

海面最終処分場閉鎖・廃止基準適用検討調査

報告書 現地調査編

平成 17 年 9 月

財団法人 日本環境衛生センター

目 次

| | |
|-----------------------|----|
| 第1章 本報告書の構成と調査概要 | 1 |
| 1.1 背景と目的 | 1 |
| 1.2 本報告書の構成 | 1 |
| 1.3 調査概要 | 1 |
| 第2章 調査サイトと調査手法 | 7 |
| 2.1 調査対象サイト | 7 |
| 2.2 一般調査方法 | 8 |
| 2.3 観測井位置選定のための詳細調査方法 | 11 |
| 2.4 一般調査を援用する詳細調査方法 | 14 |
| 第3章 処分場調査結果 | 17 |
| 3.1 A処分場調査結果 | 17 |
| 3.2 B処分場調査結果 | 20 |
| 3.3 C処分場調査結果 | 36 |
| 第4章 おわりに | 51 |

第1章 本報告書の構成と調査概要

1.1 背景と目的

海面最終処分場は、周辺を遮水性護岸で締め切られ、その中へ海洋投入というかたちで廃棄物が撒き出され、徐々に陸地化されることで埋立地を形成する比較的大型の廃棄物最終処分場の一つである。場所によって異なるが、海面最終処分場の多くは地表面から数メートルの位置に保有水等水面を有しており、この水位が外海の平均水位（M.S.L: Mean Sea Level）に等しいか、やや高い位置にあることが多い。このような廃棄物の半分以上が海水（やや希釈されている）に浸かったままの海面最終処分場は、陸上最終処分場に埋め立てられた廃棄物とは異なる安定化が進行することが推察されることから、海面最終処分場特有のモニタリング手法やモニタリング位置を検討していく必要がある。保有水等水位以深の保有水等をモニタリング対象とするか、それとも水位以浅の保有水等をモニタリング対象とするかによって、その観測井戸構造は大きく異なっている。また、陸上最終処分場に比較して、海面最終処分場では、埋立深さも保有水等水位から地表面までの高さも平面的な変化がないことから、どのようにモニタリング位置を決定するかも重要な問題となる。

本報告書では、現場調査をもとにしたモニタリング位置の決定手法と、観測井を用いた連続モニタリング手法について詳述する。今後、閉鎖を迎える海面最終処分場の維持管理ならびに廃止基準へのモニタリングへと援用されることを希望している。

1.2 本報告書の構成

現地調査についてまとめられた本報告書は、海面最終処分場閉鎖・廃止基準適用マニュアルの一部を成す報告書である。廃止基準へ向けたモニタリングのための観測井の設置場所を決定する現場調査手法の一例を示すとともに、廃止基準へ向けたモニタリングに関しても、その例を明示する。第一章では、報告書の構成と、調査概要として一般調査と詳細調査の考え方を定義し、その内容を示す。第二章では、一般調査ならびに詳細調査の方法を詳述し、第三章では実際の処分場での調査結果を報告し、最終章の第四章にて、本報告書のとりまとめを行っている。

1.3 調査概要

1.3.1 調査の種類

現地調査は、廃止基準関連項目を測定するために必要な観測井の設置場所を決定する「詳細調査」と、観測井を利用して廃止基準関連項目を測定する「一般調査」に分類される。観測井設置後の観測井内のガス濃度、ガス圧力、温度の深度分布等の測定は、処分場の安定化を知る上で重要となる調査であり、本来の廃止基準項目で指定された調査ではないが、「詳細調査」に分類した。それぞれの調査目的を表 1-1 に示す。また、一般調査から詳細調査への流れを図 1-1 に示す。一般調査である廃止基準関連項目を測定するために、まず詳細調査を実施し、その後、観測井を設置した後に一般調査（一部、詳細調査）を実施する。

表 1-1 一般調査と詳細調査の目的

| 調査種別 | 調査の目的 |
|------|--|
| 一般調査 | 廃止基準を満足するために必要な調査であり、廃棄物層の内部温度、ガスの発生量（ガス濃度）、対象保有水等水質の測定を実施する。 |
| 詳細調査 | 廃止基準に関わる項目を測定するための観測井を設置する場所を決定するための事前調査であり、埋立履歴、ガスフラックス、地表面温度、土壌ガス濃度等の調査である。一般調査内容を援用するモニタリングデータを取得することを目的とし、観測井内のガス濃度、ガス圧（発生量代替）、深度別温度の測定を無人で実施する。 |

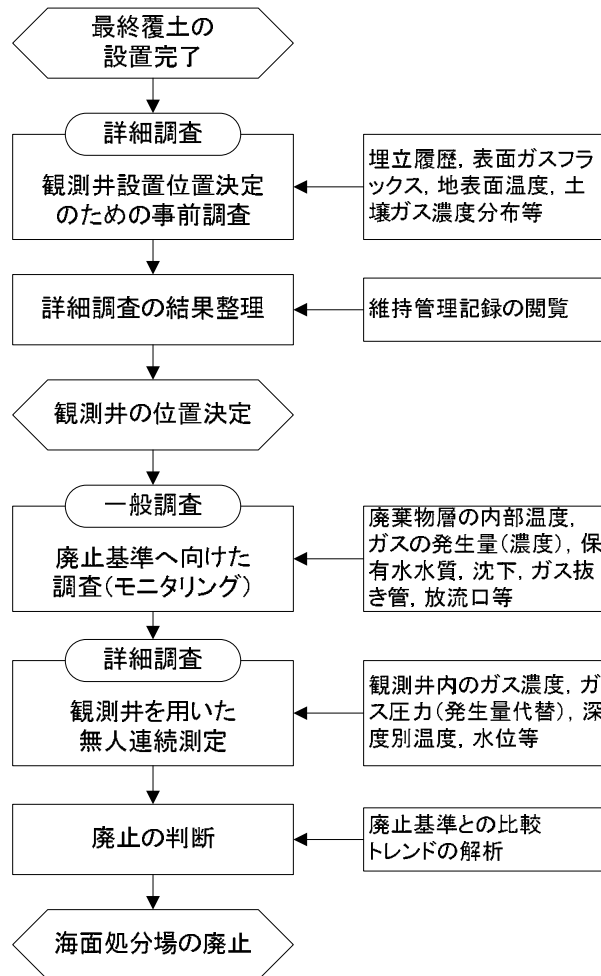


図 1-1 詳細調査から一般調査までの流れ

1.3.2 一般調査

一般調査は、廃止基準を満足するために必要な調査であり、廃棄物層の内部温度、ガスの発生量（ガス濃度）、対象保有水等水質の測定を実施する。

- (1) 廃棄物層の内部温度の測定は、「埋立地全体または埋立区画毎に廃棄物の安定化による変化を把握するために代表となる複数の地点で、ガス抜き管や観測井、保有水等揚水井戸等の既存の施設を利用して行う」とされており、本調査では観測井を用いた内部温度の測定として、温度検層を実施した。
- (2) ガス発生量の測定は測定方法が確立されていないことや、測定者によって誤差が大きいことから、ガ

ス発生量は測定せずに、ガス濃度の測定を行った。採取場所は、大気による希釈を受けない深さとして観測井内の地表面から深さ2mの地点とした。

- (3) 保有水等の水質測定は、観測井内に溜まった孔内水を保有水等と仮定して採水を実施した。測定項目は、基準省令に定められた項目以外に、水温、溶存酸素、酸化還元電位、電気電導度を測定した。

1.3.3 詳細調査

詳細調査は、事前調査の一環であり、廃止基準項目を測定するために設置される観測井の位置を決定する調査である。周辺環境へのリスクを最小限に止めるという観点から、観測井の設置場所としては、廃棄物の分解活性が高く、周辺環境に最も影響を及ぼしやすいと考えられるポイントを選定し、廃止基準に関する項目のモニタリングを実施すべきという考えに立脚している。

調査内容としては、処分場の埋立履歴や、物理探査手法、地表面ガスフラックス調査、土壌ガス濃度分布、地表面温度分布等が挙げられる。また、観測井を用いた一般調査に加えて、観測井での連続測定も詳細調査とした。連続測定では、観測井内のガス濃度、ガス発生量代替パラメーターとしてのガス圧、深度別温度分布の測定を実施した。

(1) 観測井位置決定のための詳細調査

観測位置決定のための手法は、現地調査のみならず埋立履歴を援用して決定することも可能である。また、物理探査手法等の非破壊法を用いることも可能であるが、観測位置の決定は、廃止後や維持管理期間における海面最終処分場のリスク管理において重要な事項となることから、一手法に頼らず、種々の手法を組み合わせて適宜決定することが推奨される。本現地調査においては、地表面温度分布測定と地表面ガスフラックス調査、ならびに土壌ガス濃度調査の組み合わせによって観測井の位置を決定した。

(ア) 埋立履歴の調査として、処分場の管理主体が埋立履歴を有している場合には、その記録を用いて埋立履歴を知ることが可能である。本調査では埋立履歴の詳細を調査しなかったが、予算や時間的な都合から詳細調査が困難な場合には、観測井は、本埋立履歴を用いて位置を決定することも可能であり、最も埋立年代が若く、安定化に時間がかかるとされる廃棄物の埋立領域を選定する。また、埋立履歴の記録がない処分場であっても、空中写真を定期的に撮影している処分場が多いことから、空中写真を利用して埋立履歴を知ることが可能である。

(イ) 物理探査手法としては、比抵抗探査や電磁波探査が挙げられる。比抵抗探査や電磁波探査は、保有水等水位の深度を知る目的には有効であり、比抵抗探査の場合、安定化活性の把握を行うことも可能であり、比抵抗値の低い(電気電導度の高い)安定化活性の高い領域を観測井の設置場所として選定することができる。本手法は、非破壊探査手法であり、海面最終処分場の埋立廃棄物を攪乱すること無しに観測井位置の選定を行うことが特徴である。本調査報告書では、物理探査手法は用いていない。

(ウ) 地表面ガスフラックス調査ならびに土壌ガス濃度分布調査は、高濃度の埋立ガスを湧出しているポイントを選定するための調査である。高濃度の埋立ガスを湧出しているということは、その下部に生物分解活性の高い領域が存在することを表している。本調査では、まず、処分場全体を100mメッシュで区分し、その交点において測定された埋立ガスの高濃度湧出領域(メッシュ)を絞り込み、さらに20mメッシュに細分化した領域を調査領域として、再度、地表面ガスフラックスと土壌ガス濃度分布調査を実施して、観測井の設置場所を選定した。

(エ) 地表面温度分布の測定として、埋立地全体の反射温度を知るためにサーモグラフを利用して空中から埋立地を撮影し、埋立地全体の温度分布を測定した。埋立地全体の温度分布図より、温度の高い領域を選定して、地表面ガスフラックス調査や土壌ガス濃度分布調査結果の絞り込み領域(メッシュ)と照合し、最終的な絞り込みのメッシュを決定した。地表面温度分布は、空中撮影のみならず、その参照データとしてメッシュ区分交点において、サーミスタによる直接測定も実施している。

本調査報告書の観測井戸設置のための詳細調査フロー図を図1-2に示す。海面最終処分場は比較的大規模なことが多いため、埋立地全体調査を実施した後に、対象領域を絞り込んで、再度詳細調査を実施

することで観測井の位置を決定することが良いと思われる。物理探査や地表面温度分布は、その全てを実施する必要はなく、いずれかの手法、もしくは状況に応じて、いくつかの手法を組み合わせることで調査領域の絞り込みを行うことが良い。調査領域の絞り込みに埋立履歴を利用し、その後、地表面ガスフラックスや土壌ガス濃度調査を実施することも有効であると考えられる。

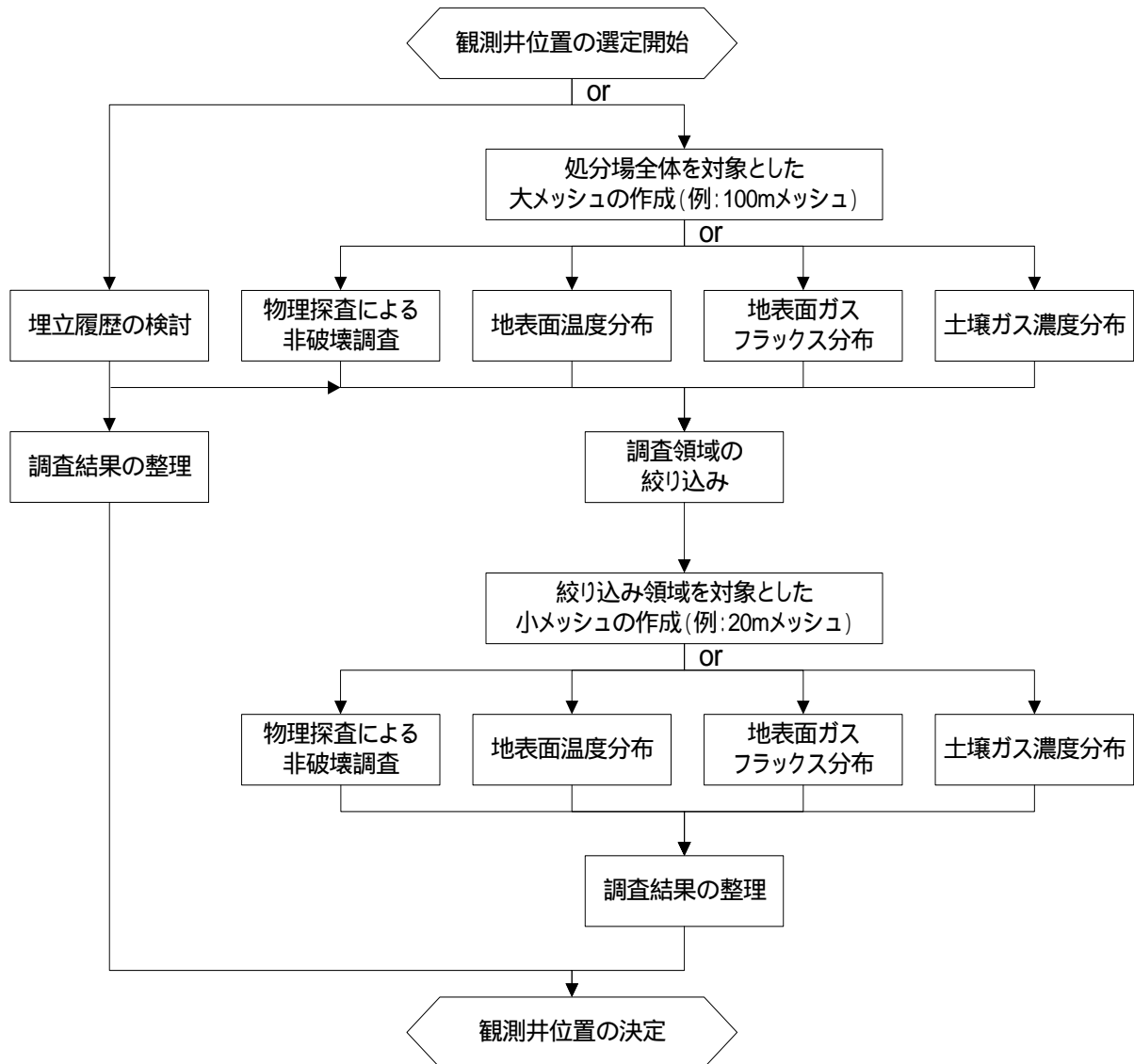


図 1-2 詳細調査フロー図

(2) 観測井を用いた連続測定

観測井を設置した後、一般調査である廃止基準項目を援用する連続データの取得は、一般調査で決められた年数回の調査（モニタリング）結果を補間する意味でも、調査結果の個人誤差を無くす意味でも有益である場合が多い。データ補間という観点からすると、季節変動によるモニタリング誤差の理由を解明することも可能であり、さらには、モニタリング位置修正のためのデータも得ることが可能となる。

(ア) 連続ガス濃度の測定は、観測ステーションに内に設置された埋立ガスアナライザー（ガス吸引型）を利用して連続的に実施している。孔内ガスの採取点は、地表面から 2~3 m の深さであり、大気や気温の影響を受けない深度を選定した。

(イ) 孔内ガス圧の測定は、ガス発生量の測定代替手法として実施した。ガス発生量を流量として連続的に測定することは困難であることから、代替法として、密閉式の観測井を用いた孔内ガス圧測定を行

った。ガスの発生量が多ければ、密閉式の孔内ガス圧が高くなるであろうことを利用した測定法である。ガス圧は、大気圧との差圧として計測を行い、測定機器には腐食性ガスや気温の変動に対して耐性の高い機器を選定して実施した。

- (ウ) 孔内温度の深度分布測定は、井戸内において、大気や気温の影響を受けない深度を知るために重要であり、温度変化の日変動領域、季節変動領域を知ることができる。ガス濃度測定深度や、廃棄物層の温度を反映した孔内温度の深度は、季節変動のない恒温点より下方を選択することが安定したモニタリングデータを得るために重要となる。
- (I) 観測ステーションの電源として、自然エネルギーを使用した太陽光発電システムを利用している。海面最終処分場において、処分場内部に安定した交流電源を有している場合は少なく、基本的には自然エネルギーを利用した発電システムを使用する必要がある。本調査では、風力よりも発電効率が高く、障害物の少ない海面最終処分場で有効と考えられる太陽光発電を使用した。

第2章 調査サイトと調査手法

2.1 調査対象サイト

調査対象サイトとして3つの海面最終処分場を選定した。それぞれの選定理由は、埋立年代が比較的古くて廃止までの期間が短いと思われる処分場、無機性の廃棄物を主体として埋めている処分場、有機性の廃棄物を主体として埋めている処分場である。それぞれ、順番にA処分場、B処分場、C処分場とする。それぞれの処分場の特徴を表2-1に示す。また、それぞれの処分場における埋立廃棄物種や閉鎖時期等の情報を表2-2にまとめる。

表2-1 調査対象サイトの選定理由

| 処分場名 | 選定理由 |
|------|------------------------------------|
| A処分場 | 埋立時期が比較的古く、廃止までの期間が短いと想定される海面最終処分場 |
| B処分場 | 無機性廃棄物を主体として埋めた海面最終処分場 |
| C処分場 | 有機性廃棄物を主体として埋めた海面最終処分場 |

表2-2 各処分場の特性一覧

| 特性概要 | A処分場 | B処分場 | C処分場 |
|---------|---|--|----------------------|
| 地域 | 関西地区 | 中部地区 | 関東地区 |
| 埋立開始年月日 | 昭和49年2月 | 平成4年3月 | 昭和57年4月 |
| 閉鎖年月日 | 平成6年3月 | 平成11年3月 | 平成4年9月 |
| 埋立面積 | 280 ha | 23.4 ha | 14.9 ha |
| 埋立容量 | 3,117 万 m ³ | 196 万 m ³ | 108 万 m ³ |
| 埋立平均深さ | 11 m | 8.4 m | 7.3 m |
| 内水水位深さ | 不明 | GL-3.7 m | GL-3.1 m 以下 |
| 埋立廃棄物 | がれき類、鉱さい、第13号廃棄物、汚泥、土砂、金属くず、ガラスくず、ゴムくず、燃えがら、ばいじん、廃プラスチック類、排出塩 | 汚泥、建設残土、燃えがら、ダスト類、がれき類、廃プラスチック類、鉱さい、焼却灰(一般廃棄物)、ガラスくず、第13号廃棄物、金属くず、ゴムくず | 不燃・粗大ごみ、焼却灰、無機汚泥 |
| 護岸構造 | 捨石式 二重鋼管矢板式 | セルラーブロック式 L型ブロック式 | 二重鋼管矢板式 |
| その他 | 区画埋立 | | 区画埋立 |

それぞれの処分場における調査項目を表 2-3 に示す。A 処分場では、観測井を最も取り扱いやすい場所に設置し、一般調査のみを実施した。B、C 処分場では、詳細調査を実施して観測井の位置を決定し、その後一般調査を実施して、観測井の連続測定も行った。

表 2-3 各処分場の調査項目

| 調 査 項 目 | | A 処分場 | B 処分場 | C 処分場 |
|---------|--------------|-------|-------|-------|
| 観測井設置 | 65 mm | | | |
| 一般調査 | 保有水等分析 | | | |
| | 孔内ガス分析 | | | |
| | 孔内温度検層 | | | |
| 詳細調査 | 地表面ガスフラックス調査 | × | | |
| | 土壌ガス調査 | × | | |
| | 地表面温度調査 | × | | |
| | 地表面温度空中撮影 | × | | |
| 連続観測 | 孔内ガス濃度測定 | × | | |
| | 孔内ガス圧測定 | × | | |
| | 孔内温度測定 | × | | |

2.2 一般調査方法

2.2.1 保有水等採取ならびに保有水等分析

保有水等の採取は、観測井下部に溜まった孔内水を図 2-1 に示す採水器を用いて採取し、分析用サンプルとした。採水された保有水等は、図 2-2 に示されるように、溶存酸素 (DO) 測定用とその他項目用の二つの瓶に取り分けた。



図 2-1 保有水等の採取に利用した採水器



図 2-2 採水された保有水等（左が DO 測定用、右がその他分析項目）

2.2.2 孔内ガスの採取ならびにガス分析

孔内ガスの採取は、地表面からの孔内深度約 2～3 m の地点から、1 リットルのテドラバックにハンディースクションポンプを用いて採取した。採取されたガスの分析は、ガスクロマトグラフを用いて測定した。孔内ガスの採取状況を図 2-3 に示す。



図 2-3 観測井戸の孔内ガス採取状況

2.2.3 孔内温度検層

2.2.3.1 概要

温度検層は、地下の熱的・水理的構造をボーリング孔内の温度分布という熱情報の観点から解明するものである。一般に、温泉・地熱調査において頻繁に実施されるが、最近では土木地質の方面でも利用されることが増えてきている。この検層は、他の検層とは異なり、孔壁の物理的性質を直接測定するものではなく、孔内水温の異常から孔内の湧水・逸水・水の流動・透水層の状況を推定するのに用いられ、電気検層・密度検層などと併せて行われることが多い。

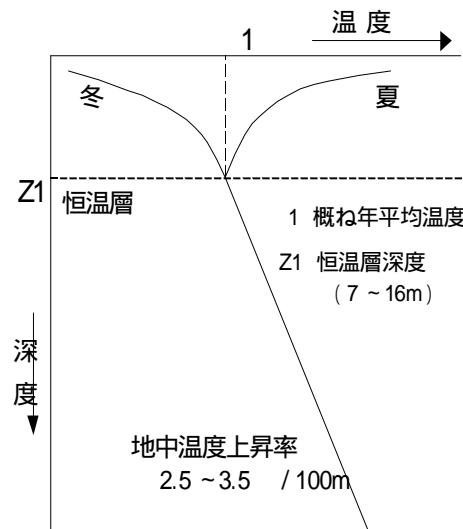


図 2-4 地中温度分布模式図

地下浅部に特別な熱源のない地域では、地表面付近の地温は気温の影響を受け、年変化・日変化がみられるが、深くなるに従いこの変化はなくなる。この深度を地下恒温層と呼び、日本では 7~16m 程度である。この恒温層以深になれば、深度の増加と共に地温は上昇する（図 2-4 参照）。この地中温度上昇率は通常 2.5~3.5 /100m である。温度検層は、あくまでボーリング孔内の泥水（孔内水）の温度を測定するもので真の地温ではない。したがって、測定時には以下の点について留意しなくてはならない。

(1) 泥水温度と地層温度との平衡

掘削停止直後の孔内泥水の温度は、通常地層温度より低い場合が多く、この両者の温度が平衡するには長時間を要する。正確な地層温度が要求される場合は、掘削停止後、長時間静止しておかなければならない。

(2) 泥水による地層の冷却

掘進中の泥水の循環によって地層は冷却される。泥水と地層の温度差が大きいほど、地層の温度回復に要する時間は長くなる。両者の温度差が 1% 以内になるためには、泥水循環を停止するまでに経過した時間の 10~20 倍の時間が必要だといわれる。

(3) 泥水（孔内水）の熱対流

孔内泥水の温度勾配が大きいと、熱対流を生じ、孔内温度が不安定となることがあり実際の温度勾配よりも小さな勾配を示すことがある。

2.2.3.2 測定原理

温度検層のゾンデは、温度を測定する感熱素子の違いによって表 2-4 に示されるように分類される。現在、微細な温度変化を知るため、感熱応答の早い素子を用いて連続記録方式で実施されることが多く、価格、取り扱いの容易さなどから、サーミスタ型が最も一般的に普及している。これは、サーミスタ（半導体）が温度に反比例して、電気抵抗が小さくなるという性質を利用したものであり、特徴として、小型である・感熱応答が速い（水中 0.3~1.0 秒、空中 3.0~5.0 秒）・温度係数（温度に対する抵抗の変化量）が大きい、などがあげられる。

表 2-4 温度計の種類

| | |
|------|----------|
| 点測定 | 水銀最高温度計 |
| | ブルドン管温度計 |
| | バイメタル温度計 |
| 連続測定 | サーミスタ温度計 |
| | 金属抵抗温度計 |
| | 水晶温度計 |

上記のセンサーを図 2-5 に示されるように孔内に挿入し、孔内の温度（示度）を測定するのが一般的な温度検層であるが、温度変化を微細に知る方法として、示差温度検層法が開発されている（図 2-6 参照）。この方法は、一定間隔（通常 1m）で固定された 2 個のセンサーによる温度差を連続的に記録して、その変化から示度法では確認の難しい、温度勾配の変局点を見出そうとするものである。

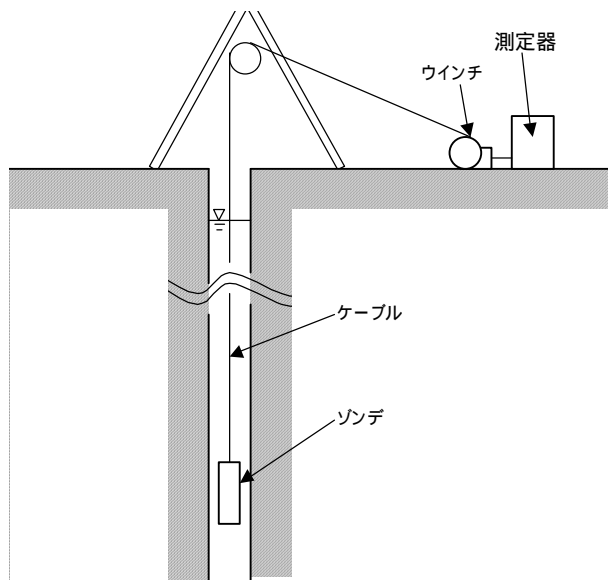


図 2-5 温度検層測定状況の模式図

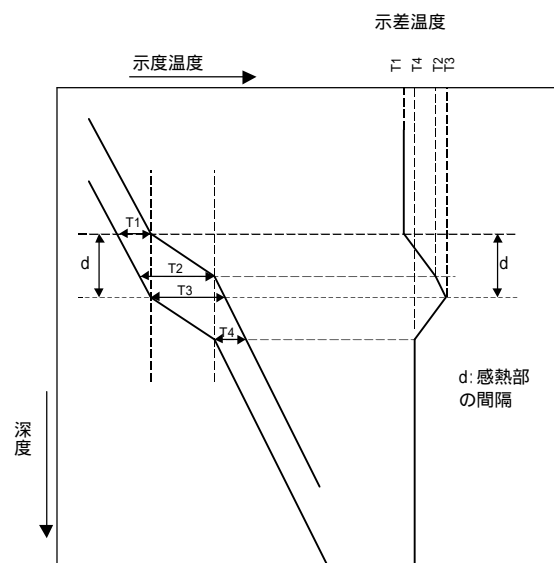


図 2-6 温度検層と示差温度検層の模式図

2.3 観測井位置選定のための詳細調査方法

2.3.1 地表面温度分布の空撮

地表面温度分布の空撮には、図 2-7 に示す赤外線サーモグラフィ装置サーモトレーサー TH9100Pro（NEC 三栄製）を利用し、埋立地地表面の反射温度の測定を行った。本サーモトレーサーは、赤外線によるサーモグラフ画像の他に、同時に可視画像も測定可能である。サーモトレーサーは、図 2-8 に示すパワードパラグライダーの飛行によって手動で撮影された。パワードパラグライダーならびにセスナ機を利用した空中撮影の利点と欠点を表 2-5 に示す。



図 2-7 サーマトレーザーTH9100Pro



図 2-8 パワードパラグライダー

表 2-5 各種空中撮影による地表面温度分布撮影の利点と欠点

| | パワードパラグライダー | 空撮用セスナ機 |
|-----|--|--|
| 利 点 | <ul style="list-style-type: none"> ・撮影単価が安い(数十万円程度)。 ・低空にて撮影可能なため、解像度の高い画像が撮影できる。 ・飛行制限を基本的には受けない。 ・飛行場がなくともフライト可能である。 | <ul style="list-style-type: none"> ・撮影地点の座標、高度が正確に把握できるため、後の画像合成が容易。 ・風の影響をあまり受けないため、撮影延期が少ない。 |
| 欠 点 | <ul style="list-style-type: none"> ・撮影された座標(緯度経度)が分からず、撮影角度も不定なため、画像の合成が困難。 ・風の影響を受けやすく、風速 5 m/s 以上ではフライトできない。 | <ul style="list-style-type: none"> ・撮影単価が高い(数百万円程度)。 ・飛行制限をうける区域では撮影できない。 ・基本的に、飛行場の開港時間しかフライトできない。 |

2.3.2 地表面温度分布の測定

空中撮影以外に直接的に地表面温度の測定を行った。図 2-9 に示される温度計を用いて、ドリルで地表面に穴を開け、地表より約 10~15 cm の深度の温度を測定した。



図 2-9 地表面温度の測定

2.3.3 地表面ガスフラックス調査

閉鎖型チャンバー法（図 2-10）により地表面メタンフラックス（単位面積当たりの放出速度）を測定し、その分布を調査した。メタンフラックスの分布は、地下に埋蔵される廃棄物や覆土の種類と状態（生物分解反応がどの段階にあるか）や構造の偏りに影響される。測点にチャンバーを設置後、採取時間（1、5、10 min）毎にポンプを用いて約 15 秒間程度、1L ガスバックにチャンバー内ガスを採取した。実験室に持ち帰ったガス試料を、ガスクロマトグラフを用いてメタンおよび二酸化炭素を測定した。地表面フラックス J ($\text{m}^3 \text{min}^{-1} \text{m}^{-2}$) は次式で算出した。

$$J = \frac{\Delta V}{A} = hb \times 10^{-6}$$

ここで、 b (ppmv min^{-1}) はチャンバー内のガス濃度の経時変化を直線回帰した傾き、 h (m) はチャンバーの高さ、 A (m^2) はチャンバーの底面積、 V ($\text{m}^3 \text{min}^{-1}$) は単位時間あたりのガス成分の放出量あるいは吸収量である。フラックスの結果は $\text{g hr}^{-1} \text{m}^{-2}$ の単位に変換した。使用したチャンバーは、高さ $h=0.2$ m、底面積 $A=0.20 \text{ m}^2$ である。



図 2-10 閉鎖型チャンバー法による地表面ガスフラックスの測定状況

2.3.4 土壌ガス濃度分布調査

地表面にボーリングバーを用いて直径約 15 mm、深度 80 cm の調査孔を開け、試験孔の上部をゴムスリーブによって密閉できる内径 6 mm のステンレス管を挿入し、ポータブル型の埋立ガスアナライザー GA2000Plus（Geotechnical Instruments 社製）にて土壌ガスを吸引し、埋立ガスであるメタン、二酸化炭素濃度を測定する。土壌ガス濃度の測定概略図を図 2-11 に示す。

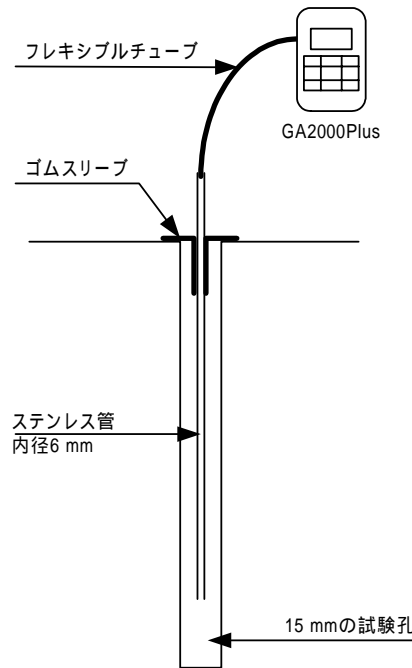


図 2-11 土壌ガス測定法の概略図

2.4 一般調査を援用する詳細調査方法

2.4.1 ガス濃度の連続測定

孔内ガス濃度の連続測定には埋立ガスアナライザーGA2000Plus(Geotechnical Instruments 社製)を用いた。GA2000Plus を図 2-12 に示す。GA2000Plus は埋立ガスを測定するためのポータブル型ガスアナライザーであり、自己吸気することによりメタン、二酸化炭素、一酸化炭素、酸素、硫化水素、水素等を同時に計測することができる。測定インターバルは1分間単位で9999分まで設定可能であり、一回に吸い込むガス容量をポンプの運転時間にて制御することも可能である。測定データは、本体内部メモリーに850点まで記録することができる。また、外部電源入力は直流9ボルトであり、長期モニタリングには何かしらの外部供給電源が必要である。バッテリー駆動のみでは連続使用にて12時間しか保たない。本調査での設定は、測定間隔6時間、一回のガス吸い込み時間は90秒間(約450 mL)とした。



図 2-12 孔内ガス濃度連続測定に使用した GA2000Plus

2.4.2 孔内ガス圧力の連続測定

孔内ガス圧力の測定には、図 2-13 に示される微差圧計 P55D (VALIDYNE 社製) を使用した。微差圧計の測定範囲は 0 ± 550 Pa (最大耐圧 0 ± 22.5 MPa) であり、測定結果は直流電流で $4 \sim 20$ mA の出力である。出

力電圧は、計装ロガー3634（日置電機製）を用いて自動計測した。本計装ロガーは、単4電池にて約2年間の寿命があり、内部メモリーに16,000点のデータを記録可能であり、測定間隔は、1秒から60分間まで選択できる。本調査での測定間隔は60分間とし、大気圧と孔内圧力の差を差圧として連続モニタリングした。

孔内ガス圧測定として差圧計を用いた理由は、差圧計の方が測定対象とする圧力に対応した微圧測定が可能であることである。絶対圧計の場合、数Paというオーダーを正確に測定できる耐環境性の圧力センサーを見つけることは困難である。



図 2-13 孔内ガス圧測定に使用した微差圧計 P55D

2.4.3 孔内温度分布の連続測定

孔内温度の深度分布の連続測定には、図 2-14 に示されるサーミスタ方式の温度計 9631-21（日置電機製）を使用した。測定温度範囲は測定範囲-40～180 であり、生活防水が施されており、孔内という湿度の高い環境下でも連続的使用が可能である。本温度計は、1本当たり1チャンネルであり、測定対象深度毎に1本の温度計を設置した。また、1本につき1つのロガーが必要であり、それぞれに温度ロガー3633（日置電機製）を設置した。本調査における測定間隔は、60分間とした。



図 2-14 孔内温度測定に使用した温度計 9631

2.4.4 気象情報の測定

観測井周辺の気象データとして、気温、湿度、大気圧、覆土の温度を測定した。気温と湿度は、温湿度計 3631（日置電機製）を用いた。本装置の測定範囲は温度-40.0～85.0（確度±0.5）、湿度0.0～100.0%rh（確度±5%rh）である。

大気圧の測定には、図 2-15 に示される大気圧計 US10000（MSI Sensors 社製）を使用した。測定範囲は0～2 bar であり、出力は直流電流の4～20 mA である。差圧計と同様に計装ロガー3634（日置電機製）を用いて自動計測した。



図 2-15 気象情報として大気圧測定に使用した絶対圧計 US10000

覆土の温度は、孔内井温度分布測定用の温度計と同様の 9631（日置電機製）を使用した。覆土の温度は、孔内温度の日変動が気温と覆土温度のどちらに由来しているかを調べるために設置しており、温度変化の時間差を観察することで孔内温度測定の支援としてモニタリングしている。測定深度は、地表面より 20 cm と 40 cm の二点とした。

第3章 処分場調査結果

各処分場の調査内容と調査年月日を表 3-1 に示す。A 処分場では一般調査のみを実施し、B、C 処分場では詳細調査によって観測井の位置を決定し、一般調査を実施するとともに連続測定も実施した。

表 3-1 各処分場の調査内容と調査年月日

| 処分場名 | 観測井 設置 | 一般調査 | | | | | | 詳細(事 前)調査 | 観測小 屋設置 |
|-------|-----------|--------|------|------|------|------|------|--------------|------------|
| | | 保有水等分析 | | ガス分析 | | 温度検層 | | | |
| | | 1 回目 | 2 回目 | 1 回目 | 2 回目 | 1 回目 | 2 回目 | | |
| A 処分場 | 7/14 | 7/28 | 9/8 | 9/8 | 9/29 | 8/17 | 9/8 | なし | なし |
| B 処分場 | 8/4 | 9/9 | 9/30 | 9/9 | 9/30 | 9/9 | 9/9 | 8/3 | 9/7 |
| C 処分場 | 8/29 | 9/9 | 9/30 | 9/21 | 10/7 | 9/13 | 9/13 | 8/29 | 9/21 |

3.1 A 処分場調査結果

3.1.1 調査概要

本調査のために観測井を新規に設置し、一般調査として保有水等分析、ガス分析、温度検層を実施した。

3.1.2 観測井の設置

本調査のために設置した観測井の断面図を図 3-1 に示す。海面最終処分場の廃止基準の一つとして検討されている部分浄化による廃止は、管理水位を決定し、その水位以浅の領域の保有水等が廃止基準を満足することであるから、観測井のストレーナーの位置は、管理水位より上部に設置することになる。本調査の段階では、調査対象処分場の管理水位が決定していないため、井戸設置時の確認水位を管理水位と仮定し、その水位位置をストレーナーの下端高さとした。ストレーナーから下部には、ストレーナーから侵入した保有水等を溜める目的で無孔管を 1 m 設置した。

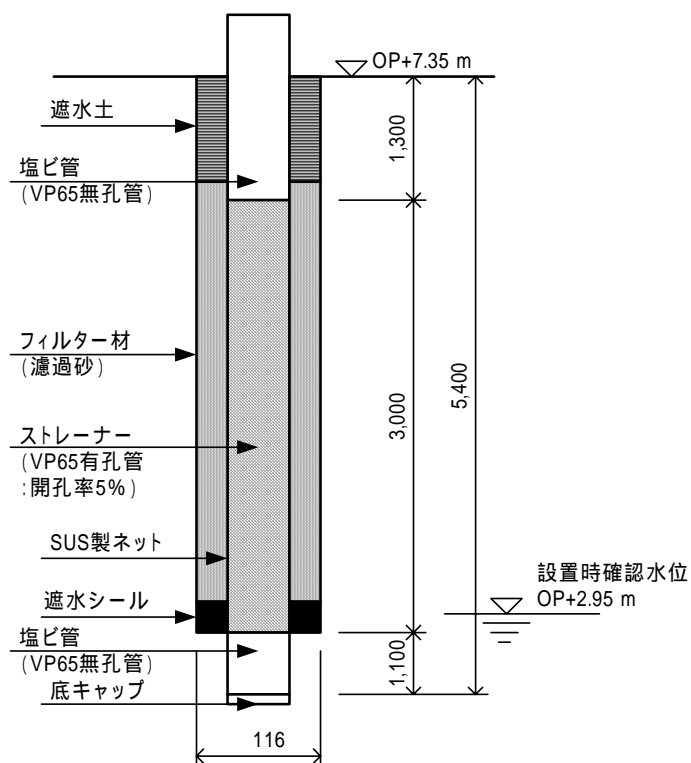


図 3-1 A 処分場に設置した観測井戸の断面図

3.1.3 一般調査

(1) 水質分析

水質の分析は、表 3-1 に示される通り、一回目は 7 月 28 日、二回目は 9 月 8 日に実施した。測定結果を表 3-2 に示す。pH は高く、アルカリ性を示している。浮遊物質量 (SS) は、一回目の測定時に 510 と非常に高かったが、二回目には 26 まで減少している。これは、掘削時の埋立廃棄物層の攪乱による、保有水等の懸濁が原因と思われる。その他、COD や BOD、各種イオン類に関しても一回目と二回目の水質差はほとんどなく、安定した値がモニタリングされている。

表 3-2 A 処分場観測井における水質分析結果

| 測定項目 | 単位 | 一回目 (7/28) | 二回目 (9/8) |
|----------------|------|------------|-----------|
| 水素イオン濃度：pH | | 12.2 | 12.3 |
| pH 測定時水温 | | 21.8 | 20.1 |
| 化学的酸素要求量：COD | mg/L | 61 | 51 |
| 溶存酸素量：DO | mg/L | <0.5 | <0.5 |
| 酸化還元電位 | mV | +7 | -76 |
| 浮遊物質量：SS | mg/L | 510 | 26 |
| 全窒素 | mg/L | 19.6 | 18.4 |
| 生物学的酸素要求量：BOD | mg/L | 57 | 48 |
| 硫化物イオン (硫黄イオン) | mg/L | <0.5 | 4.2 |
| カルシウムイオン | mg/L | 122 | 143 |
| 塩化物イオン | mg/L | 517 | 540 |
| 電気電導度 | mS/m | 507 | 502 |

(2) ガス分析

ガス分析は、表 3-1 に示されるとおり、一回目は 9 月 8 日に、二回目は 9 月 29 日に実施した。ガス分析結果を表 3-3 に示す。

表 3-3 A 処分場観測井におけるガス分析結果

| 測定項目 | 単位 | 一回目(9/8) | 二回目(9/29) |
|-----------------------|-------|----------|-----------|
| メタン:CH ₄ | %Vol. | 0 | 0 |
| 二酸化炭素:CO ₂ | %Vol. | 0.52 | 0.88 |
| 酸素:O ₂ | %Vol. | 3.5 | 2.64 |
| 窒素:N ₂ | %Vol. | 97.6 | 91.9 |

(3) 温度検層

温度検層は、表 3-1 に示されるとおり、一回目は 8 月 17 日、二回目は 9 月 8 日に実施した。測定結果を図 3-2 に示す。外気温の影響と思われるが、一回目の測定結果である 8 月 17 日の温度が二回目の測定結果よりも高い値を示している。また、下部の温度を見ると、一回目では深度 GL-5.2 m 付近に変曲点があって水位が確認されるが、二回目の測定では変曲点が無いことから、水位が低下したと推定される。

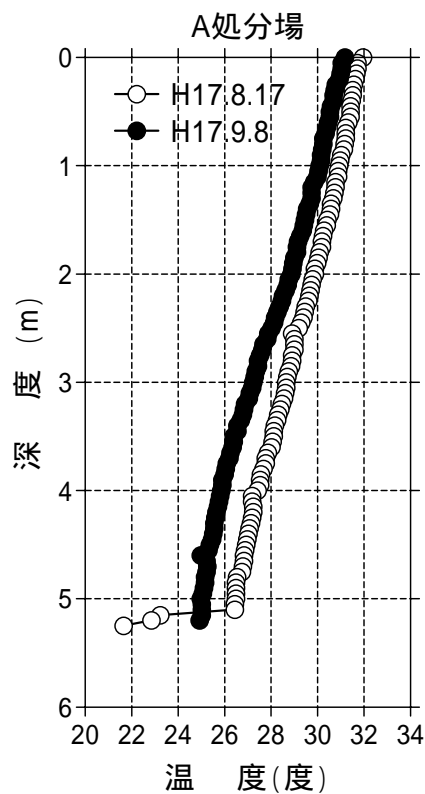


図 3-2 A 処分場の観測井温度検層結果

3.2 B 処分場調査結果

3.2.1 調査概要

観測井設置場所の選定のために詳細調査として、地表面温度分布の空撮、表面温度測定、ガスフラックス調査、土壌ガス濃度調査を実施した。観測井設置後、一般調査として保有水等分析、孔内ガス分析、孔内温度検層を行うと同時に、観測ステーションを設置して孔内ガス濃度、孔内ガス圧、孔内温度の深度分布、気象データの連続測定を実施した。

3.2.2 観測井位置の決定

3.2.2.1 埋立地全体を対象とした絞り込み調査

(1) 地表面温度分布の空撮

6月28日に空中撮影を試みた。午前5時の風速は5~6m/sとやや強い風であったが、午前6時には3~4m/sの風になり離陸可能となったため、空撮を開始した。撮影された可視画像を図3-3に示す。撮影高度約150mの位置からの撮影である。やや風が強いことと、地表面にマーカーを付けていなかったため、撮影された画像がどの位置であるか確認できず、合成できなかった画像が約半数近くあったことから、可視画像がまばらになってしまい、撮影座標を正確に把握することのできないパラグライダー撮影の欠点が出たといえる。B処分場では、中央と左右の位置に縦方向に設置された3本の通路と、写真上側と下側の灰色の部分には、バラスや碎石が敷設された領域があり、これらは、駐車場や資材置き場として使用された経歴がある。また、図中の緑色の領域は植生地帯であり、背丈50~150cm程度の種々の雑草が自生している。図3-4に可視画像と熱画像の重ね合わせ図を示す。可視画像に比較して、熱画像の測定範囲は狭く、約1/2である。まばらではあるが、熱画像結果をみるかぎり、植生と通路といった地表面構造に対する温度変化が顕著であり、通路では赤く(約29度)、植生領域では緑(約26~27度)という構造が明瞭に確認される。そのなかでも、植生がありながらも赤くなっている領域や、碎石やバラスが敷かれた灰色領域内でも大きなコールドスポットが確認された。このコールドスポットは事後の地表面踏査によって、水たまりを形成しやすい領域であることが確認された。熱画像解析の結果から、地表面構造による変化の中でも周辺環境よりも顕著に温度の高くなっている領域を、絞り込み用選定領域として、図3-5に示される3カ所を選定した。

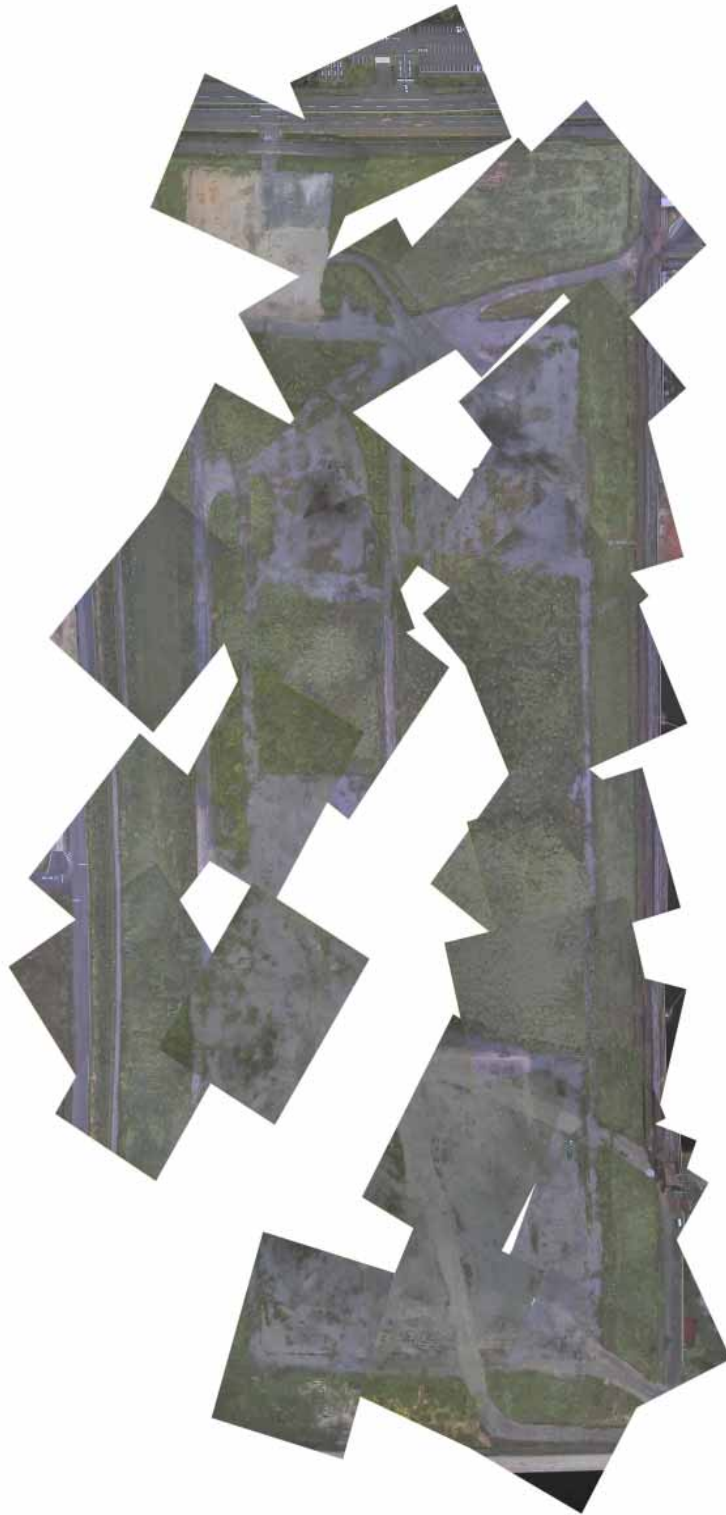


図 3-3 B 処分場の可視画像空撮結果（撮影高度 150 m）

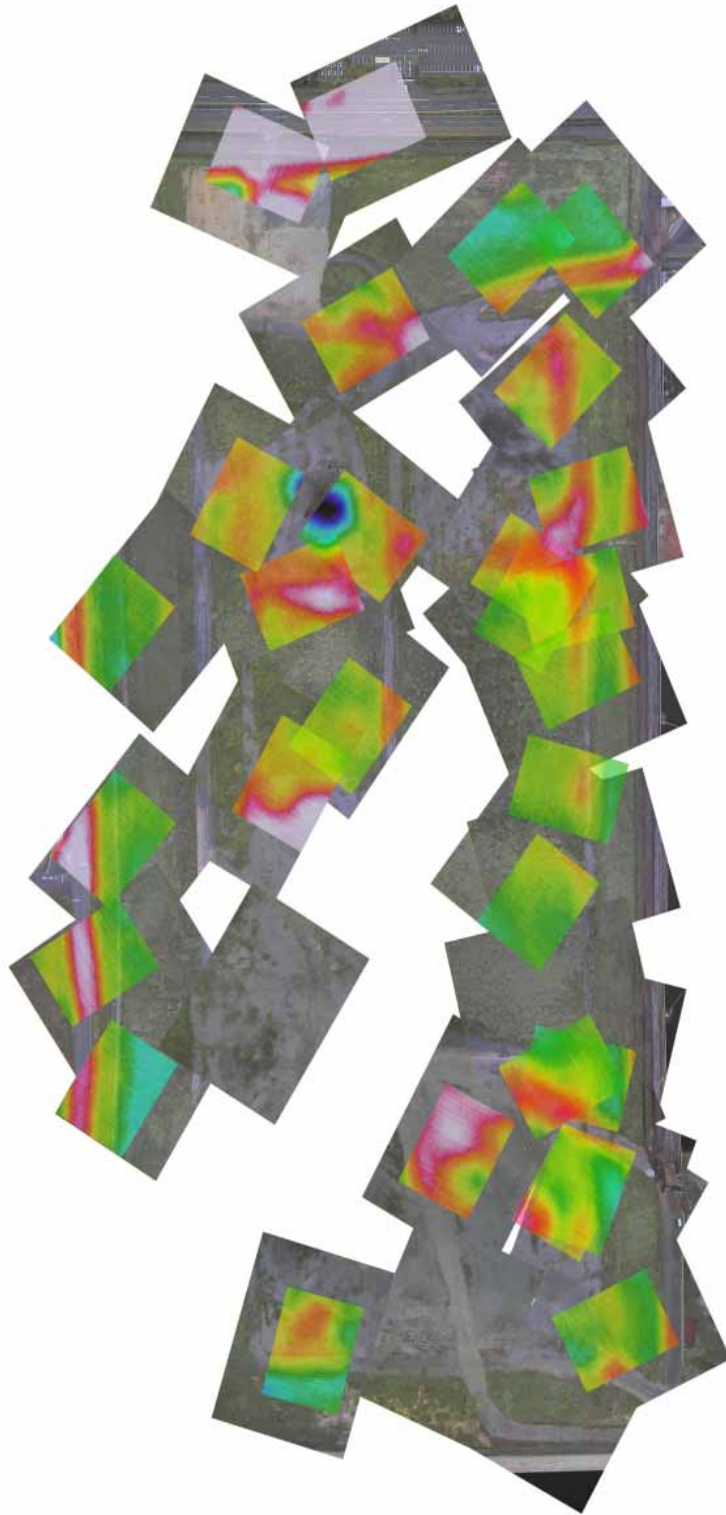


図 3-4 B 処分場の熱画像と可視画像の重ね合わせ図

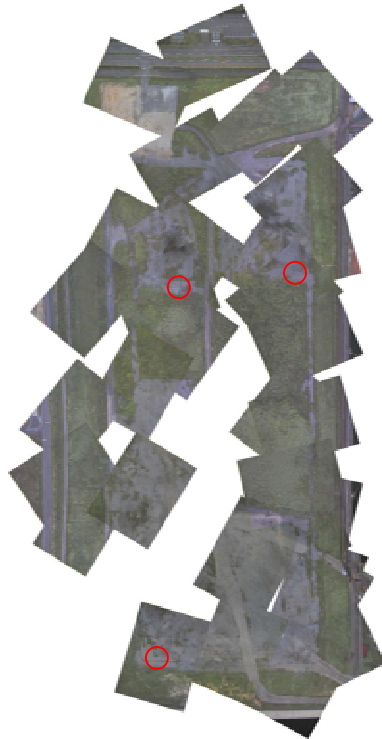


図 3-5 熱画像解析より選定された観測井候補地 3 カ所

(2) 表面温度分布測定

表面温度は空撮により撮影された赤外線熱画像に加えて、直接的に測定する手法を実施した。測定地点は、図 3-6 に示される 100 m メッシュの交点とその重心である。埋立層内の微生物反応活性が高いと、その反応熱を反映して地表面温度も高くなることが予想される。また、熱伝達の主な媒体として埋立ガスを考えるならば、活性の高い領域で多くのガスが発生し、ガスがその反応熱を地表面まで運ぶため、ガス発生量と地表面温度との間には何かしらの関係が存在することが推察される。地表面温度の測定結果を図 3-7 に示す。

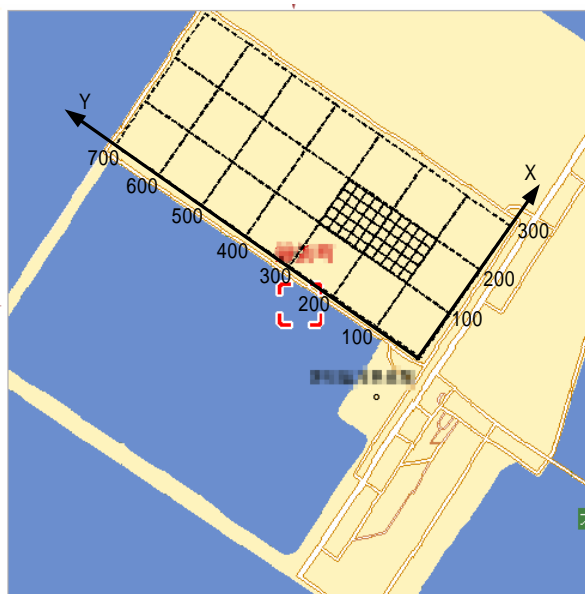


図 3-6 B 処分場の 100 m メッシュ図

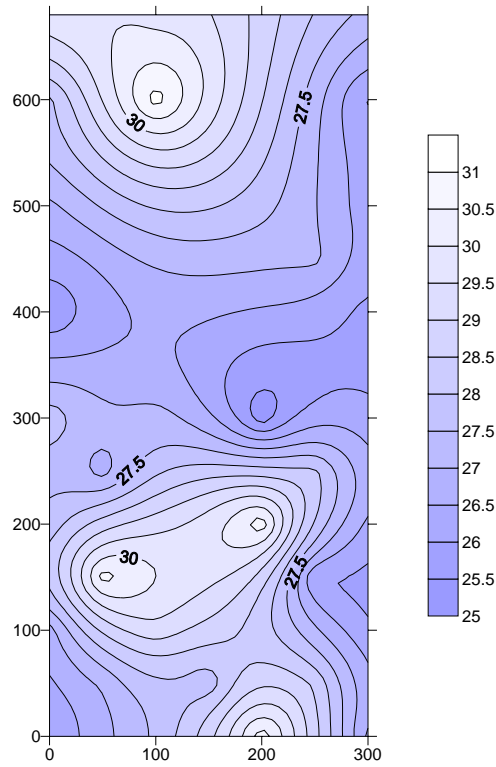


図 3-7 直接測定による地温分布測定結果 (B 処分場 : 100 m メッシュ)

(3) 地表面ガスフラックス調査

地表面ガスフラックスも、地温測定と同様に 100 m メッシュの交点で実施した。メタンフラックスの測定結果を図 3-8 に示す。

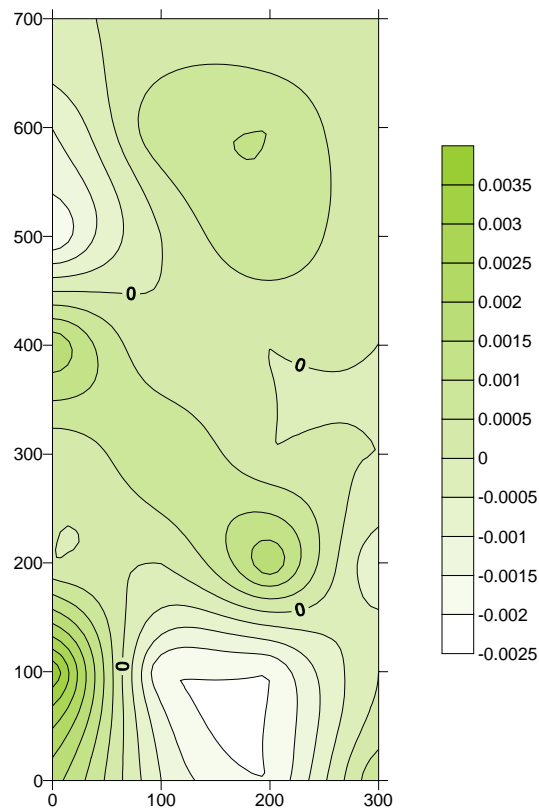


図 3-8 地表面メタンガスフラックスの測定結果 (B 処分場 : 100 m メッシュ)

(4) 土壌ガス濃度分布調査

ボーリングバーを用いた土壌ガス測定結果としてメタンガスの濃度分布を図 3-9 に示す。

土壌ガスである二酸化炭素の測定結果を図 3-10 に示す。メタン濃度は全体的に低く 1%未満が大部分を占めているが、(200, 600)の座標において 30%程度の高いメタンガス濃度がみられた。

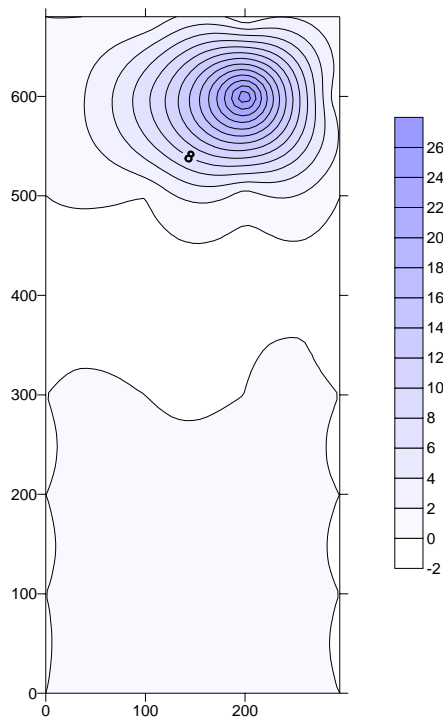


図 3-9 土壌ガス（メタン）濃度分布の測定結果（B 処分場：100 m メッシュ）

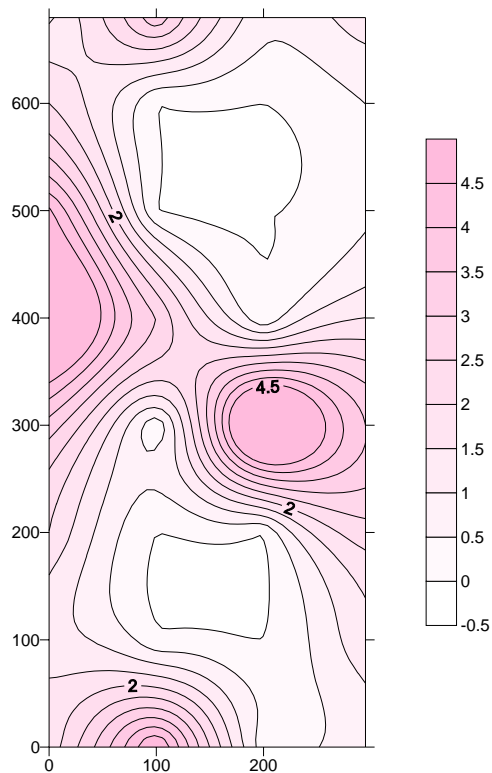


図 3-10 土壌ガス（二酸化炭素）濃度分布の測定結果（B 処分場：100 m メッシュ）

3.2.2.2 絞り込み領域を対象とした調査

地表面温度分布の空撮結果や直接測定結果より、絞り込み領域を図 3-6 に示す二つの 100 m メッシュ領域に決定した。他にも二つの観測井設置候補地があったが、これらの場所は将来的に跡地利用される可能性があることから、候補地から外す結果となった。これより、(x, y) が (100, 100) から (200, 300) の領域を絞り込み調査領域とした。

(1) 地表面温度分布測定

絞り込み調査領域は、100 m メッシュをさらに 20 m メッシュにまで細分化し、その交点を測点として調査を実施した。地表面温度分布測定図を図 3-11 に示す。

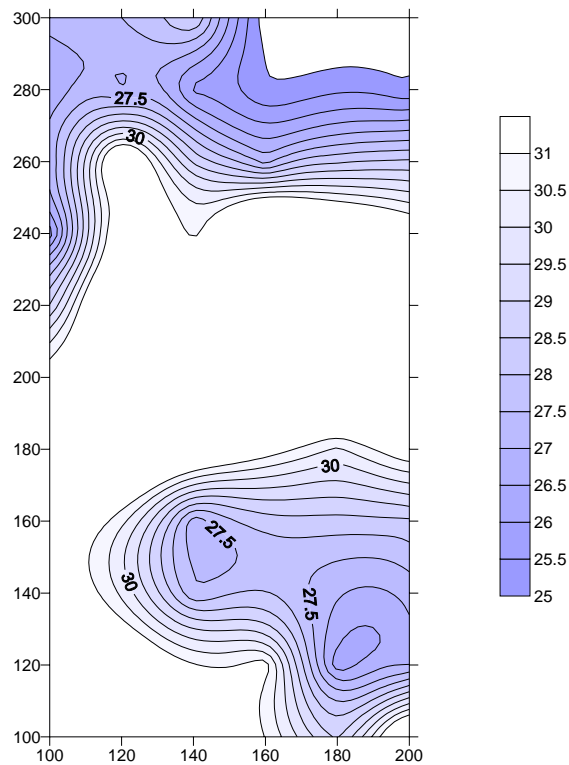


図 3-11 直接測定による地温分布測定結果 (B 処分場 : 20 m メッシュ)

(2) 地表面ガスフラックス調査

地表面ガスフラックスとしてメタン濃度の測定結果を図 3-12 に示す。図中下部の 100 m 角の領域と上部の 100 m 角の領域において比較的高いメタンフラックスが測定されている。

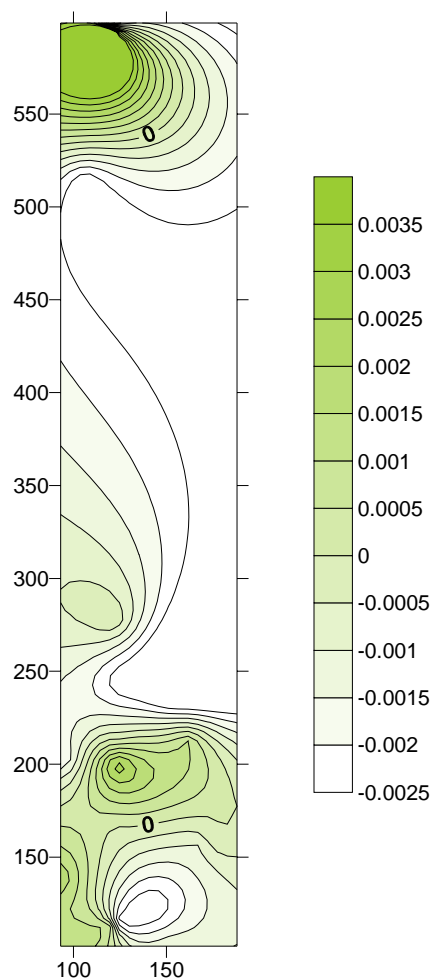


図 3-12 地表面メタンガスフラックスの測定結果 (B 処分場 : 20 m メッシュ)

(3) 土壌ガス濃度分布調査

20 m メッシュの土壌ガス測定では、メタンが検出されなかった。二酸化炭素ガスは、数%程度の濃度が多少みられるが、そのほとんどは 2%以下という結果であった。二酸化炭素濃度が低い原因は、二酸化炭素の吸収源である焼却灰 (カルシウム) などをはじめとする高 pH の水分がある場合が多いが、メタンガスが検出されなかったことから、微生物活動自体が弱いことを示していると推察される。熱画像解析結果では高い温度が観測されたが、詳細調査ではメタンの発生等の埋立廃棄物の分解反応を示すガスは検出されない結果となった。熱画像撮影時の土質性状や前日の天候の関係で温度が高い傾向となったと推察される。

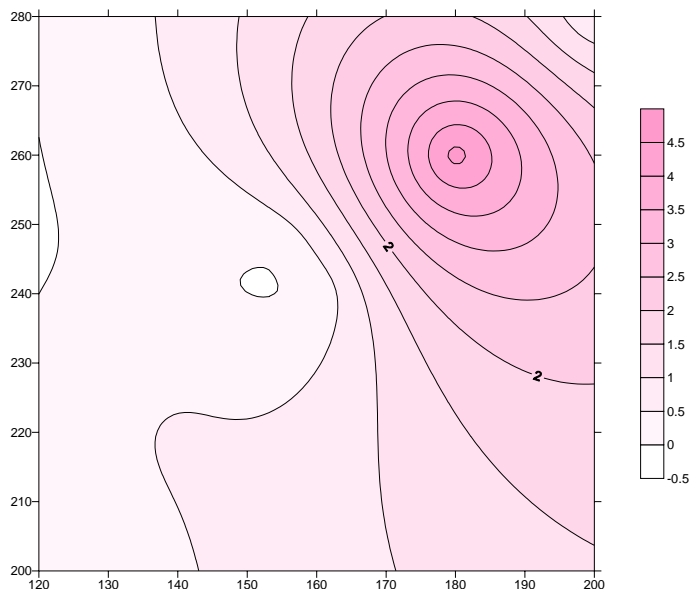


図 3-13 土壌ガス（二酸化炭素）濃度分布の測定結果（B 処分場：20 m メッシュ）

3.2.3 観測井設置

絞り込み領域の詳細調査結果より、土壌ガス濃度が高く、地表面温度も高い領域として、(x, y)が(180, 250)付近を選定し、設置可能な場所を観測井設置位置と決定した。図 3-14 に設置した観測井の断面図を示す。海面最終処分場の廃止基準は、管理水位を決定し、その水位以上の領域の保有水等が廃止基準を満足することであるから、A 処分場と同様に、管理水位より上部の位置にストレーナーを設置した。本調査の段階では、各処分場において管理水位が決定していないため、井戸設置時の確認水位を管理水位と仮定し、その水位位置をストレーナーの下端高さとした。ストレーナーから下部には、ストレーナーから侵入した保有水を溜める目的で無孔管を 1 m 設置した。

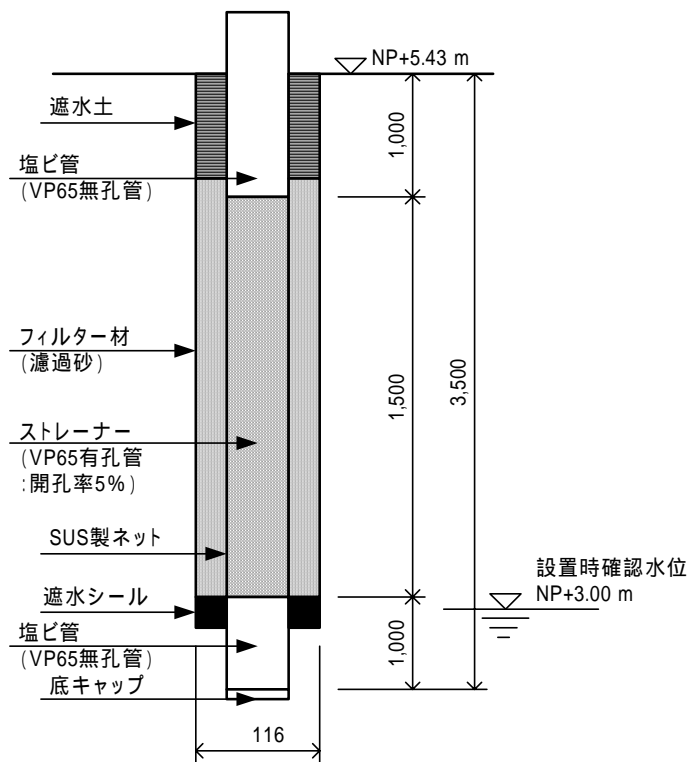


図 3-14 B 処分場に設置した観測井の断面図

ボーリング掘削時の廃棄物を採取し、持ち帰り後に懸濁液の pH と電気伝導度を測定した。測定結果と深度別の主な廃棄物種を図 3-15 に示す。覆土がやや厚く設置されており約 1~1.5 m の深さまでは覆土となっている。それ以深では焼却灰や汚泥等が確認されるが最大粒径はいずれも 5 mm 程度であった。pH は深さ方向にほぼ同じであり pH = 8.5~10.0 の範囲であった。それに比較して EC は上部と下部で高い傾向が観察された。上部は多量の鉱さいやコンクリートガラが敷設されており、その浸出水が覆土内へと浸透することによって上部（深度約 0.6 m）での EC が上昇していると考えられる。

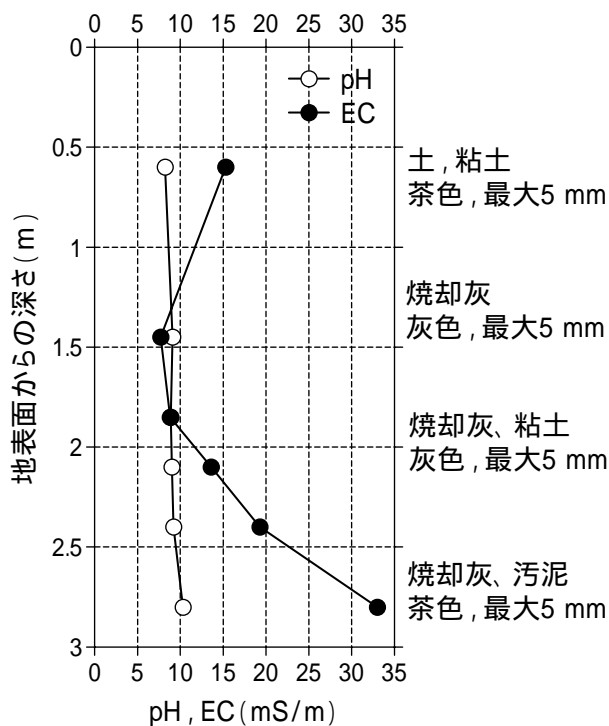


図 3-15 B 処分場観測井戸部の柱状図と懸濁液 pH, EC

3.2.4 一般調査

(1) 水質分析

水質の分析は表 3-1 に示される通り、一回目は9月9日に実施し、二回目は9月30日に孔内水の採取を行った。測定結果を表 3-4 に示す。掘削時の pH は 5.6 と弱酸性を示しており、埋め立てられた焼却灰や鉱さいの影響はみられない。二回目の採取時においても pH=7.1 と中性を示していることから、孔内に流れ込む保有水等は覆土や水みちを通過した浸透水であると推測される。図 3-15 の柱状図における懸濁液 EC から比較すると、電気伝導度は非常に高い値を示しており、pH の傾向と一致しない。BOD も COD も非常に少なく、廃棄物層内を浸透してきた保有水等を採取しておらず、上部の覆土層通過の浸透水を測定しているといえる。

表 3-4 B 処分場観測井における水質分析結果

| 測定項目 | 単位 | 一回目(9/9) | 二回目(9/30) |
|---------------|------|----------|-----------|
| 水素イオン濃度：pH | | 5.6 | 7.1 |
| pH 測定時水温 | | 22.4 | 21.7 |
| 化学的酸素要求量：COD | mg/L | 24 | 6.8 |
| 溶存酸素量：DO | mg/L | 6.4 | 2.9 |
| 酸化還元電位 | mV | +556 | +583 |
| 浮遊物質：SS | mg/L | 27 | <1 |
| 全窒素 | mg/L | 5.5 | 2.5 |
| 生物学的酸素要求量：BOD | mg/L | 2.8 | 1.0 |
| 硫化物イオン(硫黄イオン) | mg/L | 0.5 | <0.5 |
| カルシウムイオン | mg/L | 109 | 117 |
| 塩化物イオン | mg/L | 357 | 264 |
| 電気伝導度 | mS/m | 255 | 202 |

(2) ガス分析

ガス分析は、表 3-1 に示されるとおり、一回目は9月9日、二回目は9月30日に採取したガスを測定した。ガス分析結果を表 3-5 に示す。三回目の測定は当初の予定にないが、10月17日に連続井戸モニタリングデータの採取と同時に測定を行ったので併せて記す。一回目と二回目にはほとんど差はなく、微小なメタン濃度と二酸化炭素濃度が確認される。一般土壌中の二酸化炭素濃度が 0~10%であることから、廃棄物層の微生物活動による呼吸よりも、覆土中で活動している微生物の呼吸による二酸化炭素濃度に近いといえる。三回目の測定結果では、メタン濃度、二酸化炭素濃度ともに増加しており、酸素濃度も減少していることから、廃棄物層での微生物反応に起因した埋立ガスが確認される。時間の経過が原因なのか、季節変動であるかは断定できないが、少なからず嫌気性分解が進行しており、廃棄物層の埋立ガスを採取できていることが確認される。

表 3-5 B 処分場観測井におけるガス分析結果

| 測定項目 | 単位 | 一回目(9/9) | 二回目(9/30) | 三回目(10/17) |
|-----------------------|-------|----------|-----------|------------|
| メタン：CH ₄ | %Vol. | 0 | 0.2 | 3.3 |
| 二酸化炭素：CO ₂ | %Vol. | 0.3 | 0.9 | 2.8 |
| 酸素：O ₂ | %Vol. | 18.8 | 17.2 | 4.6 |
| 窒素：N ₂ | %Vol. | 79.1 | 81.0 | 88.8 |

(3) 温度検層

温度検層は、表 3-1 に示されるとおり、一回目は 9 月 9 日、二回目は 9 月 30 日に実施した。測定結果を図 3-16 に示す。9 月 30 日では、外気温が低下してきた影響によって、孔内温度プロファイルと気温がほぼ同じであり、孔内にも温度分布が生じていないことが観察される。また、9 月 9 日での測定では、深度 3.2 m 付近に変曲点が観察されるが、9 月 30 日では 2.8 m 付近に変曲点が移動しており、水位が上昇したことが確認される。

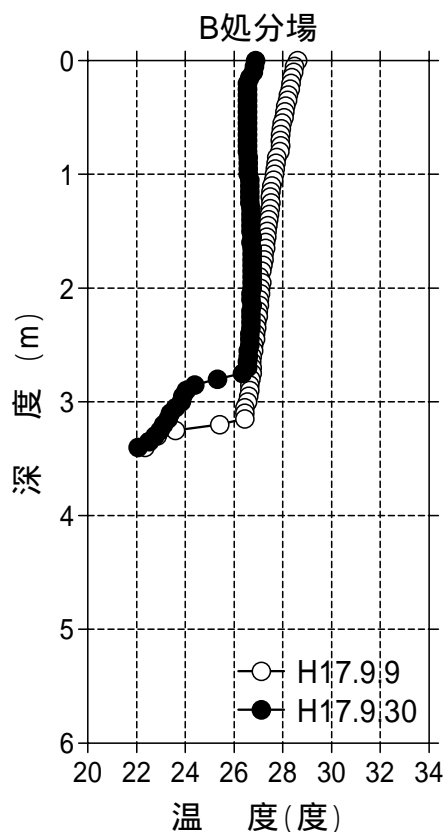


図 3-16 B 処分場の観測井温度検層結果

3.2.5 観測ステーション設置と連続測定

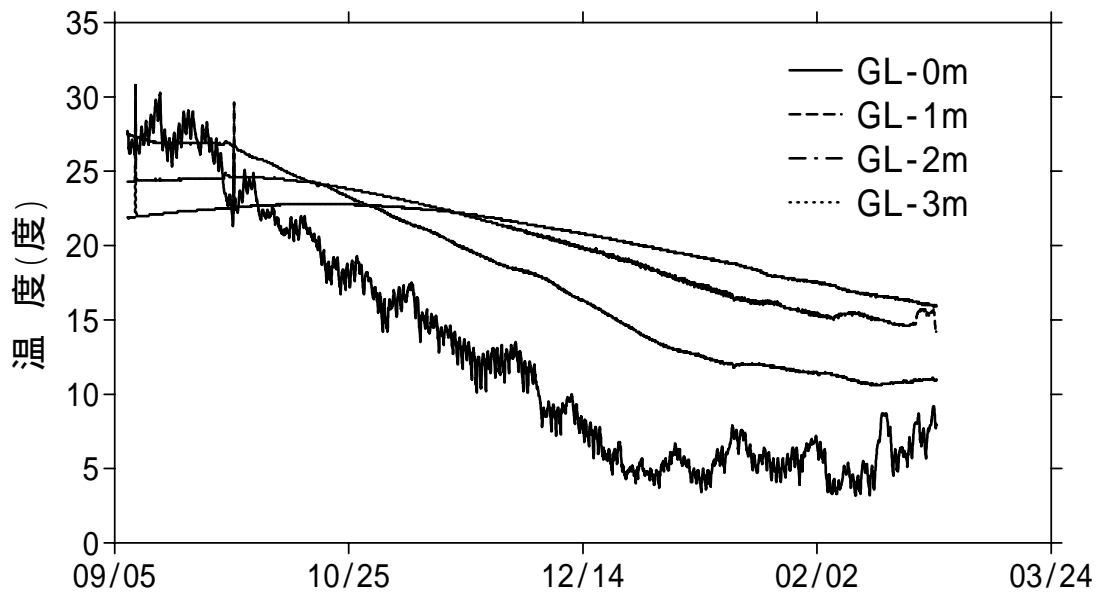
観測井が設置された後、9 月 7 日に観測ステーションの設置を行った。観測ステーションには、自然エネルギーとして太陽光を利用した太陽光発電システムを設置した。測定機器としては、第二章で詳述した、連続ガスモニタリングのための GA2000Plus、孔内圧力測定のための P55D、孔内温度測定のための 9631、気象情報をモニタリングするための大気圧計 US10000 などを設置した。観測ステーションの概観を、図 3-17 に示す。



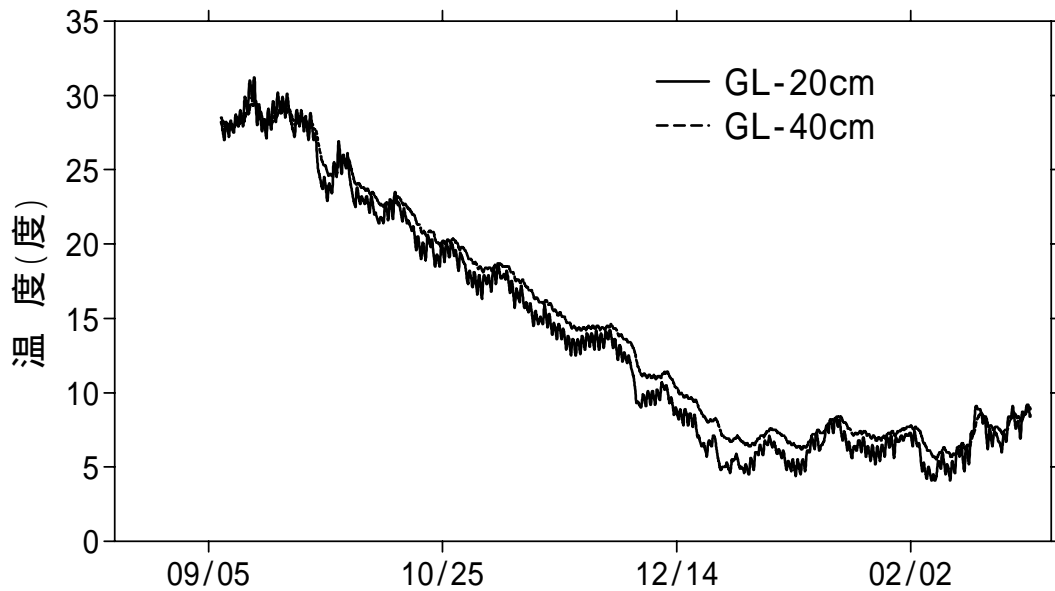
図 3-17 B 処分場に設置した観測ステーションの概観

(1) 深度方向の温度分布

観測井戸内に設置した温度計と、観測井戸周辺の覆土層に埋設した温度計による深度方向の温度分布測定結果を図 3-18 に示す。観測井戸内の温度分布は、GL から 0、1、2、3 m の 1 m おきに測定を行った。水位が GL-3 から 4 m 程度に位置しているため、深さ 3 m までの温度プロファイルを測定した。観測井戸内の深度 0 m と覆土内の深度 20 cm では日変動が認められ、昼夜の温度差が反映されている。それ以深での観測井内温度には日変動が認められず、冬季になるにしたがってなだらかに温度が減少していくことが観察される。11 月中旬に深度 2 m と 3 m の温度が逆転し、2 m の温度が 3 m の温度よりも低くなった。一方、覆土内の深度 40 cm では、日変動は認められないものの、深度 20 cm よりも若干高い温度を保ちながら、なだらかな温度変化が観察される。孔内の深度 0 m の温度と、覆土内深度 20 cm の温度変化はほぼ変わらず、同様の温度を示しながら変化している。



(a) 観測井戸内深度方向の温度分布



(b) 覆土内深度方向の温度分布

図 3-18 B 処分場における深度方向温度プロファイルの連続測定結果

(2) 大気圧と孔内圧力

観測ステーション内に設置した大気圧計と、観測井戸内圧力と大気圧との差圧を測定する差圧計の測定結果を図 3-19 に示す。計測初期の 9 月では全体的に低気圧が観測され、12 月の冬季に入るに従って気圧が全体的に高くなっていることが確認される。計測結果の信頼度を確認するため、近くの気象台の大気圧データとの比較を行った。気象台で測定された大気圧とは標高が異なるため、絶対値は違うものの、相対的な気圧変動は気象台データと観測値は一致しており、信頼性の高いデータが長期的にモニタリングできたことが確認される。

観測井戸内の差圧は、大気圧との差を測定しており、その単位は Pa である。測定初期には差圧計の両端を大気解放してオフセット調整を行った。孔内圧力は大気圧に対して、負圧を示すことが多く、廃棄物からの湧出ガスが少ないことが確認された。何らかの物理的な境界条件によって全体的に負の圧力

を発生させていると考えられる。一時的に負圧が高くなる瞬間があり、-20 Pa 程度を示しているが、全体的には-5~-10 Pa 程度の圧力である。

降雨量との関係を見るため、最も近い気象台の観測した降雨量データを図 3-20 に示す。日降雨量と孔内圧力にはある程度関係があり、日降雨 20 mm 程度以上の雨が降ったときに、孔内圧力の負圧が大きくなる傾向が確認された。降雨が涵養によって処分場内へ浸透する過程において、間隙ガスが下方へと吸引されることで、孔内圧力の負圧が増加するものと推察される。

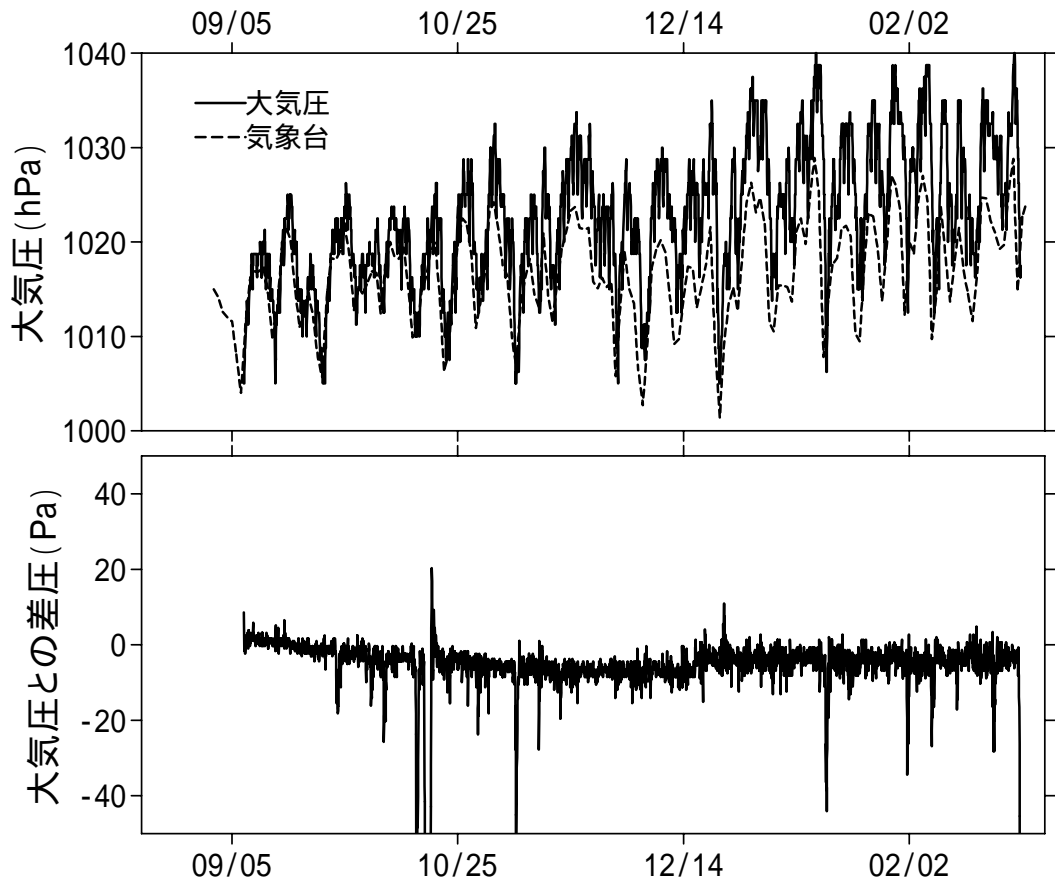


図 3-19 B 処分場における大気圧と観測井戸内圧力の連続測定結果

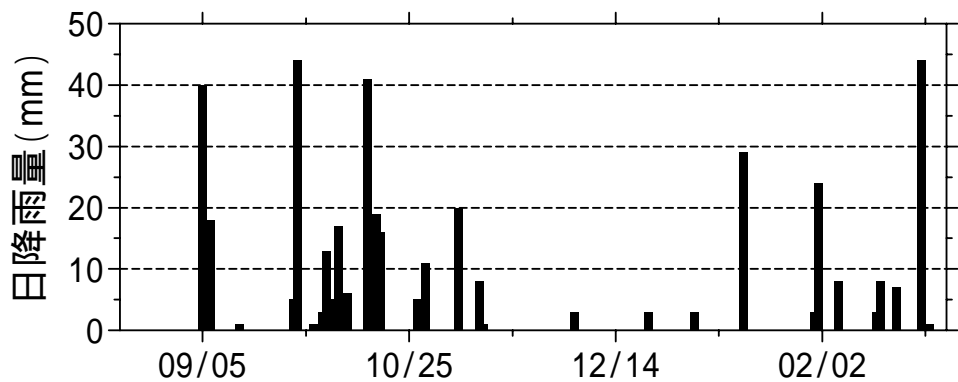


図 3-20 B 処分場における降雨量データ (気象台データ)

(3) 観測井戸内ガス濃度

観測井戸の深度 GL-2.0 m にて測定しているガス濃度の連続測定結果を図 3-21 に示す。一点鎖線の酸素濃度が 2 回ほど大気と同じ約 20%を示しているが、これは、1 回目は設置から二日目に確認のため井戸を開封したときの影響であり、2 回目は温度検層を実施するために井戸を解放したことが原因である。初期に井戸の開閉を繰り返した後、メタン濃度は約 4%で推移しており、ときおり、0%近くまで減少している。0%程度まで減少したとき、その減少量に見合った二酸化炭素濃度が増加する傾向が確認される。このときの酸素濃度は 0%である。

初期二回の観測井調査の後、観測井戸の密閉後、二酸化炭素濃度が徐々に増加していることが確認される。9 月 30 日からの二酸化炭素濃度と、少し遅れた 10 月 6 日からのメタン濃度の増加率を測定すると、それぞれ 0.029 CO₂-%vol./hr、0.015 CH₄-%vol./hr となる (図 3-22 参照)。井戸内のストレナーの面積や発生深度が特定されないため、廃棄物量当たりのガス発生量として換算することはできないが、観測井当たりのガス発生増加率として定期的にモニタリングすることによって、ガス発生量の計測手法として将来的に比較できるデータとなってくる。また、このような計算は、連続測定を実施しないとできないモニタリング項目であり、一般調査であるガス濃度測定に加えて、無人連続測定を行う利点がある。

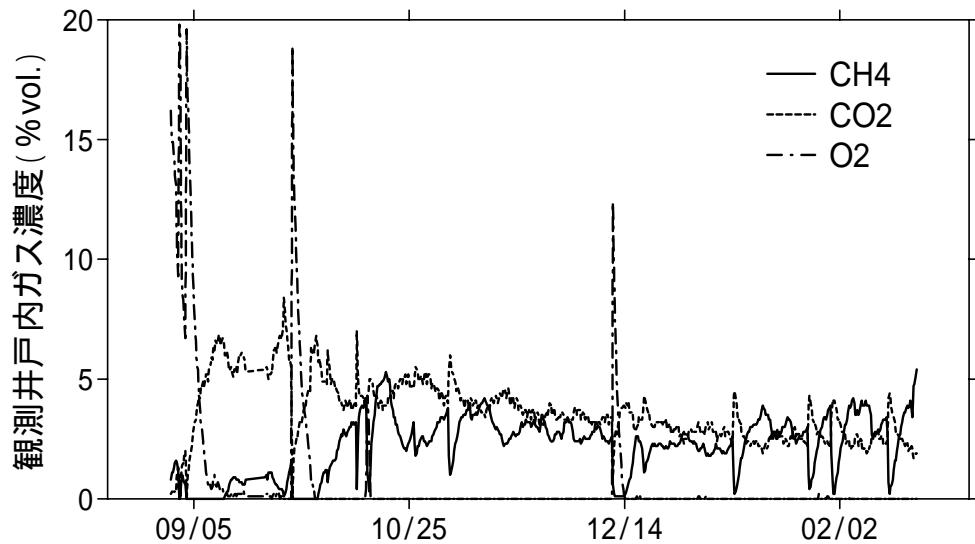


図 3-21 B 処分場における観測井戸内ガス濃度の連続測定結果

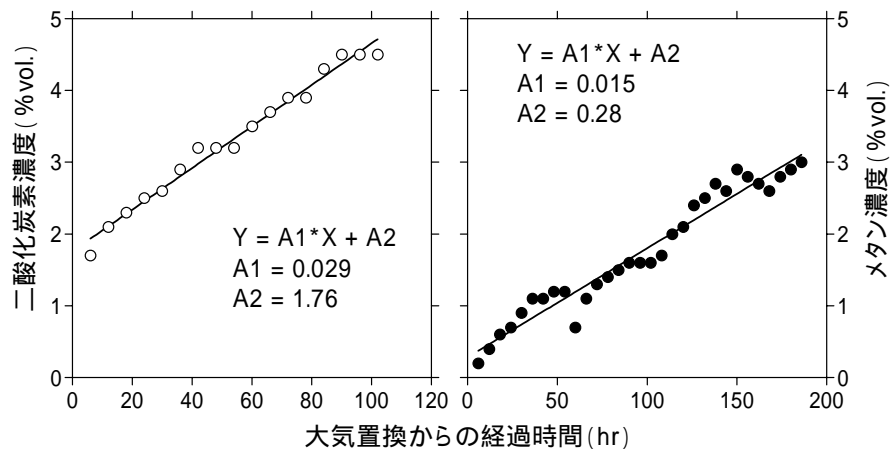


図 3-22 B 処分場の観測井戸内のガスフラックス計算図

3.3 C 処分場調査結果

3.3.1 調査概要

観測井設置場所の選定のために詳細調査として、地表面温度分布の空撮、表面温度測定、ガスフラックス調査、土壌ガス濃度調査を実施した。観測井設置後、一般調査として保有水等分析、孔内ガス分析、孔内温度検層を行うと同時に、観測ステーションを設置して孔内ガス濃度、孔内ガス圧、孔内温度の深度分布、気象データの連続測定を実施した。

3.3.2 観測井位置の決定

3.3.2.1 埋立地全体を対象とした絞り込み調査

(1) 地表面温度分布の空撮

7月に一度空撮を試みたが、風が強く離陸できなかったため、二度目の空撮として8月10日に挑戦した。朝凧の風速が1~2 m/s と非常に穏やかであり、パワードパラグライダーを利用した空撮を容易に実施できる天候であった。撮影された可視画像を図3-23に示す。図中左側に十字と、右側に四角がみえるが、これは、空撮結果を合成するときに便利のように設置したマーカーである。C 処分場は、測定の1週間程度前までは背丈1mを越すような雑草が生い茂っていたが、空撮のため、担当自治体の方にブルドーザーを使用して、全ての雑草をなぎ倒して頂くことができた。これにより、地表面部のほとんどが露出する形になり、赤外線サーモグラフを使用した反射温度測定が、正確に実施することが可能になった。

熱画像解析との重ね合わせ結果を図3-24に示す。図中央部の可視画像が欠落しているが、これは、サーモグラフのピントが合わず、鮮明さに欠ける画像となったことから、熱画像結果から削除したためである。左下の領域と、右上の領域に温度の高い、赤い領域が多く観察されることから、熱画像解析としては、図3-25に示される二つの領域を観測井戸候補地として決定した。



図 3-23 C 処分場の可視画像空撮結果（撮影高度 150 m）

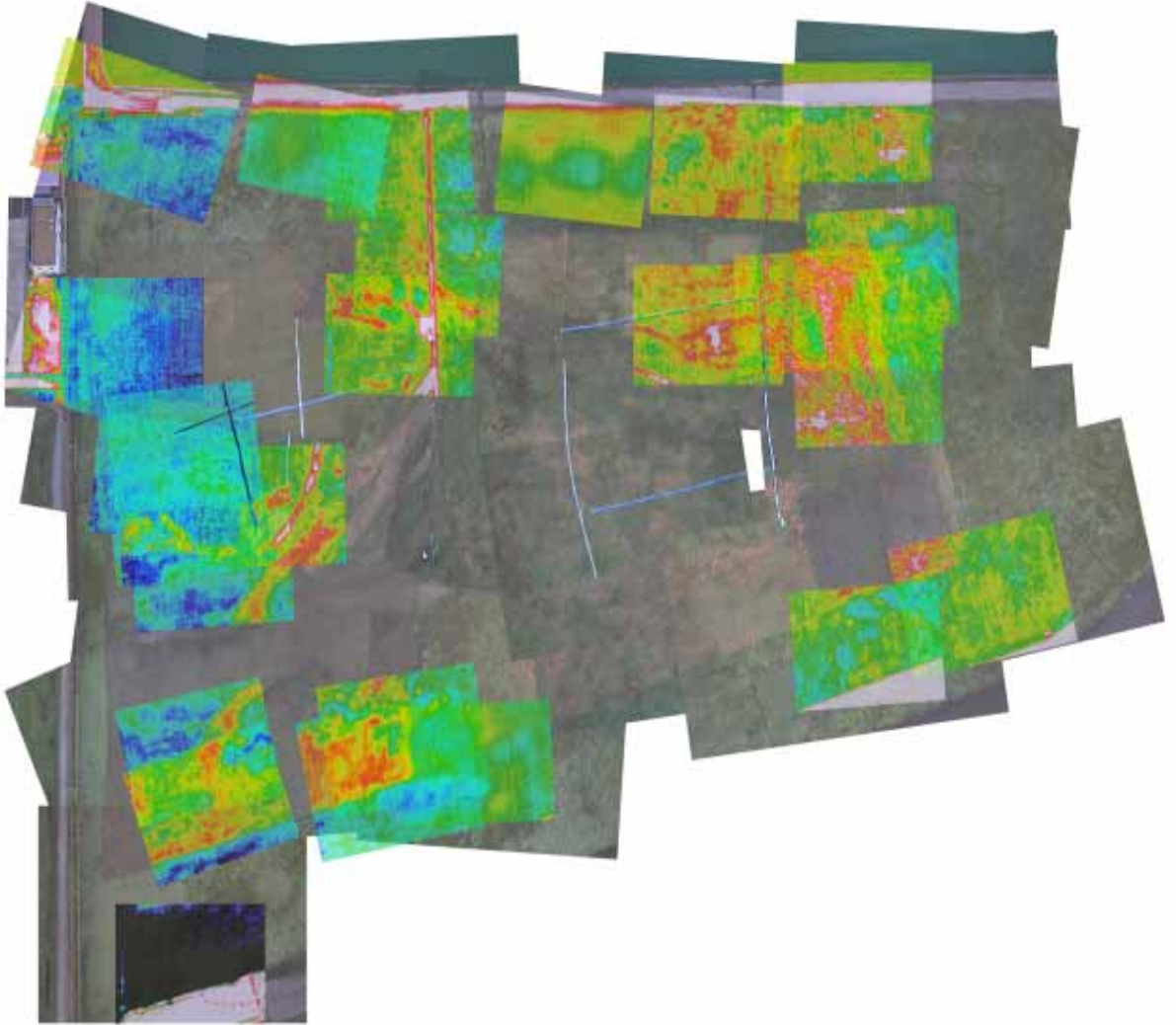


図 3-24 C 処分場の熱画像と可視画像の重ね合わせ図

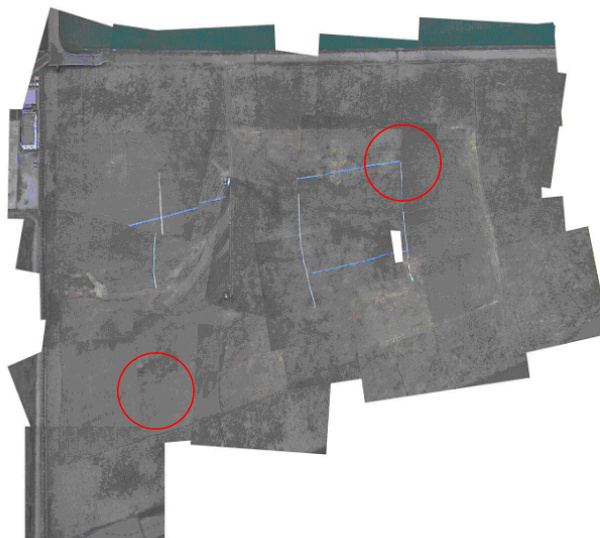


図 3-25 熱画像解析より選定された観測井候補地 2 カ所

(2) 表面温度分布測定測定

表面温度は空撮により撮影された赤外線熱画像に加えて、直接的に測定する手法を実施した。測定地点は、図 3-26 に示される 100 m メッシュの交点とその重心である。A1 を原点として、図中上方向に英字が変化し、左方向にいくにしたがって数字が増加する形式でメッシュ交点番号を決定した。地表面温度の測定結果を図 3-27 に示す。測定された温度の範囲は 23 ~ 25 度であり、明瞭な違いは特に観察されなかった。測定時の気温は 23 ~ 26 度であった。

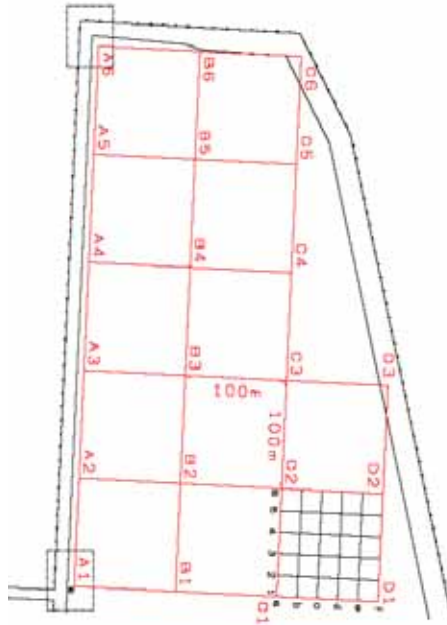


図 3-26 C 処分場の 100 m メッシュ図

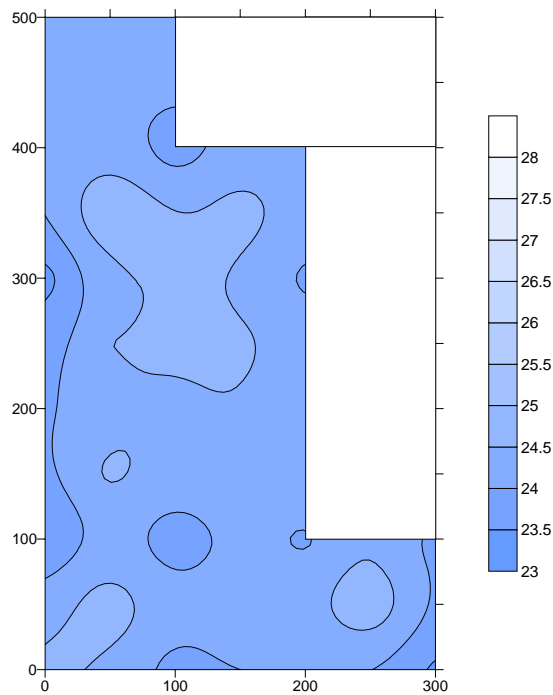


図 3-27 直接測定による地温分布測定結果 (C 処分場 : 100 m メッシュ)

(3) 地表面ガスフラックス調査

地表面ガスフラックスも、地表面温度測定と同様に 100 m メッシュの交点で実施した。地表面メタンガスフラックス調査結果を図 3-28 に示す。全体的に、測定下限値付近もしくは負のフラックスが検出される地点が多い傾向であった。これは、表層の覆土部分で微生物によるメタン酸化活性が高くなっていることを表している。

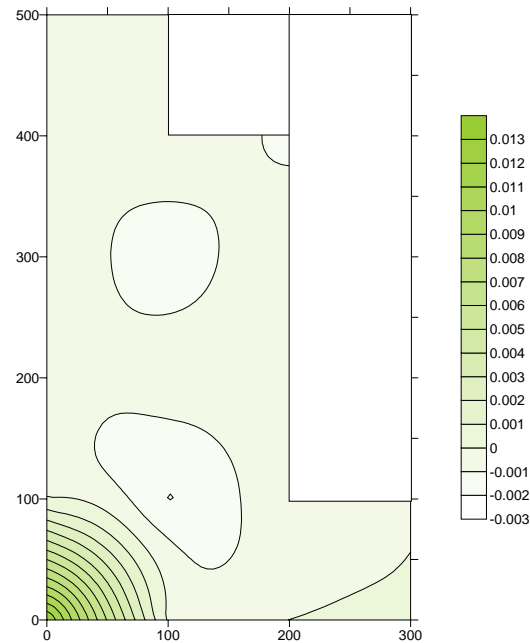


図 3-28 地表面メタンガスフラックスの測定結果 (C 処分場：100 m メッシュ)

(4) 土壌ガス濃度

ボーリングバーを用いた土壌ガス測定結果としてメタンガスの濃度分布を図 3-29 に示す。土壌ガスである二酸化炭素の測定結果を図 3-30 に示す。メタン濃度は全体的に低く 1%未満が大部分を占めているが、二酸化炭素ガスは、B3 や C2 において 10%以上測定されるなど、比較的高濃度なガスが検出された。

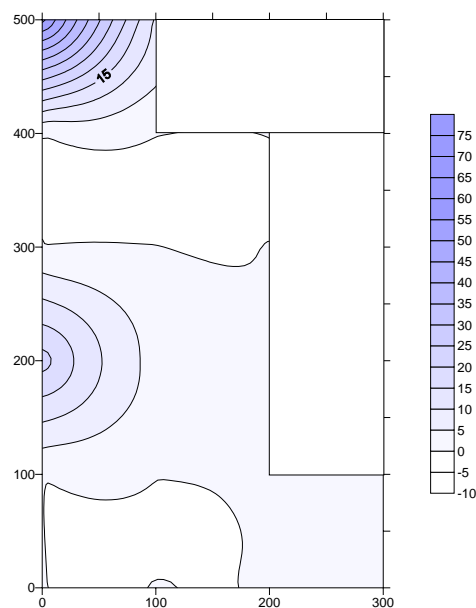


図 3-29 土壌ガス (メタン) 濃度分布の測定結果 (C 処分場：100 m メッシュ)

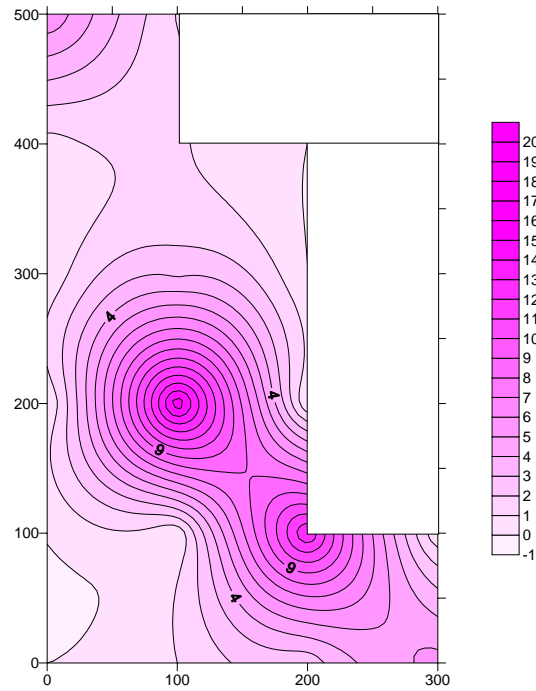


図 3-30 土壌ガス（二酸化炭素）濃度分布の測定結果（C 処分場：100 m メッシュ）

3.3.2.2 絞り込み領域を対象とした調査

空中撮影による地表面温度分布調査結果ならびに、レーザーメタン計とサーモグラフを併用した地表面踏査による調査結果から、多くのホットスポットが存在している C1 と D2 を対角線とする 100 m メッシュが最も微生物活性が高い可能性が示された。100 m メッシュによる土壌ガス調査では、メタンガス濃度は高くなかったが、二酸化炭素濃度が高い傾向があったことも C1-D2 メッシュに決定した要因の一つである。

(1) 地表面温度分布測定

絞り込み調査領域では、100 m メッシュをさらに 20 m メッシュに細分化し、その交点を測点として調査を実施した。地表面温度分布の測定結果を図 3-31 に示す。測定された温度範囲は 24 ~ 28 度であり、主に図中の中央部の温度が高い傾向が確認された。測定時の気温は、27 ~ 30 度で推移していた。

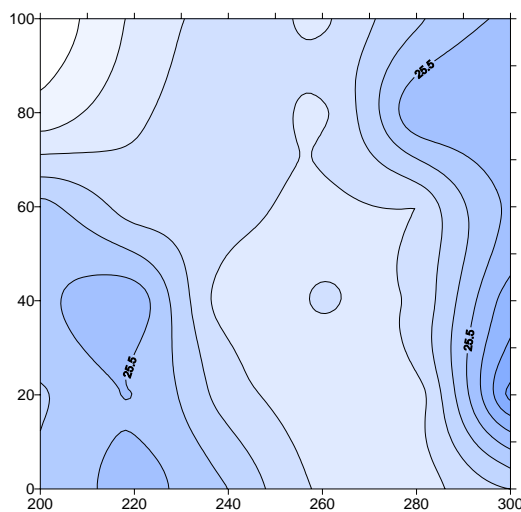


図 3-31 直接測定による地温分布測定結果（C 処分場：20 m メッシュ）

(2) 地表面ガスフラックス測定

地表面ガスフラックスとしてメタンガス濃度の調査結果を図 3-32 に示す。ガスフラックスとして特異的に高い領域は見られないが、全体的な傾向として中央部が高いことが観察される。これは、地表面温度分布の結果と類似している。

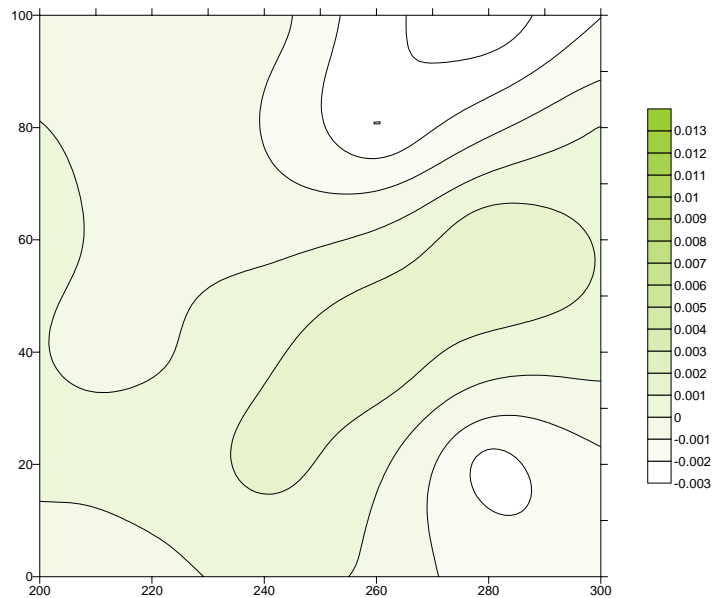


図 3-32 地表面メタンガスフラックスの測定結果 (C 処分場 : 20 m メッシュ)

(3) 土壌ガス濃度分布調査

土壌ガス濃度として、20 m メッシュ交点のメタンガス濃度を図 3-33 に、二酸化炭素濃度分布の調査結果を図 3-34 にそれぞれ示す。

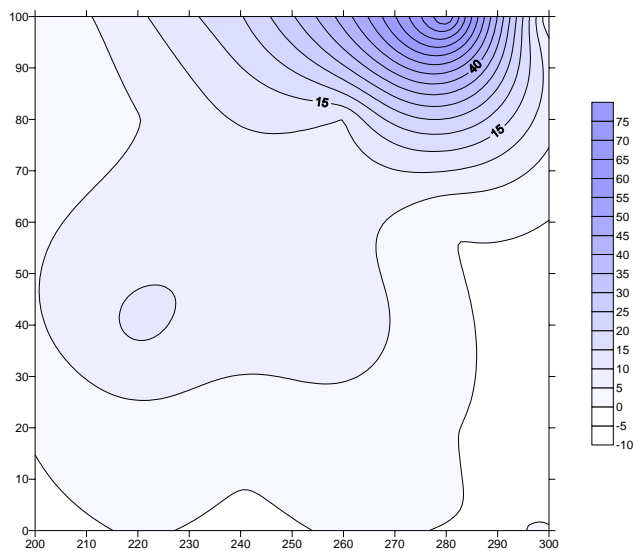


図 3-33 土壌ガス (メタン) 濃度分布の測定結果 (C 処分場 : 20 m メッシュ)

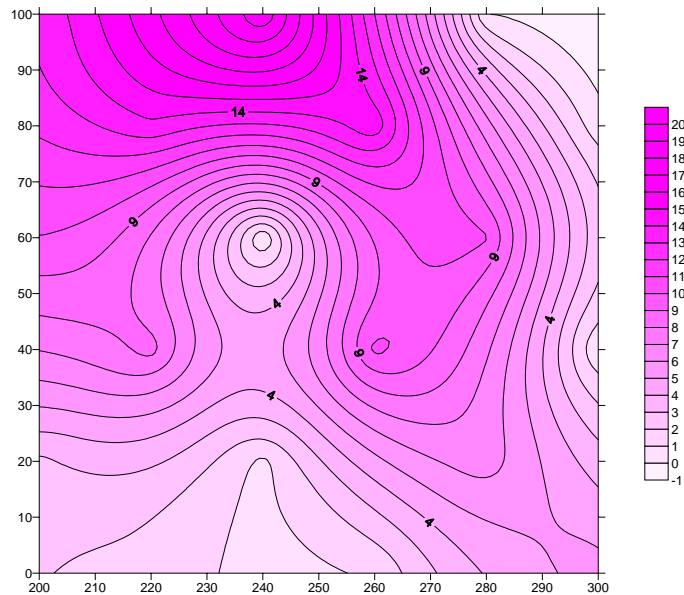


図 3-34 土壤ガス（二酸化炭素）の濃度分布の測定結果（C 処分場：20 m メッシュ）

詳細調査では、レーザーメタン計ならびに赤外線サーモグラフィを用いて、調査対象領域をくまなく歩く地表面踏査も同時に実施しながらホットスポットの検索も行った。このホットスポット検索が活性の高い領域を調査するには最も適していると考えられるが、海面最終処分場のような広大な処分場では、100 m メッシュからの調査領域の絞り込み後に実施することが妥当である。20 m メッシュにホットスポットの土壤ガス濃度分布を加えた濃度分布図をそれぞれ、図 3-35、3-36 に示す。 $(x, y) = (280, 100)$ 付近に 80%vol. 程度の非常に高いメタンガス濃度が検出されている。また、二酸化炭素ガスは、 $(x, y) = (240, 100)$ 付近にて高い濃度が検出された。いずれの領域も、地表面温度や地表面ガスフラックスの高い領域と場所が一致しており、 $(x, y) = (240 \sim 280, 100)$ 付近の下部には微生物活性の高い埋立廃棄物が存在していることが推察される。

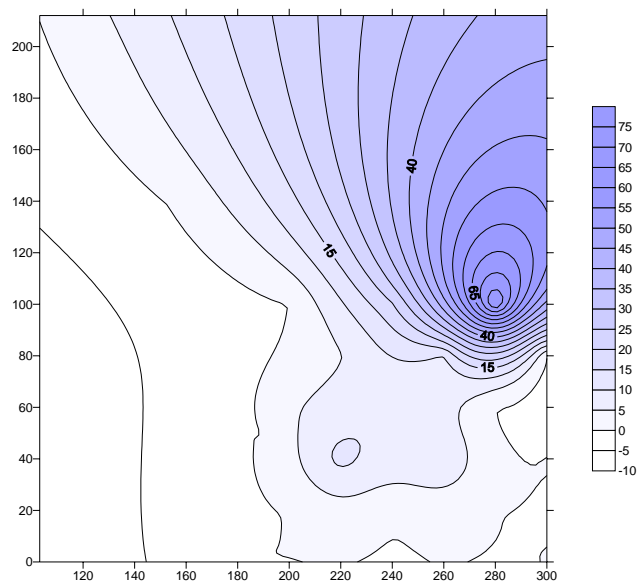


図 3-35 土壤ガス（メタン）濃度分布の測定結果（C 処分場：20 mメッシュ+ホットスポット）

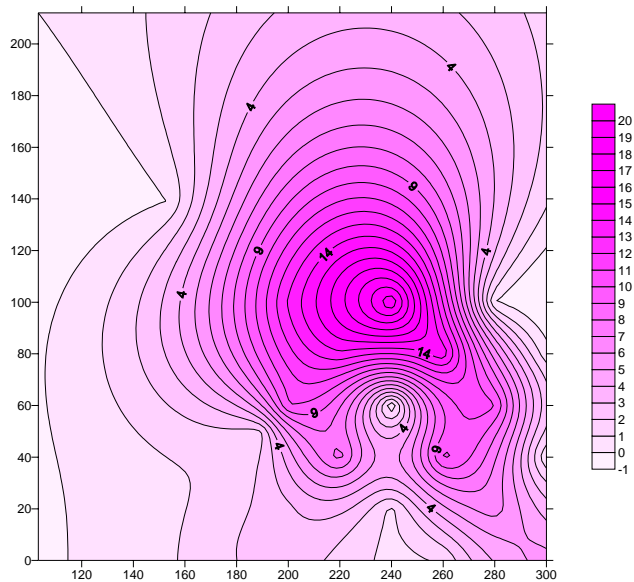


図 3-36 土壌ガス (CO₂) 濃度分布の測定結果 (C 処分場 : 20 mメッシュ+ホットスポット)

3.3.3 観測井設置

観測井戸の位置は、図 3-35 に示されるメタン濃度の高い位置を基準にして選定し、(x, y) = (280, 120) 付近とした。メタン濃度の高い領域で、二酸化炭素濃度はそれほど高くない結果となっているが、二酸化炭素ガスの吸収源が存在する可能性もあることから、高濃度のメタンガスにのみ着目して観測井の場所を選定した。図 3-37 に C 処分場に設置した観測井戸の断面図を示す。本処分場においても、保有水等の管理水位が決定されていないため、観測井設置時の確認水位を管理水位と仮定し、その水位位置をストレーナー下端の深度とした。ストレーナー下部には、ストレーナーから侵入した保有水等を溜める目的で無孔管を 1 m 設置した。

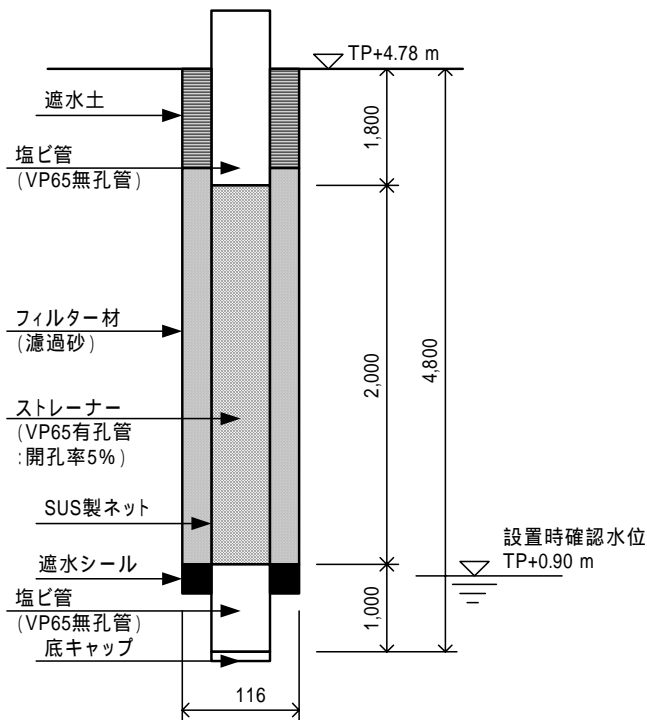


図 3-37 C 処分場に設置した観測井の断面図

ボーリング掘削時の廃棄物を採取し、持ち帰り後に懸濁液の pH と電気伝導度を測定した。測定結果と深度別の主な廃棄物種を図 3-38 に示す。覆土は厚く、2 m 程度までがほぼ土であり、それ以深において焼却灰やビニル類が掘削された。これら廃棄物のほとんどは破碎されておらず、直接埋立が実施されたと推測される。pH は焼却灰が掘り出された領域で 11 程度とやや高い値を示したが、それ以外の領域は弱アルカリ性を示した。地表面から 4 m 程度までの電気伝導度は低く、5 ~ 60 mS/m 程度であったが、本ボーリング孔の最深部である 5 m 付近では pH = 11.6 と高い値を示した。

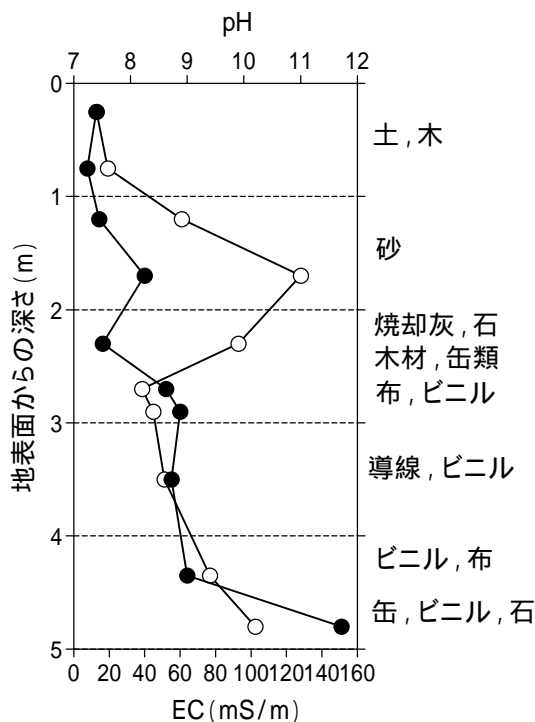


図 3-38 C 処分場観測井戸部の柱状図と懸濁液 pH, EC

3.3.4 一般調査

(1) 水質分析

水質の分析は、表 3-1 に示される通り、一回目は 9 月 9 日に実施し、二回目は 10 月 7 日に実施した。一回目の測定結果を表 3-6 に示す。

表 3-6 C 処分場観測井における水質分析結果

| 測定項目 | 単位 | 一回目 (9/9) | 二回目 (10/7) |
|-----------------|------|-----------|------------|
| 水素イオン濃度 : pH | | 8.2 | 7.6 |
| pH 測定時水温 | | 20.2 | 22.6 |
| 化学的酸素要求量 : COD | mg/L | 160 | 140 |
| 溶存酸素量 : DO | mg/L | <0.5 | <0.5 |
| 酸化還元電位 | mV | - 264 | - 28 |
| 浮遊物質 : SS | mg/L | 160 | 110 |
| 全窒素 | mg/L | 111 | 155 |
| 生物学的酸素要求量 : BOD | mg/L | 35 | 27 |
| 硫化物イオン (硫黄イオン) | mg/L | 0.5 | 0.5 |
| カルシウムイオン | mg/L | 15.4 | 37.2 |
| 塩化物イオン | mg/L | 241 | 196 |
| 電気伝導度 | mS/m | 281 | 353 |

(2) ガス分析

ガス分析は、表 3-1 に示されるとおり、一回目は9月21日に実施した。二回目は10月7日、三回目は10月19日に実施した。ガス分析結果を表 3-7 に示す。一回目の調査ではメタン、二酸化炭素ともに検出されなかったが、二回目以降の調査ではメタン濃度が 70%vol.を超える結果となり、非常に高濃度のメタンが検出された。これに比して、二酸化炭素濃度は低く、数%にとどまった。メタン濃度が非常に高いことから、覆土によって封じ込められていたメタンガスが観測井に流入してきたと考えられ、二酸化炭素濃度が低いことは、pH の高い保有水等に吸収されたものと推察される。

表 3-7 C 処分場観測井におけるガス分析結果

| 測定項目 | 単位 | 一回目(9/21) | 二回目(10/7) | 三回目(10/19) |
|-----------|-------|-----------|-----------|------------|
| メタン:CH4 | %Vol. | 0.0 | 75.0 | 87.7 |
| 二酸化炭素:CO2 | %Vol. | 0.0 | 2.8 | 1.6 |
| 酸素:O2 | %Vol. | 20.9 | 4.6 | 1.8 |
| 窒素:N2 | %Vol. | 78.9 | 17.3 | 8.8 |

(3) 温度検層

温度検層は、表 3-1 に示されるとおり、一回目は9月13日、二回目は10月7日に実施した。測定結果を図 3-39 に示す。深度 3.8 m 付近より急激に温度が低下しているが、これは、この深度に保有水等の水位があることを表している。一回目の測定で 3.8 m であった変曲点が、二回目の測定では 4.9 m まで変化していることから、保有水等水位が変化したことが観察される。

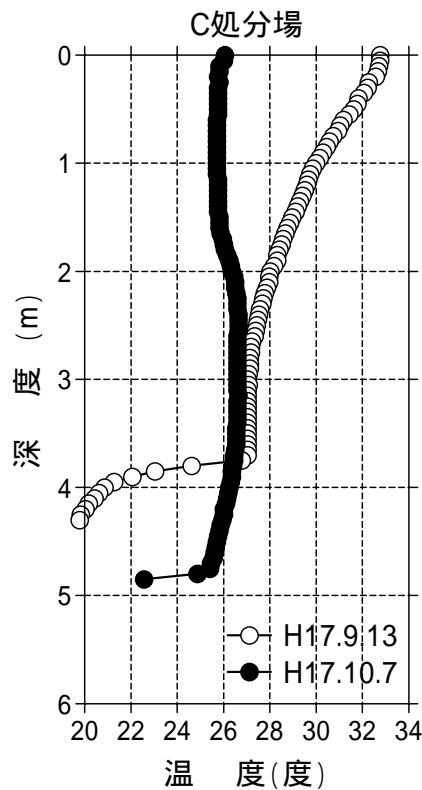


図 3-39 C 処分場の観測井温度検層結果

3.3.5 観測ステーション設置と連続測定

観測井が設置された後、9月21日に観測ステーションの設置を行った。観測ステーションには、自然エネルギーとして太陽光を利用した太陽光発電システムを設置した。測定機器としては、第二章で詳述した、連続ガスモニタリングのためのGA2000Plus、孔内圧力測定のためのP55D、孔内温度測定のための9631、気象情報をモニタリングするための大気圧計US10000などを設置した。観測ステーションの概観を、図3-40に示す。

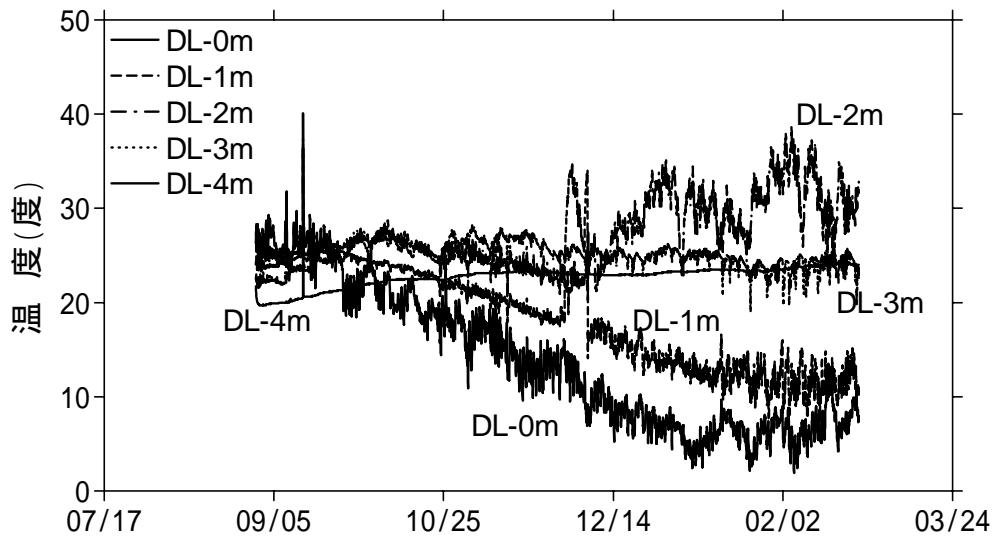


図 3-40 C 処分場に設置した観測ステーションの概観

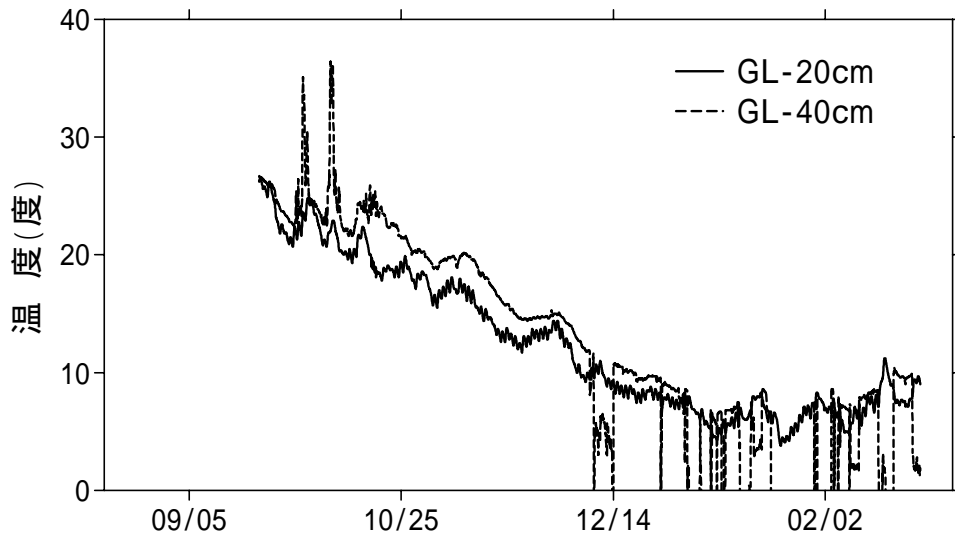
(1) 深度方向の温度分布

観測井内に設置した温度計と、観測井戸周辺の覆土層に埋設した温度計による深度方向の温度分布測定結果を図3-41に示す。観測井内の温度分布は、GLから0、1、2、3、4mの1mおきに測定を行った。DL-1mまでの深度では気温変化に追従した日変動が確認される。DL-2mの位置では、若干の日変動が確認されるが、日変動とは別の温度変化が認められ、12月1日付近から急激に温度が上昇している。測定誤差である可能性もあるが、観測井を作ったことによる影響とも考えられる。深度3mでも日変動が観測されるが、ほぼ一定の温度を保っていると解釈でき、ほぼ恒温点になっていると思われる、その温度は約25度である。深度4mは水没している可能性も考えられるが、日変動なく、一定の温度で緩やかに上昇する傾向が伺え、冬季に入ってもその温度上昇は止まっていない。観測開始時には20度であった温度が、2月末には約24度付近まで上昇している。

覆土に埋設した温度計の観測結果では、深度20cmで日変動が認められ、40cmの深さになると日変動はほとんど認められない。観測井内の温度は深度1mまで温度変化が観察されることから、観測井内と通常の覆土を含んだ廃棄物地盤とでは、異なる温度プロファイルを示す可能性が示唆された。このことから、廃止基準のための温度測定の際に、観測井内の恒温点以深を測定することが必要であるといえる。



(a) 観測井戸内深度方向の温度分布



(b) 覆土内深度方向の温度分布

図 3-41 C 処分場における深度方向温度プロファイルの連続測定結果

(2) 大気圧と孔内圧力

観測ステーション内に設置した大気圧計と、観測井内圧力と大気圧との差を測定する差圧計の測定結果を図 3-42 に示す。大気圧の測定結果は、気象台のデータとほぼ一致しており、安定した大気圧データが観測できていると判断される。また、差圧計の値は、10 月下旬までは最大で 100 Pa 程度の上昇であったが、10 月下旬より 300 Pa を超える圧力が検出されている。11 月に入ると、孔内圧力の上昇はおさまり、再び 100 Pa 程度の増加になっていることが観察される。B 処分場の負圧に比較して、C 処分場では正の圧力が発生していることがわかる。

近隣の気象台における降雨データを図 3-43 に示す。降雨と孔内圧力(差圧)との関係は明瞭でないが、降雨発生後に孔内圧力が増加する傾向が認められる。特に 20 mm を超える降雨の後に圧力が大幅に増加することから、覆土の透水性が悪く、降雨の涵養によって地表面のガスみちが閉塞されることにより、孔内圧力が増加するものと推察される。

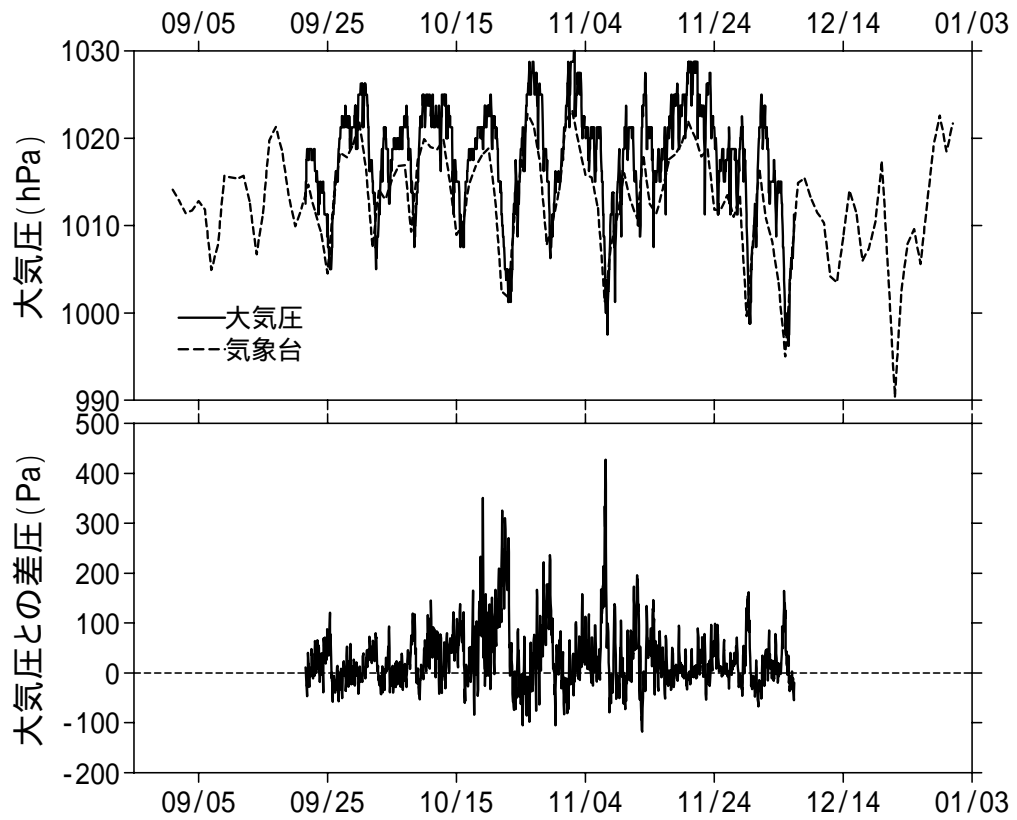


図 3-42 C 処分場における大気圧と観測井内圧力の連続測定結果

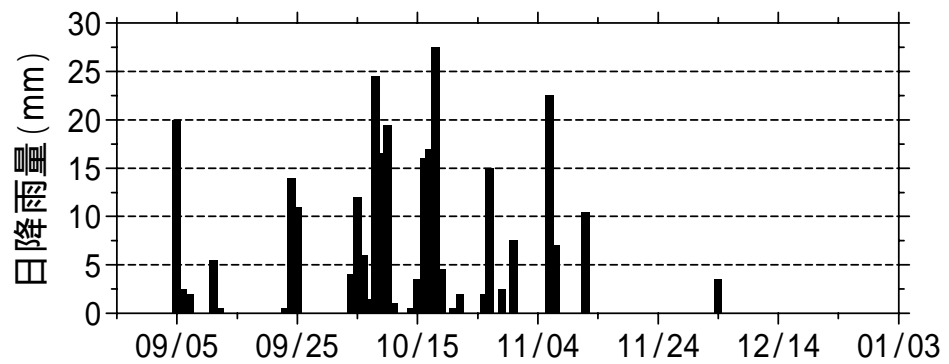


図 3-43 C 処分場における降雨量データ (气象台データ)

第4章 おわりに

本調査報告では、海面最終処分場の廃止に向けた観測井の設置場所選定と、観測井を利用したモニタリング、基準省令に従った観測結果を補間する自動モニタリング手法について詳述した。本調査報告で示される手法が、海面最終処分場の廃止のために必要な調査手法の一例として使用されることを望んで報告書を取りまとめた。本調査では、一般調査と詳細調査という名称に分けて調査を紹介し、連続測定までの流れを報告したが、より一般的に、海面最終処分場が廃止を満たすために必要な現地調査の流れを図4-1に示す。

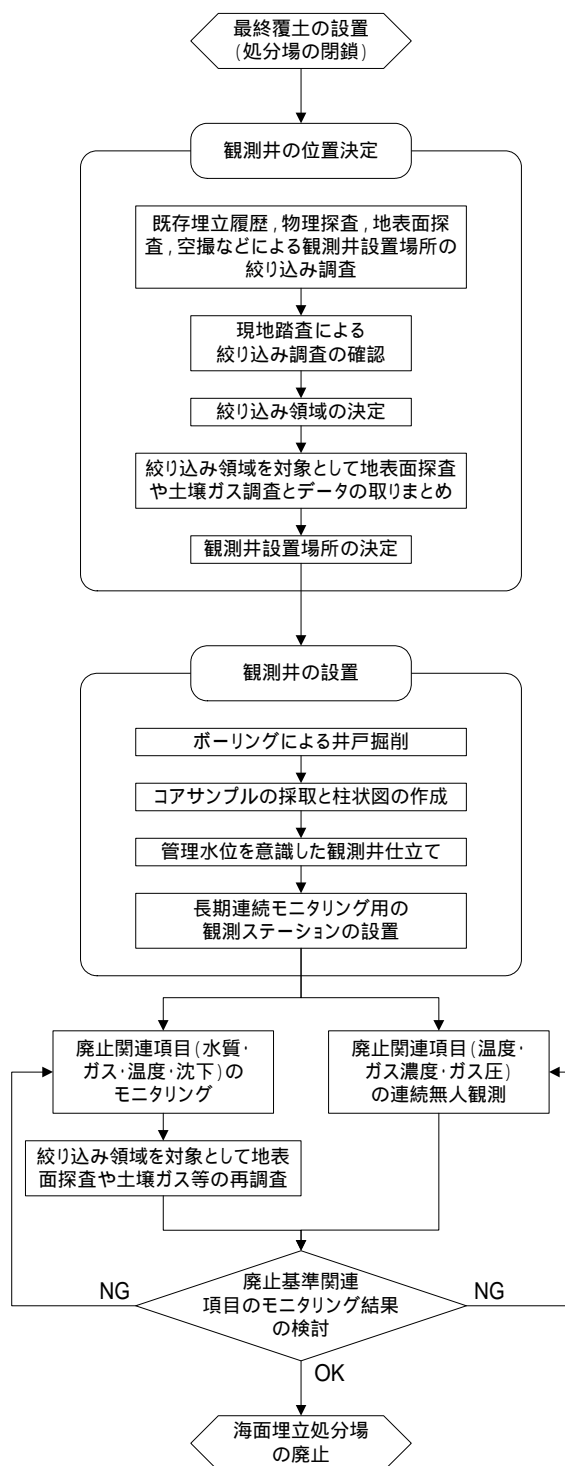


図4-1 海面最終処分場廃止モニタリングのための現地調査の流れ図