

## 技術情報

シリーズ第2回

# 「小口径管推進工法の高度化に関する研究」 ファジィによる方向制御事例 1

\*高津 知司

建設省土木研究所  
機械施工部  
機械研究室研究員

\*\*藤森 勲

(株)イセキ開発工機  
新事業開発本部  
開発設計部部長

### 1. 小口径管推進工法における方向制御

小口径管推進工法における方向制御は、円筒形のマシンの前方部を数度偏向させる機構により、このマシン前方部の偏向面にこれに接する地山の反力により生ずる元押推力の分力である方向修正力により行われるのが一般的である。<sup>1)</sup>

また方向制御の基準としては、発進立坑から照射されるレーザビームが良く利用されている。方向制御は、推進の基準であるレーザビームからのマシンの変位を検出して行われる。変位の検出位置は通常マシンの後方部位である。これは、マシンの前方部位には掘削装置とそれを駆動する電動機等が装置されていて、レーザビームがマシン前方部位まで到達できないからである。

もしマシンが理想的なマシンで、レーザビームがマシン先端まで到達できれば、マシンの方向制御は非常に簡単になる。この場合、マシン先端部分が常に基準のレーザビーム上に位置する様に方向制御すればよく、地山の状態がよければ、レーザスポットとマシン先端部の位置検出センサの分解能で決まる施工精度が得られる。即ち、マシンの先端が常に計画ライン上にあれば、後続のマシン及び管路も計画ライン上を追随するという理屈

である。現実には、前述の如くマシン先端ではなく、マシン後方部位での位置検出となる。この理想的マシンの方向制御と、現実のマシンの方向制御の方法の相違は、路上に引かれた白線上を荷物車をけん引して走行する三輪車の運転方法の相違で説明するとよく理解できる。(図1、1)参照

即ち、理想的マシンの方向制御は、図中の運転手が三輪車に乗り、前方の白線を見ながらハンドル操作する通常の運転方法に相当するが、現実のマシンの方向制御は、運転手が三輪車に乗らず、二輦目の荷物車に乗り、その位置から一輦目との間隔のすき間から、路上の白線を見ながら延長されたハンドルを操作するという極めて異常な運転方法に相当する。

#### \*略歴

高津知司(たかつ・ともじ)／昭和62年3月京都工芸繊維大学大学院工芸学研究科終了(工学修士)、同年4月建設省土木研究所研究員、現在に至る。

#### \*\*略歴

藤森 勲(ふじもり・いさお)／昭和39年3月中央大学電気工学科卒業、平成4年1月(株)イセキ開発工機メカトロニクス部長、現在に至る。

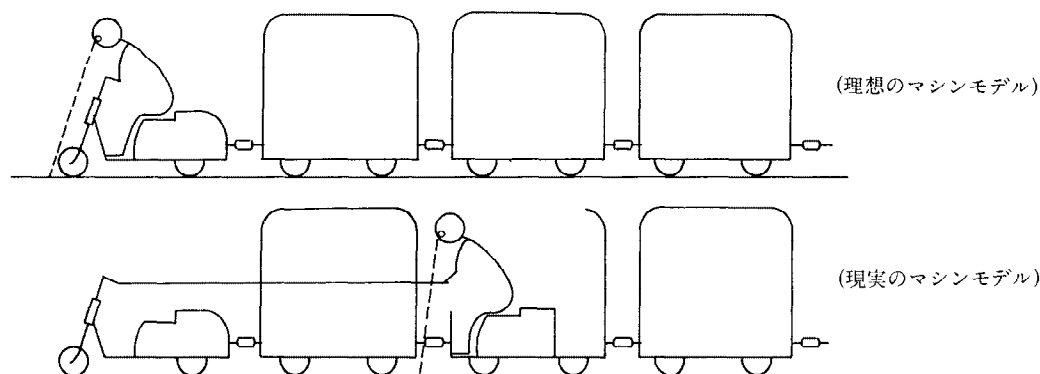


図1.1 理想的マシンと現実のマシンの方向制御方向を説明する図

## 2. オペレータによる方向制御方法(砂礫対応泥水加圧セミシールド掘進機アングルモールの場合)

レーザビームを掘進機内の比較的後方に設置されたターゲット板で受け、板上にレーザスポットを生じさせ、そのレーザスポットの板上の位置と動きをITVにより操作盤上のモニタ画像で見て計画ラインからの変位を知り、掘進機前方部の節ジョイント部に設けられた油圧ジャッキを作動させ、ステアリングヘッドを偏向させることにより方向修正を行っている。

修正量は、同じターゲット板上にある黒色の小さな十字形の指針の位置で計っている。何故ならこの指針の元がステアリングヘッドの背面を構成するバルクヘッドに固着されているので、方向修正に応じてターゲット板上を方向修正方向と逆の方向に移動し、またその移動量は修正角度に比例するからである。(図2.1参照)

オペレータは、レーザスポットの変位を平面であるターゲット板上で見ていたが、これに時間的要素を加味して三次元的にとらえている。そして目指していることは、このターゲットのセンタ即ち掘進機の後方部のセンタを計画線にのせることである。掘進機の先端部分の位置を正確に表示する手段もないことから、実際にオペレータは掘進機の先端部分の位置をあまり気にしていない。掘進機の後方部位が常に計画ラインにのっていれば、後続の管路もこれに追随するので、出来上がりの管路も計画ラインにのるはずである。

オペレーターは、また、地球の強力な重力を利用した精密な傾斜計を用い、掘進機の実際の傾斜角を知り、これと計画勾配とを比較し、垂直方向の方向修正の参考にしている。

前述のターゲット板上は中心を原点とするX-Y座標となっている。ターゲット上のレーザスポットに関し、オペレータの方向制御操作を説明すると次のようになる。

(i) レーザスポットが原点から変位しているが座標上の移動がない場合

この場合は、修正インジケータをレーザスポットが現在ある象限の原点に対して対称となる象限に、原点から少し離れた位置にもって行く。

(ii) レーザスポットが原点から変位していて増々その変位が大きくなっていく場合

この場合は、修正インジケータをレーザスポットが現在ある象限の原点に対して対称となる象限に、原点から遠く離れた位置にもって行く。

(iii) レーザスポットが原点から変位しているが徐々にターゲットの中心方向に移動して来る場合

この場合は、修正インジケータを原点の位置にもって行き、新たな修正をかけないようにする。

(iv) レーザスポットが原点から変位しているが急速にターゲットの中心方向に移動して来る場合

この場合は、修正インジケータを現在レーザスポットがある象限にもって行きブレーキ操作する

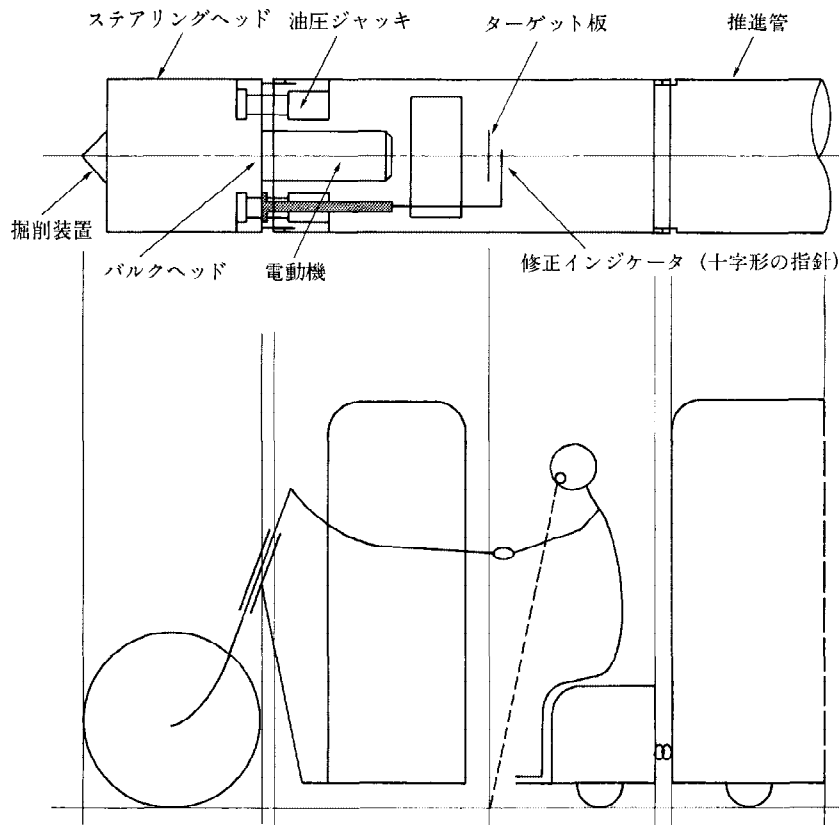


図2.1 アングルモール掘進機の方方向修正インジケータ  
取付説明及び、方方向修正機構を三輪車の運転との対比で説明する図

ことになる。

このような修正操作を行い、レーザスポットを常にターゲット上の原点近くに保つ努力をするのであるが、修正のタイミングと修正量はオペレータの勘に属する分野であり、長年の経験により体得されるものである。従って、オペレータ個々によって修正方法が多少異なり、流派のようなものがある。オペレータによる施工成果を大別すると(図2.2)に示す3パターンになる。<sup>2)</sup>

この様に、推進工法における方方向制御は、計画ラインにいかに近似させるかという操作といえる。

### 3. 開発された自動方方向制御システム

測定困難な地中の土質要素に依存する掘進機の地中での挙動を定量化することは容易ではない。

しかし、熟練オペレータの運転による施工は精度が良いのは事実である。だが、それも所詮、計画ラインに対する一つの近似であるに過ぎない。

そこで近似技法であるファジィ理論を利用した制御で、熟練オペレータの方方向制御手法をコンピュータに代行させるシステムを開発した。

#### 3.1 システムの構成及び制御方法

オペレータが視覚で得ているレーザスポットの位置と方方向修正インジケータの位置をコンピュータに取り込むために、マシン内にカラーカメラを装置し、また、方方向修正インジケータの十字形の指針の替わりに緑色のLEDを取付け、地上のモニターテレビの映像をカラー化し、このモニター映像からカラーテレビ技術を応用して、赤色のレーザスポットの画像と緑色の方方向修正インジ

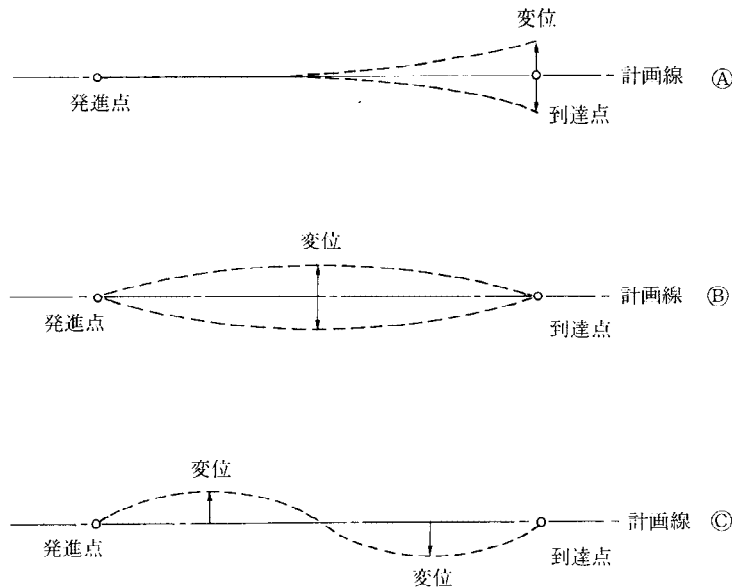


図2. 2 オペレータによる施工成果の3パターンを示す図

ケータの画像だけを分離し取り出し、これ等2個の画像を交互に画像処理器で処理し、各々のターゲット板上のX-Y座標値を演算し出力させる。レーザースポットの座標値及びその変化に関する熟練オペレータの方向制御手法を記憶したファジィコントローラに、観測されたレーザースポットの座標値を入力し、対応して出力される方向修正量と現在の修正量を比較し、その差分を新たな修正量として出力し、油圧ジャッキを作動させ方向修正を行うようシステムを構成した。(図3. 1) 参照

### 3.2 ファジィ制御規則とメンバーシップ関数

熟練オペレータへのアンケート調査や実現場におけるオペレータの運転方法の観察から、2項で述べた操作手法が判明した。その操作手法をレーザースポットの原点からの変位量を観測値とする制御規則に作成し、またアンケート調査の結果からレーザースポットの変位量と方向修正角度に関するメンバーシップ関数を得た。(図3. 2)参照

### 4. A・Sシステム(ADVICE SYSTEM FOR STEERING WITH AUTOMATIC OPERATION MODE)

共同研究の成果として開発された自動制御システムを基に、自動修正機能付掘進機方向修正操作アドバイスシステム、略称A・Sシステムが商品化された。本システムへの入力項目は、オペレータへのヒアリング等で得られたオペレータが方向修正操作の際、主に参考になっている次の3点とした。

- (1) レーザースポットのターゲット上の座標値 LX、LY
  - (2) 現在の修正量を示す修正インジケータのターゲット上の座標値HX、HY
  - (3) ピッチング計の指示値PT
- である。尚、特殊な土質条件に伴う制御パターンの変更には、その土質用のファジィルール等の入っているICカードの差し替えて対処している。本システムの出力項目としては、新たな方向修正操作のために、方向修正インジケータが向かうべきターゲット上の座標値GX、GYと、現在のイン

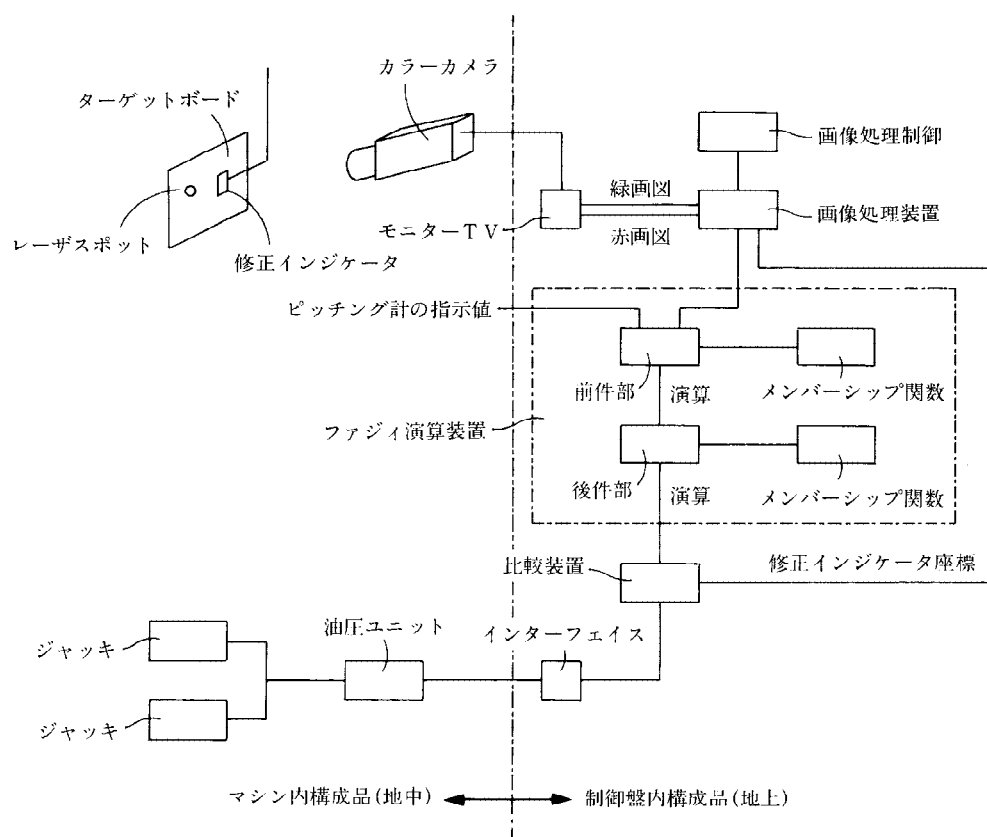


図3. 1 A・Sシステムの構成図

ジケータの座標値との差に相当する修正ジャッキ操作信号である。図2. 2に示す施工成果3パターンのうち、熟練オペレータのある流派はBのパターンを良いとしている。これは、推進管の管口に対するダメージや推進中の推力の増加等に配慮すると一理ある。しかし、もしオーバーシュートが小さく制限できれば、Cのパターンの方が計画ラインに近く良い施工といえる。また、掘進機軌跡の周期的なオーバーシュートは、推進に伴いならされて布設される後続の管路は、より計画線に近くなる事が伴ったので<sup>3)</sup>、本システムでは、Cのパターンの推進を基本にしている。

A・Sシステムは、全国の推進現場で使用され始め、その自動方向制御機能は好評を得ている。自動推進データの1例を図4. 1に、またA・Sシステム制御盤を写真4. 1に示す。

## 5. 今後の問題点

開発された自動方向修正システムは、計画線を基準にセットされたレーザビームを基準として機能するので、推進の途中でこのレーザビームが変動して計画線の基準から外れてしまっては困る。

しかし、実際の現場に於いては、振動や種々の原因でレーザ発光器が動くことによりレーザビームも変動する。垂直方向については、オートレベル機能のものが開発されているが、今後水平方向の変動に関しても自動補正する機能の開発が必要である。

土質条件の違いによる修正操作の変更は、ICカードの切り替えで行っているが、コンピュータが修正効果の相違等から自分で判断して修正パターンを変更するようにする技術の開発も今後に残されている。

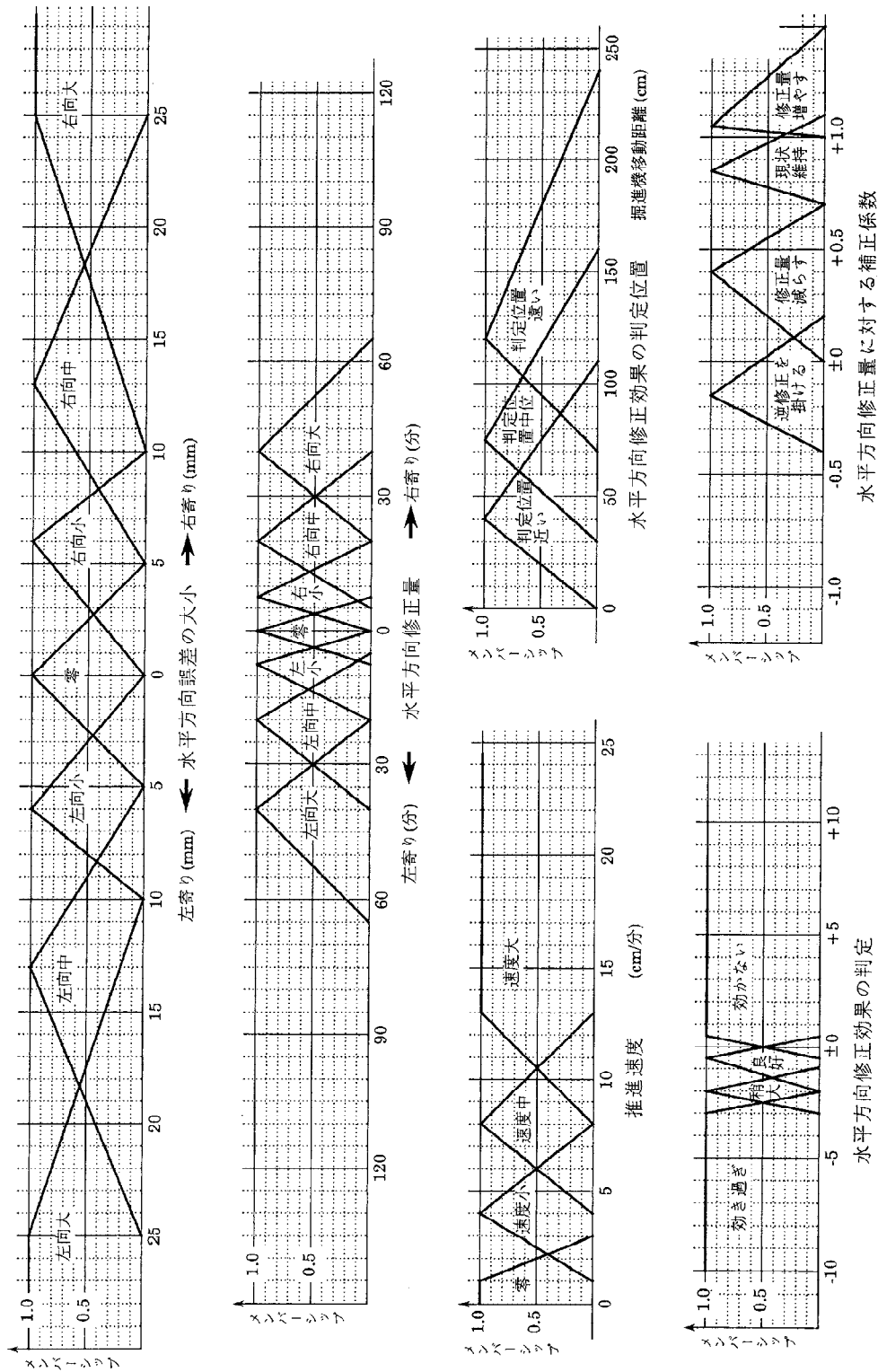


図 3. 2 水平方向の変位に関するメンバーシップ関数

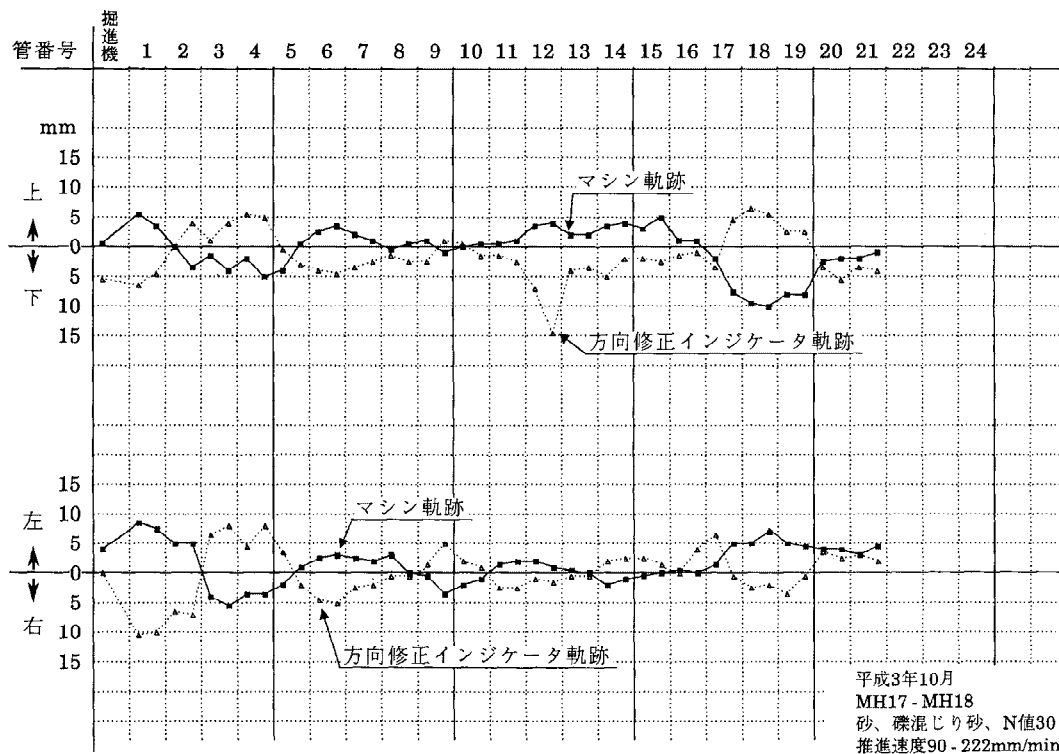


図4. 1 A・Sシステムを使用した自動推進データ図

また、推進中掘進機前方に障害物がある場合、方向修正が効かなくなったり、時には推進自体も困難となる。従って、推進中前方の障害物を探査する装置か、推進に先立ち、計画管路の地中の状態を調査する装置の開発も今後の課題である。

#### 6. 謝辞

A・Sシステムの完成は、建設省官民連帯共同研究「小口径管渠掘進制御システムの開発」(昭和63年～平成2年度)の成果の一部であります。種々のご指導をいただいた、永田伸之日本大学教授、竹下貞雄立命館大学教授に感謝を申し上げます。また、今回の共同研究を円滑に進められたことについて、建設省土木研究所の共同研究員の皆様方に感謝の意を現します。さらに、実現場の実験に際し、種々お世話になった、自治体の皆様並びに推進施工業者の方々に厚くお礼申し上げます。

#### 7. 参考文献

- 1) 高根 昇：推進工法 森北出版 1982
- 2) Stein, Mollers, Bieleck：Microtunnel-

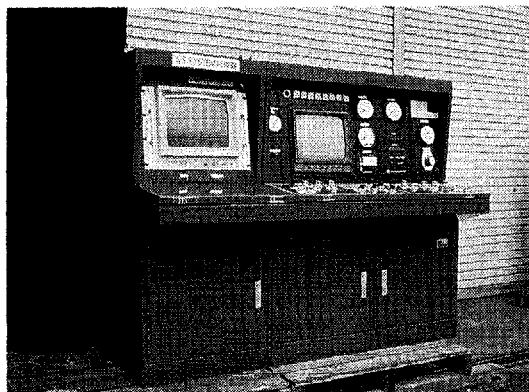


写真4. 1 A・Sシステム制御盤

ling, Ernst & Sohn(Berlin) PP.196～198, 1989  
 3) 建設省：官民連帯共同研究 研究開発概要報告書 小口径管渠掘進制御システムの開発 PP.4～5、平成3年