# 施工後長期間経過したハ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



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~P6 の平均θの初期値θ<sub>init</sub>に対する降雨 に伴う体積含水率の増加量Δθを間隙率nで正規化した 関係を示す.いずれも,θ<sub>init</sub>が小さいほどΔθが大きく



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、 $\theta_{init}/n$ が 0.4~0.8、 $\Delta \theta/n$  は 0~0.4 となった. 封入空気の影響で $\theta_{init}/n$ 、 $\Delta \theta/n$ は約 0.8 が限界であったのに対し、2021 年は $\theta_{init}/n$  が 0.3~0.5、 $\Delta \theta/n$ は 0~0.11 となった.  $\theta_{init}/n$ 、 $\Delta \theta/n$ 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Δθ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,Δθは増加 する傾向にあった.Δθは,平均 0.032 となった.Δθ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の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.

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

ここで、 $\theta_r$ :残留体積含水率(=0.1)、 $\theta_s$ :飽和体積含 水率(=0.4)、 $\alpha$ 、 $n_{vg}$ :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 $\Delta t$  に対する水分変化量 $\Delta V_w$ 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.

$$v_{z} = \Delta V_{w} \cdot \frac{1}{A \cdot \Delta t}$$

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

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



ここで、 $\Delta t$ :時間間隔 (=  $t_1 - t_0$ :600s)、 $\Delta Z$ :測点間 距離、A:断面積、 $\theta_6$ 、 $\theta_5$ 、 $\theta_6'$ 、 $\theta_5'$ :図7における $t_0$ 、  $t_1$ の各測点 $\theta$ 、 $\Delta h$ 、 $\Delta h'$ : $t_0$ 、 $t_1$ 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<sup>-8</sup>~10<sup>-7</sup>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

- 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.