

1. まえがき

シールド機の姿勢(方位角、回転角、傾斜角)を計測することにより、その姿勢変化を把握するとともに掘削計画線に対する水平方向および垂直方向の変位が推定できる。これによりシールドジャッキの操作を容易にし、また、光学測量回数の減少が期待できる。このため、ジャイロスコープにより方位角を、アクセロメータにより回転角、傾斜角を検出する姿勢計測装置をシールド機に搭載し、その実用性について検討を行ってきた。搭載実験の結果、姿勢計測データが得られ、姿勢計測装置の耐環境性が確認できた。そこで、本報告では姿勢計測データおよびシールド機変位の推定結果、姿勢計測装置の性能変化について述べる。

2. 実験方法

2.1 実験条件 姿勢計測装置は試作後、現在まで2年6箇月経過しており、シールドに搭載していた期間は連続19箇月である。姿勢を計測するタイミングは1掘進に1回、掘削終了後に行なった。掘削計画線は直線であり、掘削長は105 m、計画線の方位は $232^{\circ}26'$ (南から西へ $52^{\circ}26'$ である)、勾配は1%のより勾配である。シールド機形状は直径3676 mm、 L/D は1.22で、工事は電電公社建設技術開発室の実験工事である。

2.2 搭載実験装置 実験に用いた姿勢計測装置については第29回全国大会において報告している。装置の配置は図1に示す通りで、姿勢計測部、電源部、表示部および計測室に配置した制御部、ミニコンピュータ、データ集録部から構成されている。姿勢計測精度は方位角が $\pm 3 \text{ mrad}$ 、回転角、傾斜角が $\pm 1.5 \text{ mrad}$ 以内である。

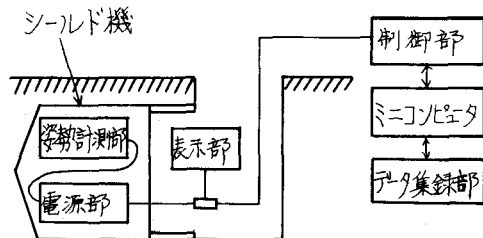


図1. 搭載実験装置

表1. 姿勢計測結果

姿勢角	変化範囲	1掘進による最大変化
方位角	$-8.1 \sim +8.4 \text{ mrad}$	3.2 mrad
回転角	$-21.2 \sim +13.1 \text{ '}$	4.7 '
傾斜角	$-1.2 \sim +47.7 \text{ '}$	5.2 '

3.1 姿勢計測結果 全セグメント数140リングのうち、計測した回数は60リング分である。測定値の変化範囲は表1に示す通りで、方位角の場合は掘削計画線方位を 0 mrad としたときの値で、回転角はシールド機の上下軸が垂直なときを 0 mrad 、傾斜角は掘進方向の軸が水平なときを 0 mrad とした値である。ただし、傾斜角の場合、計画線は1%のより勾配があるので実際の傾斜角の変化範囲は $+37.7 \sim -11.2 \text{ mrad}$ である。表の1掘進(セグメント1リング分)による最大変化は掘進前後の姿勢角の差が最大のときの値を示したもので、なかには変化が認められない場合もあった。

3.2 シールド機変位の推定 シールド機は1掘進ごとに水平、垂直方向に変位を生じる。このときシールド機の掘進方向と姿勢角が一致すると仮定すれば、掘進後の変位は次のように表わすことができる。

いま、シールド機と掘削計画線のなす方位角を ψ とし、 n 回目の計測値を ψ_n (掘進後)、 $n-1$ 回目の計測値を ψ_{n-1} (掘進前)とする。また、水平変位を掘削計画線に対して $\pm x$ とし、 n 回目の掘進で生じた変位を δx_n とする。さらに1掘進長を L とし、方位角 ψ を掘進長で積分すると、 δx_n および δz は(1)、(2)式のように表わすことができる。ここで(2)式の x_0 は光学測量による初期値である。

$$\delta X_n = L \cdot \sin \frac{\psi_n + \psi_{n-1}}{2} \quad \text{-----(1)}$$

$$X = X_0 + \sum_{n=1}^N \delta X_n \quad \text{-----(2)}$$

垂直方向変位も同様の方法で計算される。図2、図3に各変位の推定値を光学測量結果と対比して示す。なお、計算では $L=750\text{ mm}$ として求めた。また、光学測量値はセグメントの変位を測量したものである。

4. 姿勢計測装置の性能変化

姿勢計測装置の性能変化を把握するため、搭載実験後に以下の3項目について測定した。

(1) 一定時間内における計測値のばらつき： 5.5時間内の測定では、方位計測値のばらつきは $\pm 0.87\text{ mrad}$ (P-P)、回転角、傾斜角計測値は $\pm 0.4\text{ mrad}$ 、 $\pm 1.7\text{ mrad}$ (P-P)であった。

(2) 測定日が多なる場合の誤差： 入力角度が一定であっても測定日により差のある場合がある。6日間の測定では、方位角計測値は最大 1.3 mrad 、回転角、傾斜角は最大 0.3 mrad の差があった。

(3) 入力角度に対する計測精度： 図4に方位角計測精度を示す。入力軸を真東に向け、東から $\pm 200\text{ mrad}$ の範囲で測定を行ない、入力角度からの差を求めた。この場合、測定は回転角、傾斜角が 0 mrad の状態で行なった。図5は回転角計測精度を示す。なお、図4、図5ともにテーブルを反転し、固定トルクによる誤差(0点のシフト)を消去した値である。

搭載実験期間における装置故障は、ミニコンピュータ部、データ記録部の回路故障を除くと、トンネル内ケーブルの接続部において湿気による接触不良が生じたこと、電源部の性能劣化による雑音が増加したことの2件であった。

5. 考察

(1) 姿勢計測装置の性能 姿勢計測装置は搭載実験後の性能試験結果から判断するとトンネル内の環境に充分耐えられる。また、計測性能のうち測定値のばらつきは電気的な雑音の増加により搭載実験前に比較して1.2倍(方位)、5.7倍(傾斜)と増加しているが製品の高性能化、データ処理により対処できる。長期間の計測精度の保証は入力軸反転方式を用いたことにより可能であった。

(2) シールド機の変位推定精度 図2、図3の光学測量値はセグメント変位であり、シールド機変位との間には、クリアランス、裏込の影響による偏差がある。また、変位推定値は実際のシールド機変位に対して、シールド機のすべり現象、ジャッキ反力、土圧の反力などによる偏差を含んでいる。しかし、(2)式で単純に計算した結果は、水平変位で最大 3.6 cm 、垂直変位で最大 3 cm の偏差であった。この偏差の値はシールド機の方角を急激に変化させた場合、推定する区間が長くなる場合には増加する傾向が認められるが種々の誤差要因を把握し、補正を施せば変位推定精度の向上が可能である。

6. 謝辞 本実験の遂行にあたり御協力頂いた建設技術開発室担当各位、装置メーカーの方々に感謝いたします。

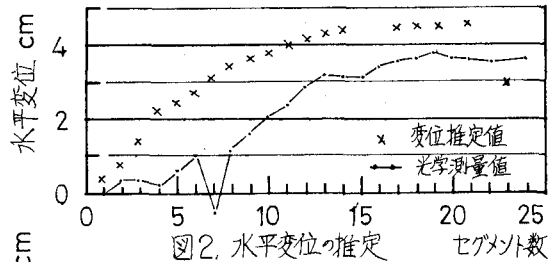


図2. 水平変位の推定

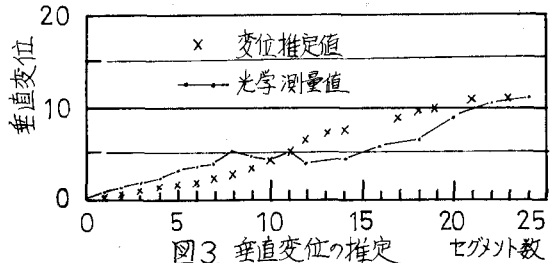


図3. 垂直変位の推定

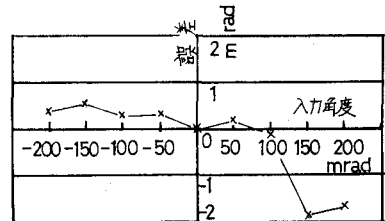


図4. 方位計測誤差

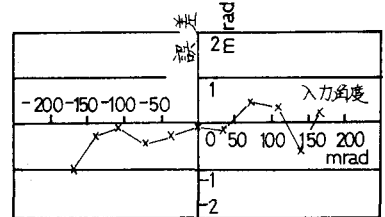


図5. 回転角計測誤差