

中央自動車道笹子トンネルにおける天井板取付ロボットについて

株式会社大林組 土木技術部 ○三上 哲 司
株式会社マニテン 建築部 直野 正 和

1. はじめに

笹子トンネルは中央自動車道西宮線の一環であり、大月より甲府盆地方面に向かい御坂山系を貫く延長4414mのトンネルで、昭和52年12月に供用が開始されている。

本トンネルは同じ中央道における恵那山トンネルに続く長大トンネルであり、その換気方式には横流式が採用されている。この換気方式を実現するために、換気立坑、天井板内装工事が行なわれ、特に天井板工事においてその天井板設置のために取付ロボットが新しく開発され使用された。

この取付ロボットについて御報告することは、やや旧聞に属するものであるが、昨今の日本における産業用ロボットの発達を目を見はるものがあり、世界的に最先端を行っていることを考えると土木現場に施工機械としてロボットを導入したことの出発点ともあり、将来的にロボットの導入により省力化と作業の安全性を飛躍的に高めるための踏台としてなんらかの参考にしていただければと思い、あえて筆をとったものである。

2. 換気方式とロボットの導入について

道路トンネルにおいては、自動車から排出される有害成分を希釈し、支障のない濃度にするための換気設備が必要であり、長大トンネルにおいてはその建設において最も重要なポイントとなっている。

我國の道路トンネルの換気は閉門トンネル、名神、東名の高速道路のトンネル、首都高速道路のトンネルの経験を経て、恵那山トンネルの換気へと発展してきていると言われる。

一般にトンネルの換気方式としては、

- ① 縦流式
 - ジェットファン式
 - サイカルド式
 - 集中排気式
- ② 半横流式
 - 送気半横流式
 - 排気半横流式

③ 横流式

が代表的なものであるが、笹子トンネルを施工している時点においては、横流式、半横流式が長大トンネルにおいて採用されていた。しかし現段階においては道路トンネルにおける換気の問題について根本的な見直しがされてきている。その解答の1つが、現在当社が施工に参加している関越トンネルの換気方式であろう。

さて、笹子トンネルにおいては、種々の検討の結果恵那山トンネルにおいても採用された横流式の換気方式が採用されている。本トンネルは上下線2本あり、2車線の一方通行トンネルである。

横流式の採用に伴ない、トンネル断面内に換気用の送気、排気ダクトを設置する必要が生じ、図1に示すように、トンネル内部を2枚の天井板と1枚の隔壁板によって送気、排気ダクトを設けている。

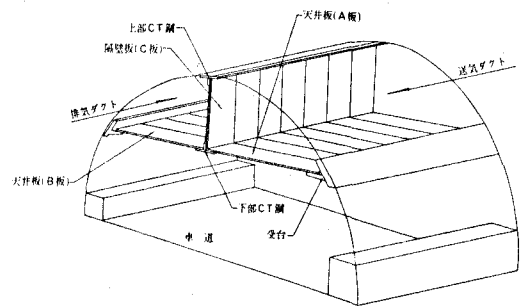
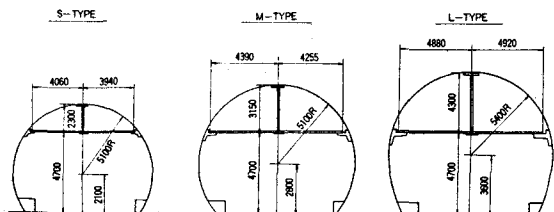


図1 トンネル内部

この天井板、隔壁板はPC板であり、トンネル内部の大きさによりそれぞれL、M、Sタイプに分かれている。大きさは最大で約5×1.2m、重量は約1.7tonである。図2 トンネル断面



このPC板は錆表面より4.7m上への受台と下部CT鋼で支持されており、下部CT鋼は上部CT鋼と釣りボルトによって支えられる。

従来の天井板工事においては、PC板を設置するために、フォークリフト、クレーンあるいはクレーン付取付架台等を用いるが、水平方向の位置合せ、角度、ボルト締め等は数人の作業者がじかにPC板を動かして行っている。PC板は比較的長いので、取扱いが難しいだけでなく、取付の際における安全性の面や作業効率から問題を残している。そこで

① 天井板、隔壁板が迅速にかつ安全に設置できる機構を持つこと。

② PC板の天井板、隔壁板を欠いたり、クラックが入ることのない取扱いが出来ること。

③ 当社の担当した下り線は2工区に分かれているが、1台の機械によっても天井板工事の工期を十分に満了することが出来る施工能力を持つこと。

などの条件を満たす施工機械を導入しようと考えたのである。

折しも、産業ロボットにおける技術的な進歩は目覚ましく、本工事に使用したハスキーロボットは主として工場内の生産ライン、パレタイジング作業等に使用されていた。天井板工事の単一作業性を考えると、ハスキーロボット導入が可能ではないかとの発想に基づき、大日機工、三菱重工業の協力を得て、土木現場におけるロボット導入の実現化を計った。

このハスキーロボットは作業に応じて自由運転を組み込めるマニュアルマニプレータ方式とし、多くの自由度を持たせて逐次変化する作業環境とその複雑性に対応し得る汎用性、柔軟性を有したものと開発された。以下には、トンネル天井板工事用のハスキーロボットの機能について説明する。

3. ハスキーロボットの機能について

3-1 ロボット本体

ハスキーロボットは主としてリンクアーム機構からなるハスキーアームと作業に応じて数個の自由度を持つアタッチメントで構成される。ロボットはトンネル内部という限られた空間で作業するため、自由度2のハスキーアームと腕部、首首部、ハンド部からなる

自由度7のアタッチメントを有する。又、作業場所が順次移動するため走行用シャーシとして15ton7オークリフトを改造して走行可能とした。

作業時最大高さ8.3m、全長11m、総重量46tonの超大型ロボットである。ロボットの仕様を表1に示す。

表1 ロボットの仕様 Table. 1 Specifications

項目	内 容
形 式	トンネル内貨工用 HASKY ROBOT
動作形態	関節型アーム 上下、前後 先端アーム 直交3軸(X,Y,Z軸)、 旋回(X軸)、振り 手 首 旋回(Y軸)、振り 本 体 自由走行
自 由 度	9
動作範囲	動作部 作動ストローク 作動速度 関節型アーム上 下 2,700mm 85mm/sec 前 後 1,200mm 100mm/sec 先端アームX軸スライド 1,500mm 90mm/sec Y軸スライド 2,400mm 125mm/sec Z軸スライド 1,300mm 110mm/sec X軸旋 回 ±180° 1.25rpm 振 り -6°~+12° 3°/sec 手 首 Y軸旋 回 ±90° 0.83rpm 振 り -10°~+20° 5°/sec
制御方式	シーケンスランプによるマニュアル操作および同時3軸(最大)P.T.P方式制御
把持機構	把持方式 真空吸着 センサ 真空圧上限値、下限値検出 吸着能力 10,000kg 排気速度 1,600ℓ/min 最大真空圧 10 ⁻¹ Torr 吸着時間 5sec
可搬重量	2,000kg
駆動方式	油圧駆動 (140kg/cm ²)
電 源	AC200V、DC24V(バッテリー)
走行方式	ディーゼルエンジン駆動、タイヤ走行
外 径	全 長 9,732mm 作業時最大全長 11,082mm 全 高 3,870mm 作業時最大全高 8,317mm 全 巾 4,183mm
重 量	46,000kg



写真1 ロボット外観

3-2. ハンド部

人間の指の部分にあたる握持機構は、ワークがPC板であり、通常のメカニカルハンドではワーク破損の危険があるため真空吸着装置を用いている。図3に示すように、3系統のバキュームパッド、ホース等の破壊事故が生じてもワークが落下しない様に瞬時にバルクロックされる回路としている。また3系統の各々に真空感知バルブを採用し、インターロック回路により吸着時の安全性を高めワークの落下事故を未然に防止している。

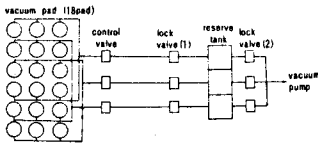


図3 真空吸着回路

3-3. 制御部

土木現場ということで、工場のような単一作業のようにはいかず、逐次変化していく作業条件に対して全自動運転をするためには、無数の情報を処理し得る大規模かつ複雑な制御装置が必要となり、技術的にもコスト的にも問題があった。そこで今回のハスキーロボットは人間の筋力に代って作業を行ない、位置の修正、取付位置決め等微妙なコツを必要とする作業には人間の判断力をフルに発揮し得るよう、マニュアルミニプレータ方式を基本としている。操作は9動作ともレバーで行ない、動作終了後に点灯するシーケンスランプで作業及び安全状態を確認しながら運転できるようにになっている。各動作部はレバーにより同時操作が可能であるが、更に複雑な作業にも対応できるように3軸以上の自動運転も可能としている。

4. ハスキーロボットでの天井板施工について

このハスキーロボットの導入により、作業者は縦室の内部からレバー操作でPC板を自在にコントロールすることができ、直接PC板を動かす必要もないことになる。

このハスキーロボットを使用しての天井板、隔壁板の施工について説明を以下に行なう。

4-1. 天井板の施工順序

- ① トラック上に横載されたPC板を吸着する。
- ② PC板を旋回位置まで上昇させる。真空圧確認後、ハスキーアームを上昇させる。
- ③ PC板を90°水平旋回させる。手首を旋回。
- ④ PC板を150°垂直旋回する。
- ⑤ PC板片側を受台上約50mmの位置まで上昇させる。腕部上昇(Y軸上昇)
- ⑥ PC板を水平方向へ約500mm平行移動する。腕部をスライド(Z軸スライド)
- ⑦ 自動運転により、受台上のPC板片側の位置を変えることなく、他端を下部CT鋼へ移動する。
- ⑧ 微少位置修正後、受台及び下部CT鋼上へPC板取付。天井板(B板)の取付はトンネル中心に対して対称の位置で、A板と同様の作業順序で行なわれる。③、④、⑤は同時運転が可能である。

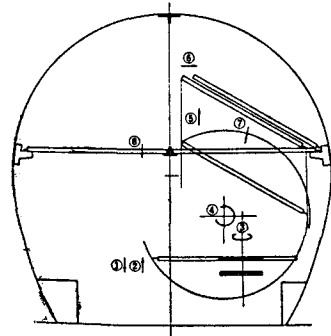


図4 天井板(A板)の施工

4-2. 隔壁板(C板)の施工順序

- ①～③は天井板と同じである。
- ④ PC板を90°垂直旋回する。腕部を旋回。
- ⑤ 天井板(A板)上20mmの位置までPC板を上昇させる。ハスキーアーム上昇、腕部上昇。
- ⑥ 取付位置まで水平移動。ハスキーアーム前進。腕部前進。
- ⑦ 位置修正後、上部CT鋼、下部CT鋼の各々の4本のボルト穴を合わせて取付ける。

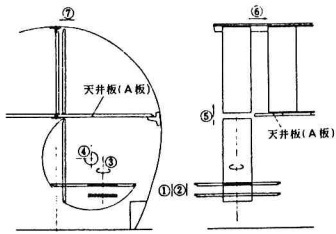


図5 隔壁板(C板)の施工

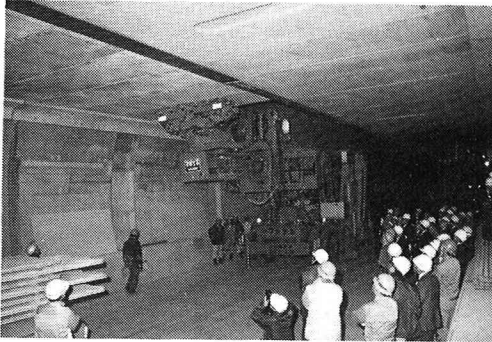


写真2 天井板取付状況

以上の施工順序にて施工が行なわれ、1日10時間作業により平均48 m(天井板約120枚)の施工高をあげている。

当初の目的の一つである安全な施工という点においては十分な成果を上げることができた。

しかし、施工スピードに関しては、従来のクレーンを用いる方法の約1.3～1.5倍程度のものではあった。これは、トンネル断面が微妙に異なり、取付の際の微調整に時間が多くかかったことなどが原因と思われる。

しかしながら、一工区の施工という点から考えれば、その省力化、安全性の確保、施工能力とも合致点は得られていると思う。この結果は、土木工事における第1号のロボット導入ということを考えれば、導入をしようとした発想を含めて、十分に評価されるべきであろうと思われる。

5. 土木工事におけるロボットの展望

笹子トンネル以後の長大トンネルにおいては、その経済性より換気方式が見直されてきて、横流式の換気方式が採用されなくなってきた。

換気における集じん技術の開発、排気ガス規制によ

る換気量の変化などから縦流式の換気方式が採用される傾向がある。このような換気方式の考え方の変遷に伴ない、笹子トンネルで使用されたハスキーロボットはこれ以後稼働する場がないのが現状である。

しかしながら、作業に応じて先端アタッチメントを変えることにより、広く土木建設現場における走行型重ロボットとして多くの活用法があると思われる。

土木現場では、その特殊な作業環境と人間の主作業に頼る割合が多く、省力機械の導入例は少ない。

今回のハスキーロボットに導入されたマニュアルマニプレータの形式である機械力と人間の判断力を生かす方式は、工事における複雑な作業に対して柔軟に対応できる機能を有しており、省力化の有用な手段となり得るであろう。

現段階において、土木工事にロボットを導入することは、NATMにおける吹きつけコンクリート用のロボットとか、掘削用の自動穿孔装置(コンピュータ組み込み)等着実に現実化している。

工場などにおける産業ロボットの稼働ぶりを見るにつけて、今後ますます土木工事においても、ロボットの導入を検討する傾向が強まっていくものと思われるのである。