

ジオシンセティックスを用いた廃棄物埋立地キャッピングの雨水浸透制御効果の検討

○ (学) 石橋俊将¹⁾、(学) 小宮哲平¹⁾、(正) 中山裕文¹⁾、(正) 島岡隆行¹⁾

1) 九州大学大学院

1. はじめに

廃棄物埋立地では埋立終了後、廃棄物の飛散・流出防止、景観の向上および跡地利用などを目的とし、キャッピング（最終覆土）が施工される。キャッピングは、侵食防止層、排水層、浸透防止層およびガス排除層から成る多層構造であり、雨水の浸透制御や埋立ガスの排除などの機能を有する。従来、キャッピングには土質材が用いられてきたが、近年、従来工法よりも層厚を薄くでき、雨水制御が容易なジオシンセティックス等の人工材を用いたキャッピングが注目されている。

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の雨水浸透制御効果を評価することを目的に、模型槽を用いた人工散水実験を行った。また、これまで検討してきたジオシンセティックスを用いたキャッピング内の水分移動モデル^{1),2),3)}を改善するとともに、諸条件下における雨水浸透制御効果を数値シミュレーションにより評価した。

2. 対象とするキャッピング構造

本研究で対象とするキャッピング構造を図1に示す。排水層および浸透防止層をジオシンセティックスで代替し、排水層はエンボス型排水材（層厚20mm）、浸透防止層は雨水制御シート（層厚1mm、透水係数 $1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ ）とした。キャッピングの厚さは従来型に比べて約80cm薄くなっている。

エンボス型排水材は、高密度ポリエチレンをエンボス型に成型したものを芯材とし、その上下に保護材として不織布を貼り付けた構造となっている。エンボス型排水材は芯材を境に上部と下部に分かれ、芯材には75mmピッチで通水穴（φ6mm）が設けられている。

キャッピング内の水分移動は次の通りである。侵食防止層へ浸入した雨水 (Q_D) は、侵食防止層内を浸透し排水層へ達する。排水層上部では、勾配方向に流下しキャッピング外へ排除される流れ ($Q_{S,u}$) と、通水穴を通じて排水層下部へと流下する流れ (Q_H) とに分かれる。排水層下部では、勾配方向に流下し排除される流れ ($Q_{S,l}$) と、浸透防止層を浸透していく流れ (Q_W) とに分かれる。本研究では、 Q_D に対する $Q_{S,u}$ 、 $Q_{S,l}$ および Q_W の割合をそれぞれ上部排水率、下

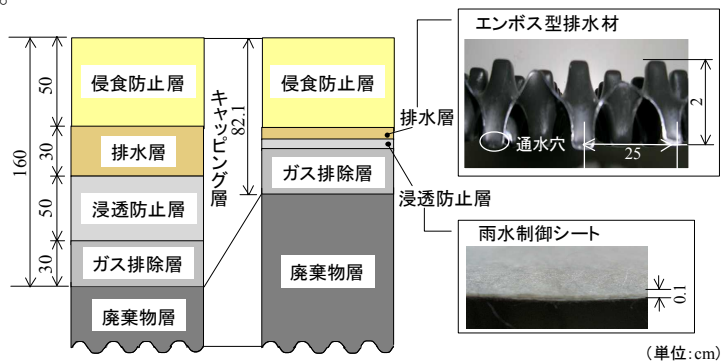


図1 キャッピング構造
基本型（左）、ジオシンセティックスを採用（右）

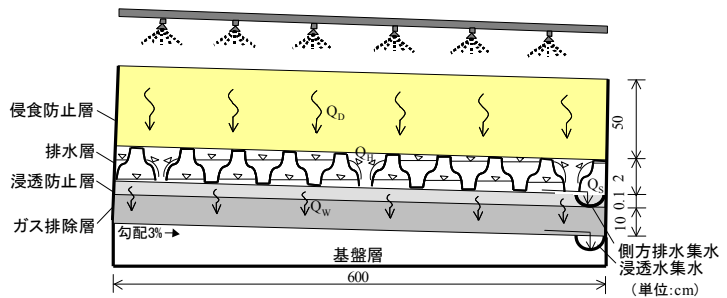


図2 実験装置の縦断模式図（実験1）

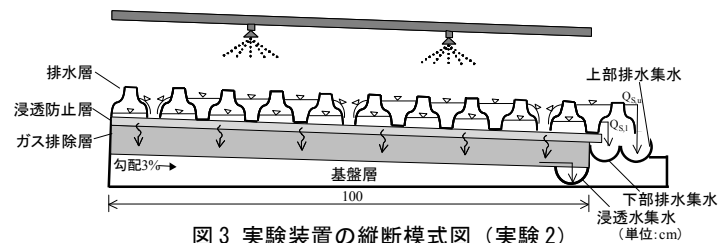


図3 実験装置の縦断模式図（実験2）

[連絡先] 〒 812-8581 福岡県福岡市東区箱崎 6-10-1

九州大学大学院工学府都市環境システム工学専攻

石橋 俊将

TEL:092-642-3778

FAX:092-633-4081

E-mail:ishibashi@ies.kyushu-u.ac.jp

[キーワード] 廃棄物埋立地、ジオシンセティックス、キャッピング、水分移動、モデル化

部排水率および浸透率と呼ぶ。また、 $Q_{s,u}$ と $Q_{s,l}$ の和を Q_s とし、この Q_D に対する割合を排水率と呼ぶ。

3. 人工散水実験

(1) 実験方法 模型槽を用いた人工散水実験として、実験1および実験2を行った。各実験で用いた模型槽の縦断模式図を図2および図3に示す。キャッピングの各層に用いた材質を表1に示す。キャッピング層には3%の勾配を設け、模型上のノズルから散水させた。実験1では、散水強度10、20、30、40および45mm/hにおける排水量および浸透量を計測した。実験2では、散水強度40mm/hにおける上部排水量、下部排水量および浸透量を計測した。なお、実験2では、排水層で生じている水分移動を目視することを目的に、侵食防止層を敷設しなかった。

(2) 結果および考察 実験1および2の結果を図4に示す。図中の直線は実験値に対する回帰直線である。浸透率および排水率は、散水強度の増加に伴い、それぞれ減少および増加傾向を示し、浸透率は約3~20%、排水率は約82~98%であった。また、実験2より、上部排水率および下部排水率は、散水強度40mm/hでは、それぞれ約29~36%、約62~69%であることが分かった。

4. 水分移動のモデル化

(1) モデル構造 エンボス型排水層および雨水制御シートを用いたキャッピングにおける水分移動のモデル化を行った。ここでは、次のa)~d)の設定条件を設けた。a) 流れは2次元定常流、b) 排水層上部および下部での側方流は不等流、c) 雨水は全て侵食防止層へ浸透し、排水層に達する(雨水の蒸発、表面流出および中間流出は無視)、d) 浸透防止層は飽和状態とした。

表2に算定式を示す。排水層への浸入流量(Q_D)は、降雨強度と浸入面積の積として与えた。排水層上部および下部における側方流($Q_{s,u}$ および $Q_{s,l}$)は、開水路流れの基礎式で表し、損失水頭は速度水頭に比例するとした。 $Q_{s,u}$ および $Q_{s,l}$ の境界条件としては、最上流端では流量および水深勾配がゼロ、最下流端では水圧は大気圧と等しいという条件を与えた。通水穴を通過する流量(Q_H)は、水圧が大気圧と等しいという境界条件の下で上部排水層から通水穴へ落下する流量と、侵食防止層から直接落下してくる流量の和として与えた。浸透防止層への浸透流量(Q_W)は、ダルシー則に基づき、排水層下部の水深を変数とする関数で与えた。

数値解析は、差分法で行い、排水層を勾配方向x軸に分割し、分割幅(Δx)は通水穴ピッチ(75mm)と等しいとした。通水穴を中心とする単位領域において、水収支が成立するように排水層上部および下部の水深を決定することで、各流量は算定される。

表1 キャッピングの各層に用いた材質値

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}

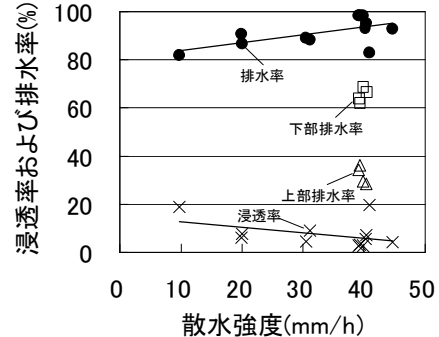


図4 散水強度と浸透率および排水率の関係

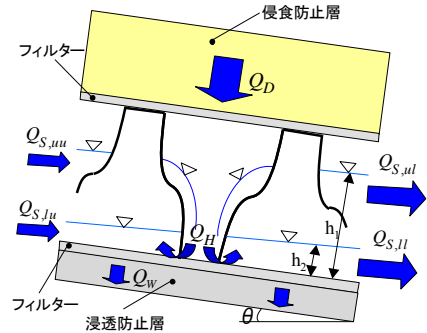


図5 排水層付近の水の流れ

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	$Q_D = I \cdot A$
通水穴からの浸透量 Q_H	$Q_H = C_H \cdot A_H (h_{s,u}) \cdot v_H + I \cdot A'$ $v_H = \sqrt{v_{s,u}^2 + g h_{s,u} \cos \theta}$
排水層上部からの側方排水量 $Q_{s,u}$	$Q_{s,u} = C_{s,u} \cdot A_{s,u} (h_{s,u}) \cdot v_{s,u}$ $\left(\frac{v_{s,u,1}^2}{2g} + h_{s,u,1} \cos \theta + z_{s,u,1} \right) - \left(\frac{v_{s,u,2}^2}{2g} + h_{s,u,2} \cos \theta + z_{s,u,2} \right) = \zeta_{s,u} \frac{v_{s,u}^2}{2g} \cdot \Delta x$
排水層下部からの側方排水量 $Q_{s,l}$	$Q_{s,l} = C_{s,l} \cdot A_{s,l} (h_{s,l}) \cdot v_{s,l}$ $\left(\frac{v_{s,l,1}^2}{2g} + h_{s,l,1} \cos \theta + z_{s,l,1} \right) - \left(\frac{v_{s,l,2}^2}{2g} + h_{s,l,2} \cos \theta + z_{s,l,2} \right) = \zeta_{s,l} \frac{v_{s,l}^2}{2g} \cdot \Delta x$
浸透防止層への浸透量 Q_W	$Q_W = C_W \cdot A \cdot v_W$ $v_W = k \cdot \left(1 + \frac{h_{s,l}}{L} \right) \cdot \cos \theta$

算定式に用いた記号
 I : 降雨強度、 A : 単位領域の面積、 $A_H, A_{s,u}, A_{s,l}$: 断面積、 A' : 通水穴セル面積、 g : 重力、 $h_{s,u}$: 排水層上部の水深、 $h_{s,l}$: 排水層下部の水深、 v : 流速、 Z : 標高、 G : 損失係数、 θ : 傾斜角、 Δx : 単位領域幅、 v : 流速、 K : 浸透防止層の透水係数、 L : 浸透防止層厚さ、 $C_H, C_{s,u}, C_{s,l}, C_W$: 流量係数、添字1: 上流側境界、添字2: 下流側境界

(3) モデルの評価 実験1および2の結果を数値解析で再現することを試みた。モデル内には流量係数 ($C_{S,u}$, C_H , $C_{S,l}$ および C_w) および損失係数 ($\zeta_{S,u}$ および $\zeta_{S,l}$) が含まれている。実験値と計算値の誤差が最小となる係数の組み合わせを求めた結果、 $C_{S,u}=1.4[-]$ 、 $C_H=0.3[-]$ 、 $C_{S,l}=0.5[-]$ 、 $C_w=3.0[-]$ 、 $\zeta_{S,u}=0.025[\text{mm}^{-1}]$ および $\zeta_{S,l}=0.025[\text{mm}^{-1}]$ となり、これらをモデルの係数として採用した。

モデルによる計算値を実験値と比較したものが図6である。ここで用いた実験値は、散水強度毎の平均値である。両者の間の誤差は2.5%以下であり、本モデルは一定の精度でキャッピング層内の水分移動を再現可能であると考へた。

5. 数値シミュレーションによる雨水浸透制御効果の評価

エンボス型排水層に関する諸条件を変化させ、その際の浸透率および排水率の変動を本モデルを用いてシミュレートした。排水層の形状として芯材厚さおよび通水穴ピッチ、施工条件として勾配および施工長さを変化させた。なお、標準ケースは、芯材厚さ20mm、通水穴ピッチ75mm、勾配3%、施工長さ6mとした(実験1に同じ)。シミュレーションの結果を図7に示す。ここでは、芯材厚さ、通水穴ピッチおよび勾配による影響はほぼ見られなかった。施工長さに関しては、長さの増加に伴い、浸透率および排水率は直線的に増加および減少する傾向を示した。このことから、実際の埋立地規模で施工された場合、本実験結果と比較して、浸透率は高く、排水率は低くなることが示唆される。

6. まとめ

本研究では、エンボス型排水層および雨水制御シートを用いたキャッピングの雨水排除効果の把握および評価を行った。人工散水実験により、廃棄物層内への浸透率は約10%、埋立地系外への排水率は約90%であることが分かった。また、数値シミュレーションにより、浸透率および排水率は施工長さの影響を受けることが示唆された。施工長さがある程度増加すると、排水層下流側において、排水層下部の水位が上部の水位と等しくなることや、排水層が水分で飽和されることが考えられる。これらの点も考慮し、モデルを改善していく必要がある。

[謝辞] 通気・防水シートキャッピング工法研究会からは人工散水実験の結果を提供して頂いた。記して謝意を表する。

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制御に関する研究、第16回廃棄物学会研究発表会講演論文集II、pp.1112-1114、2005。 2) 石橋俊将、島岡隆行、小宮哲平、田中純一：ジオシンセティックスを用いたキャッピング層における水分移動に関する研究、平成17年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、pp.965-967、2006。 3) 石橋俊将、小宮哲平、中山裕文、島岡隆行：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、平成18年度土木学会全国大会第61回年次学術講演会講演概要集、2006。

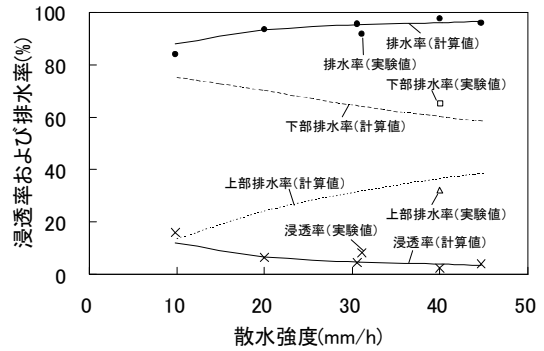


図6 散水強度と浸透率および排水率の関係

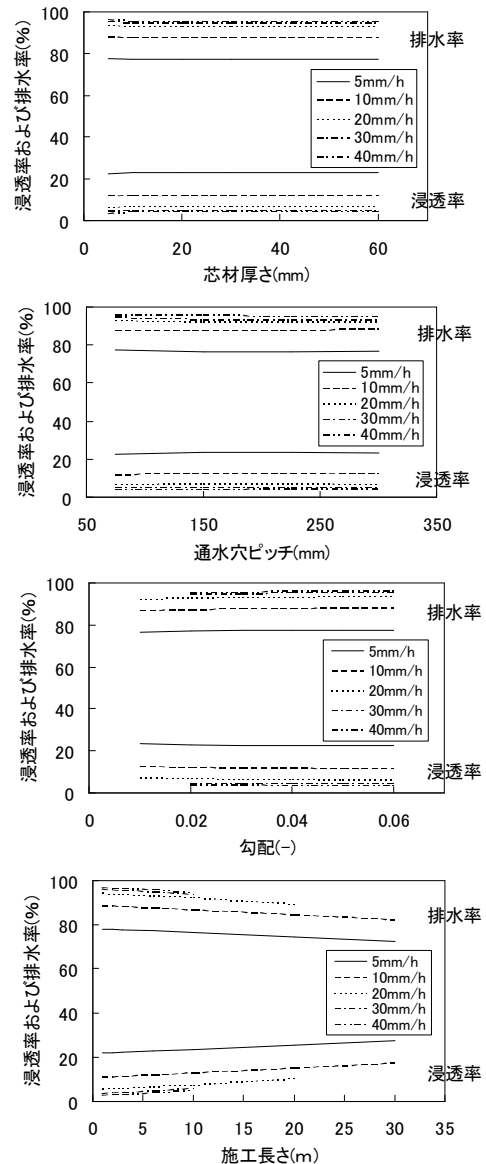


図7 雨水排除効果への影響