

第3 白坂トンネル トンネルボーリングマシンによる掘削

国鉄 長野工事事務所 正会員 ○ 遠 藤 健 二
同上 正会員 高 橋 昭 教

1 はじめに

第3白坂トンネルは、国鉄中央線塩尻から分岐する篠ノ井線明科～西条間の別線線増区間に含まれている長さ4260mの直流電化用複線トンネルである。このトンネルの底設導坑掘削に山陽新幹線西庄トンネル、東北新幹線第2有壁トンネルの導坑掘削に活躍したトンネルボーリングマシン（TBM）を投入し、昭和52年1月明科方から掘削を開始した¹⁾。TBMによる予定掘削延長2945mの掘削が昭和53年10月に終了したので、岩盤強度とTBMの掘削性について報告する。

2 トンネルボーリングマシンの構造と掘進の概要

TBMRT-45Aは昭和43年に国鉄が三菱重工業に発注して製作した。この機械は、全断面掘削方式をとっていて直径4.5mの円形断面の掘削を行なうものである。その構造を図2に示す。

この機械は本体前面に33個の3枚歯あるいは4枚歯を有するディスクカッターを装備して3rpmと6rpm(60Hz)の2段変速で回転するカッターヘッドがある。カッターヘッドは4本の油圧推進ジャッキによってトンネル切羽面に押付けられ、岩石は圧壊切削される。ズリの搬出はカッターヘッドの外周に取付けられた12個のバケットですくい上げられカッターヘッド上部に設備されているズリ出しシュートに排出し、TBM後方で待機している坑車までベルトコンベアで運搬される。

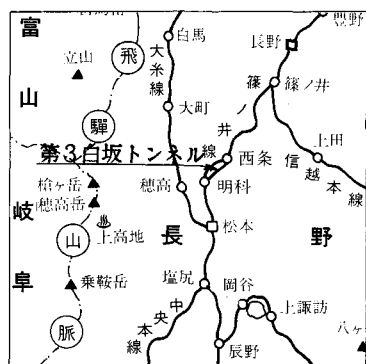


図 1 位置図

掘進中のTBM前方部分の支持は、本体前方下部に取付けられている下部ガイドランスが受け持つ。

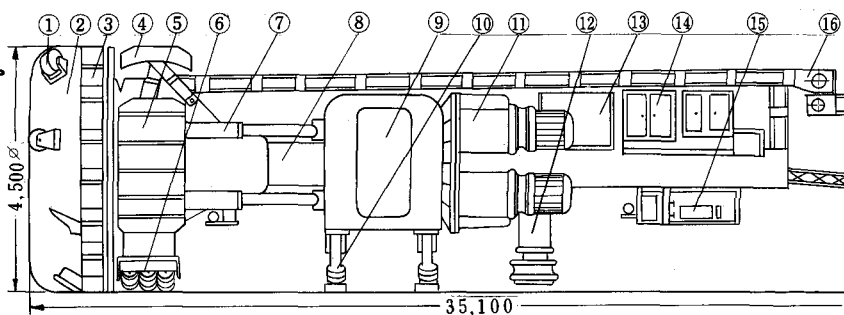
推進反力は、TBMの半径方向に作動するグリッパをトンネル内壁に押付け、グリッパとトンネル内壁とに生ずる摩擦力によつて受

すなわち、掘進はつぎの順序で行なわれる。

グリッパをトンネル内壁に強く押付け反力を取り、カッターヘッドを回転させながら推進ジャッキでカッターヘッドを切羽面に押付ける。

1.07 mの推進ジャッキが伸びきつたところで1ストロークの掘削が終る。

つぎに、カッターへ



No.	名 称	No.	名 称	No.	名 称	No.	名 称
1	カ ッ タ ー	6	下 部 ガイ ダン ス	11	電 動 機	16	ベ ル ト コ ン ベ ア
2	カ ッ タ ー ヘ ッ ド	7	推 進 ジャ ッ キ	12	ア ウ ト リ ガ ー		
3	バ ケ ッ ト	8	中 部 フ レ ー ム	13	キ ャ ビ ン		
4	上 部 ガイ ダン ス	9	グ リ ッ パ ー	14	制 御 機 器		
5	サ イ ド ガイ ダン ス	10	オ ギ ジ ャ リ グ リ ッ パ ー	15	油 圧 機 器		

図 2 トンネルボーリングマシン (RT-45A)

ツドを停止し、運転室下部付近に設けられているアウトリガーにより機体を支え、グリッパ、推進ジャッキを縮めグリッパをカッターヘッドの方へ引き寄せる。引き寄せられたグリッパをまたトンネル内壁に押付け、推進ジャッキを作動させる。この繰返しにより掘進は続けられる。

なお、TBMはワンマンコントロールで運転される。

3 地質概要

導坑掘削区間に出現した地質は、新第三紀中新世とされる赤松互層下部がほとんどを占めており、西条方に至つて赤松互層中～上部および差切砂岩礫岩層がわずかに分布する。(図3)

赤松互層は“互層”というよりもむしろ“泥岩層”としたほうが適切で、特に下部層は95%以上が泥岩ないし砂質泥岩からなる。中～上部層では泥岩・砂岩の互層や砂岩の単層の出現がややひんぱんとなるが、その比率は10%以下である。

導坑掘削区間の終点寄りの約70mの区間には塊状の砂岩層が出現した。これは差切砂岩礫岩層の最下部に相当するものと考えられる。

以上の他、西条寄りの6ヶ所で安山岩が厚さ1～4mで岩床状～岩脈状に貫入していた。

地質構造は、33k600m～34k1000m間の名九鬼・矢越背斜帯で代表される。背斜の西翼は走向N20°～40°E、傾斜40°～60°NWであり、坑口から約200mは走向がトンネル方向(N60°E)にほぼ平行する。

名九鬼・矢越背斜帯は複雑な複背斜構造を示し、約500mの間に6本の背斜軸を有する。背斜軸付近の地層は70°～80°の急傾斜となり破砕が著しい。特に、33k850m～34k000mの区間は背斜・向斜をくりかえし、破砕化が著しく全区間中最悪の岩質を示した。

背斜帯の東翼、34k550m～650m間には2本の背斜軸があり、同様に岩質が悪くなっている。以降、終点までは背斜帯の東翼をなす単斜構造で、走向はN20°EからN30°Wへ、傾斜は70°～60°から40°～25°となつて差切砂岩礫岩層に至る。

なお、赤松互層の物性値を表1に示した。

表 1 赤松互層の物性値 (平均)

単位体積重量	2.55 g/cm ³
圧縮強さ	202 kg/cm
引張り強さ	2.21 kg/cm
超音波速度 (P波)	3.4 km/sec
粘着力	6 kg/cm
内部摩擦角	35°

4 岩質区分

本トンネルでは掘削当初からTBMの掘削性と地質を対比するために、坑内の地質状況を詳細に観察していた。この観察結果から岩質区分を試みた。区分は池田による岩盤強度分類を基準とし、本トンネルの地質特性を加味して経験的に行なつた。

池田の岩盤強度分類は、岩盤状態を岩質、弾性波速度、き裂または風化状況、湧水状態、膨張性、岩盤試料の物理的特性から定性的に分類した

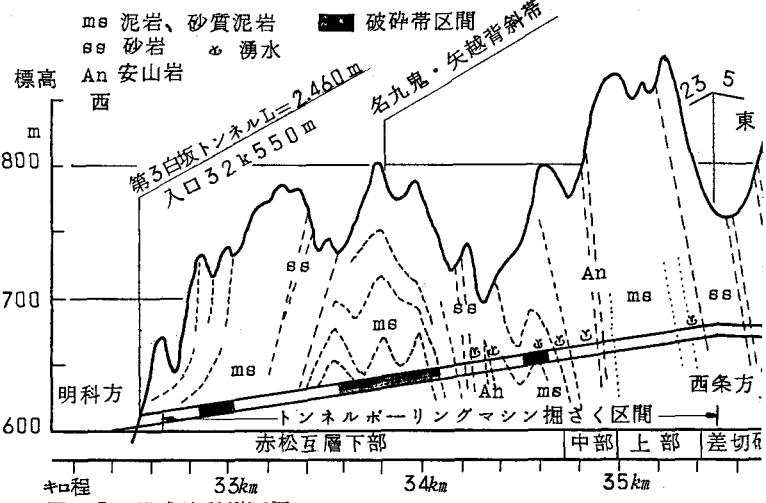


図 3 模式地質縦断面図

ものである。

本トンネルに分布する地質は、新第三紀中新世の泥岩・砂岩であり、この分類ではD区分となるので、その岩質を表2のように分類した。

分類の結果、TBMが掘削した地山はD-2. 5%, D-3. 25%, D-4. 39%, D-5. 17%, D-6. 12%, D-7. 2%となる。

5 推力と純掘進速度³⁾

図4は掘削実績から、1掘進長1.07mの純掘進速度（掘削距離をグリッパの盛替時間などの含まれていない純掘進時間で除した値。m/h）を推力別に整理し算術平均した値をグラフ化したものである。

地山区分は前述の岩盤強度分類を“良い地山（D-2、3）”“やや不良な地山（D-4、5）”“不良な地山（D-6、7）”と三分したものである。

ただし、地山状態は原則として1.07mの1掘進長をひとつの地山区分に割りはめているので、たとえば“良い地山”の中には“やや不良な地山”がわずかであるが含まれていることもある。

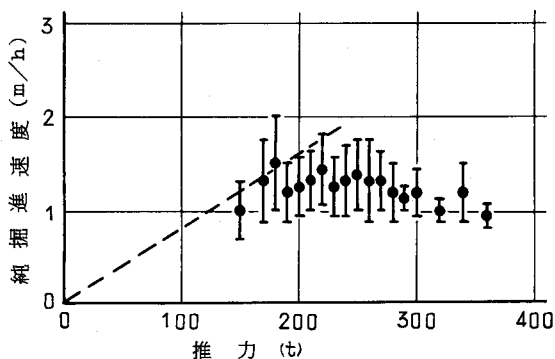
同図における推力と純掘進速度の関係には大きなバラツキがみられる。一般的には、推力の増加につれて掘進速度は上昇するはずであるが、推力の増加につれ横ばい、あるいは低下の現象がみられる。これは、岩盤のもつ不均質性のためとも考えられるが、推力の増加に対応してカッターヘッドの回転数を上げ得なかつたのが一因ではないかと考えられる（掘削中のカッターヘッドの回転はすべて3rpmで行なわれた）。

しかし、本トンネルの地山におけるカッターヘッド3rpmの掘削においては、地山が不良になる（き裂が多くなる）ほど低い推力で掘削が可能であることがわかる。また、同じ推力で比較してみても不良な地山ほど掘進速度が高くなっている。

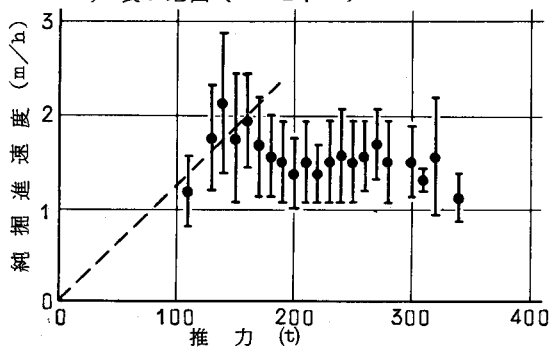
さらに、各地山における純掘進速度のピーク値は、最適の掘削能率を意味するものと思われ、このときの推力で掘削するのが一番能率的であると考えられる。

表2 岩盤強度分類

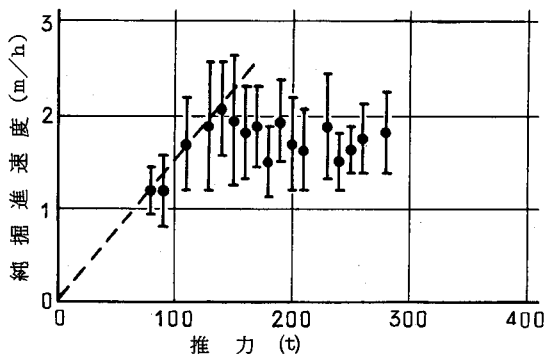
区 分	岩 質
D-2	き裂きわめて少ない。
D-3	き裂少ない。
D-4	き裂多い。
D-5	き裂きわめて多い。
D-6	破碎帯、鏡肌（油目）を呈するグザ状。
D-7	破碎帯、粘土化著しい。



a) 良い地山（D-2、3）



b) やや不良な地山（D-4、5）



c) 不良な地山（D-6、7）

図 4 推力と純掘進速度

4) 6 岩盤強度と純掘進速度

図5に岩盤強度分類と純掘進速度の関係を示した。データは推力を無視した1掘進長ごとの純掘進速度を岩盤強度別に分類し、それぞれ平均化したものである。

この図から明らかなように、岩盤が不良になるにつれ純掘進速度は上昇しており、岩盤が保有するき裂あるいは弱面の有無、規模が掘進速度に大きく反映していることが理解できる。

5) 一方、掘削能率の指標として単位掘削電力量があり、それを用いて評価しなければならないが、機械に取付けられている積算電力計は配線の関係で他の機器に使用されている電力量も積算されており、掘削に使用した電力を正確に知ることができなかつたので、それに代わるものとして掘削指数 K を純掘進速度 v 、推力 T を用いて $K = v/T$ と定義した。

この掘削指数と岩盤強度分類との関係を図6に示した。

データは図5に示したものと同様に処理したものを使用している。

ここでも当然のことながら、不良な地山ほどデータのバラツキは大きいが指数は高くなり、図5と同様な結果になっている。

なお、岩盤強度分類は厳密な意味での物理量ではないが、一応数量化されていると考え、回帰式と相関係数を求めたので付記した。

7 あとがき

岩盤強度分類と純掘進速度の関係から、良い地山より不良な地山になるにつれ掘削能率が良いと述べたが、TBMでの掘削のし易さと施工の難易とは別の問題であることはいうまでもない。

最後に、この小文を書くにあたり鉄道技術研究所の桜井 孝氏に有益な御意見をいただいたことを感謝したい。

8 参考文献

- 1) 箕浦、稲垣、小松；山岳トンネルの機械化施工 篠ノ井線第3白坂トンネル、トンネルと地下、Vol.18、No.9、1977年。
- 2) 池田；トンネルの岩盤強度分類、鉄道技術研究所報告、No.72-6、1972年。
- 3) 日本応用地質学会 昭和53年度研究発表会で一部発表。
- 4) 同上
- 5) 土木学会岩盤力学委員会編；わが国におけるトンネル掘進機の実績と展望、1976年10月。

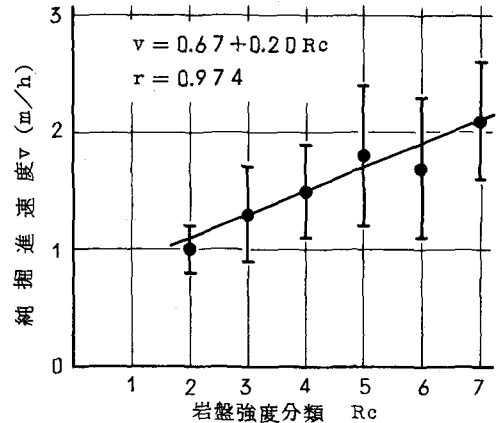


図 5 岩盤強度分類と純掘進速度

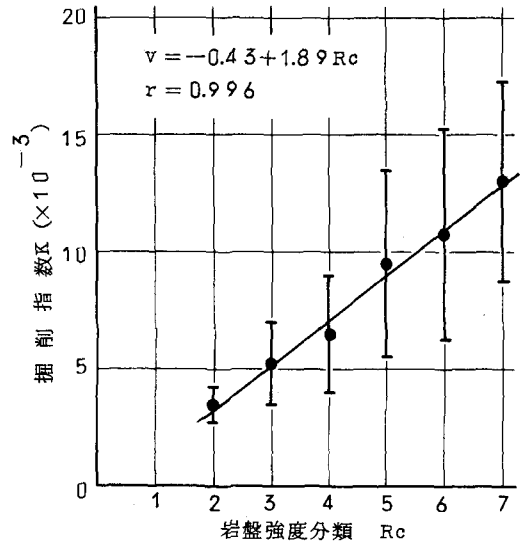


図 6 岩盤強度分類と掘削指数

1. Outline of Tunnel project

No.3 Shirasaka Tunnel is JNR's double track tunnel having 4260m in length.

We have excavated this tunnel from Jan in 1977 by using Tunnel Boring Machine(T.B.M.) which had been used at bottom heading section in several Shinkansen tunnels.

Excavating length by the T.B.M. is 2945m. We have already finished the excavation at Oct. in 1978.

2. T.B.M.

This machine is called RT-45A. Structures and thrusting mechanism are as follows; This machine have 4.5m dia cutter head and cutter head equip in its front side 33 disk roller cutter. Cutter head can rotate 3 or 6 r.p.m, therefore 4.5m dia Full face excavating method is possible.

Cutter head is thrust to the tunnel face by the four oil jacks and then ground rocks are crushed. Rock mucks are transported by the bucket and belt conveyor. Reaction of the thrusting force is taken by the friction between the Gripper and side wall of tunnel. Driving of this machine is done by one-man control system.

3. Geological conditions

In these district mud stone of Miocene-in-tertiary is appeared. This mud stone showed quite complexed folding structures and hardly crushed. We classified rock quality of this mud stone to the six steps from D-2 to D-7. Characters and excavating ratio by T.B.M. are shown as follows.

(D-2 quite few fissures 5% D-3 few fissures 25%) Good.

(D-4 many fissures 39% D-5 quite many fissures 17%) Mean.

(D-6 crushed 12% D-7 extremely crushed 2%) Bad.

4. Thrust and Driving speed

When we make more roughly classified divisions so as Good(D-2,3), Mean (D-4,5) and Bad(D-6,7). Relations between Thrusting force and pure driving speed are as follows, the worse the ground conditions the less the thrusting force become possible, And in these cases, in spite of increasing of the thrusting force, pure driving speed do not increase. Of course the excavation do not agree with the execution. That is quite different problems. In the case of Bad conditions, collapse of tunnel top is so hard that we always need pre-supporting. And on the contrary in the case of Good conditions post-supporting is possible, so that Total cycle show quite transverse feature.