

19. ジャイロコンパスとレベル計を用いた シールドトンネル掘進機の自動測量システム

(株)大林組：土屋幸三郎・阪本 公明

＊今倉 和彦

1. はじめに

最近の社会情勢から建設需要は増大する傾向にあり、特に都心部では地下空間の有効利用を図る目的で、特にシールド工事が注目されている。シールド工事は、その作業の特殊性から非常に高度な施工管理を必要とする。中でも線形管理は非常に重要な管理項目であり、従来方式の人力によるトランシット測量に代わり、リアルタイムの自動測量システムが導入されるようになった。現在使われているリアルタイム自動測量システムは、主にレーザートランシット方式とジャイロコンパス方式の2種類である。最近では、ジャイロコンパス方式が取扱いの容易さから多く採用される傾向にあり、さまざまなジャイロコンパスを用いた自動測量システムが開発され、実用化されている。本報告では、そのジャイロコンパス方式のシステムの概要と運用結果及びその考察を行うものとする。

2. ジャイロコンパス方式のシールド機自動測量システム

(1) システムの概要

このシステムで使われているジャイロコンパスは、従来船舶用であったものを建設機械搭載用に改良したものである。このジャイロコンパスをシールド機に搭載することにより、シールド機の方位角を常に計測し、平面線形管理を行うことができる。また、縦断線形管理については、水圧検知式のレベル計をシールド機に装着することにより行っている。シールド機の自動測量システムは、この方位角（シールド機の向き）とレベル計で検出した水圧（シールド機の標高）、掘進した距離からシールド機の現在位置を算出し、設計計画線に対する偏位量と偏位角を求めるものである。

このジャイロコンパス方式システムはレーザー方式の自動測量システムと比較すると、

- ① ジャイロコンパスが小型で小口径シールド機にも搭載が容易である。
- ② 掘進によるジャイロコンパスの盛替作業が不要である。
- ③ レベル計の計測原理が簡単であり、高精度の計測が可能であり、またトラブルの発生が少ない。
- ④ 比較的安価である。

以上のような特長がある。

(2) システムの構成と機能

この位置測量システムの構成を図-1に示し、主な機能については以下とおりである。

- ① ジャイロコンパスの方位角検出値、シールド掘進長、シールド機姿勢データ（ピッチング、ローリング）およびレベルシステムで検出した標高からシールド機の現在位置を算出する。
- ② シールド機現在位置から、設計計画線に対する偏位置と偏位角を算出する。
- ③ 計測結果を、コンピュータの画面表示及びリング報として出力する。

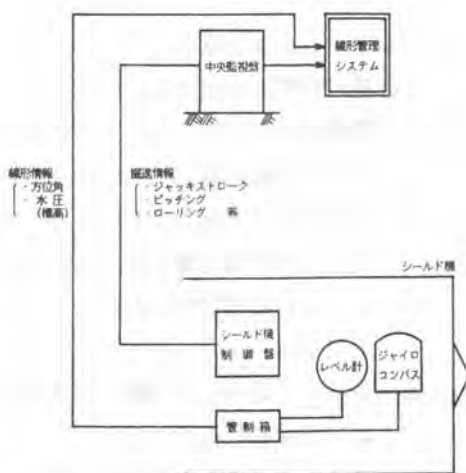


図-1 システム構成

3. システムの施工事例とその運用結果に対する考察

(1) 工事概要

本工事は、桂川の右岸京都市西京区宅地開発に伴う雨水排水整備事業の一環である西羽束師川に排水する雨水排水専用管渠の敷設工事である。この工事の概要を表-1、平面線形図を図-2に示す。この工事で自動測量システムを導入した目的は、計画線形が官民境界に近接しており、さらにR=38mの急曲線施工を含んでいることから、高い精度の線形管理を必要としたことによる。

表-1 工事概要

名称	西羽束師川第一排水区西羽束師川 1-1号幹線
工期	昭和62年 6月～昭和63年11月
内容	気泡式シールド工法 掘進延長 : 777m 掘削外径 : 6,130mm 仕上り内径 : 5,000mm 縦断勾配 : 0.9% 平面線形 : R=38m (CL=76m) 土被り : 12.9~13.9m RC&スチールセグメント使用

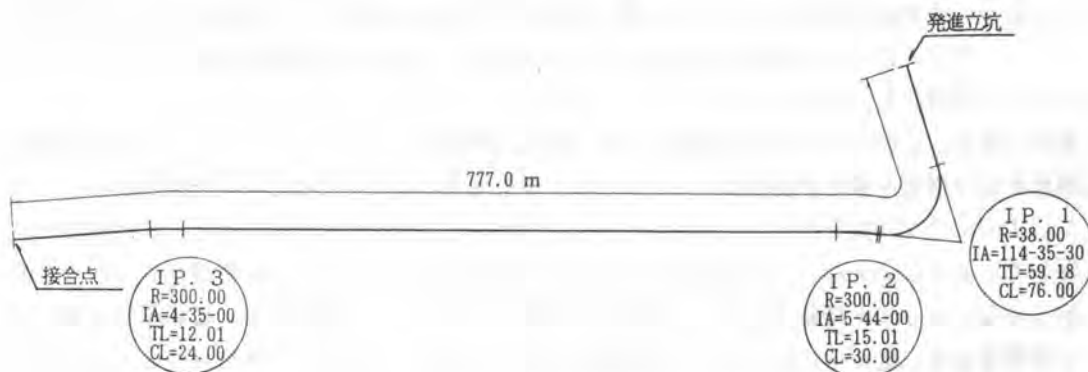


図-2 平面線形図

(2) システムの運用結果

この線形管理の運用結果については、以下のとおりであった。

- ① 直線部におけるシステムの計測精度は、人力によるチェック測量と比較して約6～7mの掘進距離に対して10～15mmの誤差に留まり、非常に良好な結果を示した。
- ② 急曲線部(R=38m)においては、チェック測量を適時行うことにより、設計計画線に対する水平方向偏位量を40～45mm以内に納めることができた。
- ③ レベル計の検出精度が良好であり、設計縦断勾配が0.9%と厳しい条件下を精度良く施工できた。
- ④ シールド坑内という厳しい使用条件下であったが、計測器類に特にトラブルなど無く安定した稼動状況であった。

(3) システム運用の効果及びその考察

システムの計測精度は、前項に示したとおりほぼ満足の行く良好な結果を示した。これにより、現場の施工において以下に示すようなシステムの運用効果があった。

- ① 直線部では、システムの計測精度が安定して高いものであったため、チェック測量の頻度を減少することが可能であった。
- ② 曲線部においては、ジャイロコンパスがリアルタイムで検出する方位角を監視することにより、シールド機の挙動を確実に把握することができた。このことが、高い精度での施工を可能とした。

以上のような結果から、ジャイロコンパス方式の自動測量システムは、シールド工事における線形管理システムとして十分に機能し、活用できるものと確認された。このことは、システムの開発段階において計測精度の高いものを開発目標とし、予想される問題点について事前に抽出し対処したことが効果を発揮したものと思われる。この主な問題点と対処例は、

- ㊸ ジャイロコンパスの方位角検出精度があまり高くないことから、システム内で演算に用いる方位角は、ジャイロコンパスの検出値を高速スキャンして平均処理を行い、その値を用いた。
- ㊹ システムで検出するシールド機の位置が絶対的な位置検出方法でないため、その算出フローについて各種のシミュレーションを行い、もっとも誤差を含みにくいフローを採用した。

などである。このシステムは、将来シールド機の線形制御システムのうち、シールド機の位置検出を行う機能を果たす重要なシステムとして採用されるようになることが予想される。しかし以上のような対処を行ったにもかかわらず、自動線形制御を行うために十分な計測精度を確保しているとはいえない。この原因は、運用結果の解析によりシステムの処理フロー内で考慮していないシールド機やセグメントの微小な挙動によるものと判別された。この挙動を要因別に分類すると、図-3に示すような4種類となる。今後は、この微小な挙動についても定量的に把握して考慮したシステムの処理フローを構築するか、別の計測方法によりその不足する計測データを補完するなどして対処していく必要があるものと思われる。

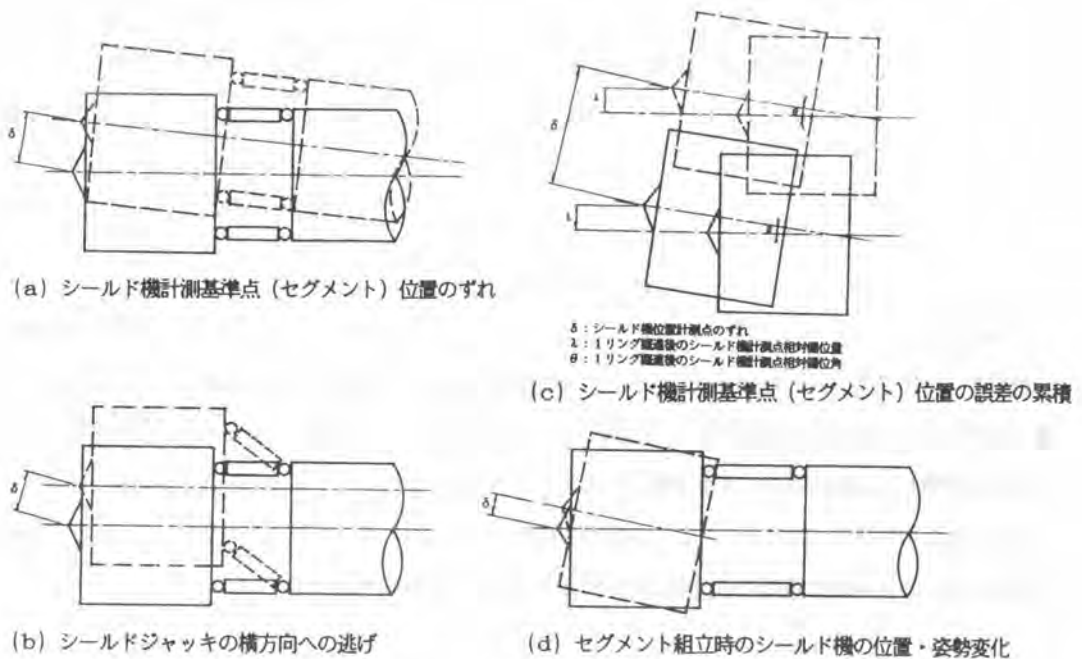


図-3 計測精度の低下をもたらす要因

4. 今後の課題

ジャイロコンパスは、その取扱いの容易さから現在でも多数使用されており、それを用いた自動測量システムの運用効果が認められてきていることから、今後より一層普及するものと思われる。

しかし、将来のシールド工事の「全自動・無人化施工」を目指したシステムを構成するものとしては、様々な対処を施し計測精度の向上を図ったにも係らず、まだ図-3に示すよう要因により不十分であるといえる。これらの要因について、定量的に把握することは非常に困難なであるが、システムが計測を行っていないセグメント組立中のシールド機の微小な回転（方位角の変化）を考慮した計測結果の処理フローを採用すると、システムの計測誤差を約半分にすることができる等が確認されており、不可能なわけではない。

このため、ジャイロコンパス方式の自動測量システムの今後の課題としては、「計測器の検出精度の向上」、「システム内の各種処理フロー構成の見直し」、「システムの使用を考慮したシールド機構造の検討」、「計測精度の向上を図るための補助情報およびその計測方法の検討」などであると思われる。

これらの課題を解決していくためには、そのシステムの特長を十分に把握したうえで、様々なモデルを仮想してシミュレーションなどを行い、最も適切な解決手法を見出していく必要があると思われる。このため、現状において計測精度に関してレーザー方式の自動測量システムと同等の評価を得られるようになるには、もう少しシステムの熟成期間が必要であると思われる。