

第15章 工事中の隧道の換気と照明

第1節 送風量

工事中の隧道内の空気は人馬の呼吸、燈火、爆薬の使用、支保材の腐敗等によつて酸素が消費され、これに代るに種々の瓦斯が発生する。そこで長い隧道では坑内の換気と云ふ事が重要な項目となるのであつて、それは従業者の保健上必要なばかりでなく、工事の能率にも大きな影響を與へるのである。もし適當の換気法が講ぜられないで坑内の空気が悪い場合には労働者の能率を減じ、一方發破後煙の抜けるまで多くの時間を空費しなければならない。

炭酸瓦斯(CO₂)は通常の大氣中に其の容量で0.03%、重量で0.04%含有されて居るのであるが、これが1%に達すれば長時間これを呼吸すると眩暈を感じる程度となり、3%に達すれば呼吸に支障を來す状態となる。更に5%に達すれば呼吸は困難となり、燈火は充分燃えなくなり、8%になると人體に危険を生ずる。それで換気設備を設計する標準は0.2%までを炭酸瓦斯の許容含有量とするのが普通である。然し坑内の場所によつてはこれより遙かに多量のCO₂が存在するのが常である。

坑内作業によつて生ずる炭酸瓦斯の量は大體次の様である。

従業者	1人1時間につき	1.0立方呎(0.027m ³)
牛馬	1頭	8.5立方呎(0.235m ³)
アセチレン燈	1個	0.53立方呎(0.015m ³)
爆薬	1封度につき	3.5立方呎
	(1疋につき)	0.215立方呎

一酸化炭素COは主として爆薬から發生するので、特に夫れが不完全爆發した時に著しい。而もこのCOは人に非常に有害であつて、其の量が0.1%に達すると相當障害を受け、0.15%に達すれば危険となり、0.2%以上となれば人命に關すると云はれて居る。

又爆薬から生ずる瓦斯で、所謂ニトロゼ瓦斯と稱せられるものがある。これは窒素酸化物の混合したもので刺戟性の臭氣を有するからCOなどの無臭なものに比して實害は少いのである。坑内従事員が多數咽喉を害するのはこの瓦斯の爲めである。

又之等の瓦斯の外坑内の作業場には塵埃も相當に多く、これが呼吸器を害するので其の豫防にも注意を要する。殊に堅岩隧道に於ける硅酸の粉塵は非常に有害であつて、之れを呼吸して肺に入つても其の時は何等の反應を起さず、數年の後に到つて所謂硅酸肺に陥るのである。濕

式の鑿岩機を用ひても最初の孔座を作る時には多くの石粉が飛散するし、乾式のシンカーなどを用ふる場合には甚しい石塵を生ずるので、作業者はこの石粉で白くなる程であるが、比較的無關心で居るものである。これを豫防するには換気をよくすると同時に、作業者は各自防塵マスクを使用するのは非常に望ましい事であるが、これも邪魔になるので實際にはあまり用ひられない。紀勢線荷坂隧道で行つた坑内空氣の試験成績は第96表の如くで、第1期とあるは導坑の進行1,170米位の時換気装置を施さない以前で、第2期とあるは導坑の進行1,600米位の時換気装置を施した後の成績である。

第96表

種類 検査個所	二酸化炭素 %		一酸化炭素 %		ニトロゼmg/L		塵芥 mg/L	
	1期	2期	1期	2期	1期	2期	1期	2期
壘築作業個所上	2.32	2.95	0.893	0.028	0.062	0.017	0.200	0.066
同 上 下	3.46	2.92	0.630	0.036	0.090	0.014	0.133	0.022
導坑内	3.37	2.92	—	0.025	0.066	0.034	5.225	—
坑 奥 爆發 直 後	15.35	16.32	1.105	0.832	0.256	0.491	—	0.284

坑内で發生したこれ等の瓦斯を實用上差支ない程度まで、新鮮な空氣で薄める爲めに必要な空氣の量に關しては、種々の説があつて一定しない。人1人について必要な空氣量は

静止して居る人1人1分間につき	20立方呎
歩行中の人	25 "
行軍中の人	35 "
走つて居る人	70~90 "

と云はれて居る。

又 R. H. Richards. 氏は坑内の所要送風量について

燈火一個につき一分間	1立方呎
人一人	25立方呎
牛馬一頭	75立方呎

と述べて居る。

然し單に人1人について何程の空氣を送る必要があるかを論ずる前に隧道の型、施工の方式炭酸瓦斯の最大許容含有率等を定めてから適當の送風量を定めるべきである。

Lauchili 氏は其の著書の中で長隧道の建設工事中に必要な送風量を算出する爲めに、次の式を與へて居る。

導坑以外の個所に對しては

$$Q = \frac{A(1-B)}{B-D} - C$$

- Q = 24 時間内に隧道内へ送るべき空気量立方呎 (又は立方米)
- A = 24 時間内に人、牛馬、燈火及び爆破によつて發生する CO₂ の總量立方呎 (又は立方米)
- B = 坑内空氣中に許し得る CO₂ の含有量
- C = 隧道内の作業區域の容積立方呎 (又は立方米)
- D = 1 立方呎 (又は立方米) の空氣中にある CO₂ の量で一般には 0.0003 立方呎 (又は立方米) とする。

導坑では他の切擴作業箇所と全く状態を異にして居るので、換氣の方法、空氣量も別個に考へる必要がある。即ち切擴及覆工箇所では作業場が相當に長い區間に亘り、従事員も各所に 10 人 20 人と小群をなして散在して居て、所々で小發破をかけて居るが、導坑では従事員は大體其の奥端にのみ集合して居て、多量の爆藥を 1 ヶ所で消費する。而もこの場合には發破後煙が抜けて再び作業を開始するまでの時間を、なるべく短くする事も考へなければならぬ。この時間は導坑の進行に非常に關係があるものであつて、通例 15 分乃至 1 時間を要する。

Lauchili 氏は導坑の換氣に必要な空氣量について下の算式を與へて居る。

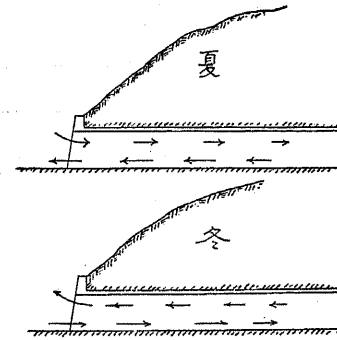
$$Q = \frac{A(1-B)}{B-D} - C$$

- Q = 毎分導坑に送らるべき空氣量立方呎 (又は立方米)
- A = 一回の發破によつて爆藥より生ずる CO₂ の量立方呎 (又は立方米)
- B = T 分の後に於て導坑の空氣中に許し得べき CO₂ の含有量
- C = 導坑の容積立方呎 (又は立方米)
- D = 0.0004
- T = 導坑の發破より再び作業を開始する迄の時間 (分)

第 2 節 換氣の方法

隧道内の空氣は隧道の内と外との溫度の差によつて或る程度までは自然に流動する。元來坑内の氣温は四季を通じてあまり大きな變化がないので、冬は外氣より溫度高く、夏は外氣より溫度が低いのが普通である。従つて冬は坑内の暖い空氣は上昇して、これを埋める爲めに坑外の冷たい空氣が施工基面に近く流入する。夏はこれと反對に冷たい坑内の空氣が施工基面に近く流れて外に出て、これを補ふ爲めに暖い外氣がアーチに沿ふて流入する。

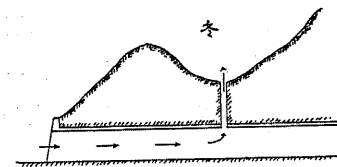
第 342 圖



それ故もし起拱線附近に簡単に仕切りを作つて隧道の上部と下部を分ける事が出来れば、この自然通風は非常によくなるのであるが、長い區間に亘つて仕切りをする事は可成り困難な事である。

又もし適當の個所に堅坑を作る時は、冬期は煙突の如き作用をして暖い坑内の空氣は堅坑を上昇し、冷たい外氣は坑口から流入する。夏は反對に坑内の冷氣は坑口から流れ出して、堅坑から新しい空氣が流れ込む事になる。それで自然通風は堅坑の存在によつて非常に好くなるので屢々通風の目的で堅坑を掘鑿する。

第 343 圖



然し堅坑を作つた場合には、堅坑と坑口との間は空氣が清淨になるけれど、堅坑から奥の部分の空氣は移動しないので、この部分に對しては機械的の換氣方法を考慮する必要がある。

上越線清水隧道長岡口、石北線石北隧道の兩口、山田線第一飛鳥隧道、岩徳線欽明路隧道等は換氣用堅坑を造つた例であつて次にその要項を示す。堅

	坑口よりの距離	堅坑の深	斷面	覆工材料	1 米單價
清水北口	963 米	43	内徑 1.83	混凝土	286
石北上川口	890	92	内徑 3.65	混凝土	264
遠輕口	1,350	97	内徑 3.65	混凝土	272
第 1 飛鳥	614	46	2.1 × 1.5	木材	69
欽明路	{ 784 844	44	橢圓 1.9 × 2.6	混凝土	{ 308 222

坑の掘鑿に關しては第 18 章に述べる。

坑内に湧水の多い場合には炭酸瓦斯は水中に溶け込み、種々の塵や汚物を坑外に流し出すので、湧水のない場合に比して坑内の空氣は非常によくなる。又湧水の無い場合には導坑、奥端の礪などに散水する事は塵を防ぐ爲めにも有毒瓦斯を吸集させる爲めにも甚だ有效である。

夏期と冬期とは坑の内外の溫度に差がある爲めに、自然通風がある程度まで有効に行はれる事は上に述べた通りであるが、春秋の二季には坑の内外の溫度が殆んど等しくなるので、坑内の空氣は非常に悪くなるのが普通で、少しく長い隧道では何等かの方法で換氣をする必要に迫られるのである。

壓搾空氣の鑿岩機を用ふる隧道では、發破の準備が出来て爆藥に點火した後壓搾空氣の栓を開いて後退すると、爆藥によつて生じた煙はうすめられて次第に坑口の方へ押し出される。

この方法を吹かせと云つて居るが、これだけで或る程度までは換氣が出来る、又鑿岩機の排氣も多少換氣の役に立つのである。殊に壓搾空氣を動力とする礮積機を用ふる時は、多量の排氣が出るので坑内の空氣は比較的良くなるのである。上越線第一湯檜曾隧道では片口から一哩を掘り進むだが、礮積機にアームストロングショペローダーを用ひたので、別に換氣設備をする必要を認めなかつた。

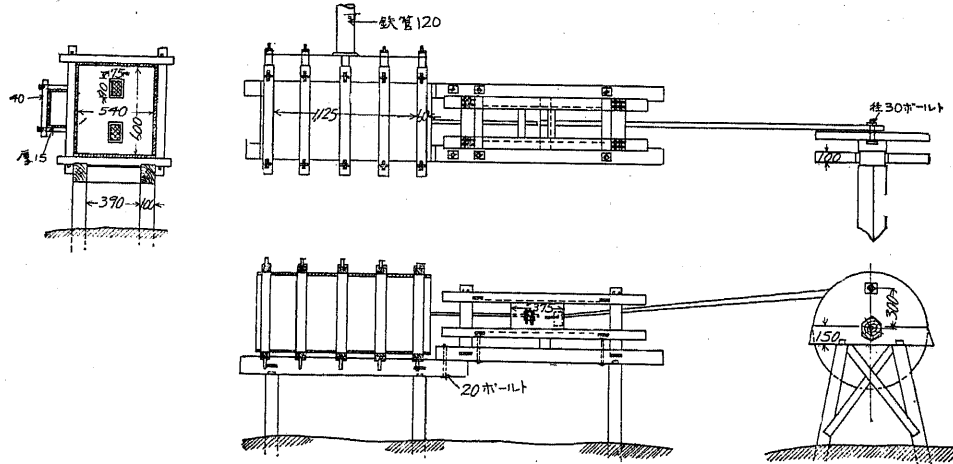
換氣設備の最も簡単なものは農家で用ふる唐箕で風を起し、これを木管又は鐵管で坑内へ送つた事もある。中央線笹子隧道の初期の如きはこの例である。

又津和野線白井隧道では木製の大轆と水車を作り、坑口附近を流れる川を利用して運轉し、鐵管で坑内へ空氣を送つて相當好い成績を擧げた例もある。

この隧道は 5,100 呎の單線隧道で $1/60$ の勾配を有し、大部分は石英斑岩及粘板岩で出来て居た。導坑が 700 呎進む頃から坑内の空氣が次第に悪くなり、頂設導坑 760 呎丸形 660 呎、中背 610 呎、大背 230 呎土平 60 呎に達した時に、導坑の坑夫中に咽喉をいためるものが續出して、休業者を多く出す状態となつた。

そこで第 344 圖に示す様な簡単な木製の轆を作つて、4 吋鐵管を以て送風した結果は非常に良好であつて、鐵管の終端から 10 呎離れた所でアセチレン燈が吹き消される程度の風力があつた。この方法で導坑が 1700 呎に達するまで支障なく作業を續ける事が出来、其の後壓搾空

第 344 圖 白井隧道の換氣用轆

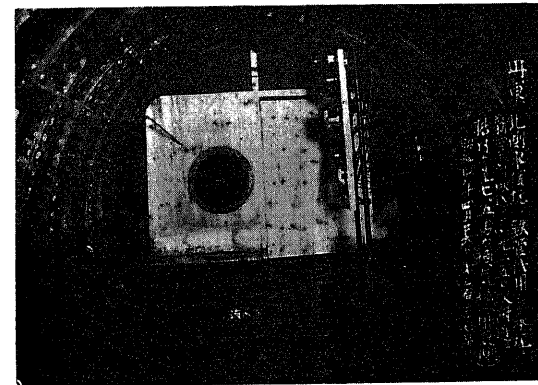


氣設備が完成すると同時にこの方法を止めたのである。

この外簡易な換氣法としては、水を坑口附近の高所から落し込む方法や、爐の中で火を燃して生ずる空氣の吸込みを利用したりする方法があるが、最近の隧道では電力が多く用ひられる關係で、電氣を動力とする換氣機が用ひられる場合が多い。

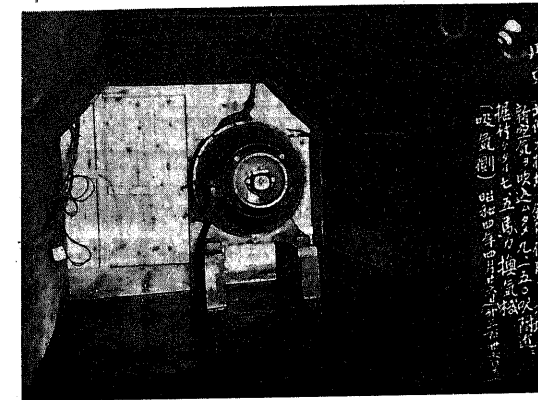
換氣機としては電動扇とブローヤとが用ひられるが、前者は極く低壓の空氣しか得られないので、遠方へ送風するには不適當である爲め、坑奥で局部的の換氣をする時にのみ用ひられる。それで一般には後者に屬するターボブローヤ又はルーツブローヤが用ひられる。

第 345 圖 丹那隧道坑内 7.5 馬力換氣機



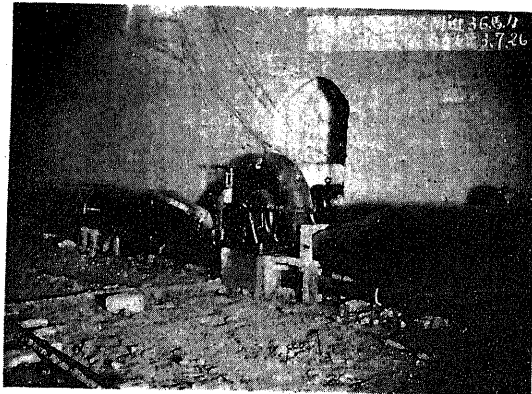
第 345 圖は丹那隧道の坑内で用ひた、7.5 馬力のセントリフューガルファンで第 346 圖は 36 馬力のターボブローヤである。

換氣機を用ひて坑内の換氣をする場合に、坑外の新鮮な空氣を送り込む方法と坑内の悪い空氣を吸ひ出す方法とあるが、最近の實例は發破後の 10 分間乃至 20 分間は吸ひ出して、大體發破によつて生じた瓦斯が無くなつてから吹き込みに變へる事が多い。その爲めに換氣機と送風管とを第 347 圖の様に連結して、ブローヤは常に同一方向に廻轉してもその吸ひ込みと排氣とを任意に變へ得る様に設備するのが普通である。即ち四つのストップバルブ a. b. c. d. の中 a. b. を開いて c. d. を閉ちて置けば坑内の空氣は吸ひ出され、この反對に c. d. を開いて a. b. を閉ちれば空氣は坑内へ送り込まれる事になる。

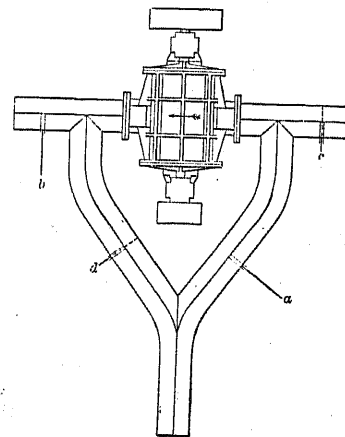


清水隧道では 4 臺のターボブローヤを 2 臺づゝ直列に連結し、第 348 圖の様に設備した。このターボブローヤは容量 1 分間 1415 立方尺、壓力 457.5 耗水柱で 36 馬力の電動機で運轉された。

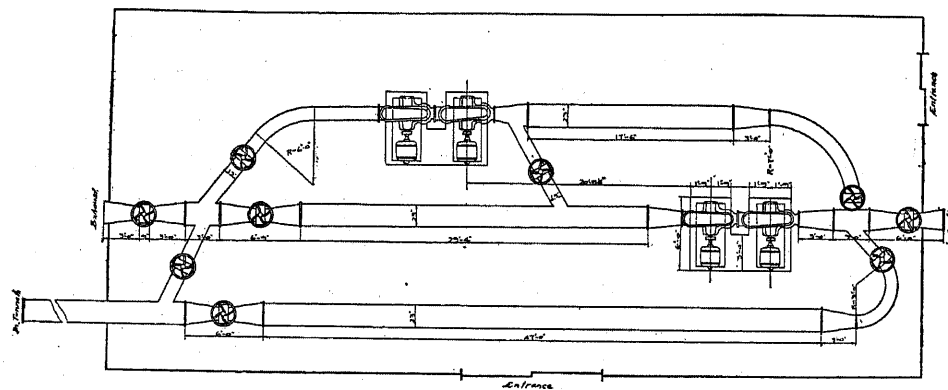
第 346 圖 丹那隧道坑内 36 馬力換氣機



第 347 圖



第 348 圖 清水隧道換氣室平面圖



送風機から出た空気は鐵管によつて坑内へ送られるのであるが、これに用ふる送風管は 1/16" 鐵板又は亜鉛引鐵板等で、現場で製作される事が多い。送風管の徑を定めるには送風量、送風壓、及び送風距離とによらなければならない。G. S. Hicks 氏の公式によれば

$$q = 44.72 d^2 \sqrt{\frac{P^2 - 14.7^2}{l}} \dots \dots \dots (1)$$

- q = 1 分間の送風量
- d = 送風管の徑
- P = 送風機の出し得る絶対壓力 吋/□"
- l = 送風管の長さ呎

(1) 式を變化して

$$p = \sqrt{216.10 + \frac{q^2 l}{2000 d^5}} - 14.7 \dots \dots \dots (2)$$

p = 所要壓力 吋/□" 即ち P - 14.7

又 d を求める爲めに(1)より

$$d = \sqrt[5]{\frac{q^2 l}{2000 (P^2 - 14.7^2)}} \dots \dots \dots (3)$$

假りに毎分 4,000 立方呎の空気を送り込むものとして、種々の送風距離と送風壓 C に對して送風管の徑を求めると第 97 表の如くなる。

第 97 表 毎分 4,000 立方呎を送るに要する送風管の内徑(吋)

最初の空氣壓力	送 風 管 の 長 さ(呎)									
	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	8,000	10,000	12,000	14,000
1 オ ン ス	21 3/4	24 3/4	—	—	—	—	—	—	—	—
2 //	18 3/4	21 3/4	23	24 3/4	—	—	—	—	—	—
3 //	17	19 3/4	21 3/4	22 3/4	23 3/4	24 3/4	—	—	—	—
4 //	16 3/4	18 3/4	20	21 3/4	22 3/4	23	24 3/4	—	—	—
5 //	15 3/4	17 3/4	19 3/4	20 3/4	21 3/4	22	23 3/4	24 3/4	—	—
6 //	15	17	18 3/4	19 3/4	20 3/4	21 3/4	22 3/4	23 3/4	24 3/4	—
8 //	14	16 3/4	17 3/4	18 3/4	19 3/4	20	21 3/4	22 3/4	23	23 3/4
10 //	13 3/4	15 3/4	16 3/4	17 3/4	18 3/4	19 3/4	20 3/4	21 3/4	22	22 3/4
12 //	12 3/4	14 3/4	16	17	17 3/4	18 3/4	19 3/4	20 3/4	21 3/4	21 3/4
1 ボ ン ド	12 3/4	14	15 3/4	16	16 3/4	17 3/4	18 3/4	19 3/4	20	20 3/4
1 1/2 //	11 3/4	13	14	14 3/4	15 3/4	16	17	17 3/4	18 3/4	19
2 //	10 3/4	12 3/4	13 3/4	14	14 3/4	15	16	16 3/4	17 3/4	17 3/4
3 //	9 3/4	11 3/4	12	12 3/4	13 3/4	13 3/4	14 3/4	15 3/4	15 3/4	16 3/4
4 //	9	10 3/4	11 3/4	12	12 3/4	13	13 3/4	14 3/4	15	15 3/4
5 //	8 3/4	10	10 3/4	11 3/4	11 3/4	12 3/4	13	13 3/4	14	14 3/4
6 //	8 3/4	9 3/4	10 3/4	11	11 3/4	11 3/4	12 3/4	13	13 3/4	14
8 //	7 3/4	9	9 3/4	10 3/4	10 3/4	11 3/4	11 3/4	12 3/4	12 3/4	13 3/4

實際我が國の隧道に用ひられた送風管の徑は、清水 28吋、丹那 30吋、猪鼻 18吋、下久野 19吋 第一飛鳥 24吋等である。

送風管は覆工區間の側壁に沿ふて敷設するのが普通であつて、導坑の奥まで鐵管を導く事は困難である。切擴區間の發破によつて破損する事多く、其の修繕や位置の盛替等によつて他の作業を支障する事が甚だしい爲めである。そこで覆工完成區間から奥は小規模のファンと布製の管によつて部分的に換氣するか、又は動力用の壓搾空気を切端で吹かせる場合が多い。

又丹那隧道や清水隧道南口の様に水拔隧道を有する所では、一部鐵管の代りにこの小隧道を利用して好い成績を擧げる事が出来た。

又先進導坑式の掘鑿法によれば、先進導坑を通して他の作業個所の直前まで換気管を敷設する事が出来るので非常に好都合である。

換気用鐵管の製作費及坑内敷設費の1例として、山田線第1飛鳥隧道の例を述べると、この隧道では $\frac{1}{16}$ 吋鐵板を曲げて熔接し、直徑60吋の鐵管を作りフランジ接合として坑内に敷設したもので、これに要した金額は第98表及び第99表の如く、1米當り鐵管代8.80圓敷設費2.60圓合計11.40圓である。

第98表 第1飛鳥隧道送風管製作費

大正14年9月—15年3月

製作延長 283米

種類	名稱	品質形狀	數量	單價	金額
工 材 料 費	中軟鋼平板	$\frac{1}{16}$ " \times 3'-0" \times 6'	415.7人		圓
	中軟鋼平	2" \times $\frac{1}{4}$ " \times 12'-0"	350枚	3.000	1,050.000
	中軟鋼隅	$1\frac{1}{2}$ " \times $1\frac{1}{2}$ " \times $\frac{1}{16}$ " \times 2'-0"	17枚	1.030	17.510
	鐵針金	桿着棒 3 m. m.	56本	1.940	108.640
	"	" 2 m. m.	62疋	0.845	52.390
	鐵銷止針金	BWG #8	2"	0.845	1.690
	鐵紙	$\frac{1}{4}$ " \times $\frac{1}{4}$ "	25"	0.600	15.000
	酸素	5000 立入	4"	0.380	1.520
	カーバイト	50 # 入	37個	3.500	129.500
	雜品		27罐	3.000	81.000
合計					137.475
					2,489.485

1米に付約 8.80

第99表 同上敷設費

敷設延長 220米

種類	名稱	品質形狀	數量	單價	金額
工 材 料 費	鐵ボルト	$\frac{3}{8}$ " \times 1"	142.2人		圓
	ゴムパツキング	$\frac{1}{2}$ " \times 2'-0"	1,120本	0.350	39.200
	鐵銷止針金	B. W. G 8	66枚	4.200	277.200
	"	" 16			1.350
合計					10.200
					566.688

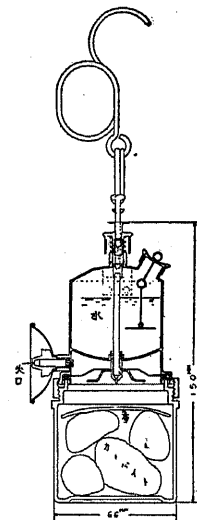
1米につき約 2.60

第3節 照 明

坑内の照明に一般に用ひられるものはアセチレン手提燈、懐中電燈及電燈である。電燈は坑内の空気を汚すことがなく、隧道工事用としては理想的なものであるが、設備が高いので短い隧道には不經濟である。

第349圖 カンテラ

アセチレン燈は電燈には及ばないが、設備費を要しないで簡便である爲め、一般に廣く用ひられて居る。又電燈を用ひて居る場所でも、停電の際には一時に坑内が暗黒になるので、これを防ぐ爲めと必要な或る部分を照し出す爲めに、これを併用するが多い。



隧道工事に用ふるアセチレン燈は、第349圖の様な形で通常カンテラと呼ばれて居る。1人が1個づつ用ひ1日10時間としてカーバイトの消費量は0.6疋位即ち1人10時間の照明費は約6錢に相當する。

電燈は普通60W位のタングステン球を用ひるが、作業個所には60W乃至100Wの電球を用ひて照明をよくする。又特に危険なる作業例へば残留ダイナマイトのある個所などには、300W乃至500Wの大きな電球を使用する。又1個所に多人数が集合して作業する個所、例へば疊築作業をして居る場所等にも、一時大きな燭光の電球を用ひるが多い。

鐵道省建設線の長隧道では一般に電燈を用ひて居るが、其の設備と照明の方法は大體次の標準による事になつて居る。

A 疊築完成部分

一 照 明 強 度

地表上に於て最小0.01呎燭光とす。

二 電燈取付位置並に電壓及燭光數

電燈は地表上約4米の高さに取り付け、單線隧道に於ては一側に20米毎、複線隧道に於ては兩側に40米間隔にして、且つ全體として20米交互に點燈するものとす。各電燈は100V. 50燭光とす。

三 配電方式並に電壓降下

7.5キロボルト. アンペヤー變壓器を以て1杆間に電燈約50個を點火し、其の饋電點を中央として、單相三線式配電を以て5%迄の電壓降下を許すものとす。

B 掘鑿作業部分

一 照明強度

地表上に於て最小 0.03 呎燭光とす

二 電燈取付位置並に電壓及燭光數

取付位置は一定し難きも、電壓及燭光數は 50 ボルト 50 燭光を標準とす。

三 配電方式並に電壓降下

7.5 キロボルト、アンペヤー變壓器を以て 600 米間に電燈約 100 個を點火し、饋電點を一端とし、單相二線式を以て 10% 位迄の電壓降下を許すものとす。

實際はこの標準よりは多少燈數を多くして居るのが普通で、清水隧道南口では覆工完成部分は 10 米毎に 1 個の割で 60 ワットの電燈を軌條面上 3.5 米の高さに設け、作業個所には必要に応じて 60 ワット乃至 300 ワットの電燈を點火した。又第一乃至第四湯檜會隧道では覆工完成區間は 18 米毎に 60 ワットのもの一個の割で 3.2 米の高さに取りつけ、覆工作業部分及導坑は 6 乃至 10 米毎に 60 ワットのもの一個を點火し、この外必要に応じて 300 ワットの電燈を用ひたのである。