

三次元電磁界センサを用いた小口径シールドマシンの位置計測

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

1.はじめに

NTTでは、近年のインターネットを始めとする急激なIT需要に向けた光ファイバー網の整備をしている。主に都市部では環境、景観、道路交通等、社会的影響に配慮した地下管路を構築しており、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。カーブ推進時は発進立坑より先端装置を測量することは困難であるため、現在マシン内部に搭載された発信コイルから発生する電磁界の強弱を地上より計測してマシンの現在位置を推定する「電磁法」が用いられている。この計測方法は、マシンの絶対位置を計測できるメリットがある。しかし、現行受信器は比較的簡素な構造となっており、計測に時間を要し主に道路上となる施工現場サイドでは交通事故などの危険性があるといった問題があった。そこで著者らは計測時間を短縮し、より高精度な位置検知と安全性の向上を可能とする三次元電磁界計測システムを開発した。本研究では、新たに開発した受信器、及びその計測実験結果について報告する。

2.電磁式位置計測システム

本報告で開発した位置計測システムの概要を図1に示す。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。発信磁界は220 Hzの交流磁界である。マシンの施工深度は土被り数mであり、この発信コイルによる発生磁界は地上において、1~100 nT (0.01~1mG) で非常に微弱な磁界である。マシンの位置を検知する場合、受信器を想定される地上のマシン位置付近に設置し、このコイルより発せられた電磁界を受信する。受信部は4つのセンサ部から構成され、各センサ部は x、y、z の3軸方向に設置された受信コイルを持つ。この受信コイルは基板上に螺旋状にプリントされ、薄さ1.3 mm、外形5×5 cmで軽量化を実現している(Photo 1)。この小型コイルを貫く鎖交磁束の時間的変化により、コイルを含む回路に誘導起電力が生じる。これにより、電磁界の鉛直成分を検知する。コイルより検知した磁界強度は微弱電流の変化となってBPF(バンドパスフィルター)に入力されノイズを除去した後、増幅器で増幅される。これら多数チャンネルの増幅された信号を信号処理部で処理し、波形解析、位置推定を行う。

この受信器による計測方法は以下の通りである。4つの3軸センサの内側の範囲内に発信コイルがあればその位置を自動演算する。シールドマシンの推進距離は推進管長と推進した本数であらかじめ推定される。水平位置は前検地位置より大体的位置は予測されることから、マシンの直上と思われる位置に受信器を設置すればマシン中心位置はパソコン上に表示される。計測時間は1回につき0.3秒である。この方式では道路上の計測時間は短縮され、通過交通による事故発生の危険性を低減することができる。

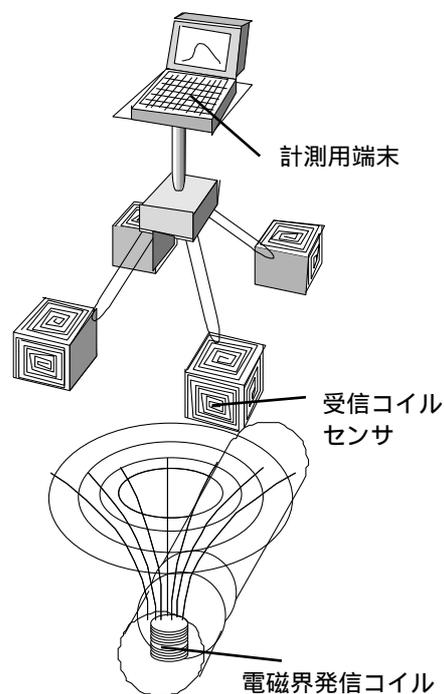


図1 電磁式位置計測システム



Photo1 受信コイルセンサ

キーワード 小口径、トンネル、位置検知、電磁界、薄型コイル

〒305-0805 茨城県つくば市花畑1-7-1 NTTアクセスサービスシステム研究所
TEL0298-52-2658 FAX0298-52-4024

3. 計測原理

磁気的なノイズがない理想環境下での磁界強度分布は以下の式に従う。

$$H_x = k_x x / z^4 / \{1 + (x^2 + y^2) / z^2\}^{2.5} \quad (1)$$

$$H_y = k_y y / z^4 / \{1 + (x^2 + y^2) / z^2\}^{2.5} \quad (2)$$

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

ここで、 H_x, H_y, H_z は、発信コイルを原点とする座標系 (x, y, z) の磁界の水平・鉛直方向成分、 k_x, k_y, k_z は比例定数とする。これらをもとに、各センサで得られたデータから電磁界分布を演算し、磁界の中心を求めセンサ設置範囲内にある発信コイル位置を推定する。

4. 計測実験

次にこの計測システムの精度確認及び施行性実験を行った。場所は所内、外乱ノイズの比較的少ない、屋外に設置した発生磁界に影響を与えない実験設備で行った。発信コイルを地上に設置し、地上高2m及び3mで、図2に示す様な5cm間隔のメッシュを切った各ポイントについて計測した。各測定点につき100回計測し、平均値を算出した。1回の計測時間は約0.3秒である。2m高計測時の誤差は0.1~6.4cmとなった。3m高計測時の誤差は0~4.9cmとなった(図2,3)。次にシールドマシンの匡体の影響評価のため、発信コイル上にマシン本体のステンレス蓋を乗せて地上高2mで計測した(図4)。推定位置の誤差は0~3.7cmとなった。蓋無し時の計測にくらべ、センサの受信電圧に大きな差異は見られなかった。このことから、220Hzの低周波の発生磁界に対しステンレス蓋の影響は余り無いということが分かった。

4. まとめ

電磁界を用いて地中の小口径シールドマシンの位置を推定する3軸磁界計測システムを開発した。3軸受信コイルを4点に配置し、発信コイルからの発生磁界をとらえ計算機処理することによりマシン中心位置を推定することが可能となった。受信器を動かすことなく位置検知することができ、計測の簡素化が図れ計測時間を短縮することが可能となった。これにより、現場での路上計測時間を短縮し、交通事故発生リスクを低減し、安全性の向上を図ることができた。今後は受信センサの感度上昇、発信コイルの周波数特製変更による外的ノイズの除去を行いより一層の高精度化、高深度化を図って適用領域の拡大をする予定である。

参考文献

- 1) 野村由司彦：トンネル機械の方位角、水平位置計測法、電子通信学会論文誌, J67-B, 6, pp615-621(1984).
- 2) 白銀他：磁気センサーシートによる地中ロボット的位置検知, 第16回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.161-162(1998).
- 3) 辻村他：薄型磁界計測装置の開発、第16回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.153-154(1998).
- 4) 白銀他：光ジャイロを用いた小口径管路の位置計測、土木学会第52回年次学術講演会論文集, 6-20(1997).
- 5) 白銀他：小口径シールドマシンの電磁式位置計測法の精度解析、土木学会第54回年次学術講演会論文集, 6-89(1999).
- 6) 白銀他：地中ロボット発生磁界の計測、計測自動制御学会第38回学術講演会予稿集p.189
- 7) 辻村他：地中推進装置位置推定のための3次元磁界計測システム、計測自動制御学会第38回学術講演会予稿集p.611

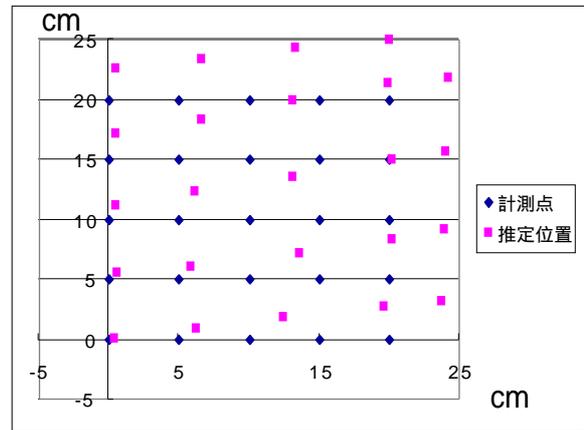


図2 2m計測実験結果

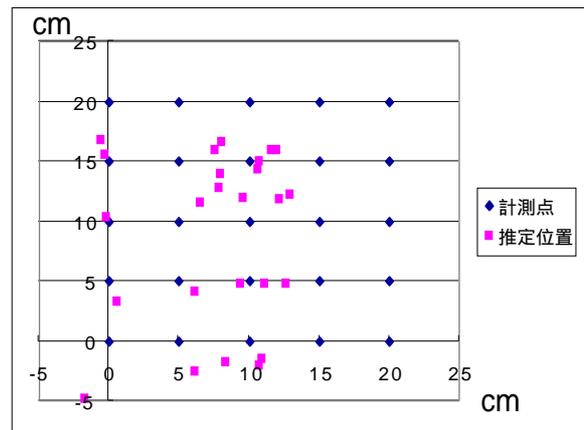


図3 3m計測実験結果

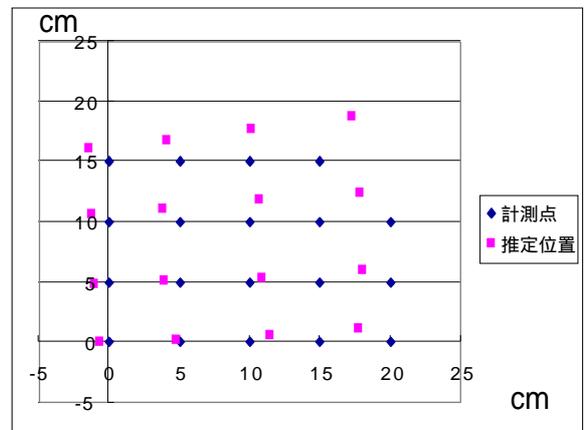


図4 2m計測実験結果(ステンレス蓋付)