

27. シールド工事における資機材無人搬送システムの開発

(株)大林組：鎌田 竜二

1. はじめに

都市におけるトンネル工事は、トンネルの深層化と都市生活に与える工事の影響から、シールド工法が主流になりつつあり、その用途は、従来の上下水道、ガス、電力・通信等のサービストンネルにとどまらず、地下河川、道路トンネル等を構築する技術としてますますその重要性を増している。

しかし、一方では、トンネル用途の多様化、都市地下空間の過密化を背景として、大断面、大深度、長距離等、その施工・作業環境が厳しくなる傾向にあることや、建設業への就業人口の減少など大きな問題を抱えていることも事実である。

このような社会的背景から、生産性の向上や労働環境の改善を目的として、シールド工事の自動化・ロボット化に関する技術開発が各方面で積極的に行われており、当社においても、自動制御・施工管理システム、セグメント組立ロボットなどの実用化を行い、シールド工事の全自動化を目指したインテリジェントシールドシステムの開発を行っている。

本事例は、自動制御・施工管理システム、セグメント組立ロボット等とともに、インテリジェントシールドシステムの根幹をなす、資機材の無人搬送システムの開発と実用化について、報告するものである。

2. 無人搬送システムの概要

本システムは、無人搬送台車、自動リフト、トラバーサーの各設備とそれらを地上で管理する制御システムにより構成されている。

地上にて無人搬送台車に積込まれたセグメント等の資機材は、トラバーサーを介して台車ごと自動リフトにより立坑下に降ろされ、その後、台車の無人走行によって切羽まで搬送される。

台車及びトラバーサーの走行、リフトの昇降、台車のリフトへの乗り込み・離脱といった地上から切羽までの一連の搬送作業は、無線誘導システム、光通信システムを介して地上から自動制御される。

この方式の採用により、地上から切羽までの一連の搬送作業が無人化されるとともに、クレーンおよび玉掛け作業等が不要となり、立坑荷下し作業の安全性、作業効率が向上し、立坑の大深度化にも対応したシステムとなっている。以下に、各設備の概要を示す。

(1) 無人搬送台車

今回開発した無人搬送台車の最大積載重量は2.5tであり、1リングの組立てに使用するセグメントを2両連結の台車によって搬送する。

運転モードは、状況に応じて自動運転および手動運転を選択することが可能である。自動運転の場合、他の搬送台車の運行状況等地上制御盤からの各種信号を、坑内に設置された誘導無線装置から受信し、発進・停止・加速・減速等の動作は、あらかじめ決められたプログラムに従って行われる。

手動運転は、主として故障時の運転モードであり、搬送台車に設置されたペンダントスイッチにより操作を行う。

また、保安装置として以下に示すセンサー、非常停止装置等を装備している。

- ①障害物検知超音波センサー（6m前方検知：減速）
- ②障害物検知光電式センサー（3m前方検知：停止）
- ③対物バンパー
- ④オーバーランセンサー
- ⑤減速・増速・停止センサー
- ⑥非常停止押釦
- ⑦進行方向表示灯
- ⑧前照灯
- ⑨誘導無線電話

写真-1 無人搬送台車



(2) 自動リフト装置

自動リフト装置は、台車を資材積み込み位置からリフトまで移送するトラバーサーとウインチによる巻き上げワイヤーによって昇降するリフトによって構成される。

セグメントの積み込みを終えた搬送台車は、トラバーサーによってリフトに乗り込み、立坑下まで搬送される。

写真-2 自動リフト

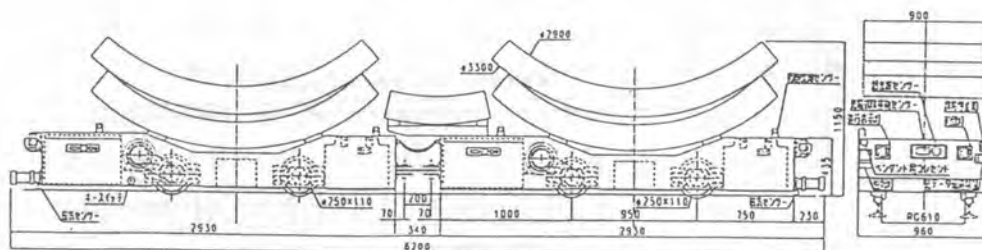


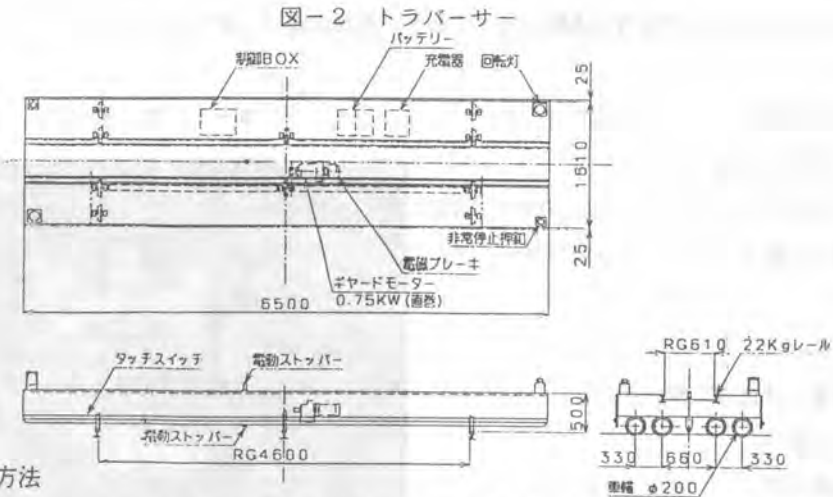
この間、トラバーサーの走行、リフト前面扉の開閉、リフトの昇降、安全装置のロック、及び解除等の作業は、地上制御盤からの指令によって自動的に行われる。

また、自動リフトの昇降速度制御には、インバーター制御を採用した。

なお、自動リフトは、無人搬送台車と同様、状況に応じ手動による操作も可能である。

図-1 搬送台車





(3) 管理制御方法

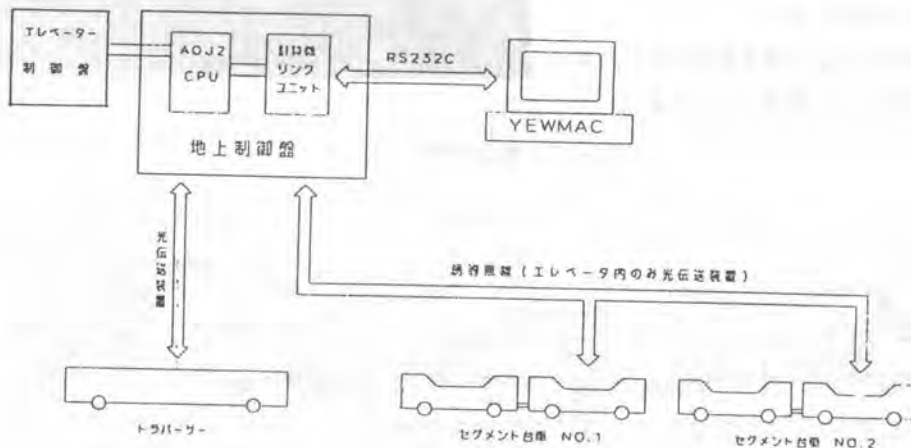
無人搬送台車、リフト、トラバーサー等の各設備は、地上制御盤によって制御される。地上制御盤には、システム全体の運転状況を表示するグラフィックパネルが設けられ、搬送台車の走行位置を地上にてモニタリングできるシステムとなっている。

地上制御盤と各設備との情報の受け渡し・制御には、誘導無線及び光伝送装置を採用した。トラバーサーの走行制御、搬送台車のリフトへの乗込み・離脱等の制御は光伝送装置により、また、坑内での搬送台車の運行制御は誘導無線によって行われる。

無人搬送台車の位置は、台車から送られてくる車輪7回転毎のパルスとリフト、退避線、切羽等での位置検出信号をもとに検出する。

誘導無線による通信は、工場等で使用されているAGV (automatic guided vehicles) システムと同様の制御システムであり、光通信方式に比べて伝達可能な情報量は少ないが、位置をリアルタイムで把握できることや、湿気、粉塵等による影響が少く、よりシールド工事に適したシステムといえる。

図-3 システム信号系統図



3. 現場への適用例

今回開発した資機材無人搬送システムを、東京都水道局発注のシールド工事において適用した。その工事概要は以下の通りである。

工事名称：江東給水所・江東区南砂4丁目地先間送水管（φ2200 mm）新設その2工事

発注者：東京都水道局

施工内容：（シールド形式）泥土圧式

（覆工形状）セグメント内径 φ2900 mm / セグメント外径 φ3300 mm

（施工延長）L=1749 m

（立坑深度）H= 37 m

本工事は、立坑が非常に深く、従来のクレーンによる荷下ろし作業の場合、玉掛け作業の不備等による飛来落下災害の発生および作業効率の低下が懸念され、また、搬送距離も長距離となるため、運転人員の確保等にも問題があった。

このような背景から、安全性の向上および省力化をねらい無人搬送システムを適用した。無人搬送台車は、2両連結、2編成とし、立坑から約550m地点にポイントを設置し、交互運転を行った。

本システムの採用により、バッテリー機関車の運転手、立坑下の作業員が不要となり、従来の方式に比較して大幅な省力化が実現された。また、無人化によるヒューマンエラーの排除、積み換え作業等の減少により、作業の安全性が飛躍的に向上した。

表-1 省力化の効果

	片番1編成あたりの標準編成（人工）						合計		備考
	地上作業	立坑作業	坑内搬送	後方作業	シールド運転	切羽作業	片番合計	1日延合計	
有人搬送	1	2	2	1	1	3	10	20	クレーン + バッテリー
無人搬送	1	0	0	1	1	3	6	12	開発システム

4. むすび

シールド工事の自動化は、施工管理の自動化を目指すシステム化と作業の自動化・省力化を目指すロボット化という形で開発が行われてきた。

資機材の無人搬送システムの開発・実用化、セグメント組立てロボット、自動制御・施工管理システムの実用化によって、掘削、組立て、搬送というシールド主要工種の自動化が実現された。

しかし、シールド工事の全自動化には、多くの課題が残されていることも事実であり、坑内配水・換気、レール・電線等の延伸、増し締め作業等の自動化も必要になると考えられる。

また、これらの装置を真に有効なものとするためには、各種システムおよびロボットを統括管理するシステムの開発と開発技術を汎用化する努力が必要となる。

最後に、本システムの開発及び現場への適用に当たり、ご協力頂いた関係各位に深く感謝申し上げます。