

伏び管探査装置Hekàtè見学記

鈴木 敬一

SUZUKI Keiichi

川崎地質(株)
本誌編集委員
地下探査技術委員



昨年度実施された第31回非開削技術研究発表会において発表された「伏び管探査装置Hekàtè」を、開発した株式会社ジェイアール総研情報システム様のご厚意で見学する機会を得ることができた。見学は2021年5月19日午後2時過ぎに(株)山陽様に設置された実験施設で行われた。参加者はJSTT地下探査委員会から3名と事務局2名であった。

「伏び」とは聞きなれない言葉であるが「鉄道建設時に主に農業用水を流すために布設された横断管路」のことであり、鉄道線路の盛土の下を横断するように敷設された埋設管である。伏びは本来「伏樋」と書かれていたように、河川堤防の下を横断している「樋管」と同様の役割を果たすものである。都市部の下水管などと同様に、伏びも老朽化による弊害が懸念され、建設後100年を超えた伏びは、全体の50%を超えるといわれている。下水管と同様に、伏びが老朽化し、破損すると盛土内の土砂が流入し、空洞が発生、路盤の変形や陥没、最悪の場合は列車の脱線事故に至る場合がある。老朽化した伏びは補修する必要があるが、敷設の経路が不明な場合も多々ある。そのため、伏びの敷設経路を精度良く知る方法が求められていた。そこで開発されたのが本装置である。

位置計測のためのセンサはMEMS (Micro Electro Mechanical Systems; センサや電子部品をひとつの基盤に集積した素子) による3軸ジャイロであり、これを車輪のついた装置 (位置探査ユニット) に搭載している。位置探査ユニットには細いワイヤで接蔵された巻き取りユニットがあり、これにエンコーダを取り付けて線長 (移動距離) を計測する。この移動距離とジャイロの回転角速度を組み合わせ、位置探査ユニットの移動軌跡を計算する。座標データはジャイロを使用している、位置探査ユニットの車輪が表面の凹凸などで車輪が浮くことや、スリップすることが計測データには影響しない。Z成分は使用せず、深さのデータは気圧計を用いて計測している。この装置はユニークなのは、位置探査ユニットと巻き取りユニットをケーブルで接続せずに、それぞれが独立して計測データを取得していることである。現場で使用するにはケーブルは計測トラブルのもとになるため、できるだけそれを避けるための方策である。それぞれのユニットに共通のカウンタ (時計) を持たせて、そのタイミングで同期を取り、ふたつのデータを統合している。位置探査ユニットはバッテリー駆動であるが、モバイルバッテリーを使用していて、非常にコンパクトである。



写真-1 分解した位置探査ユニットと巻き取りユニット (奥側)

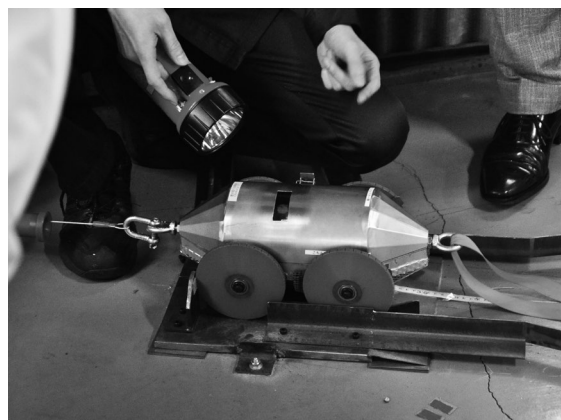


写真-2 位置探査ユニットへのリモコン操作



写真-3 データ取得状況



写真-4 解析結果出力状況

センサを含む基板などはジンバルサポートにより、ユニットの揺れをキャンセルしている。位置探索ユニットと巻き取りユニットのスイッチのON/OFFはアクリル製の窓から赤外線リモコンで行う。このリモコンは、100円ショップで売っている懐中電灯の筐体を利用したもので、現場では使いやすそうである。通常のリモコン用赤外線LEDでは出力が足りないということで、LEDを2個使い、さらに直列抵抗の値を下げることでLEDに流れる電流を増加させているとのこと、独自の工夫が感じられる。

データのサンプリング間隔は1ミリ秒ということであったが、これは伏びの長さが25m程度、誤差50cm以内を想定し、実験的に設定したということである。サンプリング間隔を細かくすればするほど精度は向上するように思えるが、実際にはデータ量が多くなるだけでそれほど効果が上がらなかったり、解析に時間がかかったりなどの弊害も生じる。この装置では実用面、特に現場での使用の簡便さや結果出力の迅速性などを重視して、実用的な範囲でスペックを決めることをコンセプトとしていることがよくわかる。

実際の現場計測では、位置探索ユニットの前方にカメラユニットを配置し、伏び内部の前方を観察しながら計測する。

今回の見学では実際にデータを取得し、解析結果を出力するところまでを見せていただいた。長さ13mあまりの測線を、実際に装置を動かして、その軌跡データを取得した。計測で重要なのは最初に位置探索ユニットを設置した位置を精度良く把握しておくことである。3回計測するため、往復しているうちに基準となる開始点がずれないように、位置探索ユニットの開

始点には治具が設置されている。位置探索ユニットを動かすスピードは時速1km程度であり、地下探査で使用される地中レーダ法の手押し式のアンテナを走査するスピードとほぼ同じである。13m移動するには十数秒という時間であるが、測線端部に到達すると30秒間の待機時間がある。これはジャイロの時間経過に伴うバイアス成分をキャンセルするために必要である。この時間を入れても測線の往復で40～50秒、3回の測定で3分以内と非常に迅速である。取得したデータは位置探索ユニット、巻き取りユニット双方のSDメモ리카ードに記録されたものを別途準備されたノートPCで読み込んで処理を行う。細かい凹凸によるデータの揺れはジャイロセンサとは別に加速度計によるデータを用いて取得し、このデータを用いてデータの信頼性を評価している。

今回の測定では13mあまりの測線長に対して3mmから2cm程度の誤差で結果が得られている。位置探索ユニットは人間が歩いて引っ張って行っている。従って、毎回位置探索ユニットの軌跡は微妙に異なるが、それも見事に再現されている。データ解析から平面図の描画までは1、2分程度であり、現場で直ぐに結果を確認できるため、計測に失敗していたとしてもやり直しが可能である。

この探査装置の製品名Hekātēはギリシャ神話の女神が由来で、その意味は「遠くにまで力の及ぶ者」または「遠くへ矢を射る者」であり、陽光の比喻であるとされている。暗い伏びの内部に陽光を当て、遠くまで見通すことができるというこの装置の愛称としてふさわしい。

この探査装置は伏びだけでなく、路面下の下水管や

電力ケーブルや通信ケーブル敷設管の経路不明の場合などにも適用できると考えられる。通常は、試掘を行って埋設管の位置を調べるが、深さが2mを超えると試掘も容易ではない。そのような場合に、一か所でも入り口がわかれば、そこから埋設管の経路を調べることができる。埋設管敷設図面がある場合でも、実際に工事を行うと図面通りでないことも意外に多い。埋設管敷設時とは道路線形が変わっていることも多く、道路工事における埋設管破損事故をゼロにすることは難しいが、このようなところにも適用できれば、安全な施工にも貢献できる可能性がある。

伏びは水平方向に敷設されているものであるが、たとえば鉛直のボーリング孔に入れられるようにすれば、ボーリング孔の軌跡も調べることができる。近年は、都市部では地下も混雑してきており、既設の基礎杭やシートパイルの位置を三次元的に知りたいというニーズがかなりある。それらを調査するには対象物に応じて様々な探査方法があるが、肝心のボーリング孔

が曲がっていると、その位置を補正しなければならない。しかし、ボーリング孔の軌跡を簡便に計測する方法が意外と少ない。本装置をそのような目的にも利用できればさらに応用範囲も広がるはずである。

最後に貴重な機会を与えて下さいました(株)ジェイアール総研情報システムの田村・関根両氏と、現場で対応してくださった(株)山陽の関係者の皆さまに感謝いたします。

【参考文献】

- 1) FCR株式会社：伏び事業 <https://fcr-corporation.co.jp/product/fusebi.html>（閲覧日：2021年5月21日）
- 2) FCR工法協会：伏び講座 https://www.fcr.gr.jp/html/fusebi_top.html（閲覧日：2021年5月21日）
- 3) 田村晋治郎・関根朝次（2020）：鉄道線路下埋設管（伏び）向け探査装置の開発, 第31回非開削技術研究発表会論文集, pp.11-16.



非開削技術検索サイト 工法ナビ

非開削工法の普及を目指し設計をお手伝いする画期的サイト

バナー広告掲載のご案内

『工法ナビ』へのバナー広告掲載をご希望の方は非開削技術編集室またはJSTT事務局までお問い合わせください。

広告のお申し込み・お問合せ

(一社)日本非開削技術協会事務局
Tel 03-5639-9970 Fax 03-5639-9975

■ 工法ナビ バナー広告掲載料金

掲載場所	掲載期間	掲載料金
TOP スペース	6 ヶ月	60,000 円
技術区分内スペース	上半期（4月1日～9月30日） 下半期（10月1日～3月31日）	18,000 円

※広告掲載料金は1掲載当たりの金額です。（消費税別）