

C 社

6 章 Draft 最終稿 (2011.5.25)

執筆担当：花嶋正孝（執筆当時：福岡県リサイクル総合研究センター）

宮脇健太郎（明星大学）

(2016.3.30 時点未出版)

本稿は、2000 年頃 C 社依頼にて執筆した原稿を、2010 年に構成から大幅に手を入れて修正したものである。なお、既に 5 年を経過し内容等が陳腐化した部分も多いがご容赦いただきたい（宮脇）。

第 6 章 最終処分場による廃棄物の安全化と跡地利用技術

6.1 循環型社会における最終処分場

6.1.1 環境安全な埋立と廃棄物の安定化

6.1.2 最終処分場の構成・構造

6.1.3 埋め立てられる資源化後の残渣

6.2 環境安全のための埋立技術

6.2.1 遮水システム

6.2.2 水管理システム（集排水と処理）

6.2.3 地下水モニタリング

6.2.4 有害物管理

6.2.5 埋立地再生技術

6.3 廃止と跡地利用

6.3.1 処分場の廃止手続き

6.3.2 跡地利用

6.1 循環型社会における最終処分場

日本では現在、循環型社会を目指し全国で3R（発生抑制・再利用・リサイクル）が推進されている。一般廃棄物のリサイクル率は20%を超え、さらに細かい施策が各自治体で実施されつつあり、産業廃棄物についても各種業界団体で分別・再利用などを進めている。一方、いかに効率的なリサイクルがなされたとしても、資源化処理過程で残渣は発生し、適正処理後に最終処分(埋立)が行われる。

資源化（リサイクル）が進められ、全国の最終処分量は、一般廃棄物 635 万トン、産業廃棄物 2000 万トン（平成 19 年度）となっている。第一次循環型社会形成推進基本計画では、平成 12 年基準で平成 22 年には半減（約 2800 万トン）という目標を設定し、最終処分量は順調に減少し半減した（[図 6.1](#)）。また第二次循環型社会形成推進基本計画では、平成 12 年基準で平成 27 年には 60%減（約 2300 万トン）という目標を設定している。将来いかなる社会システムが構築され資源化（中間処理）技術が開発されるかにもよるが、これ以上の大幅な埋立処分量を削減できる道筋は明確になっていない。

埋立技術について、日本では 1960 年代後半から福岡大学における工学的な埋立に関する研究([参考文献 1](#))が発端となり独自の埋立構造が開発され、1990 年代に入り、特に最終処分場技術システム研究会により、急速に技術の体系化が進められた([参考文献 2](#))。現在も多くの研究機関・企業により最終処分場に関する各種の高度な技術的課題に関する研究開発が進められている。

最終処分場の現状としては、地方公共団体の処分場といえども、埋立地設置から廃止に至る様々な状況で多くの管理上の問題を抱えている。また産業廃棄物の処分場でも、周辺環境への影響を与えてしまうケースが発生している。このため、周辺住民の反対があり、一般廃棄物の最終処分場を建設できない自治体も増え([図 6.2 参照](#))、産業廃棄物の最終処分場の新設には特に多くの反対運動も生じている。

以下、循環型社会における最終処分場の役割と技術システムについて紹介する。

6.1.1 環境安全な埋立と廃棄物の安定化

廃棄物の「安定化」という言葉は従来様々な意味で用いられていたが、近年田中（参考文献 3）により段階的な安定化の定義が行われた。これ以降、廃棄物の安定化について以下（「」内）に示す定義が用いられることが多くなった。第一段階の安定化とは「浸出水や埋立ガスを集めて浄化するなどの埋立地維持管理を行わなくても環境に与える影響を無視できる状態」であり、法的に定められた最終処分場の「廃止」の許可が得られる条件といえる。第二段階の安定化とは「土の中にとどまっている限り、外部に影響を与えるような変化を起こさない状態」であり、法的には、廃止後に指定区域として情報管理され、掘削など形質変更について許可が必要な期間といえる。最終段階の安定化とは「廃棄物を掘り起こして大気や雨に晒しても環境に影響を与えるような変化が何も起こらない状態」とされている。法的には指定区域が解除される条件といえる。

6.1.2 最終処分場の構成・構造

最終処分場は、施設全体を指し、廃棄物を埋める部分（埋立地）、水処理施設、搬入管理施設、場内道路、緩衝緑地など様々な施設で成り立っている。図 6.3 に管理型最終処分場・一般廃棄物最終処分場の構成概要を示す。本節では、最終処分場の主要な部分である埋立地部分の機能と構造について取り上げる。

我が国の先人はごみを埋めて土を被せることにより、有害物を分解し、土にかえす知恵をもっていた。これは温帯地域に位置し、降水量が多いという気象条件を背景としたもので土壌の微生物活性を利用した一種のバイオリクター処理であった。すなわち古来から埋立地（ごみ捨て場）は、汚いものに蓋をし（遮断機能）、自然のサイクルと分解メカニズムにより土にかえす処理機能を有していた。人口増加と生活様式の変化により、自然の処理機能を上回るごみが排出され、自然界で分解できない物質が増加してきたことにより、1970年代には埋立地に、衛生的処理の技術が導入され、大量のごみを安全確実に貯留する貯留機能と工学的に浄化処理機能が導入され、さらに浸出水の処理も行われるようになった。

1970年代に花嶋らが提案した「準好気性埋立構造」は、埋立層内を自然通気により好气的条件下にすることにより、微生物によるごみの分解を促進して、浸出水やガスの安定化促進に効果があるために、処理機能促進型埋立地として全国に普及した。1980年から埋立ごみ中の焼却残渣や不燃ごみの比率が増加してきたが、この場合でも嫌氣的雰囲気の中で埋立を行うと、浸出水のBOD、CODが高濃度化することから、準好気性埋立は埋立ごみ中の微量な有機物に対しても有効とされ、その評価は現在に至っている。最終処分場を設計する際に用いられる、廃棄物最終処分場整備の計画・設計要領（(社)全国都市清掃会議）における埋立地構造は準好気性埋立構造となっている。各種埋立構造の概要を図6.4に示す。

廃棄物の分解・安定化は、前述のように生物的作用に起因するところが大きいので、ここでは埋立地の「有機物分解過程」とその分解過程を利用した「準好気性埋立構造」のメカニズムについて紹介する。

（1）有機物分解過程

埋立廃棄物中の分解可能な物質としては、厨芥、焼却灰中の未燃分に代表される易分解の物質や、紙、繊維、草木類、汚泥等の中程度から焼却灰中に含有する難分解の物資に至るまで、種々の性状のものがある。これらの廃棄物を栄養源として増殖する微生物は、廃棄物自体に付着したり、覆土中、空気中から埋立層内に持ち込まれることになる。埋立層内の微生物増殖活動は、層内の条件によって変化する。この分解過程は非常に複雑であるが、大筋としては、炭水化物や蛋白質のような高分子化合物が次第に低分子化され、糖類や有機酸、アルコールなどの中間生成物を経て、最終的には水やガス体（炭酸ガス化）、無機塩類となり、減容、安定化する過程と考えられる。友永らが示した埋立廃棄物の分解過程とそれから生じる浸出水、ガス等の概念図を図6.5に示す。

埋立廃棄物の安定化という観点からみると、好気性分解の方が一般に分解速度が速く、嫌気性分解のように、有機酸のようなBOD源となる物質やメタンのような可燃性ガス、あるいは硫化水素のような悪臭ガスが生じないので望ましい。ある廃棄物が、好気性分解するか、嫌気性分解するかは、埋立層内の微生物環境に

よって異なり，現在では，後で述べるような埋立構造の開発によって，以前に比べると好気性分解が起りやすくなっている。しかしながら，埋立地の立地条件や地形的なこともあるが，水面埋立（主に海面埋立）は陸上埋立に比べて一般的に埋立層内を好氣的にすることが難しく，嫌気性分解が回避できない場合が多い。

（２）準好気性埋立構造

ごみの埋立処分とは「自然のサイクルとその分解メカニズムを最大限に利用すること」であり，これを利用した埋立技術の一つが「準好気性埋立構造」である。

「準好気性埋立構造」のメカニズムは，集水管末端を開放することにより，集水管を通して埋立層内に自然通気による空気流通を行うものである（[図 6.6](#)）。

有機物を含むごみを埋め立てると分解により，ガスが発生し，ガスはガス抜き施設から放出される。すると放出されたガスの容積に相当する負圧が埋立層内に発生し，開放された集水管末端から空気が埋立層内に供給され，好氣的領域を拡大し，有機物の分解を促進するものである。

空気の流通のない埋立層中央部は，立渠やガス抜き施設により供給される空気により，好氣的領域と嫌氣的領域とが混在している。

これらの現象の下で「準好気性埋立構造」は次のような２つの大きな特徴を有している。第一は好氣的領域における有機物分解であり，第二は，嫌氣的領域における重金属固定がある。すなわち，有機物分解による埋立地の早期安定，浸出水水質の早期浄化と重金属の不溶性化による埋立地内固定効果を期待することが可能となる。これらの特徴より，1970年以降建設された最終処分場の大半が「準好気性埋立構造」を採用しており，埋立終了後早期の浸出水 BOD の低下が認められ（[図 6.7](#) 参照），重金属濃度が低いなど，環境負荷低減に良好な結果を得ている。

近年，リサイクルの推進や中間処理技術の向上により，埋め立てられる廃棄物は，焼却残渣と不燃破碎残渣（不燃ごみ・粗大ごみの資源化残渣）の割合が多くなっている。焼却残渣はアルカリ物質を多く含み，浸出水の高 pH 化が問題となってきた。埋立終了後，廃止基準項目に存在する pH を満たすことができず

廃止できない最終処分場が増加する可能性もある。準好気性埋立構造での大気導入は、浸出水集排水管近傍での浸出水中和促進が期待できるため、埋立廃棄物の無機化が進んだ埋立地においても、重要な埋立技術として今後も適用される。

これまで述べたように、有機物・無機物の安定化に適した技術といえるため、世界の様々な条件下（ごみ質、気象、経済状態など）でも、応用可能と考えられる。一般的に埋立処分のコストは焼却処理のコストより低いことが多く、経済的に焼却処理を導入できない地域でも、浸出水 BOD の低下やメタンガス発生量を大幅に低減することもできることから、環境負荷を低減する技術として準好気性構造の埋立地を導入することは望ましいといえる。

6.1.3 埋立処分される資源化後の残渣

一般廃棄物の総排出量は、4,625 万トン/年（平成 21 年度）であり、資源化施策の推進により、平成 12 年をピーク（5,483 万トン/年）に段階的に減少している。ほとんどの自治体で、焼却処理（熔融処理含む）を取り入れており、排出される廃棄物の 79.1%（平成 21 年）が焼却され、最近の焼却施設では熱回収が行われている。焼却により、焼却残渣が発生し、主に埋立処分されている。また、不燃ごみ・粗大ごみの資源化（破碎後、鉄・アルミニウム回収など）により発生する残渣（不燃破碎残渣）や資源回収されたびん・缶・ペットボトルなどの資源化過程で発生する残渣など、中間処理で発生する残渣も埋立処分されている。埋め立てられる廃棄物の約 70%は焼却残渣、約 15%は資源化残渣となっている（図 6.8）。

産業廃棄物の総排出量は、4 億 366 万 t（平成 20 年度）となっており、一般廃棄物の約 8 倍となっている。総排出量の種類別内訳のうち多量に排出されるものとして、汚泥（43.6%）、動物糞尿（21.7%）、がれき類（15.2%）が挙げられる。この 3 品目で全排出量の約 8 割を占める。その他、リサイクルなどが可能なプラスチック 1.5%が排出されている。

以下に個別の廃棄物について、資源化技術・埋立前処理や埋立物性状について少し紹介する。

(1) 焼却残渣の性状と有効利用

一般廃棄物の焼却により，廃棄物は減量化，減容化され，重量で 1/2～1/5，容積で 1/10 程度となると言われている。焼却に伴い発生する焼却残渣は，焼却灰（Bottom ash）と飛灰（Fly ash）に分けられる。焼却灰の多くは埋め立てられているが，灰溶融処理により溶融スラグとして資源化する事例や，一部の自治体ではエコセメント原料またはセメント原料として資源化する事例がある（図 6.9）。オランダなどでは，厳格な管理の下で焼却灰が粒状材料として道路路盤に利用されている。日本においても焼却灰の直接利用技術として開発は進められ（参考文献 4），試験施工まで実施されたものの，エネルギー・コストの面から自治体での導入は行われていない。飛灰は有害物質を多く含むため特別管理一般廃棄物に指定され，法で定められた処理を行った後に埋立処分されている。

(2) 溶融スラグの性状と有効利用

前述の焼却残渣を溶融固化する場合と，廃棄物の直接溶融を行うものがある。前者の溶融炉は，熱源の違いにより，表面溶融炉，アーク式溶融炉，電気抵抗炉，プラズマ溶融炉などに分けられ，1200～1400 度程度で焼却残渣を溶融し，冷却することにより，スラグを生成する。

後者の直接溶融法は，近年開発が進んだ技術であり，廃棄物中の有機物をガス化し，発生したガスを熱源に用いる方法である。今後，全国的に普及が進むと考えられ，これに伴って，スラグが多量に発生してくることになる。スラグ化は，焼却残渣中の有害物質の安定化技術の一つでもある。

現在，溶融スラグは，道路路盤材，盛土材，コンクリート骨材，インターロッキングブロックなどの 2 次製品などの用途で利用されている。なお，道路骨材，コンクリート骨材については，2006 年に JIS 規格ができたことにより利用が推進されている。なお，地域での需要が少ない場合や規格外などで有効利用されなかったスラグについては最終処分（覆土材等としての場内利用も含む）されている。

(3) 不燃破碎残渣の性状と有効利用

排出される一般廃棄物の不燃物・粗大ごみは、破碎・選別などの中間処理（資源化）を行う自治体がほとんどで、213万t（平成21年度）が処理され、そのうち23%が鉄、アルミとして分離される。

破碎選別施設の例を図6.10に示す。まず、不燃物・粗大ごみはピットに貯留され、破碎機、磁選機、ふるい（振動ふるいやトロンメル）、風力選別機などを通り、鉄・アルミが分別資源化され、可燃物は焼却、不燃破碎残渣は埋立処分される。技術的には、既存の要素技術の組み合わせによって成り立っている。また、人力によるガラス瓶の選別行程（手選別と呼ばれる）をフローのはじめに行う場合もある。現在、不燃破碎残渣の資源化に向けた性状調査、環境安全性の検討が行われ、有害物質等の溶出は少なく、また粒径の小さい部分に有害物質は高く存在するケースがあることが確認されている（参考文献5）。全量が最終処分されているが、今後、粒状材料などとしての有効利用技術の開発が望まれる。

現状の選別方法では、埋立前処理が主眼となっており、資源化のための効率的な分離が行われているとはいえない。直径4.75mm以上の粒子の組成分析例を図6.11に示す。不燃破碎残渣は、プラスチック、ガラス等を多く含んでいる。現状では、現在の分離・分級技術の開発と向上のテンポは速く、その高性能化が期待されている。

(4) 建設廃棄物の性状と有効利用

建設廃棄物は各種建設行為に伴い発生するため、一般住宅の解体廃棄物から、大型の構造物建造及び解体時の混合廃棄物、道路整備のコンクリートがら、地下鉄工事等からの建設汚泥まで、多種多様なものである。建設廃棄物の総排出量は、7,725万t（平成19年度）であり、産業廃棄物の18.4%を占めている。また、建設汚泥は、発生量902万tとなっている。建設廃棄物のなかで、アスファルト・コンクリート塊やコンクリート塊は、再生アスファルト合材プラントや再生砕石プラントが全国に設置され、再生資材として、ほぼ全量（98%程度）利用されるようになっている（5章参照）。建設汚泥については、セメントや石灰を添加して

改良したり，流動化処理土として裏込め材として利用したり，高分子吸収剤などの薬剤添加により粒状化し砂質土同様の性状とする改良などが行われている。過去には，自治体が天然骨材と比べて環境影響の面などに懸念を持っていたため，資源としての利用は進んでいなかった。発生量が多いため国土交通省も利用を推進しており，近年急速に，リサイクル率が上昇し，69.8%（平成20年度国土交通省データ）となった。建設混合廃棄物については，ほとんどが埋立処分されてしまうが，排出時の分別により排出量は267万トン（平成20年度国土交通省データ）まで減少した。

（5）汚泥の性状と有効利用

汚泥には，メッキ工場などから排出される無機汚泥，建設工事等から発生する建設汚泥，食品産業より排出される有機系汚泥など，多種多様な性状を示すが，高含水状態の廃棄物という共通点を有している。汚泥の排出量は，1億8500万トンであり，再生利用率は9%と低く，減量化率は87%である（平成19年度）。総じて，再資源化が難しいが，その中では，下水汚泥を有効利用した例がある。

下水汚泥の処理には，濃縮，脱水，消化，コンポスト化，焼却・溶融，などが行われている。この中で，再資源化を伴っているものについて，以下で概説する。

コンポスト化については，下水汚泥を発酵することで製造されたコンポストは農地利用を行うことになる。周辺農地での需要が多い場合は実施可能であるが，一般的に大都市では堆肥利用が少なく難しいといわれている。

焼却や溶融を行った場合，焼却灰や溶融スラグが発生する。これらは，細骨材や路盤材などの土木資材として利用する事が可能である。また，焼却灰をセメント原料として利用を行っている。汚泥と生石灰を混合し，セメント製造の燃料と原材料両方で利用する技術も提案されている。また，焼却灰や溶融スラグの焼結を行いインターロッキングブロックやタイルなどとして利用することも全国的に行われている。

消化処理は，嫌氣的条件下で汚泥の微生物分解を行うものである。これに伴ってメタンガスが生成する。この手法を用いたバイオマス発電は全国的にも注目さ

れている。メタンガスは、燃料として利用し発電（熱利用）ができ、また、最近ではメタンガス濃度の高い消化ガスを直接用いた燃料電池発電方式が開発され、実用化まで進んでいる（例えば、神戸市など）。

（6）廃プラスチックの性状と有効利用

一般生活で多く利用されるプラスチックも、製造過程などから、多量の廃プラスチックが排出される。これらは産業廃棄物に分類されている。総排出量は 643 万トン（平成 19 年度）となり、産業廃棄物排出量全体の 1.5%となっている。再生利用率は 42%であり、減容化率は 30%となる。それ以外の廃プラスチックがそのまま埋立処分されている。

容器包装リサイクル法において、一般廃棄物のプラスチックは回収が進められている。特に PET ボトルの分別回収は、ほとんどの自治体で実施されている。その他のプラスチックについては、多種多様な性状をもち、簡単に再利用へは進んでいない。ガス化、油化の技術開発が進められたが、コスト・エネルギーの面から実施例は少ない。

廃プラスチックについては熱回収を行う焼却施設で燃焼させるか、焼却灰等と混合され埋め立てられるといった傾向が未だ残されている。しかし、埋立処分場の枯渇は循環型社会推進の一つの大きな背景となったこともあり、また廃棄物埋立量削減が第 2 次循環型社会形成推進基本計画で求められていることや、近年の原油価格高騰の影響で燃料としての利用も進みつつあることから、今後は廃プラスチックの埋立は相当に削減されると考えられる。加えて、実証段階ではあるが、埋立地再生（後述 6.2.5）の際に、既に埋め立てた廃棄物を掘り起こし、廃プラスチックは可燃部分と共に、焼却・熔融施設において処理と共に熱回収され始めている。

6.2 環境安全のための埋立技術

6.2.1 遮水システム

遮水システムとは、遮水工（シート等複合構造体）、保護材（不織布、土壌）、

損傷（漏水）検知システム（遮水工モニタリング機構）など埋立地から浸出水が周辺に漏洩しないための諸設備の総称である。図 6.12 に陸上埋立における遮水システム（表面遮水工）の例を示す。これらの諸機能が有機的に作用して浸出水が地下水・土壌を汚染することを防いでいる。廃棄物処理法では、産業廃棄物管理型最終処分場・一般廃棄物最終処分場において遮水工の設置を義務付け、具体的な構造を定めている。

遮水工は、浸出水の系外への漏洩を防止する最も重要な役割を果たすものである。法で定められる 3 種類の遮水工を図 6.13 に示す。粘土＋シート，アスファルト＋シート，二重シートの 3 種類となっており，現在多くの処分場では施工性の面から二重シート構造が用いられている。また，さらに安全性を高めるため下地地盤をベントナイト混合土としているケースもある。二重シート部分については，シート間に損傷検知システムが中間部分に導入されるケースが多い。

遮水シートに求められる機能として（1）浸出水を漏らさない，（2）環境に安全であることが要求されている。シートの材質により，合成ゴム系（合成樹脂系），アスファルト系，ベントナイト系などに分けられている（図 6.14）。それぞれ，強度，耐久性，加工し易さ，地盤追従性など様々な特徴が異なり，施工する埋立地形状，下地地盤，施工コストなどにより選択される。シート上面には，紫外線劣化等を防ぐために不織布等のシート保護が施工される。また，廃棄物埋立時には，廃棄物の突起物などによるシート破損を防ぐために，遮水工上部に，土壌などを保護材として施工する。

損傷（漏水）検知システムは，シートに破損等が生じ漏水が生じた場合，各種センサーを用いて破損位置特定まで行うシステムである。損傷検知時には，シート補修を行う必要がある。多くは電氣的な検知方法を用いている。多くの検知手法が開発されており，図 6.15 に一例を示す。本システムは，埋立地建設直後に遮水シート接合の検査にも用いられることがある。

岩盤等不透水地盤上であれば鉛直遮水工も可能であるが，地盤の不均一部分などの問題から，近年は用いられていない。海面埋立の場合，鉛直遮水工が長らく用いられてきた。海底の洪積粘土層が難透水性であることから護岸部分のみ遮水

工を設置する。鋼管矢板等を護岸中央部に設置した構造となる（図 6.16）。近年では遮水シート併用の護岸も建設されている。

6.2.2 水管理システム（集排水と処理）

最終処分場では、降雨により浸入した水分がごみ層を通過し、汚濁成分を含む汚水（保有水）が生じる。処分場より流出した汚水を「浸出水」と呼ぶ。

最終処分場の水管理システムとしては、大きく浸出水（保有水）集排水設備と浸出水処理施設が存在する。

浸出水集排水設備（管）は、埋立地底部に浸出水を滞水させず早期に排除するために設置された、ぐり石をフィルター材に用いた管路網である（図 6.17）。遮水シート上浸出水水位を低く保つことで、漏水の可能性を低減する。幹線では有孔合成樹脂管（主管φ500～1500mmなど）を用いており、ぐり石は通常150mm程度のものを用いる。底部集水管幹線は管径を大きくし、支線はやや小さめの管が用いられる。法面集排水管も設置される場合が多い。また、ガス抜き設備と併用される整形集排水管が底部集排水管と接続されており、集排水管近傍の準好気性状態（6.1.2 参照）を維持している。

浸出水処理施設は、浸出水調整池と水処理設備からなっている。季節の降雨量変動により浸出水量も変化するため、余裕のある調整地容量を用意している。水処理施設に関しては、有機汚濁成分（主にBOD成分）に対しては生物処理（接触曝気法など）が用いられ、生物難分解性有機物（COD成分）や粒子状物質などに対しては物理化学処理（凝集沈殿法など）を用いている。現在、日本では焼却残渣および不燃破碎残渣の埋立割合が増えており（6.1.3 参照）、新たな浸出水処理技術も付加されるようになった。

処理水の放流先で、農作物被害（主に水稻）を防止するためには、500mg/L以下の塩素イオン濃度が望ましいと言われている。従来型の水処理では塩素除去はできず、そのまま又は地下水での希釈後放流されているのが現状である。近年、塩類除去への要請が強く、新技術が実用化されるに至った。脱塩処理技術は、海水淡水化プラントなどで用いられる技術から発展し、逆浸透法、電気透析法、蒸発

法、イオン交換法などがある。浸出水の処理では、その対象の原水塩素濃度により、逆浸透膜法が適していると言われている。

逆浸透法は逆浸透（RO）膜を用い溶解しているイオンまで分離するもので、膜透過水は純水に近い性状となる。処理フローとしては、精密ろ過（MF）またはナノろ過（NF）膜を前段にもうけ、粒子状のものを除去し、後段で RO 膜を用いて、塩類までも除去する。ドイツでは、埋立地の処理システムとして実用化している技術である。処理水が純水に近いため、ドイツでは、処理後に土壌と接触できる滞留池を設け、放流されている。図 6.18 に一般的な膜処理システムフロー例を示す。プラントの特徴として、一般の凝集・生物処理に比べコンパクトで、小さなスペースで設置できることがあげられる。脱塩濃縮水の処理が必要となり、その再利用技術の開発・発展が望まれている。現在、浸出水処理における膜処理は、浸出水放流先が国定公園等の清流である処分場（例、北海道旭川市）などで用いられている。

電気透析法は、イオン交換膜を用い、電気透析槽の両側から、直流電圧をかけて、排水中の陽イオン陰イオンを分離するという原理である。脱塩濃縮水は、流入水量の 5～10%程度生じ、蒸発などの処理後処分される。濃縮水は、無機物質主体であり、一般的に得られる塩の質も RO 法より良いと言われ、塩類の再利用などが検討されている。電気透析法の改良された技術として、バイポーラ膜を用いたものがある。このシステムの場合は、塩酸と水酸化ナトリウムが生成される。

また、焼却残渣はアルカリ性物質を多く含むことから、浸出水 pH が高い場合も散見される。浸出水 pH に対する対策としては、処理施設での中和（酸などの薬剤または炭酸ガスを利用）が行われている。近年では、塩類や pH について処分場廃止に向けた長期的な水管理が求められている。

6.2.3 地下水モニタリング

最終処分場から浸出水が漏洩し、地下水汚染を引き起こすことなど、周辺住民により懸念されている。廃棄物処理法における最終処分場の維持管理基準において、地下水モニタリングについては「最終処分場の周縁の 2 箇所以上の場所から

採取した地下水又は地下水集排水設備より採取した水の水質検査を次により行うこと。(以下省略)」と規定されている。地下水等検査項目(年1回以上)、電気伝導度又は塩化物イオン(月1回以上)を測定記録することが定められている。

地下水モニタリングのための観測井は、最終処分場の上流側および下流側での比較が行えるように設置することが重要である。すなわち、埋立地周辺の地質調査・ボーリング孔水位などから地下水の流行をつかみ、埋立地の影響を把握できる地点を見つけることが重要である。流れの状態を検討するため、地下水位(標高水位)を比較検討する必要がある。観測井の設置例を図6.19に示す。長期的に地下水流向が変化する可能性もあるため、周辺地形などを考慮し下流側では複数箇所の観測井設置が望ましいといえる。

6.2.4 有害物管理

埋立地からの流出などの懸念される有害物質としては、ダイオキシン類や金属類などが考えられる。

(1) ダイオキシン類の管理

ダイオキシン類対策特別措置法が平成11年7月12日に成立し、12年1月15日より実施の運びとなった。この法律はダイオキシン類による環境汚染の防止や、その除去等を図り、国民の健康を保護することを目的にしている。国は、廃棄物の埋立処分に係るダイオキシン類に係る環境保全措置として次の3項目を示した。①処分場周辺の待機および周辺土壌の汚染防止、②処分場周辺の公共用水域の汚染防止、水の汚染防止

これらについて、現在十分な配慮が行われて処分場が運営される必要がある。処分場の遮水システム(6.2.1参照)および水管理システム(6.2.2)により周辺環境への汚染防止が図られる。通常、埋立地からのダイオキシン流出は粒子状と考えられており、浸出水の処理において、既存の凝集沈殿処理、砂濾過等で多くは除去でき、放流水の水質が排出基準(10pg・TEQ/L)に適合できると言われている。また、放流水中のダイオキシン類濃度は1年に1回以上は測定することが定められている。

(2) 金属類の管理

埋め立てられる廃棄物として一般廃棄物では 71%が焼却残渣（焼却灰，飛灰）となっている（平成 21 年度，環境省）。飛灰は，重金属含有量が高く，特別管理一般廃棄物に指定されている。このため，法律で定められた 5 種類（熔融，セメント固化，薬剤処理，洗浄および焼結）の前処理を行った後，埋立処分される。また産業廃棄物については，無機汚泥等で重金属溶出量が多い場合についても，埋立前に同様の不溶化処理が行われる。

焼却残渣の多い埋立地では可溶性重金属も含んだ状態で搬入されることもあるが，重金属が可溶化した場合には，廃棄物中の pH が比較的高いため水酸化物として溶解する。また，pH 低下に伴い再溶解した重金属は，空気中の二酸化炭素と反応し溶解度の低い炭酸塩として固定化される。なお，酸性雨程度の pH でも，再溶解することがある。なお，埋立地の底部や集排水管から離れた部位では嫌気的条件となっており，硫化物として集積層が形成し，重金属を不溶化する可能性が高いと言われている。埋立地において部分的には上記メカニズム（図 6.20）により安定化が進行していると考えられる。実際，多くの埋立地浸出水中の重金属濃度の報告値は低い値を示している。なお，飛灰の単独埋立では，特殊なケースの高塩濃度条件下で重金属が可溶化する可能性も指摘されていることから（参考文献 6），埋立時に高塩濃度（特にカルシウム濃度）にならないような埋立計画も必要と考えられる。

重金属については，分解や消滅することはなく，長期にわたり埋立地内に保存されることになる。このため長期の周辺への重金属汚染への配慮が必要であり，地下水モニタリング等の重要となる。今後は，埋立地内に搬入される前に，金属資源としてのリサイクルなどが検討されるべきである。熔融飛灰については Pb,Zn 等を多く含むことから，近年では一部で非鉄精錬業への山元還元（リサイクル）が始まっている。

6.2.5 埋立地再生技術

廃棄物に関する技術のうち最終処分場の有効活用，延命化や跡地の有効利用の

ために既存の埋立地を掘り起こし、一旦埋め立てられた廃棄物を中間処理することにより、プラスチック、金属等の有価物を回収し、土壌化途中の有機物を人工処理することにより、できるだけ減容化する等々の埋立地の再整理を行い、改善することにより、安全な最終処分場や快適な跡地に生まれ変わらせる技術が社会から求められつつある。この技術はけっして新しいものではなく、1981年には福岡大学で「移し替え工法」として報告されている（参考文献7）。

近年では、循環型社会形成推進交付金における最終処分場再生事業として、交付金が支出されることも相まって、徐々に埋立地再生の事例が出ている。様々な処理フローで実施されており、例えば、掘り起こした廃棄物の処理に当たって、既設のガス化溶融炉を用い通常の廃棄物と混合溶融処理している。掘り起こした廃棄物について埋立地にて篩い（スクリーン）装置を用い、粒径別にアルミ、鉄の回収を行うなどした後、溶融炉で処理する場合や、ほとんどの廃棄物を直接溶融炉で処理する場合など、ごみ質、既設施設の状況などにより、様々である（文献8）。図6.21に処理フローイメージを示す。

海外についても、環境負荷の大きな（不適正な）古い埋立地について埋立地再生の事例が井上ら（文献9）により報告されている。多くは、アメリカでの事例であり、USEPAより再生事業手順、事業の便益等についての整理が行われている。実際に行われている埋立地再生では、既存の技術の応用により、掘削、篩い分け、資源化物の回収と、残渣の埋め戻しといった手順で行われているが、ソフト的技術は現在検討が進められている段階と言われている。

処分場再生の課題としては、埋立地は再び掘り返すことを前提として建設されていないので、再生時には機能保全に留意する必要があると言われている。例えば、遮水工の損傷、廃棄物層の攪乱による浸出水・ガスの発生等を考慮し、探査技術の開発の必要性もあり、埋立廃棄物の資源化など法的な解決も必要と考えられている（参考文献10）。

6.3 廃止と跡地利用

6.3.1 処分場の廃止手続き

最終処分場において廃棄物搬入量が埋立容量に達し、埋立が終了した時点で、最終覆土（厚 50cm 以上）を施工する事となる（「閉鎖」呼ばれる）。これ以降、管理型処分場の場合、長期間の浸出水処理、地下水モニタリングを継続することとなる。多くの処分場では 10～15 年以上の期間を廃止までに要する。法で定められた浸出水、ガス、温度などの廃止基準（表 6.1）を満足した段階で、都道府県知事に廃止を届け出ることとなる。近年の産業廃棄物最終処分場の廃止届出件数を表 6.2 に示す。年 50 件程度が廃止されているといえる。過去には、廃止後の処分場については土壤環境基準が適用された時期もあったが、現在は廃棄物処理法の下、管理されることとなっている。以下に、廃止手続きに関する経緯を簡単に示す。

平成 4 年より廃止届により処分場の廃止されることとなった（～平成 10 年）。さらに、平成 10 年の命令改正により廃止基準が明示された。平成 16 年に廃止後は指定区域として自治体により管理されることが定められた。指定区域内での土地の形質変更は、事前の届け出が義務づけられた。指定解除は①全量撤去または②安定化が進み形質変更により支障が全く生じない状態になった場合に行われる。旧処分場（昭和 52 年 3 月以前に設置された廃棄物処分場）やミニ処分場（平成 9 年 12 月以前に設置された 1000m² 未満の廃棄物最終処分場）についても、上記指定解除の要件を満たさない場合は指定区域とすることになっている。なお、過去の処分場について詳細情報がなく指定区域として未指定の場合もあり、土地利用時に旧処分場が発見されることもある。未指定の状態での形質変更（土地改変）については、土壤汚染対策法への対応が必要となる。平成 10 年以降、廃止関連の法律上の取り扱いについては大きく変化しており、今後、跡地利用を実施する際は、その時点での法律上の手続きに注意する必要がある。

廃止後の跡地利用については、上記形質変更の届け出が義務づけられる。跡地利用例としては、主に公園等の表層利用が多い。

6.3.2 跡地利用

広い面積を有する最終処分場の跡地を有効に利用することは、土地資源の活用

という点で大切なことである。最終処分場の有効利用に当たり、調査する手順は次の通りである。基本的には、現地踏査を行う。そこで、埋立地の敷地境界の確定や埋立地内調査のためのボーリング地点の決定、埋立廃棄物の机上調査、浸出水・ガスの分析等の予備調査を行う。次に本調査に入り、①埋立地の廃棄物の量と質の正確な資料の取得（ボーリングや地下探査手法等による）、②埋立地の地盤強度、廃棄物の安定化の度合（地下水の流れの方向、土質調査、地下水水質調査、埋立廃棄物の分析）、③当該埋立地の利用目的の調査等を行い、当該埋立地の現状を把握する。最後に跡地利用計画のための環境保全対策の策定を行う。

跡地利用例として、まず公園利用についての事例を示す。全国的にも有名なものとして、北海道札幌市のモエレ沼公園が挙げられる。埋立地には札幌市内から排出された廃棄物を搬入しており、埋立期間 1979～1990 年、埋立廃棄物量 270 万トンとなっている。1988 年に彫刻家イサム・ノグチが計画に参画し基本設計が策定された。浸出水処理など管理を継続しながら建設が進められた。札幌市環状グリーンベルト構想の一環となる都市公園として 2005 年に開設した（参考文献 11）。100 ヘクタール超の広大な跡地を有効に活用した例といえる。さらに表層利用の例として、福岡県福岡市の処分場跡地利用を挙げる。福岡市西部の今津埋立場には、1973～1992 年の期間に市内から排出された一般廃棄物を埋め立てている（埋立廃棄物量 167 万トン）。一部の区画は、体育館、サッカー場、テニスコートなどを持つ今津運動公園(1992 年開設)や市民リフレッシュ農園（1995 年開設）として利用されている。

また、現在の法規制ではやや困難であるが、高度利用の例として、処分場跡地に学校を建設した事例（参考文献 12）を示す。中学校の建設であり、校舎および運動場の配置計画に際しては埋立跡地のガス、地盤対策を中心に計画を策定している。まず、敷地の廃棄物分布とガス発生分布を調査し、より安全な区域を校舎の敷地とした。さらに、土木部門、建築部門との協議によりガス対策を優先し、この他次の特殊な条件も満足するようにした。

① 動場の地盤沈下対策およびガス抜き施設の整備：土木部門（図 6.22）

②校舎の建築物のガス対策，地盤沈下対策：建築部門

③校舎基礎部のガス抜き施設整備：土木部門（図 6.23）

④工事期間中の安全対策：施工部門

⑤完成後の校舎・運動場の定期的な安全対策：学校管理部門

施工に当っては施工時の留意事項（表 6.3）について施工担当部門を含む関係者と十分に検討し、工事中の事故を未然に防ぐための調査と安全管理に留意した。

跡地利用としては、これまで述べたように主に表面利用が行われている。廃止後指定区域とされた処分場跡地は、形質変更の届け出が必要となるため、今後も同様の形態での利用が行われると考えられる。周辺環境保全を継続しつつ高度利用も行うための技術開発が求められている。

第6章 最終処分場による廃棄物の安全化と跡地利用技術 <図表, 参考文献>

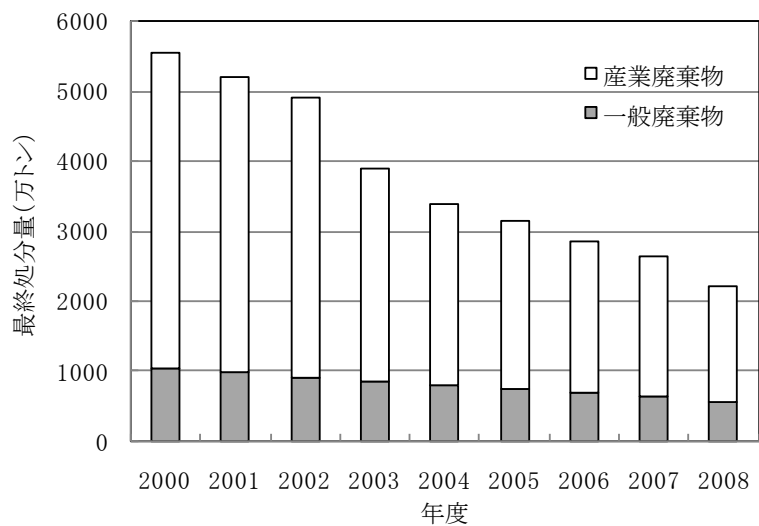


図 6.1 最終処分場の推移 (環境省データより作成)

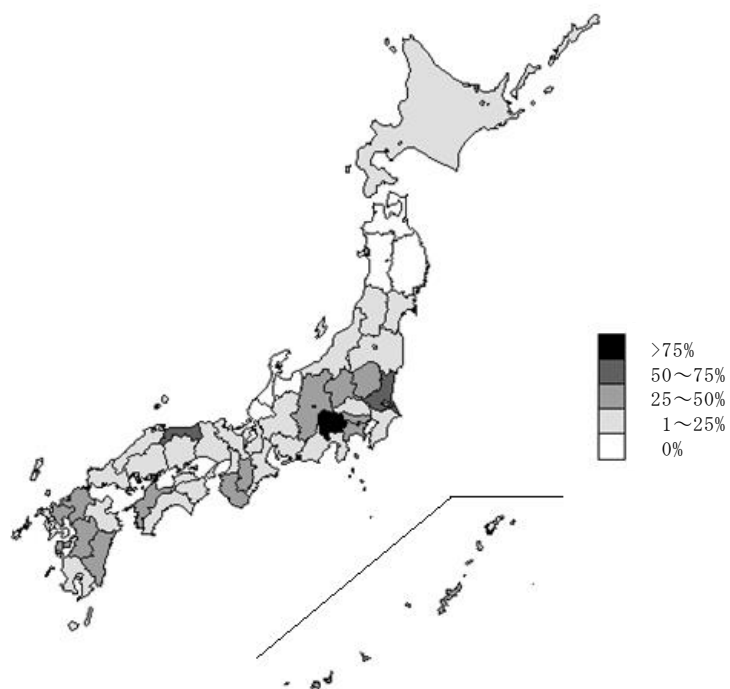


図 6.2 最終処分場を有していない市町村の割合 (環境省：平成 21 年度日本の廃棄物より一部修正)

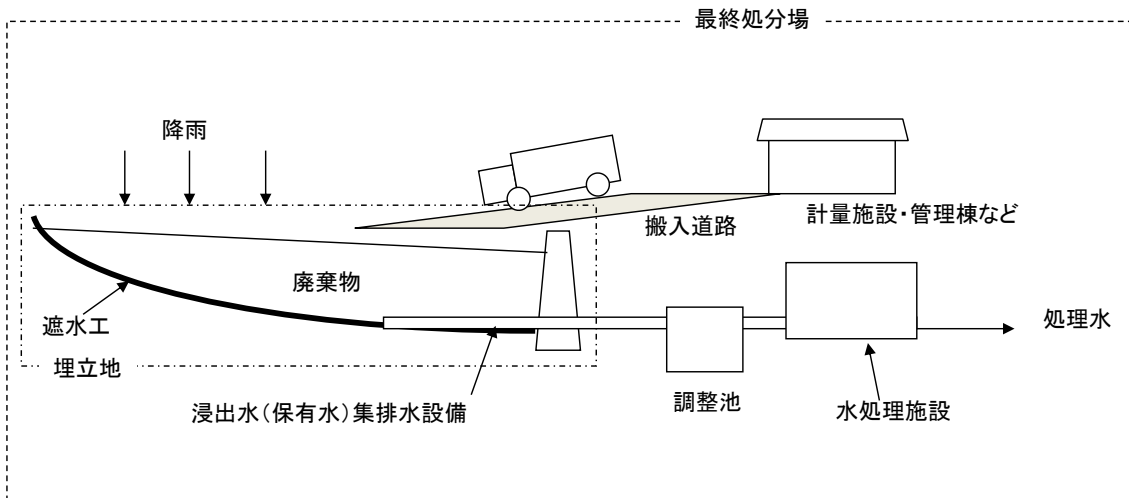


図 6.3 最終処分場の構成イメージ

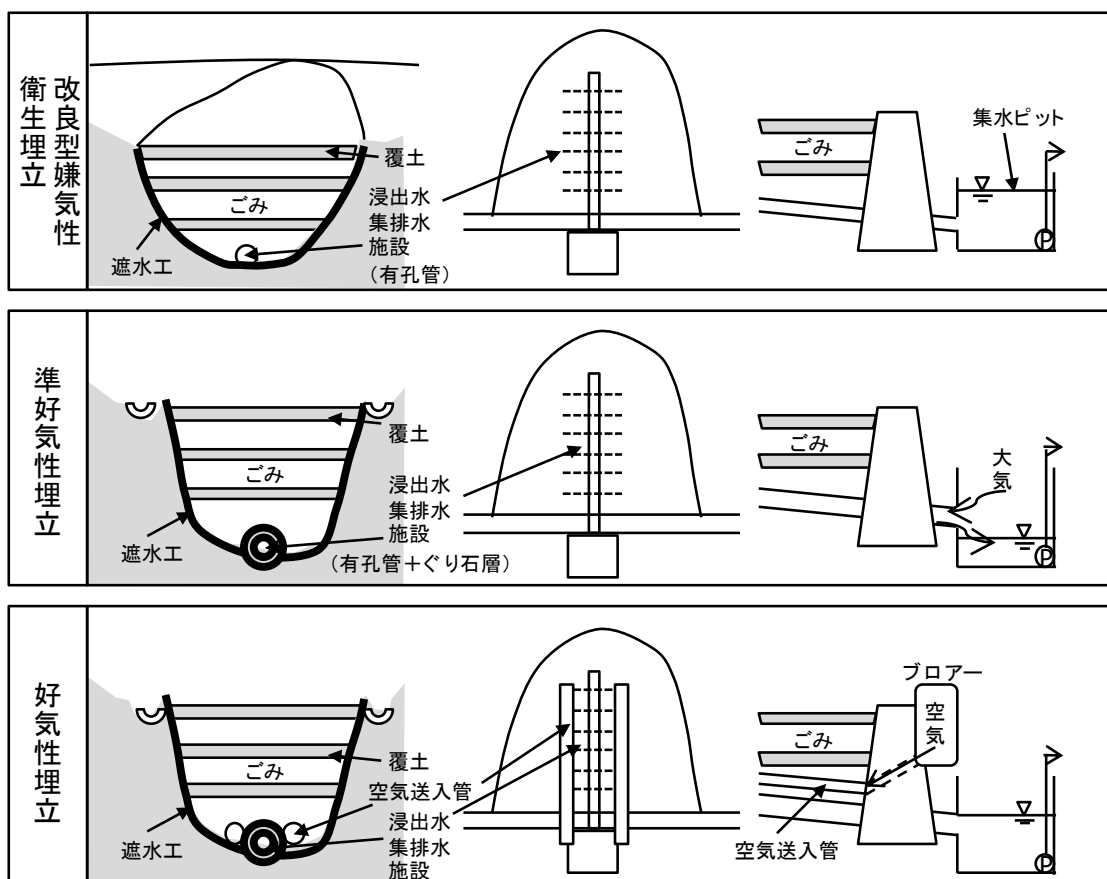


図 6.4 各種埋立構造の概念 (花嶋 1976, 日米廃棄物会議資料, 一部修正)

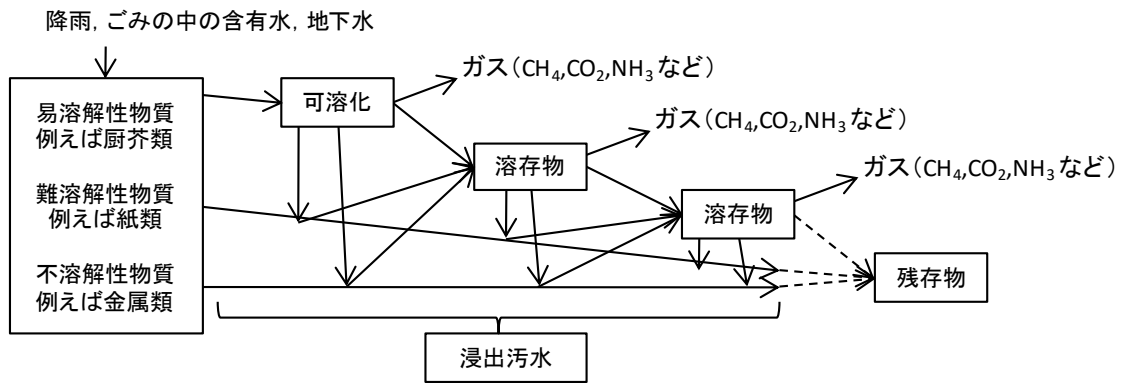


図 6.5 廃棄物の分解過程と浸出水 (出典：都市と廃棄物 VO17, No10 友永ら，一部修正)

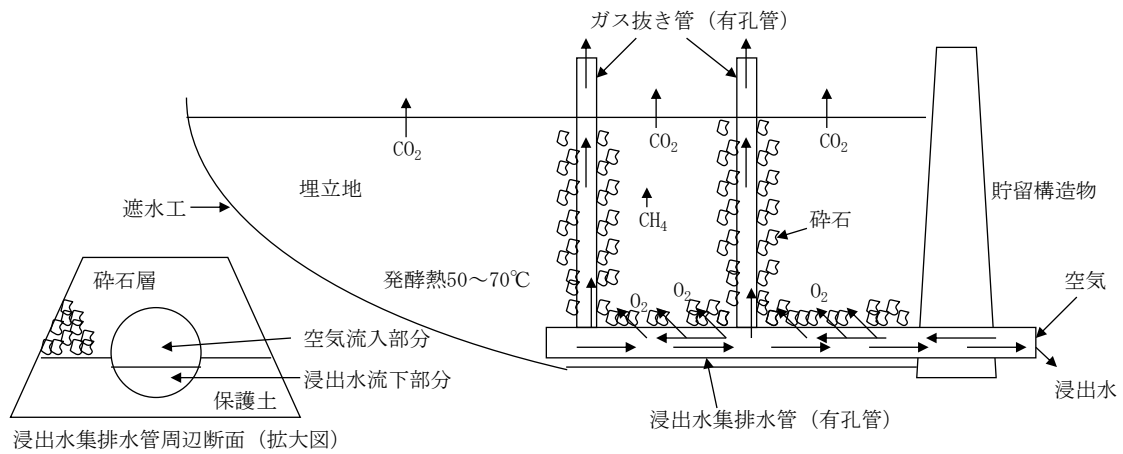


図 6.6 準好気性埋立構造概念図

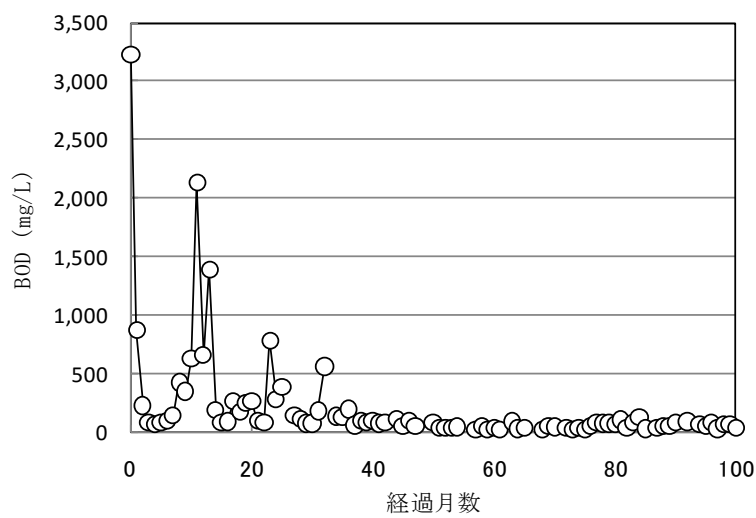


図 6.7 浸出水 BOD の例 (準好気性埋立 1977~1980 年, 25 ヶ月目埋立終了)

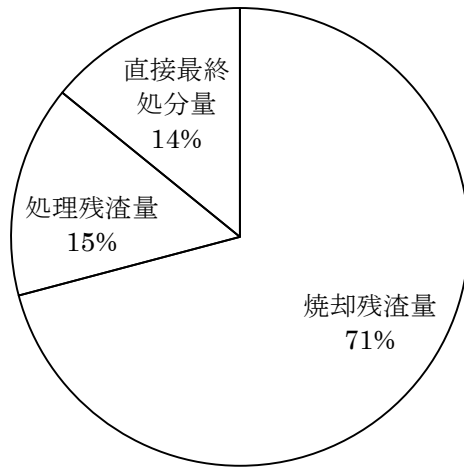
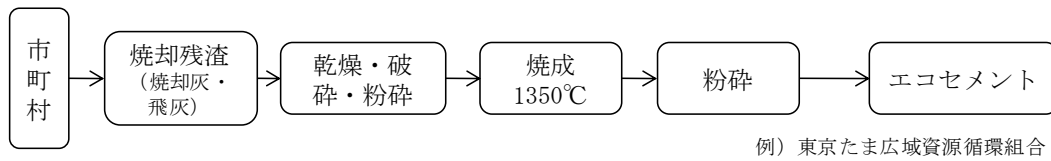


図 6.8 埋立廃棄物の内訳 (H21 年度環境省データより)

エコセメント原料



セメント原料

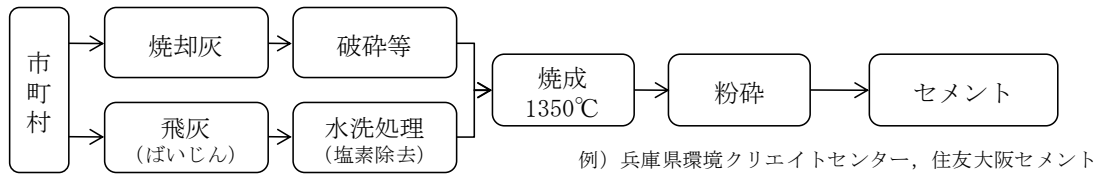


図 6.9 エコセメント, セメント原料としての利用例

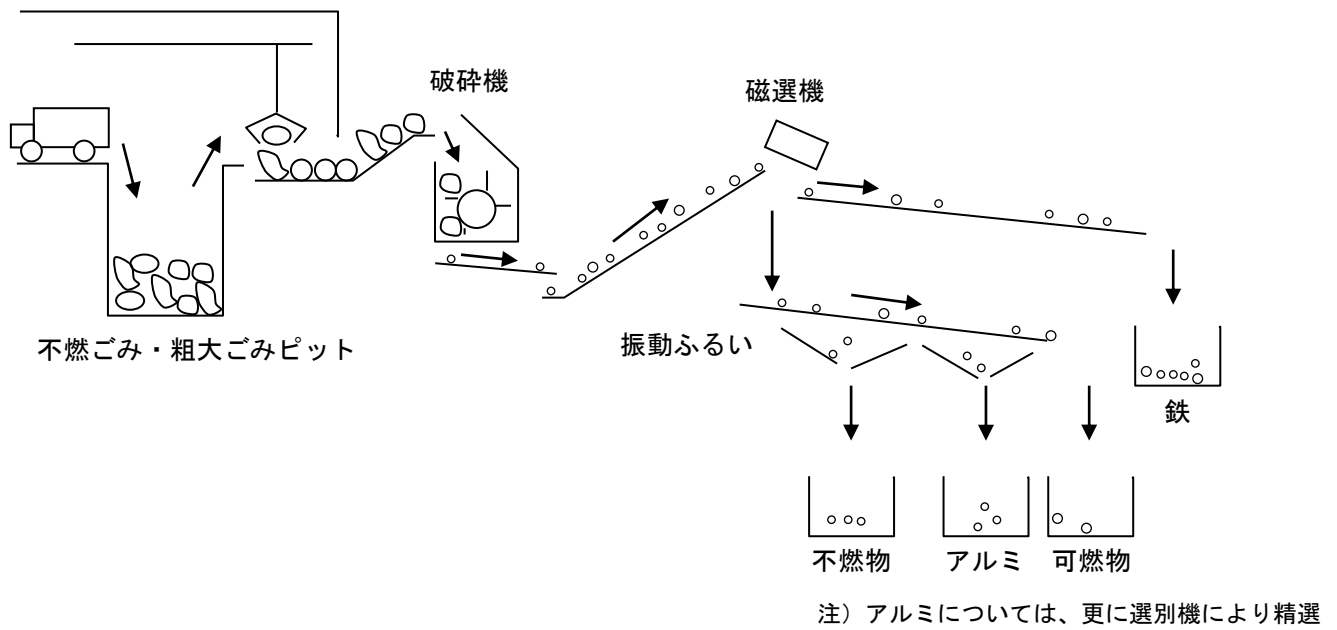


図 6.10 破碎選別による廃棄物資源化施設の概要

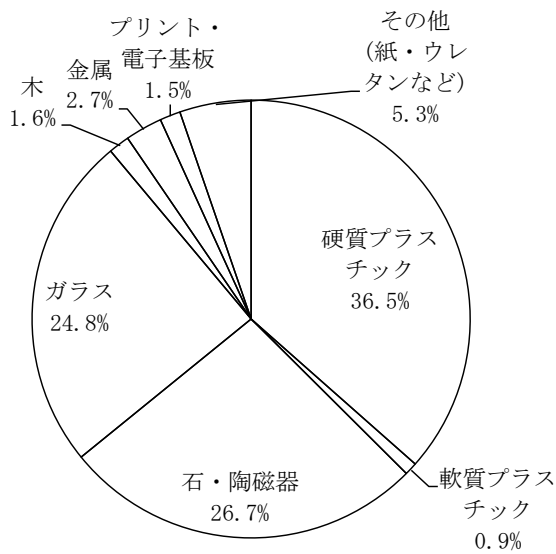


図 6.11 不燃ごみ資源化施設残渣の物理組成 (不燃破碎残渣：粒径 4.75mm 以上)

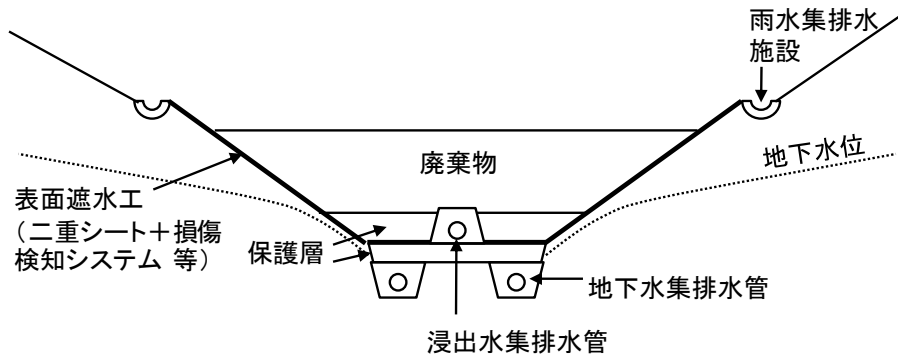


図 6.12 表面遮水システム概念図

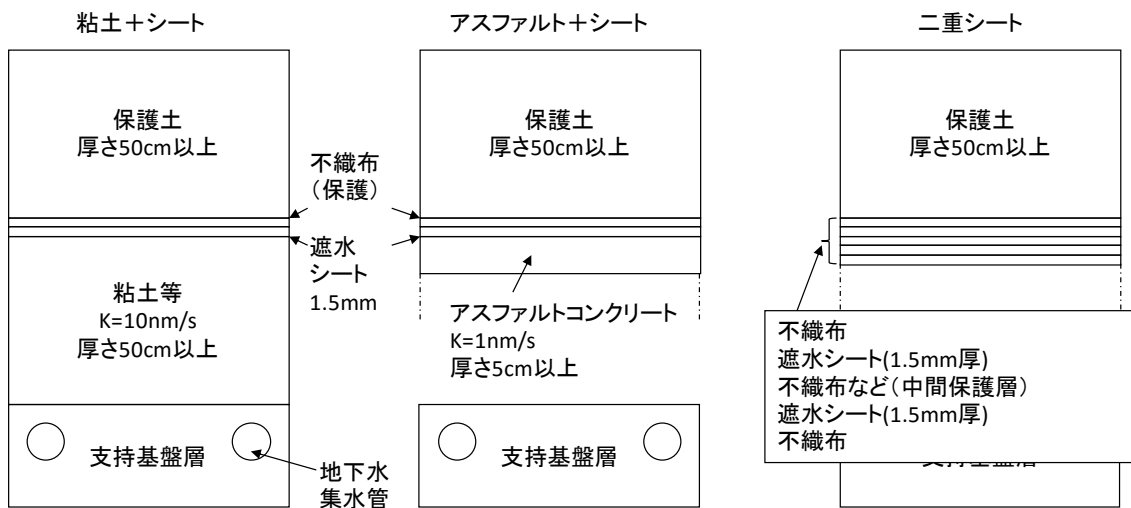


図 6.13 遮水工（平成 10 年度改正命令）

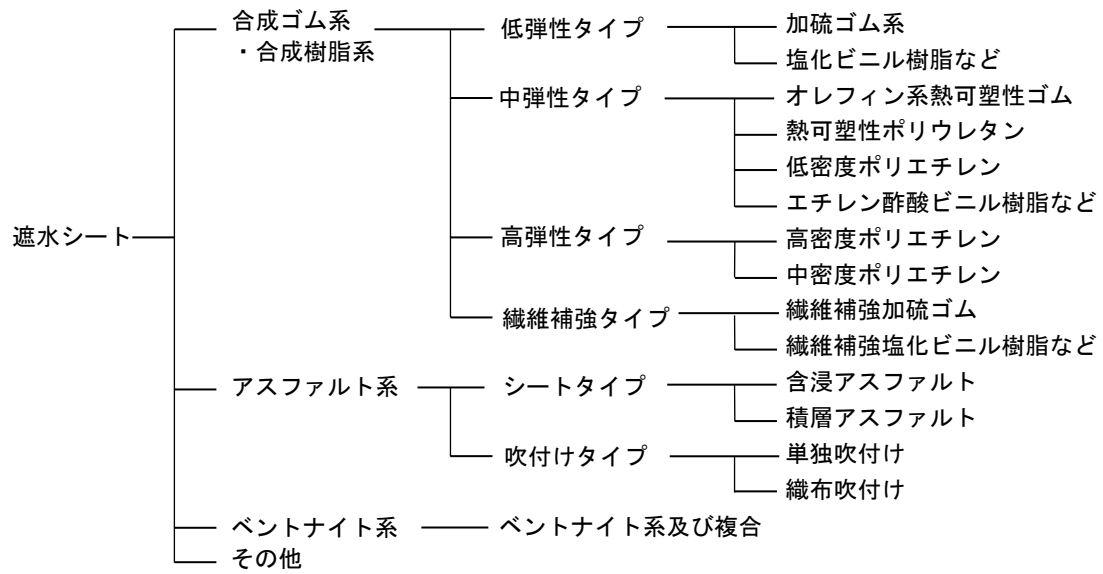


図 6.14 表面遮水材の種類 (日本遮水工協会資料を修正)

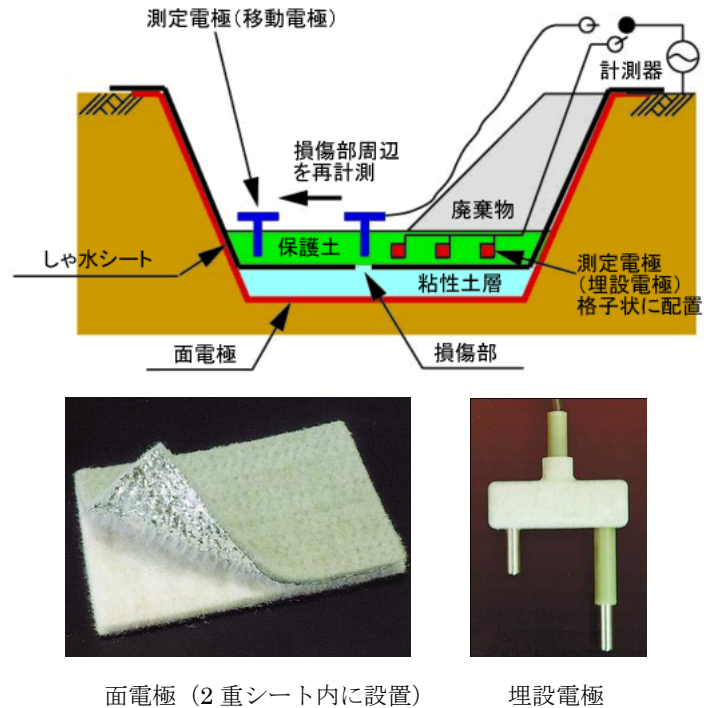


図 6.15 遮水工損傷(漏水)検知システムの例 (提供:熊谷組)

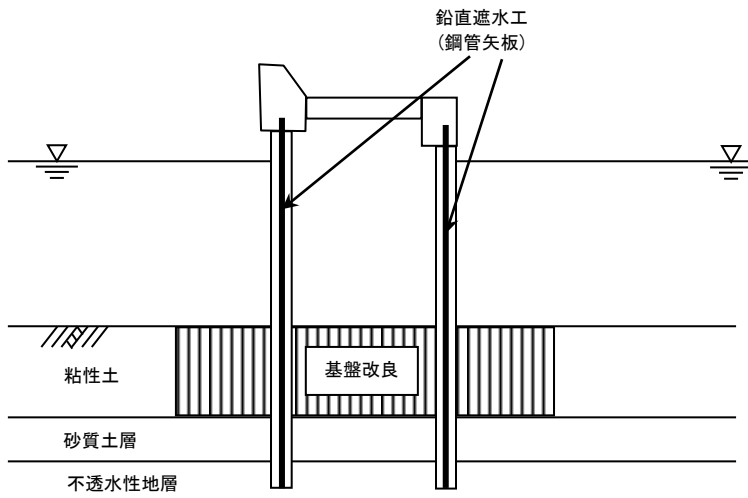


図 6.16 鉛直遮水工の例 (海面埋立の場合)

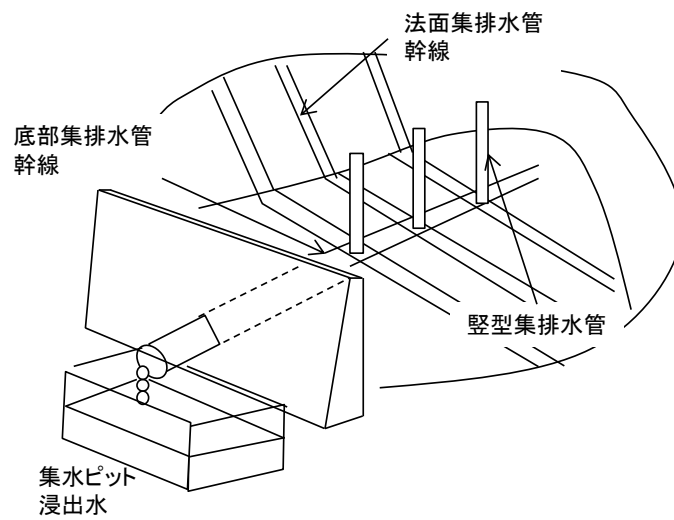


図 6.17 浸出水集排水設備の例

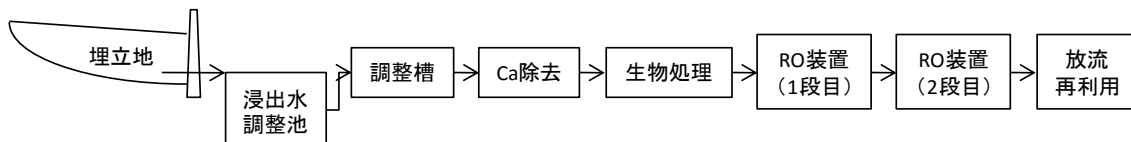


図 6.18 膜処理システムフローの例

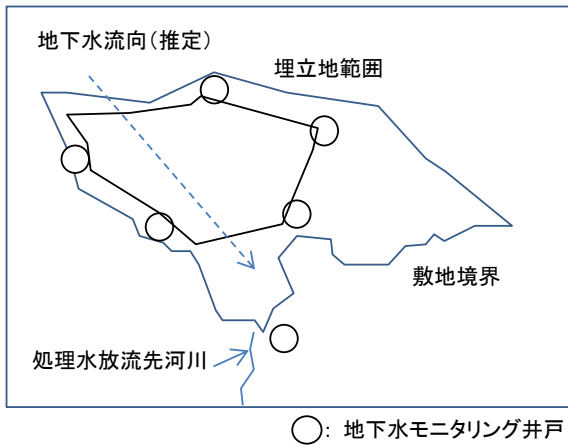


図 6.19 処分場周辺モニタリング例 (F 処分場)

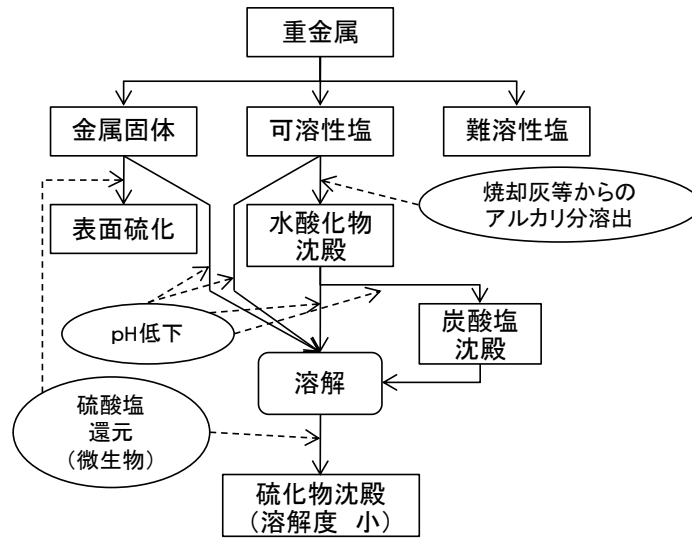


図 6.20 重金属不溶化メカニズム

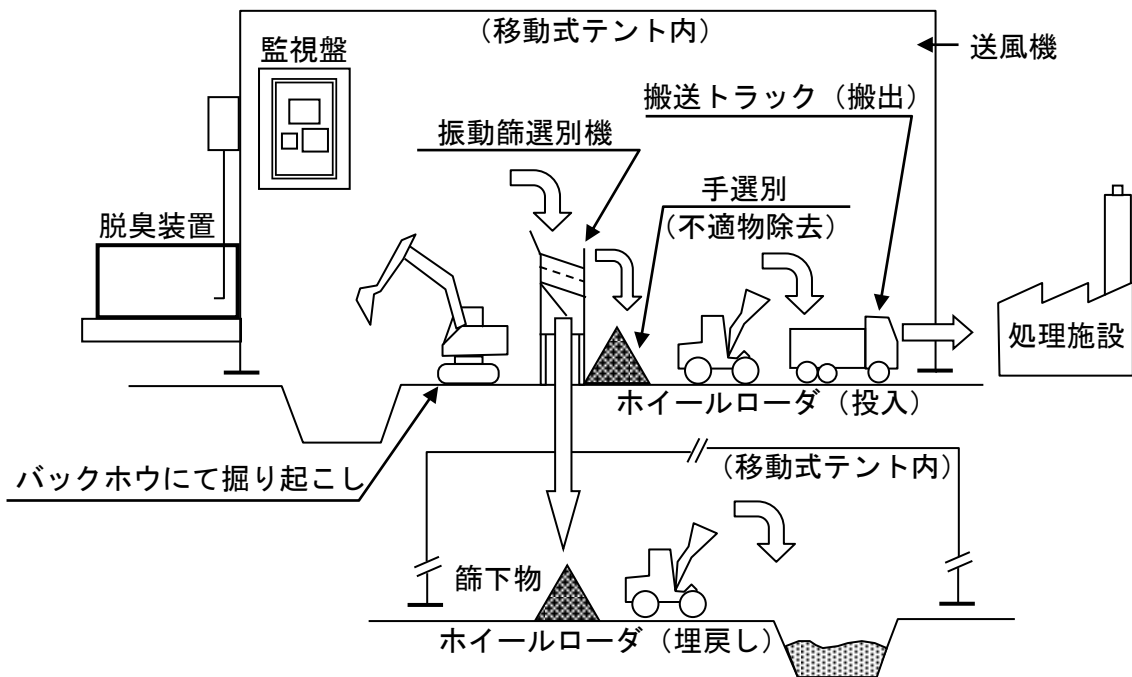


図 6.21 埋立地再生処理フローイメージ

表 6.1 廃止基準概要（基準省令より）

	安定型最終処分場	管理型最終処分場，一般廃棄物最終処分場	遮断型最終処分場
廃止基準	<ul style="list-style-type: none"> ・悪臭発散防止の措置 ・火災発生防止の措置 ・害虫獣（ネズミ，蚊，はえ等）対策 ・地下水等の基準適合 ・生活環境保全上の支障がない 		
	<ul style="list-style-type: none"> ・ガス発生がほとんど認められない（2年間以上） ・埋立地内部温度が異常に高温でない ・50cm以上の覆い（覆土）で開口部を閉鎖 		<ul style="list-style-type: none"> ・地滑り，沈下防止工，雨水等排出設備，浸出水採取設備が構造基準に適合
	<ul style="list-style-type: none"> ・地滑り，沈下防止工，雨水等排出設備，浸出水採取設備が構造基準に適合 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・外部仕切設備と同等の効力を有する覆いにより閉鎖
	<ul style="list-style-type: none"> ・浸透水水質が，地下水等検査項目の基準に適合し，BOD20mg/L以下 	<ul style="list-style-type: none"> ・保有水等の水質が，（1）排水基準等（測定1回/6月以上），（2）BOD, COD, SS（測定1回/3月以上）に適合 	<ul style="list-style-type: none"> ・埋立廃棄物，外周仕切設備に定められた措置
		<ul style="list-style-type: none"> ・雨水が入らず，腐敗・保有水発生しない廃棄物の埋立時には，処分場の覆いに沈下，亀裂がない 	

表 6.2 産業廃棄物最終処分場の廃止届で件数

(環境省：産業廃棄物行政組織等調査(H13-H19)を集計)

廃止届出件数	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19
遮断型	0	0	1	5	0	0	0	0
安定型	36	32	32	32	23	25	33	32
管理型	19	14	20	15	9	15	21	15
内海面	0	0	0	1	1	2	0	1
計	55	46	53	52	32	40	54	47

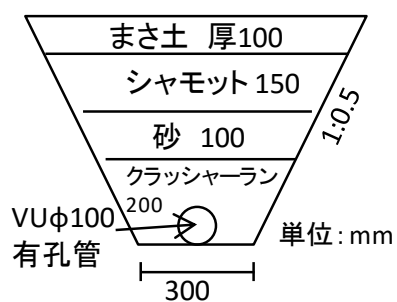


図 6.22 グラウンド用敷設型雨水排除溝を利用したガス排出管の例 (文献 12 を一部修正)

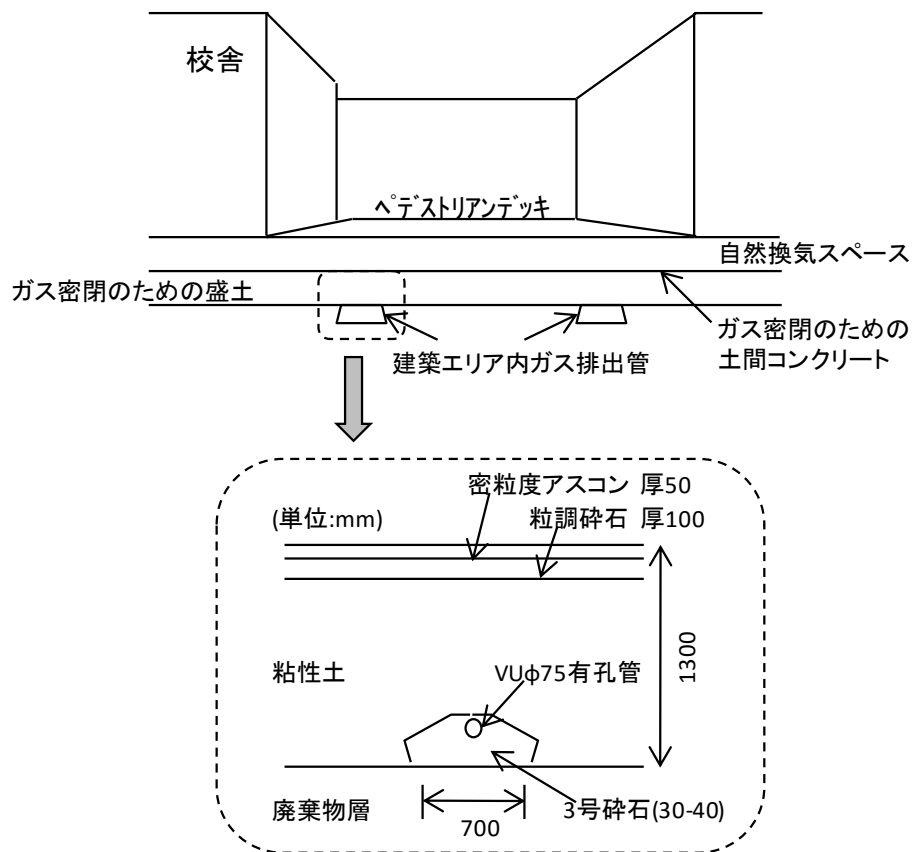


図 6.23 建物部のガス対策工とガス排出管の例 (文献 12 を一部修正)

表 6.3 埋立跡地への建築物施工時の留意点（文献 12 を一部修正）

項目	留意点	対策
1. 排水	1) 水質 a) 廃棄物による汚染 b) 降雨時の「にごり」 2) 水量 降雨時の排水量	単掘りの遊水池を 1) 汚染水対策の緩衝池 2) 「にごり用」の沈殿池 3) 排水の調整池 等を最大限に活用する。
2. ガス	ガスの滞留 (特に窪地、覆いのある穴、マンホール等) 酸素欠乏に注意	1) 換気を十分に行う。特に窪地部分の滞留ガスに留意 2) 入孔時に十分換気する 3) 非常救出時には特に注意する
A) メタン	無害・無臭	
	1) 濃度 a) 5～15%程度で爆発の危険 b) 着火した場合、地中に引火すると消火が困難	1) 換気を十分に行う。特に窪地部分の滞留ガスに留意 2) 不要な火気の厳禁 3) 溶接時等に必要に応じて受皿等を考慮し火を落とさないようにする
	2) 発生量 降雨後、定期厚地、気温の高い時などに多い	降雨後、夏期の換気に注意 1) 入孔時に十分換気する 2) 非常救出時には特に注意する
B) 硫化水素	強い刺激臭（卵腐敗臭）があり体に有害	
3. 臭気	人間に五感で検知でき、かつ不快感を生じるので、第三者に留意	1) 切り土表面に廃棄物が露出する場合は、覆いを考慮 2) 注意表示等は表現に留意
4. 廃棄物		

参考文献

- 1) 例えば, 花嶋正孝 他「埋立ごみの分解過程の考察」, 土木学会西部支部昭和 42 年度研究発表会論文集 pp145-148 (1968)
- 2) 花嶋正孝 編「最終処分場技術システムハンドブック」環境産業新聞社 (1999)
- 3) 田中信壽「環境安全な廃棄物埋立処分場の建設と管理」技報堂出版 (2000)
- 4) 島岡隆行 他「物理選別処理した都市ごみ焼却灰の下層路盤材への有効利用」第 4 回環境地盤工学シンポジウム講演論文集, pp79-82, (2001)
- 5) 大里賢, 宮脇健太郎「不燃破碎残渣の溶出特性 (環境暴露促進試験)」第 20 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集 (2009)
- 6) 例えば, 宮脇健太郎他「埋立地における焼却飛灰処理物の長期安定性」環境工学研究論文集, Vol.38, pp81-89, (2001)
- 7) 例えば, 花嶋正孝 他「廃棄物の効果的埋立処理技術に関する研究」都市清掃, Vol.34, No.124,pp62-81,(1981)
- 8) 笹井裕「埋立地再生・延命化事業の事例」廃棄物学会誌 Vol.16, No.3., pp150-160,(2005)
- 9) 井上雄三, ブレントイナッチ「欧米における埋立地再生の現状」廃棄物学会誌, Vol.16, No.3., pp161-169, (2005)
- 10) 樋口壯太郎「埋立地再生総合技術システムの開発」廃棄物学会誌, Vol.16, No.3., pp132-141, (2005)
- 11) 札幌市HP, モエレ沼公園: <http://www.sapporo-park.or.jp/moere/moe/index.php>
- 12) 松藤康司, 花嶋正孝 他「廃棄物埋立跡地における学校の建設事例」土と基礎, Vol.40, No.6, pp17-22, (1992)