

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

九州大学工学部 学生会員 石橋 俊将 九州大学大学院 正会員 島岡 隆行
九州大学大学院 学生会員 小宮 哲平 九州大学大学院 学生会員 田中 純一

1. はじめに

廃棄物最終処分場では埋立完了後、雨水浸透の防止や景観の向上を目的として、最終覆土が施工される。雨水浸透量削減のためのキャッピング層は主に土質材料の多層構造であるが、土質材の代替材としてジオシンセティックスの利用が考えられている。ジオシンセティックスの利用により、キャッピング層厚を小さくすることが可能であり、また雨水浸透をより効果的に制御できると考えられる。著者らはこれまで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表現する数式モデルの構築を行った¹⁾。そのモデルでは、排水層内での水深は場所に依らず一定である等流状態と仮定したものであった。

本研究では、より現実に近い数式モデルを得ることを目的とし、まず人工散水実験を行い、ジオシンセティックスを用いたキャッピング層の雨水排除効果及び排水層内での水の流れを再確認した。次に排水層内での側方排水流れを不等流で表現し、数式モデルを改良した。最後に人工散水実験の再現計算を行い、数式モデルの改良効果を評価した。

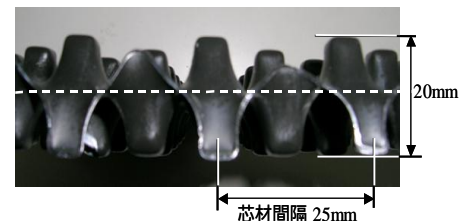


図1. エンボス型排水材の芯材部分の断面図

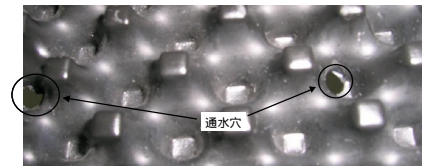


図2. エンボス型排水材の芯材部分の上面図

2. ジオシンセティックスを用いたキャッピング層

従来のキャッピング構造は表面から順に、山砂による侵食防止層(50cm程度)、排水層(20cm程度)、浸透防止層(50cm程度)、ガス排除層(20cm程度)から成る多層構造である。ジオシンセティックスを用いた場合、排水層が2cm、浸透防止層が1mmとなり、層厚を小さくできる。侵食防止層から廃棄物層に浸透する水は、ジオシンセティックス材により制御される。本研究では、排水層にエンボス型排水材を使用した。エンボス型排水材の芯材部分の断面図及び上面図をそれぞれ図1、図2に示す。エンボス型排水材には、通水孔が75mm間隔で設けられている。排水層に浸透してきた水の一部は、エンボス型排水材の上部にとどまって側方へと排水されていき、一部は排水材の通水孔を通過して下部へ移動し側方へと排水される水と浸透防止層を浸透していく水とに分かれる。

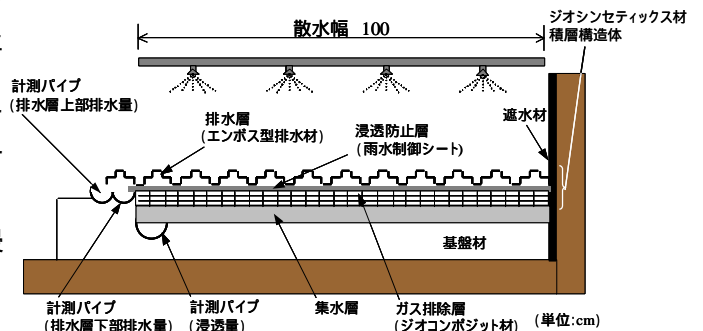


図3. 実験装置の縦断面図

3. 人工散水実験

(1) 実験方法

図3は実験装置の縦断面図である。長さ100 cm × 奥行50 cmのジオシンセティックス材積層構造体の上から40 mm/hの強度で散水し、計測パイプで雨水制御シートを通過した浸透水、で排水層下部からの排水、で排水層上部からの排水を収集し、それぞれの水量を計測した。表1に実験に用いた材料を示す。実験時間短縮のため、雨水制御シートとジオコンボジット材は実験開始時点で既に飽和状態となるよう含水させた。

(2) 結果及び考察

図4に散水経過時間と浸透率及び排水率の関係を示す。排水率と浸透率を比較してみると、散水量に対して浸透率は1.8 ~ 4.8%しか確認されず、排水率は90%以上となった。散水量のほとんどが浸透することなく側方に排水されたことが分かる。

排水層上部と排水層下部の排水率を比較すると、排水層下部排水率は排水層上部排水率の約2倍となった。散水

表1. 実験に用いた材料

層名	使用材料	厚さ(mm)	透水係数(cm/sec)
排水層	エンボス型排水材	20	-
浸透防止層	雨水制御シート	1	1×10^{-5}
ガス排除層	ジオコンボジット材	20	-

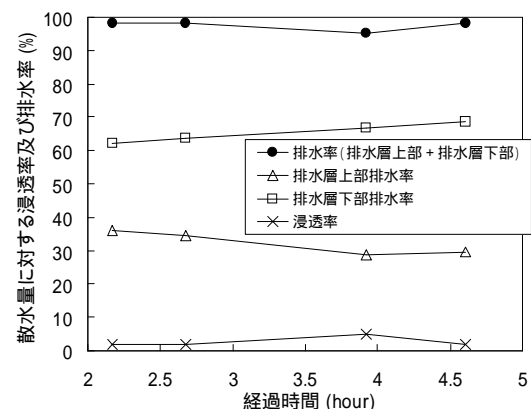


図4. 経過時間と浸透率及び排水率の関係

開始から2.2時間後、排水層上部排水率は62%であったが、4.5時間後には69%と増加した。一方、排水層下部排水率は36%から30%に減少した。排水層上部排水量及び下部排水量は通水孔からの浸透量に左右されると考えられる。水が排水層上部を不規則に流れることが目視から確認されており、このために通水孔からの浸透量が経時的に変動し、排水層上部及び下部排水率の変化に影響を与えると示唆された。

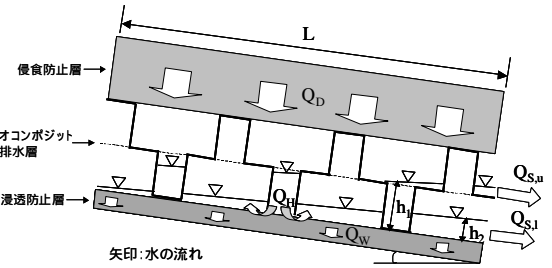


図5. 排水層周辺における水の移動形態

4. 数式モデルの改良

(1) モデル構造

モデルで考慮した排水層周辺における水の移動形態を図5に示す。排水層における側方排水流れは、これまでは等流と仮定していたが、ここでは不等流として扱いモデルの改良を図った。表2に示した各流量の算定式は、水の移動は定常状態、侵食防止層は不飽和状態で、エンボス型排水材の上下のフィルター及び侵食防止層は飽和状態、水の移動は上下左右の2次元断面内で奥行方向は均一という仮定の下、側方排水流量 $Q_{S,u}$ 及び $Q_{S,l}$ は開水路流れ、通水穴流量 Q_{Hi} はトリチェリの定理を応用した。浸透防止層における浸透流量 Q_{Wi} はダルシー則を用いた。各流量は水収支式(1)または(2)を満たすように決定される。

$$\left. \begin{aligned} Q_{Di} &= Q_{Hi} + Q_{S,ui} \\ Q_{Hi} &= Q_{Wi} + Q_{S,li} \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

$$\left. \begin{aligned} Q_{Di} + Q_{S,u(i-1)} &= Q_{Hi} + Q_{S,ui} \\ Q_{Hi} + Q_{S,l(i-1)} &= Q_{Wi} + Q_{S,li} \end{aligned} \right\} \dots (2)$$

(2) 改良効果の評価

図6は人工散水実験における浸透量及び排水量と本モデルを用いて実験を再現した結果を比較したものである。今回、不等流状態では、降雨幅を3分割した場合で計算を行った。また、最上流方向の水深 $h_{1(0)}$ 、 $h_{2(0)}$ は0と仮定した。結果、水深 h_1 が浅いため、 $h_1 < H/2$ となり、計算値では排水層上部からの排水量は0となった。実験値と計算値での誤差は(3)式で求めた。

$$S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i (\text{実験値}_i - \text{計算値}_i)^2} \dots (3)$$

等流状態では2.32%、不等流状態では2.08%であり、側方排水流れを不等流として計算することで再現性が向上した結果となった。

5. まとめ

ジオシンセティックスを用いたキャッピング構造において、実証実験及びモデルの再構築を行い、以下の知見を得た。

- (1) 実証実験結果によると、散水量40 mm/hに対し、排水量が90%以上となり浸透量が十分に抑制された。また、エンボス型排水層上部及び下部排水率は通水孔からの浸透量に影響されることが示唆された。
- (2) エンボス型排水層内の水の挙動を表す数式モデルにおいて、側方排水流れを等流から不等流に拡張した結果、実験における排水率や浸透率をより精度良く再現することができた。

今後、数式モデルのさらなる改良のためには、ジオシンセティックスを用いたキャッピング層内で実際に起きている現象を実験によって、より正確に把握していく必要がある。

<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す。

[参考文献]1) 田中純一、島岡隆行、小宮哲平：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、pp1112-1113、2005

表2. 不等流状態における各浸透量及び排水量のモデル式

	式
排水層への浸透量 Q_{Di}	$Q_{Di} = I \times \frac{L}{N}$
通水孔からの浸透量 Q_{Hi}	$Q_{Hi} = C_{Hi} \times \frac{L}{N} \times r' \times \sqrt{2g \left(\frac{h_{1(i-1)} + h_{1(i)}}{2} - \frac{h_{2(i-1)} + h_{2(i)}}{2} \right)}$
排水層上部からの側方流出量 $Q_{S,ui}$	$Q_{S,ui} = 0 \quad \left(h_{1(i)} < \frac{H}{2} \right)$ $Q_{S,ui} = C_{S,u} \times \left(h_{1(i)} - \frac{H}{2} \right) \times \sqrt{2g \times \left\{ \frac{i \times L}{N} \sin \theta + (h_{1(0)} - h_{1(i)}) \cos \theta \right\}} \quad \left(h_{1(i)} \geq \frac{H}{2} \right)$ $Q_{S,uN} = C_{S,u} \times \left(h_{1(N)} - \frac{H}{2} \right) \times \sqrt{2g \times \left\{ L \sin \theta + \left(h_{1(0)} - \frac{h_{1(N)} + \frac{H}{2}}{2} \right) \cos \theta \right\}} \quad \left(h_{1(N)} \geq \frac{H}{2} \right)$
排水層下部からの側方流出量 $Q_{S,li}$	$Q_{S,li} = C_{S,l} \times h_{2(i)} \times \sqrt{2g \times \left\{ \frac{i \times L}{N} \sin \theta + (h_{2(0)} - h_{2(i)}) \cos \theta \right\}} \quad \left(h_{2(i)} < \frac{H}{2} \right)$ $= C_{S,l} \times \frac{H}{2} \times \sqrt{2g \times \left\{ \frac{i \times L}{N} \sin \theta + (h_{2(0)} - h_{2(i)}) \cos \theta \right\}} \quad \left(h_{2(i)} \geq \frac{H}{2} \right)$ $Q_{S,lN} = C_{S,l} \times h_{2(N)} \times \sqrt{2g \times \left\{ L \sin \theta + \left(h_{2(0)} - \frac{h_{2(N)}}{2} \right) \cos \theta \right\}} \quad \left(h_{2(N)} < \frac{H}{2} \right)$ $= C_{S,l} \times \frac{H}{2} \times \sqrt{2g \times \left\{ L \sin \theta + \left(h_{2(0)} - \frac{H}{4} \right) \cos \theta \right\}} \quad \left(h_{2(N)} \geq \frac{H}{2} \right)$
浸透防止層への浸透量 Q_{Wi}	$Q_{Wi} = C_{W} \times \frac{L}{N} \times K_a \times \left(\frac{h_{2(i-1)} + h_{2(i)}}{2W_a} + \cos \theta \right)$
モデル式に用いた記号	
I: 降雨強度、L: 降雨幅、r': 通水孔の開孔率、 $h_{1(0)}$: 排水層上部の水深、 $h_{2(0)}$: 排水層下部の水深、H: 排水層の芯材厚さ、 θ : 勾配、 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、N: 分割数、i: 側方流下方向の領域分割番号(1~N)	

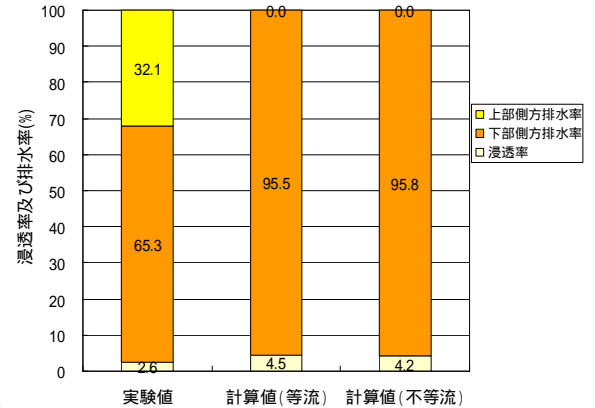


図6. 実験値と計算値の比較