

Ⅲ－23 火山灰質盛土の降雨時不飽和浸透特性

八戸工業高等専門学校 正会員 ○清原 雄康
八戸工業高等専門学校 木村 達郎
八戸工業高等専門学校 三浦 英朗

1. はじめに

盛土の安定性評価の際、地盤中の水分状態が強度に大きな影響をもたらす。土中の水分は土自身の重量を増すと同時に不飽和土中のサクシオンを低下させたり、飽和土中の間隙水圧を上昇させたりすることによって有効応力を減少させたりする。地震時・降雨時の盛土の安定性を評価する場合には、土中の水分特性を把握し、それに応じた土のせん断強度の低下を精度良く見積もることが不可欠である。本研究では過去に盛土崩壊を起こした火山灰質砂質土を用いて野外人工盛土を作製し、実際の降雨時の土中への浸透特性や水分状態の把握、数値予測を定量的に行った。

2. 野外実験

2.1 実験方法

表-1、図-1 に人工盛土の諸元と概要図を示した。八戸シラスは十和田カルデラから東方約 15km の青森県新郷村地内から採取し、10mm ふるいにかけたものを使用した。築館土は、2003 年 5 月の三陸南地震の際に斜面崩壊を起こした築館地内から採取した土を 20mm ふるいにかけたものを使用した。盛土作製においては、八戸土、築館土いずれの試料も 3 層×15 回、25 回の突き固め試験結果より得られた最適含水比を参考に、加水調整した試料を用いて、約 10cm ずつ播き出してプレートで転圧しながら所定の形状になるよう盛り立てた。その際、誘電率測定型土壌水分計（Decagon 社製 EC-10）を図-1 に示した所定の位置に埋設した。締固め時の粒子破碎率は、八戸シラスでは 42.3%、築館土で 30.4%であった。また、盛土底部には約 10cm の厚さで碎石を敷いて底面排水状態とした。

降雨量は転倒マス式雨量計(0.5mm 単位)を用い、土壌水分計と同じく 10 分おきに計測した。

2.2 実験結果

図-2、3 に八戸シラス、築館土で作製した盛土中の体積含水率の P1 から P6 の経時変化を示した。平成 16 年 6 月 21 日から平成 17 年 1 月 25 日までの測定結果から、いずれの土質タイプにおいてもピーク時降雨強度が 1.5(mm/10 分)以上で総降雨量が 18mm 以上において体積含水率は顕著なピークを示し、そのピーク値は八戸シラスでは盛土表層部で最大約 40～42%（飽和度 77～82%）、築館土では 42%（飽和度 95%）であった。土中水分は八戸シラスにおいてはピークに至った後、降雨が継続してなければ、急速に土中水が排水されるのに対し、築館土では降雨が止んだ後でも 2 日～3 日程度高含水状態を保持した後、体積含水率が 41%付近にまで低下してから比較的早く土中水が排水される傾向があった。また、平成 16 年 7 月下旬から 8 月上旬にかけて降雨のない期間での土中の水分はいずれの土質とも飽和度で約 45%を維持していた。

各主要降雨期間での貯留特性を把握するために、式(1)、(2)により浸透時の貯留可能量 β_{smax} 、降雨時の最大貯留量 β_s を求め、初期体積含水率 $\theta_{i=0}$ と β_s 、 β_{smax} を間隙率 n で正規化した時の分布を図-4 に示した。

表-1 人工盛土諸元

盛土材料	八戸シラス	築館土
ρ_s (g/cm ³)	2.518	2.478
最適含水比 (%)	23	28
ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.26	1.36
ρ_d (g/cm ³)	1.21	1.38
間隙比	1.081	0.796
D ₅₀ (mm)	0.635	0.484
D ₂₀ (mm)	0.226	0.080
粒子破碎率 (%)	42.3	30.4
施工時含水比 (%)	25.6	29.1
飽和透水係数 (cm/s)	4.27×10^{-3}	1.10×10^{-4}

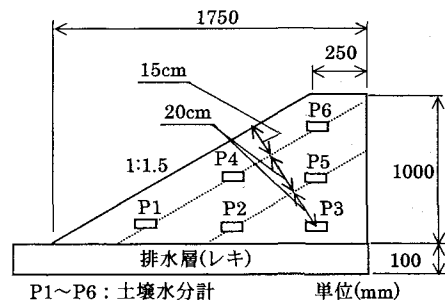


図-1 人工盛土概要図

$$\beta_{s \max} = n(1-\alpha) - \theta_{t=0} \quad (1)$$

$$\beta_{s \max} / n = (1-\alpha) - \theta_{t=0} / n$$

$$\beta_s = \max(\theta_t - \theta_{t=0}) \quad (2)$$

$\beta_{s \max}$: 可能貯留量, n : 間隙率

β_s : 降雨時の最大貯留量

α : 空気封入率

$\theta_{t=0}$: 初期盛土内平均体積含水率

θ_t : 時間 t での盛土内平均体積含水率

平成 16 年 6 月 21 日～平成 16 年 11 月 26 までの主要降雨期間において八戸シラスの $\theta_{t=0}/n$ は 0.443～0.768 に対し、 β_s/n は 0.005～0.25、築館土の $\theta_{t=0}/n$ は 0.535～0.901、 β_s/n は 0.002～0.25 であった。この分布から、築館土の方が貯留率が大きくなる傾向があり、保水性試験結果とも合致する結果であった。浸透時の空気封入率は八戸シラスで 20～50%、築館土で 10%～40%と、室内一次元浸透実験の結果¹⁾の約 13%に比べ、非定常な実降雨による野外実験結果ではそれを大きく上回り、貯留量が小さくなる傾向にあった。

3. 数値模型実験（現状解析）

野外実験と同じ寸法、排水条件とした解析モデルを用いて、実際の降雨パターン（平成 16 年 7 月 6 日～9 月 30 日）を考慮した非定常不飽和浸透流解析による現状解析を行った。不飽和浸透モデルには式(3)に示した van Genuchten (VG) モデルを使用し、諸定数は表-1 や八戸シラスと築館土での水分特性曲線の吸水過程の結果をもとに決定した。その結果を表-2 に示した。

$$S_e = (1/(1-|\alpha \psi|^n))^{(1-1/n)} \quad (3)$$

S_e : 有効飽和度, ψ : サクシオン, α, n : 定数

図-5、6 に八戸シラス、築館土で作製した盛土中 P1～P6 の体積含水率平均値の実測値と解析値の経時変化を示した。八戸シラスでは、透水係数を $2.14 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ （室内試験値 $\times 0.5$ ）とすると、収束値、降雨時の挙動とも良好な相関が得られた。築館土では降雨開始時や降雨後長時間経過後の収束値は良好に再現できたが、ピーク後の高含水状態を保持する挙動については、比透水係数を低く維持できる排水時の水分保持特性も考慮に入れた解析をふまえて、さらに検討が必要である。

4. まとめ

八戸シラス、築館土の野外盛土実験と不飽和浸透流解析による現状解析を行ったところ、浸透挙動の把握定量化や予測によるメカニズムの解明を概ね良好に行うことが出来た。

参考文献

1) 土質工学会関西支部: 不飽和地盤の工学的性質, 土質工学会関西支部, 1989.

謝辞: 本研究は(社)東北建設協会からの平成 15 年度研究助成の一部として行った研究であり、ここに厚く感謝の意を表します。

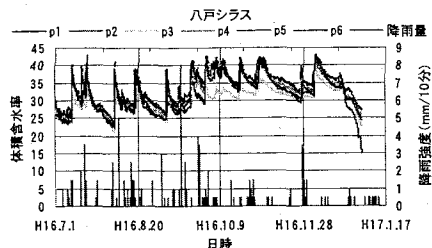


図-2 体積含水率の経時変化（八戸シラス）

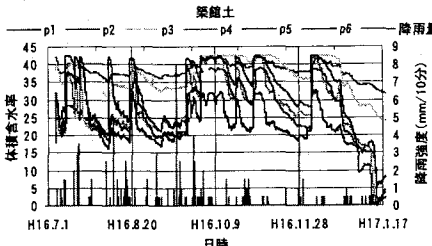


図-3 体積含水率の経時変化（築館土）

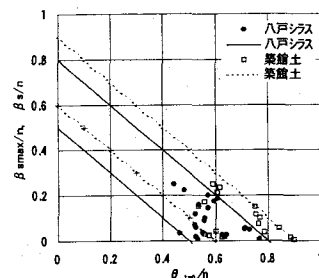


図-4 初期含水比と貯留率の関係

表-2 解析に用いた VG モデル定数

	S_r	S_s	n	$\alpha (1/m)$
八戸シラス	0.1	0.8	1.308	18.17
築館土	0.2	0.7	1.321	12.55

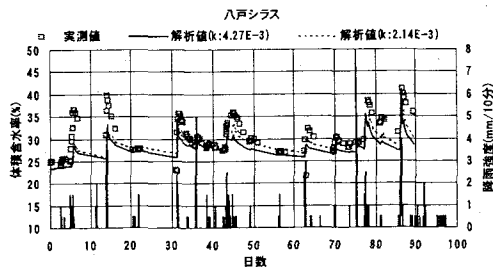


図-5 八戸シラスの平均体積含水率の経時変化

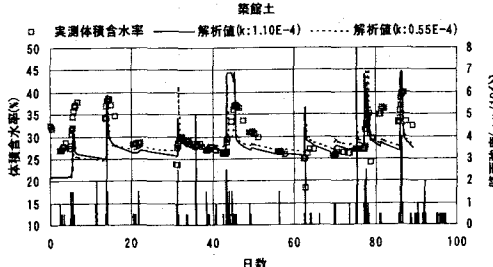


図-6 築館土の平均体積含水率の経時変化