

3次元 FEM 浸透流解析による不織布が不飽和土中の水分移動に与える影響の評価

熊本大学大学院 学生会員 ○唐崎 陽司

熊本大学大学院 正会員 椋木 俊文

1.はじめに

焼却灰を主とした最終処分場内の廃棄物は雨水浸透による洗い出し効果により、廃棄物層の化学的な安定化を促進する工法が検討されつつある。一方、最終覆土内は不飽和状態であり、粒度特性のばらつきに起因した不均質流れが発生する結果、安定化の局所化および遅延が懸念されている¹⁾。そこで、本研究では粒度特性にばらつきを持たせた不均質な模型地盤に対し散水実験を実施し、X線CT法を用いて内部の水分残留分布を可視化した²⁾。さらに、有限要素法を用いた3次元飽和-不飽和浸透流解析を実施し、粒度特性のばらつきに起因した巨視的な不均質流れに対し、覆土層底部境界における不織布の敷設が地盤内の水分移動に与える影響評価を行った。本報ではその数値解析結果について報告する。

2.解析手法

本実験で用いた地盤材料は山砂であり、細粒分含有率が75 μm 以下固定として粒度調整を行ったものを用いた。Case1 ($D_{50}=0.425\text{mm}$, $K_x^S = K_y^S = K_z^S = 9.8 \times 10^{-5}(\text{m/s})$, 均等係数 16)は粒度幅が広く、Case2 ($D_{50}=0.106\text{mm}$, $K_x^S = K_y^S = K_z^S = 1.8 \times 10^{-6}(\text{m/s})$, 均等係数 3.8)は有効粒径がCase1よりも小さく、粒度幅が狭い材料である。保水実験はCase1とCase2ともに乾燥密度 1.5t/m^3 の供試体に対し測定を行った。不飽和透水係数の決定では一般に最も多く用いられている Mualem-van Genuchten³⁾モデルを用いて Fig.1と Fig.2に示した保水実験結果をモデル化し、最終的に地盤材料と不織布 ($K_x^S = K_y^S = 4.9 \times 10^{-4}(\text{m/s})$, $K_z^S = 5.2 \times 10^{-6}(\text{m/s})$, 間隙率 91%)の比透水係数を得た。本解析における不織布は山砂を散布し、不織布内の間隙に対して1.2%の細粒分が不織布内に補足された場合に測定された不飽和浸透特性値を採用している。なお、本解析では降雨浸透を考慮可能な、飽和-不飽和浸透流解析プログラム AC-UNSAF3Dを用いて有限要素解析を行った。不飽和浸透流の基礎式は質量保存側と不飽和帯に拡張されたダルシー則から構成され、下記に示す支配方程式となる。

$$\frac{\partial}{\partial x} (K_r (K_{ij}^S \frac{\partial \psi}{\partial z} + K_{iz}^S)) - q = (\beta S_s + C) \frac{\partial \psi}{\partial t} \dots \dots \dots (1)$$

ψ は圧力水頭、 t は時間、 q は降水量である。比水分容量は

$d\theta/d\psi=C$ とし、透水係数を不飽和領域にまで定義すると、不飽和土中の透水係数 K は飽和透水係数 K_{ij}^S と相対透水係数 K_r の積で表される。 S_s は貯留係数と呼ばれ、 $\beta=0$ は不飽和領域、 $\beta=1$ が飽和領域を示している。解析対象地盤は散水実験での模型地盤を元に作成した²⁾。Fig.3は厚さ10mmの不織布を高さ90mmの箇所敷設した解析メッシュ図になる。無体策では、桃色で示した不織布を敷設していない場合とした。解析メッシュの寸法は高さ200mm、直径200mmの円柱を模擬し、要素数6640、節点数

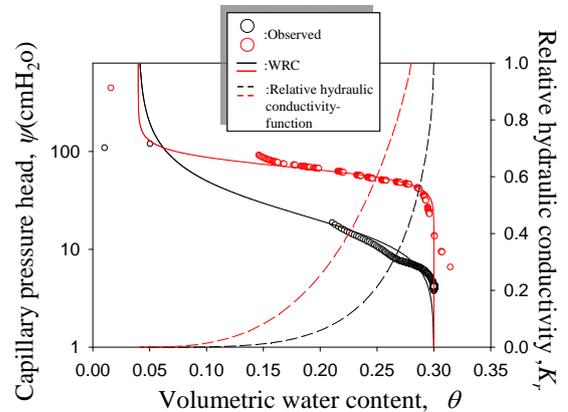


Fig.1 WRC (Water retention curve) of case1 (black color) and case2 (red color) on wetting by applying Mualem-van Genuchten model.

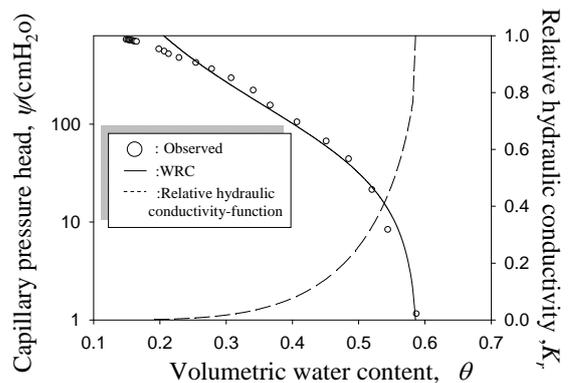


Fig.2 Observed (open circles) and calculated curves on wetting by Mualem-van Genuchten model of non-woven geotextile.

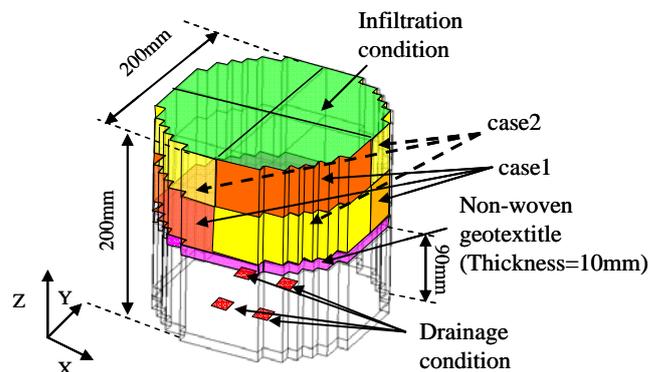


Fig.3 Typical mesh of setting non-woven geotextile and boundary condition in the model ground

9261 である。境界条件は上部地盤表面を降雨浸透境界条件(Fig.3 緑色)、底部4箇所直径10mmの排水管(Fig.3 赤色)があり大気圧開放とした排水条件である。その他は不透水境界とした。降雨強度は豪雨を想定とした25mm/hに設定している。解析メッシュの底部0から10mmは排水層として不織布を敷設し、10mmから100mmまでを均質地盤として豊浦砂とし、上部地盤ではCase1(Fig.3 褐色)とCase2(Fig.3 黄色)を対象配置させ、粒度特性にばらつきを持つ地盤とした。経時変化における全水頭値分布と定常状態における流量に着目し、無体策と不織布を敷設することによる水分移動の影響について比較を行った。

3.解析結果

Fig.4は半径80mmの箇所における散水開始65分後の(a)(無体策)と(b)(不織布敷設)における全水頭値分布を示している。(a)と比較して(b)では不織布上部地盤からの不均質な流れが抑止されているのが確認できる。またCase1では3時間、Case2では4時間後に流入量と流出量が定常状態に至った。不織布を敷設、無体策において底部から50mm、80mm箇所の断面における流量コンター図により、不織布敷設による水分移動の影響を無体策と比較した。流量のばらつきを表す指標として標準偏差を用い、80mmの箇所において(a)では平均値 1.7×10^{-4} (m³/day)、標準偏差が 9.3×10^{-5} に対し、(b)では平均値 1.4×10^{-4} (m³/s)、標準偏差が 6.9×10^{-5} とばらつきが小さくなっているのが確認された。これは不織布間隙内に補足された土粒子が持つ毛管圧力によって、上部地盤からの不均質な流れを、下部地盤へ緩やかに浸透させたと考えられる。ここで、無体策における底部から高さ50mmと80mmで確認された 2.4×10^{-4} (m³/day)以上の箇所を抽出し、3次元で表したのがFig.6である。(b)の赤枠内では(a)に比べ、 2.4×10^{-4} (m³/day)以上の領域が緩和されているのが確認できた。

4.おわりに

本解析において不織布を敷設することにより、無体策に比べ、不織布上部からの不均質な流れを抑止、および下部地盤における局所的な流量が発生する領域を緩和する効果が確認された。

参考文献

- 1) 椋木俊文, 唐崎陽司, 日野一毅: 不織布が粒度特性に起因する局所不飽和浸透流に与える影響評価, 地盤工学ジャーナル Vol.5, No.2, pp325-337, 2010.
- 2) Mukunoki, T., Karasaki, Y. and Taniguchi, N.: Characterization of soil erosion due to infiltration into capping layers in landfill, Proc. of Advances in Computed Tomography for Geomaterials GeoX2010, pp312-319, 2010.
- 3) 小林賢一郎: Y.Mualem 著「不飽和多孔質体の透水係数を推定する新たなモデルについて」ならびに M.Th.van Genuchten 著「不飽和土壌の透水係数を推定する閉形式解について」、J.Jpn.Soc.Soil Phys. 土壌の物理性, No.106, pp.47~60, 2007.

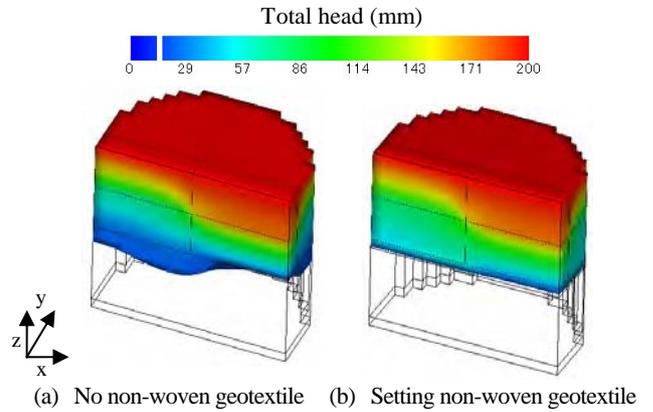


Fig.4 Results at change with the passage of time with total head (After 65min)

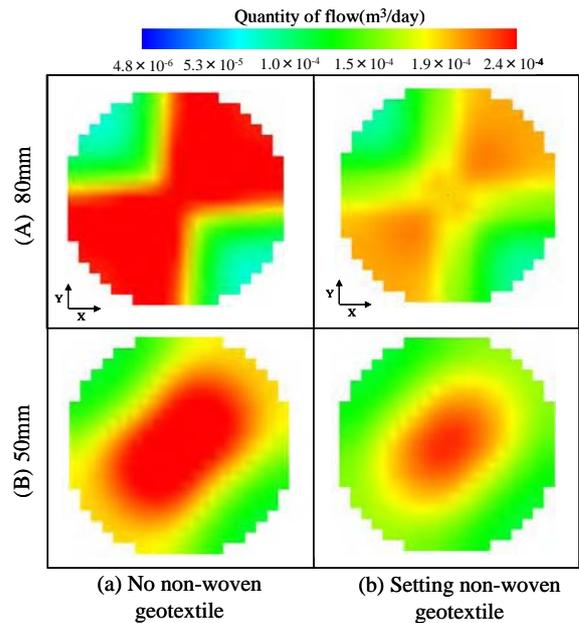


Fig.5 Comparison of quantity of flow for each height (50mm and 80mm) with no non-woven geotextile (a) and setting non-woven geotextile (b) at steady condition

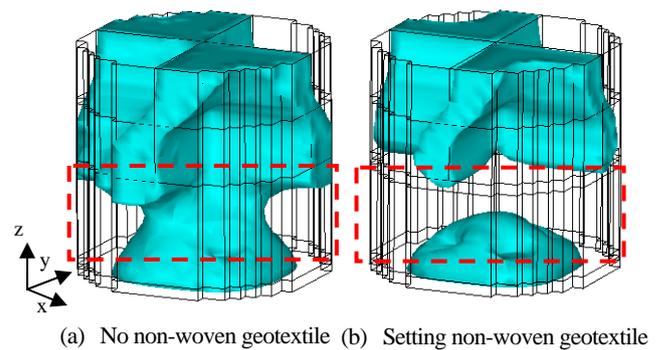


Fig.6 Comparison with quantity of flow (over 2.4×10^{-4} m³/day) with no non-woven geotextile (a) and setting non-woven geotextile (b) at steady condition