

酸欠地層の予測調査法

大井 幸雄

A Method of Finding Oxygen Absorption Layers

Yukio OHI

Abstract

There exist some layers of earth, found principally in Japan's cities, which react with and absorb oxygen in the air. Workers have died of asphyxiation when excavating these strata.

An effective way of preventing this kind of accident is to check before operations begin whether or not the area has been analyzed for oxygen absorbing layers.

The reason for this phenomena lies in the chemical properties of the soil.

This report demonstrates that the presence or absence of oxygen absorption soil can be determined by the following chemical tests on soil samples to be taken during geological surveys:

1. Test for redox potential
2. pH test
3. Determination of oxygen absorption by the Buret method
4. Analysis of ferrous and sulfur ions

In addition, the report shows that in those cases where the taking of samples is difficult, analysis of the oxygen content of gas that escapes from the borehole during gas permeability testing is also effective.

1 まえがき

地下工事に伴う酸欠事故を防止するために、工事中に現場の酸素濃度を測定することは、安全上の対策として欠かすことができない。この測定は昭和47年に施行された酸素欠乏症防止規則において義務づけられている。しかしながら依然として事故が発生し続けている。

これに対して工事施工前に、目的とする現場の地層が酸欠地層であるかどうかを明らかにすることができれば、工事中の酸素測定も綿密になるであろうし、また、工事設備に酸欠を考慮した設備を付加すべきかどうかとも明らかとなり、工事費用の面においても、事前の安全対策の面においても非常に得るものがあると考えられる。

しかし工事予定地について酸欠地層の存在等を予測した例およびその予測について述べられた報告は見当たらない。

この報告書は工事予定地に対して、地質調査の段階で比較的容易に実施できる酸欠地層の予測法を、実験および考察したものである。

2 地下における酸欠空気の発生機構

地下における酸欠現象は、地中に酸素を吸収する物質が存在し、なんらかの原因によりその地中に侵入した大気が、その酸素を失ない、低酸素含有大気となって湧出する場合と、本来地下に埋蔵されている酸素を含まないガスが湧出する場合の二つに大きく分類される。本論文では主として前者について実験および検討した結果を報告する。

2-1 地中における酸素吸収反応

地下に存在する酸素吸収物質としては、第一鉄イオン (Fe^{2+}) およびその化合物、第一マンガン (Mn^{2+}) およびその化合物、硫黄 (S) およびその化合物、有機物等が考

えられる。現在まで都市地下工事等の酸欠現象では、 Fe^{2+} 、 S^- 、 S^{2-} が確認されており、 Mn^{2+} は鉱山などにおける原因物質としては確認されているが、地下工事においては未確認である。

これらの物質は酸素との結合力が強く、したがって、これらを含む地層は還元性の環境下で形成されたものであろう。有機物が原因となる場合はピート層に代表されるような地層が問題とされる。

これらの酸素吸収物質が形成されて以来、現在まで、未酸化の状態では存在し得るための必要条件は、地下水によって密封されていることである。しかし、地下水と言えども降雨等によって涵養され、それに溶解している酸素は長年月にわたって徐々に地下の酸素吸収物質を酸化するはずであるが、それにもかかわらず未酸化の物質が現在も存在することは興味ある現象である。この理由としては、一般に地下水が溶存酸素を含んでいないことがあげられる。溶存酸素が地下水中に存在しない原因としては、地表面をおおう土壌中の微生物が有機物を酸化する際に、その酸素を消費するためと考えられる。

この微生物の活動は永続的であり、したがって、地殻変動などによって地下水が失われ、地層が直接大気と接触するようにならない限り、酸素吸収物質はそのままの状態では存在し続けると考えられる。このことは酸欠現象が地殻変動をあまり受けていない洪積層、あるいは、沖積層が形成されている平野部に集中的に起こっていることによっても裏づけされる。

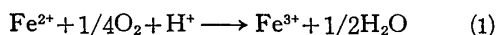
これらの物質の酸素吸収反応は、次のように考えられる。

1) 土中の鉄分による酸素吸収反応

地殻中における鉄分は、クラーク数によると約0.5%であり、アルミニウムに続いて4番目の存在度の、ごくありふれた元素のひとつである。

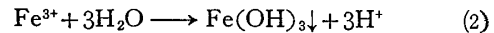
鉄の地中での存在形態は、2価(Fe^{2+})および3価(Fe^{3+})であり、主として酸素、水、硫黄、炭酸などとの化合物である。さらに、粘土層中ではこの酸素、水との化合物は、シリカとの複合化合物として存在する。またピートなどの腐植物の中では腐植酸との化合物として存在する。

これらの化合形態のうち酸素との反応を起こし得るものは Fe^{2+} の化合物であり、その反応は次式で示される。



この式は Fe^{2+} の変化のみを取り上げたものであるが、先に示した対陰イオンの種類が変わっても、 Fe^{2+} の変化は(1)式にしたがう。式中 H^+ は酸から放出されるもの、または、水の解離によって生ずるものと考えられる。し

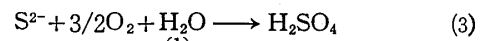
たがってこの反応が起こるためには水が存在する必要がある。その水のpHが3~4以上の場合には、さらに次の水酸化第二鉄の生成反応が起こる。



$\text{Fe}(\text{OH})_3$ の沈澱生成は、 Fe^{3+} を反応の系外に取り出してしまうことになり、(1)式の反応を右に移動させ酸化反応促進の効果を生ずる。したがって Fe^{2+} の酸素吸収反応はpHが高い方が進み易いことになる。

2) 硫黄分による酸素吸収反応

地中では、硫黄分は鉄との化合物として存在することが一般的であり、その硫黄分は次式のような酸化反応を起こす。



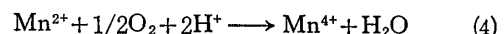
この場合も水の存在が必要であり、硫酸が生成する。したがってpHの低下がみられる。これはかなり顕著にあらわれるので、pHの動きから硫黄が関与しているかどうか、ある程度判定できることになる。このpHの低下は(1)、(2)式の反応に影響を与えることになるが、硫酸が地中の他の物質(例えば長石、緑泥石など)と反応して中和され、pHの低下がおさえられる場合も多い。

硫黄が関与する場合には一般に発熱がみられる。これは(3)式が発熱反応であるからに他ならないが、実際の工事においても大阪地下鉄6号線シールド工事、2号線ケーソン工事、東京営団地下鉄9号線シールド工事等で経験されており、高温蒸気の噴出や切羽気温で60°Cという高温が記録されている。しかし、この現象による発熱、酸欠は現在までの例によると局所的な傾向を持つようである。

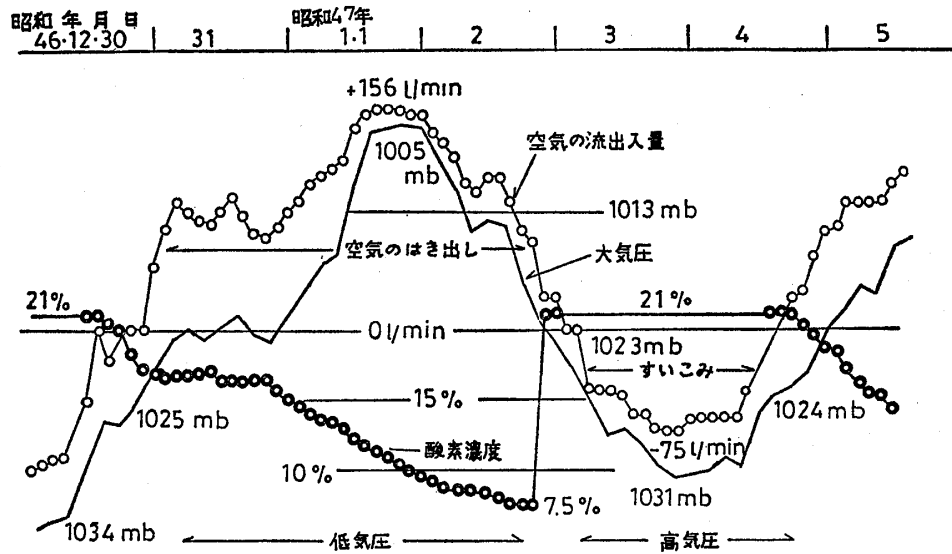
その他、硫黄と鉄の酸化にはそれぞれの酸化バクテリアが存在し、反応を促進することが知られており、大阪の地下鉄6号線ではその作用が確認され、鉄バクテリア *Thiobacillus thiooxidans*、硫黄バクテリア *Desulforvibrio desulfuricans* などの存在が確認された。

3) マンガンの酸化反応

マンガンは1価から7価までの原子価が知られており、その中で還元性の環境下では2価(Mn^{2+})がいちばん安定している。したがって地中においても、この2価の形で存在していると考えられる。このマンガンと酸素との反応は Fe^{2+} と同様、



と示される。しかし Mn^{2+} の場合、対陰イオンの種類により酸化の難易があり、水酸化物、塩基性炭酸塩が酸化を受け易いとされている。現在まで都市の地下工事の酸欠においてマンガンを主要吸収物質として確認された例は知られていない。



図一 1 地下酸欠空気の噴出と井戸の呼吸作用（東京虎ノ門実業会館の深井戸）（地下酸欠空気研究会：1972）
 Fig. 1 Ejection of oxygen-deficient air from underground

4) 有機物の酸化反応

有機物の主成分は炭素、水素、硫黄、窒素であり、これらは酸素と反応して最終的に、 CO_2 、 H_2O 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- が形成される。またこの酸化反応には一般に好気性のバクテリアの存在が非常に重要である。

以上代表的な酸素吸収反応について述べたが、現在までの調査例および、存在量から言って地中における酸素吸収物質としては Fe^{2+} によるものもっとも多い。その鉄分の形態として FeS_2 、 $Fe(OH)_2$ のゲル状物質、 $Fe(HCO_3)_2$ 、粘土中に比較的弱い結合力で結合している Fe^{2+} などが考えられる。

以上の酸化反応の他、地層の酸欠で考えておかなければならないのは、酸素吸収反応は固相—液相、または液相—気相などの異相間で起こる不均一反応であるということである。

吸収物質は固体、コロイド、イオンの状態で存在し、しかも非常に比表面積の大きい状態が存在していると考えられ、酸素は溶存、または気体の状態で存在する。しかも、前者は砂または礫の表面あるいはそれらの空隙に存在するので、酸素が反応するためにはこれらの空隙中を拡散侵入する必要がある。したがって反応にはガスの拡散速度、つまり、地中の圧気工事では送り込む空気の圧力が反応を制御する重要な因子となる。

2-2 酸欠現象の発生の形態

酸欠現象をその現われ方で分類すると二つに大別される。一つは地下水位の低下に原因する場合と、もう一つ

は各種の圧気工事による場合である。

1) 地下水位低下に原因する酸欠空気の湧出

これは地下水汲み上げによって水位が低下し、その低下した部分に井戸、地下構造物を通して空気が侵入し、酸素が失われ、貯蔵され何らかのきっかけのもとに、その酸欠空気が湧出する場合である。この現象は当然のことながら地下水汲み上げ量の多い地域で現われ、広域的である。東京都内でその例が多く認められ、特に、地下水水位が凹部となっている地域に集中して起こる傾向がある。またこの現象の大きな特徴は、大気圧と湧出量および、酸素濃度が非常に強い相関を示すことである。この関係を示す例を図一⁽⁴⁾に示した。この井戸のストレーナーの一部は水位低下により地下水位より上に露出した状態にあった。したがって気圧の高低により井戸が呼吸をするような現象を示している。地下工事がこのような場所に到達した場合には、現場内に酸欠空気が噴出することも起き得るし、またその工事が圧気工事の場合には、地層中に侵透した空気が酸欠状態になると同時に、貯溜する酸欠空気を圧迫し井戸からの湧出を促進することも起こり得る。この機構を図一⁽⁴⁾に示した。

2) 圧気工事による酸欠空気の湧出

圧気工事による現象の現われ方としては、圧気が帯水層の地下水を押し分けて侵入し、酸素を失った状態で井戸、地下室等の地下構造物内に湧出する場合と、圧気工事現場内に、圧力不足などで逆湧出する場合である。前者は影響を外にもたらすことになり、公害的要素を含む

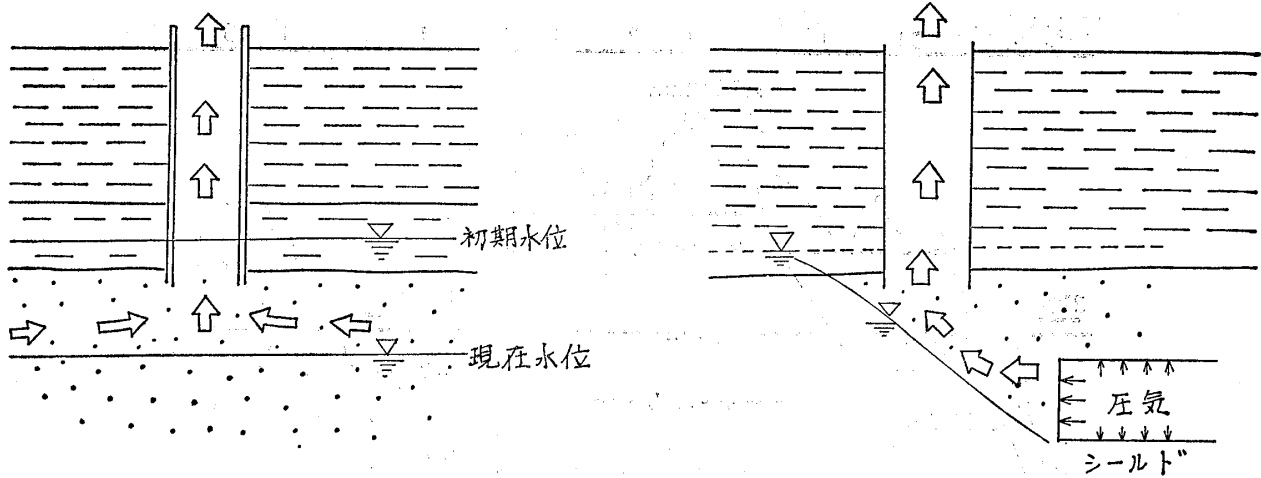


図-2 地下水低下による酸欠空気の噴出機構
Fig. 2 The means by which oxygen-deficient air is ejected

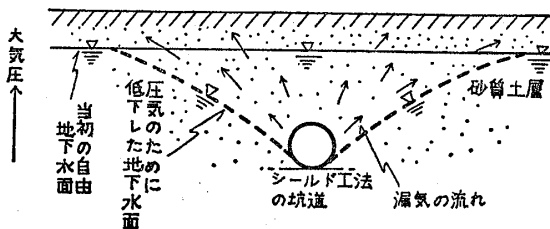


図-3 圧気による地下水水面の変位と漏気の流れ関係図
Fig. 3 The means by which the underground water level is displaced and is leaked in shield tunneling

ことになる。

図-3に圧気による地下水水位の変化と漏気の流れを模式的に示した。

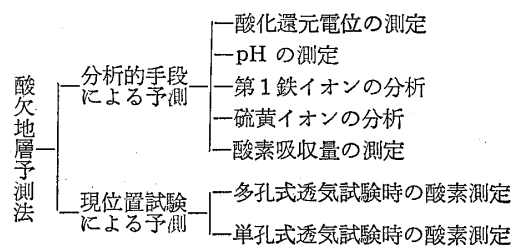
3 酸欠地層の予測法

前述のように、酸欠現象がどのような機構で発生する場合においても、酸素吸収物質の存在が絶対条件である。したがって、予測のためにはまずこれらの物質の確認が行なわれなければならない。しかし、酸素吸収物質の存在は酸欠現象の規模を予測するためには充分条件ではなく、対象地域の地質構造、地下水条件などの広い情報が必要になってくる。

本論文では、これらの条件のなかで、酸欠予測にもっとも重要な、吸収物質の存在を確認するための地球化学的、分析的試験法を主として述べる。

また、この試験法が適用出来ない地質の場合には、現位置試験で予測する方法を述べる。試験法は一般的なボーリングによる地質調査の範囲内において可能であることを前提とした。

本文において提案する予測法は次の通りである。



3-1 分析的手段による予測

1) 酸化還元電位の測定による判定

2-1項で述べた酸素吸収反応は酸化還元反応である。この反応はイオンの電子価の変化をとともなる反応であり、それは電子の移動を意味する。Fe²⁺、Fe³⁺を含む溶液中においてはそれぞれの濃度により(6)式で計算される電位が発生する。



$$E(\text{volt}) = 0.77 + 0.059 \log \frac{[\text{Fe}^{3+}]}{[\text{Fe}^{2+}]} \quad (6)$$

e⁻: 電子

E: 酸化還元電位 (標準水素電極に対する)

[]: モル濃度

したがって、酸素の吸収力が大きい、つまり Fe²⁺、Fe³⁺の濃度の比が小さければ酸化還元電位は小さい値をとることになる。しかし、この式は溶液中のイオン状態に対して成立するものであって、地中では必ずしもイオンとは限らないので、定量的な適用は出来ない。しかし還元性の強さの目安としては有効である。

この測定法はカロメル電極を比較電極とし白金線また

*カロメル電極: 甘コウ電極 $2\text{Hg} + 2\text{Cl}^- \rightleftharpoons \text{Hg}_2\text{Cl}_2 + 2e^-$ の反応を利用した参照電極。

表一 標準水素電極電位基準の補正值

Table-1 Potencial of calomel electrode

液温	電位差	液温	電位差
0°C	260mV	25°C	244mV
10	254	30	240
15	251	35	233
18	249	40	234
20	248	50	227

は、板を測定極とし、これらを土と接触させて、発生する電位を酸化還元電位計により測定する。

なお、カロメル電極を用いているので、測定値に水素電極との電位差（表一）を加えなければならない。

この測定は現地で試料採取時に行なうことを原則とするが、礫層などの場合には、電極を試料中に差し込むことが困難な場合があり、試料により測定の限界がある。また、礫層の場合には試料の採取自身が非常に困難な場合が多い。その場合は後述する3-2項に示す現位置試験で予測することになる。

2) 化学分析による予測

化学分析では吸収物質そのものの量を測定することが出来、判定としては直接的である。しかし、分析に用いる試料量は非常に少量にならざるを得ず、局所的な判定になりがちである。したがって地層の構造を参考にしながら多数の試料についての検討を行なう必要がある。また、酸化還元電位同様、礫層に関しては試料採取の困難さもあり、サンプリングの誤差が含まれることを念頭におく必要がある。

分析成分としては従来からの調査例を参考にすると、第一鉄、硫黄等について行なう必要がある、これらの分析は Fe^{2+} 、 S^{2-} などの状態分析を行なうことになる。

Fe^{2+} の分析法としてはJIS-M-8213が適している。しかし、ここで問題となるのは、地層中の Fe^{2+} のすべてが酸素を吸収する力を持っているわけではないことである。たとえば、磁鉄鉱(Fe_3O_4)は $Fe_2O_3 \cdot FeO$ とも書かれ Fe^{2+} を含むが、空気中で安全な化合物であり、酸素吸収力は持たないと考えられる。また、粘土鉱物中には Fe^{2+} を含むものがあるが、これも比較的安定なものがあり、分析された Fe^{2+} すべてが酸素と結合するとは限らない。したがって、次のような手法が必要である。

すなわち、新鮮な試料の Fe^{2+} の分析値と、その試料を空気中に放置して酸素との接触を充分行なわせた試料の Fe^{2+} 分析値との差を求めると、その値は酸素吸収可能な

Fe^{2+} の値を与えることになる。

南関東地域の調査例から分析値のいくつかを表一2に示す。この例においては空気との接触は反応を促進するため約80°Cの雰田気中で水分を添加しながら3~4時間保持したものである。

これらの例からみると酸素吸収可能な Fe^{2+} は1%以下の少量である。しかしながら Fe^{2+} の酸素吸収量は、(1)式から計算すると Fe^{2+} 1g 当り 100ml になるので0.1%の Fe^{2+} を含有する土質では、1tにつき100ℓの酸素を吸収し、これは標準状態(0°C 1 atm)の476ℓの空気を無酸素状態にすることを示している。

表中には、後述する酸素吸収試験の結果も併記した。 Fe^{2+} の値と酸素吸収量はかならずしも上の関係を満足しておらず、図一6に示すように吸収量は Fe^{2+} 分析値からの計算値より低い値を示す傾向がみられる。これは Fe^{2+} の二回の分析時の試料が同一のものを使用し得ないことによるサンプリング誤差、また、 Fe^{2+} の酸化を行なう際の条件(80~100°C)が強過ぎるため、常温での酸素による酸化を上まわっているなどの理由が考えられる。しかし、 Fe^{2+} の分析値がゼロ、またはマイナスとなった場合には、酸素の吸収もほとんどゼロとなり、 Fe^{2+} の分析が酸欠の判定に充分利用出来るものと思われる。

硫黄分が関与する場合は先の(3)式にも示したように硫酸の生成があり、顕著なpHの降下が見られる。したがって、試料と空気との接触を計った後にpHを測定することによって、硫黄分の存在を推定することができる。

測定法としては土質試験におけるpH測定法(土質工学会基準)が適している。

現在まで測定されたpHの例としては、大阪市地下鉄日本橋シールド工事現場でpH2.4、堺筋本町でpH3.4、東京永田町工区シールド工事での採取試料に対してpH3~4⁽⁴⁾が得られている。

硫黄分の分析法は硫化物中の硫黄分析法が適している(JIS-M-8217)。

前章で有機物(腐植物など)も酸素吸収力を持つことを述べた。この有機物についても化学分析によってその含有量を求めることができる。しかし Fe^{2+} の分析の項で述べたように、分析測定される物すべてが酸素吸収力を持つとは限らない。また、有機物については、 Fe^{2+} のように分析手法によってそれを区別することは困難である。また、 Fe^{2+} 、 S^{2-} の分析についてもその分析値に主として試料形態(砂、礫、含水状態など)、サンプリングからくる誤差を含む可能性があることを述べた。したがってこの分析結果を補う意味を含めて、分析よりさらにマクロな酸素吸収能を測定する方法を検討した。

表-2 酸素吸収 Fe⁺⁺ の分析例
Table-2 Analysis of oxygen-absorbing Fe⁺⁺

調査地		採取深度 m	土質	Fe ⁺⁺ 分析値 wt % (Dry Base)			酸素吸収 O ₂ cc/100g 乾き試料	吸収度合 の判定 強・中・弱	備考
都道府県	サンプル			a	b	a - b			
				原試料	80~100°C 乾燥試料				
千葉県 流山市	単一孔内	17.8	細砂	0.84	0.70	0.14	1.2 吸収51時間	弱	試料取扱不完全
		23.0	シルト混り 細砂	1.29	1.27	0.02	0.2 "	弱	(保存中酸化?)
東京都 練馬区	単一孔内	11.5	砂礫	1.91	1.07	0.84			
		13.0	細砂	1.48	0.91	0.57			
		16.0	細砂礫互層	0.86	0.52	0.32			
		19.0	細砂	3.12	2.00	1.12			
神奈川県 横浜市	緑区 A	15.1	鶴川互層 細砂			0.2	4.7 吸収8時間	弱	
	" B	18.2	同"上			0.10	2.7 "	弱	
	" C	25.1	シルト混り細砂			0.09	1.7 "	弱	
	旭区 A	22.2	中"砂			0.60	14.7 "	中	
	" B	22.1	中"砂			0.70	12.4 "	中	
	" C	25.0	中"砂			0.28	9.6 "	弱	
	" D	28.1	細"砂			0.55	10.9 "	中	
東京都 台東区	別孔内	23.8	砂質	0.172	0.200	-0.28	0 吸収48時間		
		25.5	シルト混り 細砂	0.187	0.186	0.01	0 "		
千葉県 香取郡	単一孔内	9.3	砂質	1.15	0.87	0.28	29.4 吸収60時間	強	
		13.8	シルト混り 砂質	2.11	1.28	0.83	67.3 "	強	
		15.8	"	1.53	0.96	0.57	39.6 "	強	
東京都 練馬区	別孔内	29.2	粘土混り 砂礫	0.57	0.31	0.26	0 吸収40時間		
		29.0	シルト混り 細砂	0.18	0.18	0.00	0 "		
		29.0	"	0.12	0.12	0.00	0 "		
		28.3	礫混り細砂	0.32	0.31	0.01	0 吸収48時間		
		32.3	シルト混り 細砂	0.28	0.12	0.16	4.5 "	弱	
		32.1	粘土混り 砂礫	0.62	0.42	0.20	19.4 "	中	
東京都 練馬区	単一孔内	20.0	中砂	0.16	0.23	-0.07	0 吸収48時間		
		22.3	粘土混り 砂礫	0.19	0.25	-0.06	0 "		

3) 酸素吸収量の測定

測定装置の一例を図-4に示した。測定法はビュレット法であり、酸素の吸収量をビュレット内の水位の上昇分で読み取る。恒温槽は温度の変化による気体の体積変化を防ぐと同時に、吸収速度を大きくするため、試料ビンに30~40°Cに保持する。また気体の体積は圧力によっても変化が大きいので、測定中の気圧の変化の影響を補正する必要がある。測定結果は経過時間と酸素吸収量

との関係を整理し、飽和値を求めて最大吸収量とする。

吸収曲線の例を図-5に示した。この測定に使用した試料は表-2の千葉県香取郡の試料と一致する。この図は吸収速度も示しているが、前述したように、吸収反応はガス-固体の不均一反応であり、試料中への酸素ガスの拡散速度が吸収反応速度の律速段階と考えられる。したがって試料の形状、緻密度が速度を決める重要なファクターとなるが、この試験ではこれらを一定にそろえる

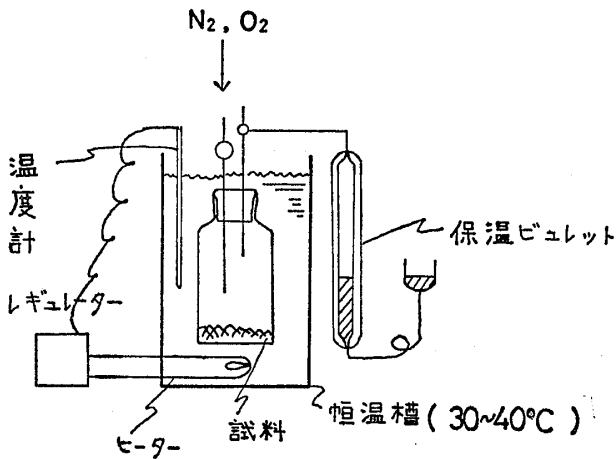


図-4 酸素吸収量測定装置
Fig. 4 Measuring apparatus for oxygen absorption of soil

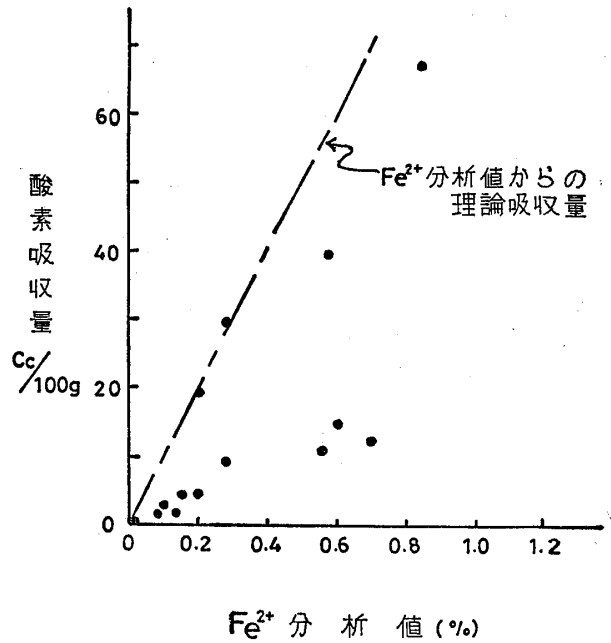


図-6 Fe²⁺ 量と酸素吸収量の関係
Fig. 6 Relation between Fe²⁺ concentration in soil and oxygen absorption

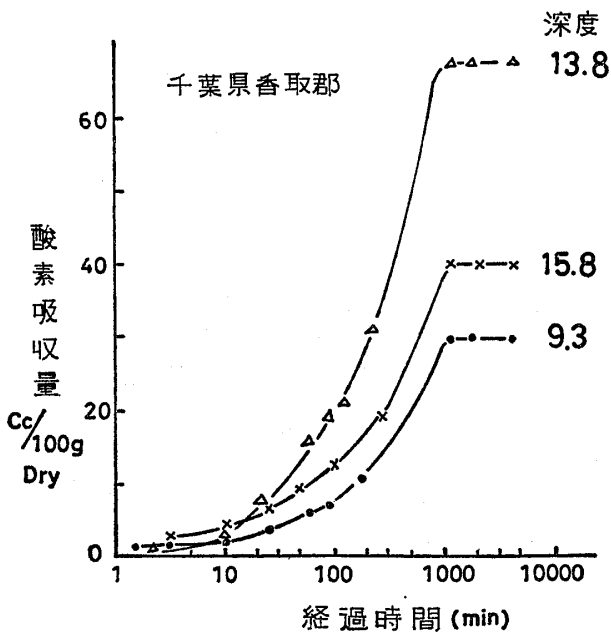


図-5 酸素吸収曲線
Fig. 5 Oxygen absorption ability of soil with time

ことが難しいので、曲線の勾配に大きな意味を持たせることはできない。

図-6は表-2に示した結果から分析値と酸素吸収量の相関をみたものである。これについては化学分析による予測2)で詳述した。

4) 室内試験用の試料の採取および調整

以上の試験は酸化還元電位、pH測定のように試料採取と同時に現地において行ない得るものもあるが、他は室内において行なわなければならない。また、酸化還元

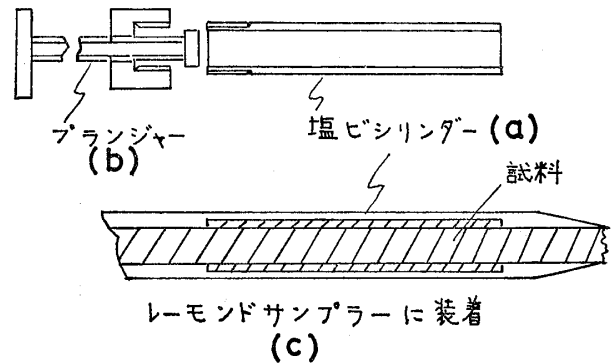


図-7 試料採取管
Fig. 7 Sampling apparatus

電位の測定も礫の混入がある場合は現地での測定が困難な場合が多い。したがって試料を、空気との接触を断って採取し、保存、調整を行なうことが必要となり、その方法の確立が試験にとって重要な意味を持つ。

また、この試験は工事前での酸欠の予測を目的とするので、試料の採取は地質調査同様ボーリングによることになる。また、ある程度の乱されない試料が望ましい。シンウォールチューブでの採取であれば充分この目的を達することが出来る。一方、標準貫入試験の時に図-7に示すようなレーモンドサンプラーによっても可能である。

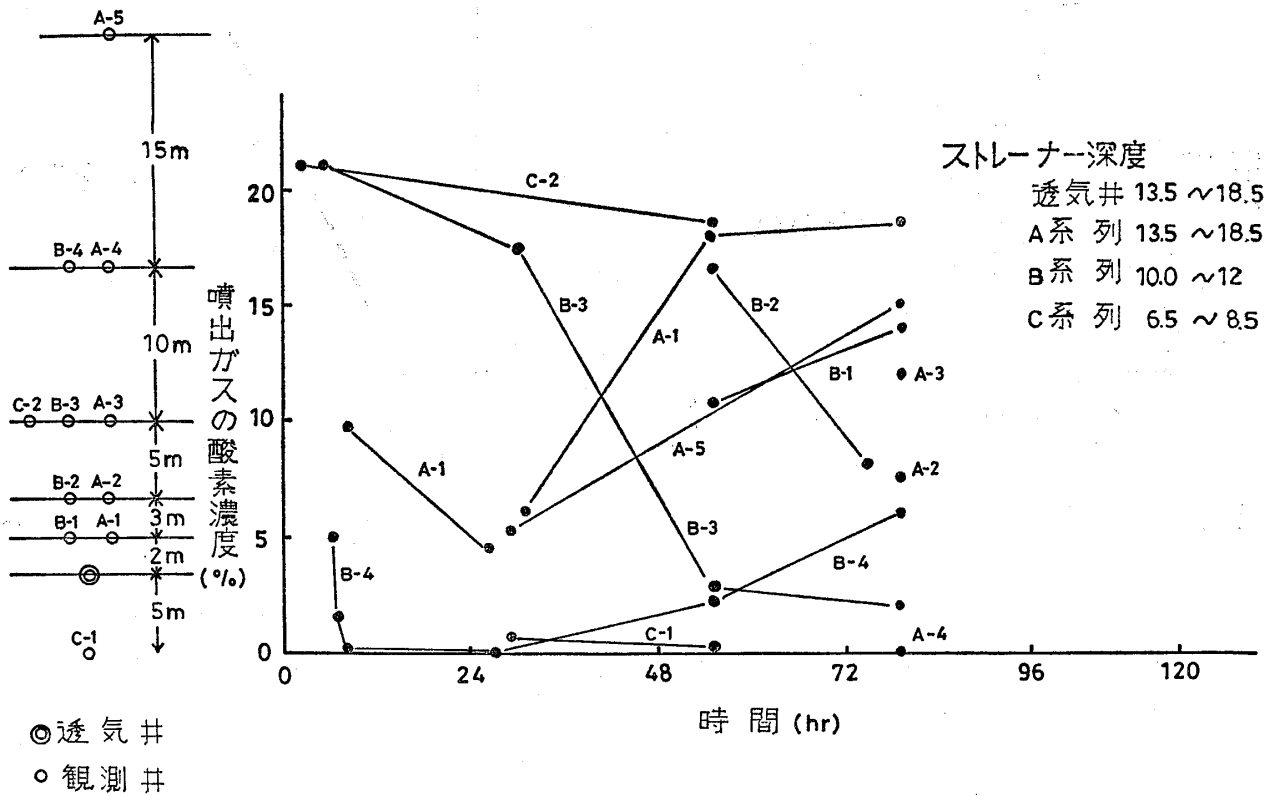


図-8 多孔式透気試験による酸素濃度の測定例
Fig. 8 Measurement of oxygen density by multihole air permeability test

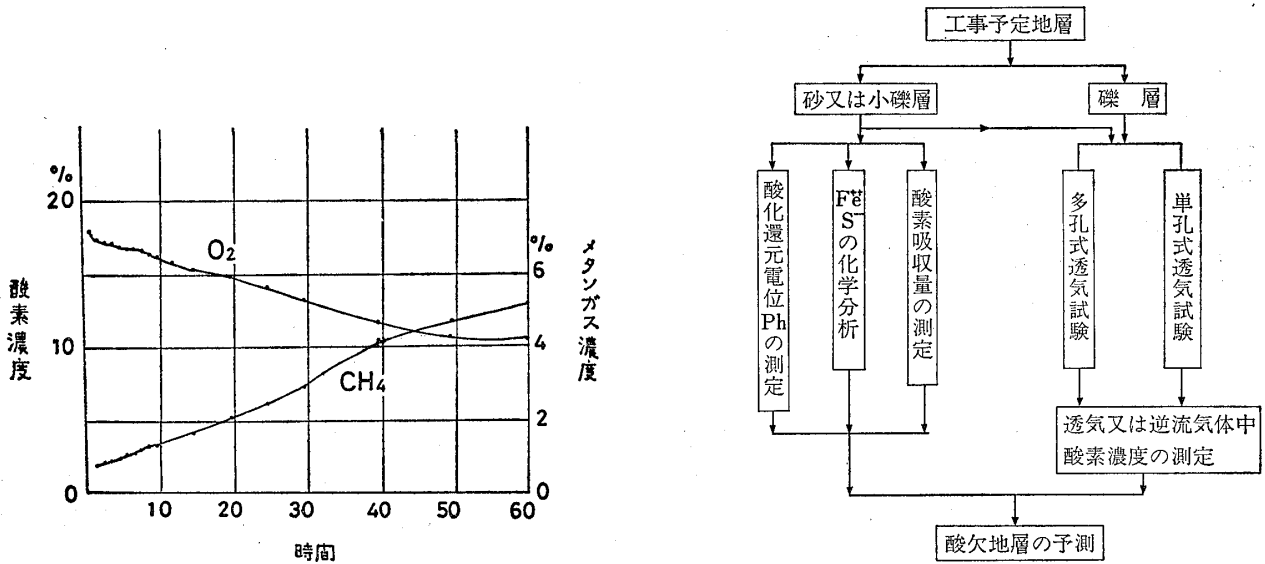


図-9 単孔式透気試験における酸素濃度測定例
Fig. 9 Measurement of oxygen density by single-hole air permeability test

図-10 予測調査法の流れ図
Fig. 10 Flow chart from preliminary survey

試料の保存はサンプラーを地上に回収後両端をパラフィンで封入し、できるだけ低温に保持することが望ましい (0°C 以下)。室内で試料とする場合は、シンウォー

ルサンプラーの場合は差しサンプラーにより、また、レーモンドサンプラーの場合は図中(b)に示すピストンを装着し所定量を押し出して試料とする。

3-2 ボーリング孔を利用した予測法

圧気シールド工事、潜函工事では地質調査と同時に単孔式あるいは多孔式の透気試験を行なうのが普通である。この試験を利用して酸欠調査を行なうことが可能である。また、今まで述べた判定法はサンプルによる比較的マイクロな判定であるが、この場合は透気した範囲のマクな酸欠の状態を判定することができる。また、サンプリングの困難な礫層についても判定が可能であるという利点がある。

1) 多孔式透気試験時の調査法

多孔式透気試験では圧縮送風した空気が地層と接触し、観測孔に湧出する際、そのガスの酸素濃度を測定することによって酸欠の予測をすることができる。

測定の一例を図-8に示した。この測定は約4日間にわたって行なったものであるが、測定、送気は昼間のみ行ない夜間は常圧にもどした測定であった。また、送気条件は一定圧で透気量が一定になった時に次の段階へ昇圧する方法を取り、4日目にゲージ圧2.0kg/cm²まで昇圧したものである。

各観測孔の酸素濃度をみると、その動きは種々様々であり、地層が均一であることを前提とすると理解出来ない動きを示している。したがって、透気は地下水を押し分けながら地層の間隙の大きな部分を選んで進むと解釈したが、しかし透気の動きのいかんにかかわらず酸素濃度がゼロに達する部分があり、かなり強い酸素吸収力を示す地層があることは確かである。この試験位置は表-2の東京練馬区として示したものであり、その分析結果ではFe²⁺ 0.84, 1.12%と高い値を示しており、酸素吸収力の大きいことを示し両者の結果はよく一致している。

2) 単孔式透気試験時の調査法

単孔式透気テストでは透気係数を求めるため送気を行なうが、その試験終了後、孔内に逆流して来るガス中の酸素濃度の測定を行なう。

図-9は群馬県内における潜函工事透気試験時の測定結果である。24.5mまで掘進した時点で24.0~24.5m間にストレーナーを設け、送気圧2.5kg/cm²まで透気後断気し、40ℓ/minの流速に一定に保持しながら、その逆流するガスの酸素濃度を測定したものである。同時に可燃性ガス(メタン)の測定も行なった。

約40ℓ/minと流速を一定に保持したのは、この数値に意味があるわけではなく、瞬間的な放出では酸素の測定と、その傾向の把握が困難になるためである。

酸素濃度は徐々に低下しており約50分で11% O₂となり平衡に達している。この平衡値は透気試験時に透気した範囲内の平均的な酸素濃度を示していると考えられ、

透気の侵入した最先端、または、局部的にはこれより低濃度の部分もあると考えられる。メタンガスは60分で5%を越えておりまだ上昇の傾向がある。酸欠と同時にメタンの湧出がみられることは酸素吸収物質として有機物が関与していることを意味しているものと思われる。

4 酸欠地層予測法の流れ

酸欠地層の予測法は室内試験と野外の現位置試験に分けられ、対象とする地層の制限もあって完全に定量的な予測というのは難しいが、今回提案した予測調査法を流れ図にまとめると図-10のようになる。

5 結言

酸欠事故防止にとって、工事着工前に工事地層が酸欠現象を起し得るかどうかが予測することは大きな意味があると考え、比較的容易に実施し得るものとして次の予測調査法を提案した。

- ①地層の酸化還元電位の測定による判定
- ②地層の化学分析による判定
- ③地層の酸素吸収量の測定による判定
- ④透気試験を利用した判定

これらの予測判定法には、それぞれ限界があり、完全な定量化には致っていないが、対象とする地層の地質条件に応じていくつかの方法を組合せて行なうことにより、ほぼ確実に酸欠地層かどうか、また、その強弱の判定が可能であると考えられる。

参考文献

- (1) 早瀬喜太郎(1957): 日本鉱業会誌 Vol. 73 No. 825 pp. 141~146
- (2) 鶴巻道二(1972): 施工技術 Vol. 5 No. 12 pp. 81~93
- (3) 鈴木芳美(1974): 圧気工法における地層の発熱現象 産業安全研究所技術資料
- (4) 地下酸欠空気研究会(1972): 地下水採取と酸欠空気の発生との関連に関する調査報告書
- (5) 千本弥三郎(1972): 土と基礎 Vol. 20 No. 5 pp. 51~59
- (6) 道田淳一(1971): 都市地下工事の進歩と問題点 土質工学会関西支部 p. 151~166

