

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：82111

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2021～2023

課題番号：21K20607

研究課題名（和文）降雨強度および地表面上の腐植層が斜面の降雨浸透に与える影響の解明

研究課題名（英文）Effects of rainfall intensity and humus layer above the ground surface on rainfall infiltration on slopes

研究代表者

眞木 陸 (Maki, Riku)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門・研究員

研究者番号：60885010

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：豪雨による斜面災害を防ぐには斜面からの降雨浸透量を適切に把握することが重要である。本研究では降雨強度や地表面上の腐植層が斜面の終期浸透能に対して与える影響を明らかにすることを目的として模型実験を行った。本実験により、傾斜角20°では降雨強度の増加に伴い、終期浸透能は減少するが、傾斜角30°では降雨強度の増加に伴い、終期浸透能は増加するという結果が得られた。地表面上の腐植層が終期浸透能に与える影響についても検討を行ったが、本研究の範囲では大きな影響は見られなかった。実際の斜面ではより表面流の低下は顕著になり、浸透挙動への影響も大きくなることも考えられるため、さらなる検討が必要であると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

降雨時の斜面内水分状態の予測に用いられる飽和・不飽和浸透流解析では透水係数を超えない限り、降雨の全てが斜面内に侵入するように処理されている。しかしながら、実際の斜面では降雨の全てが斜面内に侵入するわけではないことが既往の研究により明らかにされている。本研究では、傾斜角によって影響は異なるものの降雨強度が斜面の終期浸透能に影響を与えることを確認した。これは、今後、斜面における降雨浸透挙動のモデル化を進める上で重要な知見であるといえる。腐植層の影響については、本研究の範囲では確認できなかったが、限定的な条件下での実験データしか収集できていないため、今後も検討が必要であると考えられる。

研究成果の概要（英文）：It is important to understand the infiltration rate of rainfall from slopes to prevent slope disasters caused by heavy rainfall. In this study, model experiments were conducted to clarify the effects of rainfall intensity and humus layer on the final infiltration capacity of slopes. The results showed that the final infiltration capacity decreased with increasing rainfall intensity on a slope with a 20 degree slope, but increased with increasing rainfall intensity on a slope with a 30 degree slope. The influence of the humus layer on the ground surface on the final infiltration capacity was also examined, but no significant effect was found within the scope of this study. Further study is needed to determine the effect of the humus layer on infiltration behavior.

研究分野：地盤工学

キーワード：斜面 降雨浸透 終期浸透能 降雨強度 腐植層

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、集中豪雨の発生頻度が高まっており、毎年のように豪雨災害が発生している。豪雨発生時においては、自然斜面および人工斜面では雨水の浸透によって非常に不安定な状態となり、崩壊を引き起こし、甚大な被害を及ぼす場合がある。このような豪雨による斜面災害を防ぐには斜面表面からの降雨浸透量を適切に把握することが非常に重要である。しかしながら、斜面における降雨浸透挙動については、古くから数多くの研究がなされているものの、体系的な理論の確立には至っていない。

2. 研究の目的

斜面からの降雨浸透挙動に関する既往研究は数多く存在する。特に、Morbidelli^{1), 2)}は斜面の傾斜角が斜面からの降雨浸透挙動に与える影響に着目し、地盤侵食やクラストの影響がない場合には、傾斜角の増加に伴って、終期浸透能は減少することを明らかにし、さらに、斜面の傾斜角と地盤の飽和透水係数をパラメータとした斜面における終期浸透能の簡単な予測式を提案した。しかしながら、降雨強度や地表面上の腐植層の影響は考慮されていない。

そこで、本研究では降雨強度や地表面上の腐植層が斜面の終期浸透能に対して与える影響を明らかにすることを目的として模型実験を行った。

3. 研究の方法

本研究では、図1に示す降雨装置および模型地盤を用いて降雨実験を行うことで、斜面の傾斜角および降雨強度が斜面の終期浸透能に対して与える影響を検討した。降雨装置については、タンク内の貯水をポンプによって模型地盤直上のノズルまでくみ上げて散水する仕組みであり、経路内のバルブおよび散水ノズルの口径により、降雨強度を調節可能である。模型地盤は片盛土の形状とし、まさ土を用いて作製した。底面には排水性確保のために砕石層を設置した。地盤の物性を表1に示す。なお、模型地盤は最適含水比で作製した。また、本研究では降雨による地盤侵食やクラストの形成が斜面からの降雨浸透挙動に影響を与えることを防ぐため、図1のように模型地盤直上に金属メッシュを設置して実験を行った。実験では図2に示すように転倒マス型量水計および土壌水分計を用いて降雨中に発生する表面流出流量と地盤内の飽和度を計測した。

本研究にて行った実験ケースを表2に示す。ケース1~3, 4~6の実験結果を比較することで降雨強度が終期浸透能に与える影響を検討し、ケース1~3の傾向とケース4~6の傾向を比較することで降雨強度が与える影響が斜面の傾斜角によってどのように変化するかを検討した。ケース7, 8はケース2, 3の結

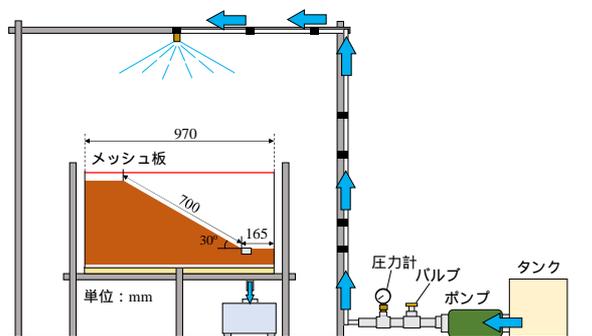


図1 降雨装置および模型地盤

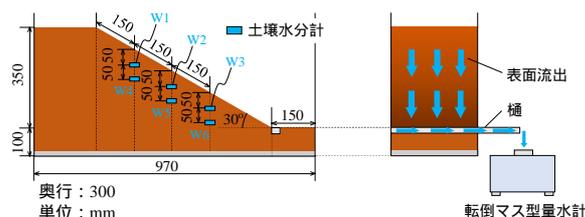


図2 表面流出流量および地盤内飽和度の計測

表1 模型地盤の物性

土粒子密度 (g/cm ³)	2.60
最適含水比 (%)	11.9
最大乾燥密度(g/cm ³)	1.93
締固め度 (%)	85
飽和透水係数 (m/s)	3.59E-05

表2 実験ケース

実験ケース	傾斜角 (°)	目標降雨強度 (mm/h)	腐植層の有無
1	20	25	無し
2	20	40	無し
3	20	55	無し
4	30	25	無し
5	30	40	無し
6	30	55	無し
7	30	40	有り
8	30	55	有り

果と比較することで地表面上の腐植層の影響について検討することを目的に実施した。いずれの実験ケースでも目標の降雨強度を3時間与えた。腐植層については腐葉土を地盤表面に層にならないように設置することで模擬した。腐葉土は地盤表面上に1cm²当たり0.01gとなるようにできるだけ均等に設置した。

4. 研究成果

(1) 降雨強度が斜面の降雨浸透挙動に与える影響

傾斜角20°の地盤で実験を行ったケース1~3の表面流出計測結果を図3に示す。全てのケー

スで降雨開始から数分後に表面流出が発生しており、その後、ケース1,2では緩やかな増加傾向を示し、ケース3では一定の値を示した。同ケースの地盤内飽和度計測結果を図4に示す。いずれの実験ケースでも降雨開始から数分後にW1~W3の飽和度が上昇を開始し、その後、時間をおいてW4~W6の飽和度が上昇した。また、W6の飽和度はその後、再度上昇しているが、これは地盤底面に到達した浸透水が地下水位を形成した影響によるものであると考えられる。この現象はケース1~3のすべてで確認された。

傾斜角30°の地盤で実験を行ったケース4~6の表面流出計測結果を図5に示す。表面流出流量の経時変化はケース1~3とほぼ同じ傾向を示し、表面流出発生後の流量はいずれのケースでも一定の値を示した。同ケースの地盤内飽和度の計測結果を図6に示す。地盤内飽和度の経時変化もケース1~3とほとんど同様である。ただし、ケース1~3では70%以上の飽和度も計測されたのに対し、ケース4~6では地下水位形成の影響を受けたと推察されるケース5のW6を除くすべての地点で降雨終了時の飽和度は約70%にとどまり、その値は降雨強度によって変化しなかった。

定常状態に至った際の単位時間あたりの表面流出流量の平均値を降雨強度から差し引くことで、定常時における単位時間あたりの浸透量(以下、終期浸透能と呼称)を求めた。なお、ケース1~2は緩やかな増加傾向を示している部分も定常状態とみなした。図7に各傾斜角における降雨強度と終期浸透能の関係を示す。傾斜角20°では降雨強度の増加に伴い、終期浸透能は減少する傾向である一方、傾斜角30°では降雨強度の増加に伴い、終期浸透能も増加する傾向が示された。既往研究にて、Danjo³⁾は降雨強度の増加に伴って終期浸透能が増加することを降雨実験から明らかにしており、本研究の傾斜角30°での実験結果はこれと一致する。傾斜角30°の実験ではいずれの降雨強度でも実験終了時の地盤表面の飽和度は約70%と飽和には至っておらず、地盤表面に雨水が浸透するための空隙は存在していると考えられる。そのため、降雨強度が増加するとその空隙部分に新たに雨水が浸透するため終期浸透能が増加するものと考えられる。しかしながら、傾斜角20°での実験結果はこれと真逆の傾向が得られた。図4から、W4~W6の飽和度上昇のタイミングは降雨強度が大きくなるにつれて遅くなっていることがわかり、地盤内の浸潤前線の降下速度も降雨強度の増加に伴って減少していることが推察される。これは、地盤内に空隙空気が閉塞され、雨水の浸透を阻害したことが一つの要因であると考えられる。傾斜角30°では地盤内に浸透しきら

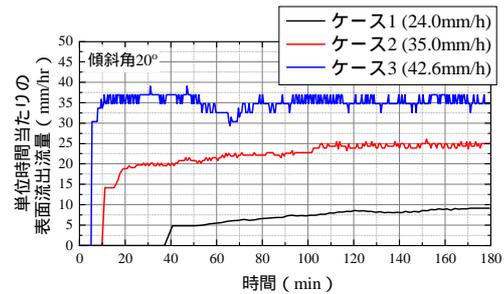
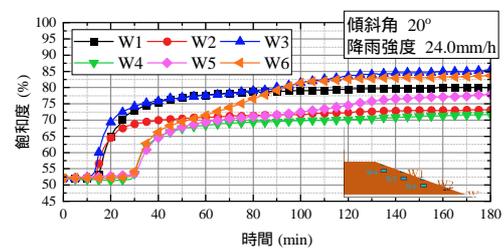
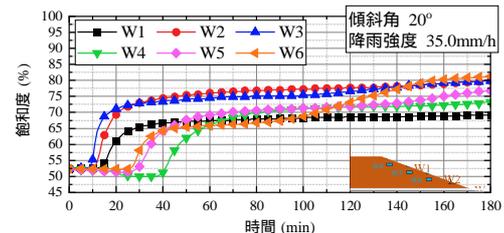


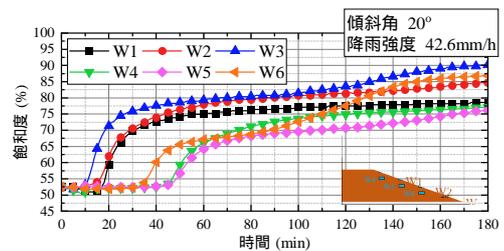
図3 表面流出流量の経時変化(ケース1~3)



(a) ケース1



(b) ケース2



(c) ケース3

図4 地盤内飽和度の経時変化(ケース1~3)

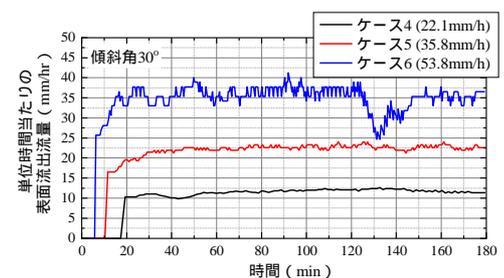
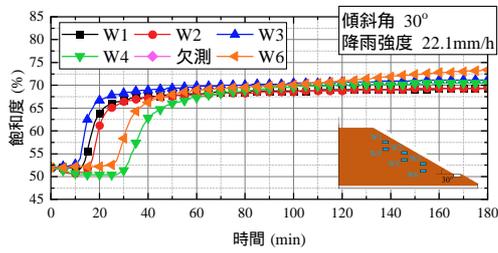
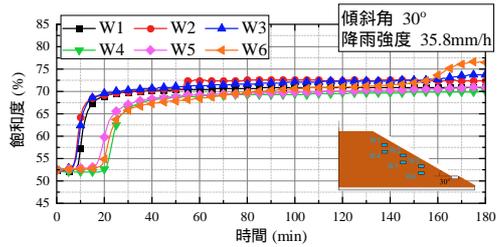


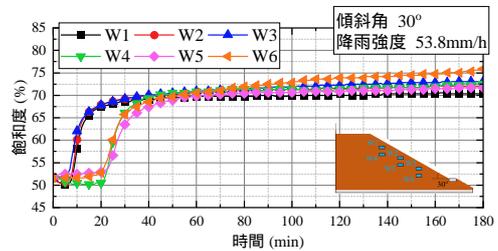
図5 表面流出流量の経時変化(ケース4~6)



(a) ケース 4



(b) ケース 5



(c) ケース 6

図 6 地盤内飽和度の経時変化 (ケース 4~6)

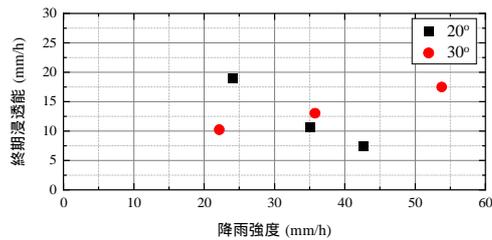


図 7 降雨強度と終期浸透能の関係 (裸地地盤)

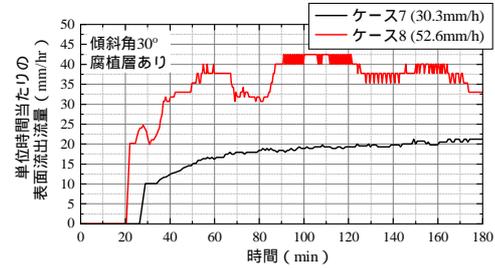
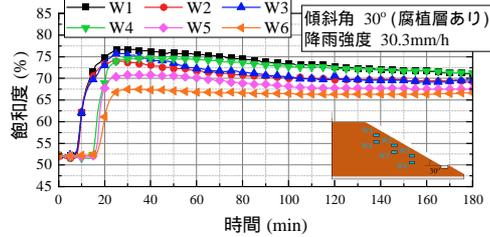
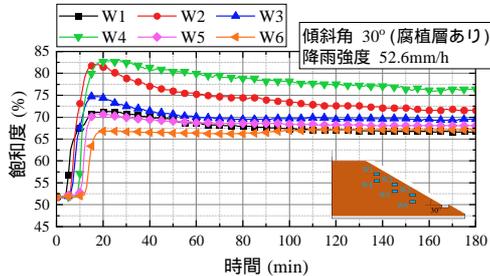


図 8 表面流出流量の経時変化 (ケース 7, 8)



(a) ケース 7



(b) ケース 8

図 9 地盤内飽和度の経時変化 (ケース 7, 8)

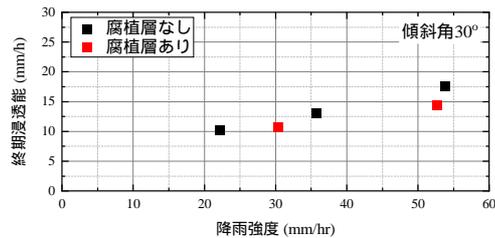


図 10 降雨強度と終期浸透能の関係 (腐植層の有無)

ず、地表面にとどまった雨水が比較的早く表面流となって流去するが、傾斜角 20° では地表面にとどまった雨水は緩慢に流去するため、地表面上の湛水は傾斜角 20° の地盤の方が多かったものと考えられる。降雨強度が大きくなるにつれてこの傾向は顕著となるため、降雨強度の増加に伴って地盤内間隙空気と雨水の交換がうまくいかなくなり、終期浸透能が減少したものと考えられる。

(2) 地表面上の腐植層が斜面の降雨浸透挙動に与える影響

地表面上に腐植層を設置して降雨実験を行ったケース 7, 8 の表面流出流量および地盤内飽和度の計測結果を図 8, 図 9 に示す。図 8 のとおり、表面流出の経時変化は裸地地盤でのケース 5, 6 とほとんど同様の傾向を示したが、腐植層によって表面流が阻害されるため、表面流出の発生は腐植層ありのケース 7, 8 の方が遅くなっていることが確認された。図 9 に示した地盤内飽和度の経時変化については、飽和度がピーク値を迎えた後、少し減少し、一定値を示しており、この傾向はケース 5, 6 と異なる点である。

ケース 7, 8 についてもケース 1~6 と同様に、終期浸透能を求め、ケース 4~6 と比較した。傾斜角 30° の裸地地盤および腐植層を設置した地盤における降雨強度と終期浸透能の関係を図 10 に示す。図 10 に示すとおり、本実験の範囲では、腐植層の有無によって両者の関係に差異は確認されなかった。既往の研究⁴⁾にて植生が降雨浸透挙動に与える影響として表面流速の低下による終期浸透能の増加が指摘されている。本実験においても、上述のとおり、ケース 7, 8 の方

が表面流出の発生が遅いことが確認できることから、地表面に設置した腐葉土によって表面流出の流速は低下していたものと考えられるが、本実験のレベルでは終期浸透能に影響を与える程ではなかったと考えられる。本実験では腐植層が一つの層となり、その層内で流れが形成されることを防ぐため、少量の腐葉土しか設置しておらず、実際の斜面ではより表面流の低下は顕著になり、浸透挙動への影響も大きくなることも考えられるため、さらなる検討が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) Morbidelli, R., Saltalippi, C., Flammini, A., Cifrodelli, M., Corradini, C., Govindaraju, R. S. (2015) Infiltration on sloping surfaces: Laboratory experimental evidence and implications for infiltration modeling, *Journal of Hydrology*, 523, pp.79-85.
- 2) Morbidelli, R., Corradini, C., Saltalippi, C., Flammini, A., Dari, J., Govindaraju, R. S. (2019) A New Conceptual Model for Slope-Infiltration, *water*, 11(4), 678.
- 3) T. Danjo, T. Ishizawa (2020) Quantitative Evaluation of the Relationship Between Slope Gradient and Infiltration Capacity Based on a Rainfall Experiment Using Pit Sand, *Journal of Disaster Research*, 15(6), pp.745-753.
- 4) Ng, C. W. W., Zhan, L. T. (2007) Comparative Study of Rainfall Infiltration a Bare and a Grassed Unsaturated Expansive Soil Slope, *Soils and Foundations*, 47(2), pp.207-217.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 眞木 陸、吉迫 宏
2. 発表標題 降雨強度が斜面からの降雨浸透挙動に与える影響
3. 学会等名 2023年度（第72回）農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------