

分類 A の事案（寒川、平塚、習志野）に係る環境調査方法について

1．はじめに

本資料は、「国内における毒ガス弾等に関する今後の対応方針について」（平成 15 年 1 月 16 日閣議決定）に基づき、A 事案とされた区域（寒川：相模海軍工廠跡地、平塚：相模海軍工廠化学実験部跡地、習志野：陸軍習志野学校跡地）において環境省及び国有地等担当省庁（以下「国」という。）が実施する、毒ガス弾等に関する環境調査方法についてとりまとめたものである。

なお、A 事案以外の区域において、毒ガス弾等に関する環境調査を実施する場合にも本資料を活用することができる。

2．環境調査の目的

毒ガス弾等による被害を未然に防止するため、

- （1）日常生活における危険性がないことを確認する、
- （2）毒ガス弾等が存在する可能性が高い区域を中心に、追加的に、毒ガス弾等の重点的な探索を行う、

ことを目的として、効率的に環境調査（別添参照）を実施する。

よって、仮にこの調査において毒ガス弾等に含まれる化学物質が検出された場合には、別途、個別のケースに応じた追加調査等（該当場所の地歴情報等やその他の環境調査結果を総合的に評価し、実施する調査項目や方法を検討）を行うこととなる。

なお、環境調査に際しては、旧軍の毒ガス弾等に関して多くの知見を有し、かつ当該調査の経験を有する技術者により実施されることが必要である。

3．調査の基本的な考え方

- （1）日常生活における危険性がないことを確認するための調査

日常生活においては、地下水、大気、土壌から人への暴露が想定されるため、地下水、大気、土壌中に含有され得る毒ガス関連物質について、分析技術に関する知見等を勘案して定量下限を定め、これらの物質が検出されないことを確認する。

また、日常生活においては、裸地において 50 cm 程度までの掘削を行うことが想定

され、その際に毒ガス弾等による被害が生じないようにするため、地表面付近の地中において毒ガス弾等の探索調査（物理探査調査、表層ガス調査、物理探査反応物の確認調査等）を行う（通常では地下約3mまで探査できるが、深くなるほど小さなものの捕捉が困難になるため、深いところは一定程度の固まりで存在しているものが対象となる。）。

（2）地歴調査や一連の環境調査等の結果、毒ガス弾等が存在する可能性が高いと考えられる区域について追加的に行う毒ガス弾等の重点探索調査

土地の履歴に係る情報収集結果やその他の環境調査結果等を踏まえて、毒ガス弾等が存在する可能性が高いと考えられる区域（重点探索調査範囲に該当する区域）について、追加的に毒ガス弾等の重点探索調査を実施する。

重点探索調査を行う深さについては、終戦時には人力で毒ガス弾等を埋設したと考えられること、寒川・平塚で毒ガス成分の入った瓶等が発見された深さが3m程度までだったことなどから、基本的には、当時の地表面と考えられるところから3m程度までの深さとする（3mよりも深い廃棄・遺棄情報が存在するケースについてはこの限りではない。）。

重点探索調査の具体的な方法としては、通常の探索調査に加えて、例えば、

対象となる区域の深さ3m程度の深さまで高密度でボーリングしながらの物理探査

ボーリングコア、ボーリング孔を活用した地層、土壌、地下水の分析

レーダー探査、磁気探査以外の物理探査技術（電気探査、電磁探査等）のうち有効なものがあれば、その実施

といった手法により調査を行うことが考えられる。

（3）調査対象区域の選定等

構造物・舗装等により被覆されている土地においては、その状態が保たれている限り、直接接触するような被害が生ずることは考えられないため、構造物・舗装等の除去を伴う土地改変時に調査を行うこととする。ただし、土地所有者、土地占有者又は土地管理者（以下「土地所有者等」という。）から調査の実施についての強い要望がある場合には、舗装等がなされている土地においても、調査可能な範囲に限って物理探査を行うこととする（なお、物理探査の結果、異物が確認され、掘削調査を行うこととなった場合に、舗装面の撤去、原状回復費用は土地所有者等が負担することを前提に、調査を行う。）。

また、終戦時に建物が建っていた場所、戦後に掘削が行われた場所等、毒ガス弾等が存在するおそれが極めて少ないと考えられる場所についての情報を整理し、これらの場所をあらかじめ調査対象地域から除外する等して効率的な調査を行う。

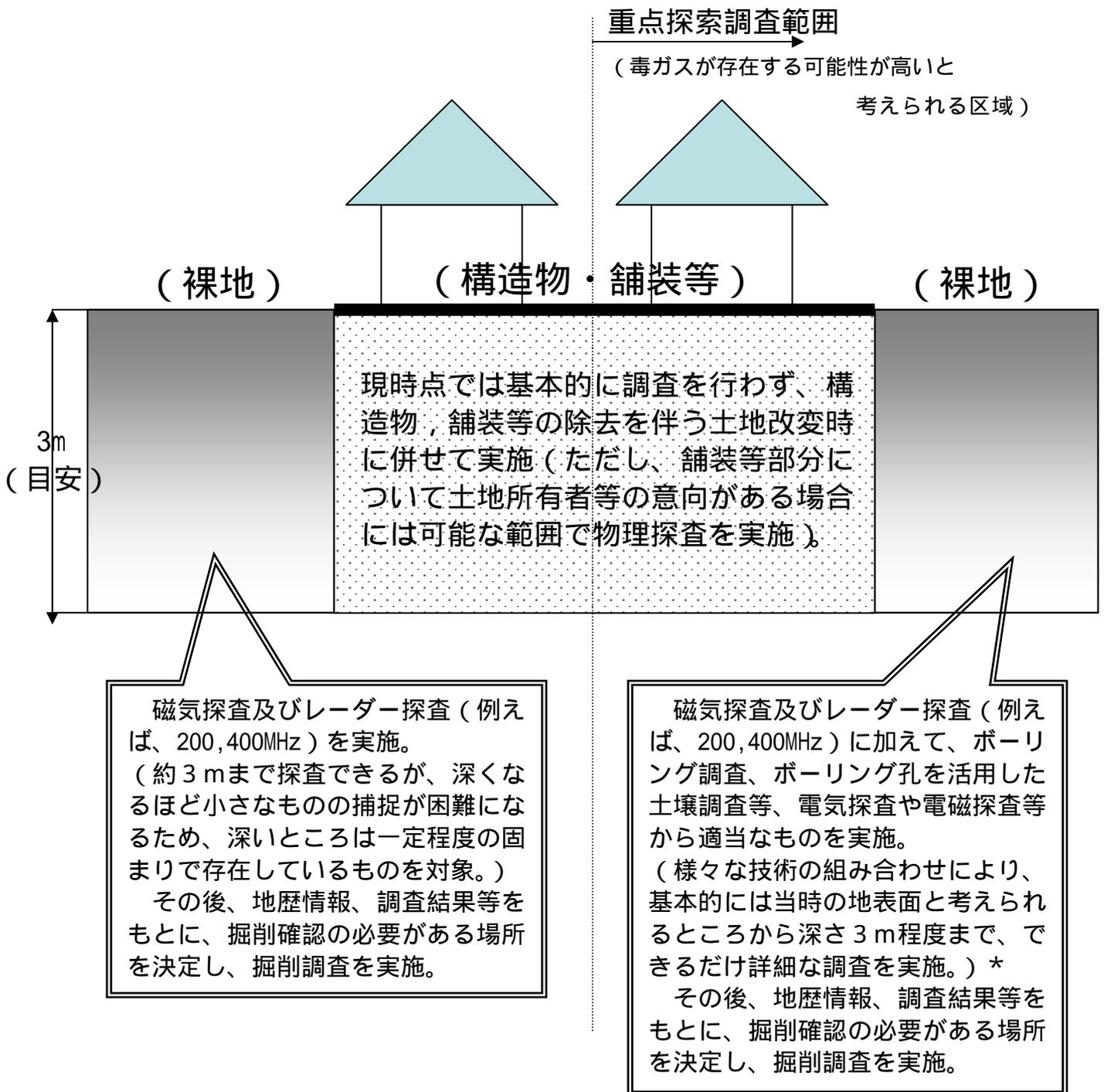
さらに、不審物の確認調査において、調査中に自然地層（人為的な掘削等が施されていない地層）が確認できた場合には、深さ 3 m であるか否かに関わらず、その深さまで当該調査を終了し、それよりも深い部分を割愛する等して効率的な調査を行う。なお、自然地層の確認は、専門の知識を有する者が行うこととする。

（４）土地改変時における環境調査

１）Ａ事案とされた区域で、一連の環境調査が終了し、日常生活において危険性がないことが確認された範囲において、土地改変工事事業者（以下、「事業者」という。）が、掘削を伴う土地改変工事を実施する場合には、「Ａ事案の区域における土地改変指針」（環境省環境保健部 平成 17 年 3 月 25 日）に従い、国が、地歴等調査や物理探査等の既存の環境調査の結果を活用しつつ、土地改変工事における掘削時に表層ガス検知や現地物理探査を実施する。

２）環境調査がまだ実施されていない区域において、事業者が土地改変工事を実施する場合には、構造物・舗装等が撤去された機会を活用して、まず国が環境調査を実施する。環境調査の実施後、当該環境調査の結果について、国が必要に応じて速やかに有識者の判断を仰ぎ、特段の問題がなければ、事業者は土地改変工事を再開することを原則とする。なお、環境調査のうち、当該区域を含めて既に実施されている地歴等調査や地下水調査については、新たに実施しなくても良い。

A 事案における毒ガス弾等探索調査の基本的考え方



* ただし、調査中に自然地層(人為的な掘削等が施されていない地層)が確認できた場合には、深さ3mであるか否かに関わらず、その深さまでで当該調査を終了し、それよりも深い部分を割愛するなどして効率的な調査を行う。)

分類 A の事案（寒川：相模海軍工廠跡地、平塚：相模海軍工廠化学実験部跡地、習志野：陸軍習志野学校跡地。以下、特定区域という。）の区域において実施する旧軍由来の汚染物等に関する環境調査の基本的事項とその具体的内容について

目次

．地歴等調査	1
．地下水調査	3
．大気調査	6
．土壌調査	10
．物理探査調査	15
．表層ガス調査	20
．物理探査反応物の確認調査	23
参 考	33

・地歴等調査

地歴等調査は、都道府県・政令指定都市等と連携して行うこととし、具体的には概ね下記の3段階の作業に大別される。

(1) 第1段階の調査(資料調査)

下記の情報を収集整理し、過去から現在までの土地の利用状況や所有者等を確認する。

- 1) 住宅地図
- 2) 地形図
- 3) 空中写真
- 4) その他の地誌、地図等

(2) 第2段階の調査(視察調査)

土地利用状況等について、地図では確認できないこともあるので、現地の視察を実施する。特に、裸地の状況、公共のものと思われる施設(公園等)について注意して調査する(空地であっても、児童の遊具等があり、調査が困難な場合もあるので注意が必要である)。

また、管轄する地方公共団体等の防災部門や環境部門より、過去に発生した災害や環境問題、地下水の使用状況等について情報収集する。

(3) 第3段階の調査(ヒアリング調査)

土地の所有者等から主に下記の事項についてヒアリング調査を実施する。

位置等の確認では、できればコピー等が可能な工事図面等を用意してもらう。工事業者等が状況を把握している場合は、工事業者等へのヒアリングも実施する。

なお、過去の所有者については登記簿で確認する。

- 1) 敷地内の土地の利用状況
- 2) 過去(購入時～現在)の敷地内の土地改変の状況(建物の建設、上下水等の配管工事、

防火用水槽等の設置、舗装、土壌改良 等の実施状況等)(できるだけ詳細な位置まで)

3) 上記の土地改変等に伴う土地の掘削や盛土の深さの把握(できるだけ詳細な深さまで)

4) 掘削土の搬出、搬入の状況(場合によって、掘削土による汚染が問題となる)

5) 土地改変等の工事の際の状況(特に、発見された埋設物や作業者の異常等)

．地下水調査

1．基本的な考え方

原則として、特定区域の中あるいはその周辺500m程度以内に存在する井戸から、地下水流動を考慮して選定する。複数の井戸がある場合は、特定区域の近傍の井戸を重点的に選定する。

また、下記の要件のいずれかを満たす井戸については優先的に調査の対象とする。

- ・飲用に供している井戸
- ・不透水層よりも浅い滞水層（深さ10mといった浅層）から採水している井戸

その際、当該区域内で調査対象とする井戸の本数や位置、使用状況等を考慮し、井戸数が少ない等必要が認められる場合には、調査回数を増やす等状況に応じた適切な調査計画を策定するものとする。なお、井戸の所在確認や使用許可、調査計画の周知や結果の公表の問題等については、事前に十分調整しておく必要がある。

2．分析項目および定量下限値

(1) あか剤関連物質

- ・ジフェニルクロロアルシン（DA） - 定量下限値：0.003 mg/L 以下
- ・ジフェニルシアノアルシン（DC） - 定量下限値：0.003 mg/L 以下
- ・ジフェニルアルシン酸（DPAA） - 定量下限値：0.003 mg/L 以下
- ・フェニルアルソン酸（PAA） - 定量下限値：0.002 mg/L 以下
- ・ビス（ジフェニルアルシン）オキシド（BDPAO）
- 定量下限値：0.003 mg/L 以下

(2) 硫黄マスタード関連物質

- ・硫黄マスタード（HD） - 定量下限値：0.001 mg/L 以下

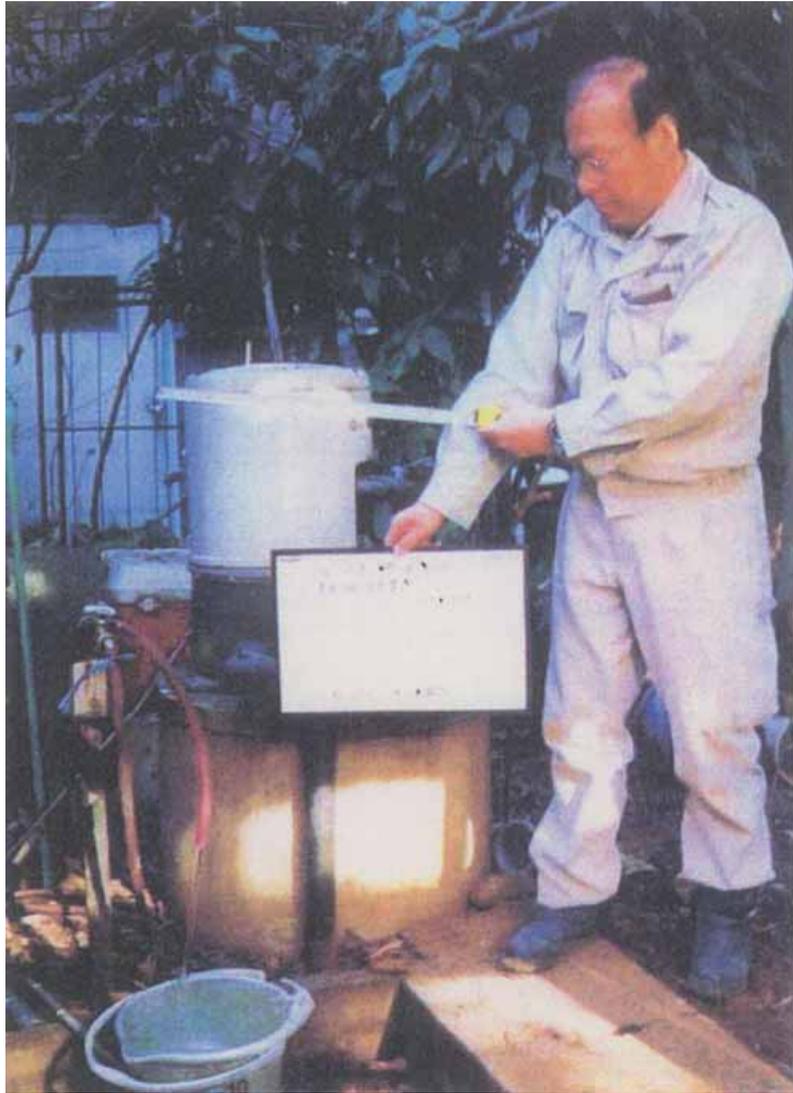


図 - 1 地下水調査状況

・大気調査

1．基本的な考え方

原則として、特定区域全面（屋内を除く）を対象とする。

調査地点の選定においては、連続するひとかたまりの区域内から、風向の変化等を考慮して代表される調査地点を複数点選定する。例えば、大きな建物で隔たれた区域では、それぞれの場所で別に複数地点を選定することが望まれる。

また、下記の要件を満たす区域は優先的に調査の対象とする

- ・ 深さ 1 m 以上の土壌の入れ換えや掘削等の情報のない区域
- ・ 不特定の人が立入る区域（学校、公園等）
- ・ 構造物・舗装等のない裸地

2．分析項目および定量下限値

- | | |
|-----------------------|---------------------------------------|
| (1) 硫黄マスタード (HD) | - 定量下限値： 0.00002 mg/m ³ 以下 |
| (2) ルイサイト (L1 および L2) | - 定量下限値： 0.003 mg/m ³ 以下 |
| (3) ホスゲン (CG) | - 定量下限値： 0.09 mg/m ³ 以下 |
| (4) シアン化水素 (AC) | - 定量下限値： 0.55 mg/ m ³ 以下 |

3．調査方法

(1) 調査時期、測定回数

調査時期については、基本的には夏季の調査が望まれるが、代表性の確保のために適切な時期を選定する。

調査日は、晴れで風の少ない日で、前日も同様の天気のとを選び、対象項目が拡散しやすい風の強い日や、検出されがたい雨の日は避ける。

調査時期ごとの測定回数は 1 回とする。

(2) 試料の採取方法

1) 硫黄マスタード (図 - 2 参照)

1.5 m (子供への影響を考慮し、低い位置で測定する必要がある場合にはその高さ) の高さにおいて、定量下限値を満たす適切な量 (例えば、分析機器の定量下限値が 0.5ng の場合 2.5 L 以上) の大気を、定量性のある吸引ポンプ (0.5 ~ 1 L / 分程度の流量) で採取し、吸着剤 (TENAX-TA 等) を詰めた吸着管を通して吸着させ、密封のうえ、遮光した状態で保管して (急激な温度変化は避ける) 、分析室に持ち帰る。ただし、硫黄マスタードは空気中の水分により分解する可能性があるため、できるだけ速やかに分析に供する。

なお、降下ばいじん等の混入の恐れがある場合は、先端にガラス製のロートを取り付け、下向きに設置して大気試料を採取する。

2) ルイサイト (図 - 3 参照)

硫黄マスタードと同様に、1.5 m の高さにおいて、定量下限値を満たす適切な量 (例えば、例えば、吸収液法の場合 20 ~ 40 L 程度) の大気を、定量性のある吸引ポンプ (0.5 ~ 1 L / 分程度の流量) で採取し、塩酸水溶液やヘキサン等の溶媒が入った吸収瓶、あるいは吸着剤 (TENAX-TA 等) を詰めた吸着管に導いて吸収・吸着し、密封のうえ、遮光した状態で冷蔵の上、分析室に持ち帰る。

3) ホスゲン、シアン化水素

ホスゲン、シアン化水素は市販のガス検知管を用いる。定量下限値が種々のものがあるが、シアン化水素については 0.55 mg/m³、ホスゲンについては 0.09 mg/m³ 以下であるものが望まれる。試料の採取等は各検知管に特定の装置があるので、それを使用する。なお、試料の採取高さはやはり地面から 1.5 m 程度の高さ (子供への影響を考慮し、低い位置で測定する必要がある場合にはその高さ) とする。

例示であり、これと同等以上の採取方法等で調査することを妨げるものではないが、その

信頼性が確認された手法を用いること。

(3) その他

大気試料の採取時の天候、気温、風向・風速を測定する。



図 - 1 大気調査状況（右：環境大気試料採取装置、左：風向・風速計）

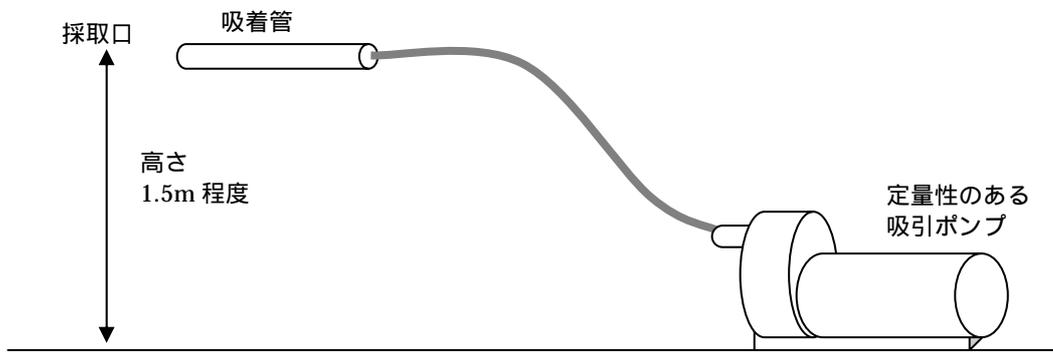


図 - 2 硫黄マスタードの大気試料採取装置の例

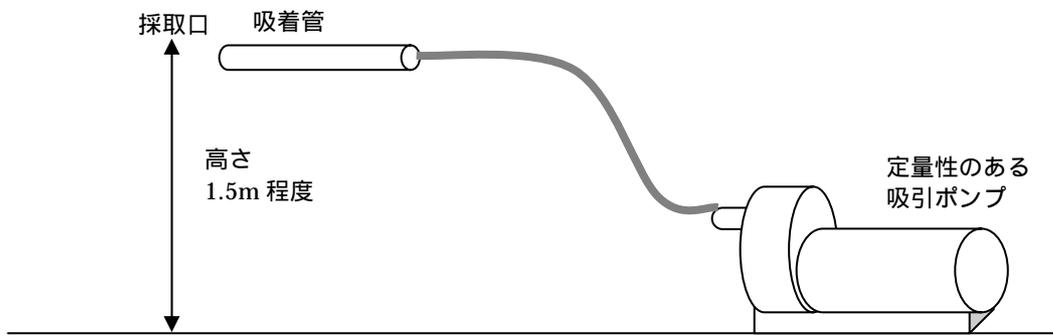
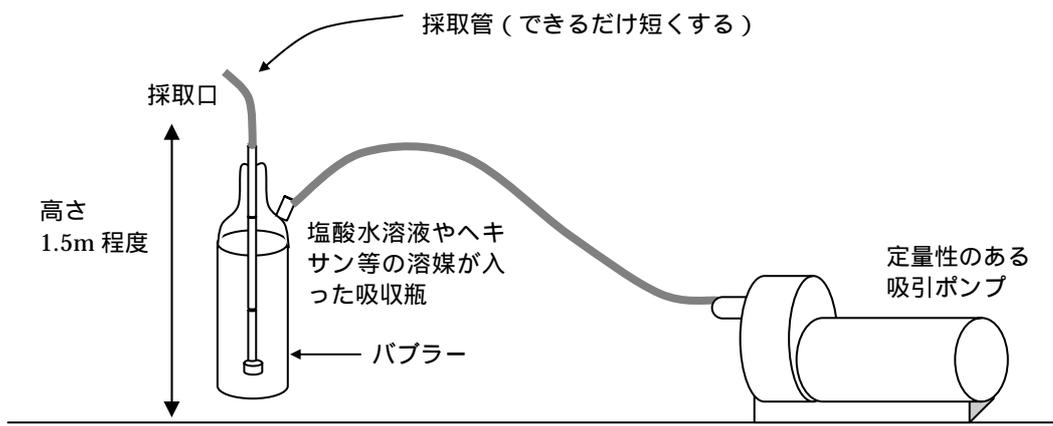


図 - 3 ルイサイトの大気試料採取装置の例

・ 土壌調査

1 . 基本的な考え方

原則として、下記の要件を満たす区域を調査の対象とする。

- ・ 深さ 1 m 以上の土壌の入れ換えや掘削等の情報のない区域
- ・ 構造物・舗装等のない裸地

なお、土壌試料を採取する掘削地点は、物理探査で、深さ 1 m 以内に物理探査反応物がないことを確認のうえ決定する。物理探査反応物が検知された場合は、その地点から 1 m 程度離れた物理探査反応物のない地点を選定する。

2 . 分析項目および定量下限値

土壌調査において、あか剤関連物質およびルイサイト関連物質については、まず溶出試験を実施し、検出されれば含有量試験を実施する。

硫黄マスタードについては、溶出試験の際に加水分解する可能性があるため、溶出試験と含有量試験を両方実施する。(表 - 1 参照)

(1) あか剤関連物質

- ・ ジフェニルクロロアルシン (D A) - 定量下限値 : 0.003 mg/ L 以下 (溶出量)
5mg/kg-乾土以下 (含有量)
- ・ ジフェニルシアノアルシン (D C) - 定量下限値 : 0.003 mg/ L 以下 (溶出量)
5mg/kg-乾土以下 (含有量)
- ・ ジフェニルアルシン酸 (D P A A) - 定量下限値 : 0.003 mg/ L 以下 (溶出量)
5mg/kg-乾土以下 (含有量)
- ・ フェニルアルソン酸 (P A A) - 定量下限値 : 0.002 mg/ L 以下 (溶出量)
4mg/kg-乾土以下 (含有量)

・ビス(ジフェニルアルシン)オキシド(BDPAO)

- 定量下限値：0.003 mg/L 以下(溶出量)

5mg/kg-乾土以下(含有量)

(2) 硫黄マスタード関連物質

・硫黄マスタード(HD)

- 定量下限値：0.001 mg/L 以下(溶出量)

0.05mg/kg-湿土以下(含有量)

(3) ルイサイト関連物質

・ルイサイト(L1)

- 定量下限値：0.002 mg/L 以下(溶出量)

3mg/kg-乾土以下(含有量)

・ルイサイト(L2)

- 定量下限値：0.003 mg/L 以下(溶出量)

4mg/kg-乾土以下(含有量)

・2-クロロビニル亜アルソン酸(CVAA)

- 定量下限値：0.002 mg/L 以下(溶出量)

3mg/kg-乾土以下(含有量)

ただし、ルイサイト1と2-クロロビニル亜アルソン酸は、あわせて分析することを妨げない。

表 - 1 土壌調査の分析項目

対象物質	溶出試験	含有試験
あか剤関連物質		
・ジフェニルクロロアルシン (D A)		
・ジフェニルシアノアルシン (D C)		
・ジフェニルアルシン酸 (D P A A)		
・フェニルアルソン酸 (P A A)		
・ビス (ジフェニルアルシン) オキシド (B D P A O)		
硫黄マスタード関連物質		
・硫黄マスタード (H D)		
ルイサイト関連物質		
・ルイサイト 1 (L 1)		
・ルイサイト 2 (L 2)		
・2 - クロロビニル亜アルソン酸 (C V A A)		

および については、溶出試験で検出されれば含有量試験も実施する

3 . 調査方法

(1) 調査時期、回数

調査の回数は 1 回で、季節等に関係はないが、降雨時は適していない。

ただし、土壌の採取に時間を要し、対象区域は数日間使用できなくなる場合も想定されるため、調査時期については土地所有者等と協議のうえ決定する。

(2) 試料採取地点の選定

まず、選定した調査区域内を地図上で概ね 1 0 m × 1 0 m の区画に細分する。

原則として、試料はそれぞれの区画から採取された 1 試料をそのまま 1 検体として分析することが望まれるが、複数の区画から採取された複数試料を等量混合して 1 検体とすること

も可能とする（例えば、一連の広大な土地において調査を実施する場合には、最大で9つ程度の区画から採取された試料をそれぞれ等量混合して1検体として分析することも可能である）。ただし、混合試料より調査対象物質が検出された場合には、混合前の個々の試料について、検出された項目の分析を行う。

（3）試料の採取方法

万一の事故を考慮し、機械は使用せず、ダブルスコップ、ハンドオーガー等の簡易な器具を用い、地表から深さ50cmまでの土壌を採取する。

掘削終了後、及び掘削中に異常な感触（硬いものに触れた等）を感じた場合は、掘削器具を引き抜き、掘削孔において現場型測定器具によって毒ガスの有無を検知する。

採取した試料は礫や大きな植物根等を除去した後、複数の区画から採取された複数試料を等量混合して約500gを1検体とする。攪拌すると揮発する恐れがあるため、混合時には攪拌しない。採取した試料は遮光した状態で冷蔵してできるだけ速やかに分析機関に運ぶ。

なお、試料は風乾しない。試料を採取してから混合するまで時間がある場合は、密閉容器に収納し、冷暗所で保管する。また、各試料は（複数試料を混合した場合は、その個々の試料も）暗所に冷蔵保存する。

溶出試験については、土壤汚染の環境基準に関する測定方法に準じるが、揮発性がある物質群と同様に、風乾しないで試料を作成する方法に準じて試料の作成等を実施する。

含有量試験の分析結果の表示は乾土あたりになっているが、乾燥前の試料を用いてまず化学分析を実施し、毒ガス成分が検出されなかった場合には、密閉容器に保管しておいた試料の一部を用いて、通常の乾燥（乾燥機による乾燥 デシケーターによる冷却）によって乾燥重量を求める。一方、もし毒ガス成分が検出された場合は、活性炭等による排気浄化装置付きのドラフトチャンバー内で、ごく少量の試料を、活性炭等を入れたデシケーターで乾燥する等の十分な安全対策を施す。

また、作業者は念のため、防毒マスクを使用することとする。なお、十分な安全措置を講

じることができない場合は、安全が確保できる機関に分析を依頼する。

例示であり、これと同等以上の採取方法等で調査することを妨げるものではない。

(4) 毒ガスの漏洩の検知

試料採取時の安全確保のために、掘削終了後、及び掘削中に異常な感触（硬いものに触れた等）を感じた場合は、掘削器具を引き抜き、掘削孔において現場型測定器具によって毒ガスの有無を検知する。

なお、簡易型の現場測定器具によっては、誤って毒ガス以外の揮発性物質を毒ガス成分として検知してしまう可能性があるため、毒ガスを検知した際にはGC-MSを原理とする測定器具による再確認が必要である。

(5) 毒ガスを検知した場合等の異常時の措置

毒ガスを検知した場合等の異常時の措置については、物理探査反応物の確認調査の(5)以降を参照。



図 - 1 土壌調査状況

・物理探査調査

1．基本的な考え方

原則として、調査対象区域内の裸地を対象とする。

また、下記の要件を満たす区域は優先的に調査の対象とする

- ・深さ1 m以上の土壌の入れ換えや掘削等の情報のない区域
- ・不特定の人の立入ることのできる区域（学校、公園等）

なお、構造物・舗装等された土地において、土地所有者等が物理探査調査実施を要望した場合には、構造物・舗装面等の撤去や原状回復等の費用が土地所有者等の負担であることを前提に、調査を行う。ただし、地歴等調査で旧軍の建屋があったことや過去に3 m以上の掘削履歴が判明し、明らかに毒ガス弾等が存在しないと考えられる区域等、合理的な理由のある部分は省略できることとする。

2．調査方法

（1）物理探査の種類

原則として、レーダー探査（例えば、200MHz 及び 400MHz）と磁気探査の2種類を実施する。

その他、調査対象地域の実情を踏まえ、必要に応じて、専門家の助言を得たうえで、ボーリングを活用した物理探査、表層の掘削履歴等を把握する調査（電気探査や電磁探査）の実施も検討する（表 - 1 参照）。

（2）現場での探査方法

1）レーダー探査

レーダー探査の実施に際しては、調査範囲に10 m四方程度の目印、及び0.5m～1 m程度の間隔をおいた測線を設置し、測線に沿ってセンサー（例えば、200MHz 及び 400MHz）を移動させ、現地で画像を確認しながら、調査を繰り返す。取得したデータは随時保存媒体に転送し、保管しておく。

なお、毒ガス弾等の存在の可能性が高いと考えられる地域では、測線の幅はより狭い間隔等を採用する。

2) 磁気探査

レーダー探査と同様に、調査範囲に10m四方程度の目印を打ち、さらに0.5m～1m程度の間隔をおいた測線を設置し、測線に沿ってセンサーを移動させる。取得データは随時保存媒体に転送し、保管する。測線の幅などはレーダー探査と同様とする。

(3) 解析・評価方法

レーダー探査、磁気探査とも、調査結果の解析には、多くの経験を積んだ技術者が必要である。

解析結果だけでなく、調査対象区域内における埋設情報や、過去の掘削情報等の諸情報も勘案し、必ず専門家の助言を得たうえで、物理探査反応物への対応について検討することとする。

表 - 1 地中物理探査方法の比較（浅部の埋設物に関する探査方法を主体にした）

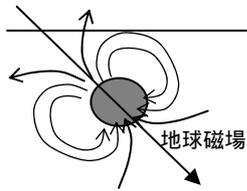
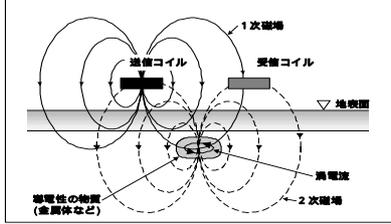
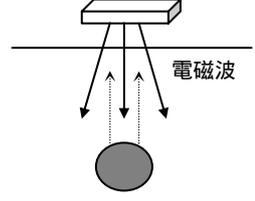
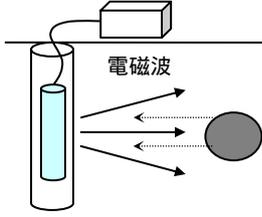
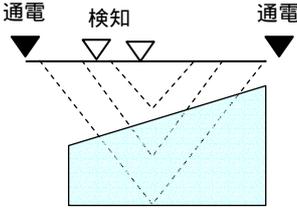
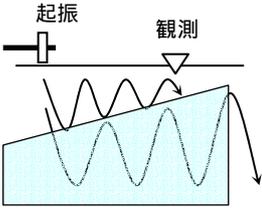
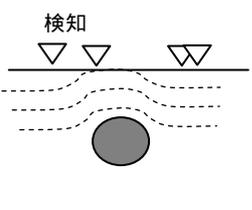
探査方法	磁気探査	電磁探査（金属埋設物探査） & 電磁誘導法	レーダー探査 （連続波レーダー探査）
測定原理	<p>磁性体（金属等）のように磁気を帯びるものにより乱された地球磁場を測定する</p> 	<p>強制的に電場を発生させ、地中の磁性体（金属等）に生じる二次電場を測定する</p> 	<p>電磁波パルスを地中に照射し、反射波を捕らえて地中の対象物を探査する</p>  <p>異なる周波数の電磁波を連続的に照射する連続波レーダー探査もある。</p>
調査概要	<p>1.5m 程度の長さの検知器を携えてライン上を歩いて検知し、データを解析して地中の磁性体（金属等）を判定する。</p>	<p>車輪のついた送受信機を曳き、データを解析して地中の金属等を判定する。 測定器は種々の大きさがあるが、1m 四方未満のものが多く、なお、数十mの精度での地層の比抵抗を測定する方法もある。</p>	<p>アンテナを連続的に移動させ、データ解析をして地中の埋設物を判定する。画像をその場で見るのも可能。 アンテナの大きさは種々あるが、通常は0.5m 角程度。連続波探査では装置はやや大型</p>
利用分野	<p>浅部の磁性体（金属等）の探査に広く利用されている</p>	<p>浅部の磁性体（金属等）の探査（最近発達した方法） 比抵抗の測定では、掘削履歴等の把握</p>	<p>表層の固形物の探査（金属以外でも反応） （埋設管、空洞等に広く利用されている）</p>
測定深度	<p>3～4m程度 (250kg 爆弾では1.5m 程度)</p>	<p>5m 程度 (～2m が適している) 比抵抗測定の場合 数十m～1000m(波長で異なる)</p>	<p>～3m 程度(ノイズが影響する) 900MHz：～0.5m 200-500MHz：1～3m (連続波探査はやや深くまで可能)</p>
測定幅	<p>1m 程度でほぼ全面をカバーできる</p>	<p>1m 程度 (測定装置の幅による)</p>	<p>アンテナの幅によるが、1m 程度以深ならば、1m 間隔でほぼ全面をカバーできる。</p>
(精度) 分解能	<p>右記に類似するがやや劣る</p>	<p>0.05m～(深さで異なる) (深さ5cm：プルタブ、 2-3m：ドラム缶) 比抵抗測定では 数～数十m</p>	<p>0.05m～(深さで異なる) (深さ3mで 1m 程度)</p>
長所	<p>地表に接触しないで連続的に測定できる。 水中の調査も可能</p>	<p>地表に接触しないで、連続的に探査可能。 磁気探査よりも反応が明瞭。 探査可能深さは磁気探査よりやや深い。</p>	<p>地中の埋設物を検知するのに最も適しており、広く利用されている。</p>
短所	<p>磁性体以外は反応しない。 周辺の磁性体（建物、車輛、ガードレール等）の影響を受ける。</p>	<p>周辺の磁性体（建物、車輛、ガードレール等）の影響は磁気探査よりも大きい。 金属以外は反応しない。</p>	<p>周波数の高いものは解像度は良いが、探知可能深さが浅い。 周波数の低いものは探知深さはやや良いが、解像度が悪い。 海水の浸る部分は不可能</p>

表 - 1 地中物理探査方法の比較（浅部の埋設物に関する探査方法を主体にした）（続き）

測定方法	ボアホールレーダー	電気探査	表面波探査	重力探査 (マイクロ重力)
測定原理	<p>ボーリング孔に電磁波の送受信機を挿入して行う、レーダー探査</p> 	<p>地中に強制的に電流を流し、地質や地下水の比抵抗の相違を測定する</p> 	<p>地表を起振し、表層付近の振動(表面波)を捉えて地下の状況を探査する方法</p> 	<p>地中の密度の異なる物質による重力の微妙な違いを検知する。</p> 
調査概要	<p>65mm 程度のボーリング孔に送・受信機を挿入し、探査する。 (センサー 50mm のものがある)</p>	<p>地表に接地した 2 本の電極で通電し、他の 2 本の電極で地表の電位を測定する。電極間隔を変えることで探知可能深さも異なる。 電極をセットにした装置を連ねて地表面を車輦で曳く調査方法もある。</p>	<p>かけや、重錘等で地表面に振動を与え、表層付近の振動(表面波)を捉えて地下の状況を探査する方法。</p>	<p>微小な重力を検知する測定器を設置する。測定自体は数分で、測定器を次々に移動させて測定を実施する。</p>
利用分野	<p>ボーリング孔近くの固形物。杭位置等の確認に多用されている。</p>	<p>電気抵抗の異なるもの(地質構造、金属鉱床、地下水、産業廃棄物、空洞等)</p>	<p>表層の空洞、地質構造</p>	<p>地質構造、断層、密度の異なる大型の埋設物(防空壕、空洞等)</p>
測定深度	<p>ボーリング孔の深さ</p>	<p>0.5 ~ 数百 m (理論上) (電極間隔の約 1/2)</p>	<p>0.5 ~ 20m 程度 (10m 以深が適している)</p>	<p>-</p>
測定幅	<p>水平方向には 1m 程度以内</p>	<p>測定電極を設置することで、広域をカバーできる</p>	<p>検知器を設置することで、広域をカバーできる</p>	<p>同左</p>
(精度) 分解能	<p>10-20cm</p>	<p>深さの約 1/2 の大きさ (深さ 3m で約 1.5m)</p>	<p>検知器の設置間隔による</p>	<p>測定器の設置間隔によるが、通常 1m 以上</p>
長所	<p>ボーリング孔周辺の埋設物の状況把握が、深さに関わらず把握できる</p>	<p>比抵抗の異なるもの(地下水等)には最適掘削履歴もある程度可能と考えられる</p>	<p>かなり深い部分でも探査可能</p>	<p>理論上は非常に深い部分まで探査可能</p>
短所	<p>物理探査反応物の位置が不明な場合は使用が困難</p>	<p>ビール瓶のような小さいものは検知が難しい。</p>	<p>ビール瓶のような小さいものは検知が難しい。</p>	<p>深度方向の分布は不明</p>



レーダー探査の状況



磁気探査の状況

図 - 1 物理探査状況

・表層ガス調査

1．基本的な考え方

調査地点は、原則として、物理探査の結果、毒ガス弾等が埋設されている可能性がある
と判断された地点の全てにおいて実施する。

構造物・舗装等された土地の場合は、物理探査反応物の確認時に構造物・舗装等を取
り壊した際、掘削工事に先立って実施する。

2．分析項目および定量下限値

- | | |
|---------------------|--------------------------------------|
| (1) 硫黄マスタード (HD) | - 定量下限値：0.00002 mg/m ³ 以下 |
| (2) ルイサイト (L1およびL2) | - 定量下限値：0.003 mg/m ³ 以下 |
| (3) ホスゲン (CG) | - 定量下限値：0.09 mg/m ³ 以下 |
| (4) シアン化水素 (AC) | - 定量下限値：0.55 mg/m ³ 以下 |

3．調査方法

(1) 調査時期、回数

調査日は、晴れで風の少ない日で、前日も同様の天気のときを選定する。対象項目
が拡散しやすい風の強い日や、検出されがたい雨の日は避ける。

(2) 試料の採取方法

1) 硫黄マスタード (図 - 1 参照)

採取管の先端を可能な限り地表部に近づけて、定量性のある吸引ポンプ (0.5
～ 1 L / 分程度の流量) を用いて、定量下限値を満たす適切な量 (例えば、分析
機器の定量下限値が 0.5ng の場合 2.5 L 以上) の大気を、吸着剤 (TENAX - TA 等)
を詰めた吸着管に吸着させ、密封のうえ、暗所に保管して (急激な温度変化は避
ける) 分析室に持ち帰る。ただし、硫黄マスタードは空気中の水分により分解

する可能性があるため、できるだけ速やかに分析に供する。

2) ルイサイト (図 - 2 参照)

テフロン等の採取管の先端を可能な限り地表部に近づけて、定量性のある吸引ポンプ(0.5~1 L / 分程度の流量)を用いて、定量下限値を満たす適切な量(例えば、例えば、吸収液法の場合20~40 L程度)の大気を、塩酸水溶液やヘキサン等の溶媒が入った吸収瓶、あるいは吸着剤(TENAX-TA等)を詰めた吸着管に導いて吸収・吸着し、密封のうえ、暗所に冷蔵して分析室に持ち帰る。

3) ホスゲン、シアン化水素

ホスゲン、シアン化水素は市販のガス検知管を用いる。種類により定量下限値が様々であるが、シアン化水素については0.55 mg/m³、ホスゲンについては0.09 mg/m³以下であるものが望まれる。試料の採取等は各検知管に特定の装置があるのでそれを用いることとし、試料の採取はできる限り地表に近づけて実施する。

例示であり、これと同等以上の採取方法等で調査することを妨げるものではないが、その信頼性が確認された手法を用いること。



図 - 1 硫黄マスタードの採取装置の例（表層ガス調査）

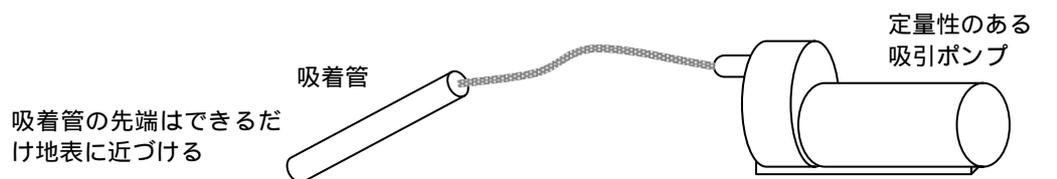
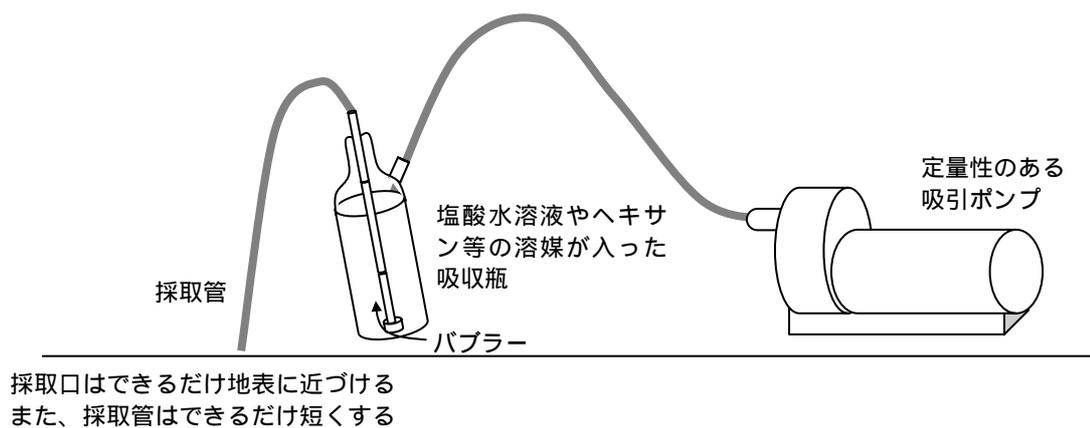


図 - 2 ルイサイトの採取装置の例（表層ガス調査）

・物理探査反応物の確認調査

1．調査地点の選定

物理探査反応物の確認調査は、物理探査調査（レーダー探査及び磁気探査）及び表層ガス調査の結果、地歴情報等をもとに、専門家の意見等を踏まえ、毒ガス弾等である可能性があり、掘削による確認の必要があると判定された地点について実施する。

調査地点の選定についての基本的な考え方は以下の通りである。

0.5 m程度の深さまでは、日常生活において人が直接接触する可能性があるため、それよりも浅い部分でレーダー探査により明らかな検知が得られ、埋設物等が存在する可能性があるとして認められた全ての地点

0.5 mよりも深い部分については、日常生活上、人が直接接触する可能性は低い。掘削を伴う土地改変等の際に接触するおそれがあるため、レーダー探査により2～3 m程度の深さまでに明らかな反応が検知され、一定程度の大きさを有する固まり（ドラム缶やピン 100 本程度以上の大きさのもの）が存在する可能性があるとして認められた全ての地点

技術的な問題でレーダー探査だけでは検知できない可能性のある部分（測線と測線の間地点の浅い部分）において、磁気探査で検知反応が得られた全ての地点

2．調査方法

（1）安全対策

安全対策は基本的に、表 - 1 に示す「注意事項レベル」で対応するが、状況に応じ、専門家と相談して注意事項レベルを決定する。

ただし、物理探査の結果等により、爆発の可能性が否定できない毒ガス弾等が存在する可能性が高い場合や、埋設情報の存在および土地利用状況等を勘案して、専門家の判断により特に必要であると認められる場合については、「注意事項レベル」以上で対応する。

また、表層ガス調査での検知点は、毒ガス弾等の存在が確実あるいは極めて高いと考えられるので、安全対策は「注意事項レベル」で対応するものとする。

なお、ここで示した注意事項レベルとは、種々の環境調査結果を踏まえて決定されるものであり、環境調査における重点探索調査範囲とは異なる。

(2) 調査を行う作業員の装備

旧軍毒ガス弾に含まれている化学物質から一定時間防護するため、表 - 2 に示す注意事項レベルに適した装備を装着させる。

なお、毒ガスが検知された場合等の異常時については(5)の記載に準じた装備を着用させる。

(3) コンテインメント(局所包蔵設備)の準備

安全対策を注意事項レベル 及び で対応することに決定した地点においては、表 - 2 に示すように、それぞれに適応したコンテインメントを設置して作業を実施する。

なお、表中の普通コンテインメント、高性能コンテインメントとは、それぞれ下記の性能を有するものを用いる。

1) 普通コンテインメント

一重の仮設テント等を活用する等、密閉性が高く、排風機、毒ガス弾に含まれている化学物質の除去装置等から構成される局所コンテインメント。

2) 高性能コンテインメント

二重の仮設テント等を活用する等、密閉性が極めて高く、急激な温度上昇にも対応できるもので、排風機、毒ガス弾に含まれている化学物質の除去装置、排気モニター等から構成される局所コンテインメント。

(4) 掘削方法

掘削作業は、安全対策として地点ごとに決定した注意事項レベルに基づき、表 2 に示すように、重機による鋤き取りの繰り返し(機械掘削)及び手掘り(人力掘削)を組み合わせて実施する。より安全な方法がある場合には、その方法に従い掘削作業を実施する。

なお、掘削時に自然地層(人為的な掘削等が施されていない地層)が確認できた場合には、深さ3mであるか否かに関わらず、その深さまでで当該調査を終了し、それよりも深い部分を割愛する等して効率的な調査を行う。

鋤き取りの繰り返し及び手掘りの場合は下記の点に注意する。

1) 鋤き取りの繰り返し

バックホウ等の重機による機械掘削は慎重に行い、バケットを地面に突き立てないように、鋤き取りの繰り返しとする。

地面が固く掘削が困難な場合は、特に慎重な作業が求められる。

機械掘削の場合は、掘削の深さは、事前の物理探査等により安全とされた深さよりも50cm以上離れた深さまでに限る。

2) 手掘り

手掘りではスコップ等を用い、スコップを地面に差し込むときはゆっくりと慎重に行う。

先端に不審物が当たった感触があった場合は、そのままスコップを抜いて、毒ガス弾に含まれている化学物質の漏洩等がないか、現場型測定器具によりガス検知する。

埋設物を破損する可能性の高いつるはし等は用いない。

(5) 毒ガスを検知した場合等の異常時の措置

現場型測定器具毒ガスの検知反応が得られた場合は、以下の措置を行う。

1) 直ちに、作業者等を風上の立入制限区域外へ、安全に退避させる。

2) 直ちに土砂やシート等の展開等により、周辺への拡散の防止措置を行う。

ただし、この作業は、異常時の装備（注意事項レベル に相当）として、カバーオール（防水性、耐化学薬品性（毒ガス弾に含まれている化学物質の浸透しないもの）、作業手袋（同上）作業靴（同上）ヘルメットあるいは帽子、フルフェイスの防毒マスクあるいはエアラインマスクを着用した者に限る。

3) GC - MSを原理とする現場測定器具により、毒ガスの検知反応が得られた箇所において、展開したシートの下からガスを採取する等して、再確認する。ただし、その作業は異常時の装備を着用した者に限る。

4) 3) により毒ガスの漏洩を確認した場合は、設定しておいた連絡体制（異常時）に従い、直ちに警察署及び相当部局に連絡すると同時に、下記の措置を実施する。

立入制限区域の入口に警備員を配置し、関係者及び調査責任者の許可した作業員以外が立ち入らないように昼夜連続で監視する。

現場型測定器具（簡易型検知機およびGC - MS）により、周辺への毒ガスの漏洩の有無を確認する。この作業は、異常時の装備を着用した者に限る。

機材が汚染されたと考えられる場合は、早急に除染し、二次被害を防ぐ。

5) 3) により毒ガスが検知されなかった場合は、一旦展開したシートや土砂を取り除き、念のため、再度GC - MSを原理とする現場測定器具により、毒ガスの漏洩の有無を確認する。この時に毒ガスを検知した場合は、再度土砂やシートを展開した後、4) の措置を実施する。

なお、毒ガスが検知されなかった場合は、元の作業に戻っても構わないが、毒ガス以外の揮発性ガスが存在する可能性があるため、作業員等の体調等に注意する。

(6) 毒ガス弾等の可能性のある不審物に遭遇した場合等

毒ガス弾等の可能性のある不審物（ガラス瓶等）に遭遇した場合は、調査責任者は、調査作業を直ちに中止させ、以下の対応を行う。

1) 現場型測定器具により、周辺への毒ガスの漏洩の有無を確認する。ただし、その作業は先述の異常時の装備を着用した者に限る。

2) 1) で毒ガスの検知反応が得られた場合は、直ちに土砂やシート等の展開等により、周辺への拡散の防止措置を行う。また、GC - MSを原理とする現場測定器具により、毒ガスの検知反応が得られた箇所において、展開したシートの下からガスを採取する等して、毒ガスの漏洩の有無を確認する。ただし、その作業は異常時の装備を着用した者に限る。

3) 2) により毒ガスの漏洩を確認した場合は、設定しておいた連絡体制（異常時）に従い、直ちに警察署及び相当部局に連絡すると同時に、下記の措置を実施する。

立入制限区域の入口に警備員を配置し、関係者及び調査責任者の許可した作業者以外が立ち入らないように昼夜連続で監視する。

現場型測定器具（簡易型検知機およびGC - MS）により、周辺への毒ガスの漏洩の有無を確認する。この作業は、異常時の装備を着用した者に限る。

機材が汚染されたと考えられる場合は、早急に除染し、二次被害を防ぐ。

4) 1) で毒ガスの可能性のあるガスを検知しなかった場合、及び2) により毒ガスの漏洩を確認できなかった場合は、調査責任者が当該不審物が毒ガス弾等である可能性があるか否かを慎重に確認する。

(7) 土壌の搬出時の注意

土壌掘削時に毒ガス弾等の存在が検知された場合、あるいは毒ガス弾等であることが確認された場合は、敷地外に搬出する土壌に毒ガス弾等が含まれないことが確認されるまでは、土壌は搬出しない。

また、毒ガス弾等が確認・検知されない場合でも、敷地外に搬出する土壌の全てについて、不審物（不審な容器、ガラス瓶、土壌と異なる粉末や固体等）が存在しないことを必ず確認のうえ、搬出量、搬出日時、搬出先、不審物がないことの確認者等の

記録を作成・保管する。

なお、毒ガス弾等であると判明し、その除去作業等を実施する場合は、十分な安全確保に努めながら、掘削作業等を実施する。

表 - 1 物理探査反応物の確認調査時における安全対応のレベル

想定する作業内容	注意事項レベル	主たる具体的対応（詳細は表 - 2 参照）
物理探査反応物の確認調査 （物理探査検知点の中から、専門家の意見を踏まえて選定）	レベル	<ul style="list-style-type: none"> ・掘削にあたっては、鋤き取りの繰り返しと手掘りの組み合わせ（*3）+ ガス検知 ・コンテインメントは不要 ・防塵マスクの着用、フルフェイス防毒マスクの携行等
上記で、毒ガス弾等の存在の可能性が高い場合等（*1）	レベル	<ul style="list-style-type: none"> ・普通コンテインメントの設置（仮設一重テント+ 排風機、毒ガス成分除去装置、排気モニター 等） ・掘削にあたっては、鋤き取りの繰り返しと手掘りの組み合わせ（*3）+ ガス検知 ・防塵マスクの着用、フルフェイス防毒マスクの携行等
毒ガス弾等の存在が確実あるいは極めて高い場合等（*2）	レベル	<ul style="list-style-type: none"> ・高性能コンテインメントの設置（仮設二重テント+ 排風機、毒ガス成分除去装置、排気モニター 等） ・掘削にあたっては、鋤き取りの繰り返しと手掘りの組み合わせ（*3）+ ガス検知 + 50 cmごとに物理探査（重点探索調査区域の場合でボーリング孔を利用した物理探査等を十分に行っている場合には、当該探査の結果を活用すれば特に必要ない） ・フルフェイス防毒マスクあるいはエアラインマスクの着用等

* 1：物理探査反応物の確認調査を実施する地点のうち、地歴等調査やその他の環境調査結果等を踏まえた専門家の検討の結果、マスタード、ルイサイト、ホスゲン、シアン化水素などを含む毒ガス弾等が存在する可能性が高いとして指摘された場所での確認調査を想定。

* 2：毒ガス弾等の存在が確実あるいは極めて高いと専門家の指摘がある場合（例えば、下記のような場所）を想定。

毒ガス又は毒ガス由来と考えられる化学物質が地表ガスから検出された地点

既に毒ガス弾等が発見されている地点に連続する極近傍の地点

* 3：物理探査で確認した検知点の位置から50cmよりも近い部分は、基本的に手掘りとする。

表 - 2 物理探査反応物の確認調査時における安全確保対応のポイント

注意事項 レベル	掘削にあたっての必要に 応じた現場物理探査 (50cmごと)	掘削にあたって の随時のガス検 知	コンテインメント	掘削方法	装備(通常時)
	× (物理探査調査での検知点の位置を再確認するために、現場物理探査を実施する場合がある)	(* 1)	×	鋤き取りの繰り返しと手掘りの組み合わせ(* 2)	作業服(長袖、長ズボン)、防水性の作業手袋、防水性の作業靴、ヘルメットあるいは帽子、防塵マスクの着用、フルフェイス防毒マスクの携行等(緊急時に直ちに着用可能なように準備する)
	× (物理探査調査での検知点の位置を再確認するために、現場物理探査を実施する場合がある)	(* 1)	普通コンテインメント(仮設二重テント+排風機 毒ガス成分除去装置、排気モニター 等)	鋤き取りの繰り返しと手掘りの組み合わせ(* 2)	カバーオールあるいは作業服(長袖、長ズボン)、防水性の作業手袋、防水性の作業靴、ヘルメットあるいは帽子、防塵マスクの着用、フルフェイスの防毒マスクの携行(緊急時に直ちに着用可能なように準備する)
		(* 1)	高性能コンテインメント(仮設二重テント+排風機 毒ガス成分除去装置、排気モニター 等)	鋤き取りの繰り返しと手掘りの組み合わせ(* 2)	カバーオール(防水性、耐化学薬品性(毒ガス弾に含まれている化学物質の浸透しないもの))、作業手袋(同上)、作業靴(同上)、ヘルメットあるいは帽子、フルフェイスの防毒マスクあるいはエアラインマスクを着用

* 1 : 掘削部分や掘削孔等において、予定の深さ(基本的には50cm)の掘削ごとに測定し、その他随時必要に応じて測定する。

測定は取扱いの容易な現場型計測器具が良いが、毒ガスが検知された場合はGC-MSを原理とする測定器具により、詳細な調査を実施する(表 - 3参照)。

* 2 : 物理探査で確認した物理探査反応物の位置から50cmよりも近い部分は、基本的に手掘りとする。

表 - 3 毒ガス弾に含まれている化学物質の現場型測定器具の例

測定原理	イオン泳動式	コロナ放電	I M S 式	I M S 式	フーム光度式	
機種	N O R C A M	L C D 3 . 2	C h e m P r o 1 0 0	R A I D M	T I M s d e t e c t o r	
メーカー（技術）	(英) Smiths Detection	(英) Smiths Detection	(フィン) ENVIRONICS	(独) Bruker	(仏) Proengin SA	
検出限界値 (測定時間)	マスタード(HD)	0.2 mg/m ³ (30 sec)	1 mg/m ³ (10 sec)	0.2 mg/m ³ (within 10 sec)	0.02-0.05 mg/m ³ (5~8 sec)	0.3 mg/m ³ (as S) (2 sec)
	ルイサイト(L)	0.2 mg/m ³ (120 sec)	2 mg/m ³ (10 sec)	0.01 mg/m ³ (within 10 sec)	0.077-0.1 mg/m ³ (5~8 sec)	1.5 mg/m ³ (as As) (2 sec)
	ホスゲン(CG)	<5 mg/m ³ (30 sec)	20 mg/m ³ (10 sec)	-	1.5-2.4 mg/m ³ (3~5 sec)	-
	シアン化水素(AC)	<5 mg/m ³ (30 sec)	22 mg/m ³ (10 sec)	20 mg/m ³ (within 10 sec)	1.2-1.4 mg/m ³ (3~5 sec)	5 mg/m ³ (as N) (2 sec)
備考	有機塩素化合物 の妨害あり。		目的物質と質量数が近い揮発成分が正誤差の可能性あり		元素の発光で検知	

測定原理	G C / M S	G C / M S	G C / X S D	電気化学式	検知管	
機種	H A P S I T E	可搬式 GC-MS	M I N I C A M S	ドレゲルマルパ-ン	検知管	
メーカー（技術）	(米) INFICON	(米) National Laboratories	(米) C M S	(独) Drager	(独) Drager	
検出限界値 (測定時間)	マスタード(HD)	1ng 程度	0.00002 mg/m ³ (吸着管で濃縮)	0.0006 mg/m ³ (10 min)	-	定性
	ルイサイト(L)	分析可能	約 0.001 mg/m ³ (前処理装置設置)	0.0006 mg/m ³ (10 min)	-	定性
	ホスゲン(CG)	分析可能	分析可能	0.08 mg/m ³ (10 min)	0.04mg/m ³ (40sec)	0.25~75 ppm
	シアン化水素(AC)	分析可能	分析可能	-	0.1mg/m ³ (10sec)	2~150 ppm
備考		米国化学剤データ ベース搭載		成分毎にセンサー設定		

注：出所は商品取扱い説明書等による。

レベル

装備

- ・作業服（長袖、長ズボン）、手袋（防水）、作業靴（防水）、ヘルメットあるいは帽子、防塵マスクの着用、フルフェイス防毒マスクの携行（緊急時用）

掘削方法

- ・鋤き取りの繰り返しと手掘りの組み合わせ
- ・ガス検知



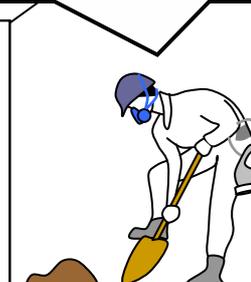
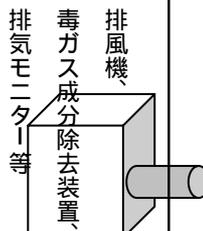
レベル

装備

- ・カバーオールあるいは作業服（長袖、長ズボン）作業手袋（防水）、作業靴（防水）、ヘルメット又は帽子、防塵マスクの着用、フルフェイス防毒マスクの携行（緊急時用）

掘削方法

- ・鋤き取りの繰り返しと手掘りの組み合わせ
- ・ガス検知



普通コンテナメント（仮設1重テント）

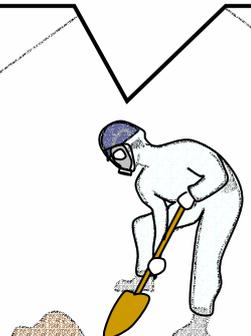
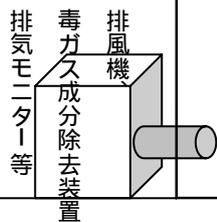
レベル

装備

- ・カバーオール（毒ガス等の浸透しない材質）、作業手袋（同上）、作業靴（同上）、ヘルメット又は帽子、フルフェイス防毒マスクあるいはエアラインマスク

掘削方法

- ・50cm ごとに物理探査
- ・鋤き取りの繰り返しと手掘りの組み合わせ
- ・ガス検知



高性能コンテナメント（仮設2重テント）

図 - 1 注意事項レベル別の掘削方法、装備等の概要

[参 考]

地下水調査および土壌調査において旧軍毒ガス弾等に関連する化学物質が検出された地域での追加調査等では、必要に応じて下記の関連物質の分析について、専門家の指導を受けつつ検討するものとする。

対象項目	定量下限値（案）		
	地下水 (mg/L)	土壌溶出試験 (mg/L)	土壌含有量試験 (mg/kg 乾土)
あか剤関連物質			
・トリフェニルアルシン（TPA）	0.004 以下	0.004 以下	6 以下
・フェニルアルシンオキシド（PAO）	0.002 以下	0.002 以下	3 以下
・フェニルメチルアルシン酸 （PMAA）	0.002 以下	0.002 以下	4 以下
硫黄マスタード関連物質			
・チオジグリコール	0.01 以下	0.01 以下	10 以下
ルイサイト関連物質			
・ルイサイトオキシド	0.002 以下	0.002 以下	3 以下
みどり剤関連物質			
・2 - クロロアセトフェノン	0.002 以下	0.002 以下	3 以下