

「L型排水盛土防水工」に関する模型実験と排水効果の簡易評価手法について

神戸大学	学生会員	○東	修平
神戸大学	正会員	齋藤	雅彦
神戸大学大学院	正会員	原	健二
神戸大学大学院	学生会員	三井	仁哉
神戸大学大学院	正会員	澁谷	啓

1. はじめに

近年、異常な豪雨による盛土の崩壊事例が多数発生している。これらは、雨水の浸入による盛土の弱体化や、盛土背部の水位上昇によって崩壊に至ったものと考えられている。その対策工案として、渋谷ら¹⁾は、ジオシンセティックスを用いたL型排水盛土防水工を提案している。これは、盛土内に排水材を鉛直に設置し、鉛直面で受けた水をそのまま盛土底部に水平に設置した排水材によって受ける構造とし、盛土背面からの浸透水を盛土外へ速やかに排水させる方法である。本研究では、L型排水盛土防水工の排水効果を模型実験と数値シミュレーションにより把握するとともに、排水効果の簡易評価手法を提案し、その適用性を検証する。

2. 実験方法

図1に実験装置の概要を示す。模型地盤は、まさ土を用いて高さ1.0m、幅2.0m、奥行き0.4mとする。また、図1に示す配置で水圧計と土壌水分計をそれぞれ12ヶ所に設置する。給水は、まず上流側のタンク内の水位を0.9mに保ち、ほぼ定常状態に達した時点で給水を止め、下流側から自然排水させる。また、この操作を2回繰り返した。室内試験により測定したまさ土試料の鉛直方向の飽和透水係数は、 $k=5.3 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ であり、また、まさ土に挟まれた状態での排水材の透水係数は、上載荷重20kPaにおいて $k_d=1.0 \sim 3.0 \text{cm/s}$ であった。

3. 数値シミュレーションの概要

数値シミュレーションは、有限要素法による飽和・不飽和浸透流解析²⁾を用いた。模型実験を再現するための境界条件は、まず図2のように直交座標 (x, z) を定義し、圧力水頭を ψ 、境界流束を q とすると、底面 $(z=0\text{m})$ および上面 $(z=1.0\text{m})$ において $q=0$ 、 $x=2.0\text{m}$ の流出面は浸出面境界とする。また、給水面 $(x=0\text{m})$ は水頭規定境界とするが、タンクの水位は時間的に変化する。ここで、給水時は給水開始から最高水位 $(H=0.9\text{m})$ に達するまで時間に対して線形的に増加すると仮定し、排水時のタンクの水位は以下の常微分方程式に従うものとした

$$\frac{dH}{dt} = -\frac{Q_i(t, H)}{A} \quad (1)$$

ここに、 H は給水タンク内の水位、 A はタンクの断面積、 Q_i はタンクから地盤内に流入する流量である。ただし、 Q_i は陽的に与えられないので、繰り返し計算により H の時間変化を求めた。

土の飽和状態での透水係数および排水材の飽和透水係数は、数値解析により求めた各測定点における飽和度の時間変化、および下流側からの流出量の時間変化と、実験結果が概ね一致するよう試行錯誤により求め、 $k=2.5 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ および $k_d=5.0 \text{cm/s}$ とした。これらの値は、

キーワード ジオシンセティックス、盛土防水工、模型実験、浸透流解析、簡易評価式

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1 神戸大学都市安全研究センター TEL 078-803-6435

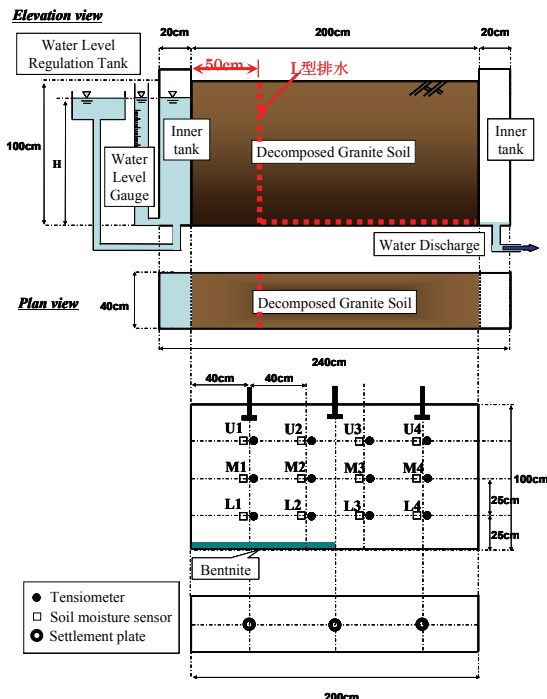


図1 浸透実験装置

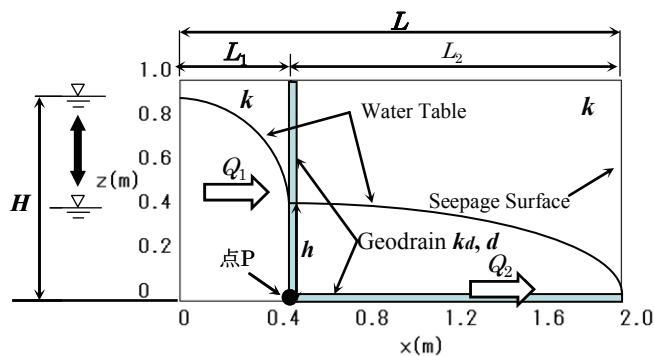


図2 解析領域と境界条件

概ね室内試験から得られた測定値に一致している。また、模型地盤の間隙率 ϕ は実測値から0.35とし、地盤の水分特性曲線はU-1において測定された飽和度と間隙水圧から吸水曲線と脱水曲線を抽出し、それぞれvan Genuchten³⁾の式で近似した。

4. 実験結果および数値シミュレーション結果

図3はU-1、M-2、M-3の各点における飽和度の時間変化、図4は下流側からの流出量の時間変化に関する測定結果と数値シミュレーション結果の比較である。飽和度および流出量の何れに関しても、数値シミュレーションによって実験結果を良好に再現していることが分かる。

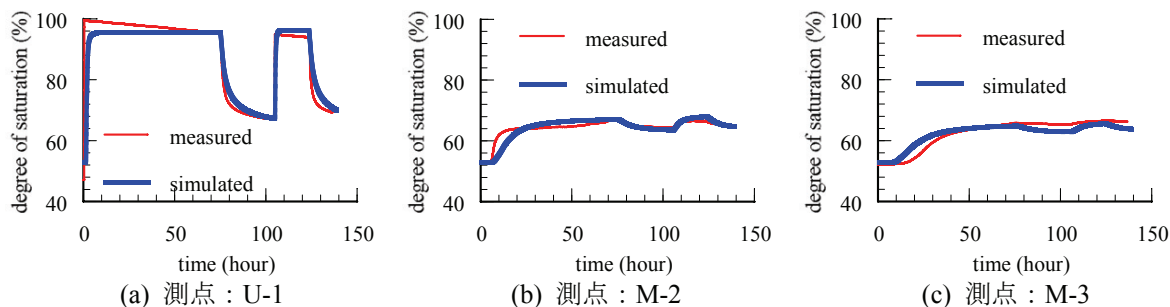


図3 飽和度の時間変化

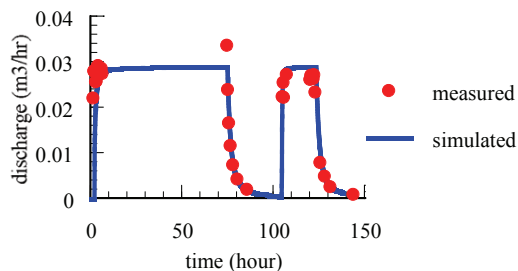


図4 流出量の時間変化

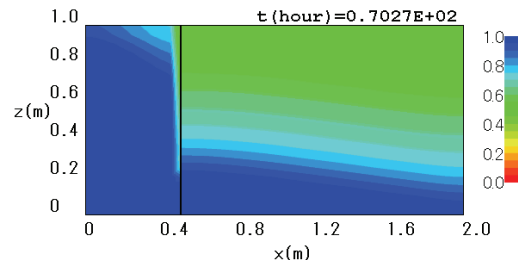


図5 飽和度分布 (70 時間経過後)

図5は、数値シミュレーションにより得られた給水開始から約70時間後の飽和度分布である。これより、盛土内に設置された鉛直排水材から下流側の水位の上昇が抑制されていることがわかる。これは、L型排水盛土防水工の排水効果を実証するものと考えられる。

6. 排水効果の簡易評価式

図2において、鉛直排水材に流れ込む流量 Q_1 は、盛土の透水係数 k と鉛直排水材の設置位置により決まる。ここで、 L_1 を給水面から鉛直排水材までの距離、 L_2 を鉛直排水材から流出面までの距離、 L を給水面から流出面までの距離、 H を給水面における水位として、鉛直排水材の設置位置における水位を h とすると、1次元不圧地下水流の流量公式から、次式が得られる。

$$Q_1 = \frac{k}{2L_1} (H^2 - h^2) \quad (2)$$

同様に、鉛直排水材より下流側における流量 Q_2 は地盤内を流れるものと排水材内を流れるものの和と考え、以下のように近似する。

$$Q_2 = \frac{k}{2L_2} h^2 + \frac{k_d}{L_2} dh \quad (3)$$

また、定常状態においては連続の式より $Q_1=Q_2$ なので、地盤の透水係数と排水材の透水係数、厚み、設置位置が与えられれば、式(2)及び式(3)から h の近似値が求められる。

さらに、透水量係数比 α 、水位低下率 β 、相対設置位置 γ を式(4)のように定義して整理すると、 α 、 β 、 γ の関係は式(5)で表すことができる。

$$\alpha = \frac{k_d d}{kH}, \quad \beta = \frac{h}{H}, \quad \gamma = \frac{L_1}{L} \quad (4)$$

$$\beta = \sqrt{\alpha^2 \gamma^2 + 1 - \gamma - \alpha \gamma} \quad (5)$$

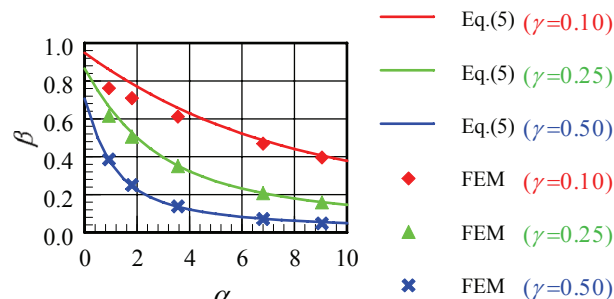


図6 簡易評価式と数値解析の比較

図6は、3種類の γ に対して式(5)から求めた $\alpha \sim \beta$ 関係と、それぞれの γ に対して5種類の α を用いて実施した数値解析の結果を比較したものである。ここで、数値解析では、鉛直排水材の下端(図2の点P)における圧力水頭を h と見なしている。これより、式(5)と数値解析の結果は概ね一致しており、L型排水盛土防水工の設計において、式(5)を用いることによって、盛土内の水位が容易に算定し得ることが分かる。

7. おわりに

模型実験および数値シミュレーションにより、L型排水材盛土防水工による盛土内の水位低下効果を定量的に評価した。また、無次元パラメータ α 、 β 、 γ を用いて排水効果を簡便に評価する方法を提案し、その有効性を確認した。

参考文献

- 1) 澁谷啓・齋藤雅彦・原健二・三井仁哉：ジオシンセティックスを用いた「L型排水盛土防水工」の提案，第43回地盤工学研究発表会，2008(投稿中)。
- 2) 赤井浩一，大西有三，西垣誠：有限要素法による飽和-不飽和浸透流の解析，土木学会論文集，第264号，pp.87-96，1977。
- 3) van Genuchten, M. T.: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Vol.44, pp.892-898, 1980。