

山砂を用いた散水実験に基づく斜面勾配と浸透能の評価手法の検討

国立研究開発法人防災科学技術研究所 正会員 〇檀上 徹, 石澤 友浩

1. はじめに

斜面内に雨水が浸透することで斜面の不安定化に影響を及ぼすことから、斜面表層部における雨水の浸透量を把握することは、斜面の安定性評価を行うに当たり重要な位置付けである。斜面表層部における浸透量の取り扱いとして、多くの研究では、全ての降雨が斜面内に浸透するといった考え方や、透水係数を用いて決定するという手法が取り入れられてきた。しかしながら、自然斜面において実際に浸透する量（以後、浸透能と呼ぶ。）と透水試験に基づく飽和透水係数との間には相関がみられないことや、浸透能より小さい降雨強度においても地表面上に表面流が発生することが確認されている¹⁾。自然斜面において浸透能に影響を及ぼす要因としては、例えば、林床被覆、斜面長、斜面勾配、土壌密度等が挙げられるが、本研究では、斜面勾配に着目し、斜面勾配以外の諸条件を統一することで、斜面勾配が浸透能へ与える影響について検討し、評価手法の提案を行う。

2. 実験概要・分析方法

長さ 2.0 m、高さ 0.5 m、幅 0.5 m の鋼製の模型土槽を用い、各斜面勾配（2°, 10°, 20°, 30°, 40°）とも、散水される水平投影面積（長さ：1.21 m、幅：0.5 m）を統一した盛土斜面を作製した（図-1）。盛土の作製方法として、鉛直方向に 0.05 m ごとに盛土を行い、乾燥密度が 1.6 g/cm³ になるよう締め固めた。斜面底部の下端側から浸透した雨水が排水できる構造を作り、表面流は斜面下端部に三角堰を設け量水計で計測した。また、斜面内の水分量を計測するため、誘電率土壌水分計（EC-5：AINEX Co., Ltd.）を 3 列、3 深度（GL-0.45, 0.25, 0.10 m）に計 9 個設置した。雨量計は、各斜面の土槽脇に 1 転倒 0.5 mm の転倒マス式雨量計を設置した。表面流の計測間隔は 1 分、土壌水分計の計測間隔は散水時で 15 秒、散水時以外は 1～10 分、雨量の計測間隔は 1 分で行った。

図-2 に本実験で使用した山砂の物性値と粒度を示す。変水位透水試験から得られた透水係数の単位を降雨強度と同じ「mm/h」に変換すると、約 2.3 mm/h であった。本実験では、散水を開始してから表面流出強度が安定したことを確認した後、10 分以上降雨を継続したところで散水を終了した。本論文では、散水終了 10 分前から散水終了時までの表面流量の平均値を表面流出強度として表した。降雨強度は、散水が安定してから終了までの平均降雨強度で表し、浸透能は降雨強度から表面流出強度を差し引いて算出した。なお、浸透能を算出する際、地表面からの蒸発量については、散水中は湿度が 100% になるため考慮しなかった。

実験値から浸透能を評価する方法として Hawkins²⁾は、降雨強度 i と浸透能 f との関係を式 (1) で表せることを示した。

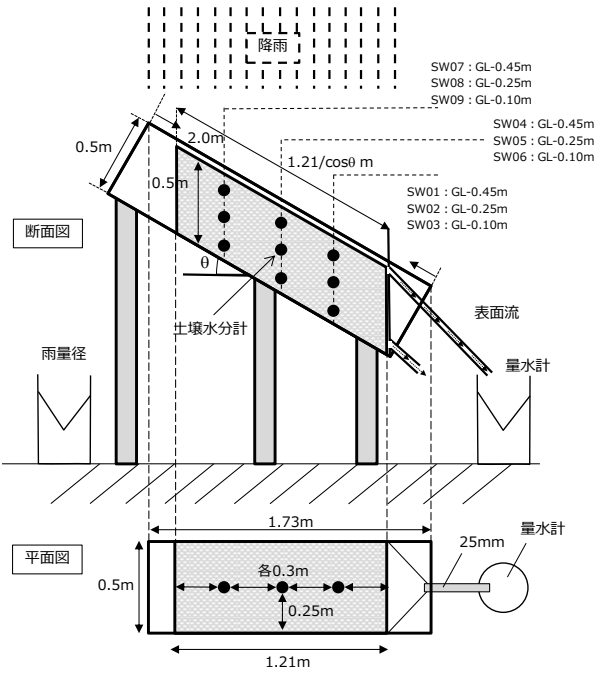


図-1 実験概要

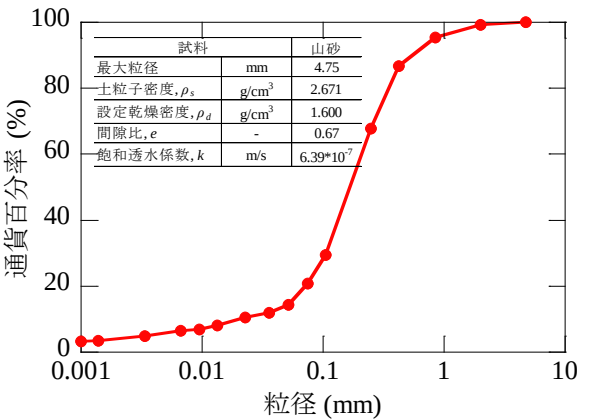


図-2 山砂の物性値と粒度

キーワード 浸透能, 表面流, 斜面勾配, 降雨強度

連絡先 〒305-0006 茨城県つくば市天王台 3-1 国立研究開発法人防災科学技術研究所 TEL029-863-7588

$$f = I_c \{1 - \exp(-i/I_c)\} \quad (1)$$

ここで、 I_c は降雨強度が非常に大きい時の最大浸透能である。

最大浸透能 I_c は、降雨強度が安定してから終了までの平均降雨強度と散水終了 10 分前から散水終了時までの平均浸透能との関係に対して、式(1)を用いて最小二乗法により求めた。

3. 実験結果・考察

図-3 に表層部 (GL-0.10 m) に設置した土壌水分計から得られた平均飽和度と降雨強度の時系列変化 (2°のデータは欠損) を示す。計測結果より、降雨時の飽和度が約 70 % でピーク値に達していることから、GL-0.10 m までの地下水位の上昇はなかったと言える。そのため、本実験の表面流出量は、降雨による浸透しきれない雨水、つまり表層における Horton 流を計測していると判断できる。

実験値および式(1)を用いた推定式による降雨強度と浸透能との関係 (図-4) から、斜面勾配の増大に伴い、浸透能が増加する結果が得られた。本実験では、実験終了後にサンプリングを実施した結果 (2°: $1.592 \pm 0.036 \text{ g/cm}^3$, 10°: $1.601 \pm 0.030 \text{ g/cm}^3$, 20°: $1.618 \pm 0.023 \text{ g/cm}^3$, 30°: $1.606 \pm 0.023 \text{ g/cm}^3$, 40°: $1.611 \pm 0.024 \text{ g/cm}^3$), 初期の乾燥密度 (1.600 g/cm^3) からの大きな差異はなかった。しかしながら、目視レベルにおいて、量水計の水が濁っていたケースもあり、小さい土粒子が流出していたと考えられる。これまでに³⁾、同じ試料による小型模型土槽での散水実験を行った結果、斜面勾配の増大に伴い土砂流出率が高くなる傾向を得ている。さらに、斜面表層の 0.05 mm 未満の土粒子の流出割合が高くなったことから、斜面表層でのクラストが形成されず、浸透能が増大したことが分かっている。そのため、本実験においても、サンプリングでは差異が出ない程の土粒子の流出があったと推測される。

図-5 に、斜面勾配と実験値から式(1)を用いて得られた斜面勾配ごとの最大浸透能 I_c との関係について示す。その結果、斜面勾配と最大浸透能 I_c との間には、正の線形関係があり、良い相関関係 ($R^2=0.98$) を示した。そのため、最大浸透能 I_c を用いることで、浸透能の定量的な評価が行える可能性を見出した。

4. おわりに

本研究では、斜面勾配に着目し、斜面勾配以外の諸条件を統一することで、斜面勾配が浸透能へ与える影響について検討し、評価手法の提案を行った。本論文で得られた知見を示す。

- 本実験で使用した山砂においては、斜面勾配の増大に伴い、浸透能が増加する結果が得られた。
- 斜面勾配と最大浸透能 I_c との間には正の良い相関関係があり、最大浸透能 I_c を用いることで、斜面勾配ごとの浸透能を算出できる可能性を見出した。

参考文献

- 1) 村井宏, 岩崎勇作: 林地の水および土壌保全機能に関する研究(第1報) —森林状態の差異が地表流下浸透および侵食に及ぼす影響—, 林業試験場研究報告, 274, pp.23-84, 1975.
- 2) Hawkins, R.H., "Interpretation of source-area variability in rainfall-runoff relationships", Rainfall-Runoff Relationships. Water Resources Publications, pp.303-324, 1982.
- 3) 檀上徹, 石澤友浩: 小型模型斜面を用いた散水実験に基づく斜面勾配と浸透能との関係, 第55回地盤工学研究発表会, 2020. (提出中)

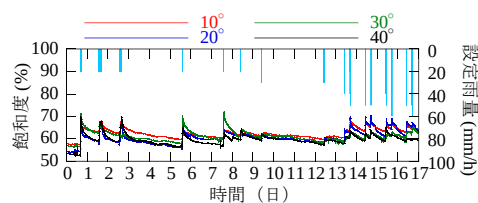


図-3 各斜面勾配の飽和度の時系列変化

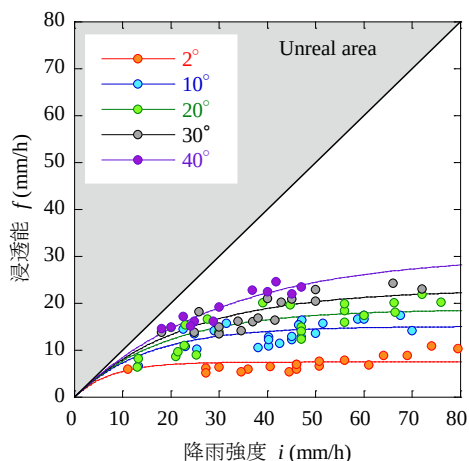


図-4 降雨強度と浸透能との関係
(プロット: 実験値, ライン: 式(1))

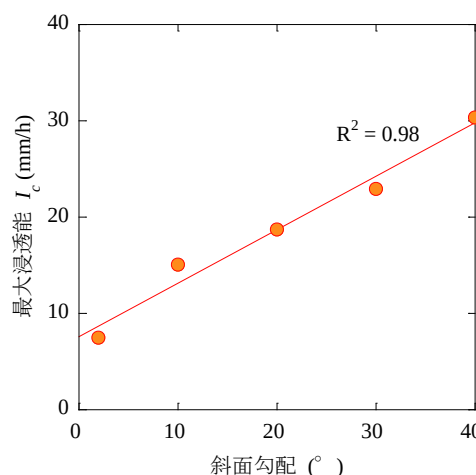


図-5 斜面勾配と最大浸透能との関係