

# 17. 小口径管推進機の地中位置検出装置

日立建機(株)：\*村山 健・緒方浩二郎・長澤 潔・  
三柳 直毅

## 1. はじめに

近年、通信管、ガス管、下水枝管等を地中に埋設する作業が増加している。この作業を非開削で行なうため、現在φ800mm以下の小口径管推進工法が実用化されている。

精度良い推進を可能とするには、推進機の地中位置を正確に検出する必要がある。しかし従来より採用されている管内空間を利用したレーザ光基準方式は、管の極小口径化及び、曲進施工に対応できない。また、ジャイロスコープを用いる方式は、推進機の角速度変化が地球自転の $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{100}$ 以下であり現状では精度が不足する。

本研究では、誘導磁界を用い土を媒体として推進機的位置を検出する方式について検討した。本方式は、土の含水比や空洞、岩石等による不連続性の影響を受けないため高精度な位置検出ができる。

## 2. 位置検出方式

図1に検出装置の概略を、表1に目標仕様を示す。地表の目標線に沿って電流ケーブルを配置し、地中に磁界を形成する。この磁界を推進機側に設けた複数の受信コイルで検出し位置と姿勢の情報を得る。本システムでは、特に水平方向位置Xの検出に重点を置いているが、深さYとヨーイング $\theta_y$ も検出可能である。また本方式では、推進機位置が連続的に計測できるので曲線施工を含めた自動方向制御へ対応できる。

図2は、受信コイルを取りつけた位置検出ユニットの外観である。この位置検出ユニットを推進機の後部に接続する。

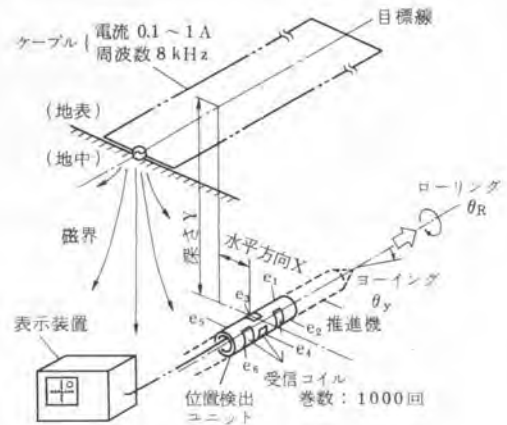


図1 検出装置概略

表1. 目標仕様

項目	仕様	
推進機径	φ100~800mm	
推進深さ	2 ~ 5 m	
施工精度	±100mm	
位置検出精度	水平方向	±10~50mm
	垂直方向	±10~50mm

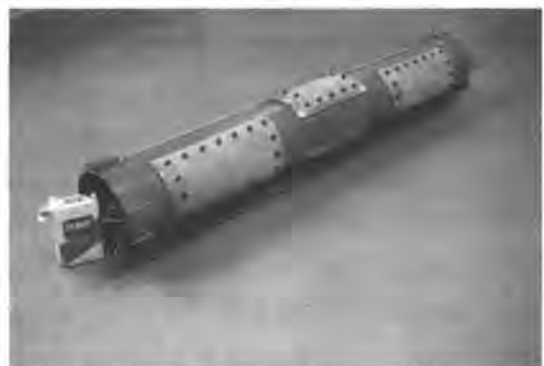


図2. 位置検出ユニット外観

### 3. 位置検出装置の試作

ケーブルが形成する磁界は、電流周波数が低いため静磁界の式が使用でき、磁束密度の水平方向成分  $B_x$  は次式で表わされる。

$$B_x = \frac{1}{2\pi} \cdot \mu \cdot I \cdot \left[ \frac{1}{\left(X - \frac{W}{2}\right)^2 + Y^2} - \frac{1}{\left(X + \frac{W}{2}\right)^2 + Y^2} \right] \dots (1)$$

$I$  : ケーブル電流 (A)  $\mu$  : 土の透磁率 ( $N/A^2$ )  
 $X, Y$  : 水平及び深さ位置 (m)

図3に計算結果を示す。深さが増すに伴い磁界が低下するが、水平方向位置  $X$  が  $\pm 0.3$  m 以内ではほぼ比例関係が成り立つ。

図4に受信コイルの設置方法を示す。推進機は磁性、導電性をもつ鋼管で構成されることが多く、管内部は磁気遮断される。また、管径が  $\phi 100$  mm 程度になるとモータ等の駆動部、配線等により管内部のスペースが狭くなる。そこで、受信コイルを管の外周面に設置した。感度を上げるために受信コイルのループ面積を大きくし、かつ推進の抵抗増とならないようにコイル断面を管外周面の曲率に一致させて薄形化した。

受信コイルの出力  $e$  は、一般に次式で表わされる。

$$e = k \cdot 2\pi f \cdot S \cdot N \cdot B_x$$

$k$  : 実効比透磁率 (-)  
 $f$  : 電流周波数 (Hz)  
 $S$  : 受信コイルのループ面積 ( $m^2$ )  
 $N$  : 巻数

実効比透磁率  $k$  は、管材質による磁性、導電性の影響により変化する。図5に、管がエポキシ、STK41、SUS304の場合の受信コイル出力を示す。

STK41の鋼管は、導電性により出力低下するが磁性体であるため磁束が集中しSUS304よりも出力低下が少ない。本試作は、STK41を用いた。

なお、使用受信コイルの巻数は1000回、ループ面積は  $60 \text{ cm}^2$  とし、ガラス繊維入りのエポキシ材で作成した。

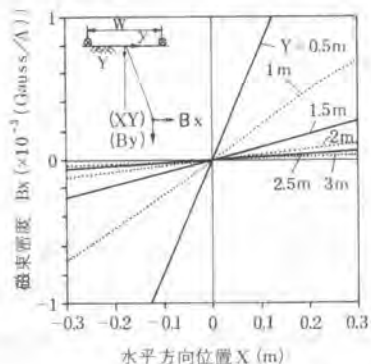


図3 磁束密度 (計算結果)

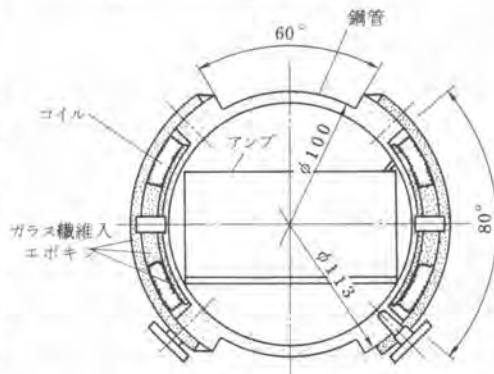


図4 受信コイルの設置

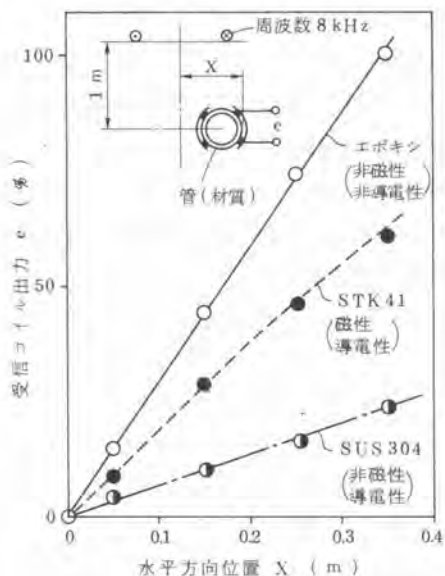


図5 管材質と受信コイル出力

#### 4. 実験結果

##### 4.1 空中での実験

図6は、深さ2mにおける各受信コイルの出力を示す。但し出力は全て500倍の増幅器を介した後の実効値である。

左右対称に設置したコイルの出力  $e_1, e_2$  及び  $e_3, e_4$  は、水平方向の磁界を検出したものであり、位置  $X$  に対してほぼ比例関係が成り立つ。一方、上下方向に設置した受信コイルの出力は、深さ方向磁界に対応しており水平方向に対する変化が少ないので深さ検出用として用いる。

図7は出力  $e_1, e_2$  の生波形である。2つの信号の出力レベルと位相を判別し位置と方向を検出する。そこで水平方向位置  $X$  は、次式により算出した。

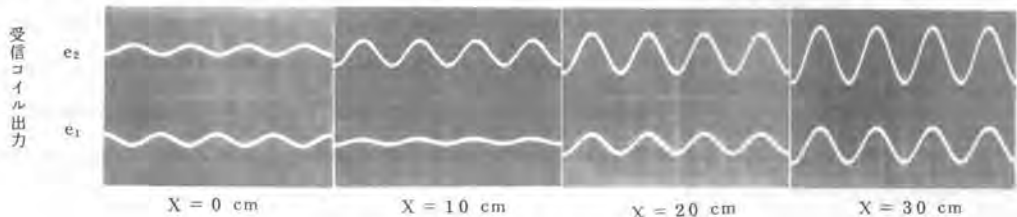


図6 各受信コイル出力

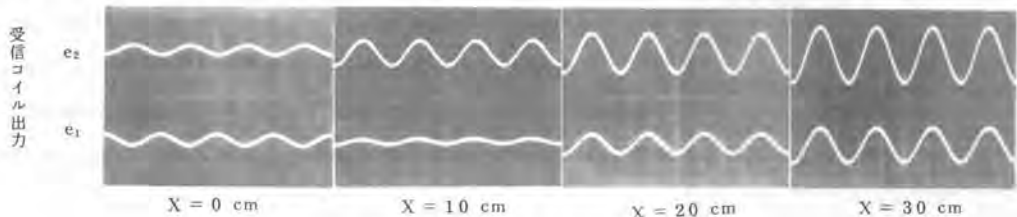


図7. 受信コイル出力波形

$$X_{i, i+1} = A_1 \frac{\bar{e}_i - \bar{e}_{i+1}}{|\bar{e}_i - \bar{e}_{i+1}|} \cdot \frac{\bar{e}_i + \bar{e}_{i+1}}{\bar{e}_i - \bar{e}_{i+1}} + B_1 \theta_R \dots \dots (3)$$

- ここで
- $X_{i, i+1}$  : 演算出力 (cm),  $i = 1$  又は  $5$ ,  $\bar{e}_i$  : 受信コイル出力の実効値 (Vrms)
  - $A_1$  : 位置出力のための補正係数 (cm),  $\theta_R$  : ローリング角 ( $^\circ$ ) < 傾斜角計で検出 >
  - $B_1$  : ローリング補正係数 (cm/ $^\circ$ )

式中  $\bar{e}_i - \bar{e}_{i+1} / |\bar{e}_i - \bar{e}_{i+1}|$  は位相の判別、 $\bar{e}_i + \bar{e}_{i+1} / \bar{e}_i - \bar{e}_{i+1}$  は深さやケーブル長手方向位置による出力レベルの変化を補正するものである。

図8は実際の位置  $X$  と (3) 式による実験値の差を誤差として表わしたものである。再現性は 1 cm 以下、 $\pm 20$  mm の範囲では直線性も  $\pm 2$  cm 以下である。 $\pm 30$  cm になると磁界本来の非直線性により本演算方式では十分補正できないが本質的な問題にはならない。

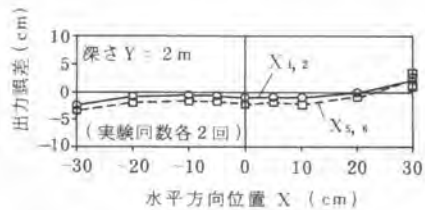


図8. 水平方向検出特性

ヨーイングに関しては、2組の受信コイルの差を用いて、同様の精度 (約  $1^\circ$ ) で検出できる。深さ  $Y$  の検出に関しても、図6中の  $e_3$  と  $e_4$  の差信号を用い、数 cm 以下の検出分解能が確認できた。



図9. 地中実験風景

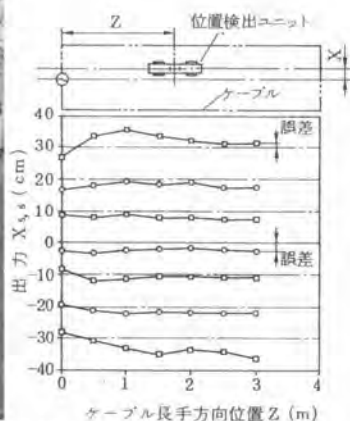


図10 地中深さ1.3 mにおける  
水平方向位置検出特性(I)

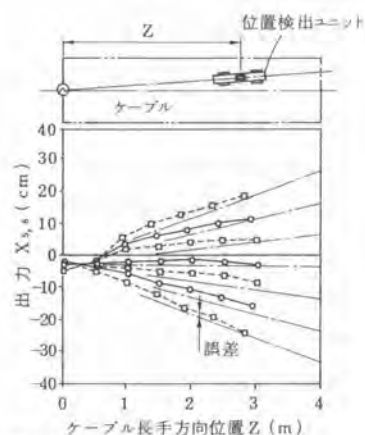


図11 地中深さ1.3 mにおける  
水平方向位置検出特性(II)

#### 4.2 地中での実験

図9に地中実験風景を示す。深さ1.3 mの位置で位置検出ユニットを地中に挿入し位置と出力の関係を示した。図10は、ケーブルに沿って位置検出ユニットを平行に移動させた場合の特性である。一点破線が実際の位置検出ユニットの位置、プロットは実験値 $X_{s,s}$ である。 $\pm 20$  cmの範囲では、位置検出の誤差は $\pm 2$  cm以下である。また出力がマイナス側に出る傾向は、図8の空中実験結果と一致し等価性が確認できた。

図11は、ケーブルに対して斜めに進行した場合であるが、位置検出誤差は同様に $\pm 2$  cm程度である。従って、ケーブルを直線に配置した状態で曲線施工へも適用できる。

#### 5. 検討

上記のように一般の土中環境下では、 $\pm 2$  cm程度の位置検出が可能であることを実証できた。しかし、土中に磁性、導電性を有する既設物がある場合には、精度補償ができない。図12は、 $\phi 140$  mm、厚さ10 mmの鋼管が受信コイル近傍に存在した場合の受信コイル出力の変化を実験したものである。この程度の障害物であれば、受信コイルから50 cm離れると影響を受けないことから実用範囲は広いと考えられる。障害物は土中よりむしろ地表面にある場合が多いが、本位置検出方法では受信コイルとの距離が長いいため影響が少なくなるメリットもある。

#### 6. まとめ

小口径推進機の地中位置検出装置を試作し、実施工に適用可能なことを確認した。今後、実施工にて検出精度を含めた信頼性を確認し、各種掘進機へ適用する。

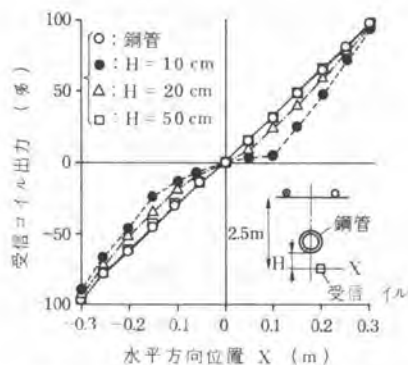


図12. 障害物(鋼管)の影響