

日本電信電話公社 茨城電気通信研究所

梅津 孝雄

正員 野村 由可彦

○正員 保科 宏

1. まえがき

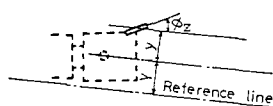
電電公社では、電話ケーブルを収容するための小口径トンネル工法の検討を行っている。その目標は、曲率半径200m、推進長100mであり、特に問題となっているのは入の入ることのできない小口径の水平位置計測である。この水平位置計測に磁界による計測方法（以下“電磁法”と呼ぶ）を用いることによって、管径φ340mm、推進長50m、曲率半径150mのS字カーブの推進を達成し、本計測方法が有効であることを確認したので報告する。

2. 計測原理および基礎検討

本計測方法は、トンネルマシンの絶対位置を計測するものであり、マシンに搭載した発信コイルからの交番磁界の特異点を地上の受信コイルで探索し位置を求めるもので、その主要な構成を図1に示す。

巻数 n_1 の発信コイルによって発生する磁界 $\vec{H}$ の X, Y, Z 成分(H_x, H_y, H_z)は、 $a \ll \sqrt{x^2+y^2+z^2}$, $l \ll \sqrt{x^2+y^2+z^2}$ のとき、 $H_x = \frac{3n_1}{4} \cdot \frac{Ia^2}{Z^3} \cdot \frac{\frac{x}{Z}}{(1+\frac{x^2+y^2}{Z^2})^{\frac{5}{2}}} \dots\dots(1)$ $H_y = \frac{3n_1}{4} \cdot \frac{Ia^2}{Z^3} \cdot \frac{\frac{y}{Z}}{(1+\frac{x^2+y^2}{Z^2})^{\frac{5}{2}}} \dots\dots(2)$ $H_z = \frac{n_1 Ia^2}{4Z^3} \cdot \frac{2 - \frac{z^2+y^2}{Z^2}}{(1+\frac{x^2+y^2}{Z^2})^{\frac{5}{2}}} \dots\dots(3)$

ただし、 I : 発信コイルに流れる電流、 a : 発信コイルの半径、
 l : 発信コイルの長さ



この磁界によって巻数 n_2 の受信コイルに誘起される電圧 V は、

$$V = n_2 \cdot \mu \cdot \left(\vec{S} \cdot \frac{d\vec{H}}{dt} \right) \dots\dots(4)$$

ただし、 μ : 大気の変磁率、 $\vec{S}$: 受信コイル鎖交面の面積 S の大きさで、
 鎖交面の法線方向 ($S \sin \phi_z, S \cos \phi_z \cdot \cos \phi_x, S \sin \phi_x$)

いま受信コイルのコイル面を計画線に平行、かつ鉛直に保持し、計画線に垂直な方向に受信コイルを移動させる場合について考える。この場合、図1の $\phi_x = 0, \phi_z = 0$ であり、 $y \ll z$ のとき(2), (4)式から誘起電力 W は、 $W = V^2/Z_2 = \alpha y^2/Z^8$

$$\log W = \log \alpha + 2 \log y - 8 \log Z \dots\dots(5)$$

ただし、 $\alpha = (\beta \cdot 3\pi \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot \mu S^2 I^2 / 2) / Z_2$,

(Z_2 : 受信コイルのインピーダンス、 β : 磁芯材によって決まる係数)

(5)式から求めた W と y との関係および実験結果を図2に示す。この誘起電力(W)の最小値を求めることによって、トンネルマシンと計画線との離隔(位置)が計測できる。なお実験した W の最小値が理論値と一致しないのは磁界のひずみ、受信コイルの指向性によるものと考えられる。

計測誤差の要因としては、①受信コイル設定角度の精度 ②発信コイルの鉛直精度 ③誘起妨害電力 ④近傍磁性体・導電体による磁界の乱れ ⑤大地の影響 ⑥受信コイルの指向性 ⑦測定器の測定可能な最小レベルの限界等によるものが考えられる。

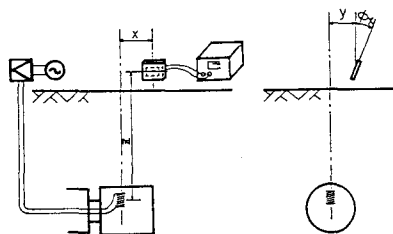


図1. 位置検知方法の構成図

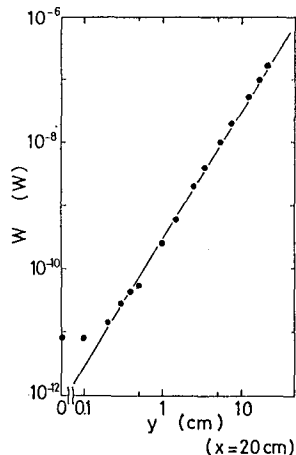


図2. 受信コイル移動量と誘起電力

①の受信コイルの設定精度には、図1の ϕ_x, ϕ_z があり、 $\phi_x, \phi_z \ll 1(\text{rad})$ と考えると、計測誤差 $y(\phi_x, \phi_z)$ は(1), (2), (3), (4)式から $y(\phi_x, \phi_z) = \frac{\pi}{2} \phi_x \cdot Z + \phi_z \cdot X$ となる。発信コイルの鉛直性については、中心軸と鉛直軸との X 軸回りの回転角を $\phi_z \ll 1(\text{rad})$ とすると、計測誤差 $y(\phi_z) = \frac{1}{2} Z \phi_z$ である。 y と ϕ_x との関係を実測すると図3に示すように理論値(図中の実線)と一致しており、たとえば、受信コイルの設定誤差が $\pm 1^\circ(0.0175 \text{ rad})$ あると、土被り3mでは、計測誤差 $y(\phi_x) = 3.5 \text{ cm}$ となることがわかる。一方使用周波数は、金子らにばら、誤差要因である商用電源からの誘導妨害を避け、また近傍の磁性体導電体の影響を小さくするために低周波数の220Hzを選定している。

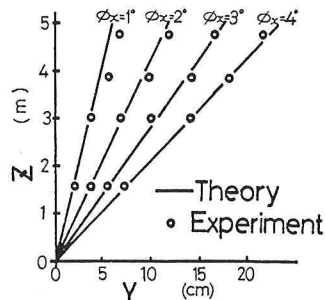
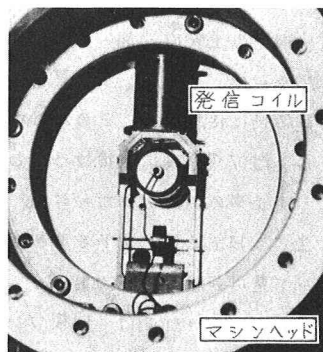


図3 受信コイル設定精度と計測誤差

3. 推進実験用装置

実地盤推進実験に用いた装置は、写真1に示すトンネルマシンヘッドの中に、常にコイルの中心軸が鉛直になるようにジンバル台に取り付けられた発信コイル、コイルに220Hzの交流電流を供給するための発信器、増幅器、写真2に示す受信コイル、受信コイルを鉛直に保持し、計画線に対しコイル面を平行にして垂直に移動させるための受信台、および受信コイルの誘起電力を測定するための測定器から構成されている。受信コイルを計画線に対し垂直に移動させるためのレールには、計画線からの受信コイルの移動量を読み取るスケールと水平確認用の水平器が取り付けられている。



4. 推進実験結果

前記の計測方式を用いたトンネルマシン(口径 $\phi 40 \text{ mm}$ 、無排土圧入工法)で、関東ローマ層において土被2m、推進長さ50m、曲率半径150m S字カーブの計画線で推進実験を行った。水平位置の計測は1推進(45cm)毎に行い、これらの計測値をもとに運転操作を行った結果、到達点での計画線からの偏位は6.5cm、また電磁法の計測値と光学測量との差は1.5cmであった。計測軌跡を図4に示す。また電磁法の計測値を移動平均し相対的精度を求めた結果図5に示すように $\pm 2 \text{ cm}$ 以内であり、電磁法による水平位置計測の有効性が確認された。



写真2. 受信台と受信コイル

5. まとめ

電磁法による水平位置計測をもとに小口径推進工法の曲線施工を行い、本計測法が有効であることが実証された。今後は、種々の計測誤差要因について更に検討を進める。一方計測間隔と施工精度についても検討を行い適用条件の明確化を図る予定である。

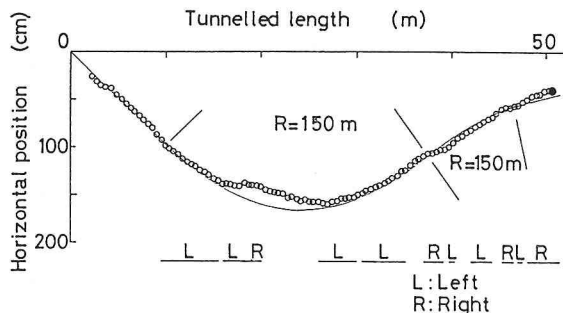


図4. 電磁法の計測軌跡

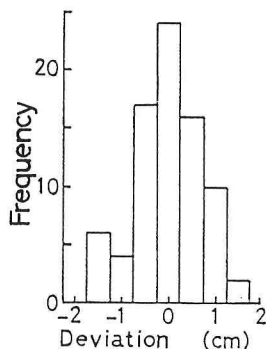


図5. 計測値のバラツキ

参考文献 1): 金子 隆司他: 心線給電法による地下埋設物探知, 電子通信学会発表会, CS80-82, 1980