

コンピュータ制御によるレジントンネル自動築造工法

日本電信電話公社 茨城電気通信研究所 ○鶴 田 秀 典

日本電信電話公社 茨城電気通信研究所 杉 本 禎 男

1. はじめに

電気通信用ケーブルを収容する地下管路は、従来、その大部分が地上から開削して公道下に埋設されて来た。しかし、最近、特に都市部において、道路交通量の増加、地下埋設物の輻輳、工事による周辺住民への影響等の理由から、年々開削工法での施工が困難となって来ている。このような社会情勢からトンネル工法による施工が増加し、直径3 m 程度以上の大断面トンネル技術は、シールド工法等による施工実績からみても技術的にかなり高いレベルを有して来ている。一方、直径1 m 前後の小断面トンネル技術は、大断面トンネル技術と比べて、装置の小形化、自動化技術等において、技術的に難しい点を抱えており、決定的な技術の開発は、今一步の所である。それだけに、長距離施工、曲線施工、広範囲の土質に適用可能な小断面トンネル技術の開発が望まれていると言えよう。このため、電電公社茨城電気通信研究所では、昭和45年から50年にかけてヒューム管を山留めとする小断面シールド M-1 工法を開発し、引続き、昭和51年より内径1,200 mm の早強性レジンコンクリートの現場打設によるトンネル自動築造工法（以後小断面シールド M-2 工法と称する。）の開発を進めて来た。

2. 小断面シールド M-2 工法の開発目標及びシステム概要

当工法は都市部での施工が主体となり、施工環境への影響を最小限にする必要から、(1)長距離掘進、(2)曲線施工、(3)広範囲の土質に適用可能、を目標に定め開発を進めて来た。表-1に開発目標を示す。

本工法の特徴は以下のとおりである。

- (1) 長距離掘進、自動ライニングを可能にするため、新たに開発した打設後 30 分で所定の強度が得られる早強性レゾンクリートを現場打設して、ライニングを形成する。
- (2) 横坑内作業を無人化するため、ミニコンピュータによりシールド機の運転、ライニングの現場打設及び坑内運搬車の走行等を集中自動制御する。
- (3) 広範囲の土質に適用可能とするため、新しい土砂取込装置である「ロータリースクレーパー」を開発し、粘性地盤から湧水砂礫、玉石地盤でも掘削できる。
- (4) 最小曲率半径 $R=200\text{ m}$ の曲線施工ができる。

図-1, 2にシステム構成, 施工サイクルを示す。

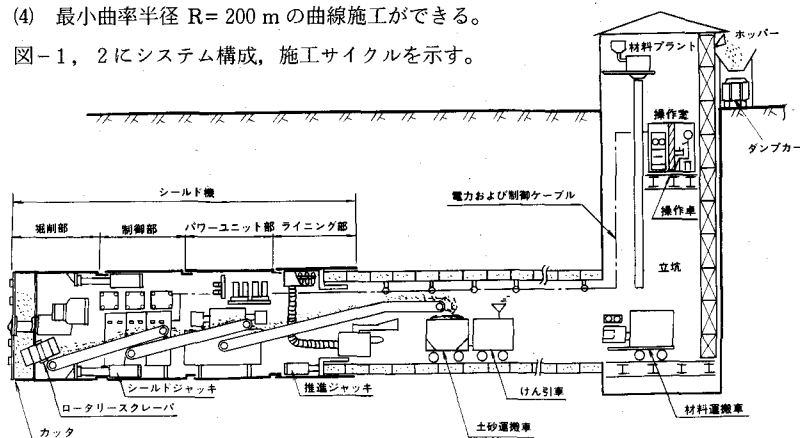


図-1 小断面シールド M-2 工法システム構成

表-1 小断面シールド M-2 工法の開発目標

掘道長	500m	トンネル内径	1200mm
線形（曲率半径）	200m	管路条数	40条
適用土質	粘性土、礫混り土	湧 水	あ り

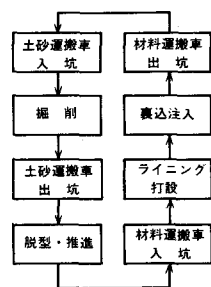


図-2 施工サイクル

3. 集中自動制御方式の概要

(1) 制御装置の設計方針

- ア. 熟練したオペレータでなくても、安全に必要な施工精度を確保できるよう操作、監視、異常処理をソフトウェアで行い、ミニコンピュータから制御対象へ制御信号を送る。
- イ. すべての動作は、ミニコンピュータで常時監視し、誤操作をしてもインターロック機構により機器の損傷を防ぐ。
- ウ. ソフトウェアは、シーケンスコントロールを軸に必要なフィードバック制御機能を持たせるとともに、チェックプログラムにより動作異常を常時監視する構成とする。
- エ. 狭隘なトンネル内での保守性を考慮し、接続函の切り分け機能の充実、センサ出力レベルの統一を行うことにより、センサの互換性を持たせる。
- オ. 自動化をするためのセンサ等に多大の要求があり、また微妙な判定要素が多くあるなどして、システムを極端に複雑化する恐れがある工程は、自動化しない。

(2) 自動制御項目

設計方針に基づき決定した自動制御項目は、表-2のとおりである。

表-2 自動制御項目

自動制御項目	内 容
掘削制御	カッタ、ロータリスクレーパのトルク、シールドジャッキの推力監視を行いながら制御し、設定された距離を良好な状態で掘削する。
方向制御	一掘進長毎に姿勢計測装置でシールド機の姿勢を自動計測し、シールドジャッキ等の使用組合せを決定し、計画線に追従させる。
ライニング打設制御	レジンモルタルと硬化液を一定の割合に混合させながら型枠に充填し、トンネル壁を築造する。
推進制御	推進ジャッキのストロークを等長制御しながらシールド機を前進させる。
坑内運搬車走行制御	坑内運搬車が無軌道を一定ローリング角以内で走行するよう自動操舵し、自動走行、自動停止などの走行制御をする。

4. 集中自動制御システム

(1) 集中自動制御システムの構成

集中自動制御システムは、図-2に示すように、立坑部の運転室に設置されているセンター装置、操作卓、トンネル部のシールド機系、坑内運搬車系の装置で構成されている。

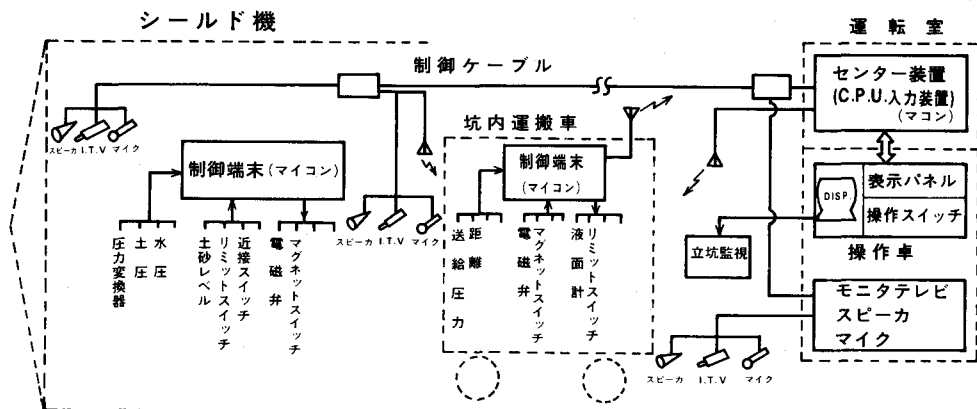


図-2 集中自動制御システム

この集中自動制御システムにおける入出力信号点数は、表-3のとおりである。

表-3 入出力信号点数

分 類	内 容	点数
アナログ監視	シールドジャッキストローク、カットトルク、土圧、水圧、モルタルタンク重量等	38
動作監視	パワーユニット油温、型枠温度、混合打設機各種開閉等	52
状態監視	立坑水位、排水、換気等電源、使用ジャッキ、カット回転方向等	130
操 作	パワーユニット、カット、ロータリースクレーパ、混合打設機各種弁等	98
表 示	掘削、ライニング打設等各工程の表示、ディスプレイ表示、操作異常等	58

(2) 掘削制御

自動掘削は、回転羽形排土装置であるロータリースクレーパの回転数、シールドジャッキスピードを設定し、シールド機前面のチャンバ内の土砂レベルの状況により、カット、シールドジャッキ、ロータリースク

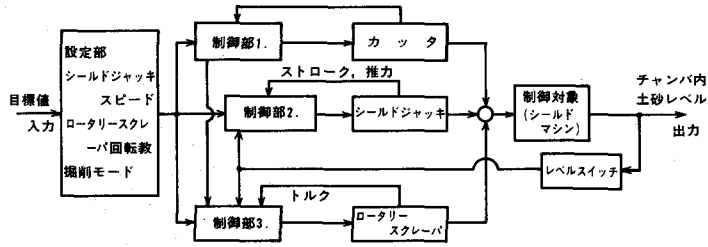


図-3 自動掘削制御ブロック図

レーパを自動的に ON-OFF し、良好な状態で掘削するよう制御する。図-3は自動掘削制御ブロック図である。

(3) 方向制御

シールド機の方方向制御は姿勢計測装置により、1リング(50 cm)あるいは1ブロック掘進する毎に、シールド機の位置、姿勢を把握し、シールドジャッキの使用パターン、コピーカット、修正ジャッキの使用の有無、

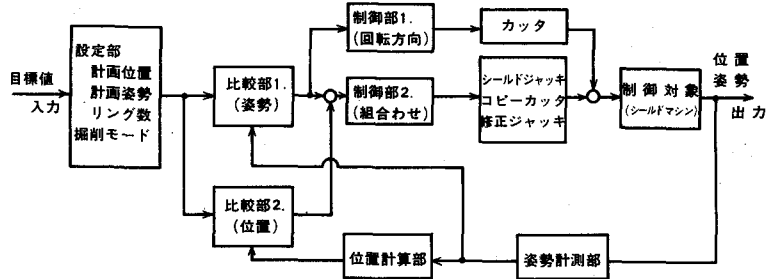


図-4 方向制御ブロック図

カット回転方向を自動的に決定し、トンネル計画線に追従させ、また姿勢を安定させるように制御する。

図-4は方向制御ブロック図である。

(4) ライニング打設制御

ライニング打設は、材料運搬車により圧送されたレジンモルタルと硬化液を混合打設機において、一定比に混合、攪拌し、ライニング型枠へ充てんするものである。特に、ライニング材料の混合比制御はトンネルの品質に直接に影響する重要な制御項目であり、また混合打設機内の洗浄は、装置の繰り返し使用を可能とするため、短時間のうちに誤りなく各種弁の開閉等を行う必要がある。図-5は、ライニング打設工程ブロック図である。

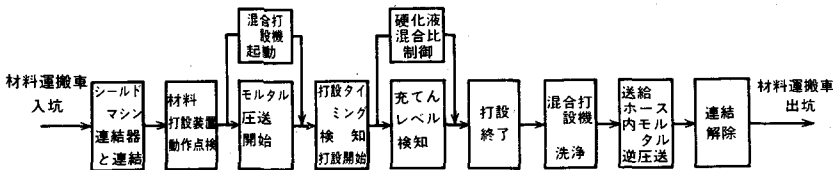


図-5 ライニング打設工程ブロック図

(5) 推進制御

推進とは、トンネル型枠
ヘレジンモルタルを打設し、
それが硬化後、脱型を行い
シールド機を1打設長（50
cm）前進させる工程であり、

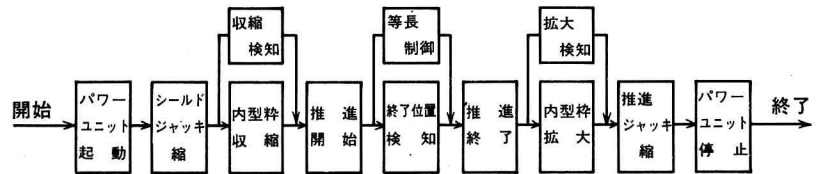


図-6 推進工程ブロック図

ライニング及び型枠等に損傷を与えないよう推進ジャッキの等長制御を必要とする。図-6は、推進工程ブロック図である。

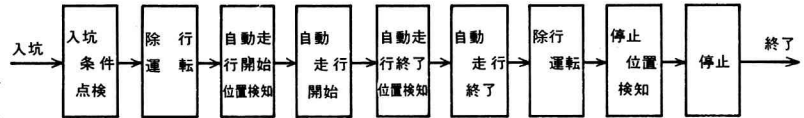


図-7 坑内運搬車自動走行工程ブロック図

により制御される区間と坑内運搬車自身による自動走行制御する区間がある。図-7は、坑内運搬車自動走行制御ブロック図である。

5. 操作システム

本工法では、坑内運搬車の入出坑、掘削、ライニング打設等の各々の工程に初期パラメータの設定等があり、オペレータの万一の誤動作にも対応でき、容易に、確実に操作できるよう下記の点を考慮して操作卓の設計を行った。

- (1) システム起動スイッチを集約する。
- (2) 各スイッチはすべてコンピュータへの指令スイッチとし、操作スイッチ数を集約する。
- (3) 初期パラメータの設定は、常時必要なものだけ操作パネル上に設定スイッチを設け、半固定のパラメータについては、施工開始前にキーボードから入力する。
- (4) 各スイッチは、常時コンピュータにより監視し、操作異常パラメータの設定誤り等を検出し、オペレータに通知するインターロック機能を設ける。
- (5) オペレータが操作中、システムの制御内容を正確に把握できるようカラーグラフィック機能、パネルランプによる動作及び工程表示機能を持たせる。
- (6) 動作中の異常通知機能、動作異常でアラームが発生



写真-1 操作卓

クックシャユウタイ

クッキングモード							
	cm	1	2	3	4	5 (×10)	
ジョーロト							
	cm/min	1	6	12	16	20	
	kg/cm²			1	2	(×100)	
カキタ							
	kg/cm²			1	2	(×100)	
スプレー							
	kg/cm²			1	2	(×100)	
トリアン							
	kg/cm²	2	4	6	8	10 (×10³)	
スピア							
	kg/cm²	1	2	3	4	5 (×10⁴)	
パイオナル							
	kg/cm²			1	2	(×100)	

クックシャ

トリエンヘン

パイオナル

図-8 掘削工程におけるディスプレイ表示

- しても、原因が把握できている場合は、オペレータの判断により工程の続行及び停止を可能とする機能を設ける。
- (7) 機器動作の点検を容易にするため、信号の入出力状態を把握できるようにするとともに、テストボックスによる機器の個別操作を可能とする。また各部の状態を映像及び音声でモニタすることを可能とする。

7. おわりに

本工法は、本格的なコンピュータ制御によるトンネル築造ロボットを目ざすものであり、単に自動化を図ったものでなく、機械とオペレータが対話し、オペレータの判断で工程の続行、停止を可能とするなどの特長を持たせた。現在、2回目の実際のトンネルを築造する現場試験を実施中であり、今後さらに、センサ技術等を発展させ、高機能化を図って行く予定である。