

掘鑿中隧道に於ける理想的空氣條件に就て

准會員 原 正 人*
准會員 河 野 通 之**

1. 序 論

既に交通を開始せる隧道に就ては、從來換氣の研究は比較的良くなされてゐる。即ち道路隧道に於ては、主として自動車の廢氣に就て、又鐵道隧道に於ては、主として機關車の煤煙に就て、種々なる對策が講ぜられ又研究がなされてゐる。然し乍ら、掘鑿中の隧道に於ては、その空氣條件を論じたものは、殆ど稀である。之は隧道が貫通して居らぬと、換氣方法及びその設備が充分に行ひ得ないといふ實際上的理由と、又理想的な條件を望むとしても掘鑿中に使用する火藥類によつて、空氣は甚しく汚染せられ、又前人未踏の大地を掘進する爲、如何なる事態が発生するかも知れない爲、理想が行はれ難い事情にもよるのである。掘鑿中隧道の空氣條件は、鑛山のその場合と似てゐるが、結局各工事場に於て、その場合に應じた施設を行つてゐるのみであつて、未だ理論的に空氣條件を決定し、それに基じた換氣設備を行ふといふ所には至つて居ない。何といつても隧道工事の使命は、その掘進にあるのであつて、換氣等は二の次となつてゐる事は事實で、一般に消極的な處置がなされてゐるのみである。

完成した隧道に於ては、換氣の對稱となる人間の通勤時間は一般に僅かであつて、掘鑿中隧道に於ける如く、1日8時間もそこで勞働する場合とは、自ら異つてゐる。掘鑿中隧道の空氣條件を良好ならしめる事は、作業員の健康上、及び作業能率上忽がせに出來ぬ問題であると考へる。本文は最も理想的なる空氣條件は、如何なるものであるかといふ事に就て述べたものであるが、しかしこゝで述べる條件は表題の如く、飽くまで理想條件であつて、この通りになそうとする事は、現場によつては無理な所もあらうが、目標とすべき條件に就て考へて見る事も必要と思つたのである。

尙壓縮空氣工法の場合に就ては、普通工法の隧道と、甚しく事情を異にせる爲、項を變へて述べる事にする。

掘鑿中隧道に於て、作業能率及び人體に及ぼす有害性は、各現場に於て各々異なるのが普通であるが、大

體一般的傾向は似てゐるといへる。即ち普通の狀態で問題となるのは、

- a) 炭酸ガス (CO₂)
- b) 一酸化炭素 (CO)
- c) 濕氣
- d) 溫度
- e) 塵埃 (粉)
- f) 塵埃
- g) 臭氣
- h) 氣動
- i) 其他有害ガス

等である。之等の他、有害ガスが多量になると、必然的に酸素の減少を來すが、逆に有害ガスの對策をなせば、酸素に就ては充分といへる。

以上の各々に就て、發生原因を究明し、その對策を講ずべきであるが、次に項を追うて綜合的に考察して行きたいと思ふ。

2. 有害物の發生原因

a. 炭酸ガス (CO₂)

之は炭素含有物の燃焼の際に生ずるものであるが、腐敗等によつても起り、元來空氣中には、0.03~0.04%が含まれてゐる。普通の隧道に於て、炭酸ガス發生の最も大きな原因は發破である。その他人畜の呼吸作用、火氣 (喫煙、アセチレン燈等)、又地質によつては地中から發生する場合もあり、その他糞尿及び有機物の腐敗により生ずる。發破によつて生ずる炭酸ガスは、使用する火藥の性質、使用量等によつて異なり、從つて地質によつて變るともいへる。之は各現場に於て異なると考へられる。

呼吸によつて生ずる炭酸ガスは、人間の場合平均年齢 25 歳として、呼氣の約 3.2% である。呼吸空氣量は、勞働程度によつて異なるが、勞働中は 1 時間約 1m³ と考へられるから、坑内作業人員數から、炭酸ガスの量を計算し得る。この問題は、防空壕、その他密閉せる室内の空氣狀態を論ずる際にも重要である。

b. 一酸化炭素 (CO)

之は炭素含有物の不完全燃焼の場合に生ずる。やは

* 工學士 東京帝大助教授、

** 工學士 鐵道技術研究所員、

り最大の原因は發破であり、之がすべてと考へて差支ない。その他、量的には少いが煙草、アセチレン等の火氣によつても生ずる。

c. 濕 氣

一般に隧道には必ず湧水を伴ふ。従つて必ず湿度は高いもので普通 90~100% である。その他隧道内は一般に温度が低く、外氣が暖い場合は、温度低下による湿度の増加、及び鑿岩機の高湿の壓縮空氣が隧道内の冷氣に觸れての湿度増加等が考へられる。温度低下による原因の一例をあげると、飽和水蒸氣量は 30°C の時は 30.1 gr/m³ であるが、23°C では 19.3 gr/m³ であり、従つて 30°C の時 80% の湿度は、23°C に於ては優に 100% となるのである。従つて冬期の如く、大氣が乾燥して低温の時は、坑内は比較的湿度低く、雨天或ひは夏期の如く、高温多湿の時は、坑内の湿度も高いと考へられる。

d. 温 度

隧道中は、湧水その他の原因で一般に温度は低い。しかし火山地帯等に於ては、温泉餘土等の爲に高温になる事がある。普通は 18~24°C 程度と考へられる。

e. 塵 埃

隧道現場に於ては、濕氣が過飽和となつて、往々にして曇りを生じて視野を狭め、困惑する事がある。この原因は勿論第一に湿度の高い事に歸すべきであるが、それに加へて掘鑿による石粉、セメント粉等の 2 次的な微粉の多い爲に、過飽和の水蒸氣が微粉を核として小水滴を生ずるのである。

f. 塵 埃

この原因は、大氣中の塵埃（有機物、無機物）及び坑内作業に基く原因による塵埃である。一般に前者は都會地に多く田舎に少い。しかし隧道内に於て問題となる塵埃はむしろ後者の原因によるものであつて、掘鑿、發破による岩石の微粉、及び坑内でコンクリート混合をなす場合にはセメント粉等がある。又發破、壓縮空氣等で塵埃を飛散させるから、空氣中の塵埃は相當多量と思はれる。この他空氣壓縮機の潤滑油が壓縮空氣と共に送られてくる。

g. 臭 氣

隧道内の臭氣の原因は、火藥類、人畜の糞尿、體臭及び前述の空氣壓縮機の油の臭ひである。その他支保工に菌類の發生した所等、じめじめした所特有の臭氣を有する。

h. 氣動の少い事

適當の氣動が、環境衛生上必要である事は勿論であるが、一般に貫通隧道と異なり、掘鑿中隧道に於ては氣動は少い。従つて人工的に換氣をするか、又は實際問題として非常に姑息な手段であるが、隔出車の比較的高速度運轉を必要とする。一般に空氣は、水に比較して遙かに流れ難い。之は空氣の粘性によるのである。今水と空氣を比較して見ると、

1 l の重量 (m) 0°C に於ける粘性係數 (η)

空氣 (標準狀態) 1.293 gr 0.000171

水 1000 gr 0.01792

今重量 m と粘性係數 η の比を取つて見ると、

空氣 $k_1 = \eta/m \approx 0.000132$

$k_2 = \eta/m \approx 0.00001792$

$K = k_1/k_2 \approx 7.4$

即ち 0°C に於て、空氣は水より、その質量に對して 7.4 倍だけ流れ難い事となる。之が 20°C となると、は空氣に於ては増加して 0.000181 となり、水は逆に減少して 0.01005 となり、水に對して空氣は益々流れ難くなる。空氣のこの性質が結局換氣に頭を悩まさせる原因である。

i. 其他の有害ガス

地質によつては、地氣を發生し、メタンガス等有害ガスの影響を受ける事がある。之は地中に埋れた動物物が變質して種々のガスを發生するのであるが、一般に隧道工事に於て之等所謂天然ガスの影響を受ける事は少い様である。

以上述べた各種の有害素は、各隧道現場に於て普通考へられるものである。又炭酸ガス、一酸化炭素等有害ガスの發生は、必然的に空氣中の酸素の量を減少せしめる事にも注意しなければならぬ。

3. 有害素の人體に及ぼす影響及び許容限度

一般に從來なされた隧道の換氣に就ての研究の有害素の許容限度は過大である。之は前にも述べた如くそれが殆ど貫通使用してゐる隧道に就てであつて、名稱となすべき人間の隧道滞留時間が短い事によるのである。掘鑿中隧道に於ては、坑内が仕事場であり、且内作業員の勞働壽命が一般に短い事から考へても、且分環境衛生に留意して許容限度を定めなければならぬ。又之が隧道工事能率に影響する事も大である。以下各有害素に就き作業及び人體に及ぼす影響を述べ許容限度を定めて行かう。

a. 炭酸ガス

炭酸ガスを多量に含有する空氣中に滞留する場

は、人により、頭痛、眩暈、嘔氣を催し、所謂炭酸ガス中毒にかゝる。しかし元來炭酸ガスそのものは、人體にさほど有毒でなく、又隧道中に炭酸ガスのみによる障害を生ぜしむる程、このガスを含む事は先づないといつて良いと思ふ。但し密閉せる室内例へば防空壕の如きものに於ては、室内人員の呼吸により炭酸ガスが増加し、必然的に酸素の減量を來し、加ふるに體温による室温上昇、及び湿度の増加と相俟つて、體温調節が遮げられる等の悪影響を及ぼすから、之等に於ては別に考へなければならぬ。結局隧道に於ては、炭酸ガスの多少により、その空氣狀態判定の標準となすのが至當である。之あたかも上水道に於ける大腸菌の如くである。即ち炭酸ガス多ければ、他の有害ガス(CO等)も多いと考へられるからである。従つて大雑把について、炭酸ガスの許容限度を定めれば、その空氣條件を半ば定めたと同様である。

許容限度に就ては、小學校教室 0.13%、工場内 0.12~0.2% となつて居り、普通 0.1% を標準としてゐる。既設鐵道隧道に於ては、瀧山氏は煤煙の對策に就き、乗務員に對して 3%、保線員に對して 1% 程度として居られる。掘鑿中隧道に關して、之を標準となし得ない事勿論である。瀧山氏は、乗務員に就て 1 時間、保線員に就て 6 時間當該ガス中にて作業する事を基準として居られる。毎日坑内で長時間作業する人に就ては、理想的には 0.2% を許容限度となすのが適當と考へる。實際問題として、發破等を連続的に進む場合の切羽に於て、この基準を守る事は無理であるので、切羽の作業員は、比較的速かに交代せしむる事が必要である。

b. 一酸化炭素

之は無色、無臭、猛毒性のガスであつて、比重は空氣と略等しく、血液中のヘモグロビンとの親和力は、酸素に比して 250 倍といはれてゐる。従つて極微量でも既に中毒症狀をあらはし、頭痛、眩暈、嘔氣を経て遂に死に至る。之に就ては非常に神經質になる必要があるのであつて、従つて許容限度の如きも非常に小であり、瀧山氏の既設鐵道隧道に於て、煤煙の對策として、乗務員に就き 0.03%、保線員に就き 0.02% となつてゐるが、この程度の量では、3~6 時間位で既に軽度の頭痛を感じる程であつて、掘鑿中隧道に就ては適當でない。先づ長時間滞留して障礙なき量は、0.01% とされてゐるので、掘鑿中隧道に於ても之を標準としたい。しかし發破直後等のやむを得ざる時は、

0.02% まで許容する。

c. 濕 氣

湿度に就ては、氣湿、氣動と關聯して考へべき事はいふまでもない。人體に最適の湿度は氣温により差異はあるが、大體 70% 前後である。しかし隧道中に於て、湿度をこの程度に望む事は無理であるので、湿度に就てはむしろ作業能率の上から、坑内の視野を廣くする爲、曇りを除くのを目的として、90% 位を目標としたい。湿度が高いと、皮膚からの體温の放散、傳導及び蒸發が減少し、發汗多く蒸した感じがする。之が高湿、高濕、無氣動となると、作業員に及ぼす影響甚しく大である。又湿度が高いと、微生物の發育を促し、殊に黴の發生が多く、坑内の木材支保工に綿の如く黴の發生してゐる様子は屢々見られる所である。

d. 温 度

氣温は人體にとつて暑くなく寒くなく 20°C 前後が最適とされてゐる。米國に於て、Yaglow 及び P. Drinkler は、

夏期 至適 21.4°C 許容範圍 17.7~26.2°C

冬期 " 18.8°C " 15.5~23.3°C

となしてゐるが、隧道に於ては 15~25°C を標準となすのが適當である。普通の隧道に於ては、大體この範圍に收つてゐる様であるが、地質によつては、高温に惱まれる事があり、この場合は特に必要な處置を取る必要がある。

e. 曇 り

之に就て、最も困る事は、視野を狭め工事の遂行上甚だ不便を感じる事である。そもそも暗い坑内に於ては、照明設備も充分でない、その上曇りを生じて 10 m 先も見えぬ事は、作業員の精神上に及ぼす影響の他に、連絡上、危險防止上誠に困る事である。従つて曇りは絶対に生じては困る。即ち湿度は換氣、其他の注意により必ず 100% 以下にしなければならぬ。一般に天井から湧水が滴下してゐる様な所では、視野が明るい。この理由は、大水滴が落下中に空氣中の塵埃及び小水滴を併呑して落下するからであり、その附近の湿度は 100% 以下となつてゐる。之を逆に利用すれば、特に曇りの多い箇所には、人工的に大粒の雨を降らせれば良い事になる。但しこの場合は、排水を良く考へて置かねばならぬ。

f. 塵 埃

隧道坑内の如く、主として石粉、セメント粉等を吸入するものは、所謂石肺即ち一種の肺炎を起し、塵埃

吸入病といはれるものに犯され易い。又塵埃は咽喉を痛め、不愉快な氣持にもなる。しかし數量的に塵埃がどれ程あつたからどうといふ様な影響は未だ分つてゐない。大陸の標準は、少いに越した事はないが、隧道中の特殊事情も考慮して、 25 mg/m^3 以下とする。之は都會地の甚だしく汚染した空氣よりも少し大である。即ち都市では $6 \sim 23 \text{ mg/m}^3$ 、田舎では $0.2 \sim 0.4 \text{ mg/m}^3$ が普通とされ、海軍では 0.5 mg/m^3 を標準とするが、之は餘りにも實際と違い。塵埃を少くする事は、又曇りを減少せしむる事からいつて重要である。空氣壓縮機から來る油も相當な量である。

g. 臭氣

臭氣は、吾々に不快の念を起させる故、その原因はなるべく除去する様にするのが望ましい。隧道に於ける臭氣の原因は、壓縮機の油、及び糞尿と思はれるが、後者は仕末を良くする事によつて相當防ぎ得る。

h. 氣動

吾人の感覺上、氣動のあるとなしとは大なる相違があるが、之は氣温、氣濕とも關聯し大にすぎず、小にすぎざるものが良いのである。貫通せる隧道に於ては、自然的、人爲的たるを問はず 3 cm/sec の氣動あらば、その空氣状態には良好といはれてゐる。掘鑿中隧道に於ては、人工的以外に氣動は生じ難く、之が換氣に困難な點であるが、標準としては人體に感じない程度の氣動を有す事を望みたい。

i. 其他の有害毒

掘鑿中に生ずる CO 以外の有害ガスも、CO に就ての對策を講ずれば、自然解消する。従つて理想條件としては、有すべからずといふ事にする。細菌に就てはなるべく少數にして病原菌を含まざる事勿論である。

以上各項に就て述べたのであるが、こゝに注意すべきは、環境の悪化は、悪ガスよりむしろ氣温、氣濕、氣流の理學的性狀に基因するとなす説のある事である。即ち炭酸ガス等よりも高濕、多濕、無氣動の身體に及ぼす影響が大であるとなすのであつて、之は相當多數の醫學者によつて支持されてゐる説である。之を空氣の理學的性狀基準説といふが、隧道中に於ても、この説がある程變當ではまるのではないかと考へられる。隧道では、又照明が吾人の感覺に及ぼす影響も看過してはならぬ。

尙前節で一寸觸れて置いた、酸素の減量に就てであるが、之は悪ガスの對策として換氣を行へば、新しい空氣が供給される事になるので、之を標準とする必要

はない。局部的には切羽の破直後等は、酸素は相當減量するが、空氣鑿岩機から壓縮空氣を吹かせるのが普通であるから、呼吸困難になる事はない。

4. 空氣狀態の判定及び對策

之に就て詳しく述べる事は、長くもなり、又表題からも離れる事になるので、簡単に常識的事を記載する。空氣状態を簡単に判定するのは、慣れた人なら坑内に入つた感じでわかる。しかし理論的にやるには、どうしても測定によらねばならぬ。最も簡単に、一般的な判断をなすには、炭酸ガスを分析して見れば良い。この實驗設備は非常に簡單で、大雑把には、數分にして結果がわかる。詳しくは、バレット水による滴定方法によるが、之でも 20 分もあれば測定を終る。従つて隧道現場に於ては、炭酸ガス分析装置の一つ位備へて置く事は必要と思ふ。こゝに注意を要するのは空氣の採集に就てであつて、普通採集瓶に液體を充して現場に至り、液體と空氣とを置換して採集するのであるが、炭酸ガス分析用としては、液體として Na_2SO_4 の飽和溶液を使用し、一酸化炭素に對しては水を使用する。蓋し前者は水に對する溶解度が大なる爲水を使用できず、後者は溶解度小なる放水で差支ないのである。又採集量は炭酸ガスに對しては數百 c.c. で良く、一酸化炭素に對しては、微量であるから 3,000 c.c. 以上を採集するを要する。一酸化炭素の分析は稍、複雑であるが之も 1 日あれば、分析し得る。其他濕度は簡單な濕度計で、氣動は風速計で、氣温は寒暖計、臭氣、曇りは感覺で各々判定し得るもので、面倒な作業ではない。塵埃も數量的に總量を知る事は簡單であつて、U 字管に石綿をつめて、ある量の空氣をその中に吸引して、 16°C に乾燥して水分を取り、日方の増量を測定すれば良い。但し塵埃の種類を、定性定量分析する事は少し面倒である。之等の裝置等に就ては省略する。上に述べた事で隧道中の空氣状態を判定する事が比較的簡單である事は御諒解の事と思ふ。

さて、この對策に就ては、種々實行困難な因子が多い。悪ガスに就ては、分析結果と許容限度から換氣量を算定し、それに相應した設備をなせば良いのであるが、掘鑿中隧道に就ては、掘進するにつれて内容積が變化し、この換氣設備を實施する事は種々實際上の困難を伴ふ。換氣設備をなせば、悪ガス及び氣動に關する因子は解決し得る。臭氣は坑内人員がお互ひに注意する事によつて、相當防ぎ得る。どうしても困るのは、塵埃及び之に伴ふ曇りである。塵埃に對しては、消煙

的には各人がマスクをすれば相當有效である。之等は換氣によつてある程度除き得るが、之を全般的に改良する事は困難であつて、局部的には、既述した雨を降らす方法、その他規模は大きくなるが、電氣的收塵装置等が考へられる。乾燥剤を入れる事も考へられるが、之は塵石に水の效果もないと思ふ。坑内の測量等の目的に際しては、乾いた空氣を管に封入し、兩端にガラス板を張つて、之を通して視準すれば甚だしい曇りの際にも測量し得る。

5. 壓縮空氣工法の場合

壓縮空氣内に於ける空氣状態は、大氣中のそれと甚しく状態を異にする。そもそも高氣壓は、人體に各種の影響を及ぼし、潜函病等獨特の障碍も誘發する。その爲壓縮空氣内に於ては、勞働時間を氣壓により變化せしめてある事は衆知の通りである。一般に人間の勞働し得る氣壓は、潜水の場合は作業時間が2~3分間である爲、100m位(10氣壓)であるが、隧道工事等の土木工事に於ては3.5氣壓といふ事になつてゐる。しかし3.5氣壓の所では、勞働時間が1人1日合計1時間30分程で殆ど仕事にならない。従つて實用的限界は2.8氣壓位である。かくの如く壓縮空氣中に於ては、氣壓そのものが既に人體に悪影響を與へるのであるから、その他の空氣状態は餘程良好にして、作業能率の向上を計らなければならぬ。各の因子に就き、普通工法の隧道と特に異つた點を次に述べて行かう。

a. 炭酸ガス

一般に、壓縮空氣工法を採用する様な地質は、軟弱である爲發破をなす事は殆どない。従つて發破による炭酸ガスの發生は、普通の場合考へられぬ。炭酸ガス發生の原因は、殆ど大部分作業員の呼氣である。又炭酸の濃度高い爲、危険防止上火氣は嚴禁してあるから、この原因による發生は特別の場合を除き考へられぬ。壓縮空氣工法の場合は、氣隔によつて外界と遮断してゐる爲、概ね室内の状態と考へて差支ない。炭酸ガスは直接潜函病に悪影響を及ぼすとは考へられぬが、前にも述べた如く炭酸ガスを多く含む空氣は、それだけ汚れてゐると考へられるから、特にこの許容限度に於ては神經質になる必要がある。それ故許容限度は1%とする事にする。壓縮空氣中に於ては、この許容限度を保つ事は比較的容易である。その理由は、地質の關係で必然的に空氣噴出が多く、自然の換氣となつてゐるからである。唯こゝに特に注意を要するの

は、人間の呼吸量は、壓縮空氣中に於ては大氣中と同斷でない事である。即ち壓縮空氣中に於ては、酸素の濃度が高いわけであるから、大氣中に於けるよりも呼吸量は少い。しかしその空氣は壓縮されてゐるのであるし、又高い氣壓中では人間の新陳代謝が盛となる爲酸素を餘計に要す事になり、大氣に換算すれば、この呼吸量は遙かに多くなる。どの程度増加するかは明らかでないが、大氣壓上1.5氣壓位の所で、大氣中の呼吸量の約2倍である。こゝらが特に普通工法と異なる所である。

b. 一酸化炭素

上述の如く、壓縮空氣工法に於ては、一般に發破を行はぬし、火氣も嚴禁してあるから、一酸化炭素の發生原因は考へられぬ。

c. 濕氣

濕氣に就ては、特に注意する必要がある。壓縮空氣工法を行ふ場合の地質は、濕潤であるから必ず湿度は高い。その上壓縮機で熱せられた空氣が、3.5氣壓の空氣溜に入り、それから坑内氣壓を調整するだけの量が送られてくるのであるから、高温高壓の空氣が比較的低温低壓(3.5氣壓に對して)の坑内に觸れて膨脹、冷却し相對湿度が増加して過飽和の状態となる爲、坑内湿度は100%となり、後に述べる曇りが生ずる。従つて壓縮空氣工法の場合は、殆ど100%の湿度と考へて差支ない。この點特に考慮を要する。

d. 溫度

溫度は、この工法を行ふ様な地質に於ては普通適温であつて20°C前後の事が多いが、夏期等で地表が甚しく熱せられ、土被りが深い場合等は30°C以上にも達する事があり、高濕と相俟つて耐えられぬ程であるが、之は大體特殊な場合である。

e. 曇り

既述した如く、壓縮空氣工法の場合は特に能率を良くしなければならぬのに、坑内の曇りは一般におびただしく、非常に視野を遮げられ、工事施工上に困難及び危険を感じる。この曇りは上に述べた過飽和の水蒸氣と、次に述べる塵埃から起るものであつて、過飽和の水蒸氣が塵埃を核として水滴を生ずるのである。又空氣噴出等の原因で一時的の僅かの氣壓降下が起つた場合も、忽ちにして曇りを生ずる。

f. 塵埃

塵埃は、上に述べた理由により、少くしなければならぬが、實際には非常に多い。之は空氣中の塵埃に加

へて二次的の塵埃、即ち壓縮機よりの潤滑油が、小滴となつて送られてくるからである。この他、シールド工法等セメント、鐵類を坑内で取扱ふ場合には、セメント粉、鐵粉の量も非常に多く、最も塵埃の多いと推定される所では、總塵埃量は、許容限度 (25 mg/m^3) の5倍にも達する事がある。その中、油は約 $1/4$ であつた。塵埃の多いもう一つの理由は、壓縮空氣の特性によるもので、空氣の密度が大である爲、塵埃の沈降速度が遅くなる事と、大氣中では當然沈降してしまふ様な、大粒の塵埃も、壓縮空氣中では空中に浮遊してゐる事である。之又壓縮空氣の非常なる特異性と考へられる。

5. 臭 氣

壓縮空氣工法の場合、空氣状態に相當氣をつける爲、普通坑内に糞尿は許さない。従つて臭氣の原因は大部分壓縮機の油の臭であつて、一寸機械工場に似てゐる。その他腐植土質等も考へられる臭氣の原因である。

h. 氣 動

壓縮空氣工法に於ては、大氣と遮斷された一つの室と考へられる爲、空氣漏洩が少々あつても氣動は殆どない。

i. 其他の有害ガス

沼地の様な所では、メタン瓦斯の發生が考へられる。しかし一般に壓縮空氣工法の場合、空氣漏洩の爲に換氣の能率は良いと考へられるので、餘り問題となる事はないと思ふ。

尙酸素に就ては、濃度が高い氣壓の爲非常に大となつてゐるから問題にならぬ。以上を要約すれば、壓縮空氣工法の場合、湿度、塵埃、及びそれに伴ふ曇りが作業能率上からいつても最も問題と思はれる。油類吸引による人體への影響は詳らかでないが、外國でシールド坑夫の死亡せるものを解剖して見たら、その肺が油で充滿してゐたといふ例がある。従つて普通の塵埃の如く考へて差支ないと思ふ。

6. 壓縮空氣工法の對策

前節で述べた如く、壓縮空氣工法の場合、悪ガスの發生原因が少い爲、悪ガスが問題となる事は少い。しかし念の爲炭酸ガスの分析は頻繁に之を行ふ事が必要である。壓縮空氣工法の換氣は、非常に簡單で、管を大氣中に連絡して氣壓差による自然換氣を行へば良い。壓縮空氣工法を行ふ様な地質に於ては、一般に空氣の漏洩が多い。空氣の漏洩が多ければ、それだけ送

風量を増すわけであつて、工事施工上からは甚だ不經濟であり、又工事上危険な状態ともいへるのであるが、換氣の方からのみ之を考へれば、甚だ都合の良い事といへる。従つて人工的換氣量は、漏洩量とにらみ合せて瓣を調節する様にすれば良いわけである。坑内作業人員數と炭酸ガス許容限度、空氣漏洩量等から、送風量及び換氣量は簡単に計算し得る。

さて次に濕氣、塵埃、曇りであるが、之の對策は仰々困難である。考へらるべき諸對策を述べて見ると、塵埃に對しては、セメント等を扱ふ場所に於ては、幕を張つてその飛散を防ぐ方法、又油に對しては簡単な油濾器を送風管の途中につける方法、作業員にマスクをかけしめる方法等である。しかし之等はどれも消極的な方法であつて、根本的な解決法ではない。濕氣に就ては、乾燥劑も考へられるが、之の効果は少い。又濕氣、塵埃、曇りに對して坑内で人工的に雨を降らせる方法は、有效と思はれるが、之は排水に不便であると考へられる。又大規模には、電氣的收塵法によつて、水滴、及び塵埃を除く事も可能であり、之に就ては東大谷安正教授が實驗中であられる。坑内の曇りを除く爲には、結局水蒸氣を過飽和とせしめない事を考へれば良いのであるから、坑内に送風するに先立ち、空氣を冷却せしめ、之を坑内温度より $4\sim 5^\circ\text{C}$ 程度冷たい空氣として、坑内に送風すれば、過飽和になる事はない。冷却する際、冷水の滴下する中を空氣を通らせば、空氣中の塵埃、壓縮機の油を同時に除かれ、一石二鳥と思はれるが、實施上の考案に對しては、機械技術者にお願ひするより仕方ない。結局塵埃を除く、空氣を冷却して送風する、この2點に要約せられる事となる。以上の考へらるべき諸對策の他、超音波により塵埃の沈降速度を増す方法もある。尙動力に便ふ高壓の壓縮機は別であるが、低壓の壓縮機としてターボ壓縮機を使用すれば、油は混入して來ないのであるが、之は土木工事の性質上使用は困難であり、掘進するに従つて、送風量の變化ある様な隧道工事には、残念乍ら使用できぬ。尙測量の爲のみならば、曇りがあつても、乾いた空氣を封入した管を用ひる事により實施し得る。

7. 結 論

以上掘削中隧道の理想的空氣條件に就て種々考案して見た。之を要約すると次の如き結論を得られる。

- ① 外狀——無色透明にして曇りを生ぜず。(視野を廣くする爲)

- ② 臭氣——有すべからず。
- ③ 溫度——15~25°C
- ④ 濕度——90% 程度 (即ち曇りを生ぜず)
- ⑤ 塵埃——なるべく少量, せめて 25 mg/m³ を望む。
- ⑥ 炭酸ガス——0.2% 以下, 但し壓縮空氣工法に於ては 0.1(CO₂)% 以下
- ⑦ 酸化炭素——0.01% 以下, やむを得ざる場所も 0.02(CO)% を超過せず。
- ⑧ 其他の有害ガス——含有せず。
- ⑨ 氣動——人體に感ぜざる程度の氣動を有す。

- ⑩ 細菌——なるべく少数にして病原菌を含むべからず。

之等はあくまで理想條件であつて, 色々の都合で之に依れぬ場合は多々ある事と思はれる。又經驗法則であるが, 溫度 (°C) と濕度 (%) の積が 2,000 を超過すると人體に暑く感ずるといはれてゐる。即ち 25°C, 80% の濕度以上といふ事で, 興味深い事と思はれるので附記する。戦時下能率増進, 健民の上からも, 掘鑿中隧道の空氣狀態の問題を特に取上げた次第である。

(昭 18.9.19 受付)