

拡大シールド工法における位置計測技術の開発

(株)大林組 正会員 ○金 淨晃
 (株)大林組 正会員 屋代 勉
 (株)演算工房 白坂 紀彦
 多摩川精機(株) 中村 友計

1. はじめに

トンネル断面の拡幅において、都市部の高密度化に伴う施工条件の制約から、トンネル内部からの施工への要求が高まっている。非開削切掘り工法の一つである拡大シールド工法は、セグメントで覆工しながら掘進するため、施工時の安全性が優れる。一方、360°施工向きが変化するため、坑内での測定の作業性が悪い。また、上向き・下向き測定の発生により、測量機器の盛替回数が多くなるため、測量による誤差が増加する要因となり、計測時間が長くなることが課題である。本稿では、拡大シールド工法において、測量精度の確保と計測時間の短縮を目的とした、位置計測技術の開発内容について報告する。

2. 開発概要

2.1 使用機器

位置計測技術は、既存の管路計測装置 TUG-NAVI を活用した。TUG-NAVI は、センサプローブに搭載したジャイロと加速度計による姿勢角・方位角の算出と、センサプローブ後端に直結されているデータ出力用のケーブルを移動距離として測長器で計測し、移動区間の座標を算出するものである。センサプローブを写真1に、測長器を写真2に示す。



写真1 センサプローブ 写真2 測長器

2.2 実験概要

これまで、TUG-NAVI はパイプ状のガイド管の中をセンサプローブを通過させ、その軌跡を計測していた。しかし、ガイド管径はセンサプローブに対して余裕のある大きさにする必要があるため、計測時にセンサプローブが管内で振れて姿勢が不安定となり、誤差の要因になると考えられた。そこで、ガイド材にレールを用いて、常に一定の場所をセンサプローブに通過させることを考案し、ガイド管を用いた場合との精度を比較した。また、TUG-NAVI は鉛直方向に円弧状の線形を計測した実績はないため、本実験にて、その精度を確認した。

2.3 実験方法

実験ケースを表1に示す。STEP1では、水平方向直線の線形に対してのTUG-NAVIの基本精度を確認した。計測距離は20mとし、センサプローブの最適移動速度の決定とガイド材を選定した。センサプローブ前端の固定リングにワイヤーを設置してセンサプローブを牽引し、その軌跡を計測した。2m間隔で基準点を設け、TUG-NAVIの計測値と基準点の座標を比較し、誤差を算出した。STEP1の実験方法を図1、図2に示す。

表1 実験ケース

	方向	線形	ガイド材	牽引速度 (cm/s)	計測 (回)
STEP1	水平	直線	ガイド管	10	5
				20	5
				30	5
STEP2	鉛直	曲線	レール	30	5
				30	5

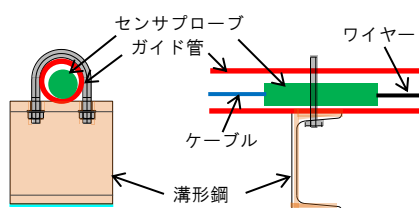


図1 ガイド管を用いる方法

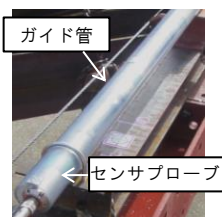


図2 レールを用いる方法

キーワード 位置計測, 拡大シールド, ジャイロ, TUG-NAVI

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 (株)大林組 生産技術本部 シールド技術部 TEL 03-5769-1318

STEP2 では、鉛直方向に曲線を含む線形での TUG-NAVI の精度を確認した。線形は拡大シールド坑内の計測状況を考慮して円弧状とし、センサプローブが下向きに移動する際にも、センサプローブの姿勢及び移動速度が一定になるよう、センサプローブの前後に一定の引張力を作用させた。STEP1 の結果を反映し、センサプローブの移動速度は 30cm/s、ガイド材はレールを用いた。計測距離は STEP1 と同等の 20m とした。30°間隔で基準点を設け、TUG-NAVI の計測値と基準点の座標を比較し、誤差を算出した。STEP2 の実験状況を写真 3 に示す。

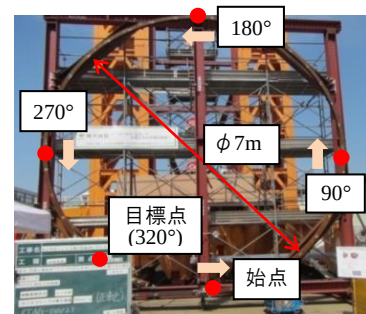


写真 3 STEP2 の実験状況

3. 実験結果および考察

3.1 STEP1

STEP1 の各ケースで発生した最大誤差と各計測点の平均誤差の最大値を表 2 に、計測結果を図 3 に示す。

①ガイド管を用いたケース

センサプローブの移動速度が 30cm/s のケースの最大誤差と平均誤差の最大値が最も小さい。また、計測ごとのデータのばらつきも最も小さく、データの再現性が高い。移動速度が速くなることで、計測中のセンサプローブの姿勢が安定したためと考えられる。

②レールを用いたケース

最大誤差と平均誤差の最大値ともに、ガイド管を用いたケースより小さい。計測ごとのデータのばらつきも小さく、データの再現性が高い。ガイド材にレールを用いたことで、センサプローブの計測中の姿勢が安定し、計測誤差が低減したと考えられる。また、センサプローブが常に一定の場所を通過したため、計測ごとのデータのばらつきをほぼ抑えることができたと考えられる。

3.2 STEP2

STEP2 で発生した最大誤差と各計測点の平均誤差の最大値を表 3 に、計測結果を図 4 に示す。TUG-NAVI の機械精度(1/300, 20m 計測, 67mm)は満足したが、STEP1 と比べると最大誤差と平均誤差の最大値が大きく、センサプローブの移動に伴い、計測誤差は増加している。レール台車に繋がったワイヤーを測長器で計測し、センサプローブの移動距離としたが、計測線形が曲線になることで実際の移動距離より短く測長した区間が発生しており、測長器の計測誤差に起因していると考えられる。また、地球自転と重力の影響によるジャイロの計測誤差も考えられる。ジャイロは地球自転と重力の影響を受けるため、既存の演算プログラムではそれらを反映させて補正を行っていた。これまでは重力や地軸の方向が一定条件での計測だったため、補正できていたが、STEP2 のようにジャイロの向きが初期姿勢から 180°反転して計測する場合、地球自転と重力の影響を補正しきれなかったと考えられる。

4. おわりに

TUG-NAVI により、鉛直方向に円弧状の線形を短時間で計測できることを確認した。また、ガイド材にレールを用いたことで、TUG-NAVI の計測精度が向上し、鉛直方向の円弧状の線形についても機械精度が確保できた。一方、拡大シールドトンネルの線形をより正確に管理するためには、今回の実験結果を基に計測精度をさらに向上させて行く必要がある。また、今回の実験で得られた知見を応用することで、曲線パイプルーフなどの様々な工法や線形に対しても TUG-NAVI による計測が適用できると考える。

表 2 STEP1 の計測結果

ガイド材	ガイド管			レール
移動速度(cm/s)	10	20	30	30
最大誤差(mm)	51	39	17	7
最大平均誤差(mm)	29	24	9	5

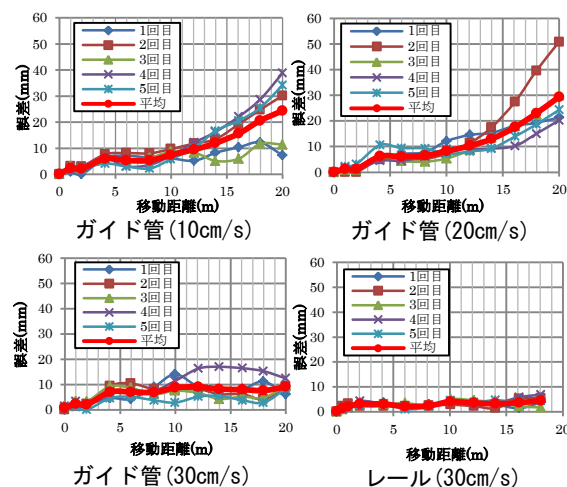


図 3 STEP1 の各ケースにおける計測結果

表 3 STEP2 の計測結果

計測条件	レール(30cm/s)
最大誤差(mm)	33
最大平均誤差(mm)	24

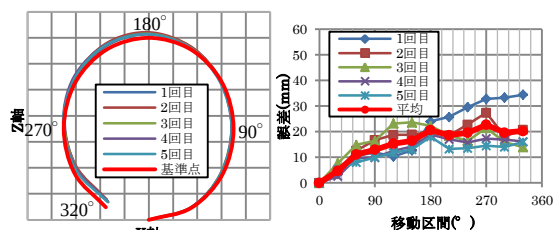


図 4 STEP2 の計測結果