

ジオシンセティックスを用いたごみ埋立地キャッピング層における水分移動に関する研究

九州大学大学院 学生会員 石橋 俊将 小宮 哲平
九州大学大学院 正会員 中山 裕文 島岡 隆行

1. はじめに

廃棄物最終処分場では埋立完了後、廃棄物の飛散・流出防止や景観の向上等を目的として、最終覆土が施工される。この際、雨水浸透量を制御し、浸出水の削減を目的としたキャッピングを採用する最終処分場が増えている。キャッピングの構造は、主に土質材料を用いた多層構造をとるが、層厚が大きくなる傾向にある。そこで、近年、土質材の代替材としてジオシンセティックスを利用することにより、キャッピング層厚を小さくし、廃棄物の埋立量を増やすことが検討されている¹⁾。

本研究では、ジオシンセティックスを用いたキャッピング層内での水の挙動を把握することを目的とし、キャッピング層の土槽実験を行うとともに、水分移動のモデル化およびそのモデルの妥当性を検討した。

2. キャッピング層の土槽実験

キャッピング層の断面を図1に示す。キャッピング層は、侵食防止層、排水層、浸透防止層、ガス排除層の4層構造を持つ。排水層および浸透防止層にジオシンセティックス材料を用いた場合、土質材料を用いる従来のものと比較して、層厚を小さくできる。キャッピング層では、排水層としてエンボス型排水材が使用されている。エンボス型排水材は、図1中の写真に示すような凹凸を持つ構造で、下部に通水穴が75mm間隔で設けられている。これらのジオシンセティックス材料から成るキャッピング層において、次のような実験および解析を行った。

(1) 実験方法

図2は土槽を用いた実験装置（実験）の縦断図である。図2に示す土槽上のノズルから散水を行った。散水された水は侵食防止層を通過し(Q_D)、排水層へと達した後、排水層沿いに側方へ流下して排水される(Q_S)か、あるいは排水層に設けられた通水穴を通過して浸透防止層を通過し、ガス排除層へと浸透する(Q_W)。実験では、散水量を10～45mm/hの範囲で変化させ、側方排水量 Q_S および浸透水量 Q_W を計測した。

側方排水は、排水層の上部を通過して排水される水($Q_{S,u}$)と、排水層下部を通過して排水される水($Q_{S,l}$)に分離して集水される。次に、図3に示す実験装置（実験）を作成し、散水量を40mm/hとしたときの側方排水として、上部排水量 $Q_{S,u}$ および下部排水量 $Q_{S,l}$ をそれぞれ計測した。表1に実験に用いた材料の厚さおよび透水係数を示す。

(2) 結果および考察

図4は横軸に散水強度、縦軸に浸透率（散水量の内、ガス排除層まで浸透した水量の割合）および排水率（散水量の内、側方から排水された水量の割合）を示し、実験結果をプロットしたものである。なお、図中の直線は回帰直線を示す。浸透率は2.9～19.7%、排水率は81.9～98.2%であった。散水強度が増加するに連れ、浸透率は減少し、排水率は増加する傾向を示した。また、散水強度40mm/hにおける側方排水のうち、上部排水率は28.6～36.0%、下部排水率は62.2～68.7%の範囲となった。側方排水率およびその上部排水と下部排水の分配率は、エンボス型排水材の通水穴の個数や大きさ、浸透防止層の透水係数によって、制御可能である。

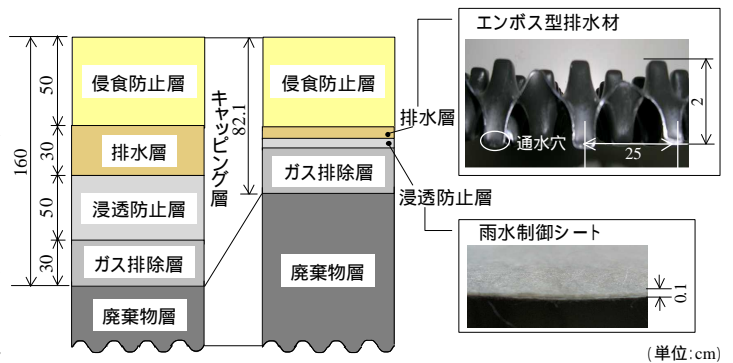


図1 キャッピング層の断面

従来型(左) ジオシンセティックスを採用(右)

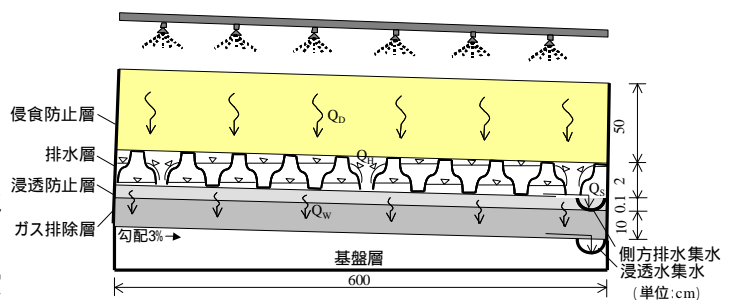


図2 実験装置の縦断図(実験)

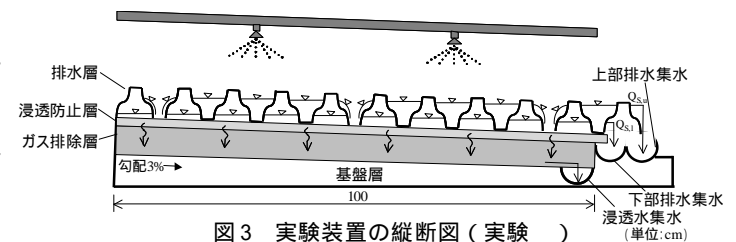


図3 実験装置の縦断図(実験)

表1 実験に用いた材料および物性値

層名	材料	厚さ(cm)	透水係数(cm/sec)
侵食防止層	山砂	50	1×10^{-3}
排水層	エンボス型排水材	2	
浸透防止層	雨水制御シート	0.1	1×10^{-5}
ガス排除層	砕砂	10	1×10^{-2}

3. 水分移動のモデル化

(1) 排水層付近の水の流れ

排水層付近の水の流れを図5に示す。侵食防止層を浸透し、排水層に流入した水(Q_D)と上流から流入する排水層上部の水(Q_{S,u})はエンボス型排水材の上部に滞水し、重力によって下流へと排水される水(Q_{S,u1})と通水穴から下方へと流出する水(Q_H)とに分かれる。同様に、通水穴から流出した水と上流から流入する排水層下部の水(Q_{S,l})は重力によって下流へと排水される水(Q_{S,l1})と浸透防止層に浸透する水(Q_W)とに分かれる。

(2) モデル構造

表2に各流量の算定式を示す。ここでは、水分移動モデルの設定条件を～とした。水の移動は定常状態とし、蒸発は無視できる。侵食防止層は飽和状態で、エンボス型排水材の

上下のフィルターおよび浸透防止層は飽和状態とする。排水層内での水深は場所に依って異なるとし、水の流れを不等流とする。エンボス型排水材の通水穴が中央に位置する75mm四方を単位領域とする。単位領域内における水の移動は2次元流れとする。

表2に示した各流量の算定式において、側方排水量Q_{S,u}およびQ_{S,l}は開水路流れを応用した。但し、最上流部の側方排水量は0mm³/sとした。また、最下流部の上部側方排水量、通水穴流量Q_Hは開水路流れにおける常流から射流に遷移する流れを応用した。浸透防止層への浸透量Q_Wはダルシー則を用いた。各流量は、水収支式を満たすように決定した。

(3) モデルの評価

実験値と計算値との誤差が最小となるよう、最小2乗法により算定式に用いた4つの流量係数(C_H、C_{S,u}、C_{S,l}、C_W)を求めた。その結果、C_H、C_{S,u}、C_{S,l}、C_Wは各々0.36、0.64、0.89、0.52となった。これは、通水穴が浸透防止層に密着していたことによる浸透の阻害、エンボス型排水材の芯材による水の流れの阻害、エンボス型排水材の上下のフィルターによる透水性の低下等による影響と考えられる。図6は散水強度と浸透率および排水率の関係を実験値と計算値で比較したものである。実験値は浸透量および排水量の和が100%となるように補正して浸透率および排水率を算出した。計算結果によると、上部排水は降雨強度20mm/hを超えることが確認された。実験値と計算値の誤差は1.4%となり、本モデルは、精度が高いと考えられる。

4. まとめ

本研究により、以下の知見を得た。

- (1) 実験結果によると、散水量に対して約9割の水量を排水することができ、浸透量が十分に抑制された。また、エンボス型排水層上部および下部排水率は通水穴からの浸透量に影響されることが示唆された。
- (2) エンボス型排水層付近の水分移動のモデル化を行った後、実験値との比較から評価した結果、実験における浸透率および排水率を精度良く再現することができた。

<謝辞> 人工散水実験結果を提供して下さった通気・防水シートキャッピング工法研究会の方々に謝意を表します。

[参考文献]1) 田中純一、小宮哲平、島岡隆行：ジオシンセティックスによるキャッピングの浸透抑制に関する研究、第16回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.1112-1113、2005

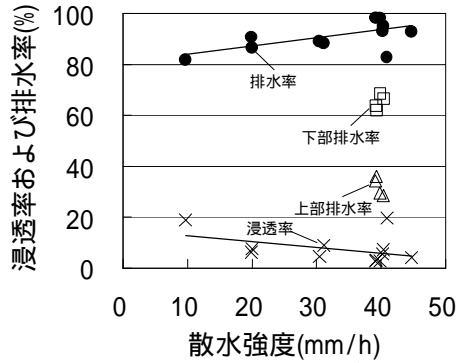


図4 散水強度と浸透率および排水率の関係

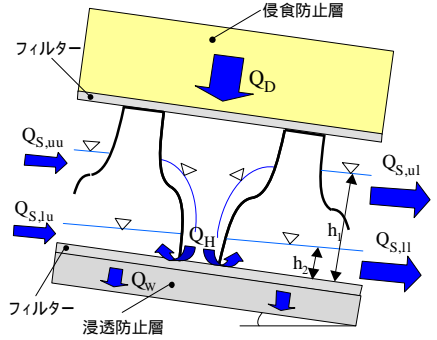


図5 排水層付近の水の流れ

表2 各浸透量および排水量の算定式

項目	算定式
排水層への浸透量 Q _D	$Q_{D,i} = I \times A$
通水穴からの浸透量 Q _H	$Q_{H,i} = C_H \times 2/3 \times \sqrt{2/3g} \times \left\{ (h_{1(i)} - H/2) \cos \theta \right\}^2 \times 4B + r' \times Q_{D,i}$
排水層上部からの側方排水量 Q _{S,u}	$Q_{S,u,i} = 0 \quad (h_{1(i)} < H/2)$ $Q_{S,u,i} = C_{S,u} \times (h_{1(i)} - H/2) \times \sqrt{v_{i-1}^2 + 2g} \times \left\{ x \sin \theta - \frac{h_{1(i)} \cos \theta - \tau_0 / \rho g (h_{1(i)} - H/2) \times x}{v} \right\} \times \alpha \times y \quad (h_{1(i)} \geq H/2)$
排水層下部からの側方排水量 Q _{S,l}	$Q_{S,l,i} = C_{S,l} \times h_{2(i)} \times \sqrt{v_{i-1}^2 + 2g} \times \left\{ x \sin \theta + \frac{(h_{2(i)} - h_{2(i-1)}) \cos \theta}{v} \right\} \times \alpha \times y \quad (h_{2(i)} < H/2)$ $Q_{S,l,i} = C_{S,l} \times H/2 \times \sqrt{v_{i-1}^2 + 2g} \times \left\{ x \sin \theta + \frac{(h_{2(i)} - h_{2(i-1)}) \cos \theta}{v} \right\} \times \alpha \times y \quad (h_{2(i)} \geq H/2)$
浸透防止層への浸透量 Q _W	$Q_{W,i} = C_W \times x \times K_a \times \left(\frac{h_{2(i-1)} + h_{2(i)}}{2W_a} + \cos \theta \right) \times y$
水収支式	$Q_{D,i} + Q_{S,u(i-1)} = Q_{H,i} + Q_{S,u,i}$ $Q_{H,i} + Q_{S,l(i-1)} = Q_{W,i} + Q_{S,l,i}$ 但し、最上流部は $Q_{u,i} = Q_{H,i} + Q_{S,u,i}$ $Q_{l,i} = Q_{H,i} + Q_{S,l,i}$
算定式に用いた記号	
I: 降雨幅、A: 降雨面積、g: 重力、h ₁ : 排水層上部の水深、h ₂ : 排水層下部の水深、H: 排水層の芯材厚さ、θ: 勾配、B: 芯材間の流路幅、r': 通水穴の開孔率、x、y: 単位領域幅、τ ₀ : 摩擦応力、ρ: 水の密度、v: 流速、K _a : 飽和透水係数、W _a : 浸透防止層厚さ、C _H 、C _{S,u} 、C _{S,l} 、C _W : 流量係数、i: 側方流下方向の単位領域番号	

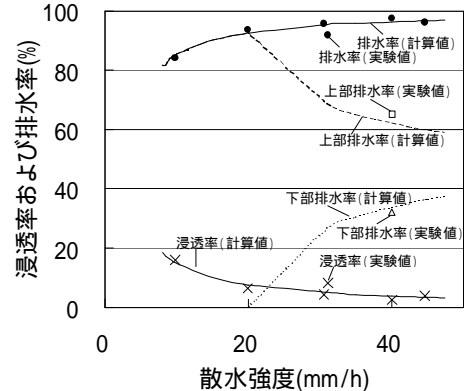


図6 散水強度と浸透率および排水率の関係