

推進工法に用いる 「ジャイロコンパスナビゲーション システム」について

藤田 幸雄

機動建設工業(株)
工務部課長

山本 浩二

機動建設工業(株)
工務部技師

1. ジャイロの採用目的について

近年推進工事は、刃口推進に代って機械推進が主流となり、今後においては特に日進量の増加、推進延長の増大、また多曲線推進からさらに急曲線推進と新たなニーズに対し当社のみならず技術開発が進められようとしている。

推進工事の施工管理上の重大なポイントは精度維持であり、個々の測量機器そのものは、より高度なものと成って来ているものの、曲線管路内に於ける計測作業は可視距離内で据替を行う必要上多くの時間が費やされている。これは日進量の増加というニーズに逆行しており線形によっては、推進作業時間に比較して測量に施工時間の大部分を費やしていると言っても過言ではない。

通常曲線推進の精度管理方法は、ヒューム管等、1本毎そのサイクル完了時に上述したように光学機器等を用い実測している。そしてその測量結果から計画基線との誤差を確認し修正量を決定しており次の測量まではある程度経験に頼っているのが現状である。こういった現状の解決の為、容易で迅速かつ適確な精度維持管理方法の開発が、今後の課題事項の一つである。

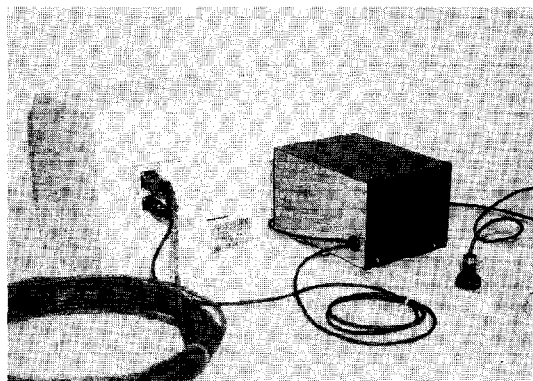


写真-1 オプトコンパス本体(左側)

そこで当社では、この課題に応える精度維持管理機器としてジャイロコンパスを導入し、掘進機の位置姿勢をリアルタイムで把握する方法の研究開発を進めてきた「ジャイロコンパスナビゲーションシステム」について、その構成と原理及び開発経過について報告する。

2. 構成

掘進機に方位角及び傾斜角が測定出来るジャイロコンパスを搭載し、発進立坑内には推進距離を測定する距離計を設置する。そしてそれぞれの機

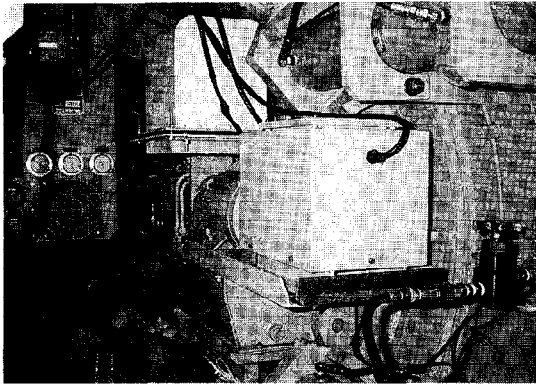


写真-2 掘進機に装着したオプトコンパス本体(奥側)

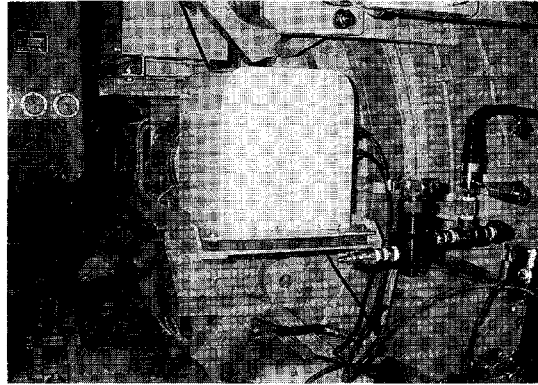


写真-3 当初のオプトコンパス本体設置位置
(この位置はモーターの振動で影響を受けたので
後に写真-2の位置に設置替えました。)

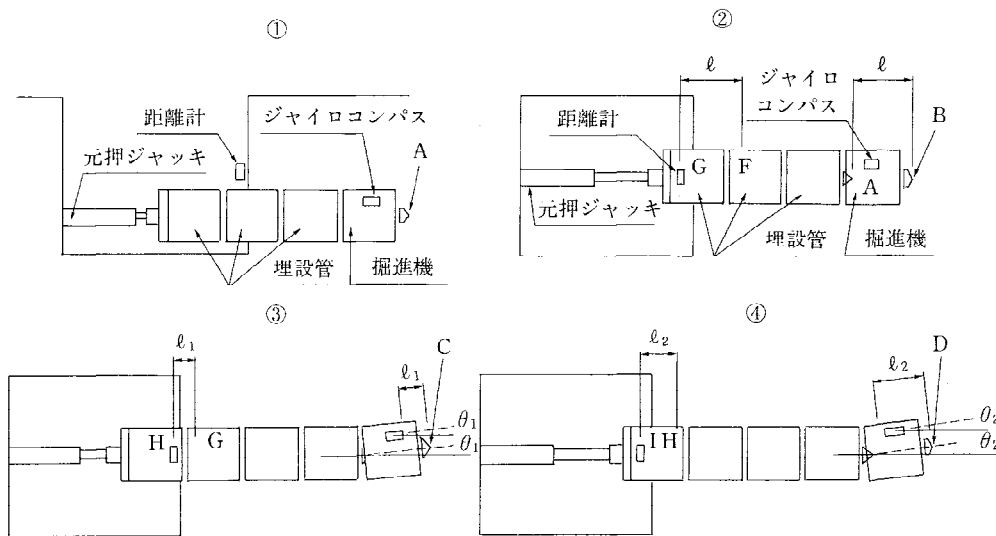


図-1

器からパソコンに信号により通信させ、変位置 (X, Y) を随時演算処理し、リアルタイムでディスプレイに表示させるシステムとなっている。

3. 基本原理

発進立坑に掘進機を据え付け、鏡切後推進が開始される。後方の元押し推進装置(油圧ジャッキ)により管体を推進する際、その推進量を発進立坑内に設置した距離計により、リアルタイムで計測し、 ℓ として通信入力させる。図-1②は推進量の検出方法の原理を説明したもので、掘進機が①図のA点より②図のB点まで推進された時、A点

からB点までの距離 ℓ は、発進立坑内における埋設管のF点からG点までの推進量 ℓ に等しいとする。この為FG間の推進量を検出することで、また順次加算することにより掘進機までの実測を不必要とした。この時同時にジャイロコンパスから掘進機の姿勢(方位角 θ) が通信入力されている。掘進機の変位XYは次式で表わす。

$$X = \ell \times \cos \theta$$

$$Y = \ell \times \sin \theta$$

推進が直線で施工された場合は $\theta = 0$ であるから、 $X = 1$ で、 $Y = 0$ となり掘進機は X_0 方向の

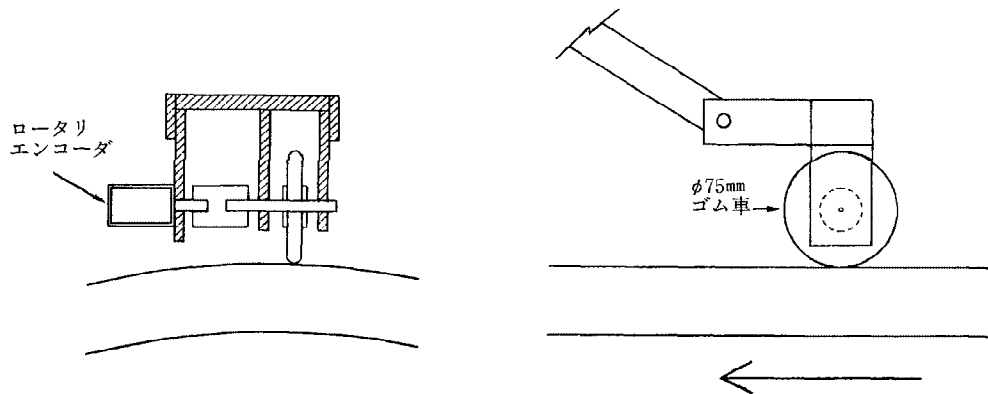


図-2

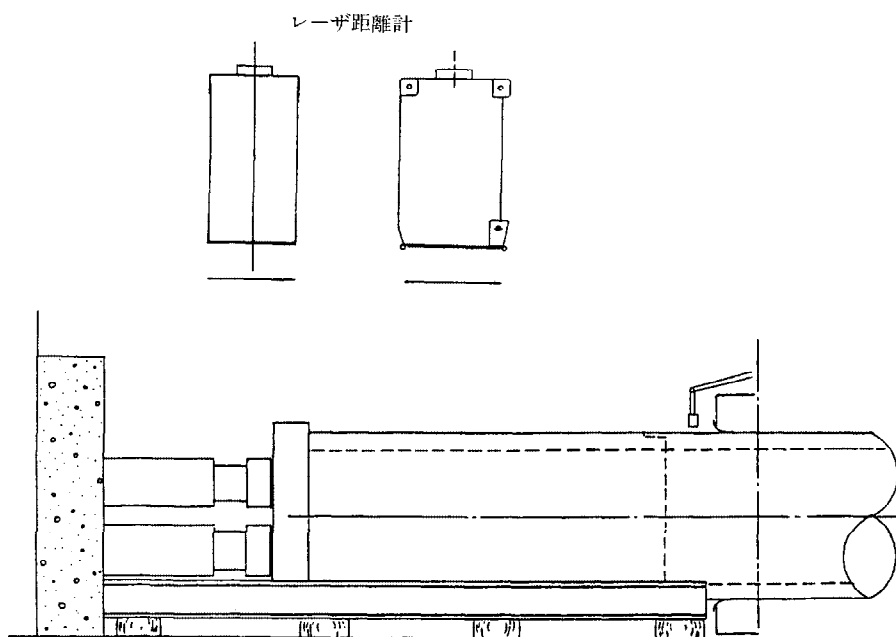


図-3

みに1だけ圧入されたことになる。

次に掘進機が②図におけるB点から曲線部に入った場合について説明すると、③図に示すように、掘進機がB点からC点までの距離 ℓ_1 だけ推進されると、距離計で検出するG点からH点までの推進量 ℓ_1 と等しく入力される。

掘進機の方法は基準中心線より θ_1 だけ偏向したとすると、ジャイロコンパスは偏向した θ_1 を

表示し同時に入力される。

この時の掘進機の変位量 X_1 、 Y_1 は次式で表わす。

$$X_1 = X_0 + \ell_1 \times \cos \theta_1$$

$$Y_1 = Y_0 + \ell_1 \times \sin \theta_1$$

さらに掘進機のC点より④図のD点まで距離 ℓ_2 が推進されると、距離計で検出したH点からI点までの推進量 ℓ_2 として検出される。そして

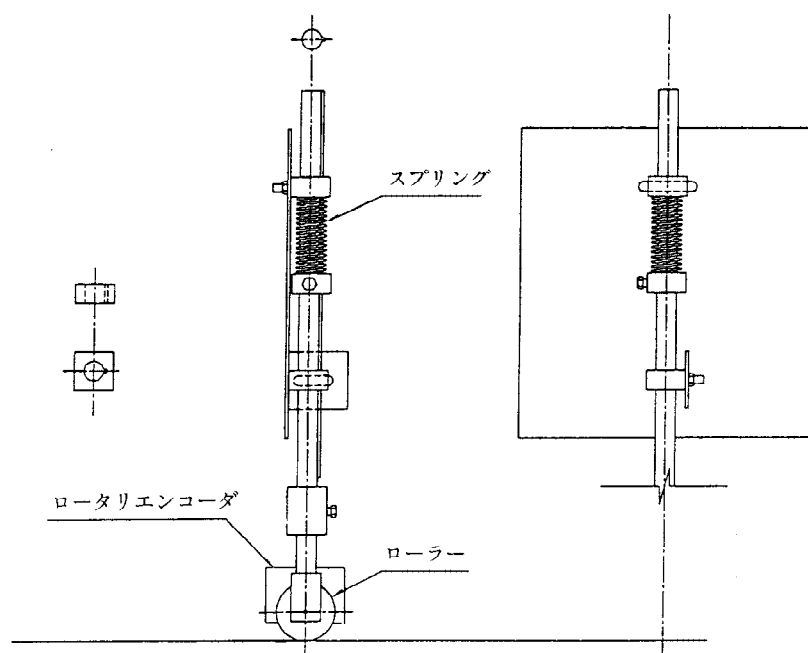


图-4

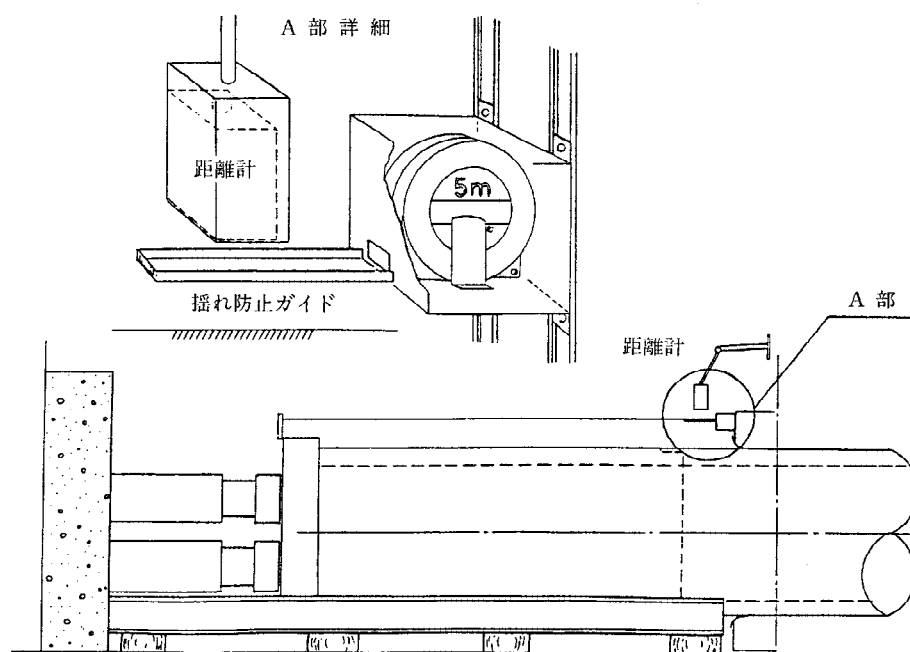


图-5

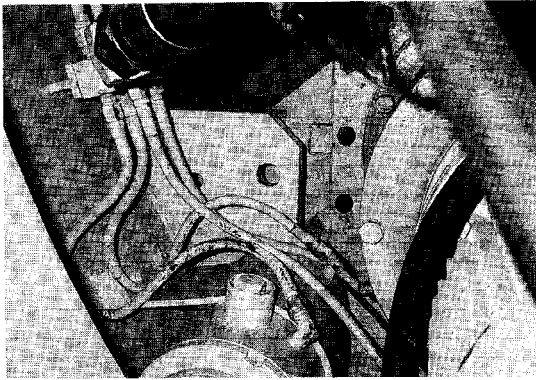


写真-4 掘進機の修正ジャッキ(下側)

掘進機の方法は埋設管の基準中心線より θ_2 だけ偏向したものとすれば、ジャイロコンパスも θ_2 だけ偏向した表示をする。

この時の変位量 X_2 、 Y_2 は次式で表わす。

$$X_2 = X_1 + l_2 \times \cos \theta_2$$

$$Y_2 = Y_1 + l_2 \times \sin \theta_2$$

そこで距離を 1 cm ごと、あるいは 3 cm ごとという様に設定することによりパソコンで随時演算されディスプレイに表示し、同時に計画値との対比が推進中絶えず監視できるようにした。よって測量に費やす時間が不要となり日進量の増加と、修正に対し、早く適切な対応が可能となった。

尚、曲線推進の宿命とも言えるテールの流れが急曲線や、土質によっては発生する為、定期的な実測を行い、ずれがある場合は補正が必要である。

4. 開発経過

初期の開発では、先ず距離の入力方法についての検討を行った。計測を行う条件として、高精度である事、又対環境に勝れている事等の点から、以下の二つの計測方法を選択した。

① ロータリエンコーダによる方法(図-2)

② レーザセンサによる方法(図-3)

ロータリエンコーダは図-2の様に埋設管の頂部に管の移動と共に回転する回転体を設置し、回転体に直結したロータリエンコーダの発するパルスをカウントすることにより推進量が算出される。一方レーザセンサも図-3の様に埋設管の頂部に取り付け、レーザ光により非接触で推進量を計測

するものである。実験を行った結果次のような問題が生じた。

エンコーダによる方法では、坑口付近の管の沈下でローラーが管に接触せず空転する場合があります。誤差が発生した為、管体の浮き沈みに対応出来る様に、図-4に示す取付架台を作成した。主軸とローラーをスプリングで支持したが、スプリングの強度、取付高さ等の調整が難しくすべり等の発生までは防げず、100%の信頼を得る事は出来なかった。そこでレーザセンサを使用した、2点程問題が生じた。

問題①は、対象物(ヒューム管等の管材)等の色、材質によって誤差が発生した。

また問題②として水が付着しても誤差が出てしまうことである。センサーは坑口付近に取付ける為エントランスリング(ゴム製)と管の隙間からたまたま吹き出す地下水が原因した。これら2つの問題については次のように対応した。問題①についてはセンサー本体をバージョンアップする事で解決した。問題②については出水部分へ詰め物をしてみた。種々の材料(布、スポンジ、他)を使ったが、現場の状況(湧水の多少)により、これと言った対応が特定出来なかった。結局、対象物(ヒューム管等の管材)への直接測定は無理と判断し、間接的な測定へと転換を図った。図-5はその間接測定方法の実施例である。センサーは同様に管路頂部に取り付け、測定対象物はけん引力があり巻き取り機能のあるスチールを使用した。結果この方法で地下水の影響も受けることなく、充分信頼出来る計測が可能となった。

5. 今後の展開

ジャイロコンパスについては各メーカーが、小型化、高精度化、又メカ式から光ファイバージャイロと開発が進んでいる。当社においてもよりコンパクトで高精度、且つ人為的要素の減少可能なシステムを目指し開発に取り組んでいる。ソフトウェアについても、より簡略化を目指している。

次の機会があれば距離計測システムの改良、光ファイバージャイロの導入等について報告したい。