

T-0006/42

土木研究所資料

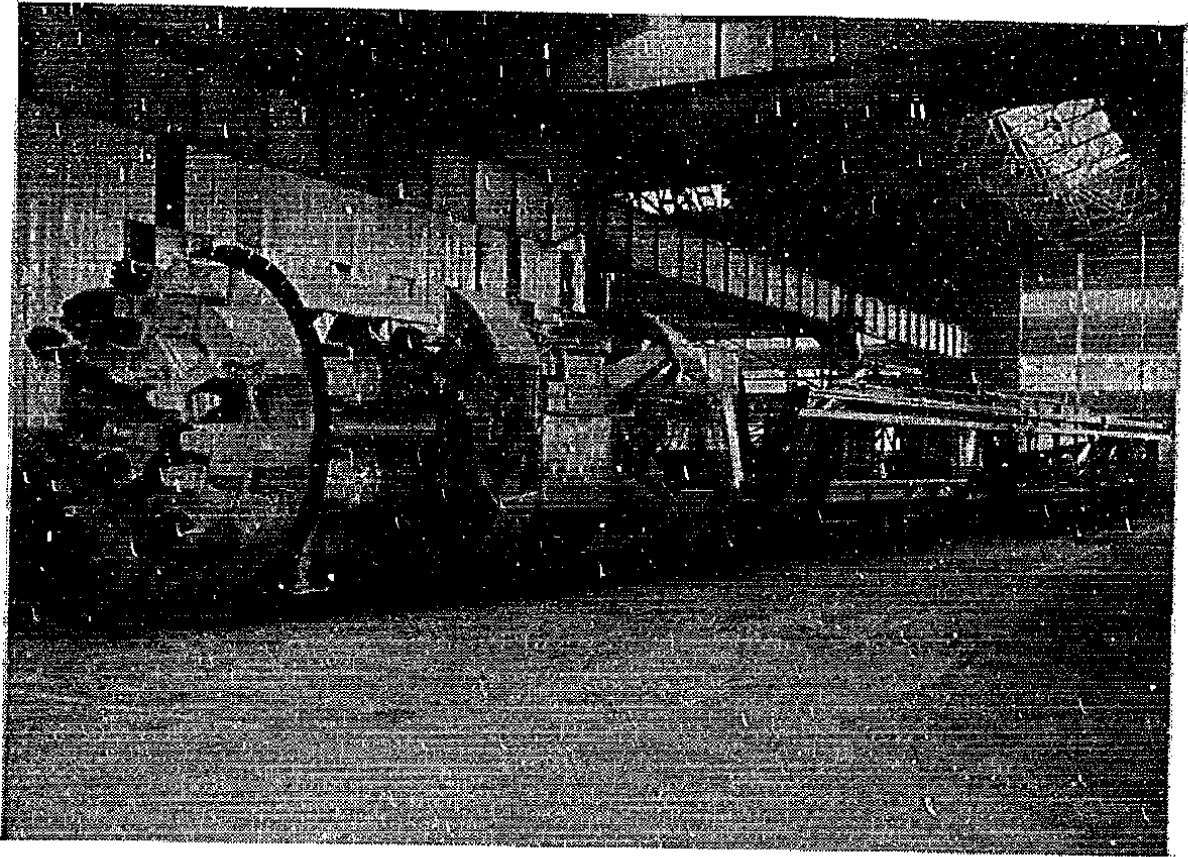
第 2 8 4 号

岩石トンネル掘削機

(附。岩石トンネル施工法)

昭和 4 2 年 5 月

建設省土木研究所



三菱重工業が開発した
岩石トンネル掘削機

(建設省発註)

ま え が き

この資料は、新しい技術課題である 岩石トンネル用の掘削機について、外国の代表的な方式を紹介したものである。同時に、現在、普通に行なわれている岩石トンネルの施工方法を参考として述べるため、"*Handbook of Heavy Construction*" の Chapter 5 に出ている Robert S. Mayo 氏の "*Tunnels in Rock*" を訳出した。

トンネル研究室長

村 上 良 丸

岩石トンネル掘削機

千葉支所長 伊吹山 四郎

機械研究室長 中野 俊次

目 次

1. 岩石トンネル掘削機の利点と欠点	3
2. 岩石トンネル掘削機の形式	3
3. 岩石トンネル掘削機諸元とトンネル直径との関係	4
4. ロビンス方式	11
5. ウォールマイヤー方式	15
6. ヒューズ方式	23

1 岩石トンネル掘削機の利点と欠点

トンネル掘削機の中、岩石用のものは、世界各国で製作され、供用されつつあるが、いまなお研究が進められている段階と言って良い。

現在までのところ、対象とする岩石の圧縮強度が $1,000 \sim 1,500 \text{ kg/cm}^2$ 程度までが限界のようである。しかしながら、これは機械の改良進歩によって、漸次さらに硬い岩石にも利用できるようになるであろう。

いま、この問題はさておいて、岩石用トンネル掘削機の利用には、次のような利点と欠点が考えられる。

利点 1 作業の安全性が高い。

- 2 この工法では、地山を発破によるようにゆるめることがない。
- 3 発破の場合には、いかにしても余堀りを生ずるが、この場合は、余堀りがなく、したがって、そのための注入等の無駄がない。
- 4 連続掘削ができるから、能率化される。
- 5 火薬による後ガスが無いから、衛生的である。
- 6 機械を工夫することによって、小人数の作業員で作業が可能であり、将来は無人化、自動化も夢ではない。

欠点としては

- 1 前述のように、現状では、硬岩の場合の掘進能力に欠ける。
 - 2 現状では大口径のものが作られていない。
 - 3 現状では、地質に変化があった場合、そのどのような場合にも能率を発揮できるかについて不安がある。
 - 4 現状では、主として掘削断面が円形のものしか造られていないので、慣用の形状に仕上げる後作業が必要である。
 - 5 カッターの消耗、取替え等について、まだ研究の余地がある。
- 等があげられる。

2 岩石トンネル掘削機の形式

岩石トンネル掘削機は、カッターヘッドの形状により、次の3種に分類される。

(1) ロビンス型

これは、図-1に示すように、全面が一体となって回転し、これにつけたソロバン状のディスクカッターを切羽に押しつけて岩石を切削り、破碎を行うものである。

(2) ウォールマイヤー型

これは、図-2に示すように、カッタードラムが回転すると共に、ドラムに計4個のカッターが付いており、個々に回転し、バイト型カッターによって切削する。

(3) ヒューム型

ロビンス型に似ているが、図-3のごとく円錐形歯車式のローラー型カッターを圧着しながら回転し、歯形をつけ、そのあとをフラットローラーにて押しつぶす。

以上の3種は、それぞれ特長もあり、また実際にも使われている。その詳細については後述する。

3 岩石トンネル掘削機諸元とトンネル直径との関係

以上のような種類があるが、これらを一緒にして考え、その諸元とトンネルの掘削直径との関係を求めてみると、ごく概略であるが、次のような傾向にあることがわかる。

(1) トンネルの直径、カッティング所要馬力および岩石強度との関係

欧米各メーカーの実績より集めてみると、図-1に示すごとくである。

(米) ロビンス、ヒューズ、ローレンス

(英) ウィリアムデッカー、マイニングエン지니어リング

(オ) ウォールマイヤー、(独) バーデ

すなわち、同一径についてみると、岩石の強度が $500 \sim 800 \text{ kg/cm}^2$ の軟頁岩、砂岩、軟石灰岩に対して、圧縮強度が $1000 \sim 1500 \text{ kg/cm}^2$ の頁岩、粘板岩、硬砂岩等では、カッティング所要馬力が2倍程度を必要とする。

また、トンネル直径が、1m増えることは馬力の著るしい増大をきたし、この傾向はトンネルの直径が大きくなるほど著るしくなる。

(2) トンネルの直径と推力との関係

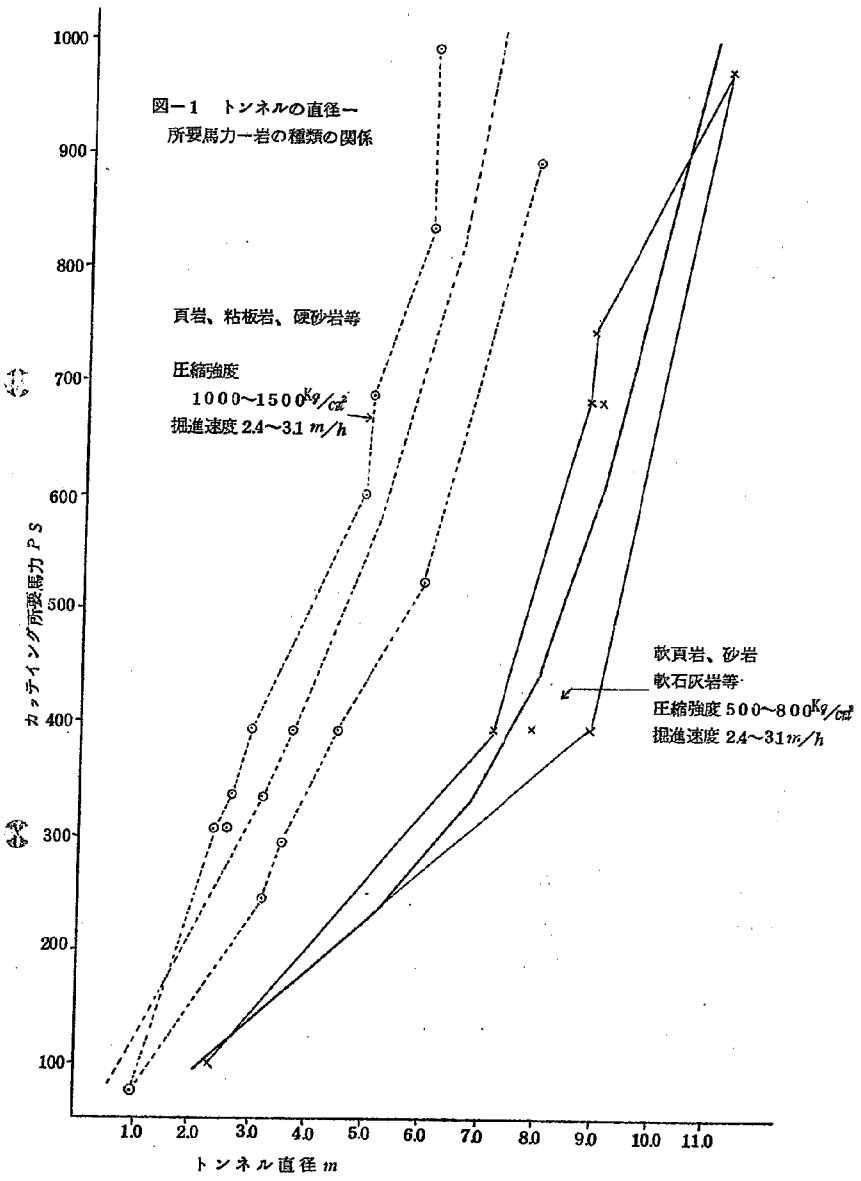


図-2 トンネルの直径-推力との関係

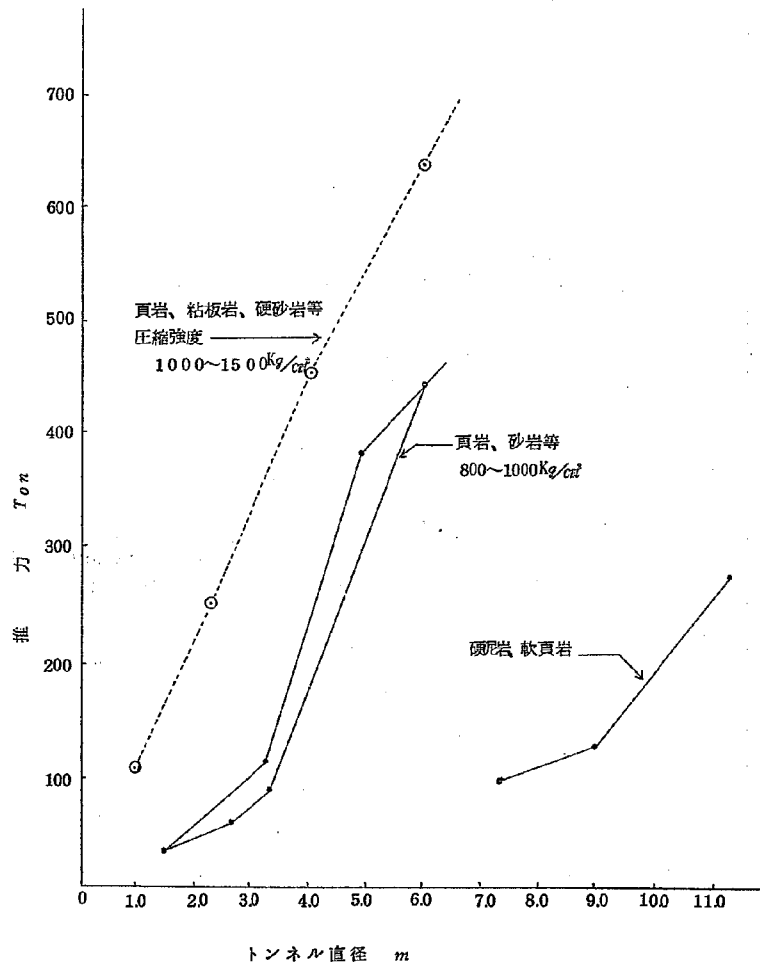


図-3 トンネルの直径— Ton/m^2 (推力)

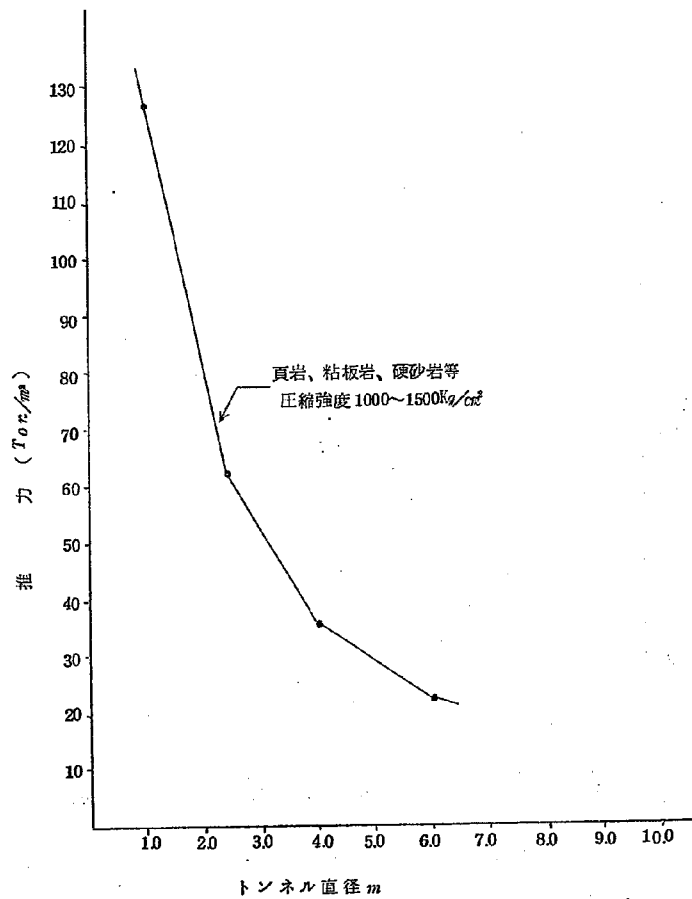
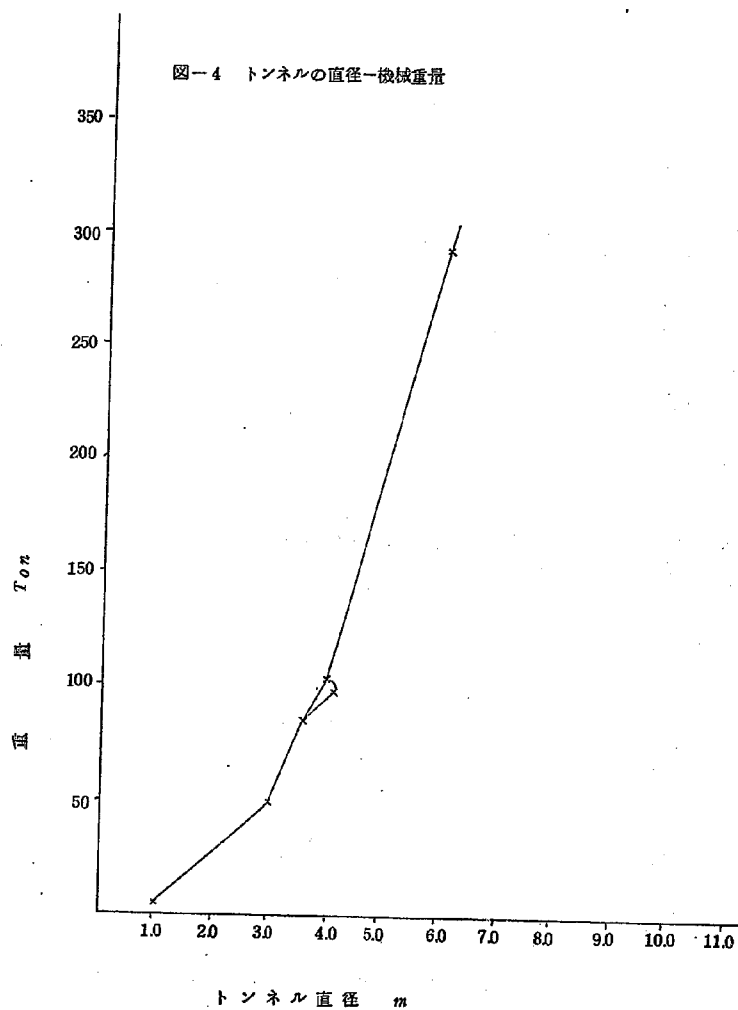


図-4 トンネルの直径-機械重量



また、トンネルの直径とトンネル掘削機を切羽に押つけるために必要とする推力との関係も、図-2のように、岩石の強度、直径によって著るしく変化する。

こゝでも、トンネル直径が大である程、推力は、大巾に増加せねばならないことが分る。

しかし、いまこの推力をトンネルの単位断面積当りにとってみると、図-3に示すように平方米あたり推力は、漸減している。

(3) トンネルの直径と機械重量との関係

また、トンネルの直径と機械重量との関係を求めると、図-4に示すように直径が増すにつれて著しく重量が増加する。

すなわち、機械の価格も増加することを示している。

(4) トンネルの直径と掘削設計速度

次に、図-5にトンネルの直径と掘削設計速度との関係を示す。

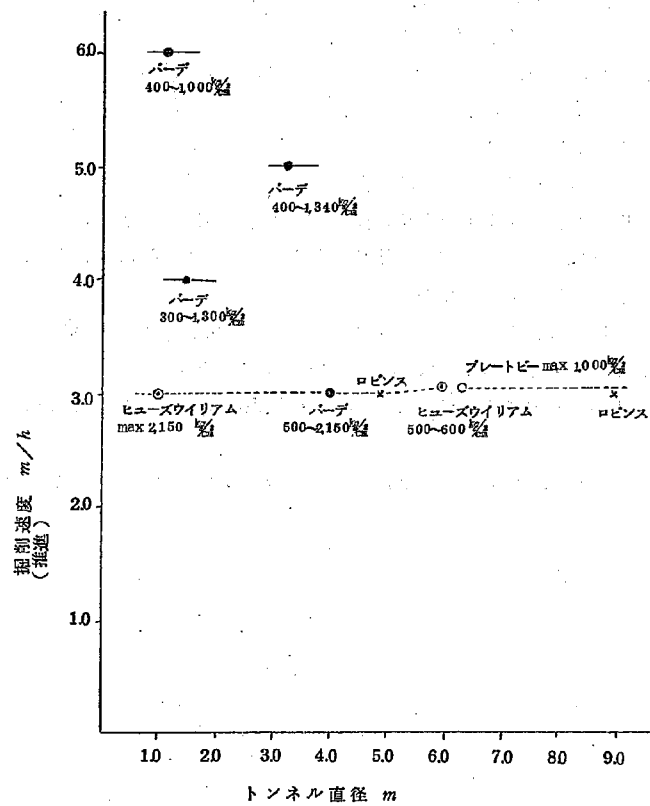
こゝに言う掘削速度は、掘削実績ではなく、条件のよい時に出しうる最大速度、すなわち設計掘削速度である。

これは、図-5にみるように機械メーカーによって、かなり変化しているが、直径のいかにかわらず、 3.0 m/hr を目標としている。

このことは、在来の発破工法に対して、機械掘削である限り、当然要求される速度であろう。

しかし、この実績は、岩石の強度によって著るしく影響されることは、前述の通りである。

図-5 トンネルの直径-掘削速度



4 ロビンス方式

(1) 掘削原理

前述のようにソロバン玉状のディスクカッターを岩石に押しつけて、せん断破壊するのであるが、1個のディスクカッターを考えると、図-6に示すように、スラスト P によるくさび力 F でせん断破壊する。

この際、くさび力 F は

$$F = \frac{1}{2} \times \frac{P}{\sin \theta}$$

である。 θ は、種々経験した結果、現在、 $2\theta = 90^\circ$ に落着いている。

さて、このようなディスクカッターが、図-7のように d なる距離だけ離れて回転する。

この場合、ディスクカッターの切り込み深さ h が浅ければ O_1C 、 O_2D のように削れ、十分深いときは O_1O_2 にそい、せん断により岩がはがれる。

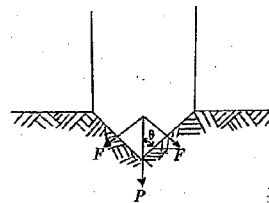


図-6 1個のディスクカッターによる切削

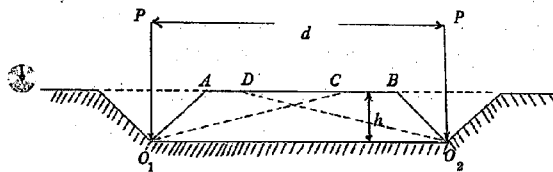


図-7 2個のカッターによる切削

つまり、2個のカッターの軌跡の間の岩がハッチした形のように、切り取られる。

いま岩石の圧縮強度を δ_c (Kg/cm^2) とすれば、1個のカッターに作用する最大荷重は、

$$P = k \delta_c \quad (\text{Kg})$$

で表わせる。

この k の値は、カッターのピッチおよび岩石の脆性度により定まる常数で、 $k = 6.4$ が経験的に求められた設計標準である。故に、これを用いて所要推力

を計算する。

また、中心部のカッター（トリコンカッター）は、 $k=10$ 位の値をとる。

(1) カッターは、カッターヘッド鋼板上に固定され、切羽上に略々等間隔の同心円を画くように取付けられる。

カッターリングは、このカッターの刃先部分でリング状をなし、普通は特殊鍛鋼製の焼ばめ式で、摩耗の際は、取外し交換できる。

このカッターリングは、図-8のようにテーパローラーベアリングにより、シャフトの回りを自由に回転できる構造となっている。

なお、ディスクカッターで掘削できない軟岩では、バイト形のツールビット（固定カッター）で掘削する。

(2) カッターヘッド

これらのカッターアセンブリーを取り付けるカッターヘッドは、円盤型鋼製で、外周部に4個以上のバケットをボルト締めで取付けており、また、横から見た形は中央前面の高いドーム型となっている。

カッターヘッドは、Xローラー型スラストベアリングを介して、カッターヘッドサポートに結合され、電動機で回転される。

(3) 推進装置

推進方法には、図-9に示すような方法がある。この方式では、刃を切羽に押しつけて掘削するのであるから、十分な推力がなければ硬岩は掘削できない。

図-9の何れの方法による場合も、掘削に従って、油圧推進ジャッキを伸ばして行き、伸び切ったところで、支点のジャッキをゆるめ伸縮ジャッキを縮め、本体を前進させ、あらためて支点のジャッキを伸ばして支点を固定し、先の掘削を始める。ただし、シールドジャッキの場合は、セグメントリングを入れてこれを支えにして前進することは言うまでもない。

このような前進方法は、後述する他の掘削方式にも共通である。

(4) ずり積機構

前述のようにカッターヘッドの周辺に取付けられたバケットは、坑底のずりをすくいこみ、回転して頂点に来た時、シュートに流しこむ。シュートに落ちこまれた岩石は、Xローラー型スラストベアリングの中を通り抜けるベルトコンベヤーで後方に排出される。

図-8 カッターリング

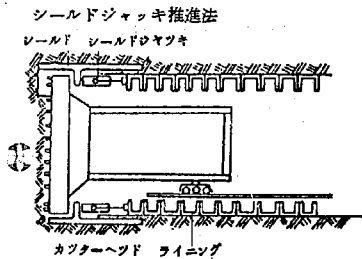
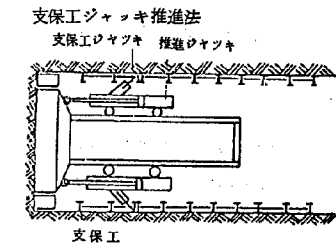
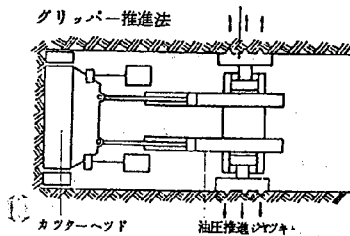
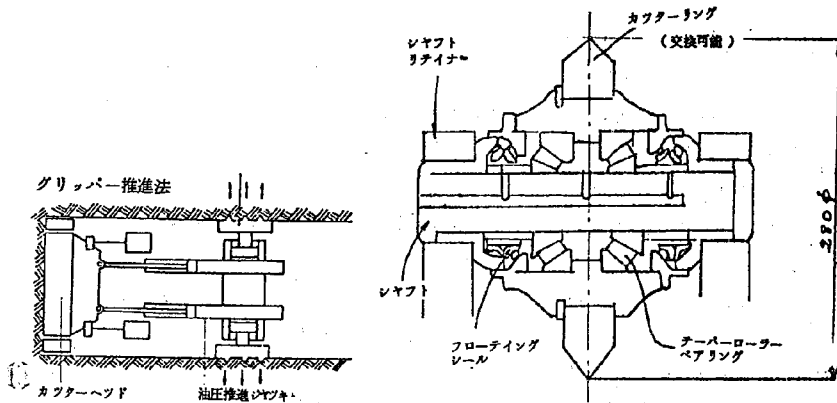
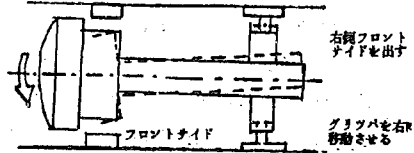
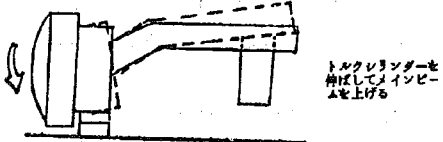


図-9 トンネル掘削機の推進方法

(a) 水平方向 (左へ曲がる場合)



(b) 垂直方向 (下げる場合)



(c)

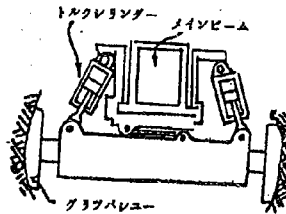


図-10

このようにクロスローラー型スラストベヤリングを使用したことにより、ずり出しの搬路が楽にとれ、しかもそれを受けるベルトコンベヤーが水平にとれることは、有利な点である。

(5) 方向制御

前進中の方向制御は、ステアリング用油圧シリンダーが作用して、その先端のシューで、坑壁に適当な圧力をかけることによって行われる。

水平方向、垂直方向の方向制御方法およびグリッパーシューにおけるシリンダーの構造は、それぞれ、図-10の(a)、(b)および(c)に示すとおりである。

(6) カッターの耐用命数

実績によれば、岩石の圧縮強度 1000 Kg/cm^2 に対し、ディスクカッターは、径 3200 mm のトンネルの掘進 100 m に対し、平均6個、トリコンカッターは平均 $1/5$ 個が消耗する。

(7) 集塵装置

岩石を圧砕するので粉塵を発生するが、カッターヘッド外周をシールすることにより後方への粉塵の拡散を防ぎ、バケット内から、機体に取り付けたダクトによって集塵する。

(8) 過去の実績

過去の実績は表-1に示したが、この表を見ると、岩石の圧縮強度は、今までのところ 2000 Kg/cm^2 ほどである。

なお表-2は、オーストラリアのタスマニアの動力用トンネルの実績で、最も成績のよいと思われるものの一つを示す。

表-2 タスマニアの直径4.9mのロビンズ式トンネル
ボーリングマシンの施工記録

トンネル	Tilrae トンネル		Head race	摘 要
	1 期工事	2 期工事	トンネル	
施 工 延 長	1,923 m	2,467 m	2,605 m	ずり出し運搬 で含めた全作 における掘進速 度
施 工 期 間	175日	145日	167日	
1 日平均速度	18.53 m	20.85 m	19.20 m	
1 日最大速度	—	—	44.8 m	
過間平均速度	77.7 m	126.5 m	115.2 m	
過間最大速度	117.3 m	168.9 m	228.9 m	
月間最大速度	—	—	769.8 m	
地 質	圧縮強度 1000 kg/cm ² 前後の割目のない硬泥岩を主体とし、 中間に硬玄武岩と軟かい粘土、石灰の薄層を含む。			

なお、工費が約60%に節約できたとしている。

5 ウォールマイヤー方式

(1) 掘削原理 前述のように内外各2ケのカッターヘッドに取付けられたバイト型カッターによって、岩をみぞ状に切り削って行く。この切り削りはあたかも機械加工のせん盤の切り削りと思えばよい。

この場合、カッターがヘッドに対して傾き角をもち、機械全体を推力で押し込むと切り削りのみでは、ねち状に切り込んで行くことになり、図-11に示すように、削ったところと、削らないが破砕されるところができる。この削らないで破砕される部分は、バイトで後ろに蹴られた形になって破砕され脱落する。

(2) 特 長

この後ろに蹴るときの反力は、推力と反対の方向に働らくから、推力がそれだけ減ずる。

表-1 ロビンス式トンネル機械の実績表

製作順位	1	2	3	4
製作年度	1954	1955	1956	1957
形番	910	930	101	102
推進方式	支保工	支保工	グリッパ	グリッパ
契約者	Metty C. Co Los Angeles Cal.	Cahe Con St Paul Minn	Perni S Framingham Mass	Dravacor Pittsburgh Pa
工事場所	オーエダム 水圧トンネル	オーエダム 水圧トンネル	ピッツバーグ 下水トンネル	ピッツバーグ 下水トンネル
孔径 (m)	7.9	7.9	2.4	2.6
全動力 (HP)	450	450	400	400
カッタ回転動力 (HP)	400	400	310	310
前方向推力 (t)	90	96	5.9	5.9
トルク (m-kg)	39000	50000	19000	15000
R. P. M (無負荷)	92(内)	66(内)	82	106
平均掘削速度 (m/h)	2.4~3.7	2.4~3.7	1.8~2.4	2.4~3.1
切削刃の種類	ツールビット ディスクカッタ	ツールビット ディスクカッタ	ツールビット ディスクカッタ	ツールビット ディスクカッタ
カッタヘッドの型及び 単または複回転	フラット 複	フラット 複	フラット 単	フラット 単
メインベアリング型式	スラストローラー ラジアルローラー	スラストローラー ラジアルローラー	スラストローラー ラジアルローラー	スラストローラー ラジアルローラー
トンネル長さ (m)				
地質	軟頁岩	型番910 と同じ	強硬頁岩	
岩石圧縮強度 (kg/cm ²)	4.8~9.4	4.3~9.4	40.4~45.7	75.9~94.2
掘進中の支保工	8" Iビーム	8" Iビーム	ナシ	ナシ
コンクリートライニング	アリ	アリ	アリ	アリ
排出方法	ベルト	ベルト	トロ	トロ
所要運転整備員(名)	5	5	3	3
支保工員(名)	12			
全作業員(名)	29		10	10
機械重量 (t)	125	180	17	17

5	6	7	8	9	10
1957	1958	1958	1961	1961	1962
103	131	351	161	261	71
グリップ	グリップ	支保工	グリップ	支保工	グリップ
(1) SA Co (2) Steep R I Mines	Foundation Co Torontocam	Morrison K.K Johnson	Hydro. E. Co Tasmania Australia	Kiewit Johnson & Poole	Michigan Iron riv Hamer-Wau- sca Mine
シカゴ 下水トンネル	トロント 下水トンネル	オーエダム 水圧トンネル	グレート・レーク 水圧トンネル	サスカチワン川 水圧トンネル	サブレベル 坑道
27	33	90	44	78	2.1~2.3
400	400	500	675	975	120
310	840	680	600	900	110
59	107	125	378	250	250
19,000	24,000	95,000	105,000	480,000	16,000
82	106	45	7	4及び1	10及び5
0.6~1.2 (石灰) 3.1~3.7 (黒炭石)	2.4	2.4~3.7	3.0	3.0	3.0
ツールビット ディスクカッタ	トリコンカッタ ディスクカッタ	ツールビット ディスクカッタ	ツールビット ディスクカッタ	ディスクカッタ ツールビット	ツールビット ディスクカッタ
フラット 単	フラット 単	フラット 単	フラット 単	フラット 単	フラット 単
スラストローラー ラジアルローラー	スラストローラー ラジアルローラー	スラストローラー ラジアルローラー	デバローラー ベアリング	スラストローラー ラジアルローラー	ボールベアリング
	4,500	2,350	7,200	6,100	830
シカゴ 石灰石	頁岩・砂岩 石灰石	軟頁岩	硬泥岩	軟頁岩	鉄鉱石
1260~1680	1300~1947	43~94	1000~1300	20	980~1120
		8" I ビーム		8" I ビーム	
1部ナシ	アリ	アリ	1部アリ	厚を1m	
トロ	トロ	ベルト		トロ	スクレーパー
3	3	4	3	5	2
2	2	10~15	2	10	2
10	8	20		35	15
17	65	175	115	175	25

製作順位	11	12	13	14
製作年度	1962	1963	1963	1964
形番	371	341	72	73
推進方式	支保工	シールド	グリッパ	グリッパ
契約者	Guy, E. Atkinson Co	Bilied Co. 外2社	大建建設	Morisons Knudsen Co
工事場所	西バキスタン マングラダム	仏バリー 地下鉄	新居浜水圧 トンネル	アリゾナ 水圧トンネル
孔 径 (m)	1.12	1.025	2.2	2.14
全 動 力 (HP)	1,100	1,200	176	165
カッタ回転動力 (HP)	1,000	1,000	150	150
前方向推力 (t)	270	5,000	150	150
トルク (m-kg)	721,000	124,500	12,000	12,000
R. P. M (無負荷)	185, 37, 925	09, 17, 38	9	9
平均掘削速度(m/h)	2.4	1.2	1.0	1.0
切削刃の種類	ツールビット	ツールビット ディスクカッタ	トリコンカッタ ディスクカッタ	トリコンカッタ ディスクカッタ
カッタヘッドの型及び単 または複回転	フラット 単	フラット 単	フラット 単	フラット 単
メインベアリング型式	Xローラ ベアリング	Xローラ ベアリング	Xローラ ベアリング	Xローラ ベアリング
トンネル長さ (m)	2,600	2,732	2,000	
地 質	軟砂岩を含 んだ粘土層	石灰岩 粘土・細砂	緑泥片岩 石墨片岩	砂 岩
岩石圧縮強度(MPa)		石灰岩700-800 粘土 80-100	600-1600	350
掘進中の支保工			ナシ	
コンクリートライニング	厚さ1.0m	巾 1m 厚さ65cm	ナシ	
排 出 方 法	ベルト	ベルト	トロ	トロ
所要運転整備員数	5	5		
支保工員数	10	25-30		
全作業員数	30	25-30		
機 械 重 量 (t)	225	600	24.5	25

15	16	17	18	19	20
1964	1964	1965	1965.6 完 成	1965.6 完 成	製作中 1965完成予定
81~118	74	121	111	81~118	
グリッパ	グリッパ	グリッパ			
Inter Maun- tain Const Co	Travaux Soterrains	Gibbsh & Reed Co.	Theller & Kalberma- ttar Co.	Dreder Co	
バンクーバ 水圧トンネル	Bessans France	ニューメキシコ サンジアン山	Baden Switzerland 下水道トンネル	Eslebourg Switzerland 下水道トンネル	Bianco, tunnel near Chama new Mexico
259	214	3.61~4.04	3.51	2.59	3.05
230		425			
200	150	400			
180	150	210			
16,000	12,000	48,000			
9	9	7			
1.5~2.1	12	5.8			
トリコンカッタ ディスクカッタ	トリコンカッタ ディスクカッタ	トリコンカッタ ディスクカッタ			
ドーム, 単	ドーム, 単	ドーム, 単	ドーム, 単	ドーム, 単	
×ローラ ベアリング	×ローラ ベアリング	×ローラ ベアリング	×ローラ ベアリング	×ローラ ベアリング	
7295	20,600				
石炭片岩	緑泥片岩	砂岩・頁岩			
770~1050	1050~1400	210~630 770(ピーク)			
		6' リングビーム			
		ア リ			
ト ロ	ト ロ	トロ (3.87/車 7車又は 10~12車)			
36		90			

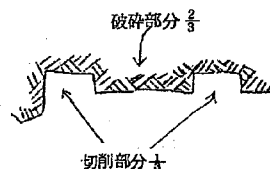


図-11

また、相対して自転するカッターヘッドの回転モーメントは、お互に打消すから、機械に無理がかゝらない。

次に、各部の構造を、国鉄に納入された最大径3600mm、最小径3200mmの機械について説明する。

(3) カッターヘッド

カッターの径は、内側カッターは、1040mm、外側カッターは、1100mmで、それぞれ16個および10個、すなわち $16 \times 2 + 10 \times 2 = 52$ 個の超硬バイトチップがはめこまれている。カッタードラムは切羽に向って右回りに最大8rpm、最小4rpmで回転する。

カッターチップ1個の寸法は、長さ34mm×幅34mm×厚さ15mmでテーパが付いたホルダーを、はめこんで固定される。

そして、内側のカッターヘッドは、ドラムに固定されており、外側のカッターヘッドはスイング式になっており、油圧シリンダーにより、3200mmから3600mmまで任意に掘削トンネル径を拡張伸縮できるようになっている。

内側カッターヘッドは、ドラムの面に対し18°の傾斜をもって取付けられ、外側カッターヘッドは、直角になっている。すなわち正面および横から見ると図-12のごとくである。

(2) 主軸およびガイド機構

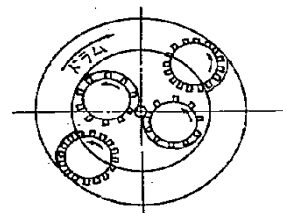
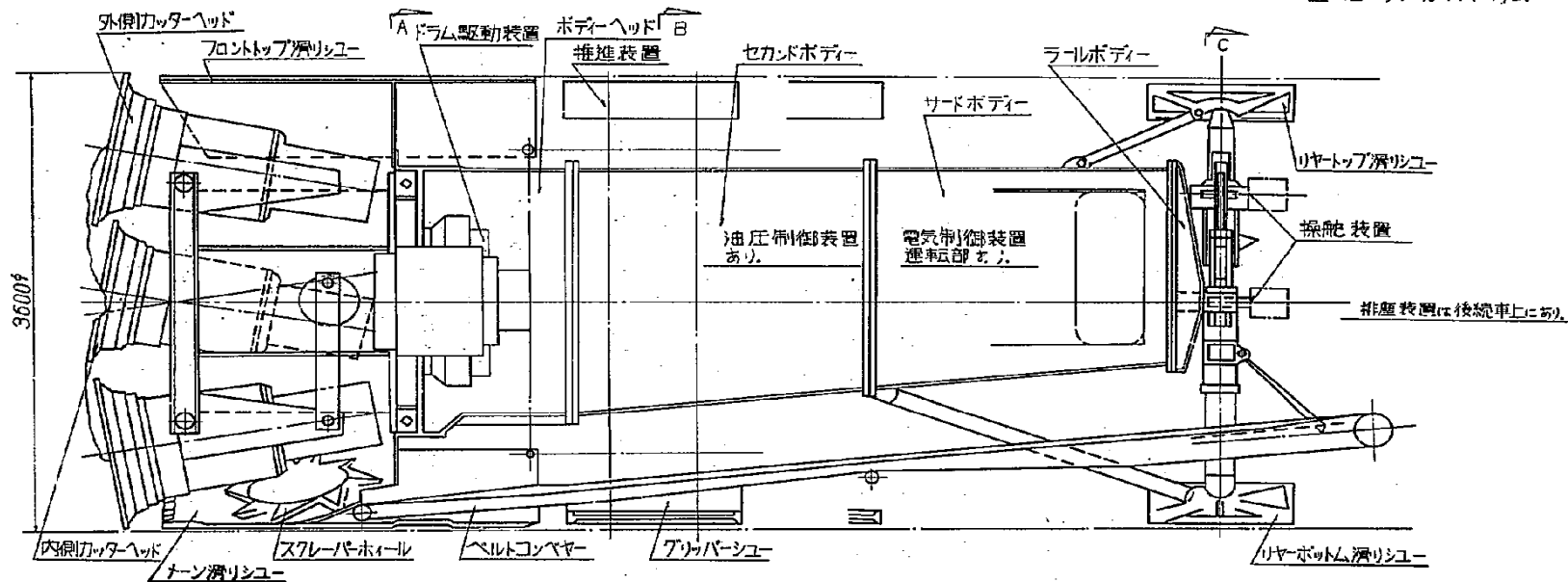
以上のべたカッターヘッドをつけたカッタードラムが主軸にとりつけられている。この主軸はガイド機構によって支えられている。

機械の総重量は約60tで、この主軸を上方ガイド、左右側面ガイド、下方走行部への油圧支持シリンダーによって支えられ、ガイド機構の伸縮により、機械の直進、曲進、上下進を行なうことができる。

(3) ドラムの回転と掘進速度

ドラム回転は油圧モーターで行なわれ、岩石の強度に応じて、回転数を制御する。

図-12 ウォールマイヤー方式



掘削回転方向(右図に面して)

主 要 々 目

掘 削 径	3200~3600 mm φ
カッターヘッドの数	4
掘 削 速 度	中硬岩の時 12m/h
カッターヘッド動力	224 KW
機 械 重 量	約 70 ton

カッターヘッドは前述のように2個で一對となっているから、

掘削速度 = (チップ幅 + 破砕幅) × 2 × ドラム回数 / hr

で表わされる。

従って、掘削速度は、ドラムの回転数のみで決まらず、推力によって、カッターが岩の中に押しこまれて行き、破砕幅がえられるような線を描いていなければならない。

最初シュートプレートの摩擦力でこの推力を支えようとしたが不足であったため、改造して、図-12のようにトンネルの地山にグリッパーを2本設け、これにより支持する構造とした。

(3) カッターチップ

カッターチップは、タンガスステン鋼でコバルトを含有する。摩耗によるすりへりは殆んどなく、破損によるものが大部分で、日本製、スイス製、スウェーデン製、カナダ製の製品を比較使用してみた結果、30 mの掘削で日本製のみが、欠損、破損せず使用しえたということである。

(4) すり出し装置

切削されるすり、破砕されるすりの大きさは、大部分が2~5 cmの小塊と岩粉で、目があるときは、20 cm程度の大塊が混入する。

すり出しは、スクレーパー2台で掻き集められ、ベルトコンベヤーに乗せられて、後方に搬出される。

あまり大塊であると、スクレーパーが掻き上げる力がなく、またスクレーパーの下にすりの薄層が残ったりしたが、スクレーパーの先端部の曲率を改造し、下部に凸形のシューをつけるように改造された。

このシュー溝は、また回転反力を受けるのにも役立つ。

(5) 冷却機構、集塵機構

カッターチップが掘削中に200℃以上になると予想されるので、油によって冷却する機構を備えている。

また、切削と破砕によってトンネルの切羽面には、岩粉がたちこめるので集じん機構が取り付けられ、かつ管路内で水を噴射して、岩粉を沈でんさせる方法がとられている。

6 ヒューズ方式

(1) 掘削原理

回転するカッターヘッドに、石油ボーリング等に広く使用されている図-13 (a)のような歯車形ローラーカッターを配置している。

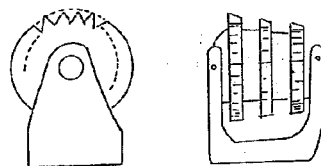
これは、ロビンス式のディスク形カッターのに代り、この場合、歯車型であるから、歯のあたったところに、歯形をつける。

残った部分を図-13 (b)のようなフラットローラーで押しつぶすのである。この方法は、ロビンスよりもさらに細かく破碎する方式であるから、圧縮強度の大きい岩に適するものと思われる。

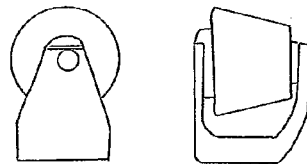
なお、岩石強度の低い場合には、バイト型カッターに取り替えることにより切り削るものである。

(2) カッター

直径3,200mmのトンネル掘削機に対し、前記歯車形カッターは21個、フラットローラー4個が、カッターヘッドに配置されている。



(a) 歯車式円錐形ローラーカッター



(b) フラットローラー

図-13 カッター

カッターは、強度が大であるように工夫されているが、細工がディスク型より複雑であるから、高価となるのは免れない。

岩石硬度に対して、300~1000 Kg/cm^2 程度にはバイト形カッター、500~1,500 Kg/cm^2 程度に対して、ローラ形カッター、1,300~2,000 Kg/cm^2 程度に対し、超硬チップ付ローラーカッターの3種類がある。摩耗およびカッター種類の 変更 に際して、カッターの取替えはアセンブリーで行なうが、アセンブリーは1個30 Kg 程度の重量がある。

図-14に示すように、サイドカッ

ター、コーナーサイドカッターは、油圧ジャッキで、拡張式となっていて、掘削外径をある程度無段階に変えられる。

(3) カッターヘッドと推力機構

カッターヘッドは、ロビンスと同じく銅板製で回転する。また、ロビンスと同じく、カッターを岩に押しつける方式であるから、大きな推力を必要とする。

カッターヘッドのベアリングは、ラジアル荷重とスラスト荷重とを各ベアリングで受ける。シリンダー出力は、ロビンスと同じように、 $3,200\text{mm}$ 径、のトンネルで $2,000\text{Kg/cm}^2$ の岩に対し、経験値から 350t を要する。

(4) グリッパー支持装置

グリッパー支持装置は、前2者と考え方は同じであるが、斜の十文字の方式の考案もある。

なおこの方式で、*New York* の地下鉄工事に使われたものは掘進のための反力をトンネルの側壁で受けずに、機械中心部からパイロットボーリングを行ない、このパイロット部の棒の一部を機械的に膨脹せしめ、これで反力を取る方法を使った。

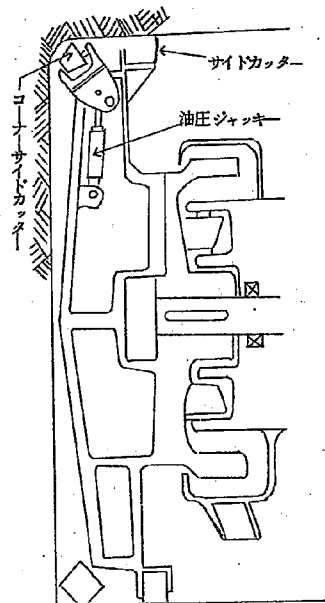


図-14

"Handbook of Heavy
Construction Ety"

岩石トンネル
(Tunnels in Rock)

Robert S. Mayo
(村上良丸 訳)

目 次

序 論	26
岩石トンネル； サイクル	
穿 孔	27
削岩機； 削岩機台車（ドリルジャンパー）； ドリル鋼 穿孔型式	
爆 薬	34
ズリ 積み	34
ズリ 積込機	
運 搬	37
軌条運搬； 貨車入換作業； 機関車； トラック運搬	
換 気	43
支 保 工	45
木材支保工； 鋼支保工； ルーフボルト	
立 坑	51
立坑の掘下げ作業； 立坑； 支保工	
捲 上 作 業	57

岩石トンネル (rock tunnels)。定義によれば、岩石トンネルとは、爆薬を必要とする地盤中を通るトンネルのことである。岩は花崗岩から頁岩まであり、地山 (ground) のタイプ毎に、特有の掘り方が必要である。しかしながら、この章で概説する方法や装置は、かなり良く標準化されてきつゝあるものである。

サイクル (rounds)。トンネルは、一連の作業の繰返し (round) 即ち、サイクル (cycle) によって掘進される。このサイクルは、穿岩機台車を移動して、穿孔作業を開始した時に始まり、トンネルが掘りあけられ、適切な支保工が施工され、そして再び穿孔作業を始める準備が出来た時に終る。序でにいえば、トンネルから掘り出されたものは、岩を砕いたものでも、泥でも全部 "ズリ (muck)" と呼んでいる。

このサイクルは、次のように細分される。

穿孔作業 (drilling operation) :

削岩機台車 (ドリルジャンボ) の据付
穿孔
火薬の装填 (loading hole)
点火又は爆破 (shooting or blasting)
煙の吹払い又は換気

ズリ出し作業 (mucking operation) :

天井の浮石処理 (scaling)
ズリ出し: 砕かれた岩をズリ積込機で積込み、立坑又はポータルへ運搬する。

支保工作業 (timbering operation) :

鋼支保工 (steel rib) 及び矢板 (lagging) の建込み、乃至ルーフボルト (roof bolt) の打込み

これらの種々の段階や、必要な種々の装置を、以下の節で論じ、説明することとする。1交代で1サイクルが規則的に行われるのが良いトンネル工事だといわれた時代を著者はよく記憶している。1930年代の後半になると、工事

によっては、8時間に2サイクルまで出来るようになった。今日では、よく組織化された工事では規則的に、24時間に7回から9回のサイクルが行えるようになっている。この岩石トンネルの掘進速度の驚くべき上昇は、新しい方法と改良された装置及び、坑夫の技術向上によるものである。

穿 孔 (Drilling)

削岩機(ドリル; *drill*)。トンネル工事では、空気削岩機が専ら使われている; それには、2つのタイプがある。Fig 5-1 のエアレッグ型削岩機(*air-leg drill*)は軽い1人用の機械で約60ポンド(27Kg)の目方があり、延伸出来る脚又は、エアーピストン(*air ram*)がついていて、このドリルの目方を支え、坑夫がこれを孔に押込むのを働ける働きをしている。これは初期費用が安く、且つ切羽で、必要な所なら何処へでも、容易に移動させうるという点で、非常に融通性がある。このエアレックは、ドリルに添わせて折りたむことが出来、従ってルーフボルト用の上向きの孔を穿孔するため



Fig 5-1 エアレッグ型削岩機
(*air-leg drill*)

の打込み式ハンマー(*stoping hammer*)になったり、下向きの掘下げ用として、エアレッグを完全にとりはずすことも出来る。この型のドリルは、床上(*floor*) 約6 ft (1.8 m) までの穿孔しか出来ない。トンネルがこれより高ければ、削岩夫(*miner*)用のプラットフォーム(足場)を用意するか、又はズリ山(*muck pile*)の一部を、上部の孔の穿孔が終るまで残しておかねばならない。

腕木付削岩機(*jib-mounted drill*)は(Fig 5-2)もっと重くて、硬い岩石用の機械であり調整のきくタイプの腕木(*jib*)に取りつけられており水圧乃至モーターで操作される。このジブのつけ根(*base*)は、台車(*carriage*)又は、ドリルジャボーにしっかりと取り付けねばならない。このドリルを有効に操作するには、2人が必要であるが、エアレッグ型より、はるかに

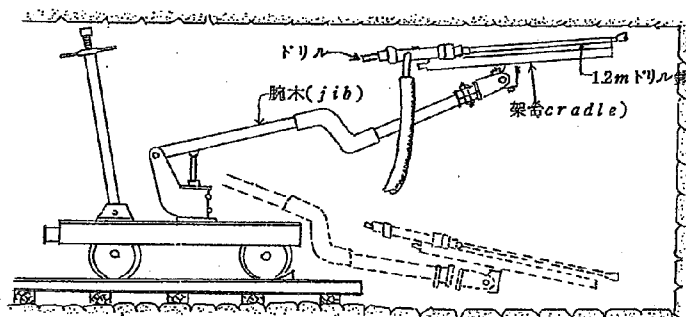


Fig 5-2 小トンネル用腕木付削岩機 (jib-mounted drill)

速い。最近のドリルは、錐鋼 (drill steel) を 4 ft (1.2 m) の掘進毎にとりかえる必要があるので、48 in (1.2 m) のサヤ (shell) をつけている。腕木付削岩機の主な欠点は、融通性の不足である。1本のドリルの具合が悪くなったら、その分の仕事を完成させるために、他のジブを持ってくるというわけにはいかない。

削岩機台車 (ドリルジャンボ; drill jumbo) ドリルジャンボは、タイプによっては、トンネルが 8~10 ft (2.4~3.0 m) 以上高い時でないで採用出来ないことがある。ジャンボには、普通 3つのタイプがあり、以下の節でのべることとする。

代表的なレール付ジャンボ (typical rail-mounted jumbo) を Fig 5-3 に示す。このジャンボは、普通、8ヶの車輪上にのっているので、転轍器 (switch) のカーブの所を通ることが出来る。上側のデッキは約 8~10 ft (2.4~3.0 m) 前方に突出しているが、これは、張出し腕木 (boom arm) の長さによってきまるものである。両側には、ヒンヂ付の踊り場 (platform) 又は "翼 (wing)" がついていて、これは、ジャンボを使わない時には、たためるようになっている。上部デッキは、その後端で、人夫が 1人作業出来て鋼支保工を組立てたり、ルーフボルト用の孔を穿れるだけの長さがなければならない。1サイクルが終ると、このジャンボの翼は折りたたまれ、機関車が一番近くの側線 (siding) にまで、このジャンボを引きもどす。たたまれた時のジャンボの巾は、最も、重要なものである。軌間ゲージが 36 in

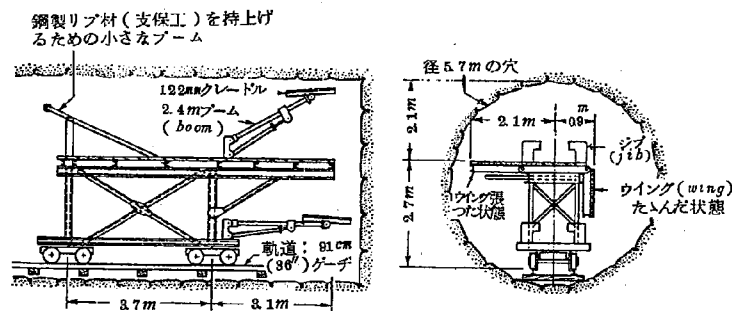


Fig 5-3 4台の腕木付削岩機をのせている91cm (36°) ゲージ軌道用の穿孔機台車(ドリルジャンボ)

(91cm) なら、たんだ時の巾は、5±ft から6ft (1.68m~1.83m) でなければならない。24 in (61cm) ゲージなら、たんだ巾は普通3±ft から4ft (1.05m~1.22m) である。ズリトロ (muck car)、機関車、及びズリ積込機は、全て、ジャンボが側線にいる時には、そのわきを通過出来なくてはならない。

Fig 5-4 に示す跨架式ジャンボ (straddle-type jumbo) は、普通、巾が20ft (6m) 以上あるトンネルで使われている。ズリトロ及びズリ積込機が通れるだけの余裕がなければならないし、又、運搬をタイヤ車で行う時には、そのズリ運搬トラックと、トンネル用のショベルが通れるだけの余裕がある。ジブ付きドリルを採用する場合には、このジブの台座毎に、夫々50~75ft² (4.6~7m²) の面積が必要であり、且つデッキ (踊り場) は、約7ft (2.1m) はなさねばならない。エアレック型のドリルを使う場合には、踊り場は約6±ft (1.95m) はなしておかねばならない。どの場合でも、上側のデッキは、1人の入夫 (gang) が、穿孔作業によって邪魔されることなく、鋼支保工や、ルーフボルトの設置が出来ただけの長さがなければならない。このジャンボは、広ゲージ軌道の上を走る8ケの車輪の上に乗っている。そし

てジャンボが、落岩 (fly rock) による危険のない所まで後退出来るだけの軌道にせねばならない。場合によっては、この型のジャンボは、タイヤ車の上に乗っていることがある。こうすれば軌道の附設はなくなるが、前進後退時の操舵 (steering) の問題が生じる。

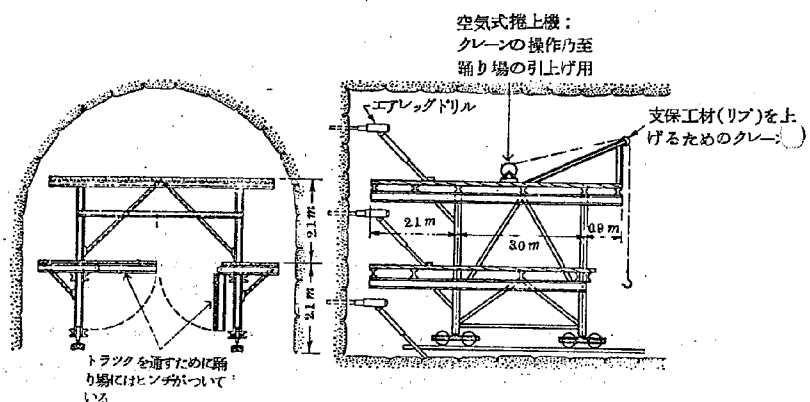


Fig 5-4 エアレグ削岩機用に設計した跨架式ドリルジャンボ

トラックにのったドリルジャンボ (truck-mounted drill jumbo) は Fig 5-5 に示されている。この特殊装備は、直径 12 ft (3.6 m) の孔用に設計されたもので、4 台の jib 付き、ドリフター (drifter: 打込み機) をのせている。トラックの車体後部のスプリングは出来るだけ重くせねばならない。そうしても尚、前輪を地面につけておくためには、バンパー (bumper) にカウンターウエイトをつけておく必要がある。この型のジャンボは、他の装置が、その側を通り抜けることが出来ないで、1 回分の穿孔が終わったら、トンネルの外へ走り出ねばならない。そして、勿論、又穿孔を始めるまでに、全区間をバックしてこねばならない。この型も他の型のジャンボも全く、その削岩機は、恒常的に、1 本の多岐管 (manifold pipe) につながれており、この管は、普通直径 4 in (10 cm)、長さ 50 ft (15 m) の 1 本の大きなホースをつかって、一番近くにある主送気管のバルブに、すぐ接続出来るように

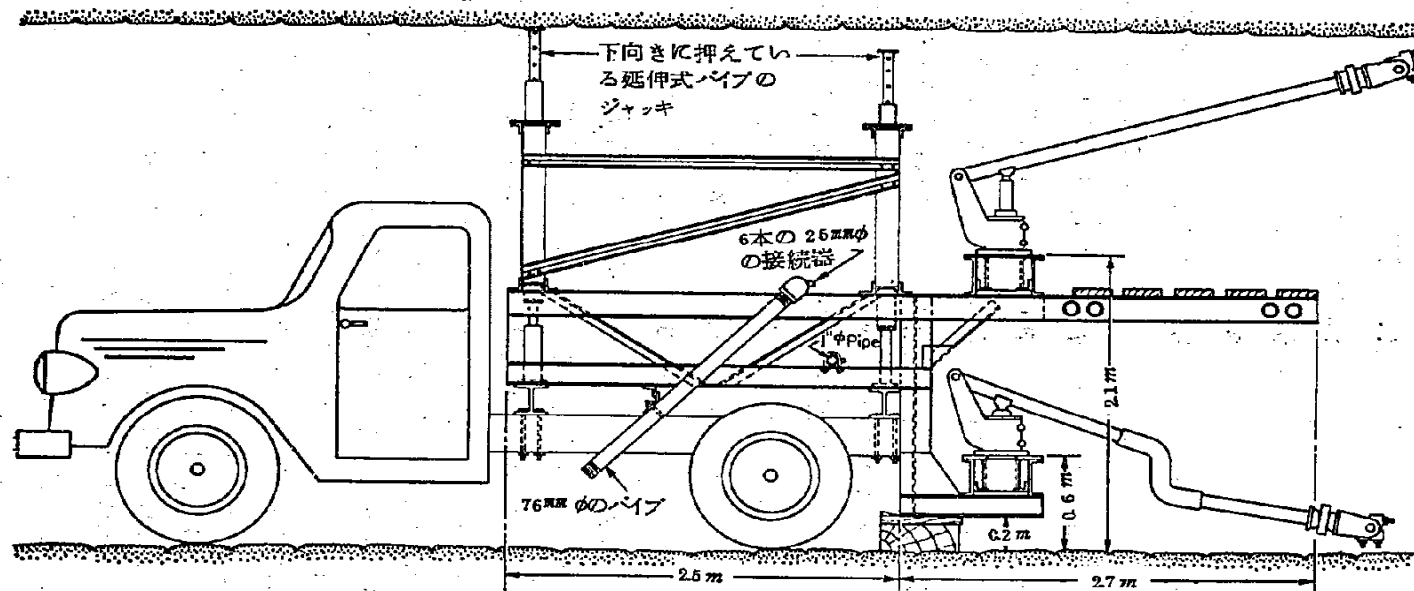


Fig 5-5 トラックにのっているドリルジャンパー。このジャンパーは、径3.7mのトンネル用に設計されたもので、4台の腕木付削岩機を備えている。

なっている。

エアコンプレッサーの寸法は、同時に作動する削岩機（ドリル）の数で定まる。どの削岩機メーカーも全て、任意の台数のドリルの空気消費量を、1分当たり何 ft^3 の空気という形で求められるような表を出しているが、この計算は、全部のドリルが、同時には作動しないという仮定で行われている。しかしながら、空気を惜んだり、立坑から切羽までひいてくるパイプをけちけちしたりしてはならない。ドリルの進行フィート数は、70 psi (4.9 Kg/cm^2) の時より 90 psi (6.3 Kg/cm^2) で動かす時の方が、全体としてより大きくなる。又、同時に作動しているエアポンプやエアホース（捲上機）のような他の道具類があって、これらが、ドリルからエアーを奪うことになるのを忘れてはならない。

ドリル鋼（錐鋼 drill steel）。穿孔は、ドリルロッド（drill rod）又は、シャンク（shank: 柄軸）の端にネジ込まれている交換が出来るビット（detachable bit: 刃先）で行なわれる。かくして 48 in (1.2 m) のドリル移動が出来るドリル台座（cradle）がついていて、孔の深さが 8 ft (2.4 m) の時には、各削岩夫（miner）は、2本のドリル鋼をトンネルに持ち込む。即ち、4 ft のもので始め、8 ft のもので孔の底まで届かせるが、所要数の孔をくするのに必要なビットをプラスするのは当然である。こうした交換型のビットが切れなくなったら、ドリル鋼からはずして、鍛冶屋におくって、研いで貰う。場合によっては、“1回限り（single-use）”のビットの方が安いことがある。これは切れなくなったら棄てる。炭化物をかぶせたビット（carbide-tipped bit）は、焼入鋼のビット（tempered-steel bit）と同様に、百回も使えることがあるので、最初の値段は高いが、経済的になることがある。炭化物でかためたビット（Cemented-carbide bit）はシリコンの研磨機（grinding wheel）でとがれる。

孔は普通 2 in (5 cm) の径で掘り始められる。そしてドリルビットを継足すごとに、 $\frac{1}{8}$ in (3.2 mm) づつ径を減らして行く。削岩夫によっては、孔がより早く穿れるので、より小さいビットの方を好むものがある。しかし、孔が大きくなればなる程、より多くの火薬を、最も良好に孔の底まで詰め込めるようになることを記憶しておくべきである。

穿孔型式。標準的なピラミッドカット型式（pyramid-cut）は、Fig 5-6 に示す通りである。“心抜き（cut）”を形成する4個の中心部の孔は、ピラミッド状に穿孔され、その底端が交わるようにする。この4つの孔は、本

型式の他の孔より、約 12 in (30cm) 深くすると共に、残りの孔が一層効果的に働くようにこの岩の中心部を抜取るため、余計に火薬を装填せねばならない。この他の穿孔型式は、層状岩 (stratified rock) の場合によく使われる。それらの名前は、自己説明的 (self-explanatory) なものがついている。即ち上部楔状カット (top wedge cut) " 下部楔状カット (bottom wedge cut) " 垂直楔状カット (vertical wedge cut) " 等があるが、ピラミッド状カットが最も普通である。孔の数と間隔は、トンネルの寸法と岩の構造組成で変る。一般には、切羽の 4 ft^2 (0.37 m^2) 当り 1 孔とになっている。えらぶ穿孔型式は、全部の孔がドリルで容易にあげられるような型式のものでなければならぬし、逆にドリルで容易に全部の孔があげられるような型式をえらばなければならぬともいえる。このドリルは、その穿孔型式にあったジャンボーにのせねばならない。

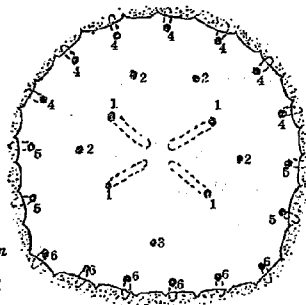


Fig 5-6 代表的なピラミッド型の穿孔型式。数字は点火順序を示している

発破毎の結果は、火薬の消費量と同じ位入念に注意すべきである。サイクル毎に、ギリギリの破壊しか出来ない場合でも、その穿孔型式での孔の数を増やすことによって、ダイナマイトをまさなくても改善出来る場合がある。一方、サイクル毎に、異常な過破壊 (overbreaking) がある場合、孔をふやし、ダイナマイトをへらせばよいことがある。

孔の深さは、かなりよく 8 ft (2.4 m) に標準化されており、これによって、約 7 ft (2.1 m) のトンネル掘進となる。岩によっては、10 ft (3 m) の孔を使って 9 ft (2.7 m) 進めることが出来るし、特殊な場合には、1 サイクル 12 ft (3.6 m) で穿れることもある。どの場合でも、必抜孔 (cut hole) は、その他の孔より、約 12 in (30cm) 深く穿らねばならない。支保工を必要とする悪い地盤で作業する時には、えらぶサイクルは、鋼製リブの間隔の倍数でなければならない。非常に悪い地盤では、4~5 ft (1.2~1.5 m) の丁度鋼製リブ 1 組の間隔で行うのが良い。

・バーンカット (burnt cut) ・とは、心抜孔 (cut hole) 群の頂点を結ぶ線上にある余分な孔のことで、深さは、 $2/3$ にだけしか穿られない。これには装薬しない。この目的は、コアーが膨脹して、壊れるだけの小間隙をうるため、そのためには、 $3 \sim 4$ in (7.5 cm $\sim$ 10 cm) の直径が必要である。バーンカットは、火薬量をまわずに、破壊状態を改善することがよくある。この孔を 2 in (5 cm) 径にして装薬する場合は、・ベビーカット (baby cut) ・と呼ばれている。

爆 薬 (explosives)

爆薬の用法とタイプは第 6 章に詳しく出してあり、ここでくりかえす必要はない。しかしながら、地下で使用するダイナマイトは、有害な煙の発生が最も少く、水に対する抵抗が強いタイプのものでなければならない。トンネルの中に、幾分でも、爆発性のガスがある場合には、炭坑で使われているような「許容ダイナマイト (permissible dynamite) 」を使用すべきである。

爆破作業は、常に動力線からとった 220 ボルトの電圧を使って、電気的に点火して行い。普通の工程での点火順序は、Fig 5-6 に示されている。そして種々の「遅発 (delay) 」が出来る雷管 (detonator) を使用することで、適切な結果が得られる。雷管には、1 から 10 段階までの遅発が出来るものがある。大抵のトンネルに対して、水雷タイプのものが使われている。電気雷管頭 (electric cap) に引いてきて結線する時には、非常に大きな注意が必要である。それらは、動力線とかフラッシュ光、時には、ラジオの電波からの迷走電流 (stray current) によっても、誤って爆発されることもある。

爆薬の量は、岩のタイプ、トンネルの径及び孔の深さで異なる。しかしながら予備的な推定用としては堅い岩 1 yd^3 当り 4 ポンドの爆薬 ($2.4 Kg/m^3$) を見込んでおけば十分である。大きなトンネルでは 2 $\frac{1}{2}$ ポンド ($1.5 Kg/m^3$) 位まで下るが、一方、堅岩中の小さなトンネルでは 7 ポンド ($4.2 Kg/m^3$) も要することがある。

ズ リ 積 み (mucking)

ズリ積みとは、破碎された岩を、トロ (car) やトラックに積み込む作業の

ことである。以前は、—そう遠い昔のことではないが、これが最も激しい重労働であった。しかしズリ積込機の発明と改良によって、ズリ積み人夫はひどく骨のおれる仕事から解放されることになった。

各発破毎にある量の固形岩がくだかれて、ルーズなズリとなってトンネルの床の上に出てくる。このルーズなズリの量は固形岩の時の量より約50%多い。これは「岩のふくれ (growth of rock)」として知られているもので、ズリ積込機の出力や運搬に必要なトロの台数を計算する時に、考慮せねばならぬものである。

爆破後の第1の作業は、常に「天井の浮石除去」であり、それは発破によってゆるんだ岩を全て、こち落してしまうためのものである。これは安全のためには、最も重要な作業であり、経験のある坑夫だけしか出来ないものである。小さなトンネルでは、ズリ山の上に登れば、浮石除去用の棒 (scaling bar) で、天井にさわる事が出来るが、大きなトンネルでは、ドリルジャンボを切羽まで押出して、坑夫が天井にさわれるようにする必要がある。それからジャンボを引き戻して、ズリ積込機が十分作業出来るだけの空間をつくらねばならない。

ズリ積込機 (mucking machine)。小さなトンネルでは、殆んどどこでも Fig 5-7 に示すようなタイプの

小型ズリ積込機で、ズリ出しが行われている。これは簡単で、丈夫な機械で、空気駆動であり、ズリ出し用軌条の上をはしる四輪台車の上にのっている。2台のエアモーターがあり、1台は前進後退用としてギアで車輪に連結されており、今1台はディッパー (dipper)



Fig 5-7 小型の空気駆動式ズリ積込機

の上げ下げ用である。このディッパーは、きれいにすくい上げるために、人力で約30°だけ、両側にふり廻せるようになっている。使い方は、1台の空トロをその後に連結しており、この機械をズリ山の中に突入させ、ディッパー一杯にズリをつめる。それから数フィ

ート後退して、ディッパーを持上げ、ズリをトロに投入する。これはまさに迅速な小型ショベルである。そして、効率的なズリ出しの問題は、トロに急速に積込むことにあるのではなく、積込んだトロをどかして、空のトロに素早くおきかえて、この機械の作業が再開出来るようにすることにある。トロの入換方法 (car-changing method) は、別の節で論じることにする。

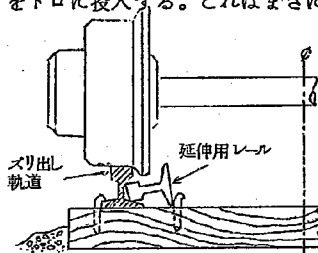


Fig 5-8 延伸式レール
(telescoping rail)

ズリ積込機は、ズリ山に突入するので、前以って敷設してあるレールの端まで進み出ることになる。仮レールとして「延伸式レール (telescoping rail)」が使われるが (Fig 5-8)、これは別なレール区間が敷設出来るようになるまで、ズリ山の中に滑り込ませて行けるようになっている。

レールにのった電動式のズリ積込機の別のタイプを Fig 5-9 に示す。これは大きくて、重くて、より大きな容量になっており、動力による旋回装置を有

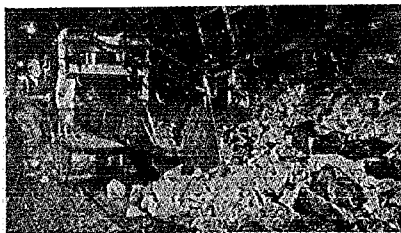


Fig 5-9 電動式ズリ積込機

しているので、より広いトンネルのズリ処理が出来る。又、短区間のベルトコンベヤーが後端についていて、長いズリトロの後端まで、十分に積込める所までズリを運んで行く。この型のズリ積込機のついた長いトロを使う場合には、そのトロは「ジャックナイフ型連結棒 (jackknife

draw bar)」か、又は2点連結器 (two position coupler) を使って連結されねばならない。

キャタピラー付きのズリ積込機 (crawler-mounted mucker) を Fig 5-10 に示す。この機械は、ズリをゴムタイヤのトラックで運搬する「レールを使わない坑道 (trackless mining)」の時に、最も効果的である。これは大きな容量があり、且つトンネルの床面を自由に動かすことが出来る。トン

ネルの壁沿いにズリを片付ける時に優れている。このタイプのズリ積込機の大
半は、ディーゼル駆動である。勿論、有害ガスを取除くための排気装置をつけ
ておかねばならない。

非常に大きなトンネルは、普通のパワーショベルでズリ出しが行われる。大
低の場合、こうしたショベルには
1斗乃至1斗 yd^3 ($0.96 m^3$ 又は
 $1.15 m^3$) のディッパーがついてお
り、その腕木 (boom) 又は、ディ
ッパー棒 (dipper stick) は、
シャベルを回転させる時、壁にあ
たらないように締められるもので
なければならない。こうしたショ
ベルには電力が使え、地下工事で
はディーゼルより望しいものであ
る。



Fig 5-10 キャタピラ付きのディーゼル駆動
式ズリ積込用ショベル

運 搬 (Haulage)

ズリの搬出は、小さなトンネルでは狭軌の採鉱用トロで行われ、大きいトン
ネルではディーゼルトラックで行なわれる。分割線 (dividing line) が、
巾員で18から20 ft (5.4 m~6 m) のトンネルになっておれば、2台のトラ
ックは、お互にぶつかることなくすれ違える。

軌道搬出 (Rail Haulage)。小トンネル用の軌道ゲージは、18 in
(46 cm)、24 in (61 cm)、乃至36 in (91 cm) である。トンネル用のトロは、
長さと高さについてはいろいろなものがあるが、巾についてはかなりよく標準
化されている。18 in (46 cm) ゲージ用には30 in (76 cm) 巾、24 in (61 cm)
ゲージ用には42 in (107 cm) 巾、36 in (91 cm) ゲージ用には66 in (168 cm)
巾のトロがある。こうして、2台のトロが、トンネル内ですれ違えるように、
軌道ゲージがえらばれる。施工業者によっては、30 in (76 cm) ゲージの軌動
を選ぶこともあるが、このサイズは一般性を失いつつある。レールは18 in
(46 cm) 及び、24 in (61 cm) ゲージに対しては、25 lb/yd ($12.5 kg/m$)

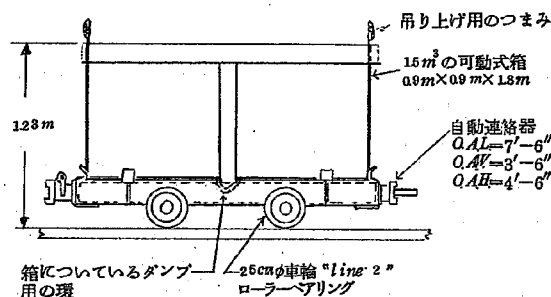


Fig 5-11 61cm (24") ゲージ、 $1.5 m^3$ ($2 yd^3$) 積みのトンネル用トロ。
この箱は取はずしが出来、地表まで捲上げられて、トラックにダンプ
される。

乃至 $30 lb/yd$ ($15 kg/m$) の重さで、長さ $15 ft$ ($4.5 m$) 当り 5 本の鋼製枕木 (steel tie) の上についていることが多く、トンネル内に持込んで素早く敷設出来るような既製可搬式軌道になっている。分岐器 (switch) は、どのゲージ用のものでも入手出来、全部、鋼製枕木がついている。36 in (91 cm) 用のレールは、一般に 40 乃至 $60 lb/yd$ ($20 kg/m$ 乃至 $30 kg/m$) の目方があり、木製枕木に釘づけされている。こうしたレールの長さは、 $30 \sim 33 ft$ ($9 \sim 10 m$) になる。

トロは、最大容量がえられ、しかも、容易且つ、安全に積めるものを扱ねばならない。大半のズリ積込機は、長いトロの後端までは投入出来ないし、又あまり高すぎるトロにも積込めない。トロの寸法はえらんだズリ積込機の積込能力図に照して、入念にチェックする必要がある。次に、最も普通なトンネル用のトロ (tunnel car) についてのべる。

トンネル用のトロは小さな浅いトンネルで使われる。これは、ローラーベアリング付の 4 個の車輪の上についている平らな車体からなっており (Fig 5-11) 取はずしの出来るズリ箱をつんでいる。この箱は、クレーンで地表まで持ち上げられ、直接トラックにダンプされる。こうした箱の容量は、18 in (46 cm) ゲージのトロ用として $1 yd^3$ ($0.38 m^3 \sim 0.76 m^3$)、24 in (61 cm) ゲージのトロ用として $1\frac{1}{2}$ から $2 yd^3$ ($1.15 m^3 \sim 1.5 m^3$) である。

揺動式のダンプトロ (rocker-dump car) (Fig 5-12) は、べたついた粘土や、未固結のコンクリートを扱うには理想的である。これは、2人でダンプ出来る。

サイドダンプトロ (side dump car) は、岩やべたつかないズリの処理用として、最も普通のものである。その容量は、24 in (61 cm) ゲージ用の $1\frac{1}{2}$ 乃至 $2\frac{1}{2}$ yd³ ($1.15\text{ m}^3 \sim 1.9\text{ m}^3$) から、36 in (91 cm) ゲージ用の 4 乃至 6 yd³ ($3\text{ m}^3 \sim 4.6\text{ m}^3$) までである。容量がきまる高さで長さは、採用するズリ積込機に適うように選ばれる。Fig 5-13 に示すようなグランビー (Granby) 型は、

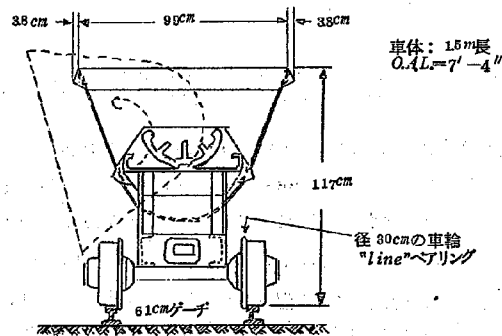


Fig 5-12 61 cm (24") ゲージ、 0.75 m^3 (1 yd³) 積み、揺動ダンプ式トロ (rocker-dump car)。このトロは、べとつく粘土とか、生コンクリートを扱うのに優れている。

最小の高さで、最大の容量を有しているが、トロ本体の一方の側を持上げるのに、軌道の横の凹みにセットした空気式ジャッキ (air-ram) とか台にのせた空気式捲上機 (air hoist) といったような、外的な手段を使ってダンプせねばならない。同じトロで手で反転出来る揺動式ダンプ装置がついたものも入手出来るが、そのようなトロは、回転の中心を中心線に密接させねばならないので、同じ容量の場合、丈が高くならざるをえない。

4 輪トロが、トンネル工事用には標準である。車輪は、チルド鉄 (chilled iron) とか鉄鋼 (cast steel) 又は、鍛鋼 (wrought steel) からなっているが、ローラーベアリングと高強度の鋼車軸を有さねばならない。ローラーベアリングを使ったトロの回転摩擦力は、ブローズベアリングの時の $30\frac{1}{4}\%$

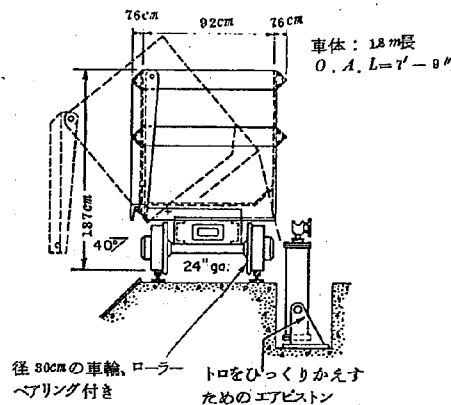


Fig 5-13 61cmゲージ、15m³積みの横ダンプ式トロ。このトロは Granby 型のもので、エアピストン (air ram) でダンプせねばならない。

(15Kg/t)に比べて、約 20 lb/ton (10Kg/t)である。より小さなトロでは環とピンの連結器 (link-and-pin-coupler) が使われているが、より大きなトロでは、安全性からだけでなく、ズリ積込機の背後でのトロの入れかえ作業のスピードアップのためにも、ある種の自動連結器を使わねばならない。

トロの入換え (car changing)。新式のズリ積込機は、トロ 1 台に積込むには 1 分位しかからないが、その積込作業は、積込まれたトロを動かして、空のトロをズリ積込機の所にセットするまで中断される。"チェリーピッカー (cherry picker)" とか、"グラスホッパー (grass hopper)" といった色々な装置が、トロの入換えに浪費される時間をへらすために考案されているが、今日最も一般的になっているものは、"カーパッサー (car passer)"

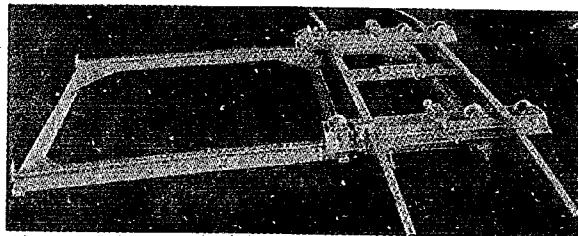


Fig 5-14 61cmゲージ軌道用のカーパッサー (car passer)。このカーパッサーは、主線のレールを切欠くことなしに、その何れの側にも使用出来、且つ容易に持運べる

と「カリフォルニア型入換器 (california switch)」である。

カーバッサーは、可搬式のトロ入換台 (transfer table) で、ズリ出し軌道沿いに、レールを切欠くことなしに、左右何れの側にでも、そしてどこにでも、セット出来るものである。(Fig 5-14)。空のトロは、連結を解いて機関車でカーバッサーの方へ突放される。

それから、機関車がズリをつんだトロを動かしに導坑に戻っている間に、1人の人が、この空トロを側線に移す。機関車が戻ってくると、この空トロをズリ出し用軌道に戻し、機関車がズリ積込機の所まで、「がたがたと押して行く」。

カリフォルニア型転轍器 (switch) (Fig 5-15) は、短区間の複線軌道で

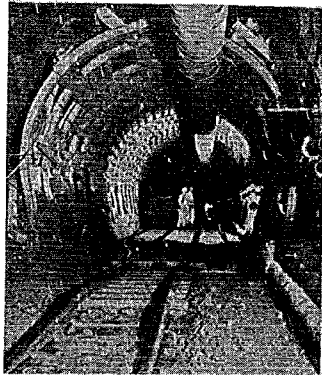


Fig 5-15 36cm(30 in)ゲージ用
カリフォルニア型転轍器

各端にダイヤモンド型の転轍器がついている。これは、ズリ出し用軌道の上に重ね、各端に、可登ポイント (climber point) をつけてトロ列車が登って、転轍器まで走っていきえるようになっている。カリフォルニア型転轍器の長さは、1列車全体が取りこめるだけのものではなくてはならない。空トロは全部一方の側にあり、ズリ積込機の横についているエアホイス (air hoist) で、ズリ積込機の所へ一度に一台づつ引き寄せられる。機関車は別な軌道にいて、1台のトロが一杯になると、前進してきて、そのトロを引き出す。

導坑が前進すれば、このカリフォルニア型転轍器全体も前の方に引き出し、常に、トロの迅速な入換えに最良の位置にあるようにする。

機関車 (Locomotives)。蓄電池式機関車 (バッテリーカー) は、コンパクトであるため、又そのための換気の必要はないため、小トンネル用として、最も普通なものになっている。最も普通の寸法は、1 1/2、3、5 及び 8 トンである。機関車の寸法は、ズリをつんだトロの目方、1列車のトロ台数及びトンネルの不利な方の勾配からきまる。所要引張り棒の引力 (drawbar pull) は次の式から求められる。

$$DBP=W(f \pm 20g)$$

ここで

DBP = 引張り棒の引力 (*drawbar pull*) : lb

W = 機関車を含めた列車の重量 : ton

f = 回転摩擦力 : lb/ton 、普通 $20 \sim 25 lb$

g = 勾配 : %

機関車の牽引力 (*tractive effort* : TE) は、駆動輪 (*drive wheel*) の目方の 20 % と仮定されている。従って 3 米トン (2.7 t) 機関車なら 1200 ポンド (0.54 t) の牽引力になる。牽引力は、列車の発進や、軌道のデコボコの所を通ったり、カーブを廻ったりするための余裕をうるため、引張棒の引力の約 2 倍にせねばならない。



Fig 5-16 小トンネルでのバッテリー機関車

バッテリーは、機関車が一作業班 8 時間の全作業をするのに、再充電せずすむように選ばなければならない。各機関車には、2 台のバッテリーがあって、簡単に取りはずせるようになっているので、1 つが作業中に、他の 1 つが充電出来る。

ディーゼル機関車が、長い運搬距離や不利な勾配の時に、だんだん多く用いられるようになってきた。最も普通の見方は、3、5、6、8、12 米トンである。ディーゼルエンジンは、良い状態では、一酸化炭素 (CO) は発生しない。しかしながら、大量に吸込むと、人間の肺へ硝酸を生じさせる亜酸化窒素 (笑気) を排出する。それ故、地下で使うディーゼルエンジンには全て、" 排気調整装置 (*exhaust conditioner*) " をつけて、亜酸化窒素 (NO) を吸収し、中和し、そして、冷却し、炭酸ガス (CO_2) を拡散させるようにせねばならない。地下で使用されるディーゼルエンジンの 1 馬力当りに対して、最小限、毎分 $7.5 ft^3$ ($2.1 m^3$) だけの、新しい空気の換気を米国の鉱山局 (*Bureau of Mines*) では推奨している。

トロリー用機関車は、トンネル工事では、トロリー用裸線の危険性のため、殆んど使われていない。圧縮空気を使う機関車は、簡単で、初めの費用は安い
が、空気の貯蔵量に限度があるので、それが使えるのは小範囲である。従って
これは、短いトンネルか、又は導坑や立坑での入換え用 (switching) にしか
使われない。

トラック運搬 (Truck Haulage)。トンネル巾が 18 ft (5.4 m) 以上にな
ると、トンネルの運搬にトラックが使える。約 400 ft (120 m) 間隔で、す
れ違い用の場所として、片側の壁に凹所を掘らなくては、トラックがすれ違え
ない位狭いトンネルに、これを使
うことは経済的に見て疑問である。
このすれ違い場所の掘削費と裏込
め費の方が、初期設備の若干の節
約より大きくなる。しかしながら、
トラックが使える時には、若干の
利点がある。トラックは大容量を
有しており、操作に柔軟性があり
前進する時に高いスピードが出せ



Fig 5-17 トンネル用ディーゼルトラック

る。しかしながら、大抵の場合、普通のトラックは、切羽までの全道程をバック
でこねばならない。特殊なダンプトラックを作って、トンネル工事によく合
うようにした業者がいる。これは、高速ギアで、どの方向にも走れるので、ト
ンネル内をバックしたり、ターンしたりする時間の損失がない。地下工事用の
トラックは、排気調整装置 (exhaust conditioner) のついたディーゼル
エンジンのものでなければならない。そして所要換気量は、ディーゼル機関車
に対するものと同じで、1馬力当り毎分 75 ft^3 (2.1 m^3) の新鮮な空気となっ
ている。小さなトンネルでは、小型ディーゼルエンジンのついた動力式一輪車
(wheelbarrow) とか、"スクーター (scooter)" が軌道敷設の費用を節減
するために使われている。

換 気 (Ventilation)

適切な換気のことを、大抵の州では、法律で規定しているが、これは、迅速

且つ能率的なトンネル掘進にとっても必要なことである。各発破毎に、莫大な量の煙とホコリが出る。そして、こうした塵煙が除去されるか、又は、消散されまでは、トンネル作業は再開出来ない。発破を人夫の中餐時にかけるように調整することが出来る時もあるが、しかし、毎日、このようなスケジュールが樹てられることは殆んどない。3通りの換気方法があり、以下の節で概説する。

送気方式 (blower system) は、送気機 (blower) 又はファン (fan) からなっていて、切羽から約 200 ft (60 m) の点まで鋼鉄製のパイプを通してトンネル内に新鮮な空気を送り込んでおり、ここから切羽まで、その新鮮な空気を導くには、折たゝみの出来るキャンパス型のチューブ (canvas tube) が使用されている。各発破の直前に、このキャンパス型のチューブは、飛岩によって傷められないように取りはずされる。発破後、出来るだけ早く、このキャンパス型チューブを再配置して、新しい空気を直接切羽に導くようにする。この方式は、取外しが出来、且つ、折りたゝめるチューブを通して、直接、切羽まで換気を行える長所を有しているが、煙がゆっくりとただよいながら、トンネルを通過して出て行くため、モーター係やトンネルの後部で働いている人達が、長時間、煙の中にいなければならないという欠点を持っている。

排気方式 (exhaust system) は、何時でも、薄肉鋼管 (sheet-steel pipe) を通して、煙や汚れた空気を除去する吸引方式を採用している。この薄肉鋼管は、部分的に生じる真空状態によって、つぶれないだけの強さ要る。

この方法は、新しい空気がトンネル内の全長を流れるという長所と、煙や塵煙が速やかに除去されという長所を有しているが、鋼管の端を飛岩による被害から守るために、切羽から約 200 ft (60 m) はなしておかねばならないので、換気管の端とトンネルの切羽の間に、"死角 (dead end)" を生じていることになる。しかしながら、この難点は、小さな補助送風機を換気用の主パイプの端のすぐ後のトンネル内に据付け、新しい空気を 8 in (24 cm) のキャンパス型のチューブで、切羽の方に送ることで容易に是正出来る。このキャンパス型チューブは、各発破の直前に、巻き上げて、取外す必要がある。

組合せ方式 (combined system) は、送風用と吸引用の両方に対して設計されたものである。大半の時間は、送風機が新しい空気を、金属管を通してトンネル内に送り込んでおり、更にこの金属管には、新しい空気を切羽まで送る

ためのキャンバス型のチューブがついている。発破に先立って、このキャンバス型チューブを取外し、ファン又は、送風機を排気型式にセットする。20～30分間空気を排出すると、大半の煙が除去される。それから、ファンを送風型にセットし、キャンバス型チューブを戻して、人間が作業する場所に新鮮な空気を送りこむ。これが大きなトンネルの換気用として、最も普通の方法である。大半のファンは、實際上、逆転がきくが、送風機 (blower) は駄目である。それ故、送風機を換気用に使う時は、そしてこれが断然、普通の場合であるが、ある種の「可変バルブ (reversing valve)」をパイプ内に、送風機

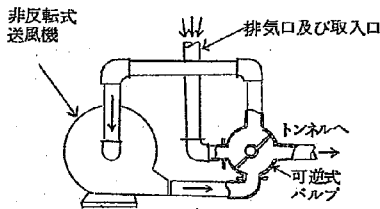


Fig 5-18 反転出来ない送風機用の可逆式バルブ

と密着してセットし、流れの方向を変える必要がある。

空気量は、地下で働いている人数できまり、新鮮な空気量は1人当り毎分 200 ft^3 から 500 ft^3 ($5.6 \text{ m}^3 \sim 14 \text{ m}^3$) の間で変化している。削岩機から排出される高圧の空気は、油や湿気を含んでいるので勘定には入れられない。

ディーゼル機関車を運搬用に使う場合には、合衆国の鉱山局は、1馬力当り毎分最小 75 ft^3 (2.1 m^3) の新鮮な空気を推奨している。供給すべき空気量と最大距離が判れば、ある大さの直径のパイプを通して、この空気量を送るのに必要な馬力数は、種々の送風機メーカーの表から、すぐ計算出来る。次のことは、経済的に興味ある問題である。電力費とパイプ費とバランスさせること。

支保工又は天井押え (Timbering or Roof Support)

岩石トンネルの天井を押える作業は、今日では鋼製リブ (steel rib) や、鋼製敷板 (steel liner plate)、ルーフボルト (roof bolt) が、殆んど木材に取って代っているが、それでも依然として、「timbering (支保工)」といわれている。天井押えの原理と方法を以下にのべる。支保工の建込み作業は、天井が無支持のまゝで、 10 ft ($3 \text{ m} \sim 4.5 \text{ m}$) の間で、安全になっておれば、一般に、削孔作業と同時にやる。いかにえれば、鋼製リブを建込む坑夫は、削

岩作業の邪魔にならないようにドリルジャンボの後端で作業しなければならない。これは、削岩夫は、リブ材や矢板 (lagging) で保護されていないということである。大抵の岩では、これで安全であるが、ある種のものでは、本当に危険になることがある。

木製支保工 (Wood Timbering)。トンネルの支保工用としては、今日では、殆んど完全に鋼材が使われているが、応急的な支保工を必要とするような事故がおこることがある。そして木材の方が、一般にはより早く入手出来る。fig 5-19 に示すように、小トンネル用の最も簡単なタイプの支保工は、転木一柱 (cap-and-post) のセットである。これは1本の転木 (cap) からなっており、その下面には2"×6" (5cm×15cm) のあて板 (spreader) が釘づけられている。柱は、普通、8"×8" (20cm×20cm) である。支保工作業では転木が、まず“一對のしゅもく枝 (crutch)”で正しい位置に持ってこられその位置で、土台 (foot block) が敷かれる。それから脚 (leg) の長さを入念にはかって、正しい長さに切る。この脚をそこにセットし、1対の継ぎ板

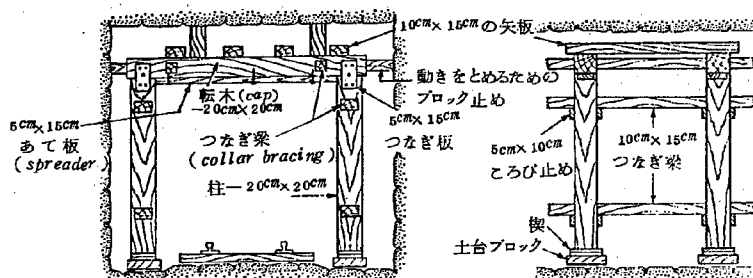
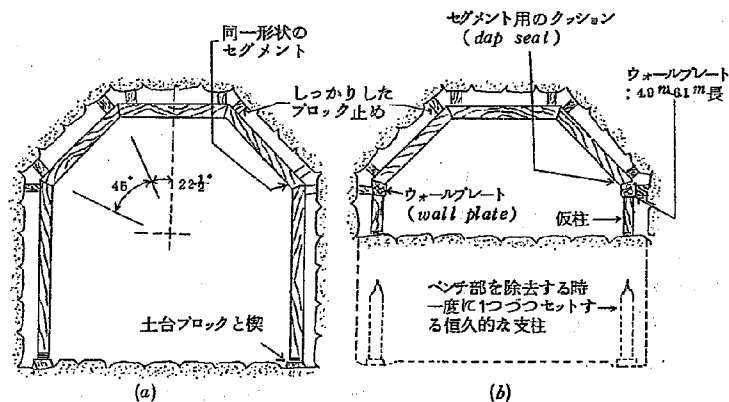


Fig 5-19 簡単な転木一柱セット (cap-and-post set)
小トンネルのみで使われる。

(soab) で転木 (cap) に取付ける。それから、この転木を、天井と壁に入念にはめこみ (block)、楔をしっかりと打込んで、セット全体にプレストレスを加える。ルーズな岩の肌落ちを防ぐために、こうした転木と交叉して、矢板 (lagging) を敷く。そして、つなぎ梁 (collar bracing) を測って切

り出す。このつなぎ梁は最も大切なものである。これは、荷重下でセットが、横方向に動くのを止めているだけでなく、次の発破で、セットが変位するのも防いでいる。このつなぎ梁は木材支保工で重要であるばかりでなく、鋼製リブ材でも一層重要である。



(a) つなぎ梁と矢板は示していない

Fig 5-20 3 片の木材からなる支保工セット: (a) 切羽全体の掘進用;
(b) 導坑-ベンチ方式 (heading-and-bench tunneling)。
ベンチ部を除去する時にはウォールプレートがアーチ部を支える。

Fig 5-20 は、12 ft から 18 ft (3.6 m ~ 5.4 m) 巾のトンネルに使われる 3 個の木材片からなるセットを示したものである。セグメントは皆同じで、 45° 、一般に $8'' \times 8''$ ($20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$) 又は、 $10'' \times 10''$ ($25\text{ cm} \times 25\text{ cm}$) の木材である。Fig 5-20 (a) に示すように、切羽全体を掘進する際、柱の頂部を $22\frac{1}{2}^\circ$ の斜角に切り、全セグメントを指示通りにブロック締めした後、楔を打込む。このスケッチには、つなぎ梁が示されていないが、これは必ずある。Fig 5-20 (b) は、悪い地盤にトンネルを掘る時の同じセットを示すものである。この場合、導坑-ベンチ式 (heading-and-bench method) で掘るのがジャンボを片付けずに、坑夫が天井に届くことが出来るので、安全なやり方である。この状態では、ウォールプレート (wall plate) が必要であり、

このウォールプレートは取扱上差支えない限り長くすべきで、支保工セットの間隔の倍数で、16 ft から 20 ft (4.8 m から 6 m) にする。ウォールプレートは、まず仮柱の上にセットされ、セグメントが組立てられ、ブロック締めされ、皿板 (foot block) 上にしっかりと楔付けされる。それからベンチ部を支保工間隔に等しい厚さで切りとり、より長い本柱を、一度に一組ずつセットする。ウォールプレートは、次の柱をセットするまで、一時的にアーチを支持する梁として働く。

支保工セットの間隔は、木製でも、鋼製でも、地山のタイプと支保工材の寸法で変る。普通 5 ft (1.5 m) 間隔が使われているが、3 ft (0.9 m)、又は、2 ft (0.6 m) にまで縮められることもあり、又、8 ft (2.4 m) 位まで増されることもある。支保工セットの間隔は、1 サイクル掘進長できまるし、又、その逆でもある。1 サイクルが 8 ft (2.4 m) なら、支保工間隔は 4 ft (1.2 m) にするのが便利である。支保工間隔を 5 ft (1.5 m) にせねばならないなら穿孔作業のサイクルは、10 ft (3 m) にすべきである。しかしながら岩によっては天井は信頼出来ないで、穿孔作業のサイクルを支保工セットの間隔に等しくせねばならないことがある。支保工間隔が 4 ft (1.2 m) なら、それが穿孔すべき全長である。木矢板は、一般に 4" × 6" (10 cm × 15 cm) であるが、支保工セットの間隔が近い時にはへらせるし、間隔がませばもっと大きいものにせねばならない。

鋼製リブ材 (steel ribs)。切羽全部を掘進する小トンネルに対しては、

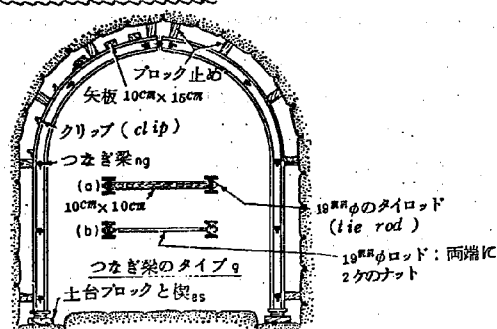


Fig 5-21 小トンネル用の鋼製リブ材

リブ材は、Fig 5-21に示すように、2片にわけてつくられている。トンネルで、鋼製リブ材を取り扱う問題は常にあり、より大きなトンネルでは、個々の材片 (piece) を手で扱えるようにするため、起拱線 (spring line) の所に接目板 (splice) を入れることが必要になってくる。リブ材は、対にしてセットされ、ボルト結合され、正しい位置になるまで、皿板 (float block) 上で持上げられる。ブロックづけの寸法をはかり、略指示通りにおき、リブ間につなぎ棒 (tie rods) をセットし、各リブ材に正しい長さのつなぎばり (collar brace) をつける。全部の配置が終り、しっかり締めてから、楔を皿板上に打込む。

Fig 5-22 は、導坑ベンチ式工法 (heading-and-bench method) で掘られるトンネルに使われている鋼製リブ材を示している。こゝでも亦、ベンチ部を取除き、より長い柱をセットする間、アーチ部を支持するために、ウォールプレートを採用せねばならない。ウォールプレートの2つのタイプを示す。その1つはHビームで、アーチのベースをそれにボルトづけする。もう1つのタイプは、つなぎ棒は示していない

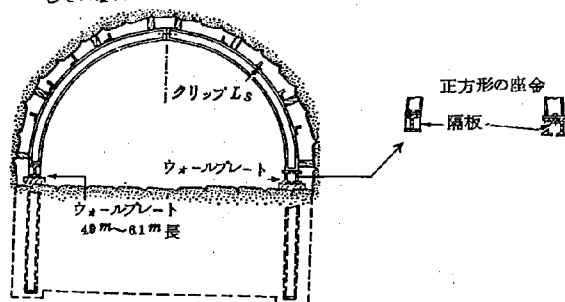


Fig 5-22 導坑ベンチ式工法用の鋼製リブ材。ベンチ部を除去する時にウォールプレートが、アーチ部を支えるために必要である。

タイプは、一對のIビームが互に熔接されており、アーチのリブ材は、それに正方形の座金 (washer) を通して、トグル型式のボルト (toggle bolt) でとりつけられている。このタイプのウォールプレートは、新しい孔をあけなくても、リブ間隔を任意にかえられるという長所を有している。

鋼製リブ材は、小さな岩片の崩落を防ぐために、矢板掛をせねばならない。

大低のタイプの地山では、この矢板がけは、18"から24" (45cm~61cm)の間隔で円周上に施される。場合によっては、ぴったりすき間なしに施工せねばならないこともある。Fig 5-23 に示すように、矢板がけは、木又は鋼材をつかって行われる。木を使う場合で、間隔の広い時には、矢板がすべり落ちないように、間隔をとって、クリップをリブに溶接しておかねばならない。鋼製ライナープレート (鋼矢板) は、リブの腹板 (web) に孔をあけボルト締めして使われる。こうしたライナープレートの巾は、普通、16" (40cm) で、各ブ

レートの間のギャップを6" (15cm)にするのが最も普通である。場合によっては、構造物用の溝型矢板 (structural channel lagging) がつかわれることがあり、アーチリブ材のフランジの内側、又は、外側にクランプ締めされる。

矢板をすき間なしに敷並べる場合には、矢板と岩の間の隙間を岩屑で裏詰めすることが是非望まれる。こうすることによって岩に連続的に支持され、偏心荷重によるねじれからアーチ材をまもることになる。不幸にして、この裏詰め作業は、時間がかかるめんどろな作業であり、金がかかり、なかなかよく出来ないものである。それ故、本質的にはリブと岩の間はブロックづけ (blocking) を使うことになる。

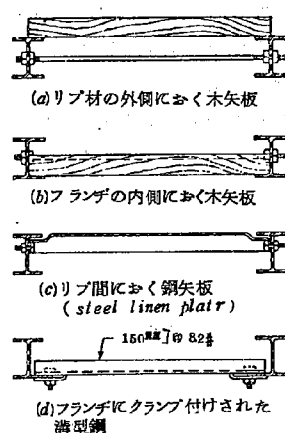


Fig 5-23 鋼材支保工用の矢板のタイプ

ルーフボルト (Roof Bolts)。ルーフボルト工は、天井支持の新しい工法であり、ある種の岩では、非常に安全で経済的である。岩によっては、ルーフボルト工は、殆んど無効であるか、又は、良くない場合がある。それ故、これを使用するには十分入念の研究が必要である。一般にルーフボルトは、各方向共約4 ft (1.2 m)の間隔におかれ、ロッドそのものの長さも4 ft (1.2 m)になっている。手に入るルーフボルトは、2から8 ft (0.6 m~2.4 m)の標準長になっており、堅硬な岩にアンカー出来るだけの長さが必要である。

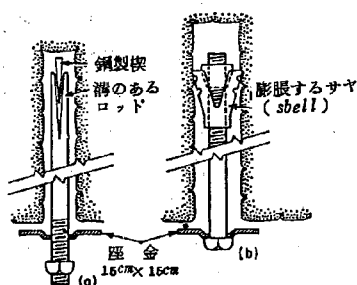


Fig 5-24 ルーフボルト (roof bolt):
(a) 裂目型 (split rods)
(b) 膨張型 (expansion type)

るトルクでしめつける。第二のタイプは孔に挿入された膨張型のシールド (shell) 又はシェル (shell) からなっており、ロッドをしめつけることによって膨張するシェルで出来ている。この膨張型のルーフボルトは、普通、 $5/8"$ (16mm) 又は $3/4"$ (19mm) の径であり、孔径は $1\frac{3}{4}"$ (35mm) から $1\frac{3}{4}"$ (45mm) にせねばならない。座金は、普通 $6" \times 6" \times \frac{1}{4}"$ ($150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 6.3\text{mm}$) であるが、多くの場合、 $4"$ (100mm) 又は $6"$ (150mm) の構造用薄型鋼の方がボルト孔間により大きな支持力を与えるので、使用されている。可搬式の軌道で使われているような鋼製接目板 (steel tie) も又、この目的のために広く使われている。

立 坑 (shaft)

高低の岩石トンネルは、下り勾配の時には、1本又は数本の立坑が必要になる。全部のズリをポータルからのみ取り出すことは、鉄道トンネルか迂回トンネル (diversion tunnel) でしか出来ない。以下の節では、荷がくる所や、岩石の中を通して立坑を沈下させること、トンネルからのズリの捲上げのことについてのべている。約 250ft (75m) の深さの "浅い" 立坑だけを考えることにする。これ以上深く沈める方法や高速捲上げが、採鉱技術者の部門では必要となる。実用採鉱学に関する多くのハンドブックを参照されたい。

ルーフボルトには、Fig 5-24 に示すように、2つのタイプがある。第1のものは、細長い溝 (slot) に挿入された鋼楔を有する裂けたロッド (split rod) である。この品は (assembly) 正しい深さに穿孔された $1\frac{1}{4}"$ (32mm) 径の孔に挿入され、それから、エアハンマーで徹底的に打込める。この打込みによって、みぞの中に楔が押込まれ、拡大され、孔の周辺をしっかりと締めることになる。それから、座金及びナットをそのロッドの端にとりつけ、あ

立坑の掘下げ (Shaft Sinking)。どの立坑も岩石に達する前には、幾分荷をうける。そしてこれは、一般に Fig 5-25 に示すように、ライナープレートでサポート出来る。小さな直径の立坑では、ライナープレートで十分である

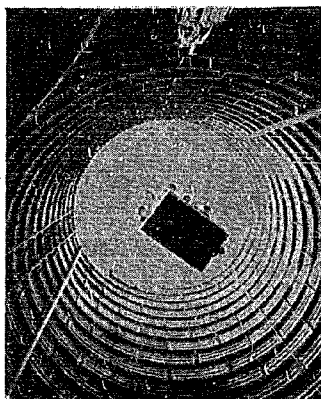


Fig 5-25 土圧のかかる直径4.9mの立坑につかわれている鋼矢板

が、より大きな立坑に対しては、圧延されたIビームのリップを2~3連のプレート毎にセットせねばならない。掘削は全て、クレーンについたクラムシェル型 (clamshell) のバケットで行われ、坑夫がライナープレートを、1回に1組づゝ建込み、ズリをクラムシェルが届く立坑の中央へ、ショベルであつめる。立坑が、"卵型"になると、圧力が巨大になるので、立坑の形を円形に保っておくことが最も大切である。ライナープレートの外側の空隙はどれでも、砂か岩屑で充填しなくてはならない。

岩につけば出来るだけ地下水の浸出を防ぐためのグラウトをして、ライナープレートをシールしなくてはならない。立坑に落下する水は、たえずポンプで排出せねばならないし、更に湿った立坑は、作業するには不適当な場所である。

岩石や立坑での穿孔作業は、手持のエアハンマーをかって、修正ピラミッド型穿孔 (Fig 5-26) で行う。そして各作業サイクルでは、4から6 ft (1.2m~1.8m) だけすすめるのが、普通のやり方である。始めの100 ft (30m) に対しては、ズリ出しはクラムシェルで行えるが、それ以上に深くなると、クラムシェルは遅くなり、且つ立坑の中で働く人にとって危険となる。それで、この深さ以上になると、普通、作業用の上屋 (temporary head frame) をつくり (Fig 5-27)、1乃至2 yd³ (0.76~1.5 m³) の容量の"キブル (kibble: つかい)" (バケット) で、ズリをまき上げる。このキブルは地表まで捲上げられ、数本の搬路の1つに、ダンプ出来るようになっている。最も簡単なものは、掘下げ装置の前面から突出しているブームに吊られた"牽き綱 (bull line)" である。

ズリの積込みは、一般に人力で行われる。そして爆破作業は、1人か2人で

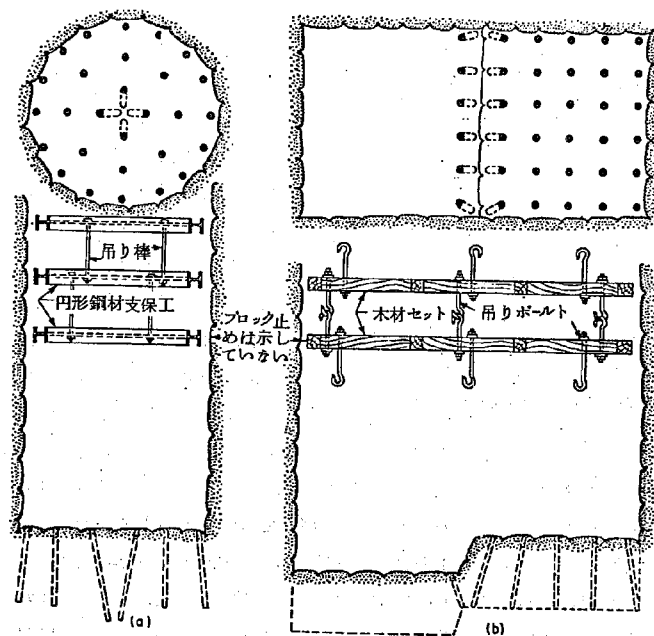


Fig 5-26 立坑掘下げにつかわれる穿孔型式：
(a) 円形立坑 (b) 大形矩形立坑

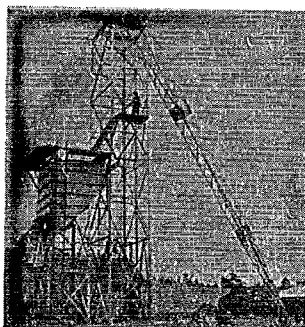


Fig 5-27 急速組立用に設計した掘下装置

扱える大きさに、ズリを割って、出るだけ人力かき込み (hand-shoveling) の回数がふえないようにコントロールしなくてはならない。近年、立坑のズリ積込機に、いくつかの進歩が起っている。その1つは、エアーホイスト (air hoist) で操作する小型のクラムシエルからなっている。この捲上機は、地上におかれ、遠隔操作が出来る。別の装置は、その機械のガ

イド枠 (*guide frame*) 内にあるオペレーターが操作する腕木 (*arm*) に剛結された空気駆動のクラムシエルである。(Fig 5-28)。垂直立坑に対しては、

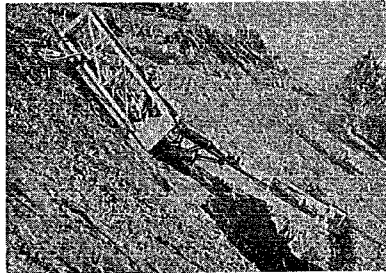


Fig 5-28 Cryderman立坑用ズリ積込機。
この空気駆動式のズリ積込機は、垂直立坑
とか斜坑でつかうことが出来る

この機械は支保工に鎖付されるが、斜坑では、1組の車輪上にのせられ一仕切り内の軌道上を走る。

立坑の支保工 (*Shaft Timbering*)

鉱山の立坑に使われている普通の木製支保工を、Fig 5-29 に示す。

バントン (*buntion*) と呼ばれるものは、普通 $8'' \times 8''$ ($20\text{cm} \times 20\text{cm}$) 又は、 $10'' \times 10''$ ($25\text{cm} \times 25\text{cm}$) の木材で、2本の「横板 (*side*

plate)」と2本の「端板 (*end plate*)」からなっている。「仕切 (*divider*)」を設けて、捲上げ用空間とハンゴ通路をつくっている。こうした支保材は全て、地表で組立て必要に応じて下ろす。各支保材には、施工区間が深くなった場合大略の位置で支保材を支えられるように、2本の「吊下げ用ボルト (*hanging bolt*)」がついているのに注意されたい。木材支保工の間隔は、一般には 5 ft (1.5 m) である。完全なセットに組立て、水平にしてから、岩にブロック止めして配列する。肌離れして、立坑の中に落ちるようなルーズな岩があれば、垂直矢板 (*lagging*) を支保工の外側にセットする。

これと同じ四角なセットを、鋼材で組立てることが出来る。そして鋼材を使う時は、セットの間隔をとるのに「小さな間柱 (*studdle*)」とか垂直な山形材が使われる。こうでも亦、まず、このセットを組立ててから、垂直位置の所にそれがくるように、岩とブロック止めする。木の場合でも、鋼の場合でも共に、5番目のセット毎に、立坑の壁に切り込まれている引掛り用の穴に入れるだけの普通より長い横板 (*side plate*) をつけておく。かくして5番目のセット毎に、独立して支持される (*self-supporting*) ようにし、吊ボルトとか、間柱 (*studdle*) にかさる荷重をへらしている。

立坑が円形になれば、円形の鋼リブ材 (Fig 5-30) を、5乃至 6 ft (1.5 m ~ 1.8 m) 毎にセットし、岩にブロック止めし、その外側に垂直矢板をおくこと

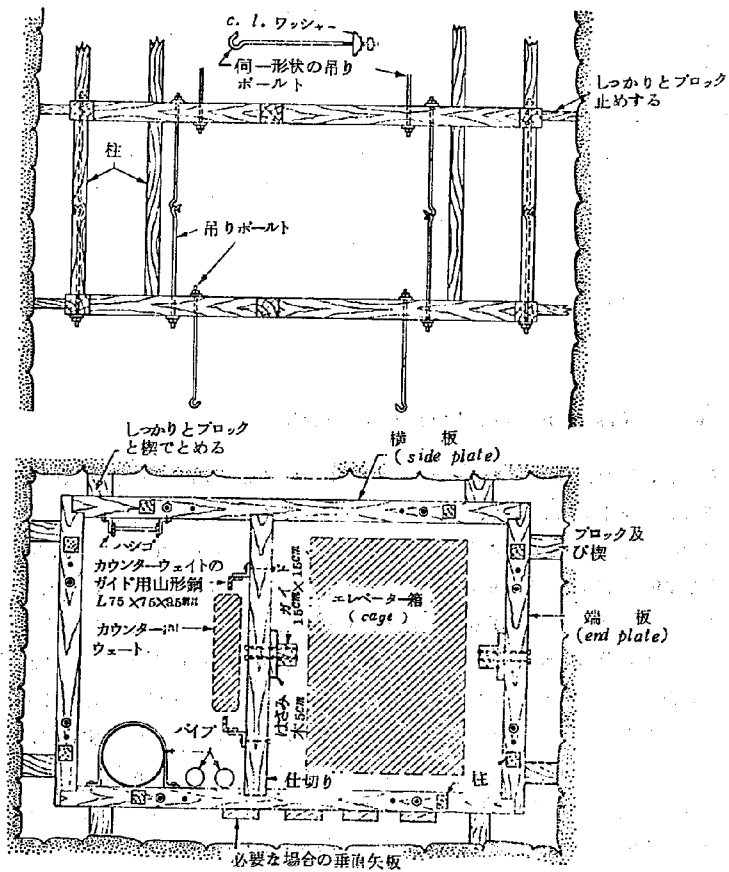


Fig 5-29 小型立坑用の支保工

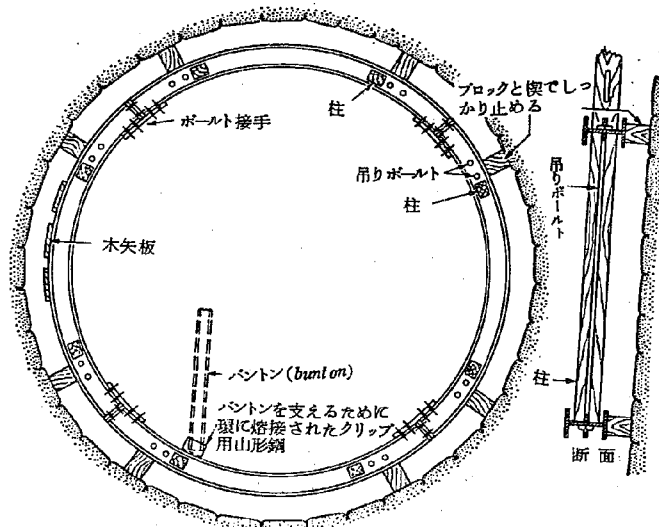


Fig 5-30 円形立坑用の鋼材支保工

になる。岩の場合には、ライナープレートを使うことは殆んどない。恒久的な立坑では、掘下がるにつれて、コンクリート覆工を打設するのが普通の方法である。州の法律によれば、支保工なしで、又は、コンクリートでまかずに、30 ft から 60 ft (9 m ~ 18 m) 以上掘下げることは禁止されているので、実際上は、約 30 ft (9 m) 掘下げると、コンクリートをうっている。これに使う型枠は、環状の隙間 (annular shot) を通して、上から打込むように設計されており、打設中は、ルーズなズリ上に据えられた足場の上にサポートされている。立坑がコンクリートで巻立てられる場合には、そのガイドを支持するのに使用されるパントン (bunton) を取付けるために、鋼製型枠に準備をしておかねばならない。Fig 5-31 に示すように、スクリーアンカーを壁に埋設し、型枠を取除いた後、棚状の山形材 (shelf angle) をコンクリートにボルトづけする。この上に、普通 6" (150 mm) の H 型梁であるパントン (bunton) がのっており、このパントンは配列してから、アングルに溶接さ

れる。

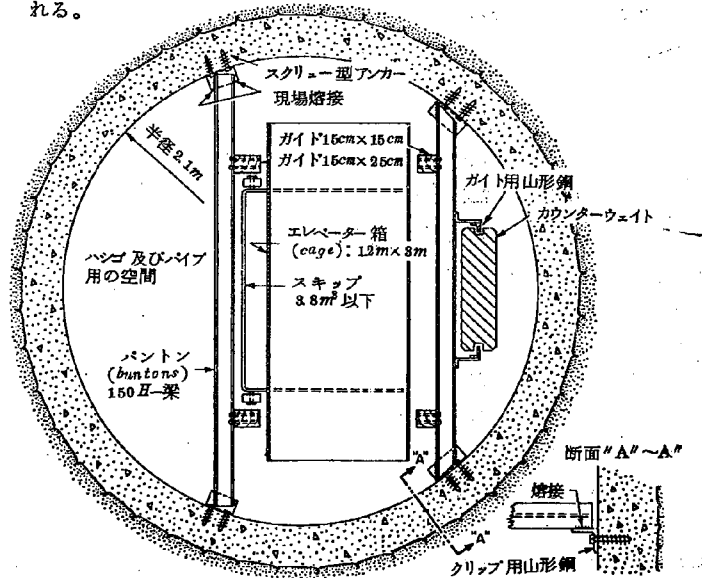


Fig 5-31 コンクリート覆工のある立坑でのガイドとバンテン (buntan) の配置

捲上げ (Hoisting)

トンネルからズリを捲上げる最も簡単な方法を Fig 5-32 に示す。ズリは導坑から立坑へトンネル用のトロで運ばれる。このトロは、小さな平らな車体 (flatcar) の上についている可動式の箱からなっている。これらのトロは、立坑の脚部の所で停止され、その箱を一度に一ケづつ、クレーンで地上まで引き上げる。地上では、この箱の底にある環にダンプ用の補助網をひっかけて、待機しているトラックの中へダンプさせる。この方法は、深さが 50 ft から 75 ft (15 m ~ 22.5 m) までで、且つ、人が立坑を上り下りする時には、簡単で経済的である。しかしながら、ズリ箱がゆれても、立坑の支保工にぶつかったり、階段の下にひっかいたりしないだけの立坑の大きさが必要である。

坑夫が立坑に出入するなら、丈夫な階段を設けねばならない。これはスチール製で、丁度アパート用ビルに使われている火災用非常通路と同じものである。底の所だけ、短い垂直のハシゴを使うことは差支えない。

浅い立坑用の別の捲上装置をFig 5-33 に示す。これは自立式の塔からなり、立坑の深さより、約60 ft (18 m) 以上長くなっている。そして、この塔は立坑の内て組立てられ、壁に取り付けられている。

この塔内には、1台か2台のトロのズリを運ぶのに十分なだけの大きさの自転ダンプ式のスキップ (skip : 底開き箱) がある。このスキップは定置式デレッキ (stiffleg derrick)、又は、クローラクレーン

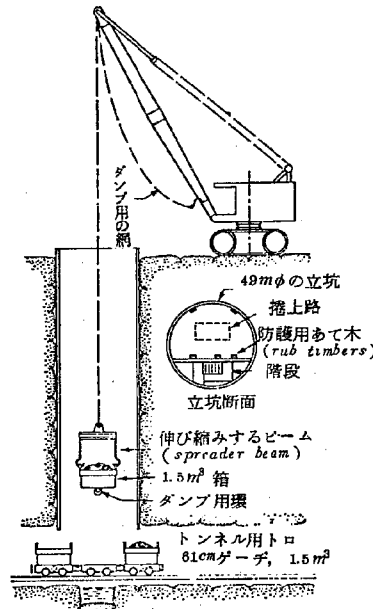


Fig 5-32 トンネル用トロの捲上げ作業

ン (キャタピラ式クレーン) を使って上げ下げされる。この方法はズリを捲上げない時には、クレーンをはずして、トラックの荷下しや、立坑内への供給物の吊降しに、そのクレーンを利用することが出来る長所を有している。最近、ピッツバーグで、片側に、自動式の人員用エレベーターをつけたこのタイプの捲上げ塔を使った業者がいる。このエレベーターは押ボタンで操作され、容量は1,000ポンド (0.454 t)、又は、4人である。

立坑がもっと深くなれば、人や器具を上げ下げするには、エレベーター箱 (cage) が、又ズリを処理するには自動ダンプ式のスキップが必要になる。これには、上屋装置 (head frame) が必要になる。Fig 5-36 に示すように、普通の上屋装置は傾斜した後脚のある塔からなっている。この後脚は、何れか1本のケーブルの制動荷重をとるのに適したようにせねばならない。上屋の頂上には、天井滑車 (head sheave) がのせられており、これは普通、ロープ

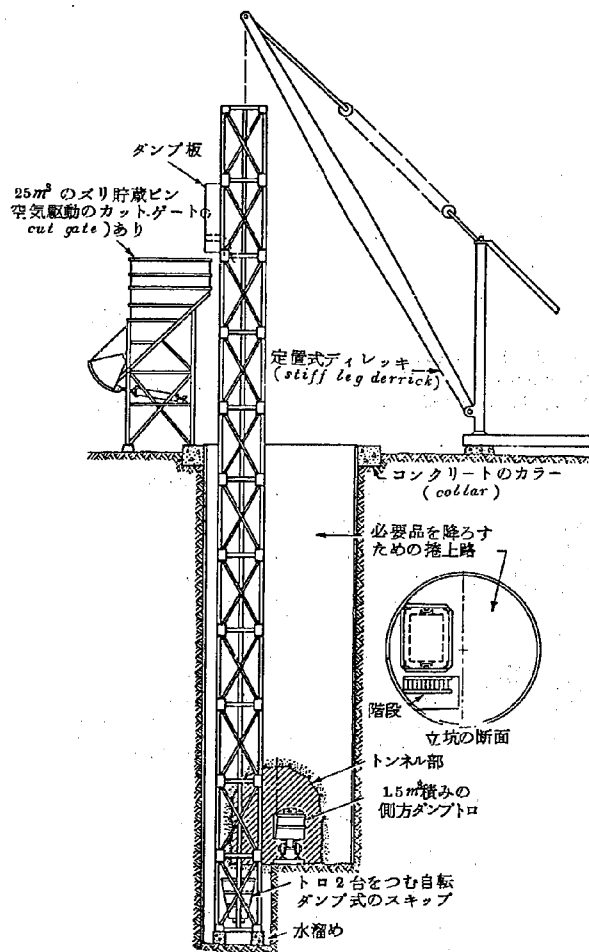


Fig5-33 浅い立坑用の自転ダンプ式スキップ

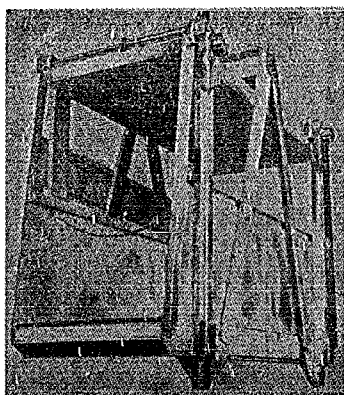


Fig 5-34 人やトロを捲上げるための14m
3.7mの人間用のエレベーター箱(cage)。
4本の木製ガイドに対する安全金に注意されたい

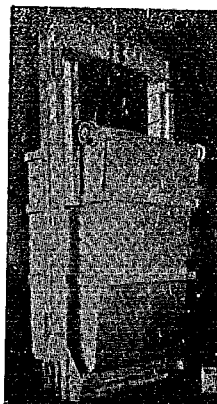


Fig 5-35 45m³ 積みの自転ダ
ンプ式スキップ

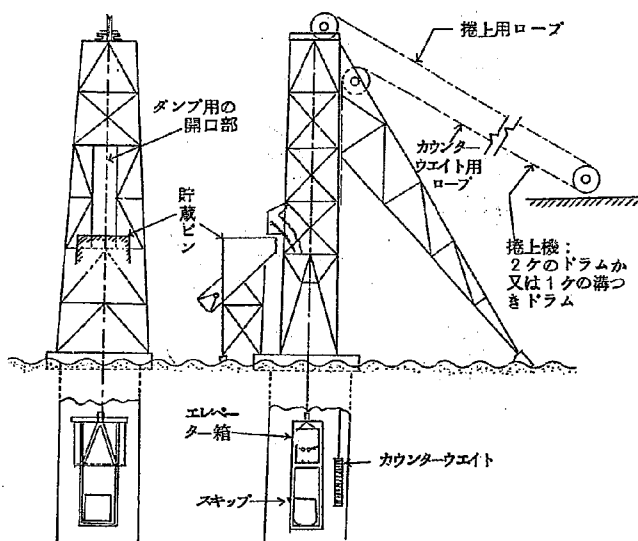


Fig 5-36 普通の上屋組み

径の40倍から50倍の径を有している。上屋の正面には、スキップを引っかけて、ひっくりかえすためのダンプ板、又は軌道があり、更に、トラックが待つために、渋滞を生じることのないように、貯蔵ビンを設けねばならない。

今日では、捲上機は電気で動かされており、又、適切なブレーキと、ある種の深度指示器をとりつけねばならなくなっている。簡単な不釣合式捲上機 (*unbalanced hoisting*) では、ケーブルを数層に巻きとるだけの容量が、1ケのドラムにあれば、それだけで十分である。釣合式捲上機 (*balanced hoisting*) では、カウンターウェイトか、又は、2つのスキップの何れかがついていて、1ケの大きな溝つきドラム (*grooved drum*) が普通使われている。このドラムは、ケーブル全部を一層に巻きとれるだけの大きさが必要であり、スキップ用のロープを巻いている時にはカウンターウェイト用のロープは巻かないようになっている。鉱山では2ケのドラムがよく使われている。このドラムは、一緒にクラッチされ、1つのドラムが、カウンターウェイトのケーブルを巻いている時には、他のドラムはスキップ用のケーブルを巻きもどしている。捲上機にかかる引張力は、上げるべき不釣合荷重に関係しているのは当然である。捲上速度は立坑の深さでさまる。大雑把にいて、毎分の捲上速度をフィートで表わせれば、それは立坑の深さのフィート数の60%から80%にすべきである。出来ることなら全て、上屋装置と捲上方法は、カウンターウェイトを使うように設計すべきである。このカウンターウェイトは、エレベーターの箱とスキップの目方に、ズリ荷重の50%を加えた重量に等しくすべきである。カウンターウェイトは、捲上機にかかる不釣合引張力を大いにへらし、正しく設計すると、所要馬力を半分に切りつめることが出来るものである。カウンターウェイトを使用するのが困難か、又は好しくない時には、鉱山で実施している2つのスキップ (又は、1つのスキップと1つの箱) をバランスさせて操作する方法を推奨する。

Koepe 捲上機 (*Fig 5-37*) は、ヨーロッパでは広く使われているが、米国ではごく最近広まったものである。それは上屋の頂部に直接のっている多数のロープの摩擦駆動式捲上機 (*multiple-rope friction-drive hoist*) からなっている。2段スピードのACモーターを使っており、エレベーター箱 (*cage*) から、又は、地上の操作員室の何れかから、押ボタンでコントロールされる。適切なボタンを押すと、スキップは自動的に加速され、選んだ位

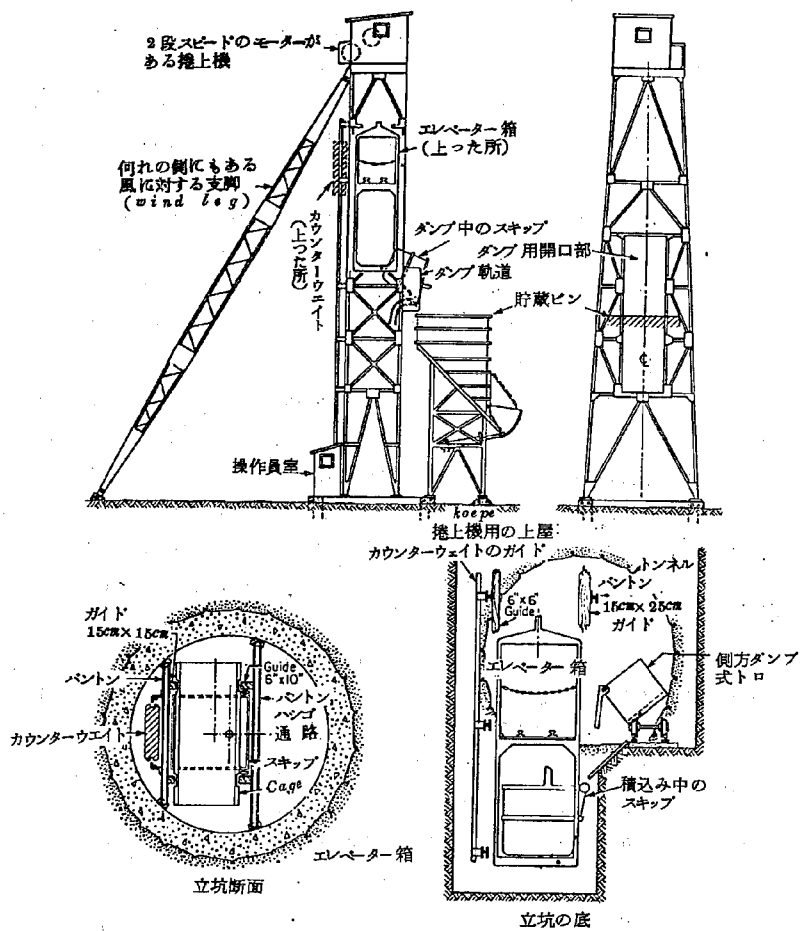


Fig 5-37 トンネル工事用の Koepe 捲上機

置まで動き、減速され、停止する。ブレーキはバネ式で、動力が切れると働くようになっている。

人間を運ぶ箱 (cage) は、全て州の鉱山規定で要求されている安全装置を有しておらねばならない。一般にこれらは落石から人を防護するための箱の上の鋼製のボンネット (bonnet; 箱) と、ケーブルが切れる事故の時に、木のガイドに引っかかる安全金 (safety dog)、及び、適切な直径の天井滑車 (head sheave) からなっている。捲上げ用ロープは、ズリや器具の捲上げの時には5、人間を吊上げる時には8から10の安全率を有すべきである。

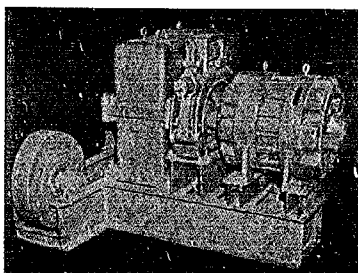


Fig 5-38 Koepe 捲上機
これは2段スピードの交流モーターで、15^分と
46^分の捲上速度がえられる