

最終処分場を考える

Ⅱ 最終処分場におけるしゃ水システムのあり方

松 藤 敏 彦*
Toshihiko MATSUTO

1. はじめに

廃棄物最終処分場に関して、住民の最大の心配は浸出水漏出による地下水等の汚染であり、建設反対の強い理由となる。建設側は住民の理解を得るため、しゃ水を高度化して安心度を高めようと努力する傾向がある。しゃ水を何重にもし、厚くし、漏水検知を設けるとリスクは低下するが、費用は増大する。しかし費用対効果、すなわち建設費・維持管理費の増加に見合うリスク低減効果があるかが評価されないため、高度化には際限がないように見える。

施設の高度化によってどれだけ安全性が増すかは、リスク評価に基づき判断しなければならないが、それ以前に「しゃ水の目的とは何か、どのような考え方によって設計されるのか」の合意が必要である。本稿では、日本の現状を欧米における設計基準と比較し、しゃ水の意味を再考するとともに、科学的合理性を持つ設計とはどのようなものかを考えたい。

2. わが国における埋立地規制の変遷

2. 1 法規制の変遷

まず、しゃ水構造がどのように変わってきたかを整理すると表1となる。まず1971年の廃棄物処理法制定により処分基準が制定されたが、しゃ水など構造の具体的な記述はなかった。1977年の共同命令（技術上の基準）は構造基準と管理基準を定め、しゃ水工と浸出水処理施設が明記された。その具体的内容は、1989年の廃棄物最終処分場指針解説¹⁾（以下指針解説）で初めて掲載された。そして1998年の基準省令（共同命令改正）において構造基準、維持管理基準の強化があり、放流水・地下水検査方法の明確化とともにしゃ水工の強化（二重化）が義務付けられ、廃止基準も定められた。基準省令は、同年に実施された全国調査によって不適正処分場が多く見出されたことを背景としている。つまりしゃ水工については、最初に具体的構造が示されたのが30年前、二重化が標準とされたのが20年前である。

2. 2 しゃ水工の種類

以下では、1989年の指針解説、基準省令以降に発行された廃棄物最終処分場整備の計画・設計・管理要領²⁾

*北海道大学大学院

表1 しゃ水に関する規制の変遷

1971年	処分基準	浸出液によって公共の水域及び地下水を汚染するおそれがある場合には、必要な措置を講ずること	構造等の具体的記述はなし
1977年	共同命令(技術上の基準を定める命令)	埋立地からの浸出液による公共の水域及び地下水の汚染を防止するために次に掲げる措置が講じられていること	構造基準、維持管理基準を定める。しゃ水工、浸出水集排水施設を設けることが記載。具体的構造は、1989年「指針解説」
1998年	基準省令(共同命令改正)	しゃ水工の強化・明確化、放流水水質検査の項目・方法・頻度、放流水排水基準を強化、周縁地下水水質検査の項目・方法・頻度	しゃ水の二重化が規定された

(以下設計要領)から引用する。

わが国のしゃ水工は、難透水性地盤がある場合に用いる鉛直しゃ水と、埋立地底部を覆う表面しゃ水に分類されているが、欧米でのしゃ水に相当するのは表面しゃ水であり、その分類は1988年指針解説では表2(a)のように記載されていた。アスファルト系シートは厚さ3~5mmと薄いためシートに分類されているが、舗装は5~10cm以上、粘土等を締め固めるアースライニングは1m以上とされている。(このほかに、その他として銅板が記載されている。)

1998年に基準省令によって、しゃ水工は図1に示す二重化が義務付けられた。左からシート+粘性土、シート+水密アスファルトコンクリート、シート+シートであり、しゃ水シートは表2(b)である。すなわち、表2(a)のうちアースライニングと舗装を、シートと組み合わせて図1(a)(b)となったのである。

なお、銅製矢板などによる鉛直しゃ水は欧米の文献にはなく、日本独自だと思われる。また「表面」は鉛直との対比として用いられたと思われるが、埋立地の上部を想像する。欧米の封じ込め型埋立においては最終カバーもしゃ水性能を求められ(前報⁹⁾ 3. 3節参照)、上のtop coverと下のbottom linerでしゃ水するので、「底部」しゃ水が分かりやすい。

3. 欧米におけるしゃ水工

3. 1 粘土ライナー

しゃ水工は、英語ではライナーlinerである。様々な材質とそれらの組み合わせがあるが、その基本となっているのはクレイ(粘土)ライナーである。これに対して合成樹脂等のシートはジオメンブレン Geomembrane(メンブレンは膜)とよぶ。ジオテキスタイル、ジオネットはそれぞれ不織布、合成樹脂ネットであり保護材、排水材として使用し、これらを総称してジオシンセティックス geosyntheticsとよぶ。Geoとは地質を表しており、しゃ水材料は合成樹脂のジオメンブレンと、自然素材の土壌ライナー(soil liner)に分類される。表2(a)のアースライニングは、粘土ライナーにあたる。

米国の埋立基準はRCRA(資源保全回収法)のSubtitleDの中にあり、これに対応するUSEPAの40CFRパート258³⁾において粘土ライナーの利点が以下のように述べられている。「ジオメンブレンの透水係数は非常に小さいが、完全な施工は難しく不完全な接合、傷puncture、ピンホールなどが生じる。高度に管理したとしても1エーカー(0.4ヘクタール)に直径1cmの孔があるのと同等で、もし30cmの浸出水頭が

表2 わが国におけるしゃ水工(表面)の種類

(a)1989年指針解説における表面のしゃ水工の分類

しゃ水シート	合成ゴム系	ブチルゴムにEPDMをブレンド
	合成樹脂系	軟質ポリ塩化ビニル、ポリエチレンなど
	アスファルト系	モルタル下地等の上にゴムアスファルト系の材料を吹き付け
アースライニング	粘土やローム質土を締め固め	
舗装・フェーシング	アスファルトコンクリート舗装	

(b)2010年設計要領におけるしゃ水シートの種類

しゃ水シート	合成ゴム系・合成樹脂系
	アスファルト系(シート/吹き付け)
	ベントナイト系(シート・ベントナイト複合、高吸水性樹脂など)

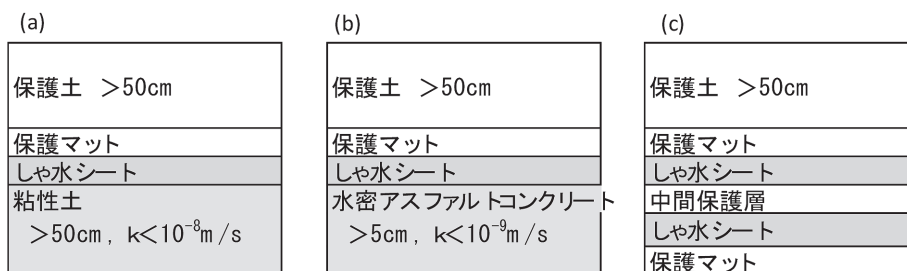


図1 基準省令による表面しゃ水工の規定(設計要領より作成)

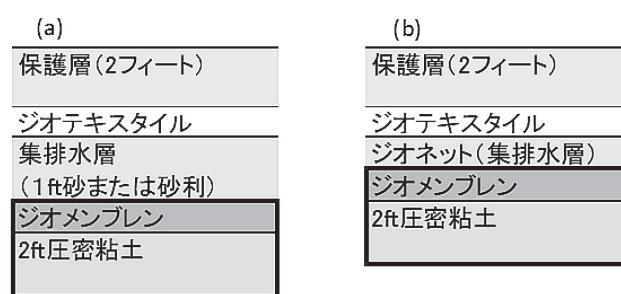
あると1ヘクタールあたり31m³/日漏出する。実測例では、この100分の1だが、やはりゼロとすることが難しい。一方粘土ライナーは十分コンパクション(転圧)すれば、2フィート(60cm)の厚さで必要な低透水性の基準を満たせ、クラック(亀裂)を最小限としてショートカットを防ぐことができる。」つまり、シートによって完全な遮断を目指すのではなく、ゆるやかな漏水は許容範囲内であるとしている。粘土は浸出水中の化学物質を吸着し、流出を抑制するとの効果も期待される。

またシートと粘土層を重ねたライナー(後述)の場合には、シートに不備があった場合にも粘土層がシールできるように、両者が密着していることを重要な要件としている。空隙がなければ、漏出可能性はその点のみに限定されるからである。このような、ひとつがダメな場合のバックアップを用意するとの概念は、次節のダブルライナーも同じである。

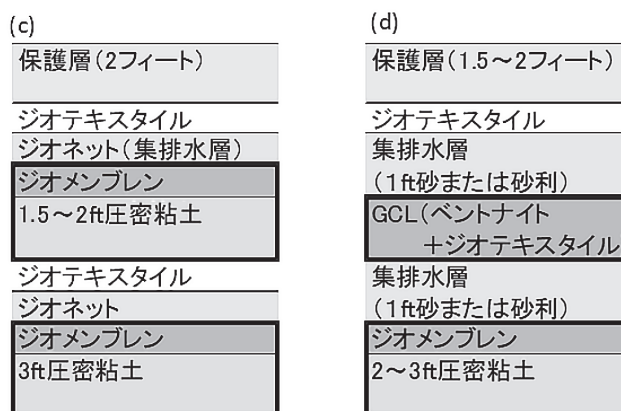
3. 2 ダブルライナー

図1はしゃ水の二重化と呼ばれているが、実は、欧米のダブルライナーとは一致しない。図2に示すのは、米国のしゃ水の例⁴⁾である。(a)(b)はジオメンブレンと圧密粘土を重ねたもので、現在はSubtitleDで必要条件とされている。これは日本では二重しゃ水と呼ばれそうだが、複合ライナー(composite liner)として一層と数え、シングルライナーである。重ねているのは、上述したようにジオメンブレンの不具合の影響を最小化するためである。図2(a)(b)は複合ライナーの上に浸出水を集めて排水Collection and drainageするための砂層またはジオネット、さらに上には保護層を置き、間に集排水層と保護層の混合を最小とするためジオテキスタイルはさむ多層(multilayer)となっている。図1と較べると、保護層とは別に集排水層を置いている点が、大きな違いである。

図2(c)(d)がダブルライナーである。(c)は複合ライナーを2つもち、その間に排水層がある。まず主ライナー-primary liner(または第一ライナー)と集排水層で浸出水を集め、主ライナーから漏出があった場合に備え、第二ライナー-Secondary liner(またはバックアップライナー)を置く。この構造がダブルライナーであり、第二ライナー上の排水層は浸出水検知プローブが置かれ、排水も可能である。なおGCLとはベントナイトをジオテキスタイルではさんだもので、ジオシンセティッククレイライナーと呼ばれている。表2(b)のベント



シングル複合ライナー



ダブルライナー

図2 米国のしゃ水例(文献4)の図を基に作成)

ナイト系シートは、これと同じと思われる。

以上の定義によると、図1(a)(b)はシングル複合ライナーである。(c)の中間保護層は、「二重シートの上下が同時に損傷しないようにおかれる不織布」なので、排水や漏出検知は目的とされていない。

3. 3 ライナーシステム

粘土ライナーは漏出をゼロではなく最小限にすることを目的とし、複合ライナーはジオメンブレンのバックアップとして粘土(他の素材もある)を重ね、ダブルライナーは主ライナーが万が一損傷した場合のために第二ライナーを用意している。このように、「ゼロではなく最少、万が一のためのバックアップ」が、欧米のしゃ水の考え方である。またライナーの上には必ず保護層と排水層を置き、「しゃ水+排水の両方」がセットとなって機能を果たすとの考えをライナーシステムと呼んでいる。ダブルライナーはこれを2つ重ねたものなので、正しくはダブル「ライナーシステム」といふべきである。

なおEUと欧米には設計基準に違いがあるようだ。どちらも複合ライナーを標準要求としているが、米国⁵⁾ではジオメンブレンまたは粘土ライナーのみの

シングルライナーも利用されている。またダブルライナーの中間におく漏水検知層に、パイプを敷きつめる方法が用いられている。EU⁶⁾では埋立地を有害(hazardous)、非有害(non-hazardous)、不活性(inert)に分類しており、有害廃棄物埋立地にダブルライナーを用いている。ただし粘土の厚さは、主ライナーが1m、第二ライナーが4mとなっており、粘土層が5m以上のシングルライナーもオプションとしている

4. 浸出水の集排水

4.1 日本

欧米のライナーシステム=しゃ水+排水の考えと較べると、日本では両者が別々に扱われ、「排水」の役割が明確でないように思われる。設計要領pp.323-332から違いをまとめてみた。

設計要領において、集排水施設は集排水管、集水ピット(バルブ)および送水管に分類されるとされている。中でも集排水管が重要であり、底部集排水管の構造例として図3が示され、材質、管径、被覆材について説

明されている。被覆材は集排水管の目詰まりを防ぐが、その周辺の浸出水はしゃ水工上の砂層を流れて集められるはずである。しかし図3ではしゃ水工を守るための「保護材」とされ、浸出水の集排水層としての役割が明確ではない。管のまわりの被覆材に較べて集排水層の説明はわずかである。p.327の表中に「砂利・碎石層(水平排水層)、ジオコンポジット(合成排水材)」が示されているが文中に説明がないし、集排水の設計因子として「しゃ水シート保護層の透水係数」を挙げているものの具体的な数値がない。

さらに、埋立地内の浸出水をどの方向に集めるかも、明確ではない。底部集排水管の配置形式として図4が示されており、分枝形は幹線に沿って勾配があれば矢印のように流れる。しかし直線形は横断面に集排水管に向かう勾配が必要だし、ハシゴ形の場合にどうしたら逆方向の流れになるのだろうか。こうした疑問が生じるのは、底部の勾配が明記されていないためである。図3の集排水管から離れたところでは、底部は水平でいいのだろうか。分枝型の説明に「横断勾配がとりに

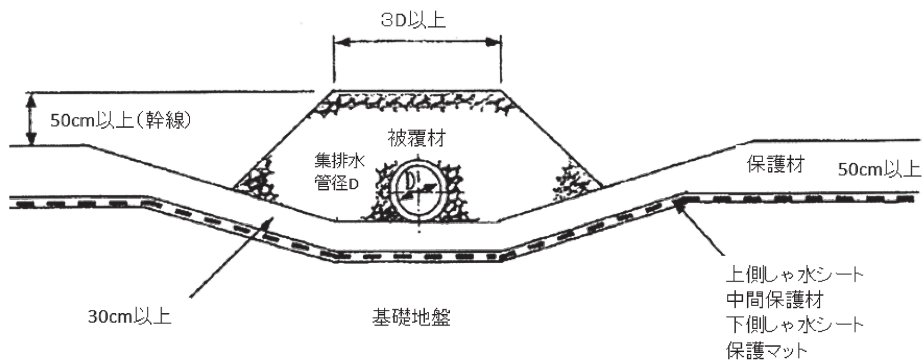


図3 底部浸出水集排水管の構造例(設計要領)

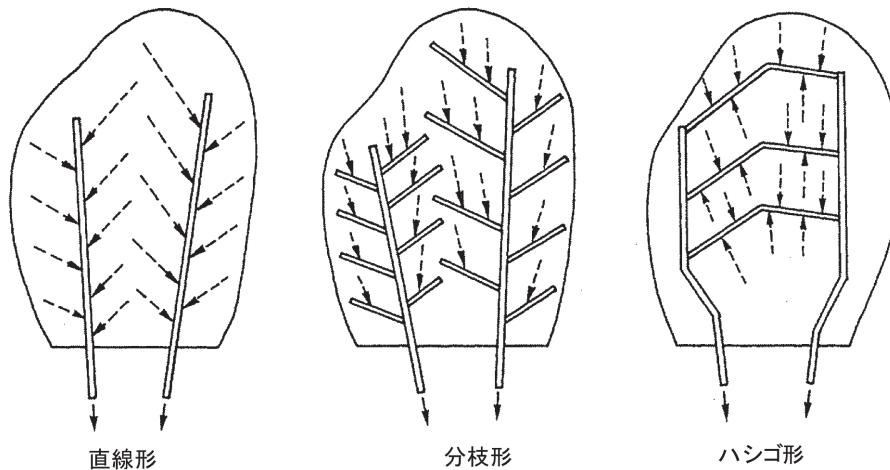


図4 底部集排水管の配置形式例(設計要領)

くい」とあるが、その説明も欠けている。

1998年の基準省令改正においてシャ水工の強化（二重化，基礎地盤の整備，遮光性不織布等によるシャ水層の保護）とともに、「立地からの保有水等の排水機能の強化」が挙げられていた¹⁰⁾。しかし構造基準に記載されたのは、「保有水等を集め速やかに排出できる耐久力を有する管渠その他の保有水等集排水設備を設ける」ことであり，埋立地全面の排水は考慮されていない。

4. 2 米国・EU

一方米国³⁾では，浸出水集排水システムは「ライナー上の浸出水頭を30cm以下とするため，浸出水を集めて埋立地外へ運ぶ」ことを目的としている。浸出水は砂あるいはジオネットの排水層によって有孔集排水管に集められ，ピットからまたは重力排水で排除する。システムの構成は，①複合ライナー，②透水性の高い排水層，③有孔集排水管，④排水層の上に置く保護フィルター層（必要に応じて），⑤集水ピットである。①→②→③→⑤の流れは，英語では，liner→drainage layer→perforated collection pipe→leachate removalと表現されている。

日本との違いは大きく2つある。第一には繰り返しとなるが，日本ではシャ水工と浸出水集排水を別々に考えているように思われるのに対し，米国ではシャ水から排水までがライナーシステムであり，全体として

の性能が重要としている点である。第二に，浸出水の集水は集排水管だけではなく，むしろ排水層の役割が重視されていることである。図5は集排水管の径，間隔を決定するためのモデルであって，パラメータは排水層の透水係数，ライナーの勾配，浸出水発生量である。集排水管で集められるので，ライナー上の水位は曲線のようになりその最大水位を30cm以下とするよう設計される。実は設計要領p. 332に図5の説明があるのだが，その他の部分とは内容的に連携がなく孤立した情報となっている。

図6は集排水管の設置例⁴⁾（米国）であり，集排水管が格子状に配置され，排水層から集排水管に集まるよう底部に勾配を設けている。図4と比較すると，どのように水を集めようとするかが明確である。（図6(a)の一部は，和訳できず空白とした。）排水層は底部全体を覆うことから，EUはDrainage blanket（排水の覆い）と呼び，厚さは50cmで透水係数は 10^{-3} m/s以上，洗浄済みの丸みを帯びた材料を使用するとしており，石灰質は不可である。ドイツでは16~64mmの碎石を用いるとのことである⁷⁾。

なお，図6(b)は集排水管を排水層より低い位置とし，周囲を砂利層で囲っているが，図7のように排水層内に集排水管を設置しているだけの図⁸⁾も多く見られる。

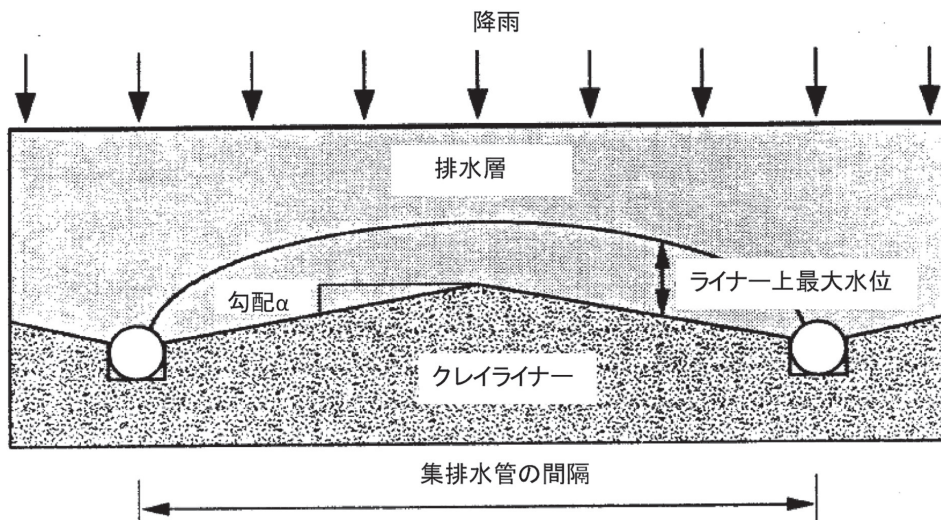
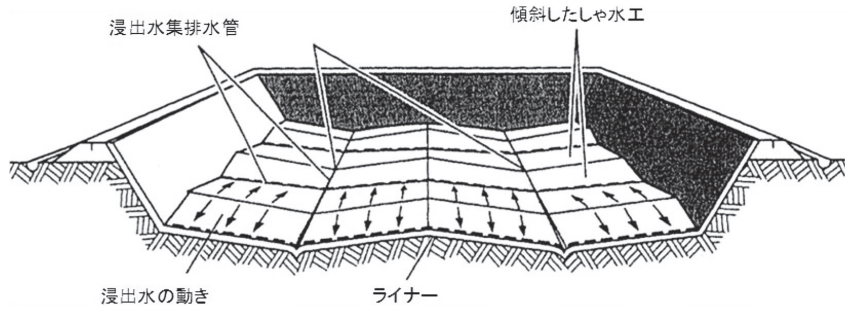


図5 集排水管設置決定のためのマウンドモデル(文献3)の図を修正)：米国

(a)集排水管の設置例



(b)集排水管の断面図

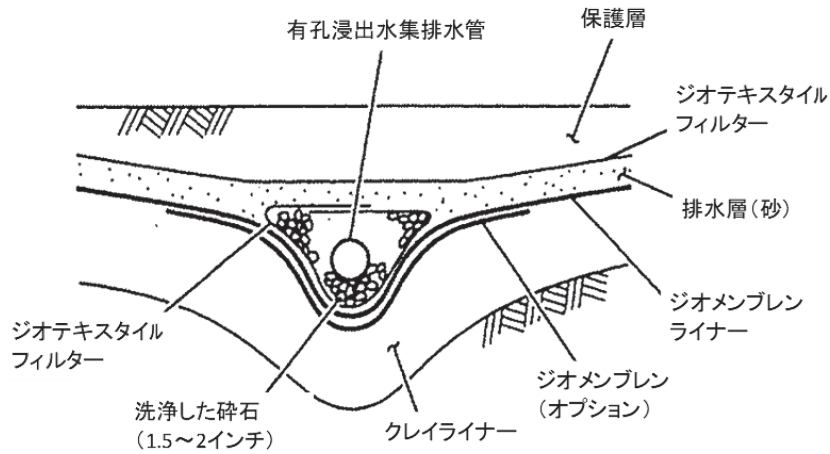


図6 浸出水集排水システムと集排水管(文献4)の図を和訳：米国

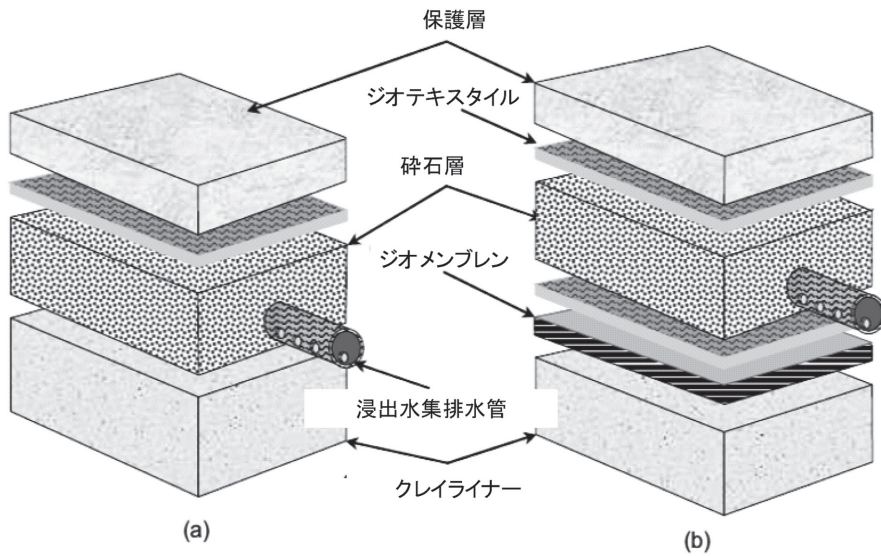


図7 底部しゃ水の例(文献8)の図を和訳：EU

5. おわりに

現在の日本では、浸出水の漏出対策がしゃ水性能のみで問われているが、浸出水がなければ漏れない。この簡単なことが、忘れられているように思う。

しゃ水を通過する水量は、「透水係数×水位÷厚さ」により決定する。本文で述べたように、「しゃ水によって浸透を防止し、排水によって浸出水の水位を低く保ち、埋立地外へ排除する」のがライナーシステムであり、これらがすみやかに連携されることで漏出のリスクが低下する。最良の方法は水位をゼロに近づけることであるが、設計要領において排水層の透水係数と勾配に関する設計方法はあいまいである。埋立地内の面積を考えれば、集排水管まわりの被覆材よりも底面全体を覆う排水層が重要であり、一定の勾配が必要である。また浸出水位については、準好気性の機能を阻害するとされる集排水管末端水没、埋立地内部の浸出水滞留は珍しくない。浸出水発生量増加時の内部貯留も、漏出リスクを高める行為だが認められている。埋立地内部の水位測定は義務付けられていないし、高水位が観測されたとしてもそのことによるリスクが理解されているとは考え難い。

日本ではしゃ水を「絶対漏らさない」、つまりゼロを目指し、漏水検知を設置する。住民の反対もそれに対する対応も、いつもしゃ水を中心に議論され、排水

や浸出水位が取り上げられることはないと思われる。これでは本来の埋立地のリスク低減が脇に置かれて、設備の高度化に向かうだけである。欧米の「漏出をできる限り小さくすることを目標とし、しゃ水と排水が一体となったしゃ水システムを設け、漏出が起こった場合のバックアップを用意する」との概念は科学的合理性があり、日本でも理解を広める必要がある。

参 考 文 献

- 1) 全国都市清掃会議：廃棄物最終処分場指針解説, 1989
- 2) 全国都市清掃会議：廃棄物最終処分場整備の計画・設計・管理要領(2010改訂版), 2010
- 3) USEPA: Solid Waste Disposal Facility Criteria, Technical Manual, 1998 40CFRパート258
- 4) G.Tchobanoglous, F.Kreith: Handbook of Solid Waste Management(2nd Ed), Mc-Graw-Hill, 2002
- 5) P.A.Vesilind, W.Worrell, D.Reinhart: Solid Waste Engineering, Thomson Learning, 2002
- 6) EPA(Ireland): Landfill Manuals - Landfill Site design, 2000
- 7) Prof. Rainer Stegmann(ハンブルグ工科大学)との意見交換。2019年2月20日
- 8) ISWA: Guidelines for Design and Operation of Municipal Solid Waste Landfills in Tropical Climates, 2013, pp.295-300
- 9) 松藤敏彦, 最終処分場を考える I 最終処分場における覆土のあり方, 都市清掃, 72(349), 2019年5月
- 10) 厚生省水道環境部: 一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める命令の一部改正について(平成10年6月16日)

廃棄物処理施設維持管理業務積算要領(平成24年度版)

編集・発行／公益社団法人全国都市清掃会議

目 次

I 編 委託の概要・起案・契約・履行要領

- 第1章 委託の概要
- 第2章 起案
- 第3章 契約
- 第4章 履行管理
- 第5章 参考資料

II 編 積算・委託歩掛

- 第1章 積算要領
- 第2章 委託標準歩掛
- 第3章 参考資料

III 編 仕様書

発 行 平成24年12月

体 裁 A 4判, 約90頁

定 価 会員: 2,057円(税込価格, 送料込)

一般: 3,240円(税込価格, 送料込)

申込先 全国都市清掃会議ホームページ

URL <http://www.jwma-tokyo.or.jp>

〒113-0033 東京都文京区本郷3-3-11

(IPBお茶の水7F)

公益社団法人全国都市清掃会議調査普及部

FAX 03-3812-4731