

ロードヘッダによる青函トンネル千軒工区の施工について

川崎 芳 昭* 齊藤 雄 介**

要 約

日本鉄道建設公団，青函建設局発注の津軽海峡線，青函ずい道(千軒)工事において，MRH-S90型ロードヘッダを使用した結果， $qu=100\sim 300\text{kgf/cm}^2$ (9.8~29.4MPa)の地盤において，掘削速度15~25 m^3/h ，平均進行5.89 m/d (平均)を得ることができた。また，作業性，安全性，省力化などにも好結果が得られた。

目 次

- § 1. まえがき
- § 2. 工事概要
- § 3. 地質
- § 4. トンネル掘削
- § 5. ロードヘッダの概要
- § 6. ロードヘッダの施工と実績
- § 7. あとがき

§ 1. まえがき

機械化掘削の成否は，その自然条件への対応が不十分なため，9.9%が自然条件に左右されると云われている。

青函トンネル，千軒工区では，幸にも地質条件に恵まれて，ロードヘッダを成功裡に使用することができたので，これについて報告する。

§ 2. 工事概要

青函トンネルは本州側，青森県東津軽郡今別町浜名を起点とし北海道側，北海道上磯郡知内町湯の里に至る延長53k850m(海底部23k300m，陸上部30k550m)最小曲線半径6,500m最急勾配12/1,000，海底下100m，最大水深140m，トンネル断面は複線新幹線型である。

当企業体が施工した千軒工区は4,950mで松前郡福島町千軒から上磯郡知内町湯の里に至るトンネルである。トンネル施工は，浜名起点52k197mから175mのオープンカット部から，起点方へのトンネル3,297m(本坑甲)と終点方へ1,478m(本坑乙)を施工した。

本坑甲は側壁導坑先進上部半断面工法，本坑乙は上部半断面先進(レール式)工法にて施工，本坑甲の上半半

断面掘削にはMRH-S90型ロードヘッダ掘削機を採用し，昭和50年4月22日より始動し，その2工事にて企業先予算不足のため5ヶ月休止したのち再開，昭和52年9月14日に施工延長3,248.8m，掘削量125,891.0 m^3 を完了した。

§ 3. 地 質

千軒工区の地質は新第三紀，中新世後期の黒松内層で，数層に分類されている。下位より， K_{m1} ， K_{m2} ， K_{m3} ， K_{m4} が分布するが，トンネルに直接関係のあるのは K_{m2} ， K_{m3} の2層である。 K_{m2} は暗灰色のシルト岩を主

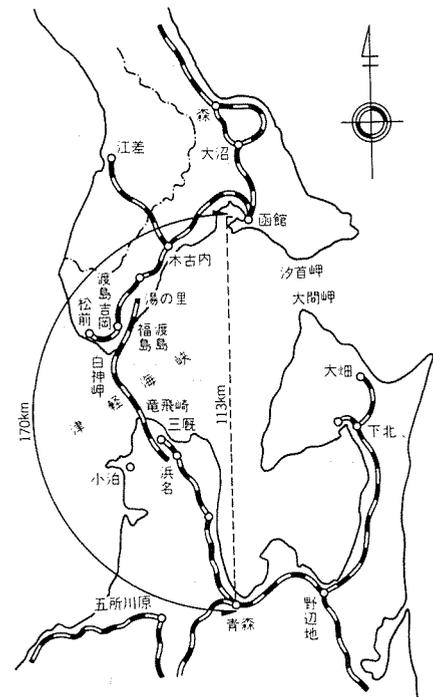


図-1 位置図

* 札幌(支)千軒(出)
** 札幌(支)千軒(出)副所長

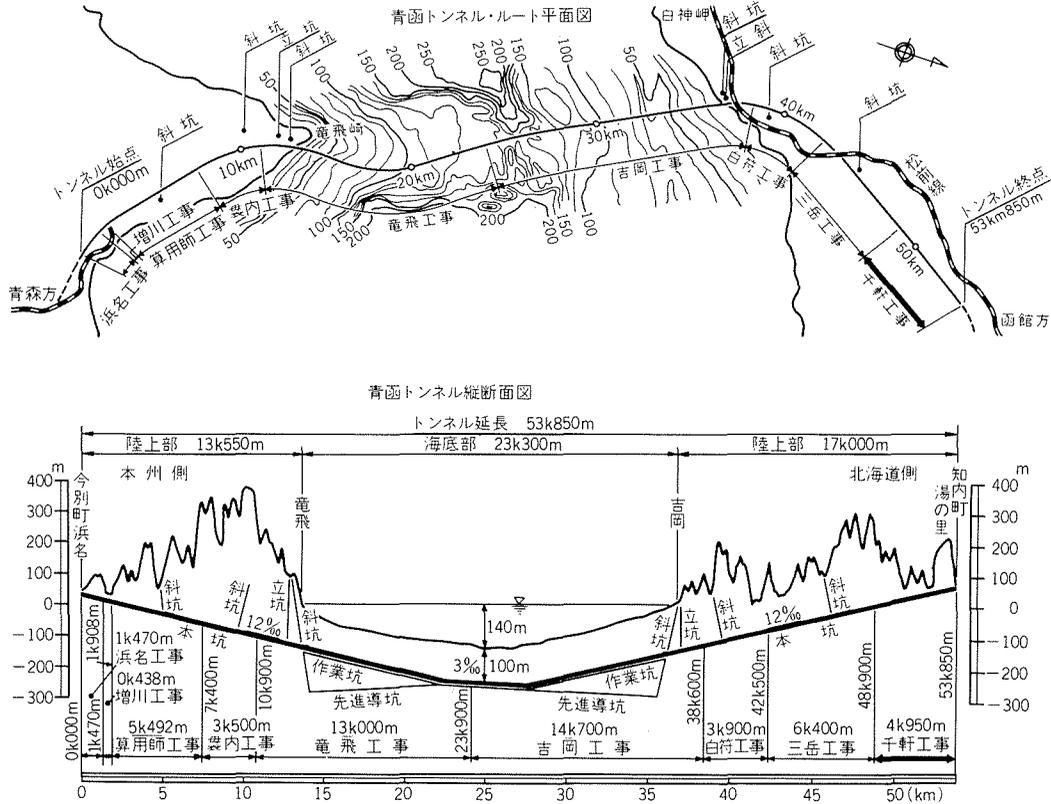


図-2

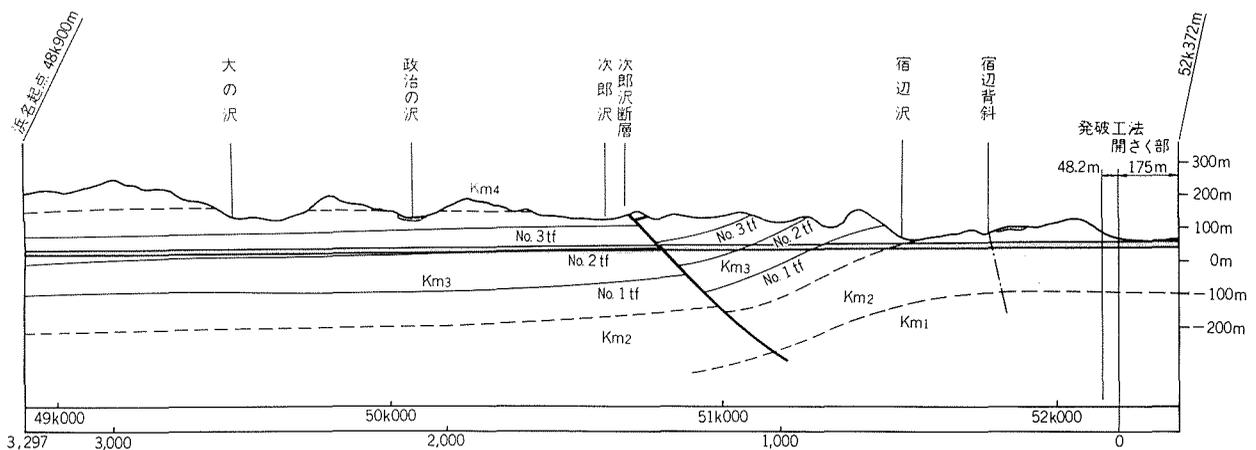
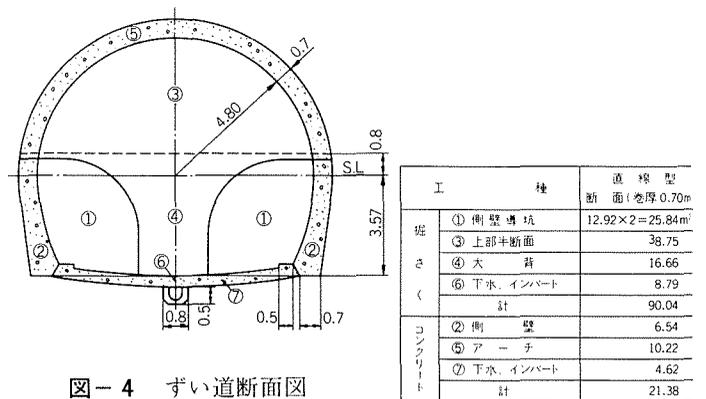


図-3 地質断面図

とし、砂質シルト岩、砂岩等が互層しており、坑口から700m 付近までに分布する。Km₃は暗灰色のシルト岩で、数枚の凝灰岩を挟んでいる。凝灰岩はほぼ100m 間隔で存在し、下位より、No. 1, No. 2, No. 3, No. 4の4枚があるが、当トンネルに関係したのは、No. 1, No. 2の2枚である。凝灰岩の薄層は、0.5~1.2m 程度の層厚を示したが、硬いため一部で発破を併用した。

断層は坑口から1,350m 付近で、次郎沢断層と呼ばれる北傾斜の落差約50mの正断層に遭遇したが、予想した程のトラブルもなく、無事通過できた。



工種	直線型断面(巻厚0.70m)
① 側壁導坑	12.92×2=25.84m ²
③ 上部半断面	38.75
④ 大 筈	16.66
⑥ 下水、インバート	8.79
計	90.04
コンクリート	
② 側 壁	6.54
⑤ アーチ	10.22
⑦ 下水、インバート	4.62
計	21.38

図-4 ずい道断面図

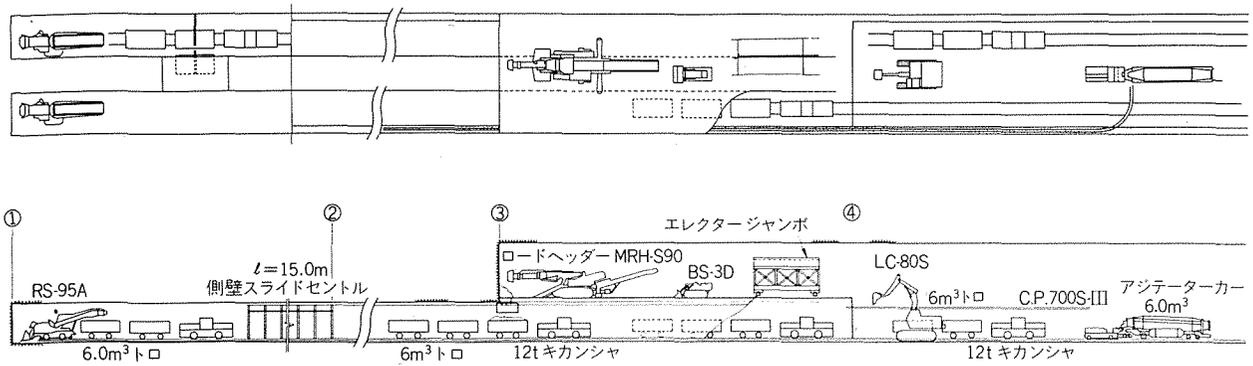


図-5 施工順序図

一般に湧水は少なく、坑口から300~400mの宿辺背斜付近で、若干のメタンガス湧出に遭遇したが、作業に大きな支障は与えなかった。

全般的に見て地質は大きな変動もなく、作業に重大な影響を齎さず、成功裡に完工することができた。

§4. トンネル掘削

側壁導坑先進上部半断面工法を採用した。サイロットは発破工法、上半をロードヘッダ工法、大背は発破工法で実施した。運搬は12tfバッテリーロコと6m³×5両のサイドダンプトロを使用した。

側壁コンクリートを打設し、その所要強度が確保されたから、上半掘削を開始した。約1,000m付近までは切羽

表-1 作業人員1方当り

名称	呼称	数量	摘要
世話役	人	1	
RH運転手	〃	1	ロードヘッダ運転手
全上助手	〃	1	ロードヘッダ誘導員
坑夫	〃	2	トラクターショベル運転
運転工	〃	2	バッテリーロコ運転手 ずり出し
全上助手	〃	2	全上助手
土工	〃	1	連絡員上半~導坑
計	〃	10	8人~10人

表-2 掘さく実績

全掘進	3,248.8m
全掘さく量	125,891m³
最大月進	180.0m
〃 日進	9.6m
平均月進	134.2m/月
〃 日進	5.89m
1時間当り最大掘進	0.77
〃 最大掘さく量	30m³/h
〃 平均掘さく量	21.0m³/h

表-3 月別掘削実績表

		稼働日数	月進行 m	日平均進行
50	2	7	8.6	1.23
	3	17	28.8	1.69
	4	15	25.2	1.68 *
	5	26	96.9	3.73
	6	22	114.0	5.18
	7	23	112.4	4.89
	8	17	84.0	4.94
	9	24	129.4	5.39
	10	26	153.6	5.91
	11	23	132.1	5.74
	12	19	126.0	6.63
	51	1	20	126.0
2		23	148.8	6.47
3		23	142.8	6.21
4		21	150.0	7.14
5		25	180.0	7.20
6		23	148.8	6.47
7		24	151.2	6.30
8		17	100.8	5.93
9		25	156.0	6.24
10		6	30.0	5.00
11		休止期間		
12				
52	1			
	2			
	3	24	147.6	6.15
	4	25	180.0	7.20
	5	25	176.4	7.07
	6	24	164.4	6.85
	7	25	142.8	5.71
	8	20	103.2	5.16
	9	14	37.2	2.66
計	506	3297.0	6.52	

* 50年4月22日よりR.H.使用開始

後方片側の導坑を利用して、ずり出しを行っていたが、導坑の掘削、側壁コンクリート作業との競合による待時間増を消すため、切羽の両サイドに投入口を設け、切削ずりを直接投入することにした。

作業人員は方当り8~10人である。

掘削実績は極めて順調で、当初の不慣れで能率の悪かった時を含め、平均日進6.5mを確保した。特記事項としては、進行が好調で年度予算を早く消化して、5ヶ月も作業を中断したことである。機械化が自然条件にマッチすると、いかに有効かということを示している。

大きな故障を除いた平均的なサイクルタイムは表-4に示す。

表-4 サイクル作業タイム

作業内容	所要時間	作業量
掘削準備	10分	
掘削	110"	$38.75\text{m}^2 \times 1.2\text{m} = 46.5\text{m}^3$
R・H移動	5"	ずり量 $46.5 \times 1.8 = 83.7\text{m}^3$
支保工運搬	15"	トロ数 $83.7\text{m}^3 \div 6\text{m}^3/\text{車}$
エレクター移動	10"	$\approx 14\text{車}$
支保工建込	30"	列車数 $14\text{車} \div 5\text{車}/\text{列車}$
トロ入替待ち	10"	$\approx 3\text{列車}$
損失	10"	支保工1.2mピッチ, H-200
計	200分	

1日(昼夜2交代)実働時間 $2 \times 10\text{h} = 20\text{h}$

1日サイクル数 $\frac{20\text{h} \times 60\text{min}}{200\text{min}/\text{サイクル}} = 6\text{サイクル}$

1日進行長 $6\text{サイクル} \times 1.2\text{m} = 7.2\text{m}$

§5. ロードヘッダの概要

ビットを取り付けた小さなドラムで切羽面を切削し、2本の搔寄腕で集めたずりをコンベアで送って、後方の運搬設備(トロ・コンベア・ダンプトラック等)に連続的に運ぶ機械である。その主な構造は切削部、搔寄部、コンベア部、走行部、油圧装置などで構成されている(写真-1)。

(1) 切削部

伸縮するブームの先端にビットを取り付けたドラムを回転させながらブーム全体を上下左右に移動回転させることにより地山を掘さくする部分で、ドラム、伸縮筒、減速機、切削モーター、上下左右の油圧シリンダで構成されている。

(2) 搔寄部

切削ドラムでくずしたずりを、クランク機構で動く搔寄腕でチエンコンベアに積み込む装置で、搔寄

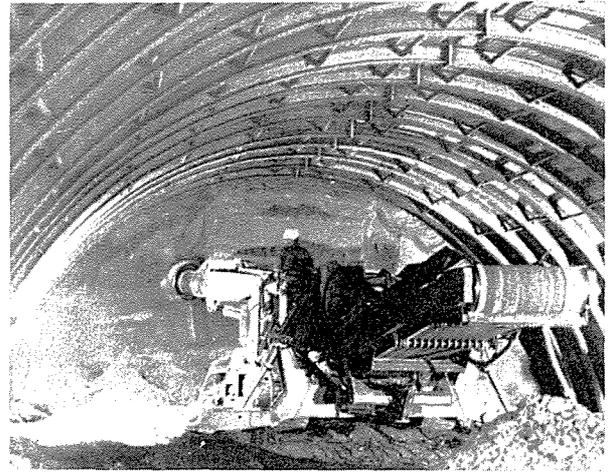


写真-1 ロードヘッダ稼働状況

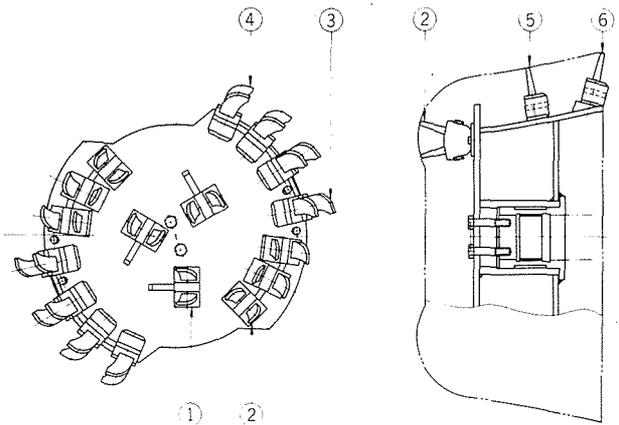


図-6 ロードヘッダ掘さくドラム

フレーム、減速機、搔寄腕、電動機、流体継手等で構成されている。

(3) コンベア部

搔寄せらせたずりを後方へ運ぶ装置で、第1コンベア、第2コンベアに分割されている。第1コンベアは、巾750mmのスクレーパー付チエンコンベアでありその駆動は油圧モーターである。第2コンベアは巾900mmのベルトコンベアで、駆動はプリーモーターであり、左右に45°旋回し、高さの調整ができる。

(4) 走行部

本体を左右のクローラで支持し前後進する。速度は高低速の2段切替である。

(5) 油圧装置

2連ギヤポンプを30kWモーターで駆動し、各油圧シリンダおよび油圧モーターを作用する。

(6) 本体部

機体の中央に位置し、上部に掘さく旋回台を置き、

搔寄部、第1コンベア、第2コンベアを支持している。

表-5 ロードヘッダ MRH-S90主要仕様

本体寸法	全長	約13,770	
	全高	約 2,300	
	全巾	" 5,130	
	重量	42 t	
掘さく仕上り寸法 (定量最大)	高さ	5,300	
	巾	5,900	
	断面	29m ²	
切削部 (50Hz)	ストローク	800mm	
	ドラム回転数	54	36
	原動機	4P-90kW	6P-60kW
走行部 (50Hz)	型式	電動駆動クローラ式	
	速度	低速 5.6m/min	
		高速 16.7m/min	
	接地圧	約 1.3kgf/cm ²	
原動機	4/12P-15/5kW電動機2台		
搔寄部	型式	ギャザリングアーム式	
	回転数	26r.p.m	
	原動機	4P-22kW電動機1台	
	動力接手	流体接手	
第一コンベア	型式	フレキシブルチェーン スクレパカバー付	
	トラフ内巾	750mm	
	チェーン速度	16m/min (50Hz)	
	原動機	油圧モータ(最大23W相当)1台	
第二コンベア	型式	ベルト	
	ベルト巾	900mm	
	電動機	6P-3.7kWモータープーリー	
	旋回角度	+45° -45°	
油圧装置	最大運搬量	3 m ³ /min	
	ポンプ型式	2連ギヤポンプ	
	電動機	30kW	
電源	400V		

表-6 運転集計

供用日数 (休止日数含まず)	735日
作業日数	552日
修理日数	135日
作業時間	9,614H
運転時間	6,001H
修理時間	650.5H
稼働日率	75.1%
修理日率	16.7%
1日平均運転時間	10.87H
" 修理時間	0.89H

25tで、これを75tfトラッククレーンを使用して開口部直下(写真-2)で組立て、上半迄自走させた(写真-3)。試運転迄6日間の整備期間を要し直ちに本運転に入った。



写真-2 ロードヘッダ組立 本体部25t
クレーン75tf

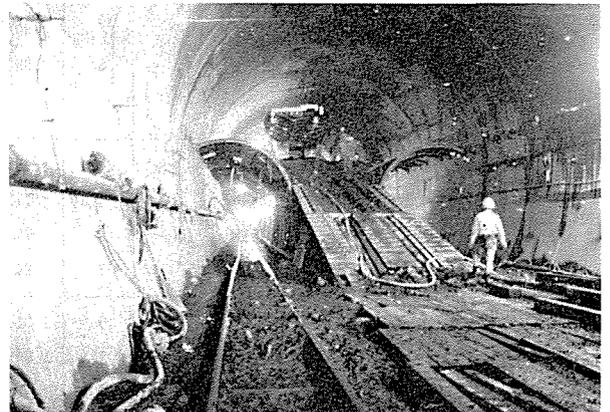


写真-3 ロードヘッダ搬入棧橋

§6. ロードヘッダの施工と実績

6-1 掘削作業

前述のとおりであるが、導入当初は不慣れのため1方1.2mの進行という状態が続き、順調な施工を実施できるまでに、約1ヶ月を要した。

電力消費量は総平均で、1m³当り4.7kW・hであった。運転集計を表-6に示す。

6-2 組立から試運転

ロードヘッダの組立は、本坑の開口部(機材搬入口)で行った。総重量42tで現場搬入最大重量は本体部の

6-3 ロードヘッダの主な故障と対策

ロードヘッダの運転により掘さくを行った際に発生し

た大きな故障および修理記録の一部分を表-7に示す。

表-7で示すとおり故障の大半は掘さく部にあることがわかる。このなかで振動が原因のものが一番多い。

当所の故障の対策を各部所ごとに述べる。

表-7 主要部修理記録

位置	故障内容	原因及び処置	処置時間	掘さく延長 ^m
ドラム	ドラム取付ボルト切断	歯付ボス摩耗、ドラム交換	3	767
	"	"	9.5	815
	"	(ドラムは予備を持っている) 歯付ボス摩耗・ドラム交換 (伸縮部を同時に交換)	30	1,894
	"	歯付ボス摩耗・ドラム交換	3	1,936
切削部	減速機第5軸折損	第5軸偏心によるもの 第5軸伸縮継手交換	32	72
	伸縮部亀裂発生	振動によるもの、伸縮部Assy交換	8	452
	"	溶接修正	7.5	602
	"	"	4.5	646
	伸縮部(前回溶接修正分)	Assy交換(旋回ベアリングと同時)		759
	ドラム軸摩耗	軸ベアリング交換	14	815
	シャープピンフランジ穴大きくなる	振動による、フランジ交換	4	837
	減速機亀裂発生	振動による、減速機交換 (メーカーより借入)	14	885
	減速機	強力型と交換 (今後の故障を防ぐ)	45	1,428
	伸縮シリンダ	ロッド長さ変更	10	1,622
	伸縮部伸縮しなくなる	保護筒ガイドレールの外れ 伸縮部Assy交換	10	1,904
	伸縮部外筒先端部外れ	摩耗による Assy交換	7	1,979
	シャープピンフランジ穴摩耗	交換	2.5	2,109
	シャープピン折損が多い	減速機第1軸ベアリング摩耗 ベアリング交換	39	2,145
	伸縮外筒油洩れ	振動、伸縮部交換	3.5	2,565
	伸縮部伸縮しない	ガイドブロックの外れ 伸縮部交換	18	2,709
ドラム取付ボルト折損	ドラム歯付ボスの摩耗、ドラム軸の折れ こみボルトを取り出せず、伸縮部交換	5.5	2,807	
伸縮部伸縮しない	ドラム軸のねじれ(過荷重) ドラム軸交換	18	3,010	
"	ドラム軸の曲り	16	3,118	
本体部	旋回ベアリング	摩耗、ベアリング交換 (トルクレンチ必要)	21.5	759
	旋回テーブルの掘削部支持用アーム折れ	振動による疲労、溶接修正 (後に強力型と交換)	10	1,218
	旋回ベアリング破損	ベアリング交換	20	2,040
	"	"	20 (休日利用)	2,507
	"	"	26	3,082
掻寄部	掻寄アーム	摩耗、交換	4	450
	掻寄スライドローラ	外部摩耗、交換	4.5	712
	流体継手	異物混入、交換	12	790
	ボールジョイント	摩耗、交換	3	941
走行部	減速機油洩れ	ズリ混入、シール交換	5	1,313
	リンク切断	過負荷、リンク交換	9.5	1,607
	上転輪	摩耗、交換	3	1,894
	フロントアイドラ、上転輪、下転輪	摩耗、修正、交換	75 (休止中)	2,345
	リンク切断多い	摩耗、リンクAssy交換	9.5 (休日利用)	2,794
第2コンベア	ブリーモータ空転	キー折損	6	646
	旋回台の曲り	衝突、交換	10	722

(1) 掘さく部

ドラム部は摩耗および衝撃のもっとも激しい部分である。ビットの交換はある程度のは切羽で行うが、ビット全体の摩耗が多くなった時、ピックホルダの摩耗が多くなった時およびドラムに摩耗が生じた時は、外部にて補修する必要がありドラムの予備を持った。ピックホルダの内側が摩耗すると、ビットの折損が多くなるので早目の交換が必要である。また歯付ボスの摩耗にも注意を要する。

地質は別記のとおりであり振動による掘さく部の故障が相ついで発生した。掘進450mの地点で伸縮筒に亀裂が発生し伸縮部の予備を持つことにした。この伸縮部の予備は、ドラム軸の摩耗、ねじれ、曲り、外筒、内筒等の故障のため大いに活躍した。

また800m位の地点で減速機に亀裂が発生し交換せざるを得なかった。

ドラムおよび伸縮部のトラブルは切羽でのパーツ交換よりも組立品で交換した方が、損失時間を少なくできる。

(2) 本体部

本体部のトラブルは旋回ベアリングに集中している。700mm位の地点で最初の摩耗が発生し、その後、旋回テーブルの折損があり旋回テーブルを掘さく減速機を強力型に交換した後は約500mごとに旋回ベアリングの破損があった。これは振動によるものと負荷重量が大きくなったものと判断して、ベアリングの補強策をメーカーに依頼したが現場で処置できるものではないので見送った。後にベアリング取付座に歪が発生していたことも一因とわかったが、損失日数の面では工場持出し修理を見送った方が得策であったと思われる。

(3) 掻寄部およびコンベア部

ずりを本体の後方に処理する機械ではあるが約1,000m地点で、ずりを前方で処理することに変更した、これは掻寄部、第一コンベアおよび第二コンベアの保守がなくなり損失時間に大いにメリットがあった。

掻寄部には流体継手を用いていて過負荷によるトラブルを防いでいるがこの流体継手の可溶栓が溶けてオイルを補充する際に異物の混入に充分注意する必要がある。

岩にある程度の水を含んでいる場合、切羽の粉塵は全く発生しなく良い作業環境であるが、切粉が第一コンベアのトラフに堆積しずり処理が困難になる。この状況はドラムにも同じことがあり(写真-4)掘さくおよびずり処理に労力を要する。

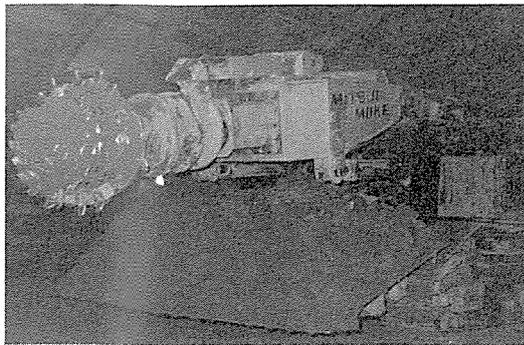


写真-4 ドラムに付着した岩粉

(4) 走行部

2,345m 地点で一時休止(約5ヶ月間)の時期があり、走行部の総点検をすることができた。フロントアイドラ、上転輪および下転輪はほとんど修正した。

2,500m 地点からはリンク切断が多くなり、2,794m 地点にてリンクの交換をした。湧水も少なく地盤は良い方であったのでこの位が限度ではなかったかと思われる。

(5) その他

振動によるトラブルがもっとも多く、油圧パイプの損傷、電気部品の損傷脱落、各ピンのベアリングの損傷等が多くみられ、不断の点検が重要なことは云うまでもない。

また湧水が少なく地盤も良い方であったため、これらによるトラブルが少なかったことは幸いだったと思う。

振動に悩んでいた時、掘さく用モータが回転数の少ない6p-60kWのものを試験的に採用したところ、振動とビットの折損が大きく減少し、本格的に採用することとした。

このモータは、ドラムの回転トルクを保ったままビットに与える衝撃力を少なくする目的であった。回転数が小さくなると掘さく能力は減少したがサイクル的には影響なく、保守面でメリットが大であった。

地理的に不便なところであったため、部品を現地に相当置いていたが、部品待ちの損失日数がかなりあった。

6-4 ビットの選定について

当工区の岩質は圧縮強度が100~250kgf/cm²(9.8~24.5MPa)程度のもので大部分で、一部に300kgf/cm²(29.4MPa)程度のものであった。当工区で使用した主なビットは図-7のとおりである。

当初はAのような、軟岩用のビットを使用した。折損やチップの割れが多く、ビット1ヶ当りの掘さく量は

10m³前後となることがあった。ビットメーカー3社の協力により、ビットの材質の強化を中心に、チップの張り付け長さ、チップの厚さ等の改良を行ったが、折損はなかなか減少しなかった。

ビットの長さを15mm短くしたEを使用したところ、折損は大きく減少することはできたが、ビットの下部が厚いため、掘さく効率は悪く、粉塵が多く発生するようになった。このビットの超硬肉盛部分の摩耗が特に激しかったのも厚さのためと思われる。

B, Cのビットは、やはりビット全長を125mmに抑え、チップ角度を5~10°にし、チップの厚みを10mmと厚くしたものであり、当工区の岩質にはもっとも適していたものと思われる。ビットの材質も改良されたものであった。

またDは、Bのチップ角度を、わずかに負側にし250~300kgf/cm²(24.5~29.4MPa)の岩に使用して、良い結果を得たものである。

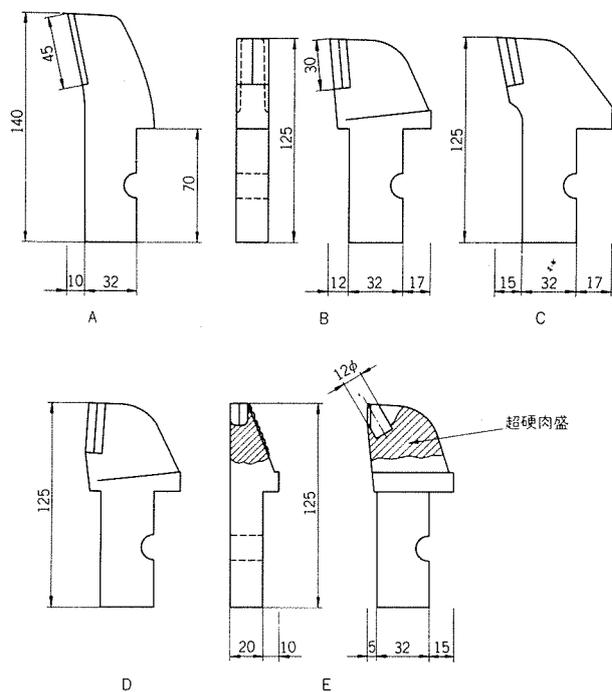


図-7 ビットの形状

ビットは、図-6の③~④の部分が摩耗、折損が早く、次いで②⑤⑥①の順で摩耗する。①の部分は、ほとんど摩耗しない。ピックホルダの取付る角度が、中心方向とずれると、ビットの偏摩耗を起し、ビットの後部が摩耗する。ピックホルダの内部摩耗が大きくなると、ビットの折損につながり、ピックホルダの適時な交換を要する。ホルダも岩の硬い方がやはり消耗は激しくなる。

また一時、1,000kgf/cm²(98MPa)程度の凝灰岩が玉石状と帯状にでた時は、ビットは瞬時に折れてしまい、シャーパーピンの消耗も多くなった。玉石状に潜在しているものは、玉石を見ることができないので、ビット、シャーパーピンの損耗は大であった。ビットの使用実績は表-8のとおりである。

表-8 ビット実績 (月別集計)

全ビット使用数	3,348 個
1 m ³ 当りビット使用数	0.0266 個/m ³
ビット1ヶ当り最大掘さく量	384.4 m ³ /ヶ
" 最小 "	16.9 m ³ /ヶ
" 平均 "	37.6 m ³ /ヶ

岩石の、一軸圧縮強度と時間当り純掘削量の関係は図-8に示したが、80kgf/cm²(7.8MPa)以下の実績がなかったため、X、Y軸を漸近線とする双曲線は得られなかった。

同様に圧縮強度とビット1ヶ当り掘削量の関係を調べ

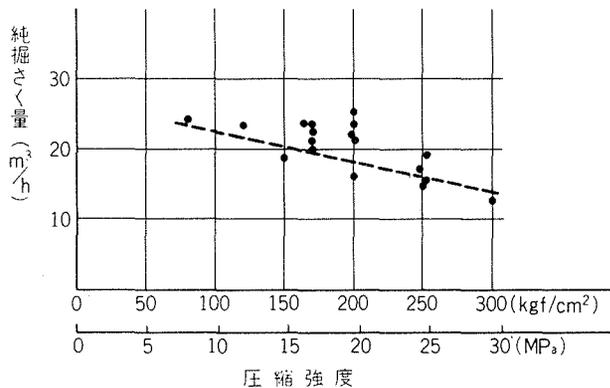


図-8 圧縮強度と純掘さく量の関係

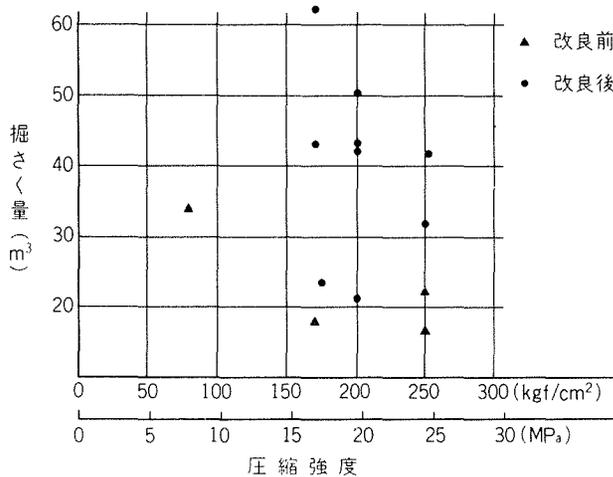


図-9 圧縮強度とビット1ヶ当り掘さく量の関係

て見た。改良前にはほぼ双曲線関係が認められるが、改良後の値は明瞭でない。ただ改良前に比べて、改良後にはほぼ3倍の値を示すこともある点、ビットと岩質の関係を究明することがいかに大切かを明瞭に物語っている。このことはロードヘッダに限らずすべての掘削機械についていえることで、さく岩機のビットから、ボーリングのビットまで、等閑にできない問題である点を強調したい。



写真-5 ドラムの軌跡 硬い部分を避けている

§7. あとがき

ロードヘッダによる掘さくは、当工区では地質の急激な変化も少なく比較的良好な結果を得ることができた。しかし現場修理費が相当嵩んでしまったことはいえない。

次にロードヘッダ掘さくの特長と問題点を列記する。

特長

- ① 掘さくと積込の同時作業ができるので、運搬設備の組合せて掘進速度をのばすことができる。
- ② 切羽では支保工建込作業が主になり、人員を少なくすることができる。
- ③ 地山をゆるめることが少ない。
- ④ 発破工法に比較してはるかに安全である。
- ⑤ 切羽の騒音と空気汚染が少ない。
- ⑥ 余掘を少なくできる。
- ⑦ 動力設備(コンプレッサ)が不要又は小さくできる。

問題点

- ① 湧水による地盤の悪いところは不向。
- ② 岩の圧縮強度(当工区の場合)が250kgf/cm²以上になると振動による修理費が嵩む。
- ③ トンネル延長のなかで岩質が均等でない場合は、他の工法との併用を考えなければならない。
- ④ 適度な水分を含まない岩質の時は、粉塵の発生が多くなり集・除塵装置を必要とする。

機械掘さくは安全性、切羽環境、省力化等に利点があり関連設備等の研究を進め、機種改良を推進しなご一層の成果が期待できるものと思う。

本工事に際していろいろと指導、協力を賜り下さいました方々に紙上より感謝の意を申し添えます。

シュミット・ロックハンマーの紹介

ダム、発電所、トンネルなど土木構造物の設計・施工には、岩盤の特性、特に変形係数、一軸圧縮強度、岩盤等級が必要となってきます。通常、これらの試験は、調査ボーリング、コア採取により試験をおこなってきましましたが、時間がかかり費用もかさむために、二の足を踏むことが多々ありました。

このため、手軽にしかも信頼性のある試験方法をさがしていましたところ、シュミットロックハンマがこの条件にあうことがわかりましたので、皆様に御紹介いたします。

シュミットロックハンマは、岩盤の硬さを反発度で表現するもので、反発度と変形係数および静弾性係数との対応をおこなっておけば、反発度から変形係数および静弾性係数を推定することができ、設計に用いた物性値を建設時に迅速に把握することができます。

試験方法は簡単で、シュミットロックハンマを岩盤に直角にあて、静かに力を入れて押しつけるとハンマの衝撃作用が起り、同時に反発度(R)が自動的に記録されます。

この反発度を、各関係図表に照合することにより変形係数、静弾性係数および一軸圧縮強度を知ることができます。

【問い合わせ先】土木設計部設計課

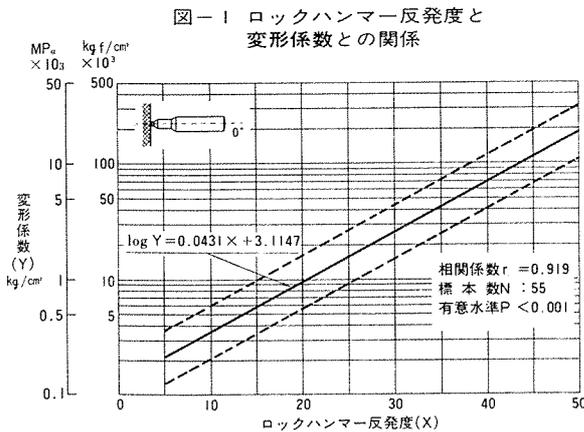
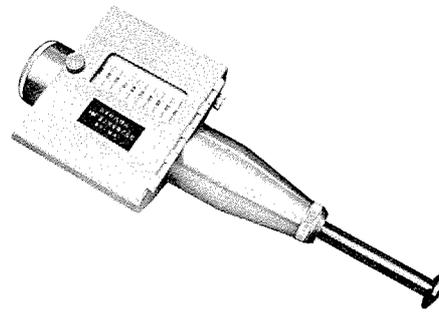
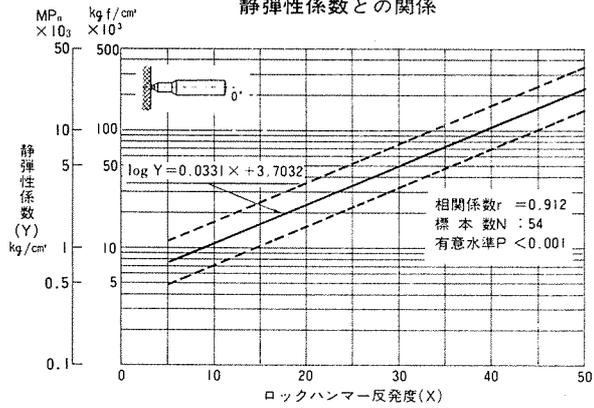


図-2 ロックハンマー反発度と静弾性係数との関係



シュミット・ロックハンマー

図-3 岩石テストピースにおける乾燥一軸圧縮強度と静弾性係数との関係

