

4.4 廃止に向けてのモニタリングの考え方

4.4.1 モニタリング指標

廃止に向けて安定化の状況をモニタリングする項目は以下のとおりである。

「保有水等の水質」、「埋立ガス」及び「内部温度」は、処分場の廃止までの時間を見極める上において、廃止基準に掲げられた項目の中で、特に継続的なモニタリングが必要な項目である。「沈下量」は、処分場の終了後並びに廃止後の跡地の用途に応じてモニタリングが望ましい項目である。なお、「保有水等の水質」及び「埋立ガス」は埋立跡地全体の状況を総合的に表す指標であり、また「内部温度」と「沈下量」は安定化の程度を知るための補足的指標である。

- 1) 保有水等の水質
- 2) 埋立ガス
- 3) 内部温度
- 4) 沈下量

【解説】

廃棄物最終処分場の適切な維持管理、並びに適正な跡地利用がなされなかった場合、最終処分場を由来とする環境影響が懸念される。この問題に対する社会的な関心は極めて高く、これに対処するため、基準省令において適正な処分場管理に資する維持管理基準および廃止基準が定められている。

特に海面最終処分場は、土砂の埋立地や陸上最終処分場と異なり、保有水等の埋立地内滞留、地盤沈下、埋立ガス発生等が相当長期間にわたって続くことが予想され、その廃止を検討するに当たり、埋立地内部の安定化の現況についての的確に把握する必要がある。

埋立地内部の安定化の現況を逐次把握し、廃止までの見通しをつけ、必要に応じて安定化を促進するために必要な情報を得るべきである。

以下に安定化プロセスの概念を記す。

最終処分場（埋立地）の安定化とは、概して言えば、埋め立てた廃棄物が持つエネルギー（アクティビティ[活性]とモビリティ[移動性])が減衰してゆく過程であり、主に、微生物の有機物分解を核とした生物化学反応と、溶解や吸着等の物理化学過程、ならびに媒体（保有水等と埋立ガス）の移動によ

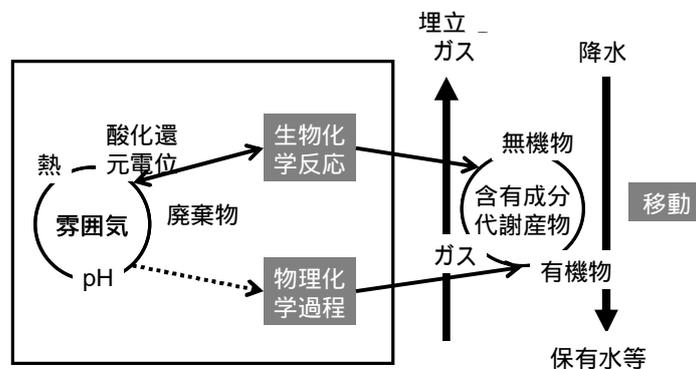


図4.4 安定化プロセスとエミッション

て支配される。生物化学反応は、廃棄物を構成する化学物質の形態を変化させるとともに、酸化還元、pH、温度等の物理化学過程を支配する雰囲気を形成し、熱により物質を相変化

させる。物理化学過程は、生物化学反応で生じた物質の固体（廃棄物）・液体（保有水等）・気体（埋立ガス）間のとの交換を支配するプロセスであり、保有水等および埋立ガスの質（または、安定化した廃棄物の質）を決める。また、降水と代謝産物である水、大気ならびに代謝産物であるガスが運動力学や熱力学過程で廃棄物層内を移動し、マスフローとして排出物（エミッション）の量を決める（図4.4）。

<生物化学反応>

廃棄物の主な（化学）エネルギーの源は有機物であり、比較的長期に渡って微生物による代謝（分解）作用を受け、埋立地内部には熱と代謝産物が生ずる。

好気性分解における主な代謝産物は二酸化炭素と水であるが、腐植（フミン）と呼ばれる難分解性有機物（TOC または COD/BOD、OD₂₆₀）また、有機物に含まれていた窒素ならびに硫黄が無機・酸化した亜硝酸・硝酸イオン、硫酸イオンも同時に生ずる。このプロセスは廃棄物を埋め立てたときに、廃棄物層内に取り込まれた酸素が消費し尽くされるまでの短期間に限られる。

埋立地で長期にわたって生ずる主な代謝作用は嫌気性分解（図4.5）である。嫌気性分解では、(1)加水分解による有機物の可溶化、(2)溶存態有機物の酸発酵、(3)酢酸の水素発酵、(4)二酸化炭素と水素または酢酸のメタン発酵が順次生じ、それぞれ、(1)BOD や COD、

(2)揮発性有機酸（VFA：例えば酢酸）アルコール（例えばメタノール）と無機イオン（Cl、SO₄²⁻、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺等）(3)二酸化炭素と水素、(4)メタン（+非メタン炭化水素類）二酸化炭素と水が代謝産物として生ずる。

一般に、有機物の可溶化と分解は、デンプン>脂肪>タンパク質>セルロース>リグニンの順で生ずる。最も分解速度が遅いリグニンは嫌気条件下では分解されず、一部が残存するタンパク質等と重縮合して安定な腐植となり、重金属等の吸着や錯体形成に重要な役割を果たす。

酸化還元電位（ORP、または Eh）は、酢酸発酵、メタン発酵という嫌気代謝の進行により漸減してゆく。酸発酵時には生成した有機酸と炭酸塩によって pH が低下するといわれているが、我が国の廃棄物はアルカリ成分が多いために中性付近でとどまることが多い。また、メタン発酵が進むと有機酸等が消費されることにより、pH は中性から微アルカリ性となる。

有機物中の窒素はアンモニアに無機化されるが、酸化態、すなわち亜硝酸塩または硝酸塩として存在すると脱窒菌により分子状窒素に還元される。また、硫酸態に代謝された硫

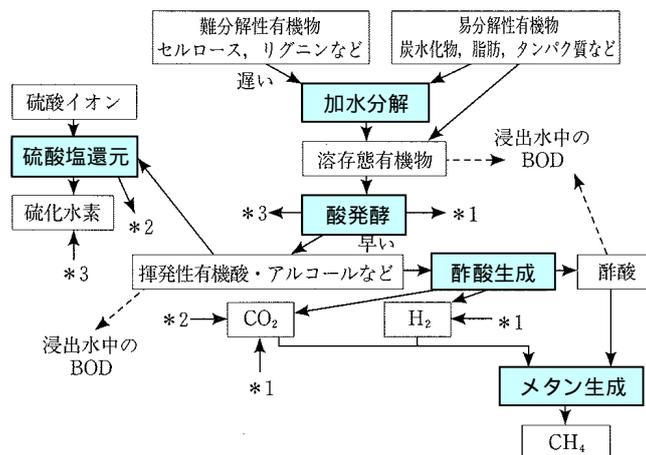


図4.5 有機物の嫌気性分解過程 (Christensen, 1993)

黄は硫酸還元菌により硫化水素へと還元される。

有機物分解で生ずる代謝熱によって、廃棄物層内の温度は通常 30～40℃、高いときには 70℃ 程度まで達することがある。実際に観測される温度は、発熱量と廃棄物層内の熱容量、熱伝導率ならびに媒体による熱移動に規定される。また、埋立初期の発熱は、廃棄物に含まれる無機成分が大気や水に触れることによる水和や酸化反応を原因とする場合もある。

<物理化学過程>

廃棄物層内で固相（廃棄物）と液相（保有水等）または気相（埋立ガス）の間では、拡散、溶解／沈殿、吸着・収着、揮発等により物質が交換される。これら物理化学過程は媒体自体の特性（極性、蒸気圧、表面電位等）とともに、層内の内圧、温度、酸化還元電位等の雰囲気、塩類やフミン等の共存物質の質と量に支配される。

特に、廃棄物に含まれていた塩類や重金属類等の無機物の挙動は物理化学的過程に支配されるところが大きい。例えば、Cd、Co、Pb、Ni、Zn 等の重金属類は酸化雰囲気では炭酸塩を、還元雰囲気では硫化物を形成して沈殿し、Fe や Mn は酸化状態では水酸化物や酸化物を、還元雰囲気では硫化物を形成して沈殿する。すなわち、前述の生物化学反応による代謝産物と雰囲気の変化に対応して物理化学的な挙動は変化し、廃棄物層内に留まったり、水やガスを媒体として環境中に放出される。また、フミン等の高分子有機物は錯体形成の配位子となり、水中でコロイドを形成したり、粘土粒子と複合体を形成することにより Cu、Pb 等の液相での濃度に影響する。

埋立ガスには、水蒸気、メタン、非メタン炭化水素、二酸化炭素、水素、窒素、アンモニア、硫化水素等の生物化学反応の代謝産物（バイオガス）の他に、微量の VOC が含まれていることが多い。埋立ガス中の VOC の起源は、有機物分解過程による産物（副生成物）であるが、廃棄物層内の温度上昇により、廃棄物に含まれていた溶剤等が揮発し、埋立ガスに混入したものである。

<水とガスの移動>

保有水等の移動には主に重力による下向きの流れと、毛管作用による上向きの流れがある。下向きの移動の大きさを左右するのは、供給量（すなわち降水量）、水の物理的な排除率を決める表面形状または沈下や蒸発散を決める植生等と廃棄物層内の透水係数である。廃棄物層内の透水性は、埋め立てた廃棄物の不均一さと中間覆土の存在、水みちの形成によって、空間的にきわめて不均一である。また、廃棄物の安定化プロセスが進行するにつれ、廃棄物の質も変化することから、透水性の空間分布も変わる。保有水等の移動は、廃棄物層内に存在する溶解性物質を溶かし込んで浸出液として系外に放出するマスフローであるとともに、廃棄物層内における生物化学的反応に必須の資源を供給する。すなわち、保有水等の移動経路と水分量の空間分布は、埋立地全体としての安定化プロセスとエミッションを決める重要因子といえる。下向きに移動した保有水等は最終的に保有水等集排水設備に達するが、廃棄物層内の透水係数が小さいところには宙水が存在する。

埋立ガスの流れは、拡散と圧力差（移流）、温度差（対流）で生ずる。生物化学反応により生成されたガスならびに水により、廃棄物層内の圧力と温度が上昇し、大気中のガス濃度、大気圧ならびに外気温との差が生じ、流れの大きさを決める。廃棄物層内のガスの流れの方向は、廃棄物の不均一さに起因する通気係数の空間分布に支配されるが、気体は液体に比べて重力の影響をあまり受けず、四方に動くため、埋立ガスはガス抜き管等の通気装置だけではなく、地表面ならびに埋立廃棄物と法面の際からも放出される。また、埋立地内のガス圧と大気圧との差が小さい場合には、大気圧の変化に応じてガスの放出量が変動し、大気がガス抜き管や覆土層より埋立地内部に侵入する現象がみられる。

<安定化モニタリング>

有機物分解を主とした埋立地内反応プロセスは、時系列的な段階に分けて考えることが多い。まず、微生物による分解作用を受ける廃棄物は、易分解性有機物（厨芥類、焼却残渣中の未燃物などの有機質）、難分解性廃棄物（紙、繊維、草木類などのセルロース）分解が極めて困難な有機物

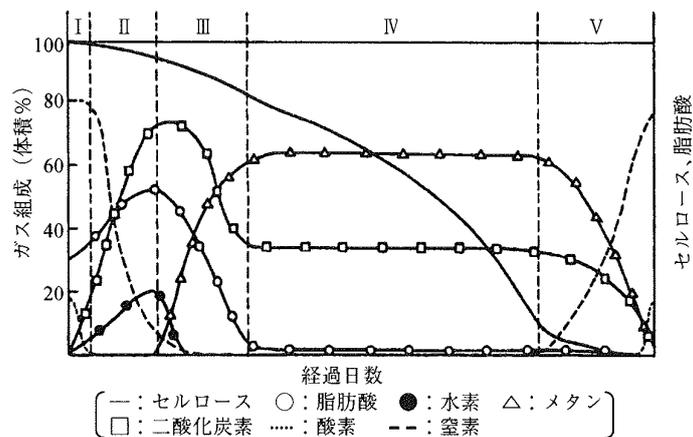


図4.6 埋立地におけるガス組成変化 (Rees, 1980)

(廃プラスチック類などの石油産物)に分類される。これらの有機物を埋立地内で分解する微生物は、好気性微生物(酸素の存在下で有機物を分解)、嫌気性微生物(無酸素条件下で有機物を分解)、通性嫌気性微生物(酸素の存在下では好気性微生物として、無酸素条件下では嫌気性微生物として有機物を分解)に分類される。

廃棄物層内のガス組成より、安定化のプロセスは次の5段階に分類される(図4.6); ()好気性分解期(酸素がただちに消費され、二酸化炭素が生成する。窒素濃度は一定である。)()通性嫌気性菌が支配的な嫌気性酸発酵期(酸素がすべて消費され、二酸化炭素の生成が活発で、水素も発生する。)()絶対嫌気性菌が支配的なメタン生成発達期(メタン生成菌により水素が消費され、メタンの生成量が増加する。)()難分解性有機物が徐々に可溶性・分解されるメタン生成定常期(メタンの生成により廃棄物層内のガス圧が上昇する。)()有機物が少なくなり大気が拡散侵入するメタン発酵終末期(窒素や酸素の濃度相対的に増加する。)

安定化のモニタリングとは、対象とする埋立地が以上に示したどの安定化の段階にあるかを見極め、最終処分場の廃止までの期間を見定めることである。安定化した最終処分場について、基準省令にある廃止基準は、第1段階の安定化で「土の中にとどまっている限り、外部の環境に影響を与えない状態」とであると定義しており、これは図4.6の分解期～の境界を指している。

モニタリングを行う上で、最終処分場の構造や、いつどこにどのような種類の廃棄物を埋め立てたのか、または埋立工法や覆土施工方法、降水量、調査開始までのモニタリング記録等、モニタリングする以前に行うべき対象とする埋立地の成り立ち（諸元）に関する情報の収集がきわめて重要である。これら情報収集が不十分だと、モニタリングの対象の項目、測定点、モニタリング頻度等が適切に設定できず、モニタリングの結果を適切に評価できなくなる。最終処分場の場所によって廃棄物の分解期は異なる。したがって、埋め立てた廃棄物の質ならびに分解時期が空間的に不均一性であることを考慮し、一部分の安定化しか捉えられないことを防ぐ測点の計画が重要である。さらに、最終処分場の廃止までの時間を見極めるためには、分解期毎に適切な頻度の長期的なモニタリングの継続が重要である。埋立開始から第 1 分解期の初期までが最も排出量、すなわち廃棄物層の活性が高い時期であり、変化が激しいため、以降の分解期よりも時間間隔を密にしてモニタリングすべきである。安定化プロセスのような複雑系において、理論（数値）的に安定化の時間スケールを予測する手法の確立までには研究に時間を要する。したがって、埋め立てられた物質は時間の経過とともに漸減していくことを前提に、物質収支またはトレンドにより安定化の時間を経験的に評価する。そのためには、時間的に代表性があり、比較検討が可能な、首尾一貫した手法で得られたデータが必要となる。また、他の最終処分場における安定化の状況（図4.7）と比較することも安定化の評価において重要である。

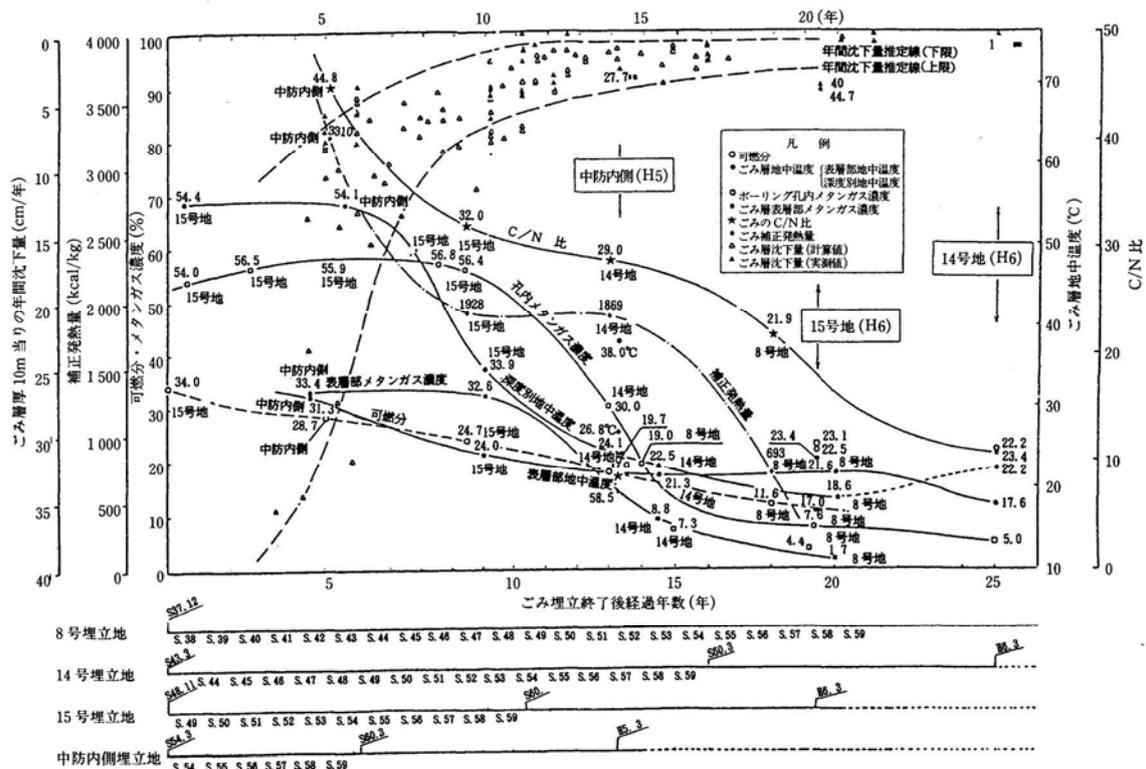


図4.7 最終処分場モニタリングの一例（東京都）（清水，1995）

【別表】

基準省令による最終処分場の廃止基準の概要

：適用、×適用なし

基準の内容	一 廃	産 廃		
		安 定	管 理	遮 断
1) 廃棄物最終処分場が囲い、立て札、調整池、浸出液処理設備を除き構造基準に適合していないと認められないこと。		×		×
2) 最終処分場の外に悪臭が発散しないように必要な措置が講じられていること。				
3) 火災の発生を防止するために必要な措置が講じられていること。				
4) ねずみが生息し、はえその他の害虫が発生しないように必要な措置が講じられていること。				
5) 地下水等の水質検査の結果、次のいずれにも該当していないこと。ただし、水質の悪化が認められない場合においてはこの限りでない。 イ 現に地下水質が基準に適合していないこと ロ 検査結果の傾向に照らし、基準に適合しなくなるおそれがあること				
6) 保有水等集排水設備により集められた保有水等の水質が、次に掲げる項目・頻度で2年以上にわたり行った水質検査の結果、排水基準等に適合していると認められること。 (1) 排水基準等 6月に1回以上 (2) pH、BOD、COD、SS、窒素含有量 3月に1回以上		×		×
7) 埋立地からガスの発生がほとんど認められない、又はガスの発生量の増加が2年以上にわたり認められないこと。				×
8) 埋立地の内部が周辺の地中温度に比して異常な高温になっていないこと。				×
9) おおむね50cm以上の覆いにより開口部が閉鎖されていること。				×
10) 雨水が入らず、腐敗せず保有水が生じない廃棄物のみを埋め立てる処分場の覆いについては、沈下、亀裂、その他の変形が認められないこと。		×		×
11) 現に生活環境保全上の支障が生じていないこと。				
12) 地滑り、沈下防止工及び外周仕切設備が構造基準に適合していないと認められないこと。	×	×	×	
13) 外周仕切設備と同等の効力を有する覆いにより閉鎖されていること。	×	×	×	
14) 埋め立てられた廃棄物又は外周仕切設備について、環境大臣の定める措置が講じられていること。	×	×	×	
15) 地滑り、沈下防止工、雨水等排出設備について、構造基準に適合していないと認められないこと。	×		×	×
16) 浸透水の水質が次の要件を満たすこと。 ・地下水等検査項目：基準に適合 ・BOD：20mg/l以下	×		×	×

4.4.2 保有水等の水質

(1) 保有水等の採水地点

保有水等は、処分場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または単一の地点で採取する。

採取は保有水等集排水設備の出口、浸出液処理設備の流入口または場内に設けたモニタリング井等より行う。

一箇所のみで採水する場合には浸出液処理設備の流入口とする。

【解説】

保有水等は、処分場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のに代表となる複数または単一の地点で採取する。保有水等の採水には、保有水等集排水設備を用いる方法とモニタリング井を設置する方法等があり、処分場全体の安定化の状況を代表させるためには埋立物の性状や埋立期間を考慮して、複数箇所での採取が望ましい。一箇所のみで採水する場合には、浸出液処理設備の流入口で採取を行う。(＜参考6＞参照)

なお、浸出液処理設備の原水調整槽では腐敗と沈殿防止のため曝気を行っているため、本来の保有水等の水質が著しく変化するため、調整槽内の貯留水ではなく、揚水井戸等からの流入水を採取する。また、保有水等集排水設備から浸出液処理設備までの滞留によっても保有水等の水質は変化するため、採取位置は施設改修等の特別な事情が無い限り、常に同じ位置で採取することとする。

管理水位を設定・管理し、管理水位上下の保有水等の混合を防止する排水暗渠等を設置する場合は、その流出口の管理水位面以浅の保有水等を採取することが望ましい。また、最終処分場を建設する場合には、当初から埋立区画ごとに採水できるように、内護岸の手前に採水設備を設けることが望ましい。

(2) 採水方法

保有水等は分析に支障のない方法によって採水する。

採水方法は流入口の場合は JISK0094 (工業用水・工場排水の採取法) を参考に、また、モニタリング井又は集水ますの場合は、一般の地下水採取 (平成9年3月環境省告示第10号「地下水の水質汚濁の環境基準について」別表による) と同様に行う。

(3) 分析項目と分析方法

保有水等の測定項目は、放流先にかかわらず、排水基準に挙げられている水素イオン濃度 (pH)、生物化学的酸素要求量 (BOD)、化学的酸素要求量 (COD)、浮遊物質 (SS) および全窒素 (T-N)、全有機炭素濃度 (TOC) を測定することが望ましい。また、その他に以下に挙げる項目を測定することが望ましい。

水温

溶存酸素 (DO)

酸化還元電位 (ORP)

電気伝導率 (EC)

【解説】

廃止に向けたモニタリングでは、保有水等を公共用水域に直接放流してよいかを排水基準により判定するだけでなく、埋立地内部の安定化の現況を逐次把握し、廃止までの見通しをつけ、必要に応じて安定化を促進する対策のために必要な情報を得るべきである。そのためには、埋立地内部における安定化のプロセスでは4.4.1に示したように複数の生物化学反応と物理化学過程が関与することから、保有水等においてそれらの状況を把握できる項目を排水基準項目に追加して測定することが望ましい。これら項目と排水基準項目にある水素イオン濃度 (pH) は可搬型の機器により、現場で簡易に測定することができる。なお、高または低 pH は埋立地内部での微生物の活動を制限し、溶出や沈殿形成等の物理化学過程を規定するパラメータとなる。

1. 水温・・・後に示す「内部温度」と同様、埋立地内部における初期には化学反応、以降は生物分解活性の程度を表す包括的な指標である。
2. 溶存酸素 (DO)・・・埋立地内部への大気の浸透の程度を表す。埋立地内部へ十分に大気が浸透すると、好氣的雰囲気形成されて、有機物分解が促進され、保有水等の水質が改善される。
3. 酸化還元電位 (ORP)・・・埋立地内部の好氣的または嫌氣的雰囲気を表す。埋立地内部で支配的な生物化学反応を表すとともに、重金属類の可溶性を規定する。
4. 電気伝導率 (EC)・・・保有水等中に溶解する無機物質の総量 (または塩分濃度) を表す。生物化学反応と物理化学過程を規定するパラメータであると共に、海面最終処分場の場合は保有水等への降水 (淡水) と海水との混合の状態を表す指標となる。管理水位以下の保有水等をモニタリングする場合は浸透する雨水による希釈の程度を表す。なお、保有水等の塩分濃度の変動は安定化に関与する微生物群や溶出挙動を規定する。管理水位以上の保有水等を集排水してモニタリングする場合は、排水暗渠等の効果、すなわち浸透する雨水と管理水位以下の保有水等との混合状態を表す。

また、廃棄物層内の有機物の安定化の状況を捉えるためには、排水基準にあるアンモニ

ア性窒素（ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ）、亜硝酸性窒素（ $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ）、硝酸性窒素（ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ）と共に、放流先にかかわらず生物化学的酸素要求量（BOD）、化学的酸素要求量（COD）および全窒素（T-N）を測定し、また機器分析で求められる全有機炭素濃度（TOC）を測定項目に追加することが望ましい。BOD/COD や T-N/COD 等の比は、浸出液の生物処理性を表すと共に、時間的な変化が前述の安定化ステージの変遷を表す。例えば、BOD/COD の低下はメタン生成発達期の開始を表し、メタン生成定常期の終端では T-N/COD が上昇する。

（４）測定の頻度

保有水等の測定の頻度は基準省令に従うものとし、埋立終了直後から廃止まで測定地点、測定時期、測定方法を変更することなく行うことが望ましい。

【解説】

4.4.1で述べたように、安定化プロセスのような複雑系において理論的に安定化の時間スケールを予測する手法は確立されていないため、埋め立てられた物質は漸減してゆくという仮定のもと、経験的に、物質収支またはトレンドにより安定化の時間を評価するしかなく、代表性があり、比較可能な、首尾一貫した手法で得られたデータが必要となる。

したがって、廃止確認手続きを開始する以前においても、基準省令に定められた排水基準等に係る項目は6か月に1回以上、少なくとも pH、BOD、COD、SS、窒素含有量の項目は3か月に1回以上の測定を埋立終了直後から廃止まで、測定地点、測定時期、測定方法を変更することなく、継続的に行う必要がある。また、3月に1回以上の測定では、放流先にかかわらず BOD、COD の両者を、また、先に示した水温、pH、DO、ORP、EC、TOC、T-N 等を併せて測定することが望ましい。また、水質の季節や降雨時における変動パターンを捉え、各年の代表値を得るために、可搬型の機器により現場で簡易に測定することができる水温、pH、DO、ORP および EC を3月に1回以上より高い頻度で測定することが望ましい。

（５）周縁水域の水質測定

周辺環境への影響調査は埋立終了直後から廃止まで実施する必要がある。

【解説】

海面最終処分場は、周縁が水域であり、排水設備の周辺等を含む2箇所以上を採取場所とする必要がある。

4.4.3 埋立ガス

(1) 埋立ガスの採取地点

埋立ガスは、処分場全体または埋立区画毎に廃棄物の安定化に向けた変化を把握するために代表となる複数の地点で採取する。

通気装置を有している場合にはこれらを利用して採取する。通気装置を有していない最終処分場においては、ガス抜き井を設置して採取することが望ましい。

【解説】

処分場表面において埋立ガスは場所的にきわめて不均一に放出される。ガスが多く放出される場所は、通気装置等の放出のための設備の他に、薄い、ひび割れている、締め固めが緩いなどの覆土の透気性が高い場所、埋立層が厚い、有機物含有量が多いなどの場所である。有機物を多く含む廃棄物を埋立処分している場合には、最終処分場内に通気装置が敷設されているが、通気装置毎にガス濃度および発生量は異なり、その相対的な大きさは時間と共に変化する。したがって、埋立ガスは複数箇所におけるモニタリングを原則とする。

通気装置を有していない最終処分場では、まず、ガスを採取する井戸を設置する必要がある。処分場内における地表面からのガスの発生状況は、地表面のひび割れ等の形状、色、植生等により推定することができるが、より確実には、地表面温度の分布測定や地表面付近のメタン濃度の走査、静置式チャンバー法等による放出量の予備調査を行って、跡地利用時における支障等を勘案して決定することが望ましい。(＜参考6＞参照)

<地表面温度ならびに地表面メタン濃度の走査>

埋立ガスは埋め立てられた有機物の発酵過程の最終産物として生成されるため、廃棄物層は周辺地層に比べて高温である事が知られている。したがって、埋立ガスが廃棄物層から熱を伴って地表面へ到達し、放出領域では地表面温度が周囲よりも高くなる。また、覆土層が薄い場合には廃棄物層からの直接の熱伝導、また、メタン酸化細菌群による代謝熱もメタン放出領域における温度の上昇に寄与する。よって、埋立地内における埋立ガスの発生領域は、サーマルビデオカメラ等を用いて周囲より温度が高い領域として検索できる。検索は日射または放射冷却による影響を受けない春または秋の夜明け前から早朝にかけて行うことが望ましい。埋立ガスの発生領域は、より直接的に地表面付近のメタン濃度を散乱光型レーザーメタン計(図4.8)等の測定器によって走査することもできる。



図4.8 散乱光型レーザーメタン計
(国立環境研究所撮影)

<閉鎖型チャンバー法>

定量的な埋立ガス放出量の測定は閉鎖型チャンバー法を用いて行う。半開放型の箱形容器にガス採取口を接続させたチャンパー（図4.9）を用いて、チャンパー内のガス成分濃度（メタンおよび二酸化炭素）の変化速度から各成分のフラックスを算出する手法である。底部の面積が0.1～0.5m²程度、深さが0.2～0.5m程度、上部にガスの採取口を設けたチャンパーを用いて、以下の操作を行う。



図4.9 閉鎖型チャンパー
（国立環境研究所撮影）

- (1) チャンパー内を周囲の大気によく置換した後、チャンパーを地表面に設置する。その際地表面に強く押し込む事で周辺土壌のガスの攪乱を招かないよう注意する。
- (2) チャンパーの周囲を水を満たした溝、スカートや盛土等により目止めし、チャンパー内部と外気との交換を防ぐ。
- (3) チャンパーをセットした時間を0とし、エアポンプ等を用いて採取口より、適当な時間間隔で3回以上、テトラパック等にガスを採取する。設置時間と時間間隔は、通常の埋立地であれば最大で10分間（時間間隔例：1、5、10分）で十分であるが、事前調査等により埋立地内部の有機物が少ないと予測される場合は20分間程度、逆に多いと予測される場合は5分間程度に随時変更する。
- (4) ガスクロマトグラフ法等により採取したガスに含まれるメタンおよび二酸化炭素濃度を測定する。得られたメタン、二酸化炭素、およびメタン+二酸化炭素濃度の経時変化より、地表面フラックス J （m³/min/m²）は次式で算出する。

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

（式4.1）

ここで、 b （ppmv/min）はチャンパー内のガス濃度の経時変化を直線回帰した傾き、 h （m）はチャンパーの高さ、 A （m²）はチャンパーの底面積、 V （m³/min）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。

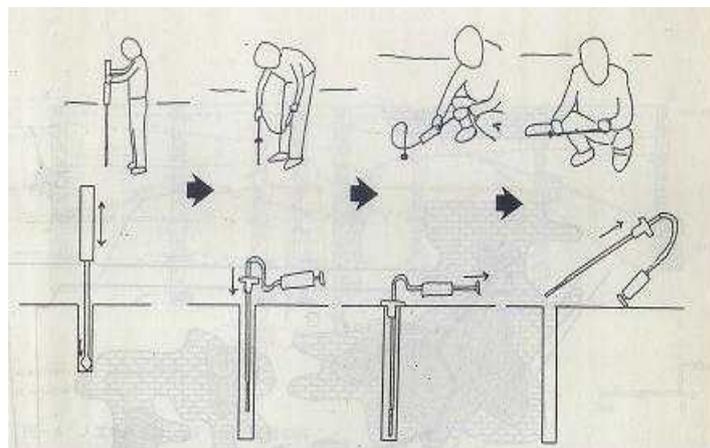


図4.10 君津式表層ガス調査法
（鈴木喜計編 地質汚染 オーム社）

<その他の手法>

埋立地内の埋立ガス放出領域を走査し、かつ定点観測する方法として、土壤汚染調査で用いられる、ボーリングバー等を用いて掘削し、地表面にパイプを打ち込み、孔内のガス濃度を検知管やガス検知器等を用いて測定する君津式表層ガス調査法もある（図4.10）。

新たな観測孔を設ける場合、掘削により大気が掘削孔内部に侵入することによって気相が攪乱されやすい。埋立ガスの湧出量が多くない場合、気相が定常状態になるまでに数週間を要することがある。測定に際しては酸素濃度等のモニタリングを行い、大気との混合状態をチェックしておくことが望ましい。

なお、渦相関法や傾度法等の気象学的手法を用いて埋立地全体のガス発生フラックスを計測する手法について海外からの報告例*もあるが、我が国での適用例が少なく、また、広大な敷地内で通気装置の影響等により発生分布の偏りが著しい状況における計測値の代表性には検討を要する。

*例えば、Novem (2003): A comparison of measurement methods to determine landfill methane emissions, www.robklimaat.nl/docs/3730040010.pdf

(2) 埋立ガスの採取方法

通気装置またはガス抜き井における埋立ガスの採取に当たっては、ガスの分析に支障のないような方法で試料を採取する。JISK0095（排ガスの採取方法）を参考として行う。ただし、湧出圧によりその方法が異なるので注意を要する。

ガス採取と同時にガス流量を測定することが望ましい。

採取したガス試料は測定まで気密性を保持して保管する。

【解説】

通気装置内には埋立ガスであるメタンおよび二酸化炭素とアンモニア等の微量成分、大気が侵入して混合した酸素、窒素等が含まれる。あらかじめ、通気装置にビニール袋を取り付けて膨らみや臭気などを観察し、ガス発生の有無と湧出圧を確かめる。また埋立ガスは基本的に管理水位（水面）以上の気相より採取する。

(a) 湧出圧が高い場合は、ガス湧出口にロート等を装着した上で、サンプリングバッグを接続し、自らの湧出圧によりガスをバッグに採取する。

(b) 湧出圧が低い場合は、希硫酸等の液体を充填したサンプリング容器を(a)と同様にロート等を用いてガス湧出口に接続し、サンプリング容器内の液体を抜き取ることにより、ガスと液体を置換して採取する。

湧出圧が低い場合には、前述の閉鎖式チャンバー法を応用する方法もある。ガス抜き管内のガスをポンプ等により吸引し、内部を大気で希釈した後に、大気への開口部（側部の穴を含む）を閉鎖し、湧出ガスによる内部のメタンや二酸化炭素等の濃度上昇を適当な時間間隔で測定する。ガス濃度の経時変化を直線回帰した傾き（例えば%/hr）にガス抜き管内部の（地上部を含む水面以上の）容積（例えばL）を乗ずることにより、ガス抜き管当たりのメタンや二酸化炭素等の放出量（L/hr）が求められる。

採取時には空気の混入を考慮して、1L以上採取することが望ましい。光分解性のあるVOC等を分析する場合は容器をあらかじめ遮光する。アンモニアを捕集するためには、吸

収液（ホウ酸 0.5g/100ml）5 ml を入れたインピンジャーを 2 本連結し、1 L/min 以下の一定流量でガスを吸引する。このとき、0.1 ppmv まで測定するならば、20 L 以上のガス採取が必要となる。

3) 測定項目

ガスの測定項目は
メタン (CH₄)
二酸化炭素 (CO₂)
とし、必要に応じて、硫化水素 (H₂S)、アンモニア (NH₃)、酸素 (O₂)、窒素 (N₂)、水素 (H₂)、流量・圧力測定的项目を追加する。

【解説】

好気条件下で有機物が分解される場合には二酸化炭素のみが、嫌気条件下で有機物が分解される際には初期に水素と二酸化炭素、後に二酸化炭素とメタンガスが発生する。したがって、埋立ガスとはメタンだけではなく、メタンと二酸化炭素の総量である。ガスの組成は内部の廃棄物の雰囲気ならびに分解の程度を把握する上で重要である。メタンは高い爆発性を有しているため掘削や建造物などを設置する場合の爆発危険性を評価する観点からも重要である。

易分解性有機物の嫌気条件下における微生物分解の結果、埋立ガスとして、メタン(CH₄)と二酸化炭素(CO₂)が50%ずつ生成するが、二酸化炭素が廃棄物層内の水に溶け込むため、観察される比は6:4程度となる。廃棄物層内にアルカリ性の廃棄物が大量に存在する場合には二酸化炭素の比はさらに小さくなる。埋立ガス中に酸素や窒素が存在する場合は、ガス圧と大気圧とのバランスや風の影響により、採取したガスが大気に希釈されていることを表している。

メタンと二酸化炭素は、それぞれ可燃ガス検知器や検知管等で簡易に測定することもできるが、水蒸気の影響を受けやすいこと、精度および測定濃度範囲が埋立ガスの濃度範囲に適合していないことにより、TCD(酸素および窒素を同時に測定可能である。)またはFID等の検出器を用いたガスクロマトグラフ法またはNDIR等の赤外吸収法で測定することが望ましい。なお、最近では現場で埋立ガスに含まれる成分の濃度を現場で連続測定できる埋立ガス測定用に最適化された可搬型の機器も市販されており、利用が可能である。

< 必要に応じて行う項目 >

埋立廃棄物の分解の様子を把握する上で、以下の項目について測定することが望ましい。

硫化水素 (H₂S)・・・海水や廃石膏ボード等に含まれる硫酸塩と有機物が微生物により代謝されて発生する。悪臭の原因である。検知管でも測定可能である。

アンモニア (NH₃)・・・窒素成分の代謝産物であり、悪臭の原因である。検知管でも測定可能である。

酸素 (O₂)・・・大気との混合状態を表す。

窒素 (N₂) またはバランス・・・大気との混合状態を表す。

水素 (H₂)・・・埋立の初期において有機物の生物代謝または金属等による化学反応により発生する。可燃性および爆発性がある。

流量・圧力測定

湧出圧が高いとき：流量はフロート式流量計等、圧力はマノメーター等で計測。

湧出圧が低いとき：流量はソーブフィル・メータ等、圧力は微気圧計等で計測。

なお、埋立ガスには水蒸気が多く含まれるため、熱線式流速計は適さない。密閉式の観測井戸の場合、ガスの発生量を圧力によって測定することができる。

(4) 測定の頻度

ガスの測定は、埋立終了直後から廃止まで測定地点、測定時期、測定方法を変更することなく、年2回以上行うことが望ましい。

【解説】

埋立ガスの発生量は、分解活性だけでなく、気温、覆土や埋立廃棄物自体の通気性、気圧、降雨等により変化する。気温の最も高い夏季と最も低い冬季をともに含む最低年2回の測定を実施し、埋立ガス量の変化の傾向を把握することが望まれる。

また、通気装置やガス抜き井戸をそのまま開放しておくと、周辺の有機物の分解が促進され、いったんガスの発生が低下するが、時間をおくと、埋立廃棄物の性状がさらに変化し、再びガスが湧出するようになる場合もある。そのため、埋立ガスの調査に当たっては日頃から注意深い観察が大切である。埋立ガスの発生は気圧や降雨の影響を受けることから、測定は曇天時に行くなど、降雨直後や気圧の高い時を避け、かつ、各測定時の気圧ができるだけ同じくなるようにすることが望ましい。

4.4.4 内部温度

(1) 内部温度の測定地点

埋立廃棄物層の内部温度の測定は、処分場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、通気装置やガス抜き井戸、揚水井戸等の既存の設備を利用して行う。

【解説】

測定地点は多いほど信頼性が増すが、その経済的な制約も配慮して測定地点数を決定することは差し支えない。区画埋立を実施している場合には、一般に各埋立区に最低1地点、または、経過年数の違う区域の代表地点に1地点を選ぶのが適当である。

内部温度はある深度まで気温や降水の影響を受け、また、発熱体（高活性部位）の位置は時間経過と共に変化するため、各計測地点では、少なくとも計測初期においては、ただ1点の内部の温度を測定するだけでなく、たとえば、地表から地中に向かって1mごとに温度を測定し、内部の深度別の温度分布がわかる温度分布曲線を測定することが望ましい。周辺の地中温度分布との比較により、埋立地内部の有機物の分解に伴う発熱反応の活性を把握することができ、これらの比較によって外気温の影響を受ける範囲「恒温点」が明らかになる。

なお、保有水等集排水設備の出口において、排出された保有水等が外気にさらされておらず、外気温の影響を受けていないと判断されるならば、保有水等の水温を計測してもよい。また、管理水位を設定・管理し、管理水位上下の保有水の混合を防止する排水暗渠等を設置している場合は、管理水位以浅の内部温度を計測することが望ましい。（＜参考6＞参照）

(2) 測定方法

埋立廃棄物層等の内部温度は、地盤調査用測温プローブ、熱電対式温度計等を用いて測定する。

【解説】

測定実施前には、標準温度計で測温プローブの測定値をチェック（校正）しておく。このほか、内部温度の分布を調べるための簡便な方法としては、最高・最低温度計を用いて層内の最高・最低温度を把握する方法がある。また、データロガーを用いれば簡易に温度の自動計測が可能である。

モニタリング井等を用いた測定に際しては、湿度が高いこと、また保有水等水位の上昇による水暴露について留意する必要がある。また、硫化水素などの腐食性ガスの発生が見られる場合には耐久性を有した測定器を用いる。

(3) 測定の頻度

内部温度の測定は、埋立終了直後から廃止まで測定地点、測定時期、測定方法を変更することなく、年2回以上実施することが望ましい。

【解説】

内部温度の測定では気温変化は測定値に影響する可能性がある。安定化の状況は内部発熱反応の減速で評価でき、そのためには、できる限り同条件下で連続的に計測することが求められる。気温の最も高い夏季と最も低い冬季をともに含む最低年2回の測定を実施し、内部温度低下の傾向を把握することが望まれる。

なお、温度計測と記録を一定間隔で行う、自動定点観測装置が比較的低コストで導入可能である。

4.4.5 沈下量

(1) 沈下量の測定地点

沈下量の測定は、原則として廃棄物の安定化による沈下の様子を適正に把握できる地点とし、地点数は埋立地の特性を考慮して決定する。

【解説】

廃棄物中の有機物の分解に伴う現象のうち、地盤沈下は最も目に付きやすいものであり、経年変化が顕著に現れる。沈下を適正に把握するためには、埋立厚の深い地点、区画の中心部、有機性の廃棄物を埋め立てた領域、地表面ガス発生量の多い地点などを考慮して、1処分場あたり3カ所以上、または各埋立区画に1ヶ所以上が望ましい。埋め立てた廃棄物の種類の分布（偏り）や、跡地の用途によっては、さらに測点を増やす必要も生ずる。また、通気装置や排水暗渠等の周辺では、大気への侵入により分解反応が他の部分と比較して活発であり、沈下速度も速い。

測定地点を多数設定する場合には、格子状に配置するなどの工夫が望ましい。

なお、海面最終処分場では、底部遮水層を厚い軟弱地盤層（沖積粘土層）とする場合が多く、この軟弱地盤層の沈下が地表面沈下量に与える影響は極めて大きい。

海面最終処分場において沈下量を測定する方法として、地表面等の沈下を測定し、他の測定項目（水質、排ガス、内部温度等）と総合的に判断し、廃棄物層以外の要因を排除する方法と、コストはかかるが層別に沈下量を測定する方法がある。

(2) 測定方法

測定は、沈下杭または沈下板等を用いて測定する。

【解説】

地表面沈下測定

地表面沈下測定には沈下杭、沈下板による方法がある。

沈下杭は、地表に杭を設けて、レベルと標尺を用いて地表面の鉛直変位を測定するものである。沈下杭としては、測量用の木杭を用いても良いが、長期間沈下計測を実施する必要があることを考慮すると、劣化しにくいコンクリート杭、プラスチック杭等を用いることが望ましい。なお、この測定に当たっては、基準点の選定がもっとも大切であり、沈下の影響を受けないところを選ぶ必要がある。

沈下板は、廃棄物層と最終覆土層の間に設置し、埋立地表面の沈下状況をレベル測量することにより把握する方法である。

なお、海面最終処分場のような大規模な処分場においては、航空測量を実施して沈下量を測定している事例がある。

層別沈下計による沈下測定

層別沈下計は、廃棄物層別に安定化の程度を把握するのに適しており、測定方法と

してワイヤー式、磁気式、水圧式等がある。この方法は、廃棄物層の境にクロスアーム（製品によってはウイングアンカーの名称を用いる場合等もある。）磁気検知型探索子、水圧計等を設置し、各層の沈下量を観測するものである。

海面最終処分場では、底部遮水層は軟弱地盤であることが多く、この沈下量が地表面沈下量に大きく影響する。測定地点の全沈下量を層別に測定する場合は、先端を支持地盤に固定することで、軟弱地盤の沈下量をも測定することができる。

（３）測定の頻度

沈下量の測定は、埋立終了直後から廃止まで測定地点や測定方法を変更することなく、年１回以上実施することが望ましい。

【解説】

最終処分場においては、廃棄物の有機物の分解に伴い、埋立レベルの沈下現象が顕著に現れる。沈下量を経年的に把握し、有機物の分解状況等を把握するためにも、埋立終了直後から廃止まで測定地点や測定方法を変更することなく実施することが求められる。

測定頻度は年１回以上継続して実施することが望ましい。なお、沈下速度が速い場合は測定頻度を高めることも必要である。

4.4.6 保有水等水位

保有水等水位の観測は埋立地内で最も水位が高くなると想定される地点とする。

【解説】

保有水等水位は、廃棄物が水中にある段階では揚水ポンプの水位制御により管理水位以下で変動するが、廃棄物層が陸化すると、管理水位を一定に維持しても、廃棄物層への降雨浸透にともない、揚水位置から水平距離で最も離れた位置では管理水位よりも最も大きく上昇する。

この管理水位より上昇した水位高は、埋立護岸の力学的安定及び保有水等の埋立護岸外への浸出防止に影響を及ぼす可能性がある。

特に、保有水等上部集排水設備を導入して海面最終処分場を廃止する場合は、高濃度に汚濁した保有水等を管理水位面下で管理しながら浄化する必要があることから、廃棄物層の管理水位付近に保有水等集排水設備（排水暗渠等）を設置後、廃止確認までは計画水位上昇高を管理し、廃止から指定区域の指定解除までは許容水位上昇高を遵守する必要がある。

保有水等水位の観測は、廃止に向けて廃棄物の安定化の状況をモニタリングすることとは異なり、埋立護岸の力学的安定及び保有水等の埋立護岸外への浸出防止、及び、廃止基準を満たさない保有水等が、高濃度のまま暗渠等（保有水等集排水設備）へ流入していないことを間接的にモニタリングすることにある。

したがって、保有水等水位のモニタリング結果は維持管理記録へ記載し保存しておく必要がある。

観測地点を例示すると、目安は以下のとおりである。

例) 内水ポンドの場合

内水ポンドから水平距離で最も離れた地点（図4.11参照）

排水暗渠の場合（図4.12参照）

設置された排水暗渠間の中央部で、ポンプピットから水平距離で最も離れた地点

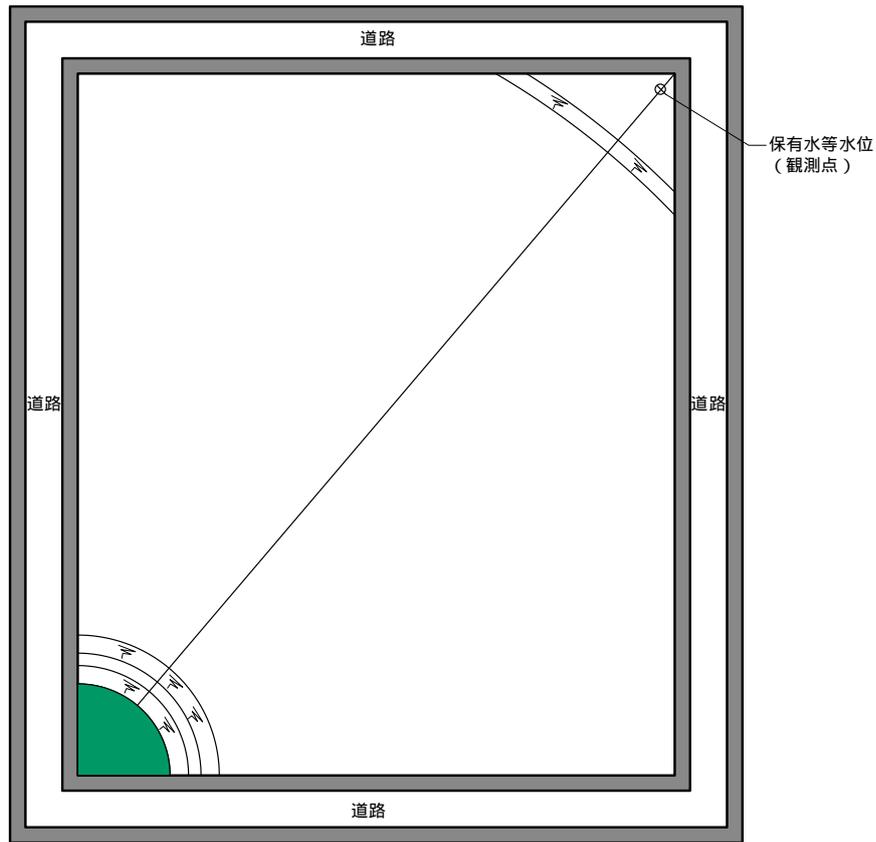
砕石等透水材による全面排水層の場合

最終的な排出口（ポンプピット）から、水平距離で最も離れた地点

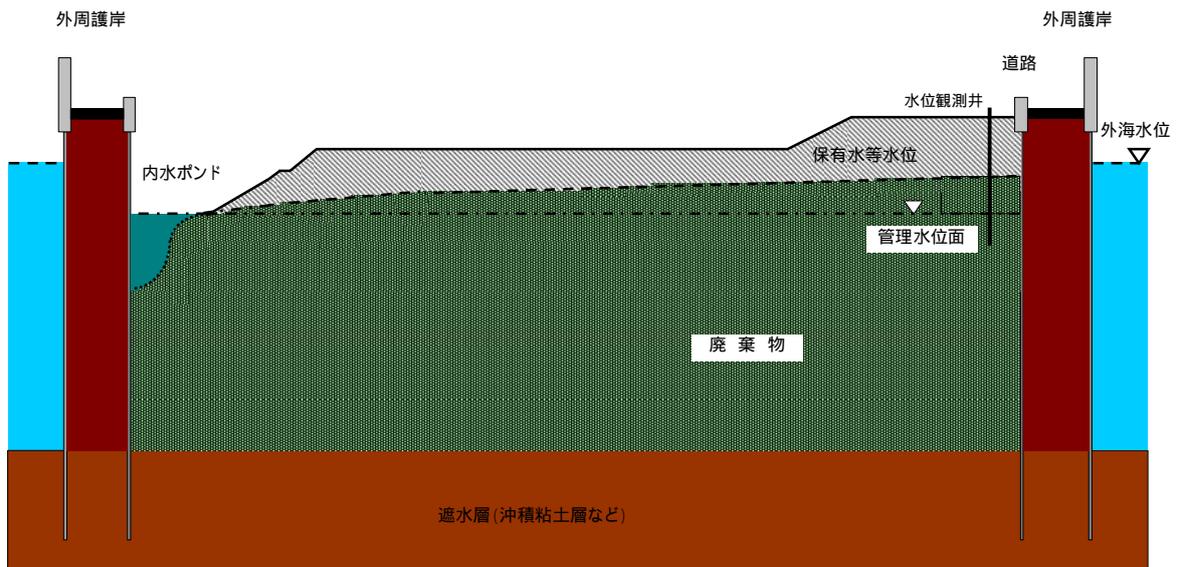
揚水井戸の場合（図4.13参照）

格子状に設置された揚水井戸4本の中央部

観測地点数は、廃棄物層の不均一性を考慮して2地点程度とする。また、観測頻度は降雨浸透による廃棄物層内の水位上昇高を把握するため1日1回以上とし、水位観測方法は自記水位計が望ましい。

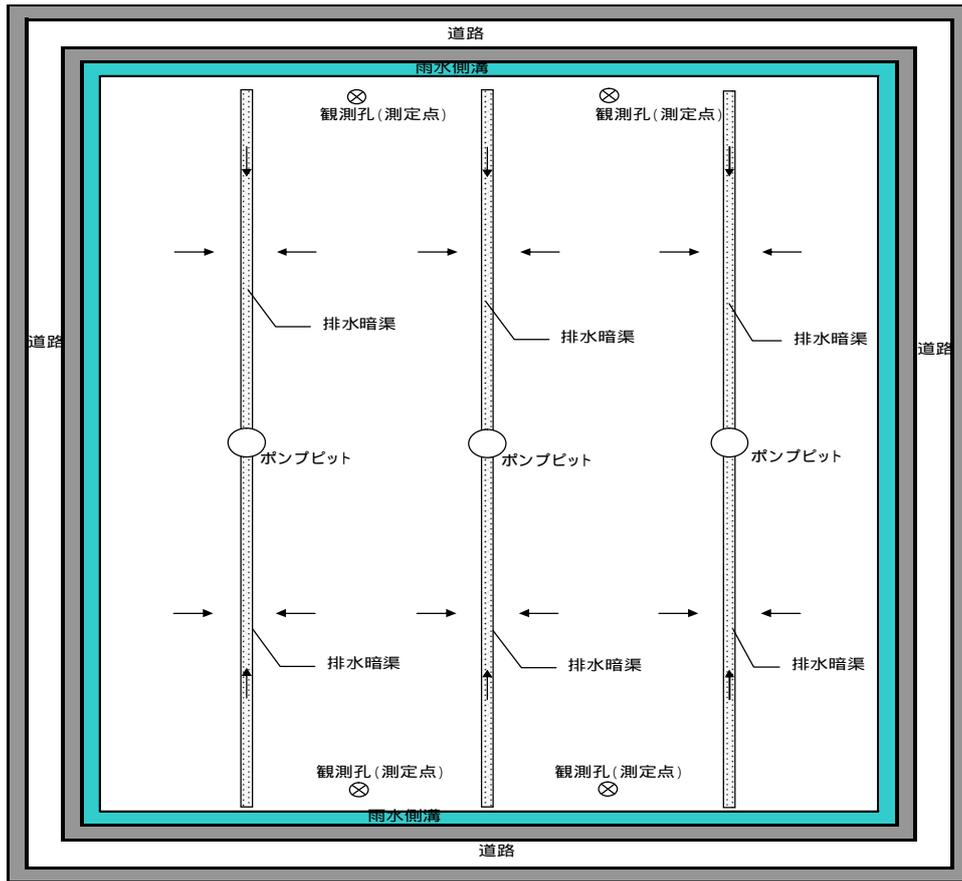


平面図

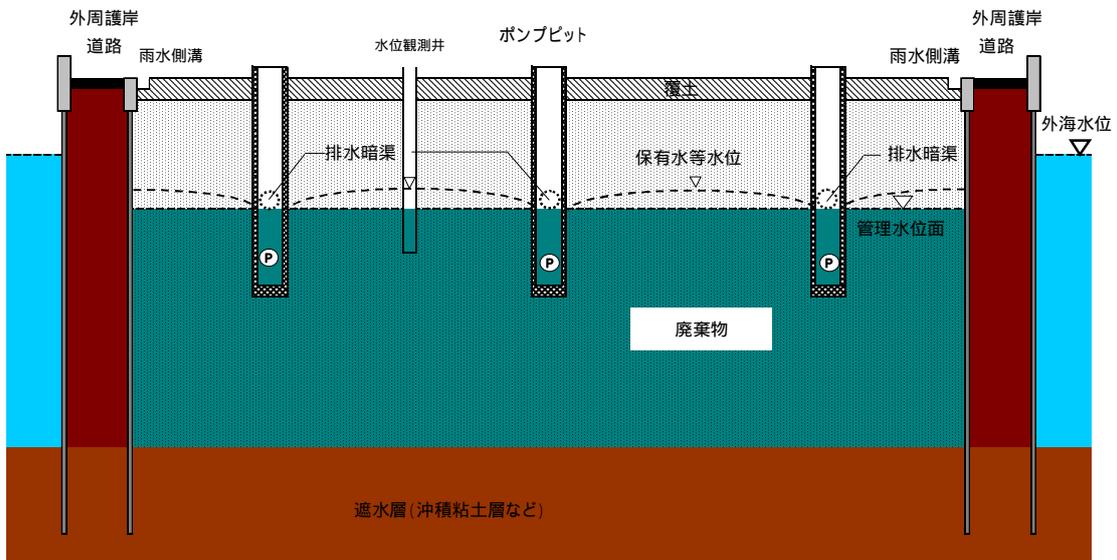


断面図

図 4 . 11 内水ポンドの場合の測定地点

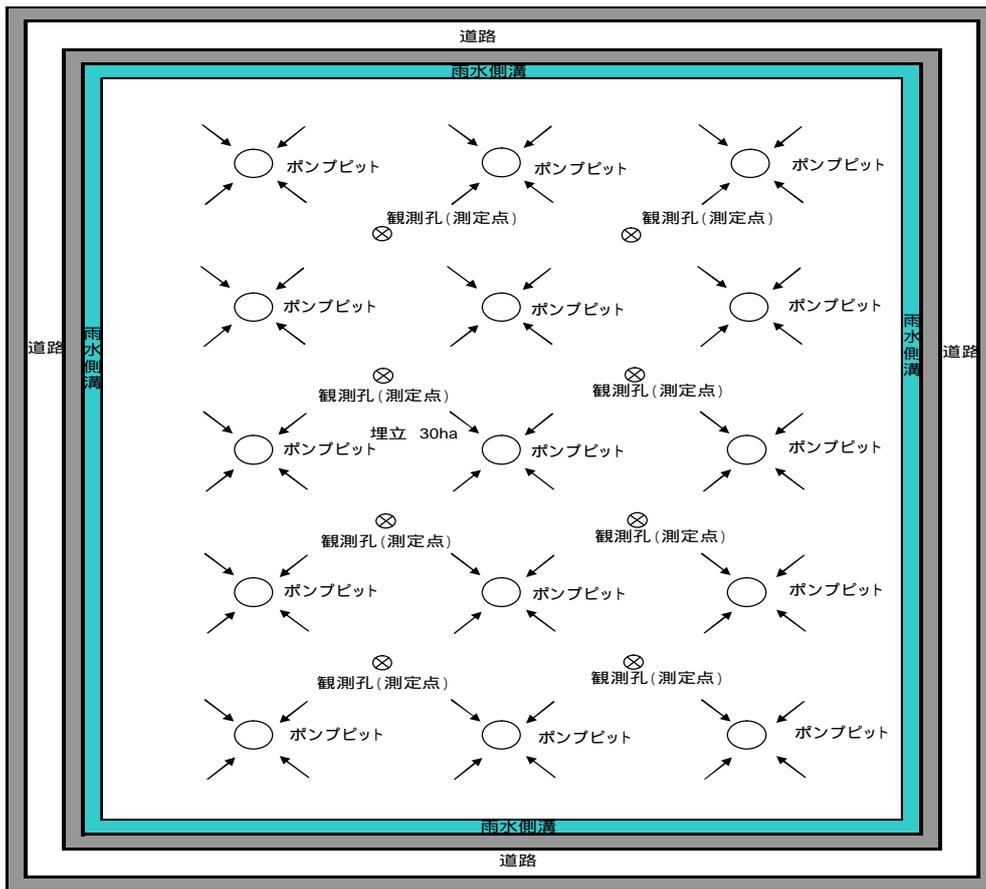


平面図

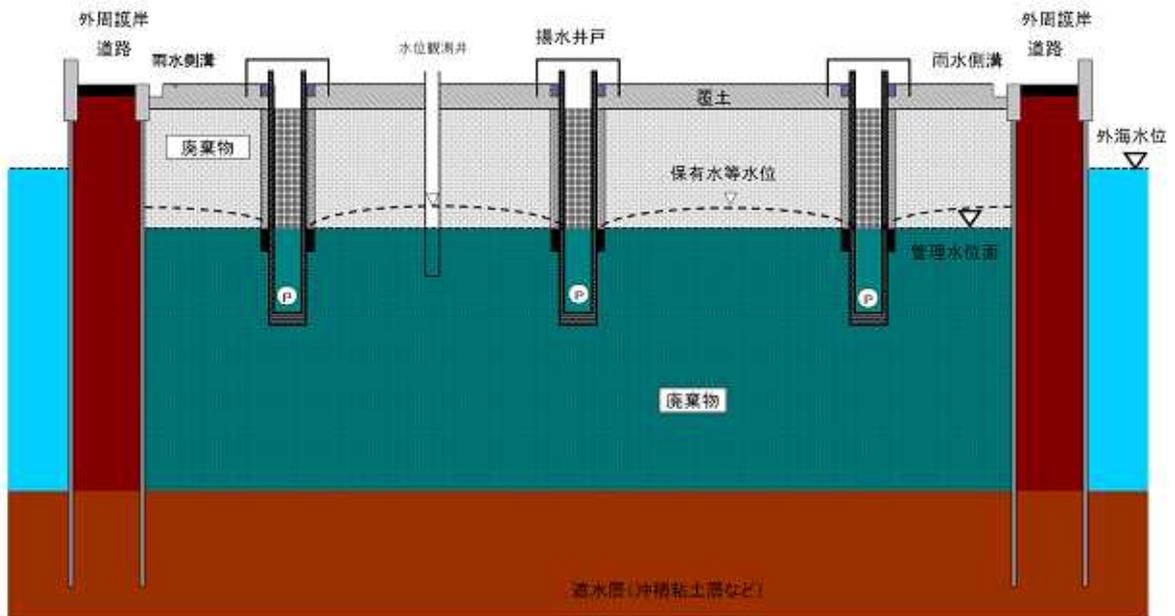


断面図

図4.12 排水暗渠の場合の測定地点



平面図



断面図

図4.13 揚水井戸の場合の測定地点