

酸素欠乏事故

— 主として地下掘削工事における —

井上 嘉信

§ 1. はじめに

地下掘削工事における「酸素欠乏事故」(略して「酸欠事故」ともいわれている)については、社報でもすでに事故例の報告¹⁾や概要の解説²⁾³⁾が発表されているので、「酸素欠乏事故」の一般的なことについては承知の人もいるであろうが、この「酸素欠乏事故」という言葉を耳新しく思われる人も多いことと思う。

この酸素欠乏事故というのは、何んらかの原因によって酸素濃度の低下した空気を呼吸することによる窒息死とか失神墜落死などの事故をいい、一般に致命率の極めて高い事故であるところから、新しい労働災害として注目され始めてきた。作業の「安全第一」をモットーにしているわれわれにとっては、決しておろそかにできない問題といえよう。死亡者が出て、初めて事故の発生に気付くというのが、この事故の一つの特徴でもある。したがって、この種の事故を未然に防ぐには、まず「酸素欠乏事故」に対する認識が社の内外を問わず、広く普及されることが第一条件であり、

『穴を見たら酸欠と思え』

といったような「酸素欠乏事故」についての安全教育を直接掘削作業に従事する者にすると同時に、われわれもこの事故について十分知っておくことが事故防止の第一歩といえるであろう。

一方、今回の労働安全衛生規則の明り掘削関係の条文の改正によって、地下掘削工事における「酸素欠乏事故」防止が法的に義務づけられた。したがって、これからは「酸素欠乏事故」を起こした場合、数年前のようにまったく予期しない、避けることのできなかった事故でしたというような弁解は、できなくなったわけである。すなわち、過失による事故とは、もはやいえなくなったわけで少しおおげさないうと、この事故を起こすことは「死の穴」へ作業者を故意に突き落とすことであるともいえよう。このことは先にも述べたように、「酸素欠乏事故」

は他の事故とはその性格が違い、「生か死」、「Yes か No か」しかないからであり、これは誇張ではないのである。

また、地下掘削現場や地下施設などでのガス事故による死亡は、しばしば有毒ガスによる中毒死と新聞などに報道されているが、原因をよく調べてみると、十中八九は有毒ガスによる中毒死ではなく、酸素欠乏による窒息死であることを、付け加えておこう。

さて、まえおきが長くなったが、以上のようなことを十分認識していただくと同時に、事故防止に万全を期していただくために、「酸素欠乏事故」に関するこれまでの研究結果^{注1)}を基に、事故の実態とその予防、防止策について、できるだけ具体的にまとめてみたのが、この報告である。

§ 2. ガス事故の種類とその概要

われわれの労働環境において発生するガス事故には、酸素欠乏事故のほかに、数種のガス事故がある。そこでこの項ではガス事故の種類とこれらの概要について、簡単に説明しよう。

2.1 ガス事故の種類

地下の掘削こうとか地下施設および各種の密閉小室などの、いわゆる空気の流通(換気)のわるい場所に発生するガス事故をその原因によって分類すると、

- i) ガス中毒による事故
- ii) 過剰酸素による爆発的燃焼による事故
- iii) ガス爆発による事故
- iv) 酸素欠乏による事故

の4種類になる。

注1) 昭和37年頃より労働基準局労働衛生課を中心にして進められてきた、地下掘削工事における酸素欠乏を中心にした、ガス事故についての研究。

これらのガス事故は、いずれも非常に高い致命率を示していると同時に、一度に多数の死亡者を出したり、重症者を出す場合が多い。特に i), iii), iv) の事故にこのような傾向が強い。

2.2 ガス中毒による事故

この種の事故は、一般家庭においてもしばしばみられる。たとえば、就寝中の都市ガスの漏えいや不完全燃焼によるものとか、冬期に多いガスプロ中毒、締めきった室での炭火によるものなどで、一酸化炭素や炭酸ガスによる中毒が多い。

われわれの現場では、上記の中毒の他に塩素や硫化水素とか有機溶剤などの有害ガスおよび蒸気による事故がある。これらの事故をひきおこす有害物質やそのじよ限量については、労働安全衛生規則に詳細な規定があるので、それらを参照していただきたい。なお、これらの有害物質による中毒事故は、われわれの現場ではまれで、むしろ前記の一酸化炭素や炭酸ガスによる中毒が多いと考えられるので、以下これらのガス中毒について若干説明しておこう。

一酸化炭素は、都市ガス、プロパンガス、炭火などの不完全燃焼やエンジンの排気ガスなどによって発生する場合が多く、時にはマンホール、有機物の腐敗醗酵のある所、内部ペンキ塗りの密閉室内などにも発生する。人体に対する毒性は強く、これを呼吸すれば中毒をおこし、重症の場合には一命を失うことになる。中毒作用のあらわれ方は、一酸化炭素の濃度とそこでの呼吸時間の積に応じて違いがある。たとえば、一酸化炭素の中毒の限度は、比較的長時間の場合0.02~0.03%で、短時間の場合0.1%を限度とし、1%以上ではその毒力は著しく作用し、2~3%にいたっては極めて短時間のうちに死ぬことがある。特に激しい労働をしている場合には、その中毒程度が一層著しいので注意を要する。

なお、参考までに表-1に一酸化炭素の濃度と症状例を示しておく。

CO濃度 (%)	人に対する症状
0.02	長時間でも中毒のちようこうを示さない
0.03	中毒をおこす最少限度
0.05	30分~2時間でめまいを感じる
0.1	歩行困難である
0.2~0.3	著しい中毒のちようこうを迅速に示す
0.8~1.5	30分~1時間で致死する
2~3	直ちに中毒致死する

表-1 一酸化炭素と人身反応⁴⁾

炭酸ガスは、呼吸により生ずる(人間の吐き出す呼気中には4~6%の炭酸ガスが含まれている)ほか、物の燃焼により生ずるが、一酸化炭素や硫化水素のような毒性はなく、血液中のヘモグロビンと結合したり、脳髄に変質をきたすことはないが、多量に存在する場合には有毒である。すなわち、空気中には約0.04%の炭酸ガスが含まれているが、この含有量が1.6%になると呼吸量が普通の場合の2倍になり、5%になると3倍になり、10%では数分間呼吸速迫が続いたのちおう吐、思考力そう失、血圧上昇などが起こり、25%ではこん睡、呼吸麻ひが起こる。表-2に炭酸ガスに対する人身反応例、図-1に炭酸ガス濃度と滞在時間による人身反応例を示しておく。なお、公衆衛生上の炭酸ガスのじよ限量は0.1%となっているが、これは炭酸ガスの増加がおおむね空気の汚染度と平行しているの、空気汚染のじよ限度を示す意味で定められているので、炭酸ガスのみからいうと、この濃度では特に有害ではない。労働安全衛生規則においては、炭酸ガス濃度1.5%を超える場所での作業および立入りを禁止し、炭酸ガスが停滞したり停滞のおそれのある場所においては、その濃度の測定をすることが義務づけられている。

炭酸ガス濃度(%)	人身反応
普通の空気	普通0.03~0.4%の炭酸ガスを含む
3	異状なし
5	呼吸苦しく脈はく増加
10	呼吸はなはだ苦しく、動脈を打ち、顔色紅潮、頭痛はなはだしい。特に新鮮な空気の所に帰った時いちじるしい
10以上	麻ひを起こし、こん倒する
25	数時間で死にいたる
30	30秒以内で意識をそう失する
50まで	短時間(2~3分)ならば致命的影響がない

表-2 炭酸ガスと人身反応⁵⁾

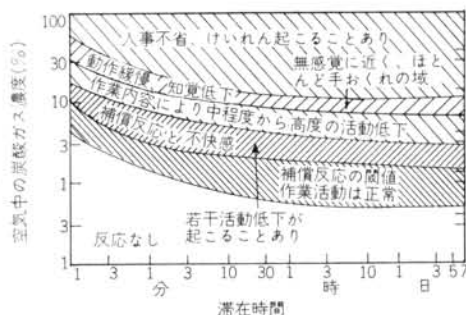


図-1 人間の炭酸ガスに対する反応⁶⁾

2.3 過剰酸素による爆発的燃焼による事故

これは、換気のわるい場所（たとえば地下室とか掘削こう内など）で、酸素ポンプなどの不注意な開放、漏えいなどによって酸素が過剰になり、諸物（作業者の衣服や毛髪など）が爆発的に燃焼することによって生ずる。

空気中には約21%の酸素が含まれていて、他の成分はすべて酸素の稀釈剤で、燃焼を妨げているが、空気中の酸素濃度が増大してくると、普通の空気中ではきわめて安定な物質も容易に燃焼するようになる。すなわち、可燃物の引火点、発火点、自然発火温度などがいちじるしく低くなり、空気中の燃焼とは異なる、きわめて激しい燃焼状況を示し、それだけ危険度が増大する。したがって、労働安全衛生規則では、酸素が過剰になるおそれのある場合にも酸素濃度の測定が定められている。

2.4 ガス爆発による事故

都市ガスやプロパンガスの漏えいによって、換気のわるい場所、たとえばマンホールとか地下の掘削こうなどにたまったこれらのガスに引火した時におこる爆発事故である。すなわち、引火性の強い可燃性ガスが空気と適当に混合したものが、裸火や火花によって瞬間的に燃焼することによっておこる人身事故を主としていう。

濃度(%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ガス											
アセチレン											2.3~82
水素											4.1~75
一酸化炭素											12.5~75
石炭ガス											5~30
都市ガス											7~21
メタン											5~15
ガソリン											1~12
プロパン											2.1~9.5

図-2 空気と混じったガスの爆発範囲⁷⁾⁸⁾⁹⁾

普通われわれが扱っている可燃性ガスの空気と混合した場合の爆発範囲は、図-2に示すようになっている。この図からわかるように、アセチレンや水素は爆発範囲が非常に広いので、それだけ危険性も大きい。また、ガソリンやプロパンの範囲は比較的狭いが、下限が低いので、十分な注意が必要である。特に、プロパンガスの不注意な取扱いによる爆発事故は多く、しばしば新聞にも報道されている。

これらのガスによる爆発には、人工的要素を含んだ事故として、

- ・工事用アセチレンガスの爆発
- ・都市ガス、プロパンおよびブタンガスなどの液化ガ

スの爆発

- ・ガソリンの爆発
- などがあり、さらに自然的要素をもったものとしては、
- ・炭鉱などでの天然ガス（主としてメタン）の爆発
 - ・有機物の腐敗醗酵によって生ずるメタンガスの爆発
- などがある。

また、これらのガス爆発の着火源としては、

- ・機械的なもの——摩擦熱、静電気
 - ・電気的なもの——モーター、電気配線のショートとか冷蔵庫のサーモスタットの火花
 - ・不注意——タバコ、トーチランプ、マッチ等の裸火
- などがある。

一方、ガス爆発ではないが、これに類似した事故に粉塵爆発がある。粉塵爆発といえは、すぐに炭鉱における炭塵爆発を思い出すが、穀物サイロの修理で穀粉の爆発事故の例もあり、ガス爆発と同様に粉塵爆発についても注要する必要がある。表-3に粉塵爆発のおこりやすい物質を示しておく。なお、ガス爆発事故の件数は炭鉱での爆発事故を除いても、ガス事故のトップで、そのほとんどが人身事故になり、一瞬のうちに数名、時には数十名の尊い人命が失われている。

- ・農産物
 - 粉末（小麦粉、甘しよ粉、澱粉、砂糖、ミルク、ココア）
 - 飼料（魚肥、フィッシュミール、南京豆）
 - 繊維（綿、綿屑、羊毛、麻、木粉）
- ・工業原料
 - 木炭粉、石炭粉、天然樹脂、ゴム粉末、硫黄華紙屑、ナフタリン、油煙、皮革屑、粉末石鹼、セルロイド屑、金属粉（アルミニウム、マグネシウム、亜鉛）、コルク粉

表-3 粉塵爆発をおこしやすい物質⁸⁾

2.5 酸素欠乏による事故

酸素欠乏は略して酸欠といったり、酸素欠損ともいわれている。これは本報告の主題であり、次の項より詳しく述べるので、ここでは概要についてだけふれておく。

空気中には通常約21%の酸素が含まれており、大部分が窒素で、その他に炭酸ガス、水蒸気、アルゴン、ヘリウムなどの微量成分が含まれている。^{注2)}これらの成分のうちで、窒素と数種の微量成分は、人体に対して特別の意義を持たないが、酸素と炭酸ガスの2成分の変動は、呼吸に深い関連があり、特に酸素の変動は生命を左右することがある。

注2) 空気のガス組成は、酸素20.93%、窒素79.04%、炭酸ガス0.03~0.4%、のほか水蒸気、微量のアルゴン、ヘリウム、ネオンなどである。

酸素の濃度が上記の21%より増大することも、減少することも、人体にとっては好ましいことではなく、特に減少した場合には非常に危険な状態になり、時には窒息することにもなる。

このように、酸素濃度が21%より減少することを酸素欠乏といい、この酸素欠乏空気によって発生する事故を一般に酸素欠乏事故といっているが、現在のところ酸素欠乏の明確な定義はない。したがって、酸素欠乏事故についてもどの程度の障害発生をもっていうかは、はっきりしていないようである。筆者は、労働環境における酸素濃度低下の許容限界より、酸素濃度19%以下を酸素欠乏とし、この19%以下の酸素濃度の状態で発生した事故は、すべて酸素欠乏事故とすべきであると考えている。

この酸素欠乏の発生原因としては、一般に次の2つの場合が考えられる。すなわち、空気中の酸素が、各種の作用により消費され、新鮮な空気の十分な補給がない場合と、他のガスの発生によって稀釈もしくは駆逐される場合である。酸素を消費する作用には、有機物の腐敗醗酵、金属および硫化物の酸化、呼吸などがあり、酸素を稀釈もしくは駆逐するガスには、主としてメタンガスと炭酸ガスなどがある。

これら2種の原因のうちで、われわれの現場で問題になるのは、主として酸素が消費される場合で、とくに地下の掘削こうでの酸素欠乏事故は、そのほとんどがこの原因によるものである。なお、この地下掘削こうで酸素が消費される場合には、数分ないし数10分で酸素欠乏状態になるので、注意する必要がある、この急速な酸素欠乏による事故が最近続発しているのである。

なお、最近問題になっている大気汚染によっておこる酸素不足は、一応上記の酸素欠乏と区別して考えるべきであろう。

§ 3. 呼吸量と酸素欠乏による人身反応

この項では、呼吸と労働時の呼吸量について述べ、われわれがこの呼吸を正常に行なうことができなくなった場合、すなわち酸素欠乏にあった場合にどのような人身反応を示すかをみてみよう。

3.1 労働時の呼吸量

われわれは、生活機能を保っていくために呼吸によって肺から酸素を取入れ、これを組織に与えて、酸化作用を行ない、その結果生じた炭酸ガスを組織から血液に受取って肺から外にはき出す、酸素と炭酸ガスの交換を休

みなく、うぶ声をあげてから死の間ぎわまで続けているのである。この休むことなくくり返している呼吸運動は、普通1分間に14~20回行なっているが、気温や体温が高くなると多くなり、睡眠中は少ない。また安静にしていても姿勢が変わると、たとえば次のように多少異なる。

臥位の場合 毎分16回

坐位の場合 毎分18回

立位の場合 毎分20回

安静時でもこのように変わるので、激しい労働時には60回以上になり、呼吸も非常に深くなる。したがって、このような場合には、普通なら1分間に呼吸される呼吸量は4~7 lであるが、50 l位になることもある。しかし呼吸によって体内に取り入れることのできる酸素の限度は、1分間に4 lぐらいであるので、これ以上の酸素を消費するような激しい作業では、酸素が体内に足りなくなり、酸素負債を生じ作業の継続ができなくなる。表—4に、これらの関係のわかりやすい例を示しておく。

速 m/min	呼 吸 量 l/min	消費酸素量 l/min
50	10	2.0
60 (ぶらぶら歩き)	12	2.4
80 (普通の歩き)	16	3.2
100 (やや速い歩き)	22	4.4
120	33	6.6
140 (走る)	64	12.8

表—4 呼吸量の増加例¹⁰⁾

掘削などの激しい作業の場合の消費酸素量については詳しい資料がないので、はっきりとはわからないが、エネルギー代謝率などより推定すると、おおよそ1分間当り4~6 l程度といえよう。狭い掘削こうなどでは、さらに大きな量になると考えられ、換気についてはこの点も十分注意する必要がある。

3.2 酸素欠乏に対する人身反応

次に、空気中の酸素濃度が低下した場合に、前記のような呼吸運動を行なっている人体にどのような障害がおこるかをみてみよう。すなわち、酸素欠乏に対する人身反応であるが、これについては医学的立場より行なわれた研究があり、その1つに表—5に示すようなヘンダーソンの分類といわれるものがある。

表—5に示した症状については、個人差や労働強度などにより、影響が現われる濃度に変動があるので、各段階の酸素濃度がオーバーラップしている。なお、各段階の症状について若干説明をしておこう。

段階	酸素濃度 (%)	酸素分圧 (mmHg)	症状
第 1	16~12	120~90	脈はく、呼吸数の増加、精神集中に努力がいる、こまかい筋肉作業がうまくいかない、頭痛
第 2	14~9	150~60	判断力にふる、精神状態不安定、刺傷などを感じない、体温上昇、めいてい状態
第 3	10~6	70~45	意識不明、中枢神経障害、けいれん、チアノーゼ
第 4	10~6の持続、またはそれ以下	45以下	昏睡→呼吸緩徐→呼吸停止→6~8分後心臓停止

表一五 酸素濃度低下の人体への影響(ヘンダーソンの分類)¹⁾

第1段階 [O₂: 16~12%] では

まず、脈はく数、呼吸数の増加があらわれ、単純な計算でも間違いやすく、複雑な機械類の操作にミスを犯し、また筋肉労働の場合は手足に十分力が入らず、したがって釘打ちなどもうまく行かなかつたり、階段をふみはずような危険がある。顕著な症状としては頭痛や悪心、顔面の熱感などがあらわれてくる。

第2段階 [O₂: 14~9%] では

精神の状態が不安定となり、発揚状態あるいは酩酊状態におちいり、物の角に手足を打ちつけたり、切り傷や刺し傷で出血しても気がつかないようになり、その当時の記憶は残らない。顕著な症状としては体温の上昇、チアノーゼ(Zyanose; 唇は土色、爪の色は暗紫色を呈してくる)があらわれ、息苦しさが増える。

第3段階 [O₂: 10~6%] では

意識はもうろうとなり、こん倒し、チアノーゼはひどくなり、けいれんがあらわれる。

第4段階 [O₂: 10~6%持続またはそれ以下] では

直ちにこんすいにおち入り、呼吸は緩徐となり、ついに停止するが、心臓はなおく動を続ける。しかしこれも6~8分後には停止し、死にいたる。

また、ハルダナーネのデーターを基礎にしたものによると、表一六に示すような結果もある。

なお、ここで十分注意していただきたいのは、以上の結果はいずれも体力の大なる欧米人を標準としたものであるということ、さらにこれらは徐々に酸素濃度を低下させていった場合の症状と考えた方がよいということである。したがって、われわれ日本人に対してはこれら

酸素量 (%)	人身反応
21	普通の開放大気中の酸素量
19	鉱山保安法による最低酸素量
16	灯火消滅、静止していれば身体に影響がない
15	呼吸が深くなり、脈はく数が増加し、労働が困難となる
11	呼吸困難がはなはだしくなり、動作が非常に緩慢となる。眠けを催す
10	呼吸ますます困難、顔色を損じはじめる、動作すること不可能
7	呼吸はいちじるしくあえぎ、動機激しく、顔面鉛青色となり、同時に精神混乱し、感覚鈍波となる
6	筋肉の反応ほとんどなくなり、全然知覚を失う
4%以下	40秒以内にてなんらの前兆を示さなく知覚を失い、卒倒する

表一六 酸素欠乏と人身反応⁵⁾

の表にあるものよりさらに厳密に考えねばならないし、地下掘削などにおける酸素欠乏事故は、突然酸素欠乏状態に飛び込むような場合がほとんどなので、このような場合には上記の結果をそのまま適用することは、非常に危険であるといえよう。

さらに、酸素欠乏によって最初に変化がおこるのは、人体でもっとも酸素を必要とする脳細胞である。脳細胞は酸素欠乏により、短時間のうちにその機能が停止してしまい、しかもこの変化は不可逆的であって、たとえ蘇生しても、神経系統に後遺症が残る場合がほとんどであり、この点も忘れてはならない。

普通の場合では、失神して呼吸停止後3分以内に蘇生術によって呼吸を再開したならば、後遺症はほとんど残らないといわれているが、呼吸停止後5~6分を経過してしまうと、たとえ蘇生しても脳細胞に不可逆的な変化がおこり、後遺症として記憶そう失、麻痺、痴呆、性格異常などのおそろしい神経症状が残り、正常人としての社会活動はほとんどできないようなことになる。さらに極端な場合には、食物の消化と排泄のみが正常で、あとは情意の反応もない、生ける死かばね同様の悲さんなことにもなる。

§ 4. 労働環境における酸素欠乏限界

前項においては、われわれの生活環境において酸素濃

度が低下した場合に、人体がどのような反応を示すかということのみてきたが、次に問題になるのは、われわれが作業をしている労働環境では、酸素濃度低下の限界をどのように考えればよいかということになると思う。以下この限界について考えてみよう。

酸素濃度がどれくらい低下してもよいかということ、原則的にはわれわれの生理学的要求から考えられるべき性質のものであろうが、酸素濃度低下による障害は労働強度や個人差によってかなりの差がある。

たとえば、安静時では酸素濃度が16%ぐらいに低下しても、なんら障害は認められないが、作業をしていれば普通の人では呼吸が激しくなり作業が困難になる。これも酸素濃度低下に慣れている者とそうでない者とは、かなりの差がある。また、徐々に酸素濃度が低下していく場合には、次第に呼吸困難になり表-5、表-6に示すような症状を示すが、酸素欠乏状態に突然おかれたような場合には、衝撃的な呼吸変化を受けるので、15~10%でも卒倒することがある。

したがって、これらの差を考え個々の場合について、いちいち限界を決めることは、実際上不可能に近いといえよう。それでは何を標準にして限界を考えればよいかということになるが、まずこの標準になるといえるものに、次のような規則や勧告上の制限(要求濃度)がある。

- ・労働基準法労働安全衛生規則では16%以上
- ・鉱山保安諸規則では19%以上

となっているし、勧告上の要求濃度をみると、

- ・日本薬学会協定衛生試験では18%以上
- ・JISの防毒マスク¹²⁾では16%以上

となっている。ここで注意しておきたいのは、防毒マスクの使用し得る酸素濃度の下限界は16%で、この濃度以下で防毒マスクを使用しては危険であるということである。事実、酸素欠乏事故で防毒マスクを使用すれば安全と考え、防毒マスクをつけて救助に行った者が、死亡するという事故が起きている。また、有害ガスがいちじるしく高濃度の環境においても使用することはできない。このように防毒マスクは、有害ガスに対しても万能でないばかりか、酸素欠乏に対しては、完全に無力である点十分の注意が必要である。

なお、労働安全衛生規則と鉱山保安諸規則とで、要求酸素濃度に3%の相違があるのは、当然作業環境の違いからきていと考えられる。すなわち、鉱山、炭坑のような奥深い換気の悪い作業環境では、酸素濃度のわずかな低下でも、やがて重大な酸素欠乏になる可能性が非常に大きいということであろう。また、これらの環境では酸素欠乏の原因からみて、それは低下しつづける経過の

一点の測定値であるということもあろう。

このように考えると、当然これに似た種類の作業環境たとえば、地下掘削工事などでは労働安全衛生規則の16%という値は、もっと引上げられるべきであろう。

いずれにしても、16%という下限濃度は、労働環境における労働強度、労働時間、労働形態によっては低すぎる場合のありうることは明らかであるし、酸素濃度低下による重い障害もさることながら、注意集中力の低下や動作の緩慢によって起こる過誤から、2次的にもたらされる重大事故も非常に恐るべきで、16%の下限界はこのような点からも、もっと引上げられるべきであろう。

以上の理由により、われわれの建設現場、特に地下掘削工事現場では、酸素の下限界を次のように考えるべきであろう。

- ・作業可能下限界(もしくは危険限界) 19%
- ・死亡限界 16%(以下)

この限界は実際上厳し過ぎると思われるが、事故の重大性と酸素濃度の測定値の信頼性を考慮すれば、これらの限界は妥当な値といえよう。

§5. 労働環境における酸素欠乏

酸素欠乏をおこしやすい労働環境をこれまでの事故例よりみて、列挙すると次のようなものがある。

- i) 鋼製のからタンク(主として化学工場などの)
- ii) 各種密閉小室
- iii) 地下貯蔵庫
- iv) マンホール、下水道
- v) 掘り井戸
- vi) 船そう
- vii) 地下掘削工事
- viii) 炭坑、鉱山
- ix) トンネル

これらはいずれも換気が悪い所であり、かつ酸素を消費したり、または駆逐したりする物質の存在する所である。以下、われわれにも関係があると同時に、常識的にも知っている必要があると考えられるi)~vi)について、簡単に説明しよう。vii) 地下掘削工事の酸素欠乏については、6項より詳述するのでここでは説明を省略する。なお、viii)~ix)はわれわれにも大いに関係はあるが、事故例も非常に多く、それだけに原因も複雑であり、簡単に説明することがむずかしいのと、これらの作業環境では安全管理が一般によく行なわれていて、酸素欠乏の思想も普及していると考えられるのでここでは省略した。

5.1 からタンク（特に鋼製タンク）

化学工場などのタンクがからになった場合、その貯蔵物質が酸化されやすいものであれば、当然タンク内は短時間のうちに酸素欠乏状態になる。また、貯蔵物質が蒸気圧の高いものであれば酸素が駆逐され、酸素濃度が低下するし、同時にこのような状態ではその物質による急性中毒が発生しやすい。なお、このような場合には酸素欠乏の症状も重くなり、後遺症も残りやすい。

さらに、タンクが鋼製の場合には、タンク清掃後底部に水をためておくと、水分は密閉されたタンク内壁と底の水との間を蒸発、結露をくりかえし、内壁は常にうるおされて酸化反応が進む。この反応は水のある限り続き、その結果タンク内壁面は酸化されて、表面に赤さびができるし、タンク内は酸素欠乏状態になる。

これまでの事故例では、タンク内の清掃、漏えい箇所の修理、内部機構の点検・修理などに入った場合がほとんどで、時には上半身を上のハッチ内にのり入れて内部をのぞき込み、そのまま失神して中に転落死したという例もある。

一般に、このようなタンクは内部の見とおしが悪く、入口もせまいので、事故の発見と救出が遅れやすく、またその場にいわせられた者が、あわてて何んの装備もなしに救出に入り、運命を共にするというケースも多い。これと似たものに、構内に止めておいた石油、アルコールなどの輸送用タンク車に子供がいたずらして入り、上記と同じような事故をおこした例もある。

現場によっては大型（人が十分中に入れる程度）の鋼製タンクを直接使用することも多いと思うので、このような点にも十分注意が必要であろう。

5.2 各種密閉小室

密閉小室における酸素欠乏には前記のからタンクの場合と同じような原因がある。すなわち、換気の悪い密閉小室などでは、

- i) 酸素を吸収する物質による酸素の消費
- ii) ガス発生による酸素の駆逐
- iii) 作業員などによる酸素消費

などがおこりやすい。以下、これらの原因による酸素欠乏について述べよう。

5.2.1 酸素を吸収する物質による酸素の消費

密閉室内で酸素を吸収消費して酸素欠乏事故をおこしている物質には、主として油性ペイント、穀類、果物、野菜などがある。

ペイントに用いられる乾性油は、乾燥に際して酸素を吸収し、乾固と重合が行なわれ、密閉室内では壁や格納

物のペイント塗装後に、多量の酸素が消費されて酸素欠乏状態になる場合が多い。塗料に用いられている乾性油は、未加工油であっても乾燥させると酸素を吸収して、10～20%重量が増加する。実際にはこの未加工油を加熱加工（いわゆるボイル油）処理したり、酸化促進剤を添加して用いているので、上記の数値をはるかに上回る酸素吸収が行なわれるものと考えられる。

さらに、塗料の種類によっては、溶剤成分あるいは分解産物を乾燥固結の際に放出し、密閉小室では酸素欠乏に加えて中毒の危険性もある。

以上のような塗料による酸素欠乏のおこしやすい所としては、地下室、船そう、タンク、建物の小室内などがあり、このような所では次のような注意が必要である。

- ・塗装後の出入口の開放（塗装後6日以上）と強制換気
- ・塗装場所への立入禁止
- ・立入前の酸素濃度および有害ガスのチェック

なお、塗装後の室内で配管工が、トーチランプを使用し、一種のガス爆発をおこした例もあるので、火気の使用にも厳重な注意が必要である。

次に、穀類、果物、野菜などの場合であるが、これらはいずれも貯蔵中に植物生理的に酸素を消費し、炭酸ガスを放出する。特に、この作用は高温時に著しい。

穀類では、大豆、米、麦などの貯蔵庫で換気不良の場合、見回りや搬出作業員が酸素欠乏と高濃度炭酸ガスのために倒れるということがしばしばある。そして、これらの場合、救出に入った者も折り重なって倒れ、結果的には救出が遅れて窒息死するというケースが多いようである。また、米では米自身の酸素消費のほかに、好気性菌の酸素消費も重なることがあり、このような場合には短時間に酸素欠乏がおこる。かつて、黄変米の貯蔵庫で作業員が酸素欠乏で倒れている。

果物では、柿、栗、バナナなども貯蔵中に酸素を吸収する。特に、バナナでは貯蔵時に加温と無酸素の状態を保つため、はだかのガスパーナーを長時間ともすなどの処置をとるので、酸素濃度の低下は著しい。

野菜では、ばれいしょ、かんしょ、たまねぎなども酸素消費が貯蔵中に行なわれる。

5.2.2 ガス発生による酸素の駆逐

この種の事故は、営業用の大冷蔵庫などに多い。すなわち、

- ・冷蔵用ドライアイスの共存による炭酸ガスの充満
- ・冷媒ガス漏れによる酸素駆逐
- ・故障による貯蔵物資の腐敗による酸素消費

などによる酸素欠乏事故で、特に冷凍機解体作業などで、作業員のミスによるフレオン、メチルクロライドな

どの冷媒放出による事故が多く、このような場合には酸素欠乏症に、急性ガス中毒症が加わり、しばしば後遺症を残すことがある。このほかに、

- ・炭酸ガス消化器のバルブの不完全によるガス漏れ
 - ・四塩化炭素消火器の腐食や転倒などによる気化
- などによって酸素が駆逐されたことによる事故もある。

また、アルコール醸造では大量の炭酸ガスが放出されるが、醸造過程では保温が必要なので、一般に換気のわるい建物の中で醸造が行なわれ、その結果高濃度炭酸ガスと、それによる酸素の駆逐がおこる。したがって、古くより醸造そうへの失神転落事故などがおこっている。

5.2.3 作業員などの酸素消費

普通の成人(作業員など)1人は、安静時で1分間当り0.2~0.25 l、労働強度の大きい時は1.0~1.5 l 程度の酸素を体内で消費する。したがって、作業員が誤って密閉小室に閉じ込められたような場合には当然、その小室内は酸素の消費による酸素欠乏と同時に、呼出した炭酸ガス濃度の上昇がおこり、比較的短時間のうちに失神してしまい、最悪の場合には窒息死してしまう。1 m³の空気で成人1人が安静状態で生存できる時間は、せいぜい3~4時間とみられている。したがって、上記のような場合には、長くても2~2.5時間以内に救出しなければならない。また、一般の家庭では、修理中の家庭用大型冷蔵庫とか大型金庫に、子供が遊んでいるうちに閉じ込められ、窒息死するという事故は、ときどき新聞などにも報道されている。

以上のような危険性が考えられるような密閉小室は、たとえ人の出入りをしないものでも、人が中に入れるような大きさのものには、すべて内からたければ簡単に開扉できるような装置が必要である。

なお、密閉小室ではないが、学童や幼児がビニール袋をかぶり、窒息死するという事故もおきている。

5.3 マンホール、下水道

マンホールや下水道などの地下施設では、次のような原因により、酸素の消費、駆逐が行なわれ、その結果表-7, 8の例にみるような酸素欠乏状態になる。原因としては、

- ・下水中の有機物の腐敗、醸酵による酸素の消費
- ・下水中の有機物の分解、固形物の一部液化ガス化による炭酸ガス、メタンなどによる酸素の駆逐
- ・工場排水としての有機溶剤の流入
- ・都市ガス管などよりのガス漏れ(特に電気通信、上下水道、ガスなどの共同溝)

などが考えられている。

測定箇所	メタン(%)	炭酸ガス(%)	酸素(%)
内外フタの間	54.3 (49.7)	3.8 (2.5)	(7.3)
内フタ内0 m	68.0 (62.8)	8.3 (5.4)	(2.0)
1 ㍍	62.0	9.7	—
2 ㍍	54.0	12.0	—
底の水面3 ㍍	46.0 (42.3)	16.0 (13.8)	(2.0)

注) 数値は理研ガス検定器による
()内数値は化学分析による

表-7 マンホール内のガス組成の例

ガス	下水(%)	下水タンク(%)
炭酸ガス	2.01	3.3~29.4
窒素	81.21	2.9~23.3
水素	—	0~8.2
硫化水素	2.99	0~0.1
メタン・エタン	—	63.0~84.2
酸素	13.79	0~1.2

表-8 下水道のガス組成の例

さらに、最近これらの現象に拍車をかけているものとして、デスポーザーで雑芥の流動化による下水への流し込みがある。

また、マンホールでは、しばしば上記の原因により発生したメタンや流入した有機溶剤蒸気などによる爆発事故もおきている。メタンガスは無色無臭で有毒ではないが、濃厚なものは肺の中の酸素を駆逐するので窒息をおこすし、このガスは炭火水素ガスのうちで最も軽く(比重0.56)拡散速度が速いので、この点も十分注意する必要がある。

したがって、マンホールではふたを取った時に、最初に排出してくるガスはメタンと思わなければならない。くわえタバコなどでふたの除去作業をするなどは、嚴重に取り締らなければならない。

次に、マンホールの事故例を2, 3紹介しよう。

事故例-1. 表-7 に示したマンホールで、年に1回の清掃に入った工員が倒れ、これを救出しようと無装備で入った工員も倒れた。さらに、連絡を受け現場にきた消防士が防毒マスクをつけて救助に入ったが、同じように倒れ、合計3人の犠牲者を出してしまった。表-7のように酸素濃度が数パーセントに低下している場合には、防毒マスクは何んの効力もないことは、4項で述べたとおりである。

事故例-2. あるビルの地下3階のポンプ室に入るマンホールに、機械係3人が入ったが、意識不明になって

倒れた。この知らせを受けた保安係2人が消防用マスクをつけてマンホールにおりたが、2人とも同じ状態で倒れた。間もなく消防士による本格的救助作業により5人を引上げたが、1人は死亡、他の4人は重症であった。マンホール内の気体を分析した結果、メタンや一酸化炭素などの有毒ガスは検出されず、酸素の濃度が4%に低下していた。この場合メタンはふたを開け放しにしていたので外部に散逸してしまったものと考えられる。

なお、このマンホールで何故酸素欠乏がおきたかは不明であった。

事故例-3. ケーブル工2人が2.5mのマンホールに入り、トーチランプをつけたところ、突然爆発し2人は道に吹き上げられた。さらに10秒ほどして地下トンネル内で2度目の爆発がおき、約100m離れたマンホールのふたが高さ10m吹き飛び、そばを歩いていた歩行者がけがをした。原因はトンネルのそばに埋設されている家庭用のガス管からのガス漏れか、自然発生したメタンガスがトンネルにたまっていたかのどちらかとみられた。

5.4 掘り井戸

井戸内でのガス事故は、古井戸、使用中の井戸、掘削中の井戸とおきているので、井戸内に入る場合には、まずそのまま入れば、必ずガス事故がおきると考えてよいであろう。

古井戸というのは、一般に地下水の低下、枯渇、汚濁、地表部からの汚水の浸入、井戸側の腐朽による側壁の崩壊などの理由によって使用不能となったものが多いが、これらの理由はいずれも酸素欠乏を誘発する原因になり得るものばかりである。

特に、地表から浸入した汚水とか、使用しなくなった後に投入され各種の有機物などがある場合には、それらによって酸素の消費と炭酸ガス、メタンガスの発生がおこり、井戸内には炭酸ガスが滞留すると同時に酸素欠乏状態になる。昔から古井戸内での窒息死は炭酸ガスがたまっていたためと考えられていたのもうなずける。

また、地下水(井戸水)そのものにも、かなりの量の水酸化第1鉄、重炭酸第1鉄、硫酸第1鉄などが含まれていて、いずれも空気中の酸素と結合して第2鉄塩となる。

この際当然酸素を消費し、あるものは炭酸ガスを放出する。

以上は、主として使用中もしくは使用不能の井戸内の状況について述べたが、ガス事故は掘削中の井戸にも発生している。この掘削中の井戸の場合については、6項より詳しく説明するので、ここでは省略する。

5.5 船そう

船そうは、船舶の構造上特に換気のわるい空間であると同時に、積荷はしばしば酸素を消費する物質で占められ、長い航海中密閉されたままの船そう内は酸素濃度の低下することが多い。したがって、船そう内での酸素欠乏による事故は、目的地に到着してからの陸揚げ作業の初期にみられる。すなわち、船そうの上ぶたを開いて間もなく、積荷の点検や荷かけ作業に入った者が窒息するという例が多い。また、からにしたタンカーでは石油の蒸気による酸素駆逐で、タンク内に入った清掃作業員が酸素欠乏と急性中毒で倒れることも少なくない。

§6. 地下掘削工事における酸素欠乏

従来より、井筒などのたて坑の掘削作業においては、地下のメタンや炭酸ガスの湧出による酸素の稀釈、湧水中の還元性成分による酸素の消費などによって、まれには酸素欠乏が発生していたが、これらの原因による酸素欠乏は、一般に緩慢に酸素濃度の低下をおこすもので、これによって作業員の死亡事故をおこすということは、まずなかったようである。

しかし、最近にいたり、大都市における過剰揚水による深層の地下水位(水圧)の極端な低下と、潜函工法やシールド工法による大量の地盤への空気の圧入などによって、これまで見られなかったまったく新しい機構による掘削環境での急速な酸素欠乏がおこるようになった。これらの酸素欠乏は、数分ないし数10分の間に酸素が致命的な低濃度になるもので、このため作業員がこう内で窒息死したり、こう口より底へ失神墜落死したりするばかりでなく、それを救出に入った者までが運命を共にするケースが多く、致命率の極めて高い労働災害としても注目されるようになってきた。

一方、東京、大阪などの大都市では、最近ますます建設用地の不足と地価の高騰により、建物も高層化や大型化し、それにつれて地下室やそれを支持する基礎も深くまで掘削される傾向が強くなっているし、地下鉄や電気通信、ガス、上下水道などの地下施設も高密度化の傾向にある。そして、これらの構造物の建設に伴って在来の基礎工法も次第に大規模化すると同時に、新しい工法も用いられるようになり、ますます酸素欠乏事故の機会は増大してきたといえよう。

そこで、この項ではまず、酸素欠乏による死亡事故例を簡単に紹介し、これらより酸素欠乏の機構を帰納し、次に酸素欠乏をおこしやすい地層について述べよう。

6.1 地下掘削工事における酸素欠乏事故例

前記の新しい機構による酸素欠乏事故は、昭和29年に発生しているが、その後昭和34年まで事故の発生はみられなかった。しかし、昭和35年頃より再び事故が発生し始め、昭和39年には半年たらずのうちに7人の犠牲者がでるにいたった。このような状況に対し昭和37年9月に東京労働基準局を中心に「酸欠調査委員会」が組織され、原因の究明とその防止対策の研究がなされる一方、工事関係者にも次第にこの事故に対する認識が深まり、昭和

40年は死亡者のでるような事故は発生しなかった。これは死亡事故はなかったということで、地下掘削こうでの酸素欠乏はいぜんとして発生しているのであって、それが適切な処置によって死亡事故になることなく、未然に防止されているということである。

次に、死亡者を出した酸素欠乏事故について、昭和医科大学の山口博士の調査結果¹³⁾を基に、簡単に説明しよう。現在までに明らかにされている酸素欠乏事故例は、表—9 のようになっている。

No.	発生年月	地区	現場	掘削方式	事故発生時地層	事故時の深さ	死者	重症者	
1	29.3	川崎	鶴見火力発電所建設基礎	潜函	粘土層下の砂層	-19.5	4	—	
2	35.6	四日市	工場基礎	〃	砂れき層	?	4	1	
3	36.2	大阪	大阪駅付近ビル基礎	(新設・送気前)	砂れき層	-22.0	1	3	
4	36.8	東京	日本橋江戸橋駐車場	深礎	固結粘土層下砂れき層	-15.7	4	—	
5	37.4	〃	神田川・神田橋付近高速道路	潜函	粘土層下の砂れき層	-21.2	3	—	
6	37.9	〃	同一石橋付近高速道路	〃	〃	-20.0	2	—	
7	39.5	〃	品川駅付近ビル基礎	深礎	砂質粘土層下の砂れき層	-15.0	1	—	
8	39.8	〃	日本橋本町ビル基礎	ベノト工法	固結粘土層下の砂れき層	-25.0	2	—	
9	39.11	大阪	森之宮駅付近地下鉄基礎	アースドリル工法	砂れき層	-15.0	3	—	
							計	24	4

表—9 土木建築基礎掘削作業における酸素欠乏事故例(昭和医科大学 山口裕)

第1例は、川崎市鶴見、東京電力火力発電所建設現場の潜函作業におけるもので、作業中の停電のため、作業員が上部気室に退避したが、潜函は傾斜しているので土砂搬出用の綱索つきのバケツが底部に取り残され、気室の下ドアが閉まらないまま減圧されたが、その際地層内へ圧入された空気が無酸素化して逆流したため、気室内の4名の作業員が窒息死した。

第2例は、三重県四日市の工場建設現場におけるもので、第1例と同様地層内圧入空気の逆流により、気室に退避した作業員が窒息死した例で、バケツが中吊りのまま停電したため、気室のドアが上下とも閉らず、急激に湧出した無酸素化空気が気室をみたしたものである。

第3例¹⁴⁾は、大阪駅付近の地盤沈下による既存建物のアンダーピニング工事中におきた例で、約190基の潜函による地層内圧入空気が、最後に掘られた未送気潜函に湧出したためにおきたと推定されるものである。この最後の潜函を砂れき層上部まで掘り下げ、湧水を防ぐ送気準備のため作業員1名が中室(気室)において送気管取付け作業中に失神昏倒し、救出に入った他の3名も同一場所で昏倒した。そこで至急大量の空気を送入し、2名

の作業員が救出にむかい、4名をロープで引上げたが、1名は人工呼吸がおくられて死亡した。

第4例¹⁾は、東京江戸橋の地下駐車場建設現場の深礎における例で、約120mはなれた地下鉄工事の潜函から、砂れき層内を圧縮空気が貫流して深礎内に湧出し、この内部にあった揚水ポンプの点検に入った作業員が、その途中で失神墜落し、救出に入った他の3名も相ついで倒れ、運命を共にした。

第5例は、東京神田橋付近の高速道路建設現場の潜函における例で、常圧にもどした潜函へ、付近の潜函から圧縮空気が地層を貫流して湧出したものである。この潜函では、神田川の中に設置されたにもかかわらず、-19m以下の砂れき層では湧水がないので、作業休止中は送気停止して気室の上下ドアは開放しておいた。約1時間の休止後最初に入函した作業員が、入口付近で失神墜落し、救出に入ったものも同様失神墜落し、合わせて3名の死亡者を出した。

第6例は、第5例の地点より下流の一石橋付近の神田川の中に設置された、高速道路基礎の潜函における例で前例と同じく常圧に開放した潜函へ、他の潜函からの圧縮空気が地層を通過して湧出したもので、送気停止後数10

分を経て、配線点検のために入函した電気技術者2名が、途中から失神墜落死した。死体解剖の結果死因は脳底骨折とされたが、動脈血が著しく静脈血化している所見があった。

第7例は、品川駅付近（港区港南町2）のビルディング基礎の深礎工法（素掘り井筒）にみられた例で、地層内に圧入され、そのまま埋没された既往潜函（新幹線基礎）の空気が井筒内に湧出し、内部点検に入ろうしたものの1名が窒息死した。

第8例は、日本橋本町の建物基礎掘削時の例で、ベント工法（直径約1.0m）により掘削中、東京れき層に到達した際たまたまハンマグラブのワイヤーが切れて、ハンマーがこう底に落ちた。このため作業員が1名ロー

プでこう底に降りたところ意識不明になって倒れ、救出に入った作業員1名も同じように倒れ、2名とも窒息死した。この場合は、その付近一帯の既往潜函（高速道路工事）の圧入空気の湧出と、遠隔地点（約650mはなれた）のシールド工事現場からの貫流空気の湧出との両者が考えられた。

第9例は、大阪市森之宮駅付近の地下鉄4号線の建設現場の、アースドリル工法（前例と同類の機械掘り）でおきた例で、やはり掘削装置の先端部の折損のため、故障排除に入ろうした作業員1名が窒息死し、その救出に入った2名の作業員も運命を共にした。

6.2 酸素欠乏発生の原因ならびにその機構

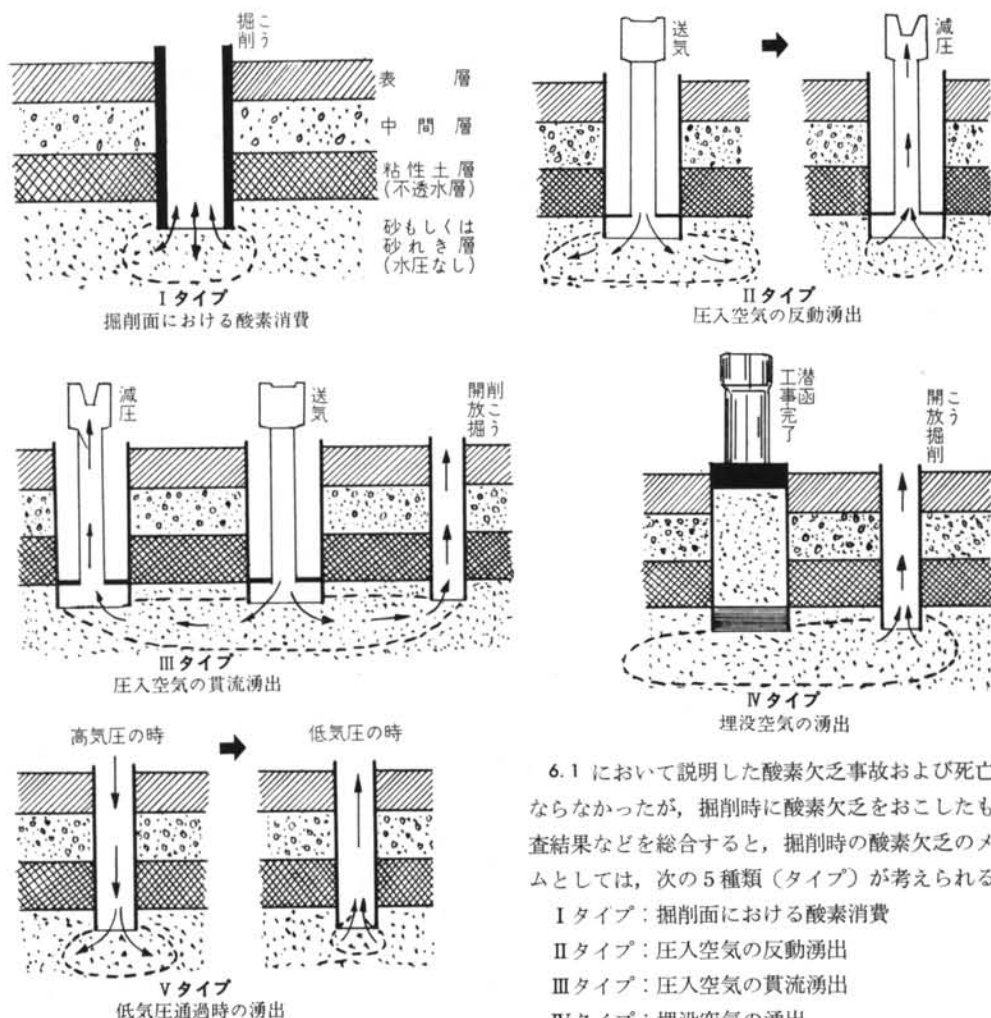


図-3 掘削面内の酸素欠乏のメカニズム

6.1 において説明した酸素欠乏事故および死亡事故とならなかったが、掘削時に酸素欠乏をおこしたものの調査結果などを総合すると、掘削時の酸素欠乏のメカニズムとしては、次の5種類（タイプ）が考えられる。

Iタイプ：掘削面における酸素消費

IIタイプ：圧入空気の反動湧出

IIIタイプ：圧入空気の貫流湧出

IVタイプ：埋没空気の湧出

Vタイプ：低気圧通過時の湧出

すなわち、これまでの酸素欠乏は、上記の各タイプの

1ないし2以上が組合わさって発生したものと考えられ、これらの各タイプを模式化して示すと、図-3のようになる。

しかし、これらはあくまでも酸素欠乏をその発生機構によって現象的に分類したもので、酸素欠乏の二次的原因であり、本質的な原因は別にある。そこで、まず酸素欠乏発生の本質的原因（酸素欠乏誘発条件）について述べ、次に上記の各タイプについて説明しよう。

6.2.1 酸素欠乏誘発条件

これまでの酸素欠乏発生状況の共通点をみると、いずれも事故時の掘削面が洪積層に属すると思われる砂もしくは砂れき層にあり、しかもこれらの層には地下水が全然ないか、あっても水位がこれらの層の上面より低く、被圧状態ではないということと、これらの層に達するまでは酸素欠乏が発生していないということである。そして、死亡者の出ている事故は主としてII~IVのタイプでおきていることである。

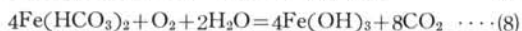
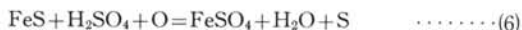
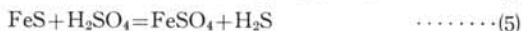
これらの事実より考えられることは、上記の地層に空気が接触した場合、酸素が奪われ、その作用が地下水のないことによって一層顕著に行なわれるということである。そこで、まず上記地層の酸素吸収能についてみてみよう。

(1) 砂および砂れきの酸素吸収

洪積砂層について酸素吸収を実測した結果として、図-4.5に示すような例がある。

図-4の実験に用いた砂は、第5事故例(表-9)の潜函底部より、図-5の砂は第7事例の現場よりそれぞれ採取したものである。これらの図より、砂10gに対しておおよそ2~3mlの酸素が吸収されることと同時に、砂の酸素吸収が飽和量に達するのが、約200分で、急速に酸素が吸収されることもわかる。

さらに、砂の組成および酸素吸収後の砂の組成の変化より酸素吸収時の反応を推定すると、次のような各種の反応が考えられる。



これらの反応のうちでも FeS あるいは FeS₂ などの硫化鉄が、酸素吸収の主役を演じていると考えられてい

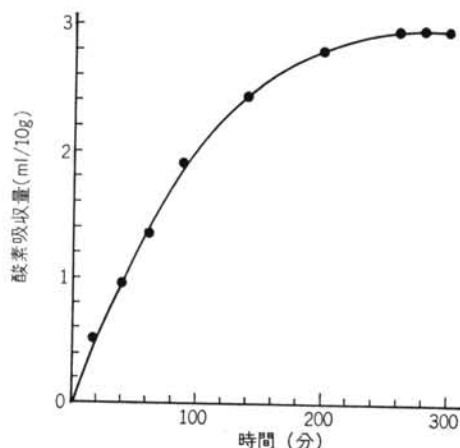


図-4 砂の酸素吸収能 (18°Cで)

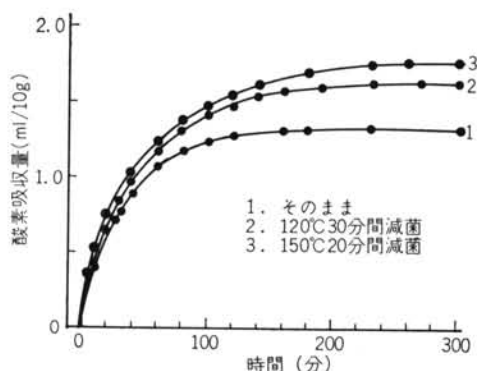


図-5 砂の酸素吸収能 (19°Cで)

る。

しかし、現在の段階では酸素欠乏をおこしやすい洪積層に属する砂および砂れき層の酸素吸収物質やその機構については、不明の点が多く、今後の研究にまたねばならない。特に、粘土鉱物、鉄バクテリア、有機物などの作用については、不明の点が多い。

いずれにしても、これらの砂や砂れき層中を空気が貫流すれば、その空気は無酸素化されることが、理解されたことと思う。

なお、潜函やその他の掘削こうでは、酸素欠乏時にしばしば炭酸ガスやメタンが高濃度に検出されるが、一般に酸素濃度の低下と炭酸ガスおよびメタンの増加との間には、比較的高い相関関係が認められている。たとえば第5事故例の潜函における各種条件下の作業室では、図-6.7に示すような測定結果を得ており、酸素と炭酸ガスおよび酸素とメタンのそれぞれの間には、非常に高い負の相関がある。炭酸ガスの濃度の増加については、前記の(8)の反応によると考えられるが、メタンの増加につ

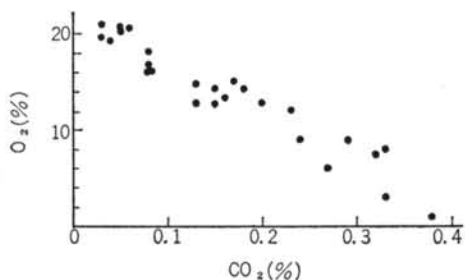


図-6 酸素欠乏潜函における酸素と炭酸ガスの関係

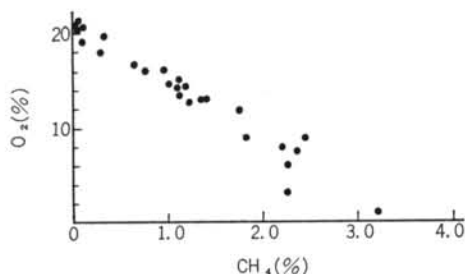


図-7 酸素欠乏潜函における酸素とメタンの関係

いては、今のところ明らかではない。

(2) 深層の地下水位(地下水圧)の低下

地下水位の低下によって地下水圧が減少している砂や砂れき層には、潜函などによる圧縮空気が容易に圧入される。そして、同地層に達している減圧された潜函や掘削こうに貫流湧出したり、単独潜函の場合には、減圧時にその潜函自身内に反動湧出したり、圧入空気がそのまま滞留しガス田化することなどが容易になる。すなわち、地下水が低下して不飽和状態になった砂および砂れき層は、非常に通気性が大きくなり、容易に空気が貫流、滞留するのである。

これまでの調査結果によると、このような砂および砂れき層の上部には、必ず粘性土の不透水層があり、この層が地表水の供給を妨げていると同時に、酸素の供給も

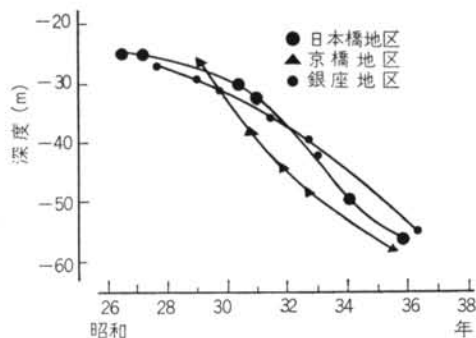


図-8 東京都心部の深層自然水位低下の年次変化

阻害している。一方、これらの砂および砂れき層は、かつては第一帯水層といわれ多量の被圧地下水で満たされていたが、近年の過剰揚水により地盤沈下をおこす程に、毎年急速な地下水位の低下を続けている。たとえば、この地下水の低下の1例を示すと、図-8のような調査結果がある。特にこの地下水低下の現象は、都心部においていちじるしいようである。

したがって、2、3年前までは地下水位が高い地域であっても、決して安心はできないといえよう。

6.2.2 Iタイプ 掘削面における酸素消費

掘削面が、砂および砂れき層に達した場合、これらの土によって掘削底面の酸素が消費され、酸素欠乏をおこす可能性がある。特に、地下水のない洪積層に属する砂および砂れき層では、この可能性が考えられ、深さ20~25m以上のウエルや深礎などでは、この可能性を考慮しておく必要がある。

6.2.3 IIタイプ 圧入空気の反動湧出

潜函の圧入空気が、地層内で無酸素化され、減圧時とか送気停止直後に、その潜函自身に反動湧出するものである。

図-9は、隣接潜函の影響のない場合に、送気停止約21時間後に測定した結果で、作業室の酸素濃度は12%にも満たない低濃度であった。

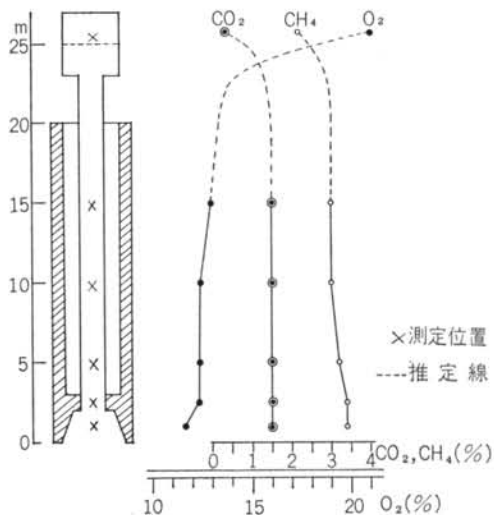


図-9 単独潜函の送気停止中(開放状態)のガス濃度の垂直分布

なお、このタイプの酸素欠乏は、砂や砂れき層の水圧が、未だ比較的高い場合におこりやすいようである。すなわち、地下水の過剰揚水の影響が少ない地域におこるようで、川崎市鶴見(第1事故例)および四日市(第2事故例)における事故例が、これに当てはまる。

6.2.4 IIIタイプ 圧入空気貫流湧出

主として潜函による圧入中の空気が、地層内を貫流して無酸化化し、近隣の減圧または解放された掘削こうに湧出するもので、次の2つの場合がある。

(1) 潜函の圧入空気が、周囲約数100m貫流して、その範囲内にあり、潜函の刃先部と同じ砂および砂れき層に達している深礎、ベント、アースドリルなどの掘削こうまたは古井戸などに湧出する場合。

(2) 同一砂および砂れき層に達している2以上の近接潜函のうち、いずれかを減圧もしくは常圧に戻した場合(送気停止した場合)、その潜函内に他方からの圧入空気が貫流湧出する場合。なお、近接潜函の刃先の深度に差がある場合には、たとえ相互に送気していても、浅い方の潜函で酸素濃度の低下をおこすことがある。

(1)の場合の事故例としては、第4、8事故例がある。第4事故例では、地層および潜函との関係は図-10に示すとおりで、事故後の調査で約125m離れた潜函の圧入空気が明らかに貫流湧出していることがわかった。事故発生2日後のこう内の酸素濃度は、地表よりの深さ3mで12.6%、5mで4.0%、11mで3.6%であった。

また、第8事故例での事故発生翌日における酸素その他のガスの濃度は、図-11に示すとおりで、底部では酸

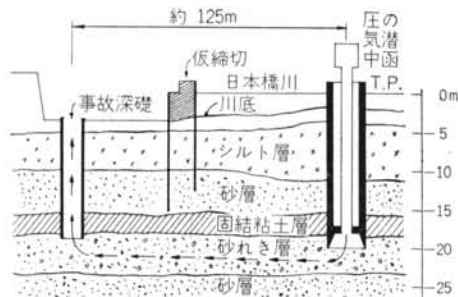


図-10 事故深礎と潜函の関係および地層断面(第4事故例)

素1.3%と極端に低かった。湧出空気量も約3.0m³/minと比較的大きかった。なお、最大貫流距離および湧出量については、これらを的確に推論できるような資料もなく、今のところまったく不明であるが、これまでの経験によると、圧入空気の貫流は600~700mにおよぶともいわれ、湧出量は7.0m³/minという測定結果がある。

(2)の場合の事故例としては、第5、6事故例がある。なお、図-12に示すような隣接した潜函で、No.1の作業員が全員頭痛を訴えたので、酸素濃度を測定したところ、15%という危険な状態になっていた例もある。これはNo.2の潜函からの貫流(漏えい)空気の影響によるものと考えられる。

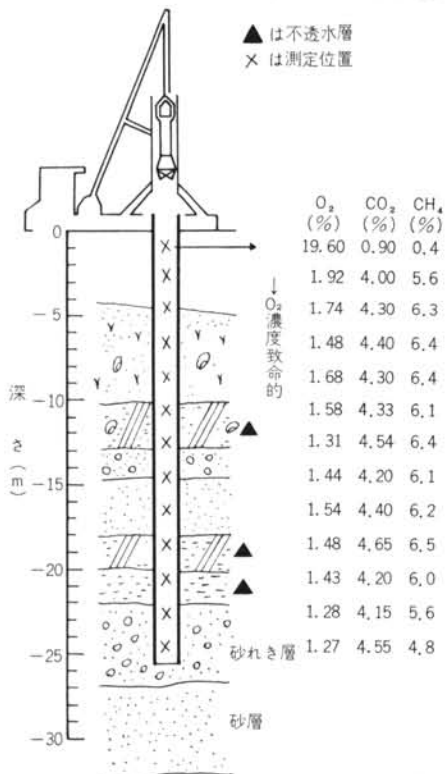


図-11 ベント掘削こう内ガス濃度の垂直分布(第8事故例)

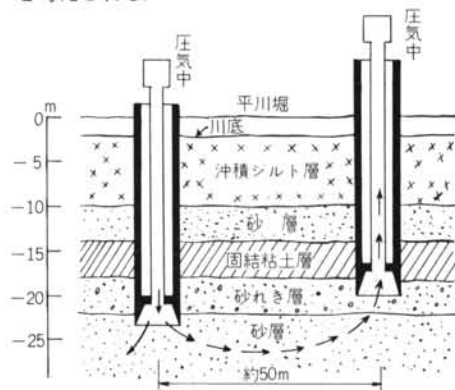


図-12 圧気中隣接潜函の影響例

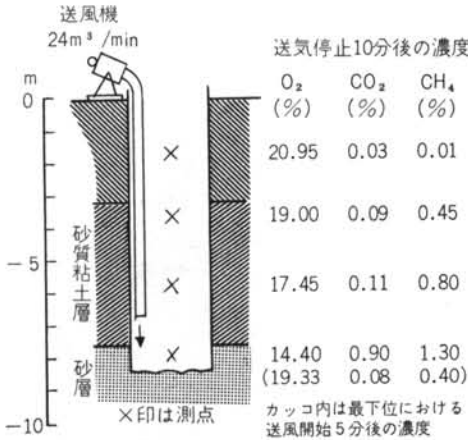
以上のIIIタイプの酸素欠乏は、主として地層内の水圧が非常に低いか、もしくは湧水のほとんどない場合におこりやすく、地下水の過剰揚水の影響の大きい東京都心部などに多発している。

6.2.5 IVタイプ 埋没空気の湧出

潜函工事や圧気シールド工事が完了して、その圧入空気がそのまま地層内に埋没され、後日その地区で掘り下げられたこう内に、無酸化化して湧出するもので、これからはこのタイプの酸素欠乏も頻発すると考えられる。

このタイプの例として、次のような調査結果がある。

この現場は、第7事故例の現場から約500mはなれた地点の深礎で、第7事故例の発生と前後して調査したものである。この深礎は図一13のように深さ約8mの砂層から無酸素化空気を湧出し、上層の地下水の落ち込んだ水面には細かいサイダー状の気泡が認められた。この掘削には最初から24m³/minのプロアーを使用していたので、酸素欠乏事故は起こさなかったが、試みに10分間送気を停止してみた。その結果底部掘削面では酸素14.4%という危険な濃度低下を示し、また5分間の送風により19.33%に回復するのが認められた。



図一13 深礎における酸素欠乏例(品川駅構内)

6.2.6 Vタイプ 低気圧通過時の湧出

このタイプの事故と考えられるものは、現在のところまだ発生していないが、将来発生する可能性が十分考えられるので、警戒を要する。

すなわち、過剰揚水で水圧のほとんどない砂れき層などには、高気圧時に掘削こう内の空気が圧入され、無酸素化された空気が大気圧の変動(低気圧の通過)にともなって、こう内に湧出し、こう内を無酸素化するものである。

最近、このメカニズムによるこう内の酸素欠乏の調査が行なわれ、実際にもおこり得ることが実証されている。

なお、金属鉱山などでは、岩石のすき間や裂け目の無酸素化空気が、低気圧通過時に湧出し、酸素欠乏をひきおこすことはよく知られている。

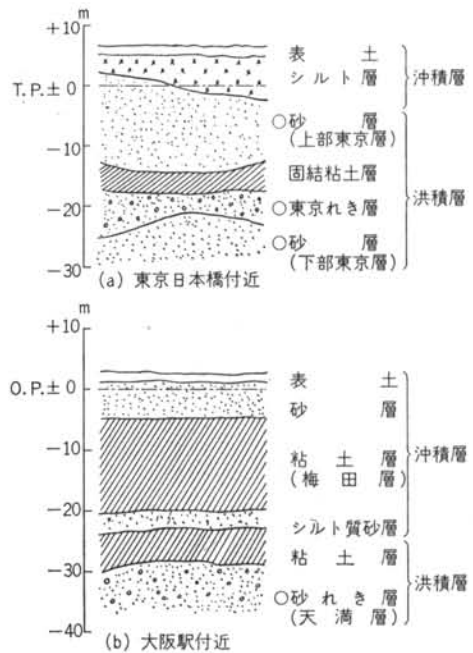
6.3 酸素欠乏をおこしやすい地層

これまでに述べてきた事故例および酸素欠乏のメカニズムなどから、酸素欠乏をおこしやすい地層は、次のような砂層および砂れき層であるといえよう。

- i) 洪積層に属し、地表面より20~30m以深にある
- ii) 上層には不透水性の粘性土層がある
- iii) 地下水は不圧状態か、もしくは地下水がほとんどない状態

iv) 粘土やシルトをあまり混入せず、通気性がよい
 このような砂および砂れき層としては、東京では主として台地部を除く沖積層地帯(下町低地帯)で、上野、日本橋、銀座、品川、川崎などの「上部東京層砂層」、「東京れき層」、「下部東京層砂層」であり、大阪では大阪駅付近、宮の森駅付近の「天満層(砂れき層)」などである。これらの地層のうちでも、特に、「東京れき層」における事故が圧倒的に多い。

図一14に、上記の各地区の代表的層序を示すが、この図で○印を付した地層が、これまでに酸素欠乏事故をおこした地層で、今後も非常におこしやすいと考えられる地層である。



図一14 東京・大阪の酸素欠乏をおこしやすい代表的層序

なお、図一14に示したような層序は、東京や大阪だけにみられるものではなく、むしろわが国の主要都市が位置している沖積平野の低地帯の代表的層序ともいえるものである。さらにこれらの主要都市の-20m前後の砂れき層の地下水は一般に被圧状態にあったが、最近の各都市の地下施設の構築状況および地下水の揚水状況を見ると、無酸素化空気の滞留および地下水の不圧状態などが

予想され、これらの主要都市においても酸素欠乏発生の危険性が增大しているといえよう。

§7. 労働基準法および労働安全衛生規則 における酸素欠乏に関する諸規定

上記法令においては労働災害防止の立場より酸素欠乏に対しても一応規定があり、われわれが作業を行なう上で、守らなければならない最低の限度を定めている。

「8. 酸素欠乏事故の予防」にある各項目と同時に以下に記す規定を厳守し災害防止に万全を期す必要がある。

以下、参考までに関係の深い条文を記す。

7.1 労働基準法¹⁵⁾

第5章 安全及び衛生

(危害の防止)

第42条

使用者は、機械、器具その他の設備、原料もしくは材料またはガス、蒸気、粉じん等による危害を防止するために、必要な措置を講じなければならない。

第44条

労働者は、危害防止のために必要な事項を遵守しなければならない。

(安全衛生教育)

第50条

使用者は、労働者を雇い入れた場合においては、その労働者に対して、当該業務に関し必要な安全および衛生のための教育を施さなければならない。

7.2 労働安全衛生規則^{16) 17)}

第2編 安全基準

第10章の3 明り掘削の作業

第3節 潜函内作業等

第163条の24

使用者は、潜函、井筒、たて坑、井戸その他これらに準ずる建設物または設備（以下次条において「潜函等」という。）の内部で明り掘削の作業を行なう場合には、次の各号に定める措置を講じなければならない。

1. メタン、硫化水素等可燃性ガスが発生するおそれがあるとき、または酸素が過剰になり、もしくは不足するおそれがある時は、当該ガスまたは酸素の濃度を測定する者を指名して測定を行なわせること。

使用者は前項の場合において、同項第1号の測定結果等により可燃性のガスの存在もしくは酸素の過剰もしくは

は不足を認めたとき、または掘下げの深さが20メートルをこえるときは、送気のための設備を設け、これにより必要な量の空気を供給しなければならない。

〔解説〕¹⁷⁾

第1号の「可燃性のガスが発生するおそれがあるとき」とは、過去において可燃性ガスが発生した事実がある箇所の付近を掘削するとき、化学工場等の付近を掘削するとき等である。また、「酸素が過剰になるおそれがあるとき」とは、アセチレン溶接を行なったとき等であり、「酸素が不足するおそれがあるとき」とは、掘削断面の大きさと掘削の深さから判断して換気が十分でないと考えられる時、付近に酸素を奪う地層があるとき等である。なお、ガスまたは酸素の濃度の測定にあたってはその性質を十分考慮して、測定位置を決定して行なう必要がある。

第116条の25

使用者は、次の各号のいずれかに該当する場合には、潜函等の内部で明り掘削の作業を行なわせてはならない。

1. 潜函等の内部において、可燃性のガスが爆発する濃度に達しているとき、またするおそれがある時。

第3編 衛生基準

第1章 有害物

第177条

坑内において、炭酸ガスが停滞または停滞のおそれのある場所、および酸素が不足または不足のおそれのある場所については、毎月1回以上その濃度を測定し、その結果を記録しなければならない。

第178条

坑内作業場における炭酸ガスの濃度は1.5パーセント以下、酸素濃度は16パーセント以上としなければならない。ただし、特に安全な方法によって、人命救助または危害予防に関する作業をさせる場合その作業場については、この限りではない。

第179条

左（下記）の場所には、必要ある者以外の者の立ち入ることを禁止し、その旨を掲示しなければならない。

3. 炭酸ガス濃度1.5パーセントを超える場所または酸素濃度16パーセントに満たない場所。

② 前項の規定によって禁止された場所には、労働者はみだりに立ち入ってはならない。

以上、法令の酸素欠乏事故防止上直接関係あると考えられる部分を記したが、これらの規定において注意を要するのは、労働安全衛生規則の第163条の24にあるように地下掘削工事においても酸素濃度測定が義務づけられ

ていることである。

この条文では酸素濃度に過不足の生ずる「おそれ」のあるときとなっているので、事故を起こしてから測定したのでは手遅れであって、地下掘削工事ではすべての場合酸素濃度の測定を行わなければならないと解釈した方がよいであろう。

したがって、今後地下掘削工事を行なう場合には、その現場の状況と作業の状況によって、適当な測定位置、時刻および専任の測定者を決めて、酸素濃度の測定を行なう必要がある。

酸素濃度の測定方法は、付録一に詳しく示してあるが、現場では「酸素検知管」を用いる方法が、一番よいであろう。

§ 8. 酸素欠乏事故の予防

これまでの多くの事故例をみると、そのほとんどが酸素欠乏に対する認識がないために、一片の恐怖心すらなく、すなわち無知なるが故に自から強引に死の穴と化した墓穴に飛び込み、尊い人命を失うといった場合が多く、多少の知識さえあれば事故の拡大を防ぎ、最小限にくい止めることができたと思われる場合も多いのである。

また、現場では万一にそなえての十分な装備や、酸素欠乏排除の処置がなされていなかったために、事故を未然に防ぎ得なかった場合も多い。

『酸素欠乏事故は未然に防げる』

それは関係者の認識と、日常のちょっとした注意によってはじめて可能となるのである。

『酸素欠乏事故は死亡者がでるかでないかで きまる』

のである。

酸素欠乏事故を未然に防ぐには、次に記す注意事項と厳守事項があり、これらを十分参照して、事故防止に万全を期す必要がある。

なお、最近では酸素欠乏を略した「酸欠」という言葉の方がよく用いられているようなので、以下酸欠という表現を用いる。

8.1 注意事項（要望事項）

ここでは、主として掘削工事の計画より実施までにおける酸欠事故防止上の注意点について述べ、一般の労働環境に関しては次の項で述べる。

- (1) 関係者、作業員に対して酸欠事故に関する教育を十分に行なう。

酸欠とは、事故のメカニズム、災害件数

酸欠に対する人身反応、ガス中毒症状

災害防止対策、ガス濃度(主としてO₂、CO₂)の測定法

災害発生時の処置、救急処置

などについて、日頃から関係者や作業員を教育、訓練しておき、特に直接掘削工事に関係する係員、作業員には酸欠に対する認識を十分にもつようにしておく。

すなわち、酸欠についてPRをよくしておくことで、酸欠事故防止に次のような標語を使うと有効であろう。

『穴を見たら酸欠と思え』

- (2) 地質および周囲の状況の検討

地下掘削工事、主として潜函、井筒、深礎工法などの人力によって直接掘削を行なう工事を計画したり、実施する前には、次の各項について検討し、酸欠発生の危険性(可能性)を判断しておく。

- i) 地質条件：酸欠をおこしやすい地層かどうか、どの地層で注意する必要があるかなど、これについては6.3項に詳述してある。

- ii) 周囲の状況：付近(半径600~700mの範囲内)の圧気による掘削工事現場、主として潜函、シールド工事の有無を調べる。できれば2~3年以後より現在までの。

- iii) 付近における酸欠事故発生の有無

- (3) 施主に対するアピール

(2)などによって酸欠事故発生の危険性(可能性)がある場合には、酸欠災害対策諸経費の予算計上を強く施主に対してアピールする。

すなわち、労働安全(安全第一)の立場より酸欠災害を施主にも十分理解してもらうよう努力する。

なお、酸欠災害対策諸経費というのは、試験(測定、調査)費、換気(酸欠空気排除)設備費、救急施設費、医療器具費、これらの維持管理費、その他諸経費などがあり、これらの経費は多額になる場合が多い。

したがって、請負工事費に新項目を作り、相当の予算を計上しなければならないこともある。

8.2 厳守事項

この項では、まずわれわれの労働環境一般における酸欠事故防止上、ぜひ守らねばならない原則的な事項について述べ、次に掘削作業時のみの酸欠事故防止策について述べることにしよう。

8.2.1 一般の労働環境の場合

- (1) 酸欠のおこりやすい場所（環境）の換気を怠らないこと。また、その場所に入る前には十分に換気を行なうこと。なお、参考までに労働強度による酸素消費量と、酸素濃度下限19%を保つために必要な換気量の関係を表-10に示しておく。

状 態	安静時	中作業	重作業	消費量大なる場合
1人当りO ₂ 消費量	0.02m ³ /hr	0.05	0.1	0.2~0.4
19%保持に必要な換気量	1.2 m ³ /h	3	6	12~14

表-10 作業員1人当りの酸素消費量と換気量¹⁸⁾

- (2) 酸素濃度の測定により安全を確認して入ること。これには市販品として、酸素濃度測定器などがあるので、これらを用いるのがよい。（酸素濃度測定器および使用法については付録-1を参照のこと）
- (3) 酸欠の危険性のある場所に入るときは、必ず2人以上組になり、単独行動は絶対に避け、安全確保の命綱を装備して、1人ずつ入り、他の者は万一の場合直ちに救出できる態勢をとっていること。

命綱がなかったため、致命的な低濃度でなかったにもかかわらず、失神、墜落による脳底骨折や、底のたまり水による溺死など、2次的な原因で死亡する例がきわめて多く、また救出に入った者が同じ運命をたどることも、ほとんどの場合にみられる。

酸欠の危険性の有無にかかわらず、命綱をつける習慣を一般化する必要がある。

- (4) 酸欠の可能性のある場所には、ホースマスク、自己救命器（酸素、空気ボンベによる呼吸装置）を用意しておくこと。

酸欠に対しては防毒マスクは何んの効力もないことはすでに述べてある。なお、自己救命器は小さなマンホールや狭い空間を出入するのが困難な場合があるので、できるだけホースマスク（送気式マスク）を備えておく。

- (5) 万一の場合、救出した患者に対する人工呼吸法を施せるよう、人工呼吸器を整備しまた、人工呼吸法を習熟しておく。

酸欠患者は一刻の猶予も許されないので、不断から作業指導、救急施設の点検、救出訓練、蘇生術（人工呼吸法）を訓練していなければ、とっさにそれを行なうことはできない。

『呼吸が停止して最初の3分間が運命を左右する』

ということを忘れてはならない。

救急処置については付録-2を十分に参照しておいていただきたい。

8.2.2 掘削作業時の場合

前記の一般の労働環境における事項を厳守する必要のあることは、もち論であるが、その他にも掘削作業時には以下に述べる事項を守らねばならない。

- (1) 潜函内に湧水がなくても、函内圧は大気圧にもどさないこと。
- (2) 潜函のゲージ圧が所要気圧（理論気圧）を下まわる場合には、送入空気的地層中への漏出があるものとして、その潜函はもち論、同一地層に達した他の隣接潜函あるいはウエル、深礎などでは、酸欠警戒配備を完全にして、常に酸素量の測定を行ない安全性を確認すること。
- (3) 上記のような状態になった場合には、近接工事現場には、自社他社を問わず、情報の交換を密にしなければならぬ。
- (4) このような潜函では、停電などによるエアコンプレッサーの停止の場合には、直ちに作業を中止して、ロック（気閉室）に退避して、脱出をはからねばならない。バケットが潜函内に残ったまま停電したとき、あるいは他の理由で下方のハッチが閉まらない場合は、ロックに退避した作業員に無酸素化した空気を吸入させないよう、減圧は作業室からのブローパイプのみで行ない、ロックのバルブは開いてはいけない。
- (5) 停電の際には送気停止しないよう、二系統の送電線の配線をしておくか、電源以外の動力によるコンプレッサー駆動装置あるいは自家発電機等の設備をしており、常に整備しておく。
- (6) いったん、大気圧にもどした潜函、湧水の無い潜函、その他酸欠の可能性のあるウエル、深礎などに入る時には、事前に必ず酸素濃度を測定し、安全性を確認、なおかつ送気を十分に行ないながら、2人以上1組になって、命綱等の安全装置をつけて1人ずつ入ること。
- 酸素量を測定し、安全を確認することなしに入るとは厳禁しなければならない。
- なお、酸素量をチェックするのに、よく小鳥などの小動物が用いられるが、これのみで安全性をチェックすることは危険な場合もあるので、必ず酸素検知管などで測定して、確認する方法を用いること。
- (7) 潜函は大気圧にもどしても、中に人のいるかぎりたえず新鮮な空気を送り続け、同時に酸素濃度のチェックを頻繁に行なうこと。

(8) ウェルや深礎工法では、原則としてたえず新鮮な空気を作業室のすみずみまで行きわたるように送入しながら掘削を行なうこと。

なお、ウェルや深礎（直径3～4m）などの開放掘削では、こう底部に50m³/min以上の送気が必要であろう。また、掘削面がかなり広い場合には、無酸素化空気の湧出量も増大すると考えられるので、その規模に応じた送気設備の増設が必要になる。参考までに必要送気量を求める式¹³⁾を次に示す。

$$B = \frac{DW}{A-D} = \frac{19W}{21.0-19.0} \approx 6.4W \quad \dots\dots(9)$$

ここで、B=必要送気量（m³/min）

A=外気の酸素濃度（%）：普通21%でよい

D=維持要求濃度（%）：一応19%とする

W=無酸素化空気湧出量（m³/min）：掘削こう横断面積と平均気流より求める

上式で、Wは実測することが望ましいが、これまでの測定例では、潜函が40m程度近接している場合の直径3～4mの掘削こうで、W=7.0m³/minという値がある。

(9) 砂れき層中を貫流してくる無酸素化された空気による危険を防ぐためにも、ウェル、深礎工法、その他の開放掘削（圧気しないで）工法を実施している現場では、常時その現場近辺の潜函工法および圧気シールド工法実施現場と連絡を密にして、作業の安全を期さねばならない。

(10) 人口呼吸装置は潜函ごとに、ハッチ上部に耐雨性の格納庫を設けて、1人分以上常に整備しておくこと。また、函内へ救助に入る者のためのエアラインマスク、酸素マスク等も同様整備しておかなければならない。これらのマスクはその場で人口呼吸が行なえるような分岐装置も必要である。

なお、防毒マスクは酸欠に対して何んの効力も発揮しない。

(11) 停電などの緊急事態の発生の際の作業員の脱出訓練を不断から実施しておき、事故にのぞんで減圧の手順などを誤らないよう十分習熟しておく。

また、救急法の訓練も同時に行なって熟達しておく。

§9. おわりに

以上により労働環境、主として地下掘削工事における酸素欠乏事故に関する報告を終るが、一般に酸素欠乏事故は、非常に致命率の高い災害であると同時に、救助に

入った者までも運命を共にするといった場合が多く、危険性の有無を瞬間的に感知することがむずかしい。これは他の災害にはみられない酸素欠乏事故の一つの特徴であろう。

したがって、酸素欠乏事故の防止は、まず作業者のこの事故に関する認識を深めることから始めなければならない。

また、潜函などの地下掘削工事における酸素欠乏は、他の多くの労働環境の酸素欠乏のように緩慢におこるものではなく、極めて短時間のうちに致命的な低濃度にまで低下するのが特徴である。この急速な酸素欠乏の発生は、主として洪積層に属する砂層および砂れき層の地下水圧が過剰揚水によって、極端に低下していることと、これらの地層には酸素を吸収する物質が多量に存在することなどが誘発条件になり、これらの地層に接触し、無酸素化された空気が、掘削こう内に湧出することによっておこるものである。

したがって、潜函以外のウェル工法、深礎工法（開放素掘り）、アースドリル工法、ベノト工法においても酸素欠乏事故は起こっている。

地下掘削工事では、常に酸素欠乏発生の可能性と事故発生の危険性があるといえよう。

そして、地下掘削工事における酸素欠乏事故を防止するには、注意事項や厳守事項が多多あるが、それらの根本精神は、

『穴を見たら酸欠と思え』

という標語につけるのである。

以上、本報告の要約を述べたが、一般の労働環境の酸素欠乏もさることながら、掘削作業中の酸素欠乏については、なお多くの不明な点が残っている。

たとえば、

- a. 砂層および砂れき層の酸素吸収の物理的、化学的メカニズム
- b. 上記地層中への圧入空気の貫流距離および貫流量
- c. 圧入空気逸散の防止法
- d. 掘削こう内に湧出する無酸素化空気量
- e. 圧入空気の埋没範囲とそれの時間的変化
- f. 酸素欠乏防止のためのこう内への必要送気量
- g. 気象条件と酸素欠乏発生の関係
- h. 酸素欠乏発生の的確な予想方法（調査方法）
- i. 作業中の酸素欠乏発生の予知方法
- j. 簡便、迅速、正確な酸素濃度測定法の開発
- k. 掘削こう内の換気（送気）方法の開発
- l. 救助および救急設備の開発

といったように、根本的問題が未解決になっているのが現状であり、今後の研究によって、早急に解決されねばならないことが多い。

したがって、これまで述べてきたことは、いずれも尊い人命を失って初めて知り得たことが多いのである。われわれは、これらの尊い人命を無駄にすることのないよう、できるかぎりの努力をして、今後は酸素欠乏によ

て人命をなくすことのないよう、全員が力を合わせて酸素欠乏災害の防止を遂行していく必要がある。

最後に、昭和大学山口裕博士には、本報告をまとめるに当り種種の御教示をいただくと共に、貴重な研究結果を全面的に参照させていただいたことを付記し、心から謝意を表します。

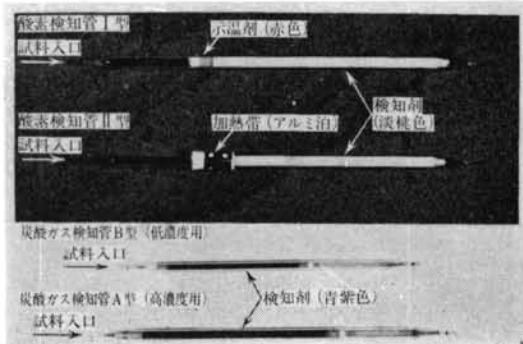
＜参考文献＞

- 1) 清水建設庶務部，研究所共同：“事故の原因をつきとめる——江戸橋駐車場深礎事故調査報告”：清水建設289号付録(1961.10)
- 2) 新見芳男：“深層工法の施工では酸素欠乏に注意”：清水建設 No.332.(1965.5)
- 3) 滝沢克巳：“土を掘ったら酸素欠乏を考えよ”：清水建設 No.335.(1965.8)
- 4) 石坂音治他3氏編集：“衛生化学および試験法”：広川書店 (1963)
- 5) 大島秀男：“地下施設とガス中毒”：土木施工 vol.2 No.13.(1961)
- 6) C. M. Proctor “Life Support Requirement for Space Missions”：Proc. of A. S. C. E. vol. 91 No. SA2. (April 1965)
- 7) 東京天文台編纂：“理化年表”：丸善，(1965.12)
- 8) 飯牟礼渚：“危険物取扱者必携”：産業図書，(1958.5)
- 9) 日本火災学会：“火災便覧”：コロナ社，(1955.11)
- 10) 労働省労働基準局編：“衛生管理”：中央労働災害防止協会，(1966.5)
- 11) 山口裕：“労働環境の酸素欠乏”：安全工学 vol.3. No.1. (1964.1)
- 12) “JIS B 9903 防毒マスク”：昭和37年6月1日改正
- 13) 山口裕：“土木建築基礎工事作業における酸素欠乏について”：労働衛生工学，第4号
- 14) 富田絹子，渡辺弘：“穿井作業環境の酸素欠乏に関する一知見”：生活衛生，6巻4号(1961)
- 15) 労務行政研究所：“労働法全書”：(1963.11)
- 16) 全日本産業安全連合会：“労働安全衛生規則”：(1963.7)
- 17) 労働省労働基準局：“改正労働安全衛生規則の解説”：建設業労働災害防止協会，(1965.4)
- 18) 渡辺要：“建築計画原論”：森北出版，(1951)
- 19) 全国建設業協会：“掘さく作業室の酸素欠乏”：(1963.8)

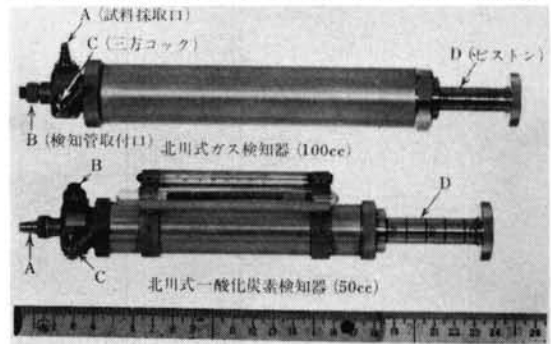
付録一 酸素濃度測定法および測定器の入手

酸素濃度を現場で、迅速かつ簡易に測定できる実用的方法としては、写真一1, 2 に示すような検知管を用い

る検知管法が最適であろう。この他にも酸素濃度の迅速測定法がある。たとえば、酸素吸収剤で一定容積の試料空気中の酸素を吸収させ、吸収剤の容積変化から酸素濃



写真一1 酸素・炭酸ガス検知管



写真一2 検知器(ガス採取器)

度を求める吸収法、酸素が磁化して磁場に吸引される性質を利用した磁気酸素計法、および加熱した白金線に封入した容器に試料ガスを通すと、ガス濃度により白金線の電気抵抗が変化する性質を利用した熱伝導度酸素計法などがある。しかし、これらは検知管法にくらべると、計器は構造的に打撃に弱く、操作もむずかしいので、現場向きではない。

したがって、以下検知管法による酸素濃度および炭酸ガス濃度の測定法について述べよう。

付. 1.1 検知管による酸素濃度の測定¹⁹⁾

(1) 検知管

内径約3mm、全長約150mmの細いガラス管内に、淡桃色の検知剤(アルカリ性ピロガロール)をガラス粒子に含ませて、70~90mmの長さにつめ、これを綿栓でとめ両端を溶封したもので、I型とII型の2種類がある。

写真-1にI型とII型を示してある。溶封したガラス管の両端を開いて、空気を一定速度で通せば、検知剤は空気中の酸素濃度に応じて、通気方向に変色する。この反応を促進し、変色の限界を明確にするため、試料空気送入口の部分に加熱する必要がある。その部分には示温剤があり、マッチ、ライターなどで紫色になるまで熱する。

測定現場に可燃性ガスの存在する危険性がある場合には、示温剤の部分にアルミ箔の巻いてあるII型を用いる必要がある。II型には滴下液が付属しており、これをアルミ箔の部分に滴加すれば、火を用いなくてもその部分が発熱する。

(2) ガス採取器

写真-2のような金属製のポンプで、1回の吸引量は50ccと100ccのものがある。ピストンの柄(写真-2のD)には5cc毎に目盛がついてある(北川式一酸化炭素検知器でも共用できる)。

写真-2のAは試料空気採取口で、潜函底部などの空気を採取する場合には、これに長いゴム管またはビニール管をつないで空気を吸引する。その際、つないだ長い管の中の空気を、試料空気で置き換えしななければならないので、予めこの管の容積を測っておき、その容積以上の空気をコック(写真のC)をきりかえながら、何度もピストンを往復させて写真のBから捨てる。たとえば、ゴム管の容積が500ccとすれば、500/50=10すなわち10回以上、14~15回往復すれば、本番の採気にうつってもよい。

なお、写真のA、BおよびCの各部分(北川式ガス検知器)の関係は、ピストンを引くときにはCをAの方へたてにしてAから吸引し、ピストンを押すときにはCを

横に倒して、Bから試料空気を押し出すようにする。

なお、コックを45°の位置(写真-2の位置)においておくと、試料空気を気筒内に封入したまま、これを密栓しておくことができる。ガス採取器は使用前に空気の漏れのないように整備しておく。漏れの点検は、50cc吸入しコックを45°にして、ピストンを25ccの目盛まで押し込み、この状態を2~3分待ち、ピストンをはなして0に戻ればよい。

(3) 濃度表

検知剤の変色層の長さから酸素濃度を読む表で、測定範囲は0~30%、最低目盛2%、検知限度0.1%となっている。

付表-1は炭酸ガス濃度が高い場合の真の酸素濃度を求めるための補正表である。これについては後に記してある。

炭酸ガス濃度による酸素濃度補正表

濃度表の読み (%)	真の酸素濃度(%)			
	CO ₂ 5%	CO ₂ 10%	CO ₂ 15%	CO ₂ 20%
2				
4	2.4			
6	4.7	2.5		
8	7.2	5.8	3.5	
10	9.5	8.5	7.0	4.5
12	11.6	10.8	9.8	8.0
14	13.7	13.0	12.1	10.7
16	15.7	15.1	14.3	13.0
18	17.8	17.2	16.5	15.3
20	19.8	19.3	18.7	17.6
22	21.8	21.4	20.9	19.9
24	23.9	23.5	23.0	22.2
26	25.9	25.5	25.1	24.5
28	27.9	27.6	27.2	26.7
30	29.9	29.6	29.3	29.0

付表-1 炭酸ガス濃度による酸素濃度補正表

(4) 測定方法

次の順序で測定を行なう。

- ① ガス採取器に試料空気50ccを採取する。
- ② 酸素検知管I型の場合は、示温剤(赤色の部分)をマッチ、ライターなどで紫色になるまで加熱する。II型の場合は、アルミ箔の部分に滴下液を数滴たらすとアルミ箔が発熱し、示温剤は紫色になる。
- ③ 加熱部が冷えないうちに(加熱後ピストンを押し始めるまで約30秒以内)、検知管の両端をヤスリで切り、

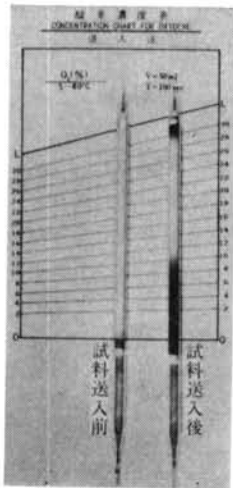


写真-3 酸素検知管と濃度表

ガス採取器のBに熱した方をさし込み、次にCを横に倒して試料空気50ccを10秒かけて（ピストンの柄の1目盛を10秒の割合で）等速度でピストンを押す。

- ④ 検知管に50ccの空気を通し終えたならば、加熱部分を布切れでふき、写真-3のように検知剤の両端を濃度表の上下の目盛O-OおよびL-Lに当てがい、変色した長さから酸素濃度を読みとる。この操作は、できるだけすみやかに行わないと、空気中の酸素の影響で濃度が高めに測定されるおそれがあるので、注意を要する。

- ⑤ 炭酸ガスが5%以上共存するときは、酸素濃度は実際より高めに測定されてしまうので、同時に炭酸ガス濃度も測定して、炭酸ガス濃度による酸素濃度補正表（付表-1）から真の酸素濃度を求めなければならない。

付. 1.2 検知管による炭酸ガスの測定

(1) 検知管

炭酸ガスの検知管には、写真-1に示すようにA型とB型の2種類があり、A型は0.5~10%の濃度に、B型は0.05~0.6%の濃度測定に使用する。検知管はガラス管の内に青紫色の検知剤を一定量つめて、綿栓でとめ両端を溶封したもので、綿栓と検知剤が接触しないようにその間に赤いガラス粒がつめてあります。

A型は試料空気採取量は30cc、B型は100ccである。（これには写真-2）。

酸素濃度の補正用としては、A型でよい。

(2) ガス採取器

A型は、写真-2に示してあるガス検知器のいずれでもよい。

(3) 測定方法

A型について述べる。

- ① 30ccの試料を採取する。
- ② ガス採取器のBに検知管をさし込み、30ccの試料を30秒（柄の1目盛を5秒の割合で）、等速度で送入する。
- ③ 検知剤は炭酸ガスで淡桃色に変色する。
- ④ この検知剤を、写真-3の酸素濃度測定の場合と同じように濃度表に当てがい、変色層の長さから濃度を

読みとり、付表-2の温度補正表で測定時の温度補正をして測定値とする。

温度補正表 15℃基準

濃度表の読み(%)	真の炭酸ガス濃度(%)								
	0℃	5℃	10℃	15℃	20℃	25℃	30℃	35℃	40℃
10.0	10.3	10.2	10.1	10.0	9.9	9.85	9.8	9.7	9.6
9.5	9.75	9.65	9.6	9.5	9.4	9.35	9.3	9.2	9.1
9.0	9.2	9.15	9.1	9.0	8.9	8.85	8.8	8.7	8.65
8.5	8.7	8.65	8.55	8.5	8.45	8.4	8.3	8.2	8.15
8.0	8.2	8.15	8.05	8.0	7.95	7.9	7.8	7.75	7.7
7.5	7.7	7.6	7.55	7.5	7.45	7.4	7.35	7.25	7.2
7.0	7.2	7.1	7.05	7.0	6.95	6.9	6.85	6.8	6.75
6.5	6.7	6.6	6.55	6.5	6.45	6.4	6.4	6.35	6.3
6.0	6.2	6.1	6.0	6.0	6.0	5.95	5.9	5.85	5.8
5.5	5.65	5.6	5.5	5.5	5.5	5.45	5.45	5.4	5.35
5.0	5.1	5.05	5.0	5.0	5.0	4.95	4.95	4.9	4.85
4.5	4.55	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.45	4.4
4.0	4.05	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	3.95	3.9
3.5	3.55	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.45
3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0

付表-2 炭酸ガス濃度の温度補正表

この際寒暖計の準備が必要である。

- ⑤ 炭酸ガスの濃度がわかったなら、付表-1より前述の⑤により真の酸素濃度を求める。

なお、検知管を購入すると、必ず詳しい使用説明書がついているので、測定前にはよく読んでそれに従って行なえばよい。

付. 1.3 検知管法酸素濃度測定用具およびその入手方法

以上により、必要用具はわかったことと思うが、あらためて、列举すると以下ようになる。

- ① 酸素検知管I型（単位：10本入り1箱）
- ② 炭酸ガス検知管A型（単位：10本入り1箱）
- ③ ガス採取器（各種有り、普通は一酸化炭素採取器：内容積50cc、または100cc三方コック付ガス採取器のいずれかでよい）
- ④ 温度計（普通の寒暖計でもよい）
- ⑤ 試料空気採取用赤ゴム管（こう内空気採取用）
- ⑥ 濃度表および測定値補正表
- ⑦ マッチもしくはライター

などで、①~⑥までの用具、主として①~③までの入手は、今のところ検知管のメーカーが、つぎの一社しかないの、この会社より購入する以外にない。

検知管のメーカー

光明理化学工業株式会社

東京都目黒区唐ヶ崎町 603 番地

電話 東京(711)2176(昭和41年 8月確認)

なお、都内の現場は上記と直接取引すればよいが、地方の現場の場合は、当社関連会社の丸喜産業株式会社に注文してもよい。また、本社研究所土質研究部の筆者へ連絡していただいてもよい。

付録 2 救急処置¹⁰⁾¹¹⁾¹⁹⁾

酸素欠乏でおれた場合、今までの事故例ではほとんど救出が遅れ、蘇生術も行なわれないで死亡している。

酸素欠乏により、いわゆる窒息の状態となるが、この際最初に機能が損なわれるのは、人体で最も高等な器管である脳であって、人体の種々の機能の中樞が先ずやられてしまう。脳の組織に酸素の供給が絶たれると、きわめて短時間のうちに、もはやもとに帰らない変化がおきてしまい、たとえ蘇生しても、元のような頭脳活動は望めなくなる。この影響があらわれない限度は、呼吸停止後3分以内といわれている。

すなわち、呼吸が停止して最初の3分間が運命を左右するが、3分以内に呼吸を再開するためには、現場に居合わせたものだれもが救急蘇生法を習熟していなければならない。

また、救急処置としては、何より先ず3分以内に人工呼吸をはじめることが、運命を左右するのであるから、潜函内でおれた場合、外へ引揚げてからでは手遅れとなるので、こう内へ救出に入ったものは、その場で人工呼吸を開始しなければならない。

それで、まずこう内の場合とこう外の場合とに救急蘇生法を分けて、述べてみる。

付. 2.1 こう内での救急蘇生法

この場合には、救助者の用いるエアラインマスク、酸素マスクなどには、分岐管を装置し、それから人工呼吸器を通して患者に呼吸させる方法をとる。付図-1はハシゴを降りる途中で失神墜落した場合の救急蘇生法の一例を示したものである。このような処置を行なっている間に、こう内換気のために十分送気し、一方患者が自発呼吸を開始したなら、こう内の酸素濃度を測定して安全性を確かめてから人工呼吸をやめ、こう外へ引き揚げる。このような手順は、普段からの訓練が必要で、事に臨んであわてずに着実に実行できるよう習熟していなければならない。

なお、図に示したように、命綱の装備があれば、こう底部までの墜落はまぬがれ、二次的な脳底骨折などによ



付図-1 穴の中で宙づりになって患者に対する救急蘇生法

る死亡は少なくなるわけである。今まで、命綱等による安全確保がなかったばかりに、致命的な酸素濃度低下でなかったのかかわらず、失神墜落による脳底骨折で死亡した例が大部分であった。

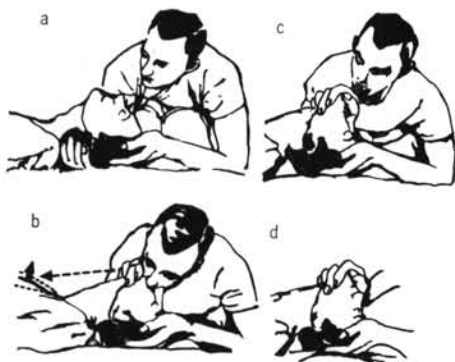
付. 2.2 こう外での救急蘇生法

発見が早く、3分以内にこう外へ引揚げ得る余裕のある場合には、しいてこう内で蘇生術を行なう必要がなく、こう外で行なってもよい。

このような場合の蘇生術としては、いわゆる人工呼吸法がある。この人工呼吸法には名種の方法が古くから行なわれているが、とっさの場合に役だつ有効な方法として、最近国際的に推奨されている呼吸吹送法がよい。これは付図-2のように、患者に呼吸を吹き込んでやる方法である。通常呼吸中には16%以上の酸素が残っており、患者に対してはまだ利用できる。しかし、この場合気道を確保しなければ、送気しても十分肺内に吹送できないので、この操作を確実に行なわなければならない。

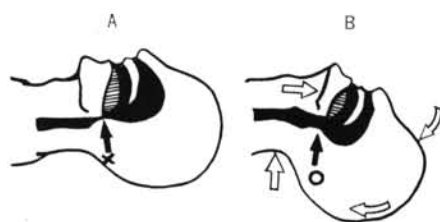
すなわち、患者は付図-3 Aの×印で示したように、気道が狭くなっているが、Bのような頭を後屈し、下顎を上へあげれば、狭さく部は大きく開き、吹き込んだ空気は抵抗なしに肺内に入っていく。術者はこの際患者の鼻孔を頬でふさぐが、指でつまむかして、鼻からの漏れを防ぎ、また患者の胸のふくらみ方で、肺内に十分送気できたかどうかを確認する。

もし患者が、口をくいしばっていて、口からの送気が



- a. 頭部後屈，下顎挙上による気道確保。
- b. 口—口による呼吸吹き込み（吹き込み時胸のふくらみに注意）
- c. 患者の自然呼出（胸がくの弾性による）の終るのを待ち，その間，術者は新鮮な空気を吸い込んでおく。
- d. 口が固く閉じられて開かないときは鼻口から吹き込む。

付図—2 呼吸吹き込みによる救急蘇生法



付図—3 気道の確保

困難なときには、鼻孔から行なう。術者は新鮮な空気を吸い込んで、患者に吹き込み、患者の胸の収縮力による呼出が自然に行なわれるのを待って、吹き込みをくりかえすが、この回数は20回前後でよい。患者は、心臓が停止していないかぎり、やがて自発呼吸を開始するが、自発呼吸は最初は浅くかつひん繁に不規則にはじめるので、そのうちのどれかに同調するように吹き込みを行ない、深くゆっくり呼吸をはじめるまで補助してやる。