

透水性の異なる盛土材料における降雨浸透・表面流出を想定した変形挙動の比較

新潟大学大学院 非会員 ○向井 光輝
新潟大学 正会員 金澤 伸一
正会員 大塚 悟
非会員 鈴木 聡恵

1. はじめに

近年、豪雨に伴う盛土の変状や崩壊が問題となっている。降雨が不飽和状態の盛土内部へ浸透すると、飽和度の上昇やサクシヨンの低下が生じ、盛土の変形挙動に影響を及ぼす。一方、供給された降雨の一部は表流水として流出するため、降雨時の盛土挙動を評価するには、材料特性と盛土内部への流入量を考慮する必要がある。

本研究では、模型降雨実験を参考に、砂およびシルトに対して降雨浸透・表面流出を想定した流量境界を設定し、土・水・空気連成有限要素解析を行った。解析では、両材料の水分状態とせん断ひずみ分布の時間的変化を比較し、材料特性と降雨流入条件が異なる盛土の変形挙動を検討した。

2. 模型降雨実験および数値解析

盛土内部への降雨流入量を把握するため、阿賀野粘土を用いた模型降雨実験を3回実施した。

高さ160 mm、法面勾配1:1.5の模型盛土に、降雨強度30 mm/hの人工降雨を2時間与え、表流水を回収した。その結果、平均表面流出率は29.3%、降雨流入率は70.7%となった。一方、既往の真砂土を用いた模型降雨実験では、表流水は確認されなかった。

数値解析には、土・水・空気連成有限要素解析プログラム DACSAR-MP を用いた。解析対象は高さ20.0 mの盛土とし、砂およびシルトを盛土材料として設定した。図1に解析モデルと境界条件、図2に材料定数と水分特性曲線を示す。シルトは砂より飽和透水係数が低く、保水性が高くなるように設定した。なお、材料定数は特定の実材料を再現するものではなく、異なる特性を有する盛土を相対的に比較するための設定値である。

降雨条件には、年間降水量が比較的多く、特に7月の降水量が大きかった新潟市の1958年の月降水

量を用いた。各月の降水量を月内で一定の流量に換算し、降雨流入率を乗じた値を盛土天端および法面に与えた。降雨流入率は砂で100%、シルトで70.7%とした。

なお、模型実験と数値解析では材料と降雨条件が一致しておらず、両材料では初期水理状態、水理・力学特性および降雨流入率も異なる。このため、本解析は流入率の影響を単独で評価するものではなく、材料特性と流入条件を組み合わせた条件下で両材料の挙動を比較するものである。

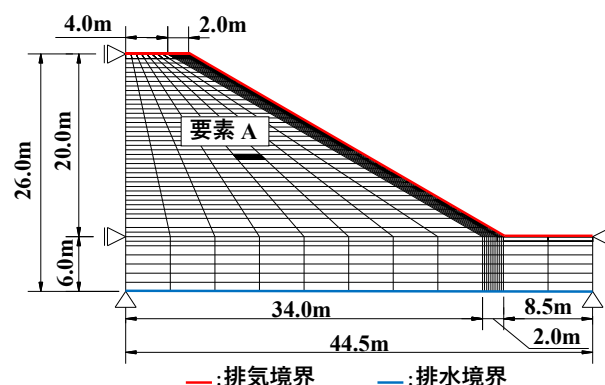


図1 解析メッシュ図

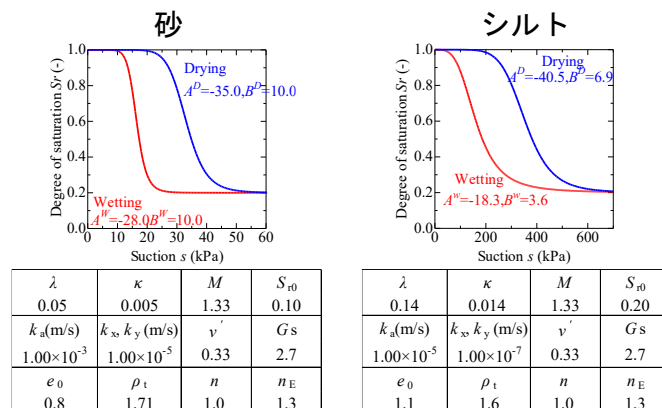


図2 材料定数および水分特性曲線

3. 解析結果および考察

図 3 に、砂およびシルトの降雨条件と、砂の無降雨条件における代表要素の飽和度の経時変化を示す。砂では、降雨の有無によらず解析初期に飽和度が急激に低下し、大きな変化はないが 7 月付近に一時的な上昇が見られた。無降雨でも低下したため、この変化は降雨によるものではなく、設定した初期状態と境界条件のもとで生じたと考えられる。ただし、具体的な要因は本結果のみからは特定できない。降雨条件では、無降雨条件より飽和度が高く維持された。

一方、シルトでは 7 月付近から飽和度が上昇し、これに伴ってサクシオンが低下した。シルトの降雨流入率は砂より小さいが、代表要素の飽和度は砂より高く、材料の透水性・保水性や初期状態も水分状態に関係すると考えられる。

図 4 に、両材料の 1 月、7 月および 12 月におけるせん断ひずみ分布を示す。比較のため、コンターの表示範囲は 0~0.5% に統一した。砂では分布に大きな変化はみられず、法尻付近に局所的なひずみが生じた。一方、シルトでは 7 月に法面付近のひずみが増加し、12 月には盛土内部の広い範囲へ進展した。最大せん断ひずみは砂で 0.38%、シルトで 0.40% と同程度であったが、分布の時間的変化はシルトでより明瞭であった。

シルトでは飽和度の上昇とサクシオンの低下後にひずみ分布が広がったことから、水分状態の変化が変形に関与した可能性がある。ただし、図 3 は一つの要素の水分状態を示しており、盛土全体の状態を直接表すものではない。また、材料特性、初期状態および降雨流入率が異なるため、各要因の影響を個別に区別することはできない。

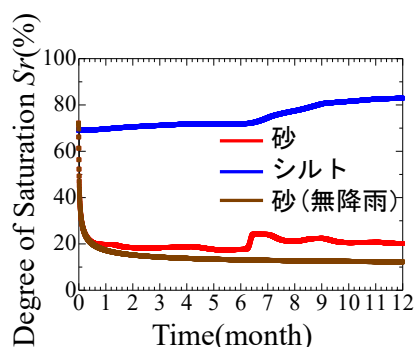


図 3 飽和度の経時変化

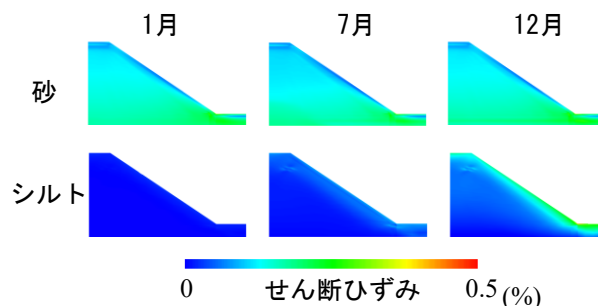


図 4 せん断ひずみ図

4. まとめ

本研究では、模型降雨実験を参考に砂とシルトの降雨流入率を設定し、両材料の水分状態とせん断ひずみ分布の時間的変化を比較した。砂では無降雨でも解析初期に飽和度が低下したことから、この変化は降雨そのものによるものではなく、設定した初期状態と境界条件のもとで生じたと考えられる。ただし、具体的な要因は特定できない。

両材料とも 1 月時点で既にせん断ひずみが生じている。最大せん断ひずみは砂で 0.38%、シルトで 0.40% と同程度であったが、その後のひずみ分布は砂ではほぼ変わらず、シルトでは法面付近から盛土内部へ広がった。したがって、最大値だけでは解析期間中の変形の進展を捉えられず、初期からの分布の変化を確認する必要がある。

シルトでは飽和度の上昇とサクシオンの低下がひずみの進展と時間的に対応しており、水分状態の変化が変形に関与した可能性がある。ただし、両材料では初期状態、材料特性および降雨流入率が異なるため、各要因の寄与は区別できない。

参考文献

1. 藤野隼輔・金澤伸一・鈴木聡恵・大塚悟：植生による斜面崩壊防止機能を考慮した土構造物の降雨浸透挙動に関する研究, Proceedings of EUNSAT 2025, 2025.
2. 金澤伸一・豊嶋拓馬・河井克之・橘伸也・飯塚敦：土／水／空気連成有限要素法を用いた締固め土の力学挙動の解析, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol. 68, No. 2, pp. I_291-I_298, 2012.
3. 気象庁 (2026) : 過去の気象データ検索, 新潟の月別値 (1958 年)