

最終処分場のプロ集団化を目指して —好気性領域拡大型準好気性埋立と維持管理—

福岡大学環境保全センター

教授 柳瀬 龍二

1. はじめに

廃棄物最終処分場は埋立廃棄物や周辺環境に係る環境問題から、処分場の構造基準や維持管理基準が強化され、環境保全に対して極めて高度な技術や工法を採用した安全で信頼性の高い最終処分場が建設されている。また、安全・安心のための担保や維持管理上の技術的な課題から、近年では一般廃棄物や産業廃棄物の公共関与型で閉鎖型最終処分場が建設される傾向にある。

一般廃棄物最終処分場や産業廃棄物最終処分場を巡っては、これまで「悪臭がする、黒い水が出る、許可品目以外の不法処理」など、一部では、不適正処理や埋立作業などの物理的管理、環境保全に係る維持管理の不備による周辺環境の悪化が懸念される事例もあり、自治体や事業主体の事業者に対する処分場の適切な管理運営への目は厳しくなっている。一方で、産業廃棄物管理型処分場ではISO14001を取得し、産業廃棄物の搬入管理から埋立管理、そして環境管理までを実施している処分場例もある。

最終処分場は埋立開始から埋立が終了した後も、

処分場を閉鎖し法的な要件に従って廃止するまで、数十年に亘って処分場の管理運営と適切な維持管理を行わなければならない。このため、長期に亘る最終処分場の維持管理は処分場の早期廃止を目標に、埋立開始時点から安全・安心を確保する埋立工法や浸出水処理及び発生ガス対策など、適切な維持管理が最終処分場の要となる。しかし、廃棄物最終処分場の事業は環境保全と安全・安心が求められる中、埋立期間中の廃棄物の処分費による対価で管理・運営され、同時に、生産性のない埋立終了から廃止までに係る維持管理費等の削減も課題となってくる（図1参照）。

このため、これからの最終処分場は廃棄物の早期分解と埋立地の安定化、発生する浸出水の良質化及び有害ガス発生抑制のための埋立管理が必要であり、埋立開始段階から早期廃止を目指した①搬入廃棄物の特性を考慮した埋立工夫、②効率的な埋立作業管理、③早期安定化のための施設管理及び④環境保全ための環境管理など、処分場に係わる種々の技術を習得した、技術管理者による高度な維持管理が必要不可欠である。

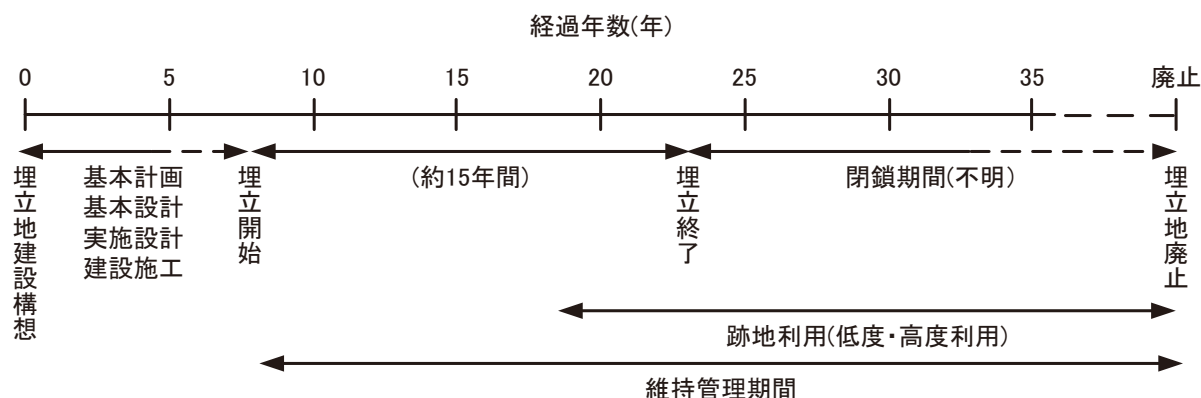


図1 管理型最終処分場の基本構想から廃止までのフロー例

そして、上記目標のために全国産業廃棄物連合会では処分場を管理する上で必要な実践的な情報として作成した「産業廃棄物最終処分場維持管理マニュアル」や「産業廃棄物最終処分場の環境管理 ー早期安定化と浸出水処理に向けた維持管理一」を用いて、最終処分場の維持管理に必要な具体的な埋立技術や情報管理等の維持管理手法を座学と現場研修で実践し、従来の維持管理から進化した「最終処分場のプロ集団化」を目指している。

本報では、福岡大学と福岡市、全国産業廃棄物連合会及び産業廃棄物処理業者による最終処分場の新しい埋立技術や工法等の最近の動向について紹介する。

2. 早期安定化のための埋立構造の進化（好気性領域拡大型準好気性埋立構造の提案）

2. 1 準好気性埋立構造について

福岡大学は1970年代に福岡市との共同研究で①発生する浸出水の良質化、②可燃ガスの発生抑制が可能な埋立構造として「準好気性埋立構造」を提案し、現在は広く国内で採用されている。また、近年では、準好気性埋立構造の基本概念を応用した「福岡方式」による海外への技術移転が進められている。

一方で、準好気性埋立構造は「生ごみ等の有機物主体の埋立地」での効果が大いだが、現在主流となっている「焼却残渣や破碎残渣の残渣物主体の埋立地では同埋立構造が必要なのだろうか」との声がある。この間、福岡大学と福岡市は1973年からの長期に亘る共同研究の中で、①焼却残渣の単独埋立に関する研究、②焼却残渣と破碎残渣の残渣物主体の混合埋立に関する研究を通して、準好気性埋立構造と循環式準好気性埋立構造（1978年提案）等による効果を検証してきた。その結果、不燃物主体や残渣物主体の廃棄物埋立地における埋立構造は、嫌気性埋立<準好気性埋立<循環式準好気性埋立の順で浸出水の浄化効果が得られた。更に、準好気性埋立構造の基本概念である「底部集排水管を經由して空気が埋立地内部へ流入する」を証明するため、焼却残渣と破碎残渣の残渣物主

体の福岡市伏谷埋立場で長期に亘って、底部集排水管（直径1 m）からの空気の流入状況を観測した結果、夏季で0.2m/s、冬季で2 m/sの流速で空気が流入¹⁾しており、北海道大学の松藤らの研究²⁾でも立証されていることから、残渣物主体の埋立地でも準好気性埋立構造が効果的であることが証明されている（図2参照）。

また、福岡大学と福岡市は平成10年の廃棄物処理法の改正に伴い規定された「埋立地の廃止基準」に対して、埋立地の早期安定化による廃止基準の適応手法等について、埋立地内部の発生熱量を指標とする廃止基準への対応などを検討³⁾する中で、平成16年に福岡市と福岡大学は「残渣物主体の埋立地における早期安定化への課題と提案」を行った。その理由として、①残渣物主体の埋立地は従来よりも埋立密度が高く間隙率が小さい、②廃棄物中の有機物量が少ない、③廃棄物層内への空気の供給・雨水の浸透能力が小さくなりつつある。④底部集排水管から流入した空気が堅型ガス抜き管を經由して、大気へ拡散され、廃棄物層への空気流入量が小さくなっているなどの観点から、残渣物主体の廃棄物の早期分解による安定化が遅くなる傾向にあった。

これらの観点から、埋立地内への空気流入促進

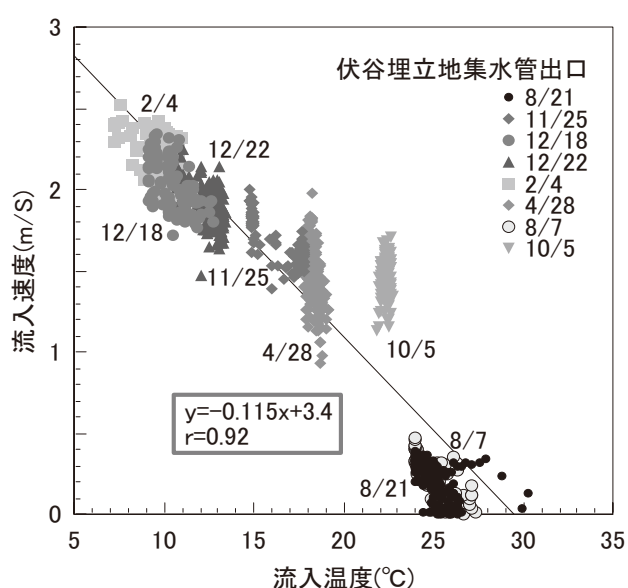


図2 残渣物主体の埋立地における底部集排水管からの空気流入量

と保有水の早期排除及び汚濁物の洗い出しと分解機能を兼ねた「堅型ガス抜き管と横引きガス抜き管」を併用した栗石とガス及び保有水排除管をジャングルジム状態に廃棄物層全体に設置し、埋立地内部全体を好氣的雰囲気改良・改善した「好気性領域拡大型準好気性埋立構造」を提案した⁴⁾(図3参照)。

2. 2 好気性領域拡大型の導入事例

(1) 準好気性埋立構造の堅持

「好気性領域拡大型準好気性埋立構造」を導入するための基本原則は「準好気性埋立構造の堅持」であり、その機能を十分に発揮する底部集排水管の構造を確保する必要がある。

埋立地の底部集排水管の役割は①埋立地内に発生した浸出水の集水と早期排除、②底部集排水管とその被覆材を經由して、埋立地外から埋立地内部へ空気流入を促進させ、埋立地内部の好気性領域を拡大させることで、埋立廃棄物の早期安定化と浸出水の良質化及び可燃ガス等の発生を抑制させることである。底部集排水管の構造上の不備のある事例と良い事例を写真1に示した。構造的な不備のある底部集排水管は被覆材の粒径が小さく

目詰まりを起こしやすい構造であり、浸出水の汚濁物(有機物や無機物)によって、被覆材の目詰まりにより浸出水が適切に排除できず、内部滞水状態になる可能性が十分にある。また、空気の流入が遮断されることに伴い、埋立地内部の酸素が不足し、嫌氣的雰囲気となり浸出水の悪化と可燃ガスの発生、更に、浸出水の内部滞水に伴う浸出水の漏水の可能性も懸念されるなど、「準好気性埋立構造の埋立地」とは言えない。一方、良い事例では底部集排水管の集水管が60cm以上あり、被覆材の粒径が約10cmと大きく、廃棄物と直接接する面積が広いため、浸出水の早期排除が可能であり、空気の流入も十分に確保でき、「準好気性埋立構造の埋立地」であると言える。

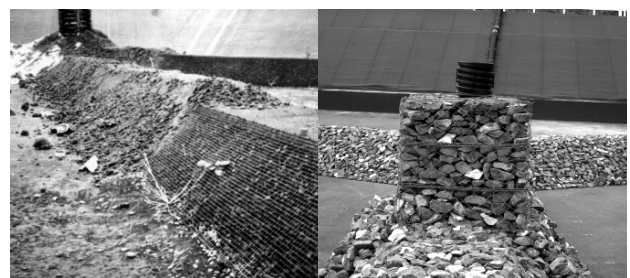


写真1 底部集排水管の構造例

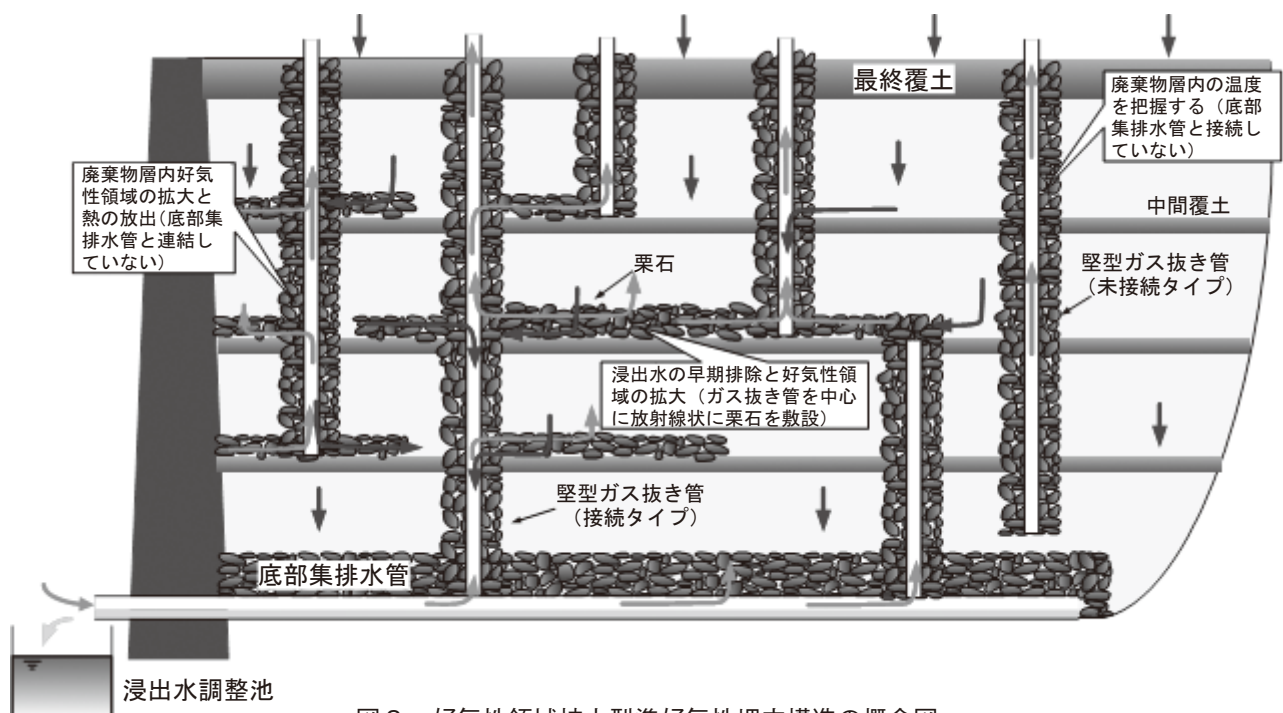


図3 好気性領域拡大型準好気性埋立構造の概念図
(出典：福岡大学水理衛生実験室)

(2) 好気性領域拡大型の導入事例

廃棄物最終処分場において発生する浸出水の良質化の促進は浸出水処理施設への汚濁負荷軽減や、発生する可燃ガスや有害ガスは埋立地の安全確保と周辺的环境保全を含め、維持管理の負荷となってくる。福岡市と福岡大学が提案している「好気性領域拡大型処分場」は埋立地内部への空気流通部を多く確保し、出来る限り好気性領域を拡大させることにより、廃棄物の好気性分解を促進させ、早期安定化の促進や発生する浸出水水質の良質化と悪臭等のガス発生を抑制するなど、適切な維持管理とコスト低減化を図る事が可能となる。

埋立地内の好気性領域の拡大を図っている産業

廃棄物管理型処分場の事例を紹介する（図4、写真2参照）。同処分場は埋立地内に設置した浸出水集水ピットを中心に、従来から設置されている豎型ガス抜き管に、新たに横引きガス抜き管を接続させることで、「人間の血管」と同様に埋立地内部の空気の流通部を拡大し、より好氣的雰囲気確保した事例である。埋立地内に「空気の通る道」を埋立作業の進捗状況に合わせ逐次設置した結果、①豎型ガス抜き管や横引きガス抜き管内の空気の流通速度が十分に確保され、埋立地内部が好氣的雰囲気になっており、浸出水の良質化に貢献していることが想定される。②埋立処分された廃棄物を好気性分解させることで、発生するガスはメタ

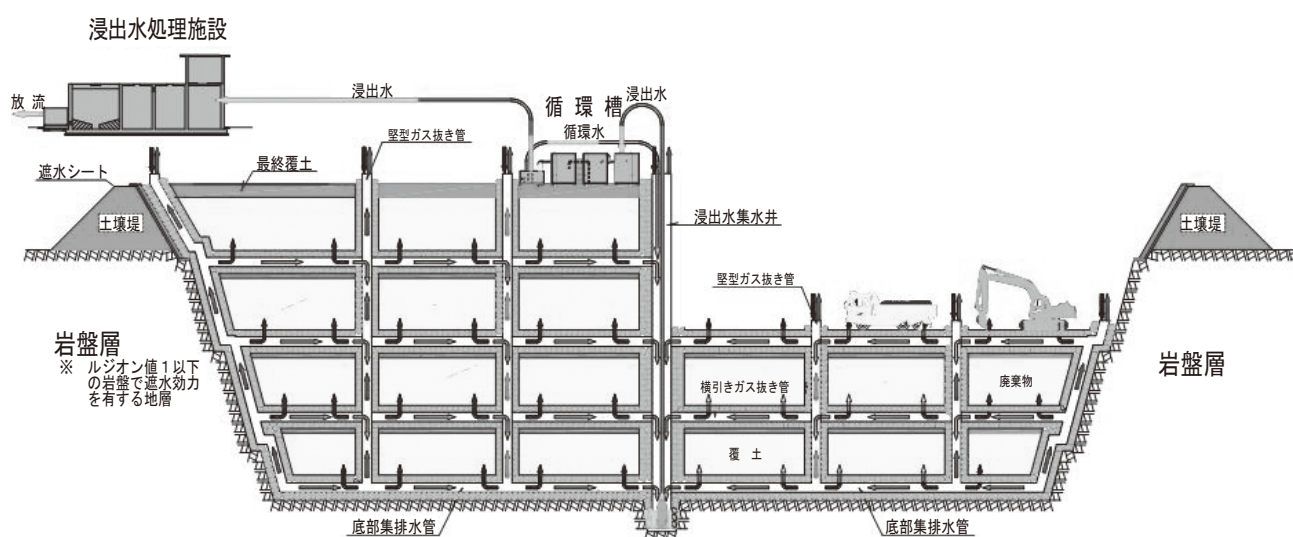


図4 好気性領域拡大型処分場の事例
(出典：住吉工業パンフレットより)



写真2 豎型・横引き型ガス抜き管事例と横引きガス抜き管への空気の流入状況例

ン（CH₄）、硫化水素（H₂S）等の発生がなく、空気と同等（酸素と窒素）のガス質を維持できている。

このように、埋立地の日常の維持管理において、埋立の進捗状況と現場作業に合わせて、埋立現場で堅型ガス抜き管と横引きガス抜き管及び法面ガス抜き管を接続しながら、埋立地内部をより好気的な環境に建設し、埋立地を十分に理解したプロ集団による理想的な「好気性領域拡大型準好気性埋立地」を総合的に管理運営を行っていくことが、これから重要となってくると考えている。

3. プロ集団に必要な維持管理手法について

3. 1 維持管理で出来ること

埋立開始から廃止までの期間に出来る維持管理の基本は安全・安心の環境管理と維持管理費の低減化のための埋立管理である。日常の維持管理の中で最大の課題は①浸出水の適正処理、②悪臭・可燃ガス発生抑制であり、これまでは発生した浸出水の処理とガス発生対策に主眼が置かれ、常に受け身の維持管理となっている。

最近の埋立地の管理は「水との戦い」と言われるほど、梅雨時期や融雪時期及びゲリラ豪雨等への対応次第で、浸出水量が大幅に増大し浸出水の処理能力を超えることで、一時的に内部貯留をせざるを得ない事態となっているケースが多い。この結果として、埋立地内部は滞水による嫌気的狀態となり、浸出水の悪化と可燃ガスや悪臭の発生の原因となり、敷いては維持管理費の増大に繋がっている。

このため、日常の維持管理で求められることは下記の要件である。

〈管理目標〉

- ①流出する浸出水がきれいになること。
- ②可燃ガス・悪臭等の発生を抑制させること。

〈そのための手段：水との戦い〉

- ①ゲリラ豪雨への対応 → 埋立計画と雨水排除対策の同時計画
- ②現場での工夫と応用 → 好気性領域の拡大、雨水排除、浸出水の簡易処理

〈得られる効果〉

- ①横引きガス抜き管の併用 → 埋立地内部をより好気的雰囲気確保
- ②徹底した雨水の排除 → 浸出水発生量の削減 → 浸出水の適正処理
- ③浸出水の簡易処理の導入 → 浸出水の汚濁負荷の低減

埋立地の運営・管理の中で重要な点は、法規制を遵守した環境管理を実施しながら、高度な浸出水処理施設の運転管理とそのために必要な維持管理費増大の抑制がポイントとなってくる。このため、埋立地における「浸出水の効率的な処理」の実践は、埋立地から流出してくる段階で浸出水水質を良質化させるための埋立管理や、浸出水処理のための維持管理コストの低減化を図る事である。具体的には①埋立地内で汚濁物を分解させ、浸出水中の汚濁物（BOD、COD、TNなど）が流出してくる時点で可能な限り低濃度化させる、②浸出水の発生量を極力抑制する、③浸出水処理施設の適正・簡素化である。

従って、「最終処分場の浸出水処理」とは単なる「処理」ではなく、最終処分場において日常の埋立作業（維持管理）担当者が①と②を、浸出水処理担当者が③へ対応することで、「安定した浸出水処理」に対応した維持管理が可能となってくる。

本報では、雨水排除対策の効果と浸出水の簡易処理等により浸出水の良質化等によって、維持管理コストの削減を可能にした維持管理事例等を紹介する。

3. 2 雨水排除対策による浸出水量削減

埋立地は「水との戦い」と言われ、浸出水の水質の悪化防止や可燃ガスの発生を抑制する手段は、埋立地内部に滞水させない事が必須条件であり、その対策として雨水の徹底した排除による浸出水発生量の削減である。浸出水発生量の削減は浸出水処理施設の汚濁負荷と維持管理費の低減化に大きく寄与するため、埋立地の雨水排除対策は埋立年次計画と並行して雨水排除計画を作成し、維持管理の中で最大限の雨水排除対策を実施する必要

がある。図5に埋立地における雨水排除事例を示した。雨水排除は現場施工の簡便さを利用して①埋立が終了した最終覆土エリア、②現在埋立中エリア内の中間覆土を施工したエリア、③未埋立エリアで、埋立地の維持管理計画の中で表流水として排除する工夫をすることで、浸出水の発生抑制を可能にすることができる。また、最近のゲリラ豪雨など予期しない天候に対応するための手段として、一部の埋立地ではブルーシートなどを用いた簡易な雨水排除対策や、埋立地内に表流水を貯留する仮設の雨水調整池や、内部滞水を抑制する

仮設の浸出水調整池などを設け、極力、埋立地内の廃棄物層に滞水しない工夫が施され、浸出水発生量の削減と内部滞水抑制による水質悪化防止対策を、各々の埋立地で創意工夫しながら対処している。

写真3は中間覆土の代用として埋立地全面にブルーシートを敷設し雨水を排除している事例や、現在埋立中の埋立エリア内で埋立が終了した部分にブルーシートを敷設し雨水排除している事例である。また、プラスチックフィルムはブルーシートの耐久性を考慮し、中間覆土の代替材として約

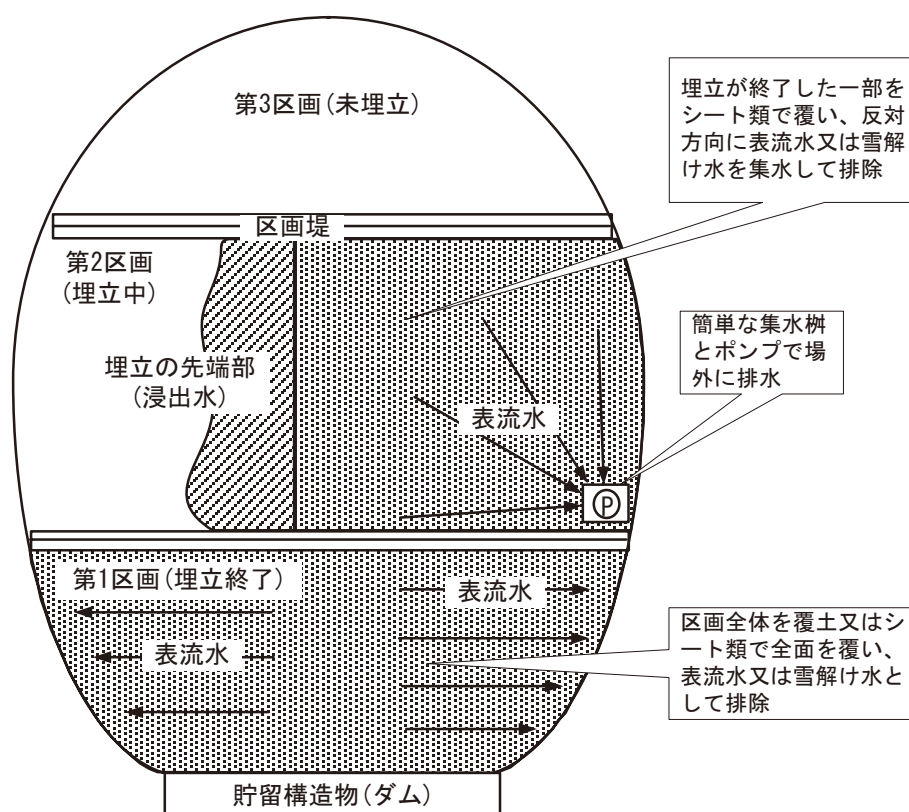


図5 埋立地における雨水排除手法例



写真3 ブルーシートやプラスチックフィルムを用いた雨水排除事例

1 haに施工し、雨水の徹底した排除を行っている事例である。

ここで、埋立地における雨水排除方法として①中間覆土・最終覆土を用いた場合、②ブルーシートを用いた場合、③プラスチックシートを用いた場合の雨水排除効果を検証するため、福岡市と共同で雨水排除実験を行った結果⁵⁾を図6に示す。

実験期間中に排除した雨水の累積量から得られた累積雨水排除率は最終覆土の場合（図中の赤、緑、水色）が60%前後、ブルーシートを用いた場合（図中の黒色）が設置直後は90%以上であるがシートの劣化に伴い最終的には60%強、プラスチックフィルムの場合はシートの劣化はなく排除率が90%以上の結果が得られている。

このように、各々の埋立地の諸条件下で各種の雨水排除対策を実施することで、浸出水の処理量を削減出来ることは、浸出水処理とコスト削減には非常に効果的であると言える。

3. 3 浸出水の簡易処理による汚濁負荷削減とコスト削減

埋立地の浸出水処理は維持管理計画書に記載された処理水の規制値を遵守するため維持管理費が大きくなる傾向にあり、コスト削減は埋立地の命

題となっている。そこで、埋立地から流出した浸出水を浸出水処理施設に送水する前に、低コストで簡便な手法を用いて浸出水処理施設の汚濁負荷低減とコスト削減を目的に浸出水の水質改善を図ることも維持管理として重要である。

浸出水（埋立地） → 簡易処理による浄化（集水ピット等） → 浸出水処理施設

ここでは、①浸出水集水ピットと循環柵を用いた浸出水の水質改善事例、②浸出水集水ピットとエアーインジェクターを用いた浸出水の水質改善事例、③浸出水集水ピットを用いたトルネード変法による浸出水の改善事例について紹介する。

（1）循環柵を用いた浸出水集水ピット内の浸出水の水質改善事例⁶⁾

「循環柵による浸出水の水質改善」は福岡大学が提案してきた循環式準好気性埋立の応用例であり、浸出水集水ピットに隣接した埋立エリアに設置した循環柵（10cm以上の栗石を用いた槽）と0.4kW程度の水中ポンプを用いて、浸出水集水ピット内の浸出水を連続又は間欠的に循環柵に散水し、浸出水量の削減と水質浄化を図る手法である。

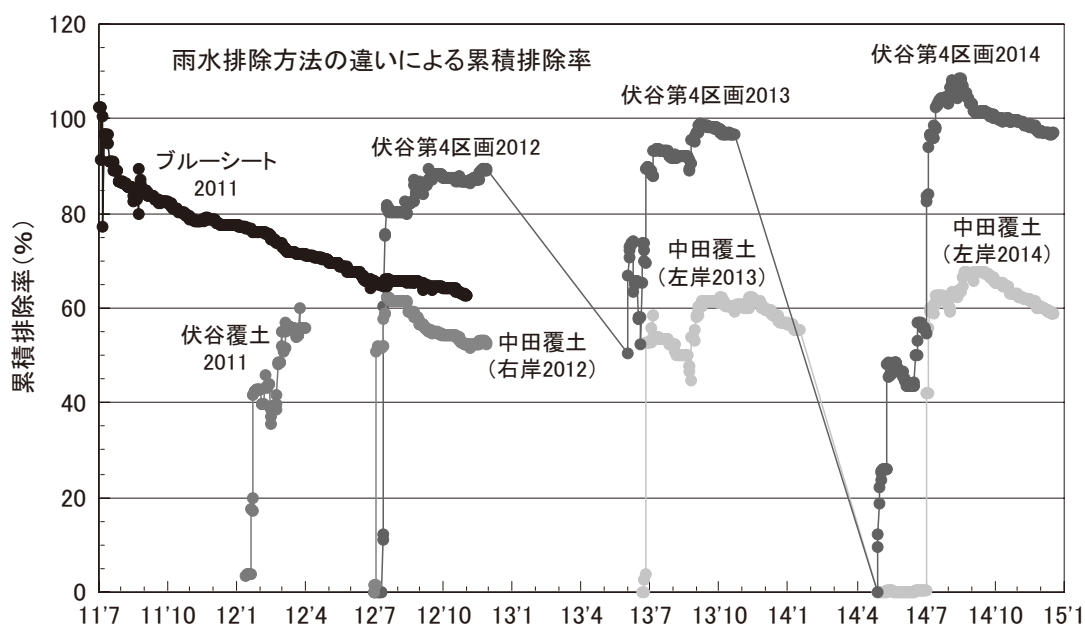


図6 各種雨水排除材による累積排除率の違い

同処理法は写真4に示すような浸出水集水ピットに集水された浸出水を循環柵に循環する手法であり、夏季期間中は循環柵中の栗石が熱くなり、浸出水が栗石表面部で蒸発し、浸出水処理施設へ送水する浸出水が無くなる現象が発生した（図7参照）。また、浸出水の循環柵への循環によって、浸出水中のBODが循環開始から半年間で処理さ



写真4 循環柵による浸出水の浄化事例

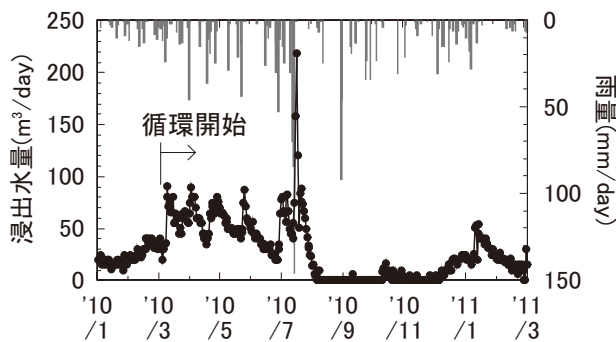
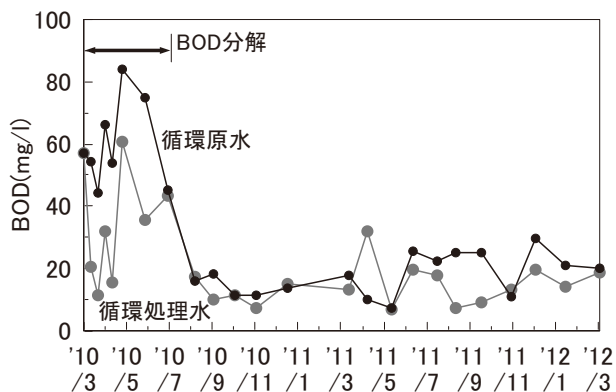


図7 浸出水発生量と降雨量



れ、その後CODが分解処理される結果が得られた（図8参照）。更に、TNは1年後から硝化・脱窒反応が起きる状況となっていることから、埋立地から流出した浸出水を浸出水集水ピット内である程度処理されていることから、浸出水処理施設での汚濁負荷が大幅に削減される効果が確認できている。

（2）エアーインジェクターを用いた浸出水集水ピット内の浸出水の水質改善事例⁷⁾

浸出水集水ピット内は一部で汚泥が堆積し、浸出水は淀みのある状態で貯留されているため、ピット内に流出してきた浸出水の水質が一時的に嫌気的な状態となり水質が悪化する傾向にある。このため、浸出水集水ピット内に貯留された浸出水の水質を出来る限り好気的な状態に改善する手段として、0.7kW程度の中ポンプと空ペットボトル等を活用した「エアーインジェクター」を製作し、浸出水集水ピット内の浸出水を好気的環境に保ち、低コストで水質改善を連続的に図る手法である。同法はピット内で①浸出水を攪拌による淀み（嫌気的雰囲気）の解消、②インジェクターを用いて空気を取り込み、浸出水を攪拌と同時に曝気することで、好気的雰囲気に解消する手法である（写真5参照）。

エアーインジェクターの稼働は浸出水集水ピット内で連続稼働させることで、浸出水中のORP値を負値（還元雰囲気）から正值（好気的雰囲気）に変化させ、同時に浸出水中のDO濃度を6 mg/l前後で維持する事が可能である。更に、同ピット

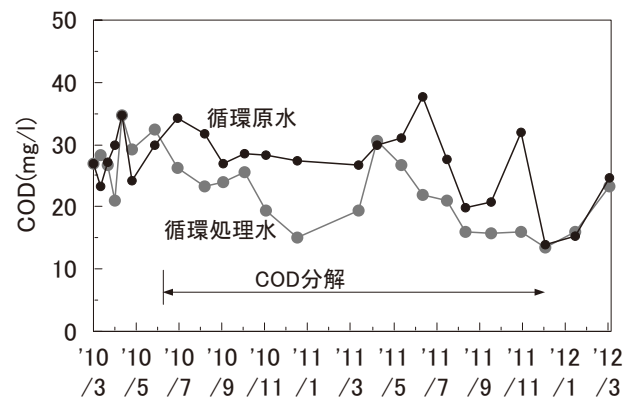


図8 循環柵による浸出水中のBOD、CODの処理効果

内で臭気と共に微量発生する可燃ガス等の発生を抑制する効果も得られている。しかしながら、浸出水中のBOD、COD等が短期間で浄化されることはないが、長期稼働によって徐々に浄化される傾向にある。更に条件次第では、集水ピット内に

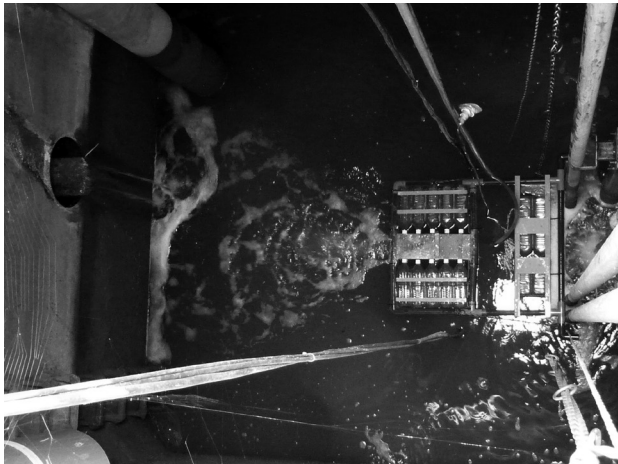


写真5 エアーインジェクターによる浸出水の浄化対策

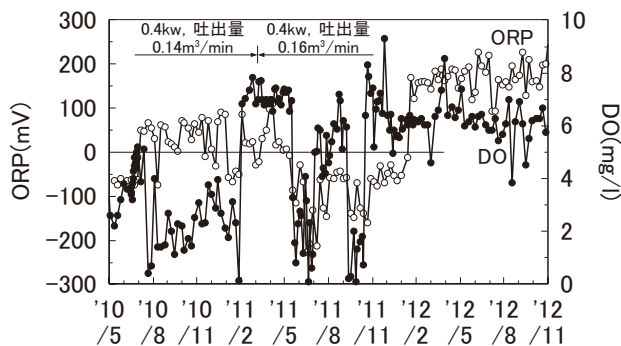


図9 浸出水の中のDO濃度とORPの経時変化

嫌氣的部分と好氣的部分が共存し、窒素の生物的脱窒現象も起きている可能性もある（図9・図10参照）。

（3）浸出水集水ピットを用いたトルネード変法による浸出水の改善事例⁸⁾

トルネード変法は福岡大学の基礎研究を基に管理型処分場で実証した事例である。同法は浸出水集水ピットからポンプアップした浸出水を、浸出水貯留タンクに一旦貯留後に、浸出水は一定量を浸出水処理施設に送水し、残りの浸出水量を再度浸出水集水ピット内に返送しながら、埋立地内から集水された浸出水を集水ピット内で攪拌と曝気により浄化する手法である。同法による浄化効果は浸出水中に200mg/l前後あったBOD、CODが、1年後には集水ピット内の浸出水は20mg/l前後まで良質化する傾向にあった（図11参照）。その結果、浸出水処理施設へ送水した浸出水は簡易処理

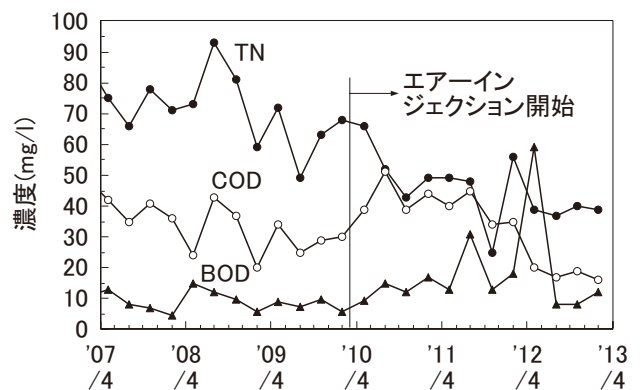


図10 浸出水中のBOD, COD, TNの経時変化

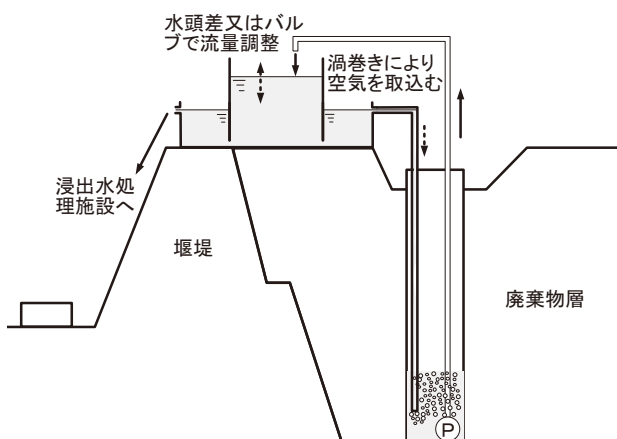
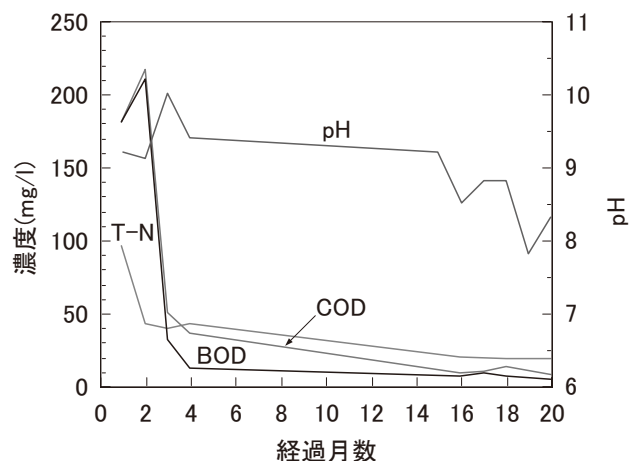


図11 トルネード変法と浸出水の浄化効果



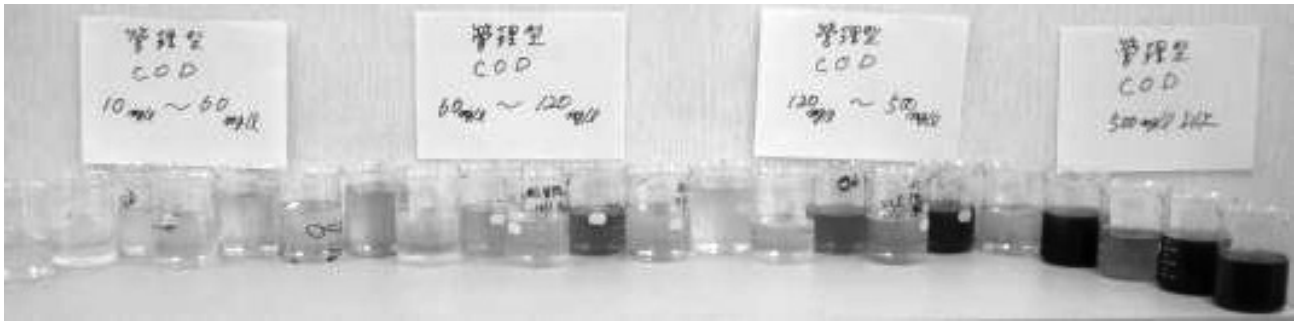


写真6 管理型処分場の浸出水の一例

のみ処理を行い放流できる状態まで改善でき、薬剤等の使用が殆どなく、浸出水処理に係る維持管理コストが大幅に削減できた事例である。

4. おわりに

廃棄物最終処分場の環境保全は浸出水の適正処理を主体に、発生ガス対策、埋立地の早期安定化と廃止であり、そのためには、最終処分場の「生命線」である適切な底部集排水管の構造の確保が重要となる。そして、安全・安心な最終処分場として管理運営するためには、長期に亘る適切な維持管理を堅持できるかが、大きなポイントとなる。写真6には産業廃棄物の管理型処分場から発生した浸出水の一例⁸⁾を示したが、流出する浸出水も

埋立廃棄物の違いや維持管理等の諸条件によって大きく異なるが、埋立期間中及び廃止までの維持管理費にも大きく影響してくることになる。

このため、廃棄物最終処分場の安全・安心な管理運営は埋立開始から廃止を目指した埋立管理を長期に亘って実施していくことが重要であり、そのためには、最終処分場の早期廃止と総合的な維持管理運営費の削減を目指した、プロ集団による最終処分場の「維持管理のあるべき姿」に向かって、維持管理技術者及び作業員への教育・研修を積極的に進め、常に、実践による全体でレベルアップしていくことが、最終処分場の維持管理の最大の目標と考える。

〈参考文献〉

- 1) 柳瀬, 松藤ら; 準好気性埋立地における空気の流れに関する考察, 第21回廃棄物資源循環学会, pp539-540, 2010.11
- 2) 松藤; 準好気性埋立構造の空気流動メカニズム, 第26回廃棄物資源循環学会, 埋立処分部会資料, 2015.9
- 3) 柳瀬, 松藤ら; 浸出水の水温と水質を用いた埋立地の安定化の判定手法に関する研究, 廃棄物資源循環学会論文誌, Vol.22, No.5, pp298-305, 2011
- 4) 福岡市環境局; 平成16年度ごみの効率的埋立処分調査
- 5) 柳瀬, 松藤ら; 埋立地における雨水排除方法の違いによる排除効果, 第25回廃棄物資源循環学会, pp441-442, 2014.9
- 6) 小林, 柳瀬ら; 循環槽を用いた浸出水の簡易浄化法に関する研究, 第25回廃棄物資源循環学会, pp471-472, 2012.10
- 7) 塚本, 柳瀬ら; 小型可搬式曝気装置を用いた浸出水の簡易処理による低コスト化と汚濁負荷の低減, 第35回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集, pp218-220, 2014.1
- 8) 全国産業廃棄物連合会; 産業廃棄物最終処分場の環境管理, 2010.3