

れ、統監府は廢されて朝鮮總督府となり、米突式は全く日本式に改められて總督府技師坂出鳴海氏に因つて全道の道路も順次に改修せられ、其後約 10 年、大正 8 年頃原靜雄氏土木部長として總督府に就任、朝鮮土木事業の開發に努力せられたり。

記してこゝに至り 30 餘年前の思出縷々として盡きず、當時事を共にせる僚友皆已に黃泉の客となる。惻陰の情轉た切なるものあり。爾來盟邦滿洲の開發相似て其規模の大なるを想ひしが、今や事業は支那全土に擴大して 皇威八紘に振ひ、土木技術者の使命亦甚だ重し。老耄に鞭打つて行かんと欲すれども、齡正さに古稀に近づきたるを如何せん。只管少壯技術者諸兄の健闘を祈るのみ。

隧道内の換氣に就て

會員 西 畑 常*

要旨 隧道工事中火藥類其の他に依つて發生する悪ガスの換氣方法及び完成後の隧道内を蒸氣機關車運轉に依つて、隧道内の空氣が非常に汚濁し、悪ガスの爲め坑内作業は勿論暫時の入坑も困難となる場合が起る。斯かる場合どんな學説かあり又どんな方法を探るべきかを參考書と實例によつて通俗の平易に取纏めたものである。

緒 言

隧道の換氣に關する問題は實に由々しき人道上の大問題であるが、充分に自然換氣をする時は何等の支障を感じないから、従つて問題は起らないが、長大なる隧道に於ては此の問題を種々研究せなければならぬ。茲には換氣に關する梗概を取纏めて見たものである。

一般隧道内の換氣法を用途によつて分類すると次の 2 種類に大別する事が出来る。即ち、

- (1) 隧道工事中換氣法 (2) 隧道完成後の換氣法

但し (1) の工事中換氣法を (2) の開通後の換氣法に使用するものがあるが、之れは併用法であるけれども茲には別に分類に入れなかつた。

更に換氣の作用によつて分類すると次の 3 種類となる。即ち、

- (イ) 自然通風法 (ロ) 人工換氣法 (ハ) 藥品使用空氣清淨法

(イ) の自然通風法とは隧道内の悪空氣を、或る適當な方法によつて自然通風(自然換氣)させる方法である。例へば豎坑設置の如きは、豎坑の設置は人工によるも通風は、豎坑設置によつて豎坑を通じて自然に通風(換氣)するを以て自然通風法と稱するのである。但し豎坑による換氣法は最近面白からざる由にて施工すべからざるものとの説が多い。

(ロ) の人工換氣法とは機械力又は他の適當な力を加へて換氣さす方法を云ふのである。

(ハ) の藥品使用空氣清淨法とは化學的に藥品を使用して、隧道内の悪ガスを吸収させ、以て隧道内の空氣を清淨にする方法である。此の方法は適當なる悪ガス吸収劑を使用して、坑内の悪ガスを吸収さすものであるが、比較的少量の空氣清澄方法であつて、長大隧道の補助換氣として時には此の方法が非常に有效なこともある。

而して(イ)、(ロ)、(ハ)の各方法を各別に應用する場合と、各方法を 2 つ以上同時に併用する場合がある。兎に角隧道内の悪ガス(汚濁空氣)を清淨にさせる事が出来れば換氣の目的は達せられるのである。

第 1 章 隧道工事中換氣法

隧道の掘鑿工事中換氣法を講じないで、未だ隧道の導坑が貫通せない時は長い甬道に等しいから換氣の不充分なことは當然である。

* 滿鐵社員

一般隧道を掘鑿して換氣不十分となり労働は勿論暫時の入坑にも苦痛を感じずる様になるのは、一般大きさ(1.5 m 以上)にて早きは 150~200 m より、遅くも 300~500 m に達すれば必ず換氣設備をせねば作業を爲し得ないものである。但し稀には 1 km に及ぶも人工換氣法の必要がない場合があるから一概には論じにくい。

尙之れは風向、温度、地形、労働者の入坑者数、使用火薬類の量、掘鑿方式、掘鑿と覆工の工程の遅速、隧道の形状寸法、導坑の加脊の大きさ或は作業方法、湧水の状況、隧道の勾配、地質、其の他種々の原因によつて差異を生ずるものである。

但し地中より悪ガスの噴出する場合は例外であるから茲には此の場合の事項は記述しない。

第 1 節 工事の爲め發生する悪ガス

第 1 項 火薬類より發生する悪ガス

隧道掘鑿の爲め使用する火薬類は主として各種ダイナマイト類であるが、其の火薬類は組成成分によつて發生ガス量に差異がある。従來隧道に使用せられたものは次の各種である。

ゼラチンダイナマイト(一名ゼリグナイトと稱す)、プラスチックゼラチン(膠質ダイナマイト)、硝安ダイナマイト、硝安爆薬、カーリット、黑色火薬、液體酸素爆薬雷管、導火線等の類である。

一般地質が軟弱であれば火薬類を使用する必要はないが、山岳隧道では普通堅硬な岩石が多いのである。従つて強力な爆發力を有する火薬類を使用するのである。其の爆發の際に發生する硝煙とガスは坑内に充滿し、尙それと同時に岩石の破壊によつて石粉を飛散するものである。

而して火薬類の成分及び使用量が坑内空気を汚濁にすることは隧道工事中最大のものである。

火薬類が完全燃焼すれば主として炭酸、水素、窒素及び酸素であるが、不完全燃焼の爲め一酸化炭素等の有害ガスを發生することがあるが最も注意を要する點である。

火薬類は其の種類多く一概に記述し難いが隧道の換氣量計算上必要な實例として生成成分を掲げて見る。ダイナマイト 1 kg の燃焼に依つて發生する總ガス量及び分子別割合は表-1, 2 の如くである。

表-1. ガス容量一覽表

ガス名稱	原子記號	ダイナマイト		導火線		合計		備考
		(l)	(%)	(l)	(%)	(l)	(%)	
無水炭酸又は炭酸ガス	CO ₂	275.0	50	8.9	32.8	283.9	49.2	本表によればダイナマイト導火線共 1 kg より生成するガス總量は 0.5771 m ³ である
一酸化炭素	CO	66.0	12	6.3	23.2	72.3	12.5	
窒素	N ₂	192.5	35	6.5	24.0	199.0	34.5	
酸素	O ₂	16.5	3	0.4	1.5	16.9	2.9	
メタンガス	CH ₄			1.1	4.1	1.1	0.2	
水素	H ₂			3.7	13.7	3.7	0.6	
硫化水素	H ₂ S			0.2	0.7	0.2	0.1	
計		550	100	27.1	100	577.1	100	

表-2. ガス容量一覽表

ガス名稱	原子記號	ダイナマイト		備考
		(l)	(%)	
炭酸ガス	CO ₂	222.3	39.5	完全燃焼の場合にはなし
一酸化炭素	CO	--	--	
窒素	N ₂	122.5	21.4	
酸素	O ₂	17.4	3.1	
水蒸気	H ₂ O	204.3	36.0	
計		566.5	100	1 kg のダイナマイトより生成するガス量は 0.5665 m ³ である

備考 表-1, 2 の外に固形物として炭酸カリウム (K₂CO₃) 0.208 kg ある。

上記の如くダイナマイトの成分により生成物に差異あるも茲には一例に止めておく。
又黒色火薬の爆焼した時の生成物の平均値は表-3 の如くである。

表-3. 黒色火薬よりの生成物容量一覽表

生成物名稱	原子記號	生成物容積比	生成物名稱	原子記號	生成物容積比	備考
炭酸ガス	CO ₂	26.85%	硫酸カリウム	K ₂ SO ₄	7.11%	計 99.06%
一酸化炭素	CO	4.80	硫化カリウム	K ₂ S ₂	10.42	
窒素	N	11.22	硫酸青カリウム	KONS	0.14	
メタンガス	CH	0.06	炭酸アンモニウム	CO ₂ (NH ₄)	0.05	
水素	H	0.06	硝酸カリウム	KNO ₃	0.13	
硫化水素	H ₂ S	1.11	硫黄	S	4.45	
炭酸カリウム	K ₂ CO ₃	32.58	炭	C	0.08	

導火線及び雷管

一般坑内にて使用する緩燃導火線は導火索とも稱し黒色火薬粉を固めたものを芯として之れを麻絲で包み、其の外を耐水性とし、燃焼速度は毎分 50~60 cm 位のものであつて、雷管又は黒色火薬其の他の爆薬に點火するに用ゆるものであるが、其の燃焼に際してガスの發散量は普通火薬の外に防水性塗料等より發生する。

雷管は爆薬の爆轟を誘導する爲めに使用するものであつて、普通工業雷管を使用する。其の爆發の際發生するガスは雷汞又は爆粉、トロチル、テトリル等なれども藥量は 1 箇に付き 0.3~3.0 g である。故に坑内に於けるガスの計算には、ダイナマイトの重量が殆ど主なれば茲には雷管及び導火線のガス量は別に計算しないが、ダイナマイト量を少量多く見込んでおけばよいと思ふ。即ちダイナマイトの重量の内に含有して居るものと見做せば大過はないのである。

第 2 項 石粉による有害量

隧道を掘鑿する爲め堅硬な岩石に穿孔し、爆發及び屑積込みの際發生する石粉（微細粉）は空氣中に浮遊し坑内空氣を物理的に汚濁する。而して坑内乾燥するとき又は岩質硬き時は其の程度著しく、之れが人體に及ぼす害毒は急進的ならざるも咽喉及び氣管を害するものである。

石粉の分類は非常に六つかしい。其の細粉の如きは如何なる程度に分つやと言ふ事になり茲に其の例を掲げる。

石粉の名稱	粒子の直径	石粉の名稱	粒子の直径
粗粒	0.333 mm 以上のもの	細粉	0.01~0.025 mm
細粒	0.04 ~0.333 mm	微粉	0.01 mm 以下
微粒	0.025~0.04 mm		

} 之れを一般に石粉と稱して居る
(青山隧道編 195 頁参照)

上表の如く石粉を分類すると細粉と微粉とになつて粒子 0.025 mm 以下のものである。

隧道内に於ける石粉の飛散量に就てトウマス氏及びマックキーン氏調査の平均値を示せば次の通りである。

空氣 1 l 中の石粉量 (單位 cc)	
鑿岩機使用からくりの時	0.46
鑿岩機使用注水の時	0.22
手掘の時	0.19
トロリーに積込む時 (手積)	0.07
導坑爆破直後 (3~5 min)	0.34

} (青山隧道編 73 頁参照)

但し上表の數字は岩質又は湧水の有無其の他鑿岩機等種々の状態によつて異なるものであるが之れは其の一例に過ぎない。

第 3 項 照明による有害量

隧道内は暗黒界であるから照明を要する。其の照明の種類に電燈、携帯電燈、ガソリン燈、アセチレン燈、油燈、蠟燭燈等がある。

上記の内電気による照明は空気を汚濁することは絶対にないが價格が高價となるを以て未だ全般的に使用することに至らない。

然るに明治の末期より油燈に變り一般にアセチリン燈を使用しつゝある。即ち現今、日滿兩國の一般隧道にはアセチリン燈を使用して居る。

アセチリン燈は其の燃焼の場合未燃の炭素、即ち煤煙を飛散して炭酸ガスを發生し、且つ又空中の酸素を燒却することが甚大であつて坑内の空気を非常に汚濁する。

今アセチリン燈及び油燈の放散する炭酸ガス量は大約表-4の如くである。

但し油燈は品質によつても差異甚だし

表-4.

き事は當然である。菜油燈は普通1時間に原料油を15.5g消費する。携帶アセチリン燈1時間の消費量は大約18~30gである。

燈	種	原料消費 1g に付き 炭酸ガス量 (l)	備 考
アセチリン		0.55	青山隧道編 72 頁 参照
菜油		1.50	

今上記に依り1時間に放散する炭酸ガス量(CO₂)を計算すれば油燈は0.0233 m³、アセチリン燈は0.0132 m³となる。

斯くの如く油燈はアセチリン燈よりも多量のガスを發生し、然かも照明の燈力は反比例するを以て昔日の油燈萬能時代は移り變つて現今は殆どアセチリン燈を使用するに至つたのである。

第4項 人畜其の他有害物

(イ) 有機物の分解

支保工用材の腐蝕及び尿便の分解は坑内の空気を汚濁にする。即ち支保工用材の腐蝕は長年月を経れば腐蝕を來すは當然の理であり、又尿便は長時間の従業なれば何人も尿便を排泄するは避く可からざるものにして、之れ等は直ちに腐敗し臭氣を放ち不快の感を起さしむ。

(ロ) 人畜の呼吸

坑内作業に従事する多數人員の呼吸も亦大いに空気を汚濁する原因となる。空氣にして一度人體の肺臟に吸入せられた後の吐出氣は畜に水分に富むのみならず、著しく其の成分を異にするものである。即ち酸素を吸入し炭酸ガスを吐出する、又皮膚上の生理作用によつても空気を濁すものである。

次に畜類は人類に比して遙かに其の汚濁度濃厚である。即ち牛馬各1頭に對して従業者6~10人分に相當する。

(ハ) 蒸氣機關車の煤煙

蒸氣機關車の隧道内運轉は窒素、炭酸ガス其の他を多量に發生するのみならず次の如き缺點を持つ。

- | | |
|-------------|---------------------------|
| (1) 塵埃の飛散 | (3) 水蒸氣の發生 |
| (2) 坑内氣温の昇騰 | (4) 煤煙ガスの吐出を伴ひ坑内空氣を不淨ならしむ |

(ニ) 水蒸氣

掘鑿の進捗と共に地殼益々厚きを加ふるが故に外氣の自然流入悪しくなつて地熱は高くなる、従つて坑内の湧水は或る一部は水蒸氣となつて空中に浮遊する。而して之れ等は酸素を稀薄にする。

(ホ) 地氣及び地下水より噴出する悪ガス

地殼の龜裂又は洞穴内に含有して居るガスは悪氣の一つにして隧道掘鑿に際して坑内に送出することがある。且つ坑内は闇黒界なれば日光に浴することなきにより、乾燥の途なく汚氣は濕潤の土質と接觸し醗酵作用をなし或るものは爆發作用を爲すものである。例へばメタンガス(CH₄)の如きもの又は硫化水素(H₂S)の湧出の如きは坑内従業者をして臭氣に懊惱せしむる事が大である。

次に地下水にして硫酸カルシウム及び硫黄等を含有して居るものは其の放散ガス著しきことがある。又炭酸ガス(CO₂)は地山或は地下より噴出することが多い。

第2節 換氣方法

第1項 坑内の自然換氣

湧水の量及び状況或は燈火、呼吸、有機物、分解、其の他雜物より發生する熱度及び空中に浮遊する石粉の量によつて坑内の空氣は其の比重を異にする。茲に於て交和の原理に従つて氣流を生ずる。此の作用に依つて空氣の交和適宜に行はるゝ時は坑内空氣の不純状態は大いに緩和されるものである。又坑内外の温度の差異及び晴雨等の天候並に坑内湧水の状況、流水等によつても空氣の交和が適宜に行はるゝものである。

次に地方風の如何によつて隧道の自然換氣を或る程度迄に支配するもので、若し或る隧道の坑口が地方風の風下に向つて居る場合は其の自然通風の距離が長く隧道内に及ぼすのである。地方風のない場合は其の設備費に思はざる冗費を蒙る事は死れない。然れども自然通風は坑内空氣の轉換上確實性を缺くものであるから延長大なる隧道では最早導坑の300 mにも達しない内に其の換氣の方法を講じなければ坑内作業が出来なくなる事がある。

但し導坑と切換及び覆工の間隔適當な場合は湧水の適量、風向等の良好な時は1000 mに及ぶも換氣設備を施さないでも自然換氣が充分な事もある。

第2項 悪因の緩和の方法

坑内空氣の汚濁は從業者の健康を害し、能率を低下せしむる主因である。此の悪因を積極的に除くには新鮮なる大氣を坑外より送るか、坑内空氣を淨化する方法を講ずるか何れかである。此の以外に悪因を幾分緩和する消極的方法としては次の如き事によるの外ない。

- | | |
|-----------------------|-------------|
| (イ) 畜類の使役並に蒸氣機關車の使用廢止 | (ニ) 鑿岩機の選擇 |
| (ロ) 照明燈の選擇 | (ホ) 掘鑿方法の選擇 |
| (ハ) 火藥類の選擇 | |

(イ) 畜類の使役並に蒸氣機關車の使用廢止

畜類及び蒸氣機關車は常に空氣を汚濁するのみならず、四圍の温度高昇を來し、從業者に不快の感を與ふるものである。故に之れ等を廢止し車輛牽引には他の動力即ち電氣、壓搾空氣等を原動力とする機關車を採用すべきである。

(ロ) 照明燈の選擇

之れは電氣使用が最も理想的であるが、其の價格高きが故に小規模のものは現在の處ではアセチレン燈にて満足すべきも、今少し電氣設備等廉價に供給せらるれば之れに越したる事はない。

(ハ) 火藥類の選擇

火藥類としてはCOの發生量最も少なく、爆發の強度最も大なるものを選択すべきは必要な事である。

(ニ) 鑿岩機の選擇

穿孔作業中飛散する岩石の細粉を速かに沈澱せしむる爲め鑿岩機の種類中錐先より水を迸出する如きものを採用するを可とする。

(ホ) 掘鑿方法の選擇

之れはベンチ式又は底設導坑法を採用する事が最もよろしい。

第3項 人工換氣

現今一般に行はれる換氣の設備は、坑門換氣法と稱して坑門外に換氣機を据付け、導坑先端部との間は送風管によつて連結する方法である。而して送風管の敷設は覆工工事の進捗に従つて漸次其の長さを進めるのである。

隧道延長の特に長大なものにあつては坑外に上記換氣機を据付け更に坑内に小型の換氣機を据付ける事があり、之れを導坑換氣法と稱す。

即ち坑外の大氣は坑外と坑内の兩換氣機を併用して二段に導坑深部に送風するものである。

次に換氣法は送風管内通風の方向によつて次の如く區別する。

- | | | |
|---------|---------|---------|
| (1) 吹込法 | (2) 吸出法 | (3) 併用法 |
|---------|---------|---------|

これには各々利害得失がある、今夫れに付要點を記述すれば

(1) 吹込法は導坑發破の直後に發生する悪ガスを排除する場合に、悪ガスは坑内作業箇所全區域を通過して坑外へ排出するものなれば、之れが爲め坑内にて作業中の全員は此の悪ガス通過の爲めに惱まされる事が缺點である。

然れども導坑の従事員には新鮮な空氣を直接供給するを以て此の點は最も良好な方法である。

但し切擴の箇所では絶えず送氣管破壊の虞れがある。故に相當送風管費を増大する。

(2) 吸出法は一般に換氣機を坑外の適當な箇所に設置して、坑内の悪ガスを吸出す方法である。此の機械設備を爲すには明り(坑外)の適地に据付け得る特長がある。

然れども送氣管を導坑迄延長する場合は導坑に於ける従業員は絶えず坑内作業者が排出した悪ガスを吸入するの缺點がある。

(3) 併用法は以上の2方法は何れも利害得失あつて何れを可とも爲し難いので、理想としては兩法を適當に併用する事である。即ち導坑發破の直後に十數分間吸出法を行ひ、其の後は坑外の新鮮な空氣を吹込む方法が良好である。斯くすれば前述の缺點を除去して理想的になるが、茲に又最も注意を要する事は氣流の衝突によつて無風帶現象を生ずる虞れがある。之れは吸出法によつて導坑の煤煙を完全に排除し得れば問題はないが、坑内の悪ガスを完全に排除する事が不可能であれば結局無風状態になつて殘留煤煙が作業員を懊惱する事大であるから、結局此の方法は理想論に留まり實施不可能である。

結局實施には一般に吹込法又は吸出法の何れかを適當に常用し且何時にても吹込又は吸出の兩法を使用し得る様設備を爲す事が萬全の方法である。

第3節 換氣量に関する學說

換氣量とは隧道内の汚濁空氣を清澄に爲すため坑外の清澄な空氣を坑内に送氣して悪ガスを緩和する空氣の量を謂ふのである。

而して坑内に働く勞働者が排泄する悪ガス又は其の他坑内の空氣を汚濁にする空氣量は次の如き標準がある。

照明燈を携帶した勞働者 1 人に付き	40~50 m ³ /hour	
牛馬 1 頭に付き	300~350 m ³ /hour	
火藥類 1 kg に付き	200~400 m ³	
此の外に火藥類 1 kg の爆發で大約	300 000 B.T.U.	} (青山隧道編 71 頁参照)
人は 1 時間に凡そ	10 000 B.T.U.	
牛馬は 1 時間に凡そ	100 000 B.T.U.	

を發熱する。

以上に就き諸説あるも、其の關係事項を異にし、然も地方によつて數量の差異を來し、之れ等諸説を直ちに隧道計畫の場合應用し得らるか否かは尙充分に研究を要する問題である。

第4節 換氣量

導坑及び切擴竝に覆工箇所の空間に於ける空氣が入坑者の呼吸及び燈火或は火藥類を使用に依つて酸素量を減少され且悪ガスを發生する爲め、之れ等を排除又は緩和するに必要な空氣量の算出には種々なる公式があるが、茲には概算數の算出を爲し得る種々の算式を掲げた。

第1項 換氣量算出公式

(I) 燈火及び人類による所要空氣量算出の公式

$$Q = aL + bM \dots\dots\dots(1)$$

(本式は青山隧道編 77 頁の (1), (2) 公式より推定して作つた公式である)

茲に Q = 所要空氣量 (m³/min)
L = 燈火 1 箇の所要空氣量 (m³/min) 普通 0.243 m³/min 位にとる
M = 人 1 人の所要空氣量 (m³/min) 普通 0.517 m³/min 位にとる
a 及び b は入坑の數字を入れる

(註) 此の式は燈火及び人員より生ずる炭酸ガス量を計算して是れを人體に無害程度に清浄するに要する空氣量計算の單純な公式である。

(2) 火薬類を使用の場合に要する換氣量公式

$$Q = \frac{D \times 0.577 \times \frac{1}{0.0016}}{t} \dots \dots \dots (2)$$

(本式は青山隧道編 79~80 頁より推定して作った公式である)

茲に Q = 所要空氣量 (m^3/min) D = 使用火薬類の量 (kg)
 t = 爆破後清浄に要する時間 (min)

(註) 火薬類 1kg にて發生する炭酸ガス量を $0.577 m^3$ と假定して之れを t 時間に人畜に無害程度の 0.002 迄に緩和するに要する空氣量を算出する公式である。但し CO_2 の量は大氣中の含有量 0.0004 を減じたものを用いた。

(3) 燈火, 人員, 火薬類等を以て換氣量算出公式

$$V = 0.23 L + 0.52 M + 5.17 H + 12 P \dots \dots \dots (3)$$

(青山隧道編 77 頁公式の數字を改訂したものである)

茲に V = 所要空氣量 (m^3/min) L = 燭火の員數 M = 入坑者の員數
 H = 坑内牛馬の頭數 P = 坑内 1 時間に要する火薬類の重量 (kg)

(註) 本公式の意味は 1 分時間毎に燭火は $0.23 m^3$, 人は $0.52 m^3$, 牛馬は $5.17 m^3$, 火薬類は $12 m^3$ (1kg に付き) の空氣量を要するものと假定した公式である。此の公式を使用する時は火薬類の使用量に注意を要す。何となれば間断なく使用するなれば $6 m^3$ にて充分なるも間隔を置きて一度に多量を使用するには 1kg に付き $300 m^3$ の割合にて換氣量を必要とす。

(4) ラウチリー氏は隧道の換氣量は専ら坑内に發生する炭酸ガス (CO_2) の分量を無害程度に迄低下させるを目的で算出する公式を案出したのである。

$$V = \frac{c(1-a)}{a-b} - R \dots \dots \dots (4)$$

(青山隧道編 78 頁参照)

茲に V = 24 時間に坑内に注入すべき空氣量 (m^3/D)
 c = 人畜照燈及び爆破に起因する CO_2 の總容量 (m^3/D)
 a = CO_2 の坑内適衛生限度 (普通 0.002 とす)
 b = 大氣中に含有せる CO_2 の量 (普通 0.0004 とす)
 R = 勞働者の従業せる區間に於ける坑内空氣容積 (m^3)

又導坑に注入すべき換氣量としては次の公式を示した。

$$V = \frac{c'(1-a)}{a-b} - R' \dots \dots \dots (4')$$

(青山隧道編 78 頁参照)

茲に V' = 導坑に注入すべき空氣量 (m^3/min) c' = 1 回の爆破に際し發生する CO_2 の量 (m^3)
 R' = 導坑部に於ける空間容積 (m^3) T = 爆破後休憩時間 (min)
 a 及び b は前公式の符號と同様

(註) (4) 及び (4') の 2 公式にて算出した値の大なる方を換氣量として採用すべきである。故に此の公式を使用する時は必ず兩式にて計算する事が肝要である。

(5) 眞空通風法による換氣量算出公式

$$Q = \frac{A \cdot l}{t} \dots \dots \dots (5)$$

(青山隧道編 79 頁参照)

茲に Q = 所要空氣量 (m^3/min) A = 導坑の大きさ (m^2)
 l = 導坑の長さ (m) t = 爆破後の休憩時間 (min)
 a = 炭酸ガスの人畜に無害限度 (普通 0.002 とす)

(註) 炭酸ガスの人畜に無害限度は フランシス・フォックス氏は各種の隧道に付き研究の結果 0.2% なりと稱して

居る。

(6) ジョーン・エス・ヒックス氏公式をメートル法に換算せしもの

$$Q = 0.9671 d^{\frac{5}{2}} \sqrt{\frac{P_2^2 - P_1^2}{lg}} \dots\dots\dots (6)$$

茲に Q = 空氣量 (m³/min) d = 送氣管の徑 (cm)
 P_2 又は P_1 = 送氣風壓 (kg/cm²) l = 送氣管の長 (m)
 g = 氣壓の比 (普通 1 とする)

(註) 参考の爲めヒックス氏の原式を掲ぐ

$$Q = 44.72 d^{\frac{5}{2}} \sqrt{\frac{P_2^2 - P_1^2}{lg}} \dots\dots\dots (6')$$

(本式青山隧道編 80 頁参照)

茲に Q = (cub. f/min) d = (in) P_2 = (#/in²) P_1 = (#/in²) l = (ft) g = (#/in²)

(註) 符號は前式と同様に付き省略して單位のみ記入した。

(7) リチャード氏公式 (表-5 参照)

$$Q = 5.9 \sqrt{\frac{d^5 \alpha p}{l}} \dots\dots\dots (7)$$

(本式は高等土木工學第 5 卷基礎工及び土木施工法谷口三郎著頁 174 及び 175 を参照)

茲に Q = 所要空氣量 (m³/min) d = 送氣管の内徑 (mm)
 α = 實驗係數 (送氣管の直徑に關聯せるもの)
 P = 送氣管に於ける始壓と終壓との差 (管の入口と出口との壓力の差 kg/cm²)
 l = 送氣管の長さ (m)

表-5. リチャード氏實驗係數表

d mm	25.4	31.8	38.1	50.8	63.5	76.1	88.9	101.6	127.0	152.4
$d^5 \alpha$	0.35	1.525	5.030	18.08	63.47	177.4	413.2	860.2	2919	7776
d mm	203.2	254.0	304.8	406.4	508.0	609.6				
$d^5 \alpha$	36814	120000	313528	1405091	4480000	11545805				

(註) $d^5 \alpha = \frac{Q^2 l}{34.8 p} \dots\dots\dots (7')$

(註釋同前)

第 2 項 送氣管徑計算公式

一般に用ひられて居るヒックス氏公式をメートル法に換算して之れを掲げる。

$$d = \sqrt[5]{\frac{\alpha^2 l Q}{0.9353 (P_2^2 - P_1^2)}} \dots\dots\dots (8)$$

茲に d = 送氣管の徑 (cm) Q = 空氣量 (m³/min)
 l = 送氣管の長 (m) g = 氣壓の比 (普通 1 とす)
 P_1 = 大氣壓 (kg/cm²) P_2 = 送氣風壓 (kg/cm²)

(註) 参考の爲めヒックス氏の原式を掲ぐ

$$d = \sqrt[5]{\frac{Q^2 l g}{2000 (P_2^2 - P_1^2)}} \dots\dots\dots (8')$$

(本公式は青山隧道編 80 頁参照)

但し符號はメートル式の場合と同様にして單位 (6') の場合と同じに付き省略した。

第 3 項 風壓を求むる計算算式

ヒックス氏公式をメートル法に換算して掲ぐ。

$$P = \sqrt{P_1^2 + \frac{Q^2 l g}{0.9353 d^5}} - P_1 \dots\dots\dots (9)$$

符號及び單位は總べて (6) 式の場合と同様に付茲には省略した。ヒックス氏原式は次の通りである。

$$P = \sqrt{P_1^2 + \frac{Q^2 l q}{2000 d^5}} - P_1 \dots \dots \dots (9')$$

(本公式は青山隧道編 80 頁参照)

符號及び單位は總べて (6') の場合と同じに付き茲には省略した。

第 4 項 送氣管の壓力損失に關する計算算式

送氣管に於ける摩擦によつて起る損失壓力を計算するには次の如き公式がある。

$$\text{圓管の内面滑かなる場合} \quad P = \frac{lv^2}{7.901 d} \dots \dots \dots (10)$$

$$\text{四角管の内面滑かなる場合} \quad P = \frac{lv^2 c}{31.604 A} \dots \dots \dots (11)$$

(青山隧道編 97 頁公式中の係數をメートル法に換算したものである)

- 茲に $P = \text{摩擦損失壓力 (kg/cm}^2)$ $l = \text{送氣管の長 (m)}$
- $v = \text{流氣速度 (m/sec)}$ $d = \text{送氣管の直徑 (cm)}$
- $A = \text{送氣管の斷面積 (cm}^2)$ $c = \text{送氣管の周邊長 (cm)}$

リチャード氏公式を掲ぐ。

$$P = \frac{Q^2 l}{34.8 d^5 a} \dots \dots \dots (12)$$

(本式高等土木工學第 5 卷基礎工及び土木施工法谷口三郎著頁 174 及び 175 を参照)

- 茲に $P = \text{始壓と終壓との差 (送氣管の入口と出口との壓力の差 kg/cm}^2)$
- $Q = \text{所要空氣量 (終壓に於ける m}^3/\text{min)}$
- $l = \text{送氣管の長さ (m)}$ $d = \text{送氣管の内徑 (mm)}$
- $a = \text{リチャード氏の實驗係數 (送氣管の直徑に關聯せるもの) 此の係數は (7) 公式と同じに付き茲には省略した}$

参考に送氣管の長さを求むる公式は次の如くである。

$$l = \frac{34.8 d^5 a P}{Q^2} \dots \dots \dots (13)$$

(註釋同前)

第 5 項 換氣機馬力算出公式

$$HP = \frac{Q \cdot 2.1928 P}{f} \dots \dots \dots (14)$$

(本公式は青山隧道編 93, 94 頁より推算作成したものである)

- 茲に $HP = \text{所要馬力}$ $Q = \text{風量 (m}^3/\text{min)}$ $P = \text{風壓 (kg/cm}^2)$
- $f = \text{モートル結合能率及び諸機械の能率 (普通 0.55 位とすれば大した相違はない但し機械によつても非常に差があるが)}$
- $2.1928 = 1 \text{ 馬力}$

(註) 馬力計算によつて算出した結果に 2 割内外の餘裕を見込んで機械設備を爲す事は實際問題として必要であると思はれる。

第 5 節 發破後の休憩時間

隧道内で火藥類を一度に多量に使用して發破した時は火藥類より生成したガスの爲めに暫時は其の發破箇所に近づく事が出来ないから、暫時休憩して煤煙の廢除を待つて作業に取掛るのである。即ち此の發破後の休憩時間を俗に煙休みと稱して居る。

此の煙休みの問題は導坑に於けるものを主として考へ、他の切擴に於けるものは些少にして、一般には餘り論ずるに足らないから、煙休みと言へば必ず導坑の煙休みの意味であると思つてもよい。それは導坑の休憩時間の長短は直ちに隧道の全工程に影響を及ぼすからであるが、之れに反して切擴に於ける休憩時間の長短は作業面積を増加して補ふ事が出来るのみならず、火藥類の使用量も亦導坑に比すべくもないからである。(開壁面より考へても)。

導坑は隧道の最奥部であるから、空氣の自然換氣が非常に悪くて只朦朧として煤煙や惡ガス又は石粉等多く、殊に發破の直後などは咫尺を便ぜざる状態である。甚だしい時は終日煙の中に居るのである。

導坑が進行して奥深くなつても一定の休憩時間を保つ爲めには完全な換氣設備を要するのである。即ち此の發破後の休憩時間を基礎條件として換氣設備を計畫すべきである。

一般隧道では 20~30 分時間を普通と稱されて居るが、時には 10分間位に短縮して作業を急ぐ場合もあるが斯くてはガス多量の所で作業をする事になるから、却つて能率を低下するから普通 30 分間位を適當と考へられる。

換氣所要時間として計畫を樹立する場合は 15~20 分として計上し、多少餘裕を見込むことが必要である。

第 6 節 隧道工事に於ける火薬類使用量の實例

著名隧道工事に使用した火薬類の 1 m³ 當り重量を示せば表-6 の通りである。

表-6. 各隧道 1 m³ 當り火薬類使用一覽表

名 稱	導坑のみ (kg/m ³)	切擴のみ (kg/m ³)	平 均 (kg/m ³)	名 稱	導坑のみ (kg/m ³)	切擴のみ (kg/m ³)	平 均 (kg/m ³)
(歐) シンプロン	4.893			(日) 小 佛 (西口)	0.923		
(歐) レンツ	3.066			(日) 笹 子 (西口)	1.962		
(歐) グランゲス	3.127			(日) 青 山 (西口)	1.822		
(歐) レツベルヒ	4.874			(日) 青 山 (東口)	1.964		
(歐) クーベル	2.054			(朝) 雄 羅 (西口)	2.843	0.886	1.502
(歐) カンダーグランド	2.465			(朝) 雄 羅 (東口)	2.488	0.829	1.340
(米) ガリスチン	3.826			(日) 石 北 (上川口)	1.205	0.301	0.421
(米) ス ト ロ	1.937			(日) 石 北 (遠輕口)	1.493	0.606	0.578
(米) ロンドート	2.636			(日) 石 北 (堅坑)	—	—	0.752
(米) バッフアロ	1.766			(日) 下 久 野	1.335	0.339	0.636
(米) ハンターズブルック	4.414			(日) 猪之鼻(戸川口)手掘	1.239	0.449	
(米) ポールバス	4.108			(日) 猪之鼻(戸川口) 機械掘	2.133	0.613	
(日) 仙 人	3.004			(日) 猪之鼻(坪尻口) 機械掘	1.431	0.685	
(日) 淺 岸	2.336						

(本表の數字は青山隧道編 75 頁及び鐵道省發行の石北、下久野、猪之鼻の各隧道工事誌を參照して筆者が換算したものである。)

第 2 章 藥品に依る隧道内空氣清淨法

第 1 項 概 要

藥品を用ひて隧道内の空氣を清淨ならしむるには如何なる藥品があるか、又隧道内の有害ガスを吸収し得るか、又之れを吸収せしむれば大體空氣清淨の目的は達し得るか、或は更に酸素其の他を隧道内に供給せしむる事に依つてどの位空氣を清淨になし得る事が出來得るか、即ち清淨の効果經濟上實用に供さるか否かに就いては未だ充分に研究して居ないが此處には要點のみを掲げておく。

第 2 項 曹 達 石 灰

隧道内の有害ガス CO₂ 及び CO 等の煤煙の吸収用として最も實用に適すると考へられるものに曹達石灰 (Sode Lime) がある。

これは水酸化ナトリウム (NaOH) 及び水酸化カルシウム (CaOH) の混合物を強熱して充分乾燥したものであつて、極めて多孔性なる故ガス吸収作用を爲すものである。

但し曹達石灰を單に大氣中に放置する場合其の吸収作用がどの程度の速さで行はれるか、即ち單に放置するのみにて清淨の目的に間に合ふか否かは實驗の結果に待たなければならない。

茲に曹達石灰に積極的に空氣を送つて其の作用を充分に發揮せしむるものに空氣清淨器がある。之れは艦内に於て使用せるものにして曹達石灰 1 kg で 53 分時間 (40 lbs で 16 時間) の使用に耐へるものである。又進歩したものでは空氣中のガスを 95% 迄除去し得るものがある。

隧道内に於て曹達石灰を使用すれば坑内の空氣を清淨ならしむる事が出來るのである。參宮急行電鐵會社の青

山隧道工事西口にては補助換氣の一つとして試験的に覆作業箇所へ曹達石灰の塊状のものを數箇大氣中に放置して作業せし結果相當効果があつた。但し經濟上常用する程多量には使用出来なかつた。

第3項 炭素末

炭素末はガス吸収劑として有効であるが、之れは主として毒ガス吸収用として防毒マスクに用ひられるものである。

現在消防夫や鑛夫が炭素末や曹達石灰或は其れ等の混合物を用ひたるマスクを使つて CO_2 、 CO 、 SO_2 のガスを吸収せしめてをる例がある。

第4項 酸素

酸素發生用としては、液體酸素がある之れは最も普通に用ひられて居るが、然し多量に使用する場合に於ては經濟上不適當であると考へられる。

第5項 結論

藥品中で最も適當であると考へられるものは曹達石灰であるが、之れが效力の如何及び經濟上の當否如何に就いては更に専門家の研究に待つより外はないので、茲には單に表題だけ掲げて置く程度にしたのである。

第3章 鐵道開通後に於ける換氣法

鐵道隧道の開通後に於ける換氣の問題は主として蒸汽機關車即ち石炭使用の場合にして、且つ長大隧道又は排煙不良の隧道の場合にのみ論ぜられるものと考へて宜しい。何となれば油類使用の機關車の場合はさのみ大した問題もなく、電氣使用のものは全然換氣の必要はないからである。但し自然換氣にて排煙出來れば茲には換氣問題を論じない事にする。

第1項 隧道内煤煙ガスの種類

機關車内の煤煙中に含有する悪ガスの主なるものを示せば次の通りである。

炭素ガス又は無水炭酸 (CO_2) は無色無臭のガスであつて、其の味は舌を刺戟し、且つ少しく酸味を有し空氣に對して比重 1.529 である。而して水は能く炭酸ガスを溶解する。大氣中には此の炭酸ガスの含有量は約 0.0004 即ち 0.04% 位である。

一酸化炭素又は酸化炭素 (CO) は無色無臭にして、其の比重は空氣と略同じく 0.967 であるが、水には溶解しない。此のガスは頗る危險視せられるのは血球へモグロビンとの親和力が零に比して、遙かに強くへモグロビンの酸化を阻止するに依る。此のガスの含有量 1.6~2.4% の空氣中に 30~1 分時間滯留するときは即死又は事後死亡すると謂はれて居る。大氣中には此のガスを含有して居らない。

無水亞硫酸又は二酸化硫黃 (SO_2) は水氣を含まざるときは無色であつて、刺激性臭氣を有して居る。空氣に對する比重 2.264 である。此のガスの含有率低き場合と雖呼吸器管及び粘膜を毀損する。空氣中の含有率は僅かに 0.05~0.06% の時と雖即死又は事後死亡を惹起する。大氣中には含有して居ない。

第2項 機關車より生ずるガス量

機關車 1 km を走行するに要する石炭量は機關車の種類により又は速力、停車、夏冬、牽引車輛數、線路其の他種々の状態によつて大なる差違がある事は勿論であるから茲には詳細に涉らないで概要にのみ止めておく。即ち各種の統計表から次の如き數價がある。

最	大	216.9 kg/km	最	小	7.2 kg/km
旅客列車の平均	16.4	"	貨物列車の平均	39.4	"
夏の總平均	29.2	"	冬の總平均	32.4	"

故に機關車 1 km を走行するに要する石炭量は平均 31 kg とする。

石炭の燃焼に依つて發生するガスの成分は石炭の種類及び爐の溫度其の他種々の事情に依つて差違があるが、今次に其の大要を掲げる。

炭酸ガス及び酸化炭素 (CO_2 及び CO) は石炭分解の始めに最も多く、其れより漸次減少し 400~500°C では僅

か分解し、CO₂の分離は減少するがCOは温度高くなるに従ひ又盛に分離し乾留の終極迄繼續する。

タールは310°Cより分解し始め、500~600°C迄繼續するが600°C以上では分解し始める爲め、其の量は却つて減少する。但しタールの粘度は310°Cのものは低く、350°Cより高くなる。

エタン及びエチレン(C₂H₆及びC₂H₄)其の他の炭化水素ガスは300~350°Cで盛に分離し、500°C以上で減少し始める。

メタンガス(CH₄)は分解の始めより分離し450°Cで最も多く900°C以上で減少し始める。

水素(H₂)は500°Cより分解し始め900~1000°C迄も盛に分離する。

撫順切込炭の燃焼に依り發生するガスの成分を示せば表-7の通りである。

表-7.

ガス名稱	原子記號	石炭 1 kg の燃焼により發生するガス重量 (kg) 蒸氣を除く										同上容積 (m ³ /kg)
		燃焼機を装置せざる場合		御法川式燃焼機を装置せる場合		古山式完全燃焼機を装置せる場合					以上平均	
炭酸ガス	CO ₂	2.33	2.22	2.10	2.12	2.24	2.17	2.19	2.17	2.18	2.191	1.1084
酸素	O ₂	1.69	0.99	0.92	0.89	1.43	1.37	1.01	0.93	0.88	1.123	0.7853
酸化炭素	CO	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.022	0.01776
窒素	N ₂	12.44	9.69	8.95	8.88	10.73	10.37	9.12	8.71	8.83	9.736	7.732
合計	kg	16.49	12.92	11.99	11.91	14.43	13.83	12.34	11.83	11.91	13.072	9.646
試験年月日 (昭和)		4-5-30	4-5-31	4-4-16	4-5-17	5-6-18	5-6-20	5-6-21	5-6-23	5-9-24		

上記試験の平均値を採り機関車が1kmを走行する爲めに放出するガスの總容積は31kg×9.646m³=299.03m³となる茲には300m³と假定する。

表-8.

次に機関車より排泄する水蒸氣は石炭1kgに付約14m³なるも、茲には此の水蒸氣が空氣又は他のガス中に傳播することなく、且つ凝固することなしと假定して計算すれば隧道1km間に蓄積する容積は31kg×14m³=434m³にして1m當り0.434m³である。

名稱	1mの容積	1kmの容積
空氣	23.5 m ³	23 500 m ³
燃焼ガス	0.3 m ³	300 m ³
水蒸氣	0.434 m ³	434 m ³
	0.734 m ³	734 m ³

上記に依れば隧道延長1mに付燃焼ガスと水蒸氣とを合して0.734m³となり隧道内空氣の約8%に相當する。

上記を標準として隧道内のガス量を計算すれば表-8の如し。

次に隧道内を列車が1時間内に通行する回数を今假りに3回、5回及び7回と假定して燃焼ガス及び水蒸氣の蓄積量を計算すれば表-9の如し。

表-9.

1時間に通過列車回数	隧道1kmの空氣量	隧道1km内に1分間に蓄積するガス及び水蒸氣の總量	隧道内空氣に對するガス及び水蒸氣の比率
3	約 23 500 m ³	$\frac{734 \times 3}{60} = 36.7 \text{ m}^3$	約 $\frac{1}{640}$
5	"	$\frac{734 \times 5}{60} = 61.167$	約 $\frac{1}{384}$
7	"	$\frac{734 \times 7}{60} = 85.633$	約 $\frac{1}{274}$

備考 上表の數字は常氣壓 16.7°Cの時の容積である。

第3項 惡ガスの許容量

隧道内の炭酸ガス(CO₂)の許容限度を0.2%と假定して計算する。然るに大氣中には常時CO₂の平均量0.04%を含んで居る。故に石炭の燃焼によつて發生して差支ない炭酸ガスの許容限度は $\frac{16}{10000} = \frac{1}{625}$ となる。

前項の統計により石炭の燃焼により發生する惡ガス中には炭酸ガスを1/8.7を含んで居るが故に石炭の燃焼に

よる炭酸ガスの許容限度は次の如くなる。

$$\frac{(20-4) \times 8.7}{10\,000} = \frac{1}{71.84}$$

次に水蒸氣を含有したガス量と燃焼ガス量との比は 1:2.447 であるから、此の水蒸氣を考慮した時の隧道内悪ガスの許容限度は次の如くなる。

$$\frac{2.447 \times 1}{71.84} = \frac{1}{29.36}$$

第 4 項 ガスを緩和するに要する風量其の他計算

前述の各項の数値を基として所要換氣量及び風速等を計算すれば表-10 の如し、

表-10.

1 時間に 通過列車 回数	隧道内汚氣の更新に要する時間	所要換氣量		換氣風速	
		毎分時 (m³)	毎秒時 (m³)	米/毎分	米/毎秒
3	$\frac{1}{29.36} \times \frac{1}{640} = 21.8$ 分	1 078	12.97	45.87	0.76
5	$\frac{1}{29.36} \times \frac{1}{384} = 13.1$ 分	1 794	29.90	76.34	1.27
7	$\frac{1}{29.36} \times \frac{1}{274} = 9.3$ 分	2 527	42.11	107.53	1.79

上表の如き数値を得たれども之れは或る線路の 1 時間内に於ける列車回数を 3 回~7 回と假定して推算せしが、一般に自然換氣と人為換氣の何れにても風速 3 m/sec=180 m/min 以上の場合には隧道内空氣状態は良好ならんと信ぜられる。

但し人為換氣の場合、自然通風と反対方向の場合は 5 m/sec として計算すれば大過ないと思はれる。

第 5 項 自然通風法

空氣は直接氣温の影響を受けるので、其の重量は夏冬、晝夜によつても同じではない。従つて隧道の外氣は内氣に比し、冬は冷しくて重く、夏は温くて軽い。今無風状態のとき氣流の變化は多是坑門口の高き處より入つて坑門口の低い所より出づるも。夏は低い所から入つて高い所から出るのである。

又高低の差大なるか又は温度の差が大なれば大なる程氣流の速度は速かである。従つて通風量も亦増加する。

自然通風による速度の計算

$$V = \sqrt{2ghc} = 4.428 \sqrt{H \times \frac{0.00367(t_2 - t_1)}{1 + 0.00367 \times t_2}} \dots\dots (15)$$

(本公式は一般公式を筆者が隧道氣温を以て前述せる経過により係数を代入して作成したものである)

茲に V = 風速 (m/sec) H = 高低差 (m)
 t_2 = 坑内温度 (c) t_1 = 坑外温度 (c)

第 6 項 煤煙ガス量の計算算式

前述の計算を尙別途の算式にて照査せんとするに次式がある。

次式は列車が隧道内を走行する速度即ち隧道の延長に依つて機關車が隧道内にあつて石炭燃料をたく時間と石炭中に含有するガスの比率及び自然風の方向によつて考案された公式である。

假りに前述の石炭を使用するとせば、CO₂ 及び CO の容量は 1.11+0.02=1.13 m³ である。

公 式

自然風と列車とが同一の方向にある場合

$$g = \frac{1.13 \text{ m}^3}{s(V-N)} \dots\dots (16)$$

(鐵道隧道の開通後に於ける換氣昭. 2. 11. 5 工學大會書土木部會に於ける瀧山興氏講演 14 頁による公式を筆者が係数を上記の如き経過により代入したものである)

自然風と列車とが反對の方向にある場合

$$g = \frac{1.13 kV}{s(V+N)} \dots \dots \dots (17)$$

(註釋同前)

無風状態の場合即ち $N=0$

$$g = \frac{1.13 k}{s} \dots \dots \dots (18)$$

(註釋同前)

茲に g = 隧道内空氣中 CO_2 及び CO 含有量 k = 機關車 1 m 走行中に燒盡する石炭量 (kg)
 s = 隧道内の斷面積 (m^2) V = 列車の速度 (m/sec)
 N = 隧道内自然風の速度 (m/sec)

上式にて算出して得られた g の價が 0.002 即ち 0.2% 以内なれば換氣は差支ないのである。

線路作業員に對する智能並に特性検査報告

會員 石 田 武 雄*

要旨 今事變下に於て人的物的資源の不足の折柄、保線作業従事員の能率増進並に危險防止の一助として、各員に對して一般智能程度、意志の特性、氣質の特性、並に保線従事員としての技能的特性の検査をなせるものゝ報告である。

1. 緒 言

作業能率の増進と災害事故の防止との根本對策は先づ作業に於ける作業員各個人の智能並に特性を見きはめて、これを適所に配置することにある。而もこれはやがて各作業員の作業上の成功と隨つて、その生活上の福祉とを招來する所以であり、又これは作業員各自をもつて各々その所を得せしめ、完全ににその資質を伸張せしめ、以て仕事の能率の向上に資するを得ることゝなる。この意味で今回大阪保線區内 327 名の線路作業員に對して各個人の智能及特性の検査を実施した。

検査を実施する場合に第一に考慮すべき問題は、検査の對象となる人と、仕事の内容とを正確に判斷してその検査種類と方法とを決定せねばならない。この爲に線路作業員として實際上に持つべき資質を列記すれば、

1. 身體的條件
健康、強力にして柔軟なる體格（扁平足は不可）
2. 感 覺
視力及目測、濃淡感覺、運動の安定、色辨
3. 職業的知能
視覺と運動との協調、同時的な注意の分配、注意の集中並に轉向、敏速な反應（視覺及聽覺刺激に對し）、實際的判斷及技術的智能、習熟能（量的並に質的に）
4. 作業の型
勤勉、工夫、弧立的及集團的作業に於ける正確さ、失策に際してよく適應すること
5. 性格特徵
良心的な事、秩序及整理に關する感覺

以上の如くに作業員の資質を評定して智能並に特性の検査項目を撰擇した。即ち、

1. 一般的な智能検査
2. 意志氣質検査

* 鐵道技師 工學士 鐵道省岡山工事事務所