

簡便・迅速に地盤の可視化を行う物理探査手法

Rapid and Easy-to-Use Geophysical Investigation Methods for Visualizing Underground

莊 司 泰 敬 (しょうじ やすのり)

応用地質(株) 技術本部技術統括部 部長

1. はじめに

物理探査手法は、広い領域の調査が可能であり、地盤物性の“面”としての情報を迅速に提供できることが特徴である。日本では主に、土木地質調査における概略調査として適用されている。

土木地質調査では、物理探査手法の他に地質踏査や原位置試験などとの組み合わせで地盤を工学的に評価する。しかし、その組み合わせ方は、調査目的、調査予算、現場条件等で大きく変わる。

ただし、①物理探査手法で得られた地盤物性の「面としての情報」、②PS 検層等の原位置試験での直接測定による「線としての情報」、③室内試験による「点としての情報」の3種類の情報を組み合わせることが、地盤物性を総合的に評価するために重要である。これにより、地盤の非一様性等を考慮した確度の高い地盤情報を得ることができる¹⁾。

一方、実務面で受け入れられるためには、上記①、②、③の3種類の調査を実施しても、単独の調査費用と同等以下にしていける必要があるだろう。

物理探査手法は、地盤を面的に可視化することができ、地盤物性の分布を直感的に把握するのに適した手法であり、今後もその技術発展が期待されると同時にさらなるコストパフォーマンスが要求される。

さて、地盤の可視化技術としての物理探査手法が、大きく飛躍したエポックメイキングは、何とんでもジオトモグラフィ技術が実用化されたことであろう²⁾。

ジオトモグラフィ技術には、その原理によって、さまざまな手法がある。しかし、解析技術については、観測データと理論値とを比較しながら、最適なモデルを求めていくインバージョン技術が、それらの共通の基幹技術となっている。現在、弾性波探査法や電気探査法においても、その解析には、ジオトモグラフィ技術で培われたインバージョン技術が採り入れられており、物理探査手法の解析技術の進展に大きな発展をもたらせた。もちろん、解析技術の発展には、80年代以降の電子計算機技術の革新なくしてはありえなかった。現在では、パーソナルコンピュータを用いて現場にて解析することが可能となっており、現場測定が終了後に事務所にデータを持ち帰って解析するなどというのは、昔話になりつつある。

このように、解析技術が進化したことによって、80年代に各種解析手法が開発された頃に比較して、測定か

ら解析までの時間は短縮され、物理探査手法のコストパフォーマンスは向上した。しかし、解析技術の進展だけでは、その技術普及のブレークスルーにはならない。ジオトモグラフィ技術も3次元解析が容易にできるまでに至っているものの、まだまだコスト面で実務側に受け入れられていないのが現状である。

それは、解析技術以外の装置や付帯設備のハードウェアの部分も含めた計測システム全体としての省力化が、進んでいないことが一因と考えている。

近年、防災および環境の分野などにおいて、広域な浅部地盤構造を迅速かつ経済的に探査することが求められるようになってきた。このような目的に適った探査手法の例として、弾性波探査ではランドストリーマを用いた手法や電気探査における牽引式の電気探査法などがあげられる。

これらは、ある調査目的に特化し、測定作業の迅速化を図る新たな試みであり、今後の新しい技術の潮流の一つと考えるものである。以下に、それらの概要を紹介する。

2. 表面波探査法

弾性波探査の一手法に表面波探査法がある。土木地質調査用途に実用化されるようになったのは1980年代初めである。主にバイブレータなどを用いて定常波動を励起し、二つの地震計間のクロスコリレーションを計算することにより位相速度を求めて、地盤のS波速度を求める手法が適用されてきた。

一方で、2000年頃から、図1に示すように多数の地震計を用いたマルチチャンネルの計測システムにおい

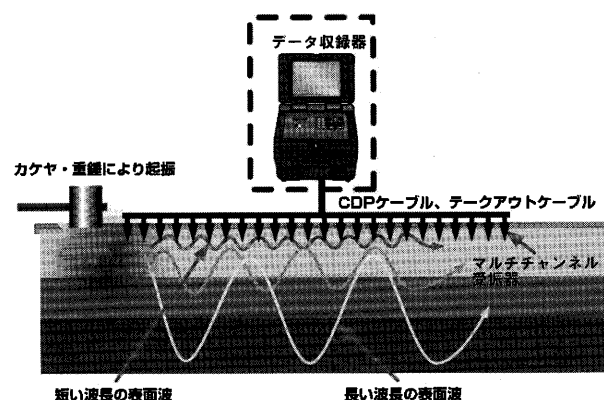


図1 マルチチャンネルによる表面波探査計測システム

論 文

て、CMP (Common Mid Point) 解析を行う手法が開発された³⁾。

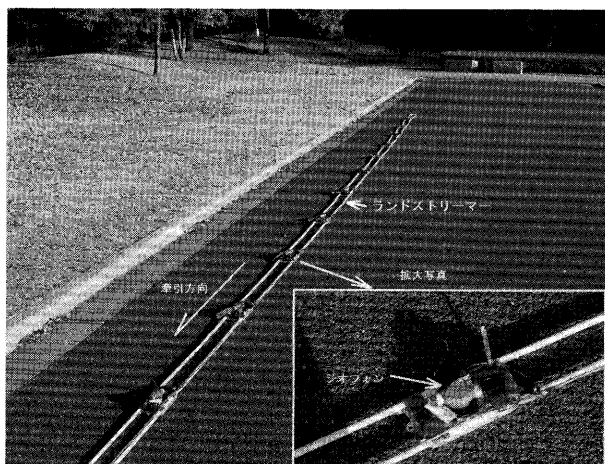
解析の迅速性を向上させるために、解析ソフトウェアの担う役割は重要である。上述の解析手法もデータ収録器のなかに内蔵されており、現場で測定対象物のS波速度構造を2次元断面図として求めることができる。

その実施例として、過去に地下室があったところを埋め戻した箇所において、表面波探査を実施して得られたS波速度の2次元断面を口絵写真—4に示す。口絵写真—4に示した地質断面図の左上の部分が地下室を埋めたところであり、盛土になっている。その他の部分は、表層から1.4 m ぐらいまでがローム層で、それより以深は砂と粘土との互層になっている。盛土部分のところで、S波速度が低下しており、強度的に弱くなっていることがわかる。このように、わかりやすい表示が現場で得られることで、土構造物の安全性照査や埋立て・盛土地盤の締固め評価等に必要情報を迅速に提供することができる。

しかしながら、計測システムの中で受振器については、従来の弾性波探査法と同様のものを用いている。その設置にあたっては、地表面に突き刺すか、あるいは、粘土等を用いて固着させてやる必要があった。これらの準備作業は、意外と時間を要するものである。

そこで、さらに迅速化をはかるためにランドストリーマケーブルを用いたものが開発された。これは、写真—1に示すように一定間隔で配置された金属プレート上に受振器を取り付けるものであり、これを牽引して受振器を地盤上に設置する。測定が終了した後、ランドストリーマケーブルを牽引して、次の測線に移動する。これにより、ケーブルと受振器の撤収、再設置するという手間と時間を短縮することができる。

ランドストリーマケーブルを用いた弾性波探査は、まず、浅層反射地震探査法で実用化され⁴⁾、その後、表面波探査の測定効率を上げることを目的として実用化が図られた。とりわけ、測定対象が河川堤防のような延長距離が長い土構造物においては、その測定・解析を短時間で行うための工夫がどうしても必要である。さらに、ア



写真—1 ランドストリーマケーブル

スファルト舗装された箇所など、受振器を突き刺して設置することが困難な場所においては、どうしても粘土等で受振器を固定せざるを得ない。測定の延べ延長距離が伸びれば伸びるほど、これに要する手間、時間は全体の作業の進捗度合いを左右するに至る。

しかし、ランドストリーマケーブルを用いると1日あたり500～800 m (受振器間隔が2 m の場合) の測定が可能となる。これにより、粘土で受振器を固定した場合の約2倍の測定速度を達成することができる⁵⁾。

3. 電気探査法

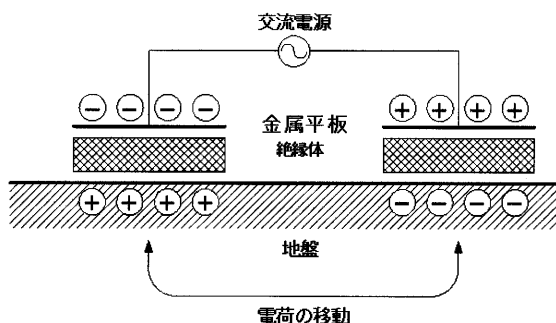
電気探査法は、比抵抗法、IP法、電磁法など多岐にわたっている手法であり、多くの土质地質調査に利用されている。計測システムとしては、1980年代より多チャンネル化および解析技術の発展が図られ、測定の効率化が図られてきている。しかし、地中に電流を流す方法については、従来と変わらず地面に電極を打設するという作業を必要として、これまであまり進歩はみられなかった。また、弾性波探査と同様にアスファルト舗装された道路などでの測定の場合においては、電極を設置するための窄孔作業が必要となる。

そこで、電気探査法においても、非固定型のキャパシタ電極を用いた牽引式の電気探査法の開発が行われてきた。これは、静電現象を利用して、電極から間接的に地盤中に電流を送り込む原理の電気探査法である。

キャパシタ電極の送信部分(電流電極に相当する部分)の概念を図—2に示す。地盤と絶縁された平板電極に電圧を加えて電荷を与えると、地盤付近には平板電極とは逆の電荷が集中し、平板電極と地盤との間にコンデンサーが形成される。一方、もう一つの平板電極には、逆の電荷が与えられるため、地盤には平板電極とは逆の電荷が集中することになる。そこで、平板電極に交流電圧を加えて、コンデンサーの充電・放電を繰り返してやれば、地盤に連続的に電流を流すことができる。

一方、受信側(電位電極に相当する部分)も、地盤に発生する電位差を図—2に示したものと同等な二つのキャパシタ電極を用いて測定する。

従来の電気探査法における電流電極と電位電極に相当するものが、写真—2に示したダイポールケーブルと呼ばれる部分である。送信機側においてはダイポールケーブル間に電流が流れ、これによって生じた地盤中の電位



図—2 キャパシタ電極(送信側)の原理

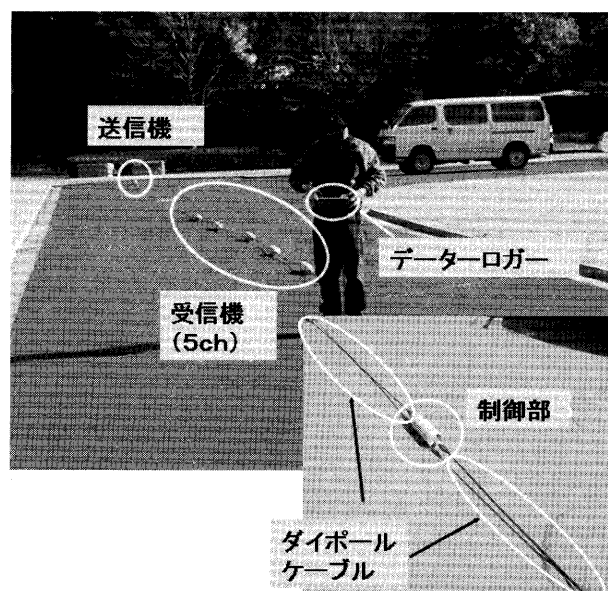


写真-2 キャパシタ電極を用いた電気探査装置の外観

差を、受信機側のダイポールケーブル間の電圧として測定する。すなわち、従来のダイポール-ダイポール法の電気探査と同じ解析手法で地盤の比抵抗を求めることができるのが特徴である。

ただし、静電現象を利用して間接的に地盤中に電流を送り込むために、大電流を送り込むことができない。したがって、探査深度はおおむね10～20 m 程度である。このように、適用上の限界はあるものの土構造物の安全性照査や埋立て・盛土地盤の締固め評価等における調査では十分適用可能である。

写真-2 に示したように、測定者は、データロガーを腰元に取り付け、後ろに連なったセンサを人力で牽引しながら測定を行う。もちろん、自動車等で牽引することも可能である。この例では、最大5連の受信機を連結している。これにより、5深度のデータを1回の測定で収録することができる。

牽引式の電気探査法では、地面に電極を設置する必要がないので、これまで多くの時間を必要としていた電極設置作業が不要となり、探査効率を飛躍的に高めることができる。

測定装置を組み立てて測定開始するまで10分以内であり、測定スピードは分速80 m 程度である。従来方式に比較して格段と測定作業の効率化を図ることが可能になっている。

従来方式で金属棒を電極として打ち込んで実施した2極法電気探査法とキャパシタ電極を用いた電気探査法を

実施して両者の比較を行った。

測定対象地盤は、表面から0.5 m まで埋土、0.5～1.4 m までがローム層、それより以深は、砂と粘土との互層になっている。

それぞれの手法で求めた2次元比抵抗断面を口絵写真-5 に示す。その結果、大局的な比抵抗分布については両者とも調和した結果を示していることを確認することができた。

本方式では大電流を地盤中に流すことができないために、低比抵抗地盤では測定が困難な場合も予想される。適用限界を明らかにしていくため、多くの適用事例を重ねていくことが今後の課題とされる。

4. おわりに

本稿で紹介した事例は、物理探査手法のハード部分の「変化・変遷」の一例にしか過ぎない。その他にも、測量・測位作業の発展も著しいものがあり、これも測定作業の効率化に寄与している。物理探査における測位技術の動向はいくつか示されているが⁶⁾、主に GPS 技術が積極的に採りいれられていくことになろう。もし、センサーの中に、標準的に GPS が内蔵されている計測システムが実現されていくことになれば、リアルタイムで測定場所の位置情報と物理探査結果とを同期させることが可能になる。これは解析時間のさらなる短縮化と測量・測位作業の負担軽減に寄与する。

このように、ソフト技術とハード技術の両面において発展させることが、簡便・迅速に地盤の可視化を行う物理探査手法の新たな展開に必要と考えるのである。

参考文献

- 1) 澁谷 啓・渡部要一・田中政典・山下 聡・林 宏一・莊司泰敬：遺跡の保守・保全のための地盤調査法—Pisaの斜塔を例として、土と基礎、Vol. 52, No. 6, pp. 35～37, 2004.
- 2) 物理探査学会編：物理探査ハンドブック，手法編，第15章，1998.
- 3) 林 宏一：表面波探査における CMP 解析，物理探査学会第105回学術講演会，pp. 13～16, 2001.
- 4) 稲崎富士：「ランドストリーマ」を用いた都市域での高分解能 S 波反射法探査，物理探査学会第98回学術講演会，pp. 114～117, 1998.
- 5) 林 宏一・岡田 聡・鈴木晴彦・稲崎富士：ランドストリーマを用いた表面波探査，物理探査学会第108回学術講演会，pp. 298～301, 2003.
- 6) 乙津祐一・寺山文夫：物理探査における最近の測位技術の動向，物理探査，Vol. 55, No. 5, pp. 341～348, 2002. (原稿受理 2006.1.16)