

1. はじめに

地盤情報を正確に把握することは、最近の建設工事において最も重要とされている「安全で効率的な施工」において果たす役割は大きい。地盤調査技術の代表的なものとして「ボーリング調査」があげられるが、図1に示すように「点の情報しか得られないボーリング調査」だけでは杭長不足などの問題が発生する場合がある。さらに、都市部など地表や地中に既設構造物が存在する場合には、非破壊による調査が必要となる。従来の非破壊探査手法は、調査精度・調査範囲が現場ニーズに対して十分でない場合が多く、地盤調査への適用は難しいと考えられていた。筆者が米国マイアミ大と共同で開発した音響トモグラフィは、現場サイドで必要な調査精度と範囲を提供できる手法であり、かつ、“地盤の見える化”を可能とする地盤断面の可視化技術である。本文では音響トモグラフィの特長とその適用例、および地盤調査以外への展開について述べる。

2. 音響トモグラフィとは

音響トモグラフィは弾性波トモグラフィに分類される技術であるが、従来の手法とは異なり、“高周波数の音響波”を“周波数とエネルギーを制御”して出力することに特長がある。図2に計測概念図を示す。発振孔に設置したピエゾ型孔内震源(外径43mm、長さ250mm)を用いて数百Hz～数10kHz(従来の手法は数10Hz～数100Hz)の範囲で任意の周波数を持つ音響波を発生し、受信孔に設置した水中マイクロフォン(外径40mm)により受信する。従来の弾性波を用いた探査では、“高精度な計測に必要な高周波数の波は地盤中における減衰が激しい”ため、現場計測に適用することは難しかった。しかし、本手法では、疑似ランダム波を発生波として用いることによりSN比を飛躍的に改善し、“精度が高く計測距離の長い”現場計測を可能とした(図3)。また、打撃や爆薬などの衝撃震源とは異なり、発生波の周波数とエネルギーを常に制御しているため、計測再現性が極めて高いことも特長であり、従来は困難であった振幅減衰率トモグラフィを実現した。

これまでの土木分野での実績では、計測範囲は1m～150m程度であり、その時の計測精度は数cm～2m程度である。このように、計測システムを変えることなく発振周波数を変えるだけで様々な計測対象に対応できることも本手法の特長といえる。現場計測においては、正確な速度分布図と減衰率分布図をボーリング調査結果と比較検証することで地盤の見える化を実現している。例えば、従来の物理探査が苦手としていた臨海地区の埋立地地盤調査においては、計測精度1m以下という実績も多い。

3. 現場計測への適用

基礎支持地盤への適用例を2例示す。図4に比国マニラ湾の棧橋建設工事における基礎支持地盤調査で実施した、速度分布図、ボーリング柱状図および施工後の杭の打撃回数を併せて示す。計測深度はGL. -55m、計測距離は50m、基礎杭の打設間隔は5mであった。トモグラフィの結果はボーリング調査の結果と1m以下の差で一致していることから、速度1.8km/sの部分は砂礫層、速度1.7km/s～1.76km/sの部分は粘性土層であると考えられた。ボーリングの結果から支持層面はGL. -32mとGL. -40mの2箇所が考えられたが、速度分布図では中央から右側はGL. -32mの位置ではほぼ平坦であり、左側は支持層が傾斜して約8m下がっていることが読み取れる。ボーリング結果のみから読み取れる支持層の位置を図中矢印で示したが、もし浅い部分の境界を支持層面(塗潰し矢印)と考えた場合には、左半分で8mの杭長不足が発生し、杭材の追加調達、杭の現場溶接などが必要になる。

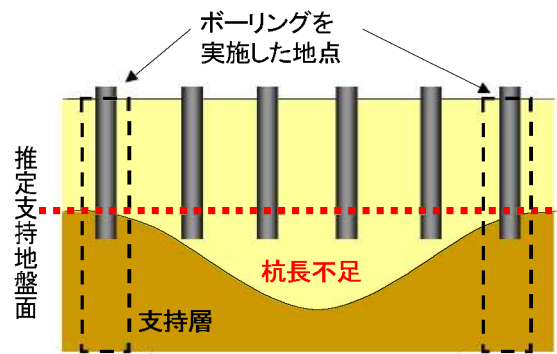


図1 地盤の不陸による杭長不足

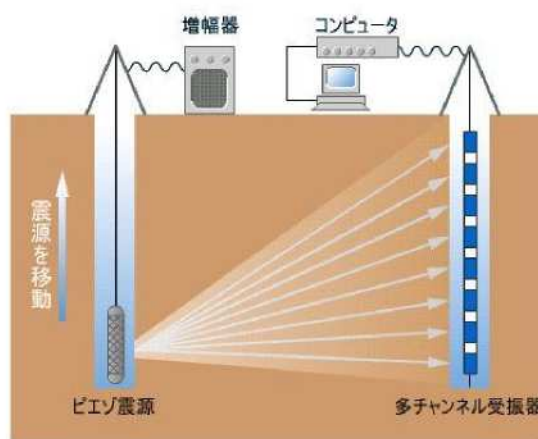


図2 音響トモグラフィの計測概念図

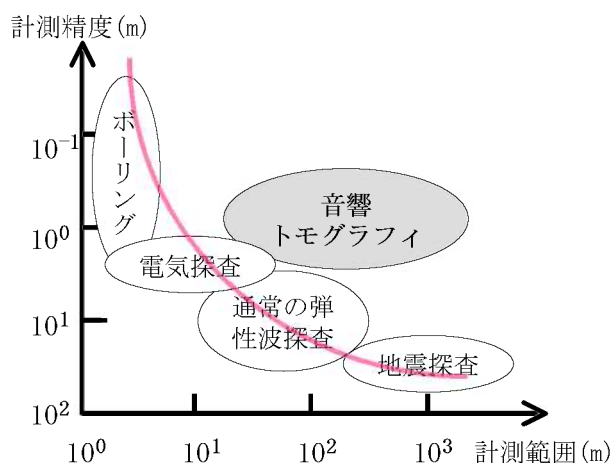


図3 地盤探査手法の比較

一方、深い部分の境界を支持層面(白抜き矢印)と考えると右半分で8mの杭の高止まりが起り、余分な杭材、杭の切断作業が発生することが分かる。施工後の杭の打撃回数記録は計測結果が示す地盤の傾斜と良く一致しており、トモグラフィ計測の妥当性を証明することが出来た。

次に、トモグラフィ計測を行うことでボーリング本数を削減した例を示す。図5は千葉県埋立地における基礎支持地盤調査で得られた速度分布と減衰率分布をボーリングによるN値と比較して示している。計測深度はGL.-70m、計測距離は66m、55mであった。既存のボーリング記録からは支持地盤の不陸が予想されたため、当初は図中○印(白抜き及び半円)で示す計6本のボーリング調査を検討していた。しかし、正確な情報を得る為にトモグラフィ計測を実施し、ボーリング本数は半分に減らすことができた。計測結果の速度分布図から、GL.-60m付近の速度1.6km/sに相当する境界がN値の結果と一致するため、これを支持層上面と考えた。減衰率分布図においても同深度で洪積砂層と洪積粘性土層の境界が現れており、支持層の不陸がないことがより明確となった。

4. 今後の展開

本文では支持地盤調査への適用について述べてきたが、他にも、砂地盤の不均一性調査(毛利ら, 2003)、地盤や岩盤の漏水調査、埋立地などの形状調査、空洞調査、資源探査などにも用いられている。例えば、砂地盤のゆるみの把握は現位置での調査は難しいが、同じ粒径の砂でも締まり具合により減衰率が変化することを利用してゆるみ領域を特定することが可能である。

一方、地盤以外のものを対象とする試みも始めている。榊原ら(2006)は曲げ試験後の亀裂のあるコンクリート梁の内部を計測した。図6に計測結果(速度分布)と亀裂の状態写真を比較して示す。同図から、亀裂数と速度の変化に良い相関があることがわかる。また、榊原ら(2005)は街路樹などの空洞調査に本手法が適用できることを示し、樹木内部診断への道を開いた。最近では既設構造物の保全補修の重要度が益々大きくなってきている。今後はこの分野への適用も進めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 毛利, 榊原, 山本, “音響透水トモグラフィによる大型模型地盤の均一性の可視化(その2), 第4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, p125-128, 2003
- 2) 榊原, 田近, “音響トモグラフィを用いた構造物設備診断技術” JFE 技報, No. 11, p50-55, 2006
- 3) 榊原, 田中, “音響トモグラフィによる立木断面の可視化”, 第113回物理探査学会講演集, vol. 113, p383-384, 2005

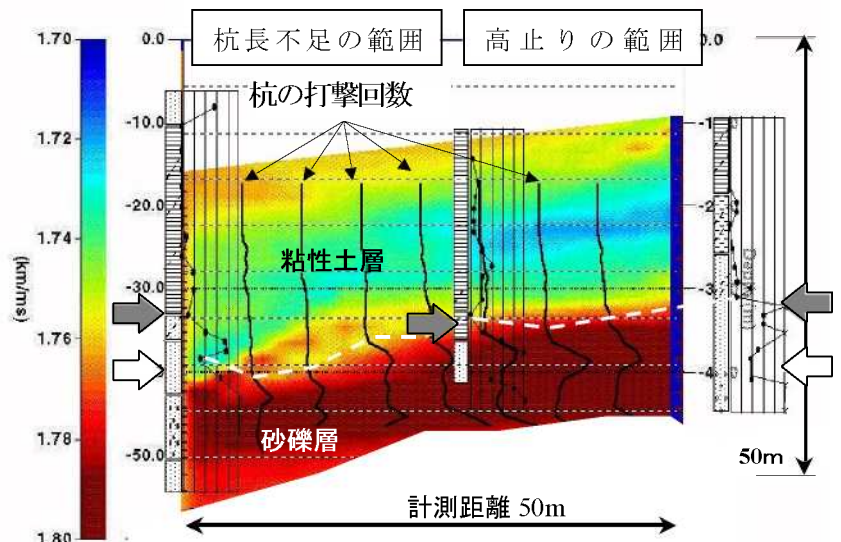
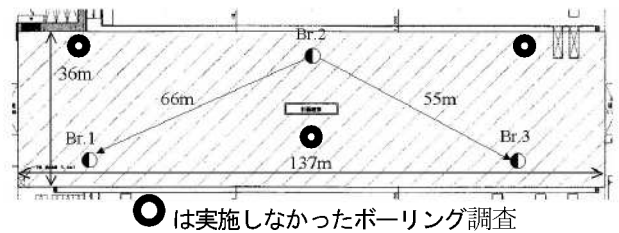


図4 マニラ湾での計測例(速度分布図)



○は実施しなかったボーリング調査

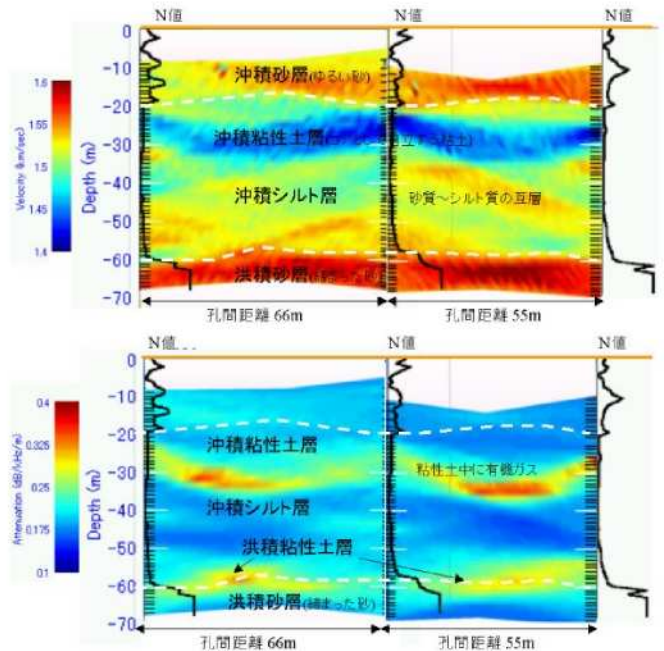


図5 千葉県での計測例(上:平面図、中:速度分布、下:減衰率)

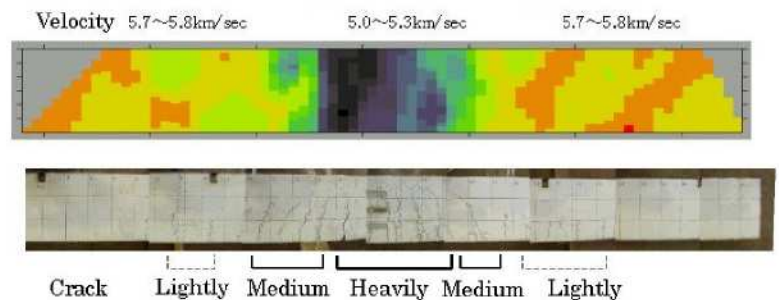


図6 コンクリート梁内部の亀裂状態の計測結果