

武田尾トンネルにおけるスムーズブラッシングとロードホールダンプの使用について

伊藤 利三* 赤間 武宏**

要 約

福知山線、武田尾トンネルにおいて実施した、いわゆる硬岩NATMについての報告である。

余掘り、余巻き減少と、NATMの基本理念の一つである平滑な壁面を作るためのスムーズブラッシングを実施した。

当社のトンネルでは、初めてのロードホールダンプを使用し、好結果を得た。

また、NATMでは欠かせない吹付作業の合理化に取組み、吹付ロボットを製作し、改良を重ねた結果、満足すべき成績を得ることができた。

これらの経過、結果等について報告するものである。

目 次

- § 1. 概要
- § 2. スムーズブラッシングについて
- § 3. ロードホールダンプの使用実績
- § 4. 吹付ロボット
- § 5. 結語

して3ブーム油圧さく岩機、吹付けロボット（自社製）及びずりの積込・運搬用のロードホールダンプ（以下、見出し以外はL. H. D. と略称する）であり、後2者は当社としては、初めての採用である。

発破法としてスムーズブラッシング（以下見出し以外はS. B. と略称）を行った。

§ 1. 概要

本工事は福知山線電化工事の一環として、日本国有鉄道、大阪工務局の発注による、武田尾～道場間を結ぶ、延長1,230m（第1T：525m、第2T：705m）の工事である。工期は昭和54年4月～56年9月である。

岩質は主として塊状均質な流紋岩質溶結凝灰岩からなり、弾性波速度は表-1、供試体の一軸圧縮強度は1,200～2,500kgf/cm²（120～250MPa）の硬岩である。

工法は道場側坑口部分を除き、ショートベンチ方式のNATMである。

使用機械類は、発破及びロックボルト孔のせん孔機と

§ 2. スムーズブラッシングについて

2-1 NATMにおけるスムーズブラッシングの意義

NATMの基本理念からいって、掘削壁面を平滑に仕上げるのは当然である。一方、中硬岩のNATMでは鋼製支保工を使用しないのが普通なので、掘削に際しての定規がなく、余掘り（当然余巻き）が多くなり易い。特に、余巻き問題はNATMのコンクリート巻厚が、在来工法より薄いのが普通なのと、単価の高い富配合のコンクリートを吹付けるため、経済上極めて大きな問題である。さらに壁面の凹凸はリバウンド率の増加に直結するので、経済的損失を倍加させることになる。

表-1 第2武田尾トンネル岩質区分(705m)

区 間 (m)	0～60	～155	～190	～470	～500	～610	～705
弾性波速度 (v_p)	1.8～2.0km/s	3.8～4.0	2.8	4.1～4.3	2.8	4.1～4.3	2.0～2.2
区 分	岩 I	岩 III	岩 I	岩 III	岩 I	岩 III	岩 I

*関西(支)宝塚(出)所長
**関西(支)宝塚(出)係長

これらの諸問題を解決する方法として、制御発破工法といわれるS. B. が採り上げられることになる。一般

的な呼び名としては、その装薬方法から、クッションブラスタチングともいわれている。

2-2 スムーズブラスタチングの考え方

岩盤を完全に破壊してしまうことを目的とする場合には、強大な発破を行なって破壊を完全にすることが望ましいが、トンネル等では壁面の岩盤に影響が及ばないような発破を行ない、目的とした部分だけが破壊されれば良いわけである。このため、一番外側の破断線に沿って接近した孔を多数並べてせん孔し、これに装薬をしないラインドリリング法や、これに孔径よりずっと細い爆薬を線状に装薬して他孔より先に爆破させるプレスプリッチング法や、本論で述べるように装薬はこれと同じだが、最後に爆破させるクッションブラスタチング法がある。

通常発破と S. B. との比較を行なって見る。通常発破では爆薬はできるだけ密装填を行なうが、図-1の右側のように爆薬の爆発衝撃によって、その周囲にランダムな無数の亀裂をもつ破碎圏が生じ、その外側に静的エネルギーであるガス圧による弾性圏という亀裂ゾーンを生じる。破碎圏が大きいほど、発破による岩盤の損傷は大きくなる。一方、S. B. では、破碎圏の最外周径に相当するφ_bの径でせん孔し、小口径の爆薬を密装填せず、使用し孔内の空洞のクッション作用を利用して破碎圏をなくし、弾性圏から破壊をスタートさせる。静的エネルギーを主として利用するので、亀裂も少なくなるわけである。

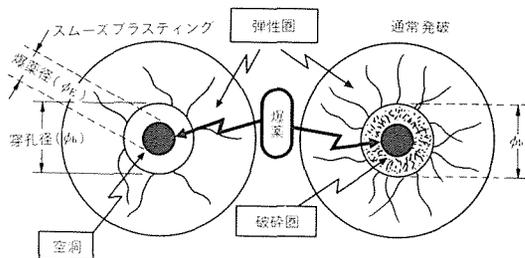


図-1 岩盤の破壊機構

このように、S. B. は爆薬径φ_Eに対するせん孔径φの比をデカップリングインデックス(Decoupling Index……DIと略す)と呼び、爆破により発破孔周囲にできる破碎圏の外周に生じる岩盤応力σ_bと発破孔壁面上の空洞側に生じる圧力φ_mとが等しくなるような状態のせん孔径に対応するDIをクリチカルデカップリングD_cという。S. B. を成功させるための一般的指標として、

$$DI > D_c \dots\dots\dots(1)$$

がある。したがって、この条件に適合するようなφ_bとφ_Eの組合せを選択する必要がある。

今、岩盤内に破碎圏を生じさせない爆発による圧力φ_m

の限界値を

$$\phi_m = \sigma_b = S_c \dots\dots\dots(2)$$

(S_cは岩盤の圧縮強度)と考えると、爆薬の爆ごう圧力をφ_d、爆発生成ガスの定圧比熱と定容比熱の比をr(通常は1.2として、

$$\phi_m = \phi_d \cdot DI^{-3r} \dots\dots\dots(3)$$

で表わされ、先の定義より

$$DI = \phi_b / \phi_E \dots\dots\dots(4)$$

であるから、これら(3)式より、

$$\phi_b = \left\{ \frac{\phi_d \cdot \phi_E^{3r}}{S_c} \right\}^{\frac{1}{3r}} \dots\dots\dots(5)$$

が得られる。例として、S_c = 2 × 10³ kgf/cm², φ_d = 7 × 10⁴ kgf/cm², φ_E = 20mmとしてφ_bを求めると54mmとなり、DIの値は2.7となる。

S. B. 孔の適正装薬量は爆発生成ガスの圧力φ_sを、σ_tを岩盤の引張強度としたときに

$$S_c \geq \phi_s > \sigma_t \dots\dots\dots(6)$$

の条件に合うように決定すれば良い。

Abelの状態方程式

$$p = f\rho / (1 - \alpha \cdot \rho) \dots\dots\dots(7)$$

ここにp:発生圧力(kgf/cm²)

f:火薬力(kgf・l/cm²・kg)

α:コボリウム(装填密度の函数で表わした係数でl)

ρ:装填密度(kg/l)

で表わされる。この式のpの代りにφ_sを用い、ρを、爆薬量W(kg)と装薬室容積V(l)で表わして整理すると、

$$\rho = W / V \dots\dots\dots(8)$$

$$W = \phi_s \cdot V / (\phi_s \cdot \alpha + f) \dots\dots\dots(9)$$

より装薬量が求められる。

一例として、S_c = 1500kgf/cm²

$$\sigma_t = 150 \text{ kgf/cm}^2$$

としてφ_sの目標値を1000kgf/cm²と想定し、

$$\alpha = 0.56 \text{ l}$$

$$f = 8000 \text{ kg} \cdot \text{l/cm}^2 \cdot \text{kg}$$

$$V = 3 \text{ l}$$

として装薬量を求めると、0.35kgが得られる。S Bの薬室空間容積を3 lになるようにして、350 gの装薬をすれば、爆発ガスの作用圧力は1000kgf/cm²として働くことになる。

S. B. 孔の間隔Eと最小抵抗線Vの関係は、

$$E \leq 0.8V \dots\dots\dots(10)$$

で表わされる。

S. B. 孔の平行性と、孔長の一定化が、普通発破よりも強く要求される。

S Bストップ (塞栓) は p_s がS. B. の効果に大きな影響を及ぼすことから、任意の位置にタンピングを行ない、装薬量の加減と関係なしに p_s を任意に調節するためのものである。

S BリングはDIが大きくなると装薬時に薬包が孔内で重なり合うのを防止することと、チャンネル効果を防ぐためのものである。せん孔径と薬包の間に隙間がある場合には、図-2のように、爆発の際の衝撃波が爆ごう速度より先行して孔壁面で反射をくり返し、ある点で非常に高い圧力の集中を生じ、この強圧によって爆薬が圧縮され、高比重となって爆ごう中絶を起すことを、チャンネル効果という。リングによって衝撃波を乱反射させて圧力の集中を防ぐのである。

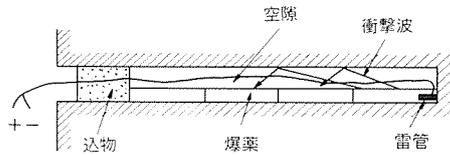


図-2 チャンネル効果説明図

2-3 スムーズブラステングの実施経過

(1) 使用機械、爆薬等

せん孔は3ブーム油圧さく岩機で実施した。大口径の多孔せん孔、精度及び速度の向上に効果があった(写真-1)。

孔径45mmφ(標準ビットゲージ)でせん孔し、22

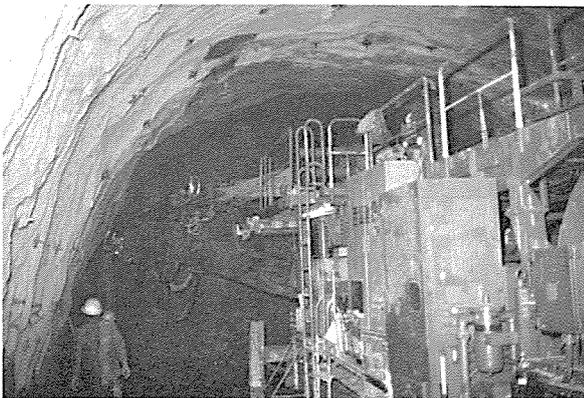


写真-1 削孔状況

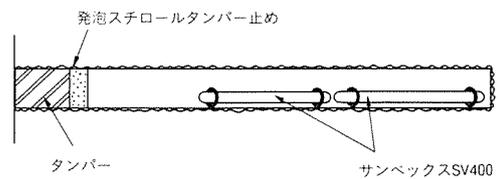
mmφの含水爆薬(サンベックス400 S-150g)を使用したので、DIは2を僅かに越える程度となった。後に20mmφ×200gも用いた。他孔には32mmφ×200gの含水爆薬を使用した。

雷管はDS6~7段を使用した。瞬発を用いるプレスプリッチングは未実施である。

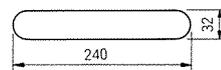
S. B. の結果は写真-2のように、のみ跡が半円形に残れば成功といわれている。



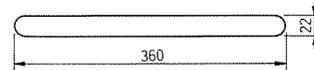
写真-2 スムーズブラステングの結果



サンベックス200 32mmφ×200g



サンベックス400 22mmφ×150g



サンベックス400 20mmφ×200g



図-3 スムーズブラステイング標準装薬図

(2) 実施経過

表-2に試験発破の経過を、図-4、表-3に、1.5m目標の発破パターン及び使用状況を、図-5、表-4に2m目標のものを、そして、図-6、表-5には2.5m目標のものを夫々示してある。表-6及び7には爆薬使用状況を示した。表-8には孔間隔の実測値と、S B孔の装薬量をのせた。ま

表-2 スムーズブラスティング試験発破経過一覽表

テスト No.	1	2	3	4
テスト発破地点 (≒m)	坑口より 約90~100m	坑口より 100~110m	坑口より 260~290m	坑口より 540~560m
岩種	岩 II	岩 II	岩 III	岩 III
目標進行	1.5m	2.0m	2.5m	2.5m
実施期間	1/19	1/21~1/28	3/30~4/5	6/9~6/12
SV-400 1孔当り 薬量(kg/本)	0.3kg/2本	0.45kg/3本	0.75kg/5本 *	0.60kg/3本 **
SV-400サイズ (直径×重量)	22mmφ×150g	22mmφ×150g	22mmφ×150g	20mmφ×200g
岩盤作用圧力 (kg/cm ²)	≒2500kg/cm ²	≒2500kg/cm ²	≒2500kg/cm ²	≒1900kg/cm ²
S B効果上の 問題点	特になし良好。	めがね現象発生 の傾向あり。	めがね現象発生。 ノミ跡なし。	めがねの傾向有。 ノミ跡有り。
対策事項	—	—	*薬量を4本にして 80cmの竹棒を使用 してタンピング長 を85cmから30cmに 短かくした。	**装薬空間を延ば すため、塞栓を開 発使用して、タン ピング長を80cmか ら30cmに短縮した。
対策の結果 (S B効果)	—	—	めがね現象がなくな り、ノミ跡が孔数の 60%位、見られる様 になった。 作用圧力≒1500kg/cm ²	めがねがなくなり、 孔尻迄きれいなノミ 跡が見られるように なった。 作用圧力≒1400円/cm ²

(掘進目標=1.5m)

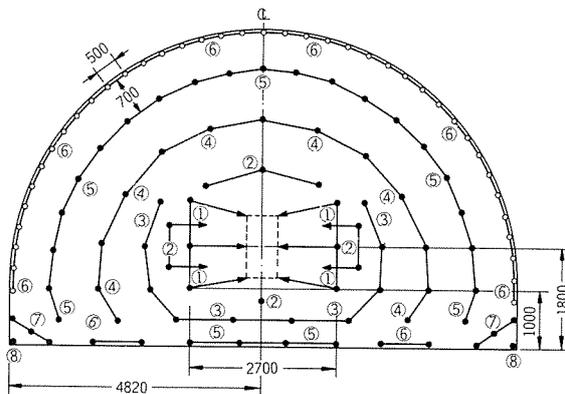


図-4 発破パターン(A)

(掘進目標=2.0m)

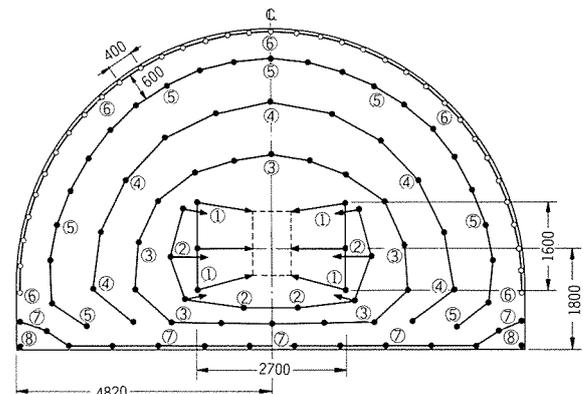


図-5 発破パターン(B)

表-3 爆薬使用状況

雷管段別 (孔数)	1	2	3	4	5	6	7	8	合計
	6	8	10	13	25	45	6	2	115
爆薬使用量	S V-200 (32mmφ×200g)		210本×0.2=42kg						
	S V-400 (22mmφ×150g)		80本×0.15=12kg						
m ² 当り薬量 (kg/m ²)	S ≒46m ²		$\frac{42+12\text{kg}}{1.5\text{m} \times 46\text{m}^2} \approx 0.78\text{kg/m}^2$						

表-4 爆薬使用状況

雷管段別 (孔数)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	合計
	6	8	10	5	13	20	33	12	2	109
爆薬使用量	S V-200 (32mmφ×200g)		376本×0.2 = 75.2kg							
	S V-400 (22mmφ×150g)		140本×0.15 = 21.0kg							
m ² 当り薬量 (kg/m ²)	S ≒46m ²		$\frac{75.2+21.0\text{kg}}{2.5\text{m} \times 46\text{m}^2} \approx 0.84\text{kg/m}^2$							

(掘進目標=2.5m)

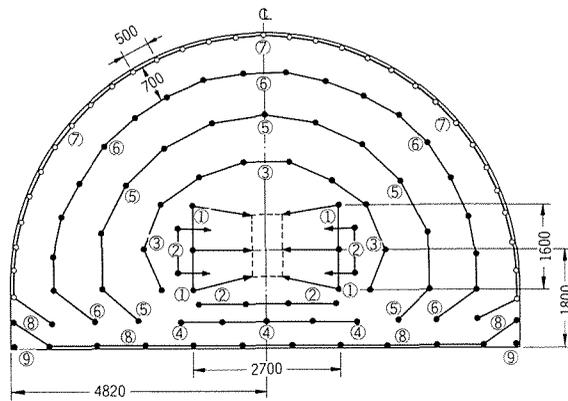


図-6 発破パターン(C)

表-5 爆薬使用状況

雷管段別	1	2	3	4	5	6	7	8	合計
(孔数)	6	8	16	13	23	35	14	2	117
爆薬使用量	S V-200 (32mmφ×200g)		271本×0.2 = 54.2kg						
	S V-400 (22mmφ×150g)		124本×0.15 = 18.6kg						
m ² 当り薬量 (kg/m ²)	S ≒ 46m ²		$\frac{54.2+18.6\text{kg}}{2\text{m} \times 46\text{m}^2} \approx 0.79\text{kg/m}^2$						

表-6 テスト発破爆薬使用状況(1/19~1/28)

雷管段別	1/19発破 (1.5m掘進)	1/21 (2m)	1/22 (2m)	1/24 (2m)	1/25 (2m)	1/26 (2m)	1/28 (2m)	Range	平均値
1	7	6	7	6	7	5	6	5~7	6.2
2	7	5	7	6	4	4	6	4~7	5.3
3	10	10	15	11	9	13	10	10~15	11.3
4	10	11	13	13	13	15	13	11~15	13.0
5	28	16	26	23	23	24	23	16~26	22.5
6	45	41	37	41	45	42	41	37~45	41.2
7	6	12	12	9	12	6	10	6~12	10.1
8	2	2	2	2	2	2	2	2	2
合計(本)	115	103	119	111	115	111	111	103~119	111.7
S V-200 (32φ×200g)	210本 (42kg)	206 (41.2)	271 (54.2)	261 (52.2)	269 (53.8)	218 (43.6)	220 (44.0)	206~271 (41.2~54.2)	240.8
S V-400 (22φ×150g)	80本 (12kg)	124 (18.6)	124 (18.6)	127 (19.05)	157 (23.55)	126 (18.9)	123 (18.45)	123~157 (18.45~23.55)	130.1
m ² 当り薬量 (kg/m ²)	0.78	0.65	0.79	0.77	1.84	0.70	0.68	0.65~0.84	0.74
S B孔以外の1孔 当り装薬本数	3.0	3.3	3.3	3.7	3.8	3.2	3.1	3.1~3.8	3.4

表-7 テスト発破爆薬使用状況(3/27~4/3)

(掘進目標=2.5m)

月日 段別	3/26	3/27		3/28		3/29		3/31		4/1		4/2		4/3		平均値
		AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	
DS-1段	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	—	—	—	—	—	6
2	6	7	7	10	10	10	8	10	8	7	6	6	6	6	—	7.6
3	9	12	10	12	10	11	10	10	10	9	9	8	10	9	—	9.9
4	0	—	0	5	9	5	6	6	5	10	9	9	12	8	—	6.4
5	15	14	15	15	17	13	12	14	9	8	5	9	5	12	—	11.6
6	23	20	25	20	24	18	22	24	20	23	9	15	10	11	—	18.9
7	32	29	32	30	33	30	31	31	30	29	10	22	19	20	—	25.5
8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	30	32	30	33	—	13.2
9	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	6	6	6	5	—	3.1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	8	2	1	—	0.9
合計	99	96	103	106	117	101	103	109	96	100	95	109	100	105	—	102.8
SV-200	317本	325	371	384	429	385	375	399	369	369	371	393	412	372	—	376.5
SV-400S	132	127	147	150	166	148	148	152	149	118	123	130	124	153	—	140.5
合計	83.2kg	84.05	96.2	99.3	110.7	99.2	97.2	102.6	96.15	91.5	92.65	98.1	101	97.35	—	96.37
m ² 当り 装薬量	0.72kg/m ²	0.73	0.84	0.86	0.96	0.86	0.85	0.89	0.84	0.80	0.81	0.85	0.88	0.85	—	0.84

表-8 スムーズブラスティング試験発破(テストNo.1, テストNo.2)における, 孔当り実測値とSB孔1孔当りの装薬量(本数)

発破日時	S B孔間隔 (E)		S B孔抵抗線 (V)		SB1孔当り装薬量 (本)	孔間隔 (払、その他)
	左側	右側	左側	右側		
1/19	35~40cm	30~50cm	70cm	50cm	平均1.95本	70~100cm
1/21	30~40	35~40	60	60	3.0	70~90
1/22	35~50	30~40	40~50	55~60	3.4	70~90
1/24	20~40	30~40	70	50~70	3.1	80~90
1/25	30	30~40	50	70	3.5	70~110
1/26	30~50	40	60	70	3.2	90~100
1/28	30~40	30	60	60	3.0	70~90

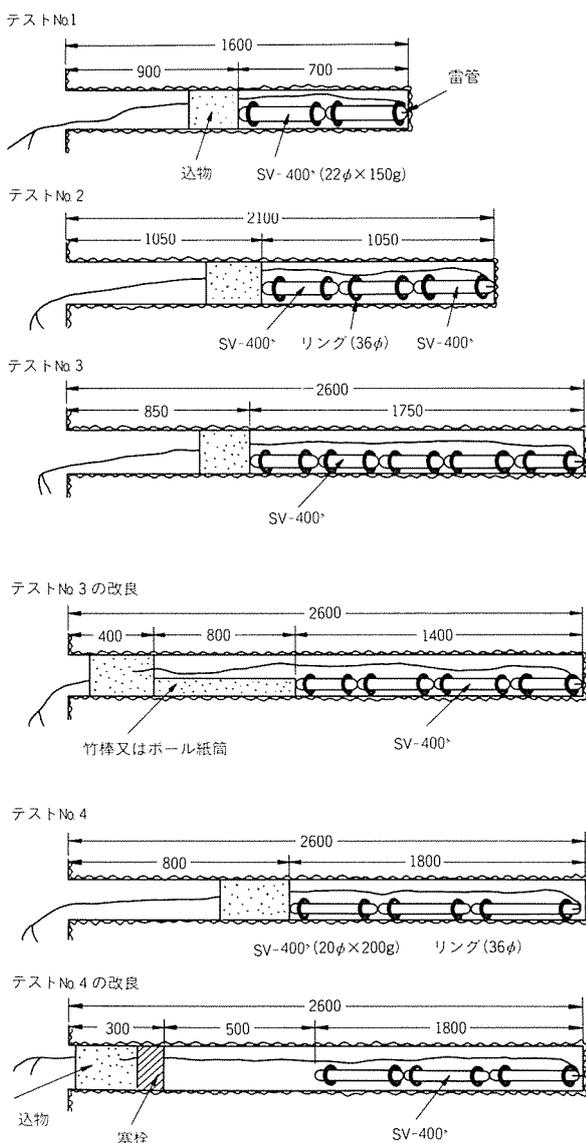


図-7 テスト別装薬断面図

た、図-7には装薬テストの概念の変遷を示してあり、試行錯誤の過程を見ることができよう。

2-4 スムーズブラスティングの考察

何とか滑らかで余掘りの少ない壁面に仕上げようと、

種々の角度から検討を加え、実施してきたが、まだまだ不十分であると自己反省を繰り返しているため、今後解決すべき問題点について二三の考察を加えてみたい。

(1) S. B. 孔の間隔について

岩質によって異なってくるのは当然であるが、普通発破に比べて孔数が増加するのは止むを得ない。できるだけ間隔をあけて、孔数の減少を図るのが今後の問題点である。

油圧さく岩機でせん孔するからといっても孔数が多ければ当然サイクルタイムにも影響を齎らすので、滑らかな壁面が作れて、孔数の少ないのが第2段階の課題となる。

当初、30~40cmであったものを、60cm前後にまで拡げることができたが、全周で1本でも2本でも節約できないかと努力中である。

せん孔前に切羽にマーキングを行なっているが、岩質、節理等を勘案して、より適切な孔間隔を見つきたいと考えている。

(2) S. B. 孔の抵抗線について

孔間隔と抵抗線とは極めて密接な関係があるのは既述の式(10)の通りであるが、全体の孔数を減すべく努力中である。このためにSB孔の前段の払いを確実にそしてきれいにしておくことが必要なので、これらの孔に対してもマーキングを施した方が好結果が得られる。

(3) 避けられない余掘りについて

発破毎の壁面をいかにきれいに仕上げてても、壁面をトンネル進行軸と完全に平行にすることは不可能である。

それは、さく岩機自体の厚みに起因するもので、トンネル軸に対して鋸歯状になってしまう。発破長が長くなればなるほど、切込みが深くなるものである。

§ 3. ロードホールダンプの使用実績

3-1 導入経過

ロードホールダンプは積込 (Load)、運搬 (Haul) 及びずりあけ (Dump) の万能機として、アメリカで開発された機械で、国内でも鉱山の開発や地下発電所工事等で、急速掘削用として使用されている (以下LHDと略称する)。

当トンネルの坑口付近は崖錐で、斜めに入る関係上、大断面口付ができず、側壁導坑方式を採用せざるを得なかった。掘削断面は 20.8m²で62mも施工する必要があり、在来のショベル・ダンプ方式では工期、能率の面で問題があった。また、この部分だけをレール工法にすれば、仮設費、運搬費が高くなり、工期面でも問題が出てくるのが予想され、購入費は高いが、全体経費面で有利になるLHD工法を選択した (表-9、図-8)。

表-9 LHD工法と在来工法の経費比較 (側壁導坑1,5月、ベンチ上半4月として計算)

	LHD工法			在来工法		
	側壁導坑	ショートベンチ上半	計	側壁導坑	ショートベンチ上半	計
機械費	0.1158	0.3089	0.4247	0.0781	0.4007	0.4788
労務費	0.0361	0.1282	0.1643	0.0840	0.0801	0.1641
部品費他	0.0093	0.1803	0.1896	0.0235	0.2162	0.2397
仮設費	0	0	0	0.0401	0	0.0401
運搬費	0.0437	0	0.0437	0.0539	0.0233	0.0772
合計	0.2049	0.6175	0.8224	0.2796	0.7204	1.0000

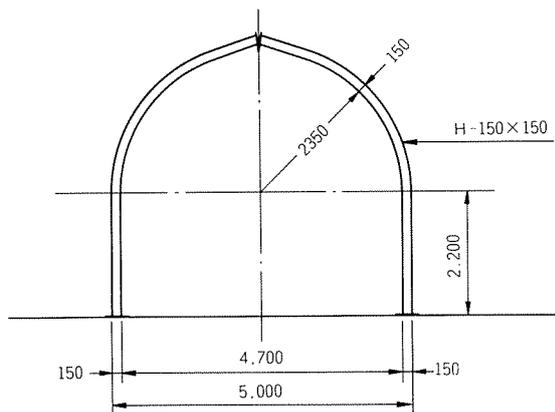


図-8 側壁導坑断面

3-2 LHDの特徴

バケット容量が3.8m³と大きい割に機体寸法がコンパクトに設計されている (図-9 及び表-10)。

前後輪独立制動機構を採用し、アキュムレータを装備してエンジン停止後も5~6回制動可能なので、安全性が高い。

排気処理はウォータスクラバを装備しているので、馬力当り排気ガス量が少ない。

ずりの運搬だけでなく、資機材の搬入にも使用できる。

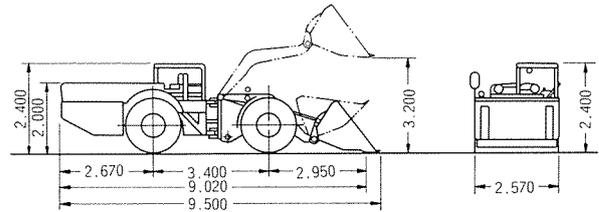


図-9 ロードホールダンプ

表-10 ロードホールダンプの主要諸元

主要項目		915L.H.D.
バケット容量 (山積)	(m ³)	3.8
搬送能力	(kg)	8,182
バケット刃先掘越し力	(kg)	14,090
搬送速度 (定格荷重積載にて)	(km/h)	20.8
最小回転半径	(mm)	2,845
車体重量	(kg)	20,300
エンジン出力	(ps/rpm)	176/2,300
タイヤサイズ		18.00-25-24PR
登坂角度 (最大)	(度)	18°

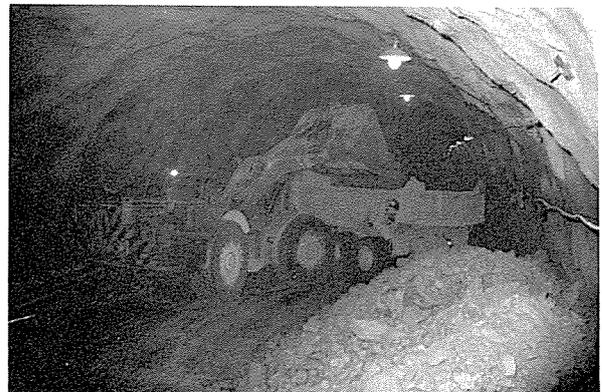


写真-3 稼動中のロードホールダンプ

3-3 施工実績

(1) 側壁導坑

昭和54年10月31日坑口取付工をはじめ、11月10日より本格的にLHDでの掘削を開始した。10m掘削後、崖錐から角れき凝灰岩となり、湧水はほとんどなかった。150Hの鋼製支保工を1mピッチで建込んだ。せん孔は2ブームクローラドリルで、2回/日をこなし、延長62m (切上げ12mを含む) を40日で施工した。表-11に代表的なサイクルタイムを、表-12にはずり出しのサイクルタイムをのせた。

(2) 上半

引続きNATM基地の掘削を行い、NATMによる上半掘削を開始した。NATMは不慣れもあって月進は61mとかんばしくなく、100m掘削後、断層帯に遭遇した。断層帯は粘性土で湧水もあり、ロッ

表-11 サイクルタイム(12月15日坑口より58m)

工種	時間(分)	備考
削孔準備	15	
削孔	108	80孔×1/2ブーム=40孔/ブーム 40×(1.1m÷0.55m/min)=80分 セット40孔×0.7min=28分
装薬	25	
退避(トンネルエース)	20	
発破	10	
換気	15	
ずり出し	95	ロードホールダンプ
こそく	15	
支保工建込	120	ロードホールダンプ
休憩	60	
計	483	

表-12 LHD915によるずり出しサイクルタイム

回数	入車	積込み	出車	ダンプ	計	備考
1	42秒	21秒	43秒	14秒	120秒	
2	41	33	43	13	130	
3	45	33	44	13	135	
4	44	29	45	14	132	
5	46	328	45	14	433	
6	43	80	45	15	183	
7	44	30	46	13	133	
8	45	24	47	13	129	
9	45	35	47	14	141	
10	44	21	47	13	125	
11	43	20	50	12	125	
12	45	20	50	13	128	
13	43	54	50	13	160	
14	43	29	51	13	136	
15	45	30	46	12	133	
16	45	24	49	14	132	
17	45	36	45	14	140	
18	45	66	45	14	170	
19	44	33	45	14	136	
20	43	77	46	13	179	
21	43	35	45	12	135	
22	44	81	46	12	183	
23	44	153	47	13	257	
24	45	92	47	12	196	
25	43	111	46	12	212	
26						
計	1,099	1,495秒	1,160秒	329	4,083	
1回平均	43.99秒	59.8	46.4	13.16	163.32	
平均速度	4.75km/h		4.5km/h			

1回のバケット積込量(平均) $20.8\text{m}^2 \times 1\text{m} \times 180\% \times \frac{1}{25\text{回}} \approx 1.5\text{m}^3/\text{バケット}$

クボルトは自せん孔式のものを用い、鋼製支保工を1mピッチで建込み、吹付厚15cmで21mを突破するのに約30日を要した。その後は山も良くなり、前述の長孔スムーズプラスチングの成功もあって、2〜/日をこなし、延長521mを4ヶ月で施工した。表-13にサイクルタイムをのせた。

(3) LHDの故障について

総運転時間2,229hの間に12回の故障を起こしただけであった。専任の運転者をつけたことによって、点検整備も良くてきたことによる。故障及び、定期点検等の実績を表-14に示す。

表-13 サイクルタイム(5月16日坑口より444.5m)

工種	時間	備考
削孔準備	10分	
削孔	140	
装薬	40(120)	
退避(油圧ジャンボ)	10	
発破	5	
換気	15	
ずり出し	120	ロードホールダンプ
吹付準備	30(70)	ロードホールダンプ
吹付	90	
ロックボルト準備	20	
ロックボルト削孔	60	
休憩その他	60	
計	600	

表-14 LHD915^H修理実績

年月日	アワーメータ	故障及び修理	油脂交換	備考
S54.11.29	52h	バックミラー及びアンダーミラー取付		
12.3	62h			タイヤプロテクタ(4本)
12.13	79h	油圧オイル オイルモレ増締め修理		
12.26	139h		オイルエレメント交換 エンジンオイル36ℓ	150h定期点検
S55.1.11	157h	配線関係断線 オイルクーラー(ゼネレータ)交換		
1.22	215h	右後輪ブレーキ油モレ フットペダル接触応急修理		
1.27	240h	全止デスクブレーキ修理 ランプ、バックミラー交換	油圧オイル80ℓ	
2.4	284h	エンジン始動不良 セルモーター脱着修理		
2.25	441h		エンジンオイル36ℓ	
3.16	636h	エンジンオイルモレ修理 セクタスイッチAssy交換	オイル(エンジン、トランス) 371ℓ ギヤオイル 40ℓ	エンジン始動不良時々おこる 500h定期点検実施
4.8	897h	デスクブレーキパッド取付ピン交換		
4.9	910h	エンジンオイルモレ 各部ボルト増締め		
4.20	1,046h		エンジンオイル36ℓ	1,000h定期点検
5.1	1,189h	ダンプシリンダ用配管油モレ 応急修理をする		
5.18	1,370h	エンジンオイル交換 作動油補給	108ℓ	
6.5	1,588h	ステアリングコラム故障		
6.9	1,632h	ホイストシリンダ用油圧 ホース交換		
6.18	1,741h	エンジン調整 ノズルホルダAssy交換	30ℓ	
8.1	2,229h	武田尾トンネル掘削完了		ℓ=705m

3-4 考察

(1) 作業性、機動性について

上半掘削では単独作業のため、坑内仮置き及びダンプトラック積込等のロスタイムが少なかった。走行スピードがあること、吹付材料の運搬にも利用でき、作業性、機動性共に申し分のない機械である。

(2) 仮設備

側壁導坑掘削時には62m間を直接坑外へずりを搬出したので、仮設備は一切不要であった。なお坑内170mまでは、坑内に仮置きせず導坑と同じ方式をとったが、作業サイクルへの支障はほとんどなかった。

(3) バケット形状

エジェクタバケットとしたので、11t ダンプトラックへの積込ができたが、山積バケット容量は50～70%に低下した。

(4) 排気

昼間作業が多くなったので、坑内の換気は余り良くなかった。若干酸素不足になると煤煙が発生するので、換気能力の増加を心掛ける必要がある。

(5) 安全性

専任の運転員を配置したので、安全確保は充分に図られた。導坑部は加背が狭いので、通過時には人の通行を禁止した。

(6) タイヤ

最初からタイヤチェーン（プロテクタ）を4輪とも装備した。タイヤ関係のトラブルは全くなかった。2000h稼働時のタイヤチェーンの残存寿命は約43%であった。返納の際のタイヤパレットの測定結果は表-15の通りであった。タイヤの磨耗は岩石の強度、破碎形状等に左右されるので、一概にはいえないが、今後のデータの集積が望まれる。

表-15 2229h作業後のタイヤパレットの深サ測定の結果

名称		寸法	
メーカー		USAユニロイヤル	
サイズ		18.00-25-24PR	
寸法	新品	52mm	
	前輪	右 5mm	左 10mm
	後輪	20mm	20mm

§ 4. 吹付ロボット

写真-4のような吹付ロボットを作り、吹付時間の短縮、リバウンド率の減少を図っている。

ノズルの運動方式等に改良を重ね、現在の第1トンネルでは新しい改良型を使用している。

特徴を列記すると：

- (1) 運転操作員がノズルから離れているので、落石等があっても全く安全である。
- (2) 吹付機械をトンネル中心にセットするので、ノズルと坑壁との間隔を一定に保つことができ、リバウンド防止に役立つ。
- (3) ノズル回転速度の高速化を図ることによって、今後大量吹付が可能となる。現在は180度/分である。等が挙げられ、他社で使用しているロボットよりも施工性が良いのが特筆される。

最近ではリバウンド率を10数%に低下させるのに成功

している。

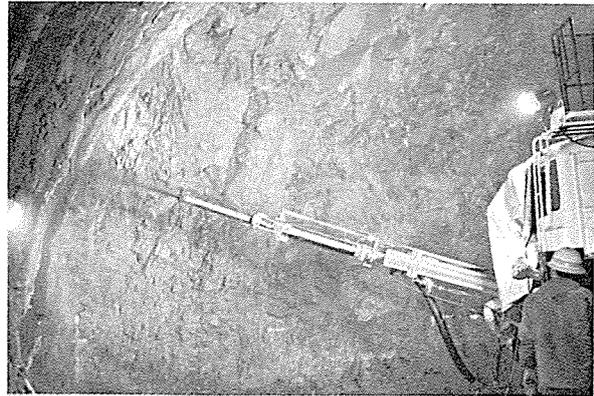


写真-4 吹付ロボット

§ 5. 結語

スムーズプラスチングの成功、大型ロードホールダンプの採用、吹付ロボットの導入等によって、福知山線、第2、第1武田尾トンネルにおけるいわゆる「硬岩NATM」は順調に進んでいる。現在第1トンネルを鋭意掘削中であるが、同トンネル出口部は駅部になるため、大断面であるが、NATMの基本理念を忠実に実施すれば、いろいろな困難はあろうが、必ず乗り越えられると考えている。

NATMそのものにも解決せねばならない問題点——吹付コンクリートと二次覆工との縁切り（Isolation）等——もあるが、より一層の研究改善を進めて解決に努力し、安全確保、工期短縮ひいては原価の低減に向けて邁進したい。

最後に、本工事に対し、御指導を賜った本社施工本部長他本支店上司の各位、並に御助言を戴いたNATM委員会の方々に、厚く御礼申し上げる。