

VI-89

小口径シールドマシンの電磁式位置計測法の精度解析

NTTアクセスサービスシステム研究所 正会員 白銀 成志

NTTアクセスサービスシステム研究所 非会員 辻村 健

NTTアクセスサービスシステム研究所 非会員 松本 三千人

1. はじめに

NTTでは、マルチメディア需要に向けた光ファイバー網整備のため地下管路設備を構築している。都市部では、NO-DIG(非開削)技術である小口径シールドマシン（エースモール）を採用している。この小口径管路施工マシンを制御する場合、高精度な位置計測が重要である。従来、推進中のマシンの水平位置計測では、マシン内部に設置された発信コイルからの電磁界を、地上に設置された受信器で検知して水平位置を求める「電磁法」が用いられていた。この方法では、マシンの絶対位置を計測できるメリットがあるが、断続的な計測となり施工精度が低下すること、計測時、測定者による計測誤差（ヒューマンエラー）があること、路上計測による交通障害となることおよび交通事故の可能性があること、等の問題があった。そこで著者らは連続的にかつ高精度位置検知を行う方法として、電磁界を面的に捕捉してマシンの位置を推定する磁気センサシートを開発しているが、水道管などの他の金属埋設物の影響で電磁界が歪む等の計測誤差を補償する必要がある。

本報告では、計測誤差を生じさせる金属埋設物の影響を電磁界シミュレーションにより評価した結果を述べる。

2. 電磁式位置計測システム

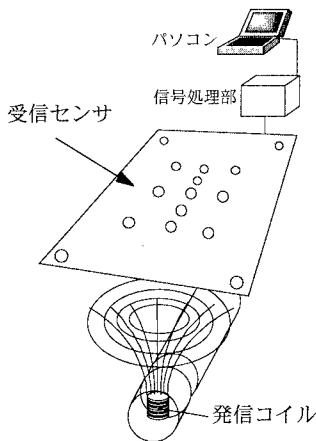


図1 電磁式位置計測システム

マシン内部の磁界発生ソレノイドコイルは縦置きに搭載される。マシンの位置を検知する場合、このコイルより発生された電磁界を地上に設置されたセンサで受信する。本報告で提案する磁気センサシートの概略を図1に示す。マシン内のコイル（コイル半径： a 、コイル長： l 、巻数： N_i ）に電流 i が流れることによって発生する磁界 H の水平成分（ H_x ）と鉛直成分（ H_z ）と水平位置（ x, y ）および深さ z の間には、 $a, l \ll (x^2 + y^2 + z^2)^{0.5}$ の時、

$$H_x = 3N_i i a^2 (x/z) / 4z^3 \{1 + (x^2 + y^2) / z^2\}^{2.5} \quad (1)$$

$$H_z = N_i i a^2 \{2 - (x^2 + y^2) / z^2\} / 4z^3 \{1 + (x^2 + y^2) / z^2\}^{2.5} \quad (2)$$

が成り立つ。他の金属埋設物の影響を受けていない場合には、水平成分の電磁界分布は式(1)のように絶対値は谷状の分布となり、磁界の最小値直下が発信コイルの位置となる。鉛直成分は式(2)の様に、コイルを中心に対称の山状の分布となり、磁界の最大値直下が発信コイルの位置となる。

一方、実際の施工現場においては、外的な浮遊磁界が存在し、実験室で計測される様な理想的な山状の電磁界分布とはなるとは限らない。また、コイルから発生された交流磁界により他の金属埋設物に誘起される渦電流および磁化によって計測誤差が発生する。

3. 電磁界シミュレーション

実際の施工現場を対象に、周辺金属埋設物の影響を有限要素法（FEM）による電磁界解析を行い評価した。現場は施行中のマシン上方に下水用ヒューム管・水道管・通信管が埋設されており、電磁法による測定値はレーザー計測に対し、+170mmの誤差が生じた。この誤差の解明のための有限要素法による電磁界解析モデルは図2に示す様に以下の様に設定した。

キーワード 小口径、トンネル、位置検知、電磁界、薄型コイル

〒319-1193 茨城県那珂郡東海村白方白根162 NTTアクセスサービスシステム研究所
TEL029-287-7395 FAX029-287-7294

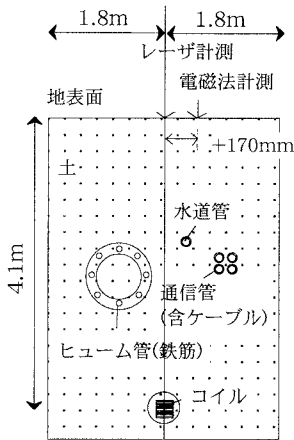


図2 解析モデル

- ・ヒューム管：直径20mm×8本の鉄筋
- ・水道管：φ100mmのスチールパイプ
- ・通信管：φ100mmのスチールパイプ
- ・電流：管内に発信コイルと同一周波数の電流 ($10^{-6}/\text{mm}^2$)
- ・発信コイル：φ100×150mm、 $10^{-2} \text{ A}/\text{mm}^2$

解析の結果、上記要素が位置計測に及ぼす影響を水平成分のずれで評価したところ、表1に示す様になった。表1の条件1のように金属埋設物が無い状態では、電磁界分布は磁界の中心より対称な形状をしている（図3）。表1の条件2～5のようにヒューム管・水道管・通信管をそれぞれ設定したところ、+1～+10mmずれた。これは、磁化された金属内に電流が流れ、渦電流が発生したためと考えられる。表1条件5、6のように通信管内のケーブルに微弱電流が流れている場合を想定したところ、図3に示す様に電磁界に歪みが生じ、+177～+207mmとなった。これは、金属埋設物のみを設定した時の値+1～+11mmに比べて顕著なずれとなり、実測誤差+170mmに近い値となった。このことから、電磁界の歪みは金属埋設物単体の影響よりもその中に流れる電流が周辺につくり出す電磁界の影響によるものが多いということが確認された。

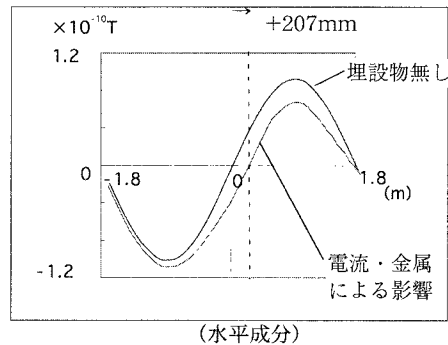
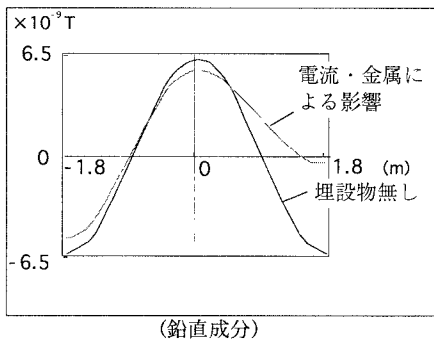


図3 金属埋設物と電流による磁界の歪み

以上の解析の結果、電流や金属埋設物がある状況では磁界分布の対称性がなくなり、分布が歪む。このようなことから、マトリックス状に受信センサが配置された磁気センサーシートを用いて発信コイルより出された電磁界を面的に捕捉すれば金属埋設物や電流の存在を推定することができる。通常状態より歪んだ計測値を表示した場合、それらを補償しマシンの正しい位置を予測することが可能となり管路の施工精度の向上につながる。

表1 電磁界シミュレーションによる解析結果

条件	ずれ量
1.全要素を土に設定（金属・電流なし）	0mm
2.ヒューム管・水道管・通信管を設定	+10mm
3.ヒューム管（鉄筋8本）のみを設定	+1mm
4.水道管のみを設定	+2mm
5.通信管4本のみを設定	+11mm
6.通信管内に微弱電流のみを設定	+177mm
7.金属および微弱電流を設定	+207mm

4.まとめ

小口径シールドマシンの位置検知において、誤差要因のシミュレーション解析を行った。発信コイルからの電磁界を用いて位置計測する場合、金属埋設物の影響よりも微弱電流が与える誤差が顕著であることが分かった。今後はシミュレーション結果を検証するために、発信コイル近傍に金属管等を配置して磁界測定し、また通信ケーブルの微弱電流測定を行い、実測データで確認する。また、これら金属埋設物や電流による磁界の歪みの補償法を確立していく。さらに、マシン自体が金属で構成されていることから、マシン筐体の影響による電磁界の歪みをシミュレーションし、この電磁式位置計測システムの誤差を低減していく。