

慣性センサユニットを用いた模型試験

－MEMS 慣性センサのヨー角確認試験－

大成建設(株) 技術センター 生産技術開発部 正会員 ○近藤 高弘

1. はじめに

建設機械自動化に向けて MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)慣性センサの利用技術として先ずはトンネル切羽のこそく作業をガイドするため重機(切羽ガイダンス)への応用を考え、慣性センサを利用する技術開発を行った。ここで求められる開発項目は、リアルタイムにピッチングおよびローリング角が高精度に検出できかつドリフト量の少ない精密なヨー角を出力できることが課題となる。慣性センサユニットを開発し従来 TS2 台で旋回ヨー角の検出行っていたが、慣性センサのヨー角を利用し補完することで TS1 台による運用の可能性を試験した。

2. 慣性センサユニットと試験方法

慣性センサユニットの構成と重機への取り付け座標系を図-1 に示す。

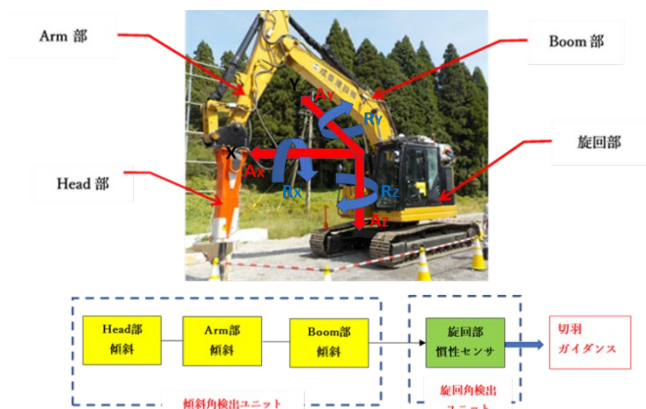


図-1 慣性センサユニット取付と座標系

重機の Head・Arm・Boom 部にはピッチングとローリング角の検出を行い、旋回部はピッチングとローリング角とヨー角を検出する



図-2 慣性センサユニット

慣性センサユニットを図-2 に示す。

慣性センサユニットは三軸加速度 (A_x, A_y, A_z)、三軸角速度 (R_x, R_y, R_z) の六軸を出力する。慣性センサ出力よりピッチング角 θ ・ローリング角 ϕ ・ヨー角 ψ を以下のように算出する。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{-A_x}{\sqrt{A_y^2 + A_z^2}} \quad \phi = \tan^{-1} \frac{A_y}{A_z} \quad \text{--- (1)}$$

$$\Psi = \int \left(\frac{\sin \phi}{\cos \theta} \cdot R_x + \frac{\cos \phi}{\cos \theta} \cdot R_z \right) dt \quad \text{--- (2)}$$

実際にトンネル切羽こそく作業の重機旋回ヨー角は 2 点のポジショニング情報を TS(Total Station)で取得しヨー角を求めこれを基準として運用していた。従来 TS2 台で旋回ヨー角の検出を行っていたが、慣性センサユニットのヨー角で補完することで TS1 台による運用の可能性を試験した。実際の運用では初期に 2 点のポジショニング情報を TS を収集し初期値のヨー角を求め、その後慣性センサユニットからのヨー角と 1 点のポジショニング情報を用いて運用することになる。

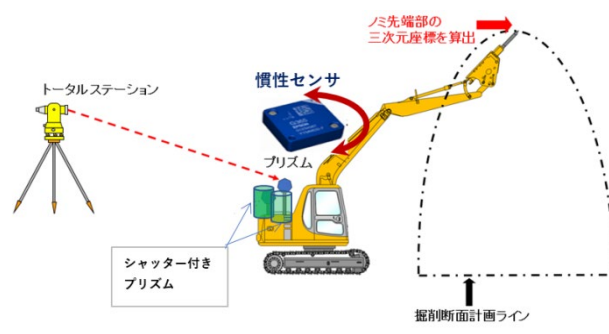


図-3 慣性センサユニット利用イメージ

図-3 に運用イメージを示す。

そのため 2 点のポジショニング情報取得のプリズムには誤認識を防止するためシャッター機構を有する機能が必要となる。図-4 にプリズムシャッターを示す。

キーワード MEMS、慣性センサ、校正、ドリフト量、ヨー角、ピッチ角、ロール角

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設技術センター TEL090-4914-5667

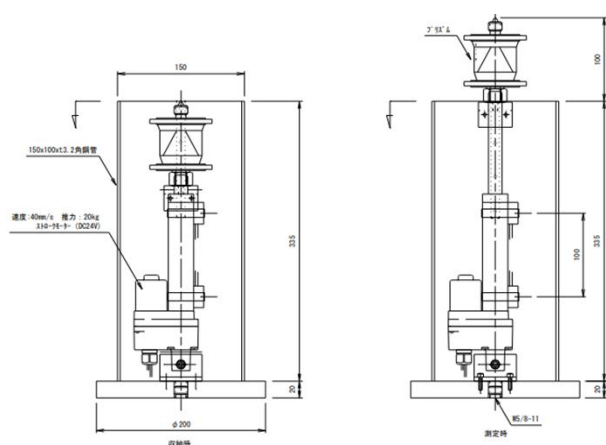


図-4 シャッター付きプリズムの開・閉の状況

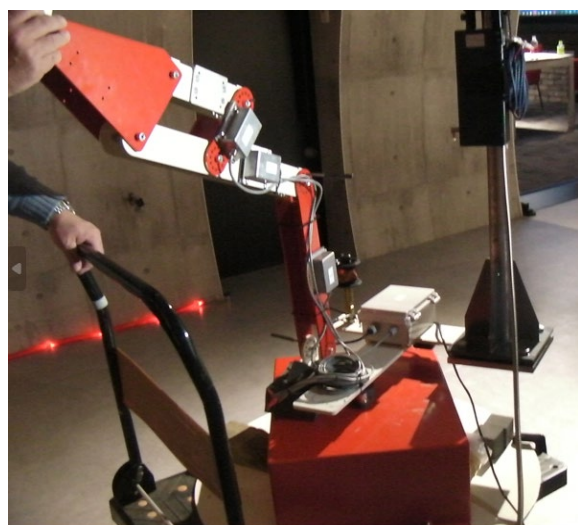


図-5 慣性センサヨー角確認模型試験状況

慣性センサユニットのヨー角確認のための重機を模擬した模型を用いて確認試験を実施した。

図-5 に模型試験の状況を示す。

3. 慣性センサユニットのヨー角補間運用方法応用

設置した TS は事前に現場座標系への変換が行われ、2 点のポジショニング情報を各シャッターの開閉を制御し 1 台の TS で取得し初期ヨー角を求める。

初期ヨー角の取得手順を示す。

- (1). 2 点のポジショニングは、TS の後方交会により現場座標系で測位できるものとする。
- (2). 片側のシャッタープリズムを開き、TS でプリズムを自動視準。
- (3). 片側の測位データが取得完了後、現在のシャッターを閉め、対の片側のシャッターを開く。
- (4). (2)と同様に TS でプリズムを自動視準し測位デー

タを取得する。

- (5). 2 点のプリズムの現場座標値からヨー角を算出、慣性センサのヨー角を補完する。

運用時の手順を示す。

- (1). 慣性センサユニットのヨー角のドリフト量が少ない間は TS がプリズムを視準した状態で作業を継続する。
- (2). ドリフト量が大きくなり、一旦停止する。
- (3). 停止確認し、現在使用中のシャッターを閉じ、対の片方のシャッターを開き新たなプリズム座標を推定し TS の視準変更を指示する。

推定ターゲット座標値 (X_{tR} , Y_{tR} , Z_{tR}) から以下式より TS の極座標に変換し、水平角、鉛直角 H_t , V_t の指示値に移動させ自動視準すれば新たに開いたプリズムを捕えられる。

$$\begin{pmatrix} H_t \\ V_t \\ L_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tan^{-1}\left(\frac{Y_{tR}}{Z_{tR}}\right) \\ \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{X_{tR}^2 + Y_{tR}^2}}{Z_{tR}}\right) \\ \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \end{pmatrix}$$

- (4). 新たに取得したプリズム座標値と、直前まで取得していたプリズム座標値の両プリズムの現場座標値から重機のヨー角を算出、慣性センサユニットのヨー角を新たに補正し作業開始となる。

以降(1)~(4)を繰り返して作業運用する。

4. まとめ

重機の Head・Arm・Boom 部に設置したピッチング・ローリング角は所定の精度を確保する事ができた。また慣性センサユニットによるヨー角と TS 測定のヨー角の比較では、慣性センサユニットのヨー角のドリフト量が 0.5 度以内であれば当初の目的の精度を確保でき有効である。本試験で用いた MEMS 慣性センサの有効利用が確認できたがセンサ校正に関しては個体ごとに特性が異なるため個別に対応が必要である。今回は慣性センサの建設機械への応用を示すことができた。今後はさらなるドリフト量を抑え精度向上に向け開発を進めて行きたいと考える。