

1. まえがき

電電公社では、通信土木工事の高能率化、環境への適応、経済化を目的として内径 $\phi 1200$ mmの小断面シールド工法(D1200-M2)の開発を進めてきたが、このほど筑波建機開発センター内に200 mのレジンコンクリートトンネルを築造した。本稿はこの自動掘進技術について報告するものである。

2. 掘進条件およびシールド機

試験工事では、土被り3.0～5.0 m、平面線形…200 mR $\times 3$ カ所、縦断線形…0.5～2.0 %勾配で、200 mを掘進した。土質状況は、掘進初期が砂分含有率86 %、均等係数1.0の湧水砂層、地下水位はGL-3.0 m。続いてシルト・粘土分を75 %含む砂質シルト層($q_u = 0.58$ kg/cm²)、シルト質砂層を掘進する。

シールド機は外径 $\times$ 機長が1480 $\times$ 2570 mm、ジャッキ推力…30 t $\times 6$ 本、カッタトルク4 t $\cdot$ m、カッタ回転数4 rpmの密閉型である。シールド機チャンパ内には土砂の蓄積状況を把握するため、バルクヘッド上部、中央部、下部にゴムシール、ロッド、バネ、スイッチ等から構成される土砂レベル計を設置した。図-1にシールド機、図-2に土砂レベル計を示す。

3. 自動掘進技術

自動掘進技術には、方向制御・掘削制御がある。シールド機の方角制御は、姿勢計測装置(ジャイロスコプ、アクセロメータ)により1リング(50 cm)および1ブロック掘進する毎に、シールド機的位置・姿勢を把握し、シールドジャッキの使用パターン、コピーカッタ・修正ジャッキの使用の有無、カッタ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。

掘削制御は、ジャッキ推力、カッタトルク、ロータリスクレーパトルク、土砂レベル計のON-OFF状態を監視し、切羽を崩壊させないよう、各装置の動作を自動的に制御することをめざしている。この自動掘削では、ロータリスクレーパによる土砂取込量がキーポイントとなるため、ロータリスクレーパの運転方法を3種類設定し、それぞれ地盤に適合したモードで掘削を行なう(表-1)。

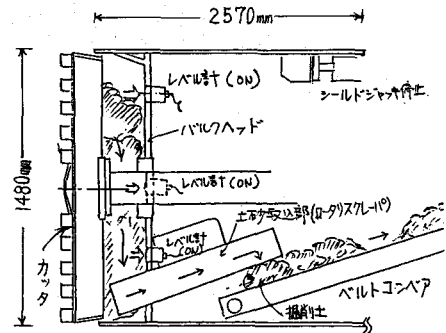


図-1 シールド機（土砂取込時）

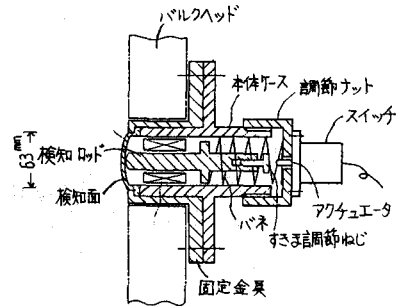


図-2 土砂レベル計

表-1 掘削モード概要

		モードⅠ	モードⅡ	モードⅢ
制 御 項 目	カッタ (回転数 4 rpm)	油圧制御値により 反転	〃	〃
	シールド ジャッキ (掘進速度 4 cm/s)	油圧制御値により 掘進および停止	レベル計のON-OFF、 油圧制御値により 掘進および停止	〃
	ロータリ スクレー パ (回転数 6 rpm)	常時回転	シールドジャッキ掘進時…停止 停止時…回転	〃
運転方法		ロータリスクレーパを 常時回転しチャンパ内 土砂を空にながら掘進 する。自立性地盤に対 象と考える。	チャンパ内の土砂量を レベル計によって監視し、 チャンパ内土砂量を一定に するよう、ジャッキ・ロー タリスクレーパとON-OFFし て掘進する。硬い非自立 性地盤に対象と考える。	カッタトルクの増減を監 視しながら土砂をチャンパ内 に溜めるよう、ジャッキ・ロー タリスクレーパをON-OFFし て掘進する。硬い非自立 性地盤に対象と考える。

4. 掘進試験結果

姿勢・変位をもとに自動的に決定されたジャッキ操作による方向制御結果は次のとおりである。

①直線部；0～55リングの直線区間においてアロック内の姿勢変化量は最大+2～-4 mradであり、この区間の光学測量との差は平面で2 cmである。

②曲線部；図-3は、左右のカーブに対応するジャッキ操作で1リング掘進した後の、姿勢変化量である。方位角の変化とともにピッチが下がる傾向にあるためマシンを上向き修正するジャッキ操作を併用して、1掘進ブロックごとに方位角変化量を制御し200 mRの曲線を施工した。200 mRでは、1ブロック毎に13.5 mrad、方位角を変化させていくが、図-4に示すとおり実際には、ピッチング修正を含めた0～23 mradとなった。この区間の光学測量との差は、平面20 cm、縦断10 cmである。

③ローリング；アクセロメータによる計測結果から自動的にカッタ回転方向が設定され、良好な姿勢修正が行われた。

設定したモードによる掘削制御結果は次のとおりである。

①排土制御；図-5は、湧水砂層区間におけるモードIIの自動掘削例である。レベル計のON-OFFによりシールドジャッキは一定間隔で推進・停止を繰り返す。ロータリスクレーパの排土制御によって、一般シールドでみられる土圧を一定範囲に制御すると同等の掘削が実施されている。止水性も充分で、0.3 kg/cm²の水圧下で良好な掘削を行なった。

②カッタートリ・シールドジャッキ推力；図-6に示すとおり、今回の土質条件ではジャッキ速度に影響なくほぼ一定の値となった。

5. 自動掘進技術の評価

今回は10 mに1回光学測量を実施し、方向制御状況等の確認を行なった。その結果、シールド機は実用上ほぼ問題なく制御されたと考えられ、また精度を向上させるため問題点について改良・検討を加えているので、この測量間隔を広げ省力化を図ることが可能と思われる。一方掘削制御については、装備トルク・装備推力の1/3～1/5で、2～8 cm/minの速度で順調に掘進しており当初の目標は達成したと考えられる。

以上のことから総合的に自動掘進技術の実用化が図られたと判断する。本工法は59年度に現場導入していくとともに、各種データの蓄積を行ない、さらに高度な段階での自動掘進技術の足がかりとするものである。

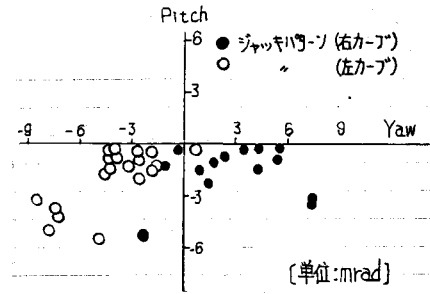


図-3 ジャッキ操作による姿勢変化量 (1掘進後)
方位角変化量 (mrad/ブロック)

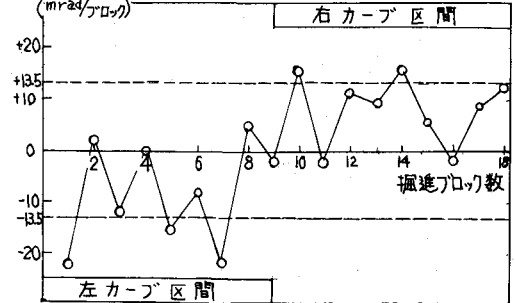


図-4 曲線部における方向制御結果(R=200m)

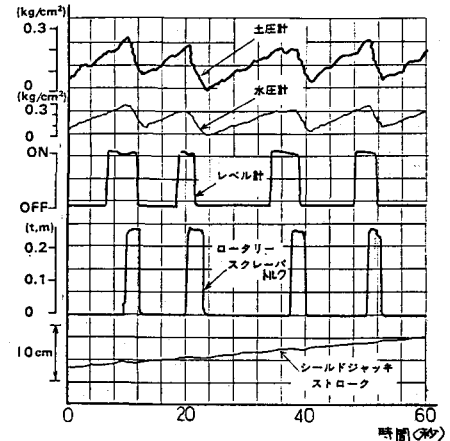


図-5 自動掘削の一例 (掘削モードII)

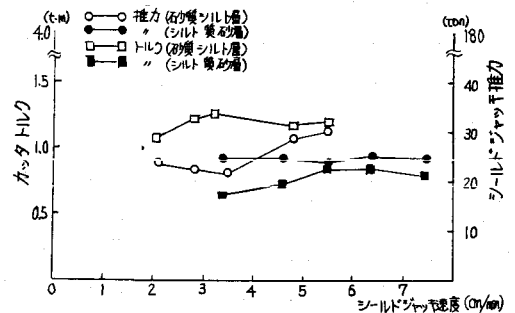


図-6 掘進特性