

Ⅵ-22 光ジャイロを用いた小口径管路の位置計測

NTTアクセス網研究所 正会員 田中 実
NTTアクセス網研究所 非会員 栗山 雄三
NTTアクセス網研究所 正会員 白銀 成志

1.はじめに

NTTでは、管路設備構築において、都市部での低コスト化、交通及び生活環境を保護するため、NO-DIG(非開削)技術を採用することとしている。このため1985年からNO-DIG技術であるエースモール工法を導入し、社外工事も含めて約450kmの管路工事を実施してきた。現在は首都圏・政令指定都市を中心に幹線管路工事の約15%に適用されているが、今後の工事環境や労働環境を考えると、管路工事のオールNO-DIG化が求められており更なる適用拡大・コストダウンを図る技術開発が必要となっている。エースモール工法の特徴である長距離・曲線施工を可能とする光ジャイロを用いた連続高精度位置検知技術を述べる。

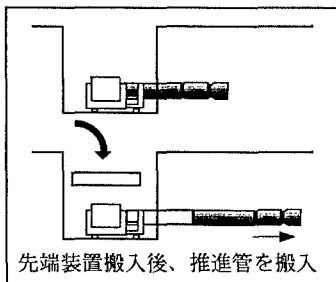


図1：エースモール工法（PC10）

2.開発の背景

従来、推進中のマシンの位置計測では、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。しかしこの方法は電磁界を用いるため、土被りによる制限、他の金属埋設物による検知精度への影響が大きい。ほか、断続的な位置検知であるため方向制御が難しいという問題があった。そこで当研究所では連続的にかつ高精度位置検知を行う方法として、航空機などの姿勢検知用に搭載されている光ジャイロを用いてエースモールの位置を計測する方法の研究に着手してきた。今回その光ジャイロを用いた計測方法が実用レベルの精度か検証するため、誤差(特に初期角度誤差)測定の実験結果を述べるものである。

3.光ジャイロシステム概要と計測原理

光ジャイロシステムは図3に示すように、マシンの姿勢を測るローリング計・ピッチング計、マシンの推進距離を測る距離計(レーザー干渉式)、マシンの方向を測る光ファイバージャイロから構成されている。光ジャイロの角度計測平面はマシンの姿勢変化と共に変化するため、水平位置の算出をするためにはローリング角とピッチング角を用いて光ジャイロが示す角度を補正する必要がある。光ジャイロ角度補正式はいずれの角度も非常に小さいので、近似的に①のように表わされる。

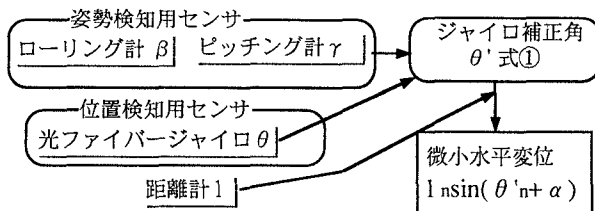


図2：ジャイロシステム概要

$$\theta' = \tan^{-1}\{(\theta(1-1/2\beta)(1+1/2\gamma))\} - \text{①}$$

θ' : 光ジャイロ補正角 θ : 光ジャイロ角
 β : ローリング角 γ : ピッチング角

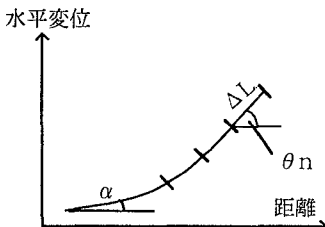


図3：光ジャイロ計測原理

光ジャイロは、ある基準点に対する角度を計測する装置である。ヨーレート式光ジャイロによるマシンの位置計測原理は図3に示すように、マシンの経路上での光ジャイロ補正角度と推進距離の積分を行うことにより算出する。マシンが推進した微小距離 ΔL とその時の角度変化量 θ_n の積により微小水平変位を計算し、これらの総和がマシンの水平変位の推定値となる。

$$X = l_1 \sin(\theta'_1 + \alpha) + l_2 \sin(\theta'_2 + \alpha) + \dots + \sum l_n \sin(\theta'_n + \alpha) - \text{②}$$

X : 水平位置 l_n : 推進距離 θ'_n : 光ジャイロ補正角度 α : 初期角度

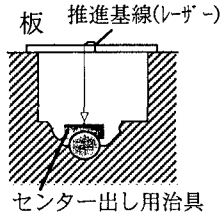
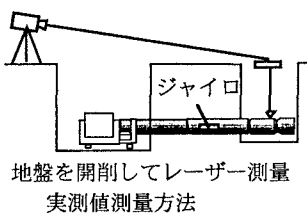
キーワード ジャイロ、小口径、トンネル、位置検知

〒305 つくば市花畑1-7-1 NTTアクセス網研究所 TEL0298-52-2551 FAX0298-52-2593

4. 光ジャイロ計測の誤差要因

今回の実験で光ジャイロを搭載し、直線推進を行ったのはエースモールPC10という小口径($\phi 100$)圧入式マシンである。ジャイロを用いた計測には主に以下のような特有の誤差があり、計測精度劣化の原因となっている。(1)光ジャイロは物体の平行移動を検知しないためマシンの横ずれ等起因する誤差(2)光ジャイロ内部に設置された光ファイバーが外部温度変化により膨張・収縮することにより発生する誤差(ドリフト)(3)マシン発進時における推進基線に対する角度計測誤差(初期角度誤差)。これまでの実験結果から推進線形が直線の場合には(1)は無視できるほど微小であることがわかっている。また、マシン内の温度変動も実験結果から微小であることが判明しており(2)も無視可能である。このようなことから今回の実験は、(3)の初期角度誤差に注目して精度検証実験を行った。

5. 実験方法



まず、推進開始前に先端装置に取り付けられたターゲット板をトランシットで測量し、初期角度を計算する。初期角度算出後に推進を開始し、途中任意間隔毎に開削して実際の推進位置をレーザー測量する。位置確認後、ジャイロデータを用いた演算値と比較検証を行いながら、30mの直線線形を推進した。

図4：実験方法概略図

6. 実験結果

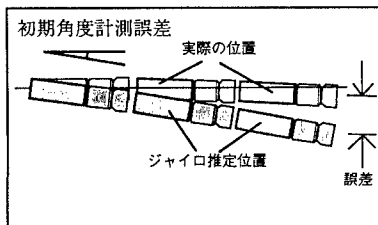


図5：初期角度計測誤差の影響

初期角度を修正する前(図6-1・7-1)の施工精度は、1回目は約15cm、2回目では約30cmであった。実験結果から実測値と推定値の差分をとるといずれも1次的な線形成分が現われた。①の式より、

$$X = l_1 \sin(\theta'_1 + \alpha) + l_2 \sin(\theta'_2 + \alpha) + \dots = \sum l_n \sin(\theta'_n + \alpha)$$

これに初期角度に誤差 ε が含まれているとすると、

$$X = l_1 \sin(\theta'_1 + \alpha + \varepsilon) + l_2 \sin(\theta'_2 + \alpha + \varepsilon) + \dots = \sum l_n \sin(\theta'_n + \alpha + \varepsilon)$$

となる。計算に用いる角度はいずれも小さいので、 $\sin \theta = \theta$ の近似を用いると、 $\sum l_n \sin(\theta'_n + \alpha + \varepsilon) = \sum l_n (\theta'_n + \alpha + \varepsilon) = \sum l_n (\theta'_n + \alpha) + \sum l_n \varepsilon$ ③

となり、この式の誤差項は $\sum l_n \times \varepsilon$ となって線形的な成分となる。

これにより、線形成分の誤差は初期角度誤差であることが分かる。計測誤差のジャイロの計算値は微小なベクトルの総和であるから、初期角度誤差は計測値全体に影響を与える。この誤差要因としてはターゲット板精度、及びトランシットの設置誤差、読み取り誤差等が考えられる。双方の実験とも初期角度を 0.3° 程度修正すると(図6-2・7-2)、検知精度 $\pm 20\text{mm} \sim 50\text{mm}$ 程度で実測線形に合致する。今回の実験により、光ジャイロを用いた計測では初期角度の測量が計測誤差全体に与える影響が大きく支配的であることが確認された。今後は誤差要因を取り除くため、さらなる初期角度の測量の精度向上の方法を検討していく予定である。

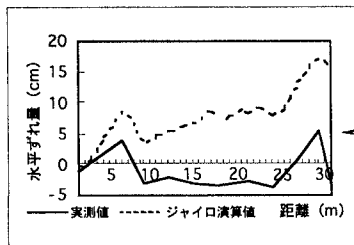


図6-1 初期角修正前

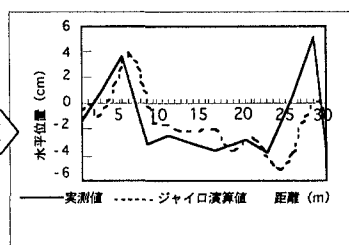


図6-2 初期角度修正後

図6：実験結果 (推進1回目)

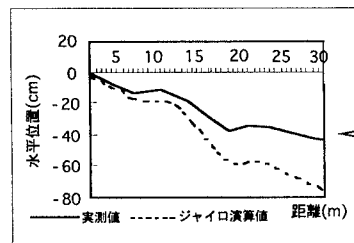


図7-1 初期角修正前

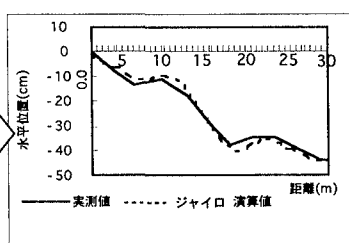


図7-2 初期角度修正後

図7：実験結果 (推進2回目)