

沖積低地を対象とした微動アレー探査による 工学的基盤面の把握

中村正明¹・岡田佳久²

¹東京都土木技術研究所 地象部 (〒136-0075 東京都江東区新砂一丁目9-15)

E-mail:nakamura@doken.metro.tokyo.jp

²東京都土木技術研究所 地象部 (〒136-0075 東京都江東区新砂一丁目9-15)

E-mail:okada@doken.metro.tokyo.jp

微動アレー探査は、地下数キロメートルに達する地震基盤面の把握には、有用な調査法であるが、深度数十メートルの工学的基盤面の確認に用いられることは少ない。このため本報告では、東京の沖積低地を対象にして、沖積層の地質層序や速度構造が明らかになっている3地点で微動アレー探査を実施し、解析結果と既知のS波速度及び工学的基盤面深度との比較検討を試みた。その結果、両者から求めた分散曲線は類似の傾向を示し、微動アレー探査の解析結果は、実際のS波速度構造や工学的基盤面深度を概ね再現できることを確認した。このことは、微動アレー探査を用いることで、沖積低地等の工事ボーリング調査を補完できる可能性を示唆する。

Key Words : microtremor array observation, engineering foundation ground, alluvial lowland

1. はじめに

微動アレー探査は、微動を複数点で同時に観測して、解析的に地下のS波速度構造と各層の層厚を知りうる手法であり、弾性波探査と並んで地下数キロメートルに達する地下深部の調査に利用される¹⁾。これらの調査結果は、地下構造調査における地震基盤面の把握や活断層調査など、地震防災に関わる調査の一つとして活用されている²⁾。

一方、土木関係の地盤調査においては、深度数十メートル程度の支持層(工学的基盤面)の把握が主要な目的となるが、微動アレー探査をこのために実施することは皆無である。しかし、微動アレー探査で支持層の確認が可能ならば、ボーリング調査を補完する意味において、非常に有用な手段となりうる。

本報告では、沖積層の工学的基盤深度と速度構造の把握を目的として微動アレー探査を実施し、解析結果と既存のボーリング調査(PS検層)との比較を行った。さらに、微動アレー探査の土木工事調査への適応性について検討をした。

2. 調査地点と観測方法

(1) 地盤区分

東京都内の地盤は、東部から西部へ沖積低地、台地、丘陵地、山地と形態を異にしている。これらの区分の中で沖積低地は、有楽町層の下位に七号地層

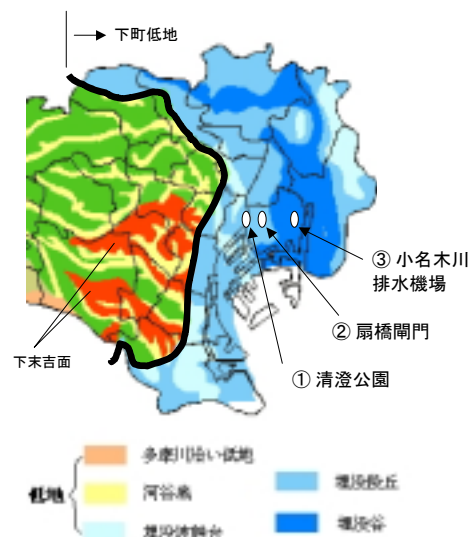


図-1 地盤区分と調査地点位置図

が分布しており一般的に沖積層厚が30~40mを越える「埋没谷」、主に有楽町層からなり「埋没谷」よりは沖積層厚が薄い「埋没段丘」、多摩川流域で河床礫が分布する「多摩川沿い低地」などに分類される。今回の調査地点は、「清澄公園(江東区清澄2-2)」、「扇橋閘門(江東区猿江1-5)」、「小名木川排水機場(江東区東砂2-17)」の3地点である。東京低地の地盤区分と調査地点を図-1に

示す。これより、清澄公園、扇橋閘門の 2 地点は埋没段丘、小名木川排水機場は埋没谷に位置していることが確認できる。

(2) 微動観測

① アレー配置

アレーの形状は、半径の異なる 4 重円とし、それぞれ各円毎に正三角形の形になるように地震計を配置した。清澄公園でのアレー配置図を図 - 2 に示す。4 重円の半径は、大きい順に 30m, 15m, 10m, 5m とし、30m, 15m を「大アレー」、10m, 5m を「小アレー」とする。他の 2 地点においても、アレーの配置や大きさに関しては同様である。

② 測定及び観測機器等

各アレーにおける 1 回の測定時間は 60 分とした。測定日は、2002 年 12 月 24 日と 25 日の 2 日間である。本観測の前に使用する機器を近接設置して 10 分程度の微動観測を行い、感度特性が一致していることを確認した。

3. 分散曲線

周波数毎の表面波位相速度を求め、分散曲線を作成した。3 地点の分散曲線を図 - 3 に示す。各アレーの周波数帯は、大アレーを 0.5 ~ 5Hz、小アレーを 0.4 ~ 8Hz としている。

分散曲線の特徴から以下の内容が考えられる。

分散曲線の変曲点（高周波側から低周波側にかけて曲線の立ち上がりが大きくなる箇所）は、清澄公園と扇橋閘門で 2.8Hz、小名木川排水機場で 2.4Hz 程度である。分散曲線の変曲点が低周波側にあるほど S 波速度の大きい層が深いところに位置していることから、小名木川排水機場は清澄公園や扇橋閘門よりも沖積層の深度が深いことが予測される。このことは、図 - 1 の調査地点位置図より、小名木川排水機場が沖積層の深い埋没谷に、清澄公園や扇橋閘門が埋没谷と比較して沖積層の浅い埋没段丘に位置していることから説明できる。

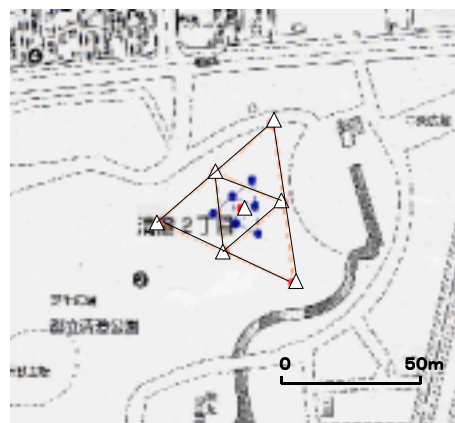
分散曲線の高周期側で位相速度が一定になった時点の速度値からアレー観測点浅層部の S 波速度を把握することができる。これらの値は、清澄公園で 125m/s、扇橋閘門で 160m/s、小名木川排水機場で 190m/s 程度である。

大アレーと小アレーを組み合わせ分散曲線の周波数帯を 1 ~ 8Hz 程度まで網羅しているが、今回の調査結果から判断して、観測地点付近の工事ノイズの影響が認められる扇橋閘門を除いては、小アレーのみでこれらの周波数帯を確保することが可能である。

4. 地下構造の推定

(1) 解析手法

今回の fGA 解析（個体群探索分岐型遺伝的アルゴリズムによる解析）³⁾ では、各調査地点とも 4 層と 5 層の層数を想定し、既存のボーリング資料も一部



△ 大アレー観測点 ● 小アレー観測点

図-2 アレー配置図(清澄公園)

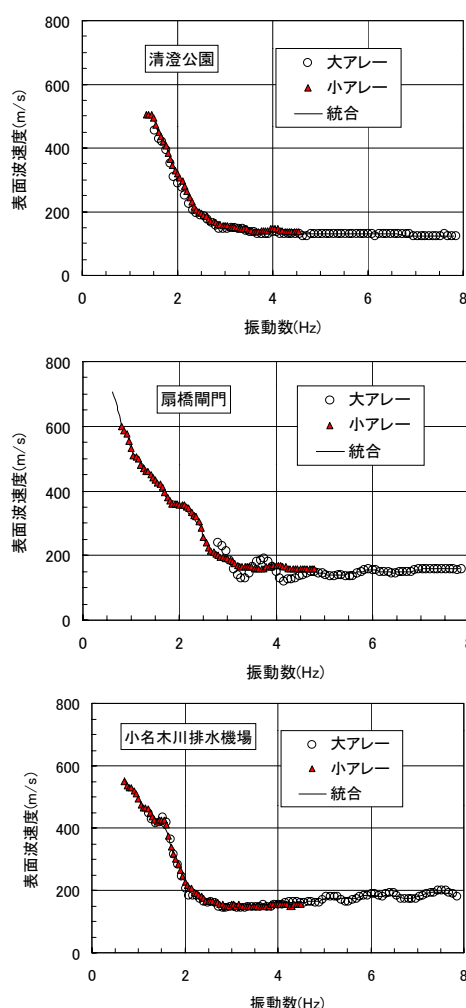


図-3 分散曲線

参考にしながら、層厚と S 波速度の検索範囲を設定し、試行回数 2,000 回の計算を 10 回行って残差最小解を選択した。

(2) 4 層モデルの解析結果

3 調査地点それぞれに 4 層の探索範囲を設定し、残差最小解 5 つを選択した。分散曲線と S 波速度構

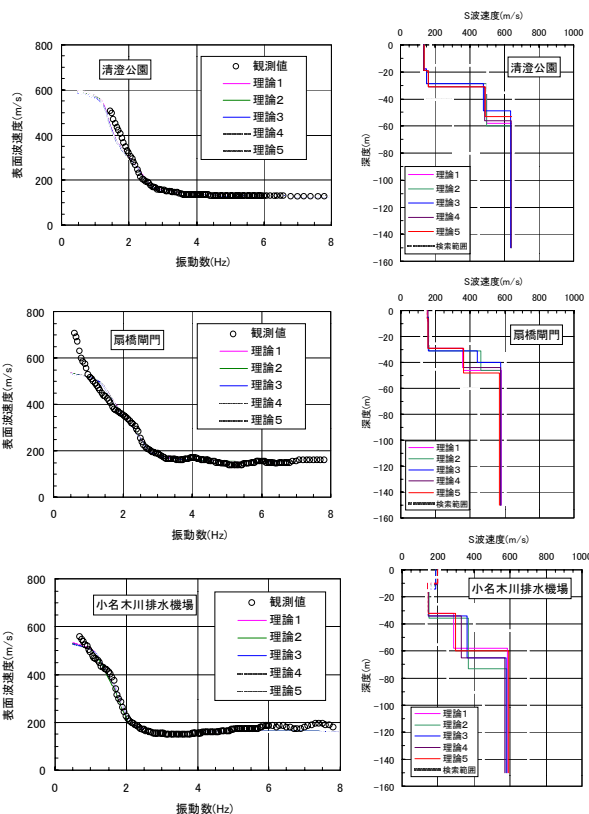


図-4 4層モデルの分散曲線とS波構造

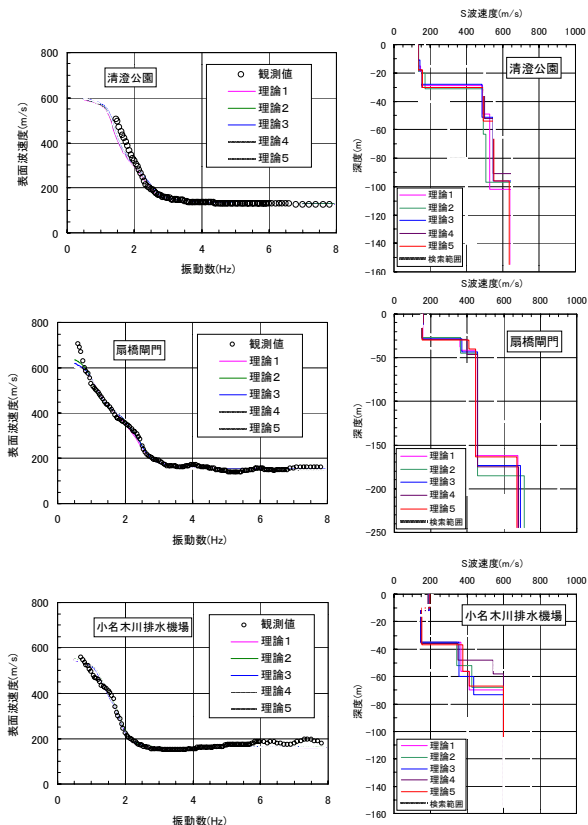


図-5 5層モデルの分散曲線とS波構造

造を図-4に示す。

(3) 5層モデルの解析結果

3 調査地点それぞれに5層の探索範囲を設定し、残差最小解5つを選択した。分散曲線とS波速度構造を図-5に示す。

(4) 解析結果の特徴

探索範囲の設定においては、4層モデル、5層モデルとも沖積層に相当する地層区分を2層と設定した。また、沖積層の基底以深に相当する層のS波速度は300~500m/s程度とし、沖積層下位における洪積層の一般的な数値を与えた。

解析結果より、観測分散曲線と理論分散曲線のフィッティングは良好であり、特に5層モデルではその結果が良い傾向にある。なお、扇橋開門の5層モデルでは、深度160m以深に680m/sのS波速度を加えると1.5Hz以下の低周波側でフィッティングが向上し、深度250m程度までの分析が可能となった。さらに、S波速度が100~200m/s程度の低速度層をみると、3調査地点とも深度30m前後までとなっており、この層間を沖積層の堆積している層厚と判断することができる。

5. 既存ボーリング資料との比較・検討

(1) 工学的基盤面深度の比較

微動アレー探査により求めたS波速度構造から、S波速度が300m/s以上に相当する工学的基盤面深度(支持層深度)は、清澄公園と扇橋開門が29m、小名木川排水機場は35m程度と判断することができ

る。この結果を既存ボーリング資料から判断した支持層深度と対比すると、清澄公園では31m、扇橋開門では34m、小名木川排水機場では38m程度である。このように、扇橋開門では5mの相違が認められるが、清澄公園と小名木川排水機場の2地点では比較的良好な対応を示した。

(2) PS検層データおよび柱状図との比較

清澄公園と扇橋開門では、既存ボーリング調査によるPS検層データが存在する。これらの記録を用いて表面波の理論分散曲線を計算し、今回の微動アレーによる観測分散曲線との比較を試みた。

観測分散曲線とPS検層記録による分散曲線の比較及び5層モデルによる解析で求めたS波速度の深度分布(理論1~5)とPS検層によるS波速度分布の比較を図-6に示す。これより、両者の分散曲線は清澄公園では整合が認められる。一方、扇橋開門では工学的基盤面(支持層)を提示する変曲点位置が、微動アレーによる観測分散曲線では2.8Hz程度にあるのに対して、PS検層の分散曲線では2.5Hz程度であり、清澄公園ほどの一致は認められなかった。

本解析においては、沖積層内を2層に分けたが、小名木川排水機場では第1層目が190m/sとなり、2層目の140~150m/sと比較して大きめの値を示している。このようなS波速度の逆転層はボーリング柱状図のN値からも認識することができる。なお、微動アレーによるS波速度は、清澄公園では1層目が130m/s、2層目が150m/s、扇橋開門では1層目、2層目とも150m/sとなり、1層目と2層目の速度に明瞭な相違は認められない。PS検層の場合、清澄公園

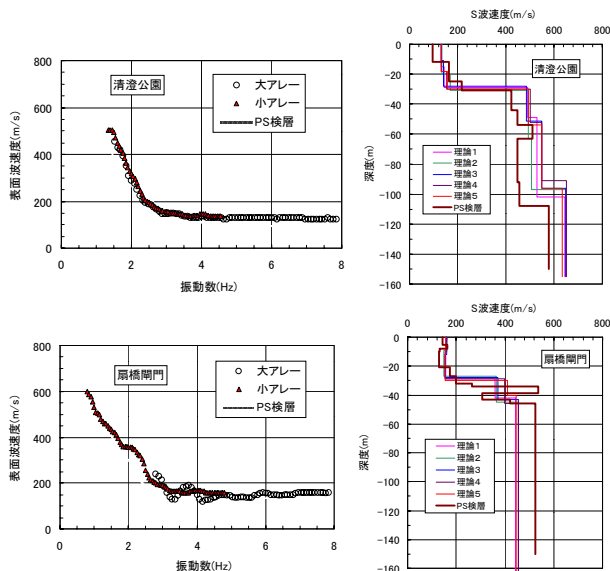


図-6 分散曲線の比較とPS 検層データ

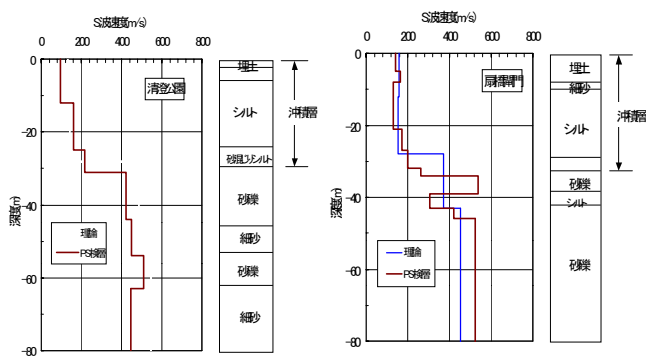


図-7 S 波速度と柱状図

で 1 層目が 100m/s、2 層目が 160m/s であることは対照的な結果である。

また、扇橋閘門では、PS 検層によると深度 34～39m の間に 540m/s の大きな速度層が挟まれている。一方、今回の解析においては、このような深度での局所的な大速度層は検出されなかった。

S 波速度と地質柱状図の対応を図 - 7 に示す。本図の理論の S 波速度は、図 - 6 の「理論 3」で代表している。これより、微動アレー探査により、沖積層内の S 波速度構造と構造物の支持層に該当する砂

礫層深度（沖積層基底礫層）を推定することが可能である。

6. まとめ

本論の内容をまとめると以下のとおりである。

- 1) 「清澄公園」、「扇橋閘門」、「小名木川排水機場」の 3 地点で微動アレー探査を実施した。
- 2) アレーの形状は、最大 30m の半径の異なる 4 重円とし、各円毎に正三角形の形になるように地震計を配置した。
- 3) 分散曲線の変曲点から、小名木川排水機場が沖積層の深い埋没谷に、清澄公園や扇橋閘門が埋没谷よりは沖積層の浅い埋没段丘に位置していることが説明できる。
- 4) 各地点の層構造を 4 層モデルと 5 層モデルに設定し、fGA 解析により各地点の S 波速度と層厚を算出した。
- 5) 観測分散曲線と理論分散曲線のフィッティングは良好であり、特に 5 層モデルではその結果が良い傾向にあった。
- 6) 微動アレー探査から求めた S 波速度構造から、工学的基盤深度を既存ボーリング資料と対比すると清澄公園と小名木川排水機場では比較的良好な一致を示した。
- 7) PS 検層による理論分散曲線と微動アレーによる観測分散曲線と比較を試みると、清澄公園では整合が認められる一方、扇橋閘門では明瞭な一致は認められなかった。
- 8) 総合的に判断して、沖積層を対象とした微動アレー探査による S 波速度構造解析は、既存の地質調査資料と対極的に同じ傾向を示し、工学的基盤面（支持層）の把握に有用であることが認められた。

参考文献

- 1) 「地盤工学への物理探査技術の適用と事例」編集委員会(2001)：地盤工学・実務シリーズ 14 地盤工学への物理探査技術の適用と事例、地盤工学会、389-392
- 2) 同上、223-224
- 3) 長郁夫他(1999)：微動探査法への個体群探索分岐型遺伝的アルゴリズム fGA の適用、物理探査、第 52 巻 3 号、227-246

(2003. 10.10 受付)

Determination of Engineering Foundation Ground for Microtremor Array Observation in Alluvial Lowland, Tokyo

Masaaki NAKAMURA and Yoshihisa OKADA

Microtremor array observation are carried out in alluvial lowland in Tokyo, Kiyosumi Park, Ogiohashi gate and Onagigawa gate. As a result, disperse curve of microtremor array observation corresponded to disperse curve of PS log, mostly. So, S-wave velocity of microtremor array observation corresponded to PS log. Microtremor array observation is useful to know S-wave in alluvial Ground and engineering foundation.