

# 音響トモグラフィ地盤探査を用いた支持層、地中障害物等の調査

株式会社 KANSO テクノス ○澤田 雅言、加藤 裕将  
JFE シビル株式会社 榊原 淳一、田子 彰大

## 1. はじめに

近年、都市部において地表陥没事故や基礎杭の施工不良など地盤に関わる問題が発生している。地表構造物が多い都市部では十分にボーリング調査ができ

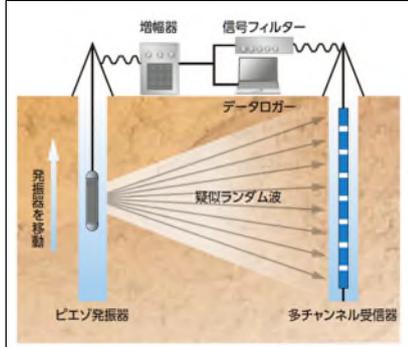


図-1 音響トモグラフィ地盤探査の概要

ない場合がある。一方、地表構造物の影響をあまり受けない手法の一つとして音響トモグラフィ地盤探査<sup>1)</sup>が挙げられる。この手法は2本のボーリング孔の一方に孔内発振器、他方に孔内受信器を設置し、発振器と受信器間で高周波数の弾性波を送受信することで、2本のボーリング孔の間を連続的に可視化できる手法である(図-1)。本報では、この音響トモグラフィ地盤探査の概要と調査例、適用時の留意点、正確な計測によるメリットについて述べる。

## 2. 音響トモグラフィ地盤探査の概要と調査例

### (1) 音響トモグラフィ地盤探査の概要

本手法は、通常の弾性波探査とは異なり、周波数と振幅を正確に制御した疑似ランダム波<sup>2)</sup>と呼ばれる連続波を発振する。受信器で受信した波形と発振波形の相関関数を計算しパルス波に変換することで到達波の到達時間と振幅を取得する。疑似ランダム波は見かけの振幅を数10倍に増幅できるため、50m以上離れた2孔間でkHz単位の高周波数の波を送受信することができる。その結果、受信器で受信した波の到達時間から地盤断面の速度分布図を取得し地層構造や支持層の把握が可能に、発振波と受信波の振幅の差分から地盤断面の減衰率分布図を取得し2孔間に存在する空洞や地中障害物等の把握が可能となる。

### (2) 調査例①(杭基礎支持層の調査)<sup>3)</sup>

本調査は杭基礎の支持層を把握することを目的に、A'孔 B'孔 C孔 D孔のボーリング孔を用いて実施した。孔間距離は約40mおよび約57m、調査深度はGL. -10m~GL. -55mの範囲であった。弾性波の速度分布の展開図とA孔~D孔のボーリング調査結果を図-2に示す。GL.-20m以下のDs2層下端からDg層までの地層境界はN値の結果と整合的である。特にGL.-40m以下のN値の変化とよく対応しており、支持層直上の弱部の層厚変化を把握できている。C孔-D孔-A'孔間ではDs3層の上端下端の速度コ

ンターは変化が小さく、C孔のN値もDs3層の上下境界で変化が緩く速度コンターの変化と整合的であるため、地層境界が遷移的かつ水平方向の連続性が低いことを示唆している。また、6測線の結果をもとに支持層深度(N値>50)の三次元モデルを作成した。No.1孔、A孔、B孔の支持層深度(青斜字)と合わせた支持層深度の三次元モデルを図-3に示す。このモデル図から支持層の不陸が少なく、D孔付近はやや浅くなっていることがわかる。また、同図はNo.1、A孔、B孔のN値>50の深度と誤差1mの範囲内で一致している。

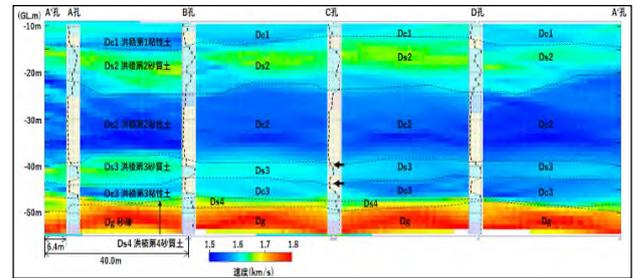


図-2 4孔間での弾性波の速度分布図

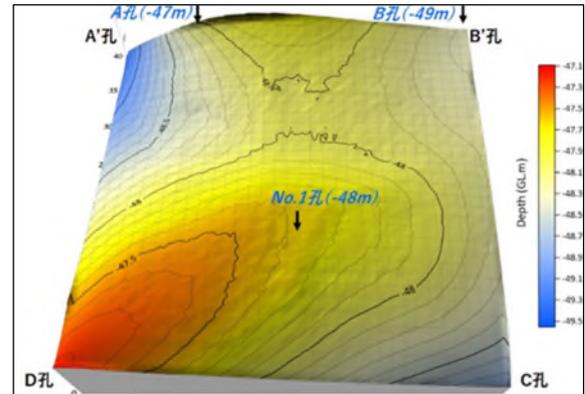


図-3 支持層深度の三次元モデル

### (3) 調査例②(地下空洞の調査)<sup>4)</sup>

道路橋の橋脚工事での予備調査から橋脚下部に地下空洞の存在が示唆されたため、Br.1~Br.4の4孔でボーリング調査を行ったのち地下空洞の空間分布を調査した。調査は測線 Br.1-Br.4と Br.2-Br.3の2D断面の2測線で行い、内挿により3D画像として出力した結果を図-4に示す。

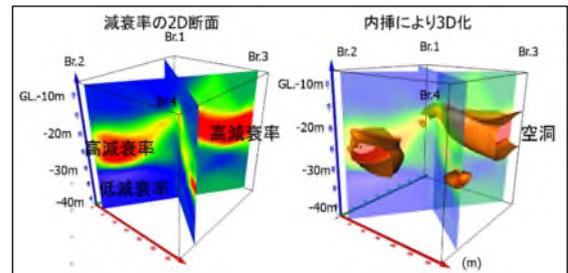


図-4 地下空洞の調査結果

同図から深度20m~30mの間には想定していなかった高

さ10mの空洞が確認されたため、3D画像を用いて近隣住民への説明を行い、速やかに充填工事を行った。調査結果から計算した空洞の容積と充填剤の量が概ね一致したことから調査結果は妥当であったと考えられた。

### 3. 音響トモグラフィ地盤探査適用時の留意点

音響トモグラフィ地盤探査を正しく実施するために必要な4つの留意点について述べる。

#### (1) 地下水位と地盤の飽和度の確認

弾性波は地盤中の飽和度に左右され、飽和度が低下すると速度は減少<sup>5)</sup>し減衰率は増加する(図-5)。この飽和度の影響を調査結果から取り除くのは困難であるため、地下水位より浅い部分や飽和度が低下している地盤での調査は難しい。調査前に調査対象深度が地下水以下にあるかどうかの確認は必要不可欠である。また、調査対象深度が地下水以下であっても、飽和度の低下が予想される盛土や地下水位低下工法を実施した場所では既存のボーリング結果などから、事前に地盤状態を確認する必要がある。

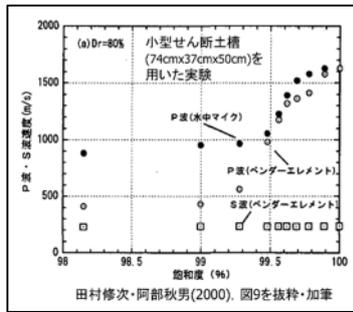


図-5 飽和度とP/S波速度の関係

#### (2) 計測に用いるボーリングの離隔距離

本手法は断面内部をセルで分割し逆計算を行いセル内の速度値、減衰率値を計算しているが、理論上、波線の角度よりも高角度な構造の解析を行うことができない。図-6の左図は離隔距離L、右図は離隔距離2Lの場合での波線経路の模式図である。離隔距離2Lにおける解析可能な角度 $\theta_{2L}$ は離隔距離Lの角 $\theta_L$ よりも小さくなっている。従って、急角度な地層構造が予想される場合には最大角度を想定して適切な離隔距離を選ぶ必要がある。

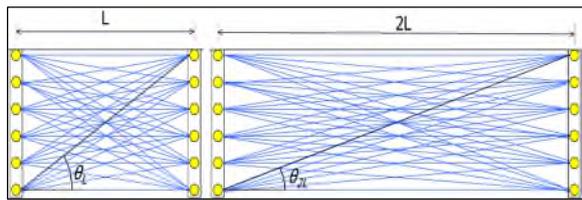


図-6 離隔距離と解析可能な最大角度の関係

#### (3) 縁辺部の調査精度の低下

断面内部をセル分割して計算を行う場合、セルの計算精度はセル内を通る波線の数に比例する。図-7において中央のセル①、上端

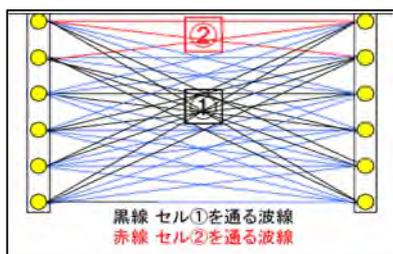


図-7 断面内セルを通る波線の数

部のセル②内を通る波線数は①で11本、②で3本となり、縁辺部のセルの波線数は少なく精度も低いため評価

できないことを考慮して、調査範囲が縁辺部にかからないように計画する必要がある。

#### (4) 土質柱状図などの比較データの準備

解析結果から得られる弾性波の速度や振幅減衰率は、強度定数など土質工学的な値や地層の種類などと直接的な関係はないため土質工学的な情報の把握はできない。この問題を

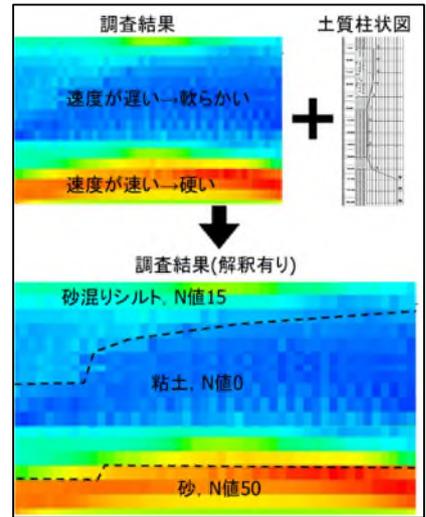


図-8 調査結果と土質柱状図の比較

解決するには土質柱状図等の比較データが必要不可欠である(図-8)。支持層調査などN値の情報が必要な場合は、計測に用いたボーリング孔の両方またはどちらか一方のN値が必要である。また、地中障害物や空洞の調査時には、得られた結果が地層構造あるいは地中障害物や空洞の影響かどうかを判断する必要があるため、土質柱状図に加え、地中障害物や空洞がないキャリブレーション用の測線との比較が必要である。

### 4. まとめ

最後に正確な計測がもたらすメリットを述べる。ボーリング調査のみだと「杭長不足や高止まりによる施工の手戻り」などの可能性があるが、本手法を追加することで物理探査との統合的な評価により高効率な設計の実現と施工時の安全性向上が考えられる。今後も本事例の経験を活かし、地盤探査に貢献していく所存である。

#### 《引用・参考文献》

- 1) 榑原 淳一, 山本 督夫(2009): 高周波数の弾性波を用いた高精度地盤調査手法の開発, 土木学会論文集 C, Vol. 65, No. 1, 97-106.
- 2) 問山 清和・林 高弘・神谷 庄司: 改良型パルス圧縮方法によるガイド信号の高分解能化, 超音波テクノ, No. 9-10, pp. 12-16, 2006
- 3) 榑原 淳一・田子 彰大・渡邊 徹・久世 直哉・木谷 好伸・井上 波彦: 杭の支持層に関する段階的地盤調査その3 音響トモグラフィ地盤探査法, 2025年度日本建築学会全国大会梗概集
- 4) 榑原 淳一: 高周波数の音波を用いた高精度な地盤の可視化技術, 検査技術 2017年3月号, 2017
- 5) 田村 修次・阿部 秋男: P波を用いた地盤の飽和度計測法の開発, 第1回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集, p. 249-254, 2000