

トンネルボーリングマシンの地質適応性と大型化

総括執筆者 浜 建 介*
 話題提供者 三 谷 健**
 同 矢 木 康 照***
 同 笹 木 胖****
 同 川 村 良 夫*****

1. トンネルボーリングマシンの開発経過

岩石トンネル用の全断面トンネルボーリングマシンは1852年、アメリカ合衆国におけるフーザックトンネルで使われたのが、始まりといわれている。花崗岩を自重70tの機械で1時間稼動した試験的なものであるが、いまから120年も前であることを思うとその偉大さに頭が下がる。その後、1881～1883年にイギリスとフランスの間のドーバー海峡に試掘トンネルを掘進することになり、トンネルボーリングマシンが使われた。これは、バーモントの設計した直径2.1mの機械で、白堊層をイギリス側ドーバーから800m、フランス側カレーから1700m掘進している。このバーモントの構想は、今日のトンネルボーリングマシンに引継がれているものである。これが実に90年前のことである。その後、1950年まであまり進展をみないできたが、1950年ころからソビエトで地下鉄の建設にメカニカルシールドを使用し成功をおさめたのを機に、岩石トンネルボーリングマシンの発展の機運が起こり、今日みられるような各種の機械の開発の口火がきられたのである。

日本においては、1964年、ロビンスの13号機が小松製作所により組み立てられ、四国新居浜の住友共同電力東平発電所の圧力水路トンネル掘進に使用されたのが最初であり、それ以後まだわずかに7年しか経っていない。その後の開発・使用状況は表一1のとおりで、その数はやっと20か所を越す状況である。トンネル全体の工事量からみて、従来の発破工法と比べその使用箇所数は問

題にならないほど少ないが、今後さらに工事量の増大・高能率化・高速化・省力化等の見地から急速な発展が期待される。

表一1の実績は、主として円形的全断面掘削式の岩石トンネルボーリングマシンであるが、このほかに、採炭作業の機械化から、部分的に掘削するアーム式の機械が土木の分野にも採用されてきた。採炭の機械化は、1848年コールソーの考案に始まるといわれる。石炭や挟炭層岩は一般に軟く、切削力をそれほど必要としないし、また部分的に選択掘削を要することからアーム式が発展しこれが洪積層の比較的軟い頁岩、砂岩のトンネル工事に数例使用され良好な実績をあげている。

トンネルボーリングマシンの定義を「火薬を使用しないで切削工具により機械的に岩石を破碎・切削してトンネル断面を掘削する機械」とすれば、切削部の構造によって表一2のような分類がなされる。

2. トンネルボーリングマシン施工の実績

表一1に示すように、わが国における施工例はまだごくわずかで、目下種々の機械で種々の地質・岩質に対して試行錯誤を積み重ねている状態と考えられ、定量的にトンネルボーリングマシンの適応性を表現するまでには至っていないのが実状であろう。今回、地質適応性について討論するについて、最近完了した、あるいは現に掘進しつつあるトンネルボーリングマシンの稼動状況を、直接施工を担当された方々から話題として提供して頂いた。表一2の分類でゴシックで印刷されたものが、この実例の所にあげた機種である。

(1) 香川用水阿讃トンネル

水資源開発公団の主管する香川用水事業の最長導水ト

* 正会員 日本鉄道建設公団海峡線部長
 ** 正会員 (財)日本建設機械化研究所長
 *** 正会員 (株)熊谷組香川用水作業所長
 **** 正会員 前田建設工業(株)小倉作業所長
 ***** 佐藤工業(株)保土ヶ谷作業所長

表一 トンネルボーリングマシン使用実績

名 称	発 注 者	施 工 者	期 間 (昭和年月)	機 種	掘進延長 (m)	岩 質	種 別	記 事
東平発電所2号トンネル	住友共電	大豊建設	39.4~39.12	小松ロビンス TM-230G	278	緑泥片岩・黒色片岩	水路	
木の浦トンネル	国 鉄	前田建設工業	42.1~42.5	小松ロビンス TM-230G	887	泥 岩	鉄(導坑)道	
学原トンネル	関西電力	ブルドーザー工事	42.12~43.4	小松ロビンス TM-230G	209	粘板岩	水路	
青函トンネル(試験掘削)	日本鉄道建設公団	直 轄	41.6~42.2	ハベツガ S BM-736	164	泥 岩	—	テスト掘削
青函トンネル(先進導坑掘削)	日本鉄道建設公団	直 轄	42.8~43.12	ハベツガ S BM-736	564	凝灰岩・泥岩	鉄(導坑)道	横坑掘削を含む
青函トンネル(先進導坑掘削)	日本鉄道建設公団	直 轄	44.3~	石川島ハベツガ T BM-836	1219	凝灰岩・泥岩	鉄(導坑)道	昭和46年11月現在
青函トンネル(相生試験掘削)	日本鉄道建設公団	直 轄	44.2~44.4 44.7~44.8	石川島ハベツガ T BM-840	50 45	流紋岩	—	テスト掘削
青函トンネル(作業坑掘削)	日本鉄道建設公団	直 轄	45.5~	石川島ハベツガ T BM-840	2091	凝灰岩・泥岩	鉄(導坑)道	昭和46年11月現在
浜田トンネル	建設者	直 轄	42.8~42.11	三菱ヒュース RT-32	155	凝灰岩	歩道	
須賀第2トンネル	建設者	直 轄	43.7~43.9	三菱ヒュース RT-32	137	凝灰岩	歩道	
須賀第1トンネル	建設者	直 轄	43.10~43.11	三菱ヒュース RT-32	105	凝灰岩	歩道	
住友石炭特別鉱業所	住友鉱業	直 轄	43.10~44.3	住友資源試 S T-340	—	頁岩	—	テスト掘削
池島炭坑	石炭技術研究所	直 轄	42.6~42.10	小松ロビンス TM-320G	—	砂岩	—	テスト掘削
犬山トンネル	名古屋市	熊谷組	43.2~43.10	小松ロビンス TM-430G	1792	凝灰岩・珪岩	水路	
恵那山トンネル	日本道路公団	熊谷組	43.3~44.9	小松ロビンス TM-445G	933	花崗岩	道路(パイロット)	336m シールド掘進
西庄トンネル	国 鉄	佐藤工業	44.2~45.1	三菱ヒュース RT-45	553	流紋岩質凝灰岩	鉄(導坑)道	
信夫山トンネル	建設省	直 轄	44.8~45.2	三菱ヒュース RT-32	714	石英粗面岩	歩道	
阿讃トンネル	水資源開発公団	熊谷組	44.12~	小松ロビンス TM-430G	3826	頁岩・和泉砂岩	水路	犬山トンネルから転用 昭和46年11月現在
太平山トンネル	国 鉄	佐藤工業	44.12~45.3	小松ロビンス TM-450G	759	凝灰岩・泥岩	鉄(導坑)道	
酒匂川トンネル(10工区)	神奈川県内広域水道企業団	奥村組	46.8~	小松ロビンス TM-480G	449	泥 岩	水路	昭和46年11月現在
酒匂川トンネル(9工区)	神奈川県内広域水道企業団	鹿島建設	46.10~	川崎ジャーバ MK17-500	100	砂 岩	水路	昭和46年11月現在
江網トンネル	建設省	直 轄	46.11~	三菱ヒュース RT-35	—	—	歩道	RT-32の改造機
高塚山トンネル	国 鉄	前田建設工業	44.8~46.2	メムコ Big John	759	凝灰岩礫岩・砂・粘土	鉄道	シールド 11.4×10.5m
酒匂川トンネル(4工区)	神奈川県内広域水道企業団	鉄建設	46.8~	小松ロビンス TM-507S	679	砂	水路	シールドφ5.0m 昭和46年11月現在

ンネルで、阿讃山脈を貫く延長 8 km のトンネルでありそのうち香川県側 4032 m を熊谷組が施工している。使用機械は小松ロビンス TM 430 G で、名古屋市の犬山導水トンネルで使用されたものである。地質は中央構造線北側に近畿地方・四国地方に広く分布する和泉層群(中生代末期)である。岩質は坑口から 2500 m 付近までは頁岩が主で、それから奥は、いわゆる和泉砂岩である。頁岩の圧縮強度は、800~1900 kg/cm²・最大 2020 kg/cm² で、砂岩の圧縮強度は 1500~2500 kg/cm²・最大 3036 kg/cm² である。頁岩はピースとしての圧縮強度はかなり高いが、ジョイントがかなり発達し圧裂しやすい岩質であり、トンネルボーリングマシンによる掘削には問題はない。砂岩は全く硬く、近畿・四国で常用される石材で、マッシュであり破碎性が悪く、ディスクカッターの圧碎深さがきわめて浅く、ずりが薄片になり、運転時間も長くなり、すべての面で非常に苦しい。また

カッターヘッドの先端のトリコンビットの寿命がきわめて短く、コストの面では頁岩の 2~3 倍になる模様である。

1969年暮に組立て完了してからの実績は、表一3のとおりで、上述したように非常に硬い岩に対しても日進、200~250 m を確保し得ている。

稼働率を落している原因のほとんどはカッターヘッドまわりのトラブルであり、そのおもなものは次のとおりである。

- ① カッターヘッドハウジングのプロフィル修正 2回
- ② カッターヘッドハウジングの交換 1回
- ③ カッターヘッドハウジングの補強 無数
- ④ Xローラーベアリングの坑内交換 1回
- ⑤ ハウジング軸受部の修正 5回

これらのものは短くて1週間、あるいは10日間の日数を要し、とくに④のメインベアリングの交換には、

表-2 切削部の構造形式による分類
(石川正夫：トンネルボーリングマシン施工，による)

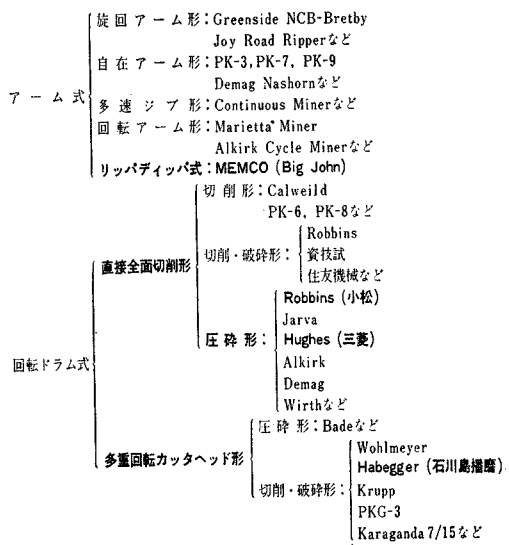


表-3 阿讃トンネル進行表

年 月	月 進 (m)	累 計 (m)	年 月	月 進 (m)	累 計 (m)
昭和45年 1月	111.9	—	昭和45年 7月	311.1	1 630.9
2月	260.6	372.5	8月	207.8	1 836.7
3月	251.8	624.3	9月	237.9	2 074.6
4月	198.4	822.7	10月	277.3	2 351.9
5月	317.8	1 140.5	11月	82.0(11月11日中止)	2 433.9
6月	179.3	1 319.8	12月	0	2 433.9
稼働日数 244日 / 1年 進行 2 433.9 m					
昭和46年 1月	58.3	2 492.2	昭和46年 4月	132.9(4月10日中止)	3 113.9
2月	373.3	2 865.9	5月	0	3 113.9
3月	115.1	2 981.0	6月	37.4(6月28日再開)	3 151.3
稼働日数 70日 / 半年 進行 717.4 m					

ほぼ2か月を費した。

地山が硬質なため，以上のような故障のほかにはカッター費用はかなり多くなる模様で，またカッタープロフィールが5mmも狂うと次々とだめになるので，グループで交換するのがよい。交換の手間は，たいしたことはない。また，湧水によってとくに難渋したことはないが，コンベアの傾斜部で，ザリのスリップがみられる欠点がある。

(2) 山陽新幹線西庄トンネル

西庄トンネルの地質は，比較的堅硬な流紋岩質凝灰岩で，圧縮強度 800~1 200 kg/cm² で破砕帯・湧水が少なく安定しているが，節理が少なく非常にしわい岩で，トンネルボーリングマシンの掘削には圧縮強度から考える以上にきびしい岩である。とくに超硬岩に遭遇した際は全く目もなく圧縮強度 3 800 kg/cm² にも達する状況で，そのままでは掘削は不可能に近く，切羽に蜂の巣状にせ

亀裂工法 孔配置図

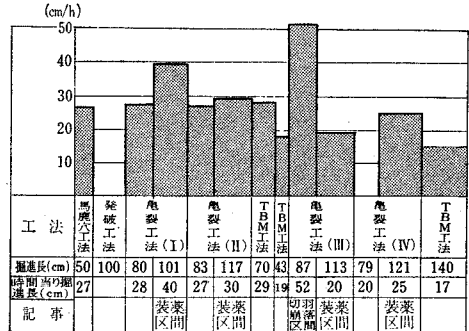
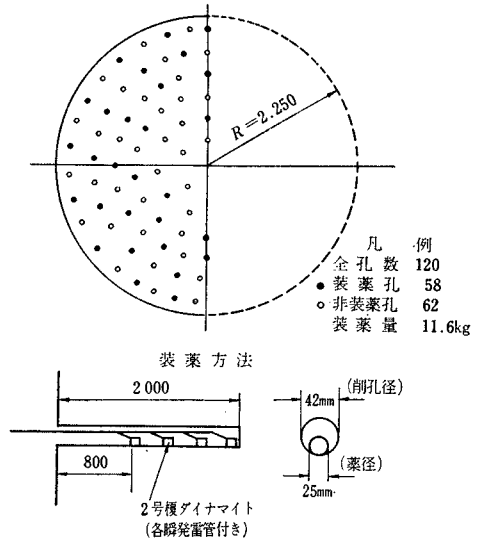


図-1 西庄トンネルにおける亀裂工法

ん孔し亀裂を生ぜしめてから機械掘削を試みた。

この亀裂工法は図-1のごとく切羽の蜂の巣状のせん孔を装薬孔とバカ孔とに分けて配置し，その間に亀裂を入れぜい弱化する方法である。削孔長を2mと一定にし，孔間隔を0.35~0.45mとしてダイナマイトは2号履またはSB火薬を使用した。この亀裂工法区間は，未使用区間に比べ進行も伸び，効果があったと思われるが，過装薬またはノミ先の抱合せ等で切羽がはく離し，亀裂のみを生じさせるのに苦労した。

(3) 奥羽本線太平山トンネル

本トンネルは，秋田県北部の奥羽本線の別線線増による延長1 535mの複線トンネルで，トンネルボーリングマシンを使用したのは福島方の底設導坑759mであり，佐藤工業の施工である。

使用した機種は小松ロビンス TM 450 G で，1969年12月下旬掘進を開始し，翌1970年3月上旬完了している。地質は新第三紀の泥岩・凝灰岩・頁岩等からなり，硬質頁岩では圧縮強度 1 000 kg/cm² を越すものもあっ

たが、その他は100~500 kg/cm²程度である。岩石試験の結果は表-4のとおりである。このうち地質の最も安定した区間は300~500 kg/cm²の圧縮強度の凝灰質砂岩で、入口から約200 mほど入った箇所であり、日進42.6 mの掘進記録を樹立した。この区間は坑壁もゆるまず、壁面にはしま模様の層理がきれいにあらわれ、機械掘削には最も理想的な区間であった。トンネル中央部に背斜構造があり、その付近ではクラウン部の崩落があいつぎ、大きく崩壊した所では高さ4 m・幅3 m・長さ10 mにも及んだことがある。その際には、運転室上部からφ2"のパイプを打ち込み、かろうじて事故を防止したこともある。また、坑壁に作用するグリッパー圧力は最低で380 t (26 kg/cm²)程度必要であり、破碎帯においては、この反力をとるため坑壁に100×100のH鋼を打込んで支持力の増進をはかった。また、グリッパーのすべりに対しては、鋼製リング支保工の縦つなぎ工法が有効であった。

掘進作業中つねに心配されたことは、破碎層における機械の沈下であった。重心は比較的前にあり、バーチカルサポートにかかる荷重は、稼動時60~70 t (8 kg/cm²)程度で、坑壁のグリッパー圧よりはだいぶ楽ではあるが場所によっては20 cm程度の沈下は避けられなかった。

また、湧水は頁岩・泥岩の互層の箇所で最大4.1 t/minに達し、30 m区間をぬけるのに1週間の日時を要した。この際には、電気系統の故障が多発したが、致命的なものではなかった。

現場における岩石試験と掘進実績とをグラフにすると図-2のとおりである。この図でみるかぎり、岩石の比

表-4 太平山トンネル岩石試験表

試 験	岩 種			
	泥 岩	凝灰質砂岩	凝 灰 岩	頁 岩
単軸圧縮強度 (kg/cm ²)	125 (30~391)	238 (18~823)	162 (57~326)	623 (43~1217)
圧 裂 強 度 (kg/cm ²)	12.8 (6.1~39.2)	23.9 (5.2~67.1)	11.8 (3.9~28.8)	13.5 (7.3~20.6)
比 重	強制乾燥	1.96	1.98	1.86
	飽和含水	2.24	2.25	2.16
自然含水率 (%)	16.5	14.2	19.6	15.8
シ ョ ア 硬 度	13.0 (4.2~65.2)	18.7 (1.0~104.1)	12.5 (1.8~95.5)	41.1 (8.9~75.4)
超 音 波 伝 ば 速 度	強制乾燥 (km/sec)	2.91	3.28	2.42
	飽和含水 (km/sec)	2.76	3.54	3.08

表-5 青函トンネル訓縫層岩石性状

地 層	岩 石 名	圧縮強度 (kg/cm ²) (最低~最高)	引張強度 (kg/cm ²) (最低~最高)	比 重 (湿)	吸 水 率 (%)	弾性波速度 (湿) (m/sec)	動弾性係数 (湿) (kg/cm ²) × 10 ⁴
訓 縫 層	砂質凝灰岩	263 (109~335)	28 (14~40)	2.08	13.0	2880	18.6
	凝 灰 岩	219 (90~287)	22 (11~31)	2.19	13.8	2850	18.2
	シ ル ト 岩	474 (196~1066)	33 (17~126)	2.18	10.1	3050	20.7
	砂質凝灰岩	298 (182~552)	30 (14~50)	2.23	6.1	3010	20.6
	火山礫凝灰岩	185 (116~288)	12 (10~20)	2.24	11.4	2830	18.3

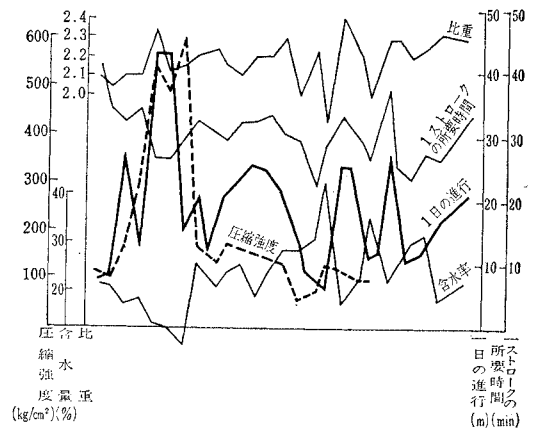


図-2 太平山トンネルにおける岩質との進行関連図

重、1ストロークの所要時間、1日の進行の3本は非常に似かよった形状を示しており、含水率は逆の現象を現わしている。比重の大きい岩は緻密で安定しているとはいえ、含水率については、圧縮強度が小さいために容易に泥状になる傾向で進行と逆の現象になったものとも考えられる。全体的には、圧縮強度300 kg/cm²以下の岩質では岩の圧縮強度以外の諸性状が、より強く進行に影響を与えたようである。

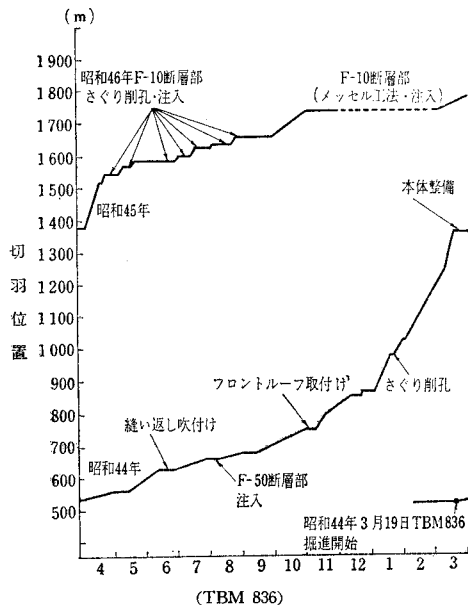
(4) 青函トンネル

青函トンネルルートの地質は新第三紀の中新世に属する火山岩・火山碎礫岩および堆積岩類であり、トンネルボーリングマシンが現在まで使用されている区域は、この堆積岩で訓縫層と称する凝灰岩・シルト岩・火山礫凝灰岩である。その性状は表-5のとおりで、圧縮強度はそれほど高くない。

ここで用いられている機種はIHI-MHT-836と同じく840のウォールマイヤー型の2台であり、表-2の分類の中で一番下の分類に入るものである。1966年6月に最初のTBM736型がスイスから入り北海道側吉岡の試験坑に使用された。直径3.6 mで164 mの試験掘削をしたのち、1967年8月から水平調査坑(現在先進導坑と名称を変更)での掘進が始まった。当初は順調に進行をみ、とくに半径45~55 mのカーブ掘削が可能なることから、先進ボーリング座B7とB8を本坑の左右に掘削した。そ

の後、最初の断層 F 50 に近づき、掘削後の切羽の肌落ち、グリッパーによる地山の崩落等に加えて電氣的故障の発生等の事由により、十分にその機能を発揮せずに現在の TBM 836 型にパトンタッチした。それまでに、B 7, B 8 横坑・103 m を含めて 564 m を掘進した。

1969 年 3 月、TBM 836 型による掘進が再開された。この区間は F 50 の断層の影響圏内であり、B 7, B 8 の先進ボーリング座から 20 孔、グラウト量で 1 159 m³、セメント量で 377 t の注入を行なっておいた場所であった。そのため湧水は少なかったが、地質は砂質凝灰岩と凝灰質シルト岩の互層で固結度弱く、はく離・崩落がつづいた。1 回の掘進長を 1 m 以内として、掘削後すぐに機械を後退させ、切羽および坑壁に吹付コンクリートを施工したり、また、プレート支保工や H 型支保工を切込んで建てて吹付コンクリートを併用するなどの工法を試みた。これらの作業は段取りから片付けまで非常に時間がかかり、1 日のうちの純掘削作業は 1 時間程度であり、2~3 m 程度の進行がやっとであった。その後、種々検討の結果、支持装置の前端から天端を保護するためのループロテクターを設備した。これにより、天端の山押えとともに、掘進時フロントガイドシューがこの内側をしょう動することになるので地山のはく落も少なく、また、摩擦力が軽減され、したがって、掘進力・支持力も小さくてすむようになった。このようにして、支持装置の後方で支保工を建てるふうがなされたため掘進速度は急速に向上した。さらに支保工の脚部の施工を安全に行なえるようにサイドプロテクターを設けた。1970 年 5 月中旬から次の断層 F 10 に近づき、先進ボーリング



図一三 青函トンネル北海道側先進導坑進行図

表一六 相生流紋岩の岩石試験表

(1) 試験区分

項目	試験結果	平均	最大	最小	試験回数
圧縮強度 (S_c) (kg/cm ²)		2 700	4 450	1 440	57
圧裂強度 (S_t) (kg/cm ²)		241	395	116	52
シヨ硬度 (H_s)		86.0	108	36	2 483
比重		2.62	2.80	2.52	56
吸水率 (%)		0.47	0.80	0.17	56
ぜい性度 (S_c/S_t)		11.2	11.2	12.0	—

(2) 試験片

項目	試験名称	試験結果	
		一軸圧縮試験	圧裂強度試験
高さ (h) (cm)		3.87~4.11	—
直径 (D) (cm)		1.90~1.98	1.90~1.98
断面積 (A) (cm ²)		2.83~3.06	—
細長比 (h/D)		1.99~2.15	0.99~1.18
長さ (L) (cm)		—	1.92~2.34

注：試験月日 昭和44年10~11月。
試験資料 左右5mごとに採取。

の結果をみながら切羽からもさぐり削孔、注入を繰返しながら掘進した。F 10 の中心部は延長約 20 m で、膨張性粘土をかんでおり、湧水はほとんどないため逆に固結の注入も施工不能であり、そのまま機械掘削することは危険であると判断して、11 月にメッセル工法による側壁導坑方式に切かえ無事この区間を突破した。先進ボーリングによる先方の地質予知がなければ、おそらくこの断層に突込んで身動きできない状態になったであろう。先進導坑の進行表は図一三のとおりである。

TBM 840 型は、TBM 736, 836 の使用経験を取り入れ改良されたもので、当初、本州側の火山岩の卓越した地質に使う予定で計画したものである。そのため、兵庫県相生において硬質流紋岩層での試験掘削を行なった。この岩石の試験結果は表一六に示すように非常に硬い。1969 年 2 月から 4 月末までに、直径 4.0 m の試験坑を 50.3 m 掘進した。平均掘進速度は 0.55 m/h である。引き続き、7 月から 8 月にかけて中心を 2 m ずらした“めがね”型の掘削試験を行なった。切羽が左右不均一な状態の極端なものであるが、掘削延長 45.2 m を平均 1.35 m/h の速度で終了した。途中、海水を 500 l/min 程度散布して絶縁抵抗の測定を行なった。

このような試験を行なったのち、この TBM 840 は当初の予定を変更して北海道側吉岡の本トンネルと併行する作業坑に搬入された。1970 年 5 月、作業坑の斜坑分岐点の 420 m 地点から掘削を始めた。すべり出しは順調であったが TBM 836 には苦勞した F 50 の断層に遭遇したときは、切羽からのさぐり削孔と、カバーロックの先 20 m 間の注入に 10 日ぐらいの日時を要し、機械での掘進は 2 日程度というサイクルを繰返して、約 2 か月でこの断層部を突破した。その後は順調に進んでおりその進行状況は図一四のとおりである。この間でも支保

工と吹付コンクリートには掘削の時間とほぼ同じ時間を要しており、これが少なくなれば進行は一段と向上するものと思われる。なお、この間の1971年3月には、このトンネルにおける最高記録 31.2 m/日 を記録した。

(5) 山陽新幹線高塚山トンネル

ここで使用されたものはメモコのビッグジョンで、表-2 の分類ではアーム式のリップディップ式に入るものである。延長は3260 m で前田建設工業の施工になる。地質は、起点方1500 m が第三紀の泥岩・礫岩・凝灰岩の互層で神戸層と称されているものであり、終点方は、第四紀の粘土・砂・礫の互層で大阪層といわれるものである。前者の神戸層では圧縮強度 500 kg/cm² 以上の部分は当初の予想では約 10% と考えられていたが、実際は 80% 以上にも達した。

大阪層内の掘進は、とくに山が軟く湧水のあった箇所ではプレストジャッキによる山留等を施工しても崩壊を防げなかった所もある。粘土・礫・砂の互層であるが、この砂は、とくに粒径が揃っているときには、わずか 3~4 l/min の湧水で崩れてきた。しかし前面の土留工法

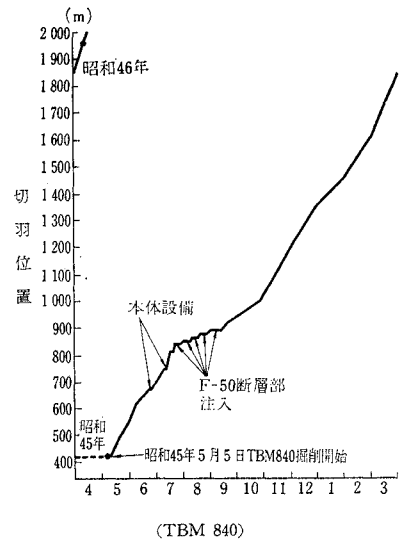


図-4 青函トンネル北海道側作業坑進行図

神戸層に入ってしまったらから漸時硬さをまし、リップの折損が目立ち、進行は著しく遅れてきた。圧縮強の改良につれて進行はあがり、月進 304 m を記録した。

表-7 山陽新幹線高塚山トンネル掘進記録 (掘削断面積約 94 m²)

区分	昭和年月	月進 (m)	日数		平均日進		インバートセグメント		支保工	最大日進	
			暦日	稼働日	暦日	稼働日	幅 1.2 m	幅 1.0 m		m×回	10 m 以上日数
大阪層	44. 8	10.3	20	8	0.52	1.29	6	3	12	2.5×1	0
	9	116.5	30	27	3.85	4.28	33	76	114	10.0×2	2
	10	178.8	31	21	5.77	8.51	147	—	156	14.4×1	7
	11	39.4	30	9	1.31	4.38	32	1	57	7.2×2	0
	12	31.2	31	10	1.01	3.12	26	—	63	6.0×1	0
	45. 1	215.8	31	20	6.96	10.79	179	1	189	20.4×1	11
	2	237.6	28	18	8.49	13.20	199	—	199	19.2×3	12
	3	304.2	31	26	9.81	11.70	241	15	256	24.0×1	20 m 以上..... 3 10~20 m 14 17
	4	313.2	30	19	10.44	16.48	261	—	261	22.8×1	20 m 以上..... 6 10~20 m 11 17
	5	43.9	7	3	6.27	14.63	36	—	36	20.4×1	2
計	1490.0	269	161	5.54	9.25	1162	96	1343		68	
8月を除く計	1479.7	249	153	5.94	9.68	1128	96	—		68	
神戸層	45. 5	74.7	24	12	3.11	6.23	63	—	63	14.4×1	5
	6	133.2	30	23	4.44	5.79	112	—	112	13.2×1	2
	7	27.6	31	11	0.89	2.51	23	—	23	6.0×1	0
	8	81.6	31	19	2.63	4.29	68	—	68	6.0×1	0
	9	133.2	30	26	4.44	5.12	111	—	111	8.4×1	0
	10	84.0	31	20	2.71	4.20	68	—	68	8.4×1	0
	11	259.2	30	28	8.64	9.26	216	—	216	18.0×1	10
	12	318.0	31	28	10.26	11.36	265	—	265	18.0×1	19
	46. 1	300.0	31	27	9.68	11.11	250	—	250	16.8×1	18
	2	105.8	9	9	11.76	11.76	78	23	101	18.0×2	6
計	1517.3	278	203	5.46	7.48	1254	23	1277		60	
全延長	3007.3	547	364	5.50	8.26	2416	119	2620		128	
						2535					

- 記 事
- ① ビッグジョン発進.....昭和44年8月12日
 - ② 第1回切羽崩壊.....昭和44年10月24日
 - ③ 大阪層日進 24 m 最高記録.....昭和45年3月19日
 - ④ 大阪層掘削終了.....昭和45年5月7日
 - ⑤ 迎掘り導坑貫通.....昭和45年10月22日
 - ⑥ 神戸層日進 18 m 最高記録.....昭和45年11月24日
 - ⑦ 全断面貫通.....昭和46年2月9日

度 500 kg/cm² 以上の岩石に対してはこのビッグジョンはそのままではだめで、当初からゆるみ発破を必要とするよう考えていたが、500 kg/cm² 以上の岩石が当初の10% から80% 以上にもなるとわかってきたので、改めて段取りを考えなおす必要が生じた。すなわち、ゆるみ発破を必要とする硬岩が短区間のみであれば、切羽からの削孔や発破に時間を費しても全体の工期にはさして響かないものとしていたが、これが長区間ともなると著しく工期に影響する。そのため起点方の坑口から改めて導坑を迎え掘りして、この導坑を利用してゆるみ発破を行なうこととした。導坑はほぼ中央導坑と設計し、爆破孔はこれから放射状にせん孔し、ビッグジョンの切羽から3ストローク分程度ずつゆるみ発破を行なった。導坑の掘削は6月下旬から10月下旬に完了した。導坑によるゆるみ発破をかけるまでは、リップ、パケット、および可動部分の改造・補強を再三行ない、またシールドの補強も必要であり、掘進はぐっと遅れた。導坑貫通後は月進300m程度を確保し得た。これらの掘進実績は表-7のとおりである。

この機械は全断面を完全にふさいでいる他の機械と異なり、切羽の片方で別の作業（たとえばボーリングなど）が実施でき、また、岩を圧砕あるいは破碎するものでないのでエネルギー的には高効率と思われるが、他機種の手ごろな圧縮強度に対して弱く、また油圧が高いために油もれが多い。油の使用量は、大阪層の場合掘進1mにつき当初300lも消費したが、のちには月進300mの場合で平均145l/m程度となった。神戸層では、初め250l/m以上であったが、ゆるみ発破施工後は、75l/m程度に減少させることができた。

3. 地質の適応性

以上、数例について掘進の実績を述べたが、地質の適

応性を考える際の地質という中には、個々の岩石それ自体の物理的・工学的性質、すなわち岩質と地質構造上の層序・亀裂・断層・成因・地下水等の状態を全体としてみる、いわゆる地質とを合わせて考慮することが必要であろう。この両者の性質は、当然互いに関連が深いのはもちろんで、この両方を総合してトンネルボーリングマシンの適応性を判断することが大切である。掘削の適応性を考える際の岩石の性質を何で評価するかということは、おのおのの箇所で行っているが、まだ普遍的な基準はできていない。しかし、たくさんあるこれら要素の中で切削破砕の抵抗値をある程度簡明に示すものとして、一軸圧縮強度、引張強度、およびその比であらわされるぜい性度(Brittleness)、ショーア硬度、一軸圧縮試験の際のテストピースの破壊の形の表示があげられている。一軸圧縮強度が非常に大きく、かつぜい性度が小さい岩(引張強度大きく比較的しわい岩)では切削抵抗は非常に大きい。しかし、これは代表的なサンプルをとってできるだけ可視亀裂のない小さいテストピースで行なうもので、その岩本来の強度的性質を表わすが、切削性から見ると、細かいクラックの発達いかんが問題である。このためには、もっと大きいコアの試験、超音波試験により亀裂の程度を示す指数を見出すことが必要になるであろう。

このほかに、ショーア硬度はカッターの摩耗を左右する指数と考えられる。

次に地質については、一般の工法の際に調査する地質調査・物理探査・ボーリング等の手段によることは同じであるが、一般の場合より全断面の機械では地質の急変に自在に対処し得ないので、よりいっそう的確な情報の把握が必要となる。このためには、掘進に先立って先進ボーリングを実施することが最も確実な手段と考えられる。このボーリングを長尺化することにより、対応する適切な工法の採用に充分余裕をもつことができる。現在

表-8 日本の山岳トンネルの岩種別延長

(km)

岩種	目的物	水路トンネル	道路トンネル	鉄道トンネル	合計	延長順位	岩種別 (%)			
							水路	道路	鉄道	合計
沖洪	積層	0	1.3	1.8	3.1	11	0	1.6	0.7	0.7
	積層	0.9	1.3	7.4	9.6	9	1.0	1.5	2.9	2.2
第三紀層	頁岩・泥岩	13.4	5.5	34.3	53.2	4	14.0	6.6	13.6	12.4
	砂岩・礫岩・凝灰岩	26.0	14.8	44.6	85.4	2	27.1	18.0	17.7	19.9
中生層	粘板岩・頁岩・石灰岩・チャート	26.2	12.6	35.2	74.0	3	27.4	15.3	14.0	17.2
	砂岩・礫岩・輝緑凝灰岩	13.1	4.2	9.5	26.8	7	13.6	5.1	3.8	6.2
結晶片岩・千枚岩	片麻岩・片麻岩・花崗斑岩	0	6.3	7.0	13.3	8	0	7.6	2.8	3.1
	輝緑岩・蛇紋岩	6.1	22.4	58.8	87.3	1	6.3	27.2	23.4	20.3
	流紋岩	0	0.4	6.5	6.9	10	0	0.5	2.6	1.6
	玄武岩	3.2	5.2	27.1	35.5	5	3.4	6.3	10.8	8.3
	安山岩・玢岩	6.9	8.5	19.0	34.4	6	7.2	10.3	7.7	8.1
合計		95.8	82.5	251.2	429.5		100	100	100	100

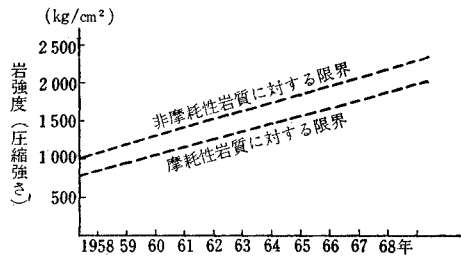
注：昭和46年5月，日本建設機械化協会・研究報告，による。

使われている機種は、どれもその最も適当と考えられる地質の範囲は非常に狭いけれども、日本のように変化の多い地質の所ではさうばかりもいっておれず、できるだけその適応範囲を広げるべく努力がなされている。すなわち、硬岩を掘削可能なボーリングマシンに円形のシールドを組み合わせて碎破帯を可能にする試みや、そこまでゆかなくても、掘削後の支保工・吹付けを施工しやすくするくふう、他の工法と簡単に変更しうるような全体の設備、あるいは掘削径の変更、後退の身軽さ等についても、各機種ともおのおの研究が進められているので、近い将来にはかなり今日より適応の範囲は拡大するものと期待される。

4. 大型化について

円形回転式のもの硬岩用は現在4~5mまでであるが、そのまま所要の断面となるのは水路トンネルにほぼ限られる。所要の断面を円形全断面で掘進するには、鉄道の単線型で7.5m(巻厚0.3m)、複線型で10m(巻厚0.5m)の掘削が必要である。今日までのところ、11m級のものではMangna, Oheで使われたものがあるが、非常に軟い岩を対象としたものである。

硬岩の切削可能な強度は過去10年で2倍に拡大されたといわれるが、大型化した場合、今日の機構では中心と外縁との周速の違いは重大な問題となる。また、大きな推力を受ける大型のベアリングの製作の問題もあって機構について新しい構想が必要となってくるであろう。



(Richard J. Robbins の資料による)
図-5 掘進機による切削可能な岩強度範囲の変遷

その一つの方法として、最近スイスで直径10.46m、延長1.3kmのトンネル2本をWirthの機械で掘削した実績が参考にならう。この方式は、まずパイロットトンネルを直径3.5mで掘進し、2段目のリーミングマシンは直径7.7m、最後が10.46mの3段で掘進している。ちょうど、立坑をリーミングアップ、あるいはリーミングダウンするレーズボーラーを横にしたようなものである。

また、大型断面は道路・鉄道に要求されることから、円形が必ずしも必要でないの、ビッグジョン式、あるいは大型炭層掘進機をうまく使用することも一方法であろう。

社会情勢等からトンネルの需要はここ当分の間増加の一途をたどることと思われ、トンネルボーリングマシンの大型化は、機構のいかんを問わず望まれるところであるが、その際には機械の側からも、また地山を支保する側からも予想できない困難なケースに遭遇することを十分に覚悟しなければならないであろう。

マイクロフィッシュによる「土木工学文献目録集 1969」発売

土木学会では、現在土木学会誌の巻末に「文献目録」欄を設け、内外の土木関係雑誌約100種を中心に論文題目を集録しておりますが、文献目録欄の登載形式は雑誌別になっており、各専門分野において情報検索に利用するうえで不便であるとの声がでております。このたび、本学会文献調査委員会が中心となって、1969年の1か年間に発行された国内・国外の雑誌約100種の論文題名を文献調査委員会分類項目により分類し、利用しやすいように再編集し、「土木工学文献目録集 1969」をマイクロフィッシュ化したしました。情報検索の一助として、既成のフィルムとともに大いに活用されることをおすすめいたします。

記

- (1) マイクロフィッシュフィルムのみ (5シート 210 ページ) 2 000 円 (〒とも)
- (2) 焼付コピーのみ (210ページ・簡易製本) 3 000 円 (〒200)
- (3) フィッシュフィルムおよび焼付コピーの両方 特別価格 4 000 円 (〒200)

このほか次のフィッシュフィルムを頒布中です。詳細は土木学会編集課へお問合せ下さい。

- 土木学会誌・論文集総索引 (1915~1963) 5シート 1 600 円 (〒とも)
- 土木学会論文集 (第1号~第124号) 206シート 62 100 円 (〒とも)
- 土木学会誌 (第1巻~第50巻) 1 469シート 358 000 円 (〒とも) 分売可