

## VI-37

## スライド式圧着覆工（SPL）機械の自動制御システム

フジタ工業（株）技術研究所 正員○笹島真一 正員 古賀重利  
井窪耕二 正員 香東光秀

### 1. はじめに

トンネルの一次覆工におけるスライド式圧着覆工（Sliding Press Lining=SPL）工法は、材料を吹付ける代わりに、覆工コンクリートをスクイズポンプによって圧送し、ノズル先端付近で圧着硬化剤を混合して圧着型枠内に流し込み、岩盤面に圧着覆工する工法である。よって、トンネル覆工時には、材料のはね返りや粉塵の発生がなく良好な作業環境のもとで、経済的にトンネルの覆工を可能にすることができる。本報告は、そのスライド式圧着覆工工法の実用機械の自動化を目的として開発した、自動制御システムについて述べる。

### 2. SPL 機械装置の概要

この機械装置は、スライド式圧着覆工型枠装置、マンビュレータ、コンクリート・圧着硬化剤などの材料供給装置、妻型枠・天端型枠・側型枠装置およびベースマシンからなっている。

また、マンビュレータの自動制御、材料供給の自動制御および自動位置決めシステムなどの3つの自動制御システムを搭載して、自動化・ロボット化されている。

### 3. SPL 機械の自動制御システム

#### 3.1 機械の自動位置決めシステム

覆工機械の位置決めは、姿勢制御システムによりベースマシンを水平に設置した後、自動測量システムで機械座標の三次元測量を行うものである。

姿勢制御システムは、ベースマシンに組み込まれた傾斜計により、機械の前後左右の傾きが運転席モニタに表示され、オペレータがモニタに従いベースマシンのローリングおよびピッチングを修正するものである。

自動測量システムは、ベースマシンが水平にセットされた後、トンネル後方からの無線交信により覆工機に取り付けられた反射プリズムの座標を三次元測量し、マンビュレータ旋回軸芯のトンネルセンキューに対する相対座標を算出する。

#### 3.2 マンビュレータの自動制御システム

##### （1）システム概要

このシステムは、自動測量システムにより得られるトンネルセンキュー付近の任意の位置に設置された覆工機械のマンビュレータ旋回軸芯の座標、および覆工半径等の基本条件から覆工ラインの軌道計算を行ない、ロータリーエンコーダ・リニアエンコーダの各センサと、旋回・伸縮の油圧アクチュエータとの組み合わせにより圧着覆工型枠を設計断面に沿って自動移動させるものである。更に型枠部

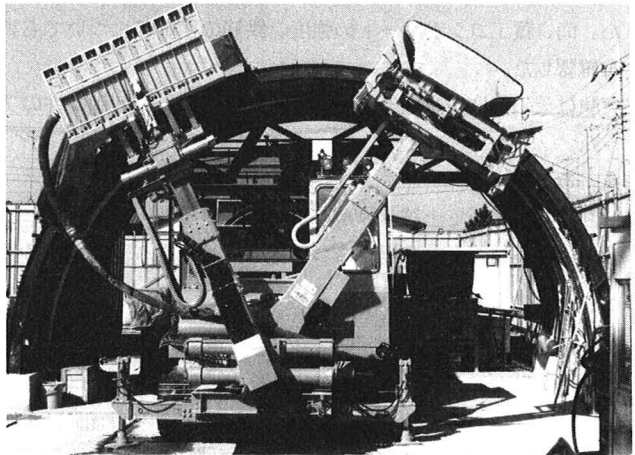


写真-1 SPL機械の全景

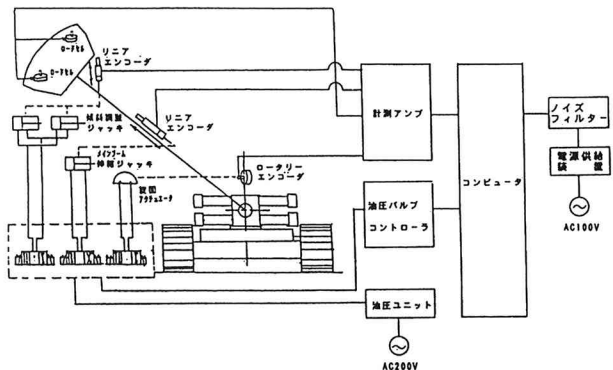


図-2 マンビュレータの自動制御システム系統図

にはロードセルを配しており、覆工コンクリートと型枠面との圧力を常に計測し、圧力値が一定範囲の値となるようコンピュータが自動調節を行なうものであり、このシステムの系統図を図-2に示した。また、制御用コンピュータは 16bit FC-9801V および 8bit BIWAC を使用し、主として前者は軌道計算および計算結果のBIWAC への転送、後者はそのデータを基にマニピュレータを数値制御する。

## （2）覆工軌道の計算法

軌道計算の方法は、トンネルのセンターラインとスプリングラインとからなる直交座標系において、設計芯からの回転角  $\alpha$  を与えることにより得られる設計断面上の任意の位置  $Q (X_n, Y_n)$ 、自動測量システムより得られるマニピュレータ旋回軸芯  $P (x, y)$  およびトンネル覆工半径  $R$  から、次式によりマニピュレータの旋回角  $\theta_1$ 、ブーム長  $L$ 、型枠傾斜角  $\theta_2$  が算出される。

$$X_n = R \cos \alpha, Y_n = R \sin \alpha$$

$$L = \sqrt{(X_n - x)^2 + (Y_n - y)^2}$$

$$\theta_1 = \cos^{-1} \frac{Y_n - y}{L} \quad (X_n - x \geq 0)$$

$$\theta_1 = -\cos^{-1} \frac{Y_n - y}{L} \quad (X_n - x < 0)$$

$$\theta_2 = \pi - \theta_1 - \alpha \quad (\theta_1 + \alpha \leq \pi)$$

$$\theta_2 = 3\pi - \theta_1 - \alpha \quad (\theta_1 + \alpha > \pi)$$

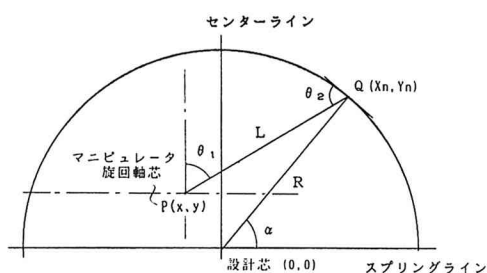


図-3 軌道計算の概念図

制御は、ロータリーエンコーダから読み取ったマニピュレータの旋回角  $\theta_1$  に対する軌道計算された数値 ( $L, \theta_2$ ) に従ってマニピュレータの伸縮および型枠装置の傾斜角を自動調節する。

## 3.3 材料供給の自動制御システム

このシステムは、ノズル先端付近にて覆工コンクリートと圧着硬化剤を混合する際に安定した混合比を確保するため、コンクリート圧送ポンプおよび硬化剤供給ポンプにそれぞれ回転計、流量計を取り付け、コンピュータが各々の値を計測し、かつ基本配合での混合比となるよう硬化剤供給ポンプの回転数を制御し、コンクリートと圧着硬化剤の混合比を自動調節するシステムである。

## 5. あとがき

構内模擬トンネルにおける実験から、SPL 工法において、これらの自動制御システムによる自動化・ロボット化が可能であることが立証されたが、実トンネルにおける施工を考えた場合に次のような問題点がある。

- システム全体の耐久性の問題
- 覆工途中でのベースマシンの傾き等、現場施工における諸問題への対処

これらの課題については、今後地山トンネルにおける実証実験を行ない、システムの改良を続けると共に、オペレータの運転が容易になるよう、システム全体の操作性の簡素化・簡便化を図っていくつもりである。

## <参考文献>

- 古賀重利、細川芳夫他：土木学会第43回年次学術講演会概要集、第6部門、昭和63年10月
- 定塚正行：山岳トンネルの新技术(15)、トンネルと地下、Vol 19、No. 6、1988

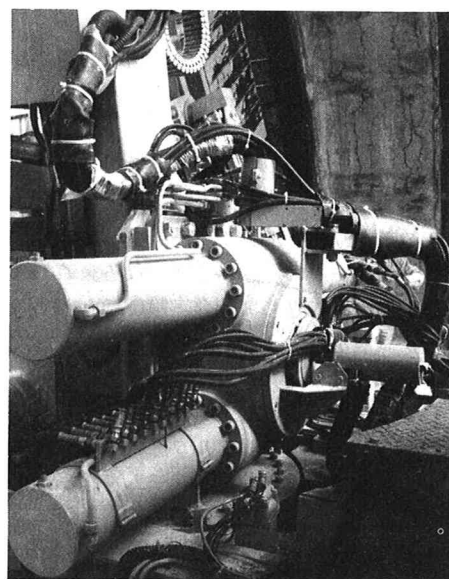


写真-2 ロータリーエンコーダ  
および油圧アクチュエータ