

青函トンネルにおけるトンネル掘進機の掘さく実績について

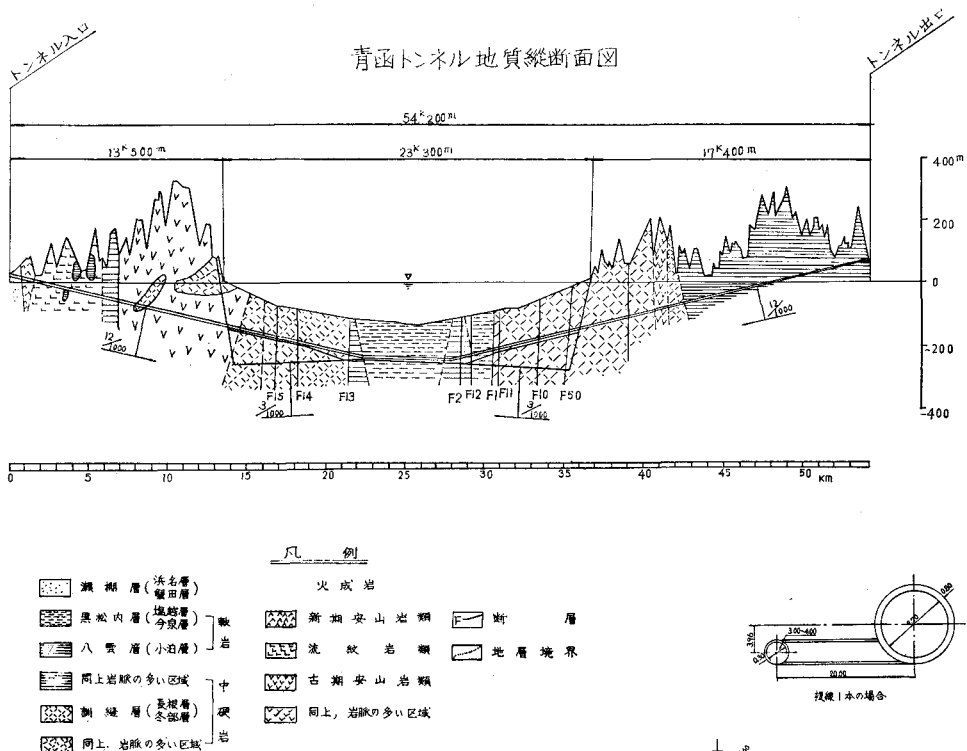
正員 進 藤 卓*

1. ま え が き

青函トンネルは、延長54.2kmと計画されている。世界最長のしかも海底トンネルである。海底トンネルの工事には、従来のトンネル経験だけで取組むことは出来ない。例えば湧水がある場合、水抜き坑を掘さくし、水压を下げて本トンネルを掘さくするという従来の工法を採用することは出来ない。注入によって水を止めて掘さくするという、注入技術が必要になる。この他、湧水破碎

帯を探知するための水平先進ボーリング、トンネル掘進機による掘さく、等の技術開発を一つの目的として、調査工事を進めている。

トンネルの断面が図一に示してある。北海道方では、斜坑1210mは既に終り、昭和45年11月末で、調査水平坑（パイロットトンネル）が1743m、補助調査坑（サービストンネル）が1208m掘進している。調査水平坑は、将来本トンネル工事の際、パイロットトンネルとして、地質探知、排水等に使用されるものであり、浦助調



* 日本鉄道建設公団 青函トンネル調査事務所吉岡鉄道建設所長

査坑は、本トンネルの横に並行じて先進し、サービストンネルとして、本トンネル工事の材料輸送、排水、湧水破砕帯に対する先行注入等を使用される。調査水平坑、補助調査坑、両方ともトンネル掘進機で掘さくしているが、調査水平坑は、大量の湧水をともなう破砕帯に遭遇しており、注入と掘進を交互に行なっている。補助調査坑は、最初の断層を無事故突破し、順調に掘進している。本州方では斜坑1315mを終り、坑底設備の工事と取り組みながら、調査水平坑が103 m進み、補助調査坑の口付けを行なっている。

本稿では、北海道方で使用しているウォールマイヤー型トンネル掘進機の、これまでの実績といくつかの問題点について述べる。

2. 地 質

図一1はルート側の地質縦断面図である。この地質は、海上からのドレッジによる海底資料の採取、海上からのボーリング、潜水観察、その他地震探査、音波探査、磁気探査などの物理探査等、各種の調査により想定したものである。全体の傾向としては、古生層及び先第三紀の花崗岩、内緑岩を基盤とし、その上を、新第三紀の中新世に属する火山岩、火山砕石屑岩、及び堆積岩が覆っている。構造的には南北の構造軸が強く、いくつかの軸

にそって隆起、沈降を起している。この運動により生じた断層も、ほぼ南北の走向を持っており、海峡部でトンネルが切る断層が10数本存在する。規模の大きいものからF—1、F—10、F—50、F—70と区別している。

岩の性質から区分すると、全体を大きく3つのブロックに分割することが出来る。北海道方_北は、訓縫層と称する火山礫凝灰岩、砂質凝灰岩、シルト岩の互層であり、亀裂、湧水も少く、最も安定した地層である。中央部_北は、黒松内層と称する珪藻を含む凝灰質泥岩、細粒砂岩であり、最も若い地層であり、最も軟い岩である。本州方_北は訓縫層に相当する凝灰岩で、火山の影響を受け、安山岩、玄武岩などの岩脈が多く、亀裂、湧水が多く、最も複雑な地層を形成して居る。

掘さくによって実際に確認された地質は、上記の想定とよく一致している。調査水平坑で遭遇した断層F—50は、ほぼ想定した位置で現われた。先進ボーリング孔から1 t/minを超える湧水があり、約380 tのセメントを注入し、止水固結した後掘さくして、突破に成功した。しかし突破した後のシルト岩は相当破砕されており、掘さくは難行した。次第に好転して行ったが、約200 m間は影響を受けていた。次に調査水平坑1750m附近に破砕帯があり、その手前で、先進ボーリング孔から2.5t/min以上の湧水があり、この区域に、既に500 t以上のセメン

表一1 岩石の物理的性質

位 置	岩 石 名	比 重	吸 水 率	超音波速度	圧 縮 強 度	引 張 強 度
		平 均 (最低～最大)	% 平 均 (最低～最大)	m/sec 平 均 (最低～最大)	kg/cm ² 平 均 (最低～最大)	kg/cm ² 平 均 (最低～最大)
水平坑 100 m 附近	火山礫・凝灰岩	2.05 (1.92～2.31)	10.1 (8.7～13.3)	2,710 (2215～3167)	315 (212～427)	30 (28～32)
400 m 附近	火山礫・凝灰岩				559 (513～ 600)	
1,200 m 附近	砂 質 凝 灰 岩	2.09 (2.06～2.13)	8.0 (7.3～ 8.6)	3,153 (2905～ 3329)	851 (613～1233)	45 (35～57)
1,560 m 附近	火山礫・凝灰岩	1.93 (1.91～1.95)	9.6 (9.4～ 9.9)	3,246 (3221～3293)	371 (291～ 450)	52
補助坑 800 m 附近	安 山 岩	1.95 (1.90～1.98)	11.3 (10.5～12.8)	3,868 (3660～4097)	233 (152～ 315)	67
800 m 附近	火山礫・凝灰岩	1.89 (1.82～1.96)	11.1 (9.6～12.8)	2,927 (2463～3301)	409 (313～ 455)	38 (33～43)
850 m 附近	シ ル ト 岩	1.84 (1.83～1.85)	13.4 (11.7～13.2)	3,011 (2952～3103)	254 (198～ 335)	49

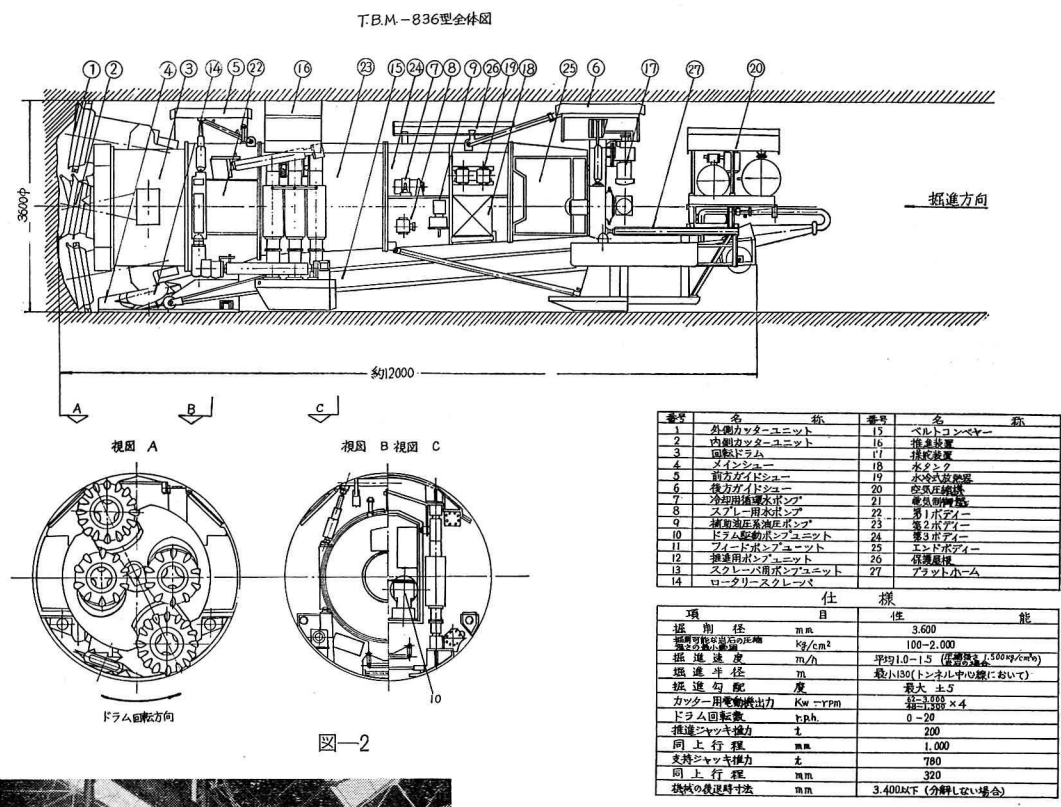
トを注入した。これが断層F—10なのか否かまだ確認出来ないが、F—10だとすると、想定と多少距離の相違がある。又補助調査坑では、900 m附近でF—50を突破したが、先進ボーリングで、顕著な湧水は認められず、約100 tのセメントを注入しただけで、無事突破出来た。破碎の程度は、調査水平坑の場合よりも良好であった。岩の物理的性質を表—1に示す。

3. トンネル掘進機の構造

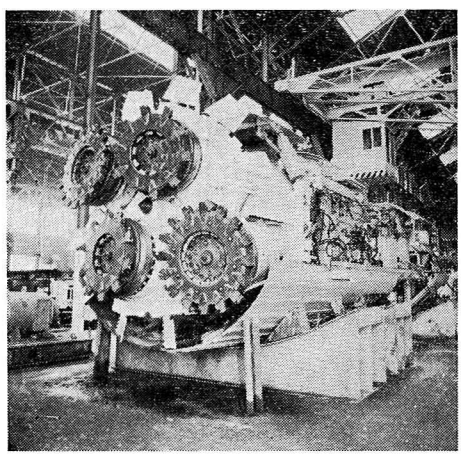
現在使用しているトンネル掘進機は、調査水平坑で

836型、補助調査坑で840型を使用している。836型とは、8型で掘さく径3.6mを意味し、840型は同じく掘さく径4.0mを意味する。両方とも原理は同じであるので、836型について説明し、840型については、異なった点のみについて説明する。

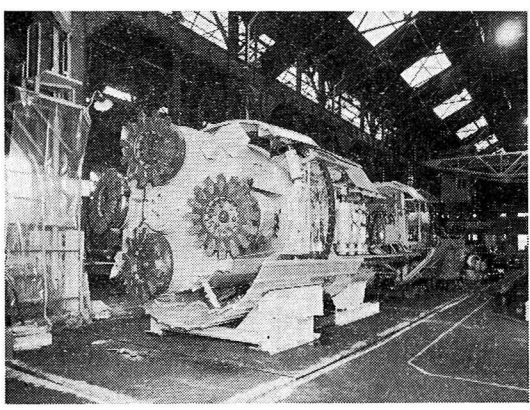
図—2、写真—1を参照して、先ず前部に4個のカッターがある。カッターは、インナーカッター2個、アウターカッター2個からなり、アウターカッターは20cmだけ外側に傾動（拡がる）することが出来る。機械が前後進する場合は縮め、掘さくする場合には拡げる。この動



図—2



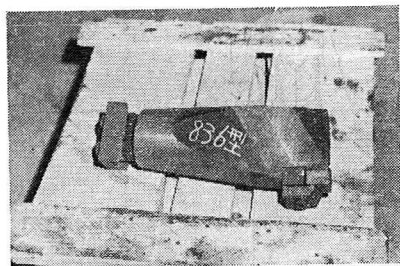
写真—1 836 型機 全 影



写真—2 840 型機 全 影

作は油圧ジャッキで行ない、リンクする方式になっているので、任意の直径で掘さくすることは出来ない。各カッターとも電動機によって回転する。極数変換とギヤ変換により、6種の回転数に変換可能である。カッターにシャンクを取付け、シャンクにチップが取付けてある。写真—3, 4, 5。各カッターとも切羽面に対し10°の傾斜角をもって、ドラムに取付けられている。ドラムは油圧駆動により、カッターの回転方向と逆方向に回転する。カッターとドラムと両者の回転により、チップは岩を切削する。

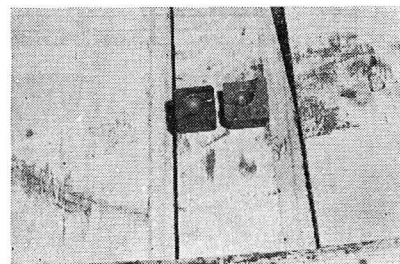
推進機構は、各側3本計6本の支持ジャッキを上下に張り、これから水平に取付けてある各側2本計4本の推



写真—3 839型用シャンク



写真—4 840型用シャンク



写真—5 チップ
左 836 型用 右 840 型用

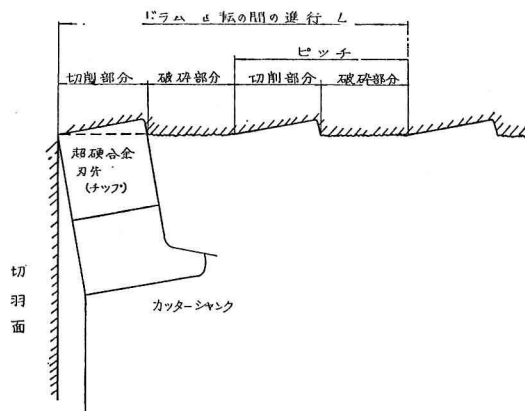
進ジャッキを推進させる。機体が前進する場合、大部分の重量は前方のメインシュールに乗っており、残りの重量が後方のリヤガイドシュールに乗っていて、地山を摺動して前進する。この際、フロントとリヤのガイドルーフを

軽く張って、共に地山を摺動して進む。これを張ることによって、機体の方向を一定に維持するのである。

掘さくしたずりは、メインシュールに取付けられているスクレーパーにより中央に集め、ベルトコンベアにより、1次、2次、3次、4次と逐次後送される。

方向制御は、機体後部のステアリング装置により、ボデー後端軸を上下左右に動かすことにより、頭部を上下左右に動かして制御する。後端軸を動かすのは、上下方向と、左右方向計2個の電動機で動かし、リンクされる。

ドラム回転によって生ずる切さく跡は、図—3の如く、或る巾を残して螺旋状になる。この場合、切さくした巾(チップ巾)を切さく巾、切り残した巾を破碎巾と称している。ドラムの回転に対して推進速度を大きくとれば、破碎巾は大きくなる。この様に、破碎巾を残してメスネジを切り込む様な切さくをすることにより、推力



図—3 切さく機構、縦断面図

が小さくてよいのが本機の特徴である。切さくの為の推力が小さいので、ベアリングの損耗が少ない。836型、840型とも、今までベアリングの損耗による取り替えは1件も無い。

次に、840型の構造上の相違は、先ずカッターが5個になっている。836型では、2個のインナーカッターの中間に出来る、直径18cmのけずり残しは、ドラム先端に付いている円錐形のコーンで折って進むが、840型では、掘さく径が大きくなったため、中心部のけずり残しも大きくなり、これを切さくするために、センターカッターが1個増加している。次にずり出し装置が異っている。836型では、円盤状のスクレーパーから直接1次コンベアに移るため、1次コンベアの位置が低くなり、テールプーリーとメインシュールとの間の空き間が少く、ずりを噛み込んで回転不能となる事故が多いので、840型で、

表-2 諸 元 比 較 表

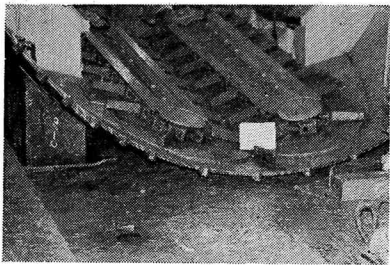
		836型		840型	
一般	掘 さ く 径 (m)	3.6		4.0	
	全 長 (m)	13.0		15.0	
	全 重 量 (t)	85.0		95.0	
	電 圧 (V)	500. 200. 50サイクル		同 左	
	総 出 力 (KW)	400/345		388/332	
	掘 さ く 能 力 (m/h)	4.0 (最大)		3.2 (最大)	
	切 さ く 岩 圧 縮 応 力 (kg/cm ²)	100 ~ 200		同 左	
	掘 進 半 径 (m)	130		150	
カッタ タ 関 係	掘 進 こ う 配 (度)	±5		同 左	
	内 側 カ ッ タ ー				
	カ ッ タ ー 径 (m)	1.14		1.20	
	電 動 機 (KW)	2 ボ ー ル 62	4 ボ ー ル 48	同 左	
	回 転 数 (rpm)	低 中 高 4 7.2 11.6	低 中 高 2 3.6 5.8	同 左	
	チ ッ プ 数 (ヶ)	10×2		12×2	
	外 側 カ ッ タ ー				
	カ ッ タ ー 径 (m)	1.20		同 左	
	電 動 機 (KW)	2 ボ ー ル 62	4 ボ ー ル 48	同 左	
	回 転 数 (rpm)	低 中 高 4 7.2 11.6	低 中 高 2 3.6 5.8	同 左	
	チ ッ プ 数 (ヶ)	16×2		同 左	
	中 心 カ ッ タ ー				
	カ ッ タ ー 径 (m)			0.60	
	電 動 機 (KW)			2 ボ ー ル 21	4 ボ ー ル 16
	回 転 数 (rpm)			5.4	2.1
	チ ッ プ 数 (ヶ)			6	
ドラム関係	電 動 機 (KW)	37		同 左	
	油 圧 モ ー タ ー (個)	4		6	
	回 転 数 (rpm)	0 ~ 20		0 ~ 16	
	主 ベ ア リ ン グ	クロスローラーベアリング (外径2063mm)		同 左 (外径2606mm)	
支持推進関係	フロントガイドジャッキ (t)	20×2		35×2	
	リヤガイドジャッキ	15×2		15.7×2	
	支持ジャッキ (グリッパ-ジャッキ) (t)	130×6 = 780		同 左	
	推進ジャッキ押 (t)	200		300	
	引 (t)	127		180	
	ストローク (m)	1.0		1.0	
ざり出し関係	ス ク レ ー パ ー	ロータリースクレーパー 1 対		チェーンスクレーパー 1 対	
	電 動 機	49 37KW		49 22KW	
	ベルトコンベアー				
	ベ ル ト 巾 (mm)	650		500	
	ブ ー リ ー 径 (mm)	380		ヘッド 400 テール 180	
	ブ ー リ ー モ ー タ ー (KW)	3.7		油圧モーター 5.5KW	
	ベ ル ト 速 度 (m/min)	90		同 左	
	能 力 (m ³ /h)	150		100	

表—3 T B M 8 3 6 型 掘 削 実 績 表

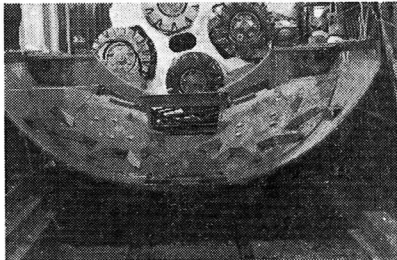
掘削期間 昭和44年3月19日～昭和45年8月31日
掘削開始地点 第一水平坑 532.78m地点

項目 年 月	掘進長 m	掘進時間 min	断面積 ㎡	掘削量 ㎥	掘進速度 m/h	ドラム 回転数 rph	推進力 t	支持力 t	消費電力量 KWH	m 消費電力量 KWH/m	チップ 損耗数 ヶ	m チップ 損耗数 ヶ/m	㎥ チップ 損耗数 ヶ/㎥
44	3	5.25	545	10.17	53.41	0.58	7~10	60~130	420~660		0		0
	4	22.02	1,565	"	224.03	0.84	9~12	50~140	460~560	8,885	403.54	1	0.045
	5	40.73	2,310	"	414.39	1.06	3~15	75~115	440~560	9,394	230.63	2	0.049
	6	34.16	1,867	"	388.24	1.23	8~15	80~150	440~540	7,492	219.32	1	0.038
	7	26.28	1,434	"	267.37	1.10	11~14	120~150	452~600	7,703	293.11	1	0.049
	8	20.19	1,019	"	205.41	1.19	10~14.5	120~150	440~592	6,530	323.42	1	0.045
	9	21.91	1,013	"	229.91	1.30	7~15	100~155	400~500	5,679	259.19	27	1.23
	10	54.5	3,391	"	554.48	0.96	7~13	60~130	192~360	13,128	240.83	19	0.348
45	11	83.86	4,238	"	853.19	1.19	7~10	80~125	200~280	14,345	171.05	8	0.095
	12	39.32	2,157	"	400.04	1.09	8~12	70~145	240~280	10,453	266.09	19	0.483
	1	163.0	7,370	"	1,658.36	1.33	8~12	75~145	220~320	23,133	141.92	19	0.116
	2	160.41	7,012	"	1,632.01	1.37	8~12	75~140	200~360	22,074	137.61	19	0.118
	3	180.42	7,425	"	1,834.87	1.46	8~14	60~150	180~360	24,282	134.58	43	0.238
	4	159.07	5,810	"	1,618.38	1.64	6~15	50~120	260~400	20,117	126.46	30	0.188
	5	46.84	1,618	"	1,627.70	1.73	8~10	60~135	260~280	9,804	209.31	8	0.171
	6			"						3,618		25	
計	7	35.26	1,381	"	358.59	1.53	8~12	50~100	280~400	4,419	125.32	20	0.567
	8	35.02	1,527	"	356.15	1.37	8~12	10~140	240~280	9,943	283.92	14	0.398
計		1,128.24	51,682	10.17	11,474.2	1.31	7~15	50~155	180~660	201,010	178.16	257	0.227
													0.022

は、1次コンベアを後方に下げることにより、メインシュートとテールブーリーとの空間を大きくとり、1次コンベア迄のずり運搬は、チェーンスクレーパーによることにした。写真—7。その他、836型では1次コンベアの駆動は、ブーリーモーターであるが、840型では油圧駆動のギヤドモーターとし、モーターの焼損をなくした。840型の全影を写真—2に示してある。又表—2に、各部の諸元を比較して示してある。



写真—7 840型機スクレーパー



写真—6 836型機スクレーパー

4. 掘さく実績

掘さく実績は、表—3、表—4に示してある。掘進速度は、カッター及びドラムの回転数と、推進ジャッキの推進速度を変更することによって変えられる。カッターの回転数の変更は、極数変換又はギヤセットをしなければならず、外部から簡単に行なへないので、現在7.2 rpmにセットしている。ドラムの回転数は、油量調節により

表—4 T B M 8 4 0 型 掘 削 実 績 表

掘削期間 昭和45年5月5日～昭和45年8月31日
掘削開始地点 補助調査坑420.01m地点2—4

年度	項目 月 位	掘進長	掘時	進間	断面積	掘削量	掘速	進度	ドラム	推進力	支持力	消費電力	m当り消費電力	チップ損耗数	m当りチップ損耗数	m ² 当りチップ損耗数
		m	min		m ²	m ³	m/h		r.p.h.	t	t	KWH	KWH/m	ヶ	ヶ/m	ヶ/m ²
45	5	130.10	6,164		12.56	1,634	1.26	8~12	45~90	120~440	14,565	111.95	0			
	6	133.01	5,489		〃	1,670	1.45	7~12	45~90	200~440	13,969	105.02	0			
	7	168.89	6,745		〃	2,120	1.50	7~13	60~120	200~400	17,710	104.86	2	0.011	0.001	
	8	32.79	1,472		〃	412	1.32	8~15	75~120	200~340	13,203	402.65	11	0.335	0.026	
計		464.79	19,870		〃	5,836	1.39	7~15	45~120	120~440	59,447	127.90	13	0.027	0.002	

表—5 836型 切羽8時間についての百分率

		掘さく	支持工	材運搬	点検整備			休憩	その他	方数	掘進長
					切さ部	ず出部	本体				
45	1	30.5	15.1	0.6	7.0	14.1	4.6	6.8	21.3	72	163.0
	2	26.3	11.2	—	5.9	10.4	14.0	6.8	25.4	74	160.4
	3	22.3	8.6	—	9.6	13.3	13.7	7.9	24.6	80	180.4
	4	17.1	7.1	1.4	6.2	8.4	6.0	9.1	44.7	80	159.1
	5	9.9	5.4	—	3.3	5.9	2.8	10.1	62.6	74	46.8
	6	0	—	1.3	0.5	3.5	1.1	19.3	74.3	80	0
	7	9.7	1.5	1.4	2.0	2.6	1.6	18.6	62.6	82	35.3
	8	12.0	1.8	1.6	1.0	4.4	3.9	19.9	55.4	69	35.0

任意に変えられる。硬い岩の場合にドラムの回転数を大きくすると、チップの損耗が大になる。ドラムの回転数を上げると、相対的にカッターの回転数は減少することになり、岩に対してのチップの仕事量が増えるからである。更に硬くなると、カッターの回転数も、ドラムの回転数も減少しなければならない。現在までの実績は、最大最小で15rphから3rphであるが、通常は10～12rph程度で掘さくしている。推進ジャッキの速度も、油量調節によって変えられる。この速度を大きくすると破砕巾が大きくなり、掘進速度が上り、ねじ込み効果も大きくなり有利であるが、亀裂の多い場合や剝離し易い場合に、ずりが大塊となり、小割りに手間取ることがある。通常破砕巾は4～8cm程度で掘さくしている。

表一5、表一6、表一7、表一8に各業の内容を%で示してある。ここに示した数値は、時間だけで計算したものではなく、各作業に従事した人数と時間の積、人時の合計に対しての割合を計算したものである。この中で「掘さく」は、掘さく準備、ずり運搬も含まれている。「材料運搬」には、ずり捨ての帰りに持ち込んでものは含まれていない。点検整備の内「切さく部」と云うの

は、チップ、シヤンク、及びカッタードラムの外回りを云い、「本体」は、カッター・ドラムの内回り（モーター、シール等）、本体内の各機器を云う。「ずり出し部」とは、スクレーパー、ベルトコンベアを云い、「その他」は、トンネル掘進機を止めて切羽から行なったさぐりさく孔、注入、ポイント移動、諸パイプ、ケーブル延長、脱線等附帯作業で掘さくに影響を得えたものを云う。表一9は、比較的條件の良い所で得られた。最高掘進速度である。条件が良いと云っても、全て100H支保工を、1.5mピッチで建込んである。

5. 掘さく上の問題と改善

836型で最も問題になったのはずり出しである。前にも述べた如く、1次コンベアテールブリーの個所で、7.5cmしか空間が無い。このため、メインシユューとベルトとの間にずりを噛み込んで、回転不能となる事故が多発した。岩質と湧水の状態によっては、ずりがヘドロ状になり、更につまり易くなる。又機械が後退する場合にも、ずりを噛み込むことになる。このため、ブリーモーターの焼損、シール、ベアリングの損耗を来した。この

表一6 836型 注入作業を除いての百分率

		掘さく	支保工	材運 料搬	点 検 整 備			休 憩	そ の 他	方 数	
					切く さ部	ずり 出し部	本 体				
45	1										
	2										
	3										
	4	24.6	10.2	2.0	8.8	12.1	8.7	6.9	26.7	56	
	5	19.2	10.5	—	6.4	11.4	5.5	4.6	42.4	39	
	6										
	7	32.3	5.0	4.5	6.6	8.8	5.3	4.7	32.8	26	
	8	28.0	4.1	3.8	2.2	10.1	9.1	11.9	30.8	29	

表一7 840型 切羽8時間についての百分率

		掘さく	支保工	材運 料搬	点 検 整 備			休 憩	そ の 他	方 数	
					切く さ部	ずり 出し部	本 体				
45	5	33.3	14.6	4.0	1.6	2.8	2.5	13.8	27.4	62	130.1
	6	22.4	31.3	4.9	1.4	5.4	6.2	11.5	16.9	78	133.0
	7	30.9	14.6	2.0	4.1	6.6	4.3	9.3	28.2	81	168.9
	8	8.6	4.3	0.5	1.2	1.9	6.9	10.1	72.1	69	32.8

表一8 840型 注入作業を除いての百分率

		掘さく	支保工	材運 料搬	点検整備			休 憩	そ の 他	方 数	
					切さ 部	出 りし	本 体				
45	5										
	6										
	7	37.3	17.5	2.4	4.8	7.9	5.2	9.5	15.4	67	
	8	35.5	19.4	2.1	4.8	7.7	3.9	12.2	14.4	17	

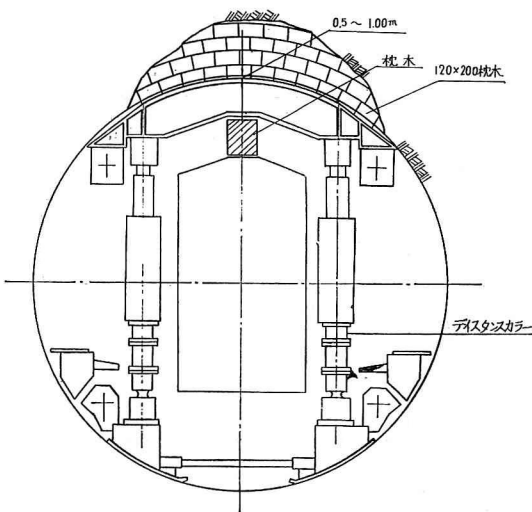
表一9 掘さく実績最大値 (m)

		836型	840型
1 方 (8時間)	最大	9.58	10.73
1 日	最大	22.08	26.47
1 日	最大	180.42	205.34
30 日	最大	261.45	205.34

対策として、テールプリーの前面に水を噴射するノズル管を配置し、常時洗滌することにより、トラブルは減少した。しかし根本的な解決策としては、1次ベルコンを高くする必要があり、840型においては、写真一7の様にチェーンスクレーパーに改造して、ベルトコンベアの下に41cmの空間を設けた。補助調査坑は今のところ湧水も少ないが、12%の突込み施工であるにもかかわらず、840型の方が836型より出し関係のトラブルの少いことは、表一5、表一6、表一7、表一8にも現われており、改造の効果である。

次に問題になったのは、天端の崩落である。軟弱な岩

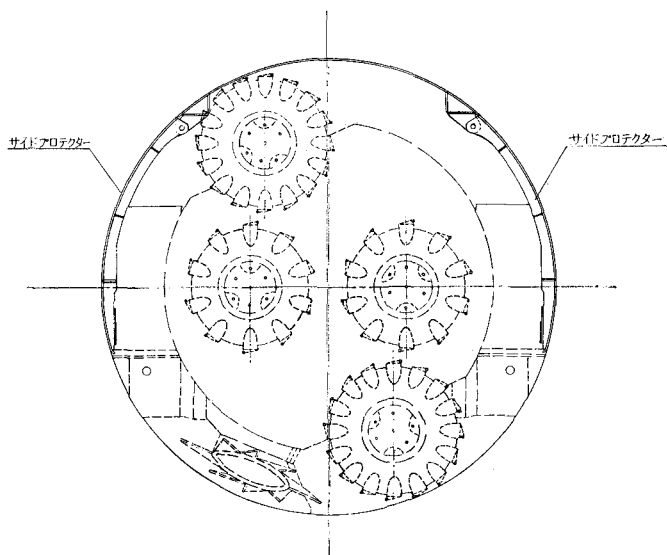
や、亀裂が多く剥離し易い岩では、切さくと共に、まわりから崩落する場合がある。それ程悪くない場合でも、グリッパーで天端を押しつけるため、グリッパーを盛り替えた時、天端の崩落を起すことがある。一度崩落を起すと、次々と前方にエスカレートして行き、グリッパーを張る際に、図一4の如くサンドルを組まねばならず、グリッパー盛り替えにも、支保工建込にも大きな時間をとられる。840型で6月に、支保工建込に31.3%も要している(表一7)のは、この様な状態の典型的なものである。写真一8にグリッパーの上の崩落の状態を示す。この対策として図一5の如く、フロントプロテクタールーフを取付けた。これはグリッパールーフに接続され、グリッパーの盛り替えと一しよに盛り替えられ、掘さく時は天端を押しして動かない。このルーフの下をフロントガイドシューが摺動して行く。盛り替え時の下りしろは5cmとした。このプロテクターを取付けてから、掘進速度は一躍向上した。表一3において、掘進長が1月から急激に延びているのはこの効果である。しかし、更に山が悪化すると、側壁部が崩落する。そこで図一5に示すサイドプロテクターを取付けた。これは、数枚のブロックを、ルーフからノレン状に下げ、下端を一体にしてジャッキで横方向に押してある。ノレン状にしたのは、必要な場合は取りはずして、地山の観察やコソクに



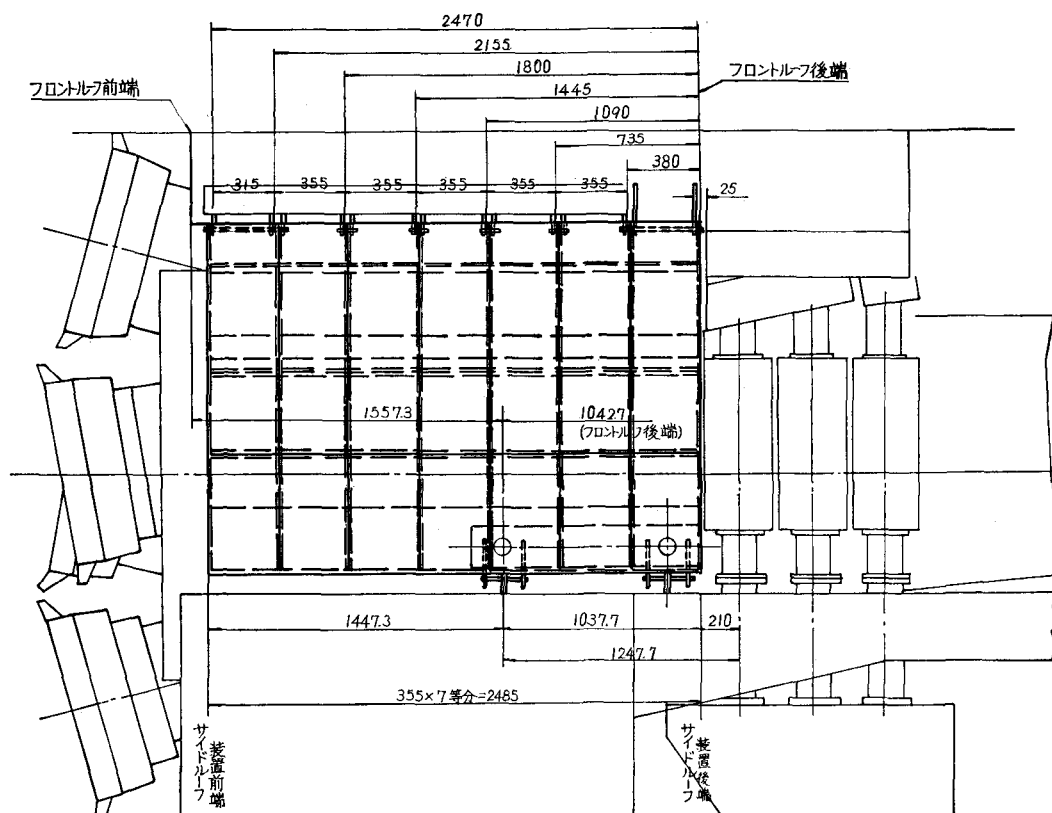
図一4 天端崩落の状況



写真一8 グリッパー上部崩落状況



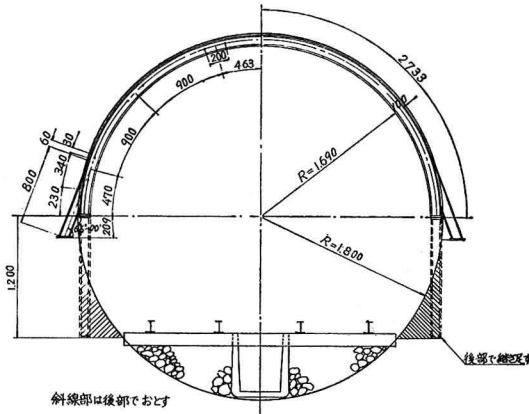
図—5 a サイドプロテクター取付図（正面）



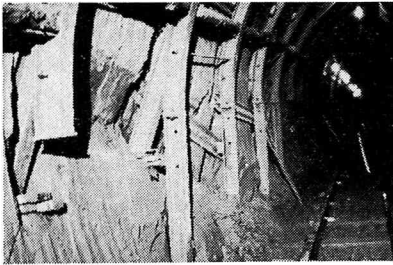
註 フロントレフ後端とサイドレフ装置後端とは5mmの差がある

図—5 b サイドプロテクター取付図（側面）

便利なためである。現在のところ、サイドプロテクターについてはまだ確実な効果は現われていないが、この考え方が成功すれば、機体後部までプロテクターで覆い、最後部で支保工を建込む考へである。シールドの方がより完全であるが、シールドの推進に莫大な推力を必要とし、その他機構上の問題もあるので、スチールフォーム式に縮めて前進して張る方式をとったものである。現在はグリッパーの直後で、上半部の支保工を建込み、機械



図—6 断面標準図



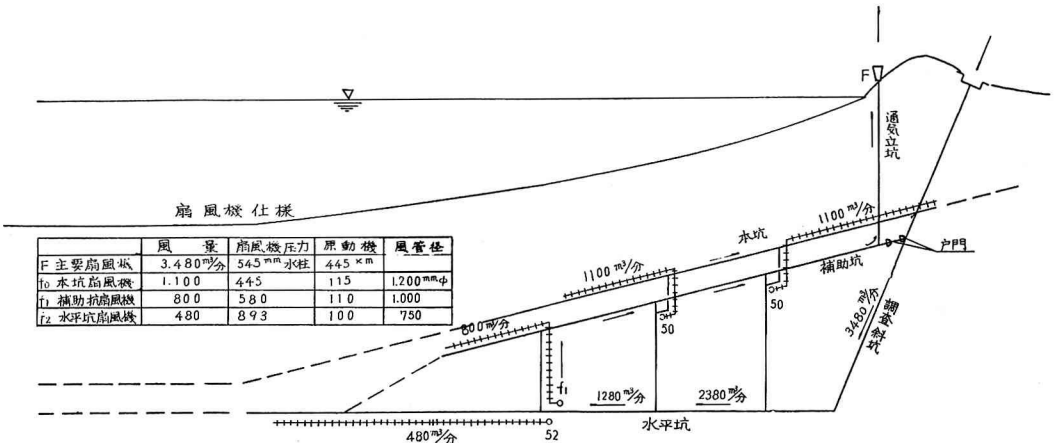
写真—9 支保工脚付け状況

が過ぎてからスカート掘きし、脚を建込んでいる。
図—6、写真—9

その他、粉塵、騒音、熱等坑内環境の問題がある。粉塵については、当初吹込通気を行っていたので、排気が坑道全体を流れたが、吸出し通気に変え、坑道入気、風管排気としてから、環境は改善された。切羽の集塵は、トンネル掘進機本体横の歩廊の下に、 $\phi 300\text{mm}$ の集塵パイプを両側に計2本取付け、機体後部で $5.5\text{kw} \times 2$ のコントラファンで吸出し、メイン風管に接続している。粉塵除去については、切羽に撒水すると効果があるが、ずりがヘドロ状になり、ずり運搬でトラブルが増加する。その他薬品噴霧も使用してみたが、あまり効果が無い。トンネルの進行にともない、風管長が長くなると、吸圧がドロップし、集塵効果が下る。これに対しては図—7の如く、補助調査坑坑と水平坑を結んで坑道通気とし、主回路より以遠を風管通気とすべく計画している。騒音は表—10に示す如く70ホン余である。岩の切さく音が最大であるので、根本的な解決策は無いが、この程度であれば、話しも出来るし電話も聞え、さく岩機の音に比較すると、数等楽である。次にトンネル掘進機による発熱は大きい。熱に対しては通気量を大にしてやる必要があり、前述の如く計画している。当面の対策としては、運転室にクーラーを設置しているが、運転室内の配電盤に水滴が附着する等のトラブルが起きる。

6. 今後の問題

今後解決しなければならない問題について考へる。ウォールマイヤ型機の構造上の問題として、前進機構がある。即ち、前進する場合、メインシュールとリヤガイドシュールの地山に対する摩擦抵抗に打勝って推進しなければならない。このことは、切さくする場合のねじ込み効果で、推力が小さくても掘さく出来るという長所を打ち消



図—7 青函トンネル北海道方海底部通気図

表—10 坑 内 環 境

		騒音(ホン)	温度(℃)	湿度(%)
836型	運 転 時	73	35	95
	休 止 時	57	31	95
840型	運 転 時	72	29	87
	休 止 時	60	27	88

している。これを改善するためには、プロテクターの下をフロントガイドルーフが摺動する如く、摺動板の上を摺動し、摺動板の盛り替えは、グリッパーの盛り替えと同様、足を上げて歩く方式にすることである。しかし一方、この方式にすると、盛り替え時間が大きくなる。と云うのは、現在の方式であれば、グリッパーは本体と関係無く動くのであるから、グリッパーの下に多少ずりを噛み込んでジャッキのストロークが小さくなくても、或は大きくなっても、本体の位置は変わらない。しかし新しい方式にすれば、機体を支えているもの自体を盛り替えるであるから、その都度微調整が必要になる。しかしこの問題は、別に解決出来る問題である。次に最大の問題は、悪地質での掘さくの問題である。直径4.0 m程度であれば、スチールフォーム型プロテクターも相当効果を發揮しているが、これも更に地質が悪化すれば万能ではない。しかも将来大口径の機械を考へるとすれば、更に大きな問題となる。大口径になれば、スチールフォーム式に、一時的に支保工をはずすことは不可能となる。幾つかのブロックに分けて、交互に盛り替えるか、或は完全なシールドを考へねばならない。地山をゆるめない最も理想的な方法は、切さく後直ちに支保工を建込むことであるが、その為には機械の前部に支保工を持ち込まねばならず、掘さくを阻害する。シールドテール部で支保工を建込めば、掘さくと並行して作業出来る。シールドで覆うことは、色々不都合な点が多いが、早急に解決しなければならない問題である。

7. む す び

内外に各種の問題をかかえながらも、我国は着実に経済成長を続け、今や世界の経済大国に台頭して来た。今後国土の均衡ある発展のために、鉄道の分野では全国新幹線網の構想が掛けにされた。この新幹線建設に際し、或はその他道路についても、都市交通又に他の産業の分野においても、今後トンネルの施工量が飛躍的に増大することは確実である。更に、施工の急速化が要求される一方、労務者不足、労賃の高騰は益々深刻な問題となる。このような状況にあって、機械化施工はいやが応でも推進しなければならない課題である。我々は青函トンネルでウオールマイヤー型トンネル掘進機を使用し、色々経験し、機械、施工法とも改良を加えて来た。又別の現場でも各種のトンネル掘進機を使用して、それぞれ立派な実績を上げている。私は、現状においても、或る範囲の岩石であるならば、どの機種を使用しても十分能率的に掘さく出来ると信じている。この範囲を超えた硬い岩石については、各国で研究がなされており、次第に範囲は広がって行くことと思う。しかしながら、我国で機械掘さくを推進させる為には、この範囲以下の悪い地質の掘さくを可能にすることが必要である。我国の地形からして、トンネルで破砕帯に遭遇しないことはめずらしい。特に新幹線のごときは、線形からして良い地質だけを選ぶことは困難になって来る。青函トンネルにおいて、836型、840型とも地質のために、持てる力を十分發揮出来ない現状である。他の機種ともお互いに情報を交換しながら、更に努力する必要がある。

以上青函トンネルのトンネル掘進機について、実績と問題点について述べた。いささか主観的、独善に走ったところがあると思うが、読者諸兄の御指導をいただければ幸いであり、又幾らかでも参考になる点があれば、望外の喜びである。