施工後長期間経過した八戸しらす野外盛土の降雨時浸透特性

1 はじめに

火山灰質土であるしらすは普通土と比べて保水性や破砕性が高く、降雨により土中の水分が上昇した状態の地震発生時や豪雨時には、被害がより大きくなる.また、凍結融解等による地盤のゆるみ、細粒分の流失による劣化も懸念される.それらの初期状態として、土中の水分移動挙動、保水性の変化を把握することは重要である.本研究では、施工後 17 年が経過した八戸しらすからなる野外試験盛土の降雨時浸透挙動のモニタリングを行った.

2 実験方法

野外盛土は、2004年に八戸しらすを締め固めて作製し、17年が経過したものを用いた.盛土底面は礫が敷かれ、排水状態となっている.盛土施工後の諸元を表1に、盛土概要を図1に示す.P1からP6に誘電率型土壌水分計、P5、P6にテンシオメーターを埋設した.雨量計と、降雨時の表面流出水を測定するための雨量計を設置した.いずれも10分間隔で自動収録した.

3 実験結果

図 2 に 2021 年 3 月から 11 月までの測点 P1 から P6 における体積含水率 θ , 雨量計で観測された雨量,表面流出雨量の経時変化をそれぞれ示す. 3 月の初めの θ は,気温が氷点下にあったことで盛土が凍結した影響で低い値をとった.降雨後,全体の θ 平均は 16.6hr でピークに達した.表層部 P1, P4, P6 の θ が最大値を取った後,深層部 P3 が最大値を取るまでの平均的な時間は

八戸工業高等専門学校 学生会員〇張間 遍 八戸工業高等専門学校 正会員 清原 雄康

表 1 人工盛土作製時の諸元

| 盛土体積 [m³] | 0.63 |
|----------------|-----------------------|
| 土粒子密度 [g/cm³] | 2.518 |
| 盛土締固め時含水比[%] | 25.6 |
| 盛土乾燥密度 [g/cm³] | 1.21 |
| 間隙率 [%] | 51.9 |
| 飽和透水係数 [m/s] | 4.27×10 ⁻⁵ |

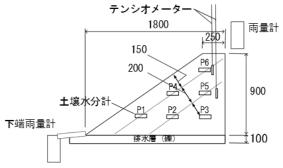
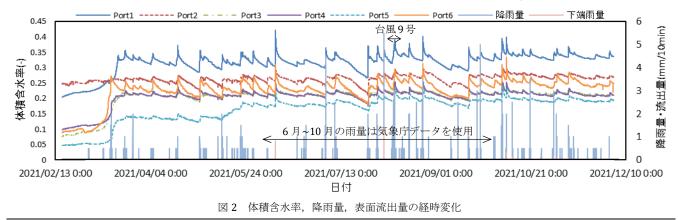


図 1 盛土概要

約 4.7hr であった. ピーク後,吸水時よりゆっくりとした速度で θ が低下する傾向があった. 4 月から 11 月までの雨量の総流入量は 927mm,総流出量は 7mm であり,1 年では約 920mm の雨が盛土に浸透した. 各降雨イベントにおける表面流出の発生は 20 イベントあり,その流出率は平均 5%であった. 10 月,11 月の表面流出が多かったが,原因として降雨イベントの間隔が短く,初期 θ が高くなっていたことが挙げられる.

図 3 に、2004 年及び 2021 年での各降雨イベントにおける測点 $P1\sim P6$ の平均 θ の初期値 θ_{init} に対する降雨に伴う体積含水率の増加量 $\Delta\theta$ を間隙率nで正規化した関係を示す. いずれも、 θ_{init} が小さいほど $\Delta\theta$ が大きく



キーワード 不飽和土,透水性,水分特性曲線,しらす

連絡先 〒039-1192 青森県八戸市田面木字上野平 16-1 八戸工業高等専門学校 TEL0178-27-7367

なる傾向にあった.

2004年は, θ_{init}/n が 0.4~0.8, $\Delta\theta/n$ は 0~0.4 となった.封入空気の影響で θ_{init}/n , $\Delta\theta/n$ は約 0.8 が限界であったのに対し,2021年は θ_{init}/n が 0.3~0.5, $\Delta\theta/n$ は 0~0.11 となった. θ_{init}/n , $\Delta\theta/n$ は約 0.55 が限界となっており,盛土の保水性は低下する傾向にあった.凍結融解による締固めの緩みや,植栽の根による地盤の緩み等により,間隙径が大きくなったことが原因として挙げられる.

図 4 は各降雨イベントごとの連続雨量と表層 (P1, P4, P6) での増加量平均値 $\Delta\theta$ の関係を示す.連続雨量 30mm 程度までは、連続雨量の増加に伴い、 $\Delta\theta$ は増加する傾向にあった. $\Delta\theta$ は、平均 0.032 となった. $\Delta\theta$ が 平均値以上の値をとるときの連続雨量の平均は 37.6mm となった.

図 5, 図 6 に, 2006 年と 2021 年の測点 P5, P6 それぞれの盛土中の体積含水率 θ に対するサクションの変化を示す.水分特性履歴を包絡する線が水分特性曲線の排水・吸水曲線に相当するものと考え,Van Genuchten 式(1)に RETC コードを用いてフィッテングさせ,VG 定数を決定した.

$$\theta = (\theta_s - \theta_r) \cdot \left[\frac{1}{1 + |\alpha \cdot h|^{n_{yg}}} \right]^{1 - \frac{1}{n_{yg}}} + \theta_r \tag{1}$$

ここで、 $\theta_{\rm r}$: 残留体積含水率(=0.1)、 $\theta_{\rm s}$: 飽和体積含水率(=0.4)、 α 、 $n_{\rm vg}$: VG 定数である。2021 年は、2006年の分布に比べて排水過程と吸水過程の土における水分量の差が小さくなっている。図 3 の傾向と同様に、保水性が低下した。

式(1)で求めた VG 定数を用いて,式(2)より不飽和透水係数の Mualem モデルによる理論値を導いた.

$$k_{unsat} = S_e^{\frac{1}{2}} \left\{ 1 - \left(1 - S_e^{\frac{n_{vg}}{n_{vg} - 1}} \right)^{1 - \frac{1}{n_{vg}}} \right\}^2 \cdot k_{sat}$$
 (2)

ここで、 k_{unsat} : 不飽和浸水係数、 S_{e} : 有効飽和度、 k_{sat} : 飽和透水係数である.

図 7 に、測点 P5、P6 間における体積含水率平均の Δt に対する水分変化量 ΔV_w の概念図を示す。流速 v_z と不飽和透水係数kの実測値をそれぞれ式(3)、(4)により求めた。

$$v_z = \Delta V_w \cdot \frac{1}{A \cdot \Delta t} \tag{3}$$

$$\Delta V_{w} = \{(\theta_{6}' - \theta_{6}) + (\theta_{5}' - \theta_{5})\} \frac{\Delta Z}{2} \cdot A$$

$$v_z = k \left(\frac{1}{\Delta Z} \cdot \frac{\Delta h + \Delta h'}{2} + 1 \right) \tag{4}$$

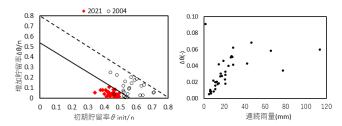


図3 初期貯留率に対する $\Delta\theta/n$ の関係 図4 連続雨量と $\Delta\theta$ の関係

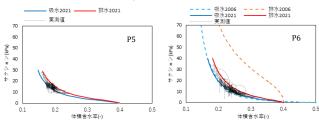


図 5 P5 地点での水分特性履歴

図 6 P6 地点での水分特性履歴

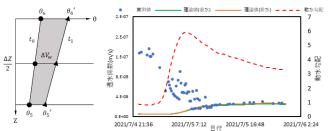


図7 鉛直方向θ変化

図8 不飽和透水係数の理論-実測,動水勾配

ここで、 Δt :時間間隔($=t_1-t_0$:600s), ΔZ :測点間距離,A:断面積, θ_6 , θ_5 , θ_6 ', θ_5 ':図7における t_0 , t_1 の各測点 θ , Δh , Δh ': t_0 , t_1 のサクション差である.図8に,7月4日から始まる降雨イベントにおける不飽和透水係数の理論値・実測値と動水勾配の経時変化を示す。kは,排水が主となる区内では良好な整合が取れたが,吸水が主となる区内では理論値より高い分布範囲となった.

4 まとめ

施工後 17 年が経過した八戸しらすからなる盛土の降雨時浸透挙動を把握した. 貯留率や水分特性曲線から,保水性や θ のピーク値は低下傾向にあった. 原因として,凍結融解や植栽の根による締固めの緩み等が考えられる. 降雨後 θ のピークまでの時間は,平均 16.6hrとなった. 実測による不飽和透水係数は $10^{-8} \sim 10^{-7}$ のオーダーであった.

謝辞:本研究は, JSPS 科研費 18K04356 の助成を受けた. ここに謝意を表す.

参考文献

- 1) 清原雄康, 風間基樹:火山灰質粗粒度からなる野外盛土の水分移動モニタリング,土木 学会論文集 C, Vol.64, No.3, pp.519-531, 2008.
- 2) 社会法人地盤工学会:不飽和地盤の挙動と評価,社会法人地盤工学会,2006.
- 3)van Genuchuten, M.T., Leij, F.J. and Yates, S.R.: The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated soils, Res Rep.,6002-91 065, USEPA, Ada, OK, 1991.