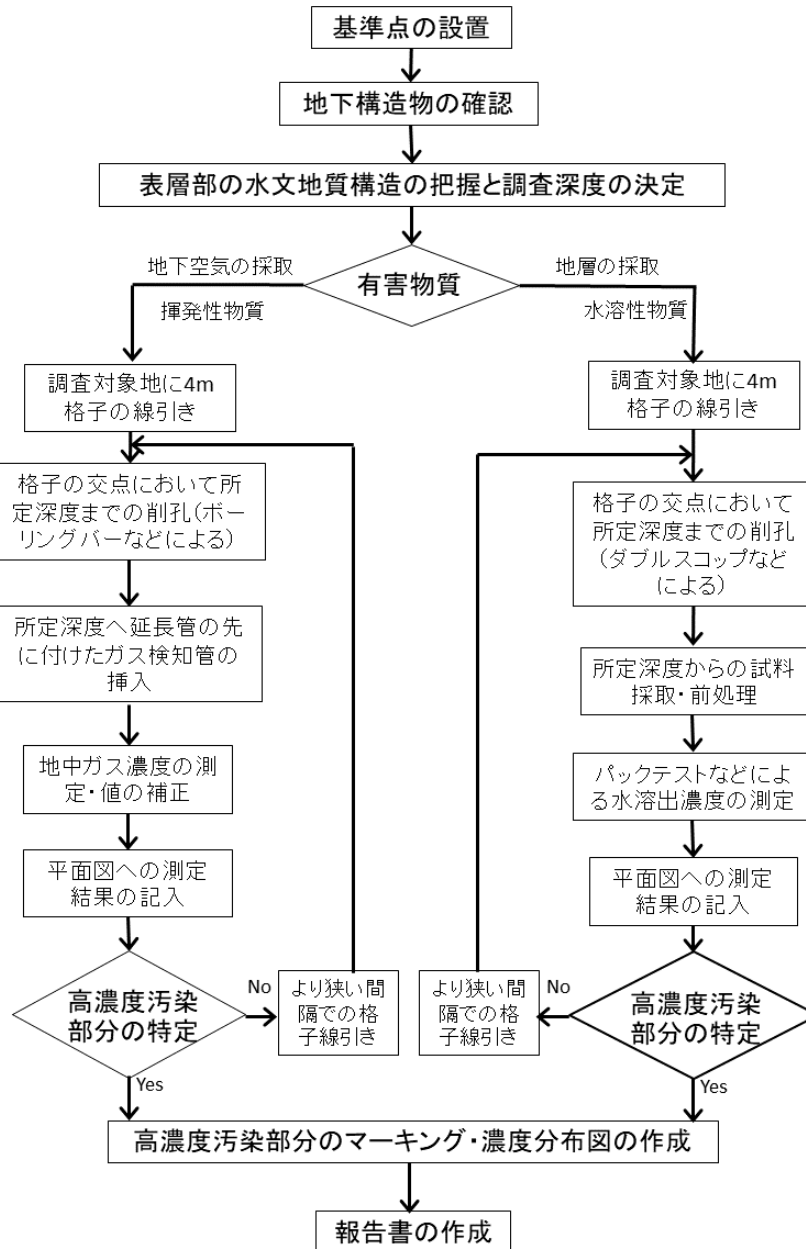


## Ⅱ-2 表層汚染（地下空気汚染）調査

### 1 目的

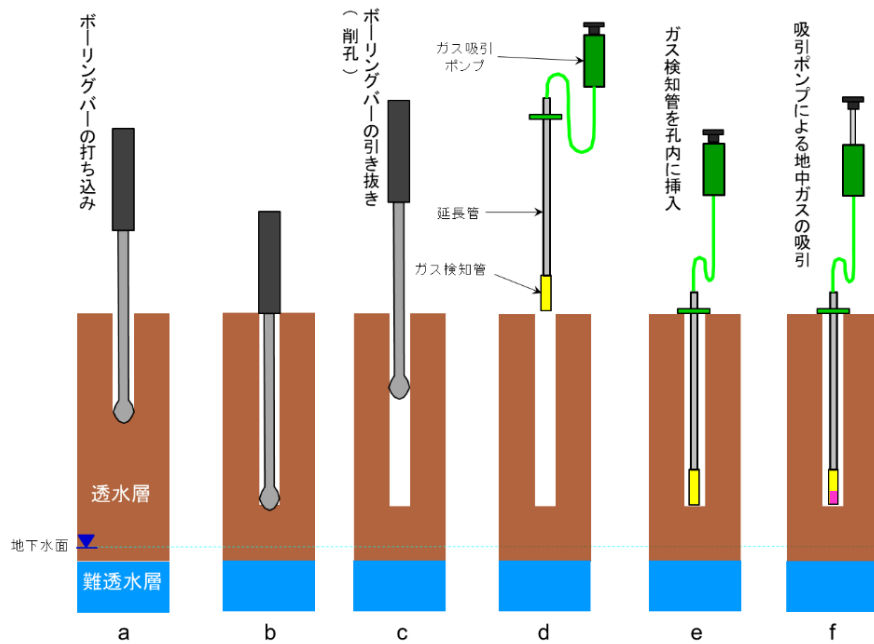
表層部分の汚染状況を調べ、有害物質の地下への入口を特定する。



図Ⅱ-2 地下空気・表層汚染調査の手順

### 2 調査の概要

調査の手順の概要を図Ⅱ-2に示す。まず調査対象地となった敷地内に基準点を設置し、調査対象地内の埋設物を確認し、これが無い場所で調査を行う。過去も含めた有害物質の取扱い場所を中心に、表層部分（一般に深度1m以浅）において、平面方向の有害物質の濃度分布を現地にて測定する。有害物質の濃度測定は、迅速（数分程度）に行なうことができ、高濃度汚染位置を高分解能で特定することが重要となる。高濃度汚染部分はほとんどの場合桁外れに高いので、精密な値を測定することよりも、調査地点を多くし平面的な高濃度汚染位置の分解能を上げることが重要である。



図II-3 棒突き法<sup>17)</sup>による表層地下空気汚染調査の手順 (文献17)・20)・21)を参考に作図)

a～cで孔を開け、d～fでガス検知管により地下空気汚染濃度を測定する。

具体的には有害物質取扱い場所を中心に、4m 格子を設定し、その交点で汚染濃度を調べる。この中で相対的に濃度が高い部分については、格子の中間点等で追加調査を行い、高濃度汚染位置を特定していく。

汚染物質が揮発性物質の場合は、その物質が揮発した地下空気中のガス濃度を調べる。この際、地層の透水性によって調査の格子間隔は変わる。汚染物質が TCE や PCE の場合、10cm 側方へずれると 1 桁以上、1m 側方へずれると 2 桁以上濃度が異なることがしばしばある<sup>17)・18)</sup>。地下空気のガス濃度を調べるにはその汚染物質用のガス検知管を利用して測定を行う。これまで千葉県内で扱った例としては、トリクロロエチレン (TCE)、トリクロロエタン、テトラクロロエチレン (PCE)、ジクロロエチレン、ジクロロエタン、トルエン、キシレン、ベンゼン、ガソリンなどがある。

汚染物質が水溶性の場合は、一定量の地層試料を瓶に入れ、一定量の純水を加え、手で瓶を振とうし、水溶出させ、その上澄み液をパックテストなどで濃度測定を行う。県内で扱った例としては、六価クロム、セレン、鉛、硝酸などがある。また、汚染物質が酸やアルカリなどの溶液に溶かして使用した廃液の漏洩による場合は、一定量の地層試料を瓶に入れ、一定量の純水を加えて、手で瓶を振とうし、その溶液の pH を調べることも有効な手段である。

汚染物質が不揮発性かつ不溶性の固体粒子の場合は、蛍光 X 線分析装置などによりその濃度を調べる。また、汚染物質の性質に合わせて磁力計・金属探知機などを活用できることもある。

汚染物質が主原料の不純物として混入している場合は主原料による汚染濃度を調べることで、汚染源を特定できることがある。

以上のように、有害物質の性質や取扱い状況に応じて、簡便・迅速に対象物質を測定できる方法を現地で考案し、高濃度汚染位置を高分解能で特定することが重要である。その際、工場において有害物質の取扱いの際の検査や労務管理に使用している機材を利用したものが現地調査の有効なモニター手段となることも多い。

以上の調査で高濃度汚染部分が見付かった場合は、現地にマーキングを行う。また、調査結果は報告書にまとめる。

なお、調査の過程で発生した有害物質は、法令等の基準を踏まえ適切に処理しなければならない。

### 3 調査の手順 基準点の設置

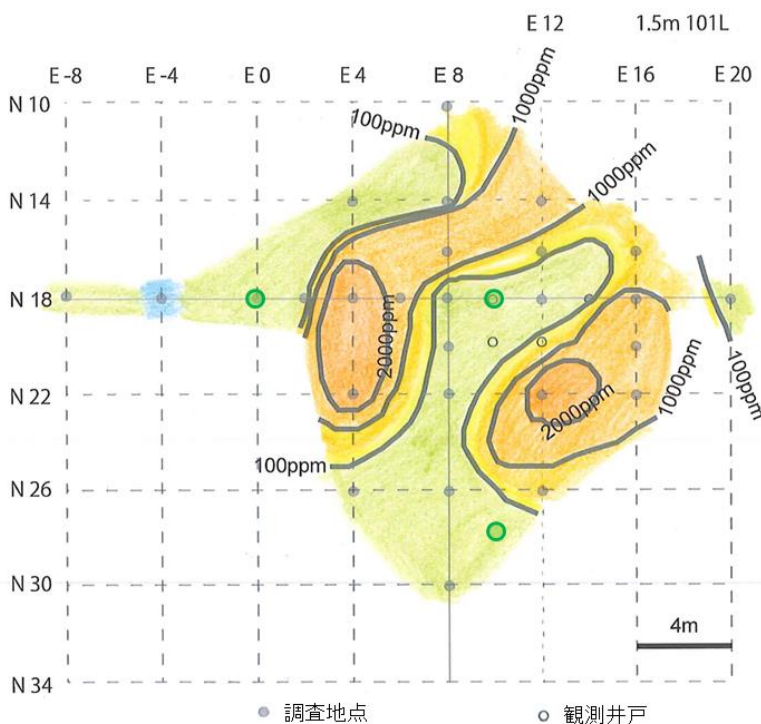


図II-4 表層汚染調査で使用する道具



図II-5 ガスの簡易測定を行うための用具

ガス検知管は、測定対象のガス用の検知管を使用する。ガスを測定する際は、ガス検知管の両端を検知管カッターで折りガス検知管内をガスが通過できるようにし、吸引ポンプの右先端の孔にガス検知管を差し込み、左のT字型のハンドルを引くことで、ガス検知管内に測定すべきガスを通過させ、ガス検知管内の物質と反応させ、ガス検知管の目盛りを読み取ることで測定値を得る。T字型のハンドルは、一般に1ストローク引くことになるが、半分の長さで引く機能も付いている。



図II-6 下総台地における関東ローム層内での地下空気汚染調査結果の平面図の例<sup>19)</sup>

最初に緑丸の点にて地下空気汚染濃度を測定したが、高濃度の汚染が見つからなかった。そこで、4m 格子の交点にて地下空気汚染濃度をガス検知管により測定した。この中で濃度の横方向への変化が大きな所では、2m 間隔の測定点を追加し、高濃度汚染部分を特定できた。

まず、調査地において、基準点を 10m 以上離れた場所に 2 点設置する。これは、調査地点の位置を特定する上で必要な点である。全体の調査の中で、再度同じ地点の異なる種類の有害物質濃度分布を調べたり、地層汚染調査地点の正確な場所を特定する際に、この基準点はしばしば利用される。一方で、事業所内では工事が行われることもあるため、この基準点は亡失することがないように、できる限りその可能性の低い場所に設置する必要がある。

### 地下構造物の確認と表層部の水文地質構造の把握及び調査深度の決定

有害物質取扱い場所に近く、濃い汚染が想定されない場所において、深さ 1m 程度をダブルスコップなどで掘削し、地下構造物の有無や水文地質構造及び地下水の有無を確認する。可能ならば、深さ約 1m、幅約 1m、長さ約 2m 程度のトレンチを掘削し、透水層・難透水層の深度を把握するといった水文地質構造や地下水面の有無を確認する。もしもボーリングバーの一般的な長さである 0.85m 以浅に地下水面が存在する場合や、難透水層を突き抜けてしまう場合は、地下水面や難透水層の上面よりも浅い深度において調査を行う。

調査を委託する場合は、調査深度を委託業者と確認する。

### 揮発性物質の表層汚染調査方法

揮発性物質の表層汚染調査は、表層の地中ガスの濃度を測定する。有害物質取扱い場所の表層部の地層の透水性が関東ローム層程度の場合は、調査地全体の地表に 4m 格子の線をライン引きやテープなどで描く。表層部の地層の透水性が関東ローム層よりも低い場合は、最初の格子間隔を 4m よりも狭くする。

地中ガス濃度の測定の手順は以下のとおりである（図 II-3）<sup>17)・20)・21)</sup>。

①描いた格子の交点において、ボーリングバー（図 II-4）などにより、0.85m の深さの孔をあける（図 II-3 の a~c）。この際、孔内に地下水が無いことを確認する。孔内に地下水が見られた場合は、地下水面よりも上でガスを吸引する。ボーリングバーには一般的な長さの 0.85m 以外に、長さ 1.5m のものもあり、より深部のガスを測定する場合もある。また、さらに深い深度のガスを調べる必要がある場合は、斜面調査用簡易貫入試験機などのコーン貫入試験機で削孔する。ただし、その場合、事前に水文地質構造が明らかとなっており、難透水層を貫通しないことを確かめておく必要がある。事前に表層部の水文地質構造が分かっている場合は、透水性の良い深度や汚染物質の濃集しやすい難透水層の直上の深度においてガス濃度を測定する場合もある。

②対象物質のガス検知管を用意し、このガス検知管を延長管（図 II-4）の先端に取り付け（図 II-3 の d）、所定の深度まで降ろし（図 II-3 の e）、ガス吸引ポンプ（図 II-4）により地中ガスを吸引しその濃度を測定する（図 II-3 の f）。ガス検知管の種類ごとに、測定に当たっての注意や補正係数が説明書に書かれており、この注意書きを考慮し作業を行う。多くのガス検知管は吸引回数が 1 ストロークであるが、測定ガスの濃度に応じて吸引回数を変えることで測定レンジが広く設定されているガス検知管もある。このようなガス検知管では、濃度が濃い場合は吸引を 1 ストロークではなく、1/2 ストロークにする。濃度が薄い場合は 2~5 ストロークなどと増やす。この吸引回数についてはガス検知管の種類によって有効範囲があるので、あらかじめ使用するガス検知管の説明書で確認する。ガスの種類によっては、濃度測定範囲の異なるシリーズがそろっている場合もある。

調査を委託する場合は、これら手順を業者と確認する。

複合汚染現場では、ガス検知管の反応に支障を来す妨害物質を含む場合があり、ガス検知管の先に妨害物質除去フィルターを付けることで測定できる場合がある。調査を委託する場合は、その手順を業者と確認する。ガス検知管の中には数種類のガスに反応するものもあり、これを使用し高濃度部分を明らかにすることで、汚染源を特定した場合もある（図 II-6）。ただし、その場合、高濃度部分の複数点では現場用ガスクロマトグラフィーなどで測定し、ガスの種類とガス濃度及びガス検知管での読み値を比較することが汚染状況の把握にとって重要となる。

③記録項目としては、測定位置（メッシュの線に A、B、C や 1、2、3 などの名称をあらかじめつけておく）、吸引深度、ガス検知管の種類、ガス検知管の製造番号、吸引回数、測定濃度、孔の中の温度、温度補正係数、吸引回数補正係数、補正濃度値、その他（ガス検知管の発色異常などを記述）である。

④4m 格子の交点での調査が終わったら、補正濃度値を平面図上に記入する。これを見て濃度が比較的高い部分があれば、その部分において 2m や 1m 格子の線を追加し、その交点でガス濃度を測定し、高濃度部分を絞り込んでいく。

図 II-6 は、高濃度部分を絞り込んだ例である<sup>19)</sup>。10m メッシュでの表層ガス調査では高濃度汚染部分が特定で

きなかったため、まず 4m メッシュの交点においてガス検知管を用いて地中ガス濃度を測定した後、2m メッシュの交点でも測定を行った。これにより、1000ppm を超える高濃度部分の範囲を絞り込むことができた。この汚染現場はベンゼン・トルエン・キシレンなどの比重の低い揮発性物質とトリクロロエチレンやトリクロロエタンなどの比重の高い揮発性物質とによる複合汚染現場で、単独の種類のガス検知管ではうまく発色しなかった。このため、さまざまな揮発性ガスに反応するガソリン用ガス検知管を使用し、高濃度部分を明らかにした。この後ガスクロマトグラフィーにより、ガスの種類を同定するとともに、それらの濃度を定量し、除去対策方法を検討した。

⑤地下空気汚染状況は、汚染源付近での地層汚染調査により地下水の不飽和帯や難透水層の深度が明らかになった後、必要な深度・平面位置において追加し、三次元での高濃度汚染状況を把握する（P.28 のトピック 2 参照）。このことは効果的な浄化方法の検討上重要となる。

なお、対象物質が既存のでは測定できない場合でも、その主原料や不純物などのガス濃度測定により、対象物質の高濃度汚染部分を特定できることがしばしばある。県内で扱った例としては、ガソリンスタンド跡地においてベンゼンを含む地下水が発見された際には、ベンゼンを含むガソリンの漏洩が考えられ、ガソリン用ガス検知管にて高濃度汚染部分を高分解能で特定することができ、対策する体積を極力少なくすることができ、効率的な対策となった。

### 水溶性物質の表層汚染調査方法

汚染地下水は、降雨などの水が地層中にしみ込み、汚染物質に触れ、透水層中へと流動していくことによって生まれる。このため揮発しにくい水溶性の物質はパックテストなどを利用し、水溶出濃度を測定する。

①有害物質取扱い場所の表層部の地層の透水性が関東ローム層程度の場合は、この場所全体が入るように、地表に 4m 格子の線をライン引きやテープなどで描く。

②描いた格子の交点にて、地層試料を 20g 採取する。試料の採取に当たり、採取深度は表層部分の土地造成状況を考慮し決める。例えば、有害物質を過去に取り扱っていた場所が 30cm 程度盛土されている場所を調べるのであれば、盛土された 30cm と、盛土の際にブルドーザーなどの重機により元の地表が乱されることを考慮し、汚染物質が残っている可能性の高い深度 40cm から試料を採取する。盛土などされていない場所であれば、表層から試料を採取する。

③採取した地層試料は、プラスチックあるいはゴムの手袋をはめた手ですりつぶし、メジューム瓶に入れ、P.36 の図 II-19 の C のように純水を加えて 200ml とし、瓶を振とうし、上澄み液をパックテストにて濃度を測定する。上澄み液が濁っている場合は、パックテストの色見本との比較が困難となるため、遠心分離やろ過により濁りを除いてから測定する。

濃度が低い場合は、加える水の量を減らし測定する。

④記録する項目としては、測定位置（メッシュの線に A、B、C や 1、2、3 などの名称をあらかじめつけておく）、パックテストの種類、パックテストの製造番号、試料重量、添加した純水の量、測定濃度、その他（パックテストの発色異常などを記述）である。

⑤平面図に測定した濃度を記入する。必要に応じて間隔を狭めたメッシュを地上に引き、間隔を狭めた地点で地層試料を採取し濃度測定を行い、高濃度部分を特定する。

調査を業者に委託する場合は、これら手順を委託業者と確認する。

対象物質を測定できる既存のパックテストがない場合は、対象物質とともに移流する主原料や不純物などを測定対象としたり、pH や EC を測定するなど、現地で迅速に測定する方法を工夫し、対象物質の高濃度部分を特定する。この場合の県内での調査事例としては以下のとおりである。メッキ工場内において環境基準を大きく超える鉛などの重金属を含む地下水が見つかった。このため、メッキ液の廃水経路に沿って、2m 間隔又は管のつなぎ目部分で、農地の土壌検査用の検土杖により深度 0.5m、1.5m から地層試料を採取し、水溶出させた検液の pH を測定した。その結果、ほとんどの場所では pH6~8 であったのに対し、pH2~4 の部分が見つかり、ここが漏洩地点であると特定し、オールコアボーリングによる地層汚染調査を行い、汚染の 3 次元分布を明らかにし、除去対策を迅速に進めた。

### 高濃度汚染部分のマーキング・濃度分布図の作成

表層汚染調査で高濃度部分が特定できた際には、地層汚染調査のためのボーリングや浄化対策を的確に行う

ことができるように、現地にカラー鋲や杭などによる目印を付ける<sup>2)</sup>。また、調査地点は、1/500 程度の平面図として、周囲の構造物や調査の基準点（2 点以上）とともに記録し、濃度分布を書き入れる。近隣に高压電線の鉄塔や水準点など移設されにくいものがある場合は、追加調査が必要になることも考慮し、それらも平面図上に記録し、調査地点が 10cm の誤差内で復元できるようにする。基準点については、GPS 測量で緯度・経度を求めておくと、仮に基準点が亡失となっても調査位置の復元は、ある程度可能となる。

#### **報告書の作成**

報告書は、調査位置、調査手順、測定方法などについて述べ、測定結果の表や濃度分布図を付け調査結果をまとめる。

## トピック 1 汚染源での深部までの地下空気汚染調査の事例

図 T-1 は下総台地上でのベンゼン、トルエン、TCE、PCE、ジクロロエチレンなどの揮発性有機溶剤による複合汚染現場の汚染源付近における地下空気汚染調査結果の事例<sup>19)</sup>である。対象とした地層は透気性が比較的高い関東ローム層である。ここでは、深度 5.5m 以深に難透水層が挟まれていることがあらかじめわかっているので、調査深度は 5m までとした。このような複合汚染現場では、ベンゼンや TCE などのガス検知管は、妨害ガスの混入のため検知が困難である。このため、様々な揮発性物質に反応するガソリン用ガス検知管を使用して濃度分布を調べた。その結果、深度 2.5~3.5m 付近の一部に高濃度の汚染があることがわかった。そこで、この高濃度部分に地下空気を流動させる装置を設置し、浄化対策を行った。

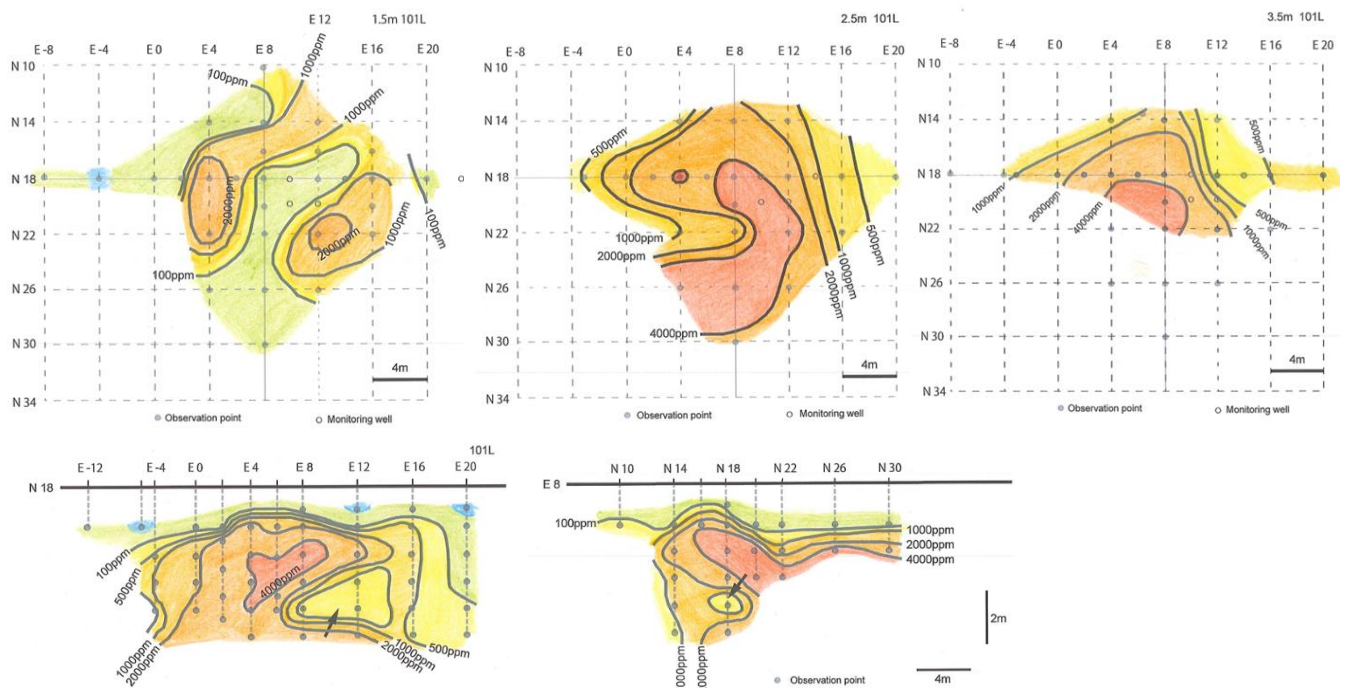


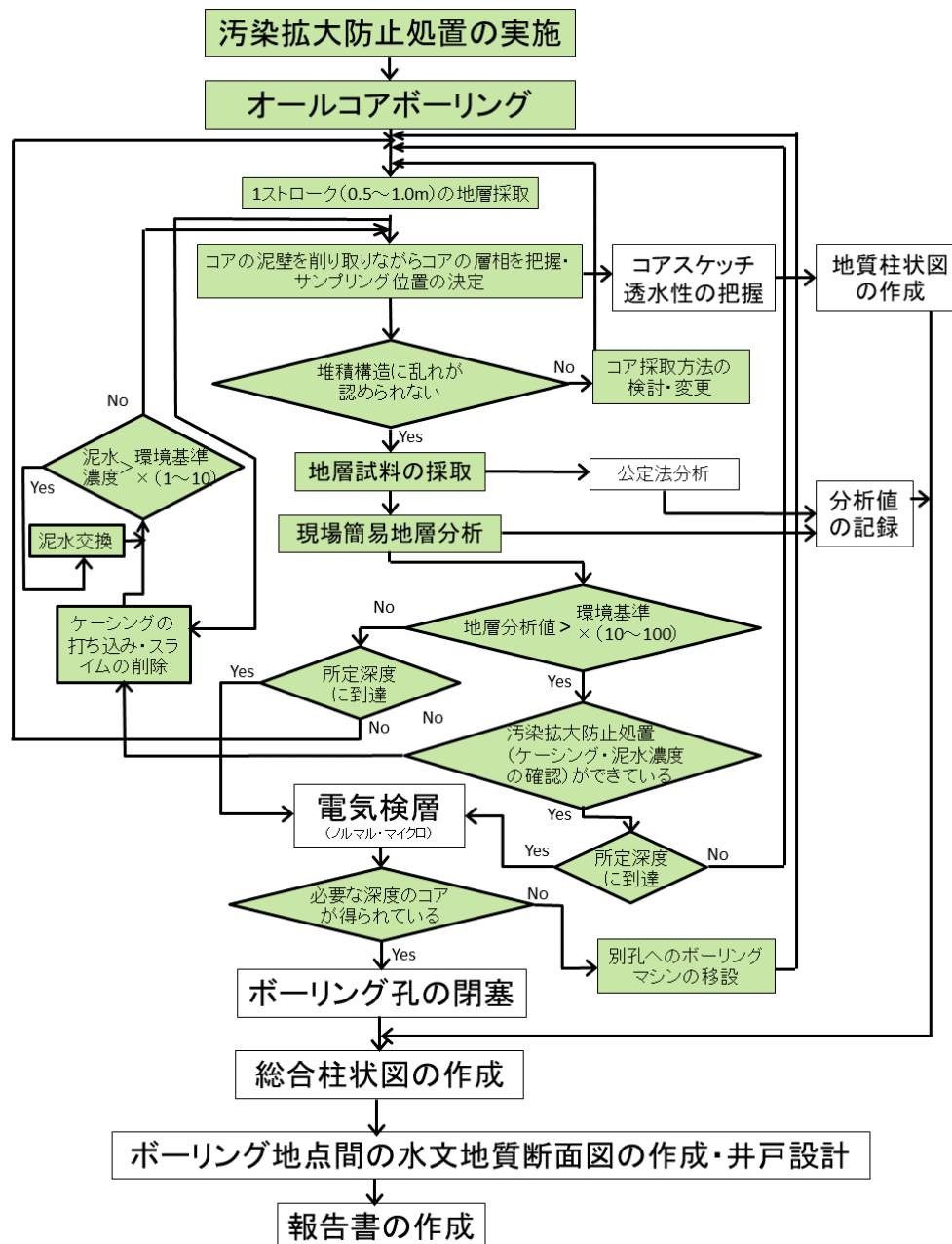
図 T-1 深度別の地下空気汚染調査の例<sup>19)</sup>

深度 1.5m、2.5m、3.5m において、平面方向に 4m あるいは 2m メッシュの交点でガソリン用ガス検知管 (101L) を用い、地中ガス濃度を測定した。上段の 3 つは、深度別の平面方向のガス濃度分布。下段の 2 つは、濃度の高い付近の断面方向のガス濃度分布状況。

## II-3 地層汚染調査

### 1 目的

地層汚染調査地点ごとに、地層の透水性の精査と汚染濃度の深度分布を明らかにし、調査地点間の透水層の連続性を明らかにし、詳細な水文地質構造や汚染の移流状況を把握する。また、この結果を踏まえ、地下水観測井設置のための設計を行う。



図II-7 地層汚染調査の手順 (黄緑色の着色部分はオールコアボーリングに関する項目)

### 2 調査の概要

調査地点については、P.20 を参考に決める。掘削深度は、汚染が見られる最も深部の透水層よりも一層下の透水層の基底までとする。調査の手順の概要を図II-7 に示す。まず、ボーリング作業時に地表から地中に汚染を染み込ませないため、P.43 の図 C-7 のように汚染移流予防対策を施す。次に、調査地点においてオールコアボーリ



ングにより乱れのごく少ないコアを採取し、コアの表面に付着した泥水を削り取り、地層の粒径や植物化石などの包含物といった層の特徴（以下「層相」という。）を確認し、地層の粒径が大きく変わる地層境界付近などから地層試料を採取し、地層汚染濃度の分析を行う。

オールコアボーリングは、一般に1ストローク（コアサンプラーによる1回の地層採取（P42-43参照））で深度1mごとにコアを採取する。この調査では、どの深度に汚染があるのかがわからないので、汚染を深部へ移流させないようにボーリングを進める必要がある。このため、1ストロークのコア採取後はすぐにコア採取深度までケーシングを打ち込み、ケーシング内の掘り屑を除去する。この際、循環泥水を使っている時は泥水の汚染濃度を確認する。循環泥水に汚染が認められたら、新たな泥水と交換する。また、コアの採取後は速やかに地層試料を採取し、現地にてすぐに簡易分析を行い、高濃度の汚染の有無を確認する。このため、コアの採取の際はコアパッキング用のサンプラーを使う。地層試料の採取に当たっては、汚染物質の比重や粘性などの物性と地層の粒径などから判断される地層の水文地質構造とを勘案し、汚染物質が濃集しやすい部分から試料を採取する。もしも環境基準の100倍を超える高濃度汚染が見られた場合は、汚染の深部への移流を予防する対策が確実に施されているのかをチェックし、必要な対策を施す。環境基準の10,000倍を超えるような非常に高濃度な汚染が見つかった場合は、その深度で掘り止めとし、ケーシング内の汚染を除去し、P45の図II-21のようにボーリング孔をセメントミルクで閉塞し、場所を変えて調査を行う。また、高濃度汚染が確認された地点では、その深度の汚染が浄化された後に、浄化確認調査を行うのが望ましい。調査深度は、汚染が見つまっている透水層の一層下の透水層の基底までとする。これは、汚染の深部への移流の有無をモニターするためである。

オールコアボーリングが終わったら、ボーリング孔を利用し地下水の状態を把握するための電気検層を行う。この検層では、透水層は比抵抗が相対的に高く、難透水層は比抵抗が低い値を示すことから、大まかな透水性の判断ができる。これにより、コア観察だけではわかりづらい難透水層部分の把握や、仮にコア採取ができなかった部分の透水性に関するデータの補完が可能となる。

電気検層が終わったら汚染の深部への移流の予防のため、P45の図II-21のようにボーリング孔をセメントミルクで充填し閉塞する。

一方、採取されたコアは地層を観察し、1/5のスケッチを行いながら、深度ごとの地層の透水性を示す地層の粒径の変化や地層の横方向への連続性を担保する火山灰鍵層、汚染物質を吸着しやすい粒子の混入などの地層の特徴を記した1/50又は1・100地質柱状図を作成し、この脇に汚染濃度や電気検層結果を貼り付けた総合地質柱状図を作成する。これが出来上がったら、他の調査地点のボーリングコアもいっしょに並べ、透水層・難透水層の



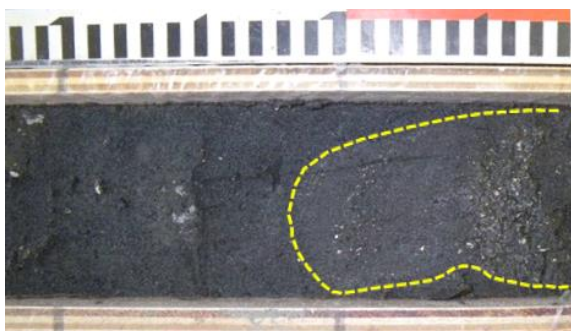
図II-8 振動で乱れたコアの例

コアの形状を成しておらず、コアがバラバラになってしまっている。また、バラけていない部分でも、地層本来の堆積構造（地層が堆積する際に形成される筋模様）が乱れてしまって見えない。



図II-9 乱れがほとんどないコアの例

地層本来の堆積構造がはっきり見える。丸い孔は地層試料採箇所。



図II-10 回転式のボーリングマシン（P.42～43）で採取された低品質のコアの例

点線より右側の部分は本来の地層のコア。点線の左側はスライム（掘り屑）が全体的に入り込んでしまった部分。ロータリーマシンでも、このようなコアが採取されることがある。

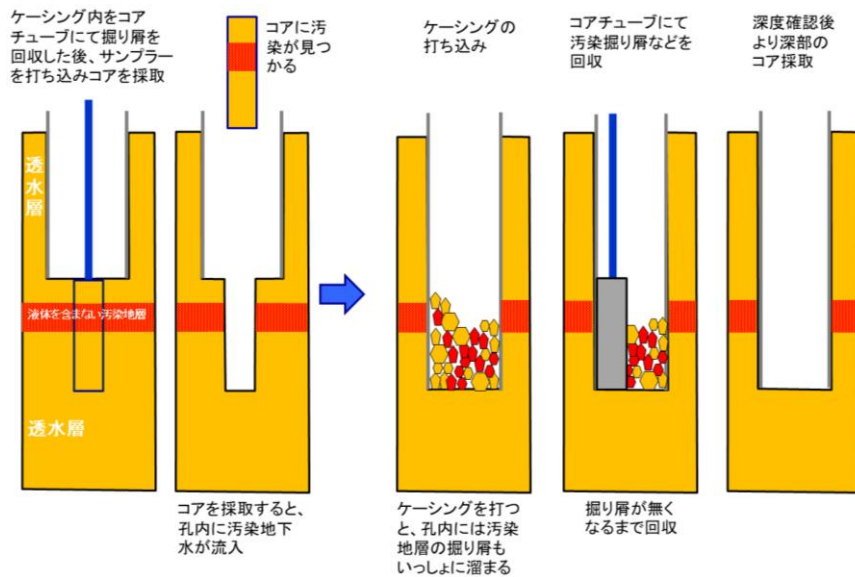
横方向への連続性を確認し、水文地質断面図を作成しながら井戸設計を行い、これらを報告書にまとめる。

### 3 調査の手順

#### オールコアボーリングや地層試料の採取と現場簡易地層分析及び分析値の記録

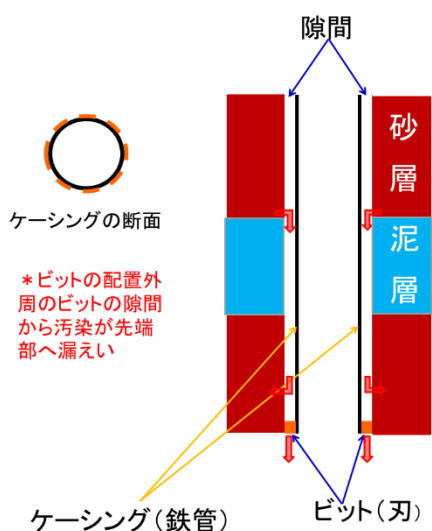
①調査地点において、地表より汚染の見られる透水層の一層下の透水層の底までをφ86mm以上のオールコアボーリングにより、乱れがほとんど見られない高品質なコアを、なるべく欠層なく採取する。コアの採取には、大きく2種類ある。一方は打撃やバイブレータなどによる上下振動で地層中にサンプラーを貫入させコアを採取する方法、もう一方はコアサンプラーの先端が回転し少しずつ地層を円筒形に削り出しサンプラー内にコアを入れて採取する方法（P.42～43 参照）がある。前者においては高周波の振動を地層に与えるので、地層が乱れやすい（図II-8）。後者は機械の扱いに熟練を要するが、乱れがほとんど見られないコアを採取できる場合が多い（図II-9）。いずれの場合も、ボーリングマシンの扱いが未熟な担当者の場合には、図II-8や図II-10のように本来のコア中にスライム（掘り屑）が入り込み、コアが乱れる場合がしばしばある。コアが乱れた部分では、汚染も乱れ、移動してしまうので、正確な汚染状況が分からない。このため、乱れた深度の部分は、そのボーリング地点の1m程度横に離れた場所で、再度コアを取り直す必要がある。特に、この点は委託業者と確認する必要がある。

②採取されたコアの長さを確認する。コアサンプラーの多くは長さ1m余りあり、コアは一般に深度1mごとに採取される（図II-9）。このコアの保存用に幅1m弱のコア箱があり、コア箱に連続する1本のコアとして収納



図II-11 地下水面よりも上での無水掘りの際の汚染移流予防対策

赤は、液体を含まない汚染地層。コアに汚染が見つかったら、ケーシングを打ち込み、掘り屑（スライムとも呼ぶ）をコアチューブなどで排土した後、さらに深部のコアを採取する。この排土を怠ると、次のストロークのコアに汚染が混入してしまう。



図II-12 オーバービットケーシングの地下打設時の概念図

ケーシングの外側にビットが飛び出ていると、右の断面図のように、ケーシングと地層との間に隙間が生じるため、地層中に汚染物質がある場合はこの隙間を通して異なる深度の地層中に汚染が移流することとなる。また、ビットの先端まで汚染が降下し、左の図のケーシングの先端部の断面のように、ビットとビットの間の隙間から下へ汚染が移流してしまう。このため、汚染現場ではオーバービットケーシングは使用してはならない。

する。コアは地中では拘束圧下にあるが、地表へ上げてきた際に圧力が解放されるため膨張することがある。特に泥層部分はしばしば膨張し伸びる。この時、コア箱に1本のコアとして収納できなくなる場合は、地層の境界からはずれた深度で分割し、コア全体を2本に分けてコア箱に収納する。決して収納しきれない部分を切り捨ててはならない。特に、この点は委託業者と確認する必要がある。

コア箱は1箱に3本入るもの、4本入るもの、5本入るものがあり、コアの重さに応じて大きさを決め、一人で持ち運びができる重さのコア箱を選ぶようにするのが望ましい。

③コア採取の際、汚染の移流を予防しながら行う必要がある。このため、サンプラーによる1ストロークのコアの採取後、より深部のコアの採取の前に、図II-11や図II-13のようにケーシングをボーリング孔の先端まで打設し、孔の中に溜まった掘り屑をコアチューブで排土、又は掘削泥水を流動させ掘り屑を掘削孔の外へ排出する。と同時に、採取コアの汚染状況を現場での簡易地層分析（P36の図II-19）により明らかにする。もしも濃い汚染（検液が環境基準の概ね100倍以上など<sup>23)</sup>が見つかった場合は、ケーシング（鉄管）の打設や泥水の交換など、以下のような汚染移流予防対策を施しながらボーリングを行う。この方法は、本水の上と以深では異なる。

(A) 本水の上での汚染移流予防対策を考慮したボーリング方法：浅層部の地下水面よりも上の部分について

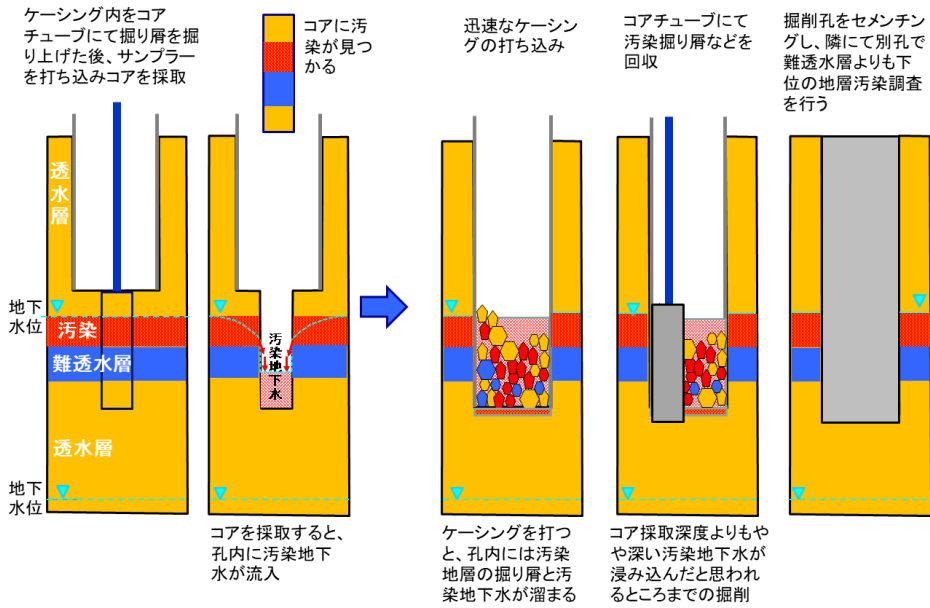


図 II-13 汚染された宙水があり難透水層をボーリングで抜いた場合の汚染移流予防対策の例

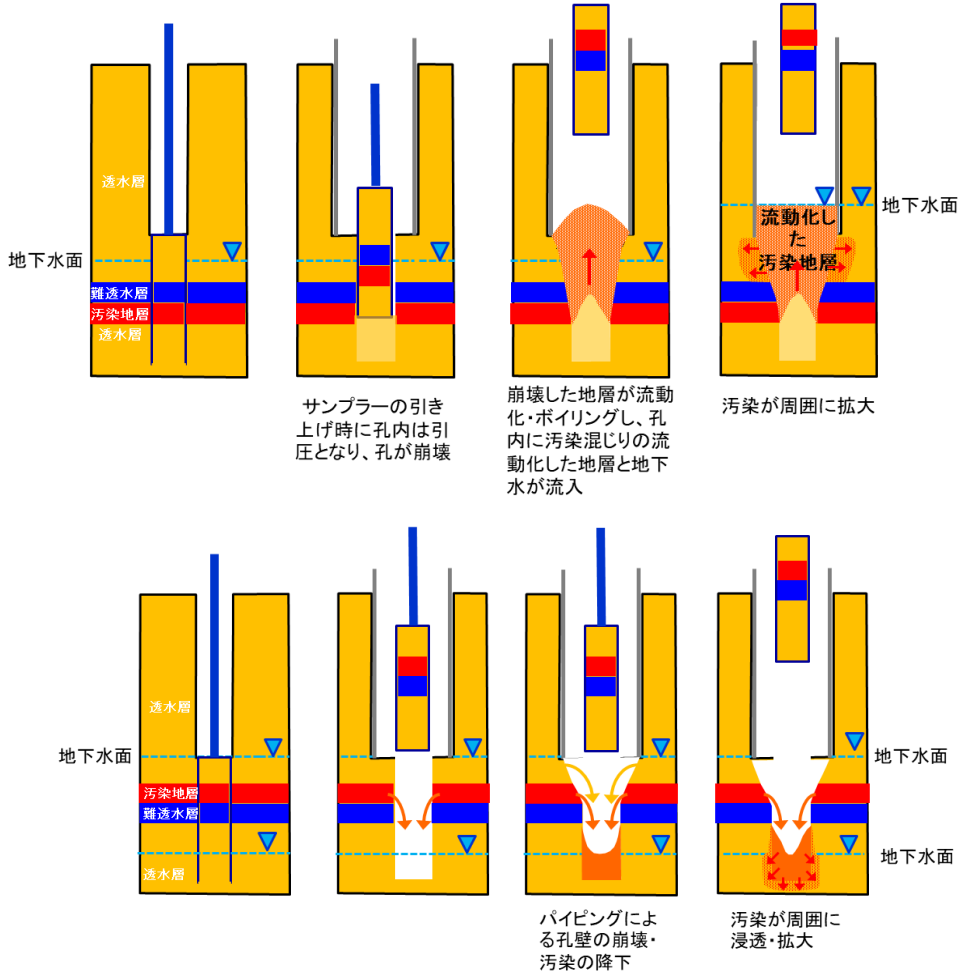


図 II-14 ボイリング（図の上部）とパイピング（図の下部）の概念図

無水でボーリングを行う際、地下水面に到達するとボイリングやパイピングが発生することがよくある。ボイリングは、難透水層の下に被圧地下水を含む砂層がある時、ボーリングで難透水層を抜いた際、地下水と流動化した砂が孔底から噴き出る現象。パイピングは、ゆる詰まりの砂層中を掘削している時に、孔壁から地下水とともに砂が流動してくる現象。流動した砂層中に汚染があった場合、汚染の下の透水層への移流や二次汚染につながりやすい。このため、本水の地下水面下については泥水を使ったボーリングに切り替える必要がある。

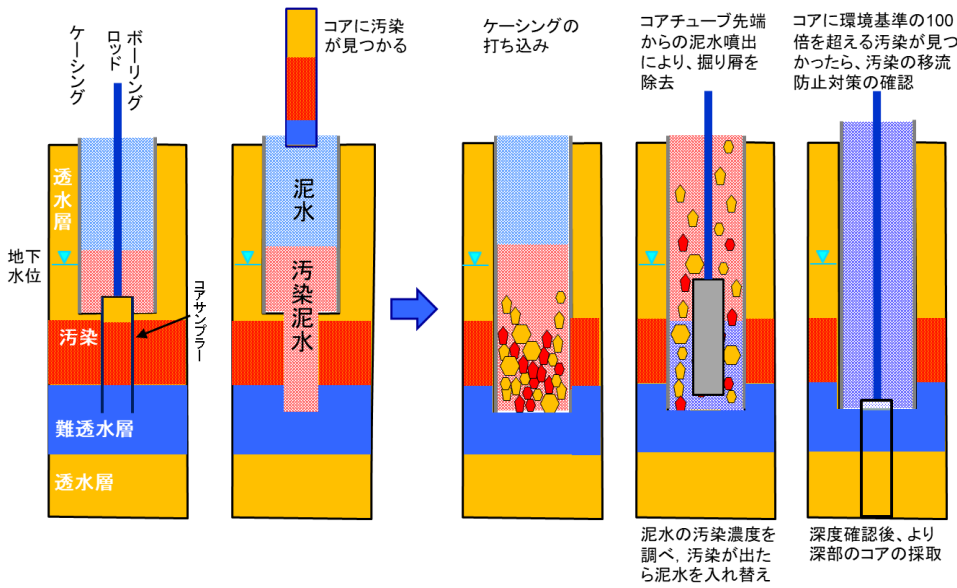


図 II-15 汚染移流予防対策の概念図

あらかじめ難透水層の深度情報がある場合は、難透水層を抜かずに掘り止め、汚染移流予防対策を施した後に難透水層以深の地層を採取できるので、汚染の深部への移流はほとんど生じない。また、コアの2次汚染を防ぐことができる。

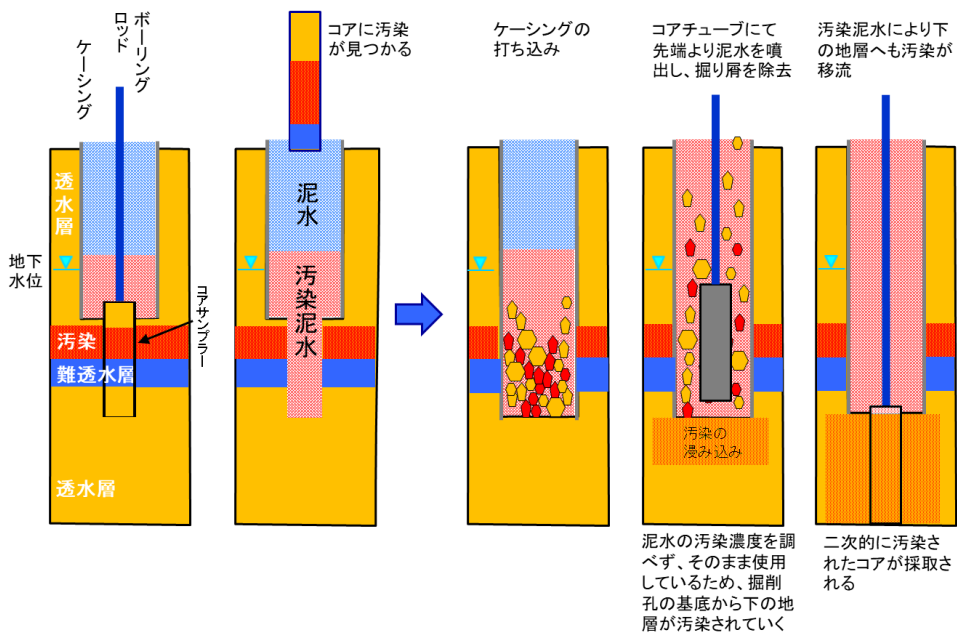


図 II-16 汚染移流予防対策を怠った際の汚染の移流の概念図

循環泥水が汚染されたまま掘削を続けると、掘削中に下の汚染されていない地層が汚染されてしまう。

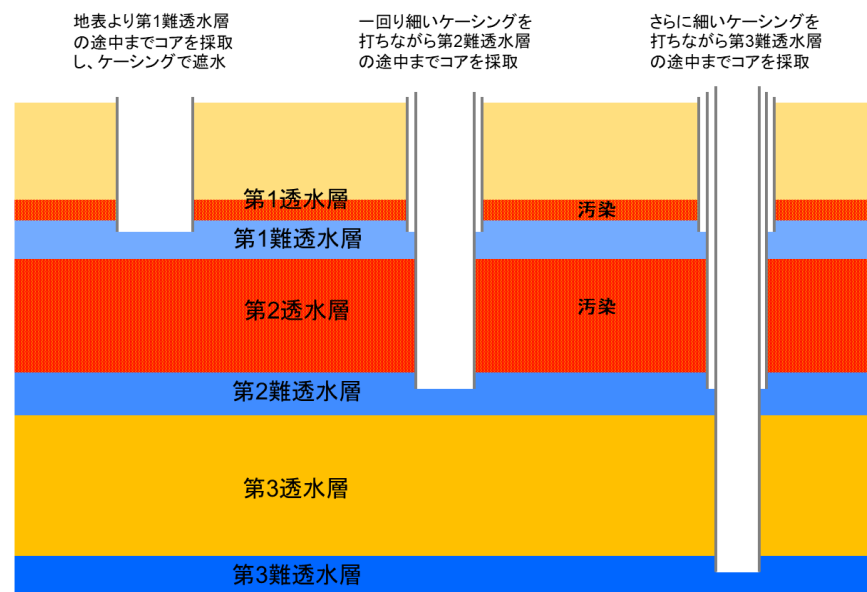


図 II-17 複数の難透水層が挟まれている場所における汚染移流予防対策を施した調査方法の例

あらかじめ難透水層の深度情報がある場合は、難透水層を抜かずに掘り止め、ケーシングを難透水層中に入れ、ケーシング内を洗浄した後、より深部の層を調べていく。その際、一回り細かいケーシングを使用することで、汚染移流予防対策を施すことができる。

は、循環泥水を使わず、モンケンなどの打撃により少しずつ（1回の打撃で数mmずつ）コアサンプラーを貫入させると、乱れの少ないコアを採取できることが多い。この際、1ストロークのコアの採取が終わったら、すぐにコア採取深度までケーシングを打ち込み、コア採取深度の先端部分に積もったスライムをコアチューブなどで排土した後、より深部のコアを採取する（図II-11）。

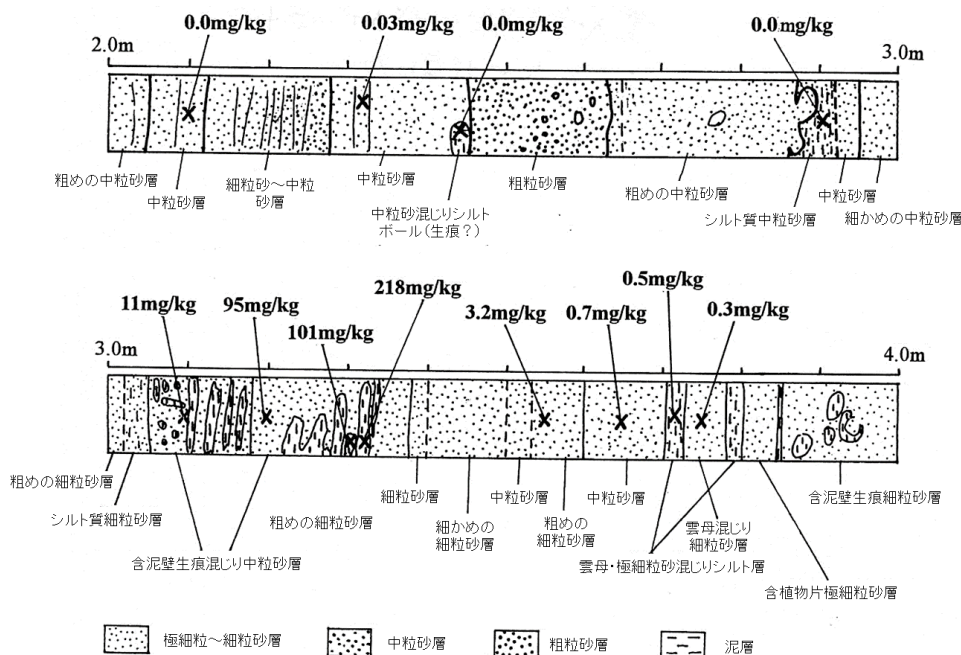
なお、ケーシングは管の外側にビット（切り刃）が埋め込まれているオーバービットケーシングを使用せず、先端ビットが管の外側に突き出ている通常のケーシングを使用する。ビットが管の外側に付いている場合は、図II-12右図の深度方向の断面図のように地層とケーシングの間にわずかな隙間が形成される。このため地層の途中にある汚染物質は、ビットの先端まで降下するので、この隙間を通して他の深度の地層への移流が可能となる。また、左図のケーシングの下から見た断面図にあるようにビットが管の周囲に点々としている場合は、ビット同士の隙間からケーシングの打設深度よりも深い部分へ汚染がしみ込んでしまう。

1ストロークのコア採取の途中に汚染された宙水があった際には、汚染がより深部へ多量に移流するため、図II-13のような汚染移流予防対策を施す必要がある。

(B) 本水以深での汚染移流予防対策を考慮したボーリング方法：本水以深でのボーリングは循環泥水を使用し行う（図II-15）。循環泥水を使わずに地下水水面下をボーリングする際にはしばしばボイリングやパイピングが発生する（図II-14）。ボイリングやパイピングが発生すると地層の流動が続き、掘削孔が崩壊しかねないので、ボーリングの最中に地下水面に達したらケーシングを打設し、泥水掘り（泥水を使用するボーリング方法のこと。）に切り替える。もしもボイリングが発生したときには、その部分の地層は乱れているので、進行中の掘削地点の横へ1~2m程度ずらし、別孔としてコアを採取し直す必要がある。掘削地点が数m側方へずれば地層境界の深度や汚染濃度分布は異なるので、ボーリング地点名には必ず異なる名称を使用する。採取深度は乱れた部分の上下数mをオーバーラップさせて採取する。

循環泥水を使つてのボーリングの際には、泥水の汚染濃度を確認しながら行う。確認せずに汚染された泥水をそのまま使用すると、図II-16のように本来は汚染がない深度であるにもかかわらず二次的な汚染により汚染が深部まで続くといった誤った結果となると共に、汚染を深部まで移流させてしまう。

難透水層が複数枚挟まれている場所では、図II-17のように太さが異なるケーシングを使用し、汚染の深部への移流予防対策を施す。



図II-18 オールコアボーリング時の現場簡易地層分析の例<sup>26)</sup>

深度 2m~3m 及び深度 3m~4m のコアのスケッチと現場簡易地層分析の値が示されている。深度 3.1m~3.34m 付近には厚さ数 cm の泥層が複数枚砂層中に挟まれており、汚染濃度は、この泥層を挟んで1桁又は2桁程度変わっている。

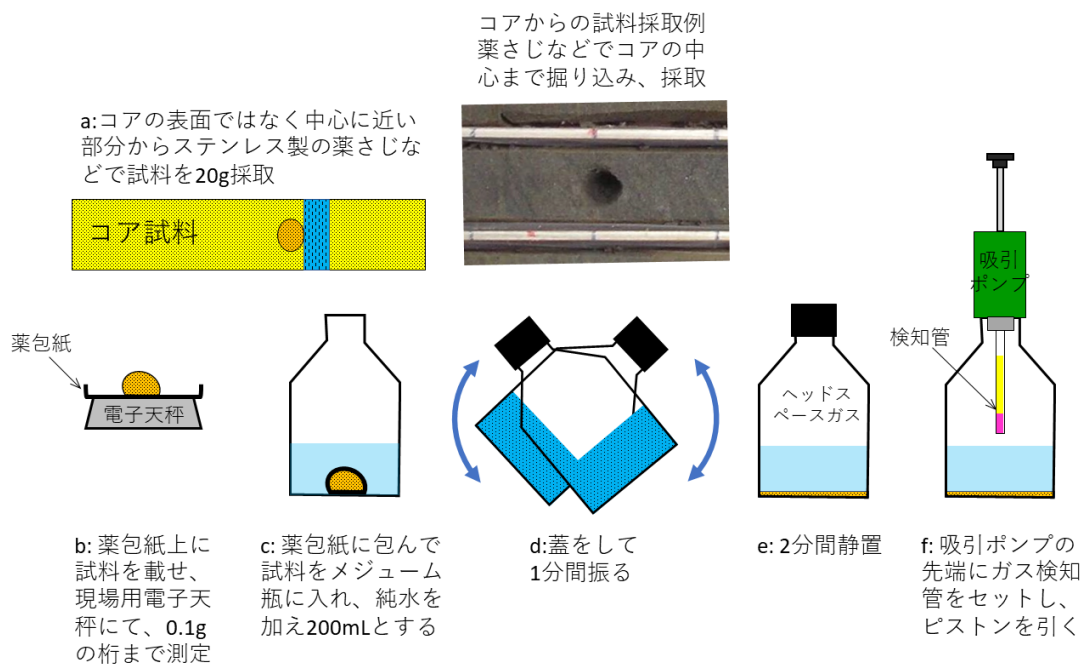
使用する泥水には測定対象となっている物質が含まれていないものを使用し、汚染された泥水は環境中への汚染拡大につながらないように、法令等の基準を踏まえ適切に処理する。

④ボーリング孔内からコアが取り出されたら、地層の観察と地層試料の採取のため、表面のコアパック（透明プラスチックの袋）をカッターなどで切る。コアの頂部にはスライムが付いている場合があり、これを取り除く。次に、コアの側面に貼り付いている泥壁をヘラなどで削り取り、地層そのものの表面を観察する。この際、地層に見られる堆積構造（地層が堆積する際にできる筋模様）の乱れの状況を観察し、コアが乱れなく採取されているのかを確認する。乱れていた場合は、その原因をボーリング担当者と協議し、乱れなく採取できる方法を選択し、次の深度のコア採取時に生かす。コアが乱れているということは、そこに含まれている汚染物質も乱れていることを意味する。このため、地層汚染調査の際のオールコアボーリングによるコアが乱れているものは調査の品質を満たさない。この場合その深度のコアを別孔にて採取し直す必要がある。品質が良く汚染の移流防止対策を施して採取されたコアの場合、図II-18のように厚さ数センチの泥層を境にその上下の砂層の地層汚染濃度が2桁以上異なることがしばしばある<sup>24)</sup>。汚染の効率的な浄化のためには、このような高濃度汚染深度を特定することが重要となる。

⑤地層試料はP41の図C-6のように、透水性の異なる地層ごと（「地層単元」ともいう。）に採取し、水溶出などにより、地層汚染濃度の測定を行う。このような地層の透水性の違いを考慮した地層汚染濃度の測定方法は「単元調査法<sup>25)</sup>」と呼ばれている。コアの深度の深い方向に向かい、透水性の高い粗い地層から透水性の低い粒径の細かい地層へと変化するとき、透水性の高い地層の基底付近にはTCEやPCEなどのDNAPLs（Dense Non-Aqueous Phase Liquids：重非水液（水よりも比重が大きい液体））の汚染物質が濃集しやすい。また宙水層や第1透水層といった不圧透水層の水面付近にはLNAPLs（Light Non-Aqueous Phase Liquids：軽非水液（水よりも比重が小さい液体））のみならず多くの種類の汚染物質が濃集しやすい<sup>9)</sup>。このような汚染物質が濃集しやすい部分から現場簡易地層分析用と公定法分析用の地層試料を採取し、現地にて迅速に対象の汚染物質の地層濃度を現場簡易地層分析により測定する。

難透水層と接する透水層部分で汚染が見つかった場合は、その直下又は直上の難透水層部分の汚染濃度も調べ、どの深度まで汚染物質が難透水層中へ浸透しているのかを調べる。

県内で豊富な真水地下水が胚胎している下総層群は砂層が主体であり、その中に挟まれる厚さ数cm又は数mmの泥層でも、その直上の砂層と直下の砂層では汚染の濃度が数桁異なる場合がしばしばある（図II-18）。このため、砂層中に挟まれる厚さ数cmや数mmの薄い泥層も見逃さないように観察し、そのような泥層の直上や直下の透水層部分から試料を採取する。



図II-19 現場簡易地層分析の手順

コアからの地層試料の採取にあたっては、上記以外の地層の粒径の変化部分の他、対象物質の流体移動に関する性質や化学物質を吸着しやすい地層粒子（火山灰、腐植物、泥炭レキ、泥層のレキ（P.39～40の図 C-3、図 C-4 参照）や生痕化石（図 C-5）なども考慮し、コアの芯に近い部分から試料を採取する。これは、コアを輪切りにした断面の周辺部は、泥水の浸み込みがあったり、コアサンプラー先端部での摩擦による乱れがあったりするため、コアの輪切りの断面の中心に近い部分が最も乱れの少ない部分であるためである。さらに、一本のコアの両端の長さ約 10cm 以内は地層が乱れている場合が多いため、その部分からの試料採取はなるべく避ける。

これら一連の作業は、対象物質が TCE や PCE などの揮発性物質の場合、コア採取後 30 分以内に行う<sup>12)</sup>。対象物質が揮発性でない場合でも酸化・還元状態が変化することや、循環泥水への汚染の移流の判断のため、コア採取後、直ちに地層試料を採取し、現場簡易地層分析にて速やかに汚染濃度を調べ、汚染の濃集部分の有無について把握する必要がある。

この現場簡易地層分析において環境基準の 100 倍を超える高濃度が見つかった場合は、ケーシングの打設と泥水の汚染の有無を再確認し、必要な汚染移流予防対策を施す。

この現場簡易地層分析にて比較的高濃度の汚染が見られた試料を中心に、公定法分析も行う。なお、公定法分析や現場地層分析としてのガスクロマトグラフィーによる分析の場合は、周辺井戸調査の際と同様に記録チャートもデータとして残す<sup>13)</sup>。なぜならば、このチャートを見ることにより、対象物質以外の汚染物質を定性的に把握できるからである。

⑥上記⑤で採取されたコアの現場簡易地層分析は、以下の手順で行う（図 II-19）。

汚染物質が揮発性物質の場合は、ガス検知管により測定する。地層試料約 20g を薬包紙を敷いた現場用はかり（0.1g の桁まで測定可能なもの）にて秤量し、中のガス検知管の発色が見えるような透明なガラス製の 500ml 用メジューム瓶に薬包紙ごと試料を入れ、純水を加え約 200ml とし、蓋をして 1 分間振とうする（図 II-19 の a～d）。2 分間の静置後、蓋を開け吸引器の先端に付けた対象物質用のガス検知管を瓶の中に入れ、瓶の中のガス濃度を測定する（図 II-19 の e～f）。瓶の中の検液の水温を測定し、水中濃度と瓶の中のヘッドスペースガス濃度との平衡関係から水中濃度換算を行う<sup>20)</sup>。ガス検知管の測定の際、吸引器でまず 1/2 ストロークを引き、ガス検知管の発色具合からそのまま終了するのか、又は更に吸引し 1 ストロークとするのかを、段階的に決める。ガス検知管の説明書には、妨害ガスや発色異常、吸引回数の補正方法、温度補正方法が記載されているため、事前に読んでおく。妨害ガスが混入している可能性がある場合は、事前に妨害ガスフィルターを付けて測定する。瓶の中のガス濃度を水中濃度に換算する際は、必要なガスの濃度補正を行った値から換算する。

汚染物質が水溶性の場合は、パックテストなどにより測定する。この場合、上記の揮発性物質の測定方法のうち 1 分間の振とうまでは同じ手順で行う（図 II-19 の a～d）。この後、メジューム瓶内の検液に濁りがなくなったらその上澄みを採取し、対象物質用のパックテストにてその濃度を測定する。濃度が薄い場合には、地層試料に加える水の量を減らし、例えば純水を加えて 200ml とするところを 100ml とするなどして測定する。検液の濁りが沈降しないときは、遠心分離や、ろ過などの処理後に測定する。

地層試料の採取から分析の終了まで、試料に直射日光が当たらないようにする。

野帳には、測定に関わる諸条件（調査の年月日及び時間、調査担当者名、調査地点名、地層試料採取深度、溶出に使用した地層試料の重量、水を加えた後の容量、使用したガス検知管又はパックテストの種類と製造番号、水温、ガス検知管の場合は吸引回数、測定値、その他（発色異常など））と補正濃度値を記入する。

⑦次の深度のコア採取をはじめの前に掘削開始深度を確認し、作業を進める。

⑧所定の深度までコアの採取が終わった際には、速やかに電気検層を行う。なお、電気検層は、ケーシング内では測定できない。ケーシングを入れるときには、事前にその深度までの電気検層を先に行っておく。電気検層ができなかった深度については、観測井の設置の際にデータを取得する。



## 地質汚染に関する知識 1

### 地層の粒度と透水性の違い

地層は、粒径の違いによってレキ層、砂層、泥層と呼ばれている。泥層は粒径  $4\mu\text{m}$  を境に粗い方をシルト、細かい方を粘土と呼ぶ。大まかに、レキ層と砂層は水が速く浸透するので透水層、泥層は水が浸透しにくいので難透水層と一般に呼ばれる。ただし、地域により地下水の使い方が異なるので、地域の実情から、透水層・難透水層を区分していることがある。近年、地質汚染の浄化効率の検討から、透水層と難透水層の間中間的な地層の呼び方として、アクイタードが使用されつつある。

表 C-1 より、レキ層は粒径  $2\text{mm}$  以上の粒子から構成される。レキ層は見た目で粒子がわかる。粒径からさらに小レキ、中レキ、大レキ、巨レキに分かれる。粒子間の隙間も大きいので流体の浸透速度は速い。いわばザルを水が通過するがごとく、地下水は速く流れる。多くのレキの粒子の表面は滑らかなので、化学物質の吸着性は低い。もしもレキ層が汚染されたならば、汚染水は地下水の下流方向へ速く流れてしまい、下流側へ汚染が広域に移流してしまうので、対策は迅速に行う必要がある。

砂層は粒径  $62.5\mu\text{m}\sim 2\text{mm}$  の粒子から構成される。砂層は見た目が紙やすり（サンドペーパー）のようにザラザラした表面として見える。図 C-2 に示すように、粒径からさらに極細粒砂、細粒砂、中粒砂、粗粒砂、極粗粒砂に分かれ、各粒径の境の直径は 2 の乗数となる。流体の透りやすさである浸透速度は、粒径が半分になると約  $1/10$  に減少する。地下水は本水の地下水面より深部では、マクロな視点において透水層内を側方へ流動している。砂層中のラミナの多くは粒径が異なる薄層として混入するもので、ミクロな視点ではラミナ面に沿って地下水が流動している。このため、同一透水層内でも汚染は均一に分布することではなく、例えば一層の透水層の上部を側方へ流動し、下部には汚染が認められない場合もある。また、厚さ数ミリのごく薄い泥層があれば、この上位にのみ濃い汚染が見られることもある。

泥層は粒径  $62.5\mu\text{m}$  未満の粒子から構成される。泥層は粒子が見えず塗り壁のように見える。粒径から粘土、極細粒シルト、細粒シルト、中粒シルト、粗粒シルトに分かれる。TCE や PCE は粘性が低いことから、粗粒シルト層にも浸透している場合が多い。

地層名	粒 径	透 水 性	収 縮 性	化学物質の吸着性	そ の 他
レキ層	$2\text{mm}$ 以上	大 $10^3\text{cm/sec}$ 以上	極小	極小	摩擦力が極めて大 標準貫入試験値(N 値)が大きめにでる
砂層	$2\text{mm}$ ~ $63\mu\text{m}$	中 $10^3\text{cm/sec}$ ~ $10^4\text{cm/sec}$	人工地層では小 沖積層以下は極小	小	摩擦力が大 人工地層は非常に 液状化・バク化し 易い 沖積層・木下層は バク化し易く、崩 れやすい
シルト	$63\mu\text{m}$ ~ $4\mu\text{m}$	小 $10^4\text{cm/sec}$ ~ $10^5\text{cm/sec}$	人工地層は 極めて大 沖積層は大 常総粘土層 ・木下層は 中 下総層群は 小 上総層群以 下は極小	一般に大	一般に粘着力が大 但し、人工地層の 中にはフライアッ シュのように粘着 力のないものがある (地滑りに注意) 人工地層・沖積層 中には鋭敏粘土が あることに注意 海成層は風化する と硫酸を渗出する
泥層 粘土	$4\mu\text{m}$ 未満	極小 $10^5\text{cm/sec}$ 以下			

表 C-1 地層の種類と粒径、透水性、化学物質の吸着性に関する表  
地層粒子の粒径が大きくなるほど化学物質の吸着性は低くなり、透水性は高くなる。

mm	巨レキ(boulder)	レキ(Gravel)
256	大レキ(cobble)	
128		
64	中レキ(pebble)	
32		
16		
8	小レキ(granule)	
4		
2	極粗粒砂(v.c.s.)	砂(Sand)
1	粗粒砂(c.s.)	
0.5	中粒砂(med.s.)	
0.25	細粒砂(f.s.)	
0.125	極細粒砂(v.f.s.)	
0.0625	粗粒シルト(c.silt)	シルト (Silt)
0.031	中粒シルト(med.silt)	
0.0156	細粒シルト(f.silt)	
0.0078	極細粒シルト(v.f.silt)	
0.0039	粘土(clay)	粘土 (Clay)
0.002		
0.00098		
0.00049		
0.00024		
0.00012		
0.00006		

図 C-2 地層の粒径区分

レキ、砂、泥は粒径によりさらにこの図のように細分される。

## 地質汚染に関する知識 2

コアで見られるラミナなどの堆積構造や汚染物質が吸着しやすい地層

コアで見られるラミナや生痕は、実際の露頭（地層が露出している崖）で見られる場合とは異なり、その断片しか見えないため判別しにくい。以下にコアで見られる堆積構造や生痕化石、また汚染物質が吸着されやすい泥炭、火山灰の写真を図 C-3・4・5 に示す。

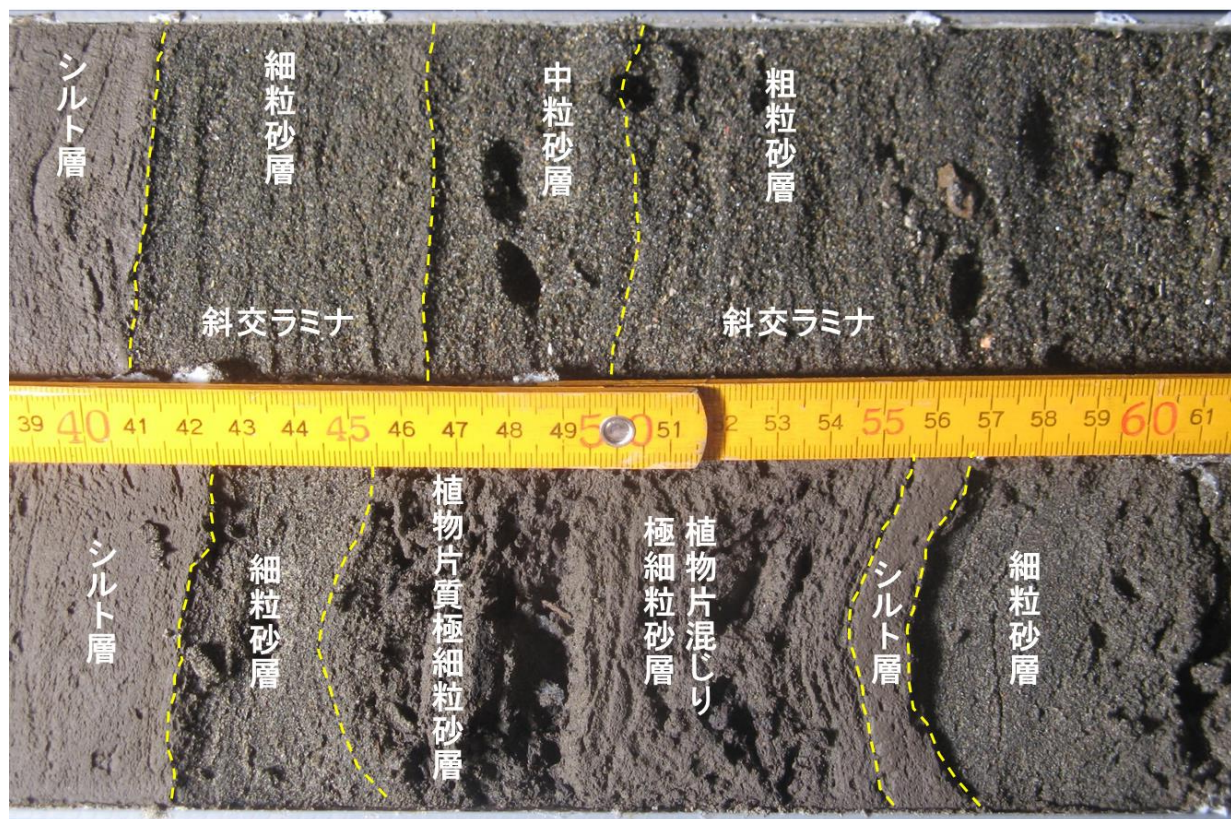


図 C-3 沖積層のオールコアの半割りコア（コアを延びの方向に2分したもの）の写真

ほぼ水平に堆積した地層を鉛直方向に地層を採取したコア。左が深度の浅い方向。写真下段の砂層部分には、地層の境界と斜交する筋模様である斜交ラミナを見ることができる。乱れのほとんどないコアでは、このようなラミナを見ることができる。

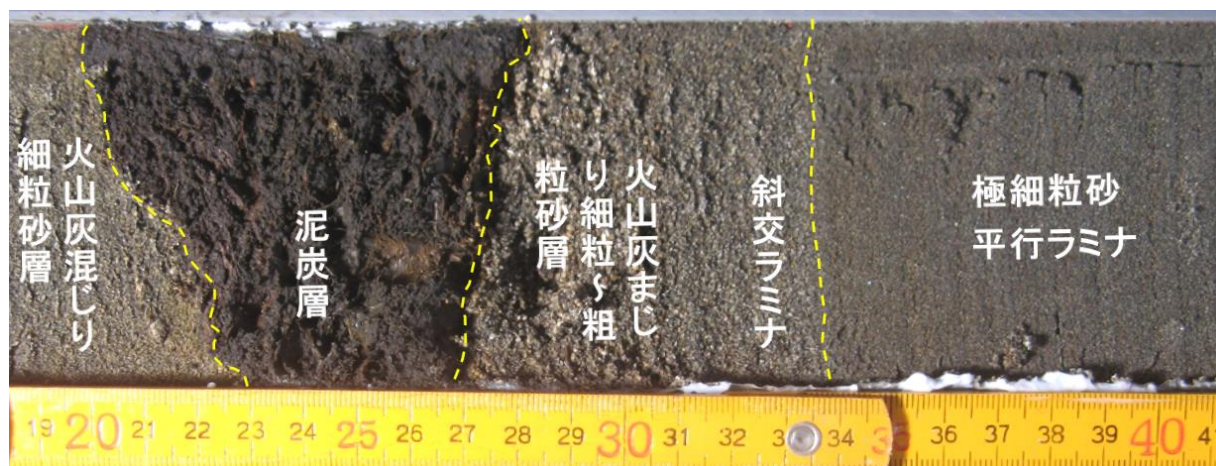


図 C-4 沖積層のオールコアの半割りコアの写真

ほぼ水平に堆積した地層を鉛直方向に地層を採取したコア。左が深度の浅い方向。写真の左の地層境界とほぼ平行な筋模様が平行ラミナ。中央付近の白い 0.5~1mm の粒子は発泡の良い火山灰粒子である。この右隣の黒い地層は植物片が密集して堆積してできた泥炭層。発泡の良い火山灰粒子や植物片は多孔質なため、これらの小さな孔に汚染物質は吸着しやすい。



図 C-5 砂混じりシルト層のオールコアの半割リコアの写真

生痕化石は、すでに堆積した地層中に動物があけた巣穴の跡の化石。巣穴の跡は、棲んでいた生き物がなくなった後、異なる地層の粒子によって埋まることで保存される。泥層中に砂が詰まった生痕化石があると、そこを通じて上の透水層の汚染が下の透水層に移流することがある。P2 の図 2 において、第 1 難透水層・第 2 難透水層中に濃い地層汚染を示す赤い線が鉛直方向に描かれている。この赤い線は生痕化石内を降下している汚染物質を示している。

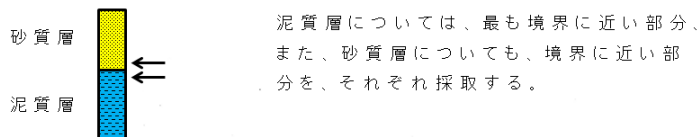
## 地質汚染に関する知識 3

### 地層の積み重なりと地層試料採取位置

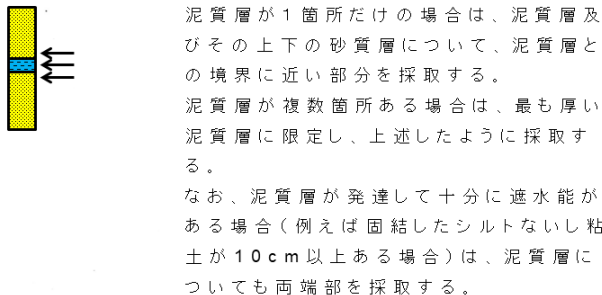
地下水で満たされた透水層中において、液体状の汚染物質は水との比重の違いの影響を受けながら流動し、透水性の異なる地層の境界付近で濃度が変化することが多い。このため、地層境界部を中心に地層試料を採取する（図 C-6）。汚染物質が水よりも比重が重い場合は、透水性の高い地層の基底、すなわち砂層などの基底（泥層の直上）とこの直下の泥層の最上部より地層試料を採取し、汚染濃度を確認する。もしも泥層の汚染濃度が高い場合は、どの深度まで汚染が染み込んでいるのかを確認する。汚染物質の比重が水よりも軽い場合は逆で、砂層の頂部と直上の泥層より地層試料を採取し、泥層の汚染濃度が高い場合はどの深度まで汚染が浸み込んでいるのかを確認する。複合汚染の場合は、比重を考慮し、双方に対応した地層試料を採取することになる。

#### 採取位置

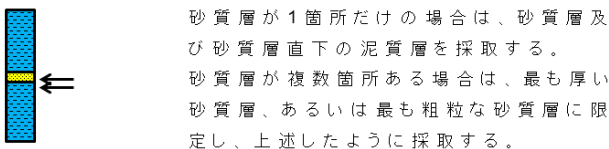
##### 1. 砂質層と泥質層の境界がある場合



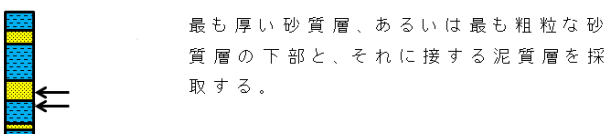
##### 2. 砂質層に泥質層が恐在する場合



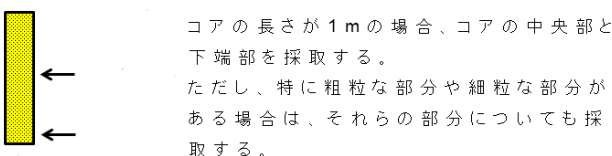
##### 3. 泥質層に砂質層が挟在する場合



##### 4. 砂質層と泥質層が互層する場合



##### 5. 砂質層に泥質層が恐在する場合



##### 6. 泥質層のみの場合

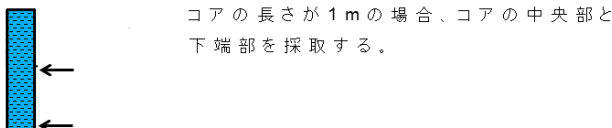


図 C-6 比重が水よりも重い液体状の有機塩素化合物による汚染現場におけるコアからの地層試料の採取位置の例<sup>27)</sup>。

## 地面の下を調べる『オールコアボーリング』

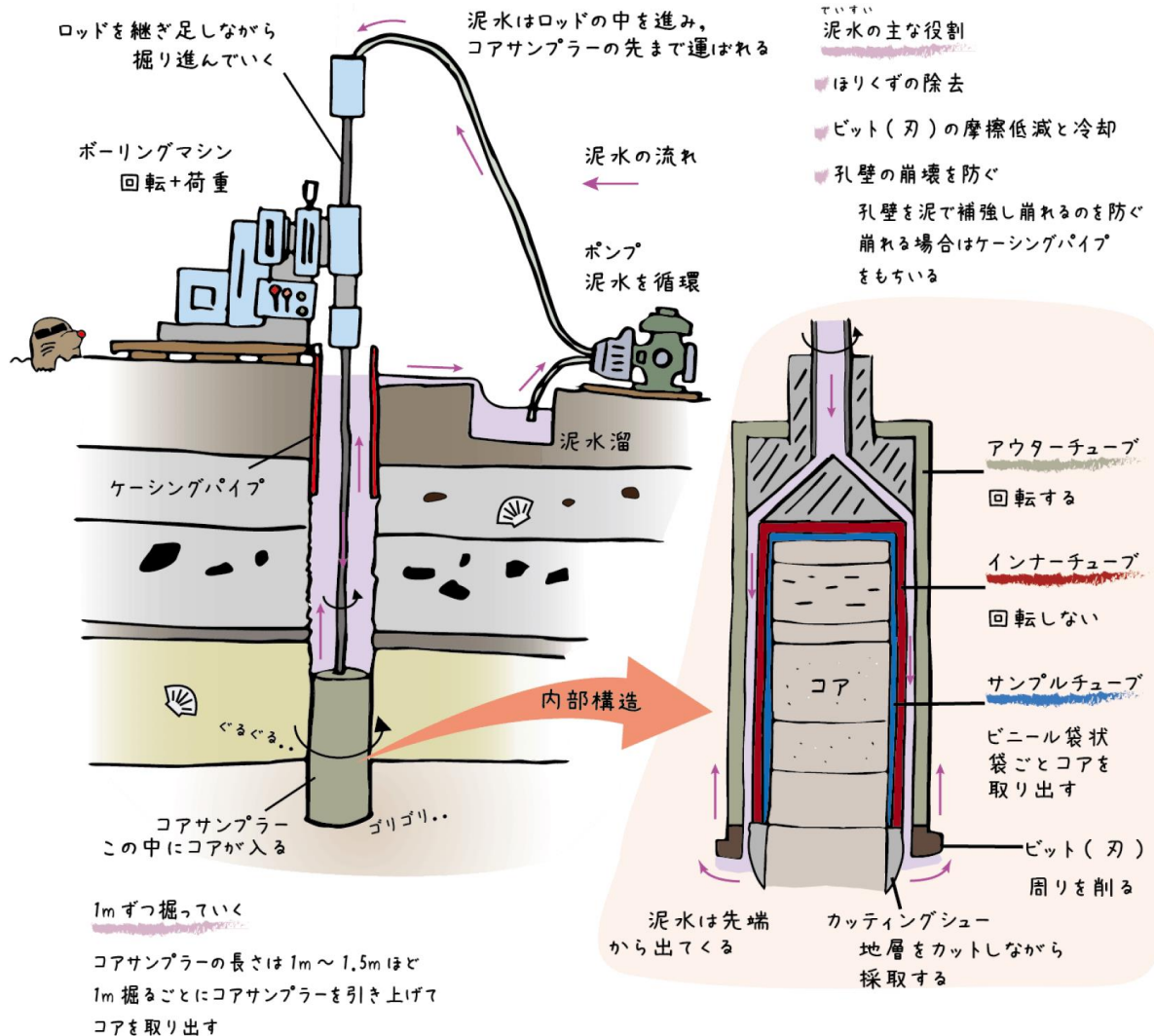
地下水汚染や液状化などの調査では、地面の下の構造を調べるとともに、どのくらいの深さまで汚染が広がっているのかや、どのような地層で液状化が起きているのかを知ることがとても重要です。今回は地面の下を調べる「オールコアボーリング」という方法をご紹介します。オールコアボーリングとは、地面の下の地層を円筒状にくりぬいてくる技術のことをいい、取り出された地層をコアと呼びます。直径10cmほどのコアとボーリング孔からは、たくさんの地下の情報を得ることができます。

### オールコアボーリングの技術

下図のようにロッドの先端に、コアを採取するための中空になった鉄管（コアサンプラー）を取り付け、荷重を掛けながら回転させ地面を掘っていきます。掘る深さは調査目的によって様々ですが、地下水汚染などの調査の場合は地下数十メートルまで掘削するのが一般的です。このくらいの深さの地層は、千葉県内の多くの場所では岩石のようなかたい層ではなく砂や泥の層でできているため孔壁が崩れやすく、掘削には細心の注意が必要です。



オールコアボーリング作業の様子



(千葉県環境研究センター・環境だより 通算17号(平成30年2月発行) P.2から転載)



コアサンプラーの先端の写真



コアサンプラーから取り出されるコア

地層の構造を調べる調査では、地層を地下にある、そのままの状態に取り出す必要があります。これには、地層の状態を掘削時の音やボーリングマシンの挙動から適切に判断して回転数や掘る速度を調整するなど、経験に基づく高い技術が求められます。また、コアサンプラーの形状も工夫がされています。コアサンプラーにはいくつか種類がありますが、特にやわらかい地層の場合は、掘削時の回転の衝撃がコアに伝わらないように、外側の鉄管（アウトチューブ）だけが回転し、コアが入る内側の鉄管（インナーチューブ）は回転しないようになっている3重構造のコアサンプラーを uses。このサンプラーでは、サンプルチューブが一番内側についており、採取したコアがくずれないようにサンプルチューブに入れたまま取り出せる構造になっています。

(千葉県環境研究センター・環境だより 通算17号(平成30年2月発行) P.3から転載)

**\* 地質汚染現場においてオールコアボーリングを行う際は、循環泥水が汚染されることがあるので、泥水溜は地面を掘って作らず、プラスチック製や金属製の大きな容器を泥水溜として利用します。**

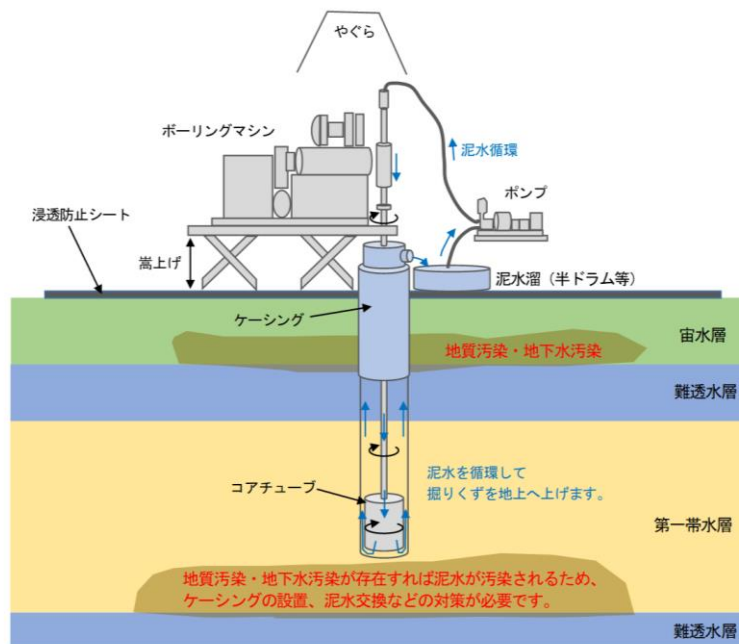
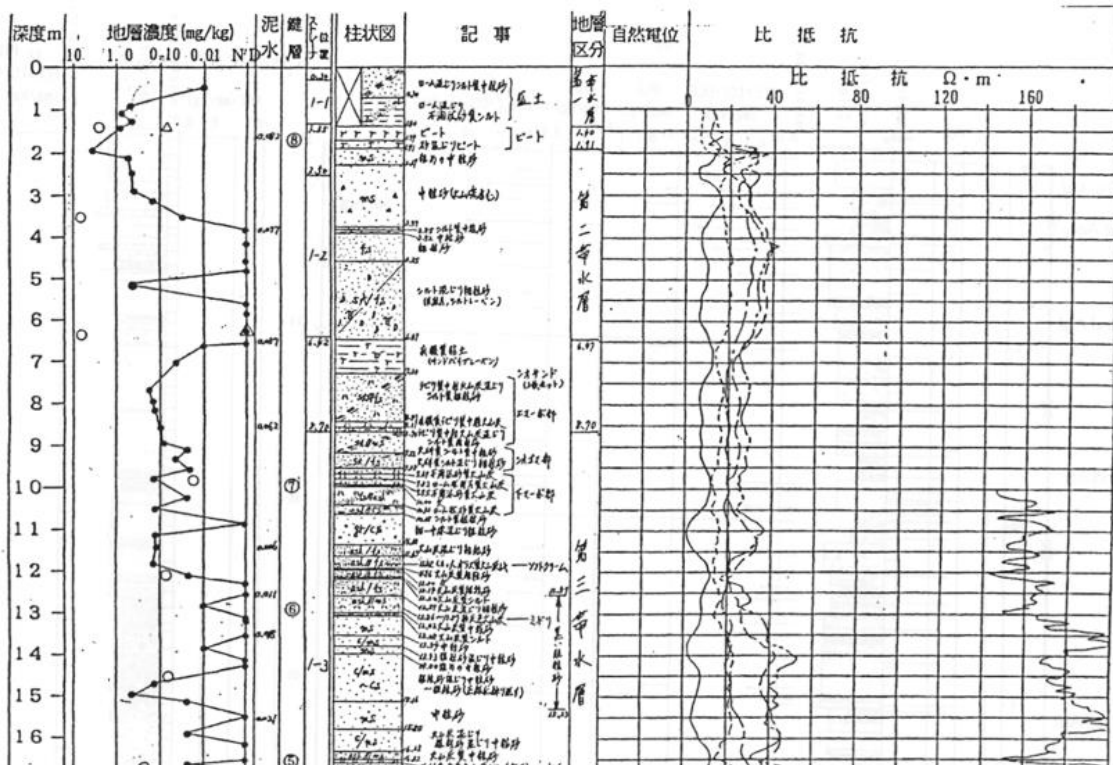


図 C-7 地層汚染調査時の汚染移流予防対策の例

泥水溜は地面を掘らずに半分に切ったドラム缶やプラスチック容器などを使用する。このため、ボーリングマシンは地上に置かず、かさ上げして設置する。また、作業場内には浸透防止シートを敷く。



図II-20 総合地質柱状図の例

地質柱状図の脇に地層汚染濃度、層相記載（記事）、電気検層グラフを付け、透水層区分を書き入れてある<sup>28)</sup>。この図では「透水層」を「帯水層」と表記している。

### 電気検層

オールコアボーリングで地層を採取し終わったら速やかに、地層中の地下水の存在状態の指標となるノルマル法の電気検層を行う。正・負の電極が 100・50・25cm 離れてケーブルにつながれたノルマル電極と、弓なりの板の上に正・負の電極が 5cm と 2.5cm 離れて付いているマイクロ電極とがある。ノルマル電極での検層の際は、泥水を孔口まで満たした孔内に電極を挿入し、泥水を介して地層の影響を受けた電極間の比抵抗値を連続的に測定する。マイクロ電極での検層の場合は、電極が付いた弓なりの板を孔壁に密着させ、泥壁を介して地層の影響を受けた比抵抗値を連続的に測定する。測定結果から、電極間隔の地層の比抵抗値を知ることができる。

電気検層結果は、房総半島の地質汚染現場においてメートルオーダーの水文地質構造の検討に利用できる。例えば、同一透水層の中でも透水性が良く地下水を豊富に揚水できる部分は比抵抗が周囲に比べて高く、透水性が低い泥層は比抵抗が低いことから、水文地質構造の区分の検討に役立つ。なお、砂層でも粒子間隙にカルシウムや酸化鉄によって充填され層をなしている場合は比抵抗が低く、難透水層としての測定値を得られることがある。また、難透水層中にサンドパイプの形状の生痕がある場合などのように難透水層の止水性が低い部分があれば止水性が高い難透水層部分に比べて比抵抗値がやや高くなることが多い。

マイクロ電極の検層結果は、センチメートルオーダーの透水層又は難透水層を検討するのに利用する。具体的には、難透水層部分に挟まれる薄い砂層や火山灰層を検討する場合や、透水層中に挟まれる薄い泥層などを把握する際に利用する。

これら電気検層結果は、地質柱状図の脇にグラフとして付ける（図II-20）。これにより、地層構成と比抵抗の関係が把握でき、透水層区分が行いやすくなる。また、コア採取の際に数 cm～数十 cm のコアの欠落が生じたときに、その部分の透水性をノルマル電極とマイクロ電極の双方の検層結果からある程度補うことができる。

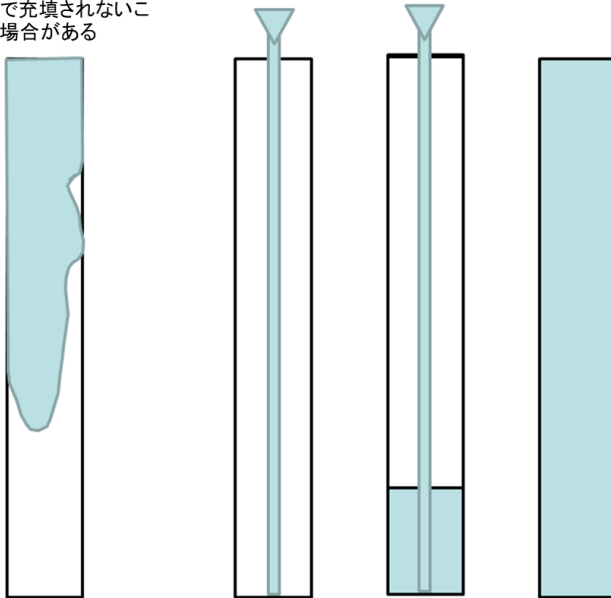
### ボーリング孔の閉塞

オールコアボーリング時には、観測井設置のためのボーリング時に比べて循環泥水の泥の濃度が高いため、地層汚染調査での調査孔を利用して観測井を設置した場合、孔壁に浸み込んだ泥水は通常の井戸洗浄では除去できないことが多い。このため、観測井は地層汚染調査孔とは別に削孔し、井戸を設置する。地層汚染調査での調査孔は電気検層の終了後に図II-21の右図のように閉塞する。その際、同図の左図のように孔口よりセメントミ

地表からセメントミルクを孔内に流し込む場合は、孔の途中で詰まり、深部ではセメントミルクで充填されないことがある

掘削孔の孔底付近にまで細い管であるトレミー管を入れ、孔底からセメントミルクを打ち上げると、孔内は隙間なくセメントミルクで充填される

図II-21 ボーリングコア採取後の廃孔方法



ルクを流し込むと、孔の途中で詰まりそれより下にはセメントミルクが降下せず、孔の深部はセメントミルクで充填されない状態となり、この孔を通じて汚染が深部へ移流してしまうことになる。このため、右図のように、掘削孔にトレミー管を入れ、この管を通じてセメントミルクを孔底より打ち上げ、掘削孔を充填する。

#### コアスケッチと透水性の把握及び地質柱状図の作成

コアの表面観察時には、まず地層の粒径の急激な変わり目を遠目で確認し、地層試料を採取し、次にそれぞれの層の特徴を1/5のスケールのコアスケッチとして記録する。地層の粒径、色調、化石などの包含物、堆積構造、生痕、粒子の特徴（円磨度や構成鉱物・岩片の種類）、鍵層となり得る火山灰層などを記録する（図II-22）。地層の厚さが数mmのものも漏れなく記録する。また、これらを基に1/50～1/100のスケールの地質柱状図を作成する（図II-20）。柱状図の作成に当たり、泥層は粗粒シルトとこれ未満の粒径の泥層とを区別する。なぜならば、TCEやPCEは粗粒シルト層内をしばしば移流するからである。砂層は極細粒砂～極粗粒砂（P.38の図C-2）を区別する。レキは具体的な大きさを調べレキ種も記録する。

コアの写真は日陰にて、物差しや色見本、現場名、深度などの情報とともに撮影し、記録として残す。写真は、なるべく高画質にて撮影し、コアの状況が認識できる画像となっているのかを確認する。コアの撮影にあたっては木箱に明るさが合い、コアの部分が暗くなることで見づらくならないようにする。

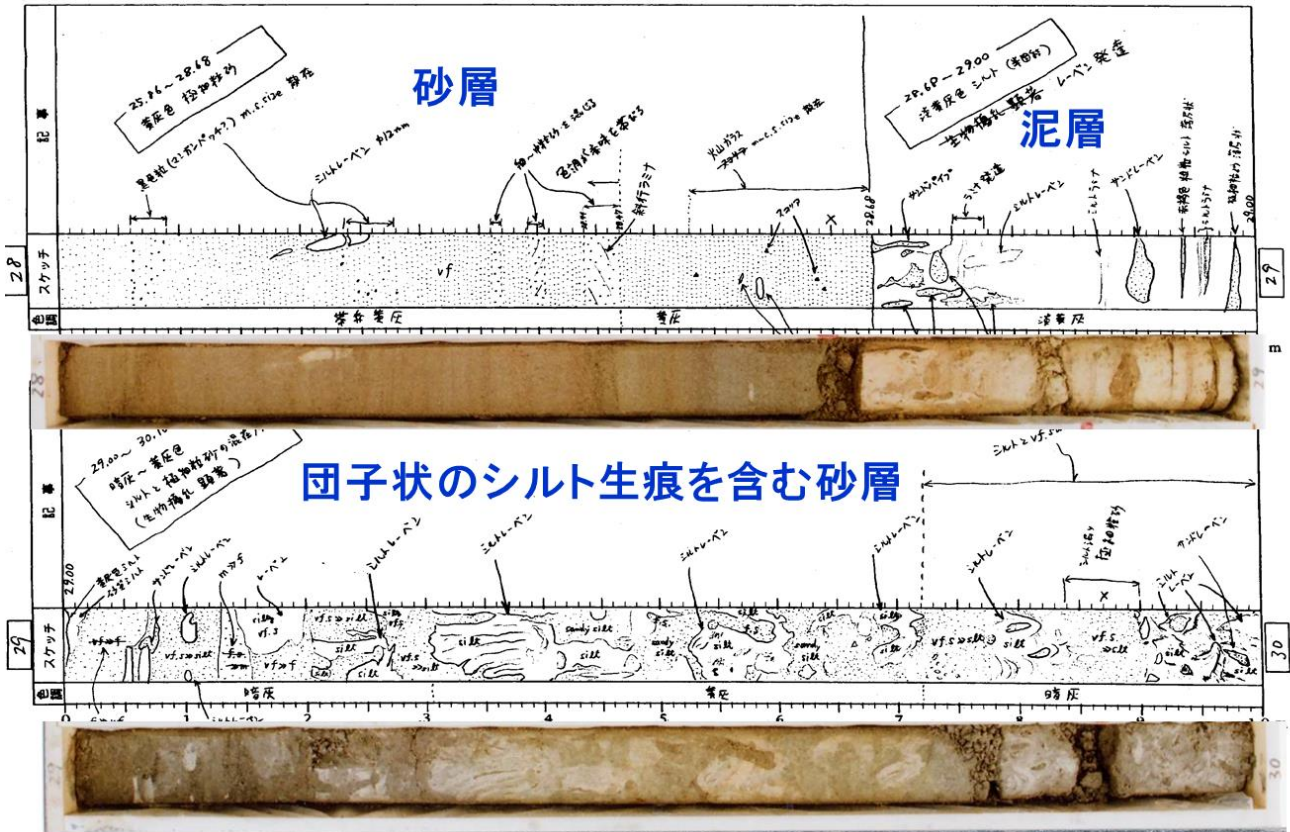
#### 総合地質柱状図の作成

各地点において、地層の粒径や堆積構造といった層相と電気検層結果から、透水層・難透水層の区分を行う。この際、前もって地質柱状図と電気検層結果の深度方向の縮尺を合わせ、柱状図の隣に電気検層結果を貼り付けると透水層・難透水層を区分しやすい（図II-20）。地質柱状図の左側に、地層汚染分析結果のグラフを付けることで、地層の透水性と汚染濃度の関係や、汚染濃度の高い部分が把握しやすくなり、地質汚染機構解明の際に有用な資料となる。

#### ボーリング地点間の水文地質断面図（透水層の対比図）の作成

各地点でのオールコアボーリングコアを並べ、同一火山灰層や貝殻層・生痕化石・砂鉄層などの鍵層や地層の層相を観察し、これを基にボーリング地点間のある深度の地層がそれぞれの地点のコアのどの深度の地層と連続するのかといった地層対比を検討する（図II-23）。この際、既存の地質図の走向傾斜なども考慮する。他の地点のコアも同時に見比べることにより、それぞれのコアの記載の際には記述されていなかった特徴が多数見つかる。また、各層の共通する特徴や、新たな鍵層も明らかとなり、透水層の横方向への正確なつながりを確認できるようになる。鍵層部分の上に色別テープを付けると、後でわかりやすい。砂層は、構成粒子の色や岩石片・鉱





図II-22 地層汚染調査の際のコア記載の例  
 ここでは堆積構造や生痕化石が見られる。



図II-23 コアを並べての地層対比

物の種類などで対比できる場合がある。地質柱状図やコア写真のみからの対比では対比の違いに気付かないことが多い。このため事業者が主体となって行う調査においても、透水層の側方への連続性の確認のため、必要な一定数のコアは保管することが望ましい。これらコアがあれば、対策の効果がなかなか現れないなどの問題が生じた際に、追加的な対策の検討に役立つ。

透水層・難透水層の側方への連続性・不連続性については、実際のコアを並べて見比べ、連続する鍵層をまず確認し、断面図中にその位置や横への連続性を記入しながら、透水層の横への連続性を確認し、ボーリング地点間の透水層の対比図である水文地質断面図を完成させる（P.56の図II-31、P.57の図II-34参照）。

### 透水層別の地下水観測井の設計

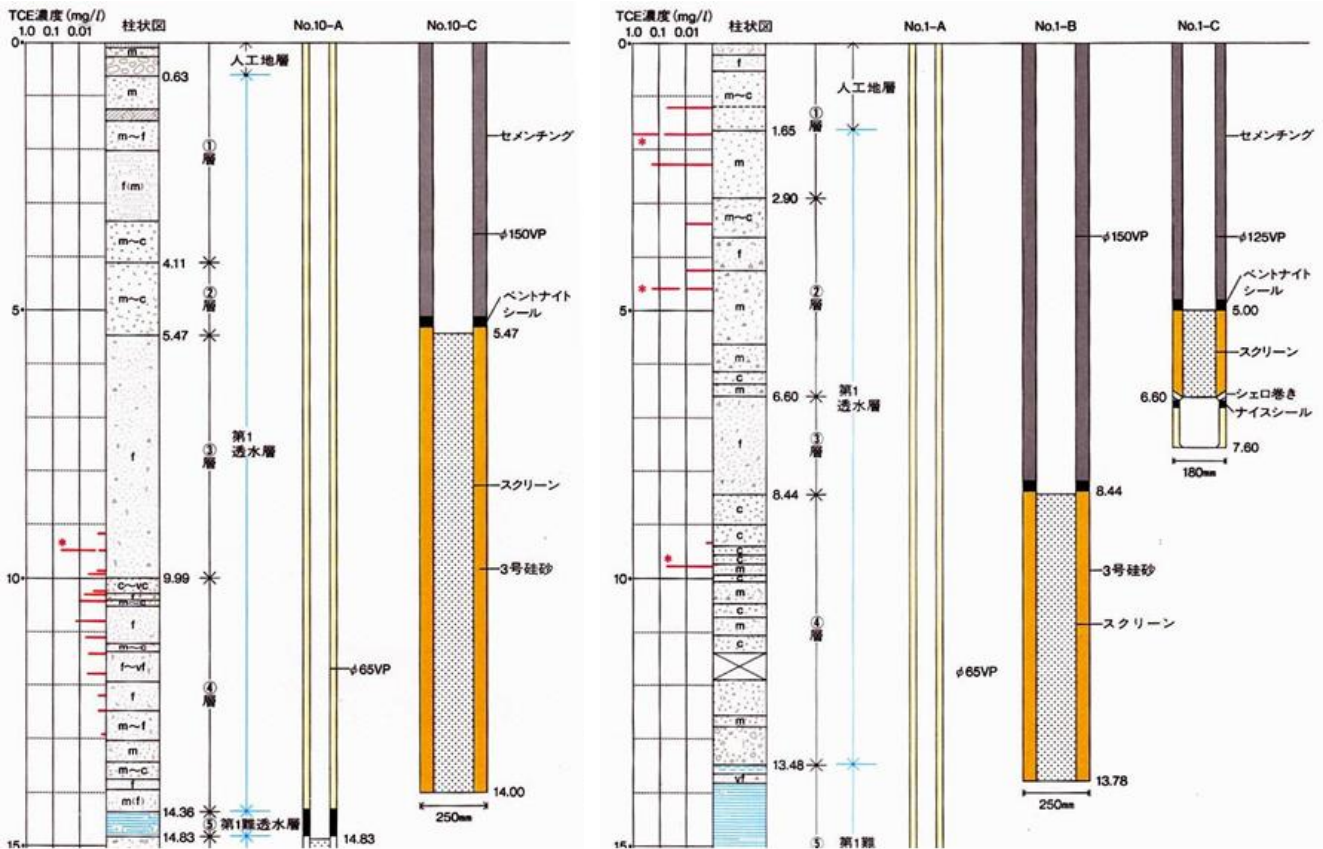
観測井は透水層ごとに設置するものとし、井戸の設計に当たっては、井戸の孔径、井戸設置のための掘削孔の孔径、掘り止め深度、スクリーン設置深度、スクリーンと掘削孔との隙間の処理としてスクリーン区間の珪砂の充填深度、スクリーン区間よりも上位のベントナイトペレットやセメントスラリーによる隙間の充填部分の深度などをコアの観察時に決める<sup>11)・30)・31)・32)</sup>。以下に、これら項目について詳しく述べる。

**井戸の孔径・掘削孔径：**観測井は内径 50mm、65mm、75mm 及び 100mm、揚水井は内径 100mm、150mm、200mm 及び 300mm が多く使用されている。これら井戸の設置には、汚染の移流を防ぐ必要から掘削孔と井戸間の隙間を確実に遮水する必要があるため、掘削径は井戸管の直径よりも 150~200mm 大きくする<sup>33)</sup>。

観測井は、管頭から地下水面までの深度が 10m を超えるときは水位計の目盛り付メジャーが管の内側に濡れて張り付き、計測ミスを起こしやすいので、内径 65mm 以上とすることが望ましい。

揚水井は、揚水量とスクリーンの長さを勘案して内径を決める。宙水層や不圧透水層は、少なくとも内径 150mm 以上とし、揚水量を確保できるようになるべく孔径を大きくするのが望ましい。

**掘り止め深度：**一般に難透水層を挟んで下位の透水層ほど地下水位が低い。難透水層を貫通させてしまうと上位の透水層の地下水がその孔を通り下位の透水層へ流入し汚染の移流につながるため、掘り止め深度は各透水



図II-24 地質汚染現場での一般的な観測井の設置例（左図）と、一つの透水層内で、汚染濃度の高い層準が複数存在するときの観測井の設置の仕方の例（アーバンポタ 34 の文献 29 の図 9・図 10）

層を分けている難透水層の途中か対象とする透水層の基底とし、難透水層を貫通しないようにする。特に難透水層が薄いときは、この上位の透水層の基底あるいはそれよりも0.5～1mほど上を掘り止め深度とする。

**スクリーン設置深度：**スクリーン設定深度は、一本の井戸が対象とする1層の透水層のほぼ全体、あるいは一部の特定な深度とする（図Ⅱ-24）。一本の井戸で複数の透水層にスクリーンを設置するマルチスクリーン井戸は、汚染が他の透水層へ移流するので、作ってはならない。同一透水層内でも、汚染の濃度を考慮し、スクリーン設置深度を決める。例えば同一透水層内でも、高濃度汚染部分が上部にあるが下部にはない場合は、観測井を通じて汚染を深部へ移流させないため、上部と下部とに分けて複数の観測井を設置することが望ましい<sup>29)</sup>。その際、下部の観測井を作成する際には、上部に汚染が見られる部分には次の項目にある遮水を施し、観測井内に汚染水が流入しないように工夫する（図Ⅱ-24のNo.1B）。

不圧透水層では、汚染が見られない地点では可能ならば通常時の地下水面よりも深部にスクリーンを設置する。これは、地下水面付近に水酸化鉄が付着しやすく、スクリーンの目詰まりの防止のためである。

井戸のスクリーン部分は対象とする地層の透水性の100倍以上となるような水の取り入れ口を設け、井戸管内に砂が入らないようにメッシュを巻く（P.12の図Ⅰ-8）。メッシュはシュロや不織布といった汚染物質が吸着しやすい材料を使用せず、汚染物質が吸着しにくく耐久性が高いステンレス製などのものを使用する。井戸の目詰まり時には、井戸孔内においてスワビングといった井戸洗浄方法などを行い、急激な加圧・減圧を繰り返すことがあるので、メッシュは高い耐久性が必要である。

スクリーン設置深度において井戸管と掘削孔の隙間には、この深度の周囲の地層よりも粗い粒径の珪砂で充填する。これは、周囲の地層の粒子が井戸管内に流入するのを防ぐ効果がある。この粒径は周辺の地層の4倍程度とする。

**遮水位置：**スクリーン設置位置より上の掘削孔と井戸管との隙間は、他の透水層の地下水（P.51の図Ⅱ-27参照）や図Ⅱ-24の右図のように同一透水層内の高濃度汚染地下水及び地表水の流入を防ぐため、遮水を行う。遮水の方法は、セメントミルクで隙間を充填することを基本とする（P.51の図Ⅱ-26参照）。例えば、図Ⅱ-24右図の左にある地質柱状図とTCEの汚染濃度の分布を見ると、①・②層の中粒砂～粗粒砂層の部分と、④層の中粒砂層に比較的濃度の高い地層汚染が見られるが、これらの間の細粒砂を主体とする③層には地層汚染が見られない。このため、この現場ではNo.1-BとNo.1-Cのように、地下水面下となる②層の下部と④層に別々に地下水観測井を設置した<sup>29)</sup>。

セメントミルクは、スクリーン部分に設置された珪砂に浸み込みやすいこと、難透水層を挟んで、上下の透水層の地下水位が異なる場合、セメントミルクが硬化する前にセメントミルクの充填部分内に水の通り路となる孔が出来てしまう可能性が高いことから、図Ⅱ-26のように難透水層の基底深度よりも上にはベントナイトペレットを用いたベントナイトシールを先行して施す必要がある。地下水に塩分や高濃度のTCEやPCEなどの非水液を含んでいる場合はベントナイトが膨潤しないことがある。その場合、その水質でも膨潤する物質を使用するなど、地上にてあらかじめ膨潤状況を確認する。珪砂の上面よりも地下水位が低い場合もベントナイトは膨潤しないので、珪砂の上端は透水性が低い粒径の小さい砂に変え、その砂の沈降を待った後、セメントミルクで充填する。その際、その粒径の小さい珪砂にセメントミルクがどの程度浸み込むのかをあらかじめ実験し、浸み込む厚さを考慮し粒径の小さい砂の厚さを設計する。

### 報告書の作成

オールコアボーリングの方法、ボーリング時の汚染移流予防対策の方法や手順、現場簡易地層分析の方法、電気検層の方法、ボーリング孔の閉塞方法、調査の手順などについて述べ、地質柱状図、コアスケッチ図、総合地質柱状図、井戸構造の設計図、ボーリング地点間の水文地質断面図や地層汚染分析結果の表などを付け、調査結果をまとめる。