

4. 薬液注入工法における長距離曲り削孔技術

— ワイヤレス式軌道計測システムの開発 —

東亜建設工業株式会社
株式会社ワイビーエム
九州大学大学院

○大野康年
財部繁久
水永秀樹

1. はじめに

近年、空港滑走路基礎地盤の液状化対策、コンビナート港湾の強靱化等、既存施設の耐震化が求められている。

既存施設の耐震化として施設の直下および周辺地盤の強化が挙げられるが、これらの施設は供用中であるとともに施設の周辺が狭隘であることが多いため、締め固め工法等の従来の地盤改良工法では適用が難しい。一方、恒久型薬液を用いた薬液注入工法は、施工設備がコンパクトであること、薬液を地盤に浸透注入することから施工時の地盤変位がほとんど無いことから既存施設および周辺地盤の改良に多く適用されているが、施設周辺に施工スペースが全くない場合や施設の稼働状況によっては、**図-1** および**図-2** に示すように曲り削孔による施工方法が求められる。

本文では、新たに開発したリアルタイムに削孔軌道の計測が可能な軌道計測システムについて報告する。

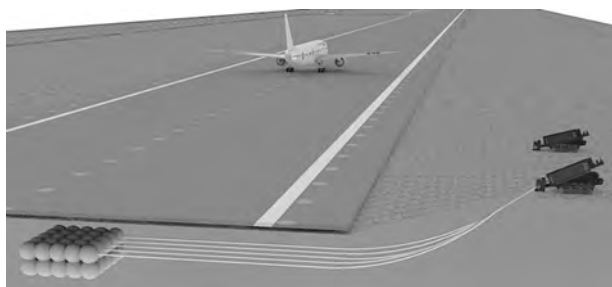


図-1 空港滑走路の液状化対策

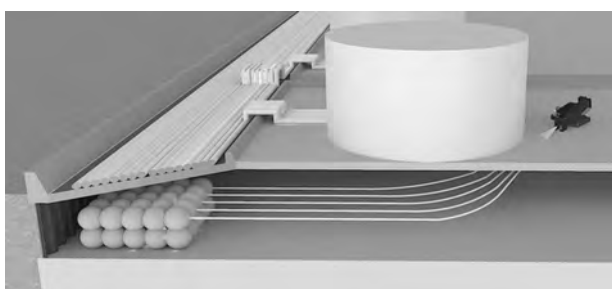


図-2 岸壁の側方流動対策

2. 曲り削孔を用いた薬液注入工法の概要¹⁾

本工法¹⁾は、地盤中を三次元的に曲げて削孔することにより、離れた場所から既存施設の直下まで削孔し、薬液を地盤に低圧にて注入することで地盤強度を高める地盤改良工法である。

削孔は、**図-3** に示すようにケーシングロッドを回転圧入することで直線削孔する。曲げる場合は、回転を止めてケーシングロッドを圧入することにより削孔ビットの修正板（テーパ）が地山を反力として方法修正する。同曲り削孔技術は、200mの長距離削孔が可能である。**写真-1** に同工法にて使用する曲り削孔専用機を示す。



図-3 曲り削孔概要¹⁾



写真-1 曲り削孔機¹⁾

同工法は、2008年に開発されて以来、2015年7月末で49件の施工実績を有する。曲り削孔については、福岡空港、松山空港等の空港滑走路、誘導路基礎地盤の液状化対策、既存タンク基礎直下地盤の液状化対策等の施工実績がある。

3. ワイヤレス式軌道計測システムの開発

3.1 従来の軌道計測手法における課題

従来の曲り削孔における軌道計測は、(1)ビーコン型計測装置、(2)挿入式小型ジャイロセンサ、(3)固定式ジャイロセンサ等の計測手法が用いられている。しかしながら、各手法には、以下の(1)~(3)に示す課題があった。

(1) ビーコン型計測装置の課題

当該手法は、削孔ビットに装着したビーコンと呼ばれる発信機から電磁波を発生させ、地上のロケータと呼ばれる受信機で受信し、削孔ビットの位置を計測するものであるが、近傍に磁性体がある場合は計測が困難、地上に構造物がある場合は計測が困難等の課題がある。

(2) 挿入式ジャイロセンサの課題

当該手法は、削孔したロッド内に小型のジャイロセンサを挿入することで削孔軌道を計測するものであるが、計測精度は高い反面、削孔距離が長くなると計測時間を要するため作業効率が低下するという課題がある。

(3) 固定式ジャイロセンサの課題

当該手法は、削孔ビット内に装着した固定式ジャイロにより削孔ビット位置を計測するものであるが、直進削孔時の削孔ビット回転によるジャイロの回転、施工上の削孔休止等により測定誤差が大きくなる等の課題がある。

3.2 位置計測手法²⁾の概要

位置計測手法は、削孔ビットに内蔵した位置計測センサとデータ発信ユニットおよび削孔機側に装着されたデータ受信ユニットから構成される。位置計測センサは、三軸の加速度センサと地磁気センサにより構成され、加速度センサにて前後、左右、上下の三方向、地磁気センサにて東西南北を計測する。計測されたデータは、データ発信ユニットの超音波振動子にて弾性波に変換され、削孔ロッドを経由してデータ受信ユニットに伝送される。データ受信ユニットに伝送されたこれらのデータを演算することで削孔ビットの傾斜、方位および回転角を算定する。

位置計測手法の概念図を図-4に示す。

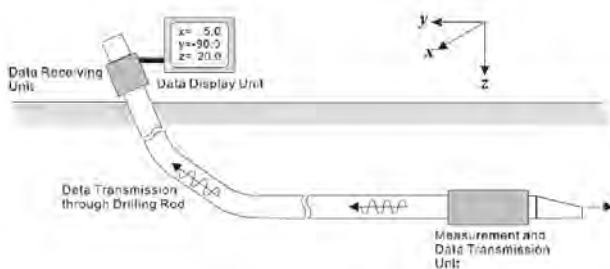


図-4 位置計測概念図²⁾

3.3 ワイヤレス式軌道計測システム

(1) システムの概要³⁾

本システムでは、図-5に示すように削孔ビット下部に位置計測センサとデータ送信ユニットを装着し、計測された位置データは、図-6に示す受信ユニットにて伝送され、図-7に示すモニター画面に削孔位置が表示される。モニター画面には、本システムにて計測された位置データの他、挿入式ジャイロシステムにより計測された削孔軌道もあわせて表示する。

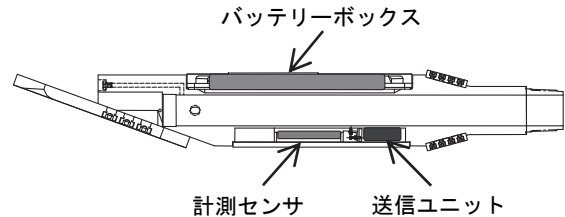


図-5 計測センサと送信ユニット³⁾

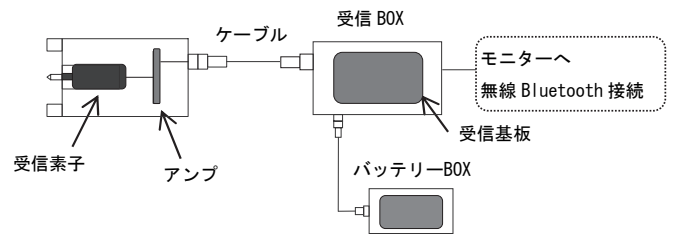


図-6 受信ユニット³⁾

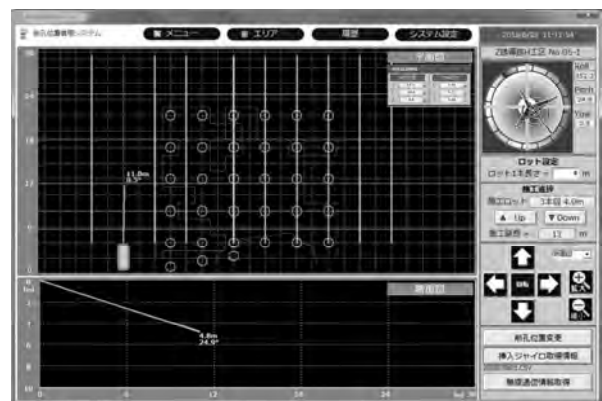


図-7 モニター画面³⁾

(2) 位置計測手法の高度化

本システムでは、本位置計測手法のデータ伝送距離の延長と計測時間の低減および計測精度の向上を図る目的で、以下の1)~3)に示す開発を行っている。

1) 削孔ロッド部ジョイント部のスペーサーの設置

本位置計測手法では、削孔ロッドを経由して弾性波を伝送することから、削孔ロッドが地盤に拘

束されると伝送距離が短くなる課題があった。本システムでは、写真-2 に示すように削孔ロッドジョイント部にスペーサーを設置し、ロッドを回転させることで削孔ロッド周りの地盤拘束を回避し、データ伝送を行っている。これにより、200m のデータ伝送が可能となる。



写真-2 ロッドジョイント部のスペーサー

2) マルチ周波数型弾性波伝送システム

本位置計測手法では、所定の周波数の弾性波をデータ伝送に使用していたが、地盤種別が異なるとデータ伝送に最適な周波数が異なる課題があった。

本システムでは、1,000~1,800Hz の範囲にて弾性波の周波数を変えてデータ伝送することでデータ伝送効率を向上させている。

3) 小型ジャイロ計測データによる補正

本位置計測手法にて使用している位置計測センサの精度向上のため、削孔距離 13m 毎に挿入式ジャイロによる軌道測定を行い、本位置計測手法の位置データの補正を行う。

4. 現地確認試験³⁾

本試験は、本システムの実地盤への適用性を確認する目的で、山口県下関市内および千葉県袖ヶ浦市内の埋立て地盤にて実施し、本システムの精度を確認した。

4.1 下関実証試験

(1) 試験サイトの概要

試験サイトの地層は、地表面から GL-2.0m まで盛土、その下部に N 値 5~10 の細砂層と粘土層が互層に分布する。地下水位は GL-2.10m である。図-8 に土質柱状図と N 値を示す。

(2) 試験内容

本試験では、本システムによる軌道計測結果と挿入式ジャイロによる軌道計測結果を比較することで本システムの精度を検証した。なお、本システムによる位置計測は、削孔距離 9~13m 毎に挿入式ジャイロシステムによる位置情報の補正を行っ

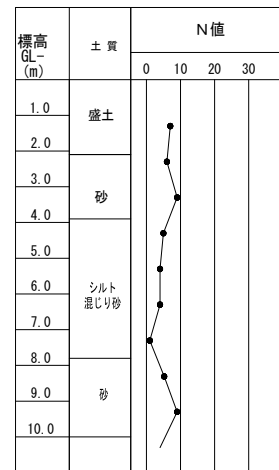


図-8 土質柱状図と N 値 (下関)



写真-3 現地試験全景 (下関)

た。また、曲り削孔は、削孔深度 GL-10m、削孔長 140m、曲り回数:1 回 (深度方向)、曲率半径 $R=60m$ とした。写真-3 に試験全景を示す。

(3) 試験結果

図-9 に本システムによる計測結果と挿入式ジャイロによる計測結果の比較図を示す。本システムによる計測結果は、挿入式ジャイロと同様な精度を有し、削孔延長 140m にて計画軌道との最大誤差は 30cm 程度 (水平方向) であった。

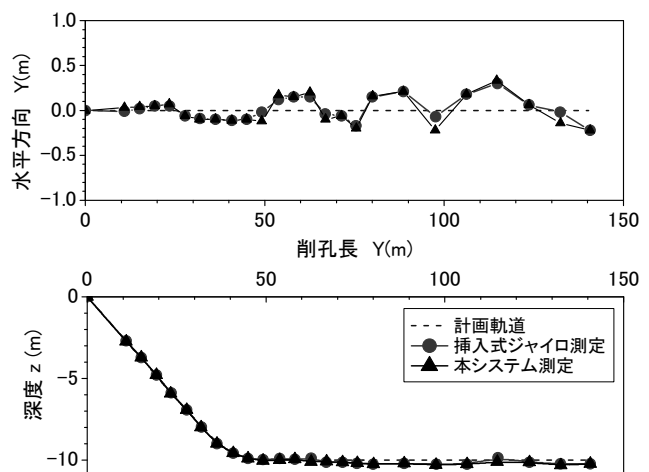


図-9 削孔軌道測定結果

4.2 袖ヶ浦実証試験

(1) 試験サイトの概要

試験サイトの地層は、地表面から GL-1.0m まで盛土、その下部に N 値 4~7 の砂を主体とした埋立て土、N 値 5~40 の砂質土が分布する。地下水位は GL-3.0m である。図-10 に土質柱状図と N 値を示す。

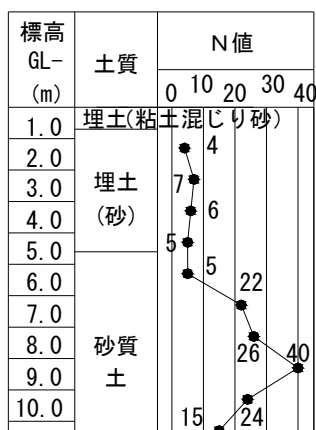


図-10 土質柱状図と N 値 (袖ヶ浦)

(2) 試験内容

本試験では、本システムによる軌道計測結果と挿入式ジャイロによる軌道計測結果を比較するとともに、削孔終了後、先端の削孔ビッドを発掘することで削孔位置の精度確認を行った。発掘後の削孔ビッド位置は、光波測距儀にて X, Y 方向、レベルにて Z 方向の位置を測定した。本システムによる位置計測は、削孔距離 13m 毎に挿入式ジャイロシステムによる位置情報の補正を行った。曲り削孔は、削孔深度 GL-3m, 削孔長 167m, 曲り回数: 2 回 (深度方向), 曲率半径 R=60m とした。

(3) 試験結果

図-11 に本システムによる計測結果と挿入式ジャイロによる計測結果の比較図を示す。本システムによる計測結果は、挿入式ジャイロと同等な精度を有していることがわかる。また、先端の削孔ビッド発掘位置の測量結果 (実測値) と比較すると、先端の削孔ビッド位置は、実測値: X=166.52m, Y=-0.10m, Z=-3.17m に対して本システムによる計測値は、X=166.58m, Y=-0.09m, Z=-3.10m であった。

5. おわりに

本報告では、新たに開発したリアルタイムに削孔軌道の計測が可能なワイヤレス式軌道計測システムの概要と精度確認のために実施した現地実証試験結果について記述した。

現地実証試験の結果、本システムは、挿入式ジャイロシステムと同等の測定精度を有しているこ

とがわかった。

本システムは、施設周辺に施工スペースが全くない場合等、遠隔地から曲げて削孔を行う際の軌道計測として有効なツールである。

今後は、曲り削孔を用いた薬液注入工法の適用等に本システムを提案していきたいと考えている。

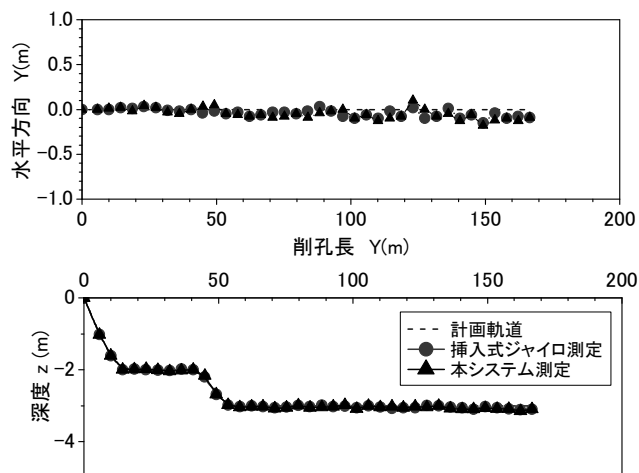


図-11 削孔軌道測定結果



写真-5 先端部削孔ビッドの発掘写真

参考文献

- 1) バルーングラウト工法研究会: バルーングラウト工法, 地盤工学会 地震時における地盤災害の課題と対策 2011 年東日本大震災の教訓と提言, 2011.
- 2) 水永秀樹, 田中俊昭, 財部繁久, 増本輝男: 地中掘削位置計測システムの開発, 物理探査学会, 第 131 回(平成 26 年度秋季)学術講演会.
- 3) 東亜建設工業株式会社: 社内技術資料, 2015.

(2015. 8. 31 受付)