

最終処分場の設計・管理において 今後考えるべきこと

松藤 敏彦

北海道大学大学院工学研究院
環境創生工学部門廃棄物処分工学研究室 教授

1. 埋立地管理の近代化の歴史

オープン・ダンプがいまだに多い途上国と較べて、先進国の埋立は工学的に管理された衛生埋立である。しかし日本において戦後の埋立地は、処分場としての管理は行われていたが外見的にはオープン・ダンプと変わらない状態が続いていた。1965年に東京都の夢の島で起きたハエ騒動は、不衛生な状態の代表的な事件である。

わが国の埋立地近代化が始まったのは、1970年のいわゆる公害国会において廃棄物処理法が制定されて以降のことである。この翌年埋立地の処分基準ができたが「浸出水によって公共水域や地下水が汚染される恐れがある場合は、必要な措置をとる」との記述にとどまり、具体的な構造などは示されなかった。埋立地の構造や管理の基準ができたのは1977年であり、しゃ水工を設けること、集められた浸出水を排水基準を満足するよう処理することが義務づけられた。すなわち、日本における近代的な埋立地の歴史は、まだ30年程度にすぎない。

さらに、長い間シートは一枚であり、旧厚生省、各自治体は絶対に安全であると住民に対して説明していた。ところが、処分場からの漏水が明らかとなり、国は1998

年に全国一斉に不適正処分場調査を行い、同年構造基準・維持管理基準を強化して、2重しゃ水を標準とし、地下水モニタリングを義務付けた。欧米のしゃ水はすでに2重しゃ水を選択肢にあげていたので、シートが一枚では危険ということはないが、欧米並みのレベルとなったのはつい最近のことといえる。

40年前までならば、ただ埋めていればよかった。しかし埋立地の衛生面向上から始まった近代化は、環境影響の最小化、埋立地管理期間の長期化を防ぐための安定化促進、そして住民に対する安全安心の確保と、目標が高度になってきている。そうした課題を満足するにはどうしたらよいか。本稿では、埋立地の構造と安定化の2つの面から、今後どのようなことを考えなければならないかを筆者の意見として述べる（ただし、一般廃棄物処分場の経験に基づいている）。

2. 埋立地構造の考え方

(1) 嫌気性と好気性

埋立地における有機物は、好気的あるいは嫌氣的に分解される。準好気性埋立の採用によって、日本の埋立は欧米とは違うと考え

られてきた。すなわち、「日本は準好気性埋立、欧米は嫌氣的埋立である。欧米は密閉型で降雨を排除し、日本は降雨の浸入を許す洗い出し方の埋立地である」との理解である。空気を入れる工夫をしなければ埋立地の内部はどうしても嫌氣的となるが、日本はそれとは違う独自の方法をとっているということである。ところが、1990年代後半から、欧米ではどんどん日本に近い埋立地を研究対象とするようになってきた。

有機物を含む埋立地が嫌氣的になるのは避けられない。しかし安定化までに時間と費用がかかるため、古い埋立地にガス抜き管を打ち込み、空気圧入と抽出を交互に行って好気性化を図る試みがある。好気性というコンポスト化のように大量の空気を送り込むことを想像するが、空気の圧力はさまざまであって、ごく低圧での運転もある。一方、北米を中心にバイオリアクターの研究が進められている。これは、微生物分解を促進するために浸出水あるいは淡水を循環し、廃棄物層の水分を高く保つもので、水分のみを制御する嫌氣的バイオリアクターから始まったが、水分とともに空気を送り込む好気性バイオリアクターもさかんに研究されている(図1)。浸出水量を減らすために、従来は欧米の埋立地はカバーをして、水を入れない構造をとっていた。ところが水も空気も入れるようになってきたのであり、日本の埋立地に近づいてきている。

これらの関係を、図2に示す¹⁾。右下の「嫌氣性埋立」は空気の供給方法を持たない埋立地であり、オープン・ダンプが該当する。何の制御も行わないので、水分の変動幅は大きい。欧米で中心的であった「封じ込め埋立地」は、図の左下に位置する。水分が低いため微生物活動が停止し、廃棄物が分解せずに長期間とどまるので Dry Tomb (乾燥した墓) あるいは Dry Landfill と呼ばれている。強制的な送気(エアレーション)を行う好気性埋立は、図の右上となる。プロアの運転にエネルギーを消費するために実例はほとんどなかった

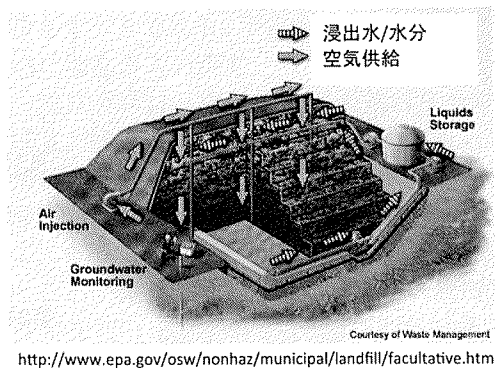


図2 水分、好気/嫌氣状態による埋立地の分類

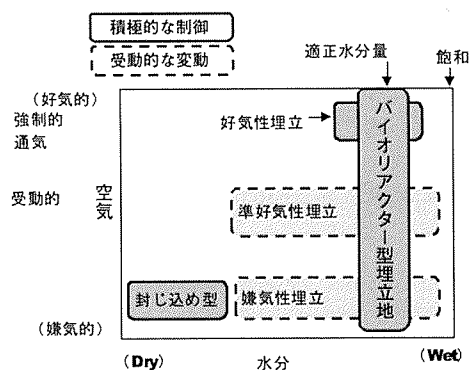
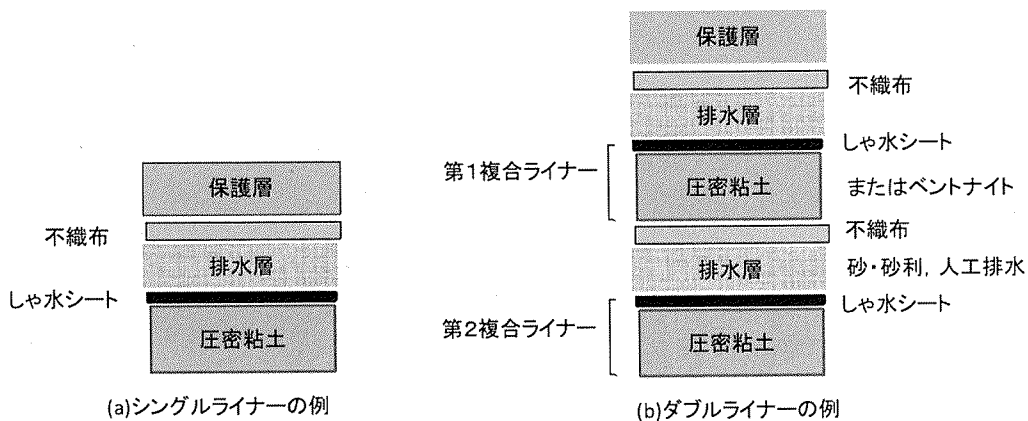


図2 水分、好気/嫌氣状態による埋立地の分類

が、バイオリアクター埋立地のひとつとして現実的なシステムとなり、上述のように低圧送気の好気性埋立も研究されている。バイオリアクターは嫌氣タイプもあるので、縦軸に沿って広がり、水分を一定範囲に制御することが特徴である。欧米では図の左下から右上に向かう傾向にあるが、日本の準好気性埋立は受動的ではあるが好気性を目指し、また水分を供給する(同時に洗い出しも行う)埋立地でもあり、図の中間に位置づけられる。すでに欧米が目指す方向にあったといえる。

すなわち、埋立地を嫌氣と好気にはっきりと二分することはできないということである。準好気性埋立地は、すべてを好氣的にするのは最終段階のみであり、好気領域と嫌氣領域の両方が存在し、徐々に好気領域を拡大する方法である。嫌氣性埋立地も、内部は嫌氣的であるが大気に近い部分では



G.Tchobanoglous, H.Theisen, S.A.Visil: Integrated Solid Waste Management, Mc-Graw-Hill, 1993, p.434の図を和訳

図3 米国における表面しゃ水構造の例

好氣的になる。埋立地の研究では模擬埋立地を用いることがあるが、準好気性埋立と嫌気性埋立を模擬しようとしたら、後者に表面から空気が侵入して嫌氣的にできなかったという話を研究者仲間から聞いた。重要なことは、埋立地における嫌気領域と好気領域の割合の制御であり、そのために適切な構造とするかである。

(2) しゃ水構造の意味

1998年の構造基準強化によって、日本ではしゃ水シートの二重化が標準となった。しかし、これは欧米のダブルライナーとは異なっている。欧米では、しゃ水シートがいつか必ず漏れることを前提としている。そのため、漏れたあとのリスクを最小化するためにバックアップとして第二のしゃ水層を設置するのである。第一のシートが漏れたことを検出するために、中間に排水層を設け、漏出した浸出水の回収も可能となっている。「ダブル」とは、このような意味である。図3の左は、しゃ水シートと圧密粘土を重ねているが、これは複合ライナーと呼ばれ、2重とは数えない。右がダブルライナーの例であり、2つの複合ライナーの間に排水層がある。

処分場のパンフレットを見ると、シート、ベントナイト層、シート間の不織布などすべて含めて4重、5重の構造であると書かれていることがある。たしかに層の数としてはその通りだが、欧米の「ダブル」の意味

が誤解されている。日本の二重シートは、シート+粘土、シート+アスファルトコンクリート、シート+不織布+シートであり、いずれも一重の複合ライナーである。シートに挟まれた不織布は単に保護のためであり、漏水検知、浸出水回収には役立たない。二重シートの中間で検出するのが、合理的である。

シートに穴があいた場合、漏水量はしゃ水シート上の浸出水による水圧に比例する。そのため、欧米には浸出水深さを1フィート(30cm)以下とするとの考えがある。つまり、しゃ水構造のよさ以前に、水をためないような排水が重要であるが、しゃ水構造が熱心に議論されているのに較べて、排水施設にはあまり注意がはらわれていないのではないだろうか。排水能力が不十分なため、いつも内部に滞水している埋立地は少なくないと思われる。しゃ水構造を強化するのは間違いではないが、目的が漏水を最小化すること、そのためには内部にためないことが重要だということの理解が必要である。

3. 埋立地の安定化状態の推定

(1) 安定化状態推定のためのモニタリング

埋立地においては、日常的に点検が行われている。それらには構造物、雨水排除、しゃ水工などの構造物の点検と、浸出水放流水、地下水などの環境保全機能が健全であるかどうかの点検に分けられる。しかし、廃棄物

の安定化がどれだけ進行しているかを知るための点検も重要である。なぜなら安定化が滞ると維持管理費用が増大するので、いつ廃止できるか、どうすれば安定化を早くできるかを考える必要があるからである。

埋立地は、その内部を見ることができない。内部の状況を知るもっとも直接的な方法は、掘り起こしてサンプルを採取し、分析することだが、ボーリング掘削が必要であり、埋立地内の不均質性のために多数のサンプリングを要し、現実的でない。浸出水、ガスなどを通して内部を推定するしか方法がない。維持管理基準で測定が義務付けられているのは、放流水質と、漏水の有無を知るための埋立地上下流での地下水質のみである。これらは環境への影響を知るには重要だが、放流水よりは浸出水原水の水質こそが重要であり、埋立ガスも重要である。

以下に、測定すべき項目を挙げてみる。なお筆者らは平成 22～23 年度に、全国の一般廃棄物最終処分場のうち、埋立面積 1ヘクタール以上の準好気性埋立地 459 か所(回収率 52%、238 施設)に対してアンケート調査を行った。以下で用いる数値は、この調査結果である。

(2) 区画別の浸出水測定

浸出水は、埋立が終了すると次第に濃度が低くなり、最終覆土施工後は水量も減少する。この浸出水量と水質は、埋立地の安定化度合いの有効な指標になる。筆者らが以前調査を行った産業廃棄物埋立地²⁾は 5つの区画を持ち、20 年間で順次埋立を続けた。それぞれの区画から浸出水を採取することができれば、経過年度別に安定化度合いの推定が可能であった。ところが、すべての浸出水は一か所に集められて処理施設へ送られており、途中で採水することもそれぞれの流量を知ることができなかった。上記の調査では、54%の処分場が複数区画を持っていた。浸出水量、水質が区画別に測定されているかどうか尋ねていないが、浸出水の処理を行うための効率性だけでなく、区画埋め立てをするならば、区画ごとの浸出水を別々に計量・測定する構

造とすべきである。

(3) 埋立ガスの測定

埋立ガスは、有機物分解の進行度合い、好気/嫌気状態を知るために、大変有効な情報を与えてくれる。例えば、メタンガス発生量が多いならば、内部は嫌气的であって、有機物も多く残っていると考えられる。ところが、ガス抜き管におけるガス濃度の測定を行っていたのはわずか 23%であった。測定している施設のうち、約 8割はメタンガス、酸素、二酸化炭素を測定していた。

またメタンガス濃度が高いことは、ガス発生が盛んであることとは直接関係がなく、流量を測定して排出量を求めなければならぬ。管内にガスがたまっているだけでも知れないからである。ところが、ガスの発生があるかどうか聞いたところ、なし 44%、ある 32%、わからない 23%であった。「ある」と答えている施設は、「においがする、手をかざすと流れを感じる、陽炎が見える」などの感覚的なものであり、風速等を測定しているわけではない。「わからない」も 23%と高いことから、埋立ガスに対する意識が低いことがわかる。有機物分解によって発生するメタンガス、二酸化炭素の排出量を推定すると、分解が終了に近づくにつれて排出量が減少していくだろう。浸出水中の BOD も同様に流出量を推定しておけば、両者を合わせて有機物分解の進行が把握できる。

埋立地内部で好気性分解が起こると、温度が上昇する。したがって温度も埋立地内部状態を知るよい指標であるが、測定を行っていたのはわずか 23%であった。内部のモニタリングとして、埋立ガスはもっと重視すべきである。

(4) 準好気性構造の健全さ

準好気性埋立地は、集排水管とガス抜き管が連結され、空気の流れが生じるようにどちらも端部が解放されている必要がある。しかし図 4 のように集排水管末端が水没していると、空気が流入することができない。環境省による一般廃棄物処理実態調査においても、末端水没の有無が項目に加

えられ、平成 21 年度調査では準好気性埋立地の 36% (1 ヘクタール以上) が末端水没であった。図 5 は上記調査では水没の頻度を尋ねた結果であり「いつも水没」は 15%、「ときどき水没」は 38%であった。「いつも水没」は平地 (24%) の

方が山間 (12%) よりも割合が高かった。常に水没している割合は環境省調査より少ないが、「ときどき」を含めると逆に大きくなる。「いつも」水没している施設は、山間では設計、平地では水処理の能力と答えた割合が高かった。「ときどき」水没と答えた施設は、山間、平地ともに水処理能力を理由として挙げた割合が高い。

また、事前の調査でガス抜き管に蓋がされている例が見られたので、蓋があるかどうかを尋ね、「あり」の場合には蓋の種類を答えてもらった。その結果、36%の埋立地でガス抜き管に蓋がされていることがわかった。蓋の種類は、粗い網目もあったが、大部分は穴なし、小さな穴あり、細かい網目であった。これらによって空気の流通は困難になる。集排水管末端が「いつも水没」

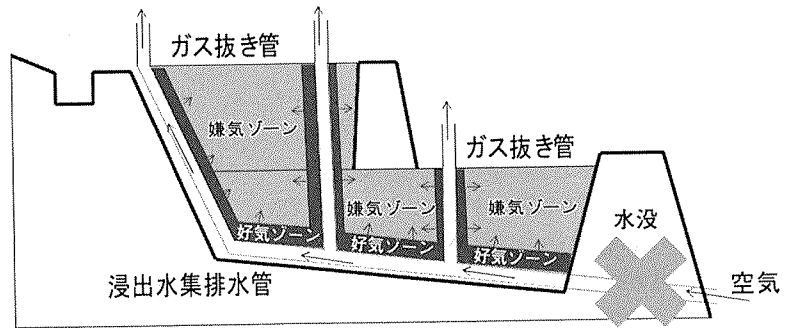


図 4 浸出水集排水管末端の水没

である処分場の割合は上記のように 15%であったが、水没とガス抜き管の蓋のいずれかがある埋立地は全体の 48%となった。

埋立地の構造を「準好気性」としている埋立地であっても、その機能を果たしていないならば嫌気性埋立地になってしまう。集排水管末端、ガス抜き管の末端をどちらも開放することが重要だが、透気係数の小さい覆土を用いると好気化を阻害するかもしれない。水の浸透、空気の供給をどのように制御すべきか、そのためにはどのような覆土とすべきかは、今後の重要な研究課題である。

参考文献

- 1) 松藤敏彦, 田中信寿: 持続可能な埋立地をめざす早期安定化戦略 - 欧米における研究のレビューとわが国の位置付け -, 廃棄物学会誌, 16(1), pp.34-41, 2005
- 2) H.J. Kim, T.Matsuto, and Y.Tojo: An investigation of carbon release rate via leachate from an industrial solid waste landfill, Waste Management Research, 29(6), 612-621, 2011

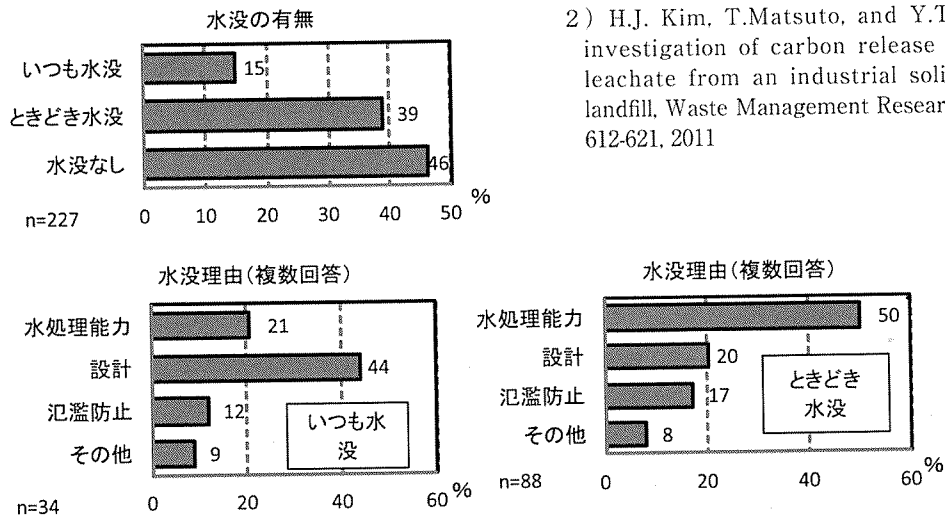


図 5 一般廃棄物準好気性埋立地の浸出水集排水管末端水没とその理由