

シールド工事の無人化をめざして

三井建設株式会社 正員 ○ 葛 谷 研 三

” ” ” 飛鳥井 和 幸

” ” ” 森 田 実

1. はじめに

大都市の整備は、東京オリンピックを契機に、一気に近代化への扉を開くと共に、都市交通網、各種地下埋設物、河川、港湾、造成、等々、今日見るあらたな都市土木技術が誕生してきた。とりわけ、複雑にいくんだ狭い空間の下で行われる地下土木構造物の整備に当っては、従来の開削工法にかわり、シールド工法が欠かせぬところとなってきた。

シールド工法は、都市での有用性と有利性が認められる中、工事場所の多様な施工条件への適応、安全性や経済性の追求に向け、非常に早いピッチで機械化と省力化が行われてきた。

シールド工法に携わって来た技術者として現場マンの視点から、シールド工法の現状と今後の希望を述べる。

1-1 シールド工法とは

土の中を掘り進む「もぐら」の様なシールド機を掘進させて、地中に各種のトンネルを構築する、アンダー・グラウンド工法である。高深度での掘削が可能なおえ、ルート選択が自由であり、安全確実、しかも、工期の短縮、工事費の低減をはかることができ、路面交通の阻害、騒音の発生などによる市民生活への影響を最少限にとどめる工法である。

施工の流れを図示すると、図-1のようになる。

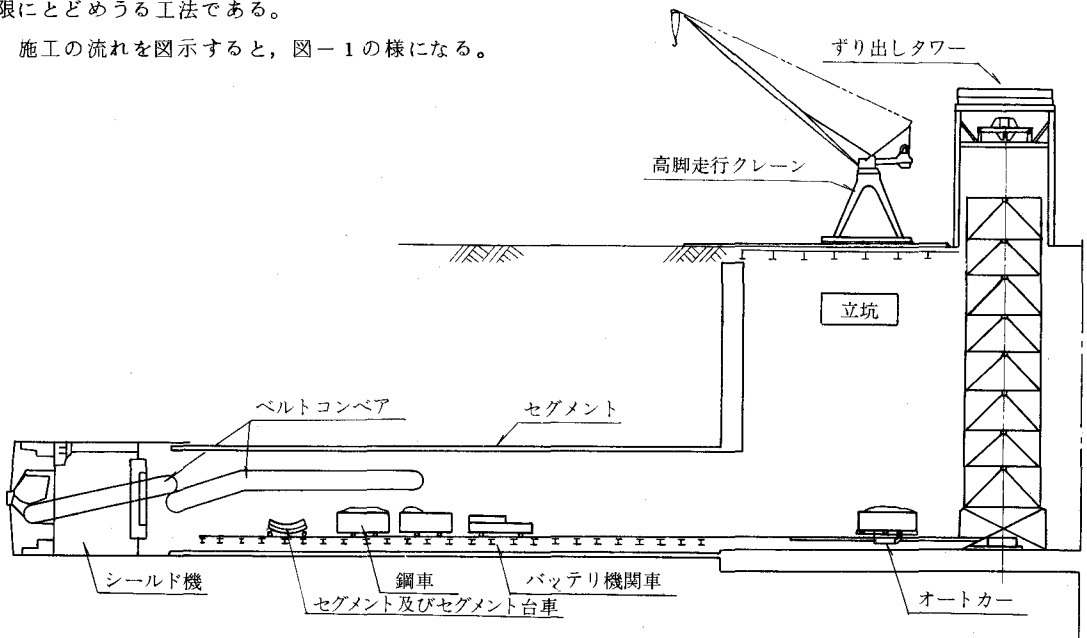


図-1 シールド工法施工流れ図

1-2 機械化から、ロボット化への移行

シールド機の発進基地である立坑を掘り終ると、シールド機を据え付けて、トンネル掘削に移行する。誕生当時の掘削の方法は手掘り作業であったが、作業員の安全、掘削地山の安定確保のために、次第に機械作業がとられるようになった。掘削地山の目立が難しいとき、土砂水の流入を防止するため、内部の気圧を高める圧

気工法が併用される場合が多いがこの工法は、作業員の減圧症や、地盤沈下や、酸欠などを時に起こす不利な点がある。このため、機械式圧気掘削作業をさらに進めたものに泥水加圧式がある。これは、掘削地山の土圧と水圧をバランスさせるために泥水を圧送するが、あらかじめ行った地質調査をもとに泥水バランスシートを制御装置に記憶させ、掘削制御を地上で行うまでになった。ロボット化への一歩である。掘削した土砂は泥水と混合させ、流体輸送されるが、泥水圧送と共に、計量をマイクロコンピュータにて管理させている。固体輸送でも、掘削土砂（ズリ）を地上でストックする場合、土砂をホッパーに投入する音や、ダンプトラックへの積込時の音などや、深夜の騒音防止を目的として、センサつきの認識、判断機能をもつオートコントロール装置による、ズリストックヤードシステムも実用化されている。また、立坑底におけるセグメント搬入作業も重量物運搬時の安全確保と省力化のため、オートカーによるワンマンコントロール装置をとり入れ、ロボット化への入口に立っている。さらに、トンネル内でのセグメント搬入装置も無人化バッテリーカーによる索引輸送が実験されている。

2. 掘削とセグメント組立

2-1 掘削 ー崩壊防止管理ー

手掘り式や、機械式の場合、切羽面は目視できる開放状態で、切羽の状況を人間が観察して崩壊に対する安全性を管理するわけである。そのためには、切羽が、ある時間自立する土質であることが条件となり、自立性の低い地盤に対してこれを行うには、地盤の安定強化と、地下水の湧出防止のために、圧気工法、薬液注入工法、地下水位低下工法、その他種々の補助工法が必要となってくる。それに比べて、切羽閉鎖型ともいえる土圧式や泥水加圧式の場合は、人間の感覚にたよる管理が不要となる。すなわち、切羽面は、カッティング・ホイール・フェイスによって常に全断面が覆われており、切羽側とトンネル坑内側とを隔壁を設けて遮断し、そこを境に推進速度に見合った切羽側の掘削土量の流入と、坑内側への排土量としての流出を土質性状に見合った平衡状態で泥水設定圧と共に保持されるように、量的管理をすれば良いことになる。計量、計測によるシールド機の一連の挙動把握のデータを基に現在、ボタン操作的な装置から、自動制御方式による掘削装置が開発され実用化されている。

2-2 セグメント組立

連続するトンネル支保工であるセグメントの組立は、シールド機に固定された、エレクターとよばれる回転式吊り上げ機で行われるが、ボタン指令で、機械操作員と数人のセグメント組立、ボルト締め作業員を要する。重量物であるセグメントを取り扱うことと、シールド推進ジャッキの出し入れのため、人身事故の多発箇所であり、もっとも、無人化、ロボット化を期待したい作業である。

3. ズリ搬出

3-1 流体輸送

ズリを流体として搬送しようという考えは、泥水加圧式シールド工法で開発された方法だが、これは、切羽掘削部で安定液として使われた泥水を、掘削土と混ぜて、流体化したままの状態、ストックヤードまで運ぼうとする方式である。流体輸送方式を採用することにより、トロッコ走行は、セグメントとその他の諸材料搬送の際に走行するだけとなり、度数が減少する。また、ズリは定置された配管の中を圧送されてストックヤードに入る為に、配管位置の検討次第で、残る坑内のスペースが広く採れて使えることが可能で、また、坑内設備の簡素化が計れるので、坑内が整理され、泥汚れ等も少く、きれいに管理することができる。今後、さらに普及する方式と考える。

流体輸送のアイデアが生かせる、もう一つの方法として、ブラインド式と呼ばれる工法がある。これは、軟弱な粘性土、流動性に富む土質や、軟弱なシルト層などで、開放型では山留めの困難な土質に適用されるもの

で、シールド機の刃口後部に小さめの開口部をもった隔壁を設け、シールド機のジャッキ推進に伴って、土砂をその開口部のみから、トコロテン状に押し出しながら排土する工法である。そこで、やわらかくトコロテン状に押し出されて出て来る土砂を、そのまま、強力な圧送ポンプに直結し、配管内を、ストックヤードまで運ぼうという方法がとれることになる。いずれにしても、流体輸送は、計量が確実に行なえるので、制御要素としてたやすく組み容れられ得るというメリットが大きい。

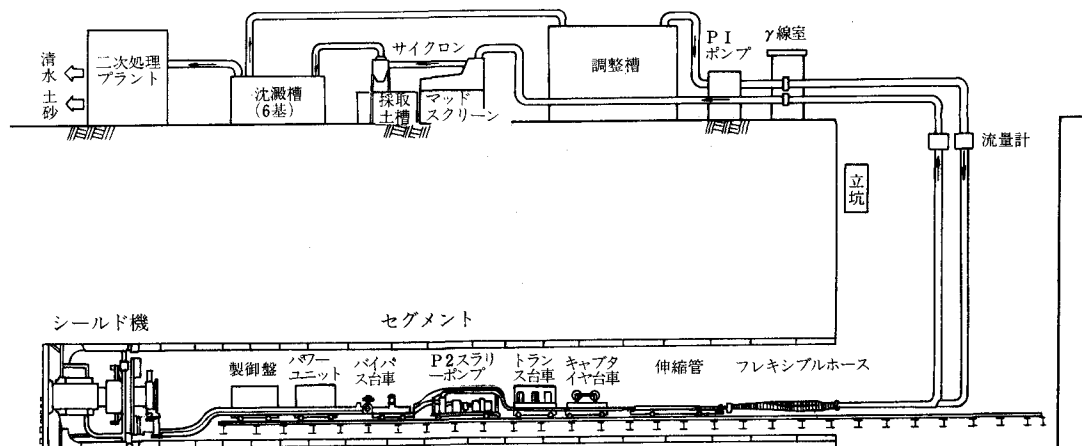


図-2 泥水加圧式シールド工法のズリ搬出設備図

3-2 ズリのトロック輸送

シールド機から排土されるズリを、坑内から、ストックヤードまで搬送するためのもう一つの手段として、流体輸送に対して、固体輸送の方式がある。これの一般的な形は、従来から行なわれて来たトロック輸送そのものである。トロック輸送の場合は、ズリの走行と同時に、セグメント、その他、諸材料の搬送も同時に併行して行なわれる。従って、その輸送サイクルは安定、確実なものが求められる。掘進ペース、すなわち、排土量に見合った十分な台数の車輛構成がなされ、一回の往復走行の所要時間を考慮して、シールド機からの次の排土積込みの開始時刻には間に合う様に、到着している必要がある。又、推進ストローク進行を察知して、次段階の作業であるセグメント組立ての為に、諸資材の搬入段取を事前に開始する等、判断的な動きも必要なる事となっているのである。

運ばねばならぬ土、運ばねばならぬ材料がそこにあって、それに見合ったトロック列車があれば、運転開始指令、走行スピードの設定、制動装置のきき具合の確認、列車運行状況の把握、ポイント転換指令、車輛の連結替え、非常時の緊急自動停止など、新幹線の列車自動制御と全く同じ機態をもった、安定制御を設定することも可能となるのである。

3-3 ズリ・ストックヤード

トロック輸送する場合、従来の土砂ホッパーを使用しての土砂搬出装置では、土砂をホッパーに投入する音ホッパーよりダンプトラックへの積込時の音が大きく、市街地域での施工には、防音設備が必要となる。また、土砂の運搬中における場内外、道路上の土砂漏れなどの問題がある。これらの公害防止対策として、コンテナをダンプトラックに格納する方法がある。油圧巻上機の使用により、ストックヤード及びダンプトラックへの着床騒音を少なくできることや、ダンプトラックよりの土砂漏れがなくなり、また、空及び実コンテナストック

ヤードの設置により、深夜のストックができるなどの利点がある。

このストックヤードの要所にセンサを配置させて、自動制御装置により、ブリ搬出を管理する方式で、コンテナつかみ装置が数種のパターンで運行できる自動運転システムも既に実用化されている。ロボットとしての初期段階に入っているといえよう。

4. おわりに

シールド工法における、ロボット化の現状について、述べてきたわけであるが、機械化、省力化については目ざましいものがある半面、ロボット化については、揺籃期にあるといえよう。

しかし、今まで述べてきたように個々の機械については、ずい分、自動制御装置がとり入れられ、センサーに関する研究開発は加速的に浸透しつつあるのが現状である。すなわち泥水加圧工法でも、掘削地山のバランス状況を超音波探査により確認することにより、より適性な泥水の加圧送などの実験もなされつつあり、より正確な制御装置を備えていくものと思われる。今後の課題は、個々に確立した機械システムを有機的につなぎ合わせて、いかに総合的にすぐれたシステムにできるかということである。いわゆるメカトロニクスの総合メーカーとの共同開発を期待するものである。

確かに、泥水加圧工法によるシールド工事現場では、シールド坑内に人は、まれにしか見られない。しかしたとえば、セグメント組立のボルト締めなどの作業では、二人も、三人も要しているのが現状である。今後の方向として、ボルト無し、あるいはねじ無しボルトなどの、省人化に進むものと考えられる。しかし、これも、省力化に過ぎず、ハードな面でいうロボットによる、無人セグメント組立てなどには、まだまだ時間を要するであろう。ソフトな面にしても、ハードな面にしても、他の産業に比較して、ロボット化が遅れている最大の原因は、現在のシールド工事が土木工事の中では、もっとも機械化されているにもかかわらず、土木工事特有の単品の注文生産であり、大量生産できない点である。さらに、言及すると、個々の機械が大、中、小メーカーの夫々独立した形態で生産され、一つのシールド工事現場に各々独自に組み込まれるため、どうしても一貫したシステムが完成しないことである。

今後、東京のような過密人口の都市では、シールド工法は、その重要性を益々増すものと考えられる。すなわち、今後の施工条件の悪化と、優秀なる労働力が不足するであろうことを鑑みる時、ロボット化の進展を切実に期待するものである。

最後に、今回のようなシンポジウムがもたれ、ロボット化へのヒントが得られることを、厚く感謝するものである。