

地中の還元状態の物質と地下掘削工事

酸素欠乏の発生機構

- 地下水位の低下・圧気工法 -

林 昭和30年代の後半のことですが、東京を始め大都市の地下建設現場では、酸素欠乏による事故が発生しました。そのとき私は、これらの事故の状態や発生のメカニズムを地球科学的な面から検討する仕事をしておりました。それで本日は、いままでのお話に関連のありそうな若干の問題をお話ししてみたいと思います。

酸素欠乏事故は、建設業、化学工業、食料品製造業、清掃業など多くの業種でおこなっていますが、最近ではその発生も少なく、特に建設現場での酸素欠乏事故は少なくなりました(図5・1参照)。そのため、一般の関心も薄れてきております。しかし、この事故は大変危険なものです。いうまでもなく人間は、酸素がなければ生きてはいけません。空気中には約21%の酸素がありますが、酸素濃度が低くなると、私たちは呼吸を早くしたり深くしたりして、酸素の摂取量を多くしようとします。ただこのような調節機能にも限度があり、その限度を超えると体内の酸素が不足して細胞内での代謝が円滑に行われなくなり、最後には死んでしまいます。特に脳細胞は多量の酸素を必要としますから、3分以上呼吸が止まっただけで脳細胞が破壊され、再生しません。ですから、酸素欠乏事故にあい、生命はとりとめたものの後遺症が残りに、植物人間となってしまった例さえあります。

ここで確認する意味で、空気の組成を表5・1に、酸素濃度低下の人体への影響を表5・2に示しておきます。酸素欠乏事故は、地下室、タ

ンク、暗きょ、トンネル、基礎坑など、換気の悪い場所で、酸素を吸収する物質または酸素濃度を下げる物質(例えば、メタン、窒素や炭酸ガスなどによる置換)が存在すれば、必ずおこります。マンホールの中に顔を入れたり、「たて坑」の中をのぞいたりして、酸素欠乏空気を1回呼吸しただけで、意識を失ない握力が低下し、たて坑やタンクの中に転落し窒息死する例が多くみられます。現在では、酸素欠乏防止規則で、空気中の酸素の濃度が18%未満である状態を酸素欠乏と定義しています。

地下建設工事現場での酸素欠乏事故は、昭和29年頃から発生し始め、昭和35~36年に非常に多くなり、昭和39年には建設工事現場だけではなく、ビルの地下室で一般の人々に被害がでるようになりました。この場合は、既設のビルの地下室にある揚水井戸から、酸素濃度5~10%位の酸欠空気が吹き出して事故がおこったわけです。しかし、何といても酸欠事故が多くおこったのは地下建設工事の現場です。東京の大きなビルや高速道路の橋脚の支持層は、東京砂礫層と呼ばれる洪積層の礫層です。東京の山の手台地では、この砂礫層は関東ローム層のすぐ下に分布していますが、都心部では沖積層の下位にあり、地表から10~20mの深さのところにあります。

だいたい土木工事というのは土と水との闘いなのです。地盤を深く掘ろうとすれば、地下水が湧出して掘るのを邪魔しますから、掘削深度に相当する高気圧をかけてその湧出を防ぎ、地下水の動きを封じながら掘削機を使って掘削していく。これがいわゆる圧気工法ですが、東京では、昭和32年に永田町付近の地下鉄工事にシ

ールド工法が採用されて以来、多くの工事にこの圧気工法が用いられてきました

先程申しましたように、東京砂礫層は構造物の支持層ですから、ビルを建てるにしても、高速道路を作るにしても、この砂礫層まで掘らなければなりません。東京砂礫層の上位には沖積の粘土質の不透水層があり、本来ならば東京砂礫層は地下水が豊富にある滞水層なのですが、当時は、多量に地下水を吸み上げていたので、地下水の水位や水圧が著しく低下しておりました。酸素欠乏事故は、この東京砂礫層でおこったのです。図5・2と5・3は東京砂礫層と東京の酸素欠乏事故発生現場の分布との関係を示したものです。

まず、初期の頃に東京の都心部でおきた事故の例をお話しします。高速道路の橋脚の基礎工事では、潜函工法で、地表または川底から沖積層を掘り下げていきます。沖積層は、粘土質で不透水層ですから間隙水があり、潜函の加圧された空気は逃げ場はありません。しかし潜函の刃口が沖積の粘土層を貫通して東京砂礫層に達すると、図5・4に示すように、地下水のなくなった砂礫層中に、潜函工法で加圧されていた空気が漏れてしまうのです。それで、潜函内の理論気圧がたもてなくなる。高速道路の橋脚の工事ですから、50m間隔位で何本もの潜函がたつわけです。そうしますと、そのなかには掘削中の潜函もあれば、砂礫層まで掘り終えて、送気を止めている潜函もある。酸素欠乏空気が噴出して事故をおこしたのは、このような減圧したり、圧力をかけていない潜函なのです。

それで、これを実験的に確かめてみようというわけで、約70mはなれた位置に潜函工法とウエ

図5・1 - 年別酸素欠乏症発生状況
<労働衛生のしおり(昭和58年度)より>

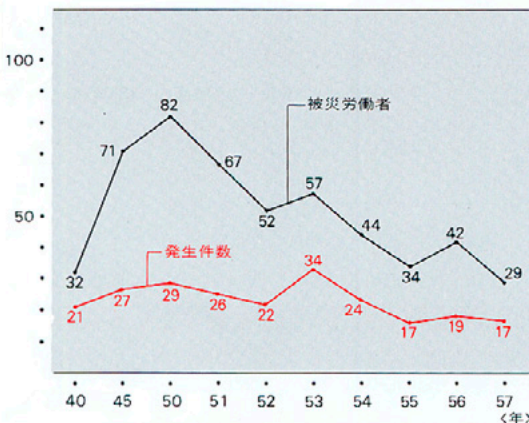


表5・1 - 空気の組成

成分	体積百分比 (%)
酸素 (O ₂)	20.93
窒素 (N ₂)	78.10
アルゴン (Ar)	0.9325
炭酸ガス (CO ₂)	0.03
ネオン (Ne)	0.0018
ヘリウム (He)	0.0005
クリプトン (Kr)	0.0001
キセノン (Xe)	0.000009

表5・2 - 酸素濃度低下の人体への影響 (Henderson & Haggardの分類)

吸気		動脈血中		動脈血の酸素飽和度 (%)	症状
酸素濃度 (%)	酸素分圧 (mmHg)	酸素分圧 (mmHg)			
16~12	120~90	60~45	89~85	脈拍、呼吸数の増加、精神集中に努力がいる。こまかい筋作業がうまくゆかない、頭痛	
14~9	106~68	55~46	87~74	判断力がにぶる、発揚状態、不安定な精神状態、刺傷などを感じない、酩酊状態、当時の記憶なし、体温上昇、チアノーゼ	
10~6	76~45	40~20	74~33	意識不明、中枢神経障害、けいれん、チアノーゼ	
10~6の持続またはそれ以下	45以下	20以下	33以下	昏睡→呼吸線後→呼吸停止→6~8分後心臓停止	

ル工法とで同時に掘り、両者の基礎を砂礫層に達しさせておきました。そうしますと、次の3つのことがわかりました。

潜函基礎の間に圧力の差があるとき、潜函基礎内に圧入した空気は、砂礫層を通過して低圧側の潜函基礎内に噴出し、低圧側潜函基礎内では酸素欠乏を起しやす。

長期間にわたり継続して送気し、2つの潜函の間の砂礫層が完全に酸化されると、低圧側潜函基礎内に噴出してくる空気の酸素濃度は低下しない。しかし送気をやめ、しばらくしてから送気を再開すると、酸素欠乏空気が噴出する。

砂礫層に到達した潜函基礎に継続して加圧した状態から、送気をやめると、ある時間たつと潜函基礎内が酸素欠乏になる。

こうした実験をふまえて事故の事例を調べてみますと、地下建設現場での酸素欠乏事故発生のメカニズムは、図5・5に示すような4つの型があることがわかりました。第1番目は、砂礫層からの湧水がないので、加圧をやめると潜函内の圧力がさがり、砂礫層中に圧入された空気が潜函内に逆流してくるケース。

2番目は、いまお話ししました砂礫層を通過して低圧側の潜函に酸素欠乏空気が噴出する。砂礫層の中を通り抜け、貫流するケースです。

3番目は、例えばシールド工法で地下鉄工事を行なった場所を、電話工事などでもう1度掘る時に、酸素欠乏空気が噴出するケースです。これは地下鉄工事の時に砂礫層中に圧入された空気が、そのまま地層の中に埋没されている。そこは滞水層ではなくて滞気層になっていて空気がたまっている。そこを電話工事でもう1度掘るから酸素欠乏の空気がでてくるわけです。

図5-4 - 酸素欠乏垂気の砂礫層での貫流

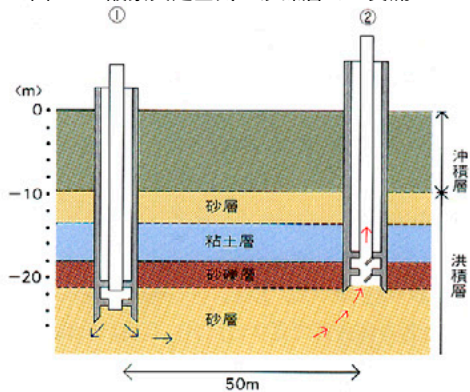


図5-2 - 酸素欠乏事故発生場所の分布

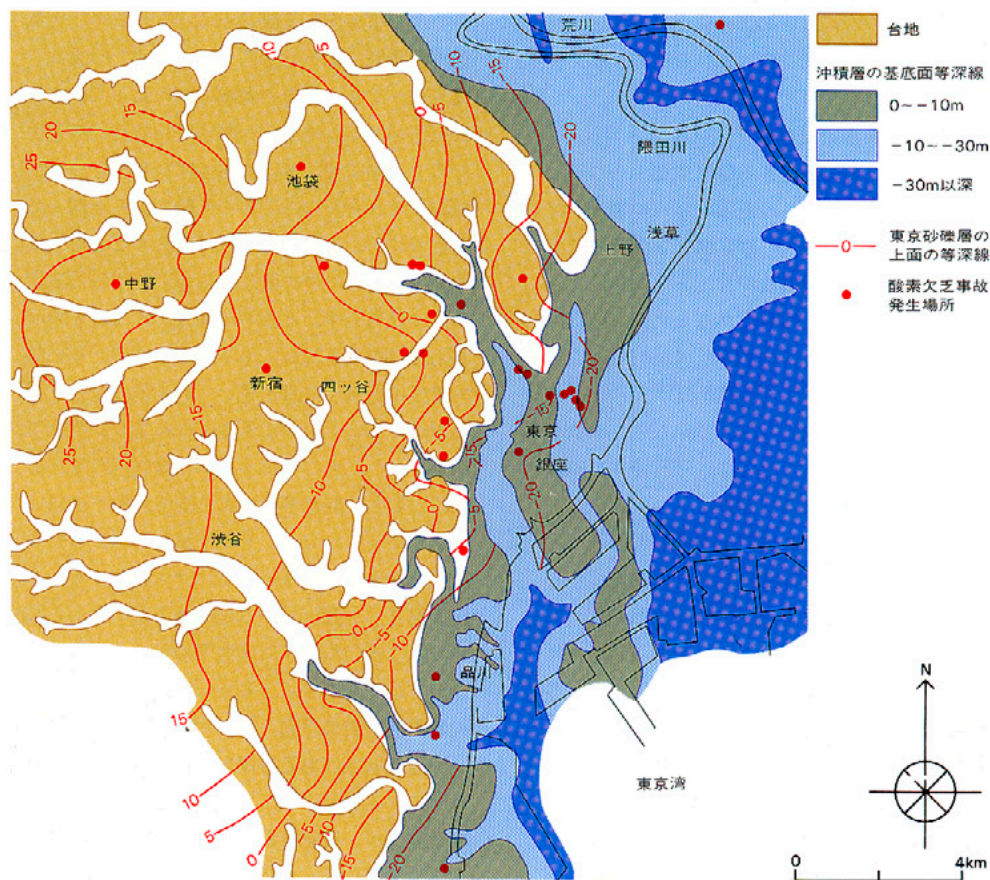


図5-3 - 東京下町の酸素欠乏事故発生現場と地質との関係

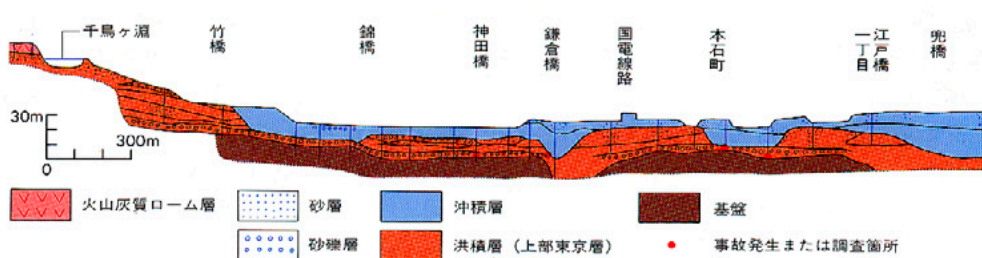
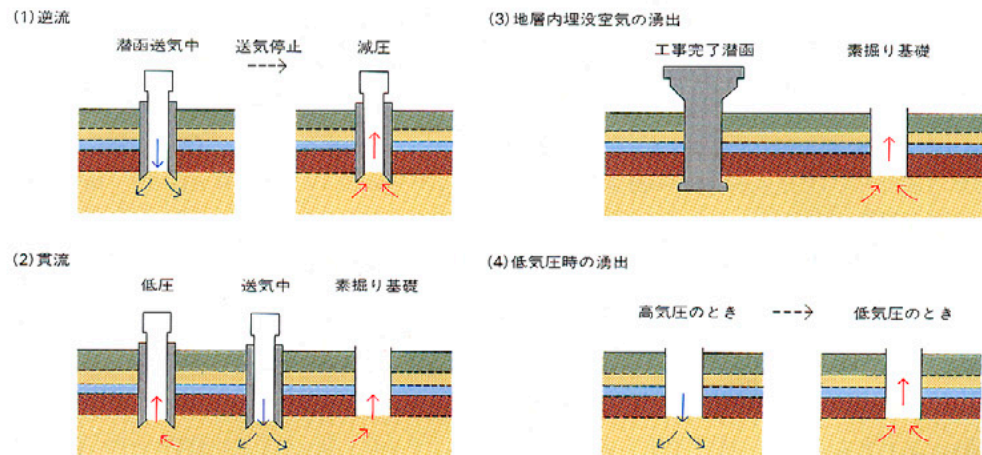


図5-5 - 基礎坑内酸素欠乏の発生のしくみ



最後は、高気圧の時に砂礫層の中に入った空気が、低気圧の時に酸素欠乏空気となって出てくるとい現象です。このケースを次に少しくわしくお話しします。

砂礫層の呼吸現象

- 低気圧と共に噴出する酸欠空気 -

酸素欠乏事故がおこった既設のビルの地下室に現場検証に行ったさい、酸素濃度を測定しても21%あるので、何故事故がおこったのか、よくわからないことがしばしばありました。ただ以前、硫黄鉱山が盛んに採掘されていた頃に、低気圧が通過すると、岩石の割れ目に入っていた空気が酸素欠乏空気となって湧出して、事故をおこした事例があったのです。それで東京の地下でも、このようなことがおこるのではないかと考え、低気圧と酸欠空気との関係を調べてみたのです。東京砂礫層は、本来は滞水層ですから、以前からビル用水のため井戸が掘られストレーナーが沢山あります。これを縦の穴とすれば、地下鉄、電話、下水道などの圧気工法が各所で行われていますから、横の穴もいたるところに走っている。いうならば東京砂礫層は、縦横十文字に穴があいていることになりす。

しかも、地下水の多量の揚水のために、広域にわたって地下水位が低下しているので、砂礫層の含水率は大へん小さくなっている。そうしたところへ、圧気工法により大量の空気を送り込むわけですから、東京砂礫層は、滞水層から滞気層にかわってしまっています。しかも、縦横十文字に穴があいている。ですから、こちらから押せば、あちらから酸素欠乏空気が噴出するという具合で、大気圧との関係を調べるためには、圧気工事の影響のない日を選ばないと本当のところはわかりません。

そこで東京の虎の門実業会館の地下室にある深井戸をお借りして、年末から年始にかけて測定したのです。図5・6がその結果で、これは昭和46年12月28日から47年1月10日までの測定結果です。当時、虎の門付近では、東京駅の地下駅から品川へ向って地表から30mの深さのところを横須賀線の工事が行われていました。それで、この影響をできるだけ少なくしようと考えて正月休みを選んだわけです。

そうしますと、約2週間の間に低気圧が2回通過し、それに伴って酸素欠乏空気が2回噴出しました。高気圧のときには砂礫層の中に空気が吸い込まれます。噴出量の最大値は1分間に

156、吸込量の最大値は1分間に75です。そして、噴き出しと吸込みのパターンは、大気圧の変動のパターンと同じなんです。つまり、高気圧がくると空気が地層の中に入っていき、低気圧がくると地層から酸素欠乏空気が噴き出してくるのです。測定のとときに流量計と一緒に酸素メーターをつけておいて酸素濃度を測ったわけですが、そうしますと、当然のことですが、地表から地層の中に吸込まれていく空気の酸素濃度は21%です。ところが低気圧になると地層から空気が噴き出してくるわけですが、その酸素濃度は低気圧の日が続いている限りはどんどん下がっていく。図にみるように7.5%まで下がりました。ところがそれが、高気圧に変わると、一転して酸素濃度21%の空気が地下に吸い込まれていくのです。そこで私たちは、この現象を砂礫層の呼吸作用と名付けました。ビルの揚水用井戸が残っているのは地下室ですから、雨の降り続いたときには地下のトイレには行かない方が安全です。(笑)

酸素欠乏空気の原因

- 還元状態にある砂礫層とその酸化 -

以上述べてきたように、東京の都心部での酸素欠乏事故は、東京砂礫層が関係しています。では、砂礫層に入った空気が、どうして酸素欠乏空気に変身して出てくるのか。これを知るためには、地下に広がる地層の堆積環境、地層中の鉄鉱物、地下水の性質などを総合的に調べる必要があります。

東京砂礫層の上位にある沖積層からは、さきほどから話額になっているピビアナイト、藍鉄鉱〔 $Fe^{2+}_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ 〕が、埋没した葦の髄の中からしばしばできます。この鉱物は、元来無色なのですが、空気に触れると Fe^{2+} の一部が酸化して Fe^{3+} となり青～青緑色に変色します。地中に無色透明な状態で藍鉄鉱が存在するということは、鉄が Fe^{2+} の状態であることを意味します。また、採集直後の沖積層のボーリング・コアの酸化還元電位(Eh)を測定すると、-100～-200mVを示し還元性です。地下鉄工事現場で掘削中の洪積層の青色シルトのEhも-100mV、五反田附近の高速道路の橋脚基礎工事現場で測定した東京砂礫層のEhは、じつに-350mVでした。このように地下の地層は、沖積層、洪積層ともに還元状態にあることがわかりました。

地下水がなくなった東京砂礫層の砂礫の表面は、

褐色の皮膜に覆われていますが、地下水を多く含む東京砂礫層の色は、掘削直後では青緑色をしています。これが空気に触れると礫の表面に褐色の水酸化第二鉄〔 $Fe(OH)_3$ 〕の皮膜が付着してきます。この砂礫のトータル Fe_2O_3 (酸化第二鉄)は9.14%、塩酸で溶ける鉄分は4.68%でした。砂礫中の鉄分全体の約半分が塩酸に容易にとける鉄なのです。この可溶性鉄分の大部分は、砂礫の表面についている水酸化第二鉄〔 $Fe(OH)_3$ 〕なのです。

東京砂礫層の中に含まれている地下水の化学分析もやりました。地下水に溶けている2価の鉄(Fe^{2+})の量は、山の手台地でも下町でも、東京砂礫層のものは、その上位や下位の地層のものに比べて桁違いに多いのです。昔、井戸を使っていたとき、井戸の蛇口に木綿の袋をつけていましたが、しばらく使っていると、その袋に黄褐色の水垢がついてきます。これは水に溶けていた Fe^{2+} が白い水酸化第一鉄〔 $Fe(OH)_2$ 〕となり、それが空気に触れて黄褐色の水酸化第二鉄〔 $Fe(OH)_3$ 〕になって、袋に水垢として付着したわけです。

この変化は、空気が充分にある地表でおこるので、酸素が消費されても酸素欠乏にはなりません。しかし還元状態にある地層中に、圧気工法で人工的に空気を圧入したり、高気圧のときに地中に吸い込まれていく場合には、空気の量は地表と違って全く補充のきかないごく限られた量でしかありません。それで、還元性の地層に入った空気中の酸素が消費されるというか、食われてしまうのです。こうして、還元性の地層で地下水のなくなったところでは、酸欠空気が充満することになります。

ですから東京砂礫層の場合には、酸素をくうのは地層中に含まれる Fe^{2+} が主役なんです。もちろん沖積層や洪積層中には、間隙水以外にも有機物や土壌コロイドや不安定な塩類があり、酸素と結合しやすいものもありますから、このような物質も一役かっていることは間違いありませんが、しかし主役は Fe^{2+} と考えてよいかと思えます。

東京砂礫層の砂礫をふるいでふるって、大きな岩石の礫を除いて、粒度が20～80メッシュの間の鉱物を顕微鏡で見ましたが、石英、長石、角閃石とそれらの風化物が多く、鉄鉱物としては磁鉄鉱(Fe_3O_4)と菱鉄鉱($FeCO_3$)が見られましたが、黄鉄鉱(FeS_2)や磁硫鉄鉱($Fe_{1-x}S$)

のような鉄の硫化物はありませんでした。

このように、東京での酸素欠乏事故の遠因には、広範囲にわたる地下水位の低下があります。そして、地下滞水層が地下滞気層に変わってしまったところで、酸素欠乏をひきおこす主役となる物質は、還元状態にある地層中の間隙水に含まれている2価の鉄イオン(Fe²⁺)ということになります。

海成粘土層と圧気工法

- 高熱化現象と硫酸の湧出 -

では、地下の地層に硫化鉄がある場合には、地下工事にともなってどのような現象がおこるか。じつは、その典型的なケースが、昭和42年から43年にかけて大阪でおこっているのです。

東京の酸素欠乏事故の発生地点は、地下水の低下地域が西の方に広がるにつれて、新宿や池袋でおこるようになりましたが、そのような時に東京で全く経験しなかった事件が、大阪の地下鉄堺筋線のシールド工事でありました。それは、掘削の切羽の発熱、地下工事をやっている場所の上の歩道に30位の蒸気が噴出し、シールド内部の圧気用パイプが地下水により腐食してしまうという事件です。その時の地下水のpHは、2.4という強酸性です。

その地下鉄工事の場所は図5・7に示すとおりで、ここは昔の松坂屋があったところです。日本橋3丁目から恵美須町に向って工事が進められていました。ここは上町台地のすぐ近くで、上町、天満から千里丘陵に向って南北性の隆起軸があるので、基底面が盛り上がっています。そのため断面図にあるように大阪層群上部の地層が地表下5m位の浅い所に顔を出しています。そこに砂層に挟まれて海成粘土層があります。こうした海成粘土層のところ、つまり、さきほどの市原先生のお話にありましたようにパイライト(黄鉄鉱)のような硫化物をたくさん含んだ粘土層の真ん中を、シールド工法で大量の空気を送り込んで掘り進んだ。ですから、これは東京の都心の場合と大分様子が違います。昭和42年の11月初の気温が20位のときに、図のE地点では80以上、Jの地点でも80近くまで温度が上がり、蒸気が噴き出してきて大変な騒ぎになりました。そのときのシールド工法の送気の圧力は0.4kg/cm²と記録されています。各地点の温度の変化は図5・8のとおりです。その年は年内いっぱい工事が続けられ、正月休みをはさんで翌昭和43年の1月5日から工事が

図5・6 - 地下酸欠空気の噴出と井戸の呼吸作用一東京虎の門の例

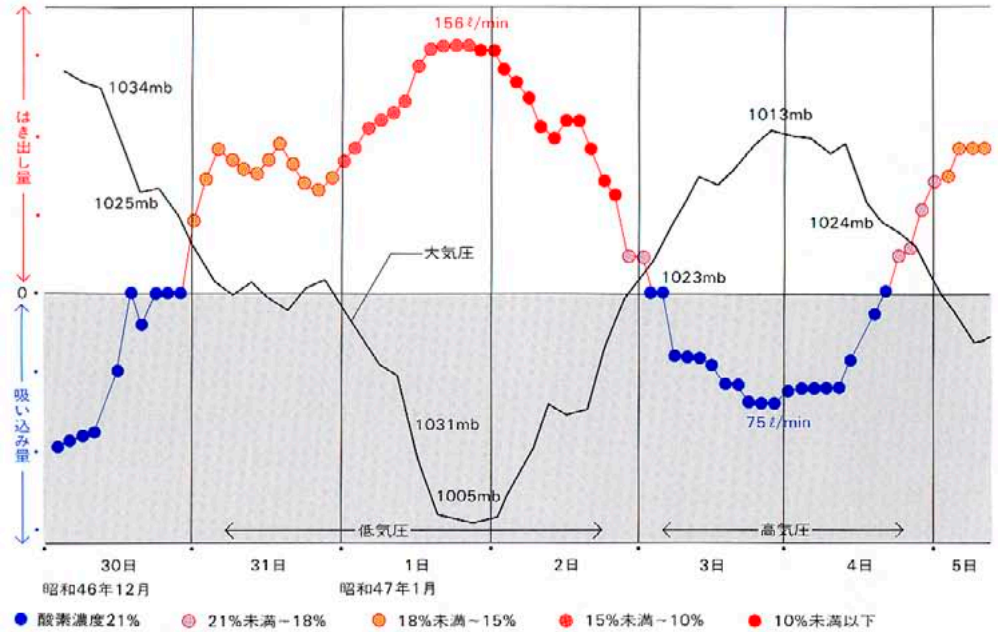


図5・7 - 大阪日本橋地区シールド工事

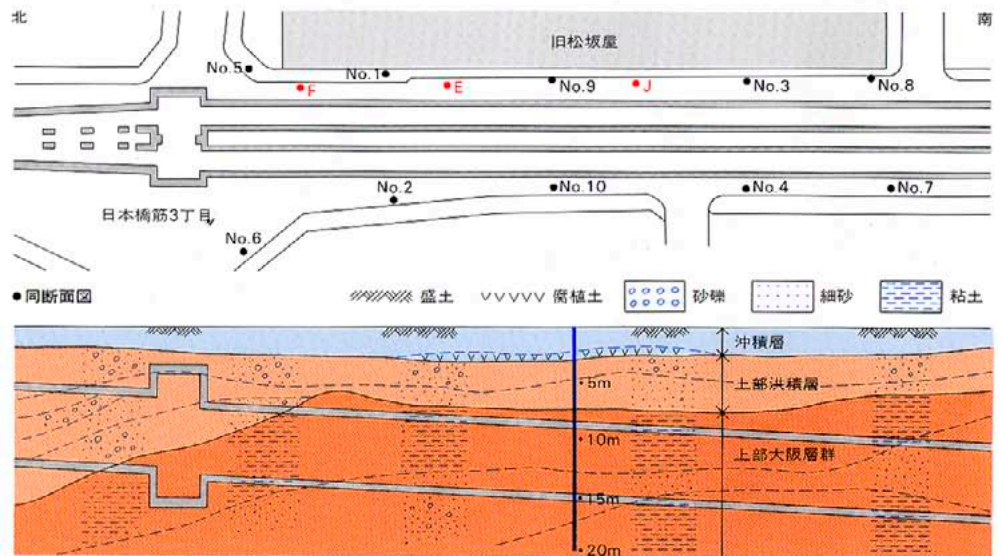


図5・8 - シールド工事における噴気の温度変化

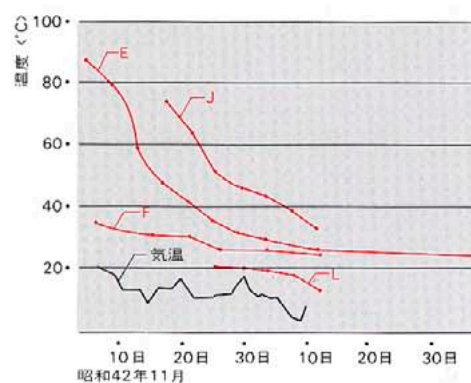


表5・3 - 大阪市日本橋シールド地点分析表

ボーリング地点	No.1 55リング	No.9 83リング	No.4 110リング	No.7 140リング
深さの範囲	G.L. -6.0-7.5	4.5-6.5	3.5-6.0	3.5-6.0
土の種類	細砂、粗砂 及びシルト	細砂	砂礫及び 細砂	砂礫及び 細砂
温度(°C)	26-29	16-20	28-30	20-21
pH	2.4-2.8	2.8-3.6	2.8-5.2	3.8-6.9
EH(mV)	425-530	305-400	347-422	320-400
S ²⁻ (mg/100g)	-	330	330-370	1210- 2640
SO ₄ ²⁻ (mg/mg)	232-306	356-400	316-300	23-41
測定日	昭和43年2月30日-43年4月20日			

〈注〉 温度は切羽の土の温度を示す

再開されました。そうしますと、今度は、内部のシールドの圧気用パイプが地下水によって腐食され、そこから漏気しているのが発見されました。そのときの地下水のpHをはかると2.4の強酸性を示し、硫酸イオン(SO₄²⁻)は25,900ppmという驚くべき値を示しました。

同じ年の1月末には、この日本橋シールド(日本橋-恵美須町)から北へ約2km離れた船場シールド(堺筋本町-長堀橋間)で、送気圧0.4kg/cm²で掘削したときに、砂利層が47になり、その近くの地下水のpHは3.5、硫酸イオンが5,600ppmもありました。

さきほどのお話しでは、大阪層群の海成粘土に含まれている黄鉄鉱が地表面で風化されると硫酸を生じ、それが、岩石のなかのカルシウムと結合して石膏ができます。これは自然現象で、長い年月の間のおだやかな酸化により硫酸が形成されるわけです。ところが、いま私がお話ししました日本橋シールドでの発熱現象と強酸性の地下水の形成は、大阪層群の海成粘土に含まれている黄鉄鉱が、圧気工法により人工的に大量の空気が送り込まれた結果、急激に酸化させら

れ、発熱現象をとめないながら硫酸ができ、圧気用パイプを腐食させたのです。

発熱現象と酸素欠乏空気の同時発生さて、その後東京の地下建設工事現場での酸素欠乏事故は、都心部からどんどん西の方に移動してきました。中央線の中野駅近くのビルの建設のときには建設業者の人は、東京砂礫層は危険な地層であることをすでに承知していました。そこで、深礎坑を東京砂礫層にうつときは、酸素濃度を測定するなど十分注意して工事をしたので事故はおこりませんでした。しかし、地下2階の集水槽で事故がおきました。このときの悪役は、東京砂礫層の上位にある武蔵野礫層と呼ばれる段丘砂礫層なのです。このように、酸素をくうのは東京砂礫層だけではないのです。還元状態にある地層では、条件さえ整えば、酸素欠乏事故は何処でも発生するわけです。ただ東京では、大阪のような発熱現象は、その頃までは全くありませんでした。

ところがその後大分たってから、圧気工法に伴う発熱現象、強酸性の地下水の生成を東京で経験することになったのです。しかもこの場合に

は、酸素欠乏空気の発生というおまけつきでした。それは、昭和51年のことで、私はすでに秋田に移っていたのですが、東京の建設業の人から、酸素欠乏の心配がある上に発熱現象があるという電話が入ったのです。場所は東京の西郊の府中で、東京競馬場の近くです。図5・9が、そのときの工事の断面図で、この図は土木の人が描いたものです。図の右上方に立川ローム層と立川礫層があり、一段下がった段丘の上に青柳ローム層と青柳礫層があります。そして、これらの礫層の下位に上総層群が分布しています。この上総層群というのは、大阪層群と地質時代を同じくする関東の地層で、東京でも多摩丘陵の近くになれば、地表近くに分布しています。この図では、ボーリングで採取した土の色が示してあり、土が青い色をしているところは青色の斜線、土が茶っぽい色をしているところは黄色の斜線で示してあります。大ざっぱに言えば、青色は還元帯、茶色が酸化帯に区別できます。工事は中央高速道路の方から甲州街道の方に向かって進められました。図の下には、何番目のリング数に当たるかという数字と、掘削した距離

図 5-9 - 府中市寿町シールド工事断面

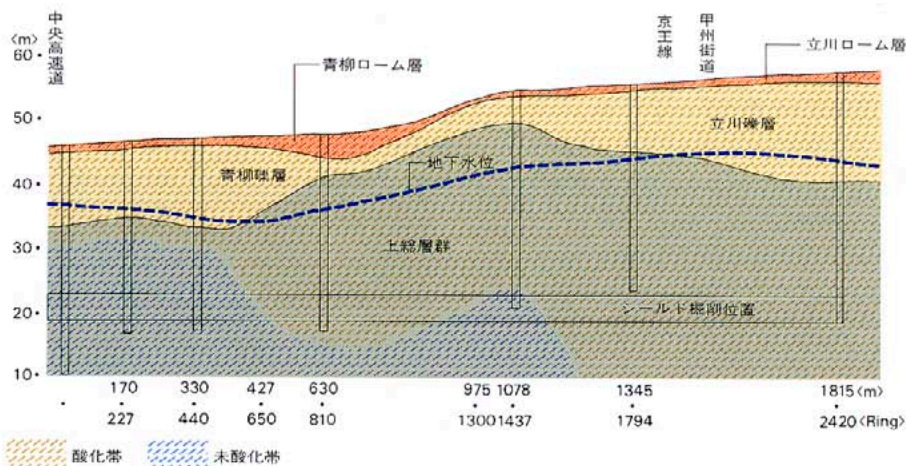


表 5-4 - シールド工事中の酸素濃度と温度

9月15日	仮掘進開始 (80Ring, 圧気1.20kg/m ²)
10月27日	立坑内断気: 酸素濃度15%
10月28日	漏気部内: 酸素濃度10%
11月21日	本掘進開始 (圧気1.20kg/m ²) 外気: 13.2°C 立坑下: 13.5°C ロック外: 14.2°C ロック内(加圧時): 30.1°C 坑内: 32.0°C 切羽: 32.0°C

図 5-10 - 湧出地下水の pH と温度の変化

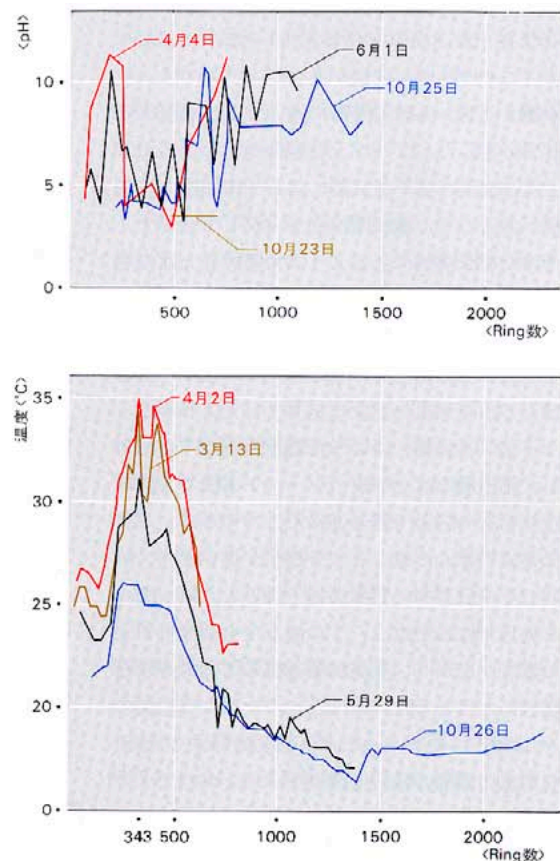


表 5-5 - 掘削中の湧出地下水の性質

採取位置 Ring	pH	酸化還元電位(mV)	全硫化物 ppm	硫酸イオン ppm
観測坑 (立坑際)	7.0	+200	2.0以下	45.0
20	2.0	+438	2.0以下	7.5×10 ³
115	2.7	+380	1.0以下	1.11×10 ⁴
1382	6.9	+170	1.0以下	62.0

が示されています。

9月中旬に送気圧 1.20kg/cm²で仮掘進を始め、10月末に縦坑内の送気を止めたところ、酸素濃度が下がり15%になりました。そして11月下旬に送気圧1.20kg/cm²で本掘進を始めたのですが、今度は坑内の温度が高くなった。それで換気を行なった後に温度を測定しましたが、外気温13.2 で、切羽では32.0 もありました。しかもセグメントの間からは、酸素欠乏空気(10%)が漏れてくるという状態です(表5・4)。

図5・10は、工事期間中のシールド内の温度と、地下水のpHを測定したものです。3月から4月にかけて、227~440のリング付近で一番温度が高く、最高温度で35 でした。5月以後は徐々に下がっていきました。地下水の方は余り変化はしていません。酸性のところは最後まで酸性のままでした。

上総層群の鉱物を 線回折装置で調べると、粘土鉱物の他に、長石、石英、角閃石と黄鉄鉱がありました。セグメントの間から漏れている地下水の中の沈澱物は、石英と赤鉄鉱(Fe₂O₃)でした。

私がおの現場に行きました頃は、強酸性になった地下水のために、セグメントを止めておくボルトが1週間で腐食してしまうし、送気している間はよいのですが、送気を止めると酸素欠乏空気(10~15%)が逆流してくるというひどい有様なんです。それで、どうしようかと相談を受けたのですが、施工前の段階ならば考え方もいろいろとありますが、この段階では、どうしようもないのです。そこで、周りに井戸があるかどうか調べて下さい。酸素欠乏空気は井戸を抜け道としてシュウツと出てくるから、その付近だけ注意して、掘進の方は送気を続けていくより仕方がないといって、結局は掘ってしまいました。そのときの全硫化物や硫酸イオンの量などは、表5・5の通りです。ここでも、発熱現象に硫酸酸性の地下水が伴っています。この硫酸酸性の地下水は、上総層群の続成作用で形成されたに間違いありません。

東京はその後、地下水の規制をやりまして、今では東京砂礫層に地下水がもどってきましたので、最近の5年間では地下建設工事による酸素欠乏事故はなくなりました。また第一次産業から第三次産業まで広範囲にわたって発生する酸素欠乏事故も、さきの図5・1で示したように

減少しています。最近では、むしろ清掃業などの有機物の腐敗による硫化水素の発生による事故が多くなってきました。この酸素欠乏症と硫化水素中毒の防止のために、昭和57年春に労働安全衛生法施行令と酸素欠乏症防止規則の一部が改正されて、新しく硫化水素の問題が規則に入ることになりました。

丘陵地の造成と硫酸塩

編集 地下の工事がいまのお話しのようであれば、丘陵地の造成 たとえば千里丘陵の場合などで問題が生じたことはなかったんですか。市原(実) 千里丘陵では、万博会場をつくるとき、切りとり斜面は最初60度とか70度の傾斜で造成されました。そうしましたら数ヶ月のうちに、それらの多くが崩壊してしまいました。それでももう一度、斜面を緩やかな傾斜にして作り直しておりました。さきにもいいましたように、海成の粘土は粉々に崩れるので、その崩壊堆積斜面は45度ぐらいの傾斜で安定するんです。自然の露頭でも、海成粘土の崖はだいたい45度ですが、淡水成粘土の崖は、垂直に切りたっています。

編集 そうすると、海成粘土の宅地造成というのは、大分問題がありそうですね

市原(実) 海成粘土の宅地造成というのは、問題がいっぱいあります。造成業者が、丘陵地帯の海成粘土層のところを切りとり斜面をつくる時に、土地をできるだけ広く利用できるように、垂直に近い崖をつくるわけですね。そして、そこに家を建てる。そうすると、建ててから後の崖が崩れて家がつぶれる。そういう例を、私は地質調査中によくみました。

ほかにもいろいろとあります。造成による海成粘土の風化のために、硫酸をいっぱい含んだ水が流れこんで、稲が全部枯れてしまったとか、あるいは養魚場の魚が全部死んでしまったという例もあります。

造成業者が礫まじりの砂地だと思って造成を引き受けて、いざ仕事にかかってみたら粘土ばかり、それも海成粘土ばかりだった。そうすると、ブルドーザーなどの機械の消耗がすごくはげしい。ショベルの刃先はさびつくし、タイヤなども普通の半分ももたない。それで造成業者が、「大損しました。こういうところの工事を引き受けるときは、普通よりも余っぼどうけいもらわなかったら合わへん」と言って、私にこぼすんです(笑)。数えあげたらもう限りがない

ほどいろんなことがあります。庭に木を植えても芝を植えても、枯れてしまいますね。

編集 造成しない前は、こうしたところでも緑があり、人が住んでいたこともあるでしょう。市原(実) それは、現在の丘陵地は、形成されてからもう何百年いや何万年もたっていますから、一般に、表層では土壌化作用がすすみ、海成粘土も完全に風化しきっています。だから表層の土壌はおとなしいいい土壌になっているわけです。それを掘り返したり、削り取ったりして、還元状態にあるところを出すから、いろいろ問題がいっぺんに出てくるんです。

編集 造成というのは、シールドの圧気工法ほどではないにしても、いっぺんに人工的に風化させるわけだからやはり強烈なんですね。これは、さきほどのお話で、地下の海成粘土をボーリング・コアで揚げたときは何もなくて、少したつと硫酸カルシウムがでてくるというのと同じ理屈ですね。

市原(優) そのとおりです。地下の海成粘土は硫黄をたくさん含んでいます。ただその硫黄が硫酸塩でないというだけです。造成すれば、それがみな硫酸塩になります。

編集 時間が大分すぎたので、この辺で終りたいと思います。本日は、長時間にわたり大変に有りがとうございました。