

# 埋設農薬調査における物理探査の適用性について

## 報告書

平成16年3月

社団法人 土壤環境センター

	目 次	ページ
1 . 業務概要	.....	1
2 . 農薬の埋設状況の検討	.....	3
3 . 埋設地点環境調査に適用可能な物理探査技術の検討	.....	7
3.1 各物理探査技術の整理	.....	7
3.2 アンケート調査に見られる地中レーダ探査利用の現状	.....	10
3.3 推定される埋設状況と適用可能な探査技術	.....	11
4 . 物理探査による埋設地点調査事例	.....	19
4.1 調査事例の現状	.....	19
4.2 調査事例	.....	25
4.3 物理探査による埋設農薬調査結果の考察	.....	30
5 . 物理探査による埋設地点調査の流れ	.....	32
5.1 埋設状況の事前検討	.....	33
5.2 探査手法の検討	.....	36
5.3 探査計画の策定	.....	38
5.4 現地測定	.....	39
5.5 解析	.....	39
5.6 埋設状況の推定	.....	41
6 . まとめ	.....	42

=====

<< 巻末資料 >>

- 資料 - 1 プレスリリース『埋設農薬の実態調査の結果について』  
(平成13年12月6日、農林水産省生産局)
- 資料 - 2 物理探査技術の概要
- 資料 - 3 地中レーダ探査概要、電磁探査概要
- 資料 - 4 物理探査による埋設農薬調査事例(大規模埋設)図面集

## 挿入図表類 一覧

図 2.1	県別の農薬埋設量および平均埋設量	6
図 3.1.1	測定場所による物理探査のイメージ	7
図 4.2.1	調査事例（物理探査の適用実験）	27
図 4.2.2	トータルステーションによるヒューム管の位置測量状況	28
図 4.2.3	地中レーダ探査結果と開削結果の対比	29
図 4.3.1	地中レーダ探査・深度スライス断面の測線間隔による違い	31
図 5.1	物理探査による埋設地点調査の流れ	32
図 5.2.1	埋設農薬調査における物理探査手法検討のフロー	36
図 5.3.1	埋設物の大きさと測線間隔	38
図 5.5.1	地中レーダ探査における3次元探査の場合の表示方法	40
表 3.1.1	各種物理探査技術の分類	9
表 3.3.1	埋設状況に対する各種物理探査の適用性	15
表 3.3.2	地表の状況に対する各種物理探査の適用性	16
表 5.1.1	チェックリスト（物理探査の調査計画立案に先立って把握しておく事項）	35

## 1. 業務概要

本報告書は、平成 14 年度に実施した『埋設農薬地中レーダ探査検証調査』および平成 15 年度に実施した『埋設農薬調査に対する物理探査の適用性に関する検討』の 2 箇年の業務内容についてまとめたものである。

### 平成 14 年度業務：

- ・目的： 下記の仕様書（抜粋）に基づき、埋設農薬調査に対する物理探査の適用性の検討資料を得ることを目的とする。

=====

平成 14 年度 POPs（残留性有機汚染物質）農薬無害化処理技術等検討調査仕様書（抜粋）

#### 4. 調査内容及び調査実施方法

##### (4)埋設農薬地中レーダ探査検証調査

埋設農薬を特定する手法として地中レーダ探査が有効と考えられることから、既存技術を調査の上、埋設農薬等を実際に探査することにより、当該技術の有効性を検討する。

=====

なお、『埋設農薬調査・掘削等暫定マニュアル』（平成 13 年 12 月、環境省環境管理局水環境部）において、物理探査（地中レーダ）に求められているのは『埋設位置を正確に特定すること』であるので、本業務においても『埋設位置の特定』に対する適用性に主眼を置いて検討を行ない、さらに他の適用性についても触れるものとする。

### ・業務内容：

- 1) 農薬埋設調査に適用可能な物理探査技術の検討
- 2) 物理探査による埋設農薬調査の実施  
（実際の探査実験および掘削回収時の観察）
- 3) 物理探査による埋設農薬調査方法の検討

### 平成 15 年度業務：

- ・目的： 『埋設農薬調査・掘削等暫定マニュアル』（平成 13 年 12 月、環境省環境管理局水環境部）において、物理探査（地中レーダ探査）による埋設農薬の埋設位置を調査することについて述べられている。本業務では、この『暫定マニュアル』に基づいて実施されている物理探査による埋設農薬の分布調査の現状を把握し、より良好な調査結果を得るために必要と考えられる事項を整理検討するものである。それにより、『暫定マニュアル』の改訂に資することを目的とする。

### ・業務内容：

- 1) 物理探査による埋設農薬調査の現状の把握
  - ・アンケート調査に見られる地中レーダ探査利用の現状を整理する

- ・埋設農薬調査に対する物理探査の適用性について検討する
- 2) 想定される埋設状況と調査内容検討に関する資料作成

・実施体制：

応用地質株式会社

実施責任者： 利岡徹馬

部分担当者： 櫻井健、山下善弘、山内政也

技術指導： 奥村興平

## 2. 農薬の埋設状況の検討

埋設農薬の調査方法を検討する上で、埋設農薬がどのような状況で埋設管理されているかを把握する必要がある。『埋設農薬の実態調査の結果について』（平成13年12月6日、農林水産省生産局）（巻末資料 - 1）を基に、埋設状況についてまとめる。

### （1）埋設時期

残留性有機塩素系農薬は、農林水産省により昭和46年から昭和47年にかけて、省令、通知により下記の処置が行なわれた。したがって、農薬が埋設された時期は昭和46年～47年であり埋設から約30年が経過している。

- ・販売の禁止又は制限：「有機塩素系農薬の販売の禁止及び制限を定める省令」（昭和46年4月17日農林省令第二十六号）
- ・小規模な単位で地中埋設による処分：
  - 「有機塩素系殺虫剤の使用および使用不能農薬の処分について」（昭和46年2月27日付け46農政第934号農政局長ほか通知）
  - 「有機塩素系殺虫剤等の処分について」（昭和46年4月17日付け46農政第2055号農政局長通知）
- ・大規模（3トン以上）な埋設処理による保管の指導：
  - 「農薬安全処理対策事業実施要領」（昭和47年6月16日付け47農政第2956号農林事務次官依命通知）

### （2）埋設量、埋設範囲

「埋設農薬の実態調査について」（平成13年6月5日付け、13生産第1738号）において、大規模埋設、小規模埋設と区分されており、各々、

- ・大規模埋設：農薬安全処理対策事業実施要領及びそれに準じて埋設処理された残留性有機塩素系農薬
- ・小規模埋設：農薬安全処理対策事業実施要領及びそれに準じた方法以外で埋設処理された残留性有機塩素系農薬

とされている。

大規模埋設は、3t以上の大規模な埋設処理を行なったものであり、コンクリート製施設に密閉し土中埋設されている。小規模埋設は、「有機塩素系殺虫剤等の処分について」（昭和46年4月17日付け46農政第2055号農政局長通知）では、『1か所に埋没する量は原則として300キログラム以内』とされている。これらの量は一度に集中して埋設する量であり、したがって、1つの埋設箇所においては、3t以上あるいは300kgを単位として複数の密閉施設や容器で埋設されているものと考えられる。

平成13年12月6日に公表された『埋設農薬の実態調査の結果について』に示されている県

別の埋設箇所数と埋設量の一覧表を元に作成した、県別の農薬埋設量と平均埋設量についてグラフを図 2.1 に示す。『埋設農薬の実態調査の結果について』の要点および作成した表から言えることをまとめると、次のようになる。

- ・埋設箇所が特定された農薬は、全国 174 箇所、総数量約 3,680 トンである。
- ・内訳は、国庫補助事業によるものが全国 43 箇所、総数量約 2,159 トン、国庫補助事業以外が全国 131 箇所、総数量約 1,521 トンである。
- ・都道府県ごとに埋設量は大きく異なるが、国庫補助事業では北海道の 2 箇所、約 566 トンが最大で、他は 250 トン以下である。国庫補助事業以外では、新潟県の 97 箇所、約 475 トン、岡山県の 1 箇所、約 455 トンが多く、他は 200 トン以下である。(図 2.1)
- ・1 箇所あたりの平均埋設量は、全体で約 21.2 トン/箇所、国庫補助事業によるものが約 50.2 トン/箇所、国庫補助事業以外が約 11.6 トン/箇所である。
- ・都道府県別では、国庫補助事業では北海道、滋賀県、愛媛県が多く約 250 トン/箇所、次いで福島県、宮城県が続く。国庫補助事業以外では、岡山県の約 455 トン/箇所が最大である。(図 2.1)
- ・埋設箇所数は、国庫補助事業では山形県の 14 箇所、長野県の 11 箇所の他は 1 ~ 2 箇所である。国庫補助事業以外では、新潟県の 97 箇所、鳥取県の 19 箇所の他は 1 ~ 3 箇所である。

調査によって埋設場所が特定されたものの資料に基づくと、1 箇所あたりの埋設量は、1 トン/箇所以下の非常に少ない都道府県を除くと、50 ~ 250 トン/箇所程度である。

これは、単位体積あたりの重量を 1.5 トン/立方メートルとし、高さ 1 m に積まれたものと仮定すると、広がりには 33 ~ 167 平方メートルになり、したがって数 m ~ 10 数 m 四方のエリアに埋設されていることになる。埋設箇所により、また埋設形態により埋設されている範囲は異なるものと推定されるが、目安として、数 m ~ 10 数 m 四方のエリアに埋設されているものと考えることができる。

### (3) 埋設場所特定について

『埋設農薬の実態調査の結果について』に示されたものは、全て資料調査や聞き取り調査により、埋設場所が特定されたものであり、全国 174 箇所、総数量約 3,680 トンである。ただし、この他にも調査時点で埋設場所が明らかにならなかった箇所がある可能性も推定される。

### (4) 埋設深度

農薬を埋設するために掘削することを想定すると、重機を用いた場合でも、掘削施工の容易さから数 m 程度と推定される。上端深度は、仮に後の長年月により自然的な崩壊や侵食があったものと想定すると、浅くて 1 ~ 2 m 程度と推定される。

#### (5) 埋設形態、方法について

小規模埋設は、「有機塩素系殺虫剤等の処分について」(昭和46年4月17日付け46農政第2055号農政局長通知)では、以下のように記されている(埋設に係る部分を抜粋)。

- ・埋設場所の選定：
  - ・埋設に要する土量を掘り上げた場合に地下水が湧出する場所はさけること。
  - ・なるべく粘土質の場所を選ぶこと。
- ・処分の方法：
  - ・1か所に埋没する量は原則として300キログラム以内とすること。
  - ・乳剤はその100倍量程度の粉剤、粘土粉または消石灰に吸収させて埋没すること。
  - ・有機リン剤との混合剤を埋没するときは、農薬の上下および周囲を厚さ数センチメートルになるよう消石灰でつつむこと。
  - ・やむをえず砂質土壌の場所に埋没する場合は石油かん等に密閉するか厚手のビニール袋につめ、袋の口をよくおりまげて埋没すること。

また、大規模埋設の場合は、コンクリート製施設に密閉し土中埋設することとされている。

したがって、埋設形態は次のいずれかと考えられる。

- ・小規模埋設の場合：
  - ・1か所に埋没する量は原則として300キログラム以内。
  - ・乳剤は粉剤、粘土粉または消石灰に吸収埋設。
  - ・有機リン剤との混合剤は、農薬の上下および周囲を厚さ数cmの消石灰でつつむ。
  - ・砂質土壌の場所に埋没する場合は、石油缶等に密閉するか厚手のビニール袋に入れて埋設。
- ・大規模埋設の場合：
  - ・コンクリート製施設に密閉、埋設。

#### (6) 地表の現況

前述したように、埋設範囲は数m~10数m四方のエリアと考えられるので、埋設当時はそれ以上の空き地(地表部が更地)であったことが想定される。埋設から約30年の長い年月が経過しているが、適正な管理が行なわれているものと考えられるので人工的な土地の改変は少ないものと考えられる。地表の現況としては、次のものが想定される。

更地(埋設時の状況維持) 田畑・果樹園、山林、管理用地内の道路などの舗装、  
構造物下、等々



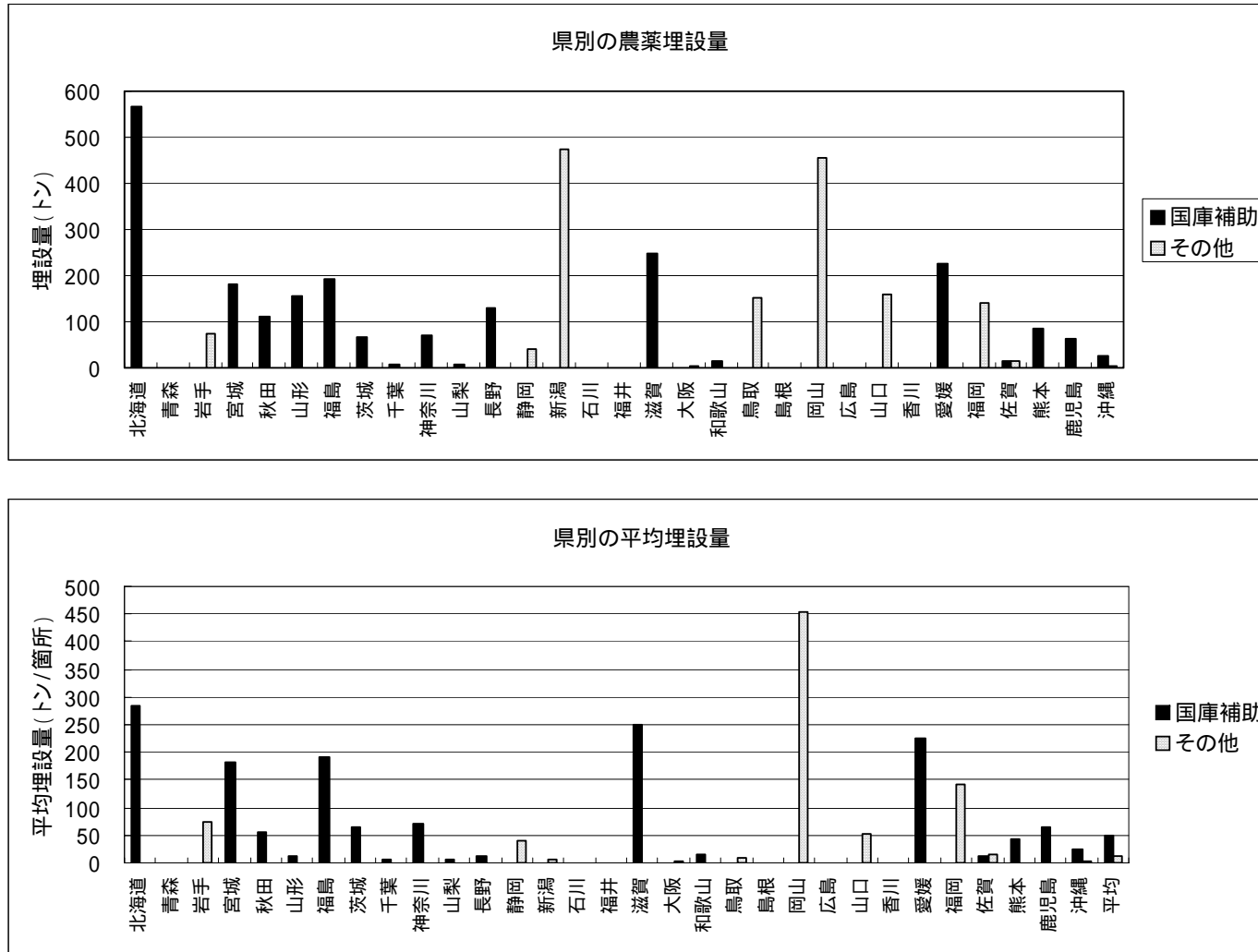


図 2.1 県別の農薬埋設量および平均埋設量

(『埋設農薬の実態調査の結果について』(平成13年12月6日、農林水産省生産局)を基に作成)

### 3. 埋設地点環境調査に適用可能な物理探査技術の検討

物理探査技術は、その名称の通り物理現象を利用して地下の状況を探査する技術であり、利用する物理現象により種々の方法がある。ここでは、『埋設農薬の調査 = 埋設位置の特定』という観点から各物理探査技術について整理を行ない、次に、『埋設農薬の調査 = 埋設位置の特定』に対する適用性についてまとめる。

#### 3.1 各物理探査技術の整理

物理探査技術は、物理現象を利用して地価の状況を探査する技術であるが、利用する物理現象により種々の方法がある。利用する物理現象には、『電気（電磁を含む）』、『弾性波（超音波を含む）』、『赤外線（温度を含む）』、『重力』、『磁気』、『放射能』および『光』の7通りが挙げられる。また、測定を行なう場所により区分することができ、『空中』、『地表』、『孔内（単孔）』、『複数孔間または地表/孔間』、および『孔内検層』などに分けられる。

空中からの探査、地表からの探査、およびボーリング孔を利用した探査について、そのイメージを図 3.1.1 に示す。

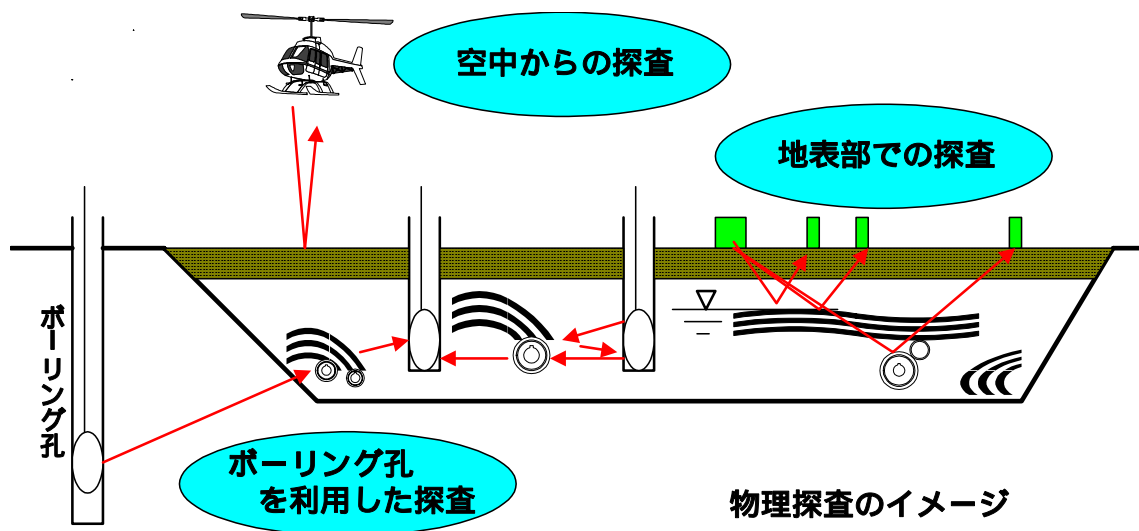


図 3.1.1 測定場所による物理探査のイメージ

各物理探査技術について、利用する物理特性（現象）と測定を行なう場所により整理して、表 3.1.1 に示す。表に挙げた物理探査技術は、一般に行なわれる手法をほぼ網羅しており、探査手法の名称については、物理探査の教科書的な文献である『物理探査ハンドブック』（物理探査学会編、1998）に順じた。表では、後述するが埋設物探査に一般に利用されている探査技術、および埋設物の状況によっては適用の可能性が考えられる探査技術について、色をつけて示した。

農薬の埋設位置を特定する場合、コンクリート製施設や金属容器などの埋設形態に違いはあるものの、周辺地盤とは物理的特性が異なるものを探査することになり、いわゆる埋設物探査と行うことができる。そこで、以下に各物理探査技術の埋設物探査に対する適用性を検討する。

### (1) 空中探査

空中探査は、ヘリコプターや航空機に測定器を搭載し、資源探査や地質構造探査など比較的大規模な地質構造を対象として、広範囲を迅速に探査する場合に行なわれるのが一般的である。探査対象が金属や磁性体である場合には、電磁法および磁気探査が手法としては適用の可能性が考えられ、埋設範囲の植生や土壌の種類が周囲と異なっている場合には、手法としては光学リモートセンシングが適用の可能性が考えられる。

しかしながら、一般に行なわれている現状の空中探査技術は、高高度（例えば高度 50m 以上）からのヘリコプターや航空機を利用した大規模な探査であり、埋設物探査への適用は困難と考えられ、非常に低空において小型で安全かつ安定した測定が可能なシステムを開発することが必要である。

### (2) ボーリング孔を利用した探査

ボーリング孔を利用した探査手法のうち、孔内検層（物理検層）はボーリング孔の極めて近傍地盤の物理特性を測定するものであり、埋設物探査には適用不可能である。

その他のボーリング孔を利用した探査手法の場合も、探査対象物の近傍にボーリング孔を設けること、または探査対象物を挟むように複数のボーリング孔を設けることが必要となる。したがって、埋設物の場所を特定する目的には適用不可能である。

### (3) 地表からの探査

地表からの探査には、表 3.1.1 に示したように、利用する物理特性により多くの探査手法がある。これらの物理探査手法のうち、一般に埋設物探査によく利用されているのは、地中レーダ、電磁探査（時間領域 EM、周波数領域 EM）、磁気探査である。この他に、探査対象物の大きさが深度と同程度かそれ以上の場合には、電気探査（比抵抗法）、反射法地震探査、表面波探査、重力探査なども適用の可能性が考えられる。


推定される埋設状況に応じて、より適切な探査手法を検討し、場合によっては複数の手法を用いて探査を行なうことが必要である。


参考資料として、一般に埋設物探査によく利用される探査技術、および探査対象物の状況によっては適用の可能性が考えられる物理探査技術について、以下の項目を整理した。まとめた結果は、巻末資料に示した。

名称、探査原理、測定概念図、探査結果図、得られる結果（求められる物理量など）  
主な適用分野、適用上の問題点（適用限界など）、作業性、探査深度

表 3.1.1 各種物理探査技術の分類

		利用する物理特性(利用技法)による区分						
		電気(電磁を含む)	弾性波(超音波を含む)	赤外線(温度を含む)	重力	磁気	放射能	光
測定場所 による 区分	空中	空中電磁法 周波数領域(AEMorHEM) 時間領域(TDEM)			空中重力探査	空中磁気探査	空中放射能探査	光学リモートセンシング(MSS) マイクロ波リモートセンシング(SAR)
	地表	電気探査 自然電位法 比抵抗法 強制分極法(IP) 電磁探査 MT VLF CSAMT TDEM 周波数領域EM 地中レーダ	反射法地震探査 屈折法地震探査 微動探査 常時微動測定 表面波探査	赤外線熱映像 地温探査	重力探査	磁気探査	放射能探査	
	孔内(単孔)	流電電位法 ボアホールレーダ 孔中EM	VSP シングルホールイメージング		孔内重力探査	孔内磁気探査		
	孔内検層	電気検層 自然電位検層 インダクション検 誘電率検層 NMR検層	速度検層(音波検層) ボアホールテレビュア	温度検層			孔隙率検層(中性子 密度検層(ガンマ線検 自然ガンマ線検層)	ボアホールカメラ
	複数孔間 または 地表/孔間	比抵抗トモグラ IPTモグラフィ EMトモグラフィ レーダトモグラフィ	弾性波トモグラフィ 孔間反射法 フルウェーブトモグラフィ 音響トモグラフィ					

 : 埋設物探査に一般に利用されている手法

 : 埋設物の状況によっては適用の可能性が考えられる手法

### 3.2 アンケート調査に見られる地中レーダ探査利用の現状

平成16年2～3月に、環境省および土壤環境センターにより各都道府県を対象として「埋設農薬調査・掘削等暫定マニュアル」についてのアンケート調査が実施されている。このアンケートの回答について、物理探査（地中レーダ探査）利用の現状に関して、下記の項目についてまとめた。

- ・POPs 農薬埋設地点の有無
- ・埋設地点特定のための調査で地中レーダ探査を実施したかどうか
- ・地中レーダ探査による埋設農薬調査結果（埋設位置特定の可否）

アンケートをまとめた結果は、以下のようである。

- ・POPs 農薬の有無：
  - 現にある： 23/47 都道府県
  - 箇所数： 160 箇所
  - 該当なし： 19/47 都道府県
  - アンケート回答なし：5/47 都道府県  
（アンケート回答なしと言うのは、アンケートについてまとめた時点で回答のなかったものである）
- ・埋設地点特定のための調査で地中レーダ探査を実施：
  - 実施した： 12/23 都道府県
  - 箇所数： 25 箇所
- ・調査の結果、埋設位置を特定できたかどうか：
  - 特定できた： 5/25 箇所
  - 既に特定できていた： 3/25 箇所
  - 結果不明+未回答： 17/25 箇所

すなわち、POPs 農薬が現にある 23 都道府県 160 箇所のうち、12 都道府県 25 箇所において埋設地点特定のための調査で地中レーダを実施している。その調査の結果特定できたのが 5 箇所、調査以前から既に特定できていたのが 3 箇所、結果不明または未回答 17 箇所である。

アンケート結果において地中レーダを実施したが結果不明となっている複数の自治体に、電話を通じて結果不明の内容について問い合わせた。その結果、いずれも地中レーダ探査による埋設農薬調査により農薬が埋設されている可能性のある地点を指摘できているが、試掘などの確認作業が行なわれていないために、結果不明と回答したとのことであった。

このことから、地中レーダ探査による調査は農薬が埋設されている可能性のある地点を指摘する上で十分効果があったが、多くはその後の確認作業が未実施の状況にあるものと考えられる。

### 3.3 推定される埋設状況と適用可能な探査技術

農薬を地下に埋設する場合には、農薬そのものを直接土壌中に埋設するのではなく、容器、袋など何らかの『入れもの』に入っているものと考えられる。すなわち、物理探査による埋設農薬調査では『農薬そのもの』を探査するのではなく、『入れもの』すなわち埋設物を探査することになる。3.1 節で述べたように、埋設農薬の探査には地表からの物理探査手法が適用可能と考えられ、このうち埋設物探査によく利用されているのは、地中レーダ探査、電磁探査（時間領域 EM、周波数領域 EM）、磁気探査である。また、探査対象物の大きさによっては、電気探査（比抵抗法）、反射法地震探査、表面波探査、重力探査なども適用の可能性が考えられる。

一方、2 章で述べたように農薬の埋設形態と埋設地点の地表状況は様々なものが想定される。ここでは、推定される農薬の埋設状況および地表の状況に対し、適用可能な探査手法について検討を行なう。さらに、各探査手法について埋設物の材質による適用性、および探査深度について述べる。

#### （1）農薬の埋設状況

想定される農薬埋設状況には、大きく分けて次の 2 通りがある。

- ・ 3 トン以上をコンクリート容器に入れて埋設した大規模集約型
- ・ 1 箇所当たり 300kg 以内とした小規模分散型

大規模集約型の場合には、

- ・ 大型コンクリート容器（施設）に入れて埋設されており、容器は鉄筋の有無および金属製蓋の有無の区別がある

また、小規模分散型の場合には、

- ・ 乳剤の場合で、粉剤、粘土粉、消石灰に吸収させて埋設されている場合
- ・ 農薬の上下および周囲を消石灰で包むように埋設した場合
- ・ 厚手のビニール袋、段ボール箱などに入れて、または被包のまま埋設されている場合
- ・ 石油缶などの金属容器に入れて埋設されている場合
- ・ ガラスびん、缶、袋など雑多な状態であり、埋設形態もコンクリートに封印、缶に入れるなど様々な場合があり、点在して埋設されている場合もある

などが想定される。

#### （2）地表の状況

地表の状況については、埋設から約 30 年の長い年月が経過しているため、土地の改変がある可能性も推定される。しかしながら、比較的良好に埋設箇所の維持管理が行なわれているものと考えられるので、住宅地などの開発が行なわれているとは考えにくい。可能性のある地表の状況としては、下記の状況が想定される。

- ・ 比較的平坦な更地である場合（埋設時の状況が維持されている可能性が高い）

- ・ 田畑、果樹園内など、耕作地である場合
- ・ 山林内で樹木がある場合
- ・ 管理用地内の道路などの舗装（アスファルト、コンクリート、鉄筋コンクリート）
- ・ 構造物下
- ・ 構造物近傍

地表からの探査であるので、構造物下を探査することは不可能である。また、構造物近傍については、構造物自体が金属体である場合や構造物基礎が周辺に存在する場合が考えられ、このような場合は、いずれの探査手法も構造物による何らかの影響を受けるので、その構造物の影響を受けない程度離れることが必要である。また、いずれの探査手法も、測定が可能な程度に下草刈りなどの伐採を行なう必要がある。

### （３）適用の可能性について

このように想定される農薬埋設状況、地表状況はともに様々な状況が考えられ、種々の状況に対する物理探査手法の適用性について、表 3.3.1、表 3.3.2 に整理して示す。ここでは、埋設の上面深度としては 1 ~ 2 m とした。

表では、理論的に適用が困難と考えられる場合は×、ある条件の下で適用可能と考えられる場合は○、適用可能と考えられる場合は△とした。ただし、○の場合もどのような条件でも適用可能と言うことは少なく、△に比べると適用条件が緩い場合と言うことができる。

各物理探査手法について、表にしたがって説明を加える。

#### 地中レーダ探査：

- ・ 地中レーダ探査では、地盤の電磁気特性の違いにより電磁波の反射が生じ、それを利用して探査を行なうので、原理的には全ての埋設状況に対し適用可能と考えられる。特にビニールなどで覆われている場合、金属容器の場合、鉄筋コンクリートや金属製蓋の場合に、強い反射が得られるので適用性が高い。農薬が収められていた袋や箱が破損して、農薬が周囲の粘性土と混在しているなど周囲とのコントラストが小さい場合には、適用が難しいと考えられる。
- ・ 地表の状況については、地表でアンテナを測線に沿って移動するので、アンテナの幅以上のスペースで測線が確保できれば測定可能である。ただし、植生や塀などが障害物となり測定できない場合が考えられる。
- ・ また、地表の凹凸が測定記録の品質に影響を及ぼす場合があるので、アンテナが地表にほぼ密着した状態で測定が行えるような地表状況が必要である。
- ・ 地中レーダ探査では金属体の影響を強く受けるので、地表面が鉄筋コンクリートで覆われている場合には、測定記録において鉄筋の影響を受けずにその下を探査できる程度の鉄筋間隔が必要となる。一般には、鉄筋コンクリートでは鉄筋が密に配置されていることが多いので、このような場合には適用が難しいことが多い。

#### 電磁探査（時間領域 EM、周波数領域 EM）：

- ・埋設状況については、電磁気特性（特に比抵抗）の違いを捕えるものであるため、周辺地盤と埋設農薬部分との比抵抗のコントラストが非常に大きい場合には、探査可能と考えられる。金属体に非常に強く反応するので、金属容器、鉄筋コンクリート、金属製蓋の場合には適用性が高い。
- ・時間領域電磁探査（TDEM）では、金属埋設物探査専用の探査装置があり、この装置の金属埋設物に対する適用性は非常に高い。
- ・地表状況については、地表で測定器を測線に沿って移動するので、測定器の幅以上のスペースで測線が確保できることが必要である。測定器のセンサー部分は地表から浮いた状態であるため、測定者が普通に歩行できる程度の地表の凹凸であれば測定可能である。
- ・浅部の金属体の影響を強く受けるので、地表面が鉄筋コンクリートで覆われている場合や測定範囲の近傍に大型の金属構造物が存在する場合には、適用困難となる。

#### 磁気探査：

- ・地球磁場の大小を捕えて地下の状況を探査する手法であるが、埋設物探査の場合には、地下に埋設されている磁性金属体（磁石に付く金属）が探査対象となる。一般には、周辺地盤と埋設農薬部分との磁性のコントラストは小さいため、金属体以外の埋設物に対する適用は困難と考えられる。ただし、ごく稀に火山灰が堆積している場合には、埋設部分が掘削などにより乱されることにより周辺と磁性が異なるため、探査可能な場合もある。
- ・地表状況については、磁気探査では地表で測定器を測線に沿って移動するが、測定器の幅は小さなものであるため、測定者が普通に歩いて通れる程度の幅があれば探査可能である。
- ・浅部の金属体の影響を強く受けるので、電磁探査と同様、地表面が鉄筋コンクリートで覆われている場合や測定範囲の近傍に大型の金属構造物が存在する場合には、適用困難となる。

#### 電気探査（比抵抗法）：

- ・地盤の比抵抗の違いを捕えるものであるため、周辺地盤と埋設農薬部分との比抵抗のコントラストが非常に大きく、埋設範囲が大きな場合には、探査可能と考えられる。また、万が一、農薬の袋や箱が破損して農薬が土壌と混在するような場合でも、周辺地盤に対して比抵抗の大きな違いがあれば探査可能となる。
- ・地表状況については、地表に測線を設定して電極を地中に打設して測定を行なうので、地表に土壌が露出していれば測定可能である。地表が舗装などで覆われている場合には、舗装部を削孔して電極を打設することにより測定可能となる。

#### 反射法地震探査：

- ・地盤の密度や弾性波速度の異なる境界面で生じる反射波を利用して地下を探査するものであるため、周辺地盤と埋設農薬部分との密度または弾性波速度のコントラストが非常に大きく、埋設範囲が大きな場合には、探査可能と考えられる。



- ・地表状況については、地表に測線を設定して測定を行なうが、地表の露出の有無によらず測定可能である。ただし、振源（板、パイプレータ）の設置が可能な幅が必要である。浅部探査では、測点間隔が非常に細くなる（0.5m 間隔など）ので、作業性に難点があり現実的ではない。

#### 表面波探査：

- ・表面波を利用して、地盤の速度構造を求めて地下を探査するものである。周辺地盤と埋設農薬部分との密度または弾性波速度のコントラストが非常に大きく、埋設範囲が大きな場合には、探査可能と考えられる。
- ・地表の状況については、地表に測線を設定して測定を行なうが、地表の露出の有無によらず測定可能である。通常は人力による地表打撃で起振するので、測線沿いに起振作業が可能なスペースが必要である。

#### 重力探査：

- ・地盤の密度構造により生じる重力分布を把握して、地下を探査するものである。周辺地盤と埋設農薬部分との密度のコントラストが非常に大きく、埋設範囲が大きな場合には、探査可能と考えられる。
- ・地表の状況については、各測点において重力計を地表に置いて測定を行なうので、測定可能なスペース（1 m 四方以下）があれば測定可能である。ただし、浅部探査では測点間隔を小さくする必要があり（1-2m 間隔など）、また、各測点のレベル測量を行なう必要があるため、作業性は余り高くない。

以上に述べたように、埋設農薬の調査に対し最も適用性の高い物理探査手法は、埋設物の材質によらず探査が可能と言う点および作業性の点から、地中レーダ探査と考えられる。埋設物に金属体を用いている場合には、電磁探査および磁気探査も適用性が高い。

すなわち、

『埋設農薬の調査に対し最も適用性の高い物理探査手法は地中レーダ探査であり、埋設において金属体を用いている場合には、地中レーダ探査に加えて電磁探査および磁気探査も適用性が高い』

とすることができる。

なお、ここで見てきた手法の他にリモートセンシングを含む空中探査や赤外線熱映像を利用した探査などがあるが、空中探査は埋設農薬の調査に適用するためには測定方法についてかなりの開発が必要であること（非常に低空において、小型で安全かつ安定した測定が可能なシステムを開発することが必要）、赤外線熱映像については、埋設物探査に対する適用事例が非常に少なく研究開発が必要と考えられることから、これらの探査手法については検討から除外した。

表 3.3.1 埋設状況に対する各種物理探査の適用性

	(乳剤等の場合で)粉剤、粘土粉、消石灰に吸収埋設	(粉剤が)消石灰で包まれている	ビニール袋入り	石油缶などの金属容器	大規模埋設	
					コンクリートのみ(無筋)	鉄筋コンクリートまたは金属製蓋
地中レーダ探査						
電磁探査(時間領域、周波数領域)						
磁気探査	×	×	×	(磁性金属)	×	(磁性金属)
電気探査(比抵抗法)						
反射法地震探査						
表面波探査						
重力探査						

- : 適用可能と考えられる場合
- : ある条件の下で適用可能と考えられる場合
- ×: 理論的に適用が困難と考えられる場合

表 3.3.2 地表の状況に対する各種物理探査の適用性

	更地	田畑、果樹園など	山林	管理用地内の道路などの舗装下			構造物下	構造物近傍	作業性
				アスファルト	無筋コンクリート	鉄筋コンクリート			
地中レーダ探査							×		優
電磁探査(時間領域、周波数領域)						×	×		優
磁気探査						×	×		優
電気探査(比抵抗法)							×		良
反射法地震探査							×		劣
表面波探査							×		良
重力探査							×		良または劣

○：適用可能と考えられる場合

△：ある条件の下で適用可能と考えられる場合

×：理論的に適用が困難と考えられる場合

作業性については、相対的に判断した。

#### (4) 埋設物の材質と適用可能な探査手法について

これまでに、埋設農薬の調査に対する物理探査の適用性を検討する上で必要な事項として『埋設状況』と『地表の状況』を挙げ、これらに対する各物理探査手法の適用性を検討整理した。物理探査の適用性を検討する場合、これらに加えて、埋設物の材質と探査手法の特性に着目することが重要である。前述した内容と重複する部分もあるが、埋設物の材質から見た適用可能な物理探査手法についてまとめる。

埋設農薬調査において、埋設物を探査対象とする手法として適用性の高いのは、地中レーダ探査、電磁探査、磁気探査である。これらの各手法は、埋設物の材質により適用性は異なったものとなる。すなわち、

『埋設農薬の調査に対し最も適用性の高い物理探査手法は地中レーダ探査であり、埋設において金属体を用いている場合には、地中レーダ探査に加えて電磁探査および磁気探査も適用性が高い』

と言うことができる。また、農薬の袋や箱が破損して農薬が土壌と混在する場合には探査は難しいが、周辺との電気的なコントラストが非常に大きい場合には、電気探査が有効と考えられる。

一方、埋設物の材質としては、表 3.3.1 に示した埋設状況を材質の点で整理すると、

- ・ 土壌に近い状態：粉剤、消石灰などに吸収埋設
- ・ 非金属の場合：ビニル袋入り、無筋コンクリート、その他にガラス、段ボール箱、木箱など
- ・ 金属の場合：金属容器、鉄筋コンクリート容器など
- ・ 材質が不明の場合

があり、おのおのが混在している場合もある。埋設物の材質とそれに適用可能な探査手法を整理すると次のようになる。

- ・ 土壌に近い状態の場合： 地中レーダ探査、電気探査
- ・ 材質が不明の場合、または非金属の場合： 地中レーダ探査
- ・ 金属の場合： 地中レーダ探査に加えて、電磁探査、磁気探査（ただし磁気探査は磁性金属に限る）
- ・ 非金属と金属が混在する場合： 地中レーダ探査と、電磁探査または磁気探査の併用

#### (5) 探査深度について

埋設農薬の調査に適した探査手法を検討する際には、ある探査手法の探査可能な深度が、想定される埋設農薬の深度をカバーしていることが必要条件である。各物理探査手法の探査深度は、調査地点の地質状況(土質種類や特性など) 対象とする埋設物の大きさ、材質などにより変わる。ここでは、埋設物の分布調査に適用性の高い物理探査手法(地中レーダ探査、電磁探査、磁気探査)について、探査深度の目安について記す。

- ・ 地中レーダ探査：

通常の土質地盤では、探査深度は 2 m 程度である。地下水位が低い場合には、砂質土や火山灰ではこれより大きな探査深度となる。粘性土のように比抵抗の低い地盤では探査

深度が小さくなる。他の探査手法に比べて地下水の影響を受けやすく、地下水位が高い場合には、地下水位以深の探査は困難となる場合が多い。また、沿岸部の埋立地などのように地下水に塩水が浸入して地盤の比抵抗が非常に低い場合には、探査深度は非常に小さくなるので注意が必要である。

- ・電磁探査（金属埋設物探査装置の場合）：

探査深度は、ドラム缶程度のもので約 2 m、石油缶（一斗缶）程度のもので約 1 mである。対象とする金属は、導電性を有するものであれば何でも探査可能である。

- ・磁気探査：

対象とする埋設物の大きさによるが、ドラム缶程度のもので探査深度は約 2 m、石油缶（一斗缶）程度のもので約 1 mである。ただし、金属は鉄などの磁性金属であることが必要である。

#### 4．物理探査による埋設農薬調査事例

2章において農薬の埋設状況について検討し、大きく分けて2通りの埋設形態があることが判った。

- ・ひとつは『小規模埋設』の場合であり、1箇所に埋没する量は原則 300kg 以内、消石灰を利用する等して埋設されている。
- ・もうひとつは『大規模埋設』であり、3トン以上を単位としてコンクリート製施設に密閉、埋設されている。

3章において、各種物理探査手法について、埋設農薬の調査を『埋設物調査(埋設位置の特定)』と捕え、その観点から埋設農薬調査に対する適用性について検討した。その結果、

- ・埋設農薬の調査に適用性の高い物理探査手法としては、地中レーダ探査であり、
- ・埋設において金属体を用いている場合には、地中レーダ探査に加えて電磁探査および磁気探査が有効と考えられた。

本章ではまず、物理探査による埋設農薬調査について、調査の実状を把握する目的でヒアリング調査が行なわれているので、この結果についてまとめ、埋設農薬調査における物理探査適用の実状を整理する。次に、実際の農薬埋設地点(大規模埋設)において物理探査の探査実験を行なう機会が得られたので、大規模埋設の場合に対する物理探査の適用性について検討を行なうことを目的に、探査実験を行なった。この探査実験について述べる。

##### 4.1 調査事例の現状

###### (1) ヒアリング調査の内容

2002(平成14)年11月に、土壤環境センター会員企業のうち地質調査を実施している民間企業23社および非会員企業3社の計27社を対象に、埋設農薬調査に関して電話によるヒアリング調査が行なわれた。この27社は、埋設農薬調査を実際に行なう可能性のある民間企業と考えてよい。

ヒアリングの主な内容は、以下のとおりである。

- 1) 物理探査による廃棄物探査の経験はあるか。
- 2) 深度1～2mに埋設された農薬を検知することは可能か。その場合、どのような物理探査技術が有効か、あるいは有効と考えるか。
- 3) 物理探査を行なう場合に、適用を困難にする条件とその代替手法について。
- 4) コンクリート遮へい内部に薬液が存在するか否かを探査する可能性について。
- 5) コンクリート遮へいの場合に、ひび割れ、穴などの探査の可能性について。
- 6) 農薬が漏洩している場合に、物理探査により土壤汚染範囲を特定することは可能か。

なお、27社の内訳は、

- 資源調査会社（金属資源）： 3社
- 建設コンサルタント、設計会社： 4社
- 地質調査会社： 13社
- 環境調査コンサルタント、その他： 7社

であるが、自社では物理探査の対応ができない企業が4社あるので、これらを除く計23社から有効回答があったものと言える。

## （2）ヒアリング調査結果

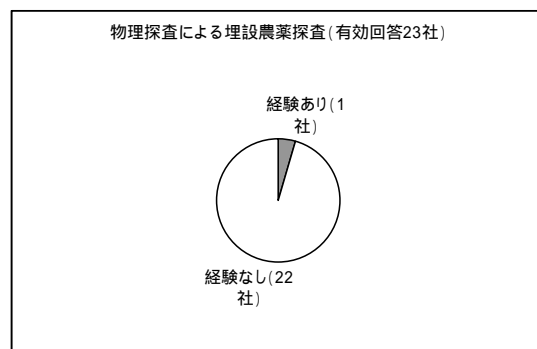
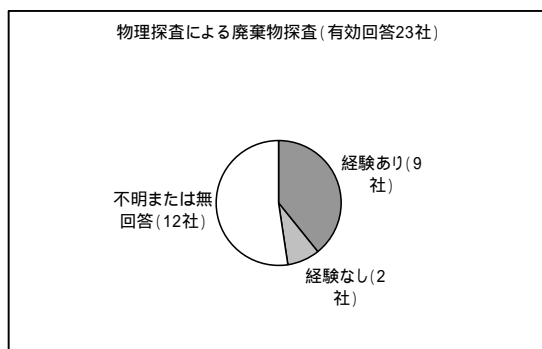
### （2）- 1 物理探査による廃棄物探査の経験について

23社中、

- ・物理探査による廃棄物探査の経験あり： 9社
- ・経験なし： 2社
- ・不明または無回答： 12社

である。

また、物理探査による埋設農薬の探査経験があるのは、1社のみであった。このことから、平成13年に『埋設農薬調査・掘削等暫定マニュアル』（以降、「暫定マニュアル」という）が出されたが、現時点では、実際に物理探査を利用して埋設農薬の探査が行なわれた事例は非常に少ないものと言える。



### （2）- 2 埋設農薬の探査に有効な技術について

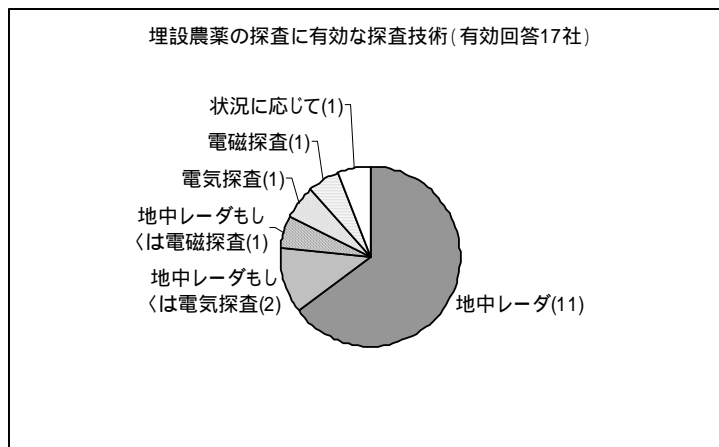
23社中17社が有効な探査技術について回答し、

- ・このうち11社が、1～2mの深度であれば地中レーダが最適とした。
- ・地中レーダもしくは電気探査：2社
- ・地中レーダもしくは電磁探査：1社
- ・電気探査：1社
- ・電磁探査：1社

- ・状況に応じて手法を選択する必要がある：1社

であった。

ヒアリングの回答結果は、暫定マニュアルの内容を裏付けるように、地中レーダが大多数を占めた。



### (2) - 3 物理探査の適用を困難にする条件とその代替手法

埋設農薬の探査に有効な探査技術を回答した17社のうち、地中レーダを何らかの形で挙げたのは15社であった。したがって、地中レーダの適用を困難にする条件について、ヒアリングしている。各社とも様々なものを指摘しているが、これらをまとめると以下のようなものである。

#### 1)埋設物

鉄筋などが埋設されている場合(特に鉄筋コンクリートなど)、複数の金属製の埋設管が存在する場合は、その下を地中レーダで探査することが困難となる。精度は低くなるが、弾性波探査を行なう(探査対象が大きい場合)。

#### 2)急な斜面

傾斜45度以下の地表面に凹凸の少ない斜面であれば、探査可能。

#### 3)地表面の凹凸

地中レーダではアンテナを地表面に接する必要があるため、地表面に凹凸や木の根などがあると測定しにくくなるとともに、測定データの品質にも影響を与える。凹凸が激しい場合には、電気探査で代替する場合もある。

#### 4)植生

測定では地中レーダのアンテナを連続的に移動しながら測定を行なうので、アンテナを無理な



く移動できる程度に、事前に測線沿いの草刈りを行なう必要がある。樹木が多い場合には、樹木の間測線を設定することで対応可能であるが、この場合、アンテナ幅（約 60cm）以上の幅が必要である。

#### 5) 地下水の影響

地下水位が浅い場合、これが強い反射面となるので、地下水位以深の探査は難しい場合がある。ただし、探査対象深度が小さい（1～2 m）こと、地下水位が深い場所を選んで農薬埋設を行なっていることから、地下水の影響は小さいものと考えられる。ただし、水田等のように常時、灌水している場所では探査は難しい。休耕田は測定可能。

#### 6) 探査範囲

数 10m～100m四方位程度の範囲であれば、十分に探査可能。これより広い場合でも、ある大きさの区画に区切ることで効率よく測定することができる。探査範囲による制約は特に無い。

地中レーダ探査が実施困難な場合の代替手法としては、  
電気探査、電磁探査、弾性波探査、磁気探査  
などを挙げている。

#### (2) - 4 コンクリート遮へい内部の探査可能性について

コンクリート遮へい内部に薬液が存在するか否かの探査可能性については、回答のあった7社のうち6社は、コンクリート遮へいに小さな穴を開けて、内視鏡などで内部を観察することは可能であるが、穴を開けずに薬液の有無を把握することは困難であるとしている。

1社だけは、地表から掘り出さずにコンクリート遮へいの内部を知ることは困難であるが、コンクリート遮へい体を掘り出して、コンクリート表面から地中レーダ探査を行なうことで、電磁波速度の変化から内部の薬液の有無を探査できる可能性があるとしている。ただし、薬液はガラス容器等に入っていて、コンクリート遮へいの容積に対してある程度の大きさを持っていることが必要である。

#### (2) - 5 コンクリート遮へいのひび割れ、穴などの探査の可能性について

回答した4社とも、地表からの探査で、埋設されているコンクリート遮へいのひび割れ、穴などを把握することは困難としている。

## (2) - 6 農薬漏洩時の物理探査による土壌汚染範囲特定の可能性

コンクリート遮へいから農薬が漏洩した場合の土壌汚染範囲特定の可能性については、4社が回答した。

- ・このうち2社は、漏洩による比抵抗の変化を、電気探査あるいは地下水サンプリングにより捕えることで、土壌汚染範囲特定の可能性があるとした。
- ・1社は、汚染範囲そのものではなく、物理探査によって不透水層分布などの情報を得て地下水の流れを予測することにより、汚染範囲が推定できる可能性ありと回答している。
- ・他の1社は、汚染範囲特定の可能性は不明と回答した。

農薬が漏洩した場合、周辺の地下水（土壌中の間隙水）の比抵抗（または電気伝導度）の変化が十分に大きければ、地表から電気探査または電磁探査により比抵抗分布を把握することで、漏洩範囲推定の可能性が考えられる。

地下水または土壌のサンプリング調査により汚染が確認された場合、地中レーダまたは電気探査で、サンプリングと言う「点」の情報から「線」の情報に広げることが可能である。この場合、汚染の拡がりそのものを把握すると言うよりは、不透水層などの地下構造を把握して地下水の流れを予測し、汚染範囲が推定できる可能性がある。

## (3) ヒアリング調査のまとめ

ヒアリング調査についてまとめると、以下のようなになる。

- ・埋設農薬の調査に適した物理探査手法としては、地中レーダが最適であるとしたところが大多数であり、その他に可能性のある手法として、電気探査、電磁探査が挙げられた。
- ・しかしながら、実際に埋設農薬の調査に物理探査を適用したのは1社だけであり、現状では、埋設農薬調査に物理探査を利用した事例は非常に少ないものと言える。（調査そのものが少ないのか、調査は行なわれているが、物理探査の利用が少ないのかは不明である）
- ・地中レーダ探査を困難にする条件として、地表付近に金属埋設物がある場合、地表の凹凸が大きく測定困難な場合、水田などのように非常に地下水位が浅い場合などが指摘されている。
- ・地中レーダ探査の実施が困難な場合の代替手法としては、電気探査、電磁探査、弾性波探査、磁気探査が挙げられているが、探査精度の低下や対象物が大きいことなどの新たな適用上の制約がある。
- ・コンクリート遮へい内部に薬液が存在するか否かの探査可能性については、地表から物理探査により把握することは困難であり、コンクリート遮へいに小さな穴を開けて、内視鏡などで内部を観察することになる。ただし、コンクリート遮へい体を掘り出して、コンクリート表面から地中レーダ探査を行なうことで、内部の薬液の有無を探査できる可能性はある。
- ・地表からの探査で、埋設されているコンクリート遮へいのひび割れ、穴などを把握することは困難としている。
- ・コンクリート遮へいから農薬が漏洩した場合の土壌汚染範囲特定の可能性については、

『漏洩による比抵抗の変化を、電気探査あるいは地下水サンプリングにより捕えることで、  
土壌汚染範囲特定の可能性がある』

『汚染範囲そのものではなく、物理探査によって不透水層分布などの情報を得て地下水の流れを予測することにより、汚染範囲が推定できる可能性あり』

としている。しかしながら、いずれも可能性を指摘したものであり、実際に物理探査により明瞭に把握した事例は少ないようである。

以上に述べたヒアリング調査結果から、次のようなことが言える。

- ・平成 13 年に「暫定マニュアル」が出されたが、現時点では、実際に物理探査を利用して埋設農薬の探査が行なわれた事例は非常に少ない。
- ・したがって、実際の埋設農薬調査において物理探査を実施し、その適用性を確認する必要がある。

そこで、今回、実際の埋設地点において物理探査を実施し、その適用性について検討を行なった。

## 4.2 調査事例

実際の農薬埋設地点(大規模埋設)において物理探査の探査実験を行なう機会が得られたので、大規模埋設の場合に対する物理探査の適用性について検討を行なうことを目的に、探査実験を行なった。実施した物理探査は、地中レーダ探査および電磁探査である。各探査手法の概要および物理探査結果の図面類を巻末資料(資料-3、4)に収める。

探査概要を整理して、図4.2.1に示す。この図に基づいて事例の説明を行なう。

### (1)目的

埋設農薬調査に対する物理探査の適用性の検討資料として下記を得ることを目的に、平成15年に掘削回収作業が予定されている実際の埋設農薬埋設地点において地中レーダ探査および電磁探査を実施した。

- 1)農薬はヒューム管に詰めて埋設されているが、地中レーダ探査によりどのような結果が得られ、ヒューム管の埋設位置、分布状況、埋設深度はどのように推定されるか。
- 2)ヒューム管の埋設位置を、金属埋設物探査手法である電磁探査により把握できるかどうか。
- 3)物理探査(地中レーダ探査、電磁探査)により推定したヒューム管(埋設農薬はヒューム管に詰めて埋設されている)の埋設位置、分布状況、埋設深度は、掘削により確認される実際の埋設状況に対しどのくらいの精度を有するか。

### (2)地表状況

地表は未舗装道路であり、ほぼ平坦である。道路沿いには若干の立ち木とトラクターの駐車スペースがある。

### (3)埋設形態

埋設状況から、『大規模埋設』である。

### (4)埋設状況

幅4.4m×長さ33m×高さ3.9mの直方体型に掘削し、コンクリート底盤を作成した上に外径2.0m×高さ2.4mのヒューム管30本を立てた状態で2列に並べ、その中に農薬を容器ごと搬入したとされている。ヒューム管はコンクリート製の蓋で覆い密閉した後、埋め戻されている。

### (5)実施した物理探査技術

埋設に使われているヒューム管は高圧処理したものであり鉄筋コンクリートである可能性が高いため、探査手法として地中レーダ探査と電磁探査を選択し、ヒューム管が埋設されていると推定される範囲をカバーするように調査範囲を設定し、測定を行なった。

(6)物理探査結果

- ・地中レーダ探査により、ヒューム管によるものと考えられる明瞭な反応を得ることができ、ヒューム管の埋設位置を推定することができた。ヒューム管が2列×各15本=計30本が並んでいること、それらは多少ずれて並んでいることが推定できた。
- ・上面深度については、地中レーダ探査により、コンクリート蓋の上面深度が1.3～1.6m(約1.4m)と推定された。
- ・電磁探査でも、ヒューム管が2列に並んで埋設されていることが推定され、地中レーダ探査のクロスチェックの意味で、探査結果の确实度が増した。しかし、トラクター駐車スペースが存在する部分は、地表に存在する金属体(支柱、屋根)の影響を受けて、金属埋設物の識別が困難であった。

埋設地点および探査概要

- ・現地測定実施期間： 2003年1月16～17日
- ・事前の資料調査により推定される埋設状況：
  - 埋設時期： 昭和48(1973)年3月
  - 埋設物： 残留性有機塩素系農薬など
  - 埋設方法：
    - (1) 幅4.4m×長さ33m×深さ3.9mの直方体型に掘削し、床面を砂利等で固め、その上をコンクリートで覆った。
    - (2) コンクリート上に外径2.0m(内径1.8m)×高さ2.4mのヒューム管30本を立てた状態で2列に並べ、床面と管の下部との隙を埋めるために、管の中にコンクリートを流し平らに均した。
    - (3) 管の中にビニール袋を張り、その中に農薬を容器ごと搬入。
    - (4) 管の上部にボンドモルタルを塗布し、その上からコンクリート製の蓋で覆い密閉した後、埋め戻されている。コンクリート蓋上部から地表面までは約1mとされている。
 なお、ヒューム管は高圧処理した特注のものであり、鉄筋が入っている可能性が高い。また、埋設範囲の周囲には、地下水調査用の観測孔が配置されている。
- ・地表の現況： 未舗装道路(平坦)
- ・探査手法および数量：
  - 探査範囲： 本地点では、推定埋設範囲4.4m×33mを中心に、11m×42m範囲を実験範囲とした。
  - ・地中レーダ探査： 0.5m間隔で、40m×19本=計760m
  - ・電磁法探査： 0.5m間隔で、42m×23本=計966m

探査状況

・現地全景



手前がX=0mの基線

・測線配置図

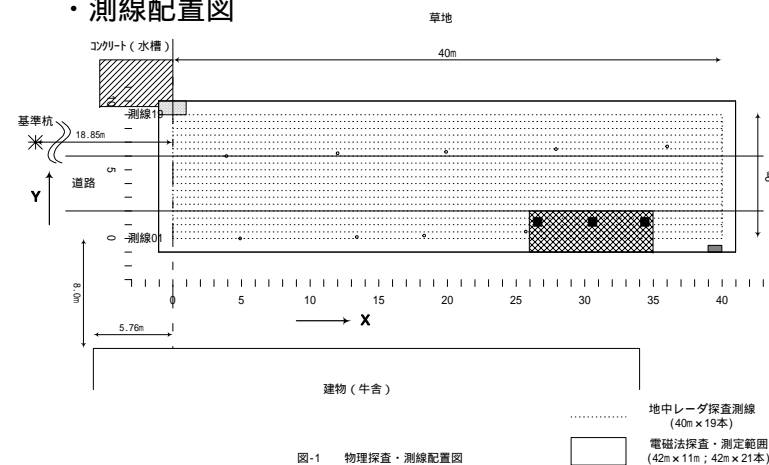


図-1 物理探査・測線配置図

・物理探査の測定状況



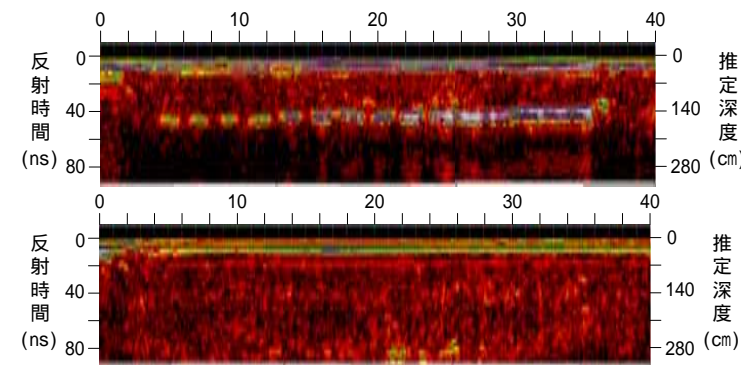
地中レーダ探査(左：測定本部、右：アンテナ部)



電磁探査(測定器 EM61)

探査結果概要

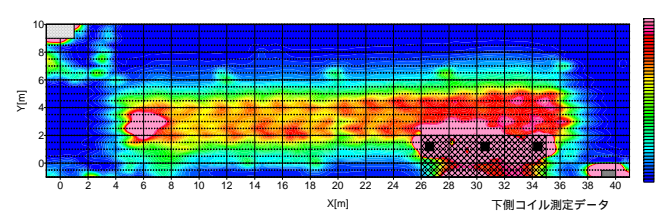
・地中レーダ探査



Y=5m 測線の測定記録  
 深度140cm付近に横方向に続く強い反射が認められる。コンクリート蓋上面からの反射と推定される。

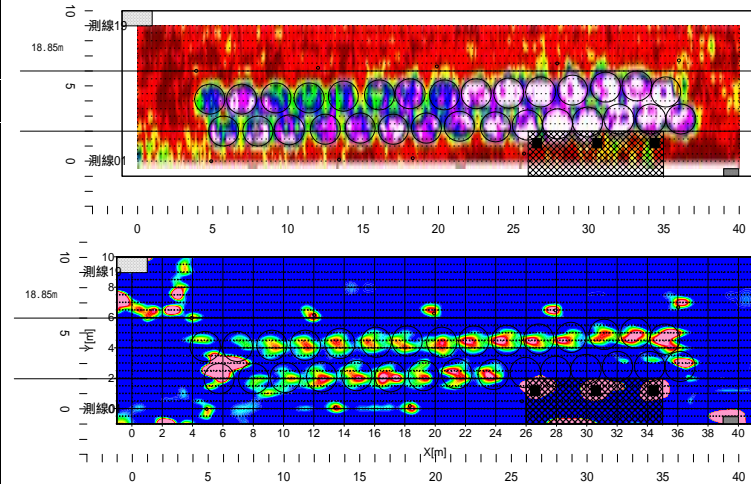
Y=9m 測線の測定記録  
 強い反射は特に認められない。

・電磁探査



電磁探査測定結果  
 下側コイル測定値の平面分布  
 金属体によるものと推定される強い反応が認められる。

・探査結果：



地中レーダ探査結果  
 中心深度1.5mの深度スライス断面  
 強い反射の部分に円筒形の容器があるものと推定される。直径2mの円として表示。

電磁探査結果  
 2m×2mの移動平均除去処理結果  
 個々の容器(蓋)の金属反応を捕えているものと推定される。

試掘観察結果との対比

- ・試掘状況： 重機による掘削
- ・試掘結果： 2列×15本=30本
- ・探査結果と試掘結果の対比： 両者は良くあっており、ヒューム管の分布位置を正確に把握することができた。

図4.2.1 調査事例(物理探査の適用実験)

(7) 試掘等による確認

物理探査実施後に行なわれた埋設農薬の掘削回収作業時に、ヒューム管の蓋の部分を利用して、トータルステーションによる位置測量を行なった。測量状況の写真を、図 4.2.2 に示す。



図 4.2.2 トータルステーションによるヒューム管の位置測量状況

掘削により、ヒューム管は 2 列に並んでおり各 15 本で、計 30 本であることが確認できた。これは、地中レーダ探査結果と対応している。

また、測量は、回収作業を優先し安全を確保して行なったことなどのために、掘削回収作業の進捗状況を見て 3 回に分けて実施したが、途中部分的に測量が欠測となった部分がある。したがって位置測量ができたのは、掘削前半部の 6 本、後半部の 15 本、計 21 本であった。

地中レーダ探査結果（深度スライス断面）に、測量により確認したヒューム管位置を重ねたものを、図 4.2.3 に示す。

この図から、地中レーダ探査結果とヒューム管の分布位置は縦方向、横方向ともにほぼ一致しており、地中レーダ探査により埋設されているヒューム管の位置を正確に捕えることができたものと言える。

この大規模埋設の事例では、農薬が納められたヒューム管の分布位置を、地中レーダにより正確に把握することができた。また、ヒューム管が鉄筋コンクリート製であるために、電磁探査でもヒューム管の分布を捕えることができた。

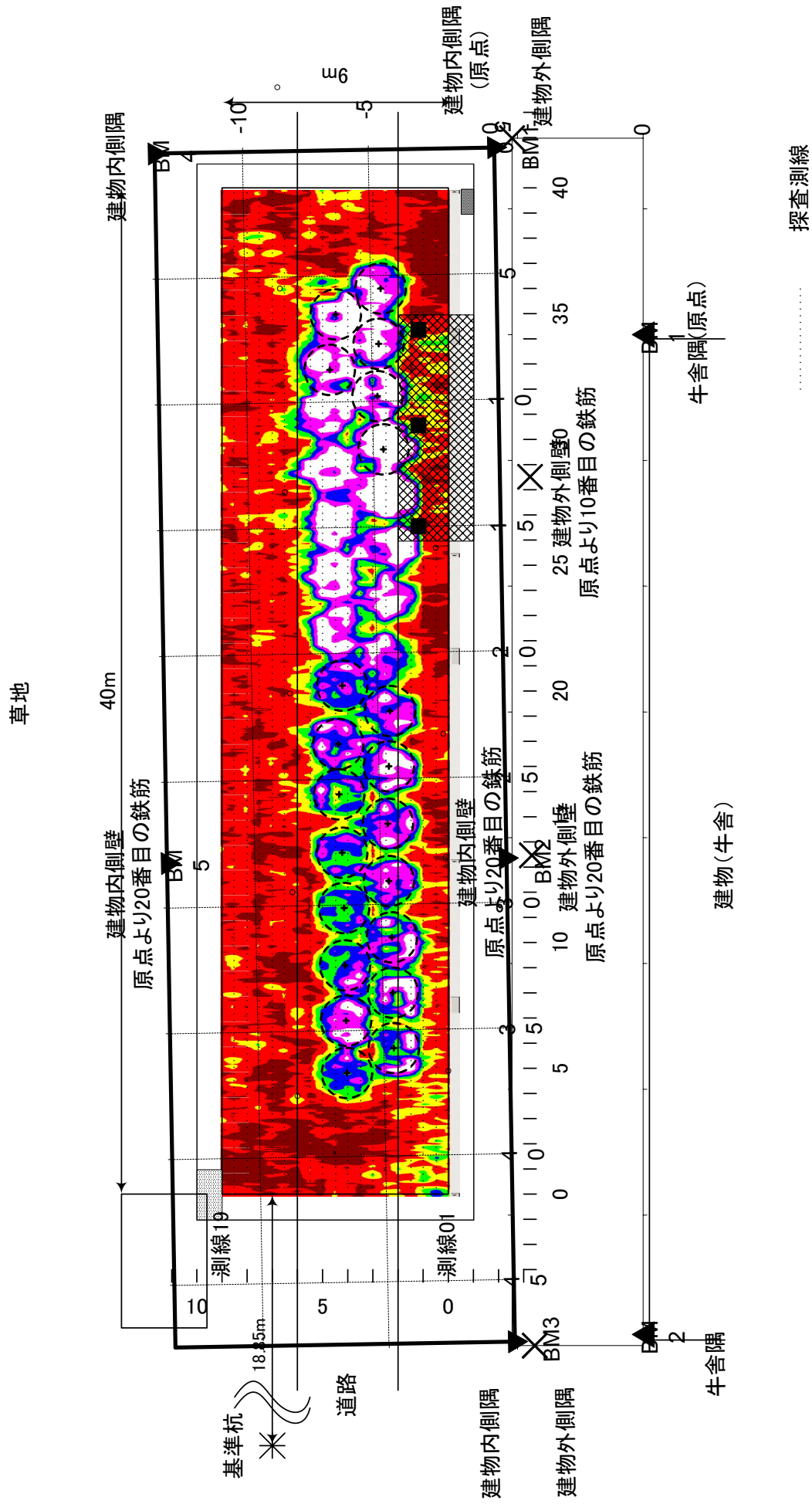


図4.2.3 地中レーダ探査結果と開削結果の対比



#### 4.3 物理探査による埋設農薬調査結果の考察

##### (1)物理探査結果について

農薬の大規模埋設地点において探査実験を行ない、後の掘削回収時の測量結果と対比した結果、農薬が納められたヒューム管の分布位置を、地中レーダにより正確に把握することができた。また、ヒューム管が鉄筋コンクリート製であるために、金属埋設物を対象とした電磁探査でもヒューム管の分布状況を捕えることができた。

##### (2)地中レーダ探査の測線間隔と探査結果について

探査実験の事例では、地中レーダ探査の測線間隔は 50cm である。すなわち、アンテナを 50cm おきの平行な測線に沿って移動させて測定を行なっている。調査の効率化を考えると測線間隔は粗いほうが望ましいが、逆に余り間隔を広げると探査結果の精度や分解能の低下を招くことになる。

測線間隔 50cm で取得した地中レーダ探査の測定データを用いてデータを間引いて再解析を行ない、測線間隔を広げた場合の分解能の低下を検討した。解析結果（深度スライス断面）を、図 4.3.1 に示す。測線方向は図の横方向で、間引いた結果の縦方向の測線間隔は、100cm、150cm である。

この図から、次のことが言える。

- ・測線間隔 50cm では円形に捕えられていたものが、間隔が広がるに連れて縦に伸びた結果となっている。また、ヒューム管分布の上下端の境界部も、縦に広がった結果となっている。すなわち、分解能の低下につながっている。
- ・測線間隔を変えた場合の解析結果の比較から、直径約 2 m のヒューム管に対しては、この形状を正確に捕えるためには測線間隔 50cm 程度が妥当であるものと言える。おおよその分布を捕えるのであれば、対象物のサイズと同等か、それ以下の間隔（今回の場合はヒューム管直径が約 2 m であるので 1.5～2 m 程度）とする必要がある。

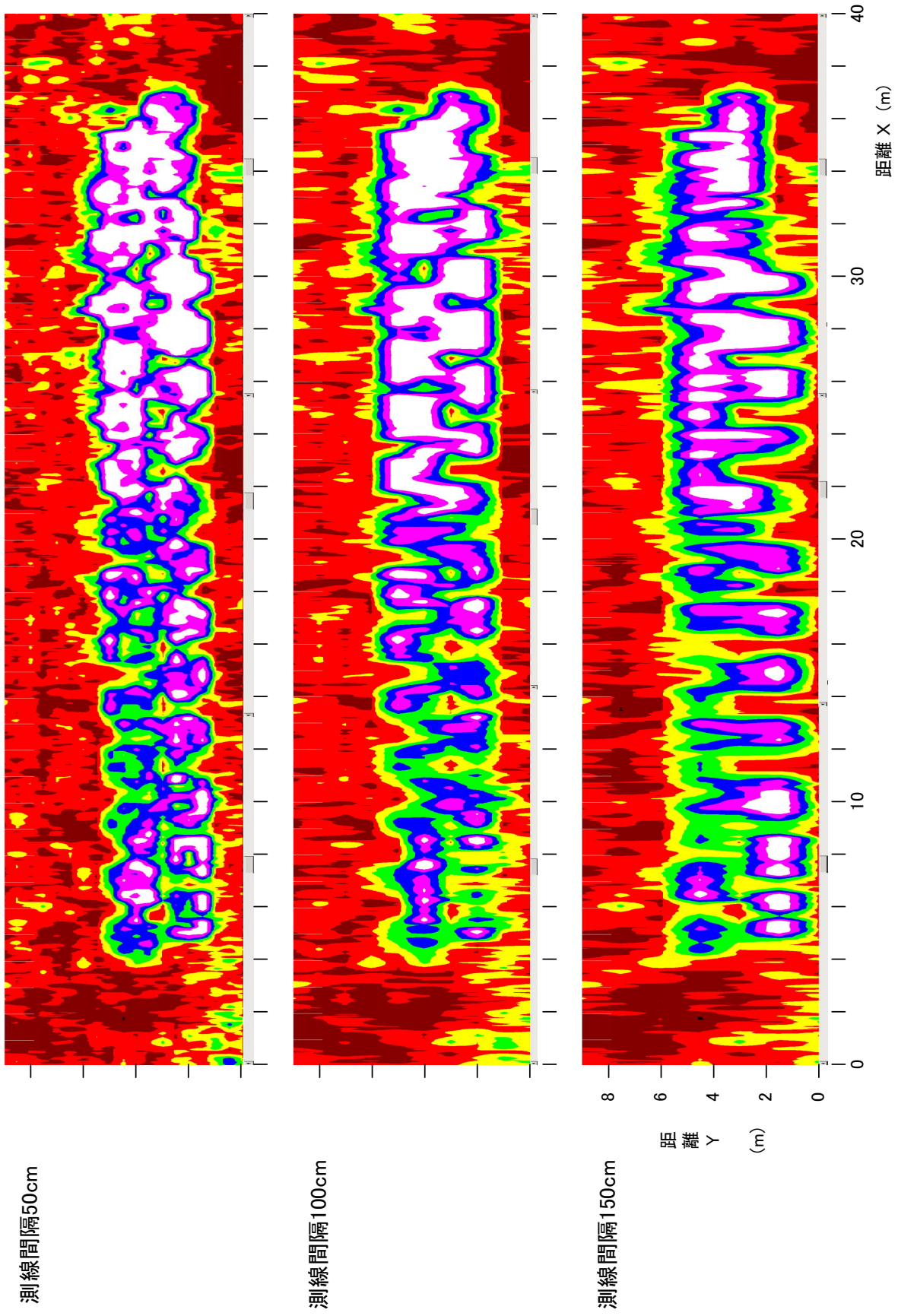


図4.3.1 地中レーダ探査・深度スライス断面の測線間隔による違い  
 (中心深度150cmに対し厚さ35cm間の最大値)

## 5. 物理探査による埋設地点調査の流れ

『暫定マニュアル』に記されている埋設地点環境調査のうち、物理探査に求められることは、まず第一に、

- (1) 埋設物(埋設農薬)の位置、深さを正確に特定すること
- である。現状の『暫定マニュアル』には記されていないが、その他に期待される役割としては、
- (2) 周辺への汚染の有無の推定(汚染の有無を検討するための資料を提供すること)
- である。(2)については、4.1節で述べたように現在のところ適用の可能性が指摘されている段階であり、今後の課題と言える。

この第一の役割に対する物理探査による埋設地点調査の流れは、図 5.1 に示すようになる。Step1～Step3の各項目における留意点や基本的な考え方について述べる。

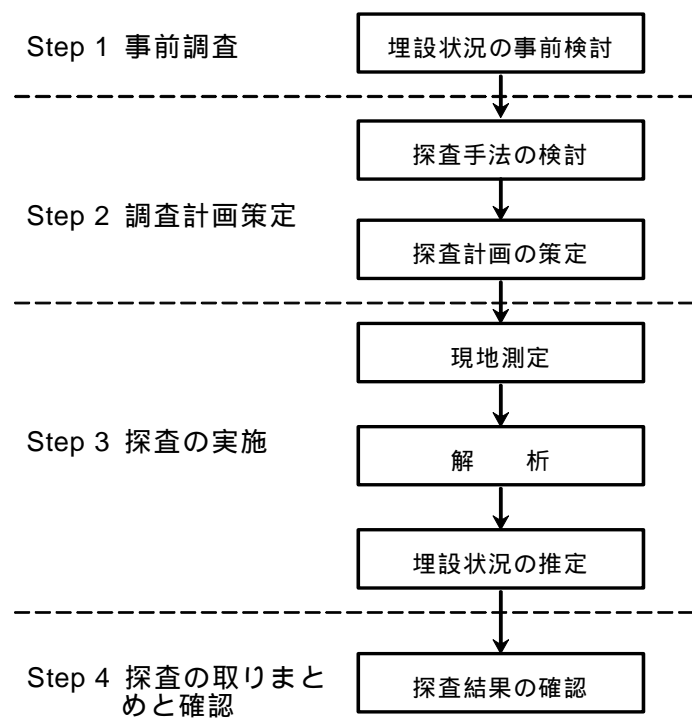


図 5.1 物理探査による埋設地点調査の流れ

## 5.1 埋設状況の事前検討

物理探査を利用した埋設農薬の調査（分布調査）では、図 5.1 に示したように、通常、次のような流れになる。

事前調査（調査計画立案に必要な情報の整理および提示） -> 調査計画策定

-> 探査実施

したがって、調査会社などの調査請負者が調査計画を検討立案する場合には、そのために必要な情報を、物理探査の専門家ではない調査の実施主体である自治体の担当者などが事前に整理し、調査会社などの調査請負者に提示する必要がある。このような事前に整理する必要のある項目、内容についてまとめておくことは、より効率的で質の高い調査を行なうために有効と考えられる。

調査計画を検討立案するために事前に把握しておく必要のある事項としては、大きくは『埋設地点に関する情報』、『埋設状況に関する情報』の2つが挙げられる。これらについて、調査計画検討立案との関係に留意して説明を加える。なお、事前調査では、資料調査、聞取調査、現地調査（踏査）などがある。

### （1）埋設地点に関する情報

・埋設地点の特定がどの程度できているか、埋設範囲は想定できているか、できている場合にはどの程度の範囲か：

-> これらにより、調査範囲の検討、測定の際の測線間隔の検討が可能となる。埋設地点の特定は、調査範囲を検討する上で非常に重要である。

・現在の地表の状況：

-> 地表の状況については、埋設から約 30 年の長い年月が経過しているため、土地の改変がある可能性も推定される。しかしながら、通常は埋設箇所の維持管理が適正に行なわれているものと考えられるので、宅地開発などの大きな土地の改変が行なわれているとは考えにくい。可能性のある地表の状況としては、次の状況などが想定される。

更地（埋設時の状況を維持）、田畑・果樹園内、山林内、管理用地内の道路などの下、  
構造物の下、構造物近傍

このような現在の地表状況を事前に知ることにより、現地測定が可能な物理探査手法を検討することが可能となる。なお、構造物が存在し、その下に埋設されている可能性が考えられる場合には、地表からの物理探査は原理的に実施困難である。また、地表部には探査が実施できる十分なスペースが確保できることが必要である。その他、構造物近傍に埋設されている可能性が考えられる場合には、構造物自体が金属体であったり、構造物基礎が周辺に存在するために、それらの影響を受けて埋設物の探査が困難な場合があるので、それらの状況も把握する必要がある。

・その他の埋設地点に関する情報として、対象地点の地質状況、地下水位などが挙げられる：

-> 地質状況や地下水位を知ることにより、例えば地中レーダ探査の探査深度推定に資するなど、探査手法を検討するための材料となる。

## (2) 埋設状況に関する情報

### ・想定される埋設深度：

-> 物理探査手法によって探査可能な深度は異なるので、物理探査の適用可能性を検討する上で、あらかじめ埋設深度を知ることが重要である。農薬の埋設の場合には地表からの掘削となるため、埋設作業の安全性、効率の面から、一般には地下数m程度の比較的浅い深度に埋設されているものと推定される。農薬の埋設は、地下水位の深い場所を選んで埋設されているものと考えられるが、探査手法によっては地下水の影響で探査不可能となる場合があるので、地下水位の把握も必要である。

### ・埋設規模（埋設量および埋設範囲）：

-> 埋設量に関する情報が得られると、大規模集約型あるいは小規模分散型の埋設規模を推定する手がかりになる。大規模集約型か小規模分散型かの埋設規模を知ることにより、埋設状況の推定ができる。すなわち、大規模集約型では3トン以上をコンクリート容器に入れて埋設しており、小規模分散型では1箇所当たり300kg以内として消石灰で包むように埋設するなどしている。したがって、埋設状況を推定することができ、適した物理探査手法の検討、測線配置の検討において有効な情報となる。

### ・埋設状況：

-> 農薬の埋設状況には、次のものが想定される。

- ・乳剤の場合で、粉剤、粘土粉、消石灰に吸収させて埋設されている場合
- ・農薬の上下および周囲を消石灰で包むようにして埋設されている場合
- ・厚手のビニール袋に入れて埋設されている場合
- ・石油缶などの金属容器に入れて埋設されている場合
- ・大型コンクリート容器（施設）に入れて埋設されている場合（鉄筋および金属製蓋の有無）

これらの埋設状況、特に埋設容器などの材質についての情報を把握することにより、適用可能な探査手法の検討が可能となる。

以上に述べた事項について表形式にまとめ、表 5.1.1 に示すチェックリスト（物理探査の調査計画立案に先立って把握しておく事項）を作成した。

表 5.1.1 チェックリスト（物理探査の調査計画立案に先立って把握しておく事項）

埋設地点の特定		ある程度特定できている			不明				
埋設範囲									
地表の状況		更地	田畑、果樹園など	山林	管理用地内の道路などの舗装下			構造物下	構造物近傍
					アスファルト	無筋コンクリート	鉄筋コンクリート		
埋設深度									
推定埋設量									
地下水位									
周辺の地質状況									
埋設状況による埋設物の推定	埋設規模	大規模集約型			小規模分散型			不明	
	埋設形態または方法	(乳剤等の場合で)粉剤、粘土粉、消石灰に吸収埋設	(粉剤が)消石灰で包まれている	ビニール袋入り	石油缶などの金属容器	大規模埋設 コンクリートのみ(無筋)    鉄筋コンクリートまたは金属製蓋		その他	不明

## 5.2 探査手法の検討

埋設状況に関する事前検討結果を基に、より適した物理探査手法の検討を行なう。埋設物探査によく利用されるのは、地中レーダ探査、電磁探査、磁気探査であり、探査対象物の大きさによっては、電気探査、反射法地震探査、表面波探査、重力探査なども適用の可能性が考えられる。

3.3節、5.1節に述べた内容に基づいて、具体的な探査手法検討の手順について図5.2.1に示すフローを作成した。チェックリスト(表5.1.1)を調査地点に対して作成し、図5.2.1のフローおよび『埋設状況』、『地表の状況』に対する物理探査適用性の表(表3.3.1、3.3.2)を用いることにより、この調査地点の埋設農薬調査に適した探査手法を導くことが可能である。

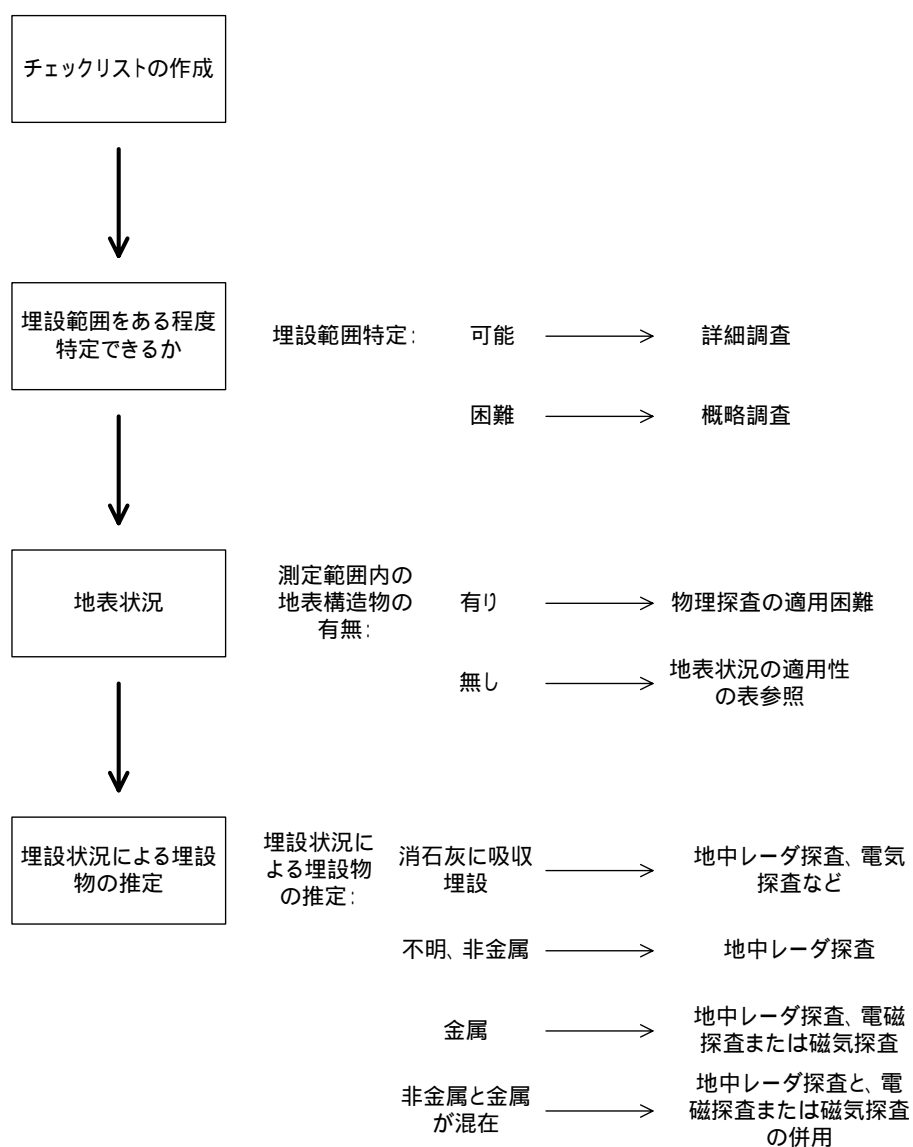


図 5.2.1 埋設農薬調査における物理探査手法検討のフロー

図 5.2.1 の各項目について、留意点などを以下に記す。

- ・埋設範囲（埋設物の平面的な広がり）： 埋設範囲としては数m～数 10m四方のエリアと考えられる。地中レーダ探査、電磁探査、磁気探査の場合には、深度 1～2 m に対しては、50cm 四方程度の大きさであれば探査可能であるので、問題になることは無い。探査対象物の大きさが深度と同程度かそれ以上の場合には、電気探査、反射法地震探査、表面波探査、重力探査も適用の可能性が考えられる。
- ・地表の現況： 地表に構造物がある場合には、その下を探査することは原理的に不可能である。地表面が鉄筋コンクリートで覆われている場合には、電磁探査、磁気探査は適用不可能であり、地中レーダ探査では鉄筋の間隔が広く測定記録に影響を及ぼさない場合にのみ、適用の可能性はある。
- ・埋設状況または埋設物の材質： 埋設状況または埋設物の材質によって、適用可能な物理探査手法は異なる。地中レーダ探査は全ての埋設状況に対し適用可能と考えられるが、電磁探査は金属体および周辺地盤と埋設農薬部分の比抵抗コントラストが大きい場合に限り、磁気探査は磁性金属体が探査対象となる。電気探査は周辺地盤と埋設農薬部分の比抵抗コントラストが大きい場合、反射法地震探査、表面波探査は周辺部と埋設部分との速度コントラストが大きい場合、重力探査では周辺部と埋設部分との密度差が大きい場合に、適用の可能性はある。

その他、埋設深度、作業性についても留意する必要がある。

- ・埋設深度： 埋設の上面深度としては、一般には 1～2 m と想定されるので、この場合は埋設物探査によく利用される地中レーダ探査、電磁探査、磁気探査のいずれも、探査深度的には問題が少ない。ただし、地盤の比抵抗が小さい場合には、電磁波の減衰が激しく地中レーダの探査深度が小さくなり、場合によっては 1 m 程度までしか探査できない場合もあるので、注意が必要である。埋設深度が 2 m を越えて数 m に及ぶ場合には、地中レーダ探査、電磁探査、磁気探査では適用困難な場合も十分に考えられる。その場合には、比較的探査深度の大きな、電気探査、反射法地震探査、表面波探査、重力探査の中から、他の条件を考慮して適した手法を検討する必要がある。
- ・作業性： 探査手法を検討する場合には、探査範囲の面積または測定数量と、現地測定が実施可能な期間などに対し、探査手法の作業性を考慮して行なう必要がある。

探査手法の検討では、上記の点に留意することの他に、適用可能性のある複数の手法を用いて探査を行なうことにより、探査結果の高精度化、高品質化を図ることも必要である。例えば、埋設物が金属体であるかどうかは、地中レーダ探査だけでは材質の判断は難しいが、電磁探査または磁気探査を併用することにより、探査対象物が金属体かどうかを判断することが可能となる。



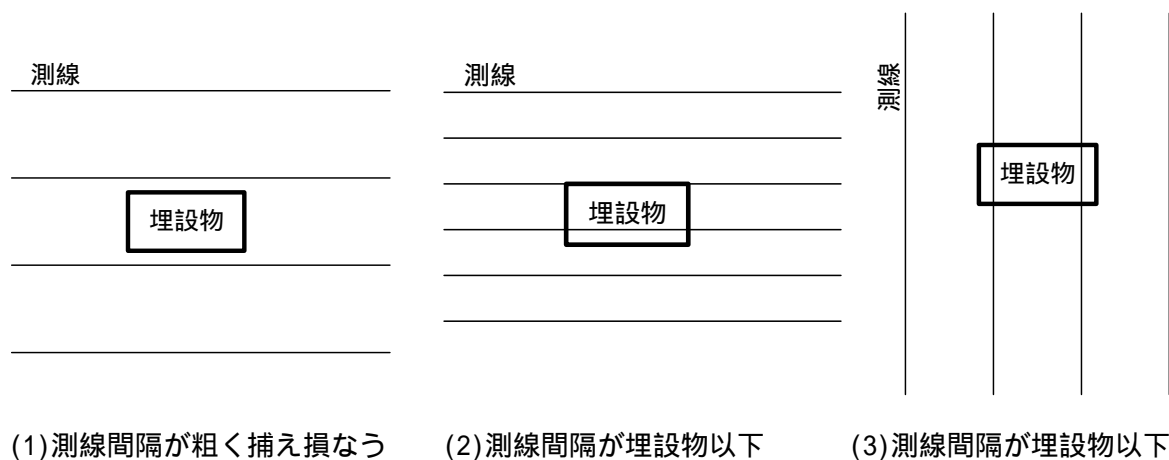
### 5.3 探査計画の策定

探査計画策定では、主として測線配置（方向、間隔など）について検討を行なう。その際に留意すべき点は、以下の内容である。

- ・概略の埋設位置情報： 概略の埋設位置情報の内容によって、探査範囲の設定、概査か精査かなどを決める。すなわち、概略の位置や埋設範囲が判っていれば、それを包含するように探査範囲を設定し、その範囲に対して精査を行なえばよい。しかしながら、これらの情報が不確かな場合には探査範囲をある程度広範囲に設定し、まず概査を行なうことにより精査範囲の絞込みを行なうという、段階的な計画が必要となる。

概査 - (範囲の絞込み) -> 精査

- ・埋設物の分布方向と測線の方向： 埋設物の分布方向が判っている場合には、これと平行な方向および直交する方向の2方向に測線を設定するのが望ましい。しかしながら、十分に密な間隔で測線を設定した場合には、1方向で十分な探査結果が得られる場合が多く、2方向に測線を設定することはオーバースペックになる場合がある。磁気探査では、磁性金属体による正負の磁気異常は地球磁場の方向に現われるので、ほぼ磁北の方向に測線を設定するのが一般的である。
- ・測線間隔について： 概査では、埋設物の概略分布を捕えることが第一の目的であるので、図5.3.1に示すように、埋設物の平面的な大きさ(拡がり)や埋設間隔などを考慮して、測線の間に入ってしまう捕え損なうことが無いように測線間隔を設定することが必要である。精査の場合には、探査手法の特性または測定器の探査可能な幅を考慮して、探査対象を面的にカバーするように測線間隔を設定する必要がある。例えば、地中レーダ探査では、測線毎にアンテナが重なるように測線設定を行なう（アンテナの幅約1 mの場合、50cm～1 m間隔に測線を設定する）。



(1)測線間隔が粗く捕え損なう

(2)測線間隔が埋設物以下

(3)測線間隔が埋設物以下

図 5.3.1 埋設物の大きさと測線間隔

## 5.4 現地測定

現地測定においては、下記の点に留意する必要がある。

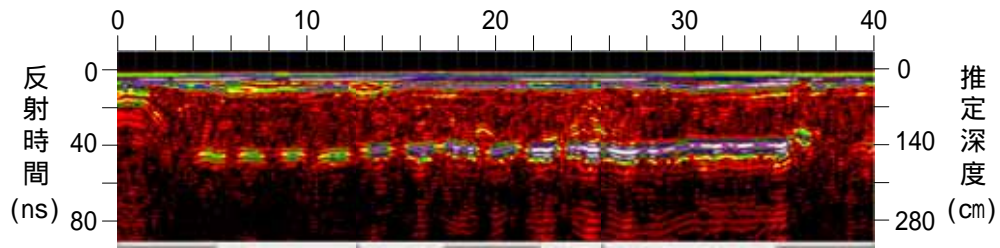
- ・ 現地状況の観察： 事前調査段階で実施している場合が多いが、改めて物理探査を行なう視点から現地状況を観察する。例えば、地表の凹凸、土壌の色や性状、植生などである。
- ・ 測線設定のための測量： 測線の位置座標については、後の掘削時においても容易に位置の決定ができるように、基準点または基準線を決める。
- ・ 現地での解析および追加測定： 地中レーダ探査、電磁探査、磁気探査などのように、現地で概略解析の実施が可能な場合は、携帯型パソコンなどの必要な資材を用意して解析を行ない、埋設物推定範囲の現地マーキングや位置測量などを行なう。また、その結果を基に必要な追加測定を行なって、より精度の高い探査結果が得られるように配慮する。

## 5.5 解析

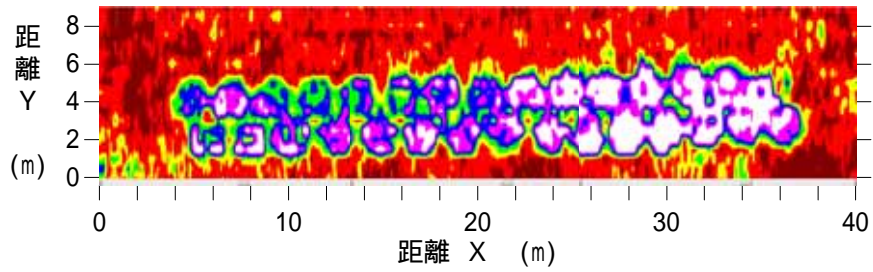
解析においては、下記の点に留意する必要がある。

- ・ 解析結果の表示方法： 地中レーダでは測線間隔を密にして測定を行ない、解析結果としては、2次元深度断面図（深度方向の断面図）だけでなく、深度スライス表示（ある深度の水平断面図）で表わし、探査結果の解釈に供する。また、図 5.5.1 に示すように、必要に応じて3次元キュービック表示などの見やすい表示方法も併用する。
- ・ 電磁探査、磁気探査の解析： 電磁探査や磁気探査では、測定値を平面的に表示して周囲とは値の異なる異常分布を把握し、金属埋設物の分布を推定するものである。解析においては、移動平均処理あるいは移動平均除去処理などの2次元フィルター処理を行なって、異常値分布を求めるようにする。
- ・ 埋設深度の把握： 埋設物の深度を高い精度で求められるのは、地中レーダ探査だけである。深度の精度は、いかに精度良く地盤中での電磁波速度を求めるかにより決まる。地中レーダのシステムには、送信アンテナと受信アンテナが別体のものと、一体化されているものの2種類があり、2アンテナ型のシステムではワイドアングル測定と呼ばれる速度測定を行なうことにより、電磁波速度を求めることができる。1アンテナ型のシステムでは、埋設深度の判っている埋設物を利用して速度を求めるか、土壌サンプルを採取して土壌の比誘電率を求めて速度を求める。

・ 2次元深度断面 (Y=5m)



・ 深度スライス表示 (中心深度 1.5m)



・ 3次元キュービック表示

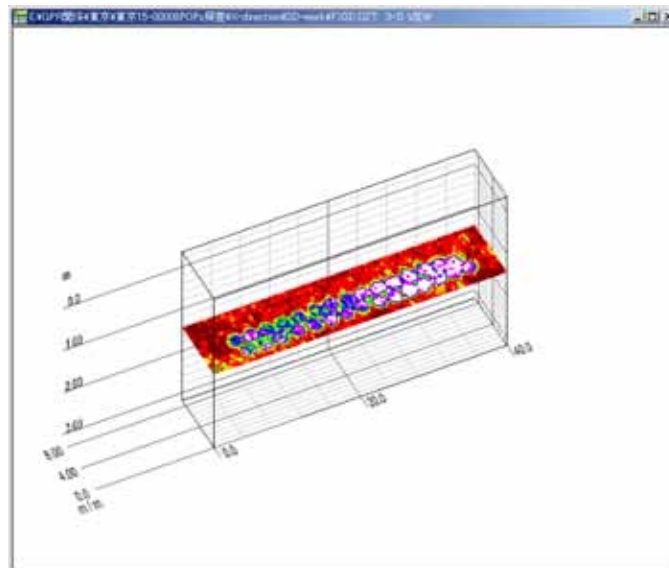


図 5.5.1 地中レーダ探査における 3次元探査の場合の表示方法

## 5.6 埋設状況の推定

探査結果から埋設状況を推定する場合には、次の点に留意して行なう。

- ・ 解釈を行なう場合の基本姿勢： 解析の結果、非常に明瞭な結果が得られれば、解釈において何の問題も無いが、いつもそうとは限らず不明瞭で解釈に苦慮する場合もある。そのような場合には、周囲に比較して何らかの異常がありそうな箇所は指摘するようにし、『疑わしいものは指摘する』姿勢で解釈を行なうようにする。また、資料調査、聞取り調査、現地踏査などの事前調査結果のほか、各測線の解析結果、複数手法の解析結果を基に、相互の關係に矛盾が無いように解釈を行なうことが必要である。

## 6. まとめ

本報告書は、平成 14 年度に実施した『埋設農薬地中レーダ探査検証調査』および平成 15 年度に実施した『埋設農薬調査に対する物理探査の適用性に関する検討』の 2 箇年の業務内容についてまとめたものである。

平成 14 年度業務では、埋設農薬調査に対する物理探査の適用性の検討資料を得ることを目的として、

- 1) 埋設農薬調査に適用可能な物理探査技術の検討
- 2) 物理探査による埋設農薬調査の実施
- 3) 物理探査による埋設農薬調査方法の検討

を行なった。

平成 15 年度業務では、物理探査による埋設農薬の分布調査において、より良好な調査結果を得るために必要と考えられる事項を整理検討することを目的として、

- 1) 物理探査による埋設農薬調査の現状の把握
  - ・アンケート調査に見られる地中レーダ探査利用の現状を整理する
  - ・埋設農薬調査に対する物理探査の適用性について検討する
- 2) 想定される埋設状況と調査内容検討に関する資料作成

を行なった。

以下に、本報告書の各章の概要をまとめる。

2 章では、埋設農薬の調査方法を検討する上で、埋設農薬がどのような状況で埋設管理されているかを把握する必要があるので、『埋設農薬の実態調査の結果について』（平成 13 年 12 月 6 日、農林水産省生産局）を基に、農薬の埋設状況についてまとめた。埋設形態は、大きくは『小規模埋設』と『大規模埋設』に分けられる。

3 章では、埋設地点環境調査に適用可能な物理探査技術の検討として、『埋設農薬の調査 = 埋設位置の特定』という観点から各物理探査技術について整理を行なった。

また、アンケート調査を基に、物理探査（地中レーダ探査）利用の現状をまとめた結果、POPs 農薬が現にある 23 都道府県 160 箇所のうち、12 都道府県 25 箇所において埋設地点特定のための調査で地中レーダ探査を実施している。その調査の結果、埋設農薬の位置を特定できたのが 5 箇所、調査以前から既に特定できていたのが 3 箇所、結果不明または未回答 17 箇所である。この『結果不明』となっているものは、地中レーダ探査による埋設農薬調査により農薬が埋設されている可能性のある地点を指摘できたが、試掘などの確認作業が行なわれていない場合であり、すなわち、地中レーダ探査による調査は農薬が埋設されている可能性のある地点を指摘する上で十分効果があったが、多くはその後の確認作業が未実施の状況にある。

さらに、推定される埋設状況と適用可能な探査技術について、各物理探査技術の特性に留意し

て検討し、埋設状況および地表状況という観点から各物理探査技術の適用性を表にまとめた。その結果、埋設農薬の調査に適用性の高い物理探査手法としては、作業性も含めて考えると地中レーダ探査と言うことができ、埋設において金属体を用いている場合には、電磁探査および磁気探査も適用性が高いと考えられる。

4章では、物理探査による埋設農薬調査について、調査の実状を把握する目的でヒアリング調査が行なわれているので、この結果についてまとめ、埋設農薬調査における物理探査適用の実状を整理した。その結果、平成13年に『暫定マニュアル』が出されたが、ヒアリング時点では、実際に物理探査を利用して埋設農薬の探査が行なわれた事例は非常に少ないことが判り、実際の埋設農薬調査において物理探査を実施し、その適用性を確認する必要があるものと言えた。

さらに、農薬の大規模埋設地点において探査実験を行なう機会を得たので、実際に物理探査による埋設農薬調査を実施し、物理探査の適用性について検討を行なった。その結果、

『大規模埋設の場合において、農薬が納められたヒューム管の分布位置を、地中レーダ探査により正確に把握することができた。また、ヒューム管が鉄筋コンクリート製であるために、金属埋設物を対象とした電磁探査でもヒューム管の分布状況を捕えることができた』

しかしながら、この事例では、現場測定条件、適用条件とも物理探査、特に地中レーダ探査にとっては比較的良好な状況（地表には何も障害物が無く、土地の改変等もほとんど無い、深度も1m程度であったなど）であったので、良好な探査結果が得られたものと言える。埋設地点の状況は今回のように理想的な状況とは限らないので、今後の課題として、『物理探査で埋設農薬の分布調査を行なう場合、より良好な結果を得るために参考となるような補足資料を作成することが必要』であると言えた。

5章では、3章および4章の検討内容に基づいて、物理探査による埋設地点調査の流れを示し、それに沿った形で、より良好な結果を得るために必要と考えられる資料を作成し、説明を加えた。具体的には、物理探査の調査計画立案に先立って把握しておくべき事項をチェックリストとしてまとめ、『探査手法の選定』についてフローを作成した。チェックリスト、フローおよび3章に示した埋設状況あるいは地表の状況に対する物理探査手法の適用性の表を用いることにより、対象とする調査地点の埋設農薬調査に適した探査手法を導くことが可能である。

各物理探査手法の適用性を念頭におき、より確実な調査内容についてまとめると、

- ・ 現地の地表状況、推定される埋設状況をもとに、より適した探査手法を選定することが良好な調査結果を得るために必要である。
- ・ 調査の目的を考慮して測線配置や測線間隔を検討する必要がある。
- ・ 単一の手法で十分に目的が達せられない可能性がある場合には、複数の探査手法を組み合わせさせて調査を行なう必要がある。

とすることができた。

## << 巻末資料 >>

- 資料 - 1 プレスリリース『埋設農薬の実態調査の結果について』  
(平成13年12月6日、農林水産省生産局)
- 資料 - 2 物理探査技術の概要
- 資料 - 3 地中レーダ探査概要、電磁探査概要
- 資料 - 4 物理探査による埋設農薬調査事例(大規模埋設)図面集

資料 - 1 プレスリリース『埋設農薬の実態調査の結果について』  
(平成13年12月6日、農林水産省生産局)



## 埋設農薬の実態調査の結果について

平成13年12月6日  
農林水産省生産局

過去に埋設処理した残留性有機塩素系農薬（BHC、DDT、アルドリン、ディルドリン及びエンドリン。以下同じ。）について、「埋設農薬の実態調査について」（平成13年6月5日付け13生産第1738号農林水産省生産局長通知）により都道府県に依頼した実態調査の結果をとりまとめたのでお知らせします。

### 1 調査の背景及び目的について

残留性有機塩素系農薬は、残留性等に問題があったため、昭和46年に「有機塩素系農薬の販売の禁止及び制限を定める省令」（昭和46年4月17日農林省令第二十六号）に基づき販売の禁止又は制限をし、「有機塩素系殺虫剤の使用および使用不能農薬の処分について」（昭和46年2月27日付け46農政第934号農政、畜産、蚕糸園芸局長、林野庁長官通知）及び「有機塩素系殺虫剤等の処分について」（昭和46年4月17日付け46農政第2055号農政局長通知）によって小規模な単位で地中埋設による処分を行うよう指導したところである。さらに、昭和47年には農薬安全処理対策事業（国庫補助事業）を実施し、大規模（3トン以上）な埋設処理による保管の指導を行ったところである。

その後、約30年が経過したところであるが、上記種類の農薬を含む残留性有機汚染物質（POPs）について、国際的な使用規制や適切な管理・廃棄等を内容とする条約が平成13年5月22日に採択されたことを踏まえ、同条約に基づき埋設処理した残留性有機塩素系農薬を計画的かつ適切に処理していくため、実態調査を依頼したところである。

### 2 調査結果について

都道府県の調査の結果、現時点で埋設場所が特定された農薬は、全国174カ所、総数量約3,680tであった。

その内訳は、昭和47年度に実施した農薬安全処理対策事業（国庫補助事業）によるものが全国43カ所、総数量約2,159t、国庫補助事業以外によるものが全国131カ所、総数量約1,521tであった。

なお、具体的な埋設場所については、公にすることにより、犯罪の予防その他の公共安全と秩序の維持及び的確な実態把握に支障を生じるおそれのあること等の理由から、非開示とした。

### 3 今後の対応

農林水産省としては、現在、埋設農薬を安全に処理していくための処理技術を環境省と連携しながら開発しているところであり、それに基づく最終処理が行われるまでの安全性を確保するため、都道府県等に埋設地点の環境調査の実施を依頼する。

（問合せ先）

代表 03(3502)8111

生産局生産資材課農薬対策室

室長 澤田 清 （内線 3781）

課長補佐 曾根 一人 （内線 3785）

（直通 3502-0124）



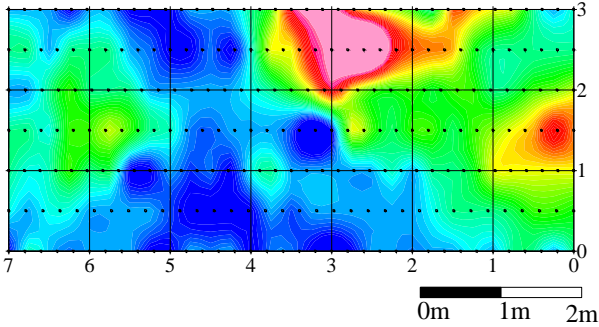
(単位:トン)


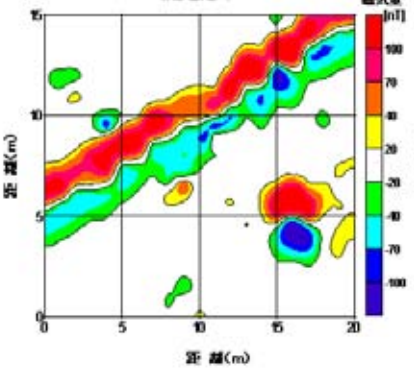
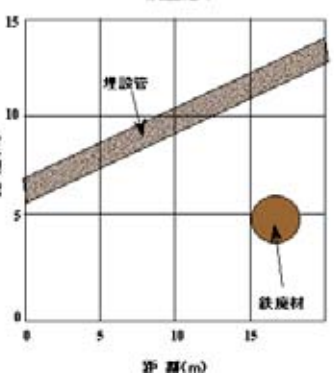
都道府県名	区分	埋設箇所数	埋設量	種類別内訳						備考
				B H C	D D T	アルドリ	ディルド	エンド	不明	
北海道	国庫補助	2	566.020	232.995	303.039	2.794	0.672	26.520		
	その他									
青森	国庫補助									堀出保管46t
	その他									
岩手	国庫補助									
	その他	1	75.300	56.000	19.000				0.300	
宮城	国庫補助	1	182.135	74.452	104.408	1.259	1.512	0.504		
	その他									
秋田	国庫補助	2	111.000							111.000
	その他									
山形	国庫補助	14	154.672	134.388	14.718	3.983	0.025	1.558		
	その他									
福島	国庫補助	1	191.000							191.000
	その他									
茨城	国庫補助	1	65.600	55.800	7.900		1.900			
	その他	3	0.300	0.050	0.050				0.200	
千葉	国庫補助	1	6.000							6.000
	その他									
神奈川	国庫補助	1	72.000	30.000	17.500	11.000	13.500			
	その他	1	1.000						1.000	
山梨	国庫補助	1	6.000							6.000
	その他									
長野	国庫補助	11	128.000	8.250	8.460					111.290
	その他									堀出保管0.05t
静岡	国庫補助									
	その他	1	39.100	17.700	15.300	3.800			2.300	処分済15t
新潟	国庫補助									
	その他	97	475.188	349.893	86.044	4.958	1.026	0.163	33.103	
石川	国庫補助									
	その他									処分済100t
福井	国庫補助									処分済9t
	その他									
滋賀	国庫補助	1	249.800	87.400	162.400					
	その他	1	0.100						0.100	
大阪	国庫補助									
	その他	1	3.000	3.000						
和歌山	国庫補助	1	14.569	6.049	5.920					2.600
	その他									
鳥取	国庫補助									
	その他	19	153.414						153.414	処分済96.3t
島根	国庫補助									処分済14.5t
	その他									
岡山	国庫補助									
	その他	1	454.800	343.300	92.200				19.300	
広島	国庫補助									処分済572.324t
	その他									
山口	国庫補助									処分済176.4t
	その他	3	160.210						160.210	
香川	国庫補助									
	その他									堀出保管0.207t
愛媛	国庫補助	1	226.271	191.998	33.569	0.242	0.250	0.212		
	その他									
福岡	国庫補助									
	その他	1	142.300	74.500	49.500				18.300	
佐賀	国庫補助	1	13.811	5.555	8.214			0.042		
	その他	1	14.385	14.385						
熊本	国庫補助	2	83.384	58.949	0.604	23.766		0.065		
	その他									
鹿児島	国庫補助	1	64.000	55.000	9.000					
	その他									
沖縄	国庫補助	1	25.000	9.000	5.940	0.048		10.012		
	その他	1	2.000						2.000	
合計	国庫補助	43	2,159.262	949.836	681.672	43.092	17.859	38.913	427.890	堀出保管46t 処分済772.224t
	その他	131	1,521.097	858.828	262.094	8.758	1.026	0.163	390.227	堀出保管0.257t 処分済211.3t
総計		174	3,680.359	1,808.664	943.766	51.850	18.885	39.076	818.117	堀出保管46.257t 処分済983.524t

(注)「区分」欄の国庫補助は、国庫補助事業(農業安全処理対策事業)によって埋設されたものである。

## 資料 - 2 物理探査技術の概要

探査手法	地中レーダ
測定原理	・地表に置いたアンテナから地中に電磁波（数 10MHz～数 GHz）を放射し、地下で反射した波を捕えることにより地下浅部の構造や空洞、埋設物などを非破壊的に探査する方法である。
測定概念図	
結果例	<p style="text-align: center;">空洞モデル、埋設管の探査例</p>
求められる結果	地下構造図（反射断面）
主な適用分野	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土木的な目的（埋設物探査、空洞探査、トンネル覆工調査）</li> <li>・遺跡調査</li> </ul>
適用上の問題点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・粘土質地盤等の低比抵抗地盤では探査深度が低下する。</li> <li>・探査深度は地盤の比抵抗にもよるが、一般には2～3m程度である。</li> <li>・鉄筋等の金属体があると、その下は探査困難となる。</li> </ul>
作業性	測線設定、測定条件によるが、2000～3000m / 日程度
探査深度	2～3m 以浅
備考	

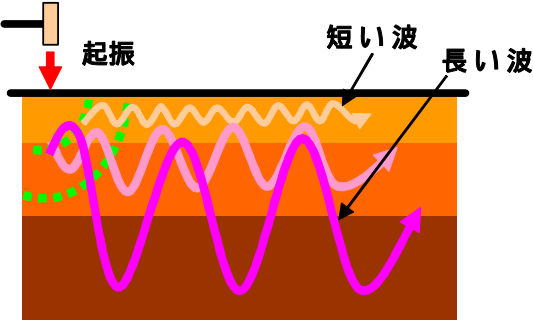
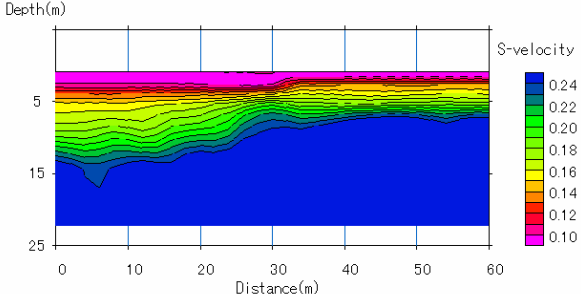
探査手法	浅部電磁法探査
測定原理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 時間的に変動する電磁場が地中に入射すると、地下の比抵抗に応じた電磁応答が発生する。地下の地盤中に金属物のような導電性の高い物質があると、周辺地盤との間には導電率の大きなコントラストがあるため、導電性物質の存在が検出できる。</li> <li>・ 地盤に非接触で測定が可能のため、広範囲のマッピングに適している。</li> </ul>
測定概念図	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>時間領域電磁法</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>周波数領域電磁法</p> </div> </div>
結果図	 <p style="text-align: center;">時間領域電磁法による金属埋設物探査例</p>
求められる結果	(電磁気異常の分布図)
主な適用分野	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 埋設物(埋設管)調査</li> <li>・ 不発弾調査</li> </ul>
適用上の問題点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 埋設管等の人口構造物の影響を受けるため、偽像が発生する可能性がある。</li> <li>・ 対象物の大きさ、埋設深度により、十分な信号強度が得られない場合がある。</li> </ul>
作業性	2000～3000m / 日
探査深度	数 m 以浅(一般には 2 m 程度まで)


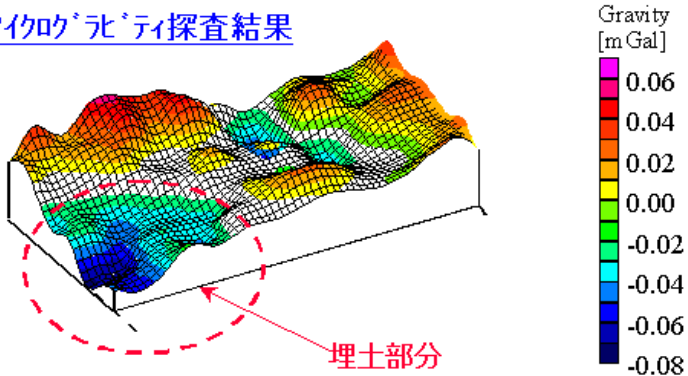
探査手法	磁気探査
測定原理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・各地点の磁気異常値を検出し、主に金属鉱床や磁性金属体等の分布や深度を探査する。窯跡、金属遺物などの遺跡調査にも利用される。</li> <li>・地盤に非接触で測定が可能のため、広範囲のマッピングに適している。</li> </ul>
測定概念図	
結果例	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>測定結果</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>検証結果</p>  </div> </div>
求められる結果	磁気異常分布図
主な適用分野	<ul style="list-style-type: none"> <li>・埋設物（埋設管、金属）調査</li> <li>・不発弾調査</li> <li>・遺跡調査</li> </ul>
適用上の問題点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地表付近に人口構造物がある場合に、大きな影響を受ける。</li> <li>・対象物の大きさ、埋設深度により、十分な信号強度が得られない場合がある。</li> </ul>
作業性	2000～3000m / 日
探査深度	金属埋設物探査の場合には、数 m 以浅（一般に 2 m 程度）

探査手法	電気探査（2次元比抵抗法）
原理	<ul style="list-style-type: none"> <li>多数の電極を地面に設置し、任意の電極から地盤に電流を通电し、そのときの他の電極における電位分布を測定する。</li> <li>測定された電位分布を逆解析することにより、地盤の比抵抗分布を求めて、地下の構造を推定する。</li> <li>地盤の比抵抗は、土の種類、締固めの違い、含水状態の違いなどにより大きく変化するので、比抵抗の分布を把握することによって、地盤の状況を推定することができる。</li> </ul>
測定概念図	<p>The diagram illustrates the McOHM-21 System setup. A truck-mounted unit contains a power booster, battery, and controller. A geoelectric scanner is connected to the truck via a cable. The scanner is connected to a series of electrodes (C2, P2) in the ground. A geoelectric node is also shown in the ground.</p>
結果図	<p>The figure shows a 2D resistivity distribution map. The x-axis represents distance in meters (0 to 20 m). The y-axis represents resistivity in Ohm-m (4.00 to 600.00). The map shows a complex pattern of resistivity values, indicating different soil layers and structures. The scale is 1/100.</p>
得られる結果	地盤の2次元比抵抗分布
主な適用分野	<ul style="list-style-type: none"> <li>土木構造物の基礎地盤調査</li> <li>帯水層や地層の分布</li> <li>断層破碎帯</li> <li>環境調査</li> </ul>
適用上の問題点	<ul style="list-style-type: none"> <li>地形や地下構造として2次元構造を仮定しているため、3次元構造の場合には、3次元的な補正が必要となる。</li> <li>測線の近くに送電線、鉄道、鋼製構造物がある場合、これらは測定データに対し構造的なノイズ源となって影響を与える。</li> </ul>
作業性	数 100m / 日
探査深度	数 m ~ 数 100m

探査手法	弾性波探査（浅層反射法）
測定原理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地表で起振し、弾性波速度や密度の異なる境界で反射して地表に戻ってくる弾性波を捕えて、地下の反射面の分布を探査する手法である。</li> <li>・起振源としては、浅部を対象とした探査では、周波数を制御できるバイブレーターまたは板たたき法と呼ばれる方法を用いる。</li> </ul>
測定概念図	
結果図	<p>浅部構造探査例：浅部の左端に掘削跡と推定される窪みがある</p>
求められる結果	地下構造図、地盤の弾性波反射面分布
主な適用分野	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下構造探査</li> <li>・断層調査などの基盤構造調査</li> </ul>
適用上の問題点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・弾性波の速度コントラストが小さい地盤では、層境界を把握することが困難である。</li> <li>・測線は、なるべく地形が平坦なところに設定する必要がある。</li> </ul>
作業性	浅部探査の場合、100m / 日程度
探査深度	数 m ~ 数 100m



探査手法	表面波探査
原理	<ul style="list-style-type: none"> <li>不均質な地盤の表面付近を伝わる表面波（レイリー波）を利用し、その波長（周波数）による伝播速度の違い（分散）を逆解析することによって、S波速度構造を求める。</li> <li>解析では、まず各測定点で1次元構造を求め、これを並べた2次元モデルで逆解析を行なう。</li> </ul>
測定概念図	
結果図	
得られる結果	弾性波速度 $V_s$ の2次元分布
主な適用分野	<ul style="list-style-type: none"> <li>S波速度構造を求めて、耐震設計等に利用する他、主に、土木地質調査の判断指標として利用</li> <li>土木（支持層・基盤層の深度確認、地盤改良効果判定など）</li> <li>防災（河川堤防堤体調査など）</li> </ul>
適用上の問題点	<ul style="list-style-type: none"> <li>山岳地などの複雑な地形では適用できない。</li> <li>比較的浅い深度（20m程度）を対象とし、概略の分布を把握するのに適している。分解能は必ずしも高くない。</li> <li>測定は比較的に容易である。</li> </ul>
作業性	数 100m ~ 1000m / 日
探査深度	数 m ~ 数 10m

探査手法	重力探査
測定原理	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下構造（密度分布）により、場所によって微妙な重力値の違いがある。重力探査は、重力計によりこの微妙な重力値の違いを測定して、地下の構造（密度分布）を推定する探査手法である。</li> <li>重力値は、地下に密度の大きい物質が存在すれば、地表で観測される重力値は大きくなり、逆に、地下に密度の小さい物質が存在する場合、その場所は周囲に比較して重力値が小さくなる。</li> </ul>
測定概念図	 <p>灰色の装置が重力計である</p>
結果例	<p><u>マイクロ重力探査結果</u></p>  <p>青い部分が周囲より低重力異常の部分で、掘削後の埋土と推定される</p>
求められる結果	重力異常分布
主な適用分野	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 基盤構造調査、断層調査</li> <li>・ 空洞調査</li> </ul>
適用上の問題点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 各種の補正（潮汐、緯度、大気、地形等）の各種補正が必要である。</li> <li>・ 特に地形の影響を受けやすいので、浅部の微細な構造を探査する場合には、正確な測定地点の位置座標の測量と、高精度のレベル測量が必要である。</li> </ul>
作業性	測点間隔によるが、浅部探査の場合 50～100 点 / 日
探査深度	数 m～数 100m

資料 - 3 地中レーダ探査概要、電磁探査概要

## 1 地中レーダ探査概要

### 1-1 地中レーダ探査とは

地中レーダ探査とは、電磁波の「波動」としての性質を利用して、地中の構造を把握する探査手法である。電磁波(パルス波)を地表から地中に向けて放射すると、地中の電気的性質が変化する部分が電磁波の反射面となり、この反射面からの反射波が地表に帰ってくる。この反射波を捉えることにより、地下浅部の地盤構造や空洞、埋設物などを非破壊的に探査する方法である。

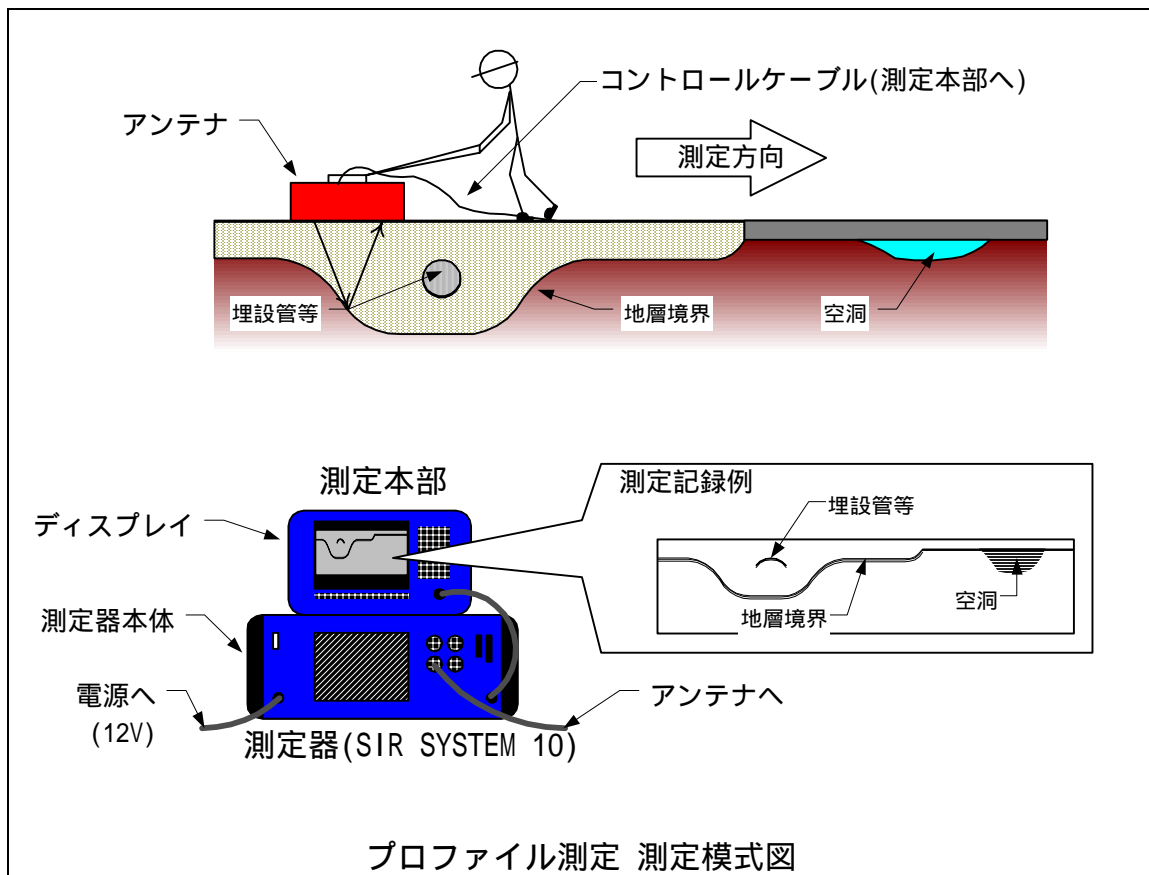
### 1-2 測定・解析方法

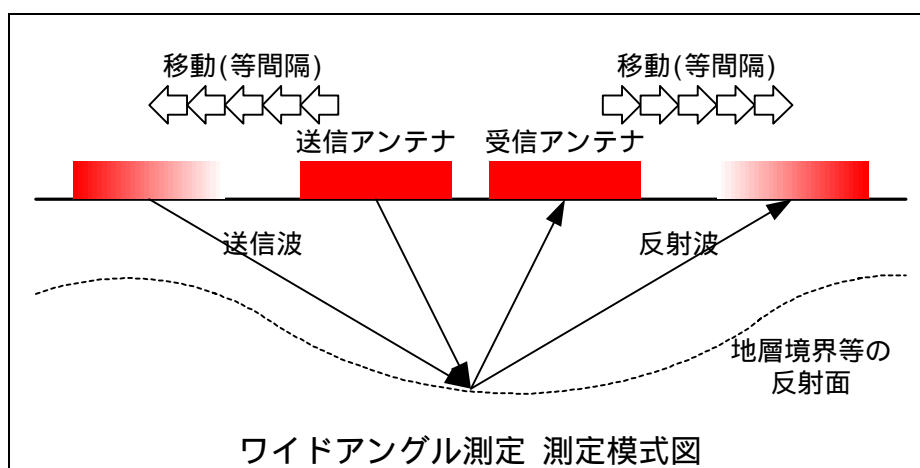
#### 1-2-1 測定方法

地中レーダの測定方法には、通常、次の2通りの方法がある。

1. アンテナを測線に設置した距離メジャーに沿って移動させながら連続測定を行う方法(プロフィール測定)
2. 測定地の地盤の電磁波速度を捉えるための測定方法(ワイドアングル測定)

がある。





1.のプロファイル測定は、アンテナを低速度で移動させながら測定を行うため、測定と同時にディスプレイに測定記録を表示することが出来る。この測定では、ある一定距離間隔毎に距離マークを入力しながら測定を行う。この距離マークは、測定者がマーカーにより距離の入力を行う。

2.のワイドアングル測定は、プロファイル測定によって捉えられた反射面に対し、アンテナの送受信間隔を変化させて同じ反射面を捉えることにより、測定地点の地盤の電磁波速度を求める測定方法である。これにより、プロファイル測定で得られた測定記録上に示される地層境界などの反射面までの正確な深度を求めることが出来る。

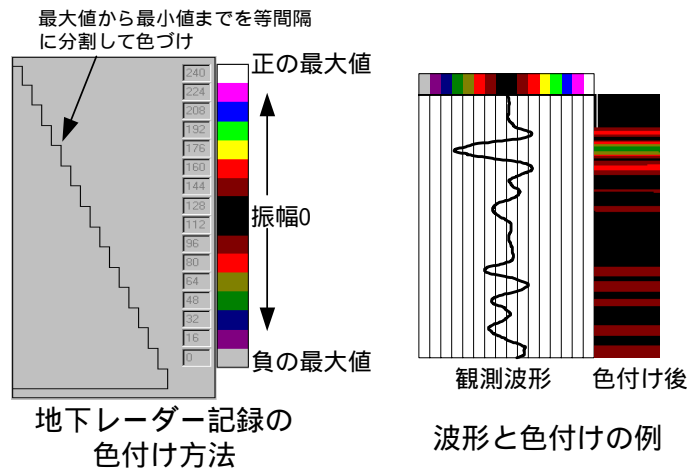
### 1-2-2 測定装置

測定装置は、測定器本体、バッテリー(測定器電源)、アンテナ(電磁波の送受信を行う)、コントロールケーブル(アンテナからの信号を測定器に送る)から成る。通常使用する測定器の仕様を以下に示す。

測定器名	仕様
SIR System 10 (GSSI 社製)	分解能： 1/1000nsec 時間レンジ： 0～10,000nsec A/D 分解能： 8,16bit A/D サンプリング： 128,512,1024,2048,4096,8192 Scan rate： 2～220scan/sec 接続可能チャンネル数： 4 記録媒体： ハードディスク
5106 型アンテナ (GSSI 社製)	中心周波数： 200MHz パルス幅： 5nsec サイズ： 60×60×30cm 重さ： 約21kg

### 1-2-3 地中レーダの記録の見方

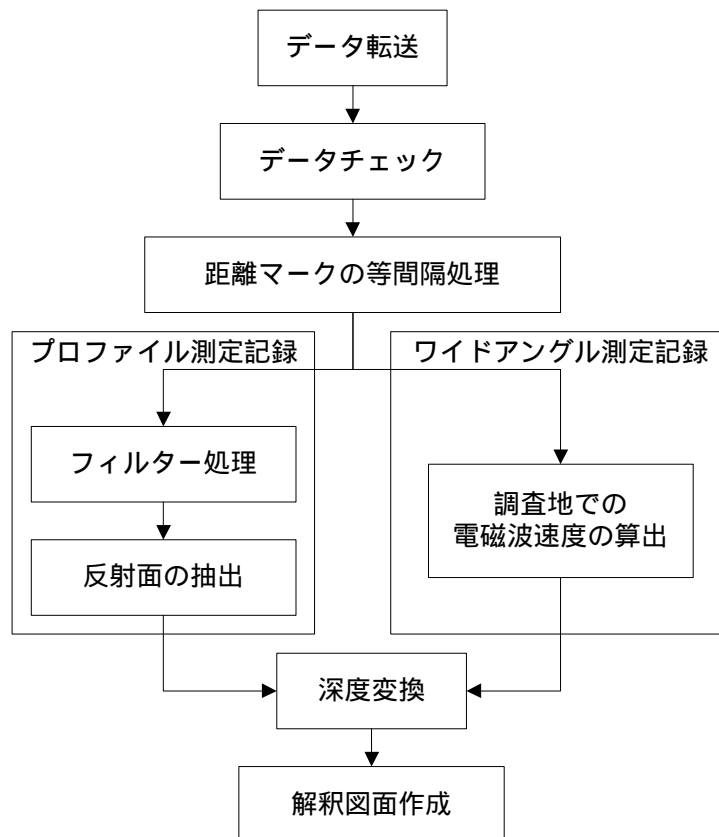
地中レーダは電磁波(パルス波)を地中に放射し、地中からの反射波を得て、その振幅の強弱に応じたデジタル値を収録している。実際の測定画面上および測定記録は振幅の強弱に応じて色付けを行い、カラーもしくは白黒の濃淡記録として出力される。



地中レーダ記録の見方

### 1-2-4 解析方法

地中レーダ測定での解析の流れを以下に示す。



地中レーダデータ解析フロー

データの表示・印刷、および測定記録波形は、地中レーダデータのポストプロセッシングソフトウェアである「RADAN for Windows NT」(GSSI 社製)を使用する。

解析フローの各内容は以下の通りである。

- (1) データ転送： 現場で収録された測定記録は、測定器内のハードディスクに保存される。現場での測定が終了したら、データをパーソナルコンピュータ上に転送する。
- (2) データチェック： 測定データ上で、距離マークが抜けているところや、データのつながり、測定記録の振幅などをチェックする。
- (3) 距離マークの等間隔処理： 測定者により入力された距離マーク間隔は、アンテナの牽引速度によりマーク間隔にばらつきがある。そこでマーク間のスキャン数を一定にする処理を施すことにより、マーク間隔を等間隔にする。マーク間隔にばらつきが出るのは、1秒間にスキャンする数を一定にして測定を行うため、アンテナの牽引速度によりマークあたりのスキャン数が変化するためである。
- (4) ワイドアングル測定解析： 測定時に得た記録は、反射波が戻ってくるまでの時間と振幅値で記録されている。この反射波の到達時間から実際の深度に換算するために、まずワイドアングル測定記録の解析を行い、調査地での電磁波速度を計算する。
- (5) プロファイル測定記録： データチェック時に、記録のノイズレベル、反射面の振幅の状態によっては、各種フィルター処理を行い、より反射面の抽出が行い易い記録を作成する。主に使用されるフィルターとしては、Background removal(測線方向につながっているノイズの除去)、バンドパスフィルター、マイグレーション等である。
- (6) 解析結果の図化： 各測線で得られる結果は、測線下の地中の構造を反映した反射断面である。これを測線ごとの2次元断面として表示するほか、測線を密に配置して取得した記録から3次元図化などを行なう。

## 電磁探査概要

電磁探査は、主として調査地に埋没している金属物の有無、位置を特定するために実施するものである。本探査法は、広範囲の調査領域を迅速に測定し、深さ 2 m 以浅程度までに埋没している金属物を短時間に検出することができるという特徴を有する。

ここでは、金属埋設物探査に特化した探査装置である、時間領域電磁探査装置 EM - 6 1 を用いた電磁探査について概要を述べる。

### ( 1 ) 電磁探査 ( EM - 6 1 ) の原理

電磁探査は、対象物が導電性 ( 金属物 ) であることに着目した探査手法である。図 1 に示すように、原理的には、発信コイルにより電磁場を発生させ、金属物によって励起される 2 次的電磁場を受信コイルで測定するものである。

今回用いる電磁探査は、時間領域の電磁探査 ( TDEM ) と呼ばれるものであり、1 次磁場 ( 発信側の磁場 ) の影響が少ない方法である。コイルは約 1 m × 1 m の方形であり、設定した測線上でこのコイルを移動させながら測定を行う。地形が平坦で障害物が少なければ、コイルに車輪を着けて設定した測線をゆっくり移動させる方法で測定する。

EM61 という時間領域電磁探査装置は、金属埋設物探査に特化した探査装置である。測定記録は、デジタルの記録として収録されるため、一般的な簡易な金属探知器と異なり、測定データの後処理、図化が可能である。

EM61 の仕様を表 1 に示す。

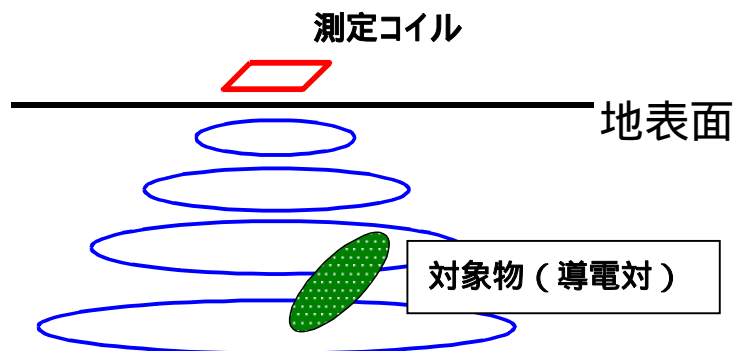


図 1 電磁探査の概念



表1 測定機器（EM61）の仕様

名称	主な仕様	数量	製作会社
電磁探査 EM-61	2チャンネル 18ビット 最大出力 40,000mV コイルサイズ 1m×1m	1台	Geonics社
DL-720	データレコーダ - 16,500レコード収録	1台	Geonics社

## （2）現場測定の流れ

以下に現地測定の流れを示す。

### 伐採作業など

測線が設定できるように、必要に応じて下草刈りおよび風倒木等进行处理する。

### 測定ブロックの設定

必要に応じて、調査地に設置された基準杭などを利用して測定ブロックを設定する。

### 測線設定

測定ブロックごとに1m間隔程度で探査測線を設定する。探査対象によっては、測線間隔を更に細かくする場合や、広くする場合がある。

### 電磁探査による概査

電磁探査装置（EM-61）を用いて測定ブロックごとに探査を行う。

### 異常箇所の抽出

現場において探査結果を解析し、異常箇所を抽出する。

### 精査および異常箇所のマーキング

の結果を基に抽出した異常箇所において精査を行ない、異常箇所の中心位置や範囲を特定して、地表にマーキングなどを行なう。また、後の整理のために位置座標を測定する。

## （3）解析方法

電磁探査の解析は、測定されたデータを平面図にカラー表示またはコンター表示することにより、金属埋設物などの異常体の位置を捉える。測定では、互いに平行な複数の測線を設定して実施しているので、測線毎に捉えられた異常の位置・分布および強度などから異常体の拡がり、深度を推定する。

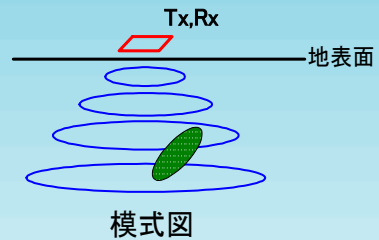
# 電磁法による埋設物探査



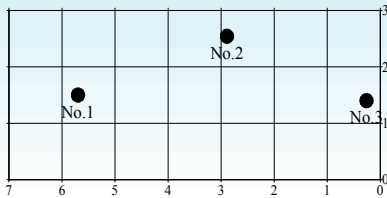
時間領域電磁法探査器  
(EM-61 : Geonics社製)

## 探査のしくみ

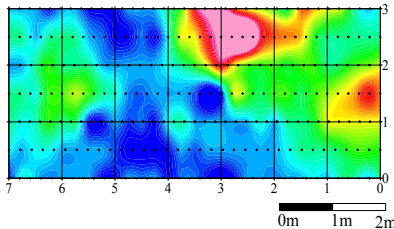
送信コイルにより電磁場を発生させて地中に送り、これによる過渡的な磁場応答を記録して、地下の埋設物を探査します。



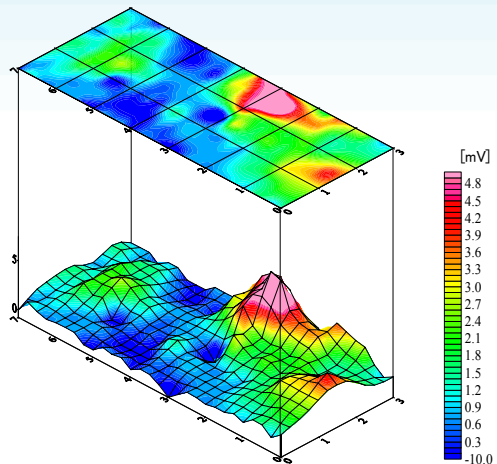
## 埋設物探査実験



- No.1 金属物 直径5cm 長さ20cm  
深度0.80m
- No.2 金属物 直径15cm 球状  
深度0.50m
- No.3 金属物 直径10cm 長さ25cm  
深度1.20m



測定結果 平面図表示



測定結果 鳥瞰図表示

資料－４ 物理探査による埋設農薬調査事例（大規模埋設） 図面集

草地

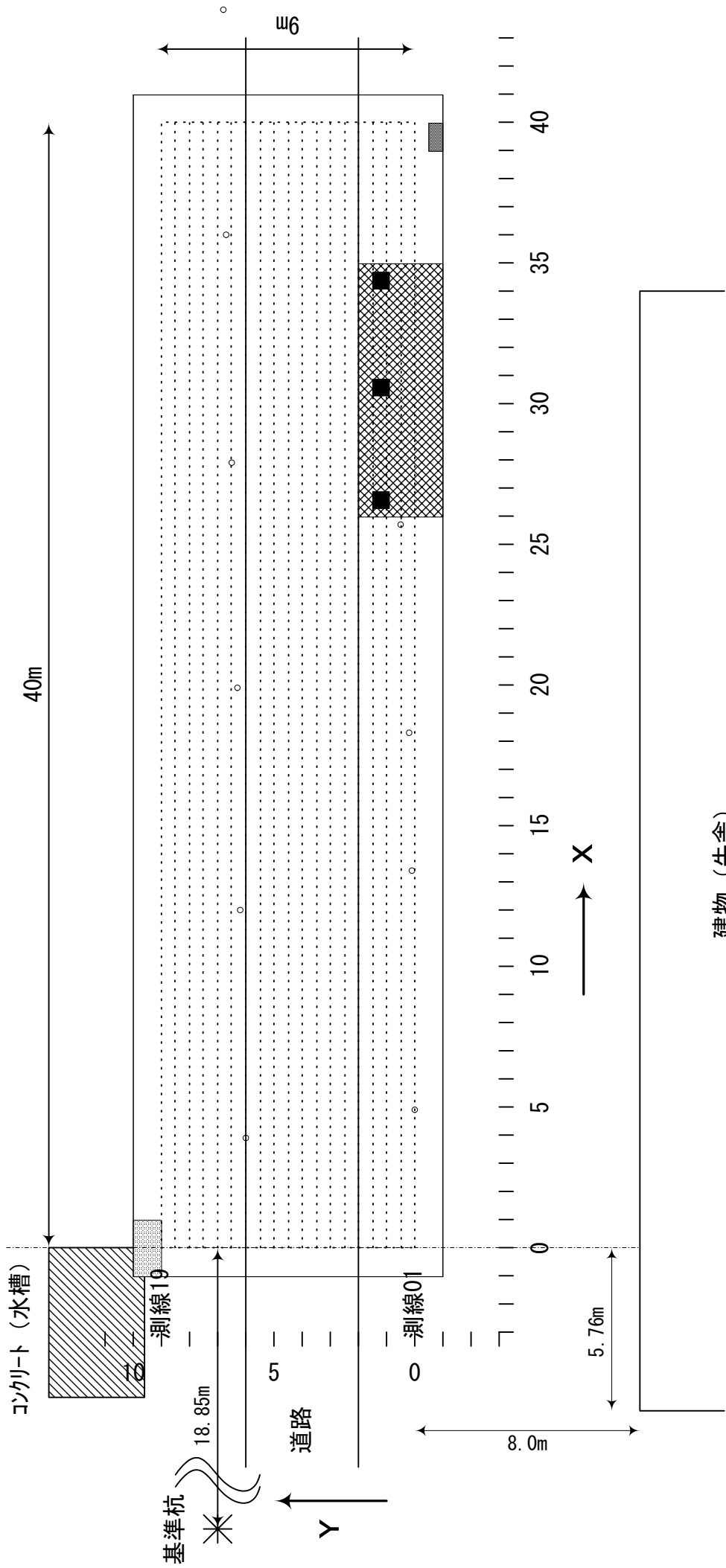


図-1 物理探査・測線配置図

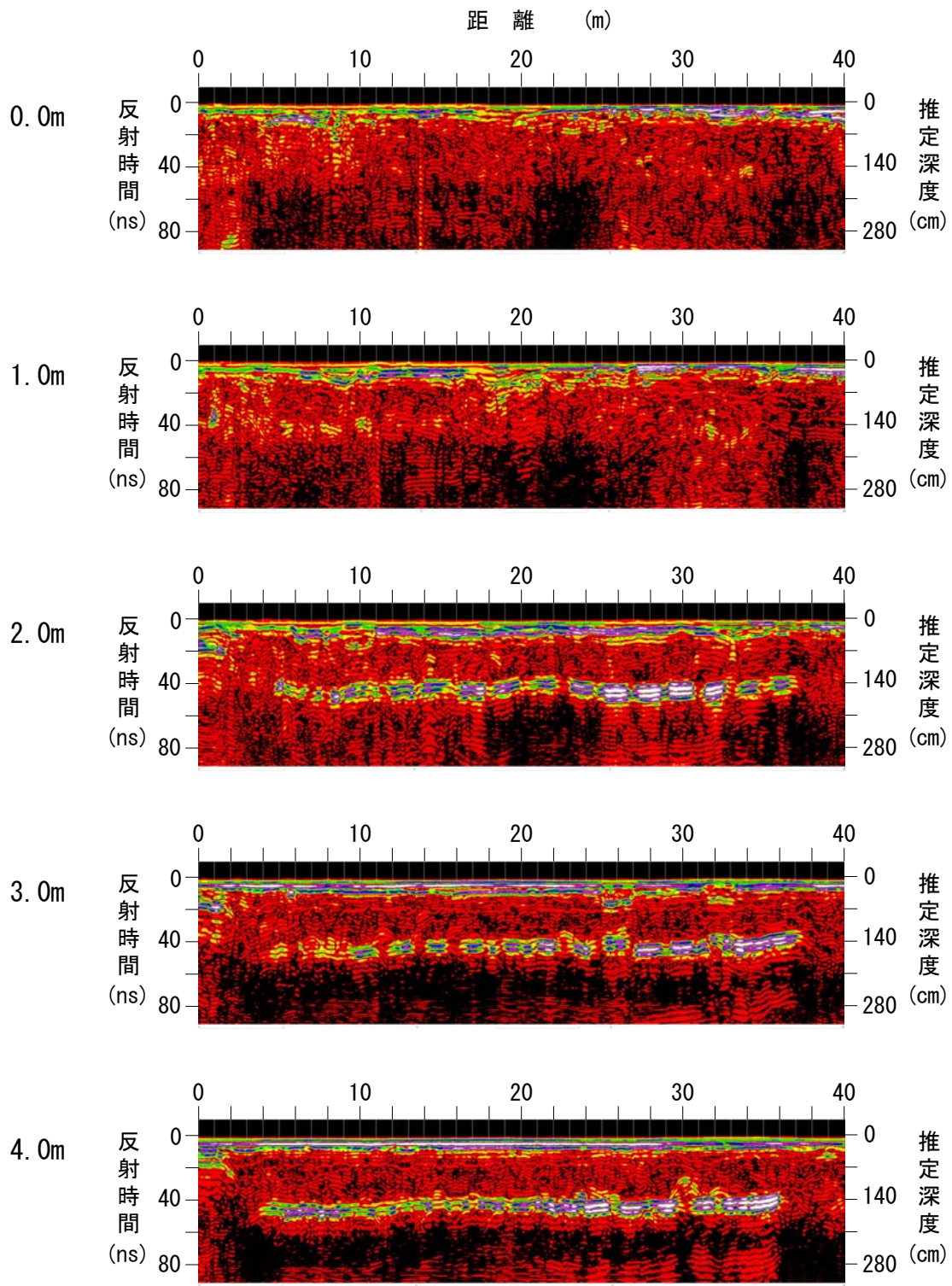


図-2(1) 地中レーダ探査・測定結果

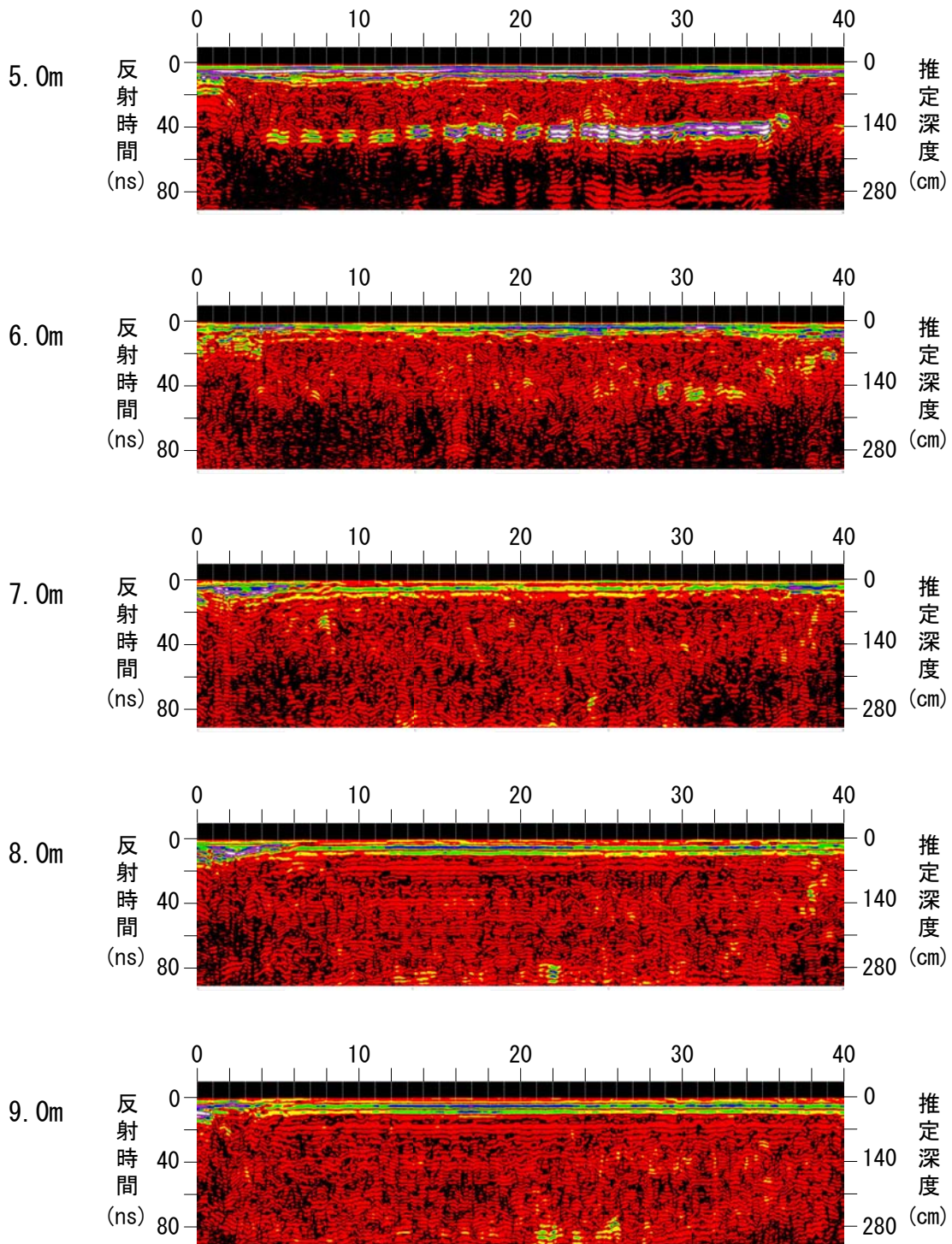


図-2(2) 地中レーダ探査・測定結果

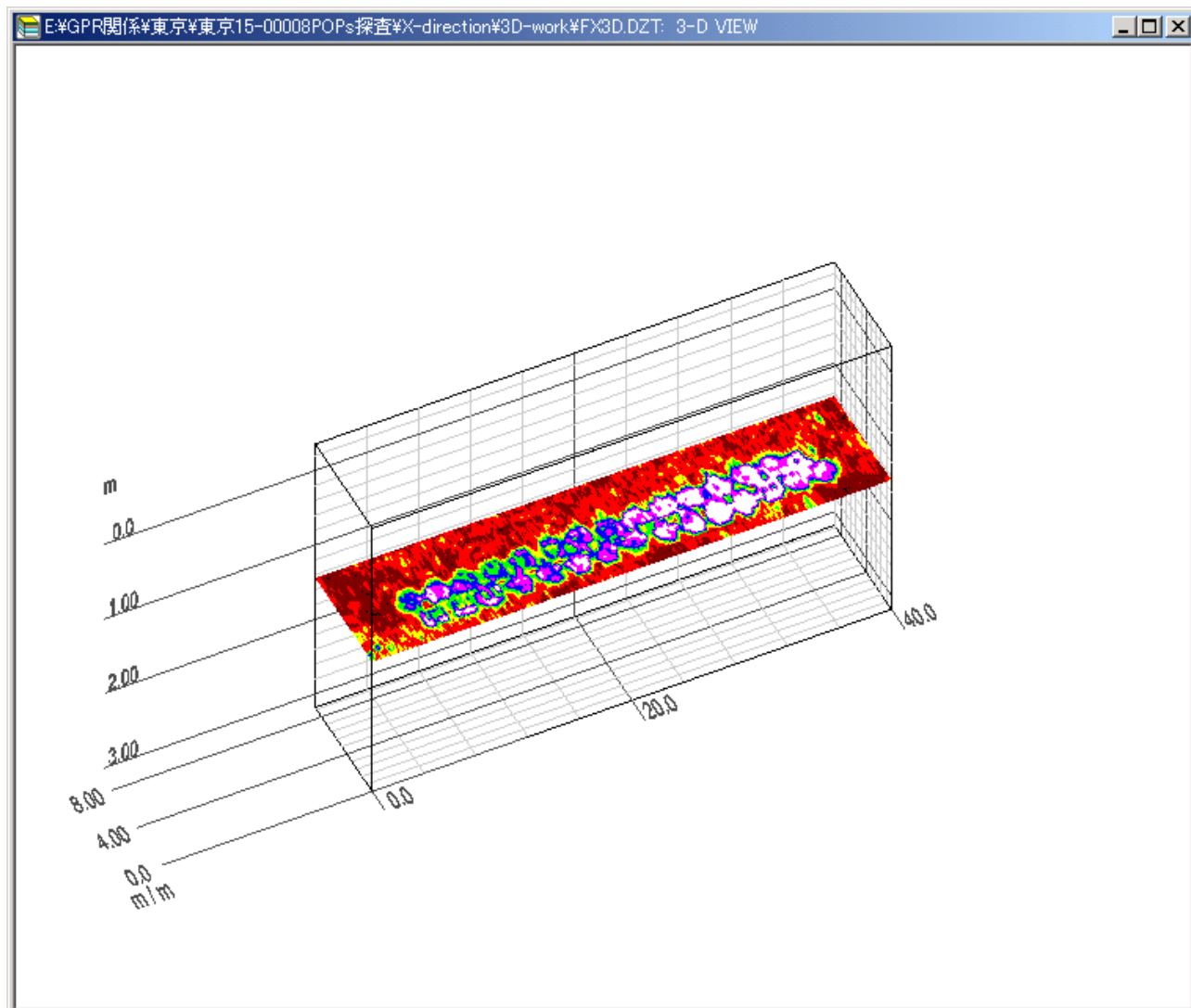


図-3 地中レーダ探査・深度スライス断面の3D表示面  
(中心深度：140cm、厚さ35cm間の最大値で表示)

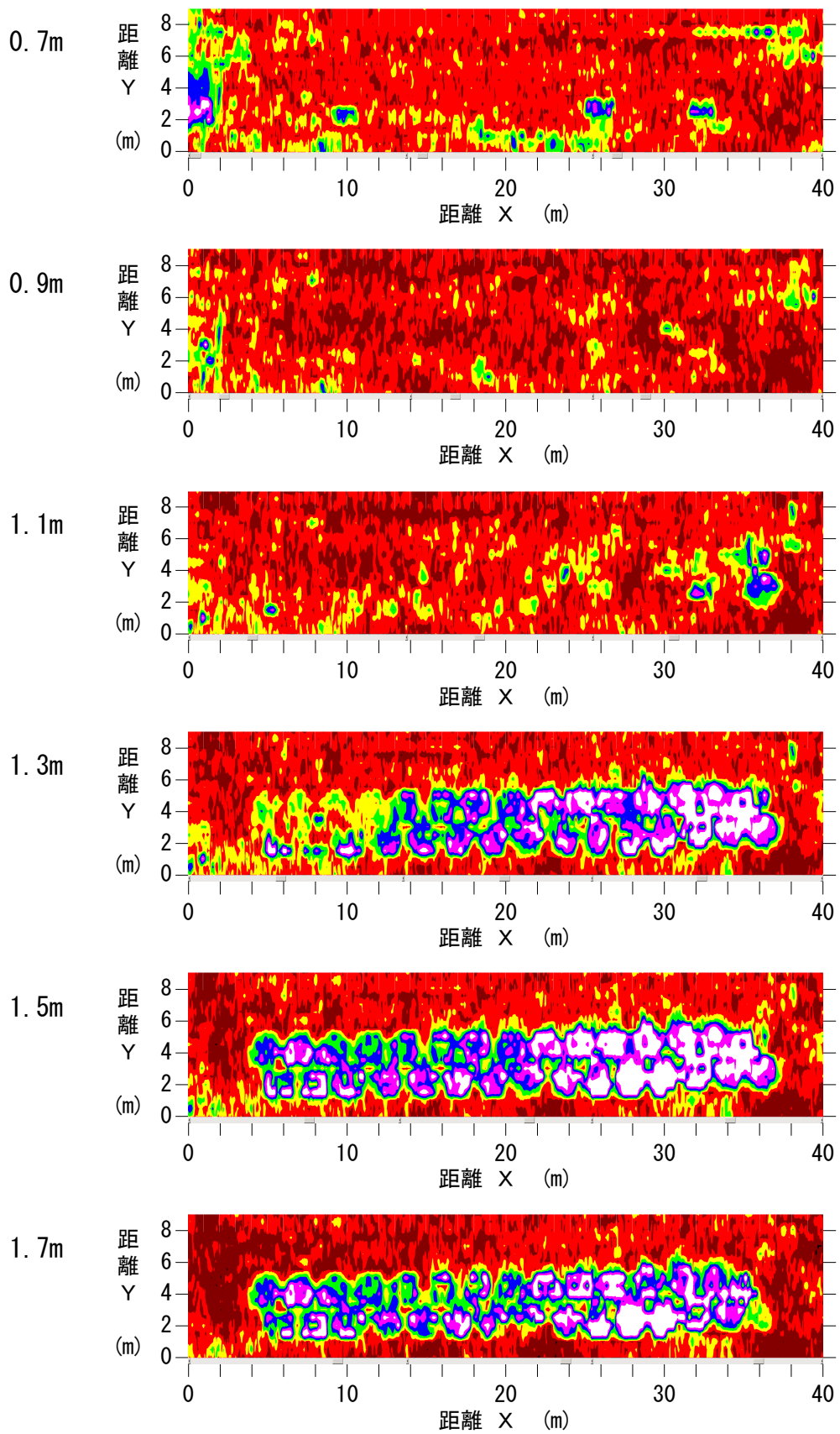
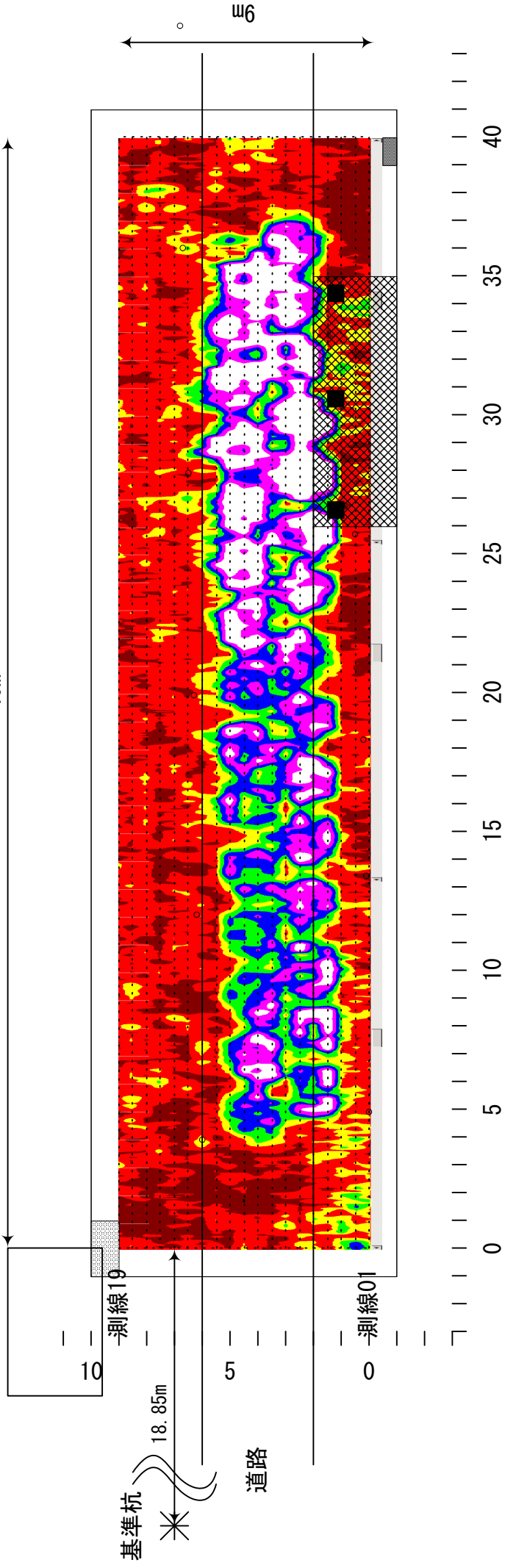


図-4 地中レーダ探査・深度スライス断面  
(中心深度に対し厚さ35cm間の最大値)



草地

40m



建物 (牛舎)

探査測線

図-5 地中レーダ探査結果図

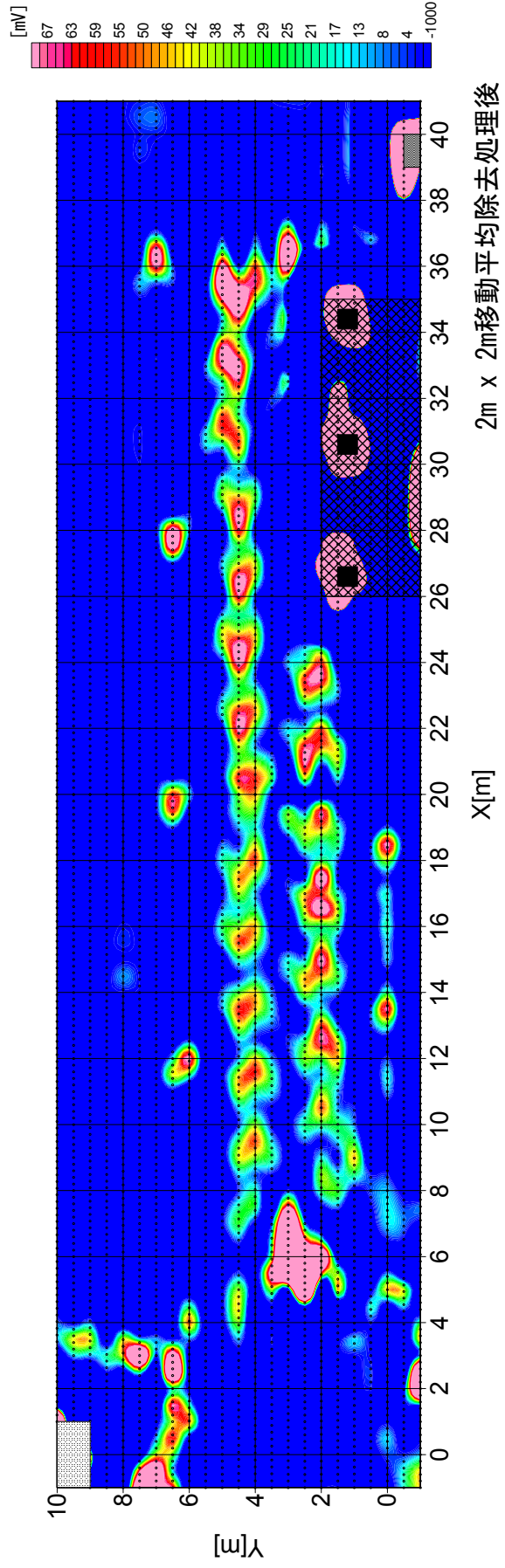
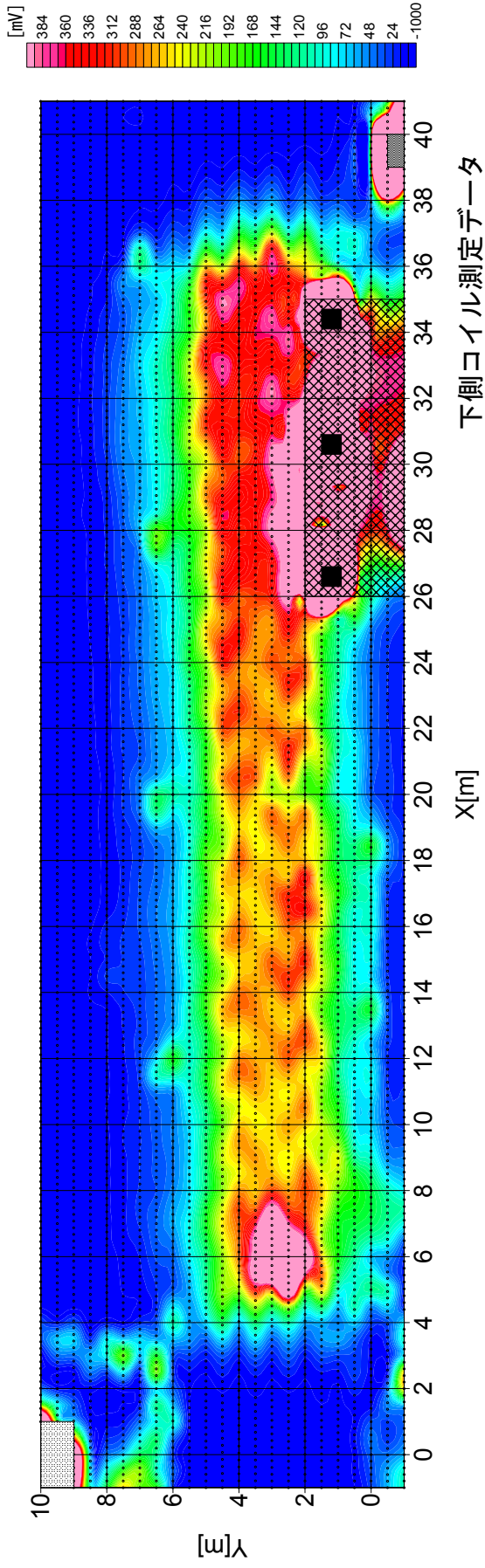


図-6 電磁法探査EM61・探査結果  
 上図：下側コイル測定データ  
 下図：2m x 2m移動平均除去処理後

草地

40m

33m

10  
測線19

基準杭

18.85m

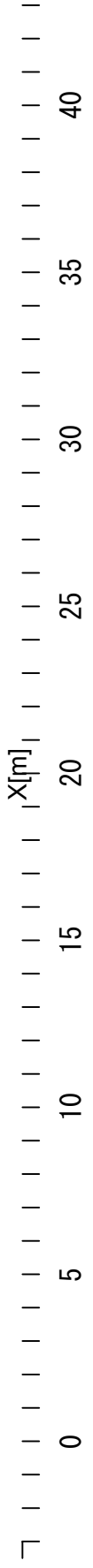
5  
測線0

道路

4.4m

9m

X[m]



建物 (牛舎)

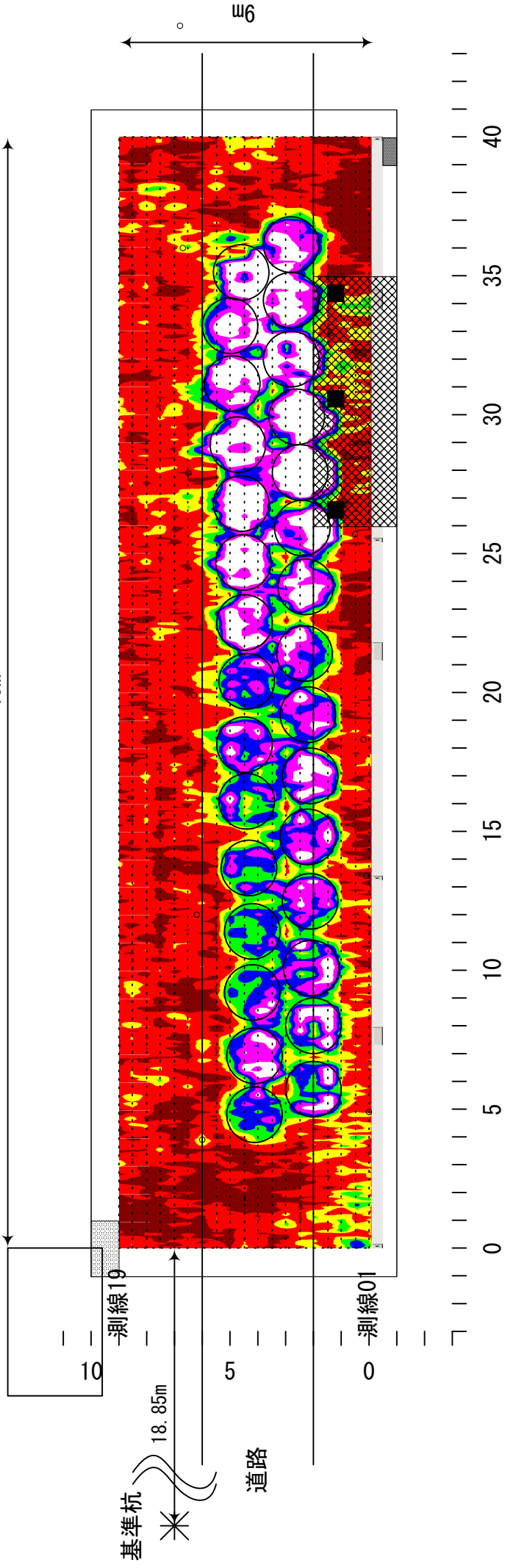
图-7

電磁法探查結果图

探查測線

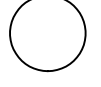
草地

40m



建物 (牛舎)

調査測線



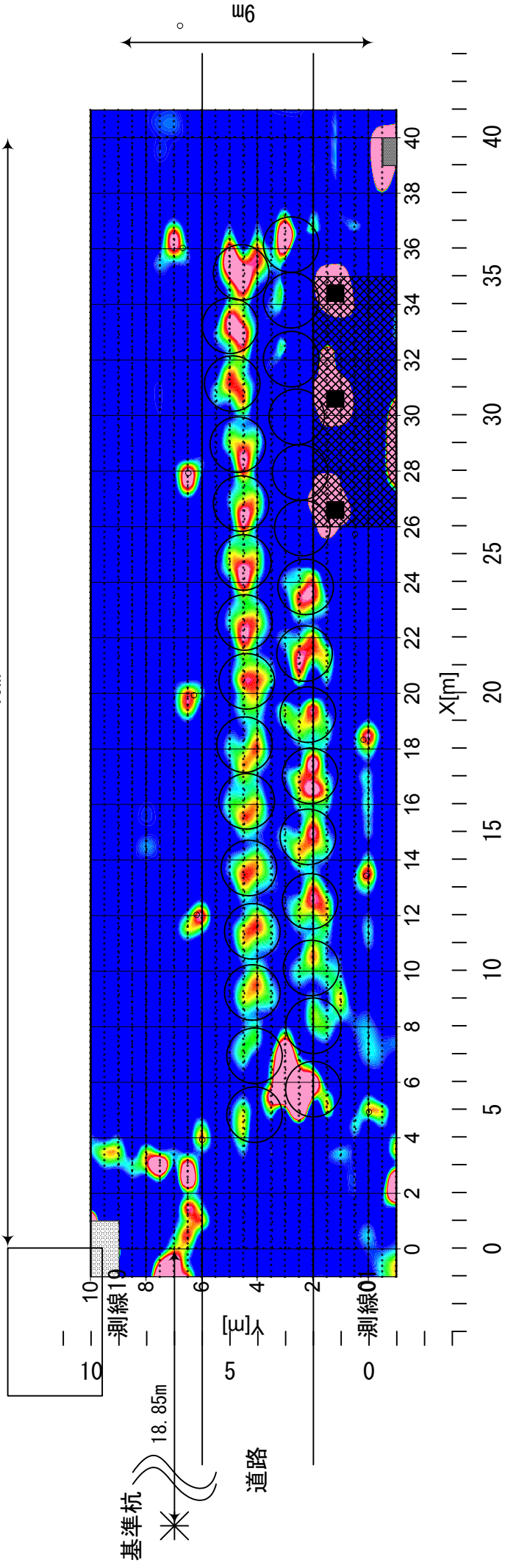
地中レーダ探査結果図

ヒューム管の推定埋設位置

図-8

草地

40m



建物 (牛舎)

探査測線



ヒューム管の推定埋設位置

図-9 電磁法探査結果図

草地

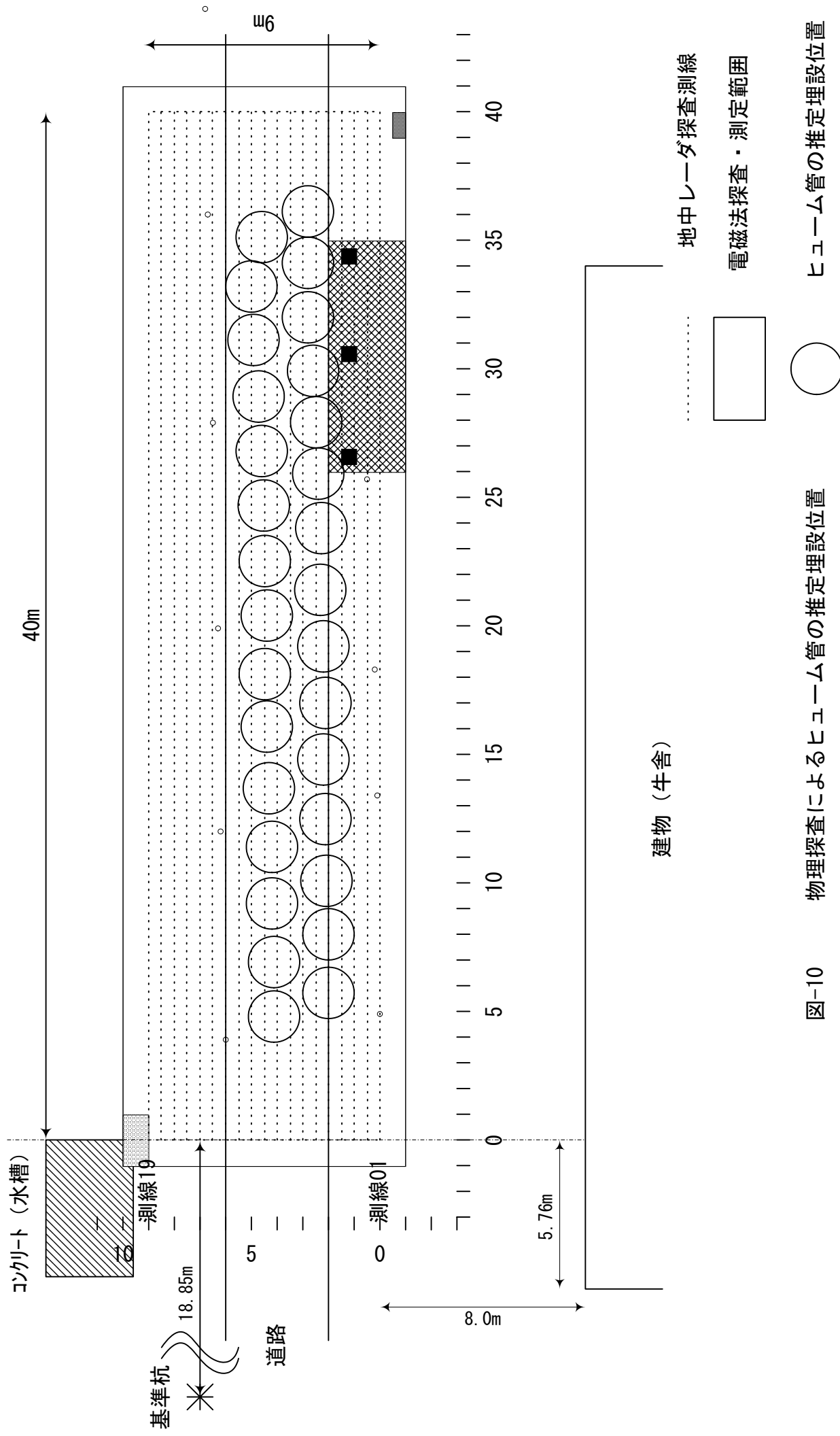


図-10 物理探査によるヒューム管の推定埋設位置