

豪雨時の浸出水発生量予測のための ガス抜き管を考慮した数値モデルの開発

平岡 夏生¹・石井 一英²・佐藤 昌宏³・落合 知⁴

¹ 非会員 北海道大学修士課程 大学院工学院 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

E-mail: natsuki0809@eis.hokudai.ac.jp

² 正会員 工博 北海道大学大学院教授 (同上)

E-mail: k-ishii@eng.hokudai.ac.jp

³ 正会員 工博 北海道大学大学院助教 (同上)

E-mail: satomasahiro@eng.hokudai.ac.jp

⁴ 正会員 工博 北海道大学大学院特任助教 (同上)

E-mail: ochiai.satoru@eng.hokudai.ac.jp

豪雨による浸出水発生量が計画値を超える事例が相次いでいる。豪雨時は埋立層に浸透する水量よりもガス抜き管等を経由する水量が多くなり浸出水量が急増すると考えられたため、ガス抜き管を考慮した浸出水発生量予測数値モデルの開発を目的とした。本モデルの特徴は、ガス抜き管等を通り降雨発生直後に増加する早い応答と埋立層内の浸透遅れの影響を受ける遅い応答の両方を考慮したことである。これらを考慮し再現するために、処分場をごみ層・覆土層・ガス抜き管+グリ石層に層分けをし、各層の流入入を計算した。仮定の処分場において、既存モデル（ガス抜き管なし）と本モデルを適用し結果を比較したところ、既存モデルでは再現できなかった早い応答を本モデルでは再現できた。

Key Words: landfill, leachate, model, heavy rain, ventilation pipes

1. 研究背景と目的

現在の最終処分場は、埋立処分の計画期間（計画供用年数という、基本的には 15 年間）内に、適切な処分が可能であることに基づいて設計されている¹⁾。適切な処分とは、廃棄物を貯留し安定な状態にすることや発生した浸出水の処理を行うこと、内部貯留をさせないことなどを指す。また、近年最終処分量の減少により閉鎖までの期間が長期化していることで、計画供用年数を超えて供用していかねばならない処分場が多く存在している²⁾。最終処分場の設計において、浸出水処理施設の計画処理量を算出するには合理式を用いる方法が一般的であり、計画処理量は設計時から過去 15 年間の降雨データに基づく場合が多い。したがって、計画供用年数を超えて長く供用する場合、計画時と現在の状況との乖離が大きくなると考えられる。

また、気象庁によると、全国的に大雨や短時間強雨の発生回数増加が観測されており、21 世紀末には 1 時間降水量 50mm 以上の短時間強雨の年間発生回数が全国平均で 2 倍以上になると予測されている³⁾。短時間強雨が発生

すると、浸出水量の急激な増加および水質の変化、内部貯留、溢流、漏水などの問題が発生し、適切な処分ができない可能性がある。

以上より、処分場の長期供用と豪雨の影響によって浸出水の適切な処理ができないことが課題であり、これを解決するために豪雨時にも対応した浸出水の発生量予測とそれに応じた運転管理、調整池や浸出水処理施設等の規模を考慮した設備更新が重要である。

一方で、浸出水発生量の予測をするには埋立地の水分収支をモデル化する必要がある。埋立地の水収支モデルとしては、田中ら (1991) が埋立地を一つのタンクとみなした水収支タンクモデル (以下、田中モデルとする) を作成している⁴⁾。海外では HELP (Hydraulic Evaluation of Landfill Performance) モデルがよく知られており、特にアメリカでは広く用いられている⁵⁾。しかし、これらのモデルは最上層面以外の埋立層を一樣とみなしているうえ、日単位での計算を想定している。実際にある A 処分場の降雨強度と浸出水発生量の実測データを図-1 に示す。これより、浸出水量の発生には降雨と同時に出現す

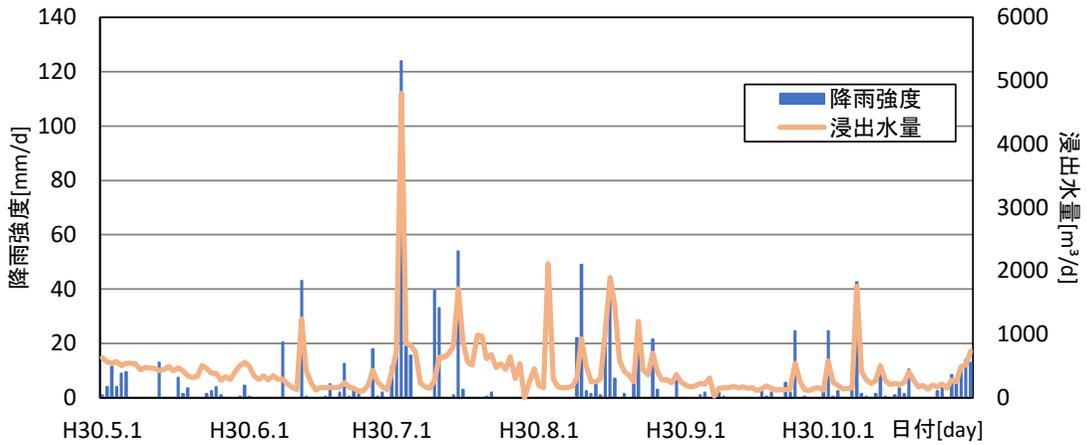


図-1 A 処分場の降雨と浸出水発生量の関係

る早い応答と降雨から遅れて出現する遅い応答があることがわかる。豪雨時の急激な浸出水増加の要因は、降水量の増加だけではなく、表層の浸透能を超えた表面水が堅型集排水管（以下、ガス抜き管とする）やグリ石層などの水の通りやすい空間を通り、埋立地を早く通過することが考えられる。したがって、豪雨時の浸出水発生量予測を行うには、埋立層だけでなくガス抜き管なども含めた埋立地全体の水分移動を時単位で再現する必要がある。先述した既存のモデルでは正確な予測は難しい。また、ガス抜き管を考慮した埋立地のモデルとしては、花田ら（2006）が作成した埋立地からの浸出水漏水・溢流量推定モデル（以下、花田モデルとする）があるが、このモデルは本研究の目指すような浸出水予測を目的に作成されておらず、実処分場への適用例がない⁹⁾。

以上より本研究では、調整池および浸出水処理施設の適切な運転管理・設備更新に用いるツールとして、ガス抜き管を考慮した浸出水推定のための数値モデルを開発することを目的とし、開発したモデルと既存のモデルを仮想の埋立地に適用し、両者の比較を行った。

2. 既存モデル

現在、最終処分場の調整池や浸出水処理施設の設計のために浸出水の日発生量を求めるには、近似的な水収支モデルを用いる方法が一般的である。水収支モデルを用いる方法には、合理式を用いる方法と、田中モデルを用いて降雨時から浸出水の発生に至るまでの浸透の時間遅れを考慮する方法の2つがある⁹⁾。後者では、処分場の水収支を図-2のようにモデル化する。j日に振った降雨量 I_j のうち、地表面のもつ浸入能 k_s を超えた分は表面流出水量 Q_{sj} となり、処分場外へ流出する。表層内へ浸した水量($\bar{I}_j = I_j - Q_{sj}$)が表層の保水能 h_s を超えたとき

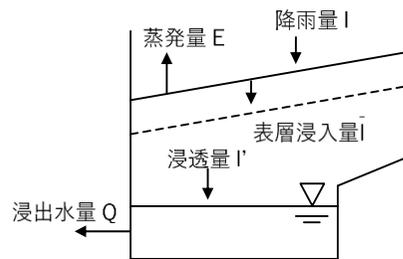


図-2 浸透の時間遅れを考慮した田中モデル概要図

には、その超過分が埋立層中への浸透水量 I'_j となる。一方、表層の保水能 h_j から、太陽熱や風などの気象条件によって決まる可能蒸発量 E_j に比例した蒸発水量 $[E_{vj} = E_j(h_{j-1}/h_s)]$ だけ蒸発するので、表面保水能 h_j は降雨停止後、徐々に減少する。このようにして決まる浸透水量 I'_j が埋立地底部に達する（底部に達する時間を考慮していない）。埋立地底部でタンクモデルの考え方をい、流出抵抗を R とおくと、浸出水量 Q_j は(1)式により求まる。

$$Q_j = Q_{j-1} \times e^{-\frac{1}{R}} + \frac{A}{1000} \{ I'_j - (I'_j - I'_{j-1})R(1 - e^{-\frac{1}{R}}) - I'_{j-1}e^{-\frac{1}{R}} \} \quad (1)$$

Q ：浸出水量[m³/d]、 R ：流出抵抗[d]、 A ：埋立面積[m²]、 I' ：浸透水量[mm/d]、 j ：水収支計算対象日数[d]である。

このモデルでは浸透による時間遅れを考慮できるが、全ての浸出水が時間遅れの影響を受け、早い応答の再現性はない。本研究では比較のため、このモデルと本研究で開発したモデルを仮想の処分場に適用した。

3. モデルの開発

(1) モデルの概要

本研究では、花田モデル⁹⁾を参考に、以下の要素を加

えた豪雨時の浸出水発生量予測のためのガス抜き管を考慮した数値モデル（以下、本モデルとする）を開発した。

- ・ 断面二次元モデルである花田モデルを拡張し、各層の上下左右前後の流出入を計算することで、水の三次元移動を再現した。
- ・ 各層で浸透の遅れを考慮した。層内を（計算上）分割し、層表面から浸入した水がその浸入速度のまま分割数×Δt日後に水位として溜まる、あるいは下層やガス抜き管+グリ石層へ流入するとした。
- ・ 焼却技術の向上により焼却灰粒子が小さくなり、ごみ層が高密度化している。その結果、覆土層の透水係数がごみ層を上回る場合があるため、ごみ層だけでなく覆土層でも側方流が発生する可能性を考慮した。
- ・ 豪雨時に浸出水処理が間に合わず、調整池の容量も足りなくなった場合に、埋立地から調整池への通水を止めることを想定した。埋立地から調整池への取水設備の方式としては、貯留構造物に集排水管を貫通させてバルブの開閉で調整する方式と集水ピットを設けてポンプでくみ出す方式がある。本研究では方式の区別なく埋立地から調整池への通水を止めた状態を滞水時とする。通常時はごみ層および覆土層からガス抜き管+グリ石層への流入であるが、滞水時はガス抜き管+グリ石層から先に水位が上昇し、通常時と逆向きの流入が起こる可能性を考慮した。

本モデルでは、最終処分場をごみ層・覆土層・ガス抜き管+グリ石層・ごみ層集排水管・底部集排水管に層分けし、各層の流出入と層内の浸透による時間遅れを考慮することで、浸出水発生量の計算を行う。図-3は本モデルの基本単位となる区画である。即日覆土を想定し、最上層は覆土層の場合のみを考えた。層数は変更可能である。また、ガス抜き管+グリ石層奥行き D_g も調節が可能であり、短くすることでガス抜き管を表現できる。なお、実処分場に適用する場合はこの基本単位区画を埋立面積と深さを考慮して組み合わせることを想定している。

(2) モデルの詳細

本モデルでは、各層の表面浸透能を超える水は層内に浸入せず、層表面を流れるか上層へ蓄積するとして、各層の浸入速度を決定した。例えば、最上層の浸入速度 v_{inc} については以下のように場合分けを行う。

$$v_{inc} = k_{inc\ top} \quad (I - v_e \geq k_{inc\ top} \text{ のとき}) \quad (2)$$

$$v_{inc} = I - v_e \quad (I - v_e < k_{inc\ top} \text{ のとき}) \quad (3)$$

v_{inc} ：最上層覆土層への浸入速度[m/d]、 $k_{inc\ top}$ ：最上層覆土層の表面最大浸透能[m/d]、 I ：降雨強度[m/d]、 v_e ：蒸発速度[m/d]である。

層内に浸入した水は、浸入した速度と同じ速度で層内を移動するとして、層内は（計算上）ブロック分割されており、分割数だけ前の浸入速度を層内移動速度として層内の水収支計算に使用することで、ある一定時間経たないと層内水量として反映されない仕組みになっている。これにより浸透の時間遅れを再現する。

a) ごみ層

ごみ層の水収支を(4)式に示す。左辺はごみ層内の水量の変化を表しており、右辺がごみ層への流入項とごみ層からの流出項である。下側覆土層の浸入能を超える水は覆土層の上面を側方に流れ、ガス抜き管+グリ石層に流出するとした。このとき側方流の流速はDarcy式((6)式)で表した。側方流の水面は埋立層と並行であると仮定し、動水勾配は埋立層のガス抜き管+グリ石層方向への勾配に等しいとした。

$$A \times \delta_w \times \frac{\Delta H}{\Delta t} = Q_{in} - Q_{out} + A \times v_w - A \times v_{inc} - D_g \times (H - H_g') \times v_{out} \quad (4)$$

$$A = L \times D - A_g \quad (5)$$

$$v_{out} = K_w \times i_g \quad (6)$$

A ：埋立層断面積[m²]、 δ_w ：ごみ層有効間隙率[-]、 H ：ごみ層水位[m]、 Q_{in} ：隣の層からの流入[m³/d]、 Q_{out} ：隣の層への流出[m³/d]、 v_w ：ごみ層内浸透速度[m/d]、 v_{inc} ：下側の覆土層への浸入速度[m/d]、 D_g ：ガス抜き管+グリ石層奥行き[m]、 H_g' ：計算している層底部を基準にしたガス抜き管+グリ石層水位[m]、 v_{out} ：ごみ層側方流[m/d]、 L ：埋立地幅[m]、 D ：埋立地奥行き[m]、 A_g ：ガス抜き管+グリ石層断面積[m²]、 K_w ：ごみ層の飽和透水係数[m/d]、 i_g ：ガス抜き管+グリ石層方向への勾配[-]である。

流れの優先順位は下方向>横方向（側方流）として、流出量の合計値が層内水量を超えないように各流出速度を調整する（表-1）。隣の層からの流入 Q_{in} や隣の層への流出 Q_{out} に関しては側方流と同様にして流速を求め、隣接幅に応じて計算した。例えば、図-4の Q_{out} 場合は

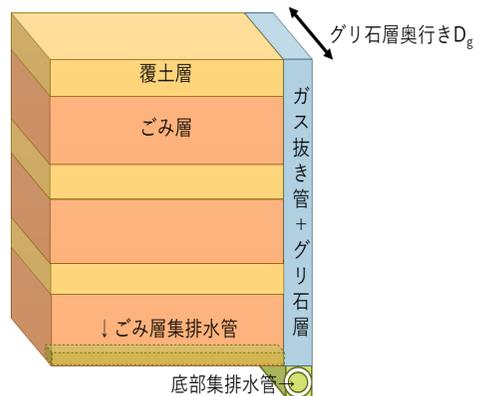


図-3 本モデル基本単位区画

表-1 流出速度の調整（ごみ層の具体例）

場合分け	側方流流速 v_{out}	下層への流入速度 v_{inc}
層内水量>流出合計	$K_w \times i_g$	k_{inc} (下層の表面最大浸透能)
流出合計>層内水量>下層への流出量	$\frac{(H \times \delta_w - v_{inc} \times \Delta t) \times A}{D \times H \times \Delta t}$	k_{inc}
下層への流出量>層内水量> 0	0	$\frac{H \times \delta_w}{\Delta t}$
層内水量=0	0	0

(7)式のようになる。

$$Q_{out} = H \times (L - L_g) \times v_{out}' \quad (7)$$

$$v_{out}' = K_w \times i_s \quad (8)$$

L_g : ガス抜き管+グリ石層幅[m], v_{out}' : (ごみ層集排水管方向への) ごみ層側方流流速[m/d], i_s : ごみ層集排水管方向への勾配[-]である。

b) 覆土層

覆土層の水収支を(9)式に示す。考え方としてはごみ層と同様である。

$$A \times \delta_c \times \frac{\Delta H_c}{\Delta t} = Q_{in} - Q_{out} + A \times v_c \quad (9)$$

$$-A \times v_{inw} - D_g \times (H_c - H_g') \times v_{outc} \quad (9)$$

$$v_{outc} = K_c \times i_g \quad (10)$$

δ_c : 覆土層有効間隙率[-], H_c : 覆土層水位[m], v_c : 覆土層内浸透速度[m/d], v_{inw} : 下側のごみ層への浸入速度[m/d], v_{outc} : 覆土層側方流流速[m/d], K_c : 覆土層の飽和透水係数[m/d]である。

c) 最下層ごみ層

最下層ごみ層の水収支を(11)式に示す。ごみ層と異なり下層への流出項がなく、ごみ層集排水管への流出項((11)式最終項)を加えている。

$$A \times \delta_w \times \frac{\Delta H}{\Delta t} = Q_{in} - Q_{out} + A \times v_w \quad (11)$$

$$-D \times (H - H_g) \times v_{out} - (v_{outs} + v_w) \times L \times h_s \quad (11)$$

$$v_{outs} = K_w \times i_s \quad (12)$$

H_g : ガス抜き管+グリ石層水位[m], v_{outs} : ごみ層集排水管への側方流[m/d], h_s : ごみ層集排水管短辺の長さ[m], i_s : ごみ層集排水管方向への勾配[-]である。

d) ガス抜き管+グリ石層

ガス抜き管+グリ石層の水収支を(13)式に示す。グリ石層へ流入する表面水($Q_{out\ top}$)については、まず降雨から蒸発分を差し引き、残りのうち表層の最大浸透能を超える分が、区画内のグリ石層へ流れ込むとした((14)式)。また、ガス抜き管+グリ石層から底部集排水管へ流出する水量に関しては、ガス抜き管+グリ石層水位によって求まる浸入可能流量と満管流量を比較して、小さい方の値で計算するとした((15)式)。

$$A_g \times \delta_g \times \frac{\Delta H_g}{\Delta t} = Q_{out\ top} - Q_{gout} + (I - v_e) \times A_g \quad (13)$$

$$+ \sum (D_g \times H_w \times v_{out} + D_g \times H_c \times v_{outc}) \quad (13)$$

$$Q_{out\ top} = (I - v_e - v_{inc}) \times A \quad (14)$$

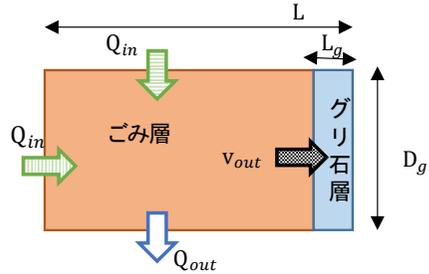


図-4 ごみ層の水収支（水平断面図）

$$Q_{gout} = \text{MIN}\{Q_{pf} - S, Q_{ph}\} \quad (15)$$

δ_g : ガス抜き管+グリ石層間隙率[-], H_g : ガス抜き管+グリ石層水位[m], $Q_{out\ top}$: 一番上の中間覆土層に浸透できなかった降雨[m³/d], Q_{gout} : 底部集排水管への流出[m³/d], I : 降雨強度[m/d], v_e : 蒸発速度[m/d], Q_{pf} : ガス抜き管+グリ石層底部集排水管の満管流量[m³/d], Q_{ph} : ガス抜き管+グリ石層底部集排水管への浸入可能流量[m³/d], S : 最下層ごみ層集排水管からの流入[m³/d]である。

底部集排水管への浸入可能流量と満管流量は花田モデル⁹⁾を参考にした。

$$Q_{ph} = D_g \times N_p \times \frac{D_h^2}{4} \times \pi \times v_{ph} \quad (16)$$

$$v_{ph} = \sqrt{\frac{1}{1 + f \frac{L_{ph}}{D_h}} \times \sqrt{2g(H_g + L_{ph})}} \quad (17)$$

$$f = \frac{124.5n^2}{D_h^{\frac{1}{3}}} \quad (18)$$

$$Q_{pf} = v_{pf} \times \frac{\pi}{4} \times D_e^2 \quad (19)$$

$$= \frac{1}{n} \times R^2 \times i_{pipe}^{\frac{1}{2}} \times \frac{\pi}{4} \times D_e^2 \quad (19)$$

$$R = \frac{1}{4} \times D_e \quad (20)$$

N_p : 単位長さ当たりの孔の数[1/m], v_{ph} : 有孔管の孔を通る流速[m/d], f : 集排水管の摩擦損失係数[-], L_{ph} : 集排水管の肉厚[m], D_h : 孔径[m], n : 集排水管のマニング粗度係数[-], D_e : 有効管径[m], R : 径深[m], i_{pipe} : 集排水管勾配[-]である。

e) 埋立地から調整池への通水を止めた場合（滞水時）

特に豪雨時、浸出水処理能力越えによって一時的に埋

立地から調整池への通水を止める可能性を想定した。滞水時は、ガス抜き管+グリ石層から水位が上昇することで、ごみ層および覆土層への逆流が生じると考えられる。本モデルではガス抜き管+グリ石層と各ごみ層・覆土層の水位を比較し、ガス抜き管+グリ石層水位 > 各ごみ層・覆土層水位となるときに通常時と逆向きの側方流が流れるとした。そのときの側方流については Darcy 式 (21), (22)式) で表した。

$$v_{out} = K_w \times \frac{(H_g' - H)}{L} \quad (21)$$

$$v_{outc} = K_c \times \frac{(H_g' - H_c)}{L} \quad (22)$$

4. 仮想処分場へのモデルの適用

(1) 計算条件

仮想の処分場において本モデルと 2 章で紹介した浸透の時間遅れを考慮した水収支モデル (以下、既存モデルとする) を適用し、その計算結果を比較した。仮想の処分場は埋立面積 2,000 m² で、計算期間は降雨データに合わせた 184 日間である。

a) 既存モデルの計算条件

既存モデルの計算条件は、最終処分場計画・設計・管理要領を参考に、表-2 のように設定した。浸入能 k_s は埋立中の処分場を想定し $k_s = \infty$ で設定した。保水能 h_s は田中ら (1991) の研究⁹⁾に基づいて処分場の平均値である 27 mm/d を用いた。抵抗係数 R についても同様に田中らの研究⁹⁾から既存モデルの埋立深さ (今回は本モデルの 10.5 m に合わせて設定) に応じて 10 日と設定

した。また、可能蒸発量については降雨条件から算出した (詳細は 4 章 1 節 c 項)。

b) 本モデルの計算条件

本モデルでは、図-5 に示すように基本単位区画 4 つを組み合わせることで計算した。各区画の水平断面積は 500 m² で、4 つ組み合わせることで 2,000 m² となる。また、各区画の覆土層とごみ層はともに 3 層で設定した。1, 3 区画ではガス抜き管+グリ石層の奥行きを短くすることでガス抜き管を表現した。各パラメータは表-2 のとおりである。底部集排水管については花田らの研究⁹⁾を参考に、表層最大浸透能は東條らの研究¹⁰⁾を参考に設定した。

c) 降雨条件と蒸発速度

降雨条件は気象庁¹¹⁾より江丹別の平成 30 年 5~10 月の日合計降雨量を使用した。既存モデルでは日合計量をそのまま計算に使用できるが、本モデルでは計算単位時間 Δt に合わせて調整する必要がある。今回は 1 日の 5 分の 1 の時間に雨が降るとした (例えば、日合計降水量が 11.5 mm のとき、57.5 mm/d の降雨強度の雨が 0.2 d 間降り、

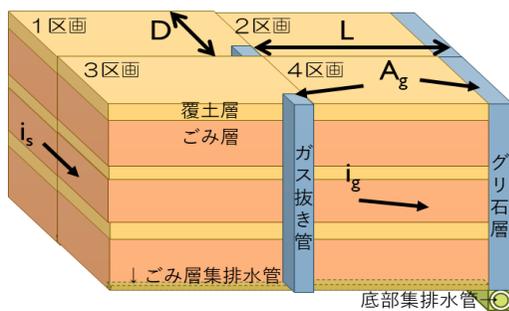


図-5 本モデルの計算条件 (概要図)

表-2 既存モデルと本モデルの計算条件

本モデルの計算条件			埋立層について			底部集排水管について		
L	埋立層幅	20	[m]	D_e	有効管径	0.5	[m]	
D	埋立層奥行	25	[m]	L_{ph}	肉厚	0.02	[m]	
A_g	グリ石層断面積 (1, 3 区画)	1.5 × 1.5	[m ²]	N_p	単位長さあたりの孔の数	100	[1/m]	
	(2, 4 区画)	1.0 × 2.5		D_h	孔径	0.01	[m]	
h_w	ごみ層厚さ	3.0	[m]	n	マンニング粗度係数	0.014	[-]	
W	ごみ層内分割数	30	[-]	i_{pipe}	勾配	0.05	[-]	
K_w	ごみ層飽和透水係数	5 × 10 ⁻³	[cm/d]	その他				
k_{inw}	ごみ層の表面最大浸透能	4.32	[m/d]	Δt	計算単位時間	0.1	[1/d]	
h_c	覆土層厚さ	0.5	[m]	v_e	蒸発速度	40	[mm/d]	
C	覆土層内分割数	5	[-]	既存モデルの計算条件				
K_c	覆土層飽和透水係数	1 × 10 ⁻⁴	[cm/d]	Q_{sj}	表面流出水量	0	[mm/d]	
k_{inc}	覆土層の表面最大浸透能	0.0864	[m/d]	k_s	浸入能	∞	[mm/d]	
$k_{inc\ top}$	最上層の表面最大浸透能	0.0534	[m/d]	E_j	可能蒸発量	50	[mm/d]	
h_s	ごみ層集排水管短辺長さ	0.3	[m]	h_s	保水能	27	[mm/d]	
i_g	グリ石層への勾配	0.05	[-]	R	抵抗係数	10	[d]	
i_s	ごみ層集排水管への勾配	0.05	[-]					
δ_w	ごみ層間隙率	0.1	[-]					
δ_c	覆土層間隙率	0.1	[-]					
δ_g	グリ石層間隙率	0.5	[-]					

残りの0.8d間は0mm/dとなるように設定)。

蒸発速度は、まず Thornthwaite 法¹²⁾を用いて平成30年5～10月江丹別の気象条件で最大蒸発速度を求めた。その結果、0.03 m/d(10月)～0.14 m/d(7月)となった。算出した最大蒸発速度の平均値では過大であると考え、既存モデルでの可能蒸発量を0.05 m/dで設定した。両モデルの計算期間内の総蒸発量がほぼ同値となるように、本モデルでは蒸発速度0.04 m/dで設定した。

(2) 計算結果と考察

a) 両モデルの計算結果

既存モデルと本モデルの計算結果を示し、その結果を比較する。本モデルでは計算単位時間 $\Delta t = 0.1[d]$ であるので浸出水発生量も0.1d毎に算出されるが、比較のため以下のグラフでは1日分の値に合計している。

60～105日目の降雨強度と浸出水発生量の関係について、両モデルを比較したのが図-6である。既存モデルと比較して本モデルでは64日目の124 mm/dを筆頭に、比較的大きな降雨(76, 102, 108日目)に対応した早い応答を確認できた。また、80～90日目の降雨のない期間においても既存モデルと同程度の浸出水の発生があった。既存モデルでは全体的に浸出水発生量は少ないが連続的に浸出水の発生があり、一方本モデルでは一部の期間で浸出水発生量が0m³となる日もあった。

さらに、60～97日目の本モデルの浸出水発生量の内訳について図-7に示す。124 mmの一番大きな降水量があった64日目の浸出水発生量の内訳は、95%以上がガス抜き管+グリ石層への直接降雨および表面水からガス抜き管+グリ石層を経由して発生していた。一方、降雨が0 mmの80日目ではごみ層集排水管から63.2%、残り

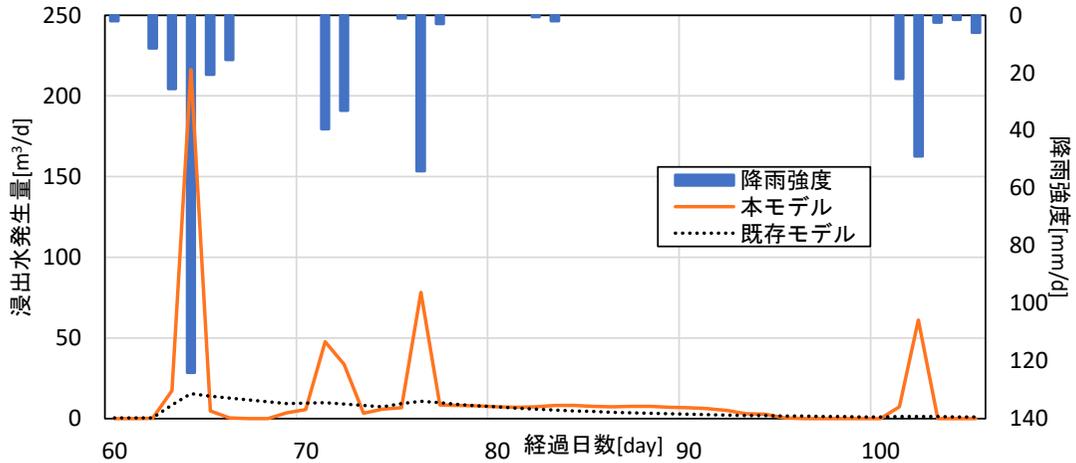


図-6 両モデルの計算結果比較 (60～105日目)

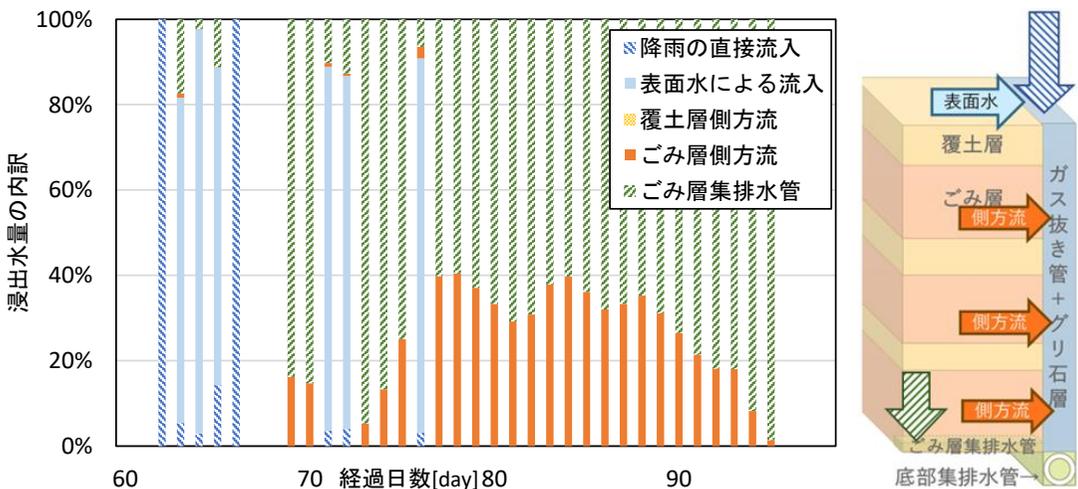


図-7 本モデルの浸出水発生量の内訳 (左) と各項目のイメージ (右)

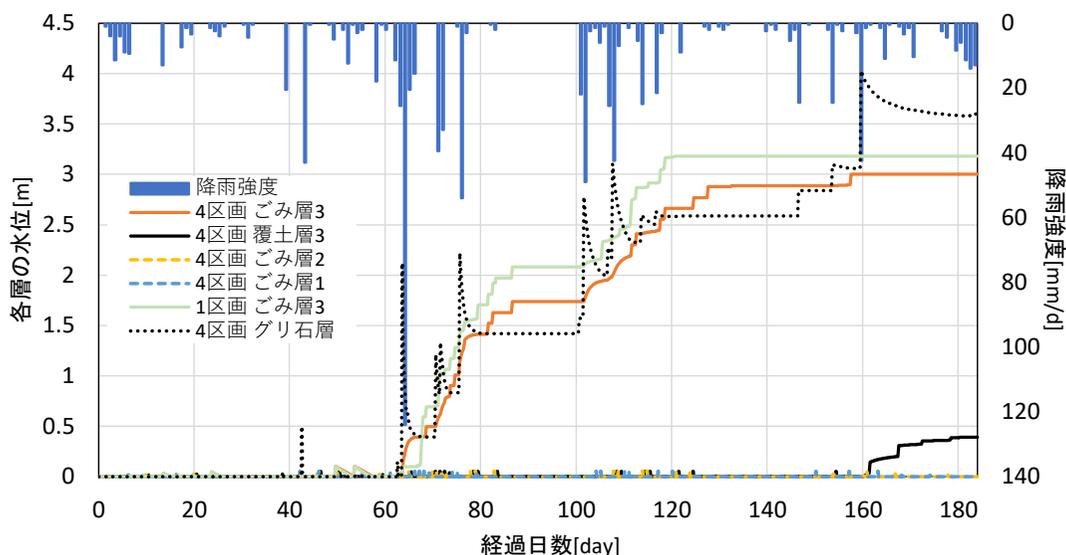


図-8 計算途中で埋立地から調整池への通水を止めた場合の層内水位の変化

が各ごみ層側方流からの発生であった。このように早い応答と遅い応答で浸出水量の内訳が大きく異なる結果となった。早い応答では表面水の設定が、遅い応答では埋立層の水収支の設定が結果に大きく影響することが分かった。

両モデルの計算期間内水量の内訳を表-3に示す。総蒸発量はほぼ同値であるのに対し、総浸出水量は本モデルが 1,089 m³、既存モデルが 306 m³ と大きな差があった。これは既存モデルの方が内部滞留量、すなわち浸透の時間遅れの影響を受け計算期間後もゆっくりと排出される分が多いためである。本モデルでは、浸透の時間遅れを層内を分割することで計算したが、層内水位が存在する限りは流出量の制限を設けなかったため、層内に滞水する現象を過小評価してしまったと考えられる。そのため、無降水期間が続くと浸出水発生量が 0 m³ となる日が発生し、計算期間内の内部滞留量も既存モデルと比較して非常に小さい値となった。実現現場では無降水期間が続くと埋立層内が乾燥し、排水が抑制されると考えられるため、それに合わせて浸透の時間遅れの計算方法を再検討する必要がある。

b) 本モデル滞水時の計算結果

最後に、計算途中で埋立地から調整池への通水を止めた場合における各層内水位の変化を図-8に示す。この計算結果では、64日目で降が滞水時、つまり埋立層内に水が溜まっていく状態となる。ごみ層 1~3 の数字はそれぞれ表層からの順番を表しており、一番上のごみ層がごみ層 1、一番下のごみ層がごみ層 3 となる（覆土層も同様）。これをみると、4区画では滞水時は比較的大きな降雨と同時にグリ石層水位が上昇し、その後上層か

表-3 両モデルの計算期間内水量の内訳

単位[m ³]	本モデル	既存モデル
総降雨量	1904	
総蒸発量	786	788
内部滞留量	29	810
総浸出水量	1089	306

ら浸透してきた水とグリ石層からの逆流によってごみ層 3 の水位が上昇していることが読み取れる。この間、上方のごみ層 1, 2 では一時的に水位が上昇しているもののすぐに下層に浸透して水位が低下していることが分かる。また、今回ごみ層の厚さは 3 m で設定しているため、160日目でごみ層 3 の水位は頭打ちとなっており、160日目で降はその上の覆土層 3 の水位が増加していた。

5. 結論

本モデルでは既存モデルと異なり、降雨と同時に増減する早い応答の再現ができた。浸出水発生量の内訳において、早い応答ではガス抜き管やグリ石層を経由する浸出水が多く、遅い応答では埋立層を経由した浸出水のみであったことから、ガス抜き管やグリ石層を考慮したことで早い応答が再現できたとと言える。

また、計算期間内の水量の内訳から、総蒸発量が同程度のとき総浸出水発生量と内部滞留量に大きな差があった。このことから、本モデルでは埋立層内に滞留する水を過小評価している可能性があることが分かった。これらの結果は浸透遅れの計算方法（各層の流出水の設定）と表面水の設定、パラメータなどの計算条件に依存する

ため、より実用性の高いモデルを目指すためにモデルの再検討が必要である。

今後の課題としては、浸透遅れの計算方法、各パラメータや表面水の設定などを実際のデータと照らし合わせて再検討することが挙げられる。そのために、実最終処分場を対象に本モデルを適用していく予定である。

謝辞：データ提供いただきましたA廃棄物最終処分場の担当者皆様に厚く御礼申し上げます。なお本研究は、環境研究総合推進費（[JPMEERF20193006]「廃棄物最終処分場の長寿命化に伴う機能検査と気候変動適応策」（資源循環領域）（研究代表者：北海道大学 石井一英））による委託研究の一部である。関係者に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 環境省：廃棄物最終処分場の性能に関する指針について〈閲覧日時 2019/12/20〉
<https://www.env.go.jp/hourei/11/000329.html>
- 2) 環境省：一般廃棄物処理事業実態調査の結果（平成29年度）について〈閲覧日時 2020/2/13〉
<https://www.env.go.jp/press/files/jp/press/2dtgw29.pdf.pdf>
- 3) 環境省：一般廃棄物処理実態調査結果（平成28年度）〈閲覧日時 2020/2/12〉
http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h28/index.html
- 4) 気象庁 気候変動監視レポート〈閲覧日時 2020/5/29〉
<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/index.html>
- 5) 気象庁 地球温暖化予測情報第9巻〈閲覧日時 2020/5/29〉
<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/GWP/index.html>
- 6) 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, pp.347-353(2010)
- 7) 田中信壽, 松藤敏彦, 加藤宏一, 神山桂一：埋立地浸出水量時系列予測に関する研究—水収支・タンクモデルのパラメータの決定法とそれに影響する因子—, 第2回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp.237-240 (1991)
- 8) Schroeder, PR, Aziz, NM, Lloyd, CM, and Zappi, PA: THE HYDROLOGIC EVALUATION OF LANDFILL PERFORMANCE (HELP) MODEL(1994)
- 9) 花田茂久, 東條安匡, 松藤敏彦：埋立地からの浸出水漏水・溢流量推定モデルの作成(2006)
- 10) 東條安匡, 田中信壽, 川口知司, 松藤敏彦, 松尾孝之：最終処分場浸出水のアンケート調査に基づくマクロ水分収支モデルの検討, 土木学会第53回年次学術講演会, pp.84-85(1998)
- 11) 気象庁：過去の気象データ〈閲覧日時 2020/1/7〉
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/select/prefecture00>
- 12) 土木学会水理委員会編集：水理公式集（平成11年度版）, 土木学会 (2011)

(Received June 19, 2020)

DEVELOPMENT OF A NUMERICAL MODEL WITH VENTILATION PIPES FOR PREDICTION OF LEACHATE GENERATION BY A HEAVY RAIN

Natsuki HIRAOKA, Kazuei ISHII, Masahiro SATO and Satoru OCHIAI

There have been a number of cases where the amount of leachate generation due to heavy rains has exceeded the planned value. The objective of this study is to develop a numerical model of leachate generation considering the ventilation pipes because the amount of water going through the ventilation pipes is significantly larger than the amount of water infiltrating into the landfill layer during heavy rains. This model is unique in terms of accounting both the fast response, which appears immediately after rainfall onset, and the slow response, which is affected by infiltration delays within the landfill layer. In order to present both responses, the landfill site was divided into waste layers, cover layers, ventilation pipes, and the inflow and outflow of each layers were calculated. We applied this model to a hypothetical landfill site, and compared the results with an existing model that takes into account the time delay. Our model was able to present the fast response that was not produced by the existing model.