

# 掘らずに探る地下の世界

## —環境・防災分野における物理探査技術—

地質地盤・騒音担当 佐坂 公規

### 1 はじめに

近年、土壌や地下水の汚染に代表される大地の汚染が各地で顕在化しています。この汚染の特徴は、汚染物質が地下に長く残留すること、また、非常にゆっくりした地下水の流れにより長期にわたって地下の広域・深部に拡散・浸透することにあります。さらに、こうした現象が地下で起こっているため、顕著な被害が発生するまで汚染の進行に気づきにくいという問題もあります。

また、過去に埼玉県は関東大震災に代表される大規模な地震災害を経験しています。現在のように過密化した都市がこうした災害を受けた場合、被害がより甚大になるだけでなく極めて深刻な環境汚染が生じる危険性も生じます。

今後、こうした環境汚染や地震災害の被害を少しでも減らすためには、これらと密接に関係する地下の情報を詳細に集める必要性が高まっていくものと思われます。そこで、この講演では、平野部を中心とした埼玉県の地盤を概観したのち、地下の世界を探るための技術とその実例について、当センターの取り組みを交えてお話ししたいと思います。

### 2 埼玉県の地盤の特徴

埼玉県は関東平野の中西部に位置し、西側の1/3を山地、残りを平野(台地や低地)が占めています。また、現在は「海なし県」として知られていますが、約6千年前の縄文海進の際には県東部の大部分が海面下に埋没するなど、平野部が海に面していた時代もあります。このため、人口が集中する県南部の地盤は、海や河川による堆積・浸食作用などが複雑に絡み合ってきたと考えられます。さらに、平野部の地形を細かく分類していくと、台地(オレンジ色)の中に細かい谷(谷底低地、水色)が複雑に入り込んでいることが分かります(図1)。

地表付近の地質を見ると、台地はローム(火山灰)や砂などの地層で構成されているのに対し、谷底低地は腐植土やシルトなどの軟弱な地層で構成されており、地形の違いが地下の世界の違いを反映しています。さらに、こうした地下世界の違いは、地震の揺れ方や地下水汚染の広がり方の違いに大きく影響することが知られています。

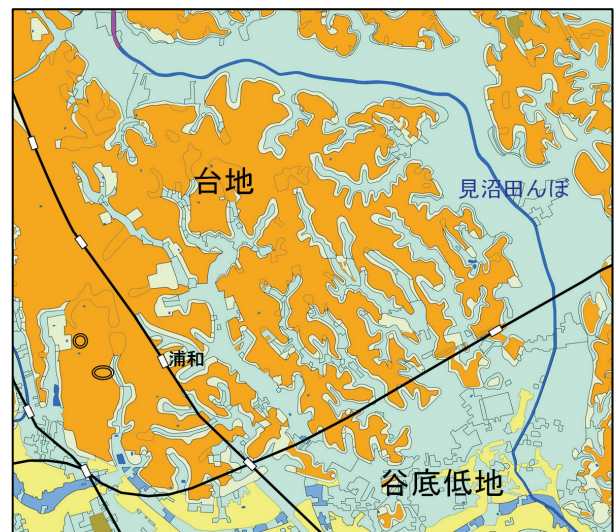


図1 地形ごとに色分けをした平野の一部  
(数値地図 25000(土地条件)から作成)

### 3 地下を探る方法

#### 3.1 ボーリング調査

地下の情報を知るためには、地面に穴を掘り、土や地下水を採取して調べるのが一般的です。ボーリング調査はその代表的な方法で建設工事などに先立って行われます。この方法では、地層の重なり具合やその地層の固さなどが分かり、その結果はボーリング柱状図に記録されます（図2）。

これまで県や市町村が実施する公共事業などでボーリング調査が多数行われてきましたが、得られた柱状図は発注元となる各機関に個別に保管されてきました。当センターでは、主に県庁内の各機関からこうしたボーリング柱状図を集め、データベース化したシステム（地質地盤インフォメーションシステム）を作りました。このシステムでは、地図上でデータのある地点を指定するだけで、その地点の地下の構造を確認できるようになりました。

一方で、参照したい地点の付近に既存データがなかったり、あるいは既存データがある場合でも参照したい地点とは地形や地質構造が異なるケースも見られます。こうした点は新たなボーリング調査を行うだけでは解決が難しいのが現状です。

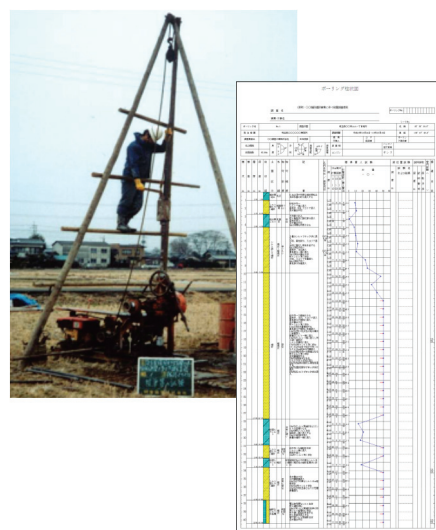


図2 ボーリング調査の様子(左)とボーリング柱状図(右)

#### 3.2 物理探査

前に述べたボーリング調査では、調べたい地点が増えるほど調査に要する費用や時間がかかってしまいます。また、地層を壊して汚染を広げてしまうおそれもあります。これに対し、電流や地盤の振動などを用いて、掘らずに地上から地下の状況を調べる技術（物理探査）があります（図3）。

物理探査の手法はバラエティに富んでいますが、汚染調査の分野では、主に電気的な手法として、地下の電気の流れやすさを調べる方法（電気探査）や電波を当てて生じた空間的な性質の変化を測る方法（電磁探査）などが用いられます。また、地震防災の分野では、地盤を伝わる振動の性質を利用する手法がよく用いられます。

地中での電波や電流、振動の伝わり方は、地質や地盤の性質の違いや汚染物質の存在により、大きく変わってきます。それゆえ、これらの伝わり方の違いを測定することで、地下の状況のある程度、推定することができるのです。地質や地盤を人間の体に例えると、ボーリング調査はいわば血液や組織の検査のようなもので、汚染調査に用いられる電気的な手法はCTスキャンやMRI検査などの画像診断に当たります。また、地震防災の分野で用いられる地盤の振動を利用する手法は、骨密度の検査や皮下脂肪厚の測定に例えることができます。

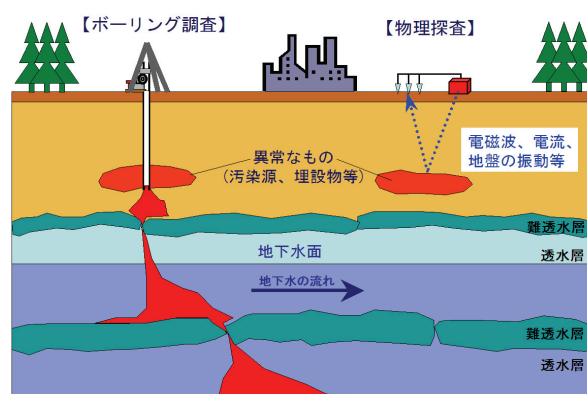


図3 ボーリング調査と物理探査

## 4 物理探査の適用事例

### 4.1 不法投棄調査における電磁探査の適用

この事例は、地中からドラム缶等の廃棄物が掘り出された埋立地において、不法投棄の概要を把握するため、電磁探査を実施したものです。結果の一例として、地表面付近の電気の流れやすさを反映する電磁波の分布を図4に示します。地表の目視による調査や採取試料の分析結果と照合した結果、赤みの強い領域は塩類濃度が高いことが確認されました。

さらに、これらの分布を深度別に比較したところ、ドラム缶等に特有の白色領域が他にはないことから、新たなドラム缶等の埋設はないという結論が得られました。

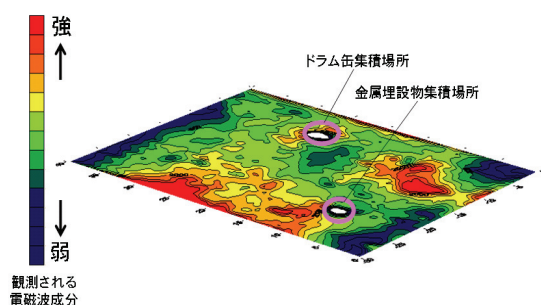


図4 地表面付近の電磁波成分の分布

### 4.2 電気探査による重金属汚染範囲の絞り込み手法の検討

重金属による土壌汚染の多くは、有害物質の不適切な使用に伴う漏洩や地下浸透が原因です。このようなケースでは、汚染物質と共存している塩類が地中に浸み込むことで、地中に電気が流れやすくなると考えられます。そこで、こうした重金属廃液の漏洩を想定し、実験土槽を用いて電気探査による汚染領域の絞り込みについて検討しました。その結果、電気探査では、廃液の地中への染み込み方を視覚的に捉えることが可能であることがわかりました(図5)。さらに、電気探査を化学分析と併用することで、土と汚染物質の組み合わせにより染み込み方に大きな差が生じることが明らかになりました。

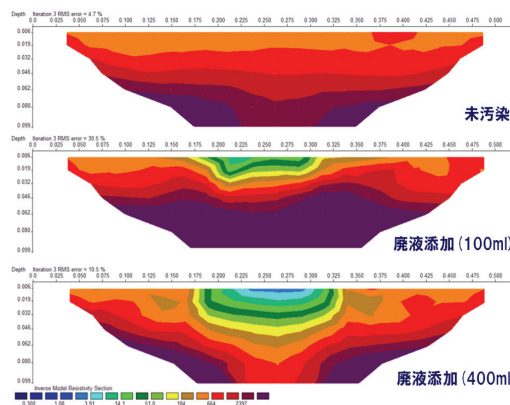


図5 廃液が地中へ染み込む様子

### 4.3 地盤の安全性評価への微動探査法の適用

地形や地質が異なると、同じ地震でも揺れの大きさが変わってきます。その程度(増幅度)は、ボーリング柱状図のように地下構造が分かる資料があれば理論的に計算が可能です。しかし、これらの資料が充実していない場合、新たにボーリング調査を行うことは困難なため、地盤評価の精度が低下してしまいます。そこで、地盤の自然の揺れを測る手法(微動探査法)を用いて、ボーリング資料のない地域の地下構造を調べました(図6)。さらに、この結果を追加情報として地盤評価を行うことにより、迅速かつ低コストで極めて精度の高い評価が可能になりました(図7)。

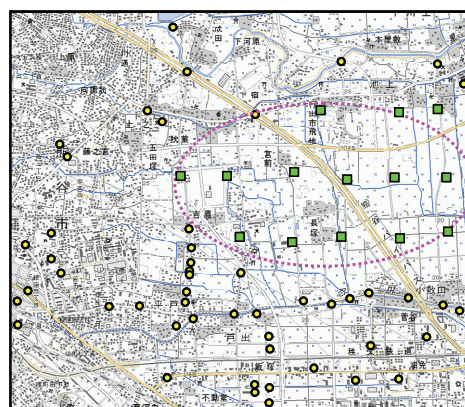


図6 微動探査による地下構造情報の追加 (■: 微動探査の実施地点)



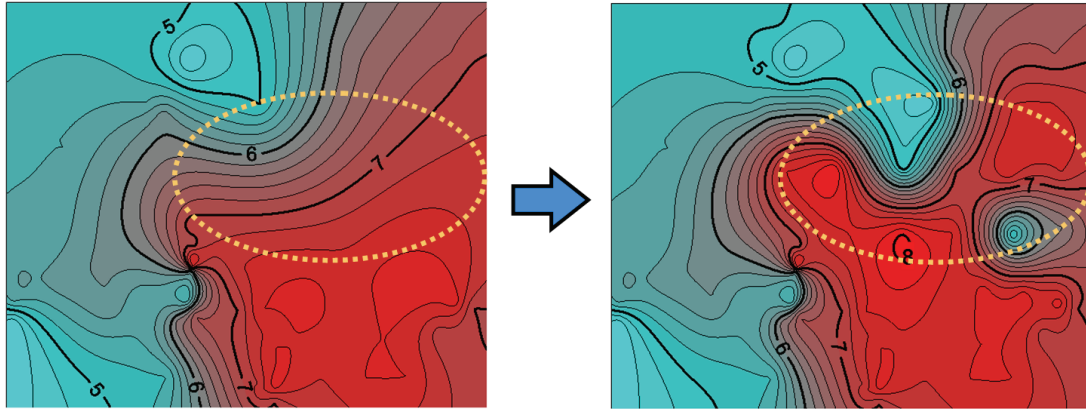


図7 地域の増幅度分布特性の高精度化

左：ボーリング資料のみによる評価 右：微動探査の追加情報を含めた評価

#### 4.4 深部地下構造調査

高層ビルや石油貯蔵施設などの巨大な構造物の耐震性評価や耐震設計には、通常のボーリング資料（最大100m程度の深さ）よりもさらに深い関東平野全体の基盤までの構造（深度3,000m以上）を知る必要があります。しかし、深部構造の調査には莫大な経費がかかるため、このような情報を入手することは極めて困難です。そこで当センターでは、都市部の多い県南全域で大深度の微動探査を実施し、詳細な深部構造を従来よりも格段に低コストで明らかにしました。推定された岩盤の立体構造を図8に示しますが、この図から県南部平野の基盤は南北に深い谷をもつ複雑な形状であることが分かります。この調査結果は広く一般に公開され、巨大構造物の耐震評価や耐震設計に利用されています。

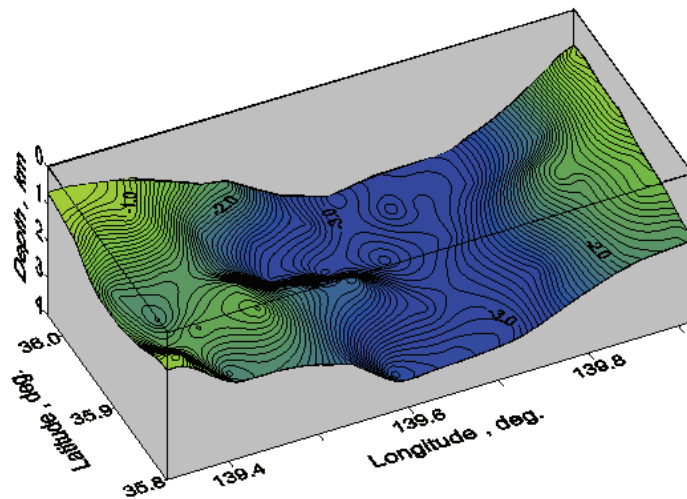


図8 県南部平野の岩盤（基盤）の立体構造

## 5 まとめ

地下の世界を探るための技術について、当センターが環境、防災分野における行政判断の拠り所となる情報や知見を提供している実例を紹介しました。現在、このような技術力を有している地方自治体は、おそらく全国で埼玉県のみと思われます。今後は、このアドバンテージを生かし、環境、防災の両面から県民の方々の安全を守るための知見を充実していくとともに、情報を発信していきたいと思っております。