

非開削工法用掘削ビット位置計測システムの開発

Development of Measurement System for Drilling Bit Position of Non-open Cut Method

株式会社ワイビーエム

財部 繁久*

九州大学大学院工学研究院

水永秀樹**・田中俊昭***

YBM Co., Ltd.

S. Takarabe*

Faculty of Engineering, Kyushu University

H. Mizunaga** and T. Tanaka***

要旨

非開削推進工法において掘削ビットの位置を精度よく把握することは重要であるが、従来から用いられているセンサで計測したデータを電磁波で伝送するシステムでは、掘削深度が深くなると電磁波の減衰が大きくなりデータの受信が困難になる。また、建物や河川などの障害物があると受信部を電磁波発生源の真上に設置することができないため、正確なデータの受信が難しくなる問題がある。このような問題点を解決するため、掘削ビット先端で計測したデータを弾性波に変調して掘削用のロッドを伝送媒体として地上に送り、先端の計測データと掘削長から先端ビットの進行方向、回転角度、位置を計算して3次元表示するシステムを開発した。その結果、掘削深度に関係なく建物や河川などの障害物があるところでも掘削ビットの位置計測を可能とした。

Abstract

It is very important for non-open cut method to determine drilling position. However, an existing method to transmit measured data by electromagnetic wave has difficulty in receiving the measured data due to the electromagnetic wave attenuation at deeper depth. In addition, the existing method has a problem with measurement on obstacle such as building and river because of the inability to set the receiver above the generation source of electromagnetic wave. A new method to transmit measured data using elastic wave through rods was developed to solve these problems. Furthermore, three dimensional display system was developed to grasp the direction of movement, angle of rotation and position of the rod which are calculated by the measured data and length of rod. As the result, the new method and system enable as to determine drilling bit position at any depth in spite of obstacle such as building and river.

1. はじめに

従来の非開削工法での掘削ビット位置を計測する方法としては、地中の掘削ビットから発信された電磁波を地上の受信機で受信したデータを基に掘削ビット位置を求める方法が一般的である。しかし、この方法では地上に建物や障害物があると受信機を地上に設置できないため、ビットの位置を計測することができないという問題があった。(図1)

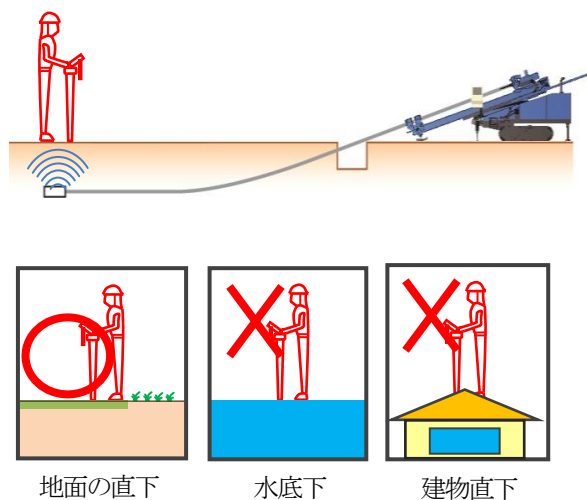


図1 従来の計測方法

この問題を解決するため、本研究グループでは「非開削工法用高精度掘削システムの開発」を行ってきた。今回開発した新しい計測システムでは掘削ビットに内蔵したセンサ(MEMSセンサ)によりビットの回転角、傾斜角、方位角を計測する。計測されたデータはボーリングロッドを伝送媒体として弾性波を利用して地上に伝送される。地上では掘削長と先端の角度データから掘削の軌跡を計算し、PCモニターに3次元表示する。

本計測方式では、データの伝送にケーブル等の配線を必要とせずボーリングロッドそのものを伝送媒体として使うため、従来のロッドをそのまま使用できるので、建物などの障害物の下や深度が深くなっても計測可能なシステムとなっている。(図2)

2. 掘削ビット位置計測の概要

地中での位置計測では、地上で広く利用されているGPSが利用できないため、掘削ビットの先端に設置された傾斜計などのデータを電磁波で送信し、地上で受信した電磁波の強度から掘削ビットの先端の位置と深度から傾斜角と回転角を求める方法が一般的に利用されている。その他にはジャイロをロッドに挿入して掘削した軌跡を求める方法があるが、計測の度にジャイロを先端まで挿入する必要があり、掘削距離の長さに比例してジャイロによる計測時間が増加し、施行に時間を要するようになる。また、ジャイロでは、掘削軌跡を求めることはできるが掘削ビットの方向修正を確実に行うために必要な掘削ビットの回転角度の計測ができない。今回の位置計測システムは加速度と磁気センサを内蔵したMEMS 6軸センサを使用して掘削ビット先端の回転角、傾斜角、方位角を計測し、ボーリングロッドを伝送媒体としてデータを弾性波で送信することで掘削ビット先端の位置を求める。

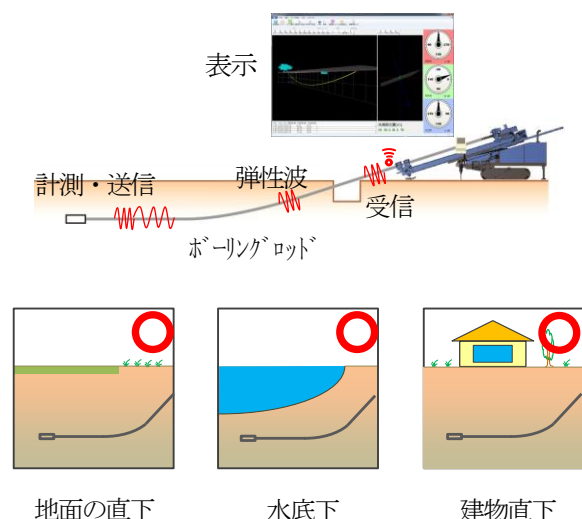


図2 新システムでの計測方法

3. 角度の計測

掘削ビットの角度は、掘削ビット内に装着した基板上にある6軸センサ（加速度3軸、地磁気3軸）の計測データから計算して求める。回転角と傾斜角は加速度センサのデータから求められ、方位角は3軸磁気センサと3軸加速度センサから求められる。

4. 掘削ビット先端位置の計算

先端の3次元位置は、掘削ビット先端のセンサで計測したデータを用いて計算した傾斜角 (ϕ_n) 及び方位角 (θ_n) と、掘削で進んだ距離 (L_n) から以下の手順で計算できる (図3)。まず、掘削開始点で計測した角度 (θ_1, ϕ_1) と掘削距離 (L_1) から、次の掘削地点の3次元位置を計算する。この際、掘削の軌跡は直線で近似する。さらに L_2 だけ掘進した位置の座標は、角度 (θ_2, ϕ_2) と掘削距離 (L_2) を用いたベクトルを一つ前の掘削地点に足し合わせることで計算する。ただし、角度を計測する2点間の距離はロッドの最少曲げ半径に対して十分に短い必要がある。

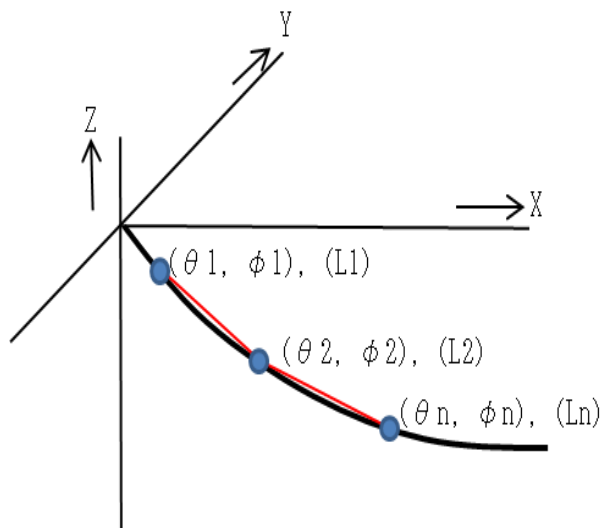


図3 3次元位置計測の概念図

5. 計測データの伝送

5.1 計測データの送信

計測したデータの伝送は一般的には無線または有線を用いることが多いが、本システムではデータ伝送に弾性波を用いた。有線ではロッド接続時のケーブルの処理が難しく、ロッド内にケーブルを内蔵するために特殊な構造となりコストが上昇する。本計測システムでは先端の掘削ビットにセンサ、弾性波発生装置、バッテリーが搭載されており送信素子でロッドが接続されている先端ビットを直接振動させて弾性波を発生させる。発生した弾性波は表面波としてロッドの表面を伝わっていく。表面波はロッドが強く拘束されない状態では振動の減衰が少なく、今回使用した送信素子では100m程度のデータ伝送が可能となった。さらに送信素子を強力なものに変えることで200m程度のデータ伝送が可能なることを確認している。

5.2 計測データの受信

図4に、計測から3次元表示までの処理の流れを示す。弾性波によって送信された計測データは、受信素子で受信され、信号の復調が可能なレベルまで増幅した後に受信処理ユニットでAD変換される。さらに、AD変換された計測データはPCに送られた後に3次元位置を計算するために使用され、PC画面上で3次元表示される。

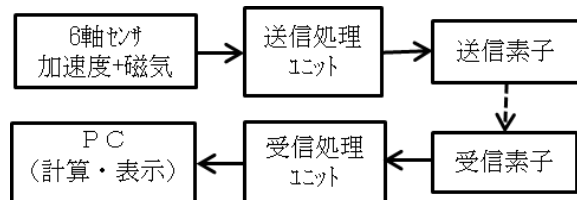


図4 計測システムブロック図

6. 3次元位置表示システム

受信機から送られてくるデータは PC で計算処理され、位置データを 3次元生成して後に PC 画面に表示される(図 5)。また、PC 画面には XY、YZ、ZX の 2次元平面の表示が選択できるようにした(図 6, 図 7)。

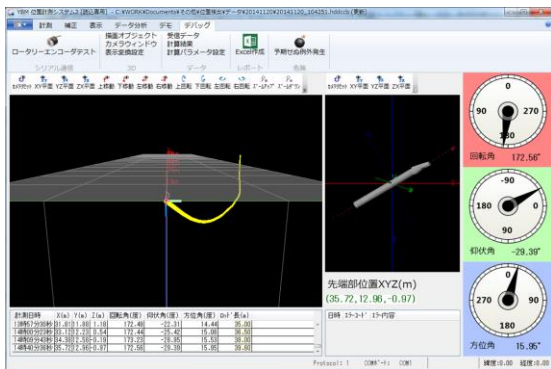


図 5 3D 表示画面の一例

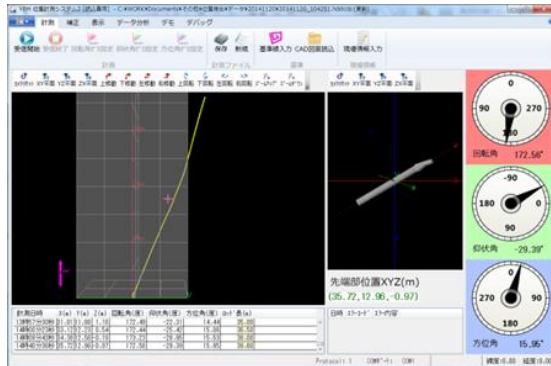


図 6 2D 表示画面の一例(XY 平面)

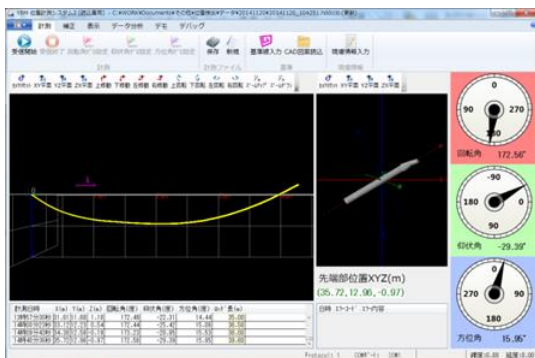


図 7 2D 表示画面の一例(ZX 平面)

7. おわりに

今回開発した位置計測システムは、地表に障害物があり、従来の電磁波による掘削位置検出が困難な場合や深度が深い水平掘削の場合にも利用できる。また、ジャイロでは計測が難しい方向修正のための回転角も、掘削ビット先端のセンサで直接計測するので、掘削時に想定されるボーリングロッドのねじれの影響を受けずに回転角を正確に計測することができる。今回開発した計測システムでは、このように 1つの計測ユニットで掘削ビットの 3次元位置計測ができるので、非開削工法に欠かせない掘削ビット位置の情報をリアルタイムで把握可能となった。

謝辞

本システムの開発の一部は経済産業省の平成 22 年度戦略的基盤技術高度化支援事業を利用して行われた。ここに記して謝意を表します。