないことから、陥没の原因は防空壕ではないことが確認された。

本調査においては、水平電気探査、スウェーデン式サウンディング調査等を併用した結果、陥没箇所は基盤である石灰岩層上面の凹地形で発生していることが判明し

た。このことから、陥没の発生は、基盤の石灰岩中に存在した鍾乳洞などの空洞が陥没したことにより、地表付近の層が石灰岩層に落ち込んだ結果であると推測された。

## V. おわりに

本報では、比較的浅い箇所を非破壊で調査できる地下レーダ法について、その原理と2つの調査事例について報告した。地下レーダ法は、非破壊でしかも簡便に探査できることから、今後、地質概査、施工管理などへの活用が期待される。しかし、現地の探査においては、探査深度と分解能との相互関係を把握し、用いるべきアンテナの周波数をうまく選択することが重要である。また、異常箇所を特定することができたとしても、それがどういふ異常なのかは、やはり実際試掘して確認する作業が必要である。

謝辞：各調査事例においては、関係者各位の多大なるご協力・ご支援をいただきました。また、地下レーダ探査画像の解釈等においては、農業工学研究所竹内睦雄博士の助言を頂きました。記してお礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 竹内睦雄：小講座 地下レーダ、農土誌 59 (9), p. 69

(1991)

- 2) 利岡徹馬：地下レーダー，第6回物理探査基礎講座講演会テキスト，pp. 251～323 (1990)
- 3) 五十嵐亨：地中探査レーダー，地質と調査 No. 1，pp. 41～47 (1988)
- 4) 竹内睦雄，中山熙之，小前隆美，濱田浩正，中山康：農業土木における地下レーダの利用，土地改良測量設計 No. 34，pp. 10～17 (1991)
- 5) 佐藤源之：地中レーダ技術，セメント・コンクリート No. 593，pp. 1～8 (1996)
- 6) 鈴木務：電波による埋設パイプの検知，地質調査 No. 2 (1993)
- 7) (社)全国地質調査業協会連合：全国標準積算資料(土質調査・地質調査)平成10年度改訂歩掛版，pp. 155～160 (1998)
- 8) 笠井弘幸，阿部信太郎，鈴木浩一：活断層の地中レーダ法によるイメージング—その現状と展望，活断層研究 No. 15，pp. 73～86 (1996)
- 9) 大東秀光，及川理人，前川聡，小林剛：地下レーダー記録からコンクリート背面の空洞厚を算出する一方法—時系列解析の適用—，物理探査学会第90回学術講演会論文集，pp. 451～454 (1994)

[1999. 7. 23. 受稿]

## 森 充広



略 歴  
 1969年 和歌山市に生まれる  
 1992年 京都大学農学部農業工学科卒業  
 1994年 京都大学農学研究科修了  
 1994年 農業工学研究所造構部土地質研究室研究員  
 1999年 東北農政局郡山土地改良建設事業所  
 現在に至る

## 長束 勇



1974年 京都大学農学部卒業，農林省入省  
 1980年 筑波大学大学院経営・政策科学研究科修了  
 1986年 構改局設計課農業土木専門官，設計審査班長  
 1989年 農工研土木材料研究室長，土地質研究室長  
 1998年 京都大学博士(農学)  
 現在に至る

## 畑山 元晴



1964年 秋田県に生まれる  
 1986年 岩手大学農学部農業土木学科卒業  
 農林水産省入省  
 1999年 農業工学研究所造構部  
 現在に至る

## 地域環境工学シリーズ 4

## 清らかな水のためのサイエンス

### —水質環境学—

(社)農業土木学会発行

## 地域環境工学シリーズ4

## 清らかな水のためのサイエンス

### —水質環境学—

編集委員会 (五十音順)

委員長 田淵 俊雄 (日本学術会議会員)  
 委員 安楽 敏 (農林水産省構造改善局建設部設計課)  
 ♪ 中曽根英雄 (茨城大学農学部)  
 ♪ 柚山 義人 (農業工学研究所農村整備部)

A 5判 約220ページ 定 価 3,200円 (内税・送料学会負担)  
 会員特価 2,800円 (内税・送料学会負担)  
 [会員特価は，個人会員による前金購入の場合のみ適用されます。]

申込先 〒105-0004 港区新橋 5-34-4  
 (社)農業土木学会 担当：馬田・齊藤  
 ☎ 03-3436-3418 FAX 03-3435-8494