

# 3次元指向性ボアホールレーダによる基礎杭の位置推定

唐澤信輔\*, 和田一成 (松永ジオサーベイ), 河田健太郎, 海老原聡 (大阪電気通信大学)

## Position estimation of foundation piles by 3D directional borehole radar system

Shinsuke Karasawa\*, Kazushige Wada (Matsunaga Geo-Survey Co., Ltd.),  
Kentaro Kawata, Satoshi Ebihara (Osaka Electro-Communication University)

**Abstract:** In order to evaluate our developing 3D directional borehole radar system, ReflexTracker®, we carried out an experimental study for detection of foundation piles with the diameter of 350 mm buried in poor subsoil in Tokyo area. Though we collected the existing drawing and specification that well described piles' information at the site such as their materials, structures and locations, we conducted GPR and vertical differential magnetic surveys to confirm the exact location of the pile head. Then, we made the omni-directional and directional borehole radar measurements in a vertical and a 60 degree tilted boreholes. The measurements were successfully implemented for the both boreholes. The estimated 3D locations of the reflected points are in good agreement with the existing pile location with the accuracy of 0.14 to 0.20 m from the pile for measurements by the vertical and the titled boreholes, respectively.

### 1.はじめに

首都圏における建替え時には、建屋解体前に残置基礎杭の確認を必要とすることが多く、まず設計図書や現状の間取りからの推定が一般的である。しかし実際には図面等の紛失例は多く、新構造物の設計あるいは解体後に残置杭が発見される事が頻発している。解体前の基礎杭の探知方法としては、簡易貫入試験器を用いた構造物側面から触覚テストを行う場合もあるが、コンクリート製基礎部などに阻まれ、限定的な方法である。また、市販の無指向性ボアホールレーダによる探査では、反射波の到来方向を特定できないため、基礎杭の位置特定が困難である。これらのニーズに対応するため、著者らは、開発中の3次元指向性ボアホールレーダシステム ReflexTracker®を用いて、大阪府寝屋川市の軟弱地盤において基礎杭を模擬した導体円柱の検出実験をおこなってきた (和田他, 2014; Wada et al., 2014)。

本論文では、建設図書によって基礎杭の各種情報が明らかな東京都内の工場跡地において、鉛直孔及び傾斜孔を用いて実施した基礎杭の検出実験結果及び性能評価について述べる。また、事前調査として実施した地中レーダや磁気偏差計を用いた杭頭位置の確認計測の結果についても述べる。

### 2.フィールド実験

3次元指向性ボアホールレーダの基礎杭の検出能力評価を行うための実験場は、東京都内の工場跡地である。本実験場の基礎杭に関する設計図書によれば、探

査対象の基礎杭は、1985年施工の既製コンクリート杭であり、直径350mm、貫入深度22mである。実験場の地質は、湿潤のシルト質粘土から砂礫層であり、実験時の地下水位はGL-1.1mであった (図1)。

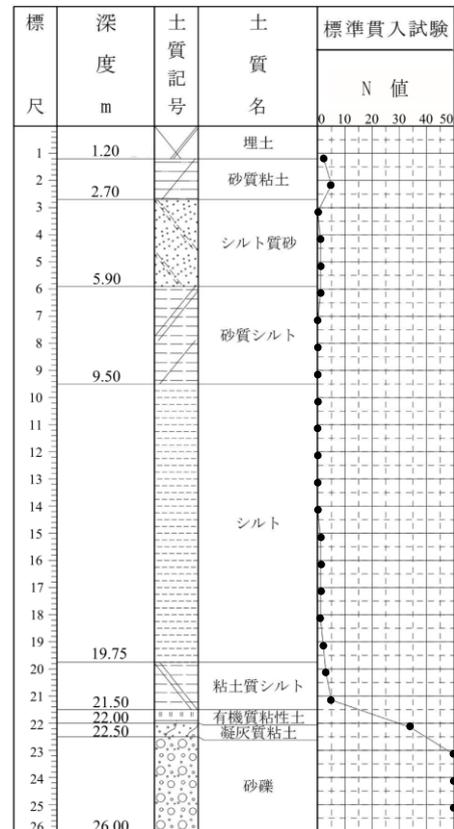


図1 土質柱状図

#### 2.1 地表調査

基礎杭の杭頭位置を確認するため、地中レーダ (GSSI社製ユーティリティスキャンDF: 中心周波数

300MHz, 800MHz) およびオーバーハウザー鉛直磁気偏差計 (GEM Systems 社製 GSM-19: 0.01nT 分解能, 鉛直差 1m) による計測をおこなった。

地中レーダによる計測では、測線は直交して配置し、測線長は縦方向に 10m, 横方向に 20m とした。測線間隔は基本 0.5m 間隔とし、設計図書による基礎杭の位置付近では、0.25m 間隔に設置した。

図 2 は地中レーダによる探査深度 0.8m~0.9m 区間の反射強度分布である。また、設計図面上の杭頭位置は白丸で示した。杭頭位置から 0.15m 程度離れたところには、強い反射がみられ、基礎杭の杭頭位置を示している。

地中レーダでの計測後、同じ測線 (測点間隔 0.25~0.5m) にて磁気偏差計を用いた計測を実施した。図 3 は鉛直磁気偏差データを用いて Analytic signal 解析をおこなった磁気異常の分布である。地中レーダの結果と同様に、設計図書の杭頭位置に隣接した箇所に暖色で示す強い磁気異常を確認した。

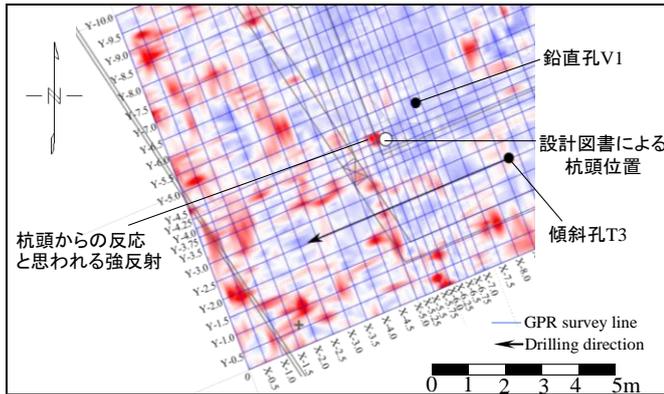


図 2 地中レーダによる反射強度分布 (深度 0.8-0.9m)

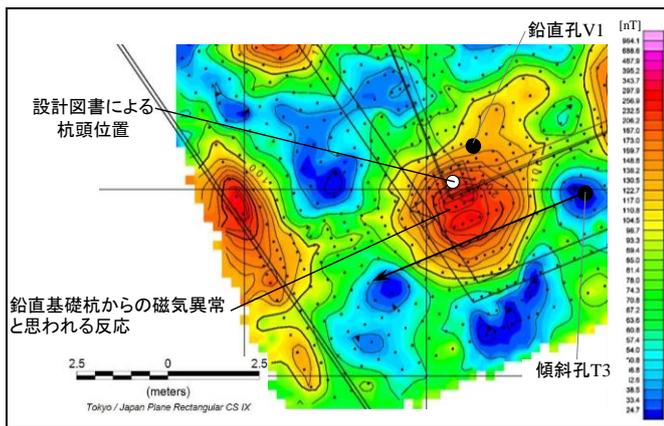


図 3 鉛直磁気偏差異常分布

## 2.2 鉛直孔におけるシングルホール計測

基礎杭から 1m 離れた鉛直孔 V1 (孔長 27 m) にてシングルホール計測をおこなった。計測はこの孔井に送受信アンテナを挿入し、0.1m 間隔でおこなった。まず、基礎杭からの反射波の観測と土壤媒質中の比誘電率を

推定するため、無指向性ボアホールレーダを用いた計測をおこなった。計測された時間領域波形を図 4 に示す。振幅は各深度での最大振幅により正規化した。また、深度は受信アンテナの給電点位置である。時刻 20 ns 付近の類似した波群は送信アンテナからの直接波である。時刻 40 ns 付近には、深度 22m 付近まで一定の到達時刻に類似した波群がみられ、これらの波群は鉛直孔 V1 に平行した基礎杭からの反射波と考えられる。この深度以降では、乱れた波群がみられた。また、本計測により推定された平均比誘電率は約 24 となり、以降の 3次元位置推定の計算パラメータとして用いた。

次に基礎杭の 3 次元的な位置を推定するため、指向性ボアホールレーダを用いた計測をおこなった。基礎杭の 3 次元位置推定結果を図 5 に示す。推定反射点は、基礎杭を示す円周付近に集中するように分布した。これらの反射点は、深度 22m 付近まで連続して分布し、その深度以降では、推定反射点の連続性がみられないことから、基礎杭は深度 22m 付近まで存在することが推定され、その結果は設計図書の数値に一致した。深度 22m まで範囲での推定反射点の基礎杭表面からの平均推定誤差は 0.14m であった。

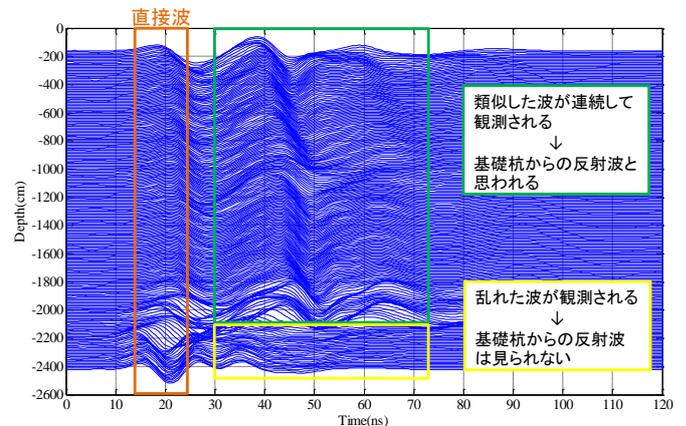


図 4 鉛直孔 V1 での計測された時間領域波形(バンドパスフィルタ中心周波数: 100MHz, バンド幅: 100MHz)。

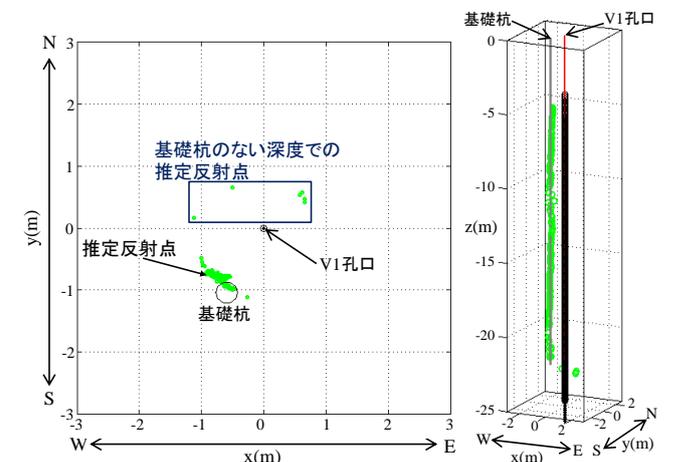


図 5 鉛直孔 V1 での 3 次元位置推定結果

### 2.3 傾斜孔におけるシングルホール計測

鉛直孔 V1 での計測後、同じ基礎杭から 1.5m 離れた傾斜孔 T3 (傾斜角 60° , 孔長 12m) にてシングルホール計測をおこなった. 計測方法は、鉛直孔と同様に 0.1m 間隔でおこなった.

図 6 には傾斜孔にて計測したオートゲインコントロール処理により正規化した時間領域波形を示す. 時刻 20 ns 付近の大振幅の波群は送信アンテナからの直接波である. 時刻 75~80 ns 付近には、到達時刻が双曲線状に変化する明瞭な波群がみられる. 本計測では、鉛直方向の基礎杭と傾斜孔 T3 はねじれの関係にあるため、受信アンテナの給電点が深度 4.0 m 付近にある時に基礎杭に最も接近し、それより浅部及び深部方向に移動するにつれ、反射波の伝播経路が徐々に長くなり到達時刻が遅れるため、双曲線状の波群を示す. この特徴より、この波群は基礎杭からの反射波と考えられる.

上記の双曲線の波群を用いて解析した基礎杭の 3 次元位置推定結果を図 7 に示す. 緑丸で示した推定反射点は、基礎杭を示す円周付近に集中して分布し、深度方向に連続する. 推定反射点の基礎杭表面からの平均推定誤差は 0.20m であった.

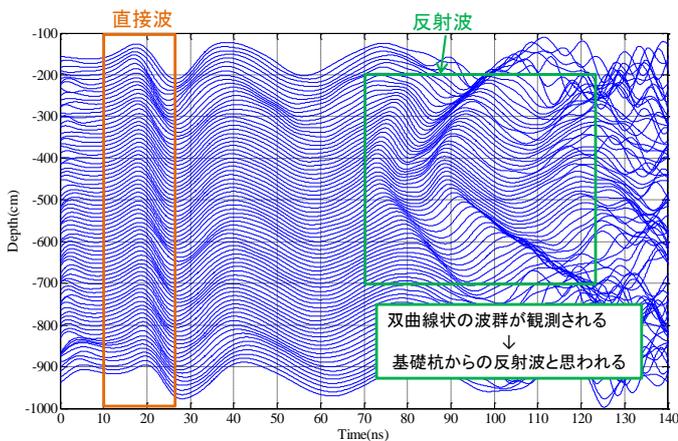


図 6 傾斜孔 T3 での測定波形(バンドパスフィルタ:中心周波数 100MHz, バンド幅:100MHz).

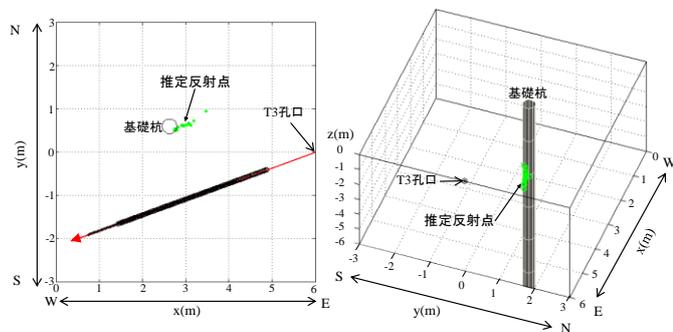


図 7 傾斜孔 T3 での 3 次元位置推定結果

### 3. まとめ

3次元指向性ボアホールレーダ ReflexTracker®を用いて基礎杭の位置確認実験を行った.

検出実験に先立ち、設計図書の調査とともに地中レーダおよびオーバーハウザー鉛直磁気偏差計を用いた計測により、探査対象とする基礎杭の杭頭位置を確認した.

基礎杭から 1m~1.5m 隔離されたところに鉛直孔 V1 (孔長 27 m) と傾斜孔 T3 (傾斜角 60° , 孔長 12m) を設置した. 3次元指向性ボアホールレーダの基礎杭の検出計測実験は各計測孔で 0.1 m 間隔で行った, その結果、鉛直孔及び傾斜孔では基礎杭表面から各々 0.14m, 0.20m の平均推定精度で空間的な位置推定をすることが可能であることが確認でき、残置基礎杭の新たな探査手法を確立することができた.

今後は実用的な計測を想定した実験を通じて、本システムのグレードアップを図る予定である.

### 謝辞

(有) テラテクニカ社長大西信人氏からは磁気偏差計の機器の提供を頂いた. 三井金属資源開発 (株) 志賀信彦氏には Geosoft 社 Oasis montaj による磁気偏差データの解析作業の協力を頂いた. 計測は、松永ジオサーベイ (株) 鉄川順己氏および山田恭平氏の協力によって行われた. 以上の皆様には深く感謝いたします.

本研究は、独立行政法人科学技術振興機構 A-STEP 本格研究開発ステージ 実用化挑戦タイプ (課題名: 3次元指向性ボアホールレーダシステム) の一環として実施された.

### 参考文献

- 和田一成, 唐澤信輔, 河田健太郎, 海老原聡 (2014) : 小口径 3 次元指向性ボアホールレーダシステム, 物理探査学会第 130 回学術講演会論文集, 99-102.
- Wada, K., Karasawa, S., Kawata, K., and Ebihara, S. (2014) : Small-diameter directional borehole radar system with 3D sensing capability, Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR2014), 852-856, Brussels, Belgium.