

高周波数の弾性波を用いた高精度な地盤の可視化

High Resolution Underground Imaging by High Frequency P-wave Tomography

榎原 淳一 (さかきばら じゅんいち)
JFEシビル(株) 技術部 部長

1. はじめに

構造物の建設における地盤調査の役割は重要である。例えば図-1 は杭基礎構造物における調査から施工までの一般的な手順を示しているが、地盤構造が複雑過ぎてボーリングによる調査では十分な情報を得られなかった場合には、“過剰な安全設計”や“再発注や再施工による手戻り”が発生し、結果として工事費の増加や工期の延長を招いてしまう可能性がある。

今回紹介する“音響トモグラフィ地盤探査法”は2本のボーリング孔間を連続的に可視化することによりボーリング調査を補完する技術である。この手法は物理探査の一つである弾性波探査に分類されるが、高周波数の波を用いることで一般的な弾性波探査よりも精度の高い結果を得られることに特長がある¹⁾。図-2 は東京湾の埋立地に建設された物流倉庫杭基礎工事における調査結果(速度分布図)であるが、同図からボーリング孔 A では GL.-53m, ボーリング孔 B では GL.-60m に現れる支持層(細砂)が2本のボーリング孔の中央右寄りですべてれていることがわかる。ボーリング調査だけでは地層の連続性を把握することができないが、本手法のような

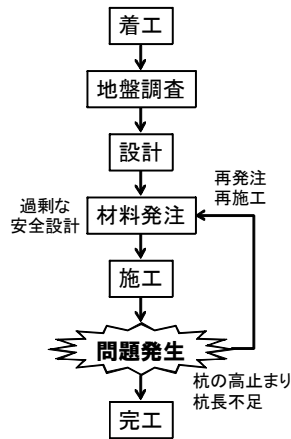


図-1 杭基礎構造物における調査から施工までの手順



図-2 物流倉庫杭基礎工事における調査結果(速度分布図)

可視化技術を用いることでボーリング孔間の情報を正確に把握することが可能となる。なお、学術的には弾性波トモグラフィ法と呼ぶべきであるが、高周波数の弾性波を音響波と呼ぶこともあるため、通称として音響トモグラフィ法と呼ばれている。

2. 音響トモグラフィ地盤探査法

音響トモグラフィ地盤探査法は、図-3 に示すように、水で満たした2本のボーリング孔の一方に水中スピーカーを他方に水中マイクロフォンを設置し、高周波数の弾性波を伝播させ、波の伝播特性から地盤構造を可視化する方法である。本手法は発振方法に特徴があり、“疑似ランダム波”と呼ばれる連続波をレスポンスのよい水中スピーカーから発振する。疑似ランダム波は小さなエネルギーの波を遠距離まで伝播させることができるという性質をもつ。これにより、地中での減衰が激しく他の手法では用いることができない 1kHz 以上の高周波数の波でも数 10m~100m まで伝播させることができる。調査精度(分解能)は周波数に反比例するため、周波数が高いほど精度はよくなる。これが高精度な調査が可能となる理由である。

解析は逆計算と呼ばれる手法を用いる。詳細については割愛するが、初期モデルには土質柱状図などの情報を考慮せず均一地盤を設定するため、解析が正しく行われたかどうかはボーリング柱状図との比較により判断する。図-2 の例では細砂層と粘性土層の境界面(图中、下向き矢印)がボーリング調査結果の N 値と一致していることから正しい調査が行われていると判断できる。

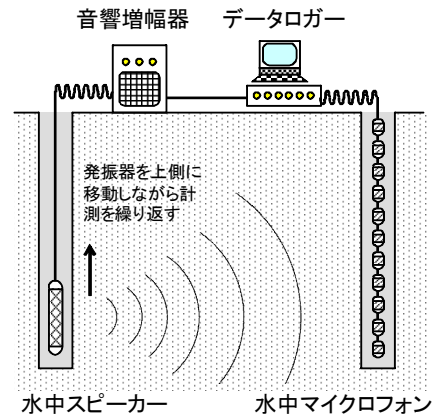


図-3 音響トモグラフィ地盤探査法概念図

3. 適用事例

これまでに150例以上の実績があるが本誌では愛知県の中部国際空港における支持層調査の例を紹介する。同空港の立体駐車場建設においては計画地の地盤構造が複雑であること、さらに、既成PC杭の埋め込み工法を用いたため杭継ぎと杭切断ができないという2つの問題があり、施工中の杭の高止まりや杭長不足の発生が懸念されていた。このためボーリング調査だけでは不十分と判断され本手法による調査を行った。図-4の調査測線レイアウトに示すように6本のボーリング孔を用いて10側線の調査を行った。図-5に解析結果の例としてSec.7の速度分布図を示すが支持層である固結シルトが複雑な構造をしていることがわかる。前章で述べたように解析結果と土質柱状図の比較から白破線で示す地層境界を決定し、他の側線の結果と合わせて支持層深度の等高線図を作成した。これを図-6に示す。同図から支持層は窪みや急傾斜、平坦な部分が混在する複雑な地形をしていることがわかる。杭長の設計と施工は同図に基づいて行

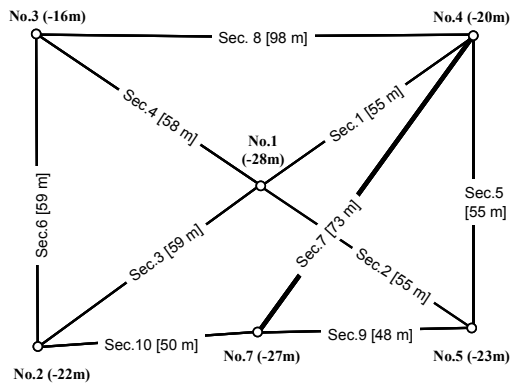


図-4 中部国際空港における調査測線レイアウト

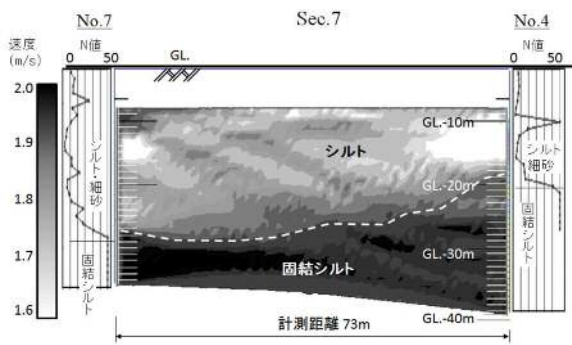


図-5 Sec.7の解析結果(速度分布図)

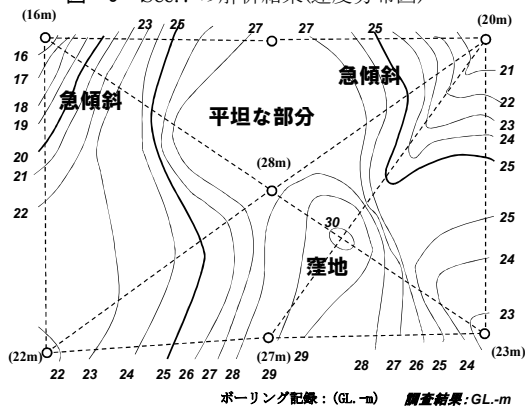


図-6 調査結果から得た支持層深度の等高線図

われ、全220本の杭において杭の高止まりや杭長不足を1本も発生させることなく予定通りに工事を終えることができ、安心・安全で効率的な施工に貢献できた。

本手法の効果を定量的に検証するため、ボーリング調査の結果だけを用いて支持層の等高線図を作成し(図-7)、これに基づいて杭長の設計を行い、実際の施工記録と比較した。図-8にSec.7に沿って検討した例を示す。ボーリング調査のみの場合には図中の波線と鎖線で示す直線的な支持層を推定することになり、図中の矢印で示す杭の高止まりや杭長不足が発生する可能性があったことがわかる。表-1に調査方法の違いによる杭数量の比較を示すが、杭材量だけで14%のコストアップを未然に防げたことがわかる。

今後も計測・解析の高速化などの技術開発を重ね建設現場で役に立てていただけるよう努力を続けていきたい。

参考文献

- 1) 榎原淳一・山本督夫：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, pp.97-106, 2009.

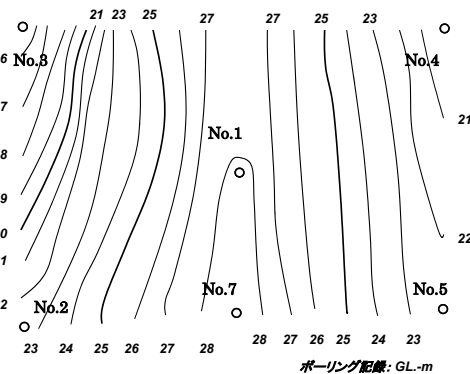


図-7 ボーリング調査の結果だけを用いた支持層深度の等高線図(物流倉庫杭基礎工事における調

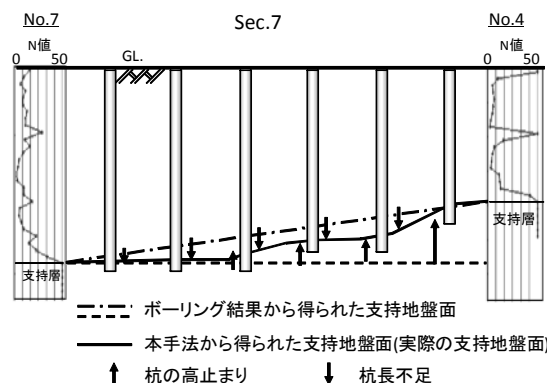


図-8 ボーリング調査のみによる杭長設計例と本手法による結果の比較(Sec.7)

表-1 杭長設計方法の違いによる数量比較

杭長の設計方法	杭長(m)	杭重量(t)	割合(ボーリング調査を1とする)
ボーリング調査のみ	6,177	918	1.00
音響トモグラフィとボーリング調査	5,295	791	0.86
差	882	127	0.14