

日本電信電話公社 茨城電気通信研究所 正員 田中 邦男
 正員 小林 英夫
 ○正員 堀内 敏行

1 まえがき

公社では施工の高速化とトンネル内作業の無人化を図り、内径1200mmのヒューム管をライニング材とした小断面シールド工法を実用化した。小断面シールド機を用いて安全かつ効率的に施工するには、掘削トルクの適切な制御と掘進速度の調節が必要である。このため、土質と掘削トルクの関係、掘削トルクと掘進速度の関係、等について検討を行なった。また、ヒューム管の推進に要する推力および油圧ホースの延長に伴う圧力降下は、掘削長の限界を左右する要因となるので、掘削長の増加に伴う押管ジャッキ推力の変化、圧力損失と掘削長の関係、を明らかにした。以上について報告する。

2 掘進方法の概要

小断面シールド機は前面の回転カッタで地山を掘削しながら、発進立坑に据え付けた押管ジャッキによりシールド機とヒューム管とを同時に推進し、トンネルを構築する。図1に掘進機構の概要を示す。

3 掘進特性

(1) 掘削トルク

掘削トルクは、掘削する地山の土質、カッタへの土の付着状況、土のかき上げ状況、掘進速度、等の影響を受ける。図2に、一掘進中の掘削トルクの変動状況を示す。変動状況は土質により異なり、ほぼ均一の土質では(a)のごとく掘進中掘削トルクがほぼ一定であるが、礫の混入した不均一な土質では(b)のごとく激しく変動する。平均トルクが低くても(b)のように変動によりトルクが限界値に達する場合には負荷を下げる必要がある。掘削トルクを適正値に制御するには掘進速度を変えて行なう。本シールド機では、カッタ回転数は4.9 rpm一定とし変化させない。図3に、掘削トルクと掘進速度の相関関係を示す。掘進速度の設定を一定にしても図4に示すように土質(場所)により掘削トルクは異なる。したがって、土質に応じて掘削トルクを適切に制御する必要がある。

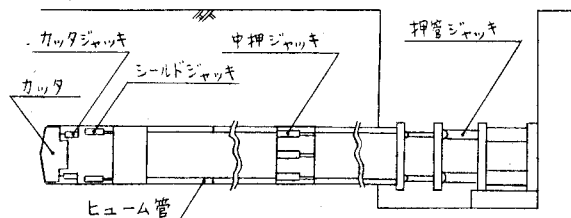
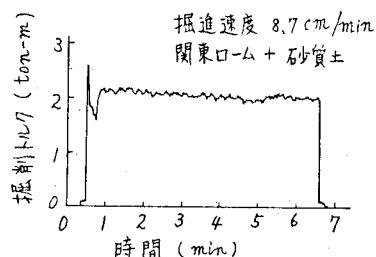
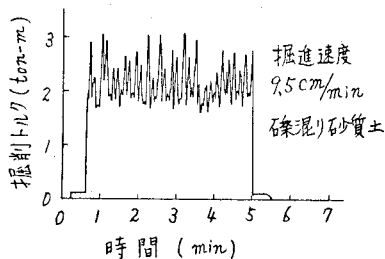


図1 小断面シールド機の掘進機構



(a)



(b)

図2 一掘進中の掘削トルク変化

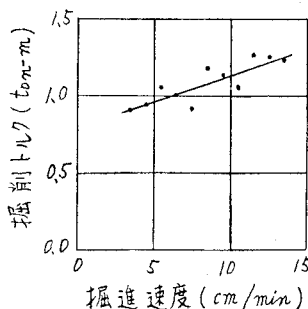


図3 掘削トルクと掘進速度との関係

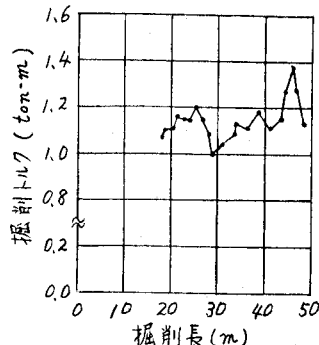


図4 土質による掘削トルクの変化

(2) 掘進速度

掘進は、カッタが過負荷(カッタトルク過大)とならずかつ排土能力を超えない範囲で、できるだけ速い掘進速度で行なうのが最も効率的である。ジャッキのうち、カッタジャッキ(CJ)は、カッタが地山に食い込んだ時の負荷解除用であり、残りのシールドジャッキ(SJ)、中押ジャッキ(MJ)、押管ジャッキ(PJ)を掘進に用いる。掘進速度は各ジャッキの伸長速度であり、ジャッキ速度はジャッキ系パワーユニットオイルポンプの斜板開度を変えることにより調整する。斜板開度を所定の値に設定すると掘進速度が決まり、一掘進中はほぼ定速となる。図5に斜板開度と掘進速度との関係を示す。各ジャッキはシリンダ内径が異なるので、同一開度に対する掘進速度が異なる。また、土質による負荷の変化、作動油粘度の温度依存性、設定機構のあそび等により速度にばらつきが出る。押管ジャッキ掘進の場合には図5のごとく約±2 cm/minのばらつきとなった。本シールド機のめざした10 cm/minの速度で十分掘進可能であることが確認できた。

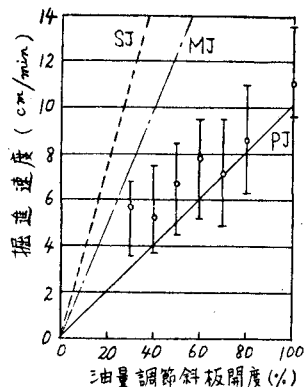


図5 掘進速度の調節

表1 各ジャッキの推力

ジャッキ種別	推力 (ton)
カッタジャッキ	0~17
シールドジャッキ	26~38
中押ジャッキ	128~166

(3) ジャッキ推力

CJには地山反力, SJには(地山反力)+(シールド機と土との摩擦力), MJ, PJには(地山反力)+(シールド機と土との摩擦力)+(ヒューム管と土との摩擦力)に相当する推力が必要である。CJ, SJ, MJの推力は、土質、シールド機の運動状況により値がばらつくもののほぼ一定となる。PJの推力は掘削長の増加とともに増大する。表1と図6に各ジャッキの定常推力を示す。PJ推力は一次裏込を行なうとベントナイトの減摩効果により減少する。また、一掘進中の推力は、図7に示すように、シールド機が動き出す直前に最大値をとる。最大値は定常時推力の平均12%増、最大21%増、であった。

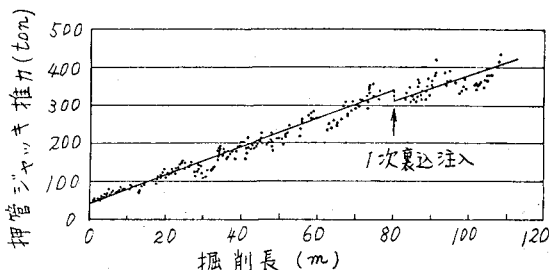


図6 押管ジャッキ推力の掘削長による変化

(4) 油圧損失

カッタは油圧モータで回転させており、油圧を立坑に設置したパワーユニットから供給する。パワーユニットとカッタ回転用油圧モータ間の流路抵抗による圧力損失は、掘削長の増加に伴い、油圧ホースを継ぎ足すにつれて増大する。図8に掘削長と圧力損失との関係を示す。

4 むすび

横坑内無人化の高速施工をめざした小断面シールド機の掘進特性として掘削トルクの変動形態、掘削トルクと掘進速度との関係を明らかにした。掘削トルクを適正範囲に保つには掘進速度調節が有効であることが分り、速度設定のためのデータが得られた。また、ジャッキ推力、油圧ホースの延長による圧力降下を検討した結果、設計の妥当性を確認するとともに、今後のシールド機設計に有益な参考データが得られたと考える。

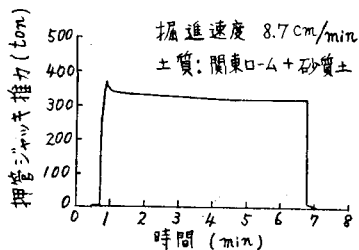


図7 一掘進中の押管ジャッキ推力の変化

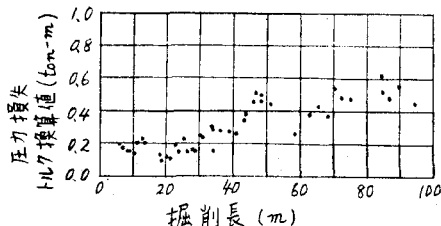


図8 圧力損失と掘削長との関係