

III-176 小断面トンネル掘削の自動化のための掘削実験結果

日本電信電話公社 茨城電気通信研究所

正員 ○杉本 禎男

正員 中村 勝

正員 岡村 克己

1. まえがき

小断面トンネルの掘削における一連の工程を機械化し、コンピュータを用いて各工程を遠隔自動制御できる掘削システムの実用化を目指し、個々の技術について検討を進めている。この掘削システムを完成するためには掘削機とパワーユニット、ライニング装置、坑内運搬車、集中制御装置等の各装置に対する検討とともに各装置の制御技術に対する検討も必要である。

このなかで、筆者らは掘削機、パワーユニット制御技術、集中制御装置について検討を行なうこととし、実験用制御装置の試作、およびこの装置を用いた掘削実験を実施した。この実験において試作した制御装置により掘削機およびパワーユニットを制御し、装置および制御方法に対する評価を行なった。特に、掘削機制御では掘削機の姿勢変化を検出し、方向制御する方法を用いており、この方向制御方法の妥当性確認のため蛇行修正実験を行ない、良好な結果を得た。本報告は、装置の試作結果および掘削実験結果について述べるものである。

2. 実験用制御装置の試作

2.1 設計条件 掘削の自動化を図るには、掘削機の動作状態を正確に把握し、オペレータに伝えることができるとともに種々の操作、判断ができなければならない。このため制御装置は、(1)プログラムによる制御、(2)計測信号の伝送、処理、(3)操作信号の伝送、監視、(4)表示および記録、などの機能が必要となる。また、操作点数、計測点数が多くなるため信号の多重化を図らねばならない。したがって、これらのことを考慮すると装置に要求される条件は、(1)、CPUによる制御 (2)、計測点数は40点以上 (3)、操作点数は30点以上 (4)、デジタル伝送方式で伝送速度1200bps以上 (5)、誤動作の防止、監視 である。

2.2 装置の構成および機能

上記方針に基づき、CPU(ミニコンピュータ)を中央処理装置とした制御装置を試作した。この構成を図.1に示す。CPUまたはスイッチボックスからの操作信号は、マルチプレクサ、送信器を経て同軸ケーブルを介し、坑内の受信器、リレーコントローラに伝えられ、リレーボックス内の操作用リレーを駆動する。このリレーにより、マグ

ネットスイッチ、電磁弁を駆動する。また、リレー動作を監視するため、リレーの予備接点による信号を逆に送り返し、CPUおよびスイッチボックスに伝える。油圧、ジャッキストローク、カッター回転数等の計測データはアナログ電圧なので、A/Dコンバータによりデジタル信号化しデータ用送信器、受信器を経てCPUに送られる。なお計測データはプリンタにより記録するとともに、D/A変換器により受信信号をアナログ信号に変え、ペンレコーダに記録する。本装置の主な仕様を表.1に示す。

3. 実験用掘削装置の構成および諸元

掘削装置は掘削部、制御部、パワーユニット部の3分割したメカニカルシールド機であり、掘削部はバルクヘッド、センタシャフト式回転型カッター、回転羽根型土砂取込機構を有している。制御部には動力盤、リレーボックスおよび制御装置が内壁に固定されている。また、パワーユニット部には電動モータ、オイルポン

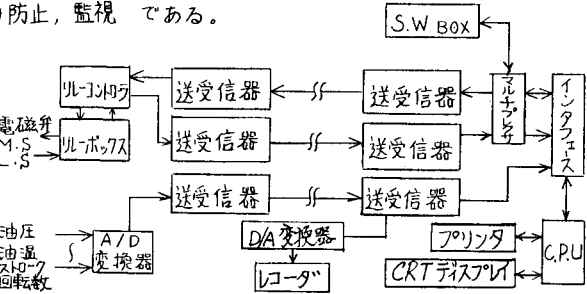
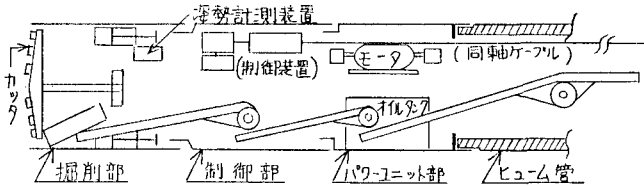


図.1 制御装置構成図

表.1 制御装置の主な仕様

項目	仕様
操作信号	48点、2連照合による検定
監視信号	48点
計測信号	1データ12bit、48ch
伝送方式	FSK変調、全2重非同期時分割直列伝送
伝送速度	1200 ~ 4800 b/s
CPU	16 bit、16 kW

ブ、オイルタンク等の油圧ユニットが内壁に固定設置されている。したがって、取込まれた土砂は掘削部からパワーユニット部後方までベルトコンベアにより運ばれる。なお、山留はヒューム管を用い、推進は元押ジャッキにより行ない、方向制御は6本のシールドジャッキを組合せ操作することにより行なう。図.2に装置構成を、表.2に主要諸元を示す。



4. 実験方法 図.2 掘削装置構成

表.2 主要諸元

カッター	2.6ton・m, 4.3rpm/210%
シールドジャッキ	20ton×500mm×6本
スキプレート外径	1,454mm
“ 全長	2,180mm
カッタージャッキ	6.5ton×150mm×2本
コピ-カッター	2.6ton×100mm
電動機	7.5kW, 15kW×1台

4.1 掘削計画 本実験は蛇行制御を主目的としているため計画線を直線とした。なお、実験場所は研究所構内であり、掘削条件は表.3に示す通りである。

4.2 掘削機制御方法 試作した制御装置によりカッター、シールドジャッキ等を立坑から操作した。ジャッキ推力、カッタートルク、土砂取込機構トルク等の監視は各計測値に上限値、下限値を設定し、CPUで計測値と比較する方法である。また、オペレータはCRTディスプレイの表示またはアシレコーダ記録を見ることにより監視した。これらの計測項目は、シールドジャッキ油圧およびストローク、カッター用オイルモータ油圧および回転位置、回転数等である。なお、姿勢(方位角、ロール角、ピッチ角)は姿勢計測装置を用いて計測する。

4.3 蛇行制御方法 何等かの影響により、蛇行が生じたとき計画線に近づける制御方法であり、その方法は蛇行したと検知するしきい値(±10cm)および蛇行限界値(±20cm)を設け、変位制御(蛇行量がしきい値内に入るまで変位の修正を優先してジャッキの組合せを選ぶ)と、姿勢制御(しきい値に入ると計画線方向と掘削機方向が一致するようにジャッキを選ぶ)の組合せによるものである。図.3に修正計画を示す。

5. 実験結果および考察

5.1 掘削データ カッタートルクは0.6~1.1ton・m(無負荷時0.36ton・m)、シールドジャッキ推力は21~34ton、シールドジャッキスピードは8~10cm/minであり、ロームのバケット内付着もなく掘削できた。また、土砂取込機構、パワーユニット等機器も故障なく作動した。なお、本実験終了後、土砂取込機構の機能を確認するため玉石混りの砂礫土槽を作成し、実験を行なった。その結果、玉石(最大径20cm)を含む砂礫土が取込めることを確認した。

5.2 蛇行修正結果

図.4に蛇行修正時の掘削軌跡を示す。掘進距離1~2で蛇行させ、しきい値を越えた時点から変位制御を3~5の区間実施し、その後姿勢制御により掘削部を計画線方向に向けることができた。

5.3 制御装置の作動状況 坑内の環境は湿度が高いとともにモータ、電磁弁の作動により電気雑音が多い。しかし、フィルタ等の対策を講じていることにより、誤動作なく正常に作動した。

表.3 掘削条件

土 質	関東ロ-ム(湧水なし)
土 被	2.5m
N 値	4~5
計画線	勾配% ₀₀₀ 、直線
巨 長	70m
含水比	100%

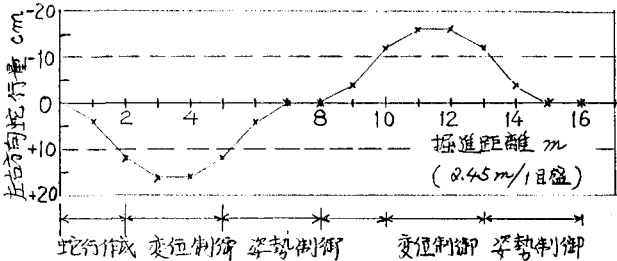


図.3. 蛇行修正計画

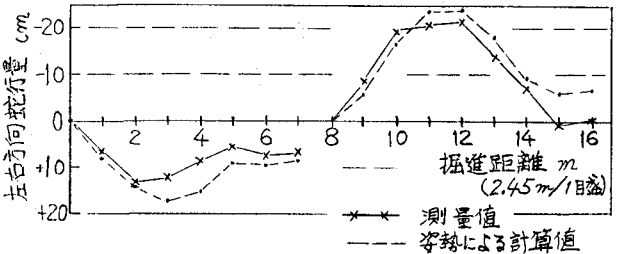


図.4. 蛇行修正実場結果