

シールド掘進管理システムの開発

Development of Driving Control System for Shield Tunnelling

大日本土木(株) 丹羽 譲

○畑 一民

by Yuzuru NIWA, Kazutami HATA

シールド工法は都市土木工事の主要な工種として安定した需要があり、新しい掘削・覆工方式などの開発と並んで、掘進機の位置方向制御技術に関しても様々な研究が為されている。ここ数年の傾向として、多様な測定機器の導入によって測定の自動化・省力化・高精度化が可能になり、掘進状況の把握についてもリアルタイムな遠隔集中管理方式が主流となりつつある。

本稿は、ジャイロコンパスやレベルセンサを用い、中・小口径シールドを主な対象として開発を進めてきた掘進機位置管理・方向制御システムに関するものである。システムの実施適用例を通じて、その概要・特徴について報告する。

【キーワード】 シールド工法, システム開発, 自動位置管理, 方向制御

1. はじめに

シールド工法の掘進機の方向制御において、位置姿勢を適切に把握することは、重要な管理項目の一つである。従来はこの作業をトランシット、レベル測量のみによっていたため、下記のような問題点があった。

- ① 常時掘進機挙動を把握することが不可能なので、きめ細かい管理が行えない。
- ② 中小口径シールドあるいは急曲線路線の坑内では、測量に手間がかかる。
- ③ 掘進機の位置、姿勢情報の解析に時間がかかり、修正制御動作指示にタイムラグが生じる。

これらの問題点に対処するため、当社では『シールド掘進管理システム』を開発し、工事に適用している。当システムはジャイロコンパスやレベルセンサなどの測定機器や、多重伝送装置、パーソナルコンピュータより構成されるもので、掘進機情報を常時、自動的に収集し、遠隔集中管理を行うことを目的としている。

2. システムの構成

(1) ジャイロコンパスとレベルセンサ

現在一般に使用されているシールド機の位置や姿勢の自動測量形式は、レーザ方式¹⁾等光学的機器によるものとジャイロコンパス方式に大別される。このうちレーザ測量器を用いたものでは測定精度に優れている反面、カーブ路線の多い中小口径シールドでは、レーザ光線の通過域の確保が困難で、機器設置上の制約が多い。一方、ジャイロコンパス(写真-1)を用いる場合では、設置条件に制約を受けることが少なく、また掘進機の絶対方位の情報にジャッキストローク計による推進距離を合わせる(図-1)ことによって、レーザ方式と同程度の精度を得られることが報告されている²⁾。

当システムでは掘進機の水平方向位置計算のための測定器として、ジャイロコンパスとストロークセンサ、鉛直方向にはレベルセンサとピッチングセンサを用いている。レベルセンサは水盛計の原理によるもので(図-2)、掘進機の鉛直方向位置を高精度で追尾することが可能である。

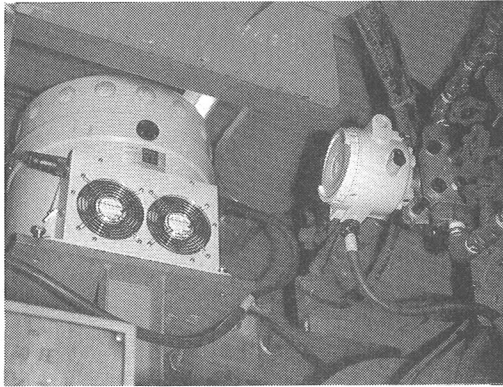


写真-1 ジャイロコンパスとレベルセンサ3)

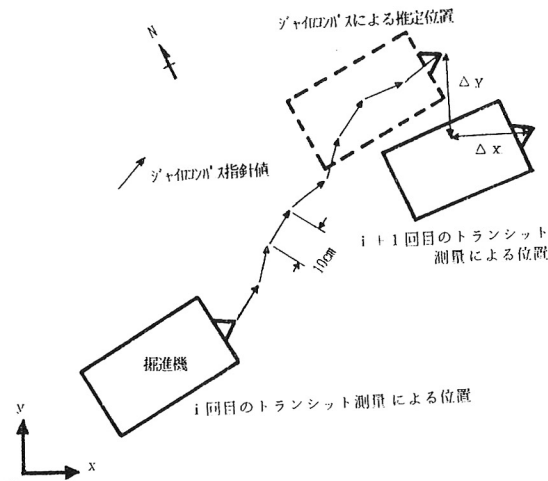


図-1 ジャイロコンパスによる掘進機位置の計算

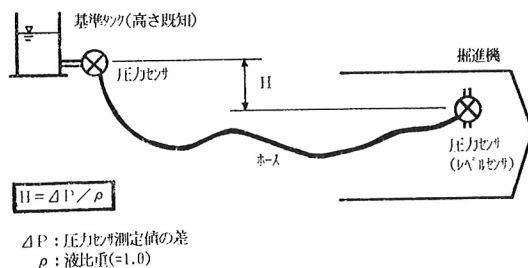


図-2 レベルセンサの原理

(2) ハードウェア構成

システムで収集を行う掘進機情報を表-1にまとめる。図-3はシステムの系統概要をまとめたものである。測定データは多重伝送装置によって、地上の集中管理室のパソコンに伝送される。

表-1 管理データ

No.	データ項目	備考
1	掘進機の絶対方位	ジャイロコンパス
2	掘進機鉛直方向位置	レベルセンサ
3	シールドジャッキストローク	左右2点
4	中折れジャッキストローク	上下左右4点
5	ピッチング	
6	ローリング	
7	ジャッキ選択信号	ジャッキ本数分
8	カッタトルク	カッタ電流, カッタ圧等
9	シールドジャッキ圧	
10	スクリュウコンベア回転数	土圧バランスタイプのみ
11	切羽土圧 (水圧)	

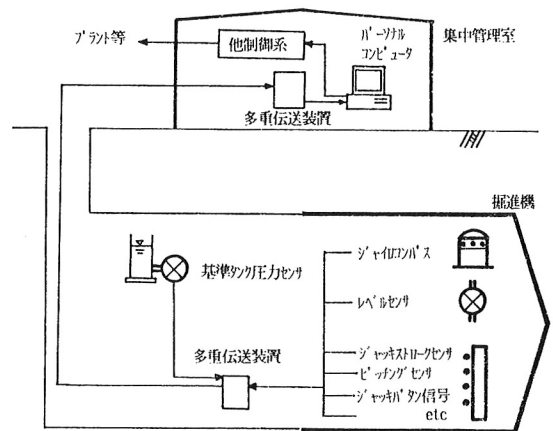


図-3 システム概要図

(3) 管理形式

図-4はパソコンのモニタ例である。データは掘進10cm毎に更新され、ROMディスクに保存される。パソコンにはあらかじめ計画路線形が入力されておりジャイロコンパスやレベルセンサなどの測定値から計算される掘進機位置・姿勢誤差を常時知ることができる。集中管理室では、これらの位置情報の他にジャッキ選択パターンやジャッキスピード、ジャッキ推力等のデータから、切羽運転者に適宜修正制御動作を指示する形式となっている。

3. 実施例

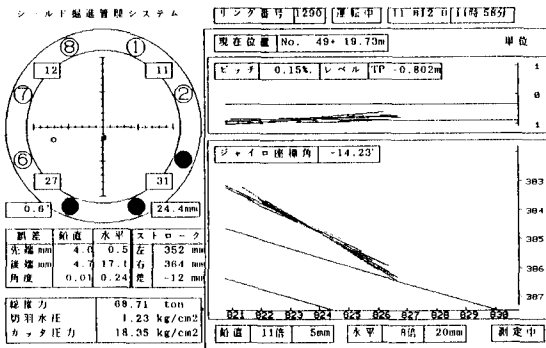


図-4 モニタ例

(1) 測量の省力化

表-2は、システムの実施適用例5例についてまとめたものである。このうちのNo.4について表-3に測量頻度をまとめる。全体的な測量回数は低減（当社比：通常5～7リング毎）されており、特に路線緩曲線部（曲線半径150m以上）での省力化に効果があった。

(2) 掘進機の位置把握精度

表-4は、トランシット測量によって計測した計画線との水平方向施工誤差（蛇行量）と当システムによる推定施工誤差の差の統計量をまとめたものである（表-2のNo.4の例）。

表-2 システムの実施適用例

No.	路線概要			掘進機概要		管路仕上内径 mm	工期 システム稼動期	備考・特記
	総延長 m	曲線部延長 m	曲線部半径 m	掘削形式	外径 mm			
1	1342	291	150R 1ヵ所 200R 1ヵ所 500R 2ヵ所 750R 2ヵ所	泥土加圧	3080	2200	S61～S63 自S62.10 至S63.3	・ジャイロコンパスのみ使用
2	1472	680	60R 1ヵ所 95R 1ヵ所 100R 1ヵ所 150R 1ヵ所 200R 7ヵ所	泥水加圧	2280	1500	S62～H2 自S63.5 至S63.11	・ジャイロコンパスのみ使用 ・中折れ式掘進機
3	901	319	50R 1ヵ所 60R 1ヵ所 100R 1ヵ所 200R 5ヵ所	土圧 バランス	2120	1350	S62～H1 自S63.9 至S63.12	・ジャイロコンパスのみ使用 ・中折れ式掘進機
4	1002	295	25R 1ヵ所 35R 1ヵ所 150R 3ヵ所 300R 3ヵ所 500R 2ヵ所	泥水加圧	2130	1350	S63～H2 自S63.10 至H1.3	・ジャイロコンパスおよびレベルセンサ使用 ・中折れ式掘進機
5	836	336	35R 1ヵ所 50R 2ヵ所 60R 2ヵ所 80R 1ヵ所 90R 2ヵ所 100R 3ヵ所 150R 1ヵ所 200R 1ヵ所 300R 1ヵ所	土圧 バランス	2140	1350	S63～H2 自H1.4 至H1.9	・ジャイロコンパスのみ使用 ・中折れ式掘進機

表-3 測量頻度

路線	測量頻度 (測量1回当りの)	
	リング数(R)	掘進距離(m)
直線部	10.9	9.8
緩曲線部(150R以上)	10.0	9.0
急曲線部(25, 35R)	5.4	1.6

表-4 システムの位置把握精度 (水平方向)

路線	サンプル数	平均値	標準偏差
直線部	72	-0.3mm	10.9mm
緩曲線部(150R以上)	24	1.1mm	10.6mm
急曲線部(25, 35R)	42	4.3mm	14.2mm

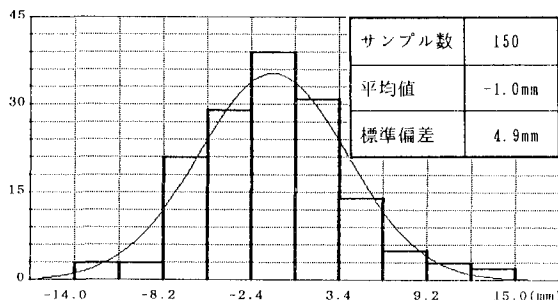


図-5 レベルセンサの精度

この値はシステムの誤差を絶対的に示すものではない(トランシット測量の結果もばらつきのある不確定変数である)が、両者の差でみて直線、緩曲線部の位置把握精度は、実用上支障のない範囲にあるものと判断できる。一方急曲線部では掘進機の横ずれ(掘進直角方向への平行移動)や推進距離測定の問題等があり、両者の差異が若干大きくなる傾向にある。測量における省力化が実現できたことを考え併せ総合的に判断すると、当システムは管理上必要とされる適用条件を概ね満たしているものと考えられる。

図-5はレベルセンサと、従来のレベル測量の掘進機の鉛直方向位置測定値の差をまとめたものである。この結果もやはりレベルセンサの絶対的な精度を示すものではないが、両者の差は小さく良好な適用性を示しているものと判断する。

4. あとがき

実施適用例を通じて得られた当システムの適用性と今後の課題についてまとめる。

- ①直線、緩曲線路線の水平方向管理については実用に耐え得る精度を有すると判断される。急曲線部への適用性については、他の光学的自動測量手法と同様に、現段階では完全なものではない⁴⁾ことが考えられる。今後、掘進機とセグメント間のクリアランス測定方法の開発などを通じて、さらに検討を要する問題である。
- ②掘進機の鉛直方向位置測定、管理にはレベルセンサを用いた。設置条件を選ばず、精度的にも優れた適用性を有していることが判った。
- ③システム適用によって測量の省力化が可能となり特に緩曲線路線では直線部と同程度の測量頻度で十分な管理が行える。
- ④より適切な方向制御システムとするために、施工誤差(蛇行)が発生した場合の修正路線形の提示やジャッキ操作指示などに関する検討が必要である。

【参考文献】

- 1)例えば
 - ・川瀬泰裕, 原田健二: シールド施工管理の自動化, 最新の施工技術2, 土木学会(土木施工研究委員会) pp9~18, 昭和61年9月
 - ・西野憲明: シールド・TBM機のレーザによる全自動曲線誘導システム施工管理, 同上pp1~8など
- 2)鈴木光男, 森山光雄, 桐谷祥治, 大西豊: ジャイロコンパスを用いた自動位置姿勢計測システムによる急曲線施工管理, 第43回年次学術講演会講演概要集第6部, 土木学会, pp236~237, 昭和63年10月
- 3)ジャベルシステム SGL100パンフレット: 横河電機(株)
- 4)菅野正徳, 藤井義文, 坂口修司: シールド自動測量システムの開発と実施例, 建設マネジメントに関する研究発表・討論会講演集, 土木学会(建設マネジメント委員会) pp97~102, 1988年12月