光ファイバジャイロによる小口径推進マシンの連続高精度位置検知システム

日本電信電話（株）アクセスサービスシステム研究所　正会員　○杁山　義弘
日本電信電話（株）アクセスサービスシステム研究所　正会員　日野　英則

１．はじめに

通信，電気，下水道等ライフラインの整備にあたり社会環境の厳しさや道路線形，地下埋設物輻輳箇所に柔軟に対応するために，非開削工法における長距離・曲線施工を可能とする推進マシンの位置検知技術の重要性が高まっている．

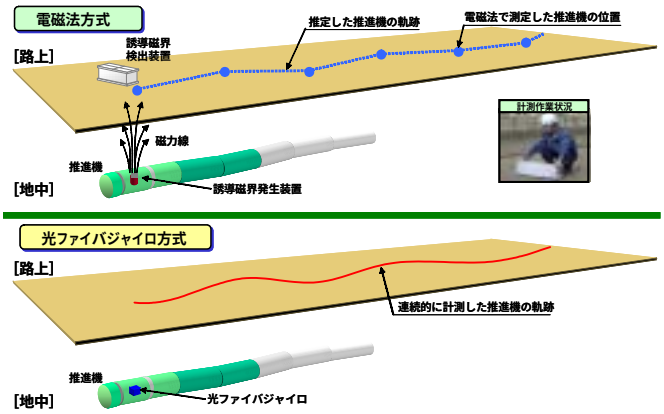
本稿では，従来の位置検知方法における推進線形による制約や計測精度，計測の連続性並びにリアルタイム性等に関する課題を解決する光ファイバジャイロを用いた連続高精度位置検知システムの概要と適用結果について述べる．

２．光ファイバジャイロ位置検知システムの概要

現在，推進マシンの地中での水平位置検知方法としてレーザセオドライトが発するレーザ光をマシン内に配置された受光装置のターゲット面で受光し，その受光位置から基準線(レーザ光)に対する変位を求めるレーザ・ターゲット方式とマシン内に内蔵された発信コイルが生成する誘導磁界を地上から受信コイルを搭載した磁界検出装置により検知して基準線からの変位を求める電磁法が採用されている．

しかし，レーザ・ターゲット方式は，直線推進区間のみでの使用に限定されるとともに，長距離化に伴うレーザ光の拡散による計測精度低下の問題がある．また，曲線推進区間で用いられている電磁法は，磁界検出装置を持った作業者がマシン停止中に地上で計測する方法であり，計測に人手がかかり，位置検知データは断続的となる他，マンホールの鉄蓋等磁性体近傍や河川下等では使用できない場合もある．

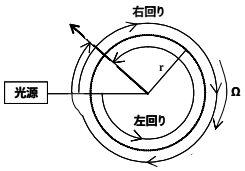
以上のような問題点を解決する新しい方法として，光ファイバジャイロを推進マシンの位置検知に利用することとした．光ファイバジャイロは，移動体の角速度を連続的に検知するため，この角速度を積分することにより相対的な角度変化を求めることができ，マシンの推進距離から推進開始地点を基準とする水平位置を連続的に算出することが可能となる．**図－１**に電磁法方式と光ファイバジャイロ位置検知方式との比較を示す．



図－１　位置検知システムの比較

次に，光ファイバジャイロの計測原理である Sagnac 効果を以下に簡単に述べる．**図－２**に示すような光学系を考える．光源から出た光はビームスプリッタ（光分配器）によって 2 分され，左回り光と右回り光に分かれて半径 r のファイバループの円形軌道に入る．それぞれの光はファイバループの中を伝播した後，再び同じビームスプリッタに到達し，合成される．この時，ファイバループが静止していれば，左右両回り光は全く同じ光路長を通るので，左右両回り光が合成点に到達するのに要する時間は同じである．

しかし，このファイバループが一方向に角速度 Ω で回転していると，左右両回り光が通過する光路長に違いが生じてくるので左右両回り光の伝播時間に差が出てくる．この 2 つの時間差は，位相差となって現れるため、位相差を求めることによって角速度 Ω を得る．



図－２　Sagnac 効果の原理

３．光ファイバジャイロ位置検知方式の精度向上対策

光ファイバジャイロによる位置検知システムでは，以下の特長がある．

・位置データを連続的かつ自動で計測できる．
・水平・垂直の推進線形に全く制約を受けない．

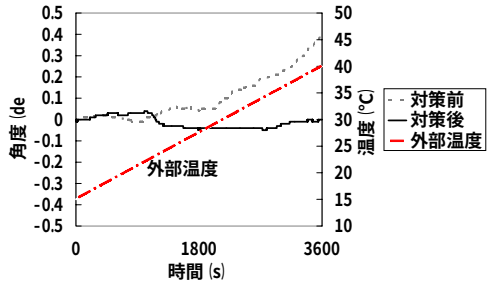
これにより，路上での位置検知作業が大幅に低減されること，推進制御への迅速な対応が可能となること等の効果を

キーワード　小口径推進工法，水平位置計測，電磁法，光ファイバジャイロ
連絡先　〒305-0805　茨城県つくば市花畑 1-7-1　日本電信電話（株）アクセスサービスシステム研究所　ＴＥＬ0298-68-6220

もたらす．しかし，光ファイバジャイロによる位置検知方式を10～20cm/min程度と極端に遅い推進マシンに適用するに際しては，検知精度に影響を及ぼす角速度の計測誤差が発生する．我々は，計測誤差の発生を抑制し，位置検知精度を安定的に確保するために，以下に述べる光ファイバジャイロの搭載環境に対する対策および運用上の対策を実施することで解決した．

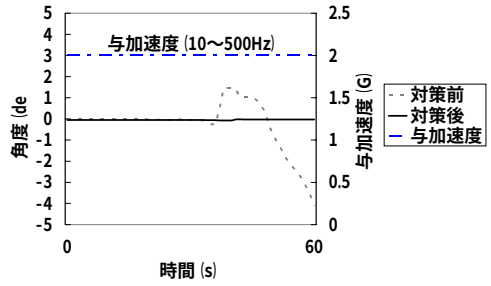
３－１．搭載環境に関する精度向上対策

まず，設置環境温度の変化による精度低下の問題に対しては，外部の温度変化が発生した場合でも光ファイバジャイロ内部温度を安定化させる装置を開発し，推進マシン内の温度変化により発生する誤差を低減させることを実現した．**図－３**に温度安定化による角度誤差低減効果を示す．



図－３　温度安定化による角度誤差低減効果

次に，推進マシンの振動による精度低下の問題に対しては，防振材を用いた最適な防振装置の仕様を確立し，推進マシンの振動により発生する誤差を低減させることを実現した．**図－４**に振動抑制による角度誤差低減効果を示す．



図－４　振動抑制による角度誤差低減効果

さらに，静止中においても時間の経過とともに増加する誤差に対しては，静止時における角速度出力を一定時間計測し，以降の計測から出力をキャンセルするというバイアス補正について，エースモールの推進作業に影響を与えないで実施可能な最適なサイクルを取り入れることで誤差を低減させることを実現した．

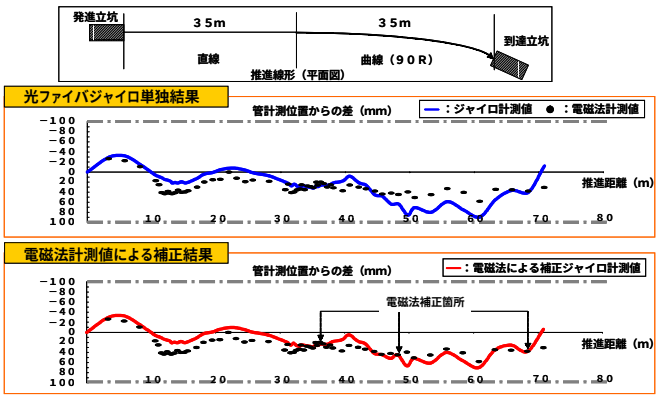
３－２．運用における精度向上対策

光ファイバジャイロは角速度を検知するセンサであるため，これまで述べた単体精度向上対策を実施したとしても計測時間の累積に伴って角度誤差が累積するのは避けられず光ファイバジャイロ単独では長区間にわたって計測精度を確保し続けることには限界がある．これに対しては，併用して搭載している電磁法を用いて補正を行う．電磁法計測値を用いて光ファイバジャイロによる水平位置計測値の絶対位置補正，並びに推進方向角度補正を行うことで，角度誤差累積を低減させることを実現した．

４．光ファイバジャイロ位置検知システムの適用結果

光ファイバジャイロ位置検知システムの実用性を確認するため，当研究所敷地内での推進実験で適用した結果を示す．**図－５**に光ファイバジャイロ位置検知システム適用結果を示す．

実施場所が所内であったことから，推進完了後実際の推進管の位置を測量し，光ファイバジャイロ単独による水平位置計測値との比較，並びに電磁法による補正を行った場合との比較を行った．光ファイバジャイロ単独では管計測位置からの差が発散傾向にある場所に対して，電磁法による補正を行うことにより誤差の発散が30㎜程度抑制されており本システムの実用性が確認できた．



図－５　光ファイバジャイロ位置検知システム適用結果

５．おわりに

以上のように，光ファイバジャイロによる推進マシンの位置検知技術の有効性が確認され，推進管理，推進制御のリスク低減と効率化に寄与するものと期待できる．現在，長距離・曲線施工を可能とする推進マシンの位置検知技術や方向制御技術は，ますますその重要性が高まっており，小口径推進技術の分野にセンサ技術や情報技術（IT）を積極的に導入し，21 世紀のニーズにこたえる研究開発を進めていく予定である．

参考文献

・杁山，日野，宮武：“光ファイバジャイロによる推進マシンの連続高精度位置検知システム，”非開削技術，No.35，pp.27-31，2001.